

学位請求論文

産業共生及び Eco-industrial Park の比較分析手法の
提案と適用に関する研究

令和5年3月

北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科

環境システム専攻 環境生態システム

松本研究室

張 鉄家

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的と構成.....	8
参考文献	10
第2章 既往研究と本研究の位置づけ.....	12
2.1 既往研究	12
2.1.1 産業共生理論的な既往研究.....	12
2.1.2 EIP 国際比較に関する既往研究.....	12
2.1.3 EIP の影響要素に関する既往研究.....	13
2.1.4 EIP の駆動力に関する既往研究.....	14
2.1.5 地域産業共生に関する既往研究.....	14
2.1.6 産業共生のレビュー論文に関する既往研究.....	15
2.1.7 計量書誌学とネットワーク分析に基づいた産業エコロジーに関する既往研究.....	15
2.2 本研究の位置づけ.....	16
2.2.1 各用語の定義.....	16
2.2.2 本研究の位置づけ.....	16
参考文献	17
第3章 テキストマイニングによる過去 20 年間の産業共生研究の国際比較.....	20
3.1 諸言	20
3.2 研究手法	20
3.2.1 データ収集.....	20
3.2.2 データ分析.....	21
3.3 手法及びシステム境界に関する分析結果.....	22
3.3.1 定量的分析手法の組合せ.....	22
3.3.2 システム境界の時間的变化・国別差異.....	23
3.4 研究主題, 手法に関する比較結果.....	24
3.4.1 日本, 中国, ヨーロッパの比較.....	24
3.4.2 20 年間における変化.....	29
3.5 今後の動向	32

3.6 結果の考察	32
参考文献	33
第4章 EIPの国際比較を可能とする分析フレームの提案と適用	37
4.1 諸言	37
4.2 分析手法－分析フレームの提案	37
4.3 分析フレームを用いた結果	40
4.3.1 研究対象の概要	40
4.3.2 国際比較のフレームの適用	41
4.4 ステークホルダーマップ分析	48
4.4.1 ステークホルダーマップの作成	48
4.4.2 ステークホルダーマップの分析	51
4.5 結果の考察	52
参考文献	54
第5章 まとめと今後の課題	55
5.1 まとめ	55
5.2 今後の課題	57
謝辞	58
Appendix	59

第1章 序論

1.1 研究の背景

産業集積は顕著な経済効果をもたらす。世界の各地域に多くの産業集積地が形成されるとともに、グローバル経済が迅速的に発展されてきた。グローバル工業化の加速化は、自然資源の消費量増加のみではなく、産業活動で廃水、排気、廃棄物等も大量に発生されている。それが経済発展の支障となると同時に、環境汚染も顕著となる。例えば、産業廃棄物の不適切な処理、空気汚染、水質汚濁等が挙げられ、人間の健康に脅かされる。特に、先進国で発生された公害問題がある。代表的な公害問題は、例えば、ロンドンスモッグ、四日市ぜんそく、イタイイタイ病等が挙げられる。環境汚染の改善や環境負荷の低減等の配慮が必要であり、産業発展の思想の改善が緊急となっている。

1980年代に、持続可能な発展（Sustainable development）概念が生まれ、環境保全と経済発展を両立することを示すものである。そして、1989年にFroschとGallopoulosらは、産業エコロジーシステムを提示した。産業エコロジー学は産業システムと自然生態系の類比を利用することで産業の環境改善のポテンシャルを理解させようとしている¹⁾。産業エコロジー概念は持続可能な社会に向けた最適化を進めていこうというものである。そこから、産業エコロジーの分野が発展してきた^{2),3)}。Cohen⁴⁾は、「自然循環は、物質とエネルギーの生産効率を再考する強力な比喩であり、自然は1つではなく多くの循環を示している」とした。「これらの循環は、互いに交差することもあり、あるいはしない場合もある」と述べた。Chertow⁵⁾は、「産業エコロジーは汚染を空気、水、土地の多くの問題に区分することではなく、持続可能性の追求の一環として、環境と経済のより包括的な統合をもたらす」と指摘した。また、Chertowは、「産業共生は産業エコロジーの一部であり、伝統的な独立する産業を集团的に競争優位を獲得させ、物質、エネルギー、水、副産物の物理的な取引を含めている。産業共生の鍵はコラボレーションと地理近隣性による相乗効果である」としている。また、EIPは産業共生概念の具体的なものだ⁶⁾。代表的なEIPとして有名なモデルは、デンマークのKalundborgである⁷⁾。

1.1.1 デンマークのKalundborg

産業共生パターンはデンマークをはじめに、沿岸部の産業都市であるKalundborgのEIPで十分に実現された。Kalundborg EIPの主な産業は製油所、発電所、石膏ボード製造と製薬工場がある。廃棄物、エネルギーを利用して、副産物を原料化する。該当地域以外の企業も副産物を原料化する取引に参加する。過去の数十年間に、企業間の共生関係が徐々に進化してきた（表1.1）。

表 1.1 Kalundborg の発展年表

Year	Action
1959	Asnaes power station commissioned
1961	Statoil refinery commissioned; water piped from Lake Tissø
1972	Gyproc A/S built; gas piped from Statoil
1973	Asnaes expands; draws water from pipeline
1976	Novo Nordisk begins shipping sludge to farmers
1979	Asnaes begins to sell fly ash to cement producers
1981	Asnaes produces heat for Kalundborg Kommune
1982	Asnaes delivers steam to Statoil and Novo Nordisk
1987	Statoil pipes cooling water to Asnaes
1989	Novo Nordisk switches from Lake Tissa to wells
1990	Statoil sells molten sulfur to Kemira in Jutland
1991	Statoil sends treated waste water to Asnaes for utility use
1992	Statoil sends desulfurized waste gas to Asnaes
1993	Asnaes supplies gypsum to Gyproc

引用：John, Ehrenfeld, Nicholas and Gertler: Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at kalundborg, Journal of Industrial Ecology, 1997.

Kalundborg EIP の形成は環境にやさしくするという計画がなく、企業らにはできる限り厳格な環境基準によるコストを削減すること、副産物を経済的に活用することのみを試みた (図 1.1)。発電所は製薬工場と製油所に蒸気を輸送する。それによって、周辺に排出する熱汚染が削減された。また、発電所は石膏ボード製造工場に三分の二の石膏ボードを提供する。さらに、発電で発生した残渣、灰等を道路建設やセメントの産業者に販売する。Kalundborg EIP の淡水資源が乏しいことによる水資源の再利用計画が立てられた。1987 年以来、製油所は毎年発電所に冷却水を輸送し、浄化後ボイラー給水として使用する。また、製油所は発電所に処理された廃水を提供する。発電所と製油所の数マイル近くに製薬工場がある。1976 年以来、製薬工場は生産過程で発生した汚泥が熱処理を経て残りの微生物を消滅する。その後、全国各地域に輸送する。製薬工場の汚泥を直接に海に排出することが禁止される規制により、汚泥は肥料として配布することがコスト最低である^{8,9)}。

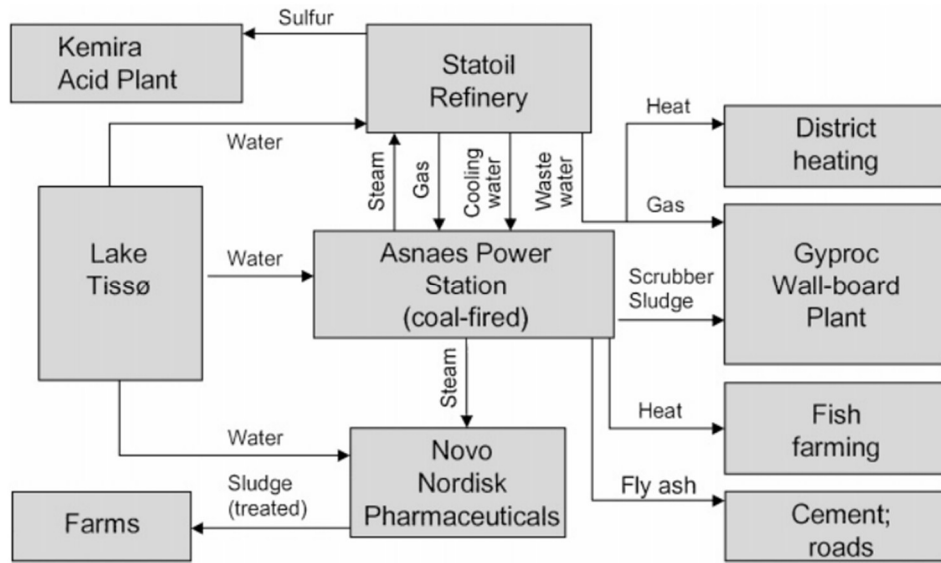


図 1.1 デンマークの Kalundborg の産業共生

引用：Chertow, M.R.: Industrial symbiosis: literature and taxonomy, Annual Review of Energy & the Environment, 2000.

1.1.2 代表地域の EIP 戦略

地球温暖化、資源やエネルギー危機、廃棄物、汚染などの世界的な環境問題の緩和、持続可能な発展の実現のために、世界の多くの国は産業エコロジーの理論に基づいて各国独自の EIP 戦略を打ち出した。例えば、日本は、エコタウンプロジェクト、地域循環圏と地域循環共生圏の概念を発展戦略としている。中国は、循環経済概念を発展戦略としている。ヨーロッパは、循環経済アクションプラン¹⁰⁾を発展戦略としている。

日本のエコタウン事業は、地域の産業集積を活かし、環境産業の振興を通じて、地域振興及び地域の独自性を顧慮しつつ、廃棄物の発生抑制やリサイクルの推し進めるによる資源循環型経済社会の構築を目的に、地方自治体が、地域住民や地域産業と連携しつつ、取り組む環境調和型地域開発を支援するものである¹¹⁾。平成 17 年度までに全国で 26 地域を承認された (図 1.2)。

2008 年に、第二次循環型社会形成推進基本計画閣議決定で地域循環圏概念 (表 1.2) が登場された。地域循環圏は、「地域の特性や循環資源の性質に応じて、最適な規模の循環を形成することが重要であり、地域で循環可能な資源はなるべく地域で循環させ、地域での循環が困難なものについては循環の環を広域化させることにより、重層的な循環型の地域づくりを進めていく」という考え方である。また、平成 27 年に、採択された持続可能な開発目標のゴール 12 では「持続可能な消費と生産」を掲げており、地域循環圏を構築することの重要性はさらに増加した¹²⁾。その次、2018 年に、第五次環境基本計画閣議決定で地域循環

共生圏概念が登場された。地域循環共生圏は、地域循環圏の考え方と、生態系サービスの需給でつながる地域や人々を一体としてとらえ、連携や交流を深めて相互に支えあっていく自然共生圏の考え方を含むものであり、地域資源の活用を促進することで、低炭素も達成するという概念である¹³⁾。

表 1.2 エコタウン関連年表

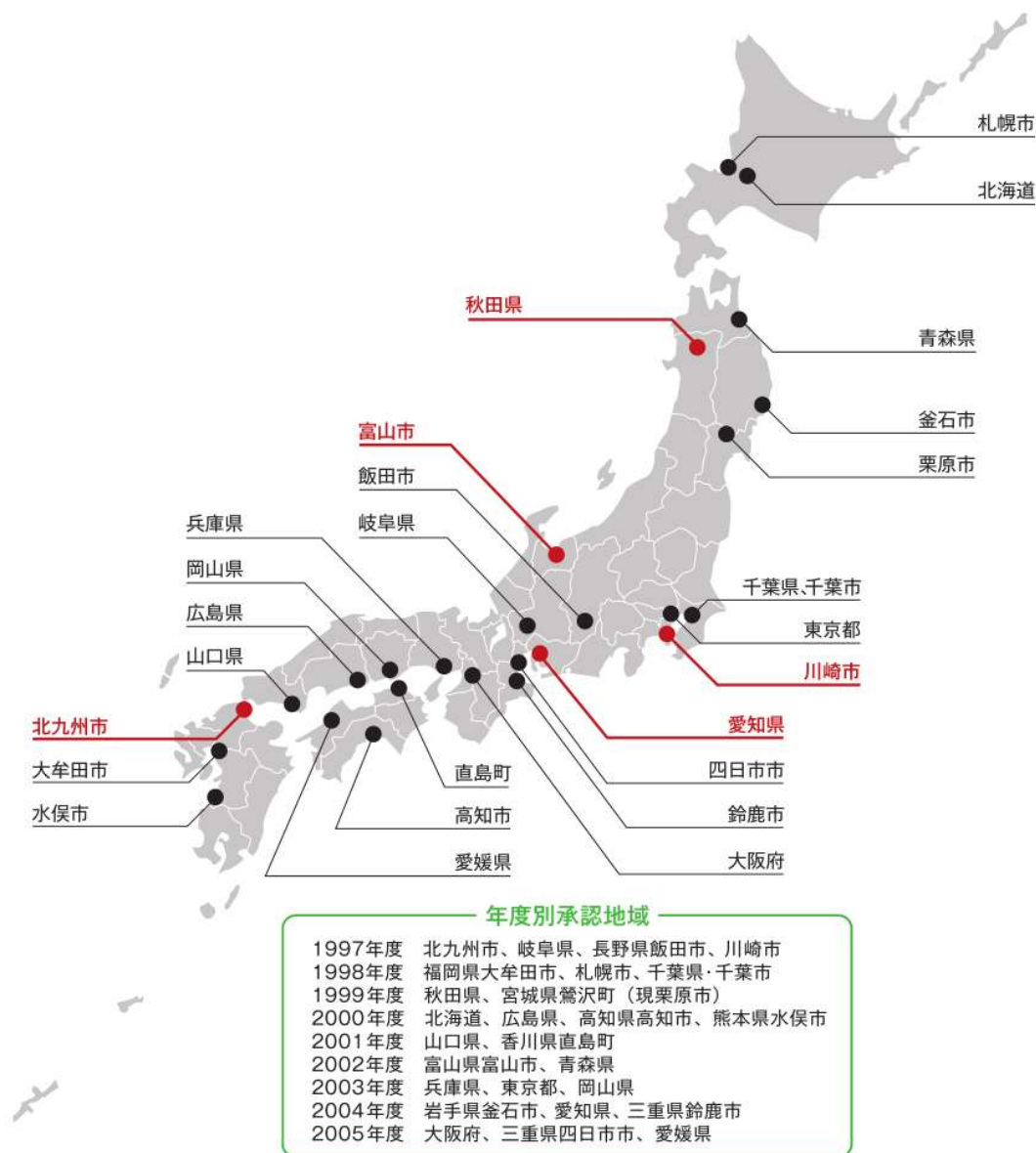


図 1.2 エコタウン承認地域マップ

引用：環境省 環境再生・資源循環 エコタウンの歩みと発展

<https://www.env.go.jp/recycle/ecotown/index.html>

年	日本エコタウン関連の動き	環境省によるそのほかの政策
1970年代		廃棄物処理法制定（1970年）
1980年代		広域臨海環境整備センター法制定（1981年）
1990年代	リサイクルマインパーク構想（1995年度～998年度） エコタウン地域承認開始（1997年）	容器包装リサイクル法制定（1995年） 家電リサイクル法制定（1998年） ダイオキシン類対策特別措置法（1999年） 日中韓三カ国環境大臣会合開始（1999年）
2000年代	リサイクルポートの指定開始（2002年） 海外都市へのエコタウン協力の開始（2007年） 環境モデル都市選定（第一次）（2008年）	循環型社会形成推進基本法制定（2000年） グリーン購入法制定（2000年） 建設リサイクル法制定（2000年） 食品リサイクル法制定（2000年） PCB 特別措置法制定（2001年） 自動車リサイクル法制定（2002年） 第一次循環型社会形成推進基本計画閣議決定（2003年） 第二次循環型社会形成推進基本計画閣議決定（2008年） （「地域循環圏」の登場）
2010年代	全国エコタウン会議の開始（2010年） 既存施設の高効率利用モデル事業開始（2011年） 環境未来都市選定（第一次）（2011年） エコタウンの低炭素化に関する FS 支援事業開始（2014年） SDGs 未来都市の選定（2018年）	小型家電リサイクル法制定（2012年） 第三次循環型社会形成推進基本計画閣議決定（2013年） 第五次環境基本計画閣議決定（2018年）（「地域循環共生圏」の登場） 第四次循環型社会形成推進基本計画策定（2018年）

引用：環境省：環境再生・資源循環，エコタウンの歩みと発展

<https://www.env.go.jp/recycle/ecotown/index.html>

中国は、1984－1988年間、沿岸部の港湾都市である、大連、天津、青島、上海、広州等の地域で国家レベル経済技術開発区を建設された。1992年から、国家レベルハイテク産業開発区の建設を始めた。2004年8月まで、各種開発区は6866箇所、その中に、国家国務院に

批准された開発区は 171 箇所、省レベル政府に批准で設立された開発区は 1094 箇所、市県郷政府等で設立された開発区は 5601 箇所がある。2003 年から、中国政府は開発区を対象とした整理整頓がはじめられた。4 年間に経て、廃止や合併を通じて、4813 箇所の開発区がクリーンアップされた。中国商務部で公布された「中国開発区四至範囲公告目録(2006 年版)」に、222 箇所国家レベル開発区と 1346 箇所省レベル開発区が批准された。2011 年末に、国家レベル経済技術開発区は 128 箇所があり、国家レベルハイテク産業開発区は 88 箇所がある。しかし、中国開発区は迅速発展の過程で環境問題が現れた。生態工業園区の設立は工業園区の環境問題の解決の方策となり、中国の開発区の転換と地域経済の持続発展を可能となる 1 つ重要なルートと言える¹⁴⁾。生態工業園区は循環経済理念、エコ産業学及び清潔生産理論に基づいて、計画建設された産業園区である。2001 年から、広西貴港市でサトウキビ製糖エコ産業システムの計画と建設を始め、エコ産業建設のモデル園区として国家環保部門に批准された。そこから、国家レベルの生態工業園区の建設が本番にスタートした。2007 年 4 月に、国家環保局、商務部及び科技部らは「国家生態工業モデル園区建設工作の通知」(表 1.3)を公布した。3 つ部門を連合して、国家レベル経済技術開発区と国家ハイテク産業開発区で、国家生態工業園区の建設事業を展開している¹⁵⁾。2017 年 1 月までに、全国で 93 地域の開発区は国家生態工業園区を認定された¹⁶⁾。

表 1.3 主要な循環経済政策と生態工業園区政策

2002	清潔生産促進法
2003	国家生態工業園区の申告、名付けと管理規定(試行)と企画ガイドライン
2005	國務院循環経済加速発展の若干意見に関して
2006	十一五循環経済発展計画
2006	国家生態工業園区管理弁方(試行)
2006	行業類、総合類と静脈産業類三種生態工業園区の技術標準(試行)
2007	国家生態工業園区建設工作の通知
2008	循環経済促進法
2011	十二五循環経済発展計画
2013	循環経済発展戦略及び直近行動計画
2016	十三五循環経済発展計画
2021	十四五循環経済発展計画

引用：中華人民共和国国家發展と改革委員会：国家發展改革委循環経済発展計画通知の配布に関して

https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202107/t20210707_1285527.html?code=&state=123

中華人民共和国中央人民政府：國務院循環経済発展戦略及び直近行動計画通知の配布に関して http://www.gov.cn/gongbao/content/2013/content_2339517.htm

石磊, 王震: 中国生態工業園区の発展 (2000-2010 年), 中国地質大学学報: 社会科学版, 10 (4), 7, 2010.

田金平, 劉巍, 李星, 賴玢潔, 陳呂軍: 中国生態工業園区発展パターン式の研究, 中国人口資源と環境, 22 (7), 2012.

ヨーロッパでは, 2015 年に, ヨーロッパ委員会は循環経済アクションプランを決定された。循環経済へ転換の推進, グローバル競争力の向上, 持続可能な経済成長の促進と雇用機会の創出を包括する。本アクションプランは具体的なアクションが制定され, 措置がすべてのライフサイクルにカバーされて: 生産と消費から廃棄物管理と二次原材料市場まで, 及び修正後の廃棄物立法の提案が含まれる。リサイクルとリユースの強化を通じて, 製品のライフサイクルの循環を閉鎖し, 環境と経済に効果をもたらす。2019 年までに, 54 項アクションが実施され, その中のいくつか 2019 年以降に続く。2020 年 3 月に, 委員会が新循環経済アクションプラン (CEAP) が決定された。ヨーロッパは循環経済への転換が自然資源負荷の削減, かつ, 持続可能な発展と雇用機会を創出する。これもヨーロッパ 2050 年までに気候中立目標と生物多様性保全を実現する先決条件である。新たなアクションプランは製品のすべてライフサイクルと関連がある措置を声明した。製品のデザイン方式を狙い, 循環経済の進展を促進し, 持続消費を励む。また, 持続可能な製品はヨーロッパの規範となされ, 資源消費量や循環ポテンシャルが高い行業に注目する。例えば, 電子と情報通信技術, バッテリーと自動車, 包装, プラスチック, 建築物, 食品等がある。委員会がアクションプランの 35 項を実施する予定である。表 1.4 に実施した措置と実施予定がある措置を示している^{10, 17)}。

表 1.4 実施した措置と実施予定がある措置

December 2015	European Commission adopted the first circular economy action plan
November 2016	Adoption of the Ecodesign Working Plan 2016-2019
January 2018	Commission adopted circular economy package
July 2018	the revised legislative framework on waste enters into force
March 2019	Commission adopted the final circular economy package
June 2019	Revised fertilisers regulation enters into force
July 2019	Directive on single-use plastics enters into force
October 2019	Adoption of 10 Ecodesign implementing regulations
December 2019	European Commission adopted European Green Deal
11 March 2020	European Commission adopted new circular economy action plan
December 2015	European Commission adopted the first circular economy action plan
11 December 2019	European Commission adopted European Green Deal

11 March 2020	European Commission adopted new circular economy action plan
10 December 2020	European Commission adopted a proposal for a new regulation on sustainable batteries
22 February 2021	Global Alliance on Circular Economy and Resource Efficiency (GACERE) launched
28 October 2021	European Commission adopted proposal to update rules on persistent organic pollutants in waste
17 November 2021	European Commission adopted proposal for new rules on waste shipments
30 March 2022	European Commission adopted package of measures proposed in the circular economy action plan
5 April 2022	European Commission adopted proposals for revised EU measures to address pollution from large industrial installations
30 November 2022	European Commission adopted measures proposed in the circular economy action plan
2023	Adoption of several initiatives under the action plan

引用：European Commission Environment : First circular economy action plan

https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en

European Commission Environment : Circular economy action plan

https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

これまで述べたように、自然資源の消耗や環境負荷を削減するため、エコ産業の発展は極めて重要である。産業共生は持続可能な発展の1つのツールとして、世界的に広く注目されている。ただし、それに関する研究は今まで20年間ぐらい発展してきたから、また不十分などころはいくつがあり、これから展開のポテンシャルも大きいと考えられる。研究事例において、例えば、欧米、中国、日本、韓国、オーストラリア、ブラジル、インド、エジプト、トルコなどのおよそ50カ国の事例が挙げられるものの、しかし、多くの事例研究がヨーロッパやアジアに集中している。そして、アジアで、最も代表的な国は日本と中国である。

1.2 研究の目的と構成

1.2.1 研究の目的

産業共生の国際比較は本研究の目的である。具体的には、日本、中国、ヨーロッパにおける過去20年間の産業共生研究の主題、手法の比較、研究動向の分析を行い、産業共生の実践であるEIPの国際比較フレームを提案し、国際事例である日本北九州エコタウン、天津TEDAとZIYA EIPを適用し、それらの特徴を考察する。

1.2.2 本論文の構成

本論文は、上記の目的に即した研究成果をまとめたものであり、全5章は、図1.3のとおり構成されている。

第1章では、研究の背景について論じ、本研究の目的と構成を述べた。

第2章では、産業共生に関して、産業共生理論的な既往研究、EIP国際比較に関する既往研究、EIPの影響要素に関する既往研究、EIPの駆動力に関する既往研究、地域産業共生に関する既往研究、計量書誌学とネットワーク分析に基づいた産業エコロジーに関する既往研究をレビューしたうえで、本研究分野の現状を明らかにした。その後、既往研究の不足点等を議論して、本研究の位置づけを明確にした。

第3章では、産業共生分野の20年間の事例研究について、まずこれまで応用された定量手法の組合せの頻出度から、影響力が高い手法、関心面に対する分析アプローチを検討した。そして、事例研究の対象地域によるシステム境界の20年間の研究変化と事例研究の国別の差異について分析した。次いで、テキストマイニングを応用することで、日本、中国、ヨーロッパの事例研究の研究主題、手法の共通点と差異を分析した。さらに選択した全体文献における20年間の変化を分析して、差異を明らかにした。最後に、産業共生分野における今後の展開について論じた。

第4章では、2章でレビューした産業共生及びEIPに関する文献から、EIPの駆動力及び主要な影響要因を抽出し、国際比較分析を行う二次元の分析フレームを提案した。そして、提案した国際比較フレームを応用して、日本と中国の3つのEIP（北九州エコタウン、天津TEDA生態工業園区、天津ZIYA生態工業園区）を事例として、分析フレームの適用性を示した。さらに、ステークホルダーマップを応用し、3つのEIPの物質、エネルギー、水、一般廃棄物、知識、技術、人などの利害関係者との連携実態を見える化した。これらの結果に基づいて3つのEIPの共通点、相違点、特徴を考察した。

第5章では、本研究で得られた知見を総括するとともに、結論と課題について述べた。

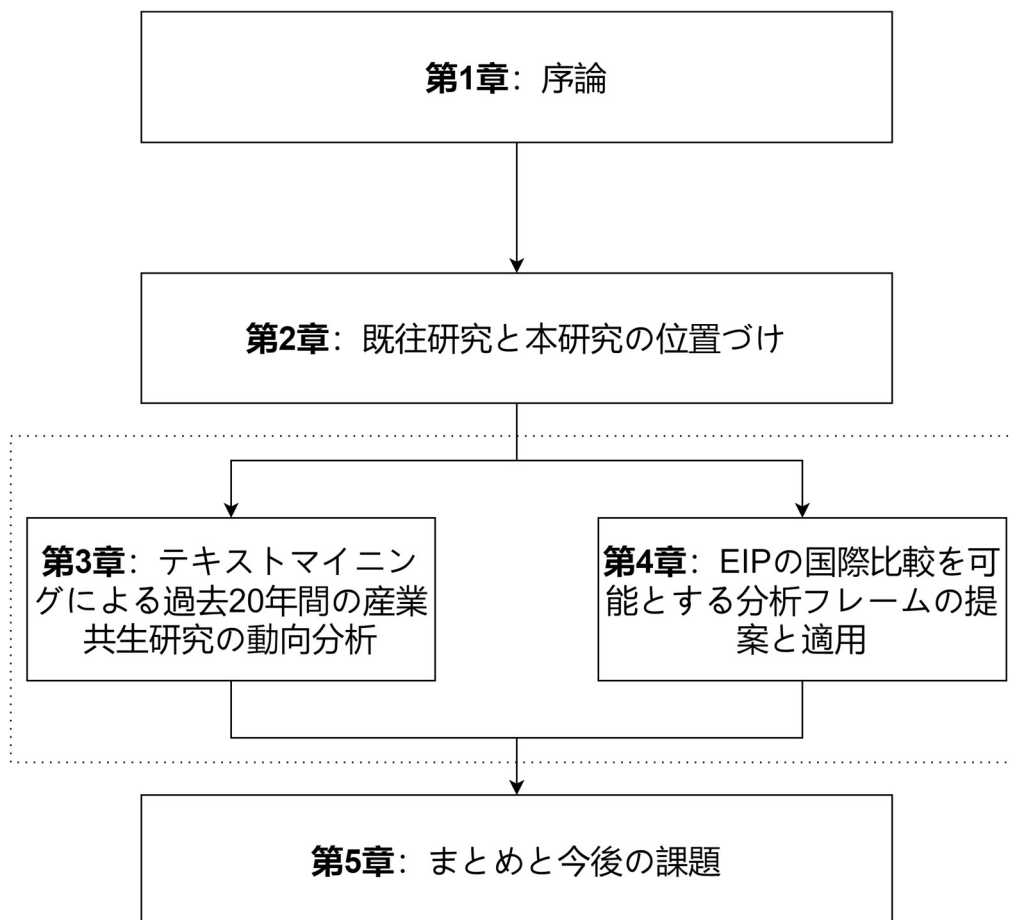


図 1.3 本研究の構成図

参考文献

- 1) Robert, A, Frosch & Nicholas, E, Gallopoulos.: Strategies for manufacturing, Sci Am, 261(3), 144-152, 1989.
- 2) R.Coté, & J ,Hall.: Industrial parks as ecosystems, Journal of Cleaner Production, 3(1-2), 41-46, 1995.
- 3) Lowe, E. A.:Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks, Journal of Cleaner Production, 5(1-2), 57-65, 1997.
- 4) Edward Cohen-Rosenthal: Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action, Journal of Cleaner Production, 2004.
- 5) Chertow, M.R.: Industrial ecology in a developing context, Springer Netherlands, 2008.
- 6) Chertow, M.R.: Industrial symbiosis: literature and taxonomy, Annual Review of Energy & the

Environ-ment, 2000.

- 7) John, Ehrenfeld, Nicholas and Gertler: Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at kalundborg, Journal of Industrial Ecology, 1997.
- 8) Chertow, M.R.: Industrial symbiosis: literature and taxonomy, Annual Review of Energy & the Environment,2000.
- 9) John, Ehrenfeld, Nicholas and Gertler: Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at kalundborg, Journal of Industrial Ecology, 1997.
- 10) European Commission, E.C., 2015. Closing the loop - an EU action plan for the circular economy. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
- 11) 経済産業省・九州経済産業局：エコタウン事業の概要, <https://www.kyushu.meti.go.jp/seisaku/recycle/ecotown.html>
- 12) 地域循環圏形成の手引き～地域内にある循環資源の利用拡大に向けて～, <https://www.env.go.jp/content/900532540.pdf>
- 13) 地域循環共生圏形成に向けて, <https://www.env.go.jp/content/900532451.pdf>
- 14) 田金平, 劉巍, 李星, 賴玢潔, 陳呂軍：中国生態工業園區發展パターン式の研究, 中国人口資源と環境, 22 (7), 2012.
- 15) 石磊, 王震：中国生態工業園區の發展 (2000－2010 年), 中国地質大学学报：社会科学版, 10 (4), 7, 2010.
- 16) 中華人民共和国生態環境部：国家生態工業園區リスト通知の公布に関して, https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201702/t20170206_395446.htm
- 17) European Commission Environment : Circular economy action plan, https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

第2章 既往研究と本研究の位置づけ

2.1 既往研究

2.1.1 産業共生理論的な既往研究

産業共生の理論的な研究について、Frosch と Gallopoulos¹⁾は、産業エコロジーの概念を、「ある産業プロセスで発生した廃棄物を、別の産業プロセスの原料として使うことで、産業の環境影響を削減すること」とした。Chertow²⁾は、「産業エコロジーは施設レベル、企業間レベル及び区域あるいはグローバルレベルに焦点を当てることを可能とする。産業共生は、さまざまな組織間の交換オプションが含まれるため、企業間レベルで発生する」。Lowe ら³⁾は、「エコ産業開発 (EID) は、エネルギー、水と素材を含む環境と資源問題の共同管理を通じて、環境改善と経済効果を求める製造業とサービス業のコミュニティ」と解釈した。「協力を通じて、企業コミュニティは、各企業が個々のパフォーマンスのみを最適化することで実現する個々の利益の合計より、大きい集合的な利益を求めている」とした。Cote ら⁴⁾は、この定義に人と社会レベルを加えた。「EID の定義と実施において起こるであろう進化と成熟はまだ存在するが、複層的な有機的關係が含まれることは明白である」と指摘した。この有機的關係には、企業だけでなく、コミュニティ、多様な物質（さらにエネルギー）、多様な關係が含まれる。共生關係は、まず2つの施設間の1つの物質、例えば温水の連携から開始するとしても、エコ産業開発、あるいは産業エコシステムは、最終的には必ず1つのネットワークやウェブ（網）になることを示した。Cohen⁵⁾は、「自然循環は、物質とエネルギーの生産効率を再考する強力な比喩であり、自然は1つではなく多くの循環を示している」とした。「これらの循環は、互いに交差することもあり、あるいはしない場合もある」と述べた。Chertow⁶⁾は、「産業エコロジーは汚染を空気、水、土地の多くの問題に区分することではなく、持続可能性の追求の一環として、環境と経済のより包括的な統合をもたらす」と指摘した。

2.1.2 EIP 国際比較に関する既往研究

EIP の国際比較を試みた論文としては、例えば松本ら⁷⁾は、中国青島市資源循環拠点と北九州エコタウンの国際的な比較研究を行った。比較の視点としては、外部環境、立地・運営支援、実績、波及効果とした。Liu ら⁸⁾は、国レベルの EIP 政策と個別の EIP を対象に、日中韓の国際比較を行った。EIP の規模、背景、政策、効果、経験に関する情報の分析を通じて、3 か国の EIP の進展の特徴を明らかにした。Liu ら⁹⁾は、SWOT 手法を用いて、中国、韓国、タイの EIP プロジェクトを分析し、成功要因と阻害要因を考察した。Costa ら¹⁰⁾は、共生ネットワークの発展における立法と政策の文脈、および EU における廃棄物指令 (EU

Waste Directive) の実施に対する産業共生 (Industrial Symbiosis: IS) の潜在的貢献の分析を行った。「潜在的な影響要素として、廃棄物管理面の柔軟な規則 (主に準国家レベル)、全国的に展開される強力な廃棄物管理オプションとしての経済的・規制的手法がある」とした。自主的な手段は、企業に対して廃棄物処理の経済的実行可能な代替案を特定するための情報と促進支援を提供できる可能性がある。Shi ら¹¹⁾は、産業共生とビジネスモデルを明確にし、世界の産業共生モデルを比較するための指標として、主要アクター、コアコンピテンシー、資金フローの3つの指標を特定した。次に、デンマーク、米国、イギリス、日本、韓国、中国を対象に、政府主導型モデルから自己組織化モデルまで分類を行った。Boons ら¹²⁾は、国際的な比較分析を行うための概念と理論的枠組みを提案した。枠組みは、産業共生がプロセスであることを強調し、産業共生に関する様々な用語の調査、産業共生のダイナミクスの類型の提供、鍵となる研究主題の設定の3つを通じて、比較研究の障害に対処することを試みた。

2.1.3 EIP の影響要素に関する既往研究

産業共生の影響要素 (主に成功要因、阻害要因、強みと弱み、駆動力を含む) に関する研究は、成功要因については、例えば Fang ら¹³⁾は、「中国のエコ産業開発において、産業チェーンとウェブを含む閉ループが、技術的な鍵あるいは成功を主導する核となる」と述べている。中国の EIP のケーススタディを通じて、政府の役割、発展の戦略、政策と法律、国際協力、学術研究とその応用、情報システム、教育、財政インセンティブ等の役割を議論した。Liu ら⁹⁾は、「成功要因は完全な政策システム、安定的財政支援、コミュニケーション、利害関係者の理解と参加である」とした。阻害要因については、政策体系、技術、産業ネットワークとリサイクルの経済的利益、サプライチェーンの上・下流である。Wang ら¹⁴⁾は、事例研究を通じて、政府は重要な役割を果たしており、EIP プロジェクトの発展において多様な機能を発揮していることを明らかにした。EIP プロジェクトの成功のためには、全体的、経済的、社会的、技術的側面を含む多くの考慮が必要であることを示した。

成功と阻害要因については、例えば Geng ら¹⁵⁾は、中国で産業共生を適用する優位性と障壁について分析した。「エコ産業開発実施の主なメリットは、法律的支持の枠組み、財政支援、競争力である。障壁は、活用可能な政策・制度、経済的手段、情報システム、人材育成の不足である」とした。Sakr ら¹⁶⁾は、世界のエコ産業開発プロジェクトの文献をレビューし、「確認された重要な成功と阻害要因は、共生的ビジネス関係、経済的付加価値、意識と情報共有、政策と規制の枠組み、機構と組織の設置、技術要素である」とした。Park ら¹⁷⁾は、韓国 EIP プロジェクトの成功要因と阻害要因を、技術的要素、経済的要素、法律・制度的要素、社会的要素に分けて考察した。Xing ら¹⁸⁾は、中国の EIP の成功要因と失敗要因を分析した。法律・規則、政府の政策ガイダンスと広報、企業の参加が成功要因であり、従業員の意識と関与と市民の EIP に対する意識の欠如、さらに地方政府における都市の成長、環

環境保護、産業共生の全体計画を意識した科学的見地の欠如が失敗要因として提示した。

2.1.4 EIP の駆動力に関する既往研究

駆動力については、例えば Yu ら¹⁹⁾は、「経済的利益は、主に厳格な環境基準、税制優遇、素材の代替効果、財政的支援から生じ、それは利害関係者が産業共生に参加する際の重要な駆動力である」とした。「産業共生の推進における政府の役割は、厳格な環境基準の策定、資源の総合的利用スキーム、財政的支援、循環経済及びエコ産業団地（生態産業園区：EIP）の計画ガイダンス策定である」と指摘した。Shi ら²⁰⁾は、歴史的視点から中国 Guitang EIP の産業共生変化の駆動力を分析した。特に、これらの変化は、中国の経済と制度の影響を受けた。得られた知見として、組織化された研究開発と技術主導のリーダーシップが Guitang のイノベーションの駆動力であることを明らかにした。

また、Shi ら²¹⁾は、技術的発展への依存性、実験ための空間、中心的推進者としての政府、地域への定着の4つが、EIP モデルチェンジの重要な要素であることを提示した。Chang ら²²⁾は、EIP の変革と発展に影響する5つの重要な活動として、制度的活動、技術的促進、経済的・金融的促進要素、情報活動、事業者の活動であるとした。

2.1.5 地域産業共生に関する既往研究

ここで、EIP 内の産業共生と地域産業共生（regional industrial symbiosis）を意識的に区別してレビューする。地域産業共生は Mirata ら²³⁾により、以下のように定義されている。つまり、産業共生概念を特定の場所から（例えば EIP）、地域レベルまでに拡大して応用することである。Chertow の産業共生の定義では、さらに「地域活動の中で長期的な共生関係を持っている活動の集合とする。物質、社会、人、技術、知識などの資源交換を含めて、環境と競争効果も同時に提供する」とされている。EIP に基づいた地域産業共生に関する研究としては、Lyons ら²⁴⁾は、テキサス州の回収、再製造、回収再製造、廃棄物処理事業者の位置と物質フローの分析を通じて、各種廃棄物の地理範囲とクローズドループの問題を考察した。その結果、クローズドループを組織的に形成するための適したスケールは存在せず、関係する企業の取引を規定する空間経済理論によって支配されるものであることを示した。Van Behkel ら²⁵⁾は、川崎市の産業共生を対象に定量的に評価した。都市と産業共生の総合的効果に特徴があり、循環型社会の立法的枠組みと、エコタウン政策を通じて政府の補助金を得ることが産業共生の実現に効果的であったことを指摘している。藤山ら²⁶⁾は、北九州エコタウンについて、物質の入出力データを物質別・距離帯別に分析することで、資源循環圏におけるエコタウンの役割について考察した。エコタウンを中心に地域産業共生関係の変化を考察する研究は、鶴田ら²⁷⁾は、同じく北九州エコタウンを対象に、物質収支や輸送距離、天然資源削減率、エネルギー消費効率、最終処分回避率などの指標を用いた分析を行っ

た。本田ら²⁸⁾は、北九州エコタウンの5年間隔10年間の物質フローの変化をもとに、物質フロー、CO₂削減量の変化とその要因分析、エリア内外の事業者連携の構造変化を分析した。

2.1.6 産業共生のレビュー論文に関する既往研究

産業共生に関するレビュー論文において、産業プロセスの変革に関するレビュー論文は、例えば、大西ら²⁹⁾は、産業共生と都市共生という概念について既存研究を体系的に分析・論述した。具体的には、理論研究、実施計画、形成要因に関する研究に関する既往研究の分析を行う。また、日本と中国での産業共生政策の推進と研究成果の比較分析を行い、研究の課題と今後の展開を論じた。産業共生の障害及び成功・失敗要素に関するレビュー論文は、例えば、Lindaら³⁰⁾は、既存研究の内容分析と障害のグルーピングをすることで、産業共生の障害を全面的に概論し、400個障害を確定した。3つ種類に分類され、9つのサブクラスに分類された。見解としては、戦略やツールの策定による産業共生実践を展開と推進することで、既存の障害を克服することである。Luca³¹⁾は、産業共生を実施した都市レベルに関する論文をレビューし、2009–2018年間の26本論文において、研究の具体的な目標、都市レベルで実施したインフラサービスの協働作用、都市レベルでインフラサービス実施の障害と促進要素について分析した。また、これからの課題を提出した。産業共生の手法及びツールに関するレビュー論文は、例えば、Musaら³²⁾は、既存研究のInSysツールに関する研究をレビューした。関係方法と応用の分析を通じて、各種の資源最適化ツールを整合し、生態産業園区的设计と建設に応用する。これらのツールはPinch analysisや数学モデリング最適化に基づいた方法を含めている。そして、最適化ツールを考察することで、将来の研究方向と展開を確定した。Melissaら³³⁾は、産業共生を分析するモデリング方法をレビューし、それらのシミュレーション方法、相互作用メカニズムとシミュレーションソフトウェアの特徴を研究した。結果として、ABMに基づいたシステム動力学は産業共生の設計と分析において適切な方法である。計量書誌学に関する研究等がある、具体的は、次節2.7に記述する。そのほかとしては、例えば、産業共生の環境・経済・社会効果の方法と指標³⁴⁾に関するレビュー論文、知識共有とICT技術の役割を重視した産業共生³⁵⁾に関するレビュー論文、政策の介入と産業共生の促進に関するメカニズム、政策は産業共生を促進する役割の解明³⁶⁾に関するレビュー論文等がある。

2.1.7 計量書誌学とネットワーク分析に基づいた産業エコロジーに関する既往研究

計量書誌学とネットワーク分析に基づいた産業エコロジーに関する既往研究は、例えばHuangら³⁷⁾は、Web of Science (core collection) databaseからデータを検索する。検索期間は1984年から2017年までであり、産業共生に関する既往研究の170本論文を確定した。計量

書誌学と社会ネットワーク分析 (SNA) に基づいた共起ネットワーク分析を行い、4つ主題を確定した。Meisam ら³⁸⁾ は、Web of Science database から962本論文を確定し、計量書誌学、テキストマイニング及び内容分析を用いて、2001年から2020年まで、過去20年間において、循環経済を背景とする廃棄物マネジメントの顕著となる研究主題と動向、主要な特徴、進化等を分析した。最後、7つ主題を確定した。Reza ら³⁹⁾ は、Scopus から1997年から2019年まで112本論文産業共生に関する論文を研究対象とした。社会ネットワーク分析 (SNA) と Gephi を用いて、キーワードの共起関係を通じて、6つ主題を確定した。Guillermo ら⁴⁰⁾ は、Web of Science から1996年–2019年23年間の産業団地 (Industrial Park: IP) に関する966本論文を研究対象とした。Word analysis を用いて、主要な傾向と4つの時期、時期ごと6年間であることを確定した。また、社会ネットワーク分析を用いて、知識構造と国/地域、機関、著者間に構築された主な知識構造及び学術協力ネットワークを確定した。

2.2 本研究の位置づけ

2.2.1 各用語の定義

先行研究を参考に、各用語を次のように定義する。

産業共生については、近隣企業間物質、エネルギー、水の連携とする²⁾。

都市共生については、都市インフラを活用した都市の範囲内の物質、エネルギー、水の連携とし、一般廃棄物の回収処理を含む²⁵⁾。

地域産業共生は、産業共生と都市共生の概念を地域レベルにまで適用し、物質、エネルギー、水及び一般廃棄物の連携を含むと同時に、知識、技術、人などの利害関係者との様々な資源・情報交換を含め、産業と産業、産業と地域社会による相乗効果を含むこととする。

2.2.2 本研究の位置づけ

以上のように、本研究の範囲に関連する既往研究をレビューしたが、レビューした研究の多くは、EIP エリア内の産業共生を論じている。EIP とエリア外の産業共生を議論した論文は少ない。一方、都市共生に関する論文もあるが、それらの論文は廃棄物の利用と生態効率の議論に偏っている。EIP の産業共生と、さらに地域の利害関係者との共生関係を同時に提示する研究は少ない。また、国によって定義が異なる EIP を比較可能とする国際的な視点のフレームを使用した分析は極めて少ない。

また、計量書誌学とネットワーク分析に基づいた産業エコロジーに関する研究は、ほぼ Web of Science と Scopus のデータベースから関係論文を検索し、検索された論文数は限定的、研究数が限られる可能性がある。また、著者間の引用関係の分析、関係文献の全体的な (世界的) 主題分析を主とした。そして、国或いは地域レベル等のような範囲の主題分析・

比較は極めて少ない。さらに、産業共生は 20 年間の発展に伴い、事例研究の研究対象地域（システム境界）も変化しており、その点に関する分析も極めて少ない。

本研究では、Google Scholar から関係データを検索する。計量書誌学とネットワーク分析に基づいて、日本、中国、ヨーロッパの 3 つ地域の事例研究の手法、主題を抽出し、地域間の特徴を比較した。そして、産業共生のシステム境界は事例研究の対象地域から判断することで、5 類型に分けた。システム境界の時間的変化と国別差異を分析した。また、産業共生に関する事例研究の定量手法及び手法の組合せを整理した。

また、国際的に比較可能な分析フレームを提案し、その適用性を示す。国際比較の可能性の視点から、世界各国の EIP 行政管理部局の多重な戦略、取り組み、多分野にわたる産業集積、さらに国や自治体の支援策を考慮する。EIP を中心とする産業共生の地域については、行政的な境界に限らず、自ら構築された地域産業共生の実態を考察する。また、物質の共生関係を議論するだけでなく、EIP エリア内とエリア外の廃棄物、エネルギー、処理水を含めた物質の産業共生関係、産学研商官民の利害関係者との共生関係も取り入れて考察する。さらに、EIP について、地域における多様な利害関係者の協力や連携による共生関係が、EIP を中心とする地域産業共生の実態の見える化を可能とすることを旨とする。

参考文献

- 1) Frosch, Robert, A., Gallopoulos and Nicholas, E.: Strategies for manufacturing, *Sci Am*, 261(3), 144-152, 1989.
- 2) Chertow, M.R.: Industrial symbiosis: literature and taxonomy, *Annual Review of Energy & the Environment*, 2000.
- 3) Lowe B Doyle, Moran EA, SR, Holmes DB.: *Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks*, 1996.
- 4) Cote, R.P.: A primer on industrial ecosystems: a strategy for sustainable industrial development, 2000.
- 5) Edward Cohen-Rosenthal: Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action, *Journal of Cleaner Production*, 2004.
- 6) Chertow, M.R.: *Industrial ecology in a developing context*, Springer Netherlands, 2008.
- 7) 松本亨, 劉娟, 小柳秀明, 荻原朗: 中国における資源循環拠点形成の現状と課題: 青島市と北九州市の国際比較からの含意, 第 35 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.135-141, 2007
- 8) Liu, J., Matsumoto, T., Won, J.Y., Zhang, P and Hyuok, L.: Study on comparison of eco-industrial parks in Japan, China and Korea, *Journal of global environmental engineering*, Vol.13, pp.21-38, 2008.
- 9) Liu, J and Matsumoto, T.: Swot Analysis for Discussion of Success Factors and Obstacles on Eco-Industrial Park Projects in Several Asian Countries, *Journal of Global Environmental Engineering*, Vol.14, pp.27-36, 2009.

- 10) Costa, I., Massard, G. and Agarwal, A.: Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries, *Journal of Cleaner Production*, 18(8), 815-822, 2010.
- 11) 石磊, 劉果果, 郭思平: 中国産業共生発展模式国際比較及対策, *生態学報*, 32(12), 8, 2012. [Shi L, Liu G: International comparison and policy recommendation on the development model of industrial sym-biosis in China[J], *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3950-3957.]
- 12) Boons, Chertow, Park, Spekkink and Shi: Industrial Symbiosis Dynamics and the Problem of Equivalence : Proposal for a Comparative Framework, *Journal of Industrial Ecology*, 2017, 21(4)(-), 938-952, 2017.
- 13) Fang, Y., RP CoTé and Rong, Q.: Industrial sustainability in China : practice and prospects for eco-industrial development, *Journal of Environmental Management*, 83(3), 315-328, 2007.
- 14) Zhen, W., Lei, S., Dan, H., Yi, X. and Sun, D.: Pursuing sustainable industrial development through the ecoindustrial parks: three case studies of China, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195, E145-E153, 2010.
- 15) Geng, Y, Haight, M and Zhu, Q.: Empirical Analysis of Eco-Industrial Development in China, *Sustainable Development*, 15, 121–133, 2007.
- 16) Sakr, D., Baas, L., El-Haggar, S. and Huisingh, D.: Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: global trends and Egyptian context, *Journal of Cleaner Production*, 19(11), 1158-1169, 2011.
- 17) Jun Mo Park, Park, J.Y. and Park, H.S.: A review of the national eco-industrial park development program in Korea: progress and achievements in the first phase, 2005–2010, *Journal of Cleaner Production*, 2016.
- 18) Xing, J. and Silva, J.: Eco-Industrial Parks in China Current situation, Problems and Development Sugges-tions. EurOMA, 2017.
- 19) Yu, F., Han, F. and Cui, Z.: Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China, *Journal of Cleaner Production*, 87, 339-347, 2014.
- 20) Shi and Chertow: Organizational boundary change in industrial symbiosis: revisiting the Guitang group in China, *SUSTAINABILITY-BASEL*, 2017.
- 21) Lei, S., Bing, Y.: Eco-Industrial Parks from Strategic Niches to Development Mainstream: The Cases of China, *Sustainability*, 6(9), 6325-6331, 2014.
- 22) Chang, Y., MD Jong and Dijkema, G.P.J.: Process analysis of eco-industrial park development - the case of Tianjin, China, *Journal of Cleaner Production*, 64(feb.1), 464-477, 2013.
- 23) Mirata, M. , & Emtairah, T. Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innova-tion: the case of the landskrona industrial symbiosis programme., 13(10-11), 993-1002, 2005.
- 24) Lyons, D.I.: A spatial analysis of loop closing among recycling, remanufacturing, and waste treatment firms in Texas, *Journal of Industrial Ecology*, 11, 2007.
- 25) Berkel, R.V., Fujita, T., Hashimoto, S. and Fujii, M.: Quantitative assessment of urban and

industrial sym-biosis in Kawasaki, Japan, *Environmental Science & Technology*, 43(5), 1271-81, 2009.

26) 藤山淳史, 松本亨, 勝原英治: 廃棄物・循環資源の循環圏の実態とその要因に関する研究, 日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 2008 巻, C2-12 and P2-05, 2009.

27) 鶴田直, 松本亨: 物質フローから見た北九州エコタウンの変化に関する研究, 環境共生, Vol.28, pp.32-41, 2016.

28) 本田雄暉, 松本亨: 環境負荷削減効果とネットワーク密度から見た北九州エコタウンの構造変化分析, 環境システム研究論文集 第 46 巻, 74 巻 6 号 p. II, 63-II, 71, 2018.

29) 大西悟, 藤田壮, 董亮, 藤井実: 産業共生と都市共生に向けた研究のこれまでの流れと今後の展開. 日本環境共生学会誌「環境共生」, 25, 33-44, 2014.

30) Kosmol, L. , & Otto, L: Implementation Barriers of Industrial Symbiosis: A Systematic Review. HICSS 2020.

31) Fraccascia, L: Industrial Symbiosis and Urban Areas: A Systematic Literature Review and Future Research Directions. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management* 5 (2018) (2) 73-83, 2018.

32) Lawal, M., Alwi, S., Manan, Z. A., & Ho, W. S: Industrial symbiosis tools-a review. *Journal of Cleaner Production*, 280, 1-20, 2020.

33) MD A, Ft, B. , & Kg, A: An investigation into modelling approaches for industrial symbiosis: a literature review and research agenda. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 2021.

34) Neves, A. , Godina, R. , Azevedo, S. G. , & Matias, J. C. O: Environmental, Economic, and Social Impact of Industrial Symbiosis: Methods and Indicators Review, *Industrial Engineering and Operations Management II*, 2019, Volume 281, 2019.

35) Kosmol, L: Sharing is Caring - Information and Knowledge in Industrial Symbiosis: A Systematic Review. *Conference on Business Informatics (CBI) 2019*.

36) Jiao, W. , & Boons, F: Toward a research agenda for policy intervention and facilitation to enhance industrial symbiosis based on a comprehensive literature review. *Journal of Cleaner Production*, 67(mar.15), 14-25, 2014

37) Huang, M., Wang, Z., & Chen, T.: Analysis on the theory and practice of industrial symbiosis based on bibliometrics and social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 213(MAR.10), 956-967, 2019.

38) Mra, B., Ms, C., Zsed, E., Wp, A., Su, S., & Mag, A., et al.: Two decades of research on waste management in the circular economy: insights from bibliometric, text mining, and content analyses. *Journal of Cleaner Production*, 2021.

39) Vahidzadeh, R., Bertanza, G., Sbaffoni, S., & Vaccari, M.: Regional industrial symbiosis: a review based on social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124054, 2021.

40) Barrera, G., Durany, X., Pons, J. R., & Erazo, J.: Trends in global research on industrial parks: a bibliometric analysis from 1996–2019. *Heliyon*, 7(8), e07778, 2021.

第3章 テキストマイニングによる過去20年間の産業共生研究の国際比較

3.1 諸言

産業共生 (Industrial Symbiosis: IS) は、持続可能な発展のための重要な政策ツールである。Chertow¹⁾は、「産業共生は、物質、エネルギー、水、副産物の物理的な取引を含めた地理的近隣性によって、産業に対して集団的な競争優位を獲得させる」としている。Berkelら²⁾は、「都市共生は産業共生の拡張である。特に、産業生産プロセスに都市(あるいは都市エリア)の廃棄物を用いて原料やエネルギーとして使われる」としている。また、産業共生概念を地域レベルまでに拡張して応用する概念である地域産業共生ネットワークも存在する。Mirataら³⁾は、「産業共生の定義に基づいてネットワークを追加し、物質、社会、人、技術、知識等の資源交換を含めて、環境と競争効果も同時に提供する」と地域の産業共生ネットワークを定義した。このような概念の変化につれて、事例研究が、物理的なシステム境界が地理的近隣産業から地域レベルまでに拡張し、産業共生概念が変化してきた。世界各国は、持続可能な社会を構築するため、独自の概念に基づいた産業共生構築を実践した。

本論文では、産業共生の事例研究について、まず定量手法の組合せの頻出度、システム境界の時間的変化と国別差異について分析する。次いで、日本、中国、ヨーロッパの事例研究の研究主題、手法の共通点と差異、さらに選択した全体文献における20年間の変化を明らかにする。最後に、今後の展開について論じる。

3.2 研究手法

3.2.1 データ収集

本研究では、日本の英文論文数が少なく、テキストマイニングに適切でないため、和文論文も追加され、テキストマイニングを行う。Google Scholar からデータを検索する。2004年に Google Scholar が公開されて以降、言語を問わず情報を収集し拡大してきた。その結果、無料でアクセスできる論文や資料の公開数が著しく増加した。文献の収録範囲が不明という難点もあるが、一方、同一データベースにより、英文だけでなく和文のキーワードも検索可能という特徴もある。有料の文献データベースと比しても収録数に遜色がない⁴⁾ことから、今回の利用目的に十分な文献データベースであると考え、Google Scholar を活用した。検索に用いたキーワードは、「industrial symbiosis, urban symbiosis, eco-industrial park, eco-town, エコタウン, 地域循環圏, 地域循環共生圏」である。検索時期は、2022年3月であり、データは2000年から2022年3月までの英文と和文である。和文のテキストマイニングは、和文論文の英文のタイトルとアブストラクト及びキーワード情報を応用することである。グーグルスカラーから1061本論文が検索された。その中から、本研究と関係が薄い、重複し

た論文 78 本を削除した。また、英語情報がない和文論文が 2 本削除された。本研究の目的に対応するデータを選別して、981 本の論文が得られた。さらに、564 本の事例研究と、その中に日本 45 本、中国 183 本、ヨーロッパ 166 本の論文を確認した。また、英文及び和文論文に含めている論文数と会議数は表 3.1 に詳細をまとめて示している。

表 3.1 英文及び和文論文の論文と会議数

	英文と和文		合計	英文		合計	和文		合計
	論文	会議		論文	会議		論文	会議	
全体文献	824	157	981	792	140	932	32	17	49
定量事例	266	32	298	252	23	275	14	9	23
事例研究	484	80	564	462	69	531	22	11	33
日中欧	335	59	394	313	50	363	22	9	31
日	34	11	45	15	2	17	19	9	28
中	163	20	183	160	20	180	3	—	3
欧	138	28	166	138	28	166	—	—	—
前 10 年間	137	49	186	121	34	155	16	15	31
後 10 年間	687	108	795	671	106	777	16	2	18

Endnote で RIS の修復作業を行った。例えば、文字化けやキーワードの欠落等である。テキストマイニングを実行する前、データのクリーンアップを行った⁵⁾。このような方法を用い、同義語・類似語の合算（例えば、Japanese eco towns と eco town, EIP と eco-industrial park 等）や、意味のない語彙の削除（例えば、need, work, review 等）を行った。これらによって、結果の正確性と確実性の向上を計ることができる。付録に同義語・類似語・意味のない語彙をまとめて示した。

3.2.2 データ分析

3.3 では、298 本的事例研究の定量的分析手法の組合せと、事例研究のシステム境界の変化を分析した。産業共生のシステム境界を、事例研究の対象地域から判断することで、次の 5 類型に分けた。すなわち、①工場内の産業共生、②産業共生現象がある工業団地と既存の EIP (eco-industrial park)、③島内の産業共生、④都市産業共生、⑤地域産業共生である。類型別事例研究数の変化を視覚化するために、ヒートマップを用いた。なおヒートマップは、マトリックスのデータを色で視覚化する方法である⁶⁾。

3.4 では、日本、中国、ヨーロッパの研究主題、概念、手法を比較した。さらに、産業共生研究の展開に関して 22 年間の論文をもとに、前半と後半に分けて 10 年間のホットスポット

ットを比較した。その手法には、共起ネットワークを用いた。VOSviewer ver.1.6.18 を使用し、日本、中国、ヨーロッパの事例研究のタイトルとアブストラクトの共起ネットワーク分析を行い、主題を抽出した。なお、アメリカは論文数が少ないため、この分析では扱わなかった。

VOSviewer は、ライデン大学で開発された、テキストの関連図を作成するソフトウェアであり、共起マトリックスに基づいて作図する。図の作成は3つのステップによって構成される。ステップ1では、共起マトリックスに基づいて相似マトリックスが計算される。類似度 (similarity measure) は、proximity index あるいは probabilistic affinity index と呼ばれ、以下の計算式で計算される。

$$S_{ij} = \frac{c_{ij}}{w_i w_j}$$

ここで、 c_{ij} は項目 i と j の共起頻度を意味する。 w_i と w_j は i と j の出現総数あるいはこれらの項目の出現総数を意味する。ステップ2では、ステップ1で計算された類似度により二次元図が作成される。類似度の高い項目は互いに近くに配置し、低い項目は離れるように配置される。ステップ3では、パラメータによるグルーピングが行われる⁷⁾。

また、981本のサンプルキーワードの共起ネットワーク分析を行った。日本のサンプル数が少ないので、単語頻度を3に設定し、中国とヨーロッパのケースでは8に設定した。

3.5節では、これからの研究動向を論じた。

3.3 手法及びシステム境界に関する分析結果

3.3.1 定量的分析手法の組合せ

298本の事例研究に使われた主な定量的分析手法について、使用頻度上位20種の手法をヒートマップに示した(図3.1)。右肩下がりの斜線は各手法の使用頻度の合計である。それ以外は、手法の組合せの合計頻度を意味する。

これを見ると、LCA (Life Cycle Analysis) は最も影響力を持っている定量的分析手法であることがわかる。その次に頻度が高いのはネットワーク分析である。最も影響力がある組合せは、LCA と MFA (マテリアルフロー分析) である。他の組合せとしては、例えば MFA とエマジー分析、LCA と GIS、LCA と IOA (Input-output analysis) 等の研究がある。LCA と MFA は、産業共生の物的な側面や経済面への関心、ネットワーク分析は、ステークホルダーのつながり等、社会面の関心や EIP 安定性に対する関心、エマジーによる分析は、生態効率への関心に対する分析アプローチであると推測される。

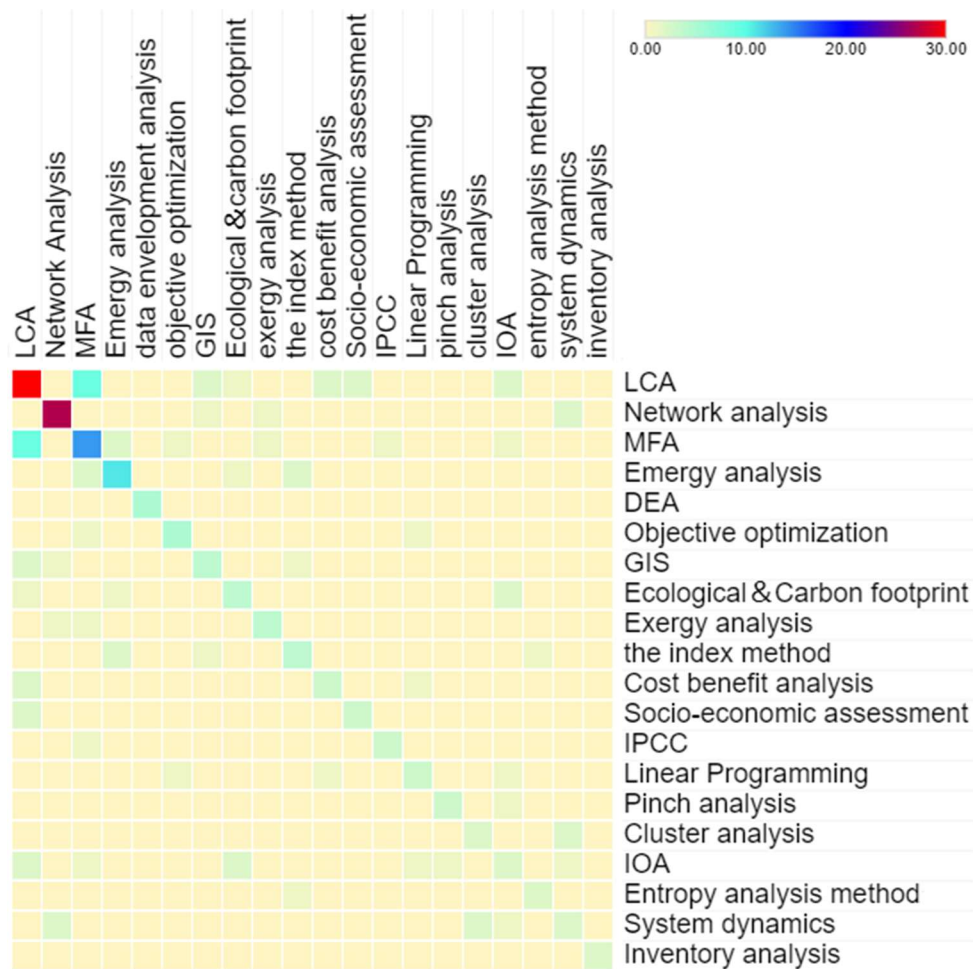


図 3.1 定量手法及び手法の組合せ

3.3.2 システム境界の時間的変化・国別差異

図 3.2 に、システム境界の時間的変化を示す。2000 年から産業共生概念が徐々に注目され、特に、注目されたのは EIP (eco-industrial park) である。2011 年以降 2017 年まで EIP 研究の増加傾向は継続しているが、一方で、都市レベル産業共生研究が徐々に増加する傾向が見られる。地域レベル産業共生の研究は増減があるが、全体から見ると前半の 10 年間より後半に増加傾向が見られる。なお、2022 年は少ないが、3 月に検索したためである。これらから見られるのは、多くの研究がシステム境界を EIP に限定するのではなく、新たなシステム境界の産業共生を探索する傾向が増えていることである。

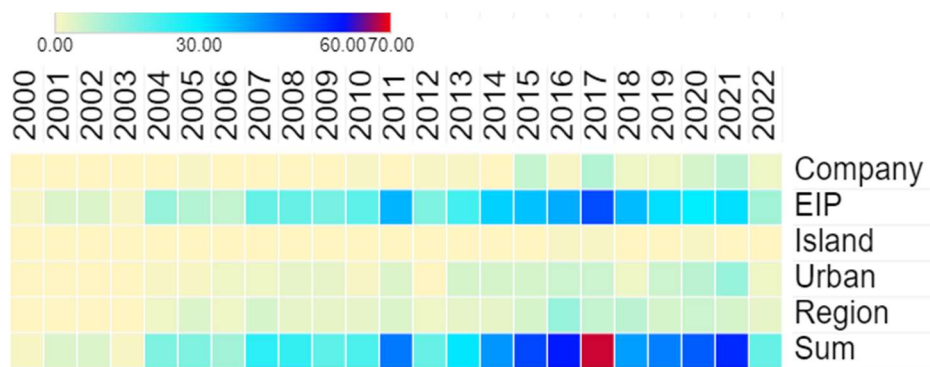


図 3.2 産業共生システム境界の時間的变化

図 3.3 に、システム境界の国別差異を示す。50 カ国の中で、EIP が最も頻度の高い実施形態であることがわかる。研究対象国は、アジアとヨーロッパに集中している。その中で、中国を研究する数が最も多い。中国の事例は、多くの研究者に注目されることを意味している。また、都市共生の研究論文数も多い。都市共生の概念を提案された後、多くの研究者が中国都市の発展に注目し始めた。各国の合計を見ると、中国、日本、ヨーロッパが研究対象数の上位である。反対に、少ないのは主に発展途上国である。例えば、ブラジル、インドネシア等がある。

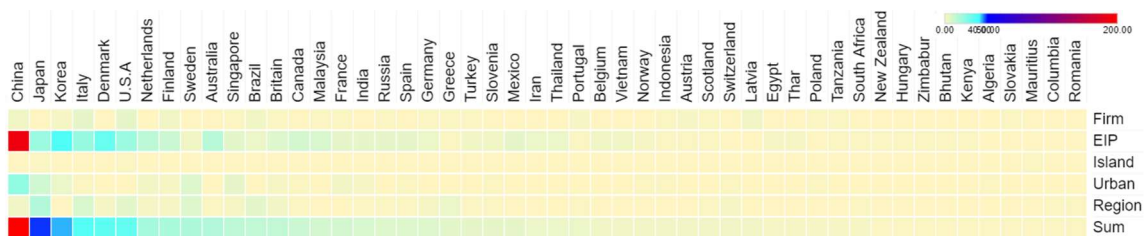


図 3.3 産業共生システム境界の空間的变化

3.4 研究主題，手法に関する比較結果

3.4.1 日本，中国，ヨーロッパの比較

(1) 日本

図 3.4 に、日本の産業共生研究論文の共起ネットワークを示す。円が大きいほど頻度が高いことを意味し、円の色が各クラスターに対応する。得られた 40 節点は、VOSviewer を用いた類似度の分析から 6 主題に分類された。すなわち、①MFA、②都市共生評価、③枠組みの開発、④リサイクル、⑤CO₂ の排出、⑥エコタウンプランである。

MFA に関しては、エコタウンに搬入される物質質量、エコタウン内での取引量、エコタウ

ンから搬出される物質量⁸⁾、エコタウン物質フローの変化や輸送距離の変化の把握、天然資源削減率、エネルギー消費効率、最終処分回避率等の指標を用いた分析⁹⁾、及びCO₂削減効果の変化と増減要因、ネットワーク分析による物質フローの構造変化の解明¹⁰⁾、エコタウン事業による環境負荷と負荷削減効果を地域の物質循環の中に位置づけることのできる統合評価体系に関する提案がある¹¹⁾。

都市共生の評価に関しては、ライフサイクルマネジメント (LCM) 枠組みを用いて、都市共生に必要な支援システム、ソフトハードインフラ設備、影響とチャレンジを論じる研究¹²⁾、MFA、カーボンフットプリント (CF) 及びエマジーを組み合わせた産業共生の潜在的な総合評価¹³⁾、地域の製造業施設と都市活動主体の連携を通じて、環境効率向上による産業共生環境改善効果の評価手法の提案¹⁴⁾等がある。

枠組みの開発に関しては、分散型エネルギーを軸とした場合のコンサルティングの枠組¹⁵⁾、地域循環共生圏構築の活動をその構成要素に分解して構造化する手法を開発した基本的な分析枠組み¹⁶⁾、地域循環共生圏に必要な9要件と、地域循環共生圏構築にかかわる活動に対し、共通に適用可能な一般的な要素への分解とその構造化を応用する枠組¹⁷⁾がある。

リサイクル境界、政策介入、地域協力の3つの特徴を重視しながら、エコタウンのリサイクルプラン効果の影響要因に関する定量分析¹⁸⁾、日本の23エコタウンの88リサイクルプランの分析を通じて、計画規模、リサイクル境界、廃棄物種類等の要素と環境便益・運営実績との関係の解明¹⁹⁾等の研究がある。

CO₂削減に関する研究には、ライフサイクルCFに基づいた資源節約によるCO₂削減の評価²⁰⁾、産業共生を通じたCO₂削減の現状と潜在的効果のLCCO₂分析²¹⁾、セメント工場を核としたリサイクル事業のLCCO₂の算定²²⁾等がある。

エコタウンプランに関しては、政府が全国26ヵ所のエコタウンを承認した。成功要因として、民間企業、民間団体、補助金、リサイクル法、民間企業の技術、環境意識²⁾、重工業の蓄積、地方政府の積極的支援と十分なインフラ設備²³⁾等がある。特に、地方政府については、異なる規模のアクターとの調整、交渉、必要な協力が取り上げられている²⁴⁾。

(2) 中国

図3.5に、中国の産業共生研究論文の共起ネットワークを示す。得られた60節点は類似度の分析から7主題、すなわち、①経済環境利益、②安定性、③EIPの進化、④生態効率、⑤障害、⑥成功要素、⑦政策実践のグループに分類された。

経済と環境便益に関しては、EIPの温室効果ガス削減の可能性と費用便益分析²⁵⁾、化学工業区産業共生活動の環境便益と経済便益²⁶⁾、及び都市共生の環境便益の定量評価²⁷⁾等がある。

産業共生の安定性に関しては、エントロピー理論に基づいて、企業間の相互作用の不安定性と影響メカニズムを分析したもの²⁸⁾、主成分分析を用い、不安定源の検出及びエントロピー理論の応用によるネットワーク節点の企業間の関係を確定し、安定性の弱い企業を議論したものが²⁹⁾ある。また、エントロピー関数と構造エントロピーを用い、エコ産業システ

ムの無秩序状態を表現し、システムの安定性と展開の動向を評価する研究³⁰⁾がある。

EIP 進化に関しては、中国で産業共生の進化と EIP の建設、産業共生発展の駆動力と特徴の研究³¹⁾、EIP システム変化の重要な活動の追跡と構築³²⁾、時間をかけて EIP 組織的境界の変化を注目し、歴史的視点から Guitang 産業共生進化の限界を分析し、特に、これらの変化が如何に中国の経済と制度の影響を受けたかの分析³³⁾等がある。

生態効率に関しては、資源、経済、環境等の指標で中国 40 産業園区の生態効率レベルと順位の評価を行った研究がある³⁴⁾。データ包絡分析法 (DEA) を用い、中国 31EIP の 44 熱電併給発電所の生態効率を評価した研究もある³⁵⁾。また、産業共生発展に自然生態システムが寄与することを配慮しながら、発展と環境保護の相互関係に注意を向けて、エマジーで評価した研究³⁶⁾がある。

産業共生展開の障害については、制度、規制、技術及び財政等の視点から、グリーン経済発展の障害の分析³⁷⁾、EIP 副産物の利用に関する障害と克服経験の検討³⁸⁾、及びシニアマネージャーの見方から、EIP 発展の外部と内部の障害を分析した³⁹⁾等が挙げられる。

EIP を成功させるために、全体性、経済、社会及び技術の要素に配慮する必要がある⁴⁰⁾。循環型複合工業に転換した重要な要因として、合理的な生産構造、原料の優位性、技術支援及び多様性が挙げられている⁴¹⁾。また、厳格な環境標準、税制優遇、材料の代替え、補助金は、利害関係者らが産業共生に参与する駆動力とされる³¹⁾。

政策実践についての研究として、工業団地の循環化改造の内容、政策及び実践のレビュー⁴²⁾、現地調査による EIP 実施の現状と臨んだ挑戦の研究⁴³⁾、因子分析と階層分析を用いて、異なる背景の実践が持続的な発展に与えた影響の分析⁴⁴⁾等が挙げられる。

(3) ヨーロッパ

図 3.6 に、ヨーロッパの産業共生研究論文の共起ネットワークを示す。得られた 56 節点は類似度の分析から 7 主題、すなわち、①経済環境便益と地域産業共生、②産業共生の発展障害、③モデルと分析ツール、④産業共生の展開要素、⑤枠組みの開発、⑥協同と相乗効果、⑦エネルギーフローと効率に分類された。

研究者は通常、工業団地レベルのエコ産業の発展を重視するが、より大きな地域の物質循環を、クローズループとして持続可能な産業エコシステムを創出することが可能であることを示した⁴⁵⁾。したがって、産業共生概念が地域産業エコシステムの展開にどのように寄与するかを理解することで、地域の生産システムを持続可能に転換することを促進させることができる⁴⁶⁾。

また、経済・環境便益については、産業活動で排出した CO₂ を利用して、近隣温室園芸用施設に排出することにより発生した経済便益の定量分析⁴⁷⁾、及びカルンポーの水と蒸気を核とした共生取引の経済環境効果の定量分析⁴⁸⁾等がある。

産業共生の発展障害に関する研究は、既に多くの研究において議論されてきた。理論経済学の視点から、多く克服しなければならない障害と産業共生特有の障害は情報の非対称性に帰する⁴⁹⁾とされる。特に、地域コミュニティが EIP 実施の主な障害と指摘されている⁵⁰⁾。

モデルと分析ツールに関しては、製造業のコストダウンや、環境負荷削減の最適化に関する数学モデルの提案⁵¹⁾、ICT-web システムに基づき SymbioSyS ツールを開発し情報を提供することで企業間ネットワークを促進する研究⁵²⁾がある、さらに、経済活動、製造プロセス、マテリアルとエネルギーフローのデータを貯蔵するデータベースを構築し、地理情報システム web-GIS の開発を加えて、エンジニアや土地計画者に意思決定のツールとして提供した研究⁵³⁾等がある。

産業共生の展開要素の研究としては、背景要素は産業共生発展に影響する可能性があり、あらかじめ存在する組織関係（産業ネットワークあるいは産業集積）から産業共生を始める場合、システム内において動的な変化と関係あるメカニズムを配慮する必要があることを指摘した研究⁵⁴⁾がある。また、イギリスの産業共生プランの経験に基づいて、地域産業共生ネットワークの展開と継続的に実行する要素をレビューし、これらの要素の変化が地域産業共生ネットワークの発展と実行において果たした役割を検討した研究⁵⁵⁾等が挙げられる。

枠組みの開発については、企業間連携の可能性を見出すために持続可能なサプライチェーンマネジメント、産業エコロジー、産業共生に関する文献をレビューした上で枠組みを開発した研究⁵⁶⁾、事例研究の結果と経験から解釈的な枠組みを開発し、それをを用いてシナリオに基づいた産業共生発展の潜在力と制限を評価した研究⁵⁷⁾等が挙げられる。

産業共生協働と相乗効果に関する研究は、資源効率は持続可能な発展に重要な戦略であり、経済、環境と社会の目標実現に資する。この背景の下に、4つの近隣企業で構成された

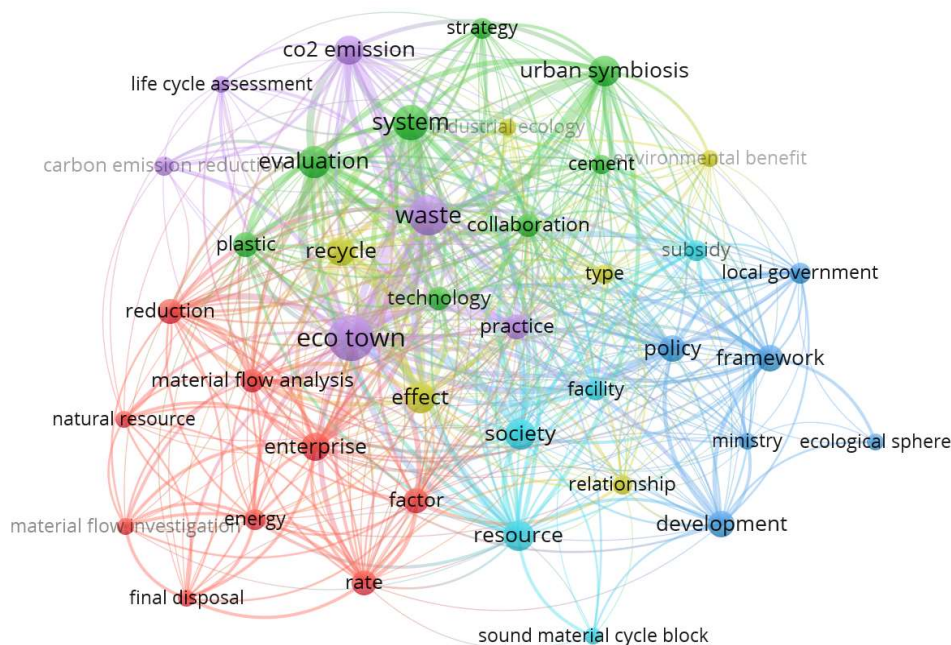


図 3.4 日本の共起ネットワーク

工業団地の産業共生相乗効果のシステム分析が行われた⁵⁸⁾。また、データベースの分析やインタビューを組合せた手法を用いて、特定の地域の情報や知識のフローを通じて、企業間の相乗作用の役割を分析した研究⁵⁹⁾等がある。

産業共生エネルギーフローと効率については、エントロピー経済学をEIPの分析に応用し、エクセルギー分析を通じて物質とエネルギーのフローを表現した研究⁶⁰⁾、産業共生境界を超えた物質とエネルギーのフローが大きな環境影響を与える可能性があるため、LCA手法を用い、森林産業共生の全体的環境効果を算定した研究⁶¹⁾等がある。

(4) 3つの地域の比較

共起ネットワーク分析を通じて、3つの対象地域には共通的な研究主題があまり存在しないことがわかった。枠組みの開発は、日本とヨーロッパにおける唯一の共通主題である。経済・環境便益、成功要素、障害の3つは中国とヨーロッパの共通主題である。産業共生研究のシステム境界について、日本は都市と地域圏の研究が中心、中国はEIPが中心、ヨーロッパはEIPと地域レベル産業共生の研究が中心となっている。

日本における主な定量的分析手法は、LCAとMFAである。中国では、エマジーとネットワーク分析が主な手法である。ヨーロッパでは、LCA、MFA、エクセルギー、数学モデリングである。

図3.4のキーワードはほぼeco townとのつながりがある。また、eco townが最大の円でもあり、日本における産業共生の実践政策であるため、eco townが産業共生と緊密な関係を持っているのは当然といえる。同様に、図3.5のすべてのキーワードがeco-industrial parks(EIP)とつながりがあるが、EIPは中国の産業共生の実践政策であり、産業共生と緊密な関係を持っている。ヨーロッパでは、EIPは事例研究の一部であり、その他としては、工業団地産業共生の現象と可能性、地域レベルの産業共生が多い。

3.4.2 20年間における変化

図3.7に2000～2010年、図3.8に2011～2022年の産業共生研究論文の共起ネットワークを示す。

前半(2000年～2010年)には、186本の産業共生研究論文がある。上位10個のキーワードは順位に、industrial ecology, eco-industrial parks, sustainable development, eco-town, industrial ecosystem, China, recycling, sustainability, eco-industrial development, circular economyである。これらのキーワードが、他のキーワードと緊密な関係を持っている。産業共生は、デンマークにおいて初めて認識されたものの、前半の10年間の段階では、むしろアジアで注目された。主な実施形態は、eco town, EIPである。また、この段階で最も注目された定量的分析手法は、LCA, SNA(社会ネットワーク分析), エマジー, MFAである。

後半(2011～2022年)には795本の産業共生研究論文があり、約4倍に増加した。上位10個のキーワードは順位に、eco-industrial parks, industrial ecology, circular economy,

sustainability, sustainable development, China, life cycle assessment, industrial park, resource efficiency, optimization, eco-efficiency, optimization である。これらのキーワードが、他のキーワードと緊密な関係を持っている。

前半の10年間と比べると、日本、中国、韓国以外、タイ、イタリア、オーストラリア等も多く注目されるようになった。産業共生の概念が多くの地域に広がっていることを意味する。

理論について見ると（表3.2）、後半の10年間は、循環経済、産業エコロジー理論が多くの研究者に注目されていることがわかる。eco-industrial park, sustainability, sustainability development, China, LCA, resource efficiency 等のキーワードの出現が大幅に増えていた。一方で、Eco-town の注目度が下がった。研究手法は、LCA, ゲーム理論, SNA, エマジー, MFA の注目度が増えたと同時に、他の手法も増加した。例えば、ABM (agent-based model), bibliometric analysis, CF, DEA, ecological network analysis, input-output analysis, network analysis 等である。特に、コンピュータ技術の応用、例えば、ABM, ブロックチェーン等に基づいたツールの開発による産業共生発展の促進、管理に多くの可能性が見いだされた。

表 3.2 20 年間前半と後半の単語出現の変化

単語	前10年	後10年	単語	前10年	後10年
理論			手法		
循環経済	7	121	LCA	6	33
産業エコロジー	59	163	ゲーム理論	3	14
			エマジー	4	11
増えた単語			SNA	2	10
eco-industrial park	55	209	MFA	5	9
sustainability	9	41	material flow	0	4
sustainability development	21	40	ABM (agent-based model)	0	12
China	11	33	Agent-based simulation	0	5
resource efficiency	0	27	bibliometric analysis	0	3
			bibliometrics	0	3
下がった単語			CF	0	5
Eco-town	17	6	DEA	0	5
kawasaki eco town	3	0	ecological network analysis	0	5
			input-output analysis	0	4
			network analysis	0	7

3.5 今後の動向

3.4.1 におけるヨーロッパの主題分析から、産業共生を促進するモデルとツール開発の主題研究が出現していた。また、4-2で、後半10年間の共起ネットワークに情報技術、コンピュータ技術及び人工知能等に関するキーワードが出現しているが、それらは ICT, bibliometrics, agent-based simulation, machine learning, knowledge ledge, ontology 等である。これらの技術を応用することで、産業共生の実践状況の改善につながる可能性の模索であり、企業間の共生関係のさらなる連携及び持続可能な発展の実現に資することが期待されている。現状では、これらに関する研究量は限られ、かつ初期段階にとどまっている。例えば、中国と日本では、これらの研究事例は発現していない。コンピュータ技術や情報通信技術等による、強化された産業共生管理メカニズムに関する研究が不足していることが見てとれる。新しい技術やツールを応用することで、廃棄物・エネルギー・水の取引及び信頼メカニズムを含めたプラットフォーム、いわゆる情報共有システムを開発することが、さらなる企業間の連携を促すと考えられる。

以上を踏まえて、以下に2つの方向性を考察する。1つ目は、これらの新規技術を含めたDX (digital transformation) の応用、2つ目が企業間の相互信頼の仕組みの構築である。例えば、ブロックチェーンというキーワードは本研究で行ったテキストマイニングにおいて、産業共生と関係するブロックチェーンの研究は極めて少ないが、近年ブロックチェーン技術は、産業共生の企業間信頼問題の解決及び金融業界等の応用に展開されていること⁶²⁾から、今後産業共生の物質取引プラットフォームを強化するキーファクターとなる可能性を有している。したがって、DXと信頼メカニズムの強化に関する研究は、産業共生分野における今後の研究動向となる可能性があると考ええる。

3.6 結果の考察

本論文は、2000年から2022年までのGoogle Scholarにおいて検索した合計981本論文を対象に、ヒートマップと共起ネットワークを用いて分析した。その結果、産業共生分野の研究数は急速に発展してきたといえる。手法ヒートマップから見ると、LCA, LCAとMFAの組合せ手法は、産業共生分野で大きな影響力を持っていることが分かった。分析のシステム境界に対する時間的変化と国別差異を把握し、アジアとヨーロッパの事例が最も注目されていることがわかった。また、日本の6つ主題及び中国、ヨーロッパはそれぞれ7つ主題があることが明確になった。さらに、主題、定量的分析手法の観点から、3地域の共通点と差異を明らかにした。

20年間の研究を通じて、後半10年間に事例研究の対象国の増加、循環経済理論と産業エコロジー理論が重要視されてきたこと、研究手法については多様な発展を呈していることを示した。また、コンピュータ技術の発展を産業共生研究に応用した研究も少なくない。最

後に、今後の研究展開に関する具体的な2つの方向性を提示した。

参考文献

- 1) Chertow, M. R.: Industrial symbiosis: literature and taxonomy, *Annual Review of Energy & the Environment*, 25, 313-337, 2000.
- 2) Berkel, R. V., Fujita, T., Hashimoto, S., & Yong, G.: Industrial and urban symbiosis in Japan: analysis of the eco-town program 1997-2006, *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1544-1556, 2009.
- 3) Mirata, M., & Emtairah, T.: Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: the case of the Landskrona industrial symbiosis programme, *Journal of Cleaner Production*, 13(10-11), 993-1002, 2005.
- 4) 宮川良男, 本間通正, 狩野延枝 : Google Scholar から読み取る日本語利用統計データと分野別科学研究費の比較, *情報の科学と技術*, 64 巻 8 号, pp.326-331, 2014.
- 5) Ranjbari, M., Esfandabadi, Z. S., & Scagnelli, S. D.: A big data approach to map the service quality of short-stay accommodation sharing, *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, Vol. 32, No. 8, pp. 2575-2592, 2020.
- 6) Wilkinson, L., & Friendly, M.: The history of the cluster heat map, *American Statistician*, 63(2), 179-184, 2009.
- 7) N. J. Van Eck and L. Waltman, "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping," *Scientometrics*, vol. 84, no. 2, pp.523-538, 2010.
- 8) 乙間末廣・松本亨・坂口寿志 : 北九州エコタウンにおけるマテリアルフロー調査と分析, *廃棄物学会論文誌*, 18 巻 6 号, pp.410-416, 2007.
- 9) 鶴田直・松本亨 : 物質フローから見た北九州エコタウンの変化に関する研究, *環境共生*, 28 巻, pp.32-41, 2016.
- 10) 本田雄暉・松本亨 : 環境負荷削減効果とネットワーク密度から見た北九州エコタウンの構造変化分析, *環境システム研究論文集*, 第 46 巻, 74 巻, 6 号, pp.II,63-II,71, 2018.
- 11) 松本亨・鶴田直・柴田学 : マテリアルフロー分析と LCA による北九州エコタウン事業の評価, *環境情報科学 別冊, 環境情報科学論文集*, (19), pp.473-478, 2005.
- 12) Chen, X., Fujita, T., & Geng, Y.: Integrating MSW Management with Manufacturing: A System Supporting Industrial Symbiosis of the Kawasaki Eco-Town. Abstracts for Ilcaj Meeting, The Institute of Life Cycle Assessment, Japan, pp.174-175, 2008.
- 13) Satoshi, O., Dong, H., Geng, Y., Fujii, M., Fujita, T.: A comprehensive evaluation on industrial & urban symbiosis by combining MFA, carbon footprint and emergy methods --case of Kawasaki, Japan, *Ecological Indicators*, 73, 513-524, 2017.
- 14) 藤田壮・長澤恵美里・大西悟・杉野章太 : 川崎エコタウンでの都市・産業共生の展開に向けての技術・政策評価システム, *環境システム研究論文集*, 35 巻, pp.89-100, 2009
- 15) 永富聡・河野有吾・東修 : 地域循環共生圏づくりに向けたコンサルティングの枠組・適用事例, *日本 LCA 学会誌*, 17 巻, 4 号, pp.229-235, 2021.
- 16) 五味馨・藤田壮・越智雄輝・小川祐貴・大場真・戸川卓哉 : 地域循環共生圏による持続可能な発展の研究と基礎的な分析枠組みの提案, *土木学会論文集 G (環境)*, 76 巻, 6 号,

pp.II249-II260, 2020.

- 17) 五味馨：地域循環共生圏の理念の具体化と活用に向けた基礎的な枠組み，日本 LCA 学会誌，17 巻，4 号，pp.221-228, 2021.
- 18) Ohnishi, S., Fujita, T., Chen, X., & Fujii, M.: Econometric analysis of the performance of recycling projects in Japanese eco-towns, *Journal of Cleaner Production*, 33, pp.217-225, 2012.
- 19) Chen, X., Fujita, T., Ohnishi, S., Fujii, M., & Yong, G.: The impact of scale, recycling boundary, and type of waste on symbiosis and recycling, *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 129-141, 2012.
- 20) Dong, H., Ohnishi, S., Fujita, T., Yong, G., Fujii, M., & Liang, D.: Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: a case of Kawasaki, *Energy*, 64, 277-286, 2014.
- 21) Hashimoto, S., Fujita, T., Yong, G., & Nagasawa, E.: Realizing co2 emission reduction through industrial symbiosis: a cement production case study for Kawasaki, *Resources Conservation & Recycling*, 54(10), 704-710, 2010.
- 22) 大西悟・藤田壮・長沢恵美里・村野昭人：循環型産業システムの計画とその環境改善効果の算定川崎エコタウンにおける循環型セメント事業のケーススタディ，土木学会論文集 G(環境)，33 巻，p.367-376, 2005.
- 23) 松永裕己：地域における環境ビジネス振興策の展開と課題—北九州エコタウンを事例に—，産業学会研究年報，2019 巻，34 号，pp. 17-32, 2019.
- 24) Guanwen, Y. (2014): The strategy of ‘scale’ in policy-making process: a case study of eco-town project, Kitakyushu city, *Geographical review of Japan series B*, 87 巻，1 号，pp.15-26
- 25) Yang, G., Tian, J., Chertow, M., & Chen, L.: Greenhouse gas mitigation in Chinese eco-industrial parks by targeting energy infrastructure: a vintage stock model. *Environmental Science & Technology*, 50(20), 11403-11413, 2016.
- 26) Guo, B., Geng, Y., Sterr, T., Dong, L., & Liu, Y.: Evaluation of promoting industrial symbiosis in a chemical industrial park: a case of Midong, *Journal of Cleaner Production*, 135, 995-1008, 2016.
- 27) Chen, X., Xi, F., Yong, G., & Fujita, T.: The potential environmental gains from recycling waste plastics: simulation of transferring recycling and recovery technologies to Shenyang, China, *Waste Management*, 31(1), 168-179, 2011.
- 28) Wang, G., & Tao, Z.: Research on stability control of eco-industrial chain based on interrelation entropy theory, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, pp.157-160, 2011.
- 29) Zhou, G., Xiao, Z., Sun, J., & Cao, B.: The monitoring and research of unstable locations in eco-industrial networks. *Computers and Industrial Engineering*, 105(C), 234-246, 2017.
- 30) Han, F., Yang, D., & Shi, F.: Stability assessment of an eco-industrial system based on entropy analysis method, *Earth and Environmental Science*, 495, 012032.45-2, 2020.
- 31) Yu, F., Han, F., & Cui, Z.: Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China, *Journal of Cleaner Production*, 87, 339-347, 2015.
- 32) Chang, Y., MD Jong, & Dijkema, G. P. J.: Process analysis of eco-industrial park development—the case of Tianjin, China, *Journal of Cleaner Production*, 64(feb.1), 464-477, 2014.
- 33) Shi, L., & Chertow, M.: Organizational boundary change in industrial symbiosis: revisiting the Guitang group in China, *Sustainability*, 9, 2017.
- 34) Fan, Y., Bai, B., Qiao, Q., Kang, P., Zhang, Y., & Guo, J.: Study on eco-efficiency of industrial parks in China based on data envelopment analysis, *Journal of Environmental Management*, 192, 107-115, 2017.

- 35) Yang Guo, W Liu, J Tian, R He, & L Chen.: Eco-efficiency assessment of coal-fired combined heat and power plants in Chinese eco-industrial parks, *Journal of Cleaner Production*, Vol.168, pp.963-972, 2017.
- 36) Yong, G., Liu, Z., Bing, X., Dong, H., Fujita, T., & Chiu, A.: Emergy-based assessment on industrial symbiosis: a case of Shenyang economic and technological development zone, *Environmental Science and Pollution Research*, 21(23), 13572-13587, 2014.
- 37) Li, J., Pan, S. Y., Kim, H., Linn, J. H., & Chiang, P. C.: Building green supply chains in eco-industrial parks towards a green economy: barriers and strategies, *Journal of Environmental Management*, 162, 158-170, 2015.
- 38) 森晶寿, 孫穎 : 中国の生態工業団地での副産物利用の進展と課題—蘇州工業団地と包頭アルミ業生態工業団地の事例研究—, *環境経済・政策研究*, 1 卷,2 号, p. 26-36, 2008.
- 39) Zhu, Q., Yong, G., Sarkis, J., & Lai, K. H.: Barriers to promoting eco-industrial parks development in China, *Journal of Industrial Ecology*, 19, 2015.
- 40) Wang, Z., Shi, L., Hu, D., Xu, Y., & Sun, D.: Pursuing sustainable industrial development through the eco industrial parks: three case studies of China, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2010.
- 41) Yang, S., & Feng, N.: A case study of industrial symbiosis: Nanning sugar co. ltd. in China, *Resources Conservation and Recycling*, 52(5), 813-820, 2008.
- 42) Wen, Z., Hu, Y., Lee, J., Luo, E., Li, H., & Ke, S.: Approaches and policies for promoting industrial park recycling transformation (iprt) in China: practices and lessons, *Journal of Cleaner Production*, 172(pt.2), 1370-1380, 2018.
- 43) Zhang, H., Hara, K., & Yamaguchi, Y.: Analysis on eco-industrial park for promoting circular economy in China: comparative study in Baotou, Suzhou and shanghai, *環境システム研究論文発表会講演集*, 35, 129-134, 2007.
- 44) Qu, Y., Qin, L., & Li, M.: Environmental practice and its effect on the sustainable development of eco-industrial parks in China. *International journal of sustainable development and planning: Encouraging the unified approach to achieve sustainability*, Vol.10, Issue 5, pp.685-700, 2015.
- 45) Sterr, T., & Ott, T.: The industrial region as a promising unit for eco-industrial development-reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology, *Journal of Cleaner Production*, 12, 947-965, 2004.
- 46) Susur, E., Hidalgo, A., & Chiaroni, D.: The emergence of regional industrial ecosystem niches: a conceptual framework and a case study, *Journal of Cleaner Production*, 208, 1642-1657, 2019.
- 47) Marchi, B., Zaroni, S., Pasetti, M.: Industrial symbiosis for greener horticulture practices: the CO₂ enrichment from energy intensive industrial processes. *Procedia CIRP*, 69, 562-567, 2018.
- 48) Jacobsen, N. B.: Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: a quantitative assessment of economic and environmental aspects. *Journal of Industrial Ecology*, Vol.10, Issue1-2, pp.239-255, 2006.
- 49) Moser, S., & Rodin, V.: The 'industrial symbiosis gap': information asymmetries are the main challenge for industrial symbiosis – evidence from four austrian testbeds with a focus on heat exchange, *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 138, pp.264-268, 2021.
- 50) Taddeo, R., Simboli, A., Morgante, A.: Implementing eco-industrial parks in existing clusters. findings from a historical Italian chemical site, *Journal of Cleaner Production*, 33, 22-29, 2012.
- 51) Gu, C., Leveneur, S., Estel, L., Yassine, A.: Industrial Symbiosis Optimization Control Model for the exchanges of the material/energy flows in an industrial production park, Vol.46, pp.1015-1020,

2013.

52) Roberto, Á., Carmen, R-P.: Development of the tool symbiosys to support the transition towards a circular economy based on industrial symbiosis strategies, *Waste and Biomass Valorization*, pp.1521-1530, 2017.

53) Massard, G., Erkman, S.: A web - Gis tool for industrial symbiosis – preliminary results and perspectives, *Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection*, pp.261-268, 2009.

54) Simboli, A., Taddeo, R., & Morgante, A.: Analysing the development of industrial symbiosis in a motorcycle local industrial network: the role of contextual factors, *Journal of Cleaner Production*, 66(mar.1), 372-383, 2014.

55) Mirata, M.: Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. *Journal of Cleaner Production*, 12(8/10), 967-983, 2004.

56) Michael, L., Li, X.. Industrial ecology, industrial symbiosis and supply chain environmental sustainability: a case study of a large uk distributor, *Journal of Cleaner Production*, Vol.106, pp.632-643, 2015.

57) Taddeo, R., Simboli, A., Morgante, A., & Erkman, S.: The development of industrial symbiosis in existing contexts. experiences from three Italian clusters, *Ecological Economics*, 139, 55-67, 2017.

58) Ruiz-Puente, C., & Jato-Espino, D.: Systemic analysis of the contributions of co-located industrial symbiosis to achieve sustainable development in an industrial park in northern Spain. *Sustainability*, 12(14), 5802, 2020.

59) Kasmi, F.: Industrial symbiosis and territorial development: the cross-fertilization of proximity dynamics and the role of information and knowledge flows. *Journal of the Knowledge Economy*, 12, 2021.

60) Valero, A., S Usón, Torres, C., Valero, A., Agudelo, A., & Costa, J.: Thermo-economic tools for the analysis of eco-industrial parks. *Energy*, 62, 62-72, 2013.

61) Mattila, T. J, Pakarnen, S., & Sokka, L.: Quantifying the total environmental impacts of an industrial symbiosis - a comparison of process-, hybrid and input-output life cycle assessment. *Environmental Science & Technology*, 44(11), 4309, 2010.

62) Singh, P. K., Singh, R., Nandi, S. K., Ghafoor, K. Z., & Nandi, S.: Blockchain-based adaptive trust management in internet of vehicles using smart contract, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp.(99), 1-15, 2020.

第4章 EIPの国際比較を可能とする分析フレームの提案と適用

4.1 諸言

地球温暖化、資源やエネルギー危機などの世界的な環境問題の緩和、持続可能な発展の実現のために、世界の多くの国は産業エコロジーの理論に基づいて各国独自の EIP (Eco-industrial Park) 戦略を打ち出した。これまでの直線型経済から循環型経済に移行することにより、経済と環境の Win-Win が期待されている。

Chertow は、「産業共生は産業エコロジーの一部であり、伝統的な独立する産業を集団的に競争優位を獲得させ、物質、エネルギー、水、副産物の物理的な取引を含めている。産業共生の鍵はコラボレーションと地理近隣性による相乗効果である」としている。また、EIP は産業共生概念の具体的なものと指摘した¹⁾。代表的な EIP として有名なモデルは、デンマークの Kalundborg である²⁾。EIP という用語は、交換に参加する組織を指すように広く使われているものの、共生関係は必ず EIP のパーク (定めた境界) 内で発生しなければならないと指摘された¹⁾。

本章では、まず産業共生に関する文献のレビューを行い、EIP の駆動力及び主要な影響要因を抽出し、国際比較分析を行う二次元の分析フレームを提案する。そして、日本と中国の3つの EIP を事例として、分析フレームの適用性を示す。さらに、ステークホルダーマップを用いて、3つの EIP の産業共生の実態を見える化することを目的とする。これらの結果に基づいて3つの EIP の共通点、相違点、特徴を考察した。

4.2 分析手法—分析フレームの提案

世界各国の EIP における行政管理部局の多重な戦略、取り組み、物質の交換、そして、国や自治体の支援策などの要素の見える化を重視して、国際的視点で比較可能なフレームを提案したものを図 4.1 に示す。比較項目は、先行研究から、産業共生の形成要因、駆動力、主な影響要因等に関して最大公約数的に抽出した。表頭は、運営 (廃棄物、エネルギーや処理水の資源循環・カスケード利用、管理部局の戦略や取り組み、情報、教育、インフラ設備、生活施設)、支援 (技術支援、財政支援) の項目とする。ここで、エリア内と外は、EIP の行政的な指定区域を指す。特に、技術支援や財政支援について、機械設備等に対する公的補助であるため、EIP エリア内に立地しないと支援ができないことを考慮した。表側は、EIP エリア内 (天津市の場合は市政府が指定した場所、北九州エコタウンは第1期計画エリアを指す) とエリア外 (天津市の場合は市政府が指定した場所の外、北九州エコタウンは第1期計画エリア外を指す) に分け、それぞれ企業、市民、教育機関、研究機関に分ける。「物質」は企業間産業活動で発生した廃棄物・副産物の取引・カスケード利用、生活ごみのリサイクルを指す。これらの物質の取引・循環利用は EIP エリア内の対象者の相互連携、EIP エリア

内の対象者と外の対象者との相互連携の両方を含めている。「エネルギー」は蒸気のカスケード利用を指す。例えば、域内の食品製造などの企業に蒸気を提供すること、域外の住宅、公共施設等に余熱を提供することを指す。「水」は産業排水が何度も再利用されることを指す。例えば、污水处理の後、域内或いは域外の公共施設や企業に提供する。「管理システム・機関」は EIP 発展のため管理機関が実施した戦略・取組を指す。例えば、事業化まで一貫した取組、SDGs の取り組み、PR と情報発信、事業者と協力、ワンストップサービス、ごみを集める対策、エコアクション 21、ISO14001、CSR 等がある。「情報公開・共有」については、1 つが EIP の企業間の廃棄物・副産物の取引や循環利用に関する情報共有プラットフォームを指す。もう 1 つは社会に情報を公開することを指す。それによって、市民の理解や協力を得ることできる。「教育・啓発」については、1 つが EIP 内企業職員の環境意識を育成することを指す、もう 1 つが EIP と地域社会との環境教育に関する連携関係を指す。例えば EIP 見学や環境宣伝等の活動が挙げられる。「インフラ設備及び生活設備」は産業活動、生活活動によって、建設された施設を指す。例えば、蒸気連携のためのパイプ、水のカスケード利用の関係施設、その他、病院、商店等の生活活動を支援する施設もいくつが挙げられる。この点は、EIP エリア内のみを考慮する。(外部基礎施設建造不可能、生活施設肯定有、因此不考慮)「技術支援」は産業共生や連携を促進するために、技術支援や技術関係資金の支援を指す。また、域外の大学、研究所等の技術支援も含めている。「財政支援」は国、県市等の政府機関から EIP に補助金を提供することを指す。インフラ設備の建設、アップグレード等を含めている。

このフレームを使うことで、EIP エリア内だけではなく、行政境界に限らず EIP エリアを中心に幅広い地域まで分析対象を展開することができ、地域産業共生も対象とすることが

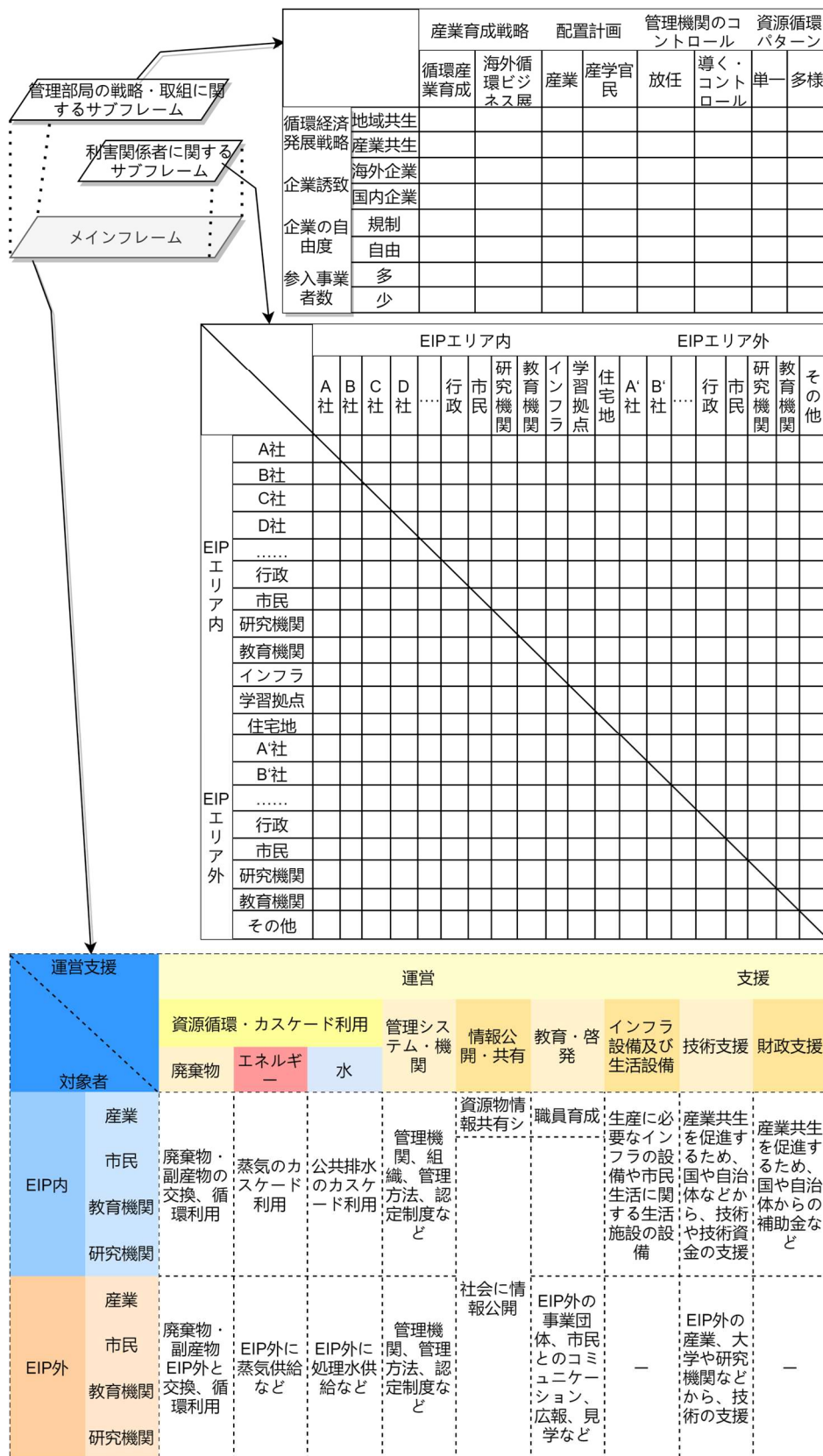


図 4.1 提案する国際比較の分析フレーム

可能である。また、集積型の EIP の比較はむろん、分散型の EIP を比較することも可能である。つまり、後者は施設が地域に分散して立地しているため、フレームのエリア外の部分だけ活用することで比較できる。さらに、産業共生において、事業者間の物質の循環・カスケード利用の比較だけでなく、管理部局の戦略、取り組み、情報の運用、教育、インフラ設備、生活施設、技術的資金の支援や技術・ノウハウの支援、国や自治体などからの補助金等に至る産業共生への影響要素も考慮し、産学官民（エリア内外）など利害関係者との情報公開、コミュニケーション等の関係まで拡大して比較ができる。これらの共生要素を考察することで、各国 EIP の相違点、共通点、特徴を抽出して、統一的なフォーマットを用いて分析・解釈することができる。

また、国際比較を行う上で、都市計画上の土地利用規制等についても考慮する。なお、北九州 EIP の第 1 期エリアは工業専用地域である。天津 EIP のエリアは工業地域のほか、住宅地、商業、行政、サービス業、教育・研究機関、医療機関などの都市機能を有する。

ここで提案した国際比較分析ためのフレームを活用し、各 EIP の戦略や取り組み等の内容を調査し、利害関係者と共生要素の関係が明らかにできる。異なる EIP の共生要素を収集し比較するにあたり、不足している共生要素を特定し、それを課題として政策の策定、該当地域の EIP の改善点として提案することができる。また、技術や資源循環の向上により EIP の役割が拡大し、産業共生地域が拡大しエリア外の地域産業共生関係を構築する際にも、課題を抽出することができる。さらに、既存の様々な分析手法（例えば、共生要素を活用した環境指標による定量分析）にも活用できる。

4.4 では、ここで提案した分析フレームに沿った日本と中国のケースの国際比較を行う。さらに、4.5 で分析のメインフレームとサブフレームの情報に基づいたステークホルダーマップを作成し、利害関係者の役割を明らかにする。

4.3 分析フレームを用いた結果

4.3.1 研究対象の概要

北九州エコタウン（K-ET）は、1997年に「北九州エコタウンプラン」を策定し、国の承認を得た。1998年にペットボトルリサイクル事業がはじめて静脈産業として立地し、1999年にOA機器リサイクル事業、2000年に自動車リサイクル事業、同年に家電リサイクル事業、2001年に蛍光管事業が立地した。2010年以降は、新規進出事業が減少したが、その中で、地元で古くから操業している企業が主導して独自で事業を立ち上げるケースが増えた。K-ETは廃棄物リサイクルを中心に静脈産業が集積したが、徐々に再生可能エネルギー関連事業や高付加価値型のリサイクル事業に展開している。今後は、環境産業の高度化、次世代のエネルギーパーク、地域循環共生圏の構築に展開することを目指している^{3,4)}。

天津経済技術開発区（TEDA）は、管理委員会が EIP 内に設置され、EIP エリアの計画・

建設・管理を行っている。1984年から塩田だった場所が開発され、外資の進出を主として発展した外向型経済区である。1992年に食品加工業である「康師傅」がはじめて入居し、同年にモトローラと松下電子産業が相次いで入居した。1994年にノボノルディスクとノボザイムズが生物医薬技術産業に出資した。1995年にドイツの自動車製造業の入居をはじめた。調査時点では、TEDAの業種は大きく分けると5つの製造業（自動車、電子情報、装備製造、医薬健康、食品飲料）と1つのサービス業から構成されている。将来は、石化と新素材産業を焦点に発展する。国家新型工業石油化学工業産業モデル基地と国家ナノ技術産業基地および国内一の新エネルギー新素材の産業集積地を目指している。

天津子牙循環経済産業区（ZIYA）は、TEDA同様に管理委員会がEIP内に設置され、EIPエリアの計画・建設・管理を行っている。2001年に輸入品（第7類廃五金金属）の解体、再生資源の利用、資源の深加工（効率利用、価値最大化）を一体化する産業園区として設立された。廃棄物輸入政策を転換するまでの、中国北部の最大級静脈産業園区である。2017年に「天津子牙循環経済産業区」から「天津子牙経済技術開発区」に名称を変更した。調査の時点では、ZIYAの業種は大きく分けると6つの種類（廃旧機電製品、廃自動車解体業、廃電器電子製品、プラスチック・ゴム業、深加工再製造、省エネ新エネルギー産業）で構成されている。将来は、中国北部の希金属の再加工と自動車再生製造基地を造ることになっている。京津冀（北京、天津、河南省一部の略）を中心とした廃自動車解体産業チェーンの形成、環渤海地区における廃プラスチック、ゴムの再生利用のための産学研商プラスチック・ゴム省エネ新エネルギー産業基地の建設、環境保全設備の研究開発と製造など環境産業を育成する構想である。動脈と静脈を結合する循環経済発展「ZIYAパターン」の形成が目指されている。

4.3.2 国際比較のフレームの適用

提案した国際比較の分析フレームを分析するため、日本のEIPの代表例であるK-ETと中国のZIYA及びTEDAを対象に、各EIPの管理部局担当者に対するインタビュー調査と、入手した資料に基づき、提案したフレームに沿って分析する（表4.1-4.3）。

1) 資源循環・カスケード利用

ZIYAには、280社が集積している。廃棄物の調達と再資源化が主な産業共生パターンである。廃棄物輸入禁止政策の影響を受け、調達の問題が現れている。ごみ分別政策が進められているものの、調達の問題の短期的な解決に至っていない。一方、事業者がインターネットを活用した再生資源回収システムの構築を模索している。ZIYAの回収範囲は、北京と天津及びその周辺地区である。希金属は全国に供給している取引実績がある。

TEDAには、20,000社が集積している。その中に、産業共生に加する事業者が900社があり、多種類の産業構造による多様な産業共生パターンが形成されている。自動車産業群が産業共生クローズドループを形成し、また、食品製造業における蒸気と処理水のカスケード利

表 4.1 北九州エコタウン

北九州エコタウン										
対象者	資源循環・カスケード利用			運営			支援			
	廃棄物	エネルギー	水	管理システム・機関	情報	教育、広報	インフラ整備及び生活施設	技術支援	資金支援	
エリア内	企業	CRT, 段ボール, 古紙, 蛍光灯, ラベル紙, 廃プラ, 紙屑, 石膏ボード紙, 空き缶, 空き瓶, 金属屑, 廃フレコン, タスト, ニ次電池, ドラム缶, 小型家電, 家電, 廃自動車, OA機器, 木屑, 基板, 熱交換機, 汚泥, 乾電池, 混合廃棄物, 廃食用油, メタノール, 食品廃棄物, 衣類, 発泡スチロール, など	食用油 BDF化: 脂肪酸メ チルエス テル			企業間交流会議 (非公式)	人材育成	道路, 港湾, 上下水道網, 通信, 雨水回収施設, 通信ネットワーク, ガス, 汚水, 汚水回収, 雨水回収など	環境未来技術開発助成金, 環境研究用の用地として, 格安で貸付を行っている	
	住民									
	大学・学校									
	研究機関								福岡大学資源循環・環境制御システム研究所, 九州工業大学エコタウン実証研究センター, 北九州市エコタウンセンター廃棄物研究施設, 汚染土壌分析関連実証研究, パイオマス燃料製造方法に関する実証研究, 有機性廃棄物の炭化技術実証研究, 金属ブリケット化技術実証研究, 竹チップ混焼ボイラ実証研究, 飛灰処理薬剤の商品化技術に関する実証研究, 埋設水素パイプラインの漏洩センサー評価に関する実証研究	
エリア外	企業	パチンコ店, ユニフォームの受け入れ, OA機器の回収, 廃棄食品の回収, 蛍光灯の回収, 食用油の回収, メンテナンス会社, 病院, 中古販売店, 食品工場, 蛍光管製造業, トイレレットペーパー製造, 包装容器, 古着	ごみ収集車 市営バス		安全管理, 安全防災会議年1回から回, 北九州エコプレミアム, 研究開発からパイロットプラント・事業化まで一貫した取組の推進, SDGsの取り組み, PRと情報発信, 事業者と協力, ワンストップサービス, 多様なテーマ連携の会議年間2回, 環境産業推進会議, リサイクルテーマセミナー年間2回, ごみ集める対策, エコアクション21, ISO140001, CSR	ホームページ, エコタウンセンターに見られるように設置する。 (例)有害物質, など				
	住民・地域社会	ペットボトルをリサイクルする, 蛍光灯をリサイクルする, 古紙をリサイクルする, チェル缶, アルミ缶をリサイクルする, 古着のうけ入れ, OA機器の回収, 農家, 廃棄食品の回収, 蛍光灯の回収, 食品その場					工場見学(海外40%, 国内60%), 次世代エネルギーパーク見学, ネイチャーセンター, ビオトップ(高齢者が多い), 環境・リサイクル技術, 製品の展示, 環境関連の研修, 講義の実施, 自然環境の保全に取り組む市民・NPO, エコの風(様々な形で環境教育を行っている)			
	大学・学校					小学生を中心に環境教育を行う		北九州市立大学国際環境工学部大学院国際環境工学研究科, 九州工業大学大学院生命工学研究科, 早稲田大学大学院情報生産システム研究科, 福岡大学大学院工学研究科		
	研究機関									

表 4.2 天津 ZIYA EIP

天津ZIYA生態工業モデル園區								
対象者	運営						支援	
	資源循環・カスケード利用		管理システム・機関	情報	教育、広報	インフラ整備及び生活施設	技術支援	資金支援
	廃棄物	水						
エリア内	企業	テレビ解体、冷蔵庫解体、パソコン解体、エアコン解体、洗濯機解体、小型家電解体、廃事務用品解体、廃家電・事務用品の解体、廃棄自動車解体、自動車プレス部品破砕、モーター解体、金物電気解体、再生可能な製品の再生製造、金属スクラップで有色金属精造、有色金属でマグネット発電機、電気ケーブルの製造、廃プラスチックの変換、変換したプラスチックでカーオーナーメント、ウッドプラスチック等製品製造	水・土壌・空気の影響防止法、天津市空気重汚染応急予案、大気汚染攻撃防衛方案、環境保護検査（二酸化炭素削減）、安全生産監督管理弁、環境保護弁、生態環境局、ライフサイクル管理、家電処理過程の監視（環保部カメラ24時間稼働）、ISO14000、清潔生産、3R・3化、優秀園區の学習・観察、ワンストップサービス	企業と企業直接情報供給	安全生産教育 Short Film 環境啓発活動	道路、上下水道網、電力供給、通信、ガス、汚水集中処理、雨水回収、オフィスビル、職員アパートなど	(国)中央生態文明専門資金、(国)廃棄物電子製品処理基金補助標準に関する通知（テレビ40～45元/台、パソコン45元/台、洗濯機25～30元、冷蔵庫55元/台、エアコン100元/台）、(国)資源総合利用製品と労務増進優遇目録（優遇税制）、(天津市)循環化改造資金	
	住民			HP公開	Short Film、国際青少年活動センター、工業循環経済企業觀光基地、農業循環經濟産業基地（農業実験）、軍事訓練基地、環境保全教育、安全と健康教育、循環經濟展示館（循環經濟教育）	住宅地（子牙新城）、文化体育センター、生活関係店舗（衣・食・住）		
	大学・学校				Short Film、環境保全教育、安全と健康教育	幼稚園、小学校、中学校		
	研究機関						中華全國環境保護聯盟天津分會、天津再生資源研究所、天津子牙再生資源生産力促進センター、天津子牙循環經濟産業区インキュベーター、天津市ダイヤ利用協会、院士専門家サービスセンター、天津海外高レベル人材創造創業基地、天津市静海県ポストドクト創造実験基地、天津市専門家サービス基地、天津大学資源再生利用と再製造研究センター、天津理工大学循環經濟研究院子牙別館、南開大学中国再生資源研究センター、天津市循環經濟科學技術開發センター	
エリア外	企業	古紙再生、生活ごみ処理、工業固体廃棄物処理、危険廃棄物処理			企業、団体見学対応			
	住民・地域社会			HP公開	Short Film、国際青少年活動センター、工業循環經濟企業觀光基地、農業循環經濟産業基地（農業実験）、軍事訓練基地、環境保全教育、安全と健康教育、循環經濟展示館（循環經濟教育）			
	大学・学校				Short Film、環境保全教育、安全と健康教育、見学		北京化工大学、四川大学、南開大学、天津大学、天津理工大学、天津外国語大学	
	研究機関						科学技術局、中国科学技術院	

表 4.3 天津 TEDA EIP

天津TEDA生態工業モデル園區								
対象者	資源循環・カスケード利用			運営			支援	
	廃棄物	エネルギー	水	管理システム・機関	情報	教育、広報	インフラ整備及び生活施設	技術支援 資金支援
企業	製薬業（薬残渣） 糧食製造業（食品残渣） 家電製品解体業（廃金属、廃プラスチック） カーボンブラック（排気ガス燃焼炉による排気ガス供給・発電・暖房） 自動車業（廃アルミ、廃鉛、廃鉄鋼、廃プラスチック）	低圧蒸気、自動車製造業、インスタントラーメン、食品加工業 陶磁器製造業、排気ガス燃焼による蒸気・電気供給（薬品製造、新材料） ごみ焼却発電	汚水高度処理、火力発電所の利用、食品加工業の利用、火力発電所に回流凝結、景観の灌漑、独自再生水循環システムがある企業：自動車製造業、電子半導体・ディスプレイ 独自処理済み汚水は公共処理に排出	水・土壌・空気の3つ汚染防治法案（毎年配布）、秋冬季節空気重汚染急予案、大気汚染攻坚战防治方案、生態環境保護委員会（配置係）、緑色石化産業促進局 新エネルギーと新素材産業促進局、汚染防治攻坚战指揮部、低炭素促進センター 智慧環保Platform（情報監視）、Grid management（毎日不定時査定、空気質量等）、Iso14000、Csr、Eprの推進、清潔生産、PDCA（毎年）、優秀園區の学習・視察、ワンストップサービス	循環經濟サビサービス platform 一般工業園區廃聯單管理（廃棄物取引記録の情報化） 企業間交流会議（非公式）	法制教室（職員、幹部等）	道路、港灣、上下水道網、電力供給 通信、ガス、火力発電、水工場、汚水処理所、オフィスビル、職員アパート 危険廃棄物処理施設	(国)中央生態文明專項資金 (国)資源綜合利用製品と勞務増値稅優遇目錄（優待稅制）、 (天津市)循環化改造資金、 (天津市)綠色發展を促進する暫行辦法（エネルギー・水等30項目に30%補助）、天津經濟技術開發區省エネ、環境保護重點激勵項目、ISO14000申請補助金、ISO14001申請補助金、オフィスビル省電（全部免除、低價賃貸）
エリア内 住民	生活ごみ				HP公開	展示センター、公開開放日、環保教室、工業旅行、Short film、イベント等多種多樣、	住宅地、スーパー、商業地區、病院、生活ごみ焼却、など生活施設が多い	
大学・学校	生活ごみ					学校に宣傳員派遣 Short film、小学生を中心に環境教育を行う	幼稚園、小学校、中学校、高校、大学	天津科技大学 泰達キャンパス 南開大学 泰達学院
研究機関	生活ごみ							中國環境科學院、一汽豐田研究所、中國石化北京化工研究院、遼寧石油大學（化工）研究院、天津科技大学、大陸汽車開發所、醫藥聯合研究院、泰達生物醫藥開發ビル、イ...
エリア外 企業	薬残渣発酵、飼料工場、廃金属市場、廃プラスチック市場、汚泥処理							
エリア外 住民・地域社会	生活ごみ				HP公開	展示センター、公開開放日、環保教室、工業旅行、Short film、イベント等多種多樣、		
大学・学校								南開大学、天津大学、遼寧石油大学、天津科技大学
研究機関								醫藥品開發（高新区）

用が進んでいる。この要因として、天津は水資源の乏しい地域であり、EIP 管理部局は自然資源を効率的に使用することを重視している。もう一つの要因は、公共事業として、蒸気や排水などのインフラが提供されていることである。これは中国 EIP の重要な特徴であり、事業者に良質かつ低コストの公共事業とインフラサービスが提供されるによる投資の獲得が極めて重要とされている⁵⁾。

K-ET には、26 事業者が集積している。廃棄物の調達と再資源化が主な共生パターンである。K-ET は、ZIYA と TEDA がエリア内のクローズドループと産業チェーンの形成に力を入れているのと異なり、エリア内の産業共生関係を構築することも模索されているが、むしろエリア外の事業者との連携が重視されている。市民のごみ分別に対する協力に基づき、多分別の資源回収システムが形成されており、それが地域産業共生に対して重要な役割を担っている。静脈産業の集積地であるため、より広域的な資源回収を可能とすることによって競争力を確保しているのが特徴である。市はエコタウン事業認定制度の創設・実施とともに、K-ET のエリアを市内全域に拡大することで、地域の既存の動脈・静脈事業者とのさらなる共生・共存を目指している。

2) 管理部局の戦略・取り組み

TEDA と ZIYA の管理部局は、EIP エリア内に設置されている。K-ET の管理部局は、市環境部が担当している。3つの EIP いずれにおいても、企業にサービスを提供することを重視している。

TEDA 管理部局は、他の中国国家レベル EIP とともに、継続的な競争に対応するため、EIP レベルの ISO14001 認定を獲得することが定められ、環境管理レベルを向上するとともに、持続可能な発展の優位性を獲得した。2000 年に ISO14001 を申請して認証された。中国第 1 期 ISO14001 の国家モデル区となった。2020 年まで、TEDA の ISO14001 は 20 年間で安定的に継続している。それに対して、K-ET は、市環境局は積極的な PR や情報発信を通じて、世界的に K-ET のことをアピールしている。

戦略と実態の観点から、3つ EIP の特徴を、循環経済の発展戦略—産業育成戦略、企業誘致—配置計画、企業の自由度—管理機関のコントロール、参入事業者数—資源循環パターン、以上の4つの軸によって分析した(図 4.2) これら4つの軸を用いた二次元の配置については、3章で提案したサブフレームの情報をもとにして分類し、4象限に配置した。なお、今回の3つの EIP は第1, 3象限に位置づけられたが、空いているところ(第2, 4象限)についても、例えば、a では海外循環ビジネスの展開を重視しない地域産業共生型 EIP、d では立地事業者数は少ないが多様な種類の資源循環パターンがある EIP も存在する可能性がある。

EIP の発展戦略を見ると、TEDA と ZIYA はエリア内の産業共生形成に力を入れ、国内環境産業の育成を中心としている。外資の導入をメインに、産商学研民の総合的な EIP を構築している。企業に対する環境面の管理については、管理機関が積極的に監督し、循環経済の発展を導く役割を担っている。

K-ET は、国内産業の集積をメインに、エリア内外の産学研民の連携を構築している。エリア内の産業共生のみではなく、地域の産業や民生部門との共生関係も同時に取り組んでいる。また、国内環境産業を育成すると同時に、海外環境ビジネスも行っている。事業者に対する環境管理については、EIP としての特別な管理はなく、一般的な法規定が運用されている。

EIP に立地事業者数について TEDA が最も多い。資源循環について、TEDA は廃棄物・副産物、蒸気、処理水の共生関係が構築されている。ZIYA と K-ET は廃棄物・副産物の共生関係が中心である。

3) 情報共有・情報公開

3つのEIPにおける事業者間の情報共有については、EIPレベルの公式の共有システムを通じて情報を得るしくみは存在していない。廃棄物の取引は、主に事業者間のクローズドな取引によって成立する。EIPレベルの公式の情報共有システムが成立できないのは、事業者の機密情報の共有には至っていないことが理由である。TEDAは、このような問題を解決するために、産業廃棄物の個体管理を実施し、廃棄物取引の追跡するための情報化を実施している。3つのEIPは、情報公開を通じて信頼性の向上に努めている。TEDAとZIYAは、居住区と産業を一体的に開発することによって信頼性を高めている。K-ETは、住民説明会を通じて信頼性を高めている。具体的には、K-ETでは、新規事業の立地にあたり、市環境局の職員は住民説明会等の実施によって市民の理解を得ることで事業を成立させることができた。例えば、PCB処理施設、東日本大震災の震災がれきの受け入れの事例が挙げられる³⁾。

4) 教育・啓発

TEDAとZIYAの管理部局は、EIP内企業の幹部や職員の環境意識と循環経済知識を向上させるために教育講座を設けている。また、エリア内の市民、学生、団体の見学を主に実施し、エリア外の見学者も受け入れている。このように、循環経済教育と環境教育活動が豊富に実施されている。K-ETは、立地事業者には見学対応を義務付けており、市民や学校からの見学者を受け入れている。海外からの見学者も多い。国内外の見学者の割合は3:2である。3つのEIPでは、見学者が幅広くあるが、主な対象者が小学生であることは一致している。

5) インフラ整備及び生活施設

ZIYAのインフラ整備は、第1期は完成、第2期は90%が完成、第3期は10%が完成された段階である。主な工事内容は、道路建設、雨水と污水排水管の敷設等である。TEDAでは、新しい化学工業区のインフラ整備がすでに終了した。その他、戦略的パートナーシップによるインフラのアップグレードが進められている。例えば、2020年にTEDAとファーウェイはAI、IoT、Big data、5Gなど中核技術と資源についての戦略協議に署名し、TEDAのDXのためのインフラのアップグレードを推進している。また2021年に、TEDAと国家ビッグデータ災備センターは、金融ビッグデータ産業の育成、ビッグデータ産業のイ

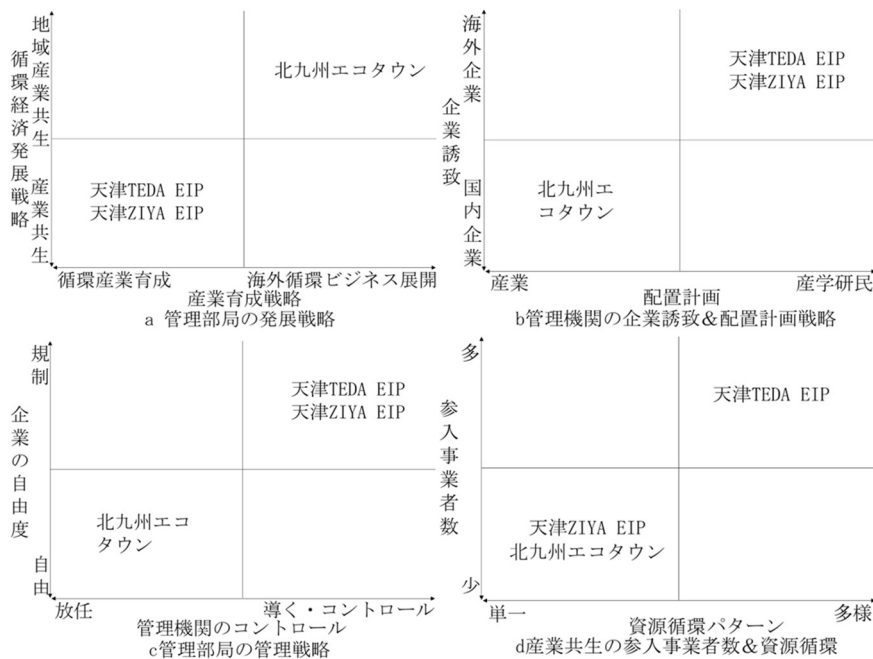


図 4.2 EIP 産業共生比較の分類軸と EIP の位置づけ

インフラ整備をめぐる、エリア域内の DX を共同で推進することための協定を締結した。

TEDA と ZIYA では、中国の他の EIP と類似するように、多様な産業、商業、住宅コミュニティの集積による大型複合 EIP が構成されている。住宅コミュニティには、幼稚園、学校、病院、マーケットなどが含まれている。住宅コミュニティに住む人は、EIP エリア内で働く人だけではなく外で働く人もいるという点で、産業共生とは一線を画す。コミュニティの一部には、従業員の子供が利用する学校もあり、コミュニティを中心とする文化と規範が、信頼、社会のつながりを促進した。これらの特徴が、地域産業共生の発展に有効であると考えられている。信頼と社会関係の強化が産業共生の重要な要素である可能性がある⁶⁾。

6) 財政支援

建設初期のインフラ整備のための資金において、ZIYA は 2009 年に、政府系投資会社がインフラ建設に融資を開始した。累計 120 億元であり、道路、汚水処理工場、固体廃棄物集中処理・転送センター、廃旧家電・電気ケーブル集中処理センター、スポーツ活動センター、小中学校、幼稚園等が含まれる。建設当初、政府系投資会社と静海县政府は 9：1 の割合で出資し、子牙投資会社を作った。子牙投資会社が、園區の土地整理、インフラ整備、ZIYA モデル地区の企業の建設工事を担っている。2015 年 11 月に、子牙投資会社の株主が変更され、静海区政府が政府系投資会社が保有するすべて子牙投資会社の株を購入し、ZIYA のすべての財産、資源、債務を担うこととなった。

また、道路建設及び付属インフラ整備についての未払い金が22億元があり、その分は静海区政府が2020年に20億元、2021年に2億元の債券を発行した。償還期限は15年である。

TEDAは、政府系投資会社を通じて負債で土地を開発し、借入金は累計3.7億元である。1990年からインフラの大規模な建設を開始した。2002年まで、インフラ整備の投資額が139.11億元に達した。そこから定期的にインフラの修繕、建設に拡大しつつ、投資した。例えば、2006年に化学工業区の水、電気、天然ガス、蒸気、暖房設備の建設に12.3億元を投資した。2014年に住宅コミュニティに8億元を投資し、古い公共施設、住民サービス施設の修繕、コミュニティの衛生サービスセンターの建設、1996年に建設した競技場の改造、教育施設などの工事を行った。

以上の状況から見ると、ZIYAとTEDAの投資・融資について、管理委員会あるいは県政府が直属の政府系投資会社との提携を通じて、政府の信用によって資金を集め、インフラ整備に投じてきた。中国の2つのEIPは、非政府の出資も利用し、政府債券と融資による資金を獲得した。このような集金方式は、資金出所が単一であり、短期的に資金回収が難しい点及び政府の圧力が大きい等の問題がある。しかし、EIP計画と建設の各段階で、融資はEIPの成功を確保するための重要な要素といえる⁷⁾。

TEDA、ZIYAと異なり、K-ETは国からの直接的な補助金を受けた（エコタウン補助金）。補助制度は、ハードとソフト補助金の2種類がある。ハード補助金は、リサイクル施設整備（初期投資）への補助金、ソフト補助金は、プラン設計のためのFS（調査費用）、展示商談会開催事業等が対象であった。ハード補助事業は1997年度から始まり2005年度まで続いたが、K-ETの関係では、7事業に総額約35億円の補助金が交付された。その他に、おからリサイクル事業に農林水産省からの補助金、複合中核施設に経済産業省資源エネルギー庁から新エネルギー関連の補助金が交付された。ハード事業の補助については、北九州市からも2.5%の補助が出された。また、北九州市は、響りサイクル団地に進出する企業に対する独自の補助制度を創設した。これは、国の補助を受けられない中小事業者を念頭に置いたもので、補助率は10%であった⁴⁾。

4.4 ステークホルダーマップ分析

4.4.1 ステークホルダーマップの作成

EIPを中心とする地域産業共生の実態の見える化のために、ステークホルダーマップを用いて、EIPの利害関係者の共生関係を描き、共通点・相違点等の特徴を抽出し考察する。ステークホルダーマップ作成に当たり、各EIPの管理部門にインタビュー調査を行った（2021年7月）。そこで得られた情報や資料に基づいて作成した。なおマップの作成においては、2010年にK-ETを対象に実施したアンケート調査⁸⁾の結果も用いた。

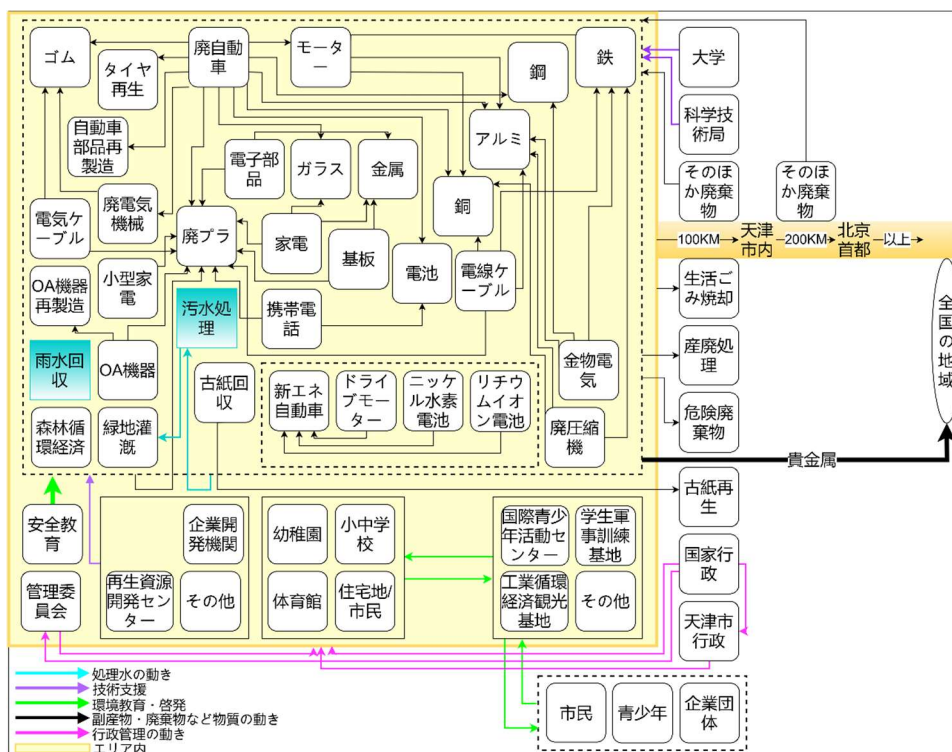


図 4.3 ZIYA の地域産業共生実態

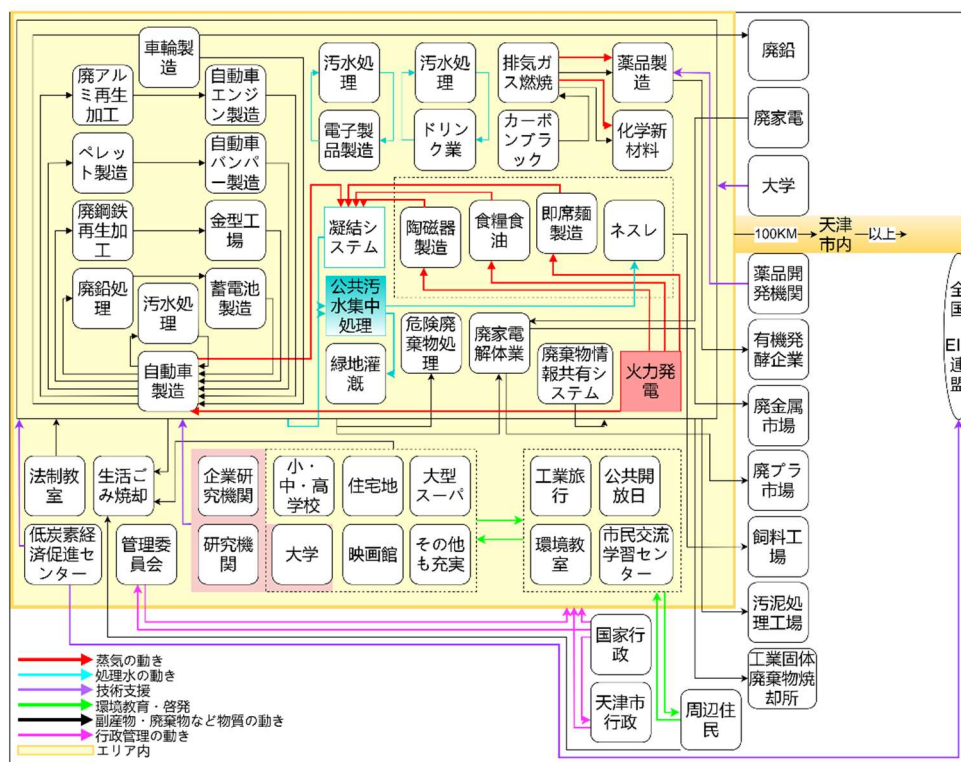


図 4.4 TEDA の地域産業共生実態

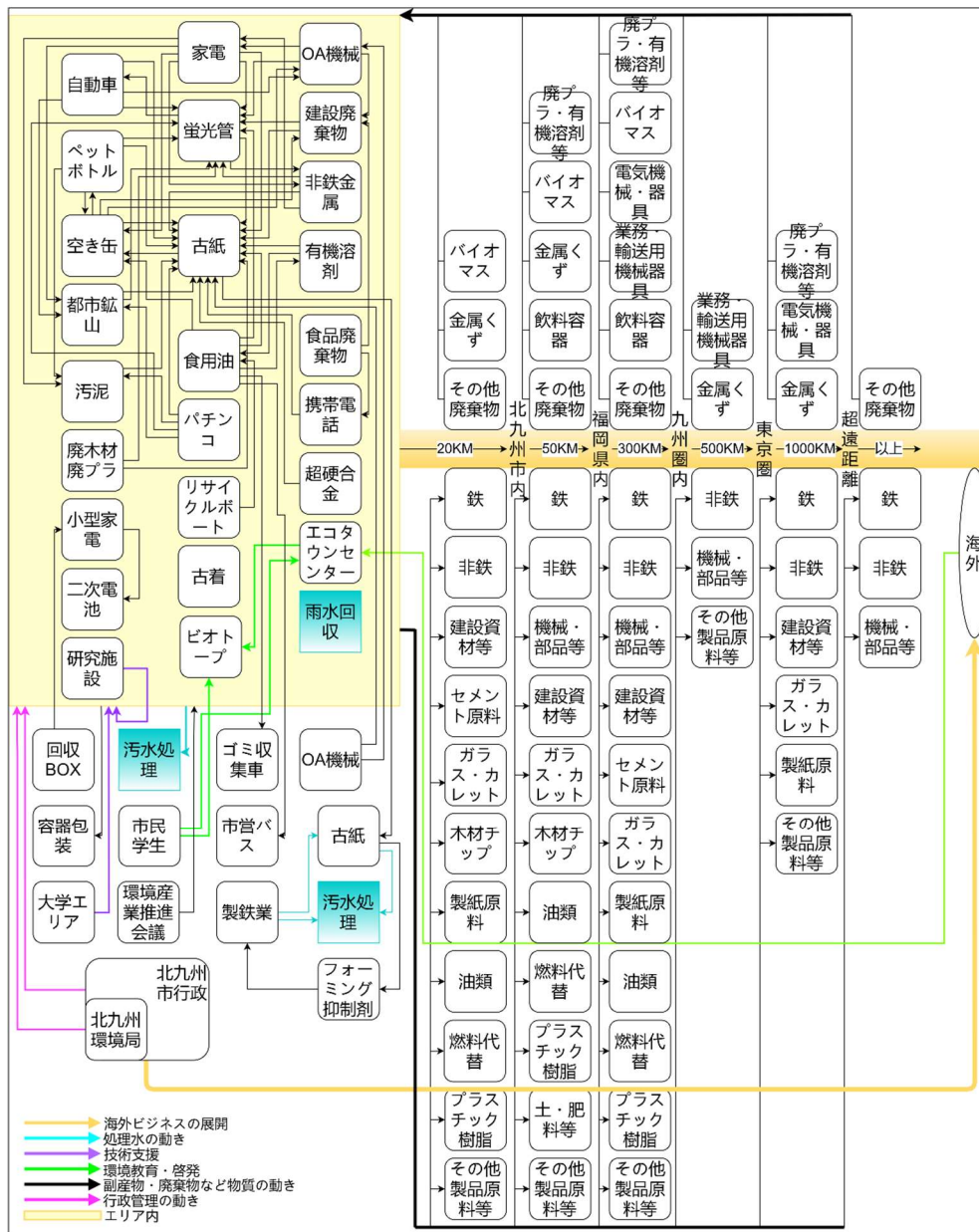


図 4.5 K-ET の地域産業共生実態

注) 物質名で示しているアイコンは、その物質を処理するリサイクル事業者を示している。同じ物質を扱っている事業者や回収拠点が多数立地している場合は、1つアイコンに集約した。

EIP の産業共生をめぐるステークホルダーとして、行政、企業（エリア内外で廃棄物の有効利用に参加する企業）、市民、学生、研究機関（研究所、大学など）、インフラ（上下水供給、工業排水処理、蒸気製造など）、環境学習拠点、地域社会（住宅地、学校、大型スーパー

一など) などがある。共生関係の矢印を 7 種類に分け、それぞれ蒸気の動き、処理水の動き、技術支援の動き、環境教育・啓発、廃棄物・副産物・残渣など物質の動き、行政管理、海外環境ビジネス展開とした(図 4.3-4.5)。本稿では、天津市と北九州市で展開されている 3 つの EIP の地域産業共生に関する利害関係者の実態を図に示した。

4.4.2 ステークホルダーマップの分析

TEDA, ZIYA エリア内のステークホルダーとして、行政、商業、企業、市民、学生、研究機関、インフラ、環境学習拠点、地域社会がある。エリア外のステークホルダーとして、行政、商業、企業、市民、学生、研究機関がある。行政は EIP の運営、企業にサービスの提供、一定の資金、エリア内の企業に対して法制度、安全教育カリキュラムを提供している。エリア内外の市民や学生は、環境学習拠点、工場見学の参加を通じて、環境知識を学習する。エリア内外の研究機関が EIP の関係企業に技術を支援している。エリア内には、住宅区、学校、スーパー、体育館などの生活施設が整備され、完全な地域社会が構築されて、エリア内の市民の生活を保障している。また、より高次の行政は EIP に対して、政策ガイダンスと財政的支援を提供することで、エリア内企業の産業共生とインフラのアップグレードを推進した。

TEDA エリア内の見学者数よりエリア外の見学者数が少ないことには注意が必要である。その原因は、EIP の行政区界が分けられ、エリア外に対する宣伝が薄くなり、エリア内と外の間を意識的わだかまりができたようである。一方で、ZIYA エリア外の市民、学生の見学者数がエリア内の見学者数より多いのは、エリア内の地域社会が小さく、さらにエリア内の市民がほとんど ZIYA の職員であるため、エリア外に対する宣伝を強化したことが要因である。

K-ET エリア内のステークホルダーは、事業者、インフラ、研究機関、環境学習拠点である。エリア外のステークホルダーとして、行政、商業、事業者、市民、学生、研究機関がある。エリア内のインフラが、事業者間の相互連携を促した。エリア内の研究施設とエリア外の大学が、エリア内の事業者の技術開発を支援している。エリア外の市民、学生、国内外の見学者が、環境学習拠点や工場見学を通じて、K-ET とつながっている。市環境局が、EIP の運営と、事業者に対する様々なサービスを提供している。事業者の立地は、地域市民から監視を受け、また地域市民に対して雇用創出、環境意識の醸成等の点で影響を与えている。K-ET エリア内に地域コミュニティがないものの、周辺地域社会とのつながりも同様に産業共生の発展を促した。

ZIYA は、2017 年まで海外からの輸入廃棄物をエリア内で処理する事業を行ってきた。その特殊性により、廃棄物の有効利用のための連携の範囲が非常に大きい。2017 年から、その範囲が縮小された。インプットは天津圏と首都圏にとどまっているが、アウトプットは希金属の供給範囲は全国を対象にしている。範囲縮小の要因は、政策の変化が指摘できる。そ

の他、広範囲な供給が可能なのは資源の特殊性（第七類廃棄物処理）、規模（再生希金属の生産量が多い）、地理的優位性、素材産業構造、低価格などの要因が挙げられる。中国 EIP の詳細なデータを集めることは極めて困難であるため、ZIYA の地域産業共生範囲の大きさについては類推した。一方、K-ET の各種インプットとアウトプットデータ⁸⁾によると、廃棄物調達地域範囲は東京圏（1,000km）を超えている。また、主な廃棄物調達の範囲は九州圏内で行われている。ZIYA と K-ET は、静脈産業をメインとしているのが特徴なので、廃棄物調達が行政界を超えて、遠くまで活動していることがわかった。この点は、Lyons の論点である「クローズドループを組織的に形成するための適したスケールは存在せず、関係する企業の取引を規定する空間経済理論によって支配されるものである」と一致する⁵⁾。

TEDA は、エリア外の事業者と廃棄物調達・供給が行われているものの、地域産業共生関係がそれほど多くない。メインはエリア内あるいは周辺の事業者が対象である。TEDA の管理部局は、EIP エリア内のクローズドループと産業チェーンの形成を重視している。エリア内の循環パターンの形成要因は、政策主導とともに、TEDA に立地している動脈産業の方針が主体である。同時に、静脈産業も存在しているという産業構造の特性ゆえに、内部循環が形成しやすい点も優位に働いている。例えば、自動車産業が代表的である。

K-ET は、ZIYA より高度な技術を有するリサイクル事業者が多く立地している点が特徴的である。例えば、超硬合金事業、食用油燃料化、蛍光管のリサイクルなどの事業が挙げられる。したがって、ZIYA がこれから中国静脈産業を牽引するためには、環境産業の高度化を進める必要がある。

ZIYA では、近年、戦略的新興産業の配置計画に基づいて動脈産業が増加している。例えば、エネルギー貯蔵設備の開発製造、自動車産業、新エネルギー産業である。また、すでに述べたように、ZIYA の名称変更など、このような変化がみられるが、ZIYA が廃棄物解体事業をメインにしてきた静脈産業から、TEDA のような動脈と静脈の両方が存在し、多様な産業構造の園区に転換している。今後は、このような多様な産業構造の下に、産業共生関係が増加することが予測される。一方、TEDA において建設済みの化学工業区が今後稼働すれば、産業共生がさらに強化されていくことが期待される。また、中国商務部が主導する国家レベル EIP グリーン連盟が設立され、国内 62 ヲ所の EIP で構成されている。連絡所は TEDA 低炭素経済促進センターに設置された。連盟は、国家レベル EIP のグリーン、低炭素、循環発展分野の交流、協力等の推進を目的とし、今後効果の発現が期待される。

4.5 結果の考察

本論は、産業共生の概念を整理し、EIP の国際比較分析を行った。各種要素の役割を考察することで、そこから抽出される特徴を分析し、EIP の持続的発展に資することを目的とした。先行研究のレビューを通して産業共生及び EIP の多様な要素を抽出し、国際比較可能な分析フレームを開発・提案し、その適用性を示した。これらによって、以下の結論を得た。

- ・ステークホルダーマップの適用によって、EIP と EIP 外の地域を含めた利害関係者の参加実態の理解をより深め、地域産業共生の形成課題の理解を促進することを容易にした。利害関係者間の関係を理解したうえで、比較を通じて、各地域に存在する課題の改善方を発見することの一助になると思われる。
- ・EIP の発展をより効果的に推進するためには、利害関係者の影響要因に対する配慮が不可欠である。EIP に影響を及ぼす利害関係者は、EIP 内部だけではなく外部にも存在する。本論文では、3 つ EIP の利害関係者の役割を明確にした。
- ・K-ET の特徴は、資源の循環、それに伴う事業者連携の範囲が3つの EIP の中で EIP 外を含め最も広い範囲となっていること、さらに、海外環境ビジネス展開や経験移転、海外の見学者の訪問、知識、技術などの共生関係が海外まで広がっていることである。中国 EIP の特徴としては、EIP 内の公共事業としての蒸気連携や排水処理インフラの提供による産業共生の形態が多様に存在するが、EIP 外の資源回収システムの構築が課題といえる。
- ・戦略と実態の国際比較から考察すると、K-ET は地域産業共生・海外循環ビジネス展開型、国内企業誘致・産業集積型、自由・放任展開型である。TEDA と ZIYA は産業共生・循環産業育成型、国内外企業・産学研民集積型、規制牽引型。K-ET と ZIYA は小型・廃棄物循環型、TEDA は大型・多様形態循環型であることがわかった。
- ・3 つの事例では、資源循環の事業者が異なることを除いて、市民、学生、研究機関、大学、環境教育センターの関係者が基本的に一致していることがわかった。これら多様な関係者の参加があることが EIP の成功に影響すると考えられる。
- ・ステークホルダーマップの分析を通じて、EIP と EIP 外の地域産業共生の中に、物質、知識、経験、技術、資金、管理の6種の共通的な利害関係があることがわかった。
- ・先行研究では、政府の役割が大きいと示されていたが、本研究では、特に EIP が地域に拡張する展開において EIP 管理部局の行政権力範囲との関係があることがわかった。中国の EIP 管理部局（管理委員会）は EIP 内企業に対して管理権限を持っており、一方、K-ET の管理部局は市環境局であり、管理範囲は市域全体である。この体制の違いは、市域全体の行政との円滑な連携や管理部局にとっての施策優先度等の違いとなって表出している可能性があることがわかった。
- ・TEDA は、EIP 内に比較的完全な産業構造が存在し、エリア外に対する依頼度が小さいことが、エリア外との地域産業共生関係をあまり形成していない原因であると考えられる。
- ・TEDA では、EIP エリア内の産業共生促進を重視していることから、エリア外の地域産業共生が少ない。
- ・エリア内の資源活用の不十分な点（例えば ZIYA における見学者の不足、K-ET における産業集積の少なさ）は、管理部局の戦略がエリア内の連携よりエリア外との連携を重視、あるいは転換していることがわかった。

参考文献

- 1) Chertow, M.R.: Industrial symbiosis: literature and taxonomy, *Annual Review of Energy & the Environment*, 2000.
- 2) John, Ehrenfeld, Nicholas and Gertler: Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg, *Journal of Industrial Ecology*, 1997.
- 3) 垣迫裕俊：北九州エコタウン事業にみる環境産業振興政策の歴史と今後の展望, *環境管理*, 8月号, Vol. 57, No.8, 2021.
- 4) 北九州におけるリサイクル技術の歴史と発展, 2020.
- 5) Han Shi, Marian Chertow and Yuyan Song: Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin economic-technological development area in China, *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 191-199, 2010.
- 6) Lin Shi, and Marian Chertow: Organizational boundary change in industrial symbiosis: revisiting the Guitang group in China, *SUSTAINABILITY-BASEL*, 9(7), 2017.
- 7) Fang, Y., RP CoTé and Rong, Q.: Industrial sustainability in China : practice and prospects for eco-industrial development, *Journal of Environmental Management*, 83(3), 315-328, 2007.
- 8) 鶴田直, 松本亨:物質フローから見た北九州エコタウンの変化に関する研究, *環境共生*, Vol.28, pp.32-41, 2016.

第5章 まとめと今後の課題

5.1 まとめ

本研究では、2000年から2022年までのGoogle Scholarにおいて「industrial symbiosis, urban symbiosis, eco-industrial park, eco-town, エコタウン, 地域循環圏, 地域循環共生圏」のキーワードを基に検索した合計981本論文を対象に、ヒートマップと共起ネットワークを用いてまず定量手法の組合せの頻出度, システム境界の時間的变化と国別差異, 日本, 中国, ヨーロッパの事例研究の研究主題, 手法の共通点と差異, 全体文献における20年間の変化を分析した。また, 産業共生及びEIPに関する既往研究のレビューを通して産業共生及びEIPの多様な要素を抽出し, 国際比較可能な分析フレームを開発・提案し, その適用性を示した。各章の成果は以下のとおりである。

第1章では, 研究の背景について論じ, 工業化の迅速な発展に対する環境改善の緊迫性, 産業エコロジー概念の提出, 及びデンマークのKalundborg事例から産業共生概念の誕生により, 行政, 研究科等を含める世界的に注目されている。それによって, 世界各国は産業団地に対するエコ産業戦略の展開に積極的に対応されてきた。産業共生は持続可能な発展の1つのツールとして, 特に, アジアとヨーロッパに格別に重視されている。各地域で実施された戦略が異なるものの, 要するに, 産業の環境改善, 持続可能な発展を実現することの目標が一致である。

第2章では, 産業共生に関して, 産業共生理論的な既往研究, EIP国際比較に関する既往研究, EIPの影響要素に関する既往研究, EIPの駆動力に関する既往研究, 地域産業共生に関する既往研究, 計量書誌学とネットワーク分析に基づいた産業エコロジーに関する既往研究をレビューしたうえで, 本研究分野の現状を明らかにした。その後, 既往研究の不足点等を議論して, 本研究の位置づけを明確にした。

第3章では, 産業共生分野の20年間の事例研究について, まずこれまで応用された定量手法の組合せの頻出度から, LCA, LCAとMFAの組合せ手法は, 産業共生分野で大きな影響力を持っていることが分かった。そして, 事例研究の地域対象によるシステム境界に対する時間的变化と国別差異を把握し, EIPが最も注目される研究地域対象であり, また, アジアとヨーロッパの事例が最も注目されていることがわかった。次いで, テキストマイニングを応用することで, 日本の6つの主題, それぞれ①MFA, ②都市共生評価, ③枠組みの開発, ④リサイクル, ⑤CO₂の排出, ⑥エコタウンプランである。中国はそれぞれ①経済環境利益, ②安定性, ③EIPの進化, ④生態効率, ⑤障害, ⑥成功要素, ⑦政策実践の7つの主題がある。ヨーロッパはそれぞれ①経済環境便益と地域産業共生, ②産業共生の発展障害,

③モデルと分析ツール, ④産業共生の展開要素, ⑤枠組みの開発, ⑥協同と相乗効果, ⑦エネルギーフローと効率の7つの主題があることが明確になった。さらに, 主題, 定量的分析手法の観点から, 3つの対象地域には共通的な研究主題があまり存在しないことがわかった。枠組みの開発は, 日本とヨーロッパにおける唯一の共通主題である。経済・環境便益, 成功要素, 障害の3つは中国とヨーロッパの共通主題である。また, 日本における主な定量的分析手法は, LCA と MFA である。中国では, エマジーとネットワーク分析が主な手法である。ヨーロッパでは, LCA, MFA, エクセルギー, 数学モデリングであることが分かった。さらに, 20年間変化の研究を通じて, 後半10年間に事例研究の対象国の増加, 循環経済理論と産業エコロジー理論が重要視されてきたこと, 研究手法については多様な発展を呈していることを示した。コンピュータ技術の発展を産業共生研究に応用した研究も少なくない。最後に, 今後の研究展開に関する具体的な2つの方向性を提示した。

第4章では, 既往研究のレビューを通して産業共生及び EIP の多様な要素を抽出し, 国際比較可能な分析フレームを開発・提案し, その適用性を示した。これらによって, 以下の結論を得た。

- ・EIP の発展をより効果的に推進するためには, 利害関係者の影響要因に対する配慮が不可欠である。EIP に影響を及ぼす利害関係者は, EIP 内部だけではなく外部にも存在する。本論文では, 3つ EIP の利害関係者の役割を明確にした。

- ・K-ET の特徴は, 資源の循環, それに伴う事業者連携の範囲が3つの EIP の中で EIP 外を含め最も広い範囲となっていること, さらに, 海外環境ビジネス展開や経験移転, 海外の見学者の訪問, 知識, 技術などの共生関係が海外まで広がっていることである。中国 EIP の特徴としては, EIP 内の公共事業としての蒸気連携や排水処理インフラの提供による産業共生の形態が多様に存在するが, EIP 外の資源回収システムの構築が課題といえる。

- ・戦略と実態の国際比較から考察すると, K-ET は地域産業共生・海外循環ビジネス展開型, 国内企業誘致・産業集積型, 自由・放任展開型である。TEDA と ZIYA は産業共生・循環産業育成型, 国内外企業・産学研民集積型, 規制牽引型。K-ET と ZIYA は小型・廃棄物循環型, TEDA は大型・多様形態循環型であることがわかった。

- ・先行研究では, 政府の役割が大きいと示されていたが, 本研究では, 特に EIP が地域に拡張する展開において EIP 管理部局の行政権力範囲との関係があることがわかった。中国の EIP 管理部局 (管理委員会) は EIP 内企業に対して管理権限を持っており, 一方, K-ET の管理部局は市環境局であり, 管理範囲は市域全体である。この体制の違いは, 市域全体の行政との円滑な連携や管理部局にとっての施策優先度等の違いとなって表出している可能性があることがわかった。

- ・エリア内の資源活用の不十分な点 (例えば ZIYA における見学者の不足, K-ET における産業集積の少なさ) は, 管理部局の戦略がエリア内の連携よりエリア外との連携を重視, あるいは転換していることがわかった。

5.2 今後の課題

今後の課題としては、以下が挙げられる。

本論文では、テキストマイニング分析から有用な知見が得られたが、さらに他のテキストマイニングツールを使うことで新たな傾向を見出せる可能性もある。また、今回の定量的分析手法のみ考慮したが、定性的分析手法も含めて分析することで新たな動向が見えてくる可能性がある。

各地域の研究主題の静的な差異や変化を分析したが、動的な差異や変化の考察は今後の課題とする。また、事例研究における産業共生形態のグローバル分布の特徴を分析することで新たな見解が見えてくる可能性がある。

国際比較フレームについて、今回は定性的な比較分析を行ったが、さらに定量的な分析を活用した比較分析の実施が今後の課題である。また、文献レビューにより、産業共生の駆動力と影響要因を抽出したが、その分類には一定の主観性が存在している。計量書誌学的手法を用いて、多くの文献から影響要因を抽出することも今後の課題である。

謝辞

本研究の実施にあたり，多数の方々から多大なご協力を賜りました。

本論文を作成するにあたり，恩師である指導教員である北九州市立大学国際環境工学部の松本亨教授には，長年にわたり多くの有益なご助言と辛抱強いご指導を賜りました。どれほど言葉をつくしても感謝の気持ちを十分に表すことはできないほど，お世話になりました。ありがとうございました。

また副査を引き受けてくださいました北九州市立大学国際環境工学部の加藤尊秋教授，寺嶋光春教授，並びに宮里義昭教授には，多くの有益なご指摘とご助言を賜りました。厚く御礼申し上げます。

本研究のインタビュー調査にあたり，中国の天津理工大学の劉絹教授，南開大学の徐鶴教授の先生たちと，天津経済技術開発区及び天津子牙経済技術開発区の管理委員会の担当者たちには，調査実施のため様々な支援を頂きました。ここに，感謝を申し上げます。

北九州市立大学松本研究室の皆様と卒業した先輩諸氏には，常に温かい激励，助言，支援を賜りました。感謝を申し上げます。

最後になりましたが，ここに至るまでの間，休日も研究室にこもり続けた私を，見守り，支え続けてくれた友人と，遠く中国の空より祈り続けてくれた家族に，心より感謝します。ありがとうございました。

Appendix

・同義語・類似語

agent-based modeling→agent-based modelling, eco-industrial park→eco-industrial parks, eco industrial park→eco-industrial parks, ecoindustrial park→eco-industrial parks, eco industrial parks→eco-industrial parks, eco-industrial park (eip)→eco-industrial parks, eco-industrial parks (eips)→eco-industrial parks, technological development area→eco-industrial parks, devens eco industrial park→eco-industrial parks, korean national eco industrial park→eco-industrial parks, eips→eco-industrial parks, eip→eco-industrial parks, campbell industrial park→eco-industrial parks, mfa→material flow analysis, material flow→material flow analysis, life cycle→life cycle assessment, LCA→life cycle assessment, relation→relationship, emergy→emergy analysis, united state→usa, united states→usa, industrial ecology (ie)→industrial ecology, urs→urban symbiosis, ie→industrial ecology, IE→industrial ecology, life cycle assessment (lca) →life cycle assessment, coordination→cooperation, tianjin eco-city→eco-city, dcf→discounted cash flow, japanese eco towns→eco town, eco towns→eco town, ioa→input output analysis, firm→enterprise, lca→life cycle assessment, LCA→life cycle assessment, nisp→national industrial symbiosis programme, national is programme→national industrial symbiosis programme, optimisation→optimization, constraint→barrier, construction industry→construction, freshwater→fresh water, heating→heat, notion→concept, abm→Agent-based Model, cement industry→cement, limitation→barrier, Conventional industrial complex→industrial parks, industrial complex→industrial parks, eco-town→eco town, multi-objective optimization→optimization, environmental performance→environmental assessment, environmental impact→environmental assessment, eco-towns→eco town, ecotown→eco town, resource synergies→synergies, sound material-cycle blocks→sound material cycle block, Sound Material-cycle Blocks→sound material cycle block, Ecological Sphere→ecological sphere, local organization→organization, recycling→recycle, ulsan eip ulsan→eco industrial park, company→enterprise, korean experience→experience, chinese eco industrial park→eco-industrial parks, urban metabolism→urban symbiosis, material exchange→by-product exchange, evaluation system→evaluation, obstacle→barrier, eco efficiency→efficiency, eco-innovation→innovation, industrial ecosystem→ecosystem, industrial ecosystems→ecosystem, kitakyushu eco town→eco town, kawasaki eco town→eco town, kitakyushu eco town→eco town, by-product synergy→by-product exchange, chinese eco industrial park→eco-industrial parks, cooperation→collaboration, environmental benefit→benefit, environmental assessment→assessment, regional level→region, economic benefit→benefit, resource efficiency→efficiency, ecotown→eco town, Ecological Sphere→ecological sphere,

company→enterprise, networks→network, synergy→collaboration,

・意味がない語彙

aspect, article, attempt, author, amount, analysis, addition, basis, baseline, Condition, creation, complexity, content, context, consideration, country, coal, circumstance, china, degree, decade, denmark, date, demand side, dissemination, demand, detail, database, Establishment, establishment, end, eco, emergence, example, environment, effort, figure, focus, from, fate, form, field, france, growth, gallon, hundred, hand, iron, insight, industry, industrial symbiose, industrial symbiosis (is) , IS, instance, idea, implementation, issue, interest, importance, industrial development, industrial sector, industrial symbiosis, italy, japan, korea, kitakyushu, krw, kawasaki, key, lack, lesson, learning, literature, Municipality, municipality, metric, mean, mt co2e, need, number, node, order, overview, operation, place, perspective, previous study, present, part, point, paper, period, quantity, regard, reason, research, recent year, reference, researcher, review, sector, sweden, south korea, symbiosis, set, self, state, study, stage, symbiose, territory, time, term, top, ton, thousand, third, total, teda, user, unit, uncertainty, use, view, work, way, world, year,