

518
SA

都市におけるインフラストラクチャーの
総合化に関する研究

(研究課題番号 08650696)

平成8年～平成9年度 科学研究費補助金 (基盤研究 (C) (2))

研究 成 果 報 告 書

横浜国立大学附属図書館



10429523

平成 10年 3月

研究 代 表 者 佐 土 原 聡
(横浜国立大学大学院工学研究科助教授)

はしがき

本報告書は文部省科学研究費補助金基盤研究（C）、研究課題番号 08650696、研究課題名「都市におけるインフラストラクチャーの総合化に関する研究」に関する成果をとりまとめたものである。

本研究は、都市内に存在する様々な供給処理施設を水を媒体にした熱供給で繋ぐことによって、都市全体のエネルギー的効率性、環境保全性を高め、さらに地区レベルでの拠点型自立システムと広域型ネットワークシステムの組み合わせによる災害時自立力のアップなどを目指した研究である。

1997年12月京都で第3回地球温暖化防止枠組み条約が開かれ、日本は2010年までに温暖化ガス排出量を1990年レベルの6%削減するという目標が決定された。エネルギー問題、環境問題は今や世界共通の課題となっている。また、1995年1月17日に起こった阪神・淡路大震災では、都市インフラストラクチャーが大きな被害を受け、復旧・再建活動に重大な支障をきたした。空間的にも機能的にも複合化した都市において、従来のインフラストラクチャーのあり方の是非が問われることとなった。このようなことを踏まえると、国あるいは地域のエネルギーシステム、インフラストラクチャーシステムを新たに再構築していく必要がある。

本研究はこれらの視点から都市のインフラストラクチャーの総合化を検討したものであり、研究成果がこれらの課題への対策、或いは更なる研究の一助となれば幸いである。

平成10年3月

研究組織

研究代表者 佐土原 聡 (横浜国立大学大学院工学研究科 助教授)

研究分担者 村上 處直 (横浜国立大学大学院工学研究科 教授)

研究協力者 吉田 聡 (横浜国立大学大学院 博士課程後期学生)

村田 和彦 (当時 横浜国立大学 研究生)

加藤 慎章 (横浜国立大学大学院 博士課程前期学生)

研究経費

平成7年度 1,400 千円

平成8年度 700 千円

計 2,100 千円

研究発表

(1) 学会誌等

- ・ 吉田聡, 佐土原聡, 村上處直ほか:「工場排熱の地域冷暖房への利用可能性に関する研究－工場排熱原単位の作成と神奈川県におけるケーススタディー」, 日本建築学会計画系論文集, 第 497 号, 1997 年 7 月

(2) 口頭発表

- ・ 村田和彦, 佐土原聡, 村上處直:「都市インフラの総合化・クローズド化に関する研究・その 1－ごみ・下水・汚泥処理施設のスケール分析」, 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, 1996 年 9 月
- ・ 佐土原聡:「自然度・文明度の環境論の概念と都市インフラに関する考察－自然度・文明度の環境論」, 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, 1997 年 9 月
- ・ 佐土原聡, 村上處直ほか:「横浜臨海地区における未利用エネルギー活用型総合システムの検討－都市インフラの総合化に関する研究・その 1－」, 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, 1997 年 9 月
- ・ 村田和彦, 佐土原聡, 村上處直ほか:「横浜臨海地区における未利用エネルギー・コージェネレーション複合システムの検討－都市インフラの総合化に関する研究・その 2－」, 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, 1997 年 9 月
- ・ 佐土原聡, 村上處直ほか:「横浜臨海地区における広域熱供給ネットワーク導入に関する研究－都市インフラの総合化に関する研究・その 3－」, 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, 1997 年 9 月
- ・ 吉田聡, 佐土原聡, 村上處直ほか:「東京都区部における広域熱供給システム導入に関する研究－都市インフラの総合化に関する研究・その 4－」, 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, 1997 年 9 月

(3) 出版物

なし

目次

はしがき	… i
研究組織	
研究経費	
研究業績	
1.序	… 1
1-1 研究の背景および目的	
1-2 都市型総合インフラの概念	
1-3 都市型総合インフラの構成スケール - 拠点とネットワーク	
2.既存供給処理インフラのスケール分析	… 7
2-1 各処理施設のスケール	
2-2 各処理施設の考察	
3.横浜市における需要分析	… 11
3-1 各負荷密度の想定	
3-2 ケーススタディ対象地区の選定	
4.横浜臨海部でのエネルギー有効利用可能量の把握	… 27
4-1 拠点系インフラによる資源エネルギー有効利用の分析	
(1) 地区排出ごみによる熱供給	
(2) 地区排出ごみによる電力供給	
(3) 地区排水による中水供給	
(4) 地区排水による熱供給	
(5) 地区排水中の汚泥による熱供給	
(6) 地区排水中の汚泥による電力供給	
(7) 地区降雨水による中水供給	
(8) 太陽光発電による電力供給	
(9) 拠点系まとめ	
4-2 ネットワーク系インフラによる資源エネルギー有効利用の分析	
(1) 鶴見清掃工場による熱供給	

- (2) 鶴見清掃工場による電力供給
- (3) 神奈川下水処理場による中水供給
- (4) 神奈川下水処理場による熱供給
- (5) 北部汚泥処理センターによる熱供給
- (6) 北部汚泥処理センターによる電力供給
- (7) ネットワーク系まとめ

5. コージェネレーションの有効性 … 61

- 5-1 電力負荷追従運転
- 5-2 熱電バランス運転
- 5-3 機種・運転方式の比較

6. 省エネルギー総合システムの提案 … 71

- 6-1 総合システムの検討
 - (1) コージェネレーションベース利用・未利用エネルギー活用システム
 - (2) 未利用エネルギーベース利用・コージェネレーション活用システム
- 6-2 総合システムの評価
 - (1) 基準システムの設定
 - (2) コージェネレーションベース利用・未利用エネルギー活用システム
 - (3) 未利用エネルギーベース利用・コージェネレーション活用システム
 - (4) まとめ

7. 広域熱供給ネットワークの可能性 … 95

- 7-1 広域熱供給ネットワークの意義
- 7-2 広域熱供給ネットワーク熱源の可能性
- 7-3 まとめ

8. 広域熱供給ネットワークを活用した総合都市インフラストラクチャーの構想

— 防災・環境に配慮したインフラストラクチャー — … 105

- 8-1 概要
- 8-2 広域幹線共同公ネットワーク
- 8-3 システムの提案
- 8-4 システムの評価
 - (1) 防災的自立性評価

- (2) 地区内循環性評価
 - (3) 省エネルギー性・環境保全性評価
 - (4) 経済性概算評価
- 8-5 まとめ

1 .序

1. 序

1-1 研究の背景および目的

エネルギーなどの消費が増大している都市域では、環境負荷低減の要請がますます強くなってきている。また、1995年1月に発生した兵庫県南部地震被害では、ライフライン停止による使用が大きな問題になり、供給信頼性の確保の必要性が強く認識された。河川水や井戸水が役に立った例に見られるように、自然のシステムに良くあったエネルギー供給、水供給処理、ごみ処理などの機能を果たすインフラストラクチャーを構築していくことが、普段の環境にも良いとともに非常時にも役に立つ。

現在の都市では、電力、ガス供給、上下水、ごみ収集処理など、ここのシステムが大規模に整備されている。また、都市排熱や環境熱などの未利用エネルギー、コージェネレーションを用いた地域冷暖房についての研究は、本研究代表者自身も含めて研究者の間ではすでに行われてきており、実際に導入も図られてきている。しかし、環境負荷低減や高い供給信頼性の確保という要請に応えるための循環型、自立型のシステムを実現するためには、今後エネルギー、水、ごみの供給処理システムを相互に関連づけて一体的なシステムを構成する抜本的な再構築が必要である。また、システムの大規模化による非効率面も問題になってきていること、これからの都市づくりの方向性などを考えると、インフラストラクチャーの施設を小規模分散か、地域密着化していくことが検討される必要がある。

以上述べたような視点から、本研究はこれからの都市のインフラストラクチャーを再構築するための基礎的な研究を行うものである。具体的には、これまで整備されてきた電力やガスなどの「従来インフラ」に加えて、数百m～数km四方にわたる比較的小さなエリア内の循環型システムを実現すると同時に自立性も確保する「拠点型インフラ」が必要と考えている。さらに、「拠点型インフラ」の相互バックアップと施設の有効利用、ごみ焼却場や大規模コージェネレーション発電所を取り込んだ一大ネットワークを形成する都市規模の大循環システムを可能にし、いざというときに「拠点型インフラ」の自立性をサポートするためのガスや石油などの一次エネルギー供給が可能な「広域ネットワーク型インフラ」を造って、これら三重のシステムで都市を支えていくのが望ましいと考えている。「広域ネットワーク型インフラ」は、地震でも構造物被害の少ない地価の安定地盤（大深度地下）に構築する。「拠点型インフラ」では太陽エネルギーなどの自然エネルギーも十分に活用して、エネルギー需要のピークカット、情報通信用のエネルギー確保に役立てる。そして、温度レベルの低い下水などの活用した小循環型システムとなる。「広域ネットワーク型インフラ」では、温度レベルの高い熱が活用され

た大循環システムとなる。このようなシステムの実現には、熱供給網が不可欠である。熱供給システムを媒介にしてごみの排熱や下水熱など他のインフラも含めたシステムの総合化、合理化を図ることについて検討するのが本研究の目的である。

1-2 都市型総合インフラの概念

都市という単位が発生する以前では、人間活動は自然との共生のもとに成立していた。モノとエネルギーの流れは小量かつゆるやかに循環し、情報は時間的差違をもって伝播する。資源とエネルギーの消費、それに伴う負荷の排出は、その土地内で完結したサイクルを保てる範囲内で行われていた。

ヒトの集住の度合いが増し、極めて高密度な社会生活が営まれる都市が生まれると、もはや自然の供給力・復元力のみでは循環が保てなくなり、人工的ななしかけが必要となった。それがインフラストラクチャー：都市の基盤を支える設備 である。

インフラとは交通・道路網・情報通信網・公園等も含む概念であるが、ここでは資源・エネルギー供給に関するもの（いわゆるライフラインとほぼ同義）と、ごみ・下水等の処理施設を指して、狭義のインフラとして用いる。

自然循環の限界を含めた今日の様々な環境・エネルギー問題は、環境容量を超えて活動する都市の成立と時期を同じくして顕在化してきた。我が国においても 1960 年代に各地で発生した公害問題や、70 年代二度にわたるオイルショック、先の阪神淡路大震災での供給網寸断による二次災害等は、源をたどれば、都市活動とその消費構造に起因する問題であることがわかる。そして今や全地球的規模での環境破壊が進行しつつあり、事態は人類の存続をも危うくするところまできている。

一方、やはり都市とともに歩みを見せるインフラには、これらの問題と呼応する形での発展がみられる。すなわち、自然循環の限界に対する人工循環の確保・公害対策・エネルギーの有効利用・ライフライン機能の強化・環境負荷の削減 といった形で、従来インフラの充実・新しいインフラの整備が計られてきた。

このうち、新しいインフラに位置づけられる地域熱供給システムやコージェネレーションシステムには特徴的な点が二つある。その一つは、他の供給処理インフラが供給・処理を目的として生まれたものであるのに対し、エネルギーの有効利用を目的としたシステムだということである。単に熱供給・電力供給だけをいえば、個別冷暖房・系統電力で事足りているのだが、このような新しいインフラが生まれ受け入れられるようになったのは、社会的要請としての省エネルギーが非常に重要となってきたことがその背景にあると考えられる。

もう一つは、インフラのもつ目的・効果が多義性を有してきている点にある。例えば

浄水場などは上水の供給という一義的な目的・効果に限定されるが、コージェネレーションでは、電力の供給・熱の供給・エネルギーの有効利用・地区自立の強化・低環境負荷等といった複数の目的・効果をもっている。

以上二つの特徴は新しく生まれたインフラに限らず、従来のインフラに新たに加味されることもある。ごみ発電が本来のごみ処理という目的を一步越えてエネルギーの回収利用を行い、それによってごみの処理・電力の供給・エネルギー有効利用といった多義性を帯びてくることなどは、その例である。

このように、本来の供給処理の枠を越え、都市活動に伴う様々な問題に対処し得る多義性を有することを目標とした都市インフラの将来像を「都市型総合インフラ」と定義する。都市に求められるものは、前述のように時代の変遷・都市の発展とともに変化してゆき、今後どのような要求が発生するのかは予測し難い。そのような新たな問題に対しても有効に機能するためには、多義性・柔軟性・ある種の曖昧性が重要となってくる。その究極をたどると、実は 自然 本来がもっとも許容能力の優れたインフラストラクチャーであろうと思われる。しかし自然だけでは、現在ほど巨大化・高密度化した都市を内側から支えることは不可能に近い。自然の柔軟性に学び、場合によっては自然のシステムを利用し、人工的に手を加えてそれらを実現してゆこうとするのが「都市型総合インフラ」の概念である。

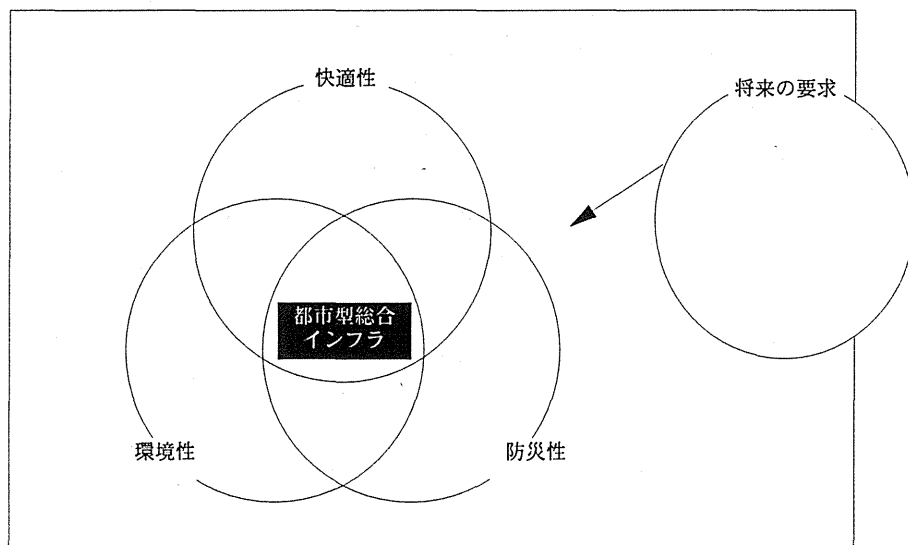


図 1-1 都市型総合インフラのイメージ

1-3 都市型総合インフラの構成スケール - 拠点とネットワーク -

供給系のインフラでは、供給の対象となるモノがどこで作られたかによって、自立と依存の概念が存在する。処理系においても、消費側に対して処理される場所がどこであるかによって、同様に自立・依存の考えがあり、供給系・処理系を合わせて、モノとエネルギーの循環が成立している。巨視的に見れば、物流は地球内で閉じた系を形成し、一方で全てのエネルギー源は太陽に回帰するのであるが、都市インフラが取り扱う領域でのスケールでは、電力自給県・埋立処分場の他市依存というように、市町村単位で考えることが多い。

東京のように高密度な地域においては、需要・排出ともに膨大な量となり、その多くを周辺部に依存する構造となっている。電力網を例に取り上げると、東京都を中心として巨大な送電システムが構築されており、湾岸の火力発電所のほかに、福島第一・第二・柏崎刈羽原子力発電所、今市・塩原揚水発電所などの遠隔地から東京にむけて50万ボルト送電線が張り巡らされ、さらに将来的には青森県大間・東通原子力発電所からの送電も計画されている。

このようなエネルギー源の遠隔化においては、常時の供給面では供給コストの問題、万が一の事態に対しては都市機能停止の恐れが考えられ、理想的には需要地近傍にエネルギー供給プラントを備えることが望ましい。

現在ある都市供給処理設備は、急激に増加する負荷に対応する必要性と、効率面でのスケールメリットという名のもとに、大規模化の発展を歩んできた。その規模は、平均的には一県ないし一市に収まる範囲内ではあるものの、それでも日常の住生活単位としての地域・地区スケールと比較すると、かなり規模の大きいものとなる。逆に、規模を縮小することを追求した極端な例として完全自立住宅の研究というものも進んでいるが、コスト的な問題・高密度な都市への不適合性などから現実的でなく、また都市においてはそこまでのスケールの縮小は、その必然性にも疑問がある。

前節で新しいインフラとして地域熱供給やコージェネレーションを挙げたが、それらの供給スケールは複数建物～数10haという、地域・地区スケールで成り立っている。個別冷暖房・大規模発電所電力に対する中間的なスケールによって、スケールメリット・需給近接を両立させた規模設定だといえる。また処理施設においても、収集コスト面・水やごみのリサイクル利用面からは、この程度のスケールがふさわしい。

以上の考察から、地域・地区スケールでの供給処理により、モノとエネルギーを極力地域内で循環させる構造を、これからのインフラ計画に組み込んでゆくことが重要である。その一方で現在ある大規模インフラについては、ごみ発電のような小規模では得難いスケールメリットや、地域の循環で足りない部分を補う役割、また地域間をつなぐこ

とにより、自地域での施設余裕率を他地域で活用することが可能となるなど、地域循環とセットで考えることによって多くの意義が新たに加えられることとなる。

都市型総合インフラの構成スケールを考えるにあたっては、拠点系インフラによる地域スケールでの循環を、ネットワーク系インフラによる広域スケールでの循環によってサポートする構造であることが望ましい。

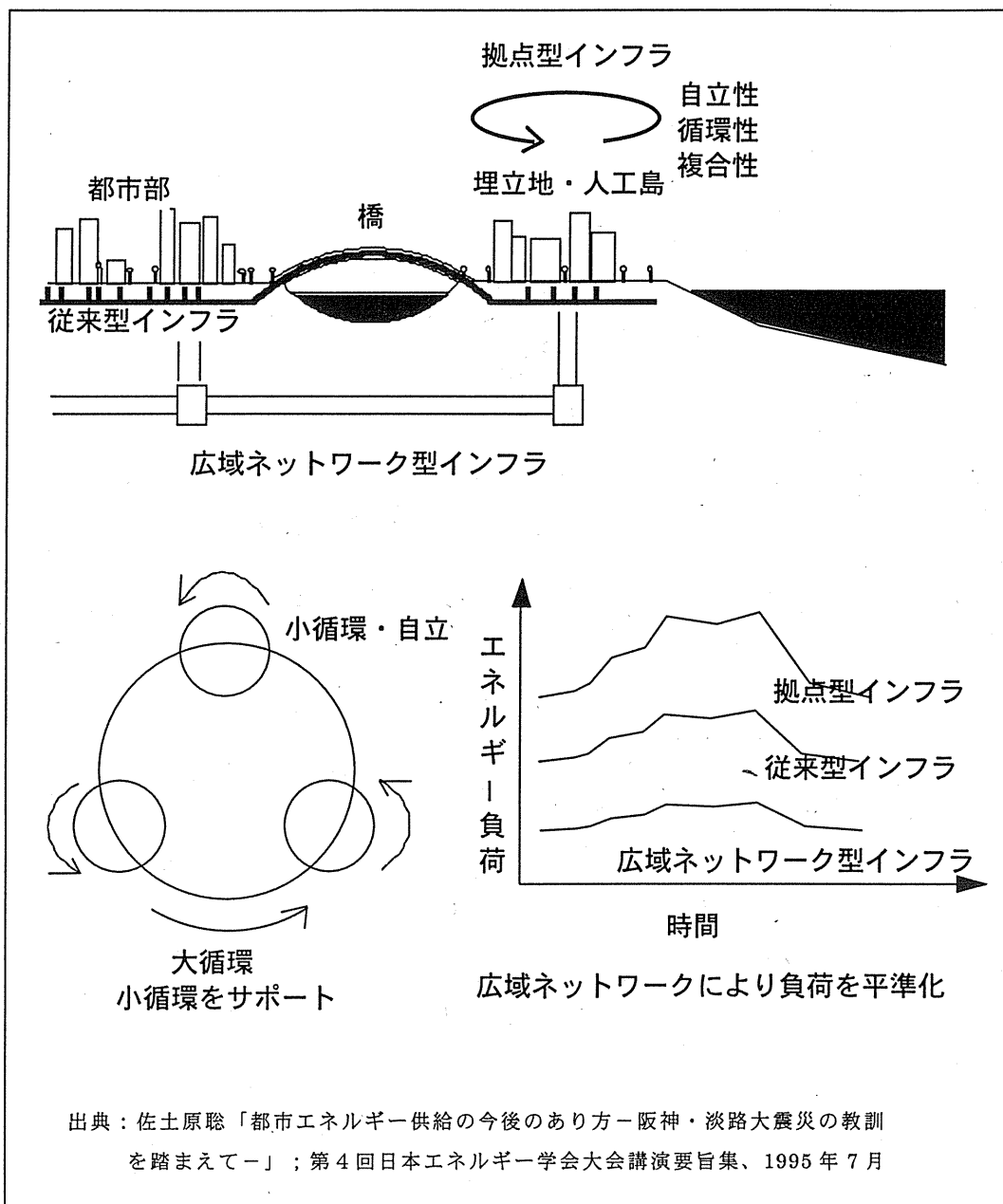


図 1-2 拠点とネットワークによる循環

2. 既存供給処理インフラのスケール分析

2. 既存供給処理インフラのスケール分析

現在、資源・エネルギー関係の供給処理対象となっている要素と、それを受け持つ主な施設を挙げる。

要素	供給系				処理系	
	電力	ガス	水(上水)	熱	ごみ	水(下水)
対象施設	発電所	LNGプラント	浄水場	DHCプラント	清掃工場	下水処理場

各要素に対応する対象施設としては表に示したものの以外でも、例えば電力については変電所・送電線・ダム(水力)・燃料基地(火力)など、いくつかの関連施設が存在する。

ここでは、本来の処理作業を越えて処理過程からの資源・エネルギー回収を行う処理系施設について、その有効利用施策についてまとめることとし、清掃工場、下水処理場、下水処理場に付属する汚泥処理施設お取り上げる。これらの施設に関して、従来の処理作業の対象地区面積と、回収可能なエネルギーの賦存量を既存のDHCプラントの対象地区面積と比較することによって、各施設のスケールの把握と、地区規模でのこれらの施設の成立の可能性を考察する。

2-1 各処理施設のスケール

既存の各施設の処理対象地区面積と熱供給能力について図2-1にまとめる。このとき、処理対象地区面積は公称能力で、熱供給能力は各施設の処理実績から算定（4章に詳細に記述）したものを熱負荷密度 $1.0\text{Tcal}/\text{ha}\cdot\text{年}$ の地区に供給したときの供給範囲である。

これからわかることは、各処理施設ともある程度大きい範囲から収集してまとめた処理をすることによるスケールメリットが存在する。しかし、清掃工場や下水処理場は施設に多大なエネルギーが賦存しており、熱供給プラントとして位置づけるならばDHCプラントとほぼ同規模の能力を有していることがわかる。

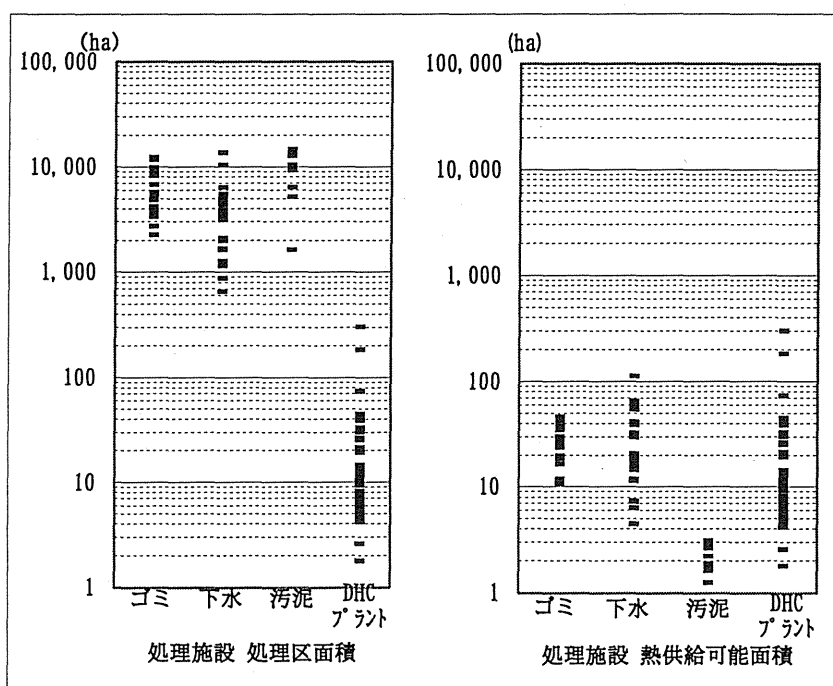


図2-1 各処理施設の処理スケール

2-2 各処理施設の考察

既存の各処理施設の成立条件および処理能力（図2-2）から、それぞれの施設が地区のエネルギープラントとして成立できるかについて、その可能性を考察する。

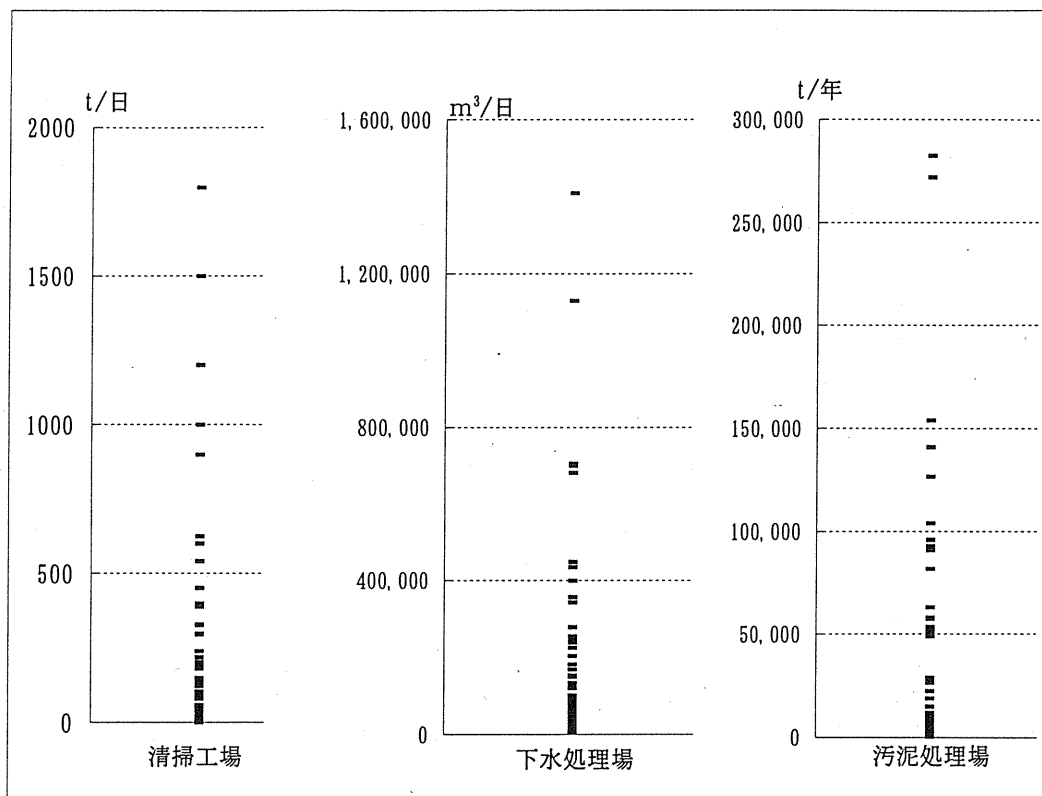


図2-2 各処理場の処理能力の分布

(1) 清掃工場

清掃工場では現在焼却熱を利用した「ごみ発電」を行うことがトレンドとなっている。また、RDF（ごみ固形燃料）や「スーパーごみ発電」も試行されている。

一般に「ごみ発電」には、100 t/日以上が必要だといわれていることを考えれば、都市域において地区規模の「ごみ発電」設備を有する清掃工場の成立は可能である。ごみによる熱供給についても、「ごみ発電」と同様に可能である。

また、施設の成立には立地も問題であるが、清掃工場に関しては下水処理場などのように立地は重要ではなく、用地の確保さえ出来ればどこでも成立できる。

(2) 下水処理場

下水処理場では処理水に賦存する熱を利用した熱供給を行っている事例がいくつかある。しかし、処理場には多大な熱が賦存しており利用は一部にしかすぎない。

図 2-2 を参考に 1 日 100,000 m³ が時刻変動なしに処理されるとすれば、利用温度差 5℃として 20.8 Gcal/h の熱賦損量があることになる。

下水処理場の熱利用が積極的になされない理由は、その成立条件にある。下水処理場はその施設の性質上、河川や海に隣接して成立する。また、熱媒体が低温であるため遠距離の供給が困難である。以上の理由により、後楽 1 丁目 DHC のような下水道幹線からの生下水利用は考えられるものの、下水処理場を地区規模で有することは困難であると考えられる。

また、下水処理場では高度処理によって再生水（中水）の供給も可能である。現に東京都の落合処理場では新宿副都心の施設に対して再生水を供給している。再生水は、高度処理はしてあるものの、その水質は上水ほど良質ではないために、用途はトイレ洗浄や散水などに限られるため、量は少なく、再生水利用は建物規模から可能である。また、使用後の排水は下水として取り扱うため、再生水製造の施設についての立地条件は特にないといってよい。ゆえに、前述のように地区規模で下水処理場の成立は困難であるものの、広域循環の中水道の成立は可能であると考えられる。

(3) 汚泥処理施設

汚泥処理施設においては、その処理過程（後述 4 章）において焼却排熱や消化ガス（メタンガス）が発生する。しかし、図 2-1 で分かるように処理区面積は大きいものの、エネルギーの回収量は少なく、DHC プラントと比較してもそのスケールは 10 分の 1 である。

実際に、横浜市には北部汚泥処理場と南部汚泥処理場があり、その 2 施設で横浜市全域の汚泥処理を担っているが、エネルギー回収量は少なく、北部汚泥処理場を例に挙げれば、消化ガスで発電を行っているものの、その量は施設使用電力の 90%、焼却排熱は、消化タンクの加温用に使われており、地区に供給する余力はほとんどないといってよい。

以上のことより、汚泥処理施設を地区規模でもつことは現実的でなく、不可能であると考えられる。

3.横浜市における需要分析

3. 横浜市における需要分析

3-1 各負荷密度の想定

神奈川県においては、課税台帳をベースにした町丁目単位の建物用途別延床面積データが整備されている（平成2年度都市計画基礎調査）。

一方、現在進行中又は計画段階にある再開発地区については、個別の文献調査等により開発計画完了時の延床面積データを収集した。

以上より得られた横浜市の建物用途別延床面積とエネルギー・水・ごみの各原単位を用いて、横浜市における各負荷密度を町丁目単位でマップ化する作業を行う。

(1) 熱負荷密度

各熱需要量の算定には「日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究H6年度報告書(日本地域冷暖房協会)」の熱需要原単位を用いた。これと前述の建物用途別延床面積を乗じて年間温・冷熱需要量を算出し、その合計総熱需要を都市的土地利用面積（エリア面積から水面・農林地面積を引いたもの）で割った値を熱負荷密度とした。

年間温(冷)熱需要量 [Tcal/年]

$$= \sum \{ \text{用途別延床面積 [m}^2\text{]} \times \text{用途別年間温(冷)熱需要原単位 [Tcal/m}^2\text{・年]} \}$$

熱負荷密度 [Tcal/ha・年]

$$= \frac{\text{年間温熱需要量 [Tcal/年]} + \text{年間冷熱需要量 [Tcal/年]}}{\text{都市的土地利用面積 [ha]}}$$

表 3-1-1 用途別年間熱需要原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
暖房 Mcal/m ² ・年	17	80	50	18	118	43	86	57
給湯 Mcal/m ² ・年	48	206	13	23	310	64	0	0
冷房 Mcal/m ² ・年	18	123	71	86	65	70	43	22
総熱 Mcal/m ² ・年	83	409	134	127	493	177	129	79

熱負荷密度のマップ化における基準値については、東京都で従来「熱負荷密度指数」という指標により500mメッシュ単位で地域冷暖房の導入可能性を評価してきたことから、それを用いる。「熱負荷密度指数」が1とは事務所ビルが1階分すきま無く建っている状態（グロス容積率100%）の温熱負荷に相当し、当時それは23Tcal/年・メッシュであった。それは約1.0Tcal/ha・年である。

地域冷暖房の導入可能性評価に関していえば、一般に町丁目別に算定した熱負荷密度が1.0Tcal/ ha・年以上であれば地域冷暖房導入の要件を満たすとして「2010年までの対象地区」、0.5Tcal/ ha・年以上 1.0Tcal/ ha・年未満であれば「将来の対象地区」と評価されている。

熱負荷密度=総熱需要/都市の土地面積

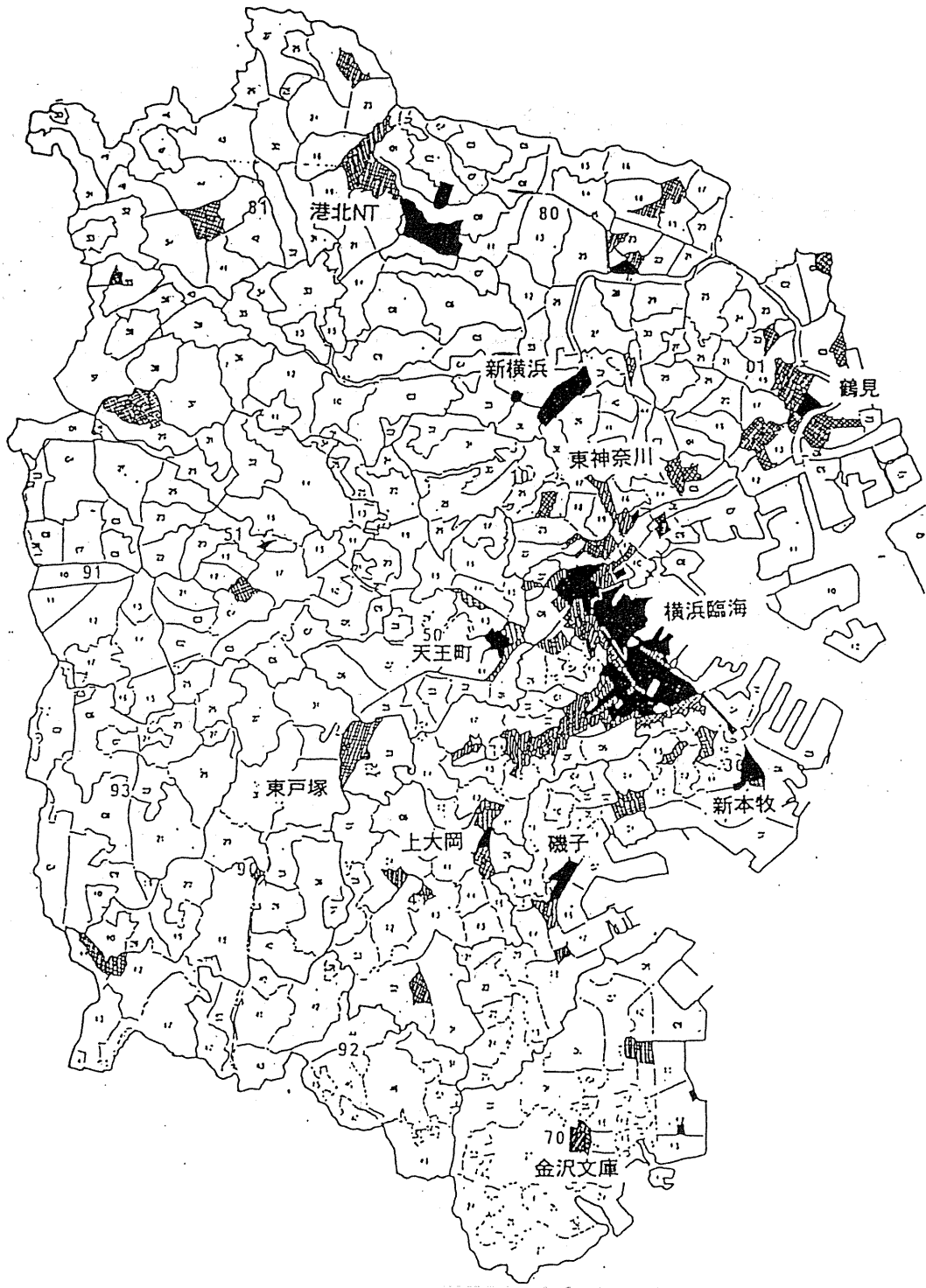
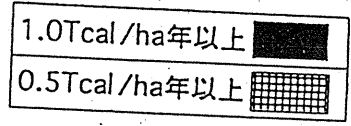


図 3-1-1 横浜市熱負荷密度

(2) 電力負荷密度

「日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究H6年度報告書(日本地域冷暖房協会)」の電力需要原単位を用いて、熱の場合と同様に建物用途別延床面積から年間電力需要量を算出し、これを都市的土地利用面積で割った値を電力負荷密度とした。

年間電力需要量 [GWh/年]

$$= \sum \{ \text{用途別延床面積 [m}^2\text{]} \times \text{用途別年間電力需要原単位 [GWh / m}^2\text{・年]} \}$$

$$\text{電力負荷密度 [GWh/ha・年]} = \frac{\text{年間電力需要量 [GWh/年]}}{\text{都市的土地利用面積 [ha]}}$$

表 3-1-2 用途別年間電力需要原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
電力 kWh/m ² ・年	46	185	170	291	133	200	63	55

電力は遠距離輸送が可能なため、熱供給ほど需給間距離は問題とならないが、コージェネレーションのような分散電源による地区自立を計る際には、高負荷密度地区での導入が有利であり、一応の指標となり得る。

電力負荷密度のマップ化における既定の基準値は特に存在しない。再開発を考慮する前の延床面積データ（全 1530 町丁目）では、90%以上のゾーンが 0.5GWh/ha・年以下、95%以上が 1.0GWh/ha・年以下であり、電力負荷密度の高い地区として今回は便宜上この2つを基準として地区をあらいだした。

電力負荷密度=総電力需要/都市の土地面積

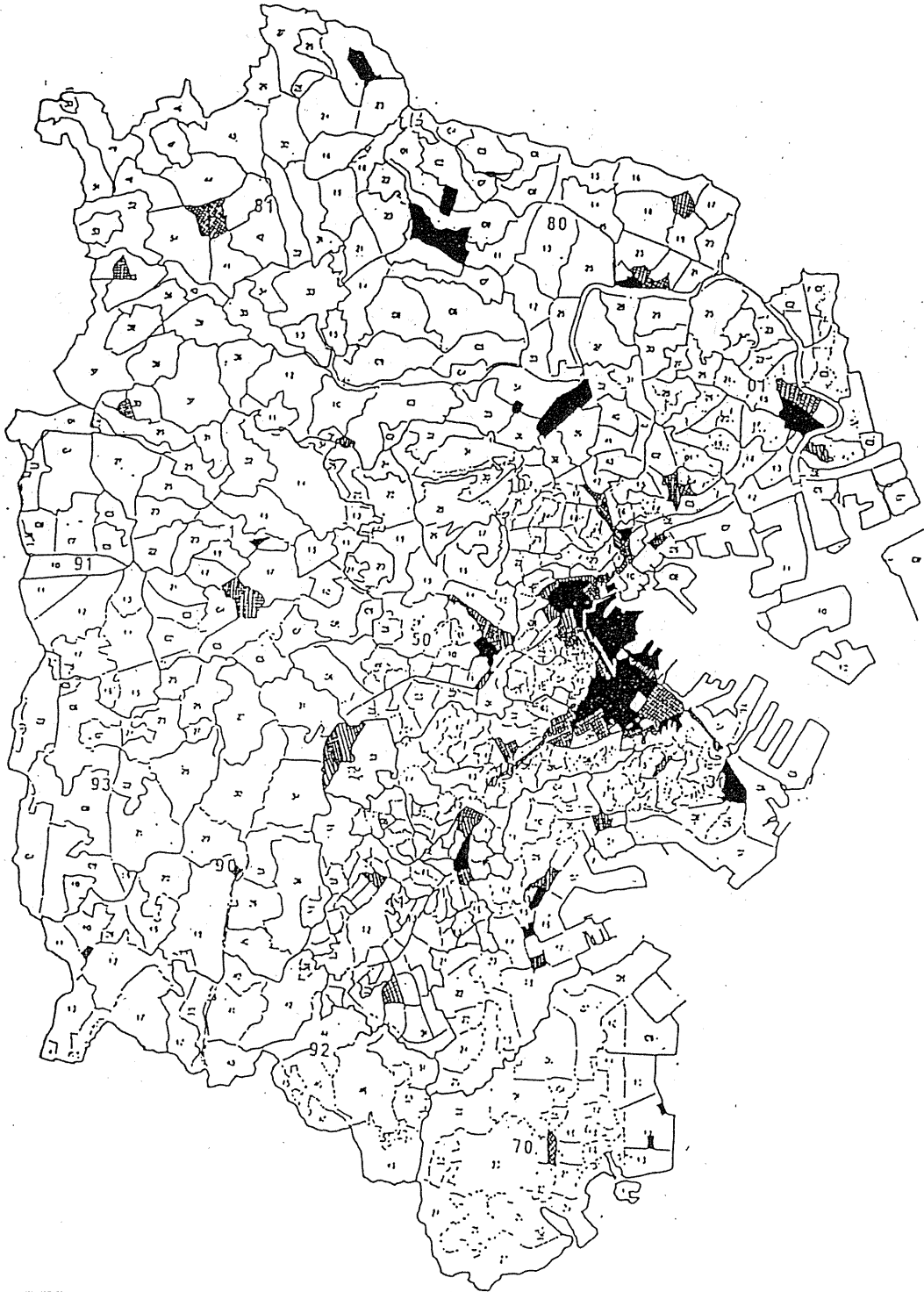
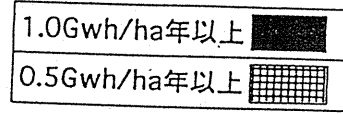


图 3-1-2 横浜市電力負荷密度

(3) 中水負荷密度

「空気調和衛生工学便覧Ⅲ給排水設備篇（空気調和衛生工学会）」の水使用実績と上水系・雑用水系用途割合を用いて、建物用途別水需要原単位を作成し、延床面積と都市的土地利用面積より中水負荷密度を算出した。

中水需要量 [m³/日]

$$= \Sigma \{ \text{用途別延床面積 [m}^2\text{]} \times \text{用途別中水系水需要原単位 [m}^3\text{/m}^2\text{・日]} \}$$

$$\text{中水負荷密度 [m}^3\text{/ha・日]} = \frac{\text{中水需要量 [m}^3\text{/日]}{\text{都市的土地利用面積 [ha]}}$$

表 3-1-3 用途別水需要原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
年平均1日水使用量 ℓ/m ² ・日	10.8	22.4	8.05	21.8	24.2	13.1	3.57	11.1
上水系 ℓ/m ² ・日	8.64	15.68	3.22	11.55	17.91	7.86	1.50	4.88
中水系 ℓ/m ² ・日	2.16	6.72	4.83	10.25	6.29	5.24	2.07	6.22

中水負荷密度のマップ化における基準値は、実際の中水道施設の値から求める。東京都下水道局では、落合下水処理場の処理水をさらに高度処理した再生水を、都庁をはじめとした新宿新都心地域一帯にトイレ用水として供給する広域循環中水道：新宿副都心水リサイクルモデル事業を展開している。ここでの供給対象区域面積 50ha と、H7 年度年平均使用再生水量 2,679 m³/日を用いて、中水負荷密度の指標を 50 m³/日とした。

中水負荷密度=中水需要量/都市的土地面積

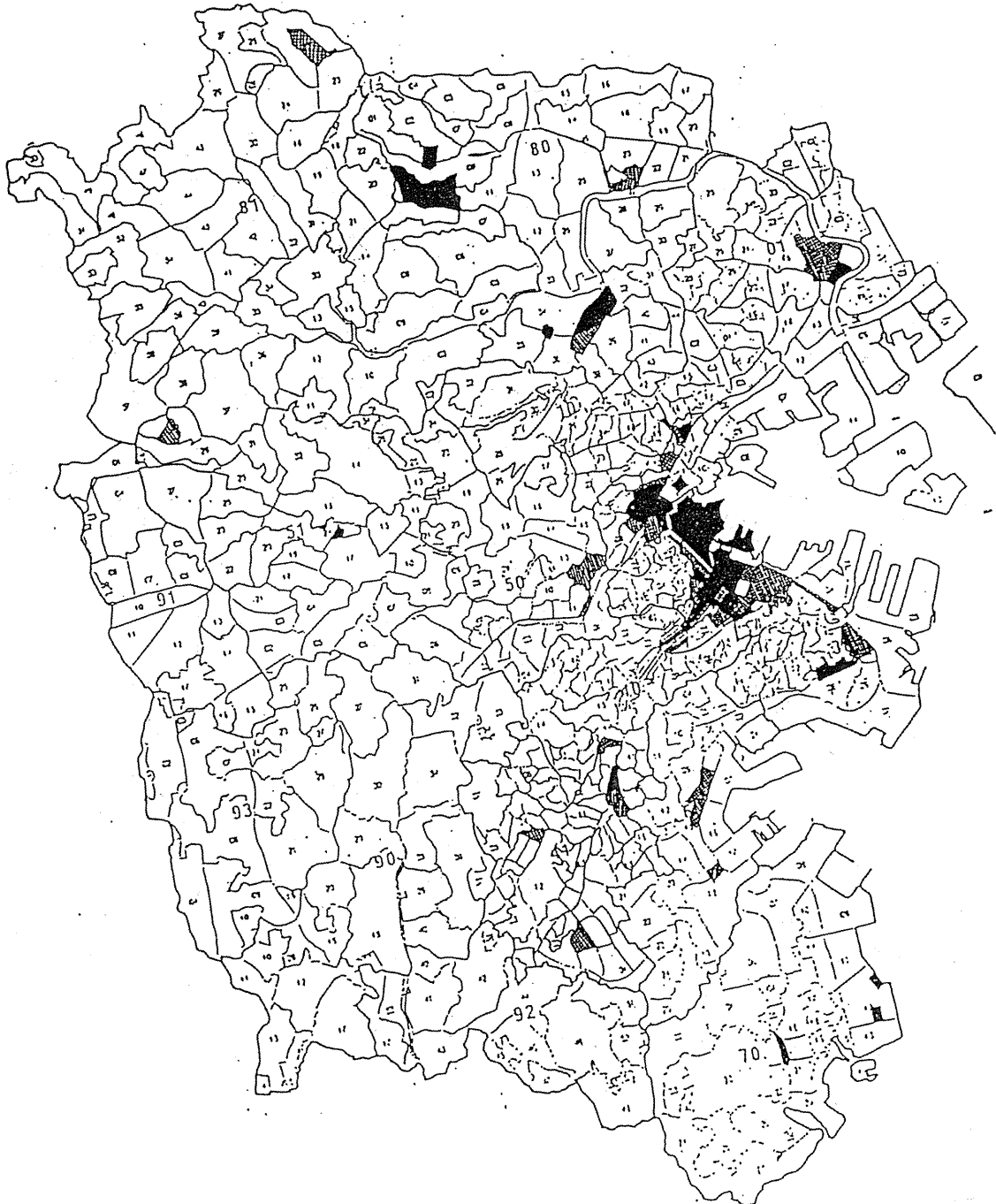
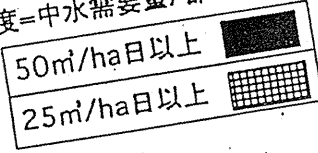


図 3-1-3 横浜市中水負荷密度

(4) ごみ排出負荷密度

「空気調和衛生工学便覧Ⅲ給排水設備篇（空気調和衛生工学会）」のごみ排出量実績・東京都清掃局資料等を用いて、建物用途別ごみ排出原単位を作成し、延床面積と都市的土地利用面積よりごみ排出負荷密度を算出した。

焼却ごみ排出量 [t/年]

$$= \Sigma \{ \text{用途別延床面積 [m}^2\text{]} \times \text{用途別焼却ごみ排出原単位 [t/m}^2\text{・年]} \}$$

$$\text{ごみ排出負荷密度 [t/ha・年]} = \frac{\text{焼却ごみ排出量 [t/年]}}{\text{都市的土地利用面積 [ha]}}$$

表 3-1-4 用途別ごみ排出原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
ごみ排出量 g/m ² ・日	30	65	57	255	57	15	20	20
想定排出日数	360	360	280	320	360	310	300	210
可燃ごみ率	0.87	0.70	0.84	0.78	0.73	0.69	0.79	0.87
焼却ごみ排出原単位 kg/m ² ・年	9.396	16.380	13.406	63.648	14.980	3.209	4.740	3.654

ごみ排出負荷密度のマップ化における基準値は500t/ha・年とした。これは、焼却ごみの低位発熱量を2000kcal/kgとすると、500t/ha・年で地区内排出ごみの焼却賦存熱量が1.0Tcal/ha・年であると概算でき、ごみ焼却熱の地区内リサイクル利用の可能性を示す指標となる。

ゴミ負荷密度=ゴミ排出量/都市的土地面積

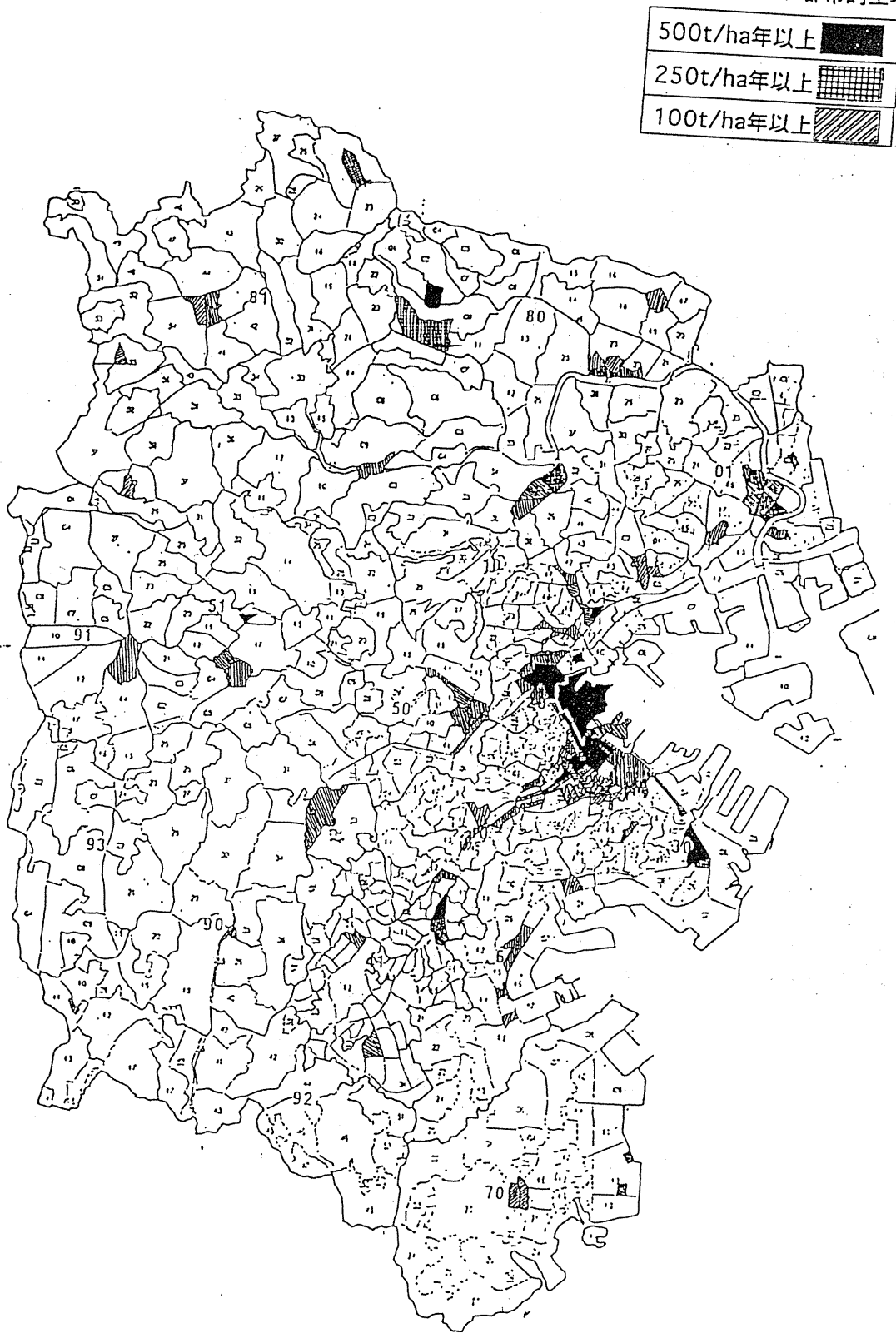


图 3-1-4 横浜市ゴミ排出負荷密度

3-2 ケーススタディ対象地区の選定

前節で各負荷密度とも高い地区が集中していた場所として、横浜駅周辺から関内地区にかけての横浜臨海一帯が挙げられる。よって、4章からの有効利用ケーススタディでは、ここを対象地区として、資源・エネルギーの需給関係を考察してゆくこととする。

地区の選定基準としては年間熱負荷密度 1.0Tcal/ha 以上を用い、比較的まとまった形状の4地区（横浜駅周辺・みなとみらい中央（以下MM中央）・みなとみらい新港（以下MM新港）・関内地区）による構成とした。対象地区となる横浜臨海地域の現況と周辺状況を以下に示す。

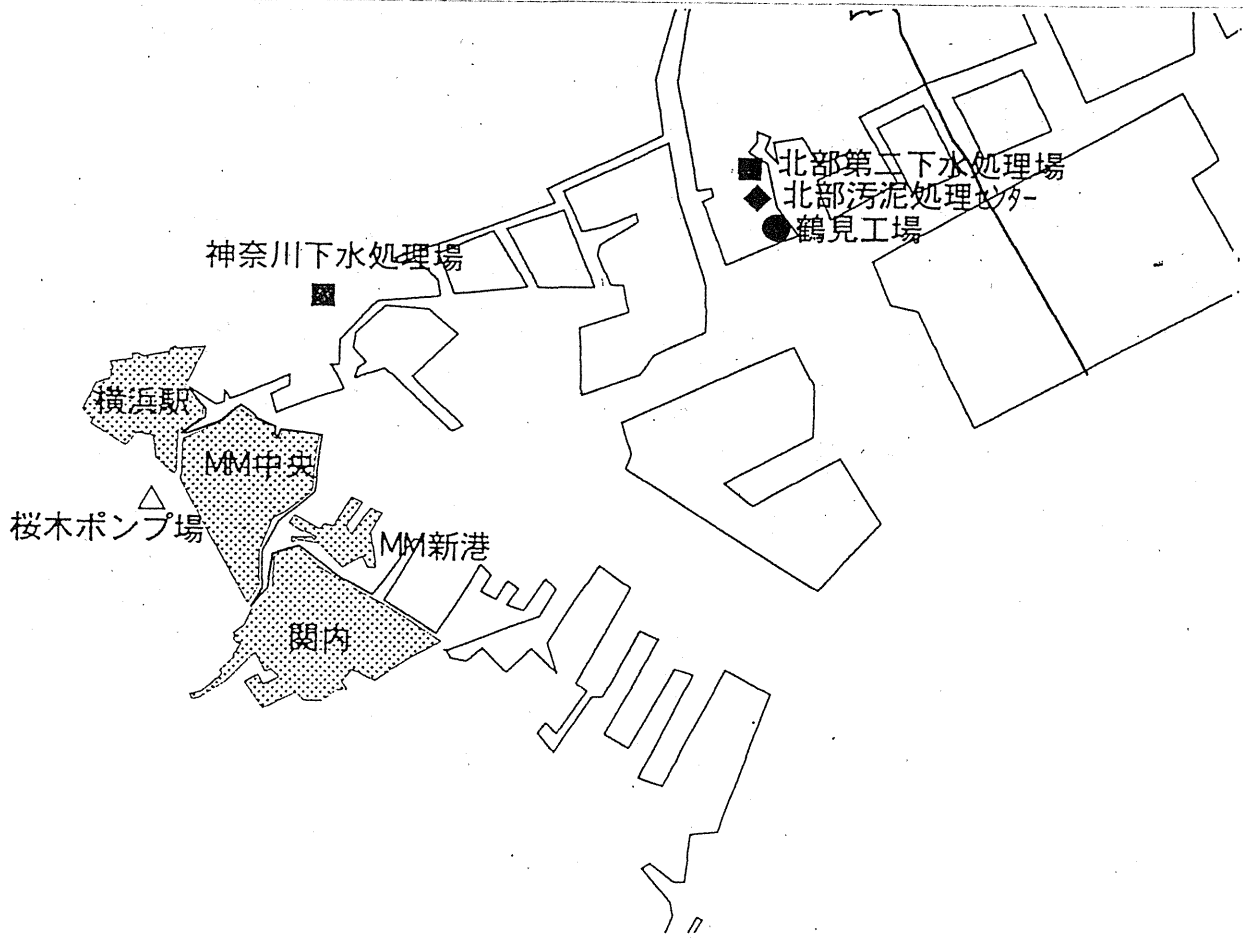


図 3-2-1 横浜臨海周辺図

表 3-2-1 横浜臨海部 4 地区 地区面積と用途別延床面積

地区名	地区面積 (ha)	用途別延床面積 (㎡)							延床合計	
		住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化		教育
横浜駅周辺	83.9	99,345	2,033	760,459	758,037	142,544	46,794	0	0	1,809,212
MM中央	157.7	321,065	41,890	4,093,356	718,932	232,270	0	418,721	0	5,826,234
MM新港	28.3	0	0	286,400	30,000	0	0	0	0	316,400
関内地区	285.3	473,323	31,375	1,473,071	681,835	176,795	31,475	44,575	0	2,912,449
横浜臨海全体	555.2	893,733	75,298	6,613,286	2,188,804	551,609	78,269	463,296	0	10,864,295

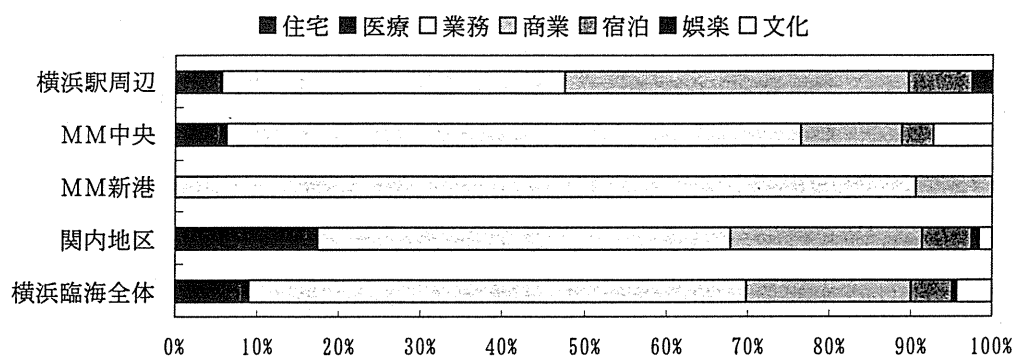


図 3-2-2 横浜臨海部 4 地区 用途別延床面積構成比

表 3-2-2 横浜臨海部 4 地区 エネルギー・水需要量

地区名	年間エネルギー需要				ピークエネルギー需要				水需要 m ³ /日
	暖房 Tcal/年	給湯 Tcal/年	冷熱 Tcal/年	電力 GWh/年	暖房 Gcal/h	給湯 Gcal/h	冷熱 Gcal/h	電力 MWh/h	
横浜駅周辺	72,351	79,692	133,763	383,130	57,438	21,137	92,536	99,981	27,828
MM中央	289,836	165,793	396,491	984,870	255,309	49,191	300,637	255,956	60,146
MM新港	14,860	4,413	22,914	57,418	16,606	2,140	17,353	15,421	2,960
関内地区	122,532	120,836	191,216	509,030	102,113	29,485	137,991	129,940	37,387
横浜臨海全体	499,579	370,734	744,384	1,934,448	427,114	98,936	545,603	501,297	128,320

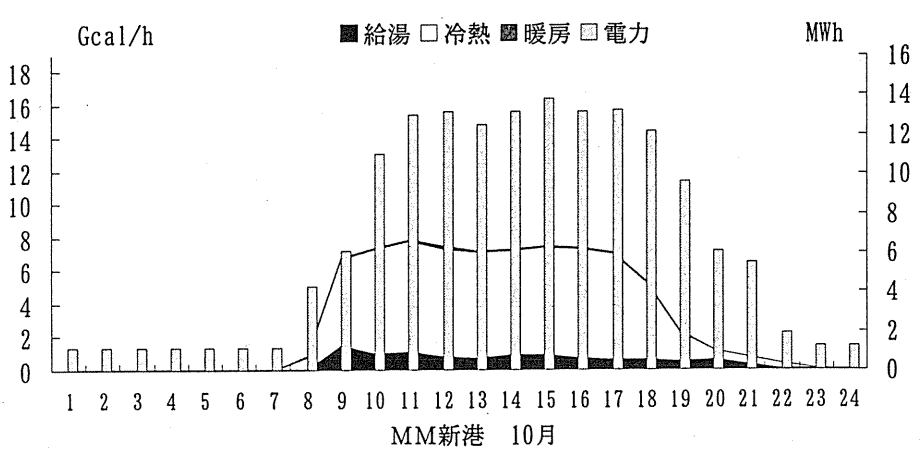
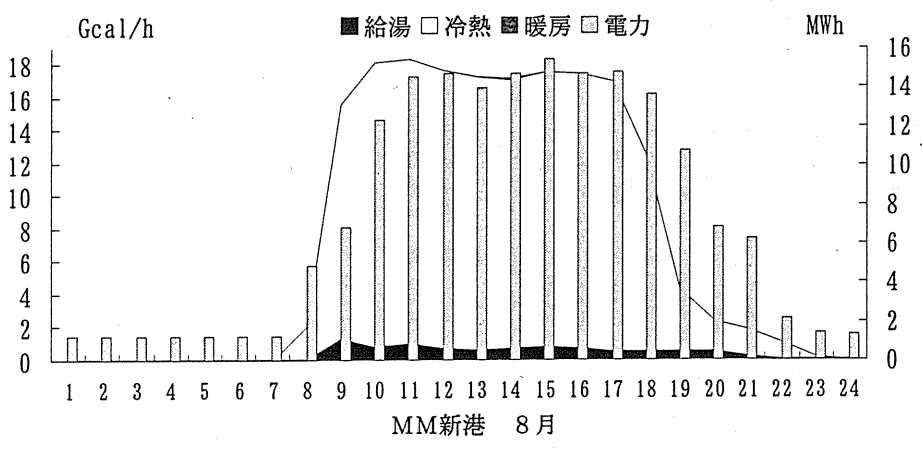
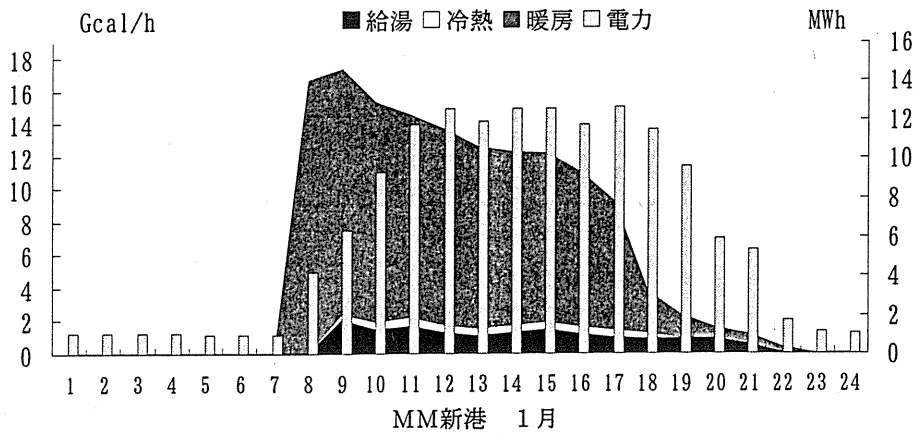


図 3-2-3 MM新港 冬期・夏期・中間期 時刻別エネルギー負荷パターン

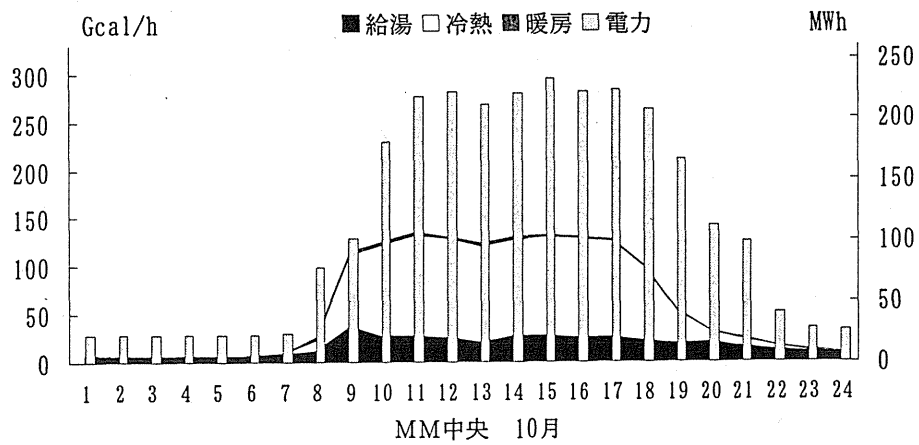
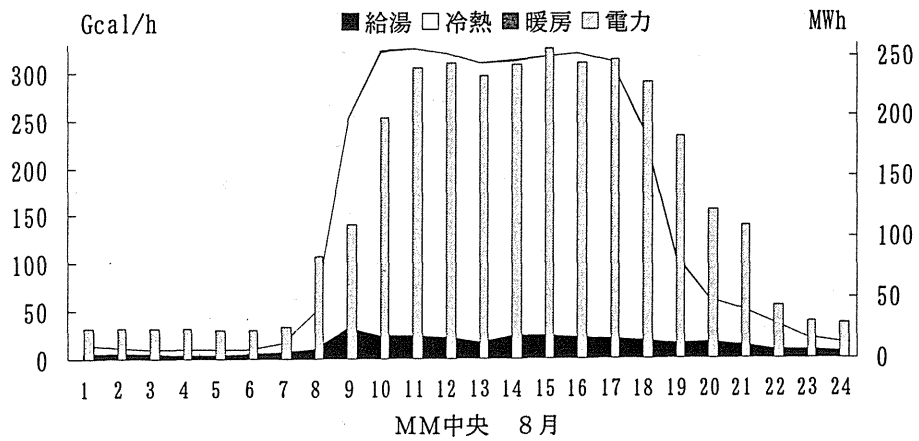
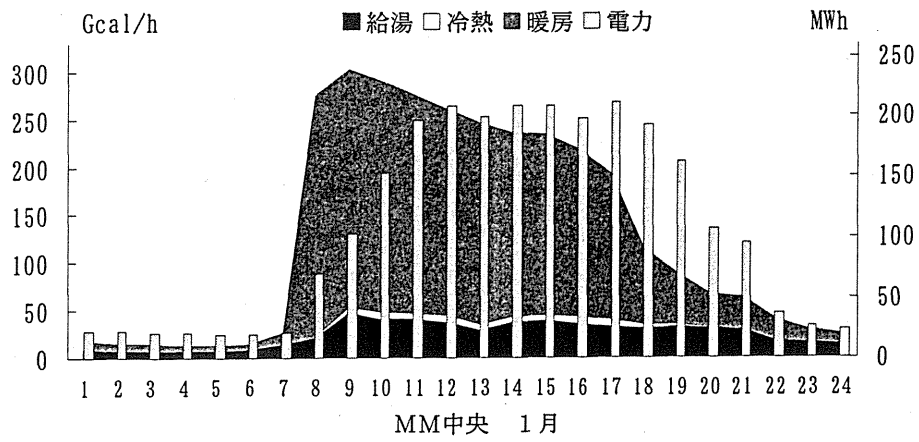


図 3-2-4 MM中央 冬期・夏期・中間期 時刻別エネルギー負荷パターン

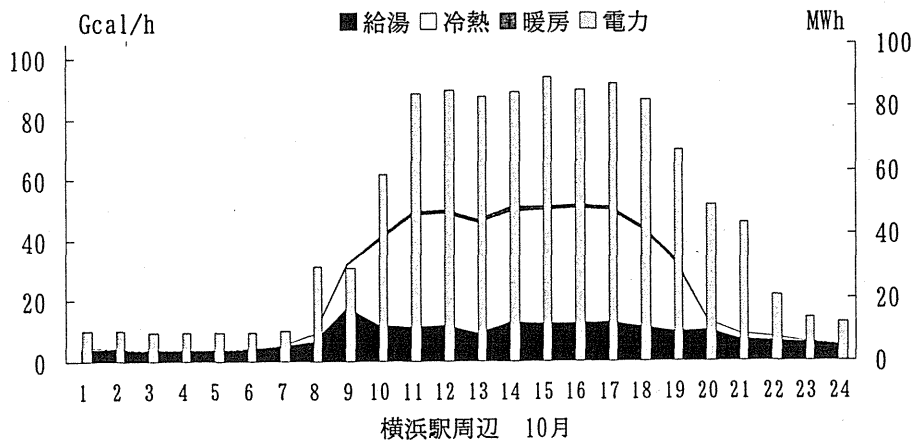
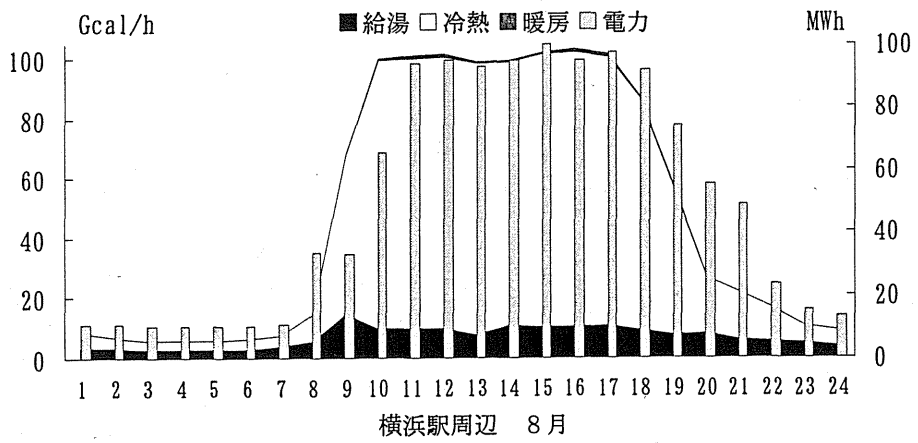
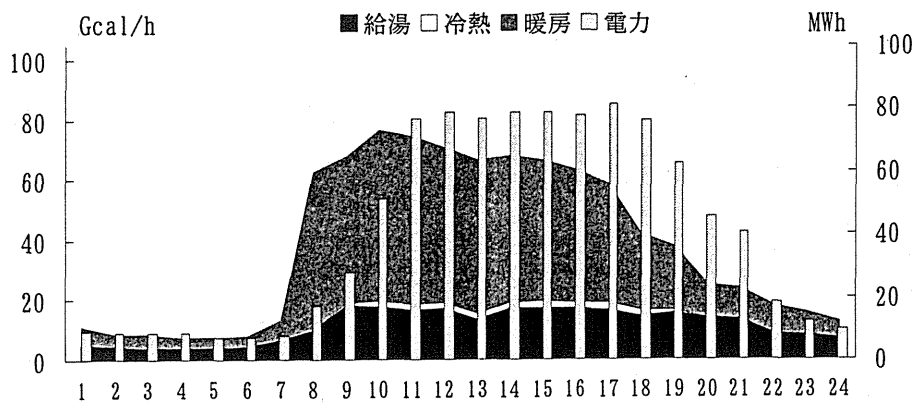


図 3-2-5 横浜駅周辺 冬期・夏期・中間期 時刻別エネルギー負荷パターン

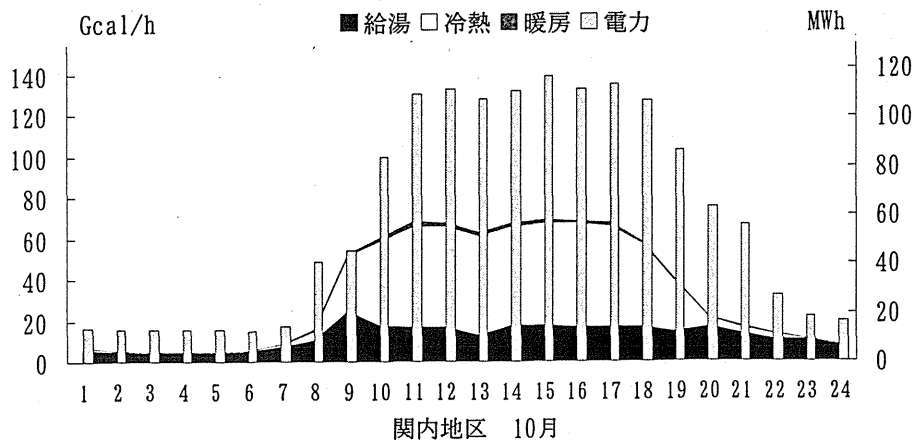
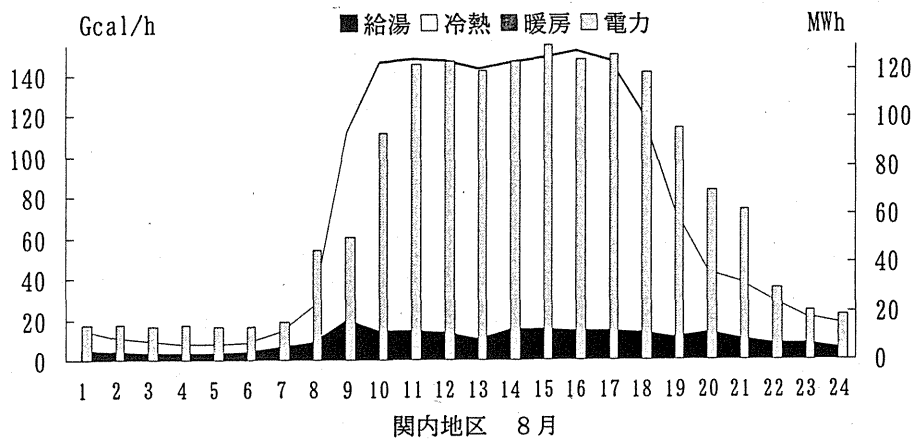
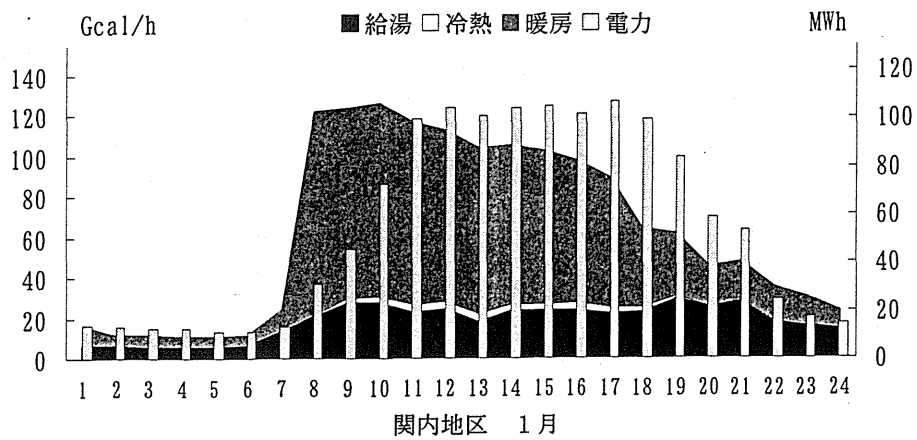


図 3-2-6 関内地区 冬期・夏期・中間期 時刻別エネルギー負荷パターン

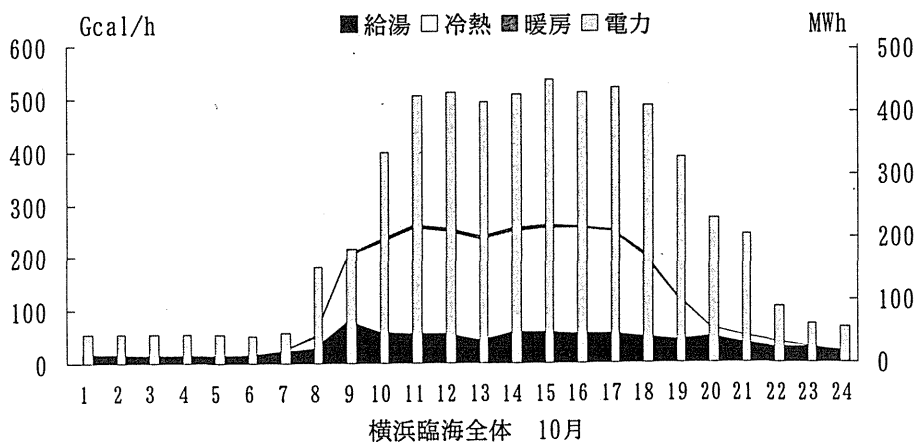
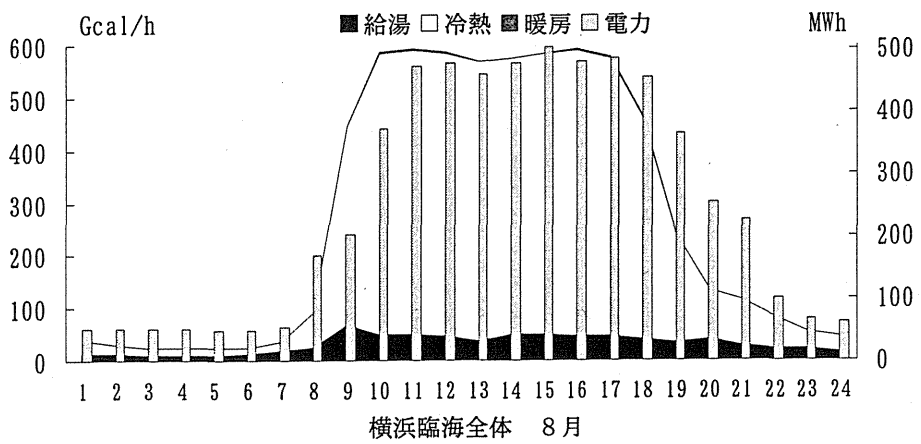
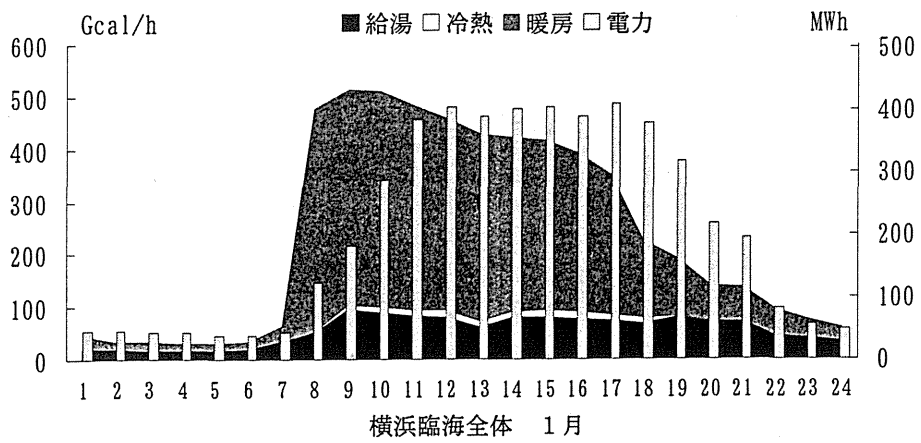


図 3-2-7 横浜臨海全体 冬期・夏期・中間期 時刻別エネルギー負荷パターン

4. 横浜臨海部でのエネルギー有効利用可能量の把握

4. 横浜臨海部でのエネルギー有効利用可能量の把握

前章で対象地区として選定した横浜臨海部において、エネルギー有効利用施策による効果を定量的に把握する目的で、各要素毎にケーススタディを行う。

以下でケーススタディを行うにあたり、有効利用施策として考えられる各要素を次のように大きく2系統に分けて考えることとする。

- ・ 拠点系 …地区内で回収できる資源・エネルギーを、地区内において循環再利用する。
- ・ ネットワーク系…横浜臨海周辺の既存施設から回収できる資源・エネルギーを、臨海部で有効利用する。

拠点系

地区排出ごみによる熱供給
地区排出ごみによる電力供給
地区排水による中水供給
地区排水による熱供給
地区排水中の汚泥による熱供給
地区排水中の汚泥による電力供給
地区内降雨水による中水供給
太陽光発電による電力供給

ネットワーク系

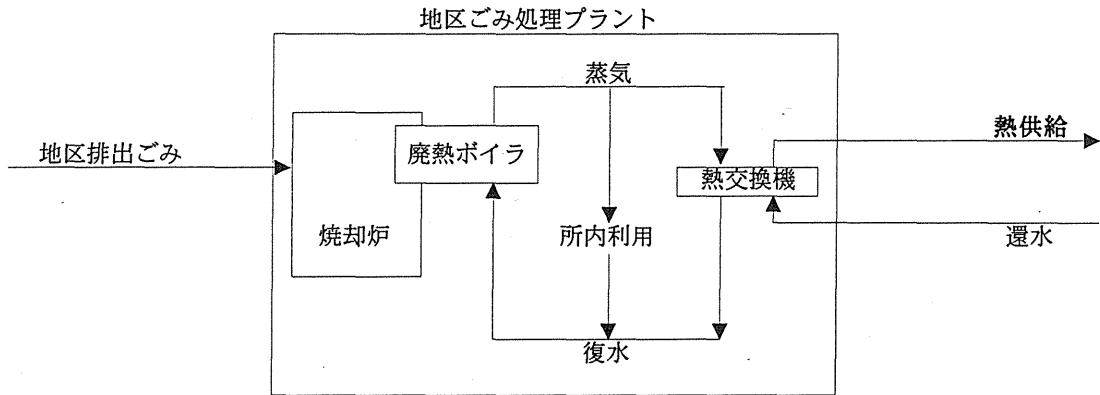
鶴見清掃工場による熱供給
鶴見清掃工場による電力供給
神奈川下水処理場による中水供給
神奈川下水処理場による熱供給
北部汚泥処理センターによる熱供給
北部汚泥処理センターによる電力供給
桜木雨水ポンプ場による中水供給

ケーススタディでは、各有効利用施策による供給可能量によって、地区の需要の何%が削減できるかを検討してゆく。

4-1 拠点系インフラによる資源エネルギー有効利用の分析

(1) 地区排出ごみによる熱供給

地区内で排出されるごみを焼却する専用の清掃工場を設け、焼却熱による発生蒸気のうち、施設の処理プロセス用を除く全量を地区へ熱供給した際の、供給可能量と熱需要削減率を求める。



前出のごみ排出原単位と対象地区用途別延床面積より、横浜臨海全体でのごみ排出量を推計すると日量 680t となり、比較的規模の大きな清掃工場の処理量分に相当する。

表 4-1-1 対象地区 ごみ排出量

地区名	焼却ごみ排出量	
	t/年	t/日
横浜駅周辺	61,695	169.027
MM中央	109,803	300.829
MM新港	5,749	15.751
関内地区	71,068	194.706
横浜臨海全体	248,314	680.313

焼却ごみ量当り利用可能蒸気熱量 (Mcal/t)

$$= \{ \text{焼却量当りボイラ発生蒸気量 (t/t)} - \text{焼却量当り処理用蒸気量 (t/t)} \} \times \Delta h \text{ (kcal/kg)}$$

焼却量当りの発生蒸気、処理用蒸気は H6 年度横浜市清掃工場の月別実績より求めた。

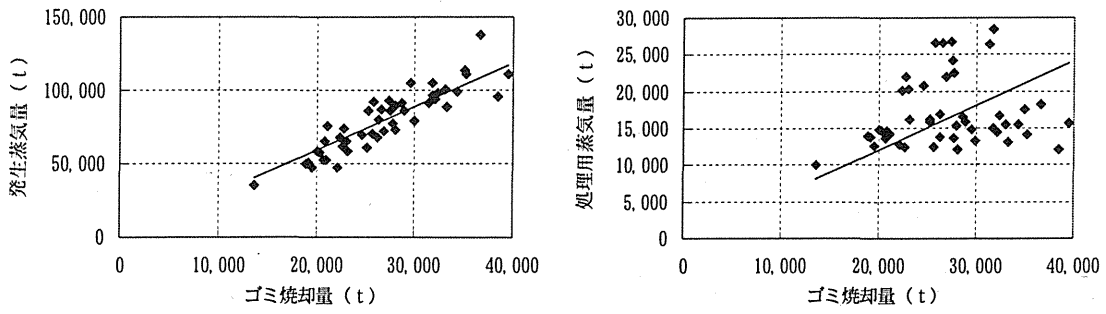


図 4-1-1 ごみ焼却量あたりボイラ蒸気発生量・処理用蒸気量

- ・ 焼却量当り発生蒸気量 2.97t/t
- ・ 焼却量当り処理用蒸気量 0.61t/t
(脱気機、給水加熱器、空気予熱機等 ごみ処理に必要な蒸気使用量)
- ・ Δh : ボイラ蒸気利用エンタルピー差 590kcal/kg
(清掃工場廃熱ボイラの平均的常用圧力は 20kg/cm²G 前後。そこから 80℃凝縮水へかえるまでの熱を利用するものと設定)

以上より 焼却ごみ量当り利用可能蒸気熱量=1393Mcal/t とした。

算出した利用可能熱量により 8kg/cm²G 蒸気を製造、温熱はそのまま、冷熱は二重効用蒸気吸収冷凍機(COP=1.2)を用いて供給する。各地区熱需要は蒸気換算し、時刻別需要に対しての供給可能量を計算する。(発生熱はフラットとし余剰熱は廃棄すると設定)

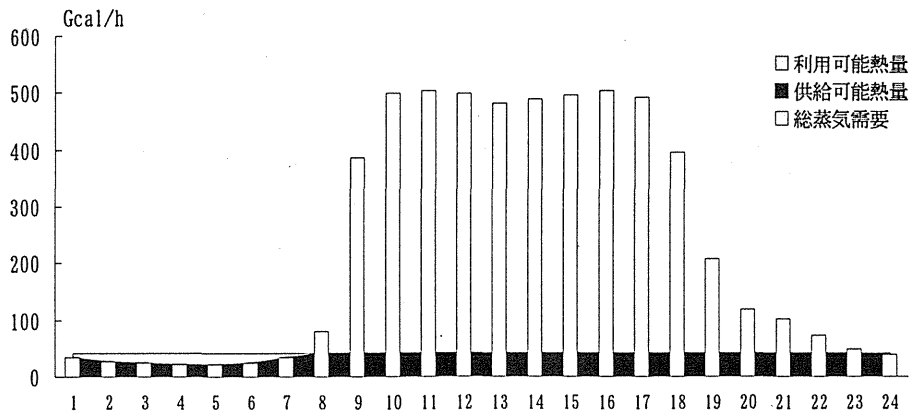


図 4-1-2 横浜臨海 8 月ピーク日需要に対する地区ごみ熱利用可能量と供給可能量

ケーススタディ結果

表 4-1-2 地区排出ごみ熱供給による熱需要削減率

		横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
年間総蒸気需要	Tcal/年	263.512	786.038	38.369	402.715	1,490.633
ゴミ熱供給可能量	Tcal/年	74.533	132.868	4.808	91.128	305.223
年間熱需要削減率	%	28.3	16.9	12.5	22.6	20.5
ピーク時蒸気需要	Gcal/h	87.753	302.976	17.314	129.538	512.323
ゴミ熱供給可能量	Gcal/h	9.947	17.703	0.927	11.458	40.035
ピーク時熱需要削減率	%	11.3	5.8	5.4	8.8	7.8

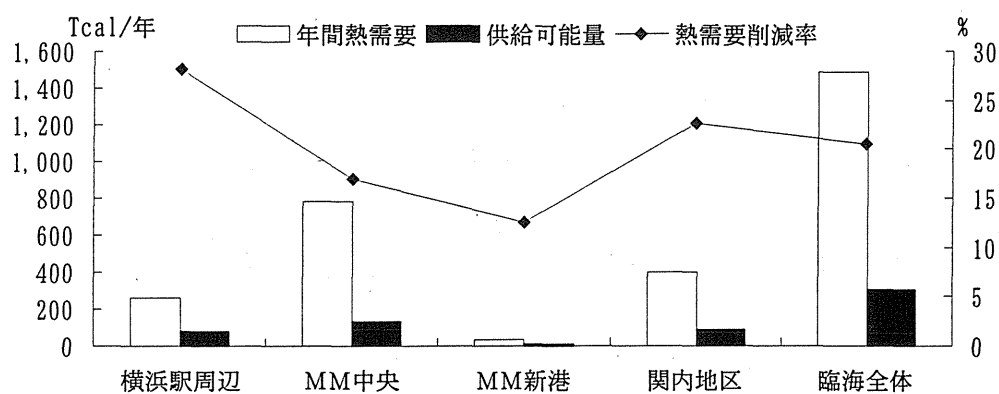


図 4-1-3 対象地区年間熱需要と地区排出ごみによる熱需要削減率

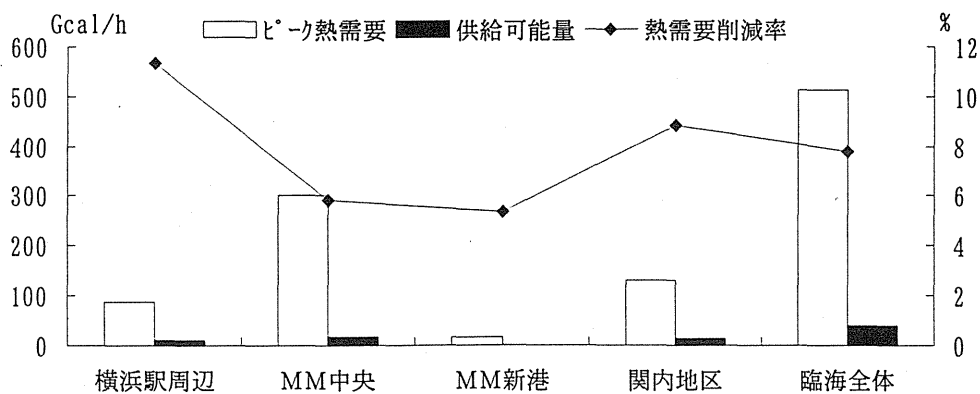
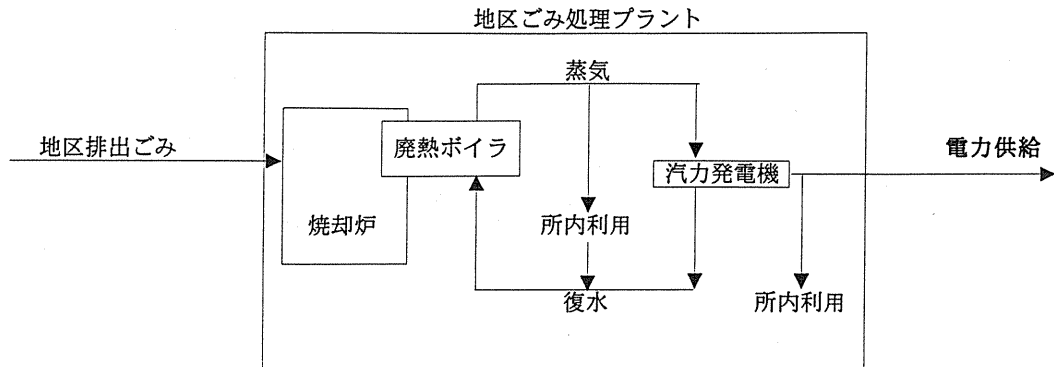


図 4-1-4 対象地区ピーク熱需要と地区排出ごみによる熱需要削減率

(2) 地区排出ごみによる電力供給

前項で熱供給に充てた利用可能蒸気を全量発電に回し、施設用電力分を除いたものを地区へ供給した際の、供給可能量と電力需要削減率を求める。



焼却ごみ量当り利用可能電力量 (kWh/t)

= 焼却量当り利用可能蒸気量 (t/t) × タービン投入蒸気量当り発電電力量 (kWh/t)

- 焼却量当り施設用電力量 (kWh/t)

タービン蒸気当り電力、焼却量当り施設用電力は H6 年度東京都、神奈川県内清掃工場の年間実績より求めた。

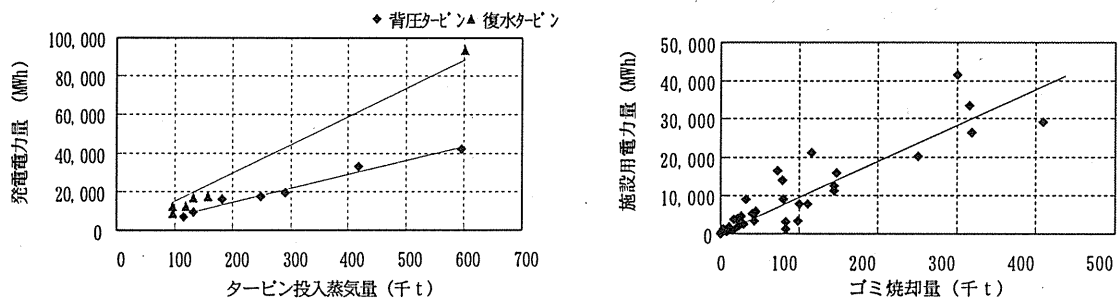


図 4-1-5 タービン投入蒸気当り発電量・ごみ焼却量当り施設用電力量

- ・ 焼却量当り利用可能蒸気量 $2.97 - 0.61 = 2.36 \text{ t/t}$ (前節による)
- ・ タービン投入蒸気量当り発電電力量 148.1 kWh/t (復水発電とする)
- ・ 焼却量当り施設用電力量 94.5 kWh/t

(処理用含め、処理施設で使用する総電力)

以上より 焼却ごみ量当り利用可能電力量 = 255 kWh/t とした。

上記電力を年間フラットで発電するとし、各地区時刻別電力需要に対しての供給可能量を計算する。

ケーススタディ結果

表 4-1-3 地区排出ごみ電力供給による需要削減率

		横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
年間電力需要	MWh/年	383,130	984,870	57,418	509,030	1,934,448
ゴミ電力供給可能量	MWh/年	15,732	28,000	1,466	18,122	63,320
年間電力需要削減率	%	4.1	2.8	2.6	3.6	3.3
ピーク時電力需要	MWh/h	99.981	255.956	15.421	129.940	501.297
ゴミ電力供給可能量	MWh/h	1.821	3.241	0.170	2.097	7.329
ピーク時電力需要削減率	%	1.8	1.3	1.1	1.6	1.5

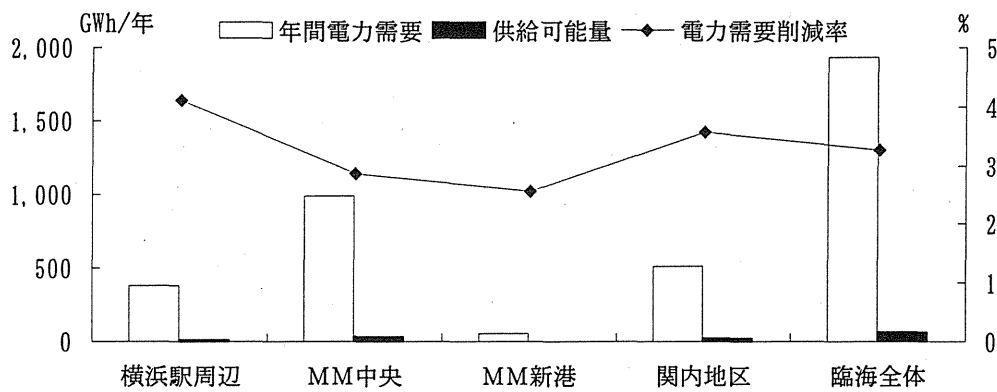


図 4-1-6 対象地区年間電力需要と地区排出ごみによる需要削減率

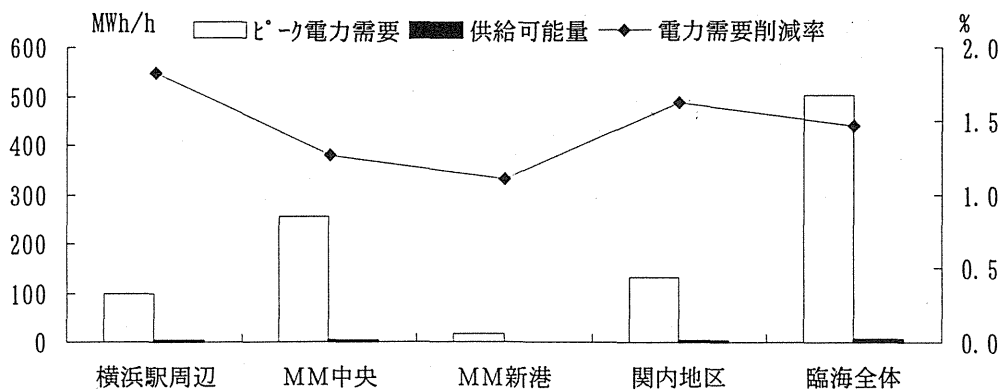
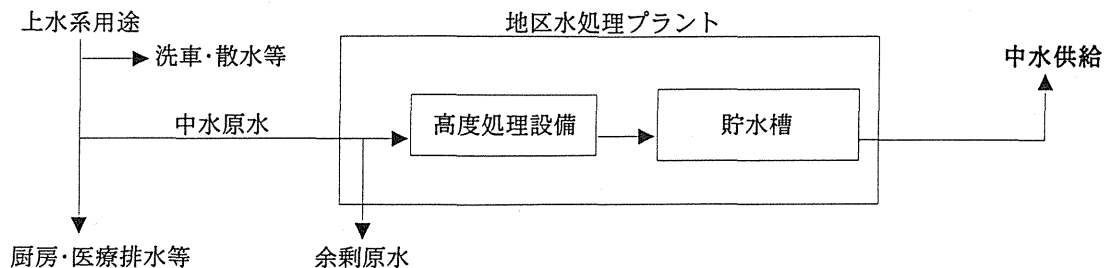


図 4-1-7 対象地区ピーク電力需要と地区排出ごみによる需要削減率

(3) 地区排水による中水供給

地区内の排水を処理し中水として供給した場合の、上水使用量の削減率を求める。



上水系水使用量のうち、排水管へ排出され、かつ中水製造に適したものを中水製造原水とする。

表 4-1-4 中水原水原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
中水原水量 (ℓ/m ² ・日)	7.78	10.98	2.90	9.24	14.33	7.07	1.35	4.40

(空気調和衛生工学便覧Ⅲ給排水設備篇 空気調和衛生工学会 その他文献より推定)

従来方式では全水需要が上水道により賄われるとした際の、中水道施設導入による上水削減率を計算する。水使用量の季節別、時刻別変動は、貯水槽により吸収されるものと考え、年間値のみの比較にとどめる。

ケーススタディ結果

表 4-1-5 地区内排水中水供給による水負荷削減率

		横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
年間全水需要量	m ³ /年	10,157,195	21,953,231	1,080,225	13,646,184	46,836,836
年間中水需要量	m ³ /年	4,675,722	11,110,795	617,103	6,096,906	22,500,526
中水供給可能量	m ³ /年	4,518,146	9,255,234	404,158	6,096,906	20,532,870
上水削減率	%	44.5	42.2	37.4	44.7	43.8
中水需要削減率	%	96.6	83.3	65.5	100.0	91.3

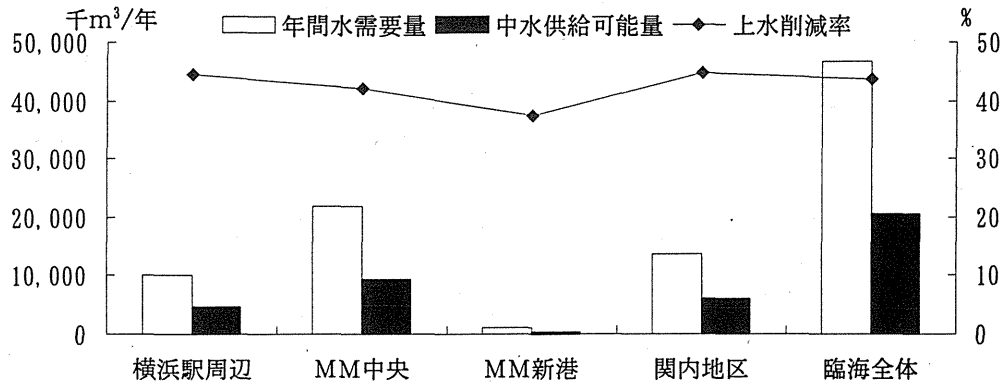


図 4-1-8 対象地区年間水需要と地区排水による水負荷削減率

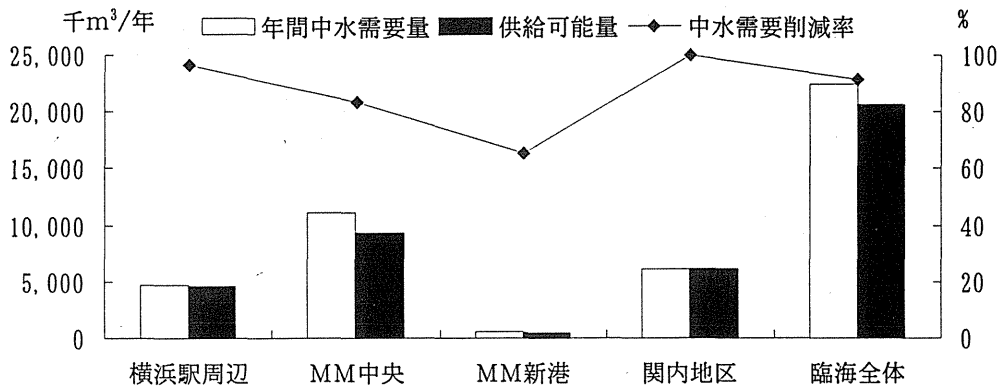
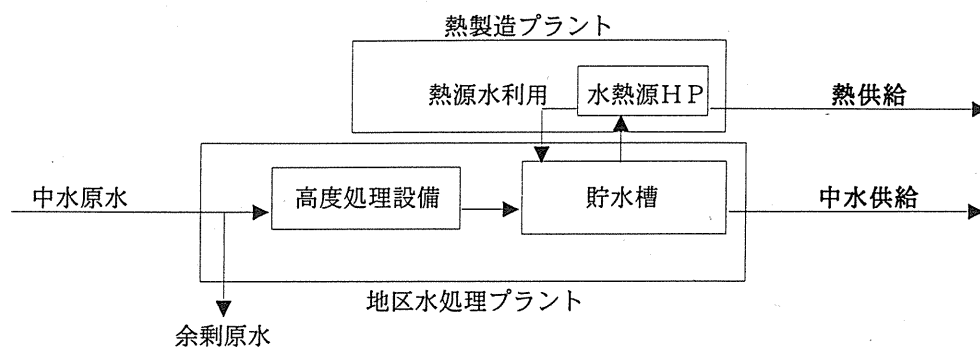


図 4-1-9 対象地区年間中水需要と地区排水による中水負荷削減率

(4) 地区排水による熱供給

前項での地区内排水処理による中水を、水熱源ヒートポンプ(WHP)の熱源水に使用した場合の供給可能熱量と熱需要削減率を求める。



WHP 利用で問題となる熱源水(中水)温度には、H6 年度横浜市 11 下水処理場の月別処理水温の平均値を代用した。各熱源水温により COP を月毎に変化させ、前項の中水量を利用可能熱源水量として熱製造したときの供給可能量を求める。

表 4-1-6 横浜 11 下水処理場月別平均処理水温と水熱源 H P C O P

	処理水温平均 (℃)	暖房側成績係数 COPh	冷房側成績係数 COPc
1月	16.2	4.3	5.9
2月	15.2	4.2	6.1
3月	15.7	4.2	6.0
4月	19.3	4.8	5.5
5月	21.4	5.2	5.3
6月	23.2	5.6	5.1
7月	23.1	5.6	5.1
8月	24.5	5.9	4.9
9月	24.6	6.0	4.9
10月	22.6	5.5	5.1
11月	20.8	5.1	5.3
12月	18.0	4.6	5.7

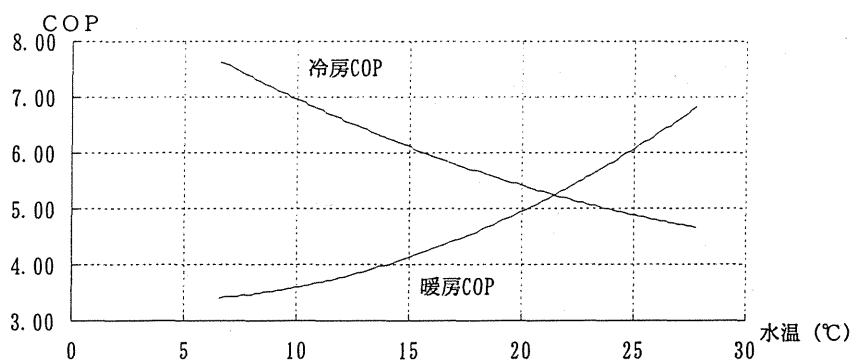


図 4-1-10 水熱源電動ヒートポンプ 熱源水温と成績係数
 (負荷率 100%、暖房は 47℃温水、冷房は 7℃冷水製造時の値)

水温の低下する 12 月～3 月においては、暖房用熱源水利用温度差を 3℃とし、それ以外は 5℃温度差利用が可能と設定した。

給湯は供給対象外として、各地区冷暖房需要は WHP 熱源需要に換算し、時刻別需要に対しての供給可能量を計算する。

ケーススタディ結果

表 4-1-7 地区内排水熱供給による熱需要削減率

		横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
年間総熱需要	Tcal/年	285.806	852.120	42.188	434.584	1,614.697
年間冷暖房需要	Tcal/年	206.114	686.326	37.774	313.748	1243.963
年間総熱需要削減率	%	5.8	4.1	2.6	5.3	4.8
年間冷暖房需要削減率	%	8.1	5.1	2.9	7.3	6.2
熱源 t° - h 時総熱需要	Gcal/h	103.175	325.390	18.327	152.536	593.816
熱源 t° - h 時冷暖房需要	Gcal/h	93.226	301.498	17.389	138.612	547.595
熱源 t° - h 時総熱需要削減率	%	2.1	1.4	1.1	1.9	1.7
熱源 t° - h 時冷暖房需要削減率	%	2.3	1.5	1.1	2.1	1.8

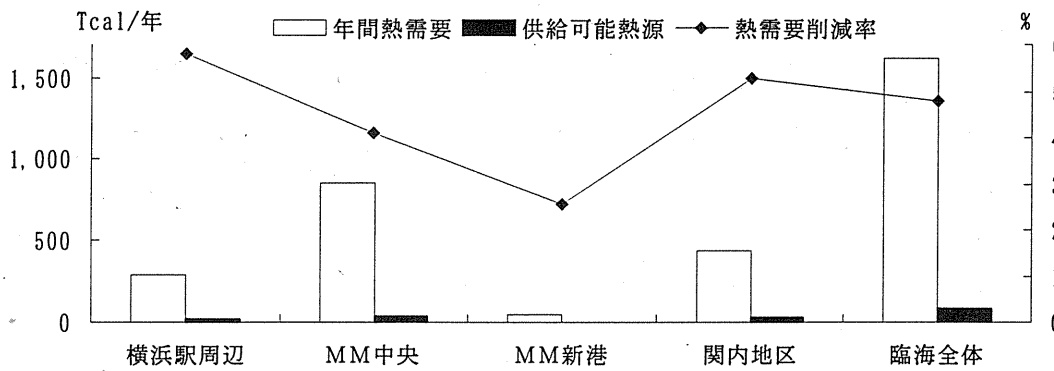


図 4-1-11 対象地区年間熱需要と地区排水による熱需要削減率

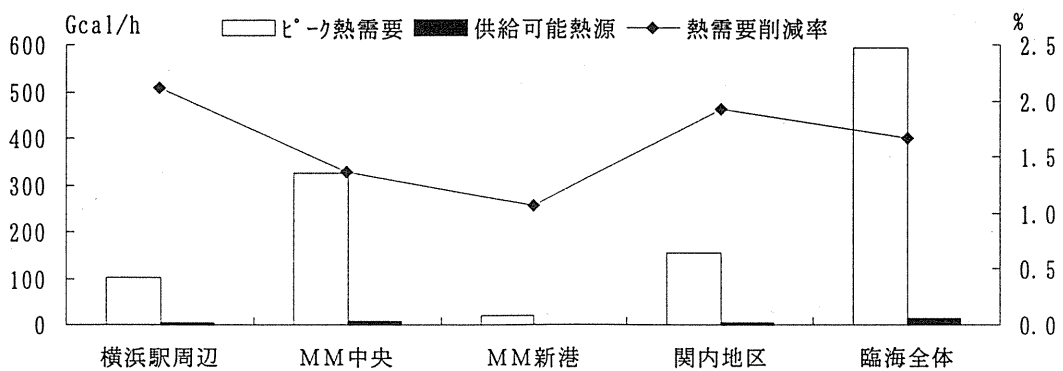
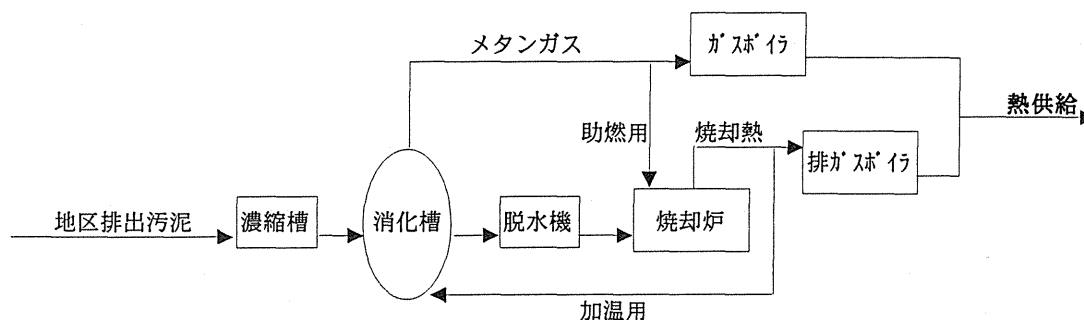


図 4-1-12 対象地区ピーク熱需要と地区排水による熱需要削減率

(5) 地区排水中の汚泥による熱供給

地区排水中に含まれる汚泥を消化・焼却処理する際に得られるメタンガス・焼却熱のうち、施設の処理プロセス用除く全量を地区内熱需要に充てた時の、供給可能量と熱需要削減率を求める。



排水量当り利用可能熱量 (kcal/m³)

$$= \text{排水量当り利用可能消化ガス熱量 (kcal/m}^3\text{)} + \text{排水量当り利用可能焼却熱量 (kcal/m}^3\text{)}$$

排水量当り利用可能消化ガス熱量

$$= \text{排水量当り消化ガス発生量} \times \text{消化ガス利用可能割合} \times \text{消化ガス発熱量}$$

排水量当り利用可能焼却熱量

$$= \text{排水量当り汚泥ケーキ発生量} \times (\text{ケーキ発熱量} + \text{汚泥ケーキ当り消化ガス焼却使用量} \\ \times \text{消化ガス発熱量}) \times \text{排ガス熱利用可能割合}$$

排水量当りの各数値は、H6年度横浜市南・北汚泥処理センターの月別データを下水量当りに換算した値で代用した。

- ・下水量当り消化ガス発生量 = 0.0497 Nm³/m³
- ・消化ガス利用可能割合 = (発生ガス量 - ガス焼却使用量) / 発生ガス量 = 69.0 %
- ・消化ガス発熱量 = 約 5000 kcal/Nm³
- ・下水量当り汚泥ケーキ発生量 = 0.341 kg/m³
- ・汚泥ケーキ発熱量 = 約 270 kcal/kg
- ・汚泥ケーキ当り消化ガス焼却使用量 = 46.276 Nm³/t
- ・排ガス熱利用可能割合 = (焼却熱 - 処理用熱) / 焼却熱 = 約 70 %

以上より 排水量当り利用可能熱量 = 0.291Mcal/m³ とした。

上記熱量×ボイラ効率(0.8)により 8kg/cm²G 蒸気を製造、温熱はそのまま、冷熱は二重効用蒸気吸収冷凍機(COP=1.2)を用いて供給する。各地区熱需要は蒸気換算し、時刻別需要に対しての供給可能量を計算する。

表 4-1-8 対象地区 排水量

	横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	横浜臨海全体
地区排水量 m ³ /日	27,828	60,146	2,960	37,387	128,320

ケーススタディ結果

表 4-1-9 地区排水中汚泥熱供給による熱需要削減率

	横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
年間総蒸気需要 Tcal/年	263.512	786.038	38.369	402.715	1,490.633
汚泥熱供給可能量 Tcal/年	2.321	5.017	0.161	3.119	10.704
年間熱需要削減率 %	0.88	0.64	0.42	0.77	0.72
ヒ-ク時蒸気需要 Gcal/h	87.753	302.976	17.314	129.538	512.323
汚泥熱供給可能量 Gcal/h	0.270	0.583	0.029	0.362	1.243
ヒ-ク時熱需要削減率 %	0.31	0.19	0.17	0.28	0.24

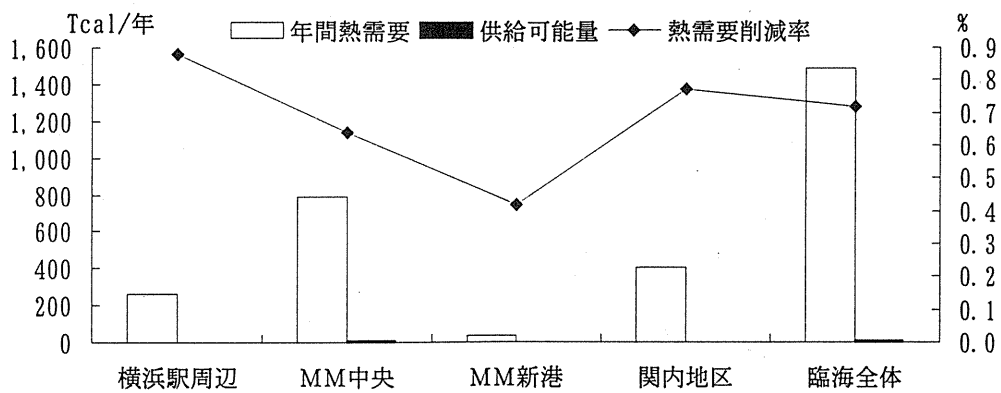


図 4-1-13 対象地区年間熱需要と地区排出汚泥による熱需要削減率

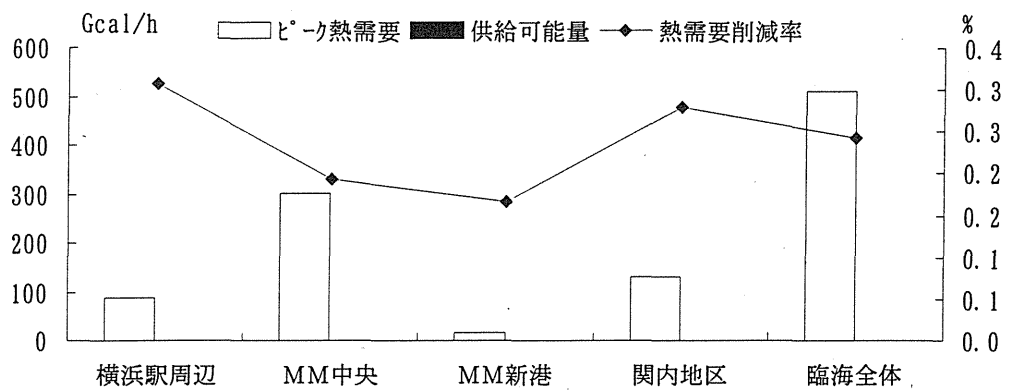


図 4-1-14 対象地区ピーク熱需要と地区排出汚泥による熱需要削減率

横浜市には下水処理場が 11ヶ所に対して、汚泥処理場は 2ヶ所である。つまり一施設につき約 5 下水処理場からの汚泥を処理しており、スケールの極めて大きな処理施設といえる。ケーススタディ結果から判るように、臨海部のような小さな範囲から収集した汚泥量では、十分なエネルギー回収は見込めない。

(6) 地区排水中の汚泥による電力供給

前項で熱供給に充てた利用可能消化ガスにより、ガスタービン発電をした場合に得られる電力を、地域供給した場合の供給可能量を求める。

今までのケーススタディのように、発生電力から施設用電力分を除いたものを供給可能量とした場合、排水量当りの利用可能電力量は -0.043kWh/m^3 となり、施設用（処理用）電力も不足する結果となる。よって、地区排出汚泥による電力供給は、現状では困難といえる。

今回は、地区内の汚泥から電力として回収できる量がどれほどのものを把握する意味で、発生電力を全量地域に供給した場合の供給可能量と電力需要削減率を求めてみる。

排水量当り利用可能電力量 (kWh/m^3)

=排水量当り利用可能消化ガス量×投入消化ガス当り発電量

投入消化ガス当り発電電力は、H6年度横浜市南・北汚泥処理センターの月別実績より求めた。

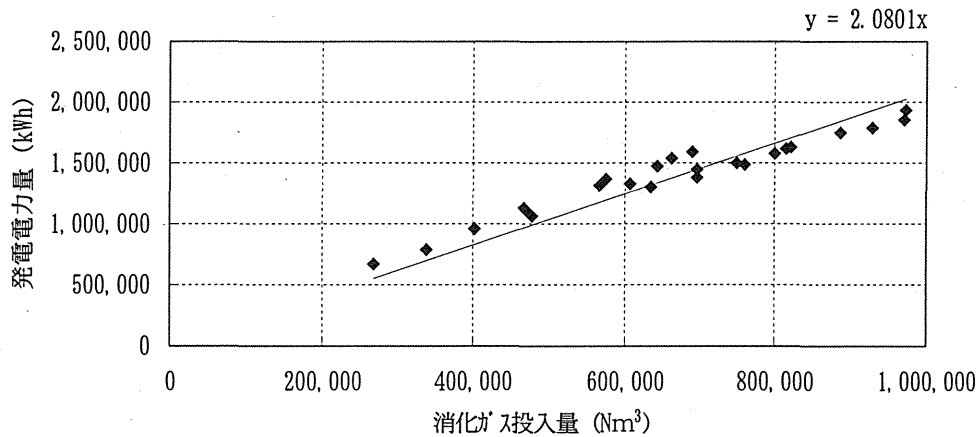


図 4-1-15 投入消化ガス当り発電電力量

- ・排水量当り利用可能消化ガス量 **0.034** Nm^3/m^3
- ・投入消化ガス当り発電量 **2.080** kWh/Nm^3

以上より 排水量当り利用可能電力量= 0.071kWh/m^3 とした。

上記電力を年間フラットで発電するとし、各地区時刻別電力需要に対しての供給可能量を計算する。

ケーススタディ結果

表 4-1-10 地区排水中汚泥電力供給による需要削減率

		横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
年間電力需要	MWh/年	383,130	984,870	57,418	509,030	1,934,448
汚泥電力供給可能量	MWh/年	715	1,544	76	960	3,295
年間電力需要削減率	%	0.19	0.16	0.13	0.19	0.17
ピーク時電力需要	MWh/h	99.981	255.956	15.421	129.940	501.297
汚泥熱供給可能量	MWh/h	0.083	0.179	0.009	0.111	0.381
ピーク時電力需要削減率	%	0.08	0.07	0.06	0.09	0.08

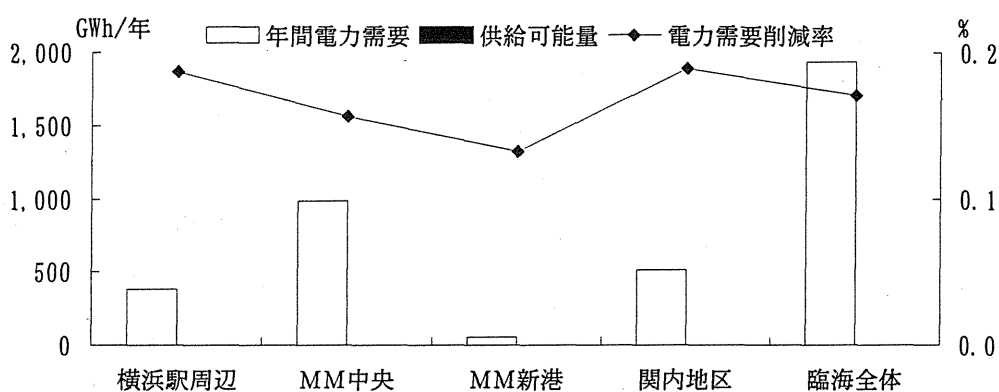


図 4-1-16 対象地区年間電力需要と地区排出汚泥による需要削減率

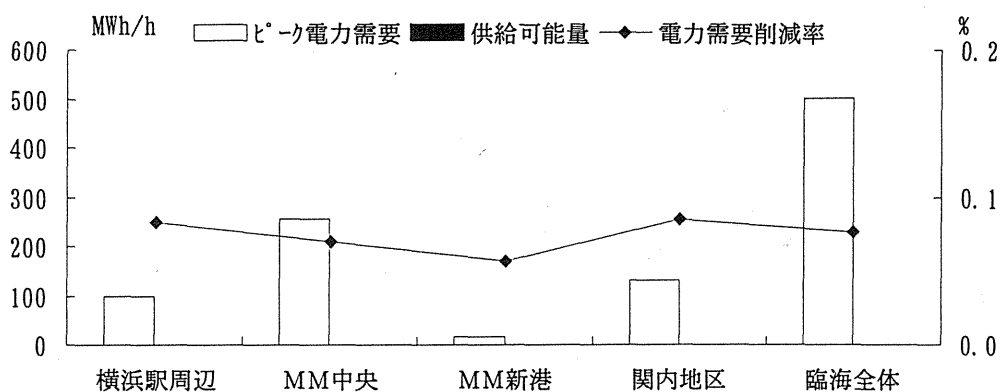
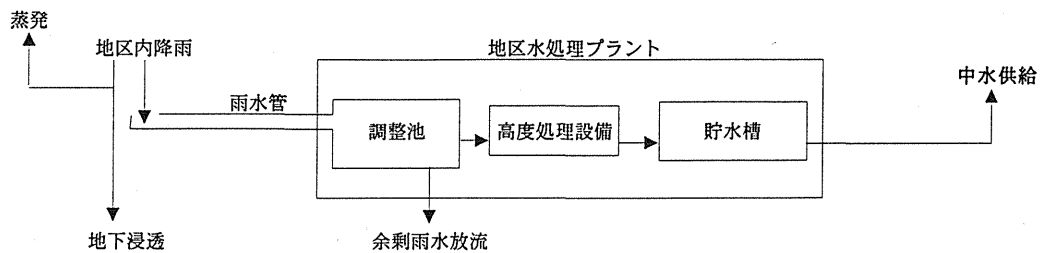


図 4-1-17 対象地区ピーク電力需要と地区排出汚泥による需要削減率

前項での熱供給と同様、地区内汚泥からの回収電力量は需要の1%にも満たない量であり、汚泥処理からのエネルギー回収を考えた場合、拠点系インフラではなく、スケールメリットを活かせる大規模スケールインフラとして整備することが望ましい。実際に横浜市では、市内11の下水処理場から北部・南部2ヶ所の汚泥処理センターへ向けて、大規模な送泥管ネットワークが敷設されている。(一部建設中)

(7) 地区内降雨水による中水供給

地区内降雨水のうち、地下雨水管で回収されたものを処理し、中水として供給した際の、中水需要分の減少による上水使用量の削減率を求める。



降雨量から蒸発、地下浸透の量を差し引き管路内に流れ込む量の割合を、雨水流出係数 α とする。(環境工学辞典より)

屋根面積	0.85～0.95
舗装道路	0.75～0.85
砂利道	0.25～0.5

今回は建築面積を屋根面積とし、建築面積を除く敷地面積での雨水流出計数は道路用地(舗装道路)と同じと考え、流出係数を以下のように設定した。

屋根面積(建築面積) $\alpha=0.9$

舗装道路(道路用地、敷地面積) $\alpha=0.8$

また、オープンスペースで回収される雨水は、雨水流出計数が小さく汚染濃度も大きいため、回収利用水の対象外とする。

「気象年鑑 1986～1996年版 気象庁 監修」より最近10年間(1986年～1995年)の東京での1日毎の降水量がある。そのデータを用い横浜臨海地区での雨水の供給可能量を日別比較で行った。なお、10年間での年間最大降水量は1991年の2042mm、年間最小降水量は1987年の1091mm、10年平均では1529mmであった。

横浜臨海部日別降雨水回収量 (m³/日)

$$= \text{日別降水量データ} \times (\text{建築面積} \times 0.9 + (\text{敷地面積} + \text{道路用地}) \times 0.8)$$

表 4-1-11 横浜臨海部 土地利用別土地面積

	横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
都市的土地利用面積 ha	79.9	113.5	27.6	279.3	500.3
建築面積 ha	30.2	21.1	3.6	64.6	119.5
敷地-建築面積 ha	21.9	39.7	7.6	102.4	171.6
道路用地 ha	25.1	32.7	6.0	92.3	156.1
オープンスペース ha	0.2	17.2	10.2	13.8	41.4
その他空地 ha	2.5	2.8	0.2	6.2	11.7

ケーススタディ結果 (横浜臨海部全体)

表 4-1-12 地区内降雨水中水供給による水深削減率

		横浜臨海全体
年間全水需要量	m ³ /年	46,836,836
年間中水需要量	m ³ /年	22,500,526
中水供給可能量	m ³ /年	3,456,921
上水削減率	%	7.4
中水需要削減率	%	15.4

(8) 太陽光発電による電力供給

地区内に太陽光発電を導入し電力供給を行った場合の、供給可能量と地区電力需要の削減率を求める。

太陽エネルギーは密度が低く、昼夜間のサイクルがあり、また気候変動に左右されるなど、幾つかの問題点があるが、クリーンで枯渇の恐れのないエネルギー源として、公共建物や研究所などへの設置例が徐々に増加してきている。今回は、仮に太陽エネルギーを最大限利用した場合に、そのエネルギー回収量がどれ程になるかを把握するという位置づけで、マクロにケーススタディを行う。

太陽発電パネルを地区内建物の全屋根面に設置するとし、方位角を真南、傾斜角は横浜市（東経 139 度、北緯 35 度）に於いて年間を通して最も大きい日射量が得られる年間最適傾斜角 31.9 度（参考資料）と設定する。太陽光発電は太陽電池と蓄電池とからなり、今回は蓄電池の容量は太陽電池によって発電される 1 日分の電力を蓄電できるとし、1 日当たり平均化、安定化した電力を供給できることとした。

$$\text{発電電力量 (kWh/日)} = \text{総パネル面積 (m}^2\text{)} \times \text{日射量 (kWh/m}^2\cdot\text{日)} \times \text{発電効率}$$

$$\cdot \text{総パネル面積 (m}^2\text{)} = \text{臨海部総屋根 (建築) 面積 (m}^2\text{)} \div \cos 31.9^\circ$$

$$\text{臨海部総建築面積 } 1,195,000 \text{ m}^2$$

表 4-1-13 横浜市 最適傾斜角における月平均斜面全天日射量日積算値
(方位角：真南 最適傾斜角：31.9 度)

日射量 kWh/m ² ・日	1月	2月	3月	4月	5月	6月
	3.91	3.94	4.22	4.27	4.56	3.89
	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	4.20	4.67	3.69	3.37	3.42	3.58

ケーススタディ結果（横浜臨海部全体）

表 4-1-14 太陽光発電電力供給による年間需要削減率

		横浜臨海全体
年間電力需要	MWh/年	1,934,448
太陽発電供給可能量	MWh/年	197,593
年間電力需要削減率	%	10.2

(9) 拠点系まとめ

各拠点系インフラによるエネルギー回収利用の結果を、横浜臨海部全体の需要に対する供給可能割合（負荷削減率）でまとめてみる。

臨海部年間需要に対する供給可能割合（％）

地区排出ごみによる熱供給	20.5
地区排出ごみによる電力供給	3.3
地区排水による中水供給	43.8
地区排水による熱供給	4.8
地区排水中の汚泥による熱供給	0.7
地区排水中の汚泥による電力供給	0.2
地区内降雨水による中水供給	7.4
太陽光発電による電力供給	10.2

拠点系インフラによるエネルギー回収利用としては、地区内排出ごみによる熱供給がもっとも効果が高く、地区内汚泥からの有効利用については、前述のようにスケールのアンバランスから拠点系インフラとしての成立は難しいことなどが判る。

水系の有効利用では、地区内排水の中水利用による水負荷削減が43.8%と高く、またこれは、中水負荷に対しては91.3%の削減となる。

以上ケーススタディ結果より、拠点型インフラ導入効果の相対比較・実現可能性の評価等が可能となる。

4-2 ネットワーク系インフラによる資源エネルギー有効利用の分析

(1) 鶴見清掃工場による熱供給

鶴見清掃工場ではごみ焼却熱による蒸気復水タービン発電を行い、自家消費分のほか隣接する北部第一下水処理場と北部汚泥処理センターへ電力供給し、さらに余剰電力を東京電力へ逆送電している。

ここでは発電を行わずに、施設使用分熱量を除く全量を熱供給した場合の、供給可能量と熱需要削減率を求める。

表 4-2-1 鶴見清掃工場 設備能力と処理実績 (H7 年度横浜市環境事業局資料)

処理能力 t/日	処理実績 t/年	ボイラ容量 t/h	発生蒸気量 t/年	発電機容量 kW	年間発電量 kWh/年	消費電力 kWh/年
1,200	300,673	211.08	1,001,374	22,000	112,813,000	41,722,451

処理用蒸気量データが得られなかったため、前節 4-1 (1) の地区排出ごみによる熱供給 にならって利用可能熱量を推計する。

焼却量当り利用可能蒸気熱量 (Mcal/t)

$$\begin{aligned}
 &= \{ \text{焼却量当りボイラ発生蒸気量 (t/t)} - \text{焼却量当り処理用蒸気量 (t/t)} \} \\
 &\quad \times \text{ボイラ蒸気利用エンタルピー差 } \Delta h \text{ (kcal/kg)} \\
 &= 1,393 \text{Mcal/t}
 \end{aligned}$$

利用可能蒸気熱量 (Tcal/年)

$$= \text{焼却処理実績 (t/年)} \times \text{焼却量当り利用可能蒸気熱量 (Mcal/t)} \div 10^6$$

以上より 鶴見清掃工場利用可能蒸気熱量 = 418.837 Tcal/年 とした。

上記熱量により 8kg/cm²G 蒸気を製造、温熱はそのまま、冷熱は二重効用蒸気吸収冷凍機(COP=1.2)を用いて供給する。各地区熱需要は蒸気換算し、時刻別需要に対しての供給可能量を計算する。(発生熱はフラットとし余剰熱は廃棄すると設定)

ケーススタディ結果

表 4-2-2 鶴見清掃工場熱供給による熱需要削減率

		臨海全体	地区限定供給			
			横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区
年間総蒸気需要	Tcal/年	1,490.633	263.512	786.038	38.369	402.715
鶴見ごみ熱供給可能量	Tcal/年	354.072	221.460	284.909	38.369	267.193
年間熱需要削減率	%	23.8	84.0	36.2	100.0	66.3
ピーク時蒸気需要	Gcal/h	512.323	87.753	302.976	17.314	129.538
鶴見ごみ熱供給可能量	Gcal/h	48.477	48.477	48.477	17.314	48.477
ピーク時熱需要削減率	%	9.5	55.2	16.0	100.0	37.4

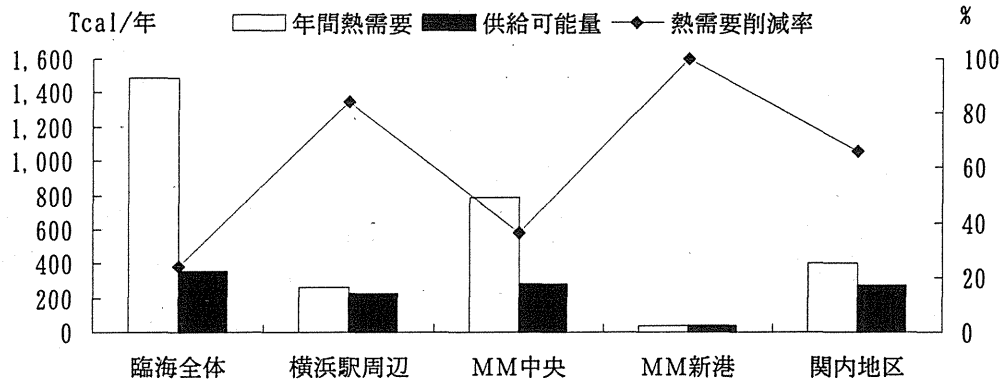


図 4-2-1 対象地区年間熱需要と鶴見清掃工場による熱需要削減率

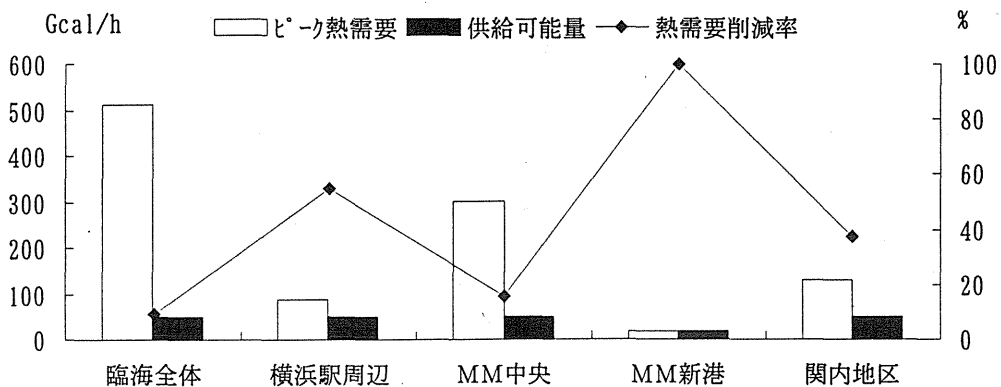


図 4-2-2 対象地区ピーク熱需要と鶴見清掃工場による熱需要削減率

(2) 鶴見清掃工場による電力供給

前項で熱供給に充てた利用可能蒸気を全量発電に回し、施設用電力分を除いたものを臨海部へ供給した際の、供給可能量と電力需要削減率を求める。

焼却量当り利用可能電力量 (kWh/t)

＝焼却量当り利用可能蒸気量 (t/t) ×タービン投入蒸気量当り発電電力量 (kWh/t)

－焼却量当り施設用電力量 (kWh/t)

＝ 255kWh/t

利用可能電力量 (MWh/年)

＝焼却処理実績 (t/年) ×焼却量当り利用可能電力量 (kWh/t) ÷10³

以上より 鶴見清掃工場利用可能電力量＝76,676 MWh/年 とした。

※鶴見工場の実績値から求めると

利用可能電力＝発電実績－消費電力＝112,813.000－41,722.451

＝71,090.549MWh/年

求めた値が少し大きくなるのは、実際は余熱施設や場内空調等の需要に充てている蒸気分も最大限発電に回すと設定した為と思われる。

上記電力を年間フラットで発電するとし、各地区時刻別電力需要に対しての供給可能量を計算する。

ケーススタディ結果

表 4-2-3 鶴見清掃工場電力供給による需要削減率

		臨海全体	地区限定供給			
			横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区
年間電力需要	MWh/年	1,934,448	383,130	984,870	57,418	509,030
鶴見ごみ電力供給可能量	MWh/年	76,676	76,008	76,676	44,479	76,676
年間電力需要削減率	%	4.0	19.8	7.8	77.5	15.1
ピーク時電力需要	MWh/h	501.297	99.981	255.956	15.421	129.940
鶴見ごみ電力供給可能量	MWh/h	8.875	8.875	8.875	8.875	8.875
ピーク時電力需要削減率	%	1.8	8.9	3.5	57.5	6.8

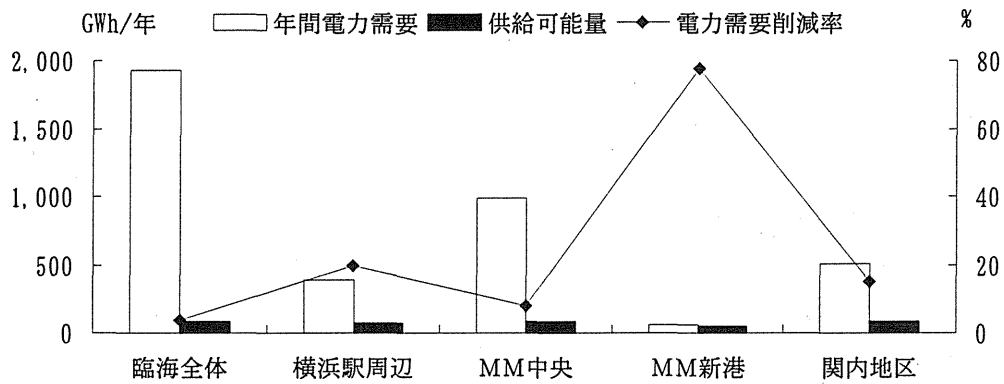


図 4-2-3 対象地区年間電力需要と鶴見清掃工場による需要削減率

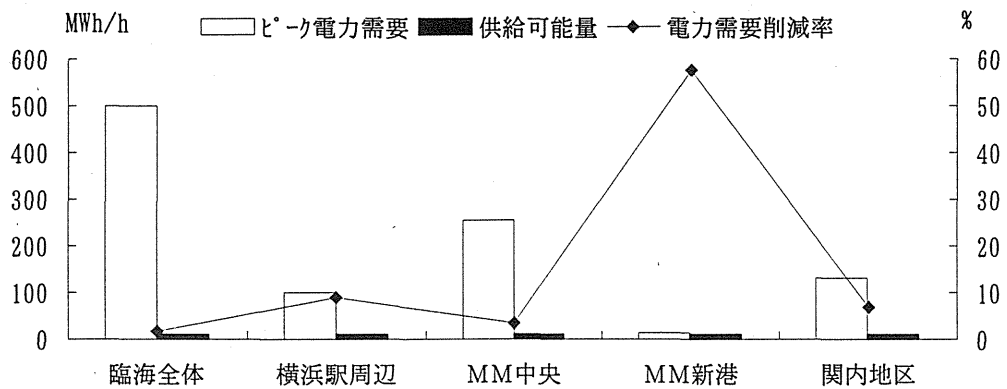


図 4-2-4 対象地区ピーク電力需要と鶴見清掃工場による需要削減率

(3) 神奈川下水処理場による中水供給

一般の下水処理では公共用水域保全のため、流入下水を二次処理（活性汚泥法による沈澱処理）した後放流している。東京都等一部市町村ではさらに三次処理（急速濾過等）を施し、再生水として地域へ中水供給するなど水資源の有効利用を図っている。

神奈川下水処理場の高級処理水を高度処理し中水として地区供給した場合の、上水使用量の削減率を求める。

表 4-2-4 神奈川下水処理場 処理能力と処理実績（H6 年度横浜市下水道局資料）

処理能力 m ³ /年	流入下水量 m ³ /年	高級処理水量 m ³ /年	簡易処理水量 m ³ /年	雨水排水量 m ³ /年	消費電力 kWh/年
434,600	117,236,000	111,620,000	2,788,000	2,828,000	34,985,000

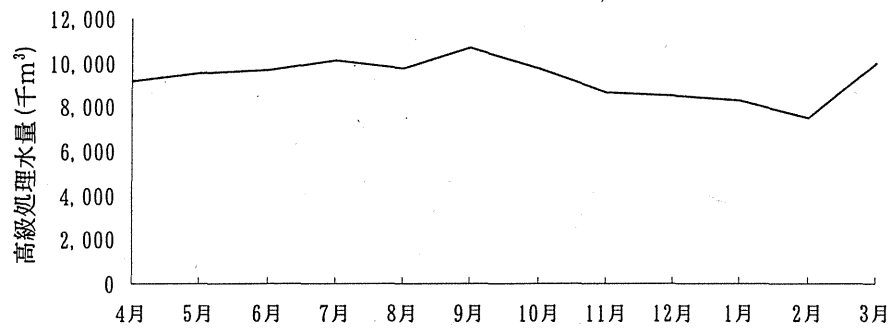


図 4-2-5 神奈川下水処理場 月別処理水量

需要側水使用量の季節別、時刻別変動は、貯水槽により吸収されるものと考え、年間値のみの比較にとどめる。従来方式では全水需要が上水道により賄われるとした際の、中水供給による上水削減率を計算する。

ケーススタディ結果

表 4-2-5 神奈川下水処理場中水供給による水負荷削減率

	単位	臨海全体	地区限定供給			
			横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区
年間全水需要量	m ³ /年	46,836,836	10,157,195	21,953,231	1,080,225	13,646,184
年間中水需要量	m ³ /年	22,500,526	4,675,722	11,110,795	617,103	6,096,906
中水供給可能量	m ³ /年	22,500,526	4,675,722	11,110,795	617,103	6,096,906
上水削減率	%	48.0	46.0	50.6	57.1	44.7
中水需要削減率	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
処理水利用率	%	20.2	4.2	10.0	0.6	5.5

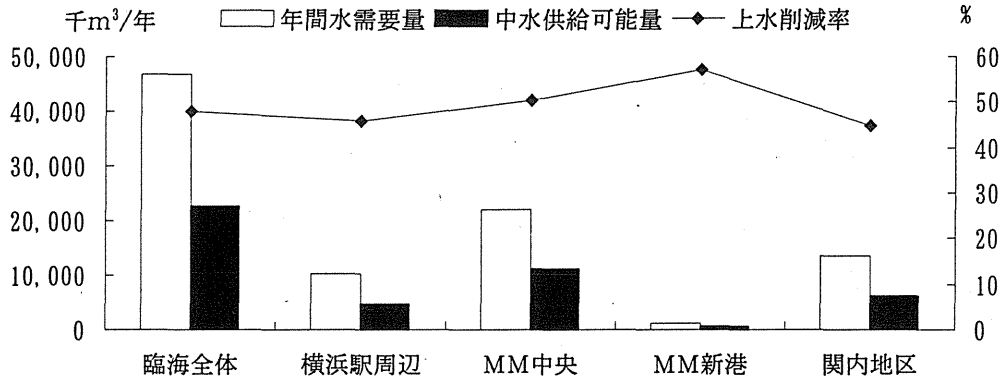


図 4-2-6 対象地区年間水需要と神奈川下水処理場による水負荷削減率

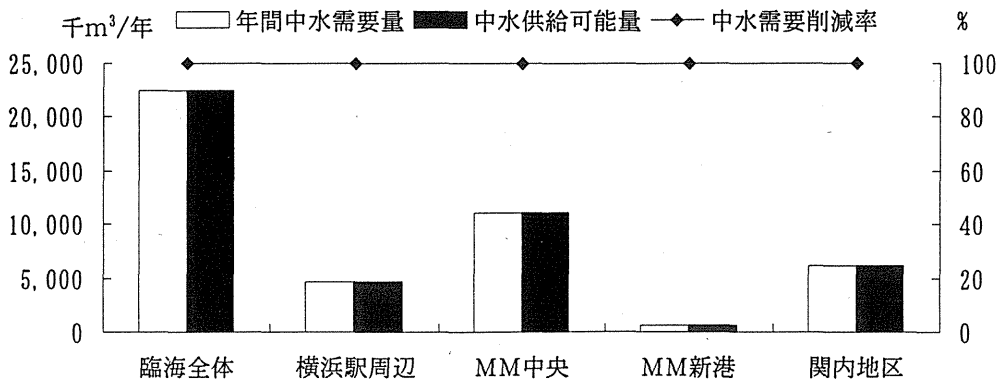


図 4-2-7 対象地区年間中水需要と神奈川下水処理場による中水負荷削減率

(4) 神奈川下水処理場による熱供給

前項での神奈川下水処理水による中水を、水熱源ヒートポンプ(WHP)の熱源水に使用した場合の供給可能熱量と熱需要削減率を求める。

H6年度神奈川下水処理場の月別処理水温を用いて、各熱源水温により COP を月毎に変化させ、前項の中水量を利用可能熱源水量として熱製造したときの供給可能量を求める。

表 4-2-6 神奈川下水処理場月別平均処理水温と水熱源 H P C O P

	処理水温平均 (℃)	暖房側成績係数 COPh	冷房側成績係数 COPc
1月	15.6	4.2	6.0
2月	14.9	4.1	6.1
3月	14.8	4.1	6.1
4月	19.0	4.8	5.5
5月	21.1	5.2	5.3
6月	23.1	5.6	5.1
7月	22.8	5.5	5.1
8月	24.3	5.9	5.0
9月	23.8	5.8	5.0
10月	22.2	5.4	5.2
11月	20.2	5.0	5.4
12月	18.1	4.6	5.7

水温の低下する 12月～3月においては、暖房用熱源水利用温度差を 3℃とし、それ以外は 5℃温度差利用が可能と設定した。

給湯は供給対象外として、各地区冷暖房需要は WHP 熱源需要に換算し、時刻別需要に対しての供給可能量を計算する。

ケーススタディ結果

表 4-2-7 神奈川下水処理場熱供給による熱需要削減率

		臨海全体	地区限定供給			
			横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区
年間総熱需要	Tcal/年	1,614.697	285.806	852.120	42.188	434.584
年間冷暖房需要	Tcal/年	1,243.963	206.114	686.326	37.774	313.748
年間総熱需要削減率	%	19.1	62.1	31.0	89.5	49.7
年間冷暖房需要削減率	%	24.8	86.2	38.4	100.0	68.9
熱源 1°C -1時総熱需要	Gcal/h	593.816	103.175	325.390	18.327	152.536
熱源 1°C -1時冷暖房需要	Gcal/h	547.595	93.226	301.498	17.389	138.612
熱源 1°C -1時総熱需要削減率	%	9.1	52.2	16.5	94.9	35.3
熱源 1°C -1時冷暖房需要削減率	%	9.8	57.8	17.8	100.0	38.8

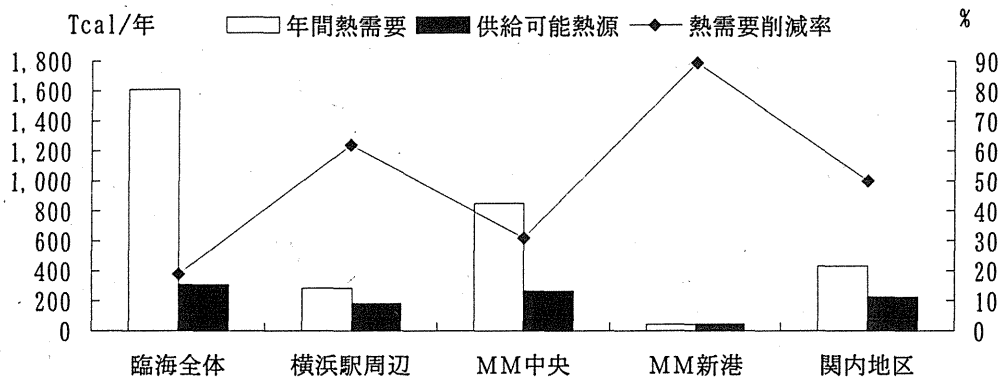


図 4-2-8 対象地区年間熱需要と神奈川下水処理場による熱需要削減率

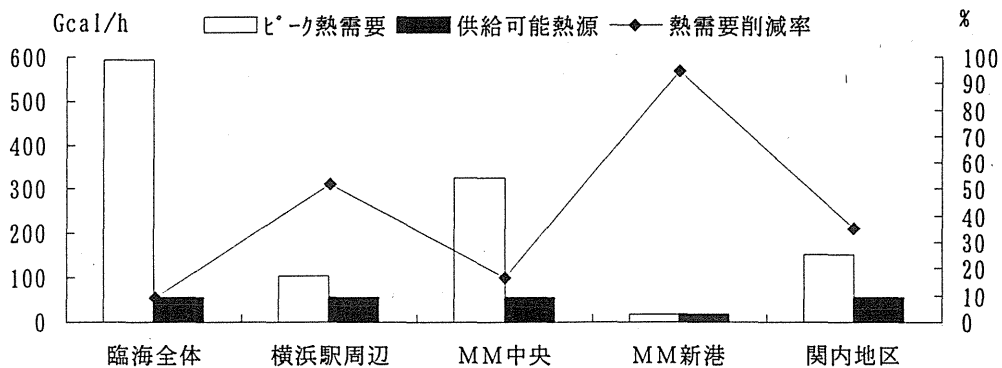


図 4-2-9 対象地区ピーク熱需要と神奈川下水処理場による熱需要削減率

(5) 北部汚泥処理センターによる熱供給

北部汚泥処理センターでは、横浜市北部方面5ヶ所の下水処理場（都筑・港北・神奈川・北部第一・第二）で発生する下水汚泥を、濃縮→消化→脱水→焼却の順で処理し、その際の消化処理で得られるメタンガスを用いて、焼却助燃や発電、消化タンク保温等の用途に有効利用している。また焼却の際に得られる熱で、燃焼空気の予熱や脱水汚泥の乾燥を行い、施設内で熱の回収・有効利用が積極的に行われている。

ここでは、発電を行わずに施設使用分熱量を除く全量を熱供給した場合の、供給可能量と熱需要削減率を求める。

表 4-2-8 北部汚泥処理センター 処理能力と処理実績（H6年度横浜市下水道局資料）

受泥量 m ³ /年		脱水ケーキ発生量 t/年		発電機出力 kW	
2,321,100 (平均TS 1.9%)		104,090 (含水率 80%)		4,600	

消化ガス発生量 Nm ³ /年	ガス発電使用量 Nm ³ /年	ガス焼却使用量 Nm ³ /年	消化ガス発電量 kWh/年	買電量 kWh/年	消費電力 kWh/年
15,856,080	9,724,780	4,793,540	19,280,900	7,524,810	26,805,710

利用可能熱量(kcal)

$$= \text{利用可能消化ガス量}(\text{Nm}^3) \times \text{消化ガス発熱量}(\text{kcal}/\text{Nm}^3) + \text{利用可能焼却熱量}(\text{kcal})$$

- ・ 利用可能消化ガス量 = 消化ガス発生量 - ガス焼却使用量 = 11,062,540 Nm³/年
- ・ 消化ガス発熱量 = 約 5,000 kcal/Nm³
- ・ 利用可能焼却熱量

$$= (\text{脱水ケーキ焼却量} \times \text{ケーキ発熱量} + \text{ガス焼却使用量} \times \text{消化ガス発熱量})$$

$$\times \text{排ガス熱利用可能割合}(\text{空気予熱、ケーキ乾燥用を除く割合})$$

$$= 36.305 \text{ Tcal/年}$$

以上より 北部汚泥処理センター利用可能熱量 = 91.617 Tcal/年 とした。

上記熱量×ボイラ効率(0.8)により 8kg/cm²G 蒸気を製造、温熱はそのまま、冷熱は二重効用蒸気吸収冷凍機(COP=1.2)を用いて供給する。

各地区熱需要は蒸気換算し、時刻別需要に対しての供給可能量を計算する。（発生熱はフラットとし余剰熱は廃棄すると設定）

ケーススタディ結果

表 4-2-9 北部汚泥処理センター熱供給による熱需要削減率

		臨海全体	地区限定供給			
			横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区
年間総蒸気需要	Tcal/年	1,490.633	263.512	786.038	38.369	402.715
汚泥熱供給可能量	Tcal/年	73.293	66.107	72.134	29.587	70.652
年間熱需要削減率	%	4.9	25.1	9.2	77.1	17.5
ピーク時蒸気需要	Gcal/h	512.323	87.753	302.976	17.314	129.538
汚泥熱供給可能量	Gcal/h	8.483	8.483	8.483	8.483	8.483
ピーク時熱需要削減率	%	1.7	9.7	2.8	49.0	6.5

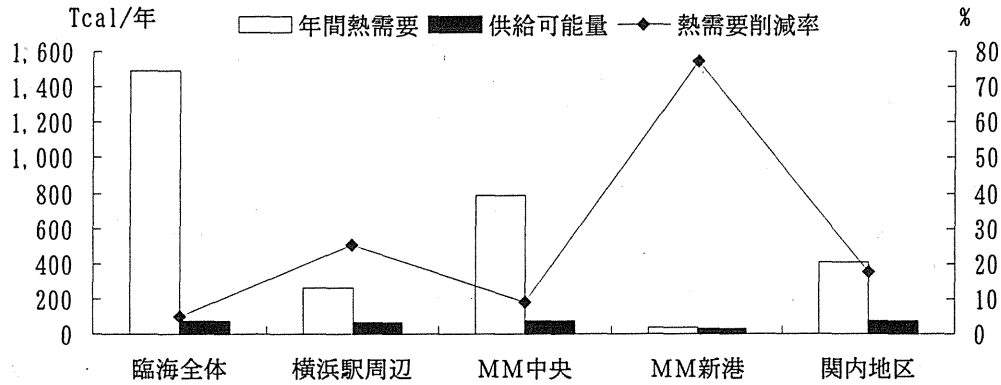


図 4-2-10 対象地区年間熱需要と北部汚泥処理センターによる熱需要削減率

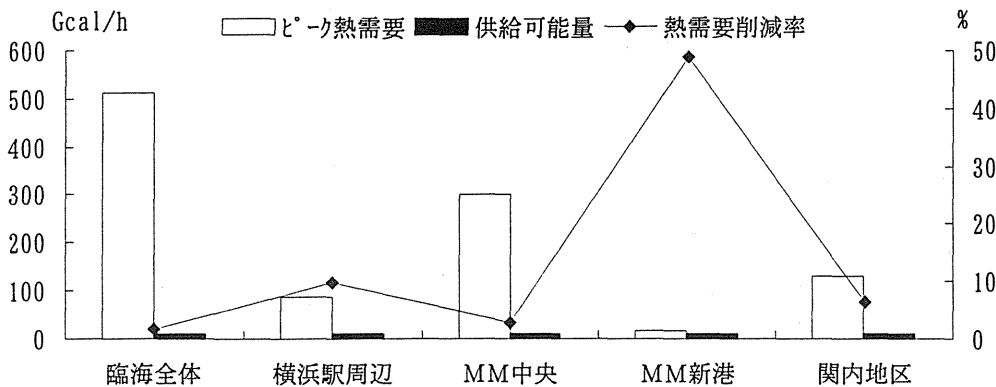


図 4-2-11 対象地区ピーク熱需要と北部汚泥処理センターによる熱需要削減率

(6) 北部汚泥処理センターによる電力供給

現在北部汚泥処理センターでは、消化ガス発電による電力で自施設処理用電力の約80%を賄っているが、発生消化ガスの全部は使い切れていない。これは発電機の購入・増設を段階的に行っている為であり、将来的には100%電力自給が可能となる。

今回、現状のデータを用いてスタディすると、上記の理由から施設使用分を除く供給可能電力は発生しない。よってここでは利用可能消化ガスを全量発電に充てたときの発電電力を、全量臨海部へ供給した場合の、供給可能量と需要削減率を求める。

利用可能電力量 (kWh)

$$= \text{利用可能消化ガス量 (Nm}^3\text{)} \times \text{投入消化ガス当り発電量 (kWh/ Nm}^3\text{)}$$

・ 利用可能消化ガス量 11,062,540 Nm³/年

・ 投入消化ガス当り発電電力量(ガスタービン発電) 2.080kWh/ Nm³

以上より 北部汚泥処理センター利用可能電力量= 23,011,189 kWh/年 とした。

上記電力を年間フラットで発電するとし、各地区時刻別電力需要に対しての供給可能量を計算する。

ケーススタディ結果

表 4-2-10 北部汚泥処理センター電力供給による需要削減率

		臨海全体	地区限定供給			
			横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区
年間電力需要	MWh/年	1,934,448	383,130	984,870	57,418	509,030
汚泥電力供給可能量	MWh/年	23,011	23,011	23,011	17,835	23,011
年間電力需要削減率	%	1.2	6.0	2.3	31.1	4.5
ピーク時電力需要	MWh/h	501.297	99.981	255.956	15.421	129.940
汚泥熱供給可能量	MWh/h	2.663	2.663	2.663	2.663	2.663
ピーク時電力需要削減率	%	0.5	2.7	1.0	17.3	2.0

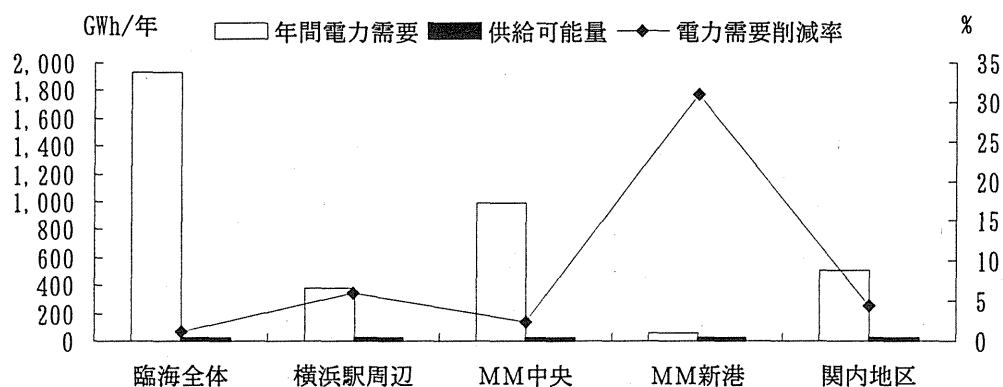


図 4-2-12 対象地区年間電力需要と北部汚泥処理センターによる需要削減率

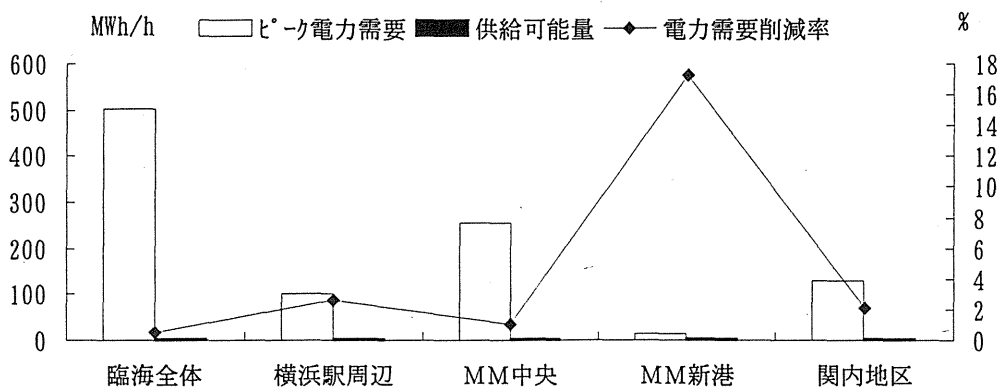


図 4-2-13 対象地区ピーク電力需要と北部汚泥処理センターによる需要削減率

(7) ネットワーク系まとめ

各ネットワーク系インフラによるエネルギー回収利用の結果を、横浜臨海部全体の需要に対する供給可能割合（負荷削減率）でまとめてみる。

臨海部年間需要に対する供給可能割合（％）

鶴見清掃工場による熱供給	23.8
鶴見清掃工場による電力供給	4.0
神奈川下水処理場による中水供給	48.0
神奈川下水処理場による熱供給	19.1
北部汚泥処理センターによる熱供給	4.9
北部汚泥処理センターによる電力供給	1.2

ネットワーク系インフラによるエネルギー回収利用としては、鶴見工場による熱供給がもっとも効果が高く、ごみによる熱供給の有効性は拠点系と同様の傾向を見せている。北部汚泥処理場については、汚泥処理の性格上処理施設内で多量のエネルギーを必要とし、地域へ供給可能な量はわずかとなってしまふ。

以上ケーススタディ結果より、ネットワーク型インフラ導入効果の相対比較・実現可能性の評価等が可能となる。

5. コージェネレーションの有効性

5. コージェネレーションの有効性

コージェネレーションの有効性を左右する要因としては、主に以下のものが考えられる。

- ・ 需要側の熱電需要量
- ・ 需要側の時刻別熱電比パターン
- ・ コージェネレーション機種
- ・ 発電機容量
- ・ 運転方式

ここでは需要地区が既に決定しているので、コージェネレーション側の機種・容量・運転方式を変化させた場合を検討する。地区需要が大きいため、発電機単体の部分負荷による効率低下は、複数機での制御運転が出来るものとして考えないものとした。

機種設定

- ・ G T ガスタービン： 発電効率 25% 蒸気回収率 50%
- ・ G E ガスエンジン： 発電効率 38% 蒸気回収率 20% 温水回収率 7.2%
- ・ F C 燃料電池： 発電効率 39% 蒸気回収率 23% 温水回収率 18%

容量設定

- ・ 地区のピーク電力に対する 100%~10% (10%刻み)

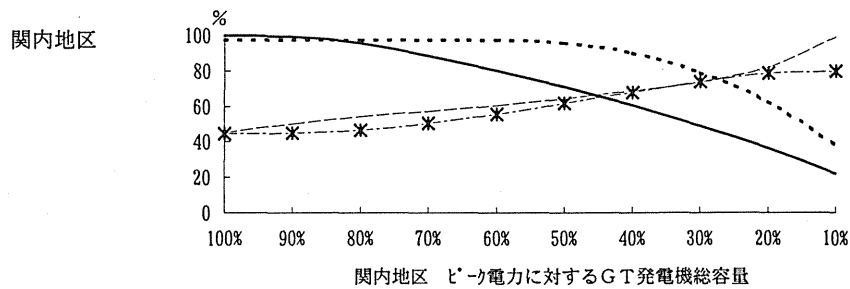
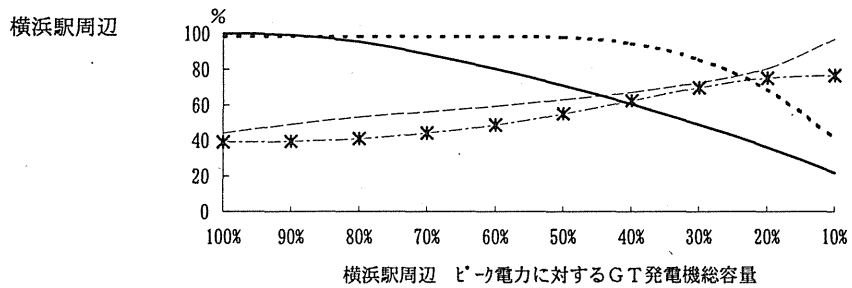
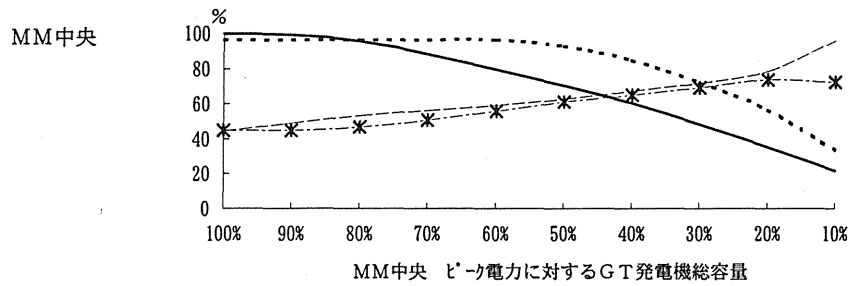
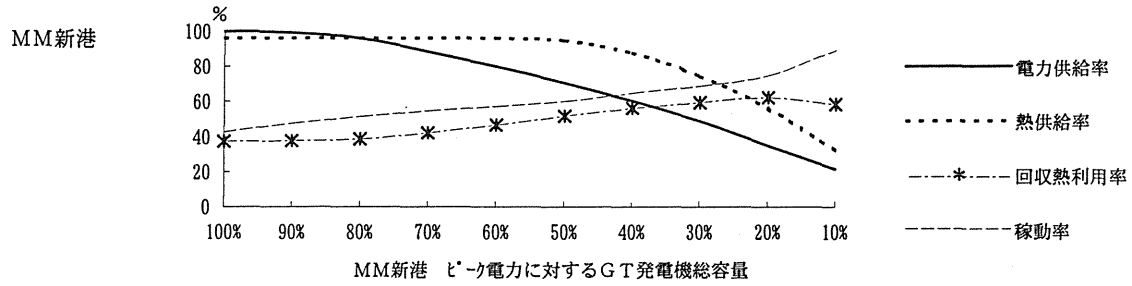
運転方式

- ・ 電力負荷追従運転：時刻別電力需要に合わせて運転し、熱需要を越える余剰発生熱は廃棄する。
- ・ 熱電バランス運転：容量の範囲内で電力・熱とも余剰を生じないように運転する。

各設定条件における評価として、電力・熱供給率（年間地区需要に対するの供給可能率）、稼働率（供給電力÷(発電容量×年間稼働時間)）、回収熱利用率（利用熱量÷発生熱量：電力追従運転のみ）を発電機総容量を横軸としたグラフで示す。

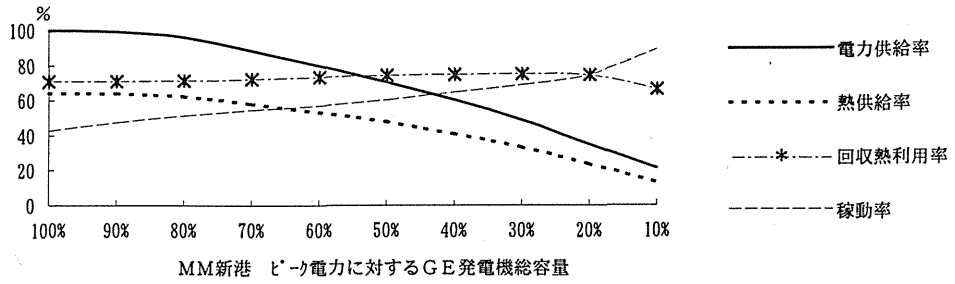
5-1 電力負荷追従運転

(1) ガスタービン

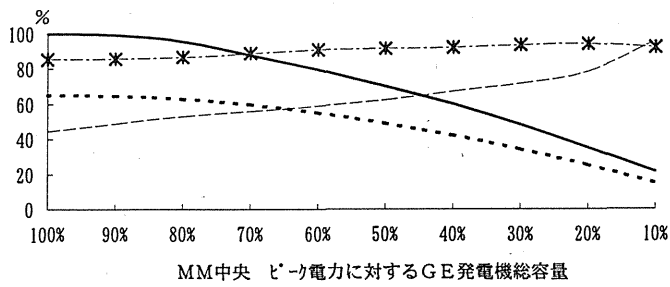


(2) ガスエンジン

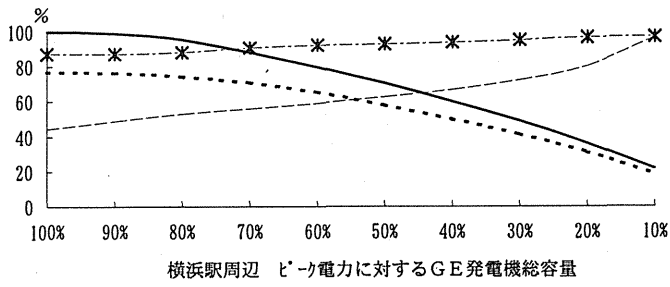
MM新港



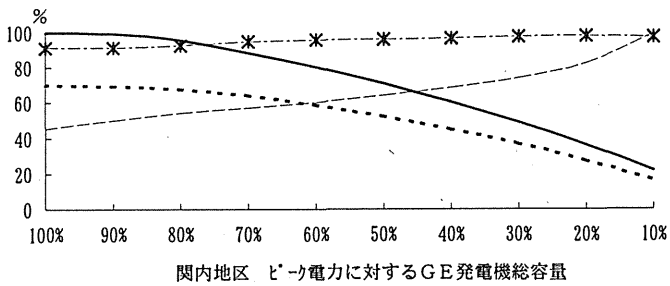
MM中央



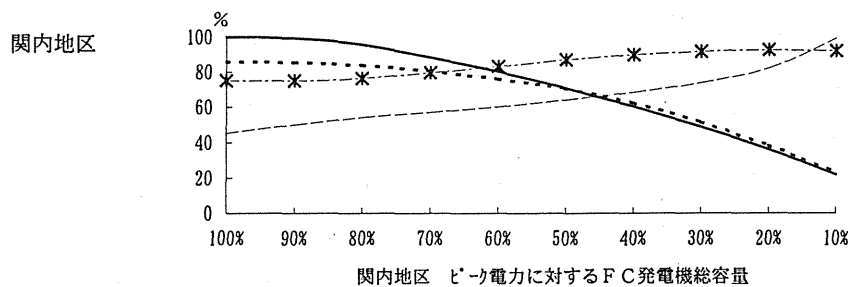
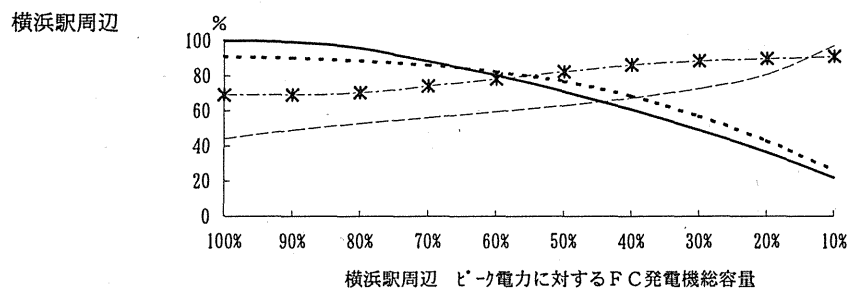
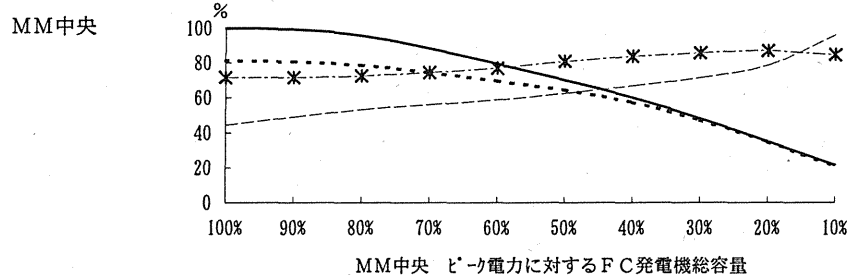
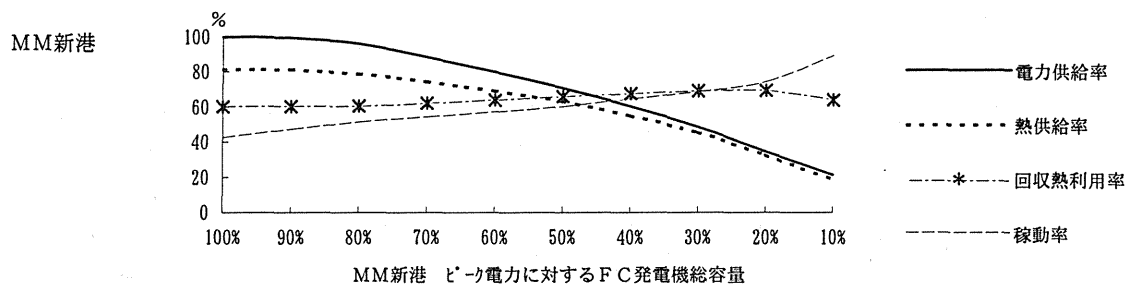
横浜駅周辺



関内地区

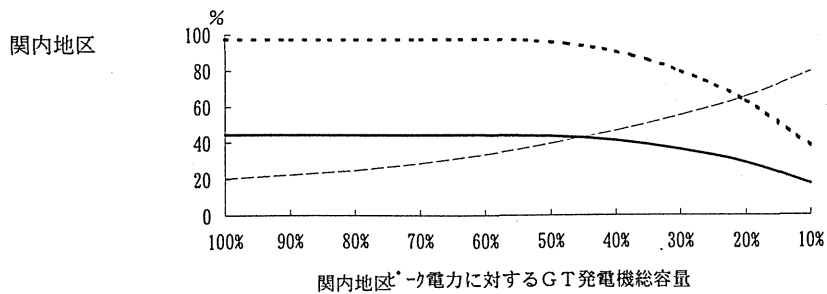
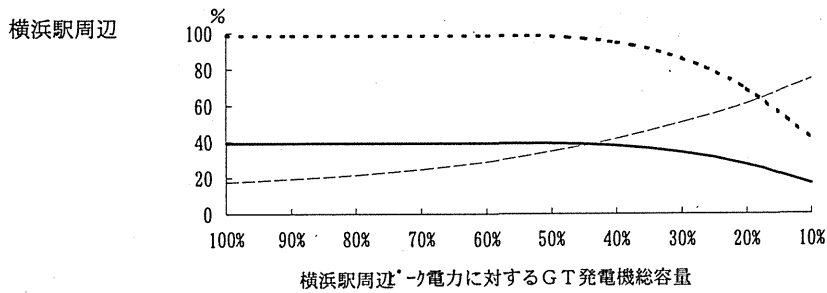
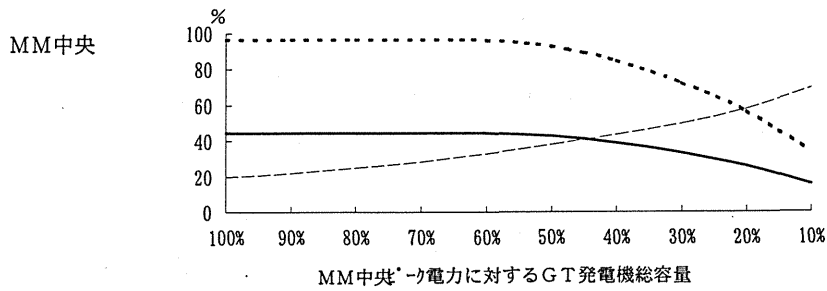
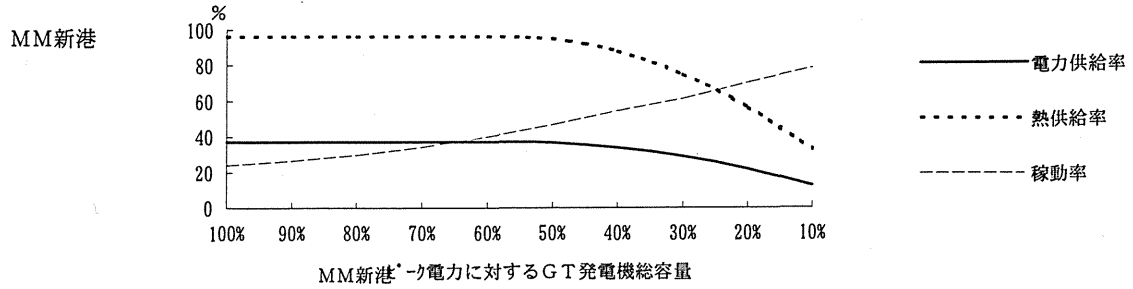


(3) 燃料電池

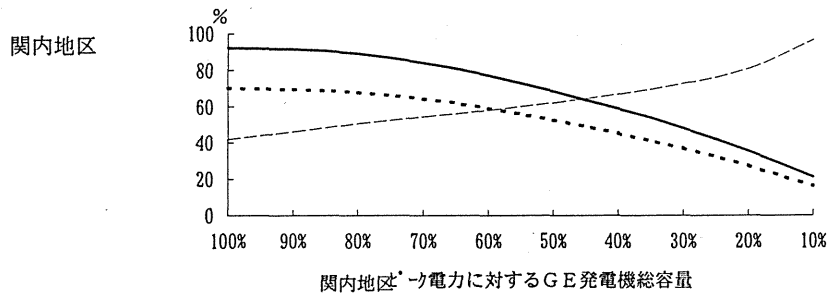
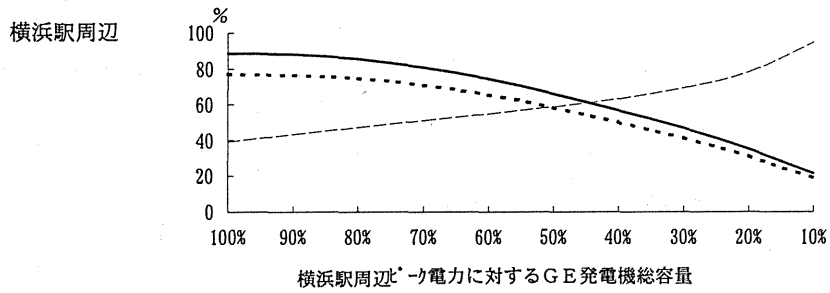
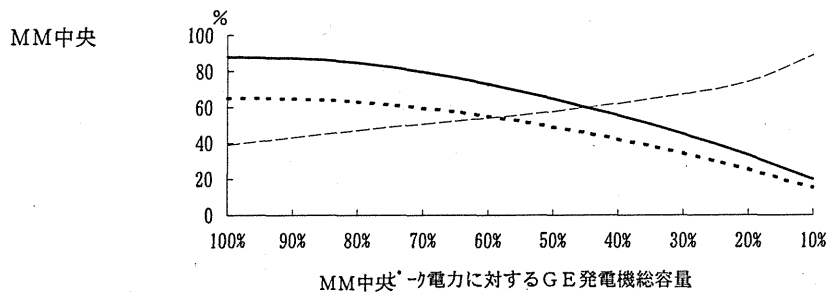
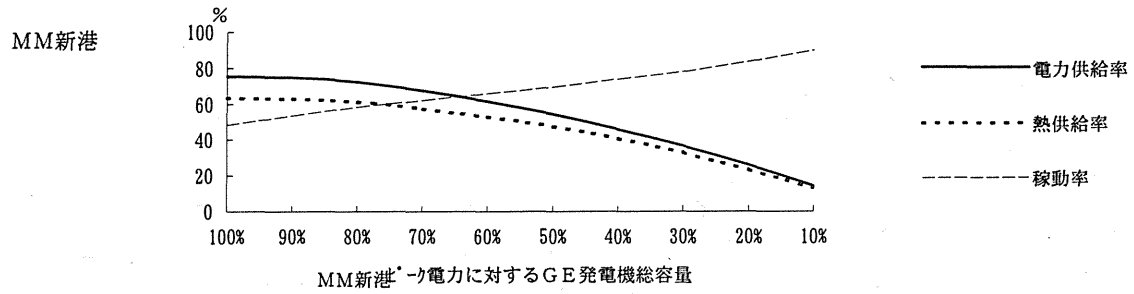


5-2 熱電バランス運転

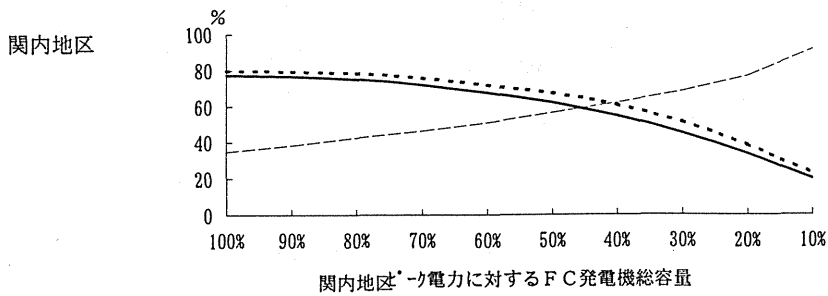
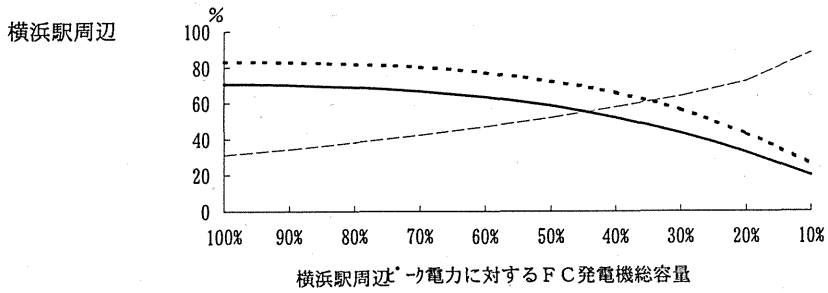
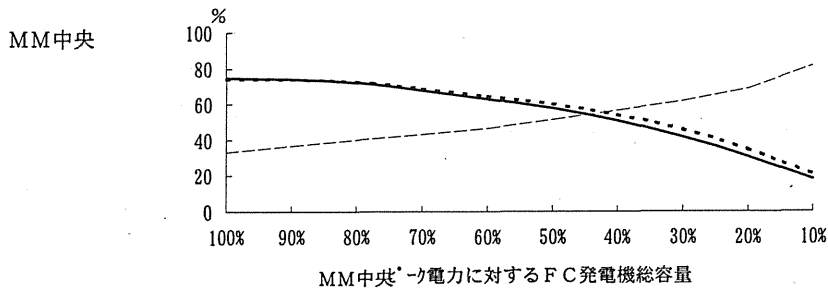
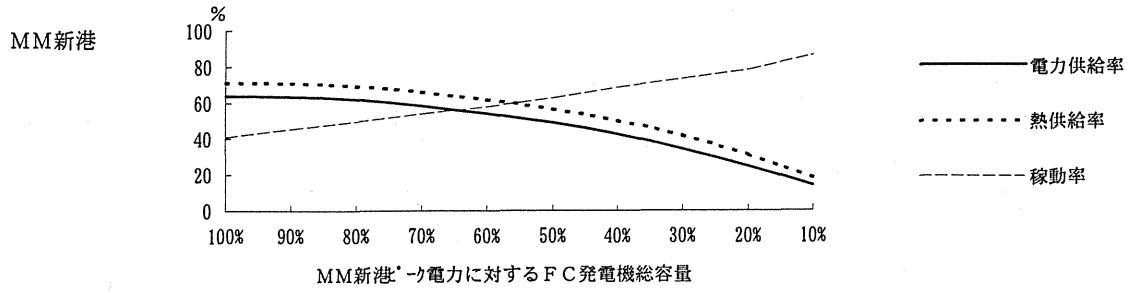
(1) ガスタービン



(2) ガスエンジン



(3) 燃料電池



5-3 機種・運転方式の比較

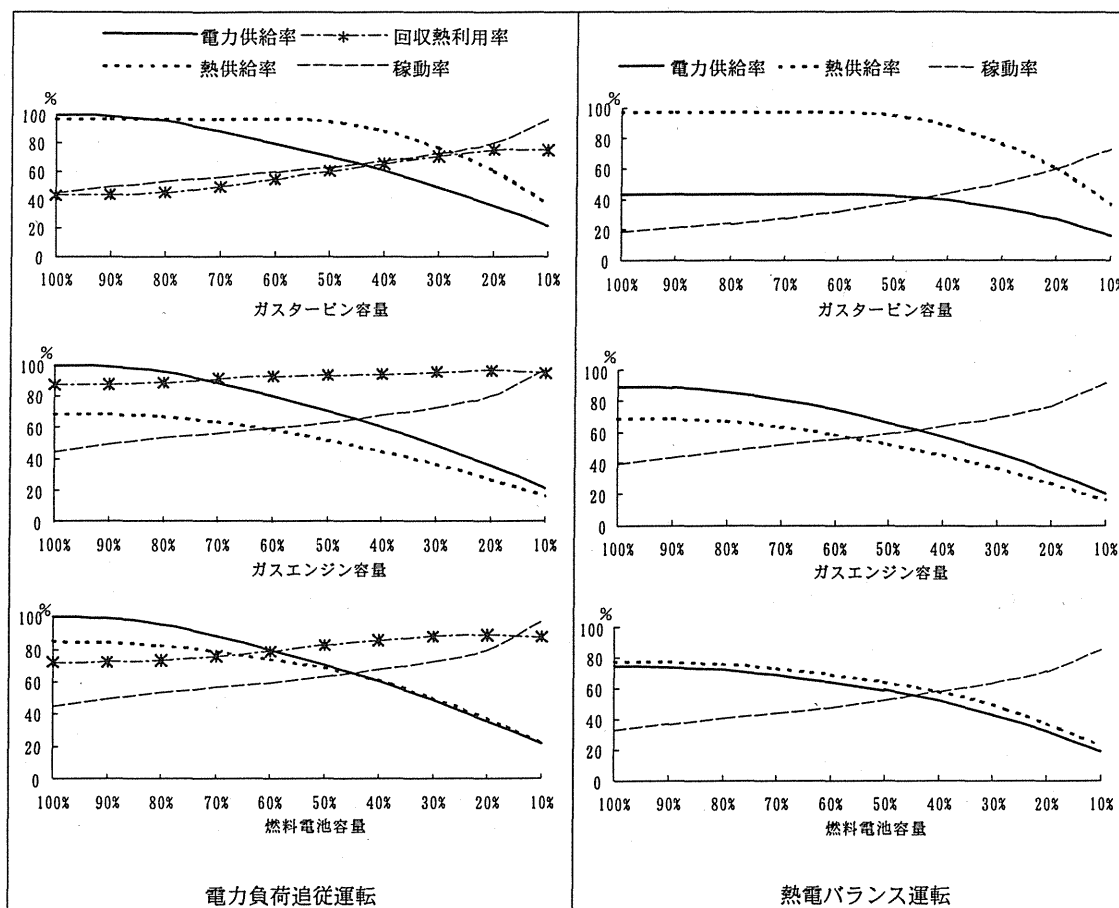


図 5-3 機種・運転方式の比較 (対象は横浜臨海地区全体)

図 5-3 の電力負荷追従運転によると、ガスタービンは容量 50% まで熱供給率がほぼ 100% 近くを保っている。これは、蒸気回収率が 50% と高く、熱余剰の状態が発生しているためであると考えられる。ガスタービンの発電効率が 25% と低いことを考慮すると、ピーク負荷に対応する容量設定は好ましくなく、回収熱利用率高く（廃棄熱が少なく）なるように 30%~50% 程度に容量を設定するべきであるといえる。ガスエンジン・燃料電池は蒸気回収率が低いためにガスタービンと異なった図を示しているが、回収熱利用率は高い値を示し、廃棄熱が少なく無駄が少ないことがいえる。

熱電バランス運転では、ガスタービンで電力供給率が極端に低くなるものの、ガスエンジン・燃料電池は電力追従運転よりやや低くなるだけで、曲線の形状はほぼ同じである。熱電バランス運転においては、回収熱利用率は 100% であるから、無駄のない運転が可能である。

また、運転方式や発電機の機種に関係なく、容量を低く設定したときの稼働率が高

く、中間期の熱需要量の減少や、コージェネレーションを地区のエネルギーのベース需要対応と位置づける場合を考えれば、容量は低く設定するべきであると考えられる。

さらに、対象地区である横浜臨海地区は、業務・商業用途の割合が高く、熱電比が低い地区であるために、ガスタービンはふさわしくなく、ガスエンジンや燃料電池を導入した方が効果的であるということも、この図によって実証された。

6.省エネルギー総合システムの提案

6. 省エネルギー総合システムの提案

1章で定義したように、都市型総合インフラとは、単に省エネルギーを考えるのではなく、都市のインフラストラクチャーとしての目的・効果・役割において多義性を有し、都市活動がインフラに求める様々な要求に対応できる柔軟性を備えていることが望まれる。

よってここでは都市型総合インフラの一端を担う省エネルギーシステムとして、未利用エネルギーや処理過程からのエネルギー回収、高効率システム等を活用し、それらを複合化することによって、トータルシステムとしての省エネルギーインフラを検討してゆく。ここでいう複合化・総合化とは、単に省エネシステムの足し算として考えるのではなく、個々のシステム間の関係に多義性をもたせ、それらの組み合わせによって個々のもつ効果以上の相乗効果を得ようとするものである。

6-1 総合システムの検討

これまでの考え方と、個々におこなったケーススタディの結果をもとに、システムの総合化を検討する。

未利用エネルギーや回収エネルギーは、どれも臨海部全体を完全に賄えるほどの規模ではなく、よって補助ボイラや系統電力等のサポートを必要とするが、ここでコージェネレーションの扱いが重要となってくる。

未利用エネルギー活用を考えたシステムでは、コージェネレーションはサポートシステムとしてもあつかえ、なおかつそれ自体、省エネルギーなシステムである。コージェネレーションを地区エネルギーのベースとするか、サポートとするかは、ケーススタディより得られた未利用エネルギーの活用可能量からでは判断し難い。よって、総合システムに対するコージェネレーションの位置づけの違いから、コージェネベースの場合と未利用ベースの場合の、2通りの総合システムを検討する。

総合システム 1 - コージェネベース・未利用エネルギー活用 -

総合システム 2 - 未利用エネルギーベース・コージェネ活用 -

(1) コージェネレーションベース利用・未利用エネルギー活用システム

コージェネレーションを地区エネルギーのベースに位置づけた、未利用エネルギーの活用を考える。

コージェネレーションの稼働率を上げるためにベース電力対応運転とし、発電容量設定を地区の年間最低電力需要に設定する（稼働率が 100%となる極端なケースを想定する）。この場合、常にコージェネによる供給が行われる反面、その量的な割合は低くなるため、コージェネ電力による電動ヒートポンプの夜間蓄熱運転を行う。これにより、夜間の蓄熱運転用電力分だけベース電力が上昇し、また蓄熱による熱負荷の平準化も図れる。

図 6-1-1 コージェネレーションベース利用の考え方

蓄熱については、神奈川下水処理場からの処理水を熱源水として使える量だけ、水熱源ヒートポンプにより行う。

また、臨海部のごみ排出規模が大きいことから、地区内でごみ焼却発電をおこない、地区供給するケースを考える。

(2) 未利用エネルギーベース利用・コージェネレーション活用システム

コージェネレーションをサポートシステムに位置づけた、未利用エネルギーの活用を考える。

未利用エネルギーをベース部分に充て、賄いきれない時間帯にコージェネの運転を行う。大規模な未利用源がないため、省エネルギーを図る目的で、ここでも下水を熱源としたヒートポンプによる夜間蓄熱を行うこととする。。

未利用源からの電力回収は難しく、よって熱主体の供給となるため、コージェネレーションは熱負荷追従運転とし、未利用源供給後の不足熱に対応させる。しかし、夏期のピークなどには不足熱が大きくなり、それを全てコージェネで補うためにはかなりの大容量を要する。夜間停止している、サポートシステムとしてのコージェネにそれだけの容量を持たせるのはふさわしくなく、よって容量設定は、中間期の昼間需要のピークが補えるよう計算して、年間ピーク熱負荷の30%容量とする(ピーク熱負荷は蓄熱後の平準化された負荷パターンでの値)。

ベースの未利用源としては、神奈川下水処理場の処理水熱源・地区ごみ処理による焼却熱を考えるものとする。

図 6-1-2 未利用エネルギーベース利用の考え方

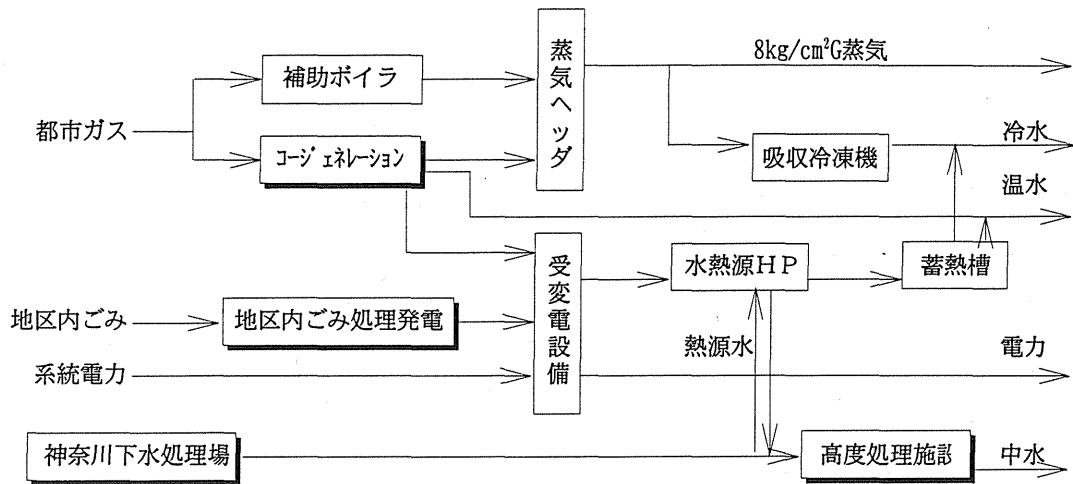


図 6-1-3 総合システム 1 システム概略フロー
 <コージェネレーションベース利用・未利用エネルギー活用システム>

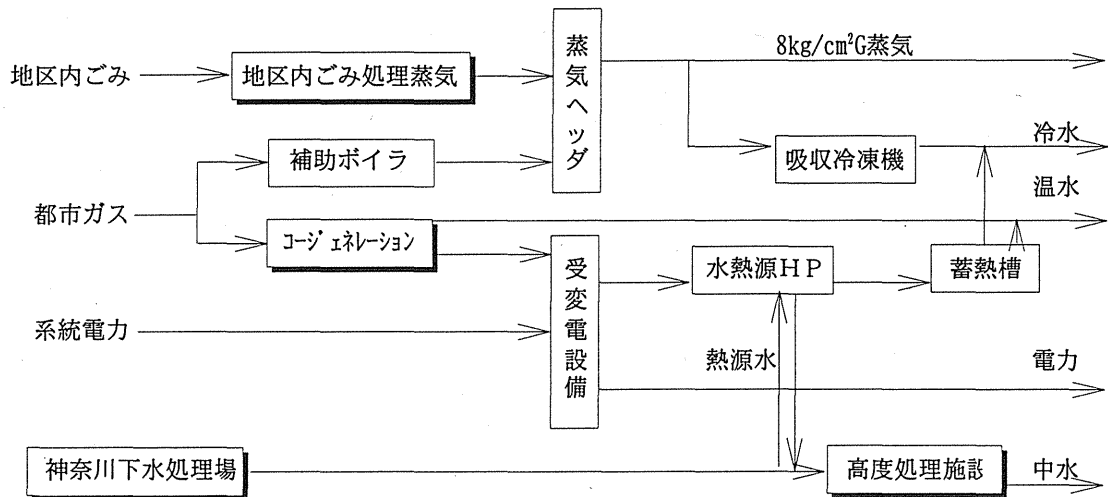


図 6-1-2 総合システム 2 システム概略フロー
 <未利用エネルギーベース利用・コージェネレーション活用システム>

6-2 総合システムの評価

(1) 基準システムの設定

総合システムの省エネルギー性を評価するために基準システムを設定する。横浜臨海部の4地区のうち、みなとみらい21地区にあたるMM中央・MM新港では、既に地域冷暖房が導入されているため、実際のシステムに従った。他の2地区は共に業務施設中心で、横浜駅周辺は商業施設の割合も高い。以上を考慮して、基準システムを次のように想定する。

表 6-2-1 基準エネルギー供給システムの設定

		横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区
電力需要		系統電力			
熱需要	暖房	ガス焚冷温水機 50%	ボイラ		ガス焚冷温水機 50%
	冷房	空冷ヒートポンプ 50%	電動ターボ冷凍機		空冷ヒートポンプ 50%
	給湯	ガス焚給湯機	ボイラ		ガス焚給湯機
水需要		上水道			

熱製造機器効率の設定 (年間平均値)

空冷ヒートポンプ暖房側成績係数	COPh	2.5 (穂機を含む)
空冷ヒートポンプ冷房側成績係数	COPc	2.0 (穂機を含む)
ガス焚冷温水機暖房側成績係数	COPh	0.75
ガス焚冷温水機冷房側成績係数	COPc	0.85
ガス焚給湯器効率		0.7
電動ターボ冷凍機	COP	3.61
ボイラ効率		0.8

(2) コージェネレーションベース利用・未利用エネルギー活用システム

・システムの負荷分担順位

電力：1 地区排出ごみ発電による電力

2 コージェネレーション電力

3 系統電力

熱：1 コージェネレーション排熱

2 神奈川下水処理場の処理水熱源による蓄熱

3 都市ガスによる補助ボイラ蒸気

水：1 神奈川下水処理場の処理水による中水

2 上水道

中水供給については4章のネットワーク系でのスタディと等しいため省略し、ここではエネルギー系のスタディを行う。

システムの検討の際に述べたように、蓄熱による負荷平準化とベース電力アップを図り、コージェネベース運転に適した負荷パターンにすることを考える。ごみ発電・蓄熱の導入による、臨海部全体での時刻別熱・電力負荷パターンの変化を、冬期（1月）夏期（8月）・中間期（10月）について示す。

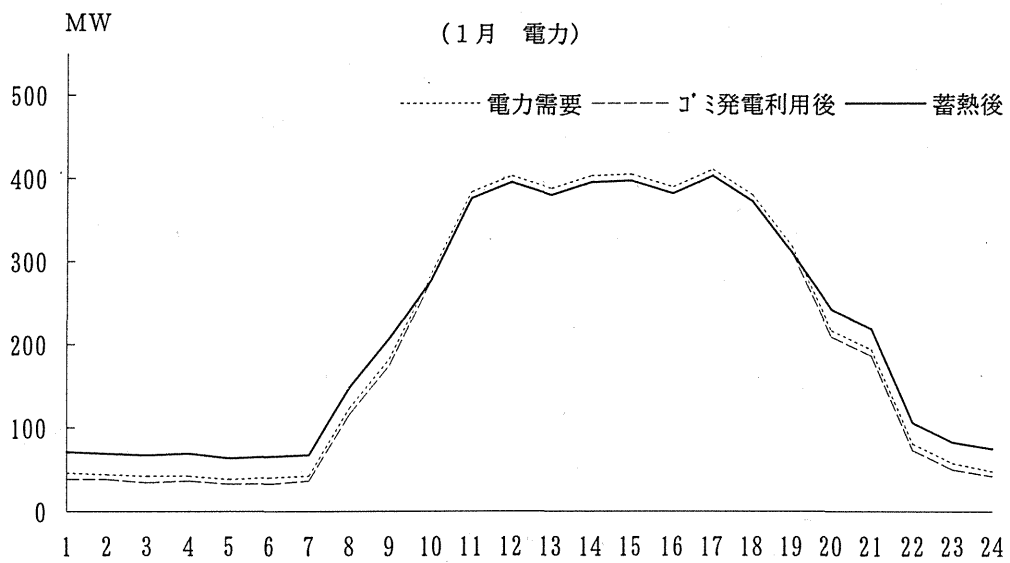
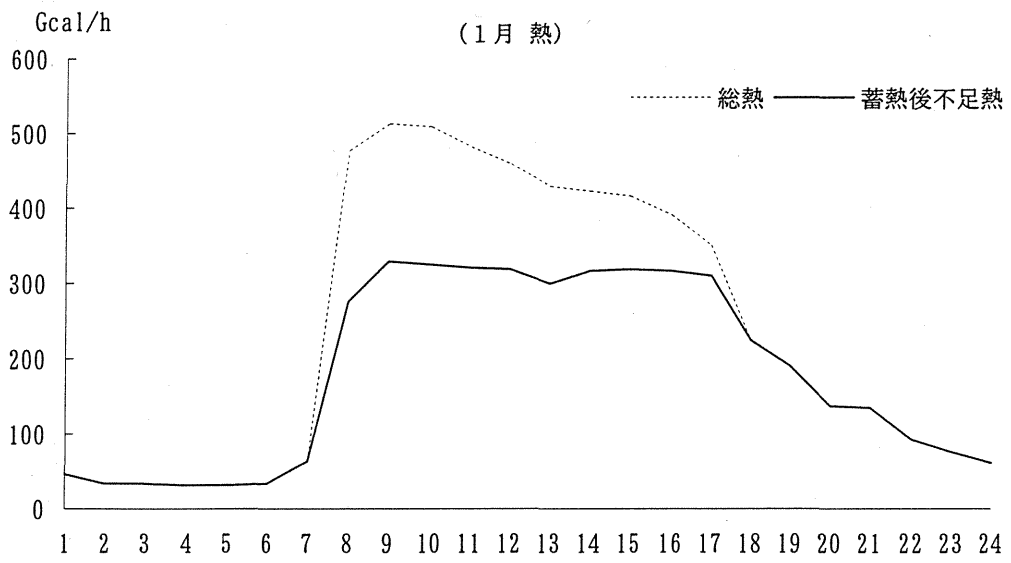


図 6-2-1 蓄熱利用後 熱・電力負荷パターン変化 (冬期：1月)

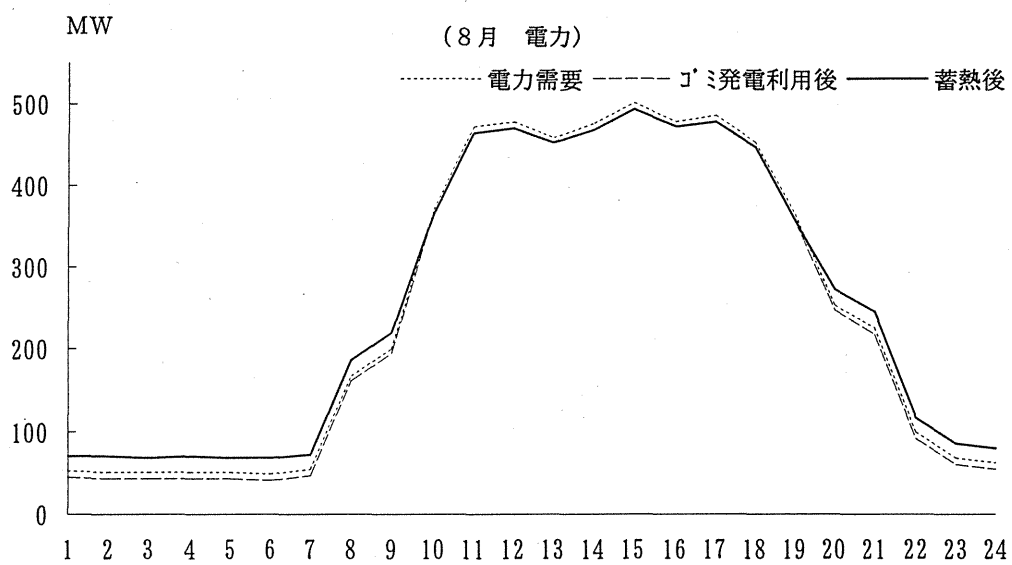
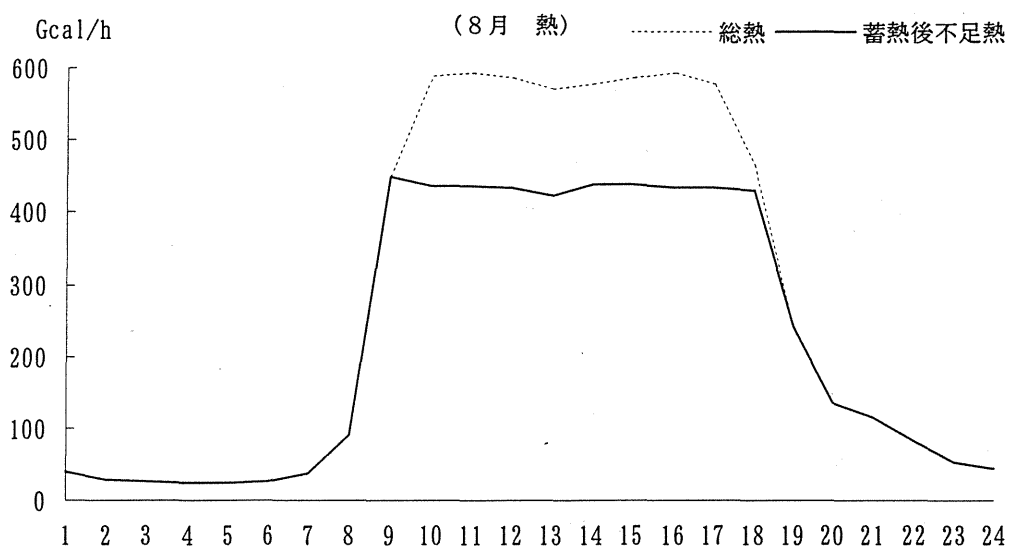


図 6-2-2 蓄熱利用後 熱・電力負荷パターン変化 (夏期: 8月)

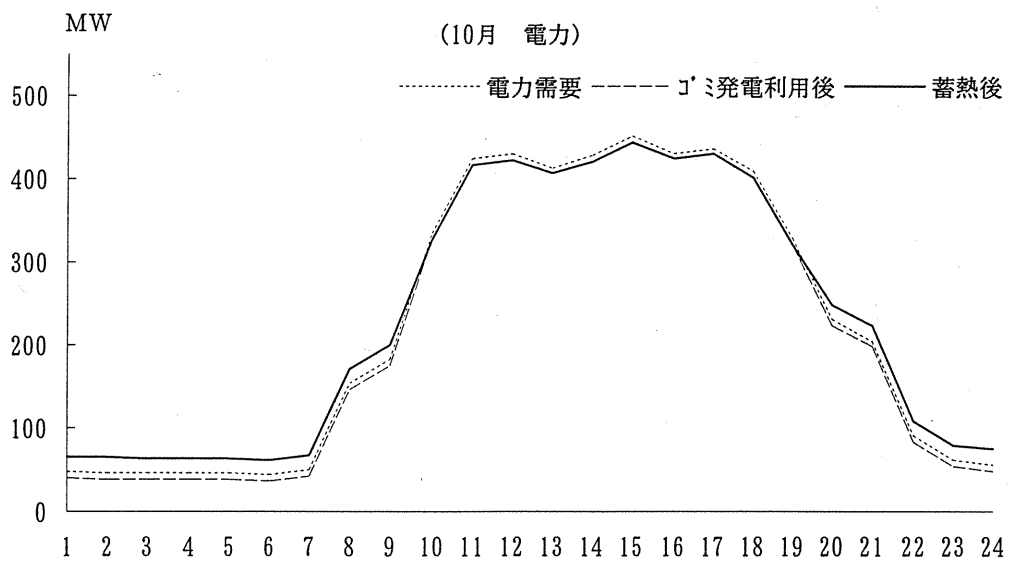
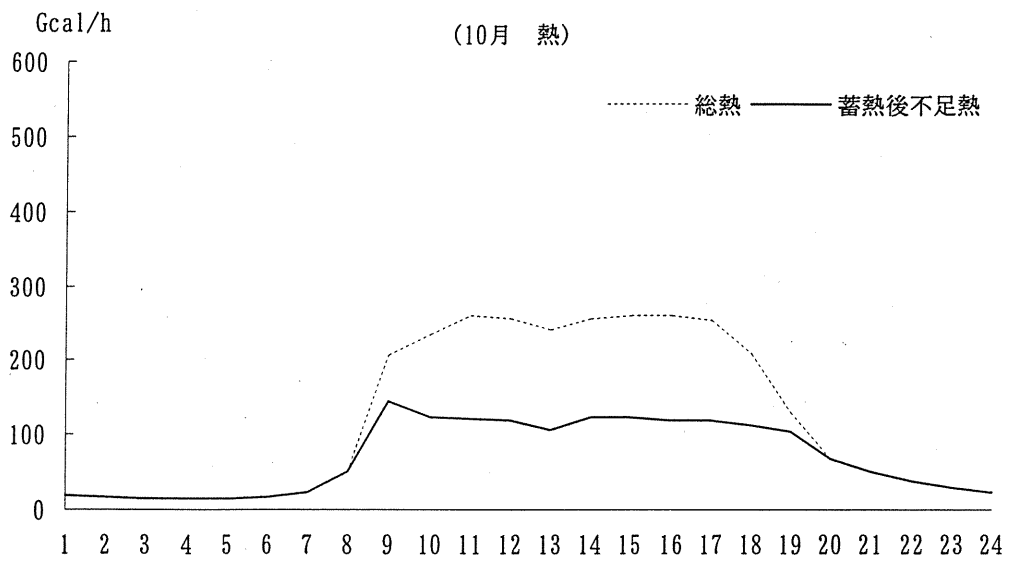


図 6-2-3 蓄熱利用後 熱・電力負荷パターン変化 (中間期: 10月)

- ・ 神奈川下水処理場の処理水を熱源水として利用する際の考え方は、4章でのケーススタディにならって行うが、ここでは蓄熱運転のため、

$$\text{蓄熱 COP} = (\text{熱製造 COP} \times 0.8)$$

とし、5月～10月は冷水、11月～4月は温水を製造する。(蓄熱時間：14h)

- ・ コージェネレーションは、ベース電力発電によって地区エネルギー供給のベース部分を賄う。発電機総容量は、夜間蓄熱分の電力を含めた年間時刻別電力負荷の最低値に合わせる。不足電力は系統電力より、不足熱は補助ボイラにより補い、また余剰発生熱は廃棄するものとする。

コージェネベースによる総合システムの評価は、(2)で設定した基準システムとの比較によって行うが、コージェネ導入における未利用エネルギー源活用の効果をみる目的で、コージェネ単独のシステム(地区ごみ発電・蓄熱を行わない場合の、年間最低電力容量によるコージェネ運転)も、あわせて考えた。

基準システム

コージェネ単独システム

コージェネベース総合システム

表 6-2-2 各システム エネルギー消費

	基準システム	コージェネ単独システム			コージェネベース総合システム		
		GT	GE	FC	GT	GE	FC
蓄熱用電力量 kWh/年					134,388,619		
発電機総容量 kW		39,000			48,400		
発電電力量 kWh/年		334,361,419			418,106,971		
発電用ガス消費量 Nm ³ /年		104,563,935	68,253,221	67,028,163	130,753,453	85,348,207	83,816,316
系統電力消費量 kWh/年	2,209,331,792	1,600,086,442			1,587,409,369		
都市ガス消費量 Nm ³ /年	109,198,355	222,674,584	215,285,735	205,186,876	194,678,016	182,287,684	170,717,112

電力一次エネルギー換算 (H7東京電力火力基準)

火力発電所発電端効率 39.0%
 所内率 4.1%
 沿う配電損失率 5.2%

よって 送電端熱効率 : $39.0 * (1 - 0.041) = 37.4\%$
 需要端熱効率 : $37.4 * (1 - 0.052) = 35.5\%$
 一次エネルギー量 : $860 / 35.5 * 100 = 2420 \text{kcal/kWh}$

都市ガス一次エネルギー換算

一次エネルギー量 : 11000kcal/Nm³

基準システムに対する省エネルギー性

省エネルギー量

$$= (\text{基準システム年間総一次エネルギー消費量}) - (\text{総合システム年間総一次エネルギー消費量})$$

省エネルギー率

$$= (\text{省エネルギー量}) \div (\text{基準システム年間総一次エネルギー消費量}) \times 100$$

表 6-2-3 各システム 総一次エネルギー消費と省エネルギー率

	基準システム	コージェネ単独システム			コージェネベース総合システム		
		GT	GE	FC	GT	GE	FC
総一次エネルギー消費量 Tcal/年	6,547.765	6,321.630	6,240.352	6,129.265	5,982.989	5,846.695	5,719.419
省エネルギー率 %		3.5	4.7	6.4	8.6	10.7	12.7

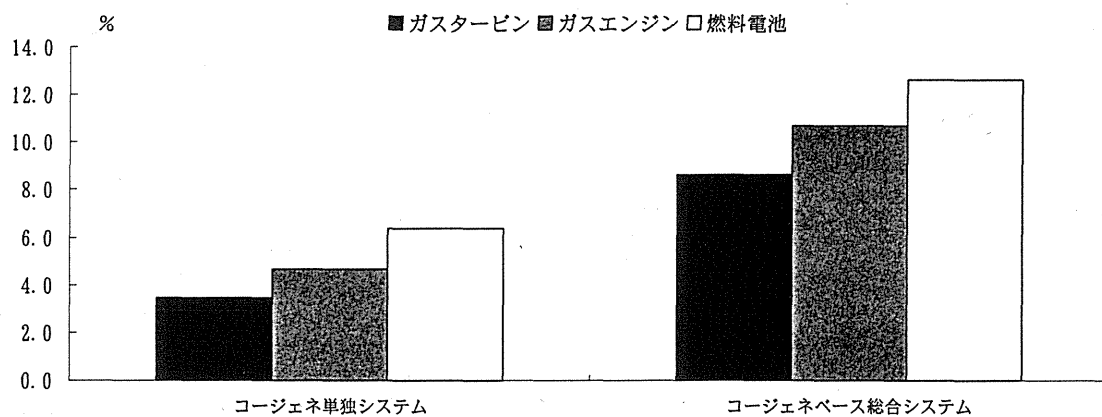


図 6-2-4 基準システムに対する省エネルギー率

省エネルギー率と同様の考え方で、基準システムに対しての、コージェネ導入による年間系統電力消費量の削減割合を、系統電力削減率として求めてみた。なお、運転設定が、最低電力容量による電力負荷対応型なので、各機種とも発電量が等しくなり、よって異機種間による違いはあらわれない。

コージェネ単独システム系統電力削減率	27.6%
コージェネベース総合システム系統電力削減率	28.1%

コージェネ単独システムに比べて、蓄熱分の電力需要が増えている総合システムにおいても、同程度の削減が見込まれることがわかる。また、容量設定を年間最低電力にあわせた場合でも、かなりの電力自給が可能となることも明らかとなった。

参考として、コージェネベース電力の容量設定を、ピーク負荷の30%とした場合の省エネルギー率、系統電力削減率を求めてみた。最低電力容量にくらべ、より大きな効果がえられることがわかる。

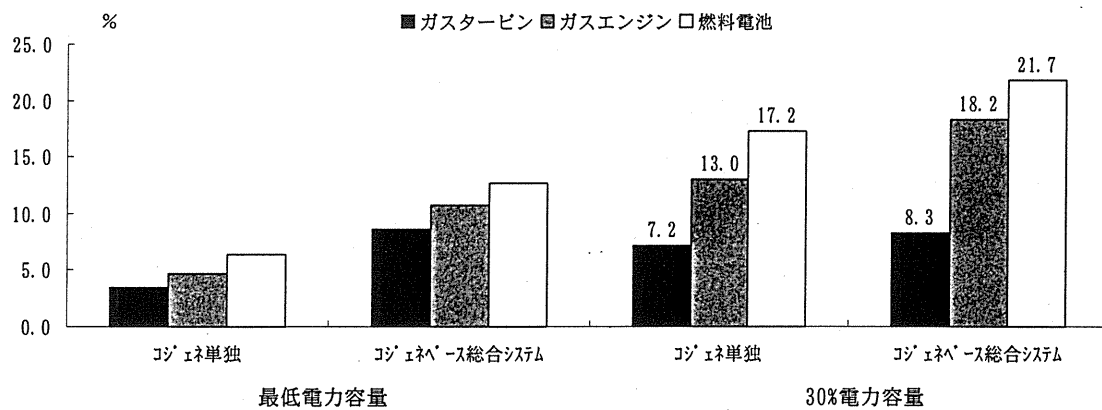


図 6-2-5 設定容量の違いによる 基準システムに対する省エネルギー率変化

30%容量における、

コージェネ単独システム系統電力削減率	55.1%
コージェネベース総合システム系統電力削減率	54.7%

(3) 未利用エネルギーベース利用・コージェネレーション活用システム

・システムの負荷分担順位

電力：1 コージェネレーション電力

2 系統電力

熱：1 地区排出ごみ処理による焼却熱

2 神奈川下水処理場の処理水熱源による蓄熱

3 コージェネレーション排熱

4 都市ガスによる補助ボイラ蒸気

水：1 神奈川下水処理場の処理水による中水

2 上水道

システムの検討の際に述べたように、未利用エネルギーベースのシステムにおいても、未利用源からの供給可能量アップのため、蓄熱による負荷平準化を考える。ごみ排熱・蓄熱の導入による、臨海部全体での時刻別熱・電力負荷パターンの変化を、冬期（1月）・夏期（8月）・中間期（10月）について示す。

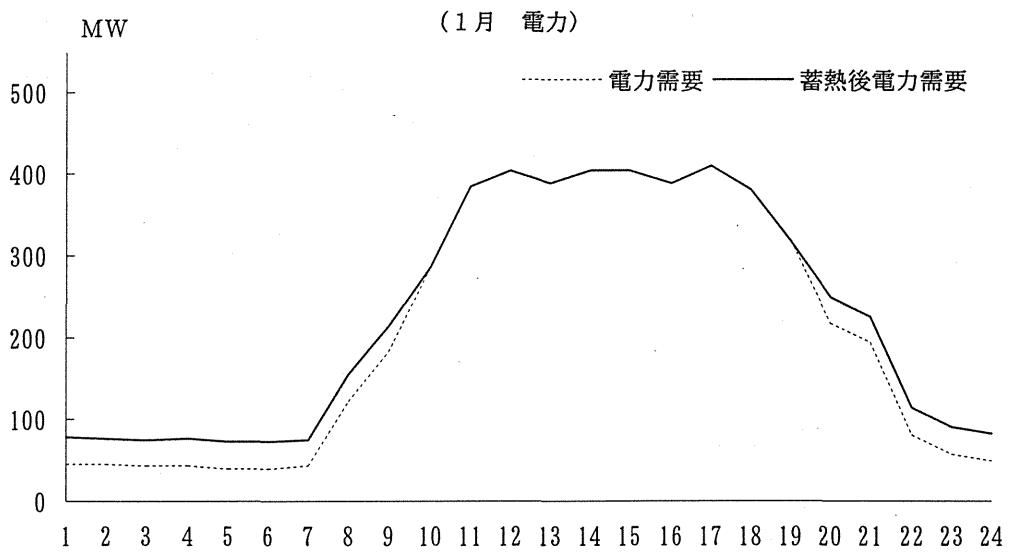
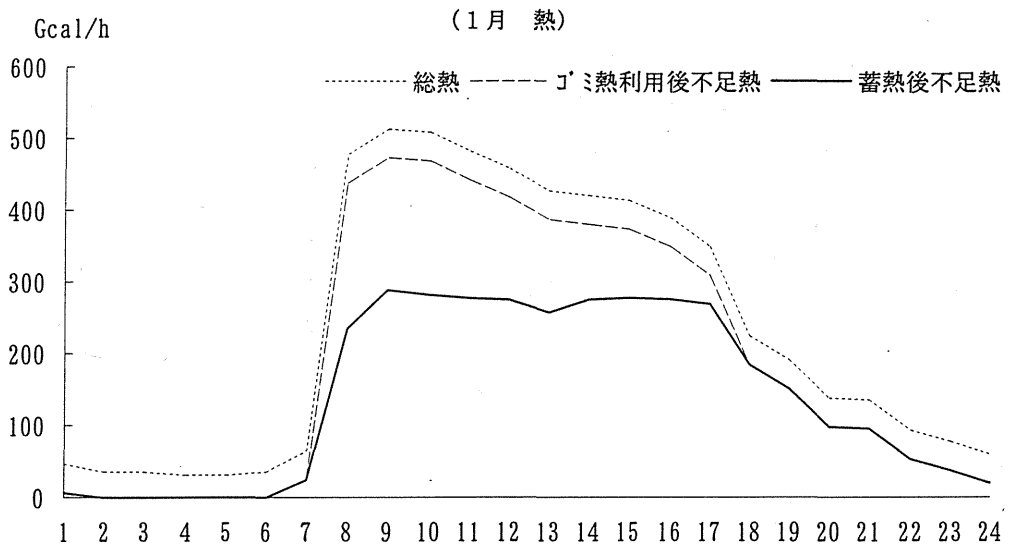


図 6-2-6 ごみ排熱・蓄熱利用後 熱・電力負荷パターン変化 (冬期: 1月)

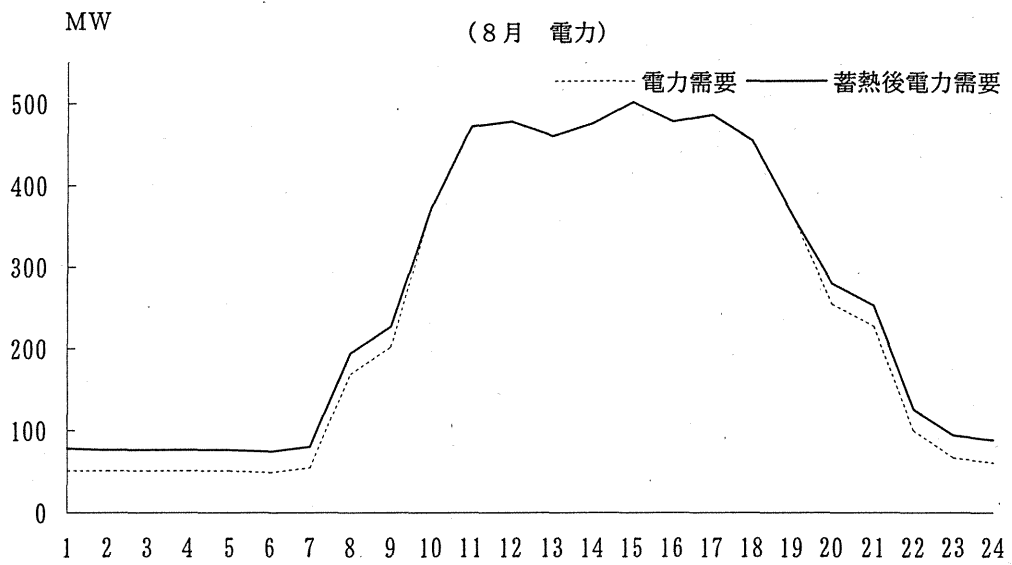
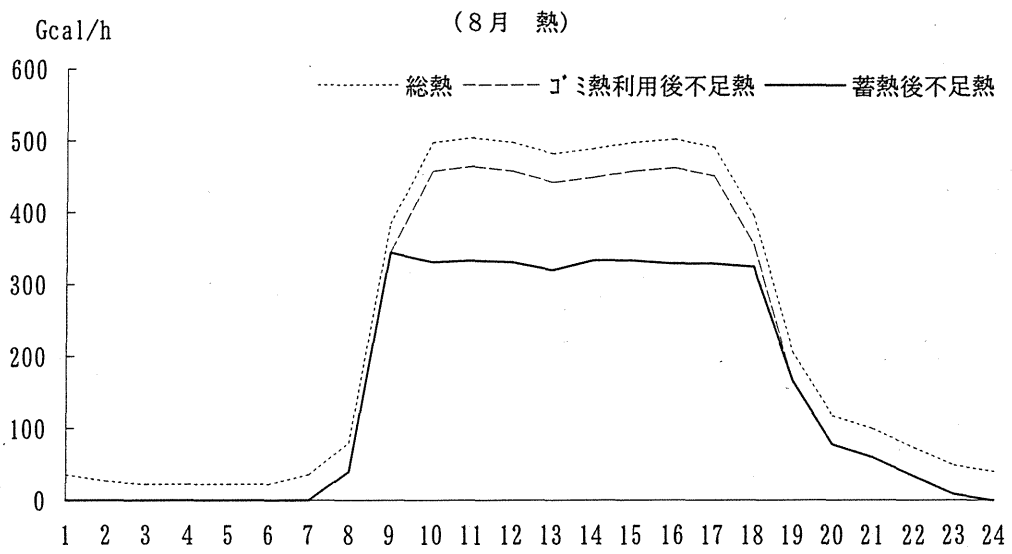


図 6-2-7 ごみ排熱・蓄熱利用後 熱・電力負荷パターン変化 (夏期：8月)

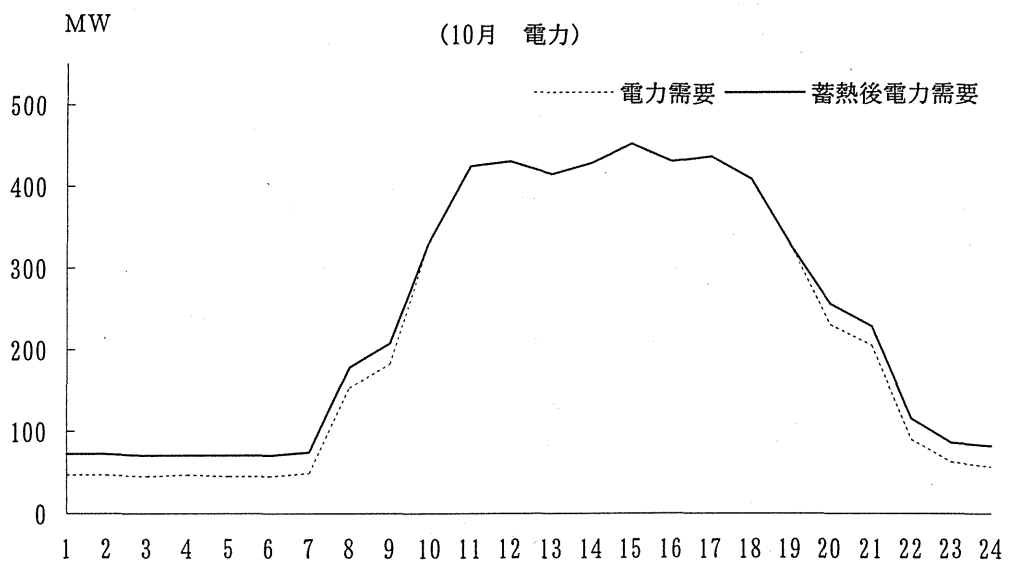
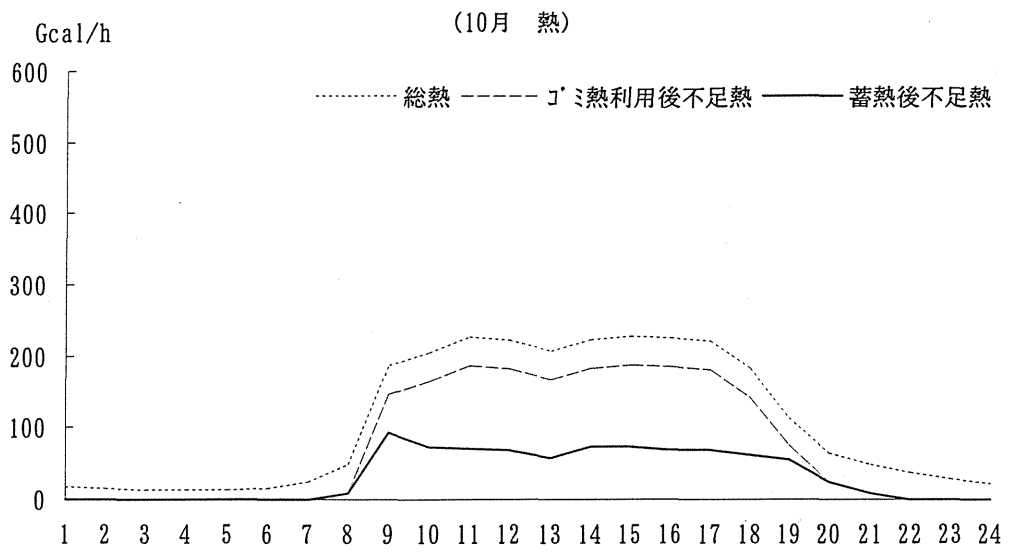


図 6-2-8 ごみ排熱・蓄熱利用後 熱・電力負荷パターン変化 (中間期: 10月)

- ・蓄熱については、前項と同じ設定条件とした。
- ・コージェネレーションは、ベースの未利用エネルギーで賄いきれない時間帯に運転を行う。発電機総容量の設定は、システム検討のところで述べたように排熱基準で考え、年間ピーク熱負荷の30%にあたる排熱を発生する発電容量とした。運転方式は熱負荷追従型とし、発電機総容量に対する負荷率が10%を下回る時間帯は運転を停止する。10%未満の低負荷時需要や、未利用熱・コージェネ排熱で不足を生じる部分については、補助ボイラにより対応する。また不足電力は系統電力からの買電で補うものとする。

未利用エネルギーベースによる総合システムの評価は、(2)で設定した基準システムとの比較によって行うが、未利用源とコージェネの複合効果をみる目的で、未利用単独のシステム(コージェネを導入しない場合)も、あわせて考えた。

基準システム
未利用単独システム
未利用ベース総合システム

コージェネベースシステムでの評価と同様の手法で、各システムのエネルギー消費量・省エネルギー率・電力負荷削減率を求めた。

表 6-2-4 各システム エネルギー消費と省エネルギー率

	基準システム	未利用単独システム	未利用ベース総合システム		
			GT	GE	FC
蓄熱用電力量 kWh/年		134,388,619		134,388,619	
発電機総容量 kW			60,000	170,800	114,600
発電電力量 kWh/年			250,091,373	709,767,203	477,115,782
発電用ガス消費量 Nm ³ /年			78,210,393	145,239,597	95,645,588
系統電力消費量 kWh/年	2,209,331,792	2,068,836,480	1,818,745,106	1,359,069,276	1,591,720,697
都市ガス消費量 Nm ³ /年	109,198,355	89,341,468	118,533,497	185,562,701	135,968,692
総一次エネルギー消費量 Tcal/年	6,547,765	5,989,340	5,705,232	5,330,137	5,347,620
省エネルギー率 %		8.5	12.9	18.6	18.3
系統電力削減率 %		6.4	17.7	38.5	28.0

未利用ベース総合システムでは、未利用単独に比べて、コージェネの導入分だけガス消費が増し、系統電力消費は減少する。最終的に一次エネルギー換算した値での総消費エネルギー量は、未利用の活用・コージェネの活用、の順に減少してゆく。

総合システム内の機種間比較では、熱負荷追従型の運転方式設定を反映して、発電効率が高く、排熱割合の低いガスエンジン式が、もっとも有効という結果になる。

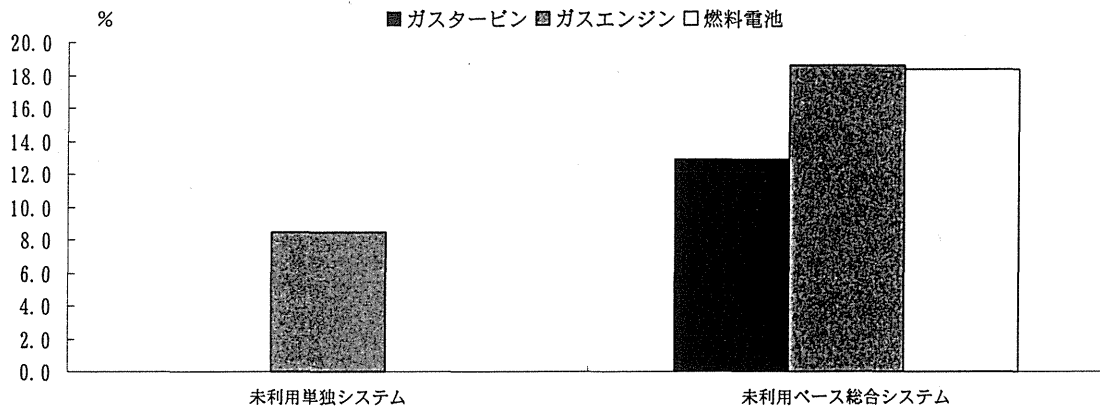


図 6-2-9 基準システムに対する省エネルギー率

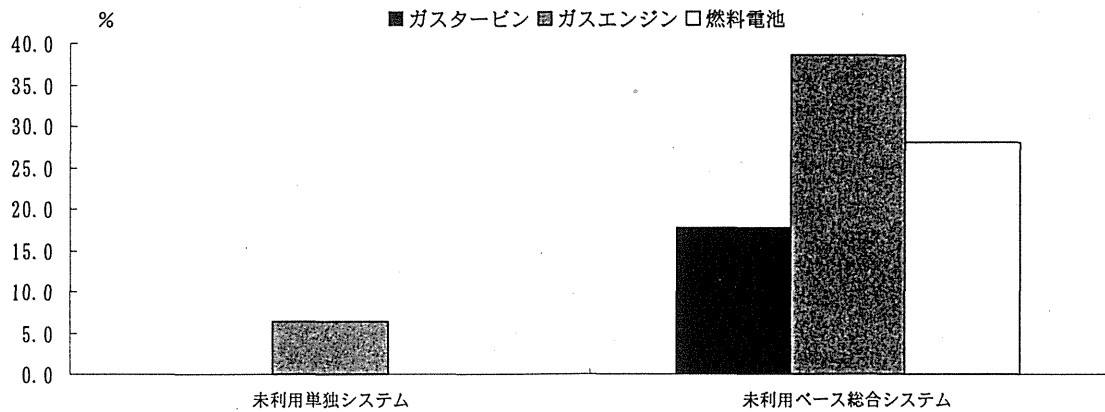


図 6-2-10 基準システムに対する系統電力削減率

(4) まとめ

これまで提案してきた各システムについて、環境への影響を含めて、結果をまとめて表示する。

NO_x排出原単位

・電力	(東京電力供給区)		
	0.166g/kWh	火力発電電力量当り原単位	0.29g/kWh
	(平成7年度)	全発電電力中火力割合	52.0%
		所内率	4.1%
		送電ロス	5.2%

よって 送電端： $0.29 \times 0.52 / (1 - 0.041) = 0.157\text{g/kWh}$
需要端： $(\text{送電端}) / (1 - 0.052) = 0.166\text{g/kWh}$

・都市ガス(13A)	(DHC地区)	13A都市ガス理論乾き燃焼ガス量	9.846Nm ³ /Nm ³
	0.809g/Nm ³	東京都環境保全局のDHC施設に対する指導値	40ppm (O ₂ =0%換算値)

よって $40 \times 10^{-6} \times 9.846 \times 46 / 22.4 \times 10^3 = 0.809\text{g/Nm}^3$

(従来地区)	ガス燃料機器(ボイラ、直焚冷温水機等)に対する東京都指導値
1.213g/Nm ³	60ppm (O ₂ =0%換算値)

よって $60 \times 10^{-6} \times 9.846 \times 46 / 22.4 \times 10^3 = 1.213\text{g/Nm}^3$

SO_x排出原単位

・ 電力	(東京電力供給区)	
	0.132g/kWh	火力発電電力量当り原単位 0.23g/kWh
	(平成7年度)	全発電電力中火力割合 52.0%
		所内率 4.1%
		送電ロス 5.2%

よって 送電端 : $0.23 \times 0.52 / (1 - 0.041) = 0.125 \text{g/kWh}$
 需要端 : (送電端) / (1 - 0.052) = 0.132g/kWh

・ 都市ガス(13A)	0.012g/Nm ³	13Aガス硫黄分	0.006g/Nm ³
-------------	------------------------	----------	------------------------

よって $0.006 \times 64 / 32 = 0.012 \text{g/Nm}^3$

CO₂排出原単位

・ 電力	(東京電力供給区)	全発電電力量当り原単位	86g-C/kWh
	0.347kg/kWh	所内率	4.1%
	(平成7年度)	送電ロス	5.2%

よって 送電端 : $0.086 \times 44 / 12 / (1 - 0.041) = 0.329 \text{kg/kWh}$
 需要端 : (送電端) / (1 - 0.052) = 0.347kg/kWh

・ 都市ガス(13A)	2.355kg/Nm ³	13Aガス組成より理論乾き排ガス中CO ₂ 容積	1.199Nm ³ /Nm ³
-------------	-------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

よって $1.199 \times 44 / 22.4 = 2.355 \text{kg/Nm}^3$

(2)・(3)で求めた各システムの省エネルギー率・系統電力削減率と、上記環境負荷排出原単位から求めた、基準システムに対するNO_x・SO_x・CO₂の削減率を、グラフで示す。

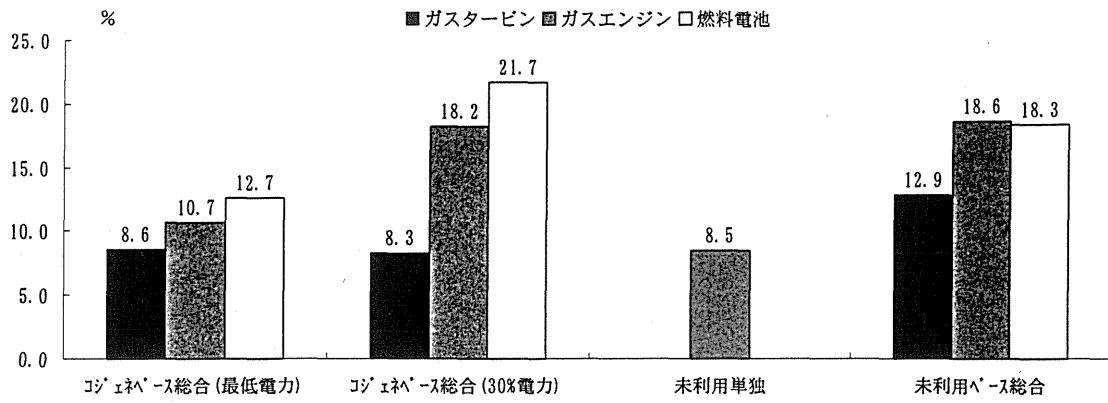


図 6-2-11 基準システムに対する各システム省エネルギー率

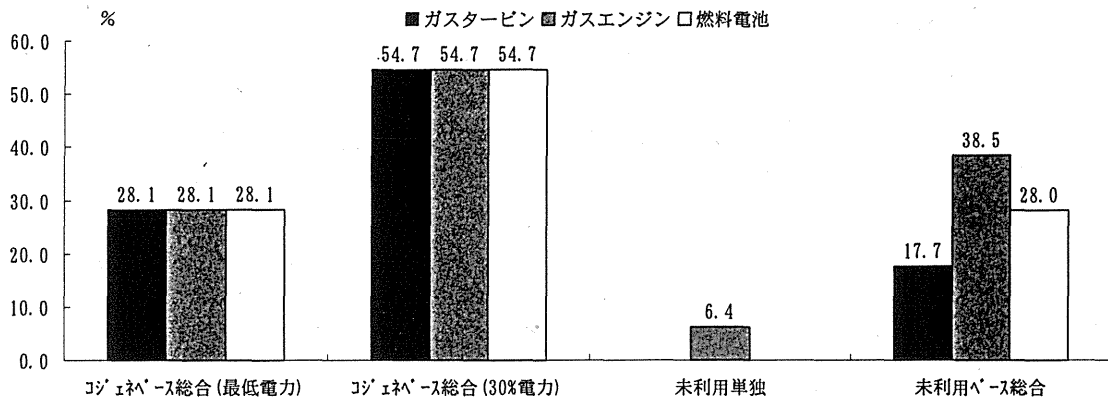


図 6-2-12 基準システムに対する各システム系統電力削減率

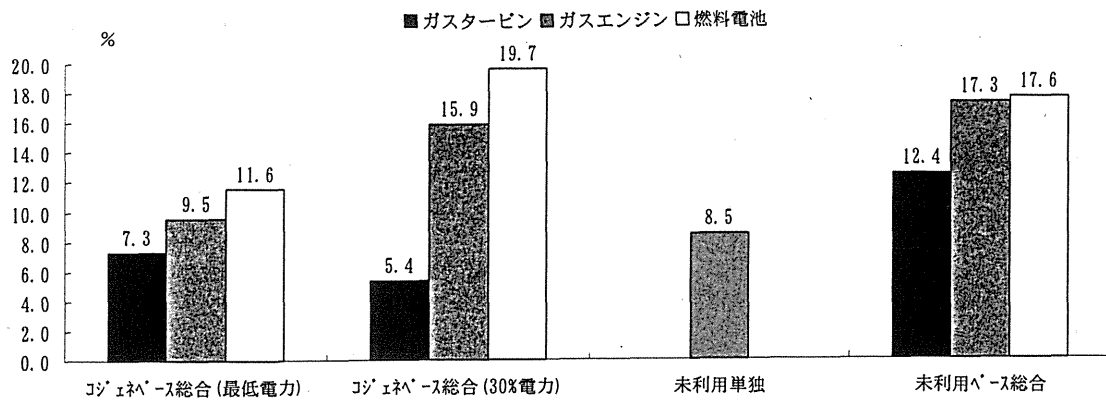


図 6-2-13 基準システムに対する各システム NOx 削減率

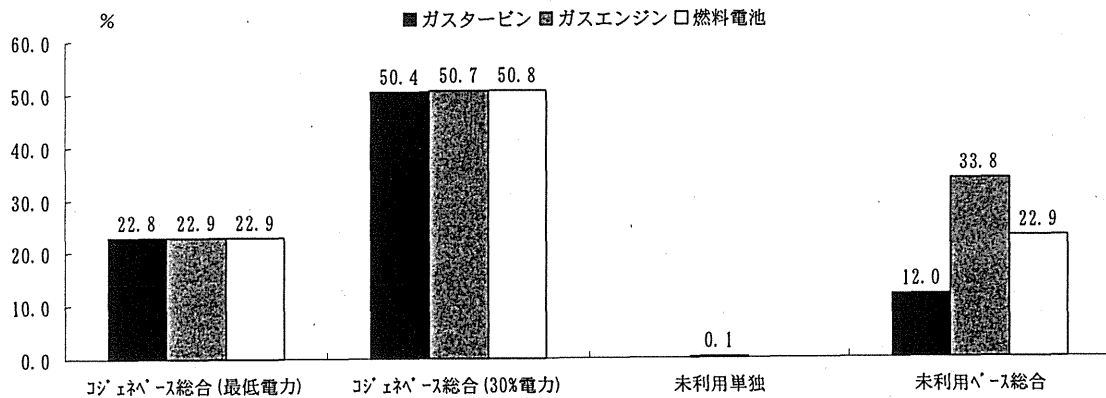


図 6-2-14 基準システムに対する各システム SOx 削減率

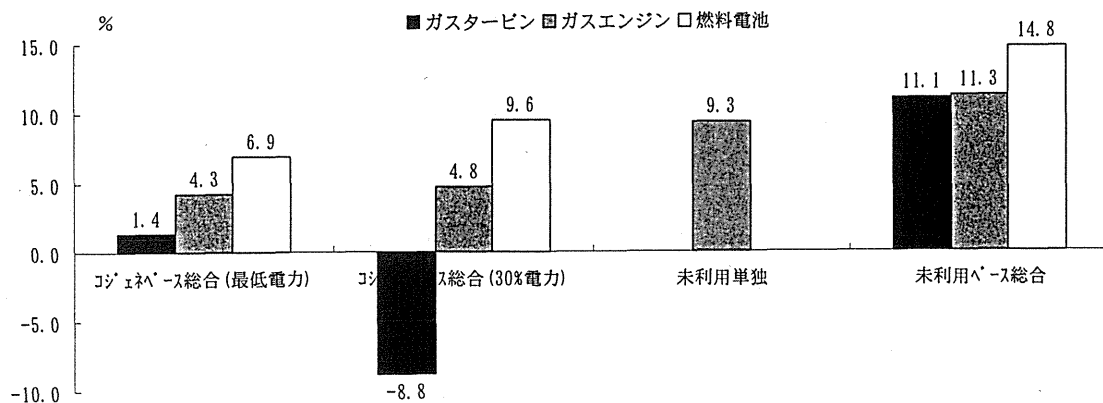


図 6-2-15 基準システムに対する各システム CO2 削減率

7. 広域熱供給ネットワークの可能性

7 広域熱供給ネットワークの可能性

7-1 広域熱供給ネットワークの意義

6章において検討した総合インフラシステムでは、地域・地区スケールでのインフラ計画をおこない、エネルギー回収や都市排熱の利用、高効率機器の導入等により、モノとエネルギーの地域循環を確立することをめざした。一方で、1章でふれたように、理想的な都市インフラ構造としては、地域スケールでの循環を広域スケールでの循環によってサポートすることが望ましい。

モノとエネルギーの循環のうち、電力・ガス・水については、既に広域的な供給網が敷かれていることから、地域・地区において、これらを循環させることを考えることが重要となってくる。しかし熱については未だ都市規模の供給網は整備されていない。

個別冷暖房方式による、都市排熱の増加やエネルギー効率の低さといった問題に対処するかたちで、近年では地域熱供給が普及しつつある。地域スケールへの拡大によって熱供給も新しくインフラとして加わり、スケールメリットを活かしたエネルギーの有効利用が行われはじめた。そのなかで、熱供給源として都市排熱を活用するという新たな可能性が生まれ、実際に未利用エネルギー活用型地域冷暖房として、地域的なエネルギー利用へ活かされている。

都市排熱を含む未利用エネルギーの利用に関しては、需要地と未利用源の需給間距離の問題が存在する。通常、熱供給の計画は負荷密度の高い地区で検討されるが、そのような地域の周辺では小規模の排熱は存在しても、清掃工場や発電所といった大量の熱を排出する施設は、立地の問題から近くに存在しないのが普通である。都市スケールでエネルギーの流れを考えると、そのような多量の熱が利用されずに棄てられていることは、非常に大きなエネルギーロスとなる。

このような理由から、熱供給においても広域のネットワークを整備してゆくことが重要であると考えられる。

広域熱供給ネットワークの導入により考えられる効果をまとめてみた。

<期待される効果>

- ・個別に熱供給を行う場合、ピーク負荷に相当する設備容量が必要であるが、実際は負荷の時刻変動、季節変動によって稼働率は低い。そこで、ネットワーク化させることによって、各々の設備容量を分担させることによって低減し、余った熱をネットワークに乗せて別の場所を利用して稼働率の向上が期待できる。
- ・都市の中に存在する様々な都市排熱を有効に活用することが可能になる。実際の都市排熱は、熱源の位置の問題から、利用可能性にはある程度の限界があったが、ネットワークを組むことによって、特に高温蒸気ならば、郊外部の清掃工場排熱や臨海部の火力発電所の抽気蒸気を都心部の需要地で有効に活用できることが期待できる。
- ・広域熱供給ネットワークによって、地域冷暖房の導入が積極的になされ、省エネルギーや、環境負荷低減が図れるほか、未利用エネルギーの活用が進むことにより、都市の自立、循環性が向上し、周辺都市への環境負荷の拡大を減らすことが期待できる。
- ・ピーク電力負荷、とくに夏期の電力の冷房負荷分を低減することが期待できる。

7-2 広域熱供給ネットワーク熱源の可能性

①清掃工場排熱

鶴見清掃工場では、排熱利用による発電が積極的に行われている。しかしここでは、もし、ごみ焼却排熱をネットワークにより横浜臨海地区に熱供給した場合の効果を、考察する。

「4-2 ネットワーク系インフラの効果」において、年間で横浜臨海地区の23.8%の熱需要の削減が期待できるという結果が得られたが、清掃工場排熱は供給側での量の調整が難しく、一定量供給されることから、中間期の需要が少ない時には、供給過剰の状態が生じていることになる。そこで、(イ)年間最低熱需要にあわせて清掃工場排熱をベースロード一定供給し、残りでゴミ発電した場合、(ロ)各月最低熱需要にあわせてベースロード一定供給し、残りでゴミ発電した場合の2通りについて考察する。但し、清掃工場排熱のみのシステムとし、電力は系統電力、不足熱はボイラを利用する。

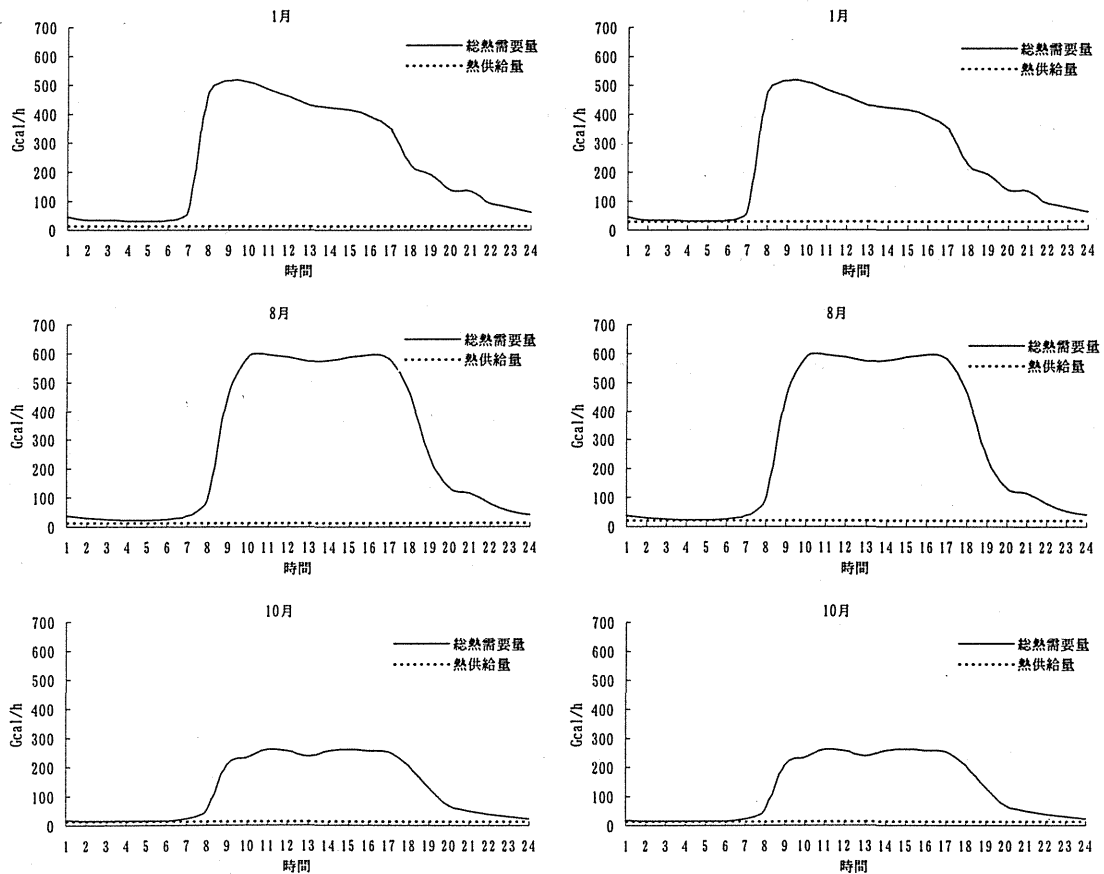


図 7-2-1 鶴見清掃工場からの熱供給

(左；年間最低需要にあわせたベースロード供給，右；月別最低需要にあわせたベースロード供給)

表 7-2-1 鶴見清掃工場からの熱供給による省エネルギー効果

	基準システム	(イ) 年間ベースロード供給	(ロ) 月間ベースロード供給
総熱需要量	Tcal/年	1,614.697	1,614.697
電力需要量	GWh/年	1,934.448	1,663.625
熱供給量	Tcal/年	—	125.509
不足熱量	Tcal/年	—	1,489.188
系統電力消費量	GWh/年	2,209.332	1,934.448
都市ガス消費量	千Nm ³ /年	109,198.355	105,596.962
総1次エネルギー消費量	Tcal/年	6,547.765	5,842.930
省エネルギー率	%	—	10.8
			11.5

年間ベースロード供給（年間最低熱需要量を一定量供給）としたとき、熱供給可能量に対する熱供給量の割合は30%である。そこで、つねに残りの70%を使って発電した場合の発電量を計算する。

$$\{47.812 - 14.527 \text{ (ベース供給量)}\} \times 8760 \text{ 時間} = 324.861 \text{ Tcal/年 (発電用蒸気量)}$$

$$324.861 \times 10^6 \div 1393 \text{ Mcal/t (ごみ 1t 当りの利用可能熱製造量)} = 233209619.5 \text{ t/年 (発電用相当ゴミ量)}$$

$$233209619.5 \text{ t/年} \times 255 \text{ kW (ごみ焼却量当りの利用可能電力発電量)} = 59,468.5 \text{ MWh/年}$$

月間ベースロード供給（年間最低熱需要量を一定量供給）としたとき、熱供給可能量に対する熱供給量の割合を月毎に計算し、同様に発電量を計算すると、

$$\text{発電用蒸気量} = 227.025 \text{ Tcal/年}$$

$$\text{発電用相当ゴミ量} = 227.025 \times 10^6 \div 1393 = 162975592.2 \text{ t/年}$$

$$\text{発電量} = 162975592.2 \times 255 = 41,558.8 \text{ MWh/年}$$

②汚泥処理場排熱

北部汚泥処理施設も4-2で述べたように、消化ガスを利用した発電を行っており、実際に現状では熱供給能力はない。しかし、発電を行わず、消化ガスを全量ボイラ燃料として、熱供給を行った場合、熱供給能力は10.5Gcal/hで、年間ベース熱需要を下回る。このときの省エネルギー性の考察を、清掃工場のとくと同様に行う。ただし、熱供給能力が年間ベース需要を下回るため、熱供給能力がそのまま熱供給量となる。

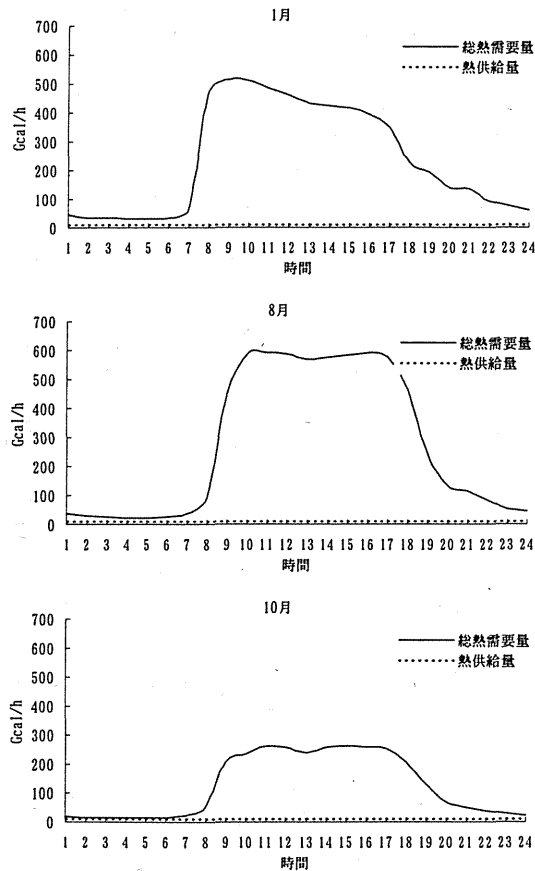


図 7-2-2 汚泥処理施設からの熱供給

表 7-2-2 汚泥処理施設からの熱供給による省エネルギー効果

		基準システム	全量をベースロード供給
総熱需要量	Tcal/年	1,614.697	1,614.697
電力需要量	GWh/年	1,934.448	1,663.625
熱供給量	Tcal/年	—	90.362
不足熱量	Tcal/年	—	1,524.335
系統電力消費量	GWh/年	2,209.332	1,934.448
都市ガス消費量	千Nm ³ /年	109,198.355	108,089.227
総1次エネルギー消費量	Tcal/年	6,547.765	5,870.345
省エネルギー率	%	—	10.3

汚泥処理施設からの熱供給可能量は小さく、熱供給によって蒸気は残らないため、発電は行えない。

③火力発電所

鶴見清掃工場、北部汚泥処理場、北部第二下水処理場に近く立地する横浜火力発電所は、1225MW（175MW×5基、350MW×1基）の発電能力を有する。火力発電所からの熱供給については、表 7-3-1 にあるようにタービン抽気が最も可能性が高い。タービン抽気の場合、抽気場所によって温度、圧力、最大抽気可能量が決まってくる（表 7-3-2）が、ここでは IP 抽気点（注圧タービンから復水加熱用に抽気する場所）からの IP 抽気を熱供給の対象とする。

抽気によって発電効率は低下するが、抽気量は制御が可能であるため、熱供給量を減らせばその分発電効率は向上するため、清掃工場排熱のように一定量供給ではなく、負荷追従の供給も可能である。

表 7-2-3 熱供給発電の形態別可能性評価

熱供給方式	省エネルギー性	技術的難易度	経済性	総合評価	備考
タービン排気熱	◎	△	○	○	熱効率的には最も有効な方法であるが、ユニット負荷や海水温度によって取出し得るエネルギーレベルが変動するという欠点がある。
復水器温排水	◎	△	○	○	又、温度レベルが低いため熱供給設備（熱交換器、配管など）の費用が大きくなる恐れがある。熱の利用方法につき今後検討していく必要がある。
ボイラ排ガスを利用した温水加熱器用給水加熱器を設置	○	×	△	△	100℃以下の低温の排ガスを熱源とするため、硫酸腐食の問題があり、現状では無理。
ブロー水のような発電所からの種々の排熱を利用	○	○	△	△	取出し得る熱量が熱電比に換算して約0.01～0.02以下
給水ポンプ駆動用タービンの排気	○	○	△	△	取出し得る熱量が熱電比に換算して約0.1程度
ボイラ発生蒸気の直接利用	△	○	△	△	電気・熱個別供給と全く同一の方式となり、タービン抽気方式に比し、明らかに効率的に劣る。
ボイラ内に低圧給水加熱器を設置	△	△	△	△	石炭ボイラの排ガス温度は、現状では硫酸腐食防止の点からほぼ下限にきており、これ以上上げるのは無理。また、この方法はタービン抽気方式に比し効率的に劣る。
タービン抽気	○	○	○	◎	熱供給事業が浸透している欧州、旧ソ連等で背圧タービン方式とともに、広く用いられている方式で、実績も多く最も有効な方法。発電量と熱供給量（抽気量）の種々の組み合わせが可能。

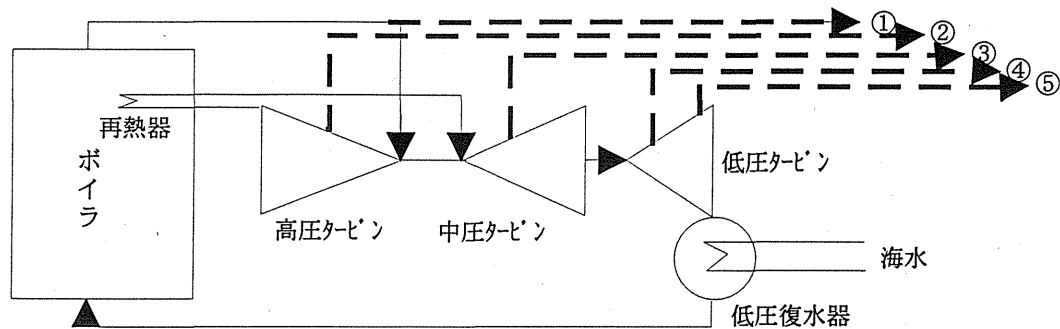
出典：「日本における熱供給発電の導入形態調査ステップⅡ（昭和60年6月）」電源開発（株）

表 7-2-4 抽気可能点とその条件

発電出力	負荷率	100%		50%		100%		50%		100%		50%		
		抽気位置	# 2 抽気	IP 抽気	LTR	HTR	抽気位置	# 3 抽気	IP 抽気	LTR	HTR	抽気位置	# 3 抽気	IP 抽気
156MW	抽気位置	# 2 抽気		IP 抽気		LTR		HTR		LTR		HTR		
	抽気圧力	0.753ata	0.417ata	5.10ata	2.78ata	43.0ata	22.8ata	39.5ata	20.8ata	39.5ata	20.8ata	39.5ata	20.8ata	
	抽気温度	97.6℃	96.5℃	283.3℃	274.7℃	344.9℃	354.2℃	566.0℃	547.0℃	566.0℃	547.0℃	566.0℃	547.0℃	
	最大抽気量	20 t/h		270 t/h		80 t/h		270 t/h		80 t/h		270 t/h		
500MW	抽気位置	# 3 抽気		IP 抽気		LTR		HTR		LTR		HTR		
	抽気圧力	2.90ata	1.51ata	10.2ata	5.23ata	44.7ata	22.7ata	41.2ata	20.9ata	41.2ata	20.9ata	41.2ata	20.9ata	
	抽気温度	205.9℃	204.7℃	346.3℃	343.5℃	297.2℃	254.5℃	538.0℃	534.0℃	538.0℃	534.0℃	538.0℃	534.0℃	
	最大抽気量	65 t/h		670 t/h		240 t/h		670 t/h		240 t/h		670 t/h		
1000MW	抽気位置	# 3 抽気		IP 抽気		LTR		HTR		LTR		HTR		
	抽気圧力	2.05ata	1.06ata	10.6ata	5.40ata	45.0ata	22.4ata	41.4ata	20.7ata	41.4ata	20.7ata	41.4ata	20.7ata	
	抽気温度	185.1℃	191.1℃	351.4℃	350.2℃	293.5℃	248.9℃	566.0℃	566.0℃	566.0℃	566.0℃	566.0℃	566.0℃	
	最大抽気量	130 t/h		1340 t/h		480 t/h		1340 t/h		480 t/h		1340 t/h		

表 7-2-5 各抽気点からの抽気による発電出力の低下 (発電機容量 250MW)

抽気点	熱源 圧力 [atg]	飽和温度 [°C]	比エンタルピー [kcal/kg]	発電出力 低下 [MW]	出力 低下率 [%]
①主蒸気	169	350	850	250	100
②高圧タービン	60	276	750	160	64
③中圧タービン	9	179	785	88	35.2
④低圧タービン	0.5	110	690	38	15.2
⑤低圧タービン	-0.7	69	610	27	10.8



横浜火力発電所の発電能力は、1225MW (175MW×5基, 350MW×1基) であるが、ここでは 1000MW の機器が 1 基として、抽気による熱供給可能量を求める。

【IP 抽気条件】

圧力：P=10.6 ata 温度：T=351.4 °C 最大抽気可能量：V=1340 t/h

【熱量計算】

抽気蒸気のもつ比エンタルピーは $h=760 \text{ kcal/kg}$ (蒸気の $h-s$ 線図より)

8ata 飽和蒸気供給 (かえり 80°C) とすると

100°C 温水になるまでのエンタルピー差 $\Delta h=660 \text{ kcal/kg}$

を利用熱分とすると

最大抽気可能量が $V=1340 \text{ t/h}$ だから供給可能熱量 Q_{IP} は

$$Q_{IP}=660 \times 1340 \div 1,000 = \underline{884.4 \text{ Gcal/h}}$$

次に、これをネットワークにより横浜臨海地区に供給したときの省エネルギー性について考察する。清掃工場の熱供給可能量は横浜臨海地区の年間最低熱需要 (年間ベース) および、各月の最低熱需要 (月間ベース) を上回っていることから、発電所からの熱供給もこれと全く同様の結果を得る。また、前述のとおり発電所抽気は量の制御が容易であることから、負荷追従の供給が可能である。そこで、発電所からの熱供給の最大量を、中間期のピーク熱需要に設定したときについて考察する。

省エネルギー性の計算において、抽気蒸気の取り扱いは、抽気による電力出力低下分として、その 1 次エネルギー換算値と考える。また、表 7-3-3 を参考に各抽気点からの抽気による発電出力の低下はその抽気量に比例するものとして考える。

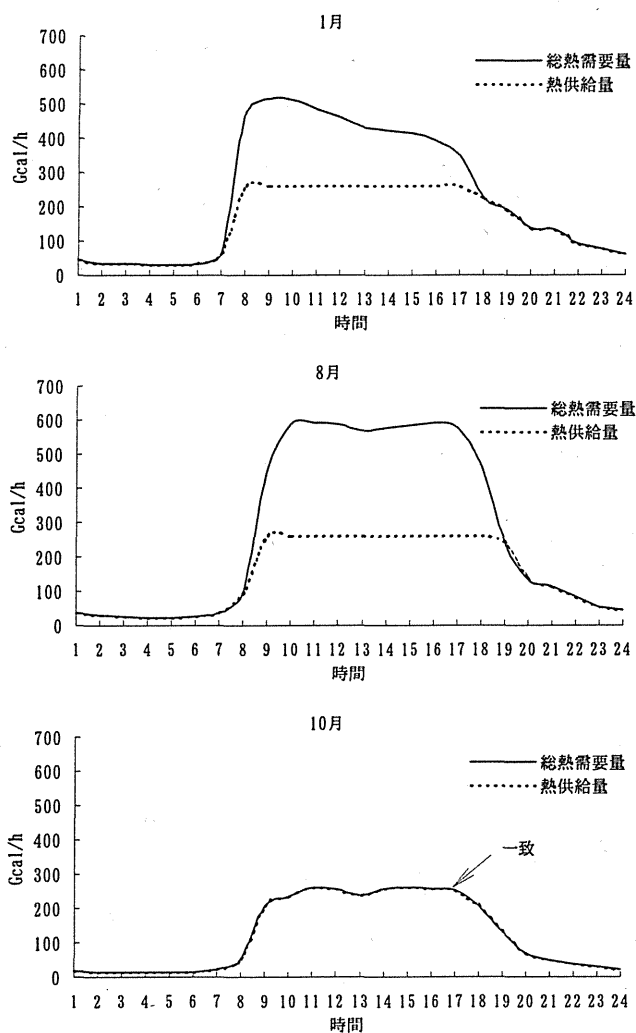


図 7-2-3 発電所抽気の熱供給（最大熱供給量：中間期のピーク需要 260.1Gcal/h）

表 7-2-6 発電所抽気の熱供給による省エネルギー効果

		基準システム	中間期ピークを最大量とする負荷追従供給
総熱需要量	Tcal/年	1,614.697	1,614.697
電力需要量	GWh/年	1,934.448	1,663.625
熱供給量	Tcal/年	—	1,187.830
不足熱量	Tcal/年	—	426.868
系統電力消費量	GWh/年	2,209.332	1,934.448
都市ガス消費量	千Nm ³ /年	109,198.355	30,268.797
発電出力減少分	GWh/年	—	472.768
総1次エネルギー消費量	Tcal/年	6,547.765	6,158.419
省エネルギー率	%	—	5.9

7-3 まとめ

広域熱供給ネットワークは、地域熱供給の先進国である北欧・中欧諸国ですでに実現しており、省エネルギー性、環境保全性の面から高い評価を受けている。これらの先進国のネットワーク熱源を見てみると、国ごとにその社会的背景から相違が見られる。例えば、デンマークでは分散型熱源であるコージェネレーション排熱が主であり、ドイツでは発電所の熱併給が主である。しかしいずれにしても、ごみ焼却排熱などの都市排熱を積極的に使っていこうというシステムであり、我が国も見習うべきところが多い。

日本は気候的に夏の冷房負荷が大きいところが特徴であるが、これに対応するべくネットワークの熱媒温度を設定すると、吸収式冷凍機の駆動力になるために180℃以上が必要である。こういった理由から、発電所からの熱併給するためには、エネルギー的により高い位置での抽気が必要となっている。そのために、抽気による発電出力の低下率が高く、高い成績係数は望めない。

もし、コージェネレーションを利用する地区拠点型システムや地域的な低温未利用エネルギー（下水・海水など）を活用したシステムと調和するならば、より低い温度レベルでの供給が可能になると考えられる。そうすれば、発電所からの熱併給に関して高い成績係数が期待でき、更に広範囲から都市排熱を集めて供給するというシステムが可能である。

また、本章では清掃工場と汚泥処理施設からの熱供給も検討した。しかし、実際は清掃工場では発電が、汚泥処理場では消火ガスを生成して発電が行われており、すぐに熱供給が可能とは言いがたい。また、汚泥処理場からの熱供給可能量はごくわずかである。しかし、これらの発電が低い効率で行われていることや、ダイオキシンなどの問題で清掃工場自体がRDF製造工場に変わったり、整理統合される可能性があることから、熱供給への方向も視野に入れて十分な検討がなされる必要があると言える。

8.広域熱供給ネットワークを活用した

総合都市インフラストラクチャー構想

8. 広域熱供給ネットワークを活用した

総合都市インフラストラクチャー構想

－ 防災・環境に配慮したインフラストラクチャー －

8-1 概要

本章では、前章までの結果を踏まえ、地区拠点型のシステムと広域ネットワーク型のシステムを総合化した具体的なシステム提案を行い、それを総合的に評価する。

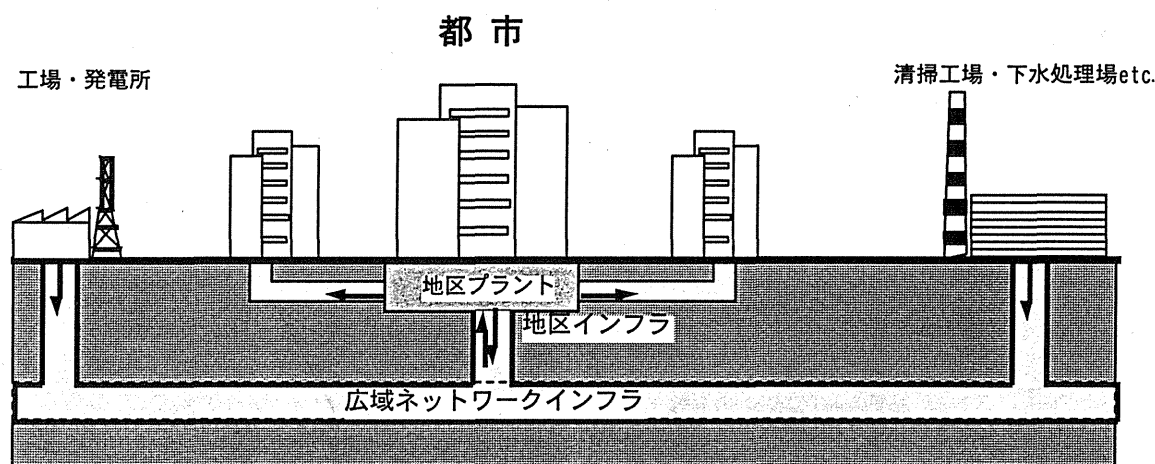


図 8-1-1 総合都市インフラストラクチャーのイメージ

総合都市インフラの定義：

従来の電力、ガス、水などの一義的なインフラに代わり、自然の中に一般に存在する「水」を媒体とした低レベルの熱供給でそれらを結ぶことでそれらの総合化が図られる。「総合都市インフラ」とは、新たな環境的目標を課題として、その実現に際して総合的な観点より、複合的一体的に整備する都市基盤と定義され、それぞれの地区で総合化を図る地区インフラと、それらを相互に結びつけるネットワークインフラによって構成されるインフラが具体例の一つである。

総合都市インフラの導入により、以下のことが効果として期待できる。

① 防災性

地区拠点システムを、地区自立型にすることによって、災害時のエネルギーの自立力が向上する。また、熱供給や、中水といったシステムで用いる「水」は地区内で、消防用水としても利用可能で、地区の消化能力も向上する。

② 環境保全性

都市の様々な排熱を回収し、それを熱供給に利用することによって、ヒートアイランド問題にも寄与し、また従来の化石燃料など1次エネルギー消費量を削減することによって省エネルギー性、NO_x、SO_x、CO₂といった環境負荷物質の排出量削減の効果が期待できる。

③ アメニティ性

熱供給を行うことにより従来個別で所有していた設備スペースを他の用途に有効利用でき、また煙突や冷却塔といった屋上の設備も不要になることから景観の向上にも寄与する。さらに、中水システムや熱供給システムで用いた「水」を公園などで「親水利用」することも可能である。

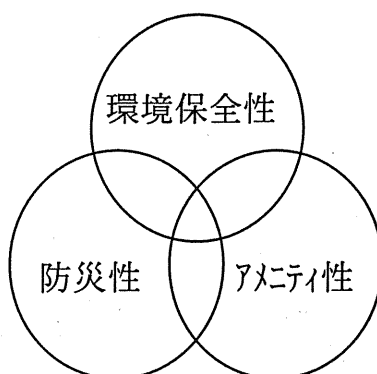


図 8-1-2 総合都市インフラの果たす役割・効果

このように、「総合都市インフラ」とは、いくつかの機能を総合化・システム化して、従来単一の設備ではもち得ない複数の機能や効果を得ることのできるシステムである。

8-2 広域幹線共同溝ネットワーク

先の阪神・淡路大震災では、電気やガス、水道といった既存の広域インフラに大きな被害があり、救助・救援活動、復旧活動、避難生活などにかかなりの支障をもたらした。都市において電力、ガス、水の確保はその機能維持のためにも非常に大きな問題である。そこで、電気ケーブル、ガスなどのエネルギー、中水道、熱供給管などを一緒に納めた「広域幹線共同溝ネットワーク」を提案する。これは、同時に考えなければならない、地区拠点型の自立システムをサポートするシステムである。

また、ごみ焼却排熱、汚泥処理排熱、発電所抽気蒸気を、蒸気または高温水として供給する熱供給幹線を都市基盤として整備し、都市内の排熱を複数のエネルギー負荷高密度地区で地域冷暖房として有効活用することも目的としている。日本では、関西地区や北海道で構想はあるものの実現例はない。しかし欧州ではすでに実現しており、省エネルギーや地球温暖化などの地球環境問題に対する効果的なシステムとして、国のエネルギーシステムの中で重要な役割を担っています。

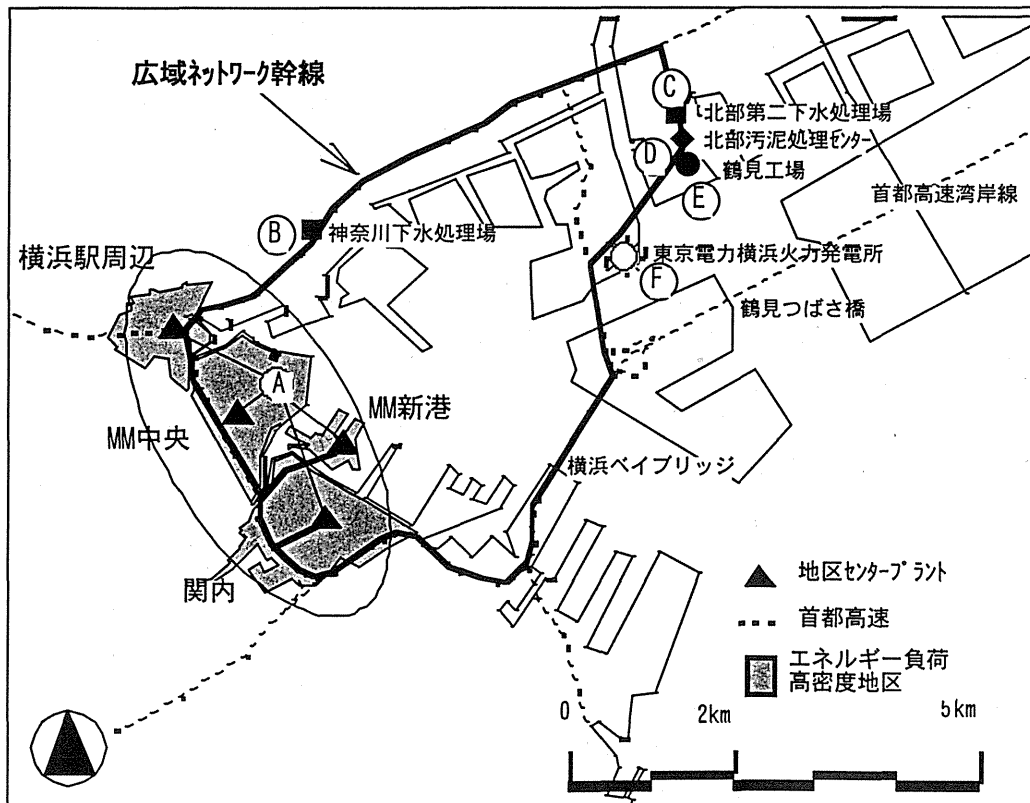


図 8-2-1 広域幹線共同溝ネットワーク

鶴見臨海部に既存インフラプラント群があり、その他発電所や下水処理場を熱供給ネットワークで結ぶ。熱供給管は電気、中水道などとともに、おもに首都高速道路直下の地下安定地盤につくる地震にも強い共同トンネルに納める。

共同トンネル 内径；5,000A
延長；約 20 km

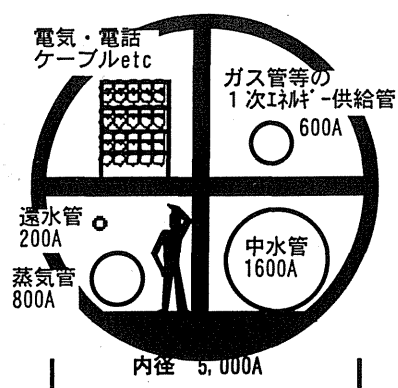


図 8-2-2 幹線共同溝断面

8-3 システムの提案

総合都市インフラの導入対象地区は、電気、熱、ごみ排出、水の負荷が大きく、鶴見臨海部に立地する発電所や、清掃工場などからのエネルギーの有効利用がしやすいという見地から、熱負荷密度 1.0 Tcal/ha・年以上である横浜駅周辺地区、MM中央地区、MM新港地区、関内地区の「横浜臨海部4地区」を対象地区とした。またこれら4地区とプラント群の立地する鶴見臨海部を総じて「横浜臨海地区」と呼ぶことにする。

表 8-3-1 横浜臨海部 4 地区の地区面積と用途別延べ床面積

地区名	地区面積 (ha)	用途別延床面積 (m)							延床合計	
		住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化		教育
横浜駅周辺	83.9	99,345	2,033	760,459	758,037	142,544	46,794	0	0	1,809,212
MM中央	157.7	321,065	41,890	4,093,356	718,932	232,270	0	418,721	0	5,826,234
MM新港	28.3	0	0	286,400	30,000	0	0	0	0	316,400
関内地区	285.3	473,323	31,375	1,473,071	681,835	176,795	31,475	44,575	0	2,912,449
横浜臨海全体	555.2	893,733	75,298	6,613,286	2,188,804	551,609	78,269	463,296	0	10,864,295

表 8-3-2 横浜臨海部 4 地区のエネルギー・水需要量

地区名	年間エネルギー需要				ピークエネルギー需要				水需要 m ³ /日
	暖房 Tcal/年	給湯 Tcal/年	冷熱 Tcal/年	電力 GWh/年	暖房 Gcal/h	給湯 Gcal/h	冷熱 Gcal/h	電力 MWh/h	
横浜駅周辺	72.4	79.7	133.8	383.1	57.4	21.1	92.5	100.0	27,827.9
MM中央	289.8	165.8	396.5	984.9	255.3	49.2	300.6	256.0	60,145.8
MM新港	14.9	4.4	22.9	57.4	16.6	2.1	17.4	15.4	2,959.5
関内地区	122.5	120.8	191.2	509.0	102.1	29.5	138.0	129.9	37,386.8
横浜臨海全体	499.6	370.7	744.4	1,934.4	427.1	98.9	545.6	501.3	128,320.1

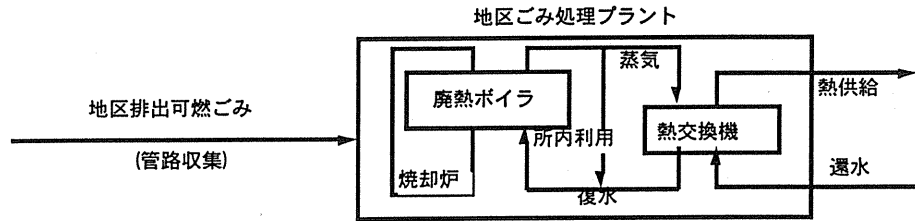
これら 4 地区全体は、横浜市全域の民生用エネルギー需要の約 25%の需要をもっている。ただし、表 8-3-1、表 8-3-2 において、横浜駅周辺地区、関内地区は 1991 年神奈川県都市計画基礎調査による床面積から算出した数値であり、MM 中央、MM 新港地区に関しては再開発後の計画床面積から算出した数値である。

□ 横浜臨海地区に賦存する地域エネルギー（4 章・7 章参照）

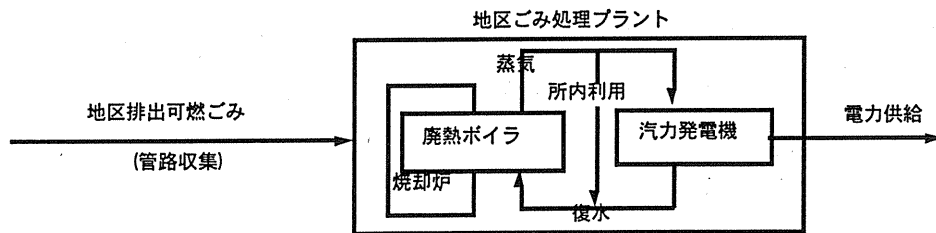
- ・ 鶴見清掃工場ごみ焼却排熱 熱供給可能量=47.8 Gcal/h
(ごみ処理実績平均 34.8t/h)
- ・ 北部汚泥処理場発生消化ガス 熱供給可能量=10.5 Gcal/h
(汚泥処理実績平均 269m³/h)
- ・ 横浜火力発電所抽気蒸気 熱供給可能量=869.9 Gcal/h
(発電出力計 1225MW)
- ・ 北部第二下水処理場 高級処理水量=2,823 m³/h (平均値)
賦存熱量=64.6 Gcal/h (平均値)
- ・ 神奈川下水処理場 高級処理水量=12,919 m³/h (平均値)
賦存熱量=14.1 Gcal/h (平均値)
- ・ 地区内排出ごみ量 680.3 t/日 (平均値)
- ・ 地区内排出中水原水量 2,376.5 m³/h (平均値)

— プラントシステムフロー —

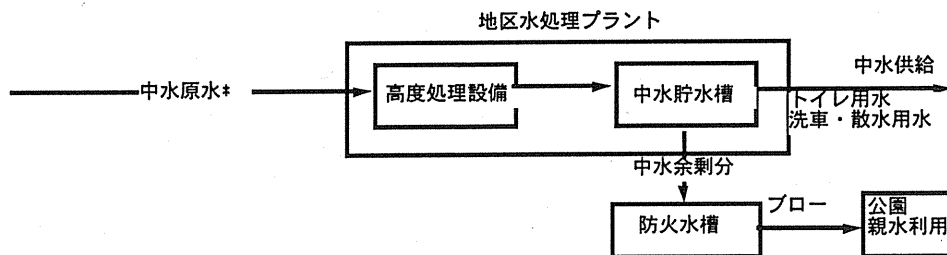
- (地区回収) ごみ焼却排熱利用熱供給システム (A, E)



- (地区回収) ごみ焼却排熱利用発電システム (A, E)

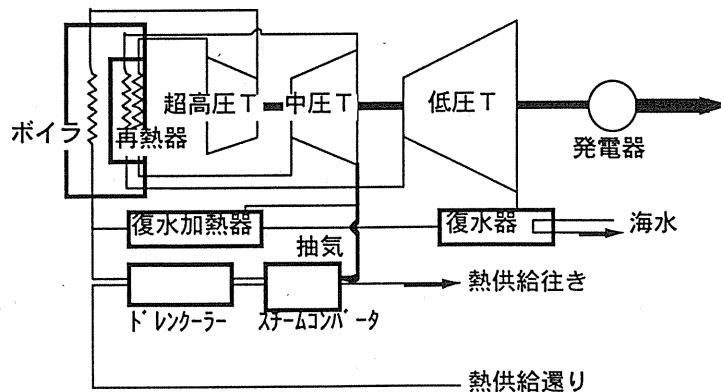


- 汚水 (下水) 再利用システム (地区循環中水システム) (A)



*中水原水：上水系水使用量のうち、配水管に排出されかつ、中水製造に適したもの

- 発電所抽気システム (F)



以上から、システムを提案する。

これらは、以下のことを目指したシステムである。

- ① 地区内の防災的自立システム（電力、1次エネルギー、水の確保）
- ② 地区内のごみや下水の再利用システム（水、廃棄物の再利用）
- ③ 都市排熱を有効に活用する広域熱供給ネットワークシステム（省エネルギー、CO₂削減）

表 8-3-3 提案システム（全地区共通）

		地区ごみ	地区下水	GEコージェネ	神奈川下水	鶴見ごみ	汚泥処理	発電所抽気
Case 1	拠点型	発電	中水量 HP + 蓄熱	—	—	—	—	—
Case 2		ベース熱供給		—	—	—	—	—
Case 3		発電		ベース容量	—	—	—	—
Case 4				ピークの30%	—	—	—	—
Case 5				ピーク容量	—	—	—	—
Case 6	ネットワーク型	—	—	—	中水HP+蓄熱	ベース熱供給	ベース熱供給	—
Case 7		—	—	—	—	—	—	熱供給
Case 8		—	—	—	中水HP+蓄熱	ベース熱供給	ベース熱供給	ボイラ熱供給
Case 9	総合型	発電	—	ベース容量	中水HP+蓄熱	ベース熱供給	ベース熱供給	ボイラ熱供給
Case 10			—	ピークの30%				

<設定条件>

より具体的な検討を行うため、第6章のケーススタディと若干異なる数値を使用している。

- ① 地区ごみ排熱、鶴見清掃工場排熱、北部汚泥処理場排熱
 - ・蒸気にてベース利用する。給湯需要に対して優先的に供給する。
- ② GEコージェネレーション
 - ・電力需要に追従した運転。冷熱需要には回収蒸気のみを優先的あてる。
 - ・コージェネレーションに関しては、対象地区が業務・商業中心の比較的熱電比の低い地区であるため、ガスエンジンを採用する。また、ガスエンジンの場合、単機容量が小さいため、複数台で負荷をまかなうことを考え、部分負荷による効率の低下は無視する。
発電効率（31%）、温水回収率（27%）、蒸気回収率（13%）
- ③ 蓄熱
 - ・最大容量は各ケースともにベースの温熱又は冷熱負荷の10%のピークカット容量とする。
 - ・ごみ排熱、汚泥処理排熱、コージェネ排熱の余剰分は熱交換（効率100%）、吸収式冷凍機（二重効用1.2、単効用0.7）にて温水、冷水を製造し蓄熱する。
 - ・蓄熱時間は21時～7時までの10時間、放熱は熱需要にあわせて残りの14時間に行う。
 - ・余剰排熱で蓄熱しても蓄熱容量、もしくは放熱時間の温冷熱需要の小さい方に満たない場

合は中水熱源（利用温度差は温熱製造時 3℃、冷熱製造時 5℃）の HP により蓄熱（効率 0.9）を行い、HP は昼間の追いかけて運転も考慮する。

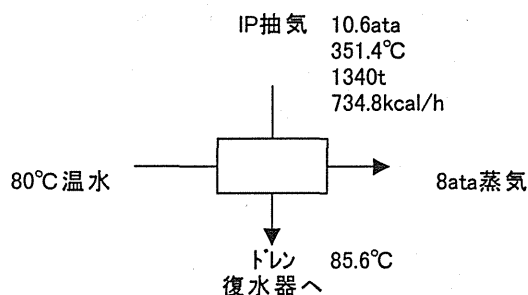
- ・ 11月－4月は暖房用温水（47－37℃）蓄熱、5月－10月は冷房用冷水（7－14℃）蓄熱。
- ・ 距離の近い神奈川下水処理場を組み込むため、北部第二下水処理場は組み込まない。

④ 水熱源 HP の COP

	下水処理水温 (℃)	暖房側 COP	冷房側 COP
1月	16.2	4.3	—
2月	15.2	4.2	—
3月	15.7	4.2	—
4月	19.3	4.8	—
5月	21.4	—	5.3
6月	23.2	—	5.1
7月	23.1	—	5.1
8月	24.5	—	4.9
9月	24.6	—	4.9
10月	22.6	—	5.1
11月	20.8	5.1	—
12月	18.0	4.6	—

⑤ 発電所抽気

- ・ IP 抽気による蒸気供給。（7章）
- ・ Case7 以外は不足熱量に対するサポート的な供給。



$$\begin{aligned} \text{発電出力の低下} &= 1340,000(\text{kg/h}) \times (734.8 - 560) \times 0.985 \div 860 = 268.3(\text{MWh/h}) \\ \text{低下率} &= 26.83(\%) \\ \text{熱供給可能量} &= 1340,000(\text{kg/h}) \times (734.8 - 85.6) = 869.9(\text{Gcal/h}) \end{aligned}$$

抽気量 LPT 出入口エンタルピー差 発電機効率

⑥ 不足エネルギー

- ・ 不足電力：系統電力（2250kcal/kWh）による。
- ・ 不足熱：ボイラ（効率 0.80）・吸収式冷凍機（効率 1.2）による。

⑦ 環境性評価に関して

商用電力（東京電力）及び都市ガスの CO₂、NO_x 排出原単位

	CO ₂		NO _x	
商用電力	0.447	kg/kWh	0.31	g/kWh
都市ガス(13A)	2.371	kg/Nm ³	0.809	g/Nm ³ (40ppm)
			1.012	g/Nm ³ (50ppm)

出典：空気調和衛生工学会「都市ガスによるコージェネレーションシステムの計画・設計と評価」

8-4 システムの評価

システムの評価は、「防災性」「環境保全性」の面から総合的に評価を行った。ただし、「アメニティ性」に関しては、評価は特に行っていない。

(1) 防災的自立性の評価

先の阪神・淡路大震災で、電気やガスといったインフラが被害を受け、エネルギー供給が途絶えたことにより、避難生活や復旧・復興に大きな支障をきたしたことから、今回提案したシステムが、災害時にその地区のエネルギー的自立のためにどれだけの能力を持つものか評価を行った。

表 8-4-1 にその結果を示す。ただし、今回の提案ではガス管も幹線共同溝の中に入れる計画であるが、実際は安全性の問題からガスを他のインフラと同様に共同溝に入れることは難しく、隔離した別部屋に収納するなどの対策が必要であるため、ガスが共同溝に入れられる場合とそうでない場合を両方検討した。(ア) はガス管が共同溝に入れられ、災害時にも供給が途絶えない場合で、(イ) はガス管が共同溝に入れられず、災害時に被害を受けて供給が途絶えた場合を想定している。

表 8-4-1 災害時のエネルギー自立効果 (ガスの供給は止まらないと仮定)

(ア) 災害時に稼働できるシステムをごみ発電・熱供給、コージェネレーションに限定

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9	Case10
電力自給率平均 %	3.3	0	17.3	50.0	100	0	0	0	17.3	50.0
熱自給率平均 %	0	18.9	17.6	49.1	75.3	0	0	0	17.6	49.1

(イ) 災害時に稼働できるシステムをごみ発電・熱供給のみに限定

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9	Case10
電力自給率平均 %	3.3	0	3.3	3.3	3.3	0	0	0	3.3	3.3
熱自給率平均 %	0	18.9	0	0	0	0	0	0	0	0

次に、表 8-4-2 に蓄熱槽を防火水槽としても活用する場合の、地区内の消防水の確保について示す。蓄熱槽は蓄熱水量が膨大であるため、地区プラントに設置するのではなく、需要家側で設置することが望ましいと考えられる。それによって地区内に相当量の消火用水が分散化した形で確保できる。また、夜間蓄熱の際に熱源水として利用された中水は蓄熱水量の 1.4 倍の量あり、平常時のトイレ洗浄などの中水用途として利用できる。災害時は必要処理を施すことによって生活用水としても利用でき、蓄熱水と併せて中水も大きな可能性を持っている。

表 8-4-2 蓄熱槽の防火水槽との兼用による消防水の確保 (各 CASE 共通)

		横浜駅	MM中央	MM新港	関内
最大蓄熱水量	t/日	9,716	30,442	1,728	13,483
中学校プール相当	杯分	24	76	4	34
消火20分使用可能ホース量	本	810	2537	144	1124

※ホース1本からの放水量を 0.6 t/分として、火災発生から消火まで約 20 分で評価しました。

(2) 地区内循環性の評価

今回、地区内の廃棄物に関して、地区内で焼却して排熱を発電或いは熱供給利用することとしたため、可燃ごみ（生ゴミ除く）に関しては地区内で100%再利用される。下水に関しては、地区循環中水システムの導入を提案した。これによって、中水需要（トイレ洗浄水、散水、洗車、清掃）分の上水負荷が削減される。この結果を表8-4-3に示す。

表 8-4-3 水負荷削減効果（上水負荷削減効果、中水負荷削減効果）

(ア) 地区循環中水システムのみの場合

	横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
年間全水需要量 万m ³ /年	1,016	2,195	108	1,365	4,684
年間中水需要量 万m ³ /年	468	1,111	62	610	2,250
中水供給可能量 万m ³ /年	452	926	40	610	2,053
上水削減率 %	44.5	42.2	37.4	44.7	43.8
中水需要削減率 %	96.6	83.3	65.5	100.0	91.3

(イ) 神奈川下水処理場からの中水供給の場合（このとき一部はHP熱源水としても利用）

	横浜駅周辺	MM中央	MM新港	関内地区	臨海全体
年間全水需要量 万m ³ /年	1,016	2,195	108	1,365	4,684
年間中水需要量 万m ³ /年	468	1,111	62	610	2,250
中水供給可能量 万m ³ /年	468	1,111	62	610	2,250
上水削減率 %	46.0	50.6	57.1	44.7	48.0
中水需要削減率 %	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
処理水利用率 %	4.2	10.0	0.6	5.5	20.2

地区循環中水システムのみでも大部分の負荷を削減することが可能ということが明らかになった。しかし、ピークの負荷は平均負荷の5倍程度あると考えられ、また神奈川下水処理場から蓄熱用熱源水として供給する中水は量も十分であることから、設備の二重投資を避けるためにも、神奈川下水処理場からの中水を利用することが望ましいと考えられる。

(3) 省エネルギー性・環境保全性の評価

Case 1・2が地区内ごみ及び下水を利用した地区循環型システムであり、Case 3・4・5がそれにコージェネレーションを組み入れた地区自立型システム、Case 6・7・8が鶴見臨海地区の熱源を活用した広域ネットワーク型システム、Case 9・10が地区拠点システムと広域ネットワークシステムを組み合わせた総合システムである。表 8-4-5 で、Case 1・2の地区循環型システムでは省エネルギー性や環境保全性は少ししか向上しないが、それにコージェネレーションを組み込み、更に広域ネットワークと組み合わせることによって大きな効果が期待できることがわかる。

表 8-4-5 省エネルギー性・環境保全性

	基準項目	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8	Case9	Case10
総熱需要量	Tcal/年	1,614.7	1,614.7	1,614.7	1,614.7	1,614.7	1,614.7	1,614.7	1,614.7	1,614.7	1,614.7
電力需要量	GWh/年	1,934.4	1,934.4	1,934.4	1,934.4	1,934.4	1,934.4	1,934.4	1,934.4	1,934.4	1,934.4
地区ゴミ発電量	GWh/年	-	63.3	0.0	63.3	63.3	63.3	0.0	0.0	63.3	63.3
地区ごみ熱供給量	Tcal/年	-	0.0	305.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
蓄熱放熱量	Tcal/年	-	44.3	53.3	52.9	98.5	107.7	148.3	0.0	148.3	147.2
HP熱供給量(追いかけ)	Tcal/年	-	66.4	39.8	40.3	15.5	0.0	84.5	0.0	84.5	17.0
CG発電量	GWh/年	-	0.0	0.0	271.0	903.4	1,871.1	0.0	0.0	0.0	271.0
CG熱供給量	Tcal/年	-	0.0	0.0	284.9	792.3	1,216.2	0.0	0.0	0.0	284.9
CG余熱熱	Tcal/年	-	0.0	0.0	28.6	248.3	933.1	0.0	0.0	0.0	28.6
鶴見清掃工場熱供給量	Tcal/年	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	354.1	0.0	354.1	258.6
北部汚泥処理施設熱供給量	Tcal/年	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.2	0.0	46.2	38.9
横浜火力抽気蒸気供給量	Tcal/年	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,490.6	870.0	765.8
不足熱量(蒸気)	Tcal/年	-	1,308.8	1,099.0	1,131.9	631.5	247.2	870.0	0.0	0.0	0.0
HP投入電力量	GWh/年	270.8	25.8	21.5	19.8	8.9	0.0	47.6	0.0	47.6	8.9
系統電力消費量	GWh/年	2,096.1	1,897.0	1,956.0	1,619.9	976.7	0.0	1,982.0	1,934.4	1,982.0	1,609.0
都市ガス消費量	千Nm ³ /年	109,198.4	148,728.9	124,884.2	196,980.9	299,597.9	499,989.9	98,859.7	0.0	0.0	68,356.5
発電出力減少分	GWh/年	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	459.2	268.0	235.9
総1次エネルギー消費量	Tcal/年	5,917.4	5,904.2	5,774.6	5,811.5	5,493.1	5,499.9	5,547.0	5,385.8	5,062.6	4,903.1
省エネルギー率	%	-	0.2	2.4	1.8	7.2	7.1	6.3	9.0	14.4	17.1
CO ₂ 排出量	千t/年	1,195.9	1,200.6	1,170.4	1,191.1	1,146.9	1,185.5	1,120.4	1,070.0	1,005.8	986.8
CO ₂ 排出削減率	%	-	-0.4	2.1	0.4	4.1	0.9	6.3	10.5	15.9	17.5
NO _x 排出量	t/年	782.2	708.4	707.4	661.5	545.1	404.5	694.4	742.0	697.5	627.2
NO _x 排出削減率	%	-	9.4	9.6	15.4	30.3	48.3	11.2	5.1	10.8	19.8

次に、このシステムを横浜臨海地区に導入することによって横浜市全体でどれだけの効果が期待できるかの検討を行った。なお、この検討はみなとみらい地区の開発が完了していると考えられる2010年の需要予測に対して行った。結果を表 8-4-6 に示す。

表 8-4-6 横浜市民生用エネルギー需要に対する効果(1次エネルギー)

2010年民生用エネルギー需要予測		41,188		Tcal/年	
2010年横浜市全体エネルギー需要予測		93,728		Tcal/年	
	対象地区に対して		民生需要に対して 削減率 %	市全体需要に対して 削減率 %	
	削減量 Tcal/年	削減率 %			
Case 1	20.5	0.2	0.05	0.02	
Case 2	221.7	2.4	0.54	0.24	
Case 3	164.5	1.8	0.40	0.18	
Case 4	659.1	7.2	1.60	0.70	
Case 5	648.5	7.1	1.57	0.69	
Case 6	575.4	6.3	1.40	0.61	
Case 7	825.8	9.0	2.00	0.88	
Case 8	1327.9	14.4	3.22	1.42	
Case 9	1575.5	17.1	3.83	1.68	
Case 10	1459.9	15.9	3.54	1.56	

表 8-4-6 横浜市民生用エネルギー需要に対する効果 (NO_x, CO₂)

横浜市民生用エネルギー部門からのCO ₂ 排出量(2010年予測値、万t/年)				656.7
横浜市民生用エネルギー部門からのNO _x 排出量(2010年予測値、t/年)				5815.2
	CO ₂ 排出量削減量	削減率	NO _x 排出量削減量	削減率
	万t/年	%	t/年	%
Case1	-0.7	-0.1	114.7	2.0
Case2	4.0	0.6	116.3	2.0
Case3	0.7	0.1	187.5	3.2
Case4	7.6	1.2	368.3	6.3
Case5	1.6	0.2	586.8	10.1
Case6	11.7	1.8	136.5	2.3
Case7	19.6	3.0	62.4	1.1
Case8	29.5	4.5	131.6	2.3
Case9	32.5	4.9	240.8	4.1
Case10	25.6	3.9	399.9	6.9

(4) 経済性概算評価

(3)において、省エネルギー効果が明らかになった。この結果を利用して省エネルギー量を石油換算し、熱供給幹線の建設費と比較検討する。

表 8-4-7 に、みなとみらい地区が完成すると考えられる 2010 年の、提案システム導入による省エネルギー量を石油換算し価格に直したものを示す。

表 8-4-7 省エネルギーによる経済的効果

横浜市民生用1次エネルギー投入量(2010年予測値) ^{*3}				41,188	Tcal/年	
	次エネルギー削減量	削減率	原油換算 ^{*1}		価格換算 ^{*2}	
	Tcal/年	%	万kl	万bbl	百万\$	億円
Case1	20.5	0.2	0.2	1.4	0.3	0.3
Case2	221.7	2.4	2.4	15.1	2.9	3.5
Case3	164.5	1.8	1.8	11.2	2.2	2.6
Case4	659.1	7.2	7.1	44.8	8.6	10.4
Case5	648.5	7.1	7.0	44.1	8.5	10.2
Case6	575.4	6.3	6.2	39.1	7.5	9.1
Case7	825.8	9.0	8.9	56.2	10.8	13.0
Case8	1,327.9	14.4	14.4	90.3	17.4	20.9
Case9	1,575.5	17.1	17.0	107.1	20.7	24.8
Case10	1,459.9	15.9	15.8	99.3	19.1	23.0

^{*1}原油換算は、9,250kcal/kl。

^{*3}出典：科学技術省資源調査会編：

^{*2}価格換算は、19.29\$/bbl。(平成4年度)6.29bbl/kl

「都市生活・情報化・エネルギー」1997.1

一方、共同溝幹線の建設コストを概算すると、シールド部工事費約 800 億円、橋梁部工事費約 20 億円、シールド内配管費約 100 億円、合計約 920 億円となる。ここで熱供給配管部分が共同溝全体に占める割合を 1/4 とすると約 305 億円となり、建設費が現状と変わらないと仮定すれば、1次エネルギー削減効果の一番高いシステム 10 で単純償却年数は 13.3 年となる。なお、この費用には熱を変換あるいは供給するための施設の費用は含まれていない。

8-5 まとめ

本章では、横浜臨海地区に地区自立型の拠点システムと広域ネットワークシステムを組み合わせ、エネルギー系総合都市インフラストラクチャーを提案し、「防災性」「環境保全性」の面から総合的な評価を行った。

まず、「防災性」面の効果としては、地区内にコージェネレーションを組み入れた拠点システムを導入することにより、災害時のエネルギー確保が可能となり、自立性が向上することがわかった。また、蓄熱槽を防火水槽と兼用することにより、地区の消化能力の向上が期待できることがわかった。

次に、「環境保全性」面の効果としては、地区拠点システムとあわせて都市排熱を広範囲に集めて熱供給利用可能な広域ネットワークシステムを導入することにより、大きな省エネルギー効果が期待できることがわかった。また、それによって環境負荷物質であるCO₂やNO_xも大きく削減可能であることもわかった。

最後に、概略ではあるがコスト計算も行った。これによると、広域幹線共同溝を用いた広域ネットワークシステムを導入する場合、省エネルギー量で建設コスト（熱供給部分のみ）を約13.3年で単純償却可能であるということがわかった。

これからの都市においては、民生用のエネルギー需要が益々増加すると思われ、今回提案したシステムはその民生需要部分に関して、効果の大きいシステムであることから、今後導入が期待される。

9. 総括

9. 総括

本研究は、環境容量を越えた都市において、本来自然環境がもつような曖昧さ、許容能力、多義性を備えた設備が必要であると考え、第1章においてそれを、「都市型総合インフラ」と定義した。

第2章では、既存の供給処理施設の処理対象地区スケールおよび排熱の熱供給能力を、既存のDHCプラントの対象地区スケールと比較することで、地区規模で供給処理が可能な施設を検討した。その結果、清掃工場と下水処理施設は熱供給能力の面で、DHCプラントとほぼ同じスケールであり、特に清掃工場は下水処理場のように施設の立地に条件がなく、地区規模で施設をもつことが可能であるとの結果を得た。

第3章では、横浜市 の 町丁目単位の床面積データと各原単位を用いて、熱負荷密度、電力負荷密度、中水負荷密度、ゴミ排出負荷密度を求め、本研究のケーススタディ対象地区となる横浜臨海地域（横浜駅周辺、MM中央、MM新港、関内地区）を選定した。

第4章では、対象地区内でのエネルギーの自立・循環利用の可能性（拠点型インフラの可能性）と、ネットワークによる周辺地区の処理施設からの排熱の有効利用の可能性を検討した。

拠点系	負荷削減率	ネットワーク系	負荷削減率
地区排出ごみ熱供給	20.5%	鶴見清掃工場熱供給	23.8%
地区排出ごみ電力供給	3.3%	鶴見清掃工場電力供給	4.0%
地区排水中水供給	43.8%	神奈川下水中水供給	48.0%
地区排水熱供給	4.8%	神奈川下水熱供給	19.1%
地区排出汚泥熱供給	0.7%	北部汚泥処理場熱供給	4.9%
地区排出汚泥電力供給	0.2%	北部汚泥処理場電力供給	1.2%
地区降雨水中水供給	7.4%		
太陽発電電力供給	10.2%		

第5章では、拠点型インフラにはコージェネレーションの導入が重要だとの観点から、コージェネレーションの機種、容量設定による様々な効率の検討を行った。

以上のことを踏まえて、第6章で「都市型総合インフラ」として、「コージェネレーションベース利用未利用エネルギー活用システム」と「未利用エネルギーベース利用コージェネレーション活用システム」の2システムを提案し、省エネルギー、環境負荷削減の観点から評価を行った。

	コージェネレーションベース利用 未利用エネルギー活用システム			未利用エネルギーベース利用 コージェネレーション活用システム		
	ガスタービン	ガソエンジン	燃料電池	ガスタービン	ガソエンジン	燃料電池
省エネルギー率	8.3%	18.2%	21.7%	12.9%	18.6%	18.3%
系統電力削減率	54.7%			17.7%	38.5%	28.0%
NOx削減率	5.4%	15.9%	19.7%	12.4%	17.3%	17.6%
SOx削減率	50.4%	50.7%	50.8%	12.0%	33.8%	22.9%
CO2削減率	-8.8%	4.8%	9.6%	11.1%	11.3%	14.8%

第7章では、「都市型総合インフラ」においては、拠点型インフラを広域的なネットワークインフラがサポートするシステムが望ましいという観点から、広域熱供給ネットワークの必要性とその可能性、そして考えられる効果について考察した。

第8章では、第6章と第7章を受けて「防災性」「環境保全性」「アメニティ性」に優れた「総合都市インフラストラクチャー」のモデルをつくり、それを色々な視点から評価した。その結果、まず「防災性」面の効果としては、地区内にコージェネレーションを組み入れた拠点システムを導入することにより、災害時のエネルギー確保が可能となり、自立性が向上することがわかった。また、蓄熱槽を防火水槽と兼用することにより、地区の消化能力の向上が期待できることがわかった。

次に、「環境保全性」面の効果としては、地区拠点システムとあわせて都市排熱を広範囲に集めて熱供給利用可能な広域ネットワークシステムを導入することにより、大きな省エネルギー効果が期待できることがわかった。また、それによって環境負荷物質であるCO₂やNO_xも大きく削減可能であることもわかった。

最後に、概略ではあるがコスト計算も行った。これによると、広域幹線共同溝を用いた広域ネットワークシステムを導入する場合、省エネルギー量で建設コスト（熱供給部分のみ）を約13.3年で単純償却可能であるということがわかった。

なお、今後検討すべき課題として

- ・ 横浜臨海部という特定された地区でなく、用途構成や周辺状況の異なる様々な地域に対しての考察
- ・ 大容量コージェネレーションにより、発電電力の逆潮流を行うケースも含めた検討による、コージェネレーションシステム評価
- ・ 大規模発電所と地区分散電源の、時刻別・季節別負荷分担のあり方
- ・ 広域熱供給ネットワークの効果に関する踏み込んだ調査研究…都市スケールでのトータルエネルギーバランスでみたネットワーク効果

などが挙げられる。

今回「都市型総合インフラ」あるいは「総合都市インフラ」と表現してきた、都市インフラに対する理想概念を実現していくためには、必然的にハードに偏りがちな供給処理系のインフラ計画において、よりソフト的な要素を加え、より大胆な発想でアプローチしていく必要がある。今後そのような観点からの調査研究が発展してゆくことが望まれる。

参考文献

- ・ 空気調和衛生工学便覧Ⅰ基礎篇、Ⅱ空調設備篇、Ⅲ給排水設備篇 : 社団法人空気調和衛生工学会 平成元年6月
- ・ 平成2年度都市計画基礎調査集計データ集 : 神奈川県都市部都市政策課
- ・ 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 : 社団法人日本地域冷暖房協会 1995年3月
- ・ 地域冷暖房推進に関する指導要綱 : 東京都環境保全局 平成3年4月
- ・ 平成8年度 数表で見る東京電力 : 東京電力広報部
- ・ 平成6年度神奈川県清掃事業の実態 : 神奈川県環境部環境整備課
- ・ 平成6年度清掃局年報 : 東京都清掃局
- ・ 平成6年度版下水道統計—行政編— : 社団法人日本下水道協会 平成8年4月
- ・ 都市ガスによるコージェネレーション計画・設計と評価 : 社団法人空気調和衛生工学会 平成6年6月
- ・ 横浜市南部方面における未利用エネルギー活用地域冷暖房事業化フェージビリティ調査報告書 : 横浜市 平成7年2月
- ・ 新川崎地区地域冷暖房システム事業化検討調査報告書 : 川崎市 平成7年3月
- ・ 地域冷暖房における低温未利用エネルギーの活用に関する研究 : 河原 透 早稲田大学博士論文 1994年3月
- ・ 東京都区部におけるコージェネレーション導入地区の選定に関する研究 : 佐土原 聡 日本建築学会計画系論文集 第468号 1995年2月