

博 士 論 文

中国上海市における
分散型エネルギーシステム導入の可能性に関する研究

**FEASIBILITY ASSESSMENT OF INTRODUCING DISTRIBUTED
ENERGY SYSTEMS IN SHANGHAI OF CHINA**

北九州市立大学
国際環境工学研究科
環境工学専攻・建築デザインコース

2013年8月

顧 群音

QUNYIN GU

中国上海市における分散型エネルギーシステム導入の可能性に関する研究

目次

論文目録

論文要旨

論文構成

第1章 従来研究と本研究の位置づけ	1
1.1 研究背景と目的	2
1.2 本研究の基本的な考え	7
1.3 従来研究	9
1.3.1 中国都市部における民生部門用分散型エネルギーシステムの最適化	9
1.3.2 上海市超高層複合施設のコージェネレーションシステムの導入に関する研究	10
1.3.3 中国における新エネルギー技術導入の費用対効果に関する定量的検討	11
1.3.4 中国都市部への天然ガスビルコージェネレーションの導入	12
1.4 結論	13
参考文献	14
第2章 中国における地域分散型エネルギーの実態調査研究	16
2.1 概要	17
2.2 エネルギー消費の現状と展望	18
2.2.1 中国におけるエネルギー消費の現状	18
2.2.2 中国におけるエネルギー消費の展望	25
2.2.3 上海市におけるエネルギー消費の現状と展望	27
2.3 分散型エネルギーの種類	32
2.3.1 コージェネレーションシステム	32
2.3.2 再生可能エネルギー技術	39
2.3.3 熱源技術	43
2.4 分散型エネルギーの導入現状	46
2.4.1 米国の導入現状	48
2.4.2 EUの導入現状	49
2.4.3 日本の導入現状	50
2.4.4 中国の導入現状	56
2.4.5 上海の導入現状	57

2.5	分散型エネルギーの普及促進策と問題点	61
2.5.1	分散型エネルギーの普及促進策	61
2.5.2	分散型エネルギーの問題点	62
2.6	結論	65
	参考文献	66
第3章	地域分散型エネルギーシステムの総合評価に関する理論研究	68
3.1	概要	69
3.2	エネルギー負荷の予測	71
3.3	コージェネレーションシステムの設計手法	73
3.4	再生可能エネルギー利用可能量の推計方法	76
3.4.1	太陽熱温水器	76
3.4.2	太陽光発電	77
3.4.3	風力発電	79
3.4.4	バイオマスエネルギー	80
3.5	省エネルギー性の評価方法	82
3.6	経済性の評価方法	84
3.7	環境保全性の評価方法	86
3.8	総合評価の算出方法	87
3.9	結論	88
	参考文献	89
第4章	ホテルにおけるコージェネレーションシステムの導入効果に関する研究	91
4.1	概要	92
4.2	研究対象	93
4.3	エネルギー需要量の算定	94
4.4	システム及び各種パラメーターの設定	97
4.5	システム構成と供給特性	100
4.5.1	システム構成	100
4.5.2	電力消費の構成	101
4.5.3	熱消費の構成	106
4.6	省エネルギー性評価	111
4.7	経済性評価	112
4.8	環境性評価	113
4.9	結論	114
	参考文献	115

第 5 章 高層住宅におけるコージェネレーションシステム導入の総合評価に関する研究	116
5.1 概要	117
5.2 研究対象	118
5.3 エネルギー需要量の算定	120
5.4 システム及び各種パラメーターの設定	122
5.5 省エネルギー性評価	124
5.6 経済性評価	126
5.7 環境性評価	128
5.8 総合評価	129
5.9 燃料価格の経済性感度解析	131
5.10 結論	133
参考文献	134
第 6 章 地域における分散型エネルギーシステムの導入効果に関する検討	136
6.1 概要	137
6.2 研究対象	138
6.3 エネルギー負荷の設定	140
6.3.1 上海市のエネルギー消費原単位	140
6.3.2 エネルギー需要量	144
6.4 気候データ	150
6.5 エネルギー設備の選定	151
6.6 分析ケースの設定	153
6.7 他の要素設定	158
6.8 結果の解析	160
6.8.1 設備の導入容量	160
6.8.2 システムの運転パターン	164
6.8.3 省エネルギー性評価	180
6.8.4 環境性評価	181
6.8.5 経済性評価	183
6.9 結論	186
参考文献	187

第7章 結論と展望	188
7.1 結論	189
7.2 今後の展望	192
謝辞	
履歴	
発表論文	
審査論文別冊	

論文内容の要旨

近年、中国は急激な経済発展をとげつつあり、それに伴って生活水準が向上し、エネルギー消費量が著しく増大している。エネルギー消費量が増加するとともに、CO₂ 排出量も大幅に増加しており、地球温暖化に最も大きな影響があり、深刻な環境汚染が広がっている。こうした状況を踏まえた中国政府は、省エネルギーの普及促進や再生可能エネルギーの開発に向けた施策を策定し、エネルギーの長期的な安定供給や環境汚染防止に積極的に取り込んでいる。そこで、従来から進められてきた単体の機器や建物の省エネルギー対策だけではなく、地域・コミュニティレベルの省エネルギー対策を推進する必要がある。そのためには、排熱の有効利用が可能なオンサイト分散型電源、及び太陽光・風力などの再生可能エネルギーの導入が期待されている。中国の国家計画として、2011年からの第12次5ヵ年計画期間に、天然ガスを利用した分散型電源システム関連プロジェクトを1,000ヵ所で具体化する方針を策定し、2020年までに5,000万kWの天然ガス分散型電源システム導入計画を発表した。

中国の経済中心として、上海市は経済の発展とともに環境が重視されており、都市部でのエネルギーシステムの革新を推進している。近年、コージェネレーションシステム (CGS) などの分散型エネルギーシステムは幾つか導入されているが、実際の運転効果はよくない現状がある。一つの原因として、技術情報や現行の料金システム及び政策を踏まえ、経済性、環境性と省エネルギー性も考慮した汎用的な設計・評価技術については、未だ検討が十分に進んでいないのが現状である。

そこで、本論文では中国上海市における都市建築分野の省エネルギーと低炭素化の実現にあたり、分散型エネルギー適応・移転する可能性を省エネルギー性・環境保全性・経済性の面から総合的・定量的に評価する研究手法を提案する。その上で、上海市における様々な個別建物、或はある地域における分散型エネルギーの省エネルギー性、経済性と環境性を総合的に評価し、経済性の高めるは分散型エネルギーを普及するための主な要因と指摘する。さらに、将来的には分散型エネルギーシステムの連携やエネルギーの面的利用効果を検証する。以下の7章から構成されている。

第1章「従来研究と本研究の位置づけ」では、まず中国においては、これまで分散型エネルギーの導入における普及率が低いという背景を検討する。また、深刻な環境汚染などの問題を抱える中国一とりわけ上海のような大都市部においては、年平均成長率平均9%を越える高い経済成長に伴い、エネルギーの消費量の急増に注目が集まっており、電力不足、一次エネルギーとして主に利用されている石炭の燃焼により生じる大気汚染が深刻な状況である。このようなローカルな環境問題とグローバルな環境問題の同時解決を目指して、従来の石炭依存のエネルギー供給システムから、クリーンで高効率な省エネルギーシステムの導入に関する対策の実施を早急に行う必要があると指摘する。

第 2 章「中国における地域分散型エネルギーの実態調査研究」では、中国及び上海市におけるエネルギー消費の現状と将来展望を調査・分析する。また、技術別分散型エネルギーの種類を整理し、米国・EU・日本・中国における分散型エネルギーの導入現状を調査・比較する。特に、上海市におけるコージェネレーションシステムの事例調査、とりわけ、現在上海市である 5 件の用途別の建物における CGS の導入現状を考察する。なお、中国における分散型エネルギーの普及を目指し、現状の導入促進策を検討し、その問題点を提出する。

第 3 章「地域分散型エネルギーシステムの総合評価に関する理論研究」では、分散型エネルギー導入効果の評価に関する理論研究を行い、分散型エネルギーシステムの計画手順や総合的な評価手法を提案する。具体的に、検討建物の特性などからエネルギー負荷を予測できる方法を紹介した上、CGS 原動機の装置の容量・種類、運転方式などの設定方法を提案し、太陽熱温水器、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーの利用可能量を試算する方法を提案する。更に、省エネルギー、経済性と環境性の評価指標を提出し、総合的に評価できる方法を提案する。

第 4 章「ホテルにおけるコージェネレーションシステムの導入効果に関する研究」では、上海 HY 飯店を研究対象とし、エネルギー消費量の実測データを用い、特性を解析し、CGS の導入による省エネルギー性・経済性・環境性を明らかにする。結果から見ると、現状では、当ホテルは 350 kW の CGS を導入しているが、本研究で紹介した「最大直方体法」を利用して決めた容量は 2060 kW である。つまり、現状システムの容量はかなり小さいことがわかる。また、エネルギー消費の構成を見ると、現状システムにおいて、CGS は総エネルギー負荷の小さい割合（約 20%）を供給している。一方、提案システムにおいて、CGS を導入した分散型エネルギーシステムはホテルの大部のエネルギー負荷を満たす。なお、現状システムは CGS の導入により、従来システムよりエネルギー消費量が削減できるが、かなり省エネルギーのポテンシャルがあることがわかる。更に、環境性の視点から見ると、今回提案した「熱主電従」の運転方法を採用したシステムでは、半分以上の CO₂ 排出量が削減できる。

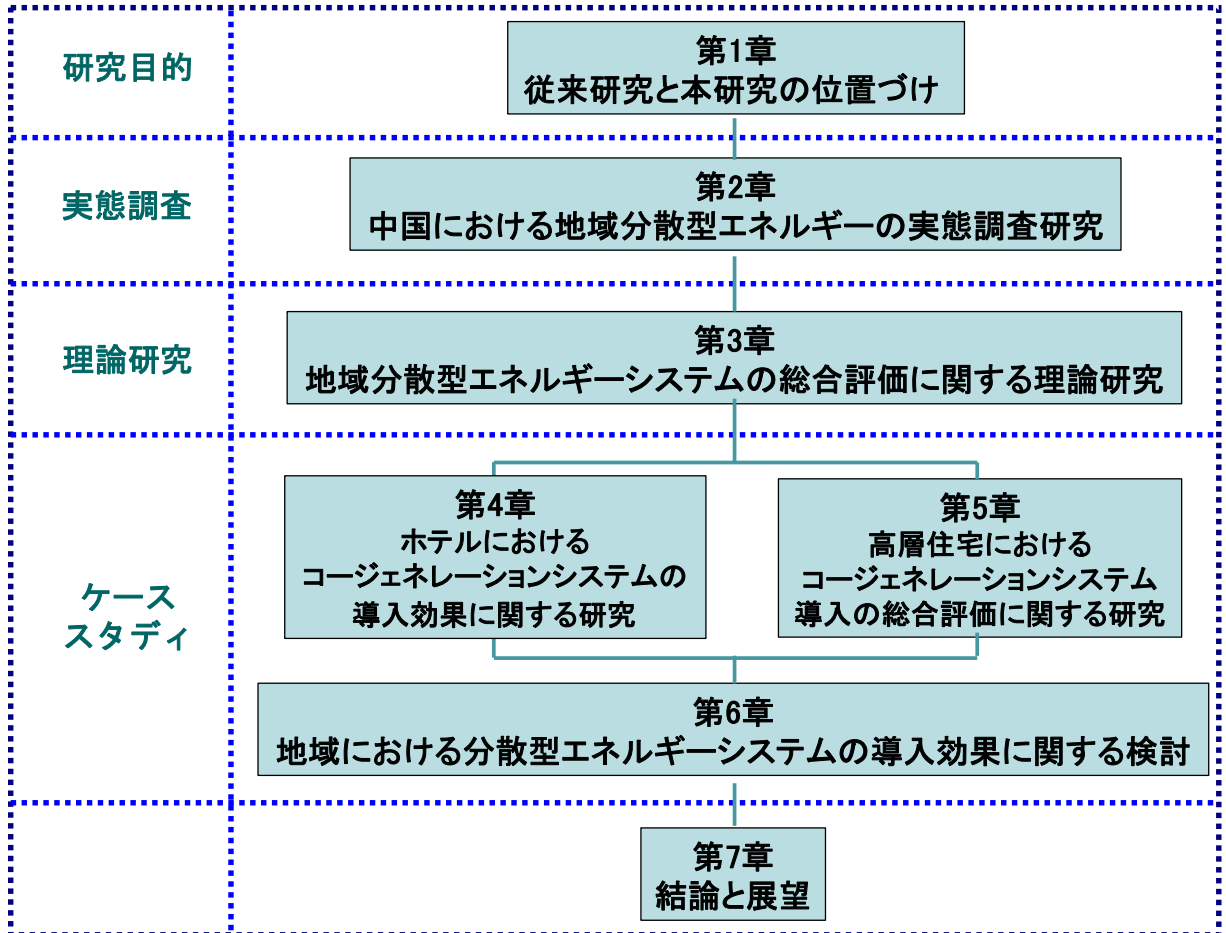
第 5 章「高層住宅におけるコージェネレーションシステム導入の総合評価に関する研究」では、様々な原動機およびデザインと管理モードを考慮しながら、対象とする高層住宅における CGS の経済性、環境性、および省エネルギー性を統合的に評価する。分析の結果によると、省エネルギー性および環境性の面から見ると、ガスエンジン（GE）システムおよび燃料電池（FC）システムに基づいた CGS は住宅に対する実現可能な技術的なオプションであり、ガスタービン（GT）とスターリングエンジン（SE）システムは需要側との熱電比が異なるため、エネルギー消費量と CO₂ 排出量は従来システムより高くなる。経済性の面か

ら見ると、現状では、住宅における CGS の導入は実現可能ではない。また、総合的にいえば、経済性を注目する場合、GE システムは最も良いオプションで、そうでなければ、FC システムは最優先の選択である。なお、特定の設計と管理モードは特定の CGS 技術に適する。総合的にいえば、(熱主電従) HT と (自立) EI モードを採用する場合、GE システムは最優先の選択であり、(電主熱従) ET モードでは、FC システムが最良である。更に、天然ガス価格を下げる方法は住宅における CGS の導入を推進することができる。天然ガスの価格は現状の 70%に下がった場合、HT モードを採用する GE システムの経済性は理想的になる。

第 6 章「地域における分散型エネルギーシステムの導入効果に関する検討」では、「ゼロ・カーボン街区」を実現するため、地域分散型エネルギーシステムを提案し、モデル地区における地域エネルギーシステム導入のためのデータベースを構築した上で、地域分散型エネルギーシステムの導入効果を評価する。結果から見ると、合理的なシステム計画により、地域内賦存する自然エネルギーと都市ガスを活用した高効率な地域エネルギー供給は生活利便施設の全エネルギー負荷(電気と熱)の 90%以上を供給できる。エネルギーセンターを採用する集中設備ケースにおいて、太陽光発電は全電力負荷の約 30%を満たす一方、全熱負荷の約 45%は太陽熱より賄う。また、地域エネルギーシステムの導入は優れた省エネルギー性と環境性を持っている。特に、燃料電池を導入しているケースでは年間一次エネルギー消費と年間 CO₂ 排出量はそれぞれ約 45.1%と 70.4%削減できる。排熱の有効利用は地域エネルギーシステムの効果に影響を与える一つ重要なポイントとなっている。一つの利用方法として、低温水バイナリー発電による電力としてのカスケード利用を提案し、年間 CO₂ 排出量は 74%以上削減できる。なお、分散型エネルギー技術の初期投資は高いため、現段階において地域分散型エネルギーシステム導入の経済的なメリットは限定的であり、ゼロカーボンを実現するための一つの重要な課題となっている。更に、地域エネルギーシステムの経済性を高める施策として、国内クレジットという市場制度の活用が限定的である一方、政府補助金政策と組合せれば、地域エネルギーシステムの経済性を良くなることできる。システム構成の視点から見ると、分散設備ケースと比べ、集中設備ケースのメリット(省エネルギー性、環境性と経済性)は顕在している。省エネルギー性、環境性と経済性のバランスを取った全体の視点から見ると、ガスエンジンと「熱主電従」の運転方式を採用する集中設備ケースが最適な選択肢と考えられる。

第 7 章「結論と展望」では、各章における結論を総括しているとともに、今後の中国と上海市における分散型エネルギーの推進、普及のあり方を展望する。

論文構成



第1章 従来研究と本研究の位置づけ

1.1 研究背景と目的

1.2 本研究の基本的な考え

1.3 従来研究

1.3.1 中国都市部における民生部門用分散型エネルギーシステムの最適化

1.3.2 上海市超高層複合施設のコージェネレーションシステムの導入に関する研究

1.3.3 中国における新エネルギー技術導入の費用対効果に関する定量的検討

1.3.4 中国都市部への天然ガスビルコージェネレーションの導入

1.4 結論

参考文献

1.1 研究背景と目的

近年の急速な経済発展にともない、中国の電力不足、石油の対外依頼度の増大などのエネルギー問題や、酸性雨、二酸化炭素排出量の急増などの環境問題が相次いで表面化し、経済発展と環境・エネルギーの矛盾は明らかになってきた。2011年、中国のエネルギー総消費量は34.8億トン標準石炭に達し、世界で二番目のエネルギー消費国となった¹⁾。今後も経済の高成長が見込まれ、エネルギー需要は益々増加すると考えられる。エネルギー消費量の増加は中国国内の問題に留まらず、世界のエネルギー供給に影響を及ぼすまでに深刻化している。一方、中国のエネルギー構造は約7割を石炭に依存しているため、石油資源が欠乏し、今後のエネルギー消費量の増加と環境保護の矛盾は日々顕著になり、急速な経済成長に伴うエネルギー資源の相対的な不足も中国经济及び社会の持続可能な発展にとって大きなボトルネックになることは明らかである。

エネルギー消費の増大に伴う温室効果ガスや廃熱放出の増大を引き起こし、中国はアメリカを抜いてCO₂排出量が世界一になるのが現状である(図1参照)。中国政府は温暖化防止対策として、2009年11月26日、国内総生産あたりのCO₂排出量を2020年までに、2005年比で40-45%削減するという目標を公式に発表した。

また、2011年度から実施されている「第十二次五ヵ年計画」では、「資源節約型・環境友好型社会の構築」が最重要政策の一つに位置付けられ、2015年までにGDP当たりのエネルギー消費量を2005年比16%、二酸化炭素排出量17%削減するという数値目標も掲げられている³⁾。

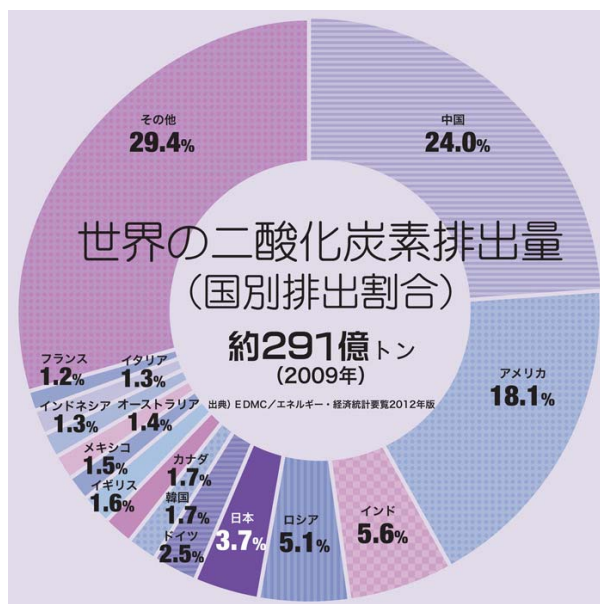


図 1-1 国別の二酸化炭素排出量²⁾ (2009年)
(出典：EDMC/エネルギー・経済統計要覧 2012年版)

都市部は、人口の集積地であるとともに、生活・生産の集中地区であり、エネルギー需要の最大の地域である。そのため、都市部における省エネルギー政策の展開は極めて重要な意味を有する。中国においては、都市化が急速に進んでおり、建物の建設（延べ床面積増）及び生活水準の向上（エネルギー消費原単位増）によって建築エネルギーなどの民生用エネルギー消費は急増している。地球温暖化に対し、建築物が大きな影響を及ぼしているとの観点が世界的に認識されている中、緊急の課題である温室効果ガス排出量を削減するためには、建築物に起因するエネルギー消費量の把握が重要であると考えられる。都市の持続可能な発展にとって省エネルギー政策の導入は重要である⁴⁾。

中国の現有建築面積は 400 億㎡近くであるが、95%以上は高エネルギー消費建築物であり、単位建築面積あたりのエネルギー消費は先進国の約 3 倍に達している。とくに、経済発展が著しい中国沿岸部の上海・南京・杭州の長江デルタ経済圏では、大気汚染、ヒートアイランド現象などの環境問題も顕在化しているため、経済の発展とともに環境が重視されており、建築分野での省エネルギーの普及促進に向けた施策を策定し、エネルギーの長期的な安定供給や環境汚染防止に積極的に取り込んでいる。例えば、上海のような大都市部におけるローカルな環境問題とグローバルな環境問題を同時に解決するには、従来の石炭依存のエネルギー供給システムから、コージェネレーションシステム（以下、CGS と略記する）のようなクリーンかつ高効率な省エネルギーシステムへの転換は急務である。これまで上海市におけるエネルギー事情、省エネ技術の導入検討に当たって、工場、病院や空港、娯楽センターにおける CGS 導入ケースはいくつも見られたが、オフィスビルやホテル等を対象とする CGS の導入事例がまだないため、その導入効果をより定量的に把握することは重要であり、今後の中国国内における CGS の推進と普及にとって大きな意味を持つと考えられる。なお、近年、低炭素社会の実現やエネルギー源の多様化という観点から、CGS を含め、太陽光発電（PV）、風力発電、バイオマス発電などの分散型エネルギーの導入拡大が期待されている。

分散型エネルギーとは、従来のような火力発電所、原子力発電所などの大規模集中型発電所から各ユーザーに電力を配るといったものと異なり、各地域においてエネルギーを作って、その地域で活用するというオンサイト型エネルギーを意味する。分散型エネルギーは各地域に導入していくものであるため、地域の共生、地域との関わりといった部分がキーポイントとなっている。分散型エネルギーという用語は、慣用的に使用されているものの、定義はきわめて曖昧であり、容量が数 kW の太陽光発電から容量が 10 万 kW を超える火力発電所などまで幅広い設備を指す言葉として使用されているのが実態である。分散型エネルギーに当たる英語は distributed energy resources ないしは dispersed energy resources であるが、これについても「需要家の近くに分散して配置される多数の小規模なエネルギー設備などからなる」程度の意味とされている⁵⁻⁷⁾。

一方、分散型エネルギーは、コージェネレーションに代表される燃料投入型、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー型、廃棄物発電などの未利用エネルギー型、蓄電池な

どの電力貯蔵型に分けることもできる。連系技術の観点から見ればこれらには共通する点も多いが、オンサイトエネルギーシステムの面から見た特性は非常に異なっている。すなわち多くの場合、オンサイトエネルギーシステムの対象とされるのは燃料投入型の設備であり、信頼度向上等を主目的とする場合には電力貯蔵型の装置も対象となる。自然エネルギーについても、たとえば太陽光発電とディーゼル発電など他の発電方式と組み合わせることを考える場合には、オンサイトエネルギーシステムの一つと見なされることはあるが、一般にはこのような場合は少数であろう。

分散型エネルギーの導入は、エネルギーユーザー、ユーティリティと社会にとって、様々なメリットがあると寄与している。まず、分散型エネルギーの導入は CO2 排出量を削減することで環境にやさしいといわれている。特に、太陽光発電、風力発電などの自然エネルギーでは、全く CO2 を排出しないので、地域の環境を大幅に改善することが出来る。また、分散型エネルギーの導入は防災への対応を上げることが出来る。ある地域で大規模な災害が発生する時、ライフラインがストップすると電力やガスが止まってしまう。既存の系統電力に依存しない分散型エネルギーでは、復旧するまでの間は太陽光発電や風力発電などを使って災害時に役立てることができる。その他に、分散型エネルギーの導入は送電時のエネルギー損失を削減できる。具体的に、分散型エネルギー導入の利点として、以下の事項が挙げられる⁸⁻¹⁰⁾。

(1) エネルギーの効率的利用

オンサイト型のエネルギーシステムであり、エネルギーの輸送損失が少ない。コーージェネレーション及び燃料電池については、発電時に発生する排熱を利用することで、省エネルギーに貢献できる。

オンサイトで分散型エネルギーシステムの構成要素となる市民、事業者は、エネルギーの供給・利用を自ら行い、それをコミュニティの中で総合融通することを通じて、無駄のない消費行動をとることが期待できる。

(2) 需要構造の変動への対応

需要の先行きが不透明な状況で、設備の計画から稼働まで時間を要する大型発電所のみで対応すると過剰設備を抱えるリスクがあり、経済性が悪化する可能性もある。分散型エネルギーはユニットが小さく、導入に要する期間も短いため、需要構造の変動に対応しやすい。

(3) 供給安定性の確保への貢献

大規模停電等のように電力システムのトラブルが市民生活や産業活動への影響を及ぼす事態も発生しており、従来のシステムにおいても供給安定性について不確実な面がある。分散型エネルギーの場合、非常時には系統から切り離して需要側で自立運転させることも可能であり、エネルギー供給の多重化へ貢献できる。

(4) 水素をエネルギーキャリアとするシステムへの移行

分散型エネルギーシステムの中核システムと位置づけられる燃料電池は、水素を利用し

て電力と熱を発生させる。水素の原料を再生可能なエネルギーから製造することによって、二酸化炭素を実質的に排出しないシステムとすることができる。地域特性に応じて、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーを用いて水の電気分解により水素を製造することや、バイオマスを転換して水素を製造することで、地域資源を循環的に利用するとともに、新たな産業を創出することも期待できる。

現在、中国における民生部門のエネルギー消費量が一貫して増加を続けており、この増加傾向に歯止めをかけることは、中国のみならず世界の各国にとって差し迫った重要な課題となっている。この問題に対応し、エネルギーをより効率的に利用するため、従来から進められてきた単体の機器や建物の省エネルギー対策だけではなく、地域・コミュニティレベルの省エネルギー対策が推進されている。その一つの選択肢として、分散型エネルギーの導入が提案されている。中国では、分散型エネルギーの発展はまた初歩段階である。近年、風力発電、バイオ燃料、太陽光発電が急速に発展しており、再生可能エネルギーの開発利用は中国のエネルギー需給問題の緩和、環境汚染の軽減、エネルギー構造の調整、経済成長モデルの転換、社会主義新農村建設を促進するための重要な手段になっている。しかし、太陽光発電と風力発電は主に中国西部の農村非電化地域で導入されている。また、バイオマスエネルギーも主に農村部で伝統的な燃焼技術を利用されている。都市部において、導入された分散型エネルギーシステムは CGS に中心になっている。現在、中国で最も発達している大都市上海では、用途別の建物における CGS の導入件数は少ない。1995 年、上海市では、中国において初めて公共建築で分散型エネルギー供給システムが導入されたプロジェクトは稼働してから、総合効率が悪く、運転費用も高い、現在はシステムが稼働休止している。上海市における CGS など分散型エネルギー技術の導入が進んでいない現状から見ると、様々な問題点が明らかになった。① ガスなどクリーンエネルギーの価格と比べて、電気料金が安い。② 分散型エネルギーに関する法律が欠乏し、政府からの補助金（政策）がない。③ 分散型エネルギー技術が欠乏する。④ 中国はその設備製造力がない、海外からの設備の投資は高い。⑤ 分散型エネルギー導入を行う場合、政府の統一的な計画がない。⑥ 分散型エネルギーシステムの計画・設計・評価方法がない。⑦ 分散型エネルギーシステムの運転管理を支援するツールがない。⑧ 分散型エネルギーに関する研究人材不足である¹¹⁻¹⁴⁾。

2006 年 1 月、「再生可能エネルギー法」の施行に従って、中国は引き続き水力発電を発展させるほか、バイオマスエネルギー、風力発電、太陽エネルギーの発展にも注力し、農村における再生可能エネルギーの開発利用を強化し、再生可能エネルギーのエネルギー供給に占める比率を逐次高め、再生可能エネルギーをより大規模に開発利用するための条件を創出していくことになる。今後、分散型エネルギーの系統連係などの法整備の完備と共に、中国で分散型エネルギーシステムは次第に広められると推測される¹⁵⁻¹⁶⁾。

以上の研究背景を踏まえ、本論文では中国上海市における都市建築分野の省エネルギー

と低炭素化の実現にあたり、分散型エネルギー適応・移転する可能性を省エネルギー性・環境保全性・経済性の面から総合的・定量的に評価する研究手法を提案する。

1.2 本研究の基本的な考え

経済発展が著しい中国では、電力不足、石油の対外依頼度の増大等のエネルギー問題や、二酸化炭素排出量の急増、都市部における大気汚染などの環境問題が相次いで表面化し、今後の持続的経済発展のために、これらの問題への対応が急務となっている。こうした状況を踏まえ、中国政府は省エネルギーの普及促進や再生可能エネルギーの開発に向けた施策を策定し、エネルギーの長期的な安定供給や環境汚染防止に積極的に取り込んでいる。

そこで、中国は先進国の優れた省エネルギー・新エネルギー技術及び管理技術の導入可能性を模索する必要があると考え、本論での省エネルギー技術の一種として挙げられたのは分散型エネルギーである。また、現在中国における分散型エネルギーの導入事例が少ないため、分散型エネルギーの導入効果をより定量的に把握することは重要であり、今後の中国国内における分散型エネルギーの推進と普及にとって大きな意味を持つと考えられる。以上の背景を踏まえ、本研究では、中国上海市を例とし、次のような観点から分散型エネルギーの導入可能性に関わる研究を行う。

図 1-2 に本論文の流れを示す。論文は全部 7 章にわけ、展開している。

第 1 章では、研究背景と従来研究などの検討により、中国特に上海市において、省エネルギー性、経済性と環境性などの面から分散型エネルギーの導入可能性を検討する必要性を指摘する。

第 2 章では、中国と上海市におけるエネルギー消費状況及び分散型エネルギー導入の現状調査を行い、分散型エネルギーを取り上げ、導入事例が極めて少ない中国に対しては、とりわけ先進国の優れた省エネルギー技術や管理技術の中国への導入や実施可能な事業スキームの構築が極めて重要であると指摘する。

第 3 章では、分散型エネルギーの導入評価に関する理論研究を行う。まず、CGS の設計手法、再生可能エネルギー利用可能量の推計方法、熱源設備の選定方法を提案する。また、設定された多様な制約条件に基づき、CGS と再生可能エネルギーを含める分散型エネルギーシステムの省エネルギー性、環境保全性と経済性を総合的に評価できる手法を提案する。

第 4 章と第 5 章では、単一ビル（ホテルと高層住宅）を検討対象に、CGS の導入効果の評価を行い、省エネルギー性、環境保全性と経済性の評価結果に基づき、総合的な評価も行う。

第 6 章では、複数建物を含める地域を研究対象とし、CGS 及び再生可能分散型エネルギーの導入可能性を検討し、システム連携によるエネルギーの面的利用の有効性が望ましいことを明らかにする。

第 7 章では、本研究の結論をまとめる。また、将来の展望として、中国における分散型エネルギーの具体的な導入の促進に当たって、設備の設置、配管のレイアウト等を含めたエネルギーネットワークの最適化を策定していくことを示す。

従って、本論の定量的かつ定性的な評価手法は分散型エネルギーの中国への普及或いは未解決問題に対して解決の糸口を与える可能性を示唆することができると思う。

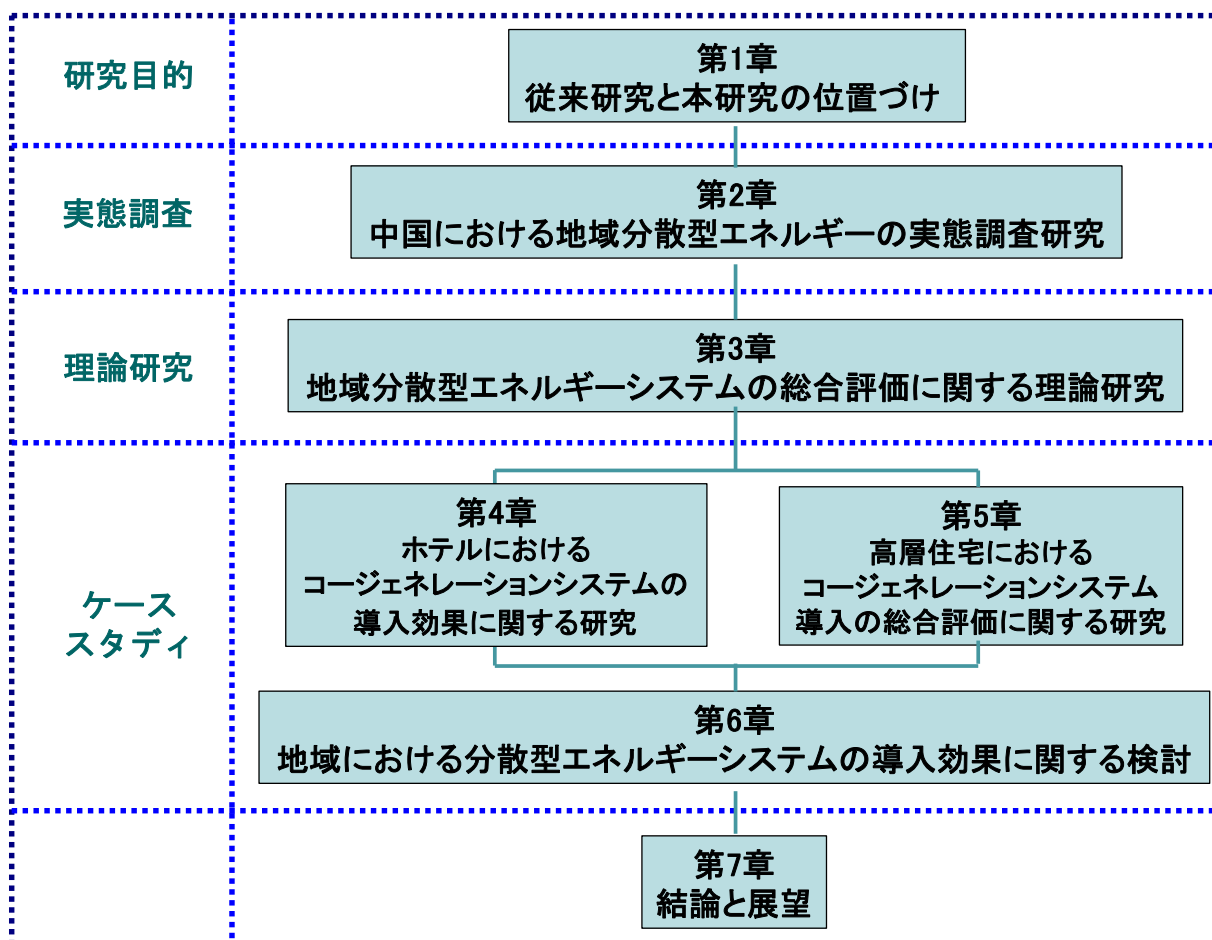


図 1-2 本論文の流れ

1.3 従来研究

1.3.1 中国都市部における民生部門用分散型エネルギーシステムの最適化¹⁷⁾

任らは、低炭素都市を実現するため、分散型エネルギーシステムを提案し、中国における分散型エネルギー導入のためのデータベースを構築した上で、分散型エネルギーシステムを最適に解析する支援ツールを開発した。この解析ツールを利用して、中国湖州市のモデル地域に適用するケーススタディを行ない、民生部門への分散型エネルギーの最適導入及び運用について分析を行った。

分散型エネルギーを有効に導入するためには、地域条件、エネルギー需要、技術と市場情報を十分に考慮してシステムを構築することが必要である。その上でモデルを実行して最適化を行ない、最適な設備構成と容量を求める。モデルの目標として、設備コストと運用コストを含んだトータルコストを最小にする。また、エネルギー資源の供給と需要のバランスを考慮するとともに、設備容量、供給価格、供給内訳及びコストを解析し、複合要素から成り立つエネルギーシステムの運用特性を検討する。解析の対象期間は、計算時間単位を1時間とし、計1年間(8760時間)とした。

分散型エネルギーシステム導入の最適化を研究するに当たって、異なる技術の配置による影響を考察するため、以下の5つのケースを設定した。

ケース①：従来型。ケース②：分散型電源の最適組合せ(最適型と略す)。ケース③：PV導入拡大型(PV型と略す)。ケース④：バイオマス導入拡大型(バイオ型と略す)。ケース⑤：低炭素エネルギー導入拡大型(低炭素型と略す)。

解析の結果として、以下のことが明らかとなった。

① 中国都市部における分散型エネルギーの導入は良い環境性を持っているが、経済的なメリットは限定的である。分散型エネルギー技術の初期投資は高いため、現段階において最も現実的な技術は天然ガス CGS などの成熟技術であるが、その年間コスト削減率は0.7%しかない。

② 都市部の資源はかなり限定的であるため、モデル地域の自然資源を最大限利用しても(ケース⑤)、全電力需要に占めるオンサイト発電量の割合が約24.1%しかない。

③ 分散型エネルギーの導入により、CO₂排出量はある程度削減できるが、費用対効果の視点から見ると、天然ガス CGS は現行の最適な選択である。太陽光発電・バイオマスなどの再生可能エネルギーを導入すると、CO₂削減コストは全て高いレベル(3円/kg-CO₂以上)になっている。

④ 分散型エネルギーの経済性を高める施策を考案し、感度分析の結果により、売電制度の導入や、バイオガス価格の低減は分散型エネルギーの導入を積極的に促進することができる。売電価格は約16円/kWh以上になると、PVは自動的に導入され、最適型(ケース②)の年間コスト削減率は次第に増加する。また、バイオガス価格は約18円/m³以下まで下げると、バイオガス CGS の導入がはじめ、システムの経済性も良くなることができる。

1.3.2 上海市超高層複合施設のコージェネレーションシステムの導入に関する研究¹⁸⁾

玄らは、上海市の Jim Mao Tower（以下 JM ビルと略記する）の 2006 年の各種エネルギー消費量データを基に、複合施設の電力・熱負荷の特性を解析したうえ、既存システムに対する一次エネルギー削減効果の評価から CGS の導入可能性を検討する。また、重回帰分析法を用い、省エネルギー性への影響因子と考えられる要因変化(発電機の単機容量の規模、発電機の効率、発電機の台数、部分負荷、燃料料金の増減)について総合的な感度分析を行った。解析の結果として、以下のことが明らかとなった。

① 熱需要の高い対象ビルでは、電主熱従の CGS 運転方式では、導入規模（発電容量）の増加につれ、省エネルギー性も増加していくが、一定の規模に達してから、規模の増加に対して、省エネルギー性の増加は緩やかになってくる。本研究対象では、経済性及び省エネルギー性の視点から、妥当的な CGS 導入発電容量は一般電力需要のピークの 6 割程度で 6,000kW だと判明した。

② CGS の発電効率及び熱回収効率が同時に省エネルギー性にとって重要な因子だが、熱回収効率に比べ、発電効率が省エネルギー性に与える影響はより大きい。CGS の技術革新は発電効率の向上に重点を置くべきである。

③ CGS の台数変化も省エネルギー性に影響を与えるが、細かい台数を増えればよいものではなく、最も省エネルギーの最適解が存在することが分かった。本対象では、CGS の発電容量 2000 kW の 3 台がもっともよい選択であった。

④ 全体として、ガス料金が上がると、運転時間が減り、CGS の競争力が低くなる。逆にガス料金が下がると、運転時間が上がり、CGS の普及に有利である。また、電力料金が倍増すると、運転時間も上がり、ガス料金が上がるとしても、CGS の運転時間が長くなる。これは石油高騰により、将来電力とガス料金が共に増加する場合でも、CGS 普及の市場があることを意味する。

⑤ 重回帰分析法を用い、省エネルギー性に関する感度分析を行った結果として、CGS 発電効率が最も重要な影響因子となり、次に燃料料金の増加率、CGS 発電容量、CGS 台数の順であり、これらの重要因子を考慮して計画し、評価することが肝要である。

表 1-1 省エネルギー性重要因子特徴

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	判定マーク	偏相関	単相関
発電効率(%)	1.171	0.720	101.744	[**]	0.712	0.494
ガス料金の増加率(%)	-0.058	-0.384	42.600	[**]	-0.548	-0.207
電気料金の増加率(%)	0.086	0.377	57.563	[**]	0.606	0.382
CGS容量(kW)	0.002	0.370	50.412	[**]	0.581	0.486
最小負荷率(%)	-0.208	-0.341	9.265	[**]	-0.293	-0.010
CGS台数(台)	2.327	0.265	5.101	[*]	0.221	0.062
熱回収効率(%)	0.483	0.171	11.575	[**]	0.324	0.016
定数項	-52.010					
※1: 重相関係数R=0.875		※2: 目的変数（一次エネルギー削減率(%)）				

1.3.3 中国における新エネルギー技術導入の費用対効果に関する定量的検討¹⁹⁾

小杉らは、技術移転の具体例として、上海市の金橋輸出加工区に対して最新の天然ガスコージェネレーションシステムを導入するという事業を提案し、その費用対効果に関する検討を行った。その結果、コージェネの導入により電力・燃料代の節約が図れるものの、コージェネ設備の投資費用を差し引くと、経済的な利益は生じないことが分かった。

しかし、コージェネの導入により、CO₂ および SO_x の大幅な排出削減という環境的利益を見込むことができる。ここで検討したケースでは、CO₂ 削減費用は 74 \$/t-C (SO_x 削減による脱硫費用回避分を考慮すると、43 \$/t-C) と推計され、京都議定書による日本の CO₂ 排出目標を国内対策だけで達成しようとする場合の追加的削減費用と比べて安価となる。そのため、コージェネ導入を日中 CDM プロジェクトとして実施することにより CO₂ の排出削減分を日本がクレジットとして獲得できればプロジェクト全体として利益を生じることができるので、CDM を活用することはコージェネ導入推進の上で有望な方策であることが示された。

ところが、CDM プロジェクトの実施において日本側がコージェネ設備費の全額を負担する場合には、CO₂ の排出削減分の全てをクレジットとして得ることができるとしても、日本側には利益が生じない。プロジェクト実施のインセンティブを高めるためには日中双方側にメリットが生じる必要があり、そのためには、経済的利益を共同で享受できるような制度設計が必要になることが定量的に明らかとなった。

CDM という制度を有効に活用することにより、本稿で取り上げたような日本から中国への環境分野における技術移転が、双方にメリットが生じる形で推進されることを期待したい。

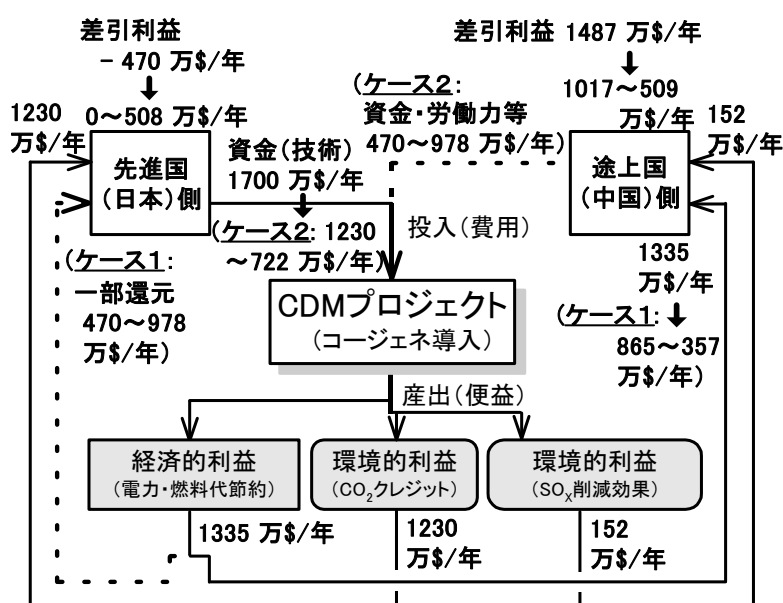


図 1-3 コージェネ導入 CDM プロジェクトの資金と利益の流れ

1.3.4 中国都市部への天然ガスビルコージェネレーションの導入²⁰⁾

安芸らは、中国都市部への天然ガスビル CGS の導入に関する研究を行った。論文では、対策の一つとして中国の都市部（北京、上海等）における民生部門のエネルギー需要家（住宅、事務所ビル、ショッピングセンター等）への、BCHP（Building Combined Heating and Power）を主とした分散型電源の導入を検討対象とし、その導入可能性及び導入効果（省エネルギー、環境負荷低減等）に関する分析を行った。分析は、文献調査や現地専門家らへの聞き取りによる現状、将来見通し及び導入の障害などに関する情報収集及び定性的な分析、並びに、数値データと数理計画モデルを用いた導入効果に関する定量的な分析から成った。

これまでに、北京を対象として、現地の専門家ら（民間、大学、行政）への聞き取り調査を行い、電気事業者の対応、系統連系ガイドラインの不備といった制度的課題等について情報収集を行った。また、定量分析としては、同じく北京のある事務所ビルのエネルギー需要データを入手し、BCHP を導入した場合の経済性、二酸化炭素排出削減量、省エネルギー量について分析を行った。

シナリオの計算結果（表 1-2）から、現在のところ、BCHP 導入に対して系統連系ガイドラインの不備や石炭、電力及びガス等エネルギー間の料金バランスなどといった制度的な障害が大きいこと、それらが改善され BCHP 導入が進めば十分な二酸化炭素排出削減が期待できることがわかっていた。

表 1-2 シナリオの計算結果

	DH	HVAC	BCHP
CO2 排出量 (ton)	928	977	613
一次エネルギー消費量 (Gcal)	7530	8082	6942
年間総コスト (10 ³ Yuan)	2343	2062	2390

1.4 結論

本章では、経済発展が著しい中国では、電力不足、石油の対外依存度の増大などのエネルギー問題や、二酸化炭素排出量の急増などの環境問題が相次いで表面化し、今後の持続的経済発展のために、これらの問題への対応が急務となっている。次に、関連する従来研究などの文献調査により得られた海外と中国における分散型エネルギーの導入状況を鑑み、中国におけるローカルな環境問題とグローバルな環境問題を同時に解決するには、従来の石炭依存のエネルギー供給システムから、分散型エネルギーのようなクリーンかつ高効率な省エネルギーシステムへの転換は急務であると提言した。

得られた結果を以下に示す。

① 中国では、分散型エネルギーの発展はまた初歩段階である。太陽光発電と風力発電は主に中国西部の農村非電化地域で導入されている。また、バイオマスエネルギーも主に農村部で伝統的な燃焼技術を利用されている。

② 都市部において、上海などの大都市で導入された分散型エネルギーシステムは CGS に中心になっている。

③ 今後、分散型エネルギーの系統連係などの法整備の完備と共に、中国で分散型エネルギーシステムは次第に広められると推測される。

④ 中国都市部における民生部門用分散型エネルギーシステムの最適化、上海市超高層複合施設のコージェネレーションシステムの導入に関する研究、中国における新エネルギー技術導入の費用対効果に関する定量的検討、中国都市部への天然ガスビルコージェネレーションの導入に関する従来研究の文献調査を行った。日本では、分散型エネルギーに関しては多くの研究が行われているが、中国での導入事例は極めて少ないことを出発点とし、とりわけ先進国の優れた省エネルギー・新エネルギー技術及び管理技術の中国への導入スキーム、導入可能性などについて検討し、互いのエネルギーセキュリティーの確保、win-win 関係づくりにより実施可能な事業スキームの構築が極めて重要であると考え、研究を行う。

以上を踏まえ、本研究では中国上海市における様々な個別建物、或はある地域における分散型エネルギー導省エネルギー性、経済性と環境性を総合的に評価し、経済性の高めるは分散型エネルギーを普及するための主な要因と指摘する。さらに、将来的には分散型エネルギーシステムの連携やエネルギーの面的利用が期待されると提言する。

参考文献

- 1) 中国統計出版社：中国統計年鑑，2012年
- 2) EDMC：エネルギー・経済統計要覧2012年版，2012年
- 3) ケイ穎：中国の「第十二次5カ年計画」におけるエネルギー事業について，海外電力 53(9)，62-69，2011年
- 4) 李海峰，高 偉俊，外岡豊：中国の都市化と建築エネルギー消費に関する考察，（仙台）日本建築学会大会学術講演会 D-1分冊，799-800，2009年
- 5) 伊藤 義康：分散型エネルギー入門，講談社，2012年
- 6) 石井 彰，藤 和彦：21世紀のエネルギーベストミックスー天然ガスベースの分散型複合システム，ぎょうせい，2002年
- 7) 野口 哲：再生可能エネルギーと分散型エネルギー，エネルギー・資源 33(5)，292，2012年
- 8) 堀尾 正鞠：分散型エネルギーシステム普及への課題と方法，日本エネルギー学会大会講演要旨集（15），21-22，2006年
- 9) 伊原木 永二郎，鈴木 智宏，仁井 真介：分散型エネルギーシステムを支える技術，富士時報 78(6)，423-430，2005年
- 10) 野崎 弘子，湯浅 和博：コージェネレーションシステムの導入に関する検討：都市における分散型エネルギーシステムの構成に関する研究，学術講演梗概集 D-1，525-526，2002年
- 11) 後藤 裕樹：日韓、中国のLPG需給近況ー輸入供給源の多様化、分散型エネルギーの特徴を活かすことが肝要，石油政策 42(14)，14-24，2003年
- 12) 玄 姫：上海市の商業ビルにおけるコージェネレーションシステムの導入可能性に関する研究，北九州市立大学修士論文，2007年
- 13) 田野 六朗，中国のエネルギー事情，石油政策 50(15)，20-22，2011年
- 14) 田中 毅弘，浦塚 広史，任 建平：中国における都市・建築の環境・エネルギー政策の動向(中編)環境・エネルギー政策の法規，設備と管理 43(7)，102-112，2009年
- 15) 郭 四志，中国における再生可能エネルギーについて，ロシア・ユーラシアの経済と社会 (962)，36-49，2012年
- 16) 中山 元，中国の再生可能エネルギー政策，海外電力 53(11)，36-43，2011年
- 17) 任 洪波，周 偉生，仲上 健一：中国都市部における民生部門用分散型エネルギーシステムの最適化，エネルギー・資源 31(1)，44，2010年
- 18) 玄 姫，高 偉俊，韋 新東，上海市超高層複合施設のコージェネレーションシステムの導入における省エネルギー効果の評価及び影響因子の感度分析，日本建築学会環境系論文集 74(640)，745-752，2009年
- 19) 小杉 隆信，時松 宏治，周偉生，中国における新エネルギー技術導入の費用対効果に関

する定量的検討：天然ガスコージェネレーションシステム導入を例として，政策科学
9(2)，39-44，2002年

20) 安芸 裕久，村田 晃伸，中国都市部への天然ガスビルコージェネレーションの導入，エネ
ルギー・資源 26(3)，225-228，2005年

参考文献

第2章 中国における地域分散型エネルギーの実態調査研究

2.1 概要

2.2 エネルギー消費の現状と展望

2.2.1 中国におけるエネルギー消費の現状

2.2.2 中国におけるエネルギー消費の展望

2.2.3 上海市におけるエネルギー消費の現状と展望

2.3 分散型エネルギーの種類

2.3.1 コージェネレーションシステム

2.3.2 再生可能エネルギー技術

2.3.3 熱源技術

2.4 分散型エネルギーの導入現状

2.4.1 米国の導入現状

2.4.2 EUの導入現状

2.4.3 日本の導入現状

2.4.4 中国の導入現状

2.5 分散型エネルギーの普及促進策と問題点

2.5.1 分散型エネルギーの普及促進策

2.5.2 分散型エネルギーの問題点

2.6 結論

参考文献

2.1 概要

中国におけるエネルギー構造の最適化と調整は分散型エネルギーシステムの発展に良いチャレンジを提供した。2030 年前、天然ガスの発展は中国低炭素エネルギー戦略のポイントとなっている。現在、天然ガスは中国総エネルギー消費の 4%を占めており、世界平均水準の 24%により遥かに低い。中国天然ガスの発展は 30 年ほど遅れ、これはエネルギー効率が世界平均水準より 13%低い重要な原因となっている。中国天然ガスの供給力と市場動向を見ると、2030 まで、天然ガスの消費量は約 6000 億となり、総エネルギー消費量の 15～20%に占めるという可能性がある。中国におけるエネルギー構造と利用方法の特殊性は、省エネ・廃棄物削減実施の重要性を提示し、産業構造の調整を通じて粗放発展モデルを変わり、総エネルギー効率を向上する潜在力と後発優勢を見せている。

現在、分散型エネルギーの発展は中国の省エネ・廃棄物削減の実現に対し直接的な意味がある。この中、分散型炭焼きボイラを代替りの主要産業燃料採用したコージェネレーションシステム (CGS) と天然ガスを採用した CGS 集中供給システムは建築物の暖房エネルギーの 80%を占めている。エアコンと給湯用エネルギーは天然ガス総使用量の大半を占めている。これはエネルギー消費量の 2/3 を占めた産業と建築物のエネルギー効率を大幅に増加することができ、国際市場高いガス価格に対する主な手段である。中国における 2030 年前後天然ガスの消費量は石油を超えることを予想されている。天然ガス、CCS を付く石炭や再生可能エネルギーは、どちらが主になることは経済、エネルギー消費、炭素排出三面での競争力に決める。

なお、分散型エネルギーシステムは環境保護に対し特別な優勢を持っている。太陽光や風力エネルギーなどの再生可能エネルギーは環境に対し汚染がなく、燃料電池の汚染も低く、新型のディーゼルエンジン、ガスタービン、マイクロガスタービンは汚染物制御技術を使用して、NO_x、SO_x などの汚染物の排出量は非常に低いとなっている。分散型エネルギーシステムは汚染物制御技術を採用する以外、クリーンエネルギー天然ガスなどを燃料は石炭より排出が低い。この以外、分散型エネルギーシステムは負荷中心に置いて、CGS 技術を使って、エネルギー効率向上と環境にやさしい以外、伝統的な暖房設備とエアコンを代替り、伝統設備の不足を補足する。近年、一次エネルギー総消費量の中、石炭の割合が低くなり、天然ガス、水力、原子力、風力などのクリーンエネルギーの割合は増加して、将来はエネルギー消費構造の主要部分にならなければならない。クリーンエネルギーの効率的、クリーン的な利用方法は現在の問題であり、中国の環境問題の解決方法である。

そこで、本章では中国及び上海市におけるエネルギー消費の現状と将来展望を調査・分析し、分散型エネルギーのポテンシャルを検討する。また、技術別分散型エネルギーの種類を整理し、米国・EU・日本・中国における分散型エネルギーの導入現状を調査・比較する。以上の現状調査に基づき、中国における分散型エネルギーの普及を目指し、現状の導入促進策を検討し、その問題点を提出する。

2.2 エネルギー消費の現状と展望

2.2.1 中国におけるエネルギー消費の現状

(1) 一次エネルギー需給

経済成長に伴いエネルギー消費も増大を続け、1990年以降、一次エネルギー消費量（標準炭換算）は年平均6.2%の増加率を示している。2009年の一次エネルギー消費量は1990年の約3.3倍に達した。近年もエネルギー消費量は依然として著しい増加傾向を示しており、2000年から2010年までの10年間の年平均増加率は8%を超えている¹⁾。現在、中国はアメリカに次ぎ、世界第2位のエネルギー消費大国である²⁾（図2-1参照）。

図2-2に示すとおり、1992年以後、エネルギー消費量がエネルギー生産量を上回っている状態である。それまでエネルギーの輸出国であったが、1992年を境に石油の輸入が増え、エネルギーの対外依存度が高くなっている。

一人当たりのエネルギー消費量から見ると、中国は先進諸国と比較して、依然低い水準にあることがわかる²⁾（図2-3参照）。今後も高い経済成長が維持されて、生活水準の向上が続けば、一人当たりエネルギー消費量の増大によって、中国のエネルギー消費量は高水準の成長が続くと予想される。

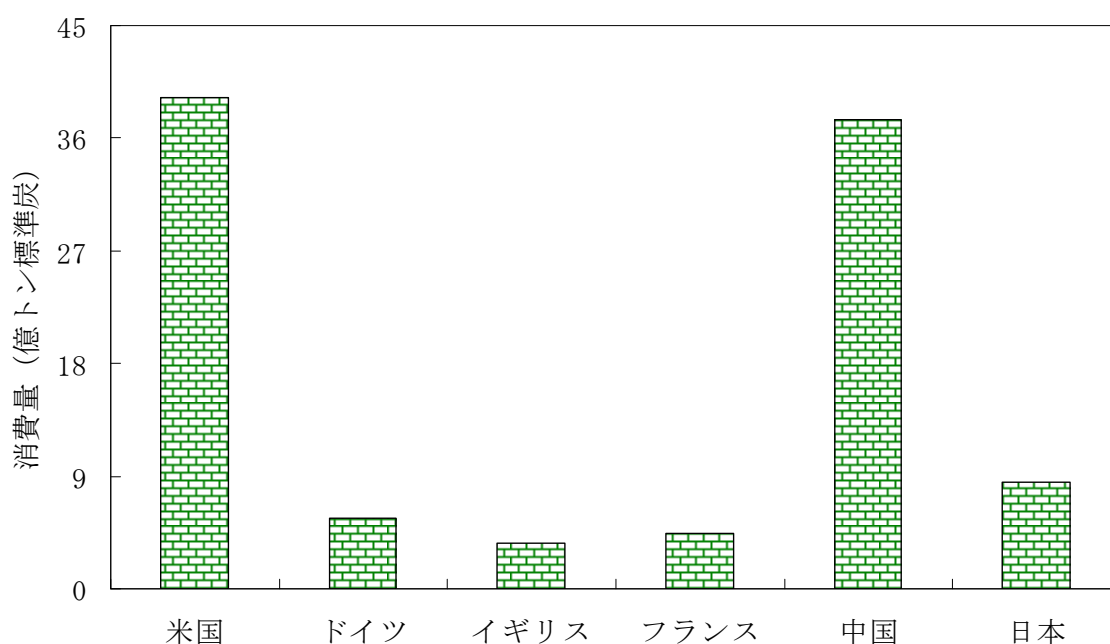


図2-1 一次エネルギー消費量の国際比較

(出典：エネルギー・経済統計要覧)

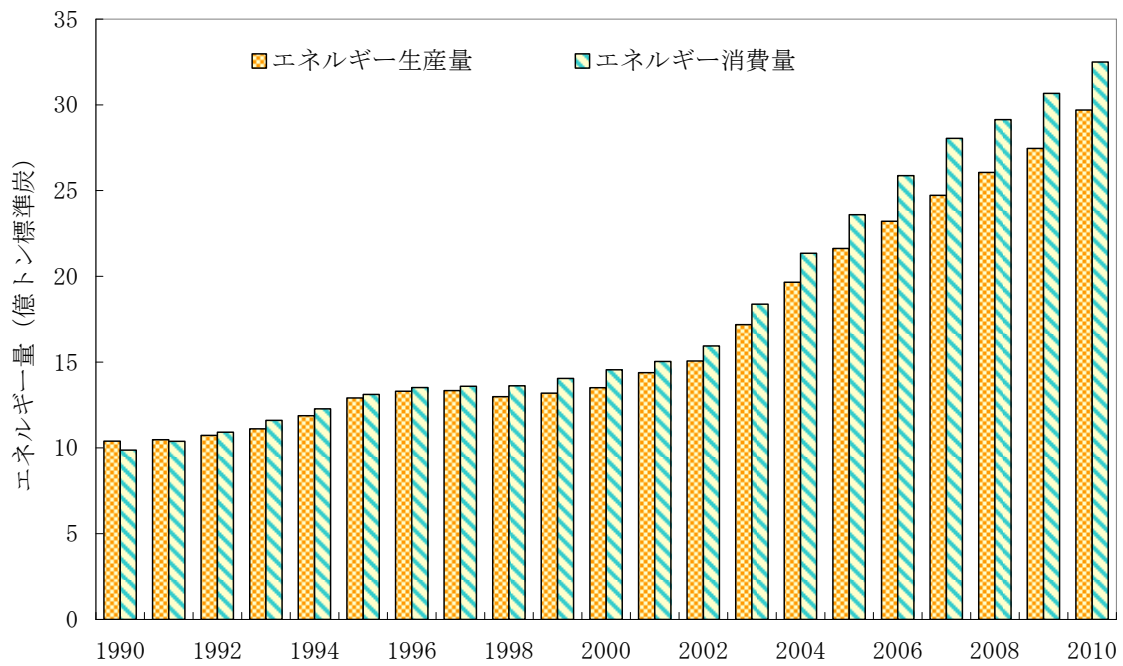


図 2-2 一次エネルギー需給の推移

(出典：中国統計年鑑 2012 年版)

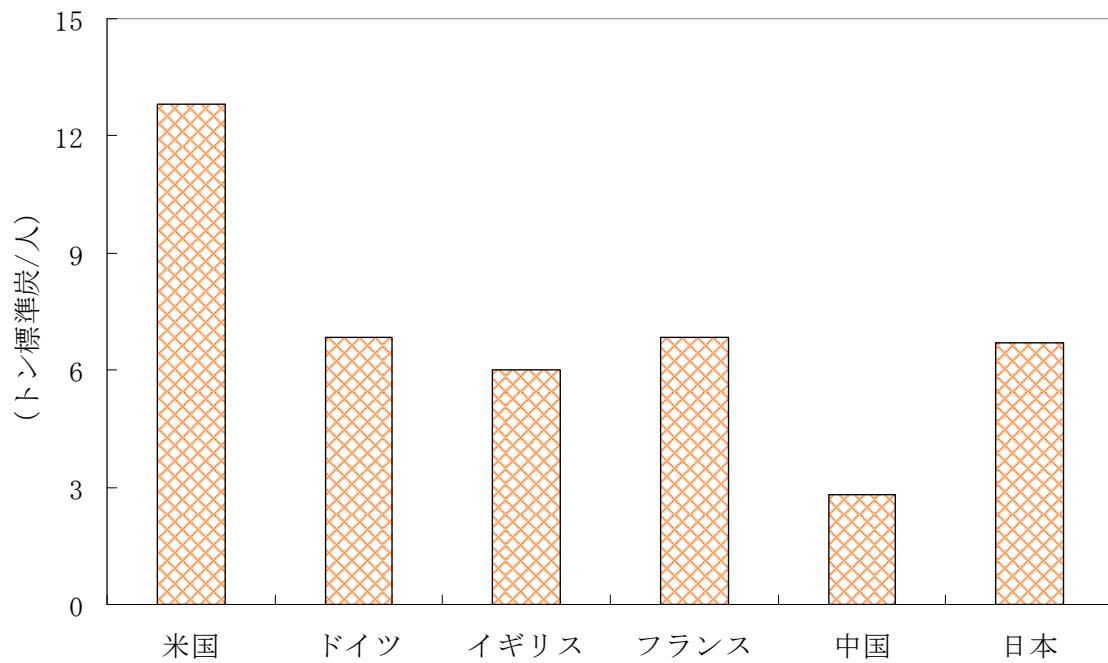


図 2-3 一人当たり一次エネルギー消費量の国際比較

(出典：エネルギー・経済統計要覧)

(2) エネルギー源別エネルギー消費量

産業構造の変化にともない、エネルギー消費構造も変化している。一次エネルギー消費量のエネルギー源別の構成比を見ると、2010年は1990年と比較して石炭の占める割合が8.2%低下し、逆に石油が2.4%、水力が3.5%、天然ガスが2.3%上昇している（図2-4参照）。

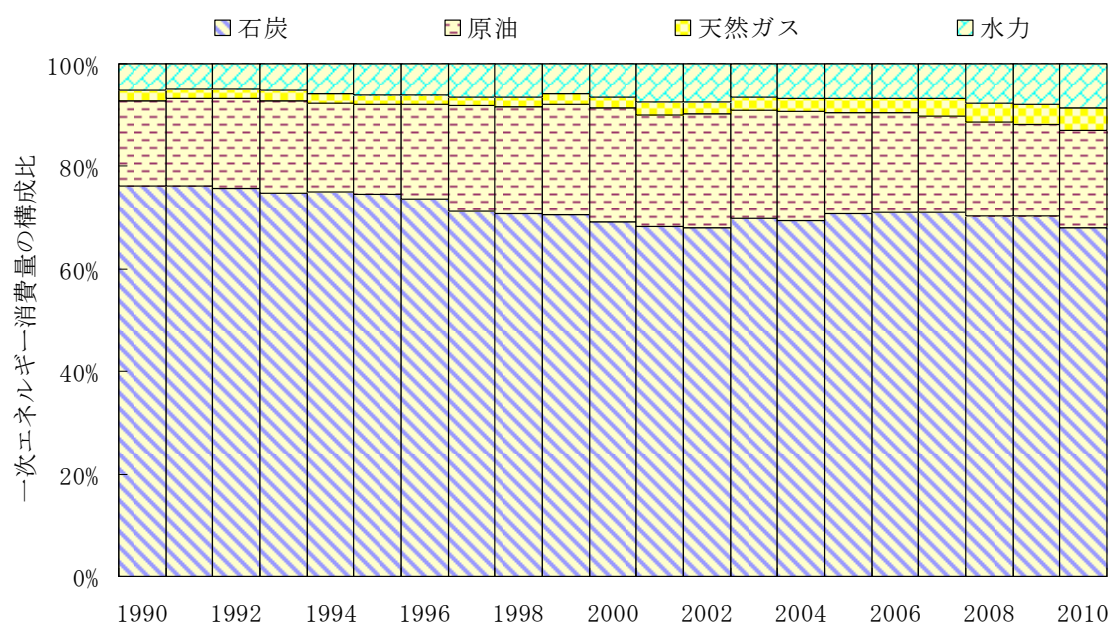


図2-4 一次エネルギー消費量のエネルギー源別の構成比の推移

(出典：中国統計年鑑 各年版)

長年来、「石炭が豊富で、天然ガスが少なく、石油が不足」という資源条件によって、中国のエネルギー構造は石炭が主体で、低炭素エネルギー資源の選択に限りがあることが決定付けられている。政府による産業構造の調整により、石炭の消費量は1996年をピークに減少に転じたが、2000年以降、国内経済の伸びにより再び増加に転じている。

図2-5を見ると、現在でも、中国のエネルギー消費量に占める石炭消費量の割合は、諸外国と比較して、極めて高い水準となっている。2010年、中国における石炭消費量は一次エネルギー総消費量の68%を占めるに対し、日本は約23%、フランスは約3%しかない。中国政府は石炭中心のエネルギー構造の問題点を認識し、中国の国家計画として、2011年からの第12次5ヵ年計画エネルギー計画では「削減（石炭）」と「増加（天然ガス）」という二つの目標を提出した。国家エネルギー局の予測によると、「十二・五」の期末、即ち2015年までに、一次エネルギー消費に占める石炭の割合を2010年の68%から63%に削減し、天然ガス消費の割合を現在の4.4%から8.3%に増やすことにする³⁾。

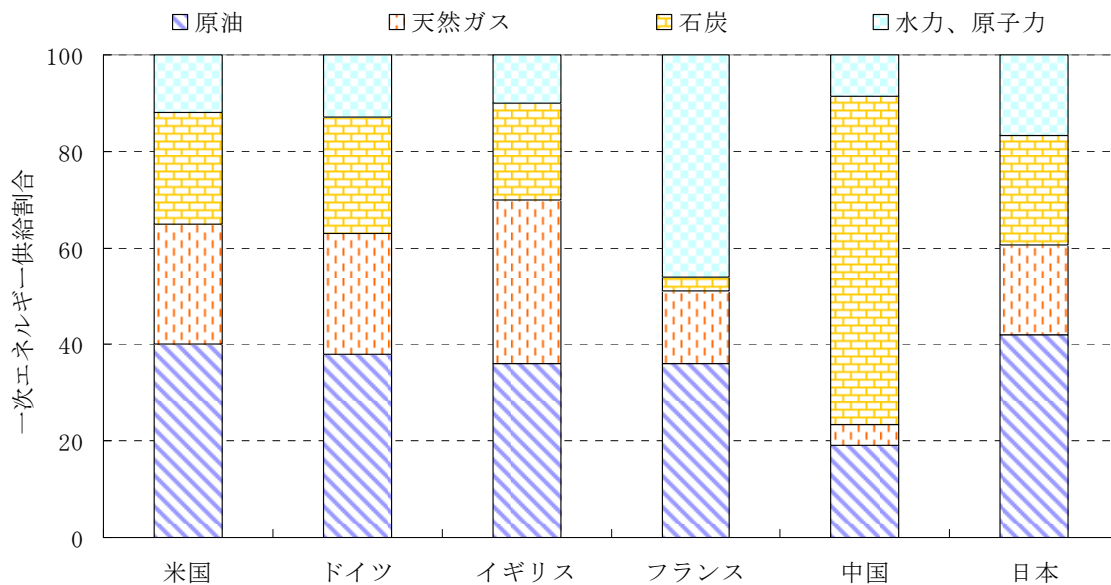


図 2-5 一次エネルギー消費量の内訳

(出典：エネルギー・経済統計要覧)

(3) 部門別エネルギー消費量

部門別エネルギー消費量を見ると、産業部門が依然高い割合を占めている(図 2-6 参照)。民生家庭部門と交通運輸部門が続く。2010 年の部門別のエネルギー消費量においては、工業部門 (75%)、交通運輸部門 (9%)、生活消費などの部門 (16%) となっている。

工業部門では、2002 年以後のエネルギー消費量は急増した。そこで、今後の長い時間において、工業部門では中国における節電減排の重点となっている。一方、生活消費の部門は、エネルギー消費量に占める割合で見ると 14%程度 (2000 年) に過ぎないものの、2000 年以降の増加率で見ると、全部門のなかで消費量において高い伸びを示しており、2000 年以降の消費量は年々増えている。こうした背景には、沿海部を中心とした急激な都市化、国民の生活水準の向上などことがある。なお、家庭において、電力を多く消費しているのはエアコンなどの空調機器のうえに、冷蔵庫や洗濯機や照明器具、テレビなどの電力消費も増加している。

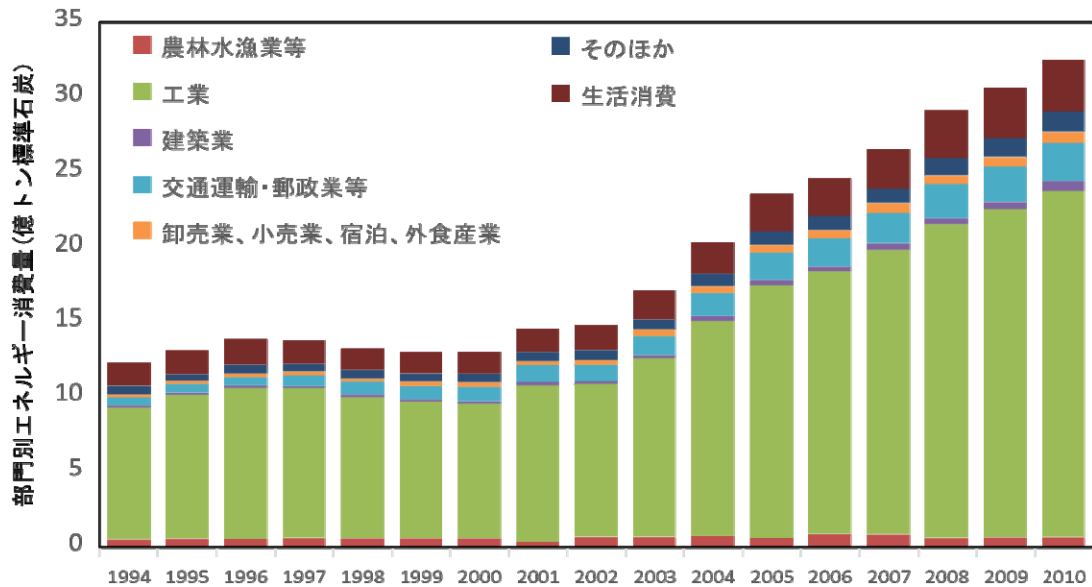


図 2-6 部門別エネルギー消費量の推移

(出典：中国統計年鑑 2012年版)

(4) エネルギー効率

図 2-7 には、中国における GDP 当たりのエネルギー消費量を 100%とした場合の主要国の GDP 当たりエネルギー消費量を示す。前述のとおり、中国ではエネルギー消費の効率化によって、1991 年と比べて 4 分の 1 まで削減したものの、先進諸国と比較すると、依然高水準にあり、最も省エネルギー化が進んでいると言われる日本と比較すると、約 8 倍の水準にあることがわかる⁴⁾。

中国のエネルギー効率の低下については、金属、化学といったエネルギー多消費産業のエネルギー消費量が多く、またこうした産業のシェアが高い点、また政府の指導価格によって、エネルギー価格が抑えられている点が指摘される。中国政府もこうした動きに危機感を強めている。特に電力不足、石油輸入の拡大、モータリゼーションによる需要拡大といった将来も見込んだリスクに対応しなければならない点が重要なことになる。このため、2011 年 3 月に採択された第 12 次 5 年計画においては、2015 年までに 2010 年の単位 GDP 当たりのエネルギー消費量の 17%削減目標を「拘束性」目標（必達目標）として設定している。また、中国の「エネルギー中長期発展計画綱要」では、2000 年から 2020 年の間にエネルギー消費の伸びを 2 倍に抑えながら、GDP を 4 倍にするという目標が掲げられている。この目標を達成するためには、大幅なエネルギー効率の改善が必要な状況である。

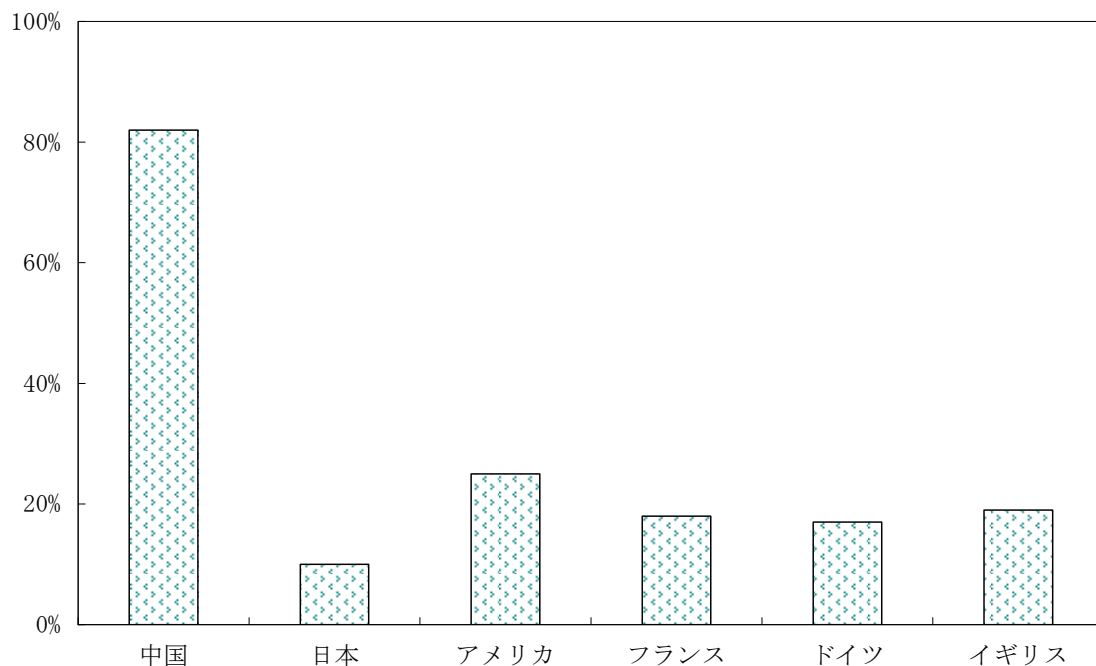


図 2-7 GDP あたりのエネルギー消費量の世界比較

(出典：日本エネルギー経済研究所)

(5) 建築エネルギー消費量

建築物運用中のエネルギー消費は建築エネルギー消費の主体であり、建築物中の空調、動力、照明などに消費されるエネルギーを含めている。産業用建築エネルギー消費は企業の生産消費に入れる場合が多い。

静態的な視点から見ると、2004年の中国の総延べ床面積ストックは約400億 m^2 （都市部は約140億 m^2 ）で、そのうち省エネルギー建築（省エネルギー基準に従って、建築計画のパーティション、群体と単体、建物の方向・間隔、太陽輻射、風向及び外部空間の環境などを十分に考慮した上、設計したエネルギー消費量が低い建物）は約3.2億 m^2 、建築総面積の1%に足りない。建築における一次エネルギー消費は約15.2EJ（5.1億トン標準石炭）で、全国総エネルギー消費の25.5%を占めている。また、全国温室効果ガス排出量の約25%は建築エネルギー消費により排出される⁵⁾。

更に、動的な視点より、中国の都市化は急速に進んでいる中、年間増加する建物の延べ床面積は約16億～20億 m^2 で、97%以上は高エネルギー消費建築（居住また運用する時、エネルギー消費が非常に高く、国の省エネルギー基準を上回る建物）である。近年では、中国の建築エネルギー消費は年々上昇していて、総エネルギー消費に占める割合が1990年の10%から25%まで増加した。今後、中国経済の発展が続けば、建築エネルギー消費は建築の建設及び生活水準の向上によって更に増え続けることが見られる。現在の建設速度によ

れば、2020年まで、中国における建物の総延べ床面積は約700億㎡に達し、建築材料の生産を含むライフサイクルエネルギー消費は全国総エネルギー消費の47%を占めると見込んでいる⁴⁾。

現在、中国国内では、建築エネルギー消費及び環境問題の深刻さについて多くの研究が行われている。特に、清華大学の研究グループは毎年「中国建築省エネルギー年度発展研究報告」を発行し、中国における建築分野のエネルギー消費と省エネルギー対策を検討している⁶⁾。図2-8には2004年中国建築別のエネルギー消費の割合を示している。図から見ると、農村部のエネルギー消費は最も大きな割合を占め、約35%である。続いて、北方都市部の暖房エネルギー消費は約25%を占めている。

また、清華大学グループの研究により、中国における延べ床面積当たり年間エネルギー消費量は先進国の3倍程度であるが、一人当たり年間建築エネルギー消費は先進国の4分の1程度になっている。以上の分析では、各国のエネルギー統計方法や体系の違いを考慮しても、概ね妥当な数値だと考える。しかし、中国の経済発展による生活レベルの向上等の同時に、建築エネルギー消費も急増していることは事実であり、建築分野での省エネルギー対策は焦眉の急と言える。

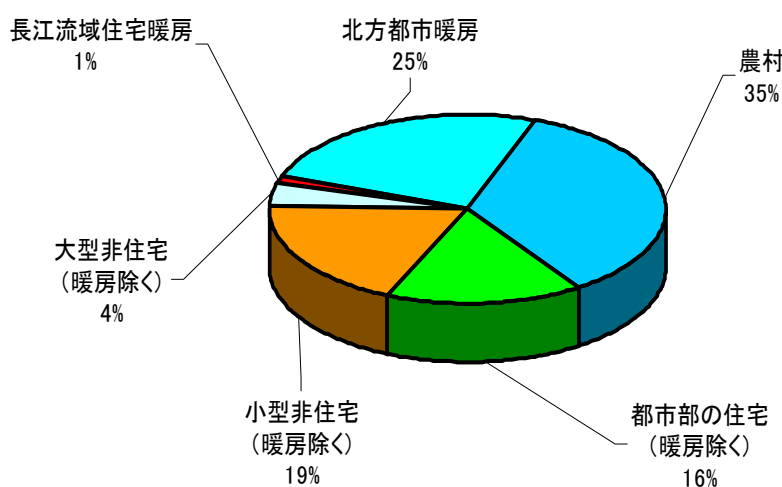


図2-8 中国における建築別のエネルギー消費の割合

2.2.2 中国におけるエネルギー消費の展望

IEA の予測によると、予想した経済成長を遂げた場合、中国の一次エネルギー消費量は、2020 年には 2009 年の 1.5 倍に当たる 3,345 百万 t (石油換算)、2035 年には 1.7 倍に当たる 3,836 百万 t (石油換算) に増加する⁷⁾ (図 2-9 参照)。

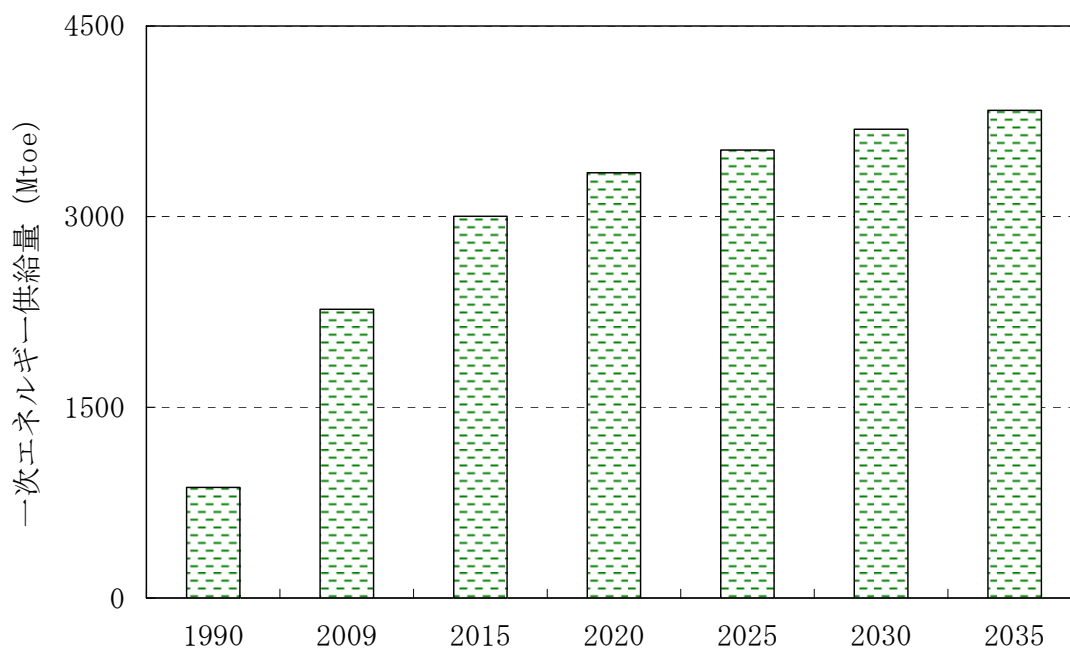


図 2-9 中国の一次エネルギー供給予測

(出典：World Energy Outlook 2011)

エネルギー源別に見ると、石炭の占める割合が低下する一方で、石油、天然ガスによる供給量が大幅に増加すると見込まれている (図 2-10 参照)。2020 年、一次エネルギー消費量の中、石炭、石油、天然ガス、原子力、水力、バイオマスと廃棄物、その他の再生可能エネルギーの割合はそれぞれ 59.9%、17.5%、7.5%、4.2%、2.9%、6.3%と 1.7%である。また、2035 年において、その数値はそれぞれ 51.5%、18.3%、10.9%、6.5%、3.1%、6.2%と 3.52%である。

また、部門別の一次エネルギー需要をみると、これまで産業用が大きな割合を占めてきたが、今後、産業分野の需要がほぼ横ばいになり、一方交通運送分野の消費が大きく伸びると予想されている (図 2-11 参照)。

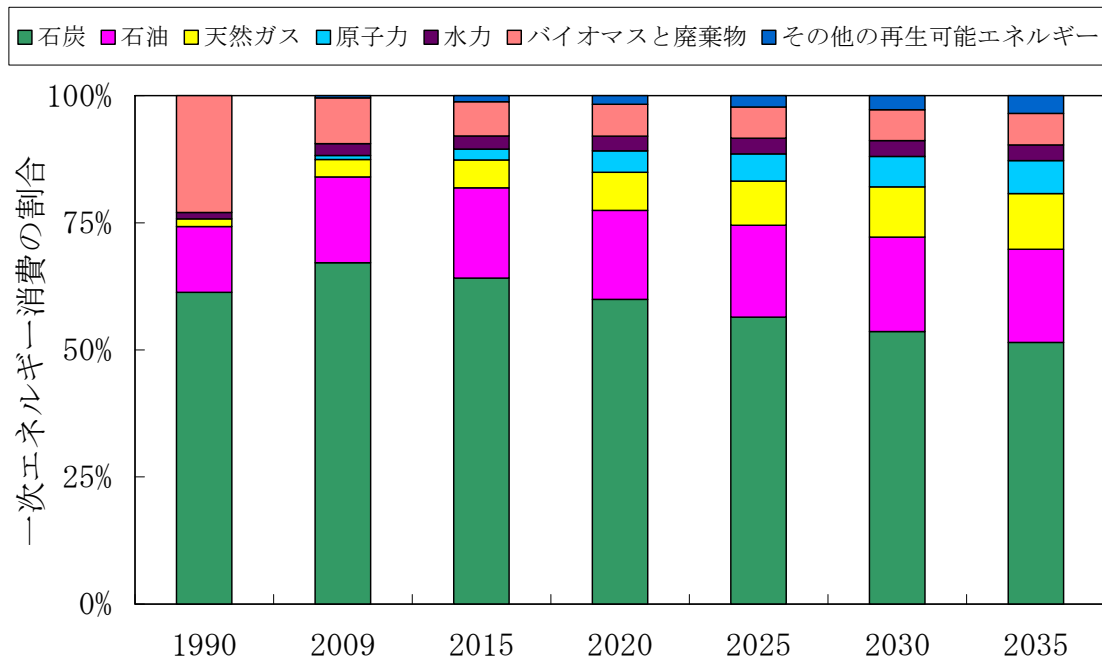


図 2-10 中国の一次エネルギー供給予測 (エネルギー源別構成比)
(出典: World Energy Outlook 2011)

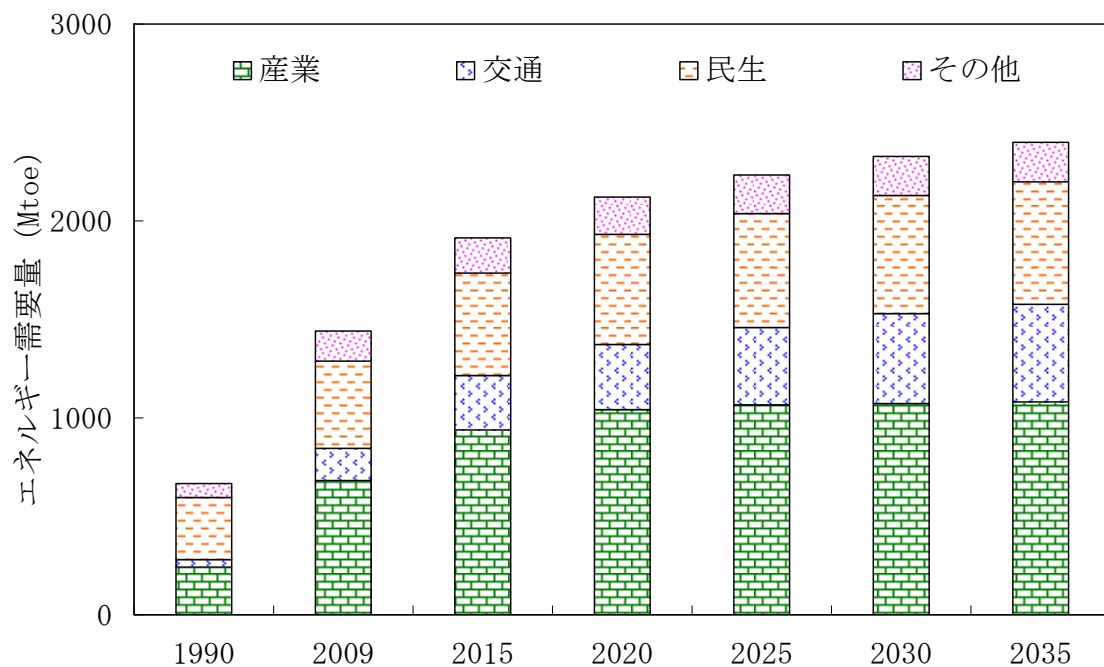


図 2-11 部門別エネルギー需要の見通し
(出典: World Energy Outlook 2011)

2.2.3 上海市におけるエネルギー消費の現状と展望

上海市は、長江デルタの沖積平原上に位置し、面積は6,340.5 km²である。気候は亜熱帯海洋性気候に属し、夏は高温多湿、冬は寒さが厳しく乾燥する。年間平均気温 17.5℃、年降水量 1,254.9mm である。

2013年3月1日、中国上海市が2012年の人口統計データを発表した。報告によると2012年、上海市の常住人口は2380万人に達した。この内、上海戸籍を所有する人口は、全体の59.66%に当たる1420万人を占める。総人口に占める非農業人口の比率は1978年の58.7%から85.28%までに上昇しており、都市化が進展している。

中国上海市第十二次五ヵ年計画の中では、2015年までの経済成長率を年平均8%にすること、第三次産業の増加率が65%に上昇することである。上海統計局によると、2012年上海国民生産総額 GDP は20101.33億元で、前年と比べて7.5%増加している。産業別では、第一次産業の増加値が127.8億元で、0.5%に上昇し、第二次産業の増加値が7912.77億元で、3.1%に上昇し、第三次産業の増加値が12060.76億元で、10.6%に上昇した。その中で、第三次産業の発展が著しく、全上海のGDP総額を占める割合は始めて60%に達した。

(1) 一次エネルギー消費量

上海市におけるエネルギー消費量の推移を図2-12に示す⁸⁾。1995年から2010年にかけて、上海市のエネルギー消費量は増加の一途をたどってきた。2010年の消費量は11,161万t(標準炭換算)であり、1995年比2.5倍に増加している。エネルギー資源が貧乏な上海市にとって、このようなエネルギー消費の増加に対応するため、エネルギーの確保の持続的な経済発展に必要な不可欠のものになっている。

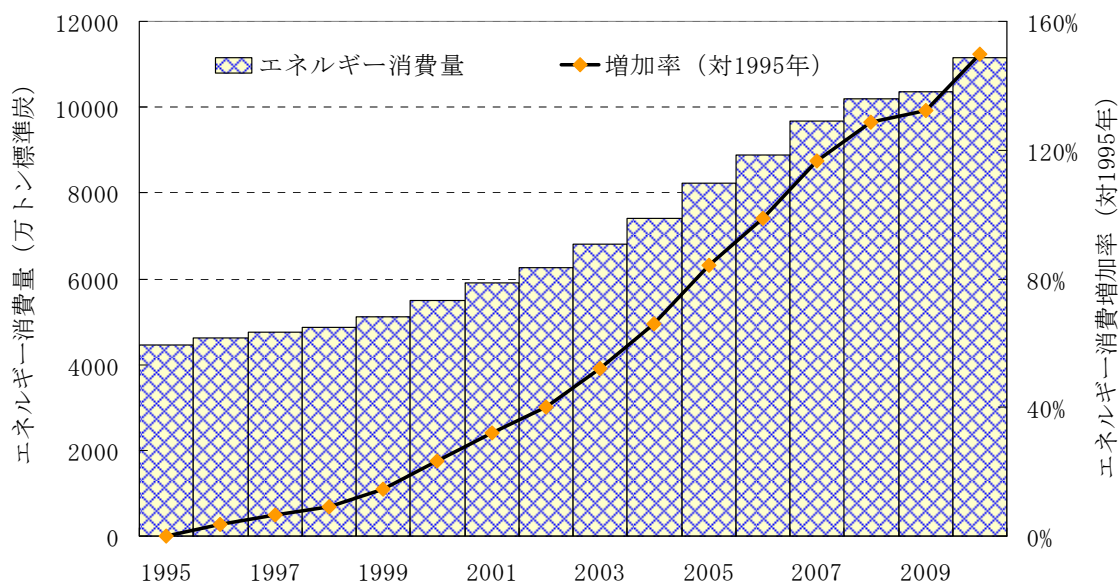


図 2-12 上海市エネルギー消費量の推移

(出典：上海統計年鑑 2012年版)

(2) エネルギー源別消費量

エネルギー源別の消費量を見ると、石炭の割合が 2007 年の 42%から 2010 年の 41%に減少したものの、依然として主要なエネルギー源である。石炭に次いで、原油が 15%、天然ガスが 4%となっている。エネルギー源別消費量を図 2-13 に示す。

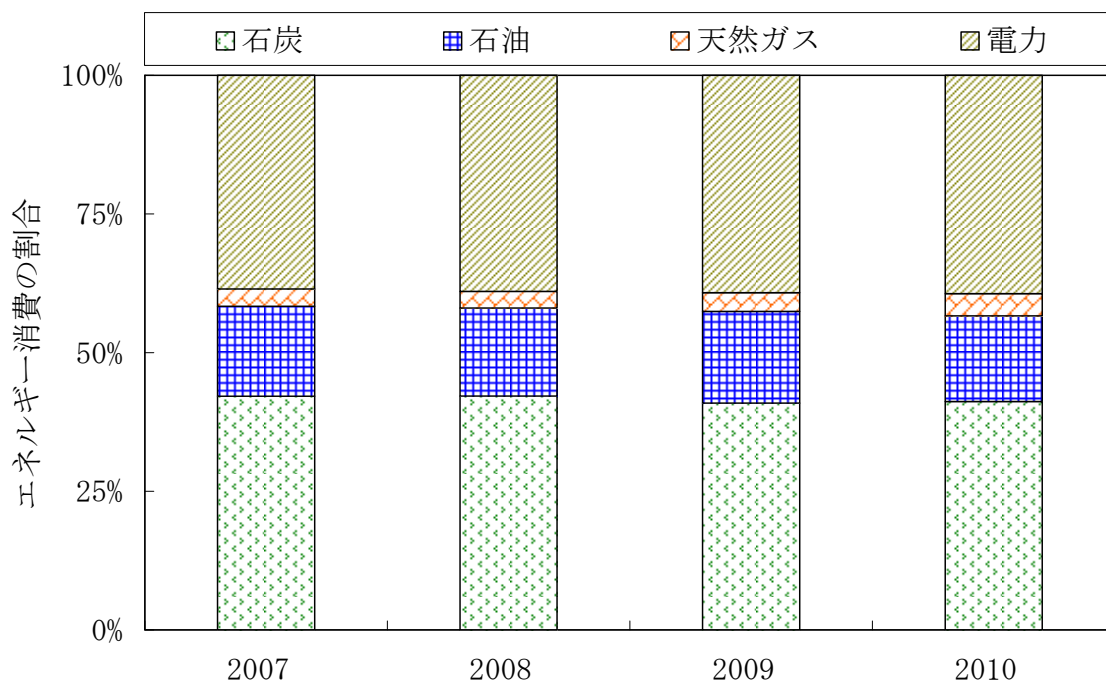


図 2-13 エネルギー源別消費構成の推移

(出典：上海統計年鑑 2012 年版)

(3) 部門別エネルギー消費量

部門別のエネルギー消費量の推移を表 2-1 に示す⁹⁾。上海市では第二次産業でのエネルギー消費量が最も多く全体の約 58.4%を占める。第二次産業に次いで、第三次産業が 32.0%で、家庭部門の 9.0%で、第一次産業の 0.6%である。2000 年以降の増加率を見ると、第三次産業の伸びが最も大きく、2005 年では 2000 年の 2 倍以上に達している（図 2-14 参照）。第三次産業で大きく増加した要因は、交通運輸部門のエネルギー消費増加や商業活動の活発化と考えられている。第三次産業でのエネルギー消費量の増加は、都市化の進展によって同じな傾向が続くと見込まれている。

表 2-1 部門別エネルギー消費量の推移（万トン標準炭）

（出典：上海エネルギー白書 2011 年版）

	2000	2005	2009	2010
エネルギー消費量	5499	8225	10367	11161
第一次産業	103	61	63	63
第二次産業	3866	5270	6003	6514
第三次産業	1069	2249	3352	3577
家庭部門	461	644	950	1007

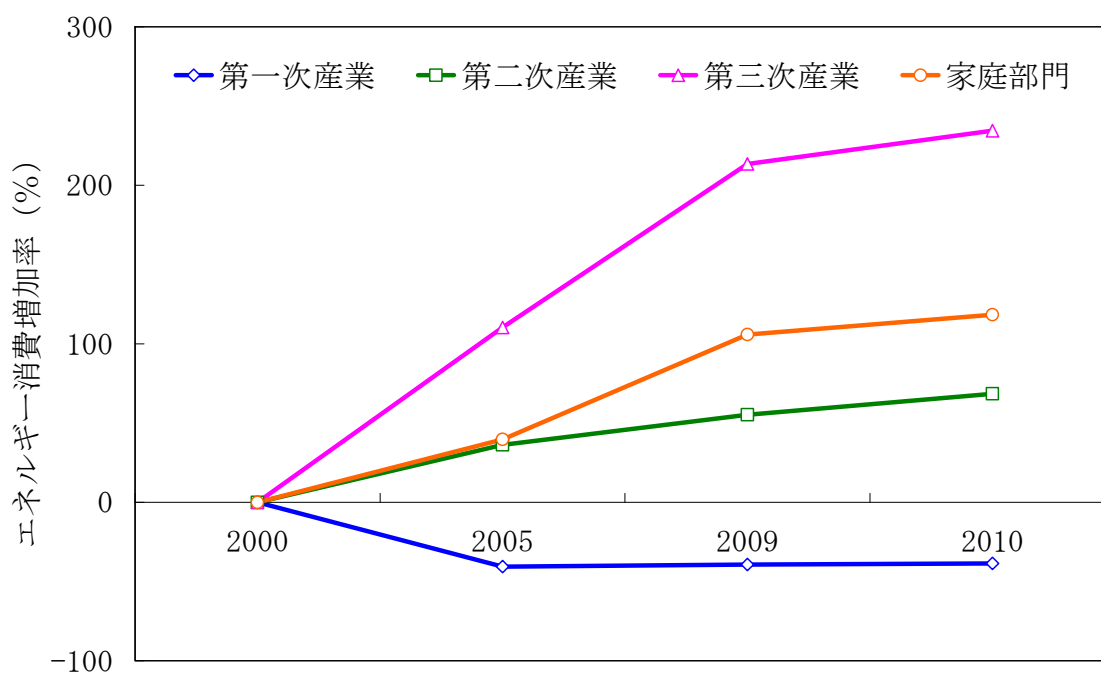


図 2-14 部門別エネルギー消費増加率（対 2000 年）

（出典：上海統計年鑑 2012 年版）

(4) エネルギー効率

図 2-15 を見ると、GDP あたりのエネルギー消費量は、1995 年以降一貫して改善してきた。2010 年の GDP あたりエネルギー消費量は 0.65t-標準炭換算/万元で、1995 年の約 3 分の 1 になっている。これは、主に上海市で進められてきた産業構造改革の成果であると言われている。また、同時に、上海市政府は省エネルギー技術開発に対する支援も行ってき

た。しかしながら、依然上海市のエネルギー消費効率は、先進国の2～3倍の水準にあるといわれ、一層の効率化が望まれている。

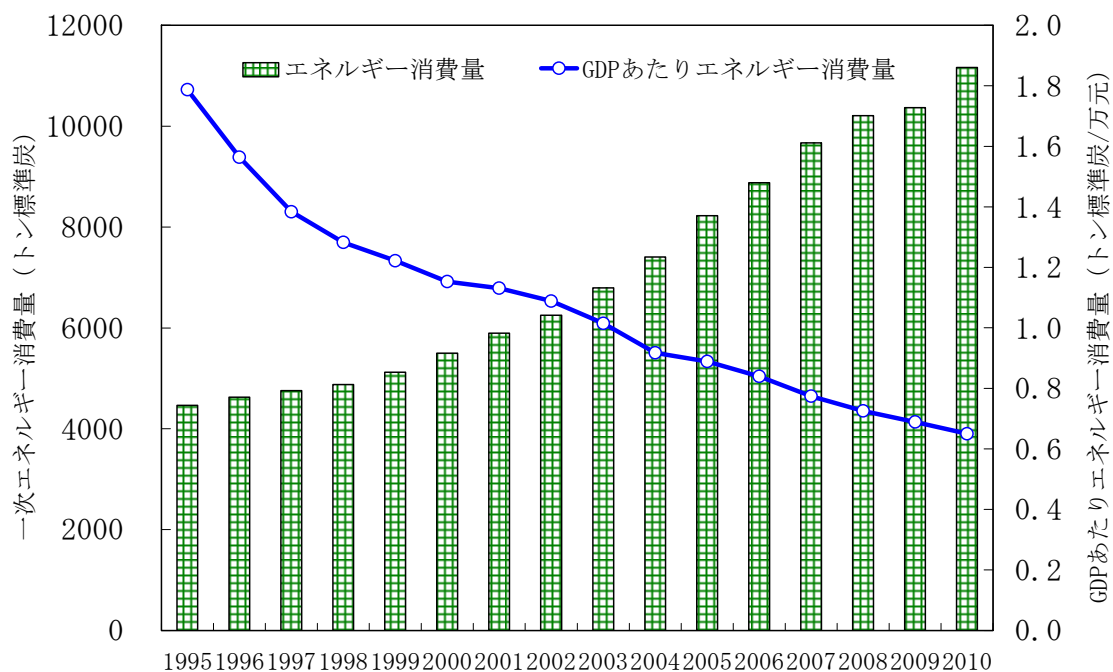


図 2-15 GDP あたりのエネルギー消費量

(出典：上海統計年鑑 2012 年版)

(5) 電力消費量

上海市における電力消費量の推移を図 2-16 に示す。電力消費量は、1995 年から 2010 年までの 15 年間で約 3.2 倍に増加した。年平均増加率は約 8% で、極めて高い増加率を示している。こうした電力需要の急増は 2003 年から頻発した大規模計画停電の要因だと言われているが、発電所の建設により、近年、電力供給の緊迫性は緩和されつつあり、地域によって差はあるが、2006 年以降、大規模な計画停電はほとんど行われていない。

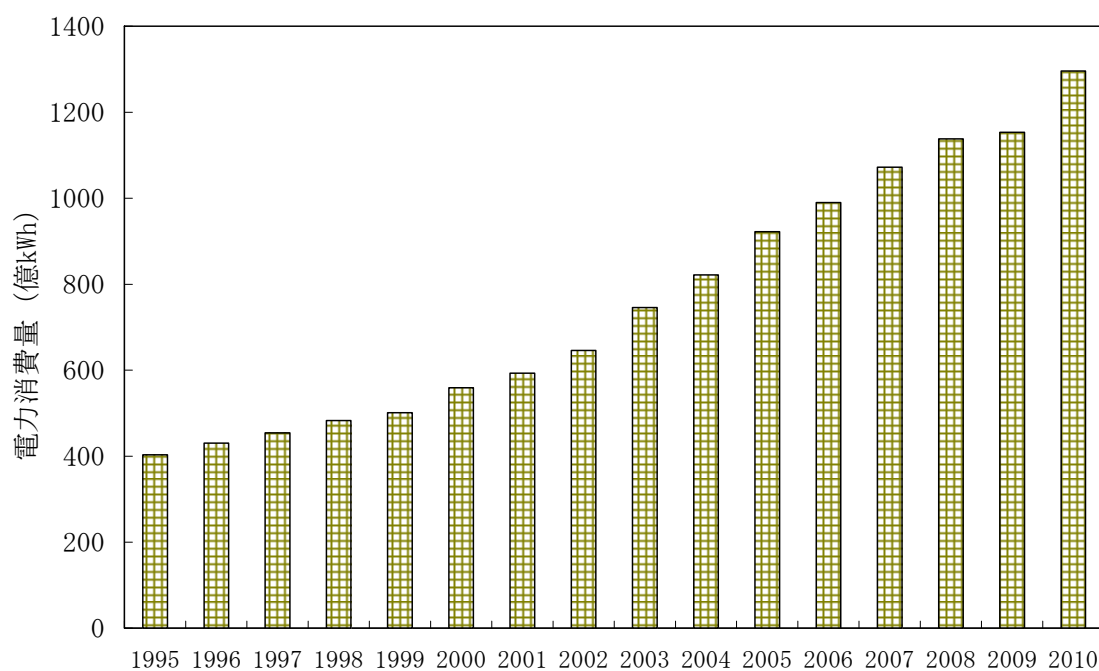


図 2-16 電力消費量の推移

(出典：上海統計年鑑 2012 年版)

(6) エネルギー消費量の見通し

上海市が公表した 2015 年までの一次エネルギー消費量の見通しを表 2-2 に示す。2015 年のエネルギー消費量は 2010 年に比べて 1.2 倍と予測されている。また、石炭の割合を低減し、天然ガスや電力に転換する計画も盛り込まれている。

表 2-2 一次エネルギー消費の見通し

部門	エネルギー消費量 (万トン標準炭)	
	2010 年	2015 年
工業	5569	6169
通信業	38	54
交通	1702	2282
建築業	218	228
商業	25	37
ホテル	38	58
病院	18	28
政府機関	7.3	7.3
金融	36	52
教育	32	46

2.3 分散型エネルギーの種類

分散型エネルギーは、CGS、バイオマスエネルギー、太陽光発電と風力発電などの再生可能エネルギーを含めている。CGS は総合効率が極めて高いため、従来システムと比較して、一次エネルギー消費量を大幅に削減することができる。その結果、燃料が燃焼する時に発生するCO₂を大幅に低減する。CO₂の発生抑制と燃料資源の有効利用により地球環境保全に大きく貢献する。また、太陽エネルギー、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーは原理的には温室効果気体を排出せずにエネルギーが得られるものが多く、新しいエネルギー源として、また地球温暖化への対策としても有効とされる。以上のような課題に加え、小規模で散在していることの多いこれら新エネルギーを大量導入するためには、分散型エネルギーシステムの構築が重要と考えられる。分散型エネルギーシステムを構築するため、前述したCGSなどの分散型電源だけでなく、吸収式冷凍機などの熱源設備も配慮する必要であるため、以下では、コージェネレーションシステム、再生可能エネルギー技術と熱源技術について、その特徴を具体的に検討する。

2.3.1 コージェネレーションシステム

CGSとは環境保全をめざした都市づくりに最適なシステムであり、都市ガスを用いて発電し、その際に発生する廃熱を冷暖房や給湯、蒸気といった用途に利用する省エネルギーシステムである。ひとつのエネルギーから複数のエネルギー（電気、熱など）を同時に取り出すシステムをコージェネレーションシステムという。このため、廃熱が廃熱でなくなり、電気に比べてエネルギー効率が2倍以上になります。化石燃料の中で、CO₂排出量が最も少ない燃料の天然ガスを使うので、地球環境保全効果がとても大きくなる。CGSの特徴は以下のようにまとめる。

① 環境保全性

地球温暖化の原因のCO₂排出量を著しくセーブする。エネルギー使用量とCO₂排出量の大幅な削減を実現し、環境保全に大きく貢献する。

② 経済性

徹底したエネルギー有効利用で、経済性が向上する。CGSの発電電力を利用することにより契約電力を下げることができる。また、システム導入時の設備投資費用もランニングコストにより数年で回収が可能である。

② 安定確保性

商用電力との連携プレーで、万一の時でも安心する。商用電力とCGSの発電電力の2系統を持つことにより、エネルギー源の分散化が図れる。そのため万一停電や設備の故障などが発生しても、電力と熱の安定が確保することができる。

④ 需要対応性

全国的に使用量が急増する夏の電力不足は深刻な問題である。CGS電力は深刻な電力枯れをうるおし、そこでCGS発電するとその分、商用電力の低減に役立ち、増大する電力需要

への対応を可能にする。

⑤ 省エネルギー性

CGS の最大の特長は、従来では捨てられていた発電時の排熱を有効利用できることである。そのため、エネルギーの総合効率が 70～80%と従来システムの約 2 倍に向上する。エネルギーロスを大幅に減少することにより省エネルギーを実現する。

現在、商業化されている CGS は主にガスタービン、ガスエンジンと燃料電池を含めている。以下では、それぞれについて、具体的に紹介する¹⁰⁾。

(1) ガスタービン

分散型電源に用いられるガスタービンには航空機転用型と産業型があり、650kW～7MW 級が製品化され、20MW 級の大容量機も開発されている。これらのガスタービンは 通常、総合エネルギー効率を高めるため、タービンで燃焼した高温排ガスも有効利用するコージェネ(熱・電併給)設備の形態で導入されるが、5 年ほど前から蒸気需要が減り、この 3 年は熱電可変型が主流となっている。この熱電可変型ガスタービンにおいては、発生蒸気を燃焼器内に再注入することで余剰蒸気を有効利用し、発電出力(効率)の向上を図っている。また、最近では、電気主体(モノジェネ、安い電気)への要求も強く、発電効率の高い中型ガスタービンコンバインドの導入も増加している。上述の 20MW 級ガスタービンではコンバインドサイクルシステムとしての需要が期待されている(ガスタービン 2 台と蒸気タービン 1 台の組合せて 50MW 級、発電効率約 50%)。表 2-3 と表 2-4 はそれぞれガスタービン分散型エネルギーシステムの特徴と性能を示す¹⁰⁾。

表 2-3 ガスタービン分散型エネルギーシステムの特徴

用途	適宜度	説明
連続発電	普通	効率が低いため、燃料コストが高いけど、リサイクル利用が効率向上で、燃料コスト節約できる。
コージェネレーション	良い	排出熱が回収でき、便利である。回収熱の質量は別の分散型エネルギー技術より良い。
ピーク送電	普通	短期運行は効率低い不足が補える。
クリーンエネルギー	良くない	汚染物排出量はディーゼルより低く、燃料電池と再生可能エネルギーより高い。効率は低いため、CO2 排出量は多い。

表 2-4 ガスタービンの性能

ガスタービンの特性	1000 kW		5000 kW		10000 kW	
	2003 年	2020 年	2003 年	2020 年	2003 年	2020 年
1kW の総コスト (\$/kW)	800	692	490	442	490	442
運転管理コスト (\$/kW/年)	76.80	64.00	46.80	39.00	44.30	36.92
発電効率	0.25	0.31	0.31	0.40	0.33	0.42
熱輸出 (kJ/kWh)	8289	5959	5959	3932	5600	3476
総合効率	0.72	0.73	0.73	0.74	0.74	0.74
電熱比	0.44	0.61	0.61	0.92	0.65	1.04

また、小規模分散型電源で、今後、市場性と環境性に優れるものとして、既存のガスエンジン以外にマイクロガスタービンがある。マイクロタービン分野においては、その発電機能とタービンは排熱利用(温水, 蒸気, 空調など)を組合せた小型・高効率のコージェネレーションシステムが実用化段階を迎えつつある。電力・ガスの部分自由化や地球温暖化防止・環境保全に端を発した省エネ・新エネ関連の技術開発・機器導入の流れの中で、小規模分散型電源としてのマイクロタービン・コージェネへの期待している。表 2-5 と表 2-6 はそれぞれマイクロガスタービン分散型エネルギーシステムの特徴と性能を示す¹⁰⁾。

表 2-5 マイクロガスタービン分散型エネルギーシステムの特徴

用途	適宜度	説明
連続発電	普通	設備コストは別の設備より低いけど、効率が低いため、燃料コストが高い。
コージェネレーション	普通	排出熱が回収でき、便利である。効率を向上するため、排出熱利用して吸入された空気を加熱して、回収熱の質量は低い。
ピーク送電	普通	短期運行は効率低い不足が補える。熱回収装置が付いてないマイクロガスタービンのコストが低いため、ピーク送電に適當する。
クリーンエネルギー	良くない	汚染物排出量はディーゼルより低く、燃料電池と再生可能エネルギーより高い。効率は低いため、CO2 排出量が多い。

表 2-6 マイクロガスタービンの性能

マイクロガスタービン特性	100kW	
	2003 年	2020 年
1kW の総コスト (\$/kW)	800	350
運転管理コスト (\$/kW/年)	90.00	75.00
発電効率 (%)	28.70	40.20
熱輸出 (kJ/kWh)	4768	2931
総合効率 (%)	59	65
電熱比	0.76	1.24

(2) ディーゼルエンジン・ガスエンジン

開発されてから既に 100 年以上の歴史を持つディーゼル・ガスエンジンは、発電用原動機としても古くから広く使われてきており、その熱効率の高さから小規模発電では今なお重要な地位を占めている。共に往復動の内燃機関ゆえ、両者共通の特徴としては下記が挙げられる。

- ① コンバインド化せずとも単体での発電効率が高い。
- ② ガスタービンに比べ、吸入空気温度による出力・効率の変化が極めて小さい。
- ③ 往復動機関ゆえに騒音と振動が大きく、設置にあたり何らかの対応策が必要である。
- ④ 始動停止が容易。連続運転はもとよりピークカットなどにも対応可能。また、小容量機でも発電効率が比較的高く、運転台数制御で運用の最適化をはかる事が容易である。
- ⑤ 軸受やピストンリングなど消耗部品点数が多く、メンテナンスに若干手が掛かる。
- ⑥ 発電効率が高いゆえに排熱のポテンシャルが低い傾向にあり、蒸気での熱回収も可能であるが、温水での熱回収の方が容易である。コージェネレーション用としては熱電比が小さい用途に向いている。

ディーゼル・ガスエンジンによる発電は離島用、非常用をはじめとして古い歴史をもっているが、設置台数が急激に増加したのは第二次オイルショック後の 1980 年のことである。省エネ・環境問題への対応からコージェネレーションの普及が提唱されるようになり、特にディーゼル・ガスエンジンを主機とする発電システムは発電効率の高さの上に、温水・蒸気での排熱回収も容易な事になり、民生用・産業用を問わず、順調に設置実績を積み上げてきていると言える。ディーゼルは環境問題の面から近年では産業用・民生用ともに地方での設置がほとんどである。ガスエンジンは都市ガス網が整備されている大都市圏での設置が中心で、オフィスビル、ホテル、病院、大型スーパー・ショッピングセンター、銭湯（健康ランド）、スポーツ施設など民生用の需要が多いが、環境問題に対する意識の高まりを反映して、最近では 3000～5000kW クラスの大型機が産業用に設置されるケースも出て

きている。また、発電と給湯が可能な 10kW 未満の超小型ガスエンジンパッケージを家庭や小規模店舗に設置するケースも増加してきている。表 2-7 と表 2-8 はそれぞれガスエンジン分散型エネルギーシステムの特徴と性能を示す。

表 2-7 ガスエンジン分散型エネルギーシステムの特徴

用途	適宜度	説明
連続発電	良い	効率がたかいため、燃料コストが低い。環境要求は高い場合、制限がある。
コージェネレーション	普通	輸出熱の品質がガスタービンと固体酸化物燃料電池より低い。温度は 160℃～600℃である。
ピーク送電	良い	インストールコストが低く、スタートが速い。
クリーンエネルギー	良くない	SO ₂ の排出量は別のエンジンと同じであり、CO ₂ と NO _x の排出量は高い。

表 2-8 ガスエンジンの性能

ディーゼルの特性	1000kW		5000kW		10000kW	
	2003 年	2020 年	2003 年	2020 年	2003 年	2020 年
1 kW の総コスト (\$/kW)	550	400	430	300	380	320
運転管理コスト (\$/kW/年)	131.20	109.33	85.20	71.00	82.70	68.92
発電効率 (%)	31.5	34.2	35.7	40.6	37.5	42.5
熱輸出 (kJ/kWh)	6023	5835	4582	3841	3083	2858
総合効率 (%)	75	80	70	75	62	68
電熱比	0.60	0.62	0.79	0.94	1.17	1.27

(3) 燃料電池

燃料電池は外部から供給された燃料と酸素を触媒作用によって電気化学的に反応させ、燃料から直接的に電気エネルギーと熱エネルギーを取り出すエネルギー変換装置である。りん酸形燃料電池（PAFC）では天然ガス、LP ガス、メタノール、ナフサ、ケロシンなどの燃料を改質器内で反応処理して水素を取り出す。カーボン粒子に付けた白金触媒に水素が触れると陽子 H⁺ と電子 e⁻ に分離してアノード電極に電子を与える。陽子 H⁺ は電解質膜を通り抜けてカソード側へ移動し、そこに導入した酸素及びカソード電極上の電子と反応して水を作る。熔融炭酸塩燃料電池（MCFC）では、カソード電極側で二酸化炭素、酸素、電子が反応して炭酸イオン CO₃²⁻ を生成する。そして炭酸イオンが電解質層を通り抜けてアノード側へ移動し、そこで水素と反応して二酸化炭素と水を生成して電子をアノード電極に残す。

燃料電池は電気化学的な直接発電であり、発電効率が高く、排気中の窒素酸化物、硫黄酸化物が少なく、また運転騒音が小さいという特長がある。また、幅広い種類の燃料を使えるので、メタン発酵で得られるバイオガスの利用など、未利用エネルギーの活用にも役立つ。表 2-9 と表 2-10 はそれぞれ燃料電池分散型エネルギーシステムの特徴と性能を示す。

現在長時間の連続運転が実証され、普及段階にあるりん酸形燃料電池は 50～200kW の分散設置用が最も多く生産されている。近年、ハイブリッド自動車、家庭用分散型コージェネレーションに適用が可能となってきた PEFC 固体高分子形では 500W～250kW の容量の製品が作られている。

表 2-9 燃料電池分散型エネルギーシステムの特徴

用途	適宜程度	説明
連続発電	良い	効率がたかいため、燃料コストが低い。運動部件がないため、騒音がなく、実用性は優れる。
コージェネレーション	普通	磷酸燃料電池（PAFC）熱輸出の品質が高く、陽子交換薄膜燃料電池（PEM）運行温度が低いため、CHP 運行案制限がある。
ピーク送電	良くない	インストールコストが高すぎる。
クリーンエネルギー	良い	汚染物排出量はとても低い。

表 2-10 燃料電池の性能

燃料電池の特性	200kW	
	2003 年	2020 年
1kW の総コスト (\$/kW)	2425	900
運転管理コスト (\$/kW/年)	87.00	72.50
発電効率 (%)	40.20	55.30
熱輸出 (kJ/kWh)	3710	1802
総合効率 (%)	73	74
電熱比	0.97	2.01

2.3.2 再生可能エネルギー技術

再生可能エネルギーとは石炭や石油など、いずれは枯渇する化石燃料に対して、太陽光、風力、波力、水力、バイオマスなど、地球の自然環境のなかで繰り返して生じている現象の中から得られるエネルギーのことを云い、地球温暖化防止などの見地から改めて注目されているものである。これら再生可能エネルギー活用は、具体的には、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などの形で具現化され、導入が進められている。しかし、太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーの活用、本来自然に依存し出力において制御しにくい不安定なものであり、既存の電力系統に連系し効果的な活用を図って行こうとする時、無秩序な導入は系統において電圧低下や周波数の変動などを生み、系統の安定運用が不可能となるおそれもある。また、日射や風況など適正な設置環境が必要で、出力あたりの設備規模や設備コストなどが大きくなるなどまだ課題も多いとされている¹¹⁾。

(1) 太陽光発電

太陽電池は、シリコン半導体等に光が当たると電気を起こす現象を利用し、太陽の光エネルギーを直接電気エネルギーに変換して発電する方法である。太陽電池により発生した電力（直流）を利用して、使用される負荷に供給出来るようにしたシステムを太陽光発電システムという。太陽電池の材料は現在、結晶系シリコン半導体が使用され、単結晶太陽電池、多結晶太陽電池が主流である。また今後期待される低コスト、高効率化を目指しアモルファス太陽電池等の種類がある¹²⁻¹⁴⁾。

太陽電池は最小単位のセルと呼ぶ 10cm～15cm 角の板状のものを数十枚直列に接続し、それらを、耐候性を考慮したパッケージに収納したものをモジュールという。この、モジュールを必要な発電電力に合わせて、直列、並列に組合せて大型パネル化している。これを太陽電池アレイといい、各種の施設の屋上、屋根、壁、庇などに設置して使用する。

利用される形態等により、系統連系形（ビル、工場等の屋上、外壁、住宅等の屋根に設置した太陽電池の直流電力をパワーコンディショナで交流に変換し、商用電力系統と連系したもの）、独立型（昼間、太陽電池の電力を蓄電池などの二次電池に蓄え負荷に供給するもので、商用電力系統と連系しないもの）などに分類される。

太陽光発電システムの導入形態を大きく分けると、系統連系形では、逆潮流接続方式が主流であり、高圧系統連系形の産業等用太陽光発電フィールドテスト事業や、地域新エネルギー導入促進事業等である。また、独立型では道路、交通標識用、換気扇、街路灯、通信用、観測用、海洋（灯台用等）などがあり、接続方式は直流、又は交流の負荷に太陽電池、蓄電池を接続して使用する。交流負荷の場合はインバータを必要とする。

規模的には、個人住宅用連系型で3～5kW程度、公共・産業用施設、商業用ビル等連系型で10～300kWの太陽光発電システムが中心となっている。独立型は無人灯台や無線テレメータ用電源など、数W～数100Wが中心である。人工衛星などの特殊な用途としても使用されている。最近の公共・産業用太陽光発電システムの設置・導入形態は従来の陸屋根タイ

プー辺倒から、大型化モジュール、採光型モジュール、建材一体型など多様化している。これまでの太陽電池製造メーカーだけでなく、建材メーカー、住宅メーカー、ゼネコン、電源メーカーなど多くの分野が参入し市場拡大している。

(2) 風力発電

風力発電は、自然エネルギーの一つである風力を利用している。風力は二酸化炭素や窒素酸化物を排出しないクリーンなエネルギーで、再生可能エネルギーとして無尽蔵にあるという長所と、風の状況によっては必要な時に出力が得られず、また、出力変動が大きい、エネルギー密度が低いといった問題点を有している¹⁵⁻¹⁶⁾。

風力発電の出力は、風速の3乗に比例するために、多くの発電量を得るためには出きるだけ風況の良いサイトを選定することが重要であり、風力発電に適した風況は年平均風速が約6 m/s以上で、乱れの少ない場所が望ましく。

風力発電に使用する風車は、水平軸風車と垂直軸風車に分類される。現在の日本国内における大型発電用風車の殆どが水平軸風車で、この形式は風車の翼（ブレード）の回転軸が風向に対して平行に配置されておりブレードはプロペラ形式である。ブレードの数は2枚、3枚が一般的で、枚数の少ないほど回転速度が速くなる。垂直型は風向に対して回転軸が直角に配置されており、ダリウスやサボニウス形式があり、主に小型風車に使用されている。

風力発電設備は、風力エネルギーを機械的動力に変換するローター部（ブレード、ハブ、ローター軸）、ローター部から発電機へ動力を伝える伝達系（動力伝達軸、増速機）、発電機などの電気系（発電機、電力変換装置、トランス、系統連系保護装置）、システムの運転・制御を行う制御系（出力制御、ヨー制御、ブレーキ）および支持・構造系（ナセル、タワー、基礎）から構成される。

電力系には風力発電の発電機出力を、電力会社の送電線の交流と直接つなぐACリンク方式と、風力発電設備の中で交流－直流－交流と変換して、電力の調整を行うDCリンク方式がある。風力発電は、風況変動に伴って出力が変動することから、電力系統への連系が増大するにつれ、電力系統の運用が困難となり、周波数や電圧といった電力品質が悪化し、一般の需要家も影響を受けることが懸念される。

(3) 小水力発電

自然エネルギーの中でも風力・太陽光に比べエネルギー密度が高く、かつ、出力安定度や設備利用率の面からも格段に優れたものに水力がある¹⁷⁾。

これまでの水力発電の開発は比較的経済性に優れた地点（大規模かつ好立地条件）から進められてきたが、今後は出力も小規模化することで、相対的に建設費がかさみ経済性も厳しくなると考えられることから、従来よりも更に小規模な地点においても適用可能な水車や経済性に優れた発電システム製品の開発、すなわち、単に発電装置のみでなく土木建設

費をも含めた総合的なコスト削減が重要となる。小水力発電の領域においては従来の河川を利用する水力発電(流れ込み式ダム、河川維持放流、砂防ダム等)以外に、農業用水路や生活用水、一般産業分野での“工場内冷却水の余剰落差(水圧)利用発電”や“工業用受水槽での余剰落差(水圧)利用発電”等のニーズが増えつつある。これらの分野では本来の電気事業用の場合よりも更に経済性を意識した製品開発、すなわち、より広範囲に適用できる標準発電装置の製品化(個々の発電容量には必要に応じ、複数台の直列または並列運転の実施で対応可)と併せ、機器やシステムの簡素化、短期間償却等による低コスト化が必要となる。これらに用いられる水車には小型のペルトン、フランシス、クロスフロー、チューブラー、プロペラ(縦軸露出)等の方式があり、流量と落差により最適の容量、機種が選定される。なお、これらの分野においては既存の水路や構築物を利用できる利点があり、従来の水力発電設備に比べ大幅な土木費低減が期待される。

近年、山岳地帯の沢の水や溪流、農業用水等を利用した 1~20kW 級のマイクロ水力発電も見直されつつある。既存の流れ込み式水力発電の設備利用率は約 62%で、風力発電約 22%、太陽光発電約 12%に比べ格段に高く、流れの状況に応じて最適に選定されたマイクロ水力発電の場合には、約 70~90%の設備利用率が期待できる。また、風力・太陽光等と水力のハイブリッド発電では、山小屋やハウス栽培等の電源や下水処理場の補助電源としての利用が期待され、一部は実用化段階にある。

(4) バイオマス発電

バイオマスはいずれも元をただせば“太陽エネルギーを貯えた生物体”であり、あらゆる植物や動物がこの範疇に入る再生可能なエネルギー源であり、収穫と再生のバランスが保たれている限り枯渇しないし、燃やしても大気中の二酸化炭素濃度を高めることもない。これらをエネルギーとして利用するためには何らかの変換技術が必要となる。変換技術としては、乾燥させて直接燃焼させる簡単な方法や微生物(バクテリア)を利用して発酵処理する方法、熱・化学反応によりガス化・液化燃料を生成する方法(メタン、メタノールの合成)などがある¹⁸⁻²¹⁾。

一方、エネルギーの利用形態からみた場合、バイオマスは木質系と食料系に大別される。

① 木質系：産業用丸太伐採時残渣、燃料用木材伐採時残渣、黒液、製材残渣、古紙、廃材など

② 食料系：穀物収穫時残渣、サトウキビ収穫時の残渣、バガス、家畜糞、生ゴミ、人糞など

スウェーデンやフィンランドなどの北欧では工場の残廃材や森林の伐採に伴う枝条・梢端などの残材を、タイやフィリピンなどの東南アジアではもみ殻・木材チップ・サトウキビかすなどをかすなどを直接燃焼またはガス化・燃焼して発電する方式が、また、デンマークやドイツなどでは畜糞・農産廃棄物・家庭ゴミなどをメタン発酵させバイオガス(消化ガス)を生成、地域暖房の熱源と小規模発電の燃料とする方式(バイオガスプラント)が定着し、

バイオマス資源の有効利用が図られている。

一般に、バイオマス資源を1か所に大量に集積することは、その収集・輸送上困難な場合が多いので、必然的に地域分散型の小規模処理施設にならざるを得ない。バイオガス利用に関しては今後、単にボイラ用熱源としてのみでなく、小規模発電に適したマイクロガスタービンやマイクロガスエンジン、燃料電池などの小容量発電装置における燃料として大いに期待される。

2.3.3 熱源技術

(1) ガスヒートポンプ (GHP)

GHP とは、室外機内のコンプレッサの駆動をガスエンジンにて行うヒートポンプエアコンである。それ以外は、通常の電気式ヒートポンプエアコンと同様にフルオロカーボンを冷媒として使用している。燃料のガスは室外ユニットのコンプレッサの動力源となり、またその廃熱はヒートポンプ運転時の熱源として使用するため、高効率でパワフルな運転が可能となる。燃料に使用するガスはLPガス、都市ガス、天然ガス等があり、その種類に適合したガスエンジンを選択する必要がある²²⁾。

GHP は、その主動力源をガスで行っており、補機以外には電力を使用しないことから、少ない電力で大出力の冷暖房が可能となる。また、GHP の燃料であるガスは、SO_x (硫黄酸化物) の発生がほとんどなく、CO₂ (二酸化炭素)・NO_x (窒素酸化物) の発生も非常に少なく、環境にやさしいシステムとされている。

さらに、ガスエンジンの廃熱を回収して暖房に使用するため、①暖房能力を大きくすることができる。②暖房時の吹き出し温度が高く、また低外気温でもスピーディな暖房が可能となる、霜が付きにくい、除霜運転を不要にできる。

しかしながら、GHP の駆動源はガスエンジンだから、自動車のエンジンと同じように、効率のよい運転を維持するために、エンジンオイル交換、冷却水レベルの点検等の定期点検が必要である。

(2) ソーラークーリング

ソーラークーリングシステムとは冷房時には太陽熱集熱器からの温水(70~90℃)を廃熱投入型ガス吸収式冷温水機に投入し冷水を作り冷房に利用、暖房時は太陽熱集熱器からの温水(60℃程度)を暖房に利用するシステムである。太陽熱の少ない雨天の日や、太陽熱だけでは冷房負荷を賄えない時でも、要求される冷房負荷に追従するために、自動的にガスでバックアップを行い、必要な能力を安定的に確保し、快適な空調を実現する。また、太陽熱を優先的に利用する制御を内蔵しています。その結果、ガス使用量の削減が図れ、省エネルギーを実現する²³⁾。

(3) ジェネリンク

燃料による加熱のほかに、ガスエンジンなどから発生する排熱温水を有効に利用して冷温水を供給する吸収冷温水機は、排熱投入形吸収冷温水機と呼ばれ、「ジェネリンク」の愛称がある。ジェネリンクはコージェネレーションシステムと空調設備とを簡単にしかも効率的にリンクするという意味であり、次のような特長がある²⁴⁾。

① 省エネルギー

吸収冷温水機の燃料消費量が削減され省エネルギーとなる、定格時で 10~15%の燃料消費量が削減される。

② イニシャルコストの低減

温水吸収冷凍機が不要となるために、温水吸収冷凍機およびその周辺機器が不要となり、イニシャルコストの低減と省スペースがはかれる。

③ 省スペース

排熱温水システムの制御（温水制御弁、センサー含む）まで含んでいるので、設計施工が容易で省スペースにもなる。

④ 安定した冷房能力

排熱温水システムが変動しても効率が変わるだけで、燃料によるバックアップ運転が自動的になされるために、安定した冷房能力を提供できる。

(4) ソーラーリンクエクセル

ソーラーリンクエクセルは、太陽光発電とハイパワーエクセルシステムを連携した発電システムとなっている。太陽電池と発電機付 GHP 連携システムで電力を安定的に供給する。また、ガスヒートポンプエアコンが組み合わさっているため、太陽光のみの発電よりも変動なく電力を供給することができるようになる。発電機能付き GHP は空調向けに使うガスエンジンの余力で発電している。発電量の確保を優先した運転制御も可能。出力変動の幅が大きい太陽光発電の出力推移を、GHP が監視しながら自らの運転を制御することで空調機能と安定した電力供給を維持できる。GHP 室外機のインバーターを太陽電池も共用する。パワーコンディショナーが不要なほか、系統連係を一本化でき手続きも簡素化が可能である²⁵⁾。

(5) 太陽熱温水器

太陽熱温水器とは、太陽光に含まれる赤外線を熱として利用することで水を温める装置である。狭義には、建物の屋根の上に設置する集熱器とタンクが一体となった自然循環式のものを目指す。これを改良して貯湯槽と集熱器を分離させたもの（ソーラーシステム）も指す²⁶⁾。この項では特に断りの無い限り両者について記述する。

太陽熱温水器は太陽の熱で水を温め貯湯し給湯する蓄熱式の給湯器である。パッシブソーラーの一種で、太陽光の 40～50%を熱として利用できる。既存の再生可能エネルギー利用機器の中ではエネルギー変換効率や費用対効果が最も高く、20 年程度の耐久性が確認されている。

太陽熱利用機器の集熱器部分には大きく分けて平板型集熱器、真空管型集熱器、集光型集熱器の 3 種類がある。このうち一般家庭用のシステムには、太陽を追尾しなくても良い平板型と真空管型が多く用いられる。平板型集熱器は最も単純な形式の集熱器である。平板型・黒色の集熱面に直接熱媒（水や不凍液）を接触させる。集熱面裏側は断熱材で断熱する。構造が簡便でコストを下げやすい。集光側においてカバーガラスと集熱部との間の対流損失が大きく、100℃以上の高温を得るのは難しい。自然循環式と強制対流式の両方が

ある。真空管型集熱器とは、内部を真空にしたガラス管の中に熱媒を通す管と集熱板を設けた構造を多数並べるものである。カバーガラスとの間の対流による損失がなく、高効率で集熱することができる。熱媒は強制循環させる。内部の真空を長期に亘って維持する必要があるため、高度な製造技術を要する。平板型に比較して一般に高性能、高価である。

2.4 分散型エネルギーの導入現状

次世代の電力工業とエネルギー産業の主な発展方向として、近年、分散型エネルギー技術は高速発展している。国際分散型エネルギー協会（WADE）の統計データを見ると、2005年まで分散型エネルギーの発電量は125 TWhになり、世界新增発電量の約24.5%を占めている²⁷⁾。現在、分散型エネルギーは主に欧米、日本などの先進国に集中して、中国は分散型エネルギーの最大の市場とも期待されている。表2-11は2005年まで世界各国の分散型エネルギーの導入状況を示す。図2-17は2030年まで世界各国のコージェネレーションの導入ポテンシャルを示す²⁸⁾。

表2-11 世界各国の分散型エネルギーの導入状況

国別	発電設備総容量 (GW)	分散型電源総容量 (GW)	割合 (%)	総発電量 (TWh)	分散型電源の総発電量 (TWh)	割合 (%)
米国	1031.7	80	7.8	3945.6	160.3	4.1
日本	268	36	13.4	1094	174	15.9
カナダ	117	14	12	580	65	11
ドイツ	115	22.8	19.8	560	100.8	18
インド	112	5.2	4.6	535	16.5	3.1
フランス	105.9	7	6.6	542.3	26.6	4.9
ブラジル	88.7	3.5	3.9	35	11.5	3.3
イギリス	78.5	4.9	6.2	376.8	24.4	6.4
アルゼンチン	23.8	0.5	2.1	94.8	1.8	1.9

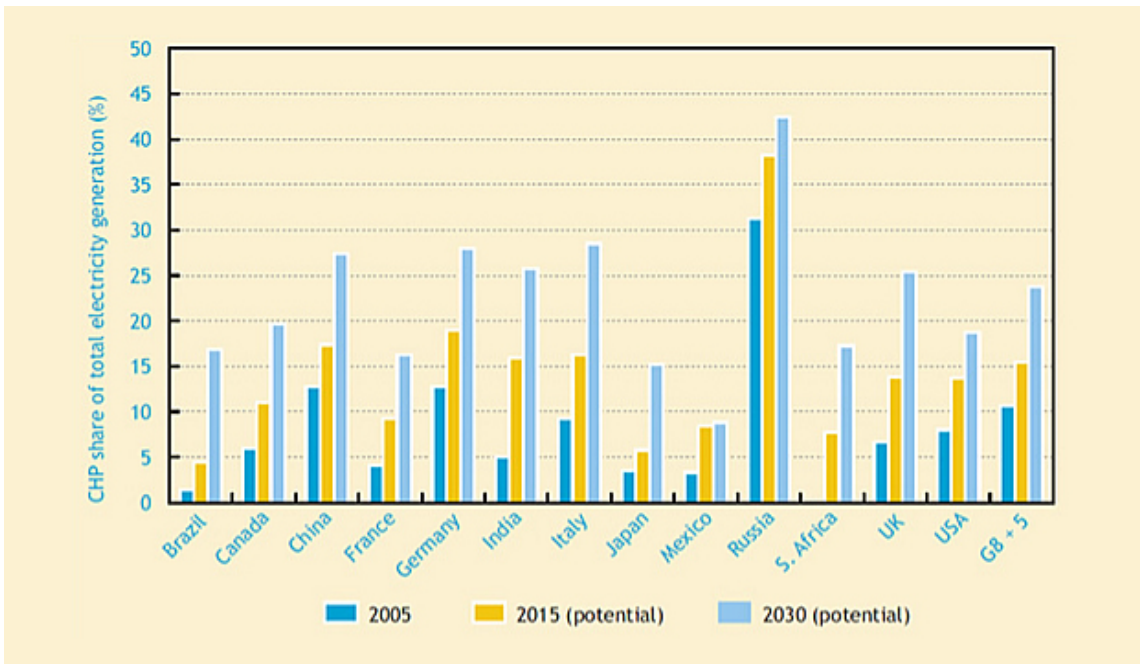


図 2-17 世界各国のコージェネレーションの導入ポテンシャル
 (出典：IEA International CHP/DHC Collaborative)

2.4.1 米国の導入現状

米国は世界新エネルギーとの分散型エネルギーの主な導入国であり、世界の大手分散電源設備メーカーの大半を占めている。米国では、天然ガスを燃料としたコージェネレーション技術は100年以上の歴史を持っている。統計によると、2000年、米国の総発電容量は776GWである。1998-2009年の間、米国のコージェネレーション総容量は46GWから85GWまで増加し、全国総発電容量の約9%を占めており、総発電量の約12%を占めている。また、米国エネルギー省の統計によると、2009年まで、CGSは約3500の大学、病院、政府機関、金融センター、産業エリアに導入された。図2-18は米国における州別CGSの導入状況を示す。表2-12には原動機別CGSの導入件数と容量を示す²⁹⁾。

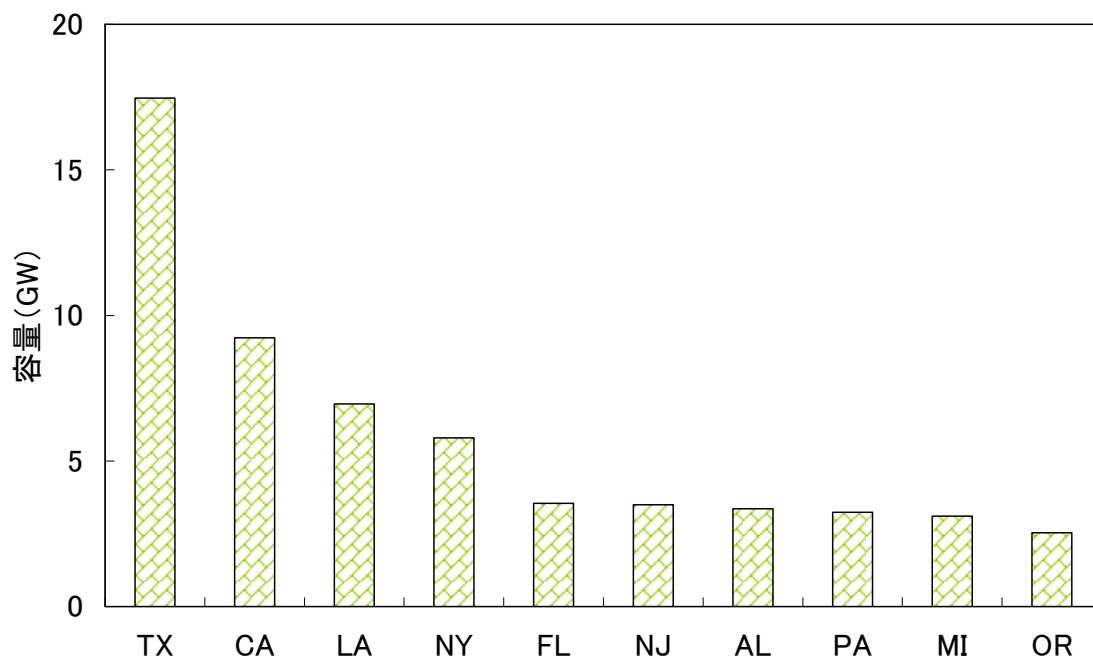


図 2-18 米国におけるCGSの導入状況 (州別)

(出典：Combined Heat and Power Installation Database)

表 2-12 原動機別CGSの導入件数と容量

	全方式	ボイラ・タービン	コンパインドサイクル	ガスタービン	燃料電池	マイクロタービン	オットーサイクル	エンジン
件数	3364	818	249	433	89	182	19	1574
容量 (MW)	85184	28427	43926	11084	27	31	85	1603
平均容量 (MW)	25.32	34.75	176.41	25.6	0.3	0.17	4.48	1.02

2.4.2 EUの導入現状

EUは加盟国が可能な限りグリッドシステム、税率などの面から分散型エネルギーを支持し、小規模高効率分散型エネルギー供給システムのネットワーク化を容易になることを要求している。欧州委員会は、コージェネレーションや再生可能エネルギーからの発電の強制収用の政策を承認した。デンマーク、オランダ、フィンランド等のEU各国は、世界分散型エネルギー領域をリードし、分散型電源の発電量はそれぞれ国内総発電の52%、38%、36%を占めている。2000年、EUのコージェネレーションの設備容量は74GW、総発電容量の11%を占めている。その数値は2020まで195,000 MWに増加し、総発電容量の22%に達すると予測しています。図2-19はEUにおけるコージェネレーションシステム発電量の経年変化を示している³⁰⁾。

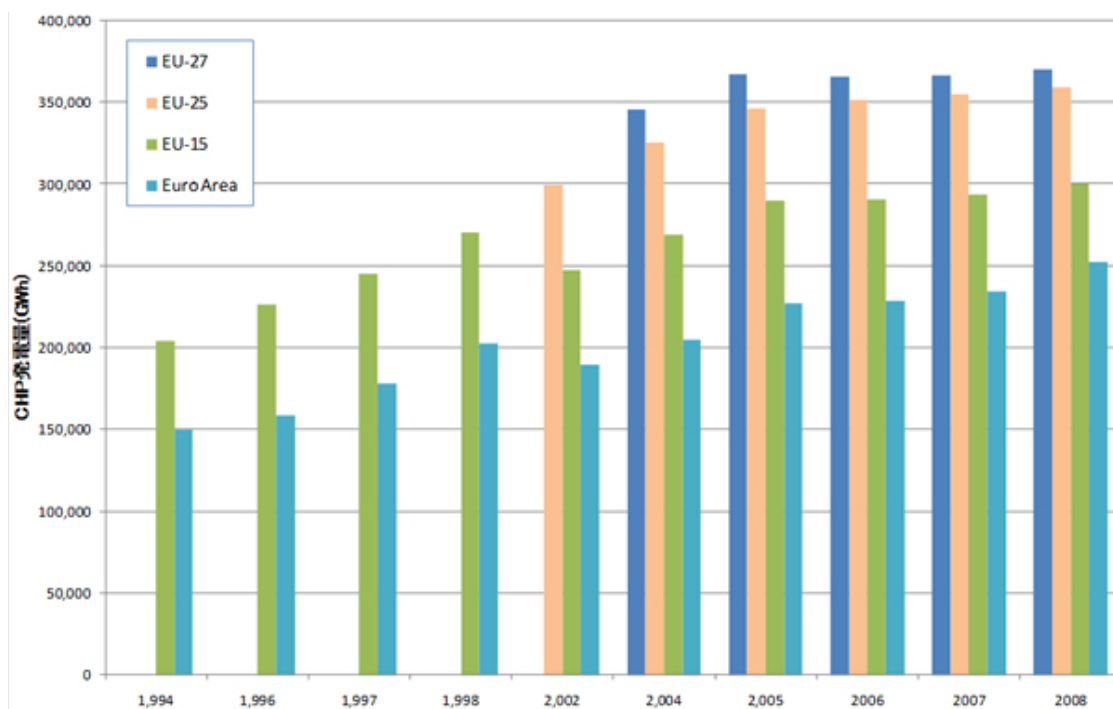


図2-19 EUにおけるコージェネレーションシステム発電量の経年変化

(出典：Eurostat DATA in focus)

2.4.3 日本の導入現状

昭和 56 年前後に第 1 号機が設置された以来、システムの省エネルギー性や経済性が理解され、また環境問題に対する社会の関心が高まるなかで、導入件数が増え続けている。

平成に入ってから、環境問題とエネルギー利用は密接な関係があり、環境保全の観点から考慮したエネルギーの利用が必要であるという観点から、国から積極的に新エネルギーシステムの導入を推進してきた。平成 2 年版環境白書では、「・・・第一に重要なことは、個々の省エネ機器や技術の導入のみならずシステムとしての省エネルギー対策を積極的に推進していくことである。このため、まず、先に記述した課題を解決した上でのエネルギー効率の向上につながるコージェネレーション、コンバインドサイクル発電、ヒートポンプ等の導入促進により効率的なエネルギー需給システムを確立するとともに、工場、都市等の排エネルギーの社会的利用を進めることが重要である。・・・」と記述していた。

2012 年 3 月末の時点で、コージェネレーションは 8,783 台（民生用 6653 台＋産業用 2130 台＝8783 台）、合計 9,546MW（民生用 2013MW＋産業用 7533MW＝9546 MW）が稼働している³¹⁾（図 2-20 参照）。コージェネレーションの導入は 1986 年頃より増加しており、近年では毎年コンスタントに 400～450MW の導入がなされている（図 2-21 参照）。

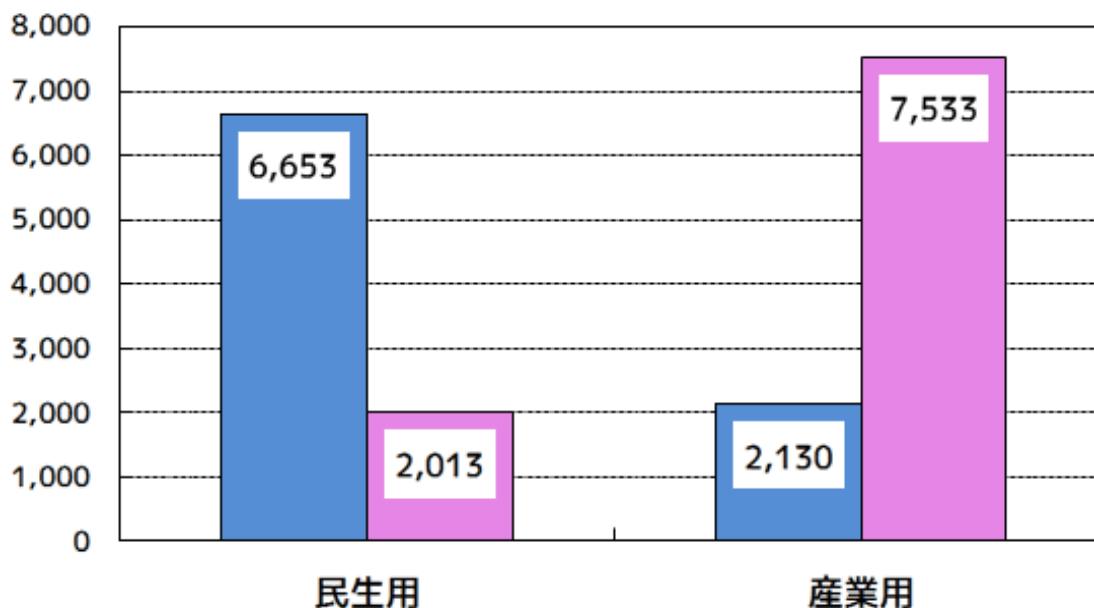


図 2-20 コージェネレーション（CHP）導入状況（2012 年 3 月末）

（出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター）

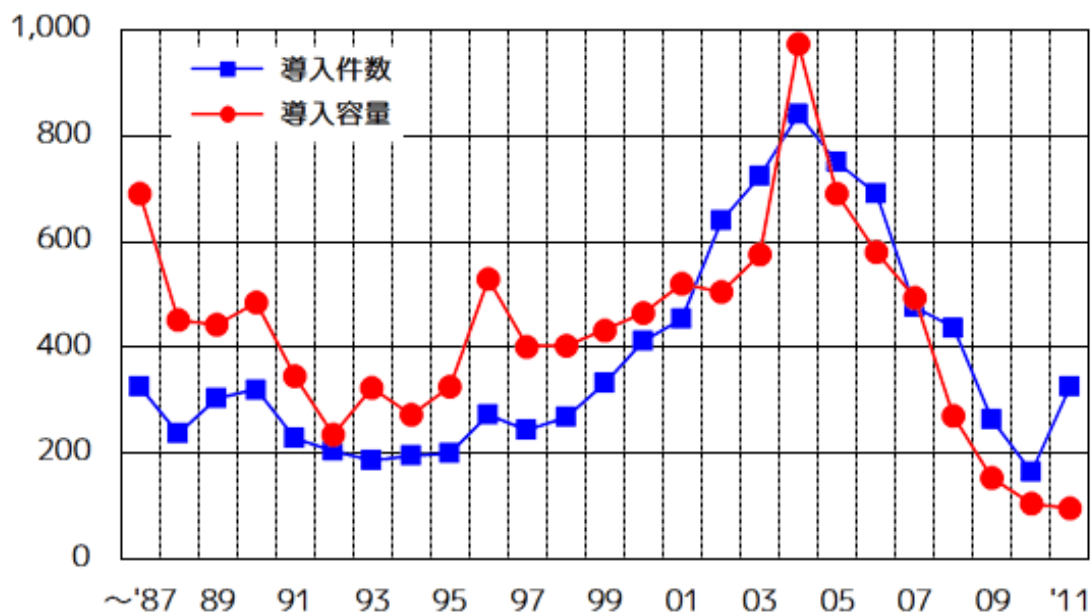


図 2-21 年度別新規導入容量および件数（撤去含まず）（2012 年 3 月末）
 （出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター）

ヨーロッパにおける CGS の用途は、主に地域暖房を中心に発達してきたが、日本は産業用を中心に発達しており、この点はヨーロッパと異なる。ヨーロッパで広く行われた地域暖房に関する特別な普及政策は日本には存在しないが、その他の普及政策(助成金、税額制度)は日本と変わらない。

表 2-13 には、日本における民生部門の CGS 設備の導入実績の推移を示す。表より、2000 年から 2007 年にかけて、とりわけ、ガスエンジン (GE) の導入容量や導入件数の増加率は著しいことに対し、ガスタービン (GT) やディーゼルエンジン (DE) の導入はほとんど代わりがない傾向が見られる。

また、表 2-13 に示す CGS の導入台数を見ると、2000 年～2007 年にかけて、GE の導入件数は全体の 68.12% を占めることに対して、GT と DE はそれぞれ全体の 7.38% と 24.50% を占める。また、全体の導入トレンドは 2005 年からは低下している。

表 2-13 原動機種別 CGS の導入実績一覧

(出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)

項目	原動機種	民生用分野	産業用分野	計
導入台数 (台)	ガスタービン	521	762	1,283
	ガスエンジン	6,812	1,159	7,971
	ディーゼル	1,997	2,220	4,217
	蒸気タービン+FC	54	29	83
	小計	9,384	4,170	13,554
導入容量 (MW)	ガスタービン	497	3,666	4,163
	ガスエンジン	836	1,537	2,372
	ディーゼル	672	2,287	2,959
	蒸気タービン+FC	8	43	51
	小計	2,013	7,533	9,545
平均容量 (kW/台)	ガスタービン	954	4,811	3,245
	ガスエンジン	123	1,326	298
	ディーゼル	336	1,030	702
	蒸気タービン+FC	154	1,477	616
	全体平均	214	1,806	704

更に、建物用途別原動機の発電容量と導入件数（表 2-14）を見ると、導入容量が最も大きいのは、医療施設であり、次に宿泊施設、商業施設、業務施設の順であるが、商業施設や病院施設とりわけ業務施設における CGS の導入容量や導入件数が急増していることに比べ、宿泊施設における導入容量は年々低下していることが分かる。

表 2-14 建物用途別原動機の発電容量と導入件数

(出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)

建物用途	導入件数 (サイト数)	発電容量 (MW)	サイト当たりの 発電容量 (kW/サイト)
病院・介護施設	1,693	367.2	217
商用・物販施設	807	334.8	415
地域冷暖房	72	317.3	4,407
ホテル類	842	250.4	297
公共施設	280	211.7	756
スポーツ・浴場施設	910	146.9	161
飲食施設	1,175	11.0	9
事務所・官庁庁舎	390	91.7	235
集合住宅	126	4.0	32
その他	358	277.8	776
合計	6,653	2,012.9	-

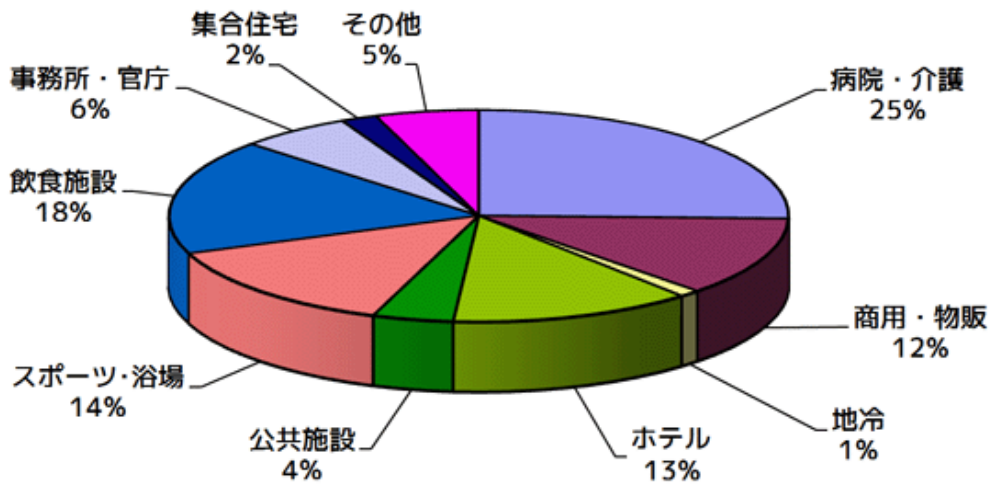


図 2-22 民生用建物用途別サイト数割合

(出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)

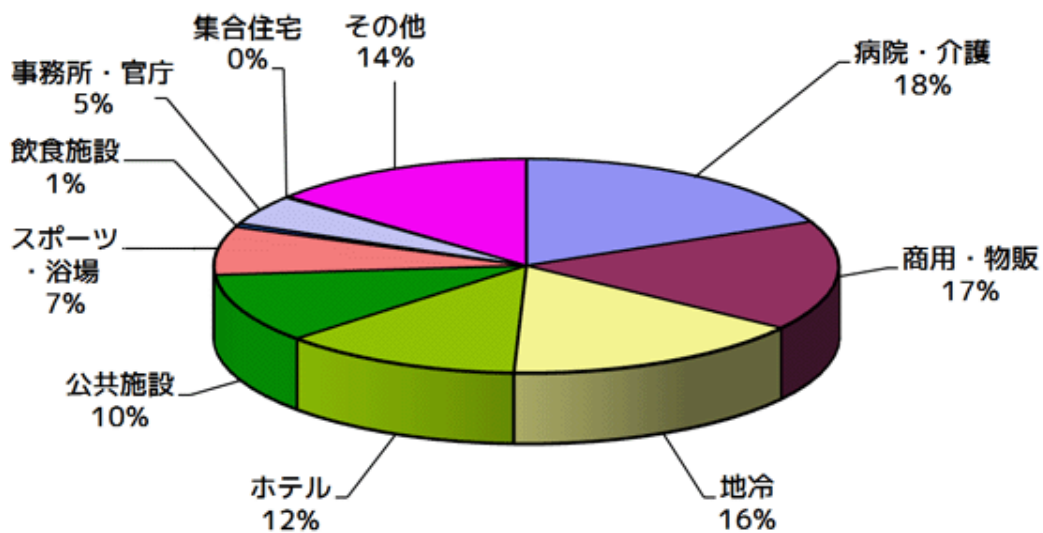


図 2-23 民生用建物用途別発電容量割合

(出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)

また、日本では天然ガスを LNG として輸入しているが、大都市周辺にガス配管として存在する程度であり、CGS 普及の大きな障害になっている。今後、日本国内のパイプライン網の整備が行われれば CGS の普及に大きく貢献するものと思われる。現在、エネルギーの大量消費による化石燃料資源の枯渇及び地球温暖化問題への早急な対策が求められているなか、日本では民生用エネルギー消費は一途を辿っており、各需要化レベルにおいて、ボ

トムアップアプローチにより、省エネルギー対策の実施を早急に行う必要がある。一方、日本では、地域冷暖房が民生部門のエネルギー消費削減、CO₂ 削減に効果があり、大都市においては熱源ネットワークを導入すれば、未利用エネルギーや CGS 等の分散型エネルギー供給システムを都心部に配置することにより、エネルギーの平準化や、より効率的なエネルギー供給が可能となり、エネルギー消費と CO₂ 削減に貢献できるものである。今後、日本でも CO₂ 排出量の多い事業主に対して、炭素税や環境税を講じていくことにより、都市における CGS の導入や熱源ネットワークによる抑制された CO₂ 排出量が経済的に市場に活用することも考えられる。

表 2-15 燃料種別・累積容量 (2012 年 3 月末)

(出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)

	民生用分野 (MW)	産業用分野 (MW)	計 (MW)
天然ガス	1,219	3,500	4,718
LPG	47	381	428
重油	639	2,460	3,099
その他油	37	204	241
バイオ系	26	20	46
その他	45	968	1,013
計	2,013	7,533	9,545

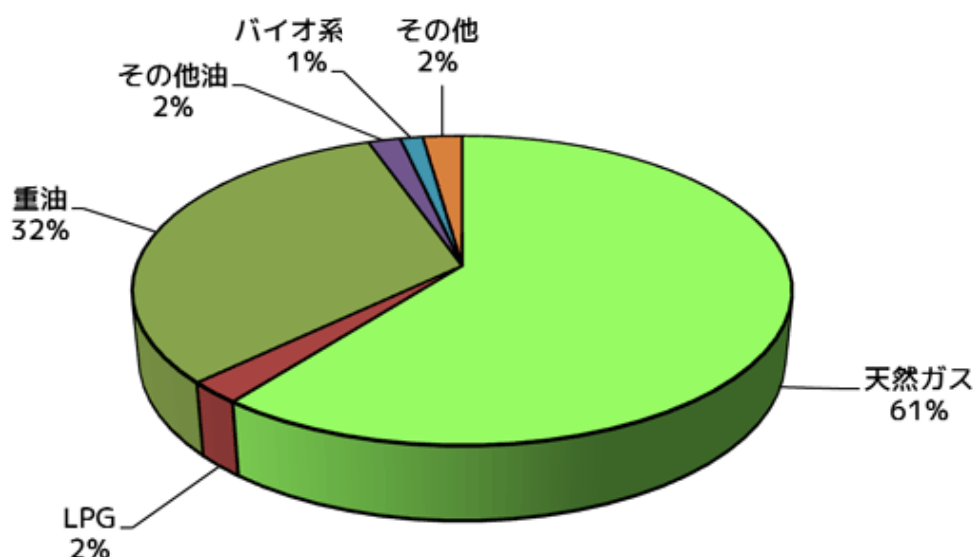


図 2-24 民生用分野 燃料別・発電容量割合

(出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)

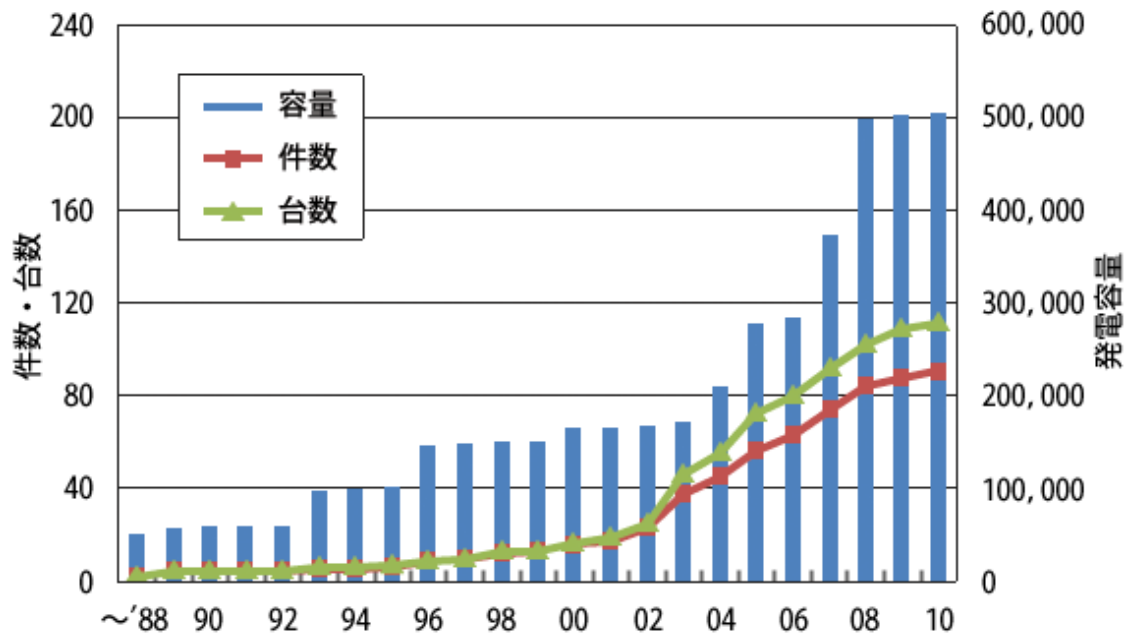


図 2-25 バイオコージェネ累積導入実績

(出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)

表 2-16 燃料別・消費方式別導入容量・件数・台数

(出典：コージェネレーション・エネルギー高度利用センター)

燃料分類	累積		
	容量 kW	件数	台数
木質バイオマス	477,472	29	38
下水汚泥	11,143	12	19
食品廃棄物	12,592	18	32
畜産廃棄物	2,020	18	23
合計	503,227	77	112

消費方式	累積		
	容量 kW	件数	台数
直接燃焼	474,935	24	32
ガス化炉	2,762	5	6
消化ガス	7,943	11	18
メタン発酵	15,612	35	54
バイオ燃焼化	25	1	1
不明	1,950	1	1
合計	503,227	77	112

2.4.4 中国の導入現状

中国のように発展途中上国において酸性雨等のローカルな環境問題と地球温暖化などのグローバルな環境問題の両者の解決を図るためには、日本など先進国の有する新エネルギー技術を導入することが有効であると考えられる。近年、中国が自主的に CGS の導入を図るのは経済性の点から困難であるが、その導入による二酸化炭素排出削減費用は、日本が国内対策のみにより京都議定書の排出目標を達成するための追加的削減費用よりも低いので、CDM など活用して二酸化炭素削減という環境的利益を得ることにより市場原理に基づいて、CGS が導入される可能性が生じる。

中国では急激な経済発展に伴う国民の生活水準向上に併せ、国家は環境保護とエネルギーの節約のため関連政策を推進していることから、都市の熱供給は急速に発展した。CGS をはじめ、その他の熱源方式も導入されはじめ、熱供給の割合は、大型ユニット熱供給（CGS を含んだ）が 62.9%、ボイラーが 35.75%、その他は 1.35%である。中国の都市が熱源供給の総エネルギーの中で、CGS の供給エネルギーは 2493.85 万 kW（単独機械の 6000kW 以上のユニット）、年間熱供給量は 103,599,000 GJ である。標準石炭消費量は 40.39 kg/GJ に上る。

中国政府は、京都会議において中国が中進発展国になるまでは温室効果ガスの削減の約束はできないと述べている。その後は、資源・環境・経済の調和的発展を目指す政策を進めてはいるものの、温暖化効果ガスの排出削減に関わる方針や発言はみられなかった。しかし、日本の環境大臣が 2002 年 1 月に訪中した際に、「京都議定書のルールでは、直ちに温室効果ガス削減の義務を負うことはないが、経済成長率を下回る増加に留めたい」と中国側は述べている。すなわち、中国では電力、ガス供給が追いつかず、火力発電所やガス製造工場などのエネルギー効率の向上とクリーンエネルギーの導入が重要な課題となっている。このような状況を把握した結果、中国における CGS の導入と実施は、当面は厳しい状況にあるが中国政府の方針によっては早い時期に実現することが期待できる。

中国の CGS には以下のような特徴がある。

- ① CGS は各都市のマスタープランおよび都市の熱エネルギー計画に准ず、CGS を普及させ、高総合効率の CGS を普及させる。
- ② 小規模エリアにおいても CGS の市場はある。
- ③ CGS の普及に関する若干規定(国家計画委員会、経済貿易委員会、建設部など)がある。
- ④ 都市冷暖房では CGS を主要なシステム、大規模の地区ボイラー所を補助的なシステムとして発展した。
- ⑤ 火力発電所は地域火力発電所を主とし、企業は自家熱電所から熱を供給し、単一型の熱ネットワークシステムを改良し、熱源共同熱供給システムと CGS を設計する。
- ⑥ 都市部の発電所のうち設備ユニットが古く、石炭消費の高い発電所は、技術発展に伴い、CGS に移行することで再活用する。

過去熱供給ユニットを 20MW の中小型ユニットを主体とすることは、CGS の総合効果向上に繋がる。現在、都市の熱供給の発展に従って、200MW と 300MW の熱供給ユニットの採用が

始まったが、これらの大容量、高パラメーターユニットは、中間期にも高効率を示すものであるため、省エネルギー効果の可能性があり、都市の熱供給発展中で巨大な潜在力を示すものである。

2.4.5 上海の導入現状

上海は中国で最も早い都市建物における CGS の導入の都市である。2011 年まで、合計 CGS 導入のプロジェクトは 26 所があり、総設備容量は 14255KW に達し、全上海の総設備容量の 0.07% を占める。その中で、100 KW 以下のが 5 所、100KW-500KW のが 16 所、500KW 以上のが 5 所ある。

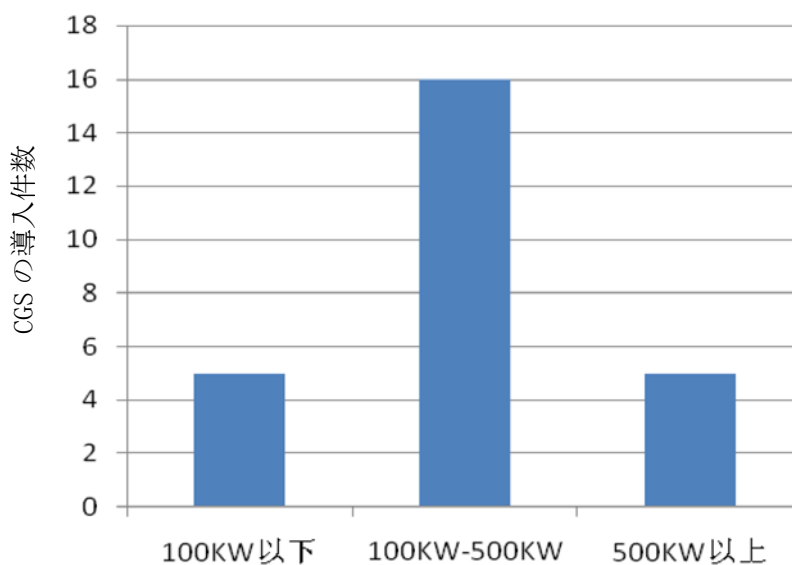


図 2-26 設備容量別の CGS の導入件数 (2011 年まで)

その中で、実験稼働用のは 3 所で、設備容量は 180KW であり、上海の総設備容量の 1.3% を占める。正常に稼働しているのは 18 所で、設備容量は 11817KW である。上海の総設備容量の 82.9% を占める。稼働休止しているのは 5 所で、設備容量は 2258KW である。上海の総設備容量の 15.8% を占める (表 2-17)。

表 2-17 上海における CGS の導入運伝状況

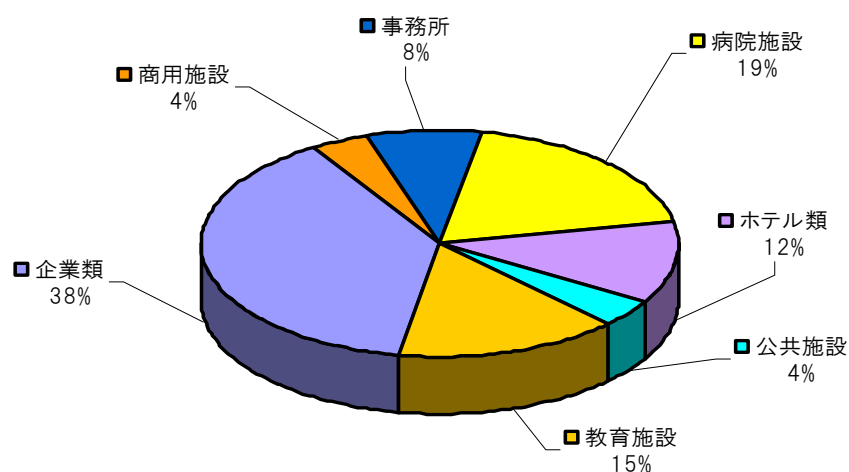
	正常に稼働している	実験稼働用	稼働休止
数量(所)	18	3	5
設備容量(KW)	11817	180	2258
上海総設備容量を占める割合(%)	82.9	1.3	15.8

2011年まで、上海の26ヶ所のプロジェクトの中には、稼働中止しているのが5ヶ所である。その中に会社の倒産と解体などの特別理由のほかに、主の原因は稼働中実際の電熱負荷が元設計負荷の二分の一以下しかないとみられているが。投資が高いし、運転コストも高い。いま稼働している21ヶ所のプロジェクト中で2ヶ所のほかにメリットがほとんどとあまりない。

表 2-18 上海における CGS プロジェクト導入状況 (2011 年)

(出典：上海市エネルギー協会の上海分散型エネルギー政策研究レポート)

建物用途	導入件数 (サイト数)	発電容量 (MW)	割合 (%)	サイトあたりの発電容量 (MW/サイト)
病院施設	5	2445	17.19%	489
ホテル類	3	1187	8.34%	395.67
公共施設	1	4000	28.12%	4000
教育施設	4	470	3.30%	117.5
企業類	10	4900	34.45%	490
商用施設	1	336	2.36%	336
事務所	2	887	6.24%	443.5
合計	26	14225	1	—



CGS プロジェクト導入件数割合

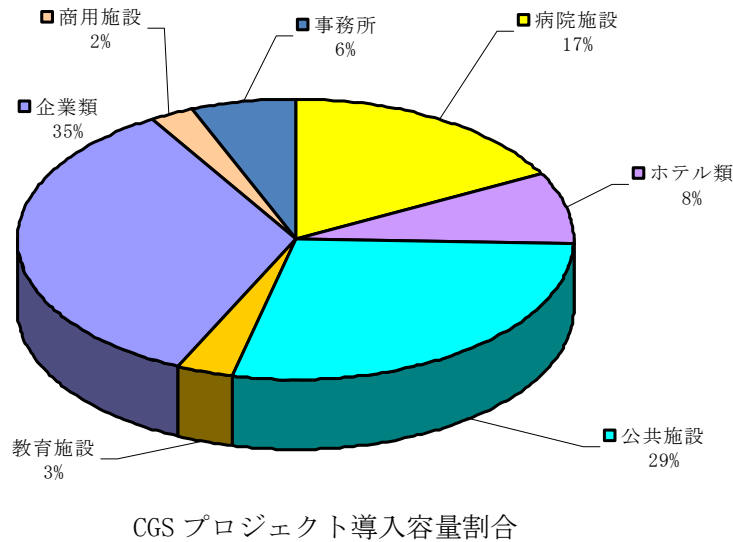


図 2-27 上海における CGS プロジェクト導入状況 (2011 年)

表 2-17、表 2-18 により、以下では、上海市の用途別建物における CGS の導入ケースの中に、主な 4 件について、具体的に説明する。

事例 1 は上海市区 HP 中心病院である。1995 年、中国において初めて公共建築で分散型エネルギー供給システムが導入されたプロジェクトである。プロジェクト総投資額は 1500 万人民币元であり、システムは米国 Solar Turbine 会社の Saturn T1501 型のガスタービンの発電機を採用し、煙道余熱ボイラー 1 台、石油ボイラー 2 台と LiBr 吸収式冷凍機二台 (100 万 Kcal 一台及び 150 万 Kcal 一台) を使用。システムの発電量は 1,130 kW で、水蒸気量は 3.3t/h (0.8MPa 飽和水蒸気)、一次エネルギー利用効率は 71% に達成する。省エネルギー率は約 20% である。年間では 120 万元 (設備 5840 時間運行の場合) 燃料費を削減となる。回収年数は 4-5 年と予測されていましたが、実際には電力負荷ピークが 600 Kw で、設計値の 53% しか達していない。総合効率が悪く、運転費用も高い。現在はシステムが稼働休止している。

事例 2 は上海浦東国際交通センターである。上海浦東国際交通センターのコージェネレーションシステムは 1999 年に建設され、2000 年から運転を開始している。総投資は 3,600 万人民币元である。システムは 4,000 kW ガスタービン発電機一台、11 トン/h の煙道余熱ボイラー 1 台、OM 型 4,000 RT/h の冷凍機 4 台、YK 型 4,000 RT/h の冷凍機二台、1,500 RT/時間 LiBr 吸収式冷凍機一台及び 30 トン/h ガスボイラー 3 台を採用している。実際の運転現状として、発電量 2500 kW を超えた場合経済性が高く、夏期は熱需要、電力需要が十分

にあるので、運転現状は設計時の目標に達成している。しかし、夏期以外では、実際の設計時予測より低いため、総合効率及び経済性があまり良くない。2002年にシステム改善が行われ、はほぼ当初の予測効果を達成した。2002年から上海発電所が管理している。

実例3は上海SY 娯楽センターである。このプロジェクトの投資主体は民営企業である。このセンターは浴場、美容などを含む娯楽施設である。システムはVOLVO社のHIW-210/168 kW ディーゼル発電機2台、470℃高温の排気は余熱ボイラーを介し、65℃の温水を作る。発電量は150 kWで、急騰（65度）は3,100 kg/時間、と試運転時間は4380時間で、熱回収利用効率は80.1%に達する。本システムは専門エネルギー会社が投資と経営管理を行っている。システムの売電価格は0.85 元/kWhで、温水供給価格は17-20 元/トンである。このシステムは2002年11月初めに運行を開始している。残念ながら、都市の建築改造で、2010年に解体してしまった。

実例4は上海MH区中心病院である。この病院での総投資は270万元であり、システムはイギリス堅泰動力会社からG50/400 kW 発電機を二台導入している。発電機からの排気は余熱ボイラーを通り、350kg/時間水蒸気を生成し、消毒、調理などに利用される。総合利用効率は70%以上で、システムが12時間/日運転を行えば、年間エネルギー消費コストを70万人民元削減できる。

2.5 分散型エネルギーの普及促進策と問題点

2.5.1 分散型エネルギーの普及促進策

中国政府は検討している分散型エネルギーに関する支持政策は分散型エネルギーの発展に促進すると予測されている。国家エネルギー局は「分散型発電管理方法」を策定し、政策支持、プロジェクト管理、グリッド連携などの面から分散型エネルギーの発展を支持する。また、2010年、国家エネルギー局は「分散型エネルギー発展に関する指導意見」を策定し、2011年まで天然ガス分散型エネルギープロジェクト1000件を建設し、2020年まで全国各大都市で分散型エネルギーを普及する（5000万kW）導入容量計画を出している。

上海発改委エネルギー発展処によると、企業が熱電併給システムを導入する場合は、全て上海発改委の認可を受けなければならない。これは、外資企業でも同じである。上海市は、企業の自家発電装置として導入する熱電併給システムの認可審査は比較的厳しく、また、認可にあたっては、幾つかの基本要求に満たす必要がある。まず、企業の熱電併給システムによる自家発電装置は「国家及び上海市のエネルギー、電力、環境保護面の政策及び都市建設の計画等」に適わなければならない。現在の状況では、企業は自家発電を新設しようとする、熱電併給システムを取り入れるしかない。というのは、「熱電併給の発展に関する規定」があり、国家は既に明文を持って「如何なる形式の小型火力発電所」を禁止するとある。このように、企業の発電装置は給熱を主とし、発電を補助としてさえすれば導入の認可を取得することができる。次に、上海では、環境保護を重視しているため、国家禁止の石炭を燃料とする小型発電所（単機容量が12.5万kW以下のもの）及び石油を燃料とする熱電併給自家発電所の設置も認可しない。その理由の一つは、中国では石油の資源が乏しく、エネルギーが不足していること、また、石油発電のコストが高すぎて、企業にとっては長期的に負担ができないことである。現在、中国政府は「西気東輸」を強力に推進しているため、上海市は間もなく天然ガスを使用することとなる。そのため、企業が熱電自家発電ユニット導入の必要性に迫られるとすれば、天然ガスを燃料とする熱電併給システムを導入したほうが認可される可能性が高い。最後に、上海発改委は発電プロジェクトを審査する際に、エネルギー利用効率及び発電機所の技術経済効果をかなり重視している。高い技術経済効果・利益（例えば先端技術を持ち、環境保護に有利であり、一次エネルギーの消費が少なく、使用効率が高い等）を持っているプロジェクトは許可されやすい。あわせて、熱電併給システムの導入は地域給熱計画に適わなければならない。なお、留意すべき事項は、単機容量2.5万kW以上の熱電併給システムの導入は、まず上海発改委より初期審査を行い、そして国家発改委エネルギー司に報告して認可審査を行う。電力価格は価格司より審査の上で決定する。国家発改委エネルギー司の認可審査においては、発電機ユニットを一台つづ行わなければならないので、手続きがかなり複雑であり、相当な時間が掛かるのである。もし、企業が自家発電装置を導入して電力不足の問題を解決したい場合、2.5万kW以上の発電機ユニットの導入は時間がかかるということを念頭におくべきである。

2.5.2 分散型エネルギー導入の問題点

先進国では分散型エネルギーに関する研究は成熟したものの、中国での発展はおよそ十年間だけであるため、先進国に比べて、時間が数十年遅いだけでなく、発展研究と実例応用にも大きな差があり、まだは応用段階の初期である。原因として、複雑かつ多面的であり、それらは中国における分散型エネルギーの発展に共同影響と制約している。現在、中国における分散型エネルギーの発展と研究の問題点は政策、市場と環境保全などの外部要因と方策、負荷、最適化、エネルギーバランスなどの技術要素に分けられる。

(1) 政策体制

中国では、分散型エネルギーを推進するため、徐々に関連政策が発表されたが、現在の分散型発電プロジェクトに関する政策、法律および体制の不完備が分散型エネルギープロジェクトの発展を妨げている。問題の核心はガスソース支持と電力グリッドである。分散型エネルギー供給システムの実施は、必ずガス供給、グリッド接続、予備電力保障と消防安全等部門およびキー技術に依存する。現在、それらはまだ明確な基準と調整機関が欠乏である。

今まで、中国の天然ガスの発展計画と実際使用は主に民用ガス、集中暖房、自動車燃料であり、分散型エネルギーのガス供給を考慮していない。お客様にエネルギー供給の安全性を疑問しているのは、主に分散型エネルギープロジェクト建設地域にはガスグリッドがあるかどうか、圧力レベルと供給能力が限られるかどうか、コストが増加するかどうかによって表現している。

ガス価格は分散型エネルギー事業が実施できるかどうかの前提条件である。ガスを燃料とする分散型エネルギープロジェクトで電力と暖房を提供できるかどうかを分析する前、電力とガスの価格を比較する必要がある。一般的に、ガス価格（立方メートル）は電力価格の三倍により高くないことをお勧めしている。その同時、ガスの季節価格と電力ピーク価格の比の影響を考慮すべきである。

電力グリッドは分散型エネルギーシステムの核心であり、現在、分散型エネルギー発電に関する政策と法律の不完備が分散型エネルギーの発展を妨げている。各地方政府は分散型エネルギー電力グリッドに関する問題について、特定プロジェクトを監査して、プロジェクトを決定するとき、発展改革委員会または市の経済委員会がファイリング、「一事一議」として知られている。実は、電力グリッドを解決することは難くないものの、プロジェクトの電力グリッドに関する操作可能な政策と規則がないため、分散型エネルギーの発展進呈が妨げられる。これは小型ユニット独立発電に対して、経済性はよくない、分散型エネルギーを発展するだけで、環境性と経済性はよくなる。多くの分散型電源ユーザおよび潜在ユーザは発電、グリッド、ピーク用電、予備電力等の問題にかんする認知を欠けり、電力事業の支援が必要である。分散型エネルギープロジェクトの基本目標は効率性、節約性、安全性と環境性であり、すべての熱と電力は分散型エネルギーの自立方式だけで提供する場合、安全性と経済性が悪いため、システムの配置能力は实际需要により弱いであ

る。このとき、外部の大きなエネルギーシステム特に電力グリッドの支援が必要である。

(2) 市場と環境の制約

分散型エネルギーシステムの発展は市場、供給および需要の規則と制約がある、今の段階では存在する主な問題は：

① システム集成：分散型エネルギーシステムは特別なシステム工事であり、ガス、機械、電気、空調および自動制御などのエネルギー転換を集成して、回収、メモリーの技術と設備も含めている。システム集成の条件は厳し、技術も難しいである。プロジェクトの開発、建設および運用中、影響要素を有効に把握することが重要なポイントであり、これはプロジェクトの成功を左右している。

② 設備供給：分散型エネルギーシステムを採用する設備と技術は先進国にはかなり成熟しているが、中国では、システムの核心動力設備には多くの問題があり、これは先進国の設備商が把握している。ガスディーゼルエンジンと中大型ガスタービンが自分で作ることができるが、システムのパワー、効率、排出および信頼度は先進国より大きな差がある。マイクロガスタービンとスターリングエンジンの技術は改善する必要があり、商業化はまだである。輸入設備の価格が高いため、分散型エネルギーシステムの省エネルギー性は理想であるが、経済性が悪く、中国での応用の限界がある。

③ 運行管理：分散型エネルギーシステムの省エネルギー性および環境性に達するため、プロジェクトの運行管理は非常に重要である。現在、成型的な運行管理方法と運行指導手帳はなく、顧客自分を任せる運行管理方法には多くの問題がある。市場には専門的運行会社が不足であり、契約エネルギー管理方式はほとんどなく、効果的な運行サービス能力は形成していない。

④ 投資収益：分散型エネルギーシステム前段階の投入は従来システムより大きい、後期収益は多種の原因に影響されるため違いである。各方面の条件は組み合わせていないため、専門的なサービス、模範および資金は不足である。電力会社の電力グリッドに対する障害があるため、ネットワークに入れる申請と手続きは複雑で時間も長い、資金が不足のため、開発企業には多く困難がある。同時に、電力会社は分散型エネルギーの電気価格を抑えて、非電力部門の分散型エネルギー開発企業に排斥の策略を採用する。ガス会社も熱電ユニット燃料供給の容量を高く持ち上げて、天然ガスの価格は高すぎて、燃料の価格はプロジェクトの経済性と投資資本回収期限に影響する。先進国の経験は、すべての成功した分散型エネルギーシステムの特徴はオープン型、つまり、分散型システムはネットサーフィンすることを許し、システムのエネルギー供給と需要のバランスを実現と表明している。経済性はそれぞれの部門の政策を制定する出発点である。分散型エネルギープロジェクトについては、総合的に各方面の利益を考慮するべく、各方面の利益を実現することにより、国家の基本的な利益が実現することができる。

環境保全では、分散型エネルギーは省エネと環境保全が実現することができるが、中国では、主に経済発達の各大都市や天然ガス豊富な地区で使っている。これらの地区には人

口の密集が高いため、環境保全と消防の要求も厳しいであり、プロジェクトへの具体的な影響は主に排出と騒音の制約に表現している。各地の状況は違い、ある地方は分散型エネルギーの環境保全規定は不明確であり、ある地方の標準は明らかに現段階の水準を超えるため、プロジェクトの環境保全投資が高すぎて、収益は減らすことになる。たとえば、北京の CGS 分散型エネルギーの排気ガスの排出基準はガスボイラーを比較して、NO_x は 150mg/M³ より大きくないことを求めて、この標準は中国で最高であり、しかも環境保全有名なヨーロッパ国家よりも高いである。

その他、消防方面では、分散型エネルギーは消防条例の制限に直面することになる。ガス、動力、電力などの技術に関連するため、影響要素は複雑で、都市の地価が高いため、多くの分散型エネルギーシステムは地下に置いて、いくつかの安全問題が発生しやすいし、客観的に消防条例の適用に対してもっと厳しい要求を提出した。

2.6 結論

本章では中国及び上海市におけるエネルギー消費の現状と将来展望を調査・分析した。また、技術別分散型エネルギーの種類を整理し、米国・EU・日本・中国における分散型エネルギーの導入現状を調査・比較した。なお、中国における分散型エネルギーの普及を目指し、現状の導入促進策を検討し、その問題点を提出した。

結論は以下のようにまとめる。

① 近年、中国におけるエネルギー消費量は著しい増加傾向を示しており、2030年には現在の1.7倍まで増加すると予測される。一方、中国のエネルギー効率は依然低水準にあり、最も省エネルギー化が進んでいる日本の1/8となっている。

② 上海市のエネルギー消費量は年々に増加し、第二産業が最も多く全体の約58.4%を占める。また、GDPあたりのエネルギー消費量は一貫して改善してきたが、依然先進国の2～3倍の水準にある。

③ 天然ガスを燃料としたコージェネレーションシステムは主な分散型エネルギーとなり、環境保全性、経済性、安定確保性、需要対応性、省エネルギー性などのメリットがある。また、環境に優しい太陽光発電、風力などの再生可能エネルギー技術は経済性、安定性などの視点からまだ問題がある。

④ 分散型エネルギーが現在主に欧米、日本などの先進国に集中しているが、中国は分散型エネルギーの最大の市場と期待されている。中国では、2011年からの第12次5ヵ年計画期間に、天然ガスを利用した分散型電源システム関連プロジェクトを1,000ヵ所で具体化する方針で、国家発展改革委員会は、2020年までに5,000万kWの天然ガスによる分散型電源システム導入計画を発表した。高効率なガスエンジンコージェネシステムに対する大きな需要が見込まれる。

参考文献

- 1) 中国統計出版社：中国統計年鑑，2012年
- 2) EDMC：エネルギー・経済統計要覧2012年版，2012年
- 3) ケイ穎：中国の「第十二次5カ年計画」におけるエネルギー事業について，海外電力 53(9)，62-69，2011年
- 4) 日本エネルギー経済研究所，<http://eneken.ieej.or.jp/>
- 5) Gaofeng Sun：Discussion on policy system for promoting energy saving buildings in China, Resources and Industries, 9(3), 2007, 106-108
- 6) 清華大学建築省エネ研究センター：中国建築省エネ年度発展報告，2008年
- 7) International Energy Agency(IEA)：World Energy Outlook 2011，2011
- 8) 上海市統計局：上海統計年鑑，2012年
- 9) 上海市統計局：上海エネルギー白書，2011年版
- 10) 分散型電源技術専門委員会：分散型電源の普及促進のための調査報告書，2003年
- 11) 経済産業省資源エネルギー庁：地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定ガイドブック，2003年
- 12) 財団法人エネルギー総合工学研究所：新エネルギーの展望－太陽光発電，2005年
- 13) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：太陽光発電ロードマップ(PV2030+)，2009年
- 14) 経済産業省資源エネルギー庁：太陽光発電システム等の普及動向に関する調査，2011年
- 15) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：風力発電導入ガイドブック，2008年
- 16) 財団法人エネルギー総合工学研究所：新エネルギーの展望－風力発電，2004年
- 17) 小水力利用推進協議会：小水力エネルギー読本，オーム社，2006年
- 18) 社団法人日本エネルギー学会：アジアバイオマスハンドブック，2007年
- 19) 山口 馨：世界のバイオマス利用技術開発動向，IEEJ，2008年
- 20) 財団法人 機械システム振興協会：革新的バイオマス利用システムの実現可能性に関する調査研究，2007年
- 21) 財団法人エネルギー総合工学研究所：新エネルギーの展望－バイオマス発電，2003年
- 22) アイシン精機株式会社，<http://www.aisin.co.jp/ghp/>
- 23) 東京ガス，<http://eee.tokyo-gas.co.jp/product/solar/outline.html>
- 24) 日本冷凍空調学会，<http://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/90.html>
- 25) 東京ガス，<http://eee.tokyo-gas.co.jp/product/solar/outline.html>
- 26) 長府製作所，<http://www.chofu.co.jp/products/solar/ecowaiter/>
- 27) 国際分散型エネルギー協会(WADE)，<http://www.localpower.org>

- 28) IEA International CHP/DHC Collaborative, <http://www.iea.org/chp/>
- 29) U.S. Department of Energy and Oak Ridge National Laboratory : Combined Heat and Power Installation Database, 2009
- 30) Eurostat DATA in focus,
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/publications/collections/sif_dif/dif
- 31) 一般財団法人 コージェネレーション・エネルギー高度利用センター :
<http://www.ace.or.jp/index.html>

第3章 地域分散型エネルギーシステムの総合評価に関する理論研究

3.1 概要

3.2 エネルギー負荷の予測

3.3 コージェネレーションシステムの設計手法

3.4 再生可能エネルギー利用可能量の推計方法

3.4.1 太陽熱温水器

3.4.2 太陽光発電

3.4.3 風力発電

3.4.4 バイオマスエネルギー

3.5 省エネルギー性の評価方法

3.6 経済性の評価方法

3.7 環境保全性の評価方法

3.8 総合評価の算出方法

3.9 結論

参考文献

3.1 概要

分散型エネルギーは、合理的に計画・設計できれば、省エネルギー性や環境保全性の向上に貢献し、経済性においても早期に初期投資の回収が可能になる等大きなメリットを創出する。しかし、無条件にその有効性が発揮されるわけではなく、その導入検討の際には慎重な計画や設計とともに定量的な経済性評価が必要となる。すなわち、最適な分散型エネルギーシステムを設計するためには、システムの容量、台数、運転戦略等を、建物電力、冷暖房、給湯負荷の変動に適合させ、無駄の少ない運転ができるように各機器の仕様や運転方法を決定する事にある。各建物の分散型エネルギーへの適用性を把握し、事業サイクルに適合した回収年数になるよう検討・評価を繰り返し、適切な設計をすることが重要である。

具体的には、対象建物の負荷を推定し、計画から基本設計、そして実施設計の各段階に応じたできる限り詳細なシステム検討を行い、これを反映させた年間のエネルギーシミュレーションを行うことが重要である。

そこで、本章では定量的・定性的な設定条件を用いたシミュレーション結果を基に、省エネルギー性からはじめ、環境保全性を評価し、さらに初期費用、運転費用の算出により、経済面も考えた分散型エネルギーの導入効果に関わる理論研究を行う。従って、上述の評価項目らによって総合的な評価を繰り返すとともに、最適なシステムの導入を図ることを目的とする。

分散型エネルギーの導入計画において、様々な要素が絡んでおり、総合的に考える必要がある。まず、建物の用途、規模が適切であるかを判断すべきである。また、外部環境条件も十分確認するのが必要である。システムの選定に対しては、類似施設の例も調査した上、幾つかの案を検討し、最適なシステムの構築を目指し、総合的な評価を行う。

図 3-1 に、分散型エネルギーシステム導入計画の手順を示す。

まず、ステップ 1 として、地域内の再生可能エネルギー資源の利用可能量を推計する。また、対象建物が年間を通じて安定した電力負荷、熱負荷が発生しているか、電力と熱負荷の時刻パターンが類似しているか、熱電比が高いかなどに関わる検討を行い、系統連携の採否、逆潮流及び特定供給などのを含めた外部環境要素を検討する。

ステップ 2 では、運転形態（電力負荷の変動に追従、熱負荷に追従）、運転時間の設定等を行う。

ステップ 3 では、システムの設定を行う。ここでは、推定した負荷特性により、原動機の装置の容量・種類、台数の選定及び排熱利用方法、回収方法などを設定する。

次にシステムの評価段階に入り、ここではまずエネルギー収支の算定、すなわち、分散型エネルギーにより賄うことのできる発電電力と排熱利用量等を算出し、分散型エネルギーの非導入システムの設定との比較により得られる省エネルギー効果を評価する。また、環境保全性の評価を行い、経済性も加味し総合的に評価する。

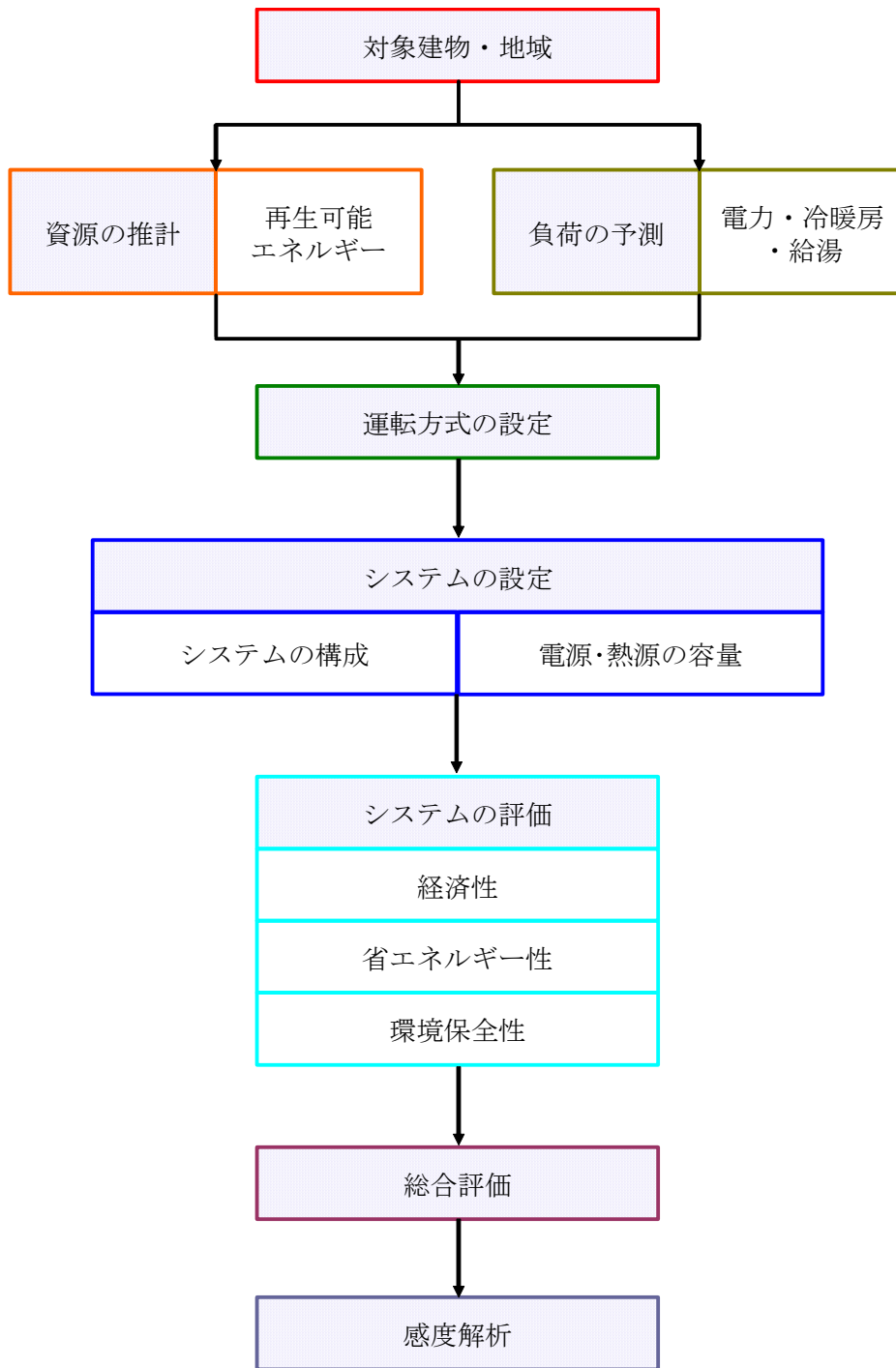


図 3-1 分散型エネルギーシステム計画の手順

3.2 エネルギー負荷の予測

地域における建物のエネルギー需要（負荷）の正確・合理的な把握は地域分散型エネルギーシステムの計画のキーポイントである。エネルギー負荷の正確性はエネルギー供給と転換の定量化を影響し、エネルギーシステム計画の合理性を決定する。エネルギー消費の予測は建物の年間用途別エネルギー負荷（冷房、暖房、電力、給湯など）の総量、ピーク値、時刻別負荷などを予測する。

通常、建物のエネルギー負荷を簡易に想定する場合、建物用途別エネルギー消費原単位（延床面積あたりあるいは人数あたりの電力需要量、熱需要量）に建物用途別延床面積を乗じて、年間のエネルギー需要量およびピークのエネルギー需要量を算出する。また、月別・時刻別のエネルギー需要パターン（平日、休日の別）を用いることにより、更に詳細に時刻別の負荷想定が可能になる。しかし、建物用途別エネルギー消費原単位はあくまで建物用途別の単位あたりエネルギー消費量の平均であり目安でしかないため、より精度の高い負荷想定をするためには、電力負荷に関しては使用予定の電気機器消費電力を機器使用スケジュールを踏まえて積み重ねていくことで負荷を想定し、熱負荷に関しては日射などの外部負荷と機器・人体などからの内部負荷に分けて詳細に想定していく必要がある。そのために、建物構造・素材・断熱仕様、窓面積・ガラス仕様、建物配置方向（真南からのずれ）・隣棟間隔、外気温・日射量・風況などの熱貫流、日射による外部負荷を算出するためのデータ、および建物用途・延床面積・階高、非空調面積、建物使用人数・スケジュールなどの内部負荷を算出するためのデータが必要になる。

既存建物について、過去の負荷データをベースにエネルギー消費の現状を確定した上、統計規則に基づいたエネルギー消費量の予測方法を用いて、将来のエネルギーエネルギー負荷を予測する。この方法では、大量的な統計データをベースにして、統計学などの技術を利用してデータを解析し、建物のエネルギー消費量と各影響要因の関係性を解明した上、負荷予測モデルを構築する。主な予測モデルとして、多重線形回帰モデル、時系列予測モデル、灰色理論予測モデル、ニューラルネットワーク予測モデル、サポートベクターマシン予測モデル及び様々な予測モデルの有機的な結合を含める。新開発地域について、最も簡単な方法は、典型的な気候条件、建物の使用時間表、内部負荷強度により典型的な負荷曲線を確定してから、面積指標法を利用して計算する。この方法で試算した予測値は大きすぎる可能性があるため、もっと正確な数値を得るため、ソフトウェアシミュレーション予測手法を採用する必要である。

ソフトウェアシミュレーション予測方法はエネルギーシミュレーションソフトウェアを利用して、典型的な年間気象パラメータ、詳細な建物情報及び設計パラメータに基づいて、コンピュータシミュレーションにより時間ごとの負荷データを計算する手法である。国内外では様々なエネルギーシミュレーションソフトウェアが開発された。例えば、米国の DOE-2、Energy-Plus、BLAST、カナダの HOT2XP、日本の HASP/ACLD、BEST、中国の DeST などがある¹⁾。

「デザイナー・シミュレーション・ツールキット (DeST)」は「分析による設計、シミュレーションによる設計」が実現できるように、中国清華大学 DeST グループによって開発された建築エネルギーシステムの設計支援ツールである。

他のシミュレーション・ソフトウェアとは異なり、建物の定義を簡素化するため、DeST はグラフィカル・インターフェースを開発し、全てのシミュレーション計算は AutoCAD ベースに開発したユーザ・インターフェースで実行する。インターフェースの開発は一般的な設計と製図ソフトウェアに基づいており、様々な建築関連データ (材料、形状、内部妨害など) はデータベース・インターフェースを介して接続されるため、ユーザは建物のインターフェース記述を通して、関連するシミュレーションモジュールを利用して計算することは非常に簡単、便利である。また、DeST のシミュレーション結果は Excel で表現できる。図 3-2 は DeST のインターフェースを示す²⁾。

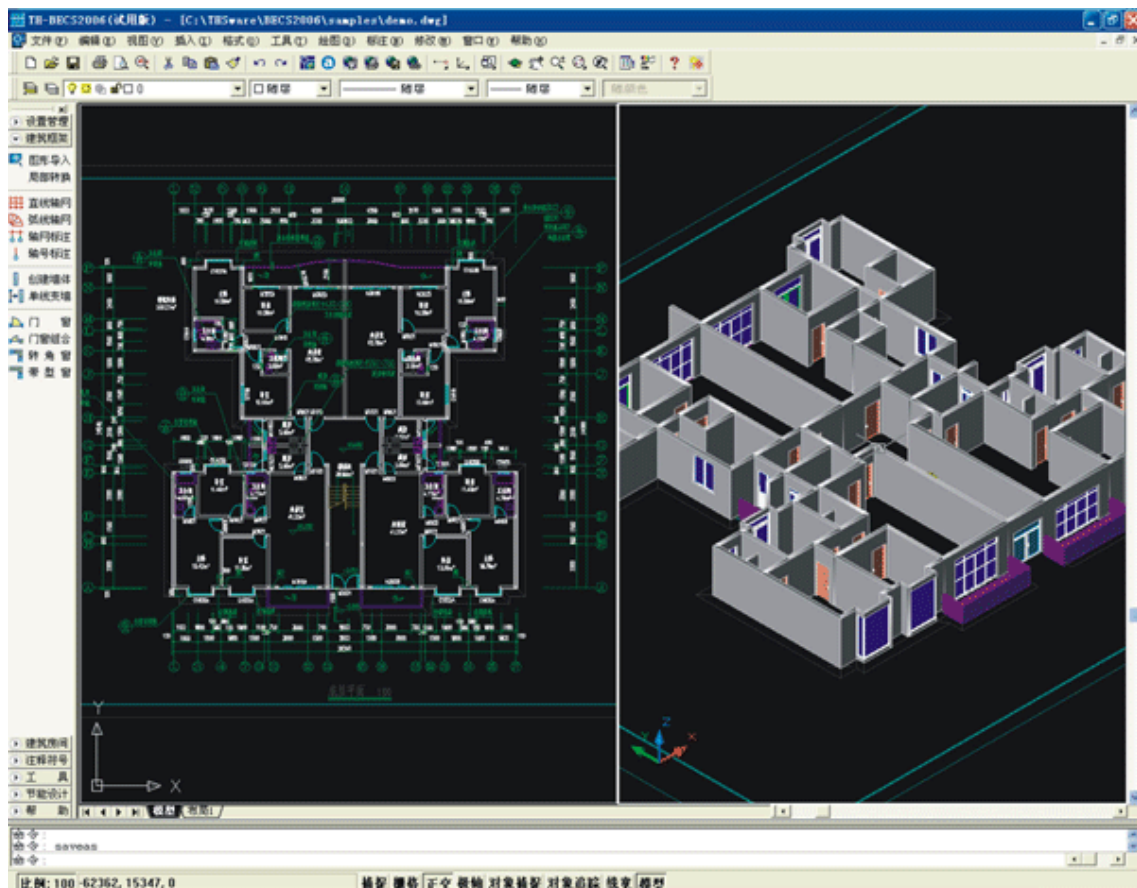


図 3-2 DeST のインターフェース

3.3 コージェネレーションシステムの設計手法

CGSを導入する際、技術選択、設計と管理モード、エネルギー・経済・環境情報を考慮する必要がある。本研究では、多くの技術と利用可能な原動機の中から適切な技術タイプを決定するため、CGSの技術分析を始め、その後、実現可能な設計と管理モードの分析を続けている。最後、考慮する各CGSについて、経済的および社会的な便益性を評価する(図3-3を参照)。

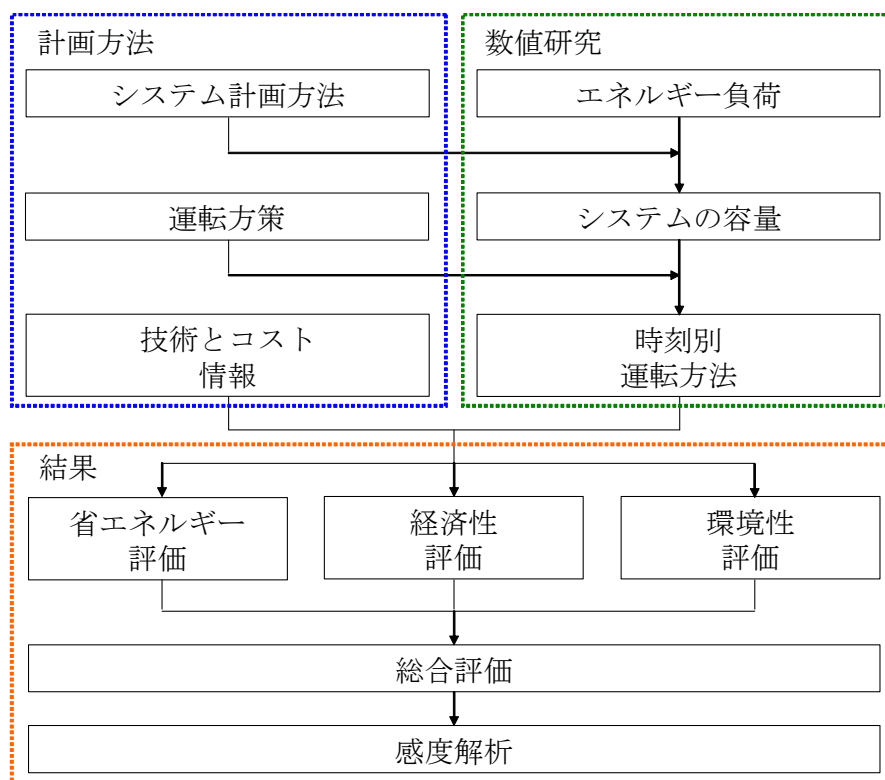


図 3-3 CGS 計画のフロー図

自身の好みとエンドユーザのエネルギー負荷の特徴により、設計者は CGS の最適な規模及び様々な運用戦略を設計する。次は、3 つの典型的な設計と管理オプションが具体的に分析された。

(1) 熱主電従(HT)モード

熱主電従(HT)モードでは、CGS から生産された熱量はすべて対象建物によって消費され、電力は熱量の変化に従する(選択されたシステムの電熱比に決める)。CGS ユニットが生産した電力は負荷を超える場合、商用電力へ売ることになる。

HT モードを実行するため、まずはシステムのサイズを決定すべきである。CGS の最適なサイズを決定する方法について、多くの研究が報告された³⁻⁶⁾。本研究では、様々な難し

い最適化モデルと違って、最大長方形方法という一般的な方法が採用された。CGS の容量は、定額容量で年間熱供給の最大値に基づき、負荷持続曲線を利用して計算できる。この方法の考え方は、バークアップボイラーがピーク需要を満たすことができる一方、平均の最大熱需要を満足することもできる。このデザイン手法は定額容量運転時の最大熱量を満たす⁷⁻⁹⁾。8760 時間の熱負荷は下る順で負荷曲線を書く、最大長方形対応の負荷を CGS の容量として採用する。この方法は CGS 容量の過大や過小を防止でき、年間エネルギー需要の満足と高効率運行を同時に実現できる。また、システムの運転レベルを保持するため、次の式を利用して運転戦略を決める¹⁰⁾。

$$\begin{cases} Q_{power}^{CCHP} = 0 & \forall 0 \leq f_{heat} < \theta \\ Q_{power}^{CCHP} = \frac{Q_{heat}^{LOAD}}{\delta} & \forall \theta \leq f_{heat} \leq 1 \\ Q_{power}^{CCHP} = R_{cap}^{CCHP} & \forall 1 < f_{heat} \end{cases} \quad (3-1)$$

ここに、

Q_{power}^{CCHP} = CGS の発電量

R_{cap}^{CCHP} = CGS の容量

Q_{heat}^{LOAD} = 建物の熱負荷

f_{heat} = CGS の熱生産の即時情報

この数値では熱負荷と最大輸出の比であり、CGS が運行するかしらないかを決定できる。式 3-2 により計算できる。

$$f_{heat} = \frac{Q_{heat}^{LOAD}}{R_{cap}^{CCHP} \cdot \delta} \quad (3-2)$$

(2) 電主熱従 (ET) モード

前述した HT モードと違って、このモードでは電力が主な変量になる。CGS の運転は電力負荷の変化に基づく、熱量は電力需要に従する (選択されたシステムの熱電比に決める)。したがって、このモードでは、余剰電力はなくて、もし熱量が上回る場合、大気に排出することになるかもしれない。また、HT モードと同じように、CGS の容量は電力負荷の持続曲線に基づいて決定する。CGS の具体的な運転方法は以下の式に決める。

$$\begin{cases} Q_{power}^{CCHP} = 0 & \forall 0 \leq f_{power} < \theta \\ Q_{power}^{CCHP} = Q_{power}^{LOAD} & \forall \theta \leq f_{power} \leq 1 \\ Q_{power}^{CCHP} = R_{cap}^{CCHP} & \forall 1 < f_{power} \end{cases} \quad (3-3)$$

ここに、

Q_{power}^{LOAD} =建物の電力負荷

f_{power} =CGS の電力生産の即時情報

同じように、この数値は電力負荷と最大輸出の比であり、以下の式で計算する。

$$f_{power} = \frac{Q_{power}^{LOAD}}{R_{cap}^{CCHP}} \quad (3-4)$$

(3) 自立(EI) モード

この設計と管理モードは、オンサイト生産を通じてすべてのエネルギー需要を満足するエネルギーシステムである。これは、グリッドが遠いところへの電力輸出が不可能や経済性悪い場合の良い選択である。このモードでは、CGS の容量は電力負荷のピーク値を採用して、システムの運転は電力負荷に基づいて決定する。したがって、EI モードは特別なET モードとして考えられ、唯一の違いはもっと大きいサイズである。具体的な運行状況は以下の式で示している。

$$Q_{power}^{CCHP} = Q_{power}^{LOAD} \quad (3-5)$$

3.4 再生可能エネルギー利用可能量の推計方法

3.4.1 太陽熱温水器

太陽熱温水器とは、太陽光に含まれる赤外線を熱として利用することで水を温める装置である。狭義には、建物の屋根の上に設置する集熱器とタンクが一体となった自然循環式のものを目指す、これを改良して貯湯槽と集熱器を分離させたもの（ソーラーシステム）も指す。太陽熱温水器は太陽の熱で水を温め貯湯し給湯する蓄熱式の給湯器である。パッシブソーラーの一種で、太陽光の40～50%を熱として利用できる。既存の再生可能エネルギー利用機器の中ではエネルギー変換効率や費用対効果が最も高く、20年程度の耐久性が確認されている¹¹⁻¹²⁾。

太陽熱利用機器の集熱器部分には大きく分けて平板型集熱器、真空管型集熱器、集光型集熱器の3種類がある。このうち一般家庭用のシステムには、太陽を追尾しなくても良い平板型と真空管型が多く用いられる。

真空管型集熱器は、内部を真空にしたガラス管の中に熱媒を通す管と集熱板を設けた構造を多数並べるものである。カバーガラスとの間の対流による損失がなく、高効率で集熱することができる。熱媒は強制循環させる。内部の真空を長期に亘って維持するため、高度な製造技術を要する。平板型に比較して一般に高性能、高価である。

真空管型太陽熱温水器の計算方法は下記の式に示す。

$$Q_{coll} = F_R \tau \alpha G - F_R U_L \Delta T \quad (3-6)$$

ここに、

Q_{coll} = 単位時間単位面積集熱器の集熱量

F_R = 集熱器の吸熱係数

U_L = 熱損失係数

τ = 集熱器表面の透過率

α = 吸熱材の短波吸収率

G = 集熱器表面の総日射量

ΔT = 集熱器入口と出口の温度差

3.4.2 太陽光発電

太陽光発電力の予測は文献¹³⁾による。一年間の各一時間 h ($h=1\sim 8760$) におけるパワーコンディショナ出力電力量 P_h は

$$P_h = \frac{H_h}{I} \times \eta_{pch} \times K_{pvh} \times K \times P_{cap} \quad (3-7)$$

P_h = 時間 h におけるパワーコンディショナ出力電力量 (kWh/h)

H_h = 時間 h における斜面日射量 (kWh/m²h)

I = 標準状態における日射強度 (kW/m²) (=1.0)

η_{pch} = 時間 h におけるパワーコンディショナ出力電力係数 (0.9~0.95)

K_{pvh} = 時間 h における太陽電池出力の温度補正係数 (セル温度 25°C 時=1.0)

K = その他のシステム出力係数 (=0.89)

P_{cap} = 標準状態での太陽電池モジュール容量 (定格容量)

斜面 P に受ける日射はまず直達日射がある。それから散乱日射、直達日射等より反射日射もある。三つの日射を合わせると斜面の日射量になる。

① 斜面の直達日射量

任意の斜面へ入射する直達日射量 $I_{d\beta}$ を、球面三角法を用いて以下の式により正確に計算することができる。日本気象学会ではこれを r_b モデルという。

$$I_{c\beta} = (I - I_d) r_b \quad (3-8)$$

ここに、

$I_{c\beta}$ = 任意の斜面へ入射する直達日射量

I = 水平面全天日射量の時間積算値

I_d = 水平面天空散乱日射量の時間積算値

$$r_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_0} \quad (3-9)$$

$$\cos\theta_0 = \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\omega \quad (3-10)$$

斜面は真南である時に

$$\begin{aligned} \cos\theta &= (\sin\phi\cos\beta - \cos\phi\sin\beta)\sin\delta \\ &+ (\cos\phi\cos\beta + \sin\phi\sin\beta)\cos\delta\cos\omega \end{aligned} \quad (3-11)$$

θ_0 = 太陽の天頂距離 = 90° - 太陽高度角

θ = 斜面への太陽光入射角

ϕ = 緯度

δ = 太陽赤緯

β = 斜面の傾斜角度

ω = 太陽の時角

② 斜面の散乱日射量

斜面の散乱日射量 $I_{s\beta}$ は本研究では、日本気象学会が提案された「Hay(1)モデル」を用いて、以下の式のように計算する。

$$I_{s\beta} = I_d \left[\frac{I - I_d}{I_o} \frac{\cos \theta}{\cos \theta_o} + \left(1 - \frac{I - I_d}{I_o} \right) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right] \quad (3-12)$$

ここに、

I_o = 大気外全天日射量の時間積算値

③ 斜面の反射日射量

斜面の反射日射量 $I_{r\beta}$ の推定には、次の「均一(Isotropic)反射モデル」を用いて計算する。

$$I_{r\beta} = I\rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3-13)$$

ここに、

ρ = 地面反射率

④ 斜面における日射総量

従って、斜面に受ける全天日射量の時間積算値 I_β は以下のように計算できる。

$$I_\beta = I_{c\beta} + I_{s\beta} + I_{r\beta} \quad (3-14)$$

水平面全天日射量及び天空散乱日射量のデータは張晴原氏¹が発表されて標準気象を利用する。

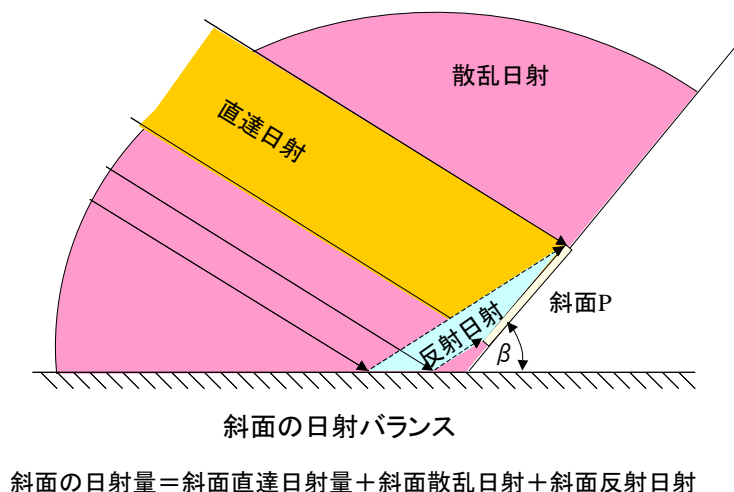


図 3-4 斜面日射収支

¹ 張晴原, 中国における設備設計とシミュレーション用気象データベースに関する研究、第1報—360 地点における設計外気温、空気調和・衛生工学会論文集 No.148, pp.9-15、2009年7月

3.4.3 風力発電

風力発電量は文献¹⁴⁾による計算を行う。風の流れが、断面積 A の面を通過して、風速 V_0 、密度 ρ で動いているものとするれば、風を持つ利用的なパワー P_w は次式で与えられる。

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V_0^3 \quad (3-15)$$

パワー係数を用いて、風車により得られる電気出力 P_e は

$$P_e = C_p \eta_{gb} \eta_g P_w = C_p \eta_{gb} \eta_g \frac{1}{2} \rho A V_0^3 \quad (3-16)$$

C_p = パワー係数、理想風車では 0.593。

2-3 枚のプロペラ形風力タービンでは

C_p = 40-50% : 大型風車 (100kW-3MW)

 = 20-40% : 小型風車 (1kW-100kW)

 = 35% : マイクロ風車 (1kW 以下)

η_{gb} = ギアボックスの効率

最近のギアボックスの効率は、回転数にも依存するが、定格回転数において

η_{gb} = 80-90% (大型風車)

 = 70-80% (小型風車)

η_g = 発電機の効率

発電機は定格出力の大きさに応じて効率も変わる。定格回転数において、

η_g = 80-95% (大型風車)

 = 60-80% (小型風車)

水平面全天日射量及び天空散乱日射量と同様、風速データも OM ソーラー協会が発行されて標準気象を利用する。

3.4.4 バイオマスエネルギー

バイオマス賦存量と利用可能量は5項目18種で表示することができる¹⁵⁻¹⁷⁾(表3-1参照)。

表 3-1 バイオマスの分類

項目	種別		
一. 木質	1. 林地残材	2. 製材所廃材	3. 果樹剪定枝
	4. 公園剪定枝	5. 建築解体廃材	6. 新・増築廃材
二. 農業	1. 稲わら	2. 籾殻	3. 麦わら
三. 畜産	1. 乳用牛	2. 肉用牛	3. 養豚
	4. 採卵鶏	5. ブロイラー鶏	
四. 食品	1. 生活系厨芥類	2. 事業系厨芥類	3. 動植物性残渣
五. 汚泥	下水汚泥		

「木質系」、「農業系」は直接燃焼施設による熱電利用方式、「畜産系」「食品系」「汚泥系」はメタン発酵施設により生産されたメタンガスを用いた熱電利用方式を想定し、「熱量」、「発電電力量」を算出した。「建築廃棄物」、「新築廃棄物」、「果樹剪定枝」、「公園剪定枝」、「もみ殻」、「むぎわら」、「採卵鶏」、「ブロイラー」は燃焼利用、「養豚」「動植物性残渣」は消化ガス利用を想定し、「熱量」、「発電電力量」を算出した。さらに、上記結果を市町村別面積(km²)で除してエネルギー密度を算出した。また、食品系(厨芥類)については、市区町村人口にてエネルギー密度を算出した。

(1) 直接燃焼 (「木質系」、「農業系」は直接燃焼施設による熱電利用方式)

$$\text{熱量(GJ/年)} = (\text{バイオマス賦存量 or 利用可能量(t/年)} \times 1,000) \times \text{単位発熱量(KJ/kg)} \times \text{ボイラ効率} \times 10^{-6} \quad (3-17)$$

$$\text{発電電力量(kWh 年)} = (\text{バイオマス賦存量 or 利用可能量(t/年)} \times 1,000) \times \text{単位発熱量(KJ/kg)} \times \text{発電効率} \div 3600 \text{ (KJ/kWh)} \quad (3-18)$$

(2) メタン発酵 (「畜産系」「食品系」「汚泥系」はメタン発酵施設により生産されたメタンガスを用いた熱もしくは電気利用方式)

$$\text{熱量(GJ/年)} = (\text{バイオマス賦存量 or 利用可能量(t/年)} \times 1,000) \times \text{ガス発生係数(m3/kg)} \times \text{メタン含有量(60\%)} \times \text{メタン発熱量(KJ/kg)} \times \text{ボイラ効率} \times 10^{-3} \quad (3-19)$$

$$\text{発電電力量(kWh 年)} = (\text{バイオマス賦存量 or 利用可能量(t/年)} \times 1,000) \times \text{ガス発生係数(m3/kg)} \times \text{メタン含有量(60\%)} \times \text{メタン発熱量(KJ/kg)} \times \text{発電効率} \div 3600 \text{ (KJ/kWh)} \quad (3-20)$$

(3) 燃焼利用（「建築廃棄物」，「新築廃棄物」，「果樹剪定枝」，「公園剪定枝」，「もみ殻」 m，「むぎわら」，「採卵鶏」，「ブロイラー」）算出式

$$\text{熱量(GJ/年)} = (\text{バイオマス賦存量 or 利用可能量(t/年)} \times 1,000) \times \text{単位発熱量(KJ/kg)} \times 85\%(\text{ボイラ効率}) \times 10^{-6} \quad (3-21)$$

$$\text{発電電力量(kWh 年)} = (\text{バイオマス賦存量 or 利用可能量(t/年)} \times 1,000) \times \text{単位発熱量(KJ/kg)} \times 10\%(\text{発電効率}) \div 3600(\text{KJ/kWh}) \quad (3-22)$$

(4) ガス利用の推計方法

$$\text{熱量(GJ/年)} = (\text{バイオマス賦存量 or 利用可能量(t/年)}) \times \text{全固形物割合(\%)} \times \text{有機物割合(\%)} \times \text{ガス発生量(Nm}^3/\text{t 分解 VS)} \times \text{メタン含有量(\%)} \times \text{メタン発熱量(GJ)} \times 90\%(\text{ボイラ効率}) \quad (3-23)$$

$$\text{発電電力量(kWh/年)} = (\text{バイオマス賦存量 or 利用可能量(t/年)}) \times \text{全固形物割合(\%)} \times \text{有機物割合(\%)} \times \text{ガス発生量(Nm}^3/\text{t 分解 VS)} \times \text{メタン含有量(\%)} \times \text{メタン発熱量(GJ)} \times 25\%(\text{発電効率}) \div 0.0036 \quad (3-24)$$

3.5 省エネルギー性の評価方法

省エネルギー性は、一般には建物全体のエネルギー評価を行う指標であり、従来システムと分散型エネルギーシステムを導入したときとの年間の一次エネルギー消費量を比較する相対評価で行う。

一般に省エネルギー性の評価は、従来システムと分散型エネルギーシステムシステムとの年間一次エネルギー消費量を比較する相対評価で行われる。省エネルギー性は対象建物の電力・熱需要を満たすために必要となる従来システムのエネルギー消費量（一次エネルギー換算）に対して、コージェネレーションシステムの採用によるエネルギー消費量（一次エネルギー換算）の削減率を示す。すなわち、建物全体で年間どれだけエネルギーを節約できたかを評価するもので、最も重要な指標といえる。

本研究では、一次エネルギー削減率（PESR）という指標を利用して、分散型エネルギーシステムの省エネルギー性を評価し、下記の式により計算する。

$$PESR = \frac{Q_{input}^{CONV} - Q_{input}^{DER}}{Q_{input}^{CONV}} \times 100\% \quad (3-25)$$

ここに、

Q_{input}^{CONV} = 従来システムの一次エネルギー消費量

Q_{input}^{DER} = 分散型エネルギーシステムの一次エネルギー消費量

従来システムの一次エネルギー消費量は電力負荷と冷暖房負荷（エアコンを使う場合）用商用電力消費量と給湯用ガス消費量を含める。具体的な数値は下記の式により計算する。

$$Q_{input}^{CONV} = \frac{Q_{power}^{LOAD}}{\eta_{grid}} + \frac{Q_{heating}^{LOAD}}{COP_{heating}^{HP} \cdot \eta_{grid}} + \frac{Q_{cooling}^{LOAD}}{COP_{cooling}^{HP} \cdot \eta_{grid}} + \frac{Q_{water}^{LOAD}}{\eta_{boiler}} \quad (3-26)$$

ここに、

$Q_{heating}^{LOAD}$ = 暖房負荷

$Q_{cooling}^{LOAD}$ = 冷房負荷

Q_{water}^{LOAD} = 給湯負荷

$COP_{heating}^{HP}$ = ヒートポンプの成績係数（暖房）

$COP_{cooling}^{HP}$ = ヒートポンプの成績係数（冷房）

η_{grid} = 商用電力の発電効率

η_{boiler} = ガスボイラの効率

分散型エネルギーシステムの一次エネルギー消費量は商用電力消費量、オンサイト発電用燃料消費及び吸収式冷凍機とボイラ用燃料を含める。具体的な数値は下記の式により計算する。

$$Q_{input}^{DER} = \frac{Q_{power}^{GRID}}{\eta_{grid}} + \frac{Q_{power}^{DER}}{\alpha} + \frac{Q_{cooling}^{AC}}{COP_{direct}^{AC}} + \frac{Q_{heating}^{RB}}{\eta_{boiler}} \quad (3-27)$$

ここに、

Q_{power}^{GRID} = 商用電量の電力消費量

Q_{power}^{DER} = ガスを燃料とした分散型電源の発電量

$Q_{cooling}^{AC}$ = 吸収式冷凍機より供給する冷房

$Q_{cooling}^{RB}$ = ガスボイラより供給する暖房

COP_{direct}^{AC} = 吸収式冷凍機の成績係数

α = ガスを燃料とした分散型電源の発電効率

3.6 経済性の評価方法

分散型エネルギーシステムの導入目的において、社会的観点から見た省エネルギー性と、ユーザ側の観点から見た経済性が大きな関心事といえる。省エネルギー性と経済性は密接な関係があるものの、必ずしも省エネルギー性最大のシステムが経済性最大とはならない。

分散型エネルギーシステムの経済性を評価する際、適切な指標と分析方法が必要である。一般的に、静的解析手法と動的解析手法がある。

(1) 静的解析手法

静的解析手法では、貨幣の時間価値を考慮していない経済性分析手法である。この方法では直感的かつ簡単に計算できる。しかし、貨幣の時間価値と寿命を考慮していないため、システムの初期分析を行う際使うことが多い。

省エネルギー性と同じく経済性の評価も、従来システムとの比較による相対評価で検討される。経済性の評価は、従来システムと分散型エネルギーシステムのイニシャルコストを算出するとともに、エネルギーシミュレーションを行った後、それぞれの年間のランニングコストを算出する。そして、これらのコストをもとに、両コストの損益を総合的に判断して経済性が評価される。このとき用いる経済性の評価にもいくつかの指標がある。本研究では、年間コスト削減率（TCSR）を設定し、システムの経済性を検討する。

$$TCSR = \frac{C^{Conv} - C^{DES}}{C^{Conv}} \quad (3-28)$$

従来システムの年間コスト：

$$C^{Conv} = C_{Ini}^{Conv} + C_{Run}^{Conv} \quad (3-29)$$

ここに、

C^{Conv} = 従来システムの年間コスト

C_{Ini}^{Conv} = 従来システムのイニシャルコスト

C_{Run}^{Conv} = 従来システムのランニングコスト

分散型エネルギーシステムの年間コスト：

$$C^{DES} = C_{Ini}^{DES} + C_{Run}^{DES} \quad (3-30)$$

ここに、

C^{DES} = 分散型エネルギーシステムの年間コスト

C_{Ini}^{DES} = 分散型エネルギーシステムのイニシャルコスト

C_{Run}^{DES} = 分散型エネルギーシステムのランニングコスト

(2) 動的解析手法

動的解析方法は貨幣の時間価値を考慮する方法である。貨幣と時間が密接に関係し、それは時間的価値があり、金利で表現できる。資金が時間的価値を持っているため、異なる時点での投入と収入には、その価値が異なっている。したがって、技術方案の経済性を評価する時、動的回収期間法、現在価値法、内部収益率法などのダイナミックな経済分析方法を使用することができる。

内部収益率法 (NPV) とは、投資によって得られると見込まれる利回りと、本来得るべき利回りを比較し、その大小により判断する手法である。内部収益率は、正味現在価値と同様、プロジェクトが創出する全てのキャッシュ・フローの現在価値を考慮するという特徴である。内部収益率法はプロジェクトを利回りという率で表しているのに対し、正味現在価値法はプロジェクトを NPV という金額で表している。具体的に、下記の式を利用して計算する。

$$NPV = \sum_{t=0}^{LIFE} \frac{(CI_t - CO_t)}{(1 + DR)^t} \quad (3-31)$$

ここに、

CI_t = 収入キャッシュ・フロー

CO_t = 支払キャッシュ・フロー

DR = 折扣率

$LIFE$ = システムの寿命

本研究では、支払キャッシュ・フローは分散型電源のイニシャルコストとランニングコスト (燃料費、運転管理費など) を含める。

$$CO_t = C_{Ini}^{DES} + C_{Run}^{DES} \quad (3-32)$$

収入キャッシュ・フローは年間エネルギーコストの削減で表現し、下記の式により計算する。

$$CI_t = C_{Run}^{Conv} - C_{Run}^{DES} \quad (3-33)$$

3.7 環境保全性の評価方法

分散型エネルギーシステムは運転時に CO₂ を発生する。評価の対象は、ボイラや冷温水発生機のように建物で CO₂ を発生するものだけでなく、電気を消費するものは商用電力の発電所において CO₂ を発生しているものとして評価する。後者の場合、商用電力は原子力を含む多様な電源で構成されており、その運用も複雑であるため、比較する対象は全電源の平均値とするという考え方がある。

分散型エネルギーシステムは、その省エネルギー性から CO₂ の削減効果が大きく期待できる。したがって、CO₂ の削減量という評価指標は、地球レベルの環境問題がクローズアップされるなか、分散型エネルギーの社会的な意義から考えても重要な指標といえる。

本研究では、環境に対する評価は、比較システムに対する分散型エネルギーシステムの年間の CO₂ 排出量削減率で評価を行う。ここで各排出量は、分散型エネルギーシステムだけでなく、研究対象のオンサイトエネルギー需要および発電所も含めたシステム運転に関わる全環境系での排出量として考えた。

以上より削減率 (CERR) は以下の式で表す。

$$CERR = \frac{E_{CO_2}^{CONV} - E_{CO_2}^{DER}}{E_{CO_2}^{CONV}} \times 100\% \quad (3-34)$$

ここに、

$E_{CO_2}^{CONV}$ = 従来システムの年間 CO₂ 排出量

$E_{CO_2}^{DER}$ = 分散型エネルギーシステムの年間 CO₂ 排出量

従来システムの CO₂ 排出量は電力負荷のための商用電力消費と熱負荷のための天然ガス消費からの CO₂ 排出量が含まれ、式 (3-35) に基づいて計算する。同様に、分散型エネルギーシステムの年間 CO₂ 排出量は、商用電力、オンサイト発電と直接燃焼のための天然ガス消費量で構成され、式 (3-36) により計算する。

$$E_{CO_2}^{CONV} = \left(Q_{power}^{LOAD} + \frac{Q_{heating}^{LOAD}}{COP_{heating}^{HP}} + \frac{Q_{cooling}^{LOAD}}{COP_{cooling}^{HP}} \right) \cdot CC_{power} + \frac{Q_{water}^{LOAD}}{\eta_{boiler}} \cdot CC_{gas} \quad (3-35)$$

$$E_{CO_2}^{CCHP} = Q_{power}^{GRID} \cdot CC_{power} + \left(\frac{Q_{power}^{CCHP}}{\alpha} + \frac{Q_{cooling}^{AC}}{COP_{direct}^{AC}} + \frac{Q_{heating}^{RB}}{\eta_{boiler}} \right) \cdot CC_{gas} \quad (3-36)$$

ここに、

CC_{power} = 商用電力の CO₂ 排出原単位

CC_{gas} = 天然ガスの CO₂ 排出原単位

3.8 総合評価の算出方法

良い CGS は経済性、省エネ性と環境性などの三つの面を考慮するべきがある。ある CGS を評価するとき、上記の三つの方面を同時に考えなければならない。しかし、この三つの要素はお互いに衝突がある。たとえば、環境にやさしいシステムのコストが通常に高い。したがって、最適な運行モードを採用する CGS を得るため、総合的な評価手法が最も重要である。経済性、省エネ性と環境性は全く違う方面であるため、直接に比較することができない。そこで、比較できるため、三つの要素を標準化しなければならない。本研究では、下記の式で標準化を行う。

$$NI_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{if } x_{i,j} \leq MIN_j \\ \frac{x_{i,j} - MIN_j}{MAX_j - MIN_j} & \text{if } MIN_j < x_{i,j} \leq MAX_j \\ 1 & \text{if } x_{i,j} > MAX_j \end{cases} \quad (3-37)$$

ここに、

$NI_{i,j}$ = 正規化された指標

$x_{i,j}$ = 各システム・オプションの評価基準別の実質値

MIN_j = 各評価基準の最小値

MAX_j = 各評価基準の最大値

次のステップは一般的なインデックスを表現する合成関数を定義する。一般的なインデックスメソッドは加重算術関数と凝集体の形成は、下記の式に示すように、合成関数として意味を含む。

$$GI = \sum_j^m w_j NI_{i,j} \quad (3-38)$$

ここに、

GI = 一般的なインデックス

w_j = 評価基準の重み

m = 評価基準の数

重みベクトルは、通常に意思決定者の好みに応じて決定される。下記の式に示すように、すべての重み係数の和は1にならなければならない。

$$w_1 + w_2 + \dots + w_m = 1 \quad (3-39)$$

3.9 結論

本章では、分散型エネルギー導入効果の評価に関する理論研究を行い、分散型エネルギーシステムの計画手順や総合的な評価手法を提案した。

具体的に、以下の方法を提案した。

- ① まず、検討建物の特性などからエネルギー負荷を予測できる方法を紹介した。
- ② CGS 原動機の装置の容量・種類、運転方式などの設定方法を提案した。
- ③ 太陽熱温水器、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーの利用可能量を試算する方法を提案した。
- ④ 省エネルギー、経済性と環境性の評価指標を提出し、総合的に評価できる方法を提案した。

参考文献

- 1) 建築環境・省エネルギー機構, <http://www.ibec.or.jp/best/>
- 2) 清華大学 DeST グループ, <http://www.dest.com.cn>
- 3) J. Wang, Z. J. Zhai, Y. Jing, C. Zhang : Particle swarm optimization for redundant building cooling heating and power system, *Applied Energy* 87 (12) (2010), pp. 3668-3679.
- 4) J. Wang, Y. Jing, C. Zhang : Optimization of capacity and operation for CCHP system by genetic algorithm, *Applied Energy* 87 (4) (2010), pp. 1325-1335.
- 5) H. Ren, W. Gao, Y. Ruan : Optimal sizing for residential CHP system, *Applied Thermal Engineering* 28(5-6) (2009), pp. 514-523.
- 6) C. Li, J. Gu, X. Huang : Influence of energy demands ratio on the optimal facility scheme and feasibility of BCHP system, *Energy and Buildings* 40(10) (2008), pp. 1876-1882.
- 7) E. Cardona, A. Piacentino : A methodology for sizing a trigeneration plant in mediterranean areas, *Applied Thermal Engineering* 23(13) (2003), pp. 1665-1680.
- 8) O. A. Shaneb, G. Coates, P. C. Taylor : Sizing of residential μ CHP systems, *Energy and Buildings* 43(8) (2011), pp. 1991-2001.
- 9) D. Haeseldonckx, L. Peeters, L. Helsen, W. D'haeseleer : The impact of thermal storage on the operational behaviour of residential CHP facilities and the overall CO₂ emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(6) (2007), pp. 1227-1243.
- 10) N. Fumo, P. J. Mago, L. M. Chamra : Cooling, heating, and power energy performance for system feasibility, *Journal of Power and Energy* 222(3) (2008), pp. 347-254.
- 11) 高野 惇, 西宮 徳一, 小野田 弘士, 永田 勝也 : 海外製太陽熱集熱器の実証試験と普及へ向けたハイブリッド形式・施策の検討, *日本機械学会論文集 (B 編)* 77 (776), 2010 年
- 12) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 : 太陽熱利用に関する新分野及び新利用形態等ニーズに関する調査, 2008 年
- 13) 山田興一, 小宮山宏 : 太陽光発電工学, 日経 BP 社, 2002 年
- 14) 牛山 泉, 風車工学入門ー基礎理論から風力発電技術まで, 森北出版株式会社, 2002 年
- 15) 財団法人 電力中央研究所, バイオマスエネルギー利用計画支援システムの開発ー賦存量データベース及び収集コスト評価モデル, 2004 年
- 16) 一ノ瀬 利光, バイオマスのエネルギー利用技術に関する研究, 九州大学博士論文, 2005 年

- 17) 石田 康, 坂内正明, 宮崎隆彦, 中沢真一, 横山隆一, バイオマス利用エネルギー供給システムの経済性・環境性評価—産業系事業所における木質バイオマスコージェネレーション導入の効果分析, Journal of the Japan Institute of Energy, 90, 547-553, 2011年

第4章 ホテルにおけるコージェネレーションシステムの導入効果に関する研究

4.1 概要

4.2 研究対象

4.3 エネルギー需要量の算定

4.4 システム及び各種パラメーターの設定

4.5 システム構成と供給特性

4.6 省エネルギー性評価

4.7 経済性評価

4.8 環境性評価

4.9 結論

参考文献

4.1 概要

高度経済成長に伴いエネルギー消費も増大を続けた結果、いまや中国は米国に次ぐ世界第二位のエネルギー消費大国になっている。また、中国の電源構成は全体の 3/4 を占める火力が中心であり、そのほとんどが石炭を燃料としている。(水力の割合がほぼ 1/4、原子力は現段階では 2%未満。) そのため、硫黄酸化物が原因とされる酸性雨が広く観測されるなど、深刻な環境汚染が進んでいる。それに加え、主要都市部では急速な自動車の普及により一酸化炭素や二酸化窒素 (NO₂) による汚染が進んでいる。

電力需要は、高度成長に伴い著しく増加している。特に 2003 年来中国では深刻な電力不足が生じており、2004 年夏には大規模な電力不足が報じられた。(上海市では、2004 年 7 月 19 日以降市内全域で大規模な電力使用制限を開始。夜景で有名な外灘の照明が消され、2100 社が影響を受ける。) 工場では土日や夜間への振替操業が行われ、広州等南部の都市では冷房需要の高まる昼間の時間帯に地区ごとの持ち回り停電等も実施された。このような供給不足を解消するため整備を強力に進めようとしている。

また、2011 年の世界の二酸化炭素 (CO₂) 排出量は前年から 8 億トン増の 340 億トンと過去最高になり、温室効果ガス排出量が最も多い国は引き続き中国となっている。

現在、北京や上海のような大都市部において、このようなローカルな環境問題とグローバルな環境問題を同時に解決するには、従来の石炭依存のエネルギー供給システムから、コージェネレーションシステム (CGS) のようなクリーンかつ高効率な省エネルギーシステムへの転換は急務である。また、中国政府は 2020 年まで、新築商業施設における CGS 普及率を 50%、既存商業施設に対しては CGS 普及率を 15%としており、導入目標を掲げている¹⁾。また、中国では、2011 年からの第 12 次 5 ヵ年計画期間に、天然ガスを利用した分散型電源システム関連プロジェクトを 1,000 ヲ所で具体化する方針で、国家発展改革委員会は、2020 年までに 5,000 万 kW の天然ガスによる分散型電源システム導入計画を発表。高効率なガスエンジンコージェネシステムに対する大きな需要が見込まれる。

これまで都市のエネルギー事情、省エネ技術の導入検討に当たって、工場、病院や空港、娯楽センターにおけるコージェネレーションシステム (CGS) 導入ケースはいくつも見られたが、オフィスビルやホテル、或いは複合施設などを対象とする CGS の導入事例がまだないため、その導入効果をより定量的に把握することは重要であり、今後の中国国内における CGS の推進と普及にとって大きな意味を持つと考えられる。

このような背景を踏まえ、本章では世界に注目されている大都市である中国上海市を対象に、エネルギー消費原単位が高いホテルにおけるコージェネレーションシステム (CGS) の導入を模索し、その効果を評価する。研究流れとして、収集した各種エネルギー消費量データをもとにし、ホテルの電力・熱負荷の特性を解析したうえ、従来システム、既存システムと提案システムなどの三つのシステムを設定し、年間一次エネルギー消費量、年間コスト、年間 CO₂ 排出量などの面から比較を行う。

4.2 研究対象

上海HY飯店は5つ星の高級ホテルで、上海のグリーン旅行ホテルともなっている。ホテルの総延べ床面積は49449 m²で、建設された34階建ての本館の総延べ床面積は39780 m²であり、主な機能はレストラン、客室と宴会場である。4階建ての表彰台の延べ床面積は13247 m²で、主な機能はロビー、レストランと宴会ホールである。地下エリアの延べ床面積は2865 m²で、主な機能は水処理と洗濯室である。高さが120 mの中国で最高級のホテルである。

上海HY飯店が採用した分散型エネルギーシステムは日本のヤンマー会社が生産した天然ガスコージェネレーションシステム（EP350G）である。



図 4-4 上海 HY 飯店のイメージ

4.3 エネルギー需要量の算定

上海HY 飯店の熱負荷は主に給湯、暖房、プライベート宴会工場と厨房部門を供給し、電力負荷は照明、冷蔵、エレベーターなどを満足する。これらのエネルギー需要は季節変動、ホテルの宿泊率、水使用の時間帯、宿泊客の習慣などの要因に影響されている。たとえば、夏季の冷房需要の増加は電力負荷のピーク値を迎える一方、熱負荷が年間最低点である。冬季について、熱負荷が年間最大値になるが、電力負荷が低いである。また、一日中の電力負荷と熱負荷が非常に不均一である。図 4-2 は 2006～2009 年の間、上海 HY 飯店の年間エネルギー負荷を示す。電力負荷は少しい減少したが、冷暖房負荷と給湯負荷はほぼ一致である。本研究では、2009 年の実測データを利用して、分析を行う。図 4-3 は 2009 年度月別エネルギー消費量を示す。全体の面から見ると、夏の 8 月の総エネルギー負荷は最も高くなって、中間期の 10 月の負荷が一番小さいことがわかった。暖房の需要があったのは、冬期間 11～5 月にほぼ限られている。冷房は年間を通して需要があり、山なりの形状を示す。全体を通して冷房の需要が大きく、冬期の 1 月でも当てはまる。これは本建物の内部発熱が大きいことが主要因と考えられる。また、月別の電力負荷の推移は給湯負荷ともに、年間を通して同様の傾向を示す。

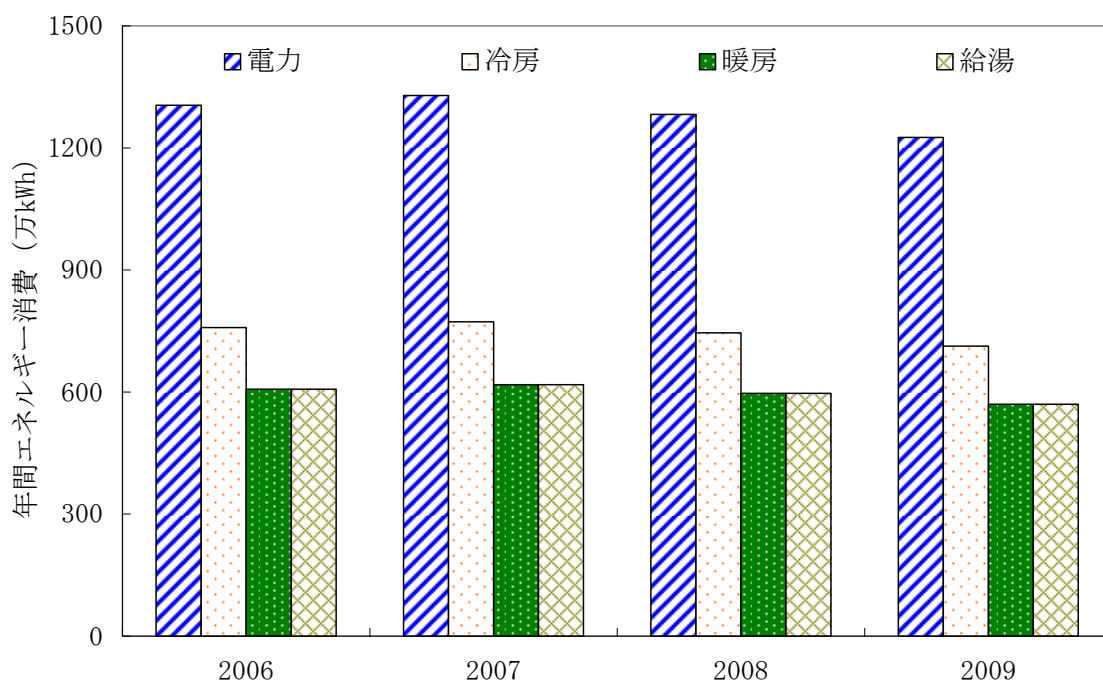


図 4-2 エネルギー負荷の経年変化

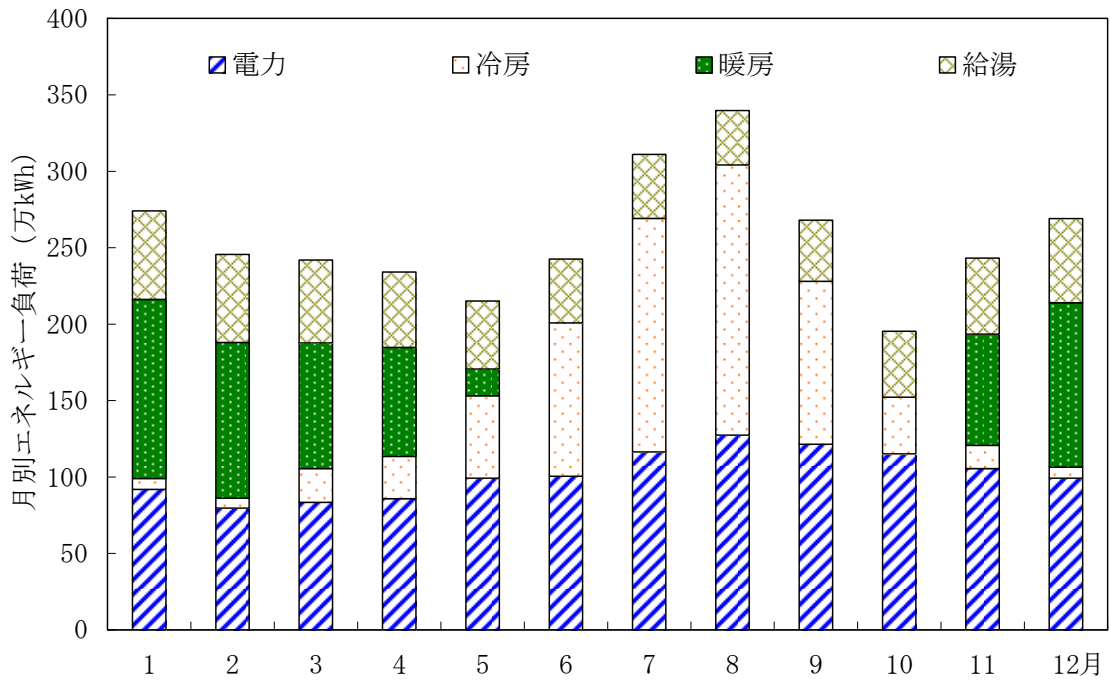


図 4-3 2009 年度月別エネルギー負荷

次に、時刻別のエネルギー負荷を解析し、図 4-4~4-6 はそれぞれ、冬季、夏季と中間期の時刻別エネルギー負荷を示す。

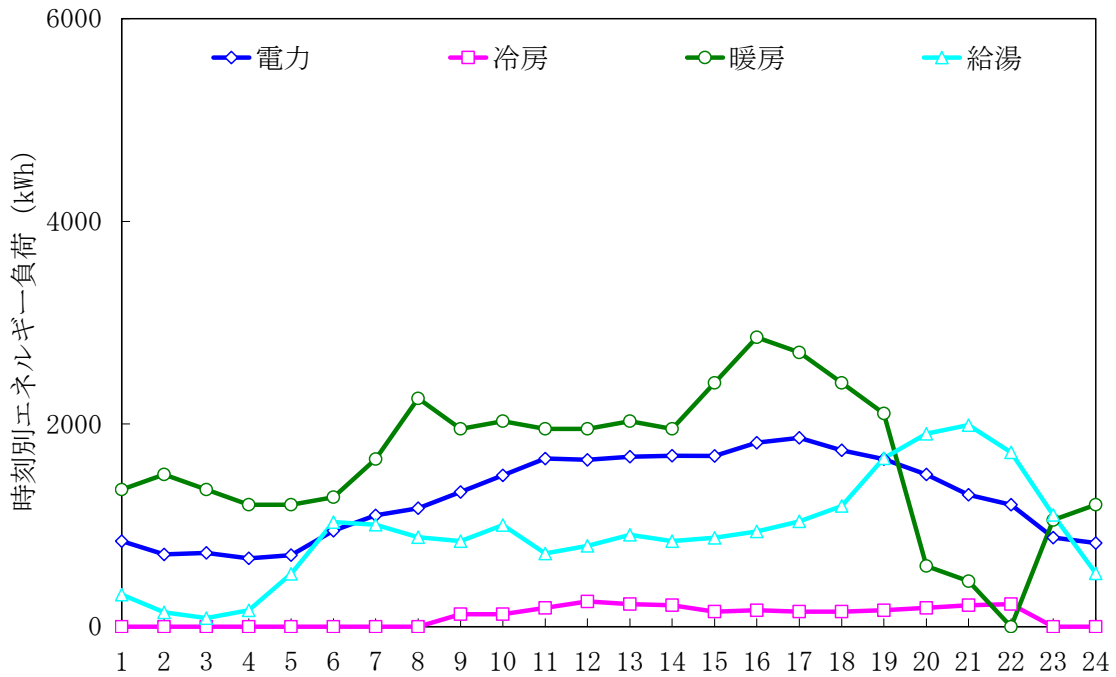


図 4-4 冬季の時刻別エネルギー負荷

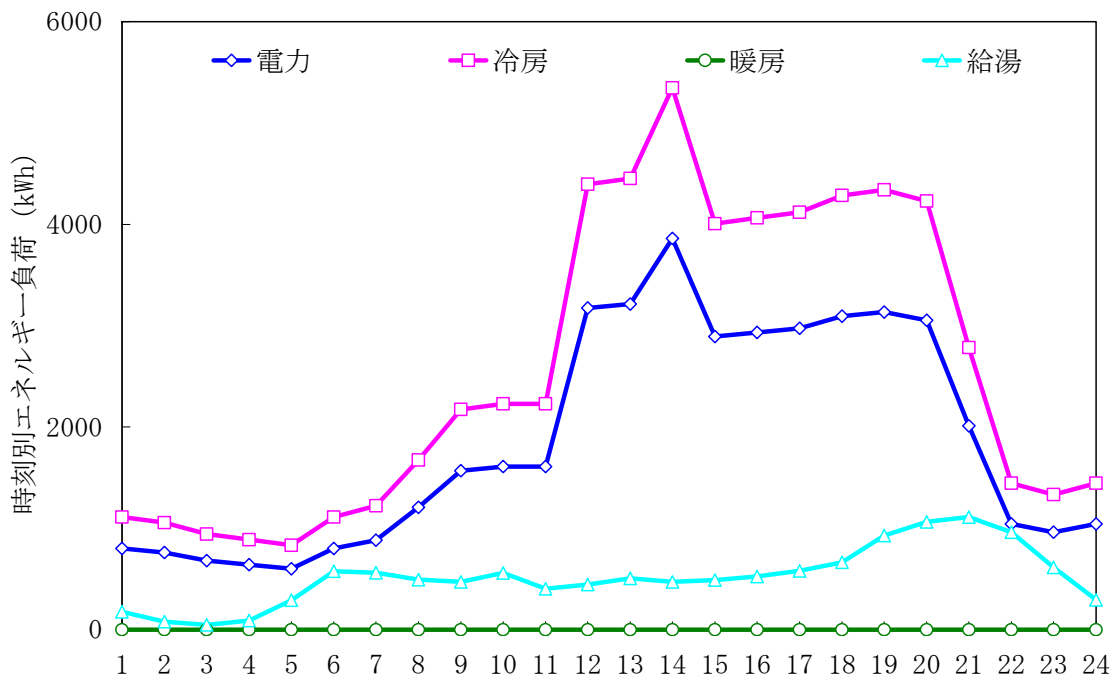


図 4-5 夏季の時刻別エネルギー負荷

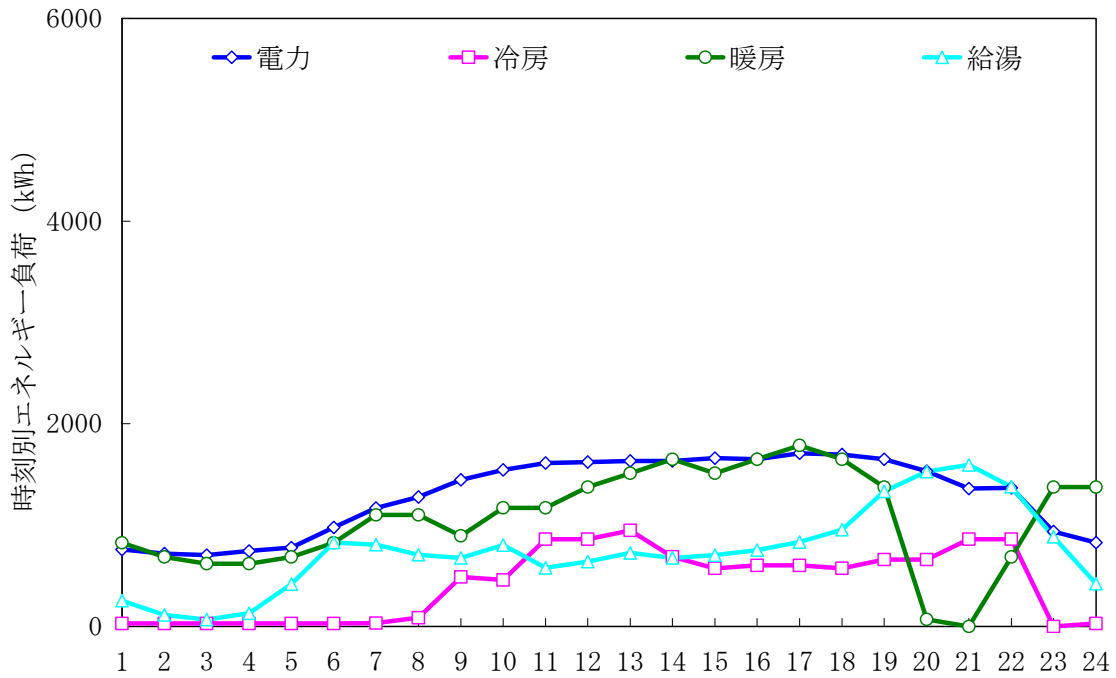


図 4-6 中間期の時刻別エネルギー負荷

4.4 システム及び各種パラメーターの設定

本研究では、上海 HY 飯店における CGS の導入効果を研究するに對して、異なる技術の配置による影響を考察するため、以下の3つのケースを設定し、検討を行う。

ケース1：従来システム。図4-7に示すように、従来型エネルギー供給システム（商用電力+ボイラ）では、電力負荷（冷房負荷を含む）を商用電力からの買電、熱負荷（暖房負荷+給湯負荷）をオイルボイラによって賄うシステムである。

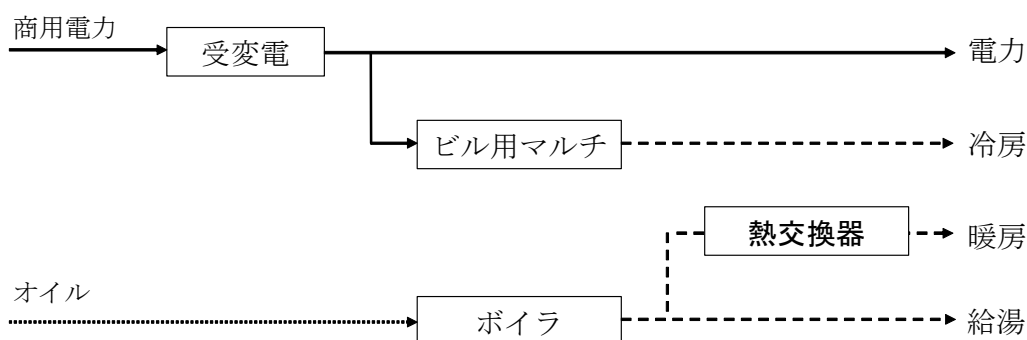


図4-7 従来システムのエネルギーフロー

ケース2：現状システム。このシステムは考案したホテル現在運転しているシステムである。図4-8に示すように、本システムでは、ホテルの電力負荷（冷房負荷を含む）をCGSによる発電出力で賄い、全電力負荷を発電電力のみで処理できない場合には、不足分は商用系統から買電する。なお、中国現行の規範より、地域の電力負荷よりオンサイト発電量が上回る時間帯については、余剰電力が電力会社へ売ることができるようになる。熱負荷については、CGSからの回収排熱を給湯及び暖房負荷の加熱源として用い、不足熱量分はバックアップボイラーによって補う。

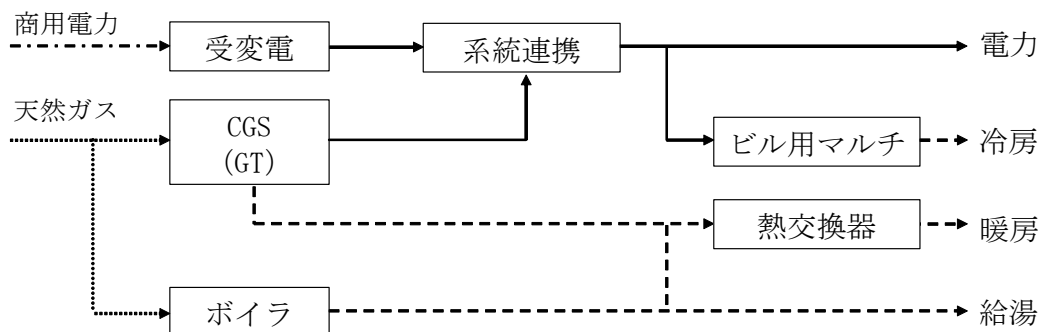


図4-8 現状システムのエネルギーフロー

ケース3：提案システム。ホテルの省エネルギー性を向上するため、本研究では、現状システムを含め、新しい分散型エネルギーを提案する。図4-9に示すように、現状システムと類じて、ホテルの電力負荷をCGSによる発電出力で賄い、全電力負荷を発電電力のみで処理できない場合には、不足分は商用電力系統から買電する。本システムでは、政府は将来の温暖化対策はもっと厳しくなるものを対策し、CGSなどの分散型エネルギーを促進するための余剰電力買取制度などの政策を実施している時期で、CGSからの電気が需要を超えるとき、余剰電力が商用電力系統に売ることができる。

熱負荷については、CGSからの回収排熱を給湯及び暖房負荷の加熱源として用い、不足熱量分はバックアップボイラーによって補う。また、吸収式冷凍機を利用して冷房負荷を満たす。

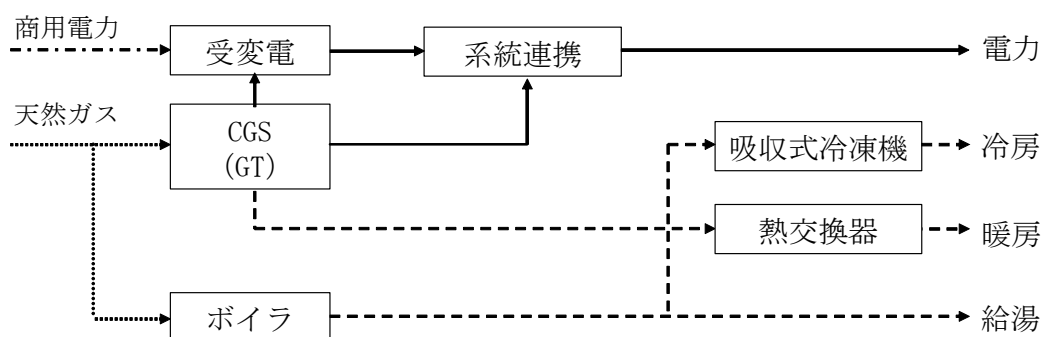


図4-9 提案システムのエネルギーフロー

CGS技術に関しては、従来研究やメーカーの調査等に基づいて設定する。技術情報は主に、燃料種類、効率（発電・排熱回収）などに含まれる。表4-1に本研究で検討した設備の仕様を示す³⁻⁴⁾。

表4-1 CGS設備の性能値

項目	仮定のデータ	
	商用電力	効率 (%)
	CO ₂ 排出係数 (kg/kWh)	0.94
天然ガス	発熱量 (MJ /m ³)	37.68
	CO ₂ 排出係数 (kg/kWh)	0.22
軽油	発熱量 (MJ/l)	38.20
	CO ₂ 排出係数 (kg/l)	2.62
エアコン	COP	4
ガスボイラー	効率 (%)	90.0
軽油ボイラー	効率 (%)	80.0
CGS プラント	発電効率 (%)	39.3
	熱回収効率 (%)	32.1

エネルギー料金は上海市の電力、ガス会社のホームページから調べ、料金データベースを作成する。電力料金は上海市電力会社の電気料金表から算出し、表 4-2 に示す⁵⁾。

天然ガス料金について、発電用ガス消費は 2.43 元/m³ である。一般用途のガス消費について、4-11 月分は 3.69 元/m³ であり、12-3 月分は 3.99 元/m³ である⁶⁾。

表 4-2 業務用電気料金

その他季			
	時間帯	時間	料金 (元/kWh)
夜間	22:00-6:00	8	0.33
ピーク	8:00-11:00 18:00-21:00	6	1.07
昼間	6:00-8:00 11:00-18:00 21:00-22:00	10	0.66
夏季			
	時間帯	時間	料金 (元/kWh)
夜間	22:00-6:00	8	0.27
ピーク	8:00-11:00 13:00-15:00 18:00-21:00	8	1.09
昼間	6:00-8:00 11:00-13:00 15:00-18:00 21:00-22:00	8	0.70

4.5 システム構成と供給特性

4.5.1 システム構成

エネルギー設備の導入容量の選定は分散型エネルギーシステム計画の重要な一環とし、システムの運転効果（省エネルギー性・環境性・経済性）にも影響を与える。本研究では、ケース2は現状の容量（350 kW）を採用する。ケース3について、CGSの導入容量は第三章で紹介した「最大直方体法」という方法を利用して、CGS容量を選定する。具体的に、熱主電従を仮定し、熱負荷の累積曲線をベースにし、定額容量で年間総排熱量を最大化するという基準に基づいて、設備の容量を選定する。図4-10はケースの熱負荷の累積曲線及び設備容量選定のイメージを示す。熱容量（1682 kW）から換算すると、ケース3におけるCGSの電気容量を2060 kWを選定する。

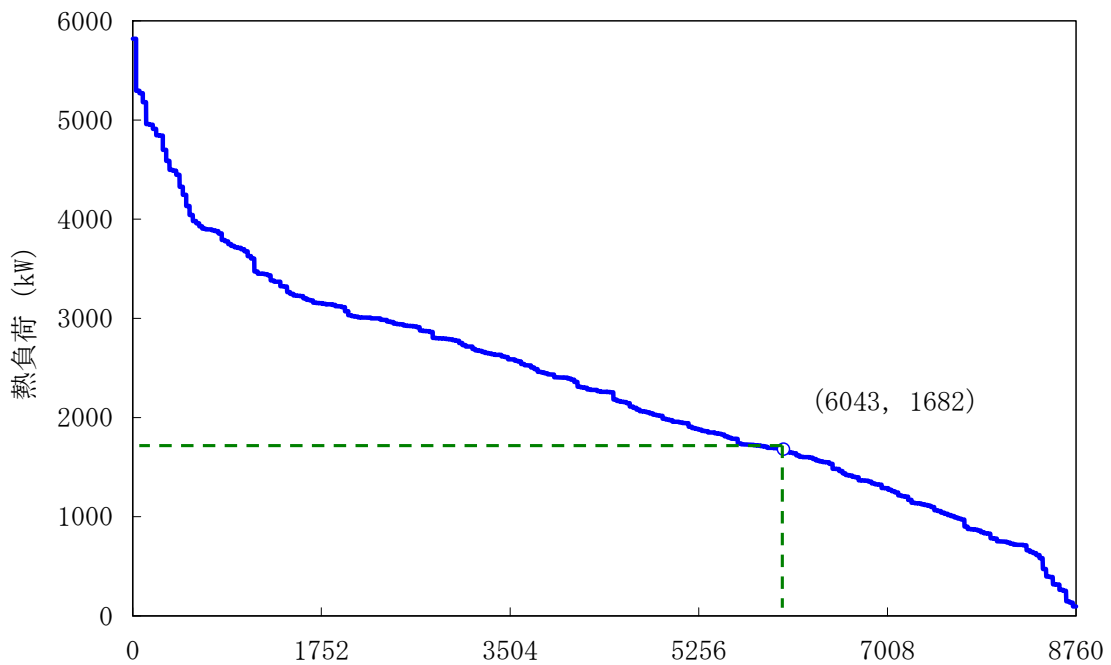


図4-10 ケース3におけるCGS容量の選定

4.5.2 電力消費の構成

図 4-11 には年間電力消費量の構成を示している。全体から見ると、ケース 1（従来システム）とケース 2（現状システム）の冷房も電力より供給するため、年間電力消費量はケース 3（提案システム）より多いことが分かった。ケース 2 において、CGS の容量は小さいため、年間総電力需要が約 20% しか供給していない。一方、今回提案したケース 3 について、CGS からのオンサイト発電は総電力需要の 90% 以上を満たすことができる。また、商用電力への売電を仮定しているため、オンサイト発電の余裕部分は売電となっている。

以上の分析から見ると、分散型エネルギーシステムの活用により、ホテルの大部分の電力負荷はオンサイトで供給することができる。

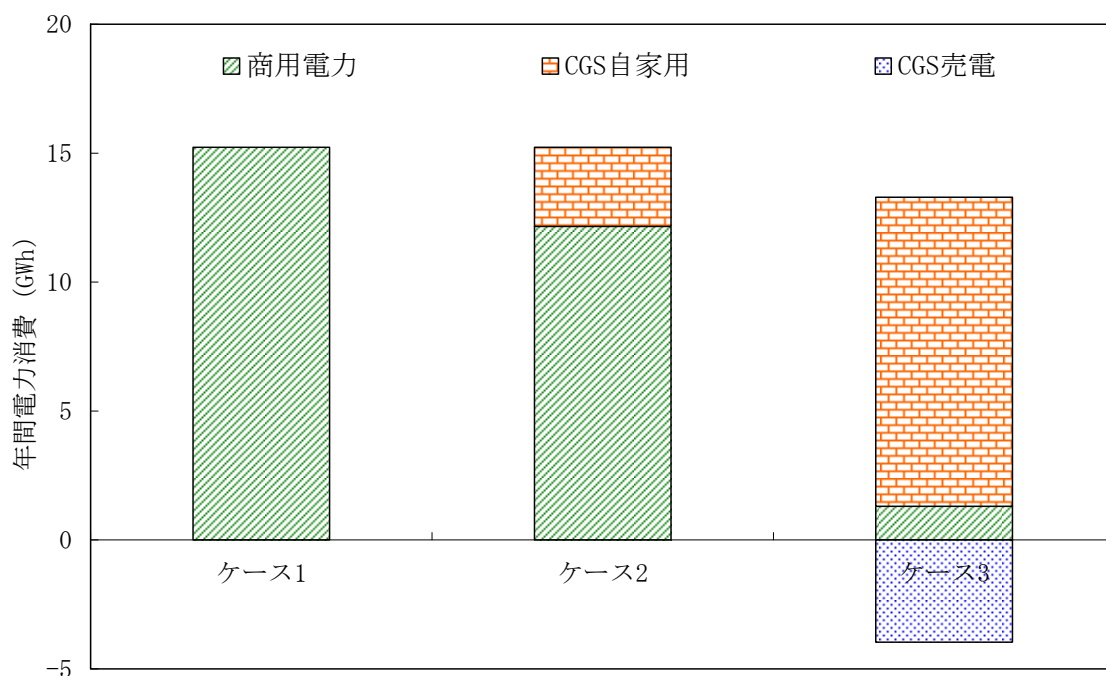


図 4-11 年間電力消費量の構成

図 4-12～4-14 はケース 1、ケース 2 及びケース 3 の月別電力消費量の構成を示している。全体から見ると、ケース 1 とケース 2 の冷房負荷は電力より供給するため、夏季の電力負荷が一番大きいである。一方、ケース 3 の電力負荷は通年差が小さいことがわかった。

他方、図 4-13 から見ると、ケース 2 の CGS は通年定額容量で運していることがわかった。また、ケース 3 において、冬季の電力負荷全て CGS より供給できるが、夏季と中間期の一部は商用電力により満たすことができる。

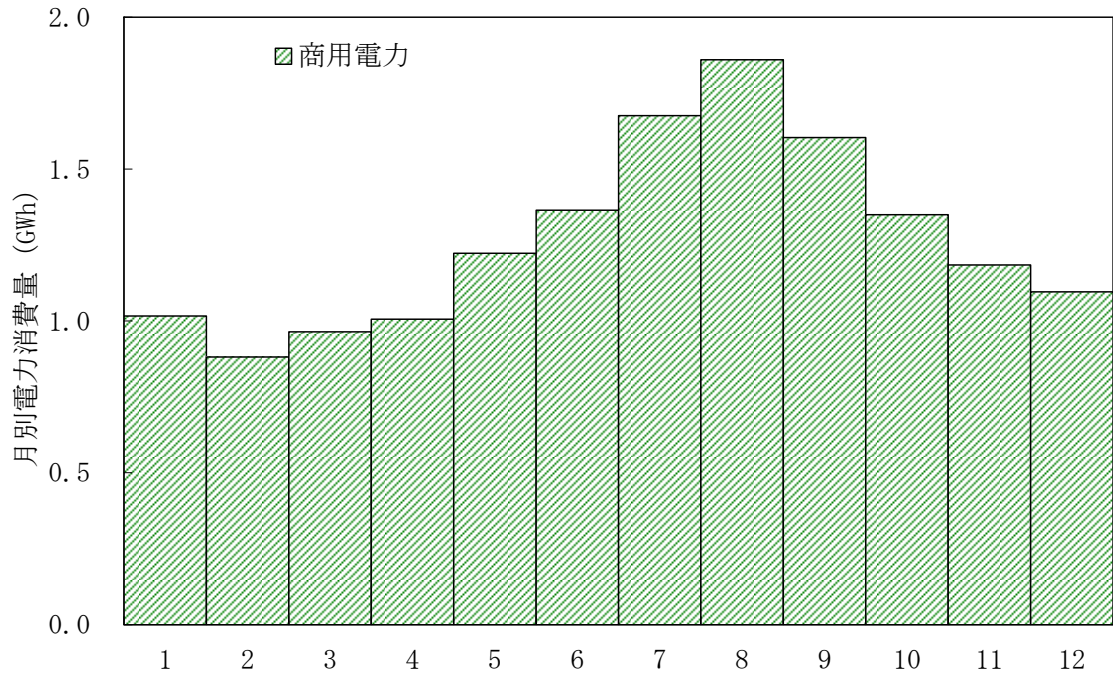


図 4-12 月別電力消費量の構成 (ケース 1)

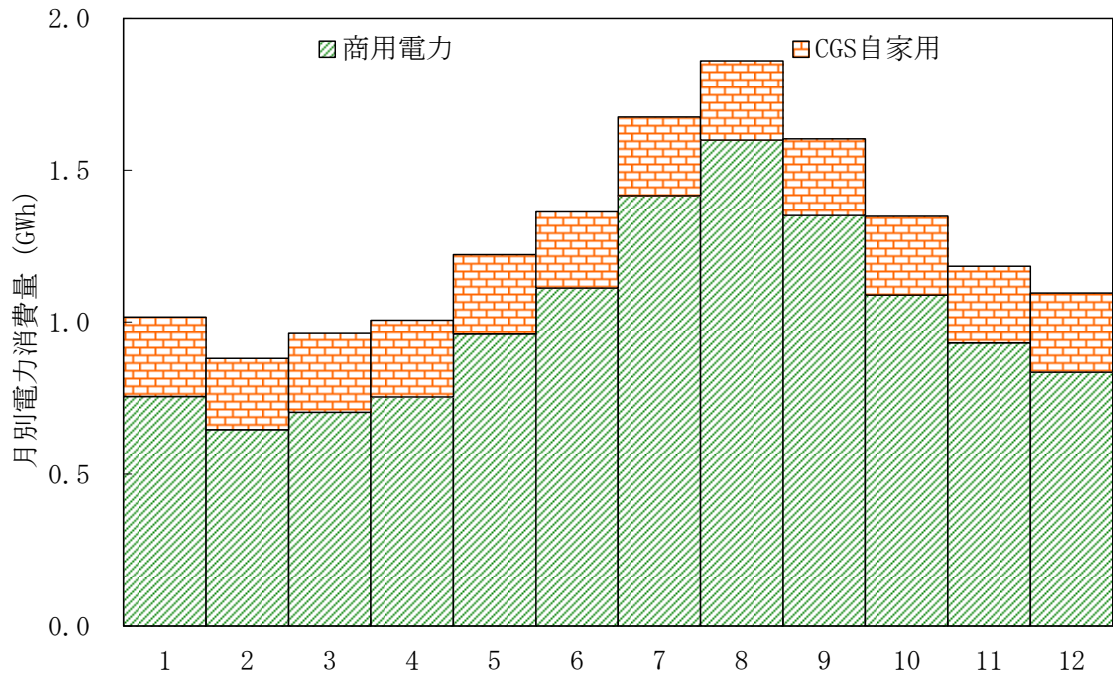


図 4-13 月別電力消費量の構成 (ケース 2)

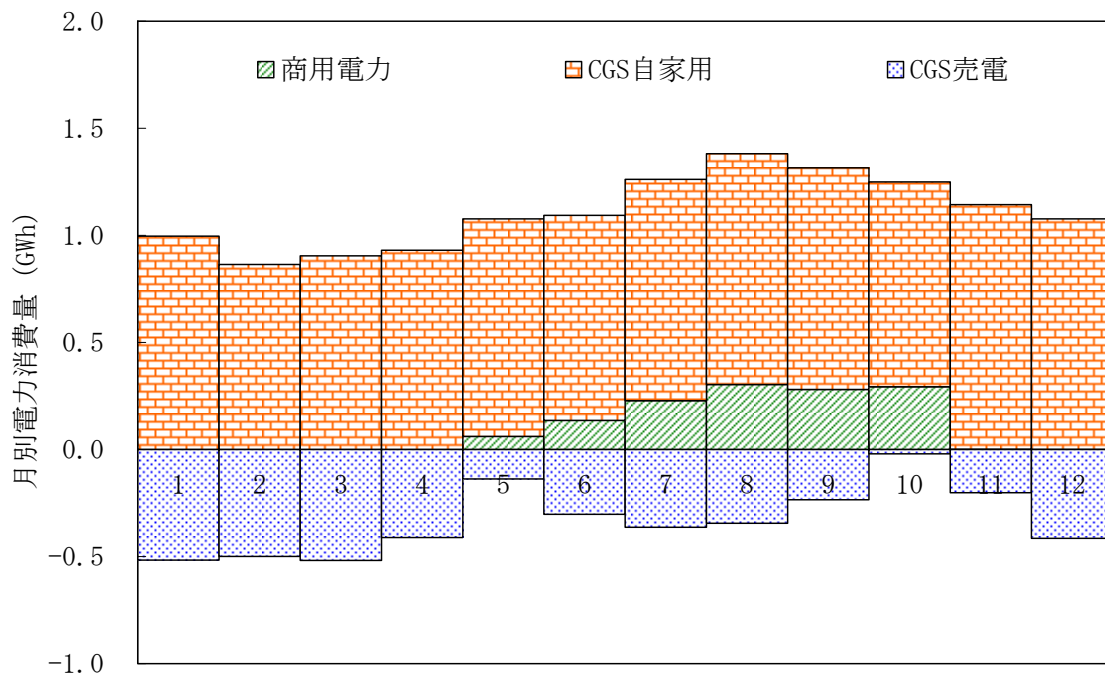


図 4-14 月別電力消費量の構成 (ケース 3)

以下では、8 月を例とし、各ケースにおける時刻別電力消費の構成を解析する。図 4-15～4-17 はケース 1、ケース 2 及びケース 3 の時刻別電力消費量の構成を示している。全体の面から見ると、全てのケースにおいて、午後 2 時ごろ、電力負荷をピーク値に迎え、12:00～20:00 の間はかなり高い値を維持している。

前述したように、ケース 2 において、CGS は電力負荷の一部を満たすが、一日中定格負荷で運転している。ケース 3 について、12:00～20:00 の間、CGS と商用電力を同時に電力需要を供給し、その他の時間帯は CGS だけで供給する。

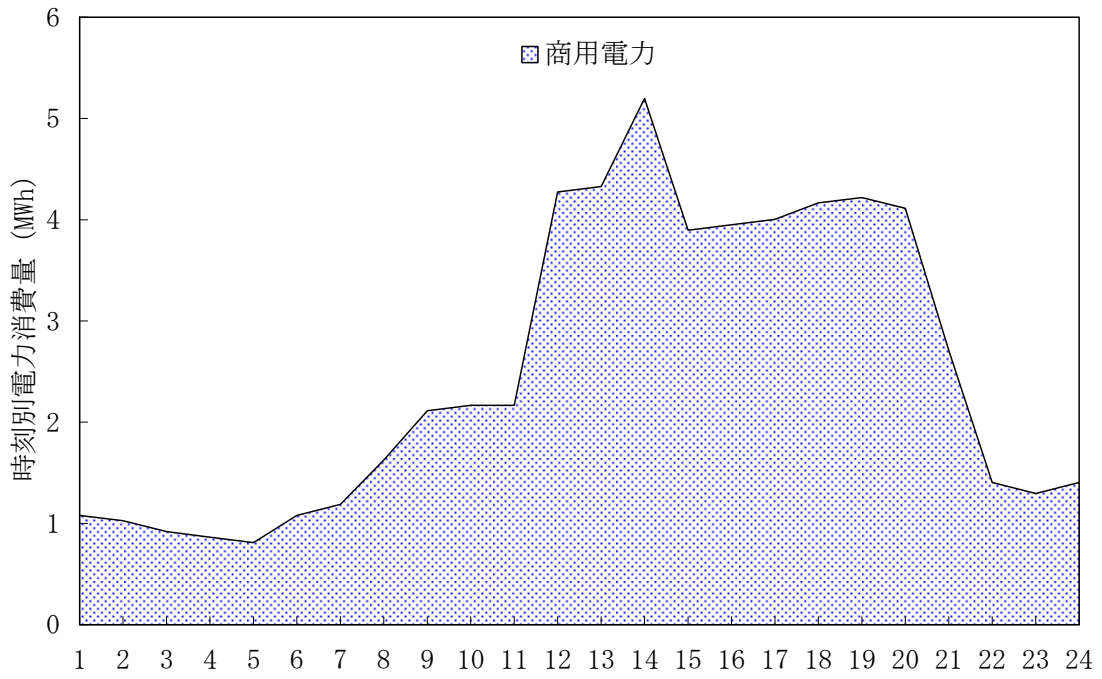


図 4-15 時刻別電力消費量の構成 (ケース 1)

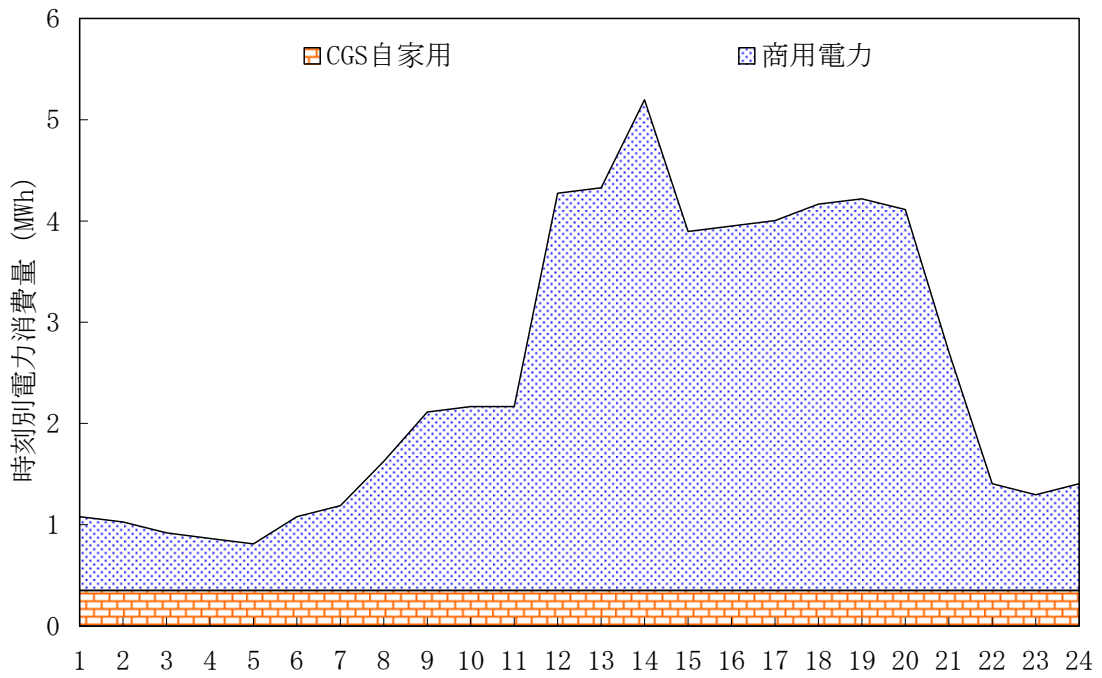


図 4-16 時刻別電力消費量の構成 (ケース 2)

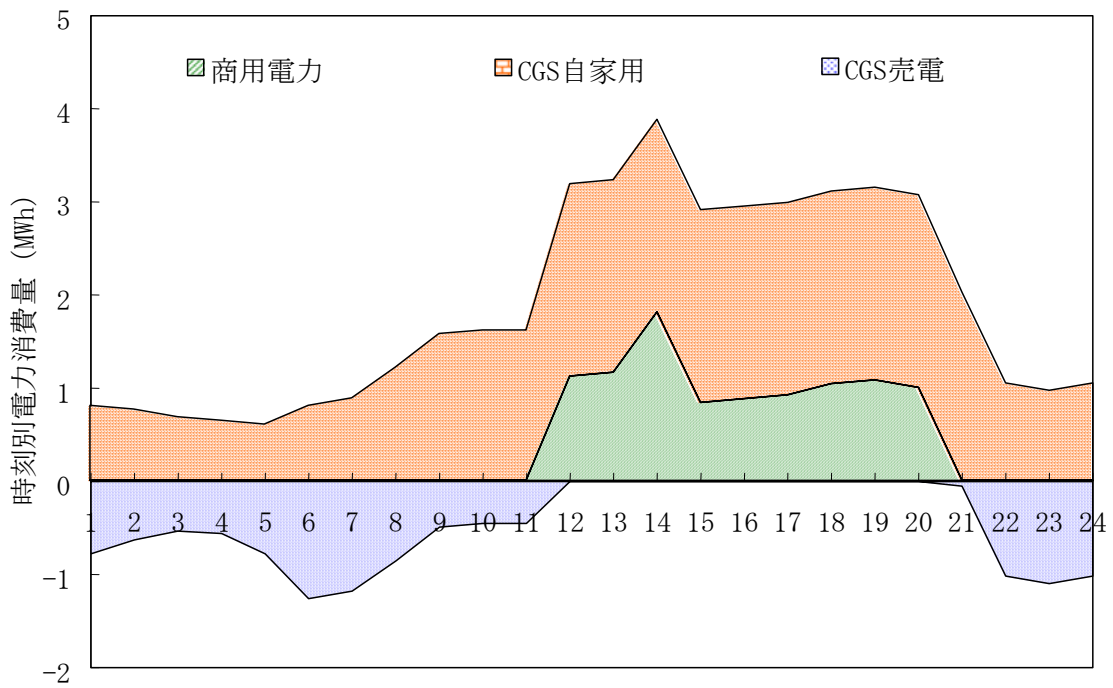


図 4-17 時刻別電力消費量の構成 (ケース 3)

4.5.3 熱消費の構成

CGS を含める地域エネルギーシステムの一つ重要なメリットは排熱の活用であるため、地域の熱消費の構成を解析する必要がある。図 4-18 に示すように、全体の面からみると、ケース 3 の冷房負荷は吸収式冷凍機より提供するため、ケース 3 の年間熱需要量はケース 1 とケース 2 より高くなっている。具体的に、ケース 1 の熱需要は全て軽油ボイラより供給する。ケース 2 について、CGS からの排熱は年間熱需要の一部（19%）を供給し、残りの部分はガスボイラより提供する。また、ケース 2 では「電主熱従」の運転方法を採用しているため、熱需要が小さいとき、一部（約 4%）の排熱は有効利用されていなく、大気に排出している。なお、ケース 3 において、熱需要は多いが、CGS の排熱は総熱需要の約 65%を満足できる。

月別熱供給の特徴を理解するため、図 4-19～図 4-21 はケース 1～ケース 3 における月別熱需要の構成を示す。全体から見ると、ケース 3 の冷房負荷を吸収式冷凍機より供給するから、夏季の熱需要（特に、冷房需要）は大きくなり、CGS 排熱は熱需要の一部を満たし、不足の部分は都市ガスにより賄う。一方、ケース 1 とケース 2 について、冬季の熱負荷が一番高くなっている。

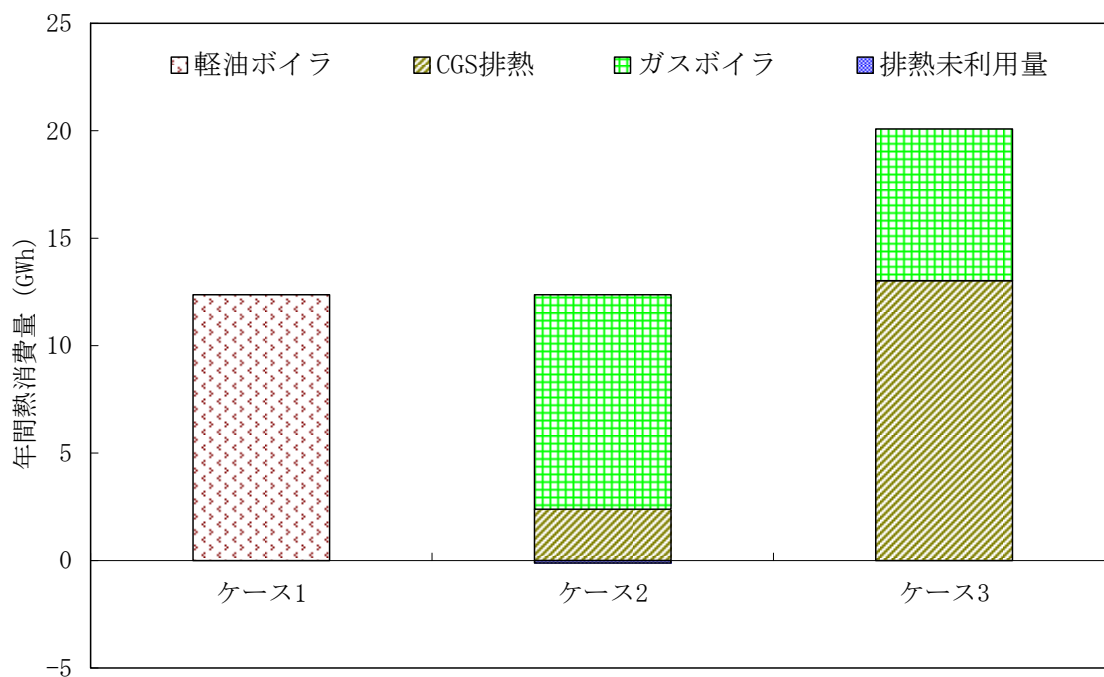


図 4-18 年間熱消費量の構成

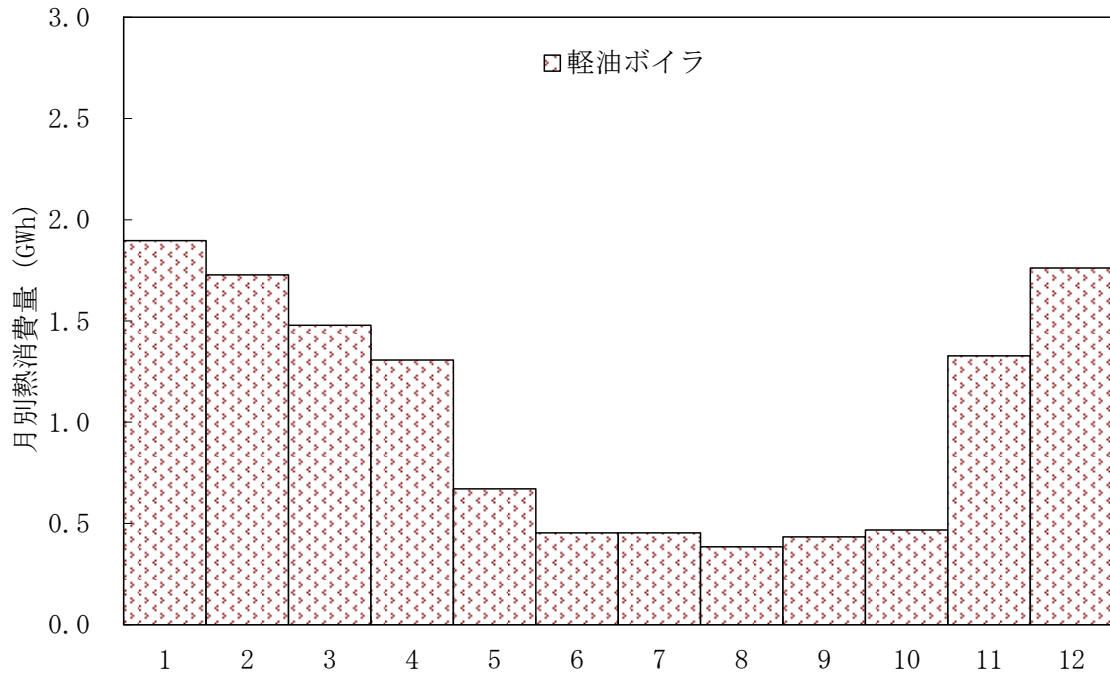


図 4-19 月別熱消費量の構成 (ケース 1)

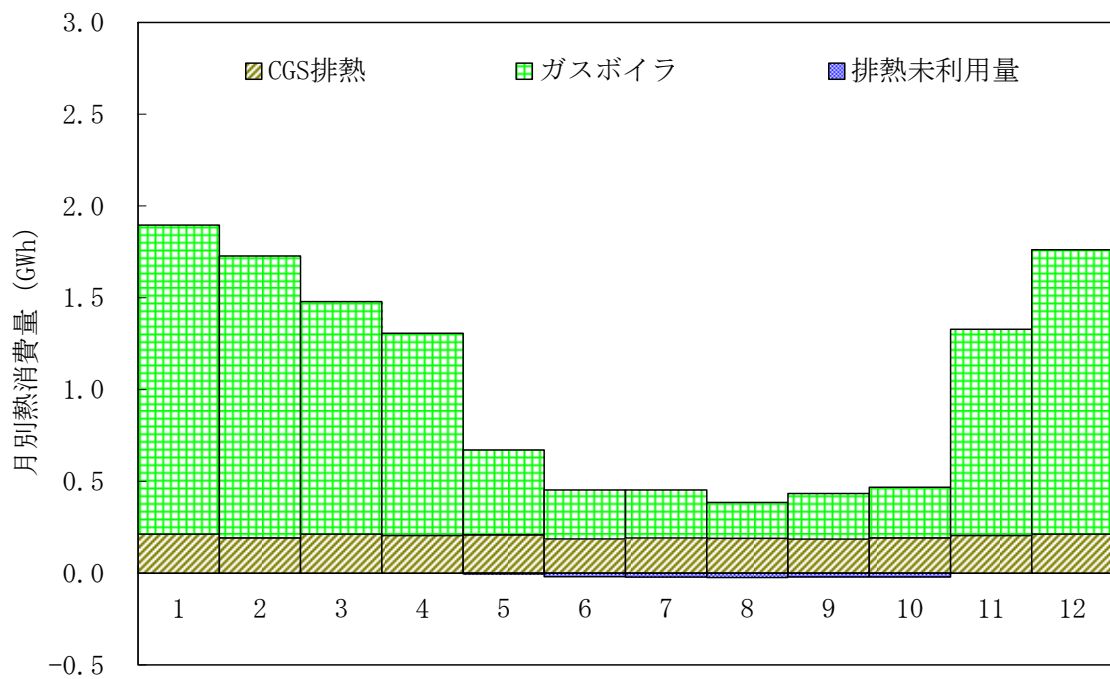


図 4-20 月別熱消費量の構成 (ケース 2)

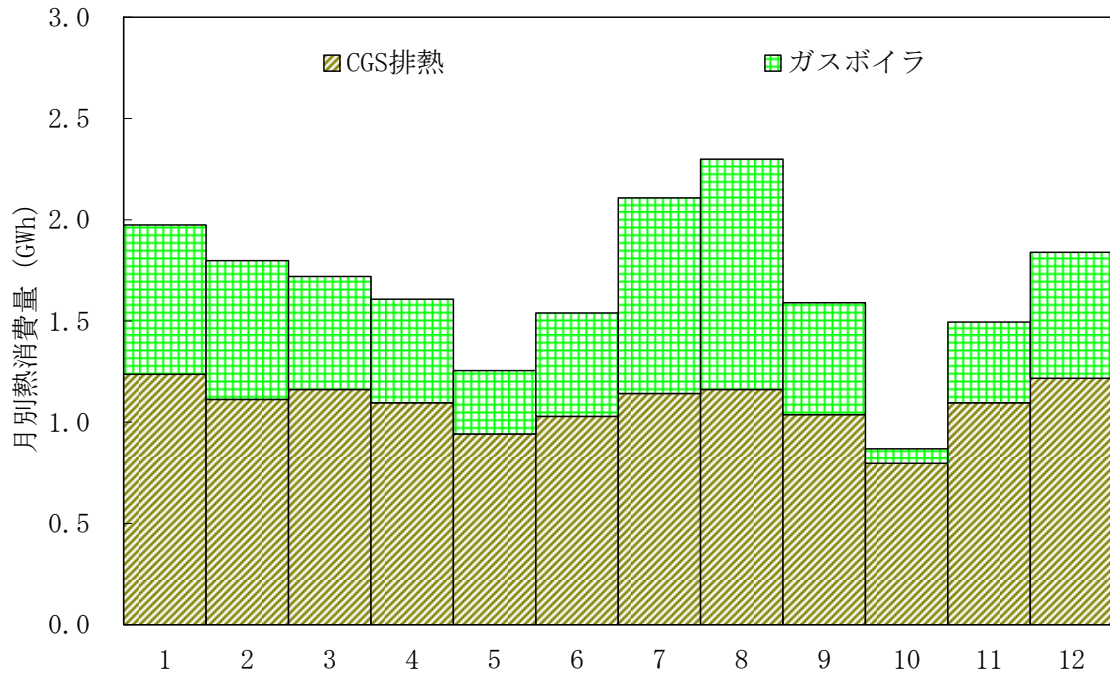


図 4-21 月別熱消費量の構成 (ケース 3)

月別熱需要の特徴を理解すると共に、排熱を更に有効的に利用するため、時刻別熱需要の構成を解析する必要がある。図 4-22～図 4-24 は各ケースにおける 8 月の時刻別熱負荷の構成を示す。ケース 1 とケース 2 の熱負荷は主に給湯需要なので、夜の需要量は一番高くとなっている。一方、ケース 3 の熱負荷は主に冷房負荷なので、昼間の需要量がかなり高く、CGS の排熱だけで満足できず、ガスボイラにより補足する。

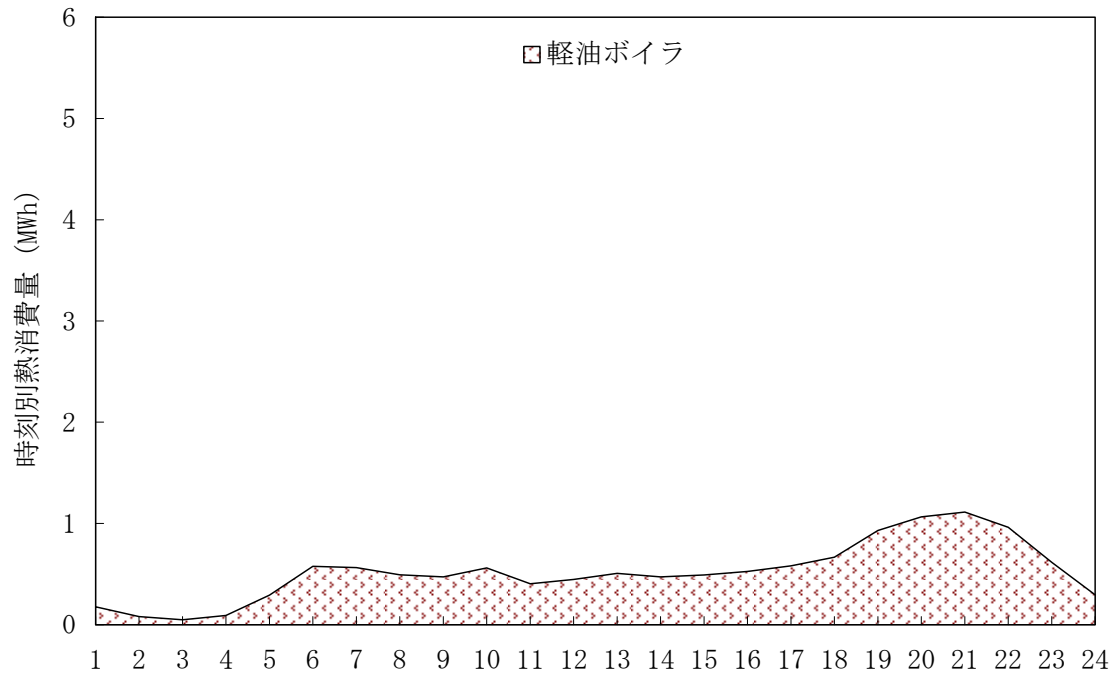


図 4-22 時刻別熱消費量の構成 (ケース 1)

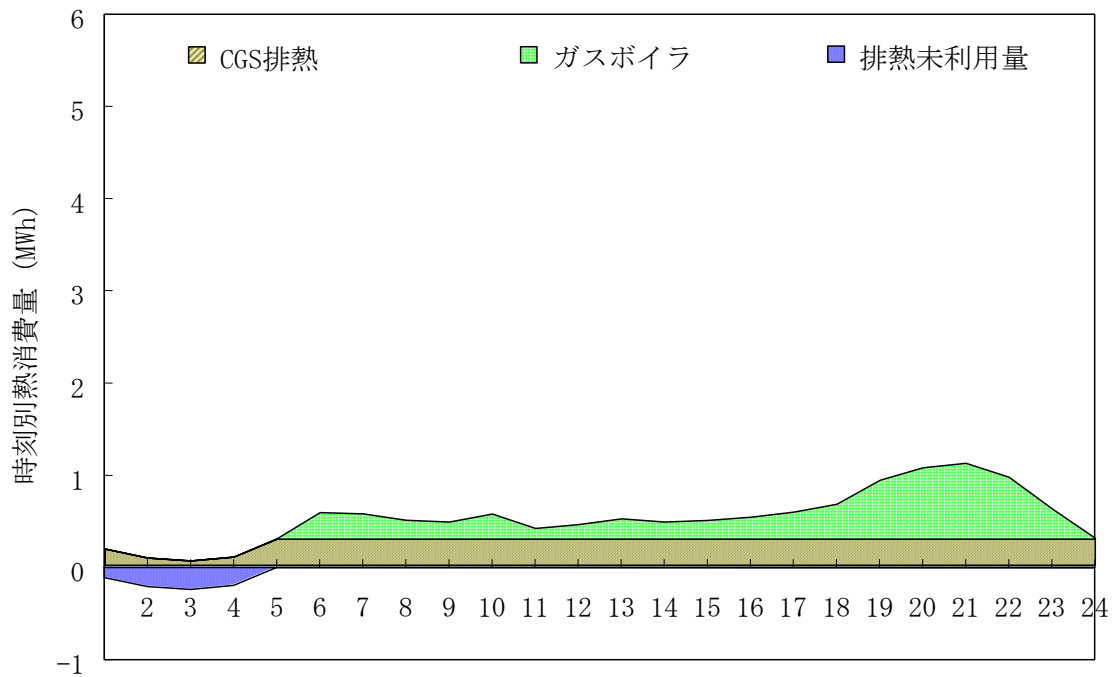


図 4-23 時刻別熱消費量の構成 (ケース 2)

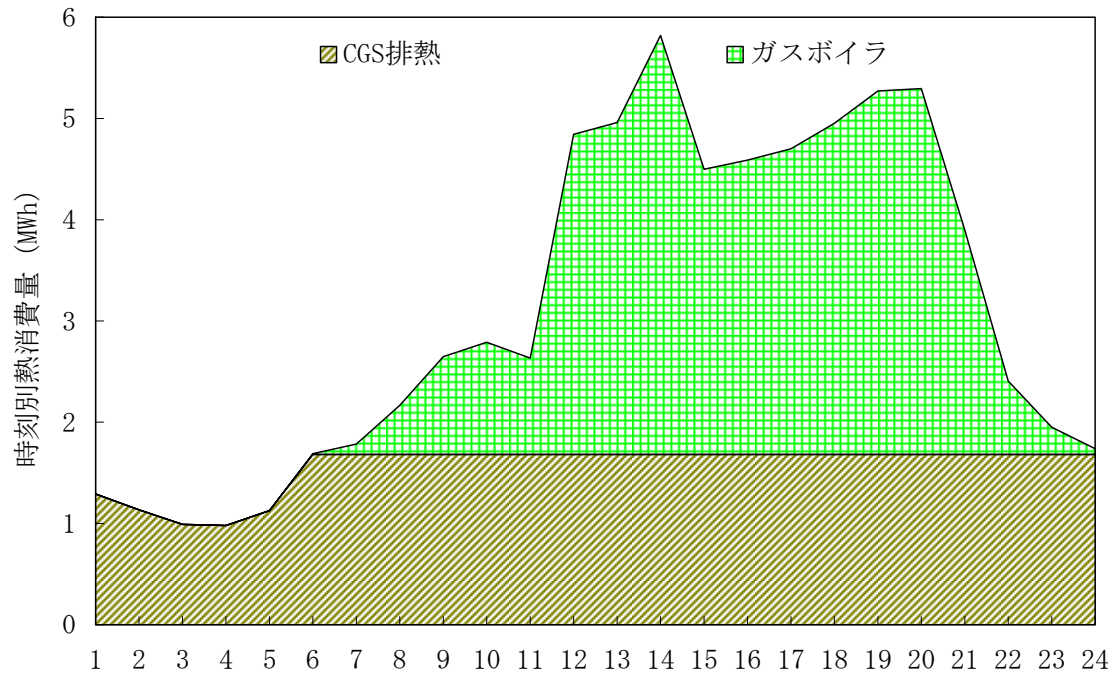


図 4-24 時刻別熱消費量の構成 (ケース 3)

4.6 省エネルギー性評価

本研究で検討する CGS とは「熱電併給」と訳されるように、発電機によって発生する「電気」だけではなく、発電に伴って発生する「排熱」も有効に活用しようというシステムである。電気と熱の両者の有効に活用しにより、有力な省エネルギー機器になる可能性がある一方で、電気と熱の需要バランスがくずれると省エネルギーではなく、かえって、エネルギーを増加してしまう可能性も考えられる。つまり、CGS を活用する分散型エネルギーシステムでは高いエネルギー利用効率を達成すると期待されている。

第三章で紹介した省エネルギー性の評価方法に基づいて、図 4-25 は各ケースにおける年間一次エネルギー消費量を示す。従来システム（ケース 1）と比べて、ケース 2～3 の年間一次エネルギー消費の削減率はそれぞれ 8.8%と 27.3%である。総排出量から見ると、「電主熱従」を採用するケース 2 において、主な排出源は商用電力であり、次は天然ガスである。一方、「熱主電従」を採用する場合（ケース 3）、天然ガスは主な排出源となっている。

以上の分析から見ると、現状システム（ケース 2）は CGS の導入により、従来システムよりエネルギー消費量が削減できるが、かなり省エネルギーのポテンシャルがあることがわかった。

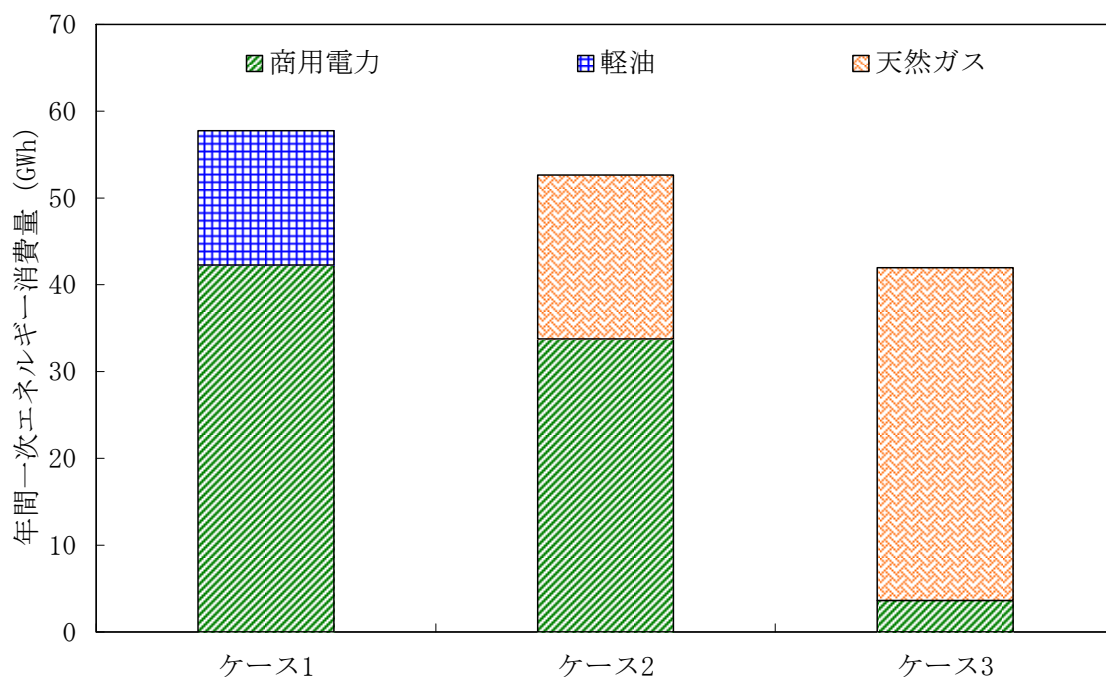


図 4-25 年間一次エネルギー消費量

4.7 経済性評価

分散型エネルギーシステムの導入目的において、社会的観点から見た省エネルギー性とユーザ側の観点から見た経済性が大きな関心事といえる。省エネルギー性と経済性は密接な関係があるものの、必ずしも省エネルギー性最大のシステムが経済性最大とはならない。

本研究で検討したホテルの分散型エネルギーシステムの初期投資は全て日本からの補助であるので、燃料コストについて経済性を評価する。

図 4-26 は各ケースにおける年間総エネルギーコストを示す。ベースケース（ケース 1）と比べて、ケース 2～ケース 3 の年間総コストはそれぞれ 36.4%と 49.5%を削減できる。つまり、地域分散型エネルギーの導入は良い省エネルギー性を持っているだけでなく、経済的なメリットも見られることが分かった。また、図を見ると、ケース 1 において、軽油消費のコストは年間総コストの約半分を占めている。他方、ケース 3 において、主なエネルギー費用は天然ガスの消費である。

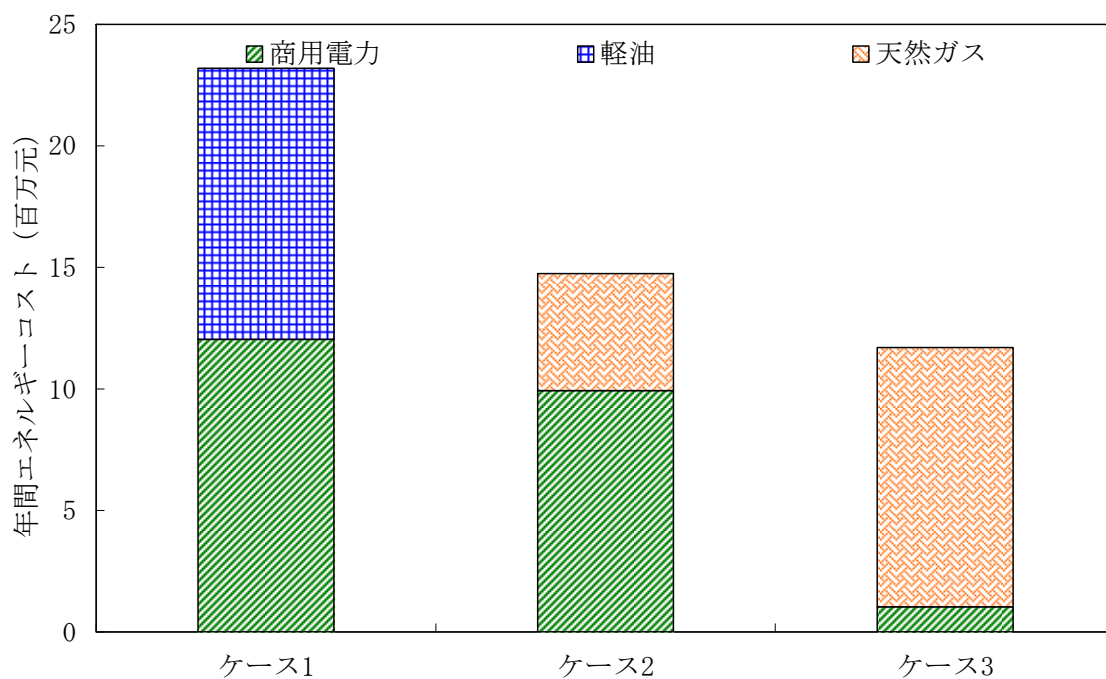


図 4-26 年間エネルギーコスト

4.8 環境性評価

分散型エネルギーシステムは、その省エネルギー性から CO2 の削減効果が大きく期待できる。したがって、中国の 12 次五カ年計画（2011 年-2015 年）における省エネ・排出削減計画の中に、エネルギー消費と二酸化炭素の排出を大幅に削減し、主な汚染物質の排出総量を重要な約束性指標（ノルマ）とした。CO2 の削減量という評価指標は地球レベルの環境問題になって、エネルギーシステムの社会的な意義から考えても重要な指標といえる。

第三章で紹介したの計算方法に基づいて、図 4-27 は各ケースにおける年間 CO2 排出量を示す。従来システム（ケース 1）と比べて、分散型エネルギーを導入したケース 2～3 の年間 CO2 排出量は全て削減でき、削減率はそれぞれ 18.2%と 55.2%である。つまり、分散型エネルギーシステムの導入は優れた環境効果が得られた。特に、今回提案した「熱主電従」の運転方法を採用したシステムでは、半分以上の CO2 排出量が削減できる。また、ケース 1 とケース 2 の排出量を見ると、主な排出源は商用電力である。一方、ケース 3 の主な排出源は天然ガスである。

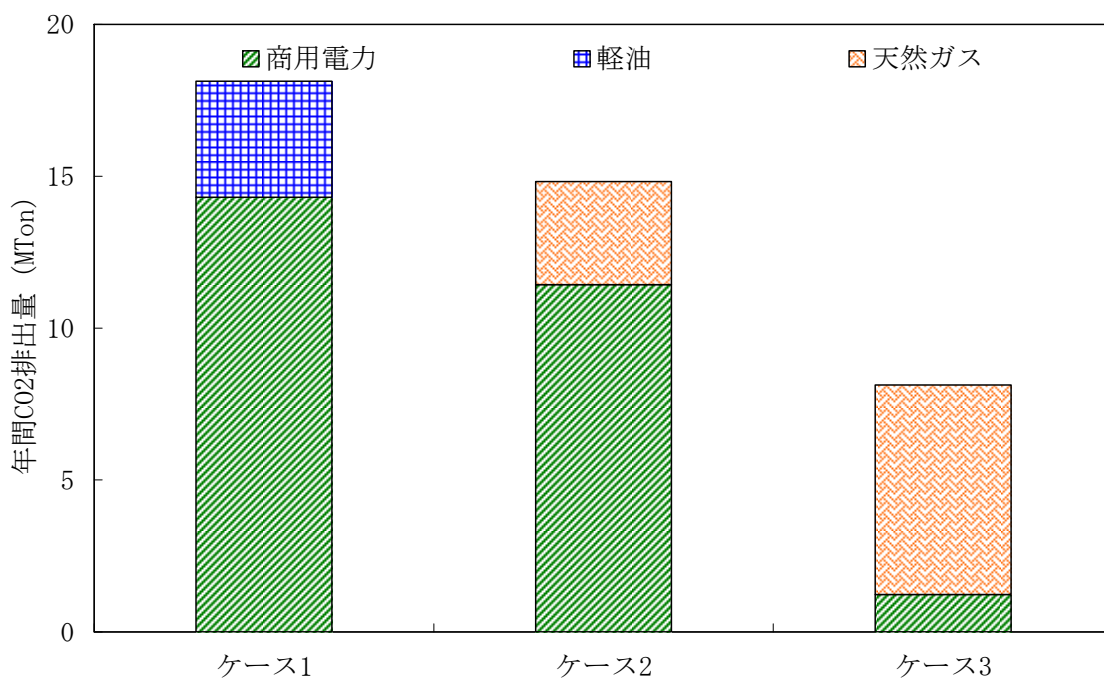


図 4-27 年間 CO2 排出量

4.9 結論

本章では、まだ CGS の導入が遅れている中国の現状を踏まえ、日中省エネルギー協力プロジェクトの代表となっている上海 HY 飯店を研究対象とし、エネルギー消費量の実測データを用い、特性を解析し、CGS の導入による省エネルギー性・経済性・環境性を明らかにした。以下に本章で得られた知見を示す。

- ① 当ホテルは年間を通して安定した電力・熱負荷が発生し、電力負荷と熱負荷の時刻別発生パターンが類似している。
- ② 現状では、当ホテルは 350 kW の CGS を導入しているが、2009 年の中国上海は CGS の余剰電気がグリッドに売るのが許可しなかった。最小限の電力負荷容量 350 kW で当ホテルの CGS システムを選定するのは熱負荷の最大利用を確保し、経済性も確保することがわかった。いまの売電ができる状況で、本研究で紹介した「最大直方体法」を利用して決めた容量は 2060 kW である。
- ③ エネルギー消費の構成を見ると、現状システムにおいて、CGS は総エネルギー負荷の小さい割合（約 20%）を供給している。一方、提案システムにおいて、CGS を導入した分散型エネルギーシステムはホテルの大部のエネルギー負荷を満たす。
- ④ 現状システムは CGS の導入により、従来システムよりエネルギー消費量が削減できるが、かなり省エネルギーのポテンシャルがあることがわかった。
- ⑤ 本研究で検討したホテルの CGS の初期投資は全て日本からの補助であるので、提案システムの年間総エネルギーコストは半分以上削減できる。
- ⑥ 環境性の視点から見ると、今回提案した「熱主電従」の運転方法を採用したシステムでは、半分以上の CO₂ 排出量が削減できる。

参考文献

- 1) 電源開発株式会社：上海地域における省エネルギーの現状及び ESCO 事業の参入可能性に関する調査，株式会社ジオ・クラスター編集，2005 年
- 2) 上海 HY 飯店，<http://www.gardenhotelshanghai.com>
- 3) ヤンマー株式会社 HP，<http://www.yanmar.co.jp/>
- 4) Y. Ruan, Q. Liu, W. Zhou, R. Firestone, W. Gao and T. Watanabe : Optimal option of distributed generation technologies for various commercial buildings, Applied Energy 86(9), (2009), 1641-1653
- 5) 上海電力会社，http://www.sh.sgcc.com.cn/FSM_CMS/
- 6) 上海ガス会社，<http://www.shgas.com.cn/>

第5章 高層住宅におけるコージェネレーションシステム導入の総合評価に関する研究

5.1 概要

5.2 研究対象

5.3 システム及び各種パラメーターの設定

5.4 エネルギー需要量の算定

5.5 省エネルギー性評価

5.6 経済性評価

5.7 環境性評価

5.8 総合評価

5.9 燃料価格の経済性感度解析

5.10 結論

参考文献

5.1 概要

著しい中国の経済成長は全世界に注目され、それに伴う環境問題も非常に心配になってきている。中国の都市は引き続き大きく発展していくと予想され、大量のエネルギー使用による大気汚染をはじめとする多面的な環境問題は、地域を越えてさらに深刻になっている。また、環境問題と言えば「(二酸化炭素) 地球温暖化」が最大の問題であるかのような大量宣伝が行われている。二酸化炭素の増加による地球温暖化は環境問題なのでしょうか。こうした状況を踏まえた中国政府は、省エネルギーの普及促進や再生可能エネルギーの開発に向けた施策を策定し、エネルギーの長期的な安定供給や環境汚染防止に積極的に取り組んでいる。地球温暖化防止等の環境保全を積極的に推進することを目的に、熱供給（地域冷暖房）におけるエネルギー効率の大幅な向上を図るのが最も重要である。

中国におけるコージェネレーションシステム（CGS）の導入可能性とメリットを理解するため、具体的な見通しを持つ個別のエンドユーザーについて、統合かつ合理的な設計と評価は非常に重要である。このトピックについて、多くの研究が報告されている。Hao ら¹⁾は、マクロの視点からエネルギーと環境の持続可能な開発を実現するため、CGS の役割及び中国での展望を議論した。Wang ら²⁻⁵⁾は中国の公共建物における地域別建物別 CGS の導入効果を評価した。Ren ら⁶⁾は中国都市部民生部門への分散型エネルギーの最適導入及び運用について分析を行った。結果から見ると、中国都市部における分散型エネルギーの導入は良い環境性を持っているが、経済的なメリットは限定的である。売電制度の導入や、バイオガス価格の低減は分散型エネルギーの導入を積極的に促進することができる。Cao と Liu⁷⁾は熱力学および熱経済解析を用いて、中国における夏季の CGS のパフォーマンスをシミュレーションした。しかし、上記の研究は全てエネルギー消費量が多いホテル、オフィス、病院、学校などの公共建物を対象し、分析を行った。中国建築部門の主な部分として、住宅建物のエネルギー消費は産業部門の後に第二位にランクされ、2010年に標準石炭 319 万トン消費する⁸⁻⁹⁾。したがって、今までの研究が着目していない住宅における省エネルギー対策の検討は極めて重要である。一方、住宅の入居率は午前と午後が比較的安く、正午に上昇し、公共建物（例えば、オフィス）のパターンは全く異なる。したがって、住宅建物のエネルギー消費量は、通常、公共建物に比べて多くの変動を示し、CGS の運転スケジュールも複雑になることがある。以上の考察に基づいて、異なるデザイン、管理オプションと原動機のタイプを持つコージェネレーションシステム（CGS）の省エネルギー性、経済性と環境性を総合的に評価する必要がある。

そこで、本研究では、技術及びシステムの設計と管理戦略を考慮しつつ、エネルギー性、経済性と環境性の視点から、中国における住宅用 CGS の導入可能性を検討する。具体的に、まず、研究対象を決め、エネルギー需要量を算定する。次に、検討したいシステムオプション及びパラメーターを設定する。これをベースにして、第三章で提出した方法を利用し、システムの省エネルギー性、経済性、環境性を評価し、総合評価も行う。最後に、システムの経済性を高めるため、燃料価格の経済性感度分析を行う。

5.2 研究対象

上海市 1996 年前の高層マンション(以下は高層マンションと略する)は住居を中心にし、住民が密集するため、電力負荷も大きいである。住民の生活水準の向上に従って、エアコンや洗濯機などの電気機器が普及になり、高層マンションの既存電気メーターの容量と電気線路はユーザーの需要に満足できなくなる。また、頻繁に故障を発生し、住民の日常生活にも影響を与え、一連の安全問題となっている。こうした状況を直面し、住民の電力消費によって高層マンションの電力容量を増加しなければならない。そのため、上海市電力会社は 1996 年前の高層マンションについて、電力供給の配電容量の増加と配電線路の整理などの配電システム改造工事を行った。

上海市住宅用配電システム改造工事の報告により、1996 年前の高層マンションの総延べ床面積は 1423 万平方メートルであり、一つの電気メーターが対応する延べ床面積が 64.75 平方メートルである。1 世帯は電気メーターが一つあるため、上海市 1996 年前の高層マンションは 1 世帯あたりの平均延べ床面積が 64.75 平方メートルで、世帯数が 21.98 万戸と推測した。これに基づいて、改造される配電システムの規模を計算し、送配電の増加量もわかった。

上海市復興高層マンションは配電システム改造工事の対象地域である徐匯区に位置し、1980 年に建築された建物である。当マンションの建築面積は 614.33 m²で、延べ床面積は 5609 m²である。11 階の建物の高さが 30.8 m で、各部屋の高さは約 2.8 m であり、全部で 88 世帯がある。建築平面は一字形状を採用し、通廊式を結合させた建築である。本文ではこの建物の 2 階を計算基準層にする。建物の基準層では 8 世帯があり、基準層の延べ床面積は 518.49 m²である。マンションの基準層延べ床面積を世帯数に割って、64.81 m²になり、今回の配電改造工事の上海の 1 世帯あたりの平均延べ床面積 (64.75 m²) に近いので、このマンションのモデル性があるとみられている。

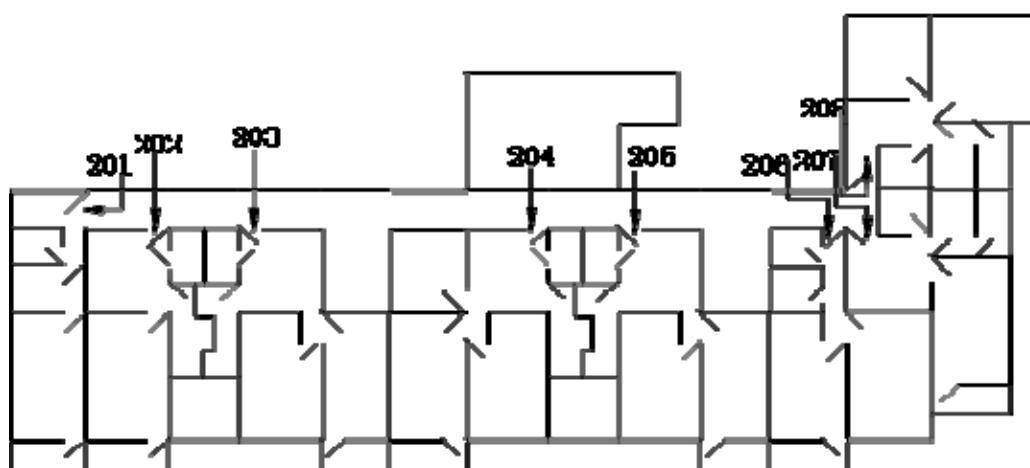


図 5-1 2 階基準層平面図

表 5-1 基準層各部屋の使用面積

部屋番号	台所	トイレ	応接間	主寝室	寝室1	寝室2	合計
201	6.65	3.08	6.02	15.44			31.18
202	3.17	5.90	10.50	16.11			35.68
203	3.17	5.90	12.29	16.86	12.63		50.85
204	3.17	5.90	11.69	15.93	10.80	15.88	63.37
205	3.17	5.90	12.29	16.86	12.63		50.85
206	3.07	3.26	5.06	18.88	13.81		44.08
207	5.07	3.49	12.00	15.75			36.31
208	4.88	3.49	14.00	17.59	10.69		50.64
合計							362.94

5.3 エネルギー需要量の算定

比較研究を実行するため、従来システムはベースラインとして仮定する。従来システムおよび CGS のエネルギーフローは図 5-2 に示されている。左側は従来システムであり、右側は CGS である。本研究では、4 種類のエネルギー需要、すなわち照明と設備のための電力消費、冷暖房需要および給湯負荷が考えられる。

従来システムについて、商用電力は直接の電力消費だけでなく、室内冷暖房もルームエアコンを通じて供給する。給湯負荷は天然ガスを燃料としたガスボイラーにより提供する。CGS について、電力消費量は商用電力、オンサイト発電、あるいは両方同時に提供する。CGS から排出した高温排気は吸収式冷凍機および熱回収ボイラーにより回収し、冷暖房負荷に提供する。回収された熱が不足の場合、吸収式冷凍機および熱回収ボイラーは天然ガスを燃料として不足な熱を提供することができる。これに反して、回収された熱量が超過する場合、余剰の熱量は大気に排出することになる。同様に、中国現在の電気標準によって、CGS からの余剰電気はグリッドに売ることを許す。

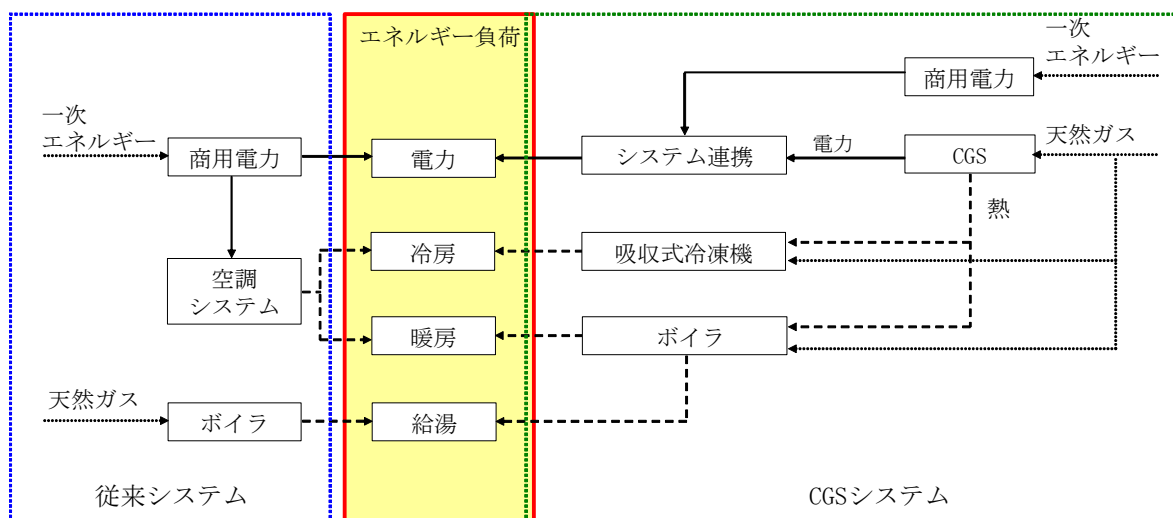


図 5-2 従来システムと CGS のエネルギーフロー

本研究では、技術別 CGS 導入の比較評価を行うため、ガスタービン (GT)、ガスエンジン (GE)、スターリングエンジン (SE) と燃料電池 (FC) を考慮している¹⁰⁾。各技術の特性を表 5-2 に纏める¹¹⁻¹⁶⁾。

表 5-2 CGS の技術特性と価格情報

項目	GT	GE	SE	FC
発電効率 (%)	26	34	12	42
総効率 (%)	76	84	72	92
使用寿命 (年)	20	20	20	20
燃料	天然ガス、バイオガス、アルコール	天然ガス、バイオガス	天然ガス、バイオガス	水素、天然ガス
初期投資 (US\$/kW)	1820	2273	2483	6364
固定管理コスト (US\$/kW)	19.50	18.93	21.62	9.69
変動管理コスト (US\$/kWh)	0.015	0.018	0.020	0.029

さらに、CGS の省エネルギー性、経済性および環境性を評価するため、主要なデータが表 5-3 に示す¹⁷⁻¹⁹⁾。

表 5-3 分析用データ

項目	変数	値
商用電力	効率 (%)	36
	CO ₂ 排出係数 (kg/kWh)	0.94
	料金 (\$/kWh)	0.10
天然ガス	CO ₂ 排出係数 (kg/kWh)	0.22
	価格 (\$/kWh)	0.03
吸収式冷凍機	COP	0.7
ボイラ	効率 (%)	80

5.4 システム及び各種パラメーターの設定

図 5-3 は検討する住宅のエネルギー負荷の累積曲線を示し、エネルギー消費の特徴を表現している。この図では、ピーク負荷需要と各需要水準範囲を一年間時刻別のデータを示し、CGS 容量を決定する際重要な情報である。第三章で説明したように、EI モードにおいて、原動機の容量はピーク電気負荷 (145kW) にする一方、HT と ET モードについて、負荷累積曲線に基づいた方法を用いて原動機容量を選ぶことができる。HT モードにおいて、設備容量は熱消費累積曲線に基づいて決定される。図 5-3 に示すように、熱消費累積曲線より下のエリアを最大限にすることに基づいて、発電ユニットからの最大熱発生量 (73kW) および持続期間 (3121 時間) が決定された。同様に、ET モードにおける発電ユニットの最大電力 (44kW) は、電力消費累積曲線によって決定することができる。

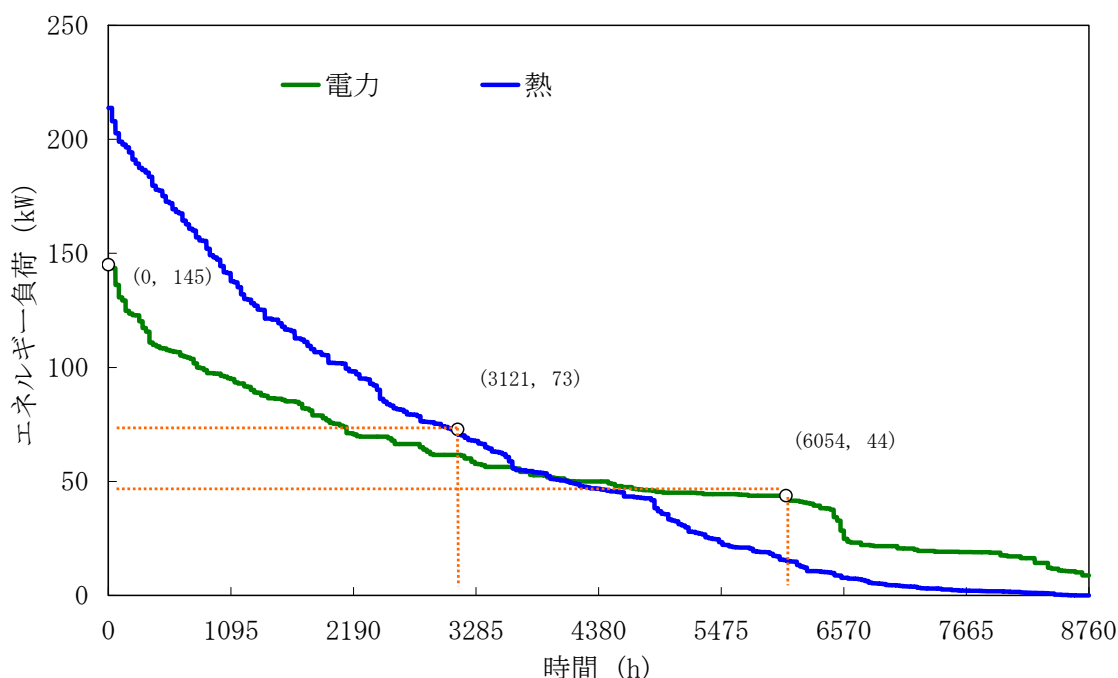


図 5-3 エネルギー負荷の累積曲線

さらに、熱電比も CGS の有効運行および対応する省エネルギー性、経済性と環境性に影響する主な要因である。図 5-4 は、研究対象である高層住宅の熱電比の累積曲線を示し、一年間中は [0, 7.3] の間となっている。4 つのタイプの原動機 SE、GT、GE および FC の熱電比も共に図の中で示されている。従来研究によって、ユーザの熱電比と原動機の熱電比が等しい場合、CGS の省エネルギー性は一番高いである。また、ユーザの熱電比と原動機は等ければ等しいほど、エネルギー性は向上である。したがって、熱電比は相対的に高いため、SE ベースの CGS はユーザの熱と電力需要を満足することが困難であり、詳細的な議論は、下のセクションで説明する。

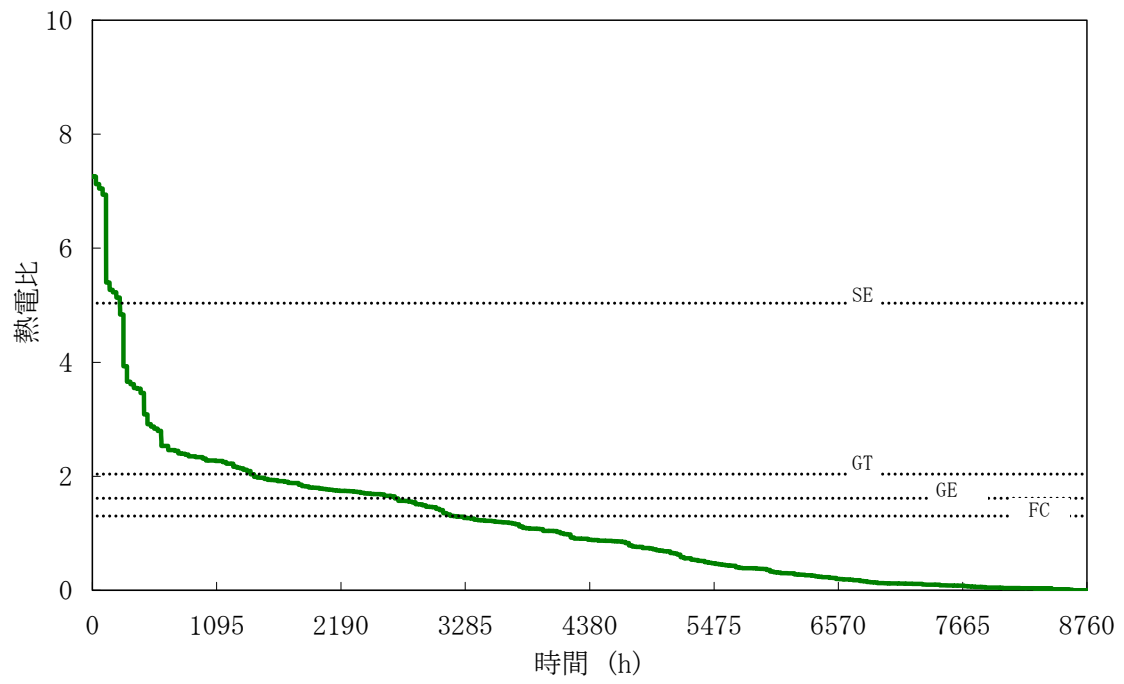


図 5-4 熱電比の累積曲線

5.5 省エネルギー性評価

省エネルギー性は CGS のひとつの重要な特徴である。本研究では、四つの原動機について、三つの設計と管理モードの省エネルギー率を計算し、図 5-5 に示されている。予想の以外、検討された 12 のオプションの中、6 つの PESR 値はマイナスとなっている。特に、EI モードを採用する SE システムの PESR は、-110%未満であり、非常に低い。即ち、これは従来のシステムより二倍くらいの一次エネルギーを消費することになる。また、SE システムのほかに、すべての設計と管理モードに対して、GT システムの PESR 値はマイナス値になる。原因として、比較的の高い熱電比なので、ユーザ側の主な熱電比範囲をそらすことである。技術の面から見ると、よい省エネルギー性を達成するため、FC システムは検討した高層住宅に対し最もよい技術であり、次に GE システムである。他の CGS 技術に比べて、FC システムは、高い発電効率(42%)および適当な熱電比があり、PESR 値が一番高い。

一方、設計と管理モードの面から見ると、すべての HT モードは ET モードより PESR が高いである。しかし、HT モードを採用した GE と FC システムの PESR 値は、EI モードより低く、それは特別の ET モードと見られる。原因として、PESR 値は運転モードだけでなく、原動機のサイズにも影響される。ET と EI モードを比較して、本研究で採用される最大直方体方法は、最大の省エネルギー性に達する最適なシステムサイズを選べることができない。さらに、HT と ET モードを採用したシステムの省エネルギー性はよいかもしれないが、ピーク電気負荷に基づいたシステムサイズを決定する EI モードが最適なオプションであるとは認識することができない。

概して、省エネルギー性から見ると、GE システムおよび FC システムを原動機とした CGS は本研究で検討した高層住宅にとって最適なオプションである。検討された 3 つの設計と管理モードについて、EI モードの省エネルギー性は最高であり、続いては HT モード、ET モードである。

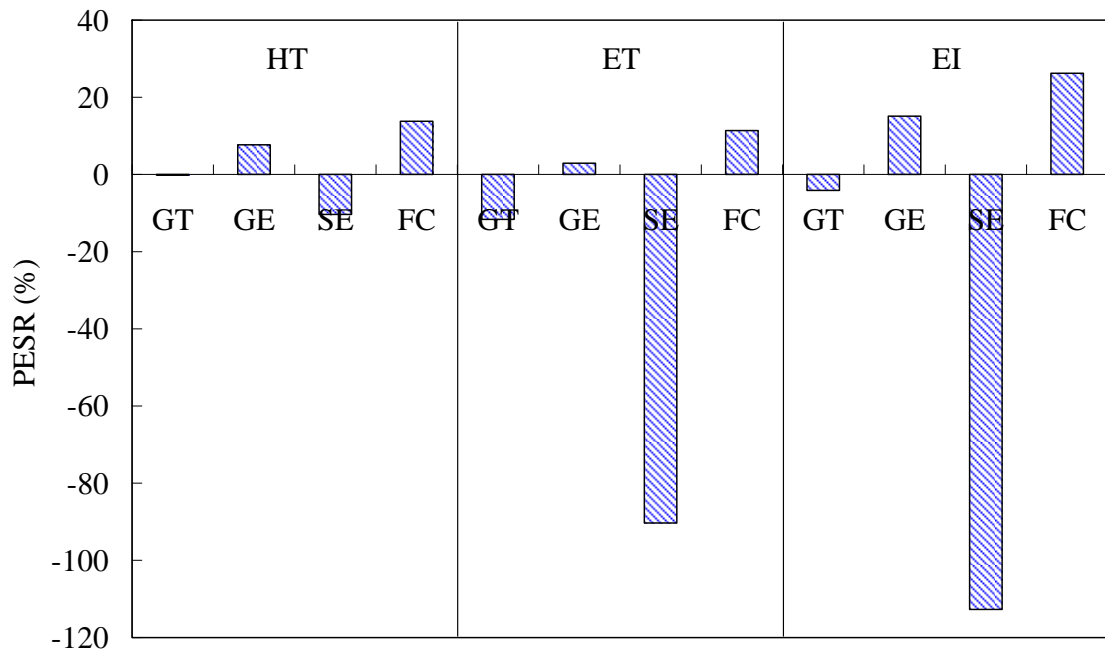


図 5-5 省エネルギー性の比較

5.6 経済性評価

CGS に対して、完全かつ正確な評価を得るため、システムの経済性を定量的に評価すべく。各オプションの NPV 値は計算し、図 5-6 に示している。総じて言えば、すべての設計と管理モードのライフサイクル期間の NPV 値はマイナスである。その意味は、経済性の面から見ると、CGS を導入することが困難である。相対的に言うと、3つの設計と管理モードの中、GE システムはほかのシステムより経済性が良いことがわかった。ET と EI モードについて、FC システムの初期投資は他のシステムより約 3 倍多いが、NPV は SE システムより良いである。原因として、SE システムの省エネルギー性が低いため、キャッシュフローはマイナスである (図 5-6)。他方、すべてのモードのコストが増加するが、HT モードの経済性は ET と EI モードより高いことがわかった。

上記の議論によって、現況では、経済性の面から見ると、CGS は検討した高層住宅用魅力的なエネルギー供給システムとして考えることができない。原因として、CGS の容量は、特に EI モードを採用する場合、大きすぎる (図 5-3 を参照) こと、ユーザ側の熱電比は原動機と違い (図 5-4 を参照) こと、CGS 装置の投資費用は高い (表 5-2 を参照) こと、および天然ガスの価格は電気料金より高い (表 5-3 を参照) わけである。すべての検討された方式の中で、相対的に良いシステムは HT モードを採用した GE システムである。それを導入するため、適当な推進手段が必要である。しかし、検討する高層住宅用に安定な電力供給を提供するため、電源とグリッドのインフラストラクチャーを拡張する費用はかなり高いである。もし CGS 導入の機会のメリット (送電信頼度の向上、送電と配電システム拡張費用の回避など) がすべて考えれば、CGS の経済性は改善される可能性がある。本研究の研究範囲は、4つの最終エネルギー消費タイプに限定され、マクログリッドのインフラストラクチャーおよびシステムの信頼性をまったく考えられていない。今後の研究として、CGS 導入のすべての利点、例えば、送電信頼度の向上および送電と配電システム拡張費用の回避は、経済性を評価するとき、定量的総合的に考えるべく。

一方、従来研究において、中国における CGS の導入に関する研究対象はほとんど公共建築であり、それは省エネルギー活動をするとき優先な考えである。原因として、公共建築のエネルギー密度は住宅より高く、省エネルギーの実行および管理方法ももっと簡単であるためである。文献²⁰⁾によって、上海で検討された4つの公共建築タイプの中、学校の年間コスト削減率はマイナスであるが、ホテル、オフィスおよび病院で導入した CGS の経済性は従来システムよりよいである。CGS を導入する際、公共建築の経済性が住宅より良いのは驚くべきではない。ひとつの原因は、公共建築 (例えば病院やホテル) の熱需要が高いため、CGS から回収された熱をもっと有効に利用することができる。一方、中国における公共建築の電気料金はほかの建築より高いため、少ない商用電力を消費する CGS の競争能力は高くなる。したがって、中国の住宅における CGS の導入を推進するため、持続的な技術革新が必要だけでなく、政策改革 (例えば電気料金の改革) も非常に重要なことである。

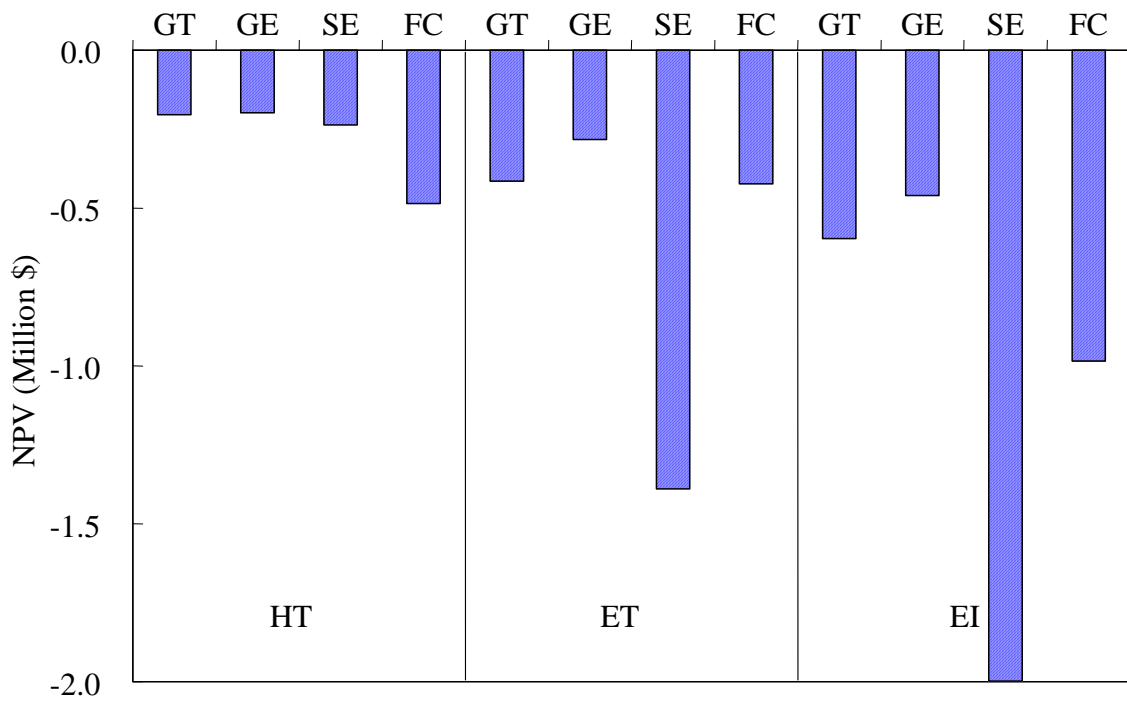


図 5-6 経済性の比較

5.7 環境性評価

環境性はエネルギー関連プロジェクトを評価するとき無視できない重要な要因である。図 5-7 は各オプションに対する CERR 値を示す。総合的に言えば、住宅 CGS の環境性は前述したシステムの省エネルギー性と経済性よりよいことがわかった。ほとんどのオプションは理想的な CERR に達したが、一つの例外は ET と EI モードを採用した SE システムである。同じ設計と管理モードに対して、FC システムの環境性は一番よいであり、CERR 値が 30% を超え、続いては GE システム、GT システムおよび SE システムである。一方、SE システムは別に、他の 3 つのシステムの EI モードの環境性は一番よいであり、続いては HT モードおよび ET モードである。

したがって、省エネルギー性と同じように、効率は比較的に高いため(発電効率および総効率)、FC システムは住宅 CGS に最も適当な技術であると考えられる。代わりに、GT システムおよび GE システムは、3 つの設計と管理モードでの CERR 値は 10% を超えるため、良いオプションであるかもしれない。さらに、HT モードの SE システムに対して、PESR 値はマイナスであるが、燃料はクリーンな天然ガスに変化するため、CERR 値はプラスになる。

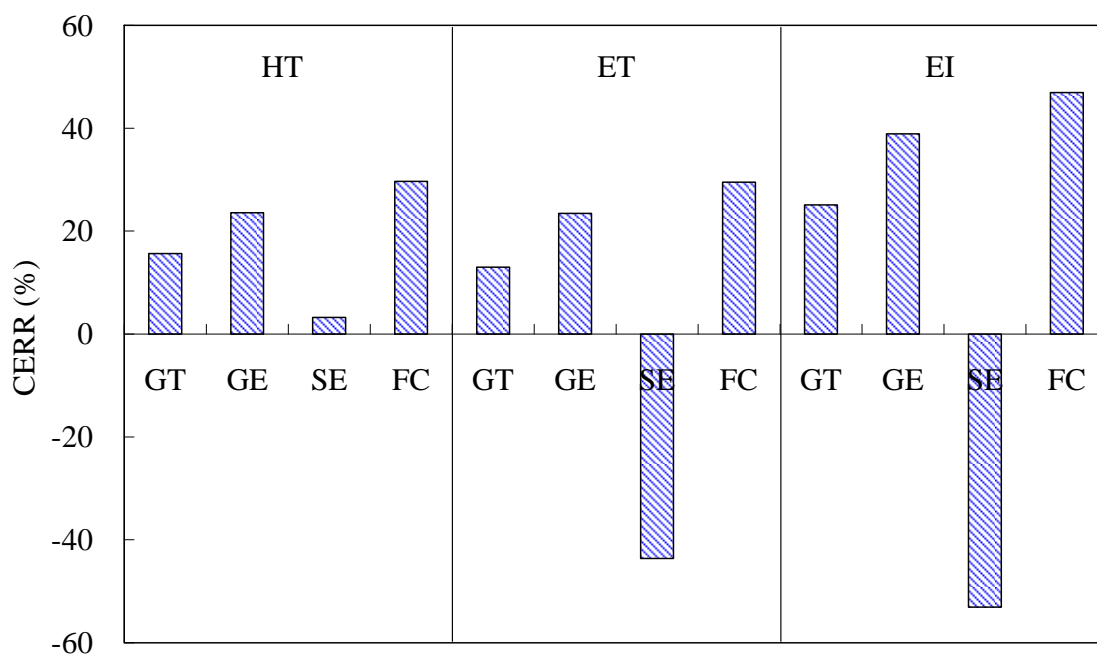


図 5-7 環境性の比較

5.8 総合評価

検討されたの結果によれば、各技術及び各設計と管理モードは長所と欠点が同時に存在する。あるいは、省エネルギー性および環境性が良い時、経済性が悪い。あるいは、経済性がよい時、環境性が低い。したがって、上記の評価は、他の要素を無視して、特定の方面だけで考え、さらに、それらは異なる結論を得ることになる。特定の建築に最も適当なCGSを選定するため、省エネルギー性、経済性および環境性を含める総合評価が必要である。本研究では、第三章で提案した統合評価方法は使用して、表 5-4 は、3つの評価方法の標準化指標を示す。また、最終指標の達成は意思決定者の好みを示す重みによって影響されるので、4つのシナリオが特定の要求を満たすため仮定された。

シナリオ 1：すべての評価基準が同じで、重み係数が同じである。

シナリオ 2：PESR を優先にし、重み係数が同じ係数を持っている他の 2 つの評価基準より大きいである。

シナリオ 3：NPV を優先にし、他の二つの評価基準の係数が等しいである。

シナリオ 4：環境性を注目し、CERR の重みが一番大きい。他の 2 つの係数が等しいと仮定する。

最終の指標および優先度は表 5-5 に示す。総合的に、各シナリオのランキング順番がちがう。EI モードを採用した GE システムはシナリオ 1 で最優先の選択であり、シナリオ 2 に対する最優先の選択が EI モードを採用した FC システム、HT モードを採用した GE システムおよび EI モードを採用した FC システムである。しかし、ある類似性も発見されることができる：ET モードおよび EI モードを採用した SE システムは、値は比較的低いいため、3つの基準に対する最低の二つのオプションである。

表から見ると、経済性を注目する場合（シナリオ 3）、HT モードを採用した GE システムは最も良いオプションである。環境性を注目する場合（シナリオ 4）、EI モードを採用した FC システムは最高の選択である。一方、設計と管理モードは特定の面に対して、異なったCGS 技術に適當するかもしれない。例えば、経済性を注視する場合（シナリオ 3）、HT モードは GT、GE および SE システムに対する最優先の選択であるが、ET モードを採用した FC システムは最優先である。

表 5-4 3つの評価方法の標準化指標

設計と管理モード	原動機	指標		
		PESR	NPV	CERR
HT	GT	0.81	1.00	0.69
	GE	0.87	1.00	0.77
	SE	0.74	0.98	0.56
	FC	0.91	0.84	0.83
ET	GT	0.73	0.88	0.66
	GE	0.83	0.95	0.77
	SE	0.16	0.34	0.09
	FC	0.89	0.88	0.83
EI	GT	0.78	0.78	0.78
	GE	0.92	0.85	0.92
	SE	0.00	0.00	0.00
	FC	1.00	0.56	1.00

表 5-5 総合評価結果

設計と管理モード	原動機	シナリオ 1		シナリオ 2		シナリオ 3		シナリオ 4	
		評価	順位	評価	順位	評価	順位	評価	順位
HT	GT	0.831	7	0.823	7	0.898	2	0.774	8
	GE	0.878	2	0.873	5	0.927	1	0.833	5
	SE	0.760	9	0.750	9	0.847	7	0.681	10
	FC	0.859	4	0.880	3	0.852	6	0.847	4
ET	GT	0.756	10	0.745	10	0.806	8	0.718	9
	GE	0.850	6	0.843	6	0.891	3	0.816	6
	SE	0.198	11	0.183	11	0.254	11	0.157	11
	FC	0.865	3	0.876	4	0.869	5	0.849	3
EI	GT	0.781	8	0.781	8	0.780	9	0.781	7
	GE	0.898	1	0.907	2	0.881	4	0.907	2
	SE	0.000	12	0.000	12	0.000	12	0.000	12
	FC	0.854	5	0.913	1	0.738	10	0.913	1

5.9 燃料価格の経済性感度解析

上記の分析によると、現在、検討された住宅 CGS の導入は、省エネルギー性および環境性がよいが、経済性が悪いことがわかった。言いかえれば、いくつかのオプションについては、同じエネルギーを満たすため、省エネルギー性および環境性を達成する同時、コストが増加することになる。しかし、住宅に対して、経済性は CGS 導入する際最も重要な要因である。したがって、このセクションでは、天然ガス価格の感度分析を検討し、それは CGS の経済性を影響する主な要因の一つだと認識される。実は、途上国(例えば中国)の巨大な要求が増加しているため、天然ガスの価格は恐らく翌年上昇し続けるかもしれない。しかし、合理的な価格体系と機構は燃料の環境価値および外部費用を反映することができれば、天然ガスの価格は他の化石燃料(例えば石炭)と競争することができるかもしれない。他方、天然ガス CGS を推進するため、市場に基づいた CGS 用天然ガスの価格を割引する手段が一部の先進国で成功例を示した。例えば、日本では、CGS 用のガス価格は一般的な価格の半分未満に設定された。

上記の考察に基づいて、天然ガス価格が現在値の半分に引き下げられると仮定し、各設計と管理モードを採用した様々なシステムの NPV 値の感度分析を行う。図 5-8 に示されるプロフィールによると、天然ガス価格を減少する場合、すべてのオプションの NPV 値は増加する。SE システムでは、特に ET と EI モードにおいて、他の 3 つのシステムより天然ガス価格に対する敏感度は高いである。

CGS が正の NPV 値を持つため、HT、ET と EI モードを採用した GT システムにおいて、天然ガス価格の最低の減少率はそれぞれ 31%、41%と 51%である。同様に、HT、ET と EI モードを採用した GE システムに関して、その値は 30%、33%と 47%である。しかし、3 つのデザインと管理モードを採用する FC システムに対し、天然ガス価格は現状の半分に減少されても経済性がない。したがって、経済性の面から見ると、GE システムが適当な推進方式があれば、最も実現可能な技術である。

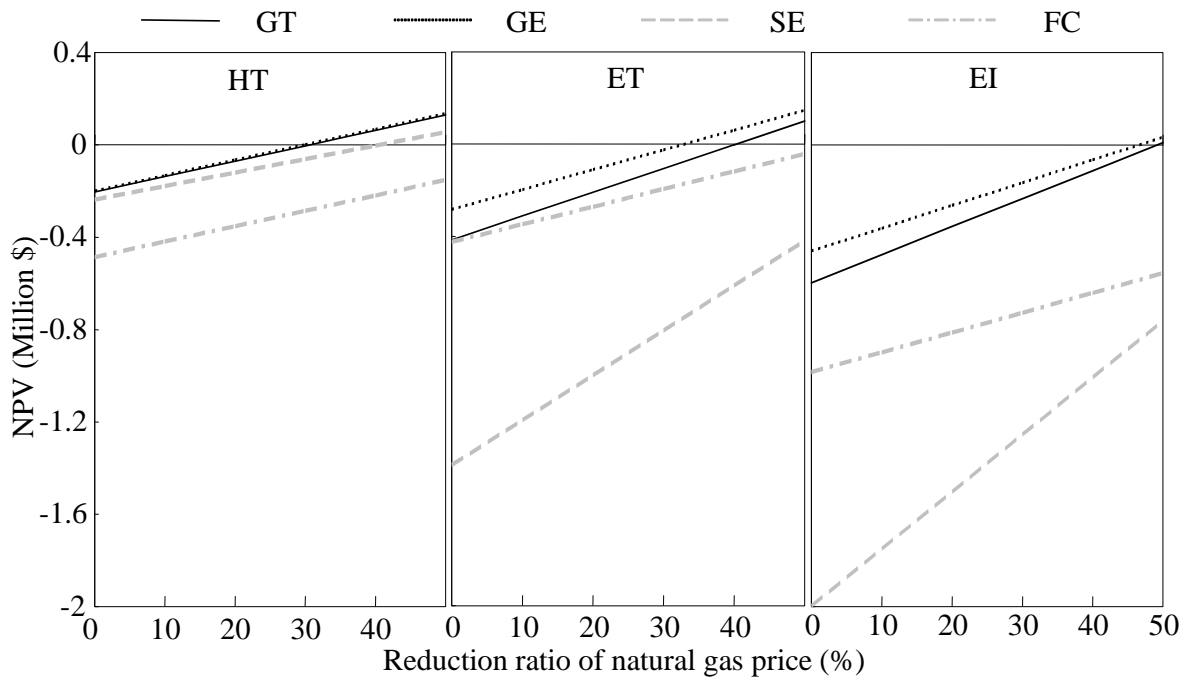


図 5-8 燃料価格の経済性感度解析

5.10 結論

本研究では、様々な原動機およびデザインと管理モードを考慮しながら、対象とする高層住宅における CGS の経済性、環境性、および省エネルギー性を統合的に評価した。分析の結果によると、下記の結論が得る。

① 省エネルギー性および環境性の面から見ると、GE システムおよび FC システムに基づいた CGS は住宅に対する実現可能な技術的なオプションであり、GT と SE システムは需要側との熱電比が異なるため、エネルギー消費量と CO₂ 排出量は従来システムより高いである。

② 経済性の面から見ると、現状では、住宅における CGS の導入は実現可能ではない。

③ 総合的にいえば、経済性を注目する場合、GE システムは最も良いオプションで、そうでなければ、FC システムは最優先の選択である。

④ 特定の設計と管理モードは特定の CGS 技術に適合する。総合的にいえば、HT と EI モードを採用する場合、GE システムは最優先の選択であり、ET モードでは、FC システムが一番良いである。

⑤ 天然ガス価格を減少する方法は住宅における CGS の導入を推進することができる。天然ガスの価格は現状の 70%に達する場合、HT モードを採用する GE システムの経済性は理想的である。

参考文献

- 1) X. Hao, G. Zhang, Y. Chen : Role of BCHP in energy and environmental sustainable development and its prospects in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(8) (2007), pp. 1827-1842
- 2) J. Wang, C. Zhang, Y. Jing : Multi-criteria analysis of combined cooling, heating and power systems in different climate zones in China, *Applied Energy* 87(4) (2010), pp. 1247-1259
- 3) J. Wang, Z. J. Zhai, C. Zhang, Y. Jing : Environmental impact analysis of BCHP system in different climate zones in China, *Energy* 35(10) (2010), pp. 4208-4216
- 4) J. Wang, Z. J. Zhai, Y. Jing, C. Zhang: Optimization design of BCHP system to maximize to save energy and reduce environmental impact, *Energy* 35(8) (2010), pp. 3388-3398
- 5) J. Wang, Z. J. Zhai, Y. Jing, C. Zhang : Influence analysis of building types and climate zones on energetic, economic and environmental performances of BCHP systems, *Applied Energy* 88(9) (2011), pp. 3097-3112
- 6) H. Ren, W. Zhou, K. Nakagami, W. Gao, Q. Wu : Feasibility assessment of introducing distributed energy resources in urban areas of China, *Applied Thermal Engineering* 30(16) (2010), pp. 2584-2593
- 7) J. Cao, F. Liu : Simulation and optimization of the performance in the air-conditioning season of a BCHP system in China, *Energy and Buildings* 30(3) (2008), pp. 185-192
- 8) National Bureau of Statistics of China,
<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>
- 9) W. G. Cai, Y. Wu, Y. Zhong, H. Ren : China building energy consumption: Situation, challenges and corresponding measures, *Energy Policy* 37(6) (2009), pp. 2054-2059
- 10) Y. Ruan : Integration study on distributed energy resource and distribution system, Ph.D. thesis, The University of Kitakyushu, 2006
- 11) Delta Energy & Environment : New Technologies for CHP Applications, Report commissioned by the CHP Policy Group, 2006
- 12) A. Pourmovahed, T. Opperman, B. Lemke : Performance and Efficiency of a Biogas CHP System Utilizing a Stirling Engine, *Proceedings of International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 2011
- 13) Y. Ruan, Q. Liu, W. Zhou, R. Firestone, W. Gao, T. Watanabe : Optimal option of distributed generation technologies for various commercial buildings, *Applied Energy* 86(9) (2009), pp. 1641-1653
- 14) R. Firestone : Distributed energy resources customer adoption model technology data,

- Berkeley Lab, Berkeley, CA, USA (2004)
- 15) Yanmar Co., Ltd, <<http://www.yanmar.co.jp/news/2008/1021.html>>.
 - 16) Fuji Electric Co., Ltd,
<http://www.fujielectric.co.jp/products/fuelcell/pafc/spec.html>
 - 17) J. Wang, Y. Jing, C. Zhang : Optimization of capacity and operation for CCHP system by genetic algorithm, Applied Energy 87 (4) (2010), pp. 1325-1335.
 - 18) Shanghai Electric Power Co., Ltd., <<http://www.shanghaipower.com/>>.
 - 19) Shanghai Gas Co., Ltd., <<http://www.shgas.com.cn/main.asp#>>.
 - 20) J. Wang, Z.J. Zhai, Y. Jing, C. Zhang : Influence analysis of building types and climate zones on energetic, economic and environmental performances of BCHP systems, Applied Energy 88(9) (2011), pp. 3097-3112

第6章 地域における分散型エネルギーシステムの導入効果に関する検討

6.1 概要

6.2 研究対象

6.3 エネルギー負荷の設定

6.3.1 上海市のエネルギー消費原単位

6.3.2 エネルギー需要量

6.4 気候データ

6.5 エネルギー設備の選定

6.6 分析ケースの設定

6.7 他の要素設定

6.8 結果の解析

6.8.1 設備の導入容量

6.8.2 システムの運転パターン

6.8.3 省エネルギー性評価

6.8.4 環境性評価

6.8.5 経済性評価

6.9 結論

参考文献

6.1 概要

21 世紀に入ってから、地球温暖化の急速な進行は地球そして人類の生存に関わる大きな転換点を迎えようとしている上に、持続可能かつ自立型の都市とまちづくりの重要性はますます高くなっている。こうした背景を踏まえ、国際大都市上海市では、「ゼロ・カーボン」を目指した市街地の再開発として、太陽光や太陽熱等の自然エネルギー、省エネ住宅や超長期住宅、カーシェアリング、エネルギーマネジメント導入によるエネルギー利用の最適化等、先進的な技術やシステムを集積した低炭素コミュニティの形成をモデル地区で推進している。そのコンセプトでは、多様な世帯の人が「つながる」ことによって、心豊かな暮らしと利便性の高い生活環境を享受できると共に、地球環境に優しいゼロ・カーボンでかつ安全・快適な生活を送ることができる持続可能な低炭素コミュニティの創造である。

上海市は南匯区の臨港新城と崇明島の後発組としての利点を十分に活かして、低炭素経済の発展を達成するための政策的枠組を制定し充実させ、両地域に複数の低炭素コミュニティ、低炭素商業区、低炭素産業パークなどからなる「低炭素発展総合実践区」を建設し、低炭素技術の集約・応用を促進し、両地域の低炭素経済の発展を推進し、上海市を低炭素都市に生まれ変わらせるための新たな発展モデルを模索してきた。上海国際博覧会（上海万博）の会場エリアでも、低炭素経済の発展に向けてさまざまな試みがなされている。特に、現在開発中の虹橋商務区は上海初の低炭素都市モデルエリアと位置付けられ、エネルギー使用量の削減や利用効率の向上などを通じ、環境配慮型の新都市の構築を目指しています。まちづくりにおいては、「環境と技術のまち」を目標に、モデル地区を地域拠点と位置付けて、先進のモデルになるような街区をつかっていくため、重点街区では、基盤整備の段階から低炭素化技術・方策を導入する。

低炭素化を実現するのポイントとして、まず、どうしても必要なエネルギーを再生可能なエネルギーや有効な地域分散型エネルギーシステムに転換して、大幅な CO2 削減を可能にしようというのが基本的な考え方である。

上海市では、「ゼロ・カーボン街区」を目指して、自家用車を持たなくも暮らせるように公共交通施設を強化し、省エネ住宅がつくり、太陽光発電をメインに地中熱などを利用し、エネルギーのマネジメントや、緑化・自然利用など様々な取り組みを総合的に入れていくと考えている。その中で、都市ガスを活用した高効率な地域エネルギーの供給は「ゼロ・カーボン街区」を実現するための重要なカギになっている。本章では、都市ガスでの地域の従来と異なる新しい供給システムを提案し、そのシステムの経済性・省エネルギー性・環境性を検討し、実現できるように実施プロセス及びマネジメントの仕組みについて考案することを目的とする。

6.2 研究対象

本研究では、上海市に位置するある「低炭素先進モデル街区」を対象とし、地域分散型エネルギーの導入について検討を行う。

「低炭素先進モデル街区」の構想では、住宅地として良好なまちづくりの基盤整備と共に、戸建住宅約 400 戸、集合住宅約 800 戸、合計約 1200 戸を計画し、省エネ住宅や長期優良住宅を導入する。

以下の分析では、「低炭素先進モデル街区」整備計画の検討報告について提案されている「エコフロントの生活利便施設」（次のページの表 6 - 1 参照）を対象とし、地域分散型エネルギーシステムの導入計画を検討する。

表 6 - 1 生活利便施設の仕様

検討施設	施設例	延べ床面積 (㎡)	備考
総合医療施設	診療所	1,500 ㎡	内科、歯科、小児科など
	入院施設		
エネルギーセンター	エネルギー関連設備室		
	コントロールルーム	200 ㎡	データセンター含む
	エネルギーマネジメント事務所	100 ㎡	
高齢者福祉施設	デイサービスセンター	500 ㎡	
	生きがいつくりサロン	200 ㎡	
スポーツ・健康施設	フィットネスジム	500 ㎡	プール、温浴設備、サウナ…
	体育館	600 ㎡	
	保健・健康づくり指導ルーム	200 ㎡	
保育・託児・教育施設	保育・託児所	200 ㎡	
	子育てサロン	200 ㎡	
	学習塾	500 ㎡	
商業・飲食施設	スーパー	1,000 ㎡	
	小規模テナント	500 ㎡	クリーニング、本屋、薬局…
	喫茶・軽食	300 ㎡	
	レストラン		
	フードコート		
コミュニティーセンター	タウンマネジメント会社事務所	300 ㎡	
	会議室・講座室・サークル用教室	500 ㎡	
	料理教室	200 ㎡	
	スタジオ	100 ㎡	
	情報発信センター	100 ㎡	
合計		7,700 ㎡	

6.3 エネルギー負荷の設定

コージェネレーションシステム（CGS）などの地域分散エネルギーシステムでは、一般的に原動機によって発電機を駆動するため、建物の電力負荷を精度よく予測することと、適切なエネルギーシステムを計画・設計するのが重要なことですが、単に電力負荷の年間ピーク値を求めるだけでなく、時刻別、曜日別、季節別に予測しなければならないのが特徴がある。なぜならば、時刻別、曜日別、季節別の電力負荷パターンによって、CGSの主要な仕様（発電機容量、台数、運転時間帯、制御方法など）が決まるからである。また、CGSで回収された熱エネルギーがどのように有効に利用できるかによって、その適否が左右されるので、冷房熱需要、暖房熱需要、給湯熱需要、その他の熱需要等の熱負荷を建物用途の実態にあったものとして適切に把握するのが必要である。

本研究では、生活利便施設のエネルギー負荷を計算するため、建物用途別の延床面積に床面積当りの建物用途別エネルギー消費量（原単位）を乗じて求める方法を利用する。

6.3.1 上海市建物別エネルギー消費原単位

建築の原単位とは、建物の単位延べ床面積当たりの用途別エネルギー・水消費量を建物種別及び使用用途別に整理した数値である。主に都市や地域レベルのエネルギー（冷熱、温熱、電力）及び水の需要量の算定に用いることを目的としている。

地球温暖化などを背景とし、世界的に民生・業務用建物の省エネルギー・CO₂削減に対する取り組みはより重要になってくる。特に日本では、地球温暖化防止条約（COP3）を承認し、その約束期間にCO₂削減は2008年から2012年までの5年平均で、1990年と比べて6%削減を義務付けられている。一方で、事務所のOA化の進展や外資系企業進出に伴う業務形態の変化、商業施設の大型専門化、インターネットデータセンターやSOHOなどの新用途建物の出現など、建物の複合化や多様化により民生用建物でのエネルギー需要は年々増加してくる。

建物用途別分類に関する文献は数多いが、表6-2に示すように、一般的には主に住宅系、業務系、商業系、宿泊系、医療系、文化、教育系及びその他、すべてが7種類に分けられている。

項目別では、最大熱負荷、月別、時刻別の負荷変動、年間熱負荷及び地域係数に分け、更に、熱種別では、冷熱（冷房）、温熱（暖房+給湯）に分けている。

日本では、熱負荷関連の調査で参考とした文献は数多いである。例えば、IBECからの今博徒エネルギー供給システムの開発；NIRAからの分散型電源システムの最適化に関する調査；尾島俊雄からの建築光熱水費；東京都公害局からの建築設計資料集成；日本ガス協会からの大規模CGSの導入評価と次世代CGS技術研究会；空気調和・衛生工学会から出ているCGS設計法に関する指導要綱などがある¹⁻³⁾。

とりわけ、早稲田大学理工学部建築学科尾島俊雄研究室では、はやくから建物のエネルギー消費量に着目し、今から40年前の冷蔵倉庫のエネルギー消費量調査を皮切りに、現在

まではほぼ毎年により多種多用途の建物のエネルギー消費量の調査を行っている。現在では約 2000 件の建物データを保有するまでに至った。これらの調査結果は、研究論文として発表し続けていると共に、10 年ごとにそれをまとめた本が出版している。

表 6-2 建物用途別分類

分類番号		大分類	中分類
1	住宅系	集合住宅	
2	業務系	業務施設	一般事務所(大)
			一般事務所(中)
			電算センター
			銀行、官公庁
3	商業系	商業施設	デパート
			物流
			飲食
4	宿泊系	宿泊施設	
5	医療系		病院
6	文化、教育系	文化、教育施設	劇場、アトリウム
			図書館
			美術館
			教育(塾含む)
			スポーツ
7	その他	交通施設	地下鉄駅舎
			地下街

一方、現在、中国では建物の単位延べ床面積に当たりの用途別エネルギー消費量に関するデータがすくない。幅広い範囲への実測データによりエネルギー消費量を整理するのが非常に難しい。資金と研究者の不足はもっとも重要な問題点だと言える。全国の 28 省・市を回りながら計測するのはずいぶん時間がかかり、数多くの研究員と大量の資金が必修条件だと考え、研究価値がないと思っている人がおおいである。したがって、中国では、都市の建物に関するエネルギー消費量を計算するためには、日本のように用途別のエネルギー原単位を用い、延べ床面積によりエネルギー消費量を得るわけではなく、実際の計測データに基づかなければいけない。しかし、計測されたデータがかなり少ないため、一般的にエネルギー消費量を計算するのが不可能なことになった。

本研究では用途別エネルギー原単位に関する最新のデータを用い、両地域の上海エネルギー原単位を得るため、東京の時刻別エネルギー原単位に基づいて、両地域のデグリーデーを用い、上海のエネルギー原単位を修正した。表 6-3 に上海市と東京都両地域におけるデグリーデーを示す。上海市と東京都における暖房のデグリーデーは 1691 と 1405 であり、両地域の比率は 1.2 になる。同様に、両地域の冷房のデグリーデーの比率は 0.78 である。

表 6-3 上海市と東京都のデグリーデー

項目	上海	東京
緯度	31.23°	35.4°
太陽輻射時間	1800-2000	1800-2000
相対湿度	79%	67%
度日数 - HDD18(暖房)	1691	1405
	1.2	
度日数 - CDD26(冷房)	164	209.6
	0.78	

例として、表 6-4 及び 6-5 では、上海市における事務所とホテルの月別のエネルギー原単位を示す。

表 6-4 事務所のエネルギー原単位

用途名称		事務所			
負荷原単位		電力	冷房	暖房	給湯
		(kWh)	(MCal)	(MCal)	(MCal)
年間負荷	(/m ²)	156	70	31	2.2
年間比 ^{°-h}	(/h·m ²)	0.05	0.09	0.05	0.014
月パターン	期間	電力	冷房	暖房	給湯
1月	暖房期	7.15	0.00	25.93	13.79
2月	暖房期	7.43	0.00	22.79	17.24
3月	暖房期	8.15	0.00	17.66	13.79
4月	中間期	7.90	0.00	4.27	10.34
5月	中間期	8.03	3.92	0.00	6.90
6月	冷房期	8.95	15.67	0.00	3.45
7月	冷房期	10.07	27.63	0.00	3.45
8月	冷房期	9.87	30.72	0.00	3.45
9月	冷房期	8.89	19.79	0.00	3.45
10月	中間期	8.66	2.27	0.00	6.90
11月	中間期	7.22	0.00	7.98	6.90
12月	暖房期	7.68	0.00	21.37	10.34
	合計	100.00	100.00	100.00	100.00

表 6-5 ホテルのエネルギー原単位

用途名称		ホテル			
負荷原単位		電力	冷房	暖房	給湯
		(kWh)	(MCal)	(MCal)	(MCal)
年間負荷	(/m ²)	200	100	80	80
年間ピーク	(/h・m ²)	0.05	0.075	0.067	0.1
月パターン	期間	電力	冷房	暖房	給湯
1月	暖房期	7.50	1.00	20.54	10.14
2月	暖房期	6.50	0.91	17.87	10.07
3月	暖房期	6.80	3.11	14.41	9.51
4月	中間期	7.00	3.89	12.48	8.65
5月	中間期	8.10	7.56	3.07	7.78
6月	冷房期	8.20	14.06	0.00	7.33
7月	冷房期	9.50	21.42	0.00	7.33
8月	冷房期	10.40	24.77	0.00	6.23
9月	冷房期	9.90	14.96	0.00	7.02
10月	中間期	9.40	5.18	0.00	7.57
11月	中間期	8.60	2.14	12.77	8.71
12月	暖房期	8.10	1.00	18.86	9.64
	合計	100.00	100.00	100.00	100.00

事務所においては、電力の年間原単位は 200 kW (134 MCal) で、冷房、暖房、給湯の原単位はそれぞれ 100 MCal、80 MCal、80 MCal であり、年間原単位はもっと大きかった。月パターンから見ると、電力は毎月ほぼ同じ割合で占め、夏季では7月の割合は10.07%、冬季では3月の8.15%、中間期では8.66%がそれぞれのピークになった。一方、冷暖房や給湯は季節によりその消費量が異なるの特徴である。例えば、事務所の場合、冷房の割合としては、5月から10月まで100%を占め、特に7月から8にかけての割合が半数以上で、全体の60%近くになった。暖房は、11月から5月まで使われたが、その中に12月から3月までの割合は90%を上回っていた。さらに、給湯も冬季の割合が大きく占め、55%を超えた。

ホテルの場合には、電力は事務所とほぼ同様なパターンであり、ピークは夏季の8月で10.40%を占めた。しかし、冷房は夏季だけではなく、一年中使えているのが事務所との区別である。したがって、夏季の冷房消費の割合は事務所の100%と違い、75%しかなかった。原因としては、ホテルというのは、お客さんが一年中泊まっている特別な場所のため、サービスが第一位で、いつもお客さんの異なる要求を十分に満足しなければいけないことである。一方、暖房と給湯の消費パターンは事務所とほぼ一致だったが、冬季の割合は事務所より少なかった。

6.3.2 エネルギー需要量

エネルギー需要量を求める方法として下記の式を利用する。

$$\text{エネルギー需要量} = \text{建物用途別延床面積} \times \text{エネルギー消費原単位}$$

建物用途別延床面積は表 6-1 で述べた値を、エネルギー消費原単位は 6.3.1 で述べた値を使用する。算出した各施設のエネルギー需要量を次の図 6-1 から図 6-7 までに示す。これに基づいて、図 6-8 から図 6-11 までは生活利便施設全体の月ごと時刻別（平日）負荷変動を示す。

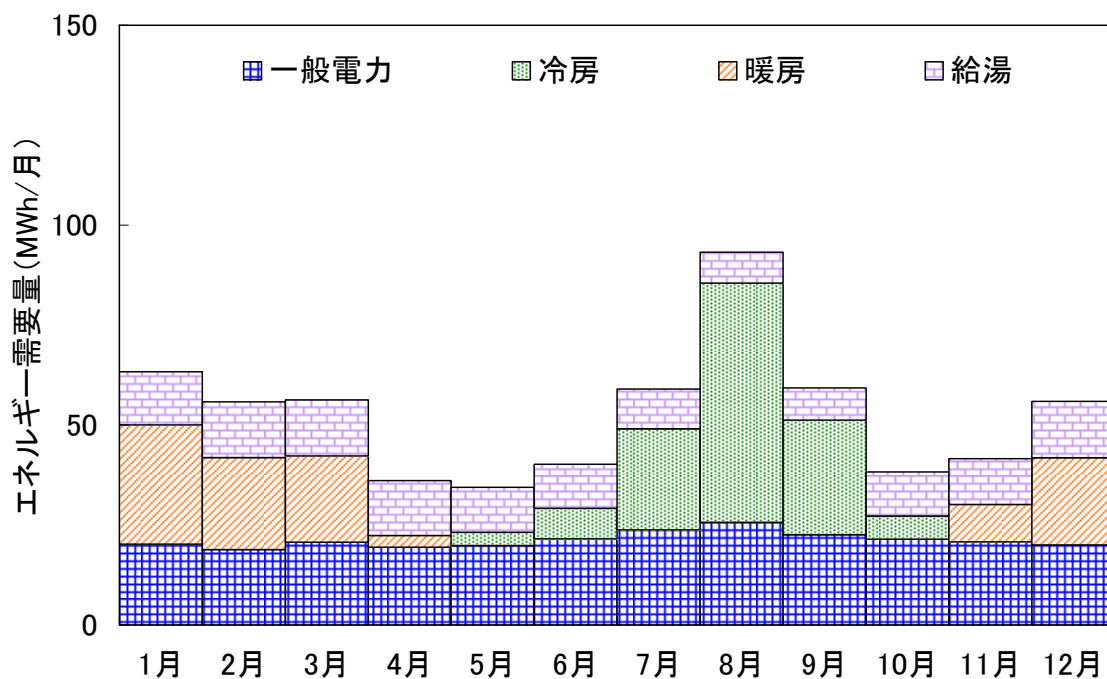


図 6-1 総合医療施設のエネルギー負荷

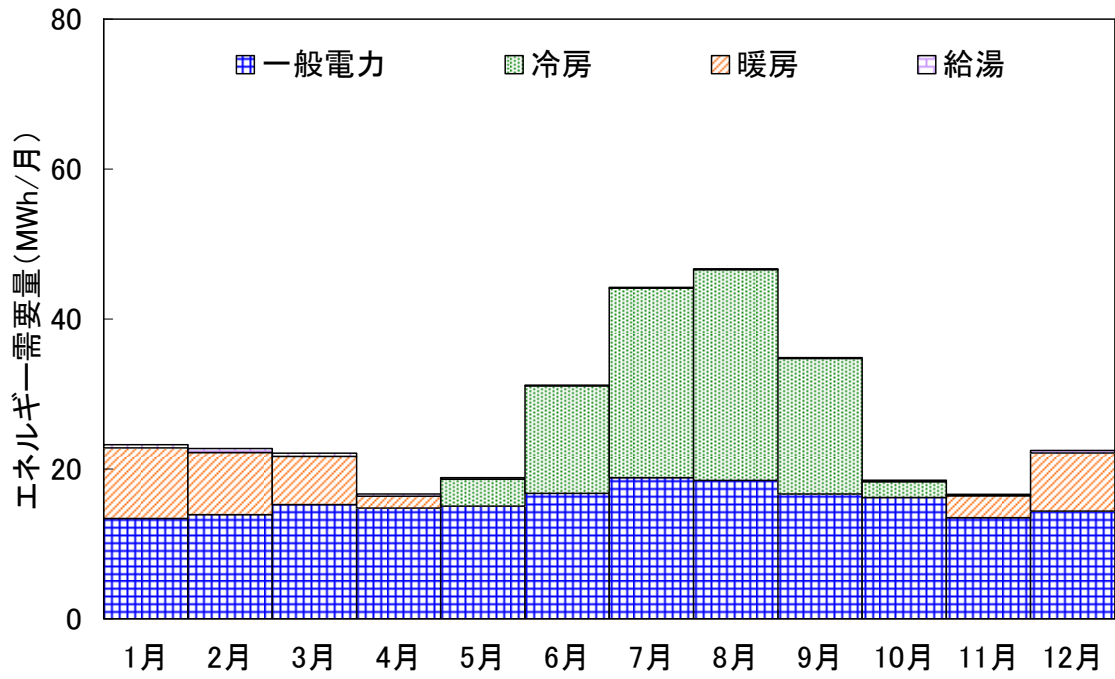


図 6-2 エネルギーセンターのエネルギー負荷

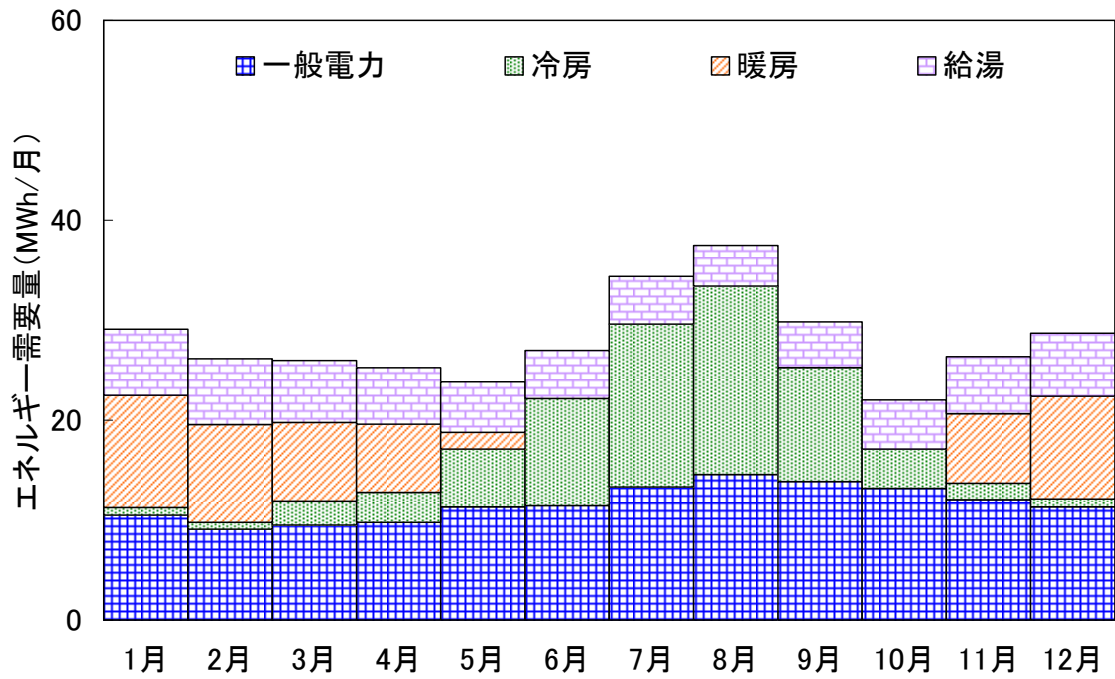


図 6-3 高齢者福祉施設のエネルギー負荷

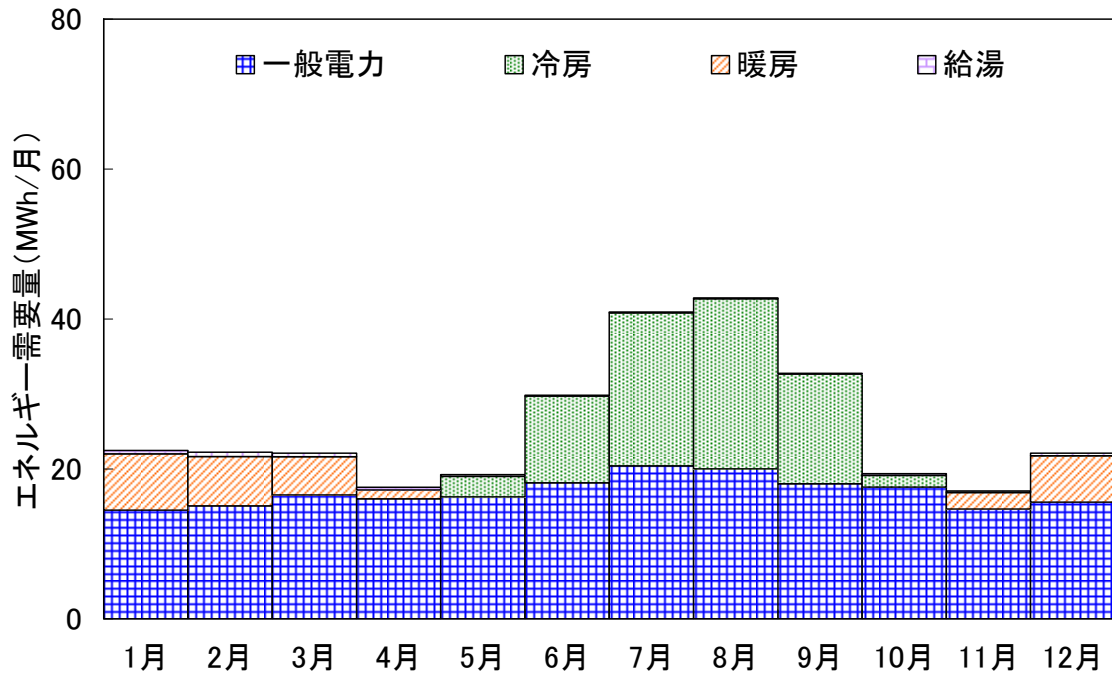


図 6-4 スポーツ・健康施設のエネルギー負荷

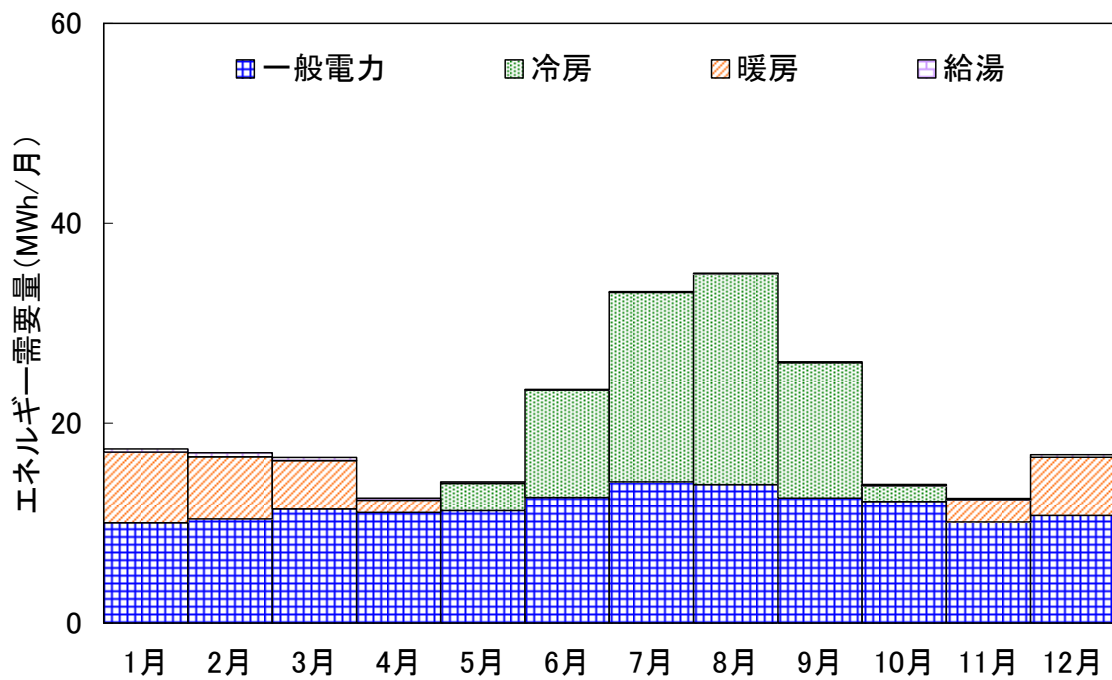


図 6-5 保育・託児・教育施設のエネルギー負荷

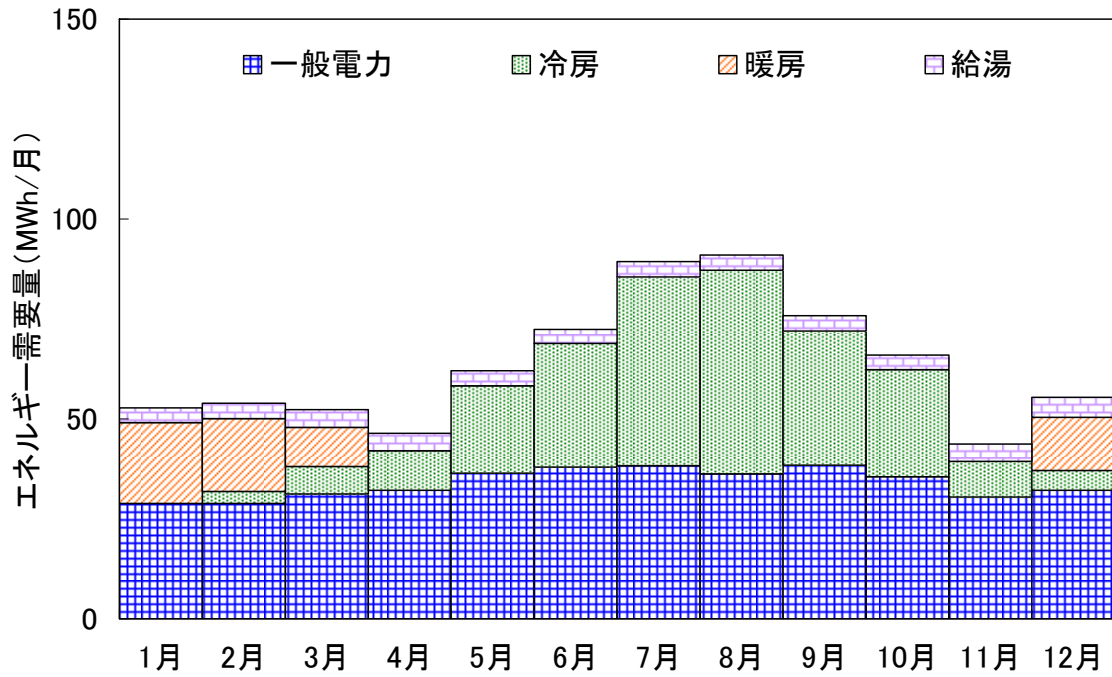


図 6-6 商業・飲食施設のエネルギー負荷

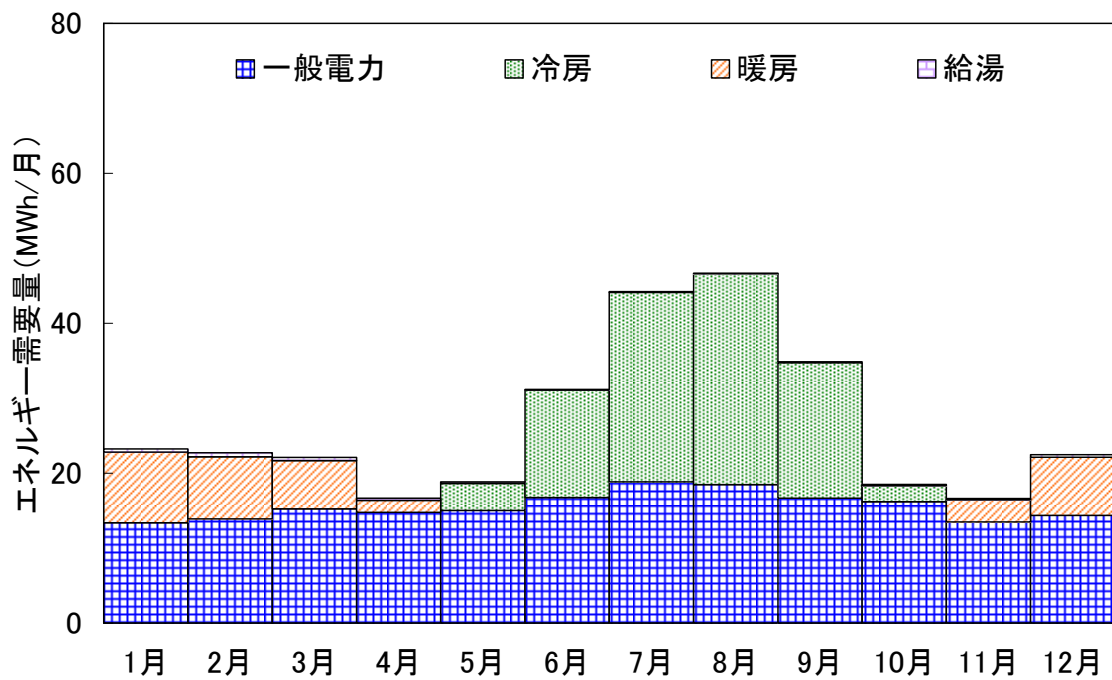


図 6-7 コミュニティーセンターのエネルギー負荷

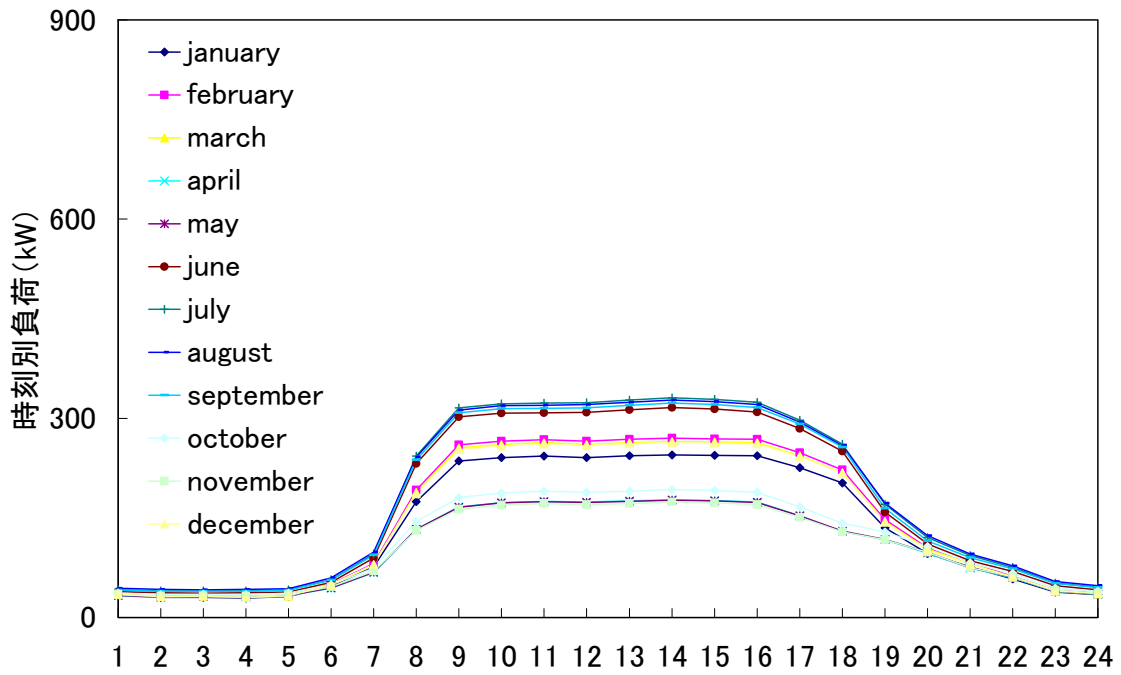


図 6-8 生活利便施設の月ごと時刻別電力負荷

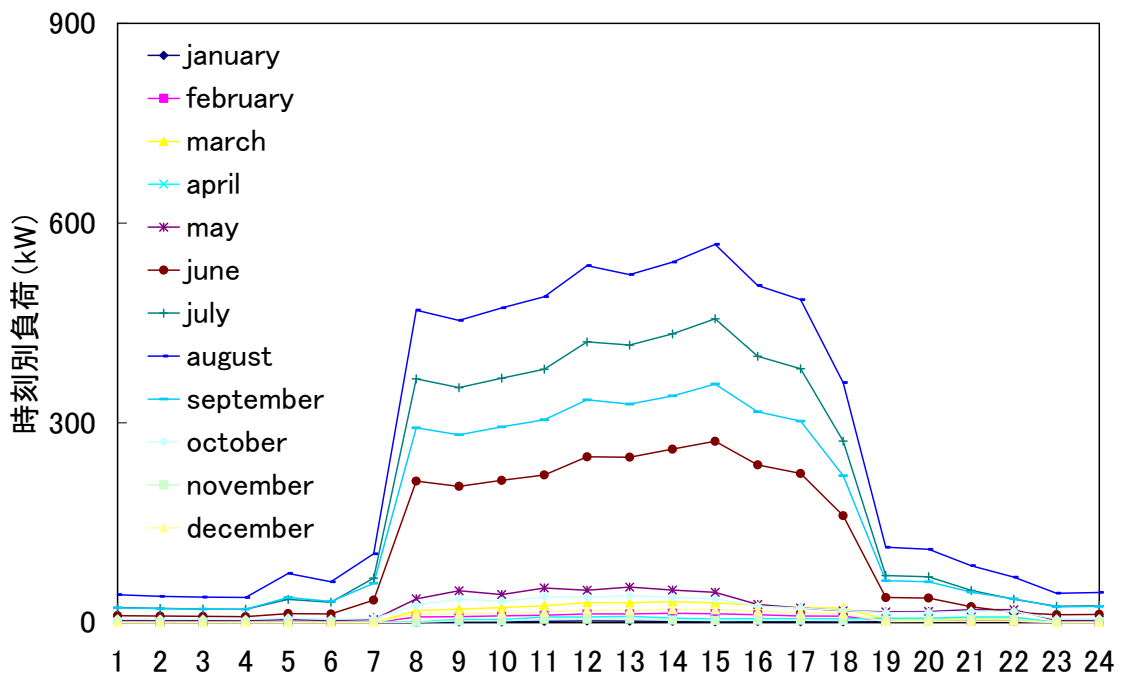


図 6-9 生活利便施設の月ごと時刻別冷房負荷

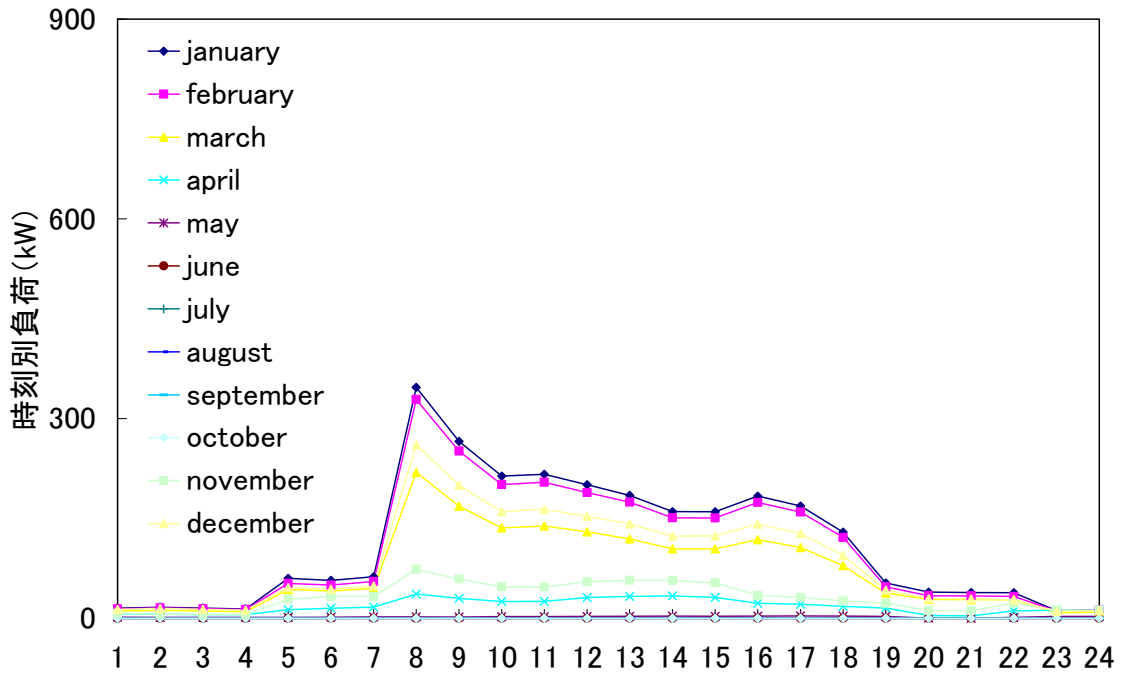


図 6-10 生活利便施設の月ごと時刻別暖房負荷

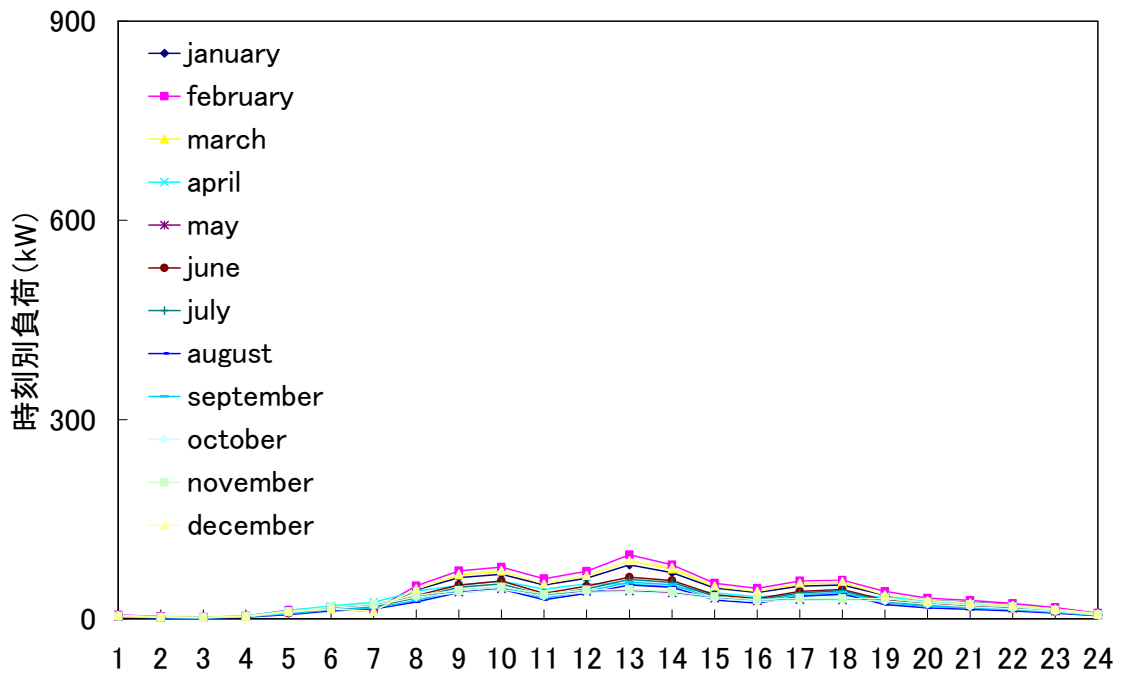


図 6-11 生活利便施設の月ごと時刻別給湯負荷

6.4 気候データ

地域の太陽エネルギーを活用するため、上海市の日射データの実測値を採用している。

図 6-12 と図 6-13 は月別と時刻別の日射データを示している。

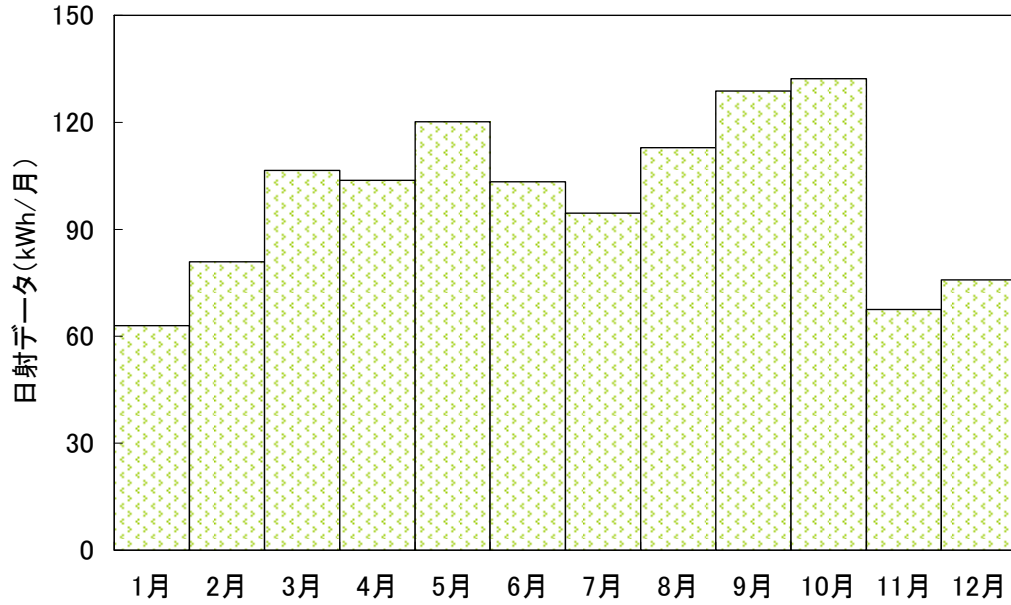


図 6-12 月別日射データ

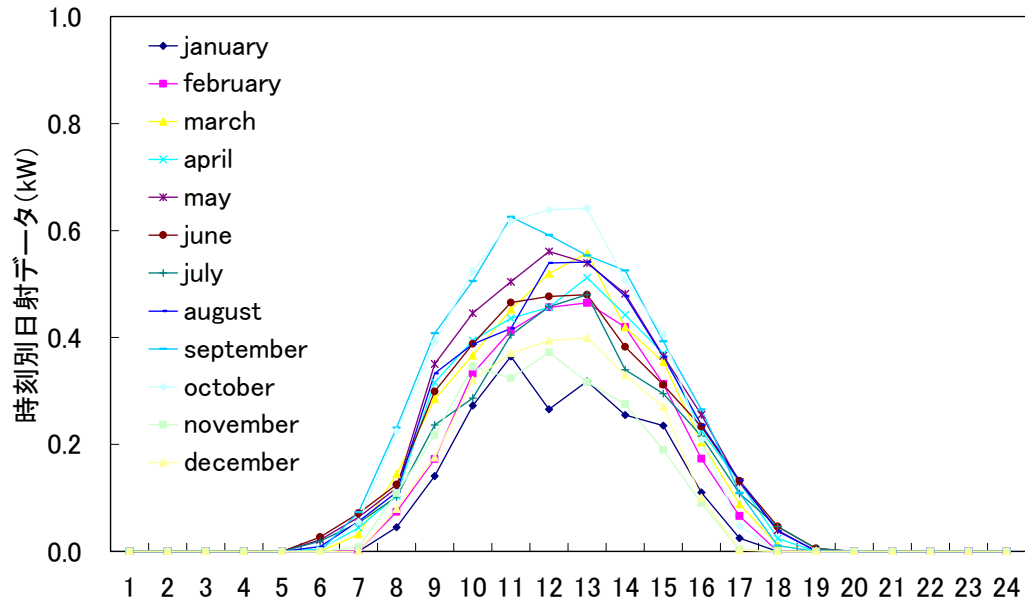


図 6-13 時刻別日射データ

6.5 エネルギー設備の選定

「低炭素先進モデル街区」の一環として、生活利便施設におけるエネルギー設備を選定する時に、以下のように四つの基準に基づく選定する。

- (1) 「ゼロカーボンを目指す」ため、「再生可能エネルギー」を必ず利用する。
- (2) コージェネレーションなどな高効率の機器を組合せ、総合効率の高いシステムを設計する。
- (3) 災害時に安心して暮らせるように、「停電対応」「バックアップ」を充実させる。
- (4) 最新の設備を組合せ、未来の街づくりのモデルとなるように新たな設計を行う。

以上の基準に基づいて、下記の三種類（表 6-6～表 6-8）のエネルギー機器を候補設備（図 6-14 参照）として選定する。

表 6-6 再生可能エネルギーを用いたシステム

機器名	分類	適用施設	備考
ソーラークーリング	セントラル空調	各施設の共用部、体育館、エネルギーセンター、スタジオなど	太陽熱温水器との組合せ
ソーラーリンクエクセル（GHP）	個別空調	病院個室、デーサービス、塾、保育所、スーパー、テナント、レストランなど	太陽光と組み合わせる事で安定した発電が可能
太陽光発電	発電	全施設	
太陽熱温水器	温水器	病院、デーサービス、レストラン等	

表 6-7 高効率設備

機器名	分類	適用施設	備考
ガスコージェネレーション	発電機	各施設の共用部、体育館、エネルギーセンター、スタジオなど	排熱はジェネリンクを用いて空調で使用可能
GHP XAIR	個別空調	病院個室、デーサービス、塾、保育所、スーパー、テナント、レストランなど	

表 6-8 災害時対応機器

機器名	分類	適用施設	備考
BOS マイクロコージェネ	発電機	総合病院、エネルギーセンターなど	停電時には内臓のバッテリーを用いて起動
停電時自立型 GHP	個別空調	病院個室、デーサービス、塾、保育所、スーパー、テナント、レストランなど	熱需要が無くても発電+空調が可能

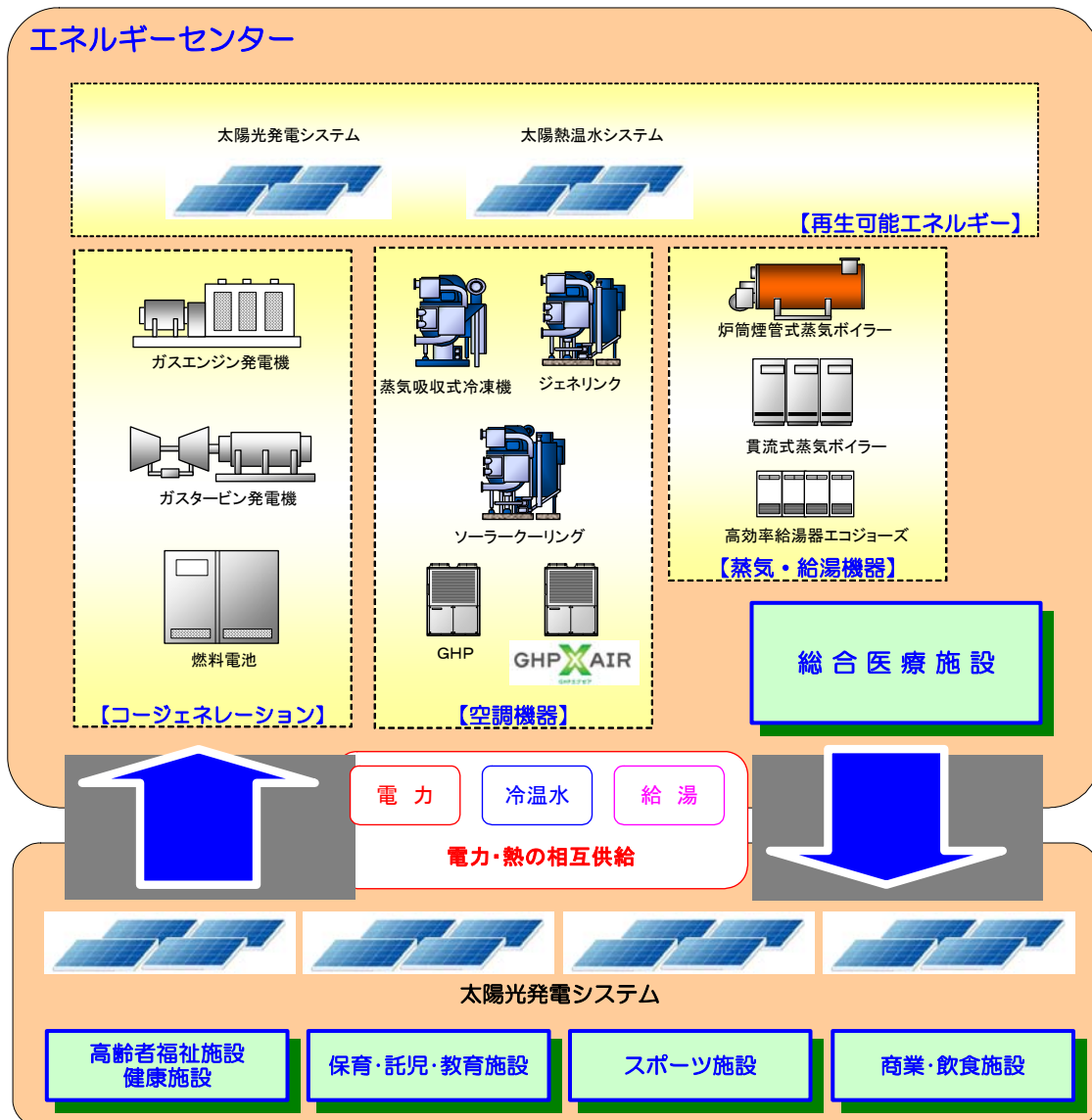


図 6-14 エネルギー設備候補

6.6 分析ケースの設定

前述したエネルギー設備の組合せにより、図 6-15 に示すような地域分散型エネルギー供給システムを構成できる。

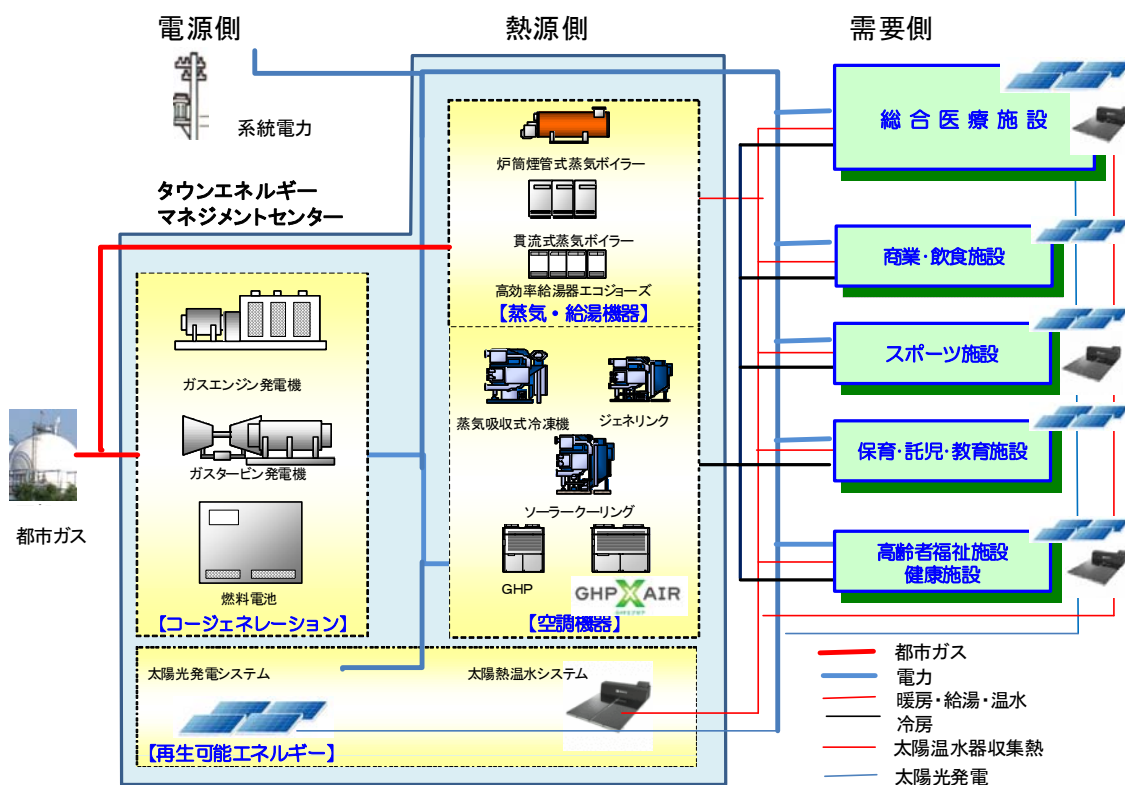


図 6-15 地域分散型エネルギー供給システムのイメージ

本研究では、都市ガスを活用する地域分散型エネルギー供給システムを計画するに当たって、異なる技術のタイプと配置（分散・集中）及びその運転戦略（電主熱従・熱主電従）による影響を考察するため、以下の六つのケースを設定し、検討を行う。

(1) ケース 0：従来システム

ケース 0 は従来型エネルギー供給システムである（図 6-16 参照）。電力負荷が商用電力からの買電し、冷・暖房負荷がビル用マルチから提供し、給湯負荷を給湯器によって賄うシステムである。

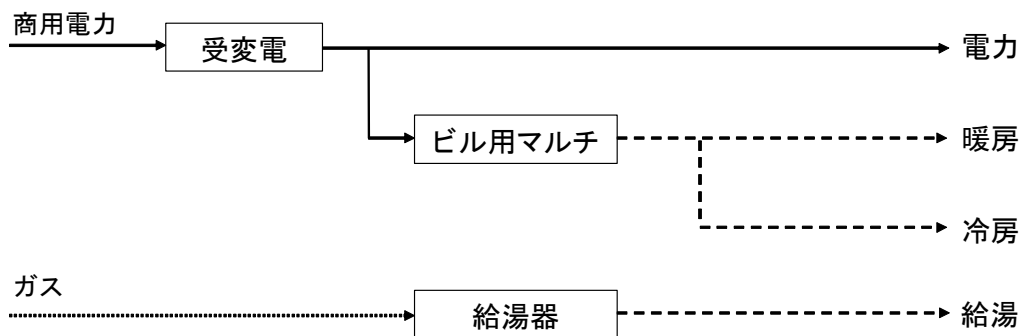


図 6-16 従来システムのフロー

(2) ケース 1： 地域グループ分散供給ケース (GE+PV、電主熱従)

ケース 1 は地域グループ分散供給ケースであり、各施設は独自のエネルギーシステムにより電気と熱を供給することである。具体的に、総合医療施設とスポーツ・健康施設は図 6-17 に示すように、太陽光発電、ガスエンジン及び太陽熱集熱器を導入している。高齢者福祉施設は図 6-18 に示すように、太陽光発電と自立型 GHP を導入している。また、保育・託児・教育施設、商業・飲食施設とコミュニティセンターは図 6-19 に示すように、太陽光発電とソーラーリンクエクセルを導入している。

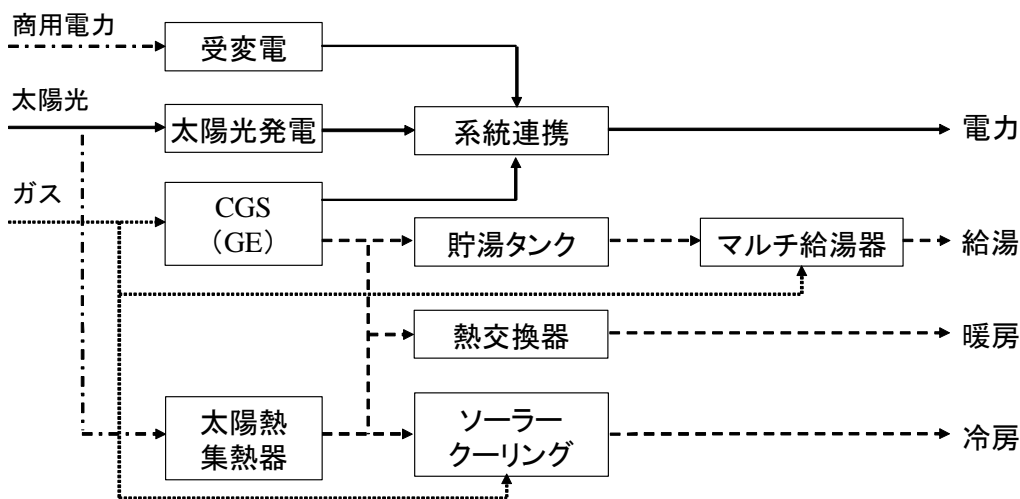


図 6-17 地域グループ分散供給ケース (総合医療施設とスポーツ・健康施設) のフロー

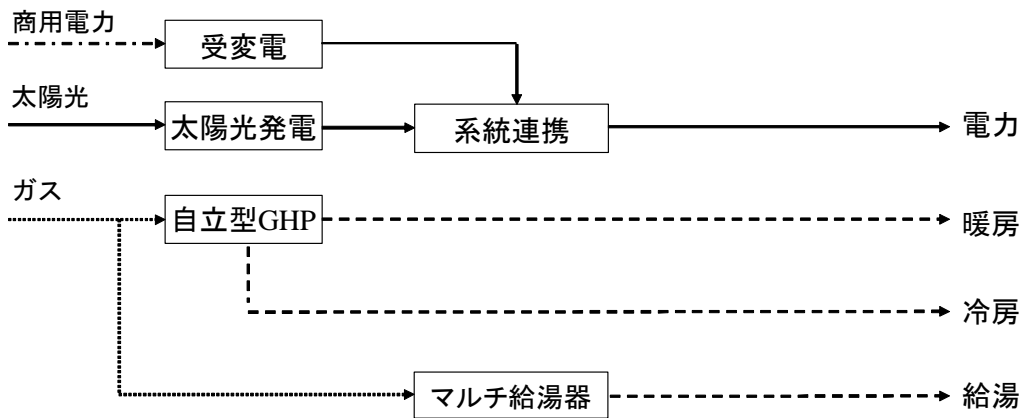


図 6-18 地域グループ分散供給ケース（高齢者福祉施設）のフロー

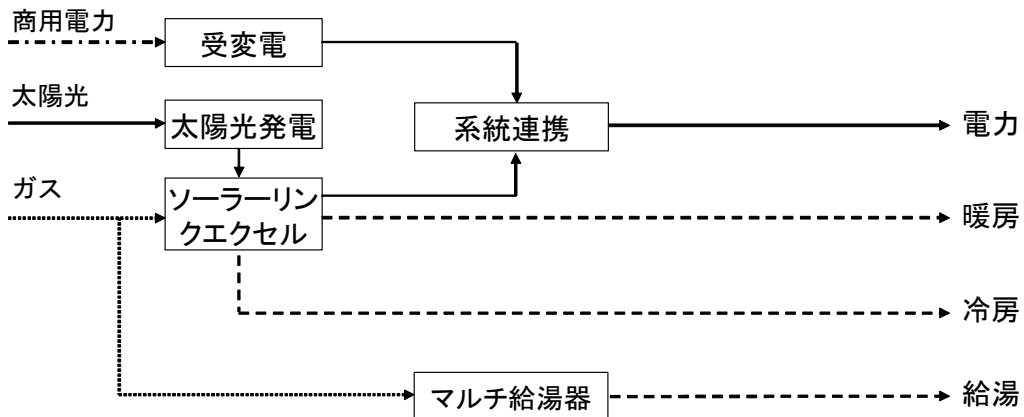


図 6-19 地域グループ分散供給ケース（保育・託児・教育施設、商業・飲食施設とコミュニティセンター）のフロー

(3) ケース 2： 地域一部分散供給ケース（GE+PV、電主熱従）

ケース 2 は地域一部分散供給ケースである。つまり、生活利便施設全体の電力需要と大部の熱需要は地域エネルギーセンターより提供する一方、高齢者福祉施設、保育・託児・教育施設とコミュニティセンターの冷暖房負荷は GHP チラーが満たす。本ケースでは、この三つの施設の運用特性により、居心地のよい環境を自由的に設定できることを考慮している。

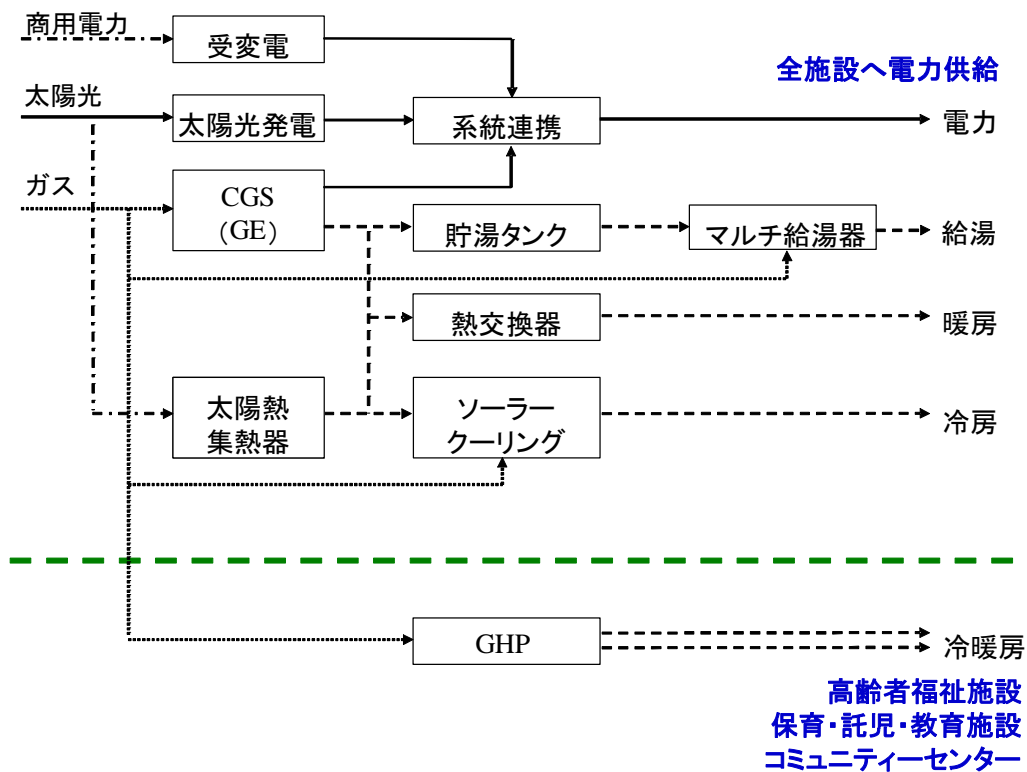


図 6-20 地域一部分散供給ケースのフロー

(4) ケース 3： 地域集中供給ケース（GE+PV、電主熱従）

ケース 3 は地域集中供給ケースであり、生活利便施設の全体の熱と電力負荷は地域エネルギーセンターよりすべて供給する。具体的に、電力負荷を分散型エネルギーシステムに（太陽光発電＋ガスエンジン）による発電出力で賄い、全電力負荷が発電のみで供給できない場合には、不足分は商用系統から買電する。また、運転戦略について、余剰電力を発生しないように、「電主熱従」という運用方法を設定している。つまり、電力負荷に合わせて発電し、排熱を出来るだけ利用することである。

熱負荷について、太陽熱集熱器 CGS からの回収排熱を給湯及び暖房負荷の加熱源として使用する。不足熱量分は天然ガスで補う。また、ソーラークーリングとジェネリンク利用して冷房負荷を満たす。

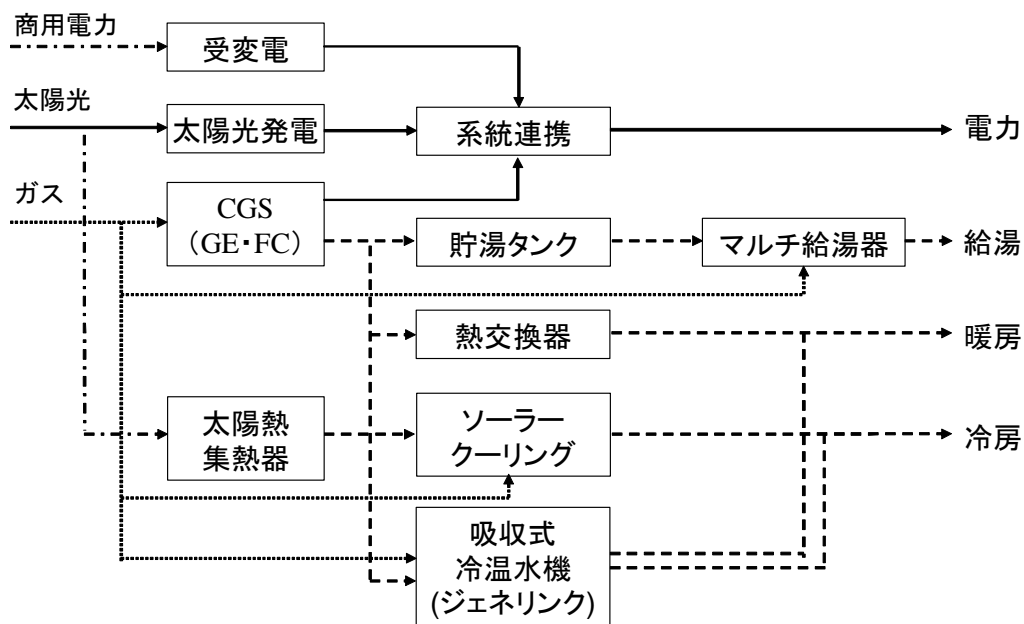


図 6-21 地域集中供給ケースのフロー

(5) ケース 4： 地域集中供給ケース（GE+FC+PV、電主熱従）

ケース 4 も地域集中供給ケースであるが、CGS はガスエンジンだけではなく、燃料電池も導入している。熱と電力の供給方式はケース 3 と同じように考えている。

(6) ケース 5： 地域集中供給ケース（GE+PV、熱主電従）

ケース 5 はケース 3 をベースにして、「熱主電従」という運用方法を採用し、熱負荷によって発電量が変わる

6.7 他の要素設定

本研究では地域分散型エネルギーシステムの経済性を検討するため、各エネルギー設備のコスト情報を従来研究やメーカーの調査等に基づいて設定する⁴⁻⁶⁾ (表 6-9 参照)。また、エネルギー料金は地域の電力、ガス会社のホームページから調べ、料金データベース (表 6-10 を参照) を作成する⁷⁻⁸⁾。

表 6-9 エネルギー設備のコスト情報

設備	容量 (kW)	オーナー引渡し価格 (元)	掛率
ガスエンジン	25	441,030	80%
	35	554,116	80%
燃料電池	100	5,654,240	←工事費込
ジェネリンク	352	1,201,526	←付属品込
GHP	45	124,676	35%
	56	141,299	35%
	71	159,741	35%
ソーラークーリング	281	918,814	概算値
	422	1,307,543	概算値
	528	1,625,594	概算値
ソーラーリンク エクセル	45	234,085	45%
	56	241,718	45%

表 6-10 業務用電気料金

その他季			
	時間帯	時間	料金 (元/kWh)
夜間	22:00-6:00	8	0.33
ピーク	8:00-11:00 18:00-21:00	6	1.07
昼間	6:00-8:00 11:00-18:00 21:00-22:00	10	0.66
夏季			
	時間帯	時間	料金 (元/kWh)
夜間	22:00-6:00	8	0.27
ピーク	8:00-11:00 13:00-15:00 18:00-21:00	8	1.09
昼間	6:00-8:00 11:00-13:00 15:00-18:00 21:00-22:00	8	0.70

天然ガス料金について、発電用ガス消費は 2.43 元/m³ である。一般用途のガス消費について、4-11 月分は 3.69 元/m³ であり、12-3 月分は 3.99 元/m³ である。

他方、地域分散型エネルギーシステムの省エネルギー性を評価するため、商用電力の発電効率を 36% と設定している。また、システムの環境性を検討するため、系統電力の CO₂ 排出係数は 0.94 Kg-CO₂/kWh に設定し、都市ガスの CO₂ 排出係数は 0.22 Kg-CO₂/kWh と設定している。

6.8 結果の解析

6.8.1 設備の導入容量

エネルギー設備の導入容量の決定は地域エネルギー供給システム計画の重要な一環とし、システムの運転効果（省エネルギー性・環境性・経済性）にも影響を与える。本研究では、CGSの導入容量は「最大直方体法」という方法を利用して、各ケースのCGS容量を選定する。具体的に、電気負荷（熱主電従の場合は熱負荷）の累積曲線をベースにし、定額容量で年間総発電量（熱主電従の場合は総排熱量）を最大化するという基準に基づいて、設備の容量を決定する。この方法のコンセプトはCGSが地域エネルギー（電力・熱）負荷のピーク値を満たすのではなく、エネルギー負荷の平均値を供給し、不足の分は商用電力とバックアップボイラーにより供給する。

図6-22に示すように、ケース1の総合医療施設とスポーツ・健康施設の最適なCGS容量は32 kWと35 kWである。ケース2～4の最適なCGS容量は166 kWで、ケース5の最適な容量は217 kWである。

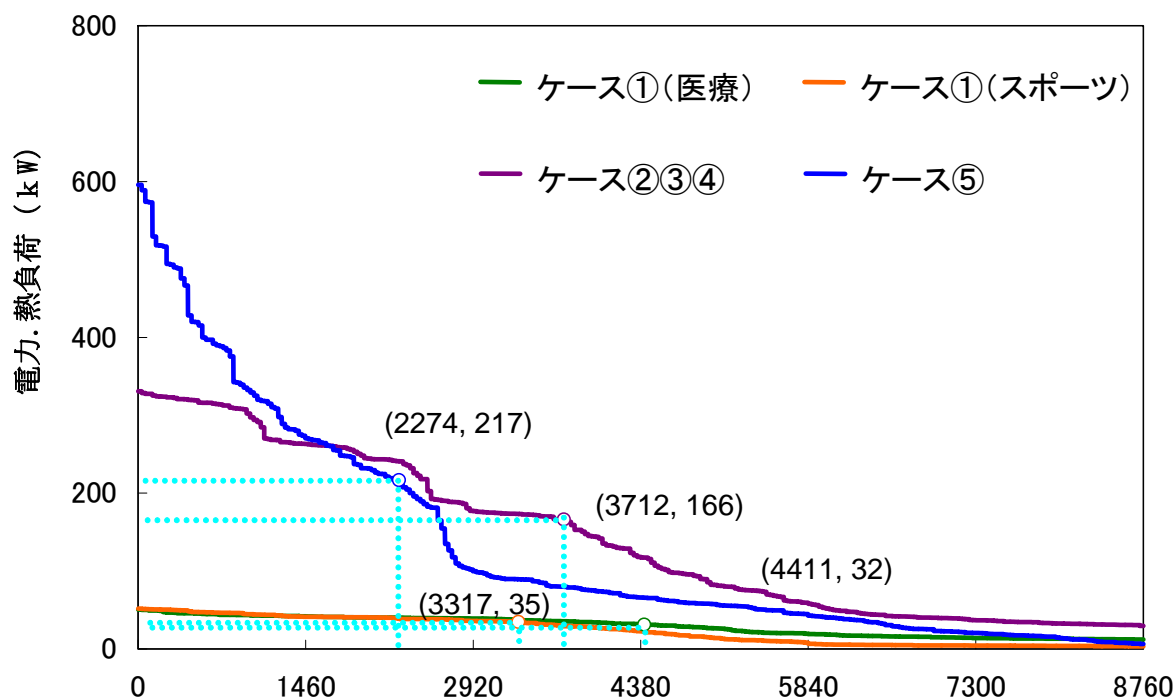


図 6-22 CGS 容量の選定

太陽光発電と太陽熱集熱器と容量は施設の屋根面積により設定する。本研究では、太陽光電池は屋根面積の1/2、太陽熱集熱器は屋根面積の1/3を利用すると仮定している。表6-11は各施設の延べ床面積、屋根面積、設置可能な太陽光電池と太陽熱集熱器の面積を示す。

表 6-11 太陽光発電と太陽熱集熱器の容量設定

検討施設	延べ床面積 (m ²)	階数	屋根面積 (m ²)	PV 設置面積 (m ²)	PV 容量* (kW)	太陽熱集熱器面積 (m ²)	太陽熱集熱器容量** (ピーク kW)
総合医療施設	1500	3	500	250	40	167	83
エネルギーセンター	300	2	150	75	12	50	25
高齢者福祉施設	700	1	700	350	56	233	117
スポーツ・健康施設	1300	2	650	325	52	217	108
保育・託児・教育施設	900	2	450	225	36	150	75
商業・飲食施設	1800	2	900	450	72	300	150
コミュニティーセンター	1200	2	600	300	48	200	100
合計	7700	-	3950	1975	316	1317	658

* 太陽電池の定額容量は 0.16kW/m² と仮定；

** 太陽熱温水器の定額容量は 0.50kW/m² と仮定。

また、吸収冷温水機、ジェネリンク、GHP、ソーラークーリング、ソーラーリンクエクセルの容量は冷暖房負荷のピーク値により設定する。

以上の設定方法に基づいて、表 6-12 は各ケースにおける発電設備及び熱源設備の容量を示している。また、表 6-13 は各設備の仕様などの一覧表である。

表 6-12 設備容量の設定

ケース		設備容量 (kW)							
		ガスエンジン	燃料電池	太陽光発電	ジェネリンク(冷房能力)	GHP(冷房能力)	太陽熱集熱器	ソーラークーリング(冷房能力)	ソーラーリンクエクセル(冷房能力)
ケース①	総合医療施設	35	-	40	-	-	83	281	-
	高齢者福祉施設	-	-	56	-	90 (45×2)	-	-	-
	スポーツ・健康施設	35	-	52	-	-	108	281	-
	保育・託児・教育施設	-	-	8*+52	-	-	-	-	112 (56×2)
	商業・飲食施設	-	-	20*+100	-	-	-	-	280 (56×5)
	コミュニティセンター	-	-	12*+68	-	-	-	-	135 (45×3)
ケース②	エネルギーセンター等	165 (35×4+25)	-	316	-	-	658	422	-
	高齢者福祉施設	-	-		-	71		-	-
	保育・託児・教育施設	-	-		-	101 (45+56)		-	-
	コミュニティセンター	-	-		-	127 (56+71)		-	-
ケース③	165 (35×4+25)	-	316	352	-	658	528	-	
ケース④	70 (35×2)	100	316	352	-	658	528	-	
ケース⑤	140 (35×4)	-	316	352	-	658	528	-	

* ソーラーリンクエクセルの容量に合わせて設定する。

表 6-13 設備の仕様

設備	型式	発電効率(%)	総合効率(%)	冷房 COP
ガスエンジン	CP35VC-TN	33.5	85.0	-
	CP25VB3	34.0	85.0	-
燃料電池	FP-100i	42.0	92.0	-
太陽電池	NQ-209LW	16.0	-	-
ジェネリンク	BUWL-WE100FG	-	-	1.5
GHP	SGP-H450S1GD	-	-	1.5
	SGP-H560S1GD	-	-	1.4
	SGP-H710S1GD	-	-	1.2
ソーラークーリング	TZU80	-	-	1.3
	TZU120	-	-	1.3
	TZU150	-	-	1.3
ソーラーリンクエクセル	SGP-GP450M4G2DR	29.0	-	1.5
	SGP-GP560M4G2DR	29.0	-	1.5
バイナリー発電	MB-70H	10.0	-	-

6.8.2 システムの運転パターン

システムの運用特性も地域分散型エネルギーシステムの運転効果（省エネルギー性・環境性・経済性）に大きな影響を与える。以下では、電力消費と熱消費の両面からシステムの運転パターンを解析する。

(1) 電力消費の構成

図 6-23 には年間電力消費量の構成を示している。全体から見ると、ケース 0（従来システム）の冷暖房も電力より供給するから、年間電力消費量は一番多いことが分かった。一方、ケース 1 は分散設備ケースであるため、地域エネルギーセンターの必要性が無くなり、年間電力消費量は集中ケースより低いことを示している。

電源構成の視点から見ると、分散型電源（太陽光発電＋ガスエンジン＋燃料電池）はケース 1～5 の大部の電力需要を満たす、不足の部分は系統電力により賄う。具体的に、分散型が総電力消費の中に占める割合は、ケース 1（分散設備）、ケース 2（一部分散）、ケース 3（集中＋ガスエンジン）、ケース 4（集中＋燃料電池）、ケース 5（集中＋熱主）の順にそれぞれ、76.4%、93.8%、93.8%、94.5%と 48.3%である。ケース 1 では、高齢者福祉施設、保育・託児・教育施設、商業・飲食施設とコミュニティセンターが太陽熱集熱器を設置してなく、その面積を活用して太陽電池を導入するため、太陽光発電は全電力需要の約 43.9%を満たす。また、総合医療施設とスポーツ・健康施設しかはガスエンジンを導入し、CGS の発電は全電力負荷の 32.5%を占める。ケース 2 とケース 3 では、165 kW のガスエンジンを導入し全電力負荷の 63.6%を供給する一方、太陽光発電は 30.2%を占める。ケース 4 について、100 kW の燃料電池と 70 kW のガスエンジンを導入しているため、燃料電池とガスエンジンの発電量はそれぞれ全電力負荷の 49.3%と 15.0%占める。ケース 5 は「熱主電従」の運転方式を採用し、ガスエンジンの発電量は一番低く、約全電力負荷の 18.1%を占める。

以上の分析から見ると、地域エネルギーシステムの活用により、生活利便施設の大部の電力負荷はオンサイトで作ることができる。特に、地域エネルギーセンターを設置する集中ケースを計画し、「電主熱従」の運転方式を採用する場合、90%以上の電力は地域エネルギーシステムより供給できる。また、各施設の屋根を利用して太陽光電池の導入効果も優れていることが分かった。

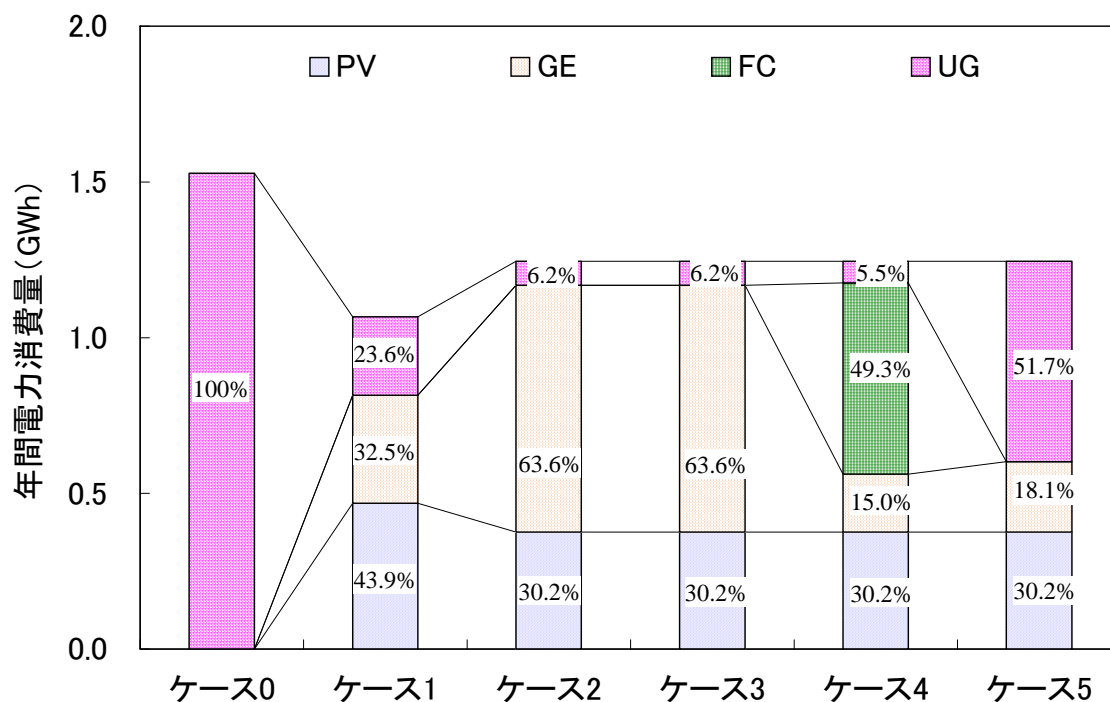


図 6-23 年間電力消費量の構成

図 6-24～4-27 はケース 1、ケース 2 と 3、ケース 4 及びケース 5 の月別電力消費量の構成を示している。全体から見ると、中間期（4 月、5 月、10 月と 11 月）の電力負荷は冷房期と暖房期より少ないため、全電力負荷は地域エネルギーシステムより供給するケース（ケース 1～4）がある。冷房期の電力負荷は最も多いから、系統電力からの買電量も他の季節より多いことが分かった。

具体的に、前述より、ケース 2～4 では地域エネルギーシステムの容量は大きいため、生活利便施設の月別電力需要の大部は分散型電源より提供する。太陽電池の発電量を見ると、全てのケースにおいて、冬季の発電量は他の季節より少ないことが分かった。

また、ケース 4 について、太陽光発電、燃料電池、ガスエンジン、系統電力という順に採用するため、中間期ではガスエンジンの発電量は限定的である。ケース 5 について、「熱主電従」の運転方式を採用し、中間期の熱需要は少ないため、ガスエンジンから発電量も限定的である。

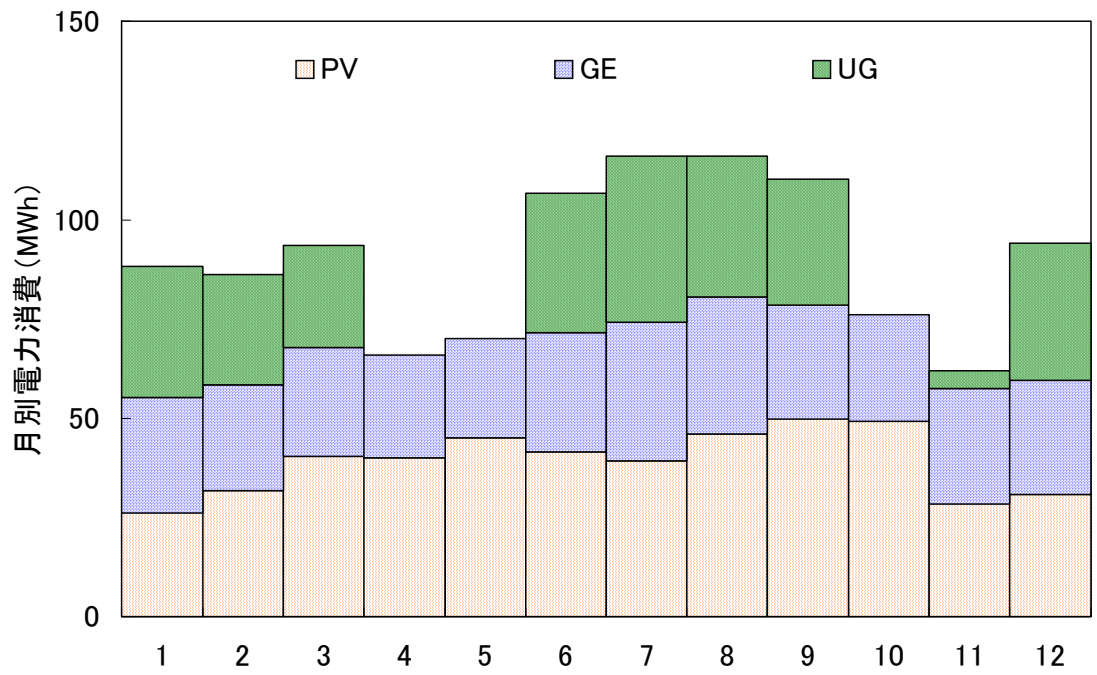


図 6-24 月別電力消費量の構成 (ケース 1)

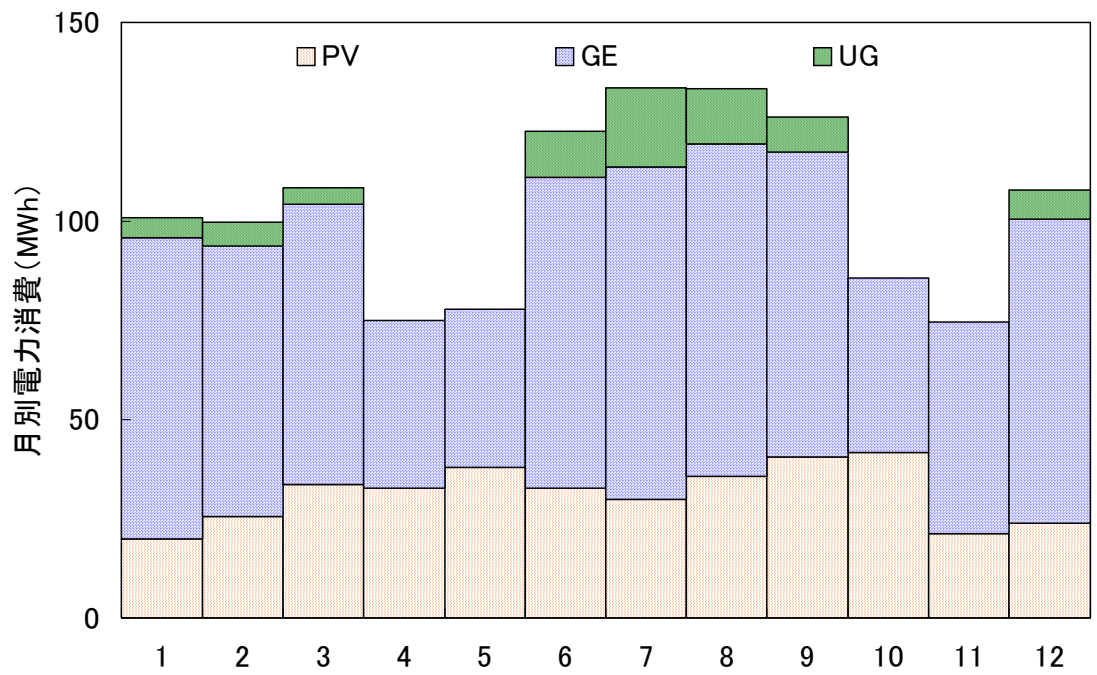


図 6-25 月別電力消費量の構成 (ケース 2 と 3)

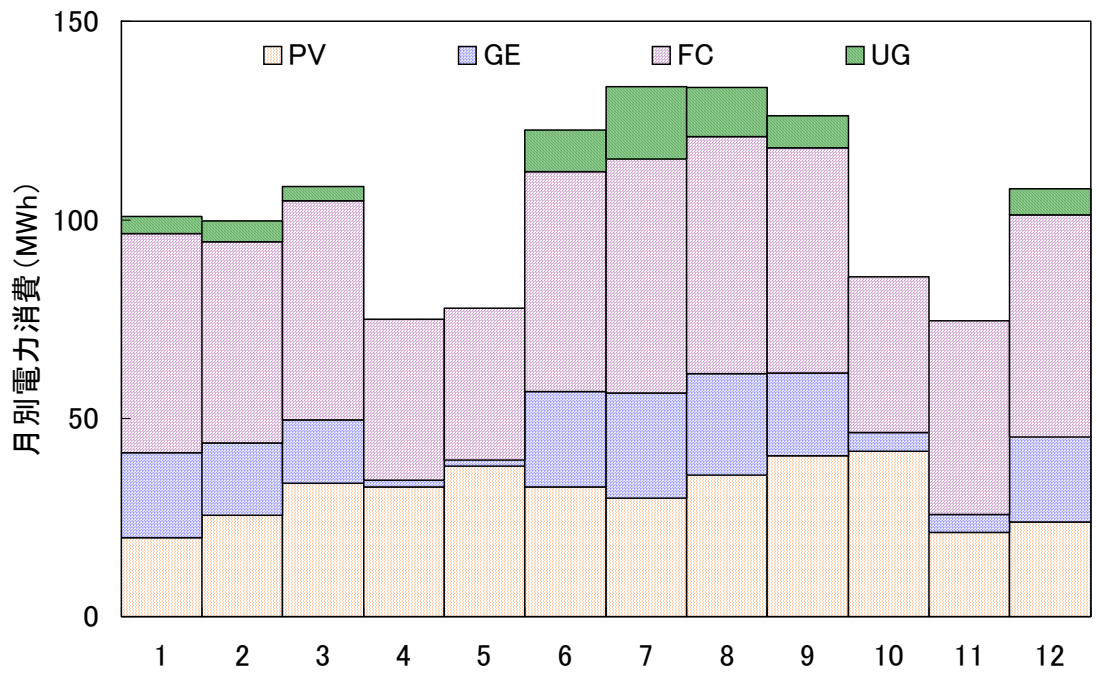


図 6-26 月別電力消費量の構成 (ケース 4)

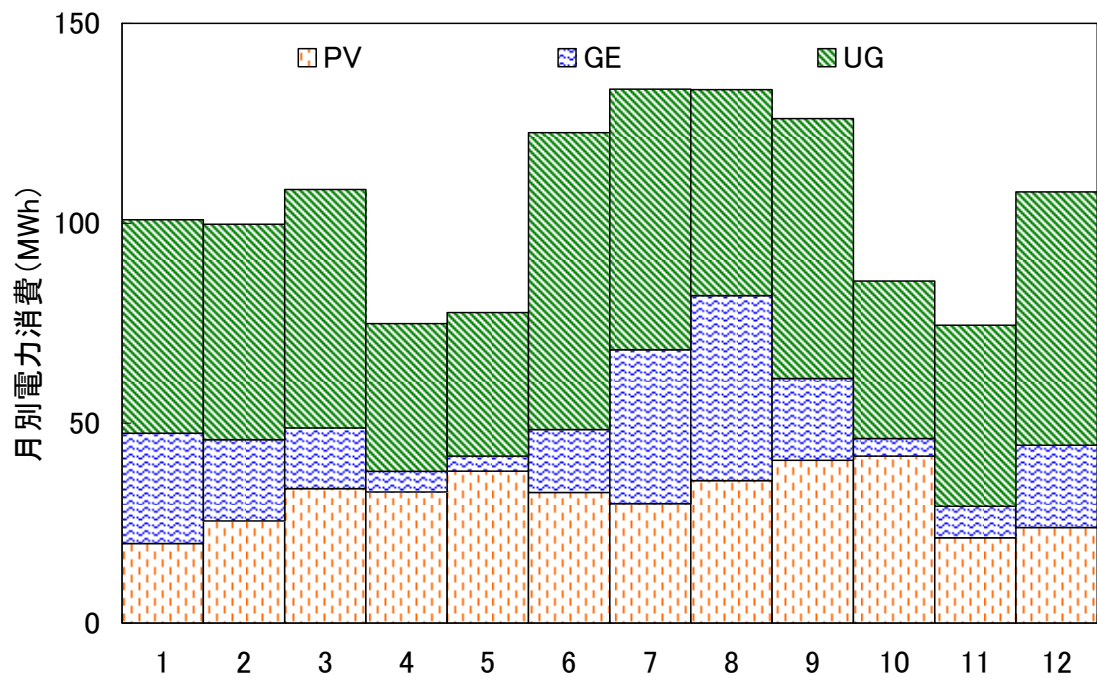


図 6-27 月別電力消費量の構成 (ケース 5)

以下では、1 月を例とし、各ケースにおける時刻別電力消費の構成を解析する。図 6-28～6-31 はケース 1、ケース 2 と 3、ケース 4 及びケース 5 の時刻別電力消費量の構成を示し

ている。本研究では、「ゼロ・カーボン街区」を目指しているため、自然エネルギーを最大限まで利用することを考え、太陽光発電、燃料電池、ガスエンジン、系統電力の順位で地域の電力需要を供給する。図から見ると、太陽光発電は昼間（特に 10:00～15:00）の発電量が多い、夜は発電しないことが分かった。ケース 1 において、CGS の容量は相対的に小さいため、電力需要は小さい夜でも系統電力からの買電が必要である。一方、ケース 2 とケース 3 について、ガスエンジンは一日運転し、生活利便施設の大部の電力負荷を満たす。系統電力から買電は午前中 8:00～10:00 及び午後 14:00～19:00 が必要である。

また、ケース 4 では、燃料電池を導入し、昼間は全て定額負荷で運転し、夜は部分負荷で全電力需要を満たす。一方、ガスエンジンは昼間しか運転されていない。ケース 5 は「熱主電従」を採用し、ガスエンジンの運転レベルは他のケースより小さくなっている。地域電力需要の大部は系統電力より供給する。

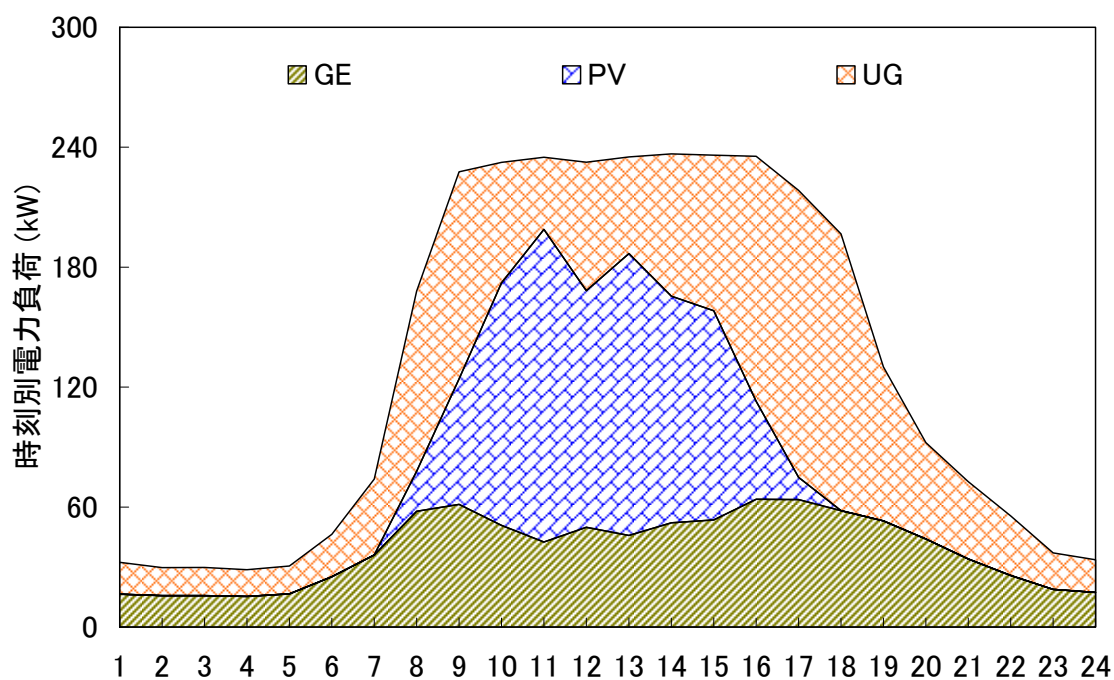


図 6-28 時刻別電力消費量の構成 (ケース 1)

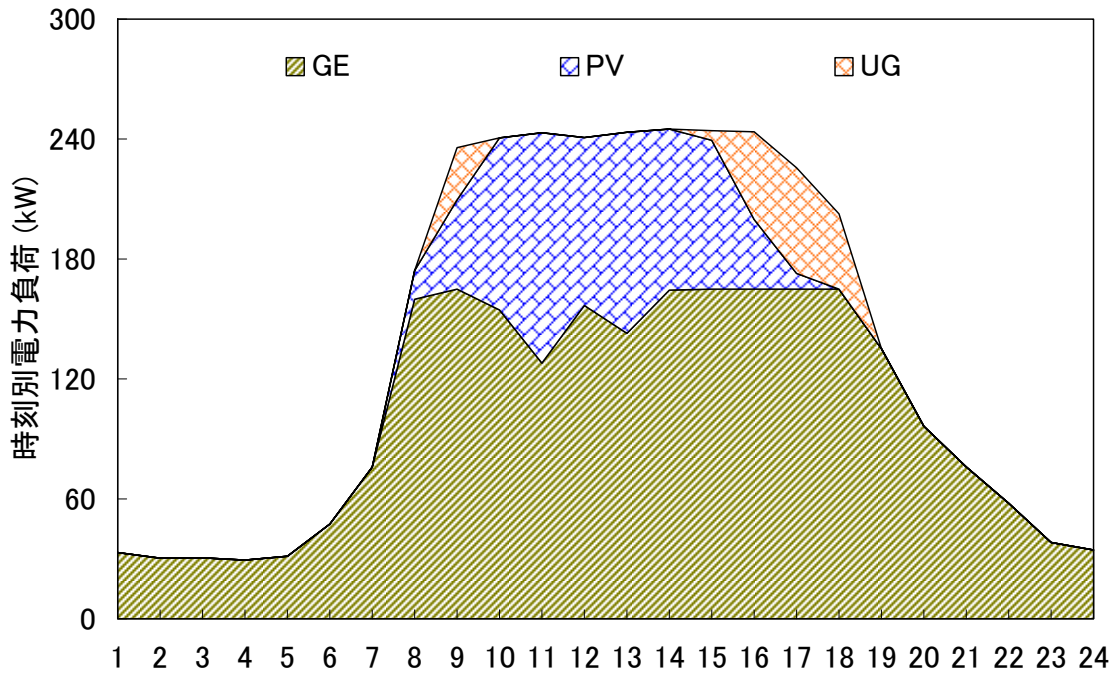


図 6-29 時刻別電力消費量の構成 (ケース 2 と 3)

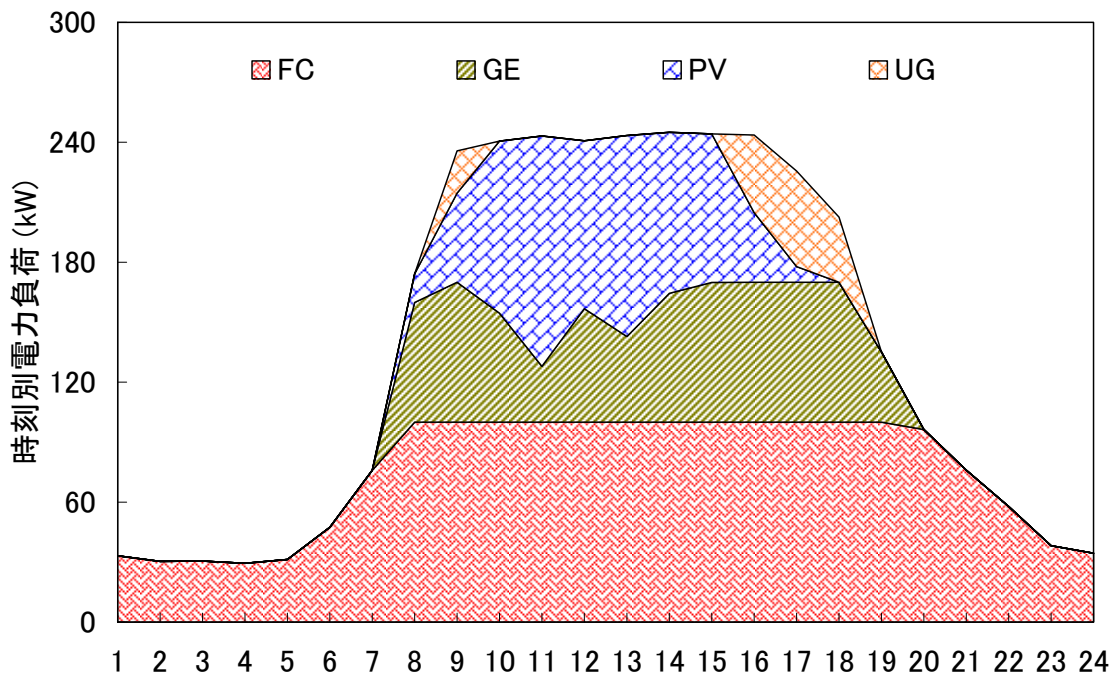


図 6-30 時刻別電力消費量の構成 (ケース 4)

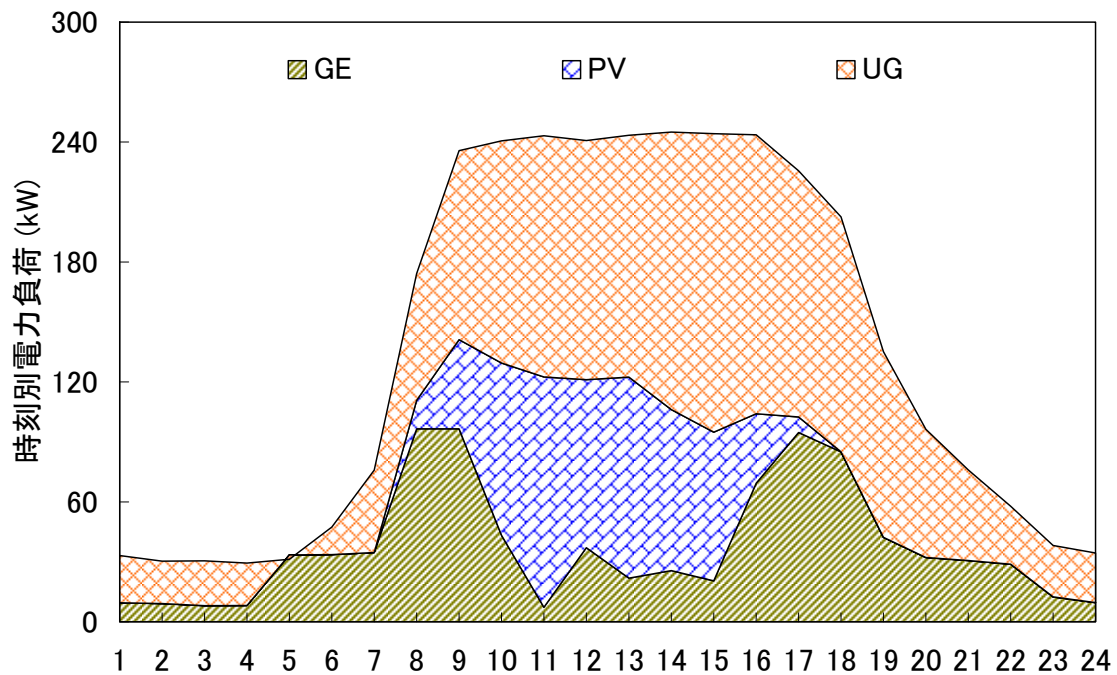


図 6-31 時刻別電力消費量の構成 (ケース 5)

(2) 熱消費の構成

CGS を含める地域分散型エネルギーシステムの一つ重要なメリットは排熱の活用であるため、地域の熱消費の構成を解析する必要がある。前述のように、本研究では「ゼロ・カーボン」を目指しているため、熱需要の供給も自然エネルギーの活用を最優先と考えている。つまり、太陽熱、CGS 排熱、都市ガスの順位で熱需要を満たす。図 6-32 に示すように、ケース 0 では、ビルマルチを導入するため、冷暖房負荷は全て電力より満たす。ケース 1 は分散設備ケースであり、太陽熱集熱器と CGS の容量とも小さく、全熱負荷の中に太陽熱、CGS 排熱と都市ガスの割合はそれぞれ 16.9%、23.9%と 59.2%である。一方、太陽熱と CGS 排熱が熱負荷のパターンは一致しない場合もあるため、年間太陽熱と CGS 排熱の未利用量はそれぞれ 52 MWh と 243 MWh となっている。

ケース 2 では一部の施設は分散型設備より冷暖房を供給するため、排熱の未利用量は一番多いことが分かった。具体的に、全熱負荷の中に太陽熱、CGS 排熱と都市ガスの割合はそれぞれ 42.8%、28.8%と 28.4%となっている。また、ケース 3 は集中設備ケースであり、太陽熱と CGS 排熱は全熱負荷の約 91.3%を供給し、残りの分は都市ガスより満たす。ケース 4 では燃料電池（発電効率がなくて、熱電比が小さい）を導入し、CGS 排熱の割合はケース 2 より小さくなっている。なお、ケース 5 では「熱主電従」を採用し、CGS 排熱は全て利用され、全熱負荷の約 40%を供給する。

具体的な排熱の利用状況について、図 6-33 は各ケースにおける太陽熱と CGS 排熱の利用率を示している。全体から見ると、「熱主電従」を採用するケース 5 を除いて、太陽熱の利

用率 CGS 排熱の利用率より高いことが分かった。太陽熱の利用率について、ケース 1～5 はそれぞれ 78.5%、64.6%、72.5%、72.5%と 72.5%となり、CGS 排熱の利用率はそれぞれ 52.4%、21.3%、32.0%、37.0%と 100%である。つまり、「電主熱従」の運転方式を利用する場合、排熱の利用率はかなり限定的であることが分かった。一方、「熱主電従」を採用すると、排熱は全て利用されている。

以上の分析から見ると、地域分散型エネルギーシステムの導入により、太陽熱と CGS 排熱は施設の全熱負荷の 90%（ケース 3 とケース 4）以上を供給できる。しかし、需要側と供給側のバランスを取れないため、排熱の有効利用は今後地域エネルギーシステム計画の一つ重要なポイントとなっている。

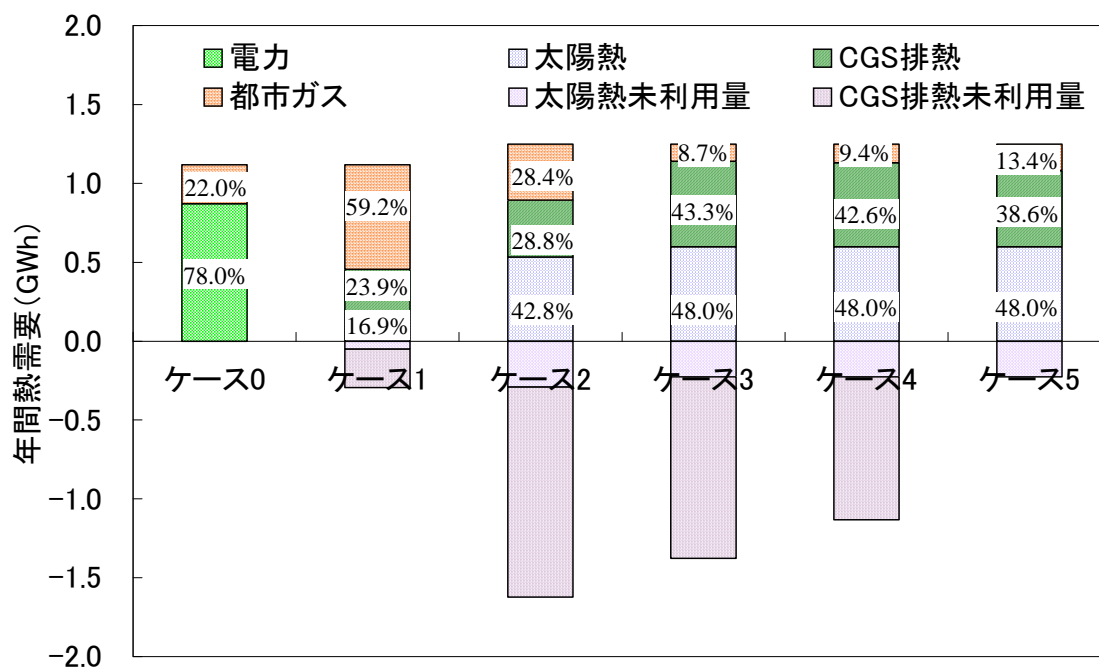


図 6-32 年間熱消費の構成

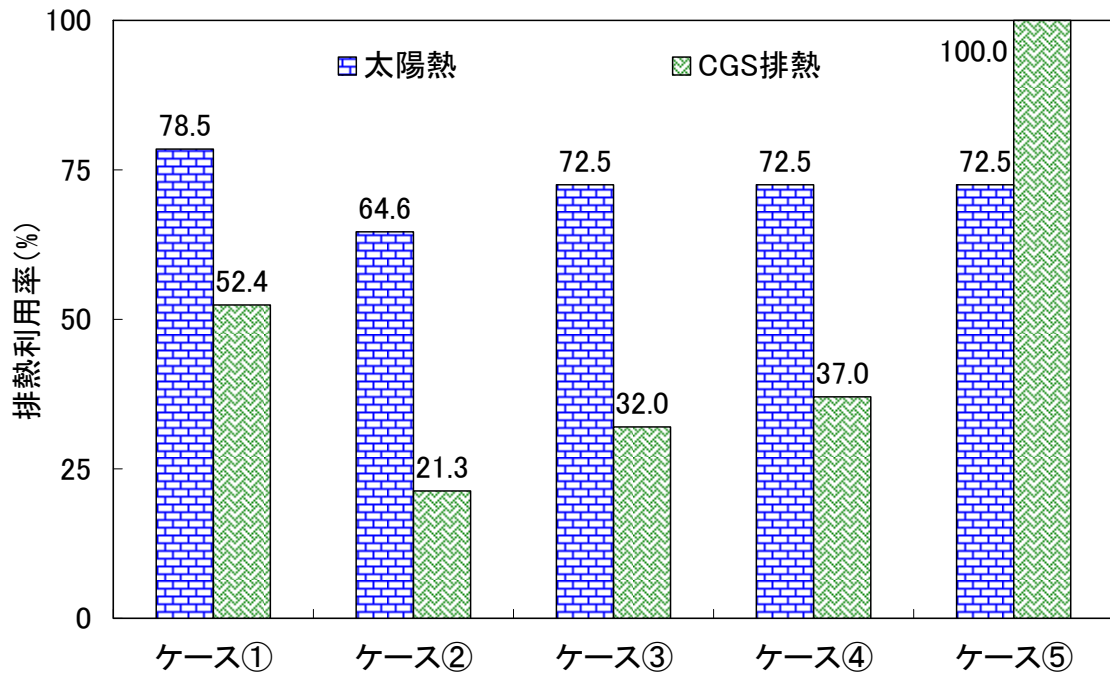


図 6-33 排熱の利用率

月別熱供給の特徴を理解するため、図 6-34～図 6-39 はケース 0～ケース 5 における月別熱需要の構成を示す。全体から見ると、夏季の熱需要（特に、冷房需要）は大きいので、太陽熱と CGS 排熱は熱需要の一部を満たす、不足の部分は都市ガスにより賄う。一方、冬季と中間期において、集中設備ケースの熱需要は全て太陽熱と CGS 排熱により供給できる。具体的に、太陽熱の利用状況について、夏季は全て利用される一方、中間期の未利用量は多いことが分かった。また、CGS 排熱について、中間期と冬季の利用状況は非常に悪くて、未利用量は利用量より多いと見られる。

以上の分析から見ると、排熱の利用状況は季節によって変わっている。夏季の利用率は相対的に高くに対して、中間期と冬季の利用状況は良くない。今後では、蓄熱等を利用して、排熱の季節間移動を考慮することは排熱の有効利用の一つ方向と考えられる。

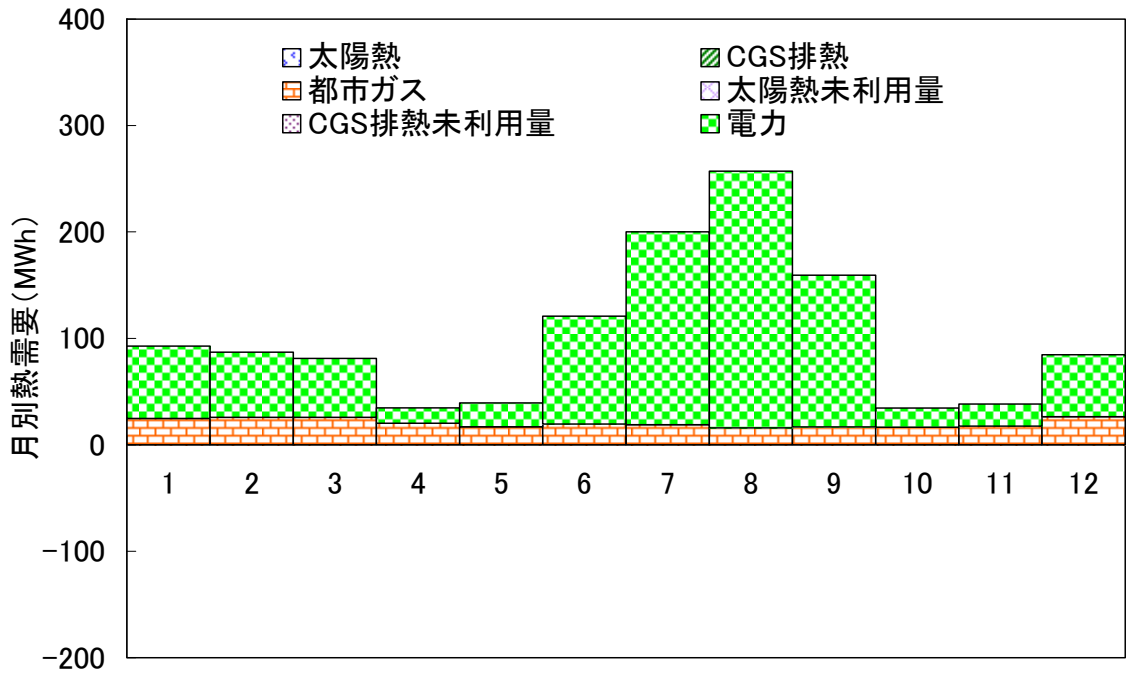


図 6-34 月別熱需要の構成 (ケース 0)

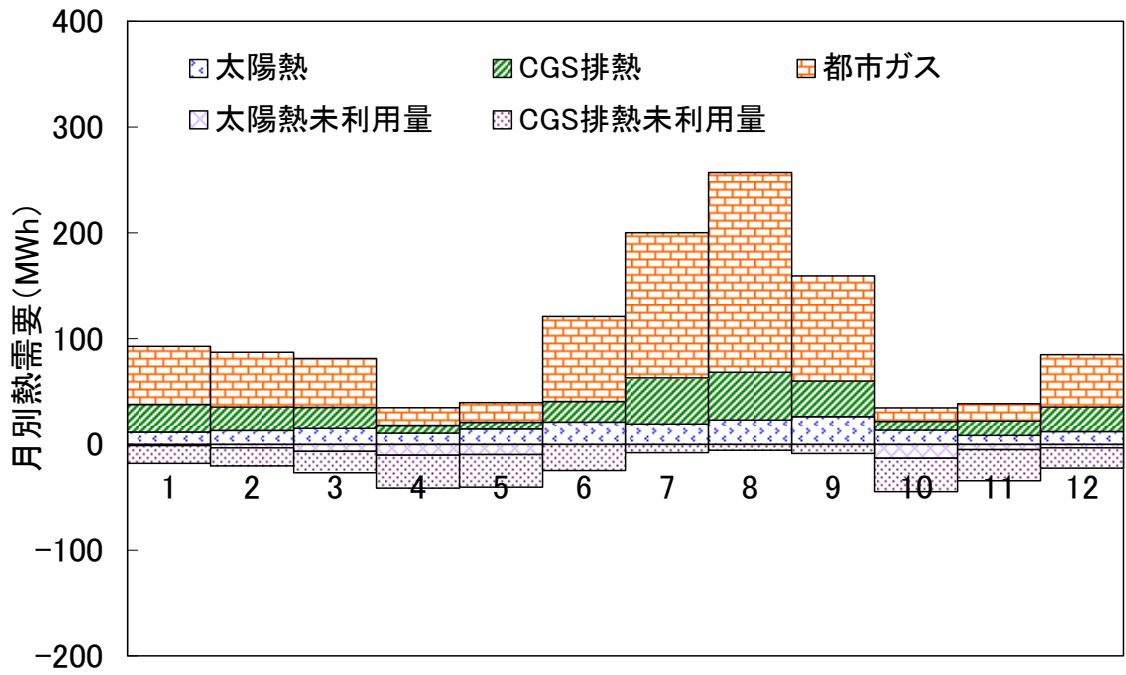


図 6-35 月別熱需要の構成 (ケース 1)

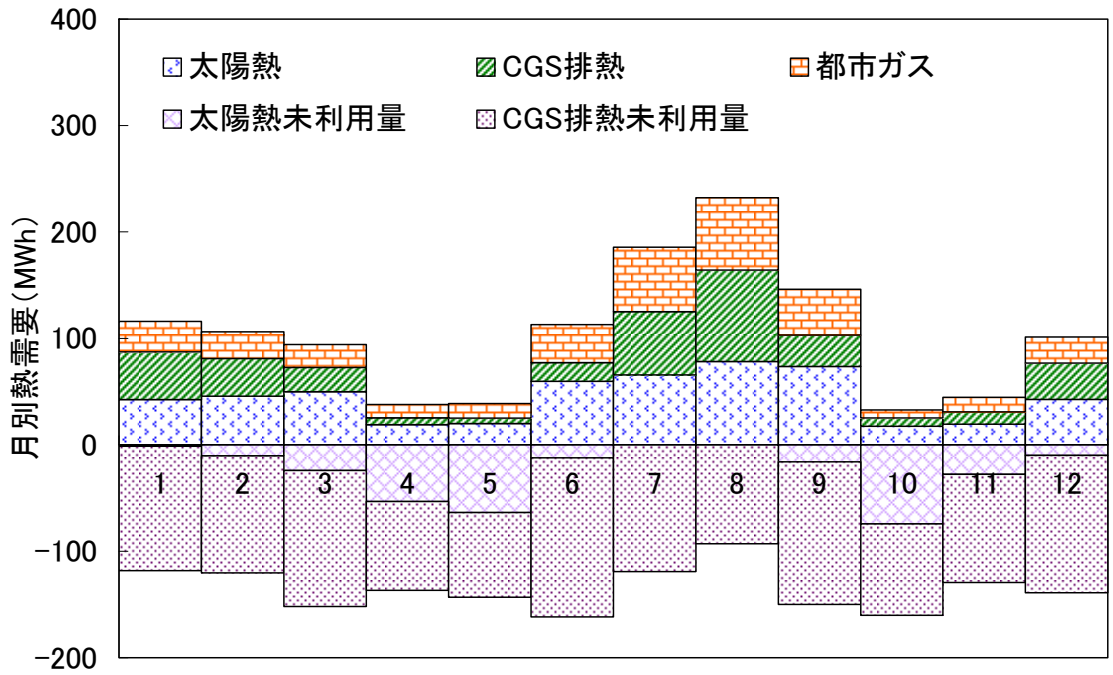


図 6-36 月別熱需要の構成 (ケース 2)

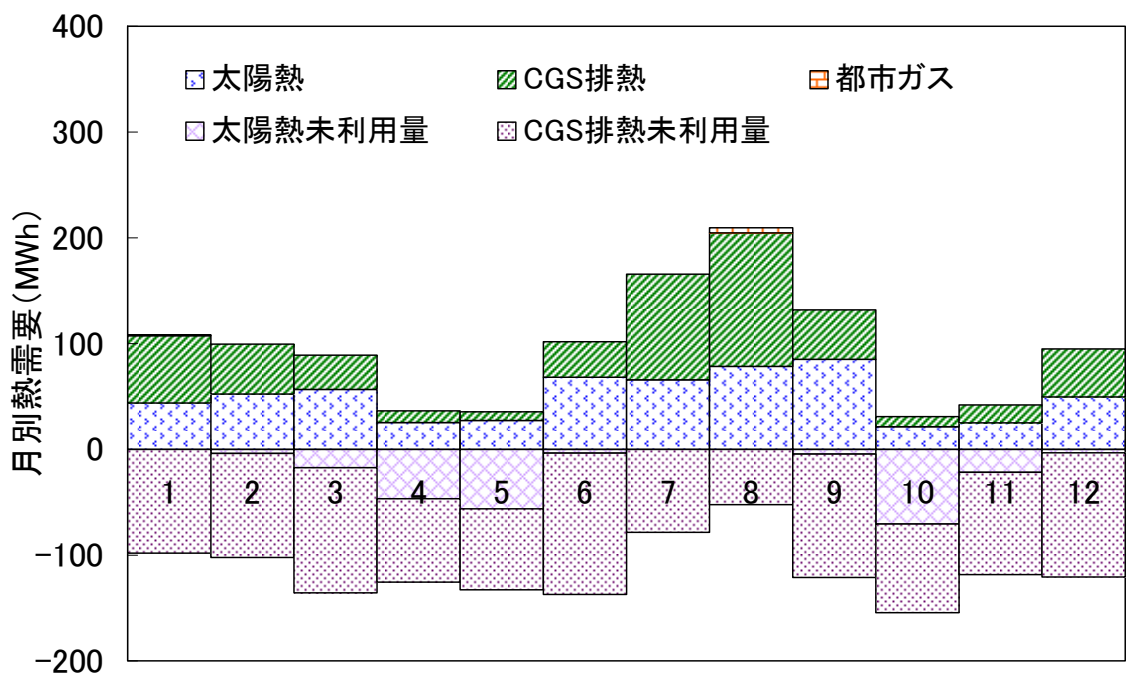


図 6-37 月別熱需要の構成 (ケース 3)

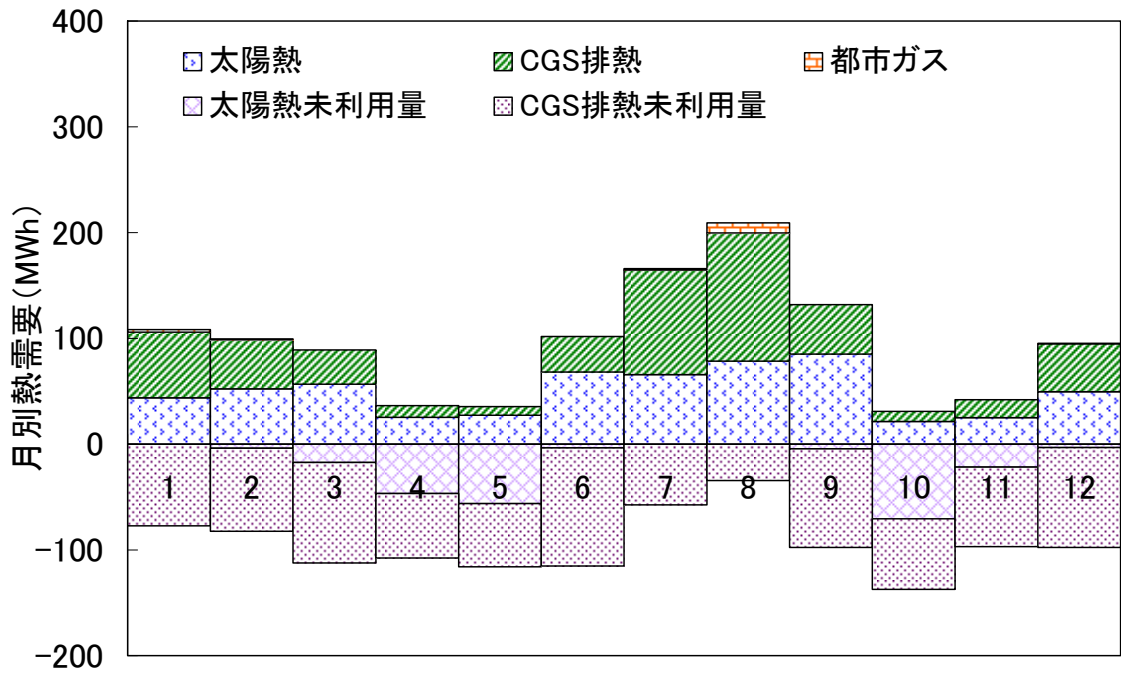


図 6-38 月別熱需要の構成 (ケース 4)

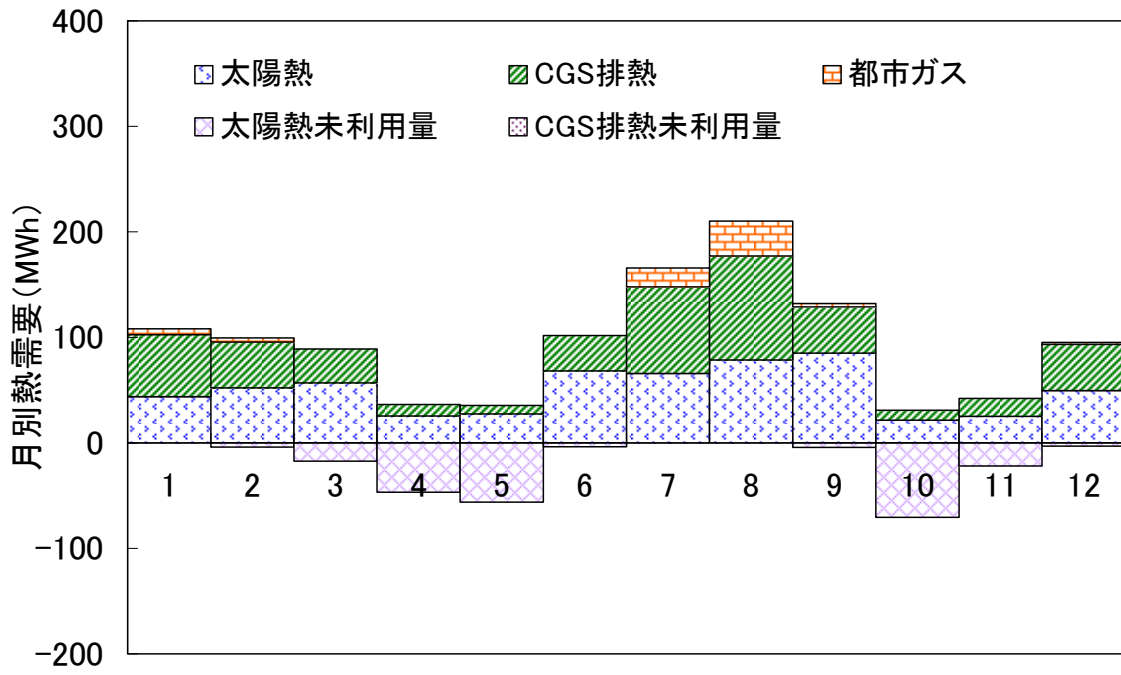


図 6-39 月別熱需要の構成 (ケース 5)

月別熱需要の特徴を理解すると共に、排熱を更に有効的に利用するため、時刻別熱需要の構成を解析する必要がある。図 6-40～図 6-45 は各ケースにおける 1 月の時刻別熱負荷の構成を示す。全体から見ると、一部分散ケースと集中ケースにおいて、昼間の熱負荷の大部は太陽熱より満たす一方；夜間の熱負荷は主に CGS 排熱より供給する。排熱の利用状況を見ると、1 月の熱負荷はかなり大きいので、全てのケースにおいて、太陽熱はほうぼう利用されている。しかし、「熱主電従」を採用するケース 5 を除いて、ケース 1～ケース 4 の昼間において、CGS 排熱の利用率は非常に低く、排熱の大部は損失されている。また、一つ特例として、ケース 3 の熱需要は全て排熱より提供でき、都市ガスは全く利用されていない。

以上の分析より、熱の有効利用について、太陽熱と CGS 排熱のバランスの考慮する必要がある。また、排熱の有効利用という視点から見ると、「電主熱従」という運転方式はあまり効果が良くないことが分かった。実は、設備の容量も熱利用の状況に影響を与え、それと運転パターンを同時に考慮する必要がある。

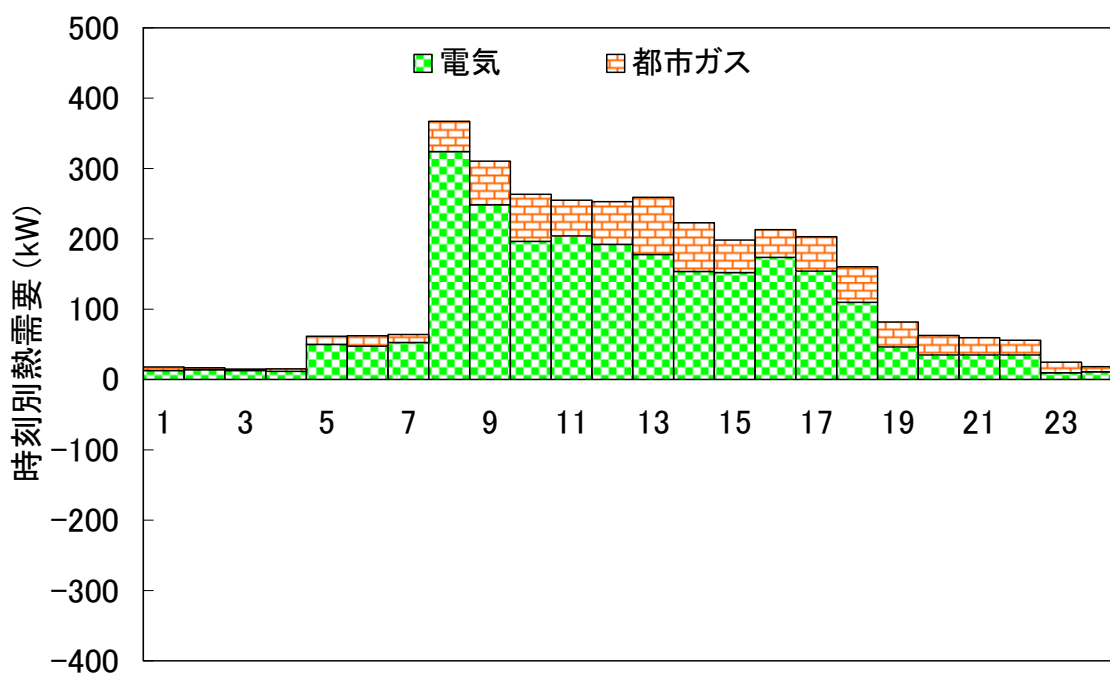


図 6-40 時刻別熱需要の構成 (ケース 0)

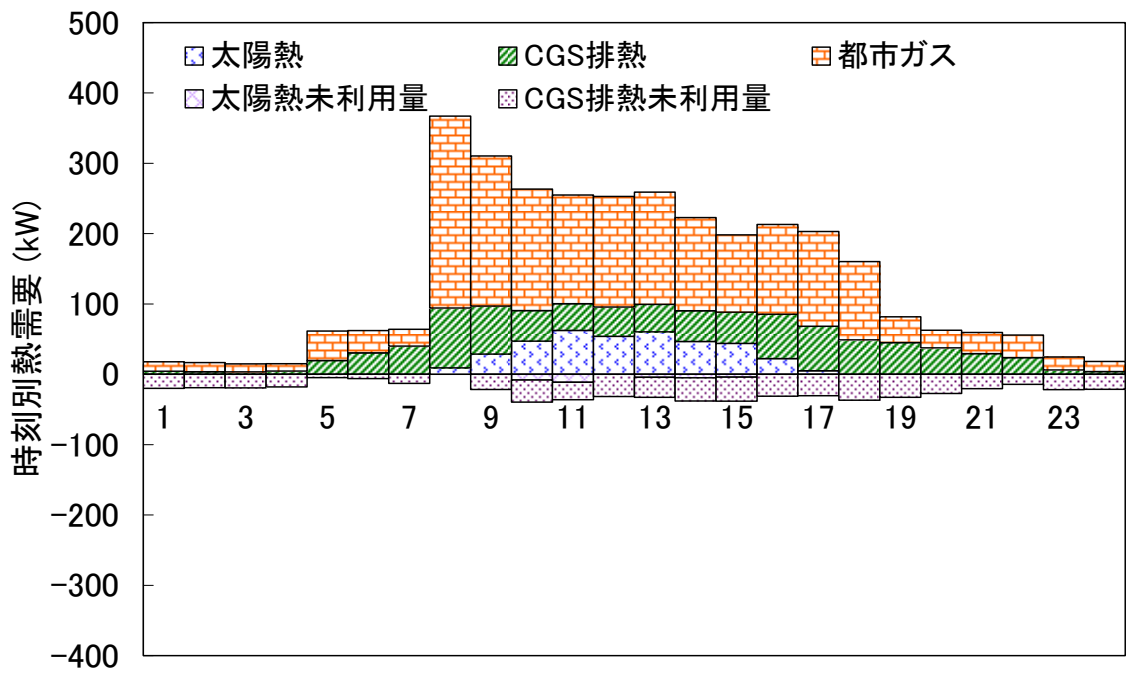


図 6-41 時刻別熱需要の構成 (ケース 1)

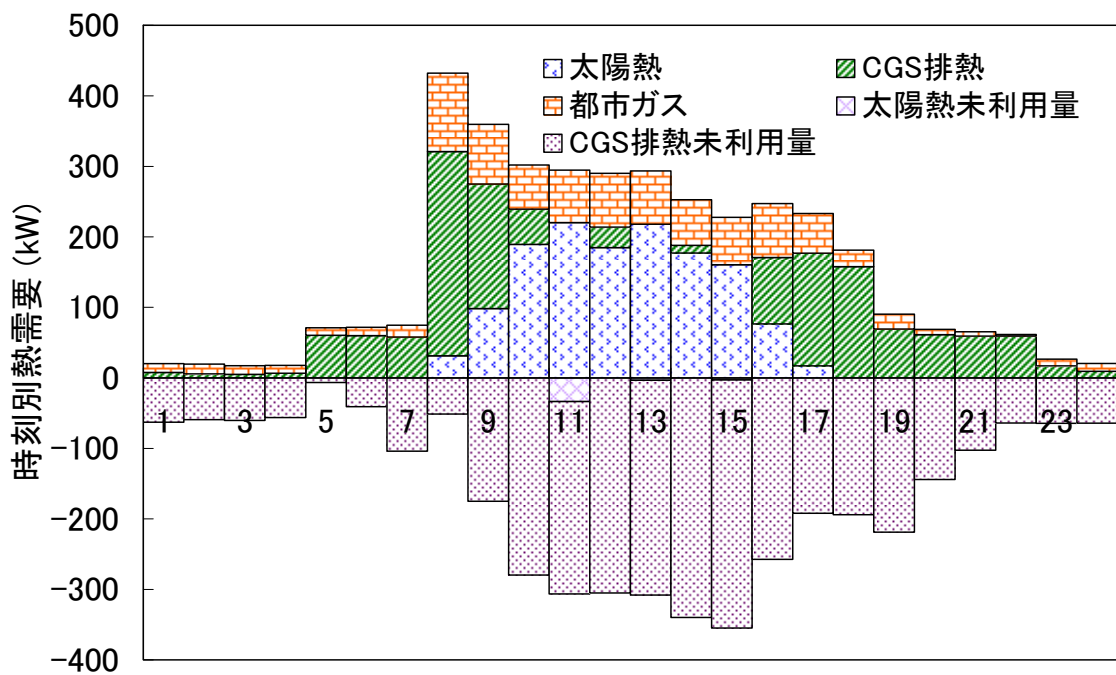


図 6-42 時刻別熱需要の構成 (ケース 2)

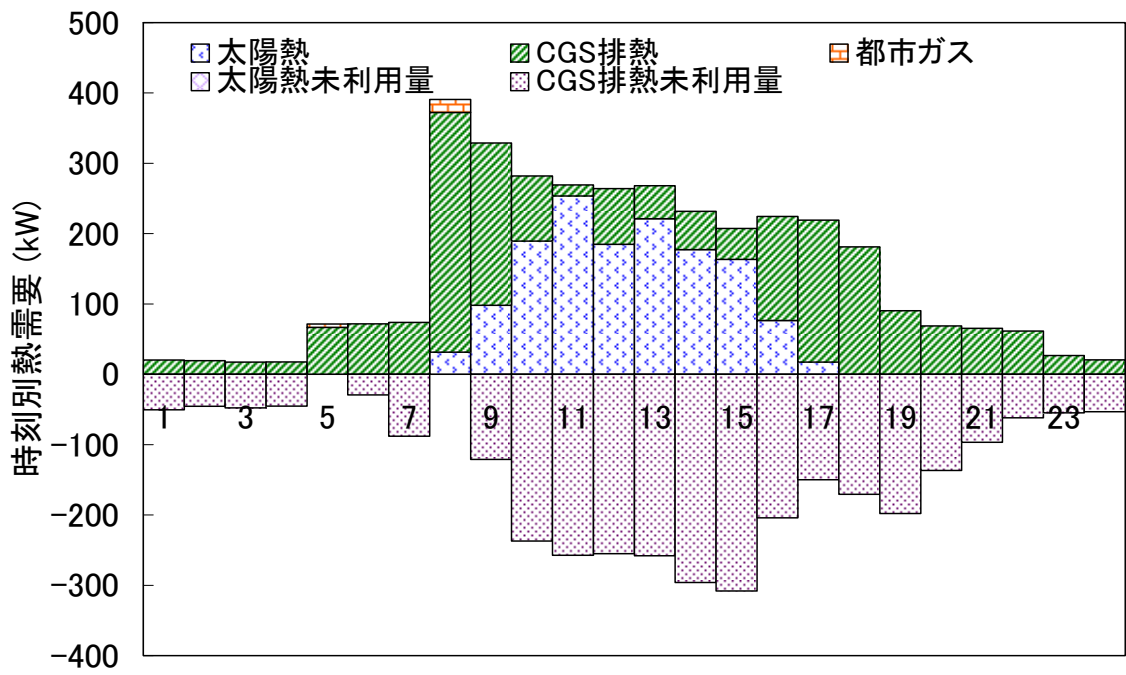


図 6-43 時刻別熱需要の構成 (ケース 3)

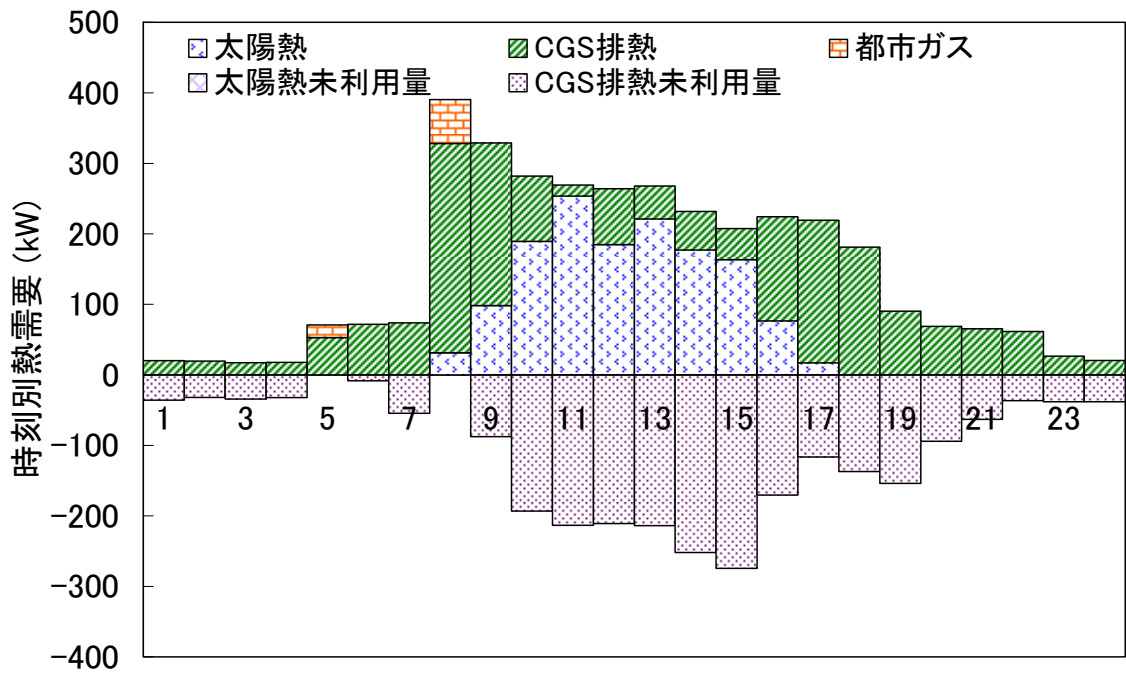


図 6-44 時刻別熱需要の構成 (ケース 4)

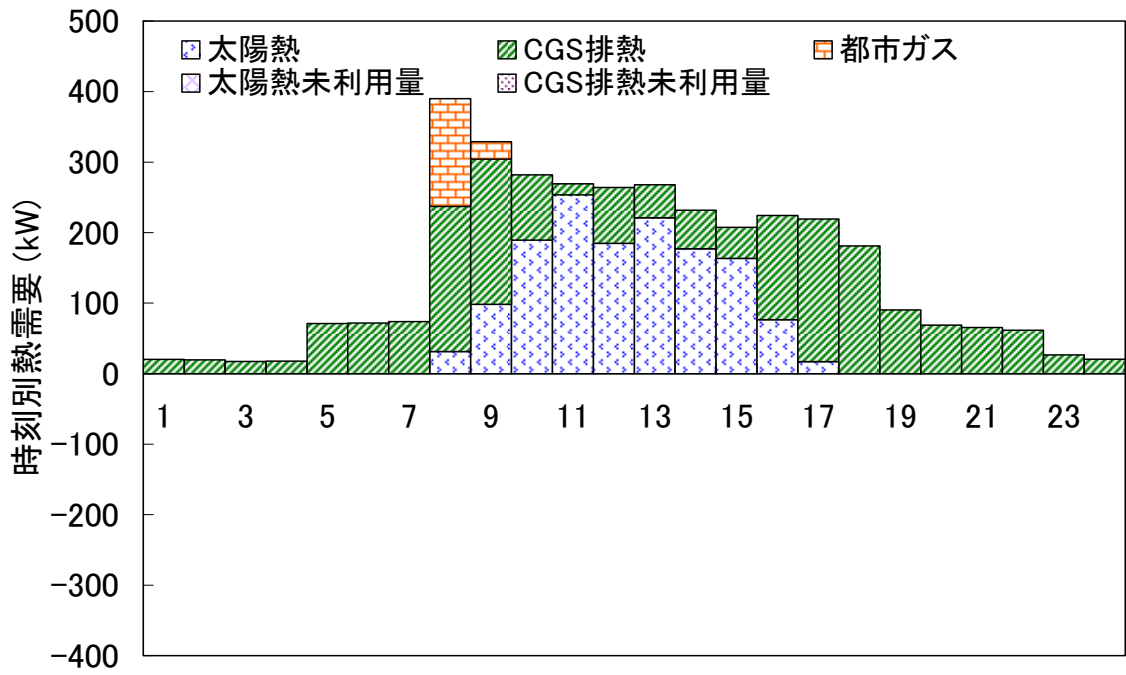


図 6-45 時刻別熱需要の構成 (ケース 5)

6.8.3 省エネルギー性評価

本研究で検討する CGS とは「熱電併給」と訳されるように、発電機によって発生する「電気」だけではなく、発電に伴って発生する「排熱」をも有効活用しようというシステムである。電気と熱の両者の有効活用により、有力な省エネルギー機器になる可能性がある一方で、電気と熱の需要バランスがくずれると、省エネルギーではなく、かえってエネルギーが増加してしまう可能性もある。

つまり、CGS と太陽エネルギーを活用する地域エネルギーシステムでは高いエネルギー利用効率を達成すると期待されている。したがって、省エネルギー性は地域エネルギーシステムを計画するのに最も重要な評価要因になっている。

第三章で紹介した方法に基づいて、図 6-46 には各ケースにおける年間一次エネルギー消費及びその削減率を示す。従来システム（ケース 0）と比べて、ケース 1～5 の年間一次エネルギー消費の削減率はそれぞれ 23.3%、30.8%、36.8%、45.1%と 40.8%である。総排出量から見ると、「電主熱従」を採用する各ケースにおいて、主な排出源は都市ガスであり、つぎに系統電力である。一方、「熱主電従」を採用する場合（ケース 5）は系統電力が主な排出源となっている。

また、全ての施設は分散設備を導入しても、かなり省エネルギー効果があることが分かった。燃料電池を導入しているケース 4 の省エネルギー効果が一番優れて、続いては「熱主電従」を採用するケース 5 及び「電主熱従」を採用するケース 3 である。つまり、地域エネルギーシステムの導入は優れた省エネルギー効果が得られた

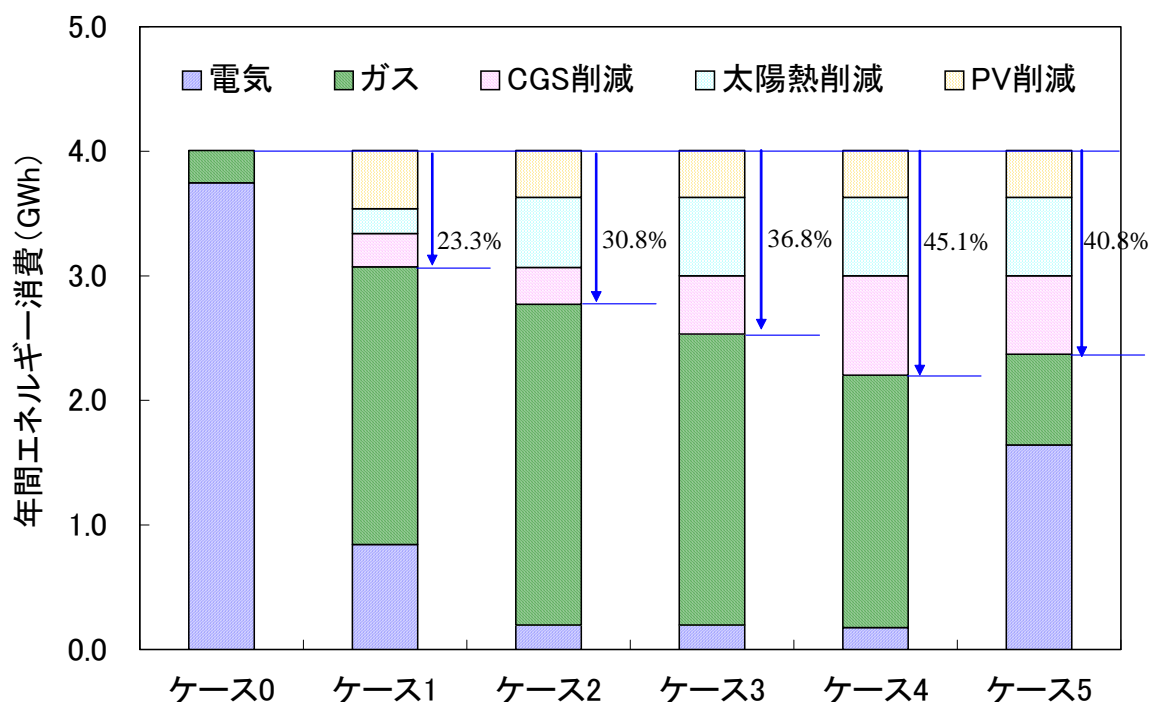


図 6-46 年間一次エネルギー消費

6.8.4 環境性評価

地域エネルギーシステムは、その省エネルギー性から CO2 の削減効果が大きく期待できる。したがって、CO2 の削減量という評価指標は、地球レベルの環境問題がクローズアップされるなか、地域エネルギーシステムの社会的な意義から考えても重要な指標といえる。

本研究では、環境に対する評価は、従来システムに対する地域エネルギーシステムの年間の CO2 排出量削減率で評価を行う。評価の対象は、CGS や冷温水発生機のように建物で CO2 を発生するものだけでなく、電気を消費するものは商用電力の発電所において CO2 を発生しているものとして評価する。後者の場合、商用電力は原子力を含む多様な電源で構成されており、その運用も複雑であるため、排出量の絶対値を計算する時全電源の平均値を利用する一方、削減量を計算する場合は火力発電所の排出原単位を利用する。

具体的に、従来システムの CO2 排出量はガスの CO2 排出量と電力の CO2 排出量の和である。一方、地域エネルギーシステムの CO2 排出量はガスの CO2 と電力の CO2 排出量の和であるが、この場合のガス消費量とは CGS のガス利用量とガス直接燃焼量の和である。また、その削減率は従来システムの CO2 排出量と地域エネルギーシステムの CO2 排出量の差に従来システムの CO2 排出量を割った値である。

第三章で紹介した計算方法に基づいて、図 6-47 は全電源係数を利用する場合、各ケースにおける年間 CO2 排出量を示す。従来システム（ケース 0）と比べて、ケース 1～5 の年間 CO2 排出量は全て削減できることが分かった。つまり、地域分散型エネルギーシステムの導入は優れた環境効果が得られた。

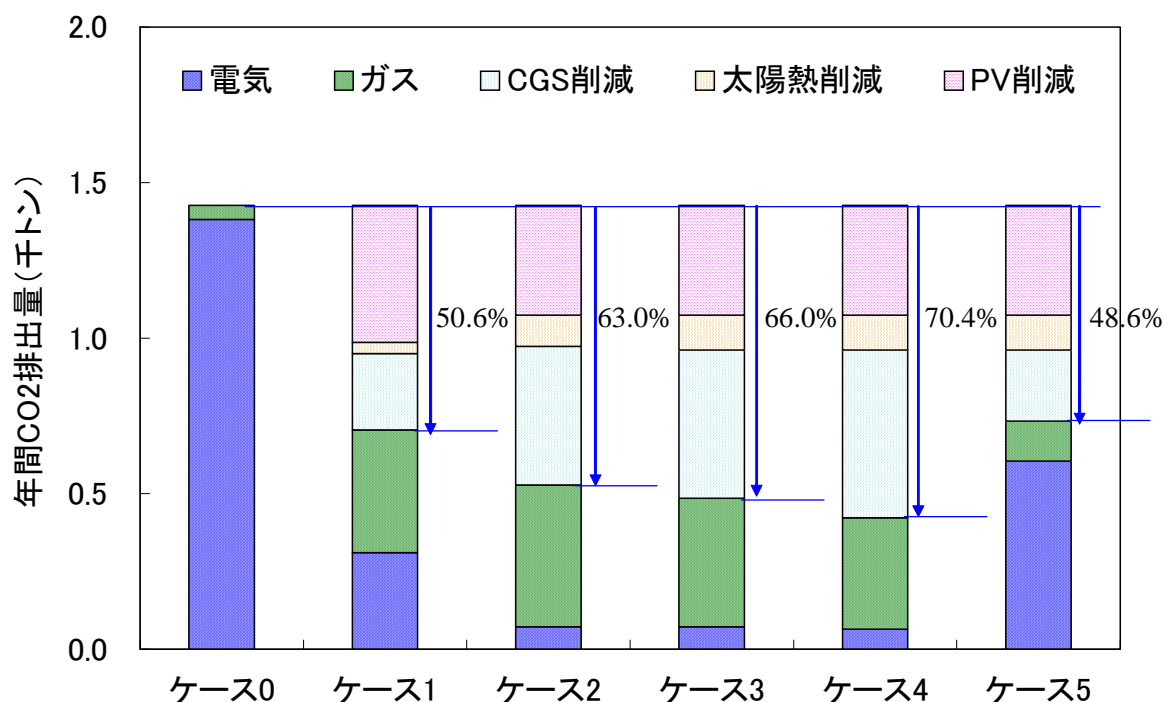


図 6-47 年間 CO2 排出量

なお、前述のように、地域エネルギーシステムを導入する場合、排熱の有効利用は一つの重要なポイントである。次では、未利用される太陽熱と CGS 排熱は低温水バイナリー発電²による電力としてのカスケード利用と仮定し、年間 CO2 排出量の削減率を解析する。図 6-48 に示すように、排熱充分利用する場合、全てのケースにおいて、年間 CO2 排出量はほぼ半分以上削減できる。特に、「電主熱従」を採用する集中ケースでは 68%以上の削減率が得られる。

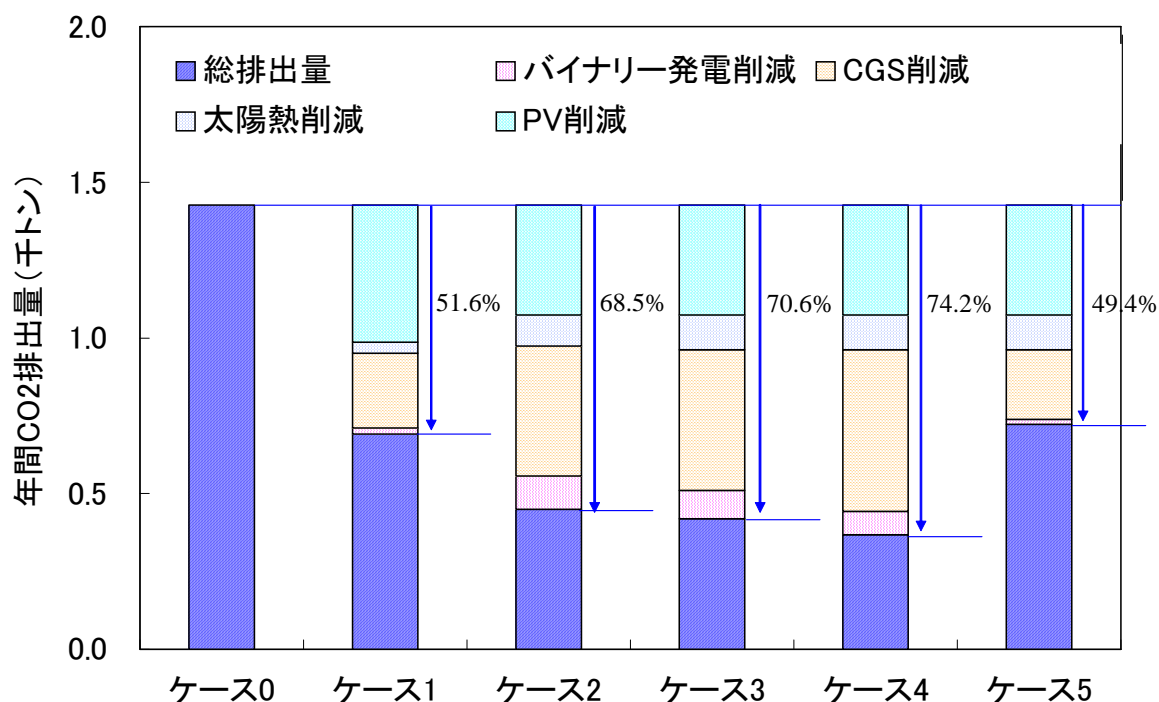


図 6-48 排熱有効活用場合の年間 CO2 排出量

²低温バイナリー発電は、低温熱発電の発電方式の一つである。バイナリーサイクル発電、バイナリーサイクルとも呼ばれる。従来方式より短い開発期間、低い開発リスク、低コストで行う事が可能となる。

6.8.5 経済性評価

地域エネルギーシステムの導入目的において、社会的観点から見た省エネルギー性とユーザ側の観点から見た経済性が大きな関心事といえる。省エネルギー性と経済性は密接な関係があるものの、必ずしも省エネルギー性最大のシステムが経済性最大とはならない。

省エネルギー性と同じく経済性の評価も、従来システムとの比較による相対評価で検討される。経済性の評価は、従来システムと地域エネルギーシステムのイニシャルコストを算出するとともに、エネルギーシミュレーションを行った後、それぞれの年間のランニングコストを算出する。そして、これらのコストをもとに、両コストの損益を総合的に判断して経済性が評価される。

具体的に、第三章で紹介した計算方法に基づいて、図 6-49 は各ケースにおける年間総コストを示す。ベースケース（ケース 0）と比べて、ケース 1、ケース 4 とケース 5 の年間総コストはそれぞれ 16.7%、25.6%と 26.3%を増加した。一方、ケース 2 とケース 3 の年間総コストはそれぞれ 8.4%と 5.0%を削減できる。つまり、地域分散型エネルギーの導入は良い環境性を持っているが、経済的なメリットは見られないという場合があることが分かった。導入支援策がない場合、経済性が低いため地域分散型エネルギーシステムの普及が進まないかもしれない。したがって、以下では、経済的な視点から地域エネルギーシステムの経済性を高める施策を考案し、政策と市場の両面から具体的な解決策を提案する。

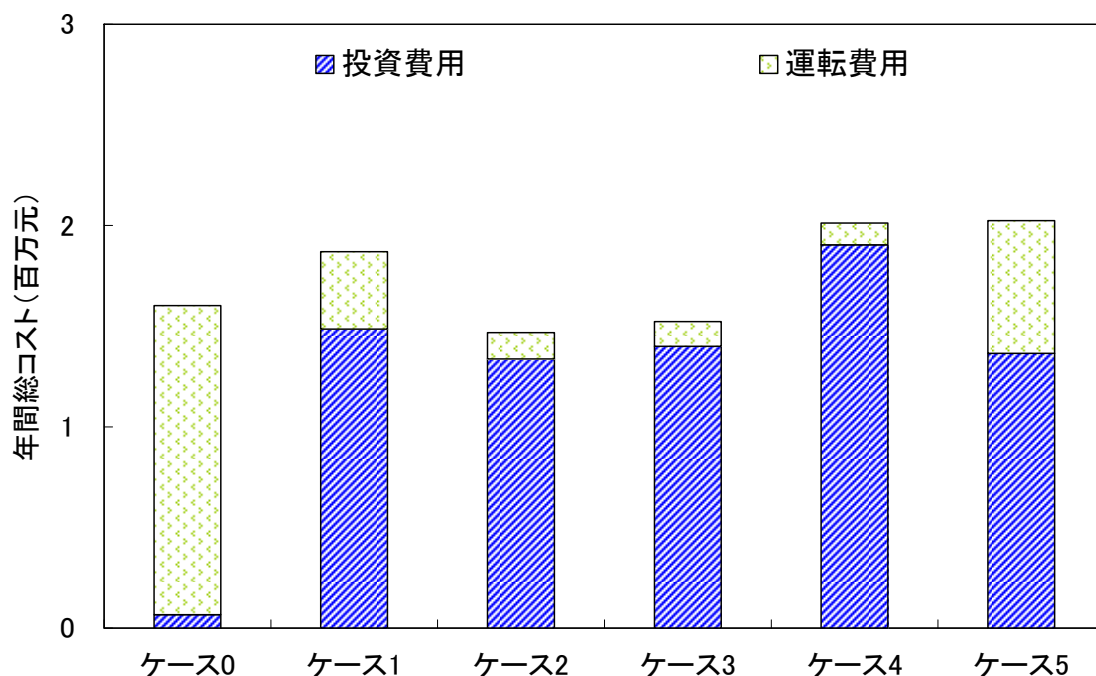


図 6-49 年間総コストの比較

前述のように、地域エネルギーシステムの導入は優れた環境性を持っているうえに、その環境メリットを経済化し、地域エネルギーシステムの経済性を高めることが考えなければならない。一つ方法として、現存の中国クレジット制度を改良し、地域ベースの排出削減事業に適用できるスキームを構築する。図 6-50 は中国クレジット制度に活用する場合の年間総コストの比較を示す。ケース 0 と比べて、ケース 1、ケース 4 とケース 5 の年間総コストはそれぞれ 12.0%、19.0%と 21.8%を増加した。一方、ケース 2 とケース 3 の年間総コストはそれぞれ 14.3%と 11.1%を削減できる。現在中国クレジットの価格のすごく安い（105 元/トン）ため、中国クレジット制度の導入効果は限定的である。そのため、中国クレジットという市場制度を導入すると共に、政府補助金などの政策支持は地域エネルギーシステムの普及に重要なポイントであると考えられる。図 6-51 には中国クレジット制度と政府補助金（初期投資の 2/3）を導入する場合の年間総コストの比較を示す。図から見ると、ケース 0 と比べて、分散型エネルギーを導入した全てのケースの年間総コストが削減できた。

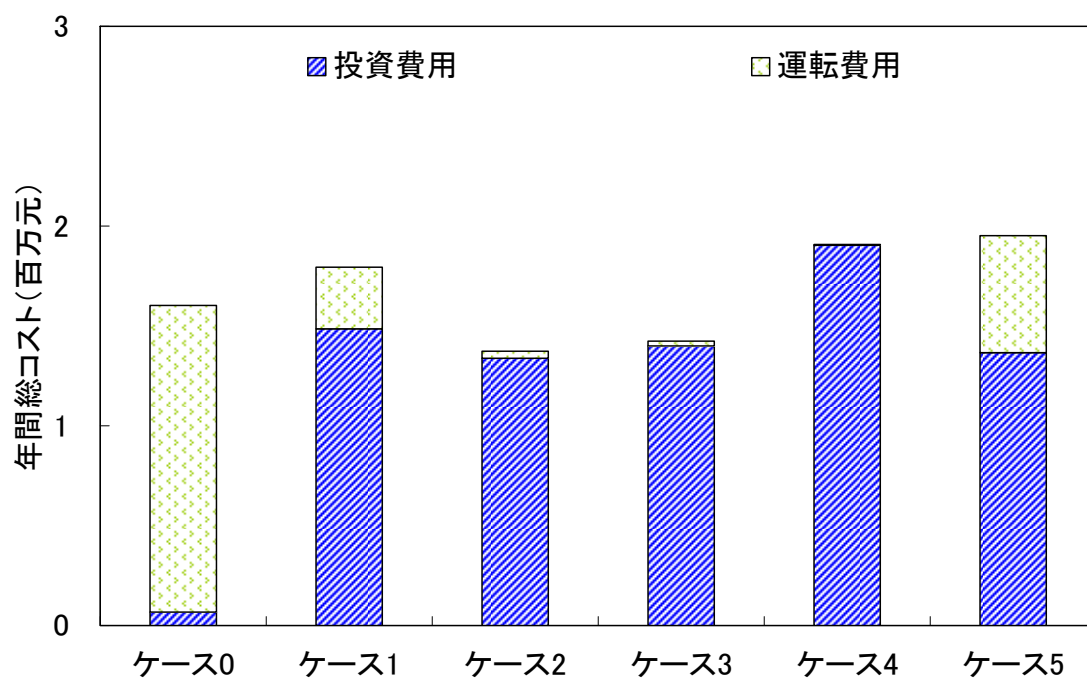


図 6-50 年間総コストの比較 (国内クレジット制度活用)

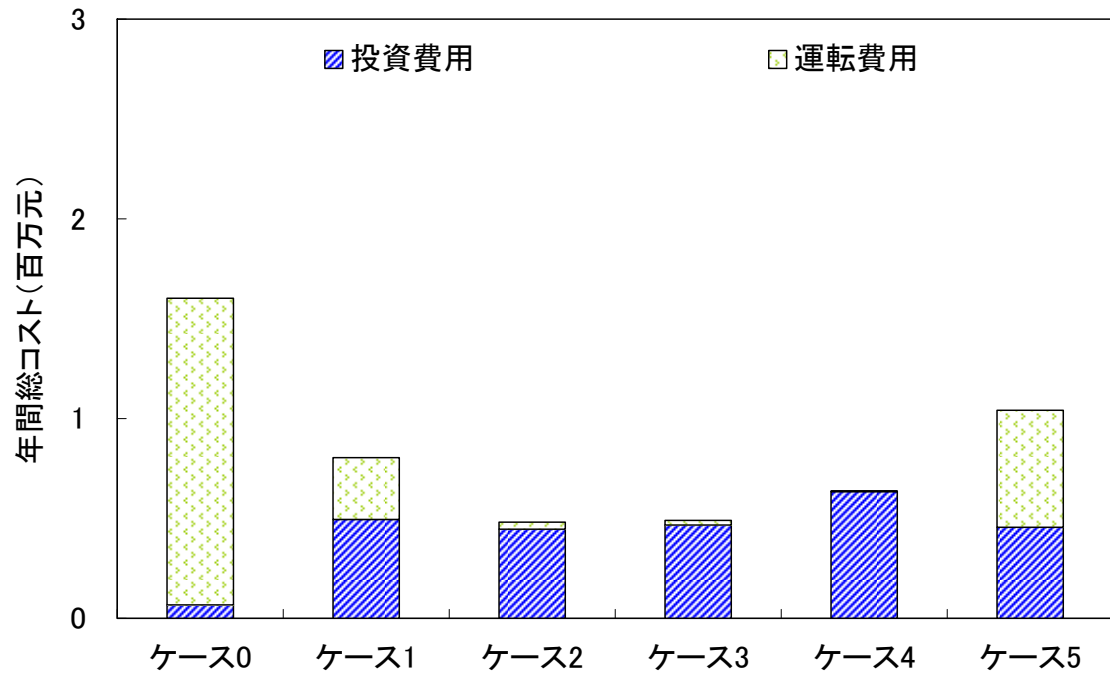


図 6-51 年間総コスト（国内クレジット制度と政府補助金活用）

6.9 結論

エネルギー消費が増大する民生部門の省エネルギーを図るためには、従来から進められてきた単体の機器や建物の省エネルギー対策だけではなく、地域・コミュニティレベルの省エネルギー対策を推進する必要がある。そのためには、排熱の有効利用が可能なオンサイト分散型電源、及び太陽光・風力などの再生可能エネルギーの導入に加えて、それらを地域エネルギーシステムに適正に導入するマイクログリッドなどのインフラ設計技術が期待されている。

本研究では、「ゼロ・カーボン街区」を実現するため、地域分散型エネルギーシステムを提案し、モデル地区における地域エネルギーシステム導入のためのデータベースを構築した上で、地域分散型エネルギーシステムを最適に解析する支援ツールを開発した。具体的に、既に開発を行った評価モデルをベースに、上海市のあるモデル地域における生活利便施設の熱・電力負荷、電気・ガスなどエネルギー料金システム、及び分散型エネルギーと熱源設備の技術情報を調査・整備した。その上で、モデル地域の生活利便施設に適用するケーススタディを行ない、地域分散型エネルギーの導入容量、運転戦略及び導入効果（省エネルギー性・環境性・経済性）について分析を行った。本研究により、以下のことが明らかとなった。

- ① 合理的なシステム計画により、地域内賦存する自然エネルギーと都市ガスを活用した高効率な地域エネルギー供給は生活利便施設の全エネルギー負荷（電気と熱）の90%以上を供給できる。エネルギーセンターを採用する集中設備ケースにおいて、太陽光発電は全電力負荷の約30%を満たす一方、全熱負荷の約45%は太陽熱より賄う。
- ② 地域エネルギーシステムの導入は優れた省エネルギー性と環境性を持っている。特に、燃料電池を導入しているケース4では年間一次エネルギー消費と年間CO₂排出量はそれぞれ約45.1%と70.4%削減できる。
- ③ 排熱の有効利用は地域エネルギーシステムの効果に影響を与える一つ重要なポイントとなっている。一つ利用方法として、低温水バイナリー発電による電力としてのカスケード利用を提案し、年間CO₂排出量は74%以上削減できる。
- ④ 分散型エネルギー技術の初期投資は高いため、現段階において地域分散エネルギーシステム導入の経済的なメリットは限定的であり、ゼロカーボンを実現するための一つ重要な課題となっている。
- ⑤ 地域エネルギーシステムの経済性を高める施策として、中国クレジットという市場制度の活用が限定的である一方、政府補助金政策と組合せれば、地域エネルギーシステムの経済性は良くなることできる。
- ⑥ システム構成の視点から見ると、分散設備ケースと比べ、集中設備ケースのメリット（省エネルギー性、環境性と経済性）はあきらかになっている。省エネルギー性、環境性と経済性のバランスを取った全体の視点から見ると、ガスエンジンと「熱主電従」の運転方式を採用する集中設備ケースの最適な選択案と考えられる。

参考文献

- 1) 尾島俊雄研究室：建築の光熱水原単位[東京版]，早稲田大学出版部，1995年
- 2) ローレンス・バークレーのホームページ：<http://gundog.lbl.gov/>
- 3) 有限会ジオクラスター：「上海地域における省エネルギーの現状及びESCO事業の参入可能性に関する調査業務」，電源開発株式会社委託調査報告書，2005年
- 4) ヤンマー株式会社，<http://www.yanmar.co.jp/>
- 5) 富士電機株式会社，<http://www.fujielectric.co.jp/>
- 6) 三洋電機，<http://panasonic.co.jp/sanyo/>
- 7) 上海電力会社，http://www.sh.sgcc.com.cn/FSM_CMS/
- 8) 上海ガス会社，<http://www.shgas.com.cn/>

第7章 結論と展望

7.1 結論

7.2 今後の展望

参考文献

7.1 結論

本論文では中国上海市における都市建築分野の省エネルギーと低炭素化の実現にあたり、分散型エネルギーに適応・移転する可能性を、省エネルギー性・環境保全性・経済性の面から総合的・定量的に評価する研究手法を提案した。また、提案した手法を用いて、個別建物と地域を対象に、分散型エネルギー導入のケーススタディを行った。

各章のまとめをもって、結論とする。

第 1 章「従来研究と本研究の位置づけ」では、まず中国においては、これまで分散型エネルギーの導入における普及率が低いという背景を検討した。また、深刻な環境汚染などの問題を抱える中国一とりわけ上海のような大都市部においては、年平均成長率平均 9% を越える高い経済成長に伴い、エネルギーの消費量の急増に注目が集まっており、電力不足、一次エネルギーとして主に利用されている石炭の燃焼により生じる大気汚染が深刻な状況である。このようなローカルな環境問題とグローバルな環境問題の同時解決を目指して、従来の石炭依存のエネルギー供給システムから、クリーンで高効率な省エネルギーシステムの導入に関する対策の実施を早急に行う必要があると指摘した。

第 2 章「中国における地域分散型エネルギーの実態調査研究」では、中国及び上海市におけるエネルギー消費の現状と将来展望を調査・分析した。また、技術別分散型エネルギーの種類を整理し、米国・EU・日本・中国における分散型エネルギーの導入現状を調査・比較した。特に、上海市におけるコージェネレーションシステムの事例調査、とりわけ、現在上海市にある 5 件の用途別の建物における CGS の導入現状を考察した。なお、中国における分散型エネルギーの普及を目指し、現状の導入促進策を検討し、その問題点を提出した。

第 3 章「地域分散型エネルギーシステムの総合評価に関する理論研究」では、分散型エネルギー導入効果の評価に関する理論研究を行い、分散型エネルギーシステムの計画手順や総合的な評価手法を提案した。具体的に、まず、検討建物の特性などからエネルギー負荷を予測できる方法を紹介した。そして、CGS 原動機の装置の容量・種類、運転方式などの設定方法を提案し、太陽熱温水器、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーの利用可能量を試算する方法を提案した。更に、省エネルギー、経済性と環境性の評価指標を提示し、総合的に評価できる方法を提案した。

第 4 章「ホテルにおけるコージェネレーションシステムの導入効果に関する研究」では、上海 HY 飯店を研究対象とし、エネルギー消費量の実測データを用い、特性を解析し、CGS の導入による省エネルギー性・経済性・環境性を明らかにした。結果から見ると、現状では、当ホテルは 350 kW の CGS を導入しているが、本研究で紹介した「最大直方体法」を利用して得られた容量は 2060 kW である。つまり、現状システムの容量はかなり小さいことがわ

かった。また、エネルギー消費の構成を見ると、現状システムにおいて、CGS は総エネルギー負荷の小さい割合（約 20%）を供給している。一方、提案システムにおいて、CGS を導入した分散型エネルギーシステムはホテルの主なエネルギー負荷を満たす。なお、現状システムは CGS の導入により、従来システムよりエネルギー消費量が削減できるが、かなり省エネルギーのポテンシャルがあることがわかった。更に、環境性の視点から見ると、今回提案した「熱主電従」の運転方法を採用したシステムでは、CO₂ 排出量の半分以上が削減できる。

第 5 章「高層住宅におけるコージェネレーションシステム導入の総合評価に関する研究」では、様々な原動機およびデザインと管理モードを考慮しながら、対象とする高層住宅における CGS の経済性、環境性、および省エネルギー性を統合的に評価した。分析の結果によると、省エネルギー性および環境性の面から見ると、GE システムおよび FC システムに基づいた CGS は住宅に対する実現可能な技術的なオプションであり、GT と SE システムは需要側との熱電比が異なるため、エネルギー消費量と CO₂ 排出量は従来システムより増加する。経済性の面から見ると、現状では、住宅における CGS の導入は実現可能性は低い。また、総合的にいえば、経済性に注目する場合、GE システムは最も良いオプションで、そうでなければ、FC システムは最優先の選択である。なお、特定の設計と管理モードは特定の CGS 技術に適する。総合的にいえば、HT と EI モードを採用する場合、GE システムは最優先の選択であり、ET モードでは、FC システムが最良である。更に、天然ガス価格を下げる方法は住宅における CGS の導入を推進することができる。天然ガスの価格は現状の 70%に下がった場合、HT モードを採用する GE システムの経済性は理想的になる。

第 6 章「地域における分散型エネルギーシステムの導入効果に関する検討」では、「ゼロ・カーボン街区」を実現するため、地域分散型エネルギーシステムを提案し、モデル地区における地域エネルギーシステム導入のためのデータベースを構築した上で、地域分散型エネルギーシステムの導入効果を評価する。結果から見ると、合理的なシステム計画により、地域内賦存する自然エネルギーと都市ガスを活用した高効率な地域エネルギー供給は生活利便施設の全エネルギー負荷（電気と熱）の 90%以上を供給できる。エネルギーセンターを採用する集中設備ケースにおいて、太陽光発電は全電力負荷の約 30%を満たす一方、全熱負荷の約 45%は太陽熱より賄える。また、地域エネルギーシステムの導入は優れた省エネルギー性と環境性を持っている。特に、燃料電池を導入しているケース 4 では年間一次エネルギー消費と年間 CO₂ 排出量はそれぞれ約 45.1%と 70.4%が削減可能である。排熱の有効利用は地域エネルギーシステムの効果に影響を与える一つ重要なポイントとなっている。一つの利用方法として、低温水バイナリー発電による電力のカスケード利用を提案し、年間 CO₂ 排出量は 74%以上削減可能である。なお、分散型エネルギー技術の初期投資は高いため、現段階において地域分散エネルギーシステム導入の経済的なメリットは限定的であ

り、ゼロカーボンを実現するための一つの重要な課題となっている。更に、地域エネルギーシステムの経済性を高める施策として、国内クレジットという市場制度の活用が限定的である一方、政府補助金政策と組合せれば、地域エネルギーシステムの経済性を良くすることができる。システム構成の視点から見ると、分散設備ケースと比べ、集中設備ケースのメリット（省エネルギー性、環境性と経済性）は明らかとなっている。省エネルギー性、環境性と経済性のバランスを取った全体の視点から見ると、ガスエンジンと「熱主電従」の運転方式を採用する集中設備ケースが最適な選択肢と考えられる。

7.2 今後の展望

本研究では、分散型エネルギーを一層普及させるため、従来通り評価分析のみならず、省エネルギー性・環境保全性・経済性の諸面からも評価を行った。今後の展望、課題について以下に示す。

① 地域規模の分散型エネルギーシステムを導入する立場からその可能性を論じるとともに、配管レイアウトなどを含めた熱源ネットワーク化の計画を策定していくことが望まれる。

② 都市の個別改善努力では限界に達している現状を打破し、エネルギーと資源の地域内循環を生む都市・農村の有機的連携による地域の低炭素エネルギーシステムへの道筋を示すべきである。

③ 国際互恵という視点から、CDMなどの仕組みを考え、中国における分散型エネルギーの導入促進策を検討していきたい。

④ 中国では欧米、日本とのガスエンジンの合弁工場を実施しているとともに、分散型エネルギーシステムを導入するコストは大幅に下げ、促進することが望まれている。

⑤ 中国政府はさらに中国における分散型エネルギーの導入に対してあたらしい促進策を考えるべきである。

⑥ 今後では、分散型エネルギーシステムを導入するのは電力の供給安定性の確保への貢献のうえに、上海都市電気負荷のピークを大幅に下げられるというので、上海電力部門からの更なる協力を得られることが望まれている。

謝 辞

本研究に当たって、恩師である北九州市立大学高偉俊先生には、研究から生活の各面まで多大な御指導と御支持を頂き、幅広い視野で都市環境及びエネルギーについて理解を深める機会を与えて頂きましたことを心から感謝申し上げます。

黒木荘一郎先生、デワンカー・バート先生、中武繁寿先生には、ご多忙の中に本論文の審査を引き受けて頂き、貴重な御助言と御指導を頂きましたことを感謝いたします。

本研究は、高偉俊研究に在籍していた多くの方々に多大な御協力を頂きました。研究室の先輩方、任洪波博士には、地域における分散型エネルギーシステムに関する研究などに貴重なご意見を頂きました。なお、共同研究やグループの活動を通じて韋新東先生、李海峰先生や卒業した大勢の大学院生や卒業生たちには、数多くの議論を通じて多くの御協力を頂きました。ここに記して衷心に感謝いたします。

最後にこれまで日本における3年間あまりの生活にわたり、常に暖かく見守って頂いてい、いつも私を支えてくれた夫・任建興に深く感謝致します。