

横浜国立大学  
博士論文

首都圏大都市域のサステナビリティ実現に向けた  
地域エネルギーシステムの構築に関する研究

横浜国立大学附属図書館



11737251

寄贈者：元アンナ

11737251  
首都圏大都市域のサステナビリティ  
実現に向けた地域エネルギーシステ

首都圏大都市域のサステナビリティ実現に向けた  
地域エネルギーシステムの構築に関する研究

377.51  
W0

博士論文

首都圏大都市域のサステナビリティ実現に向けた地域エネルギーシステムの  
構築に関する研究

横浜国立大学附属図書館



11737251

## 本研究における言葉の定義

【都市都区部】東京都の特別行政区 23 区を示す。

【首都圏大都市域】日本の首都圏整備法の定める区域とし、東京都・千葉県・埼玉県・神奈川県・茨城県・栃木県・群馬県・山梨県の全域とされる。本研究では、東京都とその周辺を含む地域の内、都市の機能が密集しており、エネルギー負荷が高い地域を指す。

【地区】地域冷暖房の導入対象となる広さと密度をもった建物群で構成される区画及びそれらの集合体を示す。

【地域循環型システム】地区内で発生する水・エネルギーと廃棄物を、地区内において循環再利用を積極的に図ることにより、環境負荷を軽減するシステムを循環型システムと定義する。

【高密度市街地】都市の中でも特に多くの人々が産業活動や生活のために居住し、業務、商業、病院、宿泊、住宅などの都市機能が高度に蜜積し、

【インフラ・ストラクチャー】法令に定める都市基盤施設のことを言い、ユーティリティーの供給処理施設系に近い概念で用いられることが多い。本研究では、都市施設、都市装置などの都市生活を支える水、エネルギー、ごみ、情報の供給及び処理のサービスを行う施設、設備をいう。

【ライフライン】ワイフラインと呼ばれている基盤維持装置は、インフラ・ストラクチャーと道義の意味を指す。

【地域冷暖房】一ヶ所又は数ヶ所の熱発生所（プラント）から複数の建物などに、導管で結んで冷房・暖房・製造などに使用するために、冷水・温水・蒸気を供給することをいう。

【地域エネルギーシステム】一ヶ所又は数ヶ所のエネルギー発生所（プラント）から複数の建物などに、熱に加え、電力などの様々な形のエネルギーを製造・供給するのを地域エネルギーシステムという。

【熱負荷密度】ある地域での熱の需要量を算出し、単位面積 1ha 当りの年間熱需要量とし表す。地域或いは地区の熱負荷の大きさを表す指標で、年間熱負荷量は、冷暖房、給湯を合わせた熱負荷の二次エネルギーである。

【一次エネルギー使用量】ユーザーの利用端のエネルギー使用量だけではなく、製造段階および供給段階に使用したエネルギーの全てを含む、エネルギー使用量をいう。

【エネルギー換算値】一般に、建物で使用されるエネルギー源は大別すると電力、ガス、石油であり、これらの計量単位は、それぞれ「kWh」、「m<sup>3</sup>」、「kl」である。建物で消費されるエネルギー量を総合的に比較したり、方式ごとの効率を考える場合、同一の単位で取り扱う必要があるため、用いられる。一次エネルギー換算と二次エネルギー換算があるが、本研究では前者を用いる。

エネルギー種類			1次エネルギー換算値	2次エネルギー換算値
電力			10.26 MJ/kWh	3.6 MJ/kWh
ガス類	都市ガス	6B	20.93 MJ/m <sup>3</sup> -N	20.93 MJ/m <sup>3</sup> -N
		13A	46.05 MJ/m <sup>3</sup> -N	46.05 MJ/m <sup>3</sup> -N
石油類		軽油	37.47 MJ/l	37.47 MJ/l
		A重油	39.77 MJ/l	39.77 MJ/l
		B重油	40.14 MJ/l	40.14 MJ/l
		C重油	40.81 MJ/l	40.81 MJ/l
			41.65 MJ/l	41.65 MJ/l
地域冷暖房		蒸気	1350 kJ/MJ	1000 kJ/MJ
		温水	-	1000 kJ/MJ
		冷水	1950 kJ/MJ	1000 kJ/MJ

【省エネルギー】地域までは建物において比較対象になる基準システムに比べ、新たなシステムなどの導入により達成される、一次エネルギー換算のエネルギー消費量の削減を指す。

【「夏期」、「冬期」、「中間期」】本文の中で特にことわりのない限り、6～9月を夏期、12～2月を冬期、3、4、5、10、11月を中間期と定義する。

【熱電比】電力需要に対する熱需要の割合で表し、エネルギー需要特性を示す。このとき、電力需要は二次エネルギー換算値を用いる。1 kWh=860kcal

【冷温比】全熱需要に対する冷熱の割合で表し、エネルギー需要特性を示す。

【排熱】「排熱」と「廃熱」は区別して扱い、前者はエネルギー使用によって排出される熱を総合的に指し、地域熱供給などに有効活用な可能性がある「熱」を言う。後者は有効活用可能性がない通常は廃棄されている熱を総じて指す。

【災害】その要因（素因や原因など）が自然的なものであれ人為的なものであれ、人間および人間社会に何らかの破壊力が加わって、任命が失われたり社会的資産などが失われることによって、これまでに構築されてきた社会的均衡が崩れることを指す。

【防災】災害対策基本法(1961年11月15日に公布)の第2条2項に防災の定義がなされている。すなわち「災害を未然に防止し、災害が発生した場合における被害の拡大を防ぎ、及び災害の復

旧を図ることをいう。」と指している。

【平常時】通常の状態建物物が機能し、上下水道、電気、ガスなどのライフラインの機能が維持されている状態を指す。

【非常時】大災害等で建物物が必要最低限の機能しか行わず、上下水道、電気、ガスなどのライフラインの機能が停止した状態を指す。

【地域自立型システム】災害時に電力、ガスなどの広域のエネルギー供給が途絶えた場合でも、地域の最低限の活動が可能であるように、自家発電設備との兼用によるコージェネレーションや、防火水槽との兼用による地区熱槽などを持つシステムのことをいう。

## 目 次

- \* はじめに
- \* 本研究における用語の定義

### 第 1 章、従来研究と本研究の位置づけ

- 1-1 概要
- 1-2 本研究の基本的な考え方
  - 1-2-1 サステナビリティとは
  - 1-2-2 複合熱源を活用した地域エネルギーシステム
  - 1-2-3 非常時を備えた地域エネルギーシステム構成の重要性
  - 1-2-4 省エネルギーとエネルギー合理的使用
- 1-3 従来研究
  - 1-3-1 非常時における都市基盤施設の機能に関する研究
  - 1-3-2 原単位に関する研究
  - 1-3-3 エネルギーの効率使用に関する研究
  - 1-3-4 地域エネルギー供給システムの導入地区の選定に関する研究
- 1-4 結論及び本研究の位置づけ
  - 1-4-1 結論
  - 1-4-2 本研究の位置づけ

### 第 2 章、都市機能密集地区における供給信頼性を考慮した地域エネルギーシステムの構築に関する研究

- 2-1 概要
- 2-2 各種建築物のエネルギー設備の現状・ニーズに関する調査検査
  - 2-2-1 調査対象および調査内容
  - 2-2-2 各種建築物のエネルギー設備の現状
  - 2-2-3 非常時も含めたエネルギー供給の信頼度に関するニーズ
  - 2-2-4 用途別ニーズに関する詳細分析
- 2-3 地域における非常時の備え
  - 2-3-1 マイクログリッドによる高品質電力供給
  - 2-3-2 評価の考え方
  - 2-3-3 東京における各建物の分布図
- 2-4 結論

### 第3章、都市空間構成と地域特性の分類に関する研究

- 3-1 概要
- 3-2 エネルギー需要密度とエネルギー利用形態による導入地区選定
  - 3-2-1 建物平均エネルギー負荷密度と区域エネルギー負荷密度
  - 3-2-2 エネルギー負荷密度による地域エネルギー供給システムの導入期待地区選定
  - 3-2-3 高密度エネルギー需要期待地区の類型化
- 3-3 地域特性による地域エネルギーシステムの効率分析
  - 3-3-1 評価設定条件
  - 3-3-2 エネルギー評価指標
  - 3-3-3 コージェネレーション運転方法
  - 3-3-4 地域エネルギー供給システムの導入効率分析
- 3-4 結論

### 第4章 地域エネルギーシステムの新規導入地区および設備更新地区における省エネルギー性に関する研究

- 4-1 概要
- 4-2 新規導入地区の地域エネルギーシステムの状況及び周辺地域の特性検討
  - 4-2-1 分析対象の概要
  - 4-2-2 日本橋地区都市再生提案
  - 4-2-3 地域エネルギーシステム導入建物の概要
  - 4-2-4 地域エネルギーシステムの活用効果分析
- 4-3 設備更新地区の地域エネルギーシステムの状況及び周辺地域の特性検討
  - 4-3-1 大丸有地区将来展望
  - 4-3-2 分析対象の概要
  - 4-3-3 地域エネルギーシステムの活用効果分析
- 4-4 地域エネルギーシステム連携効果検証
- 4-5 結論

### 第5章 既存地域エネルギーシステムの省エネルギーマネジメントに関する研究

- 5-1 概要
- 5-2 エネルギーマネジメントとは
- 5-3 運転条件によるエネルギーマネジメント
  - 5-3-1 研究の流れ
  - 5-3-2 対象地域エネルギー供給システムの概要
  - 5-3-3 エネルギー需要・供給パターン分析
  - 5-3-4 運転条件によるエネルギーマネジメントのトケーススタディ結果

5-4 補助機器活用したエネルギーマネジメント

5-4-1 蓄電池の活用による地域構成別の省エネルギー性検討

5-4-2 研究対象エリアに導入ケーススタディ

5-5 結論

第6章 低密度地区における個別エネルギーシステムの活用によるエネルギー合理的使用に関する研究

6-1 概要

6-2 地域における熱需要の密度分析

6-3 個別冷暖房システムの状況及び効率検討

6-3-1 実測

6-3-2 CFD解析対象および評価方法設定

6-3-3 CFD解析結果

6-4 結論

第7章、将来的な地域エネルギーシステムの導入効果に関する研究

7-1 概要

7-2 機器効率の将来的変化予測

7-3 効率性評価指標の変化による首都圏における地域エネルギーシステムの導入効果

7-4 熱源機器効率による有効熱源の変化

7-5 適正発電容量における安全性の検討

第8章、結論と展望

8-1 研究成果のまとめ

8-2 今後の課題と展望

## 第1章、従来研究と本研究の位置づけ

### 1-1 概要

### 1-2 本研究の基本的な考え方

#### 1-2-1 サステナビリティとは

#### 1-2-2 複合熱源を活用した地域エネルギーシステム

#### 1-2-3 非常時を備えた地域エネルギーシステム構成の重要性

#### 1-2-4 省エネルギーとエネルギー合理的使用

### 1-3 従来研究

#### 1-3-1 非常時における都市基盤施設の機能に関する研究

#### 1-3-2 原単位に関する研究

#### 1-3-3 エネルギーの効率使用に関する研究

#### 1-3-4 地域エネルギー供給システムの導入地区の選定に関する研究

### 1-4 結論及び本研究の位置づけ

#### 1-4-1 結論

#### 1-4-2 本研究の位置づけ

## 1-1 概要

地域エネルギーシステムは都市機能の多様化・高度化に伴い、エネルギーを供給システムだけの機能に止まらず、総合化された機能が要求されるようになる。

都市は機能維持や快適な環境確保のため、大量のエネルギーを消費している。機能が密集することにより、より多いエネルギーを必要とすると共に、資源枯渇、地球温暖化、ヒートアイランド現象などの深刻な環境問題の原因となっている。エネルギーの有効利用が工夫されたエネルギー供給システムの環境性はもっと要求されるようになるだろう。また、インテリジェンス化、高度化していく都市はより高いエネルギー供給の信頼性を要求している。特に、大都市、首都圏大都市は一つの国の心臓部の役割を果たすだけではなく、国際的に重要な役割を果たす事務所ビルなどが多い。また、地震などの非常時には人間の安全を確保・防災拠点として機能をすべき建物の重要性は極めて高い。東京のように日本だけではなく、国際的に重要な役割を果たしている大都市域は、まずエネルギー供給の地域自立性を持つべきである。非常時でも機能維持や最低限のエネルギーの確保は非常に重要である。

このような課題に対し、地域エネルギーシステムは、環境負荷の軽減、省エネの推進、都市防災、エネルギー供給信頼性・自立性の向上などを図りつつ、快適で質の高い都市づくりを支える重要な都市基盤としての役割が果たすべきである。

今までのエネルギー供給システムはエネルギーの節約などの環境性が強く求められ、それらの研究が行われているが、今後、地域エネルギー供給システムが都市のサステナビリティを実現に向けて都市基盤システムとして発展するためには、「エネルギー供給信頼性」と「環境性」の両方の観点で構築される必要があることから、「エネルギー供給信頼性」の検討に含めた地域エネルギーシステムの評価を行うことを本研究の目的とする。

1-2 本研究の基本的な考え方

1-2-1 サステナビリティとは

1) 東京首都圏の持続可能性

サステナビリティとは持続の意味を持つ。「持続」の辞典的意味は「ある状態がそのまま続くこと。また、保ち続けること。」であるが、都市は生きている生命体のように変化を積み重ねている。物理的、社会的条件が相好作用により循環しつつ、発展していく。すなわち、都市の「生物の生存環境・地球環境」「都市の経済環境」「地域の生活環境」などの要素が調和し、発展していく状態を都市の「サステナビリティ」と言える。

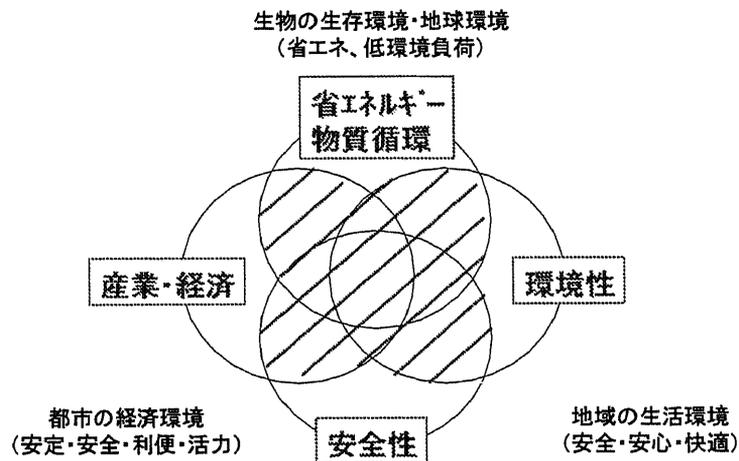


図 1-2.1 都市の持続可能性の成立条件

また、小さいスケールの人間から建物、地域、都市、国、バイオリージョン、地球に至るまで、同じ時間軸を共有している空間が相好間の影響力を持ちつつ、それぞれが追求する防災性、環境性、快適性などを持続・発展していくことがサステナビリティとも言える。

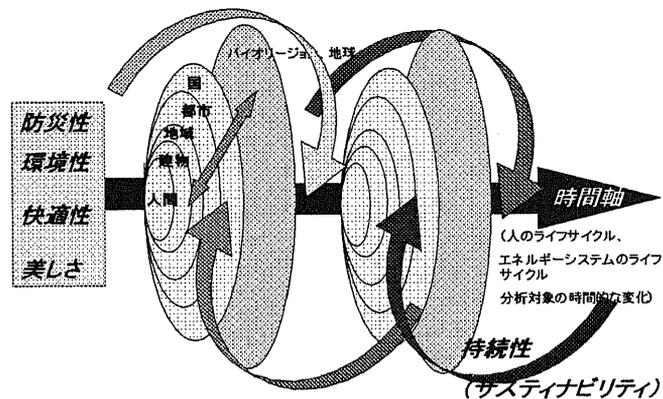


図 1-2.2 サステナビリティの概念

エネルギーに関する社会的な動向をみると、国の行政府や立法府がどのように取り組み問題解決を図っていくかを方向つけるために、「エネルギー政策基本法」が2002年6月に公布され、それを受けて2003年10月に「エネルギー基本計画」が閣議決定されている。

エネルギー基本計画の目的は次のように「エネルギーが国民生活の安定向上並びに国民経済の維持及び発展に欠くことのできないものであるとともに、…(省略)…エネルギーの需給に関する施策に関し、基本方針を定め、並びに国及び地方公共団体の責務等を明らかにするとともに、…(省略)…エネルギーの需給に関する施策を長期的、総合的かつ計画的に推進し、もって地域及び地球の環境の保全に寄与するとともに我が国及び世界の経済社会の持続的な発展に貢献することを目的とする。」第1条に示されている。

この基本法と基本計画では、エネルギー政策における基本的な課題として、「安定供給の確保」「環境への適合」と「市場の原理活用」などを挙げられ、「国、地方公共団体、事業者、国民の責務および相互協力」「エネルギーに関する知識の普及」などを求めている。この3つの同時的な達成は困難であるが、時間的範囲を明確化し、具体的にどう実現するかを検討するべきである。

従って、本研究では都市のサステナビリティ実現に向けた地域エネルギーシステムの構築のあり方について考察することを目的とする。

## 2) 地域エネルギーシステムのサステナビリティ

都市、地域におけるエネルギーシステムはどのようなものであるべきなのか。

「地域冷暖房とは、一定の地域内で冷房、暖房、給湯およびその他の熱需要を満たすため、一ヶ所または数箇所の熱供給設備（地域冷暖房プラント）で集中的に製造された冷水、温水、蒸気などの熱媒を地域導管を用いて複数の需要家建物へ供給するシステム」と定義されている<sup>(文献1)</sup>。日本の地域冷暖房は、1970年同時は都市の大気汚染防止策としての役割が大きく期待された。石油ショック以降には、これらに加えて省エネルギーが世界的な課題になり、地域冷暖房の効果も省エネルギーの推進が重点となる。地域スケールとしての省エネルギー化が大きく期待されると共に、清掃工場の排熱、発電所や下水・河川・海水利用などの未利用エネルギーの有効活用手段として期待され、今日に至っている。

しかし“地域エネルギーシステム”を明確に定義した文献はみられないが、地域冷暖房に加え、地域の特性を考慮して電気の供給マネジメントを含めたエネルギー供給・処理システムと考えられる。地域エネルギー設備の計画に加えて、その運用、設備の適切な更新も含めて、長期ビジョンを提示できるように、地域のニーズと地域にある資源（エネルギー源となる資源とエネルギー関連設備の両方を含む）に介在し、地域全体のエネルギーを効率よく利用することなどによるサステナビリティに資するシステムと言える。

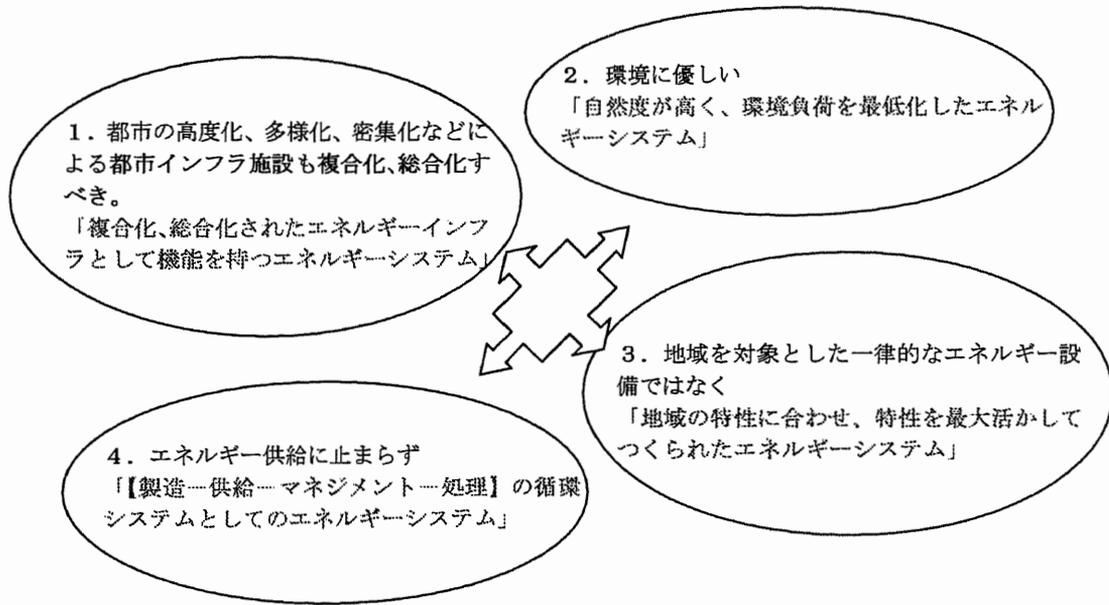


図1-2.3 地域エネルギーシステムの未来像

## 1-2-2 複合熱源を活用した地域エネルギーシステム

日本での地域エネルギーシステムは、1965年頃の高度経済成長期に、過密化した都市の大気汚染防止対策としての地域冷暖房の役割が大きく期待されるようになり、東京都では1969年秋に地域冷暖房計画数進委員会が設置されることからはじめ、1972年12月に熱供給事業法が公布されて地域冷暖房が公益事業として位置付けられた。また、1970年に行なわれた日本万国博覧会で地域冷暖房が導入されるなどから現在に至る。

しかし、電力中央研究所報告書による日本の地域冷暖房の普及率は1.2%であり、アイスランド85%、ロシア70%、ドイツ12%などに比べて極めて低い。

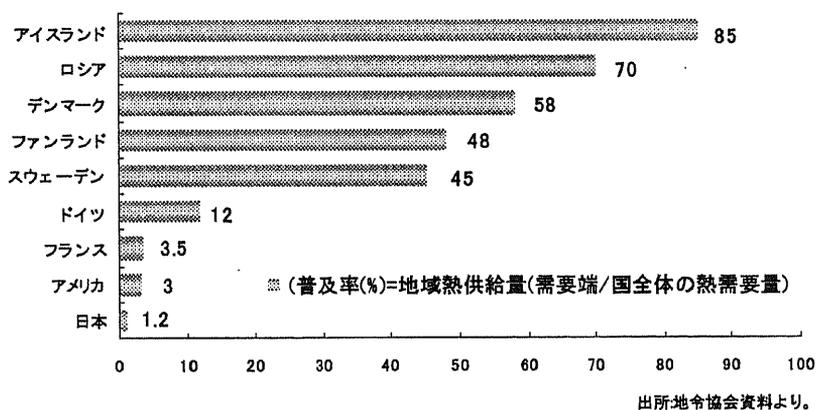


図1-2.4 地域冷暖房普及率(出展:電力中央研究所報告書 他)

世界の地域冷暖房は1877年、ニューヨークのロックポートにおいて、数軒の建物に中央プラントから地下配管によって蒸気を供給したのが世界で初めての地域冷暖房であったという。以来、約100年を経て、地域冷暖房はヨーロッパ大陸、アメリカ大陸を中心に普及してきている。地域エネルギーシステムの導入要因は、各国、各都市、さまざまであるが、地域冷暖房が来たの寒冷地の先進諸国の大都市に多く見られることから、厳しい気象条件が大きい原因と言える。

しかし、ヨーロッパにおえて温熱供給中心の地域暖房ネットワークが整備されているからと言って、日本においてもそれをそのまま当てはめて考えるのは危険である。日本の年間平均気温はヨーロッパに比べて高く、需要側の建物用途として業務系施設(事務所)や商業施設が支配的な割合で構成されていることが多い。そのような需要家は温熱より冷熱の方が高いことから、東京には東京にあった地域エネルギーシステムを考えるのが必要である。

現在はコージェネレーションなどにより熱だけを供給することに止まらず、電力も一緒に供給できるようになったため、系統電力を補助する非常用電源としての役割も期待される。また、ヒートポンプなどを用いることにより河川水、下水などの未利用エネルギー源の活用ができ、より環境に優しい地域エネルギーシステムの構築が可能となった。

地域エネルギーシステムの概念を図1-2.5に示す。

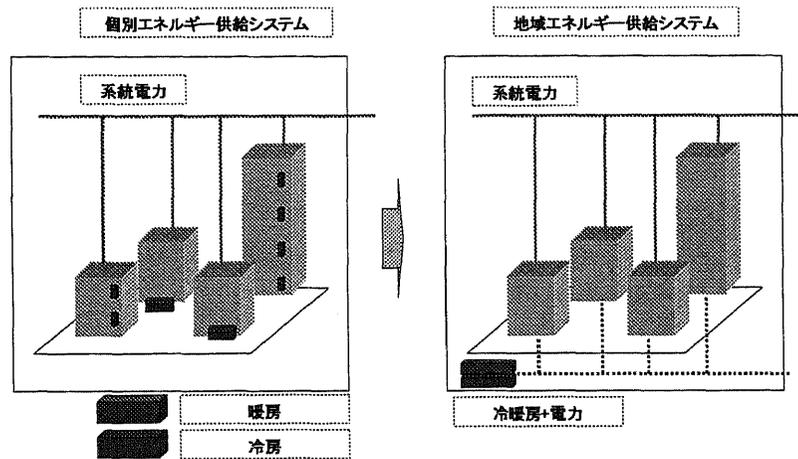


図1-2.5 地域エネルギーシステムの概念図

地域エネルギー供給システムのメリットは次のように挙げられる。

① エネルギーの有効利用

供給対象が広く、建物の用途も様々であることから、負荷の平準化が図られエネルギーが節約できる。また、大型機器の採用や、機器の群管理制御により、高効率運転が可能である。また、未利用エネルギーを有効活用し、エネルギー消費の低減を図ることが期待される

② 熱の安定供給

昼夜の区別なく空調を利用する建物が年々増加している中、熱供給事業法で熱媒の安定供給が義務付けられている地域熱供給は、運転保守管理にも安定性が期待できる。

③ 省力化

需要側の各建物には、熱源設備、貯油設備などがなくなることから、一定の資格を持つ主任技術者や運転管理要員が不要になり、人件費を削減できる。また、プラント要員も個別冷暖房方式における個々のビル要員総計よりも少なく済み、地域全体での省力化が図れる。

④ 都市の環境保全・改善

個別ビルの設備を集中化させ、燃料の良質化、ボイラの大型化を図ることによって、SOX、NOX、CO、すす、などの大気汚染物質の排出を削減できる。更に、騒音、振動などの対策も集中的に管理できるため、公害防止にも寄与する。

⑤ 都市の災害の防止

燃料を使用するのがプラントのみであることから、需要家側の各建物では危険物の貯蔵及び取り扱いが不要となり、タンクローリーなどの出入りもなくなることから、安全性が増す

⑥ スペースの有効利用

各建物の冷凍機、ボイラ、冷却塔、蓄熱設備などが不要になることから、その分のスペース

の有効利用が図れる。また、プラントを設置する建物に対しては、プラント面積に相当する容積率が緩和される。

### 1-2-3 非常時を備えた地域エネルギーシステム構成の重要性

#### 1) エネルギー供給信頼度の基本的な考え方

現在の生活様式では、電気を欠いては成り立たない。都市機能の多様化・高度化により、地震や台風等の大災害でエネルギー供給に支障が生じた場合、社会に及ぼす影響は図り知れないものである。災害時に停電になると、誘導灯などの非難設備や各種の消化設備などが作動しなくなり、もっと被害を拡大する恐れもある。さらに現代社会では情報社会としての都市機能が高まっており、非常時に限らず平常時でのエネルギー供給の信頼度の要求は非常に高くなっている。

阪神・淡路大震災から早くも10年が経過したが、中越地心につづき、昨年来の度重なる台風災害などもあいまって、日本はまさに災害列島の常態化である。

地震、自然災害などの大震災に見舞われる可能性が高い地区で、官公庁施設、医療施設、学校、コミュニティ施設などは非常時に避難場所として重要な役割を果たす施設が集中している地域や避難場所、災害による被害拡大危機地区と近接した地域であれば防災性を備えたこの確報が必要である。非常時に都市インフラが遮断されても、地域の特性とニーズにあった機能を保有することによりある程度の期間、地区内の重要施設や住民の生活機能を自立させることが必要である。

これらの概念を実現できる社会的背景として複数の需要家に対して、その所有者及び建物一括運営管理者が電気を供給することにより、常用と非常用の兼用利用が可能となる電気事業法（特定電気事業法）平成7年12月1日に改正された。特定電気事業法により熱供給者が設置するコージェネレーションを用い、熱供給施設を含むビル全体へのエネルギー供給が可能になった。

従って、公共施設では災害によるの地域熱供給の防災面、安全面の効果としては、以下の3点が考えられる。

#### (1) 火災の減少効果

熱供給では、建物個別に燃料を取り圧会う場合に比べて、集中した燃料管理を行なうことから防災性が高いと言われる。しかし、近年、ガス・石油などの防火技術の進展から、熱供給の導入が検討されるような再開発、新開発ちくにおいては、熱供給の有無に関わらず高度な防火対策が行なわれるものと考えられる。ただし、住宅に対する熱供給では室内から燃焼機器を除外することによる防災効果は大きい。(文献1)によれば、住宅における出火原因のうち、ストーブによるものが9.5%、風呂釜によるものが4.2%を占め、合わせて13.7%が熱供給で代替できる用途に関連したものとなっている。

#### (2) 災害時の供給安定性

災害時の供給安定性を考える参考として、(文献2)の兆歳による阪神・淡路大震災における地域熱供給施設の被害事例をみると、業務系の3施設について、熱源機器や導管においては供給停止に至るような大きな被害はみられていない。しかし、冷却塔の障害により冷水供給が遅れた事例があることと、ほとんどのプラントにおいてガスや巢井戸などライフラインが復旧するまで供給が開始できなかったことは、供給安定性の観点からは問題が残る。前者の対策としては、冷

却塔に加えて河川水や井水熱源などの複数の冷却水源によるバックアップ、後者はコージェネレーションなど自家発電、あるいは燃料の備蓄や中圧ガス管への直接接続などが有効であるが、いずれも経済性など他の評価項目とのトレードオフが生じるので、データセンターや病院の有無など地区特性におじて整備していくことが必要である。

### (3) 防災拠点としての活用可能性

災害時に消化活動、被害者救護や各種情報収集の拠点となる施設における地域エネルギーシステムの効果としては、蓄熱槽や未利用熱源水が防火用水として活用できること、安定した燃料供給が可能な形でのコージェネレーションシステムが非常用電源として活用できることなどが考えられる。

### 2) 法律における非常用・常用電源設備の条件

防災設備に関連する設備として、非常電源が挙げられる。非常電源とは、非常電源専用受電設備、自家発電設備および蓄電池設備の3種類が存する。そのうち、自家発電設備と蓄電設備については、商用電力と別途電源を確保するものであり、停電時に瞬間的に電源が切り替わることにより、電力の供給ができるものである。

自家発電設備はガスエンジン、ガスタービン、ディーゼルエンジンなどによって、自家用の電気を発電する設備であり、常用電源が停電したときは40秒以内、定格負荷における連続運転可能時間以上出力できるものでなければならない。

一方、非常電源専用受電方式は、他の回路の影響を受けることなく継続して電力の供給が続けられるものであるが、系統電力がダウンしたばあいには、当然電力供給を持続できない短所がある。そのため、大規模な特定防火建物には認められていない。

非常電源専用受電設備による方法は下記の受電方法が考えられる<sup>文献4)</sup>。

- 1) 専用の受電設備で受電する方法
- 2) 主変圧器の2次側より受電する方法 (①高圧または特別高圧で受電、②低圧で受電)

消防法による非常電源設備の容量を表1-2.1に示す。

表1-2.1 消防法による非常電源設備の容量

関係条文	設備	容量	自家発電設備	蓄電池設備	非常電源専用受電設備
規 12-1-4	屋内消火栓設備	30分	○	○	○*1
規 14-1-6 の 2	スプリンクラー設備				
規 16-3-2	水噴霧消火設備				
規 18-4-13	泡消火設備				
規 22-6	屋外消火栓設備				
規 30-8	排煙設備				
規 31 の 2-8	非常コンセント設備				
規 31-7	連結送水管	2時間	○	○	○*1
規 19-5-20	不活性ガス消火設備	1時間	○	○	/
規 20-4-15	ハロゲン化物消火設備				
規 21-4-17	粉末消火設備				
規 31-2 の 2-7	無線通信補助設備	30分	/	○	○*1
建令 126 の 7-7	非常用進入口赤色灯設備	30分	/	○	/
建令 126 の 5-1	非常用の照明装置	30分	○	○	/

/ ; 認めぬ、○印 ; 適合、

\*1 ; 特定防火対象物で延面積 1,000m<sup>2</sup> 以上は原則として認めない

\*2 ; 1 分蓄電池設備または予備電源で補完できる場合に限る。

\*3 ; 大規模・高層の防火対象物の必要な避難経路に設けるものにあつては、60分(20分を超える時間における作動に係る容量に会つては、自家発電設備によるものを含む)

また、法律の改正や技術基準を基に、最近ではビル等でコージェネレーションシステムを導入する場合に、常用発電のみではなく、非常用予備発電装置と兼用できるシステムを導入する常用防災兼用発電設備が可能となると共に、導入する例が多くなっている。

平成6年5月27日付け消防庁予防課長通知第137号「常用防災兼用ガス専焼発電設備を設置する場合の運用について」別添資料として位置づけられ、全国の消防機関へ通知されていた『消防設備用発電設備技術指針』(以下「技術指針」という。)がある(文献5)。

本技術指針の内容は、常用と防災用を兼用したガス専焼発電設備について、地震時にも都市ガス等の気体燃料を安定して供給するために、ガス事業法令には記載されていないガス導管の設置・運用基準などを具体的に規定したものである。また、火災・地震等の災害時において、消防設備を安全かつ確実に作動させるための必要条件を規定している。

「電力を常時供給する自家発電設備は、防火対象物に設置される消防用設備等を有効に作動させることができる電力を供給できる自家発電装置を2台以上有するもの」とされ、「予備燃料

を保有せず都市ガス単独で自家発電設備の燃料として使用する場合は地表面水平加速度 400 ガルの地震動が加えられた後であっても燃料が安定して供給されるものであること」などの基準が設けられた。

建物内の自家発電設備や燃料配管の耐震基準は建設省住宅局建築指導課監修「建築設備耐震設計・施工指針」（1997年版）に従っている。自家発電設備が防災時に重要度の高い機器であることを考慮し、自家発電設備及び燃料配管の設計用標準震度については0.6以上とする「建物内の設備機器の耐震計算に用いる設計用標準震度」が規定されるほか、また、消防庁告示第1号「自家発電設備の基準」の改正により、防災専用の自家発電設備についても気体燃料が使用できることとなったことから、防災専用についても都市ガスの安定供給が適用できることとなる。

常用防災兼用発電設備の必要条件を簡単に要約すると表1-2. 2のようになる。

表1-2. 2 常用防災兼用発電設備の必要条件

必要設置台数		防災出力以上の出力を有する常用発電設備が、2台以上必要	
構造・性能	原動機の種類	往復動内燃機関又は、ガスタービンとし、燃料は液体燃料でも気体燃料のどちらでも使用できる。	
	始動性能	自動始動方式とし、電圧確立及び投入までの所要時間は40秒以内	
	連続運転時間	常用防災兼用発電設備は、防災出力で1時間以上連続運転できることが必要	
	常用防災兼用発電設備の出力	2台以上設置して使用する場合は、書く常用防災兼用発電設備の出力は、常用出力と防災出力とを算出して「防災出力」以上の出力があることが必要条件	
	燃料供給体制	液体燃料を使用するもの	主燃料槽に常時保有量が確保できない場合は、定格負荷で2時間運転できる量の予備燃料を設け、主燃料の供給が絶たれた時に40秒以内に切り替えられることが必要
		気体燃料を使用するもの	(a) 都市ガスを使用し、その評価を行い「指針に示す基準に適合し、かつ、都市ガスが安定供給できるもの」と評価されたものは、予備燃料の設置は不要となります。 (b) 「都市ガスの安定供給ができない」と評価されたものは、定格負荷で次の時間連続運転ができる量の予備燃料を保有するものとし、気体燃料の供給が絶たれた場合には、40秒以内に予備燃料に切り替えられることが必要。 ○液体燃料に切り替えるもの：2時間分 ○気体燃料に切り替えるもの：1時間分+点検用ポンペ1本
耐震措置		常用防災兼用発電設備、関連機器・設備、配管等を含め気象庁震度階の震度5程度の地震時には、設備の損傷がないよう、又震度6の地震で地表面水平加速度が300ガル程度までの地震に対しては、設備全体が建築物から脱落したり、転倒或いは移動することなく、常用防災兼用発電設備全体の機能確保が可能であるように耐震措置が講じられたものとします。  気体燃料を用いる常用防災兼用発電設備に対する都市ガスの供給は、地表面水平加速度300ガル程度までの地震に対して、安定供給ができるものとします。	

非常用電源が必要となる停電などの電源障害が発生すると、社会活動や経済活動に重大な影響を及ぼし、社会システムが混乱することになる<sup>3)</sup>。

電気設備からみた高品質の電源とは、電圧・周波数が所定の値に維持され、一般に電源品質

に係わる項目を挙げると、停電、瞬時電圧低下、高周波、電磁障害、電圧変動・異常電圧などが挙げられる。これらの内の停電、瞬時電圧低下、設置環境に対し、電源品質にかかわる項目の現状とその影響を表1-2.3に示す。

表1-2.3 電源品質の現状と影響

項目	品質概要	影響・障害
停電	欧米諸国に比べ停電時間は極めて短い が、電気事故や自然災害による停電は避 けられない。年間停電時間は欧米が50～ 100分に対し、日本は10分以内	計算機や照明、空調の停止などにより、均 衡業務の停止、デパート、地下街、劇場などの 営業不可、パニック発生のおそれ、病院など の人命にかかわる影響など。工場などでは生 産への影響、不良品の発生、復旧に長時間 を要する。
瞬時電圧低下	20%以上の電圧低下の回数は平均5回/年 程度、瞬時電圧低下の継続時間の分布で は0.2秒/年程度、発生回数は地域的に異 なる。瞬時電圧低下発生要因の過半数は 落雷	電子機器の動作不良、システム誤動作、電磁 開閉器の開放、放電ランプの消灯、汎用イン バータの停止、コンピュータの停止による情 報システム停止で社会的パニック
設置環境	電気機器自信から発生する振動・騒音な どの対策、塩害による絶縁低下対策、じ んあい、亜硫酸がす、アンモニアガスな どの金属腐食対策など設置環境に応じた対 策が必要。	屋外機器の塩害による汚損累積、腐食性ガ スなどによる金属腐食

## 1-2-4 省エネルギーとエネルギー合理的使用

国民の大多数が都市において生活、活動する都市型社会を迎え、国民一人一人が、豊かさや便利さを実感できる社会を形成していくためには、安全快適で活力のある都市の整備が不可欠である。

まず地球規模での環境保全、資源の有効活動に対する取組みの重要性が高まる中、都市生活においての省エネ・省資源の推進が求められている。人間の生きや活動はエネルギー消費であり、現代の社会のエネルギー消費は持続的な努力に関らず、増加傾向を見せられている。東京都におけるエネルギーの消費も都市機能の多様化、高度化により日々増加している（参考文献2）。

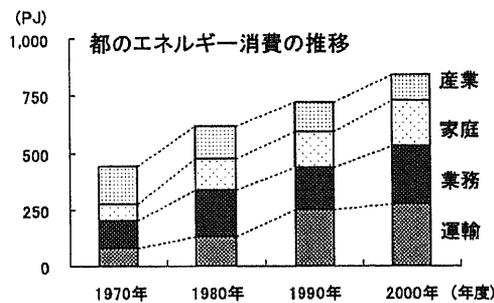


図1-2.6 東京都におけるエネルギー消費の推移（参考文献2）

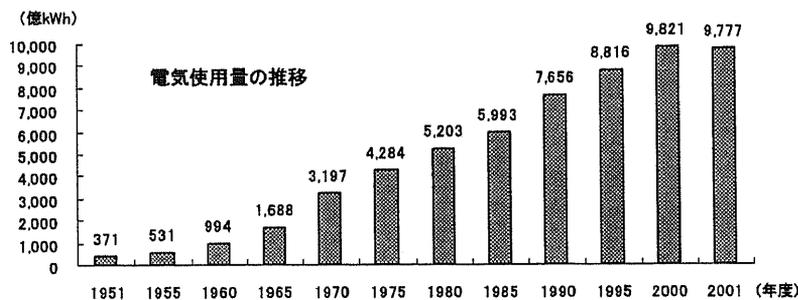


図1-2.7 電気使用量の推移（参考文献2）

また、需要家建物のインテリジェンス化や高気密化により電力や冷熱需要量の増加は益々強くなっていくと予想される。

1日の電気の使われ方「東京電力ピーク発生日2001年7月24日」と月別最大電力の推移「東京電力発電端一日最大」を図1-2.8に示す。一日電力のピーク値を100として最低電力需要量は47%であり、エネルギー使用時間の多きい偏差がみられる。なお、年々夏の電力需要量の伸び率は冬に比べて大きいことから、一日、年間を通じて融通性をもつエネルギーシステムを考えることが大事である。

図1-2.9に示したように東京圏の地域エネルギーシステムにおける年間販売熱量は冷熱が

63%で極めて高く、それに合わせた地域エネルギーシステムを構築するのが望ましい。

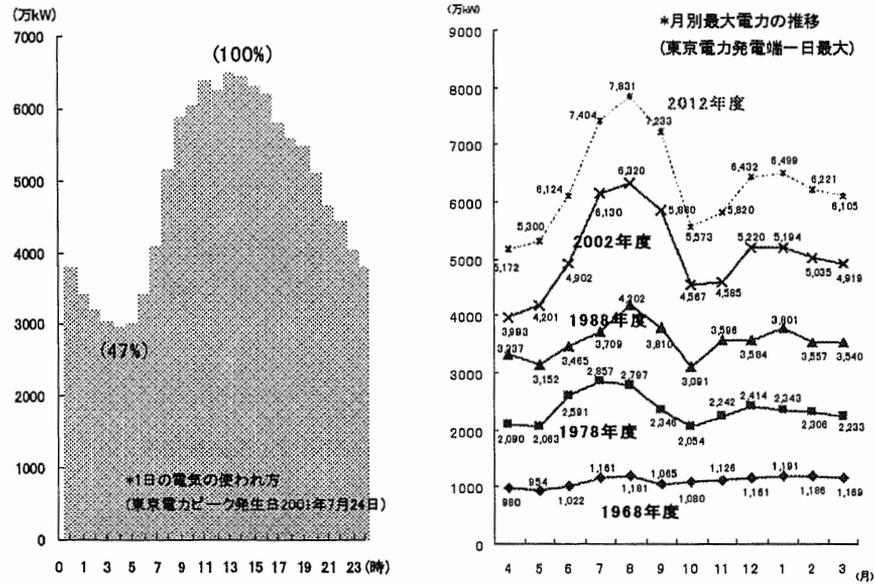


図1-2.8 1日の電気の使われ方「東京電力ピーク発生日 2001年7月24日」(左)  
 月別最大電力の推移「東京電力発電端一日最大」(右)

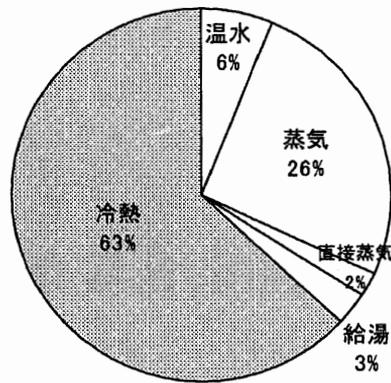


図1-2.9 東京圏の地域エネルギーシステムにおける年間販売熱量内訳

1-4 結論及び本研究の位置づけ

1-4-1 結論

東京のように日本だけではなく、国際的に重要な役割を果たしている大都市域における社会的な要求は、「エネルギー供給の地域自立性」と「環境性」と考えられる。社会の経済化都度を支える上で特に重要な建築物や災害時に中枢機能を果たすべき建築物などは、災害時により外部からエネルギー供給が遮断された場合でも、その機能のある程度維持することが期待されている。その機能を支えるために必要なエネルギーニーズを把握する必要がある。

さらに、エネルギー需要密度が高い地域ではヒートアイランド、電力ピーク更新などの問題を含む環境的に優しいエネルギー供給システムを構築しなければならない。

従って、地域エネルギーシステムの非常時に備えたエネルギーニーズを調査すると共に、環境性を考慮したエネルギー有効利用について考察を行う。

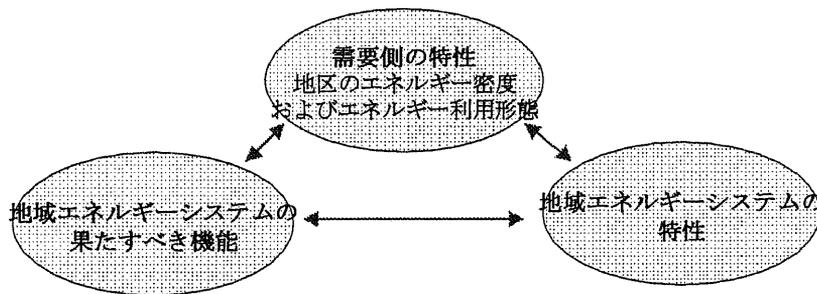


図1-4.1 本研究の考え方

表1-4.1 地域エネルギー供給システムの導入地域及び導入可能地域の分類・位置付け

			果たすべき機能		地域自立性
			環境性		
			未利用・自然エネルギー源あり	未利用・自然エネルギー源なし	エネルギー供給信頼性
低密度地区	都市機能密集地区	住宅、低層業務地区など	未利用・自然エネルギー源を活用したエネルギー供給システムの構築	個別システムの有効利用	
高密度地区		新規開発地区		エネルギー需要量に合わせたエネルギーシステムの構築	
		再開発地区		既存エネルギーシステムを活用、拡大したエネルギーシステムの構築	
		既存地域エネルギーシステム導入地区		地域マネジメントによる省エネ	

## 1-4-2 本研究の位置づけ

本研究では、都市のサステナビリティ実現に向け、エネルギーシステム構築のあり方について考察することを目的とする。まず、サステナビリティの概念を定義したうえで、またエネルギー供給信頼性を考察することで都市の自立性を満たすことからはじめ、エネルギー需要特性・需要密度軸と都市空間の時間軸を考慮することから都市空間構成を分類し、地域の特性に相応しい地域エネルギーシステムの構築やマネジメントを行う。文献調査、アンケート調査、シミュレーション分析などを行い、将来的な都市のエネルギーシステムのあり方について論じるものである。本稿は9章から成り、概要は以下の通りである。

第1章の「従来研究と本研究の位置づけ」では、都市のあり方やサステナビリティの概念を定義することで、本研究の基本的な考え方を整理し、それに基づく本研究の位置づけを示す。都市のあり方として環境性と自立性の両立を提案し、今後の章から分析を行う。

第2章は、「都市機能密集地区における供給信頼性を考慮した地域エネルギーシステムの構築に関する研究」の題として、アンケート調査を通じ、建築設備の状況や備え状況、備えに関する認識調査、エネルギー品質のニーズなどを把握した上、都市機能密集地区における供給信頼性を考慮した地域エネルギーシステムの構築に関して考察する。

第3章は、「都市空間構成と地域特性の分類に関する研究」の題として、都市のあり方として環境性の向上を目的とする地域類型化の分析を行う。エネルギー形態によるエネルギー特性や概念を明確にし、熱需要密度と熱利用形態により分析対象になる都市空間構成や地域特性の分類する。その際、都市空間構成はエネルギー需要密度軸と都市空間の時間軸を考慮するとともに、未利用エネルギーの活用について考察を行う。本章で分類された都市空間構成や地域特性を考慮し、4章から地域エネルギーシステムの構成による運用方式を検討する。

第4章は、「地域エネルギーシステムの新規導入地区および設備更新地区における省エネルギー性に関する研究」の題として、新規開発地区における望ましい地域エネルギーシステムを提案し、その効果を検討する。また都市は時間の経過に伴い再生地区が発生することから、このような再生地区を対象とし、地区の再生に伴う地域エネルギーシステムの導入や活用方法に関して考察を行う。さらに、地域エネルギーシステムの連携効果に対する検討を行うなど、地域エネルギーシステムのより効果的な運用について分析を行い、効果を明らかにする。

第5章は、「既存地域エネルギーシステムの省エネルギーマネジメントに関する研究」の題として、都市空間の時間変化の中、既存地域エネルギーシステムにおける省エネルギーマネジメントについて考察する。新規・再生地区に比べて新たなエネルギーシステムの構築が困難であり、

現在のエネルギーシステムの運用方法に関して精密に検討することが必要である。従って、本章ではエネルギーシステムに対するマネジメントの概念整理からはじめ、需要側や供給側の能動的な制御を反映した地域エネルギーシステムの構築・あり方を提示する。

第6章は、「低密度地区における個別エネルギーシステムの活用によるエネルギー合理的使用に関する研究」の題として、エネルギー利用低密度地区における個別エネルギーシステムの効率的な活用を目的とし、実測・CFD分析・数値シミュレーションを行い、個別エネルギーシステムの熱交換特性を把握する共に、運転マネジメントなどの分析を行う。

第7章は、「将来的な地域エネルギーシステムの導入効果に関する研究」の題として、以上の考察結果を踏まえ、東京都心部を中心とした都市の未来像を展望・描いてみる。将来的に地域エネルギーシステムの機器効率の変化予測も視野に入れ、核となる地域の提案も併せて行いたい。

第8章は「結論と展望」で、本論文の全体内容を総括し、本研究で得られた成果を要約し、今後の展望を述べる。

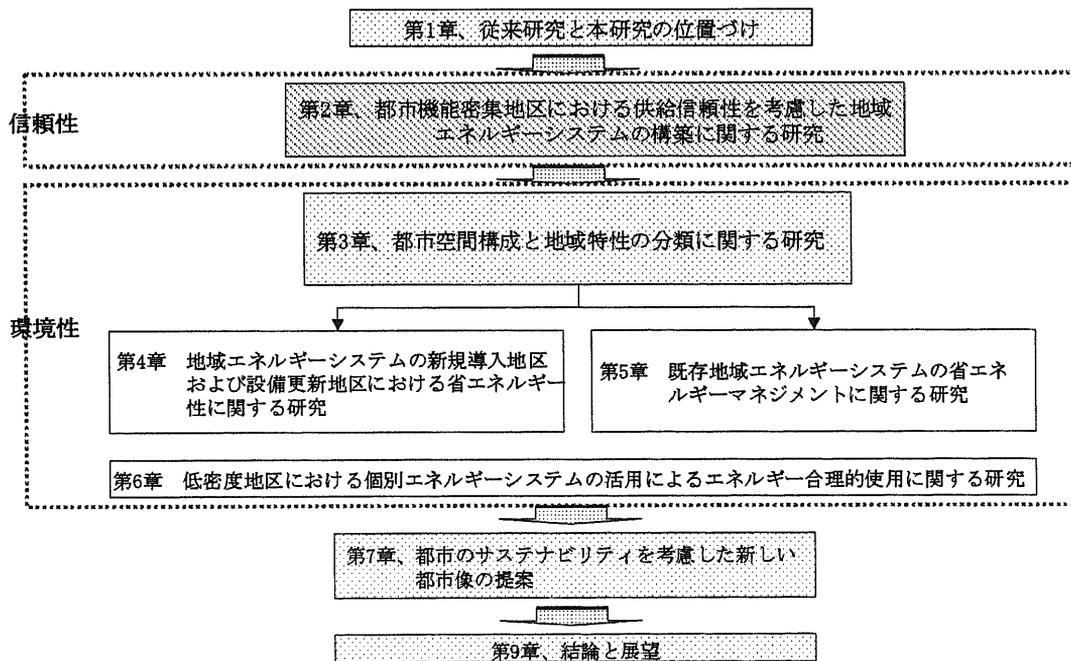


図1-4.2 研究の流れ

【参考文献】

- 1) 日本防火研究普及協会：平成5年度火災年報、50(1995)
- 2) 日本建築学会、下田吉之：阪神・淡路大震災調査報告（建築編）第7巻、建築設備・建築環境 3.7 地域冷暖房施設、(1999)
- 3) 熱供給 vol.49 2002、pp16
- 4) 建築消防 advice2005、建築消防実務研究会、新日本法規
- 5) 消防法（改正平成17.7.26）
- 6) 消防設備用発電設備技術指針
- 7) 地域暖房とエネルギーの有効利用-北ヨーロッパを例として-、空気調和・衛生工学会編、理工図書
- 8) 実務に役立つ非常電源設備の知識、中島廣一、pp23、ohmsha、2005.8.20

## 第 2 章、都市機能密集地区における供給信頼性を考慮した地域エネルギーシステムの構築に関する研究

### 2-1 概要

### 2-2 各種建築物のエネルギー設備の現状・ニーズに関する調査検査

#### 2-2-1 調査対象および調査内容

#### 2-2-2 各種建築物のエネルギー設備の現状

#### 2-2-3 非常時も含めたエネルギー供給の信頼度に関するニーズ

#### 2-2-4 用途別ニーズに関する詳細分析

### 2-3 地域における非常時の備え

#### 2-3-1 マイクログリッドによる高品質電力供給

#### 2-3-2 評価の考え方

#### 2-3-3 東京における各建物の分布図

### 2-4 結論

## 2-1 概要

都市機能の多様化・高度化により、エネルギー供給に支障が生じた場合、社会に及ぼす影響は図り知れないものであり、エネルギー供給の信頼度の要求は高い。また、エネルギー消費量の増大と共に電力はライフラインとして必要不可欠なものとなっており、建築物機能維持のための設備は電源設備、通信設備、輸送設備、排水設備、給水設備、給湯設備、空調設備などがあげられるが、非常時におけるその重要度は電源設備や通信設備で最も高く、主に電力に依存している設備である。地震や台風等の非常時または平常時における医療機器、コンピューターサーバー等の瞬間停電も大勢の人と社会システムに不便や被害を及ぼす恐れがある。

そのように非常時における都市インフラの破壊に限らず平常時もエネルギー供給の信頼度が求められている状況の中、平常時・非常時における最低限の電力負荷の安定供給は必要不可欠と考えられる。しかしながら、エネルギーの安定供給は供給側からの供給信頼度と共に、需要側の自ら建物の基本設備や備え状況を確実に把握することから可能になる。エネルギー供給の備えの重要性は阪神・淡路大震災における自家発電設備の被害状況及び稼動状況について当時行ったアンケート調査結果(Appendix(1))から分かるように、695台を有効回答としたものの中、始動率は合計約91%、2時間を超えて運転したものが56%を占めていた点からも非常時における備えが役に立っていると考えられる。

一方、エネルギーニーズに関する従来の研究としては環境負荷を低減する都市基盤システムの整理<sup>1), 2)</sup>や非常時における避難対策としての最低エネルギーの確保など<sup>3), 4)</sup>を中心とした研究が多く見られ、そこで非常時・平常時における供給信頼性と地域の自立性を考慮したニーズ調査が必要であると考えられる。

従って、都市におけるエネルギー供給信頼度評価は、需要家のエネルギー供給へのニーズ(質や量)に対してエネルギー供給施設が十分な措置が取られているかによって評価するという考え方であり、建物における設備や備えに関する認識などの状況を把握することによってエネルギー供給自立性と信頼性という、「質」を向上させることが可能であると思われる。更に需要家のニーズを把握し、ニーズ等に応じた電力品質を供給することにより電力供給の効率化・安定化が図れると共に、非常時には被害の拡大を防止することにも繋がると思われる。

以上のことから、本報では非常時に重要な役割を担う各種建築物のエネルギー設備の現状を確認すること、非常時の備えに関する意識、非常時に求められる機能維持に必要な電力品質を明らかにすることを目的とし、需要側へのアンケート調査を行い、検討・分析することにする。そして、それに基づいて地域の備えについて考察することにする。

## 2-2 非常時における機能維持に必要なエネルギー調査

## 2-2-1 調査対象および調査内容

表2-1のように、災害時に対策本部として役割を担う区役所、けが人の医療を担う病院、避難所として災害者の生活の場となる大学、小・中学校、公民館など、日本の経済を支える企業の本社(自社、テナント)ビルやテナントとして入居しているテナントビルを対象とし、電話による依頼後、アンケート調査を行った。アンケート調査は東京都内の任意の建物を対象に、2004年1月から2月に行い、書面アンケート用紙の配布と回収は原則として郵送による。配布した約303件の中117件の回答があり、回収率は38.6%である。表3-1に配布と回収状況を示す。

公民館やテナントビルは有効回答数5,6例であり統計解析上サンプル数が少ないと考えられるが、貴重な調査結果であるため参考値として示した。本報では、回収データを有効サンプルのみ単純に統計処理したものである。

表2-1 アンケート調査対象

	電話で依頼数	配布数	回収数	回収率%
役所(区役所庁舎)	23	19	14	73.7
病院(東京都災害拠点病院)	55	41	15	36.6
小中学校(避難場所)	22	66	33	50.0
大学(広域避難場所)	10	10	7	70.0
公民館、福祉施設等	15	11	6	54.5
企業(自社ビル)	330	46	15	32.6
テナント企業(賃貸ビル)		85	22	25.9
テナントビル	7	25	5	20.0
合計	462	303	117	38.6

調査項目は、①建物概要(竣工年、建築面積、総延床面積、建物構造など)、②受電設備、自家発電設備について(受電方式、年間受電電力量、自家発電機の機種及び容量、用途、燃料種類、年間発電量など)である。また、非常時に関しては、③備蓄燃料に関して(備蓄燃料種、備蓄燃料量と維持可能時間など)、④建物設備等について(都市ガス受け入れ、受水槽、高置水槽、蓄熱槽等の有無及び耐震化など)、⑤建物における非常時危機管理体制、⑥非常時も含めたエネルギー供給の信頼度に関するニーズ等である。

なお、テナントとして建物を使用している場合、⑦テナント入居の理由、⑧企業としての危機管理意識についても記入を依頼した。

電力供給品質に関しては自家発電設備などによる保安電力除き、非常時も含めたエネルギー供給の信頼度に関するニーズを表2<sup>4)</sup>のように高品質A、B、C及び標準品に分け、要求割合で求める。

電力供給品質は瞬停補償、停電補償の有無、バックアップ時間などから分類したもので、現状の電力システムを標準品質とする。品質特徴をみると、無瞬断電力波形レベルでの保障ができるのは高品質 A、瞬断時間が 15msec 以下のは高品質 B、停電時間が 1 分程度のものは高品質 C としている。

表 2-2 電力供給品質分類

	高品質 A	高品質 R			高品質 C	標準品質
		B1	B2	B3		
	無瞬断電力波形レベルでの保障	瞬断時間が 15msec 以下			停電時間が 1 分程度	現状の電力システム
瞬停補償	○	○	○	○	×	×
停電補償	○	○	△	×	△	×
バックアップ時間	安全にシャットダウンできる時間以上	200msec 以上			停電時間 1 分程度	×

(JECA 1032(社)日本電設工業協会「防災設備の電源と配線に関する指針」)

2-2-2 アンケート調査結果

1) 建物設備及び受電状況

本社機能を持つビルの受電方式は全般的に単回線方式が用いられており、公民館や小中学校などでの割合は 82%、100%を示し、病院、役所での割合は 40%未満、大学(58%)、本社ビル(64%)であった。複回線スポットネットワークを利用する比率は大学(24.5%)、病院(23.7%)、役所(21.8%)、テナントビル(20%)の順に高かった。また、小中学校や公民館での自家発電機の保有率は約 22%、63%と低く、病院(100%)、役所(100%)、テナントビル(100%)での割合は高い。

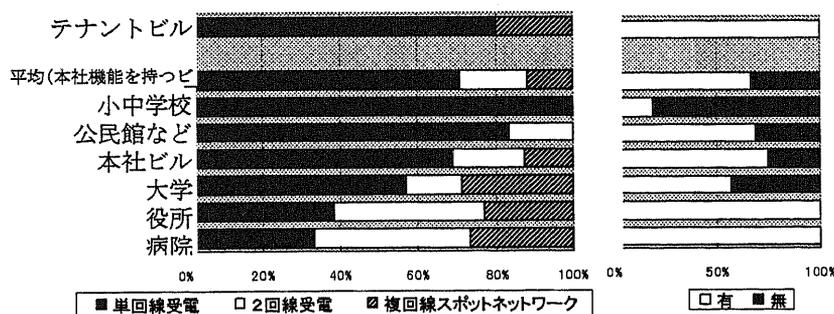


図 2-1 受電方式(左)及び自家発電機の有無(右)

自家発電機は 90%以上が非常用として設置され、ディーゼルエンジン(DE)の比率が 65%を占めている。ガスタービン(GT)と併用して利用されている場合を含めると 70%以上になる。(図 2-2 参考)

非常時における備蓄燃料状況は、72時間を基準とし区役所、病院、大学(100%)、公民館(90%)、本社ビル(83%)、小中学校(75%)である。備蓄燃料種は全建物用途とともにA重油が50%以上を占めており、役所は73%にのぼる。灯油が役所(27%)、病院(13%)、小中学校(50%)、大学(25%)、本社ビル(38%)、公民館(30%)で、軽油が役所(16%)、病院(0%)、小中学校(40%)、大学(0%)、本社ビル(25%)、公民館(16%)の割合で備えられていた。

受水槽はアンケート調査対象100%に設置されているが、高置水槽、蓄熱槽等は各々約50%以上、20%以下備えられている。自家発電機の冷却方式は水冷・空冷式で分けられるが、水冷式の場合には非常時における供給信頼性が求められる(図2-2、図2-6)。

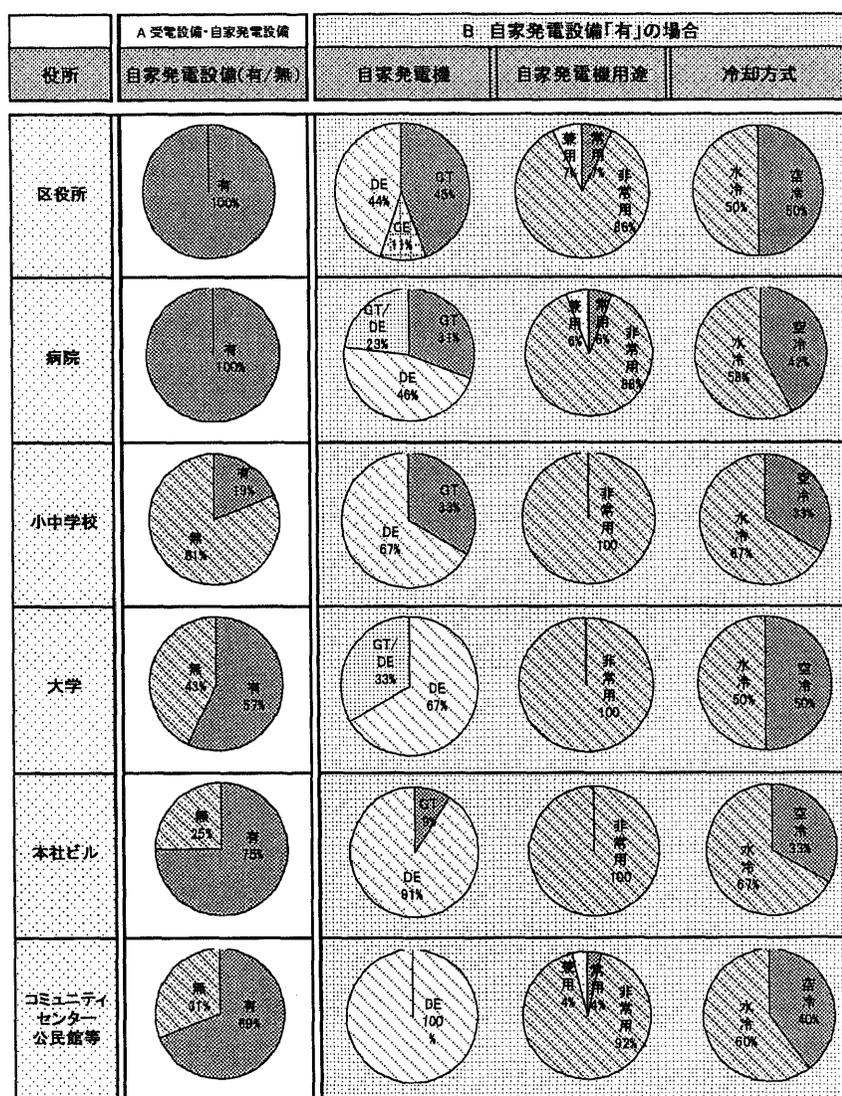


図2-2 自家発電機の用途及び構成

テナントビルのサンプル数は少ないが、有効回答のテナントビルは全部ディーゼルエンジンを用いる自家発電を行っている。備蓄燃料は100%備えられており、燃料種はA重油(60%)、軽油

(40%)であった。受水槽は100%、高置水槽は60%備えられている。

テナントとして入居している企業は電力会社との直接契約(10%)より建物の貸主との契約(90%)による電力供給が主に行われていた。そのうち、約88%が基本料金は共益費、従量料金は使用量によっている。建物設備トラブルに関する貸主との補償契約は18%に止まる。

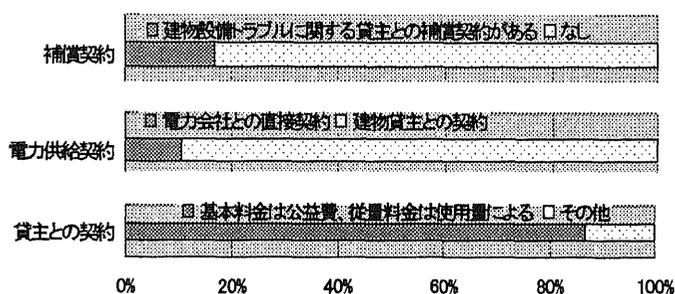


図2-3 テナントとして電力供給方式(テナント企業)

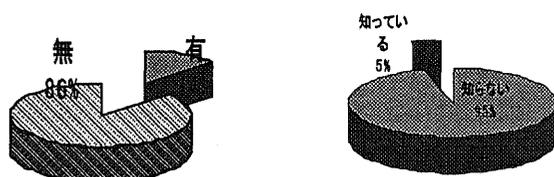


図2-4 自家発電機有無(左)、入居建物設備に対する認識(右)

しかし、図2-4のように自ら自家発電機を保有している割合が低く、特に入居建物の自家発電機、備蓄燃料等の設備に対する現況を把握していなかった。

## 2) 非常時におけるエネルギー供給意識

テナントビルを除く本社機能を持つ建物では、約50%で危機管理マニュアルがある、あるいは作成中であり、残り50%は危機管理マニュアルを持ってない。作成していないと回答するサンプルの中、かなりの比率で「日本では停電比率が非常に低いので必要がない」とその理由を挙げているが、図2-5のように受水槽、高置水槽、蓄熱槽等の建物設備の耐震化が50%にも及ばない状況では防災対策の一環として、対策マニュアルは不可欠であると考えられる。

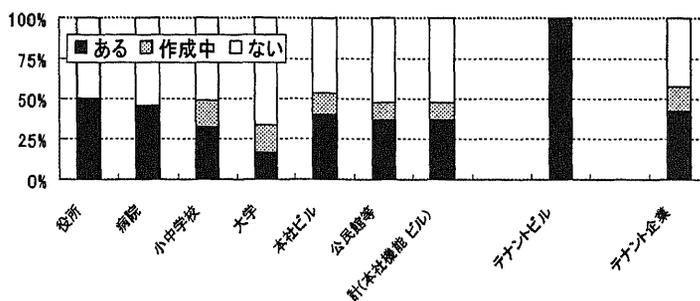


図 2-5 建物の危機管理マニュアル

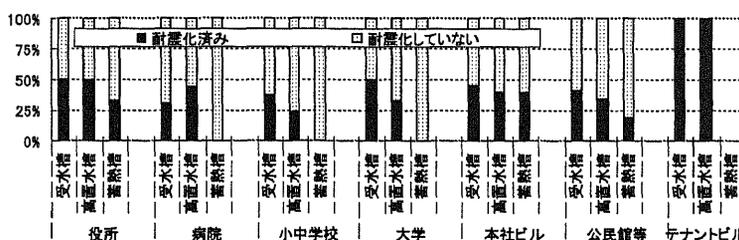


図 2-6 受水槽、高置水槽、蓄熱槽耐震化

停電時の電力のバックアップ対策として、役所(37%)、病院(35%)、小中学校(6%)、大学(52%)、本社ビル(47%)、公民館(27%)、テナントビル(100%)、テナント企業(70%)では重要機器にはUPS(無停電電源装置)等を設置して、安全なシャットダウンができるように備えている。

また、役所(53%)、病院(65%)、大学(25%)、本社ビル(28%)、公民館(26%)では自ら非常用自家発電を用いるが、全然バックアップを行っていないケースも多く、小中学校(94%)、大学(23%)、本社ビル(25%)、公民館(47%)、テナント企業などにおいても30%に至る。

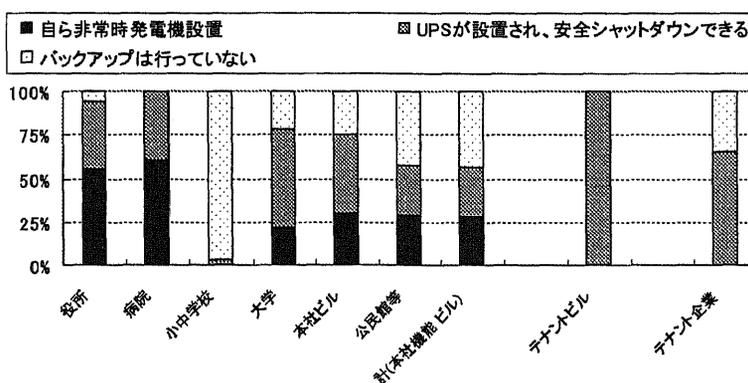


図 2-7 停電時の電力のバックアップ対策

もし、阪神・淡路大震災級の地震がある時、建物の機能がどのように維持できるのかに関する自己評価の結果が図 2-8 である。〈維持できない・少し不安〉の回答は40~60%程度見られる。

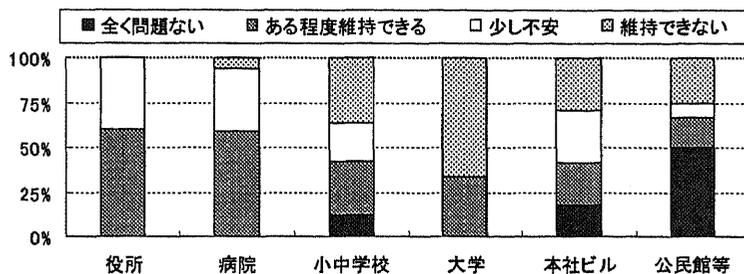


図 2-8 阪神・淡路大震災級の地震時における建物の機能維持可能性

テナント企業の場合、入居理由から安全意識を調査した。その結果、〈立地の良さ〉、〈安価の賃料〉等の現実的な問題以外にも〈設備の充実〉、〈耐震安全性〉などの設備の重要性に関する期待が高い。しかし、前述の通り、積極的に自ら安全性の確保努力に対しては考えず、当然備えてあるだろう、備えてくれるだろうと賃主を信頼し、身をゆだねる傾向にある。

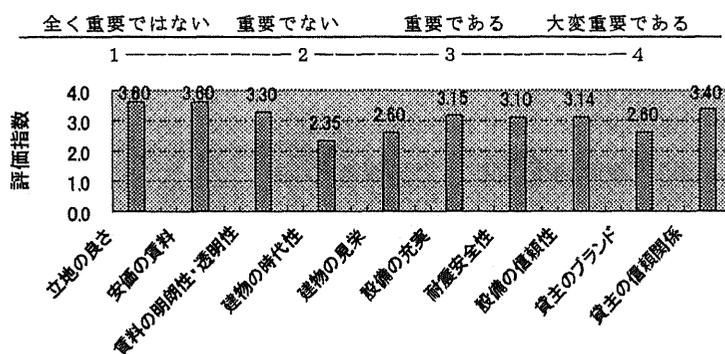


図 2-9 テナント入居の理由

### 2-2-3 非常時も含めたエネルギー供給の信頼度に関するニーズ

本社機能を持つビルは停電時に影響が大きい病院や区役所等で求められる電力の品質が高く、共に電力需要量も多かった。病院ではコンピューター、人工生命維持装置、中央監視システム等、区役所ではコンピューター関連、サーバー機能維持の需要で高品質A、高品質B1の要求割合30%以上を占めており、病院での標準品質電力は照明などで、使用する分(28%)に過ぎなかった。それ以外の場合にも、コンピューターに関連する高品質電力需要が5%以上必要であると回答した。

標準品質で満足する割合は、区役所(53%)、病院(28%)、小中学校(85%)、大学(93%)、本社ビル(56%)、公民館(75%)である。

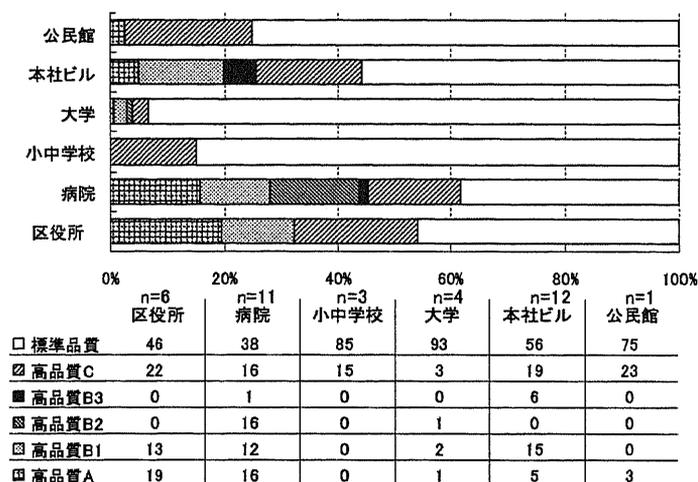


図 2-10 求められる電力品質(本社機能ビル、[%])

平常時における高品質 A、B(非常時の最も重要、重要とする電力需要)の電力使用用途はコンピュータ関係、通信、保安、医療機器などが主で、高品質 C はエレベータや照明が主である。

テナント入居企業及びテナントビルでの電力品質要求率を図 11 に示す。入居しているテナント企業は高品質 A(6%)、高品質 B1(5%)、高品質 B2(10%)、高品質 B3(1%) 高品質 C(6%)、標準品質(72%)というニーズがあるが、大部分のテナントビル(オーナー)は標準品質の電力で充分と回答し、高品質の要求はなかった。テナント入居企業のニーズとテナントビル(オーナー)の提供する性能(ここでは電力品質)にギャップがみられる。また、82%以上が建物設備のトラブルに関する貸主との契約をしていないことから、テナント入居企業の要求電力品質は満たされないと考えられる。

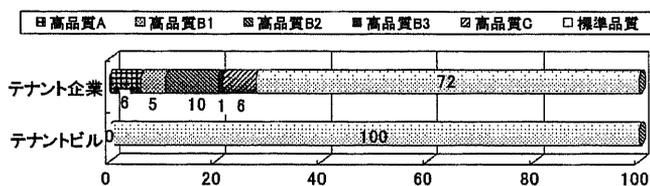


図 2-11 求められる電力品質(テナント企業、ビル)

なお、高品質電力を標準品質電力価格の何%増し料金まで許容できるかに関する質問については有効回答がなかった。出来る限り、標準品質電力価格はほぼ同じ程度で高品質電力を望んでいると考えられる。

表 2-3 電力需要用途 (表 2-2 参考)

区別	商品質 A	高品質 B1	高品質 B2	高品質 B3	商品質 C	標準品質	
本社機能ビル	区役所	コンピュータ関係 サーバー	通信系、 中央監視系			窓口の端末、保安 照明、エレベータ	一般照明等
	病院	コンピューター、人工生 命維持装置、中央監視シ ステム	検査機器、 医療機器	医療機器、コ ンピュータ ー業務用	医療機器	病室、熱源装置	一般照明等
	小中学校					冷暖房、衛生用動 力	学校の建物全体の 電気需要
	大学	コンピューター、サーバ ー	教員、学生等 PC		動力		一般照明
	本社ビル	サーバー、通信関連				照明	動力負荷
	公民館	医療機器用、証明書が発 行				通常業務	照明、空調
テナントビル						事務用、照明、空調	
テナント企業	OA 機器 コンピュータ	照明、 エレベータ	マシンルーム		印刷、出力機関係	照明	

ては有効回答がなかった。出来る限り、標準品質電力価格はほぼ同じ程度で高品質電力を望んでいると考えられる。

#### 2-2-4 用途別ニーズに関する詳細分析

電力の要求品質に対する項目での有効回答数は少なく、設備の備えが明確に示されていないケースがあり、本用途別の建物における非常時危機管理体制と電力品質別の需要割合に関しては区役所、医療施設、教育施設、事務本社(本社ビル)に限り分析する。

##### (1) 区役所

回答を得た全ての区役所ではガスタービン(以下、GT)やガスエンジン(以下、GE)などの自家発電設備を備えており、そのうち、約 86%は非常用専用である(図 2-2 参考)。高品質の電力を求めると回答した区役所は約 46%であり、電力品質の要求割合は平均すると高品質 A(17%)、高品質 B(11%)、高品質 C(19%)を示している。

全ての区役所で各別 UPS や自家発電設備を用い停電時の電力バックアップを行っている。表 2-4 では取っている非常時対策と高品質電力の要求する区役所の割合を示したもので、図 2-12 は各区役所の電力品質別の要求割合を示した。

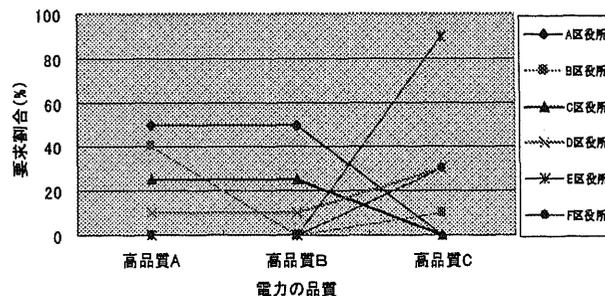


図 2-12 電力品質別の要求割合 (区役所)

(2) 医療施設

回答のあった全ての医療施設が自家発電設備を備えており、更にその内 28%は各別 UPS を設置し非常時に備えていることが分かった(表 2-4)。図 2-13 に示すように、病院ごとに電力の要求品質に差がみられるが、全電力量の平均 62%相当量を高品質電力に求めている。

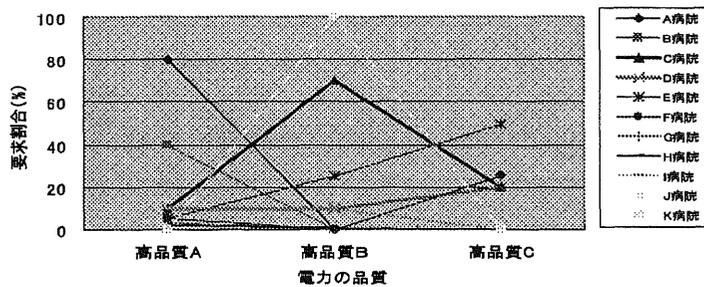


図 2-13 電力品質別の要求割合 (医療施設)

(3) 教育施設

教育施設は要求電力品質の項目に対する有効回答数が少なく、高品質電力を求める比率も極めて低い。小・中学校は衛生施設用として使われる電力に対して高品質を求めているが、標準品質の電力で充分との回答が多い。しかし、災害時には小・中学校、大学はその地域の避難場所であり、災害時必要な地域情報の収集・発信の拠点としても期待され、その役割を果たすための設備の備えや防災意識の向上が必要である。

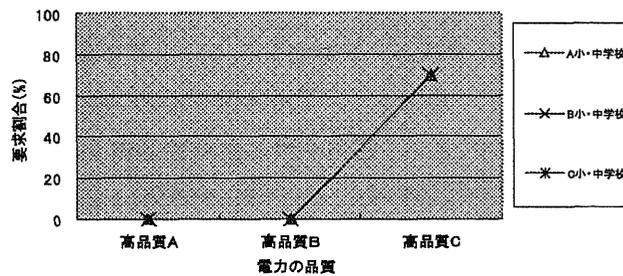


図 2-14 電力品質別の要求割合 (教育施設；小・中学校)

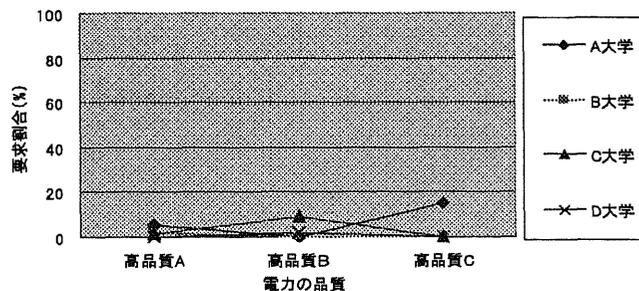


図 2-15 電力品質別の要求割合 (教育施設；大学)

(4) 本社ビル

本社ビルはコンピュータやサーバ関連機器、OA 機器、保安装置などで高品質の要求量が高い。備蓄燃料を80%以上備え、停電時の電力のバックアップとしてUPSなどが用意されているなど、安全に関する意識が比較的に高く見られるが、非常時における建物の機能維持に関しては「維持できない」や「少し不安」が半数を示している。

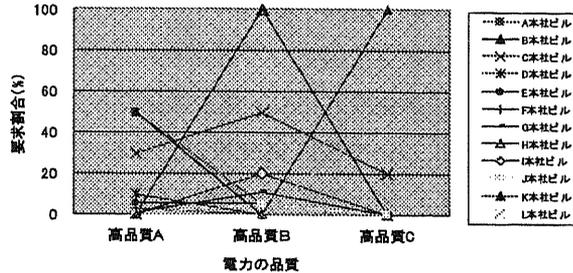


図 2-16 電力品質別の要求割合 (本社ビル)

表 2-4 建物における非常時危機管理体制と電力品質別の要求割合 (建物種別要求電力品質)

		区役所 (n=14)				医療施設 (n=15)				教育施設 (n=40)				事務本社(本社ビル) (n=15)			
		計	高品質	標準	未記入	計	高品質	標準	未記入	計	高品質	標準	未記入	計	高品質	標準	未記入
危機管理マニュアル作成	あり	5	1	3	2	5	4	3	1	11	4	4	7	6	6	6	0
	作成中	0	-	-	-	0	-	-	-	6	1	5	0	2	2	2	0
	なし	7	6	6	1	6	5	3	1	20	1	10	10	7	3	3	3
非常時のバックアップ(複数応答可能)	未記入	0	-	-	-	1	1	1	0	7	1	1	6	1	1	0	0
	バックアップ準備していない	1	-	-	1	0	-	-	-	33	4	16	17	5	3	2	1
	各別UPS設置される	7	6	6	1	4	4	4	0	6	3	4	2	9	7	7	2
	自家発電により保安電力のみ供給	10	6	6	3	6	5	5	1	2	1	1	1	6	5	4	1
非常時、建物の機能維持	自家発電により保安電力以外供給	3	1	2	0	8	6	4	2	3	-	-	3	2	2	2	0
	維持できない	0	-	-	-	1	1	1	0	16	5	9	7	5	4	3	1
	少し不安	4	0	2	2	6	5	5	1	7	0	3	4	5	3	2	1
	ある程度維持できる	6	5	3	1	10	7	4	3	12	2	8	4	4	3	3	1
	まったく問題ない	0	-	-	-	0	-	-	-	4	0	1	3	3	3	3	0

以上、用途別の電力要求品質の平均値は表 5 になる。

表 2-5 用途別の電力要求品質割合(%)

	高品質A以上	高品質B以上	高品質C以上	標準品質
区役所	19	32	54	46
医療施設	16	45	61	39
教育施設	1	4	22	78
本社ビル	5	26	45	55

## 2-3 地域における非常時の備え

## 2-3-1 マイクログリッドによる高品質電力供給

系統による電気供給の信頼性が低い米国では需要家側の自己責任に基づくリスク管理の必要性から分散型電源が導入され、さらに、限定された電力供給エリア内において複数の分散型電源、電力負荷設備を組み合わせる「マイクログリッドシステム」(需要家側のバックアップと高品質電源の確保を主たる目的として考えられたもの)、複数の分散型電源を一括制御管理することにより分散型電源を最適運用し、電力供給系統運用へ貢献する「VPP (Virtual Power Plant)」や品質別電力供給について実証実験等が行われている。

一方、日本では、電力供給システムが系統的に管理・運用され、安定供給が比較的確保されており、分散型電源が系統に悪影響を及ぼさないことが、分散型電源活用の最優先課題となっている。

しかし、現在、電気事業の規制緩和やエネルギー資源・環境問題における分散型電源への期待、電力品質や料金に対するニーズの多様化、ITの急速な発展など電力事業を取り巻く環境が変化している。

マイクログリッドの代表的な事例としては米国の CERTS (Consortium for Electric Reliability Technology Solution) や ノーザンパワーシステム社によるプロジェクト例がある。

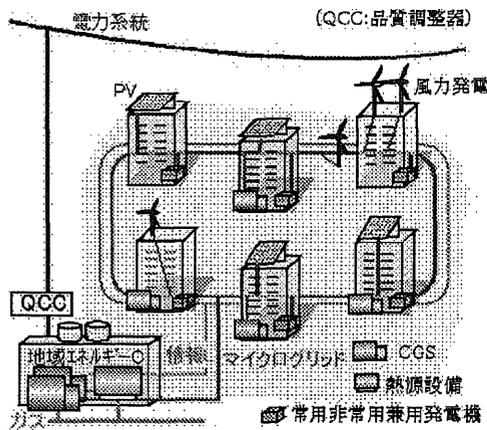


図 2-17 マイクログリッドの概念図<sup>(10)</sup>

## 2-3-2 評価の考え方

危機に対する需要家側の対策として、非常用発電設備の設置と定期的な点検・整備、バックアップ体制の確立等が挙げられる。各施設のエネルギー供給自立性と信頼性を向上させることが、非常時のエネルギーネットワークの負荷を低減し、被害の拡大を防止することにもつながる。しかし、需要家毎に必要な電力品質や容量は異なるため、用途に応じた対策を講じると共に、需要家のニーズ等に応じた電力品質を供給し、電力供給の効率化・安定化を図ることにより、エネルギー供給の信頼性を向上させることが必要である。さらに、品質別電力供給による効果として、需要家側での非常用発電設備や UPS (無停電電源装置) の設置が不要になるなどコスト、スペース面でのメリットも挙げられる。一方で、分散型電源を統合し運転制御することにより、配電線適正電圧維持や負荷対策等の系統貢献が可能となる。また、分散型電源を電力系統へ連系し、ネットワークの負荷低減に貢献することも可能となる。

以上から、マイクログリッドによる高品質電力供給によるエネルギー供給信頼性の向上への

効果は大きいと考えられる。

図2-18は各3000m<sup>2</sup>以上用途延床を持つ官公庁および医療施設の面積や分布を示したものである。図のように重要度が高い施設が密集している地域や町丁目に対し、ネットワーク化することにより、より安定的な高品質の電力を供給することが可能であると考えられる。

更に、各地域における医療施設や区役所などの官公庁、事務本社ビルに備えている、または備えべき自家発電設備などを用い、マイクログリッドを形成することにより地域へのエネルギー供給の信頼性を向上させると考えられる。

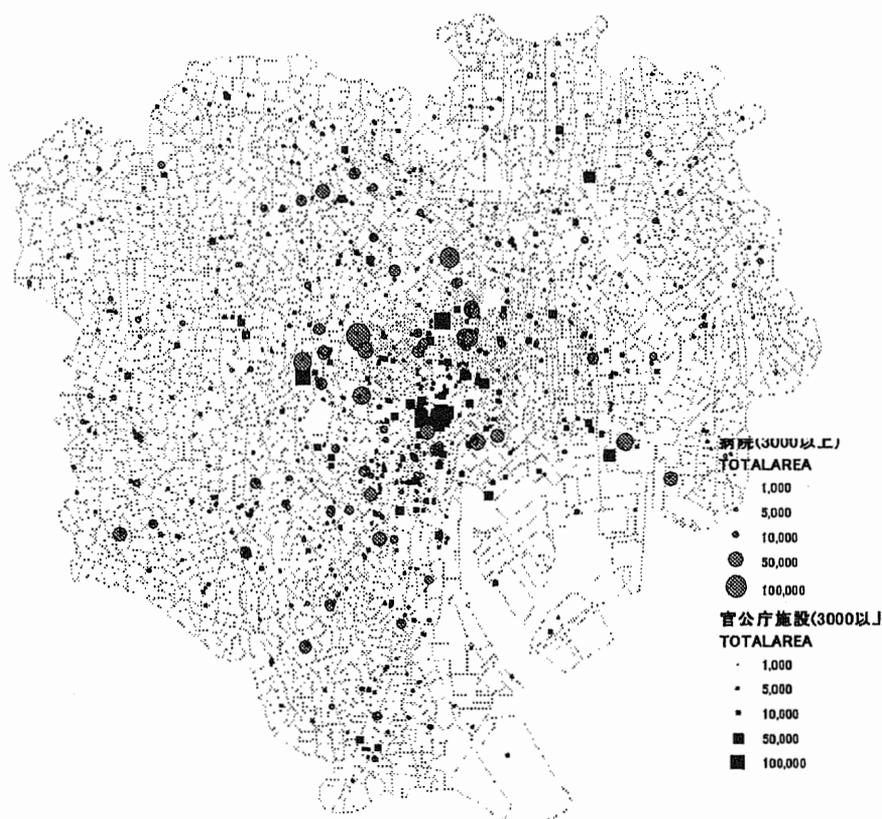


図2-18 官公庁および医療施設の分布

表2-6 用途別・延べ床面積別の施設数

	全体(3,000以上)	3,000~	5,000~	10,000~	50,000~	100,000~
町丁目別の建物の総延べ床面積	3134	416	255	1388	509	566
官公庁	517	192	160	143	15	7
病院	377	166	103	87	18	3

### 2-3-3 東京における各建物の分布図

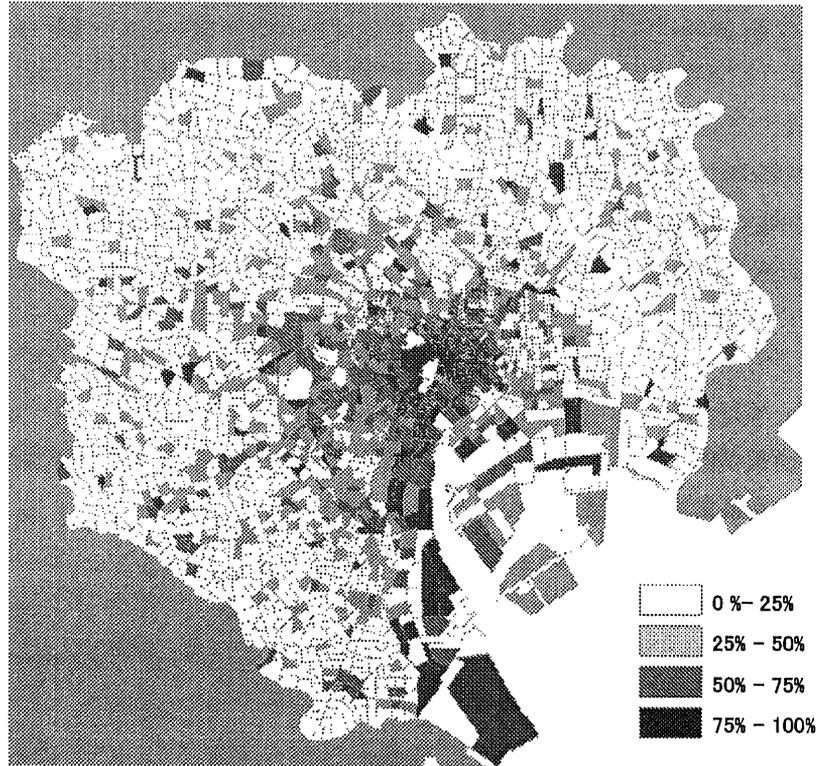


図 2-3. 1 延床面積 3000 m<sup>2</sup>以上の業務施設が占める割合

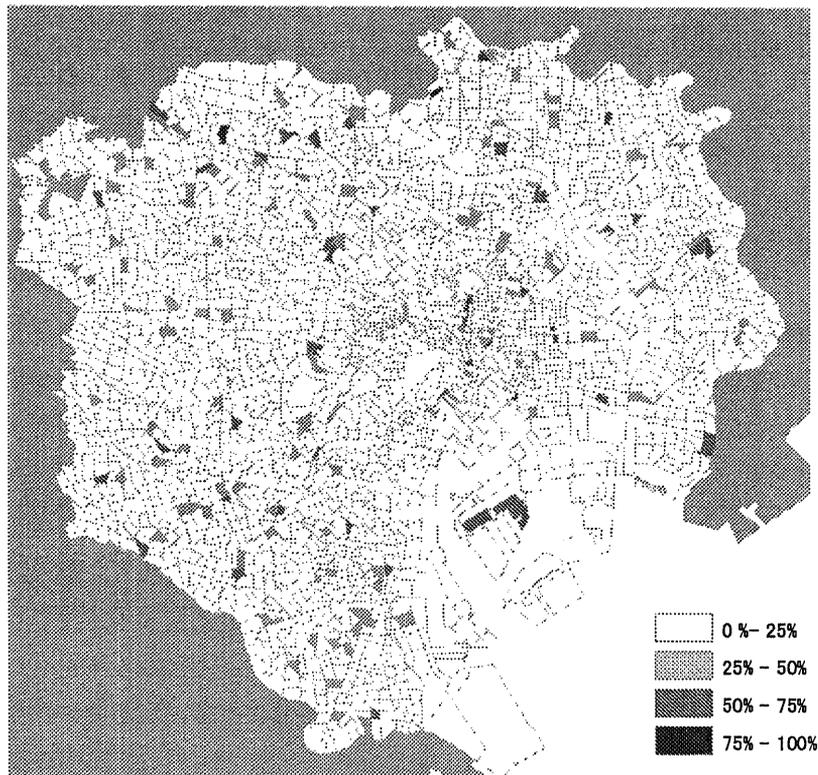


図 2-3. 2 延床面積 3000 m<sup>2</sup>以上の商業施設が占める割合

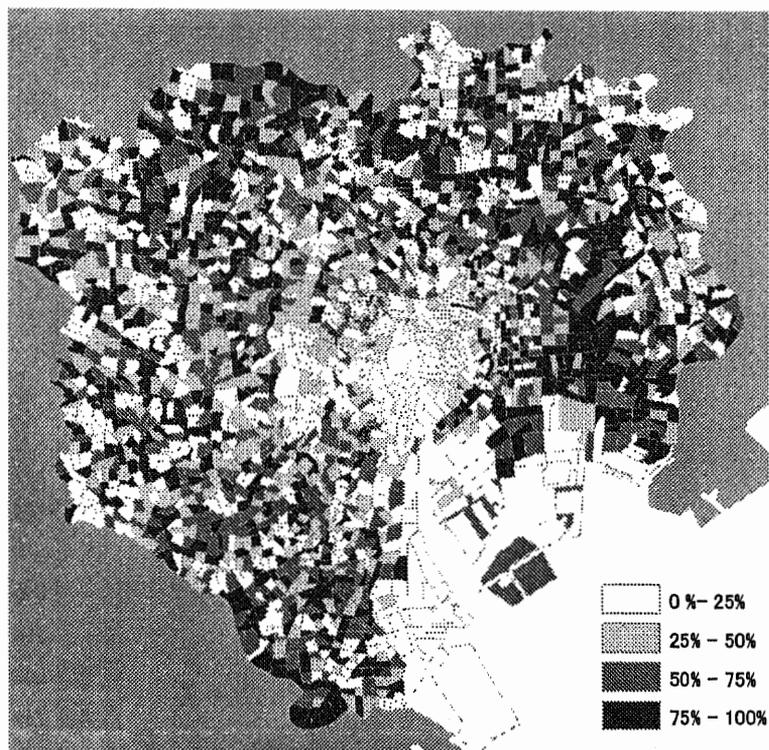


図2-3. 3 延床面積 3000 m<sup>2</sup>以上の住宅が占める割合

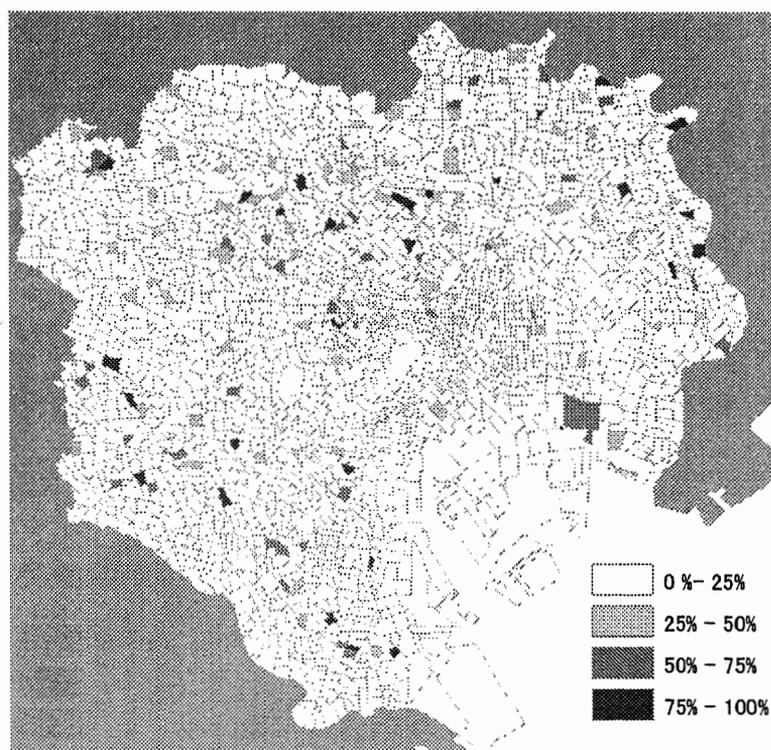


図2-3. 4 延床面積 3000 m<sup>2</sup>以上の医療施設が占める割合

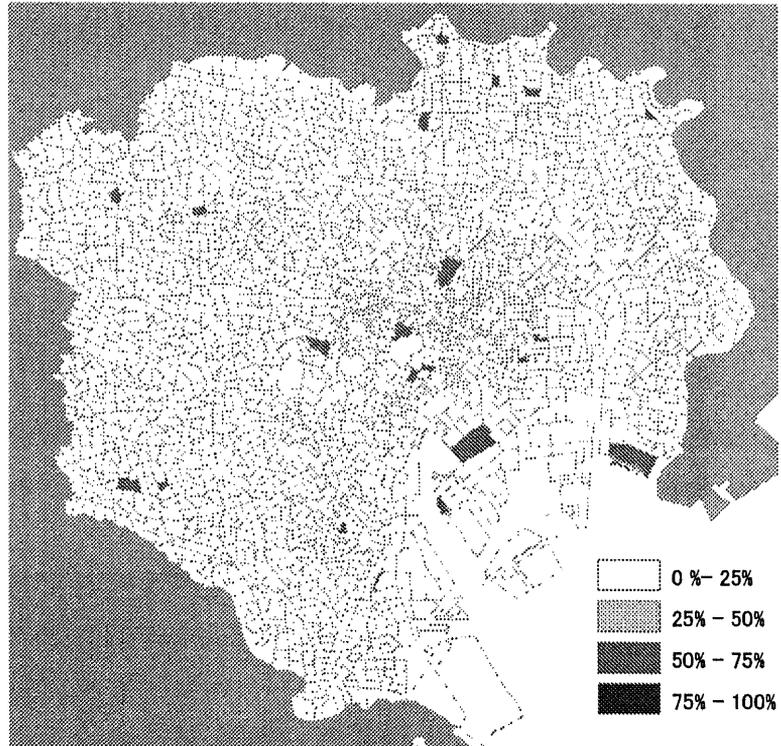


図 2-3. 5 延床面積 3000 m<sup>2</sup>以上の文化施設が占める割合

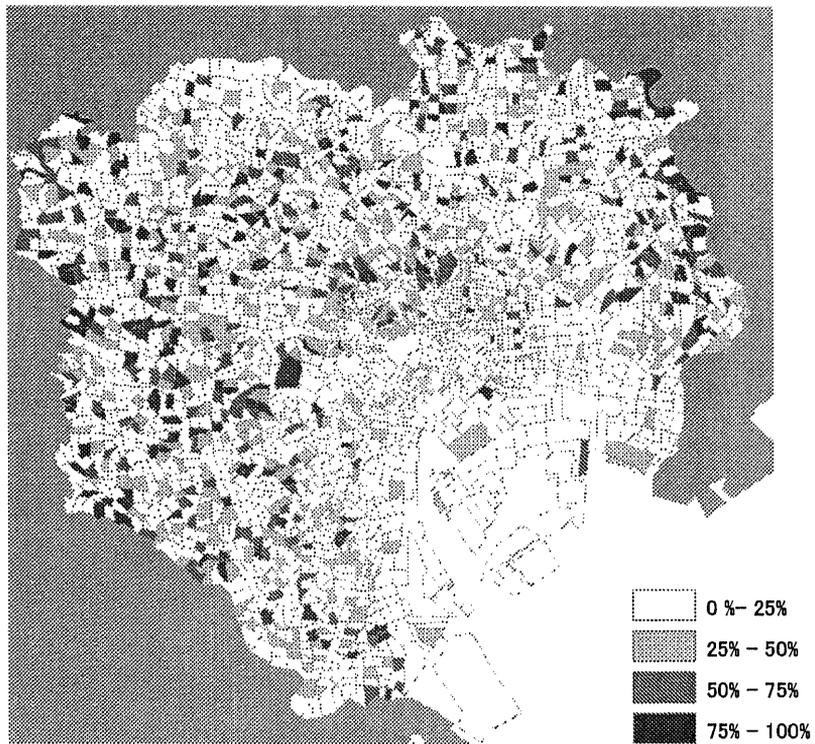


図 2-3. 6 延床面積 3000 m<sup>2</sup>以上の教育施設が占める割合



#### 7-4 ケーススタディの結果

以上、文献調査及びアンケートによる要求されるエネルギー供給の信頼度の調査結果をまとめると以下になる。

常時・非常時における建物用途毎の高品質・品質別電力ニーズと用途を明らかにした。

病院の場合、医療機器やコンピュータなどで60%以上が高品質B2以上の電力品質を求めている。現状の電力システムのみ依存する標準品質の需要量は一般照明、事務室空調などで28%に過ぎない。特に、非常時の場合防災拠点として機能すべき病院・診療質については高品質B1以上の電力品質を要求する割合は80%を超える。

- ・ 病院以外の本社機能を持っているビルには高品質A(5%)、高品質B(7%)、高品質C(16%)、標準品質(72%)の電力品質を求めている。

- ・ マイクログリッドの概念を用いた地域における非常時の備えで地域へのエネルギー供給の信頼性を向上させると考えられる。

また、非常時を備えのみ運用している自家発電設備も活用し、平常時の省エネや経済的な運転をする同時に、自家発電設備をネットワーク化によるエネルギーエリアマネジメントを期待可能になり、大災害（主に大地震）に対するエネルギー的自立への意識向上も期待できると考えられる。

従って、非常時の高信頼自立需要の検討をする共に、非常時、耐震化されていない周辺機器の損壊及び燃料切れにより自家発電設備が始動しなかったり、負荷運転時間を満たさないことなどを防止するため適切な適応策を考える必要があり、今後の研究課題である。

Appendix :

1. 阪神大地震事例検討

(1) 発電設備の種類及び非常時における始動の有無

非常時を代表する阪神・淡路大震災における自家発電設備の被害状況及び稼働状況を表-A1 に示す。当時行ったアンケート調査結果、回答のあったもの 861 台の内、停電しなかったり、建物倒壊等の様々な理由により調査できなかったと回答したものを除いた 695 台を有効回答としたものである。始動率は合計約 91%であった。

表-A1 発電設備の種類及び始動の有無

	コージェネレーション	常用自家発電設備	保安用自家発電設備	防災用自家発電設備	合計
合計	20	8	77	590	695
割合	2.9%	1.1%	11.1%	84.9%	100%
始動	18	7	66	541	632
不始動	※ 2	※ 1	11	49	63
始動率	90.0%	87.5%	85.7%	91.7%	90.9%

\*消防法に基づく消防用設備及び建築基準法に基づく防災設備に電力を供給するものはすべて防災用自家発電設備に分類した。

\*防災用自家発電設備を兼用した保安用自家発電設備は防災用自家発電設備とした。

※については、ガス供給停止等により、始動できなかったものである。

一出典「阪神大震災における自家発電設備調査報告書、日本内燃力発電設備協会、1996. 3.」

(2) 非常時における運転時間

地震発生後、稼働した自家発電設備の中、停電にどのくらい役に立たのかを知るため稼働時間を調べてみた。地震直後の停電件数は 260 万軒であるが、地震発生 2 時間後には約 64%の復電し、14 時間後には約 81%が復電した。また、停電時間に対する自家発電設備の運転時間の割合(図-2)をみると、2 時間を超えて運転したものが 56%を占めていた。(図-A1 参照)

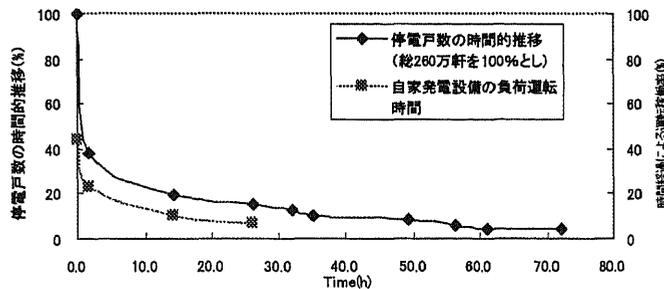


図-A1 運転時間の割合

(「阪神・淡路大震災調査報告、阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、都市安全システムの機能と体制、PP.269」より)

2. 法律や既存研究における非常時も含めた電力供給の信頼度に関するニーズ

(1) 法律による非常予備電力

消防法及び建築基準法による非常時における電源の維持要求時間は表-1 による。非常警報設備用等の最

低10分から消火設備や非常用エレベーターには1時間以上の予備電源を要求している。法令における防災電源には「非常電源専用受電設備」「自家発電設備」「蓄電池設備」の三種類があり、それぞれについて使用可能、不可能な防災設備がある。消防法には非常報知・警報設備は蓄電池設備に限り、建築基準法には非常用エレベーターは自家発電設備に限り、それ以外には自家発電設備や蓄電池設備の両方の適用ができる。

(2) 既存研究による非常予備電力

既存研究での建物用途別の平常時に対する非常時電力の機能確保に必要な負荷の割合は表-2である。安全性が最も重要視される医療施設の場合、最も必要な電力の割合が21%であり、住宅の場合には9%程度である。しかし、10年前の研究であり、経年変化による現在の非常時電力のニーズを改めて把握する必要があると考えられる。

表-A1 適応予備電源

	容量(以上)		
	10分	30分	60分
消防法	自動火災報知設備 非常警報設備	屋内消火栓設備 スプリンクラ設備 排煙設備 非常通信 コンセント設備	消火設備
建築基準法	—	排煙設備 非常用照明装置 非常用の進入口(赤色灯) 非常時排水設備 防火灯	非常用エレベーター

(出典：JECA 1032(社)日本電設工業協会「防災設備の電源と配線に関する指針」)

表-A2 建物用途別の平常時に対する非常時電力の機能確保に必要な負荷の割合

要求量 建物用途	電力		
	最も重要	重要	必要
事務本社	17	28	42
官公庁	15	29	53
医療	21	28	52
一般業務	14	28	42
商業	11	27	49
宿泊 娯楽 文化	15	27	47
教育	16	40	51
集合住宅	9	24	38

(出典：白珉浩、東京都区部における防災性を備えた地域冷暖房の導入地区選定に関する研究、日本建築学会計画系論文集、1999.9.)

【謝辞】

本研究は、平成15年度NEDO委託研究「都市における分散型電源活用拡大のための次世代型地域エネルギーシステムとその設計・評価技術の調査研究」の研究成果の一部であり、柏木孝夫教

授、並びに研究会委員及びアンケート調査にご協力いただいたビルオーナー及びビルテナント企業の皆様に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 洪元和ほか、各種建物における電源及び給水設備の容量と非常時の供給計画に関する研究、計画系論文集 NO. 494 P. 71、1997. 4.
- 2) 梅津光男ほか、居住者の地震対策一住み方の工夫と非常時のための備え—にみられる経験効果、計画系論文集 NO. 500、P. 111、1997. 10.
- 3) 柳 正秀ほか、建物エネルギー需要特性がコージェネレーションシステムの規模と運用に与える影響、計画系論文集 NO. 555、P. 85、2002. 5.
- 4) 白珉浩ほか、阪神・淡路大震災での人工島におけるライフライン昨日の被害とこれからの人工島の基盤施設のあり方、災害研究第 28 巻、1997. 3.
- 5) 日本内燃力発電設備協会、阪神大震災における自家用発電設備調査報告書、1996. 3.
- 6) 角田晃司外 3 人、建築物(医療施設)における保安電力の確保に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 1996. 9.
- 7) 阪神・淡路大震災調査報告、阪神・淡路大震災調査報告編集委員会、都市安全システムの機能と体制、PP. 269
- 8) JECA 1032(社)日本電設工業協会「防災設備の電源と配線に関する指針」.
- 9) 白珉浩、東京都区部における防災性を備えた地域冷暖房の導入地区選定に関する研究、日本建築学会計画系論文集、1999. 9.
- 10) NEDO 成果報告書、都市における分散型電源活用のための次世代型地域エネルギーシステムとその設計・評価技術の調査研究、2003.

表2-7 アンケート調査結果

役所	A 建物概要			B 受電設備・自家発電設備 自家発電設備(有/無)
	受電電力KWh/総床面積	建物構造	受電方式	
本社機能ビル	<b>総計</b> 			
	<b>区役所</b> 			
	<b>病院</b> 			
	<b>小中学校</b> 			
	<b>大学</b> 			
	<b>本社ビル</b> 			
	<b>コミュニティセンター 公民館等</b> 			
<b>テナントビル</b> 				
<b>テナント企業</b> 				

B-1 自家発電設備「有」の場合

自家発電機      自家発電機用途      冷却方式

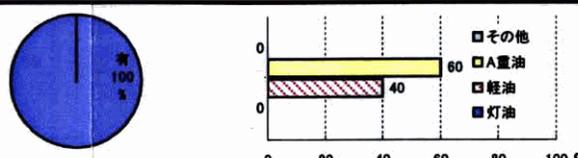
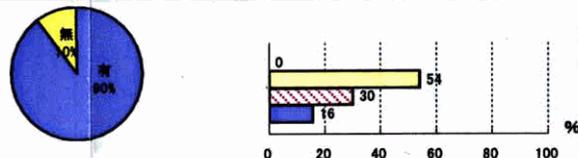
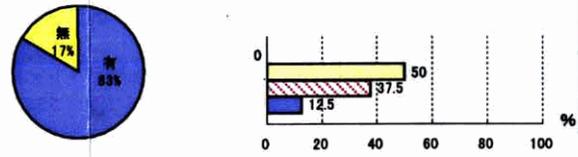
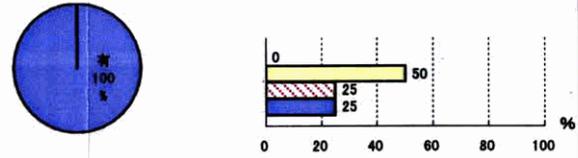
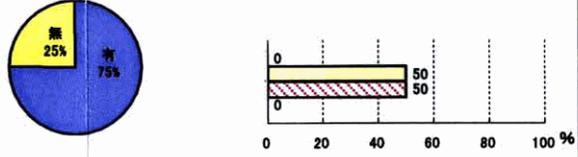
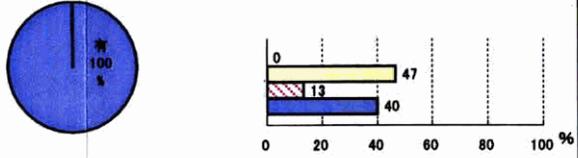
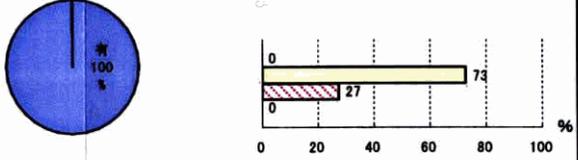
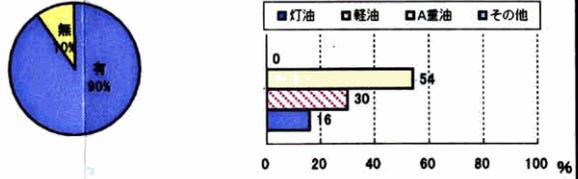


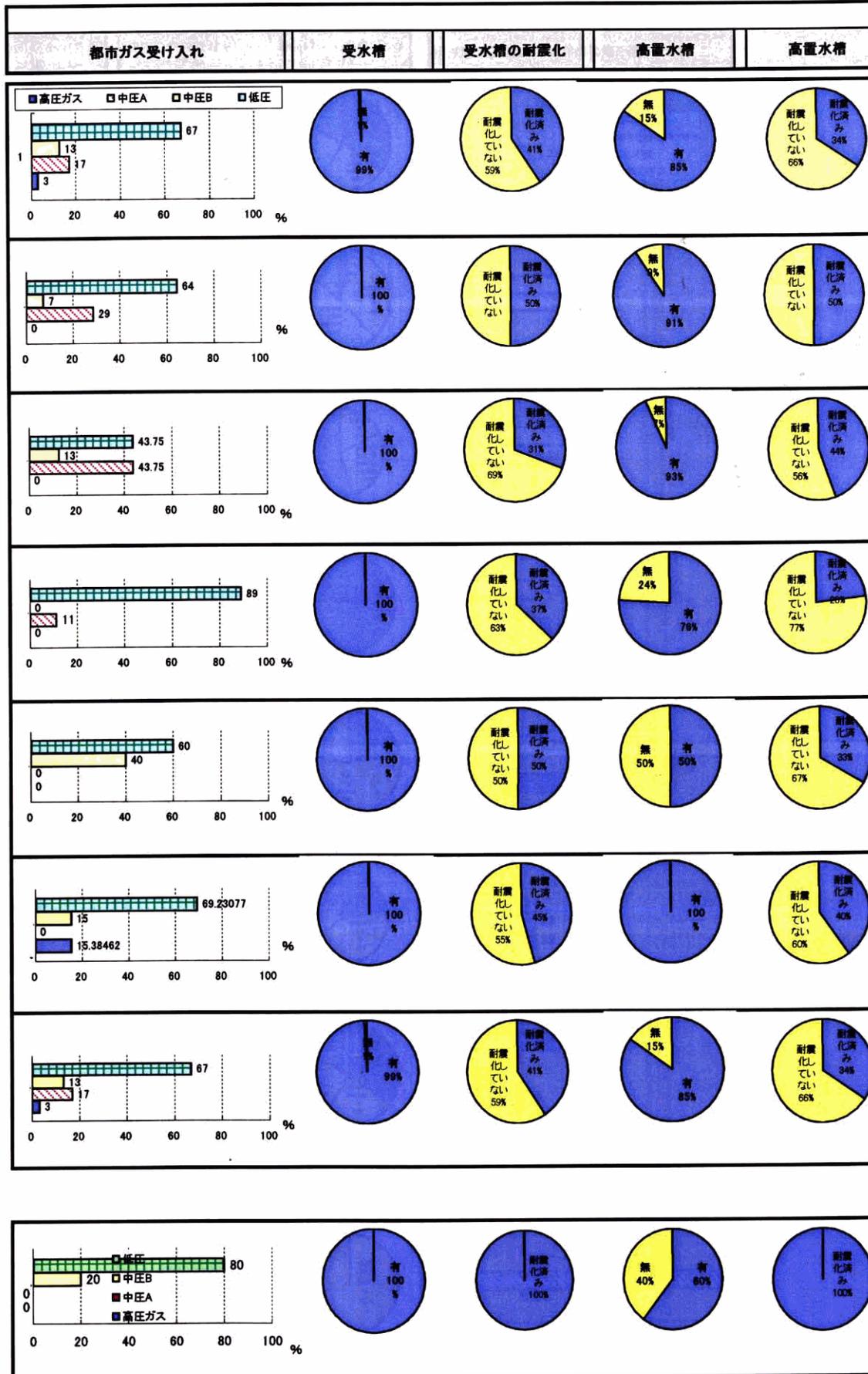
自家発電機の構成について

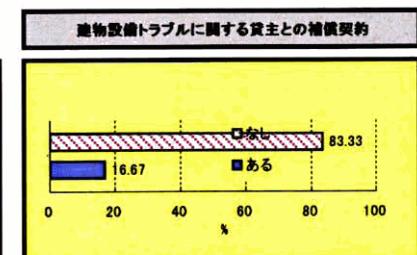
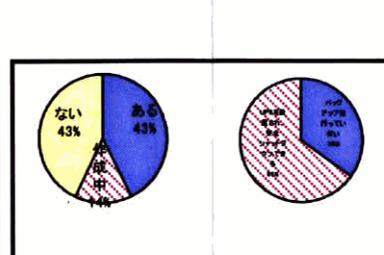
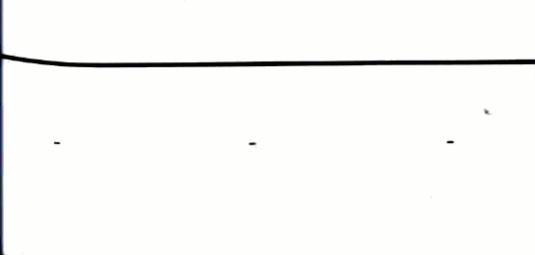
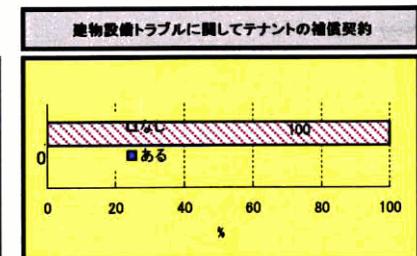
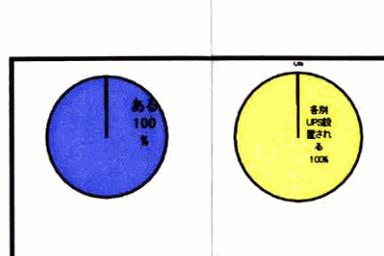
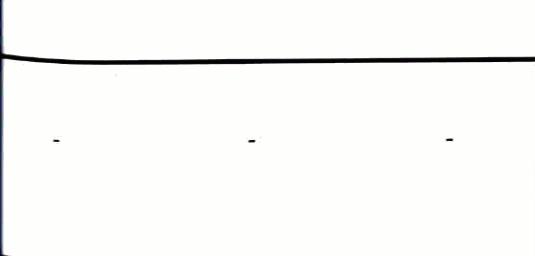
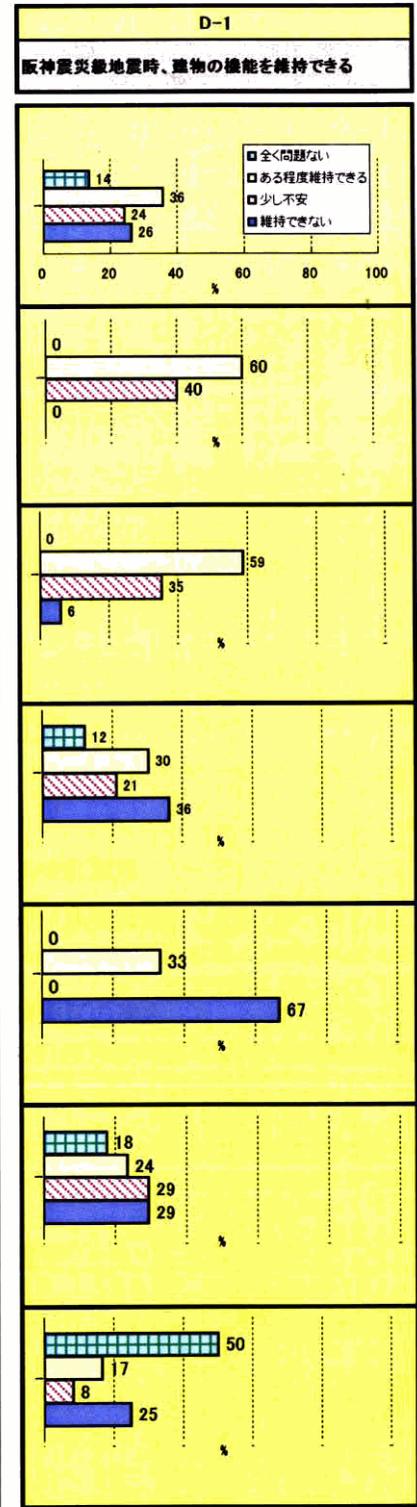
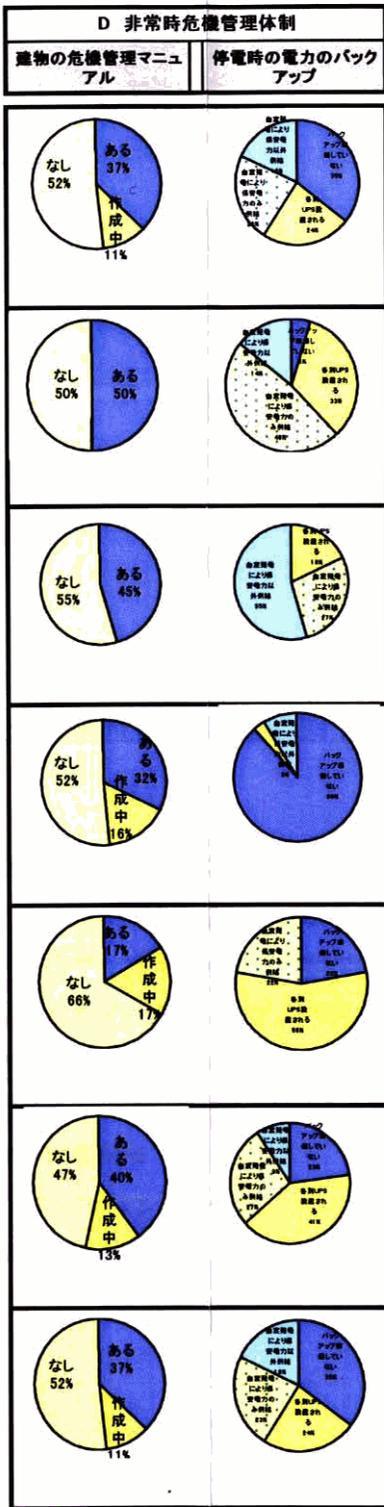
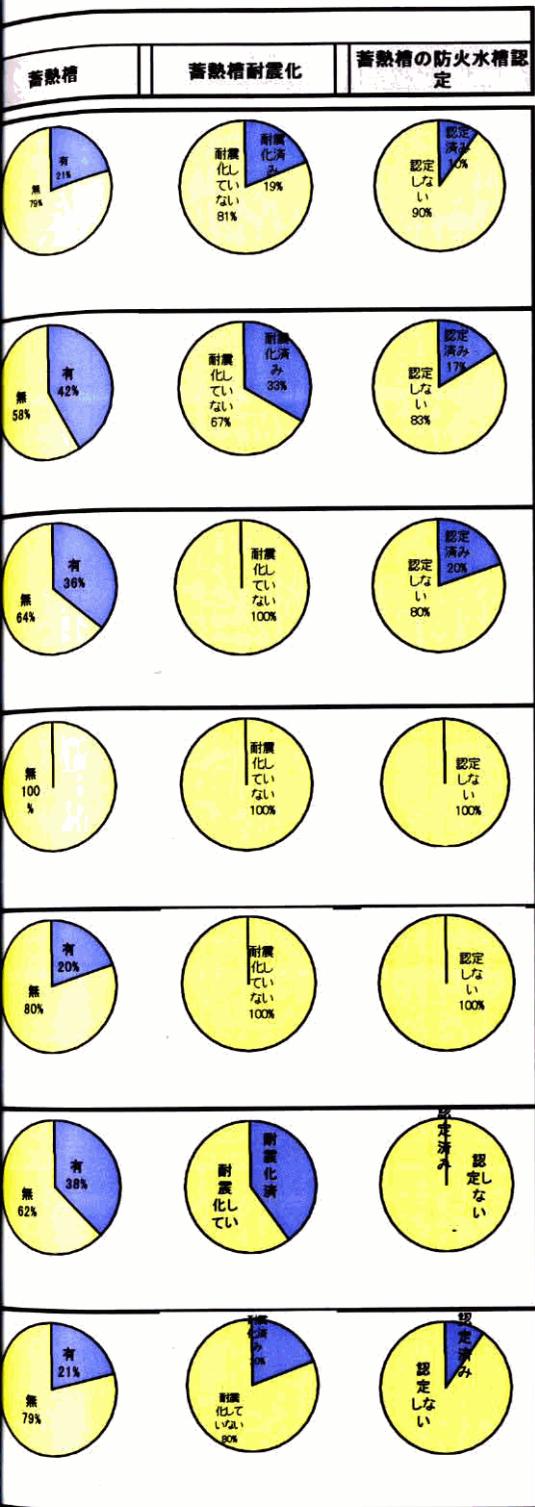


B-2 備蓄燃料

備蓄燃料      備蓄燃料種







## 第3章、都市空間構成と地域特性の分類に関する研究

### 3-1 概要

### 3-2 エネルギー需要密度とエネルギー利用形態による導入地区選定

#### 3-2-1 建物平均エネルギー負荷密度と区域エネルギー負荷密度

#### 3-2-2 高密度エネルギー需要期待地区の類型化

#### 3-2-3 新規地域エネルギー供給システムの導入期待地区の選定

### 3-3 地域特性による地域エネルギーシステムの効率分析

#### 3-3-1 評価設定条件

#### 3-3-2 エネルギー評価指標

#### 3-3-3 コージェネレーション運転方法

#### 3-3-4 地域エネルギー供給システムの導入効率分析

### 3-4 結論

## 3-1 概要

近年、エネルギーの小売自由化やコージェネレーション、ヒートポンプ等の熱源機器の機器効率上昇及び普及が進んでいる。都心部では、再開発や居住者の都心回帰が起こり、都心部におけるエネルギー需要の拡大と地域冷暖房導入検討すべきである大規模な施設の建設が進んでいる。また、平成17年に2月に発効した京都議定書の目標達成計画に地域冷暖房の推進が明確に位置付けられている。平成14年に施行された都市再生特別措置法に基づく民間活力による第八次の都市再生プロジェクトとして、「都市再生事業を通じた地球温暖化・ヒートアイランド対策の展開」が決定されるなど、都市の環境面のサステナビリティがますます重要となっている。以上のように、エネルギーを取り巻く環境がハード面・ソフト面の両面から激変している現状があり、従来のエネルギーシステムの見直しが必要となっている。

本研究では、本章では4、5、6章で分析を行う高密度地区を抽出することを目的とし、地域エネルギーシステムを導入期待地区の選定と地域特性による地域エネルギーシステムの効率の分析を行う。

建物平均エネルギー負荷密度と区域エネルギー負荷密度を基準としエネルギー需要密度を把握したうえ、高密度エネルギー需要期待地区を類型化、抽出する。また、4章からの分析をおこなう設定条件と評価指標を示す。地域エネルギーシステムの特徴は一日のエネルギー負荷の高い地域、年中のエネルギー需要量のある地域で高効率運転が可能であり、相応しいと言われる。このような理由から高密度地区選定は、環境性からの視点での地域抽出である。

具体的には、未利用エネルギーの分布、既存地域冷暖房の熱媒の実態を踏まえ、今後の分散電源と大規模発電所の発電効率の向上を主な要因として、熱と電気を合わせた地域冷暖房の効率評価方法を整理しながら、それに基づいて町丁目単位で望ましい熱媒を検討するための事前分析および条件設定である。期待される成果として、地域エネルギーマスタープランが提示されることで、長期展望にたった高温熱媒の地域エネルギーシステム導入と拡大への戦略的な取り組みが可能となる。

3-2 エネルギー需要密度とエネルギー利用形態による導入地区選定

3-2-1 建物平均エネルギー負荷密度と区域エネルギー負荷密度

都市計画上の建物用途別床面積の算定方法を表3-2.1に示す。住宅、医療、教務、商業、宿泊、娯楽、文化、教育施設に8分類される。地域特性や用途構成別による熱需要密度と、熱利用形態による地域熱供給の構築特性を分析するため、教務、商業、宿泊施設におけるエネルギー消費原単位は【都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価:空調学会】を、住宅、医療、娯楽、文化、教育施設におけるエネルギー消費原単位は【プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究 平成6年度報告書】に従った。

表3-2.1 都市計画上の建物用途別床面積の算定方法

建物用途分類	都市計画上の建物用途分類
① 官公庁	独立住宅 (= ⑦/2 + ⑩ + ⑬/2 ) 集合住宅 (= ⑪ ) 業務施設 (= ① + ⑤ ) 商業施設 (= ⑥ + ⑦/2 ) 医療施設 (= ③ ) 宿泊施設 (= ⑧ ) 教育施設 (= ② * 0.96 ) 文化施設 (= ② * 0.04 ) 娯楽施設 (= ⑨ )
② 教育、文化施設	
③ 厚生施設	
④ 供給処理施設	
⑤ 事務所	
⑥ 商業施設	
⑦ 住商併用	
⑧ 宿泊遊興	
⑨ スポーツ	
⑩ 独立住宅	
⑪ 集合住宅	
⑫ 工場	
⑬ 住工併用	
⑭ 総合運輸	
⑮ 農業漁業	

※文献 28) 全国の用途別得延床面積比率 (教育施設-6.2%、文化施設-0.3%) を用いて比率配分した。

※文献 29) 参照

年間原単位を表3-2.2に月別パターンを図3-2.1~8に示す。

但し、本研究でのシミュレーションは全て、時刻別のデータを参考とし、行ったものである。

表3-2.2 本研究で用いた原単位(年間)

		住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
暖房	Mcal/m <sup>2</sup> 年	17	80	50	18	118	43	86	57
給湯	Mcal/m <sup>2</sup> 年	48	206	13	23	310	64	0	0
温熱	Mcal/m <sup>2</sup> 年	65	286	63	41	428	107	86	57
冷熱	Mcal/m <sup>2</sup> 年	18	123	71	86	65	70	43	22
電力	kWh/m <sup>2</sup> 年	46	185	170	291	133	200	63	55

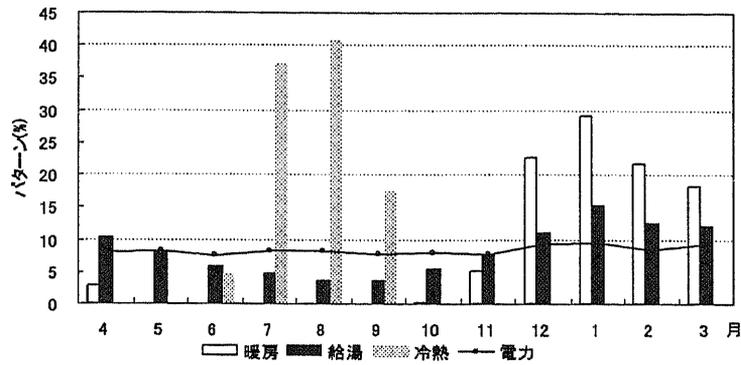


図 3-2.1 住宅施設の月別エネルギー消費パターン

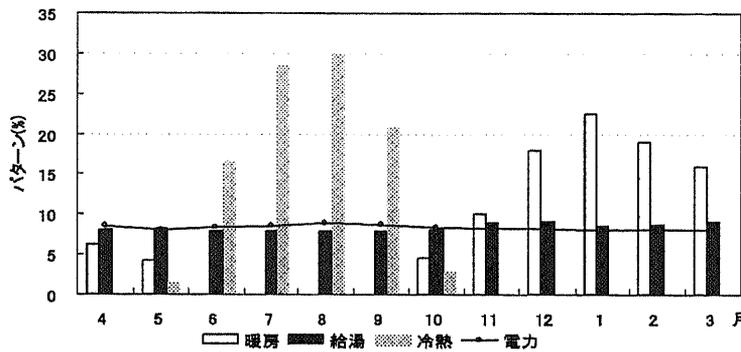


図 3-2.2 医療施設の月別エネルギー消費パターン

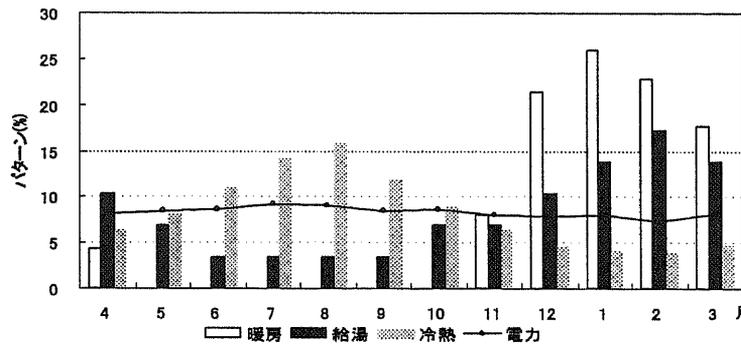


図 3-2.3 業務施設の月別エネルギー消費パターン

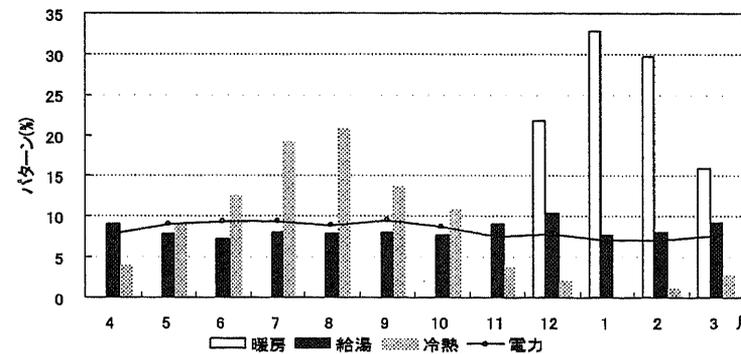


図 3-2.4 商業施設の月別エネルギー消費パターン

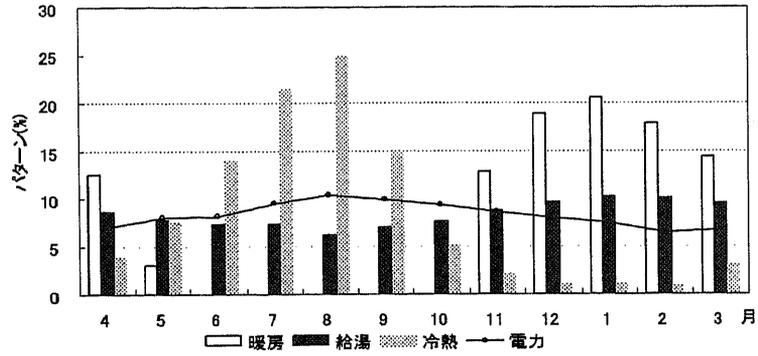


図 3-2.5 宿泊施設の月別エネルギー消費パターン

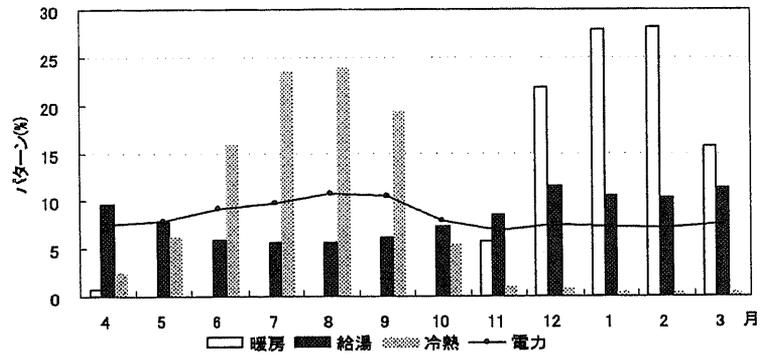


図 3-2.6 娯楽施設の月別エネルギー消費パターン

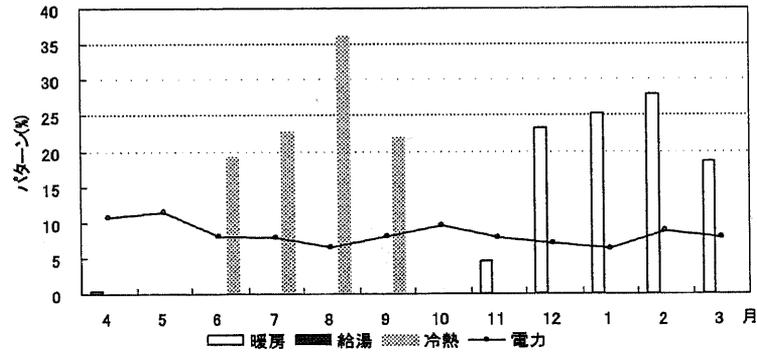


図 3-2.7 文化施設の月別エネルギー消費パターン

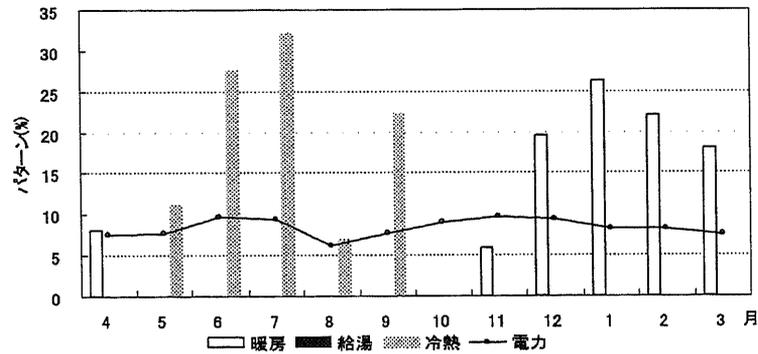


図 3-2.8 教育施設の月別エネルギー消費パターン

地域冷暖房事業会及び空気調和衛生工学会の熱原単位の資料から地域の住宅、業商、宿泊の用途別にエネルギー需要量を算出し、各用途を0%から100%まで10%ずつ刻みで変化させ11パターンに分け、熱電比及び冷温比を求め、示したものが図3-2.9である。

住宅は「住宅施設」、業商は「教務、商業、娯楽、文化、教育施設」、宿泊は「医療、宿泊施設」の熱需要量を合わせたものである。

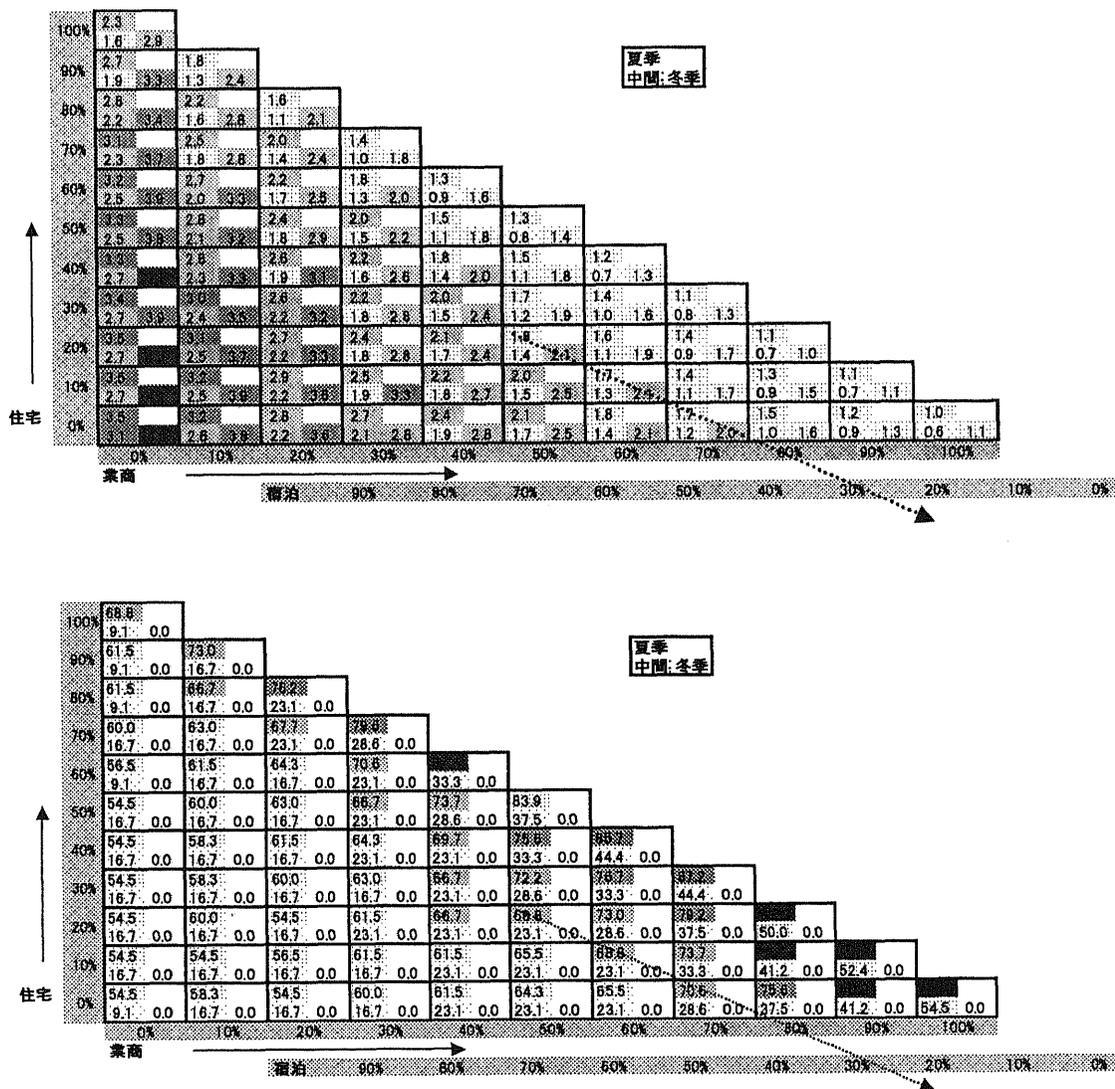


図3-2.9 熱電比(上)、冷熱比(%下)

四季がある日本は季節別外気温度の差が大きく、それに伴う熱電比・冷温比の差も大きいことから夏期、中間期、冬期に分けて熱電比、冷温比を求めた。用途別、季節別の熱電比は約0.5~4.4、冷温比は約0~10の値を示している。

東京都区部においてどのような値をとっているか地図化する。

(1) 冷房割合

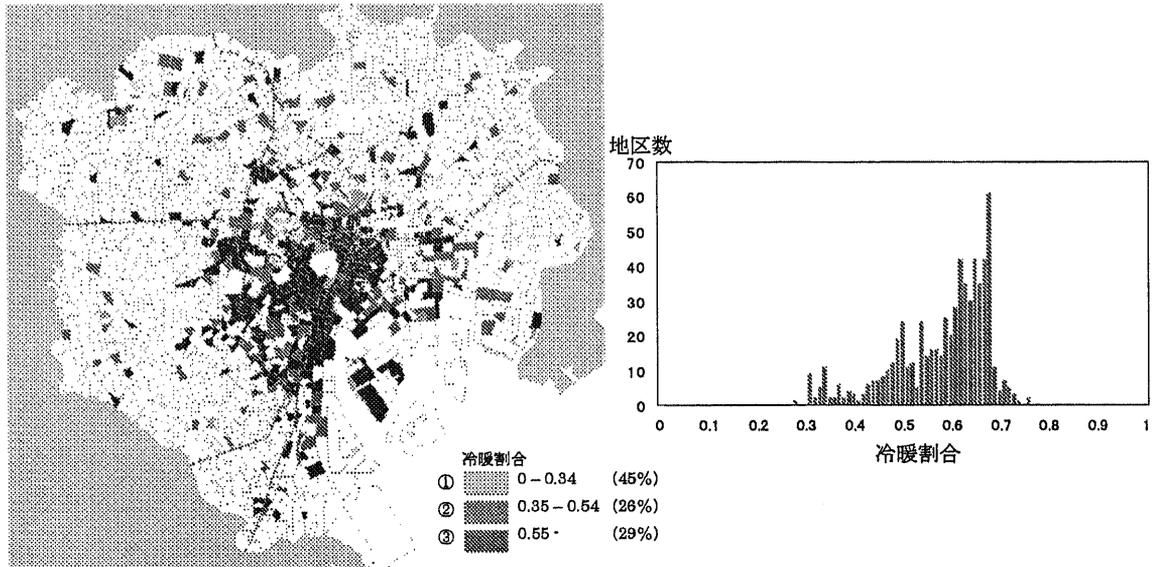


図 3-2. 10 冷暖割合分布図

(2) 給湯負荷率

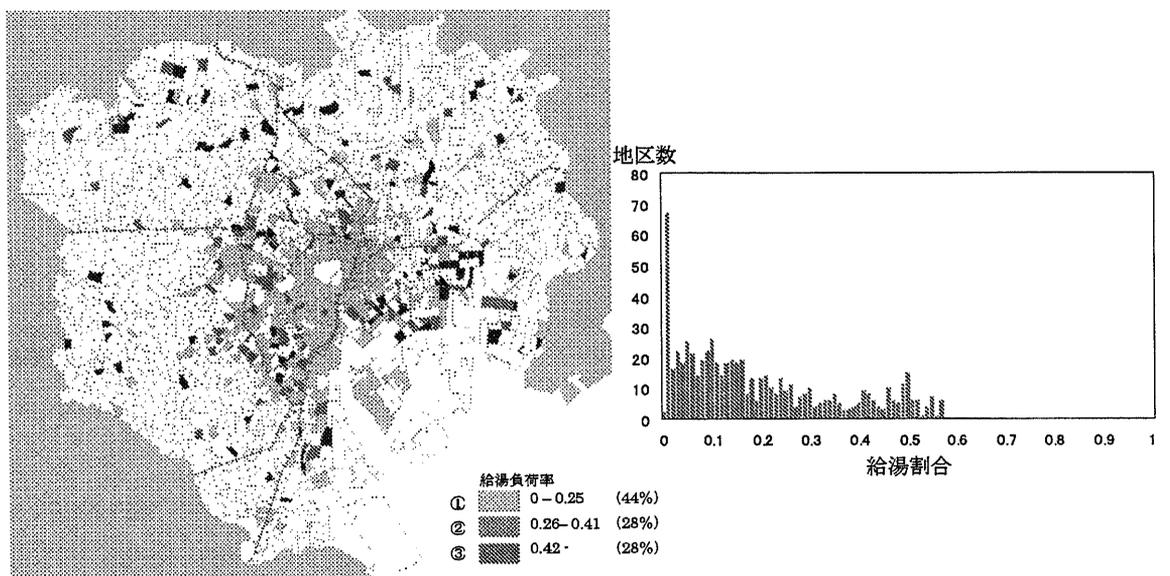


図 3-2. 11 給湯割合分布図

(3) 熱電比

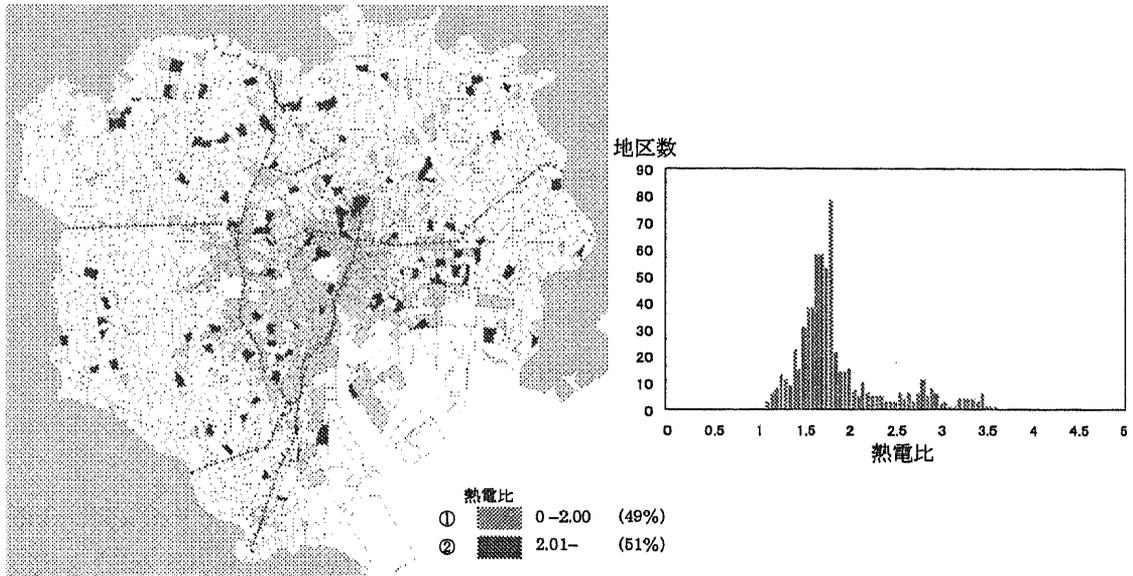


図 3-2.12 熱電比分布図

2) 区域熱負荷密度と建物平均熱負荷密度

ここでは、高密度熱需要期待地区の選定手法として、区域熱負荷密度と建物平均熱負荷密度を用いる 2)、23)。

区域熱負荷密度[TJ/ha]とは、エネルギー消費原単位と延床面積によって、各町丁目の冷房需要・暖房需要・給湯需要・電力需要を算出し、熱需要である冷房・暖房・給湯需要量の和を区域土地面積で除したものである。また、建物平均熱負荷密度[TJ/棟]とは、建物1棟当たりの熱負荷密度であり、区域熱負荷密度に加え、より既存DHCの特性を考慮した選定を行うために設定した評価指標である。本論では、縦軸Yに建物平均熱負荷密度、横軸Xに区域熱負荷密度をとり、評価していく。

区域熱負荷密度と建物平均熱負荷密度の特徴を整理しておく。区域内で同様の建物構成(区域面積・棟数の比が同じ)のとき、建物用途構成によって熱負荷の総和が変化すると、その区域の点は下図のような傾向となる。

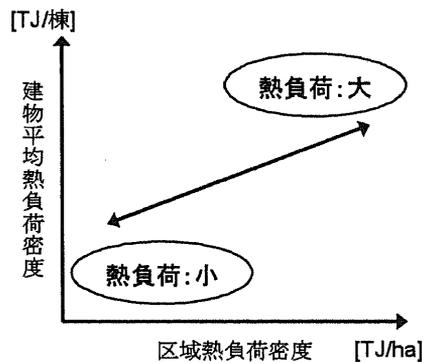


図3-2.13 熱負荷の関係

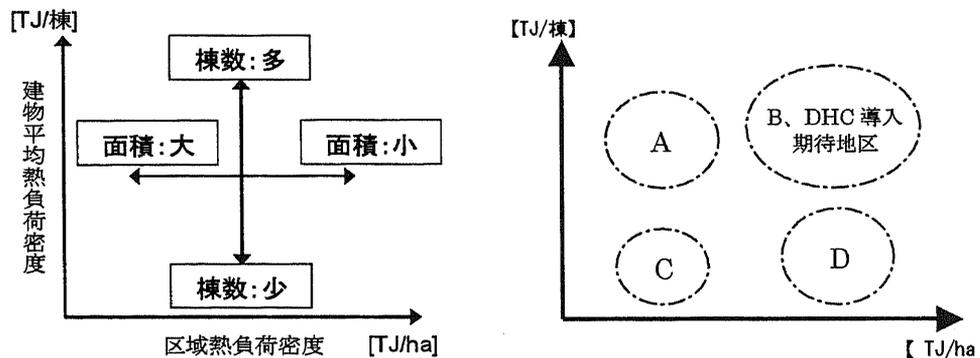


図3-2.14 棟数と区域面積の関係

また、ある区域の熱負荷密度の総和に対し、その建築物の構成である区域面積と建物数が増減する場合、上図のような傾向となる。

図3-2. 14のイメージ図を下に示す。TJ/haの大小は1区域当たりの熱負荷大小であり、区域内の建物の粗密である。TJ/棟は1棟当たりの熱負荷の大小であり、建物1棟の大小である。

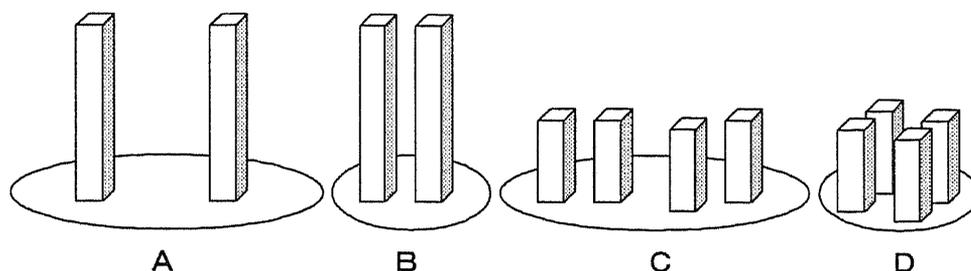


図3-2. 15 建物と区域面積のイメージ

ここで、エリアBあるいはエリアDに注目する。Bは1棟あたりの熱負荷が大きく、区域内の建物も密であり新規DHCを導入しやすい区域だと考えられる。Dは1棟あたりの熱負荷はそれほど大きくないが、ある程度の熱負荷を持った棟が密集することで、そのエリア全体としての熱負荷は大きくなり、分散型エネルギーシステム導入を検証するに値するエリアだといえる。そこで、次節以降において、B・Dの高密度熱需要期待地区を選定するための境界線を設定し、高密度熱需要期待地区の選定を行う。

### 3) 東京都区部町丁目と既存地域冷暖房の特性

対象地区である東京都区部の3,134町丁目の特性を以下(図2-4. 16)に示す。ただし既存DHCとは無関係に町丁目を設定しているため、DHC地区としてすでに成立している町丁目も含まれる。

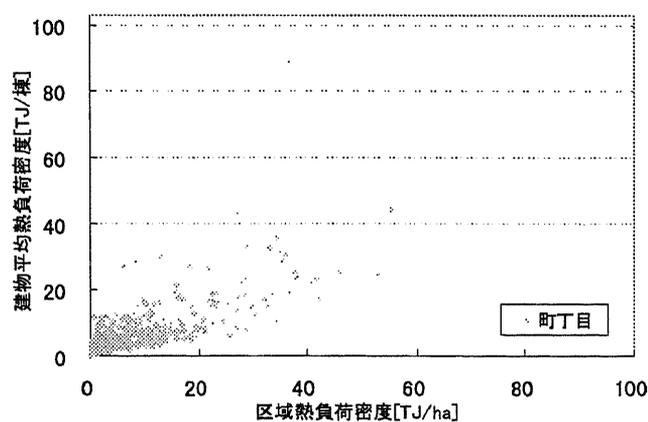


図3-2. 16 東京都区部町丁目地区特性

文献1では地域エネルギーシステム導入期待地区選定手法として、熱負荷密度4.2(TJ/ha・年)以上という基準が用いられていた。本研究では、地域エネルギーシステムの導入対象地区選定の手法として、区域熱負荷密度(TJ/ha・年)に加え、より既存の地域エネルギーシステムの特徴を考慮した選定を行うために建物1棟あたりの熱負荷密度である建物平均熱負荷密度(TJ/棟・年)を同時に地域エネルギーシステムの導入選定の軸に加える。基準になる既存地域エネルギーシステムの特徴を図3-2.17に示す。

既存DHCにおいて、東京都GIS建物データを用い、延床面積が3,000m<sup>2</sup>を超える建物を抽出し、その建物の棟数・熱負荷・区域面積の関係を明らかにする。3,000m<sup>2</sup>という数値は、DHCに加入する建物と、加入しない建物の基準として設定している。ここでの建物平均熱負荷密度は、3,000m<sup>2</sup>以上の建物における熱負荷(需要)を、その棟数で除算したものであり、区域熱負荷密度は3,000m<sup>2</sup>以上の建物における熱負荷をDHCの供給面積で除算したものである。なお、3,000m<sup>2</sup>以上の建物というのは仮定であり、実際の供給先建物とは無関係である。また、GISで用いた建物データは平成14年以降に建てられた建物を含んでいない。

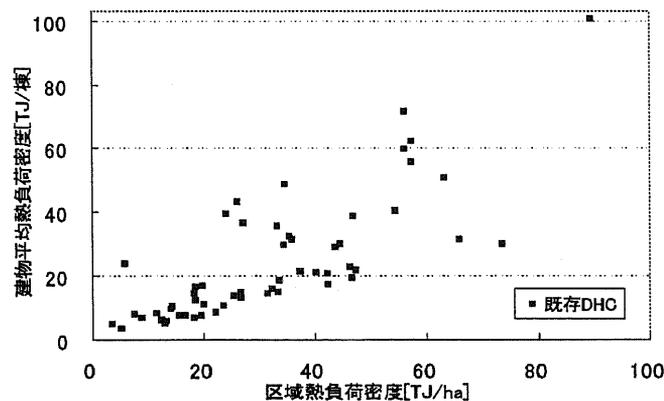


図3-2.17 既存DHC特性

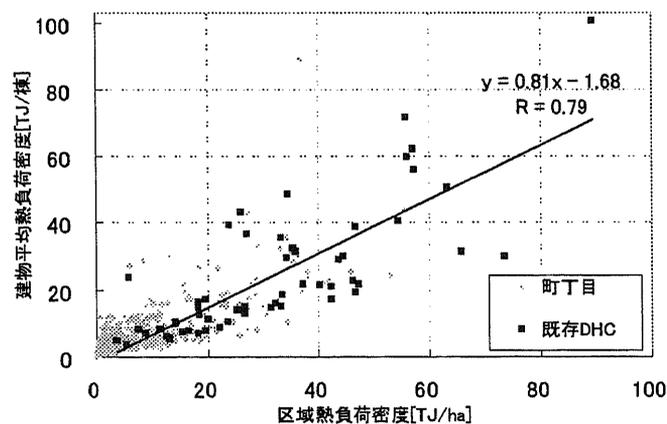


図3-2.18 既存DHC特性の近似線

業務用途地区を中心として密集されて既存地域エネルギーシステムの分布と各熱源種別の効率を図3-2. 19、表3-2. 3に示す。

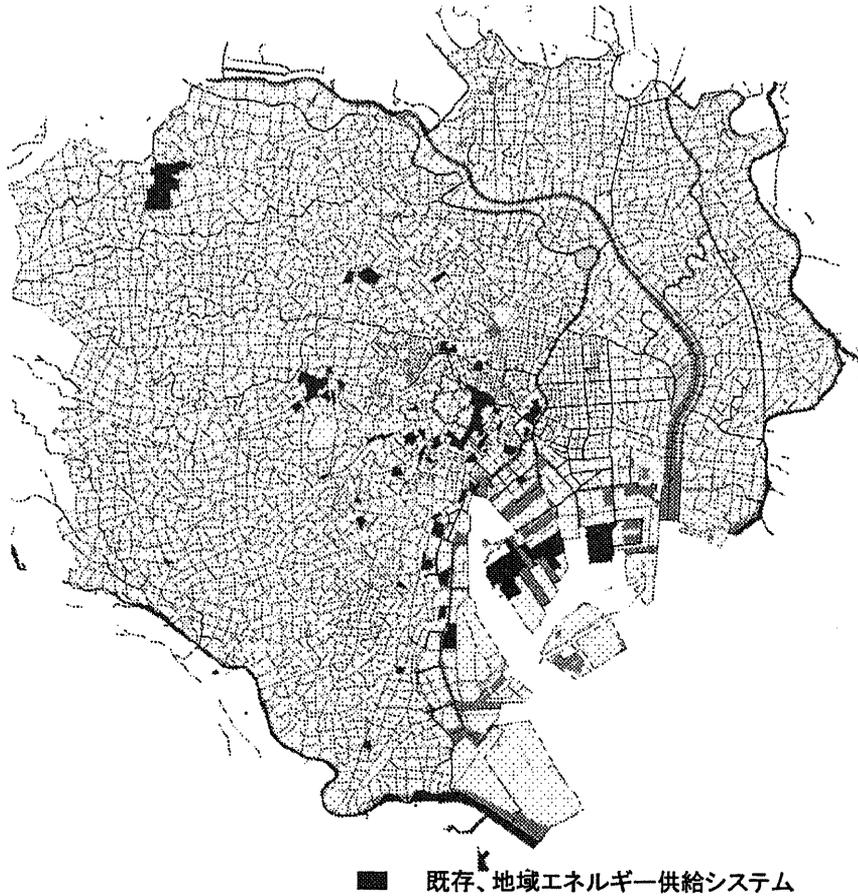


図3-2. 19 既存、地域エネルギー供給システムの分布(65地区)

表3-2. 3 熱源システム種別の平均効率(65地区の分析結果)

熱源システム種別		効率
吸収・ボイラ方式 (ガス方式)	一般システム	0.61
	コージェネ排熱利用	0.68
	未利用エネルギー利用	0.7
電動方式 (電気方式)	一般システム	0.85
	未利用エネルギー利用	0.99
吸収・電動方式 (電気・ガス併用方式)	一般システム	0.68
	コージェネ排熱利用	0.74
	未利用エネルギー利用	0.74

3-2-2 エネルギー負荷密度による地域エネルギー供給システムの導入期待地区選定

既存 DHC 地区を対象とした TJ/ha と TJ/棟の重み付けを行った指標として、図 3-2. 17 より近似線をとる(図 3-2. 18)、その近似線に直交する直線をしきい値として指標を作成する。また、近似線を軸として、エネルギー需要量から見た高密度熱需要期待地区を選定するための以下の基準を設定する(図 3-2. 20)。

最低ラインを設定するため図 2-4. 18 を区域平均熱負荷密度 (0~10 TJ/ha) 建物平均熱負荷密度 (0~8TJ/棟) の範囲で拡大し図 3-2. 20 に示す。

【高密度熱需要期待地区の選定基準】

- ① 既存 DHC の (TJ/ha, TJ/棟) 最小値以上
- ② 4.2TJ/ha 以上
- ③ 既存 DHC の地区特性を近似線で表し②との交点以上
- ④ 近似線と直交し①で指定した既存 DHC を通る線以上
- ⑤ 近似線で 4.2TJ/ha をとる点を通る直交線以上

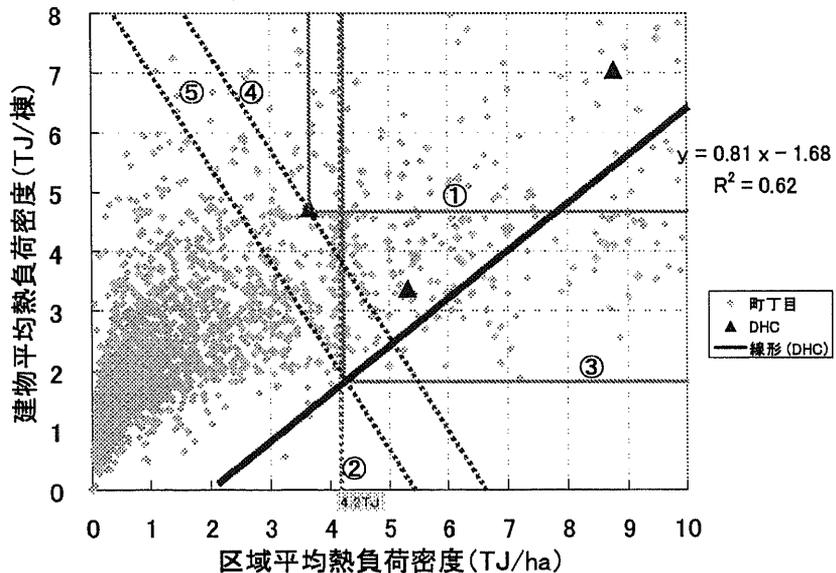


図 3-2. 20 高密度熱需要期待地区の選定

3134 地区の中条件①274 地区、条件②436 地区、条件③436 地区 (②と結果が同じ)、条件④460 地区、条件⑤649 地区が選定された。図 3-2. 21~図 3-2. 25 に選定された地区を示す。

①既存 DHC における (TJ/ha , TJ/棟) の最小値以上



図 3-2. 21 条件①により設定された高密度熱需要期待地区の分布(274 地区)

②4. 2TJ/ha 以上 (文献 1 の DHC 推奨値)

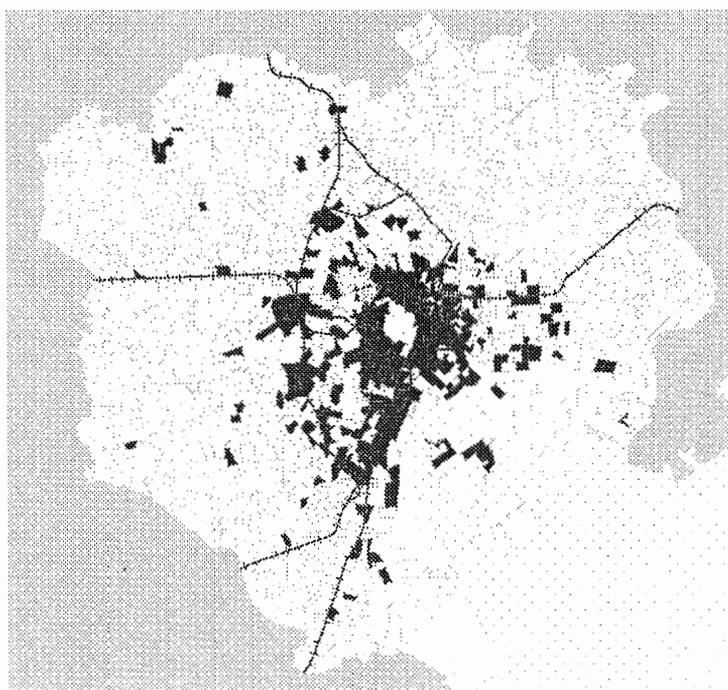


図 3-2. 22 条件②により設定された高密度熱需要期待地区の分布(436 地区)

③既存 DHC の地区特性を近似線で表し②との交点以上



図 3-2. 23 条件③により設定された高密度熱需要期待地区の分布(436 地区)

④近似線と直交し DHC の最小値を通る線以上

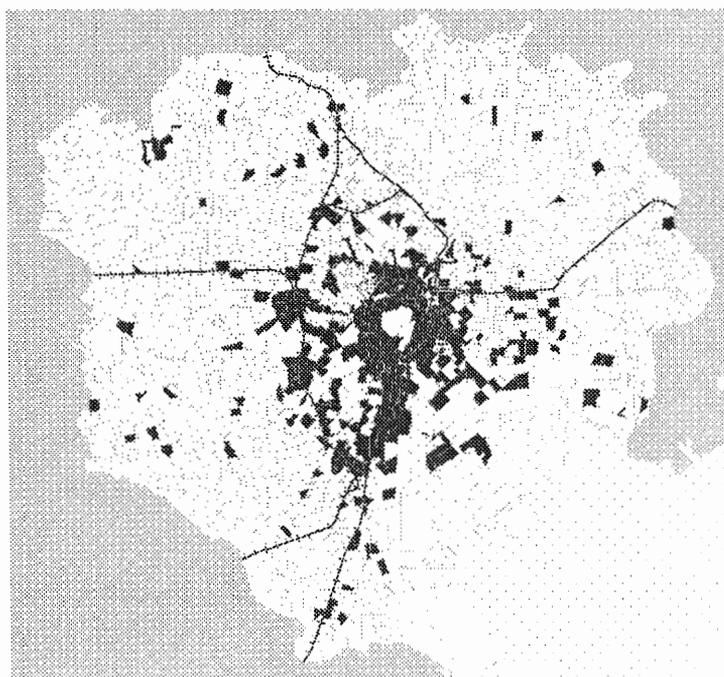


図 3-2. 24 条件④により設定された高密度熱需要期待地区の分布(460 地区)

⑤近似線で4.2TJ/haをとる点を通る直交線以上

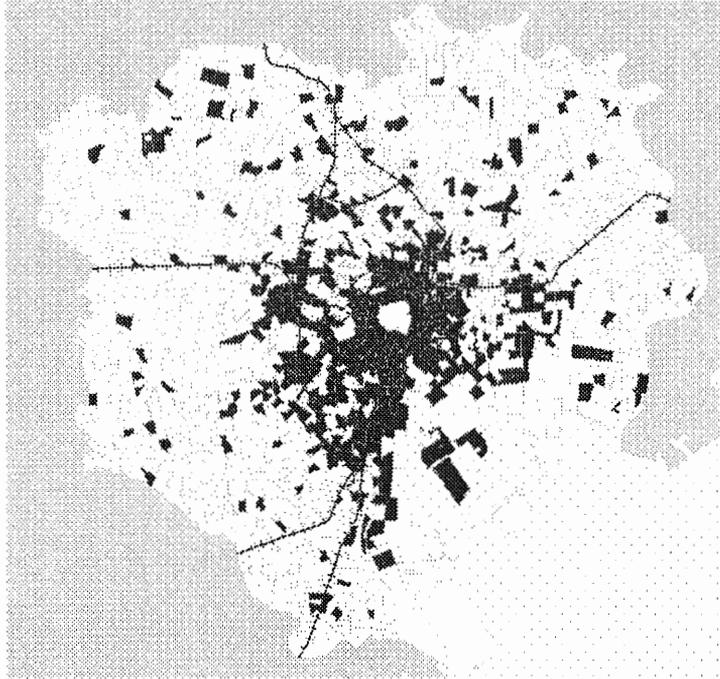


図3-2.25 条件⑤により設定された高密度熱需要期待地区の分布(649地区)

## 3-2-3 高密度エネルギー需要期待地区の類型化

## 1) 設定条件

前節で選定した高密度熱需要期待地区 649 地区について、地域類型化を行う。類型化の目的は、高密度熱需要期待地区の地域特性を把握整理し、その特性を様々な観点から検証していくことである。加えて、各類型の地区特性において、分散型エネルギーシステム導入の影響解析を行うことにより、例えば、業務中心地区では、どの分散型エネルギーシステムをどの程度の容量で導入することが望ましいといった、一般解を提示することが可能である。

地域類型化を行うに当たり、エネルギー消費原単位を用いて 649 の各対象地区における熱需要を算出した。そこから、熱負荷密度と冷温比を算出し、横軸に熱負荷密度の対数、縦軸に冷温比を取り類型化した。熱負荷密度と冷温比を軸にとった要因は、地域を熱特性に基づき類型化するためである。熱負荷密度の対数を取った目的は、各値（横軸）を拡散させ、より精度の高いかつ視覚的に解りやすい結果を出すためである。

また、DAR の機器効率を 1.2 と設定して冷房需要に必要な蒸気量を算出した。

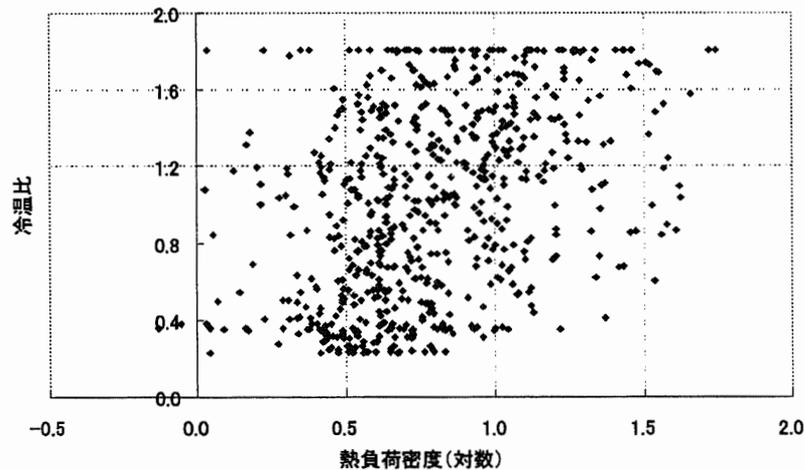


図 3-2. 26 対象地区における熱負荷密度(対数)と冷温比の相関関係

## 2) 地域類型化

ここでは、類型化する際にクラスター分析等の分析手法を用いず、境界数値を設定し、6 類型に分類した。境界数値は以下の通りである。境界数値は、数値の最大値・最小値を考慮した上で、何通りかを検証した結果、以下表の値を設定した。クラスター分析により類型化を試みたが、数値的にバランス良くかつ地区特性に特徴が見られない結果となったため、本研究では採用しないこととした。

表 3-2.4 類型化のための境界条件

類型	熱負荷対数	冷温比
I	0.8~1.8	1.3~1.9
II	-0.2~0.8	1.3~1.9
III	0.8~1.8	0.7~1.3
IV	-0.2~0.8	0.7~1.3
V	0.8~1.8	0.1~0.7
VI	-0.2~0.8	0.1~0.7

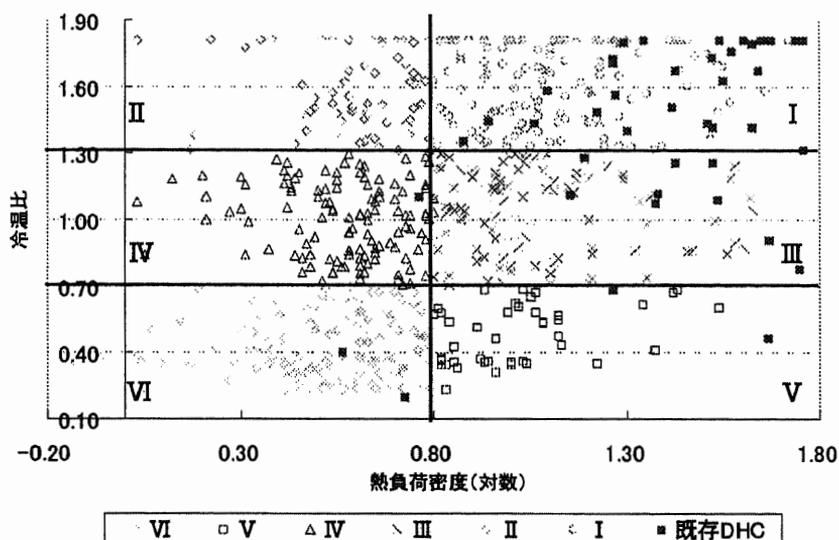


図 3-2.27 地域類型化

図 3-2.27 で類型化した地区の用途構成比を下図に示す。さらに、類型化された地区の分布状況を、GIS を用いて可視化した。

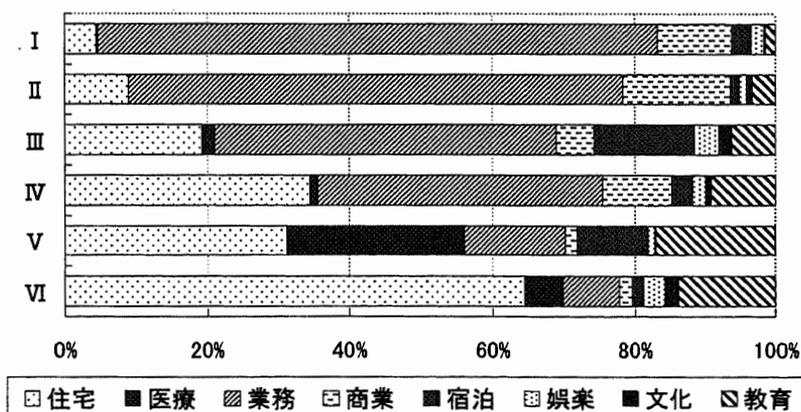


図 3-2.28 建物用途構成比

表 3-2.5 各類型の地区数

類型	I	II	III	IV	V	VI
地区数	140	72	107	119	43	168

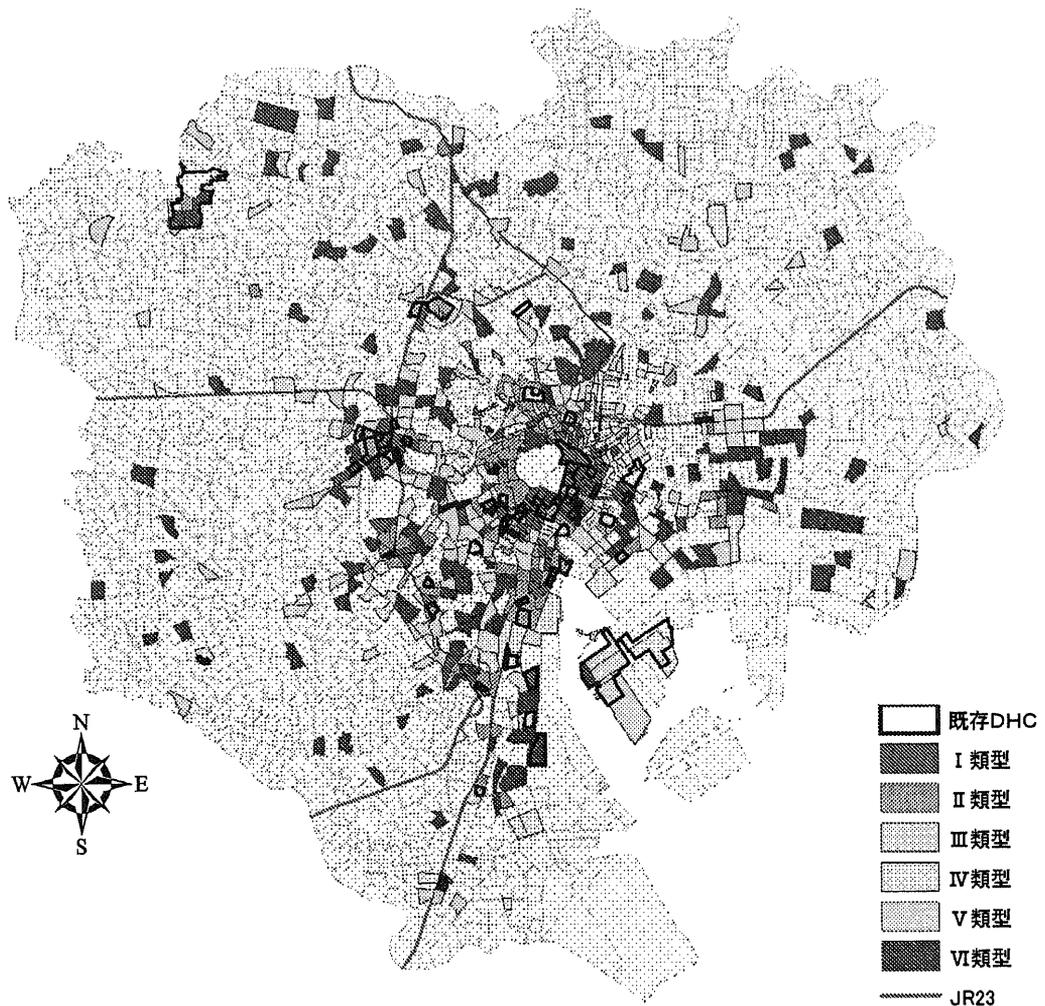


図 3-2. 29:地域類型化 GIS 図

各類型の用途構成と上分布図から、類型の大まかな特徴を以下にまとめる。

- I 類：都心業務中心地区
- II 類：業務・商業中心地区
- III 類：住宅・業務・宿泊混合地区
- IV 類：住宅・業務混合地区
- V 類：住宅・医療・教育混合地区
- VI 類：住宅中心地区

3-3 地域特性による地域エネルギーシステムの効率分析

3-3-1 評価設定条件

高密度熱需要期待地区より構築した6類型の特性を反映させたモデル地区において、分散型エネルギーシステムを導入したときの影響を検証評価する。既存DHCデータ(15)、(16)より、モデル地区の区域面積を8ha、延床面積を250,000m<sup>2</sup>とした。

1) 熱負荷密度・冷温比・熱電比

前章で類型化した6類型の熱特性を以下に示す。改めて、語句の整理をしておく。熱電比とは、熱需要に対する電力需要である。冷温比とは、冷房需要に対する温熱需要の割合である。

表 3-3.1 熱負荷密度・冷温比・熱電比の平均

類型	熱負荷密度(平均)	冷温比(平均)	熱電比
I	13.37	1.61	1.18
II	4.06	1.57	1.19
III	11.60	1.03	1.31
IV	3.72	1.00	1.31
V	10.32	0.48	1.93
VI	3.40	0.42	1.86

2) エネルギー需要特性

類型I～VIの月別の需要特性を次図に示す。類型Iと類型II、類型IIIと類型IV、類型Vと類型VIは、用途構成が比較的類似しているため、月別の需要パターンも類似している。しかし、熱負荷密度や熱電比が大きく異なるため、需要量が大きく異なっていることが分かる。

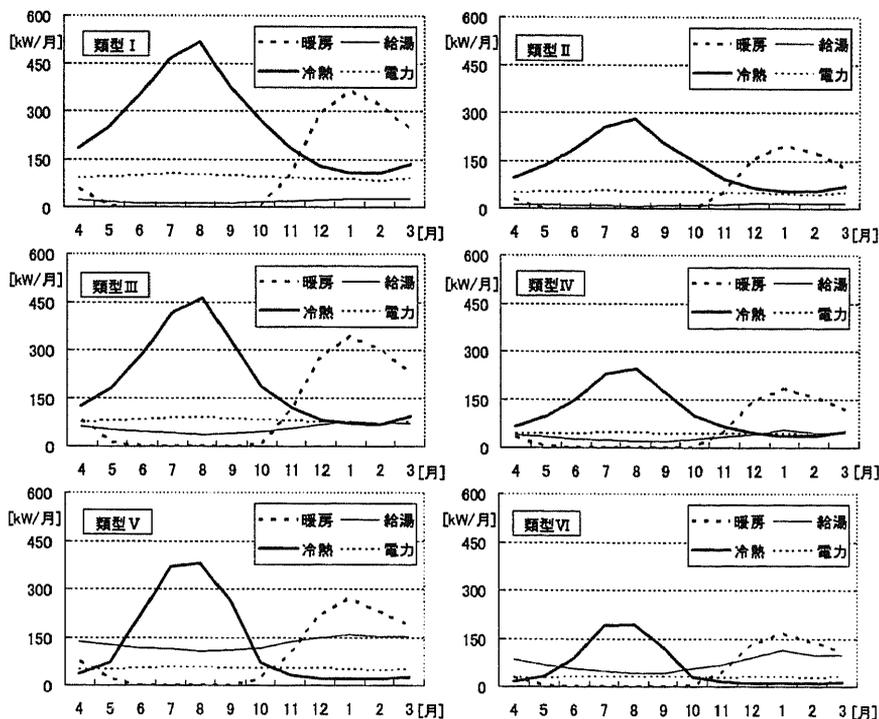


図 3-3.1 各類型の月別エネルギー需要特性

3) システム設定

(1) ガスタービン (GT) システム

このシステムで用いる熱源は炉筒煙管蒸気ボイラ (STB)、蒸気焚二重効用吸収式冷凍機 (DAR) であり、コージェネレーションシステムとしてガスタービンシステム (GT) を用いる。ただし、炉筒煙管蒸気ボイラ (STB) は補助熱源として扱う。

排熱形態は全て蒸気であり、温熱・冷熱需要を賅う。不足蒸気分については、炉筒煙管蒸気ボイラ (STB) により製造する。なお、蒸気吸収式冷凍機と補助ボイラに掛かる補機動力は、系統電力からの買電により賅う。運転方法は、電主熱従運転・熱主電従運転 (後述) である。

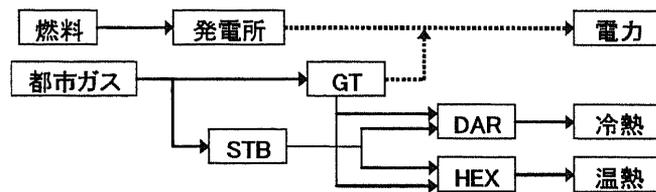


図 3-3. 2 ガスタービンシステム

(2) ガスエンジン (GE) システム

このシステムで用いる熱源は炉筒煙管蒸気ボイラ (STB)、蒸気焚二重効用吸収式冷凍機 (DAR)、温水焚単効用吸収式冷凍機 (SAR) であり、コージェネレーションシステムとしてガスエンジンシステム (GE) を用いる。ただし、炉筒煙管蒸気ボイラ (STB) は補助熱源として扱う。排熱形態は温水と蒸気であり、その割合は 1 : 1 とする。温熱需要は最大限温水で賅い、余剰温水については温水焚単効用吸収式冷凍機 (SAR) の入力エネルギーとし、冷熱を供給する。不足温熱分については、炉筒煙管蒸気ボイラ (STB) からの蒸気で賅う。冷熱需要は、ガスエンジンからの蒸気と温水で賅い、不足冷熱分は炉筒煙管蒸気ボイラ (STB) からの蒸気を入力エネルギーとした蒸気焚二重効用吸収式冷凍機 (DAR) で賅う。なお、蒸気吸収式冷凍機と補助ボイラに掛かる補機動力は、系統電力からの買電により賅う。また、温水焚単効用吸収式冷凍機 (SAR) はガスエンジン排熱のみを入力エネルギーとするので、ガスエンジン停止時には運転しない。運転方法は、電主熱従運転・熱主電従運転 (後述) である。

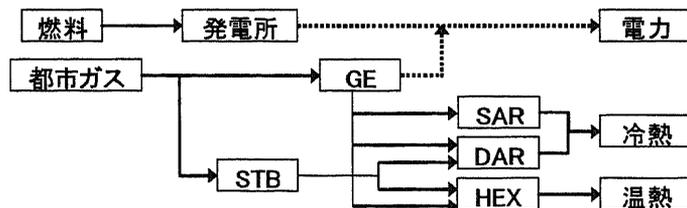


図 3-3. 3 ガスエンジンシステム

## (3) 電気式システム

このシステムで用いる熱源は、熱回収ヒートポンプ (DBHP)、ヒーティングタワーヒートポンプ (HTHP)、給湯ヒートポンプ (給湯 HP)、冷専ターボ冷凍機 (ETR)、炉筒煙管蒸気ボイラ (STB) である。

熱回収ヒートポンプ (DBHP) については、熱が余らないように暖房需要・冷房需要のどちらかに合わせて運転する。ヒーティングタワーヒートポンプ (HTHP) は、冷・温切り替え運転をするため、冷・温同時取り出しは行わない。

給湯需要は、給湯ヒートポンプ (給湯 HP) で賄うとした。業務用の大規模な給湯ヒートポンプはまだ開発段階ではあるが、将来考えられる熱源システムのひとつとして本研究では扱っていく。

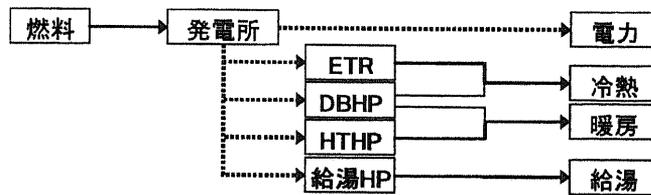


図 3-3.4 電気式システム

## (4) 個別式 (PAC) システム

今回検討したパッケージエアコンは空冷式である。

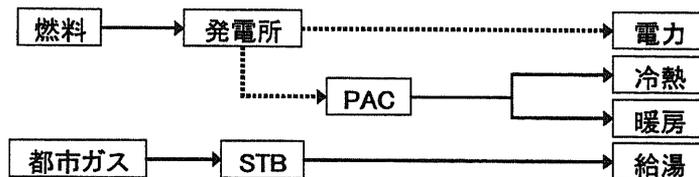


図 3-3.5 個別式システム

## 4) 機器効率

ここでは、炉筒煙管蒸気ボイラ (STB)、ガスタービン (GT)、ガスエンジン (GE)、温水焚単効用吸収式冷凍機 (SAR)、蒸気焚二重効用吸収式冷凍機 (DAR)、冷専ターボ冷凍機 (ETR)、熱回収ヒートポンプ (DBHP)、ヒーティングタワーヒートポンプ (HTHP)、給湯ヒートポンプ (給湯 HP) の機器効率を示す。下表の効率は補機動力を考慮していない値である。また、以下に示す値は、全て高位発熱量基準である。

本研究では、地域需要特性に応じた有効熱源の提案を研究目的のひとつとしている。そこで、CGS 機器効率と受電端効率を 4 パターン設定し、それぞれの効率が将来どのようになれば、どのシステムが有効であるのか(第 7 章につづく)という多角的な評価を行う。

表 3-3.2 熱源機器効率一覧<sup>1), 3)~10)</sup>

機器	機器効率	補機
GT発電効率	変動	8%
GE発電効率	変動	4%
CGS(GT・GE)排熱効率	変動	—
SAR効率	0.71	5%
DAR効率	1.35	6%
受電端効率	昼(8-21)	変動
	夜(22-7)	変動
STB効率	0.88	4kWh/GJ
HEX	1.00	—
ETR	6.00	120kW/1,000RT
DBHP	冷水	3.69
	温水	4.82
HTHP	4.57	—
給湯HP	3.80	—
PAC	冷房	2.94
	暖房	2.10

表 3-3.3 CGS 機器効率と受電端効率一覧

	総合効率	GT		GE		受電端効率
		発電効率	排熱効率	発電効率	排熱効率	
CASE①	0.65	0.25	0.40	0.30	0.35	0.36
CASE②	0.65	0.25	0.40	0.30	0.35	0.40
CASE③	0.73	0.30	0.43	0.35	0.38	0.36
CASE④	0.73	0.30	0.43	0.35	0.38	0.40

主) 受電端効率 0.40 の設置条件の理由及び結果は「第7章」参考

5) 熱損失

熱損失は下表のように設定した。表の値は、熱需要（販売熱量）に対する熱損失量の割合である。

表 3-3.4 熱損失<sup>11)</sup>

熱損失率	冷水	5%
		蒸気

6) 搬送動力

本研究における搬送動力とは、一次側から二次側までに熱媒を搬送するためにかかる動力のことである。よって、搬送距離が大きくなる程、搬送動力も大きくなる。

以下に、搬送動力の算定過程<sup>12)</sup>を示す。まず、配管を通る蒸気量及び冷温水量を算出する。なお、式(3-3.1)は熱媒が水の場合に用いる。冷水の温度差を7℃、温水の温度差を10℃と設定した。

$$Q_w = Hd / (3600 \times 0.00419 \times \Delta t) \quad \dots \dots \dots \text{式 (2-5. 1)}$$

$Q_w$  : 冷温水流量 (m<sup>3</sup>/h)

$Hd$  : 熱需要 (GJ/h)

$\Delta t$  : 温度差

$$Q_s = Hd / h_s$$

$Q_s$  : 蒸気量 (m<sup>3</sup>/h)

$Hd$  : 熱需要 (GJ/h)

$H_s$  : 蒸気のエンタルピ (2,770kJ/kg)<sup>13)</sup>

次に、配管径を設定する。導入する配管径は、年間の最大径を採用するものとする。流速  $w$  は 1.5m/s<sup>14)</sup> とした。

$$r = (Q / (\pi \times w))^{0.5}$$

$r$  : 配管径 (m)

$Q$  : 流量 (m<sup>3</sup>/s)

$w$  : 流速 (m/s)

単位長さ当たりの搬送動力  $E$  を算出する。そのために、まずレイノルズ数・配管の摩擦係数・摩擦損失・単位長さ当たりの揚程を算出する必要がある。

$$Re = w \times 2r / \nu$$

$Re$  : レイノルズ数

$\nu$  : 動粘性係数 (0.368 × 10<sup>-6</sup>)

$$f = 0.055 \times (1 + (20,000 \times \varepsilon / 2r + 10^6 / Re)^{1/3})$$

$f$  : 配管の摩擦係数

$\varepsilon$  : 等価粗さ (0.0003)

$$\Delta p = f / 2r \times w^2 / 2g \times \gamma$$

$\Delta p$  : 摩擦損失 (mmAq/m)

$g$  : 重力加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)

$\gamma$  : 水の比重量 (1,000kg/m<sup>3</sup>)

$$H = \Delta p \times 1/1,000$$

$H$  : 単位長さ当たりの揚程 (m)

$$E = \gamma \times Q \times H \times (1 + \alpha) / (102 \times ep) \times 3.6 / 1,000$$

E : 単位長さ当たりの搬送動力 (GJ/m・h)

$\alpha$  : 余裕率 (0.1)

ep : ポンプ効率 (0.75)

前述の通り、ある地域における分散型エネルギーシステムを評価する際に、エネルギーを搬送するために掛かる搬送動力の考慮は欠かせない。それだけ影響が大きいため、理論式で算出した搬送動力の値の精査が必要である。そのため、以降の詳細な解析を行う前提として、搬送動力の精査を行った。搬送動力の多くは冷水循環ポンプ動力と冷却水循環ポンプ動力であるため、ここでは、搬送動力をこれら2つのポンプ動力として検証した。

検証方法は、既存 DHC データとの比較である。ヒアリングにより得た既存 DHC の販売熱量・送出熱量等の詳細な実績値及び各地域冷暖房のパンフレットを用いた。まず、東京都区部における既存 DHC パンフレットと東京ガスヒアリングデータ (15)、(25)、(26) より、冷凍機容量 [RT]・冷水循環ポンプ容量 [kW]・冷却水循環ポンプ容量 [kW] を抽出する。さらに、既存 DHC ヒアリングデータにより、冷水の送出熱量 [GJ] を抽出する。これらの項目すべてが揃った DHC は、ガス式 (CGS・ボイラ) DHC は赤坂・東銀座・霞ヶ関・八重洲日本橋・西新宿一丁目・恵比寿・紀尾井町・明石町であり、電気式 (CGS・電気) DHC は天王洲アイル・赤坂五丁目である。

仮に、冷水 (冷熱) をすべて冷凍機で製造するとしたとき、送出熱量を冷凍機能力で除すことにより、各 DHC の全負荷相当時間が算出される。さらに、ポンプ容量に全負荷相当時間を乗ずることにより、年間のポンプ動力が算出される。年間のポンプ動力を年間の冷水送出熱量で除すことにより、送出熱量当たりのポンプ動力 [MW/GJ] が算定できる。ただし、このポンプ動力には地区面積や熱負荷密度等の地区特性を反映することができない点に注意が必要である。以下に、その結果を示す。

表 3-3.5 送出熱量当たりのポンプ動力

	ガス式	電気式
冷凍機能力当たりの冷水循環ポンプ動力 (MW/RT)	0.10	0.21
冷凍機能力当たりの冷却水循環ポンプ動力 (MW/RT)	0.08	0.17
送出熱量当たりの冷水循環ポンプ動力 (MW/GJ)	6.86E-03	9.11E-03
送出熱量当たりの冷却水循環ポンプ動力 (MW/GJ)	5.74E-03	7.45E-03

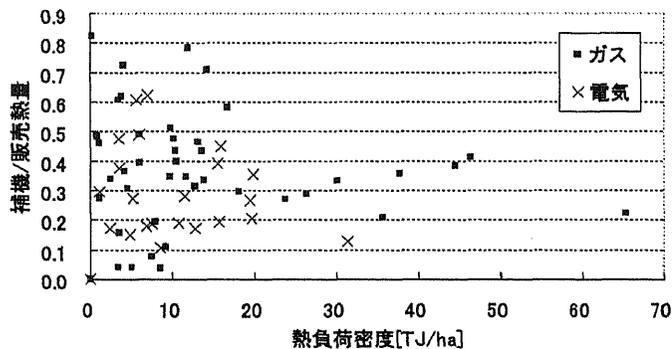
この表の値と前述した搬送動力の理論式で算出した値とでは、理論式の方が表 2-5.5 の値の 1/2~1/4 となった。しかし、通常、理論式により算出された搬送動力は実際よりも小さくなると言われており、今回の結果は想定範囲内の誤差であるのではないかと考えられ、理論式に妥当性があると言える。

また、別の方法において、搬送動力の算定を試みた。しかし、望ましい結果が得られなかったため、本研究で用いることはないが、参考としてその考え方を示す。

全国の既存DHCに対するヒアリングデータを基に、ガス式DHC・電気式DHCにおける搬送動力の一般解の算定を試みた。

方法として、

- ① データが存在する141DHCに対し、CGS導入DHC・データ欠如DHCを排除
- ② X軸に熱負荷密度[TJ/ha]、Y軸に補機電力/販売熱量を取った際に、○で囲んだ部分を目視で排除。



※このグラフの近似線を取った場合、右肩下がりになるであろうという仮定と、別評価軸（熱負荷密度・グロス容積率等）で排除した際の妥当性の欠けた結果により、この条件での排除が有効と判断。

図3-3.6 熱負荷密度と補機/販売熱量の相関関係

重回帰分析を用い、搬送動力の係数を算定する。重回帰分析を行うに当たり、以下表の変数設定と関係式を作成した。

表3-3.6 ガス式設定変数

	エネルギー	補正係数	補正值
冷水	A	1/7	$\Delta T=7^{\circ}\text{C}$
蒸気	B	1/560*1/2	エンタルピー差560°C
冷却塔	F	A*2.2/1.2	COP補正・冷水に比例

表3-3.7 電気式設定変数

	エネルギー	補正係数	補正值
冷水	A'	1/7	$\Delta T=7^{\circ}\text{C}$
温水	B'	1/10	$\Delta T=10^{\circ}\text{C}$
冷却塔	F'	A'*6.0/5.0	COP補正・冷水に比例

$$C \times \{A / (7 \cdot DA) + B / (560 \cdot 2 \cdot DB)\} + F \cdot A \cdot (2.2 / 1.2) = X \quad \dots \dots (4.2.1.1)$$

$$C \times \{A' / (7 \cdot DA') + B' / (10 \cdot DB')\} + F' \cdot A' \cdot (6.0 / 5.0) = X' \quad \dots \dots (4.2.1.2)$$

C: 供給区域面積[ha]  
D: 熱負荷密度[GJ/ha]

重回帰分析を行った結果を以下に示す。なお、重回帰分析の目的変数を x (補機)、説明変数を p・αとした。

$$x = pX + \alpha Y + Z$$

表 3-3.8 重回帰分析簡易結果

	ガス式	電気式
サンプル数	19	19
決定係数	0.9307	0.6103
重相関係数	0.9647	0.7812
α	0.0065	0.0224
p	0.3127	0.2557
X	4.2835	2.9909

搬送動力の係数となるαの係数に注目すると、ガス式の方が電気式に比べ、約1/4となっており、ガス式<電気式という大小関係を考えると、適当な結果と言える。ただし、妥当性のある搬送動力値を算出することは不可能であった。

また、係数Dの条件を変化させた場合の重回帰分析の結果を示す。

表 3-3.9 重回帰分析結果(搬送動力)

	項目	CASE①		CASE②		CASE③	
		ガス式	電気式	ガス式	電気式	ガス式	電気式
係数	DA	DA	DA	√DA	√DA	²√DA	²√DA
	DB	DB	DB	√DB	√DB	²√DB	²√DB
精度	決定係数	0.931	0.610	0.928	0.621	0.927	0.633
	修正済決定係数	0.922	0.562	0.919	0.573	0.918	0.587
	重相関係数	0.965	0.781	0.963	0.788	0.963	0.796
重回帰式	α	0.0065	0.0224	0.0075	0.0378	0.0063	0.0454
	p	0.3127	0.2557	0.3061	0.2387	0.3034	0.2135
	定数項	4.2835	2.9909	4.7936	3.0525	5.0518	3.6562

結果として、搬送動力を算出するまでには至らなかった。ただ、ガス式と電気式の搬送動力比が1/4程度であることが、改めて算出することができた。これにより、ガス式DHC及び電気式DHCのどちらかの搬送動力が分かれば、この比率によりもう一方の搬送動力を算出することが可能となる。なお、理論式による搬送動力であると、時刻別の冷温比の関係からばらつきはあるが、1~1/10程度であった。

## 3-3-2 エネルギー評価指標

## 1) トータル COP

トータル COP<sup>1)</sup> は需要家の総エネルギー負荷をそのエネルギーを製造するために必要な一次エネルギーで除算する。総エネルギー負荷として熱と電気を同時に OUTPUT とし、プラント内の熱源機器に投入された一次エネルギーと系統電力の発電所までさかのぼった、一次エネルギーの合計を INPUT とする。なお、ここでは、余剰電力は売電する（オープンシステム）としているため、他地区が系統電力から買電している電力需要を賄っていると考え、トータル COP において、余剰電力分の一次エネルギーを全投入エネルギーから減算する。また、将来の有効熱源の判別指標として、このトータル COP を基準とし判断していく。以下に、トータル COP の算定式を示す。

$$\text{地域熱 COP} = \frac{\text{熱需要}}{\text{システム投入一次エネルギー量} - \text{CGS 発電量} / \text{受電端効率}}$$

(※オープンシステム)

## 2) 地域熱 COP

CGS は電力と熱を同時に製造している。地域熱 COP<sup>2)</sup> とは、仮に電力を製造するのに必要な一次エネルギーと熱を製造するのに必要な一次エネルギーで分けたとき、前者の一次エネルギー分を発電所が製造したときに必要だった投入エネルギーとして、CGS システムに投入された投入一次エネルギーから減算した COP である。以下に、地域熱 COP の算定式を示す。

$$\text{地域熱 COP} = \frac{\text{熱需要}}{\text{システム投入一次エネルギー量} - \text{CGS 発電量} / \text{受電端効率}}$$

3) CO<sub>2</sub> 排出削減率

分散型エネルギーシステム導入による CO<sub>2</sub> 排出削減率を評価する。評価対象は、現状の個別システム (PAC) である。電力消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出原単位は火力発電所基準とし、都市ガスの発熱量を 41.1MJ/Nm<sup>3</sup> <sup>17)</sup> とした。以下に、算定式を示す。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出削減率} = 1 - \frac{\text{分散型エネルギーシステム CO}_2 \text{ 排出量} - \text{個別式システム CO}_2 \text{ 排出量}}{\text{個別式システム CO}_2 \text{ 排出量}}$$

## 4) 地域発電 COP

地域発電 COP とは、CGS の電力に特化した COP であり、CGS から供給される電力を一般的に評価し、受電端効率との相互比較評価が可能となる。本研究の位置付けは、後述するバルチラエンジン等発電効率の高い CGS の電力優位性を正当に評価するための指標としており、通常解析時には評価対象指標としない。以下に、地域発電 COP の算定式を示す。

$$\text{地域発電 COP} = \frac{\text{電力需要}}{\text{システム投入一次エネルギー量} - \text{CGS 排熱量} / \text{STB 効率} - \text{余剰電力} / \text{受電端効率}}$$

## 5) 地域電力 COP

地域電力 COP とは、CGS の電力に特化した COP であり、CGS から供給される電力を一般的に評価し、受電端効率との相互比較評価が可能となる。本研究の位置付けは、後述するバルチラエンジン等発電効率の高い CGS の電力優位性を正当に評価するための指標としており、通常解析時には評価対象指標としない。以下に、地域電力 COP の算定式を示す。

$$\text{地域電力COP} = \frac{\text{電力需要}}{\text{全投入一次エネルギー量} - \text{必要蒸気量} / \text{STB効率} - \text{余剰電力} / \text{受電端効率}}$$

## 6) COP 一次換算補正

通常、CGS の効率を評価する際、発電の一次エネルギー量と排熱回収量を同等の価値を有するエネルギーとみなし、両者の比率で投入エネルギー量を配分して各エネルギー消費量を算出している。しかし、電力と排熱の価値は異なるので、一般の発電所で同じ電力を発電した場合に必要な電力分として控除し、残りの燃料から排熱を生産したとして排熱エネルギー消費量を定義した。具体的な算出方法は第4章で述べる。なお、この評価手法は、一般的な CGS でも適用できるが、本研究ではバルチラエンジンを導入したときのみのひとつの評価指標とした。

投入エネルギー量を 100、CGS 排熱効率を 0.30、CGS 発電効率を 0.40、STB 効率を 0.83、受電端効率を 0.36 とする。

$$\begin{aligned} \text{電力} : 30 / 0.36 = 83.3 \quad \text{投入エネルギーは } 100 \times 83.3 / 131.4 = 63.4 \\ \text{よって発電効率は } 30 / 63.4 = 0.47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{排熱} : 40 / 0.83 = 48.1 \quad \text{投入エネルギーは } 100 \times 48.1 / 131.4 = 36.6 \\ \text{よって排熱効率は } 40 / 36.6 = 1.09 \end{aligned}$$

## 3-3-3 コージェネレーション運転方法

## (1) 電主熱従運転 (クローズドシステム)

クローズドシステムとは、コージェネレーションシステム (CGS) を導入する建物 (地域) のエネルギー需要に対し、過不足なく供給を行うシステムである。よって、余剰電力や余剰熱は一切発生させない。つまり、余剰熱が発生する時間帯については、後述する熱主電従運転を行う。

投入エネルギー量 (総エネルギー需要) を 100 とし、熱電比・冷温比をそれぞれ変動させたときのトータル COP 及び地域熱 COP の動向を下図に示す。熱電比を変動させる場合は冷温比を 1.0 で固定させ、冷温比を変動させる場合は熱電比を 1.0 で固定させて計算を行った。また、ここでは、補機動力を考慮していない下表の効率を用いた。

表 3-3. 10 機器効率

GT	発電効率	0.25
	排熱効率	0.40
GE	発電効率	0.30
	排熱効率	0.35
DAR		1.35
SAR		0.71
STB		0.88
HEX		1.00
受電端効率	昼	0.36
	夜	0.39

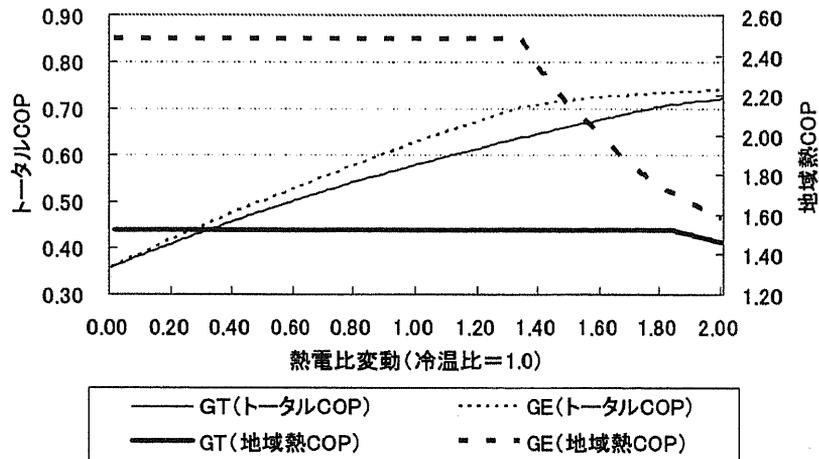


図 3-3. 7 熱電比が変動したとき(冷温比=1.0 固定)の COP の動向

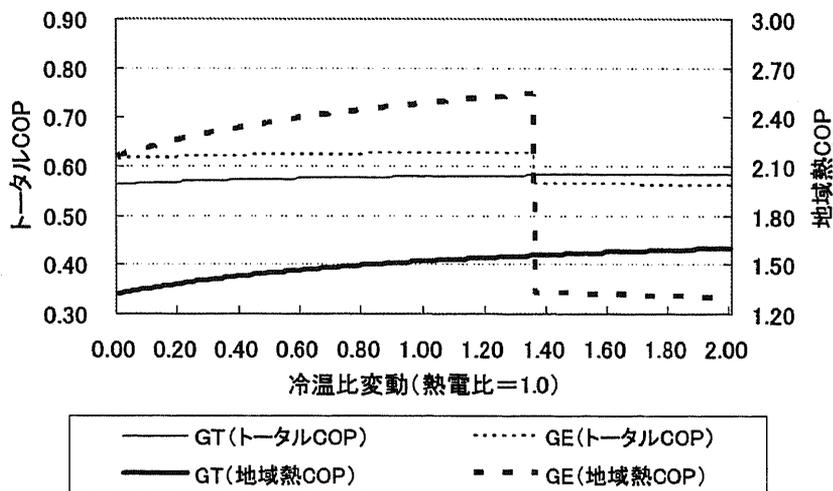


図 3-3. 8 冷温比が変動したとき(熱電比=1.0 固定)の COP の動向

熱電比とは、電力需要に対する熱需要である。熱電比が 1.0 は、熱需要と電力需要の比が 1 : 1 であるということであり、熱電比が大きくなるにつれ熱需要が大きくなる。冷温比とは、温熱

需要に対する冷熱需要の割合である。冷温比が1.0ということは、冷熱需要と温熱需要の比が1:1であるということであり、冷温比が大きくなるにつれ冷熱需要が大きくなる。

〈熱電比変動（冷温比=1.0 固定）〉

熱電比1.80において、ガスタービンのCOP動向が変化している。これは、CGS蒸気供給量が蒸気需要量を上回り、完全に電主熱従運転になったためである。ガスエンジンの場合、熱電比が1.30付近でCOP動向が変化している。これもガスタービン同様、完全に電主熱従運転になったためである。

トータルCOPにおいては、熱電比の上昇に伴い、ガスタービン・ガスエンジンともに上昇している。熱電比が小さいということは、電力需要が大きいうことであり、電主熱従運転を行う場合、余剰排熱が発生しないよう制限が必要となる。よって、熱電比が1.30及び1.80付近までは、熱主電従運転を行っていると考えられる。なお、熱電比が小さい段階での、ガスタービンとガスエンジンのトータルCOPの差は、CGS発電効率の差分である。

地域熱COPにおいては、熱電比が1.30及び1.80付近まで熱主電従運転を行っているため、余剰電力の有無を考慮することなく、熱需要に合わせて運転していることとなる。熱電比が変化しても、そのときの熱需要に合わせて運転すればよいため、地域熱COPの計算項目である熱需要・システム投入エネルギー量・CGS発電量の比は一定である。よって、冷温比が一定の場合、熱電比が変動しても地域熱COPは一定となる。電主熱従運転の場合、ガスタービン・ガスエンジンの地域熱COPは共に下降している。これは、熱電比の上昇に併せて電力需要が小さくなるため、CGSからの排熱供給量は小さくなる。そのため、熱需要に対するCGSのCOPである地域熱COPは下降していくと考えられる。

〈冷温比変動（熱電比=1.0 固定）〉

蒸気と電力を供給するガスタービンにおいて、冷温比の変動は熱電比の変動に比べ、COPに与える影響は小さい。50の熱需要（総エネルギー需要を100と設定）における温熱需要と冷熱需要の割合が変化するだけで、その熱需要に合わせた運転をすればよい。冷温比が上昇するということは、冷熱需要が増加し、つまり、蒸気需要が大きくなるので、CGSによるエネルギー供給量も増加する。そのため、COPが上昇していると考えられる。

温水・蒸気と電力を供給するガスエンジンにおいて、熱主電従運転の場合、発生温水は温熱需要のみ賄う設定としている。よって、温熱需要と冷熱需要の大小関係は、CGSの運転に大きな影響を及ぼす。電力需要が50であるため、制限なく電主熱従運転を行うと、58 ( $50/0.30 \times 0.35$ ) 熱が発生し、熱が余ることとなる。そのため、熱電比が1.0の段階では、すべて熱主電従運転（制限的な電主熱従運転）で行われていると考えてよい。温熱需要>冷熱需要の場合、ガスエンジンで熱需要の全てを賄うことができる（熱主電従運転）。一方、温熱需要<冷熱需要の場合、温水発生量=温熱需要となる運転を行い、不足蒸気はSTBで賄うことが必要となってくる。以上のことより、冷熱需要を算出するDAR効率は大きな影響を及ぼすと考えられる。冷温比1.20でCOP

が激変しているが、この値は DAR 効率の値と合致している。

(2) 熱主電従運転 (オープンシステム)

オープンシステムとは、CGS を導入する建物 (地域) の熱需要に合わせて運転し、余剰電力については売電するシステムである。余剰電力を売電するということは、その分だけ他地域への系統電力の供給量が減少すると考えることができる。

投入エネルギー量を 100 とし、熱電比・冷温比をそれぞれ変動させたときのトータル COP 及び地域熱 COP の動向を下図に示す。設定条件や機器効率は「表 2-5. 1」と同様である。

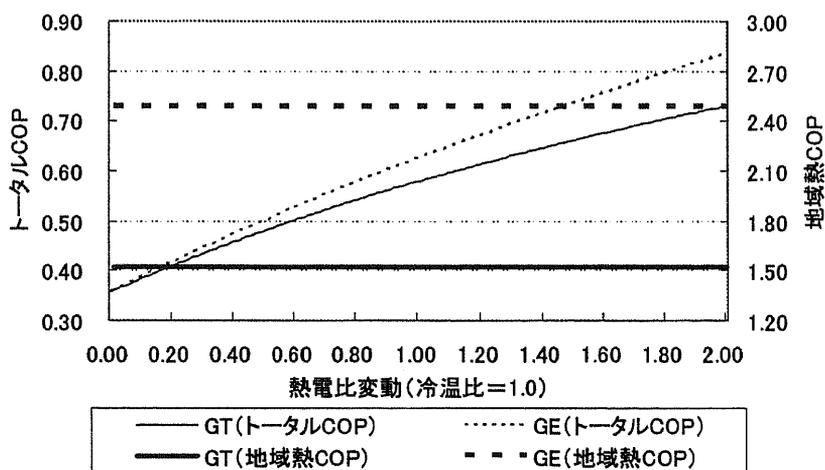


図 3-3. 9 熱電比が変動したとき (冷温比=1.0 固定) の COP の動向

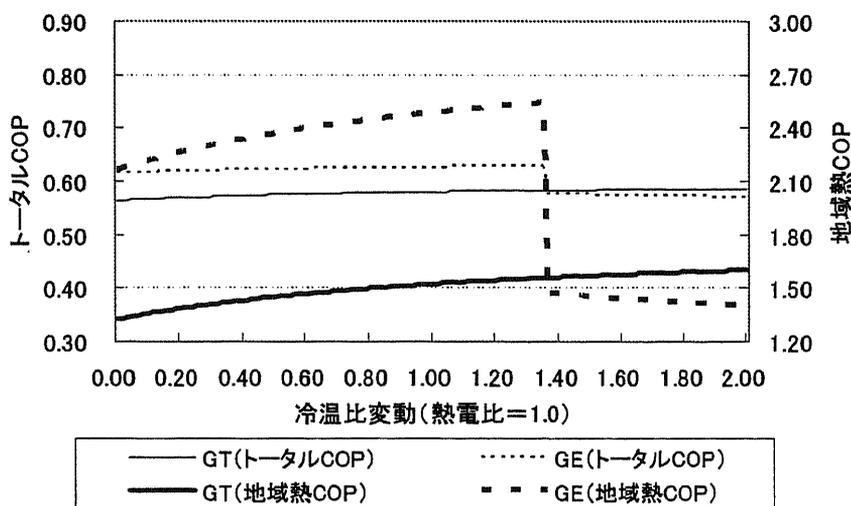


図 3-3. 10 冷温比が変動したとき (熱電比=1.0 固定) の COP の動向

〈熱電比変動 (冷温比=1.0 固定)〉

熱電比が小さいほど、電力需要が大きくなる。そのため、熱需要に合わせて運転する熱主電

従運転においては、熱電比が小さいほど、CGSから供給するエネルギーが小さいため、トータルCOPは小さく、熱電比が上昇するに伴い、トータルCOPは上昇していく。ガスタービンとガスエンジンにトータルCOPの差異が生じているのは、CGS機器効率の差のためである。

熱主電従運転の場合、余剰電力の有無を考慮することなく、熱需要に合わせて運転することが可能である。熱電比が変化しても、そのときの熱需要に合わせて運転すればよいため、地域熱COPの計算項目である熱需要・システム投入エネルギー量・CGS発電量の比は一定である。よって、冷温比が一定の場合、熱電比が変動しても地域熱COPは一定となる。

#### 〈冷温比変動（熱電比=1.0固定）〉

ガスタービンは冷温比の変動によるCOPの大きな変化は見られない。逆に、ガスエンジンは、電主熱従運転同様、冷温比1.20で大きな変化が見られる。この理由については、電主熱従運転で述べた通りである。

#### (3) オープンシステムの意味（余剰電力係数）

電力と熱の形態で作られたエネルギーは供給範囲の限界がある。系統電力の配線を用い、電力は日本全国に供給するのが可能である反面、熱は熱損失と搬送動力の要因によって供給範囲に限界がある。従って、CGSを導入する建物（地域）の熱需要に合わせて運転し、余剰電力を売電し、足りない電力分は系統電力から買電することがエネルギーをより効率的な使用方法である。また、DHCからの昼間における余剰電力は系統電力の電力平準化にも寄与できる。

従って、DHCの運転する際、系統電力からの売買電する期待値を求めてみる。

電力不足の最も深刻な夏期において昼間の時間帯と夜間の時間帯に分け、各町丁目の余剰電力発生時間帯別に色分けをする。そのことで、東京都区部において、電力平準化を基準として見た場合のコージェネレーションシステム導入期待地区を抽出する。本項において、昼間の時間帯を8～21時台、夜間の時間帯を22～7時台とする。

東京都区部における電力需要は当然、昼間の時間帯に多く、夜間の時間帯は少ない。このことを電力平準化と絡めて考えると、熱主電従運転コージェネレーションシステムによる余剰電力は、昼間の時間帯に多く発生するような運転となる地域が有効である。

前項と同様に「新規地域冷暖房導入期待地区」の指標を用い、その最低ライン（TJ/ha=2.6, TJ/棟=3.3）以上の町丁目において検討を行う。各町丁目における7月の時刻別電力需要量と熱主電従運転による時刻別発電量を算出し、昼間と夜間別にその需要量に対する発電量の割合を算出する。余剰電力が発生する場合を+、電力が不足する場合を-とするため、以下に余剰電力係数と定義し、計算式を以下に示す。

$$\text{余剰電力係数} = \text{CGS 発電量} / \text{電力需要} - 1$$

町丁目毎に昼間・夜間の余剰電力係数を算定し、それぞれを軸とした散布図を作成する。また、発電機としてガスタービン、ガスエンジンの2パターンにおいて計算を行い、グラフ化する。

－ ガスタービン利用システム

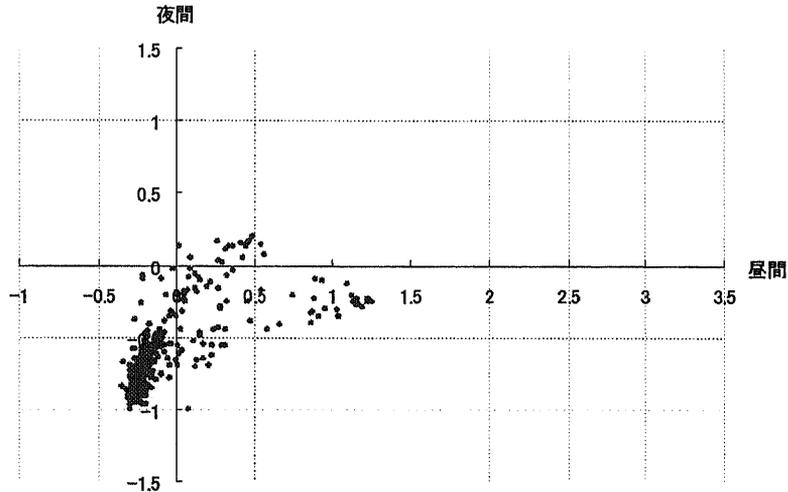


図 3-3. 11 ガスタービン町丁目別余剰電力係数

図 3-3. 11 は X 軸に昼間の余剰電力係数、Y 軸に夜間の余剰電力係数とした散布図である。値が正であれば、時間帯合計の発電量が需要量を超えていることを示し、値が大きいほどその割合が大きい。

ガスタービン利用システムでは、多くの町丁目において夜間余剰電力係数が小さい。また昼間においても余剰電力係数が正となる町丁目はそれほど多くない。夏期における昼間の売電量はそれほど大きくなく、エリア需要量の多くをガスタービンによって担うことによって、図 3. 4. 1-2 の系統電力負荷平準化効果が見られたと考えられる。

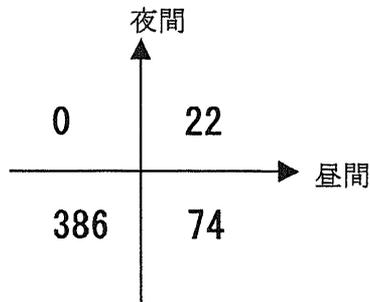


図 3-3. 12 グラフプロット数(ガスタービンの場合)

一 ガスエンジン利用システム

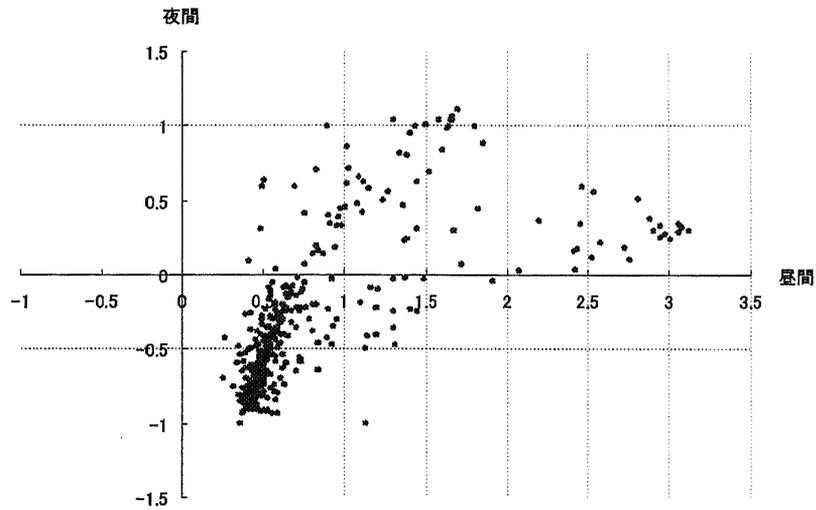


図3-3.13 ガスエンジン町丁目別余剰電力係数

ガスエンジンに比べてプロット場所が正の方向に移動している。これはガスタービンと比較して発電量が増加していることによる。

ガスエンジン利用システムでは、昼間に余剰電力が発生し、夜間に電力が不足する町丁目が多い。こういった特性を持つエリアは、系統電力負荷平準化に効果的であり、安価な深夜電力をそのまま利用できるというメリットがある。

ガスタービンシステムにも同様のことが考えられるが、熱主電従運転コージェネレーションシステムにもボイラを設置し、補助的に運転させることで、余剰電力量やその発生時間を変化させることが可能である。

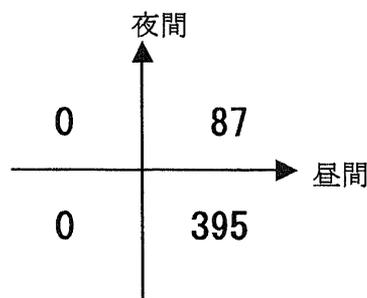


図3-3.14 グラフプロット数(ガスエンジンの場合)

3-3-4 地域エネルギー供給システムの導入効率分析

1) トータル COP

ここでは、CGS 容量を変動させた場合のトータル COP の動向を検証評価していく。また、参考として、電気式 (HP) システムと個別式 (PAC) システムの値を示しておく。CASE①の結果を下図に示す。

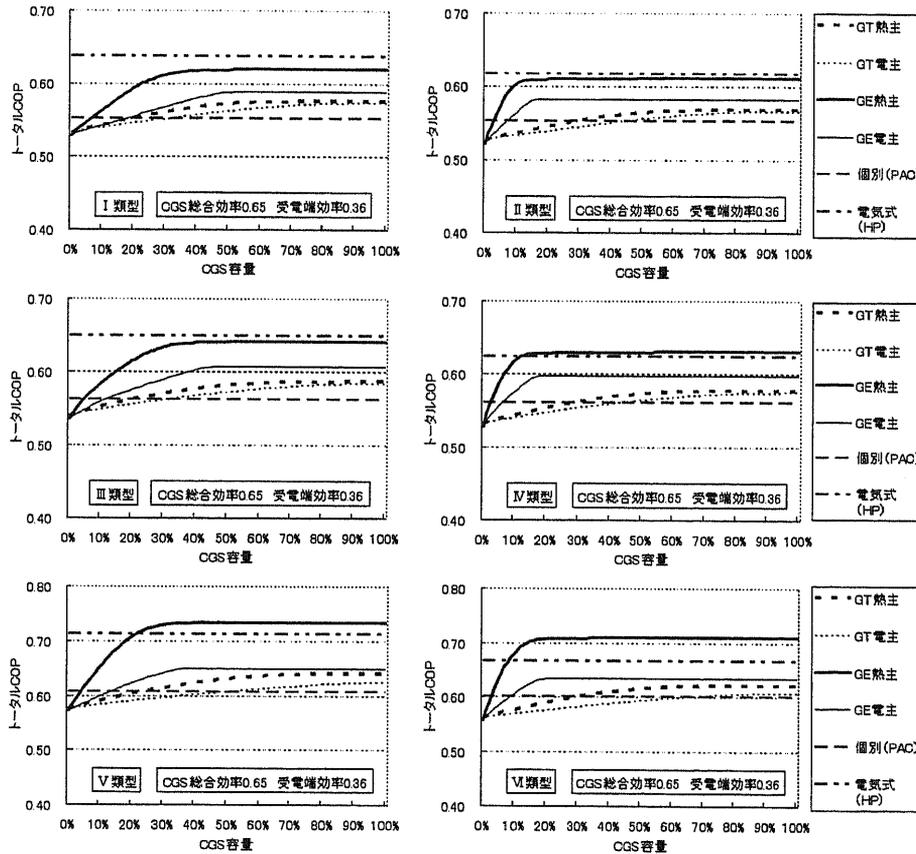


図 3-4.11 トータル COP (CASE①: CGS 総合効率 0.65 受電端効率 0.36)

CASE①の場合、CGS 容量がピーク需要の 50~60%を越えたあたりで、GT の電主熱従運転を除き、トータル COP が一定に近づいている。GE の熱主電従運転においては、CGS 容量がピーク需要の 30%を超えたあたりでトータル COP が一定となった。これは、50~60%の CGS 容量により、各月の各時刻別需要の大半を賄うことが可能なためである。

また、住宅用途割合が増加 (VI類型) する程、ガスエンジンとヒートポンプのトータル COP が拮抗し始め、GE が有利な結果となっている。これは、V類型・VI類型の熱電比が高く熱需要が大きく、熱と電気を同時に供給するという CGS の利点を最大限に利用した結果である。排熱効率の低い GE を熱に合わせて運転することで、CGS への投入エネルギー量は増加するが、発電

効率が高いため、需要量以上に電力を供給することができる。つまり、余剰電力が相当量売電されてので、GE（熱主電従運転）のトータル COP が非常に高くなっている。特に、ガスエンジンの発電効率はガスタービンと比較して高く、CGS 発電量が大きいいため、ガスタービンに比べガスエンジン熱主電従運転のトータル COP が高くなっていると考えられる。

補足的になるが、I 類型と II 類型を比較した場合、用途構成比は類似しているのが、CGS 容量変動に伴うトータル COP の動向は異なっている。これは、熱負荷密度が大きく影響していると考えられる。前述したが、I 類型に比べ II 類型の熱負荷密度は小さく、つまりエネルギー需要が小さくなる。よって、小さな CGS 容量で年間の時刻別エネルギー需要のほとんどを賄うことができる。

ここで示した結果は、次章において、トータル COP を有効熱源の判別指標としたランドデザインを提示する際の、一つの判断基準となることに留意しておく必要がある。つまり、すべてが一概には言えないが、業務地区は電気式システムが有利であり、住宅地区はガス式システムが有利であるということが言えることとなる。

2) 地域熱 COP

ここでは、CGS 容量を変動させた場合の地域熱 COP の動向を見ていく。地域熱 COP とは熱に特化した COP であり、CGS から供給される電力の価値を熱に換算し、CGS の熱の価値を正當に評価するための指標である。熱という観点からのみの COP かつシステム内のみでの評価範囲となるため、当然トータル COP と比較して値は大きくなり、機器効率や用途構成比の影響も大きくなる。ガスエンジンが非常に高い地域熱 COP を示している。

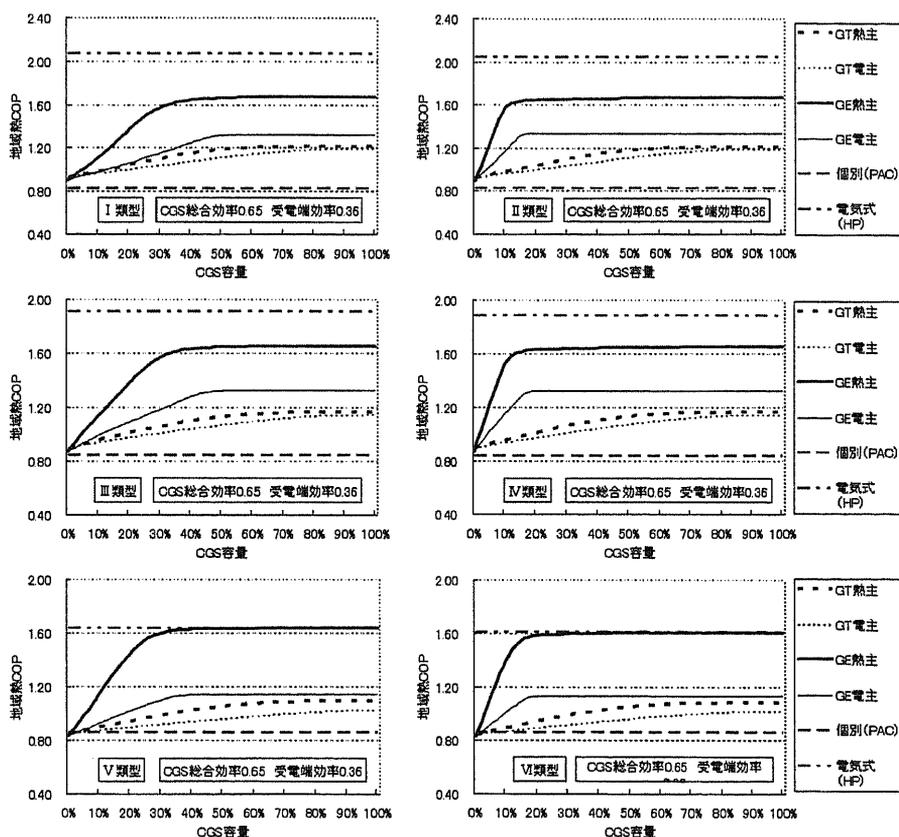


図 3-3.12 地域熱 COP (CASE①: CGS 総合効率 0.65 受電端効率 0.36)

3) CO2 排出削減率

ここでは、各類型における CO2 排出削減率の算出結果を示す。2)、3) では CGS 容量の変動に伴う指標の動向を検証したが、この項では CGS 容量を 100% の場合のみを掲載した。CO2 は排出削減率という指標は、COP のような CGS 容量を決定する効率的な指標とは異なり、どの程度の CO2 削減効果があるかを検証するための目安だと考えたためである。よって、CGS 容量が年間の時刻別最大需要を 100% としたときの 100% として、CO2 削減効果を見た。なお、比較対象システムは個別式 (PAC) システムである。

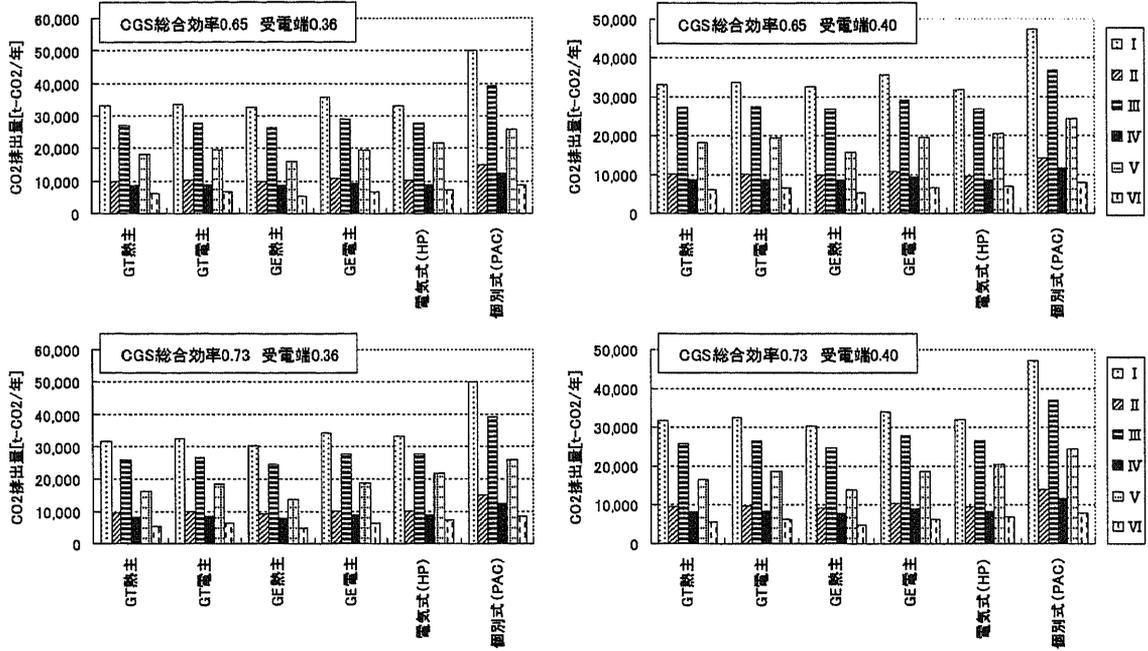


図 3-3.13 CO<sub>2</sub> 排出量 (CGS 容量 100%)

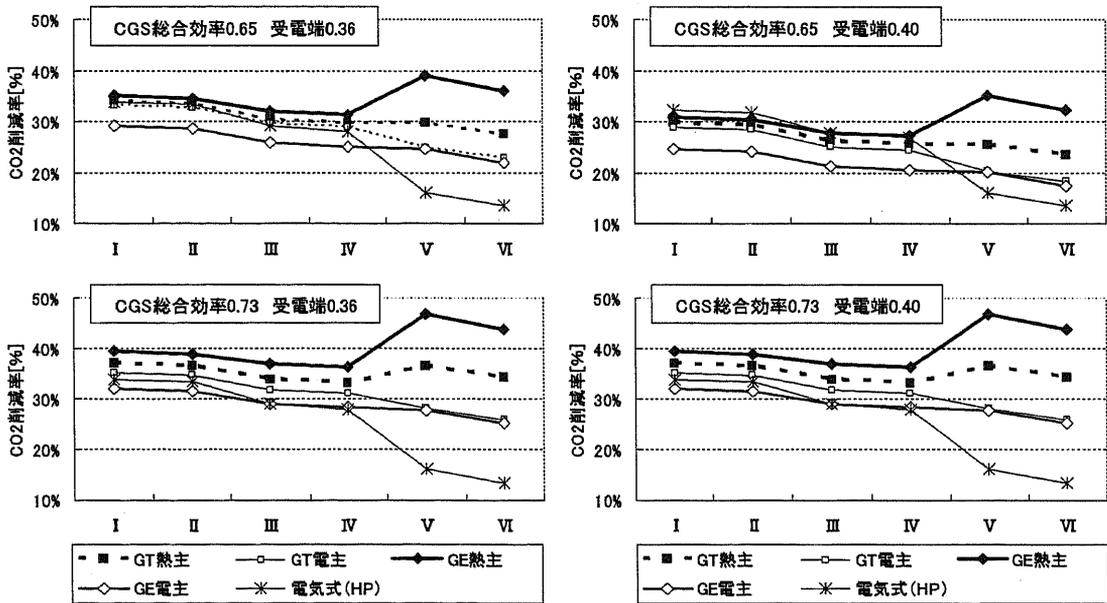


図 3-3.14 CO<sub>2</sub> 排出削減率 (CGS 容量 100% 対個別式比較)

CO<sub>2</sub> 排出量はトータル COP の優劣に類似し、個別式 (PAC) システムが最も多い結果となった。日本の年間の CO<sub>2</sub> 排出量が約 13 億 t/年<sup>24)</sup>であることを考えると、今回のモデル地区程度

の分散型エネルギーシステムひとつを導入した際のCO<sub>2</sub>排出削減量は、2万t/年程度である。ただし、これが、東京都区部あるいは主要都市に広がったときの、業務や家庭から排出されるCO<sub>2</sub>排出削減効果は大きなものとなることが期待される。

また、分散型エネルギーシステム導入によるCO<sub>2</sub>排出削減効果は、すべての類型において、かつすべての機器において見られた。特に、GEの熱主電従運転及び電気式（HP）システムの削減効果は非常に大きいことが明らかとなった。これは、(2)で述べたことと同様の要因であると考えられる。

#### 4) CGS発電効率と受電端効率の相関性

ここでは、CGS発電効率と受電端効率との相関性を検証していく。検証方法として、CGS発電効率を設定したCGS総合効率から0.01引いた値から0.01まで変動させ、そのときのトータルCOPの動向を見ていく。CGS総合効率が0.65の場合、CGS発電効率を0.64～0.01まで変動させるということである。そのときのCGS排熱効率は0.01～0.64となる。

なお、CGS発電効率が0.64などは現実としては考えられないが、トータルCOPがどのような動向を示すのかという研究的な視点として、本研究では検証を試みた。

CGS発電効率と受電端効率との相関性を見るためトータルCOPという観点に注目する。グラフのx軸は受電端効率からCGS発電効率を引いた値である。よって、x軸が右に行くほど、CGS発電効率は大きくなるということである。また、各類型及び各CASEにおいて、トータルCOPが発散しているため、その上限を載せることは意味がないと判断し、次図(図3-3.13)のように掲載した。

各類型ともに、あるCGS発電効率に達するとトータルCOPが発散していることが判る。トータルCOPとは、分母の熱需要+電力需要は各類型において一定であるため、分子に要因があることは明白である。注目すべきは、熱主電従運転の場合のみが発散しており、電主熱従運転は発散していないということである。熱主電従運転とは、熱需要に合わせて運転し、余剰電力が発生した場合には、系統電力に売電するという運転方法である。発散しているのは、x軸方向に進んだ場合、つまり発電効率が上昇し、排熱効率が下降した場合である。排熱効率が低い状態で熱主電従運転を行った場合、CGSへの投入エネルギー量が増加し、併せてCGS発電量も極端に増加する。そして、あるCGS発電効率に達したとき、トータルCOPの分母である余剰電力/受電端効率が、全投入エネルギー量を上回り（分母がマイナスになり）、トータルCOPが発散するのである。

電主熱従運転のときにトータルCOPが発散しないのは、電主熱従運転は余剰排熱を発生させない運転方法だからである。仮に、排熱効率が低い場合であると必ず余剰排熱が発生してしまうが、その時間帯は熱主電従運転を行い、余剰排熱を発生させない設定としている。つまり、電主熱従運転は制限がかかっており、いかなる機器効率の場合においても、トータルCOPが発散することはない。

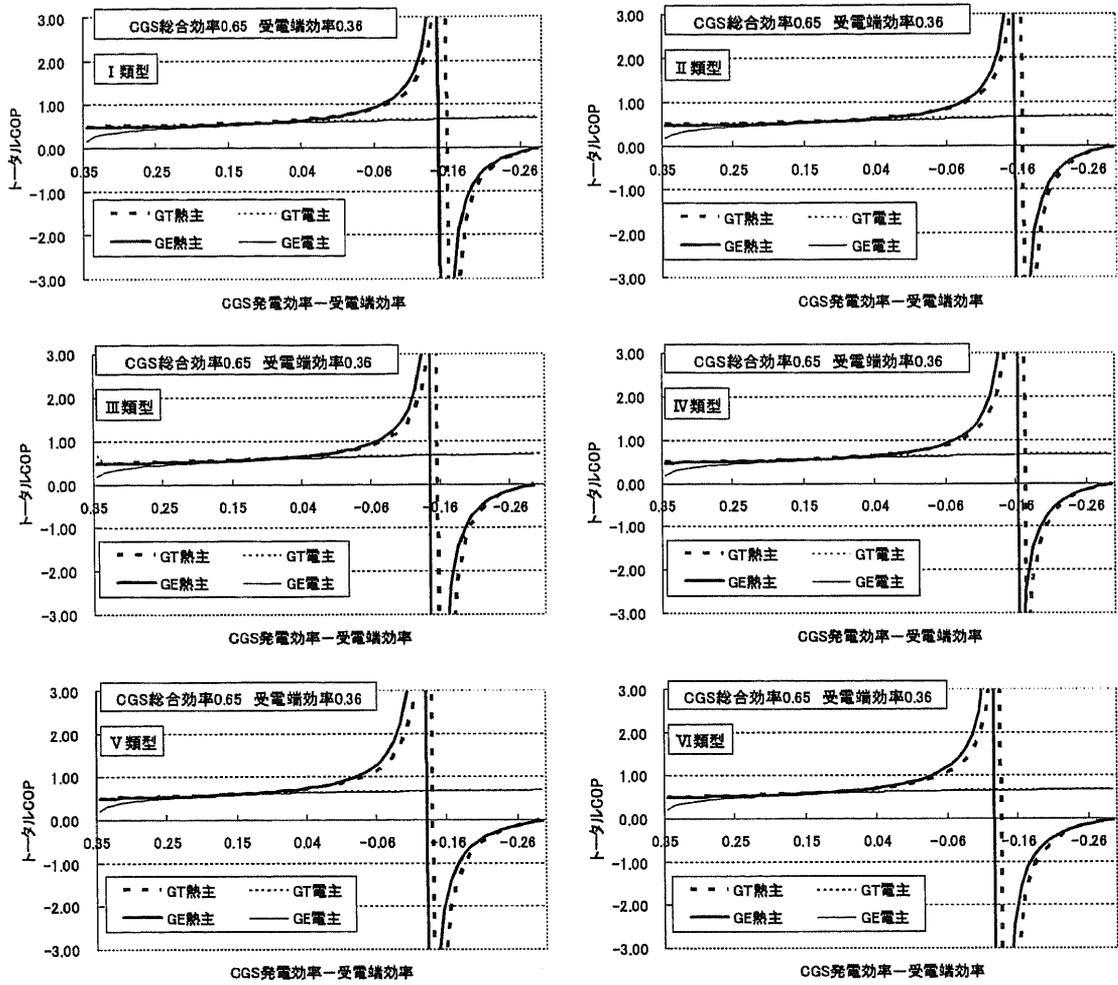


図3-3.13 受電端効率とCGS機器効率の相関性  
(CASE①:CGS総合効率0.65 受電端効率0.36)

## 3-4 結論

3章では、本研究で対象とする地区（高密度熱需要期待地区）を選定し、さらに選定された地区を6つに類型化し、対象地区を一般化した。本章で示した6類型及び649地区について、4章・5章で、分散型エネルギーシステムを導入した際の影響解析及びグランドデザインを行っていく。

以下に、本章の結果を示す。

東京都区部町丁目3,134地区における高密度熱需要期待地区は649地区である。

高密度熱需要期待地区を熱特性に基づいて類型化したとき、業務地区と住宅地区は相反する用途構成を示す。

既存DHCの存在する全地区において、高密度熱需要期待地区が重なっている。

高密度熱需要期待地区は東京都心部（山手線内・山手線沿線）に多く分布している。

理論式により算出した搬送動力は、実測による試算値の約1~1/10程度である。

CGSの熱主電従運転による売電効果は、COPに非常に大きな影響を与える。特に、ガスエンジンを導入した際の、COP上昇効果は顕著である。

住宅中心地区においては、ガスエンジンの熱主電従運転のCOPが非常に高い。逆に、業務中心地区においては、ヒートポンプのCOPが非常に高い。

機器効率の上昇は、COPに大きな影響を与える。特に、地域熱COPに与える影響は大きい。

地域エネルギーシステム導入によるCO<sub>2</sub>排出削減効果は10~40%である。

熱負荷密度が高い(10以上)の地域では、年間の時刻別最大需要の30%程度でトータルCOPが一定となり、熱負荷密度が低い(3~4)の地域では、年間の時刻別最大需要の20%程度でトータルCOPが一定となる。

機器効率の高い高性能CGSを導入した場合、地域熱COPだけでは評価が難しいため、地域発電COPや一次エネルギー補正評価など様々な観点からの評価が必要である。

高密度熱需要期待地区は、熱負荷密度が高い地区であるため、都心部及び東京湾岸に分布することは必然と考えられ、本章の結果でもその傾向が見られた。類型化した際には、業務中心地区が都心部に分布するなど、GISを用いて現実的な分布状況を示した。また、全既存DHCと高密度熱需要期待地区が重なっていた。これらのことにより、本研究における高密度熱需要期待地区の妥当性と現実性が確認されたと考えられる。

## 【参考文献】

- プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究 平成6年度報告書
- 2) 木暮大介：高密度業務集積地域における分散型エネルギーシステム導入に関する研究，建築学会，2005
  - 3) 東京ガスパンフレット：産業用ガスコージェネレーション（4～7MW級GT）
  - 4) 川崎重工業HP：<http://www.khi.co.jp/gasturbine/products/l20a/haichi.html>
  - 5) 三菱重工HP：<http://www.mhi.co.jp/ydmw/gaseng/>
  - 6) 関西電力HP：<http://www.kepco.co.jp/pressre/2005/0530-1j.html>
  - 7) 日立造船資料（バルチラガスエンジン）
  - 8) 省エネルギーセンター：<http://www.eccj.or.jp/qanda/index.html>
  - 9) 田中俊六：環境保全と省エネを実現するヒートポンプ・蓄熱システム，Ohmsha，2005.7
  - 10) 東京電力：数値で見る東京電力，H16年度
  - 11) 都市基盤整備公団：臨海部再生に係るエネルギー供給基盤整備検討調査報告書，H13年3月
  - 12) 韋新東：省エネルギー性・環境性からみた既存地域冷暖房の可能な供給範囲に関する研究，建築学会，2001
  - 13) 韋新東：東京駅周辺における既存熱供給事業のネットワーク化に関する研究，建築学会計画論文集 pp49-56，2002年8月
  - 14) 吉田聡：日本における熱併給発電（CHP）を組込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第529号，2000年3月
  - 15) 地域冷暖房ヒアリングデータ
  - 16) 日本熱供給事業協会：熱供給事業便覧，H16
  - 17) 資源エネルギー庁：エネルギー源別標準発熱量表の改定について，H14
  - 18) 大阪大学下田研究室：地域冷暖房の実態分析，2003，11
  - 19) 空気調和・衛生工学会：都市ガスによるCGS計画・設計と評価
  - 20) 地域冷暖房協会：「プロジェクト2010 日本地域冷暖房導入可能性調査研究平成6年度報告書」，1995.3
  - 21) 環境省：温室効果ガス排出量算定法検討会報告書，H12年
  - 22) 日本建築学会：建物のLCA指針，2003.2月
  - 23) 佐々木俊文：都市エネルギーシステム構築のための地域需要特性分析，建築学会，2005
  - 24) 全国地球温暖化防止活動推進センターHP：  
<http://www.jccca.org/education/datasheet/03/data0303.html>
  - 25) 各地域冷暖房パンフレット
  - 26) 東京ガス株式会社ヒアリングデータ

- 27) 都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価：空調学会
- 28) 尾島、建築の光熱水費、丸善、1984. 8
- 29) 佐土原 聡、東京都区部における地域冷暖房導入地区の選定に関する研究、1986. 12

## 第 4 章 地域エネルギーシステムの新規導入地区および設備更新地区における省エネルギー性に関する研究

### 4-1 概要

### 4-2 新規導入地区の地域エネルギーシステムの状況及び周辺地域の特性検討

#### 4-2-1 日本橋地区都市再生提案

#### 4-2-2 分析対象の概要

#### 4-2-3 地域エネルギーシステムの活用効果分析

### 4-3 設備更新地区の地域エネルギーシステムの状況及び周辺地域の特性検討

#### 4-3-1 大丸有地区将来展望

#### 4-3-2 分析対象の概要

#### 4-3-3 地域エネルギーシステムの活用効果分析

### 4-4 地域エネルギーシステム連携効果検証

### 4-5 結論

#### 4-1 概要

東京都区部のマクロ的評価を行った前、実際に日本橋エリアやガス式地域冷暖房の整備されている大手町・丸の内・有楽町（以下、大丸有地区）において詳細検討を行う。既存蒸気配管を利用したコージェネレーションシステム熱主電従運転の有効性を明らかにし、業務施設が集積する地域におけるエネルギーシステムのあり方、サステナビリティの実現を目指す。

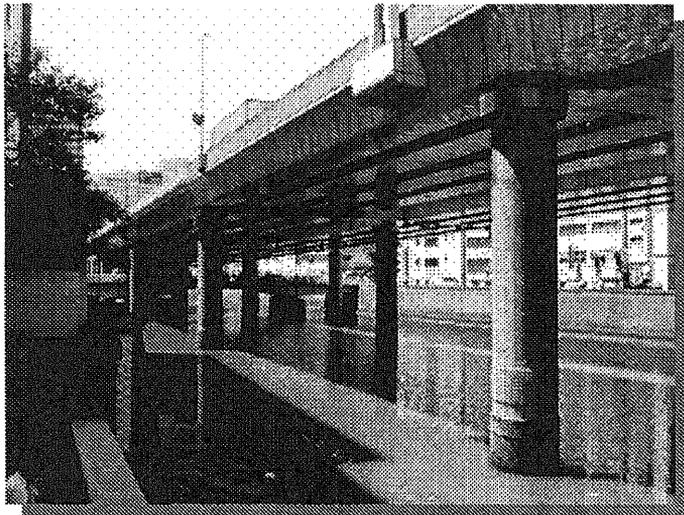
#### 4-2 新規導入地区の地域エネルギーシステムの状況及び周辺地域の特性検討

##### 4-2-1 分析対象の概要

##### 1) 日本橋の現状

日本橋川に限ったことではないが、河川は汚水で汚され、さらに多くのゴミが捨てられるようになった。高度経済成長や東京オリンピックなどが要因となり、首都高速整備が急務となり、日本橋の上に首都高速が掛けられた。江戸時代の中心であった日本橋は、その美しさや賑わいを失った。

400年の歴史の間、周辺地区は様々な都市機能を失った。日本銀行や日本証券取引所などの機能は現在も残されているが、当時のような活気や賑わいは見られない。しかし、最近になって日本橋復興の動きは見られる。都市整備や新たなデパートの計画・開発が進み、日本橋を覆いかぶさっている首都高速の地下化という話も聞くことができるようになった。日本橋周辺は注目を集め始め、その美しさや活気を取り戻そうとしている。



GIS（地理情報システム）を用い、視覚的に日本橋周辺地区を調査する。調査する項目は、建物使用用途、建物階数である。

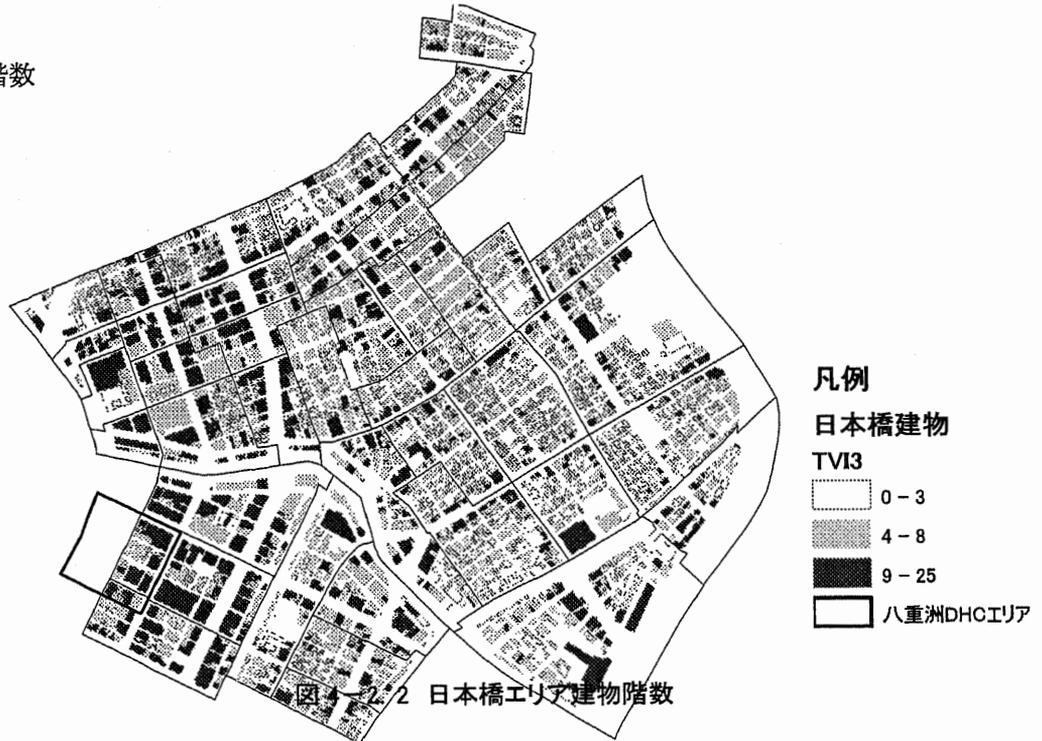
建物階数は、地域冷暖房周辺から北側エリアには9階以上の建物が多く存在する。3階以下の建物はエリアの東側に多く存在する。

建物使用用途



日本橋周辺エリアの東には、小さな住宅・商業施設・事務所が混在しており、八重洲日本橋地域冷暖房周辺の南西エリアには大規模な業務・商業施設が多く見られる。

建物階数



## 4-2-2 日本橋地区都市再生提案

### 1) 日本橋周辺計画

本研究対象地域における日本橋川沿いの空間を緑地・親水空間として整備する。現在、そこにある建物の容積を移転し、本研究対象地により高層なビルを計画する。さらに、その周辺環境整備により得られる容積も加える。

建物以外は詳細な提案は行わない。日本橋地区で注目を集めている項目を中心に、日本橋のあるべき姿をまとめることとする。

#### 一 都市内緑地の整備

日本橋川沿いに快適な水辺空間を創造し、さらにはそこを基点とした日本橋川緑のネットワークを広げる。都市内に緑のネットワークを創造することにより、人間と自然のふれあいが可能となり、さらには人間と人間のふれあいも生まれる。さらに都市内に緑を多く存在させることで、都市環境の改善・都市防災機能の向上・人間の健康状態への役割などにも大きな影響を与えるであろう。

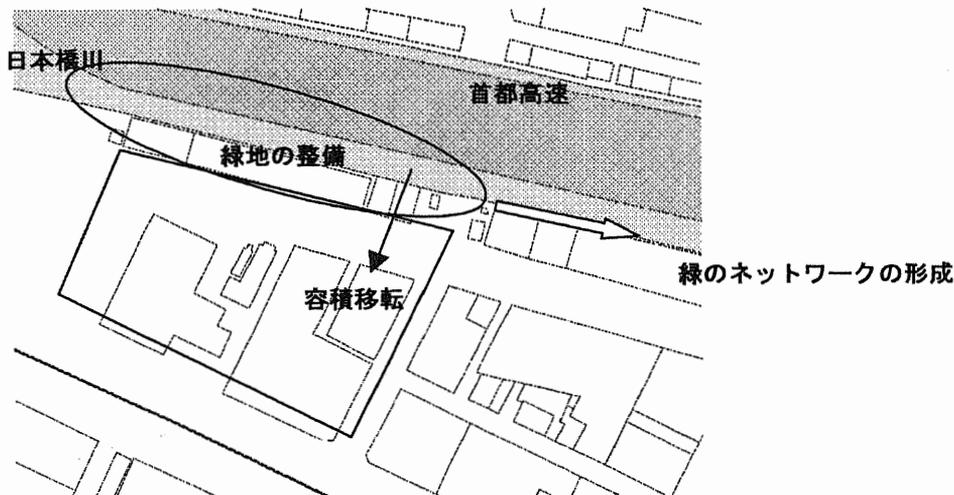


図4-2.3 日本橋周辺地区整備計画提案

#### 一 川沿いの景観整備

緑地の整備を行うと共に、水辺に配慮した建物配置・計画を行い、美しい街並みを創造する。東京都区部におけるビルと川の関係は、決して良好ではない。それが隣接していても、そのほとんどが「ビルの裏側に川が流れている」といったものである。水辺を整備し、人々がそこを魅力と感ずる空間が生まれ、より水辺に密接したビル建設の計画をする。エントランスを川沿い側に設けることや、大きな窓や休憩室・社交室を川と向き合わせる形で計画する。

日本橋川に沿ってそのような計画が進み、カフェやラウンジなども多く生まれ、サンアント

ニオ市に見られるようなリバーウォークを誕生させる。

一 首都高速地下化

現在、日本橋は首都高速により隠蔽されている。高度経済成長期の日本経済の下、整備が急務であった。しかし、水と人間の良好な関係を形成するためには、これら首都高速を移転させる必要があると考える。また、大深度地下法により道路のような公共施設を地下の深いところへ作ることが可能となった。

このような背景のもと、首都高速を地下へ移転させることが必要である。当然、様々な障害があるが、本研究対象地域だけでなく、日本橋川沿いをより魅力のある空間、賑わいのある空間のため、このような空間整備は必要であり、それにより生まれるメリットは少なくないと考える。

### 4-2-3 地域エネルギーシステム導入建物の概要

本研究において大規模コージェネレーションシステムを導入する建物(以下、モデル建物 A、B) について、その詳細を設定する。

八重洲日本橋地区地域冷暖房エリアの北に位置する。大丸有地区地域冷暖房はガス式がほとんどであり、蒸気配管が整備されている。そのため、大規模コージェネレーションシステムプラントとの熱融通の可能性がある。

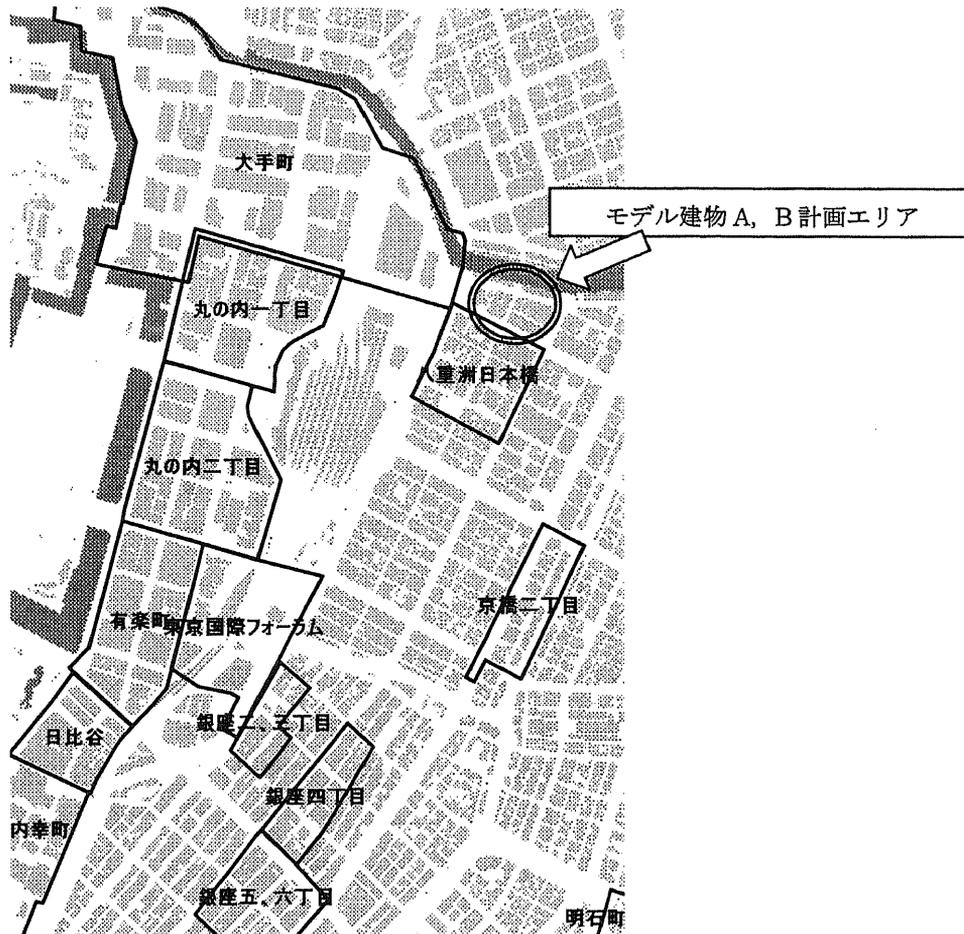
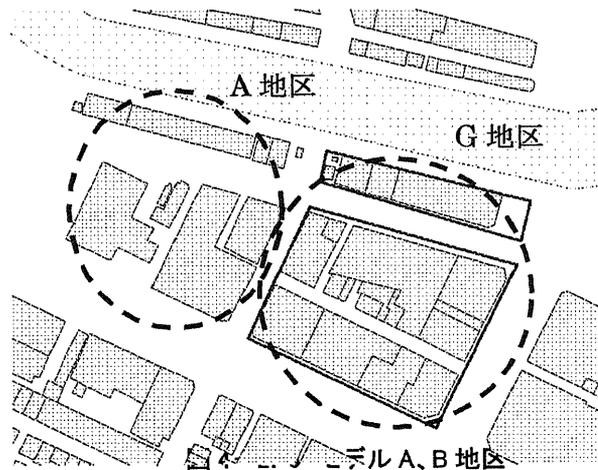


図 4-2.4 モデル建物 A と周辺 DHC マップ

本研究において、モデル建物を計画するエリアをモデル A、B 地区とする。  
また、モデル A 地区に隣接するエリアを B 地区とし、モデル A 地区と同様に整備する。



モデル A、B 地区における建物の詳細設定は次にしめす。

ーモデル A 地区建物詳細設定

- 開発手法            都市再生特区
- 敷地面積            9,400 m<sup>2</sup> (資料による)
- 緩和容積率        1,100%
- 建物総延床面積    103,400 m<sup>2</sup>
- 階数                25F
- 建築面積            4,136 m<sup>2</sup>
- 育成用途            150%以上

モデル建物 A 育成用途については、宿泊施設とする。モデル建物 A には大規模 CGS が導入される。その際に重要なのは発電の際に発生する排熱の受け入れ先である。宿泊施設は年間を通じて温熱需要があり、CGS の高い効率を維持することが期待できる。また大丸有地区は宿泊の需要が増えることも考えられる。

育成用途を 150%以上確保するため、4フロアを育成用途に充てる。残りの 21フロアは競争力のあるオフィスを誘致する。

- 業務施設            86,856 m<sup>2</sup> (924%)     ……21フロア
- 宿泊施設            16,544 m<sup>2</sup> (176%)     ……4フロア

モデル建物のエネルギー負荷を以下に示す。グラフはその月の代表的な一日の合計の値である。

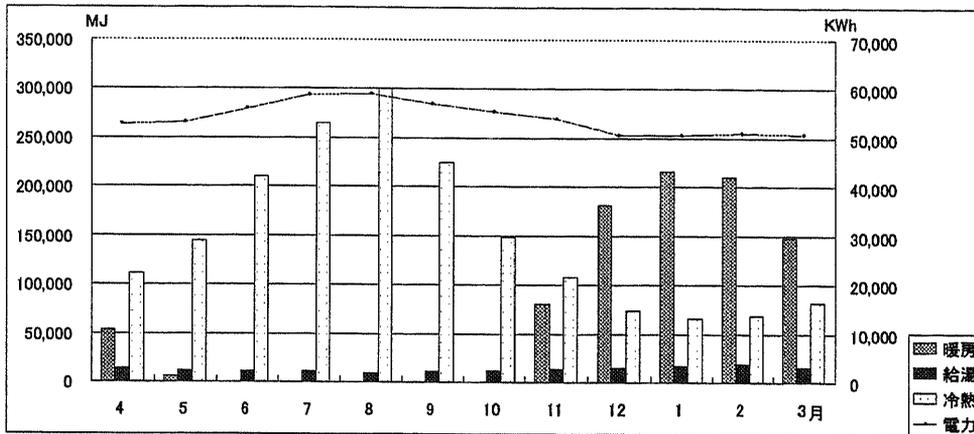


図 4-2.5 モデル建物 A エネルギー需要状況 (MJ/日)

一 モデル B 地区建物詳細設定

- 開発手法 都市再生特区
- 敷地面積 11,864 m<sup>2</sup> (GIS データによる)
- 緩和容積率 1,100%
- 建物総延床面積 130,500 m<sup>2</sup>
- 階数 25F 建築面積 5,220 m<sup>2</sup>
- 育成用途 150%以上

モデル建物 B 育成用途については、宿泊施設とする。建物階数については、モデル建物 A と同様 25 階と設定し、それに合わせて建築面積を設定した。

育成用途を 150%以上確保するため、4 フロアを育成用途に充てる。残りの 21 フロアは競争力のあるオフィスを誘致する。

- 業務施設 109,620 m<sup>2</sup> (924%) …… 21 フロア
- 宿泊施設 20,880 m<sup>2</sup> (176%) …… 4 フロア

4-2-4 地域エネルギーシステムの活用効果分析

コージェネレーションプラント隣接街区における開発と熱融通の効果を検討する。

1) 電主熱従運転（蒸気連携）

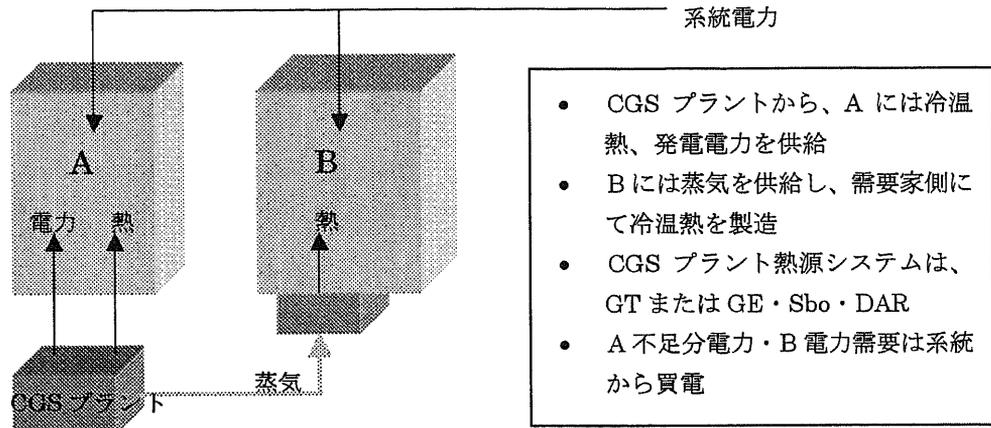


図 4-2.7 連携のイメージ

本節における電主熱従運転は、モデル建物 A の電力需要に合わせて運転を行う。また、ガスタービンの場合、モデル建物 A・B の熱需要に必要な蒸気量を超える場合には、その時間に限り熱主電従運転とし、余剰熱発生を抑制する。ガスエンジンシステムの場合には、単一ビル供給と同様に、温水はコージェネレーションプラント導入建物の温熱需要のみに利用し、蒸気を不足分温熱、冷熱製造熱源とする。ガスタービンシステムと同様に、余剰熱発生が起これないように電主熱従運転を制限する。

発電機及び補助ボイラからの蒸気をモデル建物 B へ供給し、熱交換器と二重効用蒸気吸収式冷凍機により温熱・冷熱を製造する。建物 B 内に設ける蒸気吸収式冷凍機は、コージェネレーションプラント内に導入するものと同じ機器効率・機器特性・補機動力とする。

ここでのトータル COP は、モデル建物 A, B の総エネルギー負荷に対しての計算によって算出する。

$$\text{トータル COP} = \text{建物 A+B の総エネルギー負荷 (電力を含む)} / \text{必要一次 E}$$

次図に結果を示す。ガスタービンは値の向上率が比較的一定しているのに対し、ガスエンジンでは向上率の減少が見られる。これは、蒸気のみをモデル建物 B に供給しているため、ガスエンジン稼働量が制限されていることによる。

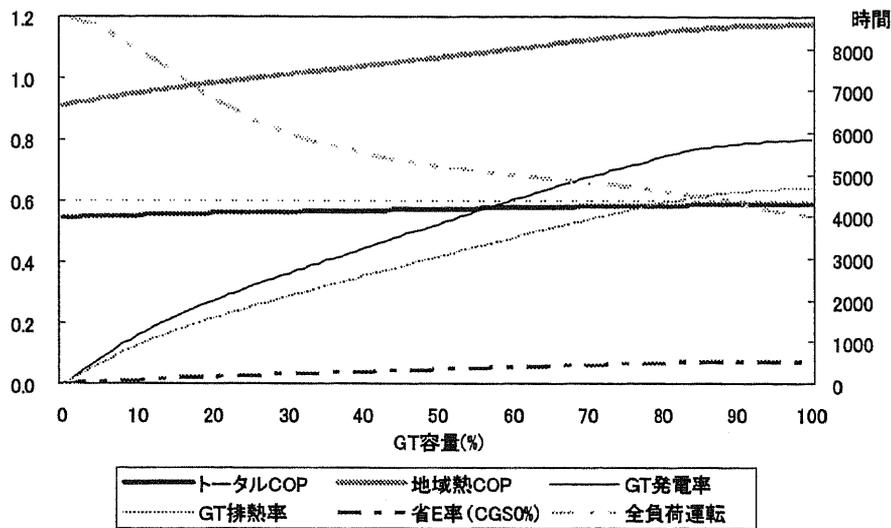


図 4-2.8 GT 電主(モデル建物 A+B) 結果

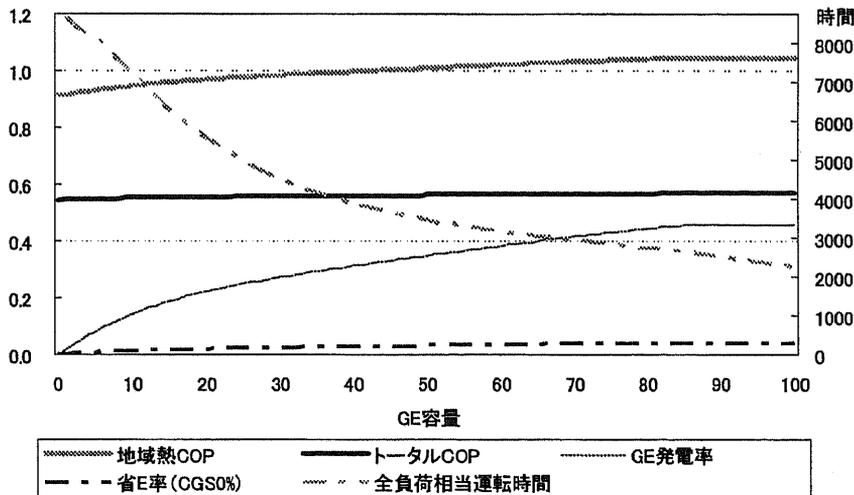


図 4-2.9 GE 電主(モデル建物 A+B) 結果

また、トータル COP、地域熱 COP とともに、供給範囲拡大による値の低下が見られる。これは、電力供給をモデル建物 A に限定しているため、コージェネレーションシステム稼働量が制限されるためである。また、モデル建物 A のみに熱供給している場合に見られた発電機容量増加に伴う COP の逆転は見られない。どの容量のケースにおいても、ガスタービンに有効性が見られた。この要因も前述したように、供給範囲拡大の際、その熱媒体は蒸気と設定していることによる。

ガスタービン利用システムでは、発電率は供給範囲拡大による増加が見られる。発電率の分母はモデル建物 A の電力需要としているので、発電量が増えていることがわかる。ガスエンジン利用システムでは、運転パターンが単一ビルの場合と異なっている。温水による冷熱製造を行わ

ず、その分を補助ボイラにより製造しているため、ガスエンジンの稼働量、発電量に減少が見られる。

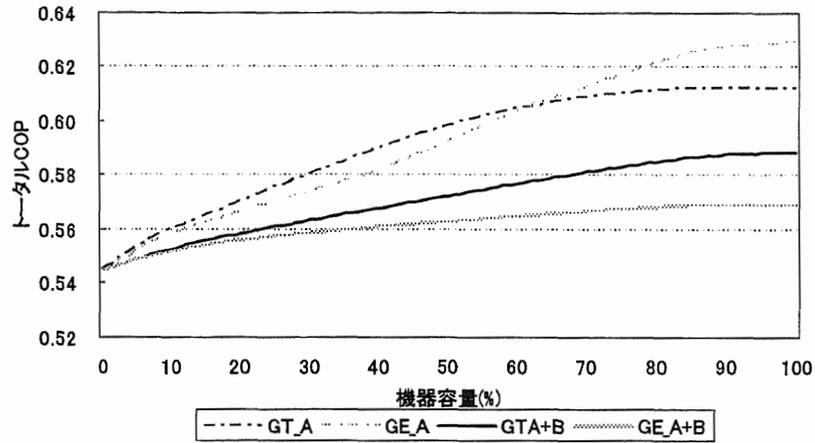


図 4-2. 10 トータル COP の比較 (ガスタービンとガスエンジンの比較)

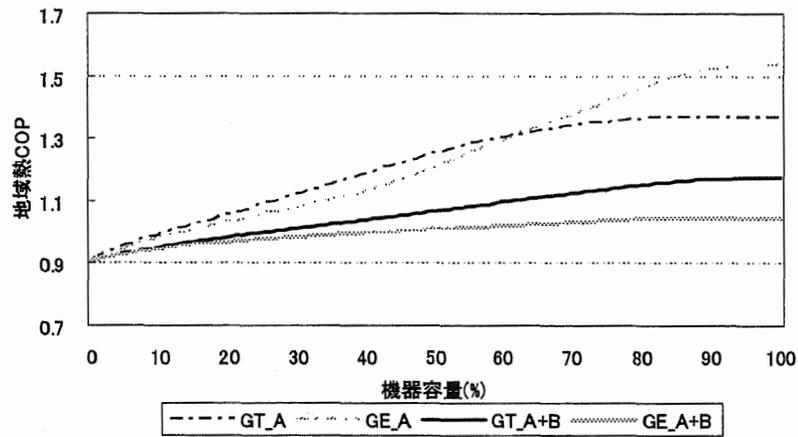


図 4-2. 11 地域熱 COP の比較 (ガスタービンとガスエンジンの比較)

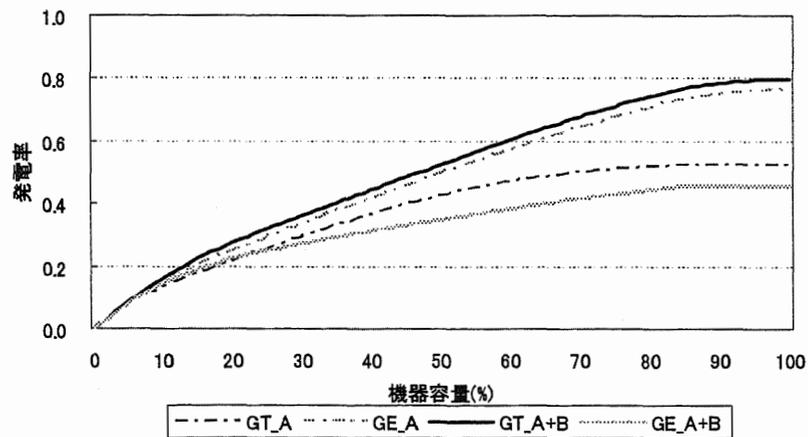


図 4-2. 12 発電率の比較

### 4-3 設備更新地区の地域エネルギーシステムの状況及び周辺地域の特性検討

#### 4-3-1 大丸有地区将来展望

将来的な大丸有地区再開発（現進行開発も含む）に伴う、用途別延床面積の変化と建替え対象建物（新規建物）の概要を表4-1~3に示し、建物の建替え状況を以下の図4-7に示す。ここで対象としている建替え建物は、表4-3.1で示した7地区のDHCに含まれる建物とする。なお、新規建物概要については、文献4-1~7により設定した。

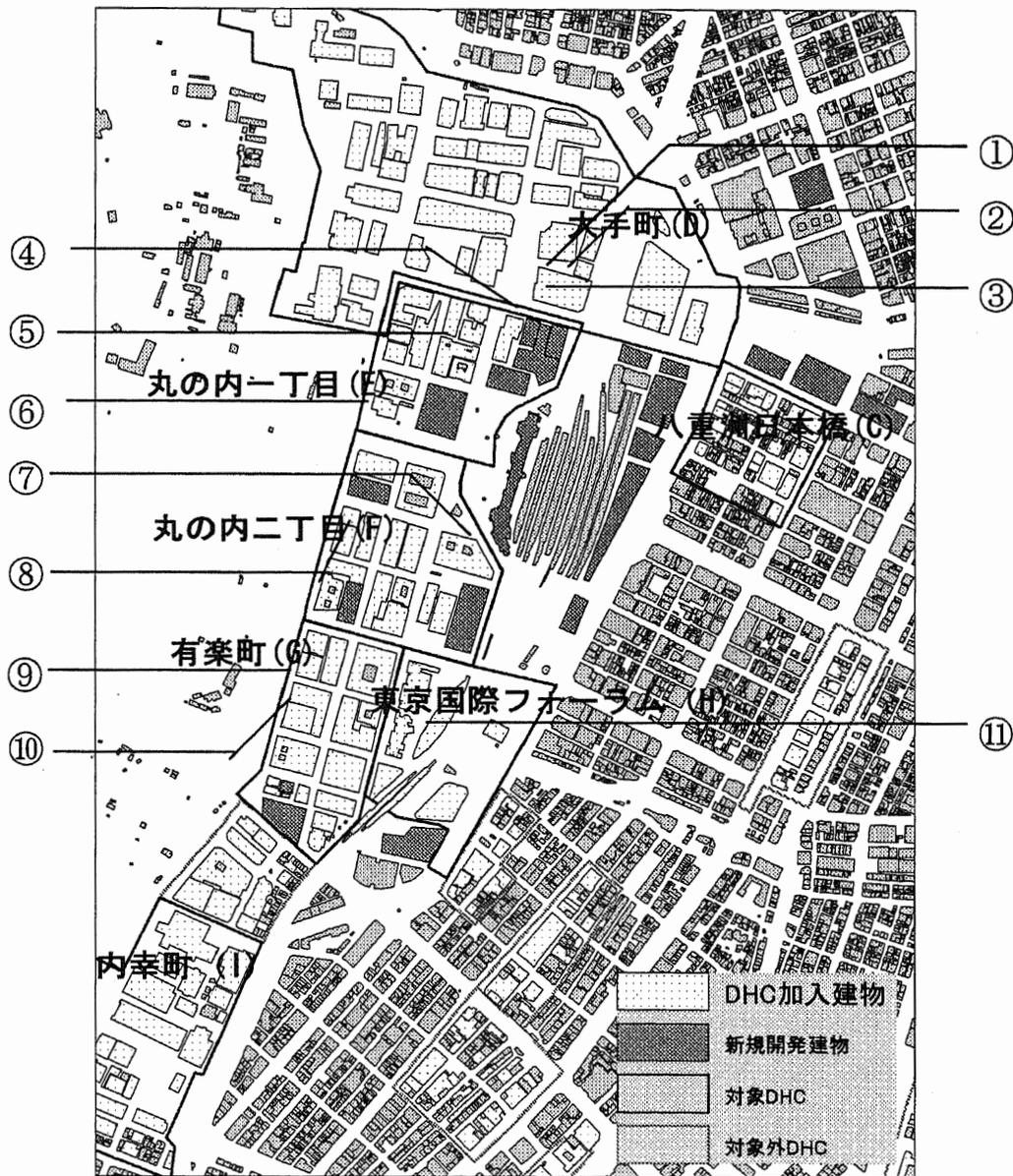


図4-3. 1 大丸有地区再開発に伴う建物建替え状況(開発後;将来的展望)

表 4-3. 1 対象 DHC の用途別延床面積(開発前)

	住宅 [㎡]	医療 [㎡]	業務 [㎡]	商業 [㎡]	宿泊 [㎡]	娯楽 [㎡]	文化 [㎡]	教育 [㎡]	合計 [㎡]
八重洲日本橋(C)	0	0	85,431	10,354	0	0	0	0	95,784
大手町(D)	0	0	1,996,124	0	53,838	0	0	29,618	2,079,579
丸の内1(E)	0	0	554,704	0	3,784	0	0	0	558,488
丸の内2(F)	0	0	714,115	0	0	0	0	0	714,115
有楽町(G)	0	0	661,852	0	21,473	0	0	0	683,325
東京国際フォーラム(H)	0	0	67,659	29,130	0	0	0	116,972	213,761
内幸町(I)	0	0	882,674	0	247,260	0	0	23,498	1,153,432

表 4-3. 2 対象 DHC の用途別延床面積(開発後)

	住宅 [㎡]	医療 [㎡]	業務 [㎡]	商業 [㎡]	宿泊 [㎡]	娯楽 [㎡]	文化 [㎡]	教育 [㎡]	合計 [㎡]
八重洲日本橋(C)	0	0	85,431	10,354	0	0	0	0	95,784
大手町(D)	0	0	1,996,124	0	53,838	0	0	29,618	2,079,579
丸の内1(E)	0	0	734,155	64,940	15,873	0	0	0	814,968
丸の内2(F)	0	0	919,120	51,089	0	0	0	0	970,209
有楽町(G)	0	0	633,684	8,087	53,817	0	0	0	695,588
東京国際フォーラム(H)	0	0	102,659	69,130	0	0	0	116,972	288,761
内幸町(I)	0	0	882,674	0	247,260	0	0	23,498	1,153,432

表 4-3. 3 建替え建物(新規建物)概要

		用途	熱供給(開発前)	熱供給(開発後)	
(E)	①	丸の内オアゾ(新丸の内センタービルディング)	事務所・店舗	蒸気のみ	蒸気+冷水
	②	丸の内オアゾ(丸の内北口ビルディング)	事務所	蒸気のみ	蒸気+冷水
	③	丸の内オアゾ(丸の内ホテル・商業施設)	ホテル・店舗	蒸気のみ	蒸気+冷水
	④	丸の内オアゾ(オフィスビル)	事務所	蒸気のみ	蒸気+冷水
	⑤	新丸の内ビル	事務所・店舗	蒸気のみ	蒸気のみ
(F)	⑥	三菱商事丸の内ビル	事務所	蒸気のみ	蒸気のみ
	⑦	東京ビルディング	事務所・店舗	蒸気のみ	蒸気のみ
	⑧	明治安田生命ビル	事務所・店舗	蒸気のみ	蒸気のみ
(G)	⑨	糖業会館・日本放送本社ビル	事務所	蒸気のみ	蒸気のみ
	⑩	日比谷パークビル	ホテル・店舗	蒸気のみ	蒸気のみ
(H)	⑪	有楽町駅前第一地区(現在→小雑居ビル群)	事務所・店舗	蒸気+冷水	蒸気+冷水

本研究では、新規建設される有楽町駅前第一地区ビルについては、隣接する東京国際フォーラム DHC に加入するものとして設定している。

図 4-3. 1 の「DHC 加入建物」とは、八重洲日本橋 DHC (C) は実際の加入建物を、その他の DHC エリアにおいては、延床面積 3,000m<sup>2</sup> 以上と設定した。

### 4-3-2 分析対象の概要

#### 1) 計算の流れ

本節で行った計算の流れを図4-3.2に示す。詳細な計算過程については次項で説明する。

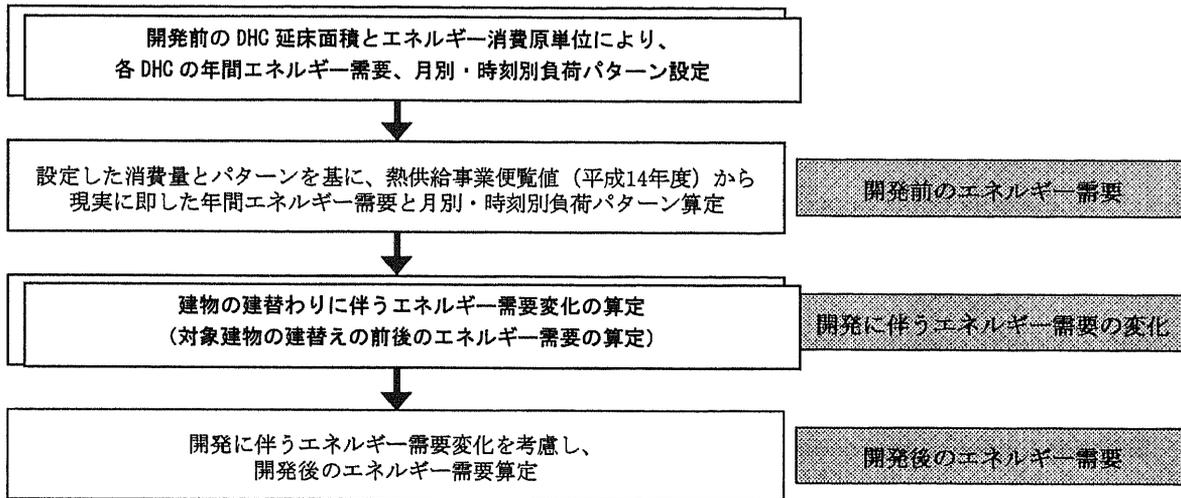


図4-3.2 計算の流れ

#### 2) 開発後の対象地域冷暖房におけるエネルギー需要算定

##### (1) 現状の大丸有地区対象エネルギーシステムにおけるエネルギー需要算定

現状（開発前）の大丸有地区対象地域冷暖房におけるエネルギー需要を算定する。

まず、現状の延床面積とエネルギー消費原単位から、各地域冷暖房における年間エネルギー需要と月別・時刻別負荷パターンを設定する。

なお、対象地域冷暖房のうち、丸の内1 (E)・丸の内2 (F)・有楽町 (G) については、現状ではプラントからの冷熱供給を行っていない。本研究では、その場合、熱供給が行われている各建物に二重効用蒸気吸収式冷凍機 (DAR) が設置されているものとし、冷熱需要を DAR の COP=1.2 で除して蒸気需要として算出し、原単位による年間エネルギー需要と月別・時刻別負荷パターンを設定した。

ここで、より現実に即した状況进行评估するため、現状の年間エネルギー需要については熱供給事業便覧値 (平成14年度) を用いた。月別・時刻別負荷パターンについても、原単位から設定した月別・時刻別負荷パターンの流れのみを残し、値については、熱供給事業便覧値を反映させた。

表4-3.4 熱供給事業便覧値(平成14年度)

	温水	蒸気	直蒸	冷水	給湯
	TJ/年	TJ/年	TJ/年	TJ/年	TJ/年
八重洲日本橋(C)	0.00	16.13	1.62	70.69	0.00
大手町(D)	0.00	345.72	24.74	631.00	0.00
丸の内1(E)	0.00	60.61	1.69	0.00	0.00
丸の内2(F)	0.00	104.61	0.00	0.00	0.00
有楽町(G)	0.00	96.74	0.00	0.00	0.00
東京国際フォーラム(H)	15.14	33.99	0.04	68.43	0.00
内幸町(I)	5.38	107.81	4.49	209.50	0.00

※本研究で、平成14年度の熱供給事業便覧を用いているのは、平成15年度が冷夏であり、一般的な値ではないと判断したためである。

(2) 建替え建物のエネルギー需要算定

対象DHC内の各建替え建物のエネルギー需要を各建物の開発前後の延床面積と原単位から算定した。

その際、丸の内1(E)DHC内のオアズについては、開発前は冷熱供給が行われていなかったが、開発後は配管が整備され冷熱供給が開始されたことに注意が必要である。

(3) 開発後の大丸有地区対象DHCにおけるエネルギー需要算定

(1)で算定した開発前の各DHCにおけるエネルギー需要に、(2)で算定した建物の建替えによるエネルギー需要の変化を加減し、開発後の各DHCにおけるエネルギー需要を算定した。その結果を表4-3.5、月別の結果を図4-3.3~9にまとめる。

表4-3.5 年間エネルギー需要

	開発前(現在)		開発後	
	蒸気	冷水	蒸気	冷水
	TJ/年	TJ/年	TJ/年	TJ/年
八重洲日本橋(C)	17.75	70.69	17.75	70.69
大手町(D)	370.46	631.00	370.46	631.00
丸の内1(E)	62.30	0.00	130.80	108.95
丸の内2(F)	104.61	0.00	285.87	0.00
有楽町(G)	96.74	0.00	112.33	0.00
東京国際フォーラム(H)	49.17	68.43	67.79	108.70
内幸町(I)	117.69	209.50	117.69	209.50

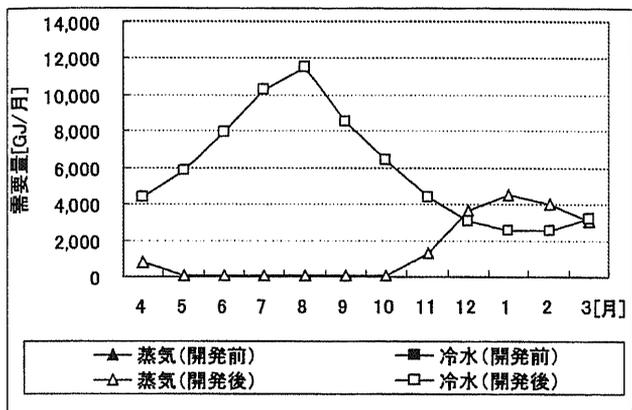


図4-3.3 八重洲日本橋(C)

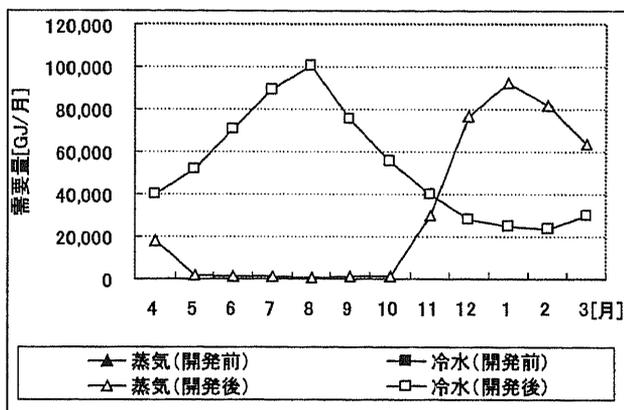


図4-3.4 大手町(D)

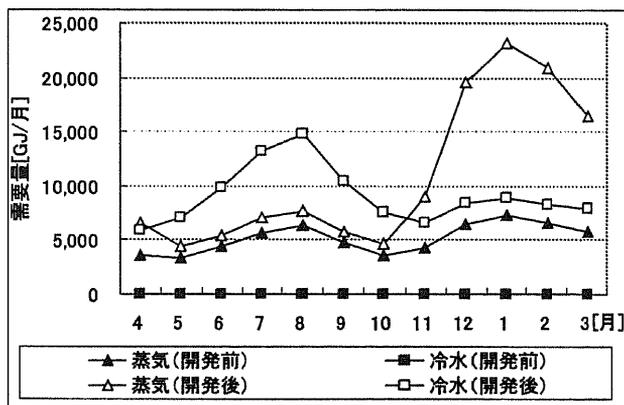


図4-3.5 丸の内1(E)

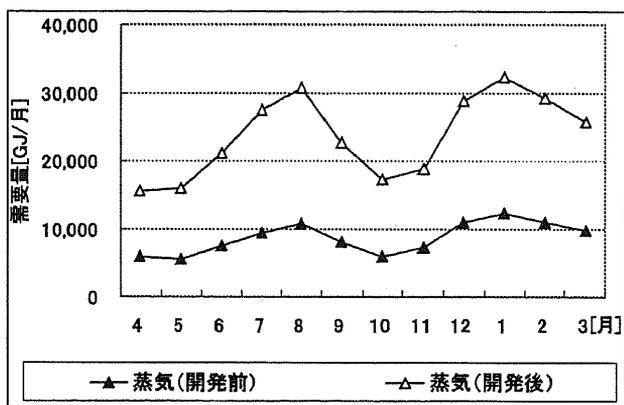


図4-3.6 丸の内2(F)

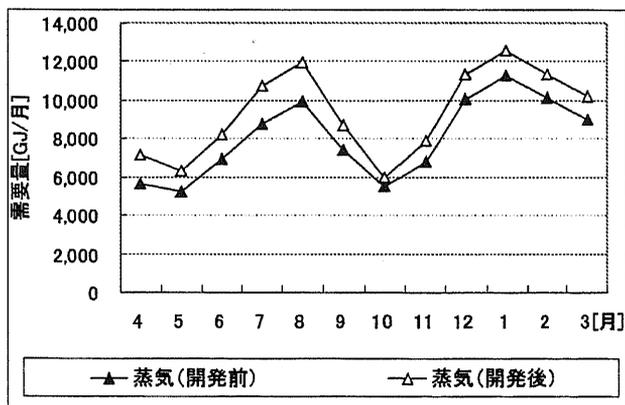


図4-3.7 有楽町(G)

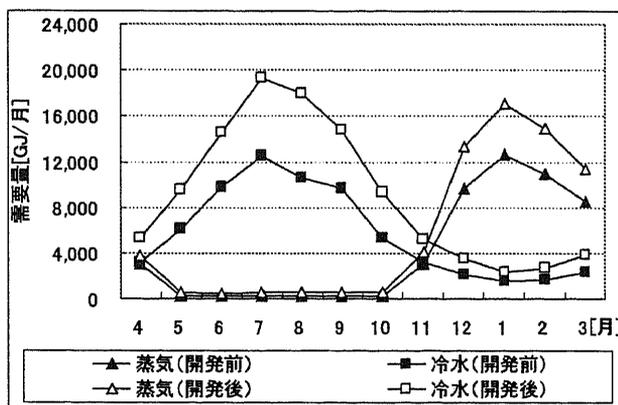


図4-3.8 東京国際フォーラム(H)

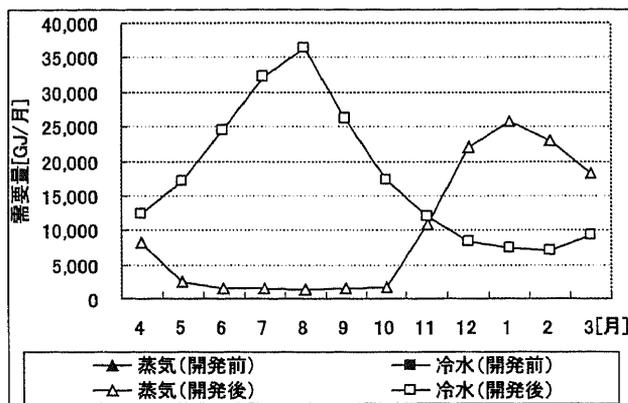


図 4-3.9 内幸町(I)

#### 4) 考察・まとめ

本節では、大丸有地区の対象 DHC におけるエネルギー需要を算定した。

以下に得られた結果をまとめる。

八重洲日本橋 DHC (C)・大手町 DHC (D)・内幸町 DHC (I) については、DHC 地区内に再開発がないと設定したため、今後、エネルギー需要変化はない。

丸の内 2DHC (F)・有楽町 DHC (G)・東京国際フォーラム DHC (H) については、建物の建替えに伴うエネルギー需要の増減が顕著に表れた。

丸の内 1DHC (E) については前記したように、開発前はプラントから蒸気供給のみであるが、開発後はオアゾ地区については冷熱供給が開始されると設定したため、他の地区と比較して、冷熱需要の伸びが大きい。

4-3-3 地域エネルギーシステムの活用効果分析

1) ガスタービンをを用いたエネルギーシステム導入効果検討

前項において検討したコージェネレーションによる八重洲日本橋エリア連携システムでは、ガスタービンをを用いた熱主電従運転に有効性が見られた。本節では、東京駅周辺に位置するガス式地域冷暖房に対し、本システムを導入・運転する場合の計算を行う。

大丸有地区地域冷暖房におけるボイラの役割を、ガスタービンの排熱回収によって補い、その際発生する電力をプラント設置建物内で使用し、余剰発生電力は系統電力に逆潮流する。今までの計算と同様に、余剰発生電力量の一次換算値をエリア投入エネルギー量から減算し、トータルCOPを算定する。

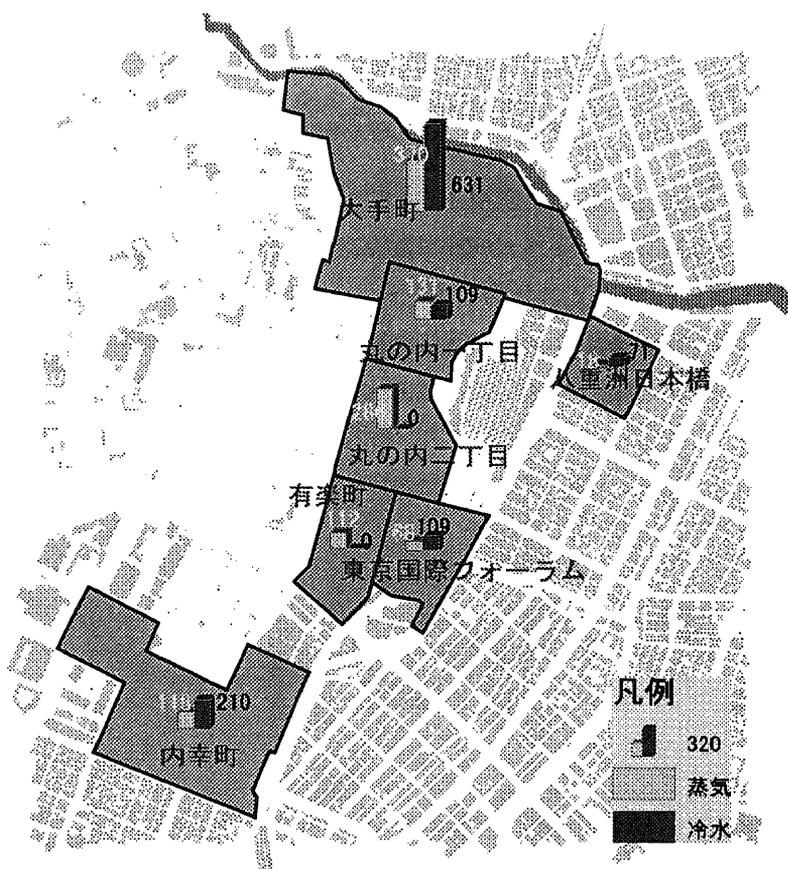


図 4-3. 10 大丸有地区地域冷暖房位置と年間エネルギー需要(文献 1)

表 4-3. 6 大丸有地区地域冷暖房の現状調査(文献 1)

	投入一次E(GJ)	販売熱量(GJ)	システムCOP
C 八重洲・日本橋	137,668	84,721	0.62
D 大手町	1,405,153	1,004,890	0.72
E 丸の内1丁目	104,431	68,940	0.66
F 丸の内2丁目	255,005	163,499	0.64
G 有楽町	190,083	114,892	0.60
H 東京国際フォーラム	157,071	128,049	0.82
I 内幸町	452,841	328,141	0.72

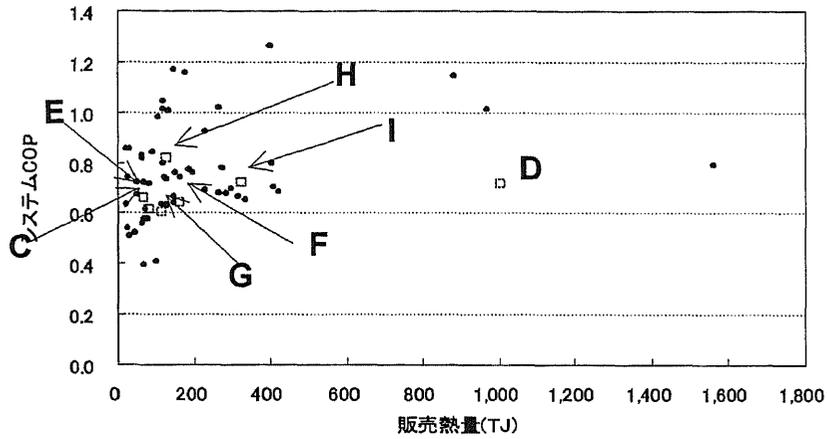


図4-3. 11 東京圏と大丸有地区の地域冷暖房システム COP(文献1)

表4-3. 6、図4-3. 11は、平成14年度熱供給事業便覧から作成した。大手町エリアにおける販売熱量と東京国際フォーラムエリアにおけるCOPの高さが顕著に見られる。有楽町地域冷暖房は供給開始が1996年と比較的新しいため、システムCOPが高いとも考えられる。参考に、供給開始年別に並べ替えたシステムCOP散布図を示す。設備更新年を考慮していないため、最新の機器を用いているかを判断することは困難である。

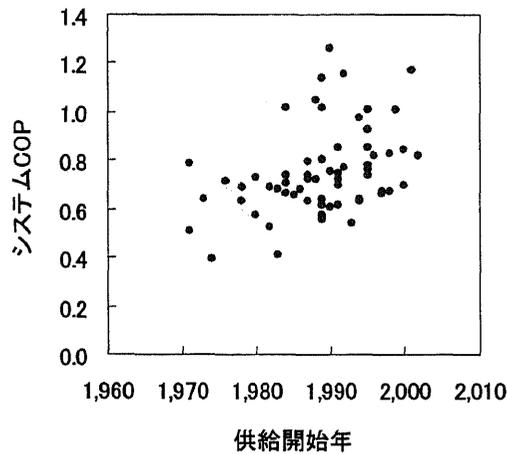


図4-3. 12 供給開始年別システムCOP(文献1)

トータル COP を求める際、エリア内電力需要量が必要となる。各地域冷暖房エリア熱需要は第3章で算定した通りである。

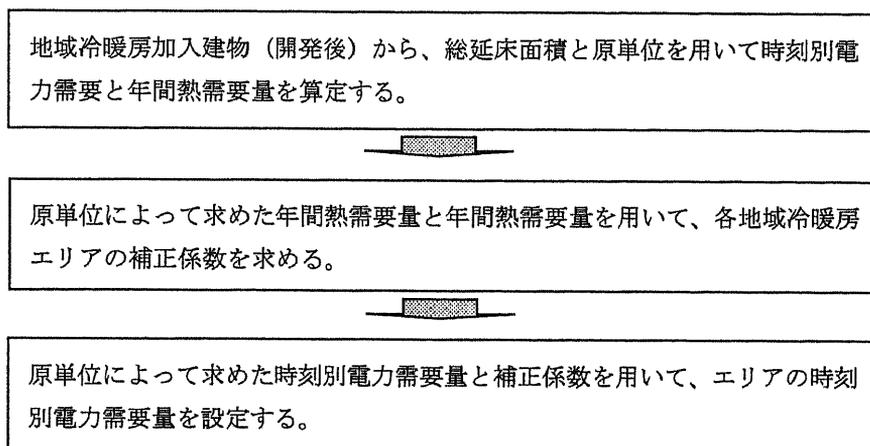


図 4-3. 13 計算の流れ

前章によって求めた年間熱需要量は、熱供給事業便覧をベースに作成したものであるため、設定した地域冷暖房加入建物延床面積と原単位からも求めた年間熱需要には大きく差があるエリアも存在した。需要側の年間熱電比が大きく異なってしまう可能性があるため、図 4-3. 13 の流れにて電力需要を算定した。以下は設定した年間電力需要の値である。

表 4-3. 7 補正後年間電力需要

	熱負荷		補正係数 原単位/作成データ	電力需要	
	作成データ	原単位		原単位	補正電力
	TJ/年	TJ/年		GWh/年	GWh/年
八重洲日本橋(C)	88.44	76.88	0.87	18.49	21.27
大手町(D)	1001.46	1674.88	1.67	389.66	232.99
丸の内1(E)	239.75	658.20	2.75	156.61	57.04
丸の内2(F)	285.87	780.92	2.73	185.26	67.82
有楽町(G)	112.33	571.68	5.09	132.36	26.01
東京国際フォーラム(H)	176.49	174.49	0.99	41.46	41.93
内幸町(I)	327.19	968.55	2.96	217.57	73.50

前項において、現在蒸気のみ供給を行っている地域冷暖房エリアでは、需要家側に吸収式冷凍機を設置していると設定した。そのため、冷凍機は既存のものを利用するとし、詳細検討は行わないために、機器効率を 1.2 と設定した。プラントから冷水を供給するケースでは、冷凍機の機器更新も同時に行うものとし、冷凍機効率を第2章にて設定した値を用いるものとする。

現状との比較のため、ボイラ+吸収式冷凍機システムを現状システムと設定し、省エネルギー量計算を行う。その際、吸収式冷凍機の効率は現状の機器を用いるため、前述した 1.2 の値を

用いて計算を行う。現状システムは、発電機を設置していないとするため、電力需要は全て系統電力を買電する。

熱主電従運転ガスタービン利用システムでは、発電電力はプラント設置建物内にて使用し、余剰発生する時間においては、その量をその時間における系統電力受電端効率で除算した値を減算し、トータル COP 及び省エネルギー率を算定する。

プラント設置建物選定方法は、現状のセンタープラント及び第一プラントの導入されている建物、或いはそれに隣接する建物とした。プラント設置建物電力需要は、延床面積と建物使用用途を用い、エネルギー消費原単位により算定した。

1) から 6) において、各地域冷暖房エリアのプラント建物位置と熱主電従運転ガスタービン導入効果の計算結果を示す。売電量に関しては、時刻別の算定結果も示す。掲載順序は以下の通りである。

- 1) 大手町エリア
- 2) 丸の内一丁目エリア
- 3) 丸の内二丁目エリア
- 4) 有楽町エリア
- 5) 東京国際フォーラムエリア
- 6) 内幸町エリア

1) 大手町エリア

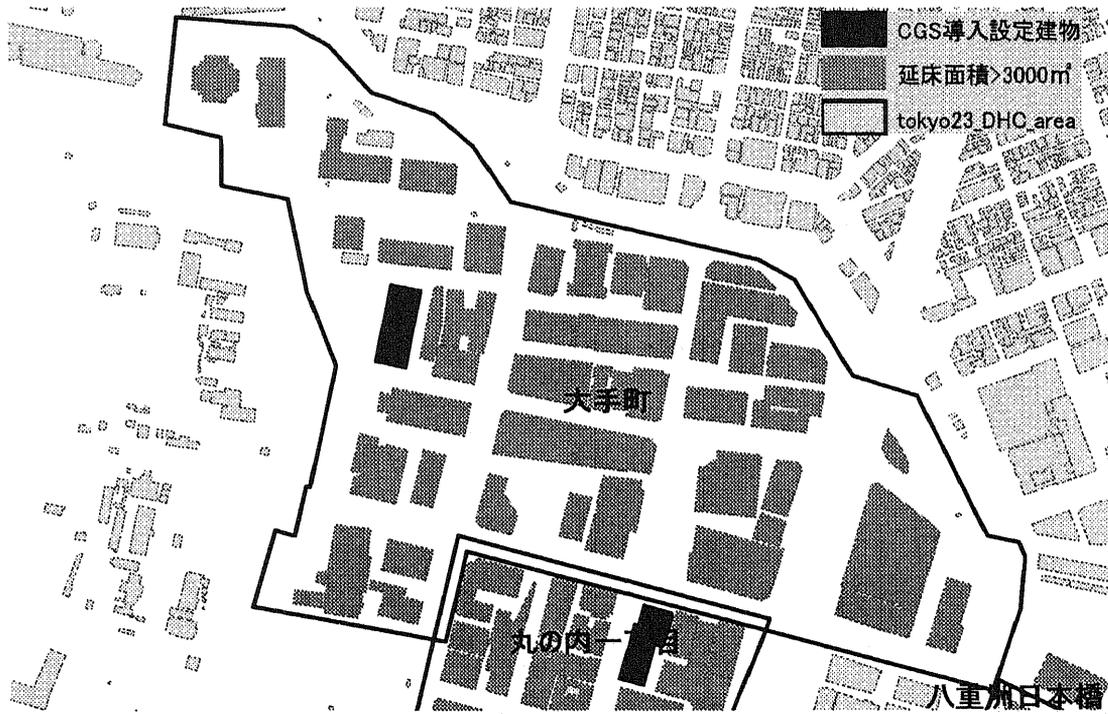


図 4-3. 14 プラント導入設定建物

表 4-3. 8 計算結果

トータルCOP	地域熱COP	売電量 MWh/年	出力最大値		ピーク時電力需要		総蒸気需要 GJ/年	全負荷相当時間 h	省E率
			発電量 MWh/年	排熱量 GJ/年	プラント建物 kW	エリア総需要 kW			
0.61	1.51	111558	89	536	3864	48261	817153	1525	0.15

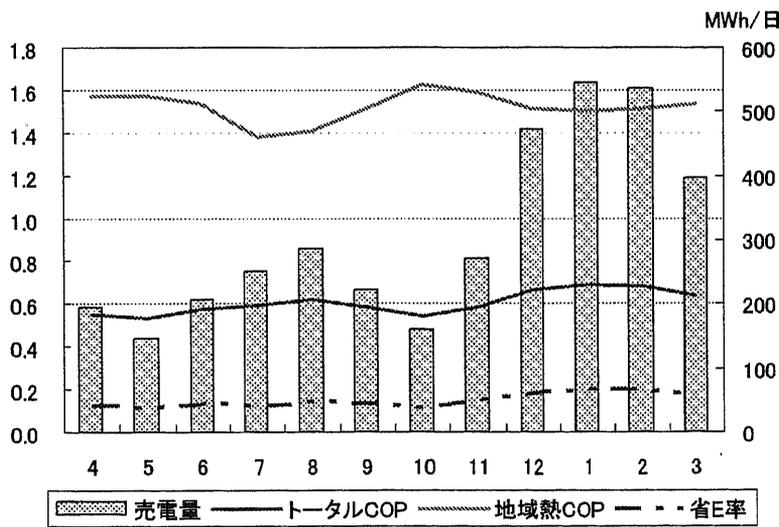


図 4-3. 15 月別詳細グラフ



図 4-3. 16 プラント導入設定建物

表 4-3. 9 計算結果

トータルCOP	地域熱COP	出力最大値			ピーク時電力需要		総蒸気需要	全負荷相当時間	省E率
		売電量	発電量	排熱量	プラント建物	エリア総需要			
0.60	1.48	MWh/年	MWh/年	GJ/年	kW	kW	GJ/年	h	0.15
		26975	24	145	1332	12204	207730	1433	

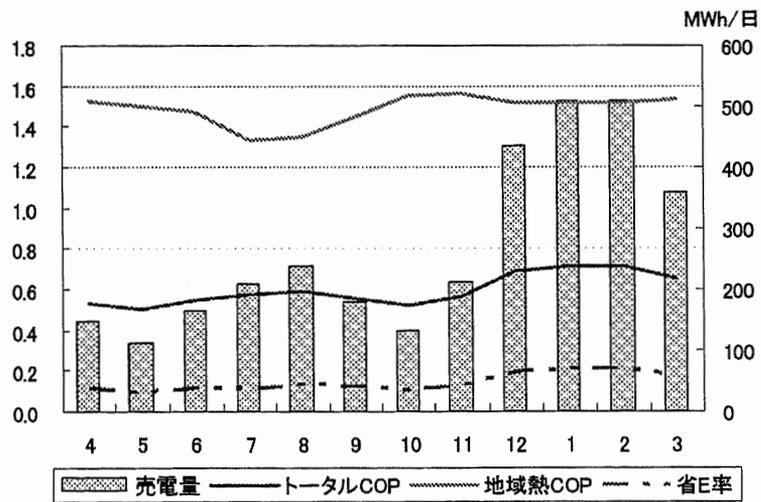


図 4-3. 17 月別詳細グラフ

3) 丸の内二丁目エリア

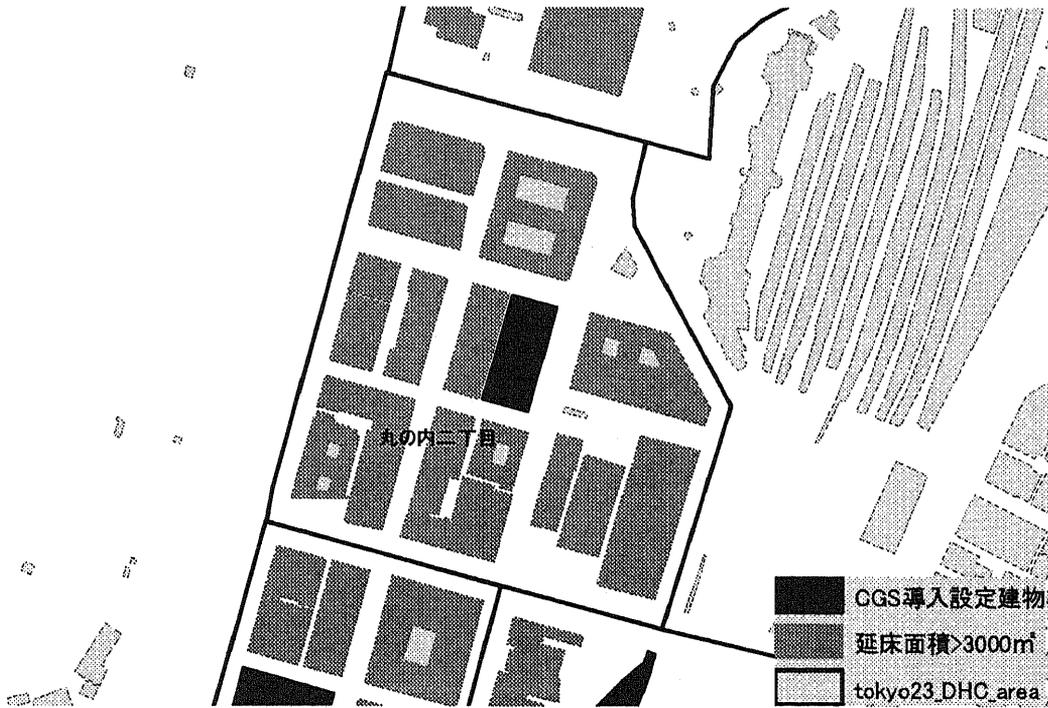


図 4-3. 18 プラント導入設定建物

表 4-3. 9 計算結果

トータルCOP	地域熱COP	出力最大値			ピーク時電力需要			全負荷相当時間 h	省E率
		売電量 MWh/年	発電量 MWh/年	排熱量 GJ/年	プラント建物 kW	エリア総需要 kW	総蒸気需要 GJ/年		
0.59	1.40	36785	26	156	2056	14414	285866	1828	0.14

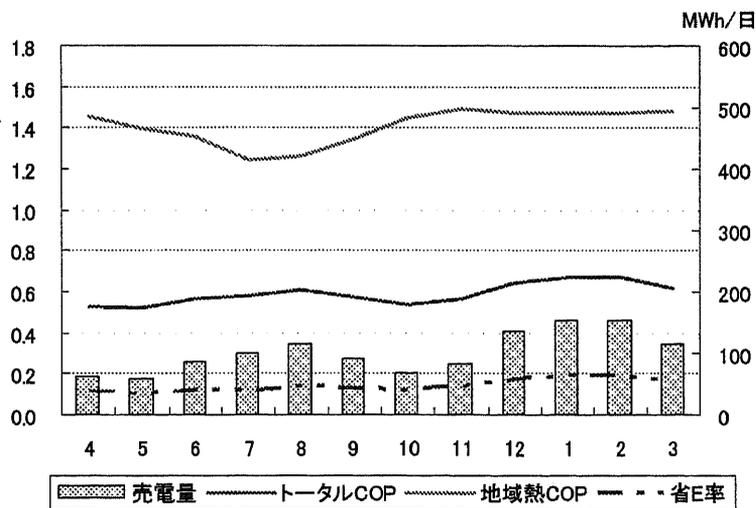


図 4-3. 20 月別詳細グラフ

4) 有楽町エリア

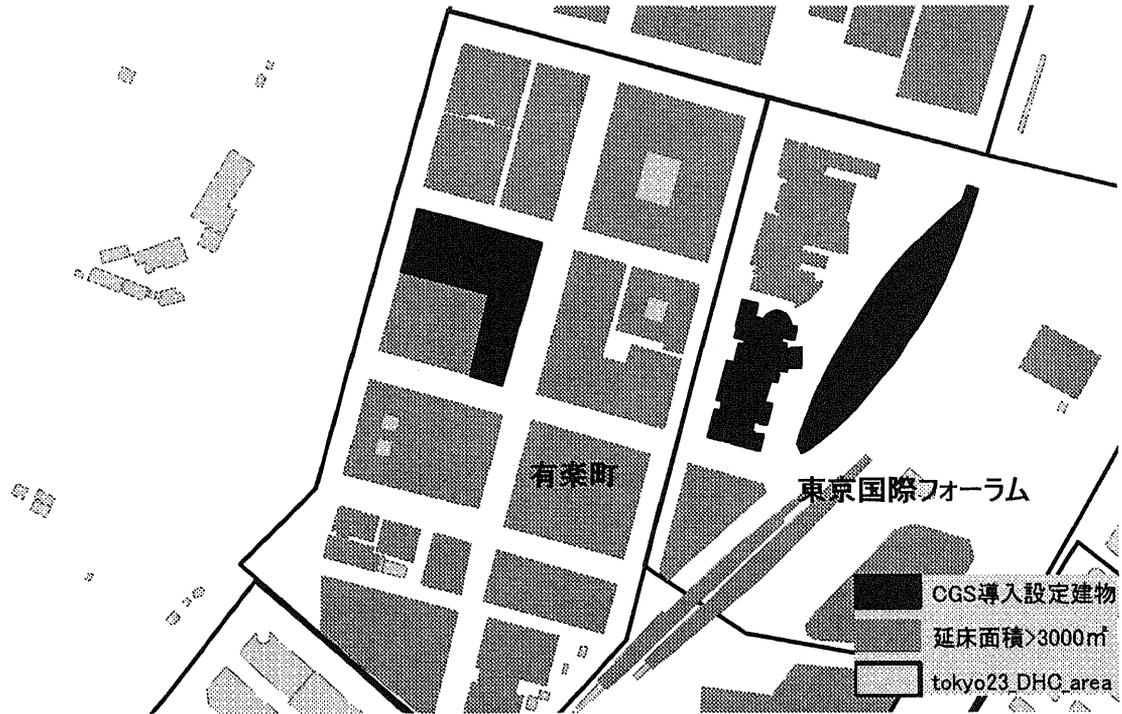


図 4-3. 20 プラント導入設定建物

表 4-3. 10 計算結果

トータルCOP	地域熱COP	売電量 MWh/年	出力最大値		ピーク時電力需要		総蒸気需要 GJ/年	全負荷相当時間 h	省E率
			発電量 MWh/年	排熱量 GJ/年	プラント建物 kW	エリア総需要 kW			
0.60	1.39	6306	8	49	2558	5349	112331	2279	0.15

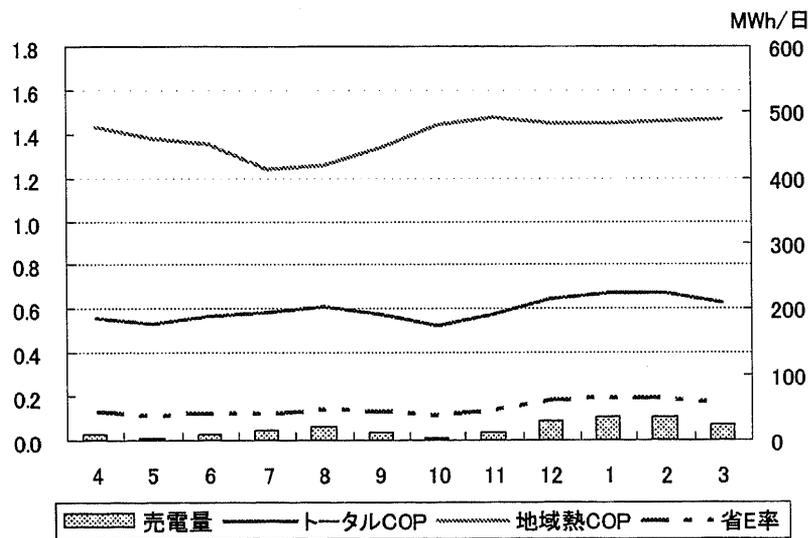


表 4-3. 21 計算結果

5) 東京国際フォーラムエリア

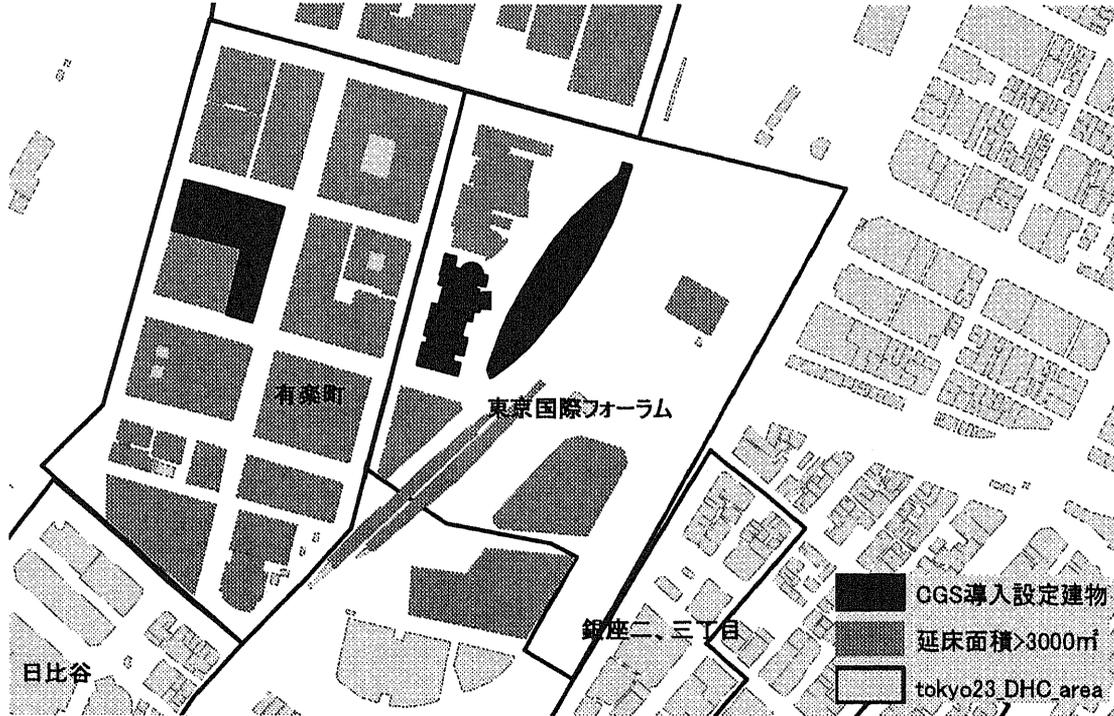


図 4-3. 22 プラント導入設定建物

表 4-3. 11 計算結果

トータルCOP	地域熱COP	出力最大値			ピーク時電力需要			全負荷相当時間	省E率
		売電量	発電量	排熱量	プラント建物	エリア総需要	総蒸気需要		
		MWh/年	MWh/年	GJ/年	kW	kW	GJ/年	h	
0.60	1.49	11750	13	75	2915	9898	144944	1928	0.15

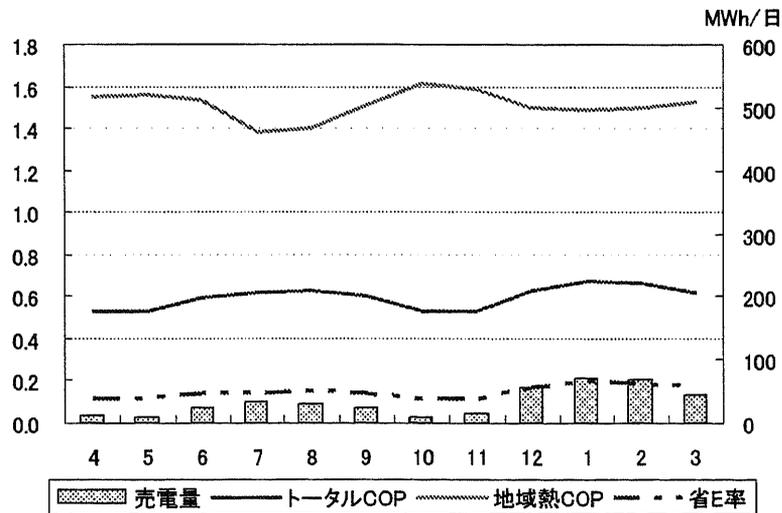


図 4-3. 23 月別詳細グラフ

6) 内幸町エリア

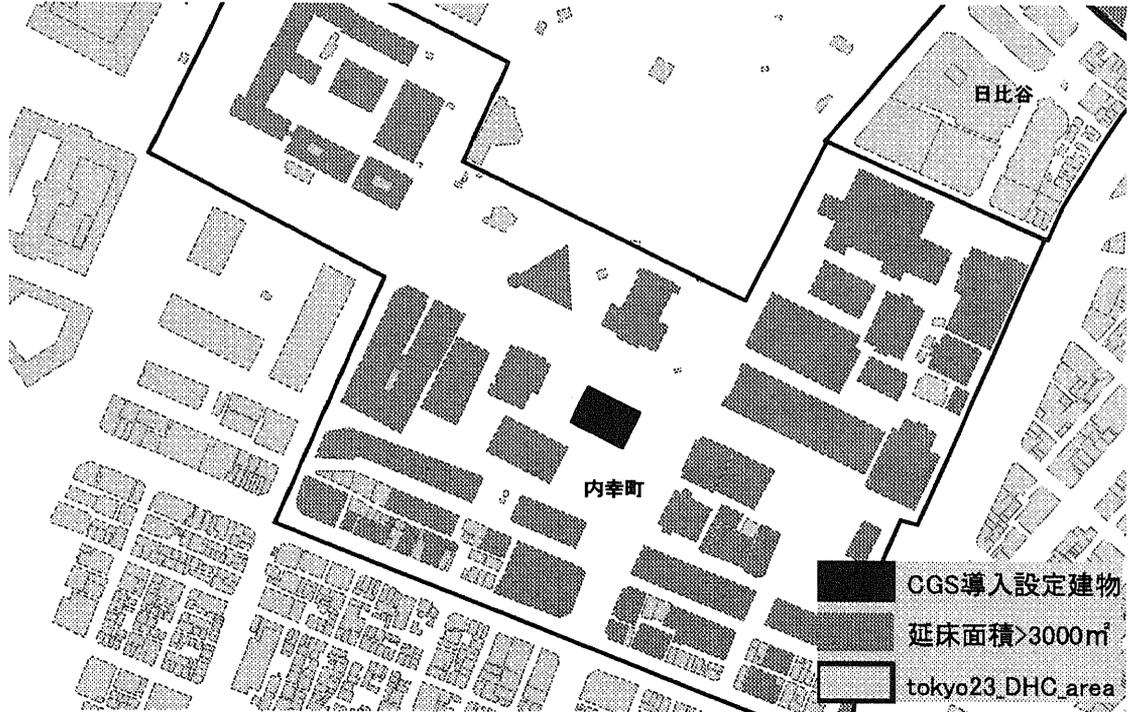


図 4-3. 24 プラント導入設定建物

表 4-3. 12 計算結果

トータルCOP	地域熱COP	出力最大値			ピーク時電力需要		総蒸気需要 GJ/年	全負荷相当時間 h	省E率
		売電量 MWh/年	発電量 MWh/年	排熱量 GJ/年	プラント建物 kW	エリア総需要 kW			
0.61	1.49	29370	21	125	2545	14669	266170	2126	0.15

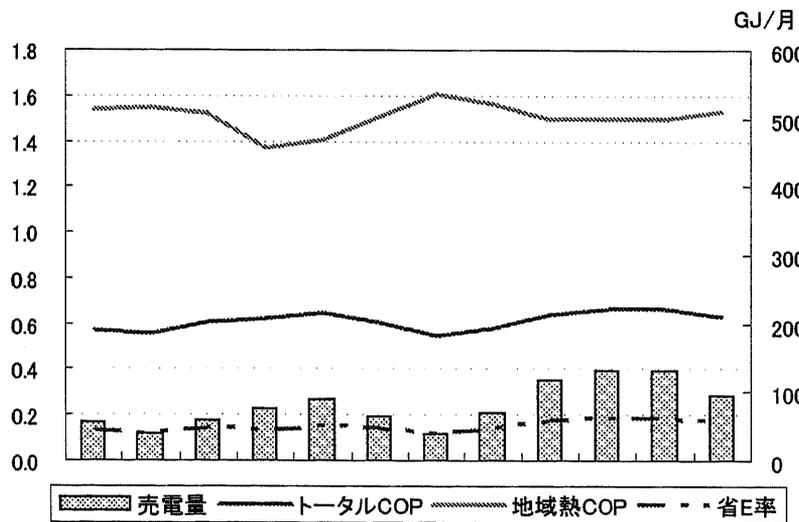


図 4-3. 25 月別詳細グラフ

7) 総合評価

表4-3.13は表4-3.8から表4-3.12をまとめたものである。

表4-3.13 エリア別計算結果

	トータルCOP	地域熱COP	出力最大値			ピーク時電力需要		総蒸気需要	全負荷時間	省E率
			売電量	発電量	排熱量	プラント建物	エリア総需要			
			MWh/年	MW	GJ	kWh/h	kWh/h	GJ/年	h	%
大手町	0.61	1.51	111558	89	536	3864	48261	817153	1525	15.0
丸の内1	0.60	1.48	26975	24	145	1332	12204	207730	1433	14.8
丸の内2	0.59	1.40	36785	26	156	2056	14414	285866	1828	14.5
有楽町	0.60	1.39	6306	8	49	2558	5349	112331	2279	14.6
フォーラム	0.60	1.49	11750	13	75	2915	9898	144944	1928	14.6
内幸町	0.61	1.49	29370	21	125	2545	14669	266170	2126	15.2

表4-3.14 八重洲日本橋計算結果(第6章)

	トータルCOP	地域熱COP	売電量(MWh/年)
八重洲日本橋エリア連携システム	0.62	1.45	20341

全負荷相当運転時間は出力最大値を機器容量として求めたものであり、省E率は現状熱源システムをボイラ+吸収式冷凍機と設定し、それに対する省エネルギー率である。算定方法は以下の通りである。

$$\text{省エネルギー率} = \frac{\text{現状投入一次E} - (\text{本システム投入一次E} - \text{余剰電力量} / \text{受電端効率})}{\text{現状投入一次E}} \times 100$$

前項の八重洲日本橋エリア連携システムとは冷凍機効率が異なるエリアもあるが、トータルCOPでは前項で見られた数値と類似した結果となった。また、現状と比較した省エネルギー率も全てのエリアにおいて15%程度を記録した。

エネルギー負荷が多少ことなる幾つかの業務集積エリアにおいても、ガスタービン熱主電従運転トータルCOPの維持や高い省エネルギー率を記録した。ガス式地域冷暖房整備エリアに対する本システムの有効性を確認することが可能となった。

#### 4-4 地域エネルギーシステム連携効果検証

ガスタービン熱主電従運転利用地域冷暖房の連携効果を考察する。地域冷暖房プラントを蒸気配管で接続することで、プラント間の熱融通を可能とするものである。本節では、大手町エリアと丸の内一丁目エリアの連携を考える。

連携することによる数値の変化を表4-4.1に示す。

表4-4.1 連携効果

	トータルCOP	地域熱COP	省E率	全負荷相当運転時間
大手町	0.61	1.51	0.15	1525
丸の内1	0.60	1.48	0.15	1433
連携	0.60	1.50	0.15	1493

全ての値が二地区の間となった。これは当然の結果であり、各地区のガスタービン容量を変化させ、各プラントの蒸気製造割合を変動させても同様の結果となる。その際、変化があるのは総売電量である。プラント導入建物の電力需要は異なり、また余剰発生量も蒸気製造割合により操作することができる。単純に、年間を通して同じ蒸気製造割合にて運転を行った場合の年間売電量結果を以下に示す。

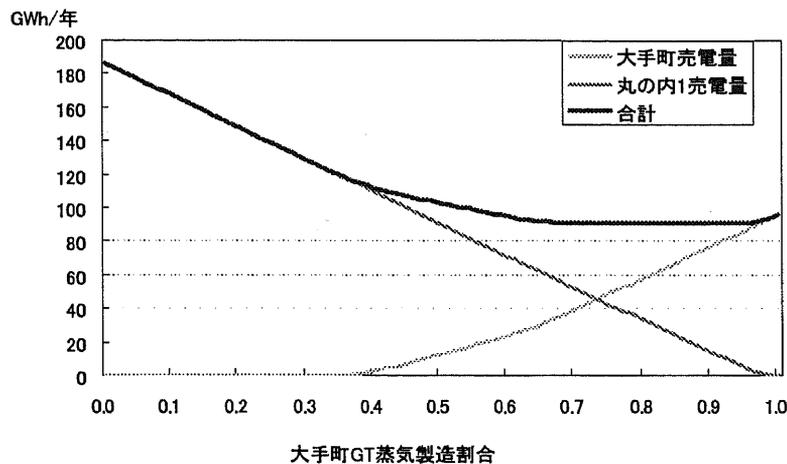


図4-4.1 蒸気製造割合変化による売電量推移

グラフは年間を通しての値であるが、時刻別に運転を制御することによって余剰発生電力量を操作することが出来る。系統において電力を多く必要とする時間帯には丸の内一丁目に設置したガスタービンにより熱供給をすることにより、多くの余剰電力を発生させ、なるべく余剰電力を少なくしたい時間帯においては二つのガスタービンを運転させる、しかし、この運転を可能とするには、丸の内一丁目側ガスタービンを、二つのエリアの熱需要を賅える分の機器容量に設定

することが必要で、全負荷相当運転時間が小さくなってしまふ。つまり、設備投資に対するエネルギー発生量が小さくなることが予想される。

既存配管を利用することが前提であり、イニシャルコストを最小限に抑えることで多くのメリットを整理してきた。しかし、連携にはプラント間を繋ぐ新規蒸気配管が必要となる。また、全負荷相当運転時間が大きくなる事は、ガスタービン導入にかかるイニシャルコストの回収困難という結果を招く恐れがある。しかも、丸の内一丁目側でも全ての熱需要を賄うための運転を可能とするためには、それだけ新規配管の口径を大きくしなければならない。

連携によるバックアップ効果や、詳細なコスト計算が必要ではあるが、連携による費用対効果は小さいことが容易に予想できる。

【参考文献】

- 1) 日本熱供給事業協会：熱供給事業便覧 (H14)
- 2) 東京電力：数表で見る東京電力 (H14)
- 3) 東京都：大都市比較統計年表 (H15)
- 4) Tokyo Half Project シンポジウム資料 (H15, 12月)

## 第 5 章 既存地域エネルギーシステムの省エネルギーマネジメントに関する研究

### 5-1 概要

### 5-2 エネルギーマネジメントとは

### 5-3 運転条件によるエネルギーマネジメント

#### 5-2-1 研究の流れ

#### 5-2-2 対象地域エネルギー供給システムの概要

#### 5-2-3 エネルギー需要・供給パターン分析

#### 5-2-4 運転条件によるエネルギーマネジメントのトケーススタディ結果

### 5-4 補助機器活用したエネルギーマネジメント

#### 5-4-1 蓄電池の活用による地域構成別の省エネルギー性検討

#### 5-4-2 研究対象エリアに導入ケーススタディ

### 5-5 結論

### 5-1 概要

深刻化している地球および都市の環境問題から COP3 による国際公約である CO2 の削減目標達成年度が近づく中、エネルギー消費量の内、増加の一方である民間用エネルギーの省エネルギーや高効率化は重要なエネルギー消費削減の対案になっている。

エネルギー需要量が高い地域では省エネルギー政策として地域エネルギー供給システムを導入し、また高効率運転を図るための研究が行われている。しかし現在の地域エネルギー供給システムの運転状況はエネルギー需要側に合わせた運転方式であり、低負荷運転および余剰エネルギーなどからのエネルギーの無駄な使用には対応されていない一面がある。

従って実際のエネルギー供給システムの運転データを基に、エネルギー需要の状況を明らかにすると共に、エネルギー供給側の能動的なエネルギー供給可能性を把握し、より効率的な運転方式を考える必要がある。

本研究では需要側に供給するエネルギーの質や供給側の能動的に運転方式を提案することにより高効率化を実現すること、それを踏まえてエリアエネルギーマネジメントサービスの可能性を検討することを目的とする。

5-2 エネルギーマネジメントとは

マネジメントとは目標を達成するために行なう活用の意味であり、①直接的な生産活動、②この協同的な生産活動を計画・統制する活動の二つの辞書的な意味を持っている。①を「作業」、②を「管理」というとマネジメントとは広い意味では管理を称する。

このような管理の活用範囲が全般的であるか、部分的であるかによって全般管理や部分別管理と大別される。また、アドミニストレーション(administration)の概念と対比する場合には、アドミニストレーションは最高管理を意味するが、マネジメントは部分別管理あるいは中間管理を意味し、これをマネジメントの狭小的ないみといえる。

これらの概念を踏まえ、エネルギーの対するマネジメント対象は、大きくエネルギー供給・エネルギー需要管理の分けられる。また、それぞれに合わせて①生産活動、②計画・統制の観点からはシステムの運転方式や補機動力・搬送動力などで細分化される。エネルギーの需要・供給は総合的・複合化であり、マネジメントの対象に対して内容を明確に区分するのは難しいが、主な管理概念を中心として整理してみると表5-2. 1のように考えられる。

表 5-2. 1. マネジメントの対象と範囲

マネジメント段階	生産活動	計画・統制・制御			
	作業	計画段階	統制・制御段階		
マネジメントの対象	システムの設置・運用	全システム	熱源機	補助機器	補機動力系
		・システムの組み合わせ ・システムの容量設定	発電機、ボイラ、 冷凍機など	蓄熱槽・蓄電池など	・熱源機器の補機動力 ・搬送動力 など
エネルギー需要管理	需要に合わせて供給する作業、そのまゝの意味	全需要量予測・把握など	供給対象需要量の日付別、時間単位別予測など	エネルギー需要特性の対応(電気あるいは熱需要のどちらが多いのか)など	一次・二次側の適切な分類など
エネルギー供給管理		供給可能範囲指定など	優先運転(電熱、冷温、機器など)	活用時間制御など	変温度、変流量供給方式など

さらに能動的なマネジメントの意味とし、自らの制御・積極的制御といえるが、エネルギーの質を著しく低下させない限りの供給側の制御運転を示すことにする。エネルギー供給の安定性は維持するが、冷暖房需要のピーク時には供給するエネルギーの質を少し落とすことにより省エネ性が図れるだろう。そこで表3のように供給側は需要側とのエネルギー供給条件を契約しているものの、供給条件を守る責任もあるが、最高温日・最低温日などの負荷が大きい日は第2の供給条件を提示、需要側と供給側の協力が必要と思われる。本研究では設置されているエネルギー供給システムに対し、統制・制御段階での供給条件内のマネジメントと能動的なマネジメントに分け、能動的なマネジメントの可能性について分析することにする。分析対象は熱源機器、補助機器、補機動力の3つを中心としそれぞれのマネジメントの行う。

### 5-3 運転条件によるエネルギーマネジメント

#### 5-3-1 研究の流れ

まず、エネルギー供給マネジメントの概念について考察することからはじめ、既存地域エネルギー供給システムの運転データや需要側へのエネルギー供給量などの実績データを基に、需要側の季節別のエネルギー需要パターンを把握、それに伴う供給側の現状を把握することから初め、地域エネルギー供給システムの運転効率を求める。

また、供給側の現在の設備条件を生かした能動的な供給の可能性をみるため、シミュレーションを行い、分析することにする。シミュレーションを行う際には、対象供給設備の仕様、性能などを地域エネルギー供給システムのパンフレットなどに示された数値と、実績データから算出した数値を中心とし行う。

#### 5-3-2 対象地域エネルギー供給システムの概要

分析対象となる地域エネルギー供給システムは 1984 年、現在供給地域の一部から供給を初め、1997 年には全地域を対象とし供給している。地域冷暖房センターのメインプラントと、別の建物内のサブプラントで構成されたシステムによって、地域内の各ビルに 0.78MPa の飽和蒸気と 7°C の冷水を供給し、冷暖房を行っている。同時にガスタービンを用いたコージェネレーションシステム設備が導入され、それぞれのビルに電力を供給すると共に、ガスタービンの排熱蒸気を地域冷暖房にも利用している。また、系統電力との年間契約で足りない電力を受電している。

需要側の用途構成は主に業務であり、対象建物は 6 棟、延べ床面積 400,438m<sup>2</sup> である。図 5-3-1 は供給対象、供給方式を簡略化したものである。

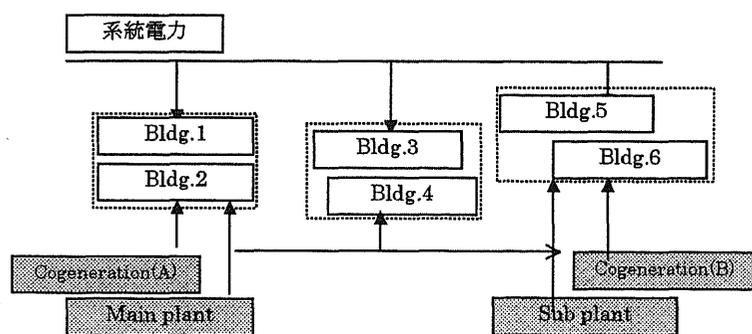


図 5-3.1 供給系統

表 5-3.1 はメインプラントやサブプラントの設備概要を示したものである。メイン・サブプラントそれぞれのコージェネレーションを持ち発電すると共に、コージェネレーションの排熱を用いたボイラや冷凍機、温熱源としてボイラを用いている。

表 5-3.1 設備の概要

メイン プラント	ガスタービン	2,200kW
	排熱回収ボイラ	6.0t/h
	吸収式冷凍機	23,232kW
サブプラント	ボイラ	44.4t/h
	ガスタービン	2,200kW
	排熱回収ボイラ	6.0t/h
	吸収式冷凍機	16,192W
	ターボ冷凍機	

プラントで製造した冷水及び蒸気は、地域配管・受入管、受入施設を介して、需要家側に私、需要側のエネルギーを使用した後、再びプラントへ返送する循環方式であり、冷水の送り温度、還り温度を一定にする変流量方式を採用している。プラントのエネルギー供給条件(標準値、実際値ではない)を表3に示す。

表 5-3.2 供給条件

冷水	行き温度・圧力	7 ± 1.0°C(0.80~1.05MPa)
	還り温度・圧力	14°C標準(0.61~0.84MPa)
	自然上昇高さ	TP0.2m+62.8m
蒸気	供給圧力	0.73~0.86MPa
	供給温度	175°C標準
凝縮水	返送温度	80°C以下

5-3-3 エネルギー需要・供給パターン分析

本章では対象地域へのエネルギー需要パターンや供給方法、供給に伴うシステムの効率などを分析する。より正確性を求めるためには一年を通じた全運転データを基に分析する必要があるが、資料の膨大な量の問題や供給側の全資料提供の遠慮などで、今回は30年(1971年~2000年)の平均温度、最高・最低温度など(日本気象庁のデータ参考、表5-3.3)を参考し、代表できる日のデータを基に分析することにした。

表 5-3.3 平均気温(1970年~2000年)

		月別平均(°C)		最高気温の平均(°C)		最低気温の平均(°C)	
中間期	3月	8.9	16.1	12.9	19.9	5.1	12.6
	4月	14.4		18.4		10.5	
	5月	18.8		22.8		15.1	
	9月	23.5		26.9		20.7	
	10月	18.1		21.6		14.9	
	11月	13.0		16.8		9.5	
夏期	6月	21.8	24.7	25.3	28.3	18.9	21.8
	7月	25.3		28.9		22.5	
	8月	27.1		30.8		24.2	
冬期	12月	8.4	6.8	12.3	10.7	4.6	3.1
	1月	5.8		9.8		2.1	
	2月	6.1		10.0		2.4	

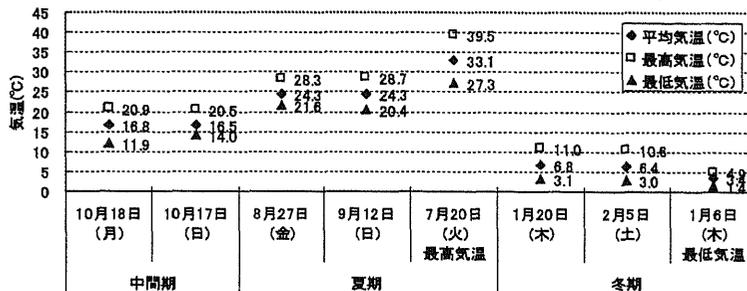
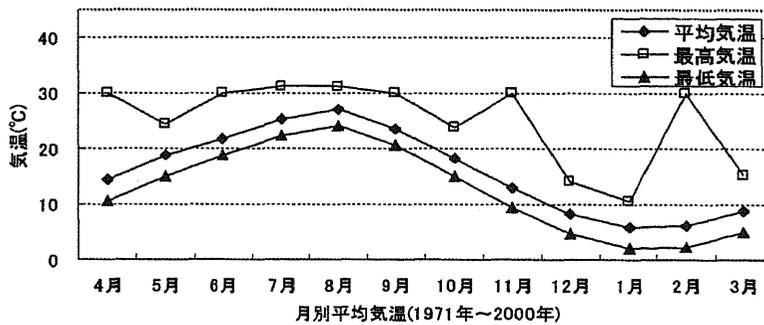


図 5-3.2 平均温度(過去30年)と本稿で分析する日付の温度

季節別にエネルギー需要パターンが相当異なることから、夏季・中間期・冬季に分け、さらに平日と休日に区分し代表できる日を選定、データを要求・入手した。夏季は6~8月、中間期

は3月～11月、冬季は12、1、2月とし、月別平均温度は夏季16.1℃、中間期24.7℃、冬季6.8℃である。2004年4月から2005年3月間の気温データで平均値に近似する日は夏季(8月12日[平日]、9月12日[休日])、中間期(10月18日[平日]、10月17日[休日])、冬季(1月20日[平日]、2月5日[休日])である。さらに最低気温日(7月20日[平日])、最高気温日(1月6日[平日])を参考にする。その日の気温は図5-2に示す。

1) エネルギー需要パターン

対象地域のエネルギー需要量は図3、4のようである。冬季には平日の温熱需要量が約40GJ/h、冷熱需要は約20GJ/h、休日はその半分の約20GJ/h、10GJ/hであった。中間期、夏季は冷熱需要が増加し、中間期約40GJ/h、夏季70GJ/hまで要する。温熱の需要は中間期、夏季とも10GJ/hに止まる。

エネルギー供給対象地域が主に業務施設であり、給湯などの温熱需要があまりないこと、冬季でも冷熱の需要が約20GJ/hで温熱の需要量に比べて低くないことが、本データからも分かる。

また、電力は夏季、中間期、冬季に関わらず、平日には4500kW～5000kWの需要量を示している。夏季、中間期の休日は約1000kWの電力需要があったが、今回の冬季の休日データでは3000kWで、比較的に大きい値をみせている。

また、図5-3. 3は最低気温日(7/20)、最高気温日(1/6)のエネルギー需要を示したものである。最低気温日には電力・冷熱の需要の大きい変化は見られなかったが、温熱需要はピーク値のときで約20GJ/hを増加し、平均値の需要の約1.5倍まで至る。最高気温日には電力・冷熱共に大きい幅で需要量が増えている。電力は約6000kW、冷熱も約92GJ/hまで至ることが分かる。

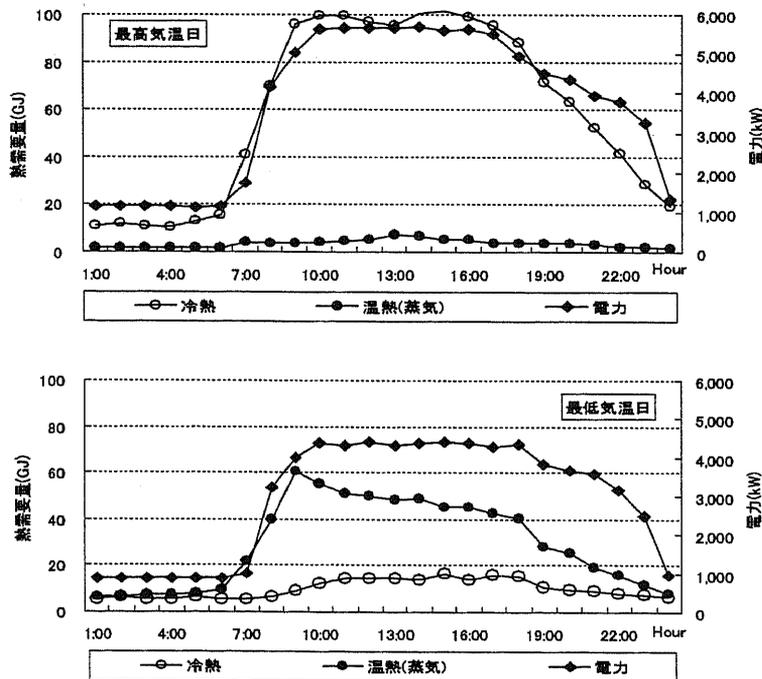


図5-3.3 最低(上)・最高(下)気温日のエネルギー需要パターン

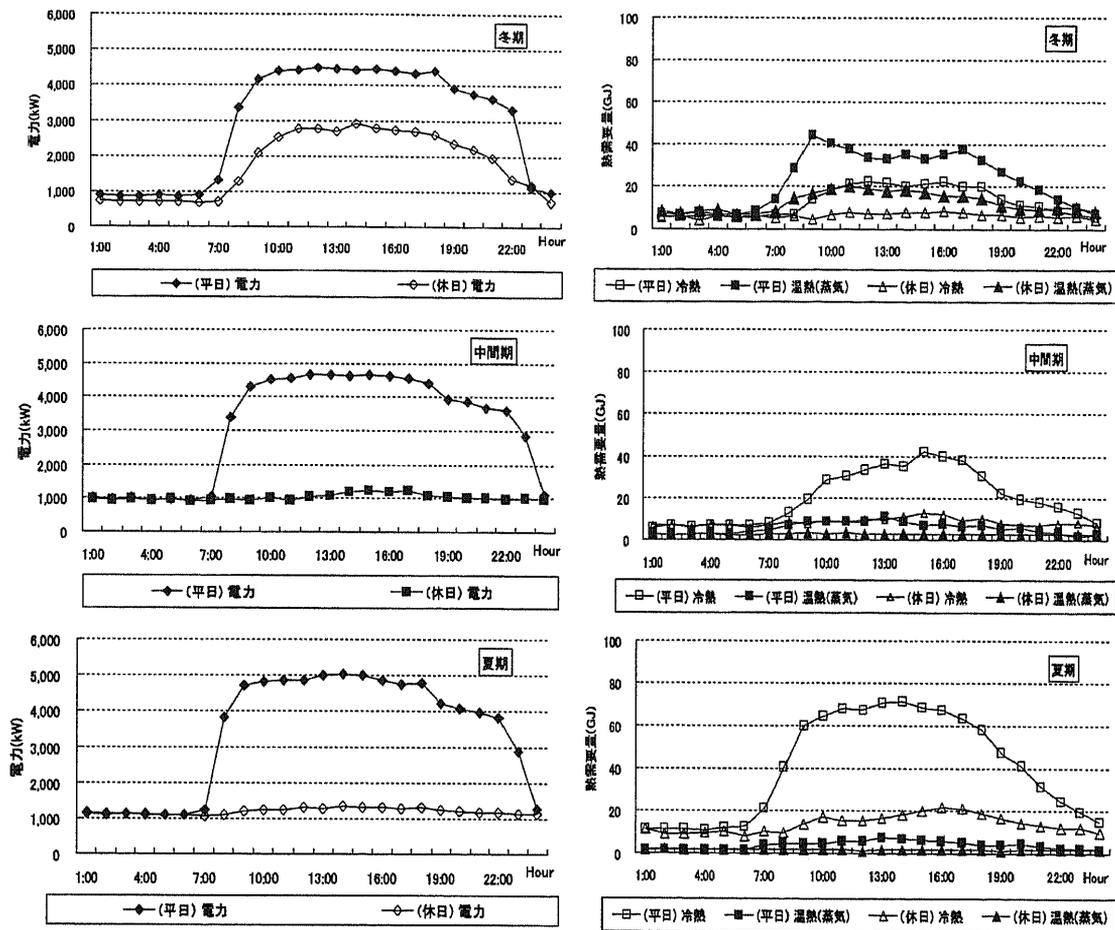


図 5-3. 4 季節別、代表日の熱需要パターン

## 2) 供給側の運転パターン

ここでは熱需要の変動が大きい夏季(10/18)や冬季(1/20)の平日のデータを中心とし、供給側の機器の運転パターンや補機動力、搬送動力などを分析したのを示す。

図 5-3. 5 は夏季(10月 18 日)の運転パターンである。蒸気はメインプラントとサブプラントを連結し、使用されており、吸収式冷凍機はメインプラントの 5 台、サブプラント 4 台、電動式冷凍機はメインプラントで設置されている。図 5 から分かるように主に吸収式冷凍機を用いた冷熱供給を行っており、吸収式冷凍機で賄えない時期に限り電動式が使われていた。

主にガスタービンからの発電量は需要側の電力需要には足りず、系統電力から買電する。また、冷熱・温熱の需要量を従い排熱回収蒸気量が足りない場合には 4 台のボイラを用い、蒸気を供給する。

ガスタービンの発電平均効率は 0.204、排熱回収効率は 0.446、ボイラ平均効率 0.85、吸収式冷凍機 1.15 であった。年中発電効率は排熱回収効率の変化様子は図 6 に示す。また、運転負

荷率と発電効率、排熱回収率の関係を示してみると図5-3.6 のようである。運転負荷が70%の場合には運転負荷98%の場合の発電効率に比べ、80%であることが分かる。(10/18、9/12 サブプラント発電機の運転なし)

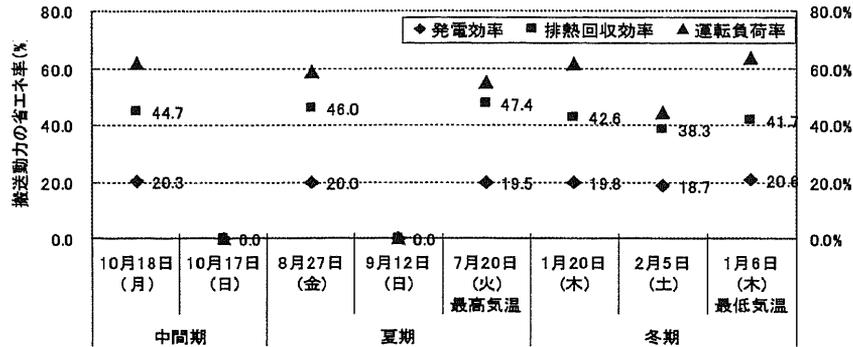


図 5-3.5 季節別の発電効率、排熱回収率(サブプラント)

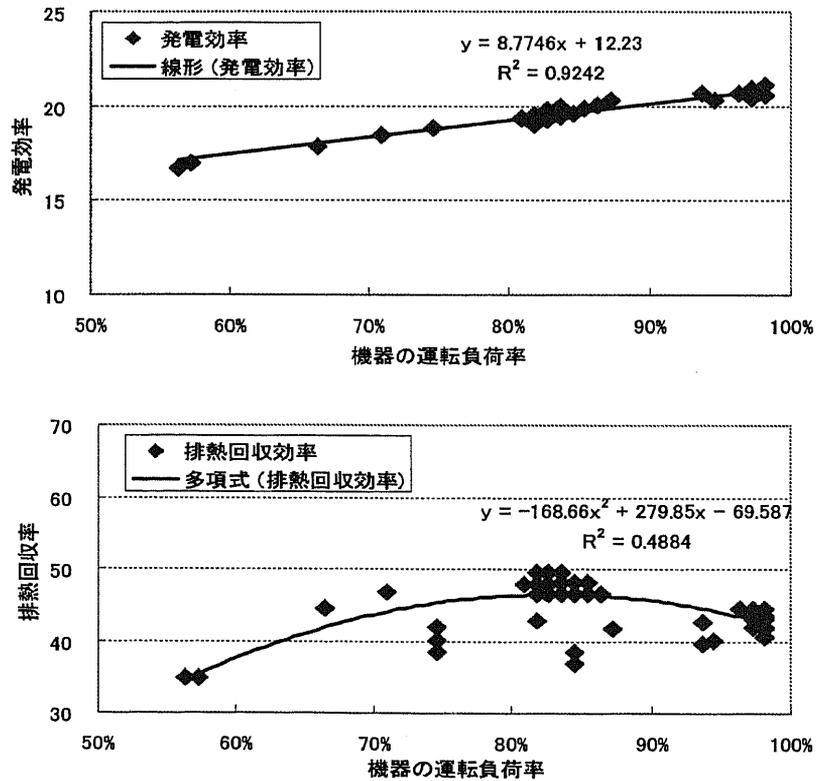


図 5-3.6 運転負荷率と発電効率、排熱回収率の関係

季節別効率、地域熱 COP、総合評価値を次のように定義し、日付別の数値を算出してみた。評価指標とし、需要家側の電力需要をも含めた総合効率評価であるトータル COP 以外に、地域冷暖房の効率を表す為のシステム COP が頻繁に使われていることを踏まえ、コージェネレーションシステム導入地域冷暖房を同じ土俵において評価するための指標である地域熱 COP、またコージェネレーションからの発電量を熱の基準とし評価する総合評価値である。

1) 効率(トータル COP)

$$= (\text{電力} + \text{総熱需要}) / (\text{全投入エネルギー} - \text{余剰電力} / \text{受電端効率})$$

2) 地域熱 COP = 熱需要 / (投入 E - CGS 発電量 / 受電端効率)

3) 総合評価値 =

$$\frac{\text{電力} \times (\text{一次エネルギー換算値} / \text{2次エネルギー換算値}) + \text{熱}}{\text{導入 E}}$$

10月17日、1月20日のトータル COP、地域熱 COP、総合評価値を図5-3.7、図5-3.8に示す。図5-3.7~8の供給側の運転パターンと比べてみるとガスタービンの運転開始、停止時間帯(午前7時前後、午後23時前後)の効率が低くなることが分かる。日付別の評価指標の変化様子は図5-10に示す。全体的にシステムの負荷が大きい最高温日や最低温日のトータル COP が他の日に比べて高く、地域熱 COP は季節に問わず平日の値が高くみられる。

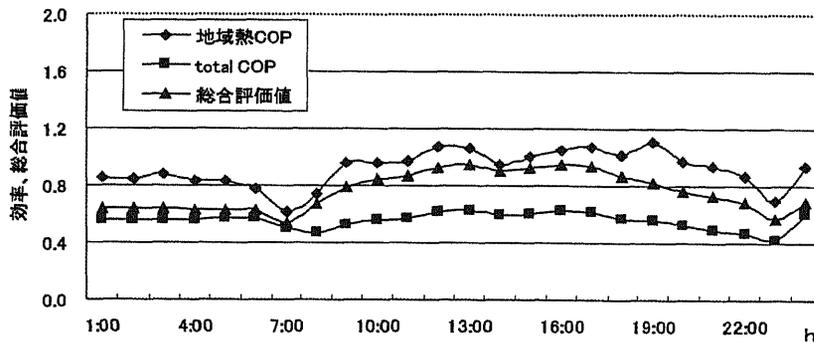


図5-3.7 10月17日の評価指標の変化様相

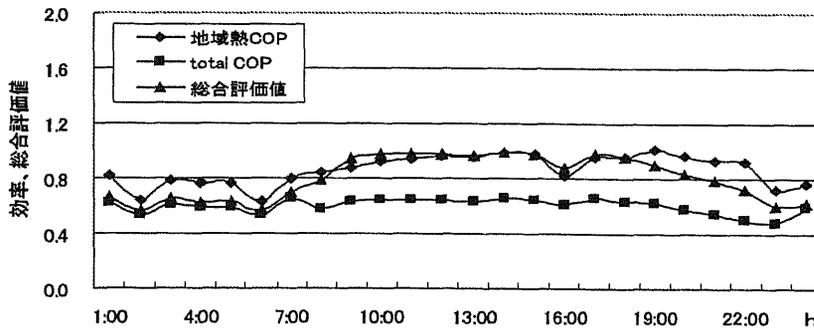


図5-3.8 1月20日の評価指標の変化様相

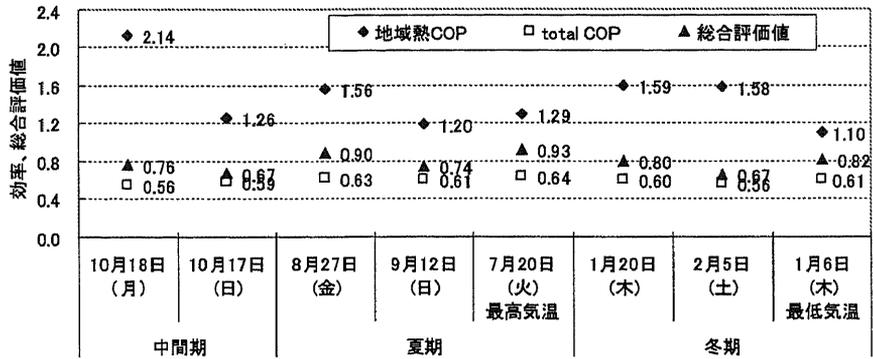


図 5-3. 9 日付別の効率(トータル COP、地域熱 COP)、総合効率の変化様相

5-3-4 運転条件によるエネルギーマネジメントのトケーススタディ結果

今回のエネルギーマネジメントはエネルギーシステムの省エネルギー率を高めるものであり、これらを実現するための方法として熱源システムとしてガスタービンとボイラ、搬送動力を中心とし分析することにする。

1) 熱源機器 (ガスタービン、ボイラ)

本エリアでは 1100kW 容量のガスタービンが 2 つずつ用いられている。10 月 18 日のメインプラント、サブプラントのガスタービンの運転状況や受電電力量は図 5-3. 10 のようである。

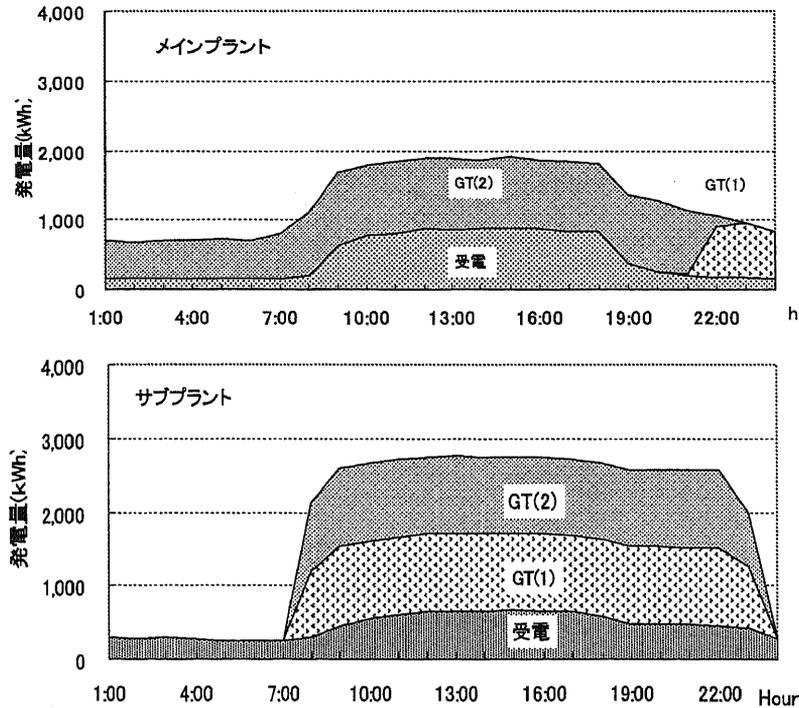


図 5-3. 10 10 月 18 日の発電機の運転状況および受電電力量

図5-3.6からも示したように排熱回収率はやや小さくなるが、季節別の効率の変化は大きくない。しかし運転負荷率による発電効率は約5%の低減がみられる。

需要側の電力使用パターンをみると夜間でも約900kW以上の電力需要があること、冷熱や温熱の需要量が約20GJであることから、またガスタービンの起動時、起動負荷が大きいことを考慮し、発電機の一台を運転させメインプラントやサブプラントに供給することが考えられる。10月18日のガスタービンの運転状況や受電電力量は図5-3.10のようである。

図5-3.6の運転負荷率と発電効率、排熱回収率の関係式 ( $y = 8.7746x + 12.23$ ,  $y = -5.0479x + 48.555$ ) を用いるとともに、ガスタービン一台を一日定格運転させることで各評価指標の変化を把握するため、シミュレーションを行った結果は図5-3.11、表5-3.5である。休日は電力や熱需要量が小さいことから除外とする。

最低気温日の場合、地域熱COPの増加率が一番高く、全体的に約5%トータルCOPの増加が期待される。

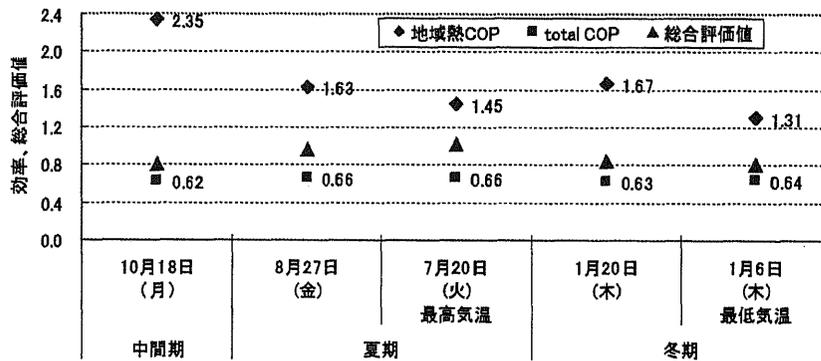


図5-3.11. シミュレーション結果(各評価指標)

表5-3.5 シミュレーション結果(各評価指標)

	地域熱COP	total COP	総合評価値
10月18日(月)	9.7%	6.1%	5.3%
8月27日(金)	4.3%	5.6%	8.3%
7月20日(火)最高気温	12.4%	3.1%	9.7%
1月20日(木)	4.9%	4.8%	5.8%
1月6日(木)最低気温	17.3%	4.9%	3.7%

2) 搬送動力

本エネルギーシステムでは温熱として蒸気を、冷熱として冷水を需要側に供給している。今回は冷水の搬送動力を中心とし分析してみることにする。

メインプラントの各ビルの冷熱供給入温度、出温度、流量を示したものが図5-3. 12である。7°C供給、14°Cの回収が供給条件だが、時間別の出温度の変動が大きくなるのが分かる。

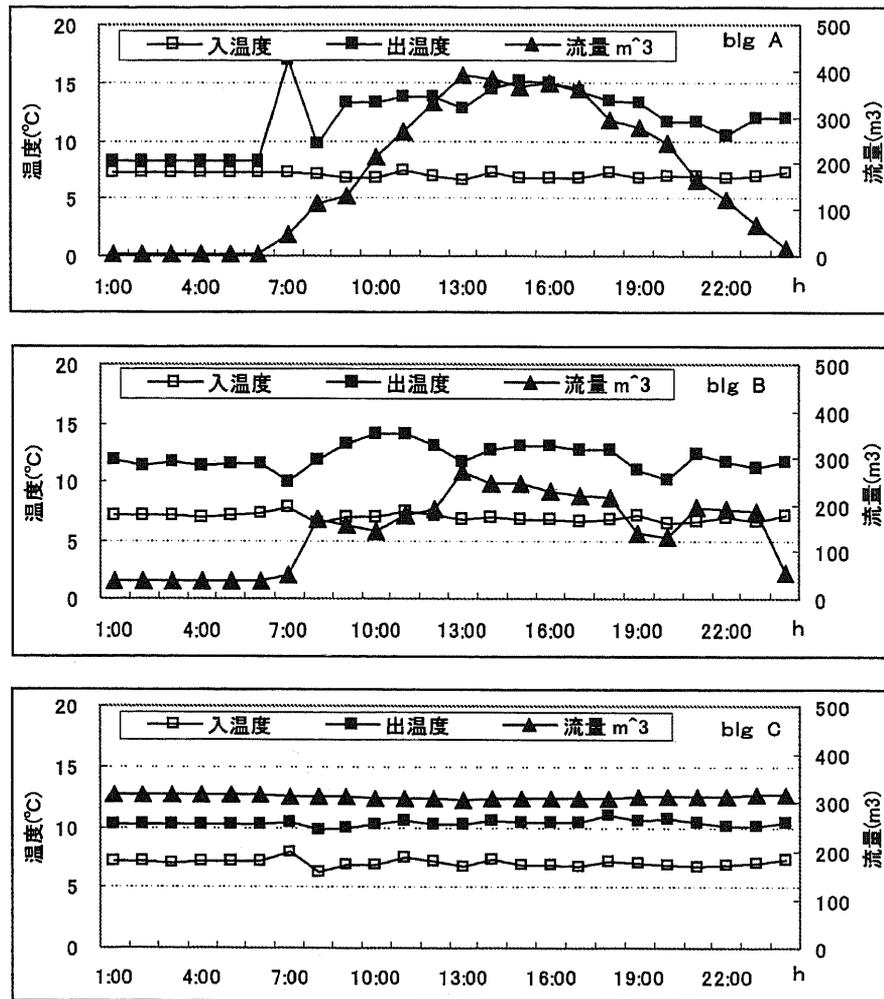


図 5-3. 12 メインプラントの各ビルの冷熱供給温度差

表 5-3.6 搬送機器

		機器名	仕様	台
Main plant	温熱源	ボイラ 給水ポンプ	8m <sup>3</sup> /h×120mAq×7.5kW	2
			17m <sup>3</sup> /h×120mAq×15kW	3
	冷熱源	冷水循環ポンプ	238m <sup>3</sup> /h×51mAq×55kW	2
			475m <sup>3</sup> /h×45mAq×75kW	5
		冷却水循環ポンプ	696m <sup>3</sup> /h×30mAq×90kW	1
			1056m <sup>3</sup> /h×34mAq×132kW	5
		冷水加圧ポンプ	5m <sup>3</sup> /h×80mAq×3.7kW	2
			10m <sup>3</sup> /h×80mAq×5.5kW	1
	冷却水補給ポンプ	10m <sup>3</sup> /h×80mAq×5.5kW	2	
Sub plant	冷熱源	冷水循環ポンプ	518m <sup>3</sup> /h×52mAq×132kW	2
			259m <sup>3</sup> /h×52mAq×90kW	2
			259m <sup>3</sup> /h×52mAq×75kW	1
			173m <sup>3</sup> /h×52mAq×55kW	1
		冷却水循環ポンプ	1152m <sup>3</sup> /h×37mAq×150kW	2
			576m <sup>3</sup> /h×37mAq×90kW	2
			450m <sup>3</sup> /h×37mAq×75kW	1
			367m <sup>3</sup> /h×40mAq×75kW	1
		冷水加圧ポンプ	5.5m <sup>3</sup> /h×90mAq×5.5kW	2
			39m <sup>3</sup> /h×90mAq×18.5kW	1
	冷却水補給ポンプ	30m <sup>3</sup> /h×53mAq×11kW	2	

搬送動力の省エネ率を次のように定義し、7℃供給、14℃の回収を守った場合の搬送の省エネ率を求めてみた結果は図 5-13 である。平日より熱需要量が少ない休日の方が流量調節による搬送動力の省エネ率が高くなる事が分かる。搬送機器の分割台数が理想的の場合、また出温度をちゃんと守ることにより搬送動力が削減できると期待される。特にビルCのように一日の需要量が一定な場合は回収温度を 15℃とする大温度差冷房を行う時、50%までの搬送動力削減率が期待される。

$$* \text{搬送動力省エネ率}(\%) = \frac{(\text{従来の搬送動力}) - \text{大温度差冷房の搬送動力}}{\text{従来の搬送動力}}$$

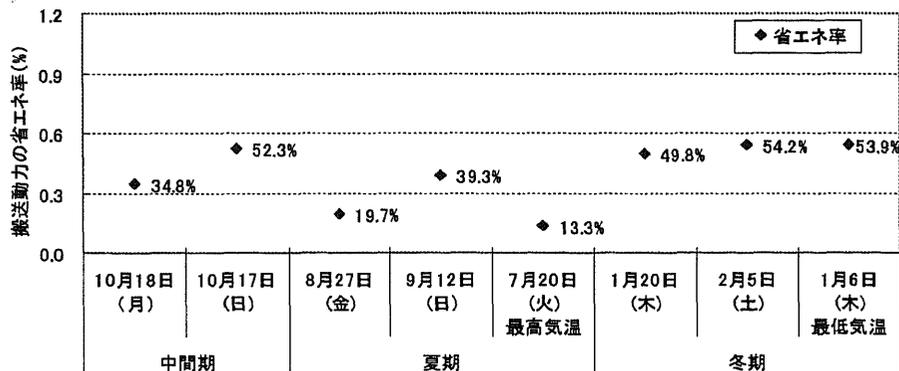


図 5-3.13 季節別、大温度差冷房による搬送動力の省エネ率

以上、本研究では実際のエネルギー供給システムの運転データを基に、エネルギー需要の状況を明らかにすると共に、エネルギー供給側の能動的なエネルギー供給可能性を把握し、より効率的な運転方式を考察してみた。その結果をまとめると以下になる。

- 季節別に代表日の熱需要を調べてみると、図5-4のようであった。
- ガスタービンの定格運転により全体的に約5%トータルCOPの増加が期待される。
- 搬送機器の分割台数が理想的の場合、また出温度をちゃんと守ることにより、既存搬送動力の約30%まで削減できると期待される。
- 以上のことから正の省エネ率が期待されるケースが多く見られたが、不の値がみられるケースに対してももっと精密にシステムの組み合わせ及び運転方法検討することで改善できると思ひ、今後の課題とする。

## 5-4 補助機器を活用したエネルギーマネジメント

都市の密集化、建物のインテリジェント化により、建物の機能維持や快適な熱環境を作るための冷暖房及び電力の需要量が大きくなっており、冷暖房及び電力の需要に応じる様々なエネルギー供給システムが工夫されている。特に、夏季においてパッケージエアコンや電気式冷凍機の使用に伴い、ピーク電力需要が増加し、電力使用のバランスを重視したエネルギー供給システムの構築の必要性が高まっている。蓄電池は現在の集中型電源システムにおいて負荷平準化に寄与すると考えられている。従って、本研究では分散型電源と蓄電池の活用によるエネルギー供給システムの電力及び熱エネルギーの使用合理化に関して考察する。

## 5-4-1 蓄電池の活用による地域構成別の省エネルギー性検討

## 2) パラメータの設定

従来の地域エネルギー供給システムでは熱と電気の利用において余剰熱エネルギーが発生し、廃棄によるエネルギーの損失が発生する。そのため、本研究では蓄電池を十分活用し、電気の利用時間帯を調整すると共に熱の需要量に合わせて熱主運転を行うことにする。また、系統電力に売買が可能であるとする。

図5-4.1を比較対象となる従来システムとし、系統電力と連携した場合をCase1、そこで蓄電池を活用した場合をCase2とする(買電のみ)。発電機の容量を設定せず、発電効率28%、熱回収効率50%、系統電力の発電効率(昼間35.8%、夜間38.7%)、蓄電池効率77%(平均値)、熱補給機器効率80%と設定した。

表5-4.1 各蓄電池システム効率の比較

システム	NAS電池	キャパシタ	鉛電池	NAS+キャパシタ	NAS+鉛電池
効率 (%)	76	84	78	77.5	76.4

(出典:負荷平準化新手法実証調査最終報告書。一 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2000.3)

熱及び電力の需要量は地域における用途構成別床面積及びエネルギー需要原単位を基にし求める。用途は一般的に8つ(住宅、医療、業務、商業、宿泊、娯楽、文化、教育)に分けられるが、本研究ではそのうち、エネルギーの需要量が多い医療、業務、商業、宿泊の4つの用途を中心に分析することにする。延べ床面積の合計値30万m<sup>2</sup>、各用途は10%ずつ刻みで変化させ(11\*11\*11)、14,641のケースに対し検討する。

蓄電池の運転方式は、特定の時間帯に熱需要が大きくなる際、発生する余剰電力を貯蔵した後、電力が不足する時間帯に放電する。(図5-4.2参考)

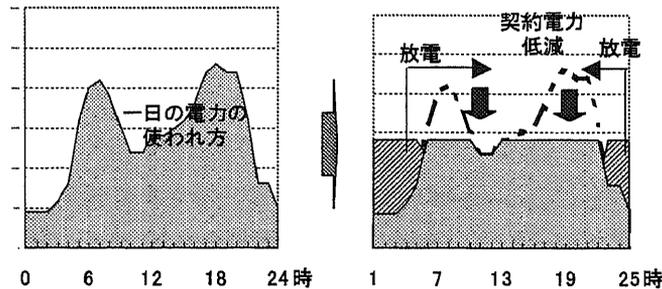


図5-4.2 負荷平準化作用の略図

2) シミュレーション結果

用途構成を10%ずつ変化させ、省エネルギー率(%)を求めた結果、全体的に省エネ率はプラスの値を示した。

$$\text{*省エネ率(\%)} = \frac{(\text{従来の投入一次E}) - (\text{蓄電池利用システムの投入一次E})}{\text{従来の投入一次E}}$$

\*従来の投入一次E

$$= \text{電力需要[kwh]} * 4.18[\text{kJ}] / [\text{kwh}] / \text{昼} 35.8\% (\text{夜} 38.7\%) + \text{熱需要}[\text{kJ}] / 0.8$$

\*蓄電池利用システムの投入一次E

$$= \text{発電機投入一次E} + \text{不足電力[kwh]} * 4.18[\text{kJ}] / [\text{kwh}] / \text{昼} 35.8\% (\text{夜} 38.7\%) + \text{熱不足}[\text{kJ}] / 0.8$$

医療の用途構成比率が高くなるほど省エネ率は増加し、省エネ率は約20%となり、その他のケースでも約10~20%の一次エネルギー削減効果があると考えられる。図5-4.3は用途構成別の省エネ率を示したものである。

以上のシミュレーションの結果、電力平準化に貢献できるのは勿論、それに伴う省エネの効果もあると思われる。

3) 熱電比と省エネルギー率

30万m2の地域における地域エネルギー供給システムで、蓄電池を用いた場合の省エネ性を検討した。その中、エネルギー需要量の特性と省エネ率の相関関係を求めてみると図5-4.3のようになる。

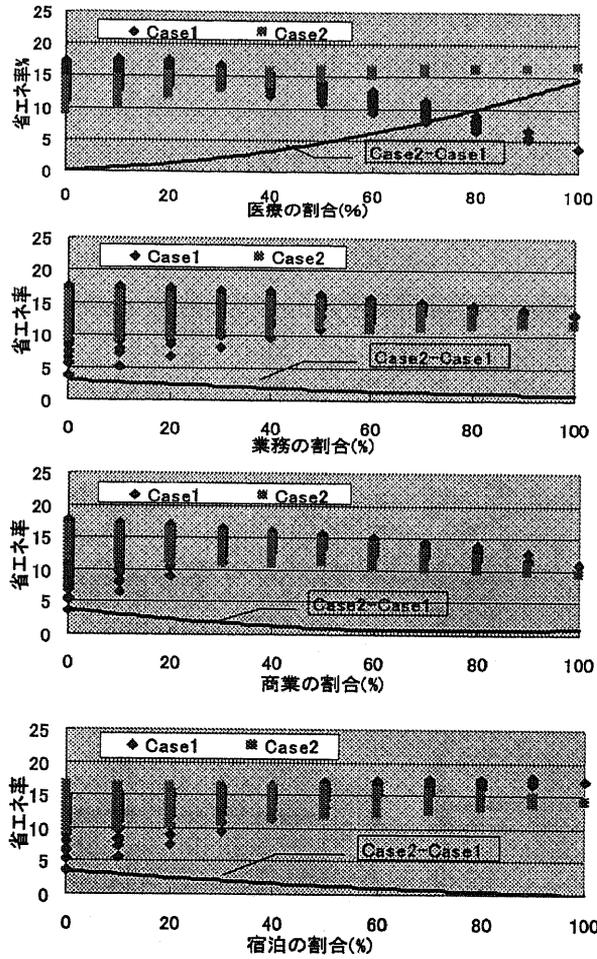


図 5-4.3 用途構成別の省エネ率

熱電比は熱及び電力の需要量だけで求められるので、用途構成によるエネルギーの冷熱比によって省エネ率にも影響があると考えられる。特に、熱電比が0~2の場合にはその差が大きく見られる。(図5-4.4の矢印) 熱電比が0.5~3.4ではいずれのケースでもプラスの省エネ率であり、1.8~2の場合は約22.5%の省エネができると思われる。

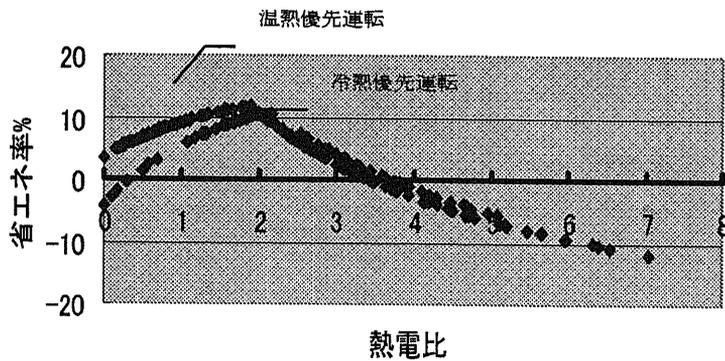


図 5-4.4 蓄電池を熱電比と省エネルギー率

5-4-2 研究対象エリアに導入ケーススタディ

1) 概要

本章では、延床面積が 2,222,630 m<sup>2</sup> である新宿新都心地区(新宿新都心地域冷暖房街区)をケーススタディのモデル地区とする。このエリアは、エネルギー需要密度が大きい超高層のビル群から構成され、既に地域冷暖房システムが導入されていることからその熱供給エリアの面積や熱負荷などの諸データを活用し省エネ性を検討する。新宿新都心地域冷暖房街区の概要は図5-4.5に示す。

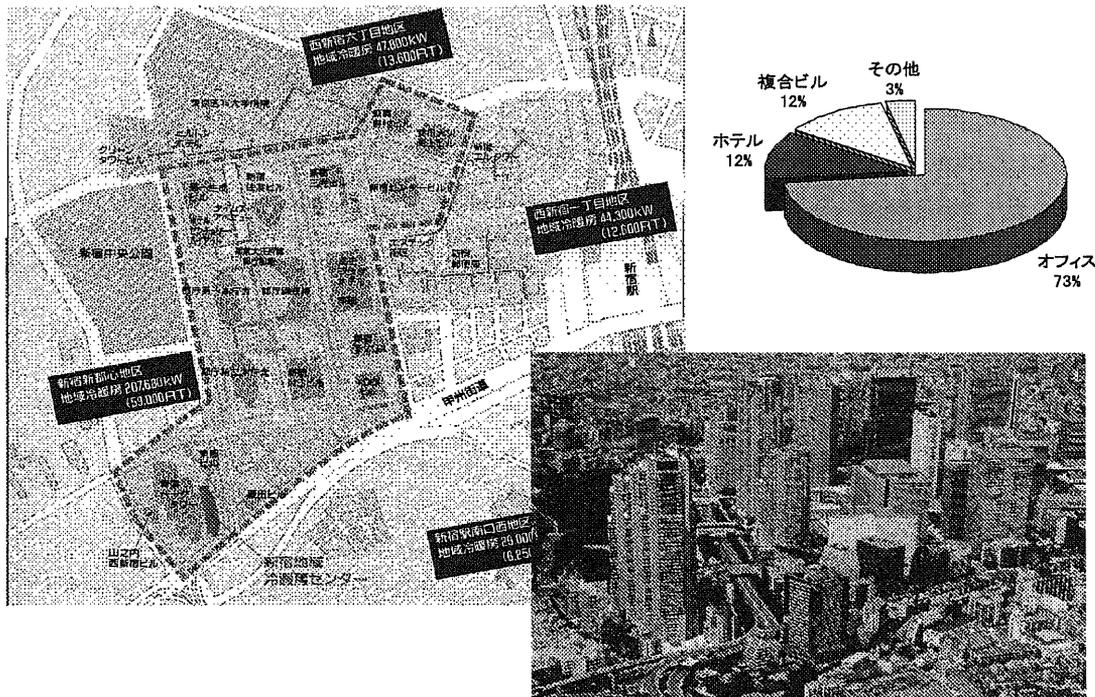


図5-4.5 新宿新都心地域冷暖房街区の概要

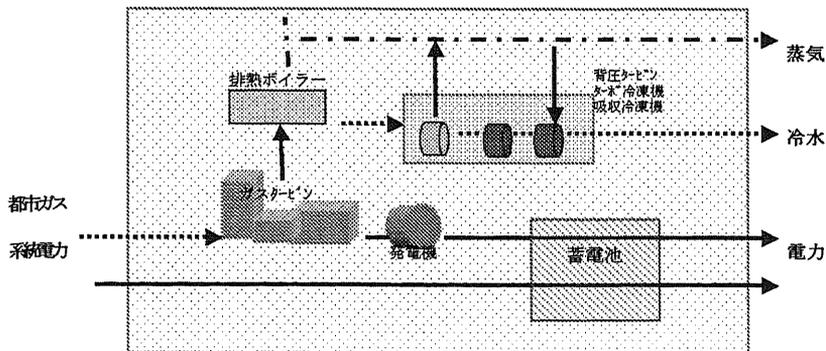


図5-4.6 蓄電池を仮定したプラントシステム

地域プラントは新宿ビルAで設置されており、ビルAへ蓄電池を活用した場合のシステム構成は図5-4.6のように考えられる。新宿新都心地域冷暖房のシステムではガスタービンをういて発電した後、排熱を利用した排熱ボイラから蒸気を供給し、高温の蒸気により背圧タービ、ターボ冷凍機を駆動させ冷熱を生産しているシステムである。また、都市ガスを用い、水管式ボイラから蒸気を生産、供給している。

本章ではビルAのみ電力を供給していることを基にガスタービンの容量は変化せず蓄電池の容量を変化させ、省エネ性を求める。不足分の電力は系統電力に任せる。

2) ケーススタディの結果

建物用途別エネルギー需要原単位および建物延床面積に基づき、各建物用途別合計の最大エネルギー需要量と年間エネルギー需要量を想定した。(表5-4.1)

表5-4.1 エネルギー需要量

	暖房負荷	給湯負荷	冷房負荷	電力負荷
年間合計(Tcal/年, GWh/年)	119.8	112.7	160.1	402.4
ピーク負荷(Gcal/h, MWh/h)	107.8	27.1	115.0	105.7

表5-4.2 冷温比および熱電比

	冷温比	熱電比
夏季	3.85	1.26
中間期	0.67	0.92
冬季	0.03	1.45

表5-4.3 効率設定

発電効率	27.0%
系統電力効率	36.6%
蓄電損失	15.0%
蒸気効率	80.0%

ガスタービンのフル運転状態でもビルAの電力需要量には不足であったため、蓄電池の容量別の省エネ性を求めてみると図5-4.7のようになる。(表5-4.4、図5-4.7参考)

表5-4.4 ガスタービンのフル運転及び蓄電池の容量オープンの時熱・電気需要量

Gwh/年		Tcal/年		
ビルA		ビルA以外	地区全体	
発電	系統電力	系統電力	発電機から蒸気	蒸気不足分
38.9	6.0	357.5	58.2	307.8

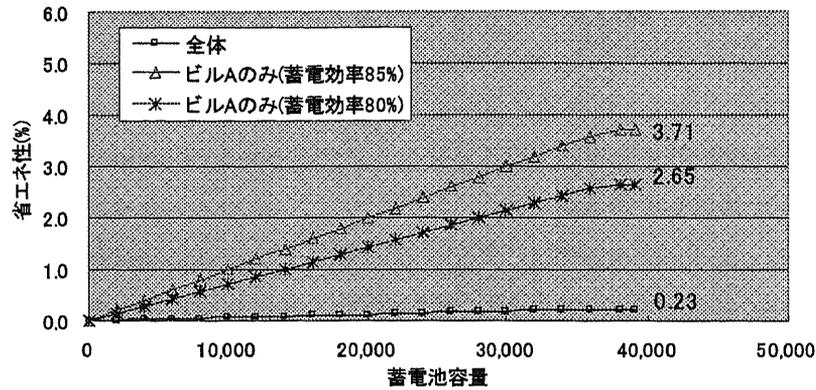


図 5-4.7 蓄電池の活用による省エネ性

3) まとめ

以上、本研究では余剰熱の量を抑えることによるエネルギー使用合理化を図ることを目的とし、熱主運転を基に発電された電力の利用時間を蓄電池の活用によって調節してみた。その結果をまとめると以下になる。

- 4つの用途構成を中心にシミュレーションを行った結果、約0~15%の省エネ率が期待できる。
- 熱電比が0.5~3.4の場合には蓄電池の活用による省エネ率は正の値を示す。特に、熱電比が1.8~2の場合は約12.3%まで省エネが期待できる。
- 既存地域地域冷暖房(新宿新都心街区)を対象とし、ケーススタディを行った結果、ビルAのみ約3.71%、全体約0.32%の省エネ効果があると期待できる。
- 正の省エネ率が期待されるケース(図2、3参考)が多く見られたが、不の値がみられるケースに対してももっと精密にシステムの組み合わせ及び運転方法検討することで改善できると思い、今後の課題とする。

【参考文献】

- 1) 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2002, (社)日本エネルギー学会, 日本工業出版
- 2) 月間「グリーンエネルギー」別冊号, 天然ガスコージェネレーション排熱利用設計マニュアル, 日本工業出版, II\_C-II\_D
- 3) 省エネルギーシステム概論, 田中俊六, オーム社, 2003
- 4) 負荷平準化新手法実証調査最終報告書, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2000.3.

## 第 6 章 低密度地区における個別エネルギーシステムの活用によるエネルギー合理的使用に関する研究

- 6-1 概要
- 6-2 地域における熱需要の密度分析
- 6-3 個別冷暖房システムの状況及び効率検討
  - 6-3-1 実測
  - 6-3-2 CFD 解析対象および評価方法設定
  - 6-3-3 CFD 解析結果
- 6-4 結論

## 6-1 概要

冷暖房方法を大別すると中央集中方式と個別方式になる。近年、コストおよび維持管理の容易性からビルマルチ式個別空調システム（以下、マルチ式システム）が多用されており、中小規模ではその採用の割合が高く成りつつある。また、冷媒管長基準熱需要量が一定水準以下の場合、中央集中方式および地域熱供給より高い効率も期待できるとされている。

マルチ式システムに関する研究は様々な形で行われており、性能評価或いは室内環境形成を中心とした研究が多く見られる。しかし、熱・風の移動による室内環境形成および満足に関する考察は別の問題として扱っており、性能評価も機器自体に対する評価に限っている。機器の性能向上に関わるエネルギー評価として、機器周りの熱・風環境の影響を分析・考察する必要があり、機器のみを評価することでは不十分である。

特に、設置されている機器を更新しない場合、運転方法によってシステム自体の効率を高める必要がある。従ってシステムの性能を高めるためには、ショートサーキット現象（吹き出す空気のショートサーキットの影響により、周辺平均温度より低い温度が吸込まれる現象。空調能力が低下する）の評価が不可欠である。

本稿ではマルチ式システムを運転する時、熱交換特性と COP の関係を明らかにすることを目的とし、まず実測を通じて実際の COP やデータを収集、そのデータを基にして CFD 解析（3次元流体解析）を行って室内環境形成の特徴を把握、冷房メカニズムについて分析した。そこでショートサーキット現象を改善した場合、期待される COP を算出した。

## 6-2 地域における熱需要の密度分析

## 6-3 個別冷暖房システムの状況及び効率検討

## 6-3-1 実測

## 1) 研究の流れ

まず、東京の気象データを資料により調査した後、室内外の室温に対して実測を行い、マルチ式システムの室内温度調節パターンを分析すると共に、電力消費量を測る。ショートサーキット現象による COP の変化を把握する際、その基準になる COP を算出し、室内・外の温熱環境等のシミュレーションに必要な情報を得ることとする。また、ショートサーキット現象を改善した場合、期待される COP を算出する。

このデータを用い、実測で測りにくい部分はシミュレーション(CFD 解析)を行い、ショートサーキット現象が起っている特徴を把握する。運転方法および吹出し空気の室内冷却効果による COP 変化状態を調べることにする。

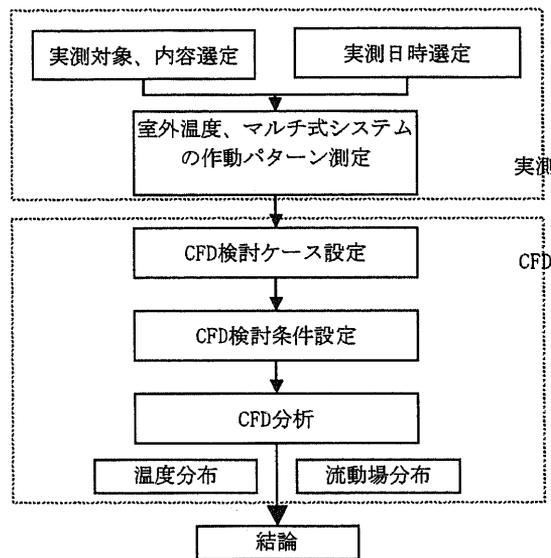


図 6-1 研究の流れ

## 2) 施設・および測定方法

マルチ式システムの熱交換特徴を把握する基礎作業で、まず夏季の平均気候を調べた。東京周辺の8月平均温度  $28.3^{\circ}\text{C}$ <sup>1)</sup>に近いと考えられる8月23日、床面積約  $204\text{ m}^2$ の施設を検討対象とし、室外温度測定と共にマルチ式システムの作動パターンを測った。COPを把握するため、熱の移動量を得ることに必要な温度差、湿度差、風速を用いて風量などのデータを測定した。

また消費電力を測定、COPを算出した。

## (1) 室内

マルチ式システムはシステムの効率や比較的広い室の室温制御の便利性を高めるため、数個のマルチ式システム(以下、室内に設置されているものは室内機とする)をゾーン形態で使用する。すなわち、数個の室内システムは数個の屋上室外機につながれて稼動しており、同じ配

電盤および制御線を使用している。

図6-2は同時に稼動する7個の室内システムの室内配置図で、現在、区域により3個の室に分け、各々120㎡、56㎡、28㎡の室で4台、2台、1台ずつ設置されている。

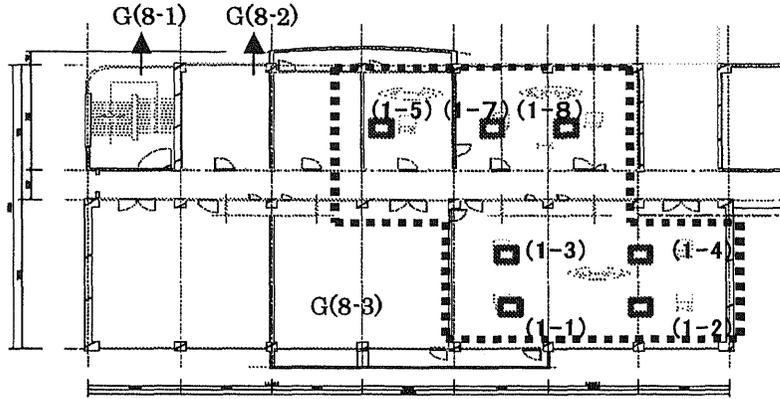


図6-2 室内機の室内配置図

測定の便利性のため、各室の名称と室内システムの番号は図-2のように付与した。

表6-2 室および室内機番号

室番号	G(8-1)			G(8-2)			
室内機番号	(1-5)	(1-7)	(1-8)	(1-1)	(1-2)	(1-3)	(1-4)

(2) 屋外

屋上に設置される室外機の全体配置を図-3で示す。その中で測定対象とした室内システムと連結する室外機は四角い表示がある所に位置し、全部で4台で構成されている。その室外機にも図6-3に示したようにそれぞれ番号を付与した。

測定基本事項は室内と同様にした。

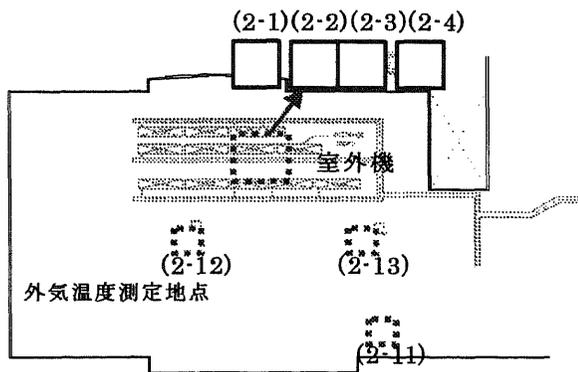


図6-3 屋上平面と室外機の位置

前述の通り、温度、湿度、風速などの測定の基本事項および用いた熱電対、湿度センサー、風速センサーとデータログは表6-3に示した。

表6-3 室内・屋上装置内容

	室内	屋上	機器	
温度	吸込7点	吸込4点	T 熱電対 & データ ログ <sup>(1)</sup>	設置状 態 維持
	吹出7点	吹出4点		
	室内温度1	屋上温度3点 (図-3に示す)		
	室外温度1			
湿度	吸込1点	吸込1点	湿度センサー <sup>(2)</sup>	
	吹出1点	吹出1点		
	室外湿度1点			
風速	吹出風速	吹出風速	風速センサー	

(1) T熱電対;T-cc(測定範囲 0~400℃の場合 ±0.02%rdg±0.2℃、分解能0.1℃)、データログ;キャダック21

(2)湿度センサー;HN-L18(DC 1.5~2.5V/0~100%RH)

(3)風速センサー;V-01-AND2h(0.1m/s~20m/s、±(5%+0.1 m/s))

その時、一定の室内温度を維持した状況で、マルチ式システムが比較的安定している運転パターンである時間帯を選択し、消費電力と共に測定した。

### 3) 実測結果

#### (1) 室内

東京地域の夏季、昼間最高気温および平均気温と一番類似している日を選定し、室内と屋上に設置されている機器の運転状況を考察した。

図6-4は室内設定温度を27℃、吹出し角度は45°に設定した時、各室の室内機器ごとの温度を示したものである。(1-#)は室内機の番号であり、[吹]は室内機の吹出し温度、[吸]は室内機の吸い込み温度を示す。

各室内で設置されているシステムの風量は室内制御パネルにより1分当各々13m<sup>3</sup>、15m<sup>3</sup>、12m<sup>3</sup>で設定しているが(風量を[強]に設定した時)、相当な温度差が見られる。一つの室内サーモスタットによって調節されているが、運転パターンはそれぞれ違うことがわかる。室内設定温度を27℃に設定した場合、吹き出す温度は最低約15℃、最高約25.5℃であり約10.5℃の温度差が見られ、吸い込む温度は約24~28℃範囲で分布している。

そこで各々に対して熱移動量を求めることにする。

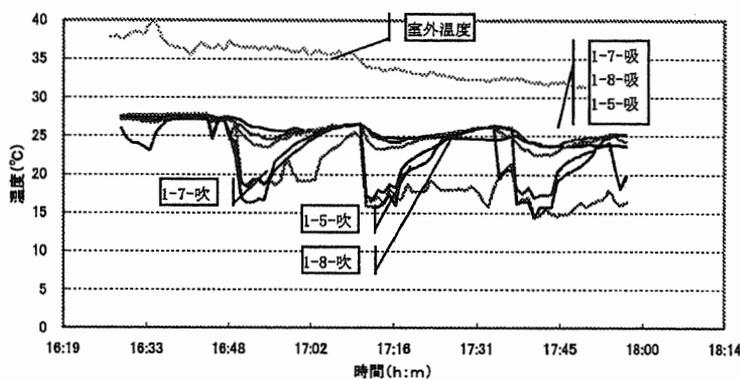
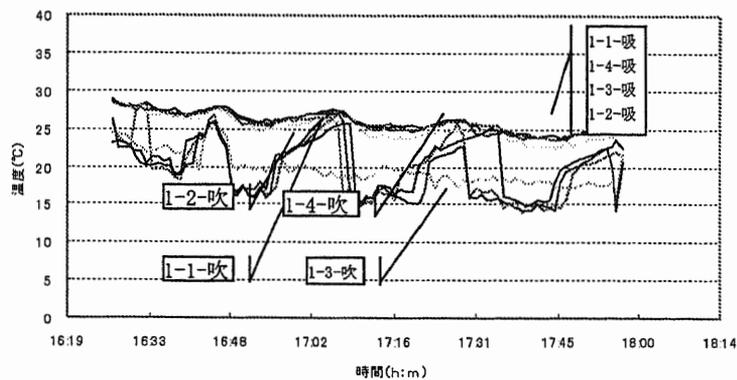


図 6-4 室内室内機温度変化状態および室外温度

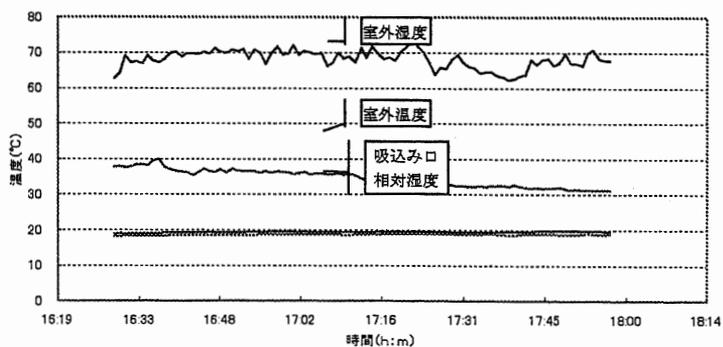


図 6-5 室内機湿度変化状態および室外湿度

また、室外相対湿度は 68%で、比較的高い数値が見られる反面、室内の湿度は 20%前後である。

(2) 屋上

室外機での排気や吸い込み温度の変化の様子は図 6-6 の通りで、各室外機によって吹き出し

温度は異なり、同時で最高約5℃、最低約0.2℃の差がみられ、必要冷却量により各々の運転状態が異なることがわかる。室内機のように室外機の場合にも、運転パターンはそれぞれ違うことがわかる。

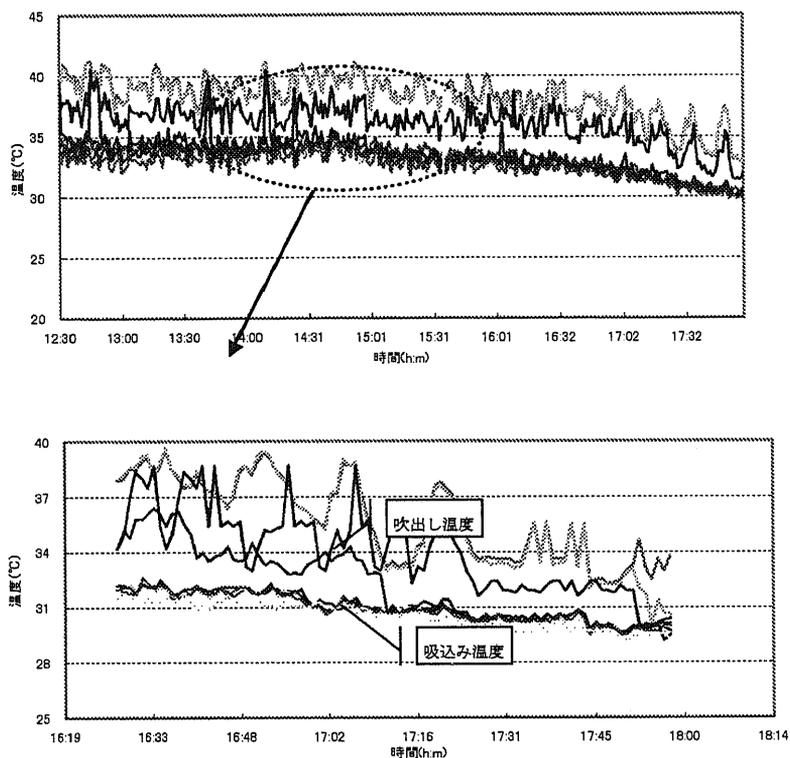


図6-6 室外機の吸込・吹出温度

4) COP の算出

COP は式 1、2 を用いるので、室内機側あるいは屋上室外機側、いずれかで算出が可能である。本稿では両方で COP 値を求めてみた。

A)  $Q1=Q2+E$  ..... (1)

$COP=Q2/E=(Q1-E)/E=(Q1/E)-1$  ..... (2)

Q1 ; 室外機での移動熱量

Q2 ; 室内機での移動熱量

E ; エネルギー消費量

B) 仕事・エネルギー・熱量  $1kwh=860kcal=3.6 \times 10^6 J$

C) 湿空気線図 (psychrometric chart) により ..... (3)

顕熱 $q_{cc} = 1.005G(t_2-t_1)$  [J/h]

$q_{cc}$  ; 冷却量 [J/h]

$G$  ; 空気量[J/h] (空気比重  $0.0013\text{g/cm}^3$ )

$t_2$  ; 吸込み温度[°C]  $t_1$  ; 吹出し温度 [°C]

潜熱  $q_{cc} = 2499.07G(X_2 - X_1)$  [J/h]

$X_1$  ; 吸込み絶対湿度 [kg/kg(DA)]

$X_2$  ; 吹出し絶対湿度 [kg/kg(DA)]

本室外機は空冷式だが、除湿により潜熱の除熱分があると考えられ、顕熱・潜熱に分けて移動した熱量を算出した。約2時間の間、移動した熱量は式1によって約67,545kJ(表-4)で、その時消費電力量は約5.97KWだった。すなわち、室内を基準とし算出するCOPは3.14である。

表6-4 移動された熱量

屋番号	G(8-1)		G(8-2)		G(8-3)				計
室内機番号	(1-5)	(1-7)	(1-8)	(1-1)	(1-2)	(1-3)	(1-4)		
顕熱	7247.0	4752.7	4141.5	9533.5	8185.4	9827.2	7803.4	51490.7	
潜熱	2269.0	1851.8	1637.4	2703.0	2441.1	2812.8	2339.8	16054.9	

同時に、室外機を基準とし求めたCOPは3.32である。これは通気式装置を用いて温度を測ったが、室内機と比べると、完全に除去されなかった日射影響など実測上の誤差があると考えられる。そしてシステムのCOPは3.14~3.32と考えられる。

5) 温度調節パターン

(1) 温度調節状況

室内設定温度を 26°C、27°C、28°C と設定し、11:00~17:00 まで 1 分ごとに測定した。実測を行った室 G(8-3) の約 500 データのうち、吹出し温度の出現頻度の結果を図 6-7(-1、-2、-3) に示す。主に 13~15°C の吹出しと 24~27°C の吹出し空気によって温度調節が行われていることが分かる。特に、低温分布は一定の温度範囲内である反面、高温分布は設定温度より 1~2°C 程度低い範囲で分布し、26°C に設定した時 24~25°C、27°C に設定した時 25~26°C に分布する。28°C に設定した時 26~27°C の割合は高温側の約 76% 前後となる。

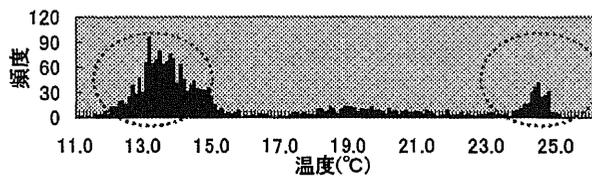


図 6-7-1 吹出し温度頻度(室内温度 26°C 設定)

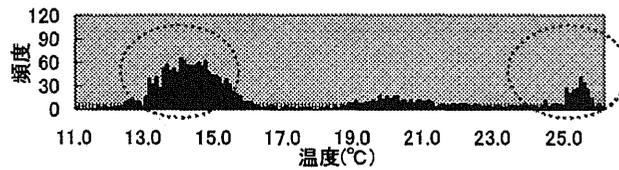


図 6-7-2 吹出し温度頻度(室内温度 27°C 設定)

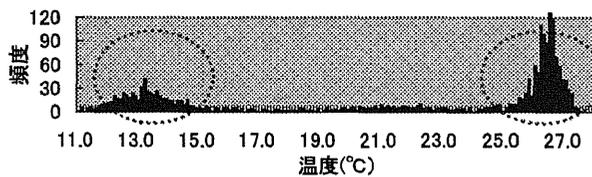


図 6-7-3 吹出し温度頻度(室内温度 28°C 設定)

(2) ショートサーキット現象と COP

ショートサーキット現象がどのぐらい起こっているのかを知るため、室内温度設定 27°C のケースを中心として分析した。

室内設定温度を 27°C にしたが、実際室内平均温度は 27°C より低い或は高い場合がある。吸込み温度が室内設定温度或いは室内平均温度より低い場合を「ショートサーキット」現象と考え、そこで、室内機の吸込み温度を平均室内温度と比べ、以下・以上に分けた。その時、吸込み・吹出し温度の分布と頻度を示してみた。そしてショートサーキット現象を解消した時を仮定し、COP を求めた。

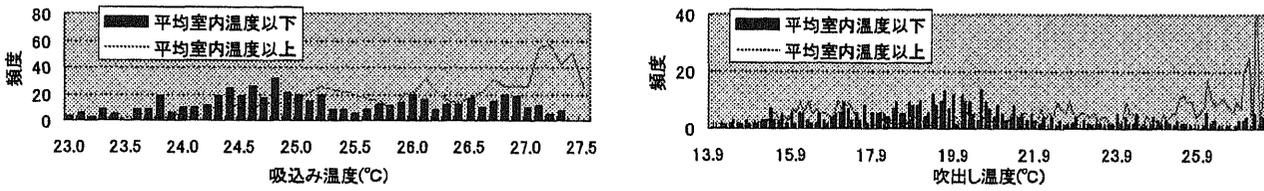


図 6-8-1 吸込み温度—吹出し温度の出現頻度

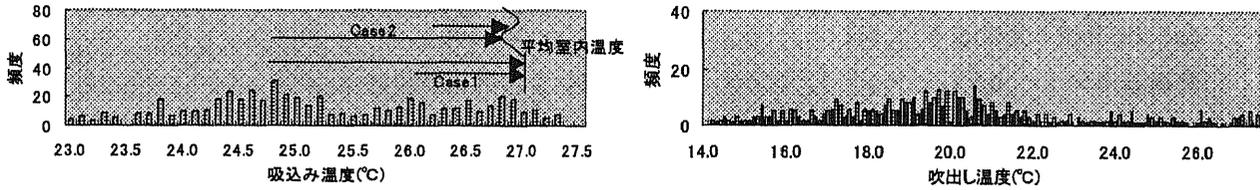


図 6-8-2 吸込み温度が平均室内温度以下の場合

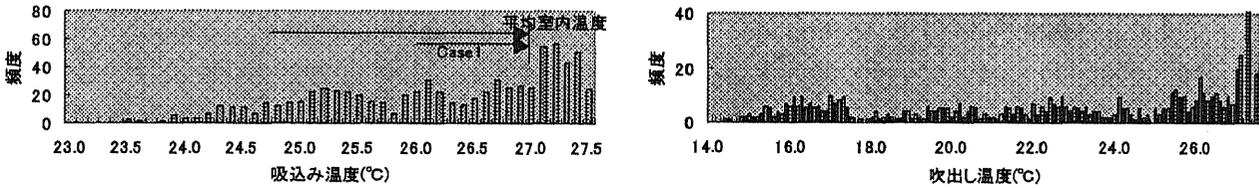


図 6-8-3 吸込み温度が平均室内温度以上の場合

図6-8-1はその分布図であり、図-8-2と8-3はシミュレーションを行ったCaseを表示する。Case1は吸込み温度を室内設定温度(27°C)まで全般的に順次に段々上げた場合(最大、5°Cまで上げられる)、Case2は平均室内温度以下を示した吸込み温度を平均室内温度まで段々上げた場合である。

この点で、27°C以下の吸込み温度を27°Cまで順次的に上げて室内機のCOP変化状態をみると、図-9のようにCOPは約4まで上げられる(Case1)。Case2のようにショートサーキットと考えられる温度だけ上げると3.29まで上げられる。

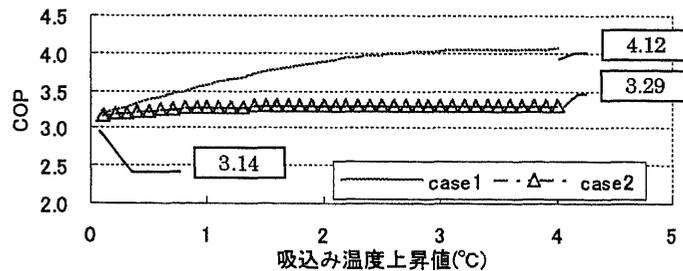


図 6-9 吸込み温度上昇による COP 変化

3-3-2 CFD 解析対象および評価方法設定

1) 検討ケース

冷房メカニズムをより正確に把握するため、実測を行った室 G(8-3)を基に図-10 のように再現し、実測結果を用いて吹出および吸込の温度と湿度、室内機の運転状況などの諸般事項を設定した。室内初期温度と湿度は外気と同じ 32℃、68%に設定する。室内冷房設定温度は 27℃である。

室の熱負荷は事務所の設定とし、人数は  $120 \text{ m}^2 \times 0.1 \text{ 人/m}^2 = 12 \text{ 人}$  (62.79 W/人)、25, 30 cmの内・外壁の熱通過率(2.151 W/[m<sup>2</sup>・k])、12 台のコンピューター(1,628 W/台)、窓の熱通過率(6.61 W/[m<sup>2</sup>・k])、窓からのすき間風による外気負荷(2,659 W ; (式-4の結果)参考)等 2)を設定した。

図-12 での 1~4 の室内機の位置を示したものである。また、図-13 での断面図の方向を示している。

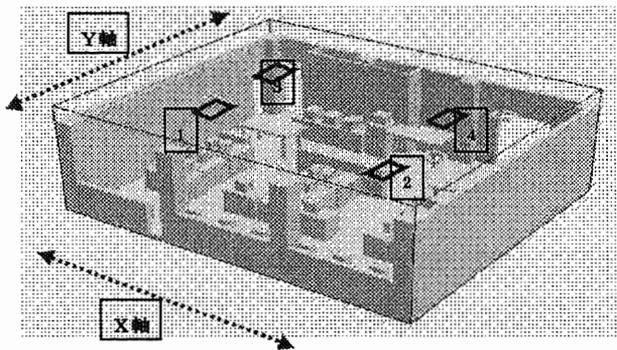


図 6-10 シミュレーションモデリング

$$\text{(式 3) から } 1.005 \text{ (J/kg} \cdot \text{°C)} * \text{空気比重量 } 1.2 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 0.29$$

$$2499.070 \text{ (J/kg)} * \text{空気比重量 } 1.2 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 716$$

であり、窓からのすき間風による外気負荷  $H_{II} = H_{is} + H_{ij}$

$$Q: \text{風量 (m}^3\text{/h)} = B * A \text{ (面積法)}$$

$$B: \text{窓からのすき間風の風量} \quad [\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h}]$$

$$A: \text{窓の面積} \quad [\text{m}^2]$$

$$\text{そして、 } Q = B * A = 7.4 * (3 * 3 * 2.1 + 2 * 1.2 * 2.4) = 182.48$$

$$(t_o - t_i) \text{ の平均値 (実測値から)} = 5.69 \text{ °C}$$

$$x_o = 0.0196 \text{ kg/kg}$$

$$x_i = 0.0044 \text{ kg/kg}$$

$$\text{を代入すると、 } H = H_{is} + H_{ij} = 9,573.5 \text{ J/h} \quad \dots (4)$$

$$= 2,659 \text{ W}$$

室内空気の物性値は表6-5である。

表6-5 空気の物性値設定

パラメータ	重力	密度	熱伝導係数	熱膨張係数	比熱
Input	z 軸 -9.8m/s	1.187 kg/m <sup>3</sup> · sec	0.026 J/m <sup>3</sup> · sec · k	0.003124 K <sup>-1</sup>	1003.0 J/kg · k

シミュレーションの結果はX、Y軸およびそれぞれ4つの室内機周辺熱気流移動の様子を中心とし、分析した。

2) 条件設定および評価方法

ショートサーキット現象のCOPへの影響の時間的推移を把握するため、吹出し量に対する吸込み量の時間的遅れを把握することが必要であるが、空気特性（拡散、混ざりなど）上、空気量を量るには技術的な制約がある。そこで、本稿では粒子のかたちで移動率を調べてみることにする。図6-10のように1~4と名前が付いている各室内機の吹出し口は4つずつあり、総計16口である。

一口で20個の粒子を初期設定し、一度に全部放出する。吹出し後の移動経路をみる。（図6-11参照）

また、吹出し角度を天井面から30°、45°、60°に設定し、それぞれの20分後の気流および温度分布の様子をみることにする。（図6-12、13参照）

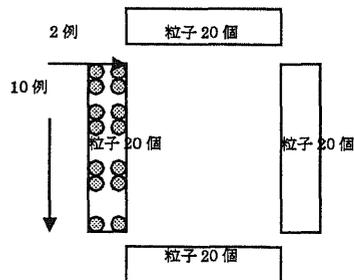


図6-11 吹出し口の粒子設定

また、吹出し境界条件として吹出し部面積および室内機の風量（メーカーの機器諸元表による）から吹出し風量を12m<sup>3</sup>/分(0.2m<sup>3</sup>/s)なる風速を吹出し角度を考慮し設定した。

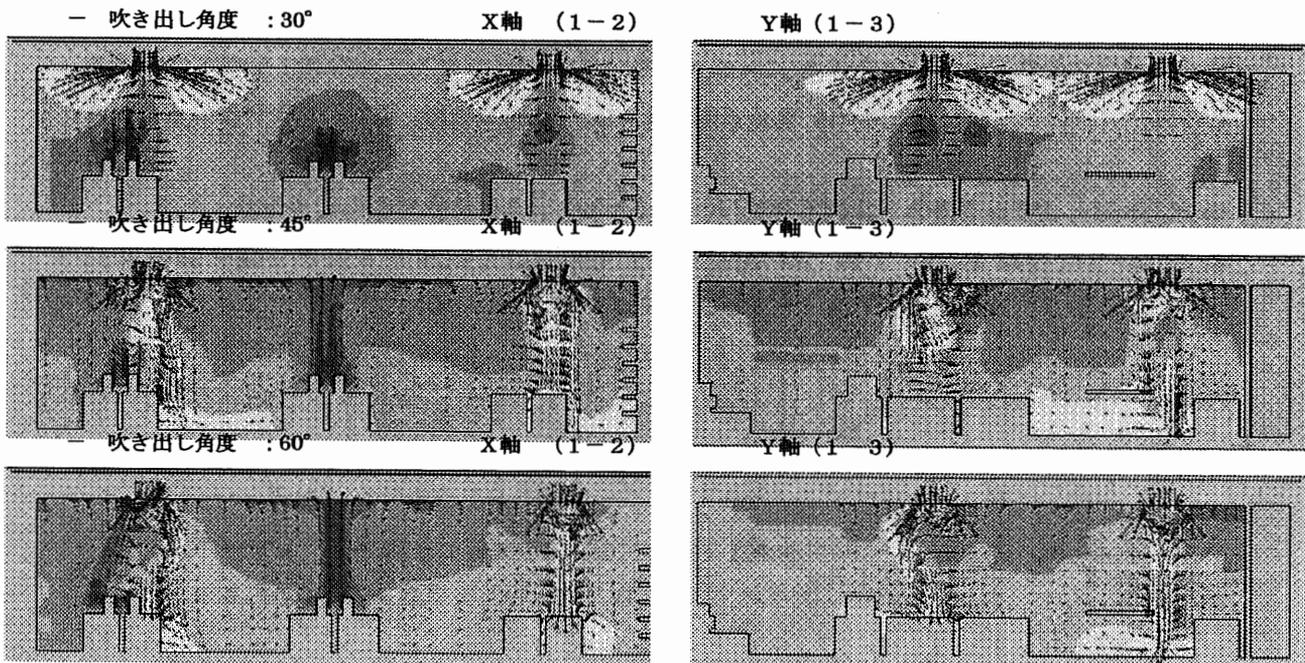
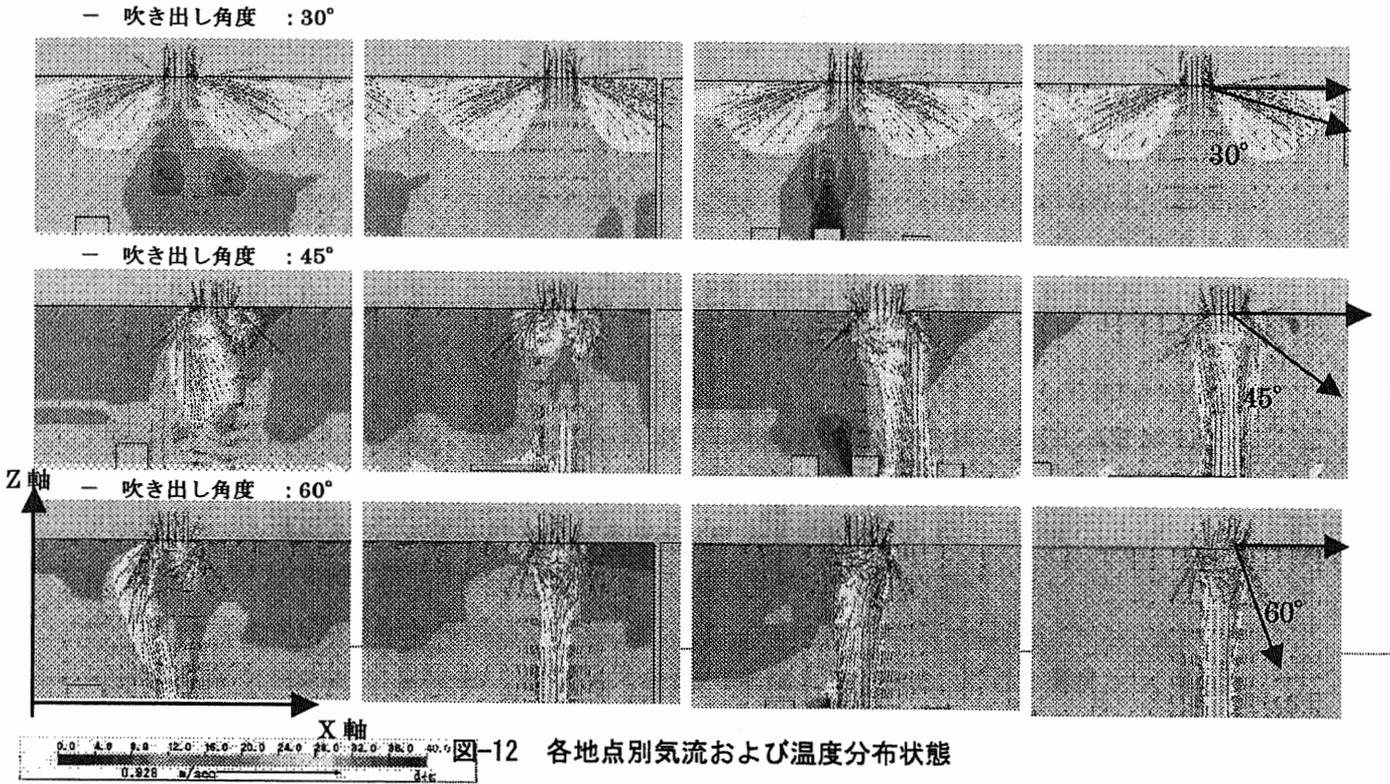
## 6-3-3 CFD解析結果

## 1) 室内温度および気流分布

図6-12は4台の室内機別に吹出し角度による温度分布の状態を示したもので、天井面から吹出し角度が $30^\circ$ より $60^\circ$ のものの方が、下降気流が強いことがわかる。吹出し角度を $30^\circ$ で設定したものは天井部分から冷却され、大きい円を画きながら吸込みに吸収されている。 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ で設定されたものより早く吸収される量が少ないと考えられる。また、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ で設定したものより下降・上昇気流が弱く、床面まで到達する冷却気流の量が少ないので室内平均温度より天井部分の温度が低い。

$60^\circ$ で設定されたのは吹き出す部分の下降気流が強く、天井部分はあまり冷却されない様子がみられる。さらに吸い込みに向かう上昇気流に混ざり、室内空気を冷却させずに吸収されてしまう。これは図6-12でよく見られるように角度が大きくなればなるほど、室内機がある地点の下降、上昇気流(矢印)すべてが強くなるがわかる。

$45^\circ$ の場合は $30^\circ$ と $60^\circ$ の中間的な性格を持っていると考えられる。天井付近はあまり冷やさないが、全盤的に温度分布も均一で、上昇気流と下降気流もあるが $60^\circ$ よりは強くない様子がみられる。



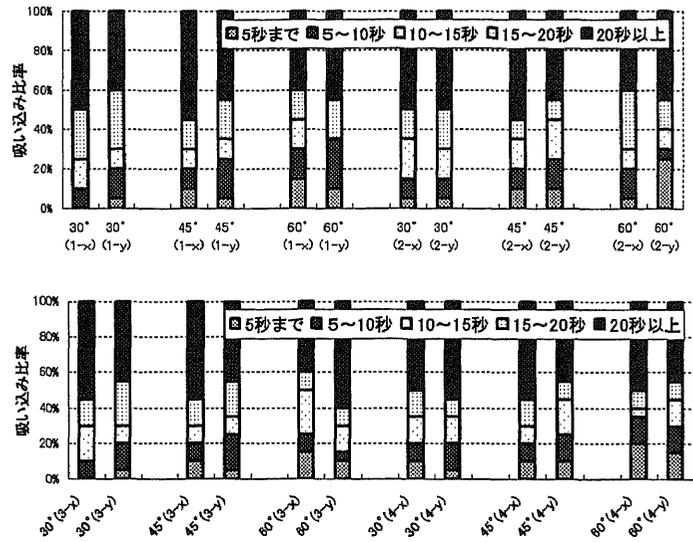


図6-14 各地点別吸込み率

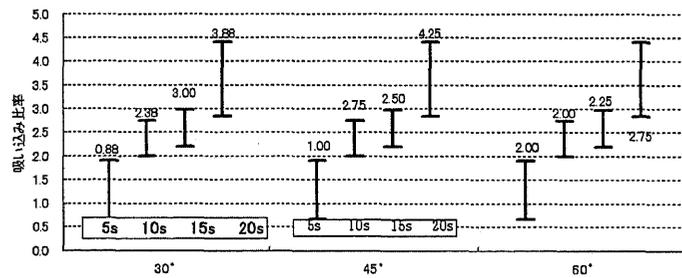


図6-15 各地点別吸込み率(各地点平均値)

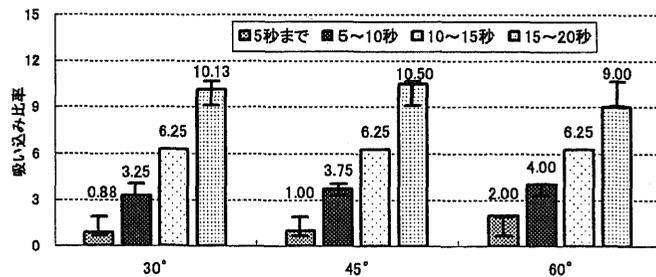


図6-16 各地点別吸込み率(各地点平均値の累積)

2) 吸込み比率

吹き出された空気が20秒まで、どのぐらいの量が吸い込まれるのかを調べてみた。

図6-14は一つの吹出しの中で粒子20個を設定し5秒ごとに吸い込まれた粒子数を示したもので、1~4と名づけている各室内機の中央部分を基準としてX軸、Y軸(図6-10参照)にわけられており、(1、2、3、4-x、y)で表現する。20個を100%とみると20秒まではすべてのケース

で、50%程度が吸収されることがわかる。30° に設定したケースでは初期5秒にはあまり吸収されてないが、10秒以上で吸込み量の増加率が高い。60° に設定したのは初期5秒と15秒以後、吸収される量がほぼ同じである。

しかし累積値、すなわち20秒まで吸収される全体量は目立った差は見られない。

図6-15は各地点別に吸い込み率を図-14に表現された値の平均値を基準として、標準偏差1でみたものである。図6-15、16は累積値で示したものである。平均値は表示されている数値で、60° の場合、初期5秒吸収される粒子は30° の場合の約2倍であるが、どんどん差が少なくなり、最後5秒には逆に約2/3ぐらいである。そして累積図で見ると15秒まで吸収される総量はほぼ同じ数値であるが、20秒までは30° の場合の吸込み率が高い。

そこで冷却空気が何秒までで室内平均温度に到達するのかが問題となる。もし室内の空気は混ざり、吸込まれる15秒までで吹出し空気が室内平均温度に到達するなら吹出し角度が30° の場合が一番有利である。5秒以内でも熱を奪う能力が大きい場合、あるいは15秒以後、できれば長い時間を吸収されない場合は60° で設定されたほうが有利である。

### 3) 吸込み率とCOPの関係に関する分析

本実測では吹出し角度を45° に設定した場合、COPは3.14だった。これを基準とし、図6-16のように吸込み率が変化する場合のCOPを求めてみることにする。

まず、吹出しの冷却空気と室内空気の熱交換メカニズムが明確でないため、粒子1個が吸込まれる20秒まで粒子のエンタルピ増加の傾向を図6-17-1,2のようにCase1,Case2で設定した。直線の形で粒子1個のエンタルピが増加する場合をCase1、ゆるやかなカーブの形で変化する場合をCase2とする。

つぎに、粒子1個が空気から得るエンタルピについて任意の4つの値を仮定し、図6-16の吸込み粒子数を考慮して時間別総合エンタルピを求め、図6-17を描いた。Case1はCase1-1,2,3,4に、Case2はCase2-1,2,3,4に分けて示した。粒子1個が空気から得るエンタルピで、他の任意の値を仮定すると、計算結果は各々4つの図を結んでいる実線になる。

そして最後に、8つCase (Case1-1, 2, 3, 4, Case2-1, 2, 3, 4) について吹出し角度45° のCOPを基準とし、吹出し角度30°、60° の場合のCOPを求めた。

その結果、どのCaseに対してもCOPは3.14以下を示し、基準になった吹出し角度(45°)に設定した場合よりCOPは低い。粒子1個当たり室内空気から得たエンタルピを高く設定するほど、ある程度差はあるが、COPの差は大きくなる。COPは吹出し角度45°、30°、60°の順に高いと言える。

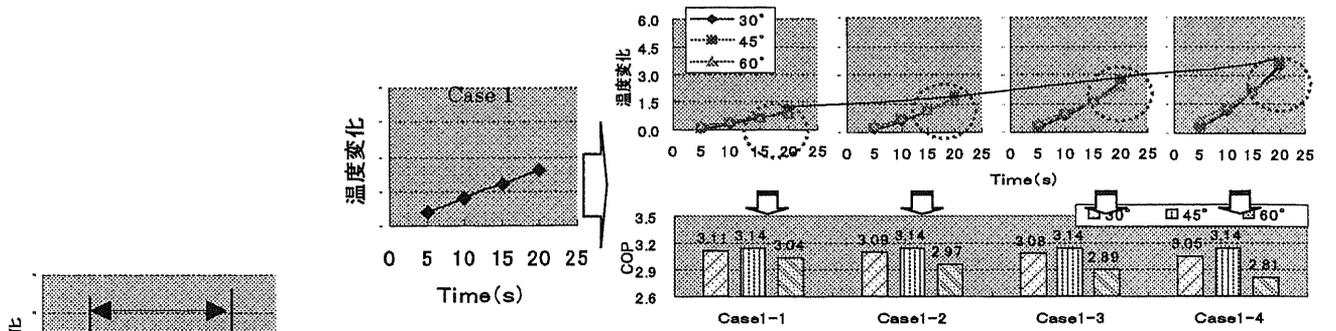


図 - 17-1 時間変化における粒子 1 個当りの吸収熱量算定 1

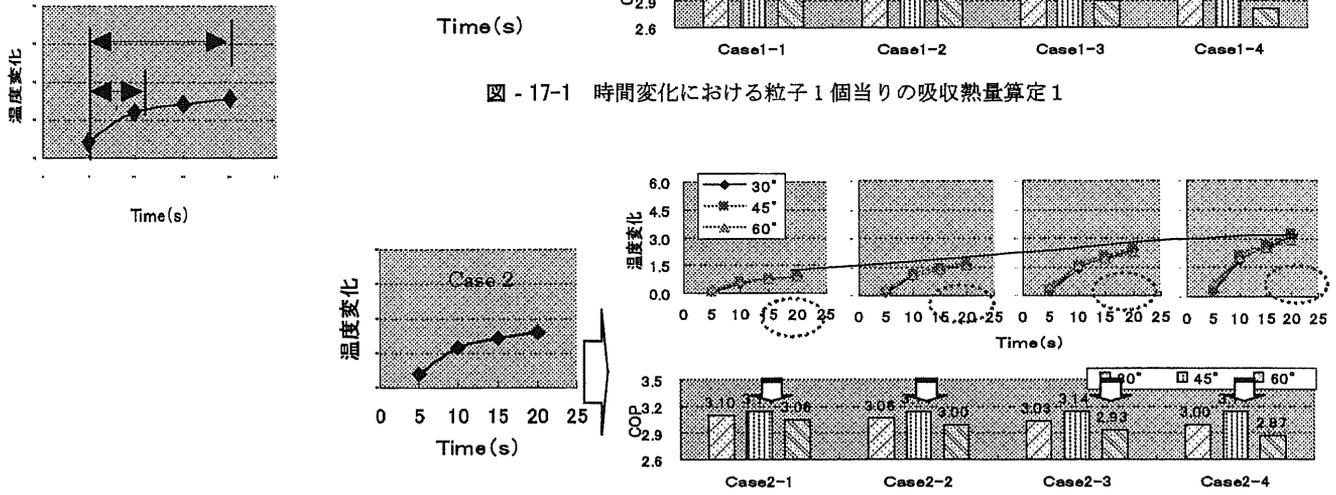


図 - 17-2 時間変化における粒子 1 個当りの吸収熱量算定 2

### 3-4 結論

以上、室内に設置されたマルチ式システムに関する冷却能力とショートサーキット現象についての結果をまとめると以下になる。

実測の結果、

・ 個別冷房システムであるマルチ式システムは外気温度 32℃、湿度 68%、室内設定温度 27℃ の実運用環境下で、COP は 3.14~3.32 であった。

・ 各吹出し角度による気流および温度分布特性がわかった。(図 6-12、図 6-13 参照)

・ 吹出し角度が大きいほど上昇・下降気流が強くなり、すぐ吸込まれる量も大きくなるが地面までの冷却効果が高いと考えられる。

・ ショートサーキット現象を完全に改善した場合、COP は 3.29 まで期待できる。

また以上を踏まえて、CFD、シミュレーションを行った結果、

・ 吹出し角度を変化させながら時刻別に吸込み率をみると、最初は 60° 45° 30° の順、最後 20 秒までは 45° 30° 60° の順である。

・ 吹出し角度 45° の COP 3.14 を基準として 30° 60° の COP を求めると 3.14 以下になる。COP は吹出し角度 45°、30°、60° の順に良い。

最後に特記するが、本研究では考慮していない人間の熱快適感での評価とショートサーキット現象の改善を両立した最適条件を調べるのが、今後の大きな研究課題である。

【参考文献】

- 1) 東京の気象データ, 気象庁, 2001・2002 年気象年鑑、気象業務支援センター, 東京の気象データ (2001・2002)
- 2) Su Sungzik, 建築設備, 一進社, 1997.01, pp.225～236
- 3) ASHRAE, ASHRAE Handbook—1993 Fundamentals
- 4) Suhas V. Patanka, Numerical heat transfer and fluid flow, Hemisphere Pub. Corp, 1988

## 第7章、将来的な地域エネルギーシステムの導入効果に関する研究

7-1 概要

7-2 機器効率の将来的変化予測

7-3 効率性評価指標による首都圏における地域エネルギーシステムの導入効果

7-4 熱源機器効率による有効熱源の変化

7-5 適正発電容量における安全性の検討

## 7-1 概要

## 7-2 機器効率の将来的変化予測

第2章の表2-5. 7でCGS機器効率と受電端効率一覧を示した。Case2、Case4の受電端効率を0.4で設定する。

受電端効率0.40という値であるが、古い（低効率の）火力発電所の更新時には、ACC等の高効率の設備に更新されている。現在の受電端効率0.36<sup>1)</sup>~<sup>3)</sup>から0.40に上昇するには、既存火力発電所の最新設備への更新が必要であり、そのためにはかなりの時間を要することは必然である。本研究では、受電端効率が0.40に上昇する年を2025年と試算設定した。なお、分散型エネルギーシステムのグランドデザインは何年先を見据えているのかという具体的な設定は行っていない。大まかな数字で表現すると、100年後を見据えたものである。しかし、現実的に考えて、100年後の機器性能等の詳細設定を行うことは不可能であり、機器効率等については、現在から約20年先を見据え設定している。ただ、2025年の都市形態や機器性能は、必ず100年後にも通じていくと考えられ、本研究で示したグランドデザインは20年後あるいは100年後の流れを示しているという位置付けとなる。

表7-2. 1 東京電力発電量<sup>3)</sup>

		1970	1975	1980	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
		昭45	昭50	昭55	昭60	平2	平7	平8	平9	平10	平11	平12	平13	平14	平15
水力	発電量 億kWh	111	106	112	112	126	127	127	137	138	130	137	137	125	126
	割合 %	14.4%	11.1%	9.1%	8.8%	5.7%	5.1%	5.0%	5.3%	5.4%	4.9%	5.2%	5.3%	5.0%	5.4%
火力	発電量 億kWh	652	801	859	969	1,318	1,296	1,226	1,238	1,151	1,230	1,315	1,218	1,492	1,812
	割合 %	85.2%	83.9%	70.0%	58.7%	59.5%	52.0%	48.7%	48.2%	45.1%	46.6%	49.5%	47.4%	58.8%	77.5%
原子力	発電量 億kWh	3	47	256	589	771	1,069	1,166	1,194	1,261	1,283	1,204	1,215	920	399
	割合 %	0.4%	5.0%	20.9%	34.5%	34.8%	42.9%	46.3%	46.5%	49.5%	48.5%	45.3%	47.3%	36.2%	17.1%
自社発電 億kWh		766	954	1,227	1,650	2,215	2,492	2,519	2,569	2,550	2,643	2,656	2,570	2,537	2,337
他社発電 億kWh		119	162	214	226	273	337	349	356	353	290	362	329	389	449
融通 億kWh		-8	12	9	-25	-7	44	41	85	113	134	116	172	202	240
揚水用電力量 億kWh		-21	-2	-11	-30	-60	-81	-89	-98	-92	-72	-77	-76	55	-29
発受電計 億kWh		858	1,126	1,439	1,821	2,421	2,792	2,821	2,913	2,924	2,995	3,057	2,995	3,073	2,997
発電所	所内用 億kWh	31	36	49	69	91	103	105	105	103	104	102	98	95	94
	所内率 %	4.0%	3.7%	4.0%	4.1%	4.1%	4.1%	4.2%	4.1%	4.0%	3.9%	3.9%	3.8%	4%	4%
送電端供給力 億kWh		827	1,090	1,390	1,752	2,330	2,689	2,716	2,808	2,821	2,891	2,995	2,897	2,978	2,903
総合ロス率 %		10.0%	9.2%	8.9%	9.2%	9.2%	8.9%	8.8%	8.9%	8.7%	8.4%	8.0%	8.0%	8%	8%
送配電ロス率 %		6.5%	6.1%	5.5%	5.5%	5.4%	5.2%	5.1%	5.3%	5.2%	5.0%	4.7%	4.7%	5%	5%
需要(販売)電力量 億kWh		773	1,022	1,311	1,653	2,199	2,544	2,574	2,654	2,670	2,742	2,807	2,755	2,819	2,760

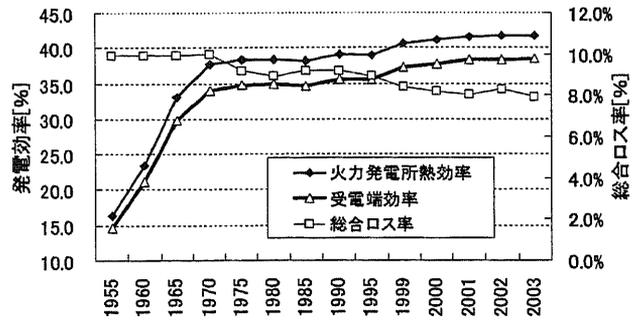


図7-2.1 火力発電所諸効率<sup>3)</sup>

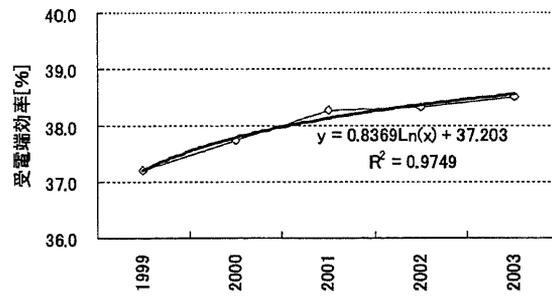


図7-2.2 受電端効率の変遷<sup>3)</sup>

7-3 効率性評価指標による首都圏における地域エネルギーシステムの導入効果

1) トータル COP

第3-3章の地域エネルギーシステムや受電段の現効率を用いたシミュレーション結果を示したが、ここでは将来的な観点でCGS容量を変動させた場合のトータルCOPの動向を検証評価していく。また、参考として、電気式 (HP) システムと個別式 (PAC) システムの値を示しておく。結果はCASE②からCASE④の順序で示す。

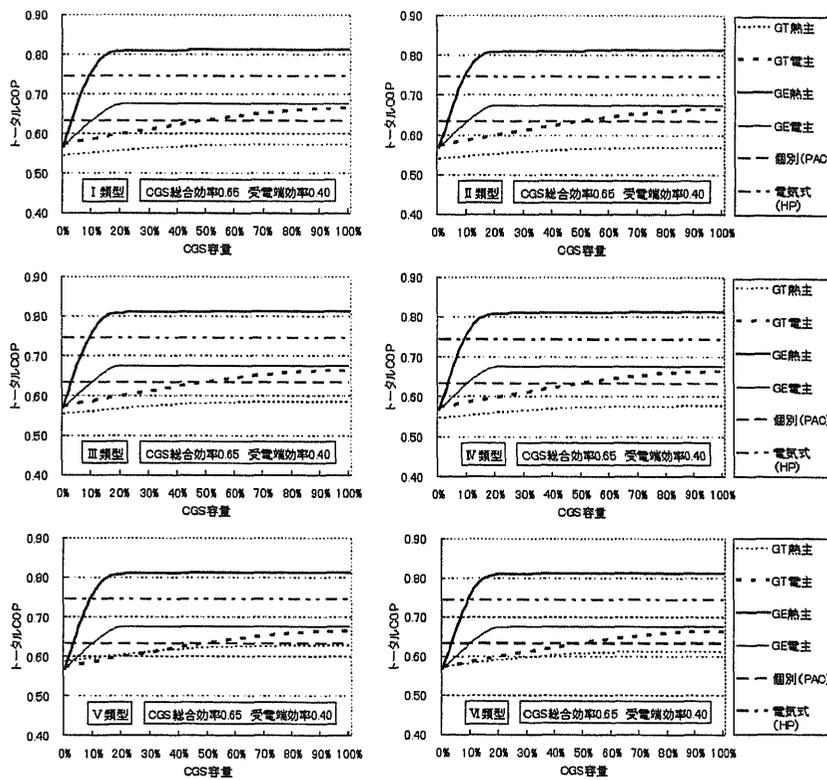


図7-3. 3 トータル COP (CASE② : CGS 総合効率 0.65 受電端効率 0.40)

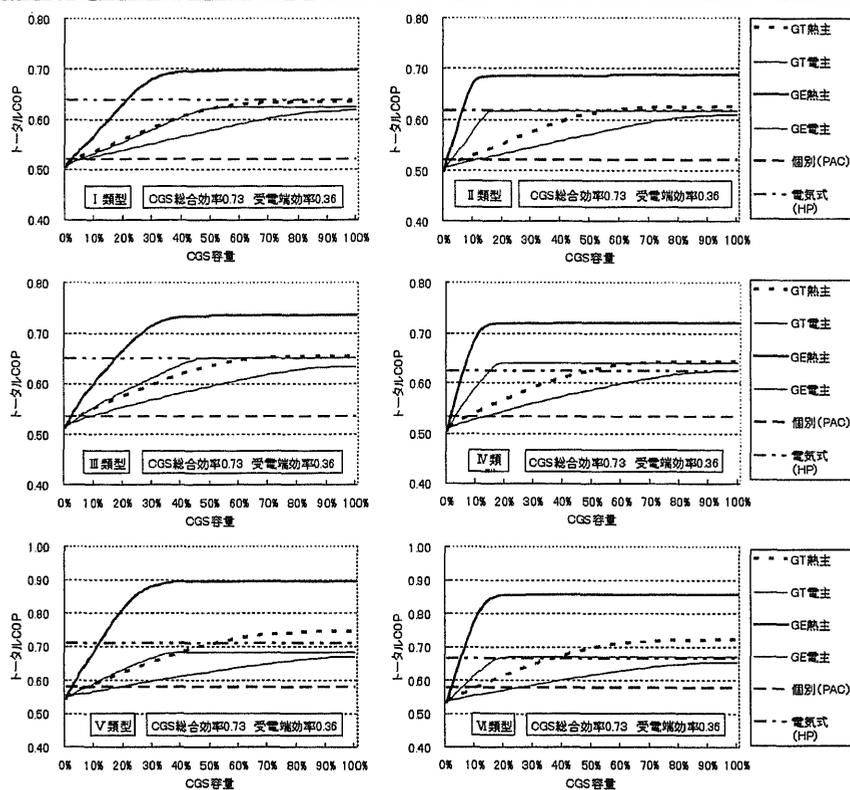


図7-3.4 トータル COP (CASE③) : CGS 総合効率 0.73 受電端効率 0.36)

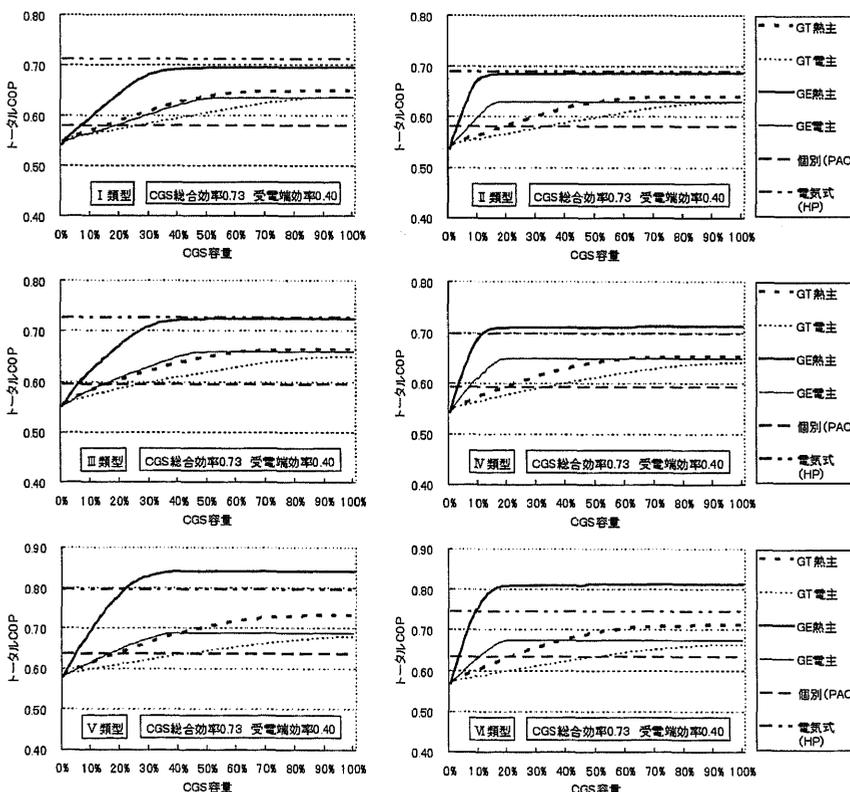


図7-3.5 トータル COP (CASE④) : CGS 総合効率 0.73 受電端効率 0.40)

CGS 容量の変動による基本的なトータル COP の動向は、各 CASE ともに類似していると言える。しかし、CGS 機器効率の上昇の影響は非常に大きいことが分かる。第2章で述べたが、受電端効率上昇には相当時間を要すると考えられるが、CGSは既にCASE③の機器効率(総合効率0.73)程度の機器は実用化されており、早い段階での CGS 導入を考える場合、ここでの結果は分散型エネルギーシステム導入に目指して注目すべきである。

CASE④ (図7-3.5)においては、各類型ともに GE の熱主電従運転が非常に高いトータル COP を示している。I・II 類型の業務地区でも、電気式システムと拮抗した値をとっており、CASE ③と同様に、CGS 機器効率上昇による、あるいは高性能 CGS の導入効果が明らかになった結果となった。

## 2) 地域熱 COP

ここでは、CGS 容量を変動させた場合の地域熱 COP の動向を見ていく。地域熱 COP とは熱に特化した COP であり、CGS から供給される電力の価値を熱に換算し、CGS の熱の価値を正當に評価するための指標である。熱という観点からのみの COP かつシステム内のみの評価範囲となるため、当然トータル COP と比較して値は大きくなり、機器効率や用途構成比の影響も大きくなる。ガスエンジンが非常に高い地域熱 COP を示している。特に、CASE③におけるガスエンジンの地域熱 COP は非常に高い値を示している。これは、前述通りである。

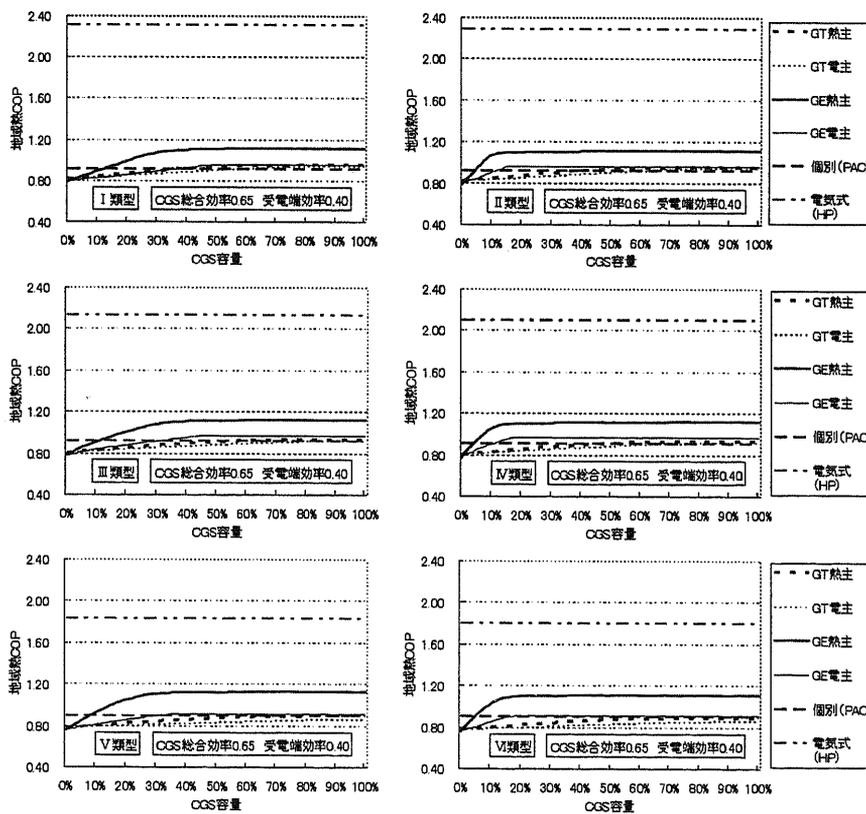


図7-3.6 地域熱 COP (CASE②: CGS 総合効率 0.65 受電端効率 0.40)

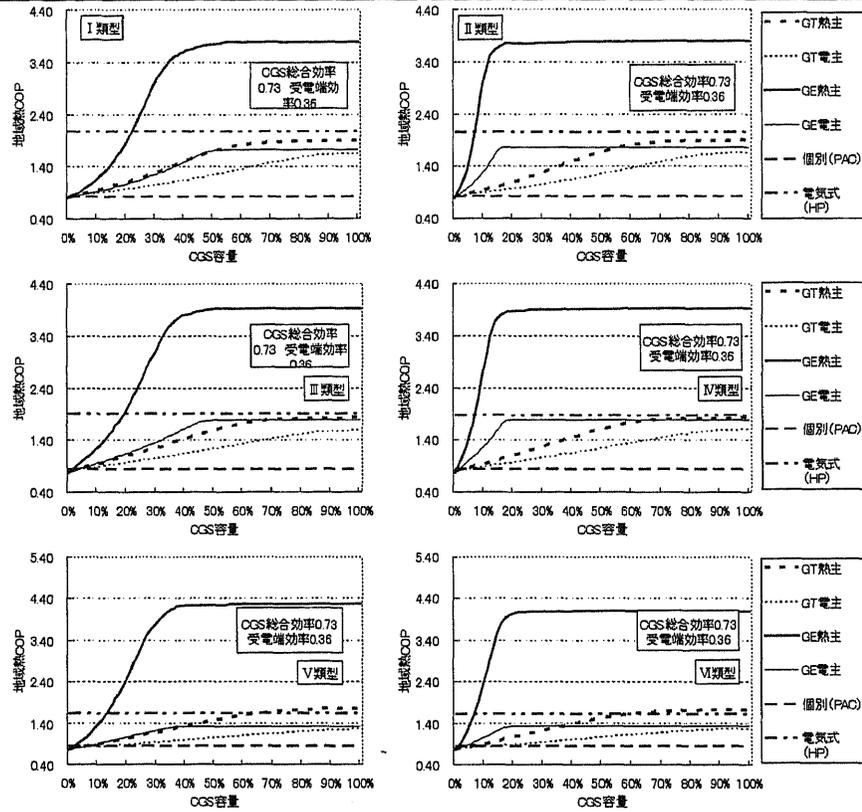


図7-3.7 地域熱 COP (CASE③ : CGS 総合効率 0.73 受電端効率 0.36)

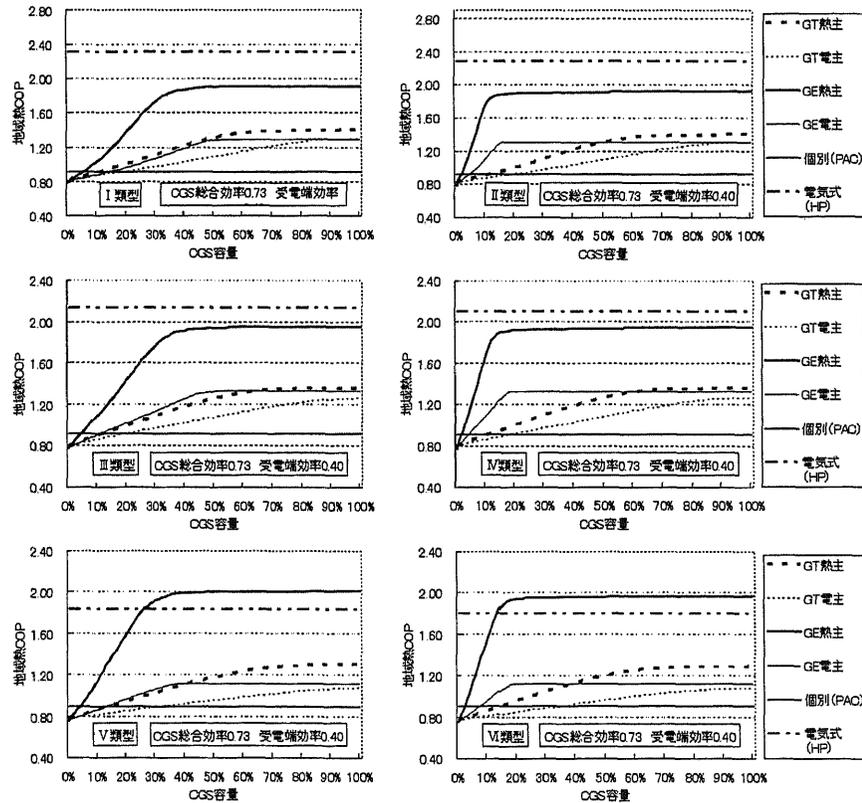


図7-3.8 地域熱 COP (CASE④ : CGS 総合効率 0.73 受電端効率 0.40)

各 CASE ともに、トータル COP と同様の変化を示している。ただ、CGS の機器効率上昇の影響や、類型特性による影響を大きく受けており、地域熱 COP の値の幅の変動が非常に大きい。CGS 容量が一定になる値や傾向及びその要因は、トータル COP の項で述べたとおりである。

### 3) CO<sub>2</sub> 排出削減率

ここでは、各類型における CO<sub>2</sub> 排出削減率の算出結果を示す。(2)、(3) では CGS 容量の変動に伴う指標の動向を検証したが、この項では CGS 容量を 100% の場合のみを掲載した。CO<sub>2</sub> は排出削減率という指標は、COP のような CGS 容量を決定する効率的な指標とは異なり、どの程度の CO<sub>2</sub> 削減効果があるかを検証するための目安だと考えたためである。よって、CGS 容量が年間の時刻別最大需要を 100% としたときの 100% として、CO<sub>2</sub> 削減効果を見た。なお、比較対象システムは個別式 (PAC) システムである。

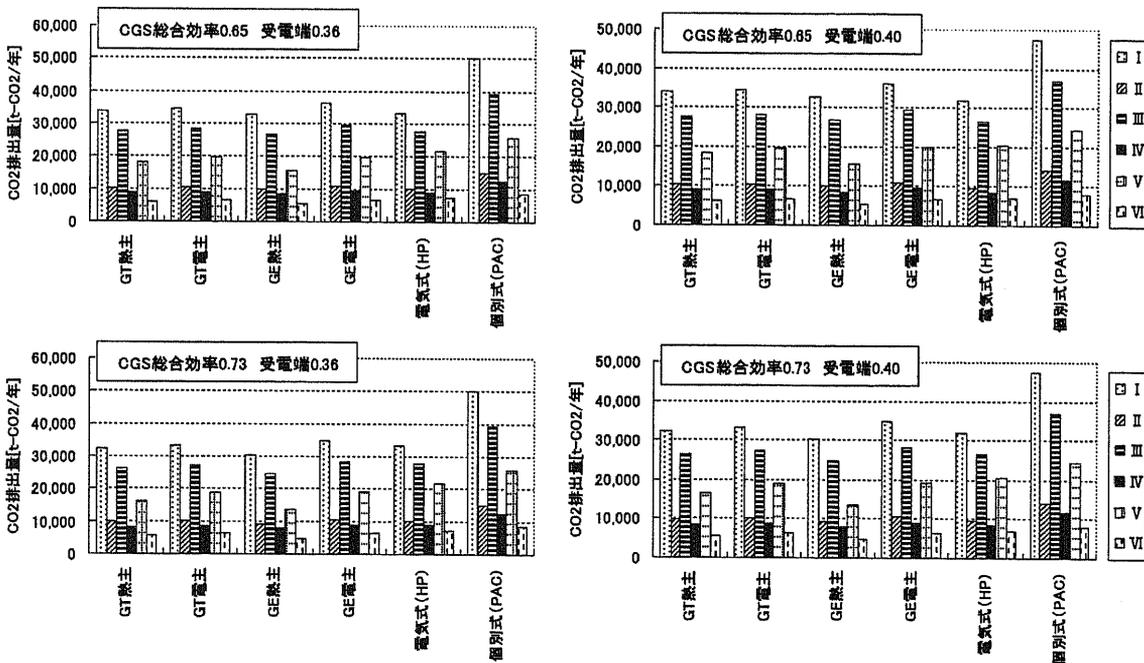


図7-3. 9 CO<sub>2</sub> 排出量 (CGS 容量 100%)

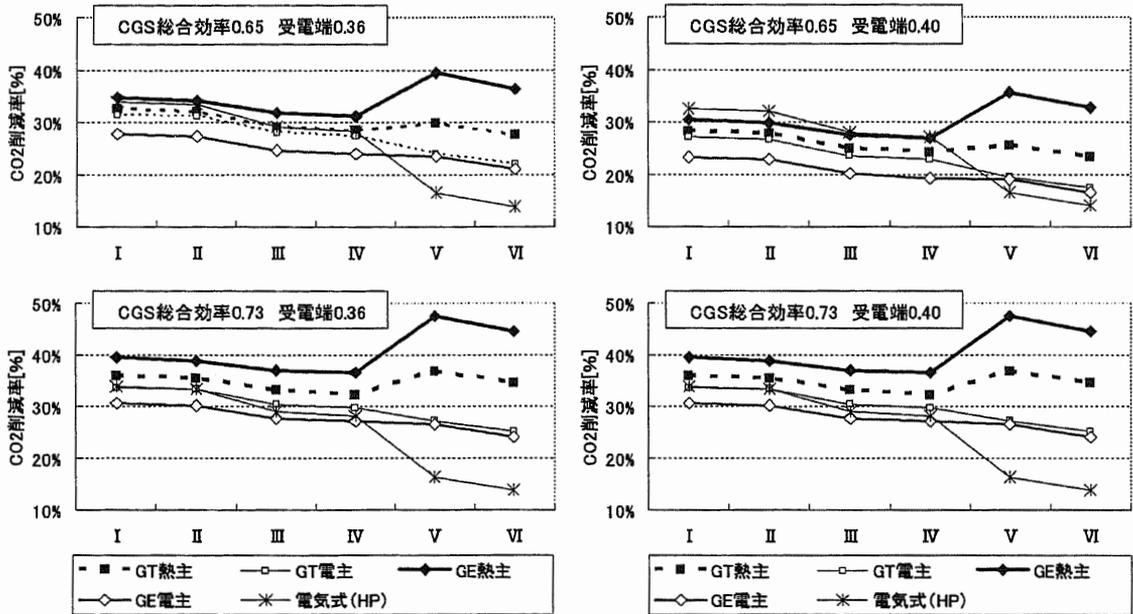


図 7-3. 10 CO<sub>2</sub> 排出削減率 (CGS 容量 100% 対個別式比較)

CO<sub>2</sub> 排出量はトータル COP の優劣に類似し、個別式 (PAC) システムが最も多い結果となった。日本の年間の CO<sub>2</sub> 排出量が約 13 億 t/年<sup>24)</sup>であることを考えると、今回のモデル地区程度の分散型エネルギーシステムひとつを導入した際の CO<sub>2</sub> 排出削減量は、2 万 t/年程度である。ただし、これが、東京都区部あるいは主要都市に広がったときの、業務や家庭から排出される CO<sub>2</sub> 排出削減効果は大きなものとなることが期待される。

また、分散型エネルギーシステム導入による CO<sub>2</sub> 排出削減効果は、すべての類型において、かつすべての機器において見られた。特に、GE の熱主電従運転及び電気式 (HP) システムの削減効果は非常に大きいことが明らかとなった。これは、(1) で述べたことと同様の要因であると考えられる。

### 3) CGS 発電効率と受電端効率の相関性

ここでは、CGS 発電効率と受電端効率との相関性を検証していく。検証方法として、CGS 発電効率を設定した CGS 総合効率から 0.01 引いた値から 0.01 まで変動させ、そのときのトータル COP の動向を見ていく。CGS 総合効率が 0.65 の場合、CGS 発電効率を 0.64~0.01 まで変動させるということである。そのときの CGS 排熱効率は 0.01~0.64 となる。

なお、CGS 発電効率が 0.64 などは現実としては考えられないが、トータル COP がどのような動向を示すのかという研究的な視点として、本研究では検証を試みた。

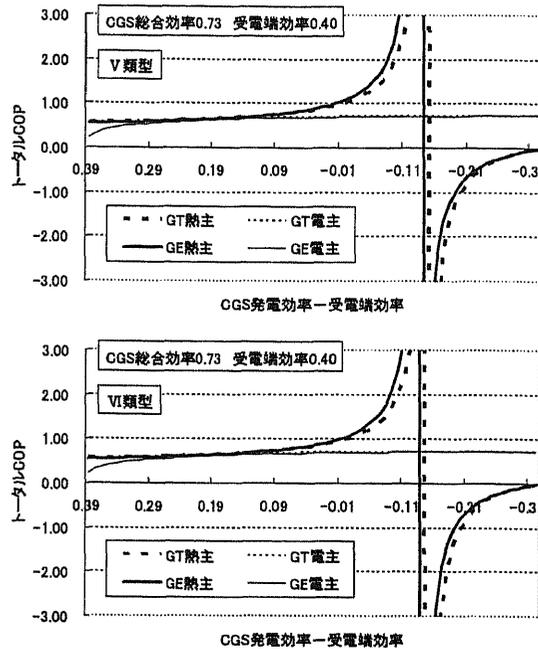


図7-10.11 受電端効率とCGS機器効率の相関性  
(CASE④: CGS 総合効率 0.73 受電端効率 0.40)

各類型ともに、あるCGS発電効率に達するとトータルCOPが発散していることが判る。トータルCOPとは、分母の熱需要+電力需要は各類型において一定であるため、分子に要因があることは明白である。注目すべきは、熱主電従運転の場合のみが発散しており、電主熱従運転は発散していないということである。熱主電従運転とは、熱需要に合わせて運転し、余剰電力が発生した場合には、系統電力に売電するという運転方法である。発散しているのは、x軸方向に進んだ場合、つまり発電効率が上昇し、排熱効率が下降した場合である。排熱効率が低い状態で熱主電従運転を行った場合、CGSへの投入エネルギー量が増加し、併せてCGS発電量も極端に増加する。そして、あるCGS発電効率に達したとき、トータルCOPの分母である余剰電力/受電端効率が、全投入エネルギー量を上回り(分母がマイナスになり)、トータルCOPが発散するのである。

電主熱従運転のときにトータルCOPが発散しないのは、電主熱従運転は余剰排熱を発生させない運転方法だからである。仮に、排熱効率が高い場合であると必ず余剰排熱が発生してしまうが、その時間帯は熱主電従運転を行い、余剰排熱を発生させない設定としている。つまり、電主熱従運転は制限がかかっており、いかなる機器効率の場合においても、トータルCOPが発散することはない。

## 7-4 熱源機器効率による有効熱源の変化

## 1) 設定条件

ここでは、各類型において、CGS 機器効率がどうなったときに、有効熱源がガスか電気かという判別を行った。判別指標はトータル COP である。評価対象は、GT (熱主・電主)、GE (熱主・電主)、HP、PAC であり、それぞれのトータル COP の優劣を比較する。なお、GT・GE がガス式、HP・PAC が電気式とした。検証方法は3章と同様であり、CGS 発電効率を総合効率から 0.01 引いた値～0.01 の範囲で変動させた。仮に、CGS 総合効率が 0.65 であれば、CGS 発電効率は 0.64～0.01 である。

## 2) 機器効率による有効熱源の変化

CGS 機器効率が変動した際の有効熱源の変移を以下に示す。

表 7-4. 1 機器効率による有効熱源の変化 (I 類型)

CASE	総合効率	GT		GE		受電端効率	有効熱源
		発電効率	排熱効率	発電効率	排熱効率		
CASE①	0.65	0.32	0.33	0.32	0.33	0.36	電気
		0.33	0.32	0.33	0.32		ガス
CASE②	0.65	0.38	0.27	0.37	0.28	0.40	電気
		0.39	0.26	0.38	0.27		ガス
CASE③	0.73	0.30	0.43	0.30	0.43	0.36	電気
		0.31	0.42	0.31	0.42		ガス
CASE④	0.73	0.36	0.37	0.36	0.37	0.40	電気
		0.37	0.36	0.37	0.36		ガス

表 7-4. 1 機器効率による有効熱源の変化 (II 類型)

CASE	総合効率	GT		GE		受電端効率	有効熱源
		発電効率	排熱効率	発電効率	排熱効率		
CASE①	0.65	0.31	0.34	0.32	0.33	0.36	電気
		0.32	0.33	0.33	0.32		ガス
CASE②	0.65	0.37	0.28	0.36	0.29	0.40	電気
		0.38	0.27	0.37	0.28		ガス
CASE③	0.73	0.29	0.44	0.29	0.44	0.36	電気
		0.30	0.43	0.30	0.43		ガス
CASE④	0.73	0.35	0.38	0.35	0.38	0.40	電気
		0.36	0.37	0.36	0.37		ガス

表 7-4.3 機器効率による有効熱源の変化(Ⅲ類型)

CASE	総合効率	GT		GE		受電端効率	有効熱源
		発電効率	排熱効率	発電効率	排熱効率		
CASE①	0.65	0.31	0.34	0.31	0.34	0.36	電気
		0.32	0.33	0.32	0.33		ガス
CASE②	0.65	0.37	0.28	0.36	0.29	0.40	電気
		0.38	0.27	0.37	0.28		ガス
CASE③	0.73	0.29	0.44	0.29	0.44	0.36	電気
		0.30	0.43	0.30	0.43		ガス
CASE④	0.73	0.35	0.38	0.35	0.38	0.40	電気
		0.36	0.37	0.36	0.37		ガス

表 7-4.4 機器効率による有効熱源の変化(Ⅳ類型)

CASE	総合効率	GT		GE		受電端効率	有効熱源
		発電効率	排熱効率	発電効率	排熱効率		
CASE①	0.65	0.30	0.35	0.30	0.35	0.36	電気
		0.31	0.34	0.31	0.34		ガス
CASE②	0.65	0.36	0.29	0.34	0.31	0.40	電気
		0.37	0.28	0.35	0.30		ガス
CASE③	0.73	0.27	0.46	0.28	0.45	0.36	電気
		0.28	0.45	0.29	0.44		ガス
CASE④	0.73	0.34	0.39	0.34	0.39	0.40	電気
		0.35	0.38	0.35	0.38		ガス

表 7-4.5 機器効率による有効熱源の変化(Ⅴ類型)

CASE	総合効率	GT		GE		受電端効率	有効熱源
		発電効率	排熱効率	発電効率	排熱効率		
CASE①	0.65	0.30	0.35	0.29	0.36	0.36	電気
		0.31	0.34	0.30	0.35		ガス
CASE②	0.65	0.37	0.28	0.36	0.29	0.40	電気
		0.38	0.27	0.30	0.35		ガス
CASE③	0.73	0.27	0.46	0.26	0.47	0.36	電気
		0.28	0.45	0.27	0.46		ガス
CASE④	0.73	0.34	0.39	0.32	0.41	0.40	電気
		0.35	0.38	0.33	0.40		ガス

表 7-4.6 機器効率による有効熱源の変化(Ⅵ類型)

CASE	総合効率	GT		GE		受電端効率	有効熱源
		発電効率	排熱効率	発電効率	排熱効率		
CASE①	0.65	0.29	0.36	0.27	0.38	0.36	電気
		0.30	0.35	0.28	0.37		ガス
CASE②	0.65	0.35	0.30	0.33	0.32	0.40	電気
		0.36	0.29	0.34	0.31		ガス
CASE③	0.73	0.26	0.47	0.24	0.49	0.36	電気
		0.27	0.46	0.25	0.48		ガス
CASE④	0.73	0.32	0.41	0.30	0.43	0.40	電気
		0.33	0.40	0.31	0.42		ガス

Ⅵ類型(住宅地区)にむかっていく程、CGS 発電効率が低い場合でも、有効熱源がガス式となっている。これは、住宅割合が増加する程熱電比が大きくなり、熱需要が大きくなるため、CGS 排熱効率が効いてくるのだと考えられる。逆に CGS 機器効率と受電端効率が上昇した CASE

④においては、現状と比較してガス式が有効熱源となる場合のCGS発電効率はすべて上昇している。これは、受電端効率の上昇が大きく影響していると考えられ、受電端効率が0.04上昇したとき、CGS発電効率は0.05～0.06上昇する必要があることが分かる。つまり、系統電力に比べCGS電力の価値が若干低いと言える。

### 3) バルチラエンジン導入の影響評価

#### 設定条件

ここでは、バルチラエンジンを導入した際の影響評価を行う。このバルチラエンジンは、非常に発電効率高く、既に稼働実績もあるなど、近い将来のガスエンジンとして、非常に期待と可能性の大きいCGSである。近い将来、非常に高性能のCGSが普及していくであろう中で、現状の評価指標では評価できないという限界もでてきている、ここでは、高性能なガスエンジンの導入効果を検証するとともに、評価指標の再検証及び多角的な評価を行い、今後の評価のあり方を模索していく。なお、本研究では、バルチラエンジンはランドデザインの対象としていないため、本節で評価した。

以下に、バルチラエンジンの性能を示す。

日立造船株式会社によるバルチラガスエンジンの機器効率を設定する。排熱回収効率は低下するものの、発電効率は系統電力受電端効率に匹敵するものである。カタログには、高効率仕様・低NOx仕様・特殊仕様とあるが、本研究では省エネルギー性の評価を中心に行うため、高効率仕様の値を用いて設定する。

表7-4.7 バルチラエンジン仕様

エンジン型番		12V220SG		18V221SG		12V34SG		18V223SG	
発電出力	kWe	1400	1900	2110	2910	3800	4000	5760	6030
燃料消費量	m <sup>3</sup> N/h	299	406	428	619	741	776	1107	1159
蒸気回収量	kW	518	801	775	1223	1700	1780	2550	2680
温水回収量	kW	295	448	526	705	970	1010	1480	1540
発電効率	%	36.6	36.6	38.6	36.8	40.1	40.3	40.7	40.7
蒸気回収効率	%	13.6	15.4	14.2	15.5	18.0	18.0	18.0	18.1
温水回収効率	%	7.7	8.6	9.6	8.9	10.2	10.2	10.5	10.4
総合効率	%	57.9	60.7	62.4	61.2	68.3	68.5	69.2	69.2

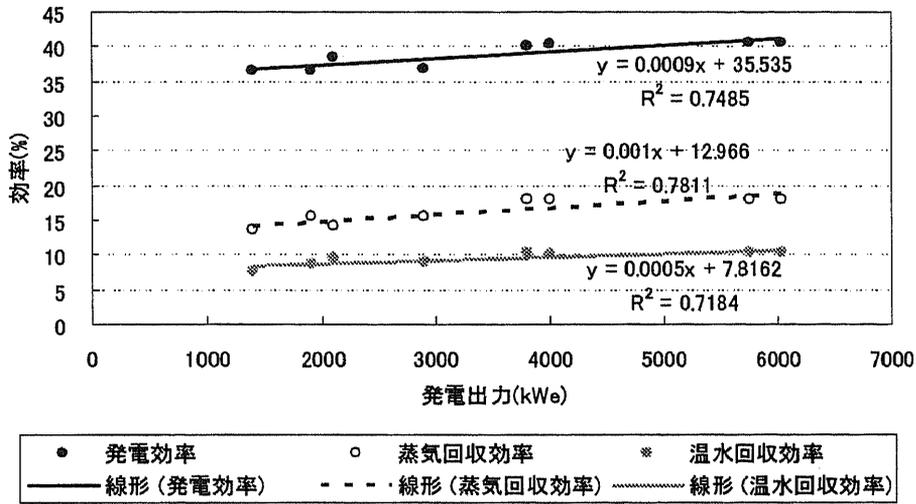


図7-4. 1 バルチラエンジンの発電出力と発電効率の相関性

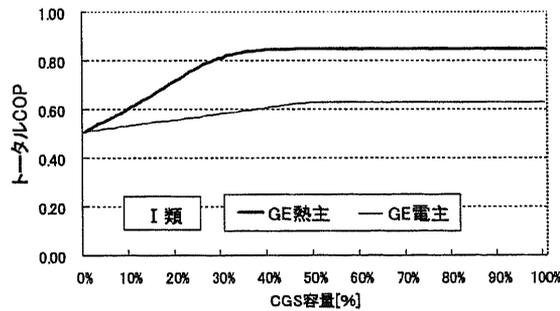
大容量CGSとして6,000kWのエンジンを考え、本研究では効率を以下のように設定した。なお、補機の考え方は3章に準ずるものとする。

表7-4. 8 バルチラエンジン機器効率

発電効率	0.41
排熱効率	0.28

(1) トータルCOP

ここでは、バルチラエンジンを導入した際のトータルCOPの動向を検証していく。CGS容量の設定は、これまでと同様とする。また、今回は高性能のCGS導入効果を検証することが目的であるため、I類型（業務）とVI類型（住宅）の対照的な類型特性時の結果を示した。



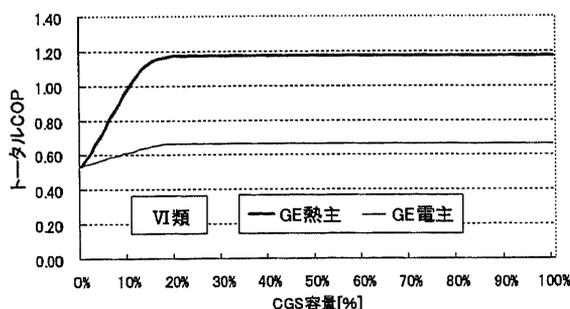


図7-4. 2 トータル COP (バルチラエンジン)

トータル COP は、I 類型においては、本研究で設定した 4CASE とそれほど変わらない結果となったが、VI 類型においては、非常に高いトータル COP を示す結果となっている。これは、低い排熱効率による熱主電従運転のため、発電効率の高いバルチラエンジンは余剰電力を大量に系統電力へ売電するため、その影響が大きく効いてきていると考えられる。

また、トータル COP は、機器効率の高い CGS を導入した場合においても、その効率を正當に評価できることが明らかとなった。

地域熱 COP

以下に地域熱 COP の結果を示す。設定条件は、トータル COP と同様である。

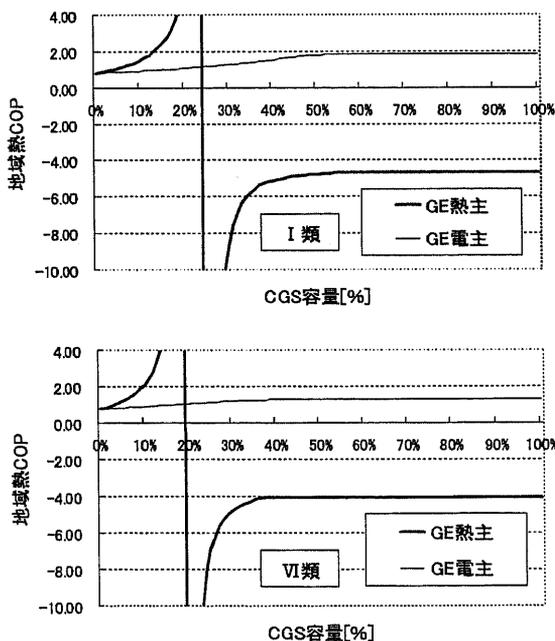


図7-4. 3 地域熱 COP (バルチラガスエンジン)

I 類型・VI 類型ともに、熱主電従運転時では地域熱 COP が発散している。地域熱 COP とは、

CGSの電力の価値をすべて熱に換算して、CGSの熱の価値を正當に評価するための指標である。CGS発電電力を地域に供給することで、系統電力からの供給量が減少する、という考え方である。地域熱COPの分母はシステム投入一次エネルギー量からCGS発電量/受電端効率を引いた値となる。発電効率と排熱効率の差が大きく、かつ発電効率の高いバルチラエンジンの場合、熱主電従運転を行ったとき、大量の余剰電力が発生してしまい、分母がマイナスとなり発散してしまうと考えられる。

## (2) 地域発電 COP

本研究においては、トータル COP と地域熱 COP を主な評価指標としている。トータル COP は、地域需要特性に応じた有効熱源を判別する指標として確立されている。しかし、地域熱 COP においては、近年の高効率 CGS (バルチラエンジン) の登場により、地域熱 COP が $\infty$ に発散してしまうという矛盾が生じてしまっている。そのため、バルチラエンジンを別の観点から捉えるための新たな指標の構築が必要だと考えられる。

そこで、地域発電 COP という指標を仮に確立し、試算を行った。地域発電 COP は、発電に特化した COP である。バルチラエンジン等高効率 CGS の値が高くなる指標ではないが、受電端効率 (0.36) と比較することにより、CGS の発電能力と受電端効率の優劣を評価することができる。以下に、地域発電 COP の定義と位置付けを確認しておく。

### [本研究での位置付け]

バルチラガスエンジン等、発電効率の高い CGS の電力優位性を正當に評価するための指標。

### [定義]

発電に特化した COP。CGS から供給される電力を一般的に評価し、地域発電 COP を用いることにより、受電端効率との相互比較が可能となる。

$$\text{地域発電 COP} = \frac{\text{電力需要}}{\text{システム投入一次エネルギー量} - \text{CGS 排熱量} / \text{STB 効率} - \text{CGS 余剰電力} / \text{CGS 発電効率}}$$

・・・式 (7-4. 1)

なぜ、上記の式のような考え方に設定したかという理由であるが、この地域発電 COP の電力需要の評価範囲が大きき要因として挙げられる。仮に、売電することのできるオープンシステムを考えたとき、電力需要は無限大となる。計算上、仮に 1,000,000 と設定した場合において、電力需要に合わせて運転した場合、電力需要が熱需要と比較して大きすぎるため、すべての時間帯で余剰排熱が発生する。つまり、どんな場合でも熱主電従運転 (オープンシステム) になってしまう。また、電力需要を無限大とすることは、ある地域の COP とは言えない。地域熱 COP と同様の評価価値を見出すのであれば、やはり、ある地域に限定し、上記の式で考えることが望まし

いここでは考え、その結果を以下に示していく。結果は、I類型（業務地区）とVI類型（住宅地区）という対照的な地区のみを示した。

仮に、電力需要を無限大（電力需要>熱需要）と仮定した場合、CGSの運転方法はすべて熱主電従運転になる。そのため、電力需要に対し、CGSのシステム投入E（分母）が非常に小さくなり、地域発電COPの値が極めて大きくなる。

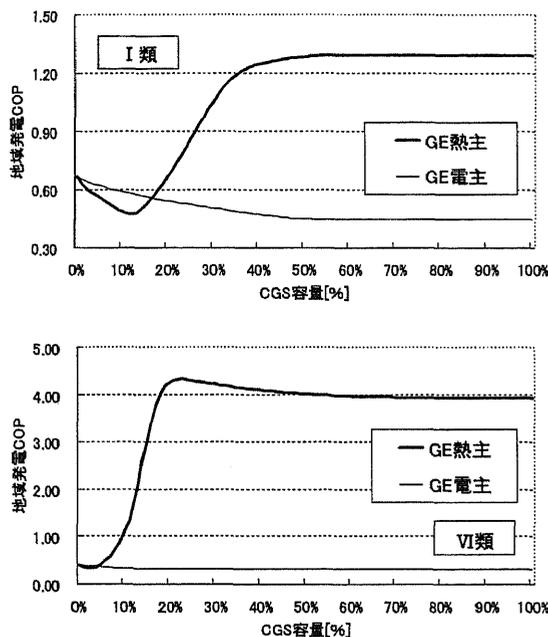
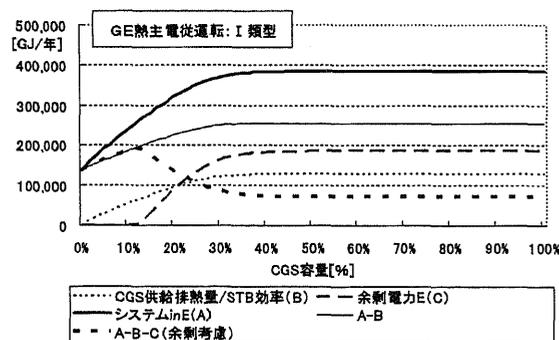


図7-4. 4 地域発電 COP（バルチラエンジン）



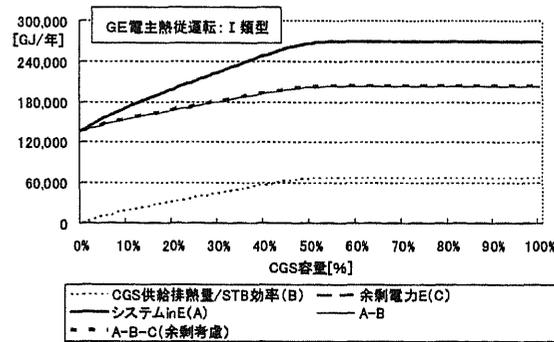


図7-4.5 地域発電 COP 算出項要因 (バルチラエンジン)

CGS 容量が増加するにつれて、システム投入一次エネルギー量及び CGS 供給排熱量/STB 効率は増加する。しかし、システム投入一次エネルギー量の増加率の方が、CGS 供給排熱量/STB 効率よりも大きく、電主熱従運転では、地域発電 COP は低下する。一方、熱主電従運転では、余剰電力が効いて、余剰電力発生と同時に地域発電 COP は上昇していく結果となった。つまり、電力の価値という観点のみからバルチラエンジンを捉えた場合、CGS 容量は年間の時刻別ピーク需要の 30~40%が望ましく、また、熱主電従運転が理想的であると言える。

### 7-5 適正発電容量における安全性の検討

ここでは、東京都区部における分散型エネルギーシステム導入のグラウンドデザインを行う。各町丁目における有効熱源の判別は、トータル COP の優劣で判別する。また、CGS については、電主熱従運転と熱主電従運転を行い、高いトータル COP を示した運転方法を有効熱源判別の対象とした。

機器効率や対象システム等は第2章で述べた通りであり、ガス式とはガスタービンとガスエンジンであり、電気式とは全ヒートポンプシステムのことである。対象地区の地区面積や延床面積等の地区特性は、GIS 東京都区部の実際の値を用いた。導入する DHC 供給面積は、第4章と同様に 8ha とした。ここでは、機器効率を 4CASE、CGS 容量を 30%・50%・70%・100% の 4 パターンのグラウンドデザインを行った。この容量設定は、第4章の解析結果を基に設定した。

GIS 図表の判例の見方であるが、「30%-CASE① (ガス)」の場合、GCS 容量が年間ピーク需要の 30% で機器効率は CASE①、かつガス式有利地区ということである。

1) 分散型エネルギーシステム導入のグランドデザイン

(1) CGS 容量 30%

ここでは、年間の時刻別最大需要の 30%容量の CGS と電気式 (HP) システムを導入した際の、有効熱源を判別する。判別は、トータル COP (年間値) の優劣により行った。

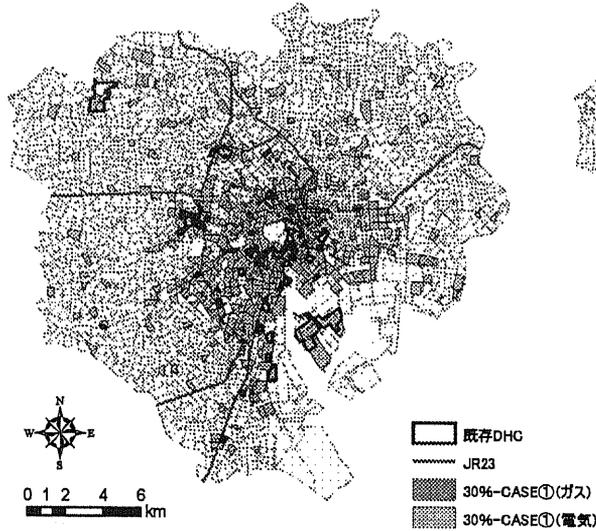


図 7-5. 1 30%-CASE①

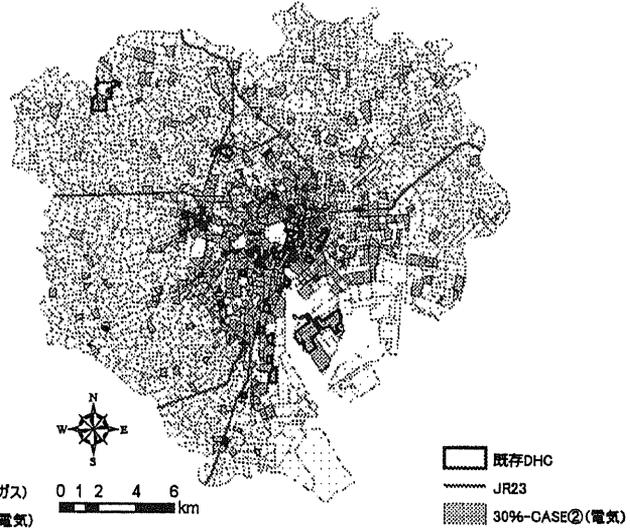


図 7-5. 2 30%-CASE②

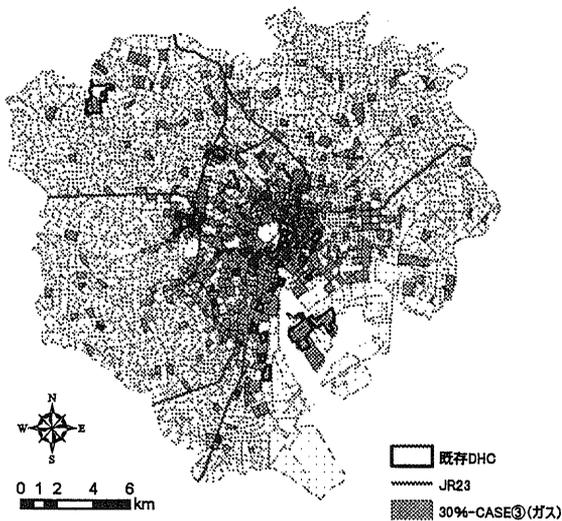


図 7-5. 3 30%-CASE③

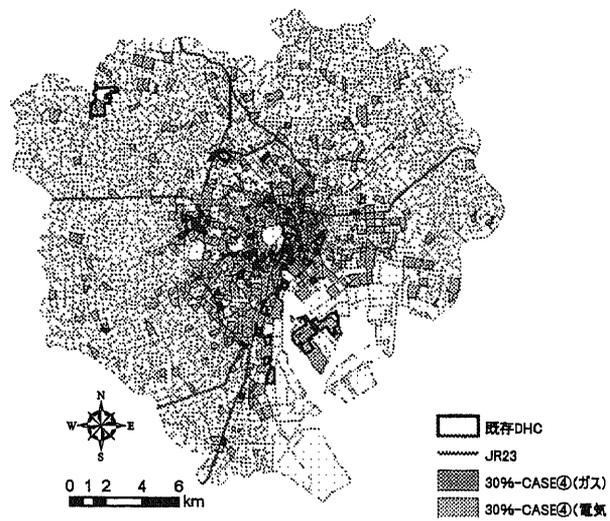


図 7-5. 4 30%-CASE④

CGS 容量がピーク需要の 30%では、圧倒的に電気式システムが有利である。ただし、CGS 機器効率が上昇した場合、ガス式システムが全地区において有利である。また、ガス式とは、すべてガスエンジンであり、以降も同様である。

(2) CGS 容量 50%

ここでは、年間の時刻別最大需要の 50%容量の CGS と電気式 (HP) システムを導入した際の、有効熱源を判別する。判別は、トータル COP (年間値) の優劣により行った。

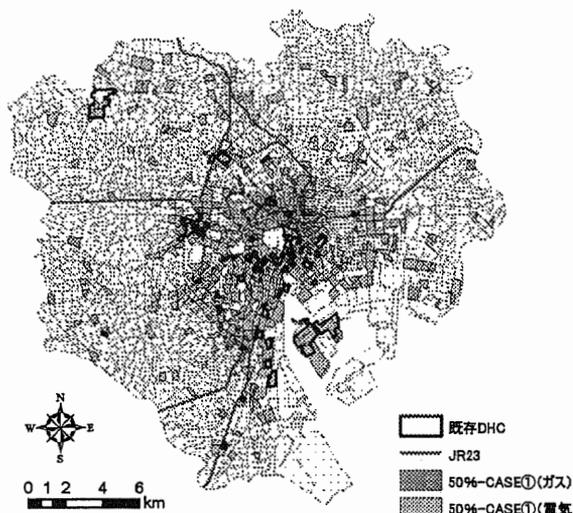


図 7-5. 5 50%-CASE①

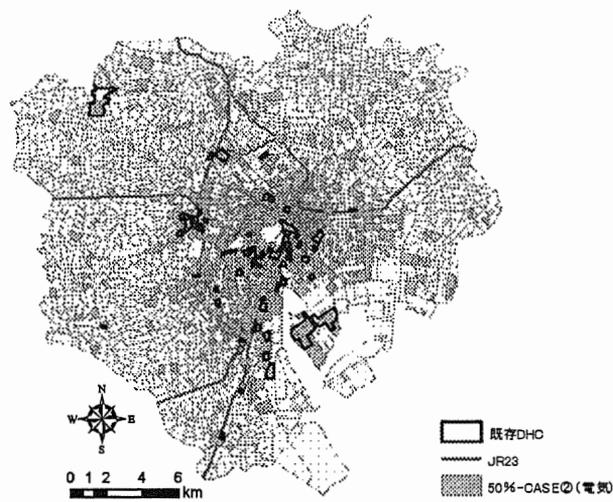


図 7-5. 6 50%-CASE②

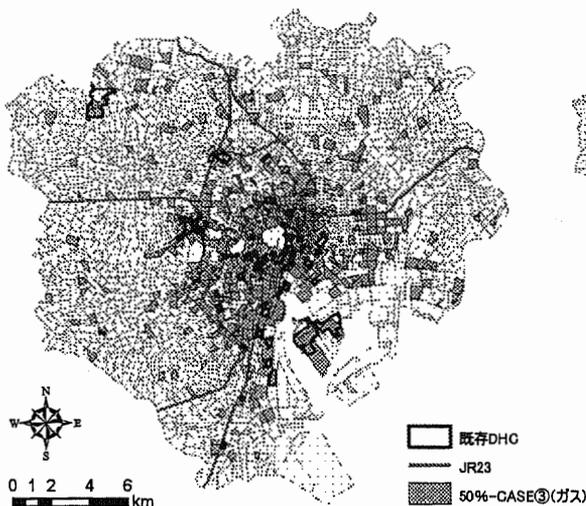


図 7-5. 7 50%-CASE③

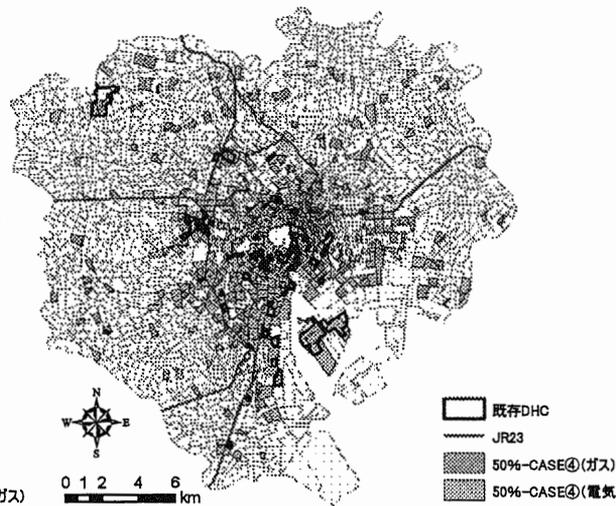


図 7-5. 8 50%-CASE④

CGS 容量が年間の時刻別最大需要の 50%の場合、現状の機器効率では、大半の地区で電気式が有利となった。また、CASE④においては、住宅中心地区でガス式有利地区が増加した。これの要因は、第4章で述べた通りである。

(3) CGS 容量 70%

ここでは、年間の時刻別最大需要の70%容量のCGSと電気式(HP)システムを導入した際の、有効熱源を判別する。判別は、トータルCOP(年間値)の優劣により行った。

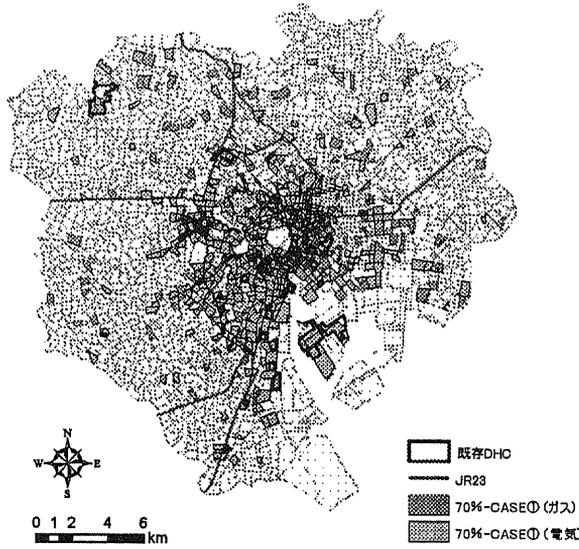


図7-5.9 70%-CASE①

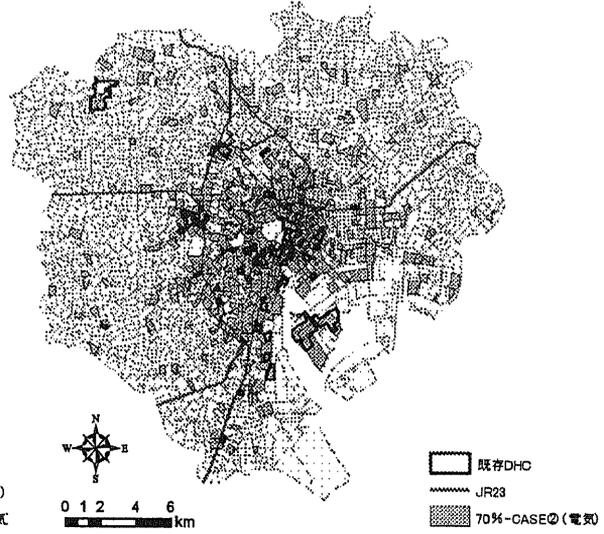


図7-5.10 70%-CASE

②



図7-5.11 70%-CASE③

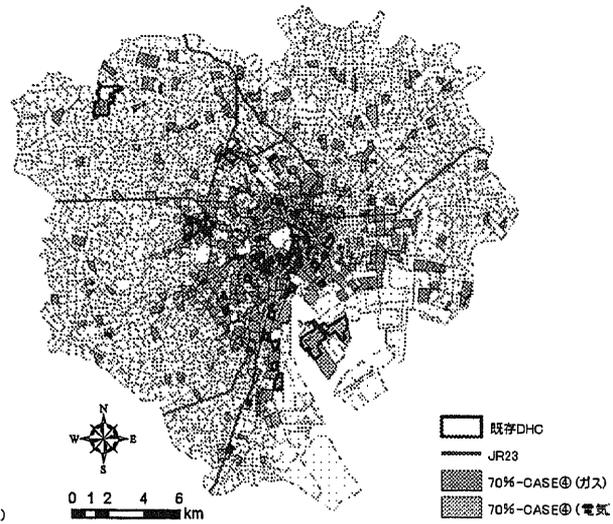


図7-5.12 70%-CASE

④

CGS容量が年間時刻別最大需要の70%の場合でも、現状の機器効率(CASE①)では、圧倒的に電気式システムが有利である。ただ、CASE④になると、有効地区数は約半数同士になるが、

業務中心地区では電気式システムが有利である。

4) CGS 容量 100%

ここでは、年間の時刻別最大需要の 100%容量の CGS と電気式 (HP) システムを導入した際の、有効熱源を判別する。判別は、トータル COP (年間値) の優劣により行った。

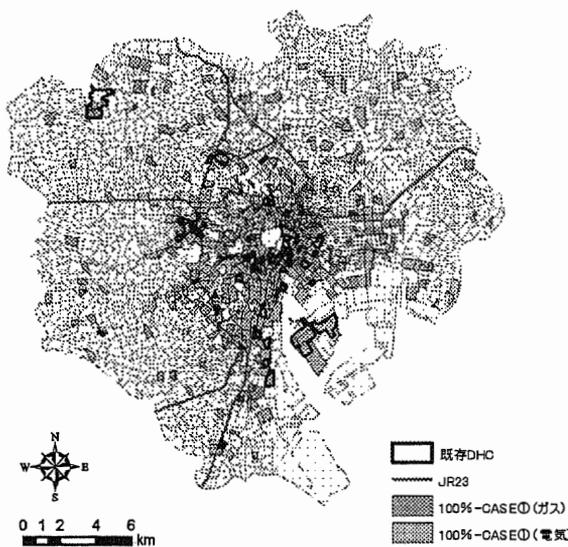


図 7-5. 13 100%-CASE①



図 7-5. 14 100%-CASE②

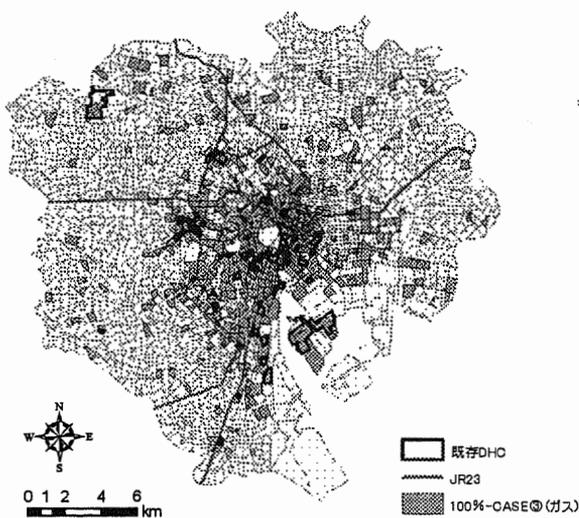


図 7-5. 15 100%-CASE③

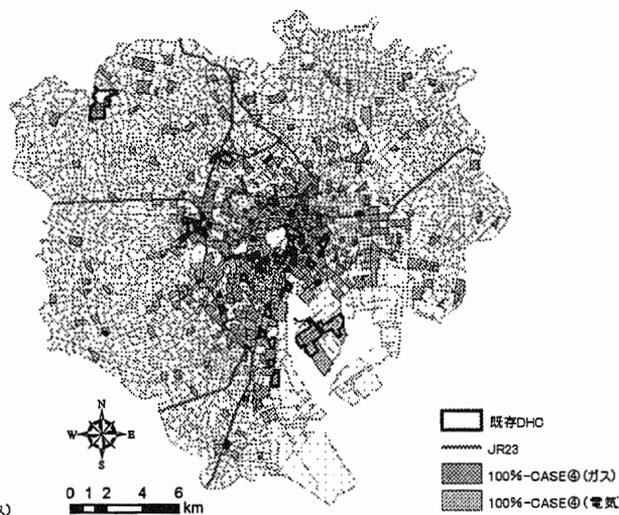


図 7-5. 16 100%-CASE④

CGS 容量が年間時刻別最大需要の 100%の場合、現状 CASE では、まだまだ電気式システムが有利である。CASE④では、ガス式有利とする地区数が電気式を上回る結果となった。ただ、CGS

容量がピーク需要の100%のケースは、CGSの負荷率が低く、実際には難しいのではと考えられる。

5) バルチラエンジン

バルチラエンジンを導入した際の、ランドデザインを以下に示す。受電端効率は0.40である。なお、バルチラエンジンは、非常に高性能なエンジンであり、本研究の最終的なランドデザインとしては考慮しないことにした。



図7-5. 17 バルチラ 30%-CASE④



図7-5. 18 バルチラ 50%-CASE

④



図7-5. 19 バルチラ 70%-CASE④



図7-5. 20 バルチラ 100%-CASE

④



6) 東京都区部における熱媒別有効熱源数

5.1.1～5.1.5 で判別した有効熱源数を以下にまとめる。バルチラエンジンを導入した際の受電端効率は0.40とした。よって、通常の有効熱源と比較する際は、CASE④と比較評価すると良い。

表7-5.1 東京都区部における熱媒別有効熱源数

CGS容量	CASE	ガス式		電気式	CGS容量	CASE	ガス式		電気式
		GT	GE				GT	GE	
30%	①	0	4	645	70%	①	0	145	504
	②	0	0	649		②	0	0	649
	③	0	649	0		③	0	649	0
	④	0	7	642		④	0	307	342
50%	①	0	73	576	100%	①	0	175	474
	②	0	0	649		②	0	0	649
	③	0	649	0		③	0	649	0
	④	0	144	505		④	0	350	299

表7-5.2 バルチラエンジン導入の有効熱源数

CGS容量	ガス式	電気式	CGS容量	ガス式	電気式
	バルチラエンジン			バルチラエンジン	
30%	266	383	70%	649	0
50%	649	0	100%	649	0

現状の機器効率 (CASE①) では、CGS 容量が年間時刻別最大需要の100%の場合でも、電気式システムが圧倒的に有利である。受電端効率のみが上昇したCASE②では、全地区において電気式システムが有利であり、CGS 機器効率のみが上昇したCASE③では、全地区においてガス式システムが有利となった。CGS 機器効率及び受電端効率が上昇したCASE④においては、CGS 容量がピーク需要の70～100%で、ガス式システムと電気式システムの有効地区数が半数ずつとなったが、ガス式システムが有利とする地区は、基本的に住宅中心地区が多い。逆に、電気式システムを有利とする地区は、業務中心地区が多い。また、ガス式システムは、すべてガスエンジンが有効となった。ガスタービンシステムが有利なる地区はなかったが、これはガスタービンの発電効率が低く、売電を可能とした場合のガスエンジンのトータルCOPと比較しても明らかに低くなるため、有効熱源として抽出されなかった。

現状の既存DHCは、基本的には業務中心地区が多く、その多くがガス式システムを導入しているが、本研究の結果を矛盾が生じている。システム(熱媒)を変えるということは、不可能かつ現実的ではないが、ここでの結果と現状を踏まえ、今後、分散型エネルギーシステムを導入するには、極めて詳細な精査が必要である。

## 7)まとめ

本章では、東京都区部の高密度熱需要期待地区において、分散型エネルギーシステム導入のグラウンドデザインを行った。以下に、結果を示す。

- ガス式システムが有利となった地区は、すべてガスエンジンである。
- CGS容量が、年間時刻別最大需要の30%の場合、電気式(HP)システムが有利である。
- 受電端効率が上昇した場合(CASE②)、全地区において電気式(HP)システムが有利であり、CGS機器効率が上昇した場合(CASE③)、全地区においてガス式(GE)システムが有利である。
- 業務中心地区は電気式(HP)システムが有利であり、住宅中心地区はガス式(GE)システムが有利である。このため、既存DHCのシステムとの矛盾が生じている。
- バルチラエンジンは、現状では、全地区において導入推進すべきであり、受電端効率0.40にも、対等に比較評価できる。

以上のように、まだまだ電気式(HP)システムが有利である。電気式システムはCGSと比較して高い機器効率であり、必然の結果と言える。逆に言えば、ヒートポンプと比較して低い機器効率でも、CGSが最適と判別された地区が多数あり、運転方法や妥当容量のCGSを導入することで、電気式システム以上に高いCOPを示すことができることが明らかとなった。

本論では直接的に提案は行わないが、バルチラエンジンは既に導入実績があるなど、早急な導入が可能である。よって、バルチラエンジンという特定のケースを考えれば、どのような地区においても、導入を考える際には、必ず検討を行うべきである。

## 7-6 地域の自立性

以上、環境性を考慮し分析したケースのうち、従来の状況を示す case①と将来的な観点での case④に対して分析を行う。

表 7-6. 1 CGS 機器効率と受電端効率一覧

	総合効率	GT		GE		受電端効率
		発電効率	排熱効率	発電効率	排熱効率	
CASE①	0.65	0.25	0.40	0.30	0.35	0.36
CASE②	0.65	0.25	0.40	0.30	0.35	0.40
CASE③	0.73	0.30	0.43	0.35	0.38	0.36
CASE④	0.73	0.30	0.43	0.35	0.38	0.40

以上、環境性を考慮し分析したケースのうち、従来の状況を示す case①と将来的な観点での case④に対して分析を行う。

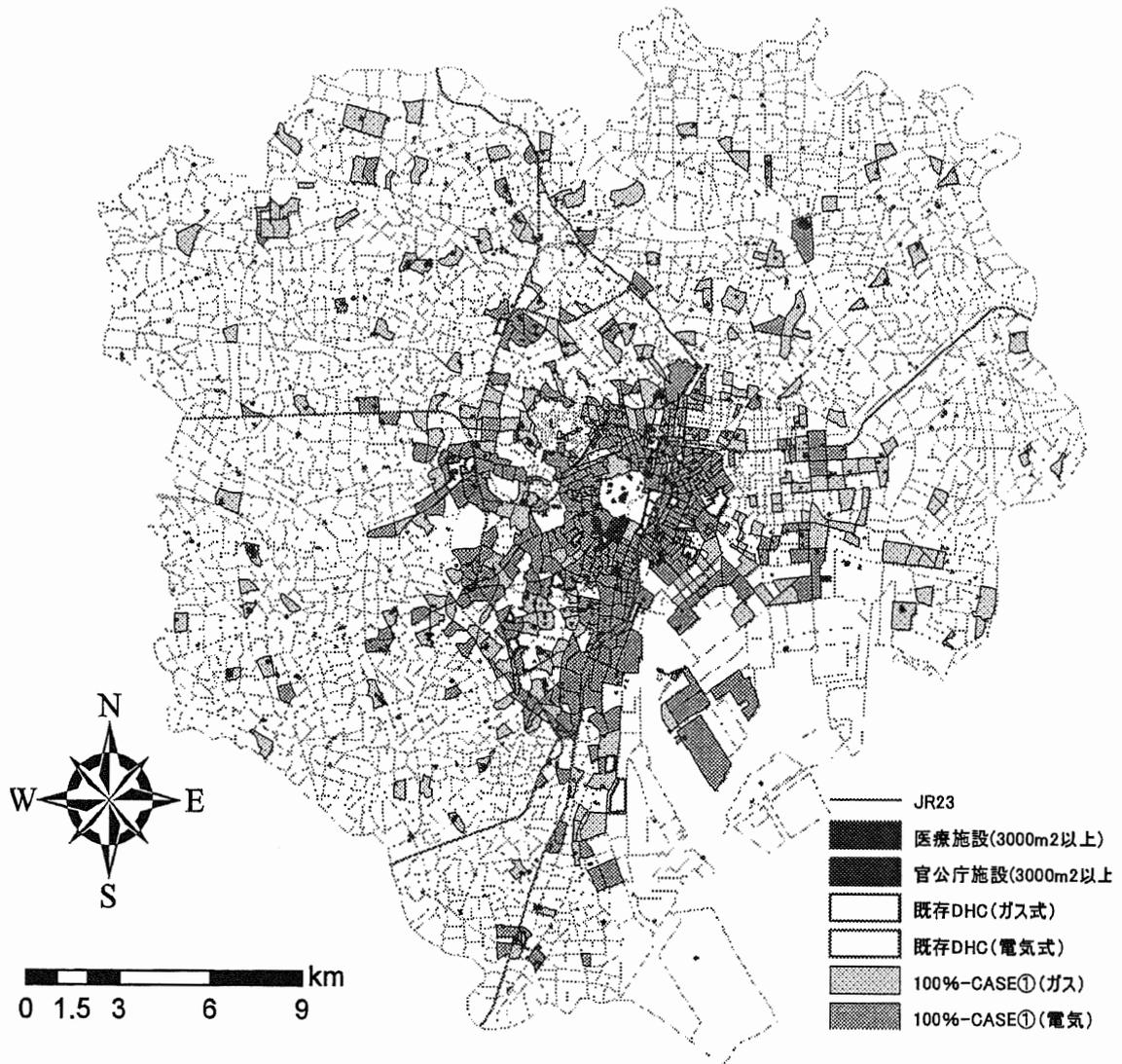


図7-6. 1 地域の自立性とシステム別既存DHCと有効熱媒分布図(現状)

※機器効率CASE① CGS容量100%

従来の機器効率(CASE①)で環境性を考慮した既存DHCと有効熱媒分布図をみると、電気式のシステムが有利である地区が多い。しかし、地域の自立性が要求される地域では非常電源設備としての自家発電設備が有効であることから、電気・ガス式の併用システムの構築が望ましい。

また、非常電源設備として蓄電池などのバックアップ設備を用いることによる電気式システ

ムの構築も考えられるが、図7-6.2のように将来の機器効率(CASE④)で環境性を考慮した有効熱媒分布を求めてみると、コージェネレーションなどの自家発電設備は地域の環境性と共に自立性の確保にも大きい役割を果たすと期待される。

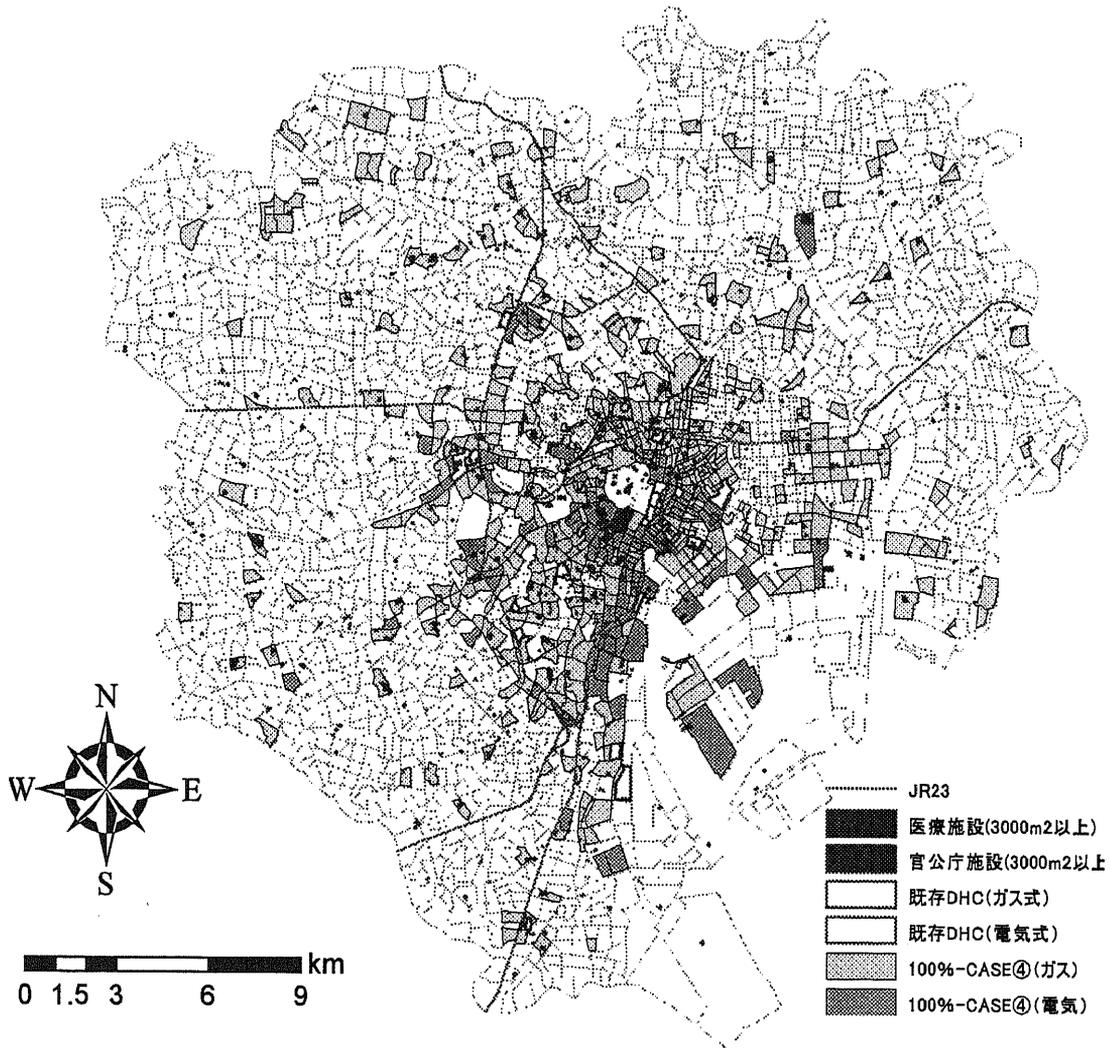


図7-6.2 地域の自立性とシステム別既存DHCと有効熱媒分布図(将来像)

※機器効率CASE④ CGS容量100%

例えば、千代田区(図7-6.3、うす青色)の場合には環境的には電気式システムが有利であるが、区役所、病院など、災害時に防災拠点として役割を果たすビルがほとんどであり、地域の

自立性を持つためには分散型エネルギーシステムの構築に工夫が必要である。

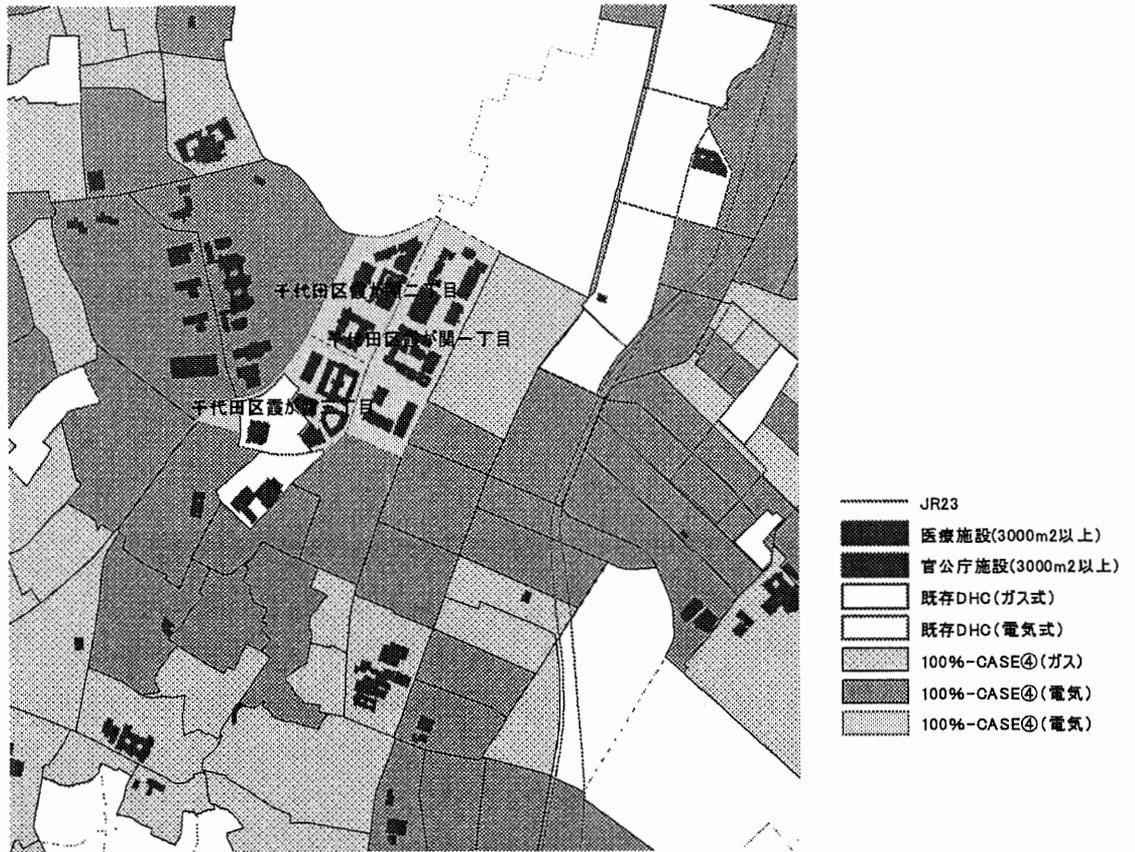


図7-6. 3 地域の自立性を考慮すべき地区

東京都区部は日本の首都として心臓部の機能だけではなく、全世界的にも重要な役割を果たしている。このような大都市域のサステナビリティ実現に向け、非常時に避難場所として機能を持つ施設が集中している地域や避難場所などであれば防災性を備え、機能を自立させることが求められていることから、分散型エネルギーシステムを構築する際には環境性だけではなく、地域の自立性を考慮するのは極めて重要である。すなわち、信頼度ニーズをベースとしたエネルギー供給に対する環境性を分析することが望ましい。

従って、地区の環境性や自立性の特性に応じたエネルギーシステムの将来像を、より現実的かつ総合的なランドデザインを示すことが必要と言える。

【参考文献】

- 1) 省エネルギーセンター：<http://www.eccj.or.jp/qanda/index.html>
- 2) 田中俊六：環境保全と省エネを実現するヒートポンプ・蓄熱システム, Ohmsha, 2005.7
- 3) 東京電力：数値で見る東京電力, H16年度

## 第8章、結論と展望

8-1 研究成果のまとめ

8-2 今後の課題と展望

## 8-1 研究成果のまとめ

本研究では、都市のサステナビリティ実現に向け、エネルギーシステム構築のあり方について考察することを目的とする。まず、サステナビリティの概念を定義したうえで、文献調査、アンケート調査、シミュレーション分析などを行い、将来的な都市のエネルギーシステムのあり方について論じるものである。そこで、エネルギー供給信頼性を考察することで都市の自立性を満たすことからはじめ、エネルギー需要特性・需要密度軸と都市空間の時間軸を考慮することから都市空間構成を分類し、地域の特性に相応しい地域エネルギーシステムの構築やマネジメントを行った。

第1章の「従来研究と本研究の位置づけ」では、都市のあり方やサステナビリティの概念を定義することで、本研究の基本的な考え方を整理し、それに基づく本研究の位置づけを示した。そこで、都市のあり方として環境性と自立性の両立を提案した。

第2章は、「都市機能密集地区における供給信頼性を考慮した地域エネルギーシステムの構築に関する研究」の題として、アンケート調査を通じ、建築設備の状況や備え状況、備えに関する認識調査、エネルギー品質のニーズなどを把握した。また、法律面でのエネルギーシステムのあり方を把握し、都市機能密集地区における供給信頼性を考慮した地域エネルギーシステムの構築が必要とする地区を抽出した。

第3章は、「都市空間構成と地域特性の分類に関する研究」の題として、都市のあり方として環境性の向上を目的とする地域類型化の分析を行った。エネルギー形態によるエネルギー特性や概念を明確にし、熱需要密度と熱利用形態により分析対象になる都市空間構成や地域特性の分類した。その際、都市空間構成はエネルギー需要密度軸と都市空間の時間軸を考慮するとともに、未利用エネルギーの活用について考察を行っている。本章で分類された都市空間構成や地域特性を考慮し、4章から地域エネルギーシステムの構成による運用方式を検討した。

第4章は、「地域エネルギーシステムの新規導入地区および設備更新地区における省エネルギー性に関する研究」の題として、新規開発地区における望ましい地域エネルギーシステムを提案し、その効果を検討した。また都市は時間の経過に伴い再生地区が発生することから、このような再生地区を対象とし、地区の再生に伴う地域エネルギーシステムの導入や活用方法に関して考察を行った。さらに、地域エネルギーシステムの連携効果に対する検討を行うなど、地域エネルギーシステムのより効果的な運用について分析を行い、効果を明らかにした。

第5章は、「既存地域エネルギーシステムの省エネルギーマネジメントに関する研究」の題として、都市空間の時間変化の中、既存地域エネルギーシステムにおける省エネルギーマネジメントについて考察した。新規・再生地区に比べて新たなエネルギーシステムの構築が困難であり、現在のエネルギーシステムの運用方法に関して精密に検討することが必要を挙げられた。従って、本章ではエネルギーシステムに対するマネジメントの概念整理からはじめ、需要側や供給側の能動的な制御を反映した地域エネルギーシステムの構築・あり方を提示した。

第6章は、「低密度地区における個別エネルギーシステムの活用によるエネルギー合理的使用に関する研究」の題として、エネルギー利用低密度地区における個別エネルギーシステムの効率的な活用を目的とし、実測・CFD分析・数値シミュレーションを行った。その結果、個別エネルギーシステムの熱交換特性を把握する共に、運転マネジメントなどの分析を行い、省エネ性運用方法を明らかにした。

---

第7章は、「将来的な地域エネルギーシステムの導入効果に関する研究」の題として、以上の考察結果を踏まえ、東京都心部を中心とした都市の未来像を展望・描いた。将来的に地域エネルギーシステムの機器効率の変化予測も視野に入れ、核となる地域の提案も併せて行っている。その際、2章の地域の自立性と3章から分析を行った環境性を十分考慮した分析結果となった。

第8章は「結論と展望」で、本論文の全体内容を総括し、本研究で得られた成果を要約した。また、今後の展望を述べた。

## 8-2 今後の課題と展望

本研究の課題として、以下の事項が挙げられる。

分散型エネルギーシステムのグランドデザイン及び地域需要特性に応じた最適な分散型エネルギーシステムを提案した。しかし、具体的な導入方策を提示しておらず、その際のステークホルダー間の役割等も検証していない。よって、実際に導入する際の事業スキームの提案が必要である。

本研究では、あるモデル地域における分散型エネルギーシステム導入の詳細な影響評価を行ったが、さらに現実性を高めるため、ある実際の地域における分散型エネルギーシステム導入の検証を行うべきと考える。そのとき、機器効率や機器容量、及び機器台数等を詳細に設定する必要がある。

グランドデザインにおいて、人口などの時系列観点からの都市形態変化を考慮していない。これらの設定条件を加味することにより、より具体的な将来像が提示できる。

分散型エネルギーシステムを導入する上で、コストパフォーマンスの評価は欠かせない。本研究のさらなる発展系としてコストを詳細に解析し、コスト指標からの評価を行う必要がある。さらには、コストやCO<sub>2</sub>排出量、COPなどの評価項目を基に、環境効率という評価指標で分散型エネルギーシステムを評価することで、より総合的かつ多角的な評価提案を行うことができる。

東京都区部における未利用エネルギーのポテンシャルは非常に大きい。これらのポテンシャルを数値評価し、分散型エネルギーシステムとの連携を具現化した解析が必要である。