

中小企業の次世代生産システム対応に関する研究

2019年 3月

北九州市立大学大学院社会システム研究科

博士（学術）学位請求論文

野村 利則

論文要旨

「ものづくり」は、第4次生産革命によって今まさに変貌を遂げようとしている。それは、ドイツ連邦共和国（以下、独とする）のインダストリー4.0 やアメリカ合衆国（以下、米とする）のインダストリアル・インターネット のようにIoT に代表される情報通信技術（以下、IT とする）の進歩が「ものづくり」を変えるというものである。この生産革新への対応は、製造業が集積する北九州地域にあって避けて通ることのできない課題であり、とりわけ大企業と比べて経営資源（資本、人材）の乏しい中小企業にあつては、この最新のIT への対応だけでなく、多くの課題と困難がともなう。

本研究は、その中小製造業がこの生産革新に対応し課題解決するための具体的方策を探求し、提言するものである。

1. 研究の背景と目的

独のインダストリー4.0 は、その中心的概念サイバーフィジカルシステムに見るように情報工学に基づく合理的意思決定を前提とした仮想世界の意思決定処理である。しかし、現実世界の生産活動は生産現場における人の意思決定に基づき行われる。これを人間の介在なしに意思決定し、生産工程まで波及させ生産連動させることは、IT だけで実現できるものではない。そこで、本研究は中小企業にあつて次世代生産システムが求める工場間の生産連動を生産工程まで波及させ、確実に生産実行するために必要な迅速かつ的確な生産意思決定としての生産スケジューリングを探求し、提言する。

2. 生産システムの現状と取組み課題

独のインダストリー4.0 は企業を越えて工場がつながり、生産連動によって自動生産（無人または介在の極小化）を実現するとしている。しかし、実際の生産現場は無機質なのではなく生産実行されるまでには多くの人が介在し、人の意思決定によって生産活動が営まれている。そこには、生産組織の生産意思決定として生産の実行順序や日時を決める生産スケジューリングが存在し、重要な役割を果たしている。次世代生産システムであっても、この生産意思決定なしに生産実行することは考えられず、その乖離が生産スケジューリングの役割をさらに重要なものとすることを示している。

3. 生産スケジューリングの今日的課題

生産スケジューリングには限界があり、生産の高度化や生産環境の変化にともない考慮すべき生産条件（制約条件）が増え、網羅性が高まるほど条件が競合し処理結果に対

する納得性が低下する。結果に対し納得が得られない場合、妥協するか、人の介入により状況の打開を図る必要がある。また、この問題解決を現状のように人手にのみ頼ることは、次世代生産システムが求める生産連動との間に乖離を生じさせる。

この問題を自動車と電機の生産スケジューリング状況から把握し、また学術研究から課題解決の可能性を探った。その結果、この生産スケジューリング問題の課題が生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、そのための生産条件間の「調停」機能であることが分かった。

4. 行動経済学と関連理論

生産スケジューリングは生産活動における行動意思決定であるから、ここでは不確実な状況下における行動意思決定を扱う行動経済学に着目した。とくに心理的価値による行動意思決定を扱う「プロスペクト理論」が「網羅性」、「納得性」、「調停」機能という生産スケジューリングの課題解決に有用であると考えた。

また、問題には構造化できるものと構造化が困難なものが存在すること（構造化問題）や、人はすべての状況を把握できるわけではなく、能力には限界があるから限られた情報の下で意思決定していること（限界合理性）から、人とシステムとの協働の必要性を見出した。

5. 行動経済学に基づく生産スケジューリング

既存の経営工学的アプローチに加えて行動経済学のプロスペクト理論を応用、これを付加して処理結果から受ける心理的価値評価により生産意思決定を図るという、新しいアプローチを採った。具体的には、それぞれの生産条件について生産計画に占める生産比率に基づき参照点（基準点）を定め、これを必要条件とし、これ以上利得が増加しない状態を十分条件、これ以上損失が減少しない状態を絶対条件とし、これらに基づく心理的価値を比較することによって生産条件間の調停を図るというものである。

6. 中小企業の新しい生産スケジューリングの実現

実現にあたり、中小企業の現状や次世代生産システムの実態、ITの導入と利活用を妨げてきたIT人材の問題を捉え、中小企業の採るべき取組み課題を探った。その結果、経営資源（資本、人材）の乏しい中小企業にあっては、一般人材で活用できるMicrosoft Excelのような平易な表計算ソフトを利用し、スケジューリング担当者自らの参画または制作が課題解決につながり、「現場IT力」の強化にもつながるとの結論に至った。

7. 中小企業における IT 利活用による新しい生産スケジューリングの実現

前章の結果を踏まえ、行動経済学を応用し誰でも同じ結果が得られ、担当者の納得が得られる新しい生産スケジューリングの実現策として、Microsoft Excel を用いた生産スケジューリング支援ツールを制作した。それは、事前に担当者の経験と知識に基づき期待値としてのすべての生産条件を設定のうえ、生産順序を決定する過程において、そのときの今回生産順序候補と前回までに確定済みの先行順序との間の関係状態に応じた心理的価値へ変換する関数を準備しておき、生産順序決定処理時にその関数より得られた心理的価値にしたがい、表計算処理が得意とする機能を活用して今回の生産順序候補を並び替えるというものである。

その結果、生産意思決定における行動経済学の有効性ととも、行動経済学の応用という課題解決の工夫次第で表計算ソフトが単なるワークシートに留まらず、業務ツールとして機能発揮できることを示すものとなった。

8. 中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用の進め方

実現のために必要な「問題解決スキル」と「IT スキル」の獲得に関する課題と対応について考察した。社内人材が IT 武装で力をつけるための人材育成やシステム機器の導入支援（補助金）など政府、自治体の施策について調査し、資源に限りがある中小企業が IT 活用レベルを高めて行くための利活用方法と IT 人材育成の進め方を提言する。

9. 中小企業の次世代生産システム対応と生産スケジューリング

行動経済学の応用が生産意思決定に対して有効であること、また、中小企業には IT 人材がおらず、IT の導入効果が分からず、コストも負担できないため投資に踏み切れていない現状に対し、Microsoft Excel のような表計算ソフトウェアを積極的活用することが、次世代生産システム対応の一番の解決策となり得ることを示す。

10. おわりに

本研究は、既存の生産スケジューリングに対し行動経済学の知見を付加することによって迅速かつ的確な工程計画の立案を実現させ、次世代生産システムの求める工場間の生産連動という課題解決ができることを示した。これは、必ずしも最新技術ではなく既存の技術であっても、課題解決に必要な知見を付加することにより新たな解決力を発揮できることを示している。また、それが経営資源の少ない中小企業にあって課題解決の有効な手段となることを意味している。

Abstract

"MONODZUKURI", or "Manufacturing", is about to be transformed by the fourth production revolution. That is, advancement in information and communication technologies represented by IoT, such as German "Industry 4.0" and US "Industrial Internet", changes "MONODZUKURI". Response to this production innovation is an unavoidable issue for the Kitakyushu area where many manufacturing industries are concentrated. In particular, SMEs, i.e. Small and Medium-Sized Enterprises with less management resources, i.e. capital and human resources, than large enterprises, are suffered from many problems and difficulties in addition to this information and communication technology issue. This study is to explore and propose concrete measures for SMEs to respond to this production innovation as well as to solve the problems.

Chapter 1 "Background and Purpose of Study"

German "Industry 4.0" is a virtual decision-making process on the premise of rational decision making based on computer science as seen in its core concept of "Cyber Physical System". In the real world, however, production activities are actually made based on human decision at the production site. It is impossible for information and communication technology alone to make decisions without human intervention, communicate them to manufacturing process and synchronize production. In this regard, this study explores and proposes the "production scheduling", which is a quick and proper decision-making system required for accurate execution of production to cope with synchronized manufacturing among factories to be reflected in each production process as required by the next generation production system for SMEs.

Chapter 2 "Current Status and Issues of the Production System"

German "Industry 4.0" is said to connect factories beyond enterprise borders and realize automated production, i.e. unattended or human-intervention minimized production, by synchronized production. However, actual production sites are not mechanical, but many people intervene in the process before production is carried out, and production activities are being carried out by human decision making. There is "production scheduling" to decide execution order, date and time of production according to the decision of the production organization, and it plays an important role. Even for the next generation production system, it is unable to carry out production without this production decision, which indicates that the gap makes the role of "production scheduling" more important.

Chapter 3 " Current Problems of Production Scheduling"

"Production scheduling" has a limit. In accordance with advancement and environment change in production, conditions or constraints to be considered have increased, and an increase in coverage creates further confliction and lowers the satisfaction level with the processed result. If the results are not satisfactory, you should compromise or you need to break through the situation by human intervention. If you relying solely on human intervention as in the current situation, it causes

inconsistency with synchronized manufacturing required by the next generation production system.

I learned this problem from the situation of "production scheduling" of automobiles and electrical machineries, and explored the possibility of problem solving based on the past studies. As a result, it was found that the problem in this "production scheduling" issue is the "comprehensiveness" of the production condition, the "satisfaction level" to the scheduling result and the "arbitration" function between the production conditions.

Chapter 4 "Behavioral Economics and Related Theory"

Since "production scheduling" is decision making on behavior in production activities, I focused on behavioral economics which deals with behavior decision making under uncertain circumstances. In particular, I considered that "Prospect Theory" dealing with behavior decision making based on psychological value is useful for solving the problem of "production scheduling" in relation to "comprehensiveness", "satisfaction level", and "arbitrate" function.

Also, there are problems that can be structured and hard to be structured, i.e. structural problem. As people cannot grasp all aspects of things because of the limited human ability, they make decisions under limited information, i.e. bounded rationality. For this reason, I found the necessity of collaboration between people and systems.

Chapter 5 "Production Scheduling Based on Behavioral Economics"

In addition to the existing "industrial engineering" approach, I applied and added the "Prospect Theory" of Behavioral Economics and adopted a new approach to make decisions by evaluating psychological value resulted from the above process. Specifically, I determined a reference point, i.e. starting point, based on the production ratio of each production condition in the production plan. This reference point is called "necessary condition". Then, a state in which the gain does not increase any more is referred to as "sufficient condition", and a state in which the loss does not decrease any further is called "absolute condition". Then, by comparing the psychological values based on these, it is intended to arbitrate between production conditions.

Chapter 6 "Realization of New Production Scheduling for SMEs"

In order to realize the new "production scheduling", I first investigated the actual status of the "next generation production system" and then grasped the current situation of SMEs and the problem of shortage of IT human resources that has hindered the introduction and utilization of IT. I also explored the challenges that SMEs must address. As a result, I found it effective for SMEs with poor management resources to use a simple spreadsheet software, such as Microsoft Excel, which is easy to be handled by ordinary people, and the person in charge of the scheduling should develop or participate in the development project to solve the "production scheduling" problem. I believe it will lead to the strengthening of "ability to utilize IT on site".

Chapter 7 "Realizing New Production Scheduling by IT Utilization in SMEs"

Based on the results of the previous chapter, I produced a production-scheduling-support tool using Microsoft Excel as a concrete method of realizing new "production scheduling", with which anyone can obtain the same result by applying behavioral economics, and the result is satisfactory. Mechanism of the tool is as follow;

Based on the experience and knowledge of the person in charge, all of the production conditions should be set up as expectation value in advance. Then, in the process of determining the production order, a function should be prepared to convert the relation between the current production order candidate and the previously determined one to the psychological value. Utilizing the spreadsheet processing function, the current production order candidate is to be sorted in accordance with the psychological value obtained from this function.

As a result, the behavioral economics was shown to be effective in production decision making. Furthermore, by application of behavioral economics as a solution to the production scheduling problem it was also proven that the spreadsheet software can be utilized as a business tool, not just a worksheet.

Chapter 8 "Realizing Production Scheduling and Proceeding with IT Utilization in SMEs "

This Chapter is to consider issues and countermeasures for acquiring "problem solving skills" and "IT skills" necessary for realization. Investigation was made on various government policies to support human resources development of SMEs to acquire IT skills and improve problem solving skills as well as introduction of system equipment. Based on this investigation, I propose a method for utilization of such government support and for development of IT human resources of SMEs with limited resources.

Chapter 9 "Production Scheduling for SMEs as a Next Generation Production System"

Application of behavioral economics is proven to be effective for production decision making. In the environment where SMEs are short of IT human resources, lacking in knowledge of effectiveness, and therefore, unable to bear the cost and make investment in IT introduction, it is shown that active utilization of spreadsheet software such as Microsoft Excel could be the best solution for SMEs to cope with the next generation production system.

Chapter 10 "Conclusion"

This study showed that quick and accurate process planning can be realized by adding knowledge of behavioral economics to the existing "production scheduling", and also showed it possible to solve the problem of synchronized manufacturing among factories required by the next generation production system. This fact indicates that it is possible to create new power to solve the problem by adding knowledge necessary for solving the problem even if it is not necessarily the latest technology but an existing one. In addition, it means that it will be the effective means for solving problems of SMEs with poor management resources.

[目次]

1. 研究の背景と目的.....	1
1.1 研究背景および問題認識.....	2
1.1.1 次世代生産システムの登場.....	3
1.1.2 筆者と生産システム.....	4
1.1.3 製造業と北九州.....	5
1.1.4 中小企業と生産システム.....	5
1.2 研究目的と概要.....	7
1.3 研究の進め方.....	11
1.4 論文構成.....	18
2. 生産システムの現状と取組み課題.....	23
2.1 製造業を取り巻く環境変化.....	24
2.1.1 デジタル化がもたらす競争環境の変化.....	25
2.1.2 IoT がもたらす生産プロセスの革新と独、米の取組み	25
2.2 我が国における次世代生産システムへの取組み.....	31
2.2.1 ロボティクスなど生産革新への取組み.....	31
2.2.2 制御機器メーカーおよび IT ベンダーの IoT への取組み	33
2.2.3 製造業の次世代生産システムへの取組み.....	35
2.3 製造工程における IoT の限界.....	36
2.4 日本におけるデジタル化への取組み課題.....	38
2.5 次世代生産システムが製造業へ及ぼす影響とその課題.....	39
2.5.1 現状の工場生産までの流れ.....	39
2.5.2 円滑な生産運営を支える生産意思決定としての生産スケジューリング	42

2.5.3 次世代生産システムの実現に向けての課題とその対応.....	47
3. 生産スケジューリングの今日的課題.....	50
3.1 生産スケジューリングの実際.....	51
3.1.1 自動車産業における生産スケジューリング.....	52
3.1.2 電機産業における生産スケジューリング.....	64
3.1.3 生産意思決定としての生産スケジューリングの限界.....	71
3.2 生産スケジューリングの研究状況.....	73
3.2.1 生産スケジューリングの目的.....	73
3.2.2 生産スケジューリングの分類.....	73
3.2.3 生産スケジューリングの方法.....	74
3.2.3.1 構成的アルゴリズム.....	77
3.2.3.2 分岐限定法.....	78
3.2.3.3 ラグランジュ緩和法.....	79
3.2.3.4 メタヒューリスティクス手法.....	80
3.2.4 生産スケジューリングの研究.....	81
3.3 生産スケジューリング活用の課題.....	84
4. 行動経済学と関連理論.....	87
4.1 構造化問題.....	87
4.1.1 構造化可能な問題.....	87
4.1.2 構造化困難な問題.....	87
4.1.3 半構造化.....	88
4.2 限定合理性.....	88
4.3 行動経済学の理論.....	89

4.3.1 「速い思考」と「遅い思考」	89
4.3.2 ヒューリスティクスとバイアス	90
4.3.3 プロスペクト理論	96
4.4 行動経済学視点から見た生産スケジューリングの肝	98
5. 行動経済学に基づく生産スケジューリング	101
5.1 既存生産スケジューリングにおける生産意思決定の限界	102
5.2 生産スケジューリングの意義と納得性	102
5.3 既存の生産スケジューリングとの差異	103
5.4 課題解決の基本的考え方	105
5.5 検証対象生産モデル	107
5.6 新しい生産スケジューリング手法の構造	109
5.6.1 生産条件取込（意思入れ）	110
5.6.2 スケジューリング（意思実行）	122
5.6.3 工程計画選択（最終意思決定）	129
5.7 新しい生産スケジューリングによって何が解決できたか	131
5.7.1 スケジュール配列候補が十分条件を満足するとき	131
5.7.2 必要条件を満足するが十分条件を満足しないとき	133
5.7.3 絶対条件を満足するが必要条件を満足しないとき	134
5.7.4 配列候補のすべてが不合格のとき	135
5.7.5 スケジューリングの蒔き直し	136
5.8 研究結果とその考察	137
5.9 実用化のための課題	139
6. 中小企業における次世代生産システムと生産スケジューリング	141

6.1 中小企業と次世代生産システム	142
6.1.1 中小企業における情報システムのあり方	143
6.1.2 中小企業とインダストリー4.0.....	146
6.1.2.1 政府による取組みの基本的方向性.....	146
6.1.3 中小企業における IT 利活用の現状と課題	153
6.1.4 中小企業における次世代生産システム対応問題のまとめ	162
6.2 中小企業と生産スケジューリング	166
6.2.1 回転機製造・メンテナンス会社（中小企業）の状況	167
6.2.2 スケジューリング担当者と生産条件（電機メーカー例）	170
6.2.3 中小企業の生産データ共有化、マスター管理の状況	174
6.2.4 中小企業の生産スケジューリング問題	175
6.3 中小企業の生産スケジューリング実現のための課題と方向性	176
7. 中小企業における IT 利活用による新しい生産スケジューリングの実現	181
7.1 中小企業に適した生産スケジューリングの基本構造と概念	181
7.1.1 中小企業に適した生産スケジューリングとは	182
7.1.2 行動経済学に基づくプロスペクト理論が果たす役割	183
7.1.3 生産意思決定代替の基本構造（しくみ）と機能	188
7.1.4 行動経済学による中小企業の生産スケジューリング	210
7.2 中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの実現	211
7.2.1 生産スケジューリング支援ツールの概要とその基本機能	211
7.2.2 対象とする生産モデル	214
7.2.3 中核機能を支えるプロスペクト理論	214
7.2.4 製品仕様の設定と生産条件の生成	215

7.2.5	生産計画の設定とプロスペクト理論に基づく心理的価値設定	217
7.2.6	工程計画配列候補の選択の基本的考え方	219
7.2.7	プロスペクト理論に基づく生産意思決定代替	220
7.2.8	生産スケジューリングの実行	221
7.2.9	中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの評価	232
7.3	中小企業に適した生産スケジューリングの実現と課題	237
8.	中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用の進め方	239
8.1	国、自治体による IT 利活用促進のための施策	241
8.1.1	IT 活用促進資金（企業活力強化貸付）	241
8.1.2	サービス等生産性向上 IT 導入支援事業（IT 導入補助金）	242
8.1.3	戦略的 CIO 育成支援事業	242
8.1.4	IT 導入計画の策定支援	243
8.1.5	スマートものづくり応援隊	243
8.1.6	IoT 推進ラボ・地方版 IoT 推進ラボ	245
8.2	国、自治体による人材育成のための施策	247
8.2.1	成長分野を支える IT 人材の育成拠点の形成（enPiT）	248
8.2.2	職業実践力育成プログラム	250
8.2.3	専門職大学院制度	251
8.3	中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用	251
9.	中小企業の次世代生産システム対応と生産スケジューリング	253
10.	おわりに	258
10.1	製造業に対する貢献とその意義	258
10.2	学術的貢献とその意義	261

10.3 残された課題と今後の展望.....	262
謝辞.....	264
<参考文献>.....	265

中小企業の次世代生産システム対応に関する研究

A Study on Countermeasures for Next Generation Production System in Small and Medium-Sized Enterprises

野村 利則

Toshinori NOMURA

キーワード：中小企業、次世代生産システム、生産スケジューリング、行動経済学

1. 研究の背景と目的

「ものづくり」は、第4次産業革命によって今まさに変貌を遂げようとしている。それは、ドイツ連邦共和国（以下、独とする）のインダストリー4.0¹やアメリカ合衆国（以下、米とする）のインダストリアル・インターネット²のようにIoT³に代表される情報通信技術の進歩が「ものづくり」を変えるというものである。筆者が暮らす、この北九州地域は製造業が集積し、下請け加工を担う中小企業も多い。その北九州にあって、この生産革新への対応は避けて通ることのできない課題である。とくに大企業と比べて経営資源（資本、人材）の乏しい中小企業にとっては、この最新の情報通信技術への対応だけでなく、関連する多くの課題と困難が想起される。

本研究は、その課題を分析のうえ地域の中小製造業が次世代生産システムに対応し、課題解決するための方策について提言するものである。それは、次世代生産システムが求める工場間の生産連動に対応し、迅速かつ的確に工程計画⁴を立案する生産意思決定としての新しい生産スケジューリング手法である。立案した工程計画は、生産にあ

¹ インダストリー4.0 (Industrie 4.0) とは、独政府、州政府、産業界、学界が総力を挙げて進める「第4の産業革命」と呼ばれる取組み。工業のデジタル化によって21世紀の製造業の様相を根本的に変え、製造コストの大幅削減を目指す。

² インダストリアル・インターネット (Industrial Internet : 産業のインターネット) とは、米中心の取り組みで、機械 (モノ) からのデータ解析と、機械 (モノ) に組み込まれたソフトウェアで、顧客価値を飛躍的に高める新しいビジネスモデルの構築を目指す。

³ IoT (Internet of Things : モノのインターネット) とは、すべてのものがインターネットにつながり、製造物も設備も現在の状況がほぼリアルタイムで把握可能となるという概念。

⁴ 生産計画を実行に移すための計画立案作業を生産スケジューリングと呼び、その処理結果として立案された生産スケジュールを、本研究においては生産する工程と作業の行程、タイムスケジュールを予定するものとして、これを工程計画と呼ぶ。

たり立案者の実行責任がともなうものであるから、その確からしさについて納得できるものでなくてはならない。そこで、処理結果が納得できるものとなるよう、そしてスケジューリング処理条件として与えた生産条件に対する遵守度を人間が容易に判断できるように本研究独自の工夫（「1.2 研究目的と概要」参照）を加えた。

この研究に至った経緯と、どのような問題認識から取組んだか、その背景を「1.1 研究背景および問題認識」に示し、どのような目的で研究を行い、どのような結果を目指すのか、その概要を「1.2 研究目的と概要」に示す。そして、研究をどのように進めるか、そのアプローチ方法を「1.3 研究の進め方」に示し、本論文の構成を「1.4 論文構成」に示す。

なお、情報技術あるいは情報通信技術について、経産省の管掌領域、例えば『中小企業白書』などが IT (Information Technology) とすることに対して、総務省の管掌領域、例えば『情報通信白書』などが ICT (Information and Communication Technology) とするなど、表記に差異がみられる。しかし、本論文においてはこれを区別せず同義のものとして扱い、それぞれの出典元の表記が異なる場合であっても、以下これらをすべて「IT」と表記した。

1.1 研究背景および問題認識

製造業を取り巻く環境は、大きく変わろうとしている。それは、IoT が工場にも波及する「ものづくり」革新、すなわち次世代生産システムの進展である。この次世代生産システムは企業を越えて工場がつながり、同期・連動生産によって「ものづくり」に変革をもたらすとしている。それは、IT の活用により自動的に連携し、かつ合理的に意思決定され、次々に生産活動が連鎖するような期待を抱けさせる。しかし、現実の生産活動には多くの人々が介在し、生産意思決定しながら生産活動が営まれている。

この次世代生産システムの実現のためには、人による生産意思決定に代わる確実な納期遵守生産のための生産オペレーションや、生産意思決定に対する人の介在の極小化が課題となる。もし、この課題が解決されなければ、次世代生産システムは単に IT 機器が新しくなっただけのものになってしまう。

1.1.1 次世代生産システムの登場

第4次産業革命による次世代生産システム、とりわけインダストリー4.0のサイバーフィジカルシステム（CPS : Cyber Physical Systems）⁵は「ものづくり」革新を支えるITの中心的概念である。それは、現実世界をコンピュータという仮想空間に投射した仮想世界に再現し、その分析結果を現実世界にフィードバックするというものである。また、現実世界には人間というプレイヤーが存在するが、仮想世界には存在しない。確かに情報处理的にはコンピュータ内の仮想空間においては解析し結果を出すことによって完結できたとしても、現実世界の問題を解決できるかどうかは人間というプレイヤーの行動によってもたらされるものであり、確約されるものではない。さらに、この発想を転換し裏返して考えると、仮想世界に再現されたしくみの中に人間の意思決定を代替するような機能を組み込むことができれば、現実世界にフィードバックされる処理結果は有用なものとなることが想像できる。

しかし、サイバーフィジカルシステムは情報工学に基づく合理的意思決定を前提とした仮想世界の処理であって、これらITの導入によって現実世界の問題解決ができるという過度な期待には注意が必要である。それは、筆者の経験から、例えば「TPS⁶」が海外で研究され「リーン生産方式」となり、古く（1970年代以前）からある製造工程の管理のしくみが近年の「MES⁷（製造実行システム）」という概念へと発展したことなど、本質は変わらず中身が同じであっても、新しい呼称はあたかも問題解決してくれるような幻想を抱かせるからである。問題解決はシステムによってもたらされるわけではなく、現実世界における人間の行動意思決定または行動結果なのである。この類は、その名前を挙げれば枚挙にいとまもない。

⁵ サイバーフィジカルシステム（CPS : Cyber-Physical Systems）とは、現実世界（フィジカル空間）にある多様なデータをセンサーネットワーク等で収集し、仮想世界（サイバー空間）で大規模データ処理技術等を駆使して分析／知識化を行い、そこで創出した情報／価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていくという概念。（出所：一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）ホームページ（<http://www.jeita.or.jp/cps/about/> 参照 2017-10-28））

⁶ TPS（Toyota Production System : トヨタ生産方式）とは、7つのムダ（作りすぎ、手待ち、運搬、加工、在庫、動作、不良を作る）の削減、ジャストインタイム、自動化（異常が発生したとき、生産設備が自動停止する）などを中心とするトヨタの製造手法。

⁷ MES（Manufacturing Execution System）とは、工場の生産工程内の機械や労働者の作業を管理するシステム。MESは、作業手順、入荷、出荷、品質管理、保守、スケジューリングなどとも連携し生産を統制することから製造実行システムまたはMESツールと呼ぶ。

さらに、生産革新を支える IT のひとつにマシンツーマシン (M2M: Machine to Machine)⁸がある。これは、ネットワークで繋がれた機械がそれを制御するコンピュータ同士で人間を介在せずに相互に情報交換し自律的に最適制御するという概念であり、あたかも工場が無機質な空間で無人操業できるように錯覚させる。しかし、実際の生産活動においては生産着手までの生産オペレーションには多くの人間が介在し、生産のための生産資源の手配や指示を行い、そして生産実行される。また、生産活動においては設備故障や材料部品の未納、突発的な作業員の休務など例外的な事象が発生する。これら例外事象の状況はさまざまであり、臨機応変的な対応を必要とするため人間の意思決定抜きで対処することは難しい。この発想を転換し裏返して考えると、ネットワークで繋がれ相互に情報交換し自律的に最適制御するしくみの中に人間の意思決定を反映するような有機的連携機能を組み込むことができれば、柔軟な対応が可能となり有用な生産システムとなることが想像できる。

これらを踏まえ、第 4 次産業革命ともいべき変革が単に生産設備だけが新しくなるということではなく生産システムに何を求めているのか、その本質を掴み、それに対して企業はどのように向き合っていけばよいのか、その答えを見つけることが本論文の研究動機となっている。

1.1.2 筆者と生産システム

本研究課題は、筆者の経歴とも大きく関連する。筆者は、1970 年代後半から 1990 年代半ばまで、主として「3.1.1.3 自動車の生産スケジューリング」に登場する ALC (Assembly Line Controller) と呼ばれる工程管理システム (コンピュータシステム) の企画・設計・開発・運用の業務に従事していた。それは、PBS (Painted Body Storage) と呼ばれる塗装が完了したボディを収容するストレージの搬入と搬出を制御し、組立ラインへの投入順序を決定する生産スケジューリング機能を中心とするものであった。

その当時、大部分を人の判断に頼っていた生産意思決定としての投入順序決定の自動化に取り組んだ。しかし、それは後に述べるとおり個々の生産条件だけを捉えれば実現できそうなものであっても、条件間の干渉競合によって条件満足できない状況が

⁸ マシンツーマシン (M2M: Machine to Machine) とは、機械 (Machine) 同士が通信ネットワークを介して直接つながり、人間が介在することなく機械同士が情報交換し、自律的に制御するシステムをいう。さらに、それがインターネットを介して世界中のどこからでもつながり、オープンな情報交換が可能となったシステムが IoT である。

生まれ、人が介入し問題解決する必要があった。その後も、この生産意思決定としての生産スケジューリング問題が筆者の取り組む課題であり続けた。

転機となったのが、2013年～2015年の本学大学院マネジメント研究科在籍時のサイモン⁹の構造化問題（「4.1 構造化問題」参照）との出会いであった。それまで生産スケジューリング問題を工学的アプローチに基づく合理的意思決定のみにより解決を目指そうとしていた。しかし、構造化問題は合理的意思決定による解決の限界について気づきを与えてくれた。そして、社会システム研究科へ進学し、生産スケジューリング問題を人間の行動意思決定として捉えて、その研究に取り組んできた。

1.1.3 製造業と北九州

筆者が暮らす北九州地域は鉄鋼、化学、電気機械器具、住宅設備機器、輸送用機械器具などの大手製造業が集積し、これらを頂点に下請け加工を担う中小企業も多い。前述の次世代生産システムにともなう「ものづくり」革新は、これら製造業とそれを支える中小企業、そして地域経済にもその影響が及び、製造業に従事していない我々に無関係という問題ではない。それは、私たちの生活基盤である地域経済には活力ある企業の存在が欠かせないからである。

また、本学社会システム研究科が掲げる教育目的「地域研究・地域社会研究を通じて高度な研究能力と専門知識を身につけ、地域が抱える諸課題を分析し、具体的な解決策を提言できる能力を備えた高度専門職業人及び研究者の養成」とも合致し、この「ものづくり」革新の流れを地域の課題と捉え、その課題解決のために研究に取り組む必要があると考えた。

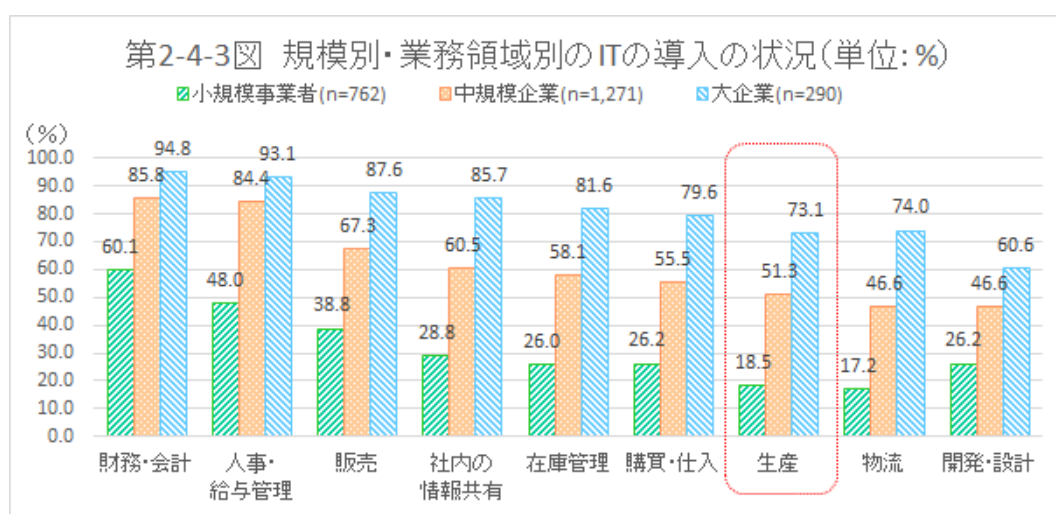
1.1.4 中小企業と生産システム

前項の下請け加工を担う地域の中小企業が活力を維持し続けるためには、「ものづくり」革新にともなう次世代生産システムに対応せねばならない。しかし、一般に中小企業は保有する経営資源が大手企業と比べて乏しい。大企業であれば経営資源を投入して課題解決できる問題であっても、中小企業は少ない資源しか投入できず、課題解決には経営資源の制約による困難がともなう。すなわち、次世代生産システムが目指

⁹ ハーバート A・サイモン（Herbert Alexander Simon,1916-2001）はコンピュータ科学、心理学の世界的権威で、1978年度ノーベル経済学賞受賞。

す生産連動成否のカギを中小企業が握ることとなる。そこで、本研究はその中小企業の対応に焦点を当てた。

また、その中小製造業が次世代生産システムへの対応を考えるうえで、ITを導入する必要性もあることから、現状のIT導入と利活用の状況が新たなIT導入の可否を占ううえで重要となる。そこで、『2013年版 中小企業白書』から抜粋し、「図1.1.4 規模別・業務領域別のITの導入状況」に規模と業務領域別のIT導入状況を示した。これを見ると「生産」業務領域では、大企業と比べてITを導入している企業の割合が小さく、中小企業における生産業務へのITの導入が進んでいないことが分かる。



資料：中小企業庁委託「ITの活用に関するアンケート調査
(2012年11月、三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株))

(注)

1. 各業務領域のITの導入の状況について「導入している」と回答した企業の割合を示している。
2. 「該当する業務領域がない」と回答した企業を除いて集計している。
3. 各項目によって回答企業数(回答比率算出時の母数)は異なる。

出所) 中小企業庁(2013)『2013年版 中小企業白書』佐伯印刷, 177頁

図1.1.4 規模別・業務領域別のITの導入状況

これは、中小製造業では、データを活用した生産業務の効率化や意思決定のためのITの利活用が他の産業に比べて進んでいないことや、製造業の中でも大企業に比べて、その活用が進んでいないことを示している。また、本件研究課題である生産意思決定としての生産スケジューリングについて、導入しても使っていないという話はよく耳にする。しかし、外部からのアンケート調査によって、うまくいっていないことや失敗について回答を得ることは困難である。そこで、直接得ることのできる状況として

示したものが、第6章第2節の「6.2.1 回転機製造・メンテナンス会社（中小企業）の状況」のヒヤリング調査である。ここでは、自分たちで生産状況を把握しながら Excel シートを使って自工程の生産スケジューリングを行い、生産運営している。

これらを踏まえ、大企業と比べて経営資源の乏しい中小企業にあっても次世代生産システム対応問題の解決を図り、生産革新を果たすためには IT の導入とその利活用のあり方も課題として考慮する必要があると考えた。

1.2 研究目的と概要

本研究は、今まさに変貌を遂げようとしている第4次産業革命による「ものづくり」革新が単に生産設備だけが新しくなるということではなく生産システムに何を求めているのか、製造業がどのように取り組むべきか製造業を取り巻く環境を分析し、その本質を掴み、それに対して企業はどのように向き合えばよいのか、その対応方法を見出すことにある。すなわち、次世代生産システムが実現しようとする目的または目標の実現を阻害する要因を探し出し、阻害要因に対する対策を採ることを指す。

したがって、前節「1.1 研究背景および問題認識」でも述べたように、この次世代生産システムが企業を越えて工場がつながり生産連動することを目指すものであるから、つながった工場においては生産組織の生産意思決定として生産スケジューリング結果が製造工程へ迅速に伝達され波及する必要がある。それは、次世代生産システムの実現のために欠くことのできないものであり、生産スケジューリングの果たす役割の重要性がより増すことを意味する。そして、生産計画を実行に移すための生産意思決定オペレーションとして生産スケジューリング処理時の人の介在を極小化し、生産意思決定結果を速やかに製造工程まで波及させ、確実に納期遵守生産することが求められる。

しかしながら、実際の生産に目を向けると生産実行までの生産オペレーションにおいて、生産組織として生産計画を実行に移すための生産意思決定である生産スケジューリングには、未だ人が介在し、大きな役割を果たしているという現実の姿があった。そこで、本研究は次世代生産システムに対応し、課題解決するための方策として新しい生産スケジューリングの実現に取り組むものでもある。とくに、大企業に比べて経営資源の乏しい中小企業が、現実的に次世代生産システムに対応して課題解決を図ることのできる具体策を提言する。

その問題解決の具体策を探求するために既存の生産スケジューリング技法と先行研究にも目を向ける。既存の生産スケジューリングは生産工程または生産設備を直接の対象とし、主として OR 的アプローチにより与えられた条件下における生産工程または生産設備からの産出量を評価している。その目的は効用の最大化または与えられた資源内における最適な生産順序などを求めることにある。しかしながら、生産を決定づける要因は多岐にわたり生産条件のすべてを網羅することは現実的に難しい。処理結果は、あくまでも与えられた条件下における実現可能解にすぎず、限定合理性¹⁰に従えば人間の能力には限界があるから、処理結果が正しいと確信し納得できるとも限らない。とくに OR 的アプローチが扱う生産条件は、制約条件として与えられるものであるから、あくまでも「やってはいけないこと」、「あってはならないこと」を示しているのであって、「してほしいこと」、「なっしてほしいこと」を求めているわけではない。

このため、制約条件として与えられた生産条件を守ることができない場合、守れない状態をスケジューリング処理結果として示すことができず、スケジューリング処理を途中であきらめて打ち切るしかなくなる。あえて、スケジューリング処理を継続しようとするならば、守ることのできなかつた制約条件を条件違反として記録にとどめ、合格したものと同列に扱い、これを認めスケジューリング処理結果に含めることによって処理を継続させ、処理途中の終了を回避している。それは、生産条件を満足できないから渋々その現実を受け入れるような後ろ向きの姿勢といえる。ここに既存の生産スケジューリングに対して納得性が得られない理由があるのではないかというのが筆者の考えである。

そこで、人が意思決定するうえでの関心事¹¹すなわち着目点を網羅したうえで、人に代わって生産スケジューリング処理を実行し、その意思決定代替した結果から受ける関心事に対する人の評価によって納得を得ることができると考えた。それは、実際の生産に目を向けてみると分かりやすい。そもそも、実際の生産現場において理想的な

¹⁰ 限定合理性とは、1947年にハーバート・A・サイモンが『Administrative Behavior』で提唱した人間の認識能力についての概念である。経済主体（人）は、合理的であろうとするけれども、もともと人間の認識能力には限界があるから限られた情報しか持たず、行動意思決定するうえで、経済主体は限られた合理性しか持ち得ないことを表す。詳細は、第4章第2節「4.2 限定合理性」参照。

¹¹ 関心とは、ある対象に向けられている積極的・選択的な心構え、または感情（出所：新村出編(1991)『広辞苑 第四版』岩波書店）であり、ここで扱う関心事は生産スケジューリング時の生産条件としたい製品仕様などの対象事項を指す。

条件の下で生産できるよう、すべての生産条件を満足することは困難であり、それができないことを生産現場も知っている。生産現場においては、現状の要望（求められる生産物（製品）とその量）に対し、どのように対応すれば要望に応えられるか、その現実解が常に求められている。そして、現実解を納得解（納得の上で生産に着手するという意味）とするために、本来の生産条件に対してどの程度の条件満足度であるのかを知り、条件満足度の低い箇所や、満足できていない箇所へ作業員の増員や残業など何らかの対応を採ることにより、生産を実行に移すための対応策の検討が図られる。すなわち、生産現場は、常に臨機応変に例外処理対応することによって生産運営を図っているのである。

このように、どう転んでも望むような生産条件で生産することができない状況において、条件的に見て悪い中でも最良（悪さの度合いが最小）のものを選択するよう納得性のある現実解を素早く導き出すことが、次世代生産システムが求める生産連動という課題に対して、中小企業にあっても迅速な生産意思決定につながり、連動した生産実行を可能とすると考えた。その納得解を得るために次のような仮説を立てた。

（説明仮説H） --- Hypothesis

スケジューリング担当者の関心事（調整を図りたい条件項目）を生産条件として1件ずつ処理し、担当者がその調整結果から受ける（感じる）個々の生産条件の心理的価値評価（条件達成の満足度／不満足度）に基づき意思決定すると、個々のスケジュールに対して担当者から納得が得られるとするならば

↓

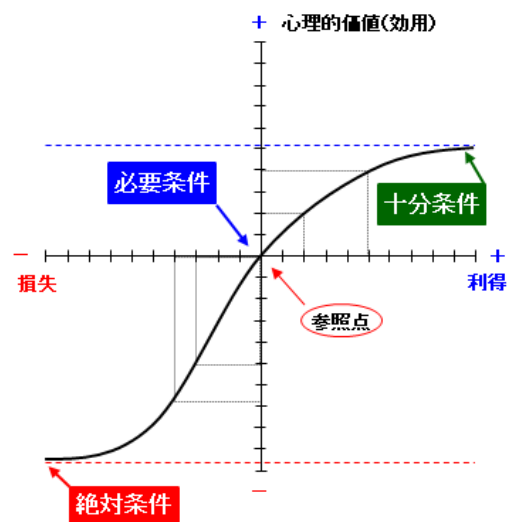
（事実C） --- Case

生産スケジューリングの処理結果全体に対して、担当者から納得が得られることは当然である

この仮説の下、本研究は生産スケジューリング処理結果に対する人（担当者）の心理的価値評価をその対象として扱い、「行動経済学の知見を応用して納得性を向上させ、ORを中心とするこれまでの手法に付加することにより、これまでにない新しい生産スケジューリング手法」として考案するものである。それは、与えられた条件下における処理とその結果をプロスペクト理論に基づき「心理的価値」へ変換し、評価を試み

るものである。すなわち、既存の生産スケジューリングが現実の世界で起こる事象やそこで実現される生産設備の産出量を対象としているのに対して、この新しい生産スケジューリングは心理的価値として疑似的に数値化された担当者の得られる満足度を納得性という表現により扱うものである。

本研究においては、その心理的価値を3つの特性により区分し「**十分条件**」、「**必要条件**」、「**絶対条件**」と呼び、それぞれの特性を数値で表す。さらに、これら特性値を曲線で結びこれを心理的価値曲線とし、その線上の数値を生産スケジューリング時点の状況に応じて得られる利得または損失として評価する。「**必要条件**」は期待値を表し、プロスペクト理論の参照点に当たるものである。「**十分条件**」は、これ以上利得が増えない状態を示し、これを越えた場合はその時点で合格として扱う。「**絶対条件**」は、これ以上損失が増えない状態を示し、これを越えた場合は損失回避のため、その時点で不合格として扱う。そして、必要条件と十分条件を結ぶ凸曲線は利得とリスク回避的な状態を表し、必要条件と絶対条件を結ぶ凹曲線は損失とリスク選好にもなり得る状態を表す。生産条件が競合するとき、それぞれの生産条件について利得・損失曲線上の心理的価値としての利得が多い（損失が少ない）方を選ぶことにより調停を図る。さらに、すべての評価対象が不合格となった場合は不合格の原因事象である評価相手先まで遡り、その時点で選択されている次の生産条件に選択しなおす（この部分だけを捉えれば悪い条件を選ぶ）ことによりリスク選好的な調停をも実現可能とする（図1.2）。



出所) 筆者作成

図 1.2 利得損失と心理的価値

このように、既存の生産スケジューリングが機械的な産出量を対象とし、その効用をリニアな直線または逓減曲線で表される効用関数により評価するのに対し、新しい生産スケジューリングは心理的価値として疑似的に数値化された担当者の得られる満足度で評価することにより納得性を高めて迅速な生産意思決定を図るものである。このプロスペクト理論は生産スケジューリング以外の問題であれば、例えば購買行動な

ど人間の行動を対象とする問題に対しては既存のスケジューリングにおいてもその応用は存在する。しかし、生産スケジューリングにおいては、プロスペクト理論を応用し処理結果から受ける心理的価値を評価対象とした事例は存在しない。その意味において、本研究はこれまでにない新しいアプローチであるといえる。

なお、これは機械的な産出量という合理性による判断を軽視するものではなく、スケジューリング担当者は何が機械的な産出量という効用の最大化であるかを知っており、そのうえで確からしさを自分の経験や勘により確認できることを指したものである。これは、もしスケジューリング担当者が機械的産出量という効用最大化について知見を持っていなければ、処理結果の妥当性を評価することはできず、現在利用されている既存の生産スケジューリングの存在意義をも否定してしまうことがその理由である。

1.3 研究の進め方

これまで見てきた「中小企業の次世代システム対応」問題は、「企業を越えて工場をつなぎ生産連動を実現」することが目的であるから、その課題は「生産連動を実現する迅速な生産意思決定の実現」、「生産意思決定としての生産スケジューリングの人依存の極小化」、「人が担っている中小企業の生産意思決定への IT 利活用とその改善」であると考える。

問題：

中小企業の次世代システム対応

～次世代生産システムは企業を越えて工場をつなぎ生産連動を実現する

課題：

①生産連動を実現する迅速な生産意思決定の実現

②生産意思決定としての生産スケジューリングの人依存の極小化

③人が担っている中小企業の生産意思決定への IT 利活用とその改善

また、それを実現するためには「迅速に生産意思決定できる生産スケジューリング手法」、「誰が行っても同じ結果と納得が得られる生産スケジューリング手法」、「中小企業でも対応できる平易な実現方法」を目標として研究を進めることとした。

目標：

- ①迅速に生産意思決定できる生産スケジューリング手法
- ②誰が行っても同じ結果と納得が得られる生産スケジューリング手法
- ③中小企業でも対応できる平易な実現方法

そして、その研究を進めるにあたっては、「生産スケジューリングに求められる機能と現状課題」と「中小企業における阻害要因と利活用促進課題について」について現状把握のうえ、研究目標を阻害する要因を解析し、その対策を行うための課題解決アプローチを採る。

(説明仮説H) --- Hypothesis

(生産スケジューリングに求められる機能と現状課題について)

- ①製造業をとりまく環境（次世代生産システム）を把握し
- ②現状の生産スケジューリング処理結果に満足が得られない要因を解析し
- ③既存の生産スケジューリング手法の研究状況とその限界を把握し
- ④問題解決するために必要な技術、知見を探索し

(中小企業における阻害要因と利活用促進課題について)

- ⑤中小企業の現状を把握のうえ IT 利活用などを阻害する要因を解析し
- ⑥中小企業でも対応可能な方法を探り

これまでの生産スケジューリング手法に問題解決の新しい知見を加える
とするならば

↓

(事実C) --- Case

中小企業であっても対応可能かつ処理結果に納得が得られる生産スケジューリングを実現することができ、迅速な生産意思決定により生産連動に対応できることは当然である

その研究結果としての方策が、「行動経済学の知見を応用した新しい生産スケジュー

リング」と「誰でも（中小企業でも）活用できる表計算ソフトウェアの採用」である。

方策：

- ①行動経済学の知見を応用した新しい生産スケジューリング
 - ・生産条件の「網羅性」を高めつつ、
 - ・スケジューリング結果への「納得性」を得る
 - ・人間の判断と意思決定行動に代わるある種の「調停」機能
- ②誰でも（中小企業でも）活用できる表計算ソフトウェアの採用

それは、「中小企業でも実現できる平易かつ迅速な生産スケジューリングを実現する」、「誰が実行しても同じ生産スケジューリング結果と納得が得られる」、「迅速にスケジューリングし、生産工程へすばやく生産着手指示する」という結果につながり、生産連動を可能とする。

結果：

- ①中小企業でも実現できる平易かつ迅速な生産スケジューリングを実現する
- ②誰が実行しても同じ生産スケジューリング結果と納得が得られる
- ③迅速にスケジューリングし、生産工程へすばやく生産着手指示する

以下、その研究概要について述べる。まず、『2015年版ものづくり基盤技術の振興施策（ものづくり白書）』を基に、製造業をとりまく環境の把握・分析から始める。そこでは、第4次産業革命ともいべき次世代生産システムによって、工場が企業を越えてつながる生産連動がもたらされようとしている。その一方、実際の生産に目を向けると生産実行までの生産オペレーションにおいて、生産組織として生産計画を実行に移すための生産意思決定として生産スケジューリングが重要な役割を果たしていることを目にする事ができる。それは、生産連動を目指す次世代生産システムにおいては、これまで以上に迅速かつ的確に生産意思決定する必要性から、生産スケジューリングの役割がさらに重要なものとなることを示している。

次に、筆者の経験を基に重要性の高まる生産スケジューリングについて自動車と電機を事例に挙げ、解説する。そこには、未だ最終的な生産意思決定に人が介在し、大きな役割を果たしている現実を見ることが出来る。それは、個々の生産スケジューリ

ング手法、技法はそれが生産モデルとする前提条件下の解法であり、前提として与えられた個々の生産条件（制約条件）に対する答えを出すことはできても、これら生産条件間の競合やスケジューリング対象が複数の生産条件を保持する場合の条件間の調整が困難であるなど、問題解決には自ずと限界があることをあらためて示している。また、それは、生産連動を阻害する要因となり得るものでもある。そして、この問題解決を図るための課題については生産条件の「網羅性¹²」を高めつつ、スケジューリング結果への「納得性¹³」を得るための人間の判断と意思決定行動に代わるある種の「調停¹⁴」機能のような役割が必要であることを知ることになる。この生産スケジューリングが生産意思決定すなわち人間の生産活動に対する行動意思決定であることから人間の行動意思決定の過程に着目し、その研究を進めることとした。

この生産スケジューリング問題の課題解決には、サイモンが多くの示唆を与えてくれている。それは、問題事象とその対策を構造化し機械的な解決手段を講じることができると、例外的で構造化が困難なものに分けて考える^[18]というものである。もし、生産スケジューリング問題を生産スケジューラ¹⁵のみによって解決が図れるとするならば、構造化されたものでなければならない。それは、すべての生産条件が生産スケジューラに網羅・定義されていて、生産活動の中で起こり得るすべての事象とその要因が生産スケジューラで把握可能かつ、解決手段を提示可能でなくてはならないことになる。しかし、設備能力をはじめ生産条件としている事項は、すべてがそのよう

¹² 網羅とは「もらすことなく、すべてに及ぶこと」（新村出編(1991)『広辞苑第四版』岩波書店）である。ここでは、網羅性をスケジューリング担当者が対象条件としたいとする条件の中で実際にどれを条件として採用できたか、その度合いとして扱う。

¹³ 納得とは「承知すること。なるほどと認めること」（新村出編(1991)『広辞苑第四版』岩波書店）である。ここでは、納得性をスケジューリング担当者が個々の工程の利害調整と調停の権限を与えられているという前提において、製品に設定された機能仕様やオプション装備仕様に基づく生産条件面において、そのスケジューリング処理結果が円滑に生産実行可能であると判断できることをいう。ただし、個々の工程作業員または工程責任者が納得できるということではなく、スケジューリング担当者が他の条件を含め総合的に判断して、その時の状況下において現実解として納得できる程度の状態を指すスケジューリング担当者が対象とした条件に対し、スケジューリング処理結果が期待どおりであり、承知できるものであるかという心理的な満足度の度合いを意味するものとして扱う。

¹⁴ 調停とは「当事者双方の間に第三者が介入して争いをやめさせること」（新村出編(1991)『広辞苑第四版』岩波書店）である。ここでは、調停をスケジューリング処理過程において与えられた条件の中、複数の条件が採用するか否かの対象となったときに、それぞれの条件の優劣を評価判断のうえ優れた方を採用し劣る側を引き下がらせるよう、あたかも仲裁するかのような振る舞い（処理）として扱う。

¹⁵ ITを利用してOR（オペレーションズ・リサーチ）に代表される経営工学的アプローチによりシステム化された生産スケジューリング機能またはその処理をいう。

になることを保証する訳ではなく、見込値であること。そして、条件とされた項目以外にも生産に影響を与える事柄が数多く存在する限り構造化は不可能と言わざるを得ない。結局のところ、生産条件の完全な「網羅性」の確保は困難ということとなる。

それでは、どのような対応によって問題解決が可能であろうか。1つの解として構造化困難な問題も包含していることを前提に、スケジューリングの処理過程や処理結果が見える化し、生産スケジューリング担当者の意思を処理過程および処理結果に反映できるようなコンピュータ処理と人間との間の双方向の情報交換および協業が図れるような半構造化された処理構造が考えられる。しかし、工程計画はこれから行われる将来の行動についての意思決定であるから、その計画の正しさや実現可能性をどのように測り判断すればよいのか。そして、私たちはそれを正しく意思決定ができるのかといった視点から検討しなければならない。この間に対して、サイモンがその著書『経営行動』において「そもそも人間の能力には限界があるから、最も効用の高い選択肢を探すことは不可能であり、せいぜい満足のいく選択肢を探すことしかできない」（限定された合理性）^[19]という示唆を与えてくれている。

さらに、満足のいく選択肢とは何か。ここでは、この行動意思決定を経済学的側面からとらえる。これまでの伝統的な経済学では、意思決定に際して完全な情報と完全な計算能力を持ち、自分の満足（効用）を最大化できる超合理的な人間（経済人：homo economicus）を前提とし、「経済人はあらゆる選択肢から利己的、合理的に自己の利益が最大となるよう行動する」としてきた。一方、心理学や社会学、脳神経科学などの知見および研究成果を取り入れた新しい行動経済学においては、現実の人間（homo sapiens）には能力的限界があるから、「いつも合理的な意思決定ができるとは限らず、ときには間違った意思決定もする」としている。そして、行動経済学は問題解決可能な選択肢を発見する過程へ着目して、そこから現実の経済現象や人間行動を解き明かしている。

限定合理性が示すように、人間の認知や情報処理能力には限界があるので効用を最大化する最適解を限られた（許された）時間の中で見つけ出すことは困難である。このため、人は限られた時間内で直感的に意思決定することが求められる。この直感的な意思決定は「ヒューリスティクス」（近道）と呼ばれるものである。しかし、このヒューリスティクスは決してでたらめな解というわけではなく実行可能解（feasible solution）である。そして、選択されたこの現実解としての実行可能解と最適解との間

には、法則的な関係が存在しており、これが「バイアス」である。

この行動経済学に基づく行動意思決定が実社会においてどのような局面で、どのような形で適用されているのか、行動ファイナンスや購買行動、婚活、スポーツ、教育など多面的に事例を挙げ、本研究の目的とする生産スケジューリングへの応用の可能性について探索すると、その事例から行動経済学に基づく行動意思決定としての選択は、結果としては間違っている場合もあるものの、意思決定時点における意思決定者の「確からしさ」の確信や満足度に基づくものであることが見えてくる。

とくに、不確実な状況下においてどのように行動意思決定されるのか、カーネマン¹⁶とトベルスキー¹⁷によって提唱された「プロスペクト理論」（詳細は「4.3.3 プロスペクト理論」参照）が明らかにし、我々に多くの示唆を与えてくれる。それは、心理的価値により行動意思決定するというものであり、損失の少ない方を選択するだけでなく、どう転んでも損失を被りそうな状況においては、かなりの確率において損失を被る可能性があっても小さな確率で利得を得る可能性があればギャンブル的な選択をする場合もあるとしている。これは、このプロスペクト理論が示す行動意思決定が生産スケジューリングをより人間の思考に近づけてくれる可能性を秘めている。

既存の生産スケジューリングが、生産設備や製造工程を対象とし産出量の最大化や生産順序の最適化を目的としてOR¹⁸的アプローチにより数理的問題解決を目指すかゆえに、合理的な意思決定として常に損失の少ない方を選ぶ。このため、生産条件を満たす良いものから選択され、結果として条件的に悪いものが残りがちとなる。すなわち、どうあがこうと生産条件を満たすものを見出すことのできないとき、同じ基準にしたがった意思決定の結果、生産条件を満たすものがもう残っていないという状況に陥り、その状況から抜け出すことができなくなる。

¹⁶ ダニエル・カーネマン（Daniel Kahneman,1934-）は認知心理学者で専門は意思決定論および行動経済学。不確実な状況下における意思決定モデル「プロスペクト理論」などの業績により 2002 年度ノーベル経済学賞受賞。「プロスペクト理論」などはトベルスキーとの共同研究によるもの。

¹⁷ エイモス・トベルスキー（Amos Tversky,1937-1996）は、心理学者。カーネマンの共同研究者であり、カーネマンの 2002 年度ノーベル経済学賞受賞前の 1996 年に没。

¹⁸ OR（Operations Research：オペレーションズ・リサーチ）とは、軍事的関心の研究から生まれたもので、数学的・統計的モデルとアルゴリズムの利用によって、さまざまな問題に対して効率的解法を決定する科学的技法である。生産スケジューリングにおける OR 的アプローチは、スケジューリング問題をその目的関数と制約式（定式化した制約条件）、評価関数を用いて解を求めるものである。

これに対して、人間は「損して得取れ」のように一時的な損失を犠牲にして、その先の利益を得るような長いスパンでの意思決定や「今回は譲り、次回は儲けさせていただく」など交渉による調整もできる。将来のことは分からないのに、感情によるなるとも不思議な意思決定判断能力が人間にはある。この行動意思決定を解き明かす行動経済学の知見を応用し、この人間的な意思決定判断の考え方を OR 的アプローチにより合理的に処理を行う既存の生産スケジューリングへ付加し、これを補完することによって次世代生産システムにおける生産スケジューリング課題に応え、問題の解決を図るための新しい生産スケジューリング手法を考察する。

最初は、中小企業という制約条件は考慮せず、OR 的アプローチに行動経済学の知見を付加し、現時点において我々が利用可能な IT を駆使し、情報処理することにより実現可能な論理的処理方法を考案する。これは、情報工学視点による生産スケジューリングのあるべき姿を示すものであり、最初から中小企業という制約を設けてしまうと、機能がその範囲内に限られたものとなってしまう、「生産連動のための迅速な生産意思決定の実現」という本来の目的を見失ってしまう可能性があるからである。また、制約を設けないことによって、汎用性と流用性を確保できるというメリットも生まれる。

そのうえで、この行動経済学を応用した新しい生産スケジューリングを提案から実践へと移行するために中小企業において対応可能な実現条件を探る。まず、中小企業という制約のひとつ目の条件として、中小企業の生産システムのあり方について、7 件の先行研究（田中宏和(2013)、松島桂樹/高島利尚/岡田浩一/坂本恒之(2013)、布施匡章/清水義生/寺西太亮(2013)、宮崎淳子/桜井秀之/藤原正樹/高力美由紀/手塚大(2014)、赤穂満/福田豊(2012)、仲野友樹(2016)、小川正博(2016)）について批評を加える。そこから、IT 導入が進んでいないことや業務革新や業務効率化につながる情報システムの活用に至っていない中小企業の現状を把握し、その対策としての導入方法を探る。

ふたつ目の条件として、中小企業における IT の利活用状況と IT 人材の問題より導入条件を探る。それらは、『2016 年版中小企業白書』、『情報通信白書〈平成 29 年版〉』、『企業 IT 動向調査報告書 2017』、『IT 人材白書 2017 (2016 年度調査)』の統計調査から現状把握する。具体的な状況としては、地場の中小製造業の現状に関するヒヤリング調査から生産スケジューリングの実態について詳細を把握した。

これらの状況から見てきたものは、中小企業のシステム導入が IT ベンダーに丸投げされてきたこと、IT 人材が不足していることであり、IT の利活用が進んでいない状

況である。この中小企業が次世代生産システムへ対応可能となるよう生産意思決定としての生産スケジューリング問題の解決を図るためには、一般人材でも活用可能な Microsoft Excel のような表計算ソフトを活用しスケジューリング担当者自身による開発または開発に参画することが問題解決につながると考えた。

そこで、一般人材でも活用可能な Microsoft Excel を活用し、既存の OR 的アプローチに行動経済学の知見を付加した生産スケジューリングツールをプロトタイプとして制作し、その有用性を評価した。

1.4 論文構成

まず、次章「2. 次世代生産システムの現状と取組み課題」においては、製造業の現状と製造業を取り巻く環境を把握し分析するとともに、IoTをはじめとする IT の向上にともなう技術革新によってもたらされる次世代生産システムの取組の現状を把握のうえ分析し、製造業とりわけ中小企業の次世代生産システムに対する取組み課題を整理する。ここでは、『2015年版ものづくり基盤技術の振興施策（ものづくり白書）』から、工場が企業を越えてつながり連動する次世代生産システムともいべき生産システムの変革が、我が国の製造業へどのような影響を与え、どのような変化を求めているのかを明らかにしたうえで、我が国の次世代生産システムへの取組み状況を概観し、デジタル化への取組み課題を把握する。

そして、現状の生産システムとあるべき姿としての次世代生産システムとの乖離から次世代生産システムの実現に向けての課題を抽出する。とくに製造現場における効率的生産運営のための「どういう順番で、いつ造るか」という生産意思決定としての生産スケジューリングの重要性について着目した。

「3. 生産スケジューリングの今日的課題」では、既存の生産スケジューリングが抱える問題について、その課題を整理する。生産スケジューリングは、生産意思決定として製造工程における生産実施計画である工程計画を立案するものであり、IT を利用して OR に代表される経営工学的アプローチによりシステム化され、一般に生産スケジューラと呼ばれ生産順序と生産着工日時の決定を行う。

この一見簡単そうに見える生産スケジューリングは、近年の生産環境の変化にともない考慮すべき生産条件（制約条件）が増え網羅性が高まるほど条件が競合し、処理結果に対する納得性が得られなくなり、その納得できない状況に対して妥協するか人

の介入により状況の打開を図るなど、既存の生産スケジューリングによる生産意思決定には限界がある。また、この問題を人手によってのみ解決することは、次世代生産システムが求める生産連動との乖離を生じさせる。

この状況を踏まえ、本研究では自動車と電機の実用スケジューリングの実用状況を把握・調査し、その課題を探る。さらに、学術研究の状況を調査・研究し、課題解決の可能性や新たな生産スケジューリングの必要性について把握・分析のうえ、そこから課題解決の可能性を探る。その結果、ここで既存の生産スケジューリングの課題が生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、そのための生産条件間の「調停」機能であることが見えてくる。

「4. 行動経済学と関連理論」においては、生産スケジューリングが生産活動における行動意思決定であると捉え、生産スケジューリング問題の課題解決に向けて行動経済学の有用性に着目した。そこでは、構造化問題と限定合理性に触れたうえで、行動経済学の骨格をなす主要理論を整理し、行動経済学が実社会の中でどのように活用されているのか、その有用性と事例を挙げながら行動経済学の諸理論を透かして我々の行動意思決定をどのように改善することができるのかを学び、生産スケジューリングへの活用について考察する。そこでは、行動意思決定問題を考えるうえで多くの有用な知見を行動経済学が与えてくれる。

「5. 行動経済学に基づく生産スケジューリング」では、まず中小企業という制約条件は考慮せず、現時点において我々が利用可能な IT を駆使しながら情報処理することによって実現可能な論理的処理方法を考案する。そして、生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、そのための生産条件間の「調停」機能という生産スケジューリング問題の課題に対し、その解決策として新しい生産スケジューリングの実現方法について考察し、提案する。その特徴は、既存の生産スケジューリングが生産工程または生産設備を直接的な対象物とし、その産出量の最大化や効率的な生産順序などの合理的な意思決定を追求するのに対し、行動経済学の知見の応用により人をその対象とし処理結果から受ける印象または感覚（スケジューリング担当者が心理的に受ける利得損失）という形のない人の内面に着目して心理的価値評価により生産意思決定を図るという、これまでにない新しい視点によるアプローチにある。

「6. 中小企業の新しい生産スケジューリングの実現」では、行動経済学を応用した新しい生産スケジューリングについて、提案から実践へと移すべく中小企業における

生産システムのあり方や IT の利活用状況、IT 人材についてその実態を把握・分析し、中小企業にとって次世代生産システムとは何か、如何に取り組むべきか、その課題を探る。

まず、先行研究や文献を概観したうえで、中小企業における情報システム構築のあるべき姿について考察する。続いて「第 4 次産業革命」、「インダストリー 4.0」をテーマとする書籍や雑誌掲載論文から、ブーム的状况の背景とその現状を把握し、中小企業へ次世代生産システムを導入する場合の情報通信側から見た技術課題を探る。そして、経営学の視点からインダストリー 4.0 がどのように捉えられているのか、研究者の書籍文献から把握する。そのうえで、次世代生産システムを導入する側の中小企業の状況を、白書および調査報告書から把握し、これまで IT の導入とその利活用の促進を妨げてきた中小企業の IT スキルの現状と IT 人材の不足状況を捉え、中小企業側の採るべき取り組み課題を探る。

次に、中小企業が生産スケジューリング問題にどのような取り組むべきか、中小製造業の生産スケジューリングの現状を把握したうえで、スケジューリング担当者が重視する生産条件とその特性を把握する。そして、経営資源とりわけ人材の不足する中小企業の現状を踏まえて、誰がやっても同じ結果が得られ、現場で納得が得られるスケジューリング結果であることなど、先の研究に基づく行動経済学の活用による新しい生産スケジューリングの方向性を示す。

「7. 中小企業における IT 利活用による新しい生産スケジューリングの実現」では、第 5 章および第 6 章を踏まえて、中小企業における生産意思決定として行動経済学を応用し誰でも同じ結果が得られ、担当者の納得が得られる新しい生産スケジューリングの実現策を示す。それは、一般（非 IT）人材レベルでも利用可能な表計算ソフト Microsoft Excel を用いたプロトタイプ制作であり、生産意思決定における行動経済学の有効性と、行動経済学の応用という課題解決のための工夫次第で表計算ソフトが事務処理時の集計作業など単なる個人のワークシートに留まらず、行動経済学の応用という課題解決のための工夫次第で業務ツールとして機能発揮できることを示すものとなる。

すなわち、生産組織の行動意思決定である生産スケジューリングを、スケジューリング担当者に代わり意思決定代替または担当者と協働しながら実行し、これまでスケジューリング担当者の暗黙知であった生産スケジューリング時の生産条件を表出させ、

生産スケジューリング支援ツールに取り込み形式知とし、さらに生産組織における生産条件の情報共有を可能とし、誰が生産スケジューリングを実行しても同じ結果が得られる業務の標準化にも資するものである。

「8. 中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用の進め方」では、前章において新たに浮かび上がった中小企業が新しい生産スケジューリングを実現するために必要な「問題解決スキル」と「IT スキル」の獲得に関する課題への対応方法について考察する。そして、資源に限りがある中小企業が IT 活用レベルを高めて行くための利活用方法と IT 人材育成の進め方を提言する。そこでは、大手に比べて分業が難しい中小企業にあって、社内人材が IT 武装で力をつけるための人材育成や現在のシステム機器の導入支援（補助金）など政府、自治体の施策の利用について触れる。そのうえで、中小企業が新しい生産スケジューリングを実現するための取組として、IT 導入をどのように進めるべきか整理する。

「9. 中小企業の次世代生産システム対応と生産スケジューリング」では研究を振り返り、中小企業における次世代生産システム対応としての生産スケジューリングの意義についてまとめる。それは、これまでに事例のない行動経済学を応用した新しい生産スケジューリングが、生産意思決定に対して有効であること。また、行動経済学の応用という課題解決のための工夫次第で業務ツールとして機能発揮できるものとなることはもちろんのこと、中小企業には IT を導入・運用できる人材がおらず、そして IT の導入効果が分からず、さらにコストも負担できないため投資に踏み切れていないという現状に対し、Microsoft Excel のような表計算ソフトウェアの活用を積極的に進めることこそが、一番の解決策となり得ると結論づけた。

「10. おわりに」では、本研究を総括するとともに、この研究成果の実務および学術的貢献とその意義について述べる。そして、この研究成果の応用と発展の可能性、そして今後の研究の方向性について述べる。

1. 研究の背景と目的（序論）
2. 次世代生産システムの現状と取組み課題 (1) ITが「ものづくり」革新をもたらす（次世代生産システム） (2) 次世代生産システムが生産連動を求めている（つながる工場） (3) 生産スケジューリングの存在（人による生産意思決定の必要性和現実） (4) 次世代生産システムの実現には、迅速かつ的確な生産意思決定が課題 (5) 重要性が増す生産スケジューリングの役割
3. 生産スケジューリングの今日的課題 (1) 現状、条件競合により納得解を得られず、妥協または人が介在調整 (2) 生産条件の「網羅性」、スケジューリング処理結果の「納得性」、 そのための生産条件間の「調停」機能の実現が課題
4. 行動経済学と関連理論 (1) システム化により合理的に解決できない問題が存在する（構造化問題） (2) 我々は、一部分を見て意思決定判断しているに過ぎない（限定合理性） (3) 結果から得る利得損失により意思決定している（プロスペクト理論） (4) 行動経済学視点から見た生産スケジューリングの肝となる核心機能
5. 行動経済学に基づく生産スケジューリング (1) 既存生産スケジューリングにおける生産意思決定の限界を知る (2) 生産スケジューリングの意義と納得性について (3) 既存の生産スケジューリングと新しい生産スケジューリングの差異 (4) 課題解決の基本的考え方および手法、構造、対象生産モデルについて (5) 新しい生産スケジューリングによって解決できること (6) 新しい生産スケジューリングを実現するための課題について
6. 中小企業における次世代生産システムと生産スケジューリング (1) 中小企業のシステム化の現状と次世代生産システムの効果と課題 (2) 中小企業における生産スケジューリングの状況 (3) 中小企業が生産スケジューリング実現のための課題と方向性
7. 中小企業におけるIT利活用による新しい生産スケジューリングの実現 (1) 中小企業に適した生産スケジューリングの基本構造とその概念 (2) プロトタイプとしての生産スケジューリング支援ツールの実現 (3) 中小企業に適した生産スケジューリング実現の意義とその課題
8. 中小企業における生産スケジューリングの実現とIT利活用の進め方 (1) 国、自治体によるIT利活用促進のための施策について (2) 国、自治体による人材育成のための施策について (3) 中小企業における生産スケジューリングの実現とIT利活用のあり方
9. 中小企業の次世代生産システム対応と生産スケジューリング 次世代生産システムに対応した生産スケジューリングのまとめ
10. おわりに 本研究の総括とその意義、今後の研究の方向性について

図 1.3 論文構成概略

2. 生産システムの現状と取組み課題

日本政府は、『2015年版ものづくり基盤技術の振興施策（ものづくり白書）』をとりまとめ、2015年6月9日に公開した。この2015年版白書の特筆すべきところは、IoTの進展によりものづくり産業は大きな変革を遂げているとし、製造業の新たなビジネスモデルへの対応が重要な課題だとしている点にある。それは、前年までの白書になかった課題で、今回61頁もの紙幅を割き扱われている。これは、「ものづくり」を強みとする我が国にとって競争力を維持するうえでIoTに対応した変革への取組みが重要な課題であることを強く示唆するものとなっている。これを受けて本章は、この次世代生産システムともいべき生産システムの変革が、我が国の製造業へどのような影響を与え、どのような変化を求めているのかを明らかにすること。そして、対応するための取組み課題は何か、その探求を目的とするものである。

まず、最初にデジタル化がもたらす競争環境の変化と中核技術としてのIoTを概観する。そして、IoTの進展とともに実現を目指す次世代生産システムへの取組みとして、独のインダストリー4.0と米のインダストリアル・インターネットについて言及する。そのうえで、我が国の取組み状況を概観し、デジタル化への取組み課題を把握する。

次に、現状の生産システムとあるべき姿としての次世代生産システムとの乖離から次世代生産システムの実現に向けての課題を抽出する。とくに製造現場における効率的生産運営のための「どういう順番で、いつ造るか」という生産意思決定としての生産スケジューリングの重要性について着目し、生産スケジューリングの機能が生産意思決定代替として果たす役割とあるべき姿を探求する。また、スマート工場¹⁹を実現す

¹⁹ スマート工場（smart factory）とは、IoTによって工場内のセンサーや設備などのあらゆる機器をインターネットに接続し、生産活動の様々な情報の「見える化」を図ることによって賢い生産を実現する生産工場。また、生産拠点や企業間の相互接続性を高め、企業がネットによって伝達される情報にしたがって生産・供給活動を自動的に行う。人間が関与しなくても、機械がネットによって情報を伝達し合い、生産や供給を行う。それゆえ「スマート（利口な）」という言葉が使われている。

るため、これまで人手により行われてきた工程内の生産統制²⁰を IoT によって代替できるのか、次世代生産システムのあるべき姿とその対応について論じる。

これらの研究から見えてきたものは、一つは第 4 次産業革命ともいうべき次世代生産システムが工場をつなぎ、同期・連動生産によって「ものづくり」に変革をもたらそうとしていることである。しかし、その実現には確実な納期遵守生産のための生産オペレーションや生産システムが求められる。また、この次世代生産システムによる生産の「見える化」は、計画と実績情報との乖離の把握によって生産状況の良否を評価・判定するものであり、評価基準（ものさし）としての計画を立案する生産スケジューリングの精度が「見える化」の有効性のカギを握る。もう一つは、この次世代システムにおける生産連動を実現するためには、IoT に代表される IT だけでなく、製造工程の確実な生産実行を担保することのできる迅速かつ的確な生産意思決定がより重要となることである。

2.1 製造業を取り巻く環境変化

『2015 年版ものづくり白書』によると、我が国の製造業の環境と新たな課題は、「ものづくりの世界でも IoT やビッグデータ解析を通じた大きな変革が起きつつある。(中略)ものづくりのビジネスモデルそのものの変革といった動きも見据え、IoT 活用によるメリットを享受する積極的な姿勢が重要と考えられる。(中略)我が国製造業には、技術力という自らの強みを活かしつつも、IoT 社会における製造業の稼ぐ力を磨き、思い切った方向転換を行っていくこと、また政府には、そうしたビジネスモデル創出に向けた企業の意識改革のリードや環境醸成を行っていくことが求められている」^[1]とし、それは焦りと危機感に満ちたものとなっている。さらに、独のインダストリー4.0 や米のインダストリアル・インターネットなど IoT の進展につれてデジタル化による製造の変革が始まろうとしている中で、我が国の製造業の取組みは消極的で出遅れ感があるとしている。

²⁰ 生産統制 (production control) とは、生産管理機能の一環で計画機能に対応するものである。進捗管理、余力管理、現品管理、資料管理の機能から構成され、いずれも日常の生産活動に直結したものであるから、主として現場の管理者や監督者が担当する。その目的および中心的機能として生産実施が計画どおりに行われているかチェックし、計画からのずれを調整し、進捗管理を行う。なお、生産管理 (production management) は、「よい計画と正しい統制管理」ともいわれ、生産計画 (production planning) と生産統制がその両輪として中心的役割を果たす。

2.1.1 デジタル化がもたらす競争環境の変化

IT が生み出した CAD²¹や CAM²²などのデジタル機器は、設計技術や生産技術業務のデジタル化を促進した。その結果、企業の枠を超えた標準化や業務の均質化をもたらし、技術開発力の企業間格差を縮小させている。また、これらデジタル機器とデジタル化に対応した加工機械さえあれば、どこでも生産できることから、発展途上国等への技術移転は容易となり、途上国に対する技術優位の格差も縮小している。

例えば 3D プリンタ²³によるデジタルものづくりは、メーカーに頼らずユーザでも簡単に同じ品質レベルのものを製造可能としている。さらに、中心的課題である IoT は、すべてのモノや生産設備をインターネットに接続可能とし、企業の枠を超えたモノや設備の接続をも可能とする。もし、3D プリンタと材料があり、デザインとしての製品図面やデジタル情報としての部品表²⁴をメーカーから送ってもらえばメーカーとまったく同じ製品が手元で生産可能となる。

これら事象が示すように、製品の品質とコストにより差別化を図り競争優位を確保することは難しくなり、差別化が納期やサービスへとその比重を移している。これが、独や米など先進国との次世代生産システムをめぐる新たな競争となり、そのための新しい生産システムやビジネスモデルの構築が求められている。

2.1.2 IoT がもたらす生産プロセスの革新と独、米の取組み

IoT とは、すべてのものがインターネットでつながるという概念である。その概要は、これまでのコンピュータなどの情報通信機器のみならず、モノ（物体）に通信機能を付加し、これらと通信することによりモノとモノ、ヒト（人）とヒト、モノとヒトがインターネットを介してつなぎ、情報の収集や自動認識、自動制御、自動計測などを可能とするというものである。

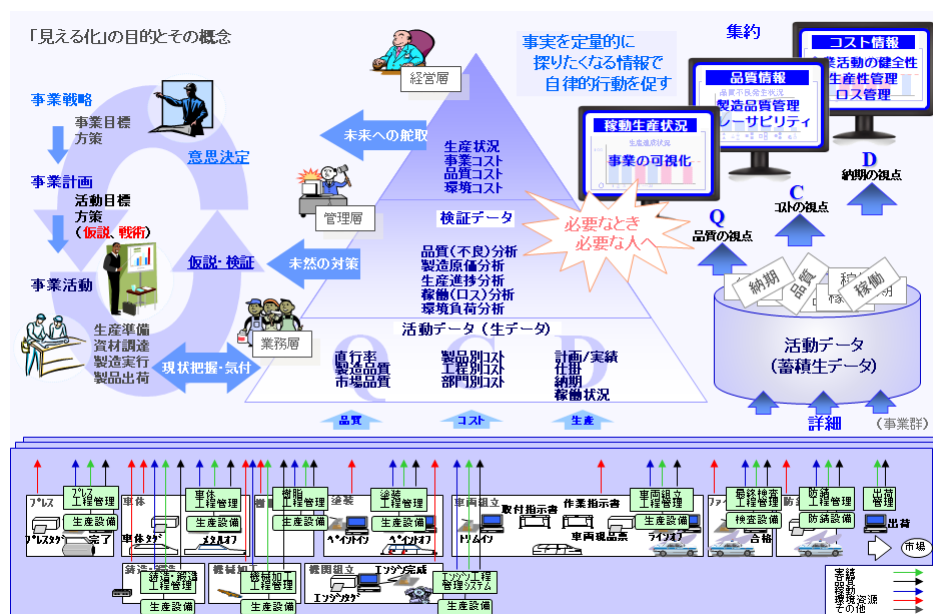
²¹ CAD（Computer Aided Design）とはコンピュータを使用して設計（製図）することやコンピュータによる設計支援ツールを指す。

²² CAM（Computer Aided Manufacturing）とはコンピュータ支援製造とも呼ばれ、CADで作成した図面データを入力し、工作機械の加工プログラムを生成するシステムを指す。

²³ 3D プリンタ（3D Printer）とは 3 次元の CAD データなどを基に製品を造形する 3 次元造形装置を指す。

²⁴ 部品表（BOM：Bill of Materials）とは、製品（部品）を生産するのに必要な子部品の種類と数量や組成する材料の種類とその分量などを示すリスト情報をいう。

例えば、製造業においては、生産設備と通信することによって現在の稼働状況がほぼリアルタイムで把握できるようになる。また、製造工程のワーク²⁵に RFID²⁶を取り付けることによって、その移動や仕掛状況も把握できるようになる。さらに、輸送中の製品または部品に RFID を付けることによってサプライチェーン全体の状況を一括して把握できるようになるとしている。



出所) 筆者作成

図 2.1.2 見える化による最適経営

これまで、製造業において IT 化が進んでいるといっても、大企業など一部の先進的企業を除けば現場のデータは現場の改善に使われるほか、必要な一部の情報が経営層へ届くに過ぎなかった。それが、IoT の進展により工場の生産、品質、安全に関わるすべてのデータをネットワークで有機的に結合し、どこで何が起きているかを「見える

²⁵ ワーク (work) とは、製造工程における作業対象物や工作機械の加工対象物を指す。

²⁶ RFID (Radio Frequency Identifier : 無線式タグ) とは、識別情報や管理情報を記録する電子化された情報媒体から電波などを用いて、近接または近距離 (周波数帯によって数 cm ~ 数 m) 無線通信によって情報を読み書きできるタグおよび技術全般を指す。電源を持ちタグ側から電波を発するものをアクティブ型、電源を持たずアンテナ側からの電波を電力に変換して動作するものをパッシブ型という。活用方法としては、製造工程のワークや流通過程の製品に取付け、その情報をやり取りすることによって、モノの移動や所在を把握可能とする。ただし、対象物の形状や材質、温度などの使用環境によって取り付けが不可能であったり機能しなかったりすることがある。また対象物との相対価格や情報をやり取りするためのリーダ/ライタ、アンテナなどの設備コストも採用の可否を決めるうえでの重要な要因となる。

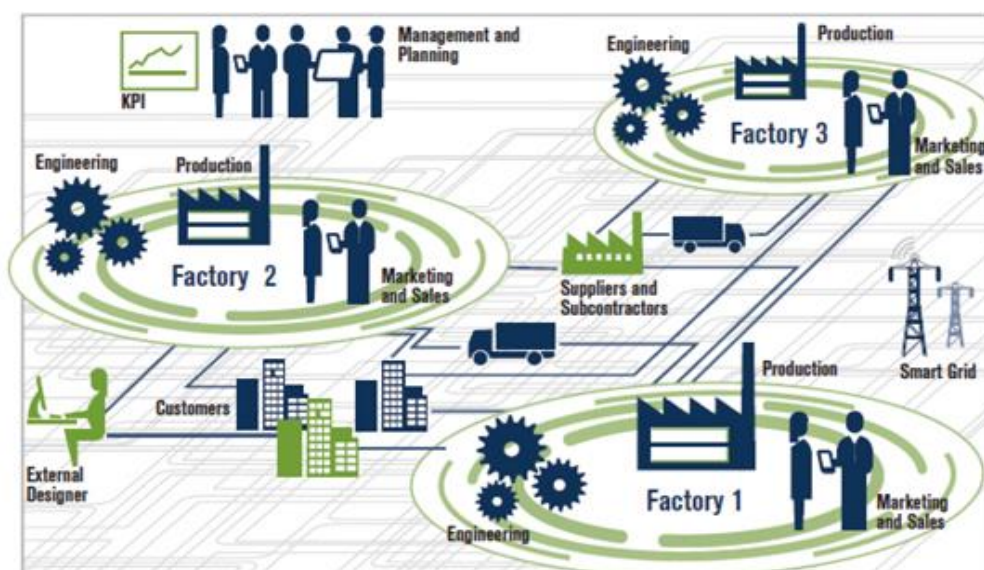
化」することによって、そのデータを使った最適な経営が実現されるとしている（図 2.1.2）。従来のような工場内の省人化や省エネ化といった生産効率の改善を越え、IoT によってもものづくりのビジネスモデルの変革が起きつつある。それは、我々の生活やビジネスの形をも根本的に変える可能性があるとしている。^[2]

これらビジネスプロセス変革の動きを独インダストリー4.0 と米インダストリアル・インターネットの取り組みから見て行く。

2.1.2.1 独インダストリー4.0 とスマート工場

独の「インダストリー4.0」は、IoT 活用による生産プロセスの革新の代表的な事例である。我が国と同じように少子高齢化による労働人口の減少や電力（原発の停止等）問題に起因する工場の国内立地環境の悪化とアジア地域への製造拠点流出の懸念が高まったことがその背景として挙げられる。その結果、2011 年 11 月に製造業の競争力強化・空洞化防止のための構想として「第四次産業革命」ともいわれるインダストリー4.0 が誕生した。その特徴は「サイバーフィジカルシステム」をベースとした製造業の高度化である。インダストリー4.0 が目指すのは、IoT の活用によって生産の効率性を追求し製造現場をスマート工場とすること。さらに、そのスマート工場どうしをネットワークでつなぎ、国全体をあたかも 1 つのスマート工場にすることである。そして、将来のものづくりのあり方を IoT によって根本的に変え、そのプラットフォームを独勢が押さえることで、国内の中小企業にも広く国際競争力強化をもたらそうとするものである。

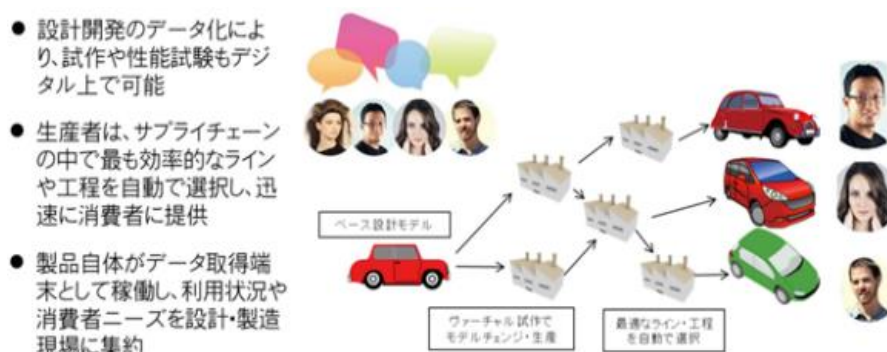
インダストリー4.0 の中核をなす製造現場におけるサイバーフィジカルシステムは、スマートな生産設備等から構成され、それぞれが自律的に情報を交換し合い、作業指図を行いながら制御できる機能を有する。このようなスマート工場において製造されるスマート製品は、それぞれが個々に識別可能で、いつでもどこにいても、自身の作られてきた履歴、現在の状況、完成までのルート、出荷されるタイミングや出荷先を知っている。また、このようなプロセス全体を管理する製造システムは、市場や受注の動向も踏まえ、今何を作っているか、今後何を作るべきかについて、本社と工場を繋ぐネットワークを通じ、本社や他の工場の状況とも連絡し合いつつリアルタイムに分析し、常に最適な状態を維持するものである（図 2.1.2.1.a）。



出所) 『2015年版 ものづくり白書』 186 頁

図 2.1.2.1.a スマート工場どうしの連携

また、このようなサイバーフィジカルシステムを構築することによって独が目指すのは、市場の求める多種多様な商品をロットサイズ 1 個から柔軟・迅速に生産・出荷する「マスカスタマイゼーション」(図 2.1.2.1.b) への対応である。



出所) 『2015年版 ものづくり白書』 187 頁

図 2.1.2.1.b マスカスタマイゼーション

これらから、インダストリー4.0 の特徴は工場における生産時点の生産オペレーションおよび、その時の生産設備の稼働管理を主眼に生産の効率化を図ろうとしたものである。また、実現するためのハードウェアおよびソフトウェアなどのプラットフォームの標準化を図り、これらを独勢が押さえることによって優位性を確保しようとするものであるとしている。[3]

2.1.2.2 米インダストリアル・インターネット

GE が提唱するこの概念は、航空機エンジンや鉄道、医療機器や発電機器などの産業機器の稼働や部品の状態をセンサーから取得し、ビッグデータ解析を行うことによって運用のコスト削減、効率化、最適化などを狙ったものである。例えば航空機エンジン分野では、エンジンに組み込まれたセンサーが稼働時のデータを収集・分析し、交換が必要になりそうな部品とその時期を保守要員に知らせる「予知保全」を実現している。これによって、航空会社は現状のサイクル数に基づく保守スケジュールから、実際のニーズに基づく保守スケジュールに切り替えることが可能となり、さらに部品の在庫を減らして航空機の使用率を上げ、コスト削減できる。また、GE は飛行データの解析によって航空機の効率的なフライト方法を導出し、航空会社に提案することも可能となった。実際にアリタリア航空（イタリア）では、年間 1,500 万ドルの燃料コスト削減を実現している（図 2.1.2.2）。



出所)『2015年版 ものづくり白書』193頁

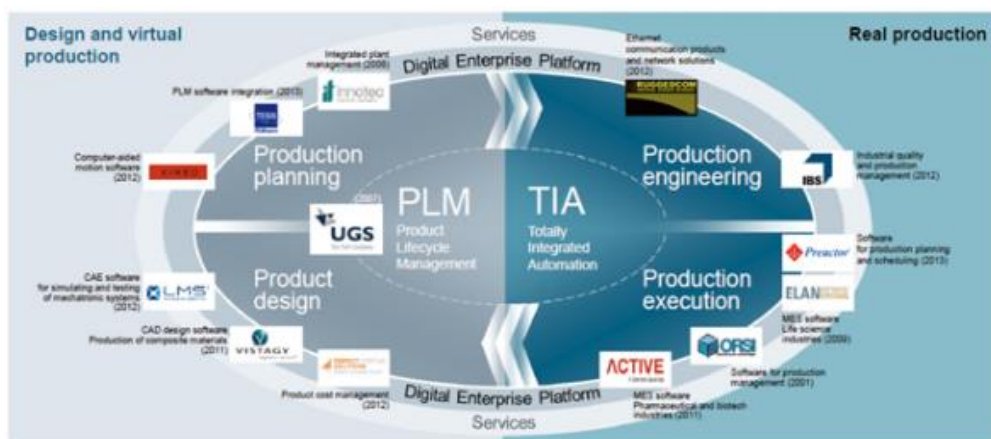
図 2.1.2.2 GE の取組み事例

また、GE など米企業 5 社（AT&T、GE、IBM、インテル、シスコシステムズ）が発起人となり、インダストリアル・インターネットを推進するため、インダストリアル・インターネット・コンソーシアムを設立した。米を中心に日本、独を含む 100 以上の企業・団体が参画し、IoT 関連技術の標準化に向けたアーキテクチャー作りを行っているとしている。[4]

これらから、独インダストリー4.0と比較すると米インダストリアル・インターネットは生産対象物の管理を主目的とし、生産時点よりも市場に流通してからの追跡管理や状態管理によって新たな付加価値を生み出し、新たなビジネスの創出を目指すものであることが分かる。また、同時に国内外の有力企業との協力・協業によって標準化を進め、デファクトにより市場競争力を高めることを狙っているものと考えられる。

2.1.2.3 生産システムの総合化・統合化（SAP とシーメンスの戦略）

独 SAP 社は、世界市場における ERP²⁷ツールのトップベンダーの1つである。同社は、インダストリー4.0 構想において異なる工場間又は企業間の受発注等の情報のやりとりを基に生産計画を立案し、さらに製造工程へ製造を指示する MES ツールにもビジネスを拡大している。このように、同社はこれまでの財務会計、販売、生産、物流などの基幹業務を担う上位システムから下位システム、上流業務から下流業務へと拡大を進めている。[5]



Unrestricted / © Siemens AG 2014. All Rights Reserved.

出所 『2015年版 ものづくり白書』 181 頁

図 2.1.2.3 シーメンスによる企業買収

また、独シーメンス社は重電、インフラ、情報通信機器に強みを持つハードウェア企業とのイメージからソフトウェア企業としての技術強化を戦略的に進め、自社およびグループ会社によるトータルソリューションを提供可能な企業へと変貌を遂げよう

²⁷ ERP（Enterprise Resource Planning）とは、企業全体の経営資源（人材、資金、設備、資材、情報など）を有効活用の観点から統合的に管理し、効率的経営を図るための手法およびその概念。そのソフトウェアを統合型業務ソフトウェアパッケージ（ERPパッケージ）または ERP ツールと呼ぶ。

としている。同社は、デジタル・ファクトリへの取組みを重視しており PLM²⁸ツールの主要サプライヤの一角であった米 UGS（現 Siemens PLM Software）社を買収し、製造現場から上流の業務、上位のシステムへと拡大を進めている。^[6]

このように、「川上から川下へ（上流業務から下流業務）」、「川下から川上へ（下位システムから上位システム）」という風にアプローチは異なるものの、この 2 社の動きは、総合化または統合化された生産システムを構築するための技術蓄積を戦略的に進めていることを示している。

2.2 我が国における次世代生産システムへの取組み

これまで、我が国が得意としてきたハードウェア機器や産業用ロボットを中心とした制御機器メーカーの対応と製造業企業自身による生産革新への取組みを見る。

2.2.1 ロボティクスなど生産革新への取組み

我が国は、強みを有するロボットの徹底活用により、引き続き世界をリードしていくことを目的とし、「ロボット革命」を提唱。2014 年 5 月、OECD 閣僚理事会にて安倍総理が「ロボットによる新たな産業革命を起こす」と表明した。2015 年 1 月に「ロボット新戦略」を取りまとめ、同戦略は同年 2 月には全閣僚を構成員とする日本経済再生本部でも政府方針として決定された。

ロボット革命とは、①ロボットが劇的に変化（自律化、情報端末化、ネットワーク化）することによって自動車、家電、携帯電話や住居までもがロボット化すること、②製造現場から日常生活まで、様々な場面でロボットを活用すること、③社会課題の解決や国際競争力の強化を通じて、ロボットが新たな付加価値を生み出す社会を実現すること等を指す。これらを実現するため、①我が国を世界のロボットイノベーション拠点とすること、②我が国を世界一のロボット利活用社会とすること（具体的には、例えば自動車製造や電機などの大規模製造業のみならず、中小企業や農業、介護・医療、インフラ・防災等の分野に拡大していくこと）、③IoT 時代のロボット（具体的に

²⁸ PLM（Product Lifecycle Management）とは、製品ライフサイクル管理と呼ばれるソフトウェアツールである。製品の設計から生産準備、生産、販売、サービス、廃棄までの製品ライフサイクル全体を一元的に情報管理するものである。

は、IT と融合し、ビッグデータ、ネットワーク、人工知能を使いこなせるロボット) で世界をリードすること、を目指していくとしている (図 2.2.1)。[7]



出所)『2015年版 ものづくり白書』198頁

図 2.2.1 ロボット新戦略

2.2.2 制御機器メーカーおよび IT ベンダーの IoT への取組み

我が国の制御機器メーカートップの三菱電機の実践は、同社が強みとする PLC²⁹ など FA³⁰機器と接続親和性の良いハードウェア/ソフトウェアを提供するパートナーおよびシステムインテグレーションパートナー企業との連携によりソリューションを提供する e-F@ctory Alliance [8] という協業プログラムである。これは、自社にない必要技術をパートナー間で補完する形で対応しようとするものである (図 2.2.2.a)。

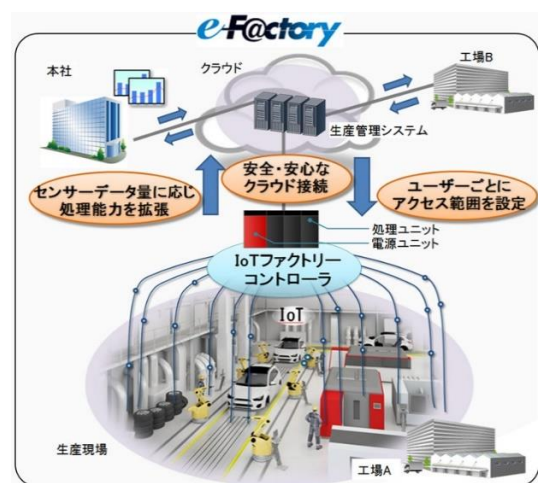


出所) 三菱電機ホームページ
(<http://www.mitsubishielectric.co.jp/fa/sols/alliance/index.html> 参照 2016-01-22)

図 2.2.2.a 三菱電機の FA への取組み

また、インターネットとのデータ連携については、「IoT ファクトリーコントローラ」(図 2.2.2.b) という装置を開発、同社が提唱する e-F@ctory [9] と呼ぶ FA と IT とを連携させたものづくりの構築を容易化し、本社や工場など複数拠点の連携を可能としている。

これは、これまでの生産設備や制御機器などの資産を活用しつつ、工場外部との連携を可能とするという現実解であり、「すべてのモノがつながる」という IoT の概念を完全に実現できるものとはなっていない。しかし、IoT 実現のためにだけで設備更新するというのは手段 (IoT の導入) の目的化に



出所) 三菱電機ホームページ
(<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2015/0217-d.html> 参照 2016-01-22)

図 2.2.2.b IoT ファクトリーコントローラ

²⁹ PLC (Programmable Logic Controller) とは、マイクロコンピュータを内蔵し、あらかじめ定められた順序または手続きにしたがって逐次制御を進める設備機械の制御装置。シーケンサとも呼ばれる。

³⁰ FA (Factory Automation) とは、工場における作業を機械や情報システムを用いて自動化すること。また、そのために用いられる機器を FA 機器、システムを FA システムと呼ぶ。

過ぎず非現実的であり、IoT 対応機器の導入まで IoT による製造工程の革新ができないというのも機会損失を生む可能性がある。そこで、今ある設備を活かしつつ効果を享受する意味合いから過渡的措置としては有用な手段であると考ええる。

次に、IT ベンダー各社の IoT ビジネスへの取組みを把握し、各社の IoT に対する取組みを概観する（表 2.2.2.c）。

表 2.2.2.c IT ベンダー各社が提供する IoT 関連サービス

企業名	サービス	提供開始時期	価格
富士通	「Cloud IoT Platform」 IoT 向けアプリを構築できる PaaS	2015 年 8 月 3 日	初期費用 5 万円 月額 5 万円から (ともに税別)
日立製作所	遠隔から機器の故障を予防、保守する 「Global e-Service on TWX-21/故障予 兆診断サービス」など	2015 年 3 月	月額 180 万円か ら (税別)
NEC	「Industrial IoT」 画像認識や SDN などの技術・サービスを ソリューションとして体系化	2015 年 6 月 16 日	個別見積もり
NTT データ	産業用 3D プリンタの故障を予防、保守す るサービス	2016 年度以降	未定

出所) ITPro 日経テクノロジーonline

(<http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/column/14/346926/062400286/> 参照 2016-01-22)

富士通が 2015 年 8 月 3 日からインターネット上で提供を開始した「Cloud IoT Platform」というサービスは、生産ラインの停止時間削減を狙い、工場内の設備に取り付けたセンサーや、作業員などの装着するウェアラブル端末から、設備の稼働状況や作業員の身体の動きを収集し、蓄積したデータを分析して作業工程の可視化を狙っている。NEC が 2015 年 6 月 16 日に提供開始した製造業向けの IoT ソリューション「Industrial IoT」は、同社が強みとする画像認識やサービスをユーザ企業が選びやすく体系化して提供するものである。日立製作所は、専門技術者を組織し、“モノ” からデータを取得するセンサー、通信ネットワーク、データ分析するソフトウェアなどを統合した「IoT システムを作るためのプラットフォーム」を開発している。NTT データも新設部隊を中心に 2015 年 7 月～12 月の間、IoT を活用して産業用 3D プリンタの故障を予防・保守する実証実験を進めているとしている。^[10]

しかし、いずれも生産設備の稼働状況の見える化と稼働管理を目的とした IT の範疇における対応であり、これでは生産革新のための次世代生産システムへの対応とは言い難いと考ええる。また、日本における制御機器メーカーおよび IT ベンダーの IoT に対応した機器や情報処理システム、サービス提供などの取組みを見る限り、それらは

自社の保有技術領域に限られたものであり、一貫通貫的にまとめた総合的、統合的な生産システムとして提供するような状況とはなっていない。

2.2.3 製造業の次世代生産システムへの取組み

コマツには、IoTに対応した自社内のスマート工場への取組み「KOM-MICS（コムミックス）」と同社建設機械の社外における製品遠隔監視システム「KOMTRAX（コムトラックス）」という2つの取組みがある。

まず、スマート工場 KOM-MICS は、2015年6月に「工場の『つながる化』によって、これまでにない新たな生産改革に着手する」というコンセプトの下、IoTを最大限に活用したものづくりの強化策として発表したものである。その拠点である同社大阪工場敷地内の「生産技術開発センター」実験棟には、実際の工場と同じように工作機械やロボットなどの生産設備が並び、詳細な稼働状況をリアルタイムで把握するための無線通信用タブレット端末が取り付けられている。あらゆる生産設備がネットワークにつながることによって、集めたデータを品質や生産性の向上に生かす。これがコマツの思い描くスマート工場の姿である。同社には世界に23の製品工場と20のコンポーネント工場があり、今後それらの工場で稼働しているすべての生産設備が KOM-MICS の対象となる。

また、製品遠隔監視システム KOMTRAX は、同社製品である建設機械の稼働状況を把握し、顧客の生産性向上に役立つような助言をしたり、部品の適切な交換時期を顧客に知らせたりするものである。この KOMTRAX によるサービスは市場情報をつなげることによって、同社の建設機械が他社製品にない価値を生み出すことを可能としたとしている。KOMTRAX が市場情報をつなげるシステムだとすれば、KOM-MICS は生産情報をつなげるシステムといえる。今後は、KOMTRAX と KOM-MICS の両輪で新たな価値を創出していくという。^[11]

次に、『日経ものづくり 2015年9月号』より日独間の統合企業である DMG 森精機の伊賀事業所の取組みから同社のインダストリー4.0への対応を探る。

DMG 森精機は、組立工場や主軸工場などがある伊賀事業所を改装し、報道陣に公開した。同事業所は、約1600人が働く同社の主力事業所。改装の目的の1つは、同社が長らく進めてきた「つながるスマートファクトリー」の実現にある。具体的には、

Web を利用した工程管理や在庫管理、品質管理、発注管理によって生産を効率化するというものである。

「Industry4.0 といってもユビキタスとあまり変わらない。以前は要素技術が付いてきていなかっただけ」（同社専務執行役員伊賀事業所所長製造・開発本部製造担当兼生産技術担当の真鍋研二氏）。つまり、Industry4.0 のような最近の動向に感化されて慌てて始めたわけではなく、以前からの取り組みというわけだ。

例えば、組立工場内には管理職が生産管理を行うための大型モニターがある。「各事業所のどこで」「どの工作機械が」「誰によって」動作しているのかを表示。各人の作業進捗や作業の終了日も把握できる。加えて、タブレット端末や天井近くの柱に設置されたモニターにも作業進捗を映し出すなど、至る所で作業の見える化を図っている。^[12]

このように、同社の「つながるスマートファクトリー」という取組みは、これまでの工程管理や在庫管理、品質管理、発注管理といった基幹業務を Web 化し、工場間で情報共有することによって見える化を図り、作業進捗や作業の終了日を把握するなどして生産の効率化を図ろうとするものである。それは、革新的ビジネスモデルというよりも、自社が積み上げてきたこれまでの基幹業務システムへ最新の IT 対応機器デバイスを情報処理手段として活用し進化させたものであると考える。

両社の共通点は、IoT をはじめとする IT を取り込み、駆使することによる自社の強みとするビジネスモデル、業務オペレーションのさらなる強化にある。技術、製品品質、コストの当たり前品質だけでなく、競争優位のための魅力的品質としてまねることのできない業務品質、すなわちビジネスモデルの高度化を図り、差別化するために IT を積極的に活用している点である。

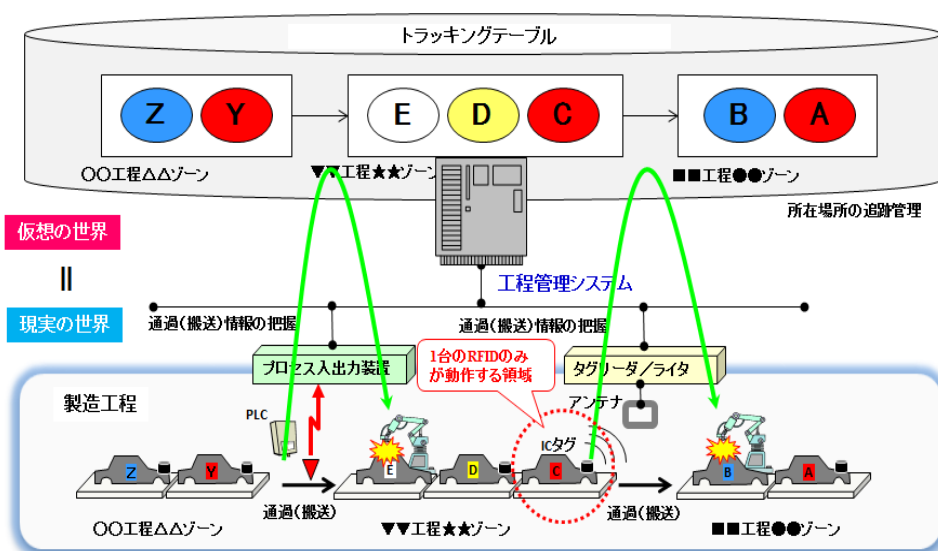
2.3 製造工程における IoT の限界

すべてのモノがインターネットにつながるという意味合いにおいて、IoT による製造工程への変革の期待は、所在把握や各種情報を収集するためにワークに取り付ける RFID による情報収集とワークを加工する設備機械の自動化や稼働状態管理にある。

まず、RFID は 1980 年代から情報媒体として広く使用されており最先端の技術というものではない。代表例としては、自動車製造工程において車体溶接工程から塗装工程または車両組み立て工程までのワーク移動の把握に活用されてきた。近年の IoT の展開においては技術的に万能かのように語られることが多い。しかし、筆者の経験か

ら製造工程における利用にあたっては多くの困難がともなう。具体的にはワークの形状や材質、温度などの使用環境によって RFID の取り付けが不可能であったり機能しなかったりする場合がある。とくに、電波の特性としての指向性や直進性（回折しない）、金属や水といった物質による遮蔽が問題となるケースが少なくない。

そして、製造工程内におけるワークのトラッキング（所在場所の追跡：図 2.3）処理を目的として、その情報のやり取りを自動化する場合、ワークの在席を 1 台に限定したゾーン（領域）を物理的に作り、コンピュータなどの情報通信機器が情報のやり取りをする相手側の RFID も 1 個に限定し、対象ワークとトラッキング情報との対応付けが 1 対 1 となることを担保し、まさに移動しようとするワークを特定できるように設備的な工夫が必要となる。もし、このような考慮がなされなければ近傍または近距離、遠距離型の RFID を使用した場合、電波が届く範囲内にある複数の RFID すべてが応答し、正しい移動情報を収集することができなくなる。そして SUICA などのような近接型を使用して問題解決を図ろうとすれば、結局、人手による読み込み／書き込み操作が必要となり、本来の目的である、自動化が果たせなくなってしまう。



出所) 筆者作成

図 2.3 ワークの動きとトラッキング

さらに、RFID は決して安価な機器とは言えない。常温で使用する近接型の数十円から高温などの特殊用途や自ら電波発信するアクティブ型など数万円の物も存在する。このため、ワークに対する RFID の価格が相対的に高く経済的に見合わず使用できな

い場合もある。とくに、中小企業が製造を担う加工部品は小さく単価の低いものが多い。このため、RFID を取り付けて 1 個流し管理することは現実的に難しく、移動荷姿の数量単位などマス管理にならざるを得ない。このように、RFID によってすべてのモノをインターネットに繋ぐことは、けっして容易いことではないことを肝に銘じておかなければならない。

また、「見える化」について、設備をインターネットへつなぎ設備の稼働状態をリアルタイムに把握できたとしても、それは現時点の状態であって把握した途端に過去のものとなり「古新聞」の情報を見ているに過ぎない。したがって、把握した情報を基に何らかの意思決定をし、行動したとしても、その時の状態が同じであることを保証するものではない。「見える化」は、基本的には結果の確認であって、その結果に基づく評価や分析のための情報の域を出るものではない。したがって、設備を繋ぐことによる「見える化」によって革新的な生産システムが構築できるという過度な期待を抱くことの落とし穴に陥らないよう注意し、IoT を生産革新のための手段として正しく活用することが次世代生産システムの実現に求められていると考える。

2.4 日本におけるデジタル化への取組み課題

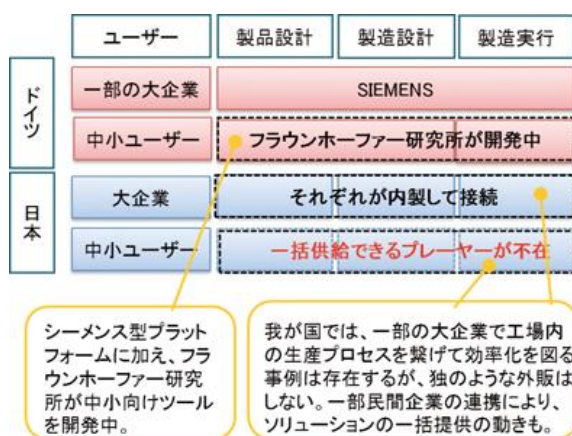
本章の中心的課題である IoT は、すべてのモノや生産設備がインターネットにつながることにより、企業の枠を超えたモノや設備の接続を可能とし、ビジネスのやり方を変え、社会に変革をもたらす可能性が十分にある。また、その変容を製造業へ迫っている。

独インダストリー4.0 の特徴は、工場における生産時点の生産オペレーションおよび、その時の生産設備の稼働管理を主眼に生産の効率化を図ろうとしたものである。また、実現するためのハードウェアおよびソフトウェアなどのプラットフォームの標準化を図り、これらを独勢が押さえることによる優位性の確保をその狙いとしている。

米インダストリアル・インターネットは、生産対象物の管理を主目的とし、生産時点よりも市場に流通してからの追跡管理や状態管理によって新たな付加価値を生み出し、新たなビジネスの創出を目指すものである。同時に国内外の有力企業との協力・協業によって標準化を進め、デファクトによる市場競争力を高めることをその狙いとしている。

日本における取組みを見た場合、統合化や総合化という観点あまり見られず、制御機器メーカー、システムベンダーそれぞれが独自に活動している状態にあるといえる。大企業ユーザは、コマツや DMG 森精機のように自社が保有する人材によって内製開発が可能である。しかし、中小企業への導入にあたっては、一括して対応できるメーカーが存在しないことが IoT 導入の足かせとなる可能性がある。

この状況は、生産設備だけが最新の IT による最新鋭のものとなっても、自社の生産業務オペレーションに立脚した統合的な生産システムを構築し、生産情報に基づき生産意思決定のうへ製造工程へ生産指示できなければ、相変わらず作業者が張り付いて操作しなければならない製造工程となってしまう可能性をはらむ。結局のところ生産連動し、生産意思決定できなければ設備への指示を人がしなければならぬ。その意味で、生産意思決定としての生産スケジューリングの役割は重要である。



出所)『2015年版 ものづくり白書』199頁

図 2.4 生産プロセス統合の日独比較

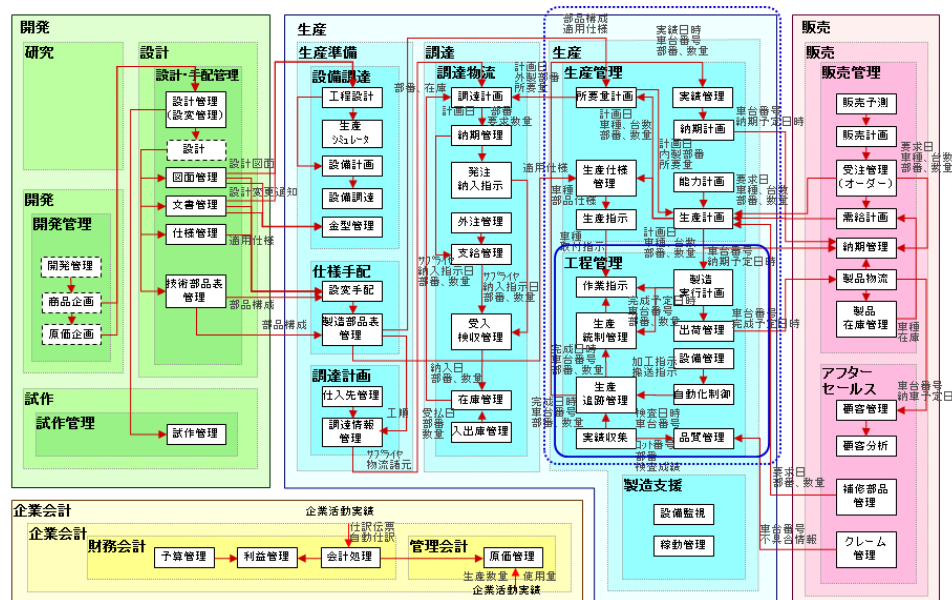
2.5 次世代生産システムが製造業へ及ぼす影響とその課題

現状の製造業のビジネスオペレーションを概観し、工場生産着手までの過程を把握する。そして、次世代生産システムが工場と生産オペレーションに与える影響とその課題を探る。

2.5.1 現状の工場生産までの流れ

工場生産に至るまでに、どのような過程の業務が行われるのか製造業のビジネスオペレーション (図 2.5.1.a) を基に整理・把握する。まず、生産対象となる製品は、その設計・開発を経て製品仕様が固まり、その生産に必要な設備調達など生産準備が行われる。そして、その製品の受注または市場の需要予測に基づく販売計画を販売部門が立案し、生産管理部門が製品および部品在庫、生産日程、生産能力、所要人員などの必要な資源調整を図り実現可能な生産量として生産計画を立案する。

この生産計画は、計画の時期や期間によって、大日程計画³¹、中日程計画³²、小日程計画³³に分類される。一般的な計画立案手順として、大日程計画において概略日程を立案のうえ足の長い資材の調達を図り、中日程計画によって月間などの期間における日単位の生産量を確定のうえ材料など必要な資源を調達・準備し、小日程計画で実際に生産するときの工程毎の生産順序、着手する日時、完成させる日時など生産実行するための具体的生産スケジュールを立案する。その生産スケジュールの立案作業が生産スケジューリングである。なお、立案された生産スケジュールは製造計画や加工計画、生産実行計画、加工順位計画など、企業によってさまざまな呼び方がある。本論文に



出所) 筆者作成

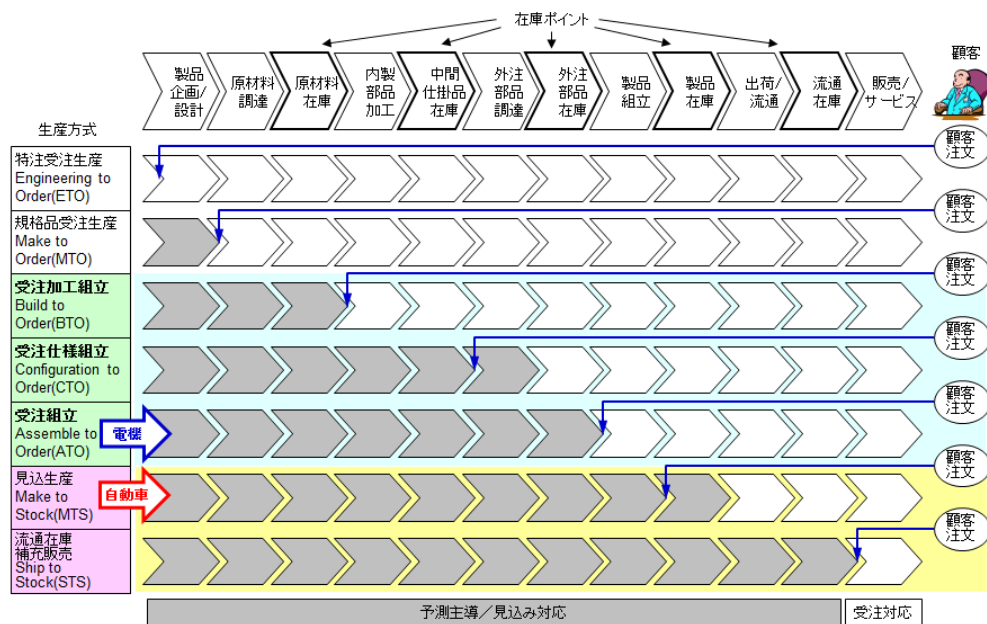
図 2.5.1 a 製造業のビジネスオペレーション

- 31 大日程計画 (master scheduling) とは、長期にわたり月別に生産する製品とその数量の計画。調達期間の長い資材の購買、設備の配置、人材の補充などを考慮して、通常は1年もしくは半年にわたり月別に生産する製品とその数量を計画する。(日本経営工学会(2002)『生産管理用語辞典』日本規格協会,265.)
- 32 中日程計画 (production scheduling) とは、月別、職場別に生産する製品とその数量の計画。月次計画とも呼ばれ、計画を実施する当月、生産予定を含むことがある次月、次々月が計画されることが多い。これに基づき比較的所要期間の短い資材の調達、設備・工具の準備、人員の配置計画が行われる。(日本経営工学会(2002)『生産管理用語辞典』日本規格協会,279.)
- 33 小日程計画 (work scheduling) とは、日別・時間別に、また部品単位に工程別ないしは作業別。機械設備別に行う作業内容と時間の計画。週間または旬間、業種によっては日別に、それぞれの作業員や機械設備が日・時間に、どのような作業内容 (work) を行うかという作業予定を示す。また、これにより具体的な作業の進捗管理が行われる。(日本経営工学会(2002)『生産管理用語辞典』日本規格協会,199.)

においては生産する工程と作業の行程、タイムスケジュールを予定するものとして、これを工程計画と呼ぶこととする。そして、工場における生産はこの工程計画に基づき実行される。まず、工程計画にしたがって着工し、必要な加工作業を経て完成する。その生産過程が順調に進んでいるか生産統制するうえで工程計画が進捗を測る基準としての役割を果たす。計画通りに進めば目標どおり生産を達成でき、実績が計画から乖離した場合は異常を発見できる。また、その進捗状態を「見える化」することによって異常の早期発見と確実な対応を可能とする。

しかし、生産計画は取り扱う製品特性や、見込み生産か受注生産するかという各企業の生産方式³⁴によって、計画の確度（実際の生産量および日程との乖離）とその意味合いは異なってくる。これを受注と調達生産着手タイミング（図 2.5.1.b）との関係から見た場合、一般的に消費者向け製品は消費者が店頭などで購入可能な流通在庫を担保するため、見込生産方式が採られる。これに対して、企業間で取引される産業用製品は、流通量が多く常備し即納が求められるために見込み生産する商品を除き、受注後に生産着手する受注生産方式が採られる。受注生産のうち顧客からの受注時点で加工や組み立てを開始する受注加工組立や受注仕様組立、受注組立の場合、既受注の注文と市場の需要予測や顧客からの先行オーダー（内示や予約）に基づいて中日程計画を立案し、材料など必要な資源を調達手配する。このときの中日程計画は確定ではなく、生産着手するまで顧客からの実オーダー（注文）を受け付けて、中日程計画を確定させる。このため、手配・準備された材料と実際の生産計画との乖離が生じ、実際に生産着手するためには、その乖離の補正のために調整業務が必要となる。この点は、IoTによるスマート工場が実現できたとしても、企業を超えて工場同士がつながる（同期する）だけで解決できない、人間による生産意思決定問題として残るものと考えられる。

³⁴ ここで扱う生産方式とは、受注から生産に至るビジネスモデルとしての生産形態を指す。生産形態別に受注のタイミングと資材調達や生産着手のタイミングを下記に示す。
特注受注生産（ETO：Engineering to Order）は、要求仕様どおりのものを生産する
規格品受注生産（MTO：Make to Order）は、定番商品を受注時点から手配開始する
受注加工組立（BTO：Build to Order）は、材料を事前準備し受注時点で加工開始する
受注仕様組立（CTO：Configuration to Order）は、材料を事前準備し受注仕様で組立
受注組立（ATO：Assemble to Order）は、材料を事前準備し受注時点で組み立てる
見込生産（MTS：Make to Stock）は、見込みで材料手配と生産しメーカー在庫する
流通在庫、補充販売（STS：Ship to Stock）は、流通在庫から注文を受けて販売する



出所) 中央職業能力開発協会 (2008) 『生産管理プランニング (生産システム・生産計画) 2 級』株式会社社会保険研究所, 26. に筆者加筆

図 2.5.1.b 受注と調達生産着手タイミング

2.5.2 円滑な生産運営を支える生産意思決定としての生産スケジューリング

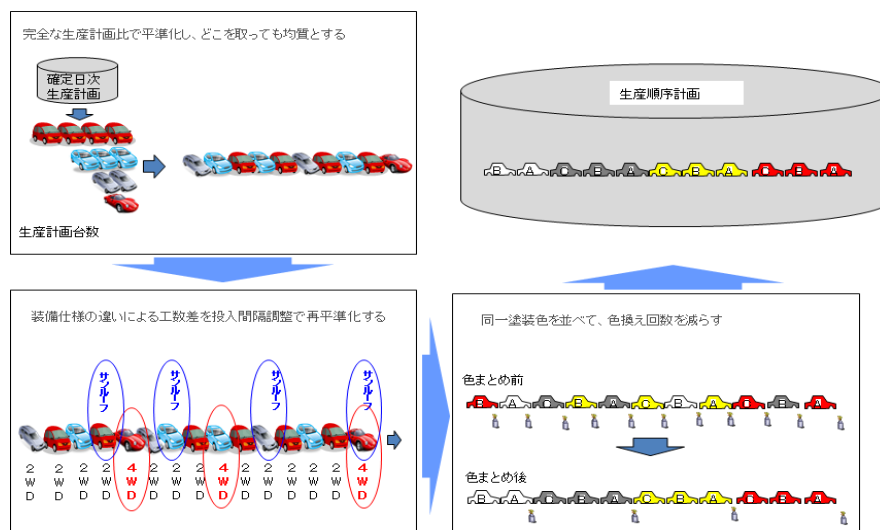
取り扱う製品やビジネスモデルによって生産スケジューリングがどのように処理されているのか概観し、現状把握のうえ課題を抽出する。

2.5.2.1 自動車産業における生産スケジューリング

自動車の車両生産工程をモデルとして例示する。自動車の国内生産の場合、メーカーや車種により異なるものの、概ね生産日の 3~5 日前まで販売会社からの新規オーダーまたはオーダー変更を受け付け、中日程計画の該当日計画を確定させる。ただし、月次処理時の中日程計画で確定した総計画台数および日別、車種別の生産台数の変更は行わず、タイヤやホイールなどのメーカー装着装備品のオプション仕様変更のみが認められる。ただし、仕様変更の上下限は、部品メーカーとの間で許容量が決められている。そして、この日次処理で確定した中日程計画の該当日分の材料部品の所要量を算出し、部品メーカーへ納入指示をする。

この確定結果を受けて生産スケジューリングを行う。その立案作業は平準化することが基本となるため、1 日分の生産計画に対する車種仕様が一樣になるよう出現率に

したがって、車種仕様の生産順序を決める。そのうえで、車種仕様によって工数負荷の大きいものは、一定の投入間隔となるように順序を入れ替え、最後に塗装色のように同じ仕様のを連続させた方が効率のよいものを入れ替えて、なるべく連続するように組み替えを行う（図 2.5.2.1.a）。



出所) 筆者作成

図 2.5.2.1.a 平準化の考え方

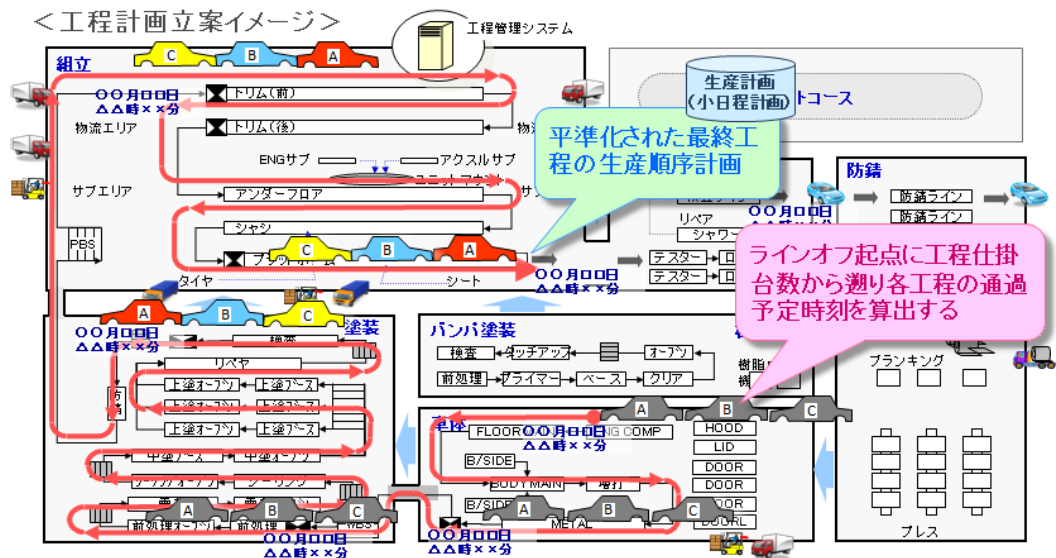
さらに、下流工程が求める生産順序どおりに一個流しで生産することが求められるため、最終製品工程の生産順序と完成日時を担保する順番で、途中工程の標準仕掛³⁵台数分のリードタイム（先行時間）をもって生産着工または完成するように工程ごとにスケジューリングする。工程に複数のラインが存在し、複数ラインへの分岐や複数ラインからの合流がある場合、それぞれのラインの生産比率とタクトタイム³⁶にしたがった標準仕掛台数分のリードタイム（先行時間）によりスケジューリングする（図 2.5.2.1.b）。

これら一連の生産スケジューリングはコンピュータシステムにより実現し、投入間隔や連続条件についてはルールベース化され、スケジューリング担当者の意思決定を代替できるように基幹業務システムの一部として構築されている。そして、確定した工程計画は、工程管理のためのコンピュータシステムへ渡され、生産初工程に対して

³⁵ 標準仕掛とは、生産計画台数を達成するために必要な工程、ラインごとの在席台数をいう。ラインのように、生産計画台数には関係なく一定のステージ数が物理的に決まっているものや工程間バッファのように仕掛台数が可変で、生産計画台数によって変化するものがある。

³⁶ タクトタイムとは、生産工程の各作業ステーションにおいて一つのワークに対する作業を完了する時間。タクトタイム=1日の稼働時間/1日当たりの生産数量。

計画された生産順序にしたがって着工指示される。また生産着工後、各生産工程の通過タイミングにより着工および完成実績日時を把握し、工程計画の着工または完成予定日時との乖離を把握することによって、車両の生産進捗管理を可能としている。



出所) 筆者作成

図 2.5.2.1.b 着工／完成日時計画の考え方

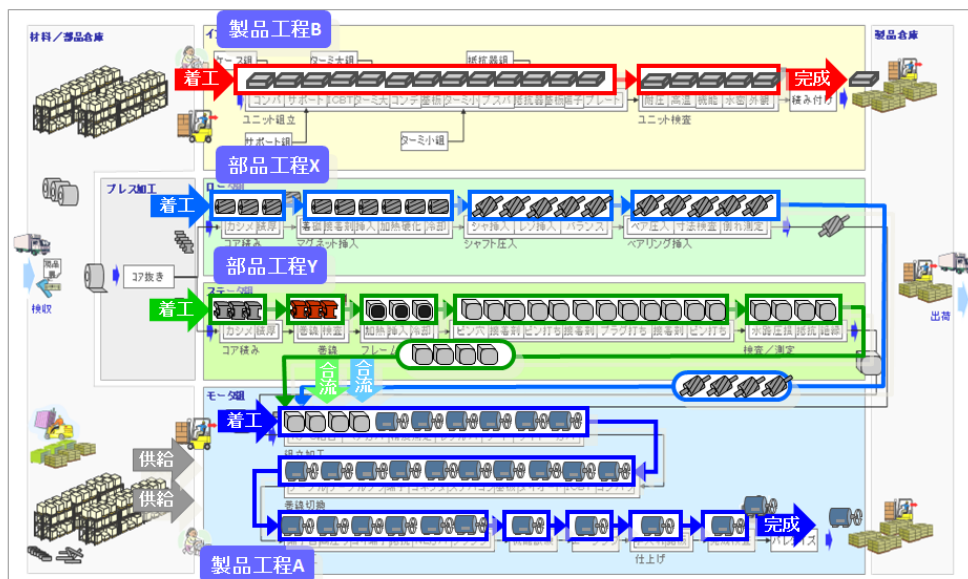
2.5.2.2 電機産業における生産スケジューリング

電動機の生産工程モデル (図 2.5.2.2) により例示する。製品の最終組み立てを行う製品工程と必要な内製部品を生産する部品工程から構成される。また、受注組立方式が採られ、調達に時間がかかる材料・部品は、顧客からの内示オーダー³⁷や需要予測にしたがって計画し、事後的に確定オーダーとの乖離調整をしながら調達される。

この生産工程に対しては、中日程計画の生産数量とその完成予定日に基づく指図書により指示される。実際の生産順序や生産着手日程を確定させる小日程計画としての生産スケジューリングは、分権的な形で製造工程に委ねられている。指図書を受け取った工程は、完成予定日に従いつつ材料部品などが揃い生産可能なものから着手できるように自工程の工程計画を立案し、生産意思決定する。

³⁷ 内示オーダーとは、フォーキャスト (forecast) とも呼ばれ、材料部品の調達や納入品の生産手配ができるようにするための客先の所要計画情報または購入予測情報。(⇔確定オーダー)

例えば、内製部品を生産する部品工程であれば、内示オーダーまたは需要予測と確定オーダーとの乖離調整をしながら生産管理部署から該当工程へ指図される。指図される数量は、該当内製部品の荷姿³⁸数量単位の整数倍とし、完成後の移動や保管しやすく、また効率的に生産できる量にまとめられている。指図された部品工程は、外部から調達する材料部品の納入状況（在庫）確認とメイン工程との間の内製部品の仕掛在庫を考慮しつつ、生産順序を意思決定することとなる。



出所) 筆者作成

図 2.5.2.2 電動機の生産工程イメージ

これに対して、製品工程へは確定オーダーの要求数量に基づいて生産管理部署から該当工程へ指図される。指図された製品工程は、外部から調達する材料部品の納入状況（在庫）確認と内製部品の完成状況（仕掛在庫）を確認し、完成予定日の古い順に生産するよう生産順序を意思決定する。

このように、内示オーダーまたは需要予測と確定オーダーとの乖離にとまなう材料部品の調達時期のずれと、工程間の生産数量の差異による生産タイミングの調整確認を製造部門が行い、生産意思決定することによって、実質的な生産スケジューリングが行われている。また、材料部品の納入状況や内製部品の生産状況の変化によって、

³⁸ 荷姿 (type and shape of load) とは、輸送するときの荷物の形状。工場間または工程間で移動するときや、倉庫に在庫するときの容器（パレットや段ボールなど）に入れた状態の形状を指す。

再スケジューリングされるため、進捗管理は工程計画によらず、指図されたときの中期計画の完成予定日を基準として行う。

2.5.2.3 部品加工組立企業（下請中小企業）における生産スケジューリング

特注受注生産や規格品受注生産を行う加工工程モデル（図 2.5.2.3）により例示する。製品（部品）は、受注の都度、数量と仕様が異なるため、受注後に必要な材料部品の手配を行う。また、部品ごとに必要な加工作業や必要な加工時間が異なるため、着工した順序と完成する順序は必ずしも一致しない。そして、汎用設備で複数の製品を生産するため、生産は同じ型の製品を連続して一定ロット生産し、完了後に型交換して次の型の製品を生産するバッチ生産方式により生産する。よって、段取³⁹のタイミングおよび生産

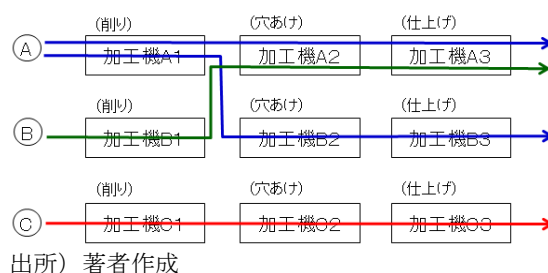


図 2.5.2.3 特注/規格受注生産加工工程

の順番をもっとも効率よく計画することが重要なポイントとなる。

例えば、削り、穴あけ、仕上げの加工機械設備から構成される加工工程があつて、それぞれの加工機の生産能力が異なる。加工する製品 A、B、C の 3 種類があり、それぞれの加工にかかる時間が異なり、要求される個数もそれぞれ決められている。この場合、それぞれの製品をどのような経路で流し、何個ずつ加工するか、もっともロスが少なく効率的な生産順序と加工ロットサイズの組合せを求めることが重要な要素となる。

このように、生産する部品や工程への仕掛状況によって加工設備や加工時間などの諸条件が変化するため、スケジューリング担当者の勘や経験値、過去の実績値に基づき、生産スケジューリングも手作業で行われる。また、部品ごとに必要な加工作業や必要な加工時間が異なることから、加工経路上の設備へ到着が着工順に対して逆転することもあり、加工設備の稼働率を高めるために加工設備の動的な割当変更が必要となる場合がある。さらに、特急品の飛び込み受注が発生した場合には、担当者によってその組み替えが行われる。

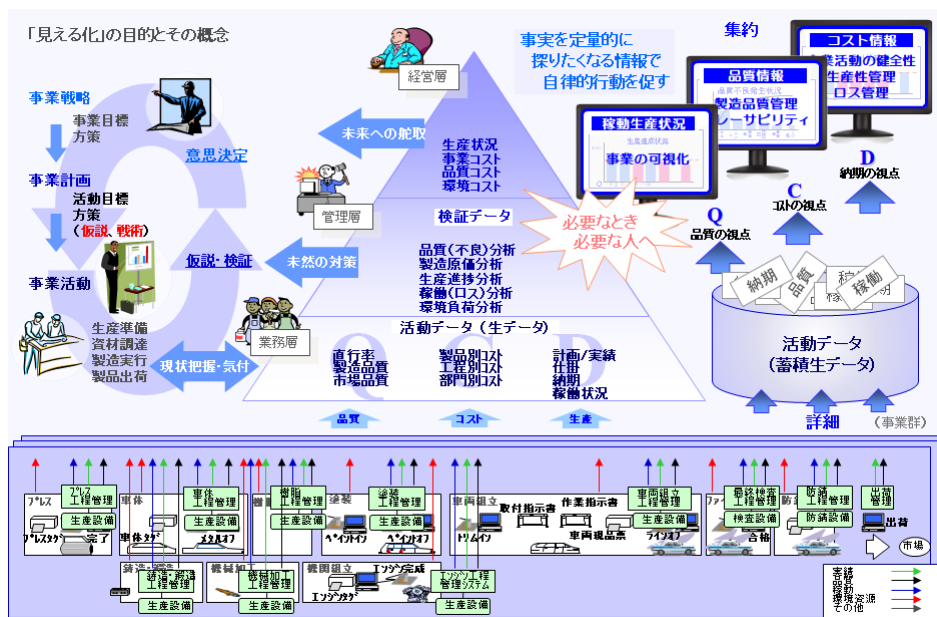
³⁹ 段取 (set up) とは、作業開始前の材料、機械、治工具、図面などの準備および試し加工。(JIS Z 8141-5107)

2.5.3 次世代生産システムの実現に向けての課題とその対応

製造業の取組み課題のひとつとしてのスマート工場は、IoT など最新の IT の活用によって企業を超えてつながり連動して自動的に生産実行することを目指している。一方、現実の生産に目を転じると、業種や生産形態によって差異はあるものの、生産に着手するまでに生産可能な量であることを確認し、生産に必要な材料部品を準備調達するなど、生産実行のための種々の手配が必要である。そして、生産スケジューリングにより工程計画を立案し、生産実施工程の割当て、生産順序および着工／完成予定日時の決定という生産意思決定の結果に基づいて生産実行に移されることを見てきた。

これらの事実から、前者の生産実行のための種々の手配について、例えば材料部品の準備調達については需要予測や内示情報によって仕込んでおき、生産実行時に納入させたり、あらかじめ余裕をもって多めに在庫しておき、実際に使用した分だけ補充納入させたり、オペレーションによって解決することも可能であろう。しかし、後者の工程計画については、連動するスマート工場の要求元が必要とするときまでに確実に生産実行することが求められることになる。すなわち、次世代生産システムが求める「つながる工場」の要求に対して、自工場の状況を的確に把握し、納期までに確実に生産実行可能な工程計画を立案可能とする生産スケジューリングの実現がその命題となる。

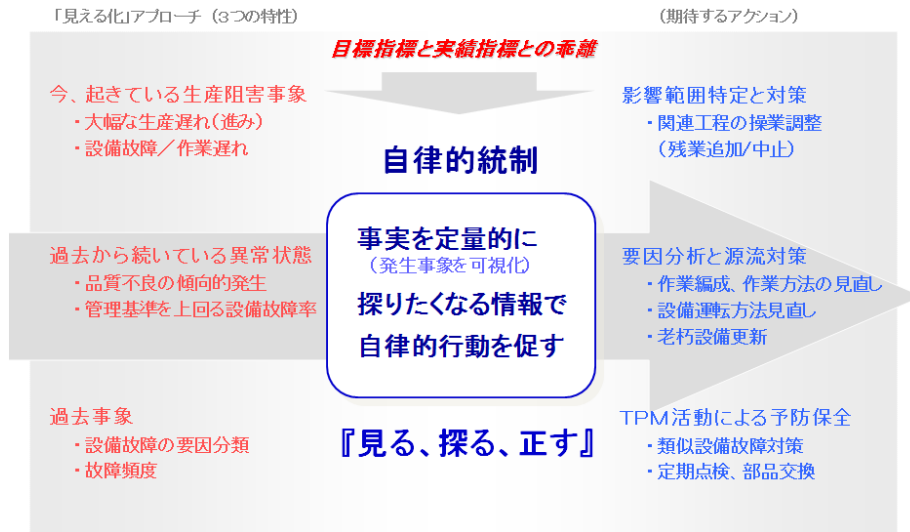
また、スマート工場がつながり、同期生産と自律的な生産統制を図って行くうえで「見える化」によって、相互に情報交換し、状況把握を可能としなければならない。そして、把握した情報は、その状態が正常なのか、異常なのか、異常な状況であれば、どのようなアクションが必要であるか、判断できるものでなければならない。判断するための「ものさし」（基準情報）としての計画指標と現時点の状況を表す実績指標が必要となる。とりわけ、計画どおりに生産できているか、その生産進捗を把握するうえで計画指標としての工程計画は重要である。それは、「見える化」が事業経営（会社全体や工場運営）するうえでの仮説検証の手段であるからであり、事業計画に対する事業実績の乖離を把握・評価することにより必要なアクションを採ることが可能となる（図 2.5.3.a）。すなわち、「見える化」は期待されるアクションがあってはじめて見えることの意義と狙いどおりの効果を生むことができる（図 2.5.3.b）（図 2.5.3.c）。



出所) 筆者作成

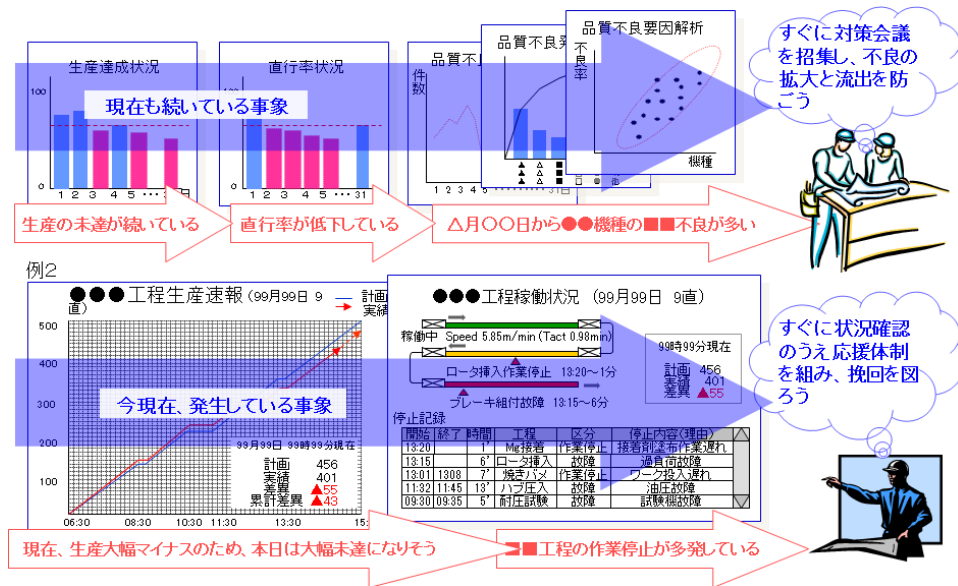
図 2.5.3. a 「見える化」の目的と概念 (再掲)

しかしながら、前項の生産スケジューリングの現状にあるように、必ずしもコンピュータ処理によって情報化できておらず、人による状況判断と意思決定がかなりの比重を占めている。とりわけ、中小製造業の状況において、ほぼ人手により立案作業が行われているといっても過言ではない。この課題を解決するため、経験や勘に負う生産スケジューリングを本当に自動化することができるのか、または人とコンピュータシステムとの協働ができるのか、その検討が必要である。そして、立案した工程計画を「見える化」の計画指標データとすることが、次世代生産システムの実現のもう一つの命題となる。



出所) 筆者作成

図 2.5.3.b 「見える化」の意味、意義



出所) 筆者作成

図 2.5.3.c 「見える化」の狙い

3. 生産スケジューリングの今日的課題

前章「2. 次世代生産システムの現状と取組み課題」の次世代生産システム研究において、工場が企業を越えてつながる次世代生産システムの実現のためには IT だけでなく、工場間の生産情報から確実な生産実行につなげるための生産スケジューリングの役割がより重要となることを見い出した。これを受けて、本章では既存の生産スケジューリングが実際にどのように行われているのか、どのようなスケジューリング技法があるのか、その研究状況を把握・分析し、次世代生産システムにおける生産スケジューリングの課題を探る。

その生産スケジューリングとは、製造工程における生産意思決定としての生産実施計画を立案するものであり、本研究においては、立案された実施計画を工程計画と呼ぶ。また、立案された工程計画は、正しい工程管理の「ものさし」（基準）として要求納期を守り、経営資源を効率的に利用するために「どの順番で着手し生産するか」という生産順序と「いつ生産するか」という生産着工日時（タイミング）が重要な機能要素となる。この一見簡単そうに見える生産順序と生産着工日時の決定は、顧客または営業の要求納期に対して、生産工程とその数、保有設備能力、持てる人員とその作業編成に基づく工程能力、調達済または納入予定の材料・部品などの広範な条件を扱いながら問題解決を図る必要がある。

このため、生産順序と生産着工日時の最適解を求めるためには、膨大な生産条件のインプットとその演算処理がともなう。これまで、工程能力などの利用可能な経営資源に余裕があれば条件選択に自由度があり比較的容易に計画立案できていた。しかし、近年の生産環境の変化にともない考慮すべき生産制約条件は増加する一方であり、実現可能な工程計画を満足させる成立条件は減少している。このため条件探索という複雑な問題を人手によってのみ解決することは、ますます困難となっている。

これらの状況を踏まえ、本研究では自動車と電機の実用スケジューリングの実用状況を把握・調査し、その課題を探る。そして、学術研究の状況を調査し、課題解決の可能性や新たな生産スケジューリングの必要性について研究する。事例研究に当たっては、国立情報学研究所（NII、National institute of informatics）が提供する文献情報・学術情報検索サービス（CiNii Articles）の学術論文や図書・雑誌などの学術情報データベ

ースから生産スケジューリング問題にかかる研究を把握・分析し、そこから課題解決の可能性を探る。

その現状からは、考慮すべき生産条件を増やし、その網羅性を高めても条件干渉により納得性のあるスケジューリング結果が得られていないこと。そして、人間の介入と意思決定判断によって再スケジューリングし、現実解を求めている姿が見えてくる。また、研究に目を転じると、網羅性が高まるにつれ複雑化する生産条件に対して、ヒューリスティックスやラグランジュ緩和法など、解法の近道を探る研究が多く、これらが必ずしも処理結果に対する満足や納得性の向上につながっていない。

その結果から、次世代生産システムの生産スケジューリングには、生産条件の「網羅性」を高めつつ、スケジューリング結果への「納得性」も得られるような生産条件間のある種「調停」処理のような機能が必要であることが分かった。

3.1 生産スケジューリングの実際

実際に企業で実行される生産スケジューリングは、その生産方式としての受注と材料部品調達および生産着手タイミングの差異に大きく依存する。ここでは、企業と個人（消費者）間の商取引により主として流通在庫販売を含む見込生産方式を採用する自動車と、企業間取引により主として受注加工組立、受注仕様組立または受注組立などの受注生産方式を採用（産業用機械を取り扱う）電機を比較する（第2章第5節「2.5.1 現状の工場生産までの流れ」の「図 2.5.1.b 受注と調達生産着手タイミング」を参照）。

自動車は見込生産計画に基づいて必要な材料部品を調達し、その計画に基づく生産スケジューリングによって立案した工程計画に沿って生産実行する。その結果が製品在庫または流通在庫となり、販売会社より顧客注文を受けた時点で流通在庫または製品在庫から適合する仕様の製品を引当てる。ただし、適合する仕様の製品が流通在庫または製品在庫の中になければ、次の期間の生産計画にオーダー紐付き計画として織り込まれることになる。

一方、電機は市場の需要予測や顧客企業の生産計画による内示情報に基づき材料部品の調達計画を立案し、必要な材料部品を調達する。また、必要な内製部品を生産し、先行して準備を図る。さらに、顧客企業からの正規注文オーダーを受けて材料部品の調達計画との乖離分の材料部品の調達調整を図るとともに確定生産計画を立案し、そ

の計画に基づく生産スケジューリングによって立案した工程計画に沿って生産実行後、完成した製品を出荷する。

このように、自動車は高付加価値商品を大量、安価に生産するために材料部品の調達と生産計画が同期する見込生産方式が採られ、電機は市場ニーズと市況変化に柔軟かつ迅速に対応するために材料部品の調達と生産計画が非同期の受注生産方式が採られている（表 3.1）。

表 3.1 自動車と電機の生産比較

	自動車	電機
特徴	高付加価値商品を大量、安価に生産	市場ニーズと市況変化へ柔軟に生産対応
製品特性	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的大きな高額製品 ・主として見込み生産 ・1個流し 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的小さな小額の一般耐久消費財 ・主として受注生産 ・受注オーダー単位にまとめてロット生産
製造工程レイアウト	<p>主としてライン生産</p> <ul style="list-style-type: none"> ・広大な敷地と建屋 ・大型設備と大規模作業場 ・多人数で分業作業 ・作業編成の組み替えが困難 ・ワークのラインからの取り外しが困難 <p>The diagram for automobile production shows a linear flow. It starts with '需要予測' (Demand Forecast) leading to '注文' (Order). This is followed by '材料調達' (Material Procurement) and '生産計画' (Production Plan), which are noted as being '同期' (Synchronous). The process then moves through '着工' (Start of Work) to '仕掛引当' (Work-in-progress Allocation), and finally to '完成' (Completion). The layout is depicted as a long, narrow factory floor with multiple workers and equipment along a single line.</p>	<p>主としてセル生産</p> <ul style="list-style-type: none"> ・相対的に狭い敷地と建屋 ・小型設備とコンパクトな作業場 ・1人または数人で作業 ・作業編成の組み替えが容易 ・ワークの作業工程からの取り外しが容易 <p>The diagram for electrical equipment production shows a cellular flow. It starts with '需要予測' (Demand Forecast) leading to '注文' (Order). This is followed by '生産計画' (Production Plan), which is noted as being '乖離' (Asynchronous). The process then moves through '材料調達' (Material Procurement) and '着工' (Start of Work) to '完成' (Completion). The layout is depicted as a more compact factory floor with multiple parallel workstations and workers, allowing for easier reconfiguration.</p>

出所) 筆者作成

3.1.1 自動車産業における生産スケジューリング

車両組立場の工程を概観し、生産計画から生産に至る生産管理オペレーションを把握のうえ、どのような条件の下で生産スケジューリングが行われているのか、自動車産業における生産スケジューリングの現状とその課題を探る。

3.1.1.1 自動車製造工程の概要

国内における四輪乗用車月産 20,000 台（生産タクトタイム⁴⁰=1 分）規模の量産工場を生産モデルとして例示する。製造工程はライン生産方式を採り、混流生産可能な 1 本のフレキシブルラインを持つ車体溶接工程、下塗り、中塗りライン 1 本と 3 本の上塗りラインから成る車体塗装工程、1 本の組立ラインから成る車両組立工程より構成する。

生産は、車体溶接工程の ENG COMP（Engine Compartment）と呼ばれるボディのエンジンルーム部位の接合工程から始まり、工程計画の順序どおりに着工する。車種の違いは NC ロケーター⁴¹によってパネル部品の接合位置を制御し、それをロボットでスポット溶接することによって自動化を図っている。また、着工時点において、ボディに RFID を取り付け、これに該当ボディの生産計画情報と仕様情報またはボディの管理情報を記録する。それ以降、後工程の作業ステーションへの到着時点において RFID に記録されている情報を自動的に読み取り、その情報に基づいて溶接ロボットをはじめとする生産設備を自動制御することによって省人化を実現している。

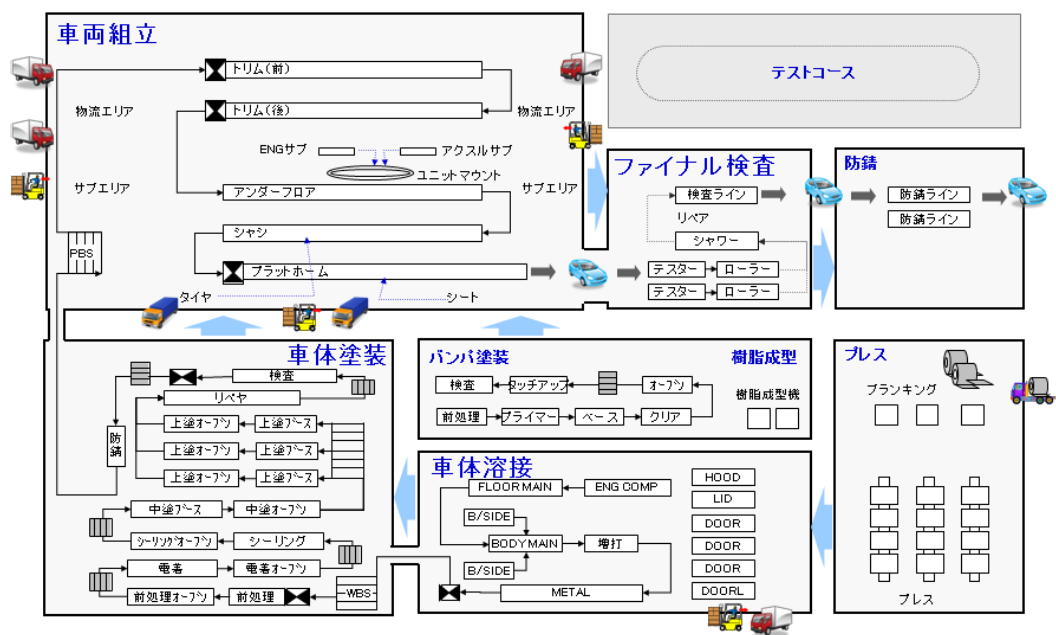
そして、完成した WHITE BODY（塗装していないボディ状態）は車体溶接工程から次の塗装工程へと自動搬送され、まず前処理ラインにおいてパネル部品の防錆油を洗い落とし、下塗りライン（電着）、中塗りラインを経て色別の上塗りラインへと搬送のうえ、スケジュール指示どおりの色に塗装され PAINTED BODY（塗装済みのボディ状態）となる。なお、近年の新鋭工場においては、省エネルギー目的により中塗り工程を廃して上塗り工程において中塗りと上塗りをする場合もある。また、塗装工程における塗装ロボットへの塗装色の指示などは RFID に記録されている情報を自動的に読み取り、人手を介さず設備を自動制御している。

さらに、塗装を終えた PAINTED BODY は塗装工程から次の車両組立工程へと自動搬送され、一旦 PBS に收容される。塗装工程において品質不良とその手直し等によって生じた遅れを挽回したり、組立ラインのネック作業を緩和するための車種仕様の平準化のための生産順序の入れ替えを行う。これらは、ALC によって制御し、組立ライ

⁴⁰ タクトタイムとは、生産工程の各作業ステーションにおいて一つのワークに対する作業を完了する時間。タクトタイム=1 日の稼働時間/1 日当たりの生産数量。

⁴¹ Numerical Control(数値制御)式位置決め装置のこと。車種によって異なるパネル部品の位置決め穴にロケートピンを挿入して正しく溶接できるようにする。

ンへ投入する。すなわち、生産の遅れを取り戻し当初の生産スケジューリングで立案されたオリジナルの工程計画へ可能な限り復元させつつ、製造工程における実際の作業効率の最適化を図るための最終ともいべき生産スケジューリング機能がここへ組み込まれている。そして、投入順序にしたがって車両組立工程内の生産指示端末に作業指示を出力し、計画仕様どおりの生産を可能とする生産システムが構築されている（図 3.1.1.1）。



出所) 筆者作成

図 3.1.1.1 自動車製造工程の生産モデル

3.1.1.2 自動車の生産計画

自動車生産モデルの製造工程は見込生産方式が採られ、月次計画、週次計画、日次計画の手順で生産計画が立案される。まず、販売会社からのオーダー分と市場の需要予測に基づいて月次計画を立案する。この月次計画は、生産月の前月中旬に生産当月（M月）分、翌月（M+1月）分、翌々月（M+2月）分の3ヶ月分の車種仕様別計画台数として立案する。その中の当月分は日別車種仕様別計画台数まで立案する。また、当月分は仮確定計画として月間の総台数および車系（ex.アコード、フィットといった車種系統）、エンジン仕様（型式や排気量、ハイブリッド機構など）別の台数は確定され、週次計画や日次計画においても日別の生産計画台数が変更されることはない。し

かし、LED ヘッドランプや自動ブレーキなどのオプション装備仕様については、週次計画または日次計画までに販売会社から受けたオーダーのうち、生産能力上対応可能なものは車種仕様を変更する。ただし、仕様変更可能な変動幅には制限を設けている。立案した月次計画は、必要とする材料部品に展開され、その所要量を材料部品の内示情報として部品メーカーへ情報伝達する。

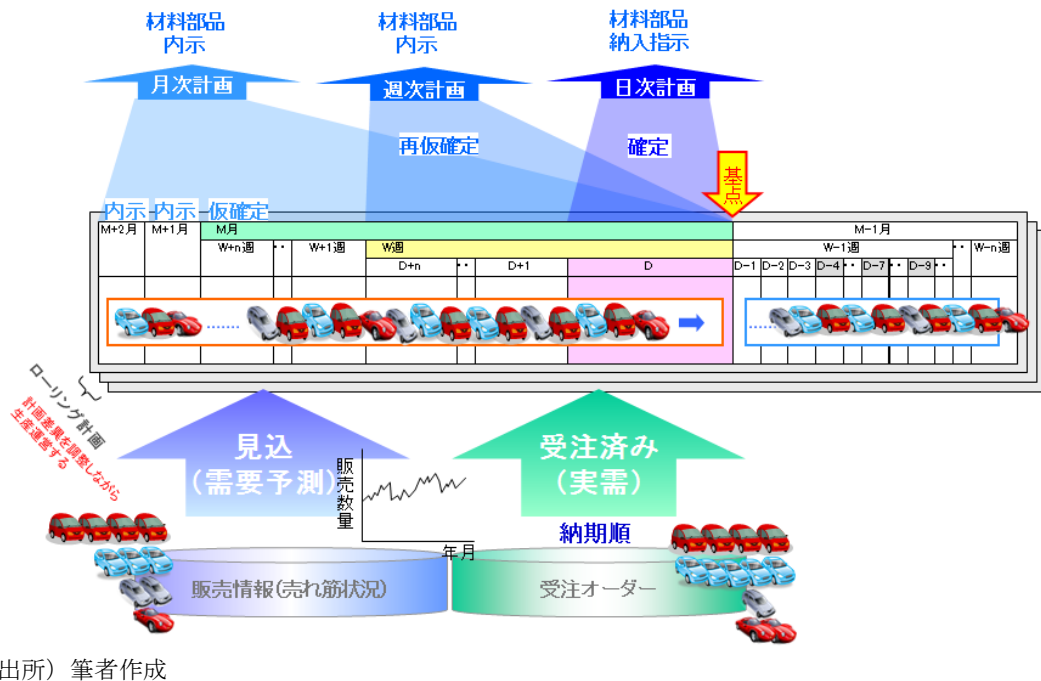


図 3.1.1.2 自動車の確定生産計画までの流れ

週次計画は、週次計画期間初日のおおよそ 1 週前に、それまでに販売店から受けたオーダーのうち生産能力上対応可能なものを反映して該当 1 週間分の日別車種仕様別計画台数を立案する。立案した週次計画も月次計画と同じように必要とする材料部品に展開され、その所要量を材料部品の内示情報として部品メーカーへ情報伝達する。なお、週次計画に代って 10 日単位の旬次計画とする自動車メーカーも存在する。

日次計画は、通常完成予定日の 3~6 日前に、それまでに販売会社から受けたオーダーのうち生産能力上対応可能なものを反映して該当日分の日別車種仕様別計画台数を確定し、さらにそれを 8 バケット⁴²に分配する。立案した日次計画の各バケットは必

⁴² バケット (bucket) は計画を分割する入れものを指す。1 バケットは稼働時間のおおよそ 2 時間に相当し、各バケットへ車種別に均等となるように配分する。

要とする材料部品に展開され、その所要量と各バケットに対応する納入日時⁴³を材料部品の納入指示情報として部品メーカーへ情報伝達する。ただし、日次計画を立案せず、週次計画までとする自動車メーカーも存在する。また、実際の部品納入指示を電子かんばん⁴⁴により指示伝達する自動車メーカーも存在する（図 3.1.1.2）。

3.1.1.3 自動車の生産スケジューリング

生産計画にて確定した日別バケット別車種仕様別計画台数を与件とする自動車製造工程の生産スケジューリング手順を示す。生産モデルとする四輪乗用車生産工場の車両組立工程は労働集約型であり、たくさんの部品組み付け作業を複数の作業員で分業するため、車種仕様による作業工数差が問題となる。作業工程においては、車種が平準化して投入されることを前提として、生産計画における車種ごとの必要工数を平準化した工数分の人員しか編成配置していない。このため、多くの工数が必要な車種のときには作業が遅れ、少ない工数の車種のときに作業挽回することによって全体としての帳尻が合うことになる。したがって、ある作業員が分担する生産タクトを超える作業を必要とする車種が連続して投入されると、作業員は大幅な作業遅れとなって自分の作業域を越えて下流の作業員の作業を妨げ、生産ラインの停止に至ってしまい、生産性を低下させてしまう。このような状況に陥らないように平準化され金太郎飴のように均質な工程計画とすることが生産スケジューリングの最重要命題となっている。この生産スケジューリングは、いずれの自動車メーカーにおいてもコンピュータシステムによって処理している。例えば、「図 3.1.1.3.a 車種平準化」に示した 4 車種（図中 ABCD 記号で示す製品型式別区分）、合計計画台数 10 台、その内 4WD⁴⁵仕様 4 台、サンルーフ⁴⁶仕様 4 台の生産スケジューリングの場合、まず日次計画または週次計画において確定した該当生産日の各バケットの車種の分布が一様となるよう車種別の生

⁴³ 2 時間相当のバケットサイズが材料部品の納入時間帯の区分となる。組み付けられるまでの時間、すなわち在庫相当分の先行時間をもって納入時刻を指定する。

⁴⁴ 計画にしたがって納入指示せず、自社内生産工程における部品使用量を把握（理論的に算出）し、次に部品メーカーから引き取るべき材料部品の種類と数量を電子かんばん（電子メッセージ）として送信する。部品メーカーは電子かんばんを印刷して材料部品に添付し、指定日時、指定納入場所へ納入する方式およびその情報をいう。

⁴⁵ 4WD（four wheel drive：4 輪駆動車）とは、4 輪自動車の 4 輪すべてが駆動輪の自動車、またはその駆動方式をいう。2 輪駆動車に比べて機構が複雑になり作業工数が多くかかる。

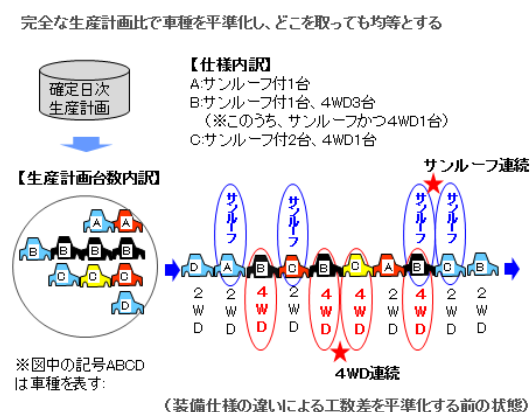
⁴⁶ サンルーフ（sunroof）とは、車体屋根部分に開閉式開口部を持つ自動車の仕様、またはその装置をいう。製造ライン内で装着作業をするため、他と比べて作業工数が多くかかる。

産計画台数比に従い、その出現確率に基づくタリー計算⁴⁷によって車種別の生産順序を決める手法が採られ、車種平準化を実現している。ただし、一部の自動車メーカーにおいては、平準化よりも品質を重視し、逆に同じ車種が連続することによって同じ作業が繰り返されるようスケジューリングを行っている場合もある。

なお、この段階においては 4WD などの機能仕様やサンルーフなどのオプション装備仕様について、平準化が図られている訳ではない。「図 3. 1. 1. 3. a 車種平準化」に示した生産スケジューリングの場合、

4WD 仕様とサンルーフ仕様ともに計画台数の割合が 40%であり、両者とも連続しないことが期待される。しかし、その処理結果を見てみると 4WD 仕様とサンルーフ仕様ともに連続が発生してしまう。そして、これらの個別仕様の実際の生産における作業工数は大きく、十分な投入間隔台数が確保できない場合、作業遅れによる生産ラインの

停止につながる。このため、これら作業工数負荷の大きい仕様については、一定の投入間隔となるように生産順序の入れ替えを行う必要がある。具体的には、それぞれの製品型式に設定された機能仕様やオプション装備仕様などの個別仕様について投入間隔台数を何台にすべきかルールベース化し、割付けた生産順序の中にルールを満たせない箇所があれば、同一車種の中から条件を満たすことのできる他の計画を見つけ、それらを入れ替えることによって実現する。ただし、車種平準化を満たしつつ個別仕様の投入間隔台数をも満足することは、現実的に難しく、車種平準化の処理結果生じた 4WD 仕様の連続については、車種 B の生産順序を入れ替えることによって連続を回避することが可能となるものの、サンルーフ仕様の連続については、車種 B または車種 C の入れ替えを試みてもサンルーフ仕様の連続を回避することができないか、サンルーフ仕様の連続を回避できても代わりに 4WD 仕様の連続が生じてしまう（図

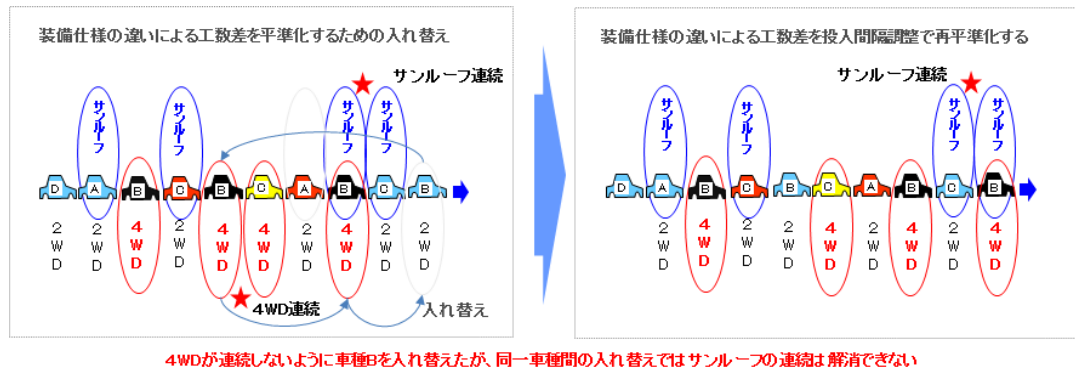


出所) 筆者作成

図 3. 1. 1. 3. a 車種平準化

⁴⁷ 対象をグループ化し、下記式により平準化グループ毎のタリー値を求め、その中の最大値の平準化グループを序列として割当を繰り返して平準化された順列を生成する手法。
 ※平準化グループ毎の今回のタリー値 = (平準化グループ毎の合計台数) × (序列発生回数) - (各平準化グループの既発生回数) × (全平準化グループの総合掲題数)

3.1.1.3.b)。



出所) 筆者作成

図 3.1.1.3.b 投入間隔調整

これらは、車種（プリウスやフィットのような製品系列および製品型式）を優先条件として出現率により金太郎飴のような平準化を図り、さらに製造工程の作業制約でもある製品仕様（例えばサンルーフや4WD）を優先条件および制約条件とする投入間隔による平準化を図ろうとするために発生するものである。このとき、車種（製品系列）も製造工程の作業制約であるため制約条件とされ、それらの制約条件の中には今回のサンルーフと4WDの関係のような背反条件も存在する。したがって、制約条件間の干渉、競合により実行可能解が得られない状況が生じる。

ここまで、簡便化のために4WD仕様とサンルーフ仕様の2つの個別仕様に絞って投入間隔調整について見てきた。しかし、実際の生産においては自動ブレーキシステム⁴⁸やサイドエアバッグ⁴⁹などといった、さらに多くの仕様について投入間隔調整が必要となる。装備しない自動車と比較して多くの作業工数を必要とするこれら個別仕様装着車は、その生産計画台数比に見合う投入間隔（例えば、生産比率が20%であれば投入間隔4台以上）が期待されるものの、他の個別仕様の投入間隔台数条件を損なうことなく、かつ車種別生産比率も維持した状態において、期待どおりの投入間隔台

⁴⁸ 正式名称を衝突被害軽減制動制御装置（AEBS : Autonomous Emergency Braking System）という。カメラやレーダーなどで前の自動車を検知して、追突するおそれがある場合には、音や警告灯などでドライバーに警告してブレーキ操作による衝突回避を促し、さらにブレーキ操作が無くこのままでは追突が避けられないとシステムが判断した場合には、被害を軽減するため自動的にブレーキが作動する。

⁴⁹ サイドエアバッグ（side airbag）とは、側面衝突時に瞬時に膨らみ、頭や胸などの上体への衝撃を軽減するための安全装置をいう。

数を実現することはさらに困難となり、不可能であると言わざるを得ない。また、「図 3.1.1.3.b 投入間隔調整」に例示の 4WD 仕様とサンルーフ仕様のように複数の仕様を同時に持つ場合、その間隔調整関係は複雑となり困難の度合いがさらに増してしまう。すなわち、投入間隔調整を必要とする対象の個別仕様を増やすことによって、その網羅性⁵⁰を高めれば高めるほど投入間隔調整結果の満足度の低下を招き、結果的には投入間隔台数条件を満たせず妥協せねばならない状況が頻繁に発生することとなる。

ここでいう「満足度」とは、生産スケジューリング担当者から遵守するよう期待し与えられた制約条件に対する条件満足／不満足の結果であるから、先に述べたように制約条件間の干渉、競合により実行可能解が得られない状況が生じる。そこで、車体溶接工程に始まる生産着手用に作られる工程計画については、制約条件の遵守レベルを設けてレベルの低い制約条件はその条件を満足できなくても、ほかに条件を満足できるスケジュール候補が存在しない場合は妥協し、実行可能解として、これを工程計画としている。そして、最終の組立ラインへ投入される前に、後で述べる PBS および ALC による制御と人の介入オペレーションによって作業遅れで停止に至るような制約条件の解決が図られる。なお、ここでいう制約条件とは OR でいうところの厳格に遵守すべき絶対的な条件ではなく遵守レベルの低い条件は、できれば守りたい、しかし守れないときは緩和することのできる希望条件に過ぎない。

最後は、同じ仕様のもを連続させた方が効率のよいものを入れ替えて、なるべく連続するように組み替えを行う。例えば車体塗装工程の上塗りラインのように、異なる色を塗る場合に塗料を切替えるだけでなく塗装装置の洗浄が必要となったり、赤や黒といった濃い色の後で白のような淡い色を塗装する場合など、混色しないように 1 台分の空席が必要となる。これらのロスを低減するためには、なるべく同じ色を連続させて色替え回数を少なくすることが求められる。具体的には、設備的に限定された塗装可能な塗装色にしたがって上塗りラインごとに分類し、塗装色の不連続な部分は同一塗装色が連続するように順序を入れ替えたいうえで、各上塗りラインの計画をマージ（併合）して一本のスケジュールとして纏め直し、このマージ後計画を車体溶接工程の着工計画としている（図 3.1.1.3.c）。そして、車体溶接工程がその生産順序で生

⁵⁰ 本論文においては、投入間隔調整にあたり必要となる製品型式に設定された 4WD などの機能仕様やサンルーフなどのオプション装備仕様のような個別仕様条件のうち、実際に投入間隔調整に反映できる（できた）機能仕様や個別仕様条件数の割合（度合い）を網羅性と定義する

産着工することにより、各上塗りラインには塗色によりまとまった順序でボディが供給される。

なお、近年の新鋭工場においては、塗装ロボットの導入など自動化が進み、脱着式塗装スプレーおよび塗料カートリッジをワンタッチで交換可能な装置とすることにより塗装スプレーおよび塗装配管の洗浄が不要となり、1台ごとに色替え可能な設備となっている。このため、塗装色の連続まとめは必須ではなくなりつつある。

生産スケジューリング最後の仕上げは、1台毎の各工程の着工と完成日時（分単位）の設定である。各工程は、下流工程が求める生産順序どおりに一個流しで生産することが求められるため、最終製品工程の生産順序と完成日時を担保する順番で、途中工程の標準仕掛⁵¹台数分のリードタイム（先行時間）をもって生産着工または完成するように製造工程を遡る方向で工程ごとにスケジューリングする必要がある。工程に複数のラインが存在し、複数ラインへの分岐や複数ラインからの合流がある場合、それぞれのラインの生産比率とタクトタイムにしたがった標準仕掛台数分のリードタイム（先行時間）によりスケジューリングする（図3.1.1.3.d）。なお、自動車メーカーによっては、生産順序計画を生産の源流工程の着工計画として与え、そこから製造工程を下る方向で1台毎の各工程の着工と完成日時を算出し、設定する方式をとる場合がある。この場合、途中の工程において分岐または合流がある場合、当初の目論みどおりの順番で最終完成とならない可能性がある。

最終的に、確定した工程計画は工程管理のためのコンピュータシステムへ渡され、生産初工程に対して計画された生産順序にしたがって着工指示される。また生産着工後、各生産工程の通過タイミングにより着工および完成実績日時を把握し、工程計画

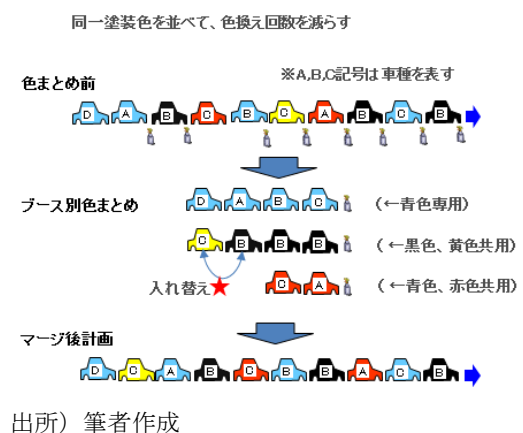
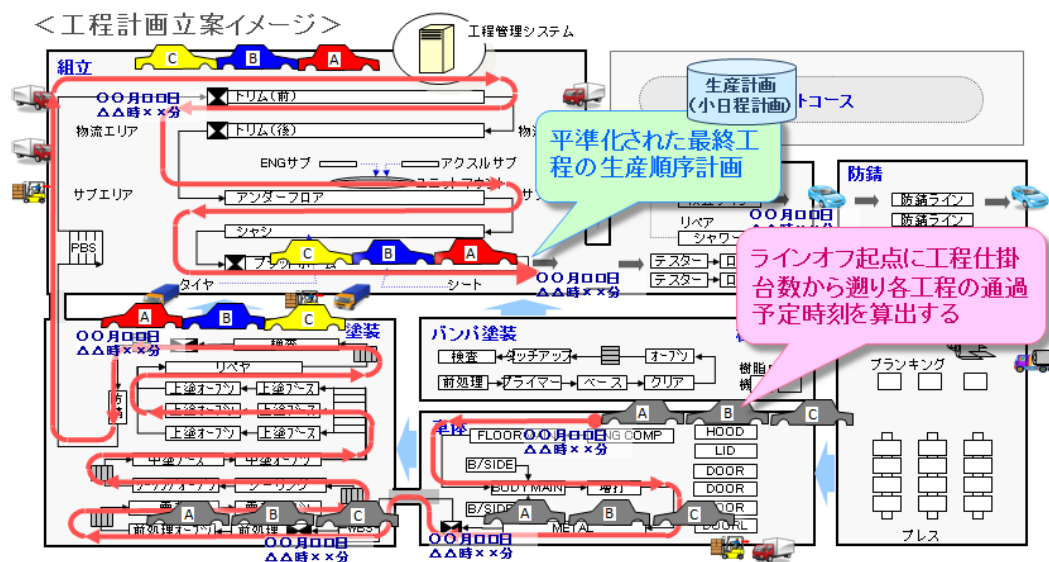


図 3.1.1.3.c 塗装色による連続まとめ

⁵¹ 標準仕掛とは、生産計画台数を達成するために必要な工程、ラインごとの在席台数をいう。ラインのように、生産計画台数には関係なく一定のステージ数が物理的に決まっているものや工程間バッファのように仕掛台数が可変で、生産計画台数によって変化するものがある。

の着工または完成予定日時との乖離を把握することによって、車両の生産進捗管理を可能としている。



出所) 筆者作成

図 3.1.1.3.d 着工／完成日時計画の考え方（再掲）

このように緻密な工程計画を立案してもなお、実際の生産活動においては定常的に例外事象が発生する。例えば、塗装工程の上塗りラインは、それぞれ独立した上塗りブース⁵²とオープン⁵³より構成される。このため、上塗りに到着したボディは該当塗装色のラインへと自動搬送され、それぞれが独立した非同期の設備で塗装することにより追越しが発生し、上塗りラインへ入る順序と出てくる順序は保証されない。その結果、工程計画に対し並び順が乱れてしまった上塗り塗装後のボディは、塗装工程と車両組立工程との間に存在する複数のレーンで構成された PBS の車種仕様別に割り付けられたレーンへ一旦収容され、ALC によって搬入・搬出制御する。

この PBS および ALC による制御には、乱れた並び順に対し可能な限りオリジナルの工程計画の並び順に復元する機構と、組立ラインが作業遅れで停止に至るような制約条件の投入間隔調整機能が準備されている。これは、労働集約型の組立ラインの宿命であり、すべてが平準化生産の下に構築されているため、ここで実行される平準化生産のための投入間隔調整が最終生産スケジューリングの意味合いを持つ。

⁵² ロボットや塗装スプレーなどの塗布装置および換気装置が設置された塗装設備区画。

⁵³ 塗料塗布後、焼き付け塗装のための乾燥設備。140～170℃の温度で乾燥させる。

なお、乱れたスケジュール順序を復元するうえで不都合な並び順の場合はオペレータが介入し、割り付け指定以外のレーンへ強制的に搬入操作したり、搬出順序を妨げるボディを回送（一旦、強制的に搬出し、再度入口側へ戻す）操作したりする。また、組立ラインが作業遅れで停止に至るような制約条件のスケジュール候補のみとなり、制約条件を満足できるスケジュール候補が存在しない場合、オペレータが介入し投入間隔調整の禁止則を無視して強制搬出するよう ALC へ指示する必要がある。結局のところ人間の意思決定（遅れているボディを待つべきか否か、どのレーンに対して搬入または搬出すべきかなど空間移動するボディとその時間見込みを立て、調整を図る）抜きでは、生産オペレーションは成り立たない（図 3.1.1.3.e）。

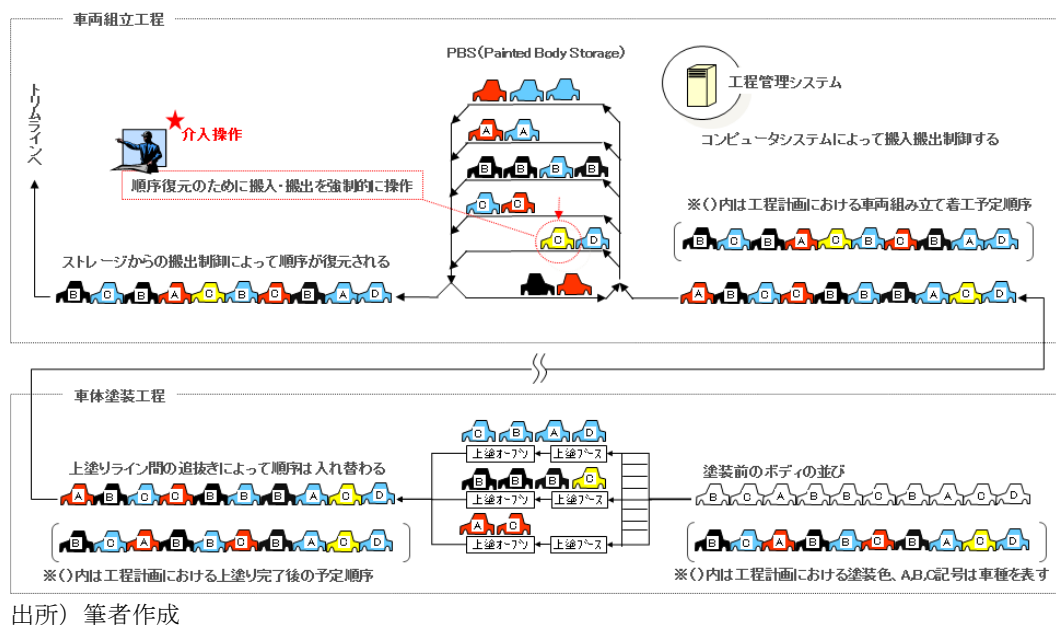


図 3.1.1.3.e 上塗りラインの順序入れ替わりと PBS における順序の復元操作

また、この PBS は車両組立ラインにおいて組立作業に必要な部品の未納など、生産できない事象が発生した場合の対象ボディの一時保留場所としての機能も果たすものとなっている。その場合、どのボディを保留対象とし留め置くか、または保留解除するかという操作はオペレータに委ねられ、最終的には人間の意思決定に依存しなければならない。

3.1.1.4 自動車における生産スケジューリングの課題

自動車は、基本的には見込生産であるから生産計画時に日別製品別の生産数量とと

もに必要な材料部品が手配され、生産時点には必要なすべての資源が揃うようにオペレーションされている。そして、作業工程は効率化（人員ロスをなくす）のために基本的に期間の総生産台数の所要工数を平均化した作業人員のみを配しており、車種および仕様が平準化されてライン投入されることを前提としている。したがって、生産スケジューリングは生産を効率的に実行することのできる生産順序の立案を核機能とし、それを実現するためのタイムスケジュールとして各生産工程の着手および完成日時計画の立案が工程計画の主目的となる。

この核となる生産順序を決めるうえで重要な車種平準化については、車種の分布が一樣となるよう車種別の生産計画台数比と、その出現確率に基づく数学的解法によって平準化された車種別の生産順序を容易に求めることができている。しかしながら、4WDなどの機能仕様やサンルーフなどのオプション装備仕様については、これら個別仕様の生産計画に占める台数比に見合う投入間隔（例えば、生産比率が20%であれば投入間隔4台以上）が期待されるものの、他の個別仕様の投入間隔台数条件を損なうことなく、かつ車種別生産比率も維持し、期待どおりの投入間隔台数を実現することは極めて困難な作業となる。それは、個別仕様が複数の車種に共通する条件である場合、車種平準化によって車種仕様別の生産順序が確定しており、その順序に制約されて期待される投入間隔台数の位置に割り付けることが不可能であること。1台で4WDやサンルーフなどの複数の個別仕様を持つものは、単一の個別仕様に比べて割り付けされにくく、また割り付けた場合は複数の条件の割り付けを規制してしまうことなど二律背反状態に陥り、そもそも成り立たない結果を求めてしまうことに起因する。

さらに、平準化のレベルを高めるために投入間隔調整対象の個別仕様を増やし、例えば「図3.1.1.3.b 投入間隔調整」に例示した4WDとサンルーフの投入間隔条件のように、その網羅性を高めれば高めるほど投入間隔調整結果の満足度の低下を招き、結果的には投入間隔台数条件を満たせず妥協せねばならない状況が頻繁に発生することとなる。その場合、条件を満たせない（条件未満の投入間隔）状態を受容するか、人の意思決定を仰ぐかの対応が必要となる。車体塗装と車両組立間のPBSがその関所として、最後の人の意思決定介入のポイントとして必要とされている。

また、実際の生産においては、塗装工程の上塗りラインのように工程内の分岐と合流によって工程計画の生産順序に対して並び順が乱れる事象が発生してしまう。この問題についても、車体塗装と車両組立間のPBSが乱れた並び順に対し、人が意思決定

介入しながらオリジナルの工程計画の並び順に復元したり、乱れた並び順にあっても個別仕様の平準化のための投入間隔調整機能を持たせ車両組立工程の工程計画を組み替える再スケジューリング機能を果たすように生産システムとして組み込まれている。

このように、最終的には担当者による状況判断とその意思決定に基づく操作オペレーションによって実現されており、人の介在なしに生産実行することは現実的には難しい状況にある。この問題解決には、平準化レベル向上のための**網羅性**を高めつつ、人の介在をいかに減らすことができるか。また、人による意思決定をいかにうまく生産に係る情報システムと連携、協調させるか。そして、解決しえない平準化レベルの問題が存在する場合は、それを受容するための**納得性**のある工程計画と、その背景としての生産情報の提供が自動車における生産スケジューリングの課題であると考えられる。

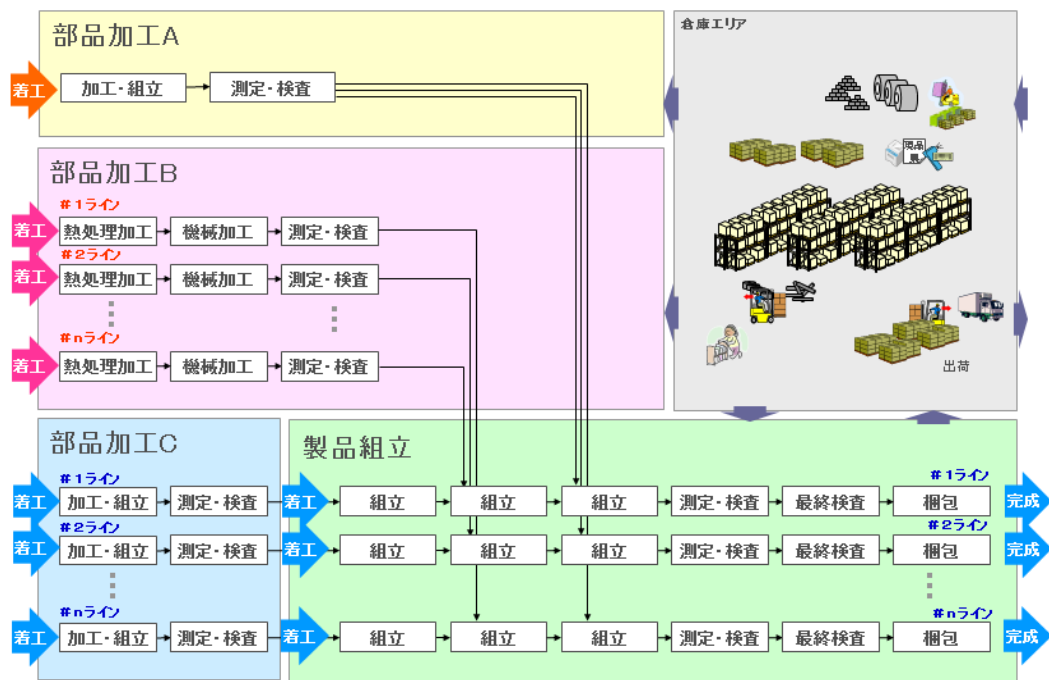
3.1.2 電機産業における生産スケジューリング

電動機加工組み立て工程を概観し、生産計画から生産に至る生産管理オペレーションを把握のうえ、どのような条件の下で生産スケジューリングが行われているのか、電機産業における生産スケジューリングの現状とその課題を探る。

3.1.2.1 電気機械生産工程の概要

電動機に代表される電気機械製品を生産するライン生産方式の製造工程を生産モデルとして例示する（図 3.1.2.1）。この製造工程は、製品の最終組立を行う製品組立工程と必要な内製部品を生産する複数の部品加工工程から構成される。生産は、各製造オーダー指図数量単位にロットで処理される。

製品組立工程は n （複数）ライン存在し、各ラインは製品の種類によって生産分担が決まっているものの、それぞれの製品は生産量の変動に対応して複数のラインで生産可能となっている。部品加工 A 工程は、一つのラインですべての製品組立工程に必要な部品を製品組立工程に非同期かつ先行して生産し、供給する。部品加工 B 工程は、製品組立工程と同じ本数のラインにより構成される。ただし、製品部品の荷姿数量の違いにより製品組立工程とは生産数量が異なるため、製品組立工程に非同期かつ先行して生産し、供給する。部品加工 C 工程は、製品組立工程と同じ本数の n ラインより構成される。生産リードタイムが短いことと、製品部品の荷姿数量を製品組立工程に合わせて生産することができるため、製品組立工程に同期して生産する。

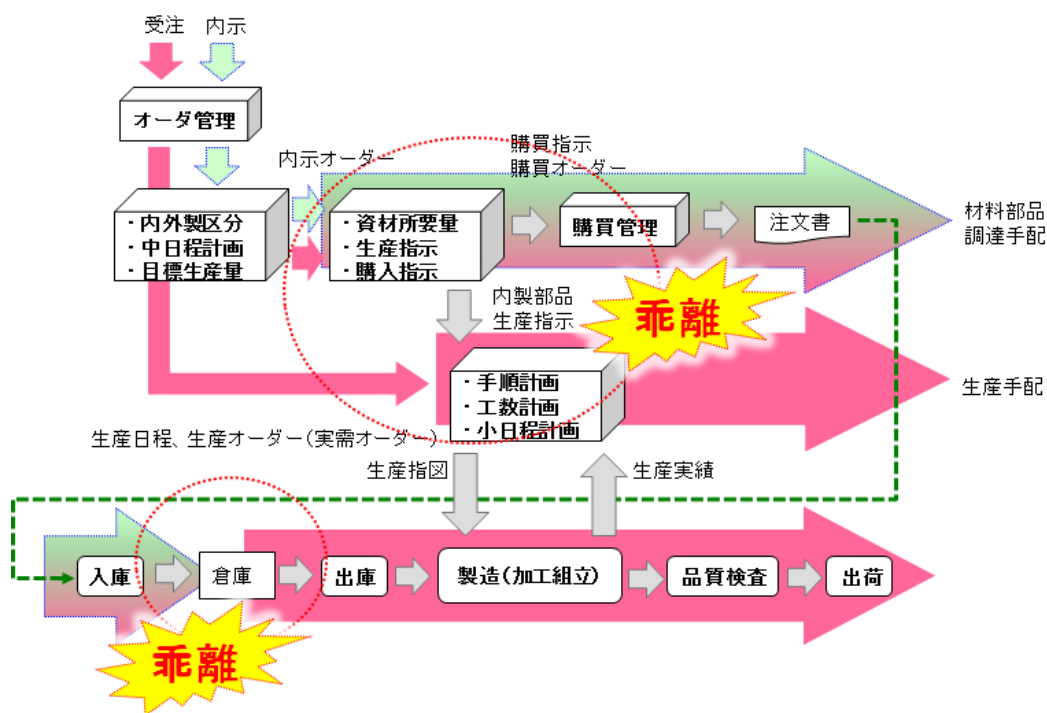


出所) 筆者作成

図 3.1.2.1 電気機械製造工程の生産モデル

3.1.2.2 電気機械の生産計画

この生産モデルの製造工程は受注組立方式が採られ、調達に時間がかかる材料・部品は、顧客からの内示オーダーや需要予測にしたがって計画し、事後的に受注した確定オーダーとの乖離調整をしながら調達される（図 3.1.2.2）。したがって、確定前に調達手配した材料部品について、確定後に生産手配された生産オーダーが生産指図されて製造工程において着工するまでに乖離分の調整手配を行い、材料部品の必要量を揃えなければならない。逆の捉え方をすると、乖離分の調整手配により必要量が揃った分だけが着工できることになる。



出所) 筆者作成

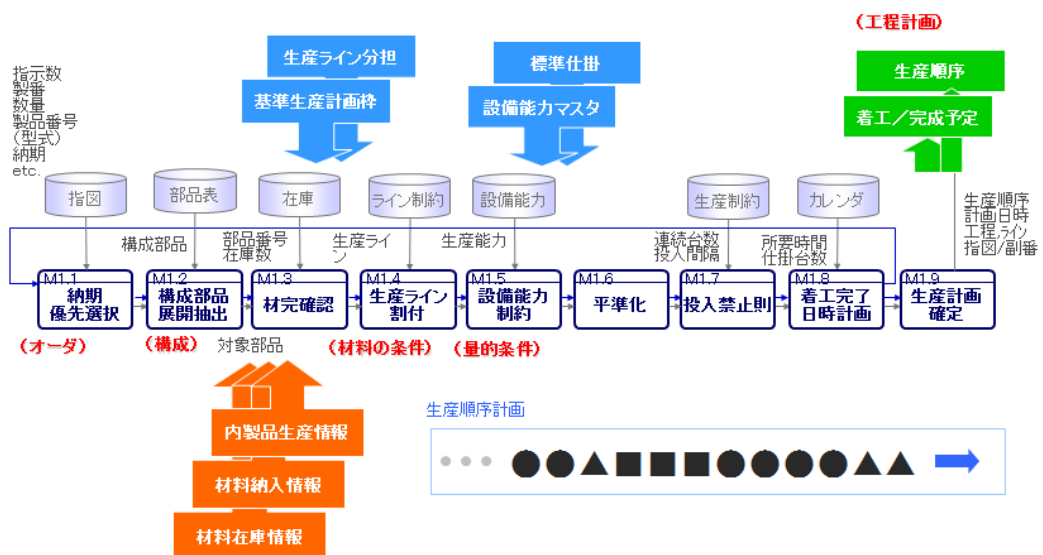
図 3.1.2.2 材料部品と確定生産計画との乖離

3.1.2.3 電気機械の生産スケジューリング

これまでに示した電気機械の製造工程と生産計画を与件として、製品組立工程の生産スケジューリングは、概ね次のような手順で実行される。この手順（フロー）は、2012年に人手による生産スケジューリングをITの活用により再現のうえ3か月間試行したものである。計画期間（1日～1週間）単位に行い、製品が完成する各ラインの最終製造工程から開始し、各ラインの着工工程まで溯りながらその期間の対象製造オーダー全数について処理を行うバックワードスケジューリング(backward scheduling)方式により実行している（図3.1.2.3.a）。

まず、最初に「納期優先選択」を実行する。最初に処理される最終製造工程については、納期優先順に従い完成させる順を決めて抽出し、その他の工程は先行して処理した1つ後工程の着工予定日時を次工程の完成予定日時見なして抽出する（図中の処理M1.1）。抽出した製造オーダーは、部品表にしたがってその製品を構成する内製部品を含む部品に展開する（M1.2）。展開した部品がすべて揃っているか材完確認（材料

準備完了の意味)し、着工可能であることを確認する (M1.3)。次に、該当製品が生産可能なラインの条件を規定したライン制約条件を基に実際に生産可能なライン見つけ出し、割り付ける (M1.4)。そして、該当工程ラインの設備能力制約を確認し、生産能力を超えていないことを確認する (M1.5)。さらに、製品仕様毎に平準化されていることを確認する (M1.6)。また、生産制約条件に基づいて製品の連続生産禁止や逆に連続生産条件の確認を行う (M1.7)。これまでの条件を満たした製造オーダーについて該当製造工程の生産タクトと製造数量により所要時間 (工程内の滞留時間) を求め、所要時間分先行する形で該当工程の着工予定日時を算出する (M1.8)。これらの処理により条件を満たしたものについては、それを工程計画として記録する。ここまでの条件を満たせなかった場合は、処理対象を次の候補となる製造オーダーとし、条件を満たすものを探索し続け、処理を繰り返す (M1.9)。

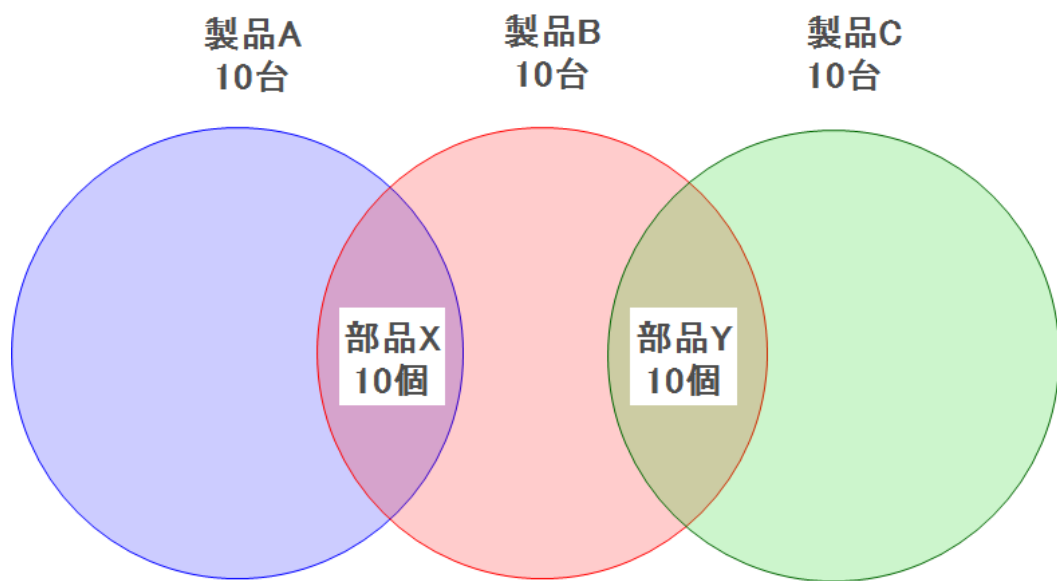


出所) 筆者作成

図 3.1.2.3.a 電気機械製造工程の生産スケジューリング

この生産スケジューリングにおいて、一番重要なポイントは材料の準備完了確認である。実際の人手によるオペレーションにおいても最も苦勞している部分でもある。内示オーダーや需要予測にしたがって計画し材料調達手配した後、オーダー受注し確定した計画との乖離調整分を含めた材料部品が納入された結果、どの製造オーダーが材料準備完了となり生産可能となるかの判断とその意思決定が難しいことがその理由にある。

電動機のような電気機械は、おおよそ 200～300 点の部品から構成される。材料の準備完了確認のためには、それぞれの製造オーダーの製品を構成する材料部品に展開し、材料部品の在庫数量から必要な材料部品数量分を引当てる必要がある。これを単純化し示す。今、製品 A、製品 B、製品 C の 10 台ずつ 3 件の製造オーダーがあり、それぞれの間で共通して使用する部品 X、部品 Y の在庫がそれぞれ 10 個あるとき、製品 B に部品を引当て生産意思決定した場合、この 10 台しか生産できない。しかし、製品 B を生産せずに製品 A と製品 C を生産意思決定した場合は、合計 20 台の製品が生産可能となる（図 3.1.2.3.b）。



出所) 筆者作成

図 3.1.2.3.b 材料準備完了確認における部品引当概念

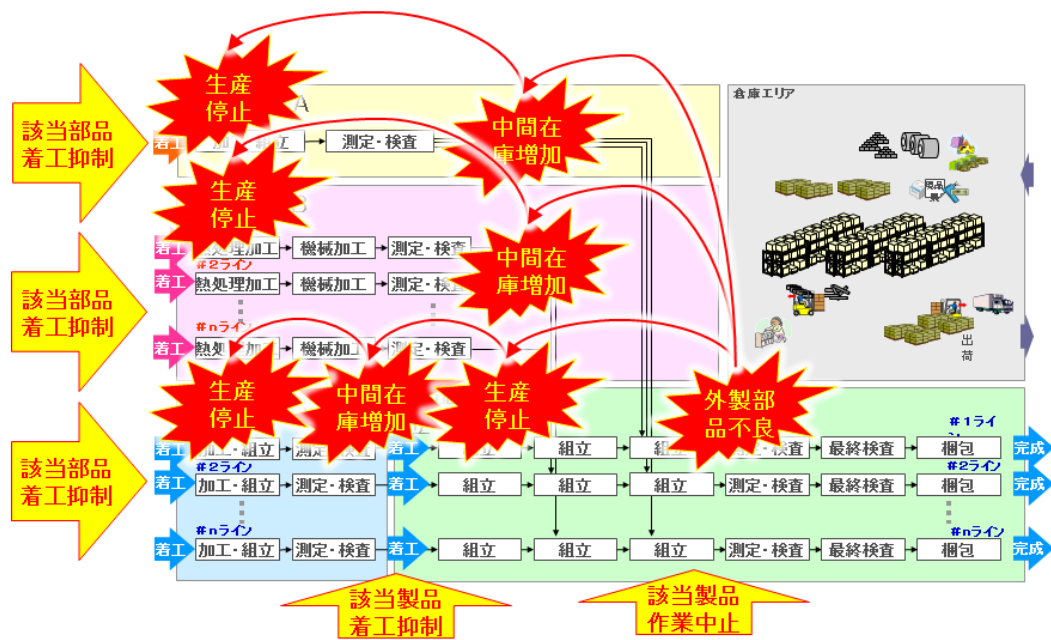
一見簡単そうな理論的単純な処理も、実際にはたくさんの製品数と構成部品点数による構成の組み合わせは複雑となり、単純に解を導き出すことはかなりのコスト（時間）をとらなければならない。2012 年の試行時、補助的処置として部品引当結果をリスト表示することにより人の判断に基づく変更意思決定を可能とした。リストの行には製造オーダーを表す指図番号を表示し、材料準備完了の場合は「GO」、未完の場合は生産不可を表す「NOGO」を表示した。列には構成部品を表示し、材料部品の在庫数量が所要量を上回る場合は「GO」、不足する場合は「NOGO」を表示した。また、表中の行列マトリクス部には、引当可能場合は引当数量（構成数量）、引当不可の場合は不足数量（構成数量）を表示した（表 3.1.2.3.c）。

表 3.1.2.3.c 材料部品引当可否状況リスト

連番	指図番号	部品A	部品B	部品C	部品D		部品Y	部品Z	在庫
		132	86	156	30		88	65	
		GO	GO	GO	NOGO		GO	GO	
1	●●●●	GO	5	3	10	10	8	5	
2	□□□□	GO	10	3	10	10	8	5	
3	▲▲▲▲	GO	10	6	15	10	8	5	
4	○○○○	NOGO	5	3	15	-10	8	5	
n	■ ■ ■ ■	GO	5	6	5	0	4	5	

出所) 筆者作成

このように生産スケジューリングによって様々な生産条件を確認し、緻密な工程計画を立案してもなお、実際の生産活動においては例外事象が発生する。例えば、製品組立工程において外製部品の不良が発生した場合、当然ながら製品組立工程における該当部品を使用する製品の生産は途中で中止され、保留される。そして、該当部品を使用するすべての製品について製品組立工程における新たな着工が抑制され、該当部品を使用しない他の製品を着工することとなる。上流の部品加工 A 工程～C 工程は、すでに生産保留となった製品で使用する内製部品の生産を終えており、工程間の中間在庫の増加となって在庫場所を占有してしまう。その結果、部品加工 A 工程～C 工程では、それ以上該当内製部品を生産することができないため、その生産を抑制しなければならなくなり、代わりに他の内製部品を生産しなければならなくなる。このようにして、製品組立工程の外製部品不良という例外事象の影響が工程全体へ波及してしまい、生産活動が混乱してしまう（図 3.1.2.3.d）。この生産モデルとして示した工程においては、これらの例外事象を把握し調整するようしくみが構築されていないため、その対応調整は、製造現場の生産統制担当者の情報収集と調整能力といった経験に頼らざるを得ないのが実情である。



出所) 筆者作成

図 3. 1. 2. 3. d 例外事象と工程内への波及

3. 1. 2. 4 電気機械における生産スケジューリングの課題

受注組立方式を採る電機は、フォーキャスト（先行オーダーまたは顧客生産計画）を基に材料部品をあらかじめ調達・貯蔵し、正式に受注した時点で生産指図する。フォーキャストは内示情報であって確定情報ではないため、材料部品の調達と受注との間に乖離が生じ、その差分の材料部品を手当・準備したうえで生産着手する必要がある。したがって、電機における生産スケジューリングは生産しようとする製品の材料部品が調達され、すべて揃っていることがそのポイントとなる。

しかし、電機では必ずしも生産計画に従って材料部品を調達・準備し、生産時点における材料部品が担保できているわけではない。正式に受注した時点の生産指図においても、必要となる材料部品を事前に標準設定された調達リードタイム（調達所要日数）で調達できるものとしてフォーキャストとの乖離調整分の材料部品の納入日が決められ納入指示される。そして、その納入日から製品の生産日が決められる。ただし、この納入指示日は確約されたものではないため、納入指示日までに材料部品を調達できない場合もある。内製部品についても、同様の理由により必要とする期日までに生産を完了し、在庫として貯蔵しておくことができない場合が発生する。このため、生

産統制の担当者によって必要な材料部品など、生産資源の準備が整っているか確認し、生産着工可能か判断のうえ生産意思決定する必要がある。この一連の生産管理オペレーションは、定型化が困難であり、人の介在なしに生産実行することは現実的には難しい。

このように、電機の実業オペレーションは材料部品の調達や内製部品の準備など、不確定要素を抱えたまま生産手配されるため、製造部門に生産資源の準備確認と生産意思決定が任せられ、成り行き的な生産にならざるを得ない面もある。ここに、電機における生産意思決定と生産スケジューリングの難しさがある。この問題解決には、生産資源の準備状況確認のために、例えば製品を構成するすべての材料部品の納入状況や在庫状況、内製部品の完成状況や在庫状況について正確かつ漏れなく把握することによって情報収集の網羅性を高め、人による意思決定を迅速に行い、これをいかにうまく生産に係る情報システムと連携、反映させるか。そして、生産スケジューリング結果の情報提供にあたっては、その情報から受容可能な工程計画案として選択するための納得性と、その背景にある生産情報の提供が電機における生産スケジューリングの課題であると考えられる。

3.1.3 生産意思決定としての生産スケジューリングの限界

自動車および電機における実際の生産スケジューリングとそれに関連する生産オペレーションに共通する点は、生産着手に至る最終的な生産意思決定における人の介在の必要性であった。自動車では、生産順序を決めるうえでの車種平準化が重要な要因であり、計画段階で網羅できなかった条件について、最終的に車両組立工程への投入順序を決める再スケジューリング過程において、担当者（人の介在）による状況判断と意思決定が必要となる。電機では、生産着手可否判断が重要な要因であり、生産着手時点における材料部品をはじめとする生産資源の準備状況を確認し、生産意思決定するために人の介在が必要であった。これらの状況から、自動車、電機のいずれの生産においても人による状況判断と意思決定が必要であり、生産意思決定としての生産スケジューリングを人の介在なしに実現することは困難であることが分かる。

この課題解決のためには、生産条件の網羅性を高め、なおかつ結果として納得性のある工程計画が得られる生産スケジューリングの実現がその課題となる。しかし、これまで生産意思決定のために既存の生産スケジューリングが果たしてきた役割は大き

く、合理的意思決定のための構造化（プログラム化）に対する適性、親和性、コスト（費用、時間）を鑑みると、既存の生産スケジューリングが今後も生産意思決定の基本になることは変わらないと考える。そこで、これまで妥協または人が介入して処理していた部分について、まったく新しい手法を用いるのではなく、OR 的アプローチに新たな知見を付加し、人の意思決定代替や人との協働によって問題解決を図るというアプローチが必要になると考える。

なお、これまで見てきた自動車や電機は、一般に製造現場への IT の導入が進んでおり、高度な生産技術および生産管理技術も保有している。また、生産に至るまでの手配業務は標準化され、製造工程における標準作業⁵⁴および、その標準時間⁵⁵も規定し、整備されている。生産計画によって生産数量と日限さえ決まれば、これらを活用し、すぐにでも精度の高い工程計画を得られはらずである。しかし、その自動車や電機でさえも、事例に示すような生産意思決定における人の介在なしには、生産スケジューリングを実現することのできない事実がある。

ましてや、自動車や電機のような大企業に比べて生産技術や生産管理技術が相対的に劣る中小企業においては、作業標準および標準時間が十分に整備できておらず、生産スケジューリングは、ほぼ人に頼らざるを得ない状況にある。最近行った個別受注に基づき電機製品を加工する中小企業へのインタビュー調査においても、最終的な生産スケジューリング業務を人手による製造工程の臨機応変な対応に委ねている状況を確認することができた。この企業の場合、個別受注生産のために個々の受注オーダーの要求仕様、生産条件が毎回異なり、生産スケジューリングに必要な条件をあらかじめ準備、設定することが困難な状況にあった。このため、それは生産の都度これら生産条件を確認し、過去の経験値に基づき生産現場の状況に合わせて臨機応変的に処理せざるを得ないものであった。

⁵⁴ 標準作業（standard operation）とは、「製品または部品の製造工程全体を対象にした作業条件、作業順序、作業方法、管理方法、使用材料、使用設備、作業要領などに関する基準の規定」（JIS Z 8141-5501）とされ、製造企業等において、誰もが実施可能な現時点の最善の作業方法を標準化し、定めたものをいう。また、これを文書化したものを作業標準という。

⁵⁵ 標準時間（standard time）とは、「その仕事に適性をもち、習熟した作業者が、所定の作業条件のもとに必要な余裕をもち、正常な作業ペースによって仕事を遂行するために必要な時間」（JIS Z 8141-5502）とされ、製造企業等において標準的な作業時間を定めたものをいう。

3.2 生産スケジューリングの研究状況

本章においては、生産スケジューリングの諸理論、研究事例を通して評価・分析のうえ経営工学視点から生産スケジューリングの今日的課題を探っていく。

3.2.1 生産スケジューリングの目的

前章において、主として流通在庫販売を含む見込生産方式を採用する自動車と、企業間取引により主として受注加工組立、受注仕様組立または受注組立などの受注生産方式を採用する産業用機械を取り扱う電機における生産スケジューリングを比較しながら実際の処理過程を見てきた。そこから見える生産スケジューリングの目的は、確定した生産計画を実行に移す段階において生産組織が保有する人材や設備などの資源を効率良く利用し、顧客または後工程が求める納期を遵守して生産できるように実現可能な工程計画を立案することにあった。そして、立案された工程計画は、各生産工程が生産意思決定するときの判断基準となるものであり、生産着手のタイミングや生産順序は生産の効率性や納期遵守にも大きく影響する。

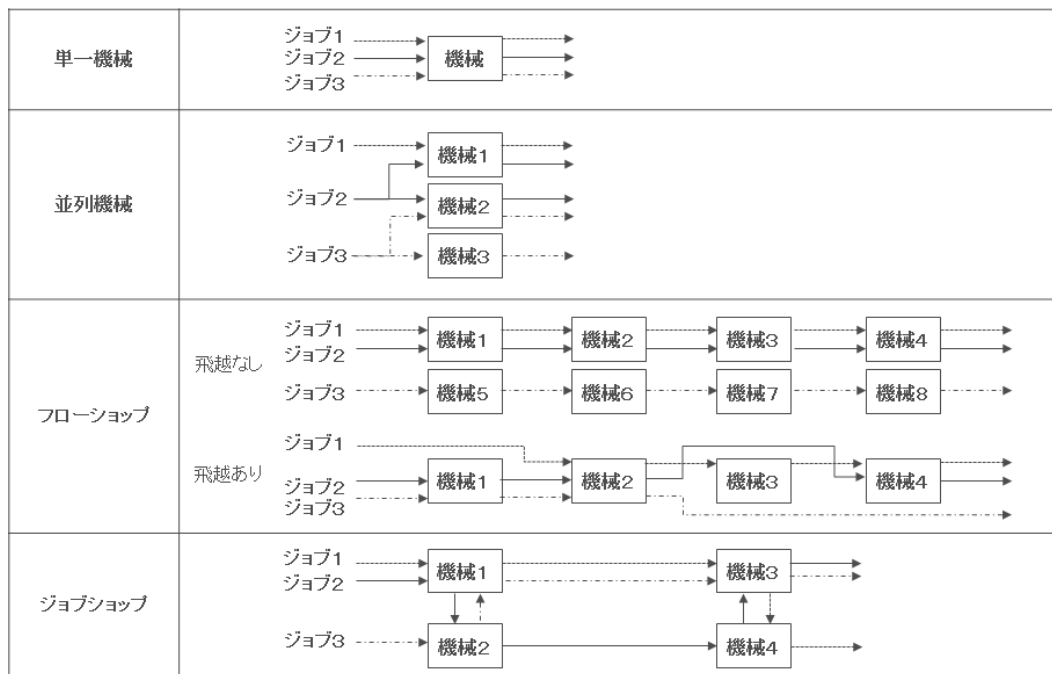
これら生産スケジューリングの目的を黒田は「製品の製造に必要な一連の作業を実施するうえで欠かせない主要生産資源の使用日程や使用順序を計画したり、決定することである」^[13]と述べている。

3.2.2 生産スケジューリングの分類

生産スケジューリングを実行するうえで最も大きな影響を与えるものは、生産環境としての生産対象物や設備、工程手順などの生産工程の構成条件である。例えば、対象工程が単一機械で構成されているか、複数機械で構成されているかによってスケジューリング方法が異なってくる。具体的には実行すべき複数のジョブ（目的の製品を加工するために必要な仕事）があるとき、それを1台の機械で加工する場合は1台の機械で納期を守って効率的な順序で生産することだけを考慮すればよい。しかし、複数の機械がある場合は、その仕事に必要な加工能力を保有する機械はどれか、該当機械は利用可能か、使用状況や効率的な順序と納期を考慮して割当配分する必要がある。前者を「単一機械スケジューリング」、後者を「並列機械スケジューリング」という。

また、生産工程に機能の異なる複数の機械があり、実行すべきジョブが複数の加工

作業からなる場合、それぞれのジョブをどのように機械に割り当てるかによってもスケジューリング方法は異なってくる。具体的には、複数の加工作業から成るジョブごとに加工作業順序に対する機械の割当が固定的に決まっている場合、機械はジョブの系統別に配置される。この場合、効率的な順序と納期のみを考慮して加工順序が決定される。一方、各ジョブが必要とする加工作業に対する機械割当が決まっていない場合、加工作業順に加工条件を満たす機械の中から使用可能な機械を動的に選択し、効率的な順序と納期を考慮して割当配分することになる。前者を「フローショップスケジューリング」、後者を「ジョブショップスケジューリング」という（図 3.2.2）。



出所) 黒田充、村松健児(2002)『経営科学のニューフロンティア 11 生産スケジューリング』朝倉書店, 11. より引用抜粋。筆者加筆

図 3.2.2 材料準備完了確認における部品引当概念

そのほかにも、加工対象に対する生産資源の条件がすべて与えられているか否かによる静的問題または動的問題としての区分や、条件データの取り扱い方によって確率論的スケジューリングやボトルネックに着目した TOC スケジューリングなどがある。

3.2.3 生産スケジューリングの方法

解法として採られる生産スケジューリング方法を分類し、その特徴を「表 3.2.3 生

産スケジュールリングの方法と特徴」に整理する。

表 3.2.3 生産スケジュールリングの方法と特徴

手法区分	技法分類	技法	
OR的手法	構成的アルゴリズム 数理計画法	ジョンソンのアルゴリズム	
		分枝限定法 ダイナミック・プログラミング ラグランジュ緩和法	
	メタヒューリスティクス	遺伝的アルゴリズム シミュレーテッド・アニーリング タブーサーチ	
		発見的方法	拡張ジョンソンアルゴリズム サイクリック・スケジュールリング ボトルネック・スケジュールリング
			シミュレーション
	AI的アプローチ		
		ルールベースシステム	
		事例ベース推論	

出所) 黒田充、村松健児(2002)『経営科学のニューフロンティア 11 生産スケジュールリング』朝倉書店, 27. より引用抜粋。筆者加筆

まず、最初に生産スケジュールリング問題の伝統的解法として、OR 的アプローチが挙げられる。その OR 的アプローチには、生産に用いる設備とその能力やジョブ（作業）数などの生産条件によって問題を構成し、解を求めるためのアルゴリズムを定めて最適解を導き出す構成的アルゴリズムという手法がある。しかし、設備やジョブ数などの生産条件の増加とともにスケジュールリングにかかる計算処理時間の増加に難点があり、問題構造によっては処理時間が指数的に増加する場合があります、問題解決が困難または不可能な状況となる。この状況は NP⁵⁶困難あるいは NP 完全と呼ばれ、それらについては効率的なアルゴリズムは存在しないことが知られている。その場合、短時間で求めることのできる他の解法を探ることとなる。

計算処理時間の増大を抑制するために最適解を導き出せそうにない不要な探索経路を省き、処理時間の短縮を図る分岐限定法や、制約条件を緩和することによって最適

⁵⁶ NP (Non-deterministic Polynomial time) とは、非決定性計算のもとでの多項式時間を表し、その問題の集まりをクラス NP という。そして、NP 困難とは、すべての場合に対する解を多項式時間で調べ尽くすことは不可能と考えられ、解くことが非常に難しい問題をいう。NP 完全とは、その中でも最も難しい問題を意味する。(出所：福島雅夫 (2011)『新版 数理計画入門』朝倉書店,166-167.)

解を得やすくする問題解決手法としてラグランジュ⁵⁷緩和法などの数理計画法がある。分岐限定法は1つのスケジューリング問題を複数の子問題へと展開し、それをさらに子問題へと展開する過程で定められた条件のもとに処理を打ち切り、子問題の探索過程において、それまでに求めた最良スケジュールを最適解とするものである。ラグランジュ緩和法は、スケジューリング問題を目的関数と制約条件で表し、ラグランジュ乗数に基づいてラグランジュ関数を作り、このラグランジュ乗数を定数と見なして制約条件を緩和し最適解を求めるものである。

これら構成的アルゴリズムや数理計画法など OR 的アプローチによる数理的解決手法は、最適解の解法を数式によってモデル化するものであるから、考慮すべき生産条件が多くなる場合は目的関数や制約条件が複雑となり、条件のすべてを目的関数や制約式に反映し、解を得ることは困難となる。その解決方法として採られるのが、非網羅的または確率的な解の探索方法としての生物の進化過程をシミュレートして近似解を求める遺伝的アルゴリズムなどのメタヒューリスティクス手法がある。なお、これら OR 的アプローチについては、『経営科学のニューフロンティア 11 生産スケジューリング』（黒田充,村松健児(2002),朝倉書店,19-28.)を参照、引用しながら、別途その概要を示す。

他方、OR 的アプローチに対して、人間が持つ特定の問題領域の知識を活用してスケジュールを作成する AI (Artificial Intelligence : 人工知能) 的アプローチとしてルールベース・システムや事例ベース推論がある。このうち、ルールベース・システムは意思決定に関する専門家の知識を形式化してスケジューリングに利用するものである。事例ベース推論はルールベース・システムの知識獲得が難しいという難点を回避するために、解決処理しようとする問題と専門家が作成したスケジュール(解決した問題)との間の関係性を利用してスケジューリングを行うものである。

これら生産スケジューリング方法の実例として「3.1.1.3 自動車の生産スケジューリング」において取り上げた自動車に当てはめて見た場合、OR 的手法の中の数理計画法のタリー計算によって平準化後、AI 的アプローチのルールベース・システムによって投入間隔を制御し、OR 的手法のシミュレーションによって各生産工程の着工・完成日

⁵⁷ ジョゼフ＝ルイ・ラグランジュ (Joseph-Louis Lagrange, 1736-1813) は、イタリア生まれフランスの数学者、天文学者である。ラグランジュ関数など、その名を冠するものは、彼の業績にちなんだものである。

時を求めるなど、それぞれの局面においては部分的解決が図られるものの満足解を得るに至らず、複数の手法を適用して総合的な問題解決を試みていることがそこから見えてくる。それでも、実際には満足解が得られず、人の介在とその意思決定によって最終的な解決が図られている。それは、個々の生産スケジューリング手法、技法の限界を示すものであり、総合的に解決するための新しいアプローチ方法の必要性を示すものであると考える。

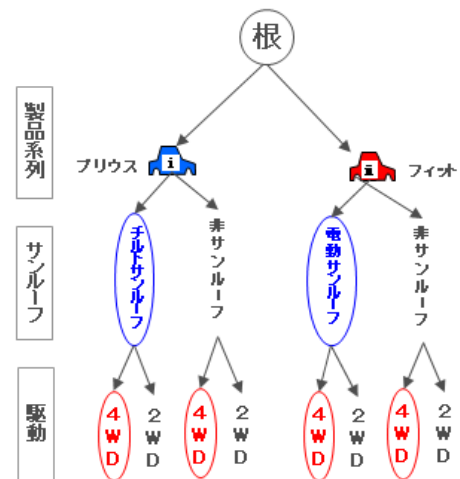
3.2.3.1 構成的アルゴリズム

対象問題の機械や作業の数、あるいは機械の性能などに関する条件を付加して課題を構成し、その課題の特性を利用して最適解を求める手順またはアルゴリズムをいう。その代表的なものとして、 n ジョブ 2 作業 (2 つの作業から成る n 個の製品または仕事) のフローショップ・スケジューリング問題の生産所要時間の最小スケジュールを求める最適解法として知られるジョンソンのアルゴリズムがある。この問題はジョブ数 n が大きい場合でも最適解を求めるのに要する計算時間は n に比例して増えるだけである。しかし、作業数の 2 から 3 への増加に対しては、計算時間の比例的増加という関係は成立せず、処理時間は格段に増加する。またジョンソンのアルゴリズムは、加工経路が同一であることを条件としない 2 つの作業からなる n 個のジョブ、つまり n ジョブ 2 機械のジョブショップ・スケジューリングに対しても、前処理と後処理を加えれば適用できる。この場合も、ジョブ数が増加しても計算時間は比例的に増加するにすぎないが、やはり作業数の 3 への増加に対しては計算時間の比例的増加という関係は成立しない。

これらの状況を黒田充(2002)は、「最適解を求めるのに要する計算時間がスケジューリング問題の規模 (多くの場合、ジョブ数) に比例して増加するアルゴリズムは効率がよいといわれる。他方、計算時間が問題の規模に応じて指数的に増加する問題は、NP 困難あるいは NP 完全と呼ばれ、それらについては効率的なアルゴリズムは存在しないことが知られている。スケジューリング問題はごく一部を除いて NP 困難あるいは NP 完全と呼ばれる問題の範疇に属しており、最適解を求める効率的なアルゴリズムは存在しえない」としている。[13]

3.2.3.2 分岐限定法

組合せ最適化問題の場合、実行可能解の数は有限であるから、原理的には、それらを列挙することにより最適解を求めることができる。しかし、この分岐限定法 (branch-and-bound method) は、実行可能解を列挙するために場合分けする過程において、最適解が得られる見込みのない不要な場合分けを省略して、探索範囲を絞り込むことによって処理時間を短縮している。具体的には、1つのスケジューリング問題を複数の子問題へ、複数の子問題をさらに複数の孫(子の子)問題へとツリー(木構造)に展開、場合分けし、最適スケジュールを探索する手順を採る。その探索過程で定められた条件のもとに処理を打ち切り、子問題の探索過程において、それまでに求めた最良スケジュールを最適解とするものである。



出所) 筆者作成

図 3.2.3.2 探索経路の限定分岐

自動車の生産スケジューリング処理においては、1970年代前半には既に活用されていた手法である。本研究の中で例を挙げると、スケジューリング順を車種別に平準化し配分する処理である。それは、「図 3.2.3.2 探索経路の限定分岐」に示すように車種の構成要素である「製品系列」→「駆動」→「サンプル」という製品仕様の階層経路順に出現率を計算することにより分配経路を限定し、最適解探索の処理時間短縮を図るものである。また、それぞれの階層において出現率を目的関数とし、その中の出現率の小さな問題について、さらに子問題へと展開を繰り返し、展開できる問題がなくなり階層の終端を検出するまで続く。

また、同様に投入間隔制御にも応用され、処理対象の「製品系列」→「駆動」→「サンプル」の階層経路に従って先行スケジュールとの間の投入間隔を判定し、処理範囲を限定することにより処理時間を短縮している。このときの目的関数は、優先条件としての投入間隔を満足しているか否かであり、その制約条件もまた投入間隔である。ただし、この応用例においては条件間の優劣を判断しないため、処理結果として得られるものは実行可能解である。

3.2.3.3 ラグランジュ緩和法

スケジューリング問題は、その最適解を順列組合せ中から探索する限り、近似解法であっても組合せから求める解の数が指数関数的に増えてしまうため、期待する時間内に解を出すことの困難から逃れられない。そこで、ラグランジュ緩和法 (Lagrange relaxation) は、まず問題を目的関数と制約式によって表す。例えば、生産所要時間の総和のようにジョブごとの評価値の和として目的関数を定式化すればよい。

まず、ラグランジュ乗数と呼ばれる係数を導入し、目的関数としてのラグランジュ関数を作る。次に、ラグランジュ乗数を定数と見なしてジョブごとの最小化問題 (例えば生産所要時間の総和の最小化) を定義し、それぞれの最適解を求める。ラグランジュ乗数は初期値をすべて 0 とし、後で述べる手順に従って更新する。ジョブごとの最適スケジュールを 1 つにまとめた全ジョブのスケジュールは、一般に制約条件を満たさない実行不可能なスケジュールとなるため、その目的関数値は下界値 L_b を示す。簡単な手続きによってそのスケジュールを実行可能なものに作り変えるが、その際には計算時間を短縮するために最適化をしない。このとき、作られた実行可能なスケジュールの目的関数値は上界値 $U_b (> L_b)$ を示す。

その上界値と下界値の差 ($U_b - L_b$) は双対ギャップと呼ばれ、それを利用してラグランジュ乗数を更新する。更新には、劣勾配法⁵⁸のような連続変数を扱う非線形最適化手法を用いる。新しいラグランジュ乗数の値が決まると、ジョブごとの最小化問題に戻り、これまでの手順を繰り返す。反復の処理結果、双対ギャップは減少するから、誤差つまり $((U_b - L_b) / U_b)$ が十分小さくなったところで計算を終了し、直前に得られた実行可能スケジュールを最適解とする。

黒田充(2002)は、「この方法を用いる限り、大きな組合せ問題を解く必要はなくなり、実行可能なスケジュールを作成するステップで組合せ的探索が少々行われるにすぎない。それにもかかわらず、最適解に十分近いスケジュールが求められることが多い。え、計算時間は解法の性質により分枝限定法などと比べて格段に短い。この解法に関する 1 つの課題はスケジューリング問題の定式化にあり、ツールを用いてさまざまな

⁵⁸ 劣勾配法とは、微分不可能な関数に対する最適化手法。通常の意味における勾配を拡張した劣勾配 (subgradient) と呼ばれる概念を用いる。(出所：久保幹雄, 田村明久, 松井知己 (2012) 『応用数理計画ハンドブック (普及版)』朝倉書店, 1162.)

制約が自由に扱えるようになれば、ラグランジュ緩和法はスケジューリングの近似解法として広く利用されるに違いない」としている。^[13]

3.2.3.4 メタヒューリスティクス手法

主なものとして、遺伝的アルゴリズム、タブー・サーチなどがあげられる。共通の特徴は、適用される問題とは独立のアルゴリズムを構成し、個々の問題がもっている特質はアルゴリズムの細部において反映し、これによって近似解を求めるところにある。数理計画法が採り得る範囲内において網羅的な解の探索をするのに対して、メタヒューリスティクス手法は非網羅的あるいは確率的な解の探索を行う。膨大な計算時間を費やすことなく、計算過程から求めた解の評価値から判断して十分良好と見なせる解が求められる。他方、数学的な枠組みを利用していないので、解の精度は保証されない。

まず、遺伝的アルゴリズムは生物の進化の過程を模して近似的な最適化をする方法である。母集団と呼ばれる一定数の解すなわちスケジュールからなる集合を作り、それぞれの解の評価が行われる。新しい解の母集団は、直前に求めた母集団を構成する解のうち評価値の高いものをランダムに2つ選び、それぞれをいったん分割した後に構成部分を組み換えて、新しい解を合成するという手順を繰り返し、生成する。その過程で解の構成部分をランダムに置き換える処理が行われる。この操作はルーレット選出、交叉、突然変異と呼ばれ、それらは乱数を利用して行われる。

解の評価尺度は母集団を更新するにつれて評価値が増加するように設定され、母集団を構成する解の評価値の平均は適応度と呼ばれる。母集団の生成を繰り返しても適応度の改良がみられないならば、解は収束したものと判断して計算を終了する。そして、最も良い評価値を最良解とする。

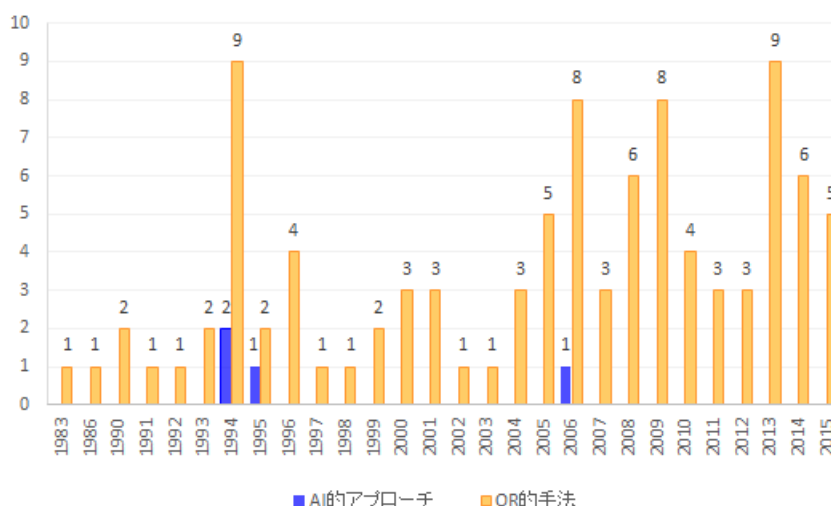
次に、タブー・サーチは、確定的な探索手法として使われることが多い。最も単純な使い方は、解の近傍を系統的に取り上げて評価し、終了条件が満たされるまで最良の評価値をもつ近傍解に解を置き換える手続きを繰り返すものである。いままでに探索した解を再び探索しないように、探索を禁じる解のリスト（タブーリスト）を探索過程中保有するところがタブー・サーチの特徴である。タブーとして指定される解は、多くの場合、最近訪れた解であり、リストの内容は探索の進行につれて更新される。

[13]

3.2.4 生産スケジューリングの研究

これまでに公表されている生産スケジューリング論文を抽出し、先の分類に従い整理のうえ現状の生産スケジューリングの限界および課題に対する解決の可能性を探る。検索先は国立情報学研究所論文検索サイト（CiNii Articles）とし、検索・抽出することができた 1986 年～2015 年の論文 329 件の内、参照可能な 302 件について先の分類に整理し、生産スケジューリング手法分析を試みた。

まず、手法について明確に区分可能な論文は OR 的手法が 98 件、AI 的アプローチが 4 件であった。その年代別推移を「グラフ 3.2.4.a 手法区分別論文件数推移（日本国内）」に示す。そこから、OR 的手法については 2000 年以降、活発な研究が続いていること



出所) 筆者作成

グラフ 3.2.4.a 手法区分別論文件数推移（日本国内）

が分かる。一方、AI 的アプローチは 1990 年代中盤および 2000 年代中盤に合計 4 件の研究がみられるが、人工知能の生産スケジューリングへの適用研究が本格的な段階を迎えていると言える状況にはない。人工知能の活用には、知識情報をコンピュータへ与えるためのコスト（時間と労力）がネックとなるが、機械学習⁵⁹やディープラーニン

⁵⁹ 人工知能のプログラム自身が意味を考えず、単に機械的に確率によって判断し、学習することで知能として必要な情報を獲得するしくみ。

グ⁶⁰などの知能情報の獲得技術が発展し、その獲得が容易となれば生産スケジューリングへの適用研究事例も多くなると考える。

次に、大多数を占める OR 的手法の処理方法として取られた技法を整理分類し、「表 3.2.4.b 技法別論文数推移」に示す。この中で最も多く研究対象とされたものは、メタヒューリスティクスに分類される技法である。たとえば、遺伝的アルゴリズムの場合、厳密な処理によって最適解を求めるためにかかる多大なコスト（時間）を回避するために生物の進化過程を模して処理し、近似解を求めるものである。この研究事例として、長尾らは多目的遺伝的アルゴリズム⁶¹による解法を提案し、「納期遅れ指数と段取り作業者の負荷指数を評価関数とすることで、顧客と作業従事者の視点に立った最適化が可能になった。提案手法により短時間で生産スケジュールを作成することができ、実生産データを用いた場合においても、適用可能なスケジュールを導出することができた」^[14]と述べている。

表 3.2.4.b 技法別論文数推移

技法分類	技法	論文件数
メタヒューリスティクス	遺伝的アルゴリズム	21
	シミュレーテッド・アニーリング	7
	タブーサーチ	1
数理計画法	ラグランジュ緩和法	12
	分枝限定法	3
	ダイナミック・プログラミング	2
シミュレーション	バックワード・シミュレーション	3
	フォワード・シミュレーション	3
	上記の両方を併用する方法	2
	優先規則の動的選択	1
発見的方法	ボトルネック・スケジューリング	3
	サイクリック・スケジューリング	2

出所) 筆者作成

2 番目に多い技法分類としての数理計画法は、スケジューリング問題を数学的解法によって処理するもので、スケジュール結果を得るための目的関数と設備条件や材料部品在庫条件などの制約式、スケジューリング結果の良否や満足度を測る評価関数などにより構成し、解を求めるものである。このため、生産条件が増えるに従い生産モデルが複雑化し、演算による最適解を導き出すことが困難となる。このことは、貝原らが「近年の製造業では、大規模化やグローバル化により生産の流れを改善するポイントを抽出し操業改善につなげるのが課題となっているが、段取り替えやロット編成を有する生産ラインではその抽出が困難となっている」^[15]と述べ、ラグランジュ緩

⁶⁰ ディープラーニング(深層学習)とは、機械学習の手法の一種で、機械が自分で特徴抽出ができる学習技術のことをいう。人間の脳神経回路(ニューロン)を真似して情報分類する考えに基づいた技術である。

⁶¹ 多目的遺伝的アルゴリズム(MOGA: Multi-Objective Genetic Algorithm)とは、生物の進化の過程を模倣して作られたアルゴリズムで、複数の目的関数から解の優劣関係に基づいて同時に複数のパレート最適による近似解を求める手法。

和法の採用によって制約条件を緩和し最適解を求める手法を提案していることから、それをうかがい知ることができる。実際、「表 3.2.4.b 技法別論文数推移」に示すように、数理計画法による生産スケジューリング研究の大多数がラグランジュ緩和法に関連するものとなっている

3 番目の技法分類としてのシミュレーションは、生産工程をモデル化して実際に流してみたかのように疑似的に生産設備の割り付けや滞留を処理することによってスケジュールを立案するものである。この研究事例として、和田らは多目的遺伝的アルゴリズムとシミュレーションから構成する提案法によって数値実験を行い、「生産性向上を目的とする工程設計法と単純モデルを用いた工程設計例、数値実験からバッファの導入効果を示すともに混流生産が生産性に及ぼす影響や問題点を示した」^[16]としている。しかし、今後の課題として「混流生産に対して全製品の作業を工程に均一に行うための方法の開発が必要と思われる」^[16]とも述べており、すべての条件を網羅するまでには至っていないことも認めている。なお、シミュレーションの具体的実用事例としては、「3.1.1.3 自動車の生産スケジューリング」において示した自動車の着工および完成日時計画立案がこれにあたる。

そして、研究事例が一番少なかった技法分類として発見的方法がある。そのひとつ、ボトルネック・スケジューリングは工程全体の中で能力的に一番ネックとなる工程に着目し、そのネック工程が最大限能力を発揮できるスケジュールを立案することによって、工程全体の効率を上げようという制約理論⁶²に基づくものである。他方、サイクリック・スケジューリングは、樹脂成型加工や金属塑性加工などのロット・スケジューリングや投入順序計画が、あるパターンの繰り返し処理であることに着目した処理技法である。このうちのボトルネック・スケジューリングの研究事例において江口らは、迅速に問題解決するうえでボトルネック・スケジューリングは有用であるとし、次のように述べている。

プラントの生産計画は、顧客からの追加注文や注文の取り消しに合わせて繰り返したてなおされるので、必ずしも最適計画を求める必要はなく、実行可能計画で十分なことが多い。しかし生産スケジューリングを自動化するにあたって、解決すべき問題

⁶² 制約理論 (TOC : theory of constraints) とは、イスラエルの物理学者エリヤフ・ゴールドラット (Eliyahu Moshe Goldratt) が提唱者した、その著書『ザ・ゴール』で説明した生産管理の手法で、生産管理やサプライチェーン・マネジメントに大きな影響を与えた。

がある。まずスケジューリングの過程を定式化できなければならず、実用的な時間の範囲内で解を見つけなければならない。またシステム化の主な利点は生産スケジューリングのための労力を減らせることと、制約条件をみだす実行可能解を迅速に見つけられることであり、これまで生産スケジューリングに従事してきた熟練者でなくても計画が作成できることである。この問題を解くために、ここでは制約論理プログラミング (CLP) を使用した。このシステムは実プラントで使用して十分に実用性があることが明らかになった。[17]

ここまでに見てきた研究事例は、生産スケジューリング問題の解決手段として生産環境をモデル化し、OR 的手法など主として数学的解法によって生産条件を満足するスケジュール解を見出そうとするものである。もし、実際の生産環境のようにたくさんの生産条件を取り込み、その網羅性を高めようとするればモデルが複雑となり、モデル構築が困難となり、また解決のためのコスト (処理時間) がかかってしまう。そこで、遺伝的アルゴリズムなどのメタヒューリスティックスの手法が採られたり、数理計画法においてはラグランジュ緩和法が採られ、近似解を求めることによって問題解決を試みている。しかしながら、モデル化したすべての生産条件を網羅した最適解ではないので、「それが本当に実行可能解であるか」という問いに対し、その近似解には処理結果に対して人間側が納得できるかという納得性の問題が残る。

また、これらの研究事例はいずれも条件が成立し生産スケジューリング結果として解が得られることを前提としたものであり、「3.1.1.3 自動車の生産スケジューリング」で示した自動車の平準化処理問題および投入間隔問題のように、二律背反的な条件によって、解が見出せないような条件下においては問題解決を図ることができない。この場合、そのような NP 困難または NP 完全の状況下においても現実解が得られるよう、条件間の優劣などの関係調整を図るある種調停機能が必要になると考える。

それゆえに、実際の生産現場では、「3.1.3 生産意思決定としての生産スケジューリングの限界」で示したとおり、生産意思決定において人の介在が不可欠となっている。

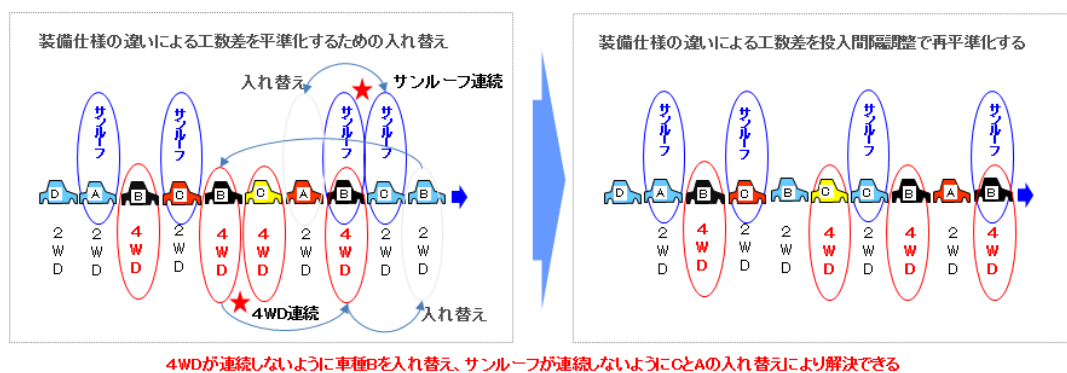
3.3 生産スケジューリング活用の課題

実際の生産スケジューリングと研究状況との比較により活用の課題を探る。

まず、自動車の生産スケジューリングにおいては、設備や生産要員などの保有資源を無駄なく効率的に活用し、生産停止などの生産ロスが発生しないように平準化を図

ることに重点が置かれている。まず生産車種単位に出現率にしたがってどこをとっても金太郎飴のように均等に平準化を行う。そのうえで、作業工数が平準化し偏らないように作業負荷の高い 4WD などの機能仕様やサンルーフなどのオプション装備仕様について、一定の投入間隔となるように同一車種内で計画の入れ替えを行う。ここでは、投入間隔調整対象条件を増やし**網羅性**を高め、さらなる作業工数の平準化を目論む。しかし、**網羅性**を高めれば高めるほど投入間隔調整条件同士が干渉し合い、結局のところ仕様の連続を阻止できないため、満足できるスケジューリング結果としての工程計画が得られず、**納得性**は低下してしまう。

しかしながら、**納得性**が確保されない工程計画では、生産ラインの作業遅れという形の生産ロスが確実に発生するため、塗装完成後の車体塗装と車両組立間の PBS において再スケジューリングを行い、場合によってはオペレータの介入によって順番を入れ替え、**納得性**の確保を図っている。このとき、どちらの条件を優先すべきか、入れ替えた場合の影響はどの程度か、それは許される範囲なのか、状況によっては直接工程へ確認するなど、人による判断行動と意思決定、ある種の**調停機能**のような役割の実行によって生産スケジューリングが実現されている（図 3.3）。



出所) 筆者作成

図 3.3 投入間隔調整

一方の電機では、材料部品がすべて揃い生産可能となったものから生産着工するよう意思決定して行く。その過程において、同じ材料部品を使用する生産計画の中のどの計画に割り当てるかが問題となった。「3.1.2.3 電気機械の生産スケジューリング」において「図 3.1.2.3.b 材料準備完了確認における部品引当概念」に示したように、材料部品の割り当て方によって生産可能な製品数が異なり、場合によっては材料部品

切れとなって生産が停止してしまうことも考えられる。また、生産状況にゆとりがあつて先行して生産可能な状況において先に材料部品を使用してしまった場合、後で飛び込み受注の特急オーダーが割り込んできたときに、すでに材料部品が使用されてしまっていて、要望に応えられないという事態もあり得る。

この電機のような受注組立型の生産モデルにおいては、材料部品在庫など現有の生産資源の状況を**網羅**し、その状況において何が生産可能なのか、どれから生産すべきかを意思決定したうえで、生産可能な量と納期遵守について**納得性**の得られるスケジューリング結果が求められる。ここにおいても、同じ材料部品を必要とする生産計画のうち、どれを優先させるか、どちらの受注オーダー（顧客）を優先しなければならないか、納期の遅延調整は可能かなど、計画だけでは判断できない情報も含め、人によるある種の**調停**機能のような役割の実行によって生産スケジューリングが実現されている。

翻つて、現在の学術的研究の状況を見た場合、網羅性が高まり複雑化する生産条件に対して、ヒューリスティックスやラグランジュ緩和法など、解法の近道を探る研究が中心であり、それは必ずしも納得性の向上につながるものではない。課題解決のためには、そこに人間の介入とその意思決定判断に代わり、生産条件の「**網羅性**」とスケジューリング結果の「**納得性**」を両立させるためのある種の「**調停**」機能が必要であると考える。

また、複数の生産スケジューリング手法、技法により問題解決を試みている自動車の生産スケジューリング事例が示すように、個々の生産スケジューリング手法、技法による問題解決には自ずと限界があり、そのためには問題を総合的に解決する新たなアプローチ方法が必要であると考えられる。

4. 行動経済学と関連理論

行動意思決定問題を考えるうえで、行動経済学が多くの有用な知見を与えてくれる。本章は、行動経済学に至るまでの諸理論として構造化問題と限定合理性について触れたうえで行動経済学へと研究を進める。ここでは、行動経済学の骨格をなす諸理論について必要に応じて事例を挙げながら解析する。そこから行動経済学の諸理論を透かして我々の行動意思決定をどのように分析、改善することができるのかを学び、生産スケジューリングへの活用について考察する。

4.1 構造化問題

意思決定とは「将来起こるであろう事象を予測し、とるべき行動を決める」ことである。既に起きてしまった過去の事象と（現在を境として）これから起きる事象は別ものであるから、未来を予測する意思決定には確実性は存在せず、本源的に「勘」の領域のものである。過去を注視しすぎるとバイアスが働き、正しい意思決定を阻害する可能性が出てくる。実際に我々が遭遇する意思決定を必要とする問題とは何か。その問題をどのように解決すればよいのか。この問題に対してサイモンが、その著書『意思決定の科学』において多くの示唆を与えてくれている。それは、問題事象とその対策を構造化し機械的な解決手段を講じることができるものと例外的で構造化が困難な問題^[18]の存在である。本研究においても、システム化できるものと人との協業が必要な作業について分析、考察するうえでも重要なフレームワークとなるものである。

4.1.1 構造化可能な問題

問題を解決するロジックが明確なもの。効率的な資源利用を実現する詳細生産計画の立案や最適な資材調達量の決定など、数学的な定式化によって人の意思決定に代えてコンピュータに代替可能なものを指す。日常起こる定例的・定型的な業務的意思決定の問題は構造的なものが多い。

4.1.2 構造化困難な問題

工場建設や設備増強、新規事業や企業合併など戦略的意思決定の多くは、事案ごとに目的も環境も大きく異なり、解決するロジックは存在しない。この場合、情報シス

テムは役に立たない。その多くが、最終的にはトップの意思決定（勘）により問題解決が図られる。しかし、問題を半構造化できれば情報システムによる支援によって、人間の負担を軽減できる可能性がある。

4.1.3 半構造化

構造化可能な問題と構造化困難な問題の間。構造化可能な問題のような定型的な解法はない。しかし、情報システムなどの支援によって、人と機械が協働することにより解答が見出せるというような問題。たとえば、大日程計画の策定時、販売および価格動向、設備投資など多様で不確定な要因が多いので、最適な資源配分を求めることは無理である。「もし～ならば」という仮定を立てて、考えるのは人間、計算するのはコンピュータというように分業しながら適切な解を探す。

4.2 限定合理性

人間の行動意思決定において、伝統的な経済学では経済人は利用できるすべての選択肢の中から選び、その結果として得られる利益の最大化を図るとされた。これに対してサイモンは、その著書『経営行動』において「合理性は選択に対して起こる結果について完全な知識と予測を必要とする。しかし、結果に係る知識は断片的で不完全なものである（知識の不完全性）。そして、その結果は将来のことであるから、経験的な感覚と想像によって結果と価値を結び付けるため価値の予測は困難かつ不完全なものとなる（予測の困難性）。さらに、合理性は起こり得る代替可能な行動の選択肢すべての中から選択を要求される。しかし、実際の行動においては、代替可能な行動の選択肢の中のいくつかしか思いつかない（行動可能性の範囲）」^[19]と述べている。

すなわち、人間が知識の不完全性、予測の困難性、行動可能性の範囲により限定された合理性しか持ちえないことを示したものである。また、この現実世界の人間を経営人と表現し、経営人が限定された合理性の中であって、そこから満足できる選択肢を選び意思決定を図ることを「妥当な利益」や「適正な価格」など経験的証拠から示している。

4.3 行動経済学の理論

行動経済学が生まれる背景となった限定合理性にはじまり、心理学の知見に基づき人間の思考メカニズムを明らかにしたうえで、我々人間がどのように行動意思決定をするのか、行動経済学の骨格をなす諸理論から解析する。

4.3.1 「速い思考」と「遅い思考」

限定された合理性の下、我々人間がどのように判断し意思決定しているのか、カーネマンは、その著書『ファスト&スロー』において意思決定の判断と選択の思考メカニズムを直観的かつ感情的な「速い思考」（以下、システム1とする）と、意識的かつ論理的な「遅い思考」（以下、システム2とする）の2つのシステムによって説明している。要約すると、2つのシステムは次のような機能を有するものである。^{[20]⁶³}

まず、システム1は我々が目覚めているときは常に処理可能状態にあり自動的かつ高速に働き、働かせるための努力はまったく不要か、必要であってもわずかでしかない。そのため無意識に働き自らコントロールしているという感覚はない。例えば、突然響き渡る音の方向を感知したり、「猫に〇〇」という対句を完成させたり、「 $2+2=4$ 」のような簡単な計算結果を答えたりするような言語や文化などの知識および記憶に基づき、いとも簡単に処理できる。

次に、システム2は複雑な計算など頭を使わなければならない困難な知的活動で、注意力が必要なもの。例えば、人が大勢いる中で特定の人物の声に耳を澄ましたり、文章の中に現れる特定の文字の出現回数を数えたり、2つの商品の機能を総合的に比較評価するなど、注意力を払わなければならないもの。通常、システム2は活動レベルを低く抑えている。システム1が処理した結果として生み出す印象、直観、意志、感触がシステム2へと渡され、とくに問題ない場合は了承し確信に変わる。また、システム1が困難な問題に遭遇するとシステム2が駆り出され処理にあたり、緻密な計算や複雑な問題に対処する。例えば、「 $17 \times 24 = 408$ 」の掛け算の答えを出したり、想定外の事象が発生した時に注意力が高まるのは、このためである。

⁶³ 「第1部 二つのシステム」より。(ダニエル・カーネマン著,村井章子訳(2012)『ファスト&スロー あなたの意思はどのように決まるか 上』早川書房),29-157.

ほとんどの場合において、うまく処理できるのはシステム 1 がだいたいうまく処理してくれるおかげである。それまでに経験し慣れ親しんだ状況に対しては、システム 1 がつくり上げたモデルは正確で、予測もおおむね正しい。ただし、システム 1 は本来の質問をやさしい質問に置き換えて答えようとするため、そこにバイアスが生じる。また、システム 1 はその働きを切ることができないため、システム 2 が処理しなければならない複雑な状況においてもシステム 1 が自動反応し、邪魔をしてしまう。例えば、システム 2 の働きで同じ大きさと分かっている物体がシステム 1 の直観的な働きによって異なる大きさに見えてしまったり、逆に異なるものが同じものに見えてしまう錯覚は、システム 1 の働きを切ることができないことによるシステム 1 とシステム 2 の衝突により生じるものである。

4.3.2 ヒューリスティクスとバイアス

複雑な問題に対して我々人間がなぜ直観的に応えられるのかという疑問に対してカーネマンは、難しい質問に対してすぐに満足な答えが出せないとき、システム 1 はもとの質問に関連する簡単な質問を見つけ「置き換え (substitution)」^[20]⁶⁴操作によって代りの質問に答えるからであるとしている。そして、この置き換えは正確に的を絞ることなく自動的に開始され、簡単なヒューリスティクスに置き換えて即座に答えを出すことを容易とし、システム 2 に負荷をかけずに処理することを可能としている。このとき、もともと答えるべき質問を「ターゲット質問」、代りに答える簡単な質問を「ヒューリスティクス質問」と呼び、この置き換えという考え方は、その後のヒューリスティクスとバイアス研究の柱となった。なお、ヒューリスティクスの専門的定義は、「困難な質問に対して、適切ではあるが往々にして不完全な答えを見つけるための単純な手続き」であり、ギリシャ語の「見つけた！」を意味するユーレカを語源としている^[20]。

実際に我々はどのようにして「ヒューリスティクス質問」への置き換えを行っているのか、「代表性ヒューリスティック」、「利用可能性ヒューリスティック」、「係留ヒュー

⁶⁴ 「第 2 部 ヒューリスティクスとバイアス」より。(ダニエル・カーネマン著,村井章子訳 (2012)『ファスト&スロー あなたの意思はどのように決まるか 上』早川書房), 159-287.

ーリスティック」という 3 つの代表的な近道とそこに生じる 3 つの偏り「代表性バイアス」、「利用可能性バイアス」、「係留バイアス」について触れる。

4.3.2.1 「代表性ヒューリスティック」と「代表性バイアス」

人間が判断するときに、ものごとの論理や確率によらず、その判断対象の典型的な特徴によって判断することを代表性ヒューリスティックという。カーネマンは、この問題をリンダという架空の女性を登場させて解き明かしている。実験におけるリンダの人物像は次のようなもので、そこからリンダの現在の姿を予想し、次の 8 つの選択肢に順位をつけるものである。

<問題>

リンダは 31 歳の独身女性。外交的でたいへん聡明である。専攻は哲学であった。学生時代には、差別や社会正義の問題に強い関心を持っていた。また、反核運動にも参加したこともある。

<順位付け選択肢>

リンダは小学校の先生である。

リンダは書店員で、ヨガを習っている。

リンダはフェミニスト運動の活動家である

リンダは精神医学のソーシャルワーカーである。

リンダは女性有権者同盟のメンバーである。

リンダは銀行員である。

リンダは保険の営業をしている。

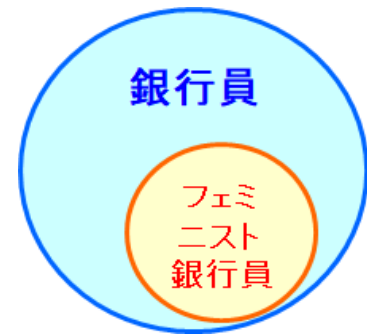
リンダは銀行員で、フェミニスト運動の活動家でもある。

この問題には人物像を想起しやすい「しかけ」が組み込まれている。実験を行った 1980 年代という時代背景⁶⁵からリンダはフェミニスト活動家にぴったりであり、逆に銀行員や保険のセールスマンには全く似合わない設定となっている。さらに「リンダは銀行員か、それともフェミニスト運動に熱心な銀行員のどちらか」という質問をすると、全員が口をそろえて、ただの銀行員ではなく「フェミニスト銀行員」だと答えると述べている。これをベン図（「図 4.3.2.1 フェミニスト銀行員」）で見ると、明らかにおかしいことに気づく。フェミニスト銀行員は全員銀行員であるから、銀行員の集合にすっぽりと収まる。そして、そこから代表性のある典型的な特徴にこだわり、直観と実際の確率の論理との間に不整合が生じていることが解る。カーネマンは、この 2 つの事象が重なって起きることを直接比較し「連言錯誤 (conjunction fallacy)」⁶⁶と命名している。

一方、カーネマンは代表性のメリットにも言及している。例えば次のような場合において代表性に基づく直観的な印象は、しばしば確率予想より精度が高いことがあると述べている。

<問題>

- ・多くの場面で親切にふるまう人は、実際にも親切である。
- ・非常に背が高く痩せているスポーツ選手は、サッカー選手よりもバスケット選手である可能性が高い。
- ・博士号を持っている人は、高卒者より、ニューヨーク・タイムズを購読している可能性が高い。



出所)『ファスト&スロー』

図 4.3.2.1 フェミニスト銀行員

⁶⁵ 国際連合が 1972 年の第 27 回国連総会で 1975 年を国際婦人年と決議し、メキシコで国際婦人年世界会議 (1975 年) を開催して「世界行動計画」を発表した。続いてコペンハーゲン会議 (1980 年)、ナイロビ会議 (1985 年)、北京会議 (1995 年) が開催されるなど、性差別廃止や女性の権利拡大に対する機運が世界的に高まった。

⁶⁶ 連言とは論理積 (AND) であり、論理積「A かつ B」が論理和「A および B」よりも確率が高いと判断してしまうことをいう。

- ・若い男は高齢の女性より荒っぽい運転をしがちである。

このようなケースの場合、確かにヒューリスティクスに基づく予測が正しいときもある。しかし、ステレオタイプ⁶⁷による誤解に基づいて代表性ヒューリスティックが判断を誤らせることもよくある。とくに、基準率⁶⁸が代表性⁶⁹と著しく乖離している場合、基準率情報を無視することは誤判断につながりやすい。このため、カーネマンは、その判断を誤らせる直感の制御・抑制の方法について、きちんとベイズ推定⁷⁰を行うことであると述べている。そして、まず推定対象に関する証拠が多く示されていても基準率が重要であり、結果確率を見積もるときは妥当な基準率をアンカーにすること。次に、直観的な印象は証拠の診断結果を過大評価しがちであるから証拠の診断結果を常に疑うことが重要であるとしている[20]。

4.3.2.2 「利用可能性ヒューリスティック」と「利用可能性バイアス」

私たちは、問題の頻度や大きさを見積もるときに記憶の中から同種の例を呼び出し、その事例が頭に思い浮かぶたやすさによって頻度や大きさを判断している。カーネマンは、これを利用可能性ヒューリスティックと呼んだ。

利用可能性ヒューリスティックは、訊ねられた質問を他の質問に置き換えることによって系統的なエラーにつながる。このバイアスの原因となる事象として次のような例を挙げて示している。

- ・注意を引き付けるような目立つ事象は、記憶から呼び出しやすい。たとえば、ハリウッドのセレブの離婚や政治家の浮気スキャンダルなどがこれに当たる。そこで、映画スターの離婚や政治家の浮気の頻度を多めに見積もりやすくなる。

⁶⁷ ステレオタイプとは、ステロ版（同じ型から作られた複製版）、紋切り型、常套的な形式（出所：新村出編(1991)『広辞苑 第四版』岩波書店）であり、ここでは型にはまって固定的なものの方や態度といった紋切り型の行動や判断をいう。

⁶⁸ 基準率とは、ある事象について、調査対象者全体を見渡したときの比率のことをいう。

⁶⁹ 代表性とは、ある事象について、調査対象者全体から抽出した一部の対象者の調査結果が、偏りなく正確に調査対象者全体を反映しているかどうかのことをいう。

⁷⁰ ベイズ推定（Bayesian inference）とは、観測された結果から、その原因となる事象の確率を推定するための確率論的方法。原因の確率（事後確率）は、結果の確率（事前確率）と事象が発生する確率（尤度(ゆうど)）の積に比例するというベイズの定理を用いる。事後確率＝事前確率×尤度比（ゆうどひ：2つの相反する仮説の確率比）で表す。

- ・世間の耳目を集めるような事象は、一時的にそのカテゴリの利用可能性を増大させる。例えば、飛行機事故は大々的に報道されるので、しばらくの間飛行機の安全性を過小評価しがちになる。また、路上で炎上している自動車を見た直後などは、その事故を鮮明に覚えているので、危険全般に用心深くなる。
- ・個人的に直接経験したこと、写真、生々しい事例などは、他人に起きた出来事、報道、統計などよりも記憶に残りやすく、利用性が高まる。たとえば、自身の訴訟で不当な判決があったら、そうした事件を新聞で読んだ場合よりも司法制度に対する信頼は大きく揺らぐであろう。

この利用可能性バイアスを防ぐためには、印象や直感を鵜呑みにしないよう「それは本当に正しいか？」と常に自問自答を繰り返すことが有効である。なぜならば、具体例を思い出すたやすさは、システム 1 のヒューリスティックによるものであり、システム 2 が関与して、たやすさよりも思い出した例の内容に注意を集中するようになれば、このヒューリスティクスは排除することが可能となる。さまざまな実験データから、システム 1 に従う人はシステム 1 を厳しく監視している人よりも利用可能性バイアスがかかりやすいことがわかっている。また、次のような条件の下では、人間は流れに身を委ねやすく、思い出した例の内容よりも思い出しやすさに強く影響されるとカーネマンは述べている。

- ・努力を要する別のタスクを同時に行っている。
- ・人生の楽しいエピソードを思い出したばかりで、ご機嫌である。
- ・気分が落ち込んでいる。
- ・タスクで評価する対象について生半可な知識を持っている。ただし、本物の専門家は逆の結果になる。
- ・直感を信じる傾向が強い。
- ・強大な権力を持っている（または、そう信じ込まされている）。

また、カーネマンは、自分自身のバイアスを意識することによって、さまざまな共同プロジェクトがうまくいくという研究事例もあるとも述べている [20]。

4.3.2.3 「係留効果（アンカリング効果）」と「係留バイアス」

ある未知の数値を見積もる前に何らかの特定の数値を示されると、見積もりはその特定の数値の近くにとどまったまま離れることができない。これを係留効果（アンカリング効果：anchoring effect）と呼ぶ。この係留効果をカーネマンは、0 から 100 までの数値が書かれた 2 つの円盤を使用した実験によって示している^[20]。1 つの円盤は必ず 10 で止まるように細工し、もう 1 つの円盤は必ず 65 で止まるように細工しておく。そして、実験参加者を必ず 10 で止まる円盤と必ず 65 で止まる円盤を使用する 2 つのグループに分けて、円盤を回して止まった数字をメモするように指示し、次のような質問をした。

<質問>

- ・国連加盟国に占めるアフリカ諸国の比率は、あなたが今書いた数字よりも大きいですか、小さいですか？
- ・国連加盟国に占めるアフリカ諸国の比率はどのくらいでしょうか？

この円盤の示す数値が役立つとは考えられないような質問であるにもかかわらず、実験参加者はその数値を無視することができず、10 という数字を見せられたグループの答えた比率の平均値は 25%、65 という数値を見せられたグループの答えた比率の平均値は 45%であった。明らかに質問前に見せられた数値が影響したことを示している。また、カーネマンは係留効果がシステム 2 による慎重な調整をとまなう係留効果とシステム 1 が自動作動するプライミング⁷¹による係留効果の 2 種類の心理メカニズムによって形成されているとしている。

まず、システム 2 による慎重な調整をとまなう係留効果については、未知の数値を見積もるときに調整+係留効果というヒューリスティックが働く。アンカー（錨）となる数値を起点として、その数値が多すぎるか少なすぎるか評価しながら妥当と思う数値に徐々に近づけて行く。そして、これ以上数値を動かすことに確信が持てなくなった時点で調整を打ち切ることによって見積もり結果が決められる。

⁷¹ プライミング効果（priming effect）とは、人間が無意識の中に受ける先行刺激（プライマー）処理の後続刺激（ターゲット）処理に与える促進または抑制効果のことをいう。

一方、システム1が自動作動するプライミングによる係留効果については、例えば事前に見せられた錨となる数値が途方もなく大きかったり、極端に小さかったりした場合、システム2がその数値の妥当性について信じることはなく、前述の数値調整は働かない。しかし、システム1がアンカー（事前に見せられた数値）と一致するイメージを想起させることによってエラーを引き起こしている。例えば「ガンジーが亡くなったとき144歳より上でしたか、下でしたか。さて、ガンジーは何歳で亡くなりましたか？」という質問をした場合、ガンジーが144歳まで生きていたとは信じることはないけれど、連想によって非常に歳をとった人というイメージをつくりあげてしまう。そして、システム1はアンカーが現実の数字になるように構築しようとする結果、バイアスがかかってしまうとカーネマンは述べている^[20]。

4.3.3 プロスペクト理論

プロスペクト理論は、人間が不確実性下においてどのように予測し、行動意思決定するかを論ずるものである。同じ規模の利得と損失を比較した場合、損失の方を大きく見積もること（「図4.3.3 利得損失と心理的価値」）。また、利得または損失の発生確率によって、その行動意思決定はリスク回避的にもリスク志向的にもなるという2点が理論の支柱をなしている。それまでの人間が最終的な富の状態によって選択するというベルヌーイの理論⁷²に対し、選択は富の変化によって判断されるというカーネマンとトベルスキーの反証研究から生まれたものである。カーネマンは、次のような問題を提示することによって、これを説明している。

問題1 あなたはどちらを選びますか？

A：確実に900ドルもらえる。

B：90%の確率で1000ドルもらえる。

問題2 あなたはどちらを選びますか？

⁷² ベルヌーイの理論とは、スイスの数学および物理学者ダニエル・ベルヌーイ（Daniel Bernoulli, 1700-1782）が提唱した期待効用理論を指す。不確実な状況下における合理的な意思決定判断は、結果に関する効用の期待値に基づいてなされるとする理論である。利得期待値が無限大の賭であっても、大金を払ってまで参加する者はいないことを、人々が効用関数を持ち、効用の期待値を最大化するように振る舞う行動によって説明している。

A : 確実に 900 ドル失う。

B : 90%の確率で 1000 ドル失う。

問題 1 では、大多数の人は確実に 900 ドル得られることの主観的価値が 90%の確率で得られる 1000 ドルの主観的価値を上回るため A を選び、リスク回避を図る。これは、ベルヌーイの理論とも一致する。ところが、問題 2 では、大多数の人は確実に 900 ドル失うことの負の価値が 90%の確率で失う 1000 ドルの負の価値を上回るため B のギャンブルを選ぶ。

さらに、次の問題 3 と問題 4 では最終的な富の状態が同じになるように、まったく同じ選択肢を与えている。確実な選択肢を選べば、これまでより 1500 ドルの富が増える。ギャンブルを選べば、どちらの問題でも同じ確率で 1000 ドルまたは 2000 ドル増える。ベルヌーイの理論に従えば、いずれの問題においても同じものを選ぶはずである。

問題 3 あなたは現在の富に上乗せして 1000 ドルもらったうえで、次のどちらかを選ぶように言われました。

A : 50%の確率で 1000 ドルもらう。

B : 確実に 500 ドルもらう。

問題 4 あなたは現在の富に上乗せして 2000 ドルもらったうえで、次のどちらかを選ぶように言われました。

A : 50%の確率で 1000 ドル失う。

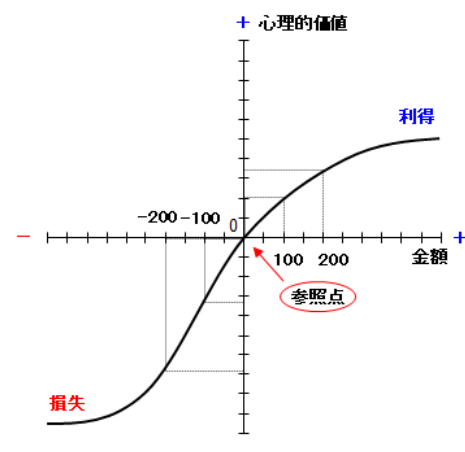
B : 確実に 500 ドル失う。

問題 3 では、大多数の人が確実な B を選択する。そして、問題 4 では A のギャンブルを選ぶ。すなわち、不確実な状況下においてどちらの選択肢も損失を被る結果となる場合、リスク志向的な行動意思決定をするということであり、明確にベルヌーイの理論とは異なる選択をするということが示されている。これら実験結果から、カーネマンはプロスペクト理論の 3 つの特徴を導き出している。

第1の特徴は、評価が中立の参照点に対して行われること。この参照点は順応レベルとも呼ばれることもあり、それを準備した3つのボウルで説明している。左のボウルに氷水、右のボウルに湯、真中のボウルに常温の水を入れ、左手を氷水、右手を湯の入ったボウルに1分間浸してから両手を常温の水の入ったボウルに入れる。すると、同じ水であっても左手は暖かく、右手は冷たく感じる。通常、金銭的結果の場合の参照点は期待結果である。参照点を上回る結果が利得、下回る結果が損失となる。

第2の特徴は、感応度逓減性 (diminishing sensitivity) があること。例えば、暗い部屋でかすかな明かりのランプを灯しただけで大きな効果 (明るさ) を感じるができるが、煌々と照明が輝く部屋でランプ1つくらい灯されても気づくことはできない。同じように手持ちのお金が1,000円から2,000円に増えれば、ありがたみを感じるが、9,000円が10,000円に増えても、それほどのありがたみは感じられない。

第3の特徴は、損失回避性 (loss aversion) があること。プラスの期待や経験とマイナスの憂慮や経験との間の非対称性は、損失と利得を直接比較した場合でも確率で重みづけした場合でも、損失は利得の2倍も強く感じられ、損失を避けようとする。しかし、確実な損失か不確実であるが大きな損失という状況のように、どちらに転んでも損失となるような選択の場合には、心理的価値に対する感応度の低減によってギャンブルを選択し、リスク追及的になることを示している[21]。



出所) ダニエル・カーネマン著, 村井章子訳
(2012) 『ファスト&スロー 下』
早川書房, 77.

図 4.3.3 利得損失と心理的価値

4.4 行動経済学視点から見た生産スケジュールリングの肝

本章の研究をまとめると、行動経済学は人間がリスクではなく損失を被ることを嫌い、人間が利得に比べて損失に対して強く反応することを示している。また、複数ある事象の利得損失の上昇率または下降率が同じであっても、それぞれの価値に対する錯覚により行動に差異が生じること。理想と現実との大きなギャップというバイアスが存在すること。インプットされた特定の数値の近くにとどまって、どうしても離れ

られなくなる。めったにない出来事は過大な注意を引き、実際以上に頻繁に起きるような印象を与えること。価値は人間一人ひとりの参照点により決まり、同じではないことなどが分かった。これらは、人間が意思決定するうえで様々なバイアスが働き、その価値基準も人によって異なることを明らかにしている。

これらの知見を活用し、先の研究（「2. 生産システムの現状と取組み課題」および「3. 生産スケジューリングの今日的課題」）で得た生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、生産条件間の「調停」機能の重要性という3つの課題に対して、どのような問題解決を図ることができるか考察を加える。

まず、生産条件の「網羅性」とは、生産スケジューリング結果の「納得性」を高めるために肝となる生産条件をもれなく処理対象条件とすることである。すなわち、数多く存在する生産条件の中、どれをどこまでを生産スケジューリング対象条件とするかということである。しかし、実際に生産スケジューリングに係る処理を完全に構造化することは困難であり、生産条件をすべて網羅することは不可能である。そもそも人間は大体のところ満足（限定された合理性）し行動するため、すべての生産条件が満たされなければ生産実行できないわけではない。その意味において、担当者が満足のゆく処理結果であることを確信するための生産条件の充足度を「網羅性」とする。

しかし、確かに設備の能力上限や治工具の保有量、材料部品の在庫量などの生産資源量は不足した場合には生産実行できない必須の生産条件も存在する。逆に製造工程における生産順序など必ずしも条件が満たされていなくても多少の作業ロスが発生させながら生産実行可能な生産条件もある。前者の必須条件は、事前に十分な量が確保されている場合は対象条件から除外し、資源調達上のトラブルによって必要量が確保できない場合にのみ必須条件として対象条件とすればよい。後者は機械の加工時間や作業者の作業時間のような作業工数の負荷バランスの問題であり、オーバーワークのために生産遅延となって目標とする生産計画数量を達成できないような状況とならないように可能な限り生産条件の「網羅性」を高め、それを生産スケジューリングに反映させることが効率的に生産実行するために求められる。しかしながら、「3. 生産スケジューリングの今日的課題」で触れたように網羅する生産条件が多くなると条件間の干渉によって思うような処理結果が得にくくなってしまう。この問題については、後述の「調停」機能によって干渉する生産条件間の優劣と採否を調整することによって生産スケジューリング結果の「納得性」と生産条件の「網羅性」の両立が期待できる。

次に、スケジューリング結果の「納得性」について、スケジューリング担当者の関心事である生産条件や期待するスケジューリング処理結果は担当者の経験則に基づくものであり、しばしばバイアスをともなう。また、理想を追いすぎるあまりに結果として現実から乖離した特定の生産条件に偏った結果を求めかねない。したがって、満足のゆく結果は必ずしも最適解である必要はなく、極論すると担当者がその確からしさを確信できる（満足できる）ものでありさえすればよいことになる。

しかしながら、それでは生産スケジューリングが果たすべき役割、本来の目的である経営資源の利用を最大限に効率化しつつ納期遵守を図るためことが担保されない可能性が生まれてしまう。そこで、生産スケジューリングの処理条件にスケジューリング担当者のバイアスを生じさせないように、例えば生産計画に基づく比率情報など条件設定作業に対する支援が必要となる。とりわけ、複数の生産条件からなる複合生産条件が存在する場合、個別生産条件を注視し過ぎるあまりに偏った期待値を抱く恐れがある。この誤った期待値による**係留効果（アンカリング）**を防止するうえで、生産計画に基づく比率情報と生産条件の設定作業は重要であると考え。また、**損失には敏感に反応する（プロスペクト理論）**という人間の特質に対しては、個々の生産条件を守ることにより得られる利益と守れないときの損失度合いを定義し、複数の生産スケジューリング結果の中から最小損失かつ最大利益が得られる生産スケジュールを選択可能とすることにより、「納得性」を高めることが期待できる（リスク回避行動）。そして、すべてのスケジューリング結果が損失という場合においても、その状況の中から損失の少ないものや、部分的に目立つ大きな損失があっても利益を得る部分も多く含まれる受容可能な処理結果を見出すことも可能となる（リスク志向的行動）。

最後に、生産条件間の「調停」機能について、生産条件には必ず背反条件が存在する。とくに複合生産条件の場合、個々の生産条件間の条件干渉が顕著となり損失が発生する生産条件しか選択肢のない状態が発生する。とくに、背反条件の作業工程が異なるような場合、その調整は難しく、スケジューリング担当者は選択の意思決定を避けようとする可能性もある。このような状態においては、プロスペクト理論に基づき個々の生産条件を守ることにより得られる利益と守れないときの損失度合いの定義条件から判断し、得点より失点に注意し、損失の少ないほうを選ぶことによってスケジューリング結果の「納得性」を高めることが期待できる。

5. 行動経済学に基づく生産スケジューリング

本章の目的は、生産意思決定としての生産スケジューリング処理結果である工程計画をスケジューリング担当者から満足が得られ、納得できるものとするところにある。そのために、行動意思決定でもある生産スケジューリングへ担当者の意思を生産条件という形で注入したうえで、その条件にしたがって生産スケジューリング処理を実行し、スケジューリング担当者の生産意思決定を代替することにある。さらに、処理結果である工程計画を工場間または工程間の生産連動機能として、その役割を果たし得るものとするところにある。

ここに至る経緯は、既存の生産スケジューリングが実行時において生産条件（制約条件）が増え網羅性が高まるほど条件が競合し条件間の調整がつかず、処理結果に対する納得性が得られなくなり満足度の低下を招くこと。その結果、納得できない状況に対して妥協するか、人の介入により状況の打開を図るなど、既存の生産スケジューリングによる生産意思決定には限界があること。この問題を解決するためには、生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、競合する生産条件間の「調停」機能が課題であるという、これまでの研究に基づくものである。そして、問題解決のための具体的な方策として新しい生産スケジューリングを考察、提案するものである。

その特徴は、既存の生産スケジューリングが生産工程または生産設備を直接的な対象物とし、その産出量の最大化や効率的な生産順序などの合理的な意思決定を追求するのに対して、新しい生産スケジューリングは行動経済学の知見の応用により人をその対象とし、処理結果から受ける印象または感覚（スケジューリング担当者が受ける心理的利得または損失）という形のない人の内面に着目して心理的価値評価により生産意思決定を図るという、これまでにない新しい視点によるアプローチにある。

なお、ここでは IT を活用した新しい生産スケジューリング手法について検討し、その論理構築することを前提としている。したがって、資源の乏しい中小企業の対応可否については考慮していない。中小企業の対応課題については、第 6 章「6. 中小企業における次世代生産システムと生産スケジューリング」において検討し、それを踏まえた中小企業が対応可能な生産スケジューリング手法は、第 7 章「7. 中小企業における IT 利活用による新しい生産スケジューリングの実現」において示す。

5.1 既存生産スケジューリングにおける生産意思決定の限界

第3章「3.2 生産スケジューリングの研究状況」において見たように、生産スケジューリングの中核をなす OR 的アプローチは生産条件を数式などによりモデル化し、我々に最適解を与えてくれる。しかし、それは前提条件として与えた生産条件下における答えであって、複雑な生産モデルとなると数式で表すことが困難になったり、処理時間がかかるために簡略化して近似解を求めるにとどまる。

これに対して、限定合理性が示すように、そもそも人間には能力の限界があるから完全に条件を網羅することは不可能でありながらも、人間は自身の知識や経験に基づいて、いとも簡単に現実解を導き出してしまう。この乖離が既存の生産スケジューリング処理結果において生産条件を満足できない場合にその状況を受容するか、人手による調整介入など、人の介入なしに生産スケジューリングを実行することを困難にしている。例えば、生産順序問題において平準化のレベルを高めるために生産条件を増やし、その網羅性を高めれば高めるほど条件の競合が起こり競合条件間の調整をうまく執ることができず、結果的には妥協しその状況を受容するか、人の介入が生じるなど満足度の低下を招き、処理結果に対する納得性が得られないという状況につながってしまう。

5.2 生産スケジューリングの意義と納得性

生産スケジューリング問題に対する課題は生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、そのための生産条件間の「調停」機能である。とくに処理結果を受容するという意味において「納得性」は重要ポイントであり、処理結果から受ける印象または感覚という形のない人の内面の問題であることから、行動経済学により明らかとなった「プロスペクト理論」に基づく心理的価値と行動意思決定に着目した。これは、計画（プランまたはスケジュール）が計画遂行者の実行意思決定であると同時に意思決定者の責任が発生するものであるから、計画には意思決定者の納得が最も重要であることをその理由とする。

そして、実際の生産活動において計画どおりに生産が進まない場合、意思決定者が主催する関連部署との対策会議や個別の対策調整を執ること。また、計画変更が必要な場合において意思決定者の意思としての変更および関連部署への手配行動から見て

取ることができる。すなわち、計画は意思決定者の意思そのものなのである。

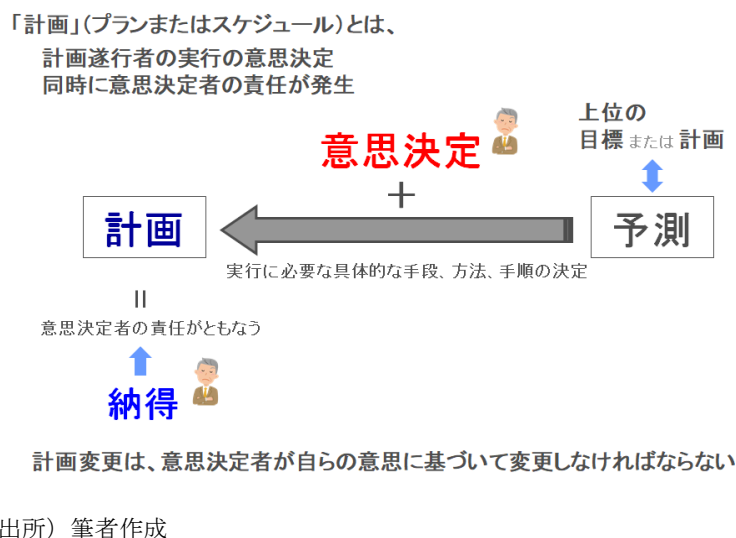


図 5.2 生産スケジューリングの意義

5.3 既存の生産スケジューリングとの差異

既存の生産スケジューリングが機械的な産出量などを対象とし、その効用を評価するのに対し、新しい生産スケジューリングは心理的価値として疑似的に数値化された担当者の利得または損失による満足度を評価することにより納得性を高め、即断することによる迅速な生産意思決定を狙ったものである。

既存の生産スケジューリングは、生産工程または生産設備を直接の対象としたものである。主として OR 的アプローチにより与えられた条件下における効用として、生産工程または生産設備から産出量を評価する。その目的は効用の最大化または与えられた資源内において生産可能な生産順序などを求め、実行計画として詳細スケジュールを立案するものである。それが産出量の場合、機械設備という物理的な特性から生産条件とその効用はリニアな直線または逓減曲線に表す関係にある。また、対象が生産順序問題の場合はその並びが設定された禁止則をクリアすることができるかなどを評価する (図 5.3. a)。しかしながら、生産を決定づける要因は多岐にわたり生産条件のすべてを網羅することは現実的に難しい。処理結果は、あくまでも与えられた条件下における実行可能解にすぎず、限定合理性に従えば人間の能力には限界があるから、処理結果が正しいと確信し納得できるとも限らない。とくに OR 的アプローチにおい

て扱う生産条件は、制約条件として与えられるものであるから、あくまでも「やってはいけないこと」、「あってはならないこと」を示しているのものであって、「してほしいこと」、「なしてほしいこと」を求めているわけではない。このあたりに既存の生産スケジューリングに対して納得性が得られない理由があるのではないかと筆者は考える。

これに対し、新しい生産スケジューリングは処理結果に対する人（担当者）の評価を対象として扱うものである。それは、与えられた条件下における処理とその結果を前述の「**心理的価値**」に変換し、評価する。すなわち、既存の生産スケジューリングが現実の世界で起こる事象やそこで実現される生産設備の産出量を対象としているのに対して、新しい生産スケジューリングは心理的価値として疑似的に数値化された担当者の利得または損失による満足度を納得性という表現により扱うものである。本研究においてはプロスペクト理論を応用し、その心理的価値を「**十分条件**」、「**必要条件**」、「**絶対条件**」と呼び、この3つの条件をそれぞれの特性による数値で表す。

「**必要条件**」は期待値を表し、プロスペクト理論の参照点に当たるものである。「**十分条件**」は、これ以上利得が増えない状態を示し、これを超えた場合はその時点で合格として扱う。「**絶対条件**」は、これ以上損失が増えない状態を示し、これを超えた場合は損失回避のため、その時点で不合格として扱う。そして、必要条件と十分条件を結ぶ凸曲線は利得とリスク回避的な状態を表し、必要条件と絶対条件を結ぶ凹曲線は損失とリスク選好にもなり得る状態を表す。生産条件が競合するとき、それぞれの生産条件について利得・損失曲線上の心理的価値としての利得が多い（損失が少ない）方を選ぶことにより調停を図る。さらに、すべての評価対象が不合格となった場合は不合格事象の評価相手先まで遡り、その時点で選択されている次の生産条件に選択しなおす（スケジュールの蒔き直しを行い、この部分だけを捉えれば悪い条件を選ぶ）

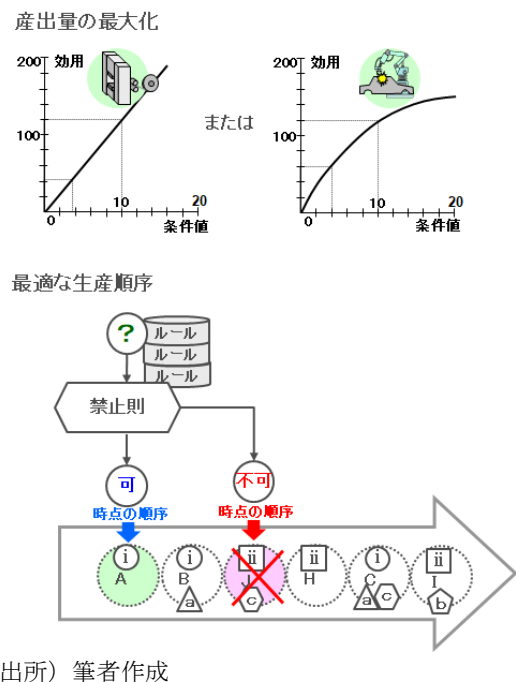
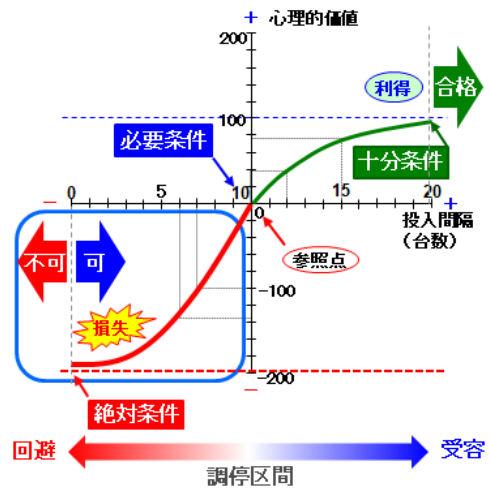


図 5.3. a 既存の生産スケジューリング

ことによりリスク選好的な調停をも実現可能とする。

再び既存のスケジューリングに目を向けると、生産スケジューリング以外の問題であれば、例えば購買行動など人間の行動を対象とする問題に対してはプロスペクト理論の応用は存在する。しかし、生産スケジューリングにおいては、その多くが生産活動を生産設備や生産工程という機械的なものとしてとらえているため、人の意思決定行動に着目しプロスペクト理論の応用による処理結果から受ける心理的価値を評価対象とした事例は存在せず、本研究はこれまでにない新しい手法といえる。

なお、これは機械的な産出量という合理性による判断を軽視するものではなく、スケジューリング担当者として何が機械的な産出量という効用の最大化であるかを知ってうえで、その確からしさを自分の経験や勘に基づき確認するという考えのものである。もし、スケジューリング担当者が機械的な産出量という効用最大化について知見を持っていなければ、処理結果の妥当性を評価することはできないのであり、それは既存の生産スケジューリングの存在意義をも否定することになるからである。



出所) 筆者作成

図 5.3.b 心理的価値

5.4 課題解決の基本的考え方

基本的な考え方として「人間の能力には限界があり、だいたいところで納得し意思決定している」という「**限定合理性**」をその前提とする。したがって、必ずしも数理的な合理的意思決定によらずスケジューリング担当者自身の関心事（着目点）と期待値を取り入れ、スケジューリング結果を実行に移した場合に得られる関心事に対する満足度を評価するために数値化した心理的価値により判断し、意思決定することとする。そのうえで、生産条件の「**網羅性**」、スケジューリング結果への「**納得性**」、そのための生産条件間の「**調停**」機能という生産スケジューリング問題の課題解決に取り組む。なお、ここでいう網羅性とは担当者の関心事、すなわち処理結果に対して納得

できるかの判断対象事象を生産条件として漏れなく取り込むことを指す。

まず「**網羅性**」については、理論的には網羅する生産条件が多ければ多いほど納得性は高まるはずである。しかし、その納得性を判断する人間の能力には限界があるから生産条件が多ければ、それが有効に判定処理されて結果に反映されたかの確認にも労力を要する。そこで、なるべく多くの生産条件を網羅したいという人間の心理と、本当にその生産条件が有効に機能するものに厳選し必要最小限の生産条件にとどめてスケジューリング処理および処理結果の可視性との両立を図る。具体的には、たくさん設定された生産条件の中でどれが有効に機能したかの統計情報を提供することである。ここで有効に働く生産条件は評価結果が不合格または損失となる場面と合格または利得となる場面がバランスよく現れ、有効ではないものは不合格または損失となる場面と合格または利得となる場面が偏在するものとなる。これを、記録した処理結果から提供する。

また、担当者は自身の関心事である個別の生産条件のみを設定するものとし、これら個別の生産条件を同時に2つ以上持つ複合生産条件については、合成して自動生成することにより網羅性を高める。そして、生産条件が多くなり競合した場合にあっても後述の調停機能によって意思決定選択を可能とする。なお、他の生産管理データを活用して生産条件を生成可能ならば、これを活用する。その活用は、設定オペレーションを軽減するとともに網羅性を高めるうえでも有効である。

次に、「**納得性**」については「**プロスペクト理論**」の特性に基づき振る舞うことにより実現する。具体的には、後述の調停機能によりスケジュール配列を決めるときに生産条件とした担当者自身のスケジューリング上の関心事に対して条件を十分に満たす場合は無条件に合格とする。また、利得または損失がある場合は損失が許容可能な最小のものとなるよう選択し実現する。そして、各配列要素候補のすべてが許容できない不合格の場合は、不合格とし、その対象先まで遡りスケジュールを蒔き直し、あえて条件の悪いものを選択しなおす。さらに、スケジューリング処理結果は実現可能解として得られたスケジュール配列と個々の配列要素の心理的価値により表示提供し、担当者の最終意思決定選択において納得性を得られるよう可視化する。

「**調停**」については、その目的は納得性を得られるように調整することである。したがって、納得性同様にスケジュール配列を決めるとき生産条件毎に評価し、候補のスケジュール配列が生産条件を十分に満足する場合は無条件に合格とする。また、利

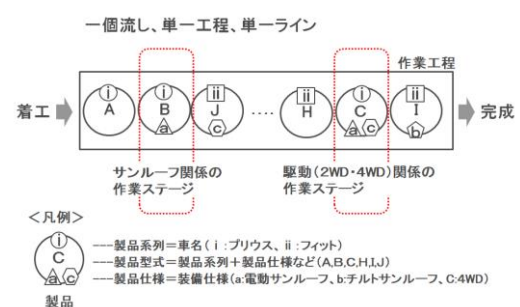
得または損失がある場合は、損失が許容可能な最小のものとなるよう選択し調停を実現する。すべての候補の評価が損失の場合、プロスペクト理論の特性に基づき競合条件の中から許容可能な最小損失（悪い条件中の最良）のものを選択することにより実現する。これは、既存の生産スケジューリングが禁止則や効用関数によって評価しえないもの、条件を満たせないものを心理的価値という一つの尺度で比較評価可能とするものである。また、すべて候補が許容できない不合格の場合は、その対象先まで遡り、あえて条件の悪いものを選択しなおす。このギャンブル的なスケジュールの蒔き直しにより、部分的には悪くても全体的には良い処理結果となるスケジュール配列発見の機会を狙う。

この方針の下、既存の生産スケジューリングが条件競合を処理できない状況に対し、この新しい生産スケジューリング手法が競合条件の調停を図り、問題解決することを明らかにする。

5.5 検証対象生産モデル

検証のために生産モデルを定義する。対象は生産順序問題とし、製品の並びが平準化され作業負荷の高い製品仕様の投入間隔が一定以上となるように制御することを中心機能とする。そして、その生産モデルは製品を一個流し生産する単一工程、単一ラインの生産工程を前提とする（図 5.5）。

一個流し、単一工程、単一ラインという単純化によって、複雑な設備環境から受ける影響を排除し、論理的可視性を確保する。この単純化への批判に対しては、本研究が意思決定を課題として扱うものであって、工程条件や製品の流し方はスケジューリング処理条件の相違にすぎず、その中心課題ではないこと。そして、処理条件の変更によって、対処できることをその理由とする。具体的には、一個流しが製品型式や個別の製品仕様の平準化や投入間隔が生産条件の中心的要



出所) 筆者作成

図 5.5 対象生産工程 (モデル)

件とするところ、ロット生産の場合は連続条件（ロットサイズ）や段取替え⁷³を生産条件の中心要件とすることにより課題解決できるものとする。単一工程に対しては工程数を複数工程に拡張し、それぞれの工程間にバッファを設けて任意の仕掛時間（0～搬送にかかる時間～余裕時間の範囲で条件設定）のタイムラグをもって、それを下流工程側は着手タイミング、上流工程側は完成タイミングとすることにより課題解決できるものとする。そして、単一ラインに対してはライン数を複数ラインに拡張し、どのラインで生産するか、どのラインで生産可能かは生産計画時点において生産資源（材料部品や所要人員など）とともに計画ラインが確定済みであるという前提の下、計画ラインへ配分することにより課題解決できるものとする。

また、この生産工程で生産する製品系列⁷⁴は2系列（系列 i、ii）とし、身近な耐久消費財で例に挙げると「iPhone」や「iPad」などの製品呼称、「プリウス」や「フィット」のような自動車の車名で区分される製品群がこれに相当する。製品型式⁷⁵は2系列を通じて最大10型式（製品型式 A,B,C,D,E,F,G,H,I,J）とし、製品系列と仕様の組み合わせを表す。製品が装備するオプション仕様や機能を表す個別仕様は、電機の「出力（ワット数）」やIT機器の「メモリ容量」、自動車の「サンルーフ」などのような最大5機能要素（仕様 a,b,c,d,e）で構成するものとする。ただし、製品型式別の生産量および生産のために必要な材料部品などの資源は、上位かつ上流に位置する生産管理業務において決定され、準備されているものとする。これは、「いつまでに、何を、いくつ造るか」という生産計画（Production Planning）と「どの順番で、いつ着工し、いつ完成させるか」という生産スケジューリング（Production Scheduling）を明確に区分し、本課題が後者を対象として扱うことを示す。

⁷³ 製品を切り替える際の事前準備から良品が安定して得られるまでのことを段取（setup）といい、その作業を段取替えという。事前準備には、材料や部品など製造するものの準備と機械や治工具など製造の準備、さらに図面や作業標準など製造方法に関する準備などがある。また、安定した製造のために機械や治工具類の整備や調整、試し加工などを行う。

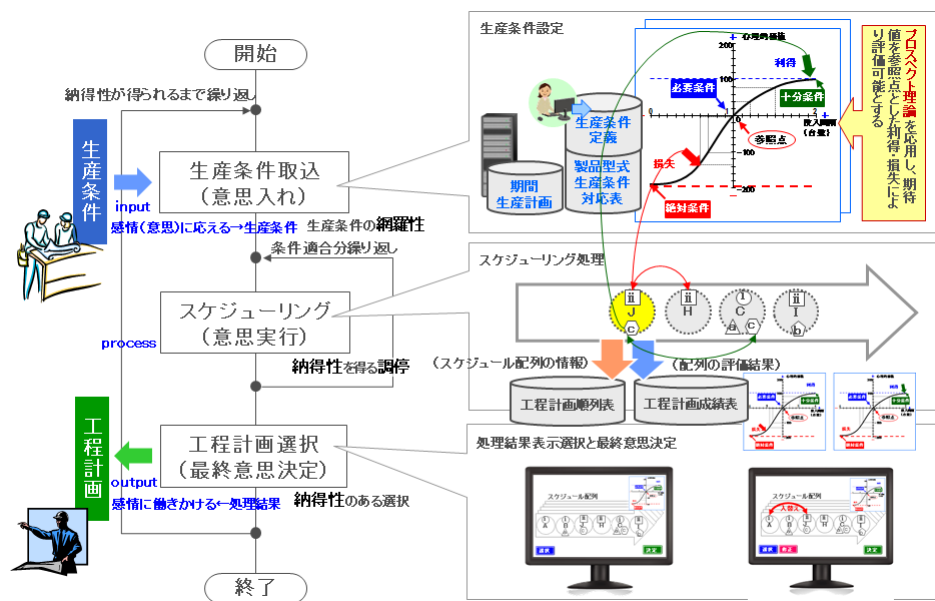
（出所：日本経営工学会編（2002）『生産管理用語辞典』日本規格協会）

⁷⁴ 製品系列（product line）とは、JISにおいて「特定の製品について、その代表的な属性に変化を付けて設計した仕様の異なる一連の製品 JIS Z8101-3107」と定義されている。例えば、冷蔵庫の容量、自動車の社格（サイズや車名、またはその派生車種（ファミリー））による分類がこれにあたる。

⁷⁵ 型式（model）とは、「航空機・船舶・自動車などの、基本的な構造・設備・外形によって分類する、特定の型。モデル」（出所：新村出編（1991）『広辞苑 第四版』岩波書店）であり、ここから製品の系列や機能、仕様などの特性を知ることができる。

5.6 新しい生産スケジューリング手法の構造

新しい生産スケジューリングの手法および構造については、OR に代表される経営工学的解法に加えて、情報処理技術は欠かすことができない重要な要素である。とりわけデータベース (DB)⁷⁶の活用は課題解決を図るうえで有用であり、具体的実現方法や解決方法については工学的、技術的な論述にも紙幅を割く。



出所) 筆者作成

図 5.6 生産スケジューリング手順

その基本構造は、生産条件と生産計画を入力する「5.6.1 生産条件取込(意思入れ)」、生産計画を生産条件に基づいて工程計画へと変換 (process) し立案する「5.6.2 スケジューリング (意思実行)」、処理結果としての工程計画をスケジューリング担当者や関連者に対して提示出力し、最もよいとするものを選択したうえで最終意思決定する「5.6.3 工程計画選択 (最終意思決定)」により構成する (図 5.6)。そして、この一連の処理過程において、バイアスや損失に対する過敏な反応を抑制し、「納得性」の高い処理結果を得るために「プロスペクト理論」に代表される行動経済学の知見を応用す

⁷⁶ データベース (DB : database = 「情報の基地」の意) とは、系統的に整理・管理された情報の集まり。特にコンピュータで、様々な情報検索に高速に対応できるように大量のデータを統一的に管理したファイル。また、そのファイルを管理するシステム。(出所: 新村出編(1991)『広辞苑 第四版』岩波書店)

る。

なお、研究対象の製造業の中にあっても大手企業は相対的に生産管理レベルが高く、材料部品表⁷⁷や QC 工程表⁷⁸、作業標準⁷⁹など生産管理データの精度も高く整備されている。したがって、生産スケジューリングに必要な生産条件はこれら生産管理データから得やすい。しかしながら、中小企業の実生産管理レベルは必ずしも高いとは言えず、生産管理データの整備が不十分か、整備されていないことが多い。このため、本研究は生産管理データの整備が不十分な中小企業にあっても実用可能であることも命題の1つとして取り組む。

5.6.1 生産条件取込（意思入れ）

本項の中心的課題は生産スケジューリングの処理条件となる生産条件の網羅性を向上させ、同時に生産条件にスケジューリング担当者のバイアスが生じないように客観的な生産条件値を設定することにある。すなわち、スケジューリング担当者の意思を正しく生産スケジューリングに反映させること（意思入れ）と生産条件の客観性の確保の両立にある。ここに行動経済学の活用を試みる本研究の目的がある。同時に、網羅性を確保するための条件設定の容易性にも留意する。

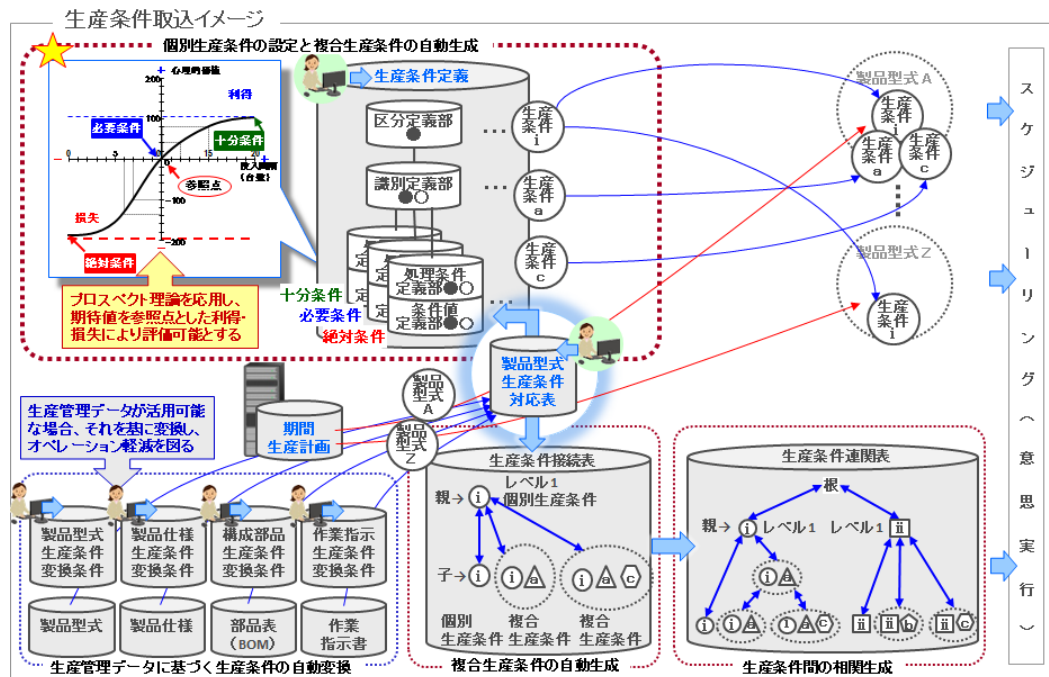
生産条件には、単一の装備仕様を条件とする個別生産条件と複数の仕様を同時に装備する複合生産条件が存在する。この生産条件の取込手順は個別生産条件の生成に始まる。ここで、個別生産条件を他の生産管理データから得られる場合は生産管理データから変換する。それは条件設定作業の操作容易性確保によって作業負荷を低減させ、生産条件の「網羅性」を阻害する要因の排除を図ることにもつながる。次に、複合生産条件はスケジューリング対象となる製品（部品）に対し、該当する個別生産条件の

⁷⁷ 材料部品表 (bill of material) とは、部品表または部品構成表とも呼ばれ、JIS において「各部品（製品も含む）を生産するのに必要な子部品の種類と数量を示すリスト。備考 1：部品の親子関係の連鎖からこれを木構造で表現したストラクチャ型 (structure type) と表形式で示したサマリー型 (summary type) がある。備考 2：部品展開を行うときの基礎資料となる JIS Z8142-3307」と定義されている。

⁷⁸ QC 工程表 (QC process chart) とは、1つの製品の原材料、部品の供給から完成品として出荷されるまでの工程の各段階での、管理特性や管理方法を工程の流れに沿って記載した表である。(出所：日本経営工学会編(2002)『生産管理用語辞典』日本規格協会)

⁷⁹ 作業標準 (operation standard) とは、製品または部品の各製造工程を対象に、作業条件、作業方法、管理方法、使用材料、使用設備、作業要領などに関する基準を規定したものである。(出所：日本経営工学会編(2002)『生産管理用語辞典』日本規格協会)

組み合わせとして自動生成し、その組み合わせに基づいて複合生産条件と個別生産条件との関連性を管理する。この生産条件の構成と取込処理の基本的考え方について、整理する（図 5.6.1）。



出所) 筆者作成

図 5.6.1 生産条件取込イメージ

5.6.1.1 生産条件の分類とその属性

生産条件は、生産能力（数量）や収容能力（容量）の上限である「設備制約」、投入可能な物的生産資源量としての材料部品の在庫量または調達可能数量の上限である「在庫制約」、人的生産資源量としての人員体制に対する所要工数の上限である「作業制約」の3つの生産制約条件に分類できる。「設備制約」と「在庫制約」は、必要資源の絶対量が上限を超えないことを条件に制御する。「作業制約」は、作業遅れが発生しないように作業負荷を均等配分するものであり、本研究の生産モデルにおいては、作

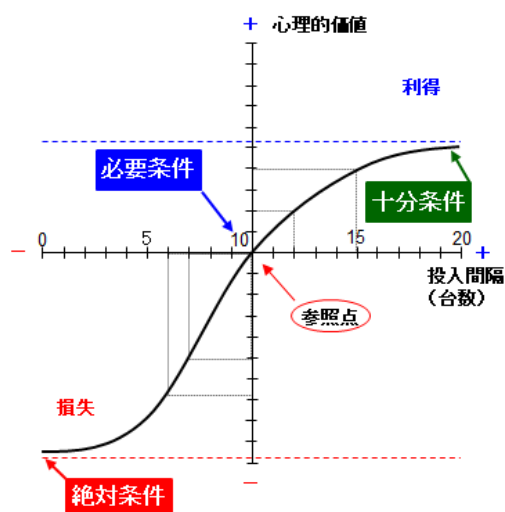
業の平準化が図られるように特定仕様の製品が偏らないように投入間隔⁸⁰が一定以上となるよう制御することを目的として条件設定する。

また、生産条件には3つ属性がある。まず、生産能力や材料部品の在庫のような絶対に守らなければ生産ができないもの。次に、条件がそれ以下に低下した場合、一時的に作業遅れなどが発生し生産活動が中断してしまったり、作業応援など特別な対応が必要になるなど生産ロスが発生するもの。そして、その条件が守られていれば、生産工程の作業的負担が準備された生産資源の範囲内で問題なく生産実行できるものである。これ

ら属性を本研究においては、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」と呼ぶこととする。

これら生産制約と属性との関係を見ると、設備制約と在庫制約は条件が満たされない場合は生産が成り立たないため絶対条件である。生産制約については、生産条件を満たすことができず、それ以下となった場合に例外的な対応が必要となり、生産ロスが発生する転換点が必要条件である。さらに生産条件の満足度が低下しても、損失がそれ以上大きくならない状態のところを絶対条件である。逆に必要条件を満たし、生産条件の満足度が向上しても、利得がそれ以上大きくならない状態のところを十分条件である。すなわち、この十分条件を含む必要条件以上の状態が例外的な対応をとらなくとも許容できる範囲を表している。

この絶対条件、必要条件、十分条件の意味合いとその関係をプロスペクト理論に基づき「図 5.6.1.1 利得損失と心理的価値」に示す。投入間隔で示す横軸がこのモデル



出所) 筆者作成

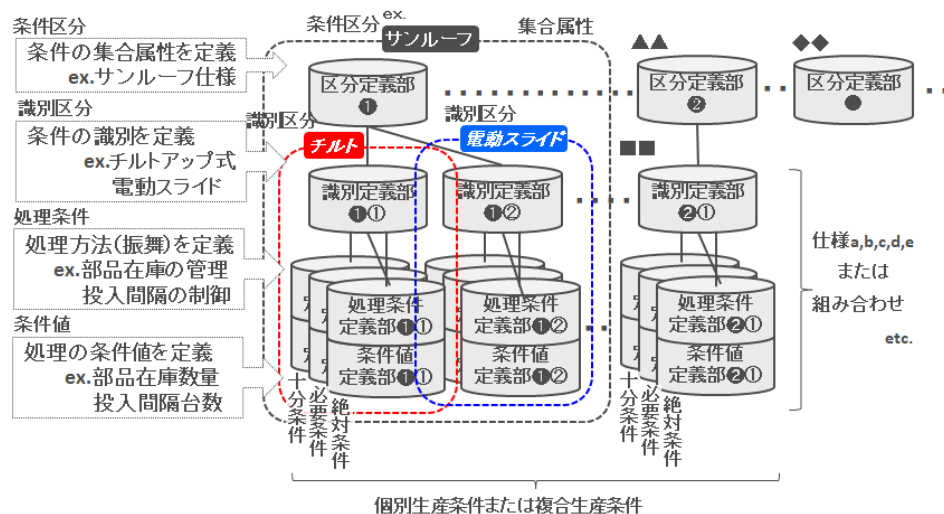
図 5.6.1.1 利得損失と心理的価値

⁸⁰ 特定仕様の製品について、投入された同一仕様の先行ワークに対する後行ワークとの間のワーク台数を投入間隔という。この投入間隔が広ければ作業者の負荷は軽く作業が楽になり、狭くなると作業が辛くなる。その分岐点が必要条件であり、投入間隔が狭くなって作業が遅れた場合、応援を求める必要がある。作業遅れが挽回できない場合、ライン停止に至る。その対応可能な下限点が絶対条件である。また、心理的価値の上限が十分条件である。

において獲得できた事象、心理的価値で示される縦軸がその時の満足度を表す。この場合、必要条件が参照点となり、それを満足すれば心理的価値が向上する。これ以上心理的価値が向上しないポイントが十分条件となる。また、必要条件を満たすことができなければ満足度は低下し、これ以上低下しないポイントが絶対条件となる。すなわち、獲得できた事象とその満足度との関係を示す利得-損失曲線上でスケジューリング結果を評価することになる。

5.6.1.2 生産条件の構成要素

単一の装備仕様を条件とする個別生産条件と複数の仕様を同時に装備する複合生産条件を同列に扱い、管理・処理することを可能とするための構造とするため、次のようなデータ構造とデータ項目、役割により構成する。それは、生産条件の集合属性を表す「区分定義部」、個々の生産条件を定義する「識別定義部」、そして取り扱い方、振る舞い方を定義する「処理条件定義部」および「条件値定義部」の4つの条件定義部より成る（図5.6.1.2）。



出所) 筆者作成

図 5.6.1.2 生産条件の構成要素

まず、「区分定義部」の構成項目とその役割は、該当生産条件がどのような属性の集合なのか、その区分識別を定義するものである。これを構成する項目の中、「個別/複合区分」は該当生産条件が個別生産条件か複合生産条件かの区別を表し、「条件区分」は、区分識別するための固有の文字列で表す略称とする。また、「条件名称」は、当該

条件区分に対する解説とし、スケジューリング担当者をはじめとする関係者が該当生産条件の集合属性や、その区分内容を理解し、判別することのできる文字列とする。そして、「条件レベル」は、当該条件区分の生産スケジューリングにおける優先順を表す。生産スケジューリング実行時、処理対象となる生産条件の候補が複数存在するとき、この条件レベルの優先度が高い生産条件から順に処理する。レベル値は整数値（0～環境上採り得る最大整数値）とし、小さい数値ほど優先度が高いものとする。レベル値「0」はすべての生産条件の根（幹）条件として唯一のものとし、設定上は存在しないものとする。レベル値「1」はスケジュール配列生成時の分配処理において、根（幹）から最初に枝分かれする親条件を表し、製品系列のようにどの製品にも存在し得る生産条件を設定するものとする。この特別なレベル値（「0」と「1」）以外の生産条件は規定値を 9999 とし、初期設定する。さらに、「変換係数」は当該属性区分の生産条件における投入間隔台数実現値から心理的価値へ変換するときの係数を定義する。設定値は十分条件の満足時を満点と絶対条件の満足時を及第点とし、値を設定するものとする。この係数が設定されない場合の規定値は満点を 100 点、及第点を▲200 点とする。

「識別定義部」は、区分定義部の条件区分に対し複数存在（1 対 n の関係）する個々の生産条件を識別し、定義するものである。それを構成する「識別区分」は、個々の生産条件を識別する固有の文字列で表す略称とし、生産スケジューリングのすべての過程において、この識別区分により生産条件を区分識別する。また、「識別名称」は識別区分に対する解説とし、スケジューリング担当者をはじめとする関係者が当該生産条件の内容を理解し、判別することのできる文字列とする。

「処理条件定義部」は、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」のそれぞれについて、スケジューリング処理における取り扱い方、振る舞い方を定義する。まず、その条件を有効とするかという「有効／無効」の区分条件。次に、条件値の設定を固定値とするか後述の生産計画に基づく条件値生成（生産計画にしたがって自動的に変動）するかという「固定／可変」の区分条件。そして、条件値の属性として資源量を表すもの（「設備制約」または「在庫制約」）か、投入間隔台数を表すもの（「作業制約」）かという「資源量／投入間隔」の区分を定義するものとする。なお、いかなる場合においても遵守したい投入間隔は、「固定／可変」区分条件を固定としたうえで絶対条件にその条件値を設定することにより必達させることが可能となる。余談ながら将来的にはこの条件値属性に連続投入台数を加えることによってロット生産に対しても拡張し、対

応可能とする。

「条件値定義部」は、上記の条件値の属性にしたがって「資源量」または「投入間隔台数」を設定する。「資源／投入間隔」条件値属性が「投入間隔」かつ「固定／可変」区分条件が「可変」の場合は、「参照係数」には0～1の小数值（実際には0.0, 0.5, 1.0の3値を想定）を期待される投入間隔台数（参照値）に対する「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」それぞれの参照係数として設定する。この「参照係数」は期待される投入間隔台数値から当該属性区分の投入間隔台数値へ変換するときの係数として定義する。この係数が設定されない場合の規定値を「絶対条件」は0.0、「必要条件」は0.5、「十分条件」は1.0とし、期待される投入間隔台数値にこの係数を乗じた値が各属性の「投入間隔台数」として設定されることになる。さらに、当該生産条件固有の投入間隔台数実現値から心理的価値への「変換係数」を設定する。設定値は十分条件の満足時を満点、絶対条件の満足時を及第点とし、係数値を設定する。この係数が設定されない場合は、区分定義部の設定値が優先され採用される。これら「参照係数」と「変換係数」の設定は生産条件の軽重を管理し、制御することを可能とする。将来的にロット生産に対応して拡張する場合は、連続投入台数や最小または最大ロットサイズ⁸¹、段取時間⁸²などの条件値を付与することによりスケジューリング処理への対応を可能とする。

そして、これら区分定義部、識別定義部、処理条件定義部、条件値定義部の一連の情報を総称して「生産条件定義」と呼ぶこととする。

5.6.1.3 個別生産条件の設定

生産スケジューリング処理の中核をなす個別生産条件の設定および、生産計画から個別生産条件へ変換するための製品（部品）と個別生産条件との対応関係の設定について、オペレーション上の課題にも触れながら論述する。ここでは生産条件設定の容易性を確保するため、スケジューリング担当者による条件設定は単独の個別生産条件

⁸¹ ロットサイズ (lot size) は、JISにおいて「1つのロットに含まれる個数 JIS Z8101-2-1.8」や「ロットに含まれる単位体の数、又は集合体の量 JIS B3000-3022」と定義されている。また、「製造ロットの大きさは、生産活動を経済的・効率的に遂行できるように決めなければならない JIS B3000-3022」と定義されている。

⁸² 段取時間 (setup time) とは、準備時間ともいい、その仕事のために行われる機械設備、工具、治具などを用意したり、元の状態に戻すために必要な準備または後始末のための時間をいう。(出所：日本経営工学会編(2002)『生産管理用語辞典』日本規格協会)

のみをその対象とする。2 つ以上の生産条件の組み合わせから成る複合生産条件については、後述の「5.6.1.5 網羅性向上対策としての複合生産条件の自動生成」により自動生成する。

まず、個別生産条件の設定は前項にて示した構成要素に従い属性の集合を表す「区分定義部」から設定し、「個別／複合区分」、「条件区分」、「条件名称」、「条件レベル」の各項目条件を定義する。この時の個別／複合区分は無条件に個別生産条件とする。次に、当該「区分定義部」条件に属し、1 つ以上存在する個々の個別生産条件について「識別定義部」のすべてを設定する。同時に、「処理条件定義部」および「条件値定義部」について「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」別に、その「有効／無効」、「固定／可変」、「資源量／投入間隔」などの取り扱い方、振る舞い方の条件を設定する。これら条件設定が必要な条件数分繰り返し、必要な個別生産条件分について生産条件定義を構築する。なお、いかなる場合においても遵守したい投入間隔は、「処理条件定義部」の「固定／可変」の区分条件を固定としたうえで「条件値定義部」の「絶対条件」に1以上の任意の整数値を投入間隔条件値に設定することにより必達させることが可能となる。

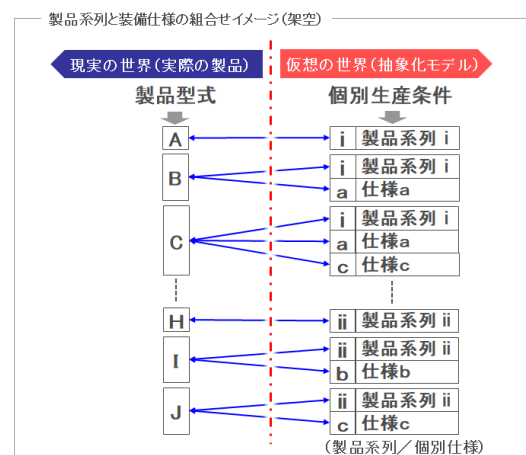
さらに、区分条件を可変とした場合、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」それぞれの「参照係数」を設定することにより、期待される投入間隔台数（参照値）からそれぞれの投入間隔条件値への変換を可能とする。また、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」それぞれの「変換係数」を設定することにより、当該生産条件固有の投入間隔台数実現値から心理的価値への変換を可能とする。ただし、「処理条件定義部」の「変換係数」を設定しない場合は、「区分定義部」の設定値が採用される。

5.6.1.4 製品型式生産条件対応表の設定

期間生産計画には製品であれば製品型式または製品に付与された部品番号、部品であれば部品番号と生産予定日および生産数量が設定されている。この期間生産計画に設定された製品型式または部品番号から個別生産条件へ変換するための対応関係を設定するものである。具体的には、生産計画対象となる製品型式または部品番号のすべてについて、それがどの個別生産条件に該当するか、「生産条件定義」（「区分定義部」、「条件区分」、「識別定義部」、「識別区分」の4条件より構成）との対応関係を設定し、関連付けする。この変換、関連付け条件を「製品型式生産条件対応表」（「図 5.6.1.4 製

品型式生産条件対応表」に示す) と呼ぶこととする。この製品型式生産条件対応表は製品型式に対して該当する生産条件が 1 件しかない場合は 1 つの製品型式に対して 1 件、該当する生産条件が複数ある場合は 1 つの製品型式に対して 2 件以上の製品型式生産条件対応表を生成する。通常、この製品型式生産条件対応表があれば、期間生産計画から製品型式生産条件対応表を介して生産条件と生産条件別の計画台数への変換が可能となり、生産スケジューリングを実行することができる。

しかし、ここには若干の問題が潜む。それは、生産計画対象の製品型式または部品番号のすべてに対して、この製品型式生産条件対応表を設定しなければならないことである。製品設計上理論的に設定可能な製品(部品)または製造可能な生産手配された製品数分だけ、条件設定しなければならない。このため生産活動を続ける限り、その運用を続けなければならないオペレーション上の負担も大きい。特に個別受注生産方式を採る企業にとっては受注の都度、製品設計とともに条件設定しなければならない。その煩わしさが故に運用されなくなる可能性もあり、その軽減策が期待されるところである。



出所) 筆者作成

図 5.6.1.4 製品型式生産条件対応表

5.6.1.5 網羅性向上対策としての複合生産条件の自動生成

複合生産条件の自動生成は、生産条件設定の容易性向上対策とともに網羅性を図るうえでも重要な役割を果たす。ただし、生産条件の網羅性を高めた場合の条件干渉対策は「5.6.2 スケジューリング(処理)」に譲ることとし、ここでは少ない条件設定によって、いかに多くの生産条件をカバーするかという課題に対する対応策として論じる。具体的には、スケジューリング担当者は管理対象の個別生産条件のみを設定してさえおけばよく、生産スケジューリング対象の期間生産計画に存在する製品(部品)が持つ機能仕様にに基づき、該当する個別生産条件の組み合わせとして複合生産条件を自動生成する。これは同時に、その網羅性を自動的に高める役割を果たす。

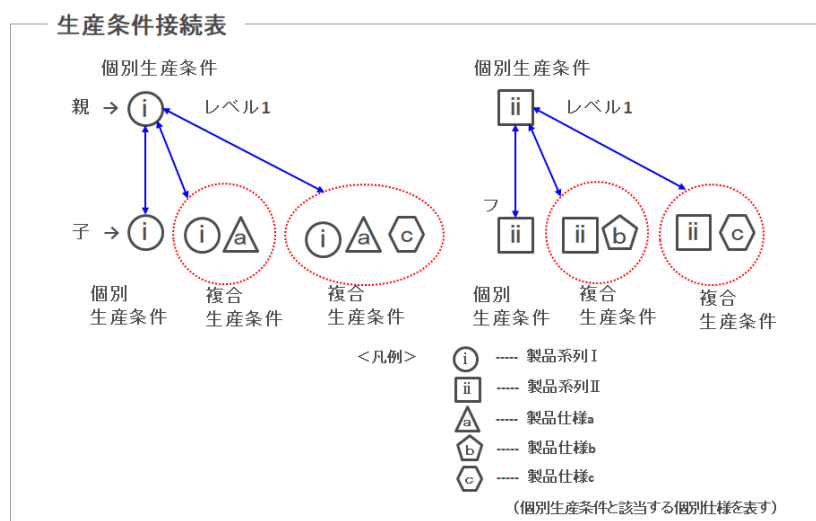
ここでは、「5.6.1.4 製品型式生産条件対応表の設定」にて生成した「製品型式生産条

件対応表」(「図 5.6.1.4 製品型式生産条件対応表」に示す)を活用する。この製品型式生産条件対応表は該当する個別生産条件を 1 つしか持たない製品型式は 1 件のみ、該当する個別生産条件を複数個持つ製品型式は 2 件以上の製品型式生産条件対応表が生成されている。すなわち、この 1 つの製品型式に対して 2 つ以上の生産条件の組み合わせを持つデータが複合生産条件分の製品型式生産条件対応表である。この個別生産条件分の製品型式生産条件対応表から、製品型式を検索条件として該当する生産条件を抽出することによって、複合生産条件または個別生産条件の製品型式生産条件対応表として抽出することができる。

この製品型式生産条件対応表の特性を利用して個別生産条件と複合生産条件との対応関係を自動生成する。具体的には、製品型式を条件として生産条件の組み合わせを抽出し、同じ生産条件の組み合わせとなるものは統合して、生産条件の組み合わせパターンを絞り込む。なお、親条件となることが認められた「区分定義部」の「条件レベル」が「1」であるものが、この組み合わせの中に含まれていなければならない。結果として、生産条件が 1 件のみのものと複数の生産条件のものとの得ることができる。この中、複数の個別生産条件を持つ複合生産条件はそれぞれの個別生産条件の区分定義部の条件区分を合成してユニークな文字列または記号として設定する。また、対象となる複数の個別生産条件の中、区分定義部の条件レベルの値が「1」(親条件)である区分定義部の条件区分をその親条件に設定し、これを生産条件間の親子関係として自動生成する。この生産条件間の親子関係を「生産条件接続表」(「図 5.6.1.5 生産条件接続表」に示す)と呼ぶこととする。なお、生産条件が 1 件のみの個別生産条件についても、親子関係のない終端であることを示すために親子ともに同じ生産条件の便宜的な親子関係として、この生産条件接続表として生成しておく。

そして、複数の生産条件を持つ複合生産条件については、さらにこの生産条件接続表を基に対象となる複数の個別生産条件を合成して複合生産条件分の生産条件を生産条件定義へ追加する。属性の集合を表す区分定義部の個別/複合区分は無条件に複合生産条件とする。条件区分は生産条件接続表と同じように対象生産条件の区分定義部の条件区分を合成してユニークな文字列または記号として設定する。条件名称も対象生産条件の区分定義部の条件名称から合成し、文字列として設定する。条件レベルは対象生産条件の区分定義部の条件レベルの値が「1」(親条件)より大きいものの中で優先度が一番高い(小さい数値の)条件レベル値を設定する。識別定義部の識別区分

は、対象生産条件の識別定義部の識別区分を合成し、ユニークな文字列または記号として設定する。識別名称は対象生産条件の識別名称を合成して個々の生産条件を識別する文字列とする。既に同じ条件区分が存在する場合は、これら区分定義部の設定は行わない（必要ない）。処理条件定義部は、対象となる複数の個別生産条件それぞれの絶対条件、必要条件、十分条件別に、有効／無効の区分が有効なものの中で条件の厳しいものを採用し、採用された条件の資源量／投入間隔の区分を設定する。固定／可変区分において固定と可変が混在する場合は固定を優先する。また、条件値定義部の条件値は処理条件定義部で採用された側の条件値を選択するものとする。



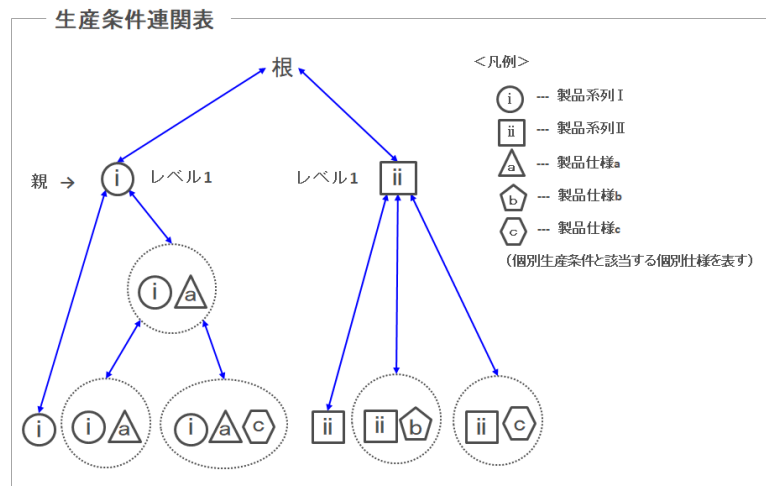
出所) 筆者作成

図 5.6.1.5 生産条件接続表

5.6.1.6 複合生産条件と個別生産条件間の相関生成によるバイアス除去対策

複数の生産条件を持つ製品の複合生産条件の管理は、期間生産計画に存在する製品から複合生産条件間の関係と個別生産条件に至るまでの関係性を木構造（ツリー）で階層的に表現することにより可能となる。この関係性の木構造（ツリー）は、「5.6.1.5 網羅性向上対策としての複合生産条件の自動生成」にて生成した生産条件接続表の親子関係を基に展開・生成する。ここでは、それを「生産条件連関表」（「図 5.6.1.6 生産条件連関表」に示す）と呼ぶこととする。複数の生産条件を持つ複合生産条件の製品であっても、個別生産条件に注目するあまり代表性バイアスにより、その個別生産条件の生産比にしたがった投入間隔であるべきだという錯覚によるバイアスを生じさ

せてしまう。この生産条件連関表の目的は、そのようなバイアス除去を狙ったものである。すなわち、投入間隔のような生産数量比は、複合生産条件を構成するすべての個別生産条件の合計生産数量に基づき評価し、処理しなければならないという基本的考えに基づくものである。



出所) 筆者作成

図 5.6.1.6 生産条件連関表

まず、前項にて生産条件接続表に生成した生産条件間の親子関係の子側の生産条件の全件について、生産条件連関表においても期間生産計画に存在する製品を関係性木構造の最下位階層の子側の生産条件とする。そして、条件区分を基に生産条件接続表から子側の生産条件に対する親側の生産条件を見つけ、親子関係を生産条件連関表に生成登録し親子関係がなくなるまで、すなわち根条件にたどり着き、もうこれ以上の親側の生産条件が無くなるまで繰り返す。具体的には子側の生産条件が複数の個別生産条件により構成される複合生産条件の場合、個別生産条件を 1 つずつ取り除いて繰り返し、その個別生産条件の組み合わせが生産条件接続表の親側または子側の生産条件として存在するとき、その複合生産条件の親子関係を生産条件連関表に生成登録する。その組み合わせが存在しない場合は、親子関係の存在なしとする。

ただし、1 つ取り除いた個別生産条件の組み合わせが生産条件接続表に複数存在するときは重複関係となり、親を 2 つ以上持つことになるので親子関係なしとして扱い、これは生産条件連関表として生成登録しない。そして、最終的に組み合わせがなくなり複数の個別生産条件が残った場合、個別生産条件のうち生産条件定義の区分定義部の

条件レベル条件値の小さい方を親側の生産条件とし、その親子関係を生産条件連関表に生成登録する。また、子側の生産条件が1つだけの個別生産条件により構成される場合、親側と子側の個別生産条件ともに同じ親子関係を生産条件連関表に生成登録する。

5.6.1.7 生産計画に基づく条件値生成によるバイアス除去と客観性向上対策

バイアス除去と設定条件の客観性向上対策として、個別生産条件は期間生産計画における個別の生産計画数量にしたがい、複合生産条件は期間生産計画からそれを構成する個別生産条件の合計生産数量を求め、絶対条件、必要条件、十分条件それぞれについて条件値としての投入間隔台数を設定する。ここが生産意思決定としての生産スケジューリングへの行動経済学から得られた知見の応用と生産スケジューリング担当者の意思の注入であり、納得性を図るうえで本研究の肝である。

その前処理として、期間生産計画を基に製品型式生産条件対応表を介して生産条件へと変換し、対応する生産条件定義の個別生産条件および複合生産条件別の生産計画台数と、この生産計画台数を分子、生産計画の合計台数を分母とする生産計画比率を求める。そして、処理条件定義部および条件値定義部の絶対条件、必要条件、十分条件のそれぞれについて、有効/無効区分条件が有効かつ資源量/投入間隔区分が投入間隔に設定されているもののみ、その条件値を生産計画比率にしたがって自動設定する。また、その時の投入間隔計画値は生産計画比率の逆数から1を減じた整数とする。ただし、個別生産条件については当該条件を含む複合生産条件を構成する他の個別生産条件分の生産計画台数を合算して、これを当該個別生産条件の生産計画台数として扱い、投入間隔計画値を求めるものとする。

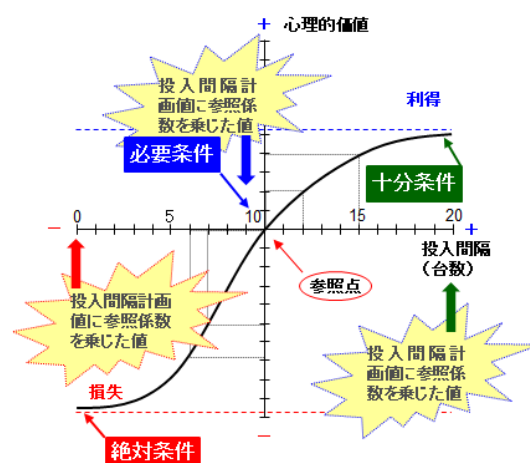
条件設定については、まず参照点ともなるべき必要条件から開始する。固定/可変区分条件が可変に設定されている場合、投入間隔計画値に必要条件の参照係数を乗じた値を条件値定義部の投入間隔台数として設定する。固定に設定されている場合、既に条件値定義部に設定されている投入間隔台数よりも投入間隔計画値の方が小さいときは、警告を発生し、その修正を促す。ただし、設定値は変更しない。

次に、これ以上投入間隔が大きくなっても利得としての心理的価値が増加しない変化点として十分条件を設定する。固定/可変区分条件が可変に設定されている場合、投入間隔計画値に十分条件の参照係数を乗じた値を条件値定義部の投入間隔台数とし

て設定する。固定に設定されている場合、既に条件値定義部に設定されている投入間隔台数よりも投入間隔計画値の方が小さいときは、設定値に合理性がなく十分条件と必要条件との関係に矛盾が生じるため警告を発し、修正を促す。ただし、設定値は変更しない。

最後に、これ以上投入間隔が小さくなくても損失としての心理的価値が減少しない変化点として絶対条件を設定する。固定／可変区分条件が可変に設定されている場合、投入間隔計画値に十分条件の参照係数を乗じた値を条件値定義部の投入間隔台数として設定する。固定に設定されている場合、既に条件値定義部に設定されている投入間隔台数よりも投入間隔計画値の方が大きいときは、設定値に合理性がなく絶対条件と必要条件との関係に矛盾が生じるため警告を発し、修正を促す。ただし、設定値は変更しない。

このように設定した生産条件定義の投入間隔条件は、生産計画比率に基づく必要条件を参照点とし、これ以上投入間隔が大きくなっても利得としての心理的価値が増加しない十分条件と、これ以上投入間隔が小さくなくても損失としての心理的価値が減少しない絶対条件とを結ぶ曲線で表すことができる。この曲線上における投入間隔台数に対する得失として得られる心理的価値を数値化することによってスケジューリング処理結果を評価するものとする。また、この時の心理的価値がプラスのときが納得性の得られている状態を表す。マイナスのときは、生産条件間の調停や比較によって選択意思決定が必要な状態を表す（図 5.6.1.7）。



出所) 筆者作成

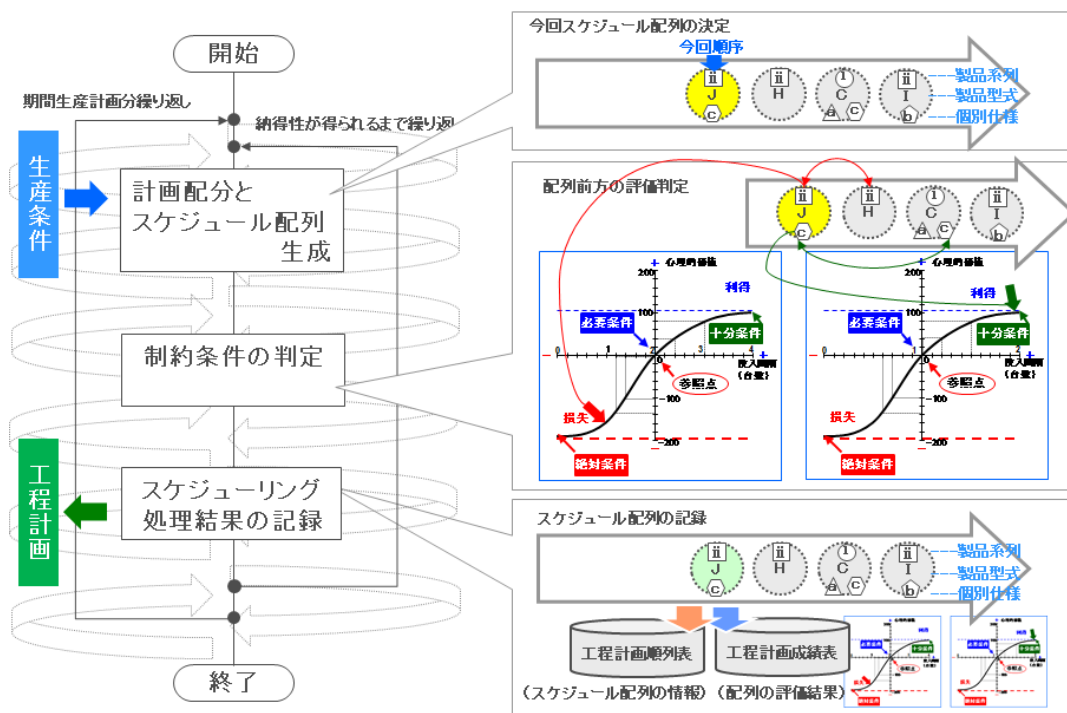
図 5.6.1.7 投入間隔と心理的価値

5.6.2 スケジューリング（意思実行）

本節の中心的機能とその役割は、前項「5.6.1 生産条件取込」で生成した生産条件にしたがい、対象とする期間の生産計画を生産着手および完了順序としての工程計画へ変換することにある。すなわち、注入されたスケジューリング担当者の意思の実行で

ある。この生産順序を決める過程において行動経済学の知見に基づきプロスペクト理論の応用により利得と損失によって評価し、納得性の得られるスケジュール配列として探り出すことを主目的とする。

その処理は、「5.6.2.1 生産条件別の計画配分とスケジュール配列（順序）の生成」においてスケジュール配列を生成し、「5.6.2.2 制約条件の判定」において投入間隔などの生産制約条件選択の組み合わせについて利得と損失による評価判定を行い、「5.6.2.3 スケジューリング処理結果の記録」においてスケジュール配列を条件選択の組み合わせとして評価判定結果とともに記録することにより実現する。なお、これらスケジュール配列の生成と評価判定処理は期間生産計画が要求する数量分だけ、らせん状に繰り返しながら組み合わせ可能なスケジュール配列のパターン数分順次実行する（図5.6.2）。



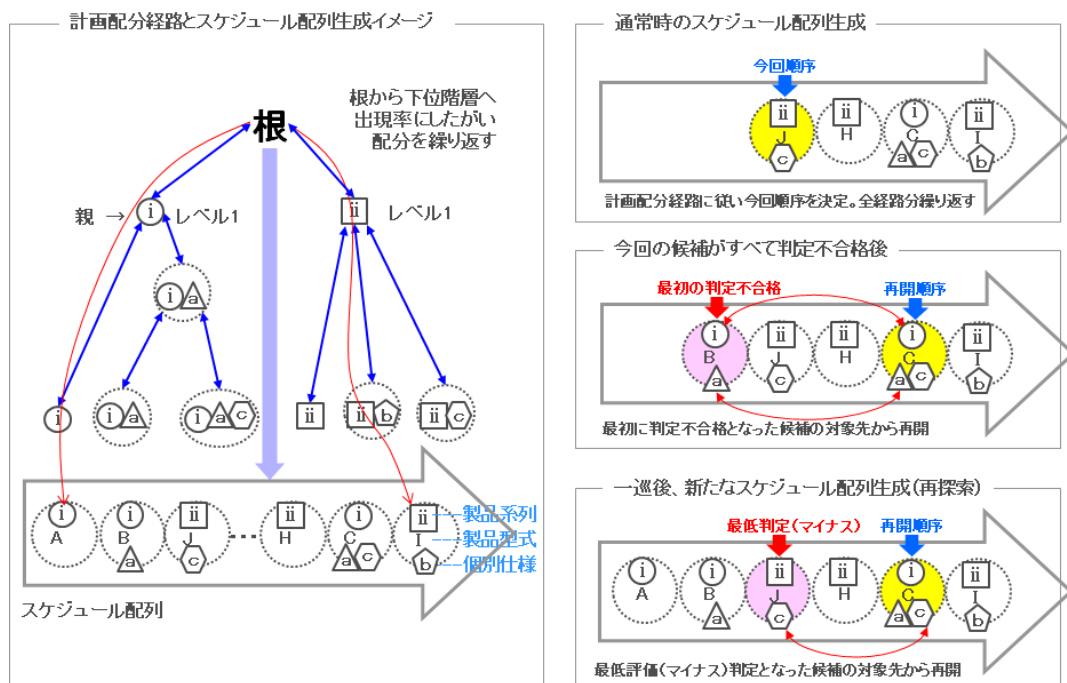
出所) 筆者作成

図 5.6.2 スケジューリング

そして、その過程を経て生産実行可能な組み合わせとして記録された複数のスケジューリング処理結果は、次項「5.6.3 工程計画選択」行程において工程計画案として提供し、スケジューリング担当者の選択によって最終意思決定する。

5.6.2.1 生産条件別の計画配分とスケジュール配列（順序）の生成

スケジュール配列（順序）は、均質な配列をつくり出すために生産条件連関表に設定された個別生産条件および複合生産条件の親子関係を表す木構造（ツリー）に基づき生産計画数量比にしたがって、生産条件別の配分を階層的に繰り返しながら生成する。また、その処理技法は平易な出現率による配分を基本とし、可能な限りコストをかけず実現できることを前提とする。なお、理論的には生産計画数量×生産条件の木構造（ツリー）数だけ実行することになるが、実際には生産計画数量に達した時点で該当生産条件の配分は終了するため処理回数は抑制される。



出所) 筆者作成

図 5.6.2.1 計画配分スケジュール配列

具体的には、「5.6.1.6 複合生産条件と個別生産条件間の相関生成によるバイアス除去対策」において生産条件連関表に設定登録した生産条件間親子関係の根条件（レベル値「0」）から開始する。「5.6.1.7 生産計画に基づく条件値生成によるバイアス除去と客観性向上対策」において生産条件別に求めた生産計画台数と生産計画比率に基づいて各階層の親子関係の子側生産条件へと計画を配分し、最下位層までのスケジュール配列を生成する。ここでは、出現率による計画配分とし、生産計画比率に対して配分

比率実績の乖離が大きい、すなわち処理中における分配率（＝配分比率実績÷生産計画比率）の小さい生産条件から配分して行くことによって金太郎飴のように均等に配分する（図 5.6.2.1）。

そして、この出現率による計画配分を分配率が次に小さい生産条件、さらにその次に小さい生産条件へと対象生産条件がなくなるまで続け、生産条件の組合せであるスケジュール配列の生成を繰り返し、次目「5.6.2.2 制約条件の判定」の候補として処理する。

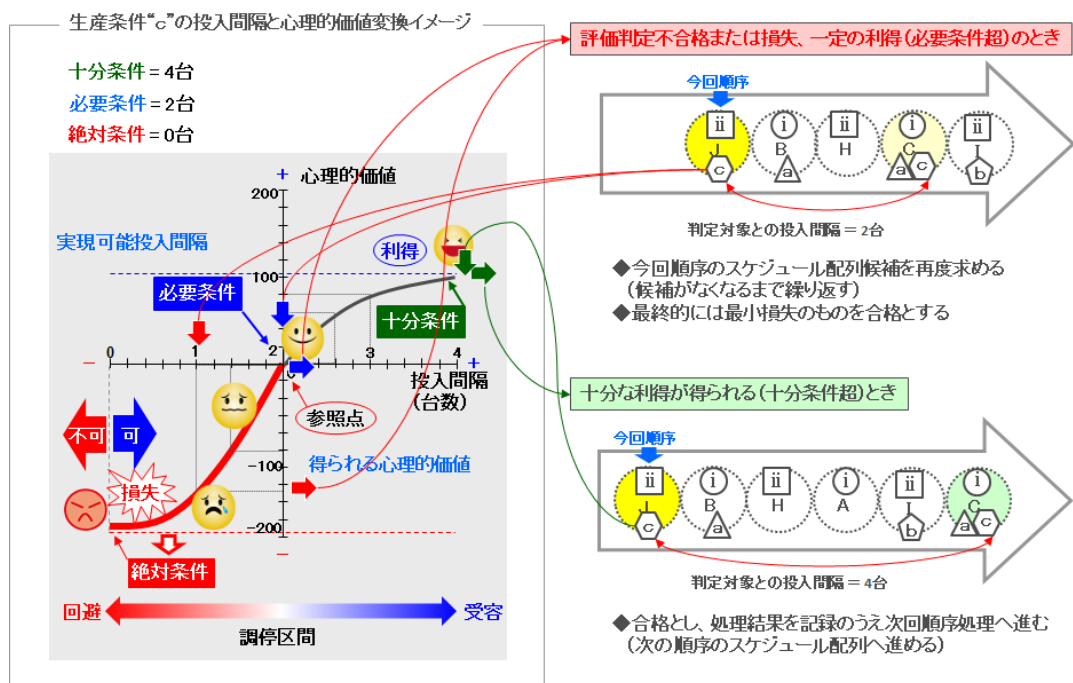
5.6.2.2 制約条件の判定

計画配分されたスケジュール配列は、配列中の個々の生産条件をその条件にしたがって評価判定し、生産実行可能なスケジュール配列として選別する。それは、スケジュール配列として与えられた生産順序とその生産条件が生産能力（数量）や収容容量の上限である設備制約や投入可能な物的生産資源量である材料部品の在庫制約の条件を満たし、また人的生産資源量としての作業工数に係る作業制約を満たしているか評価することである。これは、生産意思決定としての生産スケジューリングへの行動経済学から得られた知見の応用とスケジューリング担当者の意思の注入および実行であり、生産スケジューリング結果に対する納得性を図るための本研究の中心課題である。その評価判定の基準は「5.6.1.3 個別生産条件の設定」および「5.6.1.4 製品型式生産条件対応表の設定」にて設定した生産条件定義の資源量と、「5.6.1.7 生産計画に基づく条件値生成によるバイアス除去と客観性向上対策」にて生成した生産条件定義の投入間隔条件から求める。ただし、制約条件判定の対象は個別生産条件のみとし、複合生産条件については判定処理しない。これは、スケジュール配列生成時に複合生産条件を考慮して配分済みであること。また、複合生産条件を構成する他の個別生産条件値を該当個別生産条件の投入間隔台数値に合算反映済みであることを、その理由とする。

設備制約や在庫制約による評価判定は、生産条件定義の絶対条件に設定された生産能力または材料部品の在庫量など物的生産資源量について、当該生産条件に該当する複数の先行（スケジュール配列前方の）生産条件が必要とする資源量に対し、設定された物的生産資源量の方が多い場合、今回分の資源余力が残されていると判断し評価判定結果を可とする。例えば、設定された物的生産資源量が 10 のとき、先行生産条件分の必要量が 9 であれば可、10 であれば既に資源を使い切っており評価判定結果は不

可となる。

作業制約による評価判定は生産条件定義の必要条件を参照点とし、投入間隔の増加に対しこれ以上利得としての心理的価値が増加しない投入間隔台数を十分条件、投入間隔の減少に対しこれ以上損失としての心理的価値が減少しない投入間隔台数を絶対条件とし、これらを結ぶ曲線から投入間隔台数に対する利得または損失として得られる疑似的に数値化された心理的価値を評価判定基準とする。このとき、心理的価値は参照点である必要条件は0（ゼロ）点のニュートラルポジションとし、区分定義部または条件値定義部の十分条件に設定された満点値、絶対条件に設定された及第点値に示す範囲値を採る（図 5.6.2.2）。



出所) 筆者作成

図 5.6.2.2 投入間隔と心理的価値変換

なお、条件が指定されていないときは満点を 100 点、及第点を▲200 点とする。そして、この条件下における当該生産条件に該当する先行生産条件がスケジュール配列上の何台前に存在するか見つけ出し、その相対的位置関係から 1 を減じた数値を投入間隔台数とする。そして、この求めた投入間隔台数を基に先の利得損失曲線から利得または損失として数値化された疑似的心理的価値を求め、評価判定する。この時の心理的価値がプラスのときに納得性の得られている状態、マイナスのときは生産条件間の

調停や比較によって選択意思決定が必要な状態として扱うものとする。なお、投入間隔台数が絶対条件の求める投入間隔台数を下回り、絶対条件を満たすことができない場合は評価判定結果を不可とし、当該スケジュール配列の制約条件判定処理を中止し、そのスケジュール配列を除外することにより処理対象を少なくすることができる。

この心理的価値は得られる利得または損失が逓減するというプロスペクト理論の特性を簡略化し、参照点である必要条件を原点(0)とする対数値を求める疑似的数値化によって代替する。具体的には、必要条件を満たしている場合は、十分条件の投入間隔台数と必要条件の投入間隔台数との差分に1を加えた値を基底とし、算出時の投入間隔台数と必要条件の投入間隔台数との差分に1を加えた値の対数を求め、条件指定された満点の係数値を乗じることにより利得を疑似的数値として得ることができる。また、必要条件を満たしていない場合は、絶対条件の投入間隔台数と必要条件の投入間隔台数との差分の絶対値に1を加えた値を基底とし、算出時の投入間隔台数と必要条件の投入間隔台数との差分の絶対値に1を加えた値の対数を求め、条件指定された及第点の係数値を乗じることにより損失を疑似的数値として得ることができる(表5.6.2.2)。

表 5.6.2.2 投入間隔台数と心理的価値

条件領域	条件区分	投入間隔	心理的価値		
満点→	十分条件→	I_s 19	100 M_s		
		18	95		
		17	90		
		16	85		
		15	78		
		14	70		
		13	60		
		12	48		
		11	30		
		参照点→	必要条件→	I_n 10	0 M_n
		(不満足)	絶対条件→	9	-58
8	-92				
7	-116				
6	-134				
5	-149				
4	-162				
3	-173				
2	-183				
及第点→	絶対条件→	I_a 0	-200 M_a		

V

I_r = 実際の投入間隔
 I_s = 十分条件の投入間隔
 I_n = 必要条件の投入間隔
 I_a = 絶対条件の投入間隔
 M_s = 十分条件の係数(満点)
 M_n = 必要条件の係数(参照点)
 M_a = 絶対条件の係数(及第点)
 V = 利得または損失の心理的価値

出所) 筆者作成

これを数式で示すと、実際の投入間隔 I_r 、十分条件の投入間隔 I_s 、必要条件の投入間隔 I_n 、絶対条件の投入間隔 I_a 、十分条件の係数（満点） M_s 、必要条件の係数（参照点） M_n 、絶対条件の係数（及第点） M_a とするとき、利得または損失の心理的価値 V を下記数式により求めることができる。

$I_r \geq I_s$ のとき

$$V = M_s$$

$I_n < I_r < I_s$

$$V = (\log_{(\text{abs}(I_s - I_n) + 1)} (\text{abs}(I_r - I_n) + 1)) \times M_s$$

$I_r = I_n$ のとき

$$V = M_n$$

$I_a < I_r < I_n$

$$V = (\log_{(\text{abs}(I_a - I_n) + 1)} (\text{abs}(I_r - I_n) + 1)) \times M_a$$

$I_r \leq I_a$ のとき

$$V = M_a$$

なお、心理的価値の疑似的数値化は、心理的価値が主観によるものであり個人によって感じ方が異なること。得られる事象の出現率によって変化するなど、その特定が難しいことから、利得および損失が逡減するという特性のみを応用することとした。

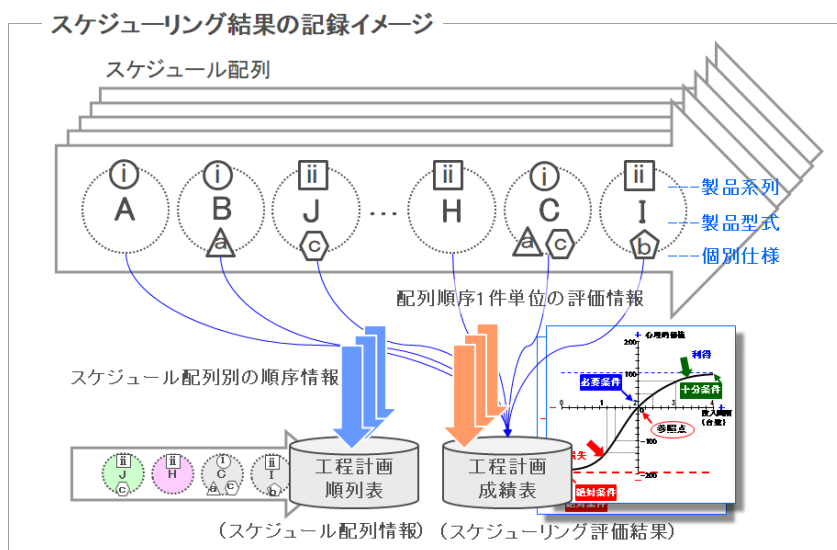
5.6.2.3 スケジュールリング処理結果の記録

生産条件による評価判定結果、絶対条件をクリアすることができたスケジュール配列は、その利得と損失による評価成績とともに工程計画案として記録する。その時のスケジュール配列の並び順の情報は「工程計画順列表」に、配列 1 件ごとの評価成績は「工程計画成績表」に記録する。

この工程計画順列表の構成は、工程計画案を識別するための文字列または記号により、どのスケジュール配列に属すものかを表す「スケジュール配列区分」、スケジュール配列内の順序を表す「スケジュール順位」、割り当てられた生産条件を示す「配分生産条件」より構成する。この配分生産条件は生産条件定義に準じ、区分定義部を除く識別定義部、処理条件定義部、条件値定義部の各データ項目より構成する。

また、工程計画成績表はスケジュール配列を構成する生産条件 1 件単位にスケジュー

ール配列区分およびスケジュール順位とともに、その評価判定結果としての「合格／不合格区分」と条件値の属性を表す「資源量／投入間隔」を記録し、生産条件値の属性が設備制約や在庫制約の場合は自身が必要な資源量を差し引いた後の「残り資源量」、生産条件が作業制約の場合は実現できた投入間隔台数とそのときの「心理的価値」への変換値を記録する（図 5.6.2.3）。



出所) 筆者作成

図 5.6.2.3 スケジューリング結果記録

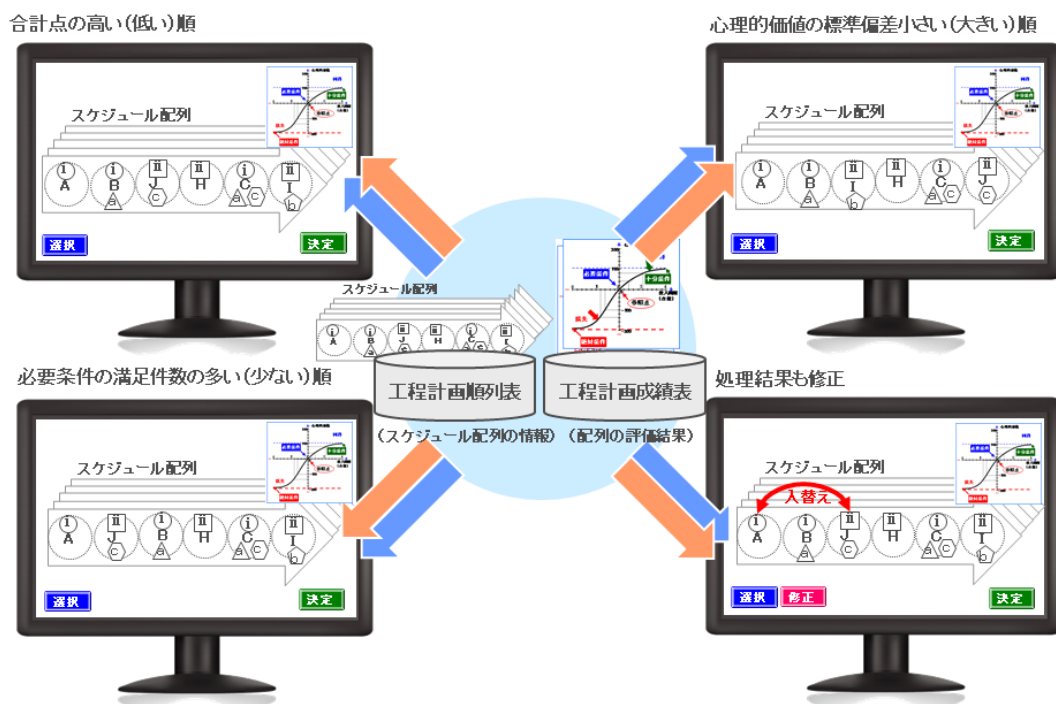
5.6.3 工程計画選択（最終意思決定）

「工程計画選択」行程の中心的役割は、スケジュールリング処理結果として記録された複数の工程計画案の中から工程計画を選択し、確定させるためのスケジュールリング担当者の最終的意思決定支援にある。複数の工程計画案を利得と損失による評価とともに提示（表示）し、担当者の最終的意思決定によって工程計画を確定させる過程とそのしくみを持つ。

スケジュールリング担当者または関係者に対する工程計画案の提示は、工程計画成績表に記録された評価判定結果を基に工程計画案別にリスト表示する。そして、その中から最終意思決定し、工程計画を選択することを促す。リスト表示は、該当スケジュール配列の合格／不合格区分の情報の全件が合格であることが条件となる。すなわち、生産条件値の属性が設備制約や在庫制約の場合は残り資源量があるか、ちょうど使い

切ってしまった状態のもの。生産条件が作業制約の場合は実現できた投入間隔台数が絶対条件を満たし、そのときの心理的価値が及第点以上のものだけで構成される工程計画案がその対象となる。

そして、工程計画案の提示順は、心理的価値の合計点の高い順にリスト表示することを基本（規定）とする。ただし、この提示順は選択可能とし、必要条件満足件数の多い順または少ない順、必要条件を満足する心理的価値（プラス値）の合計点が高い順、必要条件を満足できない心理的価値（マイナス値）の合計点が高い順、心理的価値の平均値に対する標準偏差のマイナス振幅幅が小さい順など、多面的評価指標を提供する。そして、工程計画案毎の配列順とその生産条件および評価値のリスト表示された情報も提供可能とし、スケジュール担当者の最終意思決定を支援する（図 5.6.3）。



出所) 筆者作成

図 5.6.3 最終意思決定とその支援

また、スケジューリング処理結果としての工程計画案は、スケジューリング担当者によってその配列順を手直し可能とする。そして、手直し後のスケジュール配列に対して生産条件に基づいて再評価のうえ、この手直し分も工程計画案として追加記録可能とする。これにより、スケジューリング担当者はスケジューリング処理結果に加え

て自身が手直しした工程計画案の中から満足度の最も高い工程計画を選択することが可能となり、「**納得性**」をとりわけ向上させることができる。

なお、スケジューリング処理結果の最終意思決定選択および手直しについては必須とせず、継続的な運用の後にスケジューリング処理結果に十分な納得性が認められる場合は、評価値が最良のものを自動的に工程計画とすることも可能とする。これは、次世代生産システムとしての自動的生産連動および生産スケジューリングの業務運用の容易性をより一歩進めるものである。

最終的にスケジュール担当者が意思決定選択または自動選択した工程計画を後工程の必要とする形に加工編集し、製造部署へ引き渡すまでの作業を本行程の役割とする。また、この段階において生産条件へ変換前の期間生産計画における製品型式へ還元するとともに、期間生産計画に指示を受けている製造オーダー情報を付加し、製造部門に対して生産指図する。

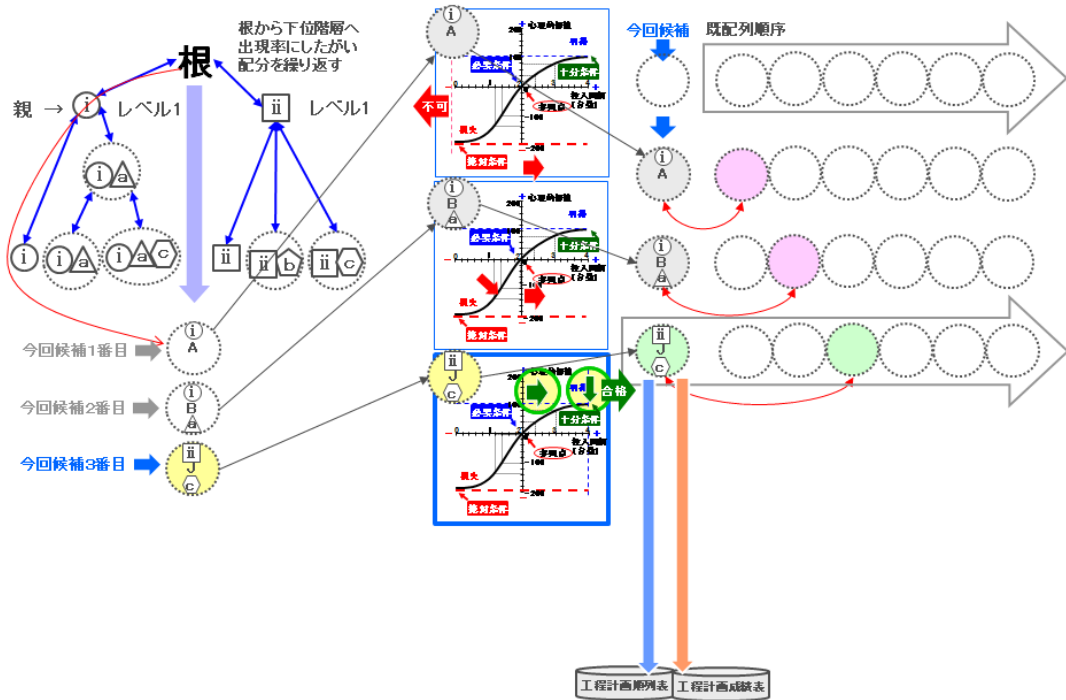
5.7 新しい生産スケジューリングによって何が解決できたか

新しい生産スケジューリングによって何が解決できたか、スケジュール配列の生成から制約条件判定における特徴的場面について図を交えながら、そのアルゴリズムと処理結果を詳述する。それぞれの場面ともに、スケジュール配列の生成において期間生産計画から出現率にしたがって順次候補を決め、この配列候補と前方に位置する該当生産条件との投入間隔を生産条件にしたがい心理的価値へ変換し、投入可否を評価判定する。

5.7.1 スケジュール配列候補が十分条件を満足するとき

すでに確定済みのスケジュール配列順序の1台前がA、2台前がB、3台前がJ、4台前がH、5台前がC、6台前がI、・・・の順番である。そして、期間生産計画から生産条件連関表に基づき出現率にしたがって順次決める今回の配列候補の1番目がA、2番目がB、3番目がJ、4番目がH、5番目がC、6番目がIである。このとき、配列候補1番目のAは絶対条件を満たせず不合格。配列候補2番目のBは絶対条件は満たしているけれども必要条件を満たしていないので次の配列候補を求める。配列候補3番目のJは十分条件を満たし、十分な利得が得られるので即座に合格とし、処理結果を記録保存後、次回配列候補処理へ進む。

これは、平準化の基本的考えにしたがい金太郎飴のように分布するように出現率にしたがいスケジュール配列候補を決めて行く中で、十分に満足する条件が出現したものであり、平準化を図るうえでこれ以上の条件は存在しないという人間に代わるロジック的評価によるものである。



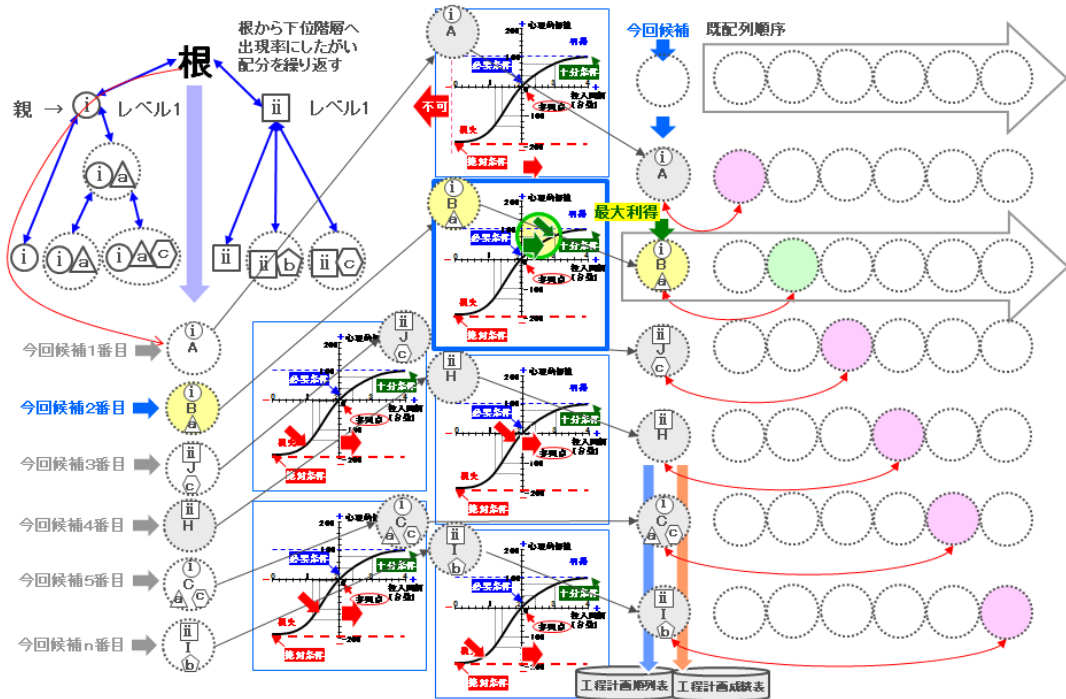
出所) 筆者作成

図 5.7.1 スケジュール配列候補が十分条件を満足するとき

5.7.2 必要条件を満足するが十分条件を満足しないとき

確定済みのスケジュール配列順序および今回の配列候補の並びが前項と同様である。このとき、配列候補1番目のAは絶対条件を満たせず不合格。3番目から6番目の配列候補は絶対条件を満たしているけれども必要条件を満たしていない。配列候補2番目のBは必要条件を満たしているけれども十分条件を満たせていない。しかし、Bには利得があり、しかも最大であるから今回のスケジュール配列を2番目のBとする。

これは、利得と損失が混在する状況下においては、最大利得を選ぶべきであるという人間に代わるロジック的評価によるものである。



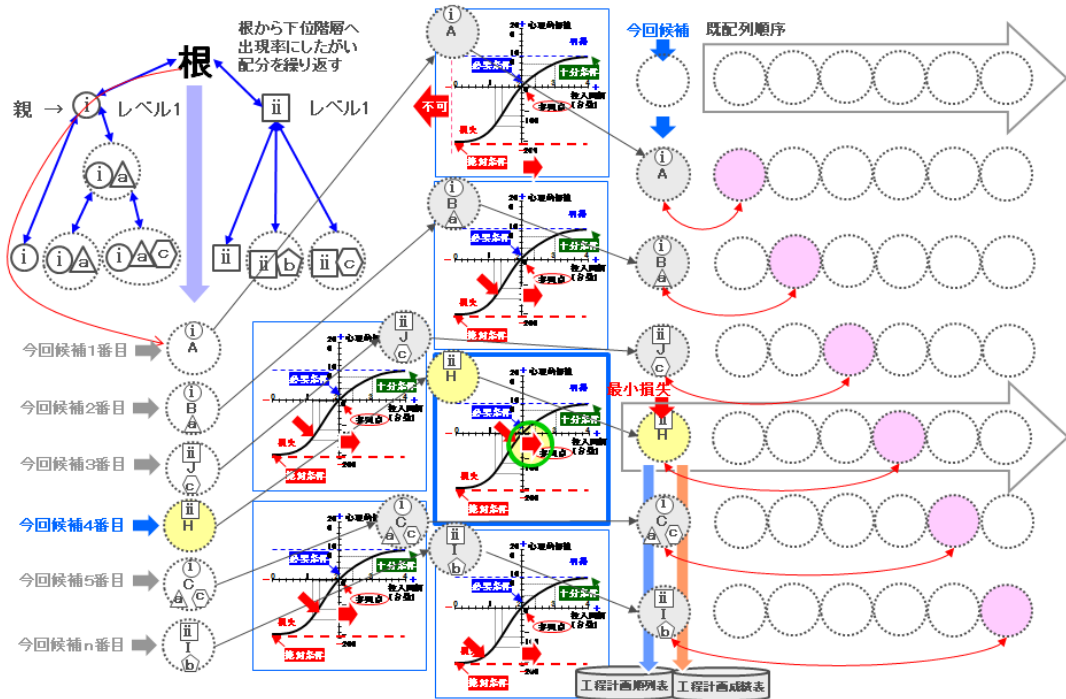
出所) 筆者作成

図 5.7.2 スケジュール配列候補が必要条件を満足するとき (最大利得)

5.7.3 絶対条件を満足するが必要条件を満足しないとき

確定済みのスケジュール配列順序および今回の配列候補の並びが前項と同様である。このとき、配列候補1番目のAは絶対条件を満たせず不合格。2番目から6番目の配列候補も絶対条件は満たしているけれども必要条件を満たしていない。その中で、配列候補4番目のHの損失が一番小さいから今回のスケジュール配列を4番目のHとする。

これは、すべて損失という状況下においては、損失の一番小さいものを選ぶべきであるという人間に代わるロジック的評価によるものである。



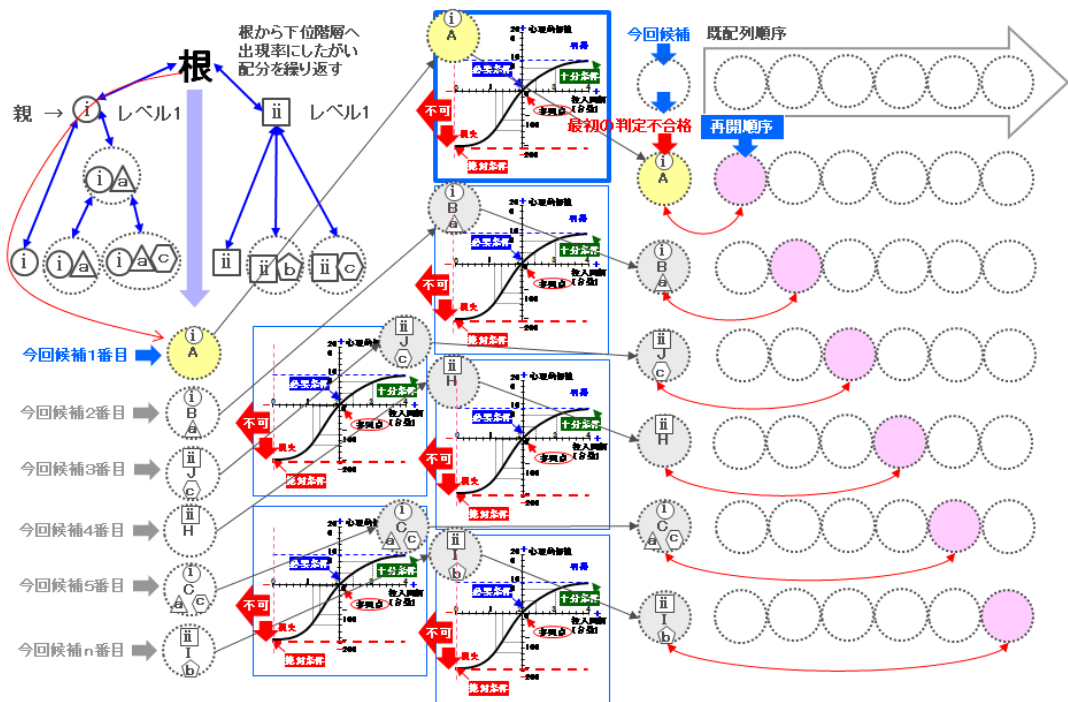
出所) 筆者作成

図 5.7.3 スケジュール配列候補がすべて損失のとき

5.7.4 配列候補のすべてが不合格のとき

確定済みのスケジュール配列順序および今回の配列候補の並びが前項と同様である。このとき、1番目から6番目の配列候補のすべてが絶対条件を満たすことができなければ、最初に不合格となった1番目の配列候補Aについて、その対象となった先行する確定済みのスケジュール配列順序1台前のAに遡り、スケジュールリングをやり直す(蒔き直す)。ただし、1台前のAの蒔き直しがうまく行かないときは、2台前のB、3台前のJ、4台前のH、5台前のC、6台前のI、・・・の順番でやり直し対象をさらに遡って広げて行く。

これは、すべて不合格(大きな損失)という状況下においては、やり直しというスケジュールの蒔き直しによって、起死回生の挽回が図れる可能性もあり、すべてが損失という状況下にあっては、リスク選好的な行動意思決定もあるという人間に代わるロジック的評価によるものである。



出所) 筆者作成

図 5.7.4 不合格時のスケジュール蒔き直し

5.7.5 スケジューリングの蒔き直し

配列候補すべてが不合格となった場合のスケジュール蒔き直しを単純モデルにより解説する（図 5.7.5）。製品型式 A が 2 台、製品型式 B が 2 台、製品型式 C が 2 台、製品型式 H が 1 台、製品型式 I が 1 台、製品型式 J が 2 台の合計 10 台が計画されている。これを製品系列（i、ii）と仕様（a、b、c）に展開し、それぞれに期待される投入間隔を求める。このとき、既存スケジュールリングにより禁止則に基づき調整を図ろうとした場合、図中左のように仕様 c の連続が発生し、スケジュールリング担当者が期待するような結果が得られない。

これに対し、新しい生産スケジュールリングによるスケジュールの蒔き直し処理を行った場合、最初に不合格となった製品 C の対象先の製品 J からやり直し、うまく行かないので製品 B、製品 I と順次遡ってやり直した結果、すべての条件を満たすスケジュール配列を得ることができた。このように、プロスペクト理論を応用することによって、あえて不利な条件を選択し直すというリスク選好的な選択が人間に代わって問題解決を可能としている。

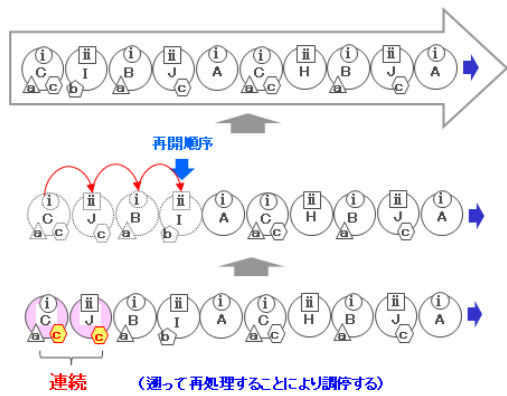
既存スケジュールリングの評価判定

生産条件

製品系列	仕様1	仕様2	台数	製品系列	台数	期待間隔
A	i		2	i	6	0
B	i	a	2	ii	4	1
C	i	a	2			
H	ii		1	仕様	台数	期待間隔
I	ii	b	1	a	4	1
J	ii	c	2	b	1	8
合計			10	c	4	1



プロスペクト理論に基づく心理的価値変換



出所) 筆者作成

図 5.7.5 スケジューリングの蒔き直し

5.8 研究結果とその考察

生産スケジューリング問題における生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、生産条件間の「調停」という3つの課題を中心に研究を進めた。研究を振り返り、新しい生産スケジューリング手法がどのような機能を果たし、生産スケジューリング問題を解決できたか、その研究結果と意義について考察する。

既存の生産スケジューリングが生産工程または生産設備を対象とし、主として OR 的アプローチにより生産工程または生産設備からの産出量を評価し、効用の最大化や最適な生産順序を求めことにあった。しかしながら、生産を決定づける要因は多岐にわたり生産条件のすべてを網羅することは現実的に難しく、人間の能力には限界があるから処理結果が正しいと確信し納得できるとも限らない。既存の生産スケジューリングにおいて扱う生産条件は、制約条件として与えられるものであるから、あくまでも「やってはいけないこと」、「あってはならないこと」を示しているのであって、「してほしいこと」、「なっしてほしいこと」を求めているわけではない。ここに納得性が得られない理由があるのではないかと考えた。また、「納得性」が経験や勘などにに基づき事象から受ける印象または感覚（スケジューリング担当者が受ける心理的利得または損失）という形のない人の内面の問題を取り扱うものであることに着目し、心理的価値評価により生産意思決定を図ることが有効であると考えた。この仮説に基づき行動経済学の知見を応用した新しい生産スケジューリングが本章の提案研究であった。

その研究結果は、「5.7 新しい生産スケジューリングによって何が解決できたか」に示したように、人（担当者）の意思決定を代替しうる生産スケジュール配列を作成するものであった。また、生産条件の「網羅性」が高まり条件競合が起きた場合、生産条件の心理的価値への変換によって条件間の「調停」を図り、利得と損失の関係によってうまく調整している。とりわけ、「5.7.5 スケジューリングの蒔き直し」は、既存の生産スケジューリングに生じやすい禁止則の対象条件のものが最後に残ってしまう（または、条件を甘くすると対象条件が前方に偏る）という事象に対して、生産条件が成立しない相手先まで遡りやり直し、あえて不利な条件を選択する中から問題事象の打開を図ることを実現している。まさに、スケジューリング担当者が「してほしいこと」、「なっしてほしいこと」と考えるような対応を可能としている。

これらは、生産スケジューリングにおいて行動経済学の知見の応用が生産条件の「網

「網羅性」を高めつつ、スケジューリング結果への「納得性」を確保するための生産条件間の「調停」機能として重要な役割を果たすとともに、人（担当者）の意思決定を代替し、納得性が得られる工程計画の立案に対して有効であることを示すとともに、「1.2 研究目的と概要」における仮説を立証するものである。これを、「網羅性」、「納得性」、「調停」の3つの視点から詳しく見てみる。

まず、「網羅性」については、問題を完全に構造化することは困難であるから、生産条件のすべてを網羅することは不可能である（構造化問題）。そもそも人間は大体のところで満足している（限定された合理性）のであるから、生産スケジューリング時の処理条件である生産条件は、スケジューリング担当者が処理結果に反映させたい経験に基づく関心事のみを条件設定すればよいと考える。しかし、個別生産条件を複数持つ複合生産条件の製品（部品）が存在する場合、該当する複数の個別生産条件間の干渉によって投入間隔をうまく調整することができない。この課題に対しては、個別生産条件の組合せを複合生産条件として自動的に生成、増殖させることによって解決を図ることができる。一旦、自動生成した複合生産条件と関連する複数の個別生産条件を同列の生産条件として扱い、その投入間隔を調整する。それから、複合生産条件を構成する複数の個別生産条件に分配することにより個別生産条件の投入間隔を調整することができる。すなわち、複合生産条件の自動生成は、生産条件の網羅性を高めるとともに投入間隔をうまく調整処理し、納得性の確保にもつながる。

次に、「納得性」については、そもそも人間は大体のところで満足しているのであり、スケジューリング担当者の満足のゆくスケジューリング結果への期待は、担当者の関心事に対する結果への納得性である。そして、担当者の経験則に基づくものであるからバイアスをとまなう。よって、満足のゆく結果とは必ずしも最適解である必要はなく、担当者が確からしさを確信できる（満足できる）ものであればよい。スケジューリング担当者の関心事であるスケジューリング処理の肝となる生産条件を確実に把握したうえで生産計画を正しく認識し、その生産計画に基づき投入間隔台数などの生産条件値を求めることによって、係留効果などのバイアスに起因する誤った期待値を生じさせないための方策を採ることによって納得性が確保できる。また、人間は利得よりも損失には敏感に反応し損失の少ないほうを選ぶという「プロスペクト理論」に基づき、損失が最小となるスケジューリング結果の提供を優先することが納得性につながる。

また、すべての処理結果が損失（処理結果がすべてマイナス）の場合、個々の配列を見て選択できるようにすることは、部分的に目立つ大きな損失があっても利益を得る部分も多く含まれる受容可能な工程計画を見い出すことができ、そこから納得性を得ることも可能となる（損失に対する選択のギャンブル性）。それは、損失となる結果が多いほど機能を発揮し、損失の中に埋もれている利得を探し出す効果を生む。例えば、ライン作業の場合、流れてくる負荷の高い箇所が特定できれば、作業応援によってカバーすることもできる。この負荷の高い箇所が少ない方が応援による対応は取りやすく、多ければ応援能力（対応可能人員）を超えてしまい、ライン停止につながる。これを、ベルヌーイの理論（=期待効用理論）に基づき合理的に判断しようとするれば、配列選択において選択可能な生産条件がなくなってしまうたり、すべての処理結果が損失の場合、選択できるものがなくなるか、受容可能な結果を見落としてしまう可能性がある。これに対し、「**プロスペクト理論**」に基づく損失に対する選択のギャンブル性の適用は、その解決策となると考える。

そして、「**調停**」については、スケジューリング処理過程においては、どちらを選ぶべきかという背反関係にある生産条件間の競合事象が発生する。この場合、得点より失点に注意し、損失の少ないほうを選ぶという「**プロスペクト理論**」に基づく条件選択によって条件間の調停を図り問題解決することができる。また、すべて損失という場合においても、前述の納得性でも触れたようにその中から損失の少ないものや、部分的に目立つ大きな損失があっても利益を得る部分も多く含まれる受容可能な工程計画を見い出すことも可能となる。

これらの研究から、人間が限定された合理性の中で意思決定しているという状況において、行動経済学の知見を活用することは係留効果などバイアスによるヒューリスティクスを防ぎ、生産条件の「**網羅性**」、スケジューリング結果への「**納得性**」、生産条件間の「**調停**」という3つの重要な課題に対する問題解決を図ることに繋がる。それは、次世代生産システムの生産スケジューリングを実現し、生産意思決定するうえで有用であること示している。

5.9 実用化のための課題

その有効性が確認されただけで実用化へ進展するわけではない。新しい生産スケジューリングを実用できるものとするためには、業務モデルの構築とその人材、システ

ム構築と人材、そして設備投資費用などの問題解決を図る必要がある。そこで、実用化するための IT 導入など、今後の研究課題を整理する。

まず、業務モデルについては新しい生産スケジューリングを業務オペレーションにどのように組み込むのか、または業務モデル全体を再構築するのかという問題である。このときに課題となるのが、業務モデルを企画設計し、運用を定着させることのできる人材の確保である。それを困難とする要因としては、業務モデルが戦後復興を支えた戦前生まれ世代や高度成長を支えた団塊世代の創意工夫によって構築されたものが多いこと。団塊世代が退職した現在、以前からそうしているという理由で運用され続けている場合や、属人化されていたり、業務の内容が暗黙知化されている場合もある。

次に、システム化およびシステム導入にあたり、システムの企画設計と開発運用して行くことのできる人材の確保が課題となる。企業システムは団塊世代が必要に迫られて IT を活用し創意工夫しながら構築してきたものも多く、団塊世代が退職した現在、処理内容がブラックボックス化したり、退職を前に市販の ERP パッケージにリプレイスされたものが新たなブラックボックスとなっている場合がある。

そして、最後に残るのはこれらに対応するための費用問題である。人材が確保できない場合は、新たな人材を外部から採用したり、コンサルティングサービスを活用することになる。また、システム開発であれば外部委託も選択肢となる。

6. 中小企業における次世代生産システムと生産スケジューリング

前章「5. 行動経済学に基づく生産スケジューリング」において、ITを活用した新しい生産スケジューリング手法の論理を構築した。本章は、中小企業がこれを実践に移すときの留意事項として、中小企業の生産システムのあり方やITの利活用状況、IT人材の実態を把握・分析し、それを反映して中小企業でも実現可能な生産スケジューリング手法として構築することを目指すものである。

まず、第1節「6.1 中小企業と次世代生産システム」においては、中小企業にとって次世代生産システムとは何か、如何に取り組むべきか、その課題を探る。まず、中小企業における情報システム化について、先行研究や文献を概観したうえで、中小企業における情報システム構築のあるべき姿について考察する。続いて「第4次産業革命」、「インダストリー4.0」をテーマとする書籍や雑誌掲載論文から、ブーム的状況の背景とその現状を把握し、中小企業へ次世代生産システムを導入する場合の情報通信側から見た技術課題を探る。そして、経営学の視点からインダストリー4.0がどのように捉えられているのか、研究者の書籍文献から把握する。そのうえで、次世代生産システムを導入する側の中小企業の状況を、白書および調査報告書から把握し、中小企業側の採るべき取り組み課題を探る。

次に、第2節「6.2 中小企業と生産スケジューリング」においては、中小企業が生産スケジューリング問題にどのような取り組むべきか、現状を把握したうえで、その課題を探る。まず、中小製造業の生産スケジューリングの現状を把握する。続いて、スケジューリング担当者が重視する生産条件とその特性を調べる。そして、白書から中小企業におけるマスターデータの整備状況を把握し、生産条件としての利用可能性を探る。

そして、第5章「5. 行動経済学に基づく生産スケジューリング」および第1節、第2節の結果を受けて、迅速かつ着実な生産実行を担保し得る生産意思決定のための生産スケジュールとして、第3節「6.3 中小企業が生産スケジューリングを実現するうえでの課題と解決の方向性」に、これを整理する。それを踏まえて、これまでのコンピュータを活用した情報処理だけでは解決できなかった問題を解決し、誰がやっても同じ結果が得られ、現場で納得が得られるスケジューリング結果であることなど、先の研究に基づく行動経済学の活用による新しい生産スケジューリングの方向性を示す。

6.1 中小企業と次世代生産システム

システムとは「複数の要素が有機的に関係しあい、全体としてまとまった機能を発揮している要素の集合体」(広辞苑第7版)とされており、これを生産に当てはめると、「生産実行するために複数の要素が有機的に関係しあい、全体としてまとまった機能を発揮している要素の集合体」ということになる。すなわち、要素として「人」、「設備」、「材料」、「情報」、「工法」など企業が保有する資源があり、これを駆使して生産を実現するための「しくみ」が生産システムである。その代表例として TPS や NPW⁸³ といった日本の自動車産業の生産システムを挙げることができる。

これに対して、インダストリー4.0 はコンセプトのひとつである CPS のようにサイバー空間（コンピュータシステム）とフィジカル空間（物質）によってとらえる見方であり、「人」の存在が希薄または存在しない空間で自動的に実行される生産のしくみを標榜するものであると筆者は見ている。この相違を念頭に、技術革新とともに自動化が進展している状況において、中小企業が生産システムのあり方を見て行く。

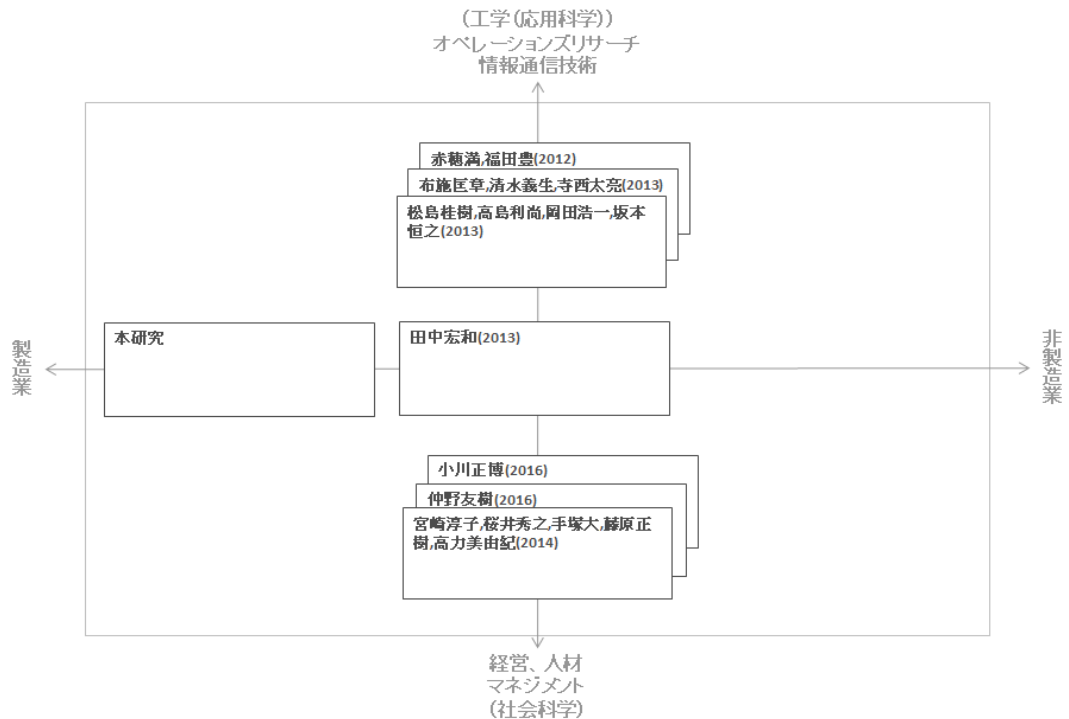
インダストリー4.0 の目指す第4次産業革命は、企業や工場を超えて繋がる生産連動を実現するとしており、生産連動によって中小企業も例外なく変化が求められ、短納期生産や生産連動のための迅速な生産意思決定が次世代生産システムとして欠かせないものとなる。しかし、この話題に触れる場合、ロボットや「見える化」など設備や設備との接続手段が論じられることが多い。

そこで、本節は「中小企業にとって次世代生産システムとは何か、その取り組みは如何にあるべきか、それを手段としての IT に偏ることなく、次世代生産システムに求められる迅速な生産意思決定のための製造現場の課題」に軸足を置き、論じるものである。まず、冒頭の「6.1.1 中小企業における情報システムのあり方」において、「中小企業」と「情報システム」のあり方から探る。そのうえで、「第4次産業革命」に係る取り組みの経緯と現状を把握し、さらに中小企業の IT 利活用の現状を捉えながら、中小企業の次世代生産システムに対する取り組み課題を探る。

⁸³ NPW (Nissan Production Way : 日産生産方式) とは、お客さまに対する「品質の同期」「コストの同期」「時間の同期」を掲げ、現場管理を中心とする日産の「モノづくりの底力」を支える製造手法。

6.1.1 中小企業における情報システムのあり方

「図 6.1.1 本研究の位置づけおよび先行研究との関係」に、本研究と先行研究との関係を示した。これら研究論文を基に、これまでの中小企業における情報システムの導入の問題点と、これからの「中小企業」と「情報システム」のあり方を論じる。



出所) 筆者作成

図 6.1.1 本研究の位置づけおよび先行研究との関係

まず、田中宏和(2013)は、大企業と比較して中小企業の情報化が進展していない原因が、中小企業向けシステム開発手法にあるとしている。「PDCA サイクルが一回で終了し、連続しないことが中小企業にシステムを導入することを困難にしている」とし、コンサルタントとシステムエンジニア、プログラマ、ユーザの四者がチームを組み、短いサイクルで PDCA サイクルを回しながら、情報システムの検討と開発、および業務改善活動を同時並行で推進していくシステム開発アプローチを提案している^[26]。筆者も、これまでの経験からサイクルが PD で止まり、導入しっぱなしで変化への対応がなされず使用されなくなっているシステムを見てきた。この短いサイクルで PDCA サイクルを回しながら開発を進めるアプローチは、その経験から問題解決に効果があ

ると考える。しかし、同時にコストやユーザ側で人を充てることができるかという別の問題についても、その考慮が必要であると考えられる。

次に、松島桂樹/高島利尚/岡田浩一/坂本恒之(2013)は、中小企業の IT 経営にはクラウド⁸⁴が有効であると言われ続けてきたが、普及する気配が見えないことに対して、IT 経営という新しいコンセプトの実現には新しい設備や技術を、これが今の IT 投資戦略に適切な態度であるとし、『新しいワインを新しいグラスに注ぐ』というクラウドのような新しい情報システムの構築には新しい方法を検討しなければならない。できる限り早い段階で様々なツールを組み込んだ情報システムを試作し、どうしたら活用できるかを検討すべきである」と主張している^[27]。これは、導入ありきの姿勢であるとともに、中小企業が導入に踏み切れない導入費用や人材問題など真の原因について対策されなければ解決できないと考える。しかし、「クラウドは、社内のみならず企業間での情報連携に役立つと言われている。(後略)」としており、これは中小企業が企業を越えてつながるための一つの有用な手段となり得ると考える。

同じく布施匡章/清水義生/寺西太亮(2013)は、「企業の実務へのクラウド導入は、特に中小企業へは、予想するほどには進んでいないのが実態である。その理由は、クラウドのメリット・デメリットを正しく理解していないという企業側に IT 利活用の実態がある」と述べている^[28]。これは、松島桂樹/高島利尚/岡田浩一/坂本恒之(2013)と同じように、中小企業が導入に踏み切れない真の原因に踏み込んでいない。

宮崎淳子/桜井秀之/藤原正樹/高力美由紀/手塚大(2014)は、「IT システムは、多機能になれば、必要となるデータの種類も多くなる。大企業・中堅企業向けに開発されたシステムは稼動に必要なデータの種類と必要量が多く、経営層が必要な機能だけを使いたい中小企業にとって、新たにシステムを導入したい、機能を使いたいと思っても、現状では、稼動に必要なデータが紙で保管されていたり、人の記憶上にあつたり、そもそも存在していなかったりの状態であり、これをデジタルデータとして一元化することはシステム導入に際して非常に高い障壁になることがわかった」としている。また、「(前略) 中小企業では本来の業務が多忙であり、システム導入のために労力を掛けたり、人員を雇用したりすることが出来ないため、既存のサービス、パッケージが

⁸⁴ クラウドとは、正確にはクラウドコンピューティング (cloud computing) というデータセンターと呼ばれるインターネット上に置かれたコンピュータ内にデータとサービス (処理) を配置し、ユーザ側は最低限の資源としてパソコンなどの端末を設置し、サービスを受けるという形態がとられる。ユーザ側のシステム管理負担や資産負担が抑えられるとしている。

中小企業に広がらないのではないかと考える」とも述べ、中小企業にとって処理するために必要となるマスターデータなどの管理負担や導入後の業務負担が導入の足かせになることを明らかにしている^[29]。これは、我々が中小企業への導入を図るうえで、その阻害要因を探る有用な事例とでであると考える。

そして、赤穂満/福田豊(2012)は、オープンソース・ソフトウェア⁸⁵による中小企業間ネットワークの実証研究によりオープンソース・ソフトウェア利用によるシステム構築の実現性とコスト低減の可能性を示した^[30]。これは、次世代生産システムの目指す生産連動を安価に実現する場合、オープンソース・ソフトウェアを活用することが有用な手段となり得るものであることを示している。

また、仲野友樹(2016)は、情報システムの活用目的についてアンケート調査を行い、中小企業においては、「意思決定・経営判断のツールとして」情報システムを積極的に活用していないことをあらためて確認する結果となったとしている^[31]。これは、中小企業においては、資源が限られる中で一般的に考えられているように、例えば経営革新や事業再構築のための積極的な情報システム活用ではなく、人手不足やコスト低減のための省力化や効率化など、積極活用以外の目的を優先せざるを得ない現実を示すものであり、中小企業における IT の利活用を進めるうえで常に留意しなければならないことであると考えられる。

最後に、小川正博(2016)は、「IT の進展は目覚ましく社会や経済活動を変革し、活用せずには日常生活が成り立たない状況にさえ置かれている。当然、企業も IT をふんだんに活用して企業活動を変革し、新たな経営へと踏み出しているはずである。しかし中小企業をみると、IT のもつ可能性を引き出して新しい経営を展開しているかというところ、そうはいえない状況にある。高度な技術を標榜する日本の中小企業と喧伝されるものの、全体として IT 活用に取り残されているのではないか。産業革命をもたらしているといわれる IT を、経営のイノベーションに結び付ける中小企業があまりにも少ないのが実情である」とし、IT を活用して変革を遂げなければならないはずである中小企業の実情の遅れを指摘している。また、「中小企業における IT の活用は、顧客満足度の向上や業務革新、業務効率化に結びつかず、その結果収益性向上に結びついて

⁸⁵ オープンソース (open source) とは、人間が理解することのできるプログラミング言語で書かれたコンピュータの処理プログラムをソースコード (source program) と言い、これを一般に公開して誰にでも自由に利用できるようにする考え方、または、その考えに基づいて一般に対して公開されたソフトウェアを指す。

いないのが実情で課題が多いことが分かる」ともしており、情報化投資が経済的効果に結びついていないことも、その理由となっていることも示している。一方、生産に携わる職場に目を転じると「日本の技能者は古い技術と技能にこだわり、IT を活用した高度な設計技術に後れを来している」とし、その体質的問題点も指摘している^[32]。

これら、IT 導入が進んでいないことや業務革新や業務効率化につながる情報システムの活用が進んでいない中小企業の現状から、筆者は現場レベルで活用できる IT から取り組み、生産現場から変わって行くことが問題解決につながると考える。例えば、保全予防⁸⁶によって高い稼働率を実現する生産設備とその保全活動が、その教訓としての重要性を証明している。

6.1.2 中小企業とインダストリー4.0

「第4次産業革命」、「インダストリー4.0」をテーマとする書籍や雑誌掲載論文から、我が国の取組み現状を理解するための政府による取組みの基本的方向性や、インダストリー4.0の有用性を唱える研究者やビジネスジャーナリズムの動き、経営学の視点からのインダストリー4.0の捉えられ方を把握する。そこから中小企業の現状を把握し、その課題を論じる。

6.1.2.1 政府による取組みの基本的方向性

経済産業省は、『新産業構造ビジョン 第4次産業革命をリードする日本の戦略』（2016, 経済産業調査会）の中で、IT 利活用の現状と課題について「多くの中小企業は、システム構築のための費用負担やIT を高度に利活用する人材の不足などの理由により、利活用が進んでいない状況にある。また、その背景として、企業が業種の垣根を越えて連携するための共通システムが整備されていないなど、IT 利活用基盤の構築自体も課題となっており、こうした現状が中小企業の生産性向上の制約要因となっている」としている。そして、第4次産業革命の中小企業、地域経済への波及を図るための基本的方向性について「中小企業におけるIT 導入を促進するため、①専門家派遣

⁸⁶ 保全予防（MP：Maintenance Prevention）とは、設備保全活動の一種で、設備を計画する段階から、信頼性の高い、保全性のすぐれた設備の設計を織り込み、設備導入を図る方法である。自動車など、高い稼働率で操業する工場では、設備保全部署（現場）が企画、設計段階から参画し、過去の設備トラブルから得られた経験や事例に対する対策が取られる。

(今後2年間で専門家を1万社以上に派遣・導入支援実施)、②業種・企業の垣根を越えた共通システムの整備(国際標準化等)、③自動化支援(ロボット導入支援等)、といった支援策を講じる。こうした支援措置を通じて、中小企業によるIT投資の対象を内部管理業務のITへの置き換えから、販路開拓、企業間連携、製造プロセス、サービス提供方式の改善、など、経営力を強化する事業活動への拡大を促進する。この際、セキュリティ対策に留意しつつ、IT投資が持続的に増加する環境を官民一体となって整備する」としている^[33]。

しかし、これはIT投資をすれば問題が解決するという論理に代わってしまっており、抜粋前半にあるシステム構築のための費用負担やITを高度に利活用する人材の不足など、中小企業がIT投資に踏み切れない現状に対する対策が採られないまま、結論ありきの政策論となっている。そもそも、中小企業に対して、インダストリー4.0などのIoTということばで語られる高度なIT利活用の有効性と必要性が具体的に示されなければ、中小企業の積極的な投資行動は望めないと考える。例えば、人間は学習し習熟すれば異なる作業をこなすこともできるが、生産設備はプレス加工していたものが溶接加工できるようにはならない。そこに、生産設備を更新する経営的メリットがなければ、現実的には既存設備を使用し続けることになる。既存の生産設備を使いながらIT導入後の生産活動の変革をどのように図るのが明確でなければ、もしIT投資したとしても効果が上がらないばかりか、ITを活用した事業活動が導入前よりもオペレーションコストが大きいものとなる可能性もある。それは、多くの製品は機械設備だけで創り出せるものではなく、人間が介在しなければ生産することができないからである。このため、単に導入するだけで解決できるものではなく、企業毎に異なる生産設備や事業環境に適合させてカスタマイズしなければ機能しない、まさに業務モデルに係る問題である。

また、IoTやインダストリー4.0、MESなどは製品ではなく概念であり、導入する企業の環境にあわせてシステム構築しなければ機能しないものである。それゆえに、インダストリー4.0への過度な期待は禁物であり、企業毎に異なる状況に応じて適材適所にITの利活用を図り、それを使い倒すことのできるIT導入こそが重要であると考えられる。そして、品質とコストだけでなく人が効率的に働き、早く確実に造るという納期問題が、競争上の差別化として重要性を増していることも業務モデル抜きには解決することはできない理由のひとつである。

ただし、筆者はインダストリー4.0に代表するIoTを否定している訳ではない。筆者の経験から、ITには製造現場を変革する力が秘められていることも知っている。例えば、デジタル化が進む状況においてCADデータと3Dプリンタや最先端の製造装置があれば、同じ品質のものをいとも簡単に造ることができる製品もある。同様にデジタル化の進展によってIoTの実用化が進めば製造過程の変革によって、その恩恵を受ける製品も増えると考え。しかし、導入が目的化してしまい、業務モデルや製造プロセスの見直し、活用する現場の理解がなければ、導入効果が得られないことも知っているからである。主役は実際に業務を行う部署や生産活動の現場、人であり、あくまでもITはそれを支える脇役であるから、そこに主客転倒があってはならない。

6.1.2.2 インダストリー4.0のブームの背景にあるもの

ブームの正体は、インダストリー4.0の有用性を唱える研究者やビジネスジャーナリズムの動きを見ると、その実像と背景が見えてくる。

まず、西岡靖之(2015)は「中身自体は目新しいものではなく、高度な技術が使われているわけでもない。ただ、コンセプトが洗練されている。・・・(中略)・・・モノづくりはますますITの世界に接近する。例えば自動車は、インフラの中でネットにつながらないものは無用になる。完成品メーカーは、全体の中で『部品』にしかなりえない。いいものを造って売ればおしまい、というこれまでの製造業は立ち行かなくなる。・・・

(中略)・・・VWは4.0に関して、いちばん進んだ考え方を持っている。だが、先進的な企業ほど詳細な取り組みを公にしない」としている^[34]。果たして、西岡は日本の自動車産業について何を知っているのだろうか。IT側のサイバー空間からは見えないフィジカル空間の現物、現場とTPSやNPWに代表される日本の自動車産業の真の生産システムの実際を見たうえで比較評価すべきであると考え。

筆者の経験に基づけば、日本の自動車産業は1970年代前半には生産工場の製造工程にコンピュータシステムを導入し、生産スケジュールに基づきリアルタイムに処理する工程管理のしくみを構築している。すでにその時点において、センサー情報を生産設備から直接入力し、処理結果を生産設備に対して直接出力するプロセス制御のしくみを確立させている。また、IoTが叫ばれる現在において、その情報媒体とされるRFIDも1980年代後半から1990年代初頭には導入し、RFIDによる生産情報の把握のしくみも確立させ、約30年前から活用している。そして、現在のデータ通信のデファクトで

あるイーサネット(当時規格:10BASE5)についても1990年代初頭には工場へ導入し、コンピュータシステム間通信に利用している。設備を制御するPLCとの間の通信にもネットワークを利用し、設備に対する情報入出力を行っている。また、上位の基幹システムともイーサネットで接続し、生産スケジュールや生産実績のリアルタイム通信を、もうとっくに実現している。さらに、生産ラインの生産実績に基づいて部品メーカーに電子かんぱん情報をネット配信したり、生産ラインと同じ順序で同期納入指示したりするしくみを早くから確立させ、他企業との情報連携も実現している。このように、例を挙げればきりがなほど自動車産業の工程管理のしくみは、常に時代の技術を取り入れながら進化を続けている。これら事実に対して、西岡の「コンセプトが洗練されている」、そして「VWは4.0に関して、いちばん進んだ考え方を持っている」という主張は、日本の自動車産業の現状との比較なしに意味をもつであろうか。西岡のIT側のサイバー空間から見た根拠のない主張は、インダストリー4.0について日本社会に間違った情報を与えてしまったのではないかと考える。

次に、岩本晃一(2015)は中小企業にインダストリー4.0を導入するにはどうすればよいかという課題に対する独の議論について「中小企業が自力でインダストリー4.0のシステムを構築しなくても、『モジュール化』された低価格の機械やシステムを購入して接続さえすれば、(原理はわからなくても)とりあえずインダストリー4.0が使える、というものである」としている。また、岩本は中小企業への導入を目指すインダストリー4.0を「全般的な性能は、大企業が自らの使用形態にあわせてオーダーメイドで設計導入するシステムには及ばないものの、価格が安価であり、かつ中身がわからなくても、現有の機械と取り替えて簡単に接続でき、すぐにインダストリー4.0が利用できる『モジュール化』された『プラグ・アンド・プレイ方式』である」と述べている^[35]。

これは、それぞれの企業において製品が異なり、製造に供する生産設備や製造工程の特性も異なるという「ものづくり」の現実を無視したものであり、現物と現場を見ない空論としか言いようがない。製造環境は千差万別であり、製品と企業の数が多ければ多いほど、その差異もまた多くなる。たとえAIが飛躍的進化を遂げたとしても、それぞれの企業に整合させることなく製造環境の差異を吸収し、インダストリー4.0対応機器やシステムを機能させることは困難であると言わざるを得ない。また、費用負担なしに中小企業で使用できるように機器やシステムの調整を誰がするのか、まったく解決策が示されていない。それは、インダストリー4.0対応の機器やシステムが

「魔法の杖」かの如く中小企業に与えられるような幻想を抱かせるものであり、逆にインダストリー4.0の実現性が揺るぎかねない問題であると考ええる。

この疑問は、岩本のもうひとつの著書ではっきりすることとなる。岩本晃一/井上雄介(2017)は、巻末「おわりに」の中で「研究会に参加された方々には大変申し訳ないが、私は今回の研究会を始めるに当たって、正直、確たる見通しがあったわけではない。おそらく、試行錯誤の手探りになるだろうと思っていた。モデルケースを取り上げるという手法は有効なのか、研究会という手法で大丈夫なのか、狙ったとおりの成果が出るだろうか、などなど不安は尽きなかった。参加されたモデル企業の方々も、研究会を主催する私の方も、みんなが試行錯誤だったのだ」と述べており^[36]、買ってきて接続すれば機能するとしたプラグ・アンド・プレイ方式とは程遠いもの、それは結局のところ事実や経験に基づかない空論であることを露呈している。

これらインダストリー4.0の有用性を唱える研究者やビジネスジャーナリズムの動きは、インダストリー4.0について日本社会に間違った情報を与えていると考える。

6.1.2.3 経営学とインダストリー4.0

研究者の書籍文献により経営学の視点からインダストリー4.0を捉える。

まず、中沢孝夫/藤本隆宏/新宅純二郎(2016)は、インダストリー4.0が今までのシステムと比べて何が画期的なのかという疑問に答えている。中沢は「IoTなどの主張を丁寧に読んでみると、そこで書かれた将来像、将来計画論的なものが、それはすでに行われていると思うことがとても多くあります」と述べている。具体例として、GE (General Electric) のインターネットを通じて航空機用エンジンの稼働状況を常時把握するしくみを挙げ、それがすでにコマツをはじめとする建機メーカーなどで普通に行われていることを示している^[37]。

これは、実際の企業活動を見ているものであれば当然の指摘である。すでに述べているように、筆者の経験から自動車産業においてはRFIDを1980年代後半から1990年代初頭には導入し、生産情報の把握のしくみも確立させている。そして、現在のデータ通信のデファクトであるイーサネットについても1990年代初頭には工場へ導入し、設備制御PLCとの通信や、上位の基幹システムとの生産スケジュールや生産実績のリアルタイム通信を実現している。生産連動についても部品メーカーに電子かんばん情報をネット配信したり、生産ラインと同じ順序で同期納入指示したりするしくみ

を早くから確立させ、他企業との情報連携も実現している。このような自動車産業の工程管理のしくみとの差異がどこにあるのかを見つけることの方が難しい。かつて「トヨタ生産方式」が海外で研究され「リーン生産方式」となったように、自動車をはじめとする既存の工程管理のしくみとインダストリー4.0は、表紙が違っても中身が同じという感すらある。

次に、藤本隆宏(2017)はインダストリー4.0の正体をうまく捉えている。藤本は、これを「上空」と「地上」という表現で説明している。「上空」とは、数字や記号を操作するITの世界、とくに近年ビッグデータやAI、クラウドコンピューティングなど飛躍的進化を遂げ、新しいビジネスモデルが生み出されている。ここは、アップル、グーグル、インテル、マイクロソフト、フェイスブックなどアメリカがほぼ独占する独り勝ちのプラットフォーム盟主企業の世界である。一方、「地上」は製造現場の世界である。製造現場における物体の自動制御の世界がFA (Factory Automation) であり、NC工作機、ロボット、フレキシブル生産ライン、コンピュータ支援製品開発などの進展があるものの、物理的制約により緩やかな進化となっている。この「上空」と「地上」の関係において、インダストリー4.0の目的を「『上空』を制するアメリカのIT企業に独の『地上』にある優良な企業が直接コントロールされてしまわないように、その間の『低空』にインターフェース層、またはファイアウォール層をつくり、そこでネットワーク標準化などで発言力を持つことにより独に有利な産業構造を維持しようとするものである」としている。そして、インダストリー4.0は「これまでの現場系の情報システムをまったく新しいグローバル標準システムに置き換えるという極端な話ではない。『上空』と『地上』の連結は、ひとつの画期的イノベーションではあるが、これまでであったものを全否定して置き換えて行くほど非連続的な話ではなく、第3次産業革命のひとつの段階であり、『インダストリー3.5』くらいだろうと見ている」とも述べている。なお、IoTによる工場のインテリジェント化、特に中小企業の場合、導入が進むかどうかは必要性和効果と予算次第である。しかし、工場のインテリジェント化は、実は日本の現場や企業が得意とするところであり、先端的な工場のFA化、インテリジェント化は、日本が世界に先んじている面も多いとしている^[38]。

筆者の経験からも、インダストリー4.0によって既存の現場系情報システムがまったく新しいグローバル標準システムに置き換わってしまうようなことにはならないと考える。その理由は、すでに(「3.1.1.1 自動車製造工程の概要」において)自動車企業の

工程管理システムで示したように、生産設備と接続し連携稼働しており、設備更新することなくシステムだけが新しいものとなっても、生産能力などのパフォーマンスは変わらず、導入コストのみが発生してしまうため、投資意思決定に至らないからである。このように、設備制約を受けるため、「地上」の現場系情報システムの進化は緩やかなものとならざるを得ない。しかし、筆者の見るところ生産現場にはパソコンなどのIT機器を活用し、作業指示やポカヨケ、データ収集のためのインテリジェント化装置も多く配置されている。このような用途の場合、現場の改善活動ともリンクしながら導入が進むと考える。それは、これまで解決できなかった問題に対して、ITの進化が課題解決の可能性を高めてくれることが期待できるからである。

最後に、光山博敏/中沢孝夫(2017)は独におけるインダストリー4.0導入の最新事情を探り、我々に伝えている。光山は、独におけるインダストリー4.0への取組みの現状について、独を代表する大企業からミッテルシュタント(中小企業)までの現地に赴き、広範な聞き取り調査を行った結果として「インダストリー4.0の進捗状況は、ほとんど空想の段階にとどまっており、実態は空中分解し始めている」としている。そして、標準化・共通化により競争力の源泉であるはずの他企業との差異という武器を放棄させるという政策に乗ってくる企業がほとんどいない状況にも触れている^[39]。

筆者の経験から、この標準化・共通化による他企業との差異という武器の放棄という問題は、競争力の源泉である企業のビジネスモデルと基幹業務システムとの密接な関係が、その底流にある。通常、基幹業務システムはビジネスモデルに従って設計・開発される。例えば、他社よりも素早く生産し、出荷できるビジネスモデルであれば、材料部品を生産計画どおりに確実に調達するための情報連携や、生産完了と同時に出荷処理につながる他社と異なる自社独自のしくみがシステムに組み込まれる。しかし、標準化・共通化を図ることによって他社と同じシステムを導入すれば、ビジネスモデルも他社と同じような特徴のないものになってしまう。これは、代表的ERPパッケージであるSAPを生産管理基幹システムとして導入した電機産業と生産管理基幹システムをオーダーメイドする自動車産業との日本企業の国際競争力の差に見ることができる。海外進出のための標準化対応もその背景にあらうが、電機は海外企業との特徴の差がなくなり、自動車は細かな需要への対応や素早い生産対応など、海外企業と比べて強い武器を持っている。企業間競争に打ち勝って行くためには、他社にない強みを簡単には捨てられない。例えば、腕の良い熟練工がいて、彼が造る製品には魅力的品

質があり、顧客から高い評価と満足を受けている。しかし、給料が高い。一方、汎用機械を導入すれば顧客が要求する当たり前品質は確保でき、生産コストは安くなる。この場合、熟練工をクビにして汎用機械を導入するであろうか。顧客から満足度を得ているのは腕の良い熟練工の魅力的品質であり、汎用機械に切り替えた場合は、他社の製品と変わらないモノしか造れなくなる。その結果、他社に顧客を奪われるか、価格勝負となって経営を圧迫する事態を容易に想起することができる。だから、インダストリー4.0の政策に乗ってくる中小企業がほとんどいないことは当然の結果である。

6.1.3 中小企業における IT 利活用の現状と課題

次世代生産システムや生産スケジューリングの実現手段として利用する IT 導入の阻害要因を把握するため、「図 6.1.3 調査対象白書の属性」に示す政府や公的機関・団体による4つの白書および調査報告書から中小企業の IT 利活用の現状と取り組み課題を探る。

まず、『中小企業白書』は、中小企業の動向などを毎年公表している。とくに『2016年版中小企業白書』は、最近の中小企業の動向分析に加え、IT活用など中小企業の稼ぐ力の強化に向けた取り組みを分析している^[22]。その中から IT 人材の不足や IT 導入効果の不透明性等を理由とする IT 利活用の進んでいない実態を探る。

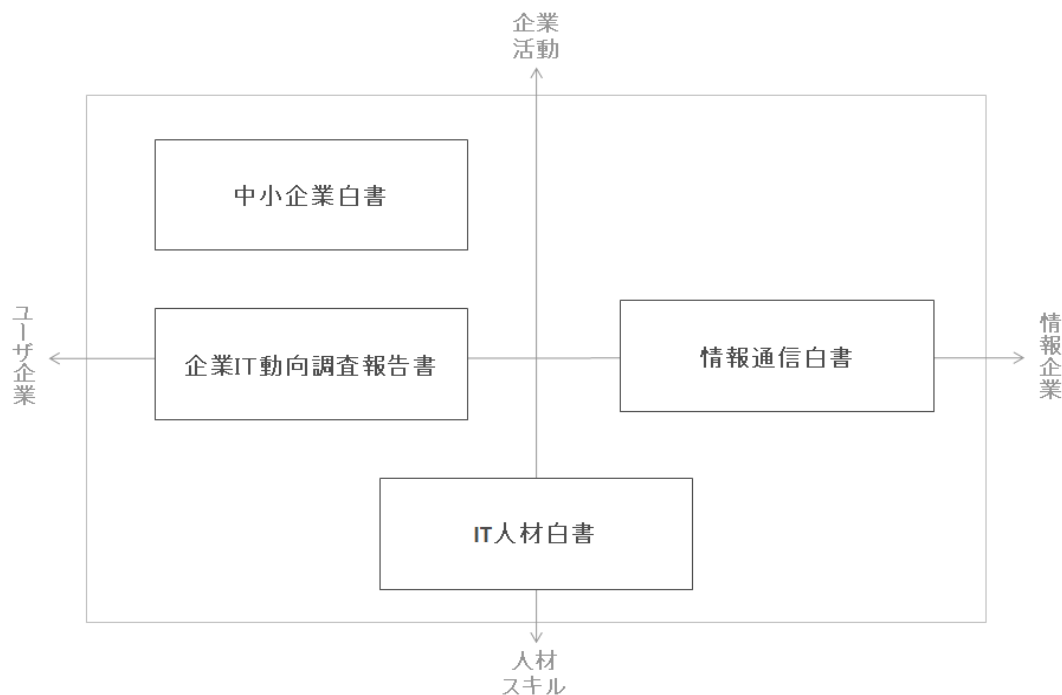
次に、『情報通信白書〈平成29年版〉』は、総務省による情報通信に係る社会動向について踏査分析したものである。総務省管掌の情報通信に軸足を置きつつ、第4次産業革命ともいえる社会経済の変革についてとりまとめている^[23]。その中から IT の視点で IoT への取り組みに対する期待意識を探る。

そして、『企業 IT 動向調査報告書 2017』は、日本情報システム・ユーザー協会（略称：JUAS）が経済産業省商務情報政策局の監修の下、企業の IT 部門に対するアンケートやインタビューの回答結果に基づき、その分析結果をまとめたものである。2017年度版（2016年度調査）は、これまでより1歩踏み込んで、IT部門だけでなく、経営層やユーザ部門などと連携して会社全体で取り組むべきテーマや解決すべき課題などを明らかにしている^[24]。その中から、IoTの導入状況を探る。

最後に、『IT人材白書 2017（2016年度調査）』は、IPA（独立行政法人情報処理推進機構）が IT 企業やユーザ企業の IT 部門を中心に、IT 人材に係る課題について調査を行った結果をとりまとめたものである。新たな変化や技術の進歩にいち早く影響を受

ける IT 企業やユーザ企業の IT 部門を中心に、その認識について調査を行っている^[25]。
この中からは IT 人材の過不足感などを探る。

これら 4 つの白書および報告書から、我が国の中小企業が抱える IT 利活用と IT 人材問題を「第 4 次産業革命（インダストリー4.0 などの IoT）への期待と課題」、「中小企業の IT 投資問題」、「IT 人材確保の問題」の 3 つに整理し、以下にまとめる。



出所) 筆者作成

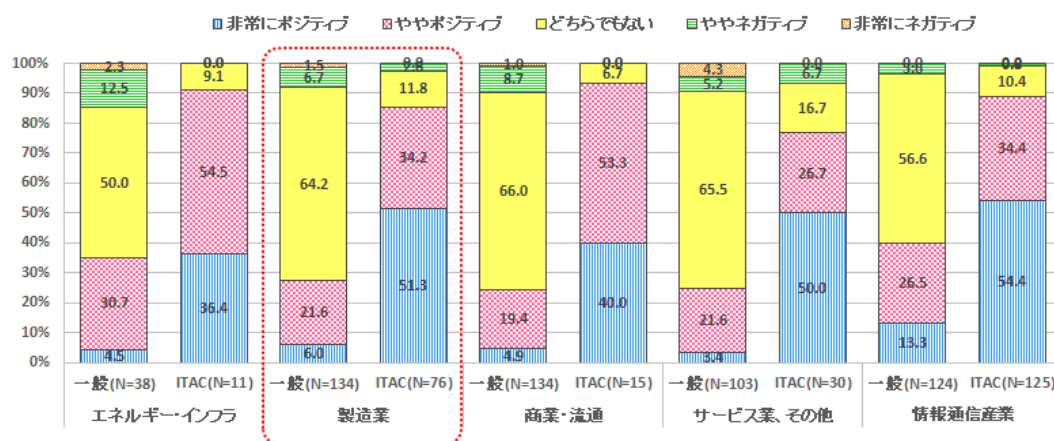
図 6.1.3 調査対象白書の属性

6.1.3.1 第 4 次産業革命に対する期待

「図 6.1.3.1 第 4 次産業革命に対する期待（業種別/企業区分別比較）」は、『情報通信白書』に基づき、業種別に国内企業の第 4 次産業革命に対する期待を見たものである。一般企業では、情報通信産業の期待が高く、製造業や商業・流通、サービス業はやや低い傾向がみられる。また、一般企業と比べて ITAC 企業⁸⁷は、業種を問わず 7 割以上がポジティブと捉えているとしている^[23]。

⁸⁷ ITAC 企業とは ITAC（IoT 推進コンソーシアム）に参加する企業を指す。情報通信企業、制御機器メーカー、一般企業がそれぞれ参加している。

この調査から、我が国では第4次産業革命はIoTに関心を示すITAC企業において期待が大きく、また変革がもたらされる業種は「情報通信業」とみられており、「情報通信業」に閉じた革命と捉えられている可能性があると考えられる。本来、恩恵がもたらされるはずの製造業においても、一般企業（非ITAC企業）の「非常にポジティブ」と「ややポジティブ」を合わせても3割に満たない状況であり、「どちらでもない」が多数を占め、積極的な対応に踏み切れずに様子を見ている状況がうかがえる。



資料：総務省「第4次産業革命における産業構造分析とIoT・AI等の進展に係る現状及び課題に関する調査研究」（平成29年）

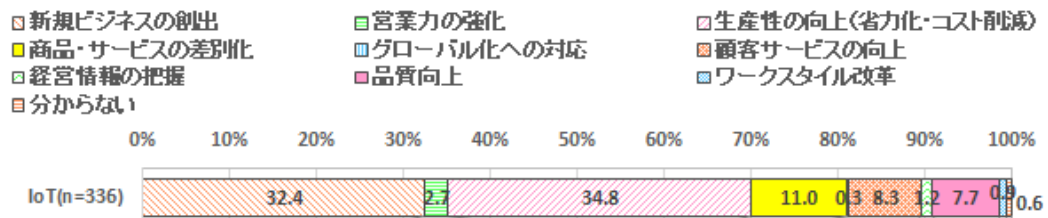
出所：総務省編(2017)『情報通信白書〈平成29年版〉データ主導経済と社会変革』日経印刷,115頁

図 6.1.3.1 第4次産業革命に対する期待（業種別/企業区分別比較）

6.1.3.2 IoTを重視するテクノロジーとして位置付けた理由

「図 6.1.3.2 重視するテクノロジーとして位置付けた理由」は、『企業IT動向調査報告書』に基づき、企業価値や企業競争力を向上させるために必要なテクノロジーとして位置付けた理由をまとめたものである。最も注目されるテクノロジーとして挙げられるIoTについては、製造業を中心に「生産性の向上(省力化・コスト削減)」(34.8%)や「新規ビジネスの創出」(32.4%)で高い期待を受けているとしている^[24]。

これは、IoTが第4次産業革命とも言われる「ものづくり革新」に欠くことのできない重要なITの一つであるという認識を多くの企業が持っていることの証であると考えられる。

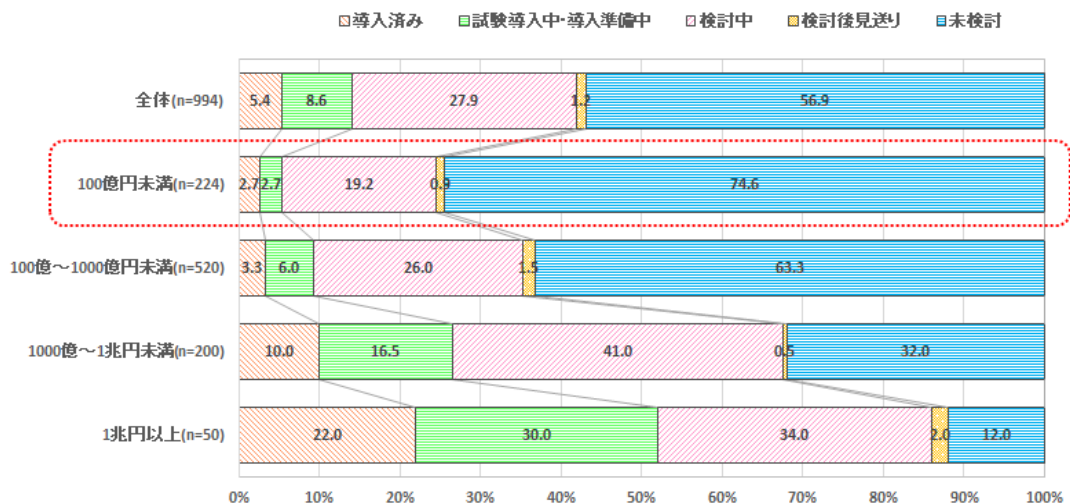


出所) 一般社団法人日本情報システム・ユーザー協会(JUAS)編(2017)『企業 IT 動向調査報告書 2017』日経 BP 社,40-41 頁

図 6. 1. 3. 2 重視するテクノロジーとして位置付けた理由

6. 1. 3. 3 企業規模と IoT の導入状況

「図 6. 1. 3. 3 売上高別 IoT の導入状況 (2016 年度調査)」は、『企業 IT 動向調査報告書』に基づき一意に識別可能な「もの」がインターネットやクラウドに接続され、情報交換することにより相互に制御するしくみを IoT とし、その導入状況を質問している。全体では「検討中」が 27.9%と最も高く、前年と比較して 9.8 ポイント上昇しており、近年急速に導入・検討が進んでいることが見て取れる。特に 1 兆円以上の企業では「導入済み」から「検討中」までの合計が 86.0%と非常に高い数値を示しており、関心の高さがうかがえる [24]。



出所) 一般社団法人日本情報システム・ユーザー協会(JUAS)編(2017)『企業 IT 動向調査報告書 2017』日経 BP 社,7 頁

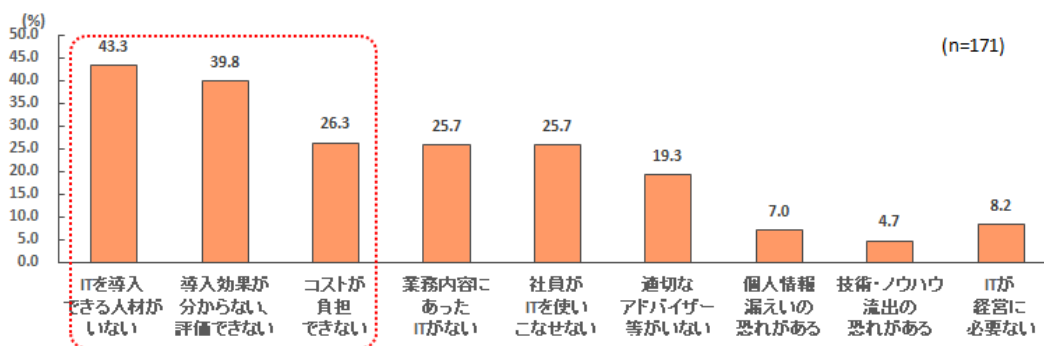
図 6. 1. 3. 3 売上高別 IoT の導入状況 (2016 年度調査)

これは、IoT は規模の大きい大きい企業ほど、近年急速に導入・検討が進んでいるこ

とを示すものである。その反面、売上高 100 億円未満の中小企業の 74.6%が「未検討」としており、また 100 億円～1000 億円未満の企業においても 63.3%が「未検討」とするなど、規模の小さい企業ほど IoT の導入に踏み切れていない状況を見ることができると示すものである。

6.1.3.4 中小企業が IT 投資を行わない理由

「図 6.1.3.4 IT 投資未実施企業の IT 投資を行わない理由」は、『中小企業白書』に基づき IT 投資が重要であると考えているものの、現在 IT 投資を行っていない企業の IT 投資を行わない理由を示している。その理由として「IT を導入できる人材がない」と回答した企業が最も多く、次いで「導入効果が分からない、評価できない」、「コストが負担できない」の順となっている。同白書は、この結果から IT 投資を重要視している企業であっても、自社の経営課題解決のために IT 投資を行いたいものの、IT を導入・運用できる人材がおらず、そして IT の導入効果が分からず、さらにコストも負担できないため投資に踏み切れない企業が多いことを見て取ることができるとしている [22]。



- (注) 1.複数回答のため、合計は必ずしも 100%にはならない。
 2.IT 投資を重要であると回答しているが現在 IT 投資を行っていない企業を集計している。
 3.「その他」の項目は表示していない。

出所) 中小企業庁編(2016)『2016 年版中小企業白書 未来を拓く 稼ぐ力』日経印刷,137 頁

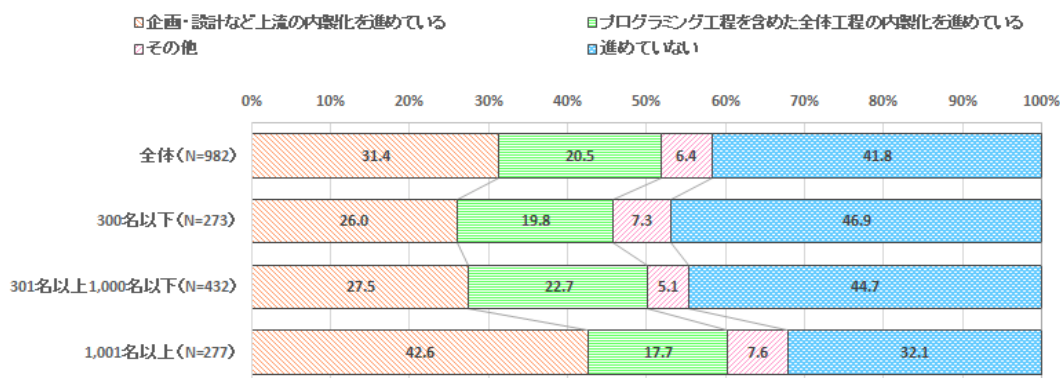
図 6.1.3.4 IT 投資未実施企業の IT 投資を行わない理由

コスト負担問題を別として、これらから企業の実務を知り、かつ IT の知識を持つ人材がないために、システム化の適用範囲を判断したうえでシステム化を企画・設計し、業務全体のしくみとして構築することができず、システム化によりもたらされる

効果とシステム化に必要な費用の適正化も図ることができていないことが想像される。これは、IT の知識だけでは解決できない問題であり、業務における真の問題を知り、その解決を可能とする技術や管理方法などの目利きができる人材の必要性を示していると考えられる。

6.1.3.5 IT 利活用促進の成功要因

「図 6.1.3.5 社内に IT のスキルを蓄積・強化するための内製化状況」は、『IT 人材白書 2017』に基づき、社内に IT のスキルを蓄積・強化するための内製化状況の質問結果を従業員規模別に比較したものである。企業全体では、「企画・設計など上流の内製化を進めている」と「プログラミング工程を含めた全体工程の内製化を進めている」を合わせて 5 割強あり、それは規模の大きい企業ほど比率が高いことも見て取ることができる。そして、従業員規模が大きくなるに従い「企画・設計など上流の内製化を進めている」割合が顕著に高くなる傾向にあり、とくに 1,001 名以上の企業では、「企画・設計など上流の内製化を進めている」割合は 42.6%と高くなっているとしている [25]。



出所) 独立行政法人情報処理推進機構(IPA)IT 人材育成本部編(2017)『IT 人材白書 2017』独立行政法人情報処理推進機構(IPA),154 頁

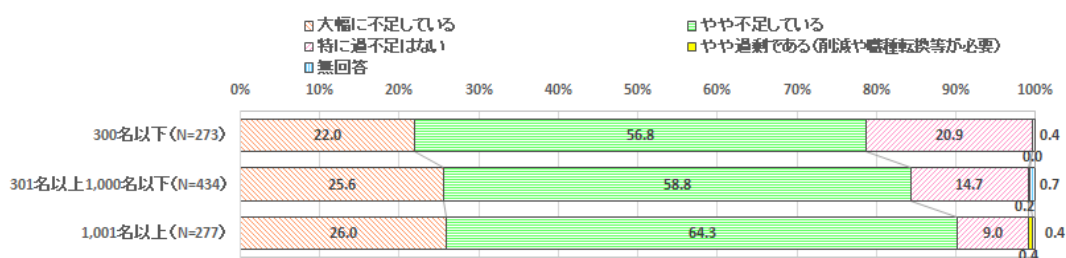
図 6.1.3.5 社内に IT のスキルを蓄積・強化するための内製化状況

これは、IT の利活用が進んでいる規模の大きい企業ほど、社内に IT のスキルを蓄積・強化するために内製化を進めていることを示しており、IT の利活用促進における内製化の有効性を示すものであると考えられる。とくに、「企画・設計など上流の内製化を進める」ことは、業務オペレーションに根差したシステムの実現に有効であると考え

る。

6.1.3.6 IT人材の“量”および“質”に対する過不足感

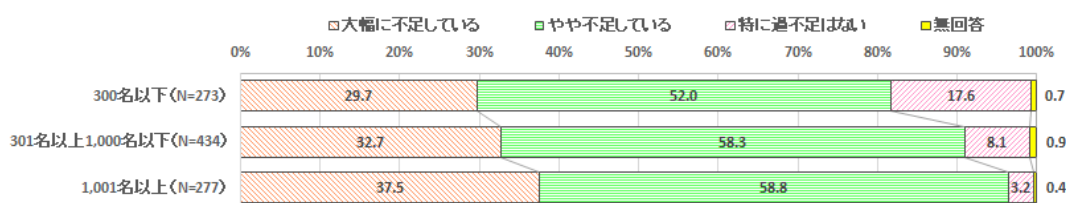
「図 6.1.3.6a ユーザ企業の IT 人材の“量”に対する過不足感」は、『IT 人材白書』に基づき IT 人材の“量”に対する過不足感の回答結果を示している。従業員規模が大きくなるに従い「大幅に不足している」および「やや不足している」割合が高くなる傾向にある。



出所) 独立行政法人情報処理推進機構(IPA)IT 人材育成本部編(2017)『IT 人材白書 2017』独立行政法人情報処理推進機構(IPA),157 頁

図 6.1.3.6a ユーザ企業の IT 人材の“量”に対する過不足感

また、「図 6.1.3.6 b ユーザ企業の IT 人材の“質”に対する過不足感」は、IT 人材の“質”に対する不足感の回答結果を示している。従業員規模が大きくなるに従い「大幅に不足している」および「やや不足している」割合は高くなっている。そして、従業員規模が 1,001 名以上の企業では、とくに“質”が「大幅に不足している」と「やや不足している」を合計した割合が 9 割台半ばとなったとしている^[25]。



出所) 独立行政法人情報処理推進機構(IPA)IT 人材育成本部編(2017)『IT 人材白書 2017』独立行政法人情報処理推進機構(IPA),158 頁

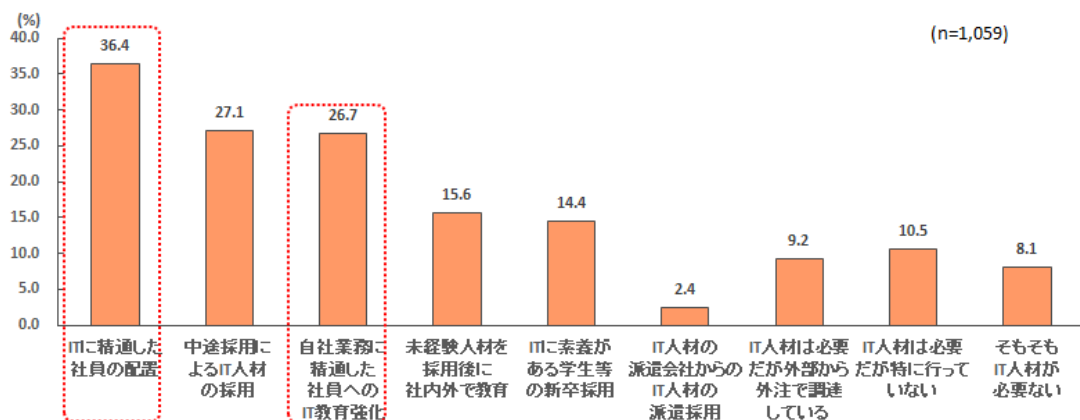
図 6.1.3.6b ユーザ企業の IT 人材の“質”に対する過不足感

これらから、従業員規模が大きい企業ほど IT 利活用を推進し、IT 課題への取組みを積極的に進めていると考える。とくに、従業員規模が大きい企業は IoT に対する取り

組みなど高度な IT スキルを要求する課題へ取り組むために“質”的な不足感が大きくなったと考えられる。逆に、規模の小さい企業が IT 利活用に消極的であると見ることもできる。

6.1.3.7 IT 人材確保の取組み

「図 6.1.3.7a IT 人材が確保されている企業が行っている IT 人材確保の取組み状況」は、『中小企業白書』に基づき IT 人材が確保できている企業が行っている人材確保の取組みを示したものである。これを見ると、「IT に精通した社員の配置」の取組みを行っている企業が最も多く、次いで「中途採用による IT 人材の採用」、「自社業務に精通した社員への IT 教育強化」の順になっている。同白書は、この状況について IT 投資を行う企業の多くは IT 投資にともない、まず社内の従業員の配置換えを行い、次に中途採用により IT 人材を採用することで IT 人材を確保していることが推察される [22]。



(注) 1.複数回答のため、合計は必ずしも100%にはならない。

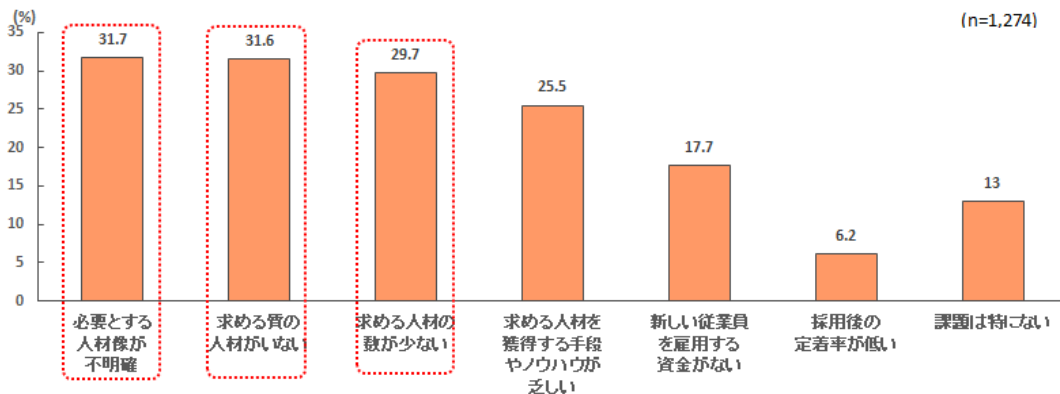
2.IT投資を行っており、IT人材が「十分に確保されている」、「おおむね確保されている」と回答した企業を集計している。

出所) 中小企業庁編(2016)『2016年版中小企業白書 未来を拓く 稼ぐ力』日経印刷,151-152頁

図 6.1.3.7a IT 人材が確保されている企業が行っている IT 人材確保の取組み状況

また、「図 6.1.3.7b IT 人材が不足している企業が抱える IT 人材確保の課題」は、IT 人材が不足していると回答した企業に対し、IT 人材確保に係る課題を示したものである。IT 人材確保の課題として、「必要とする人材像が不明確」が最も高く、次いで「求める質の人材がない」、「求める人材の数が少ない」の順になっていることから、IT 人材を確保しようと考えていても、質・量の両面で必要な IT 人材がないため、思

うように IT 人材確保が進んでいないことが推察されるとしている[22]。



- (注) 1.IT 投資を行っている企業を集計している。
 2.IT 投資を行っており、IT 人材が「やや不足している」、
 「とても不足している」と回答した企業を集計している。

出所) 中小企業庁編(2016)『2016 年版中小企業白書 未来を拓く 稼ぐ力』日経印刷,153 頁

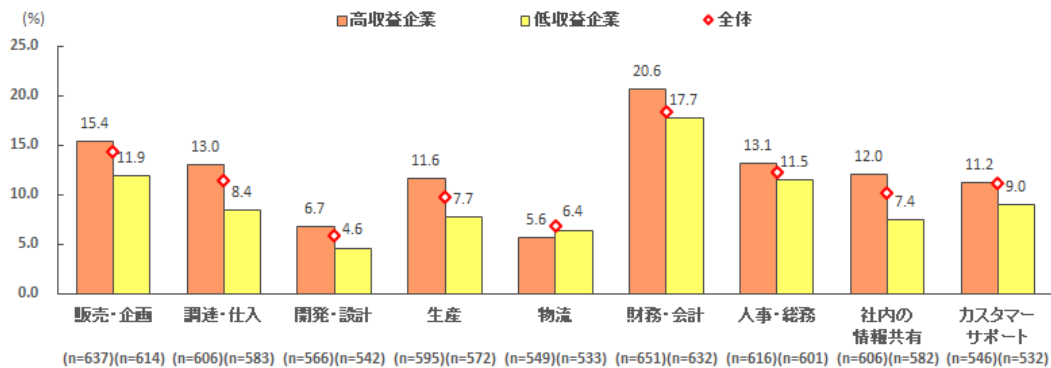
図 6.1.3.7b IT 人材が不足している企業が抱える IT 人材確保の課題

これらから、IT 人材が確保できている企業は、社内から IT 人材を発掘または育成し、不足する人材を中途採用などにより補っていることが分かる。IT 人材が不足しているとする企業は、必要とする人材像が不明確であったり、求める質の人材がないとしており、人材の発掘や育成の取組みができていないことが考えられる。

そして、「図 6.1.3.7c 高収益、低収益別に見た外注により IT 人材を活用している割合」は、社内雇用に加えて外注により IT 人材を活用している企業の割合を業務領域別に高収益企業と低収益企業で比較したものである。これを見ると、高収益企業の方が低収益企業に比べて、外注により IT 人材を活用している企業の割合が高いことが分かる。外部環境が変化する中、中小企業は社内リソースのみで IT 投資の実施を図るのではなく、必要に応じて外部のリソースも活用することで、積極的に自社に見合った IT を活用していくことも、今後の方法の一つであると考えられるとしている[22]。

これは、高収益企業は社内人材の発掘、育成し、それでもなお不足する部分については外部リソースをうまく活用しながら IT 利活用の取組みを進めていることを示していると考えられる。また、逆に高収益であるから外部リソースを活用できるだけの財務体力があるという捉え方もできる。しかし、企業が IT 投資の成功要因として「IT 導入に併せた業務プロセス・社内ルールの見直し」、「IT 導入に対しての各事業部門、従業員からの声の収集」、「IT 導入に向けての計画策定」、「IT・業務改善等についての社員

教育・研修の実施」など社内に対する取り組みを挙げている^[22]ことを見ると、社内の事情を熟知している社内から IT 人材を発掘、育成し、それでもなお不足する部分については外部リソースをうまく活用し、補うことが望ましいと考える。



(注) IT 投資を行っている企業を集計している。

出所) 中小企業庁編(2016)『2016年版中小企業白書 未来を拓く 稼ぐ力』日経印刷,155 頁

図 6.1.3.7c 高収益、低収益別に見た外注により IT 人材を活用している割合

6.1.4 中小企業における次世代生産システム対応問題のまとめ

中小企業の現状と次世代生産システム対応問題について整理する。

これまでの「中小企業における情報システムのあり方や取組み方」については、外部 IT ベンダーへのシステム開発の丸投げが、中小企業の情報化を阻んできたことや、生産に携わる職場の技能者は古い技術と技能にこだわり、IT の活用に後れを来している体質的問題がある。それは、社内業務が分かり IT 技術も備えた人材の育成と、現場が IT の活用に取り組むことによって生産現場から変わって行くことを求めている。この問題解決には、実際に業務を行う部署や生産活動を行う現場が IT 導入プロセスに参画、または自分たちで利活用できるものとするのが重要である。

そして、「中小企業におけるインダストリー4.0 などの IoT への取組み」について、経済産業省の示す支援策の基本方針は、中小企業による IT 投資の対象を内部管理業務の IT への置き換え、企業間連携、製造プロセス、サービス提供方式の改善など経営力を強化する事業活動への拡大を促進するとしている。しかし、これは IT 投資をすれば問題が解決するという論理にすり代わってしまっており、結論ありきの政策論となっている。もし、IT 投資したとしても効果が上がらないばかりか、逆に IT を使うことに

より事業活動にかかるオペレーションコストが増加する可能性がある。そのような結果とならないためには、本当に必要なもの、今必要とするものを峻別して取り組む必要がある。また、IoT やインダストリー4.0 のブーム的な状況の背景と、これらの有用性を唱える研究者やビジネスジャーナリズムの動きに注意する必要がある。

例えば、西岡靖之(2015)のIoT はコンセプトが洗練されているという主張や、日本の自動車産業について研究し比較することなく VW (フォルクスワーゲン) 社がインダストリー4.0 に関して、いちばん進んだ考え方を持っているという根拠のない主張は、インダストリー4.0 について日本社会に間違った情報を与えている。また、岩本晃一(2015)のインダストリー4.0 は中身がわからなくても、現有の機械と取り替えて簡単に接続でき、すぐにインダストリー4.0 が利用できる「モジュール化」された「プラグ・アンド・プレイ方式」であるとの主張は、事実や経験に基づかない空論であることを露呈している。これらの事実から、中小企業は有用性を唱える研究者や、ビジネスジャーナリズムの動きに惑わされることなく、IoT としてのインダストリー4.0 の真の価値と実力をユーザ企業自身が目利きできる実力を持つ必要がある。

代わって、「インダストリー4.0 の経営学視点の捉え方」として、中沢孝夫/藤本隆宏/新宅純二郎(2016)は、研究者やビジネスジャーナリズムが主張する IoT の将来像または将来計画論的なものの多くが、すでに実現されていることを指摘している。また、藤本隆宏(2017)はインダストリー4.0 の本質について、「上空」を制するアメリカの IT 企業と「地上」にある独の優良な企業が直接コントロールされてしまわないように、標準化などで発言力を持つことにより独に有利な産業構造の維持を図るものであるとしている。また、それは既存のものを全否定し、まったく新しいグローバル標準システムに置き換えという極端な話でなく、第3次産業革命のひとつの段階であるとしている。

繰り返し述べるように、筆者の経験からインダストリー4.0 が実現しようとするものは、自動車産業では1970年代から始まり、センサーは時代とともに進化するものの製造工程と生産設備を制御・管理する工程管理システムと基本的考え方は変わらないものである。実際に部品メーカーとの連動が必要であれば部品メーカーとも情報連携しており、その連携密度がさらに高まる点と、時代の最新技術を取り込むくらいの違いしか見当たらない。そして、未だに人間の手のようなロボットハンドが実現できていないように、インダストリー4.0 が魔法の杖のように問題解決してくれることはない

考える。

一方、「次世代生産システムの導入を図るべき中小企業側の現状」を4つの白書および報告書から「インダストリー4.0などIoTへの期待と課題」、「中小企業のIT投資問題」、「IT人材確保の問題」の3つにまとめることができる。

まず、「インダストリー4.0などIoTへの期待と課題」については、製造業を中心に「生産性の向上（省力化・コスト削減）」や「新規ビジネスの創出」に対して高い期待を受けている。これは、IoTが第4次産業革命とも言われる「ものづくり革新」に欠くことのできない重要なITの一つであるという認識を多くの企業が持っていることの証でもある。しかし、情報通信産業およびITAC（IoT推進コンソーシアム）に参加する企業が大きな期待を寄せている一方で、ITACに参加していない情報通信産業以外の企業ではそれほど高くはなく、「情報通信業」に閉じた革命と捉えられている可能性がある。そして、IoTなどの実施状況については大企業ほど導入済み、または検討中の割合が高い。逆に規模の小さい企業ほど未検討の割合が高く、導入に踏み切れていない状況にある。

次に「中小企業のIT投資問題」については、中小企業がIT投資を行わない理由を「ITを導入できる人材がない」と回答した企業が最も多く、次いで「導入効果が分からない、評価できない」、「コストが負担できない」の順となる。また、IT投資の効果を得るために有意な取組みは、「業務プロセスや社内ルールを見直す」、「各事業部門や従業員からの意見・情報を収集する」、「従業員への関連教育を実施する」、「IT導入は段階的・計画的に実施する」、「IT導入後の投資事後評価を実施する」の5つであることも分かった。

そして、「IT人材確保の問題」については、質・量の両面で必要なIT人材がないため、思うようにIT人材確保が進んでいない様子が分かった。それは、従業員規模が大きい企業ほど顕著に現れており、逆に規模の小さい企業ほど不足感が低い。これは、規模の小さい企業はIT利活用に消極的であると見ることもできる。また、IT人材が確保できている企業は、社内からIT人材を発掘または育成し、不足する人材を中途採用などにより補っている。さらに、高収益企業は社内人材の発掘、育成し、それでもなお不足する部分については外部リソースをうまく活用しながらIT利活用の取組みを進めている。

これらをまとめると、次世代生産システムは、その有用性を唱える研究者やビジネ

スジャーナリズムが主張するように急激に発展し導入が進むことはない。また、魔法の杖ではないので、IT だけでは企業が抱える問題を解決することはできない。人や生産設備、情報システムをはじめとするすべての生産資源が一体となって構成されたものが生産システムであるから、もし生産設備はそのまま変わらず、情報システムだけを刷新しても根本的な生産能力や製造品の付加価値は変わらず、導入コストとオペレーションコストが増加するだけとなる。そして、そもそもシステム導入しようにも、対応できる IT 人材がないのであるから、つまるところ外部 IT ベンダーへシステム開発を丸投げすることになる。その結果、思ったようなシステムを構築できず、使われないものとなり、これまでの悪循環を繰り返すこととなる。

それでは、この状況下において、中小企業が将来の次世代生産システムを見据え、また現状の課題解決のために情報システム導入を図るためには、どのようにすればよいのであろうか。ヒントは「IT 人材がない」にある。IT スキルを持った人材がないのであれば、逆に特別な IT スキルを持っていない一般の人材であっても活用できるレベルの IT 利活用を図ればよいのである。これは、あながち無理な話ではない。例えば、代表的な表計算ソフトウェアである Microsoft Excel は、IT スキルを持った IT 部門よりも実際の業務部門にいるパワーユーザーと呼ばれる利用者の方が格段に使いこなしており、活用のための知識も豊富である。そもそも、本研究課題である生産スケジューリング問題の解決には、行動経済学の活用が有用であることを見出しているのであるから、実現手段として現場レベルでも実現可能な平易なものであればよいし、あえて高度な IT スキルを求める必要もない訳である。そして、Microsoft Excel のような平易な表計算ソフトを利用することが、本研究結果としての新しい生産スケジューリングを幅広く中小企業において活用することのできる可能性を高めることになる。それは、中小企業では「IT 人材が不足」しているからである。

また、IT ベンダーなどへ丸投げせず、自ら参画または制作することは IT スキルを身に付け、来たるべき次世代生産システムの到来において「新たな IT 人材」となって、生産スケジューリングなどの課題に対する対応をさらに進化させることが期待できるなど、中小企業が抱える諸問題を解決するための「現場力」の強化にもつながると考える。筆者はこれを「現場 IT 力」と呼ぶこととした。本研究に当てはめた場合、現場の新たな IT 人材を育成し、そのスキルを生産スケジューリングに利用することが、迅速な生産意思決定を可能とし、短納期生産や生産連動につながる。それは、企業が独

自に、そして確実に実行できる IT の利活用であり、デジタル社会が進展する中でこれまでの製造現場の現場力に加えて IT もこなせる現場の IT リテラシが問題解決に重要な役割を果たすとの考えである。さらに、それは目利きのできる社内 IT 人材の育成につながり、インダストリー4.0 などの技術を理解のうえ導入して行くことを可能とし、IT 投資を成功に導くと考える。

なお、筆者は IoT としてのインダストリー4.0 を空論として片づけようとしているのではなく、これらをどのようにすれば活用できるのか、常に探求心をもって観察し続けることの重要性を述べているのである。それは、これら技術には生産システムをすぐには変えることができなくとも、技術の発展にともなう進化をもたらす力が秘められているからである。ビジネスジャーナリズムや研究者が唱えるような急激な変化はないとしても、EC⁸⁸が企業間または企業と顧客との情報連携を密なものとし、たとえ地球の裏側であっても両者の距離を近づけ、リアルタイム取引を実現したように、IT のさらなる向上が企業を越えた工場間の情報連携を加速させ、生産連動へと波及して行くものと考えられる。

6.2 中小企業と生産スケジューリング

IoT によってもたらされるインダストリー4.0 など第4次産業革命ともいべき次世代生産システムは企業を越えて工場をつなぎ、生産連動によって「ものづくり」に変革をもたらそうとしている。しかし、それは前章で見たように、次世代生産システムは、まったく新しい生産システムへ変わるのではなく、既存の生産設備を活用しながら IT の進化の歩みとともに緩やかに実現されるものである。その結果、企業間の情報連携が密となり企業を越えて工場間連携が可能となる。しかし、工場間の情報連携が実現するだけで工場間の生産連動が実現できるであろうか。

この疑問の答えを確かめるために実際の生産活動に目を転じると、業種や生産形態によって差異はあるものの、生産に着手するまでには、「設備能力を超えていないか」や「生産に必要な人員数が現有の人員数を超えていないか」など生産可能な量であることを確認し、生産に必要な材料部品を準備調達するなど、生産実行のための種々の手配が必要である。そして、生産手配結果に基づき生産実施工程を割当て、生産順序

⁸⁸ EC (Electronic Commerce) とは、インターネットなどのネットワーク上で売買や決済、サービスの契約などを行う「電子商取引」のこと。

および着工／完成予定日時の決定という生産意思決定としての生産スケジューリングを行い、その処理結果である工程計画に基づいて生産実行に移される。この生産意思決定である生産スケジューリングが機能しなければ、いくら企業や工場が情報により繋がろうとも生産工程まで波及せず、生産連動することはできない。

また、この生産スケジューリングはコンピュータシステムによって、すべてが自動的に処理できるものではない。スケジューリング担当者が処理条件をコンピュータに指示し、その処理結果を担当者が最終確定判断したり、コンピュータ処理にまったく頼ることなく担当者が自身の経験と勘によって立案するなど、人の介在なしに実現することはできない。つまり、工場間の情報連携ができて、それを人の介在なしに生産実行に移すことはできないのであり、それはインダストリー4.0のコンセプトであるスマート工場同士がつながる姿とは、ほど遠い状況であるといえる。その生産連動を実現するためには、確実な納期遵守生産が不可欠であり、着実に生産実行に移すための生産意思決定として生産スケジューリングの役割がより重要であることを示している。

ここで、マスターデータとして管理する製品仕様などの生産管理情報が整備され、それに必要な変換を加えて生産スケジューリングの処理条件として利用することができれば、人の介在の極小化にもつながる。このマスターデータの整備レベルが生産スケジューリング処理のコンピュータ処理化レベルと、担当者の依存度に影響することとなる。

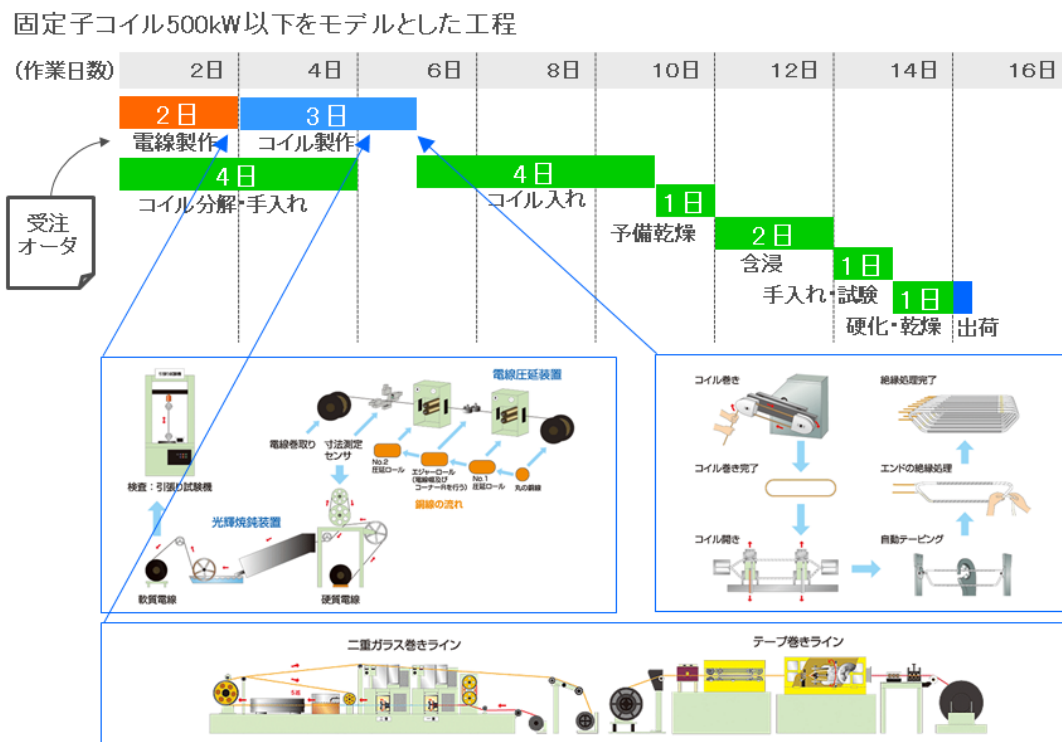
本章は、中小企業がこの問題にどのような取り組むべきか、生産スケジューリングの現状を把握したうえで、その課題を探るものである。

6.2.1 回転機製造・メンテナンス会社（中小企業）の状況

地場中小製造業の生産スケジューリングの現状について、2015年6月にヒヤリング調査を行った。対象のA社は1945年創業、資本金15百万円、売上高3,270百万円（2016年度）、従業員209名（2017.6現在）の回転機⁸⁹を製造する地場の中小企業である。コイル製作設備、コイル分解設備、巻線設備、組立・機械加工設備、試験設備を有し、巻線型誘導電動機、小水力発電機、直流電動機、交流励磁機などの新品製作と既

⁸⁹ 回転機とは、電動機や発電機、タービン、ポンプ、ファンなどの軸を中心として回転する機械の総称。⇨ピストンで動く往復型機械（レシプロ）

存品のコイル巻替・修理・改造・整備などのメンテナンスや検査、診断を事業の柱としている。この中の新品製作と「図 6.2.1a 回転機メンテナンス事業ビジネスモデルイメージ」に示すメンテナンス事業の生産スケジューリングについて、その処理実態を調査した。それは、「図 6.2.1b A社の生産スケジューリングの概要」に示すようなものであった。



(出所) A社「会社案内」より抜粋、編集

図 6.2.1a 回転機メンテナンス事業のビジネスモデルイメージ

新品製作は、グループ企業の情報処理会社が開発した作業工程表作成システムを使用して、受注オーダーに従い機種パターン別に設定された基準日程⁹⁰を基に作業工程表を作成し、担当者が修正して工程管理用のオーダー別作業工程表を完成させる。ここでは、機種パターン別の基準日程の設定や自動作成後の作業工程表の修正は担当者のノウハウに依存するところで、日程屋としての腕の振るいどころとなる。なお、情報処理会社が作成したシステムには、受注オーダーを横断的に管理するための日別管理シミュレーション機能も備えられているが、利用されていない。

一方、既存品のコイル巻替・修理・改造・整備などのメンテナンスは、巻線加工工数

⁹⁰ 基準日程とは、生産に着手してから完成できるまでの標準的な生産期間をいう。

を過去履歴に対する係数を設定し求めるなど、過去履歴に基づき材料費や加工費、作業時間、間接費などの見積もりを行い、これを個別受注方式により注文を受ける。

これら新品製作分とメンテナンス分の受注オーダーは、短納期の飛び込み物件および納期にゆとりのある先物物件も含めて工程別の大日程計画としてまとめられ、業務部門（管理部門）の基準計画として製造部門に伝達される。ただし、工程能力は考慮されておらず負荷調整されていない山積み状態のまま示される。この基準計画は、関連工程の職長全員が出席する昼会（昼休み後、午後一番）で伝達され、実行の可否や必要事項の確認が行われる。製造部門の了承を得て、生産手配される。指図書は発行されないが、これが実質的な生産指図となっている。

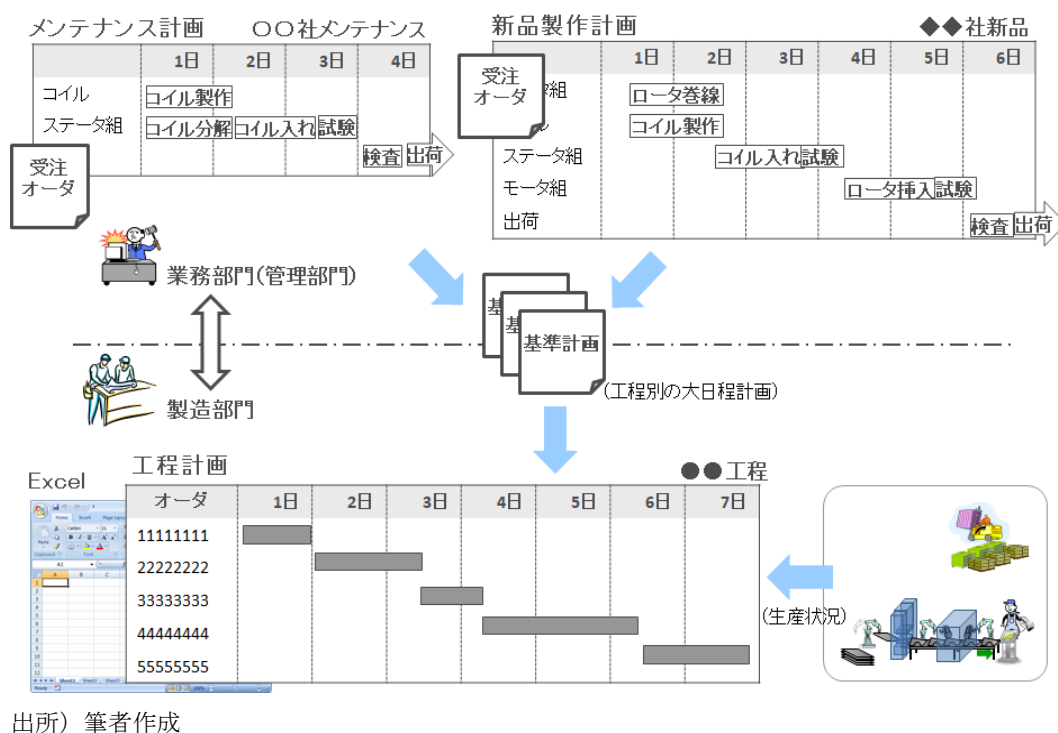


図 6.2.1b A 社の生産スケジューリングの概要

各工程の職長は、持ち帰った基準計画は Microsoft Excel を使って手作業で工程能力を反映した実現可能な工程計画として週単位に再スケジュールする。そして、その後飛び込んで来る修理やオーバーホールなどの飛び込みオーダーは業務部門から口頭で伝達され、再スケジュールリングを繰り返しながら、生産が実行に移される。まさに経験と勘に基づく生産スケジューリングがここにある。

このように、業務部門と製造部門において生産スケジューリングを 2 回実行し、生

産意思決定が図られている。業務部門においては、負荷調整が図られていない日程計画案としての性格を持つものである。実質的な生産スケジューリングは各製造部門が自工程の生産能力や工程仕掛、材料部品の実在庫など利用可能生産資源を確認し立案している。それは、日々変化する生産状況に対応した最終生産意思決定の役割を果たしている。そして、生産管理データの共有化がなされず、工程表や作業標準、標準作業時間などのマスターデータが整備されていないために業務部門で日程計画を確定できず、結局のところ製造部門が経験と勘に基づいて実態合わせしながら生産スケジューリングを実行している姿であった。

6.2.2 スケジューリング担当者と生産条件（電機メーカー例）

製造現場において実際のスケジューリングがどのように行われているのか、2016年8月に電機メーカーB社のスケジューリング担当者総勢30名へアンケート調査を行った。B社は、産業用電気機械メーカーで、調査対象の製造部門は製品属性別に3つの工場内の製造工程とし、担当者の年齢および経験年数、人数は「表6.2.2 対象工程の製

表 6.2.2 対象工程の製品とスケジューリング担当者の属性

対象工場の製品属性と生産スケジューリング担当者の年齢階級

年齢階級 製品属性	25歳未満	25～30歳未満	30～40歳未満	40～50歳未満	50歳以上	無記載	回答者数
製品A	1	1	4	3		1	10
製品B			4	4	1		9
製品C			6	5			11

対象工場の製品属性と生産スケジューリング担当者の経験年数

経験年数 製品属性	1年未満	1～3年未満	3～5年未満	5～10年未満	10年以上	無記載	回答者数
製品A	2	1	2	4		1	10
製品B		2	1	4	2		9
製品C		1	1	4	5		11

生産スケジューリング担当者の年齢階級と経験年数の相関

経験年数 年齢階級	1年未満	1～3年未満	3～5年未満	5～10年未満	10年以上	回答者数
25歳未満	1					1
25～30歳未満	1					1
30～40歳未満			2	3	8	14
40～50歳未満			2	1	3	12
50歳以上					1	1

出所) 筆者作成

品とスケジューリング担当者の属性」に示すものであった。アンケートは、生産スケジューリングを行ううえで、どのような生産条件を重視するのか質問し、その回答を求めた。

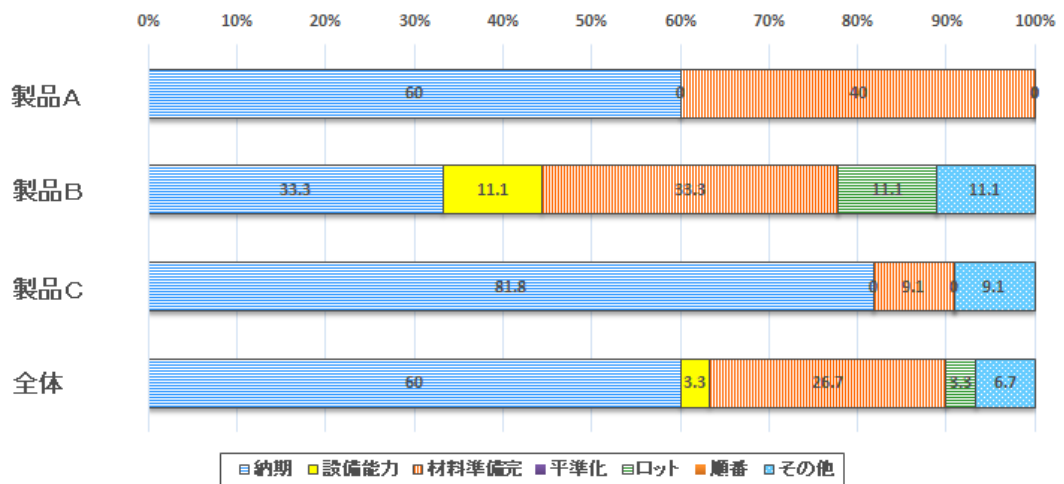
なお、対象工程はいずれも生産スケジューリングをシステム化しておらず、収集した情報に基づき担当者が自らの経験と勘により立案している。業務部門（管理部門）から与えられる情報は、生産計画や生産実績などの生産管理データと製造指図書（伝票ベース）である。また、生産スケジューリング作業に利用するツールは、Microsoft Excel と差立版くらいであり、立案作業の大部分がスケジューリング担当者の手作業で実行されている。

このシステム化されていない中小企業とも共通する環境下において、各工程の担当者がスケジューリング時に自身の経験と勘を基に、どのような条件で立案しているのかを探った。

6.2.2.1 工程別の担当者が最も重視する生産条件

「図 6.2.2.1 最も重視する生産条件（製品属性別）」は、各製品特性別の担当者がスケジューリング作業時に最も重視する生産条件について質問し、得られた回答を示したものである。「納期」は業務部門が指示した生産完了予定日（期限）、「設備能力」は自工程の日当たり生産能力、「材料準備完了」は必要な材料部品が納入され準備完了している状態、「平準化」は生産する製品に偏りなく平均化している状態、「ロット」は製造ロスがないように同じ種類の製品仕様が連続するようまとめた状態、「順番」は工程の中で作業するのに都合のよい順序になっている状態、これら該当しない条件は「その他」とした。

その結果、製品特性によって若干の差異が認められるものの、いずれの製品工程も最も重視する生産条件は「納期」、続いて「材料準備完了」であった。すなわち、生産効率を高めるための作業工数の「平準化」や「ロット」化、生産の「順番」などよりも、材料部品が揃いさえすれば納期要求順に着工する工程計画の立案状況を示している。

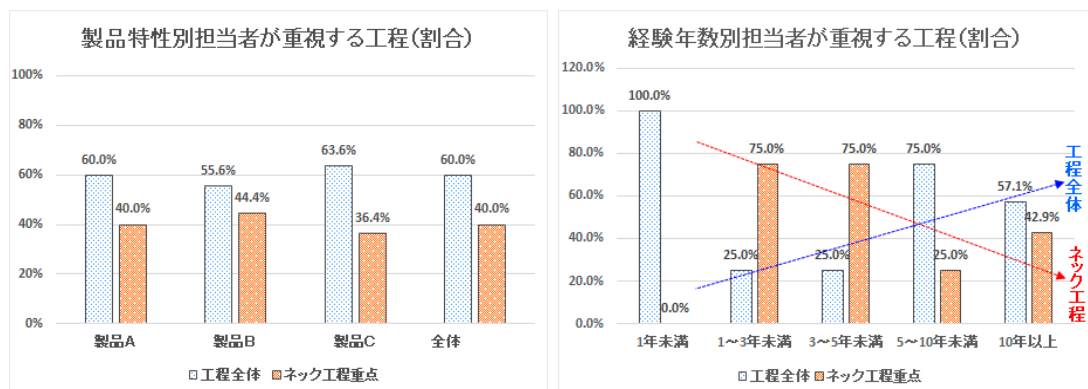


出所) 筆者作成

図 6.2.2.1 最も重視する生産条件 (製品属性別)

6.2.2.2 担当者が重視する工程

「図 6.2.2.2 担当者が重視する工程 (割合)」は、スケジューリング作業において担当者が工程計画を立案するときに「工程全体」の生産条件を考慮して立案しているか、「ネック工程重点」に立案しているか質問し、その得られた回答を製品特性別 (左グラフ) と経験年数の階級別 (右グラフ) に示したものである。



出所) 筆者作成

図 6.2.2.2 担当者が重視する工程 (割合)

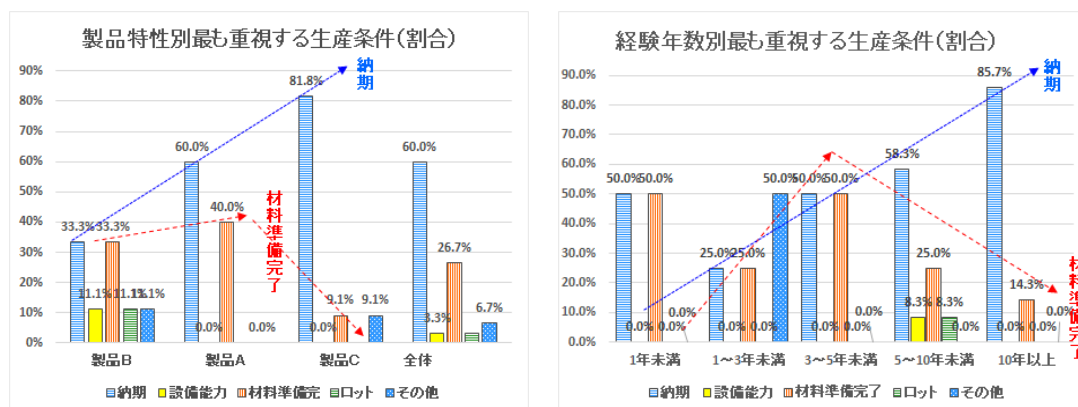
製品特性別に見た場合、3つの製品工場ともに全体で示した「工程全体」60%、「ネック工程重点」40%とほぼ同じ割合を示している。これを経験年数の階級別で見た場

合、経験 1 年未満を除くと経験を重ねるに従い「工程全体」の生産条件を考慮して立案する担当者が増加する傾向を示している。逆に、経験が浅いうちは「ネック工程重点」に考慮しながら立案し、経験を重ねるに従い「ネック工程重点」の割合が減少する傾向を示している。

これらは、担当者が経験を重ね習熟するにつれて工程間をうまく調停し、全体最適を図る傾向を示していると考えられる。

6.2.2.3 経験年数別の担当者が最も重視する生産条件

「図 6.2.2.3 担当者が最も重視する生産条件（割合）」は、スケジューリング作業において、担当者が工程計画を立案するときどのような生産条件を考慮しているか質問し、得られた回答を製品特性格別（左グラフ）と経験年数の階級別（右グラフ）に示したものである。



出所) 筆者作成

図 6.2.2.3 担当者が最も重視する生産条件（割合）

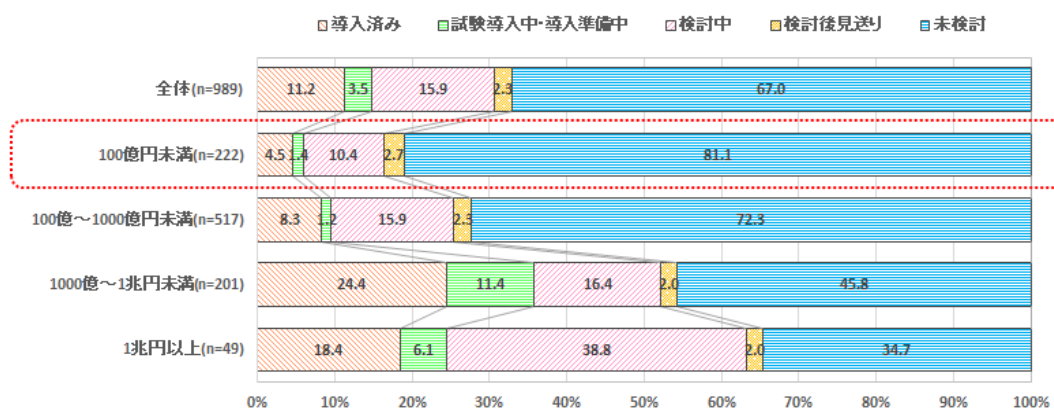
製品特性格別に見た場合、製品 B→製品 A→製品 C の順に「納期」重視の担当者が多いことが分かる。とくに製品 C の「納期」重視が顕著である。「材料準備完了」については、製品 B と製品 A は、ほぼ同じ割合を示している。これに比べて製品 C は、重視する担当者の割合が少なくなっている。また、「設備能力」と「ロット」重視は製品 B の担当者のみである。これを経験年数の階級別で見した場合、経験 1 年未満を除くと経験を重ねるに従い「納期」重視の担当者が増加する傾向を示している。とくに 10 年以上の担当者の「納期」重視が顕著である。また、「材料準備完了」重視の担当者の割合は、経験が 1～3 年未満うちは低く、3～5 年未満でピークになり、その後は経験を重ね

るにしたがって「材料準備完了」重視の割合が減少する傾向を示している。「設備能力」と「ロット」重視は5～10年未満の担当者のみであり、それは製品Bの特徴と一致している。

これらから、重視する生産条件は経験よりも製品特性によるところが大きいと考える。

6.2.3 中小企業の生産データ共有化、マスター管理の状況

製品仕様など生産管理情報として管理されるマスターデータは、生産スケジューリングの処理条件として変換し、利用することによって生産スケジューリング処理のコンピュータ処理化の促進と、人への依存度の軽減につながる。「図6.2.3 売上高別マスターデータ管理の導入状況（2016年度調査）」は、経済産業省商務情報政策局の監修の下、日本情報システム・ユーザー協会（略称：JUAS）が企業のIT部門に対するアンケートやインタビューの回答結果に基づき、その分析結果をまとめた『企業IT動向調査報告書2017』から企業やグループ企業における中核となる情報（マスターデータ）の整合性、正確性、管理、責任を確保するための仕組みであるマスターデータ管理の導入状況を示したものである。全体の「導入済み」が11.2%となった。1兆円以上の企業については、「検討中」が38.8%と高い値を示しており、今後導入が進んでいくか注視したいとしている^[24]。



出所) 一般社団法人日本情報システム・ユーザー協会(JUAS)編(2017)『企業IT動向調査報告書2017』日経BP社,19-20頁

図 6.2.2 売上高別マスターデータ管理の導入状況（2016年度調査）

また、1兆円以上の企業については、38.8%が「検討中」と高い値を示すとともに18.4%が「導入済み」、6.1%が「試験導入中・導入試験中」としており、ITの利活用を推進するためには事業活動するうえでその中核となるマスターデータの管理が重要であることを示すものであると考える。その反面、売上高100億円未満の中小企業の81.8%が「未検討」としており、また100億円～1000億円未満の企業においても72.3%が「未検討」とするなど、規模の小さい企業ほどマスターデータ管理のしくみが整備されていないことが分かる。

この結果から、生産スケジューリングなどの処理において必要となる生産条件についても既存データからの流用を望むことは難しく、既存の生産管理データから加工して条件生成し、管理するしくみを構築するか、生産スケジューリングだけのための個別データの生成が必要になると考える。

6.2.4 中小企業の生産スケジューリング問題

現状を振り返りながら、中小企業の生産スケジューリング問題を整理する。

まず、地場中小企業のA社の場合、回転機の新品製作とメンテナンスという2つの事業を、ひとつの製造工程で対応するために新作とメンテナンスのどちらを優先させるかという資源配分と、どの順番で生産するかという着工順序の調整が生産スケジューリングの主要機能となる。とくにメンテナンス事業においては、顧客設備の故障修理やオーバーホール対応のための特急オーダーの飛び込みもある。これらに可及的速やかに対応するためには、すでにスケジューリング済みの工程計画に割り込ませたり、着工見済み分の工程計画の再スケジューリングが必要となる。

しかし、この企業は個別受注生産（受注品毎に仕様が異なる）であるため、それぞれの商品の作業にどれくらいの時間を要するかを明確に示す基準日程がなく、製造工程の状況を見ながら調整を図り、再スケジューリングするしかない。結局のところ、業務部門（管理部門）では製造工程内の仕掛状態や負荷状況が分からないから、希望納期を基準計画として製造部門に伝達するだけで、生産スケジューリングは製造部門任せとなる。したがって、再スケジューリングを含む日々の生産スケジューリングは、製造部門でしか行うことができないのである。

次に、受注生産方式を採る電機メーカーのスケジューリング担当者総勢30名へアンケート調査を見ると、最も重視する生産条件は「納期」、続いて「材料準備完了」であ

り、生産効率を高めるための作業工数の「平準化」や「ロット」化、生産の「順番」などよりも、材料部品が揃いさえすれば納期要求順に着工していることが分かる。また、スケジューリング担当者が重視する生産条件の選択傾向は、担当者の経験よりも製品特性によるところが大きい。そして、重視する工程を見ると、経験が浅いうちは「ネック工程重点」に立案し、経験を重ねるに従い「ネック工程重点」の割合が減少する傾向を示している。これらは、担当者が経験を重ね習熟するにつれて工程間をうまく調停し、全体最適を図っていることを示している。このように、生産スケジューリングに必要な生産条件の選好傾向は製品や経験によって異なることが分かる。

最後に、『企業 IT 動向調査報告書 2017』は、企業活動の中核情報の整合性、正確性、管理、責任を確保するためマスターデータ管理の導入状況について、売上高 100 億円未満の中小企業の 81.8%が「未検討」、100 億円～1000 億円未満の企業においても 72.3%が「未検討」とするなど、規模の小さい企業はマスターデータ管理のしくみが整備されていない状況を示している。このため、生産スケジューリングが必要とする生産条件を既存データから流用することは難しく、既存の生産管理データから加工して生成するしくみを構築するか、個別に生産スケジューリングだけのための生産条件データの生成が必要になることを示している。

これらをまとめると、中小企業の実行可能な生産スケジューリング問題として、日々製造部門にて実行できるようなフットワークの軽い生産スケジューリングが必要である。そして、マスターデータの整備されていない中小企業にあって、製品特性によって工程環境と要求内容が異なり、またスケジューリング担当者によって管理する視点（生産を実行する上での着目点）が異なる生産条件の生成が簡単にできるものが求められている。

6.3 中小企業の実行可能な生産スケジューリング実現のための課題と方向性

これまで、第 4 次産業革命ともいふべき次世代生産システムが工場をつなぎ、同期・連動生産によって「ものづくり」に変革をもたらそうとしていること。そして、この生産連動を実現するためには、IoT に代表される IT だけでなく、製造工程の確実な生産実行を担保することのできる迅速かつ的確な生産意思決定としての生産スケジューリングがより重要となることを見てきた。

しかし、同時に既存の生産スケジューリングがその実行において生産条件（制約条

件)が増え網羅性が高まるほど条件が競合し条件間の調整がつかず、処理結果に対する納得性が得られなくなり満足度の低下を招くこと。その結果、納得できない状況に対して妥協するか人の介入により状況の打開を図るなど、既存の生産スケジューリングによる生産意思決定には限界があること。また、生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、競合する生産条件間の「調停」機能が生産スケジューリング問題の課題であるということも分かった。

また、この問題解決のために行動経済学の知見を生産スケジューリングに活用することが有用であることも示した。これらを踏まえて、本研究は中小企業が次世代生産システムに対応して迅速な生産意思決定をするために何が必要か探ってきた。その結果、第1節「6.1 中小企業と次世代生産システム」と第2節「6.2 中小企業と生産スケジューリング」に取り組みのヒントがあった。

まず、第1節「6.1 中小企業と次世代生産システム」から、IoTとしてのインダストリー4.0が、その有用性を唱える研究者やビジネスジャーナリズムが主張するように急激に発展し導入が進むことはないこと。また、魔法の杖ではなく、ITだけでは企業が抱える問題を解決することはできないこと。人や生産設備、情報システムをはじめとするすべての生産資源が一体となって構成されたものが生産システムであるから、もし生産設備はそのまま変わらず、情報システムだけを刷新しても根本的な生産能力や製品の付加価値は変わらず、導入コストとオペレーションコストが増加するだけとなること。そして、そもそもシステム導入しようにも、対応できるIT人材がいないのであるから、つまるところ外部ITベンダーへシステム開発を丸投げし、その結果、思ったようなシステムを構築できず使われないものとなり、これまでの悪循環の繰り返しとなることが分かった。

そこで、この状況下において中小企業が将来の次世代生産システムを見据え、また現状の課題解決のために情報システム導入を図るためには、特別なITスキルを持たない一般の人材であっても活用できる、例えばMicrosoft Excelのような平易な表計算ソフトを利用することが、結果として新しい生産スケジューリングを幅広く中小企業においても活用できる可能性を高めることになること。また、ITベンダーなどへ丸投げせず、自ら参画または制作することはITスキルを身に付け、来るべき次世代生産システムの到来において「新たなIT人材」となって、生産スケジューリングなどの課題に対する対応をさらに進化させることが期待できるなど、中小企業が抱える諸問題を解

決するための「現場 IT 力」の強化にもつながると考えた。そして、このスキルを生産スケジューリングに利用することが、迅速な生産意思決定を可能とし、短納期生産や生産連動につながるとの結論に至った。

次に、第 2 節「6.2 中小企業と生産スケジューリング」からは、地場の中小企業 A 社の場合、顧客設備の故障修理やオーバーホール対応のための特急オーダーの飛び込みもあり、これらに可及的速やかに対応するためには、すでにスケジューリング済みの工程計画に割り込ませたり、未着工工程計画の再スケジューリングが必要となること。それぞれの商品の作業にどれくらいの時間を要するかを明確に示す基準日程がなく、製造工程の状況を見ながら調整を図り、再スケジューリングするしかないこと。結局のところ、業務部門（管理部門）では製造工程内の仕掛状態や負荷状況が分からないから、希望納期を製造部門に伝達するだけで、生産スケジューリングは製造部門任せとなること。したがって、再スケジューリングを含む日々の生産スケジューリングは、製造部門でしか行うことができないことが分かった。そして、電機メーカーのスケジューリング担当者 30 名へのアンケート調査から、生産スケジューリングに必要な生産条件の選好傾向は製品やスケジューリング担当者の経験によって異なることが分かった。さらに、『企業 IT 動向調査報告書 2017』からは、マスターデータ管理の導入状況について、規模の小さい企業はマスターデータ管理のしくみが整備されていないこと。このため、生産スケジューリングが必要とする生産条件を既存データから流用することは難しく、既存の生産管理データから加工して生成するしくみを構築するか、個別に生産スケジューリングだけのための生産条件データの生成が必要であることが分かった。

これら、第 1 節と第 2 節から得られた中小企業特有の課題から、中小企業の実行できるような小回りの利くものであること。そして、マスターデータが整備されていない中小企業にあって、製品特性やスケジューリング担当者によって異なる生産条件を簡単に生成できることが必要とされているとの結論に至った。

また、現場でも活用可能な Microsoft Excel の利用は、繰り返し述べるように中小企業が IT 投資を行わない理由とする「IT 人材不足」に対し、特別な IT スキルを持たない一般の人材であっても、IT を利活用した生産スケジューリングを実現可能とすること。それは IT 人材の育成にもつながり、「現場 IT 力」の強化となること。さらに、こ

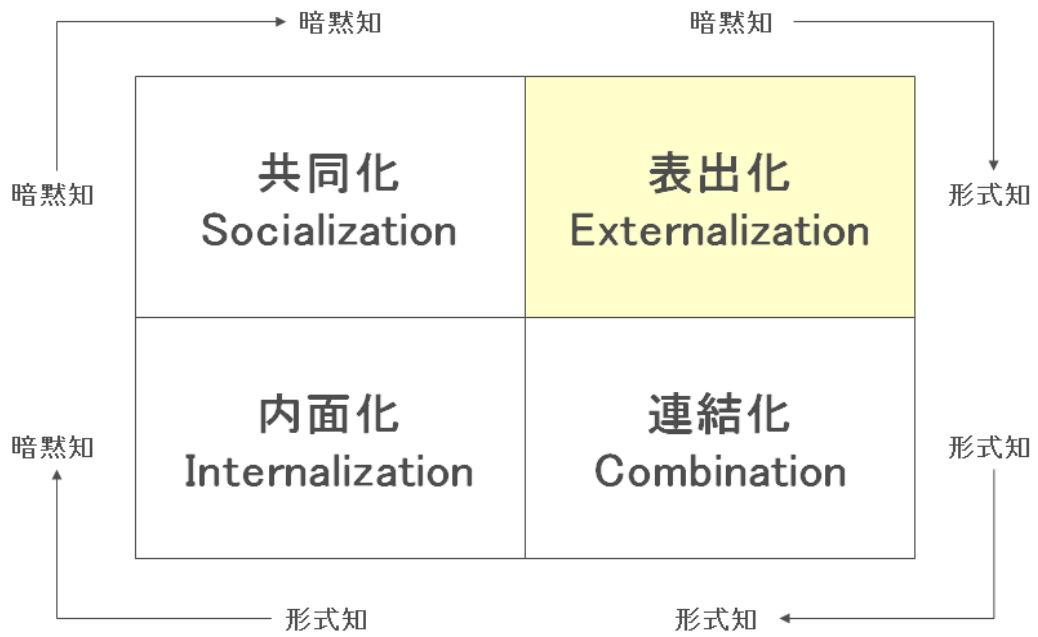
の「現場 IT 力」が、中小企業にありがちな飛び込みの特急オーダーに対応して工程計画へ割り込ませたり、再スケジューリングしたり柔軟な現場対応力となること。そして、インダストリー4.0 が進展し工場が企業を越えて繋がる段階において、この強化された「現場 IT 力」が生産スケジューリングを確かなものとするのが期待できること。それは、IT 導入がうまく行く条件として、ユーザ参画の重要性が白書等においても示されている。

これらの研究結果を基に、中小企業における新しい生産スケジューリング実現のための課題を整理すると、「迅速に生産意思決定としての生産スケジューリングを実行できること。スケジューリング担当者の経験や勘を生産条件として活用できること。納得が得られるスケジューリング結果であること。情報を共有することができ、誰がやっても同じ結果が得られること」などが挙げられる。

これを実現する具体的手段は、まず「現場でも利用可能な Microsoft Excel などの表計算ソフトを活用して新しい生産スケジューリングを担当者自身で制作すること」、そして「担当者の経験と知識の反映方法として行動経済学の知見を活用すること」である。それは、IT 処理だけでは解決できないところに行動経済学の知見を応用し、自分の経験と知識を反映した生産条件にしたがい処理することが、スケジューリング処理結果の納得性につながり、また誰がやっても同じ結果が得られるという考えに基づくものである。すなわち、(仮説として)「行動経済学の知見を応用し担当者の経験と知識を生産条件に反映、処理する新しい生産スケジューリングを、現場レベルの工夫次第で実現できる Microsoft Excel を活用して担当者自身が制作すれば、(その結果として)競合する生産条件間の「調停」機能を果たし、生産条件の「網羅性」を高めつつ、スケジューリング結果への「納得性」を確保した迅速な生産意思決定としての生産スケジューリングが実現できる」というものである。

また、現場でも活用可能な Microsoft Excel の利用による生産スケジューリングは、担当者の経験と知識を生産条件に反映することによって、「図 6.3 知識変換の 4 つのモード (SECI モデル)」に示した「暗黙知」から「形式知」へと表出化することを意味し、作業の標準化にも資するものとなる。それは、情報の共有化でありマスターデータの整備にもつながる。そして、現場の IT 利活用レベルが上がり、担当者の IT リテラシーが向上することが生産情報の活用と情報共有を促進し、部門の壁 (マスターデータ)、企業の壁 (生産管理基幹システム) を越えて製造業のビジネスオペレーションを

確かなものとする考える。



出所) 野中郁次郎/竹内弘高(1996)『知識創造企業』東洋経済,93.

図 6.3 知識変換の4つのモード (SECI モデル)

7. 中小企業における IT 利活用による新しい生産スケジューリングの実現

本章は、前章第 3 節「6.3 中小企業が生産スケジューリングを実現するうえでの課題と解決の方向性」を受けて、中小企業における IT 利活用による新しい生産スケジューリングの具体的な実現提案が本章の中心的役割である。

まず、第 1 節「7.1 中小企業に適した生産スケジューリングの基本構造と概念」では Microsoft Excel に適合させた機能概要と論理を示し、第 2 節「7.2 中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの実現」では Microsoft Excel による具体的な実現方法と手順を示す。企業の壁（生産管理システム再構築）や部門の壁（マスタ整備や情報共有）を一挙に越えることはせず、現場レベルでできることから始める。すでに企業のユーザ部門で利用が定着している表計算ソフトウェアであれば、現場レベルの工夫次第で実現できると考え、ここでは具体的に Microsoft Excel による生産スケジューリングのプロトタイプを示す。その結果として、生産意思決定における行動経済学の有効性と、一般人材レベルでも利用可能な Microsoft Excel を用いることによって表計算ソフトウェアが単なる個人のワークシートに留まらず、行動経済学の応用という課題解決のための工夫次第で業務ツールとして機能発揮できるものであることを示す。

そして、第 3 節「7.3 中小企業に適した生産スケジューリングの実現と課題（まとめ）」では、第 1 節および第 2 節の生産スケジューリングの実現案を評価するとともに、新たに浮かび上がる課題を把握する。

7.1 中小企業に適した生産スケジューリングの基本構造と概念

本節は、IT 人材が不足する中小企業にあつて Microsoft Excel を活用し、新しい生産スケジューリングを実現するための基本的考え方および機能概要、そして論理構造を示すものである。この新しい生産スケジューリングの最大の特徴は、生産意思決定としての生産スケジューリングに対する「行動経済学」の応用にある。行動経済学の応用は、購買行動などにその応用事例が見られるが、これまで生産活動における活用事例は見当たらない。とくに生産活動においては生産性など数理的合理性に基づき意思決定されることが多い。本研究においては、無理やり意思決定条件を数値化し合理的意思決定を推し進めるのではなく、むしろ行動経済学を応用することによって経験や勘に基づき生産意思決定している現状に歩み寄り、問題解決を図ることを目指した。

また、行動経済学の応用は処理結果に対する価値基準を統一することにより、誰がやっても同じレベルの意思決定を可能とした。

そして、主役である人（担当者）の知識と IT を活用してルーチン化できる作業は自動化し、最終意思決定は担当者が下すという人とコンピュータとの協働を基本的考え方とした。また、支援手段としての IT の活用は、投資費用がゼロまたは少額で済み、実際の生産スケジューリング業務の課題を熟知するスケジューリング担当者が参画、または非 IT 人材である担当者自身で制作可能なレベルであることを重視した。さらに、スケジューリング担当者の意思決定基準としての「**暗黙知**」を処理条件である生産条件という「**形式知**」として**表出**させ、**データ共有**を可能とすることにより、生産スケジューリング作業の**標準化**に寄与するものとした。

なお、次節「7.2 中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの実現」は、Microsoft Excel という IT 側から見た詳細な実現方法や手順を示すことに主眼を置いている。詳細がゆえに「木を見て森を見ず」となりかねない。そこで、本章は基本構造と機能概要を概念として示すことにより、次章への導入部としての役割を果たすものとした。

7.1.1 中小企業に適した生産スケジューリングとは

前章第2節「6.2 中小企業と生産スケジューリング」で見たように、顧客注文を受けて生産可能であれば業務部門（管理部門）から製造部門へ製造オーダーを発行し、製造部門の生産スケジューリング担当者が経験や勘に基づき生産意思決定している実態がある。それは、実際の生産活動においては製造工程内の仕掛状況や生産設備の能力負荷状況、作業要員の確保状況など多くの生産条件が存在し、業務部門（管理部門）がこれら製造工程内の状況のすべてを把握して詳細な生産スケジューリングを立案することは現実的に不可能であり、製造部門にその作業を依存せざるを得ないからである。また、製造部門もこれら製造工程内の状況のすべてを意思決定対象の生産条件として把握し、数値化することは困難であるから、生産スケジューリング担当者は経験や勘に頼ることとなる。

繰り返しとなるが、本研究は無理やり意思決定条件とする生産条件の数値化により合理的意思決定を推し進めるのではなく、むしろ「**行動経済学**」を活用することによって IT が経験や勘に基づき生産意思決定している現状に歩み寄り、問題解決を図るこ

とに重点を置いている。すなわち、担当者が良とする生産スケジューリング処理結果が良い工程計画であって、担当者の納得が得られない処理結果は、結局のところ使われないのである。それは、担当者には処理結果としての工程計画に対する実行責任がともなうからである。

そして、あくまでも生産スケジューリング問題解決の主役は人（担当者）であるから、知識と IT を活用してルーチン化できる作業は自動化し、その処理結果を可視化して最終意思決定を人が下すという形で人とコンピュータが協働して、問題解決することが重要である。そこで、本研究においては IT を活用してルーチン化し自動化した作業と可視化した処理結果の提供、人とコンピュータとの会話による処理結果の修正と最終意思決定までを次節「7.2 中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの実現」に示す支援するツールとして制作する。さらに、意思決定の判断過程に「**行動経済学**」の知見を活用することによって、処理結果に対する価値評価基準を統一し、誰がやっても同じレベルの意思決定が図れるようになる。それは、スケジューリング作業の標準化の観点からも重要である。

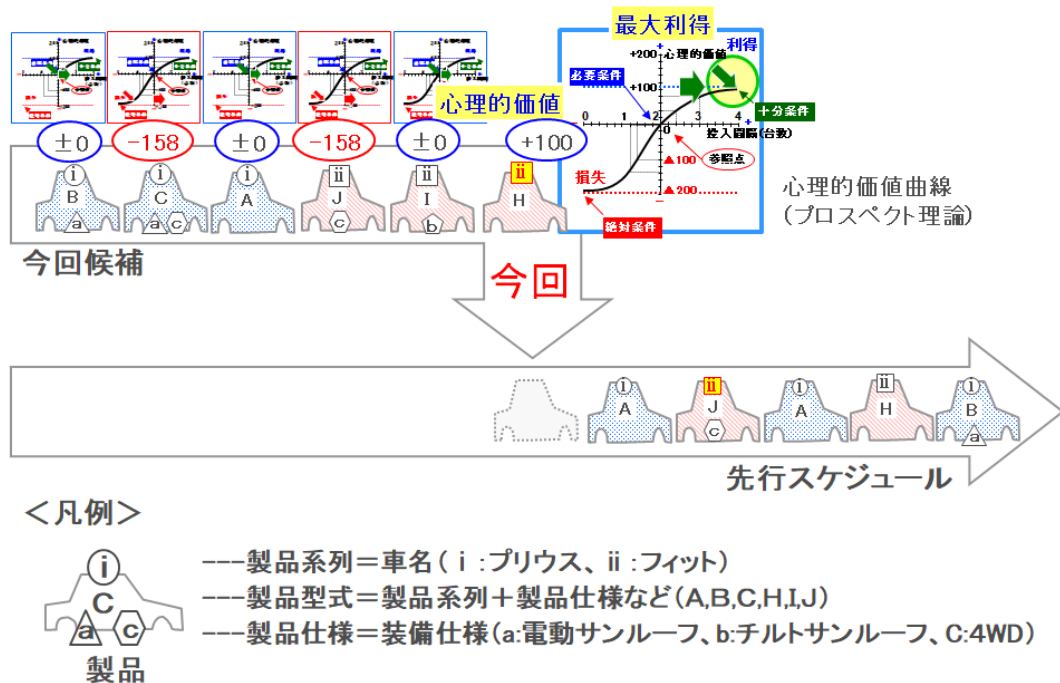
また、支援手段としての IT の活用は、中小企業における情報投資問題や現状課題を考慮し、投資費用がゼロまたは少額で済むこと。そして、実際の生産スケジューリング業務の課題を熟知するスケジューリング担当者が参画、または非 IT 人材である担当者自身で制作可能なレベルであることを重視する取り組みは、担当者の IT リテラシー向上に資するものであり、そこで獲得した能力を今後の次世代生産システム対応において発揮し、生産スケジューリングの更なる機能向上やインダストリー4.0 に対する対応へとつなげるためにも重要である。

さらに、この生産スケジューリングが担当者の意思決定基準としての「**暗黙知**」を処理条件である生産条件という「**形式知**」として**表出**させ、担当者の知識を生産組織における共有データとして蓄積管理を可能なものとすることは、この**データ共有**が、誰が生産スケジューリングを実行しても同じ結果を得ることができるという点において、生産スケジューリング作業の**標準化**を図るうえで重要な意味を持つ。

7.1.2 行動経済学に基づくプロスペクト理論が果たす役割

生産スケジューリング作業の処理エンジンとして、その中核をなすものが行動経済学のプロスペクト理論に基づく調停機能である。それは、生産スケジューリング処理

において、生産順序を決めるうえで、該当順位としてどの製品がふさわしいか比較し選択するとき、スケジューリング担当者が受ける心理的価値を疑似的に評価判定するものである。



※各候補の心理的価値曲線とその値の求め方については『7.1.3.3.2 生産条件に基づく意思決定時の候補の心理的価値の抽出』による。
出所) 筆者作成

図 7.1.2a プロスペクト理論に基づく調停機能

「図 7.1.2a プロスペクト理論に基づく調停機能」に示すように、すでに順序が決まった先行スケジュール（製品型式別の順序：A→J→A→H→B→前方）があり、その次の順序候補として今回候補（製品型式別の優先順序：B→C→A→J→I→H→優先）があるとき、今回候補の製品型式に対して製品系列や製品仕様に基づき設定されている生産条件について、先行する前方スケジュール内の同一生産条件のスケジュールとの間の投入間隔から得られる利得または損失を心理的価値曲線に基づいて心理的価値へ変換し、利得の大きいもの（損失の少ないもの）を選択することによって、納得性の高い工程計画を生成する。具体的には、このときの今回候補のそれぞれの製品型式に対し設定されている複数の生産条件中、心理的価値の最小値が H は+100、I が 0、J が ▲158、A が 0、C が ▲158、B が 0 である場合、最大値+100 の製品型式 H を今回順序として選択する。これを生産計画台数分繰り返すことによって、目的の計画期間分の

工程計画として完成させる。

ところで、ここで活用する心理的価値曲線は、該当する生産条件を選択しなければならない状況下における、担当者が該当生産条件のスケジュールを選択したときの満足度（不満度）を生産条件別に表したものである。製品型式に対して製品系列や製品仕様に基づき設定した生産条件の生産計画台数を求め、その生産計画比率に対する理論上の投入間隔台数を基に心理的価値曲線データを生成する。例えば、生産計画台数の合計が 100 台のとき、製品仕様「4WD」の生産計画台数が 10 台であったとすると、理論投入間隔台数は 9 台となる。すなわち、合計計画台数を該当生産条件の計画台数で割り、その商から 1 を減じた値が理論投入間隔台数である。この理論投入間隔台数を基に十分条件、必要条件、絶対条件の各投入間隔台数とその時の心理的価値を設定する。

$$\text{理論投入間隔台数} = (\text{生産計画台数の合計} \div \text{該当生産条件の生産計画台数}) \text{の商} - 1$$

通常、心理的価値曲線を示すための生産条件値としての投入間隔台数値は、生産計画と連動するように理論投入間隔台数に対し十分条件、必要条件、絶対条件のそれぞれに設定する「参照係数」（0.0～1.0）を乗じた値を設定する。ただし、条件が設備能力のような場合、例えば合計生産台数 100 台に対して該当する製品仕様の専用設備の生産能力が 50 台分しかないとき、たとえ生産計画台数が 33 台以下（投入間隔が 2 台以上となるケース）であっても、この生産条件の投入間隔は 1 台以上空いてさえいればよいことになる。このような場合、投入間隔を生産台数と連動させず常に固定値とし、十分条件、必要条件、絶対条件それぞれの「固定／可変」モードを「固定」モードに設定し、任意の投入間隔台数を直接指定することも可能とする。そして、その時の心理的価値はそれぞれの「変換係数」（任意の正または負の整数値）として設定する。

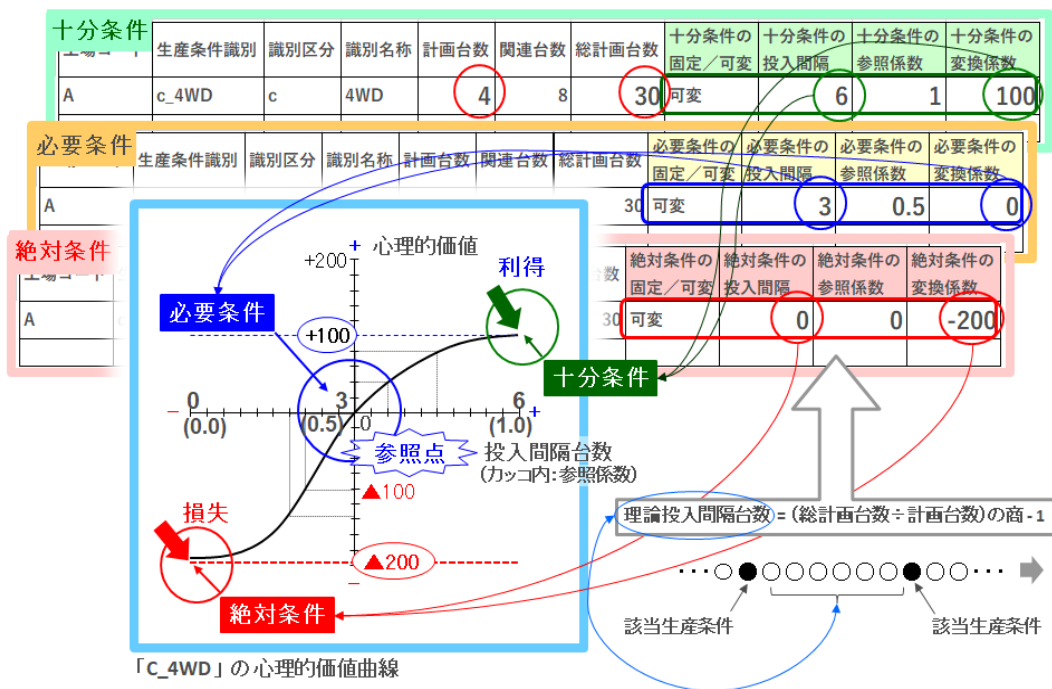
まず、「十分条件」は生産計画どおりに投入間隔が確保できている状態を示すものであるから、通常は参照係数を 1.0（十分条件の規定値）とし、理論投入間隔台数がそのまま設定されるようにする。もし、十分条件を緩和したい場合は参照係数に 1.0 未満の数値を設定することにより、条件を甘くすることができる。また、投入間隔台数に直接固定値を設定したい場合は「十分条件の固定／可変」モードを「固定」とし、直接投入間隔台数を指定する。そして、心理的価値である変換係数は 100（十分条件の規定値）を設定する。もし、心理的価値を他の条件よりも強調したい場合は 100 を超える

大きい数値を設定し、逆に強調したくない場合は 100 未満の小さい数値を設定することにより、他の生産条件と区別した特別扱いが可能となる。

次に、「必要条件」はプロスペクト理論における参照点と位置づけ、理論投入間隔台数に対する実現期待値を設定する。通常は参照係数を 0.5（必要条件の規定値）とし、理論投入間隔台数の 2 分の 1 をその期待値とする。期待値を厳しくしたい場合は 0.5 を超える値を、期待値を甘くしたい場合は 0.5 未満の値を設定することにより、期待値を変化させることができる。また、投入間隔台数に直接固定値を設定したい場合は「必要条件の固定／可変」モードを「固定」とし、直接投入間隔台数を指定する。そして、心理的価値である変換係数は基準となる参照点であるから、必ず 0（必要条件の規定値）を設定する。

最後に「絶対条件」は必達条件を示すものであるから通常は参照係数を 0.0（絶対条件の規定値）とし、投入間隔台数が 0 となるように設定する。もし、絶対条件を厳しくしたい場合は参照係数に 0.0 を超える数値を設定することにより、条件を厳しくすることができる。また、投入間隔台数に直接固定値を設定したい場合は「絶対条件の固定／可変」モードを「固定」とし、直接投入間隔台数を指定する。そして、心理的価値である変換係数には▲200（絶対条件の規定値）を設定する。もし、心理的価値を他の条件よりも強調したい場合は▲200 未満のより小さい負の数値を設定し、逆に強調したくない場合は▲200 を超える負の数値を設定することにより、他の生産条件と区別した特別扱いが可能となる。

生産条件値と心理的価値曲線との関係を生産条件「4WD」を例に「図 7.1.2b 生産条件と心理的価値曲線」に示す。総計画台数 30 台、該当生産条件の生産台数が 4 台のとき、理論投入間隔台数は 6 台（ $(30 \div 4)$ の商-1）である。そして、参照係数は十分条件が 1.0、必要条件が 0.5、絶対条件が 0.0 の規定値が設定されているので、このときの投入間隔条件値は十分条件が 6 台、必要条件が 3 台、絶対条件が 0 台となる。また、心理的価値としての変換係数には、十分条件が+100、必要条件が 0、絶対条件が▲200 の規定値がそれぞれ設定されている。



出所) 筆者作成

図 7.1.2b 生産条件と心理的価値曲線

それでは、何を生産条件とし、スケジュール選択時の心理的価値評価の対象とすべきか。この課題に対しては、「3.4 中小企業の生産スケジューリング問題」における「中小企業にあって、製品特性やスケジューリング担当者によって異なる生産条件の生成が簡単にできるものが求められている」との結論を踏まえ、製品特性を表す製品系列や製品仕様などの仕様諸元を生産条件として製品型式に対して簡単に設定できるよう、そしてその作業がスケジューリング担当者にとって負担とならない程度の簡単なものであるよう留意した。

具体的には、生産スケジューリング対象の製品型式に対して、最大 10 件の生産条件属性を設け、例えば自動車の場合、「生産条件_1」は「製品系列」(車系)、「生産条件_2」は「サンルーフ」、「生産条件_3」は「駆動」、「生産条件_4」は「全サンルーフ」(複合条件)、「生産条件_5」は「サンルーフ+4WD」(複合条件)の属性とする。そして、「生産条件_1」の「製品系列」(車系)には「プリウス」や「フィット」といった製品名称により区分し、設定する。同様に「生産条件_2」の「サンルーフ」には「チルト式サンルーフ」と「電動スライドサンルーフ」、「生産条件_3」の「駆動」には「4WD」、「生産条件_4」の「全サンルーフ」にはサンルーフ付き車すべてを対象とした識別、

「生産条件_5」の「サンルーフ+4WD」には、サンルーフ付き車のすべてと4WD車のすべてを対象とした識別を付し、生産条件として管理する。生産条件の設定イメージを「表 7.1.2c 製品仕様設定表と生産条件」に示す。

表 7.1.2c 製品仕様設定表と生産条件

製品仕様一覧

工場コード	製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複：全サンルーフ)	生産条件_5 (複：サンルーフ 4WD)
A	A	1_プリウス				
A	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
A	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD

A	H	2_フィット				
A	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
A	J	2_フィット		c_4WD		Y_サンルーフ 4WD

出所) 筆者作成

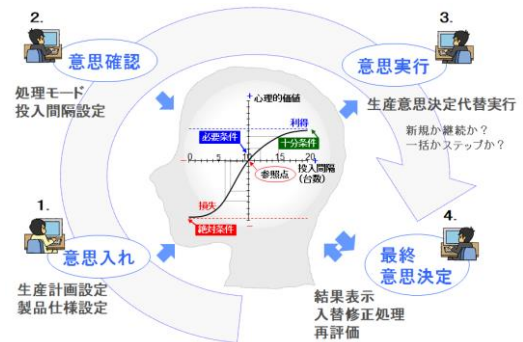
これは、実際に生産する製品には必ず固有の製品型式が設定されていることを前提とするものである。製品系列や製品仕様に基づき製品型式に対して生産条件を設定し、それぞれの生産条件に対してスケジューリング担当者のどのようにありたいか、その期待値と評価値を設定し、この生産条件設定値を使ってスケジューリング担当者の心理的価値としてスケジュール順列の関係性を評価することができるとの考えに基づくものである。その設定処理詳細については、「7.2.4 製品仕様の設定と生産条件の生成」にて述べる。

7.1.3 生産意思決定代替の基本構造（しくみ）と機能

スケジューリング担当者に代わる生産意思決定代替としての生産スケジューリングは、担当者から生産スケジューリング支援ツールへの「意思入れ」、「意思確認」、そして「意思実行」と「最終意思決定」の作業サイクルの機能により構成する。これは、

我々が何らかの作業をするときに必要なものを事前に揃え、その作業準備状況を再確認したうえで作業を実行し、実行結果を確認して必要な事後処理を行う手順と同じである。

まず、「7.1.3.1 意思決定代替条件としての生産条件の取り込み」に示す「意思入れ」は作業に必要な情報収集にあたり、製品仕様や生産計画を生産条件として取り込み、それを担当者に代わって意思決定代替するための判断基準として、プロスペクト理論に基づく心理的価値へ変換することから始まる。続く「7.1.3.2 意思決定代替条件の設定確認」に示す「意思確認」は、作業に必要な情報収集内容の再確認と補正にあたり、生産条件を再確認したり、意思決定代替範囲などの生産スケジューリングの実行モードを指定したり、意思決定代替のために必要な担当者の意思決定判断基準の再確認と処理方法の選択を行う。そして、「7.1.3.3 生産意思決定代替としての生産スケジューリング」に示す「意思実行」は作業の実行にあたり、担当者に代わって生産意思決定を代替実行し工程計画を立案する。



出所) 筆者作成

図 7.1.3a 意思決定代替の基本構造と機能

最後に「7.1.3.4 生産意思決定代替結果の確認・修正と最終意思決定」に示す「最終意思決定」は処理結果確認にあたり、処理結果が期待どおりで担当者の満足できるものであるか確認し、修正が必要であればスケジュール順を入替えるなど、最終的にスケジュールリング担当者が納得できる工程計画が得られるまでこれを繰り返し、最終意思決定を図る。その処理結果を「表 7.1.3b 生産意思決定としての工程計画（生産スケジューリング処理結果）」の工程計画リストに示す。

最後に「7.1.3.4 生産意思決定代替結果の確認・修正と最終意思決定」に示す「最終意思決定」は処理結果確認にあたり、処理結果が期待どおりで担当者の満足できるものであるか確認し、修正が必要であればスケジュール順を入替えるなど、最終的にスケジュールリング担当者が納得できる工程計画が得られるまでこれを繰り返し、最終意思決定を図る。その処理結果を「表 7.1.3b 生産意思決定としての工程計画（生産スケジューリング処理結果）」の工程計画リストに示す。

この工程計画リストの「No」は生産順序を表し、それぞれの順位について生産スケジュールの「製品型式」と「生産条件_n」の内容、「評価結果」を示す。「評価結果」は「最低」、「最高」、「平均」の別に心理的価値を表示し、「最低」は該当順位の製品型式に設定されたすべての生産条件（「生産条件_1」～「生産条件_10」）の評価値の中の最低点を示し、「最高」は最高点、「平均」は平均点を示す。

以下、これらの機能について詳述する

表 7.1.3b 生産意思決定としての工程計画（生産スケジューリング処理結果）

No	評価			製品 型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複：全サンルーフ)	生産条件_5 (複：サンルーフ 4WD)
	最低	最高	平均						
1	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
2	100	100	100	H	2_フィット				
20	100	100	100	J	2_フィット		c_4WD		Y_サンルーフ 4WD
21	100	100	100	A	1_プリウス				
22	100	100	100	H	2_フィット				
23	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
24	100	100	100	H	2_フィット				
25	100	100	100	A	1_プリウス				
26	100	100	100	H	2_フィット				
27	100	100	100	A	1_プリウス				
28	100	100	100	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
29	0	0	0	H	2_フィット				
30	-126	100	35	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD

出所) 筆者作成

7.1.3.1 意思決定代替条件としての生産条件の取り込み（意思入れ）

本機能の目的は、スケジューリング担当者に代わって生産スケジューリングを実行し、生産意思決定するために必要な生産条件を担当者の意思として生産スケジューリング支援ツールに伝え、それを取り込み意思決定代替のための判断基準を生成することにある。それは「何を生産条件にするか」、「その生産条件は、どの製品が対象か」という条件項目とその対象条件の設定や、「投入間隔台数を何台にするか」という具体的な生産条件数値の設定により実現する。

前者は、「7.1.3.1.1 製品仕様からの生産条件項目の取り込み」に示す「製品仕様一覧」への条件設定とその設定条件からの生産条件の取込みであり、後者は、「7.1.3.1.2 生産計画から生産条件値を取り込む」に示す「生産計画」からの投入間隔台数の取込みである。

なお、この生産スケジューリング支援ツールは、意思入れとして設定する「製品仕様」と「生産計画」の最低限 2 つの生産条件データさえ設定すれば機能できるよう設計し、とくに中小企業にあってオペレーション負担が少なく済むように工夫した。

7.1.3.1.1 製品仕様からの生産条件項目の取り込み

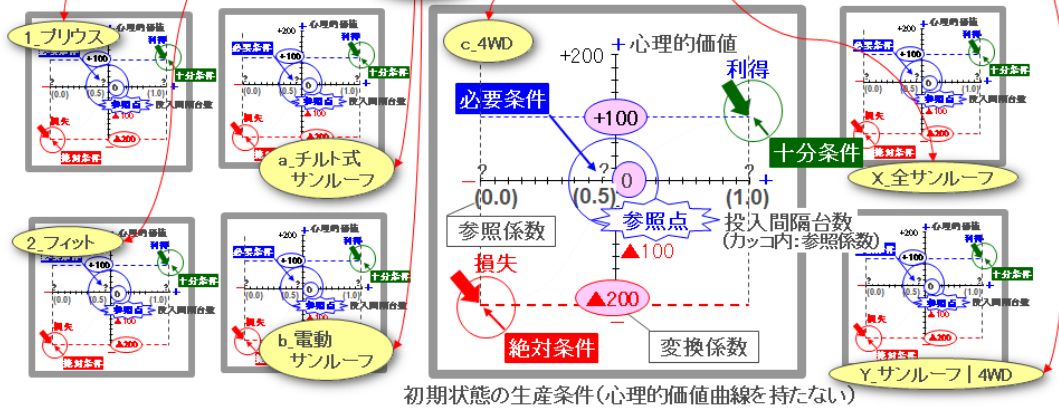
生産条件の抽出から初期値設定の流れを「図 7.1.3.1.1 製品仕様からの生産条件の抽出と初期値設定」に示す。「製品仕様一覧」には、製品型式別に最大 10 件の製品系列または製品仕様を生産条件として設定する。生産計画から工程計画へのスケジューリング配分処理における生産条件の優先順位は「生産条件_1」、「生産条件_2」……「生産条件_10」の順に固定とする。ただし、「生産条件_1」には、必ず製品系列を設定するものとし、製品系列が 1 番目に優先されることによる平準化に留意している。また、「生産条件_n」(n=1~10) の設定値は、製品系列または製品仕様を識別することのできる文字または文字列、例えば「1_プリウス」や「b_電動サンルーフ」とする。なお、製品仕様を識別する文字または文字列は空白（ブランク）も認める。その場合は「条件なし」の生産条件として扱い、例えば「サンルーフなし」や「2WD（二輪駆動）」を表す。そして、設定した「製品仕様一覧」から生産条件項目を取り込み、生産条件として生成する。

ただし、この段階における生産条件は規定値のみを設定し、投入間隔台数が設定される前の状態のため、「図 7.1.3.1.1 製品仕様からの生産条件の抽出と初期値設定」に示すように、心理的価値曲線を持たない係数値だけが設定された状態の初期値として生成する。「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」それぞれの「○○条件の固定／可変」（○○は「絶対」、「必要」、「十分」を指す）には「可変」を設定し、生産計画台数に応じて投入間隔台数条件値を自動的に変動させる処理方法を選択する。そして、生産計画に基づき理論投入間隔台数より投入間隔台数条件値を算出するときの係数値である「○○条件の参照係数」には規定値として「絶対条件」には 0、「必要条件」には 0.5、「十分条件」には 1.0 を初期設定する。さらに、そのときの心理的価値を表す「○○条件の変換係数」には「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとの条件満足時の規定値として「絶対条件」には▲200、「必要条件」には 0、「十分条件」には+100 を初期設定する。

その結果、「図 7.1.3.1.1 製品仕様からの生産条件の抽出と初期値設定」に示すような、どの生産条件も規定値だけが設定された同じ内容のものが生産条件の初期値として準備される。

製品仕様一覧

工場コード	製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複：全サンルーフ)	生産条件_5 (複：サンルーフ 4WD)
A	A	1_プリウス				
A	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
A	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
A	H	2_フィット			X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
A	I	2_フィット	b_電動サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
A	J	2_フィット	b_電動サンルーフ	c_4WD		Y_サンルーフ 4WD



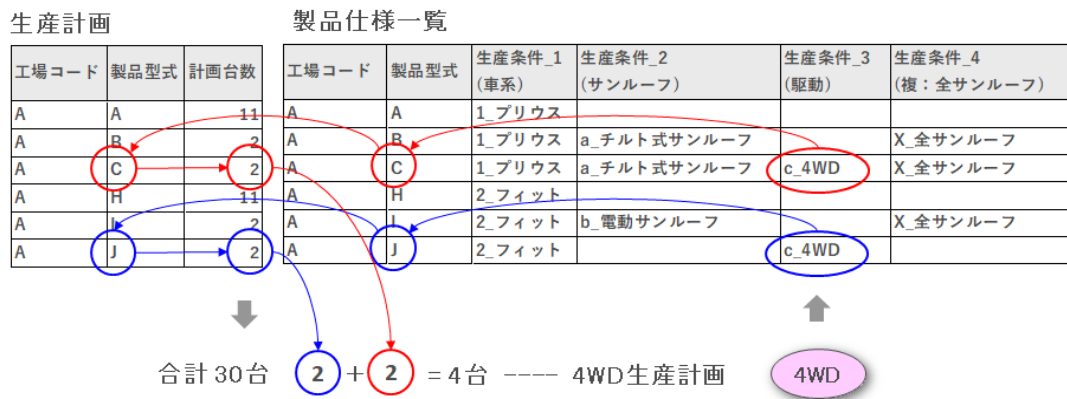
※どの生産条件も投入間隔台数を持たず、心理的価値曲線のない規定値だけがセットされた初期値出所) 筆者作成

図 7.1.3.1.1 製品仕様からの生産条件の抽出と初期値設定

7.1.3.1.2 生産計画からの生産条件値の取り込み

前述の「7.1.3.1.1 製品仕様からの生産条件項目の取り込み」において生成し、準備した意思決定代替のための生産条件項目に対して、十分条件、必要条件、絶対条件それぞれの投入間隔台数条件値を求めることによって心理的価値曲線を生成し、意思決定代替のための判断基準を生産スケジューリング支援ツール内に作り込むことを目的とする。

まず、「生産計画」の製品型式別生産計画台数から「製品仕様一覧」によって各生産条件の生産計画台数を求め、生産条件に対する理論投入間隔台数を算出する。このときの理論投入間隔台数は合計計画台数を該当生産条件の計画台数で割り、その商から1を減じた値である。例えば、「4WD」の場合、「図 7.1.3.1.2a 生産条件の生産計画台数」に示すように、「4WD」を生産条件として持つすべての製品型式の生産計画を抽出し集計することにより、その生産計画台数を求めることができる。



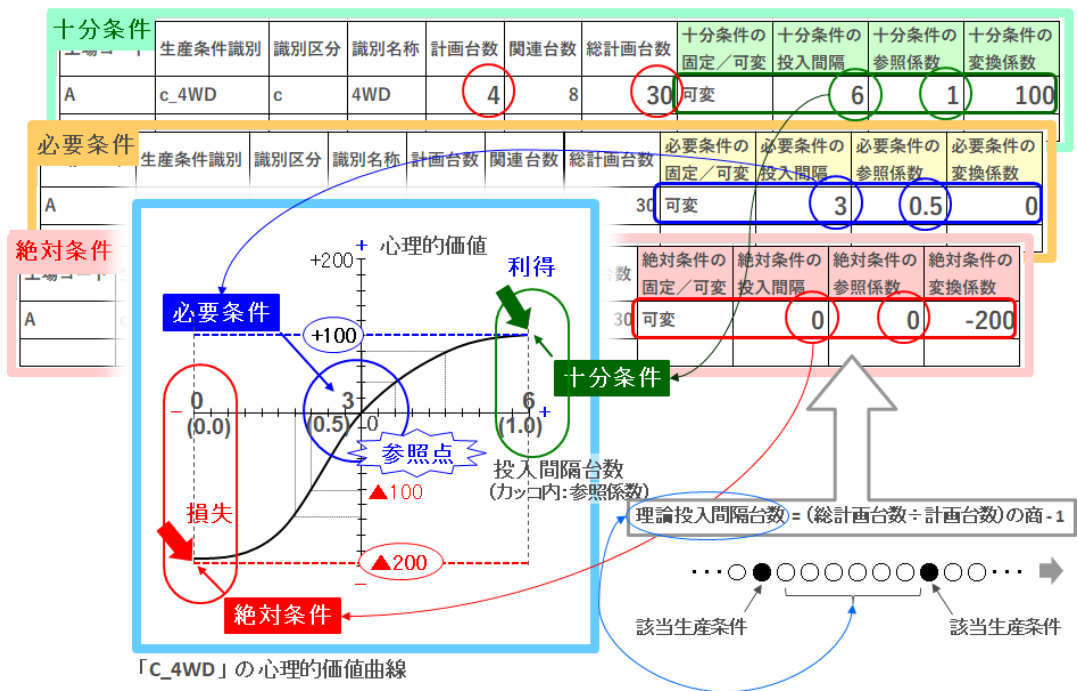
出所) 筆者作成

図 7. 1. 3. 1. 2a 生産条件の生産計画台数

そのうえで、十分条件、必要条件、絶対条件のそれぞれに設定されている「〇〇条件の固定／可変」モード（〇〇は「絶対」、「必要」、「十分」を指す）が「可変」に設定されている場合においてのみ、この理論投入間隔台数に十分条件、必要条件、絶対条件のそれぞれに設定されている「参照係数」（0.0～1.0）を乗じた値を十分条件、必要条件、絶対条件の投入間隔台数条件値とする。そして、求めた十分条件、必要条件、絶対条件の投入間隔台数条件値を基に心理的価値曲線を生成する。

「4WD」を例に、生産条件の投入間隔台数と心理的価値曲線との関係を「図 7. 1. 3. 1. 2b 生産計画に基づく投入間隔台数と心理的価値曲線の生成」に示す。総計画台数 30 台、該当生産条件の生産台数が 4 台のときの理論投入間隔台数は 6 台（ $(30 \div 4)$ の商-1）である。そして、参照係数は十分条件が 1.0、必要条件が 0.5、絶対条件が 0.0 の規定値が設定されているので、このときの投入間隔条件値は十分条件が 6 台、必要条件が 3 台、絶対条件が 0 台となる。

このようにして求めた心理的価値曲線を基に、スケジュール配列上の同一生産条件間の投入間隔に対する心理的価値を評価することにより、候補となる複数ある生産条件の中からどれがスケジュール配列として納得できるものか、スケジューリング担当者に代わって評価し、選択することが可能となる。



出所) 筆者作成

図 7.1.3.1.2b 生産計画に基づく投入間隔台数と心理的価値曲線の生成

7.1.3.2 意思決定代替条件の設定確認 (意思確認)

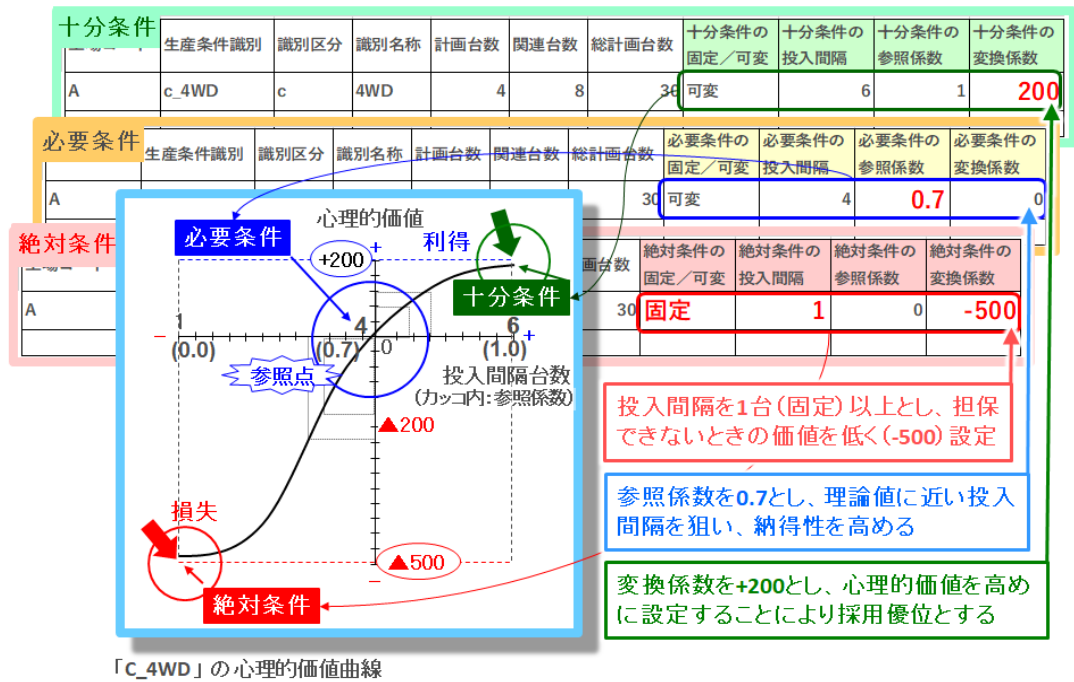
本機能の目的は、生産スケジューリング作業に必要な情報として収集した生産条件を再確認したり、必要に応じて生産条件を補正したり、生産条件が担当者の意思として生産スケジューリング支援ツールに正しく伝わり、取り込まれているか生産スケジューリング実行前に最終点検することにある。また、生産スケジューリング支援ツールの実行モードを指定したり、意思決定代替のために必要な担当者の意思決定判断基準の取り扱い方法を指定したり、意思決定代替の範囲を指定したり、生産スケジューリング方法を選択したりする。

7.1.3.2.1 生産条件の設定変更

ここでは、「7.1.3.1 意思決定代替条件としての生産条件の取り込み (意思入れ)」において生成した生産条件が意図したとおりに作成できているか再確認し、スケジューリング担当者の意思が正しく生産スケジューリング支援ツールへ取り込まれていることを担保することが、その目的である。もし、担当者の意図したものとなっていなけ

れば、ここで必要な生産条件の補正を行う。

また、生産条件の設定変更は条件項目の再確認とその補正だけでなく、生産スケジューリング担当者の処理結果に対する納得性をさらに高める役割も果たす。それは、『図 7.1.3.2.1 生産条件の変更 (例)』に示すように、担当者が条件を厳しくしたり、緩和したり生産条件の特性に合わせて変化させることにより実現する。



出所) 筆者作成

図 7.1.3.2.1 生産条件の変更 (例)

例えば、図中の絶対条件「投入間隔を 1 台 (固定) 以上とし、担保できないときの価値を低く (▲500) 設定」のように設定すれば、固定の絶対条件として必ず 1 台以上の投入間隔を保つようにスケジューリングされ、条件を担保できないときの心理的価値が▲500 となり、規定値 (▲200) よりも相対的に負の値が大きくなるため、選択される可能性が低くなる。そして、必要条件「参照係数を 0.7 とし、理論値に近い投入間隔を狙い、納得性を高める」のように設定すれば、必要条件の投入間隔が 4 台となり、4 台未満の心理的価値が負の値となるため、規定値の投入間隔台数 3 台と比較して理論投入間隔台数に近い方向へ作用することになる。さらに、十分条件「変換係数を+200 とし、心理的価値を高め設定することにより採用優位とする」のように設定すれば、十分条件成立時の心理的価値のみならず、必要条件を超える投入間隔台数であれば、

規定値（+100）の場合と比較して相対的に高い心理的価値評価となり、該当生産条件が他と比較して採用優位な状況となる。

このように、スケジューリング担当者の意思を反映しメリハリのついた生産条件設定を可能としている。ただし、極端な条件や理論的に無理な投入間隔条件、あまりに多くの生産条件変更は、全体的な整合性を欠くとともに生産条件間の競合により良い結果につながらなくなる可能性もあり、留意する必要がある。

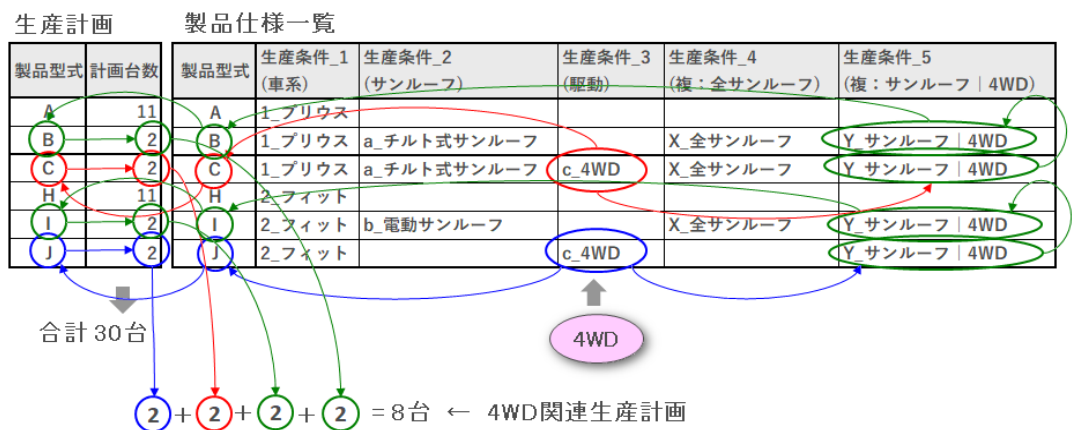
7.1.3.2.2 処理条件の設定

ここでは、実際にスケジューリング担当者がどのような手順で生産スケジューリング作業を行うか、また生産スケジューリング支援ツールをどのように動作させるか、その処理モードの選択を行う。担当者は、状況に応じて下記のような処理モードを選択することによって支援ツールに対して意思決定代替させる範囲を指示し、スケジューリング作業を行うこととなる。

まず、処理手順は大別して自動的に「一括処理」する方法と、スケジューリング担当者へ配分候補の生産条件と評価値を示しながら対話的に意思決定選択する「ステップ処理」がある。「一括処理」は、生産計画台数分を自動的に処理し、生産条件にしたがって支援ツールが意思決定代替し、生産計画台数分のスケジュール配列を自動生成する。一方の「ステップ処理」は、支援ツールがスケジュール 1 件ずつ生産条件にしたがって該当順位のスケジュール配列候補を示し、スケジューリング担当者が候補の中から自身が良いと考える生産条件を選択する。また、「一括処理」と「ステップ処理」とともに 1 台目のスケジュールから処理を開始する「新規」と、処理途中のスケジュール配列順位から再開する「継続」の 2 つの処理方法がある。これらを「実行処理モード」と呼び、生産スケジューリング支援ツール実行時に選択実行する必要がある。

次に、実行時の生産計画からスケジュール配列順への配分過程において、「出現率」と「生産条件」のどちらを優先するか、「配分処理条件モード」により選択指示する。この「配分処理条件モード」として「出現率優先（配分実績の少ない順）」を指定した場合、工程計画への分配を出現率により行い、製品型式別の生産計画台数を基に製品型式が持つ生産条件の階層ごとの生産計画比率に対して、それまでの配分実績比率の小さい方を優先候補として処理する。一方、「生産条件優先（条件満足度順）」を指定した場合は、上記「出現率優先（配分実績の少ない順）」により優先順に並べられた候

補について、同じ製品系列内において生産条件の心理的価値の高い順に並べ替え、条件満足度の高い方を優先候補として処理する。上記「実行処理モード」について「一括処理」を選択した場合は、「配分処理条件モード」で指定した候補の1番目がスケジュール配列として支援ツールの意思決定代替により選択されることになる。一方、「ステップ処理」が選択された場合は、支援ツールが示した候補の中から良いと考えるものをスケジューリング担当者の意思によって選択することになる。



出所) 筆者作成

図 7.1.3.2.2 関連生産条件の生産計画台数合算

最後に、各生産条件の投入間隔台数条件を算定するとき個別生産条件単独の生産計画台数だけで算出するか、複合生産条件を構成している関連するすべての個別生産条件の生産計画台数を合算して、あるべき投入間隔台数を算出するかについて「投入間隔処理モード」により選択指示する。この「投入間隔処理モード」について「単独生産条件台数 (個別の生産条件のみ)」を指定した場合、各生産条件単独の生産計画台数を基に投入間隔台数を算出するため、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ともに投入間隔台数および評価値基準は厳しい条件値となる。一方、「関連生産条件合算 (複合生産条件すべて)」を指定した場合は、例えば「サンルーフ」と「4WD」の両方を装備する複合生産条件が存在するとき、「4WD」の生産計画台数として「サンルーフ」と「4WD」の両方を合算するなど、関連するすべての個別生産条件の生産計画台数が合算されるため、比較的緩やかな投入間隔台数および評価値基準となる。これは、設定する生産条件が多くなり、とくに複合条件の割合が多くスケジューリング処理が困難となり、満足できる処理結果が得られなくなった場合に、投入間隔制御の緩和措置と

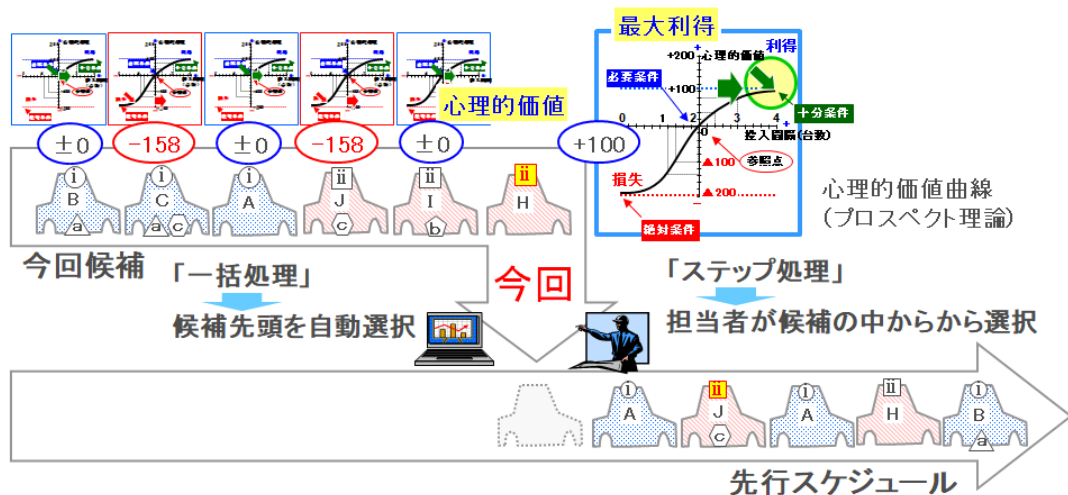
して使用する。

7.1.3.3 生産意思決定代替としての生産スケジューリング（意思実行）

本機能は、支援ツールに取り込んだ生産条件および処理モードにしたがい、スケジューリング担当者に代る生産意思決定代替としての生産スケジューリング処理の実行を目的とする。実際のオペレーションは、次節「7.2 中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの実現」に示す生産スケジューリング支援ツールの解説に譲り、本項においては、スケジューリング配列を決定して行く過程における候補配列の選択と決定方法について詳述する。

中核機能は、「図 7.1.3.3 生産意思決定代替としての生産スケジューリング」に示すように、スケジュール配列の決定過程における今回候補の選定にある。その目的は、「優先して着工すべきスケジュールはどれか」、そして「工程能力を鑑みて支障なく効率的に生産できるスケジュールはどれか」という 2 つの問題を同時に解決するか、同時解決できない場合は、その中での最良解を見つけることにある。ここが、行動経済学に基づく行動意思決定の応用による要となる機能である。そこでは、今回候補（例えば合計 30 台のスケジューリングを実行するときの配列 6 台目の候補）を決めるための「出現率に基づく候補順の決定」と「生産条件に基づく意思決定時の候補の心理的価値の抽出」、「心理的価値に基づく候補の並び替え」の作業が繰り返される。この 3 つの段階に分けて、機能概要を示す。

なお、実際のオペレーションにおける「実行処理モード」による処理の差異は、「一括処理」が支援ツールにより意思決定代替し候補配列の先頭を自動的に選択決定するのに対し、「ステップ処理」がスケジューリング担当者へ今回候補の生産条件と評価値を示しながら、最終的にはスケジューリング担当者が対話的に意思決定選択するところにある。



<凡例>



- 製品系列=車名 (i :プリウス、ii :フィット)
- 製品型式=製品系列+製品仕様など(A,B,C,H,I,J)
- 製品仕様=装備仕様 (a:電動サンルーフ、b:チルトサンルーフ、C:4WD)

※各候補の心理的価値曲線とその値の求め方については『7.1.3.3.2 生産条件に基づく意思決定時の候補の心理的価値の抽出』による。

出所) 筆者作成

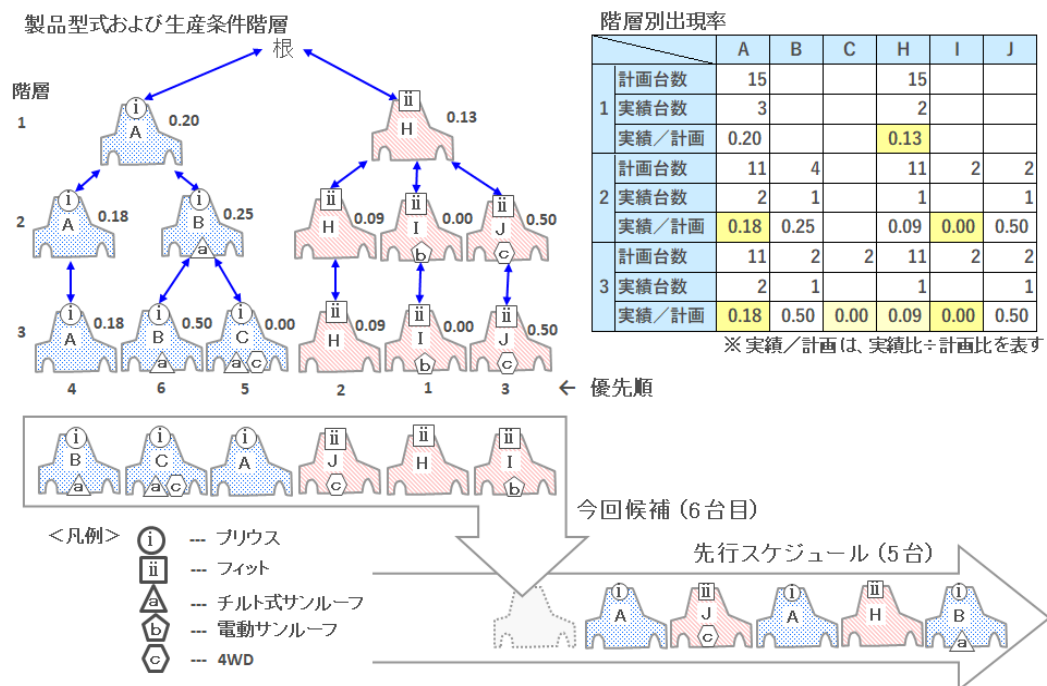
図 7.1.3.3 生産意思決定代替としての生産スケジューリング

7.1.3.3.1 出現率に基づく候補順の決定

本機能の目的は、「優先して着工すべきスケジュールはどれか」、その優先順を見つけ出して示すことにある。このスケジュール配列の決定過程における今回候補の選定は、製品型式および生産条件に基づく出現率により行う。ここで言う出現率とは、生産計画比率と配分済みの実績比率との割合を指し、実績比率を計画比率で除した数値とする。そのときの生産計画比率とは、ある製品型式または生産条件の計画数を計画合計数で除したものの数値を指し、実績比率とは同じく製品型式または生産条件の配分実績数を配分実績合計数で除した数値を指す。

その条件において、「図 7.1.3.3.1 出現率によるスケジュール配分と今回候補優先順」に出現率に基づく候補順の決定イメージを示す。図中の「製品型式および生産条件階層」に示すような製品の階層構造があり、「先行スケジュール」に示す5台がすでに生産スケジュールとして配列が決定している。また、生産計画と配分実績および出現率は「階層別出現率」の表に示すような状態にある。

まず、第一階層の出現率を比較すると製品系列 ii の「フィット」側の方が小さいのでこちら側の系列が選択される。製品系列 ii の「フィット」側の第 2 階層を比較すると、生産条件 b の「電動サンルーフ」を持つ製品 I の出現率が最小であるため、これを今回候補の第 1 優先として選択する。第 2 優先以降も同じように選択する。製品系列 ii の「フィット」側に対象がなくなったら、製品系列 i の「プリウス」側を同じように探索して出現率により優先する製品型式を選択する。その結果、製品型式 I を第 1 優先とする B→C→A→J→H→I→の順番の今回候補配列を得ることができる。



出所) 筆者作成

図 7.1.3.3.1 出現率によるスケジュール配分と今回候補優先順

7.1.3.3.2 生産条件に基づく意思決定時の候補の心理的価値の抽出

本機能の目的は、「工程能力を鑑みて支障なく効率的に生産できるスケジュールはどれか」という問題に対して、スケジューリング担当者によって「製品仕様一覧」および「生産計画」を通して与えられた生産条件を担当者の意思とし、今回候補のそれぞれについて選択した場合の心理的価値を評価、抽出することにある。ここでは、行動経済学におけるプロスペクト理論を応用し、それを機能エンジンとして「7.1.3.3.1 出現率に基づく候補順の決定」において選定された今回候補のすべてについて、スケジ

ルール配列として確定済みの先行スケジュールに対する同一生産条件間の投入間隔を該当生産条件に基づき心理的価値へ変換し評価する。なお、このときの生産条件は「表 7.1.3.3.2a 生産条件表（可変、規定値）」に示すとおりである。この中、複合生産条件「X_全サンルーフ」は「a_チルト式サンルーフ」または「b_電動サンルーフ」のどちらかの個別生産条件条件を満たすのもので、生産計画台数は両方の合計台数となる。また、「Y_サンルーフ | 4WD」は、「a_チルト式サンルーフ」または「b_電動サンルーフ」、「C_4WD」のいずれかの個別生産条件を満たすもので、生産計画台数はこれらの合計台数である。

表 7.1.3.3.2a 生産条件表（可変、規定値）

生産条件識別	単独 複合	計画 台数	絶対条件			必要条件			十分条件		
			投入間隔	参照係数	変換係数	投入間隔	参照係数	変換係数	投入間隔	参照係数	変換係数
1_プリウス	単独	15	0	0	▲ 200	0	0.5	0	1	1	100
2_フィット	単独	15	0	0	▲ 200	0	0.5	0	1	1	100
a_チルト式サンルーフ	単独	4	0	0	▲ 200	3	0.5	0	6	1	100
b_電動サンルーフ	単独	2	0	0	▲ 200	7	0.5	0	14	1	100
c_4WD	単独	4	0	0	▲ 200	3	0.5	0	6	1	100
X_全サンルーフ	複合	6	0	0	▲ 200	2	0.5	0	4	1	100
Y_サンルーフ 4WD	複合	8	0	0	▲ 200	1	0.5	0	2	1	100

出所) 筆者作成

この生産条件（「表 7.1.3.3.2a 生産条件表（可変、規定値）」の「十分条件」、「必要条件」、「絶対条件」別の「投入間隔」、「参照係数」、「変換係数」を基に心理的価値は得られる利得または損失が逡減するというプロスペクト理論の特性を簡略化し、第 5 章第 6 節の「5.6.2.2 制約条件の判定」にて示した算定方法に従い、参照点である必要条件を原点 (0) とする対数値を求める疑似的数値化によって代替し心理的価値曲線を求める。

具体的には、「表 5.6.2.2 投入間隔台数と心理的価値」（第 5 章「5.6.2.2 制約条件の判定」を参照）に示すように、必要条件を満たしている場合は、十分条件の投入間隔台数と必要条件の投入間隔台数との差分に 1 を加えた値を基底とし、算出時の投入間隔台数と必要条件の投入間隔台数との差分に 1 を加えた値の対数を求め、条件指定された満点の係数値を乗じることにより利得を疑似的数値として得ることができる。また、必要条件を満たしていない場合は、絶対条件の投入間隔台数と必要条件の投入間隔台数との差分の絶対値に 1 を加えた値を基底とし、算出時の投入間隔台数と必要条件の投入間隔台数との差分の絶対値に 1 を加えた値の対数を求め、条件指定された及第点

の係数値を乗じることにより損失を疑似的数値として得ることができる。

これを数式で示すと、実際の投入間隔 I_r 、十分条件の投入間隔 I_s 、必要条件の投入間隔 I_n 、絶対条件の投入間隔 I_a 、十分条件の係数（満点） M_s 、必要条件の係数（参照点） M_n 、絶対条件の係数（及第点） M_a とするとき、利得または損失の心理的価値 V を求めることができる（「5.6.2.2 制約条件の判定」の算出式を参照）。

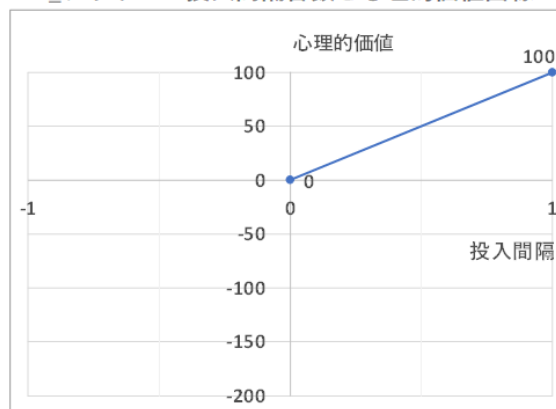
また、算定結果得られたこれら生産条件の心理的価値曲線は「図表 7.1.3.3.2c 投入間隔台数と心理的価値曲線」に示す。

図表 7.1.3.3.2c 投入間隔台数と心理的価値曲線

1_プリウスの投入間隔台数と心理的価値

条件領域	条件区分	投入間隔台数	心理的価値
(満点→)	十分条件→	1	100
参照点→	必要条件→	0	0
(及第点→)	絶対条件→		-200

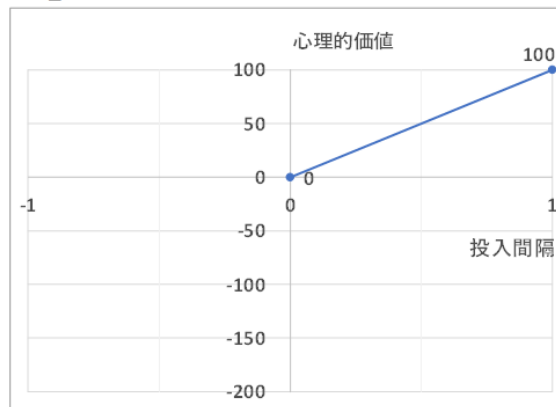
1_プリウスの投入間隔台数と心理的価値曲線



2_フィットの投入間隔台数と心理的価値

条件領域	条件区分	投入間隔台数	心理的価値
(満点→)	十分条件→	1	100
参照点→	必要条件→	0	0
(及第点→)	絶対条件→		-200

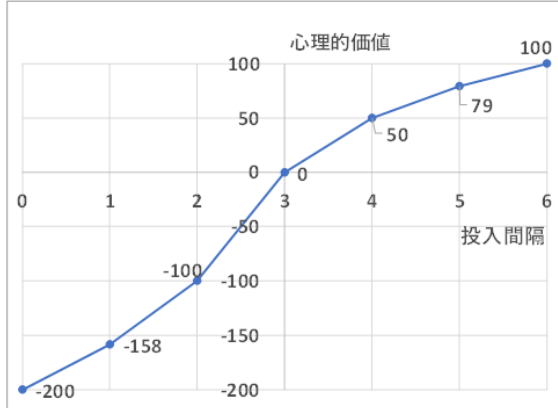
2_フィットの投入間隔台数と心理的価値曲線



a_チルト式サンルーフの投入間隔台数と心理的価値

条件領域	条件区分	投入間隔台数	心理的価値
(満点)	十分条件	6	100
(満足)		5	79
↑		4	50
参照点	必要条件	3	0
↓	絶対条件	2	-100
(不満足)		1	-158
(及第点)		0	-200

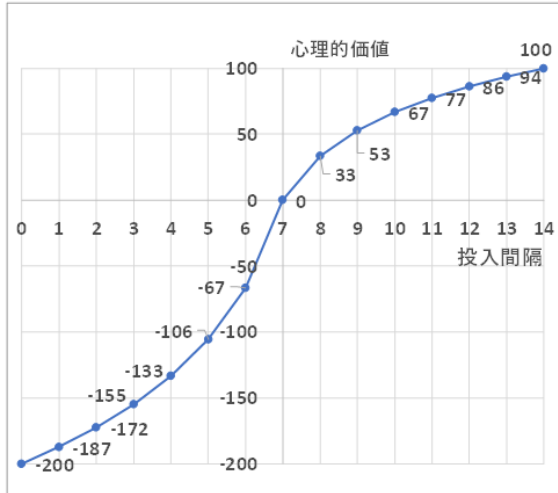
a_チルト式サンルーフの投入間隔台数と心理的価値曲線



b_電動サンルーフの投入間隔台数と心理的価値

条件領域	条件区分	投入間隔台数	心理的価値
(満点)	十分条件	14	100
		13	94
		12	86
		11	77
		10	67
(満足)		9	53
↑	8	33	
参照点	必要条件	7	0
↓	絶対条件	6	-67
(不満足)		5	-106
		4	-133
		3	-155
		2	-172
(及第点)		1	-187
	0	-200	

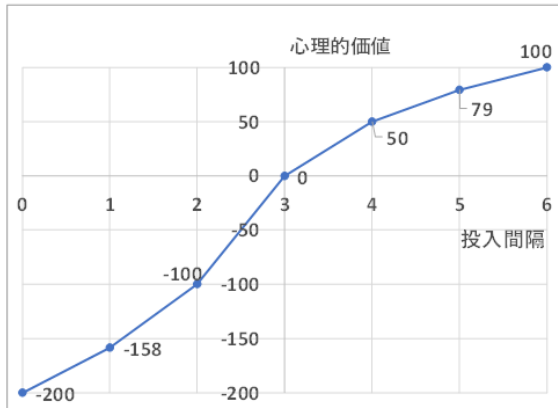
b_電動サンルーフの投入間隔台数と心理的価値曲線



4WDの投入間隔台数と心理的価値

条件領域	条件区分	投入間隔台数	心理的価値
(満点)	十分条件	6	100
(満足)		5	79
↑		4	50
参照点	必要条件	3	0
↓	絶対条件	2	-100
(不満足)		1	-158
(及第点)		0	-200

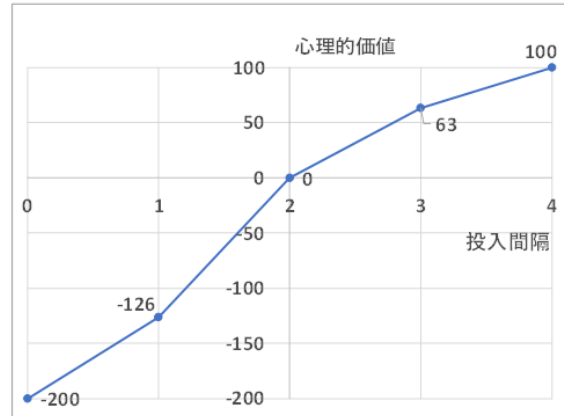
4WDの投入間隔台数と心理的価値曲線



X_全サンルーフの投入間隔台数と心理的価値

条件領域	条件区分	投入間隔台数	心理的価値
(満点→)	十分条件→	4	100
↑		3	63
参照点→	必要条件→	2	0
↓		1	-126
(及第点→)	絶対条件→	0	-200

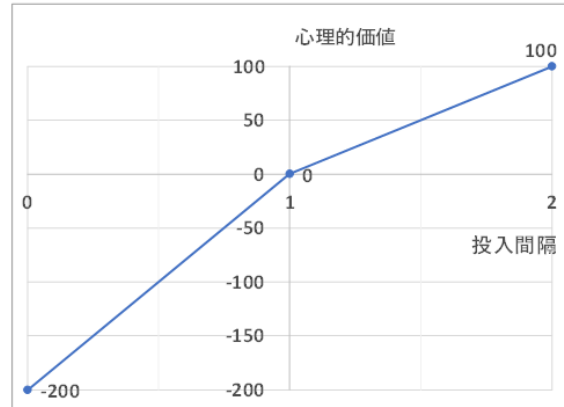
X_全サンルーフの投入間隔台数と心理的価値曲線



Y_サンルーフ | 4WDの投入間隔台数と心理的価値

条件領域	条件区分	投入間隔台数	心理的価値
(満点→)	十分条件→	2	100
参照点→	必要条件→	1	0
(及第点→)	絶対条件→	0	-200

Y_サンルーフ | 4WDの投入間隔台数と心理的価値曲線



出所) 筆者作成

この条件の下、今回候補 6 件のそれぞれが持つ複数の生産条件のすべてについて、先行スケジュールが持つ同一生産条件との間の投入間隔による心理的価値評価を行い、心理的価値の中で一番低い生産条件の心理的価値を該当候補の心理的価値とする。その結果を「図 7. 1. 3. 3. 2d 今回候補の投入間隔と心理的価値評価」に示す。

まず、1 件目は、生産条件「2_フィット」の先行スケジュール「2_フィット」との投入間隔が 1 台であるから十分条件の 1 台を満たしている。また、「b_電動サンルーフ」は先行スケジュールが存在せず、十分条件の 14 台を満たしている。さらに、「b_電動サンルーフ」に関連し該当する複合条件「X_サンルーフ」は先行スケジュール「a_チルト式サンルーフ」との投入間隔が 4 台であるから十分条件の 4 台を満たしている。しかし、同様の複合条件「Y_サンルーフ | 4WD」は先行スケジュール「c_4WD」との投入間隔が 1 台であるから十分条件の 2 台は満たせないものの必要条件の 1 台は満たしている。この結果、1 件目の候補 1 の心理的価値は参照点の 0 点となる。

続く候補 2 は、生産条件「2_フィット」の先行スケジュール「2_フィット」との投入間隔が 1 台であるから十分条件の 1 台を満たしており、その心理的価値は+100 点である。

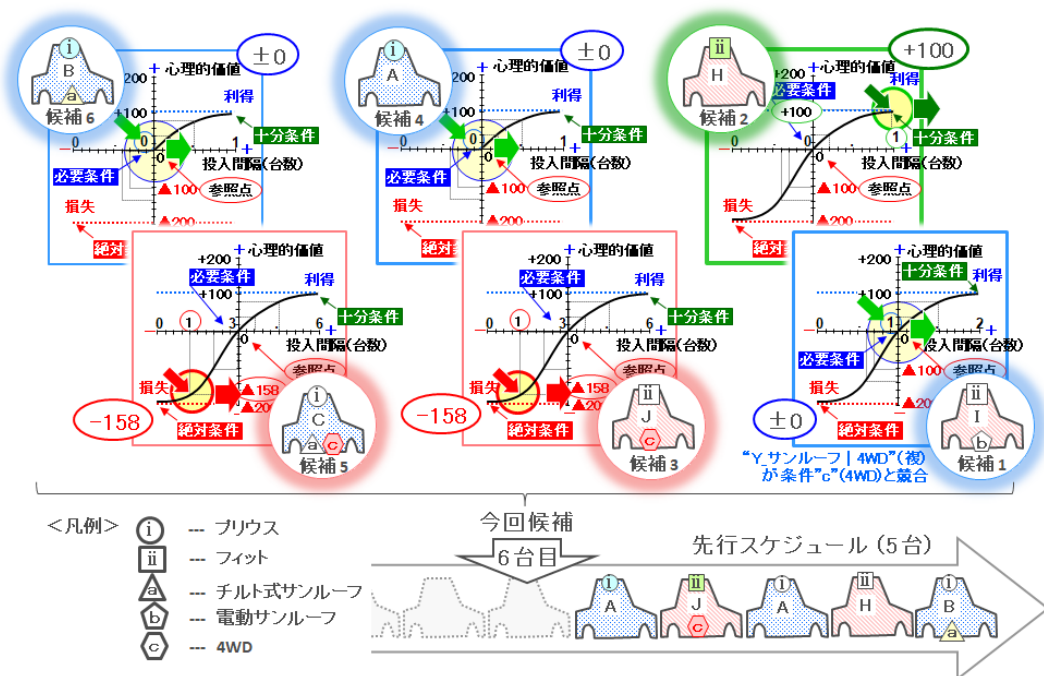
候補 3 は、生産条件「2_フィット」の先行スケジュール「2_フィット」との投入間隔が 1 台であるから十分条件の 1 台を満たしている。しかし、生産条件「c_4WD」は先行スケジュール「c_4WD」との投入間隔が 1 台であり必要条件の 3 台を満たせず、その心理的価値は▲158 点である。なお、複合条件「Y_サンルーフ | 4WD」は先行スケジュール「c_4WD」との投入間隔が 1 台であり、必要条件の 1 台は満たしている。

候補 4 は、生産条件「1_プリウス」の先行スケジュール「1_プリウス」との投入間隔が 0 台であるから、十分条件の 1 台は満たせないものの必要条件の 0 台は満たしており、心理的価値は参照点の 0 点である。

候補 5 は、生産条件「1_プリウス」の先行スケジュール「1_プリウス」との投入間隔が 0 台であるから、十分条件の 1 台は満たせないものの必要条件の 0 台は満たしている。また、生産条件「a_チルト式サンルーフ」は先行スケジュール「a_チルト式サンルーフ」との投入間隔が 4 台であるから、十分条件の 6 台は満たせないものの必要条件の 3 台は満たしている。しかし、生産条件「c_4WD」は先行スケジュール「c_4WD」との投入間隔が 1 台であり必要条件の 3 台を満たせず、その心理的価値は▲158 点である。なお、複合条件「X_サンルーフ」は先行スケジュール「a_チルト式サンルーフ」との投入間隔が 4 台であるから十分条件の 4 台を満たしている。同様に、複合条件「Y_サンルーフ | 4WD」は先行スケジュール「c_4WD」との投入間隔が 1 台であり、必要条件の 1 台は満たしている。

候補 6 は、生産条件「1_プリウス」の先行スケジュール「1_プリウス」との投入間隔が 0 台であるから、十分条件の 1 台は満たせないものの必要条件の 0 台は満たしている。また、生産条件「a_チルト式サンルーフ」は先行スケジュールとの投入間隔が 4 台であるから、十分条件の 6 台は満たせないものの必要条件の 3 台は満たしている。さらに、「a_チルト式サンルーフ」に関連し該当する複合条件「X_サンルーフ」は先行スケジュール「a_チルト式サンルーフ」との投入間隔が 4 台であるから十分条件の 4 台を満たしている。同様に複合条件「Y_サンルーフ | 4WD」は先行スケジュール「c_4WD」との投入間隔が 1 台であるから十分条件の 2 台は満たせないものの必要条件の 1 台は満たしている。この結果、候補 6 の心理的価値は参照点の 0 点である。

これらの結果は、「配分処理条件モード」として「出現率優先 (配分実績の少ない順)」を指定し、かつ「実行処理モード」として「一括処理」を指定している場合は、支援ツールによって意思決定代替され、心理的価値の評価結果に関係なく出現率を基に選択した今回候補の中の候補 1 が無条件に今回のスケジュール配列として自動的に選択される。ただし、そのときの心理的価値の評価結果はスケジュール配列の処理結果として処理後に確認することはできる。また、「実行処理モード」として「ステップ処理」を指定している場合は、ここで評価した心理的価値を今回候補順とともに表示し、スケジュール担当者が良いと思うものを今回候補の中から選択することによって今回のスケジュール配列として決定することができる。



出所) 筆者作成

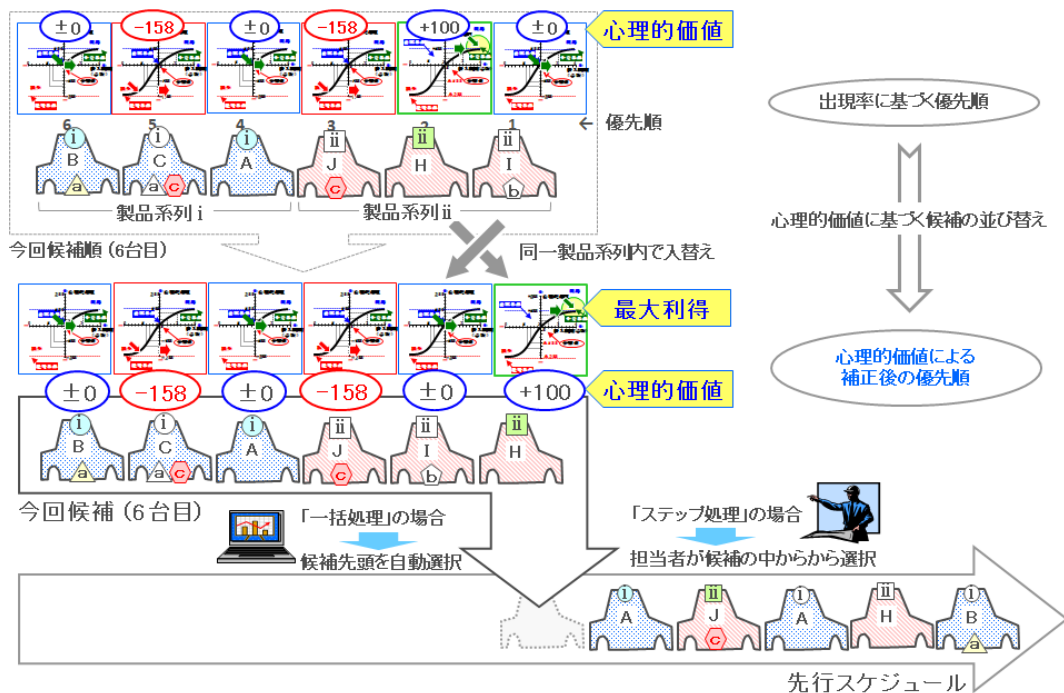
図 7. 1. 3. 3. 2d 今回候補の投入間隔と心理的価値評価

7. 1. 3. 3. 3 心理的価値に基づく候補の並び替え

本機能の目的は、「優先して着工すべきスケジュールはどれか」という問題に対する出現率に基く今回候補選択に続き、「工程能力を鑑みて支障なく効率的に生産できるスケジュールはどれか」という問題に対する、それぞれの候補選択時の投入間隔から受ける心理的価値を生産条件に基づき評価し、同時に 2 つの問題解決を図るか、同時解

決できない場合は、その中での最良解を見つけ出すことにある。

具体的には、最上位階層の生産条件を製品系列（必須）としたことにより、出現率に基づく今回候補順は製品系列順に並んでいる。そこで、生産条件最上位階層について今回候補先頭の製品系列との同一の製品系列のみの範囲において、心理的価値の降順（数値の大きい順）に並び替える。ただし、同一製品系列内に必要条件を満たす（心理的価値が正の数値）候補が存在しない場合に限って、次の製品系列を含む範囲で並び替えを行う。その処理を「図 7.1.3.3.3 心理的価値に基づく今回候補の並び替え補正」に示す。



出所) 筆者作成

図 7.1.3.3.3 心理的価値に基づく今回候補の並び替え補正

この結果は、「配分処理条件モード」として「生産条件優先（条件満足度順）」を指定し、かつ「実行処理モード」として「一括処理」を指定している場合は、支援ツールによって意思決定代替され、心理的価値の評価結果にしたがい選択した今回候補の中の候補 1 が無条件に今回のスケジュール配列として自動的に選択される。また、そのときの心理的価値の評価結果はスケジュール配列の処理結果として処理後に確認することもできる。そして、「実行処理モード」として「ステップ処理」を指定している場合は、ここで評価した心理的価値を今回候補順とともに表示し、スケジュール担当者が

良いと思うものを今回候補の中から選択することによって今回のスケジュール配列として決定することもできる。

7.1.3.4 生産意思決定代替結果の確認・修正と最終意思決定

本機能の目的は、生産スケジューリング支援ツールを利用しながら、ここまでに工程計画案として生成したスケジュール配列について、生産条件の網羅性と競合生産条件間の調停結果をスケジューリング担当者自身が再確認し、修正すべき点があれば並び順を入れ替え修正することによって、より条件満足度の高い工程計画として完成度を上げて行くことにある。そして、担当者自身が最終意思決定することにより納得性が得られる工程計画として完成させる。

例えば、「配分処理条件モード」として「生産条件優先（条件満足度順）」を指定し、「実行処理モード」として「一括処理」を指定して実行した生産スケジューリングの実行結果を「図 7.1.3.4 処理結果の入れ替え」に示す。このとき、最終 30 台目の「製品型式 C」は、「生産条件_4」の複合条件「X_全サンルーフ」に対し、先行する 28 台目の「X_全サンルーフ」との投入間隔が 1 台のため、必要条件の投入間隔 2 台を確保できず、「評価」欄の「最低」値に示すように心理的価値が▲126（「図表 7.1.3.3.2b 投入間隔台数と心理的価値曲線」参照）となり評価を下げている。この場合、26 台目と 28 台目、29 台目と 30 台目のそれぞれを入れ替えることによって、複合条件「X_全サンルーフ」の必要条件 2 台を確保できるようになり、心理的価値評価の改善が見込める。

実際に 26 台目の「製品型式 H」と 28 台目の「製品型式 I」を入れ替えると、30 台目の「製品型式 C」は複合条件「X_全サンルーフ」の先行する 26 台目の「X_全サンルーフ」との投入間隔が 3 台となり、十分条件の 4 台は満たせないものの必要条件の 2 台を満たし、その心理的価値評価は+63 に改善した。その代わりに、入れ替わった 26 台目の「製品型式 I」は、複合条件「X_全サンルーフ」の先行する 23 台目の「X_全サンルーフ」との投入間隔が 2 台となり、必要条件の 2 台を満たすものの心理的価値評価を 0 に下げる結果となった。しかし、工程計画全体の心理的価値の合計評価点（リスト最終行の下に表示）は+2674 から+2763 に改善した。

さらに、29 台目の「製品型式 H」と 30 台目の「製品型式 C」を入れ替えると、30 台目の「製品型式 H」の生産条件「2_フィット」の先行する 28 台目の「2_フィット」と

の投入間隔が1台となり、十分条件の1台を満たし、心理的価値評価を+100に上げ改善した。その代わりに、入れ替わった29台目の「製品型式C」は、複合条件「X_全サンルーフ」の先行する26台目の「X_全サンルーフ」との投入間隔が2台となり、必要条件の2台を満たすものの心理的価値評価を0に下げる結果となった。しかし、工程計画全体の心理的価値の合計評価点は+2800となり、さらに改善した。

このように、「工程計画リスト」の心理的価値の「評価」欄に記録された生産スケジューリング処理結果を見て、生産条件の競合などにより心理的価値評価の低い並び順を見つけて満足できるまで修正し、納得性の高い工程計画とすることができる。

(スケジューリング直後)

No	評価			製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複:全サンルーフ)	生産条件_5 (複:サンルーフ 4WD)
	最低	最高	平均						
1	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
22	100	100	100	H	2_フィット				
23	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
24	100	100	100	H	2_フィット				
25	100	100	100	A	1_プリウス				
26	100	100	100	H	2_フィット				
27	100	100	100	A	1_プリウス				
28	100	100	100	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
29	0	0	0	H	2_フィット				
30	-126	100	35	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD

2674

(26⇔28 入替え)

No	評価			製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複:全サンルーフ)	生産条件_5 (複:サンルーフ 4WD)
	最低	最高	平均						
1	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
22	100	100	100	H	2_フィット				
23	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
24	100	100	100	H	2_フィット				
25	100	100	100	A	1_プリウス				
26	0	100	75	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
27	100	100	100	A	1_プリウス				
28	100	100	100	H	2_フィット				
29	0	0	0	H	2_フィット				
30	63	100	93	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD

2763

(29⇔30 入替え)

No	評価			製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複:全サンルーフ)	生産条件_5 (複:サンルーフ 4WD)
	最低	最高	平均						
1	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
22	100	100	100	H	2_フィット				
23	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
24	100	100	100	H	2_フィット				
25	100	100	100	A	1_プリウス				
26	0	100	75	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
27	100	100	100	A	1_プリウス				
28	100	100	100	H	2_フィット				
29	0	100	76	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD
30	100	100	100	H	2_フィット				

2800

出所) 筆者作成

図 7.1.3.4 処理結果の入れ替え

7.1.4 行動経済学による中小企業の生産スケジューリング

第1節「7.1 中小企業に適した生産スケジューリングの基本構造と概念」についてまとめる。まず、「意思入れ」作業は、生産活動するうえで必ず存在する「生産計画」と「製品型式」を使い処理する。そこでは、現状の生産スケジューリング業務における条件項目を必要最小限の生産条件として「製品仕様一覧」に定義し、この「製品仕様一覧」と「生産計画」のふたつのデータを生産スケジューリング支援ツールに取り込むことから始まる。そして、これを「プロスペクト理論」に基づき、支援ツールが担当者に代わって意思決定代替するための心理的価値へと変換する。それは、「行動経済学」を活用することによって経験や勘に基づき生産意思決定している現状に歩み寄り、問題解決を図ることに重点を置いたものである。

続いて「意思確認」は、「意思入れ」した生産条件を再確認したり、どこまでを支援ツールに任せるか、担当者与会話し確認しながら進めるのか、その意思決定代替範囲を指定したり、「出現率優先（配分実績の少ない順）」か、「生産条件優先（条件満足度順）」か、スケジューリングの処理方法を確認する。これは、すべてを支援ツールに任せるのではなく、状況によって処理方法を選択し、小回りの利く対応を実現することを目的としている。

そして「意思実行」は、「意思入れ」した生産条件と「意思確認」した処理方法にしたがい、担当者に代わって生産意思決定を代替実行し工程計画の立案作業を支援する。

最後の「最終意思決定」は、処理結果が期待どおりで担当者の満足できるものであるか確認し、修正が必要であればスケジュール順を入替えるなど、工程計画に対し実行責任のあるスケジューリング担当者が納得できるまでこれを繰り返し、最終意思決定を図る。ここでは、担当者の意思に沿い小回りの利くように担当者と支援ツールが会話的に意思確認しながら進める。

これらは、担当者が良とする工程計画が良い工程計画であり、それが得られるよう「行動経済学の知見を応用し担当者の経験と知識を生産条件に反映、処理する新しい生産スケジューリングを、現場レベルの工夫次第で実現できる Microsoft Excel を活用して担当者自身が制作すれば、（その結果として）競合する生産条件間の「調停」機能を果たし、生産条件の「網羅性」を高めつつ、スケジューリング結果への「納得性」を

確保した迅速な生産意思決定としての生産スケジューリングが実現できる」(第6章第3節「6.3 中小企業の実現のための課題と方向性」の仮説)ことを証明するために不可分の機能である。

7.2 中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの実現

本節は、前節「7.1 中小企業に適した生産スケジューリングの基本構造と概念」を具体化するものとして、広く社会で利用されている表計算ソフト Microsoft Excel を用いて、一般人材レベルで制作可能な生産スケジューリング支援ツールをプロトタイプとして制作と利用方法を具体的に示すものである。ただし、第5章「5. 行動経済学に基づく生産スケジューリング」で示した「新しい生産スケジューリング手法の構造」と比較した場合、この支援ツールは Microsoft Excel の機能に起因する若干の機能制約を受けるものとなった。

ここでは、生産スケジューリング支援ツールの概要と基本機能を示すとともに、その実現手段としての Microsoft Excel を活用した生産スケジューリング支援ツールの構築方法と手順について、Microsoft Excel という IT ツールを通じた詳細な情報処理手順とならざるを得ないことを前置きし、詳述する。

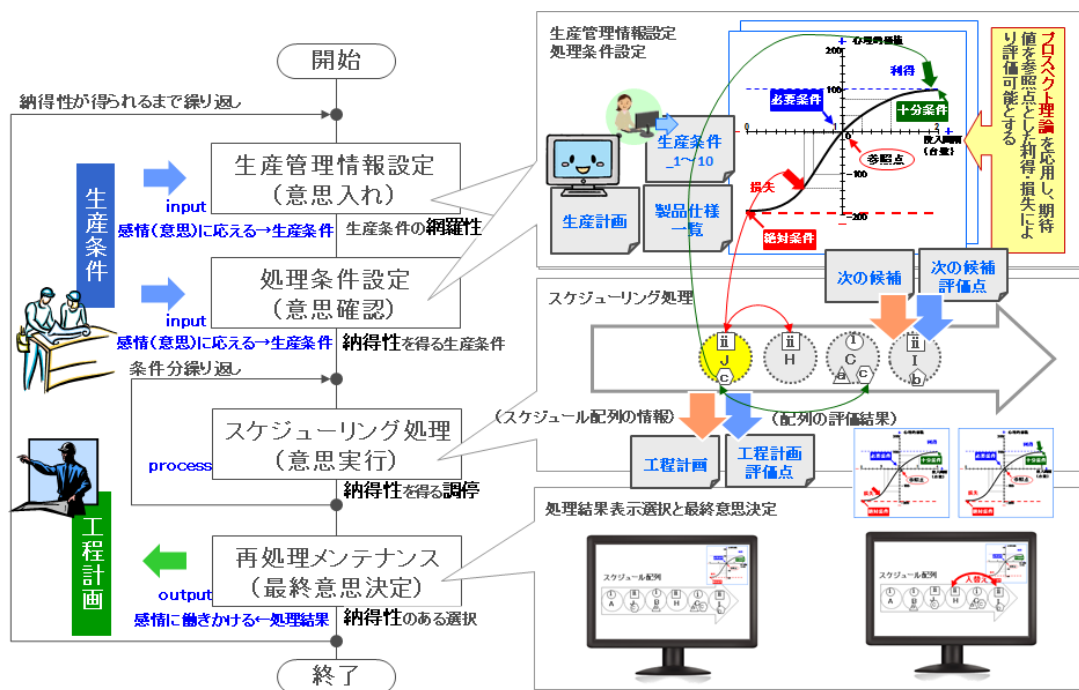
なお、支援ツールの処理結果は、第3節「7.3 中小企業に適した生産スケジューリングの実現と課題」に整理した。

7.2.1 生産スケジューリング支援ツールの概要とその基本機能

本研究のプロトタイプとして制作した生産スケジューリング支援ツールの機能概要を「図 7.2.1a 生産スケジューリング支援ツールの基本構造とプロスペクト理論」に示す。それは、Microsoft Excel の機能を活用してスケジューリング担当者の業務支援を目的とし、与えられた処理条件にしたがい担当者に代わって工程計画を立案することを主な機能としている。その基本構造は、まず「生産管理情報設定」および「処理条件設定」において生産条件を設定し、意思決定代替のために必要な担当者の意思決定のための判断基準として取り込む。そして、「スケジューリング処理」において担当者に代わって工程計画を立案し、その処理結果を報告する。最後に「再処理メンテナンス」において、担当者は処理結果が満足できるものであるか確認し、修正が必要であればスケジュール順を入替えるなど、最終的にスケジューリング担当者が納得できる工程

計画が得られるまで繰り返し、最終意思決定を図るという4つの機能により構成する。

ただし、Microsoft Excel は Microsoft Access などのデータベース管理ソフトに比べ複雑なデータ処理に適していない。それを補うための工夫としてこのプロトタイプは「製品仕様」と「生産計画」の最低限2つのデータを生産条件として設定さえすれば、機能するように設計している。例えば、「投入間隔」は生産計画台数に基づいて自動設定するよう機能構築した。ただし、必要であれば手動で修正設定可能とした。



出所) 筆者作成

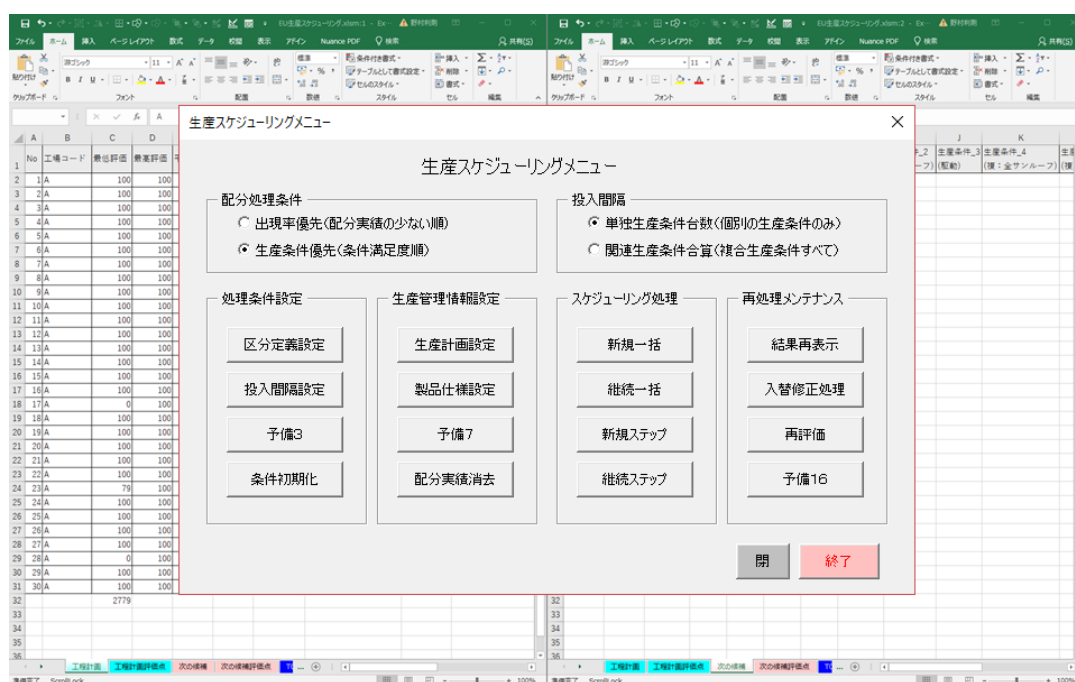
図 7.2.1a 生産スケジューリング支援ツールの基本構造とプロスペクト理論

同様に、Microsoft Excel の機能的制約から設定可能な生産条件の属性区分（製品系列、サンルーフ、駆動など）を10区分に固定した。また、複合生産条件についても自動的に生成するのではなく、スケジューリング担当者により生産条件の一部として設定することを前提条件とした。したがって、出現率に従い生産順序を配分して行く過程において、担当者が設定した生産条件の属性区分の設定順を階層とする配分処理となる。また、処理構造の複雑化を避け、特別な IT スキルを持たない一般の人材レベルで制作可能とするため、すべての候補が不合格となった場合の「スケジューリングの蒔き直し」は実装しないものとし、これに代えて担当者による処理途中からの継続処理または入替修正処理に依存することとした。これらが、第5章「5. 行動経済学に

基づく生産スケジューリング」との相違点であり、本プロトタイプの機能的制約となる。

なお、本プロトタイプは Microsoft Excel 2016 を使用して制作し、“EU 生産スケジューリング.xlsx” (名称可変) というファイルを開くことによって自動実行する構造とした。支援ツールは起動後、「図 7.2.1b 生産スケジューリング支援ツールのメニュー画面」に示す左右に配置した 2 枚のワークシートとメニュー画面が表示され、担当者からの要求にしたがい各種支援機能を実行するように設定している。そして、Microsoft Excel の基本機能だけでは実現できない機能は Microsoft Excel VBA (Visual Basic for Applications : ビジュアルベーシック・フォー・アプリケーションズ) という簡易的なプログラミング言語を使って補完しながら生産スケジューリング業務の支援機能を実現している。

次項以降、対象とする生産モデル、本生産スケジューリング支援ツールの特徴、そして支援ツールによる生産スケジューリングの実行とその結果について、処理アルゴリズムについては図を用いて視覚的に説明しながら論述する。



出所) 筆者作成

図 7.2.1b 生産スケジューリング支援ツールのメニュー画面

7.2.2 対象とする生産モデル

対象とする生産モデルは、「図 5.5 対象生産工程（モデル）」（第 5 章第 5 節「5.5 検証対象生産モデル」を参照）に示すように、製品を一個流し生産する単一工程、単一ラインの生産工程を前提とする。一個流し、単一工程、単一ラインという単純化によって、複雑な設備環境から受ける影響を排除し、論理的可視性を確保する。

また、この生産工程で生産する製品系列は 2 系列（系列 i、ii）とし、身近な耐久消費財を例に「プリウス」や「フィット」という自動車の車名で区分される製品群とする。製品型式は 2 系列を通じて最大 10 型式（製品型式 A,B,C,D,E,F,G,H,I,J）とし、製品系列と仕様の組み合わせを表す。生産条件は、製品が装備するオプション仕様や機能を表す個別仕様として、自動車の「サンルーフ」や「4WD」（四輪駆動）などのような機能要素を設定する。

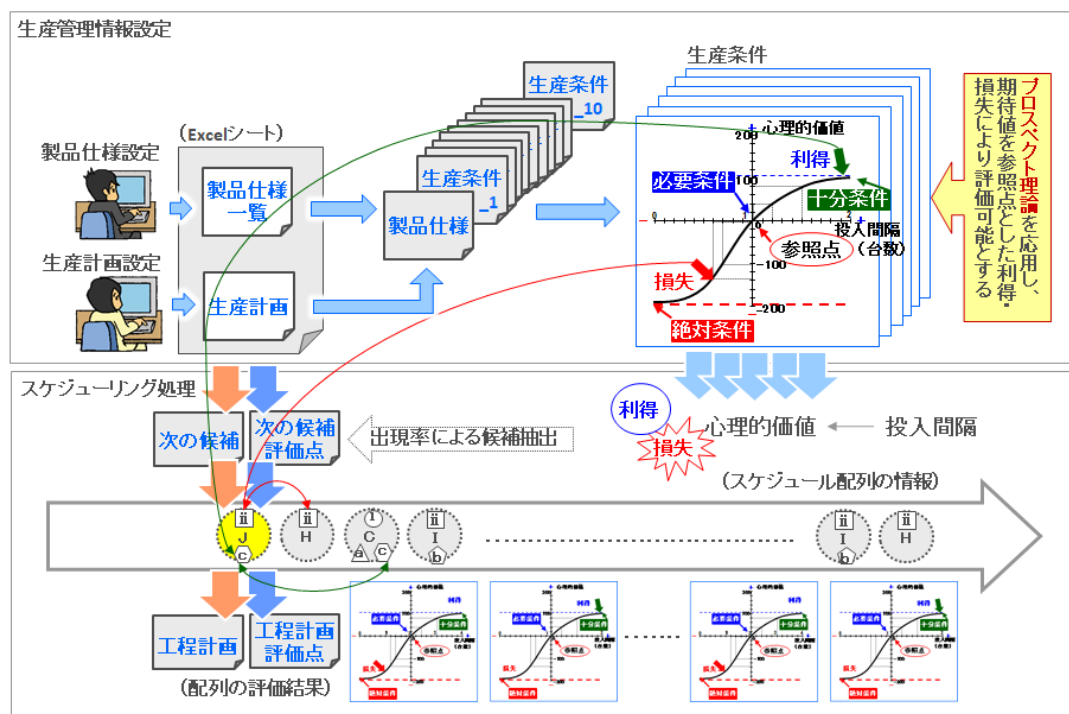
なお、個別生産条件を複数持つ場合、個別生産条件の組合せとして個別生産条件と同列に扱い、複合生産条件であっても設定する必要がある。これは、表計算ソフト Microsoft Excel の機能制約によるもので、データ操作を得意とするデータベースソフトに比べて、組み合わせパターンの管理に不向きであることがその理由にある。

7.2.3 中核機能を支えるプロスペクト理論

Microsoft Excel を活用した生産スケジューリング支援ツールも同様に、その中核機能はプロスペクト理論により支えられている。それは、「図 7.2.3 中核機能を支えるプロスペクト理論」に示すように「製品仕様」と「生産計画」の 2 つのデータを生産条件として Microsoft Excel のワークシート上に設定すれば、必要な生産条件は自動的に生成できるように工夫されている。まず、設定された「製品仕様」は製品型式と 10 区分に分類された「生産条件_n」（生産条件_1～生産条件_10）との対応を「製品仕様一覧」として管理し、その情報に基づいて「生産条件_n」を自動生成する。

次に、設定された「生産計画」から各生産条件別の生産計画台数を集計し、その台数に基づき各生産条件別に「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとの「投入間隔」台数条件値と「心理的価値」を設定する。これにより、該当生産条件の投入間隔台数に対する利得または損失を心理的価値曲線として表すことが可能となる（詳細は「7.2.5 生産計画の設定とプロスペクト理論に基づく心理的価値設定」を参照）。

この条件下、スケジューリング処理においては「生産計画」から工程計画 1 台ずつの並び順を生成して行く。その 1 台ずつの抽出は、「生産計画」を基に「生産条件」（生産条件_1～生産条件_10）別に計画台数を求め、その階層順にそれぞれの生産条件の計画台数に基づく出現率にしたがって配分の優先順を決め、工程計画の候補として取り出して行く。そして、複数ある工程計画の候補の中でどれが今回の並び順としてふさわしいものか、プロスペクト理論を応用し判定する。それは、既に確定し先行する（工程計画の配列の中にある）同一生産条件との投入間隔を生産条件に設定した価値曲線から求められる利得または損失の心理的価値によって評価し、より利得の得られるものを選択することによって、工程計画としての決定を図る。



出所) 筆者作成

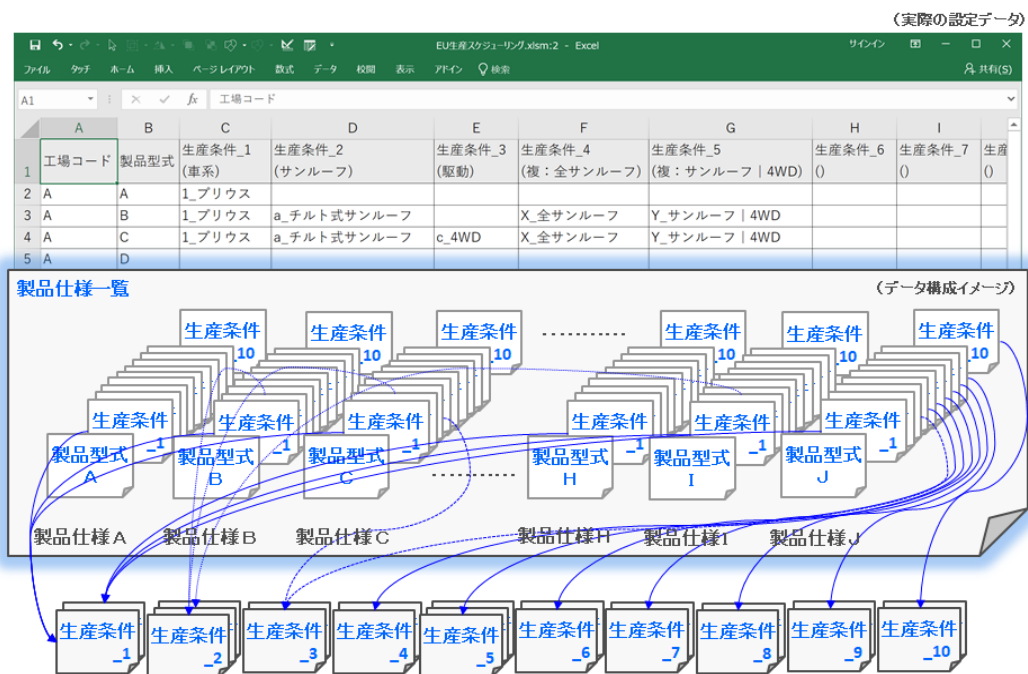
図 7.2.3 中核機能を支えるプロスペクト理論

7.2.4 製品仕様の設定と生産条件の生成

「製品仕様一覧」は、生産スケジューリング支援ツールの根幹をなすマスターデータであり、設定管理項目は、製品型式と生産条件（製品型式当たり最大 10 件）である。

この「製品仕様一覧」に設定される個々の「製品仕様」は、製品型式別に生産条件と

しての製品系列または製品仕様をその構成要素として、そして製品型式との対応関係として、これを設定する。また、生産計画から工程計画への配分調整処理の優先順位を「生産条件_1」、「生産条件_2」……「生産条件_10」の順とする。ただし、「生産条件_1」には、必ず製品系列を設定するものとする。なお、「生産条件_n」の設定値は、製品系列または製品仕様を識別することのできる文字または文字列とし、その設定値をキーとして投入間隔調整のための各生産条件データ「生産条件_n」を自動生成する。なお、製品仕様を識別する文字または文字列は空白（ブランク）も認め、これを有効データとして扱い、その場合は「条件なし」生産条件、例えば「サンルーフなし」や「2WD（二輪駆動）」として扱う。



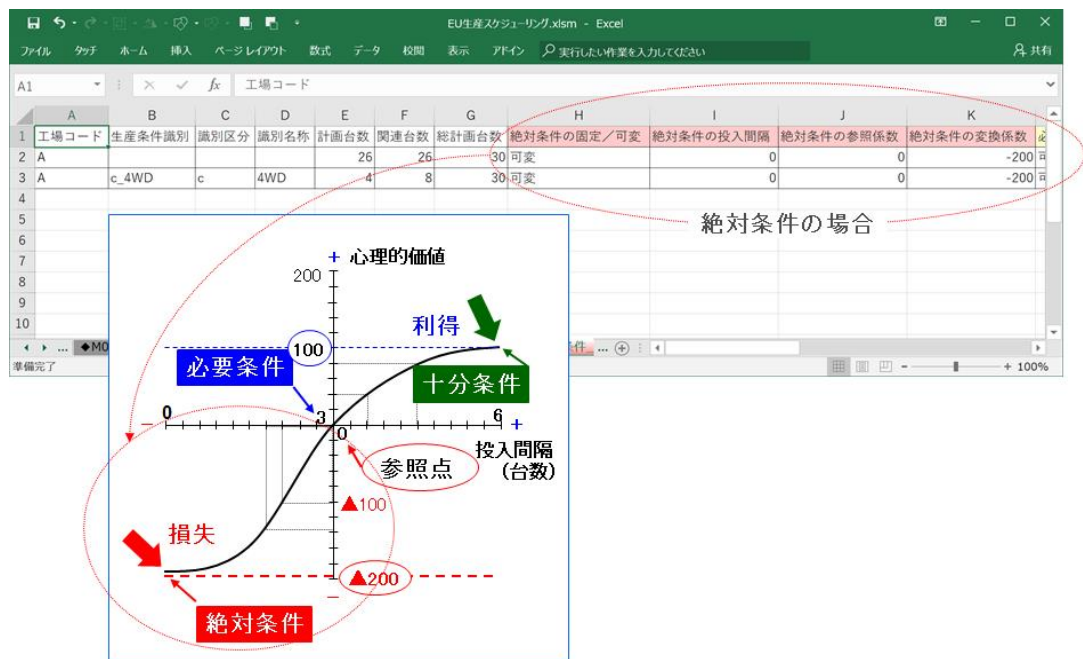
出所) 筆者作成

図 7.2.4a 製品仕様から生産条件への変換

自動生成した生産条件データ「生産条件_n」は、「製品仕様」の該当生産条件欄に設定された文字または文字列を識別のためのキーとし、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとに規定の初期値を設定する。それぞれの「〇〇条件の固定／可変」(〇〇は「絶対」、「必要」、「十分」を指す)には「可変」を設定し、「〇〇条件の参照係数」には規定値として「絶対条件」には 0、「必要条件」には 0.5、「十分条件」には 1.0 を初期設定する。そして、次項「7.2.5 生産計画の設定とプロスペクト理論に基づく心理的

価値設定」において、この「〇〇条件の参照係数」に従い生産計画設定時にその台数に応じた「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとの投入間隔台数を自動設定する。ただし、スケジューリング担当者によって「〇〇条件の固定／可変」が「固定」に設定されている場合は、投入間隔台数の自動設定は行わない。

さらに、「〇〇条件の変換係数」に「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとの条件満足時の心理的価値の規定値として「絶対条件」には▲200、「必要条件」には0、「十分条件」には+100を初期設定する。



出所) 筆者作成

図 7. 2. 4b 生産条件の初期値設定

7. 2. 5 生産計画の設定とプロスペクト理論に基づく心理的価値設定

生産計画は、製品型式別に生産期間内の生産計画台数を設定するものである。設定された計画台数を基に生産条件別の計画台数を集計し、この生産条件別計画台数にしたがって、工程計画への配分調整のための出現率に基づく配分比や、生産条件として投入間隔調整を図るための投入間隔条件値がつけられる。

この中、投入間隔条件値は、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとに生成される。それぞれの「〇〇条件の固定／可変」（〇〇は「絶対」、「必要」、「十分」を指す）

には、生産計画台数比にしたがい投入間隔台数を設定する必要がある場合は「可変」が設定されている。この場合、前項「7.2.4 製品仕様の設定と生産条件の生成」の自動設定、または「7.2.8.2.4 投入間隔の設定」のスケジューリング担当者の手動操作設定によって、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとに「〇〇条件の参照係数」（〇〇は「絶対」、「必要」、「十分」を指す）には、係数值（0~1.0の値）が設定されている。ここでは、生産条件別に合計計画台数を該当生産条件の計画台数で割り、その商から1を減じて理論投入間隔台数（例：生産計画台数合計が100台、該当生産条件の生産計画台数が10台のとき、投入間隔台数は9台）を求め、この係数を乗じることによって得られる投入間隔台数条件値を「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとに自動設定する。なお、「〇〇条件の固定/可変」には、生産計画台数比に関係なく投入間隔台数を一定値としたい場合は「固定」が、「〇〇条件の投入間隔」には指定したい投入間隔台数が設定されているので、その場合は自動設定しない。

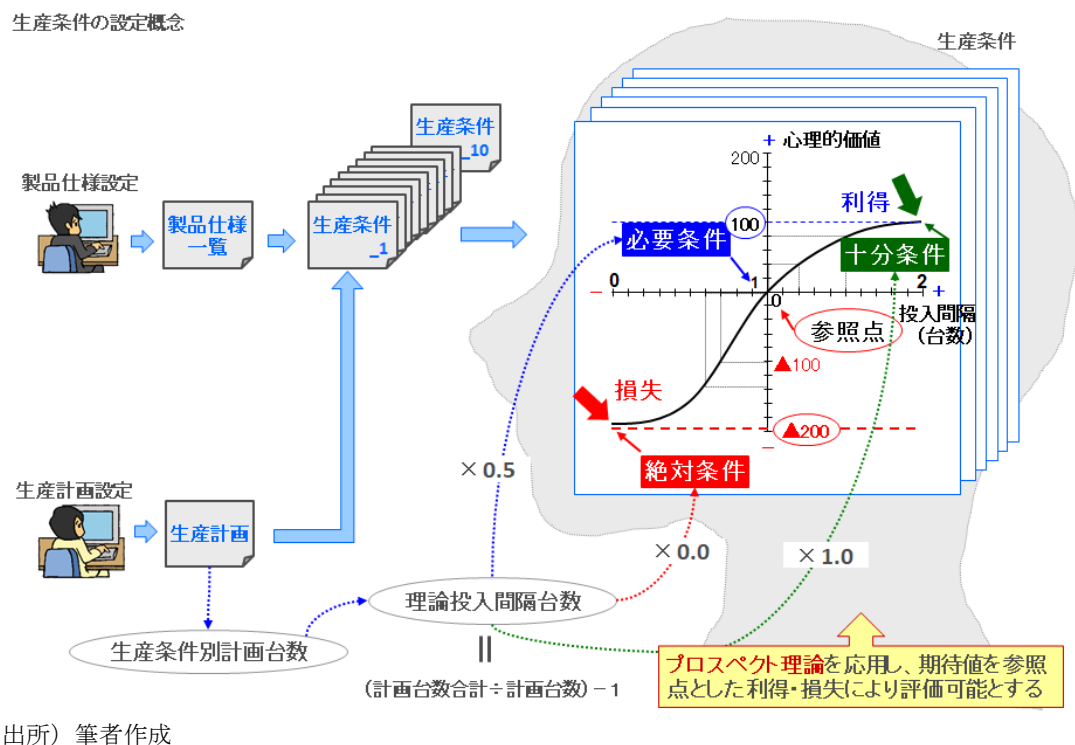


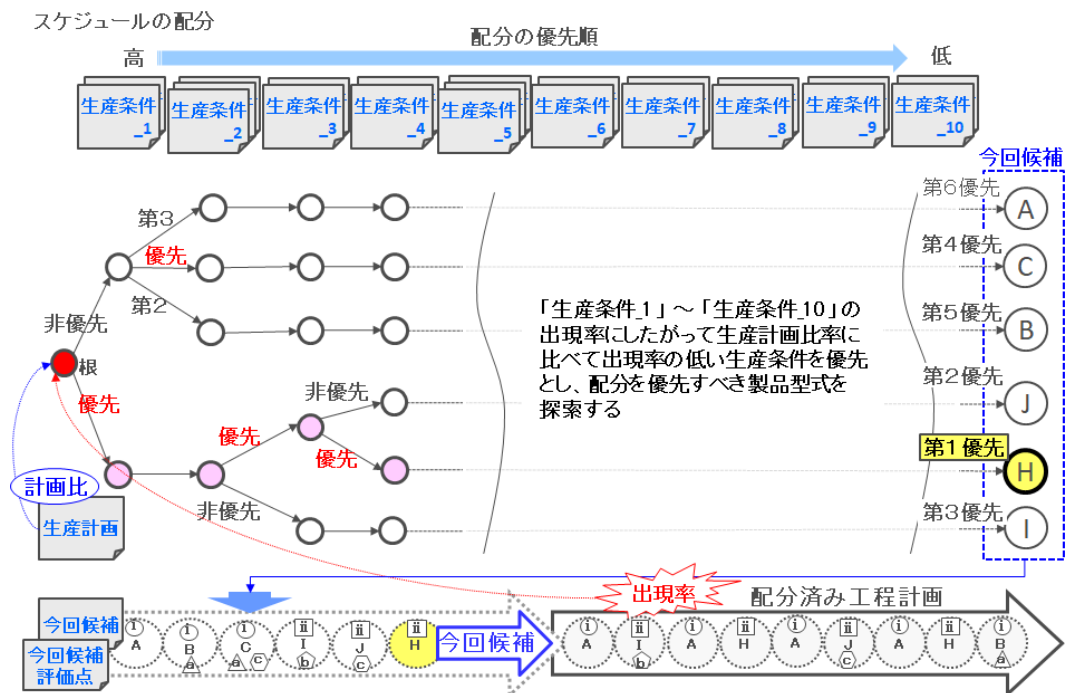
図 7.2.5 プロスペクト理論に基づく心理的価値設定の概念

このように設定した「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとの「投入間隔」台数条件値と前項「7.2.4 製品仕様の設定と生産条件の生成」において自動設定、または「7.2.8.2.4 投入間隔の設定」のスケジューリング担当者の手動操作によって設定され

た「変換係数」を基に「図 7.2.5 プロスペクト理論に基づく心理的価値設定の概念」に示す心理的価値曲線を生成する。そして、工程計画候補の中でどれが今回の並び順としてふさわしいものか、既に確定し先行する（工程計画の配列の中にある）同一生産条件との投入間隔を基に、この価値曲線から求められる利得または損失の心理的価値によって評価し、より利得の得られるものを選択することを可能としている。

7.2.6 工程計画配列候補の選択の基本的考え方

「生産計画」に設定された計画台数を基に生産条件別の計画台数を集計し、この生産条件別計画台数にしたがって、生産条件別の生産計画比率を求める。そして、工程計画への配分調整過程において、すでに工程計画として配分済み分の生産条件の出現率を求め、生産計画比に対して出現率の低い生産条件から優先的に次の候補として選択する。この結果、生産条件別の平準化が図られる。しかし、個々の生産条件を見た場合、投入間隔条件を満たせないものも存在する。



出所) 筆者作成

図 7.2.6 生産条件の優先順とスケジュール配分の優先順 (例)

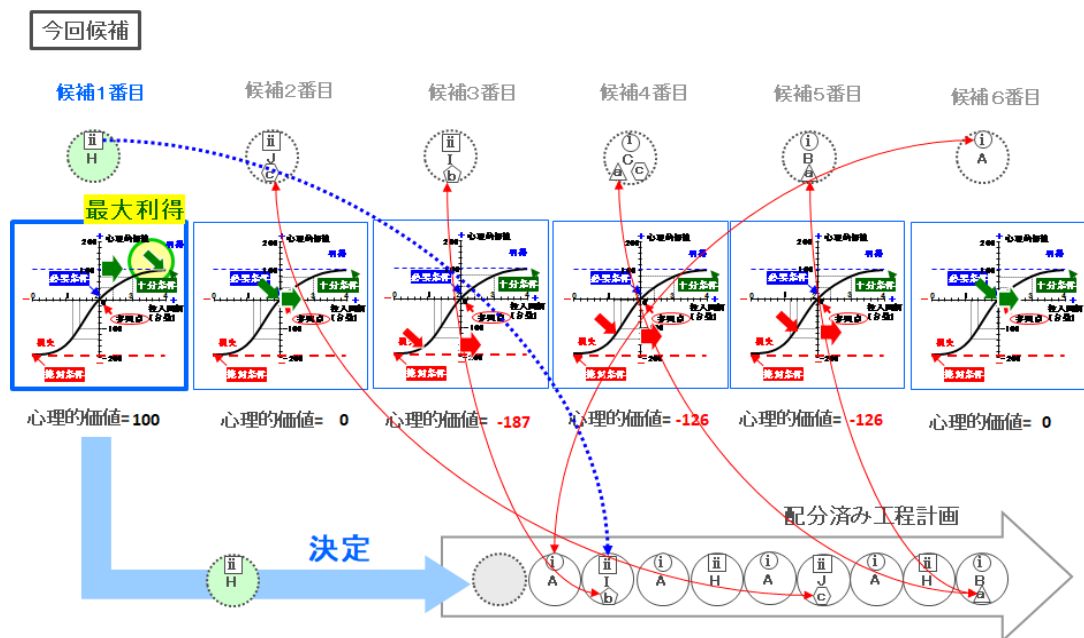
「図 7.2.6 生産条件の優先順とスケジュール配分の優先順」に示す例の場合、製品型式 A→B→C→I→J→H→(優先) が次回の工程計画の候補順序となり、次項「7.2.7 プ

ロスベクト理論に基づく生産意思決定代替」において、その順序にしたがってどれが次の工程計画としてふさわしいか評価することとなる。

7.2.7 プロスペクト理論に基づく生産意思決定代替

「図 7.2.7 プロスペクト理論に基づく心理的価値評価による選択意思決定代替」に示すように今回の工程計画の候補順序（製品型式 A→B→C→I→J→H→（優先））について、先行する配分済み工程計画（A→I→A→H→A→J→A→H→B→（前方））に対する同一生産条件の投入間隔を評価する。また、それぞれの製品型式間の生産条件には双方向矢印曲線で結んだ関係が存在している。そのときの利得または損失の心理的価値をそれぞれの生産条件に設定された価値曲線から求め、それを評価した結果、製品型式 H の利得が最大であることが分かるので、これを選択することにより納得性の高い工程計画として生成することが可能となる。

例示した処理ケースでは、1 番目の候補が最大利得となったが、2 番目以降であっても最大利得のものを選択することによって、スケジューリング担当者に代わって生産意思決定することが可能となる。

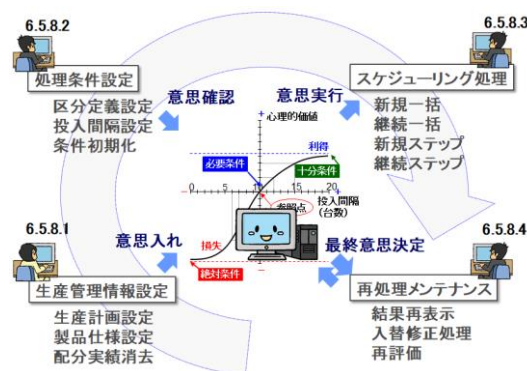


出所) 筆者作成

図 7.2.7 プロスペクト理論に基づく心理的価値評価による選択意思決定代替

7.2.8 生産スケジューリングの実行

生産スケジューリング作業の手順は、まず「7.2.8.1 生産管理情報設定（意思入れ）」および「7.2.8.2 処理条件設定（意思確認）」において生産条件を設定し、意思決定代替のために必要な担当者の意思決定判断基準として取り込む。そして、「7.2.8.3 スケジューリング処理（意思実行）」において担当者に代わって工程計画を立案し、その処理結果を報告する。最後に「7.2.8.4 再処理メンテナンス（最終意思決定）」において、担当者は処理結果が満足できるものであるか確認し、修正が必要であればスケジュール順を入替えるなど、最終的にスケジューリング担当者が納得できる工程計画が得られるまで繰り返し、最終意思決定を図る。



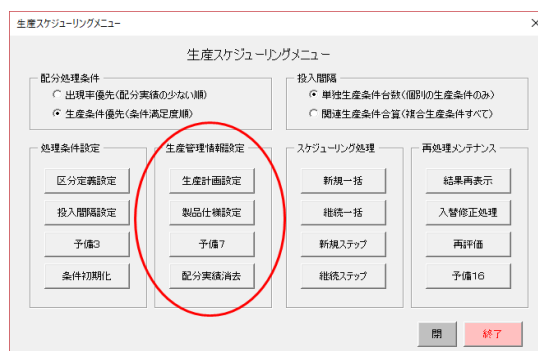
出所) 筆者作成

図 7.2.8 支援ツールの機能概要

7.2.8.1 生産管理情報設定（意思入れ）

生産スケジューリングに先立って、まず生産条件との対応関係を示す製品型式別の「製品仕様」や量的条件としての「生産計画」の設定が必要である。これは、スケジューリング担当者に代わって生産意思決定するために必要となる生産条件を製品の特性条件と、その要求量という形で生産スケジューリング支援ツールの中へ取り込むことを目的とする。

以下に、その設定手順を示す。



出所) 筆者作成

図 7.2.8.1 生産管理情報設定画面

7.2.8.1.1 生産計画の設定

生産管理情報としての生産計画の設定は、メニュー画面の「生産管理情報設定」欄にある「生産計画設定」ボタンを押下することによって表示される「図 7.2.8.1.1 生産計画設定」に示すシートに生産スケジューリング対象期間の期間生産計画台数を製品型式別に設定する。設定した生産計画データは、「7.2.5 生産計画の設定とプロスペクト理論に基づく心理的価値設定」において示したように、この計画台数を基に生産条件別の計画台数を集計し、この生産条件別計画台数にしたがって、工程計画への配分調整のための出現率に基づく配分比や、生産条件として投入間隔調整を図るための投入間隔条件値に変換する。

	A	B	C	D	E	F
1	工場コード	製品型式	計画台数			
2	A	A	11			
3	A	B	2			
4	A	C	2			
5	A	H	11			
6	A	I	2			
7	A	J	2			
8						
9						

出所) 筆者作成

図 7.2.8.1.1 生産計画設定

なお、工場コードはダミーコードとし、生産スケジューリング支援ツールの内部処理に必要なものであり、必ず入力する必要がある。本件においては“A”固定とする。

7.2.8.1.2 製品仕様の設定

製品仕様の設定は、メニュー画面の「生産管理情報設定」欄にある「製品仕様設定」ボタンを押下することによって表示される「図 7.2.8.1.2 製品仕様設定」に示すシート上に製品型式別に製品型式と生産条件との対応関係を設定する。設定は生産条件の属性区分ごとに生産条件の詳細項目を設定する。設定した文字列が生産条件識別となり、その文字列単位に区分して生産条件として扱う。

本件プロトタイプにおいては、製品系列を表す「生産条件_1 (車系)」として「1_プリウス」と「2_フィット」を設定している。装備仕様を表す「生産条件_2 (サンルーフ)」には「a_チルト式サンルーフ」と「b_電動サンルーフ」、「生産条件_3 (駆動)」には「c_4WD」(四輪駆動)を設定している。これらは設定のないブランクの場合、それぞれ「サンルーフなし」や「2WD」(二輪駆動)を表している。

そして、複合生産条件の処理については、すべてのサンルーフ車について「生産条

件_4 (複：全サンルーフ)」に「X_全サンルーフ」を設定し、サンルーフまたは 4WD のいずれかに該当するものは「生産条件_5 (複：サンルーフ | 4WD)」に「Y_サンルーフ | 4WD」を設定することにより、複合生産条件による管理を可能としている。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	工場コード	製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複：全サンルーフ)	生産条件_5 (複：サンルーフ 4WD)	生産条件_6 ()	生産条件_7 ()	生産 ()
2	A	A	1_ブリアス							
3	A	B	1_ブリアス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD			
4	A	C	1_ブリアス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD			
5	A	D								
6	A	E								
7	A	F								
8	A	G								
9	A	H	2_フィット							
10	A	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD			
11	A	J	2_フィット		c_4WD		Y_サンルーフ 4WD			
12	A	K								
13	A	L								

出所) 筆者作成

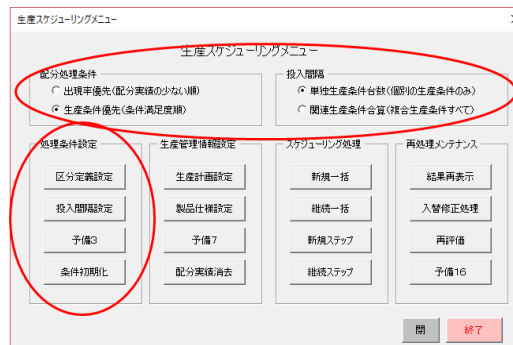
図 7.2.8.1.2 製品仕様設定

7.2.8.1.3 配分実績の消去

配分実績の消去は、メニュー画面の「処理条件設定」欄にある「配分実績消去」ボタンを押下することによって実行され、処理途中の配分実績の初期化を行う。メニュー画面によらず、直接ワークシートを変更した場合に使用する。例外用処理メニューであり、メニュー画面に従い処理選択している場合は不要とする。

7.2.8.2 処理条件設定（意思確認）

本設定機能は、スケジュールの配分および投入間隔の処理方法や、生産条件の属性区分および投入間隔台数など生産スケジューリングの処理条件を設定し、担当者の意思決定条件を生産スケジューリング支援ツールの中へ取り込むことを目的とする。なお、本生産スケジューリング支援ツールの規定値条件によりスケジューリング処理を行う場合は、当該処理を実行する必要はない。以下に、その設定手順を示す。



出所) 筆者作成

図 7.2.8.2 生産条件設定画面

7.2.8.2.1 配分処理条件モードの設定

配分処理条件モードとは、製品型式別生産計画台数から工程計画の配列順への配分過程において、「出現率」と「生産条件」のどちらを優先するか、選択指示するものである。それは、メニュー画面（「図 7.2.1b 生産スケジューリング支援ツールメニュー画面」）の「配分処理条件」欄にある「出現率優先（配分実績の少ない順）」または「生産条件優先（条件満足度順）」のオプションボタンにより設定選択する。

「出現率優先（配分実績の少ない順）」を指定した場合、工程計画への分配を出現率により行い、製品型式別の生産計画台数を基に製品型式が持つ生産条件の階層ごとの生産計画比率に対して、それまでの配分実績比率の小さい方を優先候補として処理する。

「生産条件優先（条件満足度順）」を指定した場合は、上記「出現率優先（配分実績の少ない順）」により優先順に並べられた候補について、同じ製品系列内において生産条件の評価値の高い順に並べ替え、条件満足度の高い方を優先候補として処理する。

7.2.8.2.2 投入間隔処理モードの設定

投入間隔処理モードとは、各生産条件の投入間隔台数条件を算定するとき個別生産条件単独の生産計画台数だけで算出するか、複合生産条件を構成し関連するすべて

の個別生産条件の生産計画台数を合算して、あるべき投入間隔台数を算出するか選択指示するものである。それは、メニュー画面の「投入間隔」条件欄にある「単独生産条件台数（個別の生産条件のみ）」または「関連生産条件合算（複合生産条件すべて）」のオプションボタンにより設定選択する。

「単独生産条件台数（個別の生産条件のみ）」を指定した場合、各生産条件単独の生産計画台数を基に投入間隔台数を算出するため、厳しい条件による「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」の投入間隔台数および評価値基準となる。

「関連生産条件合算（複合生産条件すべて）」を指定した場合は、関連するすべての個別生産条件の生産計画台数が合算されるため、比較的緩やかな投入間隔台数および評価値基準となる。これは、設定する生産条件が多くなり、とくに複合条件の割合が多くスケジューリング処理が困難となり、満足できる処理結果が得られなくなった場合に、投入間隔制御の緩和措置として使用する。

7.2.8.2.3 属性区分定義の設定

生産条件の属性区分定義は、メニュー画面の「処理条件設定」欄にある「区分定義設定」ボタンを押下することによって表示される「図 7.2.8.2.3 生産条件の属性区分定義」に示すシート上に設定する。「生産条件属性」（「生産条件_1」～「生産条件_10」）に対する名称を「条件名称」欄に設定する。

設定した名称は、製品仕様の設定や処理結果表示において個々の生産条件名称として表示する。ただし、単なる表示名称であって生産スケジューリング処理には影響しない。

ワークシートからメニュー画面へは、上部のメニューバーから「アドイン」→「生産スケジューリング」→「メニュー」の順に選択することによって戻ることができる。

	A	B	C	D	E	F
1	工場コード	生産条件属性	属性識別	条件区分	条件名称	
2	A	生産条件_1	G_車系	G	車系	
3	A	生産条件_2	R_サンルーフ	R	サンルーフ	
4	A	生産条件_3	K_	K	駆動	
5	A	生産条件_4	X_全サンルーフ	X	複：全サンルーフ	
6	A	生産条件_5	Y_サンルーフ 4WD	Y	複：サンルーフ 4WD	
7	A	生産条件_6				
8	A	生産条件_7				
9	A	生産条件_8				
10	A	生産条件_9				
11	A	生産条件_10				
12						

出所) 筆者作成

図 7.2.8.2.3 生産条件の属性区分定義

7.2.8.2.4 投入間隔の設定

投入間隔の設定は、メニュー画面の「処理条件設定」欄にある「投入間隔設定」ボタンを押下することによって表示される「図 7.2.8.2.4 投入間隔設定」に示すシート上へ「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」別に投入間隔とその評価条件を設定する。押下直後は「M011_生産条件_1」が表示されるので、必要に応じて「M020_生産条件_10」までのシートを選択し、必要な条件を設定する必要がある。なお、投入間隔条件は「製品仕様」および「生産計画」を設定することにより規定値が自動設定されるため、変更する必要がなければ設定する必要はない。また、自動生成するため「製品仕様」および「生産計画」の設定後に操作する必要がある。

設定操作は、「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとに行う。それぞれの「○○条件の固定／可変」（○○は「絶対」、「必要」、「十分」を指す）には、生産計画台数比に関係なく投入間隔台数を一定値とする場合は「固定」を設定のうえ、「○○条件の投入間隔」に指定したい投入間隔台数を設定する。「可変」の場合は、「○○条件の参照係数」に生産計画台数を基に算出した理論上の投入間隔台数に対して「絶対条件」、「必

要条件」、「十分条件」ごとに係数值（0~1.0の値）を設定し、それぞれの投入間隔の満足レベルを設定する。なお、設定しない場合、係数值には規定値として「絶対条件」：0、「必要条件」：0.5、「十分条件」：1.0が初期設定される。そして、この設定に従い生産計画設定時にその台数に応じた「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとの投入間隔台数が自動設定される。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
工場コード	生産条件識別	識別区分	識別名称	計画台数	関連台数	総計画台数	絶対条件の固定/可変	絶対条件の投入間隔	絶対条件の参照係数	絶対条件の変換係数
A	1_プラス	1	プラス	15	15	30	可変	0	0	-200
A	2_フィット	2	フィット	15	15	30	可変	0	0	-200

出所) 筆者作成

図 7.2.8.2.4 投入間隔設定

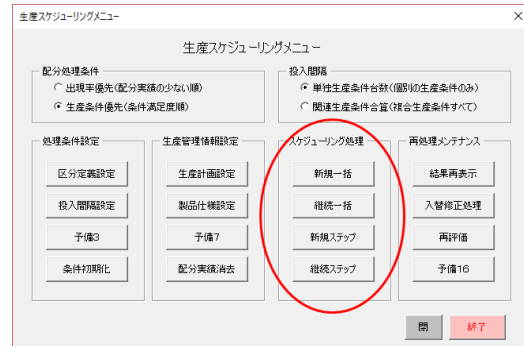
さらに、「〇〇条件の変換係数」に「絶対条件」、「必要条件」、「十分条件」ごとの条件満足時の心理的価値を設定する。なお、設定しない場合、係数值には規定値として「絶対条件」：▲200、「必要条件」：0、「十分条件」：+100が初期設定される。

7.2.8.2.5 条件初期化

条件の初期化は、メニュー画面の「処理条件設定」欄にある「条件初期化」ボタンを押下することによって実行され、「製品仕様」および「生産計画」に従って生産条件を生成したり、処理途中の配分実績の初期化などを行う。メニュー画面によらず、直接ワークシートを変更した場合に使用する。例外用処理メニューであり、メニュー画面に従い処理選択している場合は不要とする。

7.2.8.3 スケジューリング処理（意思実行）

「7.2.8.1 処理条件設定（意思入れ）」および「7.2.8.2 生産管理情報設定（意思確認）」により設定された生産意思決定条件にしたがい生産スケジューリング処理を実行する。実行処理モードは、大別して自動的に「一括処理」する方法と、スケジューリング担当者へ配分候補の生産条件と評価値を示しながら対話的に意思決定選択する「ステップ処理」がある。また、「一括処理」と「ステップ処理」ともに1台目から処理を開始する「新規」と、処理途中から再開する「継続」の2つの方法がある。



出所) 筆者作成

図 7.2.8.3 スケジューリング処理画面

7.2.8.3.1 新規一括処理

新規一括処理は、メニュー画面の「スケジューリング処理」欄にある「新規一括」ボタンを押下することによって表示される「図 7.2.8.3.1 新規一括処理」に示すシート上で実行する。画面上には左右2つのシートが表示され、その一方には配分処理条件モードに従って今回の工程計画順位の候補が「次の候補」シートに表示され、最上位にある一番有利な条件が自動的に選択されて、もう一方の「工程計画」シートに転記される。この処理は、生産計画台数分繰り返される。また、最終行には評価点の合計値が表示される。

優先順	順位	工場コード	最低評価	最高評価	平均評価	製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)
1	1	1A	100	100	100	B	1_ブリウス	a_チルト式サンルー
2	2	1A	100	100	100	C	1_ブリウス	2_フィット
3	3	1A	100	100	100	A	1_ブリウス	
4	4	1A	100	100	100	I	2_フィット	b_電動サン
5	5	1A	100	100	100	J	2_フィット	
6	6	1A	100	100	100	H	2_フィット	

出所) 筆者作成

図 7.2.8.3.1 新規一括処理

7.2.8.3.2 継続一括処理

継続一括処理は、メニュー画面の「スケジューリング処理」欄にある「継続一括」ボタンを押下することによって実行される。新規一括処理との差異は、「工程計画」シートの処理途中から継続して再開する点にある。具体的には、再処理したい範囲の工程計画を「工程計画」シートから削除し、生産条件を変更してから再実行する場合に使用する。これは、「5.7.5 スケジューリングの蒔き直し」の手动実行を目的とする。

7.2.8.3.3 新規ステップ処理

新規ステップ処理は、メニュー画面の「スケジューリング処理」欄にある「新規ステップ」ボタンを押下することによって表示される「図 7.2.8.3.3 新規ステップ処理」に示すシート上で実行する。画面上には左右 2 つのシートが表示され、その一方には配分処理条件モードに従って今回の工程計画順位の候補が「次の候補」シートに表示され、その中から担当者が選びたい行の上でダブルクリックして選択すると、選択された候補がもう一方の「工程計画」シートに転記される。この処理の特徴は、スケジューリング担当者の意思決定判断に重点を置き、より納得性のある処理結果が得られ

る点にある。

なお、処理後はその次の工程計画順位の候補が表示される。

7.2.8.3.4 継続ステップ処理

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	優先順	順位	工場コード	最低評価	最高評価	平均評価	製品型式	生産条件_1 (車系)
2	1	16	A	100	100	100	H	2_フィット
3	2	16	A	100	100	100	J	2_フィット
4	3	16	A	94	100	98	J	2_フィット b_電動サン
5	4	16	A	0	100	80	C	1_ブリアス a_チルト式
6	5	16	A	0	100	75	B	1_ブリアス a_チルト式
7	6	16	A	0	0	0	A	1_ブリアス

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	No	工場コード	最低評価	最高評価	平均評価	製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)
2	1	A	100	100	100	B	1_ブリアス	a_チルト式サンルー
3	2	A	-200	100	-50	I	2_フィット	b_電動サンルーフ
4	3	A	100	100	100	A	1_ブリアス	
5	4	A	0	100	67	J	2_フィット	
6	5	A	100	100	100	A	1_ブリアス	
7	6	A	100	100	100	H	2_フィット	
8	7	A	100	100	100	A	1_ブリアス	
9	8	A	100	100	100	H	2_フィット	
10	9	A	50	100	90	C	1_ブリアス	a_チルト式サンルー
11	10	A	100	100	100	H	2_フィット	
12	11	A	100	100	100	A	1_ブリアス	
13	12	A	100	100	100	H	2_フィット	
14	13	A	100	100	100	A	1_ブリアス	
15	14	A	100	100	100	H	2_フィット	
16	15	A	100	100	100	A	1_ブリアス	

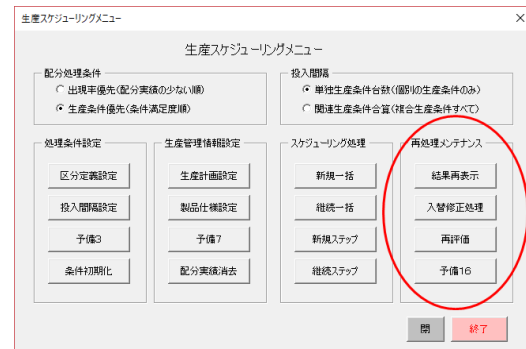
出所) 筆者作成

図 7.2.8.3.3 新規ステップ処理

継続ステップ処理は、メニュー画面の「スケジューリング処理」欄にある「継続ステップ」ボタンを押下することによって実行される。新規ステップ処理との差異は、「工程計画」シートの処理途中から継続して再開する点にある。具体的には、再処理したい範囲の工程計画を「工程計画」シートから削除し、生産条件を変更してから再実行する場合に使用する。

7.2.8.4 再処理メンテナンス（最終意思決定）

「7.2.8.3 スケジューリング処理（意思実行）」において作成した工程計画について、再表示させたり、スケジューリング担当者が修正を加えて納得性を向上させたり、再評価したりすることによって、より満足度の高い工程計画とするためのメンテナンスツールを準備する。



出所) 筆者作成

図 7.2.8.4 再処理メンテナンス画面

7.2.8.4.1 結果再表示処理

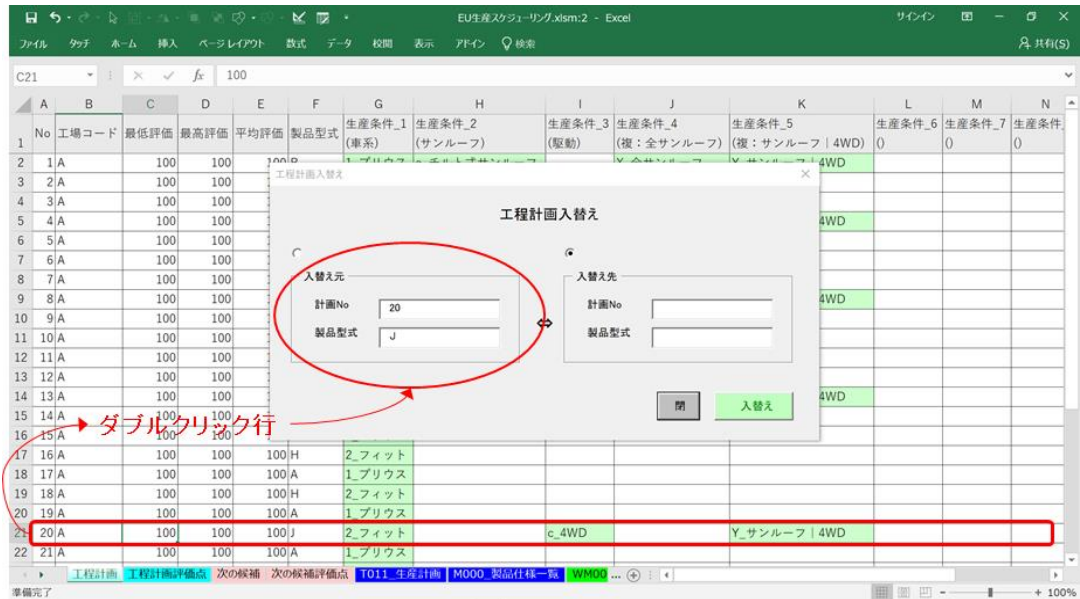
結果再表示処理は、メニュー画面の「再処理メンテナンス」欄にある「結果再表示」ボタンを押下することによって実行され、処理結果としての「工程計画」シートを表示する。その目的は、再表示した「工程計画」シートを使って、スケジューリング担当者が工程計画を自由に変更することにある。

工程計画の変更後は、後述の「7.2.8.4.3 再評価処理」を実行し、投入間隔を再計算し、修正した工程計画を再評価することができる。

7.2.8.4.2 入替え修正処理

入替え修正処理は、メニュー画面の「再処理メンテナンス」欄にある「入替修正処理」ボタンを押下することによって表示される「図 7.2.8.4.2 入替え修正処理」に示すシート上で実行される。表示されている「工程計画」リストからスケジューリング担当者が入れ替えたい行の上でダブルクリックして選択すると、「工程計画入替え」画面上の「入替え元」または「入替え先」に入替対象行の情報が記録される。「入替え元」および「入替え先」の両方に入替対象行の情報が記録された状態で「入替え」ボタンを押下すると、対象行の工程計画が入れ替わる。そして、入替実行後、自動的に投入間隔による生産条件の再評価を行う。入れ替え後、担当者からの次の入れ替え要求の

受付待ちとなり、「工程計画入替え」画面が閉じられるまで繰り返す。



出所) 筆者作成

図 7.2.8.4.2 入替え修正処理

この入替え処理の目的は、表示した「工程計画」シートを使って、スケジューリング担当者が入れ替えたい工程計画を見ながら選択し、視覚的に変更することにある。担当者が自由に行選択して入れ替えた場合、データの重複や欠落を生じさせる可能性があるため、本処理は、その防止を図るものである。

7.2.8.4.3 再評価処理

再評価処理は、メニュー画面の「再処理メンテナンス」欄にある「再評価」ボタンを押下することによって実行され、「工程計画」メンテナンスまたは生産条件変更後に投入間隔を再計算し、工程計画を再評価する。

この機能の目的は、スケジューリング担当者が「工程計画」を自由に入れ替えたり、生産条件をチューニングした場合の結果確認にあり、納得性を向上させるための支援ツールとしての役割を果たす。

7.2.9 中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの評価

プロトタイプとして示した生産スケジューリング支援ツールの実現機能とその処理結果を振り返りながら順を追って示す。その主な機能は、平準化を図るための「7.2.9.1

出現率による生産スケジューリング処理」、行動経済学のプロスペクト理論を応用し生産条件間の調停を図る「7.2.9.2 生産条件優先による生産スケジューリング処理」、スケジューリング担当者とスケジューリング支援ツールが協働し納得性を高める「7.2.9.3 生産スケジューリング担当者による入替え操作」の3つである。プロトタイプは、この3つの機能により生産条件の「網羅性」、スケジューリング結果への「納得性」、競合する生産条件間の「調停」機能という生産スケジューリング問題の課題解決を実現している。

また、新しい生産スケジューリングを実現するために求められるITスキルレベルを「7.2.9.4 表計算ソフトを使い倒すために求められるITスキル」に示し、実際に生産スケジューリング支援ツールを制作するときに必要なスキル獲得の課題にも触れる。

7.2.9.1 出現率による生産スケジューリング処理

検証する生産モデルはA、B、C、H、I、Jの6つの製品型式があり、前章「6.3.1 生産計画の設定」に示す生産計画台数と、「6.3.2 製品仕様の設定」に示す生産条件により構成されている。このとき、「生産条件_1」→「生産条件_2」→「生産条件_3」・・・「生産条件_10」の階層順にそれぞれの出現率（生産計画台数比率に対する配分実績台数比率との関係）に従って配分した生産スケジューリング処理結果が「図7.2.9.1 出現率優先工程計画」に示す工程計画である。

生産条件の上位階層から下位階層に向かって階層順に配分するため、最上位階層の「生産条件_1（車系）」は出現率にしたがいうまく配分できている。「生産条件_2（サンルーフ）」になると、「a_チルト式サンルーフ」と「b_電動サンルーフ」は別仕様として扱われるため、出現率としては正しく配分できていても、前後の投入間隔は考慮できない。「生産条件_4（複：全サンルーフ）」「生産条件_5（複：サンルーフ | 4WD）」も同様に上位階層で配分が事実上確定し、前後の投入間隔は考慮されていない。その結果、心理的評価値の合計値は2,100（平均72.4）に留まった。

このように、出現率だけで配分した場合、個々の生産条件の出現率を守れても、生産条件間の前後関係の投入間隔を一定に保つことができないことが分かる。

No	工場コード	最低評価	最高評価	平均評価	製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サドルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複：全サドルーフ)	生産条件_5 (複：サドルーフ 4WD)	生産条件_6 (0)	生産条件_7 (0)	生産条件_8 (0)	生産条件_9 (0)	生産条件_10 (0)
1	A	100	100	100	B	1.ブリス	a_チルト式サドルーフ		X_全サドルーフ	Y_サドルーフ 4WD					
2	A	-200	100	-50	J	2.フィット	b_電動サドルーフ		X_全サドルーフ	Y_サドルーフ 4WD					
3	A	100.0	100	100	A	1.ブリス		c_4WD		Y_サドルーフ 4WD					
4	A	0.0	100	67	J	2.フィット				Y_サドルーフ 4WD					
5	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
6	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
7	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
8	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
9	A	50.0	100	90	C	1.ブリス	a_チルト式サドルーフ	c_4WD	X_全サドルーフ	Y_サドルーフ 4WD					
10	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
11	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
12	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
13	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
14	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
15	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
16	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
17	A	100.0	100	100	B	1.ブリス	a_チルト式サドルーフ		X_全サドルーフ	Y_サドルーフ 4WD					
18	A	-200.0	100	-50	J	2.フィット	b_電動サドルーフ		X_全サドルーフ	Y_サドルーフ 4WD					
19	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
20	A	0.0	100	67	J	2.フィット		c_4WD		Y_サドルーフ 4WD					
21	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
22	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
23	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
24	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
25	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
26	A	50.0	100	90	C	1.ブリス	a_チルト式サドルーフ	c_4WD	X_全サドルーフ	Y_サドルーフ 4WD					
27	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
28	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
29	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
30	A	100.0	100	100	A	1.ブリス									
31	A	100.0	100	100	H	2.フィット									
32	Total		2100.0												
33	Ave.		72.4												
34	Min.		-200.0												

出所) 筆者作成

図 7.2.9.1 出現率優先工程計画

7.2.9.2 生産条件優先による生産スケジュールリング処理

前項「7.2.9.1 出現率による生産スケジュールリング処理」に対して、各階層の配分前に投入間隔による生産条件の評価値順の候補選択を加えた場合、「図 7.2.9.2 生産条件優先工程計画」に示すように工程計画終盤の 29 台目と 30 台目に修正の必要性が認められる程度まで配分の平準化が大きく改善した。その結果、心理的評価値の合計値が 2,674 (平均 92.2) まで改善した。これにより、行動経済学の応用による生産条件としての投入間隔台数の心理的価値評価と意思決定代替処理の有効性を証明することができた。

No	工場コード	最低評価	最高評価	平均評価	製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (複:全サンルーフ)	生産条件_5 (複:サンルーフ 4WD)	生産条件_6 (0)	生産条件_7 (0)	生産条件_8 (0)	生産条件_9 (0)	生産条件_10 (0)
1															
2	1A	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
3	2A	100	100	100	H	2_フィット									
4	3A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
5	4A	100.0	100	100	J	2_フィット		c_4WD		Y_サンルーフ 4WD					
6	5A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
7	6A	100.0	100	100	H	2_フィット									
8	7A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
9	8A	100.0	100	100	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
10	9A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
11	10A	100.0	100	100	H	2_フィット									
12	11A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
13	12A	100.0	100	100	H	2_フィット									
14	13A	100.0	100	100	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
15	14A	100.0	100	100	H	2_フィット									
16	15A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
17	16A	100.0	100	100	H	2_フィット									
18	17A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
19	18A	100.0	100	100	H	2_フィット									
20	19A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
21	20A	100.0	100	100	J	2_フィット		c_4WD		Y_サンルーフ 4WD					
22	21A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
23	22A	100.0	100	100	H	2_フィット									
24	23A	100.0	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
25	24A	100.0	100	100	H	2_フィット									
26	25A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
27	26A	100.0	100	100	H	2_フィット									
28	27A	100.0	100	100	A	1_プリウス									
29	28A	100.0	100	100	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
30	29A	0.0	0	0	H	2_フィット									
31	30A	-126.0	100	35	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
32	Total			2674.0											
33	Ave.			92.2											
34	Min.			-126.0											

出所) 筆者作成

図 7.2.9.2 生産条件優先工程計画

7.2.9.3 生産スケジュールリング担当者による入替え操作

前項「7.2.9.2 生産条件優先による生産スケジュールリング処理」結果、修正の必要性が認められる工程計画終盤の 29 台目と 30 台目に対する入替え操作による改善を試みる。担当者による入替え操作の一例として、まず 26 台目と 28 台目のフィットを入れ替える。さらに、29 台目のフィットと 30 台目のプリウスを入れ替えることによって、「図 7.2.9.3 入替え操作後の工程計画」に示すように心理的評価値の合計値を 2,800 (平均 93.3) まで高めることができた。

この入替え操作を、その結果を見ながら実行できる点が本件生産スケジュールリングの特徴のひとつであり、行動経済学の応用による生産条件としての投入間隔台数の心理的価値評価と意思決定の有効性を示すものである。

No	工場コード	最低評価	最高評価	平均評価	製品型式	生産条件_1 (車系)	生産条件_2 (サンルーフ)	生産条件_3 (駆動)	生産条件_4 (両：全サンルーフ)	生産条件_5 (両：サンルーフ 4WD)	生産条件_6 (0)	生産条件_7 (0)	生産条件_8 (0)	生産条件_9 (0)	生産条件_10 (0)
1	A	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
2	A	100	100	100	H	2_フィット									
3	A	100	100	100	A	1_プリウス									
4	A	100	100	100	J	2_フィット		c_4WD		Y_サンルーフ 4WD					
5	A	100	100	100	A	1_プリウス									
6	A	100	100	100	H	2_フィット									
7	A	100	100	100	A	1_プリウス									
8	A	100	100	100	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
9	A	100	100	100	A	1_プリウス									
10	A	100	100	100	H	2_フィット									
11	A	100	100	100	A	1_プリウス									
12	A	100	100	100	H	2_フィット									
13	A	100	100	100	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
14	A	100	100	100	H	2_フィット									
15	A	100	100	100	A	1_プリウス									
16	A	100	100	100	H	2_フィット									
17	A	100	100	100	A	1_プリウス									
18	A	100	100	100	H	2_フィット									
19	A	100	100	100	A	1_プリウス									
20	A	100	100	100	J	2_フィット		c_4WD		Y_サンルーフ 4WD					
21	A	100	100	100	A	1_プリウス									
22	A	100	100	100	H	2_フィット									
23	A	100	100	100	B	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
24	A	100	100	100	H	2_フィット									
25	A	100	100	100	A	1_プリウス									
26	A	0	100	75	I	2_フィット	b_電動サンルーフ		X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
27	A	100	100	100	A	1_プリウス									
28	A	100	100	100	H	2_フィット									
29	A	0	100	76	C	1_プリウス	a_チルト式サンルーフ	c_4WD	X_全サンルーフ	Y_サンルーフ 4WD					
30	A	100	100	100	H	2_フィット									
31	A	100	100	100	H	2_フィット									
32	Total			2800											
33	Ave.			93.3											
34	Min.			0.0											

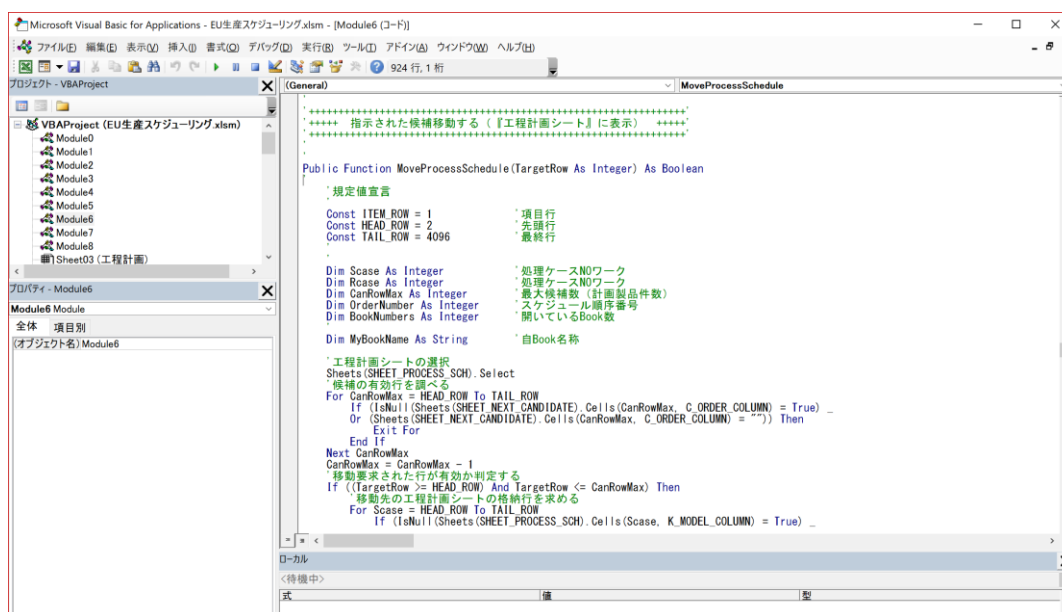
出所) 筆者作成

図 7.2.9.3 入替え操作後の工程計画

7.2.9.4 表計算ソフトを使い倒すために求められる IT スキル

一般人材レベルでも利用可能な表計算ソフトであっても、それを使い倒すレベルの IT スキルを身に付けなければならない。本件生産スケジューリング支援ツールの場合、それを実現するうえで、Microsoft Excel の基本機能である表操作だけで実現不可能な機能は、「図 7.2.9.4 Microsoft Excel VBA プログラミング」に示す Excel VBA という簡易プログラムによる処理が必要となる。一般に、企業などでパワーユーザーと呼ばれる非 IT 部門の利用者の中で、とりわけ Microsoft Excel などの IT ツールを高度利用している人たちのレベルが、Excel VBA の利用に当たっては求められる。プログラミングの基本である「連続処理」、「繰り返し処理」、「条件分岐処理」とワークシートの「表操作」を習得し、初級プログラミング程度の IT スキルが必要となる。

実際の導入に当たっては、生産スケジューリング担当者がパワーユーザーのレベルに達していなければ、その IT スキル教育についても考慮する必要がある。



出所) 筆者作成

図 7.2.9.4 Microsoft Excel VBA プログラミング

7.3 中小企業に適した生産スケジューリングの実現と課題

本研究における生産スケジューリング支援ツールは、スケジューリング担当者自身が表計算ソフトウェア Microsoft Excel を使って制作することにより、生産条件を簡単に生成でき、生産スケジューリング処理をいつでも何回でも実行可能であり、小回りの利くものとなった。一方、中小企業はシステム導入しようにも対応できる IT 人材がいないため、特別な IT スキルを持たない人材であっても対応できることが求められる。そして、特急オーダーの飛び込みがあり可及的速やかに対応するために、生産スケジューリングを都度再実行する必要があり、日々製造部門で実行できるような小回りの利くものであることも求められる。さらに、マスターデータが整備されていない状況にあつて、スケジューリング担当者によって異なる生産条件を簡単に生成できることなど、多くの課題も山積している。この状況下において、本研究は生産スケジューリング支援ツールが、これら中小企業特有の課題解決に有用であることを示すことができた。

また、一般人材レベルでも利用可能な Microsoft Excel には、表計算ソフトによる機能制約は存在するものの、行動経済学の知見の応用により生産スケジューリング支援ツ

ールとしての高機能な業務処理を実現できる実力があることを示している。そして、それは第 6 章第 3 節「6.3 中小企業の生産スケジューリング実現のための課題と方向性」における仮説「行動経済学の知見を応用し担当者の経験と知識を生産条件に反映、処理する新しい生産スケジューリングを、現場レベルの工夫次第で実現できる Microsoft Excel を活用して担当者自身が制作すれば、(その結果として) 競合する生産条件間の「調停」機能を果たし、生産条件の「網羅性」を高めつつ、スケジューリング結果への「納得性」を確保した迅速な生産意思決定としての生産スケジューリングが実現できる」ことを証明すると同時に、生産意思決定に対する「行動経済学」の有効性の高さを証明するものとなった。

さらに、本研究における生産スケジューリング問題解決の主役は人(担当者)であるから、スケジューリング担当者の知識を活用してルーチン作業は自動化し、最終意思決定は担当者が下すことができるよう意思決定判断過程に行動経済学の知見を活用することは、担当者に内在する意思決定判断基準となる「暗黙知」を表出させることになる。そして、それを生産条件とすることにより「形式知」へと変換させ、生産組織における共有データとすることを可能とする。それは、同時に誰がやっても同じレベルの生産意思決定を実現し、生産スケジューリング作業の標準化をも可能とする。

これらは、研究課題とした生産条件の「網羅性」を高めつつ、スケジューリング結果への「納得性」を得るために人間の判断と意思決定行動に代わるある種「調停」機能のような役割を果たすものであり、その実現がスケジューリング担当者に代わり、また協調し、人とコンピュータが協働することによって迅速かつ着実な立案実行を可能とすること。それは、IT そのものよりも行動経済学の応用が問題解決に有用であること。そして、担当者の参画または自身による制作は、担当者の IT リテラシー向上に資するものであり、身に付けた IT スキルは今後の次世代生産システム対応において発揮し、生産スケジューリングの更なる機能向上をも期待できることを示している。

しかし、中小企業が実際に生産スケジューリング支援ツールを制作する場合、生産スケジューリング担当者の問題解決能力および「7.2.9.4 表計算ソフトを使い倒すために求められる IT スキル」に示すように IT スキルを現状より高める必要もある。この問題解決能力とパワーユーザレベルの IT スキル獲得の課題については、次章「8. 中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用の進め方」において考察する。

8. 中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用の進め方

本章では、前章において新たに見えてきた「IT スキル」と、中小企業が新しい生産スケジューリングを実現するために必要な「問題解決スキル」の獲得に関する課題について、その対応方法を考察する。また、資源に限りがある中小企業が IT 活用レベルを高めて行くための利活用方法と IT 人材育成の進め方を提言する。ここでは、大手に比べて分業が難しい中小企業にあつて社内人材が IT 武装し、問題解決能力をつけるための人材育成や現在のシステム機器の導入支援（補助金）など政府、自治体の施策の利用を中心に取り上げる。

前章第 2 節「7.2 中小企業に適した生産スケジューリング支援ツールの実現」における、一般（特別な IT スキルを持たない非 IT の）人材レベルで利用可能な Microsoft Excel による、人を主役とする新しい生産スケジューリングの実現は、表計算ソフトが単なる個人のワークシートに留まらず、行動経済学の応用という課題解決のための工夫次第で業務ツールとして機能発揮できるものであることを示すものであった。また、これは IT スキルよりも問題解決するための技術や知識が重要であること。さらに、問題解決するための技術や知識と IT スキルの両方を備えることが課題解決へとつながることを示している。

そもそも、中小企業が IT を導入し、情報システム化を進めようとする場合、ERP パッケージのような市販のシステムを購入するか、自社に適合したシステムを開発委託するか、自前で開発するかのいずれかを選択することとなる。この中、どの企業においてもほぼ同じ財務会計のようなシステムを除くと、ERP パッケージはどの企業にあつても適合できるように大きな業態の大企業向けに制作されることとなる。結局、それは中小企業にとっては不要な機能を含むものとなり、また高価なものとなるため選択肢とならない。そのため、自社に適合した機能を自社に適合したシステムとして開発委託するか、自前で開発するしかなくなる。さらに、それは「6.1.3.4 中小企業が IT 投資を行わない理由」に示した『2016 年版中小企業白書』が、その理由としているように中小企業には IT を導入・運用できる人材がおらず、そして IT の導入効果が分からず、さらにコストも負担できないため投資に踏み切れていない状況なつて現れてくる。

その意味において、特別な IT スキルを持たない一般人材レベルでも利用可能な

Microsoft Excel を用いて制作できることは、IT 人材の不足とコスト負担の問題をも解決し得るものである。また、大手に比べて分業が難しい中小企業において、IT 部門以外の社内人材、とくに現場において IT 武装し「現場 IT 力」を付けることは、資源に限りがある中小企業の課題対応力を高め、投資を行わないとする理由の解消にもつながる。結局のところ、中小企業がコストをかけず課題解決して行くためには、特別な IT スキルを持たない一般人材レベルでも利用可能な Microsoft Excel のようなソフトウェアの活用を積極的に進めることが一番の解決策であると考ええる。

しかしながら、そのように動き出すためには呼び水が必要であり、「7.2.9.4 表計算ソフトを使い倒すために求められる IT スキル」で挙げた IT スキルの獲得を国や自治体が進める IT 利活用促進のための施策を活用しながら実現することが望ましいと考える。ただし、施策はシステムや機器の導入支援（補助金）を主体とするものが多く、その利用は IT リテラシー向上による人材育成につながるものを選択しなければならない。そして、さらなる人材育成には、国や自治体による人材育成のための施策を活用し、高度な技術獲得やマネジメント力を修得することも企業の課題解決力の向上につながると考える。しかし、それが高等教育となるほど職業訓練の域を超えて自己研鑽の範疇ともなり、どこまで企業として取り組むかという課題も生じる。

これらをまとめると、中小企業における IT 利活用と人材育成の進め方として、まず本件研究課題の生産スケジューリングのような現場や実務者が抱える課題を、当事者レベルで解決できる行動経済学のような問題解決のための知見や、Microsoft Excel のような IT ツールを活用して解決すること。そのために必要なスキル獲得のために国や自治体の各種施策を活用することが役に立つこと。そして、当事者により課題解決できれば、それまでの業務の負荷も減り、その過程で身についたスキルで次の課題解決する形の好循環を生むことなど、その取り組みが中小企業の抱える課題解決につながる。

以下、その活用が考えられる国や自治体による IT 利活用促進を第 1 節「8.1 国、自治体による IT 利活用促進のための施策」に、人材育成のための施策を第 2 節「8.2 国、自治体による人材育成のための施策」に示す。そして、第 3 節「8.3 中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用」に、中小企業における生産スケジューリングを実現するための取組として、IT 導入をどのように進めるべきか第 1 節と第 2 節を振り返りながら整理し、まとめる。

8.1 国、自治体による IT 利活用促進のための施策

中小企業が、IT の利活用を促進するために活用することのできる中小企業庁など国や自治体、関連機関が、その支援目的で行う IT 化支援施策をまとめる。

8.1.1 IT 活用促進資金（企業活力強化貸付）

IT の普及にともなう事業環境の変化に対応するための情報化投資を行う中小企業を日本政策金融公庫（政府出資の政策金融機関）の融資を通じて、政府が資金面で支援するものである。融資期間は設備資金が 20 年以内、運転資金は 7 年以内としている。ただし、融資対象が「IT を活用した業務の高度化」、「ネットワーク上の取引および情報の受発信」、「企業外の IT の水準に合わせる」、「IoT を活用した生産性向上を図る設備を取得する」（設備の取得に際して専門家の助言・指導を受けている場合に限る）などの条件に該当する必要がある。また、資金の使途についても、指定された設備資金および長期運転資金に限るとしている^[40]。

このように、実質的には機械設備やコンピュータシステムのハードウェア導入が主要対象となっている。例えば、IoT 活用設備を取得する場合、「戦略的 CIO 育成支援事業」、「スマートものづくり応援隊」、その他公的機関からの専門家派遣制度を活用した IT コーディネータ等の専門家からの IoT 導入に係る助言・指導を受けていることが特別利率（低利）適用の前提となるなど、IT ベンダーなどのビジネスにもつながる制度であると言える。導入ありきとならないように自社で企画したり、自社の事業環境を理解し、それにあつたシステムの構築を目指す場合、IT コーディネータ等の専門家からの IoT 導入に係る助言・指導は逆に障害となる可能性があると考えられる。なぜならば、2015 年まで IT コーディネータ資格を有していたときの筆者の経験から、IT コーディネータの実態は基本的に中小企業診断士または高度情報処理技術者であり、基本的には中小企業の経営に詳しい専門家か、IT に詳しい専門家かのいずれかであつて、両方に詳しい専門家は少ないというのが実情である。また、中小企業診断士は小売流通業など商業系の専門家も多く含まれていること。そして、中小企業の経営の専門家であつて、製造現場に詳しいとは限らないということを経験に銘じておく必要がある。

8.1.2 サービス等生産性向上 IT 導入支援事業（IT 導入補助金）

中小企業庁による補助金事業で、中小企業が経営強化法の事業分野別指針に沿って生産性向上に係る計画を策定し、IT ツール（ソフトウェア、サービス等）を導入する際の経費の一部を国が補助する。対象要件としては、中小企業庁支援策 IT 導入補助金事務局ホームページに対象サービスとして公開されている IT ツールを導入し、労働生産性の伸び率が、3年後 1%以上、4年後 1.5%以上、5年後 2%以上もしくは、同等以上の生産性向上を目標とした計画を立案し、これに取り組む中小企業としている。生産性向上を目標とした計画を設定ができない場合は、顧客数、外国人客数、取引業者数、取引品目数、診療報酬点数等 IT ツール導入による生産性向上指数に類する独自の数値目標を設定する。また、支援内容はソフトウェア、サービス導入費用の補助で補助率が 2/3 以内、補助金額は 100 万円以下（下限額：20 万円）となっている。ただし、ハードウェアは対象外とし、新規ホームページの開設・運営、クラウドサービス等利用料は、導入後 1 年間分のみを対象とするとしている^[41]。

このように、中小企業庁支援策 IT 導入補助金事務局ホームページに公開されている対象サービスの IT ツールを導入することが対象となっている。実際にホームページを参照すると『IT 導入支援事業者』及び『IT ツール』を検索してくださいという表示に従い「IT 導入支援事業者（IT ツール）検索はこちら」ボタンを押すと「IT 導入支援事業者・コンソーシアム検索画面」または「IT ツール検索画面」という画面が現れ、所在地や業種などを条件選択すると、対象 IT ベンダーまたは IT ツールとしてのソフトウェア製品がリスト表示されるというしくみになっている。筆者の目からすると、補助金に群がる企業やコンサルタントの活動の場となってしまっているようにしか見えない。結局のところ、中小企業側に IT を理解し評価する実力がなければ、この中から採用業者や製品を選択することは難しいと考える。

8.1.3 戦略的 CIO 育成支援事業

中小企業庁は、高度な IT スキルを有する専門家を派遣し、情報セキュリティにも配慮しつつ、IT 導入・運用のプロジェクトに対するアドバイスをを行うと同時に、IT を活用した経営課題の解決を通じ、プロジェクトのリーダーが企業内 CIO として求められるスキルを習得することを支援するとしている。そして、対象企業とその要件を中長

期的な経営戦略の実行のために IT を組織的に活用しようとする中小企業者とし、支援内容は CIO 経験者、中小企業診断士、IT コーディネータなどの専門家派遣、経営上の問題点・課題を IT の活用により解決した実務経験・支援実績を有するアドバイザー、派遣費用は 17,200 円 (税込) / 人・日、派遣期間は 6 ヶ月～1 年以内となっている^[41]。

このように、中小企業において経営が分かり、IT の目利きができる CIO を育成することを目的とした支援事業であることが分かる。しかし、派遣専門家としての中小企業診断士、IT コーディネータなどの場合、「8.1.1 IT 活用促進資金(企業活力強化貸付)」で述べたように経営と IT の両方に高い専門性や、製造業の場合は製造工程についての専門性を有していることも重要視しなければならないと考える。

8.1.4 IT 導入計画の策定支援

中小企業庁は、IT を活用した経営戦略の策定から IT の導入に至るまで様々なステージの取組みを支援するため、IT 関連の専門家等を派遣し、専門的見地からの支援を行うとし、その要件は IT を活用して経営課題を解決したい中小企業としている。その支援内容は「よろず支援拠点又は地域プラットフォーム」をその相談窓口とし、IT コーディネータその他の公的資格を有する者等、豊富な経営支援の実績のあるアドバイザーなどの専門家派遣、派遣費用は無料 (年 3 回まで) としている^[41]。

しかし、「よろず支援拠点」を検索すると、例えば福岡県の場合「福岡県よろず支援拠点」として「(公財) 福岡県中小企業振興センター」が表示される。「地域プラットフォーム」を検索すると地域の商工会議所や中小企業診断協会支部が表示されるなど、これまでの専門アドバイザー制度と、内容的にはあまり変わりのない補助金制度であること分かる。先にも述べたように、補助金に群がる企業団体やコンサルタントの活動の場ともなっているので、制度を利用して支援を受ける場合、派遣される専門家が自社の問題解決に必要な経験と知識を保有しているか、その評価をしっかりとしなければ、実行に移せる IT 導入計画とすることはできないと考える。結局のところ、中小企業側に IT を理解し評価する実力がなければ、立案内容の評価は難しいと考える。

8.1.5 スマートものづくり応援隊

中小企業庁が、中小企業の IoT やロボット導入を支援するもので、支援事業者づくりと指導者育成や現場指導などをその柱とする。具体的には、製造現場の経験が豊富

な企業 OB や IoT・ロボットの知見を有する人材等を製造業等の中小企業・小規模事業者の現場へ派遣し、企業の生産性向上や新規事業開拓を支援・促進するものである。対象企業および要件は、カイゼン活動（IoT やロボット等の活用を含む）を通じて経営課題を解決したい製造業の中小製造業としている。その支援内容は「スマートものづくり応援隊拠点」（平成 28 年度：山形県・埼玉県・岐阜県・大阪府・北九州の 5 拠点）を相談受付窓口、製造現場の経験が豊富で IoT・ロボットに知見を有する専門家を派遣（派遣費用は各拠点により異なる）し、指導者育成（スクール）事業と現場派遣事業の一部事業経費を補助するとしている^[41]。

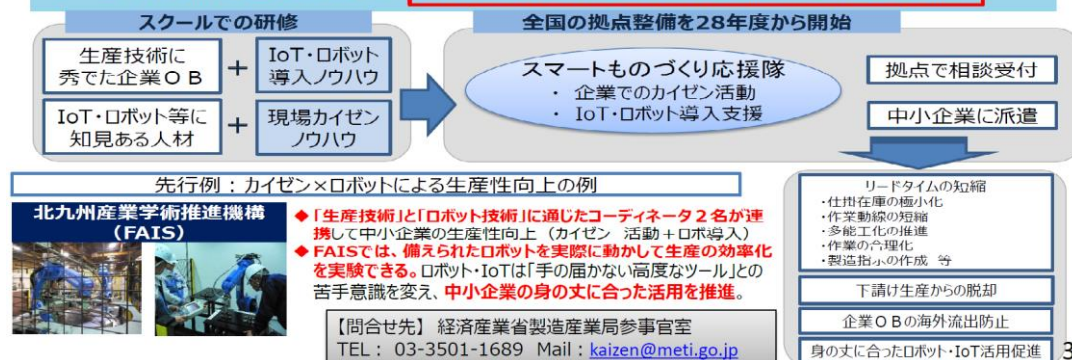
また、北九州における取組みについては、公益財団法人北九州産業学術推進機構（FAIS）における「生産技術」と「ロボット」に精通したコーディネータ 2 名が連携し、地域特性を活かした「カイゼン活動」と「ロボット」を融合させた中小企業の実産性向上への取組みが紹介されている。FAIS では、備えられたロボットを実際に動かして生産の効率化を実験できる。ロボット・IoT は「手の届かない高度なツール」との苦手意識を変え、中小企業の身の丈に合った活用を推進するとしている^[42]。

このように、より「ものづくり」の現場が抱える課題解決を目指した支援内容となっている。北九州の取り組み例のように生産技術者やロボット技術者が指導に当たる点は、現物、現場にあった解決策を提供できると考える。ただし、企業 OB がその任に当たる点は工夫が必要となろう。筆者の経験から、大企業は自動化や改善を図るために必要なマスターデータや、その管理のしくみがあり情報が整っていることが多い。これに対して、中小企業は必要な情報が整っていないか、まったくないことが多く、場合によっては新たな管理データが必要となることもある。それは、製造現場だけでなく対象企業の業務全般を見渡した対応を必要とし、大企業出身の企業 OB が対応できるかという問題も出てくる可能性がある。それを避けるために現物の特性だけで対応する場合、センサーによって現物の特性を把握するなど、かえって複雑な構成となり中小企業にとって維持して行くことが負担となる可能性がある。いかに中小企業の身の丈に合ったものにできるかが、この取組みポイントであると考えている。

2. 何をすればいいか相談したい

スマートものづくり応援隊

- ▶ 中小企業にとっては、**IoT・ロボットなど技術の説明よりも、自社の課題の解決に関心。**業務をどう改善するか、その際、技術をどう活用すればよいか、アドバイスが欲しい。
- ▶ このため、中小製造業が相談できる「**スマートものづくり応援隊**」の整備を平成28年度から開始。**(全国21拠点に整備 ※平成29年度時点)**
- ▶ 「**伴走型**」で中小企業に**専門人材を派遣し、中小企業の課題に応じた改善策や技術をアドバイス。**派遣する人材は、研修によりクオリティを確保。
- ▶ 29年度は全国で21拠点、九州では北九州、佐賀、大分の拠点で事業を実施。



出所) 九州経済産業局「IoT 関連支援施策について」より抜粋
(<https://www.kiai.gr.jp/IoTWG/h29/PDF/keisan-go.pdf> 参照 2018.3.1)

図 8.1.5 北九州におけるスマートものづくりの取組み

8.1.6 IoT 推進ラボ・地方版 IoT 推進ラボ

IoT 推進ラボは、IoT 推進コンソーシアム⁹¹の下に設置され、成長性・先導性、波及性（オープン性）、社会性に基づき個別の IoT プロジェクトを発掘・選定し、企業連携・資金・規制の面から徹底的に支援するとともに、大規模社会実装に向けた規制改革・制度形成等の環境整備を目的としている。そして、IoT 推進ラボの運営における業務については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「IoT を活用した新産業モデル創出基盤整備事業／革新的な産業モデル創出及び推進に関する検討」の委託を受けた一般財団法人日本情報経済社会推進協会（JIPDEC）が実施している。そして、業種・企業規模・国内外の垣根を越えた企業連携、プロジェクト組成を促進する場（マッチング等）の提供、事業化に向けた先進的な短期的個別プロジェクトや、社

⁹¹ IoT 推進コンソーシアムとは、我が国の官民を挙げて IoT を活用した未来への投資を促す適切な環境を整備すべく設立した組織。産学官が参画・連携し、IoT 推進に関する技術の開発・実証や新たなビジネスモデルの創出推進するための体制を構築することを目的として、①IoT に関する技術の開発・実証及び標準化等の推進、②IoT に関する各種プロジェクトの創出及び当該プロジェクトの実施に必要な規制改革等の提言等を推進するとしている。（出所：IoT 推進コンソーシアムホームページより抜粋（<http://www.iotac.jp/> 参照 2018.3.1））

会実装に向けた中期的実証プロジェクトなどに対するプロジェクトの性質に応じた官民合同の資金支援をIoT推進ラボの活動とするとしている[43]。



出所) 北九州市 IoT 推進ラボホームページ (<https://iottlab.jp/local/kitakyushu-city-iot/> 参照 2018.3.1)

図 8.1.6 北九州市 IoT 推進ラボの取組み

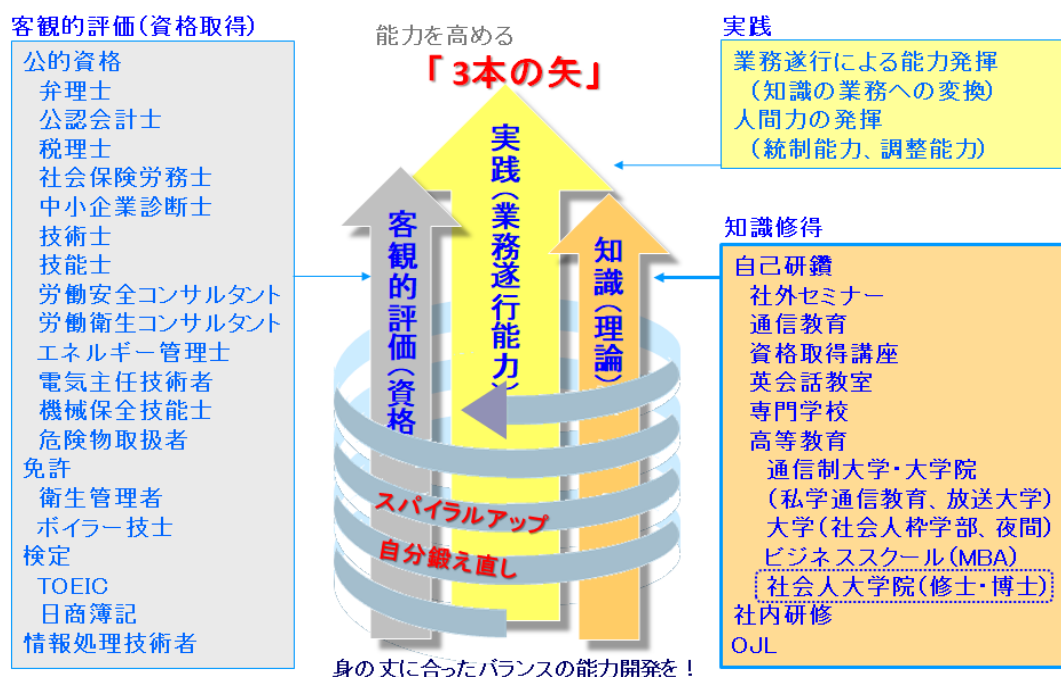
さらに、経済産業省とIoT推進ラボは、平成28年6月10日より「地方版IoT推進ラボ」の募集を開始、地域におけるIoTプロジェクト創出のための取組みを「地方版IoT推進ラボ」として選定し、地域での取組みを通じたIoTビジネス創出の支援を行っている。そのひとつ、北九州市IoT推進ラボ (e-PORT2.0) は、地域の特徴ある多様な機関の知恵や技術力を結集し、ITの活用により地域課題の解決を図ることで、新たなサービスの創出を継続して実現し、地方創生の一翼を担うことを目的として活動を始めている。具体的な取り組みとしては、地域課題の解決に資するIoTプロジェクトに対して、産・学・官・民・金からなるe-PORTパートナーによるノウハウ及び技術的支援や、実証実験の場の提供、資金的な支援、地域情報基盤の提供運用など、様々な視点からプロジェクト推進及び事業化支援のプラットフォームを提供するとしている[44]。

このように、IoT 技術の実証や新たなビジネスモデルの創出の支援の枠組みであり、本格的なシステム構築やモデル開発がその対象となるものである。中小企業におけるカイゼンや試行錯誤の導入、技術獲得や人材育成には適していないと考える。

8.2 国、自治体による人材育成のための施策

筆者は、「図 8.2 筆者の考える社会人の能力を高める『3本の矢』」に示すように、これまでの経験から社会人の能力を高めるためには「3本の矢」が重要であると考え。 「第1の矢」は「実践（業務遂行能力）」する力、「第2の矢」が「客観的な評価（資格）」でさらに高いステージに進む、「第3の矢」が「知識（理論）」で確かな行動の理論的裏付けとなるものである。この「3本の矢」が備わることによって、環境変化に対応し、課題解決できる実践能力の高い人材が生まれると考える。

その「第3の矢」である「知識（理論）」を修得するための機会として国や自治体、関連機関が実施する人材教育としての社会人対象教育施策をまとめる。



(筆者作成)

図 8.2 筆者の考える社会人の能力を高める「3本の矢」

8.2.1 成長分野を支える IT 人材の育成拠点の形成 (enPiT)

文部科学省は、日本再興戦略 2016（平成 28 年 6 月閣議決定）、科学技術基本計画（平成 28 年 1 月閣議決定）、世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 28 年 5 月閣議決定）、サイバーセキュリティ戦略（平成 27 年 9 月閣議決定）等の各種の政府提言において、第四次産業革命や Society5.0 を実現するため、情報科学技術分野の人材育成の強化が求められているとし、特に、IT を高度に活用して、社会の具体的な課題を解決することのできる人材の育成は我が国の極めて重要な課題であるとしている。また、中長期的にも IT に対する需要は引き続き増加する見込みにもかかわらず、労働人口の減少による人材供給力の低下から、IT 人材の不足は今後一層深刻化する可能性が高いことが予測されている。

このような状況の中、我が国の高等教育機関に求められていることは、大学教育改革により、情報科学技術分野の質の高い人材を多く輩出することや、産学連携により、すでに社会で活躍している同分野の人材の生産性を高めるための学び直しに貢献することであるとしている。これまで、IT を高度に活用して社会の具体的な課題を解決できる人材の育成機能を強化するため、産学協働の実践教育ネットワークを形成し、課題解決型学習（PBL）等の実践的な教育を推進し広く全国に普及させることを目的として、これまで大学院および学部の学生を主な育成対象とする取組みへの支援を行ってきた。さらに、平成 29 年度からは新たに enPiT-Pro として、情報科学技術分野を中心とする体系的かつ高度で短期の実践教育プログラムを、産業界・複数大学の協働により開発・実施し、その成果を広く全国に普及させることで、我が国における同分野全体の社会人学び直し機能の強化への貢献を目指す大学院改革の取組みを支援するとしている^[45]。

これを受けて、北九州市立大学が代表校となり、九州・中国地域の全 5 大学が連携実施する人材育成事業が文部科学省の平成 29 年度大学教育再生戦略推進費「成長分野を支える IT 人材の育成拠点の形成 (enPiT)」enPiT-Pro に採択され、現在「図 8.2.1a 北九州市立大学が開設する社会人向けプログラム"enPiT-everi"」に示す社会人向けプログラム"enPiT-everi"の開設準備を進めている。VoD（Video On Demand）や遠隔機能などを活用した参加しやすい形態をとる。2018 年度はパイロットプログラムとして始動し、プログラムの充実化に向けて地域産業のニーズ調査などを行ってい

くとしている [46]。

この"enPiT-everi"プログラムは社会人にとって、「図 8.2 筆者の考える社会人の能力を高める『3本の矢』」に示した「第3の矢」にあたり、「知識（理論）」修得の機会をこれまで以上に得やすくなると考える。筆者のように、定年後に大学院で学ぶのではなく、現役の中に知識習得し業務において発揮できることが期待できる。また、昨今議論されている働き方改革によって、社会人の学びの機会は増えてくると考える。

ただし、忙しい中小企業にあって、会社の理解を得て大学院で学ぶ時間が本当にとれるかという問題が残る。また、本当に中小企業が欲する実践に結びつく知識が得られるかという問題もあると考える。2018年度のパイロットプログラム始動と、充実化に向けた地域産業のニーズ調査結果に期待したい。



出所) 社会人向け！情報技術人材育成事業(enPiT-everi)のホームページ
(<https://www.enpit-everi.jp/course/> 参照 2018.3.1)

図 8.2.1a 北九州市立大学が開設する社会人向けプログラム“enPiT-everi”

8.2.2 職業実践力育成プログラム

「職業実践力育成プログラム」(BP) 認定制度は、平成 27 年 3 月の教育再生実行会議における第六次提言『「学び続ける」社会、全員参加型社会、地方創生を実現する教育の在り方について』を受けて、大学・大学院・短期大学・高等専門学校におけるプログラムの受講を通じた社会人の職業に必要な能力の向上を図る機会の拡大を目的として、大学等における社会人や企業等のニーズに応じた実践的・専門的なプログラムとして文部科学大臣が認定するものである。それは、社会に出た後も、誰もが「学び続け」、夢と志のために挑戦できる社会を目指し、社会人の多様なニーズに対応する教育プログラムの充実を図ること。大学、専修学校等は、社会人が職業に必要な能力や知識を高める機会を拡大するため、社会人向けのコースの設定等により、社会人や企業のニーズに応じた実践的・専門的な教育プログラムの提供を推進する。国は、こうした取組みを支援、促進するとともに、大学等における実践的・専門的なプログラムを認定し、奨励する仕組みを構築することであるとしている。

また、認定要件は正規課程及び履修証明プログラムがあること、対象職業および修得可能な能力を具体的かつ明確に設定公表すること、対象職業に必要な実務に関する知識、技術、技能が修得できる教育課程であること、社会人が受講しやすい工夫の整備(週末・夜間開講、集中開講、IT活用等)がなされることなどとしている。これらにより、1. 社会人の学び直す選択肢の可視化、2. 大学等におけるプログラムの魅力向上、3. 企業等の理解増進を図り、厚生労働省の教育訓練給付制度とも連携し、社会人の学び直しを推進するとしている。現在、42 プログラムが認定され「平成 29 年度『職業実践力育成プログラム(BP)』認定課程一覧」として文部科学省ホームページに掲載されている。しかし、その対象職業は、医療や看護、経営など一部にとどまっている^[47]。

このように、enPiT 同様に「第 3 の矢」の「知識(理論)」修得の機会として、大学の高等教育が受けられるという魅力があるものの、対象職業が一部にとどまっており製造現場における管理や IT 利活用推進に係る職業としての認定はなく、対象職業領域の拡大が望まれる。

8.2.3 専門職大学院制度

専門職大学院は、平成 15 年度に文部科学省により創設されたものである。科学技術の進展や社会・経済のグローバル化に伴う、社会的・国際的に活躍できる高度専門職業人養成へのニーズの高まりに対応するため、下記制度に基づく高度専門職業人の養成に目的を特化した課程としている。なお、法律上の目的は学校教育法第九十九条に基づき、その制度の概要と修了要件は、標準修業年限 2 年（法科大学院は 3 年）、修了要件 30 単位以上（法科大学院は 93 単位以上、教職大学院は 45 単位以上）、必要専任教員中の 3 割以上が実務家教員（法科大学院は 2 割以上、教職大学院は 4 割以上）、理論と実務の架橋を強く意識した教育を実施し、事例研究や現地調査を中心に双方向の討論や質疑応答等が授業の基本とした教育内容とすること、経営学修士（専門職）経営管理修士（専門職）、会計修士（専門職）等の学位を授与するとしている^[48]。

このように、enPiT 同様に「第 3 の矢」の「知識（理論）」修得の機会として、大学の高等教育が受けられるという魅力がある。北九州市立大学大学院マネジメント研究科もこの専門職大学院にあたる。しかし、製造現場に係る学術領域の設置はなく、対象学術領域の拡大が望まれる。

8.3 中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用

本章「8. 中小企業における生産スケジューリングの実現と IT 利活用の進め方」をまとめると、政府および自治体が進める IT 利活用促進および人材育成のための施策には、通商産業省中小企業局の「IT 利活用促進」に係る補助金および支援業務と文部科学省の「人材育成」への取組みに大別することができる。

まず、「IT 利活用促進」について、その資金調達は IT 活用促進資金（企業活力強化貸付）が利用できる。IT 利活用の促進については、サービス等生産性向上 IT 導入支援事業（IT 導入補助金）や戦略的 CIO 育成支援事業、スマートものづくり応援隊による導入支援とその補助金を受けることができる。

しかし、これらには情報システム化導入の前提や専門家による助言・指導が前提であったりする。その専門家は IT コーディネータ（など）としており、中小企業診断士や情報処理技術者などの通商産業省管掌の士資格また認定試験合格者を中心とする特定非営利活動法人 IT コーディネータ協会が認定する民間資格である。また、スマート

ものづくり応援隊などの支援組織が実態として IT ベンダーであったり、利用する IT ツールが IT ベンダーの製品であったりする。このように、国の施策に係る補助金に群がる情報産業がそこに存在していることを認識しなければならない。これらの施策を利用する場合、インダストリー4.0の有用性を唱える研究者や、ビジネスジャーナリズム、IT ベンダーの動きに惑わされることなく、IoTとしてのインダストリー4.0の真の価値とその効果をユーザ企業自身が目利きできる実力を持つ必要がある。

次に、「人材育成」については、本学が2018年から始動させる社会人向けプログラム"enPiT-everi"には期待したい。それは、これまでの筆者の経験から「知識（理論）」修得が確かな行動の理論的裏付けとなり、実践（業務遂行能力）の向上につながると考えるからである。ただし、忙しい中小企業にあって、会社の理解を得て大学院で学ぶ時間が本当にとれるかという問題が残る。また、本当に中小企業が欲する実践に結びつく知識が得られるかという問題もあると考える。この"enPiT-everi"は、2018年度からパイロットプログラムを始動させ、これから始まるものであり、効果は未知数の部分もある。

また、職業実践力育成プログラムや専門職大学院制度も「知識（理論）」修得に有用であるものの、生産管理やITに関する学術領域の課程がないか、もしくは少なく、本研究課題の解決のためには、その領域の拡大が期待されるところである。

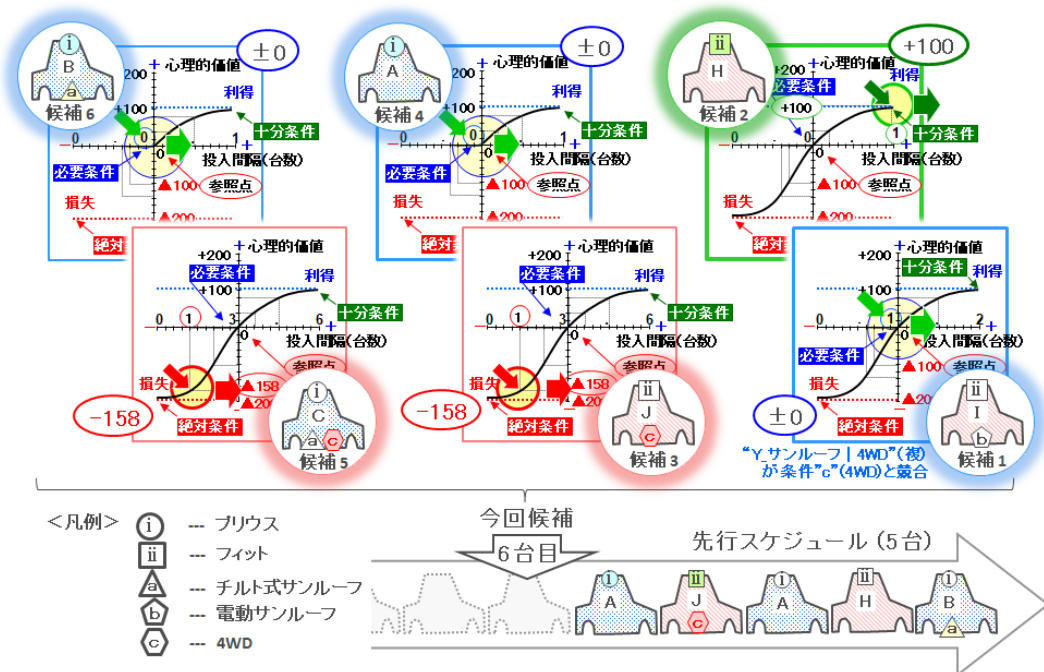
9. 中小企業の次世代生産システム対応と生産スケジューリング

研究過程を振り返ると、本研究は次世代生産システムが求める生産連動に対し、生産現場とりわけ中小企業が対応できるかという疑問に始まった。実際の生産工程に目を向けると、生産に着手するための生産意思決定としての生産スケジューリングが存在し、現実として人の介在なしに実行できない現場の姿であった。また、そこには既存の生産スケジューリング技法または手法だけでは解決することが困難な問題があり、処理条件としての生産条件に対する「網羅性」を高めつつ、スケジューリング結果への「納得性」を得るための人間の判断と意思決定行動に代わるある種「調停」機能のような役割の必要性という課題があった。それは、生産連動を実現するためには生産スケジューリングにおける人の介在の極小化が課題であることを示していた。これらの課題解決のため、仮説（「1.2 研究目的と概要」参照）を立て、行動経済学の知見を応用し、課題解決に向けた研究を進めたものであった。

そして、その研究過程において生産意思決定に対して行動経済学の有効性を見出し、OR 的アプローチに行動経済学の知見を付加し、一般人材でも活用可能な Microsoft Excel を利用した生産スケジューリング支援ツールを制作した。その処理結果は、行動経済学のプロスペクト理論を応用によって期待どおりの「調停」機能を発揮し、スケジューリング担当者とスケジューリング支援ツールが協働することによって納得性を高め満足の得られるものであった。それは、これまでに前例のない行動経済学の応用が、生産意思決定としての生産スケジューリングに対して有効であることを証明するものとなった。

その処理概要を「図 9a 投入間隔と心理的価値評価に基づく候補選択（再掲）」に示す。すでに順序が決まった先行スケジュール（製品型式別の順序：A→J→A→H→B→前方）があり、その次の順序候補として今回候補（製品型式別の出現率に基づく優先順序：B→C→A→J→H→I→優先）があるとき、今回候補の製品型式に対して製品系列や製品仕様に基づき設定されている生産条件について、先行する前方スケジュール内の同一生産条件のスケジュールとの間の投入間隔から得られる利得または損失を心理的価値曲線に基づいて心理的価値へ変換し、利得の大きいもの（損失の少ないもの）を選択することによって、納得性の高い工程計画を生成するものである。この場合、

今回候補の中から心理的価値が候補中最大の+100となる候補2の製品型式Hを選択する。



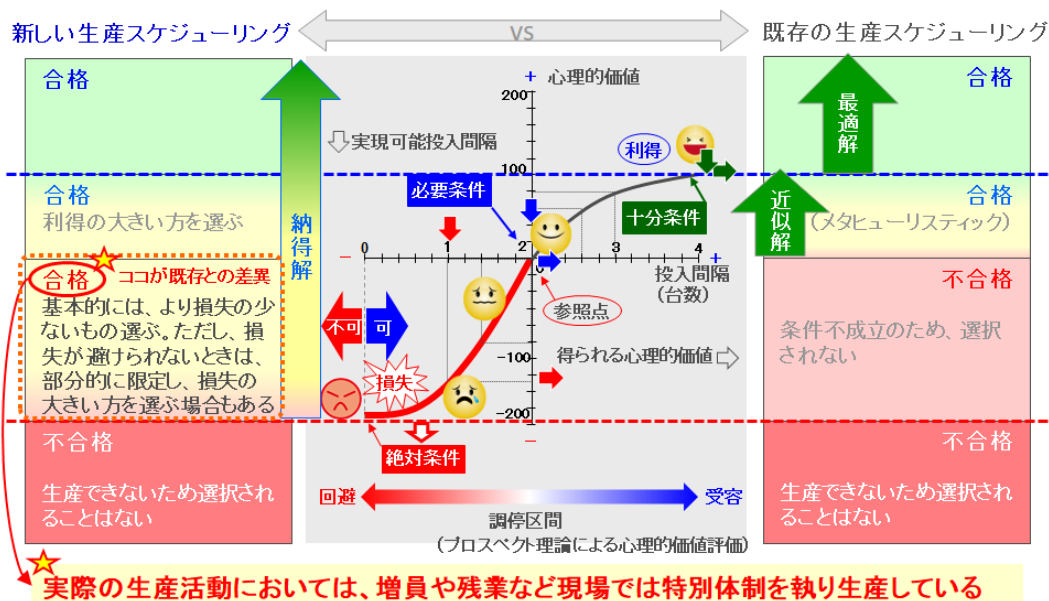
出所) 筆者作成

図 9a 投入間隔と心理的価値評価に基づく候補選択 (再掲)

この中小企業における新しい生産スケジューリングを実現するため、生産スケジューリング支援ツールの制作過程において明らかになったことは、課題に対応し問題解決する原動力は IT そのものではなく、問題解決の技術や知識であること。既存の OR 的手法に加え、行動経済学という行動意思決定の研究に基づく知見とその応用による解決方法、とりわけプロスペクト理論がその中核機能を果たしているという事実である。

そもそも、多くの変数条件から成り立つ生産活動の中で行われる生産意思決定としての生産スケジューリングにおいて、その一部の条件だけを見て合理的意思決定を下すことは不可能である。結局のところ、スケジューリング担当者が正しいと感じ、実行に移すことのできるスケジューリング処理結果が良いスケジュールなのである。それは、生産スケジューリング担当者には、スケジューリング結果としての工程計画に対して実行責任があるからである。その意味において、プロスペクト理論に基づく生産条件選択の心理的価値評価は、スケジューリング担当者が処理結果から受ける利得

損失の心理的価値を疑似的に扱い、生産スケジューリングツールによるスケジューリング担当者に代わる意思決定代替をうまく実現している。それを「図 9b プロスペクト理論による心理的価値評価の有効性」に示す。ここでは、増員（応援）や残業などの生産体制を執りながら対応している実際の生産活動の状況を選択することができている。



出所) 筆者作成

図 9b プロスペクト理論による心理的価値評価の有効性

また、新しい生産スケジューリングを実現するにあたり、IoT としてのインダストリー4.0の真の姿を捉えるとともに、中小企業が次世代生産システムに対応して迅速な生産意思決定をするために何が必要か探った。その結果、IoT としてのインダストリー4.0が、その有用性を唱える研究者やビジネスジャーナリズムが主張するように急激に発展し導入が進むことはないこと。また、魔法の杖ではなく、IT だけでは企業が抱える問題を解決することはできないこと。それは、人や生産設備、情報システムをはじめとするすべての生産資源が一体となって構成されたものが生産システムであるから、もし生産設備はそのまま変わらず、情報システムだけを刷新しても根本的な生産能力や製造品の付加価値は変わらず、導入コストとオペレーションコストが増加するだけとなること。そして、そもそもシステム導入しようにも、中小企業には対応できるIT人材がないのであるから、つまるところ外部ITベンダーへシステム開発を丸

投げし、その結果、思ったようなシステムを構築できず使われないものとなり、これまでの悪循環の繰り返しとなることが分かった。

さらに、中小企業には特急オーダーの飛び込みがあり、これに可及的速やかに対応するためには、すでにスケジューリング済みの工程計画に割り込ませたり、未着工工程計画の再スケジューリングが必要となる。したがって、再スケジューリングを含む日々の生産スケジューリングは製造部門任せ、いや製造部門でしか行うことができないのである。そして、担当者へのヒヤリング調査により、生産スケジューリングに必要な生産条件の選好傾向は製品やスケジューリング担当者の経験によって異なることも分かった。さらに、規模の小さい企業はマスターデータ管理のしくみが整備されていないため、生産スケジューリングが必要とする生産条件を既存データから流用することは難しく、個別に生産スケジューリングだけのための生産条件データの生成が必要となることも分かった。

それを踏まえて、中小企業が将来の次世代生産システムを見据え、現状の課題解決のために情報システム導入を図るためには、特別な IT スキルを持たない一般の人材であっても活用できる、例えば **Microsoft Excel** のような平易な表計算ソフトを利用することが、結果として新しい生産スケジューリングを幅広く中小企業においても活用できる可能性を高めることになる。また、IT ベンダーなどへ丸投げせず、自ら参画または制作することは IT スキルを身に付け、来るべき次世代生産システムの到来において「新たな IT 人材」となって、生産スケジューリングなどの課題に対する対応をさらに進化させることが期待できるなど、中小企業が抱える諸問題を解決するための「現場 IT 力」の強化にもつながる。そして、このスキルを生産スケジューリングに利用することが、迅速な生産意思決定を可能とし、短納期生産や生産連動につながると考え、**Microsoft Excel** を活用してプロトタイプとして制作したものが本研究の生産スケジューリング支援ツールであった。

この一般人材レベルでも利用可能な **Microsoft Excel** を用いた生産スケジューリング支援ツールの制作は、表計算ソフトが集計作業のような事務処理のための単なる個人のワークシートに留まらず、行動経済学の応用という課題解決のための工夫次第で業務ツールとして機能発揮できるものであることも示す結果ともなった。そして、システム導入しようにも対応できる IT 人材がいない中小企業においては、特別な IT スキルを持たない一般人材レベルであっても対応でき、小回りの利く **Microsoft Excel** の

ような表計算ソフトの活用が有効であることを示した。しかし、これはまったくの初心者レベルでよいというものではなく、同時に非 IT 部門の利用者の中にあっても、それを使い倒すレベルのパワーユーザーと呼ばれる IT ツールを高度利用できるレベルが、求められることも分かった。

また、生産スケジューリングツールは、これまでスケジューリング担当者の暗黙知であった生産スケジューリング時の生産条件を表出させ、生産スケジューリング支援ツールに取り込み形式知としたことは、生産組織における生産条件の情報共有となり、誰が生産スケジューリングを実行しても同じ結果が得られる業務の標準化にも資するものともなった。

そして、IT スキルよりも行動経済学のような問題解決するための技術や知識が重要であることは、問題解決するための技術や知識と IT スキルを車の両輪のように身につけることが問題解決へとつながることの必要性を示している。これは、資源に限りのある中小企業においては、最小の設備投資で最大の効果を上げるためには、費用をかけず創意工夫による問題解決が重要であり、その行動として自らが実践する取り組みが必要であるからである。この問題解決能力の獲得と IT 利活用のための IT スキル習得の取組みが、第 8 章第 1 節「8.1 国、自治体による IT 利活用促進のための施策」に示す施策や補助金の利用であり、問題解決能力習得の取組みが、第 2 節「8.2 国、自治体による人材育成のための施策」に示す「学びなおし」や「社会人教育プログラム」の活用である。

これらから、これまでに前例のない行動経済学の応用は、生産意思決定としての生産スケジューリングに対して有効であること。そして、問題解決の原動力は IT ではなく、本研究の行動経済学のような問題解決の技術や知識であること。また、中小企業には IT を導入・運用できる人材がおらず、そして IT の導入効果が分からず、さらにコストも負担できないため投資に踏み切れていないという中小企業の現状に対し、行動経済学の応用のような課題解決のための工夫と一般人材レベルでも利用可能な Microsoft Excel のような表計算ソフトウェアの活用を積極的に進めることが、中小企業の抱える諸課題に対する一番の解決策になるとの結論に至った。

10. おわりに

本研究の目的は、第4次産業革命によって今まさに変貌を遂げようとしている「ものづくり」の世界の中であって、中小企業がこの「ものづくり」革新にいかに対応して行くかであり、その方策が迅速かつ確かな生産実行を可能とする生産意思決定としての生産スケジューリングであった。それは、既存の生産スケジューリングに対し行動経済学の知見を応用し、これを付加した新しい生産スケジューリングにより迅速かつ確かな工程計画の立案を実現させ、次世代生産システムの求める工場間の生産連動という課題解決ができることを示したものである。

10.1 製造業に対する貢献とその意義

新しい生産スケジューリングは、既存のOR手法に行動経済学の知見を加えることによって、受け取る側（人間）のスケジューリング処理結果に対する納得性を向上させるものである。これは、既存の生産スケジューリングが人に依存または、ほぼ人手に頼る状況にあるのに対して、新しい生産スケジューリングが意思決定代替または、人とコンピュータとの協業により迅速な工程計画の立案を可能とし、さらに一般人材レベルでも利用可能なMicrosoft Excelのような表計算ソフトウェアの活用が、大企業に比べて経営資源の乏しい中小企業であって、その導入を容易とする。この新しい生産スケジューリングの製造業に対する貢献と意義について、研究を振り返る。

本研究の目的は、「ものづくり」革新が単に生産設備だけが新しくなるということではなく生産システムに何を求めているのか、製造業がどのように取り組むべきか製造業を取り巻く環境を分析し、その本質を掴み、それに対して企業はどのように向き合っていけばよいのか、その対応方法を見出すことにあった。とくに、大企業に比べて経営資源の乏しい中小企業が、次世代生産システムに対応して課題解決を図るための具体的な解決策を見つけ、その提言を目的とし、次世代生産システムが実現しようとする目的または目標実現の阻害要因を探し出し、その対策を採ることを目指した。

一方、現実の生産に目を転じると、業種や生産形態によって差異はあるものの、生産スケジューリングの現状は、必ずしもコンピュータ処理によって情報化できておらず、人による状況判断と意思決定がかなりの比重を占めている。とりわけ、中小製造業においてはほぼ人手により立案作業が行われているといっても過言ではない。この

ため、次世代生産システムが求める「つながる工場」の要求に対して、自工場の状況を的確に把握し、納期までに確実に生産実行可能な「工程計画を迅速かつ的確に立案可能な生産スケジューリングの実現」することが命題であった。

また、工場がつながり、生産連動と自律的な生産統制を図って行くうえで、工場の稼働状態が正常なのか、異常なのか。異常な状況であれば、どのようなアクションが必要であるのか、判断できなければならない。それを判断するための「ものさし」（基準情報）としての計画指標と現時点の状況を表す実績指標が必要となる。とりわけ、計画どおりに生産できているか、生産進捗を把握するうえで計画指標としての工程計画は重要である。それは、計画に対する実績の乖離を把握・評価することにより進捗状況が分かり、必要なアクションを採ることが可能となるからである。すなわち、「立案した工程計画を目で見る生産進捗（＝「見える化」）の計画指標データとする」ことが、次世代生産システムの実現のもう一つの命題であった。

これらの命題に対して答えを出すためには、経験や勘に負う生産スケジューリングを本当に自動化することができるのか、または人とコンピュータシステムとの協働ができるのかなどの検討が必要であった。また、中小企業であっても対応し得る方策を見つけ出すことが求められた。そのために、仮説（「1.3 研究の進め方」参照）を立て、その基本的考えにしたがい現状把握のうえ、研究目標を阻害する要因を解析のうえ課題解決を目指し研究を進めてきた。

まず、一つ目の命題「工程計画を迅速かつ的確に立案可能な生産スケジューリングの実現」については、前章「9. 中小企業の次世代生産システム対応と生産スケジューリング」に示したように、中小企業における次世代生産システム対応においては、生産意思決定としての生産スケジューリングへ行動経済学を応用することが有効であるとともに、その実現手段として一般人材でも活用可能な **Microsoft Excel** に代表される表計算ソフトウェアの積極的活用が中小企業の IT 人材不足問題の解決にもつながることを見出した。これは、目を奪われがちな IoT やインダストリー4.0 など、生産革新をもたらすとされる専門用語をブラックボックスとせず、必ずしも先端技術ではない平易な IT を活用して、行動経済学の応用のような課題解決のための知恵と工夫によって問題解決できることを示したものである。

これは、裏返すと機能内容を理解せず高度な技術へ安易に頼ることへの問題を示していると考えられる。例えば昨今、AI（人工知能）の過信に対する警鐘が鳴らされている

ことから窺える。それは、AI はが結果の正しさを証明できないことや導き過程が不明であるなど、結果の誤りに対するリスクが指摘されている。結局のところ担当者が正しいと判断できるものでなければ、それは良い処理結果とは言えないのである。また、どんな問題であっても、簡単に解決してくれる魔法の杖など存在しないのである。それゆえに、問題の本質を見極め対策して行くことのできる「目利き力」と実践するための「手の内化」が重要となる。

これ関連する企業の動向に目をやると、中小企業ではないものの下記に抜粋した2018年7月4日付日刊工業新聞に掲載された精密加工機械メーカーの株式会社ディスコの全社員向けプログラミング教育がある。同社は、業務の効率化と小回りの利くシステム構築につながることを狙っている。

ディスコは2019年度に、全社員を対象にしたプログラミング教育を始める。生産設備の内製化をはじめ、集計業務などの効率化につなげるのが狙い。例えば、工場内のピッキングシステムなどを内製化できれば、既製品に比べて小回りがきくようなシステムの構築につながる。

ディスコでは約半分の社員が、プログラミングを使って何らかの作業ができるという。一方、装置のプログラミングなどを行うソフトエンジニアは1割程度にとどまる。そのため、エクセルを使った高度な集計作業などはシステム部門に依頼されていた。全社員のプログラミングのスキルを底上げすることで、従来は依頼していた作業を各社員で対応する。プログラミングの知識がある社員は、より高度な作業に従事できるようになる。^[49]

これは、まさに「現場IT力」の強化ともいうべき取組であり、従業員全員がITを「読み書きそろばん」のように使いこなすことによって、社外や他部門に頼ることなく改善実行できるよう改善力を飛躍的に高めるとともに、小回りの利く社内システムづくりを狙ったものであり、本研究とも共通する課題への対応といえる。

次に、もうひとつの命題「立案した工程計画を目で見る生産進捗（＝「見える化」）の計画指標データとする」に対しては、工程計画の順序どおりに生産着手し完成できているか、工程計画リストを1件ずつチェックし消し込んで行くだけでも、生産の遅延や漏れを防止し、十分な効果を上げることができると考える。さらに、精度の高い生産統制（進捗管理）を求めるのであれば、該当生産工程の工程能力（月や週、日な

どの計画期間あたりの生産能力)を基に、工程計画1件単位に生産着手および完了予定日時を付加し、既定日時までに着手または完成できた製品と遅れている製品を管理することによって、きめ細かな生産統制を実現することができる。さらに、これをITの力を借りてシステム化すれば、「見える化」として生産組織内で情報共有することが可能となる。これらは、企業の管理レベルと生産統制のマネジメント力に応じて行えばよい。

そして、ふたつの命題を振り返ると、その副次的結果として「目利き力」と「手の内化」の重要性を示すものとなったと考える。「目利き力」については、IoTやインダストリー4.0が実現の手段、道具であって目的や目標ではないことを理解すること。行動経済学のような人間研究に基づく理論や手法を身に付け、それを用いなければ課題解決できないことを知ることである。「手の内化」は、獲得した理論や手法を実践するためには、決して高度な技術である必要はなく、一般人材でも活用可能なMicrosoft Excelに代表される表計算ソフトウェアなどの平易なITスキルの有用性を再認識した。中小企業にあっては、Microsoft Excelのような平易な技術であっても、今回の行動経済学のように、その知見の活用により解決できる問題は存在する。その意味において、盲目的に新しい技術を追い求めるのではなく、新しい技術に対する「目利き力」と「手の内化」こそが「ものづくり」革新に欠かせないと考える。

これらの研究結果から、この新しい生産スケジューリングの製造業に対する貢献は、生産連動により要求元工場が必要とするときまでに確実に生産実行できるよう工程計画の迅速かつ的確な立案を可能とすることであると考える。それは、中小企業が「ものづくり」革新が求める生産連動への対応を可能とするものである。

10.2 学術的貢献とその意義

本研究の学術的貢献について、ORなどスケジューリング問題を扱う経営工学または管理工学の視点から捉える。生産スケジューリング問題の解法は数理的に処理可能な計算式などとして合理的に判断できるものとして扱われる。しかし、多くの制約条件が存在するとき、その最適解を見つけ出すことは困難または不可能となり、代わりに制約条件を緩和した結果求められた最適解または、メタヒューリスティクス手法などにより求められた近似解が、これら解法により示される。これを要求した人間側から

見た場合、示されたその最適解または近似解の確からしさ、要求した条件に対する満足度をどのように判断し、その解を選択するかという問題が残る。

そこで、本研究は OR 手法に行動経済学のプロスペクト理論を応用・付加し、心理的価値という概念を用い、条件満足度を表すことにより問題解決を図っている。それは受け取る人間側に立ち、その解が納得できる程度のものかどうかを条件満足度の程度で判断できるようにするものである。これは、スケジューリング処理結果としての工程計画が、その実行にあたりスケジューリング担当者の実行責任がともなうという性格のものであることに対する現実的な対応であり、解の選択を自身の納得性に基づいて意思決定可能とするものである。この OR 手法に行動経済学のプロスペクト理論を応用・付加することが、結果として OR 的手法により導き出した実行可能解の担当者による納得性を向上させ、その採用を促すことが生産スケジューリングの利用促進につながると考える。

一方の行動経済学について、その知見を生産意思決定に適用した事例はなく、本研究独自のアプローチであるといえる。これまで購買行動のように時として不合理な意思決定をする人間の不確実な状況下における行動意思決定への適用が多く見られた。一見、合理的意思決定に支えられているように見える生産活動にも、合理的に意思決定することのできない人間の直感に頼っている領域が多く存在している。工場生産のように機械的活動の如く捉えられていながら、実際には合理的意思決定のできない本研究のような人間の勘に頼っている領域への適用拡大が期待できると考える。

また、結論として本研究が示すように単一の学問によって解決できない複雑な問題に対して、例えば工学のような自然科学系の学問と行動経済学のような社会科学系の学問を車の両輪のように活用し連携させることが、その解決につながると考える。

10.3 残された課題と今後の展望

本研究は、その具体性を持たせるために自動車という身近な耐久消費財を扱う自動車生産工場の生産スケジューリング問題をモデルとした。また、単純化のために単一のライン生産を前提とするシンプルな生産モデルとした。しかし、実際の生産活動は、様々な特性を持つ製品や部品を生産し、複数のラインや複数の設備機械から構成されている。このような生産条件の異なる製品や生産工程について、スケジューリング問題を解決するための研究が残されている。

また、行動経済学のプロスペクト理論を問題解決エンジンとしたことは、他業種や他製品への適用を容易にすると考える。例えば、完全な受注生産を採る企業や製品の場合、顧客の要望納期と実現可能な納期との乖離時間（日数）から受ける心理的価値を評価したり、ロット生産する製品の場合は大ロットで生産したときの在庫の膨らみや小ロット生産したときの段取替えなどの生産ロスを中心に心理的価値として評価したりするなど、たくさんの応用方法と用途が考えられる。それは、筆者の今後の製造業との関わりの機会や、所属団体（技術士会や学会）の活動の中で研究を継続したい。

これに関連して、昨年（2018年）末に、県内の中小製造企業を訪問する機会があった。この企業は、ジョブショップ型の生産モデルで、機械加工した製品を生産する企業であった。そして、生産スケジューリング機能を実装した生産管理パッケージを導入していた。しかし、それは利用されておらず、結果として納期遅延や生産能力オーバーという状況が顕在化し、それと闘っていた。このように、解決すべきスケジューリング問題を抱える中小企業が多いという現状も、この研究の必要性を示している。

最後に、次世代生産システムと新しい生産システムの今後を展望する。第6章第1節「6.1.2.3 経営学とインダストリー4.0」に示したように、インダストリー4.0によって既存の現場系情報システムがまったく新しいグローバル標準システムに置き換わってしまうようなことにはならない。それは、生産設備が変わらずシステムだけが新しくなっても機能しないからである。しかし、製造業が抱える人手不足などの課題を解決するためには第4次産業革命による「ものづくり」革新は、ゆっくりと進んで行く。その状況の中で、この新しい生産スケジューリングは、その第一歩または準備対応と位置付けることができる。とりわけ中小企業においては、現状の生産スケジューリングはほぼ人手に頼る状況にあり、新しい生産スケジューリングは生産現場が自身の力でITの利活用により迅速かつ的確な生産意思決定を実現可能とするものである。そして、生産条件という「暗黙知」が「形式知」となり、生産組織で共有することにより、生産スケジューリングを誰がやっても同じ結果が得られることを可能とする。

さらに、生産設備が更新を迎え第4次産業革命による「ものづくり」革新が中小企業まで波及してきた段階において、それまでに生産組織で共有してきた知見を活用して、第4次産業革命による「ものづくり」革新が目指す生産の自動化が可能となるよう、さらに高機能な生産スケジューリングへと進化させることができると考える。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、ご指導いただきました先生方、事例研究およびアンケート調査にご協力いただきました企業関係者の皆様には、心より感謝申し上げます。これまでのご指導とご協力により研究成果を論文として纏めることができました。ここに、心より厚く御礼申し上げます。

指導教授としてご指導いただきました吉村英俊先生におかれましては、企業診断の視点により製造業が直面するの現実の問題と理論の両方からの的確なご指導をいただきました。王効平先生からは、マネジメント研究科から社会システム研究科の長期にわたり経営学視点により、とりわけ人間側面の問題についてご指導いただきました。藤村茂先生からは、スケジューリングおよびORについて学術的、技術的観点からご指導いただきました。故尹明憲先生には、研究を多面的に見つめ貴重なご助言をいただきました。奥山恭英先生には、研究に対する厳しくも暖かいご指導をいただき、論文のとりまとめにこぎつけることができました。そして、平成28年3月に定年退職なさいました越出均先生には、マネジメント研究科在籍時において本研究のきっかけとなる合理的意思決定の困難さに対する気づきと、意思決定を科学的捉えることの重要性をご指導いただきました。このように言い尽くすことのできない多くの先生方のご指導に対し、心より感謝申し上げます。

最後に、研究を暖かく見守ってくれた家族に感謝するとともに、研究中の平成28年8月に交通事故によりこの世を去った次男功治(行年36歳)にこの研究成果を捧げる。

(平成31年2月)

<参考文献>

*第2章

- [1] 経済産業省/厚生労働省/文部科学省編(2015)「第1部 第1章 第3節 製造業の新たな展開と将来像」『2015年版 ものづくり白書』経済産業調査会,156.
- [2] 経済産業省/厚生労働省/文部科学省編(2015)「第1部 第1章 第3節 1.(4)IoTがものづくりを変える」『2015年版 ものづくり白書』経済産業調査会,167-168.
- [3] 経済産業省/厚生労働省/文部科学省編(2015)「第1部 第1章 第3節 2.(1)①インダストリー4.0」『2015年版 ものづくり白書』経済産業調査会,181-193.
- [4] 経済産業省/厚生労働省/文部科学省編(2015)「第1部 第1章 第3節 2.(2)①インダストリアル・インターネット」『2015年版 ものづくり白書』経済産業調査会,193-195.
- [5] 経済産業省/厚生労働省/文部科学省編(2015)「コラム SAPのビジネスモデル」『2015年版 ものづくり白書』経済産業調査会,187.
- [6] 経済産業省/厚生労働省/文部科学省編(2015)「コラム 欧米における製造業のサービス業化の動き」『2015年版 ものづくり白書』経済産業調査会,180-181.
- [7] 経済産業省/厚生労働省/文部科学省編(2015)「コラム ロボット革命実現会議と『ロボット新戦略』」『2015年版 ものづくり白書』経済産業調査会,197-198.
- [8] “e-F@ctory Alliance” 三菱電機ホームページ,
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/fa/sols/alliance/index.html>, (参照 2016-01-22) .
- [9] “将来の工場に向けた「IoTファクトリーコントローラ」を開発” 三菱電機ホームページ,
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2015/0217-d.html>, (参照 2016-01-22) .
- [10] ITPro “製造業向け IoTビジネスが拡大、富士通やNEC、NTTデータなどが乗り出す” 日経テクノロジーonline 2015-06-26, <http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/column/14/346926/062400286/>, (参照 2016-01-22) .
- [11] 日経BP社編(2015)「特集1 インダストリー4.0は怖くない 1...動向編 サプライ工場もスマート化世界に先手を打つ日本企業」『日経ものづくり 2015年9月号』日経BP社,32-38.
- [12] 日経BP社編(2015)「Industry4.0に感化されたわけではない」『日経ものづくり 2015年9月号』日経BP社,116.

*第3章

- [13] 黒田充/村松健児(2002)『経営科学のニューフロンティア 11 生産スケジューリング』朝倉書店, 7-8 / 19-28.
- [14] 長尾 征洋,杉本 拓弥,森永 泰彦,佐野 充(2015)「人間環境学研究」『段取り作業者を考慮した生産スケジューリングへの多様性指向型多目的 GA の適用』 Society for Human Environmental Studies,1-12.
- [15] 貝原俊也/藤井信忠/酒井響平/梅田豊裕(2015)「生産システム部門講演会講演論文集」『209フレキシブル・フローショップを対象としたラグランジュ分解・調整法を用いたスケジューリング手法:機械割付アルゴリズムの一提案(生産スケジューリング・生産管理(2))』一般社団法人日本機械学会,83-84.
- [16] 和田拓己/荒川雅裕(2014)「生産システム部門講演会講演論文集」『101混流生産に対する生産性向上を目的とする工程設計法の開発:作業時間のバラツキとバッファ量による影響(OS4:生産スケジューリング・生産管理(1))』一般社団法人日本機械学会,15-16.
- [17] 江口元(2006)「化学工学論文集」『組合せ最適化によるバッチ反応機生産スケジューリング』 The Society of Chemical Engineers, Japan,500-506.

*第4章

- [18] Herbert A.Simon(1977),*revised edition The New Science of Management Decision*,Prentice-Hall(稲葉元吉/倉井武夫訳(1979)『意思決定の科学』産業能率大学出版部),53-110.
- [19] Herbert A.Simon(1997),*Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organizations, Fourth Edition*,The Free Press(二村敏子/桑田耕太郎/高尾義明/西脇暢子/高柳美香訳(2009)『新版 経営行動 ―経営組織における意思決定過程の研究』ダイヤモンド社),143-216.
- [20] Daniel Kahneman(2011),*Thinking Fast and Slow*,Brockman(ダニエル・カーネマン著,村井章子訳(2012)『ファスト&スロー あなたの意思はどのように決まるか 上』早川書房),29-157 / 159-287.

- [21] Daniel Kahneman(2011), *Thinking Fast and Slow*, Brockman(ダニエル・カーネマン著, 村井章子訳(2012)『ファスト&スロー あなたの意思はどのように決まるか 下』早川書房), 70-86.

*第6章

- [22] 中小企業庁編(2016)『2016年版中小企業白書 未来を拓く稼ぐ力』日経印刷。
[23] 総務省編(2017)『情報通信白書〈平成29年版〉データ主導経済と社会変革』日経印刷。
[24] 一般社団法人日本情報システム・ユーザー協会(JUAS)編(2017)『企業IT動向調査報告書2017』日経BP社。
[25] 独立行政法人情報処理推進機構(IPA)IT人材育成本部編(2017)『IT人材白書2017』独立行政法人情報処理推進機構(IPA)。
[26] 田中宏和(2013)『中小企業の情報化を促進する社会情報プラットフォームの提案』経営情報学会, 2013年春季全国研究発表大会セッション ID: H1-3
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jasmin/2013s/0/2013s_113/_pdf/-char/ja 2018.1.25 参照)
[27] 松島桂樹/高島利尚/岡田浩一/坂本恒之(2013)『中小企業のIT経営を推進する新たなイニシアティブ クラウドサービス推進機構の設立の意義ー』経営情報学会, 2013年春季全国研究発表大会セッション ID: E2-3
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jasmin/2013f/0/2013f_241/_pdf/-char/ja 2018.1.25 参照)
[28] 布施匡章/清水義生/寺西太亮(2013)『e-Kansai レポート2013と中小企業の情報化事例』経営情報学会, 2013年春季全国研究発表大会セッション ID: E
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jasmin/2013f/0/2013f_237/_pdf/-char/ja 2018.1.25 参照)
[29] 宮崎淳子/桜井秀之/藤原正樹/高力美由紀/手塚大(2014)『宮城県の中小水産加工業でのIT活用推進』経営情報学会, 2014年春季全国研究発表大会セッション ID: D2-2
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jasmin/2014s/0/2014s_121/_pdf/-char/ja 参照 2018.2.11)
[30] 赤穂満/福田豊(2012)『オープンソース・ソフトウェアによる中小企業における企業間ネットワークの実証研究』情報通信学会誌9巻(2011-2012)4号 p.4_31-4_45
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsicr/29/4/29_4_31/_pdf/-char/ja 参照 2018.2.11)
[31] 仲野友樹(2016)『中小企業における情報システムの導入状況と活用の実態についての研究』千葉商大論叢 p.171-189, 千葉商科大学国府台学会
(https://cuc.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=5234&file_id=22&file_no=1 参照 2018.2.11)
[32] 小川正博(2016)『中小企業の情報技術活用の課題と今後の展望』中央大学商学研究会, 商学論纂, 第57巻, 第5・6号, pp.53-84 (<http://ir.c.chuo-u.ac.jp/repository/search/binary/p/8741/s/6991/> 参照 2018.2.12)
[33] 経済産業省経済産業政策局産業再生課編(2016)『新産業構造ビジョン 第4次産業革命をリードする日本の戦略』経済産業調査会
[34] 西岡靖之(2015)「インダストリー4.0 中小企業にこそチャンスがある」『週刊東洋経済2015年11月7日号』東洋経済新報社, 90.
[35] 岩本晃一(2015)『インダストリー4.0 ドイツ第4次産業革命が与えるインパクトー』日刊工業新聞社, 132-133.
[36] 岩本晃一/井上雄介(2017)『中小企業がIoTをやってみた-試行錯誤で獲得したIoTの導入ノウハウ』日刊工業新聞社, 189.
[37] 中沢孝夫/藤本隆宏/新宅純二郎(2016)『ものづくりの反撃』筑摩書房, 121-171.
[38] 藤本隆宏(2017)『現場から見上げる企業戦略論 デジタル時代にも日本に勝機はある』KADOKAWA, 213-278.
[39] 光山博敏/中沢孝夫(2017)「インダストリー4.0の崩壊とその先にあるもの」『一橋ビジネスレビュー2017WIN』東洋経済新報社, 108-121.

*第8章

- [40] 日本政策金融公庫「IT活用促進資金」
(https://www.jfc.go.jp/n/finance/search/11_itsikin_m_t.html 参照 2018.2.26)
[41] 中小企業庁「平成29年度 中小企業庁支援策のご案内」
(<http://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/leaflet/l-2017/170407gijyutu.pdf> 参照 2018.2.26)
[42] 九州経済産業局「IoT関連支援施策について」
(<https://www.kiai.gr.jp/IoTWG/h29/PDF/keisan-go.pdf> 参照 2018.3.1)
[43] IoT推進ラボ「IoT推進ラボとは」、「IoT推進ラボの活動(支援内容)」

- (<http://iotlab.jp/jp/about.html> 参照 2018.3.1)
- [44] 北九州市 IoT 推進ラボ「北九州市 IoT 推進ラボについて」(<https://iotlab.jp/local/kitakyushu-city-iot/> 参照 2018.3.1)
- [45] 文部科学省「平成 29 年度大学教育再生戦略推進費 成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成 (enPiT) enPiT-Pro 公募要領」(http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2017/05/18/1383653_1.pdf 参照 2018.3.1)
- [46] 北九州市立大学「お知らせ 社会人向け！情報技術人材育成事業(enPiT-everi)の HP をオープンしました」(<https://www.kitakyu-u.ac.jp/news/detail/3617.html> 参照 2018.3.1)
- [47] 文部科学省「職業実践力育成プログラム (BP) について (概要)」(http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2015/07/31/1360257_3.pdf 参照 2018.3.2)
- [48] 文部科学省「専門職大学院制度の概要」(http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/senmonshoku/_icsFiles/afieldfile/2017/10/05/1236743_2.pdf 参照 2018.3.2)
- [49] 日刊工業新聞「ディスコ、全社員にプログラミング教育 スキル底上げ・業務効率化」2018 年 7 月 4 日電子版 (<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00479808/> 2018.7.4 参照)