

501.6
SA

平成 10・11・12 年度文部省科学研究費補助金（基盤研究（B）（2））

研究成果報告書

日本における広域熱供給ネットワーク の公共性に関する研究 （研究課題番号 10450209）



平成 13 年 3 月

研究代表者 佐土原 聡
（横浜国立大学教授）

200100241
日本における広域熱供給ネットワークの公
共性に関する研究

寄贈 佐土原 聡

平成 10・12・13 年度 文部省科学研究費補助金
基盤研究 (B) (2) 研究成果報告

課題番号：10450209

研究課題：日本における広域熱供給ネットワークの公共性に関する研究

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）
（平成 12 年 3 月，退官のため除名）

吉 田 聡（横浜国立大学大学院工学研究科助手）
（平成 12 年 3 月，村上處直教授の退官に伴い，加入）

研究協力者：内田 鉄平（当時横浜国立大学大学院 博士課程前期学生）
加藤 慎章（当時横浜国立大学大学院 博士課程前期学生）
田中 勝彦（当時横浜国立大学大学院 博士課程前期学生）
時津 晴司（当時横浜国立大学大学院 博士課程前期学生）
稲葉 剛一（当時横浜国立大学大学院 博士課程前期学生）
鶴見 綾子（当時横浜国立大学大学院 博士課程前期学生）
稲木 亮一（当時横浜国立大学大学院 博士課程前期学生）
鈴木 将史（当時横浜国立大学 学部 4 年生）
須賀 千衣（当時横浜国立大学大学院 博士課程前期学生）
小松 渚（当時横浜国立大学 学部 4 年生）

研究経費：

平成 10 年度： 5,600 千円
平成 11 年度： 4,000 千円
平成 12 年度： 2,600 千円

計： 12,200 千円

研究発表：

(1) 学会誌など

- ・ 吉田聡，佐土原聡，「日本における熱併給発電（CHP）を組み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

(2) 口頭発表

- ・ 内田鉄平，吉田聡，佐土原聡，村上處直，「主要都市における未利用エネルギー活用可能性の検討—日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究その 1—」，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学— I ， PP.553—554，1998 年 9 月
- ・ 吉田聡，内田鉄平，佐土原聡，村上處直，「北欧事例との比較による広域熱供給ネットワーク導入可能都市域の抽出に関する研究—日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究その 2—」，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学— I ， PP.555—556，1998 年 9 月
- ・ 時津晴司，吉田聡，佐土原聡，村上處直，「地域熱供給の実態分析」，日本建築学会学術講演梗概集，環境工学— I ， PP.599—600，1999 年 9 月
- ・ 稲木亮一，稲葉剛一，田中勝彦，吉田聡，佐土原聡，村上處直，「プラントシステムのデータ分析による実態調査—実データに基づく地域冷暖房プラントの効率化に関する研究その 1—」，日本建築学会学術講演梗概集，環境工学— I ， PP.607—608，1999 年 9 月
- ・ 稲葉剛一，稲木亮一，田中勝彦，吉田聡，佐土原聡，村上處直，「熱源機器の余力熱量による拡大供給のシミュレーション—実データに基づく地域冷暖房プラントの効率化に関する研究その 2—」，日本建築学会学術講演梗概集，環境工学— I ， PP.609—610，1999 年 9 月
- ・ 田中勝彦，稲葉剛一，稲木亮一，吉田聡，佐土原聡，村上處直，「蓄熱システム導入シミュレーションの検討—実データに基づく地域冷暖房プラントの効率化に関する研究その 3—」，日本建築学会学術講演梗概集，環境工学— I ， PP.611—612，1999 年 9 月
- ・ 鈴木将史，加藤慎章，吉田聡，佐土原聡，村上處直，「日本における広域熱供給ネットワーク導入可能都市の抽出とその特性に関する研究—日本における広域熱供給ネットワークの導入に関する研究その 3—」，日本建築学会学術講演梗概集，環境工学— I ， PP.635—636，1999 年 9 月
- ・ 吉田聡，佐土原聡，村上處直，「熱併給発電を利用した広域熱供給ネットワークの可能性に関する研究—日本における広域熱供給ネットワークの導入に関する研究その 4—」，日本建築学会学術講演梗概集，環境工学— I ， PP.637—638，1999 年 9 月
- ・ 須賀千衣，吉田聡，佐土原聡，村上處直，「横浜市鶴見区鶴見駅周辺地区における防災性・アメニティ向上に寄与する地域冷暖房施設の提案—都市インフラの総合

化に関する研究その 5—」, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学－I, PP.669－670, 1999 年 9 月

- ・ 時津晴司, 佐土原聡, 吉田聡, 「集合住宅を考慮に入れた既成市街地への地域冷暖房の導入とその効果に関する研究」, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学－I, PP.711－712, 2000 年 9 月
- ・ 稲葉剛一, 佐土原聡, 吉田聡, 「東京湾岸地域における広域熱供給ネットワークの導入効果に関する考察－日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究・その 6」, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学－I, PP.719－720, 2000 年 9 月
- ・ 小松渚, 吉田聡, 佐土原聡, 「品川区における街区特性を考慮した未利用エネルギー有効活用システムの検討に関する研究－日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究・その 7」, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学－I, PP.721－722, 2000 年 9 月
- ・ 鶴見綾子, 佐土原聡, 吉田聡, 「日本大都市の環境負荷特性と環境施策のあり方に関する研究」, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学－I, PP.729－730, 2000 年 9 月

(3) 出版物

- ・ 佐土原聡, 「広域熱供給ネットワークの可能性」, 「連載 地域熱供給による都市インフラの複合化・総合化 第 7 回」, 熱供給 Vol.41/2000/Autumn, (社) 熱供給事業協会

はじめに

わが国の地域冷暖房は、昭和 45 年大阪の千里中央地区にはじめて誕生して以来、はや 30 年の歴史を有している。地域冷暖房は現在に至るまで、様々な社会的な状況の影響を受け、成長・発展を遂げてきた。昭和 45 年～昭和 49 年は「創成期」で、大阪、東京、および北海道においてほぼ同じに供給を開始し、日本列島改造論にのって全国的に導入され始めた時代である。当時、高度経済成長期の大気汚染防止対策として地域冷暖房は位置付けられた。しかし昭和 48 年に起こった第 1 次オイルショックにより「低迷期」を迎える。以降、約 10 年間続いたが、オイルショックの経験を踏まえてシステム面、経済面で普及促進の為の検討や改善が行われ、東京の光ヶ丘団地や品川八潮団地で清掃工場の排熱を利用した地域冷暖房が導入されたり、ヒートポンプ・蓄熱システム、コージェネレーションシステムなどの新しい技術が生れ、昭和 60 年代以降の地域冷暖房の「発展期」の基礎になる時期であった。昭和 60 年～平成元年（「発展期」）は活発な都市開発の動きとともに、ガス会社と電力会社の積極的な地域冷暖房事業への参画、ヒートポンプ・蓄熱システム、コージェネレーションシステム、排熱利用システムなど、新しい技術の採用と普及、行政による積極的な導入・促進政策により地域冷暖房は急速に活発化した。平成元年以降その勢いは更に活発になり、電力会社・ガス会社だけでなく、第 3 セクターやディベロッパーなども参画して、全国的に普及していった。（「普及期」）この時期より、それまでの大気汚染防止、エネルギー有効利用という立場に加えて、未利用エネルギーの活用、スペースの有効利用、アメニティの向上、都市基盤の整備といった命題が科せられるようになった。しかしながら、平成 3 年のバブル経済の崩壊に伴う景気低迷の影響を受け、都市開発計画の見直し、あるいは遅延・凍結などが行われ、これまで順調に推移してきた地域冷暖房事業も遅れや見直しを避けられない状況となった。

しかし平成 7 年 1 月 17 日に起こった阪神・淡路大震災、平成 9 年 12 月に京都で開催された「気候変動枠組条約第 3 回締約国会議（地球温暖化防止条約：通称 COP 3）」を経て、これからの地域冷暖房には地域のエネルギーセンター的な役割や、防災性、地球環境保全性といった役割が期待されるようになった。また、昭和 60 年代の活発な都市開発から約 15 年が経ち、あと数年もすれば再び都市再開発の波が訪れるであろうことを考えると、「公共的な都市基盤施設としての地域冷暖房」が期待されていると考える。本研究では、地域冷暖房をこれからの地球環境社会における公共的な都市施設として位置付けて、都市内の多様な熱源を有効に活用するシステムを構築する為の考え方に関しての基礎的な研究成果をまとめたものである。この成果が今後の地域冷暖房、および都市のエネルギーシステムの再構築、あるいは発展の一助となり、地球環境問題に寄与すれば幸いである。

2001 年 3 月

研究代表者 佐 土 原 聡

本研究における言葉の定義

熱供給事業；複数の建物の熱負荷に対して 1 ヶ所のプラントで熱を作り建物に供給する事業全般のことをいう。特に本研究論文では、熱供給事業法が適用される一定規模以上の熱供給事業（「地域暖房」「地域冷暖房」という場合が多い）を指して言うものとする。

都市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、道路、公園、供給処理施設などをさす。本研究論文では、都市生活を支える水、エネルギー、ごみ、情報の供給および処理のサービスを行う施設、設備をいう。

排熱；「廃熱」と「排熱」は区別して扱い、前者はエネルギーの使用によって排出され通常は廃棄されている熱を総じて言い、後者は地域熱供給などに有効活用可能な「廃熱」のことを言うものとする。

熱負荷密度；あるまとまった地域の熱負荷の大きさをあらわす指標で、1ha あたりの年間熱負荷量で表す。この場合の年間熱負荷量は、冷暖房、給湯を合わせた熱負荷の二次エネルギーである。

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

地区自立型システム；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、地区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。

地区循環型システム；地区内で発生するごみや下水などの廃棄物を、再生利用を積極的に図ることで、地区内へのインプット量を減らし、地区内で物質を循環させることを目指したシステムをいう。地区内での物質の循環がうまく行くことにより、前述の「地区自立型システム」にもなり得る。

広域ネットワークシステム；電気、都市ガスなどのネットワークがこれにあたる。大規模に供給を行うことで、スケールメリットにより効率的に運用が可能である。しかし一方で、1995 年 1 月 17 日に発生した阪神・淡路大震災では、これらのネットワーク型のインフラストラクチャーが被害を受け、発災後の救助活動、救援活動、復旧活動、復興活動に大きな影響を与えた。また、これらのインフラストラクチャーは火災などの 2 次災害の要因ともなった。

横浜臨海地区；横浜港に臨む高密度業務・商業エリアである横浜駅周辺地区、みなとみらい地区、新港地区、関内地区といったエネルギー負荷密度の高い地区を指す。また、エネルギー系のケーススタディにおいては、これらの地区をエネルギー供給の対象需要地区とし、北側に隣接する鶴見臨海地区を含めて「横浜臨海地区」という。鶴見臨海地区は横浜市清掃事業局鶴見工場（鶴見清掃工場）、横浜市北部第二下水処理場、横浜市北部汚泥処理施設といった処理施設や、横浜火力発電所、工場などが所在し、「排熱」の賦存が大きい地区である。

東京都区部；東京都の特別行政区 23 区を指す。

環境保全； NO_x 、 SO_x 、などの環境負荷物質の排出量を削減することで、公害などの問題を持つ都市環境を改善し人間が健康に生活できる環境をつくり、保全することをいう。また、最近では地球温暖化問題が深刻化し、 CO_2 排出量を削減することも環境保全の中に位置付けている。本研究の中でも、「環境保全性」および「環境保全効果」を評価する場合、 NO_x 、 SO_x 、 CO_2 の排出削減量、削減率を評価の指標としている。

公益事業；広く多くの人々を対象としたサービスで電力事業、ガス事業がこれにあたる。本研究で扱う「熱供給事業」も、都市計画法上「第3の公益事業」として位置付けられているが、事業の展開地点が都市部のさらにある一定の地区に限られることから、広く多くの人々を対象としたサービスがなされているとはいえず、認知度も低い。

公共性；広く多くの人々の生活の質を向上させる性質のことをいう。これまでは道路計画、橋梁の建設、下水道の整備などが「公共性」の見地から「公共工事」としてなされてきた。近年、環境問題が注目される中、生活環境を快適に保つことや、自然環境および生態系を保全することも、「公共性」にあたるとの考え方から、開発行為に対して自然環境を保全するための個人の支払い意志額を求めて、自然環境自体の価値（いわば「公共性」）を計る試みがなされている。本研究では、これからの社会は都市単位ではなく地球単位で考えるべきで、いわゆる地球環境時代と位置付け、この時代の「公共性」という視点を検討している。

本研究における単位記号に関して

2000 年より、SI 単位系への転換が義務付けられ、熱量は J（ジュール）を用いることとなるが、本研究では熱供給事業法の適用条件が 5Gcal/h の加熱能力を有することとなっているように、cal（カロリー）表示の方が馴染みもあり検討しやすいことから、基本的にはカロリー表示を用いるものとする。ジュールを使用の場合は括弧書きでカロリー表示する。

はじめに

論文で用いる語句・記号の説明

序 章

0-1	研究の背景	0-1
0-2	関連の従来研究	0-4
0-2-1	日本全国地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究	
0-2-2	防災を備えた都市基盤施設の計画に関する研究	
0-2-3	東京都区部における熱供給ネットワークの可能性に関する一連研究	
0-2-4	熱供給配管建設におけるエネルギー消費量・二酸化炭素排出量	
0-2-5	未利用熱源水供給ネットワークの省エネルギーポテンシャルに関する研究	
0-3	関連の社会動向	0-22
0-3-1	都市熱源ネットワーク	
0-3-2	エネルギーの自由化	
0-3-3	大深度地下利用	
0-3-4	PFI による公共施設整備	
0-4	従来の構想・プロジェクト	0-28
0-4-1	大阪湾ベイエリアにおける広域共同熱供給システム構想（近畿通産局）	
0-4-2	北海道”ふゆ未来 2010 新北方型都市整備プラン”における広域熱供給構想	
0-4-3	NEDO エコエネプロジェクト	
0-5	研究の目的と位置付け	0-34

第1章 広域熱供給システムの構築に関する理論研究

1-1	概要	1-1
1-2	北欧の広域熱供給システムにおける「公共性」に関する分析	1-2
1-2-1	フィンランド・ヘルシンキ市の広域熱供給システム	
1-2-2	デンマーク・コペンハーゲンの広域熱供給システム	
1-2-3	ドイツ・ベルリンの広域熱供給システム	
1-2-4	北欧の広域熱供給システム分析のまとめ	
1-3	北欧との比較による日本における広域熱供給システム構築の課題整理	1-26
1-4	本研究における広域熱供給システムの考え方	1-30
1-5	結論	1-31

第2章 日本における広域熱供給システムの導入可能都市域の抽出に関する研究

2-1 概要	II-1
2-2 主要都市における未利用エネルギーの活用可能性に関する検討	II-2
2-2-1 概要	
2-2-2 調査対象都市	
2-2-3 システムの設定	
2-2-4 地域冷暖房による未利用エネルギーの活用可能性	
2-2-5 広域熱供給ネットワーク導入による未利用エネルギー導入の可能性	
2-3 北欧事例との比較による広域熱供給ネットワーク導入可能都市域の抽出	II-9
2-3-1 概要	
2-3-2 比較対象都市である北欧の広域熱供給ネットワーク事例	
2-3-3 対象都市域の抽出と広域熱供給幹線の仮定	
2-3-4 単位ネットワーク幹線長あたりの熱供給量による比較分析	
2-4 広域熱供給システム導入可能都市の特性分析	II-16
2-4-1 概要	
2-4-2 各都市の熱負荷想定（都市別熱負荷原単位）	
2-4-3 熱賦存量の推定	
2-4-4 導入対象地区・対象都市	
2-4-5 広域熱供給ネットワークの導入規模に関する考察	
2-5 結論	II-24

第3章 広域熱供給システムの熱源としての熱併給発電所の可能性に関する研究

3-1 概要	III-1
3-2 火力発電所からの熱併給の可能性に関する研究	III-2
3-3 熱利得による広域熱搬送に関する研究	III-5
3-4 電動ヒートポンプシステムとの比較によるエネルギー評価	III-7
3-4-1 エネルギー評価の基本的な考え方	
3-4-2 横浜臨海地区熱需要を想定したエネルギー評価	
3-5 冷熱比を指標にみた熱併給発電を組込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価	III-12
3-5-1 基本的な考え方	
3-5-2 冷熱比を指標にみたエネルギー評価	
3-6 結論	III-16

第4章 広域熱供給システムの熱源としての工場排熱の活用可能性に関する調査研究

4-1 概要	IV-1
4-2 工場のエネルギー消費量現状調査	IV-2
4-3 調査の概要	IV-3
4-4 調査結果解析	IV-5
4-4-1 工場の稼動状況	
4-4-2 工場の1次エネルギー投入量	
4-4-3 工場の排熱利用可能量の算定	
4-4-4 工場排熱算出式の作成	
4-5 神奈川県の高消費高密度地区における工場排熱利用のケーススタディ	IV-14
4-5-1 神奈川県における高消費高密度地区の選定	
4-5-2 各地区における工場排熱賦存量の推定	
4-5-3 需要と供給のケーススタディ	
4-6 結論	IV-17

第5章 広域熱供給システムの熱源としての都市排熱の利用可能性に関する研究

5-1 概要	V-1
5-2 都市排熱の種類とその特性に関する考察	V-3
5-3 都市供給処理施設のスケール分析	V-6
5-4 各都市処理施設の熱供給能力	V-8
5-4-1 清掃工場のごみ焼却排熱	
5-4-2 下水処理場の下水処理水排熱	
5-4-3 汚泥処理施設の汚泥処理排熱	
5-5 清掃向上のごみ焼却排熱利用に関する社会の動向	V-18
5-5-1 R D F	
5-5-2 スーパーごみ発電	
5-6 結論	V-20

第6章 広域熱供給システムの構築による効果に関する研究

6-1 概要	VI-1
6-2 横浜臨海地区における広域熱供給システムの構築に関するケーススタディ	VI-2
6-2-1 概要	
6-2-2 広域幹線共同溝ネットワーク	
6-2-3 システムの提案	
6-2-4 システムの評価	
6-2-5 まとめ	
6-3 東京都区部における広域熱供給システムの構築に関するケーススタディ	VI-22
6-3-1 概要	
6-3-2 モデルシステムの提案	
6-3-3 システムの評価	
6-3-4 まとめ	
6-4 結論	VI-38

第7章 日本における広域熱供給システム構築の波及効果に関する研究

7-1 概要	VII-1
7-2 ケーススタディの手法	VII-1
7-3 広域熱供給ネットワーク導入のケーススタディ	VII-2
7-4 日本全国での導入波及効果	VII-40
7-5 結論	VII-43

第8章 集中型・分散型エネルギーシステムのグランドデザインへ向けて

8-1 概要	VIII-1
8-2 集中型エネルギーシステム（都市熱源ネットワーク）	VIII-2
8-3 分散型エネルギーシステム（燃料電池コージェネレーション）	VIII-3
8-4 集中型・分散型エネルギーシステムの最適導入計画（ケーススタディ）	VIII-4
8-5 結論	VIII-18

第9章 結論と展望

9-1 研究成果のまとめ	IX-1
9-2 今後の課題と展望	IX-4

[参考文献]

序 章

目 次

- 0-1 研究の背景
- 0-2 従来研究
 - 0-2-1 日本全国地域冷暖房導入可能性調査と地球環境保全効果に関する調査研究
 - 0-2-2 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
 - 0-2-3 東京都区部における熱供給ネットワークの可能性に関する一連の研究
 - 0-2-4 熱供給配管建設におけるエネルギー消費量・二酸化炭素排出量
 - 0-2-5 未利用熱源水供給ネットワークの省エネルギーポテンシャルに関する研究
- 0-3 関連の社会動向
 - 0-3-1 建設省「都市熱源ネットワーク」の動向と考察
 - 0-3-2 エネルギーの自由化の動向と考察
 - 0-3-3 大深度地下利用の動向と考察
 - 0-3-4 P F Iによる公共施設整備の動向と考察
- 0-4 従来の構想・プロジェクト
 - 0-4-1 大阪湾ベイエリアにおける広域共同熱供給システム構想
 - 0-4-2 北海道”ふゆ未来 2010 新北方型都市整備プラン”における広域熱供給構想
 - 0-4-3 エコエネ都市プロジェクト
- 0-5 研究の目的と位置付け

序 章

0-1 研究の背景

地域熱供給は、1877年、アメリカ・ニューヨークのロックポートにおいて、数件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最初のものであるといわれている。以降、約120年を経て、地域熱供給はヨーロッパ大陸、北アメリカ大陸を中心に普及してきている。地域熱供給の導入条件は、各国、各都市によりそれぞれ異なるが、日本における「地域冷暖房」とは異なり、北欧諸国などの寒冷地で気候条件が厳しい都市において「地域暖房」として多く導入されていることから、気象条件が比較的厳しいことが成立条件になっていると推測される。また、経済先進国に導入例が多いことから、生活水準の高さも成立条件の一つと考えられる。

特に、北欧諸国の都市においては、都市部を中心に大規模な広域熱供給ネットワークが整備され、大規模な熱併給発電所（CHP：Combined Heat and Power）を組込んだ高効率システムとなっており、また、ごみ焼却排熱などを利用する省資源的なシステムにもなっている。

一方、アジアにおける地域熱供給は歴史が浅く、日本における冷房・暖房・給湯需要に対応した「地域冷暖房」をはじめ、東南アジアの冷房需要のみに対応した「地域冷房」など、近年急速に普及促進が図られてきている。

地域熱供給の導入メリットとしては、一般的には表0.1のようなことが言われている。日本における地域熱供給は、「創生期」は大気汚染防止対策として位置づけられ、二度のオイルショックを経験して、省エネルギーや省スペースの観点から導入が図られた。しかし、1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災で都市の脆弱性が明らかになり、ライフラインの重要性が指摘され、地域のエネルギーの自立化、言い替えれば今までの広域的なエネルギーシステムを補完する地域的なエネルギーシステムとして、地域のエネルギーセンター的な役割も求められるようになった。また、近年、地球環境問題がさげばれるようになり、1997年12月京都において開催された「気候変動枠組条約第3回締約国会議（通称COP3）」で、地球温暖化防止の為に、CO₂をはじめとした地球温暖化ガスの排出削減目標値が、各国、各地域ごとに設定され、日本は2010年までに1990年時点の排出量と比して6%という削減目標が設定された。（表0.2）これを期に、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー活用システム、都市の排熱を有効活用するエネルギーカスケード利用システムなど、様々な研究開発が行われてきており、地域熱供給もその役割を果たす重要な位置付けにある。

日本の地域熱供給^{文献1) 文献2)}は、電力・ガス会社などのエネルギー会社や、ディベロッパーにより導入されてきた。一方、ヨーロッパは自治体の公共・公益事業のひとつとして地域熱供給を導入してきており、その性格は異なる。日本では、「都市計画法第11条（都市施設）第3項その他の供給処理施設」の中の「地域冷暖房施設」として、都市計画法上では電気およびガス供給施設と同様の位置付けとされているが、実際には道路占有や共同溝に入る際など問題も多い。これは公益事業としては法律上認められているものの、「公共性」といった面での社会的な認知度が極めて低いことが理由と

して考えられる。しかし、今後 CO₂削減が社会全体のテーマとなってくることが考えられることから、地域熱供給の「公共性」の認知度は向上するものと考えられる。また、エネルギー市場の自由化や地方分権などの社会の動向によっては、都市のエネルギー供給形態も変化する可能性があり、これらに自治体はどう関わっていくかということも重要になってくる。

また、都市のエネルギー供給システムを考えた場合、都市排熱などを有効に活用した省資源型のシステムで、高効率のシステムにしていくことが望ましいことから、日本の地域熱供給も北欧などに見られる広域熱供給システムのようなネットワーク型のシステムに発展していくことが望まれる。ただし、日本における広域熱供給システムは、その成立過程の違いから北欧のようなシステムがふさわしいかどうかは問題であることから、日本の気候や風土、様々な社会的な条件を踏まえた上で、日本にあった、日本にふさわしい広域熱供給システムを構築していかなければならない。

表 0.1 地域熱供給のメリット 文献1)文献2)

地球環境に与える効果	
地球温暖化防止への貢献	高効率、省エネルギーシステムにより、CO ₂ 排出量が削減でき、地球温暖化防止に貢献できる。
オゾン層破壊防止への貢献	集中的に非フロン冷凍機および代替フロン冷凍機を導入でき、特定フロンの削減が可能になる。
地域環境に与える効果	
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に活用し、エネルギー消費の低減を図ることに適したシステムである
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、運転保守管理も万全である。
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。
スペースの有効利用	各建物の冷凍機、ボイラ、冷却塔、貯油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。
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、粉塵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。
都市美観の向上	需要側の各建物では、煙突や冷却塔が不要になるので、建築構造的にも有利であり、設計上も自由度が増し、都市美観の向上に寄与する。
都市災害の防止	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およ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。

表 0.2 COP3 による地球温暖化ガス削減目標決定値

国・地域名	削減目標値	国・地域名	削減目標値
EU	8%	アメリカ合衆国	7%
オーストラリア	+8%	ニュージーランド	0%
アイスランド	+10%	日本	6%

1990 年の排出量に対する 2010 年までに達成すべき削減値。

0-2 従来研究

0-2-1 日本全国地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究^{文献3)}

この研究は、社団法人 地域冷暖房協会の自主研究「プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査」にもとづくもので、日本全国の都市について、エネルギー需要調査を行い、熱負荷密度が高く、地域冷暖房が導入可能な地区を抽出し、工場排熱などの都市排熱や河川水などの温度差エネルギーを用いて地域冷暖房を行った場合の、省エネルギー効果や環境保全効果を定量的に評価したものである。

佐土原らは、まず最初に全国の都市において、2010 年までに地域冷暖房が導入可能な地区の抽出作業を行っている。地域冷暖房導入可能地区の抽出条件は以下の通りである。

① 既成市街地

各自治体で課税台帳をベースとした町丁目単位または同程度の細かい建物用途別床面積データが整備されている場合は、建物用途別床面積に年間熱需要原単位を用いて熱需要量熱負荷密度を算出し、熱負荷密度が 1.0Tcal/ha 年以上かつ地区面積が 5ha 以上の地区を、2010 年までの地域冷暖房導入可能地区とする。

床面積データが整備されていない場合は、神奈川県における分析結果から法定容積率 500% 以上のエリアが、町丁目別熱負荷密度 1.0Tcal/ha 年以上のエリアと比較的良く一致していたため、法定容積率が 500% 以上でかつ地区面積が 5ha 以上の地区を、2010 年までの地域冷暖房導入可能地区とする。ただし、地区形状が幹線道路などに沿って極端に細長いなど、地域冷暖房導入に適しない地区は除外する。またこのとき、横浜市における分析結果から設定された法定容積率ごとの用途別床面積割合とグロス容積率を用いて、各地区の建物用途別床面積を推定し、年間熱負荷原単位を用いて熱需要量の算定を行った。

② 再開発・新開発地域

建物中心の開発で、現段階でエリアや開発のないようが具体的でかつ述べ床面積（推定でも良い）が $50,000\text{ m}^2$ 以上、熱負荷密度が 1.0Tcal/ha 年以上の地区を、2010 年までの地域冷暖房導入可能地区とする。

③ 建替え想定大規模住宅団地

築後 30 年以上経過していて、総戸数 1,000 戸以上の住宅団地を対象とする。熱需要量は、愛知県の分析結果から設定した建替えの際の戸数、床面積の増加割合を用いて、建替え後の戸数、床面積を推定し、年間熱負荷原単位より算定を行う。

この抽出作業で抽出された 2010 年までに地域冷暖房が導入可能な地区は、日本全国で計 1,302 地区（現在の 9.6 倍）で、内訳では既成市街地が 72.5% （944 地区）と大きな割合を占めており、現在普及が進んでいる再開発・新開発地区だけではなく既

成市街地にも地域冷暖房を積極的に導入していくべきであるとしている。

次に、地域冷暖房の熱源としての未利用エネルギーの調査を行っている。ここで、未利用エネルギー源としては表 0.3 を想定し、表 0.4 の未利用エネルギー源の年間熱賦存量 (Tcal/年) 推定式を用いて、日本全国の各都市において地域冷暖房に活用可能な未利用エネルギー量を算出している。

これにより、前出の 2010 年までに地域冷暖房が導入可能な地区 1,302 地区のなかで、高温未利用エネルギーを活用可能な地区が全地区の 42.9% (559 地区) と半数近くを占めており、低温の未利用エネルギーが活用可能な地区を含めると、全地区の 59.0% (768 地区) と約 6 割の地区で未利用エネルギー活用が可能であるとしている。

また、この未利用エネルギーを活用した地域冷暖房の導入効果は、地域冷暖房の導入可能地区およびその熱需要量の多い東京都で、9.1%の民生用熱需要に対する 1 次エネルギー投入量の削減効果があり、全国でみると 3.5%の削減効果となる。これらの未利用エネルギーの使用内訳は、ごみ焼却排熱 63%、下水排熱 16%であり、CO₂ 排出量の削減効果は全国の民生用熱需要部門の 2.2%である。この 2.2%の CO₂ 削減は量にすると 178 万 t-c/年であり、COP3 で決まった 2010 年レベルでの 1990 年レベルに対する 6%の削減を実現するために必要な 1994 年度の排出実績からの削減量 3,300 万 t-c/年の 5.4%に相当することを明らかにした。

このように地域冷暖房の導入が CO₂ 排出量削減に大きな役割を果たしうることが分かり、あたらな技術開発に頼ることなく既存の技術で確実に CO₂ 排出量を削減できる現実的な手段であると結んでいる。

表 0.3 活用可能とした未利用エネルギー源

	熱源	エネルギーの種類	温度レベル	供給可能距離
清掃工場	蒸気	高温廃熱エネルギー	数 100℃	5 km
工場	蒸気	高温廃熱エネルギー	数 10～数 100℃	5 km
	温排水	低温廃熱エネルギー	10～30℃	2 km
下水処理場	生下水, 処理水	低温廃熱エネルギー	12～25℃	2 km
河川	河川水	温度差エネルギー		0 km
海	海水	温度差エネルギー		0 km

表 0.4 未利用エネルギー源の年間熱賦存量推定式

未利用エネルギー源	熱賦存量 (Tcal/年) 推定式
清掃工場	年間処理量 (t/年) × ゴミ焼却排熱原単位 (2.0Gcal/t・年) /100
工場 (鉄鋼業)	従業員数 (人) × 2.418 × [0.0278, 0.0843]
(非鉄金属)	従業員数 (人) × 0.540 × [0.0128, 0.0065]
(化学工業)	従業員数 (人) × 3.516 × [0.0186, 0.0138]
(パルプ・紙加工品)	従業員数 (人) × 2.941 × [0.0005, 0.0045]
(石油・石炭製品)	従業員数 (人) × 7.458 × [0.0074, 0.0471]
(窯業・土石製品)	従業員数 (人) × 0.689 × [0.0078, 0.0014]
下水処理場	年間処理水量 (m³/年) × 比熱 × HP 温度差 (5℃) /1,000,000
火力発電所	年間発電量 (GWh) /熱効率 (%) × (1－熱効率) × 860/1,000
河川	年間流量 (m³/年) × 利用水量 (5%) × 比熱 × HP 温度差 (5℃) /1,000,000
海	下水処理場の推定式に準ずる。ただし水量は無限。

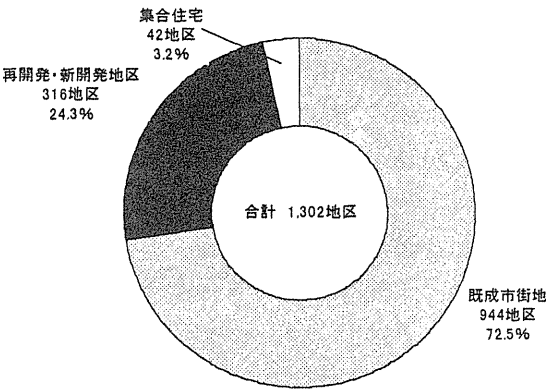


図 0.1 地域冷暖房導入可能地区の種類

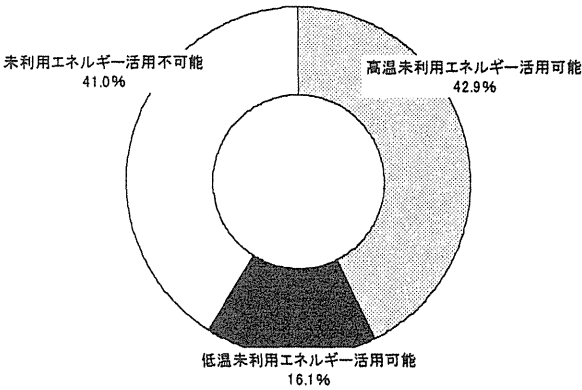


図 0.2 地域冷暖房導入可能地区の熱源

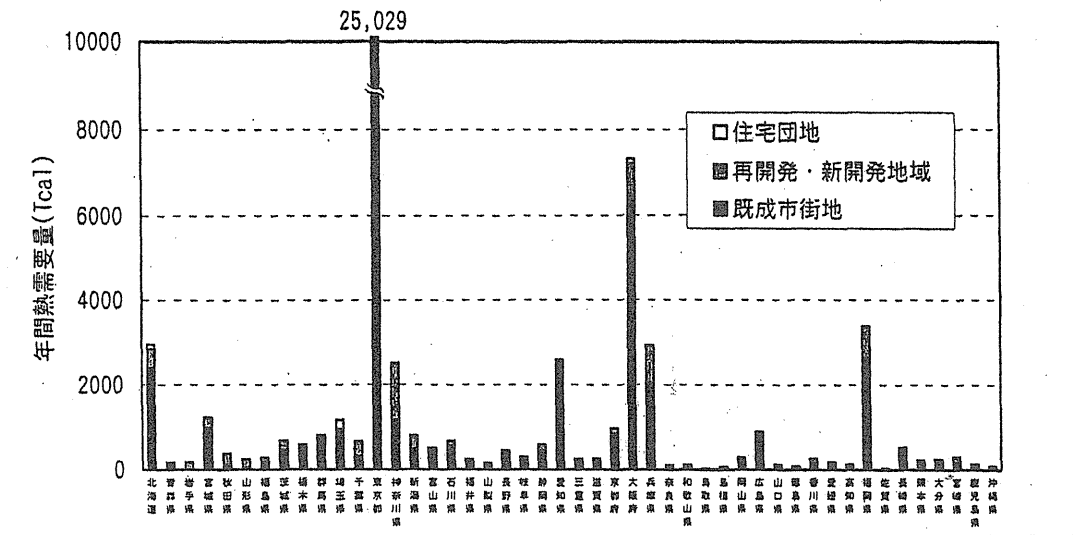


図 0.3 都道府県別地域冷暖房導入対象地区の熱需要量

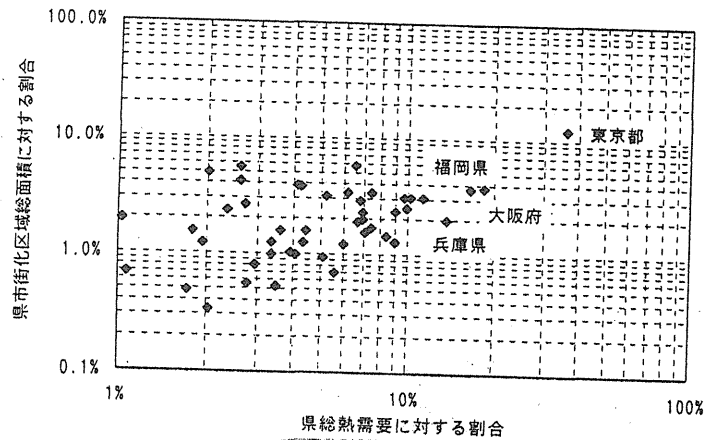


図 0.4 都道府県別普及率(熱需要量, 面積)

表 0.5 地域冷暖房普及状況の国際比較

	民生用総熱需要量に 占める地域暖房の 割合(%)	同右 本研究結果	地域冷暖房による 熱供給量(Tcal/年)	同右 本研究結果
スウェーデン	25.2	—	39,892	—
デンマーク	40.3	—	26,512	—
フィンランド	43.7	—	22,762	—
ドイツ	5.6	—	84,000	—
フランス	4.4	—	29,790	—
イタリア	0.8	—	2,310	—
オランダ	1.0	—	3,970	—
スイス	2.2	—	3,472	—
オーストリア	7.7	—	8,618	—
日本	0.7	11.1	4,037	62,185
出 典	日本は文献29)より 推定、日本以外は 文献30)		日本は(社)日本熱 供給事業協会資料、 日本以外は文献31)	

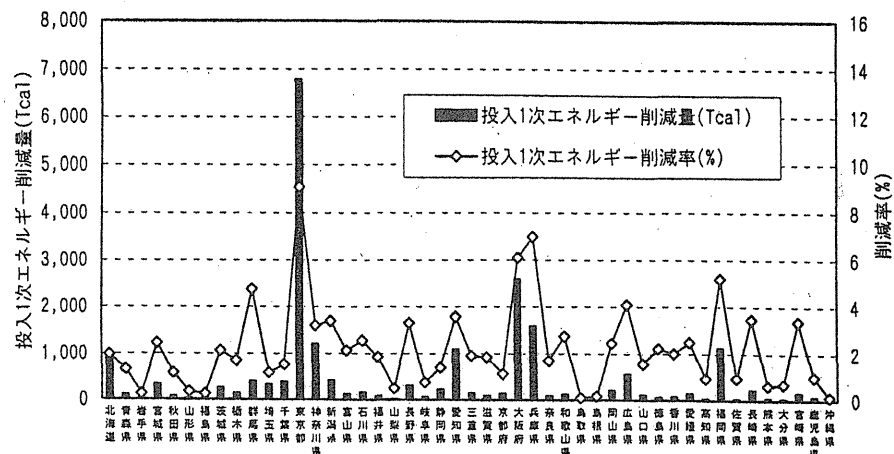


図 0.5 都道府県別の民生用熱需要量に対する投入1次エネルギー削減量・削減率

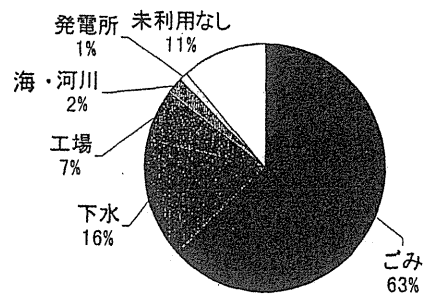


図 0.6 熱源別投入 1 次エネルギー削減量割合

表 0.6 地域冷暖房導入効果の全国集計

	A			B		
	削減量	削減率 (民生)	削減率 (総合)	削減量	削減率 (民生)	削減率 (総合)
投入 1 次 E	5,434Tcal	0.9%	0.2%	21,228Tcal	3.5%	0.6%
CO2	883,465t-c	1.1%	0.2%	1,784,073t-c	2.2%	0.5%
NOX	1,803 t	3.3%	0.1%	4,578 t	8.4%	0.2%
SOX	22,549 t	—	2.0%	22,157 t	—	2.0%
冷房時電力 ピーク負荷	299 万 kW	—	5.0%	204.3 万 kW	—	3.4%

0-2-2 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^{文献4)}

白は、都市化が進むにつれて都市の安全や環境の保全が大きな課題となっている今日の都市においては、社会のニーズや地域の特性にあったインフラストラクチャーの整備により、環境の保全や非常時の機能確保を図ることが重要であるとの視点に立ち、地域冷暖房システムを導入する場合に、防災面について建物が求める面と、地域が求める公共的な面とに分け、導入の必要性を評価する地区分類を試み、考察を行っている。結果をまとめると、以下の通りである。

- ① 建築設計、設備設計実務者に対するアンケート調査により、非常時における建物用途ごとの機能確保ニーズを明らかにし、電力系、水系、空調系、情報・通信系の種類ごとに非常時の平常時に対する必要割合を提示した。
- ② 非常時の電力系、水系のニーズを分析した結果、官公庁建物、業務建物の割合が大きい地区ほど、ニーズが高く、非常時の建物施設がもつ要求度が高い地区であった。
- ③ 東京都の地域危険度を用いた、地域が地域冷暖房施設に求める要求度（公共的ニーズ）、および地域冷暖房導入対象建物における機能確保の必要度（建物の機能確保ニーズ）とから、地域冷暖房施設へのニーズに関する分類を行い、官公庁建物や業務本社建物の割合の大きい地区は、地域危険度は比較的に低く、地域が地域冷暖房に求める公共的なニーズは低い、非常時に防災拠点となる建物が多いことから、建物の機能確保のニーズが高いという事がわかった。
- ④ 地区の類型化により、地域と建物のニーズを指標にとり、サンプル地区のマトリックス評価を行い、地域危険度と建物の機能確保ニーズの相関関係を明らかにした。
- ⑤ 最終的にサンプル結果を東京都区部の法定容積率 400%以上（東京都の地域冷暖房導入推進地区）の地区に判別分析を用いて当てはめ、建物の機能確保ニーズの高い地区（A、B、C 類型地区）が 28.7%、地域危険度が高く、地区および周辺地区による公共的なニーズが高い地区（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ類型地区）が 46.6%となることを明らかにした。

表 0.7 建物の非常時における系統別要求量の割合と平均

系統	負荷	用途	要求量の割合(%)						
			業務	官公庁	医療	商業	教育	宿泊	集合住宅
電気系	電灯負荷	事務室・病室・部屋	38	40	56	50	45	46	35
		蒸り場・教室							
		廊下	42	41	50	58	50	44	30
		ロビー	31	33	37	45	47	40	36
		機械室	65	59	64	52	55	38	44
		設備管理室	61	63	77	70	65	78	55
		重要度平均	2.7	2.9	3.2	2.7	3.0	2.6	2.0
	動力負荷	事務処理機器	35	35	49	52	30	34	7
		通信機器	69	76	75	60	80	59	73
		エレベータ	40	41	31	43	15	24	9
		動力機器	50	43	56	53	50	36	41
		換気	41	41	63	48	30	42	41
		重要度平均	3.1	2.6	3.5	2.9	2.4	2.5	1.9
	コンセント負荷	電算処理機器	59	69	46	53	60	50	10
		視聴設備	42	41	38	32	50	52	55
		電気時計	8	8	13	7	10	6	5
		通信機器	69	76	75	65	80	62	73
		重要度平均	2.4	2.5	2.1	2.0	2.9	2.4	1.9
空調系		冷房	28	28	54	35	55	34	36
		暖房	28	28	57	57	40	38	36
		重要度平均	1.9	1.7	2.6	2.0	2.7	2.5	1.7
水系	給水	飲料水	60	65	73	60	91	48	80
		厨房用	30	27	56	33	65	32	35
		浴用水	17	15	39	23	40	26	22
		洗面・手洗い	45	65	51	38	60	28	40
		重要度平均	2.3	2.4	3.0	2.2	3.3	2.3	2.6
	雑用水	トイレの洗浄水	75	66	66	77	95	46	65
		機械室の冷房用水	49	61	70	42	10	34	18
		発電機の冷却水	82	80	92	95	90	80	57
		空調機の冷却水	40	30	30	52	45	32	10
		加湿用の水	9	11	26	12	35	8	3
		散水用	6	5	8	15	40	10	2
		清掃用水	10	15	19	18	20	18	6
		洗浄用水	15	16	31	22	20	18	2
		重要度平均	3.2	2.5	3.5	2.8	2.8	2.6	2.1
	排水	汚水	71	69	69	87	90	46	70
		雑排水	57	53	45	78	70	46	50
		特殊排水	47	42	49	53	35	30	15
		雨水	46	40	31	45	45	36	45
		重要度平均	3.0	2.7	3.1	3.4	2.8	2.5	2.5
情報・通信系	外部との通信	電話	70	73	76	73	92	80	70
		無線	76	79	90	75	95	52	40
		OA機器	43	43	53	43	40	24	10
		重要度平均	3.7	3.5	3.3	3.3	4.0	3.1	2.9
	建物内の通信	電話	50	57	70	65	75	44	45
		無線	51	52	60	58	91	20	25
		OA機器	40	33	46	38	35	30	16
		拡声設備	63	63	59	55	80	46	65
		重要度平均	2.8	2.7	2.5	3.0	3.4	2.4	2.0
	情報	テレビ	64	67	56	72	85	44	79
		ラジオ	67	71	74	73	100	56	80
		管制装置	60	67	59	63	90	50	57
		重要度平均	3.5	3.3	3.2	3.7	4.2	3.2	3.8

表 0.8 建物用途別の平常時に対する非常時電力・水の機能確保に必要な負荷の割合

建物用途	平常時対非常時の電力・水による要求量の割合 [%]					
	電力			水		
	最も重要	重要	必要	最も重要	重要	必要
業務・本社 ^(注5)	17	28	42	16	24	36
官公庁	15	29	53	15	27	37
医療	21	28	52	19	33	45
一般業務	14	28	42	16	24	36
商業	11	27	49	19	30	40
宿泊						
娯楽	15	27	47	17	23	33
文化						
教育	16	40	51	30	39	53
集合住宅	9	24	38	12	19	28

表 0.9 東京都区部のサンプル地区のマトリックスによる分類

類型	A	B	C	D		E
非常時建物施設の 機能確保の要求	高い					低い
地区名	霞が関1	栄町1	新宿1	栄町3	亀戸4	臨海町2
	霞が関2	栄町2	市谷3	栄町4	丸ノ内1	臨海町3
	千駄ヶ谷2	新宿2	亀戸3	池袋1	千駄ヶ谷1	臨海町4
		新宿3	虎の門3	池袋2	千駄ヶ谷3	
		新宿4	目黒3	池袋3	千駄ヶ谷4	
		丸ノ内2		池袋4	虎の門1	
		丸ノ内3		日本堤1	臨海町1	
		丸ノ内4		日本堤2	目黒4	
		霞が関3		日本堤3	五反田2	
		霞が関4		日本堤4	五反田3	
		虎の門2		歌舞町1	五反田4	
		虎の門4		歌舞町2	南大井1	
		目黒1		市谷1	南大井2	
		目黒2		市谷2	南大井3	
		五反田1		亀戸1	南大井4	
				亀戸2	蒲田1	
				歌舞町3	蒲田2	
				歌舞町4	蒲田3	
				市谷4	蒲田4	
非常時の電力 要求度 [%]	50	40	35	28		15
非常時の水 要求度 [%]	39	34	29	25		14

0-2-3 東京都区部における熱供給ネットワークの可能性に関する一連の研究^{文献5)}

広域熱供給ネットワークに関する研究は、地域熱供給に関する研究、および未利用エネルギーの活用に関する研究などと比較して数少ない。その中で、主なものとして文献 3) が挙げられる。渡辺らは、日本で最も地域冷暖房導入地点数が多い東京都を取り上げ、各プラントの実態調査を通して、プラント設備の熱供給余剰能力を明らかにし、広域熱供給ネットワークの必要性と可能性を示している。

具体的には、当時（1989 年）東京都で稼動中の 23 地区の地域冷暖房プラントについて、各施設のパンフレットおよびアンケートにより、機器の能力、熱供給対象建物の述べ床面積等を調査し、その中で 6 地区についてさらに詳細な調査をし、供給熱量の時刻別負荷および機器ごとの累積負荷曲線を作成した。図 0.7 にボイラの累積負荷曲線、図 0.8 に冷凍器の累積負荷曲線を示す。このように、年間トータルにみると低負荷運転時間が非常に長く、各機器の負荷のピークをとっても 80% 程度の負荷しかなくプラントの熱供給余剰能力が大きいことを明らかにしている。

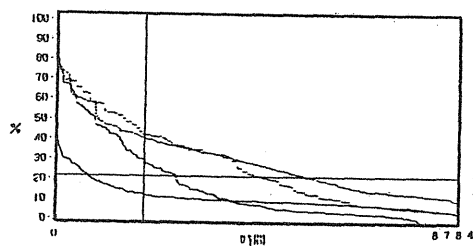


図 0.7 ボイラの累積負荷曲線

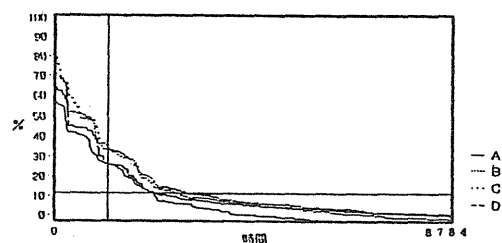


図 0.8 冷凍器の累積負荷曲線

次に、「全負荷相当時間」「全負荷相当運転時間」という指標を定義し、低負荷運転の状況を数値化した。(表 0.10, 表 0.11) また、6 地区の熱源機器の余剰能力(表 0.12)をもとに、熱供給ネットワークを構築した場合の、「同時使用率」による熱源機器のピークカット効果を明らかにしている。(図 0.9, 図 0.10) これによると、熱源機器の能力は、平均して温熱で 53%, 冷熱で 30% 余剰であり、熱供給ネットワークを構築することにより、述べ床面積で 194~880ha の新しいエリアに熱供給することが可能という試算を得ている。また、ネットワーク構築の際の「同時使用率」による負荷の平準化が図られ、ピークカット効果が得られるとしている。

$$\begin{aligned}
 \text{全負荷相当時間} &= \text{年間供給熱量} \div \text{最大供給熱量} \\
 \text{全負荷相当運転時間} &= \text{年間供給熱量} \div \text{熱源の熱供給能力 (熱源容量)} \\
 \text{同時使用率} &= \text{複数プラントの時刻別供給熱量の和の最大値} \\
 &\quad \div \text{複数プラントのピーク負荷の和}
 \end{aligned}$$

表 0.10 述べ床面積と供給熱量(温熱)

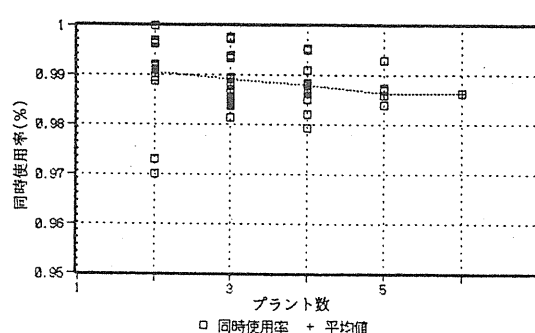
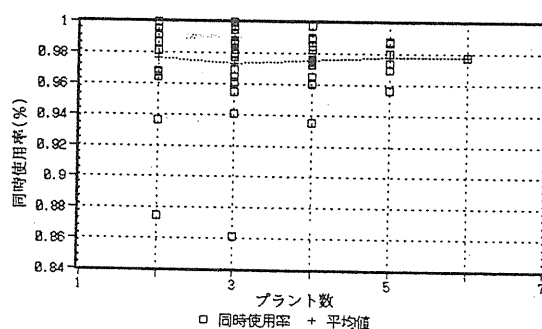
地区名	述べ床面積 ha	最大熱供給量 Mcal/h	年間熱供給量 Mcal/h	単位最大熱量 Mcal/h	単位年間熱量 Mcal/h	全負荷相当 時 間	全負荷相当 運 転 時 間
A	8.47	4043.0	4217.0	47.71	49.76	1043.0	260.7
B	8.62	1830.0	1787.0	21.24	20.74	976.4	676.9
C	13.34	3380.0	1840.0	25.33	13.79	544.5	306.0
D	25.34	10505.0	13553.0	41.45	53.48	1290.1	855.1
E	57.95	17694.0	33178.0	30.54	57.26	1875.1	799.3
F	144.60	52664.0	13129.0	36.42	90.82	2493.7	1183.3

表 0.11 述べ床面積と供給熱量(冷熱)

地区名	述べ床面積 ha	最大熱供給量 Mcal/h	年間熱供給量 Mcal/h	単位最大熱量 Mcal/h	単位年間熱量 Mcal/h	全負荷相当 時 間	全負荷相当 運 転 時 間
A	8.47	6695.0	7667.0	79.01	90.48	1145.2	741.4
B	8.67	5570.0	9814.0	64.64	113.89	1761.9	1482.0
C	13.34	5970.0	6585.0	44.74	49.35	1103.1	777.8
D	25.34	14800.0	17952.0	58.40	69.41	1188.7	969.6
E	57.95	34800.0	59778.0	60.06	103.16	1717.8	1054.3
F	144.60	89964.0	155688.0	62.22	107.67	1730.6	1255.7

表 0.12 熱源機器の余剰能力と拡大供給面積

内 容			温 熱 供 給	冷 熱 供 給
調査 6 地区	①熱源機器能力の合計	Mcal/h	192,702	224,259
	②最大供給熱量の合計	Mcal/h	90,116	157,799
	③余剰機器能力 ①-②	Mcal/h	102,586	66,460
	④機器余剰率 ③/①	%	53.2	29.6
	⑤拡大可能供給床面積	ha	304	108
都 区 部	⑥熱源機器能力の合計	Mcal/h	558,440	403,157
	⑦余剰機器能力	Mcal/h	297,090	119,477
	⑧拡大可能供給床面積	ha	880	194



温 熱

冷 熱

図 0.10 ネットワーク化による同時使用率の変化

さらに、供給熱媒体を蒸気に絞って、既存の地域冷暖房プラントの調査を行い、新宿・池袋地区で熱供給ネットワークのケーススタディを行っている。具体的には、まず新宿池袋を結ぶ明治通りに沿って蒸気供給ネットワークを仮定している。次に、新宿・池袋地区にある既存の蒸気熱媒の5地区の地域冷暖房を結んだ場合をケース1とし、東京都都市計画局の土地利用現況調査より作成した500mメッシュの用途別床面積データから熱負荷原単位をかけて熱負荷を想定し、ネットワークルートにかかる8メッシュに既存プラントの余剰蒸気を供給する場合をケース2、さらにその両側1メッシュまで供給範囲を広げた場合(21メッシュ)をケース3として、ケーススタディを行っている。

その結果、既存の5地区の地域冷暖房プラントのボイラ設備容量は約41%の余剰能力を有し、ケース1の場合、同時負荷率が約12%低減する。また、ケース2、ケース3において、既存の5プラントと対象メッシュ独自にボイラをもった場合に比べて、同時負荷率は、それぞれ、26.68%、18.47%低減する。このとき既存の5プラントのボイラ容量の合計は378.0 (t/h)、これに対してケース1、ケース2、ケース3の全体の最大蒸気需要量は、それぞれ、197.8 (t/h)、330.4 (t/h)、643.6 (t/h)であり、ボイラ余剰蒸気をネットワークで有効活用する効果がケース2の同時負荷率の大きな低減につながっている。

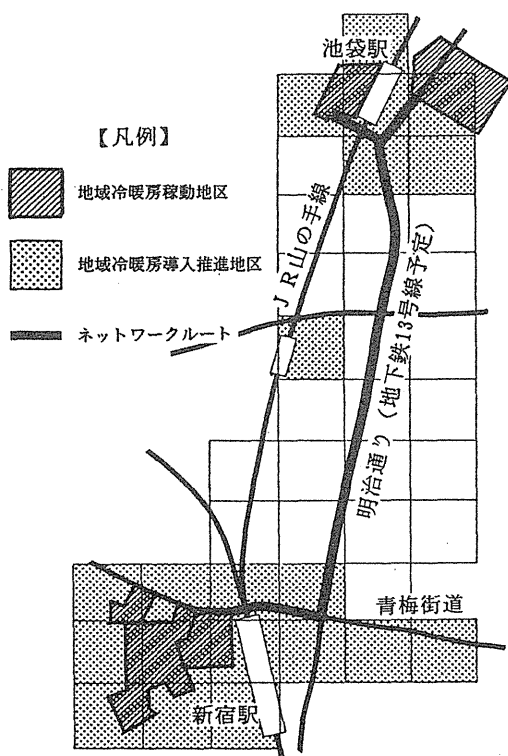


図 0.11 新宿・池袋地区

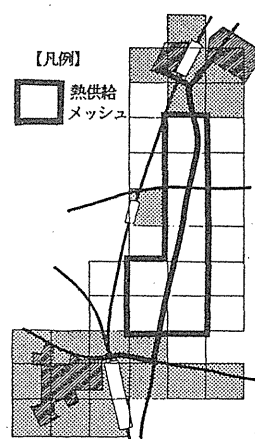


図 0.12 ケース 1

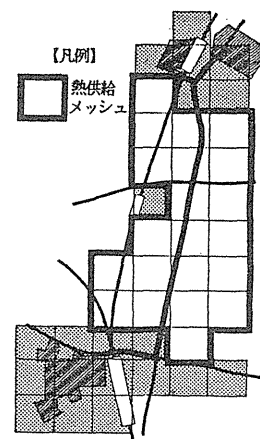


図 0.13 ケース 2

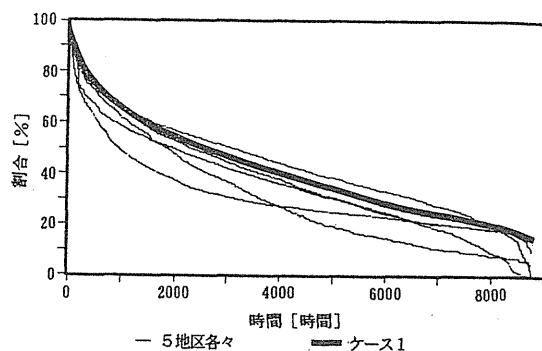


図 0.14 5 地区の累積負荷曲線

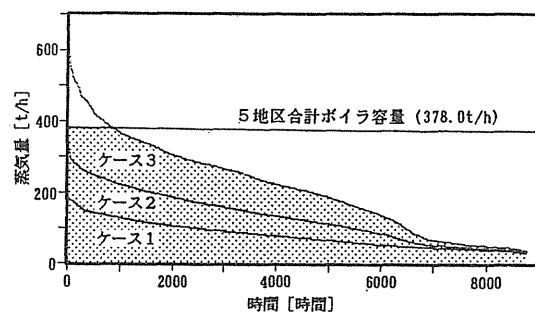


図 0.15 各ケースの累積負荷曲線

表 0.13 最大蒸気発生量(t/h)

5 地区のボイラ容量合計	378.0
5 地区の最大発生蒸気量の合計	222.2
ケース 1 における最大発生蒸気量	197.8
ケース 2 における最大発生蒸気量	330.4
ケース 3 における最大発生蒸気量	643.6

表 0.14 平均負荷率(%)

5 地区の平均負荷率 ; A 地区	36.67
; B 地区	30.54
; C 地区	37.03
; D 地区	30.89
; E 地区	43.18
ケース 1 における平均負荷率	40.51
ケース 2 における平均負荷率	39.46
ケース 3 における平均負荷率	34.93

表 0.15 同時負荷率の低減効果

ケース 1 で地域冷暖房施設がそれぞれ単独に熱供給施設をもった場合の必要ボイラ容量	222.2 t/h
ケース 1 における同時使用率の低減	11.98 %
ケース 2 で地域冷暖房施設とネットワーク対象 8 メッシュがそれぞれ単独に熱供給施設をもった場合の必要ボイラ容量	450.9 t/h
ケース 2 における同時使用率の低減	26.68 %
ケース 3 で地域冷暖房施設とネットワーク対象 21 メッシュがそれぞれ単独に熱供給施設をもった場合の必要ボイラ容量	789.4 t/h
ケース 3 における同時使用率の低減	18.47 %

広域熱供給システムの構築を考えたとき、もっとも問題となるのが長距離にわたって敷設しなければならない熱供給配管の建設コストが莫大になることである。通常、地域冷暖房では事業主体である会社が自ら配管を敷設しなければならないが、広域熱供給配管になると一民間企業が独自に敷設するのは困難である。北欧でも、建設コストの違いはあるものの広域配管に関しては国や地方自治体が先頭になって整備しており、後述の「都市熱源ネットワーク」においても国や地方自治体が大部分の費用を補助する仕組み作りが重要となってきた。このような、初期投資の膨大な広域熱供給配管に関しては、数十年という長い期間利用可能な耐久性と、建設、運用、改修、廃棄にいたるまでの長い目で見たライフサイクル的なエネルギー評価が必要である。

このような熱供給配管建設におけるライフサイクル的なエネルギー評価を行っているものとして文献4)がある。岡らは、既存の地域冷暖房実施例6件から代表的な地域配管を取り出し、1990年の産業連関分析を用いて、各地域配管建設時のエネルギー消費量および二酸化炭素排出量を原単位化してまとめている。この結果、単位長さ・単位断面積あたりのエネルギー消費量・二酸化炭素排出量は、開削工法・推進工法において、 $6.5\sim 11.2\text{GJ}/\text{m}\cdot\text{m}^2$ 、 $0.58\sim 0.97\text{t}/\text{m}\cdot\text{m}^2$ となったが、直埋工法は工事項目が少なく、 $3.1\text{GJ}/\text{m}\cdot\text{m}^2$ 、 $0.28\text{t}/\text{m}\cdot\text{m}^2$ となっている。(図0.16)また、開削工法・直埋工法の土工事などのエネルギー消費量・二酸化炭素排出量を掘削土量 1m^3 あたりで比較すると、何れもほぼ同程度であり、このうち土留め工事による部分がもっとも大きいことを明らかにしている。(図0.17)さらに、土工事など、躯体工事、推進工事など、配管工事のエネルギー消費量・二酸化炭素排出量の原単位をまとめて示している。これらのデータを用いることにより、工事の内容がわかれば、エネルギー消費量・二酸化炭素排出量を大略算出することが可能となっている。

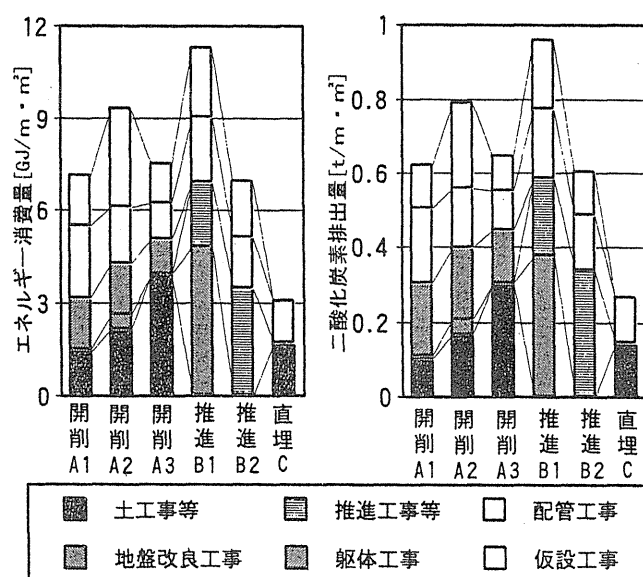


図 0.16 単位長さ・単位断面積あたりのエネルギー消費量・二酸化炭素排出量

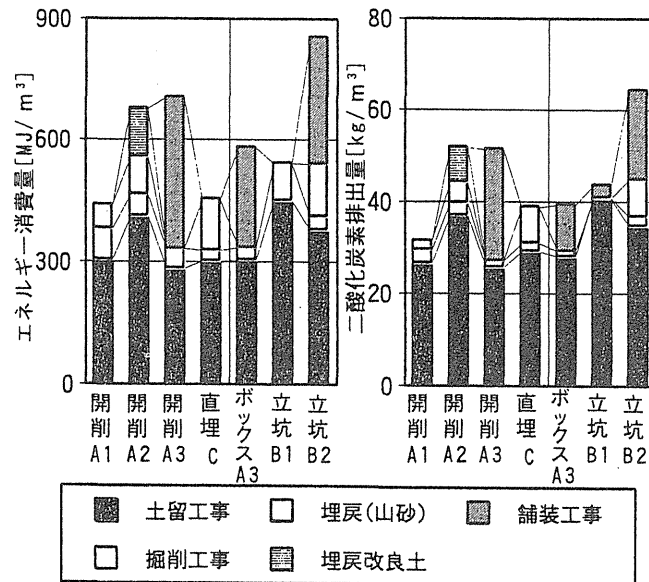


図 0.17 掘削土量 1m³あたりの土工事等のエネルギー消費量・二酸化炭素排出量

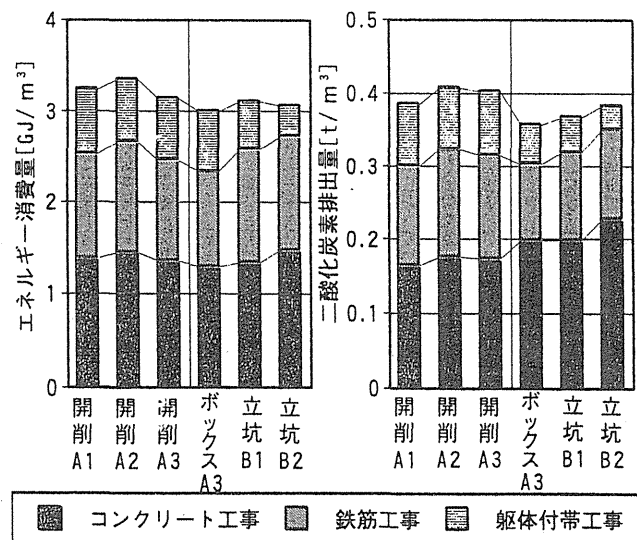


図 0.18 コンクリート量 1m³あたりの躯体工事のエネルギー消費量・二酸化炭素排出量

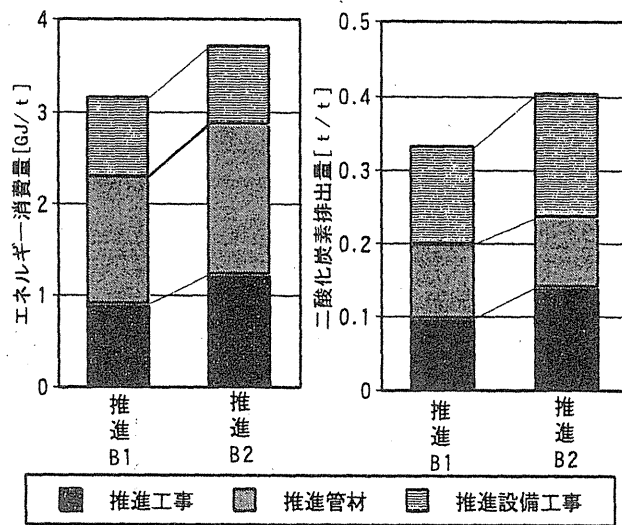


図 0.19 推進工法におけるセメント管 1tあたりの推進工事等のエネルギー消費量・二酸化炭素排出量

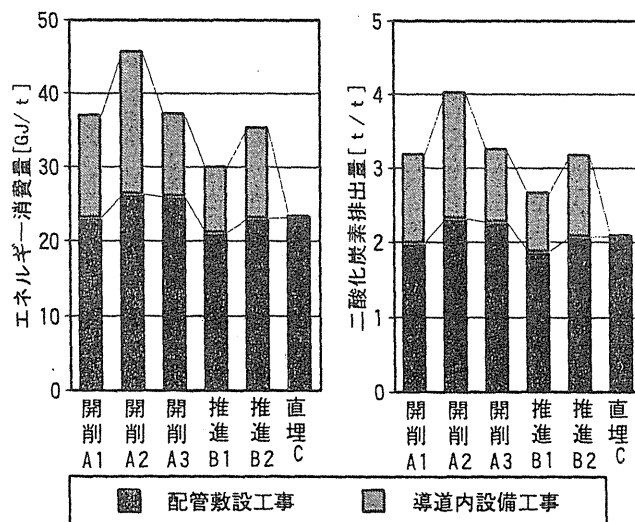


図 0.20 各工法における配管工事のエネルギー消費量・二酸化炭素排出量

地球温暖化防止条約により、二酸化炭素を主とした地球温暖化ガスの削減目標値が決定され、日本は1990年レベルの排出量に比して6%の削減を義務付けられた。このような中、清掃工場や工場、下水などの都市排熱や河川水、海水などの温度差エネルギーなどを地域冷暖房に活用していくことは重要になっている。本論文で目指す「広域熱供給システム」もこれらの未利用エネルギーを有効に活用するために、広域的な熱の受け皿を作ろうというものである。

このような未利用エネルギーを活用した広域的なネットワークに関する研究として文献5)がある。下田らは大阪市において都市の熱需要分布をもとに高温未利用熱源水（清掃工場のみ）、低温未利用熱源水（下水処理水、河川水、海水）のネットワークの最適シミュレーションを行い、省エネルギーポテンシャルを明らかにしている。

これによると、低温未利用熱源水ネットワークの場合、最大のネットワークで8月の供給率が60%、2月の供給率が85%となり、搬送動力を考慮しても大阪市の民生用1次エネルギー消費量の約3%を削減可能ということが明らかにされている。また、冷房時の熱の捨て場となることから、ヒートアイランド防止策ともなるとしている。

また、清掃工場排熱を利用する高温未利用熱源水ネットワークの場合は、低温の場合に比べて熱としての利用温度差が大きいことから、供給あたりの省エネルギー量が約5倍大きくなっているが、配管延長あたりの省エネルギー量は清掃工場近辺に熱需要があり活用しやすい場所を除けば、低温の場合とほぼ同等の値となることが明らかにされた。

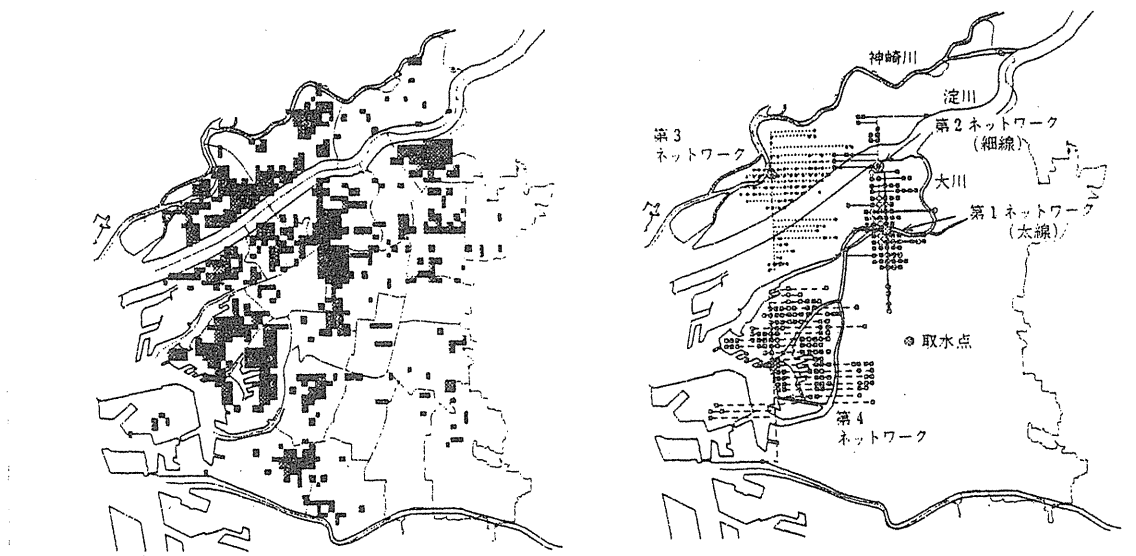


図 0.21 ネットワークにより熱供給を受けるメッシュ 図 0.22 第1～第4ネットワークの概要

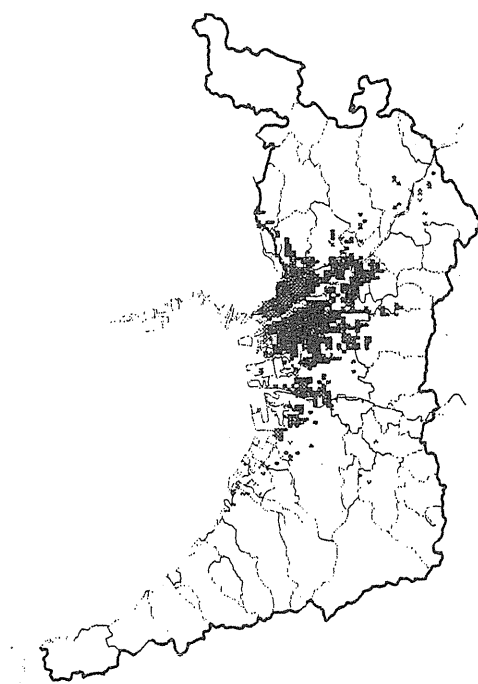


図 0.23 低温未利用熱源水搬送ネットワークの供給メッシュ

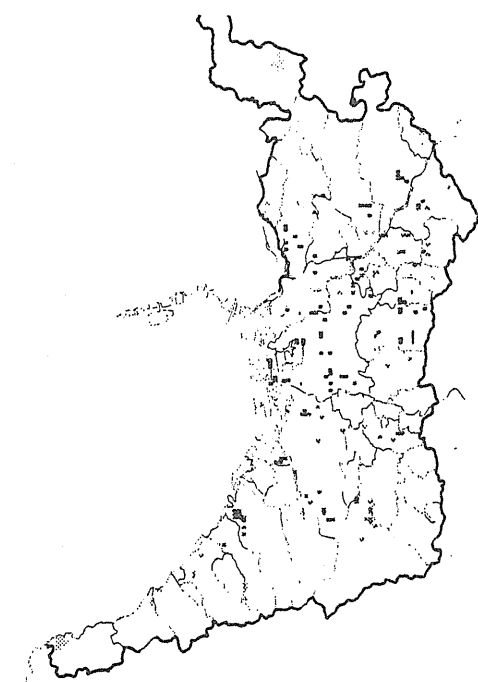


図 0.24 高温未利用熱源水(清掃工場排熱)搬送ネットワークの供給メッシュ

表 0.16 低温未利用熱源水搬送ネットワークの計算結果

順位	熱源名	供給 メッシュ 数	年間 省エネ量 MWh	搬送動力 MWh	年間 供給熱量 Gcal	供給熱量 あたり 省エネ量	配管 総延長 m	配管延長あた り 省エネ量 MWh/m
1	海	141	295934	69047	5032132	0.051	78561	3.767
2	大川	20	51932	14517	1024884	0.044	19698	2.636
3	淀川	19	31104	9373	639506	0.042	13969	2.227
4	淀川	78	43370	19636	1016099	0.037	47871	0.906
5	下水処理場	15	23824	7966	399213	0.051	17869	1.347
6	下水処理場	11	17276	4714	286798	0.052	10652	1.622
7	下水処理場	20	20870	7352	350998	0.051	16759	1.245
8	下水処理場	19	17830	5718	307711	0.050	16400	1.087
9	海	29	19914	8772	409018	0.042	27560	0.723
10	下水処理場	10	13775	3548	210520	0.056	9468	1.455

表 0.17 高温未利用熱源水(清掃工場排熱)搬送ネットワークの計算結果

順位	熱源名	供給 メッシュ 数	年間 省エネ量 MWh	搬送動力 MWh	年間 供給熱量 Gcal	供給熱量 あたり 省エネ量	配管 総延長 m	配管延長当り 省エネ量 MWh/h
1	大阪市森之宮工場	3	82210	5320	263600	0.268	10777	7.63
2	大阪市大正工場	3	48020	5371	162800	0.254	8073	5.95
3	東大阪都市清掃施設 組合	14	49930	8170	175800	0.244	26946	1.85
4	豊中市伊丹市清掃施 設連合	6	44710	5603	152500	0.252	12574	3.56
5	大阪市南港工場	9	44330	7804	156600	0.243	22910	1.93
6	大阪市平野工場	7	43460	5824	149500	0.250	12934	3.36
7	大阪市住之江工場	6	37320	6072	131800	0.244	15364	2.43
8	大阪市鶴見工場	3	33680	5068	118600	0.244	11793	2.86
9	吹田市北工場	5	32270	5107	113100	0.245	14497	2.23
10	大阪市西淀工場	4	29260	3865	98930	0.254	7670	3.81

0-3 関連の社会動向

0-3-1 建設省「都市熱源ネットワーク」の動向と考察^{文献7) 文献8) 文献9)}

建設省は、21世紀の公共都市基盤整備として「都市熱源ネットワーク」を整備しようとしている。この「都市熱源ネットワーク」は建設省都市局街路課の「ゼロエミッション都市整備事業」の中に位置付けられており、地球温暖化問題、都市環境問題に寄与する都市設備として期待されている。

「都市熱源ネットワーク」整備の背景として、我が国の都市における課題を整理している。地球温暖化問題に関しては、地球温暖化防止京都会議（COP3）での公約、2010年までに1990年レベルの6%の二酸化炭素を削減、これを達成するためには今後二酸化炭素発生量を4,500万t-c削減しなければならないことを挙げている。（図0.25）都市環境問題に関しては、NO_xによる都市部の大気汚染の深刻化（図0.26）、都市部のヒートアイランド現象の深刻化（図0.27）を挙げている。また、都市に膨大に存在する未利用エネルギー（図0.28）が、空間的なギャップの存在の為に活用されていないことを挙げ、これらから都市の排熱源や未利用エネルギー源と都市内の複数の熱供給区域（地域冷暖房、住宅団地、超高層ビルなど）を結ぶ熱供給幹線ネットワークとして「都市熱源ネットワーク」の必要性をうたっている。（図0.29）

建設省は、平成8年～9年度に東京都、平成9～10年度に大阪市を対象にして、「都市熱源ネットワーク」の整備基本計画調査を自治体との協力のもとに行っている。その中で、東京都に関しては、既存の地域冷暖房導入地区が隣接したかたちで多く分布していることから、それらの既存の地域冷暖房を結びながら、都市排熱源や未利用エネルギー源との熱供給幹線ネットワークを整備していくという整備構想が明らかにされている。一方、大阪市に関しては、既存の地域冷暖房が少ないことから、逆に都市排熱源や未利用エネルギー源と熱負荷の大きいエリアを結ぶ熱供給幹線ネットワークを整備することによって、新規の地域冷暖房事業を増やしていこうという整備構想となっている。この調査の中でも、事業性の検討がなされているが、いずれも初期投資額が膨大になることから、国や地方自治体からの公的助成が必ず必要であり、CO₂排出削減量を金額に換算してそれを減価償却に充てて計算した場合、12年の償却期間となるとしている。

このように「都市熱源ネットワーク」が事業化の方向にある現在、本研究で「広域熱供給システム」を扱うことは極めてタイムリーであり、導入可能都市の抽出とその特性分析などは非常に意味のあるものと考ええる。

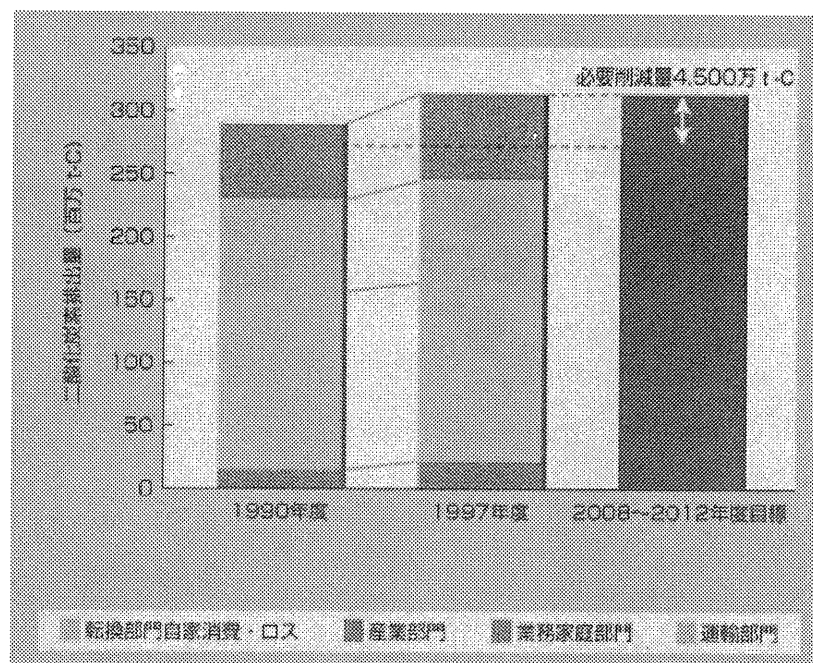


図 0.25 二酸化炭素排出量の削減目標

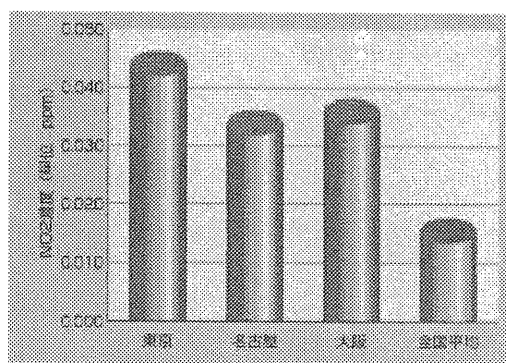


図 0.26 NOx による大気汚染状況

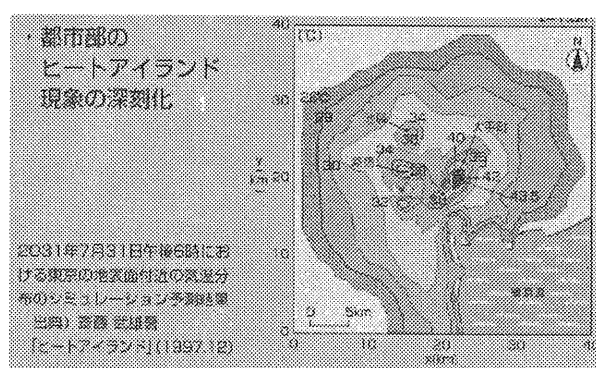


図 0.27 東京のヒートアイランド状況

◆ 都市に膨大に存在する未利用エネルギー ◆

- ・東京都区部を例にとれば、比較的活用しやすいまとまった形で未利用エネルギーが、年間熱需要の71%も存在。
- ・しかしながら、わが国の地域冷暖房における未利用エネルギー利用率は14%と利用が進んでいない。

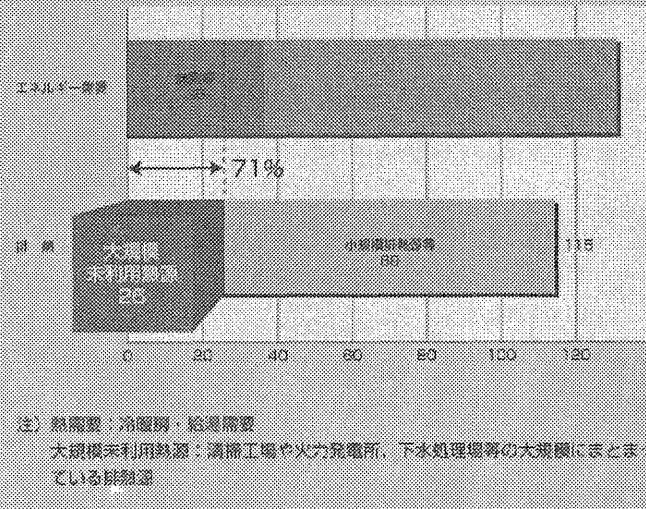


図 0.28 都心に膨大に存在する未利用エネルギー

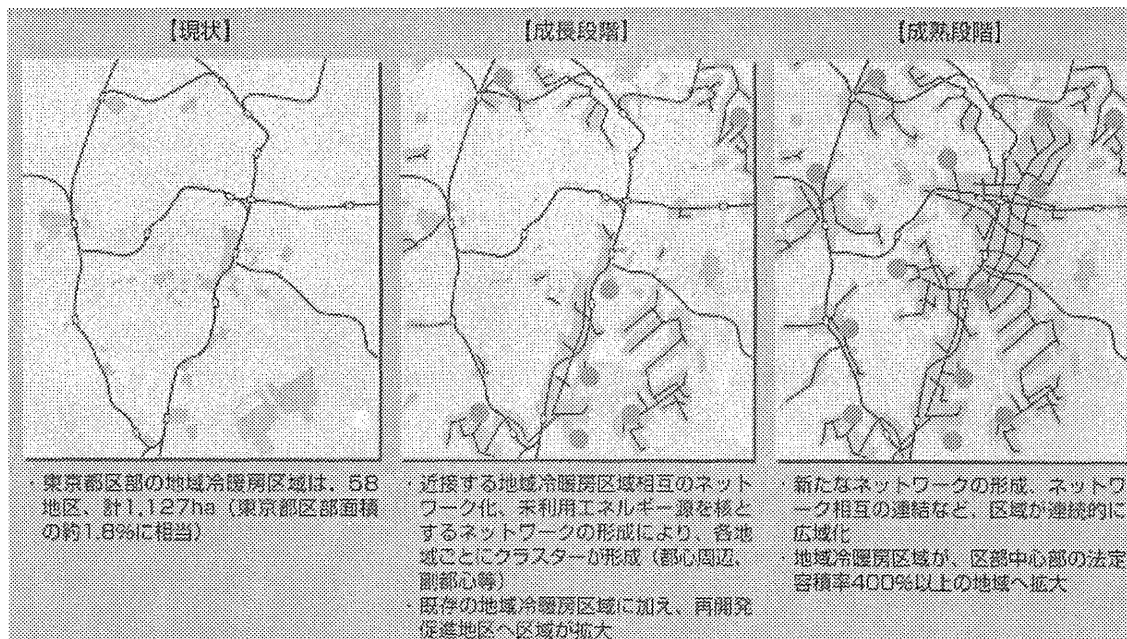


図 0.29 都市熱源ネットワークのイメージ

0-3-2 エネルギーの自由化の動向と考察

欧米のエネルギー市場は完全に自由化されており、特にヨーロッパでは EU 統合を機に国を超えたエネルギーの自由化が進んでいる。

日本は、島国であり、資源の埋蔵量がほとんどないということから、エネルギー政策は国家の政策として位置付けられ、エネルギー業界は保護されてきた。その結果、エネルギー価格が他国に比べて非常に高くなっており、諸外国からエネルギー価格の低廉化を求められている。

このようなことから、近年日本においてもエネルギー産業において既成緩和策が講じられてきている。エネルギー既成緩和の状況とそれにもなう期待される効果について表 0.18 に示す。

表 0.18 エネルギー既成緩和の状況

	規制緩和の主な影響	関連法規	期待される効果
都市ガス	<ul style="list-style-type: none"> 大口ガス料金の自由化 大口ガス事業への参入の自由化 	ガス事業法改正（'95. 3 月）	<ul style="list-style-type: none"> 大口ガス事業への新規参入の更なる拡大 託送の活性化
	<ul style="list-style-type: none"> 大口自由化枠の拡大 託送約款の届出・公表（大手一般ガス事業社） 兼業許可の廃止 	ガス事業法改正（'99. 11 月）	
電力	<ul style="list-style-type: none"> 卸供給事業の自由化 特定電気事業の創設 特定供給の規制緩和 	電気事業法改正（'95.12 月）	<ul style="list-style-type: none"> 鉄鋼、石油会社等の卸供給事業（IPP）への参入 地域冷暖房システムとの複合による地域電気事業 マンション等へのコージェネレーション導入
	<ul style="list-style-type: none"> 小売部門の自由化（特定規模電気事業） 	電気事業法改正（2000 年 3 月）	<ul style="list-style-type: none"> 大口電力小売への新規参入

表 0.18 にあるように、2000 年 3 月には電気事業法改正による電力の小売部門の自由化が始まる。これは、今まで一般電力事業者のみが発電及び売電事業を行っていたところに、電力事業者以外の例えばガス会社や工場などの事業者が直接需要家と契約を結び小売事業を展開することができるようになるというものである。ただし、自由化の範囲は制限されており、系統電力からの電力受入規模が 2000kW 以上で 20000V 特別高圧電力を受け入れている需要家に限られる。

また、電力卸供給の自由化でも、発電設備をもつ工場などが電力会社に電力を卸売りできるようになっており、電力のコストを下げるという意味でも発電電力と熱を合わせて供給するという可能性もあり、熱供給事業や、本論文研究の広域熱供給システムの成立にとって、環境が整いつつある状況である。

0-3-3 大深度地下利用の動向と考察

フィンランド・ヘルシンキ市の広域熱供給ネットワーク幹線は、地下 50m の岩盤内にある Utility Tunnel とよばれる共同トンネルの中にある。このように、熱供給の配管は地下に埋設するものである為、その空間をいかに確保するかが重要であると同時に、空間の確保の仕方によって建設時のコストが大きくかわってくる。

現在、東京のような高密度な都市においては、地下空間は様々な埋設物が輻輳している。例えば、エネルギー系インフラや、通信ケーブル、地下鉄、下水道、あるいは共同溝など実に様々である。これらは、一般に公道の地下に埋設されている。それは、私有地の地下を通る場合、地上の所有者に賃借料を支払わなければならないなどからである。その結果、公道とくに幹線道路の地下には様々な施設が埋設されている。また、最短ルートなど効率的な配管、配線ができていない。

これらの問題を解決する為、また地下空間の利用を促進することで地上環境をより快適なものとする為に、平成 7 年国土庁は「臨時大深度地下利用調査会」を設置し検討を続け、平成 10 年、答申を取りまとめ内閣総理大臣に提出した。以下に、その概要を示す。

表 0.19 大深度地下利用調査会答申の概要^{文献 10)}

大深度地下の定義	；土地所有者などによる通常の利用が行われない地下
技術・安全・環境部門の指針	；現行の施工方法を適切な用いることで、深さ 100m 程度までの施設の建設が可能である。火災対策などの安全の確保や快適で安心できる内部環境の維持が重要である。環境影響が著しいものとならないよう、計画、設計、供用・維持の各段階で環境に適切に配慮し、対策を実施する必要がある。
法制分野の指針	；大深度地下には地上の所有権が及んでいないとはいえないが、個人レベルでの地下利用の利益は薄い。公共公益性を有する事業について大深度地下を土地所有権などの私権に優先して使用する精度を構築することは可能である。制度の適用事業は公共公益事業とすべきである。井戸、温泉井などの既存物件に関しては保証は必要である。適用地域は、大都市及びその周辺地域に限定すべきである。

0-3-4 PFIによる公共施設整備の動向と考察

PFI（Private Finance Initiative：プライベート・ファイナンス・イニシアティブ）とは、公共施設等の設計、建設、維持、運営に、民間の資金とノウハウを活用し、効率的で質の高い公共サービスの提供を図る新しい事業のスタイルである。PFIは、民間の創意工夫が大きく活かされ、民間事業者に新たな事業機会をもたらすものである。我が国においては、経済構造改革を進める効果も期待され、また、将来にわたって社会資本整備を維持していくためにも必要であると考えらる。

英国など諸外国では、すでにこのPFI方式により、公共サービスが提供されており、有料橋、鉄道、病院、学校、刑務所などの公共施設、再開発などの分野で大きな成果を収めている。

我が国の公共サービスにおいても、PFIの手法が導入されつつある。これにより官民の新たなパートナーシップが築き上げられ、民間事業者に新たな事業機会をもたらすとともに、国民にとっては、今までよりも一層質の高い公共サービスが受けられるようになると考えられ期待されている。

平成11年7月23日、「民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律」（PFI法）が成立し、7月30日に公布された。今後、この法律に基づいて、我が国でもPFI方式による公共サービスの提供が行われるようになる。

我が国におけるPFI事業第1号が、東京都金町下水処理場で実施される予定である。この概要を以下に示す。

事業内容は、東京都水道局金町浄水場内（葛飾区）にコージェネレーション設備を設置運営し、電力および蒸気を20年間供給するものである。電力は平常時および震災時等に、T電力株式会社からの電力供給が停止した場合でも供給することとされており、蒸気は排水処理施設のスラッジ加温用および発生土の乾燥用として使用されることとなっている。

東京都は、平成11年1月に第一次審査の募集を開始し、計11の応募があった。一次審査の結果、5グループの提案が審査基準をクリア、二次審査においては、A社の保守運転に関する知見や、熱需要予測と最適運用のノウハウ等による経済性が評価され、最終的にA社グループに決定したものである。

今後の予定としては、A社、B社（産業機械メーカー）、C建設にて、事業会社をに設立し、東京都と本契約を結ぶ予定となっている。事業開始は平成12年10月を予定している。

このように、PFIによる公共サービスの実施は、これからも増えてくるものと考ええる。熱供給事業も第3セクター方式などで行われている例もあるが、このようなPFIという手法で整備されていくことにより、より安価な熱供給が可能となると考える。

0-4 従来の構想・プロジェクト

0-4-1 大阪湾ベイエリアにおける広域共同熱供給システム構想（近畿通産局）^{文献11)}

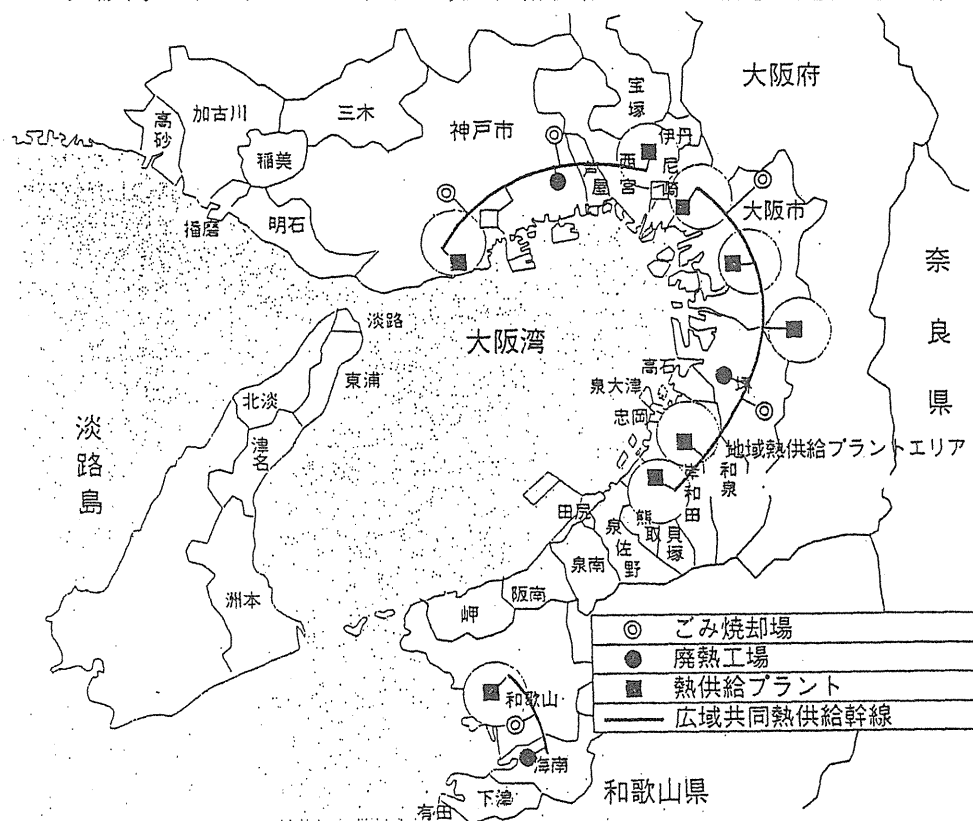


図 0.30 大阪湾広域共同熱供給幹線構想

この構想は、大阪湾沿岸に熱需要の大きい地域や工場などの都市排熱源が多く立地することから、それらを繋いでネットワーク利用しようというものであり、本論文研究の主旨に最も近い構想である。

具体的には、神戸市域を検討地域として、具体的な排熱利用可能性調査、熱回収システムの検討、などから広域共同熱供給システムのモデルを提案し、コストや熱料金の検討を通して事業性評価まで行っている。この検討地域は、阪神・淡路大震災の被災エリアであり、現在復興計画が進められている地域である。その中での新しいまちづくりの一つとしてこの構想を位置付けている。

神戸市域の図を図 0.31 に示す。また、システムの環境性評価結果、事業性評価結果を、それぞれ図 0.32、図 0.33 に示す。

評価結果を見てみると、広域共同熱供給システムの導入によって、省エネルギー率は 46.8%、CO₂ 排出削減率は 18.9%であり、導入効果の高いシステムであるとしている。一方、事業性の評価では、低金利融資（3%）を想定し、事業開始後 15 年間の事業収支を計算した結果、累積税引後利益の黒字転換は、補助金がないケースで 13 年程度、補助金が 15%のケースで 9 年程度、補助金が 30%のケースで 5 年程度となっている。

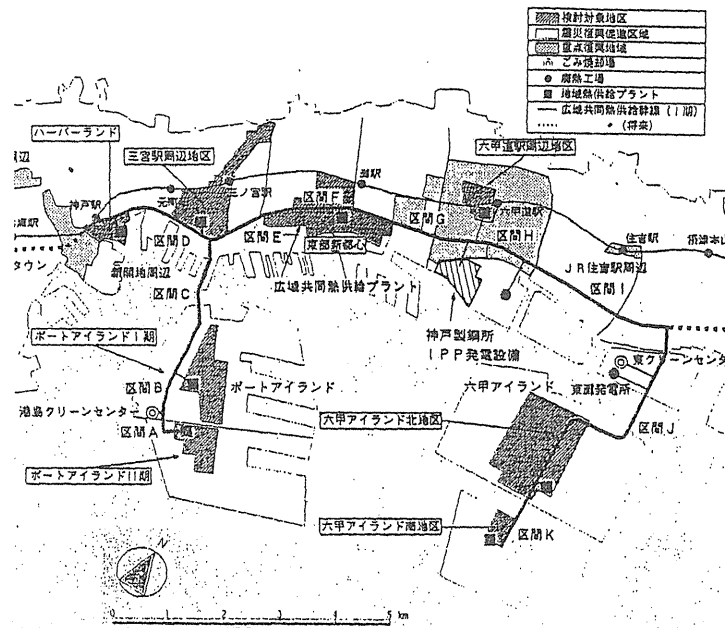
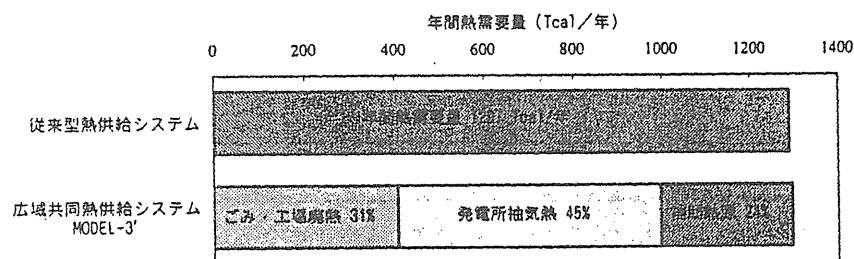
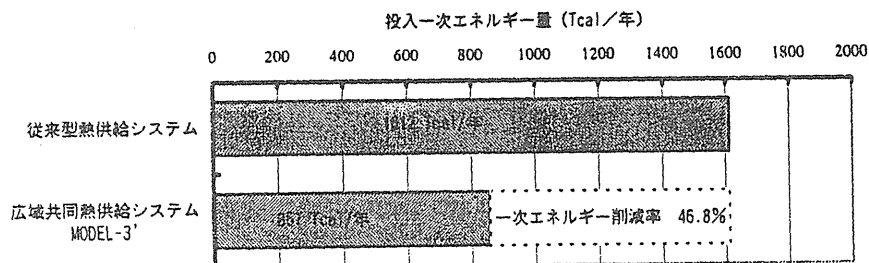


図 0.31 神戸市域の広域共同熱供給幹線

□熱需要に対する廃熱の寄与率



□一次換算エネルギーの削減率



□CO₂発生量の削減率

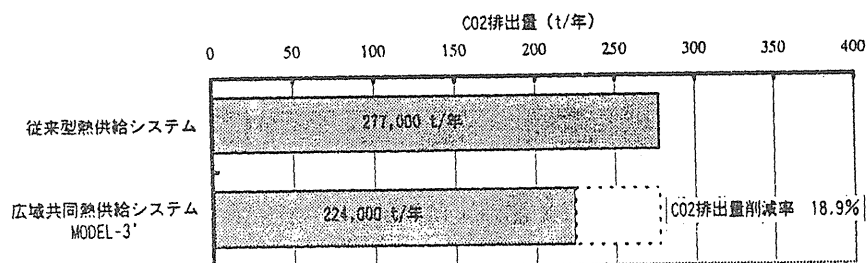


図 0.32 環境性評価結果

	PHASE-1		PHASE-2		PHASE-3		PHASE-4						
年度	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
販売熱量 Tcal/年	—		50.8		94.6		130.5				166.4		
購入熱量 Tcal/年	—		53.3		99.3		137.0				174.7		
建設費 億円	18.0	18.0		2.0		2.0			2.0	2.0	2.0		

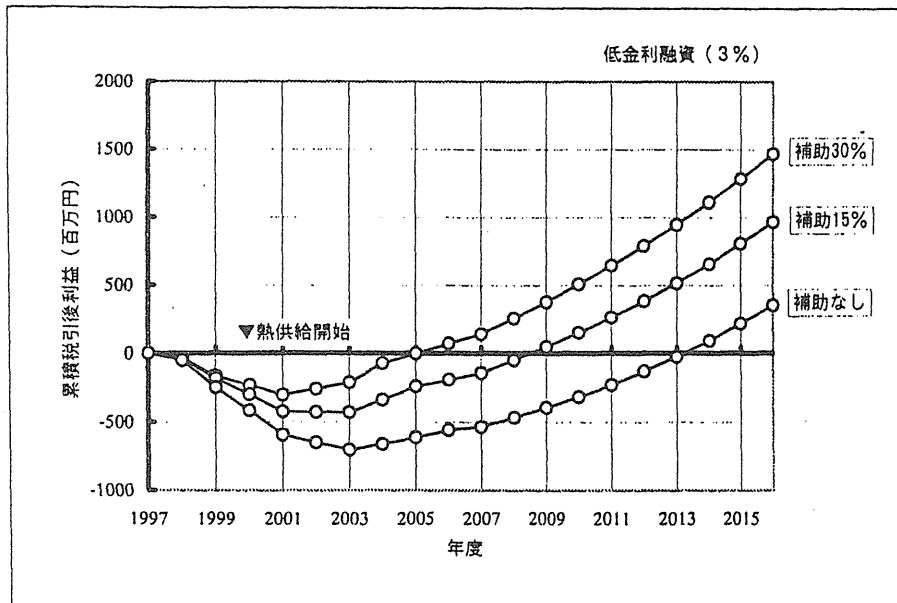


図 3.32 事業性評価結果

この構想は、これからの新しい北国の都市づくりとそれを支えるエネルギーシステムの構築を目指して、(財)北海道地域総合振興機構を事務局として、産・官・学連携で設置された「都市高度化推進調査会」により、平成6年11月にまとめられたものである。

この構想の特徴としては、エネルギー有効利用の観点から都市内もしくは都市近郊に「何らかの発電所」が建設されることを前提として、発電の際に発生する熱エネルギーを熱供給に利用しようというところで、通常の冷暖房給湯だけでなく都市道路の融雪にも利用しようというものである。具体的には、大規模な熱供給発電所からの熱供給を行う場合と、都市内に分散型の大型コージェネレーションシステムを導入してそれらを連結するシステムを提案している。具体的な環境性評価では、約20%の省エネルギー効果、10~20%のCO₂排出削減効果を明らかにしている。また、建設にかかるコスト概算し、ヨーロッパの例と比較している。

図0.33に、熱供給間建設費のヨーロッパ事例との比較を示す。

建設コストの構成によると、全体の約80%を熱供給官に関するコストが占め、ヨーロッパの事例と比較すると全体コストで、ヨーロッパ事例の5~15倍のコストになることがわかる。また、ヨーロッパ式の「プレ断熱加工管」を採用した場合、コストは1/2 ~ 1/3に削減されるとしている。

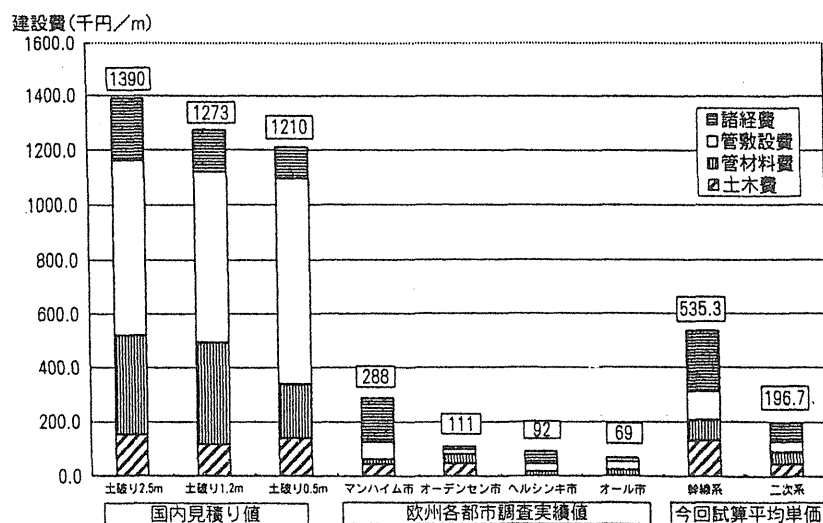


図 0.33 熱供給管建設費比較

0-4-3 エコエネ都市プロジェクト (NEDO) 文献 14) 文献 15)

エコエネ都市プロジェクトは、地球的規模で対応が必要なエネルギー・環境問題に対し、技術的ブレークスルーによる解決を目指すため、通産省工業技術院がこれまで実施してきたエネルギー分野に関するサンシャイン計画と ムーンライト計画、および地球環境に関する技術開発制度を統合し、平成5年度より新たに発足させた「ニューサンシャイン計画」(エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画)の一環で、平成5年度から、平成12年度までの8年間のプロジェクトである。具体的には、1次エネルギー供給の6割以上にも相当する未利用の低温都市排熱を回収し、有効利用するエネルギーネットワークの構築を目指し、システムを構成する革新的な要素技術の研究開発をすすめるものである。テーマは大きく分けて、排熱回収・エネルギー変換技術、エネルギー輸送技術、エネルギー貯蔵技術、熱利用技術、計測技術、環境負荷低減技術、システム化技術に分かれており、各テーマのもと30社以上の企業が参加している。

このプロジェクトで目指しているエネルギーネットワークは、様々な温度レベルの排熱を効率よく回収し、上手に利用するというのが目的であり、排熱の回収には化学反応の吸熱反応を用い、利用側では同様に化学反応の発熱反応を利用するというものである。

このプロジェクトは、平成12年度で一応の成果を出すことになっていることから、各要素技術の開発においては、現在実証試験の段階にあるものが多い。しかし、当初の環境目標値の達成が困難な状況になっているものもある。また、これらの要素技術を組み合わせて現在の都市に導入していくためのシステム化技術の開発に関しては、このプロジェクトが「エネルギー・環境問題に対する技術的ブレークスルーによる解決」を目指すものであり、都市の特性やニーズといったものとは別次元のシーズ(技術)のみの開発である為に、システム化してすぐに都市に落としこむのは極めて難しい状況にある。

また、「省エネルギー性」や「環境負荷削減」が重視されていることから、システム全体の柔軟性に欠ける点も感じられる。例えば、ネットワークによりエネルギーを搬送するときの熱媒として、水素やメタノールを想定しているが、安全性の問題や、水熱媒の場合には防火用水としての機能も担えることなどを考えると、高効率なだけに一目的な環境装置になりかねないところが懸念される。

しかし、このプロジェクトによって省エネルギーや環境負荷削減に関わる革新的な技術開発がなされることから、都市の特性を十分に調査し、都市に導入する環境システム、省エネルギーシステムとしてどのような技術が求められているかといった、ニーズを明らかにしていくことによって、現実の都市の中にもエコエネ都市システムが実現可能になると思われる。

本論文研究は、既存の技術のみで古典的なエネルギー供給について進めているが、これらの新しい開発技術を採用することによって更に良いシステムも生れ出るものと期待される。

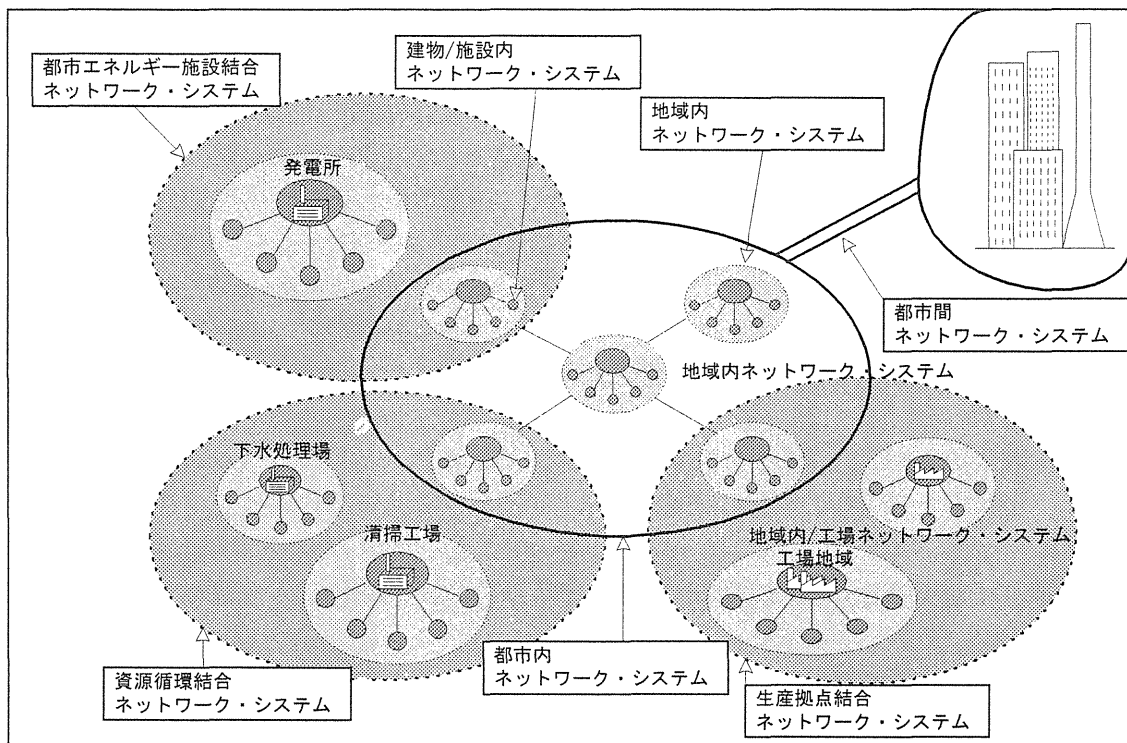


図 0.34 エコエネ都市の構成

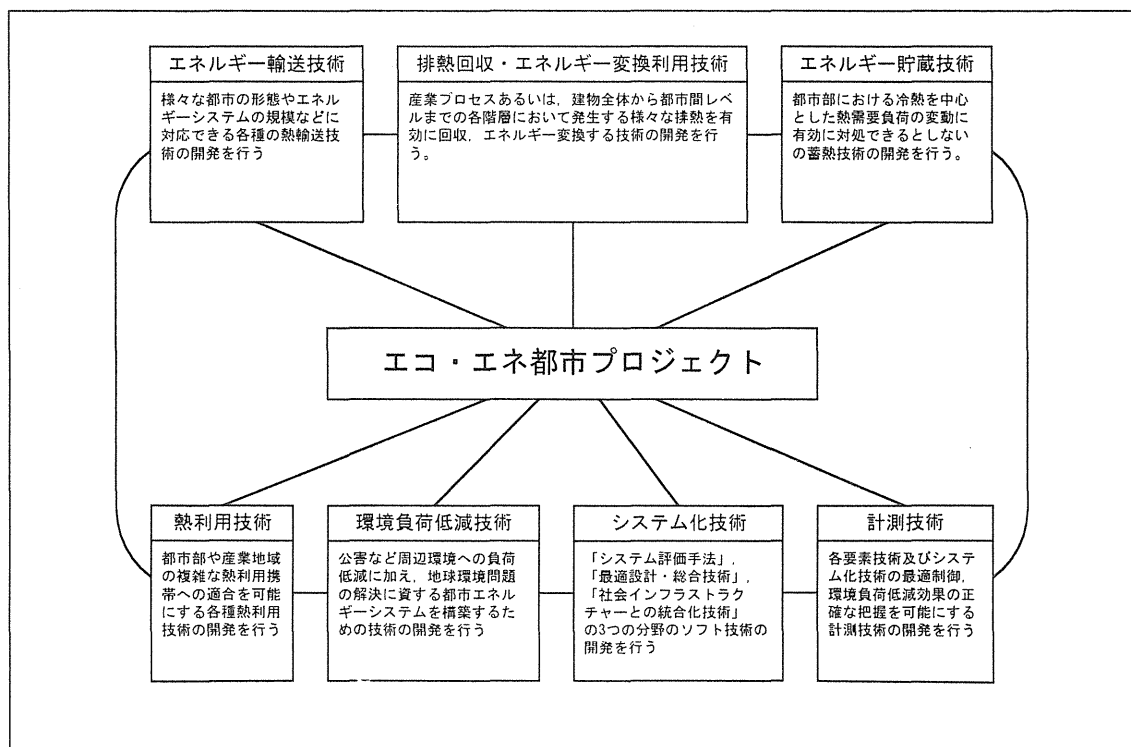


図 0.35 エコエネ都市の実現を支える技術分野

0-5 研究の目的と位置付け

本章で前述の通り、日本の地域冷暖房も欧州のように都市全体に普及はしていないものの成熟しつつある段階で、規制緩和や地球環境問題など社会の動向からも、地域冷暖房にさらに大きな役割が期待されていることがわかった。特に、1997年12月に京都で開催されたCOP3（第3回気候変動枠組み条約締約国会議）で決定した、「2010年までに、CO₂をはじめ地球温暖化ガスの排出を1990年レベルの6%削減する」という目標を、社会全体の問題として考えたとき、都市排熱などの未利用エネルギーを近年エネルギー需要が増えている民生部門に対して供給利用することは、非常に重要なことである。

本論文研究では、このような視点に立ち、都市排熱の利用可能性を検討するとともに、北欧で見られるような広域熱供給ネットワークシステムに注目し、日本の気候風土に合ったシステムのあり方を検討する。また、そのような広域熱供給ネットワークが導入可能な都市はどこにあるのか、どの都市から優先的に導入を図っていくべきなのかについて明らかにすることを目的とする。

建設省の「都市熱源ネットワーク構想」の実現可能性も高まってきており、本論文研究の成果は、社会に十分に役立つものと考ええる。

また、本研究をすすめるにあたり、「公共性」というキーワードを掲げたい。「公共性」とは、広く一般に利用され役に立つものと定義されるだろう。従来「公共性」の立場で公共事業として行われてきたものは、道路や鉄道などの交通関係の整備や、下水道や水道などの公衆衛生、利便性に寄与する都市インフラストラクチャーが挙げられる。一方、電力事業やガス事業は公益事業として、国や公共団体の保護や指導のもとで行われてきている。地域冷暖房事業も1972年の熱供給事業法の成立により、「第3の公益事業」となったが、中心市街地の一部の地域を対象にした事業であるため、「公益性」が保証されているとはいえないのが現状である。本当の意味で地域冷暖房事業が「公益性」のある施設として社会に認知されるには、さらなる普及、啓蒙活動が必要である。本論文研究で提案する「広域熱供給システム」は、都市の未利用エネルギーや排熱を利用することで、安価で便利な地域冷暖房事業を普及させていくもので、「公益性」を保証させる「公共性」の高いシステムである。特に、広域的なネットワークは、従来利用でき得なかった都市排熱を利用可能な（効率的に利用しやすい）地域まで持ってくるものであることから、省エネルギーに大いに寄与すると考えられる。これからの「地球環境時代」の「公共性」という意味で、広域熱供給システムを考えていくものとする。

参考文献

- 1) 社団法人日本地域冷暖房協会,「地域冷暖房のあゆみ」, 1995 年
- 2) 社団法人日本地域冷暖房協会,「地域冷暖房技術手引書 (改訂第 3 版)」, 1997 年 6 月
- 3) 佐土原聡他,「日本全国の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第 510 号, P.61 -, 1998 年 8 月
- 4) 白珉浩他,「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, 第 523 号, P109 -, 1999 年 9 月
- 5) 渡辺健一郎他,「東京都区部における熱供給ネットワークの可能性に関する研究, その 1～その 8」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991 年～1995 年
- 6) 下田吉之他,「都市未利用の活用可能性評価手法に関する研究第 2 報 - 未利用熱源水ネットワークの省エネルギーポテンシャル - 」, 空気調和・衛生工学論文集, 第 67 号, 1997 年 10 月
- 7) 建設省都市局街路課,「都市熱源ネットワーク」, パンフレット, 1999 年
- 8) 東京都都市局,「平成 8 年度都市熱源ネットワーク整備基本計画調査報告書」, 平成 9 年 3 月
- 9) 東京都都市局,「平成 9 年度都市熱源ネットワーク整備基本計画調査報告書」, 平成 10 年 3 月
- 10) 国土庁大深度地下利用研究会編,「大深度地下利用の課題と展望 - 臨時大深度地下利用調査会答申の解説 - 」, 平成 10 年 10 月, ぎょうせい
- 11) 近畿通商産業局, 株式会社日建設計,「平成 7 年度新エネルギー導入促進基礎調査,『防災及び環境調和型広域共同熱供給システムの調査』委託業務報告書『広域共同熱供給システム構想 - 神戸市域における広域共同熱供給システムの検討 - 』」, 平成 8 年 5 月
- 12) 都市高度化推進調査会, (財)北海道地域総合振興機構 (はまなす財団),「ふゆ未来 2010 - 新北方型都市整備プラン - 」, 平成 8 年 10 月
- 13) 藤原陽三他,「多雪寒冷都市における広域地域熱供給システム導入についての検討」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997 年 9 月
- 14) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO),「新しい都市エネルギーシステムの構築に向けて - エコエネ都市プロジェクト推進の基本的方向 - 」, パンフレット, 1995 年
- 15) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO),「第 17 回事業報告書」, 平成 9 年 9 月
- 16) 日本建築学会都市設備・環境管理小委員会総合都市インフラ SWG,「総合都市インフラ連続シンポジウム第 1 回, 都市における広域熱供給ネットワークの展望」, 1999 年 7 月 13 日

第 1 章

広域熱供給システムの構築に関する理論研究

目 次

- 1-1 概要
- 1-2 北欧の広域熱供給システムの「公共性」に関する調査分析
 - 1-2-1 フィンランド・ヘルシンキ市の広域熱供給システム
 - 1-2-2 デンマーク・コペンハーゲンの広域熱供給システム
 - 1-2-3 ドイツ・ベルリン市の広域熱供給システム
 - 1-2-4 北欧の広域熱供給システム調査研究のまとめ
- 1-3 北欧との比較による日本における広域熱供給システムの課題
- 1-4 本研究における広域熱供給システムの考え方
- 1-5 結論

第1章 広域熱供給システムの構築に関する理論研究

1-1 概要

本章では、世界の熱供給、特に北欧諸国の都市で行われている広域熱供給ネットワークに関する調査をもとに、比較分析を通して日本独自の「システム」のあり方、構築の手法、課題の抽出などの検討をおこない、本研究で取り扱う「広域熱供給システム」の考え方を提示する。

具体的には、「広域熱供給システム」の果たすべき効果、役割などを考え、その「公共性」の部分に注目して研究をすすめる。北欧都市の広域熱供給ネットワークに関する調査においても、広域熱供給ネットワークを整備する、あるいは運営するために自治体などが「公共的」にどのような様にかかわっているか、また、広域熱供給ネットワークがどのような様に「公共」社会に貢献しているか、についても分析をする。

1-2 北欧の広域熱供給システムの「公共性」に関する調査分析

本節では、広域熱供給に関しての先進的事例として北欧の都市、フィンランド・ヘルシンキ市、デンマーク・コペンハーゲン市、ドイツ・ベルリン市における広域熱供給システムを取り上げ、現地での関係者へのヒアリング調査、および収集した資料の分析を行う。

調査分析において、以下の点を明らかにする。

- ①国や地方自治体が「公共的」に如何に広域熱供給システムにかかわっているか。
- ②広域熱供給システムが社会の中で如何に位置付けられているか。
- ③広域熱供給システムが成立するための社会的条件は何か。

1-2-1 フィンランド・ヘルシンキ市の広域熱供給システム

(1) 成立と発展の経緯

ヘルシンキで始めて地域熱供給が行われたのは1952年で、このときは工業用の蒸気が供給された。また、この地域熱供給がフィンランドにおける地域熱供給の最初である。1957年には、始めて温水での地域熱供給が開始され、以降は温水による地域熱供給となっている。熱併給発電（CHP）は、1960年にHanasaari発電所で開始されたのが始まりで、現在はHanasaariの他、Salmisaari, Vuosaariの3つのCHPがあり、地域熱供給の87.7%、5854.4GWh（5034.8Tcal/年；1997年）を賄っている。

地域熱供給の事業主体は、ヘルシンキ市所有のヘルシンキエネルギー公社（Helsinki Energy）で、電力生産、電力供給、熱生産、熱供給、天然ガス供給の事業を総合的に行っている。従来から、電力や水などのエネルギーを地方自治体の公共サービス一つとして位置付けており、熱供給もその一つとして整備され発展してきている。また、地方自治体が母体の公社ということで、近年の省エネルギーや地球環境問題への取り組みとも重なって、都市全体で効率的なエネルギーシステムを構築できるような社会システムとなっている。

(2) 現在のシステム

① 概要

1997年時点でのヘルシンキエネルギー公社所有の発電、及び熱供給の設備能力を、**表 1.1**に示す。**表 1.1**にあるように、ヘルシンキエネルギー公社は、大規模なCHPプラントを3箇所所有しており、省エネルギーと環境保全を理由に、ヘルシンキ市のエネルギー供給に対して、CHPを基本にしている。したがって、熱製造設備能力の約46%をこれらCHPプラントが占め、実際の年間製造熱量では約87.7%を賄っている（**図 1.2**）。

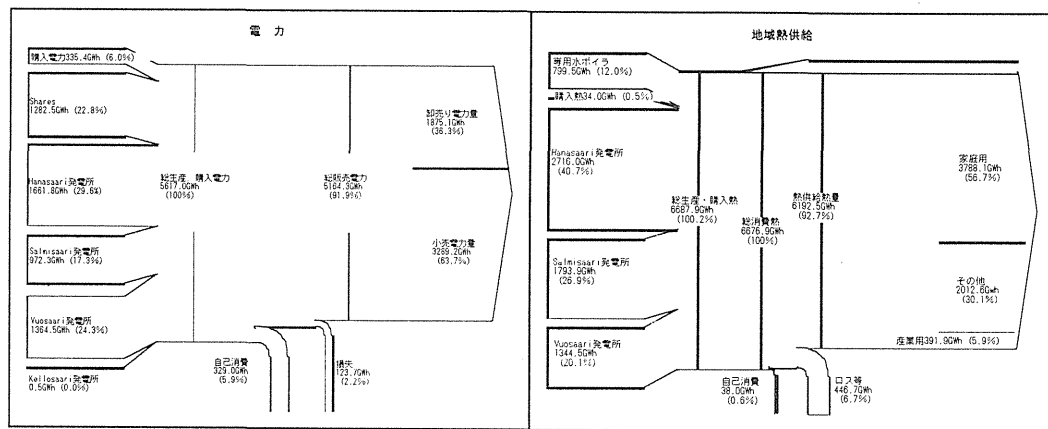


図 1.2 ヘルシンキ市のエネルギーフロー(1997 年現在)

表 1.1 ヘルシンキエネルギー公社の設備能力(1997 年現在)

	電力	熱
Hanasaari 発電所	370MW	455MW (391.3Gcal/h)
Salmisaari 発電所	160MW	460MW (395.6Gcal/h)
Vuosaari 発電所	630MW	580MW (498.8Gcal/h)
ガスタービン発電所	118MW	
地域暖房プラント		1,770MW (1522.2Gcal/h)
系統連携 ;		
水力発電所	47MW	
石炭火力発電所	17MW	
原子力発電所	101MW	
その他地域暖房プラント		37MW (31.82Gcal/h)
合計	1480MW	3,265MW (2,807.9Gcal/h)

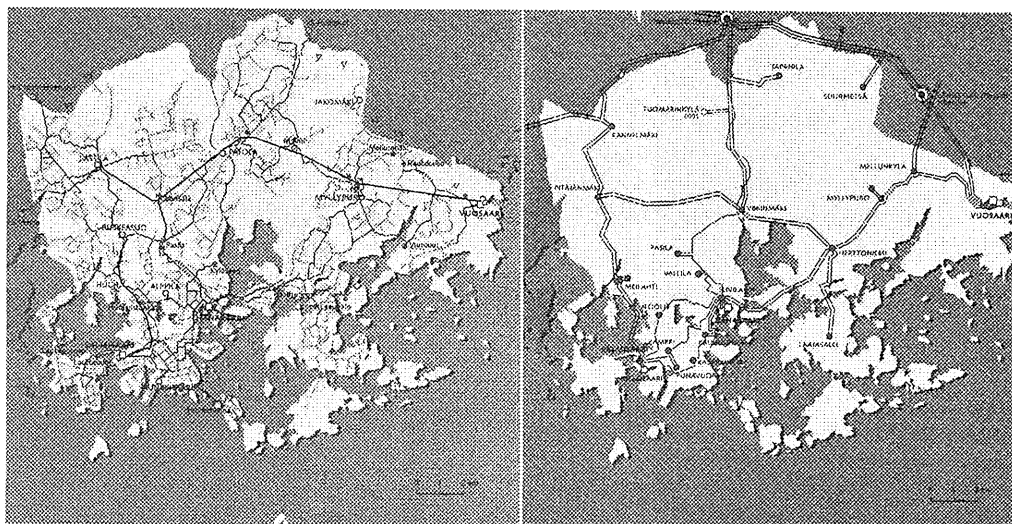


図 1.3 ヘルシンキ市のエネルギーネットワーク(1997 年; 地域熱供給-左, 電力-右)

② Vuosaari-B 熱供給発電所

ヘルシンキエネルギー公社は現在、市全体の電力需要すべてと、熱需要の 90%以上を賄っている。また、市中心部の大きな重油消費を改善するために、産業用の天然ガスの供給もしている。

エネルギー需要の増加と、古くなった石炭火力発電所のリプレースプログラムに際して、ヘルシンキエネルギー公社は Vuosaari-B というガスタービン・コンバインドサイクルの熱供給発電所を、市中心部から東北東へ約 18km 離れたロシアとの国境付近に建設した。Vuosaari-B プラントは、北欧で最大級のコンバインドサイクル発電所で、463MW の電力と 416MW (358Gcal/h) の地域熱供給用の熱を生産する能力を持っている。

従来は石炭がヘルシンキの主要な発電燃料であったが、1997 年に Vuosaari-B プラントが稼動開始することによって、天然ガスのシェアが 45%になった。

隣接する Vuosaari-A プラントは、160MW (138Gcal/h) の熱供給能力を持つ、コンバインドサイクル発電所で、1991 年 2 月に稼動を開始した。

これら Vuosaari 発電所の立地に際しては、以下のような理由から決定がなされた。

- ヘルシンキエネルギー公社の他の発電所が全て市の中心部近くにある。
- 今後市の東側の開発が進むことが予想され、新しく生まれる熱消費者に近いところに立地する必要がある。
- 住宅地区から最低でも 1km は離れたところに立地する必要がある。
- 復水発電モードの際に必要な冷却水を確保できる必要がある。

Vuosaari-B プラントは天然ガス燃料の 2 台のシーメンス社 V94.2 ガスタービンから構成される、典型的なコンバインド発電サイクルである。(図 1.4) ガスタービンの燃焼排ガスは、ユニットごとに 2 台の排熱回収ボイラ (HRSG ; Heat Recovery Steam Generator) に回収され、そこで作った蒸気で 1 台の ABB 社の蒸気タービンをまわして発電している。ガスタービン出力は 318MW、蒸気タービンの出力は 145MW である。

蒸気タービンは、クラッチによって低圧タービンが切り離されるようになっている。通常熱供給時は、このクラッチが切られ、抽気背圧タービンの形になっている。クラッチをつなぐと、海水を冷却水とする復水タービンの形になる。

このプラントは地域暖房ネットワークに 416MW (358Gcal/h) の熱を供給している。地域暖房ネットワークの需要家から 45℃で帰ってきた還水は、まず最初に排熱回収ボイラの末端にある低温水エコマイザーで加熱されてから、蒸気タービン背圧蒸気を用いた地域暖房熱交換器へと送られる。蒸気タービンの背圧蒸気は 2 段階でその温水を加熱する。加熱された温水は、排熱回収ボイラの高温水エコマイザーを通して 85℃でネットワークに供給されている。

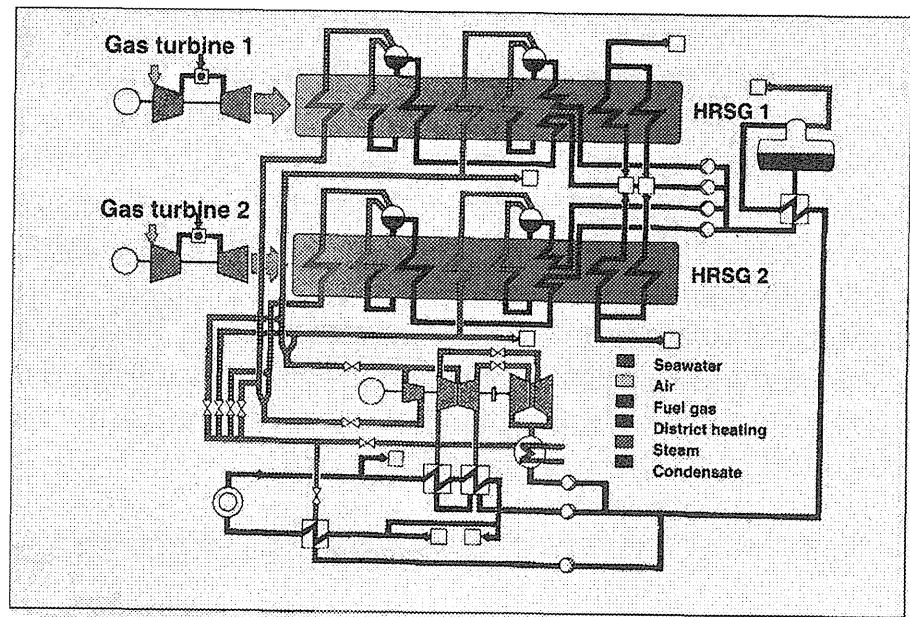


図 1.4 発電所のプロセスフロー

③ Utility Tunnel

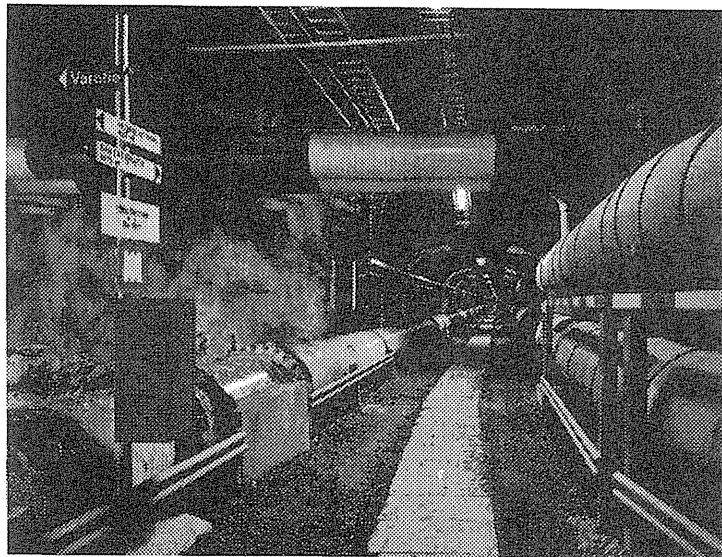


図 1.5 Utility Tunnel の内部写真

Utility tunnel は、ヘルシンキ市の地域熱供給の広域ネットワーク幹線である。Utility Tunnel は地域熱供給幹線としての機能だけでなく、地域熱供給用ポンプ所、上水供給管、電力ケーブル、その他のケーブルを収めた共同トンネルである。

1981 年、市の様々な局が共同で検討作業を開始し、1982 年から本格的な建設が始まった。最初の Utility Tunnel は、Salmisaari から Ruskeasuo までの 6.4km で、1982 年から 1984 年に建設された。次に、Hanasaari から Sornainen、さらに Kruunuhaka までの 4.1km が、1987 年から 1990 年に建設された。

その後、ヘルシンキ市の東端に Vuosaari 発電所が建設されることとなり、また都市開発が北方や東方に拡大してきたことから、Vuosaari から市中心部へ接続する

Utility Tunnel の建設が必要となり、Vuosaari から Pasila まで（途中 Lassila へのルートも含む）の 21.7km が建設された。この Vuosaari-Pasila Utility Tunnel はアクセスのためのトンネルやシャフト部分も含めると、総延長で 25.1km にも及ぶ長距離トンネルである。

ヘルシンキ市を含め、フィンランドの南部一帯は、なだらかな丘陵地形で Red Rock と呼ばれる岩盤で覆われている。この岩盤は浅いところでは地表面に顔を出し、深いところでは地表面から 20m 以上も下にある。

Utility Tunnel の建設において、掘削工事にはドリルと爆破という手法が用いられ、補強のために壁面にセメントを吹き付け、アンカーボルトで壁面の固定が行われた。なお、このプロジェクト全体のコストは 45000 万 FIM（約 108 億円）、1 メートルあたりのコストは 21,000FIM（約 504,000 円）である。

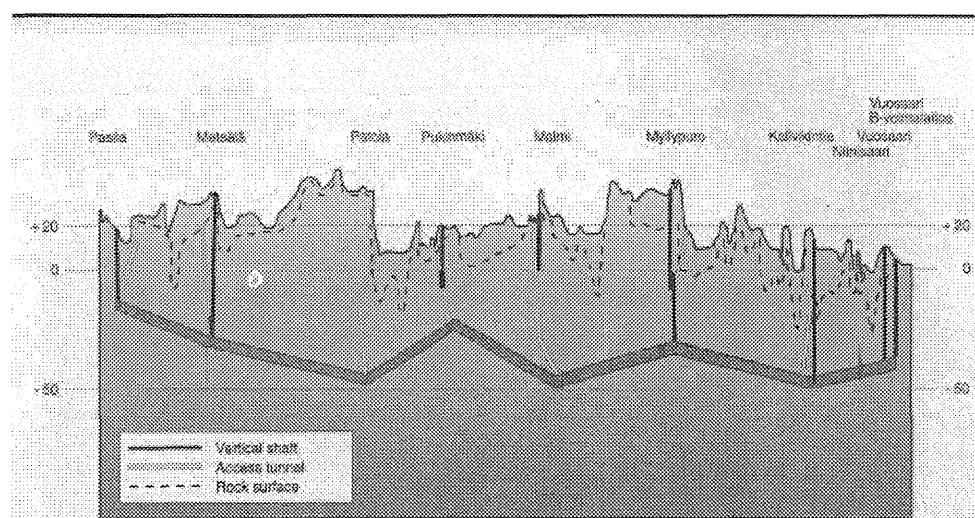


図 1.6 Utility Tunnel(Vuosaari-Pasila 間)のルート断面

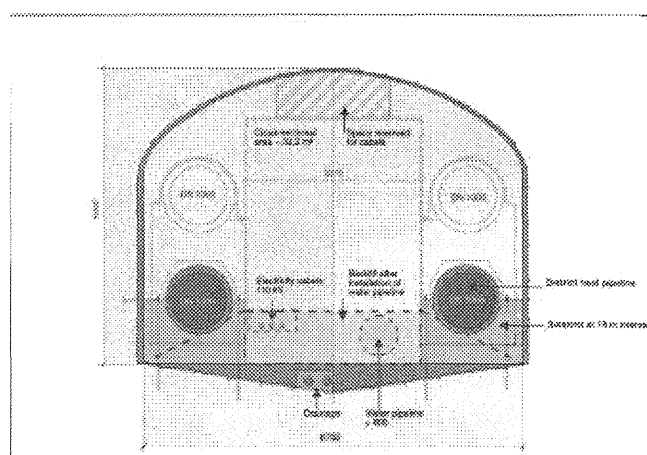


図 1.7 Utility Tunnel の断面

(3) 現在と将来の計画

現在ヨーロッパ諸国においては、EU 統合に向けた様々な取り組みが盛んに行われてきており、エネルギー市場の自由化の影響を受けてスウェーデンの水力発電による安価な電力の輸入が増加してきている。また、省エネルギーや CO2 排出量削減などの地球規模の環境問題に対処するため、化石燃料から天然ガス、さらには太陽光発電や水力発電などの自然エネルギーの利用へと燃料の転換が図られてきている。

ヘルシンキ市の熱供給を含めてエネルギー供給全般を行っているヘルシンキエネルギー公社もこれらの流れを受けて、現在は市の公社という運営形態であるが、民営化の方向に進むと考えられる。また、現存する石炭火力発電は全て、省エネルギーで環境負荷の少ない天然ガス利用のガスタービンコンバインドサイクル発電に転換していく計画である。

また、現在は Utility Tunnel に地域熱供給管が 2 本しか設置されていないが、Road Heating の計画もあり、需要の増加などにより増設の可能性もある。

1-2-2 デンマーク・コペンハーゲンの広域熱供給システム

(1) 成立と発展の経緯

コペンハーゲンでは、多くのローカルな地域暖房システムが地域熱供給幹線（トランスミッションライン）に連結されており、順次拡張が進められている。事業主体は、熱製造、熱搬送、熱販売で別々の会社となっているが、これは既存の小規模の民営熱供給事業者が、オイルショック後の政府の CHP 推進政策などにより、熱の購入・販売のみを行う事業体へ転換し、これらをネットワーク化する形で熱製造会社・輸送会社ができただけである。

コペンハーゲン周辺地区の地域熱供給に関して、熱の輸送、販売を行っているのが CTR (Metropolitan Copenhagen Heating Transmission Company) 社である。CTR 社は、コペンハーゲン周辺にある 5 つの自治体が設立した熱輸送・販売会社である。また、CTR 社のトランスミッションラインの西側には、VEKS 社のトランスミッションラインが東西に約 20km 伸びている。

CTR 社は、コペンハーゲン周辺の 5 つの自治体、(Frederiksberg, Gentofte, Gladsaxe, Copenhagen, Taaenby) が共同のトランスミッションカンパニー設立のための委員会を発足し、1984 年 2 月 29 日、CTR 共同基金をもとに会社が設立された。その後、ゴミ焼却場の排熱利用熱製造プラントや CHP から、各自治体のローカル地域熱供給ネットワークへ、効率良く熱を搬送するトランスミッションラインの建設を始め、合わせてピーク時専用の熱製造プラントの整備を行ってきた。現在、トランスミッションラインの総延長距離は 53.7km にも及ぶ。CTR 社の業務内容は以下の通りである。

- ・ CHP プラント、ゴミ焼却排熱利用熱製造プラントから熱を購入する。
- ・ ピーク負荷時専用のボイラステーションを整備し、運転管理する。
- ・ 購入した熱をトランスミッションネットワークを通して搬送する。
- ・ 熱を 5 つの関係自治体のローカル熱供給ネットワークに供給する。
- ・ 相互接続した VEKS 社のネットワークに熱を販売する。

(2) 現在のシステム

① 概要

年間を通してベース負荷に対しては、ゴミ排熱と熱併給発電所からの熱をトランスミッションラインを通して供給しており、ピーク負荷対応として 25 ヶ所のピークロード用のボイラを有している。年間熱供給量のうちゴミ排熱 17%、CHP は 63%である。また、Heat Accumulator という 44,000m³の熱供給ネットワークの大蓄熱槽を有しており、ここから供給される熱量は年間供給熱量の 3%を占める。トランスミッションラインの熱供給温度は、行きが 70~90℃（特に寒いときは最高 100℃）、戻りが 40~45℃である。また、西に隣接するトランスミッションカンパニーVEKS 社のネットワークとも相互接続しており、熱媒の供給温度、供給圧力を同じにしてある。CTR 社の地域熱供給幹線（トランスミッションライン）の総延長距離は、53.7km である。

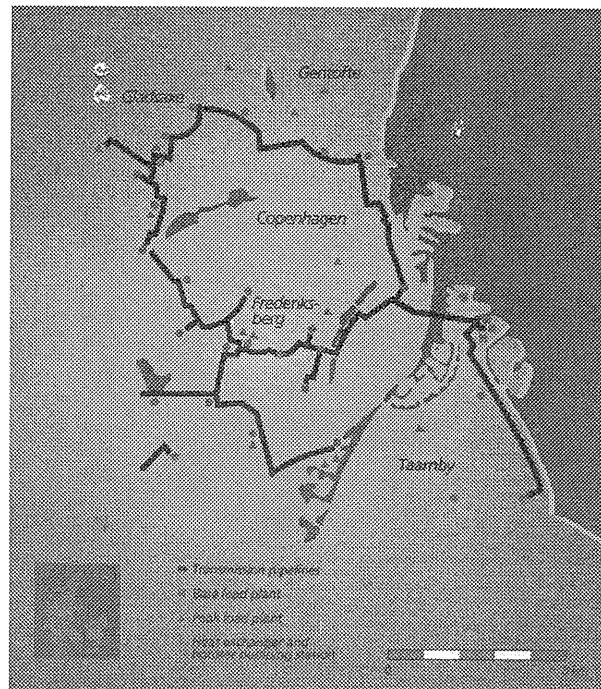


図 1.8 コペンハーゲンの地域熱供給ネットワーク

表 1.2 CTR 社職員内訳

従業員内訳（人；1997 年）	
CTR 運営	17
CTR コントロールルーム職員	8
自治体協力職員	26
コンサルティング契約職員など	9
合計	60

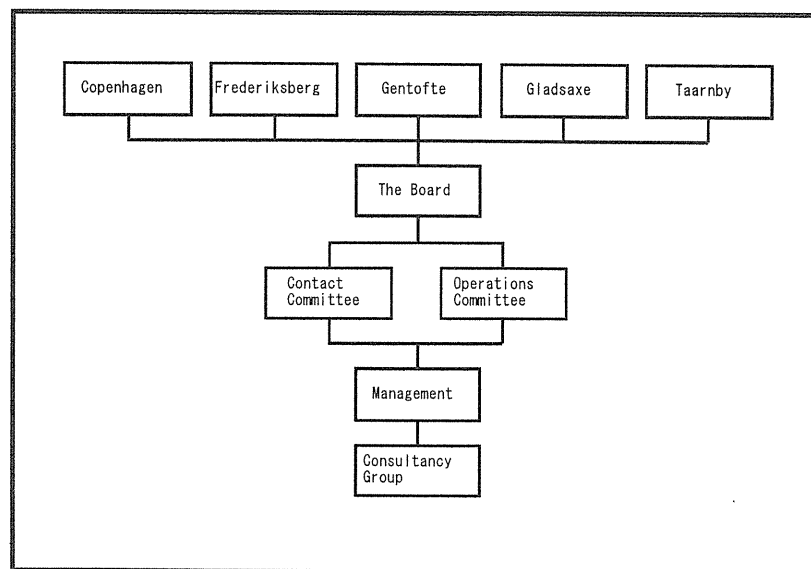


図 1.9 CTR 組織図

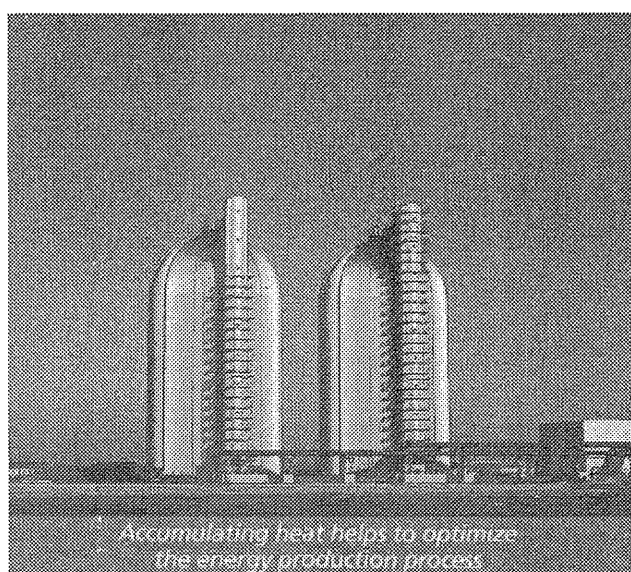


図 1.10 Heat Accumulator

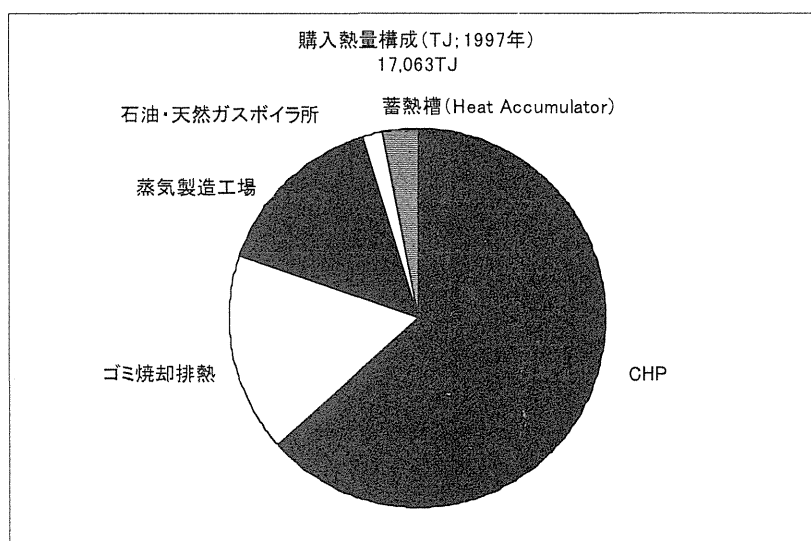


図 1.11 CTR 社の購入熱量構成

表 1.3 コペンハーゲン周辺地区の熱製造設備能力

	熱製造能力 (MJ/s)	発電出力 (MW)
Amager CHP プラント 1	190	136
Amager CHP プラント 1	190	136
Amager CHP プラント 1	330	250
Avedoere CHP プラント	330	250
I/S Amager ゴミプラント	60	20
I/S Vest ゴミプラント	105	
その他ゴミプラント	64	
蒸気工場	200	
天然ガス・石油焚火・ボイラ	1,219	
Heat Accumulator	330	

表 1.4 CTR 社の概要

収支 (DKK million)	1997 年	1996 年	1995 年	1994 年	1993 年
熱販売額	1,074.0	1,053.3	895.2	903.3	828.6
熱購入額 (ポンプ動力含む)	665.6	683.7	543.4	421.9	389.3
運営費	408.4	369.6	351.8	481.4	439.3
寄付金割合 (%)	38.0	35.1	39.3	53.3	53.0
それ以外の運営コスト	58.3	57.5	42.5	48.1	76.4
建設コスト	24.8	22.4	134.6	39.9	8.6
利子支払い	153.6	141.7	140.1	157.0	160.8
減価償却・分配前の決算	176.1	177.0	175.1	278.1	205.5
減価償却・分配額	-174.8	-160.0	-135.1	-179.4	-139.0
最終決算額	1.3	16.9	40.0	98.0	66.5
平均熱供給単価 (DKK/GJ)	64.00	62.00	60.00	65.00	64.00
累積赤字額	684.0	685.3	702.3	742.2	841.0
累積収支	2,015.3	2,187.5	2,137.1	2,351.4	2,501.2
累積長期借入金	1,666.8	1,830.6	1,781.4	2,022.3	2,228.3
統計	1997 年	1996 年	1995 年	1994 年	1993 年
熱販売量 (TJ/年)	16,282	17,396	14,836	13,416	12,994
うち加入自治体へ	15,544	16,464	14,372	12,856	12,404
VEKS への熱売却量	738	932	464	560	590
購入熱量 (TJ/年)	16,526	17,459	14,969	13,531	13,291
ゴミ焼却排熱	2,890	2,429	1,629	1,725	1,579
CHP	10,804	10,839	11,027	10,578	10,705
蒸気工場	2,561	3,597	2,091	1,188	963
石油・天然ガスボイラ	271	594	222	40	44
熱損失量 (TJ/年)	244	63	133	111	292
熱損失を含めた 年間最終熱消費 (TJ/年)	14,940	14,437	14,064	13,539	13,015
接続工場出力 (MJ/s)					
ベース負荷対応	774	774	774	774	754
中間負荷対応	200	200	200	200	200
ピーク負荷対応	615	565	519	425	425
最大出力 (MJ/s)	1,192	1,183	1,253	1,018	859
熱供給幹線総延長距離 (km)	53.7	53.7	53.7	51.9	51.9
熱供給ステーション数	34	34	34	32	32

② Amager CHP Plant

Amager CHP Plant は、コペンハーゲン中心部から南東に約 4km のところに立地し、3つのユニットからなる発電主力合計 772MW の石炭火力 CHP プラントである。プラント設備としては、ボイラーとタービンの組み合わせた汽力発電システムとなっており、石炭焚きボイラーから送られる蒸気を、高圧、中圧、低圧のタービンで発電を行うと同時に、中圧タービンから抽気して地域暖房用の温水を製造している。

全ての蒸気を発電用にまわした場合、発電量は 250kW となり、効率は 45% であるが、中圧タービンから全ての蒸気を抽気して地域暖房用温水の加熱にまわした場合は、発電量 215kW、温熱製造量 283.8Gcal/h になり、効率は 90% になる。

地域暖房用温水の加熱プロセスは、3 段階の熱交換器によって行われており、1 段目はボイラ給水ポンプ駆動時の排蒸気によって過熱され、2、3 段目は中圧タービンから抽気された蒸気によって加熱されるシステムである。

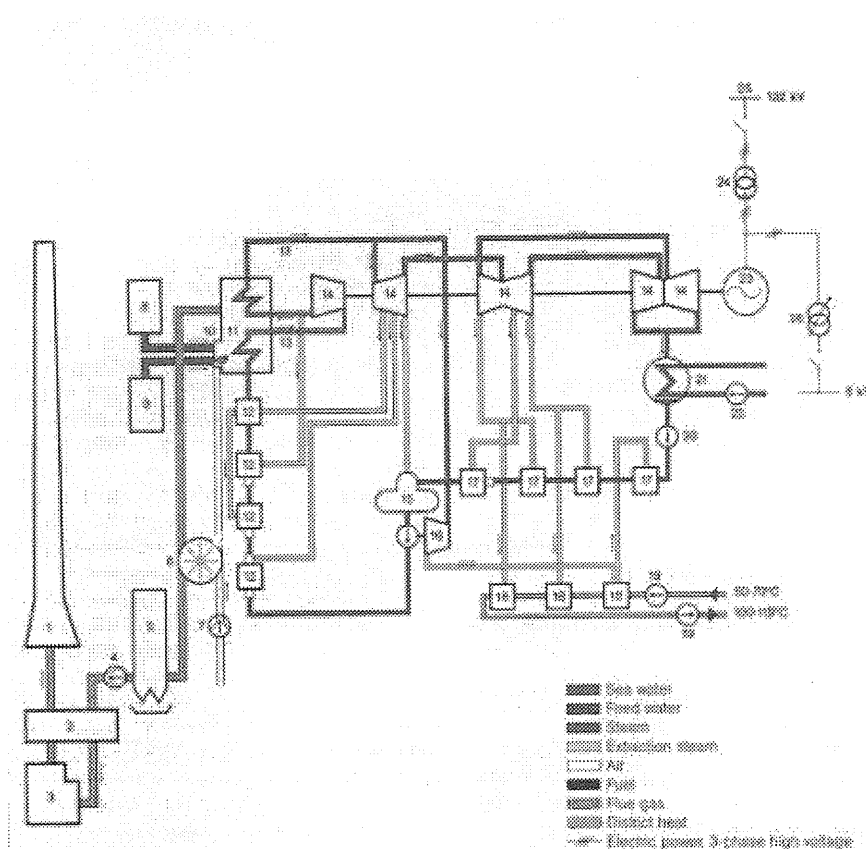


図 1.12 Amager CHP プラントのシステム図

③ 地域熱供給ステーション

Amager CHP プラント (ELKRAFT Power Company Ltd.) のような熱製造会社で作られた温水は、熱搬送会社 CTR 社のトランスミッションラインを経由し、さらに地域の熱供給網へと送られ、最終消費者のもとへ届く。

CTR の熱供給地域内に、このようなローカルな熱供給網は 34 箇所存在し、それぞれトランスミッションラインから熱を購入し最終需要家に分配している。トランスミッションラインのような熱供給幹線を有するコペンハーゲンの地域熱供給ネットワークシステムの利点として、以下のことが挙げられる。

- ・ 熱の製造・搬送・販売を分けることで、それぞれ効率化を図ることが出来る。
- ・ 都心部近くに熱製造のための大掛かりなプラントや敷地を持つ必要がない。
- ・ 熱搬送部分に関しては公共的な意味合いが強く自治体などの補助金で整備が可能である。

地域熱供給ステーションのひとつ Julius Thomsens Plads Heat Exchange Station は、約 2500 m²の公園の地下にあり、CTR 社トランスミッションラインのポンプ所と併設されている。中には、トランスミッションラインの温水と地域の熱供給用熱媒との熱交換器、および地域供給用のブースターポンプがあるだけで、管理室も特別なものはない。

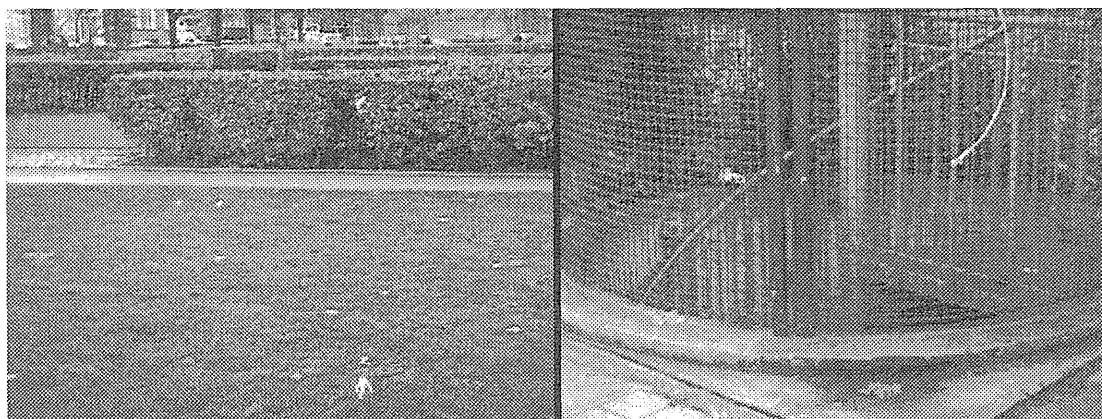


図 1.13 地域熱供給ステーションの上部にある公園とステーション入口

1-2-3 ドイツ・ベルリンの広域熱供給システム

(1) 成立と発展の経緯

ベルリンの地域熱供給は、1898 年、シャロテンブルク工科大学（現在のベルリン工科大学）で導入された蒸気供給ネットワークが最初である。それ以降、現在までの 100 年で、大規模な地域熱供給ネットワークが完成されている。

東西ベルリン分裂時、西ベルリンの電力・熱供給は BEWAG (Berliner Kraft und Licht Aktiengesellschaft; ベルリン電力 (株)) が、東ベルリンの電力・熱供給は EBAG (Energieversorgung Berlin, AG) が行っていた。1990 年東西統一以降、BEWAG と EBAG の人材交流及び東に対する技術移転が積極的に進められ、1994 年に EBAG が BEWAG に編入され現在に至る。また運営形態は、以前は州や市などの自治体が株の大部分を持つ株式会社であったが、現在は株式が民間に売りに出され、民間資本による運営がなされている。

(2) 現在のシステム

① 概要

現在、BEWAG のプラントは、CHP プラントが 13 箇所（発電容量計：3117MW，熱製造能力計：6558MW (5640Gcal/h)）、専用熱プラントが 8 箇所（熱製造能力計：452MW (389Gcal/h)）ある。また、地域暖房における BEWAG のシェアは 28%（旧西ベルリン地区；20.3%，旧東ベルリン地区；41.2%）で、今後 40%くらいまで拡大すると予想されている。

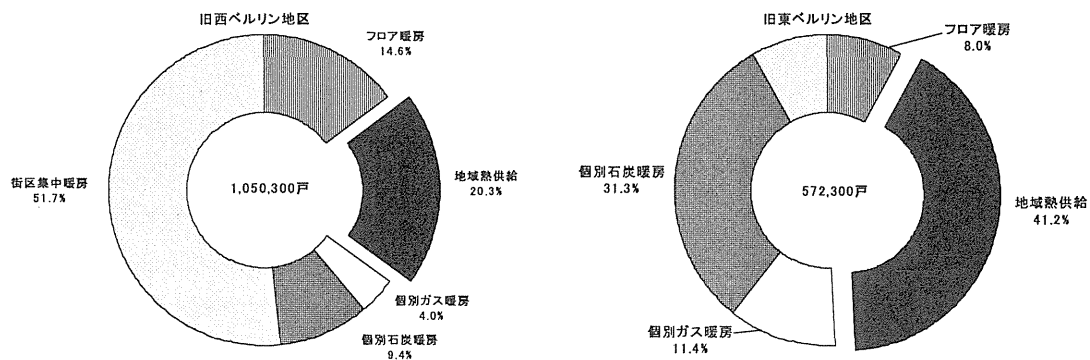


図 1.14 ベルリンの暖房のシェア

BEWAG の使用する燃料は、ドイツ及び隣国のフランスなどで採れる石炭が主で 60%近くを占め、近年増加している天然ガスが約 25%である。また、1 箇所のゴミ焼却場で焼却排熱を地域熱供給に利用している。

表 1.5 BEWAG の所有設備能力(1997 年)

	発電容量 MW	熱製造能力 MW (Gcal/h)
Oberhavel 石炭火力発電所	200	—
Reuter West CHP プラント	600	774 (666)
Lichterfelde CHP プラント	450	651 (560)
Charlottenburg CHP プラント	385	612 (526)
Wilmerdsdorf CHP プラント	280	330 (284)
Reuter CHP プラント	232	299 (257)
Klingenberg CHP プラント	180	1008 (867)
Rudow CHP プラント	175	115 (99)
Moabit CHP プラント	151	136 (117)
Mitte CHP プラント	96	620 (533)
Lichtenberg CHP プラント	72	1382 (1189)
Buch CHP プラント	1	130 (112)
Kopenick 小規模 CHP プラント	10	47 (40)
専用熱プラント (8 箇所)	—	454 (390)
	2,832	6,558 (5640)

表 1.6 BEWAG の使用燃料内訳(単位:石炭換算トン)

	1995 年度	1997 年度
石炭 (Hard Coal)	2742	2858
亜炭 (Lignite)	232	229
石油	630	522
天然ガス	1133	1011

現在の熱需要は、建築物の断熱化、省エネルギー意識の広まり、あるいは東ベルリンの産業構造の変化(2次産業から3次産業へ)などから、旧西ベルリン地区は若干増加傾向にあるものの、ベルリン全体ではわずかながら減少の傾向にある。

地域熱供給配管の敷設方法は、専用トンネル方式や、直埋設方式、高架方式などいろいろあるが、多くは専用トンネル方式である。この専用トンネルの深さは地下18—25mである。旧西ベルリン地区は暖房用温水管、空調・給湯用温水管、かえり管の3管式配管、旧東ベルリンは2管式配管方式となっており、技術的問題から相互接続はなされていない。また、ヘルシンキやコペンハーゲンに見られるような長距離熱輸送幹線(トランスミッションライン)は一部3.4kmしかなく、需要地の中に立地するCHPや専用熱プラントから網の目のようなネットワークが形成されている。地域熱供給ネットワークの総配管長は1,148kmである。

図 1.17、図 1.18 にベルリン地区のネットワーク熱供給温度を示す。3管式配管では、外気温が低くなればなるほど熱供給温度が低くなり、最高110℃最低45℃で供給している。2管式配管でも、外気温が高くなれば供給熱媒温度は低くなるが、給湯負荷にも対応するため、高いレベルの熱媒条件が要求されることから、最高135℃最低85℃で供給している。

供給温度を低く設定するという事は、発電所レベルでの発電出力の低下を抑制することにつながる。

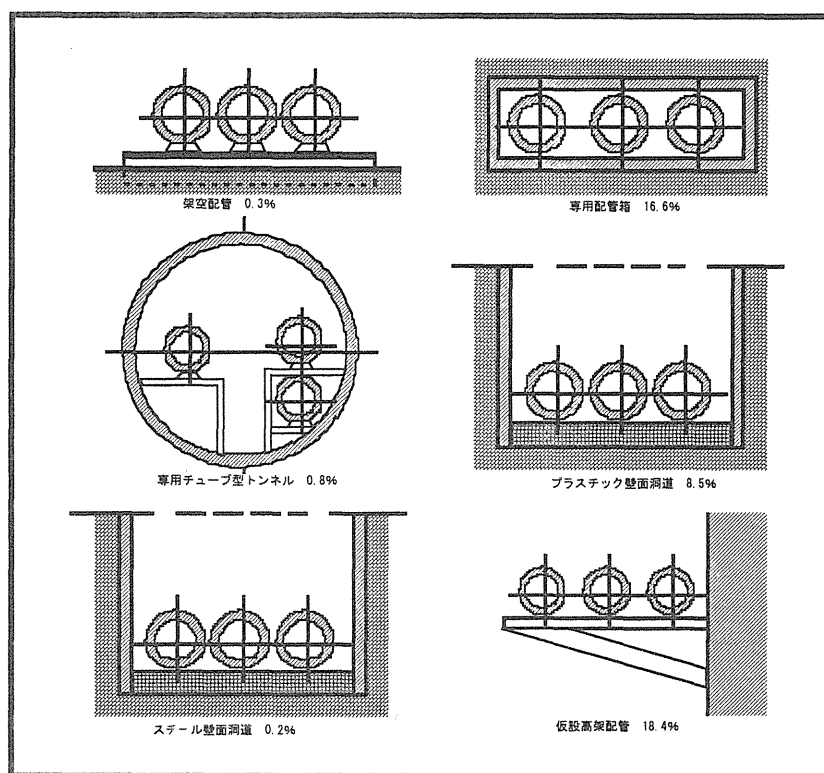


図 1.15 旧西ベルリンの3管式配管

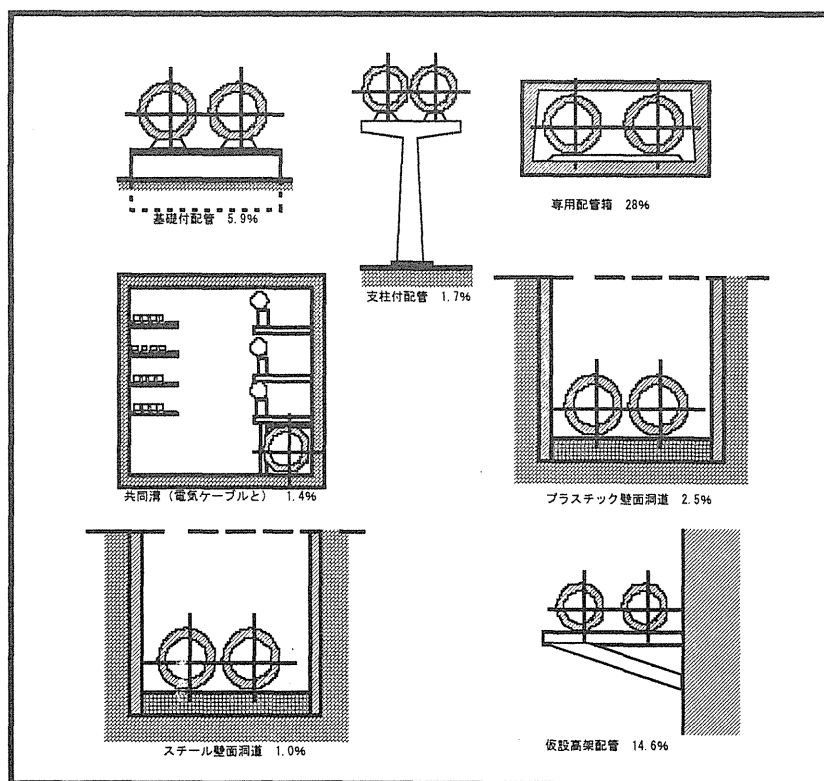


図 1.16 旧東ベルリン地区の2管式配管

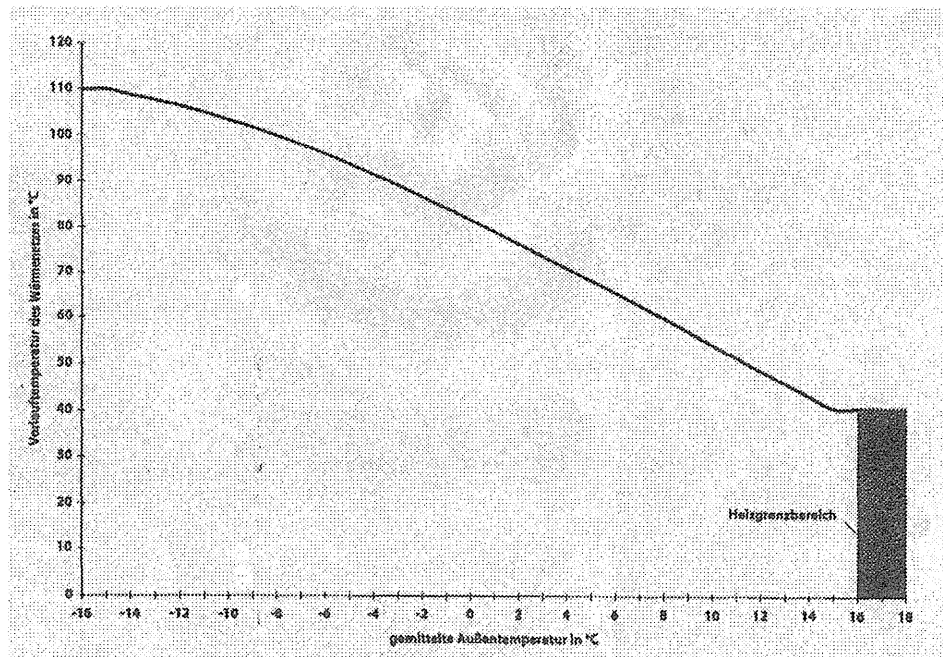


図 1.17 2 管式配管地区の熱供給温度

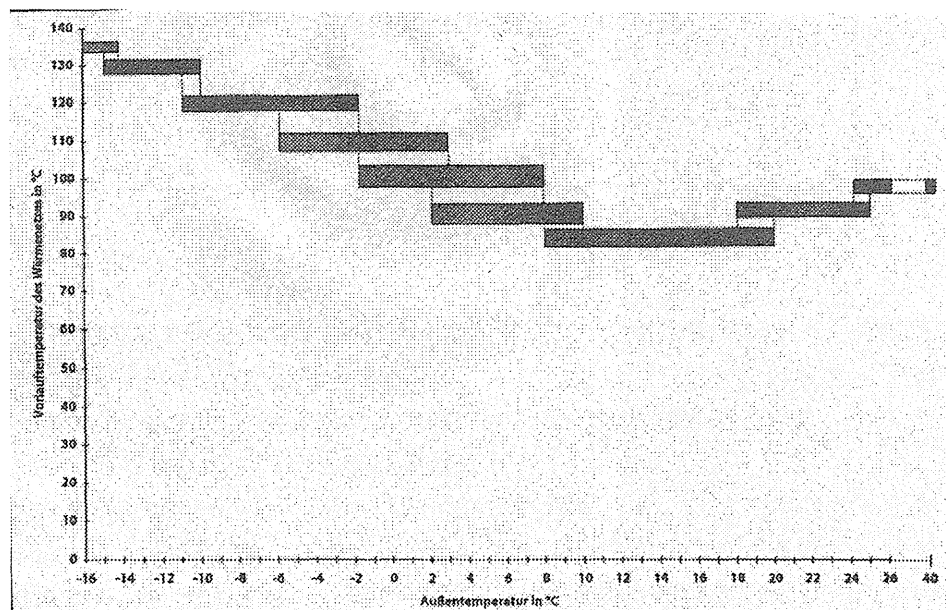


図 1.18 3 管式配管地区の熱供給温度

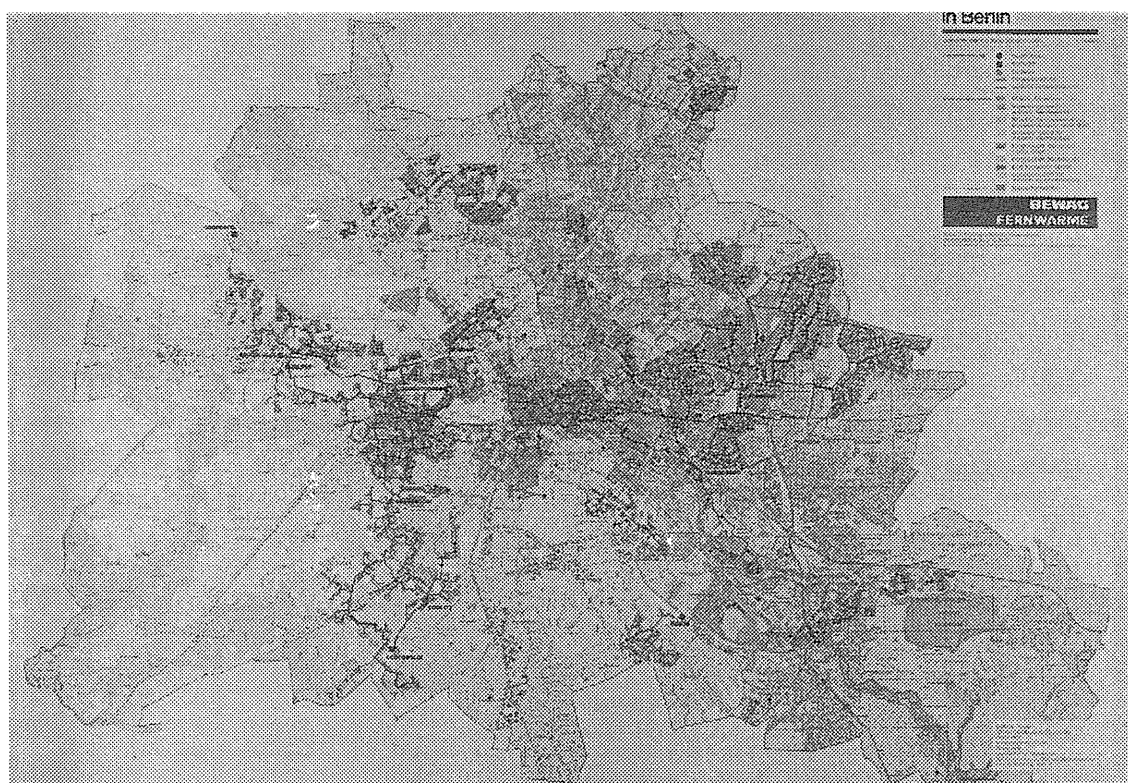


図 1.19 ベルリンの地域熱供給ネットワーク

① MITTE CHP プラント

新しく稼動を始めた MITTE CHP プラントは、ベルリンの中心の東部に立地し、1997 年春に稼動を開始した、近代的で高効率なガスタービンコンバインドサイクルの CHP プラントである。

ドイツ、ベルリンで採用されている CHP プラントのシステムは、①抽気背圧タービンシステム、②ガスタービン+排ガスボイラシステム、③ガスタービンコンバインドサイクルシステム、④ガスエンジン・ブロックタイプシステムの 4 種類ある。(図 1.20)

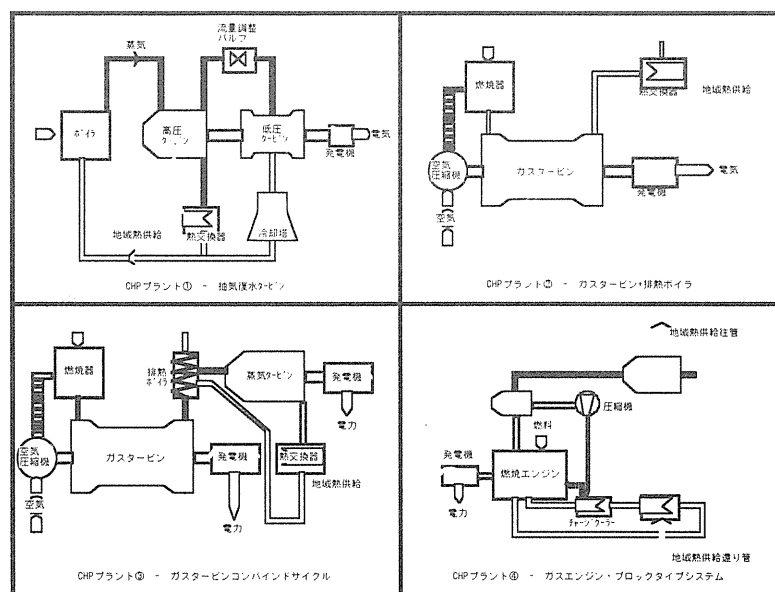


図 1.20 CHP システムの種類

MITTE CHP プラントのリプレースにあたって、大気汚染コントロール、水質保全、騒音規制などに関する法律が、年々厳しくされてきていることを踏まえ、安価なコストで、環境にやさしく、電力と熱を生産するという大目標が設定され、ガスタービンコンバインドサイクルシステムが採用された。

図 1.21 に MITTE CHP プラントのシステム図を示す。ここで採用されたガスタービンコンバインドサイクルシステムは、天然ガスを燃料に、まず圧縮した空気と混合して燃焼させ、2 台のガスタービンを回して発電する。ガスタービンからの排ガスは排ガス回収ボイラに回収され、そこで蒸気を作ることによりエネルギーを効率良く使い切って煙突から大気に排出される。次に、排ガスボイラで作られた蒸気は蒸気タービンに導かれ発電する。この蒸気タービンは、復水器の代わりに熱供給用の大きな熱交換器が設置してあり、熱供給ネットワークから返ってきた 50 - 70℃の水を加熱し、80 - 135℃の高温水を熱供給ネットワークに供給している。

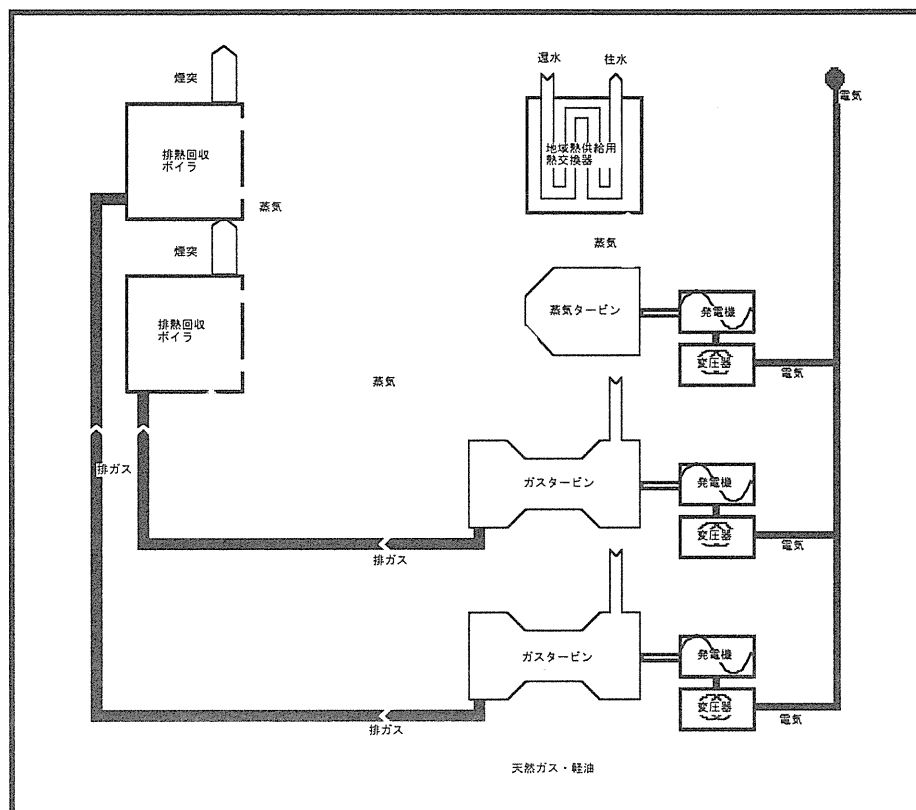


図 1.21 MITTE CHP プラントのシステム図

② 地域熱供給における二次側設備

ベルリンにおける地域熱供給配管方式は、前述の通り、旧西ベルリン地区では3管式配管、旧東ベルリン地区では2管式配管になっていることから、二次側設備においても、その受入方式が異なっている。図 1.22 にベルリンの地域熱供給二次側設備の種類を示す。

3 管式の旧西ベルリン地区の地域熱供給二次側設備は、給湯用の熱交換器があるだけのシンプルなシステムである。

2 管式の旧東ベルリン地区の地域熱供給二次側設備は、給湯用と暖房用の供給管がわかれていないために、給湯製造能力のある比較的高い温度で温水を受入れ、まず 2 段階で給湯用の熱交換を行い、その後の比較的低い温水で暖房を行うシステムとなっている。

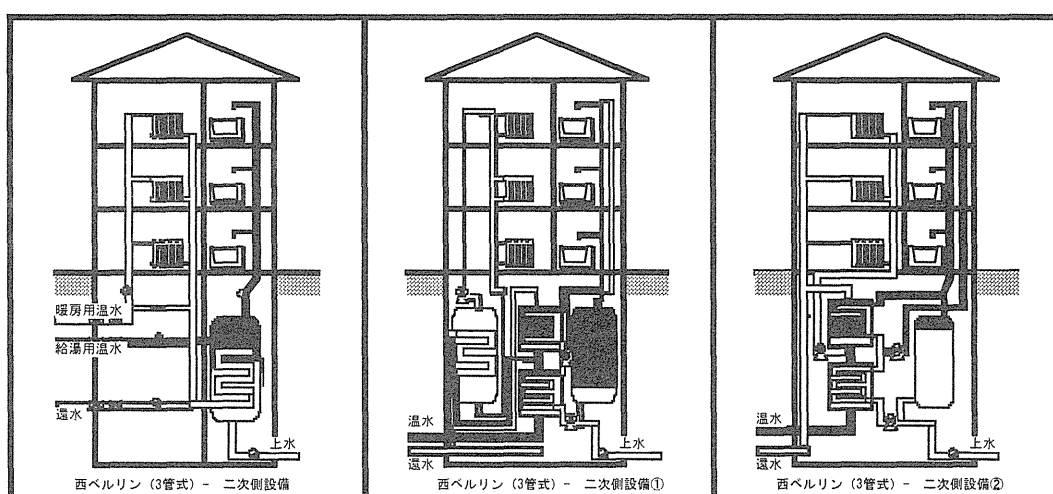


図 1.22 ベルリンにおける地域熱供給二次側設備システム図

③ ポツダム広場における地域冷房の導入

ポツダム広場は、ブランデンブルグ門のやや南に位置する。(図 1.23)ドイツ統一により、首都がボンからベルリンへ移されることとなり、ここ数年開発が盛んに行われている地区である。この地区には、フランス大使館や、ダイムラーベンツ社、SONYなどのビルディングが立ち並び、今後ベルリンの中心となることは確かである。

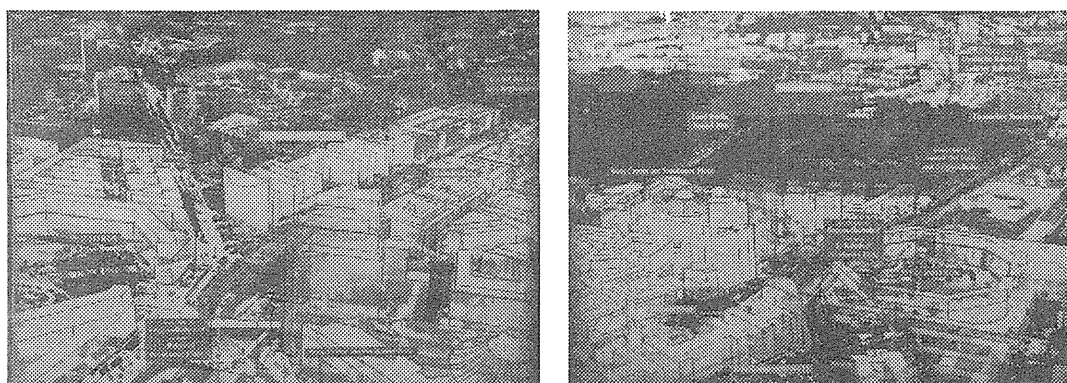


図 1.23 ポツダム広場の再開発状況

このポツダム広場の開発において、エネルギー供給全般を担っているのが BEWAG である。BEWAG は 1997 年にリプレースを終え稼動を開始した MITTE CHP プラントから Scharnhorststrasse Heating Pipeline Network を通して、地域熱供給を行っている。また、この地区には地域冷房が組み込まれている。ポツダム広場エネルギーサブステーションのシステム図を図 1.24 に示す。

冷熱供給システムは、まずネットワークから供給される温水を利用した、吸収式冷凍機を使ったシステムと、電気式の冷凍機によるシステムを組み合わせたもので冷水供給温度は 6°C (返り $12\text{--}14^{\circ}\text{C}$) となっている。現在はまだ地区全体が建ち上がっていないため、電機式の冷凍機のみが設置されている状態であるが、地区の開発の進行状況に合わせて今後吸収式冷凍機を設置していく予定となっている。

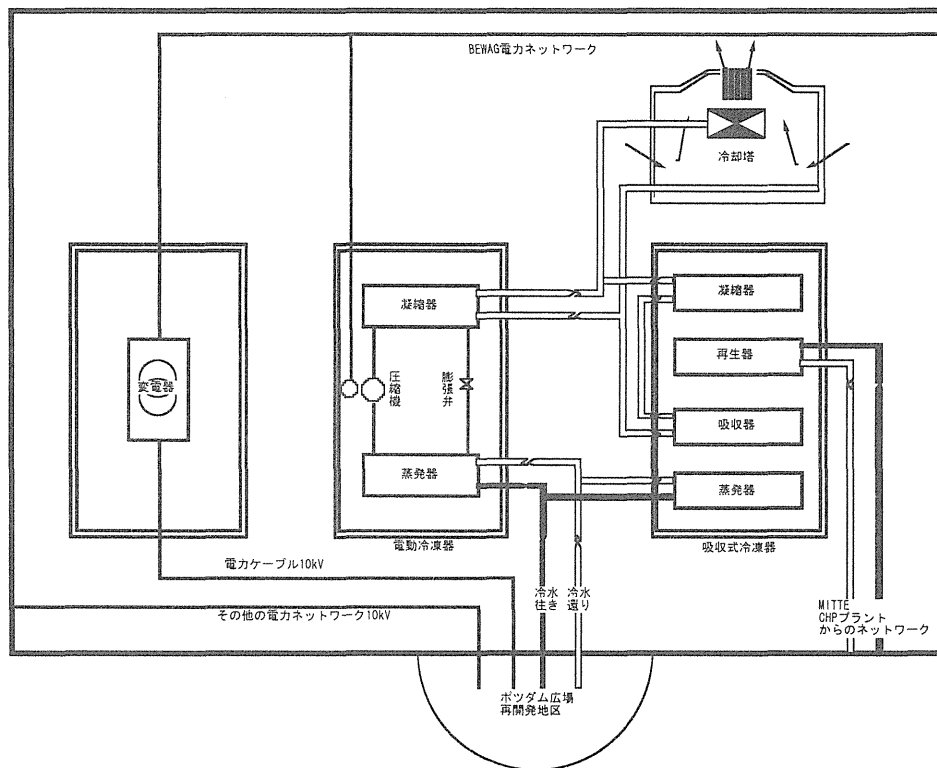


図 1.24 ポツダム広場再開発地区の地域冷房ステーション

1-2-4 北欧の広域熱供給システム調査研究のまとめ

1-3-1 でフィンランド・ヘルシンキ市, 1-3-2 でデンマーク・コペンハーゲン, 1-3-3 でドイツ・ベルリンの広域熱供給システムについて,

- ①国や地方自治体が「公共的」に如何に広域熱供給システムにかかわっているか。
- ②広域熱供給システムが社会の中で如何に位置付けられているか。
- ③広域熱供給システムが成立するための社会的条件は何か。

という視点から調査した概要, およびシステム的な特色を述べた。

ここで, 各都市の特色が明らかになるように, 比較できるように表 1.7 にまとめた。

表 1.7 広域熱供給システムの比較

	ヘルシンキ (フィンランド)	コペンハーゲン (デンマーク)	ベルリン (ドイツ)
発生	1952 年 工場から蒸気を熱供給	1920 年 発電所から蒸気を供給	1898 年 発電所から蒸気を供給
成立の要因 ・ 広域熱供給の 位置付け	国家安全の為にインフラとして 位置付け。	都市排熱の受け皿となり省エネ ルギーに寄与するシステムとし て位置付け。	コージェネレーション (CG) を 最大限に活用する効率的なシス テムとして位置付け。
ネットワークの 運営主体	Helsinki Energy ヘルシンキエネルギー公社 (100%出資の公社)	CTR (Metropolitan Copenhagen Heating Transmission Company) 6 自治区が共同で設立 他に VEKS, VF の 3 社	BEWAG (Berliner Kraft und Aktiengesellschaft) ベルリン電力株式会社 当初 30 州と市の共同所有 現在は 100% 民間資本
運営の内容	CG プラント中心の発電および熱 供給を行う。使用燃料は石炭が主 であったが、天然ガスへ移行中 である。 CG プラントからの熱供給は、地 価安定岩盤で作られた Utility Tunnel にて、温水、電力、上水 を合わせて供給。	電力会社 (発電所) からの排熱や 工場からの排熱を購入し、対象自治 区の熱供給ネットワークに販売 している。いわゆる熱輸送会社で ある。CTR はピーク専用のボイラ および Heat Accumulator を持 ち、最適運用 VEKS との相互接続あり。	CG プラント中心の発電および熱 供給を行う。使用燃料は石炭と天 然ガスが中心。ピーク負荷対応の 専用ボイラを持つ。
運営の特色	市としていかにトータルで効率 良く、かつ安定的にエネルギー供 給を行うかを事業者は考える。 ↓ 安全自給型で、必ずしもビジネス としての形態ではない。	熱をいかに安く購入して、安定的 に対象自治区の熱供給事業者へ 安定的に売るかを考える。 ↓ 排熱をいかに効率良く受け入れ 受け入れた熱をいかに効率的に 利用していくかで、ビジネスとし て成立。ただし、初期投資が巨大 となる。	熱を比べて販売単価の高い電力 を、熱といかに組み合わせるかを 事業者は考える。 ↓ 電力供給と熱供給のバランスを とるために、熱供給ネットワーク は高効率運用の道具である。

	ヘルシンキ (フィンランド)	コペンハーゲン (デンマーク)	ベルリン (ドイツ)
システムの特徴			
ネットワークの形状	樹枝状ネットワーク 	リング状ネットワーク 	樹枝状ネットワーク
ネットワーク熱媒	高温水	高温水	高温水
供給温度	120～70℃	115℃～55℃	暖房用 110℃～40℃ 給湯用 105℃
配管長	Utility Tunnel 部分 約57km	トランスミッションライン 約54km ネットワーク延長 約160km	導管延長 (地域配管含む) 約550km
冷熱需要の有無	無し	無し (今後検討)	有り (単効用吸収式冷熱機で対応)

いずれの広域熱供給システムも、その成立発展の過程において地方自治体の大きな尽力があった。これは、日本と比べて緯度が高く、冬季の暖房が生活にとって欠かせないものであるということから、暖房用の熱供給が電力や水などのインフラストラクチャーと同様の「公共的」役割が強いこと、また、エネルギー政策および供給を自治体自身が担っていることから、公共サービスの一つとして位置付け、整備していくことに障害が少なかったことも理由である。さらに、近年の省エネルギー、地球環境問題に寄与するシステムとして、高効率な地域熱供給を評価しきちんとした位置付けをしているのも、発展の要因の一つである。

ただし、デンマークやドイツにおいては、熱供給事業あるいは熱供給卸（熱搬送）事業がビジネスとして考えられており、熱供給事業の更なる高効率化が求められているのも事実である。

また、近年 EU 統合の流れから、エネルギー分野にもヨーロッパ市場の自由化の波が押し寄せてきており、安価な電力が外国から流入してくる可能性が高くなってきており、CHP で高効率に電力と熱を利用するシステムにあっても、安価な熱料金の保持が困難になってきているという状況も有る。

1-3 北欧との比較による日本における広域熱供給システムの課題

1-2 でヘルシンキ、コペンハーゲン、ベルリンの広域熱供給システムの概要をまとめ「公共性」について着目して分析をした。1-2-4 で各都市の広域熱供給システムの特色を明らかにした。(表 1.7)本節では、北欧の事例と比較しながら、日本の地域熱供給の現状をもとに、日本に広域熱供給システムを構築する際の課題を明らかにする。

まず、日本における地域熱供給（地域冷暖房）事業の発展の経過と、現状について表 1.8 にまとめた。

表 1.8 日本の地域熱供給の発展の経過と現状

発展の経過	創 生 期	昭和 45～49 年（1970～1974 年） 昭和 45 年、大阪の千里中央地区ではじめての地域冷暖房が開始。東京、北海道でもほぼ同時期に供給が開始され、日本列島改造論によって全国的に導入され始める。高度経済成長期の「大気汚染防止」対策として位置付けられる。
	低 迷 期	昭和 49～58 年（1974～1983 年） 昭和 48 年に起こった第 1 次オイルショックにより、地域冷暖房の導入数は伸び悩む。
	萌 芽 期	昭和 58～60 年（1983～1985 年） 二度のオイルショックの経験を踏まえ、「エネルギーの有効利用」の必要性が認識され、システム面、経済面で普及促進のための検討が行われ、清掃工場排熱を活用した地域冷暖房（光ヶ丘団地、八潮団地）が導入されたり、ヒートポンプシステム、蓄熱システム、コージェネレーションなどの技術が生まれた。
	発 展 期	昭和 60～平成元年（1985～1989 年） 活発な都市開発の動きとともに、ガス会社、電力会社の地域冷暖房事業への積極的な参画、ヒートポンプシステム、蓄熱システム、コージェネレーション、排熱利用システムなど、新しい技術の採用と普及、行政による積極的な普及促進策により地域冷暖房の導入が急速に活発化した。
	普 及 期	平成元～ 地域冷暖房は東京をはじめ地方都市にも導入が多く図られ、その勢いはさらに活発化した。ガス会社、電力会社に加えて、第 3 セクターやディベロッパーも参画して、全国的に普及した。「大気汚染防止」「エネルギーの有効利用」に加えて、「未利用エネルギーの活用」「スペースの有効利用」「アメニティの向上」「都市基盤の整備」の役割が課せられるようになった。
	現 在	平成 3 年のバブル経済崩壊の影響を受け、都市開発計画の見直し、遅延・凍結が行われ、地域冷暖房にも影響が及ぶ。 平成 7 年の阪神・淡路大震災の経験から、「都市の防災性向上」の役割も期待されるようになる。 平成 9 年、COP3 により「CO2 削減」面の効果も期待される。
熱供給の位置付け		昭和 44 年 9 月 10 日 建設省通達「都市計画法第 11 条（都市施設）」の「第 3 項その他の供給施設」の中に「地域冷暖房施設」として位置付け。 昭和 47 年 「熱供給事業法」で通産大臣許認可の公益事業として位置付け

熱供給事業主体	ガス会社、電力会社、第3セクター、ディベロッパー																
国や地方自治体の地域冷暖房事業への関わり	<p>昭和47年、熱供給事業法成立（通商産業省許認可）</p> <p>昭和45年、東京都「公害対策条例」に地域冷暖房の計画区域の指定などを骨子とした規定を導入</p> <p>平成3年、東京都「地域冷暖房推進に関する大綱」の大幅改定</p> <p>平成2年、大阪府「地域冷暖房システムの導入に関する指導要綱」</p> <p>平成4年、名古屋市「地域冷暖房施設の整備促進に関する指導要綱」</p> <p>平成8年、横浜市「地域冷暖房推進指針」</p> <p>平成4年、社団法人日本熱供給事業協会（通産省所轄）</p> <p>平成5年、社団法人日本地域冷暖房協会（建設省所轄）</p>																
地域冷暖房導入地点数	139地点（1999年現在）																
地域熱供給年間供給熱量	18,488,180 GJ/年（1997年度実績値）																
熱源システム	<p>地区によって多種多様。大きくは電気（ヒートポンプ+蓄熱槽）式、ガス（ボイラ+吸収式冷凍器）式、コージェネレーション、ミックス式（電気式とガス式のミックス）の4つに分けられる。</p> <p>熱源システムは、運営会社および出資会社によって決定するケースが多い。ガス会社はガス式あるいはコージェネレーション、電力会社は電気式、ミックス式は電力会社とガス会社がほぼ同率の出資をしている場合である。その他、未利用エネルギーの活用例も様々である。（別項目に詳細）</p>																
供給熱媒	<p>蒸気+冷水（4管式）、</p> <p>高温水（暖房のみ2管式）、</p> <p>温水+冷水（4管式、3管式）、</p> <p>温水（暖房のみ）</p> <p>など、まちまちである。</p> <p>蒸気の場合、8～10kgf/cm²の飽和蒸気、</p> <p>高温水の場合、150～190℃、</p> <p>温水の場合、45～80℃、</p> <p>冷水の場合、5～8℃、</p> <p>と、供給温度、また圧力などもまちまち。</p>																
配管システム	<p>4管式（蒸気 or 高温水 or 温水+冷水の往き返り）</p> <p>3管式（蒸気 or 高温水 or 温水+冷水の往き返り、返り管は同一）</p> <p>2管式（蒸気 or 高温水 or 温水）</p>																
未利用エネルギーの活用	<p>1997年現在</p> <table border="0"> <tr> <td>ごみ焼却排熱利用</td> <td>8地点</td> </tr> <tr> <td>工場排熱利用</td> <td>1地点</td> </tr> <tr> <td>下水利用</td> <td>5地点</td> </tr> <tr> <td>地下鉄排熱利用</td> <td>2地点</td> </tr> <tr> <td>河川水、地下水利用</td> <td>5地点</td> </tr> <tr> <td>海水利用</td> <td>2地点</td> </tr> <tr> <td>発電所排熱（抽気）</td> <td>1地点</td> </tr> <tr> <td>変電所、変圧器排熱</td> <td>11地点</td> </tr> </table>	ごみ焼却排熱利用	8地点	工場排熱利用	1地点	下水利用	5地点	地下鉄排熱利用	2地点	河川水、地下水利用	5地点	海水利用	2地点	発電所排熱（抽気）	1地点	変電所、変圧器排熱	11地点
ごみ焼却排熱利用	8地点																
工場排熱利用	1地点																
下水利用	5地点																
地下鉄排熱利用	2地点																
河川水、地下水利用	5地点																
海水利用	2地点																
発電所排熱（抽気）	1地点																
変電所、変圧器排熱	11地点																
熱料金	<p>地区ごとの熱供給規定により異なる。</p> <p>フラットレートで、およそ30円～50円/Mcalである。</p> <p>ネットワーク化の障害となる可能性大。</p>																
C H P の 活 用	<p>1カ所のみ。</p> <p>和歌山マリーナシティ地域冷暖房</p> <p>（関西電力海南火力発電所の抽気蒸気を利用）</p>																

エ ネ ル ギ ー の 自 由 化	1995 年 5 月，電気事業法改正，特定供給が可能になる。 1995 年 12 月，電気事業法改正，電力会社以外の卸電力事業が可能になる。 2000 年 3 月，電気事業法改正，大口需要家への電力の小売が自由化
建 設 コ ス ト	北欧に比して極めて大きい。 配管敷設コストは諸費用込で約 130 万円/m (ヘルシンキの場合約 9.2 万円/m) 配管工事のための道路占有許可が夜間しか下りない場合が多く，しかも昼間車が通行できるような埋め戻しが必要であることから，建設期間の長期化，コストの増大をもたらしている。

① 事業主体

北欧諸国の地域冷暖房が早くから「公共の設備」として国や地方自治体を中心となって整備してきたのに対して，日本の地域冷暖房はその成立・発展の過程で国や地方自治体の関わりは非常に少なく，「第 3 の公益事業」として民間が主体となって整備を進めてきた。北欧諸国は，近年 EU 統合などを契機に国を超えたエネルギー自由化の波が押し寄せてきており，広域熱供給の運営も民間へと移行しつつある。しかし，既に自治体が主体となって広域的なネットワークは構築されており，その後の民営化である。日本においては，地区レベルの地域冷暖房事業は，民間資本で整備可能であったが，長引く不況や広域熱供給システムの構築には膨大な初期投資が必要であることを考えると，民間資本のみでの整備は不可能である。

そこで，地域熱供給の多様な効果を考慮して，「公共性」の立場から国や地方自治体がネットワーク部分の初期投資を補助していくことが考えられる。0-3-1 の建設省が進める「都市熱源ネットワーク」も同様のもので，都市排熱源と熱需要地を結ぶネットワーク部分の初期投資を，国および地方自治体の補助金で整備していこうというものである。このとき，従来の地区レベルの地域冷暖房の事業主体は今までどおり民間が運営し，熱搬送ネットワークの部分の事業主体は，国あるいは自治体が民間とともに新しい会社を作り運営する第 3 セクター方式的なものが必要となろう。

次に，特に東京都区部において広域熱供給システムを構築する際の問題として，既存の地域冷暖房事業が隣接して存在しながらも，事業主体が異なることで熱供給規定が異なり，需要家の料金体系が様々であることが挙げられる。また，「公共性」の立場から住宅団地への熱供給を広域熱供給システムでは取り組んでいくべきであるが，この場合従来の供給先である事務所ビルや商業施設の料金体系と同様の熱料金にすべきか否か議論が必要である。住宅への熱供給事例の多い北海道では，住宅への熱供給料金は，割安に設定しているだけでなく，定額料金にするなどして割安感を与える仕組みになっている。また，電力料金やガス料金では基本料金部分は大口需要家が小口需要家に比べて割高で，重量料金はその逆で大口需要家のほうが割安である。このように他のエネルギー料金の料金体系を踏まえて成熟した議論が必要である。

② システム

上表にあるようにシステムも運営主体、熱料金と同様に様々であることから、従来型の地域冷暖房施設同士を相互に直接つないでいくことは不可能に近い。しかし、「広域熱供給ネットワーク幹線」なるものがそれらを繋ぐバッファとなることは可能であると考ええる。例えば、ガス式の従来型の地域冷暖房プラントにおいて、設備の余裕率、負荷変動などにより熱供給余力が存在する場合、「広域熱供給ネットワーク幹線」に適当な熱媒条件で供給することで設備稼働率を向上させることが可能である。一方、電気式の既存の地域冷暖房プラントにおいて、電力のピーク負荷時にヒートポンプを利用せずに「広域熱供給ネットワーク幹線」から熱供給を受けることで、電力ピーク負荷削減に貢献する他、ピークカット料金という特別の電力料金割引制度の適用を受けることも可能となる。

③ 建設コスト

0-4-2 でもあるように、日本における建設費は欧米の建設費に比べて 5～15 倍であるとされ、地域熱供給事業はもとより、本研究で取り扱う「広域熱供給ネットワーク」にとっても大きな問題である。バブル経済崩壊後、様々な公共事業が見直されてきている中で、建設コストも徐々にではあるが低下してきているといわれる。地域冷暖房の建設工事に関しても同様で、バブル期の約半分の初期投資で建設することも可能な時代になってきている。

これは建設業界内のそれぞれの企業努力とともに、今までの建設工事費のお金の流れを精査し、全体のシステムとして安価になるように改善がなされた結果である。

しかし、日本の都市は地震災害の危険性が大きいこと、都心部、特に東京などは地下に様々な埋設物が輻輳しており、地下空間をどのように占有するかによっても、建設工事にかかる費用が大きく異なってくるなど、課題は多い。

このような中、0-3-3 にあるように「臨時大深度地下利用調査会」の答申が出され、今後その答申にしたがって、大深度地下利用が促進される環境が整うならば、「広域熱供給ネットワーク幹線」の建設にとって大いに期待されるものである。但し、「大深度地下利用」に関しては、現在の地下利用のように早い者勝ちではなく、計画的にすすめていくことが必要である。

1-4 本研究における広域熱供給システムの考え方

本研究における「広域熱供給システム」を以下のように定義する。(図 1.1)

広域熱供給システム；

発電所や清掃工場、工場といった都市の排熱源と熱需要地を広域的に結ぶ広域ネットワークと、既存の地域冷暖房のように地域で熱を供給する地区システムからなるシステム。このシステムにおいて、高温の都市排熱は広域ネットワークで活用し、低温の都市排熱や温度差未利用エネルギーは地区システムで活用することで、省エネルギー、低環境負荷の都市エネルギーシステムを目指すものである。

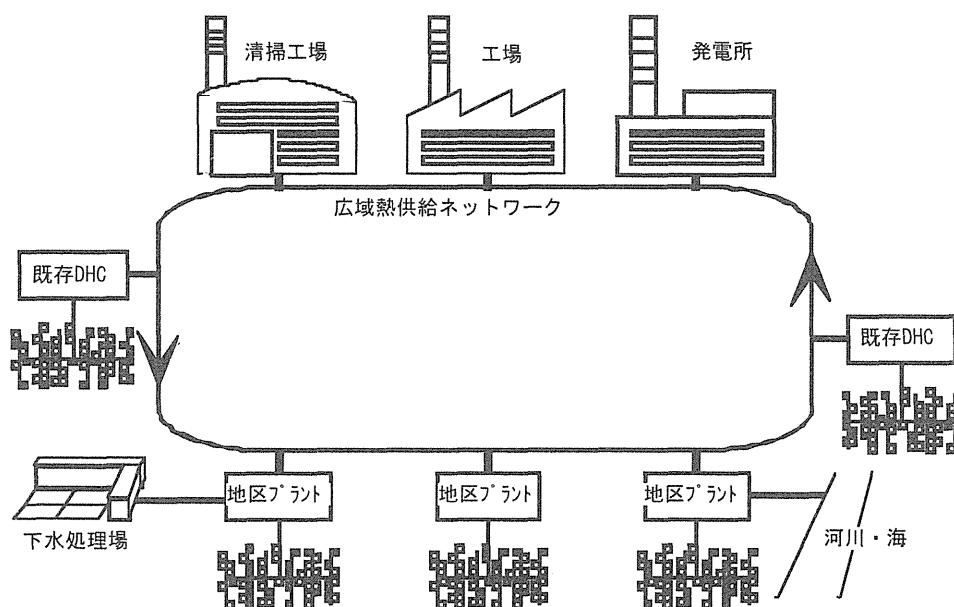


図 1.1 広域熱供給システム

考え方としては、地区拠点型システムは従来型の地域冷暖房事業と同様であるが、地域の低レベルの未利用エネルギーや自然エネルギーをシステムに組み込んだり、自家発電設備兼用のコージェネレーションや、防火水槽との兼用の水蓄熱槽などをシステムに組み込むことで、環境性や防災性といった地域のニーズにあったシステムとすることが可能である。一方、ネットワーク型のシステムは、従来利用され得なかった都市排熱を利用しやすい場所まで運んで効率良く利用することで、省エネルギー性の高いシステムを目指すものである。

1-5 結論

本章では、北欧の3都市（フィンランド・ヘルシンキ、デンマーク・コペンハーゲン、ドイツ・ベルリン）の広域熱供給ネットワークシステムの事例調査、および日本の地域冷暖房システムとの比較により、「公共性」の立場から国や自治体が広域熱供給システムに対してどのように関与すべきか、広域熱供給システムが社会の中で「公共性」の高いシステムと位置付けられるための課題は何か、広域熱供給システムが成立するためには社会環境がどのようにかわる必要があるのか、について検討した。

その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 北欧の広域熱供給ネットワークシステムは、自治体が主となって整備を進めたものである。これは、もともと電力の供給などの公共サービス全般にわたって自治体が主となって整備していたことが理由である。
- ② ヘルシンキは国家安全のためのインフラ、コペンハーゲンは都市排熱の受け皿になり省エネルギーに寄与するシステム、ドイツは火力発電所の総合効率を最大限に高めるための合理的なシステム、としてきちんと位置付けている。
- ③ 日本では、当初大気汚染防止策の一環として地域冷暖房は位置付けられていたが、オイルショックなどを経て省エネルギーや環境負荷削減へと位置付けが変化してきている。また、個別システムとの経済性比較の面から普及拡大がなかなか進まず、社会的な認知度が低いのが現状である。
- ④ ヨーロッパでは、エネルギー市場の自由化が進んでおり、需要家が安いエネルギーやクリーンな（環境にやさしい）エネルギーを選択して購入することができる社会環境になっている為、環境負荷の小さいシステムや合理的で低コストなシステムとして、広域熱供給ネットワークシステムが成立している。
- ⑤ 一方、日本のエネルギー産業は国の保護のもとで自由な競争が長く制限されてきたため、発電は発電効率至上主義、ガスはどれだけ販売量を増やすか、といったような個別の努力のみで、都市全体、社会全体の高効率化、合理化といった議論がなされてこなかった。
- ⑥ しかし、近年和歌山マリーナシティで発電所抽気蒸気を利用するなど、合理化を求めた新しい事例が実施されてきているほか、電気事業法の改正により既存の電気事業者以外の事業者が電力供給事業を行うことができるようになったり、逆に電力会社が安価なガスを供給できるようになったりと、エネルギー産業の自由化が少しずつ進みつつあり、広域熱供給ネットワークシステムの成立の環境は整いつつある。
- ⑦ 北欧に比べて、日本の場合、都市の地下空間の利用が輻輳しており、新たな利用をする際に問題が多いうえ、コストが大きくなる。
- ⑧ 日本の配管建設コストの単価は、北欧の事例に比べて約5～10倍であり、技術的なコスト削減努力のほか、システム的なコスト削減の努力が望まれる。
- ⑨ 以上から本研究の「広域熱供給システム」は、従来の地域冷暖房のような地区レベルの「地区拠点型システム」と、都市内の排熱源と熱需要地を結ぶ「広域ネットワークシステム」から成り立つものであると定義した。

参考文献

- 1) Helsinki Energy, 「Data Card」, 1997 年
- 2) Helsinki Energy, 「Energy for Helsinki」, パンフレット, 1997 年
- 3) CTR (Metropolitan Copenhagen Heating Transmission Company), 「CTR Annual Report 1997」, 1998 年
- 4) SK power, 「Avedøre2」, パンフレット
- 5) SK power, 「Avedøre Power Station」, パンフレット
- 6) SK power, 「Avedøre2 Power Station」, パンフレット
- 7) BEWAG, 「Bewag Annual Report 1996/97」, 1997 年
- 8) BEWAG, 「Mitte Cogeneration Plant -Environmentally compatible energy generation in the heart of Berlin.-」, パンフレット
- 9) BEWAG, 「Fach Report -Electricity, Heating and Cooling for Potsdamer Platz. -」, パンフレット
- 10) 社団法人日本地域冷暖房協会, 「地域冷暖房のあゆみ」, 1995 年
- 11) 社団法人日本地域冷暖房協会, 「地域冷暖房技術手引書 (改訂第 3 版)」, 1997 年
- 12) 資源エネルギー庁公益事業部計画課熱供給産業室監修, 「熱供給事業便覧 (平成 10 年版)」, 社団法人熱供給事業協会, 平成 10 年 12 月
- 13) 東京臨海副都心地域冷暖房施設設計共同体, 東京臨海熱供給株式会社, 「ヨーロッパ諸国の地域冷暖房及び周辺事情に関する調査報告書」, 1991 年 8 月
- 14) 社団法人日本地域冷暖房協会, 「欧州熱源ネットワーク事情調査報告書」, 1999 年 4 月

第 2 章

日本における広域熱供給システム導入可能都市域の 抽出とその都市特性に関する研究

目 次

- 2-1 概要
- 2-2 主要都市における未利用エネルギーの活用可能性に関する検討
 - 2-2-1 概要
 - 2-2-2 調査対象都市
 - 2-2-3 システムの設定
 - 2-2-4 地域冷暖房による未利用エネルギーの活用可能性
 - 2-2-5 広域熱供給ネットワーク導入による未利用エネルギー導入の可能性
- 2-3 北欧事例との比較による広域熱供給ネットワーク導入可能都市域の抽出
 - 2-3-1 概要
 - 2-3-2 比較対象都市である北欧の広域熱供給ネットワーク事例
 - 2-3-3 対象都市域の抽出と広域熱供給幹線の仮定
 - 2-3-4 単位ネットワーク幹線長あたりの熱供給量による比較分析
- 2-4 広域熱供給システム導入可能都市の特性分析
 - 2-4-1 概要
 - 2-4-2 各都市の熱負荷想定（都市別熱負荷原単位）
 - 2-4-3 熱賦存量の推定
 - 2-4-4 導入対象地区・対象都市
 - 2-4-5 広域熱供給ネットワークの導入規模に関する考察
- 2-5 結論

第2章 日本における広域熱供給システム導入可能都市域の抽出と その特性に関する研究

2-1 概要

「日本全国地域冷暖房導入可能性調査」(0-2-1) 文献 1) 2) 3) 4) では、日本全国において地域冷暖房が導入可能な地区が 1,302 地区 (現状の 9.6 倍) あることがわかった。本章では、地域冷暖房ではなく広域熱供給システムが導入可能な都市、あるいは都市域を、様々な角度から抽出し、より効率的なシステム導入の為にその抽出都市の特性を分析する。

2-2 主要都市における未利用エネルギー活用可能性に関する検討

2-2-1 概要

エネルギー消費による環境負荷の低減が求められる現在、民生部門の熱需要のような低レベルの熱需要に対してどの様に対応していくかは、都市のエネルギーシステムを考えるうえで重要な問題である。このような低レベルの熱需要に対して、より省資源的に、より効率的に対応できる都市のエネルギーシステムとしては、清掃工場のごみ焼却排熱や工場排熱などの高温の都市排熱、下水や海水、河川水といった低温の温度差エネルギーなどの都市の未利用エネルギーを活用した、地域冷暖房システムが考えられる。

北欧を中心に発展した広域熱供給ネットワークシステムは、熱需要地と都市内に分布する利用価値の高い未利用の都市熱源を結んで、未利用エネルギーを有効に活用した省資源・高効率な都市エネルギーシステムである。

本節では、日本の主要都市における未利用エネルギーを活用した広域熱供給ネットワークの導入可能性について、既存システム、従来型 DHC、未利用エネルギー活用型 DHC との比較により検討をおこなう。

2-2-2 調査対象都市

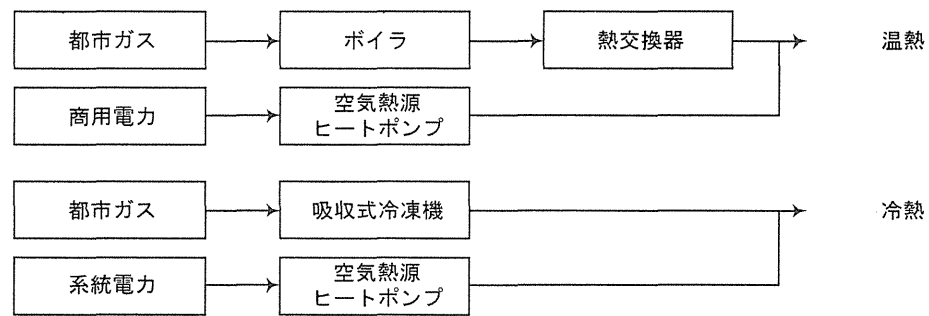
調査対象都市は、東京都区部、政令指定都市 12 都市、政令指定都市以外の都市で利用可能な工場排熱源が 5 つ以上ある堺、姫路、四日市、倉敷、尼崎市、合計 18 都市とした。

これらの都市について、「日本全国地域冷暖房導入可能性調査」(0-2-1)と同様の手法で、DHC 導入可能地区、未利用エネルギー源(清掃工場・工場・下水処理場・火力発電所・河川・海)の調査を行った。すなわち、DHC 導入可能地区(DHC および広域熱供給対象地区)は、熱負荷密度 1.0Tcal/ha 年以上、もしくは法定容積率 500%以上でかつ地区面積が 2.5ha ($500\text{m} \times 500\text{m}$ に相当)以上の地区、再開発・新開発地区、大規模(1000 戸以上)住宅団地を対象とした。また、未利用エネルギー源は熱供給事業法で定める熱供給プラントの加熱能力条件、 5.0Gcal/h 以上の排熱の賦存状況を調査した。

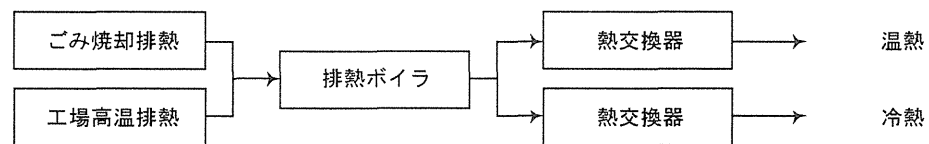
2-2-3 システムの設定

各都市の DHC 導入可能地区について、未利用エネルギーの活用可能性を検討した。既存システム(従来型個別空調方式; Case1)、DHC を導入した場合(ボイラ+吸収式冷凍機、電動 HP の併用システム; Case2)、未利用エネルギーを活用した DHC を導入した場合(Case3)の 3 つのシステムを想定し、Case2 および Case3 の Case1 に対する投入 1 次エネルギー削減率(省エネルギー率)を求めた。

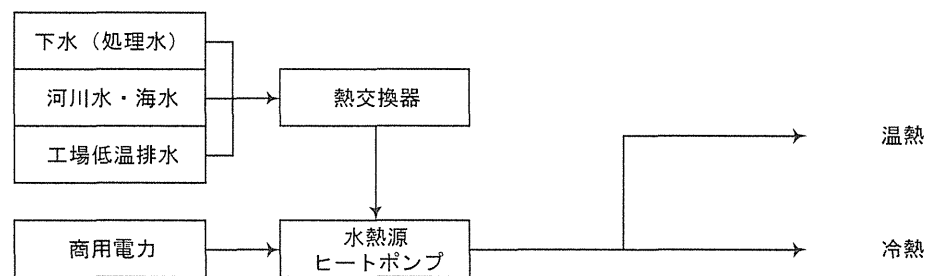
◇Case1;既存システム



◇Case2;DHC システム



◇Case3;未利用エネルギー活用型 DHC システム



ただし、高温未利用エネルギーは 5km、低温未利用エネルギーは 2km 圏まで、活用できるものとして考えた。

2-2-4 地域冷暖房による未利用エネルギーの活用可能性

各都市の DHC 導入可能地区について、未利用エネルギーの活用の可能性を検討した。DHC を導入した場合（Case2）と、さらに未利用エネルギーを活用した場合（Case3）の、既存システム（Case1）に対する投入 1 次エネルギーの削減率を図 2.1 に示す。

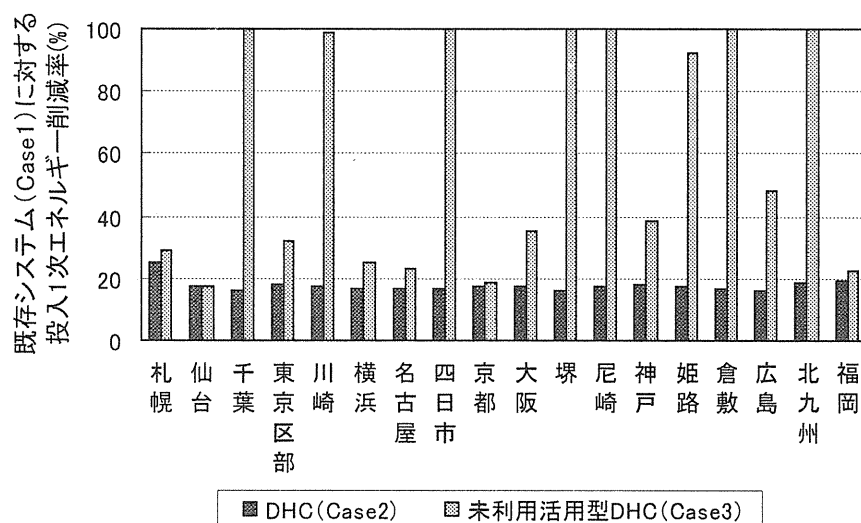


図 2.1 投入 1 次エネルギー削減率(%)

仙台市では、活用可能な未利用エネルギー源がなかったが、他の都市では活用可能量に大きな差があるものの、何らかの未利用エネルギーを活用することが可能である。

千葉、川崎、四日市、堺、姫路、倉敷、北九州市は、ほぼ 100%を未利用エネルギーで賄うことが可能であり、これらの都市は工場排熱が多いことで共通しているが、実際は四日市市を除き、千葉、川崎市で約 50%、堺、尼崎、姫路、倉敷、北九州市で 100%をごみ焼却排熱により賄うことが可能となっている。

この結果をもとに、各都市において、温度レベルが高く、1 次エネルギー削減に対するポテンシャルが高い、高温の都市排熱に対して、それぞれの都市全体の高温排熱賦存量合計に対する活用可能な高温都市排熱量を「高温排熱活用率」とし、投入 1 次エネルギー削減率との関係を示したのが図 2.2 である。

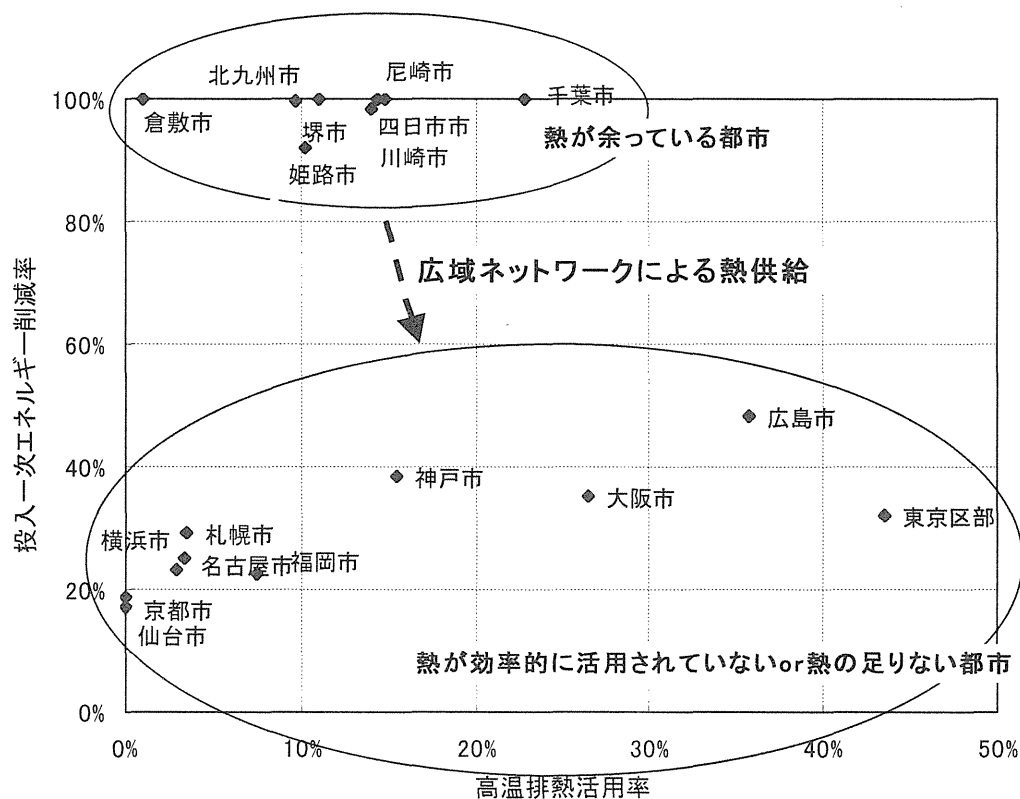


図 2.2 高温排熱活用率と投入 1 次エネルギー削減率の関係

図 2.2 より、高温排熱が余っている都市と、都市内の高温排熱が十分に活かされていない、あるいは熱需要が大きいため都市内の高温排熱だけでは十分に対応できない都市の 2 つに分類できることがわかる。後者の都市の未利用エネルギー活用率、投入 1 次エネルギー削減率を向上させる手段として、広域熱供給ネットワークによって高温の都市排熱を活用していくことが考えられる。また、熱が余っている都市が近くにある場合は、その余剰排熱を活用することも可能になり、それらの都市の高温排熱活用率の向上にも寄与する。具体的に言えば、札幌市や福岡市のように、高温都市排熱源が熱需要地から離れているために、高温排熱活用率が低く、投入 1 次エネルギー削減率が低い都市においては、広域熱供給ネットワークによって、都市郊外にある高温都市排熱を、都市の中心部で利用することができる。また、東京区部のように熱需要が大きいため投入 1 次エネルギー削減率が低い都市でも、周辺都市である川崎市は高温の都市排熱が余剰にある都市であることから、広域熱供給ネットワークによってうまく活用することも可能であると考えられる。

2-2-5 広域熱供給ネットワーク導入による未利用エネルギーの活用可能性

図 2.2 において、投入 1 次エネルギー削減率の低い 10 都市について、各都市で中心となる熱需要地（熱負荷密度が最も高い地区）から同心円（半径 10km, 15km）を描き、同心円内の DHC 対象地区および未利用エネルギー源はすべて広域熱供給ネットワークにより接続することで、同心円内の未利用エネルギーは全量が活用可能と仮定した。このとき、同心円の半径とそのときの広域熱供給ネットワークによる投入 1 次エネルギー削減率の関係について考察を行った。なお、広域熱供給ネットワークの熱源は高温排熱源（清掃工場、工場）に限定し、熱媒は高温水とし、搬送動力は考慮しないものとした。

東京を除く 9 都市の広域熱供給ネットワークによる投入 1 次エネルギー削減率を図 2.3 に示す。

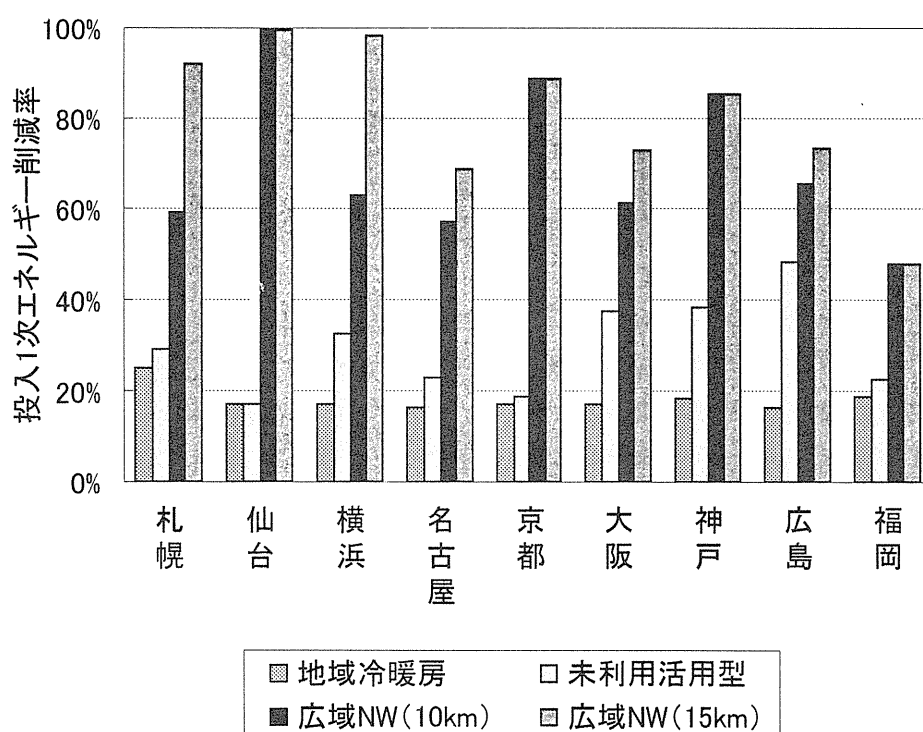


図 2.3 広域熱供給ネットワークによる投入 1 次エネルギー削減率

9都市ともに、広域熱供給ネットワークにより未利用エネルギー活用型 DHC に比較して、大幅に投入 1 次エネルギー削減率が向上していることがわかる。また、横浜市、大阪市は同心円の半径を大きくすると隣接する工業都市（川崎市、堺市、尼崎市）の高温排熱を取り込み広域熱供給ネットワークの熱源として活用できるようになる。

次に、熱需要量が極めて大きい東京区部について、広域熱供給ネットワークの規模を拡大して、川崎市、横浜市などを含めた巨大な広域熱供給ネットワークを想定し、考察を行った。東京の熱需要の中心から半径 20km、30km の同心円を描いたときの広域熱供給ネットワークによる投入 1 次エネルギーの削減効果を図 2.4、地図を図 2.5 に示す。30km 圏の広域熱供給ネットワークを構築することで、投入 1 次エネルギーが 41.0%（10,630Tcal／年，44,433.4TJ／年）削減可能となる。配管経路や搬送エネルギーなど考慮していないが、大きな投入 1 次エネルギー削減効果であるといえる。

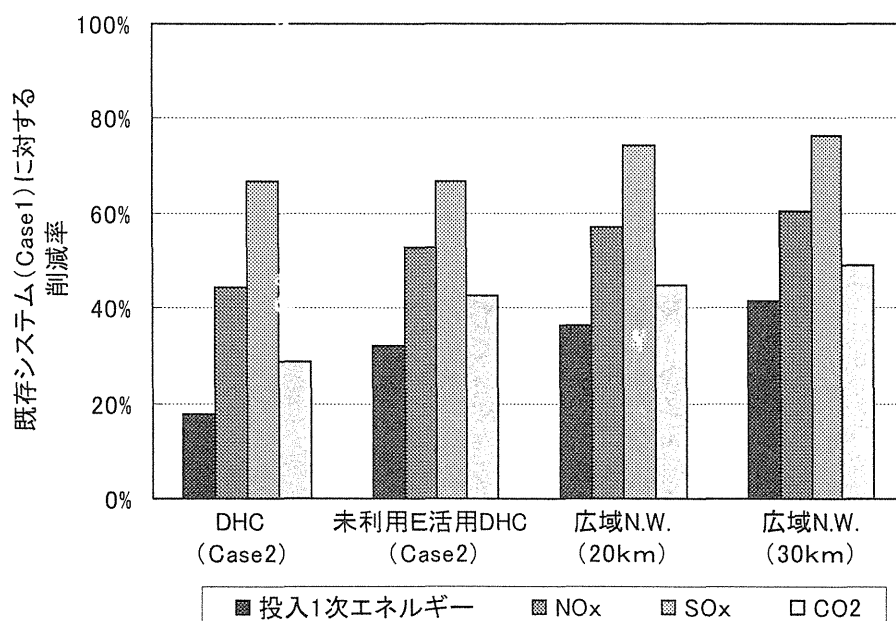


図 2.4 東京臨海部広域熱供給ネットワークにおける投入 1 次エネルギー削減率

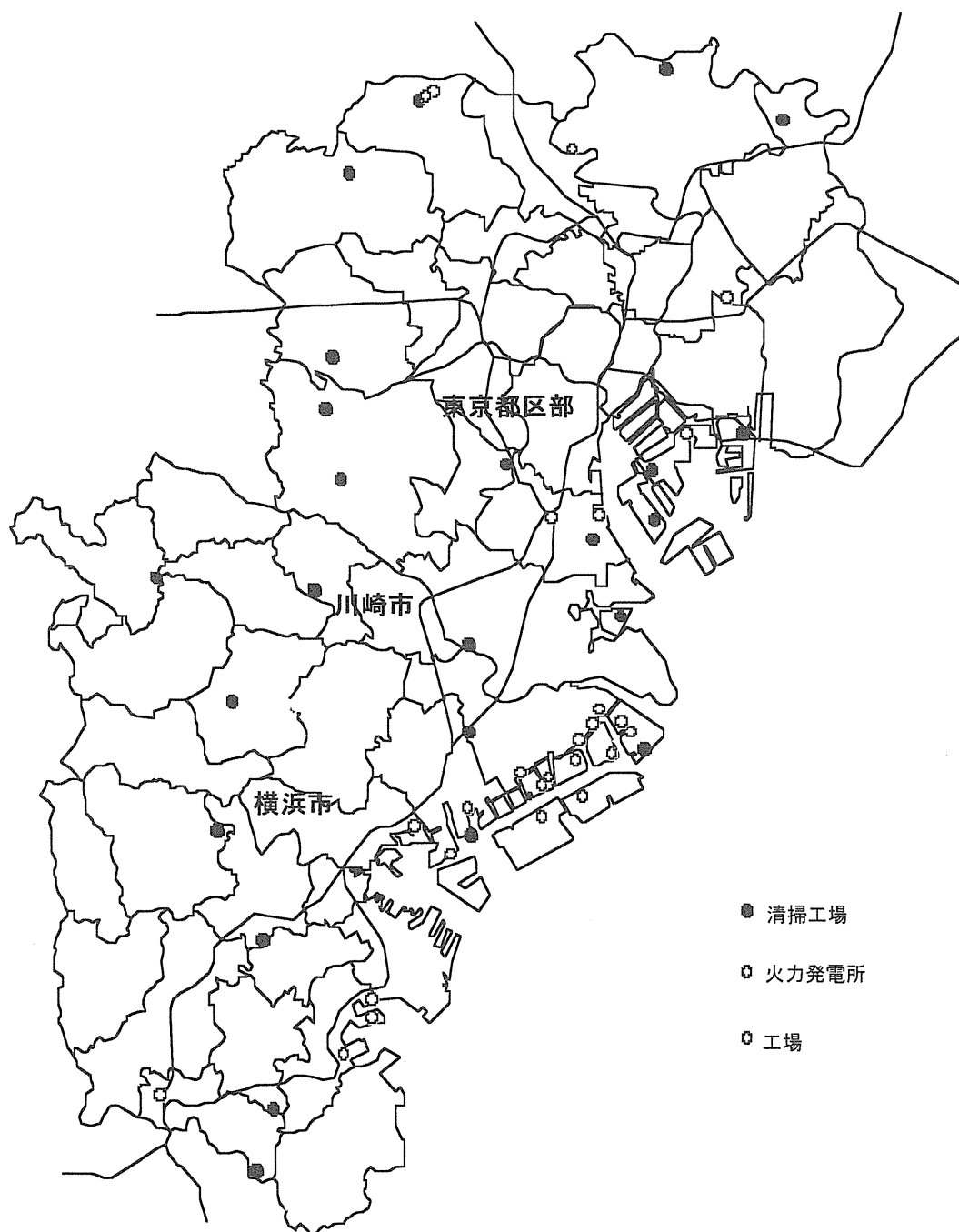


図 2.5 東京臨海部広域熱供給ネットワーク(熱負荷と熱源の分布)

2-3 北欧事例との比較による広域熱供給ネットワーク導入可能都市域の抽出

2-3-1 概要

2-2 において、都市内の未利用エネルギーを活用した地域冷暖房の導入は、投入1次エネルギーの削減、環境負荷低減の面で大きな効果があるにもかかわらず、都市の中に存在するごみ焼却排熱や工場排熱などの都市排熱は、熱需要地と離れたところに立地していることが多いことで、効果的な利用はできていないのが現状であり、広域熱供給ネットワークの構築の必要性が明らかになった。

これらを踏まえ、本研究では、都市全体で都市排熱を有効に活用した効果的なエネルギーシステムを構築している北欧の広域的熱供給ネットワークを参考にして、日本において広域熱供給ネットワークの導入可能な都市域を抽出し、比較分析によりその必要性和可能性を検討する。

まず、1-3 及びその文献より、デンマーク・コペンハーゲン市 CTR 社の熱供給区域と、フィンランド・ヘルシンキ市の熱供給を取り上げ、単位熱供給幹線距離あたりの年間熱販売量を求める。つぎに、日本における主要都市域（札幌、仙台、東京－横浜、名古屋、京都、大阪－神戸、広島、福岡）について、熱供給対象地区（2-2 と同様。熱負荷密度 1.0Tcal/ha 年以上あるいは法定容積率 500% 以上の熱負荷高密度地区で 2.5ha 以上の地区、再開発・新開発地区、1000 戸以上の集合住宅地区）と都市排熱の分布から、広域熱供給幹線のルートを仮定して単位熱供給幹線距離あたりの年間熱販売量を求める。最後に、これらを比較検討して、日本における広域熱供給ネットワークの有望な導入可能都市域を明らかにする。

2-3-2 比較対象である北欧の広域熱供給ネットワーク事例

(1) デンマーク・コペンハーゲン，CTR 社

1-3 において，CTR 社の広域熱供給ネットワークについて述べたが，概要を再確認すると，コペンハーゲンの地域熱供給システムは，熱製造会社，熱搬送卸し会社，地域熱供給会社の3つにより成り立っており，CTR 社は発電所や清掃工場，地域の熱製造会社から熱を買い，広域熱供給ネットワーク幹線 (Transmission Line) により，地域の熱供給会社に販売している。コペンハーゲンには CTR 社を始め3つの Transmission Company (熱供給ネットワーク会社) が，広域熱供給を行っており，各社供給地域への供給はもとより，相互接続による他社への供給も行われている。

CTR 社の供給地域における広域熱供給幹線は 53.7km，熱販売量は 3540.8Tcal/年 (1995 年実績値) であり，単位熱供給幹線あたりの熱販売量は 65.9Tcal/km 年である。

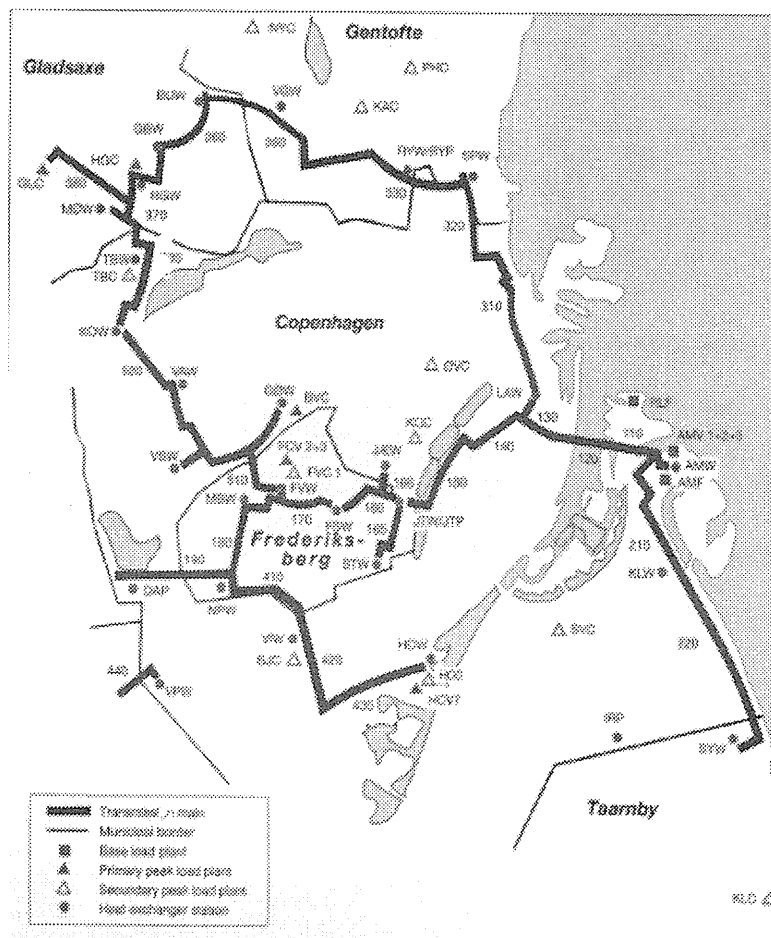


図 2.6 コペンハーゲンの広域熱供給ネットワーク

(2) フィンランド・ヘルシンキ、ヘルシンキエネルギー公社

ヘルシンキ市は、大規模熱併給発電所からの熱供給を Utility Tunnel と呼ばれる大深度地下岩盤内の共同トンネルで、電力、上水道とともに大規模に供給している。ヘルシンキ市の電力、水道、熱供給の全てを担っているのが、ヘルシンキエネルギー公社で、Utility Tunnel は総距離 33km で、最長ルートの Utility Tunnel は 19.7km にも及ぶ。熱販売量は 5,280.4Tcal/年（1994 年実績値）で、熱供給のシェアは 90% にも及ぶ。これから計算すると、単位熱供給幹線あたりの熱販売量は **160.0Tcal/km 年** である。

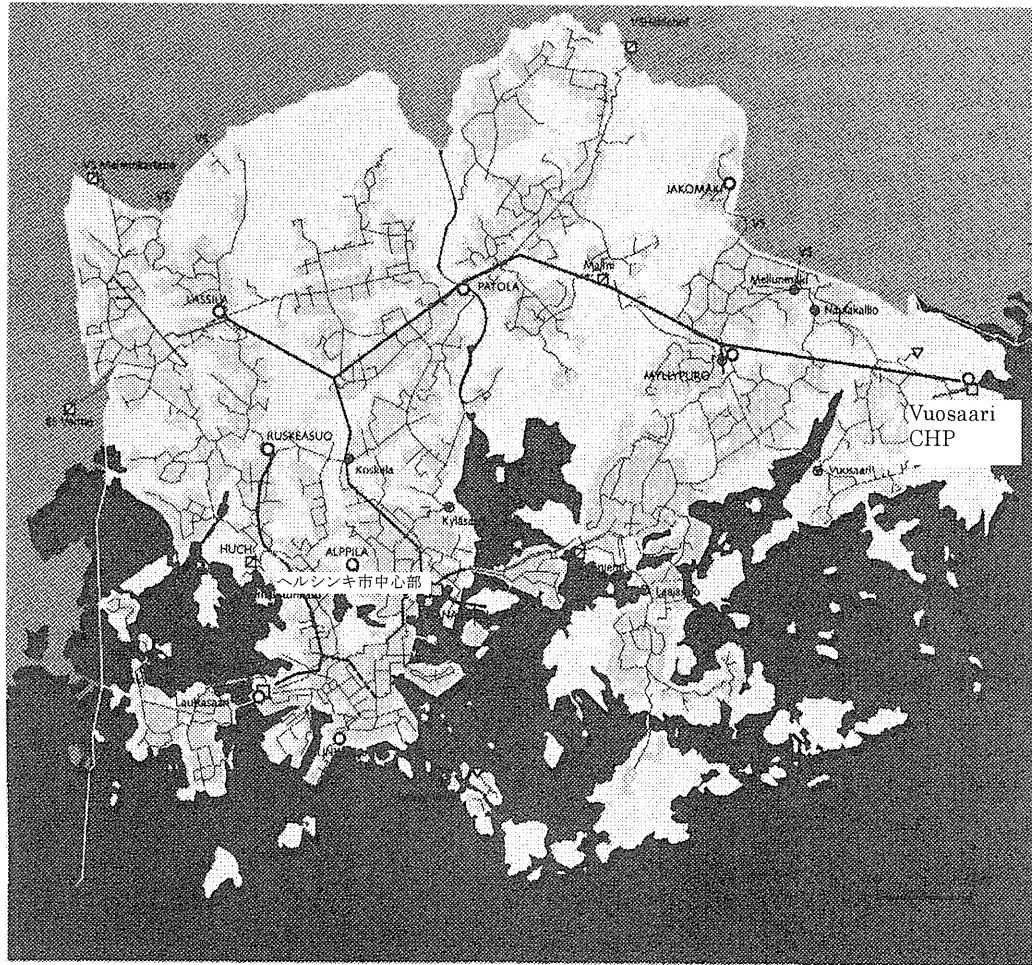


図 2.7 ヘルシンキの広域熱供給ネットワーク

2-3-3 対象都市域の抽出と広域熱供給ネットワーク幹線の仮定

検討対象都市域は、2-2 より可能性が高いと思われる 10 都市を取り上げ、東京は横浜と連続した東京－横浜地域、大阪は神戸と連続した大阪－神戸地域として、合計 8 都市域とした。次に、各都市域で広域熱供給幹線のルート都市排熱を最大限利用する場合（幹線ルート 1）と、主要な都市排熱源だけを利用する場合（幹線ルート 2）とで 2 ルート仮定した。仮定の手法を以下に示す。

- ① 熱供給対象地区は中心を幹線からの熱受け地点と考える。但し、熱供給対象地区が面的に広がっている東京－横浜地域、大阪－神戸地域に関しては主要拠点を設け、これを幹線からの熱受け地点と考える。
- ② 熱源は高温の清掃工場、工場に限定する。
- ③ 主要な熱供給対象地区に対して 5km 以内の熱源からの幹線を仮定し、その幹線から 5km 以内の熱源を順次つないで幹線ルートを仮定する。

（幹線ルート1）

- ④ 幹線ルート 1 に対して最短距離で最大限熱源を取り入れるルートを仮定する。

（幹線ルート2）

- ⑤ 幹線ルート 2 の設定について明らかに離れすぎる熱源については幹線の熱源としては除外する。

東京－横浜地域の幹線ルート図を図 2.8 に、大阪－神戸地域の幹線ルートを図 2.9 示す。

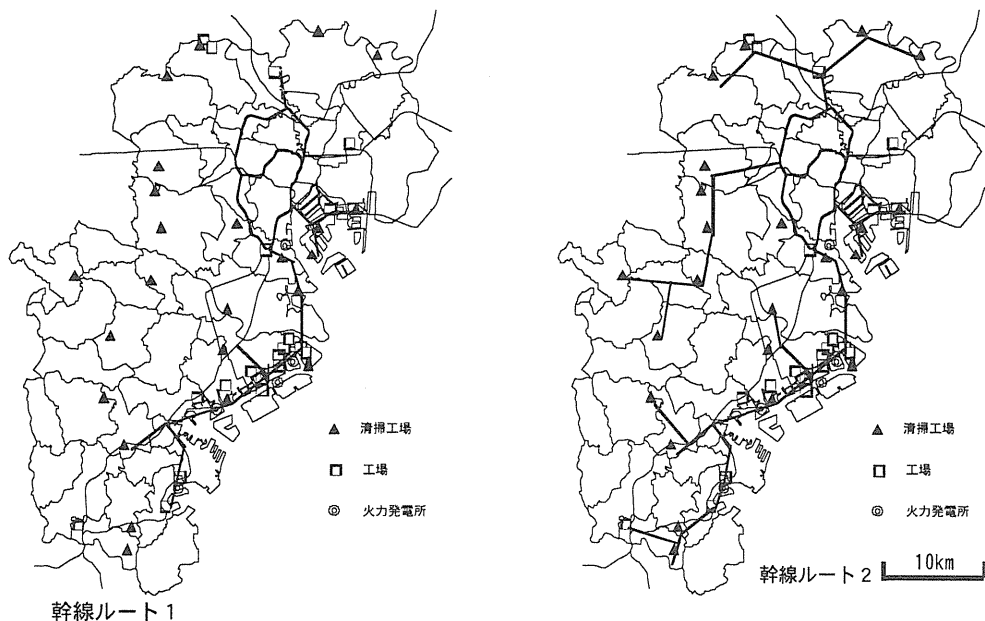


図 2.8 東京－横浜地域の広域熱供給ネットワーク幹線(仮定ルート)

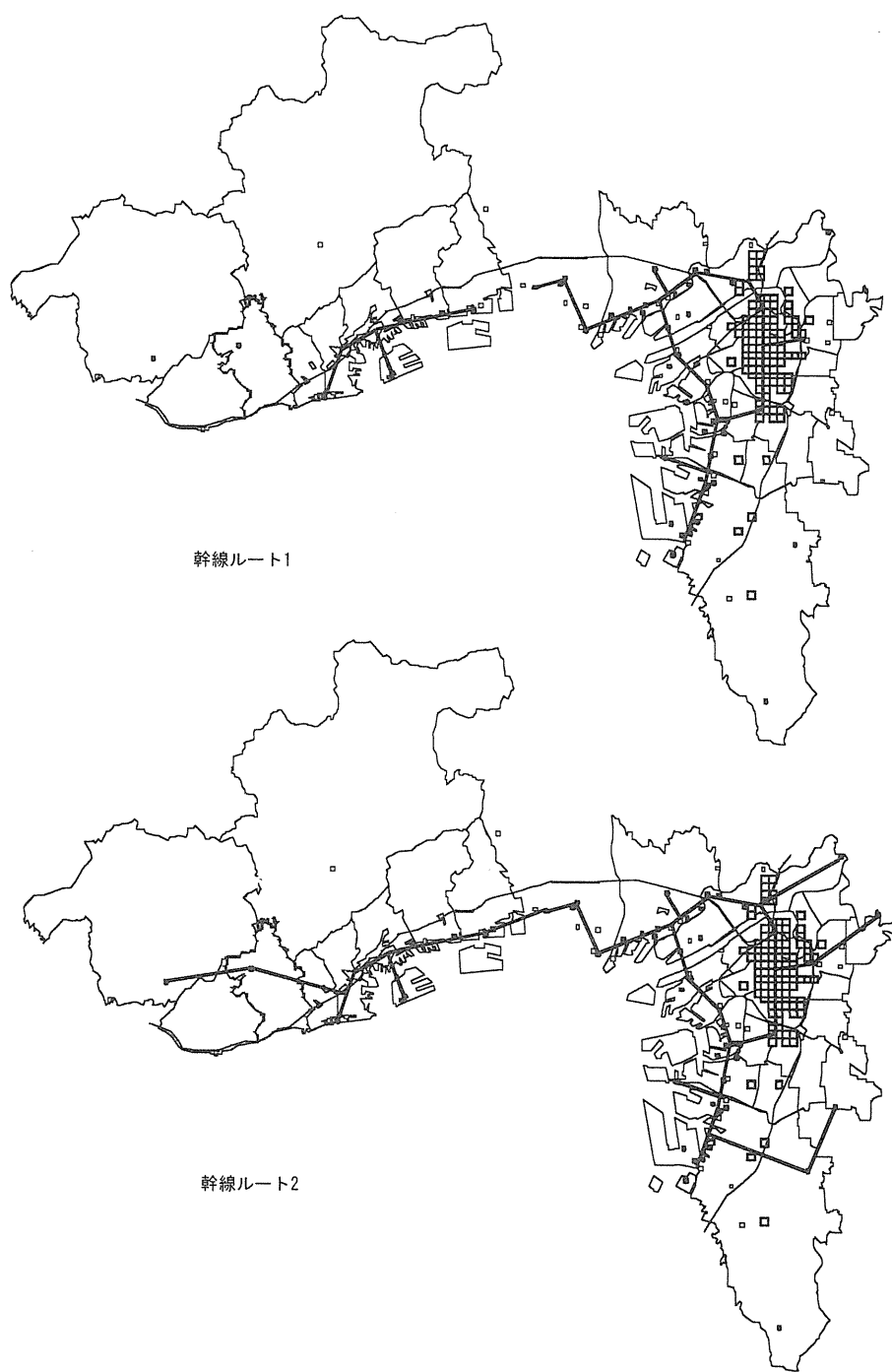


図 2.9 大阪－神戸地域の広域熱供給ネットワーク幹線(仮定ルート)

2-3-4 単位ネットワーク幹線長あたりの熱供給量による比較分析

まず、2-3-3 で仮定した広域熱供給幹線のルート総延長距離を求めた。次に熱源の熱供給能力と熱供給対象地区の熱需要から、広域熱供給幹線で供給する熱量を求めた。つまり、熱供給可能量が対象地区の熱需要よりも多い場合は、対象地区の熱需要量を熱供給量とし、その逆の場合は、熱供給可能量を熱供給量とした。このとき熱供給量は、年間合計値を用いた。この結果得られた広域熱供給幹線の熱供給量と、幹線ルート総延長距離から、単位熱供給幹線距離あたりの熱供給量を求めた。(表 2.1)

表 2.1 対象都市の単位熱供給ネットワーク幹線あたりの熱供給量

	熱需要量	ルート1			ルート2		
		熱供給量 K_1	幹線距離 D_1	K_1/D_1	熱供給量 K_2	幹線距離 D_2	K_2/D_2
	Tcal/年	Tcal/年	km	Tcal/km年	Tcal/年	km	Tcal/km年
CTR	3,540.8	3,540.8	53.7	65.9	3,540.8	53.7	65.9
ヘルシンキ	5,280.4	5,280.4	33.0	160.0	5,280.4	33.0	160.0
札幌	850.9	0.0	0.0	0.0	850.9	40.2	21.2
仙台	385.0	385.0	11.7	32.8	385.0	34.4	11.2
東京－横浜	24,313.4	5,930.0	97.5	60.9	12,073.7	174.0	69.4
名古屋	1,690.8	925.4	30.3	30.5	1,690.8	42.6	39.7
京都	754.2	194.1	10.6	18.3	754.2	31.4	24.0
大阪－神戸	6,699.0	5,375.5	75.1	71.6	6,699.0	117.1	57.2
広島	555.3	372.2	12.7	29.2	555.3	37.5	14.8
福岡	2,235.6	919.8	28.0	32.8	920.3	28.0	32.8

比較する、CTR およびヘルシンキの広域熱供給ネットワークの熱供給量は、年間熱販売実績値（1994 年度）による。また、ヘルシンキの広域熱供給ネットワーク幹線は、CTR の広域熱供給ネットワーク幹線のように地域配管と区別する線引きが難しいため、Utility Tunnel 部分のみを対象としている。実際は、数倍の距離になるものと考えられる。

比較の結果、東京－横浜地域、および大阪－神戸地域が北欧の事例に近い値を示し、比較的導入可能性が高いということがわかった。また、仙台市、広島市、大阪－神戸地域などは、 K_1/D_1 よりも K_2/D_2 が小さくなり、都市内の熱源を活用すべく広域熱供給ネットワーク幹線を最大限に構築したとしても、単位ネットワーク管長あたりの熱供給量が小さくなり、構築コストなどを考慮して設備過大となる傾向にあることがわかる。また、東京－横浜地域でも北欧に比べて単位ネット

ワーク幹線あたりの熱供給量が若干少ない結果となるが、日本は北欧と比べて夏の大きな冷熱需要が存在し、年間を通した広域熱供給ネットワーク幹線の利用率（稼働率）が大きくなると考えられ、更にはその結果として北欧に比べて配管径が小さく計画できる可能性がある。

次に、東京－横浜地域に関して、北欧事例に含まれる火力発電所からの熱供給も組込んで広域熱供給ネットワークを仮定し、同様に単位熱供給ネットワーク幹線あたりの熱供給量を算出した。その結果、都市近郊に発電所が立地し、都市内のその他の熱源だけでは熱供給対象地区の熱需要に対して熱供給量が不足する東京－横浜地域は、発電所（大井火力発電所、浮島火力発電所、横浜火力発電所など）からの熱供給可能量が極めて大きいことから、熱需要全てを広域熱供給ネットワークで熱供給可能となる。このとき、単位熱供給ネットワーク幹線あたりの熱供給量（ K_2/D_2 ）は、東京－横浜地域で $139.8\text{Tcal}/\text{km 年}$ となり、北欧の事例と比較しても K_2/D_2 の値は大きく、更に導入の可能性が高くなる。

2-4 広域熱供給システム導入可能都市域の特性分析

2-4-1 概要

2-2 において、政令指定都市および工場の多い 5 都市について、地域冷暖房導入可能地区の熱需要量、都市内の熱源の熱供給可能量を調べ、高温熱源の場合は熱源から 5km 以内の熱需要地に、低温排熱の場合は 2km 以内の熱需要地に熱を供給する場合の投入 1 次エネルギーの削減率を求めた。また、高温排熱の利用可能性のみについて、その利用率と投入 1 次エネルギー削減率から、その都市が熱が余っている都市なのか、熱が足りない都市なのか、あるいは熱を利用できている都市なのか、熱を利用できていない都市なのかを調べることにより、北九州や川崎などの都市は熱があまっている都市であり、東京、大阪、神戸などは熱が効率的に活用されていない、あるいは熱が潜在的に足りない都市であることがわかった。これらの都市、あるいは都市間においては、広域熱供給ネットワークの構築の可能性が高いことがわかった。

本節では、このことを踏まえ、広域熱供給ネットワークを考える際の基礎的な指標を作ることを目的としている。具体的には、日本全国の政令指定都市とそれに隣接する都市を対象とし、各都市について建物用途別延べ床面積と熱需要原単位から熱需要量、熱負荷密度を求め、対象地区を選定する。またその都市に存在する都市排熱（ごみ焼却場排熱、工場排熱、発電所排熱）から賦存熱量を求め、熱需要量と熱賦存量の関係を各都市において評価し、都市特性（熱需要地・熱源の分布、広域熱供給ネットワークの規模）を分析する。

2-4-2 各都市の熱負荷想定（都市別熱負荷原単位）

熱需要原単位は、IBEC や空気調和衛生工学会がまとめたものや、早稲田大学出版の「建築の光熱水原単位」などの調査研究の結果をまとめたものがある。本研究では、社団法人地域冷暖房協会「プロジェクト 2010 の本全国地域冷暖房導入可能性調査」において、熱負荷想定に用いられた熱需要原単位を用いる。

この熱需要原単位は、東京が基準で建物用途別に設定されており、その建物用途は 8 用途（住宅、医療、業務、商業、宿泊、娯楽、文化、教育）である。^{文献 1)} なお、東京以外（札幌、青森、仙台、新潟、名古屋、大阪、広島、高知、福岡）の熱需要原単位は東京における熱需要原単位から推定した。推定の方法としては、文献 8) の手法を利用した。具体的には、まず東京の月別平均の最高・最低気温から正弦曲線を用いて各月の時刻別の気温を推定し、デグリーアワーを算出して、建物用途ごとに最も冷房・暖房需要原単位と比例関係に近い場合の出グリーアワーの基準温度を求める。次に、同様にして各都市の月毎の平均の最高・最低気温から、正弦曲線を用いて、月毎の時刻別の気温を推定し、先に求めた建物用途ごとの基準温度に対する各都市のデグリーアワーから、月別の冷房、暖房需

要原単位を求める。給湯需要原単位は、給水温度と給湯需要量が一時回帰の関係にあるとして、給水温度から建物用途別に分析し求める。ただし、給水温度は気温で代用し、気温が氷結温度の2℃以下の場合は給水温度は2℃一定として扱う。暖房熱需要原単位を表 2.2、冷房需要原単位を表 2.3、給湯需要原単位を表 2.4 に示す。

表 2.2 気候補正済み暖房需要原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
札幌	44.2	159.0	119.5	48.3	253.7	122.0	197.0	130.6
青森	37.6	141.5	103.8	41.5	222.3	102.1	169.6	113.6
仙台	28.6	115.6	80.8	30.5	178.5	76.0	133.6	89.6
新潟	25.9	106.3	73.3	26.4	165.0	68.4	123.4	82.2
東京	17.0	80.1	50.0	17.9	118.1	43.0	85.9	57.0
名古屋	19.9	87.1	56.5	19.5	131.4	51.6	98.2	64.2
大阪	16.6	77.6	48.6	16.1	115.2	42.0	84.5	55.6
広島	19.6	87.8	56.4	19.8	131.1	50.7	96.8	63.9
高知	14.9	73.0	44.0	14.9	105.7	37.8	75.9	50.4
福岡	15.5	76.0	46.2	15.6	110.3	38.9	79.2	52.8

表 2.3 気候補正済み冷房需要原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
札幌	3.2	39.4	28.8	42.0	19.6	29.9	12.2	5.7
青森	5.0	50.3	34.4	47.9	25.4	35.4	16.3	7.3
仙台	6.8	66.9	43.9	58.8	34.1	44.5	22.2	10.3
新潟	13.5	97.5	55.3	69.1	49.6	56.0	33.9	16.1
東京	18.0	123.0	71.0	86.0	65.0	70.0	43.0	22.0
名古屋	21.2	133.7	71.4	85.8	73.6	71.2	47.1	24.3
大阪	26.0	153.7	79.5	93.5	86.0	78.8	55.1	28.3
広島	18.6	122.1	66.8	81.9	64.2	66.7	42.3	21.3
高知	22.5	142.6	78.0	96.3	87.9	76.5	49.3	26.1
福岡	23.0	140.8	75.1	91.1	77.1	74.3	49.2	25.3

表 2.4 気候補正済み給湯需要原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
札幌	64.1	213.0	14.8	26.5	338.3	76.1	0.0	0.0
青森	62.1	212.0	14.6	25.9	334.8	74.4	0.0	0.0
仙台	57.9	209.9	14.0	24.8	327.3	71.0	0.0	0.0
新潟	54.8	208.3	13.6	23.9	321.9	68.5	0.0	0.0
東京	48.0	206.0	13.0	23.0	310.0	64.0	0.0	0.0
名古屋	50.1	206.0	12.9	22.7	313.5	64.6	0.0	0.0
大阪	46.8	204.4	12.5	21.8	307.7	61.9	0.0	0.0
広島	50.4	206.1	13.0	22.7	314.0	64.8	0.0	0.0
高知	46.6	204.2	12.4	21.7	307.3	61.7	0.0	0.0
福岡	46.9	204.4	12.5	21.8	307.8	62.0	0.0	0.0

2-4-3 熱賦存量の推定

一方、広域熱供給ネットワークの熱源となり得る、高温の都市排熱源、清掃工場ごみ焼却排熱、工場排熱、火力発電所抽気熱について、各都市ごとに立地と排熱賦存量を調査した。このとき、それぞれの排熱賦存量算出には、以下の式を使用した。また、清掃工場のごみ焼却実績値は、平成7年度あるいは平成8年度の処理実績値を入手して使用し、工場の従業員数は「全国工場通覧」より常雇従業員数を用い、火力発電所年間発電量は、平成9年度の実績値を用いた。

○ 清掃工場の排熱賦存

$$\text{賦存熱量(Tcal/年)} = \text{処理実績 (t/年)} \times \text{低位発熱量 (2.0 Gcal/t)} \times 10^{-3}$$

○ 工場排熱賦存 (第4章) 文献9)

$$\text{熱賦存量(Tcal/年)}$$

$$= \text{従業員数(人)} \times \text{従業員1人当たりの1次エネルギー投入量(Tcal/年人)}$$

$$\times \text{高温製造工程からの排熱割合(\%)/100}$$

○ 火力発電所排熱賦存 文献6) 7) 8)

$$\text{熱賦存量(Tcal/年)} = \text{年間発電量 (GWh)} \div \text{発電出力 (GW)}$$

$$\times \text{熱利得量 (103 Tcal/h)}$$

$$\text{熱利得量} = \text{抽気による熱供給可能量}$$

$$- \text{抽気による発電出力低下を補うために必要な入熱量}$$

2-4-4 導入対象地区・対象都市

全国の政令指定都市（札幌，仙台，千葉，川崎，横浜，名古屋，京都，大阪，神戸，広島，北九州，福岡）と，東京都23区，またこれらの近隣都市である市川，船橋，堺，芦屋，尼崎をこの研究の対象地区とし，これらの都市の中で熱負荷密度1.0Tcal/年・ha以上の地区を対象地区とする。但し，熱負荷密度1.0Tcal/年・haを越えていてもその対象地区が隣接する対象地区と合わせて5ha以下の場合，対象地区からは除外する。また，建物用途別床面積のデータが入手できなかった都市については推定値により求めた。

その結果、芦屋市を除く全ての都市において広域熱供給ネットワーク導入対象地区を設定することができた。

広域熱供給ネットワーク導入対象都市の熱供給対象地区の熱需要量，高温の都市排熱賦存量を2-4-3をもとに推計した結果，図2.10，表2.5に示す。東京（23区のみ），横浜，川崎，大阪などは他の都市に比べて熱需要量，熱賦存量ともに非常に大きいことがわかる。また，図2.11に各都市の熱需要量の内訳，図2.12に各都市の熱賦存量の内訳を示す。

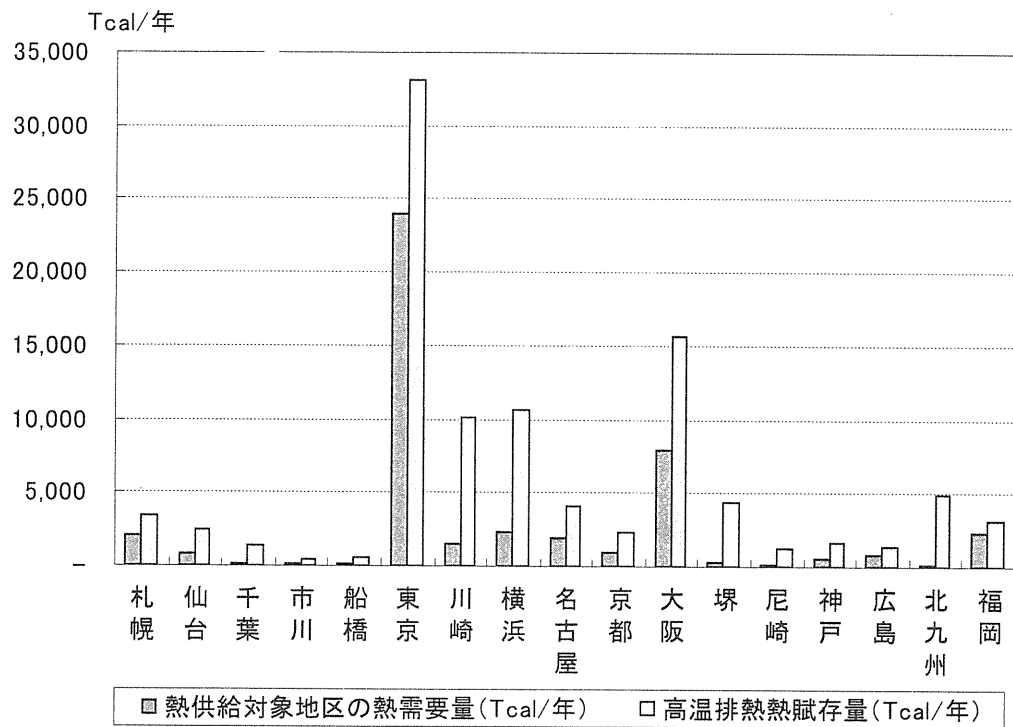


図 2.10 各都市の熱供給対象地区の熱需要量と高温排熱賦存量

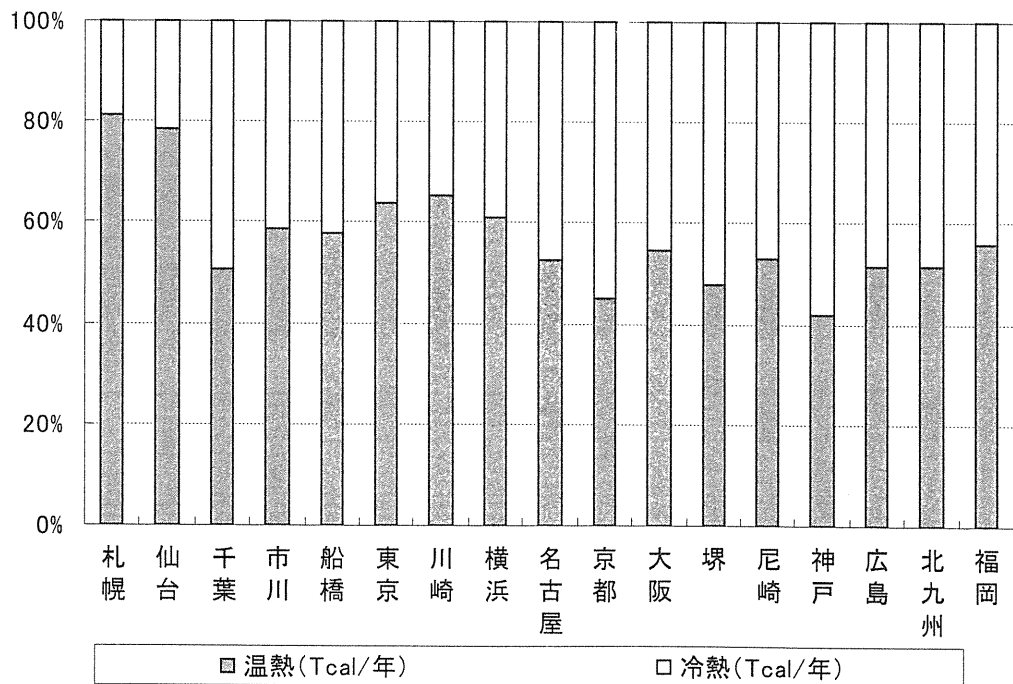


図 2.11 各都市の熱供給対象地区の熱需要内訳(%)

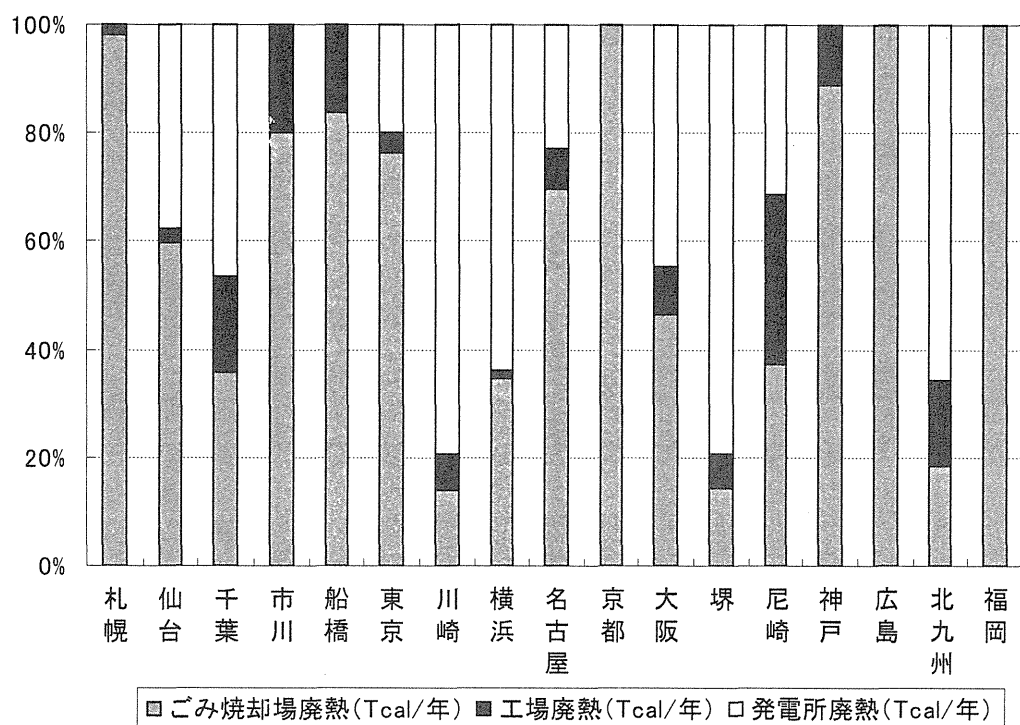


図 2.12 各都市の高温排熱賦存量の内訳(%)

表 2.5 各都市の熱供給対象地区の熱需要量と高温排熱賦存量

	札幌	仙台	千葉	市川	船橋	東京	川崎	横浜
対象地区面積 (ha)	1073.4	368.9	58.0	56.2	84.5	12241.2	756.5	1452.5
熱需要量 (Tcal/年)	1990.5	765.2	135.8	81.4	122.3	23986.1	1512.9	2315.9
温熱 (Tcal/年)	1621.6	600.6	68.6	47.7	70.7	15332.8	990.7	1414.4
冷熱 (Tcal/年)	368.9	164.6	67.2	33.7	51.6	8653.3	522.2	901.4
冷熱/熱需要量	0.185	0.215	0.495	0.414	0.422	0.361	0.345	0.389
熱賦存量 (Tcal/年)	3370.1	2386.1	1426.5	432.7	610.1	33074.9	10099.9	10637.8
ごみ焼却場廃熱 (Tcal/年)	1356.1	966.2	461.2	280.8	408.7	6930.3	1218.8	2891.0
工場廃熱 (Tcal/年)	23.5	42.8	231.2	70.6	79.0	363.4	555.3	114.9
発電所廃熱 (Tcal/年)	0.0	611.8	598.2	0.0	0.0	1795.1	6812.8	5316.0

	名古屋	京都	大阪	堺	尼崎	神戸	広島	北九州	福岡
対象地区面積 (ha)	795.9	409.6	4072.9	211.5	134.0	280.9	366.3	89.3	1301.0
熱需要量 (Tcal/年)	1929.2	907.7	7868.9	318.7	181.1	543.9	796.4	124.6	2259.6
温熱 (Tcal/年)	1015.2	410.2	4282.2	152.9	96.0	227.4	410.5	64.0	1262.5
冷熱 (Tcal/年)	914.0	497.4	3586.6	165.8	85.1	316.6	385.9	60.7	997.2
冷熱/熱需要量	0.474	0.548	0.456	0.520	0.470	0.582	0.485	0.487	0.441
熱賦存量 (Tcal/年)	4149.2	2317.2	15646.3	4370.9	1260.4	1674.9	1415.6	4944.0	3148.0
ごみ焼却場廃熱 (Tcal/年)	1548.3	1409.6	3676.7	576.3	400.9	1253.9	619.2	892.1	920.3
工場廃熱 (Tcal/年)	166.0	0.0	685.2	260.3	341.3	153.6	0.0	771.9	0.0
発電所廃熱 (Tcal/年)	507.6	0.0	3539.1	3215.7	337.0	0.0	0.0	3178.2	0.0

2-4-5 広域熱供給ネットワークの導入規模に関する考察

広域熱供給ネットワーク導入対象の各都市の熱需要と熱賦存の分布図を作成し、熱需要の広がりや熱源の分布から広域熱供給ネットワークを考える際の規模を明らかにすることを試みた。

具体的には、まず、各都市において熱供給対象地区、高温都市排熱源（清掃工場、工場、火力発電所）の分布を地図上に落とし熱需要および熱源の分布地図を作成した。つぎに、熱負荷密度が最も高い熱供給対象地区を都市の中心と考えて、この都市の中心から1km, 2km, 3km…, 20kmと同心円を描き、同心円内に含まれる熱供給対象地区の熱需要量の合計値、および広域熱供給ネットワークの熱源となりうる都市排熱源の熱賦存量の合計値を求めて、図2.14のようなグラフを作成した。図2.14は、東京都区部における熱需要量と熱賦存量の分布をグラフで表したものである。図2.13は東京都区部の熱供給対象地区および高温都市排熱源の分布地図である。

図2.14によると、東京都区部の熱需要の中心は新宿地区にあり、熱供給対象地区が半径10km以上広範囲にべったりと広がっていることがわかる。また、熱供給対象地区の熱需要量が多いことから、高温の都市排熱賦存量が熱需要量に対して小さく、半径19km圏でみても熱需要量に対する熱賦存量の割合が40%不足であることがわかる。ここから、東京における広域熱供給ネットワークは、高温都市排熱を活用した広域熱供給ネットワークだけでは限界があり、低温の都市排熱を活用したローカルな地域熱供給、あるいは既存の60数地点の地域冷暖房とうまく組み合わせて整備していく必要があることがわかる。

図2.15に、名古屋の場合のグラフを示す。これによると、名古屋は東京に比べて熱供給対象地区が熱需要の中心に近いところに集中して存在していることがわかる。また、高温の都市排熱は都市の中心部近くにはなく、約6km離れた周辺から外側に分布していることがわかる。

図2.16には、広域熱供給ネットワーク導入対象都市を積算したグラフを示す。これによると、各都市の熱供給地区全体の熱需要は都市の約10km圏内におさまる、広域熱供給ネットワークの熱源となる高温の都市排熱は都市の中心から約5kmから外側に分布し、都市の中心から半径約16kmの圏内で熱供給対象地区の熱需要量と高温都市排熱賦存量が等しくなる。すなわち、広域熱供給ネットワークを考える場合、せいぜい半径10km～20km、ネットワーク幹線長で約20km～40kmの規模を想定すればよいということがわかる。

このネットワークの規模は、2-3で事例として取り扱ったヘルシンキや、コペンハーゲンの例とほぼ同じ規模と考えられる。

しかし、東京に関しては、本節においては行政区単位で評価しているが、高温都市排熱源の多い、川崎や横浜など周辺の都市とのネットワークも含めて考えていく必要があると考えられる。



図 2.13 東京 23 区の熱供給対象地区・高温排熱源の分布状況

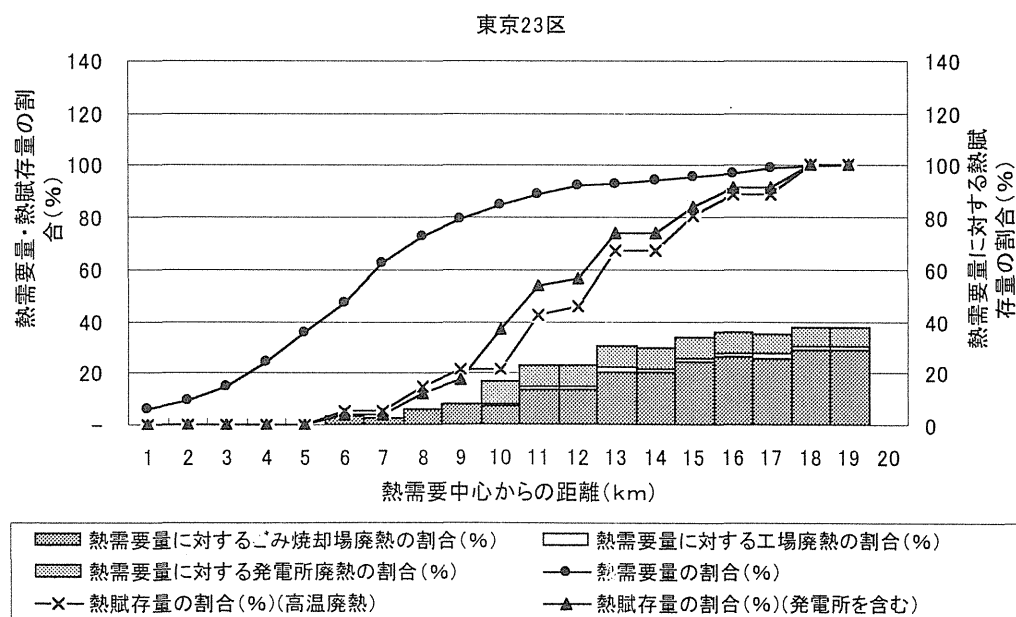


図 2.14 東京 23 区の熱需要と熱賦存の状況

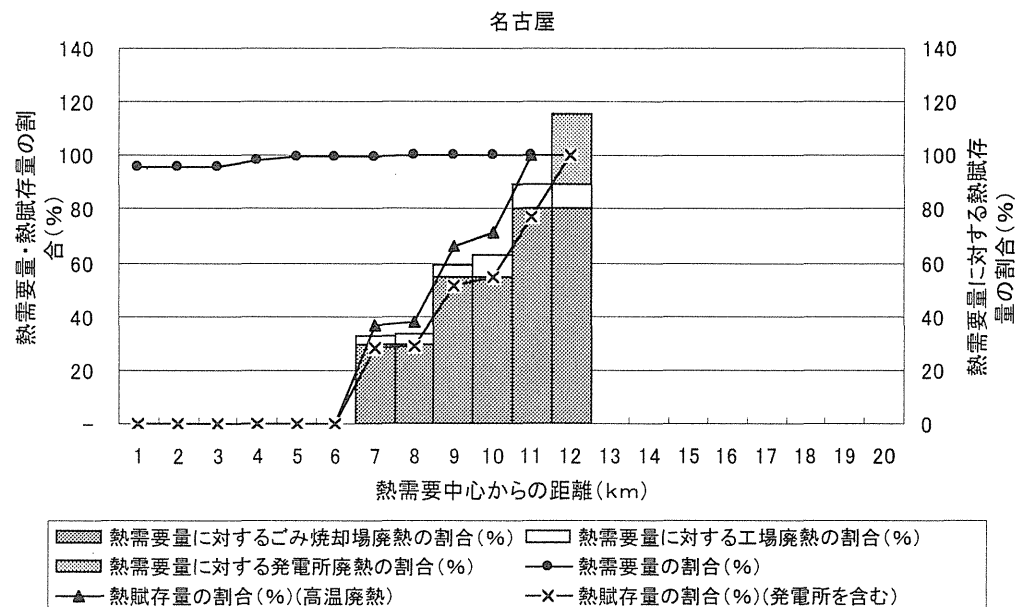


図 2.15 名古屋市の熱需要と熱賦存の状況

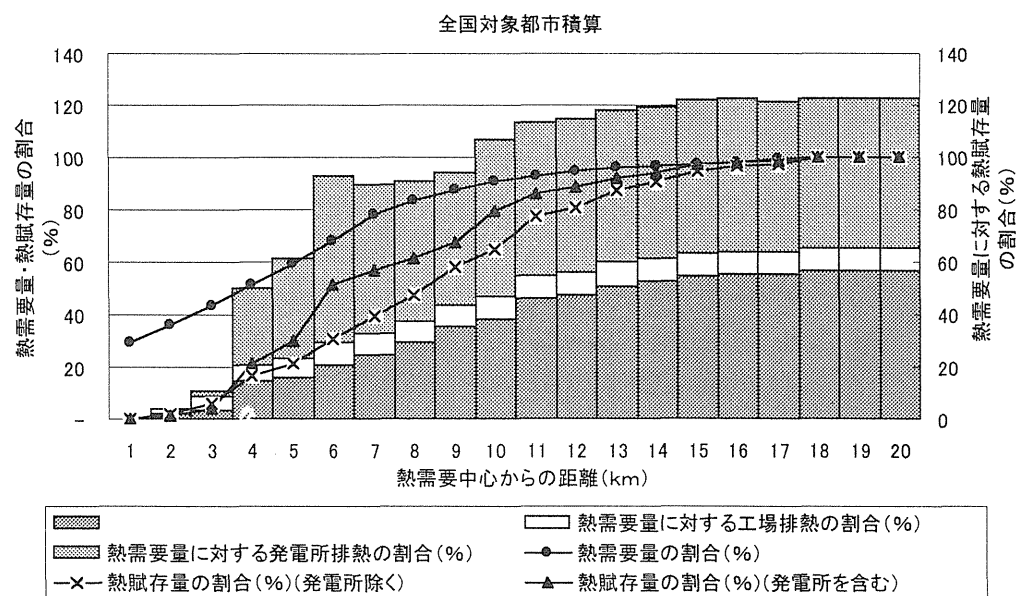


図 2.16 全国広域熱供給ネットワーク導入対象都市積算の熱需要と熱賦存の状況

2-5 結論

本章では、日本全国の地域冷暖房導入可能地区の調査から、広域熱供給ネットワークを導入可能な都市を抽出することと、広域熱供給ネットワークの導入の視点から見た都市特性を明らかにすることを目的とした。

まず、2-2 では、日本全国の政令指定都市及び東京都区部、工業都市、それら周辺都市について、地域冷暖房導入可能地区の設定と年間熱需要量の算出、未利用エネルギー賦存量の算出を行い、熱需要量と熱賦存量の関係から以下のことを明らかにした。

- ① 高温の未利用エネルギーは 5km、低温の未利用エネルギーは 2km の範囲で利用可能とした場合、仙台市では活用可能な未利用エネルギー源はなかったが、その他の都市では何らかの未利用エネルギーが活用可能である。
- ② 工場排熱源の多い千葉、川崎、四日市、堺、姫路、倉敷、北九州市は、ほぼ 100% を未利用エネルギーで賄うことが可能であり、実際は四日市市を除き、千葉、川崎市で約 50%、堺、尼崎、姫路、倉敷、北九州市で 100% をごみ焼却排熱により賄うことが可能となっている。
- ③ 温度レベルが高く、1 次エネルギー削減に対するポテンシャルが高い、高温の都市排熱に対して、それぞれの都市全体の高温排熱賦存量合計に対する活用可能な高温都市排熱量を「高温排熱活用率」とし、投入 1 次エネルギー削減率との関係を見た結果、高温排熱が余っている都市と、都市内の高温排熱が十分に活かされていない、あるいは熱需要が大きいために都市内の高温排熱だけでは十分に対応できない都市の 2 つに分類できた。
- ④ 前者の代表としては、千葉市、川崎市、堺市、北九州市。
- ⑤ 後者の代表としては、東京都区部、広島市、大阪市、横浜市、神戸市。
- ⑥ 高温排熱を十分に活用できてない都市、周辺に高温排熱が余っている都市があり自らは熱需要量が大きく熱賦存量が不足している都市などに関しては、広域熱供給ネットワークを導入することにより、より広範囲での高温都市排熱の利用が可能となる。
- ⑦ 広域熱供給ネットワークの導入可能性の高い都市域として、札幌市、仙台市、東京 - 横浜地域、名古屋市、京都市、大阪 - 神戸地域、広島市、福岡市の 8 都市域が挙げられる。

次に、2-3 において、2-2 で広域熱供給ネットワーク導入可能都市域としてあげた 8 都市域について、具体的な高温排熱利用のネットワーク幹線を仮定し、単位幹線庁あたりの熱供給量を求め、デンマーク・コペンハーゲン CTR 社の事例、フィンランド・ヘルシンキ市の事例との比較により、その実現ポテンシャルを検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- ⑧ 東京 - 横浜地域、および大阪 - 神戸地域が北欧の事例と近い値を示し、比較的

導入可能性が高い。

- ⑨ 仙台市，広島市，大阪－神戸地域などは，都市内の熱源を活用すべく広域熱供給ネットワーク幹線を最大限に構築したとしても，単位ネットワーク管長あたりの熱供給量が逆に小さくなり，構築コストなどを考慮すれば比較的设备過大となる傾向にある。
- ⑩ 東京－横浜地域でも北欧に比べて単位ネットワーク幹線あたりの熱供給量が若干少ない結果となるが，日本は北欧と比べて夏期の大きな冷熱需要が存在し，年間を通した広域熱供給ネットワーク幹線の活用率（稼働率）が大きくなると考えられ，更にはその結果として北欧に比べて配管径が小さく計画できる可能性がある。
- ⑪ 東京－横浜地域に関して，北欧事例に含まれる火力発電所からの熱供給も組込んで広域熱供給ネットワークを仮定し，同様に単位熱供給ネットワーク幹線あたりの熱供給量を算出した結果，都市近郊に発電所が立地し，都市内のその他の熱源だけでは熱供給対象地区の熱需要に対して熱供給量が不足する東京－横浜地域は，発電所（大井火力発電所，浮島火力発電所，横浜火力発電所など）からの熱供給可能量が極めて大きいことから，熱需要全てを広域熱供給ネットワークで熱供給可能となる。
- ⑫ このとき，単位熱供給ネットワーク幹線あたりの熱供給量は，東京－横浜地域で $139.8\text{Tcal}/\text{km}$ 年となり，北欧の事例と比較してもその値は大きく，更に導入の可能性が高くなる。

次に，広域熱供給ネットワークを構築する際に考慮すべき，ネットワークの規模を明らかにするために，日本全国の政令指定都市，東京都区部，及びそれらの周辺都市を対象にして，熱供給対象地区の地理的広がり，高温都市排熱源の地理的分布の関係を明らかにした。その結果，以下のことが明らかになった。

- ⑨ 東京都区部の熱需要の最大地域は新宿地区にあり，熱供給対象地区が半径 10km 以上広範囲にべったりと広がっている。また，熱供給対象地区の熱需要量が大きいことから，高温の都市排熱賦存量が熱需要量に対して小さく，半径 19km 圏でみても熱需要量に対する熱賦存量の割合が 40% 足らずであることがわかる。ここから，東京における広域熱供給ネットワークは，高温都市排熱を活用した広域熱供給ネットワークだけでは限界があり，低温の都市排熱を活用したローカルな地域熱供給，あるいは既存の 60 数地点の地域冷暖房とうまく組み合わせて整備していく必要があることがわかる。
- ⑩ 名古屋は東京に比べて熱供給対象地区が熱需要の中心に近いところに集中して存在している。また，高温の都市排熱源は都市の中心部近くにはなく，約 6km 離れた周辺から外側に分布している。
- ⑪ 各都市の熱供給地区全体の熱需要は都市の約 10km 圏内におさまる，広域熱供給ネットワークの熱源となる高温の都市排熱は都市の中心から約 5km から外側に分布し，都市の中心から半径約 16km の圏内で熱供給対象地区の熱需要量

と高温都市排熱賦存量が等しくなる。すなわち、広域熱供給ネットワークを考
える場合、せいぜい半径 10km～20km、ネットワーク幹線長で約 20km～
40km の規模を想定すればよい。

- ⑫ このネットワークの規模は、2-3 で事例として取り扱ったヘルシンキや、コ
ペンハーゲンの例とほぼ同じ規模と考えられる。

関連の研究発表

- 1) 内田鉄平, 吉田聡他, 「主要都市における未利用エネルギー活用可能性の検討-日本に
おける広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究その 1-」, 日本建築学会大
会学術講演梗概集, 環境工学-I, P. 553-, 1998 年 9 月
- 2) 吉田聡他, 「北欧事例との比較による広域熱供給ネットワーク導入可能都市域の抽出
に関する研究-日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究その
2-」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学-I, P. 555-, 1998 年 9 月
- 3) 鈴木将史, 吉田聡他, 「日本における広域熱供給ネットワーク導入可能都市の抽出と
その特性に関する研究 - 日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する
研究その 3 - 」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学-I, P. 635-, 1999 年 9
月

参考文献

- 1) 社団法人日本地域冷暖房協会, 「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」, 平成 7 年 4 月
- 2) 社団法人日本地域冷暖房協会, 「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 7 年度報告書 (No. 1)」, 平成 8 年 4 月
- 3) 社団法人日本地域冷暖房協会, 「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 7 年度報告書 (No. 2)」, 平成 8 年 4 月
- 4) 佐土原聡他, 「日本全国の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研
究」, 日本建築学会計画系論文集, 第 510 号, P. 61-, 1998 年 8 月
- 5) 電源開発株式会社, 「日本における熱併給発電の導入形態調査ステップⅡ」, 昭和 60
年 6 月
- 6) 電源開発株式会社, 「石炭火力発電暑熱併給システム調査報告書」, 平成元年 3 月
- 7) 電源開発株式会社, 「未利用エネルギーの活用可能性に関する調査報告書」, 平成 5
年
- 8) 佐土原聡, 市川徹, 「日本各地の地域規模のコージェネレーション導入の可能性に関
するシミュレーション研究その 1-日本各地の熱需要原単位の推定及びコージェネレ
ーションによる年間 1 次エネルギー削減率-」, 日本建築学会大会学術講演梗概集,
P. 709-, 1996 年 8 月
- 9) 吉田聡他, 「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-」, 日本建築学会計画系論文集, 第 497 号,
P. 53-, 1997 年 7 月

第 3 章

広域熱供給システムの熱源としての熱併給発電所の
可能性に関する研究

目 次

- 3-1 概要
- 3-2 火力発電所からの熱併給の可能性に関する研究
- 3-3 熱利得による広域熱搬送に関する研究
- 3-4 電動ヒートポンプシステムとの比較によるエネルギー評価
 - 3-4-1 エネルギー評価の基本的な考え方
 - 3-4-2 横浜臨海地区熱需要を想定したエネルギー評価
- 3-5 冷熱比を指標にみた熱併給発電を組込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価
 - 3-5-1 基本的な考え方
 - 3-5-2 冷熱比を指標にみたエネルギー評価
- 3-6 結論

第3章 熱併給発電所を組み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

3-1 概要

本章では、ヨーロッパで見られる CHP (Combined Heat and Power ; 熱併給発電) を組み込んだ広域熱供給システムを参考にして、都市内の火力発電所からの広域熱供給を取り上げ、技術開発が進められている電動ヒートポンプ (以下 HP) システムとの比較によるエネルギー評価をおこなうことで、日本における熱併給発電の可能性 (ポテンシャル) を明らかにすることを目的としている。また、南北に長い日本国土の気象条件の違いによる都市の熱需要特性を考慮して、CHP を組み込んだ広域熱供給システムの熱媒温度の検討等をおこない、日本における地域特性を考慮した熱併給発電による広域熱供給システムのあり方を明らかにする。

既往の研究として、成田ら^{文献2)} は広域の熱併給発電システムについて、エンタルピーとエクセルギーの二つの評価指標から、熱供給温度レベルに関する基礎的研究を行っている。その結果として、

- ① CHP プラントの総合効率は、背圧型蒸気タービンの場合熱供給温度の影響をあまり受けないが、抽気型の場合同熱電比の場合熱供給温度を上昇させると低下する。
- ② エクセルギー的には総合効率は熱供給温度による変化は小さい。
- ③ 従来の個別方式に対する 1 次エネルギー削減率は、熱供給温度が低くなるほど増大し、搬送動力や熱損失を考慮すると、熱供給温度に最適点がある。

ことを明らかにしている。

本研究は、この結果を踏まえた上で、実際に CHP による広域熱供給システムの構築を考える際に必要な情報として、都市の熱需要の広がりや、都市の中での発電所をはじめ都市排熱源の分布を調査することによって広域熱供給システムの規模を明らかにすることと、冷熱比 (年間冷熱需要量 / 年間熱需要量) という都市の気候特性によって、CHP からの熱媒温度を二重効用吸収式冷凍機が駆動可能な温度レベル、単効用が駆動可能な温度レベルに分け、1 次エネルギー削減率によって最適な温度レベルで都市を概略的に色分けすることを目的としている。

3-2 火力発電所からの熱供給の可能性

出力 250MW 火力発電所^{注9)} (発電効率 39.9%) の抽気蒸気の熱供給可能性を、抽気による熱供給可能量と発電出力低下量の関係から考察した。前提として、既設の給水加熱用の抽気点からの抽気可能量は、構造上の制約があることから通常の 2 倍の抽気量とし、かつ低圧タービンの安定的な運転の為に、低圧タービンの最低流量を通常の 1/3 として抽気可能量を算出した。また、発電出力低下量は、以下の式①より算出した。^{文献3) 4) 5) 注10)}

$$\nabla E = \eta G (H - H_{out}) \quad \dots \textcircled{1}$$

∇E ; 抽気による発電出力の低下量

η ; 発電機の効率

G ; 抽気量

H ; 抽気蒸気のエンタルピー

H_{out} ; 低圧タービン出口蒸気のエンタルピー

この前提のもとでは、広域熱供給用として大容量の抽気が可能な点は、LTR (低温再熱蒸気) か IP 排気 (脱気器動力用中圧タービン出口蒸気) に限られ、エクセルギーを考慮した場合、IP 排気が適当と考えられる。IP 排気は圧力 6.4ata、温度 350℃ の加熱蒸気で、熱交換器 (温水ヒータ) ^{注11)} により二重効用吸収式冷凍機の動力となり得る 160℃ の高温水の製造が可能であると考えられる。^{注12)}

また、抽気点の改良を加えることで、構造上の制約を外すならばさらに下段の抽気点からの大容量の抽気が可能になる。しかし、これらの抽気の場合、二重効用吸収式冷凍機駆動用の高温水製造は不可能で、#4 抽気点からの抽気の場合、単効用の吸収式冷凍機駆動用の 120℃ の高温水^{注12)} の製造が可能である。IP 排気、#4 抽気点から抽気する場合の熱供給量と、そのときの発電出力の関係を図 3.2 に示す。最大抽気時の総合効率は、IP 排気からの抽気の場合 74.4% (電力 27.7%, 熱 46.7%), #4 抽気点からの抽気の場合 75.4% (電力 30.9%, 熱 44.5%) となる。構造上の制約下では、#4 抽気の場合総合効率は最大で 42.8% (電力 39.2%, 熱 3.6%) である。

IP 排気、#4 抽気点からの抽気による広域熱供給システムを図 3.3 に示す。以下このシステムについてスタディする。

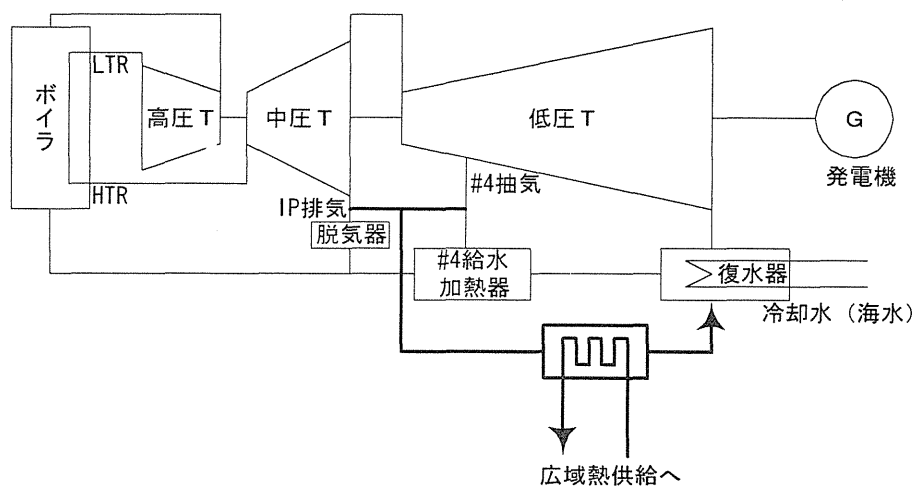


図 3.1 CHP (熱併給発電)システム

表 3.1 抽気点と抽気蒸気のポテンシャル

抽気場所	温度	圧力	エンタルピー	熱供給用 最大抽気可能量	最大抽気時 発電出力	備考
	℃	ata	kJ/kg	t/h	MW	
主蒸気	566	170.0	3476.0	372.08	93	
#8抽気	415	56.8	3217.9	43.33	235	#8ヒータ用抽気量=43.33t
#7抽気	330	38.3	3122.4	65.09	229	#7ヒータ用抽気量=65.09t
LTR	355	35.4	3122.4	125.38	209	
HTR	538	35.4	3538.9	372.08	129	
#6抽気	435	17.2	3329.4	39.55	239	#6ヒータ用抽気量=39.55t
#5抽気(脱機器用)	350	6.38	3166.8	26.49	244	#5ヒータ用抽気量=26.49t
IP排気	350	6.38	3166.8	372.08	166	
#4抽気	235	3.29	2949.3	30.93	245	#4ヒータ用抽気量=30.93t
#3抽気	150	1.25	2773.8	18.09	248	#3ヒータ用抽気量=18.09t
#2抽気	100	0.632	2664.8	29.53	247	#2ヒータ用抽気量=29.53t
#1抽気	60	0.161	2475.9	15.21	249	#1ヒータ用抽気量=15.21t
LPT出口蒸気	40		2346.4	465.10	250	復水器入口蒸気

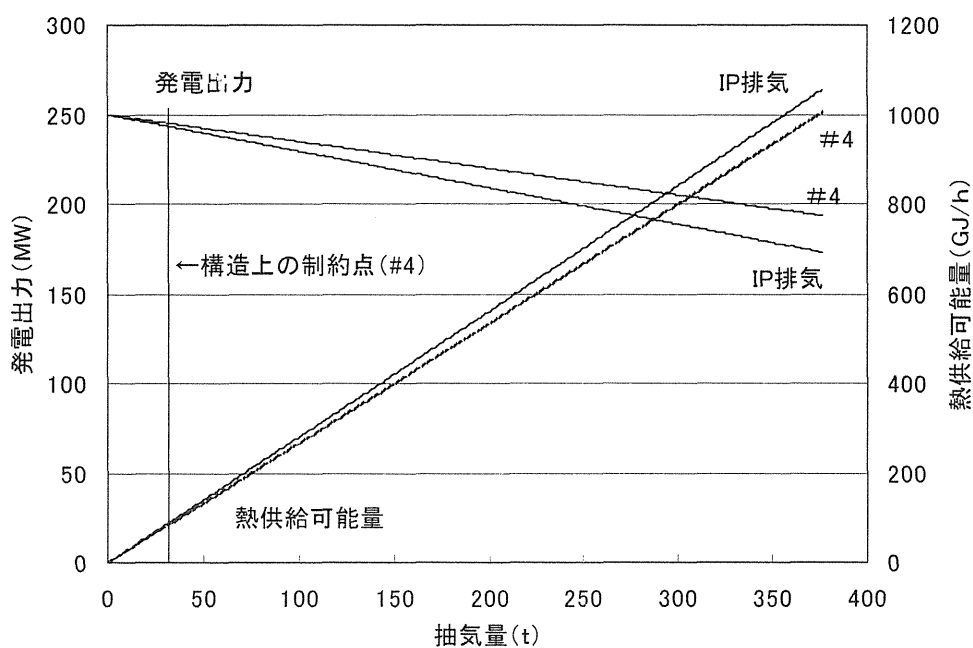


図 3.2 発電所タービン抽気量と発電出力・熱供給可能量との関係

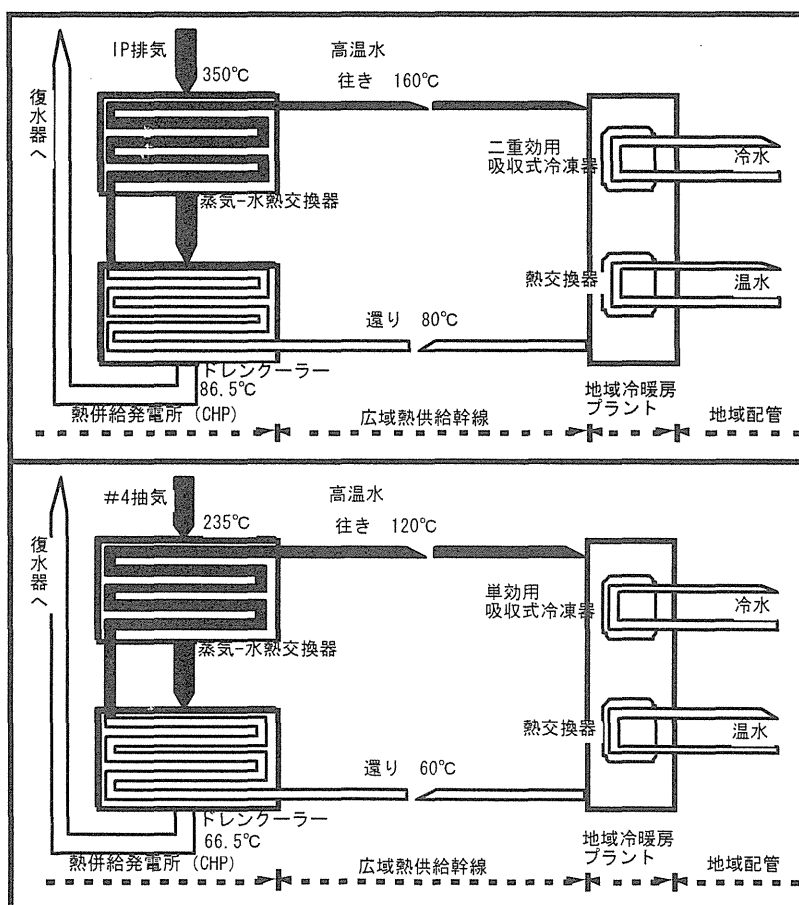


図 3.3 発電所抽気を組込んだ広域熱供給システム

3-3 熱利得による広域熱搬送の可能性

CHP の「熱利得量」を「発電所抽気による熱供給可能量から抽気による発電出力を補うために追投入するエネルギー量を差し引いた量」と定義し、式②^{文献6)}を用いて、熱利得量分のエネルギーで、抽気蒸気で製造した高温水をどれだけの距離搬送可能かについて検討した。このとき、IP 排気の場合の搬送熱媒温度は 160℃ (返り 80℃)、#4 抽気の場合は 120℃ (返り 60℃) とした。また、熱源 (CHP プラント) と需要地の実距離 (直線距離) を L としたとき、配管長は 1.5 L ^{注13)}、行き還りで 3.0 L として検討した(図 3.4)。

図 3.4 によると、熱利得量による熱搬送可能距離は発電所抽気による熱供給量が増加すれば長くなるが、逆に、搬送熱量が増加することにより搬送動力も大きくなり、その伸び率は小さくなる。#4 抽気は、IP 排気よりも単位配管長あたりの圧力損失が大きくなるにもかかわらず、熱利得の割合が大きいために、搬送可能距離は IP 排気の場合よりも長くなる。この考察においては、ピーク時のみの搬送動力から搬送可能距離を明らかにしたが、低負荷時であっても十分に省エネルギー的な広域の熱搬送が可能であると推測できる。

熱利得量 = (発電所抽気による熱供給可能量)

－ (抽気による発電出力の低下を補うために追投入するエネルギー量)

$$W_p = \frac{qh}{\eta_p \eta_m} \quad \dots \quad \textcircled{2}$$

$$h = 9.8L \times \frac{\lambda}{d} \times \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g}$$

$$\lambda = 0.0055 \left\{ 1 + \left(\frac{20000\varepsilon}{d} + \frac{10^6}{R_e} \right)^{1/3} \right\}$$

W_p ; ポンプ動力 (kW)

q ; 流量 (m^3/h) h ; ポンプの圧力水頭 (kPa/m)

η_p ; ポンプ効率 (0.7) η_m ; モーター効率 (0.95)

L ; 配管長 (実長換算、相当管長換算後: 実距離の 3.0 倍: m)

d ; 管直径 (m) λ ; 摩擦係数 v ; 流速 (1.5m/s)

g ; 重力加速度 (9.8m/s^2)

ε ; 管内面の絶対粗度 (0.1mm)

R_e ; レイノルズ数

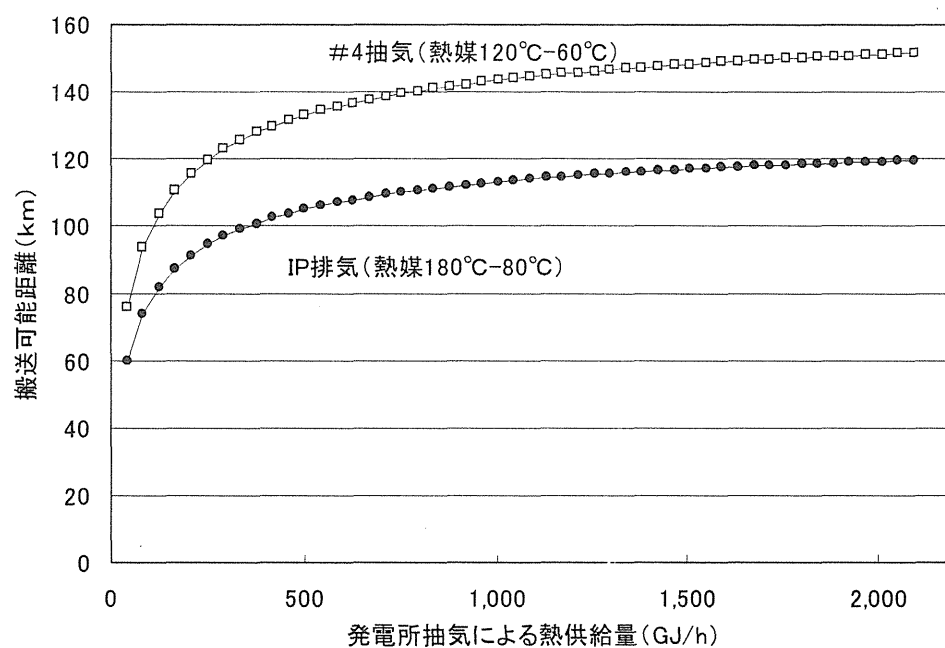


図 3.4 発電所抽気による広域熱供給の搬送可能距離

3-4 電動ヒートポンプとの比較によるエネルギー評価

3-4-1 エネルギー評価の基本的な考え方

3-2, 3-3 の考察を踏まえて、熱需要とのマッチングによる CHP を組み込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価をおこなった。

エネルギー評価の手法として、まず、第一に、横浜臨海地区の熱需要をもとにして、CHP を組み込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価を、HP システムとの比較によりおこなった。HP システムは、現在数多くの地域熱供給プラントで導入されており、また技術開発も盛んにおこなわれ、その COP (成績係数) も向上してきている。この HP の COP の年間平均値を、現状を想定して設定した値 (暖房 ; $COP_h=3.0$, 冷房 ; $COP_c=4.0$)、その 1.1 倍、1.2 倍、…、と係数的に扱い、ある需要を賄うために要する HP 動力としての電力と、広域熱供給システムの抽気による発電出力の低下を比較することで、HP システムに比べて省エネルギー的に実現可能な広域熱供給システムの搬送可能距離を明らかにした。すなわち、ある需要を賄うための HP 動力としての電力量から抽気による発電出力の低下量を引いたエネルギー量で、どこまで遠くに熱を搬送できるかを求めた。またこのとき、地域配管における搬送動力やプラント内の補機動力は同様と考え、取り扱わなかった。また、HP システムの給湯需要にはボイラ (効率 0.8) で対応しているものとした。

3-4-2 横浜臨海地区熱需要を想定したエネルギー評価

横浜臨海地区の概要を表 3.2 に示す。横浜臨海地区(図 3.5)は、横浜駅周辺地区、みなとみらい地区、関内地区からなる高密度地区である。

表 3.2 横浜臨海地区の概要

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育	計
述べ床面積 (ha)	897	53	787	388	95	26	29	100	2,375
構成比 (%)	37.8	2.2	33.1	16.3	4.0	1.1	1.2	4.2	100

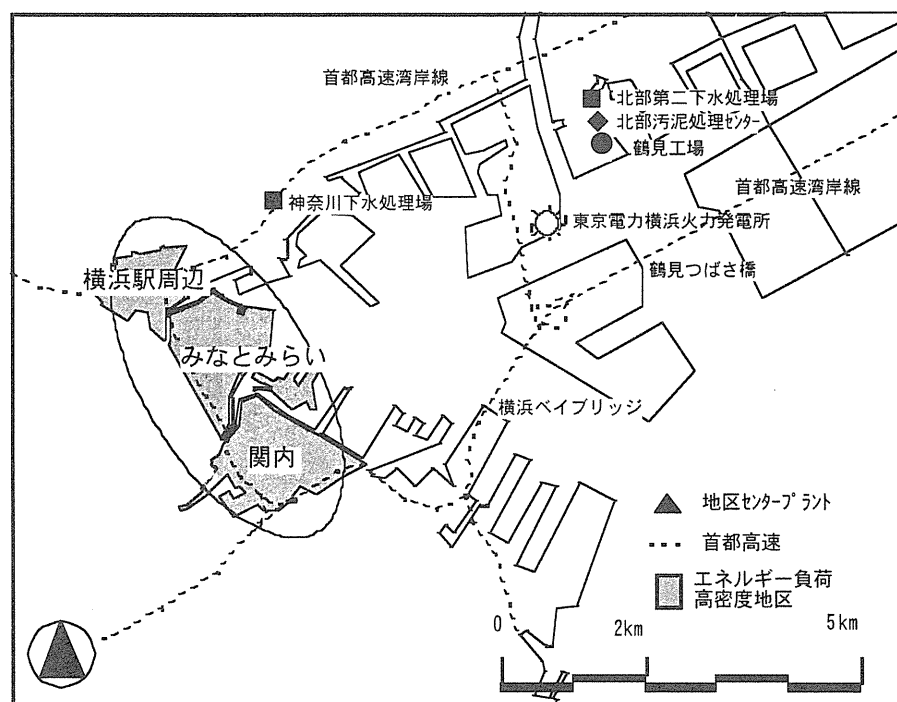


図 3.5 横浜臨海地区と周辺の状況

まず、4.1. で前述のように、現状の HP を想定しての年間平均 COP を、暖房 $COP_h = 3.0$ 、冷房 $COP_c = 4.0$ と設定し^{注14)}、その 1.1 倍、1.2 倍、1.3 倍の 4 ケース (Case0, 1, 2, 3) 設定した。次に、ケースごとにそれぞれ設定した COP を用いて時刻ごとの HP 投入電力量を求めた。HP システムで、給湯についてはボイラ (効率 0.8) で賄うものとし、蓄熱は考慮していない。一方、吸収式冷凍器の成績係数を、二重効用の場合 1.20、単効用の場合 0.65 として、給湯及び暖房需要から高温水の需要を算出し、これを賄うための広域熱熱供給システムの抽気による発電出力の低下量を時刻ごとに求めた。そして、これらの差 (HP 投入電力量 - 発電出力の低下) をもって、どこまで遠くに熱を搬送できるかを検討するために、需要地と発電所の実距離を 10km、…、50km、と係数化して扱い、広域の搬送動力を含めて省エネルギー性を検討した。

図 3.6, 図 3.7 に HP システムと比較したときの、発電所抽気による広域熱供給システムの各搬送距離における省エネルギー性を、年間 1 次エネルギー投入量と年間省エネルギー量、および年間省エネルギー率で示した。また、時刻別でみた省エネルギー量の年間最小値も示している。ここで図 3.6 は IP 排気、図 3.7 は #4 抽気による広域熱供給システムの評価分析の結果である。

通常、発電所は電力を生産する施設であるため、広域熱供給のための抽気により、発電出力の低下という問題が発生すると、電力の安定供給の立場から発電所の CHP への移行は難しい。そこで、HP システムに投入する電力量分以上に、広域熱供給のための出力低下量と搬送動力量の合計が上回らない、すなわち、図 3.6, 図 3.7 (下図) で、時刻別省エネルギー量の年間最小値がマイナスにならないという制約条件を設定すると、ほぼ全てのケースにおいて時刻別省エネルギー量の年間最小値がマイナスとなり、CHP による広域熱供給システムの成立は難しいと考えられる。

しかし、時刻別の省エネルギー量がマイナスになるケースにおいても、年間値でトータルにみれば HP システムより省エネルギー的なケースが多く存在することから、デンマーク・コペンハーゲンの CTR 社の広域熱供給ネットワークに見られるようなヒートアキュムレータ^{文献 7)}を設置、あるいは広域熱供給システムの熱需要地区側の地区プラントに夜間蓄熱槽を設置すること等でシステムの熱負荷を平準化させ、また清掃工場などの他の高温都市排熱を CHP による広域熱供給システムに組み込んでいくことにより広域熱供給システムの発電所への熱依存を小さくすることで、年間トータルで省エネルギー的なシステムとして、この制約条件を外したシステムの構築を検討すべきである。

また、#4 抽気による広域熱供給システムの場合、全てのケースで、年間省エネルギー率が IP 排気によるシステムに及ばない。これは、効率の悪い単効用の吸収式冷凍機でまかなう冷熱需要が大きいことが原因と考えられる。

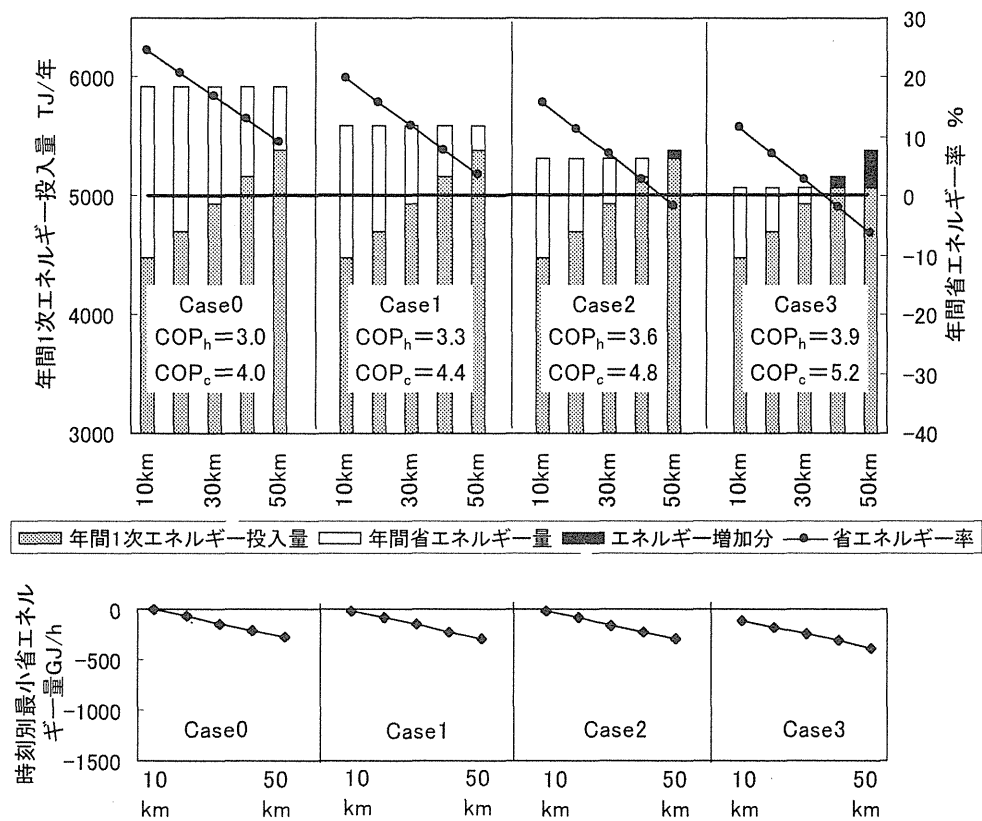
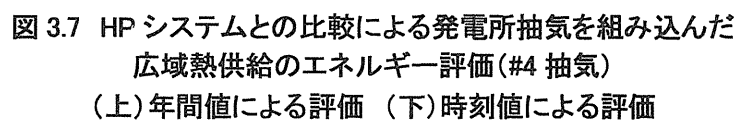


図 3.6 HP システムとの比較による発電所抽気を組み込んだ
 広域熱供給のエネルギー評価(IP 排気)
 (上)年間値による評価 (下)時刻値による評価



3-5 冷熱比を指標にみた熱供給発電を組込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価

3-5-1 基本的な考え方

第二に、発電所抽気による広域熱供給システムの熱媒温度の違いによるエネルギー評価をおこなった。3. で提案したシステムは、熱媒温度が 160℃と 120℃で、冷熱を製造する吸収式冷凍器が、それぞれ二重効用（成績係数 1.2）、単効用（成績係数 0.65）と変わってくる。日本は南北に長い地勢で、冷熱需要が少なく温熱需要が多い北海道から、冷熱需要が多く温熱需要が少ない九州・沖縄まで、熱需要の特性が大きく異なる。そこで、冷熱比（年間の総熱需要に占める冷熱需要の割合）をもとに、熱媒温度の違いによるシステムの省エネルギー性を比較した。具体的には、札幌、青森、仙台、横浜、名古屋、大阪、広島、高知、福岡を取り上げ、都市の中にあるまとまった高密度地区を想定し、その地区の熱負荷を気候補正^{注6)}して年間熱負荷を設定し、それをもとにエネルギー評価をおこない、冷熱比の違いによる広域熱供給システムの熱媒条件を明らかにした。

3-5-2 冷熱比を指標にみた熱供給発電を組込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価

図 3.7 に見られるように、冷熱需要が大きい都市においては、単効用の吸収式冷凍機を使用する#4 抽気広域熱供給システムは、二重効用の吸収式冷凍機を使用する IP 排気広域熱供給システムと比べて、エネルギー的に不利である。このように、気候などによる熱需要の特性によって、それぞれのシステムエネルギー評価は変わることから、その特性にふさわしいシステムを検討することが非常に重要である。

そこで、札幌、仙台、新潟、横浜、名古屋、大阪、広島、高知、福岡を取り上げ、東京を基準とした熱負荷原単位に対するそれぞれの都市の気候補正係数をもとに、年間熱負荷を算出し、HP システム、IP 排気広域熱供給システム、#4 抽気広域熱供給システムのエネルギー評価を概略的におこなった。このとき、熱供給対象地区は表 4 のように設定した^{注14)}。

概略評価は、3-2 で発電出力の低下が抽気量に比例していること、蓄熱槽の設置などを考慮すれば供給熱量はある程度平準化されることなどを踏まえ、補正後の年間負荷から算出した平均時刻別負荷に対して抽気による発電出力の低下量と搬送動力を求めることで、年間のエネルギー評価をおこなった^{注15)}。またエネルギー評価は、HP システムを 3-4 と同様に Case0, 1, 2, 3 と設定し、搬送距離 10km, …50km の距離ごとの広域熱供給システムの年間 1 次エネルギー投入量をもとに、HP システムの各ケースに対する広域熱供給システムの年間の省エネルギー率を、冷熱比（年間熱負荷合計に占める年間冷熱負荷の割合）を指標にグラフ化し考察した（図 3.8）。

図 10 によると、IP 排気、#4 抽気両システムともに冷熱比が大きくなるほど、省

エネルギー率が低くなる傾向にある。また、IP 排気システムは冷熱比による省エネルギー率の変化が小さく、#4 システムは変化が大きい。現状を想定して設定した HP の COP の 1.3 倍 (Case3) を基準に見ると、IP 排気システムの場合、サンプルにとった全て都市の冷熱比においても 20km の広域熱供給システムが HP システムより省エネルギー的である。一方、#4 抽気システムの場合は、冷熱比 19% (札幌) では搬送距離が約 40km までの広域熱供給が、HP システムより省エネルギー的であるが、冷熱比 62% (横浜) 以上では 10 数 km 以下の広域熱供給の場合のみ、HP システムより省エネルギー的となる。

図 3.9 は、冷熱比を指標にとり、IP 排気による広域熱供給システムと比較したときの、#4 抽気による広域熱供給システムの省エネルギー性を示している。2-4 において都市の熱需要の分布と、熱賦存の分布がおおよそ 20km 圏におさまっていることをもとに、20km の広域熱供給を想定した場合、冷熱比 50% 以下の場合には #4 抽気システムが省エネルギー性が高く、それ以上の場合には IP 排気システムの方が省エネルギー性が高い。これは、3-4 のスタディの中でも明らかにしたように、冷熱製造用の吸収式冷凍機の成績係数が、IP 排気システムの二重効用 1.20 に対して、#4 抽気システムの単効用では 0.65 であることが理由であると考えられる。また、#4 抽気システムの場合、抽気による発電出力の低下率が IP 排気の場合よりも小さいことから、冷熱比が小さい場合には、IP 排気システムよりも省エネルギー性が大きくなる。

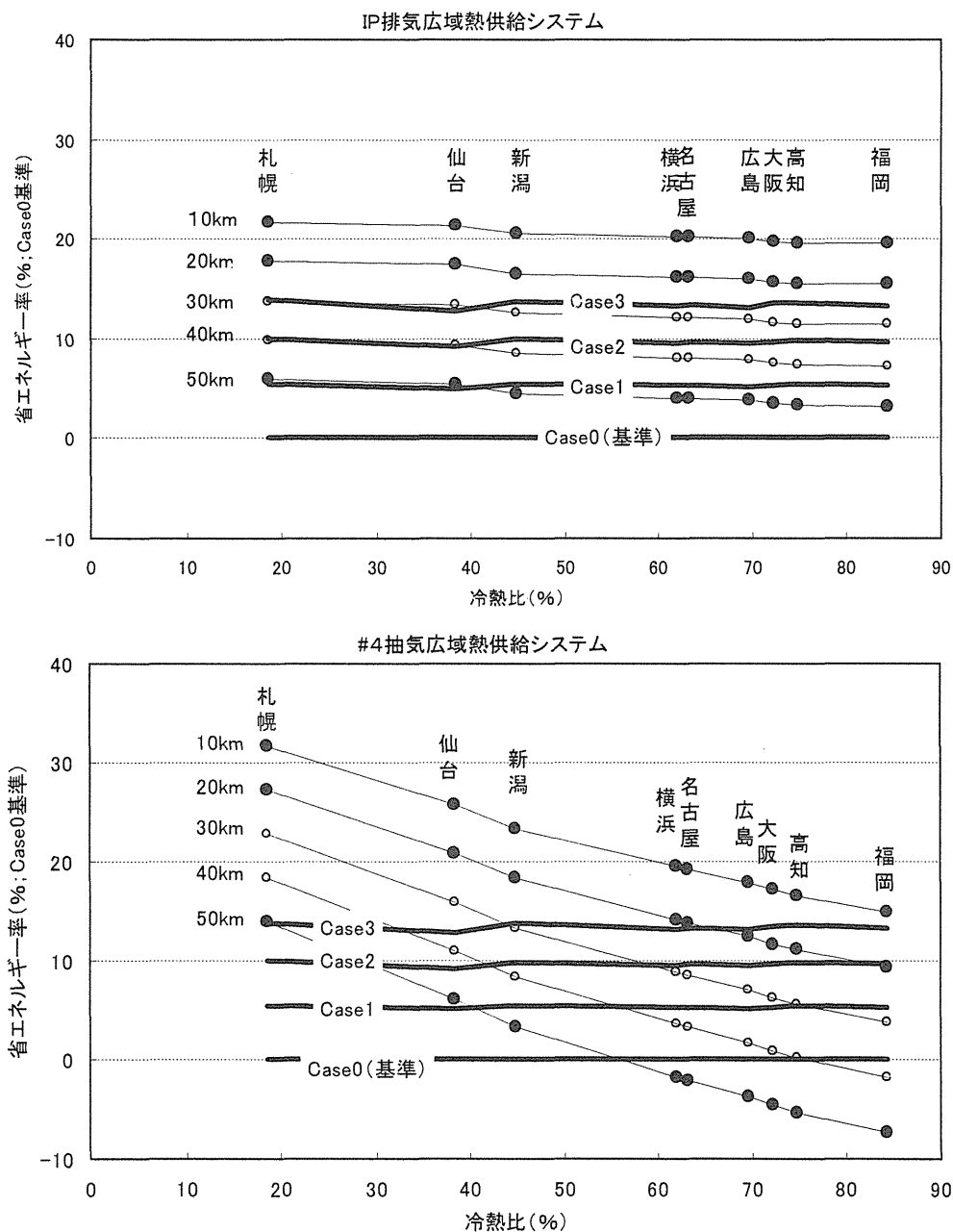


図 3.8 冷熱比を指標に見た発電所抽気による広域熱供給システムの省エネルギー性
(HP システム Case0 に対する省エネルギー性)

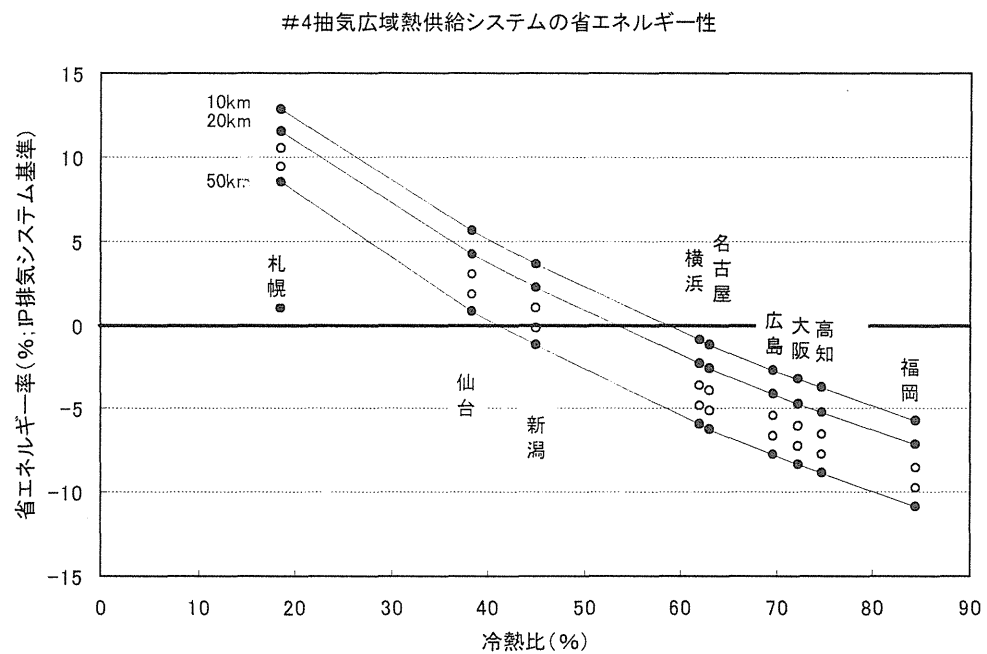


図 3.9 冷熱比を指標に見た発電所抽気による広域熱供給システムの省エネルギー性
(IP 排気システムに対する#4 抽気システムの省エネルギー性)

3-6 結論

本研究では、COP を係数化した HP システムとの比較によって、発電所抽気による広域熱供給システムのエネルギー評価を行った。この結果、以下のことが明らかになった。

- ① 都市における熱需要と熱賦存の分布特性に関する分析において、都市により熱需要の量や広がり、熱賦存の位置や量に特性が存在するが、全国を平均して見ると、熱需要量と熱賦存量は約 10km 圏でバランスが取れ、約 20km 圏内に全ての都市排熱源がおさまる。
- ② 抽気による熱利得によって、広域熱供給システムの長距離の搬送動力をまかなうことが可能である。また、IP 排気による 160℃高温水のシステムより、#4 抽気による 120℃高温水のシステムの方が、熱利得量が大きくより長距離の熱搬送が可能である。
- ③ 横浜臨海地区を例とした HP システムとのエネルギー比較による評価において、発電所抽気による広域熱供給システムは、時刻別では、IP 排気、#4 抽気システム両方とも、HP システムよりエネルギー効率が悪い時間がある。
- ④ 時刻別で省エネルギーがマイナスとなる場合でも、1 次エネルギー投入量の年間値で評価すればプラスとなる場合も多く、蓄熱槽の設置などで発電所および広域熱供給幹線の負荷を平準化することにより、また清掃工場などの他の高温都市排熱を CHP による広域熱供給システムに組み込んでいくことにより広域熱供給システムの発電所への熱依存を小さくすることで、年間トータルで省エネルギー的なシステムとして、この制約条件を外したシステムの構築を検討すべきである。
- ⑤ 地域の熱需要の特性を冷熱比で表現し、その冷熱比を指標にした発電所抽気による広域熱供給システムの HP システムと比較したエネルギー評価では、IP 排気システムは冷熱比による省エネルギー性の変化が少なく、#4 抽気システムでは変化が大きい。両システムともに、冷熱比が大きくなると、省エネルギー率が小さくなる。
- ⑥ IP 排気システムは HP システムの COP が現状値として想定した値より 30% 向上した場合と比べても、全てのサンプル都市の冷熱比において約 20km の広域熱供給の方が省エネルギー的である。
- ⑦ 20km の広域熱供給システムを想定すると、冷熱比が約 50%以下の場合（およそ東京より北の都市）においては、IP 排気システムよりも #4 抽気システムの方が省エネルギー的である。

以上の成果により、欧州で見られる CHP を組込んだ広域熱供給システムが、日本においても十分に省エネルギー的に成り立つシステムであることが明らかになった。現在日本において CHP は、和歌山マリーナシティに熱供給をしている関西電力の海南発電所のみである。しかし、エネルギー分野で様々な規制が緩和されてきており、IPP（独立電気事業）なども成立し易い環境になりつつあり、清掃工場排熱や工場排

熱，IPP プラントからの抽気などが，さらにこの広域熱供給システムに組み込まれれば，より省エネルギー的で，発電所にかかる出力低下という負担も軽減されるシステムが可能となることから，従来の火力発電所の積極的な CHP 化が望まれる。

最後に，日本における地域熱供給の歴史は短く，運営や高い建設コストの問題など，解決すべき様々な課題があることは確かである。今後は，これらの課題を解決するためにも，今回の評価で扱わなかったライフサイクル的な評価を十分におこなう必要がある。また，このシステムの具現化手法や施策に関しての研究や議論が望まれる。

注 釈

- 1) 本研究で扱う広域熱供給幹線のネットワークを有するものとしては，フィンランド・ヘルシンキ，デンマーク・コペンハーゲンの熱供給ネットワークが代表的である。ヘルシンキ市の広域熱供給幹線は，Utility Tunnel と呼ばれる上水，電力ケーブルなどと共用の大深度地下トンネル内に収められ，その最長ルートは Vuosaari CHP プラントから市街地までの約 20km にも及ぶ。コペンハーゲンには，トランスミッションラインと呼ばれる広域熱供給幹線があり，CTR 社のようなトランスミッションカンパニーが，熱生産者から熱を買い，その熱を地域の熱供給網に供給している。CTR 社のトランスミッションラインは，総配管長で約 54km にも及ぶ。(1-3)
- 2) わが国における広域熱供給の構想は，建設省の「都市熱源ネットワーク構想」^{文献 9)}，近畿通産局の「大阪湾広域共同熱供給システム構想」^{文献 10)}，都市高度化推進調査会，(財)北海道地域総合振興機構の「ふゆ未来 2010 プラン」^{文献 11)} がある。(0-2-4, 0-2-5, 0-2-6)
- 3) NEDO のエコエネプロジェクトでは，広域的な都市エネルギーシステム構築のための要素技術として，熱製造，蓄熱，熱輸送における高効率の機器の開発が行われている。プロジェクトは現在最終的な実証試験の段階にあり，今後はそれら個々の技術のシステム化について検討がなされる。(0-2-7)
- 4) 1997 年 12 月京都で開催された「第 3 回気候変動問題枠組条約（通称 COP 3）」において決定した，主な国々の CO₂ 削減目標（1990 年に対する）を表 3.3 に示す。日本の削減目標 6% は，必要な削減量は 1994 年時点で既に 3,300 万 t-c（炭素換算トン）となっている。

表 3.3 COP3 で決定した各国の CO₂ 削減目標値

国・地域名	削減率目標値%	国・地域名	削減率目標値%
EC	8	USA	7
Australia	+8	New Zealand	0
Iceland	+10	Japan	6

- 5) 日本における広域熱供給システム導入可能都市域としては，大きな熱負荷が存在することを第 1 条件と考えて 12 政令指定都市（札幌，仙台，千葉，川崎，横浜，名古屋，京都，大阪，神戸，広島，北九州，福岡）および特別行政区（東京 23 区）を，また東京，大阪都市圏では行政界を超えた広域熱供給も視野に入れてその周辺の都市（市川，船橋，堺，芦屋，尼崎）を対象として抽出し調査を行った^{文献 12) 13)}。

- 6) 熱負荷原単位に関しては、様々な調査研究がなされているが、ここではその中でも代表的な地域冷暖房協会の「プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査」^{文献 14)}における東京の原単位をもとに、同協会出版の「地域冷暖房技術手引書」の熱負荷原単位の地域補正係数を使って、暖房負荷および冷房負荷の補正を行った。また、給湯については、佐土原・市川が提案した手法^{文献 15)}に基づいて補正係数を算出した。具体的には、東京のデータを用いて上水給水温度と給湯需要量が 1 次回帰にある関係を利用して、月別データを建物用途ごとに回帰分析し、それをもとに各都市の各建物用途ごとの月別給湯需要量を算出し、補正係数を求めた。このとき、各都市における上水給水温度は、月の平均気温に等しいと仮定し、気温が 2℃以下の場合、上水給水温度は 2℃一定とした。表 3.4 に今回用いた東京の熱負荷原単位、表 3.5 に補正係数を示す。(2-4)

表 3.4 東京における熱負荷原単位

		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
温熱	Mcal/m ² 年	65	286	63	41	428	107	86	57
冷熱	Mcal/m ² 年	18	123	71	86	65	70	43	22
電力	kWh/m ² 年	46	185	170	291	133	200	63	55

表 3.5 熱負荷原単位補正係数

		暖房	冷房	給湯
札幌	年間負荷	2.49	0.55	1.32
	ピーク負荷	1.40	0.84	2.17
仙台	年間負荷	1.37	0.77	1.15
	ピーク負荷	1.23	0.92	1.49
新潟	年間負荷	1.52	0.93	1.10
	ピーク負荷	1.05	0.91	1.37
東京	年間負荷	1.00	1.00	1.00
	ピーク負荷	1.00	1.00	1.00
名古屋	年間負荷	1.06	1.06	1.03
	ピーク負荷	1.13	1.06	1.17
大阪	年間負荷	0.93	1.11	0.97
	ピーク負荷	0.97	1.01	1.01
広島	年間負荷	0.92	1.10	1.03
	ピーク負荷	1.00	1.01	1.14
高知(高松)	年間負荷	0.93	1.14	0.96
	ピーク負荷	0.97	0.95	0.95
福岡	年間負荷	0.76	1.19	0.96
	ピーク負荷	0.88	1.06	0.96

- 7) 熱供給対象地区の選定に関しては、文献 1) 文献 14) の選定手法を用いた。

- 8) 高温の都市排熱の算出方法は以下に行った。

清掃工場ごみ焼却排熱

$$\text{排熱量} = \text{年間ごみ焼却量 (kg)} \times \text{ごみの低位発熱量 (2000kcal/kg)}$$

工場排熱 ^{文献 16) 表 8)}

$$\text{排熱量} = \text{従業員数 (人)} \times \text{従業員一人あたりの 1 次エネルギー投入量} \\ \times \text{製造工程からの高温排熱割合 (\%)}$$

発電所排熱

$$\text{排熱量} = \text{年間発電量} \div \text{発電出力} \times \text{IP 排気による熱供給を行うときの熱利得量}$$

$$\text{熱利得量} = \text{抽気による熱供給量} - \text{発電出力低下を補うために必要な入熱量}$$

表 3.6 工場排熱推定式

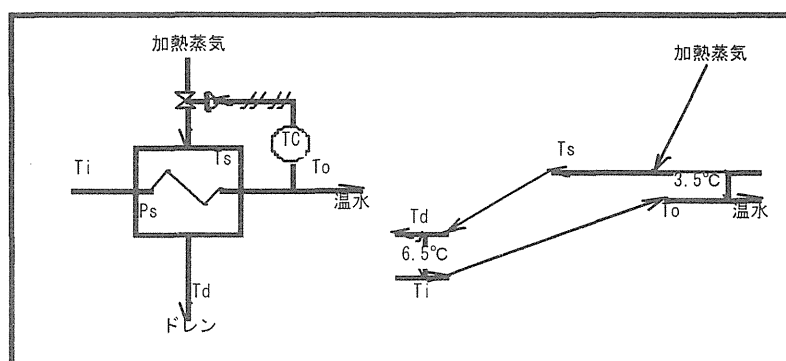
業種	推定式 (() 内は投入エネルギーに対する製造工程からの高温排熱の割合)
鉄鋼業	$= \text{従業員数} \times 2.418 \times (0.0278)$
非鉄金属製造業	$= \text{従業員数} \times 0.540 \times (0.0128)$
化学工業	$= \text{従業員数} \times 3.516 \times (0.0186)$
パルプ・紙	$= \text{従業員数} \times 2.941 \times (0.0005)$
石油・石炭	$= \text{従業員数} \times 7.458 \times (0.0074)$
窯業・土石製品	$= \text{従業員数} \times 0.689 \times (0.0078)$

9) 本研究では、火力発電所の抽気に関するスタディを、従来型の再熱再生サイクル^{注 10)}の三筒一軸型タービンとして行った。現在、横浜火力発電所をはじめ多くの発電所において、発電効率約 50% のコンバインドサイクル (ガスタービン+蒸気タービン) 発電へのリプレースが進められているが、このスタディの考え方は、コンバインドサイクルの蒸気タービン部分に適用でき、実際に前述のヘルシンキ Vuosaari 発電所ではコンバインドサイクルの蒸気タービンの中間圧抽気を、広域熱供給に利用している。

10) 火力発電の発電サイクルにおいては、一般的に上段のタービン出口蒸気をボイラで再加熱する再熱サイクルと、復水器からのボイラ給水を途中数段でタービン抽気蒸気で加熱 (給水加熱) する再生サイクルが併用される。給水加熱用の抽気点および抽気量は発電所ごとに異なる。本研究では、文献 2) 3) 4) をもとに、250MW 火力発電所の熱収支図から、抽気点の温度、圧力、流量および抽気量を求めた。また、既設の抽気点は給水加熱用に設計されているため抽気量には構造上の制限があり、通常の約 2 倍の量の抽気しか出来ないとされている。さらに、高圧タービンから低圧タービンまでタービンが単軸上に配置されている場合、タービンの安定的な運転のため低圧タービンの最小流量を通常の 1/3 と設定している。

11) 文献 2) 3) 4) における、温水ヒータの設計を参考にした (図 12)。IP 排気、#4 抽気の圧力はそれぞれ 6.38ata, 3.29ata であるから、温水ヒータの器内飽和圧力 (P_s) をそれ以下の 6ata, 3ata とすると、蒸気の h-s 線図^{文献 18)}より器内飽和温度 (T_s) はおよそ 165°C, 125°C となり、160°C, 120°C の高温水が得られる。

図 12 温水ヒータの設計



12) 通常吸収式冷凍機の駆動源として高温水を用いる場合、二重効用では 150–190°C, 単効用では 80°C–150°C の温度が求められる^{文献 17)}。

13) 数十 km の長距離搬送を考慮して、配管の実長換算係数を 1.0 (通常 1.0–1.4)^{文献 2)}, 相当管長換算係数を 1.5 (通常 1.5–)^{文献 2)}として、見かけ上の配管長を 1.5L, 行き返りで 3.0L

とした。

14) 2. で選定した各都市における熱供給対象地区の平均を、この広域熱供給システムのスタディにおける対象地区のモデルとした。

15) 発電出力の低下が抽気量に比例していることから、搬送エネルギーを除けば、抽気システムの1次エネルギー投入量は熱負荷量と1次相関の関係にあり、年間値でエネルギー評価が概略的に行える。しかし、搬送エネルギーを考慮する為に、あえて「年間負荷から算出した平均時刻別負荷」で計算を行っている。また、4.2 横浜のスタディにおいて抽気システムの搬送エネルギーは、搬送距離が10kmの場合、総投入エネルギーの5.1%、搬送距離が50kmの場合、約21.1%と割合が小さく、また、4.3の概略計算によるスタディにおける総投入エネルギーに対する搬送エネルギーの割合は、搬送距離10kmの場合5.4%、50kmの場合26.8%であり、搬送距離が大きくなると誤差が大きくなるものの、許容できる誤差範囲であると考えた。

【参考文献】

- 1) 佐土原聡, 他8名, 「日本全国の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第510号, p.61, 1998年8月
- 2) 成田樹昭他, 「広域熱供給システムの熱供給温度に関する基礎的研究」, 空気調和・衛生工学会論文集, No.64, 1997年1月
- 3) 電源開発(株), 「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
- 4) 電源開発(株), 「石炭火力発電所熱供給システム調査報告書」, 平成元年3月
- 5) 電源開発(株), 「未利用エネルギーに関する調査報告書」, 平成5年度
- 6) 下田吉之他, 「都市未利用エネルギーの活用可能性評価手法に関する研究 第2報—未利用熱源水ネットワークの省エネルギーポテンシャル」, 空気調和・衛生工学論文集, No.67, 1997.10月
- 7) Avedøre2 Power Plant 2パンフレット, SK Power Company, Denmark
- 8) 東京都都市局, 「平成8年度都市熱源ネットワーク整備基本計画調査報告書」, 平成9年3月
- 9) 東京都都市局, 「平成9年度都市熱源ネットワーク整備基本計画調査報告書」, 平成10年3月
- 10) 広域共同熱供給システム検討委員会, 「広域共同熱供給システム構想—神戸市域における広域共同熱供給システムの検討—要約版」平成8年5月
- 11) 都市高度化推進調査会, (財)北海道地域総合振興気候, 「ふゆ 未来 2010 —新北方型都市整備プラン—」, 平成8年10月
- 12) 内田鉄平, 吉田聡, 他, 「主要都市における未利用エネルギーの活用可能性—日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究 その1—」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 1998年9月
- 13) 吉田聡他, 「北欧事例との比較による広域熱供給導入可能都市域の抽出に関する研究—日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究 その2—」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 1998年9月
- 14) (社)地域冷暖房協会, 「プロジェクト2010 日本全国各地冷暖房導入可能性調査平成8年度報告書」, 平成9年3月
- 15) 佐土原聡, 市川徹, 「日本各地の地域規模のコージェネレーション導入の可能性に関するシミュレーション研究—その1 日本各地の熱需要原単位の推定およびコージェネレーションによる年間1次エネルギー削減率」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1996年9月
- 16) 吉田聡, 渡辺健一郎他, 「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—」, 日本建築学会計画系論文集, 第497号, PP.53-58, 1997年7月
- 17) 空気調和・衛生工学会, 「空気調和・衛生工学便覧1 基礎篇」, 第12版, 1995年, 丸善
- 18) 空気調和・衛生工学会, 「空気調和・衛生工学便覧2 汎用機器・空調機器篇」, 第12版, 1995年, 丸善

第 4 章

広域熱供給システムの熱源としての工場排熱の 利用可能性に関する研究

目 次

- 4-1 概要
- 4-2 工場のエネルギー消費量現状調査
- 4-3 調査の概要
- 4-4 調査結果解析
 - 4-4-1 工場の稼動状況
 - 4-4-2 工場の1次エネルギー投入量
 - 4-4-3 工場の排熱利用可能量の算定
 - 4-4-4 工場排熱算出式の作成
- 4-5 神奈川県の高熱消費密度地区における工場排熱利用のケーススタディ
 - 4-5-1 神奈川県における高熱消費密度地区の選定
 - 4-5-2 各地区における工場排熱賦存量の推定
 - 4-5-3 需要と供給のケーススタディ
- 4-6 結論

第4章 広域熱供給システムの熱源としての工場排熱の利用可能性に関する研究

4-1 概要

一般に地域冷暖房の導入を検討する場合、需要と供給両方のデータが必要である。しかし、需要側のデータとして光熱消費原単位などはあるが、供給側になりうる未利用エネルギー源のデータは整備(原単位化)されていないのが現状である。そこで、本研究ではこれらの従来研究を踏まえ、工場へのアンケート調査をもとに、一次エネルギー投入量と排熱量、従業員数（ここでは工場の規模）そして自家発電設備からの排熱などの関係を統計的に分析し、明らかにすることによって、全国の地域冷暖房導入可能性調査などの基礎指標としての工場排熱原単位を産業中分類による業種別に作成した。あわせて神奈川県における工場排熱の賦存量および、工場排熱の利用可能性の検討を行なった。

4-2 工場のエネルギー消費現状調査

地域冷暖房のプラントには、5 Gcal/h 以上の供給能力が求められる。今回、工場の排熱を地域冷暖房に利用することを考えると、地域冷暖房への排熱利用が可能な業種は1事業所あたりの排熱量の多い業種に絞られる。そこで、予め工場の排熱量の多少を投入エネルギー量から推測する。「平成5年石油等消費構造統計表」^{文献5)}により、日本標準産業分類の中分類(表4.1)別、従業員一人当たりの投入エネルギー量を図4.1に示す。ここで投入エネルギーとは、原材料を除く一次エネルギー投入量と購入電力をそれぞれかカロリー換算し、加算したものである。このとき電力の一次エネルギー換算を 1 kWh = 2,250 kcal とした。

図4.1によると石油・石炭製品製造業(21)、鉄鋼業(26)、パルプ・紙・紙加工品製造業(18)、化学工業(20)、窯業・土石製品製造業(25)、非鉄金属製造業(27)が他の業種に比べて、1事業所あたりの投入エネルギー量が多いことが分かる。そこで、前述の6業種を「エネルギー多消費6業種」とする。

表1 日本標準産業中分類

NO	産業中分類 産 業 名	NO	産業中分類 産 業 名
12	食料品製造業	23	ゴム製品製造業
13	飲料・飼料・タバコ製造業	24	なめし皮・同製品・毛皮製造業
14	繊維工業	25	窯業・土石製品製造業
15	衣服・繊維製品製造業	26	鉄 鋼 業
16	木材・木製品製造業	27	非鉄金属製造業
17	家具・装備品製造業	28	金属製品製造業
18	パルプ・紙・紙加工品製造業	29	一般機械器機製造業(武器製造業含)
19	出版・印刷関連業	30	電気機械器機製造業
20	化 学 工 業	31	輸送用機械器機製造業
21	石油・石炭製品製造業	32	精密機械器機製造業
22	プラスチック製品製造業		

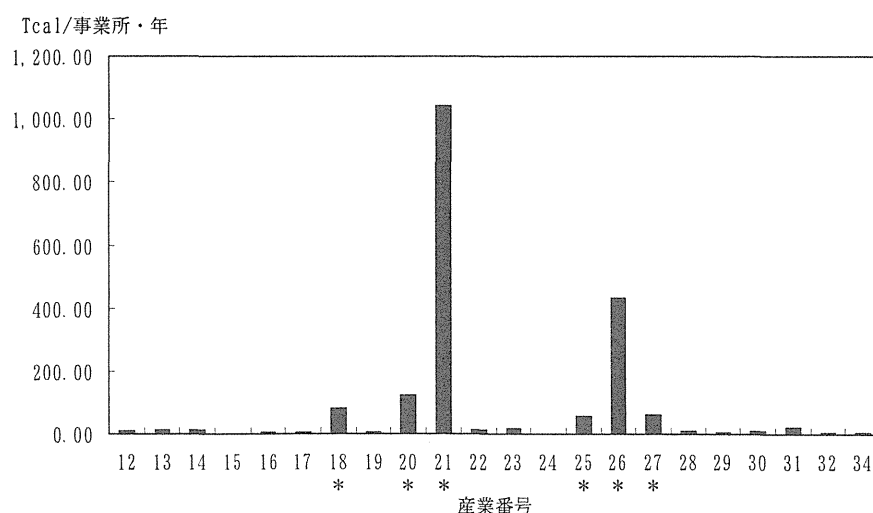


図1 全国産業別投入エネルギー量

4-3 調査の概要

調査は、調査対象および調査時期によって次の三つに分けられる。

- 1) 神奈川県、千葉県の従業員数 200 人以上の工場を対象にして、平成 7 年 10 月から 12 月に行った調査。（1 次調査と略す）
- 2) エネルギー多消費 6 業種のうち、一次調査で回答の少なかったパルプ・紙・紙加工品製造業（18）と窯業・土石製品製造業（25）に関して、平成 7 年 12 月から平成 8 年 1 月に追加で行った調査。（2 次調査と略す）この調査で、パルプ・紙・紙加工品製造業（18）に関しては静岡県の従業員 200 人以上の工場と、全国における従業員数 1000 人以上の工場を対象にし、窯業・土石製品製造業（25）に関しては一次調査で回答の得られなかった神奈川県と千葉県の工場に再度依頼した。
- 3) 一次二次調査において有効回答が少なくデータの信頼性が低いことから、エネルギー多消費 6 業種に関して、対象地区を東海、中部、近畿地区に拡大してデータの補充を行った調査。（平成 8 年 5 月から 6 月、三次調査と略す）ただし、この調査で石油・石炭製品製造業（21）は対象工場数が少ないため、対象地区は全国とした。

また、対象工場の決定は、「全国工場通覧」（1994-1995 年度、通商産業省篇）^{文献 6)}をもとに行い、記入データは 1・2 次調査は平成 6 年度、3 次調査は平成 7 年度を基準年度としたが、記入が困難な場合は最近 1 年間のデータの記入とした。

(1) 調査方法

郵送方式によっている。ただし、郵送の前に予め調査の以来を電話にて行い、調査協力が得られる事業所にのみ郵送した。また、回収した調査票の不明箇所については電話などにより、ヒアリングを行い補完した。調査回答期間は 1 ヶ月である。

(2) 調査項目

調査票については、過去の同様の調査研究を参考にして作成し、更に工場のエネルギー管理関係者のアドバイスを得た上で、最終的な調査票とした。調査項目については以下の通りである。

- ① 工場の一般概要（従業員数、稼動体制、主要生産品目など）
- ② 1 次エネルギー投入量（年間値、季節別月間値）
- ③ 蒸気使用量・温度・圧力（月間値、用途）
- ④ 排ガス量・温度（時間値、排出時間）
- ⑤ 冷却用循環水量・出入口温度（年間値、出入口温度は月間値）
- ⑥ 温排水量・温度（年間値）

(3) 調査票の回収状況

調査票の回収状況を表 4.2 に示す。業種分類は日本標準産業分類の中分類とする。総計で、調査票郵送数が 317 件、回収票数が 156 件、うち有効回答票数が 148 件、有効回答回収票率は 46.7%であった。また、エネルギー多消費 6 業種に関しては、調査票郵送数が 182 件、回収票数が 92 件、うち有効回答票数が 84 件、有効回答票率は 46.2%である。

表 2 調査票の回収状況

N O	産業中分類	最終結果			
	産 業 名	郵 送 数	返 送 数	有 効 回 答 数	有 効 回 答 率
12	食料品製造業	24	10	10	41.7
13	飲料・飼料・タバコ製造業	3	2	2	66.7
14	繊維工業	1	0	0	0.0
15	衣服・繊維製品製造業	0	0	0	0.0
16	木材・木製品製造業	0	0	0	0.0
17	家具・装備品製造業	0	0	0	0.0
18	パルプ・紙・紙加工品製造業	32	18	18	56.3
19	出版・印刷関連業	3	2	2	66.7
20	化 学 工 業	43	16	13	30.2
21	石油・石炭製品製造業	21	11	11	52.4
22	プラスチック製品製造業	5	2	2	40.0
23	ゴム製品製造業	5	2	2	40.0
24	なめし皮・同製品・毛皮製造業	0	0	0	0.0
25	窯業・土石製品製造業	37	21	17	45.9
26	鉄 鋼 業	29	12	12	41.4
27	非鉄金属製造業	20	14	13	65.0
28	金属製品製造業	13	4	4	30.8
29	一般機械器機製造業（武器製造業含）	19	4	4	21.1
30	電気機械器機製造業	34	23	23	67.6
31	輸送用機械器機製造業	15	6	6	40.0
32	精密機械器機製造業	13	9	9	69.2
	計	317	156	148	46.7
	エネルギー多消費6業種計	182	92	84	46.2
	非エネルギー多消費業種計	135	64	64	47.4

4-4 調査結果解析

4-4-1 工場の稼働状況

工場の稼働状況に関する調査結果を表 4.3 に示す。エネルギー多消費 6 業種は、他の業種に比べて、非鉄金属製造業（27）を除いて、24 時間連続稼働の工場が多いことがわかる。熱供給事業法によると、熱供給事業者は熱需要家に対して安定的な熱供給を行う義務を持たなければならない。工場が熱供給事業者となり得るには、連続稼働で、熱を安定供給する能力をもつことが重要になる。ただし、本研究の広域熱供給システムにおいては、工場は熱の生産工場として扱い、熱供給事業者としては扱わない。熱供給事業者は熱を生産して売り渡す会社となるため、熱供給事業法の適用は受けないと考える。しかし、熱供給事業者となる広域熱供給ネットワークの運営会社との熱の売買契約により、ある程度のネットワークへの熱供給義務は生じる。

表 4.3 工場の稼働状況

	有効回答数	稼働体制			稼働実績		
		連続	不連続	連続稼働の割合 (%)	年間平均稼働日数	年間平均稼働時間	年間稼働時間割合 (%)
パルプ・紙・紙加工品 (18)	18	16	2	88.9	341	8,091	92.4
化学工業 (20)	13	9	4	69.2	303	6,258	71.4
石油・石炭製品 (21)	11	11	0	100	348	8,363	95.5
窯業・土石製品 (25)	17	9	8	52.9	302	5,620	64.2
鉄鋼業 (26)	12	10	2	83.3	345	7,833	89.4
非鉄金属 (27)	13	5	8	38.5	270	5,796	66.2
エネルギー多消費 6 業種 計	84	60	24	71.4	322	7,035	80.3
その他の業種 計	64	10	54	15.6	275	3,868	44.2

4-4-2 工場の1次エネルギー投入量

アンケートをもとに工場の一次エネルギー投入量と工場の規模として最もデータ入手が容易な従業員数との関係を図4.2に、また業種ごとの平均値を表4.4に示す。これによると、とくに石油・石炭製品製造業は、従業員一人当たりの一次エネルギー投入量が突出している。また、産業中分類というばらつきの大きい分類で解析していることを考慮に入れば、一次エネルギー投入量と従業員数との関係には、ある程度の有意性があると考えられる。

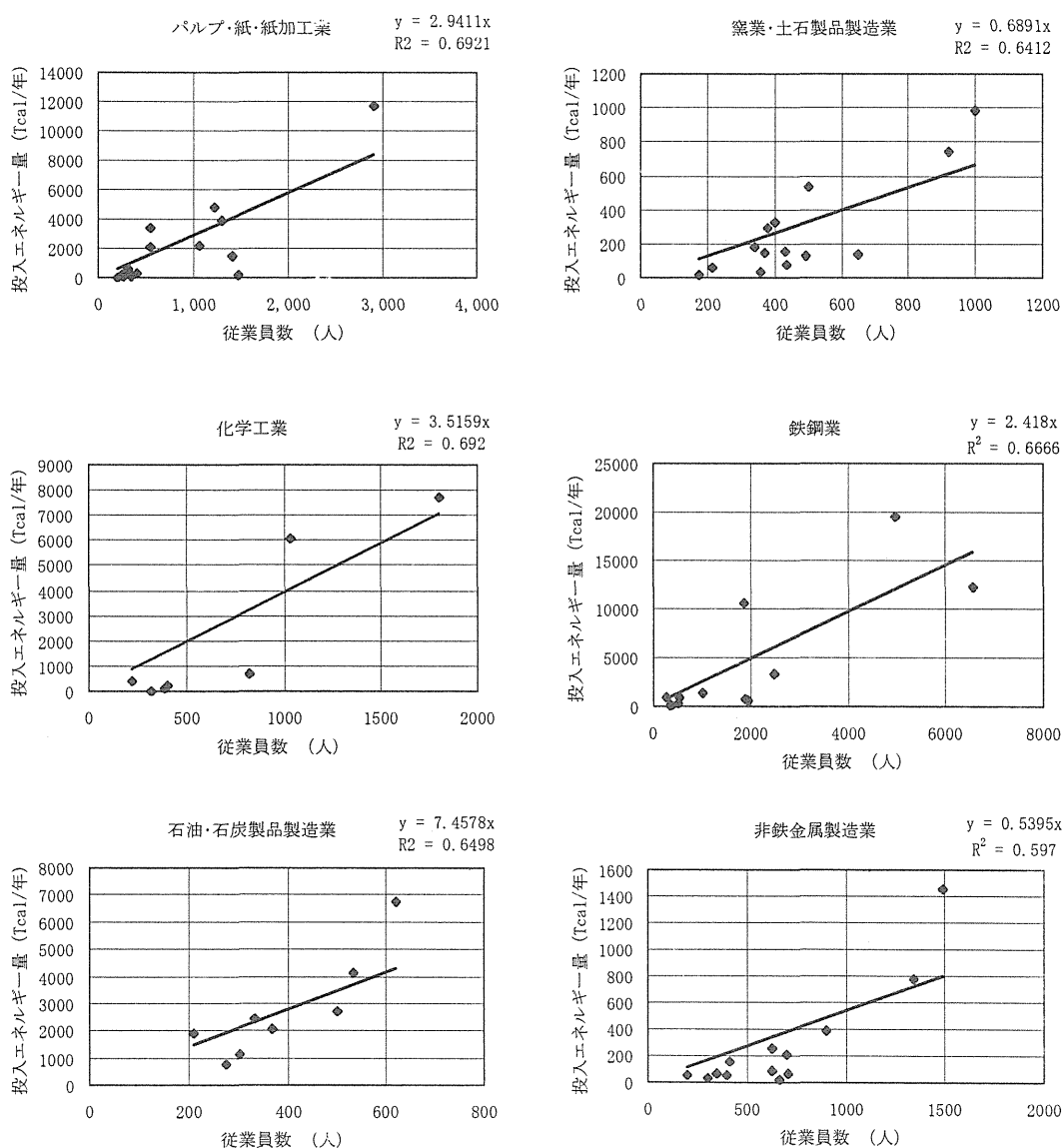


図 4.2 従業員数と1次エネルギー投入量の関係

表 4.4 調査工場の 1 次エネルギー投入量(平均)

	従業員一人あたりの 1 次エネルギー投入量 Gcal/年・人
パルプ・紙・紙加工品 (18)	2941.1
化学工業 (20)	3515.9
石油・石炭製品 (21)	7457.8
窯業・土石製品 (25)	689.1
鉄鋼業 (26)	2418.0
非鉄金属 (27)	539.5

表 4.4 で、石油・石炭製品製造業 (21)、化学工業 (20)、パルプ・紙・紙加工品製造業 (18)、鉄鋼業 (26) が従業員一人あたりの 1 次エネルギー投入量が大きく、工場からの排熱量も大きいものと考えられる。またその中でも、表 4.3 で工場の稼働時間が長かった石油・石炭製品製造業 (21)、鉄鋼業 (26)、パルプ・紙・紙加工品製造業 (18) は特に、工場からの排熱を熱供給に活用しやすい業種であることがいえる。

4-4-3 工場の排熱利用可能量の算定

まず本研究では、①排ガス顕熱（150 度以上）②回収蒸気のうち外販している分（外販して再利用されているが、これは地域冷暖房としても外販できる分であると考えた。）③温排水（35 度以上）④冷却用循環水（出口温度が 35 度以上，入口温度が 35 度以上のときは入口温度との差），を事業所からの回収および利用可能な排熱と定義し、この排熱量を高温排熱量 B_1 （①. ②）と低温排熱量 B_2 （③. ④）とに分け、さらに自家発電設備からの排熱と製造工程からの排熱，合計 4 種類の排熱に分けて算出した。自家発電設備からの排熱を分けて算出する理由は、工場により自家発電設備の有無があり、エネルギー投入量と排熱量の関係があいまいになるからである。算出式は以下の通りである。

高温排熱

排ガス全排熱量(150 度以上の排ガス) B_g [kcal/年]

$$B_g = C_g (T_g - T_{150}) V \eta \quad \dots \textcircled{1}$$

C_g : ガス比熱 = 0.34 [kcal/Nm³] 文献 9)

T_g : 排ガス温度 [°C]

T_{150} : = 150 [°C]

V : 排ガス体積 [Nm³/年]

η : ボイラ効率 0.80

蒸気排熱量（回収蒸気の外販分） B_j [kcal/年]

$$B_j = (H - H_{80}) W_j \quad \dots \textcircled{2}$$

H : 排出蒸気のもつエンタルピー[kcal/kg]

H_{80} : 80 °C の飽和水のエンタルピー[kcal/kg]

W_j : 蒸気量 [kg/年]

低温排熱

冷却用循環水排熱量 B_k [kcal/年]

$$B_k = (T_1 - T_2) W_k \quad \dots \textcircled{3}$$

T_1 : 出口温度(冷却後の温度) [°C]

T_2 : = 35 [°C]

(入口温度が 35°C以上のときは入口温度とする)

W_k : 循環水量 [kg/年]

温排水排熱量 B_o [kcal/年]

$$B_o = (T_o - T_{02}) W_o \quad \dots \textcircled{4}$$

T_o : 温排水排水時温度 [°C]

T_{02} : = 35 [°C]

W_o : 御排水量 [kg/年]

$$\text{高温排熱量} \quad B_1 = B_g + B_j \quad [\text{kcal/年}] \quad \dots \textcircled{5}$$

$$\text{低温排熱量} \quad B_2 = B_k + B_o \quad [\text{kcal/年}] \quad \dots \textcircled{6}$$

排ガス排熱量 B_g (式①) は、排熱回収設備の廃熱出口の低温腐食を考慮して 150℃まで利用可能であるとし、ボイラで蒸気として回収することとした。排ガス比熱 0.34[kcal/m³]は、工業炉からの排ガスの組成比より算定^{文献 9)}したもので、文献 2)でも用いられており、これを他の排ガスにも当てはめることとした。

蒸気排熱量 B_j (式②) は、吸収式冷凍機の利用を考え、80℃までを回収可能であるとした。排熱ボイラでは 80℃還水に B_g を与えることとし、 B_g が利用可能熱量であるから、式⑤において B_j と足し合わせて高温排熱量とした。また、式⑤⑥で得られるものは、回収可能熱量で供給可能熱量ではないため、実際に熱供給のスタディを行う場合には、吸収式冷凍機の効率、およびヒートポンプの COP など考慮する必要がある。

4-4-4 工場排熱算定式の作成

4-4-3 で求めた各工場ごとの排熱量から一次エネルギー投入量に対する利用可能な排熱の割合を算出した。(表 4.5) 自家発電設備からの排熱割合は、工場の全ての電力負荷を自家発電で賄うとしたときの、投入エネルギー量に対する排熱の割合である。このとき、排熱割合を求めた結果が 100%を上回り、明らかにデータの記入に誤りがあると考えられるものや、著しく他と離れた値をとるものは、平均から除外した。図 4.4 に投入エネルギーと排熱の割合についてのグラフを示す。これらのグラフはかなりばらつきが大きい。これは産業中分類というある程度大きな分類で分析を行っていること、当調査においては工場内で回収再利用している熱に関しては排熱の対象としていないために工場間のばらつきが大きいことが挙げられる。しかし、調査研究において小分類で分析することはサンプルの確保が困難である。本研究は工場排熱の地域冷暖房への活用可能性の検討が目的であり、このような概略検討には十分役に立ち、利用価値があるといえる。ただし、今回の調査においては、自家発電設備からの排熱はサンプル数が少なく把握しきれなかったため、把握できたものから得られた結果を参考値として示した。

次に、表 5.5 の結果をもとに一般利用できる排熱量の算定式を作成した。(式⑦)

$$\begin{aligned} \text{排熱量 } Q_i = & \text{投入エネルギー量} \times (\text{製造工程からの排熱割合} \\ & + \text{自家発電設備からの排熱割合} \\ & \times \text{自家発電割合} / 100) / 100 \quad \dots \textcircled{7} \end{aligned}$$

この式において、投入エネルギー、自家発電割合はそれぞれ表 4.4、資料 1 文献⁵の値を用いる。1 工場の排熱量は、式⑦を用いて高温及び低温排熱をそれぞれ求めることができる。また、投入エネルギー、排熱割合、自家発電割合より従業員数をパラメータとする工場排熱原単位が業種ごとに作成できる。

表 5.5 投入エネルギーに対する排熱の割合(製造工程からの排熱のみ)

	従業員 1 人あたりの 1 次エネルギー投入量 Tcal/年・人	高温排熱の割合 %	低温排熱の割合 %
パルプ・紙・紙加工品 (18)	2.9411	0.05	0.45
化学工業 (20)	3.5159	1.86	1.38
石油・石炭製品 (21)	7.4578	0.74	4.71
窯業・土石製品 (25)	0.6891	0.78	0.14
鉄鋼業 (26)	2.4180	2.78	8.43
非鉄金属 (27)	0.5395	1.28	0.65

表 6 従業員一人あたりの工場排熱原単位(製造工程からの排熱のみ)

	高温排熱原単位 Gcal/年人	低温排熱原単位 Gcal/年人
パルプ・紙・紙加工品 (18)	1.47	13.23
化学工業 (20)	65.40	48.52
石油・石炭製品 (21)	55.19	351.26
窯業・土石製品 (25)	5.37	0.96
鉄鋼業 (26)	67.22	203.84
非鉄金属 (27)	6.91	3.51

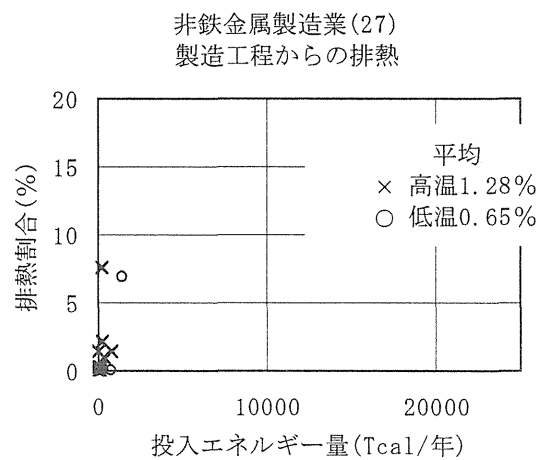
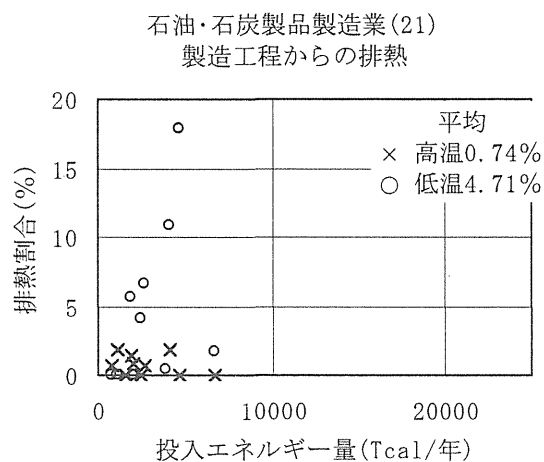
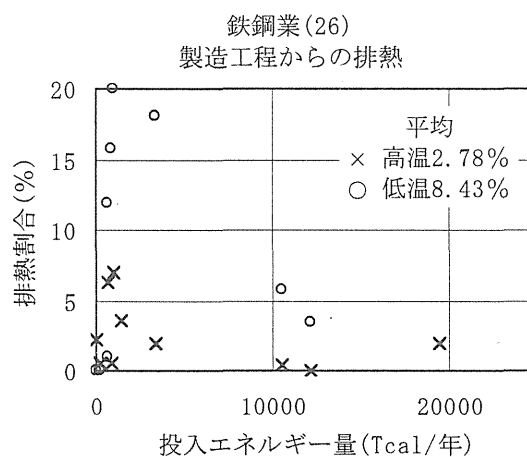
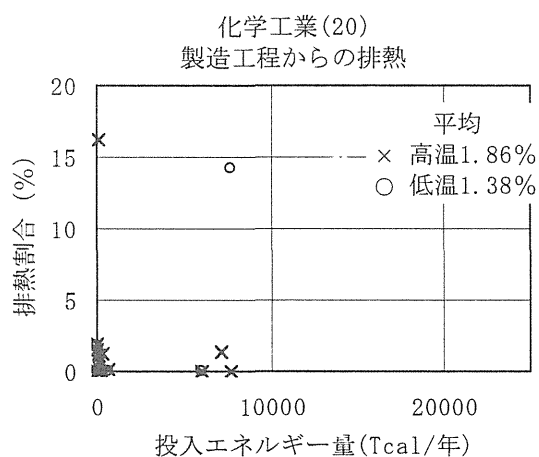
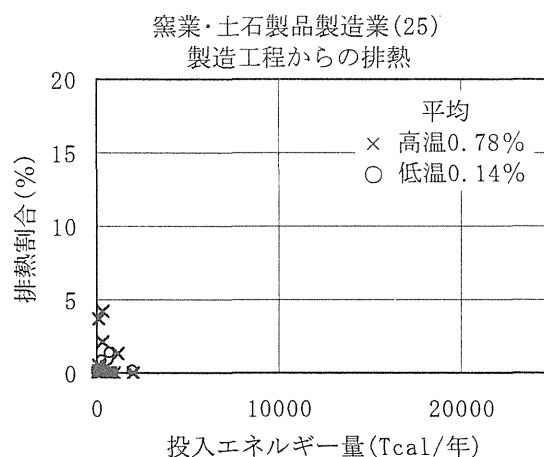
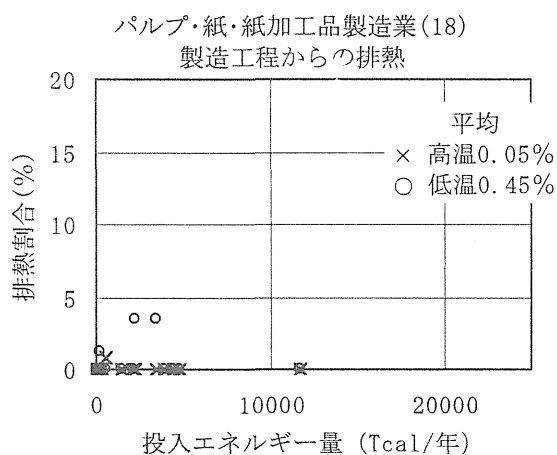


図 3.1 投入エネルギーに対する排熱の割合（製造工程からの排熱）

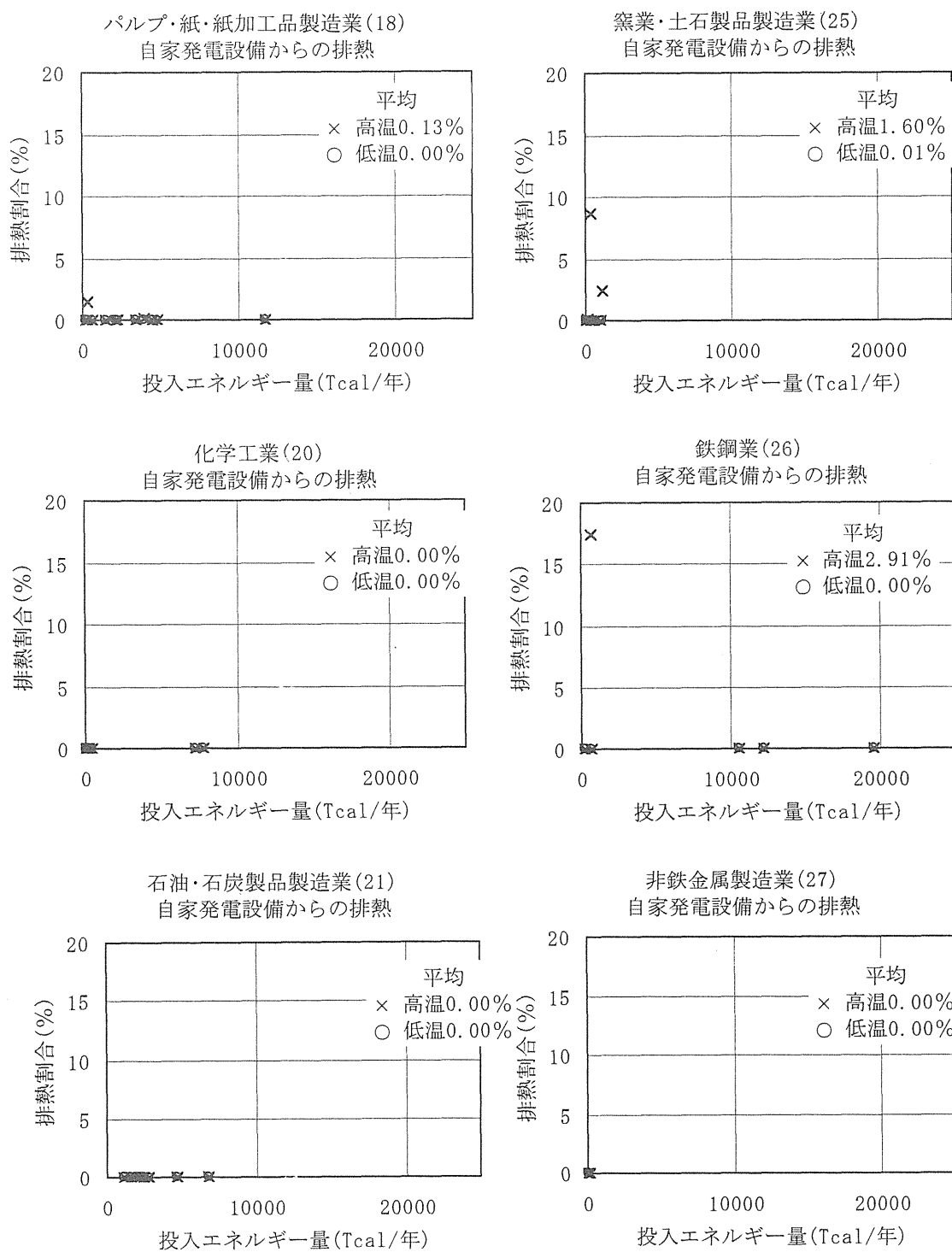


図 3.2 投入エネルギーに対する排熱の割合（自家発電設備からの排熱）

4-5 神奈川県の高熱消費密度地区における工場排熱利用のケーススタディ

このケーススタディは、4-3-3 で作成した工場排熱原単位を用いて、工場排熱の地域冷暖房への活用可能性を概略検討するものである。

4-5-1 神奈川県の高熱消費密度地区の選定

神奈川県の高熱消費密度地区の選定は、文献 10) により、法定容積率 500%以上の地区を含む 400%以上の地区、および町丁目床面積構成比から算出した熱需要密度が 1.0 Tcal/m²年 以上の地区を選定した。地区名、地区面積は表 4.6 に示す。このとき 38 地区が選定され、その熱需要量は 3355.5Tcal/年で、県の高熱需要量 22122.8Tcal/年の 15.2%に相当する。

表 4.6 神奈川県の高熱消費密度地区(38 地区)

地区 NO	地区名	地区面積 ha	熱需要 Tcal/年	地区 NO	地区名	地区面積 ha	熱需要 Tcal/年
1	鶴見駅周辺地区	96.20	76.86	21	横須賀中央駅東地区	33.80	56.20
2	東神奈川駅西地区	14.80	17.21	22	汐入駅周辺地区	1.17	13.82
3	横浜臨海地区	608.16	1594.98	23	平塚駅北地区	49.30	46.62
4	上大岡駅周辺地区	21.30	36.87	24	大船駅東地区	18.00	20.48
5	金沢文庫駅周辺地区	7.80	6.92	25	藤沢駅周辺地区	37.50	51.58
6	磯子駅周辺地区	13.90	18.22	26	小田原駅東地区	15.60	35.13
7	新横浜駅北地区	88.80	220.26	27	茅ヶ崎駅周辺地区	27.98	25.94
8	鴨居駅周辺地区	12.20	20.86	28	相模大野駅周辺地区	17.07	58.48
9	港北NTセンター地区	72.80	150.36	29	小田急相模原駅地区	12.40	8.65
10	YBP・天王町地区	36.30	43.88	30	相模原駅周辺地区	17.70	20.20
11	新本牧地区	22.40	30.50	31	橋本駅周辺地区	1.30	9.45
12	戸塚駅周辺地区	4.68	9.94	32	厚木駅周辺地区	53.08	69.97
13	東戸塚駅周辺地区	4.30	13.05	33	秦野駅周辺地区	12.60	10.39
14	川崎駅周辺地区	151.00	253.83	34	J T 秦野開発地区	1.76	7.99
15	武蔵小杉駅地区	46.40	35.88	35	核づくり計画地区	11.40	10.55
16	武蔵新城駅周辺地区	18.30	15.88	36	ビナタウン21地区	9.19	31.94
17	新川崎・鹿島田地区	92.50	185.71	37	箱根湯本旧街道地区	10.10	28.83
18	KSP地区	5.50	25.12	38	湯河原宮上駅下地区	13.70	42.33
19	新百合地区	56.00	42.61				
20	溝口駅北口地区	2.61	8.00		計	1,719.60	3,355.49

4-5-2 各地区における工場排熱賦存量の推定

現在の地域冷暖房の熱搬送距離は最大 2.0km 程度であるが、高温については将来環境保全の立場からもう少し拡大すると考え、工場排熱の地域冷暖房への利用は、低温が 2.0km、高温が 5.0km 供給できるとする。4-4 で求めた工場排熱算定式⑦を用いて、熱負荷高密度地区の中心から 5.0km の半径内に立地する熱供給可能な工場（表 4.5 より総排熱 5.0Gcal/h 以上の工場を従業員数で推定）の排熱賦存量を算出した。このとき工場の立地、従業員数に関しては文献 6)を用い、従業員数に関しては 300～499 人というようにレベルでしか分からないため、各レベルの中間値を用いた。

4-5-3 需要と供給のケーススタディ

4-5-2 で得られた各工場の供給可能な熱賦存量を、一番近い熱負荷高密度地区に供給することにした場合のケーススタディを行う。このケーススタディにおいては、二次側の熱の使用用途は分けて考えず、総熱需要と供給可能な工場排熱の総量を考えて 1 日ごとに検討し、その 1 年間の累積を年間値として表し、評価する。地区の熱需要量は文献 7) の原単位から算出し、供給量は地区への供給可能な工場からの時間当たりの排熱量を加算した値とした。供給量算出の際、吸収式冷凍機の効率 は 1.2、ヒートポンプの成績係数 (COP) は暖房時 9.0、冷房時 4.5 とした。また、需要量に対する供給可能な排熱量の割合を求めた。(表 4.7) このとき、実際に地域冷暖房として工場排熱を利用する場合の蓄熱槽のピークカットなどを、現在稼働している実際の地域冷暖房プラントを参考にして 15%と考え、時刻別最大需要量の 85%を地区への熱供給の最大量と考えた。また、原則として 1 工場から 1 地区のみに供給することとした。

地区別で見ると、工場の立地や規模の関係で供給できない地区が多いものの、供給可能な工場のある地区は年間で需要量をほぼ供給でき、38 地区全体の熱需要量 3355.5Tcal/年に対しては総排熱量 5.0Gcal/h 以上の工場からの供給で、2km 供給で 7.2%、5km 供給で 13.9%賄える。また、将来蒸気の広域熱供給を考えると、高温排熱のみで 5Gcal/h 以上ある工場からの供給のみで、2km 供給の場合 0.9%、5km 供給の場合 12.4%賄うことができる。

表 4.7 神奈川県の高熱消費密度 38 地区における工場からの熱供給可能性

	熱需 要量 Tcal/a	供給可能 な工場数 5km 圏 (2km)	供給可能量 (Tcal/a)				供給可能割合 (%)			
			総排熱 5Gcal/h 以上の工場から		高温排熱のみで 5Gcal/h 以上の 工場から		総排熱 5Gcal/h 以上の工場から		高温排熱のみで 5Gcal/h 以上の 工場から	
			2km 圏	5km 圏	2km 圏	5km 圏	2km 圏	5km 圏	2km 圏	5km 圏
1	76.84	6 (0)	0	76.5	0	76.5	0	99.56	0	99.56
2	17.21	1 (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1594.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	36.87	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	18.22	1 (0)	0	18.22	0	18.22	0	100.00	0	100.00
7	220.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	150.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	43.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	30.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	9.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	253.83	14 (2)	133.30	253.83	0	238.47	0	100.00	0	93.95
15	35.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	185.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	25.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	42.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	7.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	56.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	13.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	46.62	3 (2)	45.11	46.62	0	43.58	0	100.00	0	93.49
24	20.48	2 (1)	20.48	20.48	20.48	20.48	100.00	100.00	100.00	100.00
25	51.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	35.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	25.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	58.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	8.65	2 (0)	0	8.65	0	0	0	100.00	0	100.00
30	20.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	9.45	2 (2)	9.45	9.45	9.45	9.45	100.00	100.00	100.00	100.00
32	69.97	2 (0)	0	0	0	0	0	0	0	0
33	10.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	7.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	10.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	31.94	2 (2)	31.94	31.94	0	0	0	100.00	0	0
37	28.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	42.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4-6 結論

本章では、以下のことが明らかになった。

- ① まずエネルギー多消費 6 業種について、投入エネルギーと排熱との関係を原単位化し、排熱量算定式を作成した。
- ② これによると化学工業（20）、石油・石炭製品製造業（21）、鉄鋼業（26）が排熱割合が高く、また従業員 1 人当たりの一次エネルギー投入量も多いことから、地域冷暖房への活用の可能性がある。
- ③ 特に石油・石炭製品製造業（21）と鉄鋼業（26）は稼働時間も長く、地域冷暖房プラントとして十分利用価値がある。
- ④ 神奈川県における工場排熱利用による熱供給のケーススタディでは、工場の立地の問題から、排熱利用のできない地区も多数あったものの、総排熱 5.0Gcal/h 以上の工場からの排熱利用で、熱消費高密度 38 地区の熱需要に対して 2km 供給で 7.2%、5km 供給で 13.9%、高温排熱のみで 5.0Gcal/h 以上の工場からのみの排熱利用で、2km 供給で 0.9%、5km 供給で%賄える。
- ⑤ 本章のケーススタディは、工場排熱を工場周辺のエリアに絞って地域冷暖房として活用する場合について、その活用可能性を明らかにしたが、前述の通り、工場の立地の問題から排熱を地域冷暖房に活用できない場合も多数あったことから、本研究で扱う「広域熱供給ネットワーク」の熱源として広域的な排熱活用が可能であれば、工場排熱の果たす役割は大きい。

これからの地域冷暖房は、地球環境、都市環境を考えれば、未利用エネルギーの積極的利用が課題であることから、本性で取り扱った工場排熱も役割を果たしていくべきである。そのことを考えれば、神奈川県全体では総熱需要量の 2.0%程度しか賄えないものの、その意義は十分にあると言える。また、都市の中には工場排熱だけでなく清掃工場や下水処理場からの排熱など多種の未利用熱源が存在しており、それらをどう組み合わせ、どう利用していくか、あるいは「広域熱供給ネットワーク」を通していかに都市排熱を有効に利用していくかが今後の課題である。

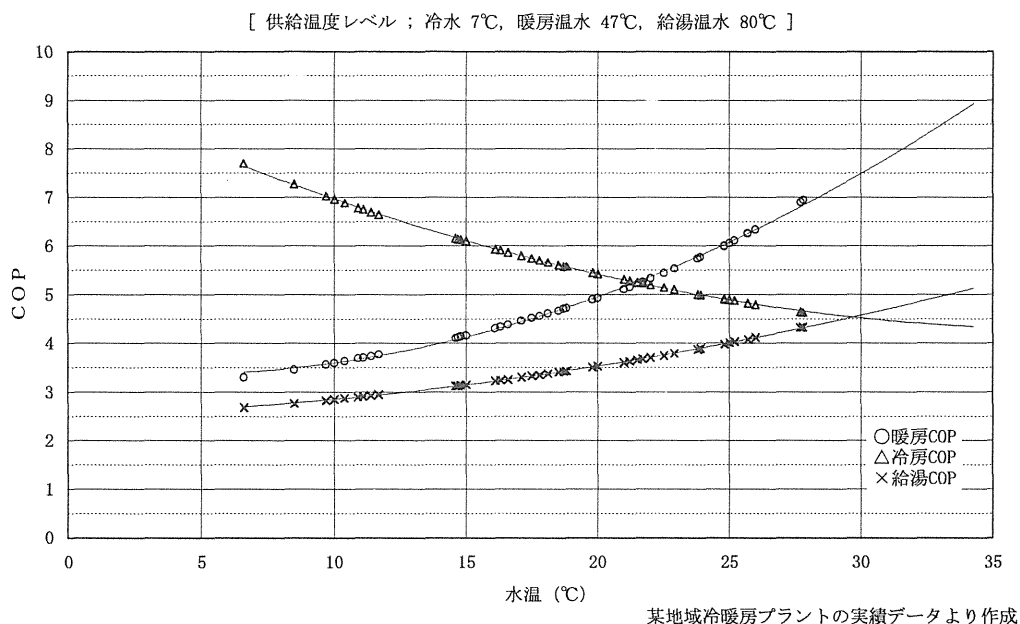
参考資料 1 自家発電設備の設置状況(%)^{文献 5)}

	産業種番号 (産業中分類)					
従業員レベル	18	20	21	25	26	27
30～49人	5.0	4.0	0.0	1.0	1.0	6.0
50～99人	8.0	12.0	16.0	4.0	12.0	4.0
100～199人	37.0	16.0	19.0	20.0	1.0	7.0
200～299人	58.0	17.0	70.0	34.0	1.0	7.0
300～499人	66.0	47.0	67.0	42.0	2.0	14.0
500～999人	76.0	47.0	59.0	29.0	1.0	27.0
1000人～	91.0	79.0	59.0	6.0	40.0	32.0

参考資料 2 蓄熱槽の導入事例^{文献 6)}

	地区名	冷熱源 容量 (RT)	冷水槽 容量 (m ³)	冷熱 ヒートカット量 (RT)	冷熱 ヒートカット率 (%)
電気 方式	銀座5・6丁目地区	3,000	700	154	5
	日比谷地区	5,490	6,000	1,320	19
	箱崎地区	8,000	4,420	972	11
	幕張新都心ハイテクビジネス地区 (センタープラント)	20,500	4,240	933	4
	宇都宮市中央地区	4,580	3,000	660	12
	シーサイドももち地区	22,000	STR氷蓄熱型 555 (7500RTh) 水蓄熱型 4000	1,500 800	10
	神戸リサーチパーク鹿の子台地区	16,400	氷蓄熱型 600 (9,600RTh)	3,200	16
併 用 方 式	かながわサイエンスパーク地区	4,000	1,500	400	9
	みなとみらい21中央地区	34,350	STR氷蓄熱槽 2,200 (30,000RTh)	5,000	13
	大阪南港コスモスクエア地区	17,700	氷蓄熱型 600 (9,600RTh)	5,900	25
	立川曙町地区	7,430	2,500	600	7

参考資料 3 ヒートポンプの成績係数(COP)曲線^{文献 14)}



参考文献

- 1) 尾島俊雄, 根津浩一郎, 「都市の熱消費・熱排出構造に関する研究(その1)ー生産施設の熱消費指標, 熱排出指標による調査解析ー」, 日本建築学会論文報告集, 第236号, 昭和50年10月
- 2) 根津浩一郎, 下田学, 井口光雄, 「排熱利用に関する実態調査, (第1報)工場廃熱の賦存量・利用可能量に関する調査分析」, 空気調和・衛生工学会論文集 No22, 1983年6月
- 3) 下田学, 岡健雄, 「熱電比の大きい産業業種のエネルギー消費実態調査, 空気調和・衛生工学会論文集, No40, 1989年6月
- 4) 岡健雄, 加藤良夫, 「熱電比の大きい工場におけるエネルギー消費の分析」, 日本建築学会計画系論文報告集, 第428号, 1991年10月
- 5) 通商産業大臣官房調査統計部編, 「平成5年 石油等消費構造統計表」, 1195年3月, 通産統計協会
- 6) 通商産業省編, 「1994ー1995年度 全国工場通覧」, 1994.6.30 日刊工業新聞社
- 7) 社団法人地域冷暖房協会編, 「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」, 1995年3月
- 8) 望月直樹, 「横浜市・川崎市臨海地域における工場排熱利用の可能性に関する研究ー神奈川県における未利用熱エネルギーの利用可能性に関する研究(その2)ー」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, No.4606, 1992年8月
- 9) 弘田亀之助, 「燃焼及び機関設備ー熱工学的計算法ー」, 昭和12年12月, オーム社
- 10) 千鳥一平, 「神奈川県における地域冷暖房導入対象地区の抽出と未利用エネルギー活用の可能性に関する研究」, 日本全国の地域冷暖房導入可能性に関する調査研究(その6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, No.40340, 1995年8月
- 11) 猪股桂子, 吉田聡他3名, 「産業排熱原単位に関する研究ー神奈川県の未利用エネルギー利用可能性に関する研究 其の9ー」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1996年9月
- 12) 吉田聡, 猪股桂子他3名, 「神奈川県の産業排熱の地域冷暖房への活用可能性に関する研究」, 神奈川県の未利用エネルギー利用可能性に関する研究 其の10, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1996年9月
- 13) 那覇新都心株式会社, 「那覇新都心未利用エネルギー活用地域熱供給事業調査報告書」, 平成8年3月
- 14) 社団法人地域冷暖房協会, 「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7年度報告書 (No.1, No.2)」, 1996年3月

第 5 章

広域熱供給システムの熱源としての都市排熱の 利用可能性に関する研究

目 次

- 5-1 概要
- 5-2 都市排熱の種類とその特性に関する考察
- 5-3 都市供給処理施設のスケール分析
- 5-4 各都市処理施設の熱供給能力
 - 5-4-1 清掃工場のごみ焼却排熱
 - 5-4-2 下水処理場の下水処理水排熱
 - 5-4-3 污泥処理施設の污泥処理排熱
- 5-5 清掃向上のごみ焼却排熱利用に関する社会の動向
 - 5-5-1 R D F
 - 5-5-2 スーパーごみ発電
- 5-6 結論

第5章 都市排熱を活用した広域熱供給システムに関する研究

5-1 概要

我が国のエネルギー消費量のほぼ半分の量が廃熱として、周辺環境中に捨てられていると言われる。これらの廃熱の多くは、工場、あるいは清掃工場、汚泥処理施設、火力発電所、下水処理施設といった都市の供給処理施設が発生源となっている。近年、環境問題や省エネルギー問題に対して、それぞれエネルギーの有効利用に努力してきている。

地域熱供給でもたらされる暖房、冷房、給湯といった熱は、通常家庭ではガスや電気で賄っているが、本来のガス、電気のポテンシャルを考えるならば、極めて質を落としたかたちで使用していることが分かる。具体的に言えば、ガスは1000℃を超える温度で燃焼するポテンシャルをもち、電気は家電製品などを駆動するエネルギーとなりうる。工場、あるいは清掃工場、汚泥処理施設、火力発電所、下水処理施設といった都市の供給処理施設からの廃熱は、エネルギーの質は低いものの、暖房、冷房、給湯といった熱需要に対応することのできる温度レベルはあることから、これらを地域熱供給に積極的に活用していくことが望まれる。

そういった意味で、これらの廃熱を「都市排熱」と呼び、地域熱供給としてまだ活用の可能性がある廃熱として、通常廃棄される廃熱とは区別する。

第3章で発電所排熱として熱併給発電（CHP）の可能性を明らかにし、第4章で工場排熱の原単位化および熱供給の可能性を明らかにした。本章では、清掃工場、汚泥処理施設、下水処理施設といった地方自治体が運営する供給処理施設からの「都市排熱」に関して、排熱の賦存量の推定をおこない、地域熱供給への活用の可能性について検討するものである。

また、清掃工場では、ごみ発電やスーパーごみ発電、RDFなどエネルギー有効利用の新しい試みがなされている現状についての考察も行う。

表 4-1 都市排熱の種類と温度レベル

排熱種類	温度レベル	備考
発電所復水器排熱	約 30℃	復水器入口蒸気（低圧タービン出口蒸気）は約 100℃。通常、復水器からの廃熱は、投入エネルギーの 60%であるが、抽気熱利用をすると復水器廃熱は減少する。 (第 3 章)
工場排熱	高温；150℃以上 低温；35℃以下	工場の産業種により廃熱は大きく異なる。工場内でかなりの部分、有効利用されている。 (第 4 章)
ごみ焼却排熱	約 350℃	ボイラなどの腐食のため、高温での熱回収は出来ない。熱回収ボイラで作った蒸気で発電を行っているが、温度が低いいため効率は約 10%と極めて低い。
下水排熱	夏期；気温－約 3℃ 冬期；気温＋約 3℃	下水は生活廃水とともに生活廃熱も含んでいる。また、地中を流れてくるため、外界の温度に左右されずに、夏冷たく、冬温かいという性質を持つ。ヒートポンプの熱源水、あるいは冷却水として利用される。
汚泥処理排熱	高温	汚泥処理のシステムにより異なるが、処理過程で発生する消火ガス（メタンガス）を回収し利用することが可能。また、汚泥を最終焼却する際の、焼却排熱の利用も可能。熱量はさほど大きくはない。

5-2 都市排熱の種類とその特性に関する研究

1) 発電所復水器廃熱（第3章）

現在火力発電所の発電効率は、発電システムがコンバインドサイクル（ガスタービンと蒸気タービンの複合発電）を採用するなど進歩したことで、約50%まで向上した。従来型の蒸気タービン復水発電では、発電効率は約40%である。

しかし、残りの約50~60%は、外界環境に廃棄されている。ガスタービンでは排気は煙突から大気中へ、蒸気タービンでは復水器から海水（あるいは大気）中へ、廃棄されている。

復水器から海水中へ廃棄される熱の温度レベルは、外環境温度+約2℃で、約30℃である。これは、最終廃棄の熱温度レベルで、発電直後の低圧タービン出口蒸気は、約100℃程度あり、熱回収が可能であれば熱供給への利用も考えられる。しかし、発電所の大量の蒸気から熱を回収するためには、巨大な熱交換器を設置する必要があり、また蒸気の滞留時間を極力短くしなければならないことを考慮すれば、熱供給利用する温度レベルで回収するのは極めて困難である。

前々章（第3章）において、発電所のタービン抽気を熱供給に活用する可能性を検討した。発電所タービン抽気熱を活用すれば、低圧タービン出口蒸気量が減少することから、復水器からの外環境への熱の廃棄量が減少する。仮に、通常発電効率を40%とすると、復水器廃熱は投入エネルギー量の60%であるが、タービン抽気を最大限（最大流量の1/3）おこない熱利用すれば、復水器からの廃熱は、 $60\% \times 1/3 = 20\%$ になる。すなわち、80%の総合効率となり、廃熱は20%となる。

2) 工場排熱（第4章）

工場排熱に関しては、企業努力により工場内である程度エネルギーのカスケード利用、再利用などが行われてはいるが、実際に効率的に最善の方法をとっているのか、地区への熱供給として利用した方が効率的なのではないかといった疑問もある。また、工場は比較的居住地区に近いところに立地している場合もあることから、地域熱供給への活用が更に期待される。また最近では、ヒートポンプの効率も一段と向上し、比較的低い温度であっても熱として取り出すことが可能になっており、工場には莫大な量の熱が存在すると考えられる。

しかし、工場の種類によって使用するエネルギー量も異なることから、工場排熱の量も大きく異なってくる。しかし、エネルギーを多く使用する工場種は、排熱量も多いと考えられることから、前章（第4章）で詳細な調査をおこない、工場種ごとの排熱原単位を作成した。

また、工場排熱に関しては基礎的なデータが少ないことから、本調査結果は熱賦存量の概算などをおこなうなど、利用価値の高いものである。

3) 清掃工場ごみ焼却排熱

清掃工場の多くは、ごみ焼却排熱を回収し発電利用している。日本のごみの成分は塩分が多く、焼却した際に塩化物のガスが発生するため、排熱回収ボイラを高温にすると腐食してしまう。そのため、排熱回収ボイラで回収する熱の温度は約 350℃以下が普通となっている。通常、焼却炉内の燃焼温度は約 800℃と高温であるにもかかわらず、そのエクセルギーを落としてしか利用できないことから、塩基による腐食に絶え得る高温・高圧用材料の開発がおこなわれている。こういった理由から、発電利用される回収蒸気の温度レベルは低く、通常復水タービンによる発電の効率は約 10～15%、背圧タービンによる発電の効率は 10%以下である。

清掃工場からの熱供給は、地域冷暖房の熱源として熱供給しているものが、品川八潮団地の地域冷暖房に熱供給している大井清掃工場をはじめ、数例ある。その他、清掃工場周辺の余暇施設や高齢者施設、プールなどの公共施設に熱供給している事例が多い。清掃工場のごみ焼却排熱の利用効率を高めるためには、発電利用するよりも熱供給利用するほうが有利である。しかし、現実のところ、発電利用が多く、熱供給利用する事例は少ない。これは、清掃工場からの熱供給を事業としてやる場合、熱供給事業法の安定供給義務から、焼却炉整備期間中の熱供給用バックアップボイラの設置や、熱供給配管の敷設などコストが大きくなることが原因と考えられる。一方、発電利用の場合、発電効率が低い、電力会社への売電価格が低いなどの問題はあるものの、所内利用電力を賄うことができ、さらに接続している系統電力への売電することによって、経済性が期待できる。よって、更に効率を上げて経済性を高めようと、スーパーごみ発電などの試みもなされている。しかし、スーパーごみ発電は発電効率は向上するものの、通常のごみ発電に付加されるガスタービン発電に負うところが大きく、設備コストなど経済面で多くの問題を抱えている。

前述の通り、ごみ焼却排熱を熱供給に活用できる環境が整うことが重要で、広域熱供給ネットワーク（幹線）が、公共的に整備され、清掃工場が安定供給義務をもつ負担の大きな熱供給事業者になるのではなく、広域熱供給ネットワークに熱を卸す事業者になることが望まれる。

4) 下水排熱

下水は、都市の生活排水というだけでなく、都市の排熱も含んでいる。また、地下の下水道管は、外環境温度の影響を受けにくいことから、夏期は外環境温度より約 3℃程度下水温度の方が低く、冬期は逆に外環境温度より約 3℃程度高いという特徴を持つ。

下水を利用した熱供給の事例は、下水ポンプ所の生下水を活用した後楽 1 丁目地域冷暖房をはじめ数例ある。下水を利用した熱供給をおこなう場合、通常は、下水処理場の高度処理水をヒートポンプの熱源水、あるいは冷却水として利用する。しかし、後楽 1 丁目地域冷暖房のように、下水ポンプ所の生下水を使っている事例もある。生下水を利用する場合、下水中に含まれるごみや微生物の対策が必要になる。対策としてオートストレーナーなどを設置してごみを除去するなどをおこなっている。

下水をはじめ海水、河川水、井戸水などの低温の未利用エネルギーを、ヒートポンプの熱源水、冷却水として利用する場合、通常の上水温度あるいは外気温度との温度差を利用することになることから、その温度差は 3～5℃となり、単位搬送水量あたりの利用熱量が小さい。清掃工場排熱のような高温の熱を熱供給利用する場合、例えば 180℃の高温水を供給して 100℃の還水であれば温度差にして 80℃、エンタルピーにすれば更に大きなエネルギー量となる。よって、下水のような低温熱源水は広域の熱供給には適さない。

以下、本章では下水のような低温熱源は、広域熱供給の熱源としては位置付けない。しかし、下水のような低レベルの都市排熱や、河川水などの自然の温度差エネルギーを熱供給に活用することは必要であり、きわめて重要であることから、これらは地域の「ローカルエネルギー」として、広域熱供給システムの中では、地区レベルの熱供給（地域冷暖房）の熱源に位置付ける。

5) 汚泥処理排熱

汚泥処理法には幾つかあることから、ここでは横浜市北部汚泥処理場の汚泥処理法をもとに、汚泥処理施設からの排熱の活用可能性に関して考察する。

北部汚泥処理場は、横浜市の北部の下水処理場で処理された下水汚泥を送水管にて収集し、処理している。処理の方法は、まず収集した汚泥水を濃縮層で濃縮し、消化タンクに送る。消化タンクでは消化ガス（メタンガス）が発生する。その後、脱水器にかけ脱水ケーキを作り、最後に焼却炉にて焼却する。焼却炉の排ガスから熱回収をして発電し、更に予熱は消化タンクの保温に用いている。また、消化タンクにて発生したメタンガスを燃料に、ガスタービン発電もおこない所内の電力需要の一部を賄っている。

汚泥処理施設からの熱供給の可能性は、汚泥焼却排熱が考えられるが、その量は清掃工場のごみ焼却排熱などと比較して少ない。

5-3 都市供給処理施設のスケール分析

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。

表 5.1 都市供給処理施設

	供給系				処理系	
	電力	ガス	上水	熱	ごみ	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 汚泥処理施設

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・燃料基地（火力）等，いくつかの関連施設が存在する。

ここでは，本来の処理作業を超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，その有効利用の可能性，あり方を検討する。よって，清掃工場，下水処理場，下水処理場に附設する汚泥処理施設を取り上げるものとする。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などと比較することによって，各施設のスケールの把握と，広域熱供給システムにおける熱源としての位置付けを確認する。

(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 5.1 にまとめる。このとき，処理対象地区面積は公称の能力値であり，熱供給能力は各施設の処理実績からごみ焼却発熱量を $2,000\text{kcal/kg}$ とおいて算定したものを，熱負荷密度 1.0Tcal/ha 年の地区に供給したときの供給範囲である。図 5.1 によると，清掃工場，下水処理場，汚泥処理場の処理対象地区面積は，DHC の供給地区面積に比べて約 500～1000 倍の範囲であり，このように範囲で収集し処理したことで発生する熱を熱負荷密度 1.0Tcal/ha 年の地区に供給したときの供給範囲は，DHC の供給地区面積にほぼ等しいということがわかる。

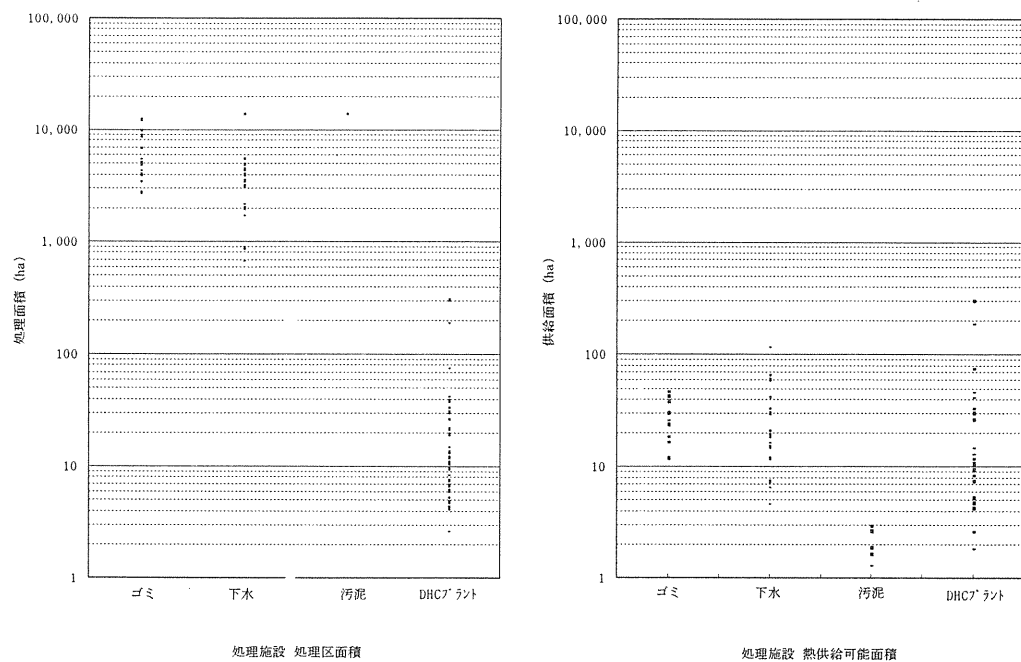


図 5.1 都市処理施設のスケール

(2) 各処理施設の処理能力の分布

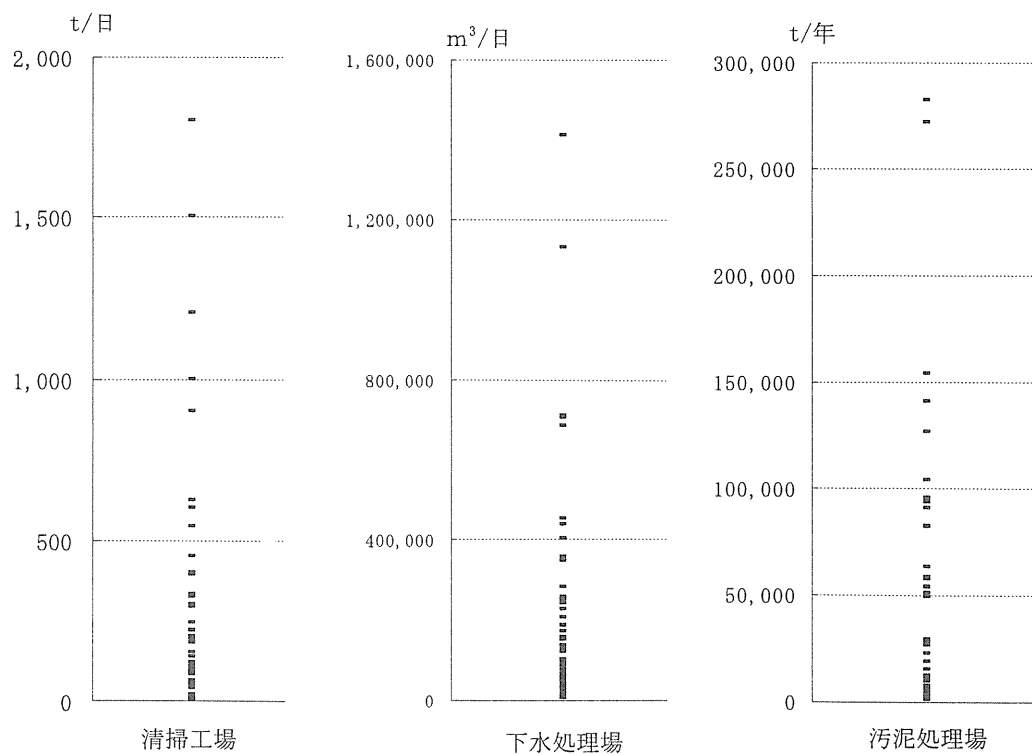


図 5.2 各処理施設の処理能力分布

5-4 各都市処理施設の熱供給能力

5-4-1 清掃工場のごみ焼却排熱

清掃工場ではごみの焼却に伴い、大量の排熱が発生する。従来、この排熱は排熱回収ボイラで回収して、発電利用したり、周辺の公共施設（老人ホームなど）に供給利用している。近年では、廃棄物発電の電力を電力会社が高く買わなければならないという法律ができ、発電利用が主体となってきている。1996年現在、一般廃棄物の焼却施設は全国に約 1,900 ヶ所あり、発電設備を併設しているものは 147 ヶ所、発電容量は総計で 56 万 kW 程度である。廃棄物発電の発電効率は焼却炉において発生させる蒸気の温度・圧力に大きく依存し、蒸気が高温・高圧になるほど効率がよくなる。日本においては、一般廃棄物の中に含まれる塩素の割合が多く、塩素によるスーパーヒーターの高温腐食を避けるために、蒸気温度が 300℃以下に設定されている。本来、焼却炉の温度は 600℃であるにもかかわらず、300℃以下の蒸気しか取り出せないために、発電効率は 10~15%程度にとどまっている。これは、重油などを燃料とする事業用の汽力発電所の発電効率 40%に比べて、極めて低い値である。このため、廃棄物発電の高効率化を実現するために、NEDO などを中心に高温域で塩素等による高温腐食に耐えうる耐腐食性のスーパーヒーターの開発が進められている。

従来、清掃工場排熱を熱供給利用ではなく発電に利用してきた背景としては、清掃工場が都市の中で迷惑施設として位置付けられていることで、高密度な地域から離れた立地となっていること、熱供給施設となると定期点検等で焼却炉を停止する際に熱供給用のバックアップボイラをもたなければならないこと、熱供給に関わる付帯設備のコストが高いこと、などが挙げられる。

本論文で扱う「広域熱供給システム」は、都市の排熱源と熱需要地の空間的ギャップを解消するもので、かつ複数の熱源をネットワークすることにより、一つの施設の熱源施設としての負荷を低減させることを目的としているため、広域熱供給システムが構築されれば、従来発電利用してきた排熱を熱供給に活用することができる。

以上を踏まえて、ここでは清掃工場のごみ焼却排熱の量、および熱供給に活用可能な量について検討する。

まず、横浜市の 4 清掃工場について、清掃工場の稼動状況などについて調査をした結果を表 5.2~表 5.4、図 5.3~5.7 に示す。いずれの清掃工場も特性があり、平均化することはできないのがわかる。また、図 5.3, 5.4 では、清掃工場の定期点検による焼却炉の稼動停止の影響はほとんど見られない。これは、どの工場においても、焼却炉を複数個もっており焼却に支障がないようにしているためと思われる。図 5.6 によると、回収可能な蒸気のうち発電利用する割合が工場ごとに異なることがわかる。また、図 5.7 によると、図 5.6 で発電利用の割合が大きかった都筑工場が、発電電力を系統の電力会社へ売電している量が多いことがわかる。

ここで、清掃工場のごみ焼却排熱のうち熱供給可能量を推算する方法を検討す

る。まず、4工場の各月のごみ処理量と発生蒸気量から、ごみの焼却量あたりの発生蒸気量を求める。その結果、2.97t/t という結果を得た。次に、焼却量あたりの所内使用蒸気量を求めると、0.61t/t となった。ここで、ボイラ発生蒸気の平均常用圧力は 20kgG/cm²であることから、利用エンタルピー差 Δh を 590kcal/kg とすると、焼却量あたりの利用可能蒸気熱量は 1393kcal/kgとなる。

表 5.3 清掃工場の概要

施設名	運転開始 年月	運転開始 年月	敷地面積	焼却方式	公称能力	処理実績	日平均処 理量	年間稼働 日数	ボイラ能力	発生蒸気 量
			(m ²)		(t/日)	(t/年)	(t/日)	(日)	(t/h)	(t/年)
港南	昭 49. 4	1974.04	40,013	全連続	900	250,248	701	357	115.2	639,342
栄	昭 51. 9	1976.09	148,614	全連続	1500	408,541	1,141	358	216.9	1,242,785
保土ヶ谷	昭 55. 7	1980.07	60,420	全連続	1200	317,821	893	356	177.3	973,762
都筑	昭 59. 4	1984.04	64,218	全連続	1200	315,455	881	358	161.4	955,579

施設名	発生蒸気 量	タービン	高圧コンデン サー	タービン バイパス	脱気機	SAH	再加熱	熱利用	その他	発電機出 力(kW)
	(t/年)	(t/年)	(t/年)	(t/年)	(t/年)	(t/年)	(t/年)	(t/年)	(t/年)	
港南	639,342	249,549	158,053	61,847	52,592	39,189	0	5,998	72,114	2,800
栄	1,242,785	594,738	410,933	57,881	45,060	60,094	0	28,229	45,850	5,100
保土ヶ谷	973,762	419,023	228,106	39,900	117,044	24,397	0	21,262	124,032	4,200
都筑	955,579	601,684	176,791.2	3,553	51,194	80,083	0	22,358	19,917	12,000

	年間発電量	自家消費	売電量	その他	買電量	消費電力
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
港南	17,653,078	17,458,398	194,680	0	2,808,216	20,266,614
栄	42,270,760	28,924,840	13,345,920	0	316,512	29,241,352
保土ヶ谷	32,874,460	24,541,426	8,333,034	0	1,705,680	26,247,106
都筑	93,615,800	32,351,922	51,270,528	9,993,350	1,139,520	33,491,442

表 5.4 月別ごみ処理量

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
都筑	931.9	893.6	964.0	923.7	905.1	876.7	1,043.8	854.8	843.2	752.0	743.3	811.1
保土ヶ谷	925.1	887.7	821.9	884.5	1,012.2	896.5	830.3	1,058.7	885.9	971.8	821.3	734.7
栄	1,281.0	1,134.6	1,314.8	1,104.5	1,129.2	1,107.4	1,140.0	1,070.3	1,221.1	1,055.9	1,068.3	1,024.0
港南	640.4	812.4	692.5	846.7	678.7	736.3	648.9	650.6	678.9	676.4	567.5	746.5

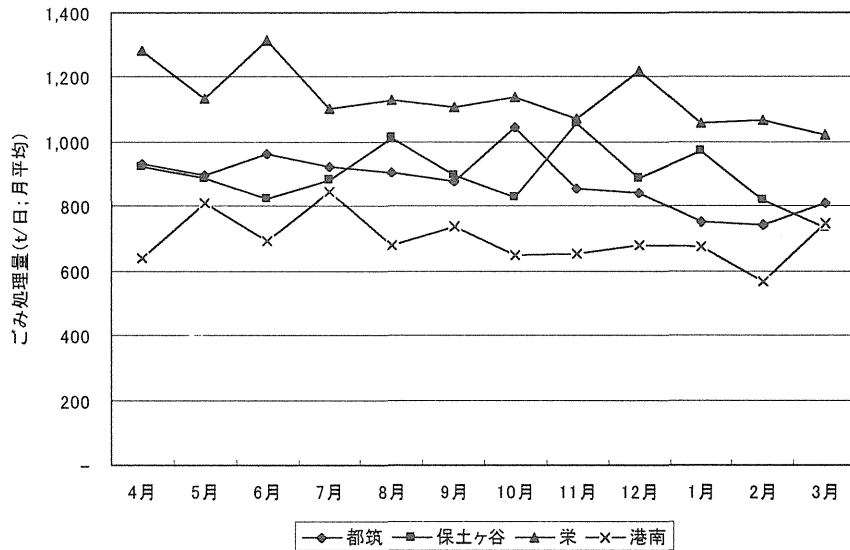


図 5.3 月別ごみ処理量

表 5.5 月別蒸気発生量

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
都筑	2,982.6	2,494.0	2,880.3	2,936.0	2,354.1	2,685.4	3,168.7	2,359.5	2,862.4	2,708.3	2,336.6	2,204.3
保土ヶ谷	2,582.0	2,792.9	2,314.2	3,004.9	2,956.5	2,422.9	2,965.1	3,213.1	2,892.8	2,944.6	2,348.0	2,394.7
栄	3,183.5	3,587.2	3,712.8	3,210.5	3,668.3	2,958.3	3,485.2	3,141.2	4,597.5	3,757.3	2,819.0	3,398.0
港南	1,690.2	1,974.4	1,750.1	2,201.1	1,694.9	1,573.1	1,880.3	1,592.6	1,923.6	1,776.0	1,466.4	1,879.5

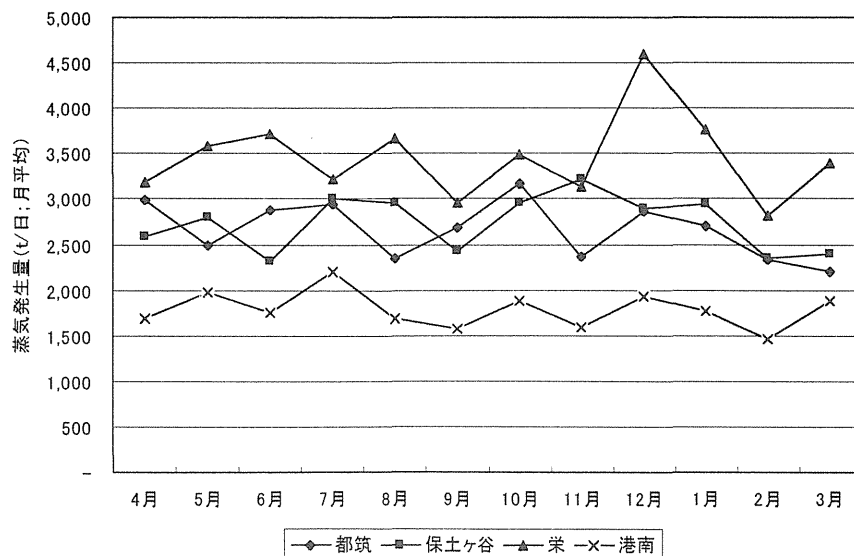


図 5.4 月別蒸気発生量

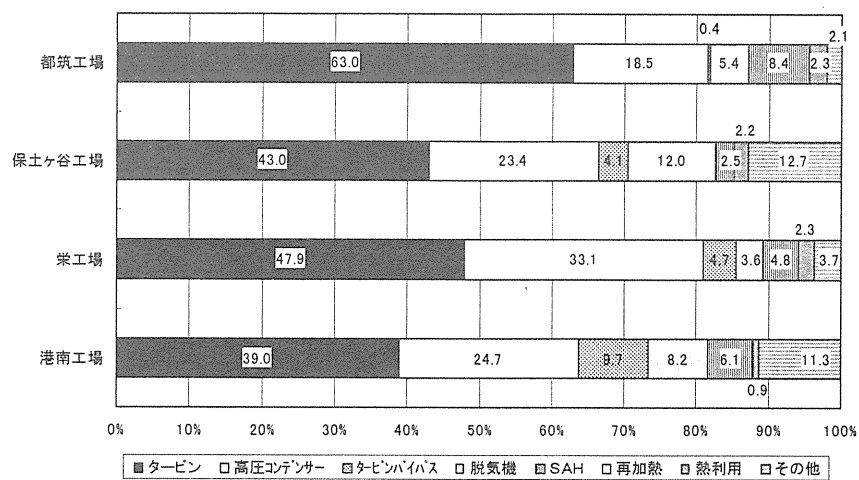


図 5.6 ごみ焼却排熱ボイラ発生蒸気の使用内訳

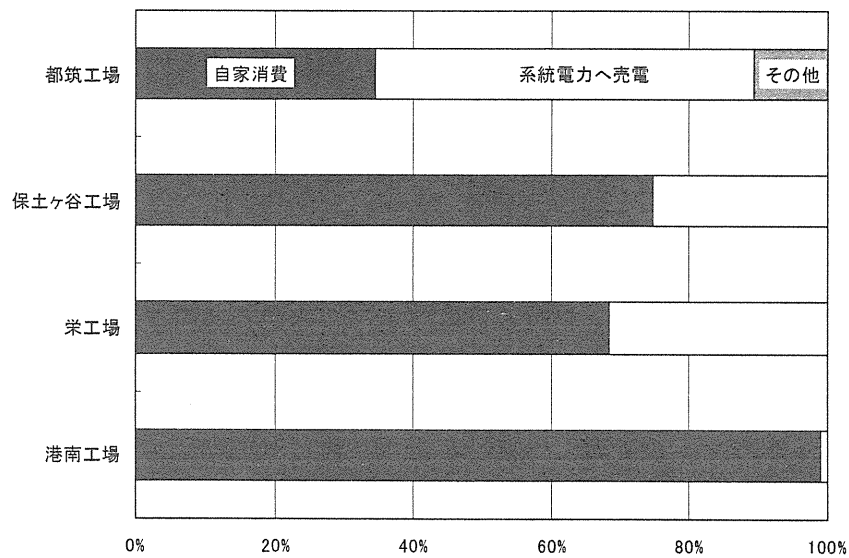


図 5.7 発電電力の使用用途内訳

つぎに、清掃工場からのごみ焼却排熱をどのくらい遠くまで運んで利用可能かについて検討した。文献 1) によると、ごみ焼却炉の入熱に対する排熱の有効利用は極めて低い状況にある。図 5.8 に示す東京都の既設の 13 清掃工場の排熱の平均有効利用率は、29.1%であり、ごみ発電の発電単効率は 6.4%と低い。残りの排熱は蒸気復水器により大気へ放出している。一方、図 5.9 に示す東京都千歳清掃工場（平成 9 年 3 月竣工）のものは、32.5%の排熱利用率となっており、このうちごみ発電端効率は 16.9%と比較的高効率なごみ発電となっている。また、工場内で使用する熱や、発電した電力を自家消費する分などもあることから、ごみ焼却により回収できる熱を全量熱供給に活用可能というわけではない。

そこで、図 5.9 のような最新の清掃工場におけるごみ焼却による発生熱量の有効利用率をもとに、焼却量あたりの熱供給可能量を求めた。その結果、ごみの低位発熱量を 2200kcal/kg とした場合、日量 100 t のごみ焼却により 220Gcal/日 の熱が発生し、45.5 にあたる 100.1Gcal/日 が熱供給可能量となる。

この値を用いて、 100.1Gcal/日 (4.2Gcal/h) の熱を高温水として回収し、5km～100km 搬送した場合に、どれだけの搬送動力が必要となるかを求めた。その結果、10km で 0.32Gcal/h 、100km で 3.21Gcal/h の搬送動力が必要であることがわかった。

ここで、通常はごみ発電に使用していることから、ごみ焼却発電を行って、発電した電力を使って $\text{COP}=3.0$ のヒートポンプを使用するときと比較する。図 5.9 において発電する場合の外部利用電力分は 11.3% (1.0Gcal/h) であるから、 $\text{COP}=3.0$ のヒートポンプで製造できる熱は 3.1Gcal/h である。よって、90km までは搬送動力を差し引いた熱供給可能量の方が、ごみ発電電力でヒートポンプを用いて製造する熱量よりも大きくなり、効率的であることがわかった（図 5.10）。

以上より、現実的な面を考慮しても、ごみ焼却排熱を発電利用するよりも、熱供給利用する方が、搬送動力を含めてもエネルギー的に効率が良くなることがわかった。

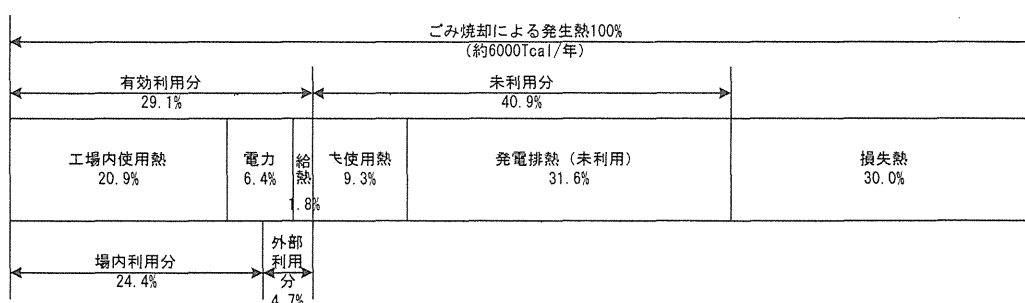


図 5.8 ごみ焼却排熱の有効利用率(東京都 13 清掃工場の平均値)

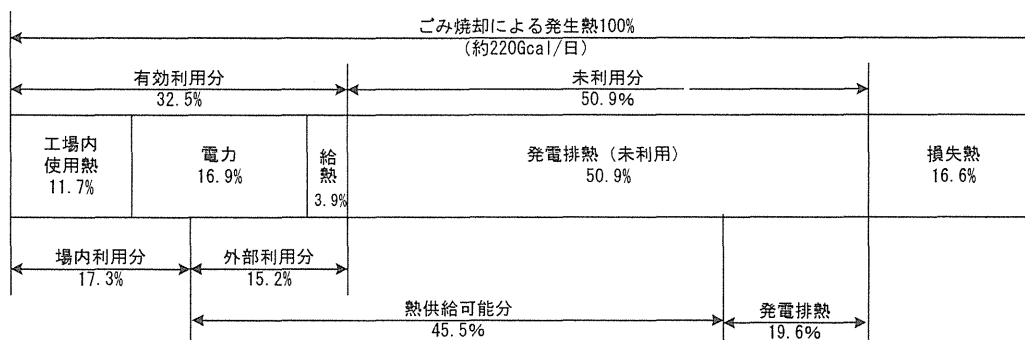


図 5.9 最新のごみ焼却排熱の有効利用率(東京都千歳清掃工場)

表 5.6 ごみ排熱(4.2Gcal/h)を熱供給する場合の搬送動力

搬送距離 (km)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
搬送E (Gcal/h)	0.32	0.64	0.96	1.28	1.60	1.92	2.24	2.57	2.89	3.21

日量100tのごみ焼却のエネルギーポテンシャル

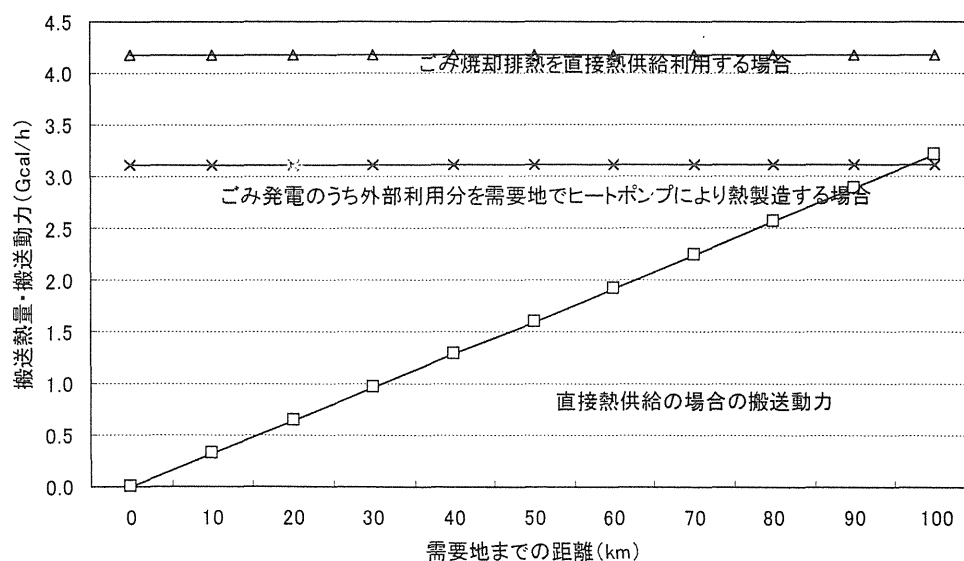


図 5.10 日量 100tのごみ焼却のエネルギーポテンシャル

5-4-2 下水処理場の下水処理水排熱

下水は、家庭からの排水などを含み、また地中を流れてくるために、外気温に対して夏期は低く、冬期は高いという性質を持つ。表 5.7、図 5.11 に横浜市における下水処理場の処理水の平均温度を示す。

下水を利用した地域冷暖房としては、下水ポンプ所の生下水を熱源水として利用している後楽 1 丁目地域冷暖房が代表としてあげられる。後楽 1 丁目地域冷暖房のシステムフローを図 5.12 に示す。生下水を使用する場合、下水処理水を使用する場合に比べて、粘度が大きいことから熱交換効率が若干良くなる。しかし、ごみや微生物などの影響で、熱交換器や配管内部が汚れたり腐食したりするため、オートストレーナーという装置を使用して、管内の清掃をする必要がある。

下水はヒートポンプで温熱を製造するときには熱源水として利用し、冷熱を製造するときには熱の捨て場として利用する。通常ヒートポンプの場合冷却塔を設置するが、これは内部に循環する水を冷却塔において冷やしたり温めたりしているのであり、この部分を下水が賄うことになる。そのため、下水の利用温度は、夏期で 25℃→28℃ (3℃)、冬期で 15℃→13℃ (2℃) となり、これを広域熱供給ネットワークにて広域搬送するには、利用温度差が小さいために搬送量あたりの熱供給量が小さくなり、不経済となる。よって、下水に賦存する熱は地域的に利用するのが好ましいと考えられる。

図 5.13 にヒートポンプの COP 曲線を示す。ヒートポンプは水温が高くなるほど暖房は COP が高くなり省エネルギー的になる。逆に水温が低くなるほど冷房の COP が高くなり省エネルギー的になる。よって、冬期に外気温より温かく、夏期に外気温より冷たい下水は、ヒートポンプの効率を向上させるのに役に立つ。

表 5.7 横浜市下水処理水温と COP

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
外気温	6.0	6.6	9.0	14.7	18.5	22.0	25.2	27.1	23.8	18.1	13.3	8.8
下水処理水温	16.2	15.2	15.7	19.3	21.4	23.2	23.1	24.5	24.6	22.6	20.8	18.0

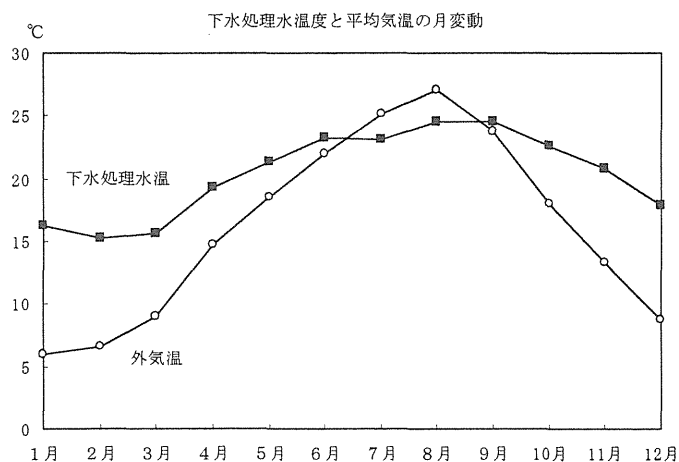


図 5.11 横浜市の下処理水温度と気温

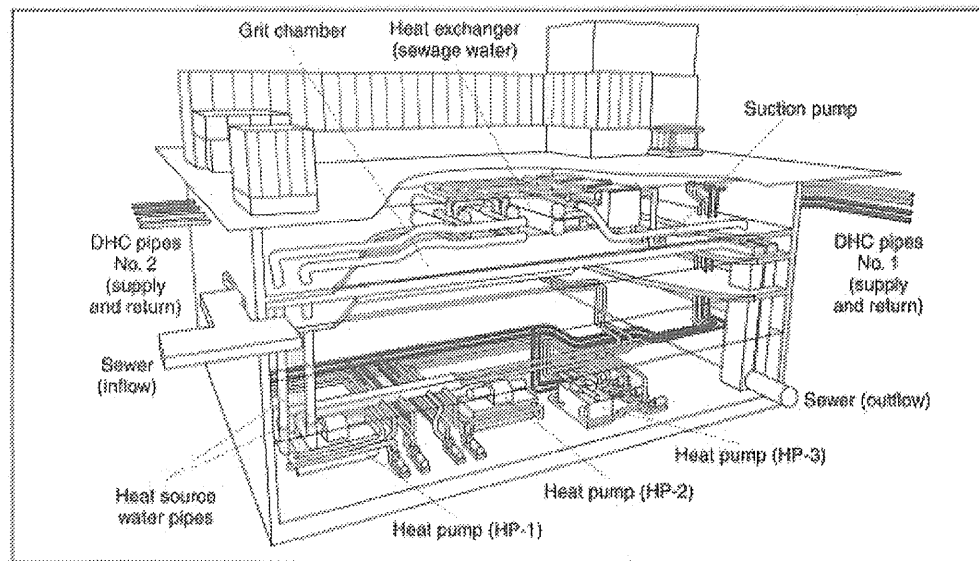


図 5.12 後楽 1 丁目地域冷暖房

[供給温度レベル ; 冷水 7℃, 暖房温水 47℃, 給湯温水 80℃]

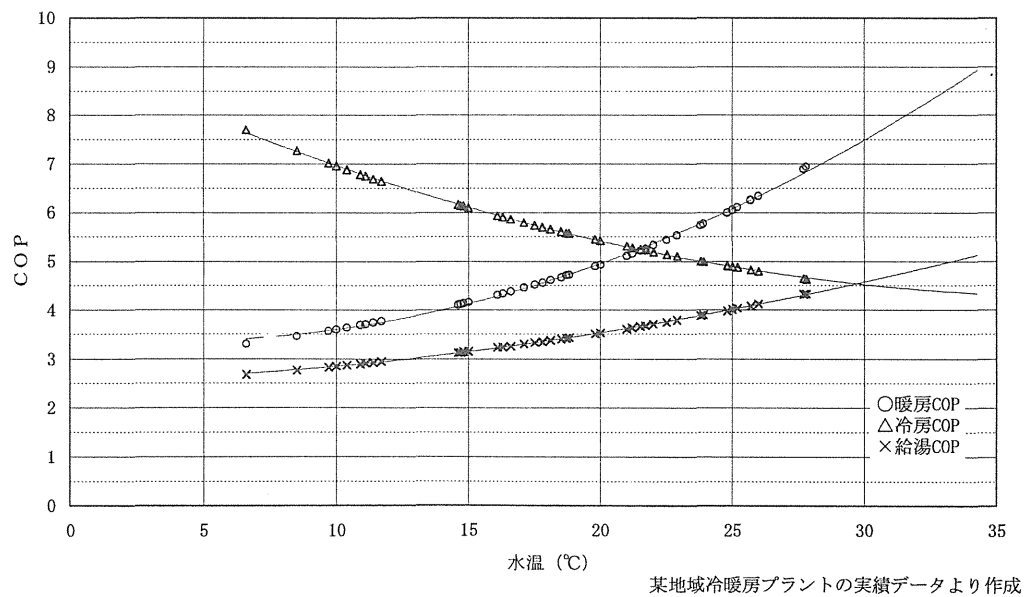


図 5.13 水熱源ヒートポンプの COP

5-4-3 汚泥処理施設の汚泥処理排熱

下水汚泥の処理には大きく 2 通りある。一つは横浜市が採用している方法で、凝縮した汚泥を消化タンクで消化させたあと、脱水、焼却を行う方法で、他方は、凝縮した汚泥を直接脱水、焼却する方法である。

ここでは、横浜市の施設データが入手できたことから、消化を含む方式において、汚泥処理施設からの熱供給利用可能性を検討する。

汚泥処理施設のシステムフローを図 5.14 に示す。

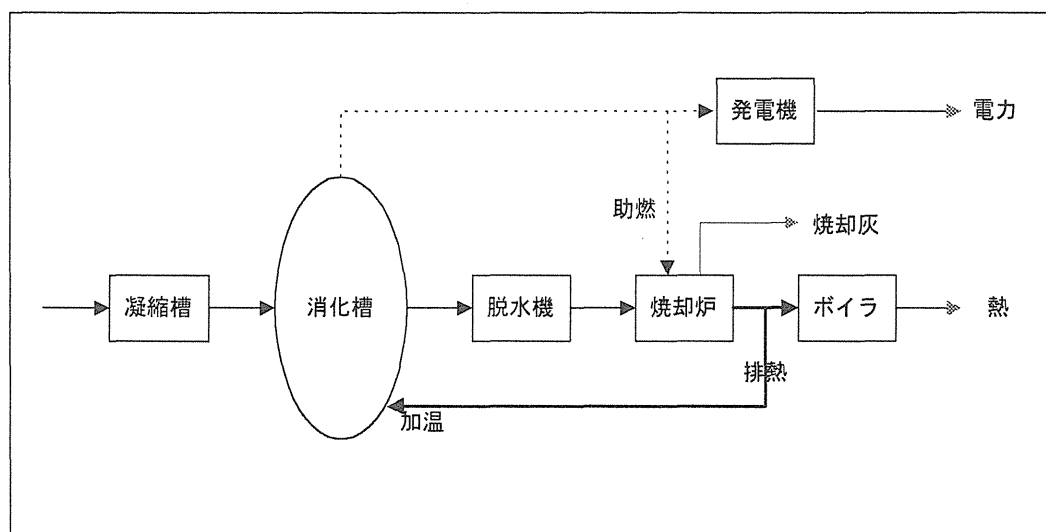


図 4.14 汚泥処理施設のシステムフロー

ここで、横浜市北部汚泥処理施設のデータから得られた結果を以下の表 5.8 に示す。

表 5.8 汚泥処理施設の諸データ

流入汚泥量あたりの消化ガス発生量	0.0497	Nm ³ /m
助燃用消化ガス利用割合	31.0	%
消化ガス外部利用可能割合	69.0	%
消化ガス発熱量	約 5,000	kcal/Nm ³
流入汚泥量あたりの汚泥ケーキ発生量	0.341	Kg/m ³
汚泥ケーキ発熱量	約 270	Kcal/kg
汚泥ケーキあたりの消化ガス使用量	46.276	Nm ³ /t
排ガス熱利用可能割合	70.0	%

表 5.8 より，熱供給可能量を求める。

$$\begin{aligned}\text{流入汚泥量あたりの熱供給可能量} &= \text{流入汚泥量あたりの汚泥ケーキ発生量} \\ &\quad \times \text{汚泥ケーキ発熱量} \\ &\quad \times \text{排ガス熱利用可能割合} \\ &= 0.341 \text{ [kg/m}^3\text{]} \times 270 \text{ [kcal/kg]} \times 60 \text{ [\%]} \\ &= 55.24 \text{ [kcal/m}^3\text{]}\end{aligned}$$

横浜市北部汚泥処理施設の平均流入汚泥量約 15,000m³/日の場合，
熱供給可能量 = 34.5 [Mcal/h]

また，消化ガスを熱供給用の燃料として利用する場合の熱供給可能量は，

$$\begin{aligned}\text{流入汚泥量あたりの熱供給可能量} &= \text{流入汚泥量あたりの消化ガス発生量} \\ &\quad \times \text{消化ガス発熱量} \\ &\quad \times \text{消化ガス利用可能割合} \\ &= 0.0497 \text{ [Nm}^3\text{/m}^3\text{]} \times 5,000 \text{ [kcal/Nm}^3\text{]} \\ &\quad \times 69 \text{ [\%]} \\ &= 171.5 \text{ [kcal/m}^3\text{]}\end{aligned}$$

横浜市北部汚泥処理施設の平均流入汚泥量約 15,000m³/日の場合，
熱供給可能量 = 107.2 [Mcal/h]

これより，横浜市北部汚泥処理施設の熱供給可能量は，消化ガス余剰分を熱供給用燃料として利用したとしても，0.14 [Gcal/h] であり，熱供給能力はきわめて小さいことが分かった。

このことから，汚泥処理施設は「広域熱供給ネットワークシステム」の熱源としては規模が小さすぎて利用可能性が低いということが分かった。

5-5 清掃工場のごみ排熱利用に関する社会の動向

5-5-1 RDF

清掃工場は、大きなものは 1500 t/日の全連続焼却炉を持つ工場、小さいものでは 50 t/日の非全連続焼却炉を持つ工場と規模が様々で、小規模の清掃工場や老朽化した清掃工場では、ダイオキシンの問題を抱えている。ダイオキシンは塩化ビニルなどの塩化物を 400℃で燃焼させた場合 210 種類全てが発生し、特に小型焼却炉などで低温で不完全燃焼させた場合が特に問題視されている。

その解決策として、RDF（ごみ固形化燃料）が注目されている。RDF はごみを圧縮整形して燃料化するもので、RDF 化の際に塩化ビニルなどの不純物を取り除くこと、RDF の場合高温での焼却（燃焼）が可能であることから、ダイオキシン発生抑制につながるとされている。また、小規模の清掃工場を RDF 製造工場へ変更し、RDF 化したものをある箇所でまとめて燃料として利用することで、焼却灰の管理も簡易になる他、熱需要地に近い場所でエネルギーとして再利用する可能性が高くなると考えられている。

RDF 事業は、御殿場市で最初に検討がなされたほか、栃木県及び三重県、福岡県で現在計画がすすんでいる。特に、福岡県では平成 8・9 年度に RDF 事業化計画調査を行い、大牟田市、D 社、福岡県の 3 者を軸に事業具体化へ向けて協議・検討を進めた結果、平成 11 年 1 月 26 日付で主に福岡県内の家庭ごみを対象としたごみ固形化燃料発電を行う事業体「大牟田リサイクル発電株式会社」が発足している。

しかし、RDF には燃料としての利用先がないという問題もまたある。三重県では、RDF 化計画があるものの燃料として利用してくれる先がなく、結局某工場にお金を払って引き取ってもらうということになっている。本来 RDF は燃料化されたものであることから、燃料として売ることが可能である。また、福岡県では RDF の良さは理解してもらえるが、RDF を利用した発電所を作るとなると、住民感情から、計画地周辺で反対運動が起こるなど問題が多い。

北海道では、地域冷暖房プラントが RDF を買って燃料として用いている。このプラントでは、軽油や都市ガスなど他の燃料も用いているが、最も利用割合が大きいのが RDF である。この理由は、RDF 購入単価が比較的安いということ、行政の指導である。

このように、RDF は利用可能性は大きいものの、現実化には多くのハードルを抱えている。しかし、社会のシステムとしてきちんとした位置付けをすることによって、利用も促進され「広域熱供給ネットワーク」の熱源としても有望になってくるものと考えられる。

5-5-2 スーパーごみ発電

ごみ焼却排熱による発電は、焼却排熱回収ボイラが排ガスの成分によって腐食することから、350℃以下の蒸気しか使用できないという制限があり、発電効率は復水式で約15～20%、背圧式で約10%と極めて低い。

このことから、ごみ焼却排熱による発電と、ガスタービンによる発電を組み合わせ、高効率の発電を行うものがスーパーごみ発電である。堺市クリーンセンター東第2工場のスーパーごみ発電のシステムフローを図4.15に示す。

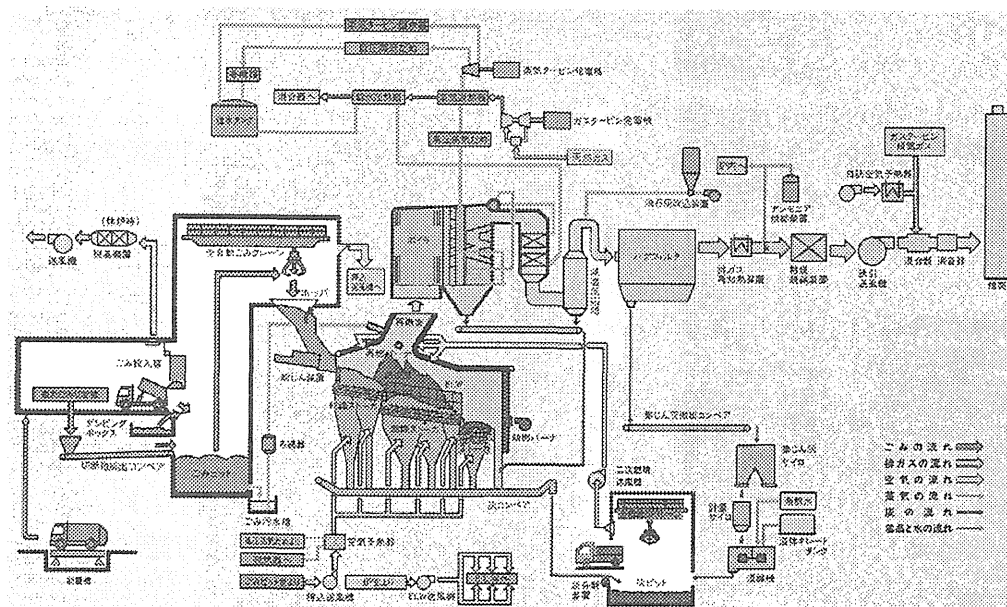


図 4.15 堺クリーンセンター東第2工場スーパーごみ発電システムフロー

このように、スーパーごみ発電ではガスタービン排ガスで、ごみ焼却排熱蒸気を加熱することにより、ごみ発電自体の発電効率を向上させるほか、ガスタービン部分で発電する電力によって、システム全体の効率も向上させるもので、発電効率は約35%である。但し、ガスタービンによるコンバインドサイクル発電（ガスタービン排ガスにより蒸気を作りその蒸気で蒸気タービンを動かす）の発電効率に比べると低く、ごみ焼却ボイラを比したガスタービンの容量の設定の仕方によって発電効率は大きく異なってくる。

「広域熱供給ネットワーク」の熱源として考えた場合、発電効率が高くなることから熱供給利用する効果が小さくなる。また、投入燃料が必要であることから卸売り熱単価が高くなるという可能性も考えられる。しかし、蒸気タービンから抽気して利用するなど考えられないことはない。そのように考えれば、ガスタービンと組み合わせるのではなく、既存の火力発電所の給水加熱用として清掃工場排熱を利用するアイデアも考えられる。この場合、熱供給は第3章にあるように抽気が可能である。これは、事業主体が違うもの同士を組み合わせるものことから実現は相当困難であるが、社会全体として考え期待されるものである。

5-6 結論

第3章で火力発電所からの熱供給可能性、第4章で工場からの排熱供給可能性を検討した。本章では、その他の都市排熱源について熱供給可能性の面から考察・検討を行ったが、特に清掃工場などの都市処理施設に関して具体的な検討をおこなった。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 都市処理施設のスケール分析により、各処理施設は既存の地域冷暖房施設と比較して処理区面積はかなり大きい、熱供給可能面積で比較すると汚泥処理施設を除いてほぼ同様の能力をもつ。
- ② 汚泥処理施設は、熱供給能力が低い。
- ③ 清掃工場は工場ごとに性格が異なるが、ごみ焼却量あたりの熱供給可能量はおよそ 1,393kcal/h である。
- ④ 清掃工場の実績値では、排熱回収蒸気は発電利用するケースが多い。
- ⑤ ごみ焼却による発熱量の約 65.1%が熱供給利用可能であるとする、100 t/日の規模の工場で、6.0Gcal/h の熱供給能力があり、搬送動力は 10km 供給で 0.32Gcal/h、100km 供給で 3.21Gcal/h となる。
- ⑥ 通常売電している量でヒートポンプにより熱を作る場合と比較すると、90km の長距離熱搬送の場合まで、直接熱供給の方が効率的である。
- ⑦ 下水処理水は、利用温度差が大きく取れないことから広域熱供給ネットワークの熱源としては不向きで、むしろ地区拠点システムでの利用可能性が大きい。
- ⑧ 清掃工場の RDF 化の動きが、いくつか現実化してきている。
- ⑨ スーパーごみ発電は高効率になるものの、「広域熱供給ネットワーク」の熱源としてはマイナスである。
- ⑩ 理由としては別途燃料を投入するという点、高効率になることで熱供給利用するほうの利点が小さくなる点が挙げられる。

参考文献

- 1) 石川禎昭,「ごみ焼却排熱の有効利用 - 高効率ごみ発電と排熱の高度利用 - 」,理工図書
- 2) 「後楽 1 丁目地域冷暖房」パンフレット
- 3) 社団法人地域冷暖房協会,「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 7 年度報告書 (No.1, No.2)」, 1996 年 3 月
- 4) 「横浜市北部汚泥処理センター」パンフレット

第 6 章

広域熱供給システムの構築による効果に関する研究

目 次

- 6-1 概要
- 6-2 横浜臨海地区における広域熱供給システムの構築に関するケーススタディ
 - 6-2-1 概要
 - 6-2-2 広域幹線共同溝ネットワーク
 - 6-2-3 システムの提案
 - 6-2-4 システムの評価
 - 6-2-5 まとめ
- 6-3 東京都区部における広域熱供給システムの構築に関するケーススタディ
 - 6-3-1 概要
 - 6-3-2 モデルシステムの提案
 - 6-3-3 システムの評価
 - 6-3-4 まとめ
- 6-4 結論

第6章 広域熱供給システムの構築による効果に関する研究

6-1 概要

第2章において、東京およびその周辺都市域は、熱負荷密度の大きなエリアが多く分布し、熱供給に利用可能な熱源も多く分布することから、広域熱供給システムの導入可能性の高い都市域であることがわかった。

そこで本章では、横浜臨海地区と東京都区部を取り上げ、第3章、第4章、第5章の成果を踏まえて、広域熱供給システムの導入のケーススタディを行う。本章のケーススタディにおいては、

- ① 地域の特性を活かして、様々な未利用エネルギーを活用可能なシステムを提案する。
- ② システムの評価は、単一の評価指標で評価するのではなく、多様な視点からの評価を行う。

の2つのポイントを重視する。

6-2 横浜臨海地区における広域熱供給システムの構築に関するケーススタディ

6-2-1 概要

本節では、前章までの結果を踏まえ、横浜臨海地区を取り上げ、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。

具体的には、災害発生時の地区のエネルギー的自立の必要性などを考え、または、長距離搬送に適さない下水などの熱源水を地区レベルで有効に活用することを考え、地区自立・拠点型のシステムを提案する。これに、高温の都市排熱を活用した広域熱供給ネットワークシステムを組み合わせ、**「総合都市インフラストラクチャー」**として提案し評価するものとする。

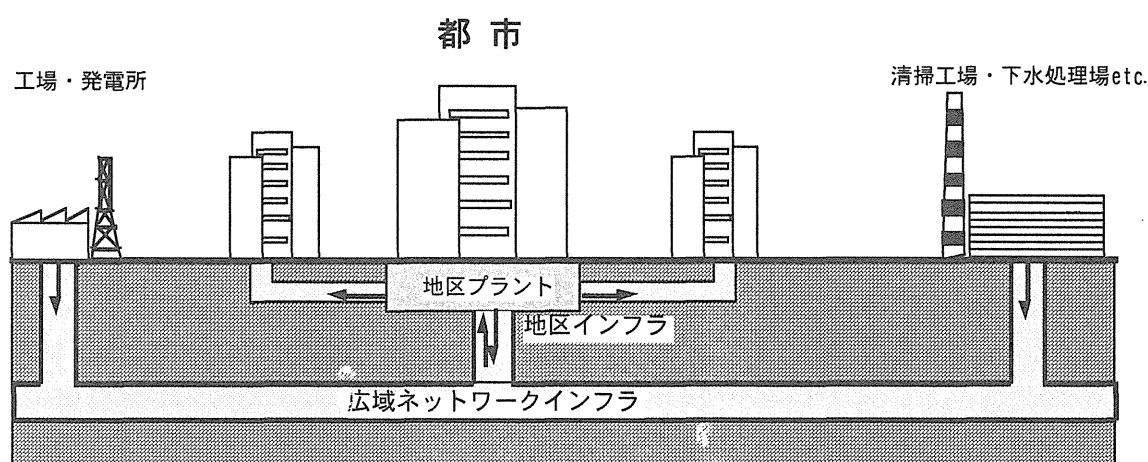


図 6.1 総合都市インフラストラクチャーのイメージ

ここで、「総合都市インフラストラクチャー（総合都市インフラ）」を以下のように定義する。

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的自立力が向上する。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 、 CO_2 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。

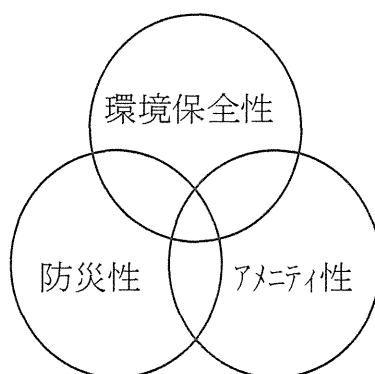


図 6.2 総合都市インフラの目標

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。広域熱供給システムは、この「総合都市インフラ」の基礎的なシステムと位置付けられる。

6-2-2 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、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る。

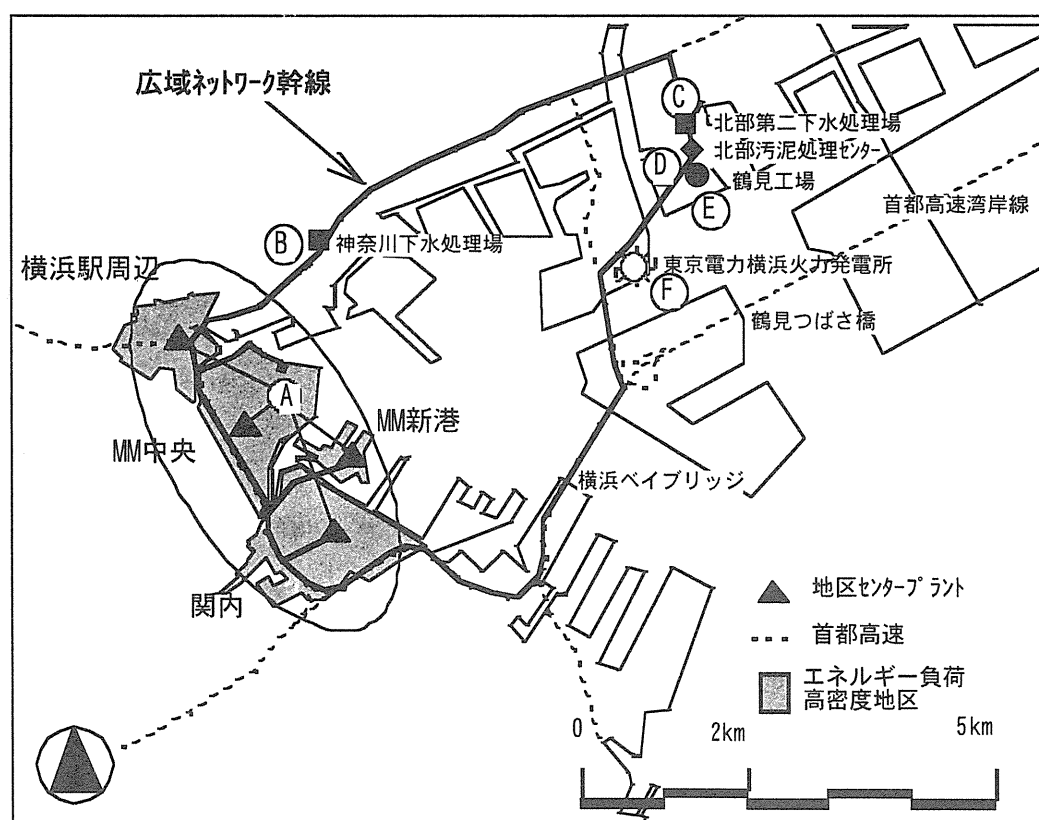


図 6.3 横浜臨海地区周辺の現況と広域幹線共同溝ネットワークの設定

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

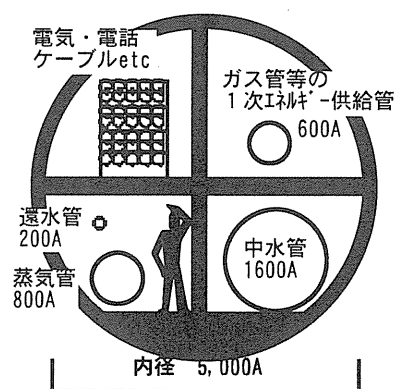


図 6.4 幹線共同溝断面

6-2-3 システムの提案

(1) 導入対象地区の負荷想定

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 6.1 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 (㎡)							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	1,809,212
MM中央	157.7	321,065	41,890	4,093,356	718,932	232,270	0	418,721	5,826,234
MM新港	28.3	0	0	286,400	30,000	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	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	10,864,295

表 6.2 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 m³/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 30%の需要をもっている。ただし、表 6.1、表 6.2 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（2010 年頃）の計画床面積から算出した数値である。

(2) 横浜臨海地区に賦存する地域エネルギー（3章・5章参照）

第3章，第5章の結果を活用して，横浜臨海地区における熱供給利用可能な熱源について，熱賦存量を算出し，熱供給可能量を推定した。

推定結果は以下通りである。

- | | |
|-------------------|---|
| ・ 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 269m ³ /h) |
| ・ 横浜火力発電所 IP 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 m ³ /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 m ³ /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 m ³ /h (平均値) |

(3) 各プラントのシステム設定

図 6.2 中の記号 (A, B, ..., F) における, 提案するシステムの設定を行う。

① (地区回収) ごみ焼却排熱利用熱供給システム (A, E)

E の鶴見清掃工場においては, 現在一部予熱供給を行っているものの大部分はごみ焼却排熱発電に利用している。ここでは, ごみ焼却排熱を広域熱供給システムの熱源として活用する場合のプラントシステムである。

また, A の地区プラントにおいては, 地区内の排出ごみを管路収集し, 地区内で焼却を行う。ただし, 実際には本地区は業務・商業地区であり, ごみ焼却プラントの建設は用途規制の面からは難しい。しかし, ここでは地区内にごみ焼却プラントを建設可能であるとして, その焼却排熱を地区に熱供給するシステムとしている。

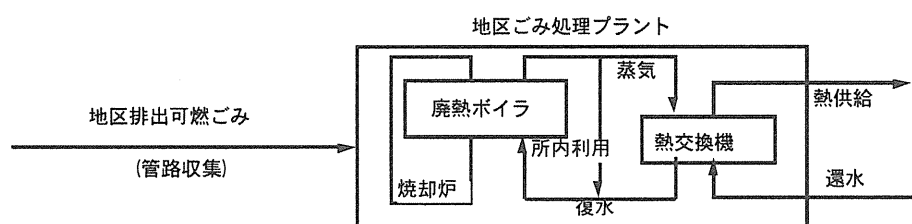


図 6.5 ごみ焼却排熱利用熱供給システム

② (地区回収) ごみ焼却排熱利用発電システム (A, E)

①とは異なり, ごみ焼却排熱を復水蒸気タービン発電に利用するシステムである。鶴見清掃工場では, 従来どおりのごみ発電である。A の地区プラントでは, 地区のごみを管路収集し焼却しその排熱を発電に利用する。通常ごみ発電は, 焼却炉が 24 時間連続稼働で, 1 日あたりのごみ焼却量が 100 t 以上あることが条件とされている。横浜駅周辺地区, みなとみらい中央地区, みなとみらい新港地区, 関内地区は建物密度が高く, (2) のようにごみ排出量も 680 t/日と推定されることから, 地区規模でごみを回収し, 発電利用することは可能である。

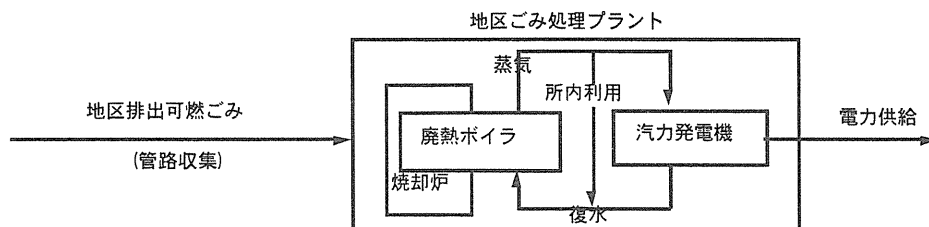


図 6.6 ごみ焼却排熱発電利用システム

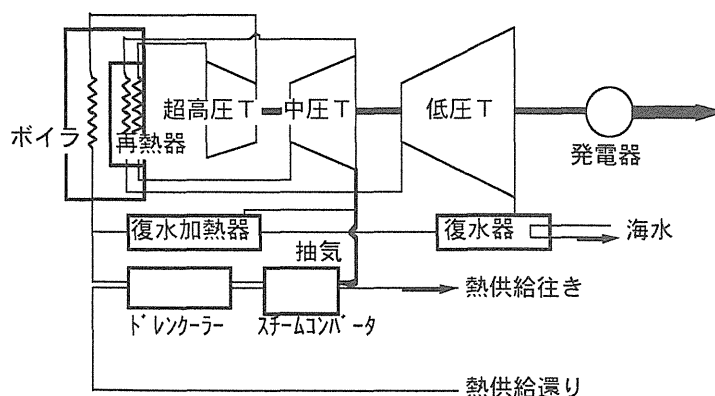
現在、地区循環中水システムは新宿の水リサイクルセンターにおいて行われているが、その他に地区規模でシステムを構築しているケースはない。

```

graph LR
    A[中水原水*] --> B[高度処理設備]
    B --> C[中水貯水槽]
    C -- "中水供給" --> D["トイレ用水  
洗車・散水用水"]
    C -- "中水余剰分" --> E[防火水槽]
    E -- "フロー" --> F[公園親水利用]
    
```

④発電所抽気システム (F)

中圧タービン出口から抽気された IP 排気はスチームコンバーター（熱交換器）、およびドレンクーラー（エコノマイザー）により熱交換され、広域熱供給システムの熱媒として、横浜臨海地区のへ長距離搬送される。



VI-9

①～⑤および、地区規模の GE コージェネレーションシステムを組み合わせ、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 6.3 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 H P + 蓄熱	—	—	—	—	—
Case2		ベース熱供給		—	—	—	—	—
Case3		発電		ベース容量	—	—	—	—
Case4				ピークの30%	—	—	—	—
Case5				ピーク容量	—	—	—	—
Case6	ネットワーク型	—	—	—	中水HP＋蓄熱	ベース熱供給	ベース熱供給	—
Case7		—	—	—	—	—	—	熱供給
Case8		—	—	—	中水HP＋蓄熱	ベース熱供給	ベース熱供給	ベース熱供給
Case9	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	ベース熱供給
Case10			—	ピークの30%				

<設定詳細条件>

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。

②GE 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にあてる。
- ・ 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。

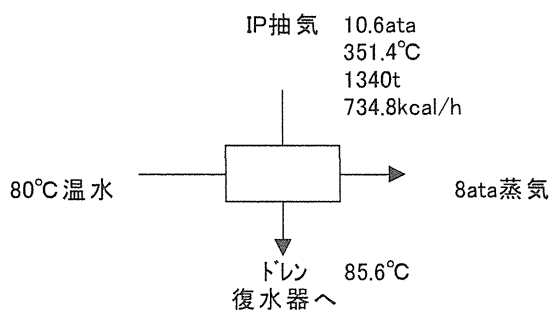
④水熱源 HP の COP

表 6.4 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。(第 3 章)
- ・ Case7 以外は不足熱量に対するサポート的な供給。



$$\text{発電出力の低下} = 1340,000(\text{kg/h}) \times (734.8 - 560) \times 0.985 \div 860 = 268.3(\text{MWh/h})$$

$$\text{抽気量} \quad \text{LPT 出入口エンタルピー差} \quad \text{発電機効率}$$

$$\text{低下率} = 26.83(\%)$$

$$\text{熱供給可能量} = 1340,000(\text{kg/h}) \times (734.8 - 85.6) = 869.9(\text{Gcal/h})$$

図 6.8 IP 排気による熱供給

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

表 6.5 環境性評価原単位

商用電力（東京電力）及び都市ガスのCO ₂ 、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」

6-2-4 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 6.6 災害時のエネルギー自立効果

(ア) 災害時に稼働できるシステムをゴミ発電・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ゴミ発電・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 6.7 に蓄熱槽を防火水槽としても活用する場合の、地区内の消防用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 6.7 蓄熱槽の防火水槽との兼用による消防用水の確保(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（ごみ）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 6.8 に示す。

表 6.8 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

Case1・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、Case3・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、Case6・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、Case9・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 6.9** で、Case1・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。

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 6.10** に示す。

表 6.9 省エネルギー性・環境保全性

		基準シナリオ	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	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	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	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	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	113.6
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	0.0
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	903.4
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	792.3
CG余剰熱	Tcal/年	—	0.0	0.0	28.6	248.3	933.1	0.0	0.0	0.0	28.6	248.3
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	180.6
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	26.7
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	424.1
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	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	0.0
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	967.7
都市ガス消費量	千Nm3/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	227,837.2
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	130.7
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	4,977.6
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	15.9
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	1,031.2
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	13.8
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	524.8
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	32.9

表 6.10 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	市全体需要に対して
	削減量 Tcal/年	削減率 %	削減率 %	削減率 %
Case1	20.5	0.2	0.05	0.02
Case2	221.7	2.4	0.54	0.24
Case3	164.5	1.8	0.40	0.18
Case4	659.1	7.2	1.60	0.70
Case5	648.5	7.1	1.57	0.69
Case6	575.4	6.3	1.40	0.61
Case7	825.8	9.0	2.00	0.88
Case8	1327.9	14.4	3.22	1.42
Case9	1575.5	17.1	3.83	1.68
Case10	1459.9	15.9	3.54	1.56

表 6.11 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/				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 6.12 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。

6-2-5 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た、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 CO_2 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る、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。

6-3 東京都区部における広域熱供給システムの構築に関するケーススタディ

6-3-1 概要

東京都区部を取り上げ、広域熱供給システムのケーススタディを行う。広域熱供給ネットワークの導入効果として以下のことが考えられる。

- ① 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で用いることによって、設備の稼働率の向上が期待できる。
- ② 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・高温水ならば、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。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ また、広域熱供給ネットワークが、その他の大規模なネットワーク（大深度地下広域ネットワーク構想^{文献 26)}）の一部としてその可能性を高めることが期待される。

以上を踏まえ、都市排熱、未利用エネルギーを有効活用可能な広域熱供給システムを提案し、評価する。

具体的には、東京都の 500mメッシュ用途別床面積データを用いて、500m×500m の一つのメッシュが、地域冷暖房など地区インフラの導入規模と考え一つの地区として扱い、熱需要量と都市排熱賦存量、未利用エネルギー賦存量を算出し、地図上でマッピングしたうえで、高温水あるいは蒸気の広域熱供給ネットワーク、および下水道などローカルエネルギーやコージェネレーションを活用した地区システムを提案する。また、このとき地区のシステム決定に関しては、第 1 にローカルエネルギーを活用する、第 2 に広域熱供給ネットワークを活用する、という条件のもとで、システム決定フロー（後述）によって決定する。また評価については、次の 4 つの点から評価する。

- ① ボイラのネットワーク分担による地区プラント設備容量の縮小効果
- ② 地区プラントのボイラ余裕率のネットワークへの貢献効果
- ③ 1 次エネルギー削減効果
- ④ 夏期の冷房によるピーク電力負荷の削減効果

6-3-2 モデルシステムの提案

第5章で都市の中の種々の熱源について考察し、その熱供給可能性を検討した。また、第3章で東京都区部のメッシュデータをもとに、エネルギーの需要、及び供給の面から、様々な地区分類を行った。これらをもとに、東京都区部全体で、今後の熱供給の在るべき姿を提案する。

まず、**図 6.9** のようなフローをもとに、対象メッシュの導入システムを決定する。このシステム決定フローにおいては、以下の点を要素とした。

- ①既存の地域冷暖房の供給対象地区となっているか、そうでないか。
供給対象地区が含まれる場合、高温供給か低温供給か。
このとき、メッシュ内に高温供給エリア、低温供給エリアが共存する場合はエリア面積の大きい方の供給システムにあわせる。
- ②低温未利用熱源（海、下水処理場、河川）から 2km 以内にあるか、そうでないか。
- ③メッシュ内の総延床面積の 50%以上を医療、宿泊用途が占めているか、そうでないか。
これは、医療や宿泊施設は、一般的に蒸気などの高温の熱需要が存在するためである。
- ④山の手線蒸気供給幹線（本研究で提案）から、2km 以内にあるか、そうでないか。

システム決定フローによって決定されるシステムは、以下の通りである。

モデル1 システム：従来の低温供給地域冷暖房プラントと同様のシステム。

空気熱源電動ヒートポンプ、蓄熱システムとする。ヒートポンプの COP については**図 6.10**, COP 推定に必要な外気温については、**表 6.13**, **図 6.11** を用いた。また、蓄熱は、ピークカット 15%の蓄熱槽（既存の地域冷暖房プラントの蓄熱容量）を有するものとし、6 時間蓄熱で、放熱時間は特別に設定しないものとした。

モデル2 システム：低温未利用熱源水を利用した水熱源電動ヒートポンプ利用システム。
ヒートポンプの COP は**図 6.12**, 熱源水温は**図 6.13**, **表 6.14** を使用した。蓄熱については、モデル1 システムと設定は同様である。熱源水について、海水取水量の最大限度は大井火力発電所のピーク取水量を最大取水量と仮定した。

モデル3 システム：山の手線蒸気供給幹線の蒸気を利用した蒸気吸収ヒートポンプシステム。

低温未利用熱源水を、温水製造時には熱源水として利用し、冷水製造時には熱の捨て場（冷却水）として利用するものとする。このとき、蒸気吸収ヒートポンプの COP は温水製造時が 1.5, 冷水製造時が 1.2（吸収式冷凍機と同様であるため）とし、蓄熱についてはモデルシステム 1・2 と同様とした。

モデル4 システム：コージェネレーションシステム。

運転方式は熱電バランス運転（熱、電気があまらないうに制御し

て運転)とした。

モデル5 システム：従来の高温供給地域冷暖房プラントと同様のシステム。

ボイラにより蒸気または高温水を製造し、冷熱は吸収式冷凍機を駆動して製造する。ボイラの効率は 0.8, 吸収式冷凍機の効率は二重効用を想定して 1.2 とした。

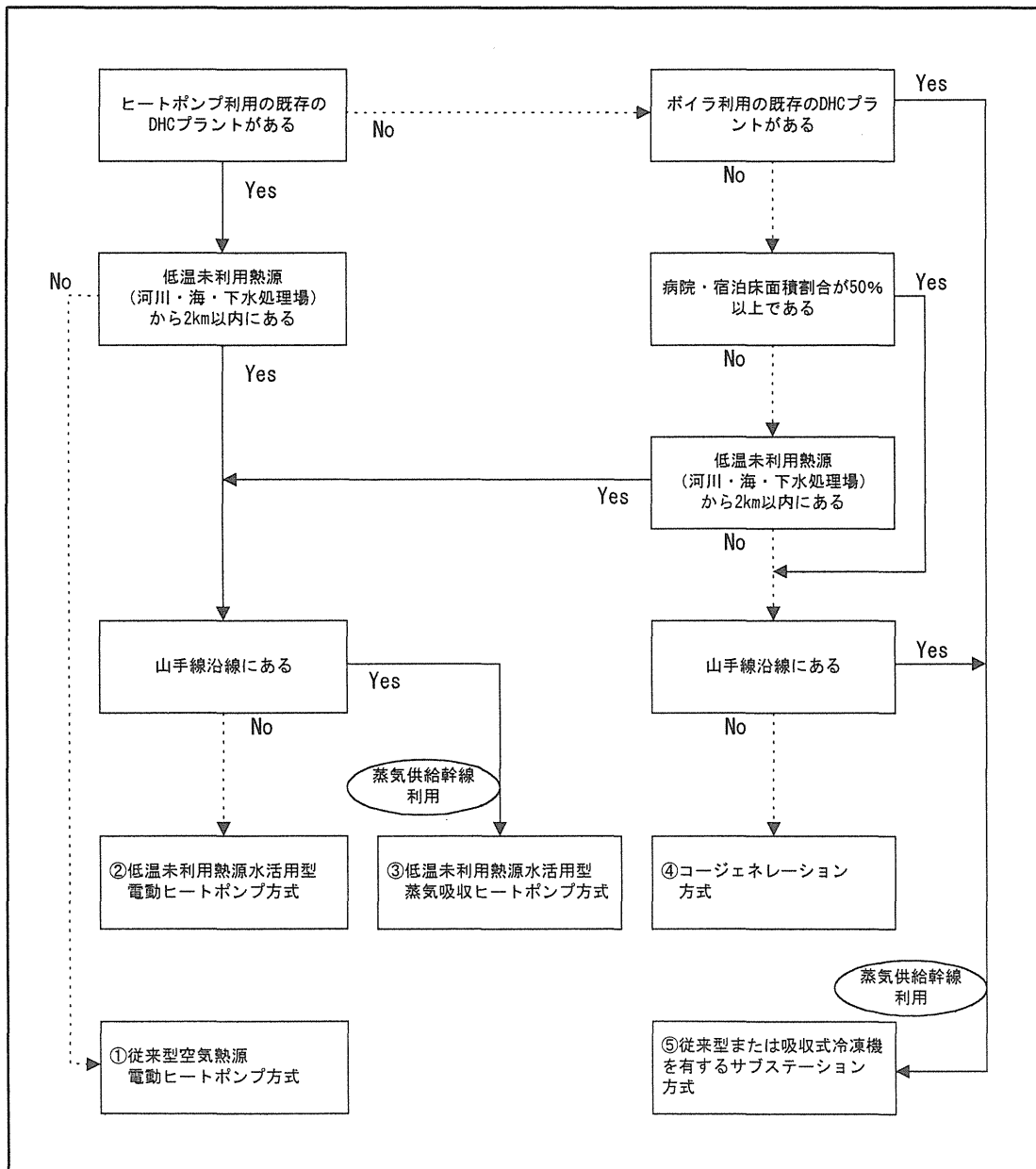


図 6.9 各対象メッシュのシステム決定フロー

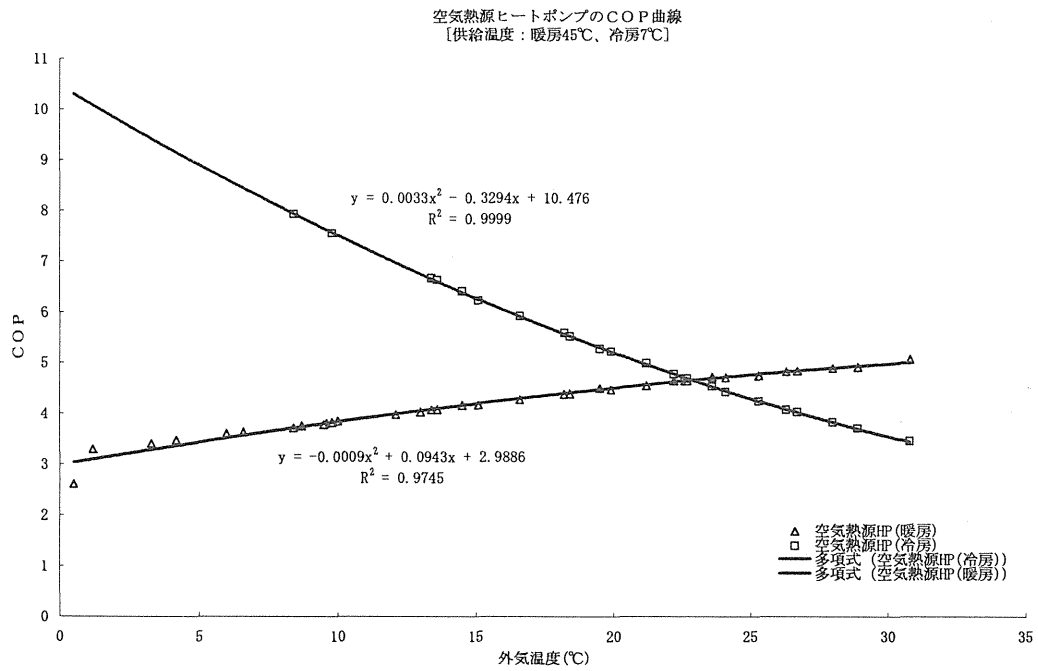


図 6.10 空気熱源ヒートポンプの COP

表 6.13 外気温の推定

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
日の出	6:15	5:56	5:19	4:35	4:00	3:46	3:39	4:24	4:53	5:17	5:43	6:08
Δt	7.25	8	8.66	9.5	10	10.25	10	9.5	9	8.45	8.25	7.85
最低気温	1.2	1.7	4.4	10	14.8	18.6	22.3	24	20.2	14.2	8.9	3.9
最高気温	9.5	9.7	12.7	18.3	22.8	25.2	28.8	30.9	26.7	21.2	16.6	12.1
ΔT	8.3	8	8.3	8.3	8	6.6	6.5	6.9	6.5	7	7.7	8.2
推定気温(°C)												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0時	4.1	4.2	6.6	11.8	16.3	19.7	23.5	25.5	21.8	16.2	11.2	6.5
1時	3.4	3.5	5.9	11.1	15.7	19.2	23.0	24.9	21.3	15.6	10.5	5.8
2時	2.7	2.9	5.3	10.6	15.2	18.9	22.6	24.5	20.8	15.1	9.9	5.2
3時	2.2	2.4	4.9	10.2	14.9	18.6	22.4	24.2	20.5	14.7	9.5	4.6
4時	1.7	2.0	4.6	10.0	14.8	18.6	22.3	24.0	20.3	14.4	9.1	4.3
5時	1.4	1.8	4.4	10.1	15.0	18.8	22.5	24.0	20.2	14.2	8.9	4.0
6時	1.2	1.7	4.5	10.5	15.6	19.4	22.9	24.0	20.4	14.3	8.9	1.2
7時	1.4	2.0	5.1	11.3	16.4	20.1	23.6	25.1	21.0	14.9	9.3	4.1
8時	2.3	2.9	6.2	12.5	17.6	21.0	24.5	26.1	21.8	15.9	10.2	5.0
9時	3.8	4.2	7.6	13.8	18.8	22.0	25.6	27.2	22.9	17.1	11.5	6.3
10時	5.6	5.7	9.1	15.2	20.0	23.0	26.6	28.3	24.0	18.4	12.9	7.9
11時	7.3	7.2	10.5	16.4	21.2	23.9	27.5	29.3	25.1	19.6	14.3	9.5
12時	8.7	8.5	11.7	17.4	22.0	24.6	28.2	30.2	25.9	20.5	15.5	10.9
13時	9.4	9.4	12.4	18.1	22.6	25.0	28.6	30.7	26.5	21.1	16.3	11.8
14時	9.4	9.7	12.7	18.3	22.8	25.2	28.8	30.9	26.7	21.2	16.6	12.1
15時	9.4	9.6	12.6	18.2	22.7	25.1	28.7	30.8	26.6	21.1	16.5	12.0
16時	9.2	9.4	12.4	17.9	22.4	24.9	28.5	30.6	26.4	20.9	16.3	11.8
17時	8.9	9.0	11.9	17.5	21.9	24.5	28.1	30.2	26.1	20.6	15.9	11.4
18時	8.4	8.5	11.4	16.8	21.3	23.9	27.6	29.7	25.6	20.1	15.4	10.9
19時	7.8	7.9	10.7	16.1	20.5	23.3	27.0	29.1	25.1	19.6	14.8	10.3
20時	7.1	7.2	9.9	15.3	19.7	22.6	26.3	28.4	24.5	18.9	14.2	9.6
21時	6.4	6.5	9.1	14.4	18.8	21.8	25.6	27.6	23.8	18.2	13.4	8.9
22時	5.6	5.7	8.3	13.5	17.9	21.1	24.8	26.9	23.1	17.5	12.7	8.1
23時	4.9	4.9	7.4	12.6	17.1	20.4	24.1	26.2	22.4	16.8	11.9	7.3

※ 日の出時刻が一日の最低気温、14時に最高気温となると仮定し、
 気温の上昇と下降はサインカーブに従うとして推定した。
 日の出時刻、日最高温度、最低温度は「平成8年理科年表」より、東京都の値を採用した。
 Δt は日の出時刻から14時までの時間
 ΔT は最高温度と最低温度の差

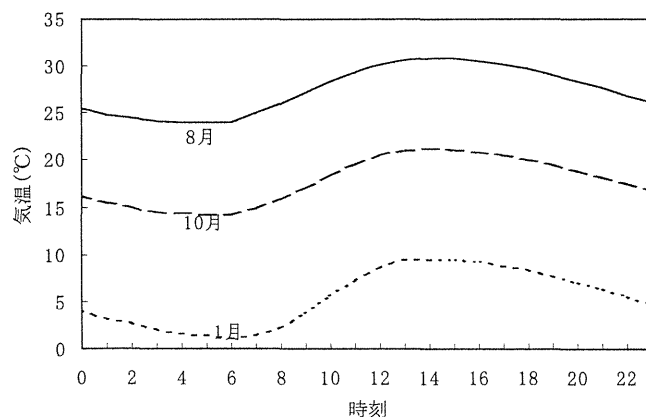


図 6.11 気温推定のサインカーブ

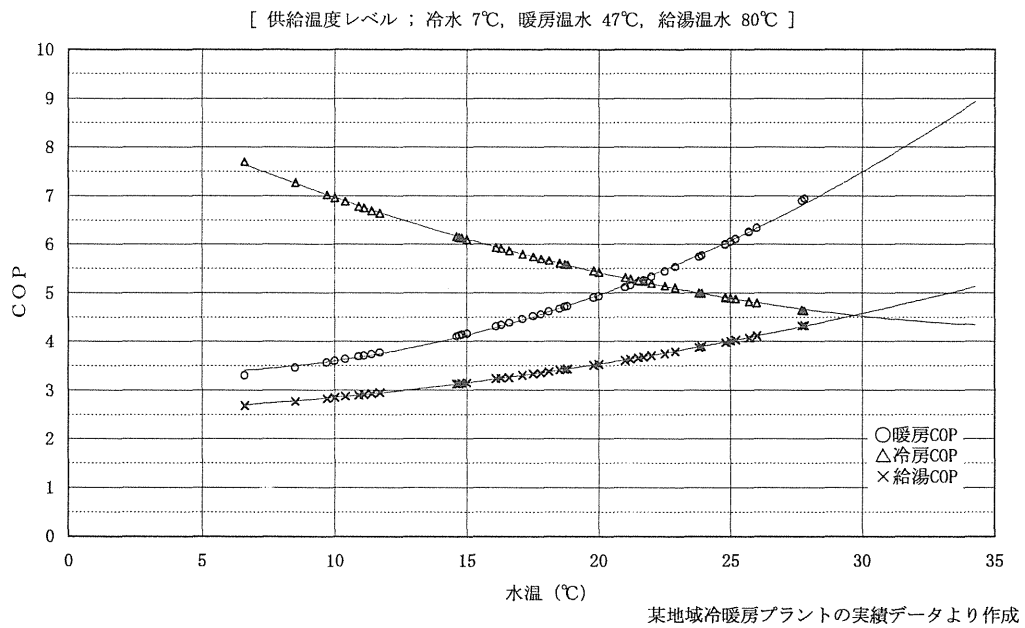


図 6.12 水熱源ヒートポンプの COP

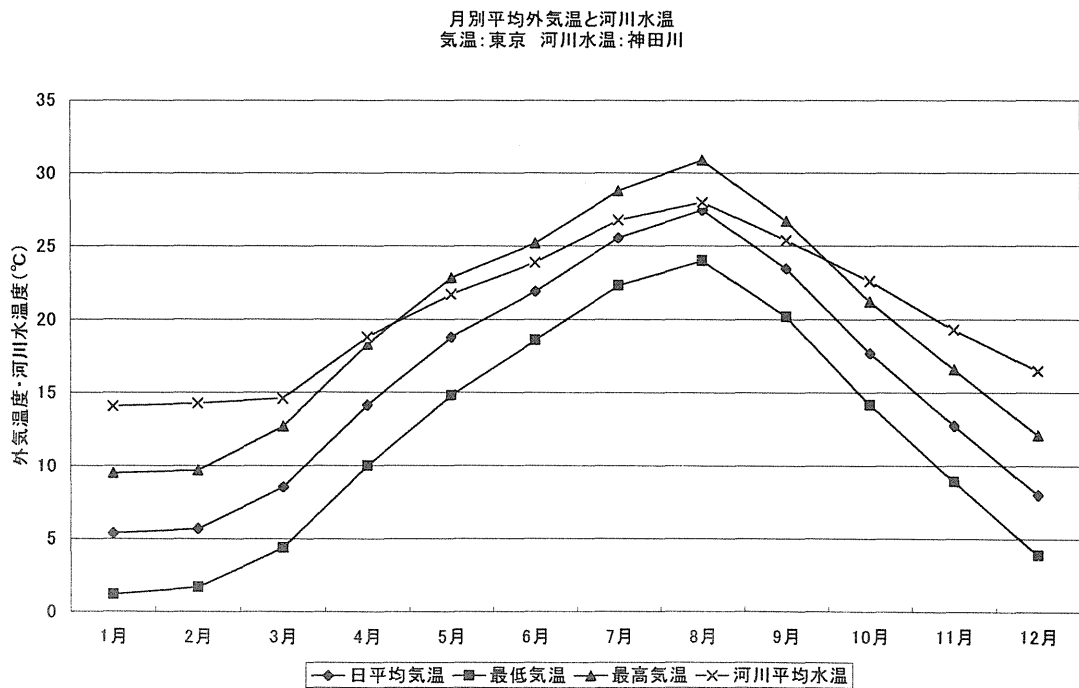


図 6.13 河川水温

表 6.14 海水温度, 下水処理水温度と COP

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
外気温	6.0	6.6	9.0	14.7	18.5	22.0	25.2	27.1	23.8	18.1	13.3	8.8
下水処理水温	16.2	15.2	15.7	19.3	21.4	23.2	23.1	24.5	24.6	22.6	20.8	18.0
海水温	10.7	9.6	10.9	14.4	20.7	21	23	25	25	20.8	16.4	13
暖房COP(下水)	4.30	4.16	4.22	4.81	5.23	5.63	5.61	5.95	5.96	5.50	5.12	4.58
給湯COP(下水)	3.24	3.16	3.20	3.47	3.66	3.83	3.82	3.97	3.97	3.78	3.61	3.37
冷房COP(下水)	5.92	6.08	6.01	5.51	5.25	5.06	5.07	4.93	4.93	5.12	5.32	5.68
暖房COP(海水)	3.65	3.57	3.67	4.05	5.09	5.15	5.59	6.07	6.07	5.11	4.33	3.88
給湯COP(海水)	2.89	2.83	2.90	3.11	3.60	3.63	3.81	4.02	4.02	3.61	3.25	3.02
冷房COP(海水)	6.84	7.04	6.80	6.20	5.33	5.30	5.08	4.89	4.89	5.32	5.90	6.43

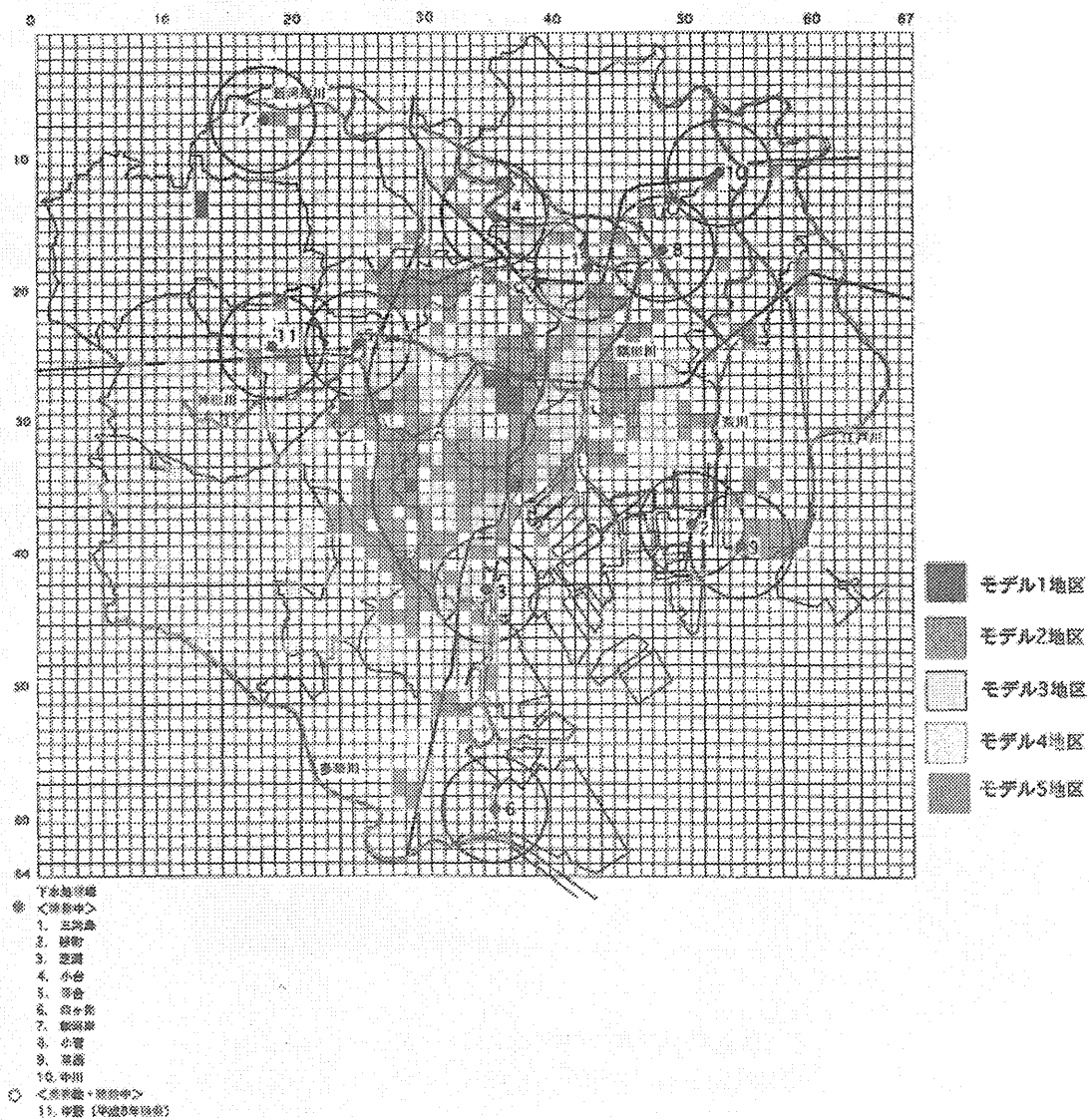


図 6.10 各システムの分布

6-3-3 システム評価

①ボイラのネットワーク分担

地域冷暖房施設の設備容量の設計において、ピーク負荷に対応できるように、ピーク負荷の検討結果に若干の余裕率をかけて、設備容量を決定している。しかし、このような設備容量をもっている場合、負荷の時刻変動や季節変動によって、実際の稼働率は極めて低いのが現状である。さらには、当初の予定通りに建物の地域冷暖房への加入が進まなかったりして、負荷が予定より小さい場合が多く、0-2-3における文献研究では地域冷暖房プラントの状況によっては設備容量は地区のピーク負荷の約140～150%もあることがわかっている。そこで、ネットワークによってボイラ容量の低減がどれくらいはかれるかについて、検討してみた。その結果、モデル5地区のネットワーク接続が可能な地区全体で、172.7Gcal/hのボイラ容量の低減がはかれ、稼働率も31.1%から32.9%へ1.7%の向上が期待されることがわかった。

更に、このスタディではネットワークに清掃工場からのごみ焼却排熱や、大井火力発電所の中圧タービンからの抽気蒸気(合計1012.6Gcal/h)を供給することになっていることから、他のモデル地区で蒸気を必要とするメッシュ(モデル3)に蒸気を供給して余っている蒸気を、モデル5のネットワーク接続可能メッシュに供給するとしたとき、ボイラ容量は全体で2545.8Gcalとなり、個別でピーク負荷にあわせて容量を設定したときに比べて729.5Gcal/h分だけ低減が期待できる。

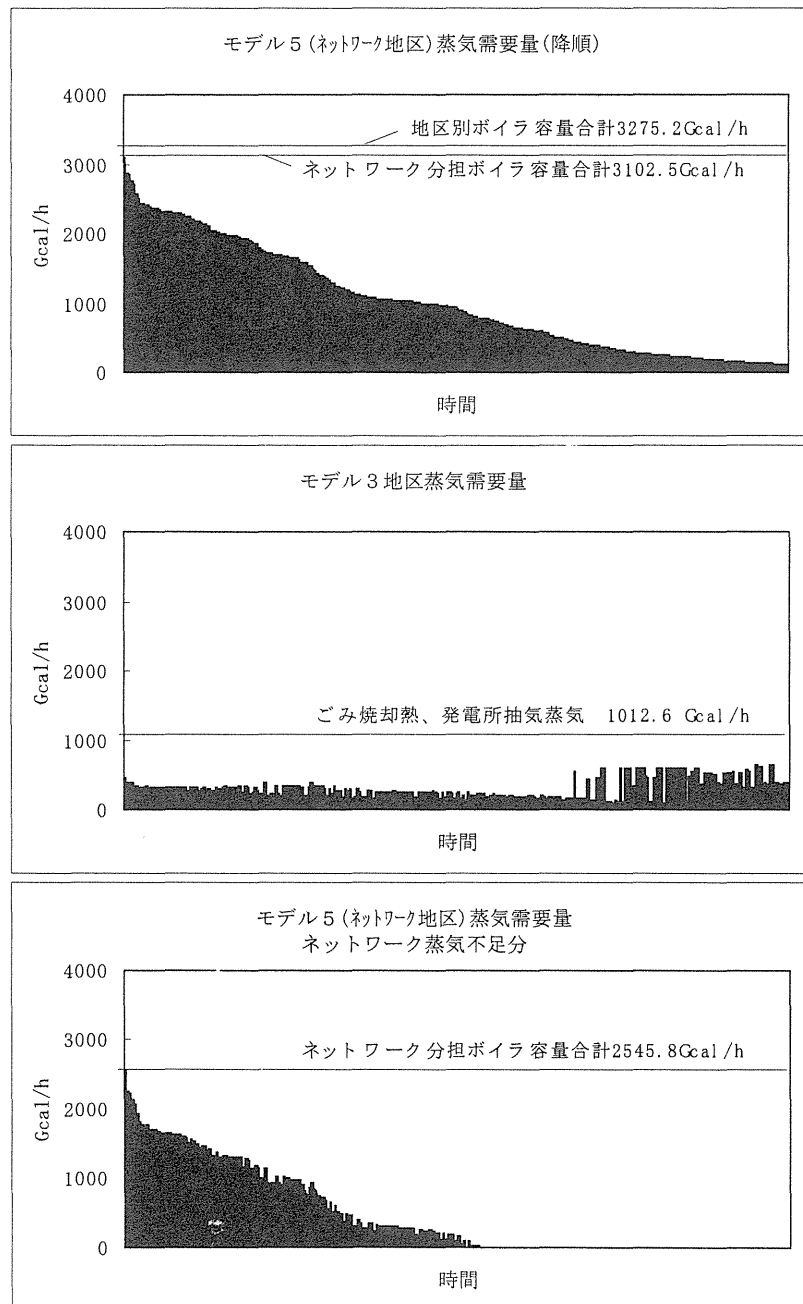


図 6.11 ネットワークによるボイラ容量の低減

注) 上図は全てモデル5(ネットワーク地区)の蒸気需要量の降順に従っている。

②ボイラ余裕率のネットワークへの貢献

次に、ボイラ余裕率が0%～5%でネットワーク全体の蒸気需要をどれだけ満たせるかについて考察する。モデル5地区のうち、ネットワーク接続可能な地区のそれぞれのボイラ容量を、ピーク負荷に余裕率を加算した値に設定し、他のネットワーク地区(モデル3, 5)全体のピーク需要に対してどれだけ賄えるかを見た結果、余裕率が0%でも87.2%を賄え、年間需要に対してはほぼ100%賄えることがわかった。また、余裕率を持たせることで稼働率の低下が予想されるが、考察の結果、ネットワークで他のモデル地区の分も稼働していることから、大きな低下は見られなかった。

このスタディでは、ネットワークで供給している蒸気の大部分を火力発電所の抽気蒸気が担っているが、ボイラの余裕率分の余剰蒸気でもかなりの供給能力があることから、発電所からの抽気量を不足分の需要量に合わせて制御することによって、蒸気供給ネットワークの蒸気流量を調節し、発電効率の低下を最小限に押さえることも考えられる。

ただし、本研究では、発電所抽気量の制御法や実際のボイラ余裕率など、不明な点が多いため、ネットワーク蒸気は清掃工場のごみ排熱と発電所抽気蒸気、ネットワークによるボイラ容量の分担分のみに限定し、発電所抽気量は自由に制御できるものとして取り扱った。

表 6.13 ボイラ余裕率のネットワークへの貢献

	余裕率					
	0%	1%	2%	3%	4%	5%
ボイラ稼働率	42.6	42.2	41.8	41.4	41.0	40.6
ピーク供給割合	87.2	88.1	88.9	89.8	90.7	91.5
年間供給割合	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

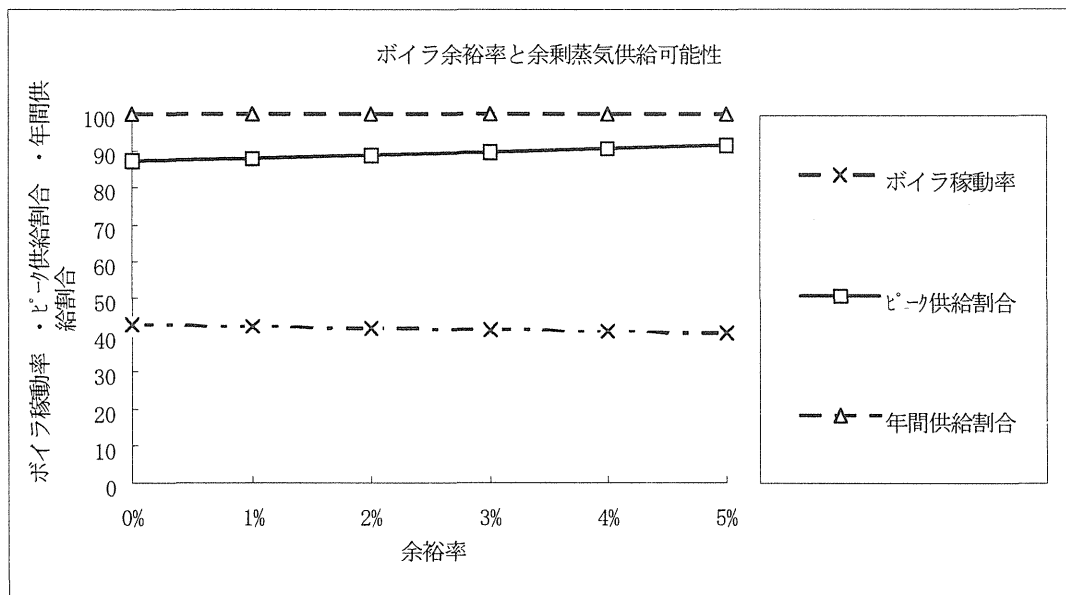


図 6.12 ボイラ余裕率と余剰蒸気供給可能性

③1 次エネルギーおよび環境負荷削減効果

従来システムに比べた 1 次エネルギー削減効果，環境負荷低減効果について評価を行った。

各システムについても大きな削減効果が得られ，特にモデル 2 システム地区については，海水(熱源水)量を制限しているにもかかわらず良い結果が得られた。これは，最初に行った地区分類においてそのシステムの対象地区にも制限が加えられたことが原因であると考えられる。

また，モデル 3 システム地区は，ヒートポンプの駆動熱源として清掃工場のごみ排熱，や発電所抽気蒸気といった，排熱として取り扱える未利用エネルギーを活用しているため，従来の電動ヒートポンプの投入電力などが削減されることから，各削減率が大きくなっている。

東京都区部全体で見ると 1 次エネルギー削減率で 10.3%，NOX，SOX，CO2 削減率がそれぞれ 10.0%，4.5%，16.6%となり，かなりの効果があることがわかった。また，この結果より，地域性の強い下水処理水賦存熱の利用や，海水賦存熱利用，河川水賦存熱利用といった，低温未利用熱利用と，大規模な高温未利用熱によるネットワークを複合的に図ることにより，省エネルギー，環境保全が効果的に行えることがわかった。

表 6.14 提案システムの環境負荷削減効果（総合評価）

	1次エネルギー 削減率(%)	NOx排出量 削減率(%)	SOx排出量 削減率(%)	CO2排出量 削減率(%)
モデル1地区	12.3	12.1	-21.0	27.4
モデル2地区	8.2	8.0	-24.0	33.4
モデル3地区	26.6	26.4	0.4	41.9
モデル4地区	20.7	38.3	87.8	9.7
モデル5地区	20.1	19.9	0.3	41.8
対象地区全体	19.5	22.0	8.3	39.8
東京都区部全体	10.3	10.0	4.5	16.6

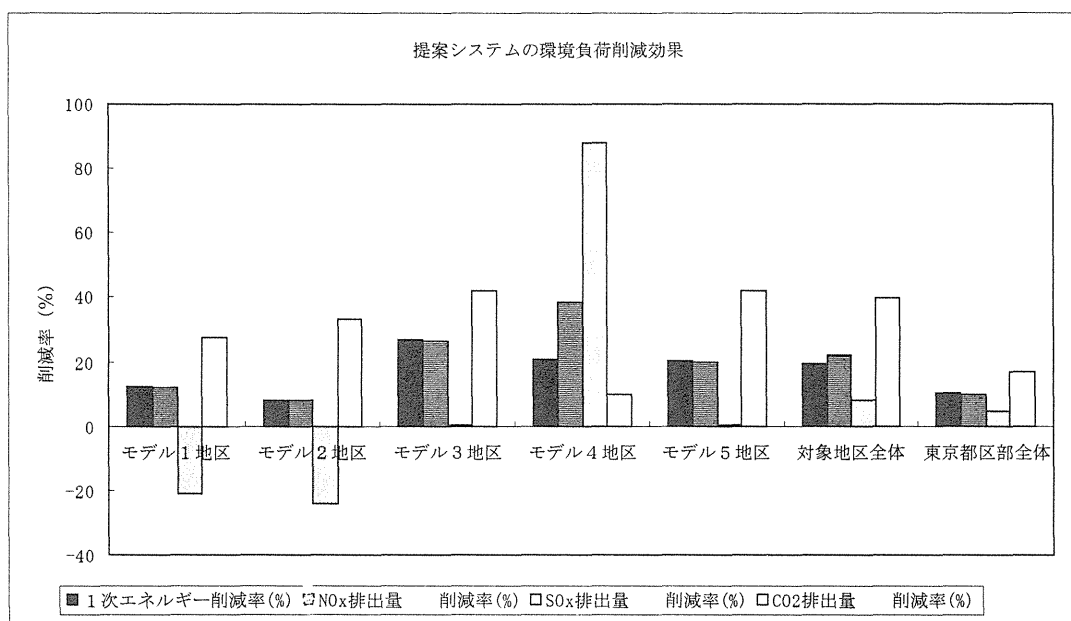


図 6.13 提案システムの環境負荷削減効果（総合評価）

④電力のピーク削減効果

図 6.14 より、東京都区部の年間ピーク電力 12,500MWh/h(推定値)の 40%を、冷房など夏期需要量が占めるとすると、その量は 4500MWh/h にも相当する。そこで提案システムの冷熱供給に関して、ピークカット効果がどれだけのものか考察してみた。

平成 8 年の東京電力のピーク電力負荷日時である 7 月 18 日の 14 時-15 時に、提案システムが供給する冷熱は 3789.9Gcal/h(需要の 70.0%)で、単純に計算すれば、

$$3789.9 \div \text{COP}(3.0) \div 860 \times 1000 = 1469.0 \text{MWh}$$

の削減になるが、冷熱製造にモデル 1・2 で電動ヒートポンプを使用していることから、その動力分の 986.9MWh/h をひいて、

$$1469.0 - 986.9 = 482.1 \text{MWh/h}$$

さらに、モデル 4 にてこの時間に 728.2MWh/h のコージェネレーション発電分があることから、最終的には

$$482.1 + 728.2 = 1,210.3 \text{MWh/h}$$

になる。

これは、 $1210.3 \div 12,500 \times 100 = 9.68\%$ のピーク削減率になる。

また、ネットワークに供給している発電所の抽気量は 884.4Gcal で、この抽気によって、表 20 のより 35.2%の発電出力の低下があることから、大井火力発電所の発電出力の低下は最大出力 1,000MW から計算して 352MWh/h である。本研究で提案したシステムが、概略ではあるが 1,210.3MWh/h のピーク削減効果があることから、発電所抽気に関して、発電出力の低下は問題ではなく、むしろ発電所の総合熱効率が向上し、全体として良い結果になることがわかる。

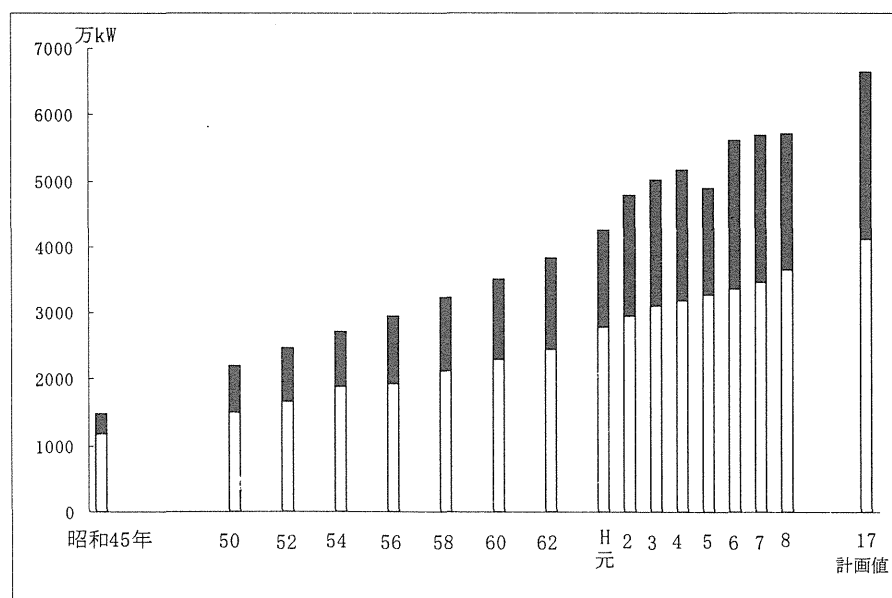


図 6.14 東京電力管内の最大電力(送電端)に占める冷房など夏期需要の割合

表 6.15 夏期電力ピーク時間の提案システムの概要

		モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5	合計
7月14時-15時冷房需要	Gcal/h	260.73	662.10	1298.76	872.63	2319.7	5413.9
供給熱量	Gcal/h	260.73	214.23	280.85	714.42	2319.7	3789.9
不足熱量	Gcal/h	0.00	253.04	299.8	158.21	0.00	711.0
H P投入電力量	MWh/h	74.29	194.83	—	—	0.00	986.9
不足分投入電力量	MWh/h	0.00	78.88	93.46	49.32	0.00	221.7
C G発電量	MWh/h	—	—	—	728.16	—	728.2

6-3-4 まとめ

本節では、東京都区部において地区の特性を考慮して広域熱供給システムを構築した場合の効果についてケーススタディにより検討した。「公共性」を評価するために、「ボイラ容量のネットワーク分担による低減効果」、「ボイラ余裕率のネットワークによる貢献効果」、「1次エネルギー削減・環境保全効果」、「夏期電力ピークの削減効果」の4つの効果について評価を行った。その結果明らかになったことを以下に示す。

- ①モデル5地区のネットワーク接続が可能な地区全体で、172.7Gcal/hのボイラ容量の低減がはかれ、稼働率も31.1%から32.9%へ1.7%の向上が期待される。
- ②余裕率が0%でも87.2%を賄え、年間需要に対してはほぼ100%賄える。また、余裕率を持たせることで稼働率の低下が予想されるが、考察の結果、ネットワークで他のモデル地区の分も稼働していることから、大きな低下は見られなかった。
- ③東京都区部全体で見ると1次エネルギー削減率で10.3%、NO_x、SO_x、CO₂削減率がそれぞれ10.0%、4.5%、16.6%となる。
- ④地区レベルで使用するヒートポンプの投入電力や、ネットワークの熱源である抽気により生じる発電出力の低下などがあるにもかかわらず、未利用エネルギーを活用する効果や、ネットワークにより負荷を分担する効果により、夏期のピーク電力負荷は9.68%の削減となる。また、発電出力の低下は、ピーク電力負荷の削減量より小さく問題ないことが明らかになった。

6-4 結論

第3章、第4章、第5章において検討し、広域熱供給システムの熱源として、発電所抽気蒸気、清掃工場ごみ焼却排熱、下水処理水排熱が量も豊富でかつ利用することによる省エネルギー効果が大きいことが明らかになったのを受けて、本章では、横浜臨海地区と東京都区部において、これらの都市排熱を有効に活用する広域熱供給システムを提案しその効果を検討した。

6-2 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」として「広域熱供給システム」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、地区の消火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 CO_2 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。

6-3 では、東京都区部における広域熱供給システムの導入効果を検討した。ここで提案したシステムは、山手線に沿った広域熱供給ネットワーク幹線を想定したうえで、都市内の未利用エネルギーをなるべく多く有効に活用できるシステムとするために、地区ごとに熱源システムを決定するシステム決定フローを提案した。例えば、既存の地域冷暖房においてボイラを有するプラントはそのままネットワークに接続し、ボイラの余剰能力分をネットワークに投入する。ヒートポンプシステムの地域冷暖房は、ネットワークから高温の熱媒の供給を受けてそれを駆動源にヒートポンプを駆動して熱を製造する。ネットワークルートから外れた地区においては最適なコージェネレーションシステムを採用する。低温の未利用エネルギーが活用できる地区は、これらを熱源水として、ネットワークから受けた熱媒駆動のヒートポンプで熱を製造する。このように地区の拠点的なシステムと広域ネットワークシステムを組み合わせた複合的なシステムとして広域熱供給システムを位置付けた。

この広域熱供給システムを構築することによる効果としては、ネットワーク化によるボイラ容量の低減効果、既設の地域冷暖房プラントの余剰能力のネットワークを介

した広域的な利用可能性，省エネルギー効果，環境保全効果，冷房などによる夏期の電力負荷のピークカット効果が明らかになった。

具体的には，ネットワークによるボイラ容量の低減効果は，5.2%，172.7Gcal/hで，設備稼働率が31.1%から32.9%へ1.7%向上した。地域冷暖房プラントのボイラ余剰能力は，ネットワークを介して他の地区で利用可能で，余裕率が0%でもピーク負荷の87%を賄え，年間トータルでみればほぼ100%に近い供給率となる。これは，地区ごとにピーク時間帯が異なることが原因と考えられる。省エネルギー効果としては，既存のシステムと比べて，東京都全体で10.3%の投入1次エネルギー削減が可能である。NO_x，SO_x，CO₂の排出量の削減は，同様に既存システムと比して，10.0%，4.5%，16.6%の削減となる。最後に，この広域熱供給システムでは，大井火力発電所からの抽気蒸気を大量に利用することとしているが，大量に抽気することで発電出力の低下という問題が発生するため，電力のピーク負荷時について検討した結果，発電出力の減少は大きいものの，提案したシステムがさらに大きな電力ピーク削減効果を有するため，発電所の出力低下は問題がないことがわかった。

参考文献

- 1) 水道と地球環境を考える研究会編：「地球環境時代の水道」，1992年，技報堂出版
- 2) 芽 陽一：「地球環境と地域冷暖房」，第3回DHCシンポジウム基調講演資料，1996年11月25日 社団法人日本地域冷暖房協会
- 3) 東京臨海副都心地域冷暖房施設設計共同企業体、東京臨海熱供給株式会社：「ヨーロッパ諸国の地域冷暖房および周辺事情に関する調査報告書」，1991年
- 4) 財団法人 大阪科学技術センター：「欧米のエネルギー技術の現状と将来」，1981年6月
- 5) 社団法人日本地域冷暖房協会：「都市の再開発とエネルギー供給システム訪米調査団報告」，1984年5月
- 6) 橘 雅哉：「西ドイツにおける地域冷暖房（その2）ベルリンにおける地域冷暖房」，1990年7月，地域冷暖房ニュース，社団法人日本地域冷暖房協会
- 7) 小澤秀成：「オランダのコージェネレーション導入成功例」，クリーンエネルギー増刊号，「環境とコージェネレーション」，1996年10月，日本工業出版
- 8) 小倉正雄：「ヨーロッパにおけるコージェネレーション導入時例」，クリーンエネルギー増刊号，「環境とコージェネレーション」，1996年10月，日本工業出版
- 9) 斎藤忠義：「ドイツにおける地域熱供給と導管に関する現況」，1995年，地域冷暖房 No. 42，社団法人地域冷暖房協会
- 10) 「数表で見る東京電力」1996年度，東京電力広報部
- 11) 空気調和・衛生工学会編，落藤，谷口孚幸：「地域冷暖房とエネルギーの有効活用－北ヨーロッパを例として－」，1995年，空気調和・衛生工学会新書，理工図書
- 12) 日本地域冷暖房協会：「地域冷暖房技術20年の軌跡と革新」
- 13) 大原千幸：「海水利用－大阪南港コスモスクエア地区地域冷暖房について」，第3

回 DHC シンポジウム基調講演資料, 1996 年 11 月 25 日, 社団法人日本地域冷暖房協会

- 14) 後楽 1 丁目地区地域冷暖房パンフレット:「DISTRICT HEATING AND COOLING SYSTEM-地域冷暖房-」, 東京下水道エネルギー株式会社
- 15) 東京都下水道局:「リサイクル読本」
- 16) 社団法人地域冷暖房協会:「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 年 3 月, 社団法人日本地域冷暖房協会研究企画委員会自主研究委員会
- 17) 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」昭和 61 年 12 月, 早稲田大学博士論文
- 18) 佐土原聡:「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」, 日本建築学会計画系論文集, 第 468 号, 47-54, Feb. 1995
- 19) 東京都清掃局:「'96 清掃のあらまし」, 平成 8 年 8 月 30 日, 東京都清掃局ごみ減量総合対策室
- 20) 東京都下水道局:「'96 東京 23 区の下水道」
- 21) 東京都下水道局:「リサイクル読本」
- 22) 電源開発(株):「日本における熱併給発電の導入形態調査ステップⅡ」, 昭和 60 年 6 月
- 23) 電源開発(株):「石炭火力発電暑熱併給システム調査報告書」, 平成元年 3 月
- 24) 社団法人 日本地域冷暖房協会:「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 7 年度報告書 (No1, No2)」1996 年 3 月
- 25) 社団法人 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計画・設計と評価」, 平成 6 年, 丸善
- 26) 「東京を開く 尾島俊雄の構想」PROCESS Architecture, 第 99 号, 1991 年 11 月 1 日
- 27) 国立天文台編:「理科年表 平成 8 年」, 丸善
- 28) 村田和彦:「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 - ゴミ・下水・汚泥処理施設のスケール分析 -」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, No. 40337, 1996 年 9 月

第 7 章

日本における広域熱供給システム構築の 波及効果に関する研究

目 次

- 7-1 概要
- 7-2 ケーススタディの手法
- 7-3 広域熱供給ネットワーク導入のケーススタディ
- 7-4 日本全国での導入波及効果
- 7-5 結論

第7章 日本における広域熱供給システム構築の波及効果に関する研究

7-1 概要

本章では、前章までの結果を踏まえて、札幌市、仙台市、千葉市、市川市、船橋市、東京都区部、川崎市、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、堺市、尼崎市、神戸市、広島市、北九州市、福岡市の17都市に対して、都市内の高温排熱を活用した広域熱供給ネットワークを導入した場合の効果について検討をおこなった。

具体的な方法としては、第2章で各都市の熱需要量（熱負荷密度 1.0Tcal/ha 年以上の地区を熱供給対象）とその地区分布、高温排熱源の熱供給可能量とその分布を検討したことから、これを元に都市の広域熱供給モデルを作成した。次に、第3章の結果から、広域熱供給ネットワークの熱源として火力発電所からの抽気蒸気を活用する場合、東京より北の都市では低圧タービン抽気蒸気（#4 抽気）が適当で、広域熱供給の熱媒は 120°C 、2次側の冷熱製造は単効用吸収式冷凍機 ($\text{COP}=0.65$) となることから、仙台市（発電所を組込むネットワークモデル）に対しては熱媒温度 120°C 、2次側冷熱製造 COP は 0.65 としてモデルを構築した。

次に、都市全体のネットワークの規模について、どこにある熱源を利用するかなどを考慮してケース設定を行った。

また、導入効果に関しては、評価指標として「省エネルギー率」「 CO_2 削減率」のみを取り上げ、広域熱供給システムのネットワーク部分の「公共性」に関する効果を検討した。さらに、全国でどの地域がその「公共性」に寄与する割合が高いのか、どこから導入を図っていけばよいのかという優先度を明らかにする為に、導入・建設の際に最もコストがかかり、「公共的整備」の必要性の高い「広域熱供給ネットワーク幹線」に関して、「単位長さあたりの省エネルギー量」という評価指標も導入した。

7-2 ケーススタディの方法

第2章、第3章と同様に、各都市の建物用途別床面積データから気候補正を行った建物用途別熱負荷原単位を用いて年間の時刻別熱負荷を想定し、温熱製造 COP は 1.0 、冷熱製造 COP は仙台市の場合には 0.65 、それ以外の都市に関しては 1.2 として、広域熱供給ネットワークで供給すべき高温水負荷を求めた。

次に、各ケースごとに時刻ごとに供給できる量、不足する量、搬送にかかるエネルギー量を求め、都市排熱を利用することで従来のシステムに比べてどれだけ省エネルギーが図れるかを検討した。

その際、比較対象とする従来システムは、従来型の地域冷暖房を想定し、ボイラ（効率 0.9 ）で同様の高温水を製造するときに必要なエネルギー量と比較した。これは、広域熱供給ネットワークは幹線部分のみを扱っていることから、地域の配管やその部分の搬送エネルギーは従来システムと同様であるとして、検討から除外した。

7-3 広域熱供給ネットワーク導入のケーススタディ

①札幌市

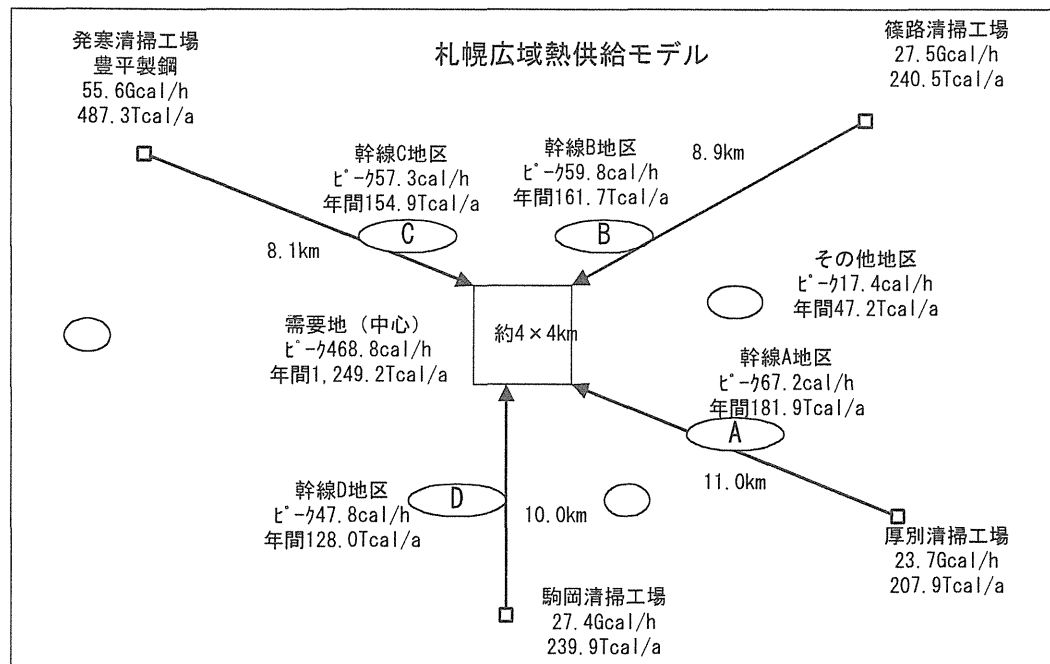


図 7.1 札幌市の広域熱供給ネットワークモデル

札幌市は中心部に約 $4 \times 4 \text{ km}$ の大きな熱需要地があり、郊外に住宅団地や熱源となる清掃工場が立地する。高温都市排熱源としては清掃工場のみであることから、システムは夏期の冷房需要にも吸収式冷凍気で効率良く熱製造が可能な 180°C 熱媒のシステムとする。検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.1.1、表 7.1.2 に示す。

Case1～Case4 は単ルートのケースであるが、単位幹線あたりの省エネルギー量を比較すると、搬送熱量の大きい幹線 C ルート（Case3）が最も良い値となっており、優先的に導入していく指針が得られた。また、都市排熱をできるだけ多く取りこむ最大規模ネットワークのケース（Case5）では、従来型の地域冷暖房システムと比べた省エネルギー率が 41.9% にもなることが明らかになった。

表 7.1.1 札幌市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区					熱源					広域熱供給 距離
	札幌中心 地区	A地区	B地区	C地区	D地区	厚別清掃 工場	篠路清掃 工場	発寒清掃 工場	豊平製鋼	駒岡清掃 工場	
Case1		○				○					11.0
Case2			○				○				8.9
Case3				○				○	○		8.1
Case4					○					○	10.0
Case5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	38.0

表 7.1.2 札幌市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	2,136.5	1,989.4	11.0	147.0	6.9	13.4
Case2	2,136.5	1,987.3	8.9	149.1	7.0	16.8
Case3	2,136.5	1,968.9	8.1	167.6	7.8	20.7
Case4	2,136.5	2,008.8	10.0	127.6	6.0	12.8
Case5	2,136.5	1,241.3	38.0	895.1	41.9	23.6

②仙台市

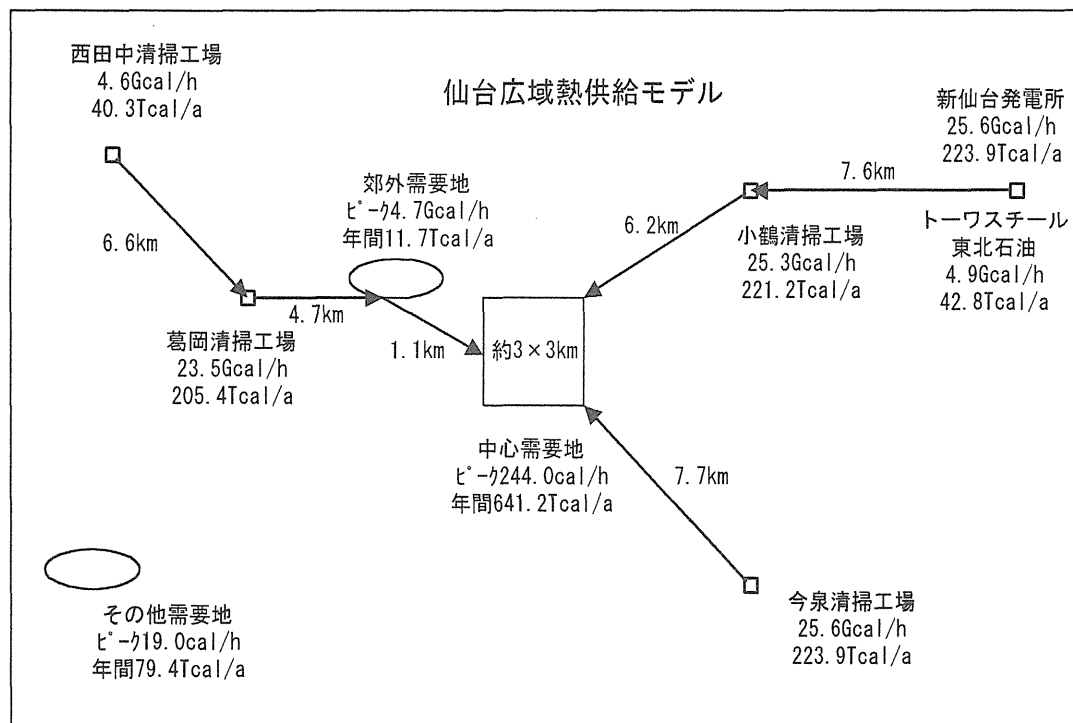


図 7.2 仙台市の広域熱供給ネットワークモデル

仙台市は、中心市街地に需要の大部分が集中している。熱源は清掃工場と工場、発電所があり、清掃工場は市の東側郊外に2ヶ所、西側に2ヶ所、工場と発電所は臨海地区に立地する。熱源として発電所の抽気蒸気を組込むことを考え、検討システムは第3章の結果を踏まえて、発電出力の低下の低い#4抽気による160℃高温水のシステムとした。検討Caseの設定及びスタディの結果をそれぞれ表7.2.1, 表7.2.2に示す。

仙台市の場合、清掃工場に近いところに郊外の需要地区があるものの、需要の大部分は仙台市中心市街地であることから、なるべく近くの熱源から中心市街地へ熱を運んでくることのできるようなモデルケースの設定を行った。その結果、モデルに組込む熱源が増え、熱回収利用量が増加すればするほど、仙台市中心部の熱需要を広域熱供給ネットワークの熱減で賄う割合が増加して、結果的に省エネルギー率が高くなるという結果を得た。また、西田中清掃工場は距離があるうえに供給可能熱量が小さい為、検討対象からはずしている。

また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合 (Case6)、仙台市中心部の需要は全て賄うことができるが、ネットワークのルート上によってこない地域にも若干熱負荷密度の高い熱供給対象地区があることから、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は77.5%となった。また、発電所抽気による発電出力の減少分は他の発電所 (発電効率39%と仮定) で増産するものとして、その投入エネルギーを差し引いている。

表 7.2.1 仙台市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区			広域熱供給熱源						広域熱供給距離 km
	中心地区	郊外地区	その他	小鶴工場	今泉工場	西田中工場	葛岡工場	工場排熱	新仙台発電所	
Case1		○					○			4.7
Case2	○	○					○			5.8
Case3	○	○		○			○			12.0
Case4	○	○		○			○	○		19.6
Case5	○	○		○	○		○	○		27.3
Case6	○	○		○	○		○	○	○	27.3

表 7.2.2 仙台市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	813.6	801.1	4.7	12.5	1.5	2.7
Case2	813.6	610.9	5.8	202.7	24.9	34.9
Case3	813.6	453.4	12.0	360.1	44.3	30.0
Case4	813.6	428.6	19.6	385.0	47.3	19.6
Case5	813.6	291.8	27.3	521.7	64.1	19.1
Case6	813.6	183.0	27.3	630.6	77.5	23.1

③ 千葉市

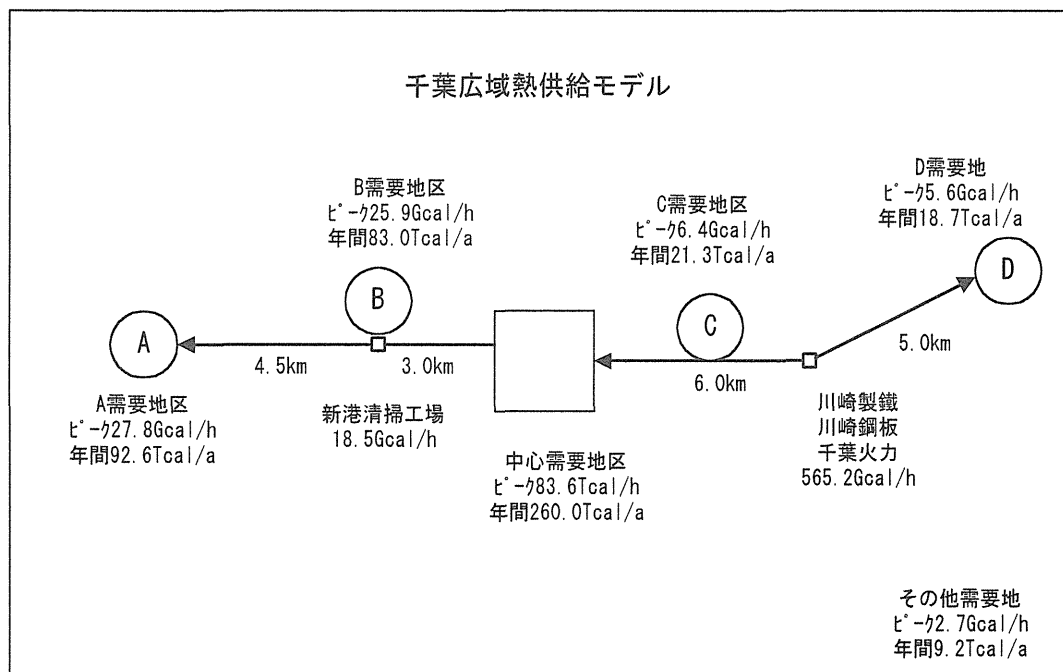


図 7.3.1 千葉市広域熱供給ネットワークモデル

千葉市は、幹線道路沿いに直線的に需要地が分布する。熱源は清掃工場と工場、発電所があり、工場と発電所は臨海地区に立地する。工場は排熱量の大きい鉄鋼業である。検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.3.1、表 7.3.2.に示す。

千葉市の場合、幹線道路沿いに需要地が分布することから、広域熱供給ネットワークの幹線をこの幹線道路に想定し、幹線ルート及びなるべく中心の需要地に近い熱源から順に検討モデルに組み込むものとしてもでの設定を行った。新港清掃工場の熱供給可能量は小さく、幹線ルート沿いの B 地区のピーク需要を賄うことができないことから、当然中心需要地に向かう熱の流れではなく、逆に熱をもらう向きとなる。よって、Case5、Case6、Case7 臨海地区の熱源からの熱を中心需要地を経由して、B 地区や A 地区に供給するモデルとなっている。

また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合（Case7）、広域熱供給ネットワーク幹線のルート上の熱供給対象地区の需要は全て賄うことができるが、ネットワークのルート上にのってこない地域にも若干熱負荷密度の高い熱供給対象地区があることから、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は 75.4%となった。また、発電所抽気による発電出力の減少分は他の発電所（発電効率 39%と仮定）で増産するものとして、その投入エネルギーを差し引いている。

表 7.3.1 千葉市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区						広域熱供給熱源				広域熱供給距離
	A	B	C	D	中心	その他	新港清掃工場	川崎製鉄	川崎鋼板	千葉火力	
Case1		○					○				3.0
Case2	○	○					○				7.5
Case3			○					○	○		6.0
Case4			○	○				○	○		11.0
Case5		○	○	○	○		○	○	○		14.0
Case6	○	○	○	○	○		○	○	○		18.5
Case7 Case	○	○	○	○	○		○	○	○	○	18.5

表 7.3.2 千葉市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	538.7	452	3	86.9	16.1	29.0
Case2	538.7	408	7.5	130.9	24.3	17.4
Case3	538.7	516	6	22.7	4.2	3.8
Case4	538.7	496	11	42.7	7.9	3.9
Case5	538.7	235	14	303.2	56.3	21.7
Case6	538.7	161	18.5	377.2	70.0	20.4
Case7	538.7	133	18.5	406.0	75.4	21.9

④市川市

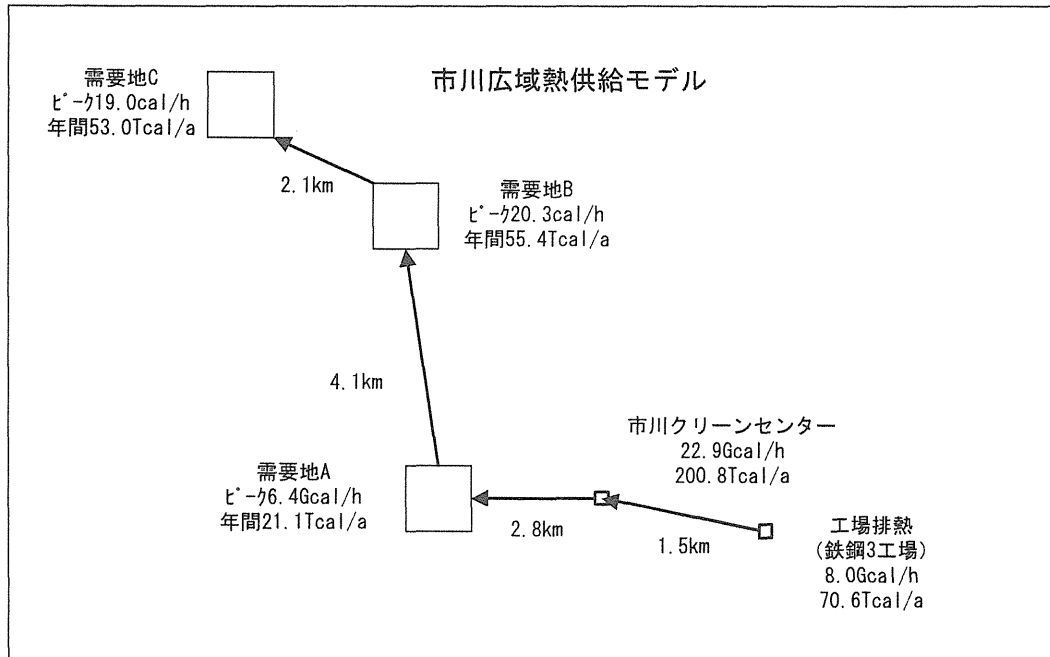


図 7.4.1 市川市広域熱供給ネットワークモデル

市川市は、中心市街地、臨海部、北側に熱供給対象地区が分布する。熱源は清掃工場と工場があり、工場は臨海地区に立地する。工場は排熱量の大きい鉄鋼業である。検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.4.1、表 7.4.2.に示す。

市川市の場合、南側臨海部に熱源が分布することから、広域熱供給ネットワークの幹線を臨海地区から中心部へ向かって想定する。清掃工場の熱供給可能量に対して対象地区の熱需要自体が小さいことから、清掃工場の排熱のみで臨海部の熱供給対象地区および中心部 (B) の需要を賄うことができる。

また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合 (Case6)、広域熱供給ネットワーク幹線のルート上の熱供給対象地区の需要はほぼ全て賄うことができ、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は 92.6%となった。

表 7.4.1 市川市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区			広域熱供給熱源		広域熱供給距離 km
	A地区	B地区	C地区	工場排熱	市川クリーンセンター	
Case1	○				○	2.8
Case2	○	○			○	6.9
Case3	○	○	○		○	9.0
Case4	○			○	○	4.3
Case5	○	○		○	○	8.4
Case6	○	○	○	○	○	10.5

表 7.4.2 市川市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	160.8	137.7	2.8	23.1	14.4	8.3
Case2	160.8	90.1	6.9	70.7	44.0	10.3
Case3	160.8	25.2	9.0	135.6	84.3	15.1
Case4	160.8	138.1	4.3	22.8	14.2	5.3
Case5	160.8	78.0	8.4	82.8	51.5	9.9
Case6	160.8	11.9	10.5	148.9	92.6	14.2

⑤船橋市

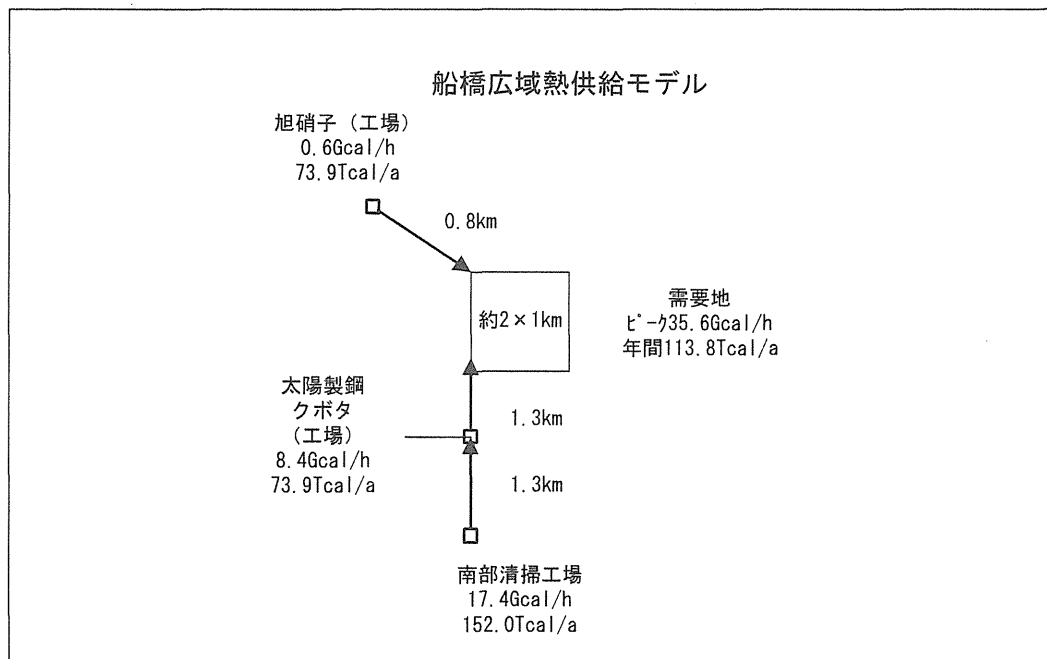


図 7.5.1 船橋市広域熱供給ネットワークモデル

船橋市は、中心市街地にのみ熱供給対象地区が分布する。熱源は清掃工場と工場があり、工場は臨海地区に立地する。工場は排熱量の大きい鉄鋼業と、窯業（ガラス製品製造業）である。検討 Case の設定及びビスタディの結果をそれぞれ表 7.5.1, 表 7.5.2.に示す。

船橋市の場合、中心市街に近接して硝子工場があることから、まずこれを広域熱供給ネットワークに取り込み、次に南側臨海部に一番大きい清掃工場の熱源が分布することから、広域熱供給ネットワークの幹線を臨海地区から中心部へ向かって想定する。

その結果、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合（Case3）、広域熱供給ネットワーク幹線のルート上の熱供給対象地区の需要はほぼ全て賄うことができ、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は92.6%となった。

表 7.5.1 船橋市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区	熱供給源				広域熱供給距離 km
	中心地区	旭硝子	太陽製鋼	クボタ	南部清掃工場	
Case1	○	○				0.8
Case2	○	○	○	○		2.1
Case3	○	○	○	○	○	3.4

表 7.5.2 船橋市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	126.5	121.1	0.8	5.3	4.2	6.7
Case2	126.5	61.8	2.1	64.7	51.1	30.8
Case3	126.5	6.5	3.4	120.0	94.9	35.3

⑥東京都区部

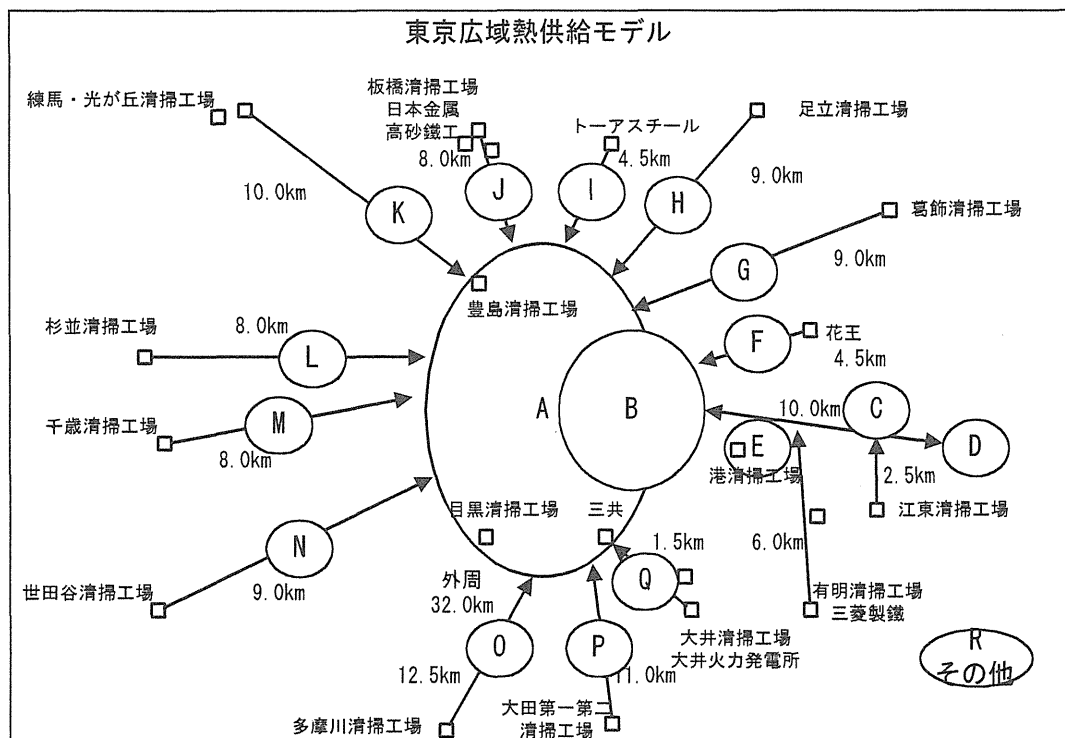


図 7.6.1 東京都区部広域熱供給ネットワークモデル

東京都区部は、東京駅周辺を中心に山の手線沿線など広範囲に熱供給対象地区が分布する。熱源は清掃工場と工場、発電所があるが、発電所を含めても熱の賦存量は、熱供給対象地区の熱需要にはるか及ばない。清掃工場は都心近くにもあるものの、概して郊外に分布しており、10km 近く山の手地区とは離れている。検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.6.1、表 7.6.2 に示す。

東京都区部の場合、中心市街に既存の地域冷暖房地区も多いことから、山の手線に郊外からの熱供給を受ける環状のネットワークを想定し、内部は地域冷暖房が連続するものとして熱供給幹線は省略して扱うものとした。検討ケースは郊外の熱源から都心に向けたルートをそれぞれ想定し、そのルート上にある熱供給対象地区の熱需要をまず優先的に賄うものとして 14 ケース設定し、それらの余剰分を中心エリアで利用するケース、さらに火力発電所の抽気蒸気を活用するケースの計 16 ケースを設定した。各ルート上の熱負荷、中心部の熱負荷、熱源の熱供給可能量について表 7.6.0 に示す。

その結果、熱搬送距離が短く、比較的大量の熱供給能力を有する大井清掃工場から熱供給するケース (Case7) は、単位幹線長あたりの省エネルギー量が大きく、ポテンシャルの高さがわかる。しかし、通常熱源となりうる都市排熱源と熱供給対象地区が近接していることは稀で、これは大都市の特殊ケースであると考えられる。しかし、1999 年 1 月より港清掃工場が稼動を開始したほか、都心に近接した場所で清掃工場建設の計画があることから、東京都区部における清掃工場排熱の熱供給への活用ポテンシャルは向上するものと考えられる。また、都心の

熱供給対象地区に至るまでに、途中の熱供給対象地区で利用可能な熱源のポテンシャルを使い果たすケースも多く、あらためて東京都区部の負荷の大きさ、密度の高さを感じる結果となった。また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合（Case16）、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は41.2%となった。

東京都区部に関しては、南側に広域熱供給ネットワークの幹線を延長し、川崎市の熱源と接続できれば更に省エネルギー効果が高まると予想される。

表 7.6.0 東京都区部の熱需要量と熱供給可能量

熱供給対象地区名	熱需要量（ピーク値） Gcal/h	広域熱供給熱源名	熱供給可能量 Gcal/h
足立	94.3	足立	51.4
有明	593.6	有明	19.3
		三菱製鉄	5.8
板橋	414.7	板橋	53.7
		高砂鉄工	2.7
		日本金属	5.8
葛飾	186.8	葛飾	64.4
江東1	495.0	江東	71.3
江東2	387.2		16.5
練馬	80.2	練馬	27.9
大井	69.2	大井	53.1
大田	139.2	大田	50.4
世田谷	123.5	世田谷	33.9
杉並	194.0	杉並	31.3
多摩川	215.0	多摩川	26.7
千歳	121.6	千歳	26.4
トーアスチール	82.6	トーアスチール	2.7
花王	345.0	花王	13.4
山手	3,206.1	目黒	30.6
皇居	1,331.4	三共	11.2
		大井火力	942.9
その他	187.5		

表 7.6.1 東京都区部広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区																		熱源										広域熱供給距離												
	足立	有明	板橋	葛飾	江東1	江東2	練馬	大井	大田	世田谷	杉並	多摩川	千歳	トリアスチール	花王	山手	皇居	その他	足立	有明	三菱製鉄	板橋	高砂鉄工	日本金属	葛飾	江東	練馬	大井	大田	世田谷	杉並	多摩川	千歳	トリアスチール	花王	目黒	三共	大井火力	km		
Case1	○																		○																					9.0	
Case2		○																	○	○																				6.0	
Case3			○																		○	○	○																	8.0	
Case4				○																					○																9.0
Case5					○	○																				○															7.0
Case6							○																				○														10.0
Case7								○																				○													1.5
Case8									○																				○												10.0
Case9										○																				○											9.0
Case10											○																				○										8.0
Case11												○																				○									12.5
Case12													○																				○								8.0
Case13														○																				○							4.5
Case14															○																					○					4.5
Case15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	139.0
Case16	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	139.0

表 7.6.2 東京都区部広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	25,437.0	25,196.9	9.0	240.1	0.9	26.7
Case2	25,437.0	25,214.5	6.0	222.5	0.9	37.1
Case3	25,437.0	24,916.8	8.0	520.2	2.0	65.0
Case4	25,437.0	24,990.0	9.0	446.9	1.8	49.7
Case5	25,437.0	24,816.5	7.0	620.5	2.4	88.6
Case6	25,437.0	25,220.0	10.0	217.0	0.9	21.7
Case7	25,437.0	25,182.4	1.5	254.6	1.0	169.7
Case8	25,437.0	25,104.2	10.0	332.8	1.3	33.3
Case9	25,437.0	25,187.6	9.0	249.4	1.0	27.7
Case10	25,437.0	25,182.2	8.0	254.8	1.0	31.9
Case11	25,437.0	25,218.8	12.5	218.2	0.9	17.5
Case12	25,437.0	25,232.9	8.0	204.1	0.8	25.5
Case13	25,437.0	25,412.5	4.5	24.5	0.1	5.4
Case14	25,437.0	25,312.7	4.5	124.3	0.5	27.6
Case15	25,437.0	20,538.3	139.0	4,898.7	19.3	35.2
Case16	25,437.0	14,964.0	139.0	10,473.0	41.2	75.3

⑦川崎市

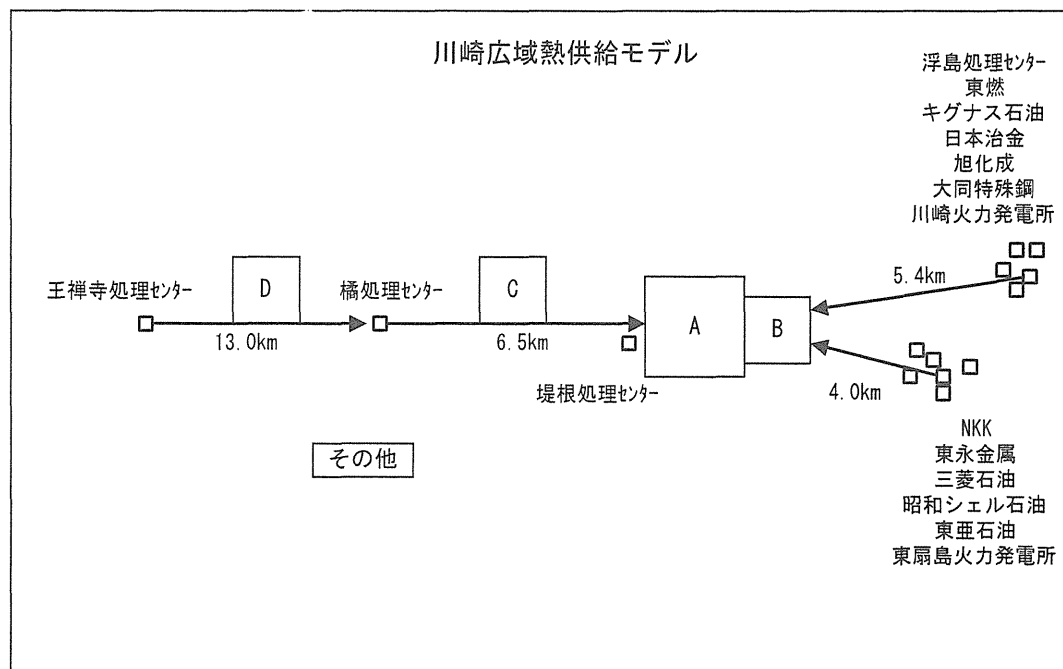


図 7.7.1 川崎市広域熱供給ネットワークモデル

川崎市は、東西に細長い行政区となっており、熱源は川崎駅周辺及び臨海部にかけて分布する他、西側内陸にも分布する。熱源は清掃工場と工場、発電所があるが、発電所を含めた熱の賦存量は、熱供給対象地区の熱需要をはるかに上回り、川崎市は東京を含めた更に広域な熱供給ネットワークにとっての熱源都市であることがわかる。清掃工場は都心近くにもあるものの、内陸にも分布しており、広域熱供給ネットワークモデルの東西延長は約 20km 以上にもなる。検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.7.1、表 7.7.2 に示す。

検討ケースは西側内陸部の清掃工場から中心地区に向けたルート、臨海部の工場、発電所から中心地区に向けたルートをそれぞれ想定し、そのルート上にある熱供給対象地区の熱需要をまず優先的に賄うものとしてケースを設定し、それらの余剰分を中心エリアで利用するケース、さらに火力発電所の抽気蒸気を活用するケースを設定した。各ルート上の熱負荷、中心部の熱負荷、熱源の熱供給可能量について表 7.7.0 に示す。

その結果、熱搬送距離が短く、比較的大量の熱供給能力を有する臨海部から熱供給するケース (Case4, 5) は、単位幹線長あたりの省エネルギー量が大きく、ポテンシャルの高さがわかる。一方、内陸に分布する清掃工場の熱供給可能量は小さく、中心部へ向かう途中の熱供給対象地区の熱需要も賄うことができない。また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合 (Case8)、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は 63.7% となった。

表 7.7.0 川崎市の熱需要量と熱供給可能量

熱供給対象地区	熱需要量 (ピーク値) Gcal/h	広域熱供給熱源	熱供給可能量 Gcal/h
A	217.7	堤根処理	24.6
B	55.7	浮島処理	34.6
		NKK	28.0
		大同特殊鋼	2.7
		東永金属	2.7
		日本冶金	7.5
		旭化成	12.7
		キグナス石油	1.6
		昭和シェル	2.2
		東亜石油	2.2
		東燃	2.2
		三菱石油	1.6
		川崎火力	942.9
		東扇島火力	1,796.0
C	111.5	橘処理	24.2
D	80.4	王禅寺処理	18.4
その他	5.5		

表 7.7.1 川崎市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区					広域熱供給熱源												広域熱供給距離					
	A	B	C	D	その他	橋 処理	堤 根 処理	王 禅 寺 処理	浮 島 処理	N K K	大 同 特 殊 鋼	東 永 金 属	日 本 冶 金	旭 化 成	キ グ ナ ス 石 油	昭 和 シ ェ ル	東 亜 石 油	東 燃	三 菱 石 油	川 崎 火 力	東 扇 島 火 力	km	
Case1				○				○															13.0
Case2			○	○		○		○															19.5
Case3	○		○	○		○	○	○															19.5
Case4	○	○							○		○		○	○	○			○					5.4
Case5	○	○								○		○				○	○		○				4.0
Case6	○	○	○	○		○	○	○	○		○		○	○	○			○					24.9
Case7	○	○	○	○		○	○	○		○		○				○	○		○				23.5
Case8	○	○	○	○		○	○	○	○		○		○	○	○			○		○			24.9
Case9	○	○	○	○		○	○	○		○		○				○	○		○		○		23.5

表 7.7.2 川崎市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	1,614.60	1,481.88	13	132.7	8.2	10.2
Case2	1,614.60	1,308.85	19.5	305.8	18.9	15.7
Case3	1,614.60	1,087.15	19.5	527.4	32.7	27.0
Case4	1,614.60	1,166.75	5.4	447.8	27.7	82.9
Case5	1,614.60	1,293.87	4	320.7	19.9	80.2
Case6	1,614.60	719.44	24.9	895.2	55.4	36.0
Case7	1,614.60	828.79	23.5	785.8	48.7	33.4
Case8	1,614.60	585.43	24.9	1,029.2	63.7	41.3
Case9	1,614.60	650.41	23.5	964.2	59.7	41.0

⑧横浜市

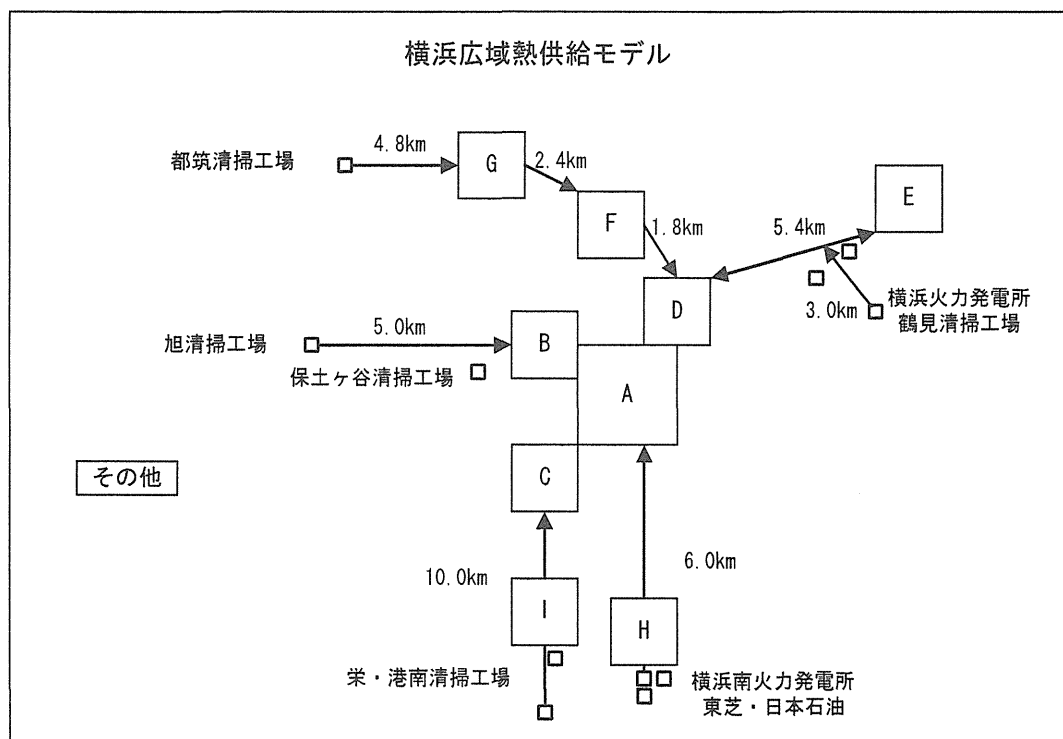


図 7.8.1 横浜市広域熱供給ネットワークモデル

横浜市は、おもに海側の地域に熱供給対象地区が集中し、熱源もまた鶴見、磯子など臨海部に分布する。また、清掃工場は内陸部にも分布する。熱源は清掃工場と工場、発電所があるが、発電所を含めた熱の賦存量は、熱供給対象地区の熱需要をはるかに上回り、横浜市は東京、川崎を含めた更に広域な熱供給ネットワークにとっての熱源都市であることがわかる。検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.8.1、表 7.8.2.に示す。

各ルート上の熱負荷、中心部の熱負荷、熱源の熱供給可能量について表 7.8.0 に示す。

その結果、清掃工場は熱供給可能量が大きく省エネルギーに寄与するところが大きい、工場は熱供給可能量が余り大きくなくポテンシャルは低いことがわかった。ただし、鶴見地区のように工場がまとまって分布している場合は地域としてポテンシャルが高くなるといえる。また、横浜市は熱供給対象地区の熱需要量が多い為に、清掃工場や工場の排熱だけの単独幹線ルートのケース (Case1~Case9) は、都市排熱で賄う部分が少ない、実際に熱供給対象となる地区が少ない為に省エネルギー効果は小さいが、それぞれの幹線ルートを相互接続したケース (Case10) や、横浜火力発電所や横浜南火力発電所などを組込んだケース (Case11, 12) は省エネルギー効果が大きく表れている。尚、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合 (Case11, 12)、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は 73.4%となった。

表 7.8.0 横浜市の熱需要量と熱供給可能量

熱供給対象地区	図中の 番号	熱需要量（ピーク値） Gcal/h	広域熱供給熱源	熱供給可能量 Gcal/h
中心地区	A	366.9		
天王町星川	B	52.3	旭工場 保土ヶ谷工場	14.8 51.9
上大岡	C	11.9		
港南台	I	27.7	港南工場 栄工場	40.9 66.7
磯子	H	39.8	横浜南火力 東芝 日本石油根岸	1,032.7 2.4 2.2
東神奈川	D	42.5		
鶴見	E	37.0	横浜火力 鶴見工場 日本石油鶴見 旭硝子	1,100.1 10.2 5.8 0.6
新横浜	F	77.4		
港北NT	G	32.1	都筑工場	51.5
その他		8.6		

表 7.8.1 横浜市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区										熱源										広域熱供給距離 km			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	その他	旭工場	港南工場	栄工場	保土ヶ谷工場	都筑工場	鶴見工場	住友電工	東芝	日本石油根岸	日本石油鶴見		旭硝子	横浜火力	横浜南火力
Case1									○									○	○					1
Case2									○			○	○											5
Case3		○									○			○										5
Case4								○							○									4.8
Case5					○											○				○	○			5
Case6			○						○			○	○											10
Case7						○	○								○									7.2
Case8				○		○	○								○									9
Case9				○	○	○	○								○	○				○	○			17.4
Case10	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○		○	○	○	○			38.4
Case11	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○		38.4
Case12	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	38.4

表 7.8.2 横浜市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	2,405.7	2,362.4	1.0	43.3	1.8	43.3
Case2	2,405.7	2,327.7	5.0	78.0	3.2	15.6
Case3	2,405.7	2,235.4	5.0	170.4	7.1	34.1
Case4	2,405.7	2,327.5	4.8	78.2	3.2	16.3
Case5	2,405.7	2,304.2	5.0	101.5	4.2	20.3
Case6	2,405.7	2,289.8	10.0	116.0	4.8	11.6
Case7	2,405.7	2,116.6	7.2	289.1	12.0	40.2
Case8	2,405.7	2,017.6	9.0	388.1	16.1	43.1
Case9	2,405.7	1,974.4	17.4	431.3	17.9	24.8
Case10	2,405.7	822.1	38.4	1,583.6	65.8	41.2
Case11	2,405.7	640.1	38.4	1,765.6	73.4	46.0
Case12	2,405.7	639.5	38.4	1,766.2	73.4	46.0

⑨ 名古屋市

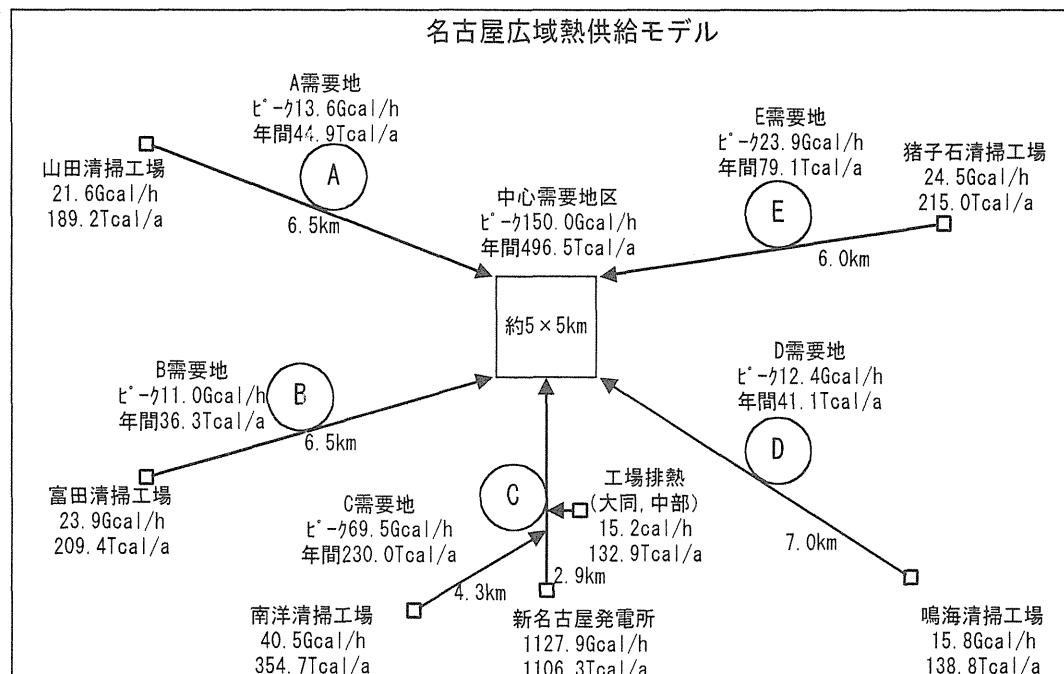


図 7.9.1 名古屋市広域熱供給ネットワークモデル

名古屋市は、熱供給対象地区はおもに名古屋駅周辺に集中し、熱源は清掃工場は郊外に、工場や発電所は臨海部に分布する。熱源は清掃工場と工場、発電所があり、清掃工場と工場のみでは熱供給対象地区の熱需要を全て賄うことはできないが、発電所を含めれば、その熱供給可能量は熱供給対象地区の熱需要をはるかに上回り、対象の全ての地区に熱供給が可能である。ケース設定はまず、中心需要地区に近い熱源からルートを設定した。検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.9.1、表 7.9.2.に示す。

その結果、南洋清掃工場および工場排熱を熱源とする熱供給幹線ルート (Case4, 5) は、単位熱供給幹線あたりの省エネルギー量が高く、優先的に導入していく必要があることがわかった。また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合 (Case8)、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は 87.2%となった。

表 7.9.1 名古屋市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区						広域熱供給熱源							広域熱供給距離 km
	中心地区	A地区	B地区	C地区	D地区	E地区	山田工場	富田工場	南陽工場	鳴海工場	猪子石工場	工場群	発電所	
Case1		○					○							3.5
Case2			○					○						3.5
Case3				○					○					4.3
Case4				○					○			○		5.0
Case5					○					○				4.0
Case6						○					○			3.0
Case7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		26.0
Case8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	29.0

表 7.9.2 名古屋市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	1,031.0	982.1	3.5	48.9	4.7	14.0
Case2	1,031.0	991.4	3.5	39.5	3.8	11.3
Case3	1,031.0	809.2	4.3	221.7	21.5	51.6
Case4	1,031.0	785.3	5.0	245.7	23.8	49.1
Case5	1,031.0	986.3	4.0	44.7	4.3	11.2
Case6	1,031.0	944.3	3.0	86.7	8.4	28.9
Case7	1,031.0	203.2	26.0	827.8	80.3	31.8
Case8	1,031.0	131.7	29.0	899.3	87.2	31.0

⑩ 京都市

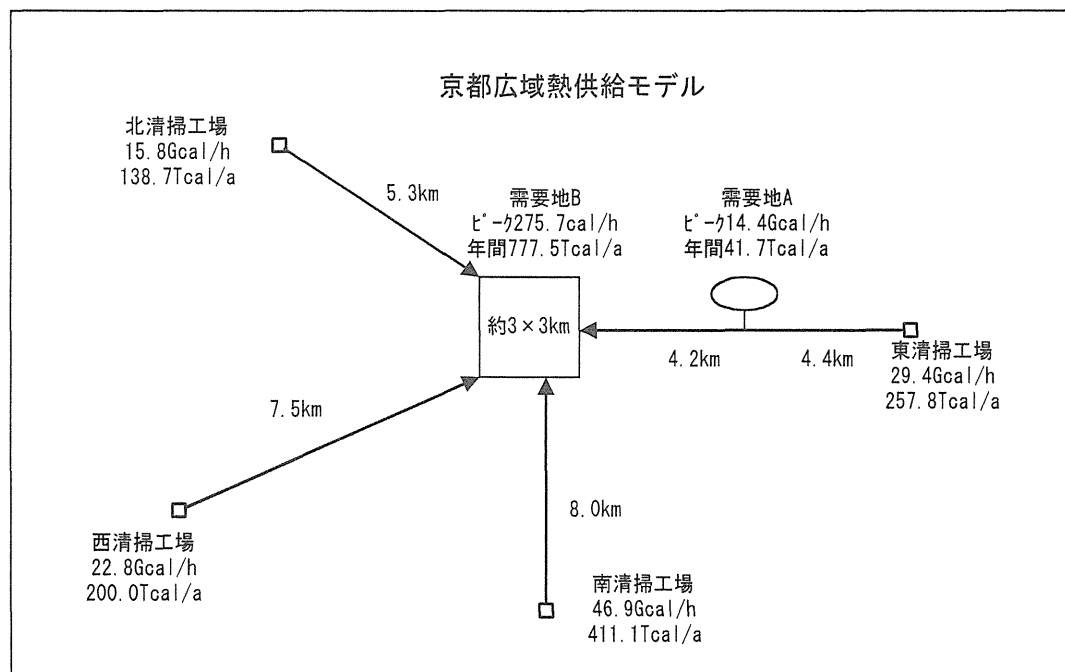


図 7.10.1 京都市広域熱供給ネットワークモデル

京都市は、熱供給対象地区はおもに京都中心市街地に集中し、熱源は郊外に立地する清掃工場のみである。ケース設定はまず、熱供給対象地区と広域熱供給熱源を結ぶ距離が最も短いルートを設定し、そのルート近い熱源をつないでいくものとした。検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.10.1、表 7.10.2.に示す。

その結果、東清掃工場から中心市街地へ接続する熱供給幹線ルート (Case2) が、単位熱供給幹線あたりの省エネルギー量が高く、優先的に導入していく必要があることがわかった。Case2 の場合、中心市街地へ向かう途中に熱供給対象地区があり、搬送熱量が余り大きくならないルートであることがその要因である。その他のルートを接続していくと、広域熱供給幹線の距離が伸びることから、単位幹線長あたりの省エネルギー量は逆に小さくなる傾向にある。また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合 (Case5)、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は 65.7% となった。このとき、中心市街地の熱需要量を全て賄うことはできなかった。

表 7.10.1 京都市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区		広域熱供給熱源				広域熱供給幹線 距離
	A地区	B地区	東	西	北	南	km
Case1	○		○				4.4km
Case2	○	○	○				8.6km
Case3	○	○	○	○			13.9km
Case4	○	○	○	○	○		21.4km
Case5	○	○	○	○	○	○	29.4km

表 7.10.2 京都市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	910.2	865.0	4.4	45.2	5.0	10.3
Case2	910.2	698.8	8.6	211.4	23.2	24.6
Case3	910.2	613.8	13.9	296.4	32.6	21.3
Case4	910.2	504.2	21.4	406.0	44.6	19.0
Case5	910.2	312.0	29.4	598.2	65.7	20.3

⑪ 大阪市

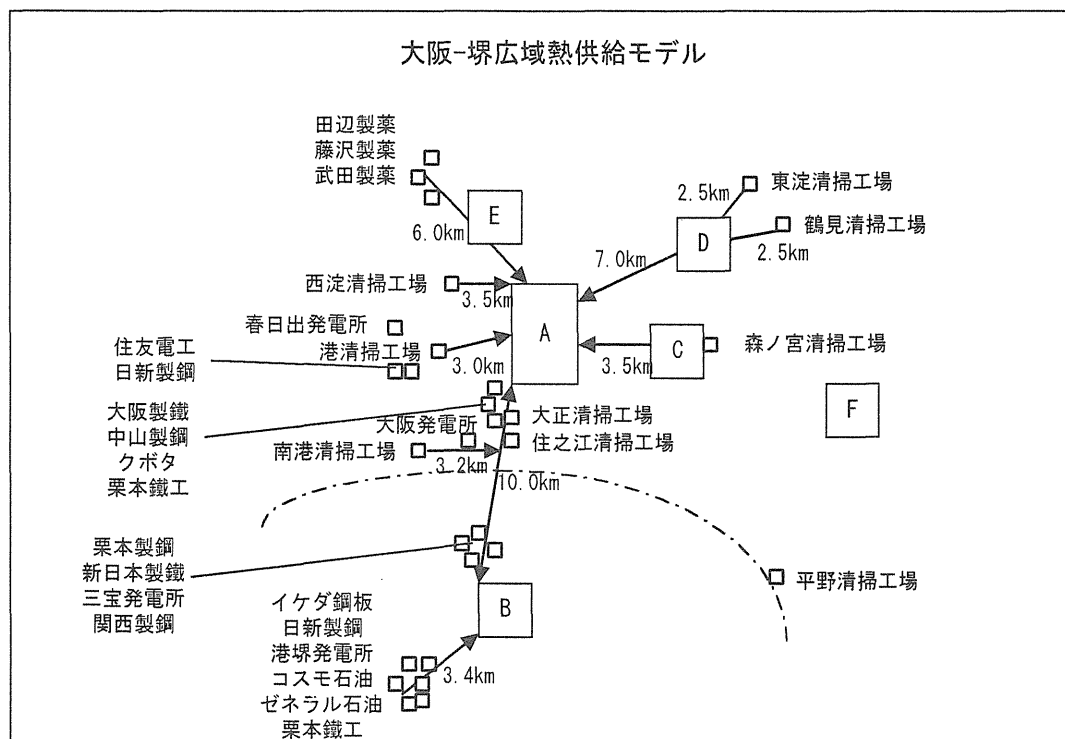


図 7.11.1 大阪市-堺市広域熱供給ネットワークモデル

大阪市は、熱供給対象地区はおもに中心市街地およびその周辺に集中し、熱源は郊外に立地する清掃工場、臨海部に立地する工場、発電所である。大阪市の特徴としては、中心部に近いところに熱源が立地している点が挙げられる。特に、臨海部に集中する工場群、発電所は広域熱供給の熱源として非常にポテンシャルが高い。ケース設定はまず、図 7.11.1 のように、熱供給対象地区と広域熱供給熱源の分布から、熱供給幹線ルートを設定し、それぞれのルートごとに単独の場合、およびそれらのルートを相互接続した場合というようにした。検討 Case の設定及びビスタディの結果をそれぞれ表 7.11.1, 表 7.11.2 に示す。

熱供給対象地区の熱需要、および広域熱供給熱源の熱供給可能量を表 7.11.0 に示す。

その結果、また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合 (Case5)、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は 65.7% となった。このとき、中心市街地の熱需要量を全て賄うことはできなかった。

表 7.11.0 大阪市の熱供給対象地区の熱需要量と熱源の熱供給可能量

熱供給対象地区	図中 記号	熱需要量（ピーク値） Gcal/h	広域熱供給熱源	熱供給可能量 Gcal/h
中央		1,659.9	大正工場 住之江工場 南港工場 大阪製鐵 中山製鋼所 クボタ 栗本鐵工所 南港 大阪	33.3 32.9 31.6 2.7 13.0 2.7 5.8 1,616.4 280.2
東淀鶴見		84.9	東淀工場 鶴見工場	33.6 33.1
春日出		8.2	日新製鋼 住友電工 春日出	2.7 2.9 280.2
港		23.1	港工場	29.7
森ノ宮		88.2	森之宮工場	47.6
西淀（製薬）		120.0	武田薬品 田辺製薬 藤沢薬品	7.9 11.2 11.9
西淀		30.2	西淀工場 合同製鐵	31.5 5.8
その他		198.8	平野工場	26.8

表 7.11.1 大阪市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区										熱源										広域熱供給距離 k m
	中央	東淀鶴見	春日出	港	森ノ宮	西淀 (製薬)	西淀	その他	西淀工場+合同製鐵	森之宮工場	平野工場	東淀+鶴見工場	港工場	大正工場+住之江工場+南港工場	大阪製鐵+中山製鋼+クボタ+栗本鐵工	日新製鋼+住友電工	武田薬品+田辺製薬+藤沢薬品	南港	大阪	春日出	
Case1	○													○							8.5
Case2		○										○									5.0
Case3			○													○					5.5
Case4				○									○								3.0
Case5					○					○											3.0
Case6						○											○				6.0
Case7							○		○												5.0
Case8	○	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○	○				46.0
Case9	○	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○	○			○	46.0
Case10	○	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○	○		○	○	47.0
Case11	○	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	37.0

表 7.11.2 大阪市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 k m	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 k m
Case1	7,648.1	6,616.4	8.5	1,031.6	13.5	121.4
Case2	7,648.1	7,365.1	5.0	283.0	3.7	56.6
Case3	7,648.1	7,622.1	5.5	25.9	0.3	4.7
Case4	7,648.1	7,561.8	3.0	86.2	1.1	28.7
Case5	7,648.1	7,385.2	3.0	262.9	3.4	87.6
Case6	7,648.1	7,425.9	6.0	222.2	2.9	37.0
Case7	7,648.1	7,529.1	5.0	118.9	1.6	23.8
Case8	7,648.1	5,145.1	46.0	2,502.9	32.7	54.4
Case9	7,648.1	3,653.3	46.0	3,994.7	52.2	86.8
Case10	7,648.1	2,632.7	47.0	5,015.3	65.6	106.7
Case11	7,648.1	1,244.4	50.0	6,403.7	83.7	128.1

⑫堺市

堺市における広域熱供給ネットワークの検討モデルは⑪の図 7.11.1 の中に示してある。

堺市は、大阪市の南側に位置し、熱供給対象地区は堺市中心市街地のみであるが、広域熱供給の熱源は臨海部に工場と発電所があり利用ポテンシャルが高い状況である。一方、清掃工場は市中心部からかなり離れた郊外にあり、利用ポテンシャルは低い。

検討モデルの設定は、堺市中心の熱供給地区に近い地域の工場、発電所からのルートを設定した。Case1 は、市の北側にある工場群からのルート、Case2 は市の南西側にある工場群からのルート、Case3 はそれらを組み合わせたケース、Case4, 5 はさらに発電所を組込んだケースである。

検討モデルの設定およびケーススタディの結果を、表 7.12.1、表 7.12.2 に示す。

検討の結果、工場の排熱のみでは堺市の熱供給対象地区の熱需要を賄うことはできない（Case1～3）ものの、発電所を組込めば 100%供給可能である（Case4, 5）。また、最大規模のネットワークを構築した場合（Case4 or 5）、73.4%の省エネルギーとなる。⑪大阪市の南側のネットワーク幹線ルートと堺市の北側のネットワーク幹線ルートは近接しており、これらを接続した場合、境港発電所の熱供給可能量が極めて大きく、堺市内の熱供給対象地区だけの熱需要では大量に熱が余ることから、大阪市のネットワークとの接続の可能性も大きい。

表 7.12.0 大阪市の熱供給対象地区の熱需要量と熱源の熱供給可能量

熱供給対象地区	熱需要量（ピーク値） Gcal/h	広域熱供給熱源	熱供給可能量 Gcal/h
堺地区	106.7	関西製鋼	2.7
		新日本製鐵	7.3
		三宝伸銅工業	0.9
		イケダ鋼板	2.7
		栗本鐵工堺	2.7
		日新製鋼堺	9.0
		コスモ石油	2.2
		ゼネラル石油	2.2
		堺港	1,796.0
		三宝	140.1

表 7.12.1 堺市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区	熱源									広域熱供給距離 k m
	堺地区	イケダ 鋼板	関西製 鋼	栗本鐵 工場	新日本 製鐵	日新製 鋼堺	三宝伸 銅工業	コスモ 石油	ゼネラル 石油	堺港	三宝
Case1	○		○		○		○				3.5
Case2	○	○		○		○		○			4.0
Case3	○	○	○	○	○	○	○	○			7.5
Case4	○	○	○	○	○	○	○	○		○	7.5
Case5	○	○	○	○	○	○	○	○		○	7.5

表 7.12.2 堺市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 k m	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 k m
Case1	300.0	216.6	3.5	83.4	27.8	23.8
Case2	300.0	183.5	4.0	116.5	38.8	29.1
Case3	300.0	127.8	7.5	172.3	57.4	23.0
Case4	300.0	79.9	7.5	220.1	73.4	29.4
Case5	300.0	79.9	7.5	220.1	73.4	29.4

⑬ 尼崎市

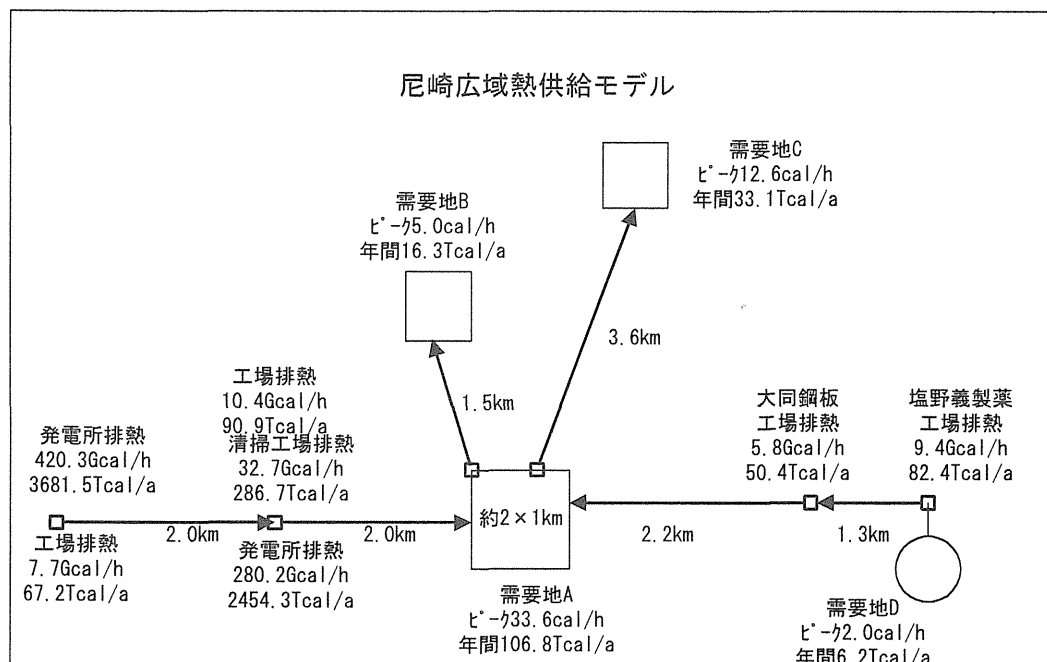


図 7.13.1 尼崎市広域熱供給ネットワークモデル

尼崎市は大阪市の西側に位置し、工場や発電所が多い都市である。熱供給対象地区は尼崎市中心市街地と北側内陸に2ヶ所ある。工場と発電所は海側に多く分布しており、図 7.13.1 のようなモデルを作成した。

検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.13.1、表 7.13.2.に示す。

検討の結果、熱供給対象地区が少なく熱需要量も小さいこと、工場排熱など利用可能な熱源が豊富であることから、発電所の抽気蒸気を利用するまでもなく市内の熱需要を賄うことが可能であることがわかった。また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合（Case3）、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は98.6%となった。

このように、清掃工場と工場の排熱だけでしかも小規模で広域熱供給ネットワークを構築する場合、省エネルギー率が極めて高くなることがわかった。

また、尼崎市には、熱供給可能な発電所があることから、堺市と同様に大阪市、あるいは神戸市との大規模な広域熱供給ネットワークの構築の可能性もあることがわかった。

表 7.11.1 尼崎市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区				広域熱供給熱源							広域熱供給距離
	A	B	C	D	清掃工場	工場 (住友鋼材 神鋼鋼線)	尼崎東発電所	クボタ	尼崎第三発電所	大同工業	塩野義製薬	k m
Case1	○				○	○					○	2.0
Case2	○	○			○	○					○	3.5
Case3	○	○	○		○	○					○	3.5

表 7.11.2 尼崎市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 k m	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 k m
Case1	173.5	55.9	2.0	117.7	67.8	58.8
Case2	173.5	38.1	3.5	135.4	78.0	38.7
Case3	173.5	2.5	3.5	171.1	98.6	48.9

神戸広域熱供給モデル

落合クリーンセンター
18.8Gcal/h
164.8Tcal/a

5.9km
ヒート15.6Gcal/h
ヒート30.9Gcal/h

長田
D
1.3km

兵庫駅周辺
E
1.75km

神戸中心
G
ヒート110.2Gcal/h

1.35km

東部新都心
B
ヒート60.6Gcal/h

2.55km

六甲駅周辺
A
ヒート10.7Gcal/h

3.35km

東クリーンセンター
26.4Gcal/h
231.5Tcal/a

1.35km

神戸製鋼
11.5Gcal/h
100.4Tcal/a

2.8km

F
ヒート102.3Gcal/h

港島クリーンセンター
17.6Gcal/h
154.3Tcal/a

2.0km

荻藻島クリーンセンター
25.9Gcal/h
227.1Tcal/a

六甲アイランド
ヒート78.6Gcal/h

C

図 7.14.1 神戸市広域熱供給ネットワークモデル

神戸市は南は瀬戸内海、北は六甲山に囲まれ、東西に長い都市の構造である。近年内陸部にもニュータウン化がすすんできているものの、熱需要の集積というものを考えると、やはり神戸三宮駅周辺の市街地が中心である。また、臨海地区であるポートアイランドや六甲アイランド、東部新都心地区などが熱供給対象地区となる。熱供給ネットワークの熱源は、清掃工場（クリーンセンター）が主で、神戸製鋼の工場排熱もある。神戸製鋼では IPP 発電所の計画があり、その発電所を抽気式の熱併給発電所にすれば、広域熱供給ネットワークの大きな供給熱源となり得る。本検討では、熱併給化した場合については検討はせず、工場排熱としてのみ扱っている。

検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.14.1, 表 7.14.2 に示す。

検討の結果、ネットワーク幹線距離が短く、多くの都市排熱を供給するケース（Case1, 5, 10, 11）は、単位ネットワーク幹線長あたりの省エネルギー量が大きく、導入の優先度が高いといえる。また、最大規模で熱供給ネットワークを構築した場合（Case12）、従来型地域冷暖房に対する省エネルギー率は 69.0% となった。

表 7.14.1 神戸市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区							熱源					広域熱供給距離 km
	六甲道駅周辺	東部新都心	六甲アイランド	長田	兵庫駅	ポートアイランド	神戸市中心	東部クリーンセンター	神戸製鋼	苅藻島クリーンセンター	落合クリーンセンター	港島クリーンセンター	
Case1			○					○					1.35
Case2	○		○					○					4.70
Case3	○		○					○	○				4.70
Case4	○	○	○					○	○				7.25
Case5	○	○	○				○	○	○				8.60
Case6				○						○			2.00
Case7				○						○	○		7.90
Case8				○	○					○	○		9.20
Case9				○	○		○			○	○		10.95
Case10						○						○	0.5
Case11						○	○					○	2.80
Case12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	21.00

表 7.14.2 神戸市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	1,410.7	1,183.8	1.4	226.9	16.1	168.1
Case2	1,410.7	1,166.9	4.7	243.8	17.3	51.9
Case3	1,410.7	1,145.8	4.7	264.9	18.8	56.4
Case4	1,410.7	922.2	7.3	488.5	34.6	67.4
Case5	1,410.7	597.6	8.6	813.1	57.6	94.5
Case6	1,410.7	1,347.1	2.0	63.6	4.5	31.8
Case7	1,410.7	1,347.1	7.9	63.6	4.5	8.0
Case8	1,410.7	1,232.4	9.2	178.3	12.6	19.4
Case9	1,410.7	1,067.7	11.0	343.0	24.3	31.3
Case10	1,410.7	1,215.2	0.5	195.6	13.9	391.1
Case11	1,410.7	1,045.6	2.8	365.1	25.9	130.4
Case12	1,410.7	436.8	21.0	973.9	69.0	46.4

⑮ 広島市

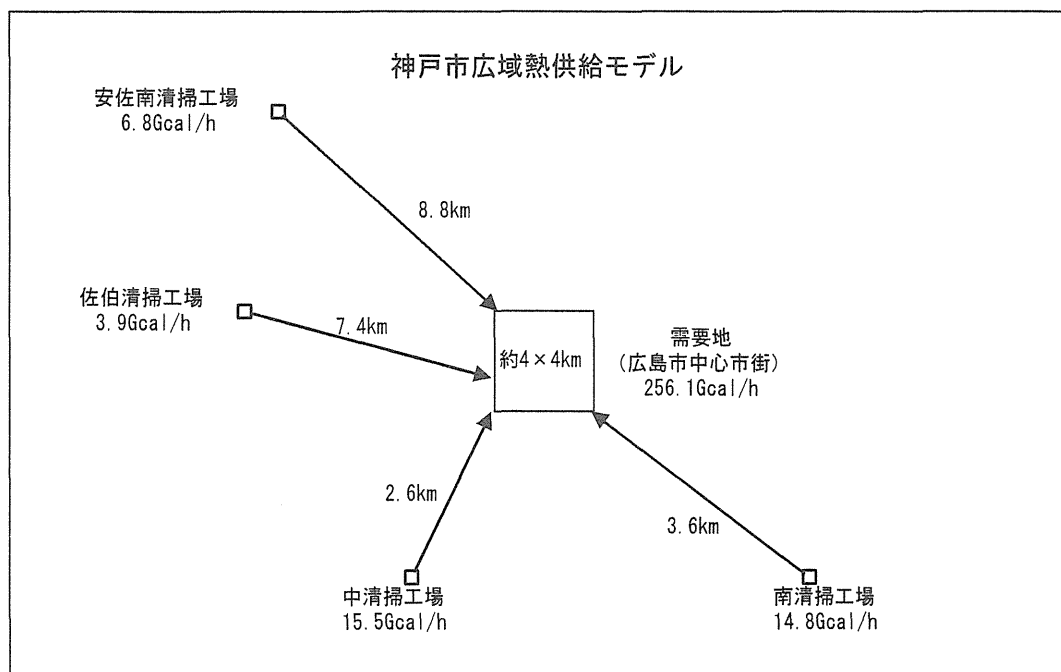


図 7.15.1 広島市広域熱供給ネットワークモデル

広島市の熱供給対象地区は、中心市街地のみであるが、規模は比較的大きい。広域熱供給ネットワークの熱源としては、4つの清掃工場のみである。

検討ケースの設定は、唯一の熱供給対象地区に近い熱源から順次ルートを増やしていくものとした。

検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.15.1、表 7.15.2.に示す。

検討の結果、ネットワークのルートを順次増やしていくにつれて、熱需要を都市排熱で賄う割合が増加する為省エネルギー率は大きくなるが、都市排熱を最大に活用するケース（Case4）でも、従来型の地域冷暖房に対する省エネルギーは35.1%で、全ての熱需要を賄うことはできない。また、ルートを延長していくことで、単位ネットワーク幹線長あたりの省エネルギー量は小さくなる。

表 7.15.1 広島市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象	熱源施設				広域熱供給距離 km
	中心	中 清掃工場	南 清掃工場	佐伯 清掃工場	安佐南 清掃工場	
Case1	○	○				2.6
Case2	○	○	○			5.8
Case3	○	○	○	○		13.2
Case4	○	○	○	○	○	22.0

表 7.15.2 広島市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	855.5	718.2	2.6	137.3	16.0	52.8
Case2	855.5	618.0	5.8	237.4	27.8	40.9
Case3	855.5	594.1	13.2	261.3	30.5	19.8
Case4	855.5	555.1	22.0	300.3	35.1	13.7

⑯北九州市

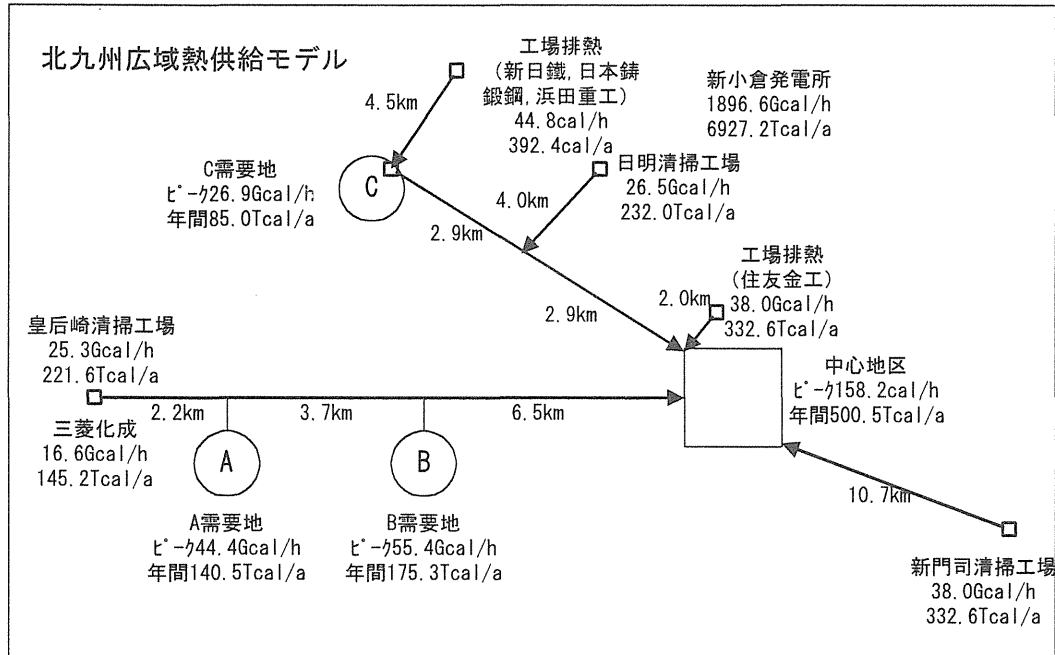


図 7.16.1 北九州市広域熱供給ネットワークモデル

北九州市の熱供給対象地区と広域熱供給熱源の位置をモデル化すると図 7.16.1 のようになる。北九州市の特徴としては、清掃工場は熱供給対象地区から離れているが、工場は比較的近接した場所に立地しており、その数も多いことが挙げられる。また、工場が多く立地する臨海地区には、発電所も立地しており、臨海地区から中心市街地へ向けた広域熱供給ネットワーク幹線のルートはポテンシャルが高いことが推測される。

検討ケースの設定は、唯一の熱供給対象地区に近い熱源から順次ルートを増やしていくものとした。

検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.16.1、表 7.16.2 に示す。

検討の結果、皇后崎清掃工場からのルートでは熱供給可能量に対して、ルート途中にある熱供給対象地区 A の熱需要量が大きい為、中間期などの低負荷時には B 地区や中心地区にも供給することが可能であるが、夏期、冬期のピーク時には供給することができないため、ルート上あるいは需要地区に補助ボイラを設置する必要があることがわかった。また、臨海地区からのルートは熱供給可能量が大きいことから、省エネルギーに大きく寄与することがわかった。また、Case7 では不足熱分を新小倉発電所の抽気蒸気で賄い、Case8 では新門司清掃工場の排熱で賄う設定になっているが、Case7 ではネットワーク幹線の延長はなく、Case8 では 10.7km もネットワーク幹線を延長するにも関わらず、Case8 のほうが省エネルギー率が高くなっている。これは、発電所の場合、抽気蒸気を利用するため発電出力が減少する為、それを補うエネルギーを投入エネルギーにしていることが原因である。ネットワークを最大に活用するケース (Case8) の、従来型地域冷暖房に対する省エネルギーは 84.2% であった。

表 7.16.1 北九州市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区				熱源							広域熱供給距離 k m
	中心市街地	A	B	C	皇后崎清掃工場	三菱化成	新日鉄など	日明清掃工場	住友金工	新門司清掃工場	新小倉発電所	
Case1	○								○			2.0
Case2		○			○	○						2.2
Case3		○	○		○	○						5.9
Case4				○			○					4.5
Case5	○	○	○	○	○	○	○		○			26.9
Case6	○	○	○	○	○	○	○	○	○			30.9
Case7	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	30.9
Case8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		41.6

表 7.16.2 北九州市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 k m	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 k m
Case1	1,001.5	919.6	2.0	81.9	8.2	40.9
Case2	1,001.5	846.9	2.2	154.6	15.4	70.3
Case3	1,001.5	728.7	5.9	272.8	27.2	46.2
Case4	1,001.5	908.9	4.5	92.6	9.2	20.6
Case5	1,001.5	333.3	26.9	668.2	66.7	24.8
Case6	1,001.5	215.6	30.9	785.9	78.5	25.4
Case7	1,001.5	167.0	30.9	834.5	83.3	27.0
Case8	1,001.5	157.8	41.6	843.7	84.2	20.3

⑰ 福岡市

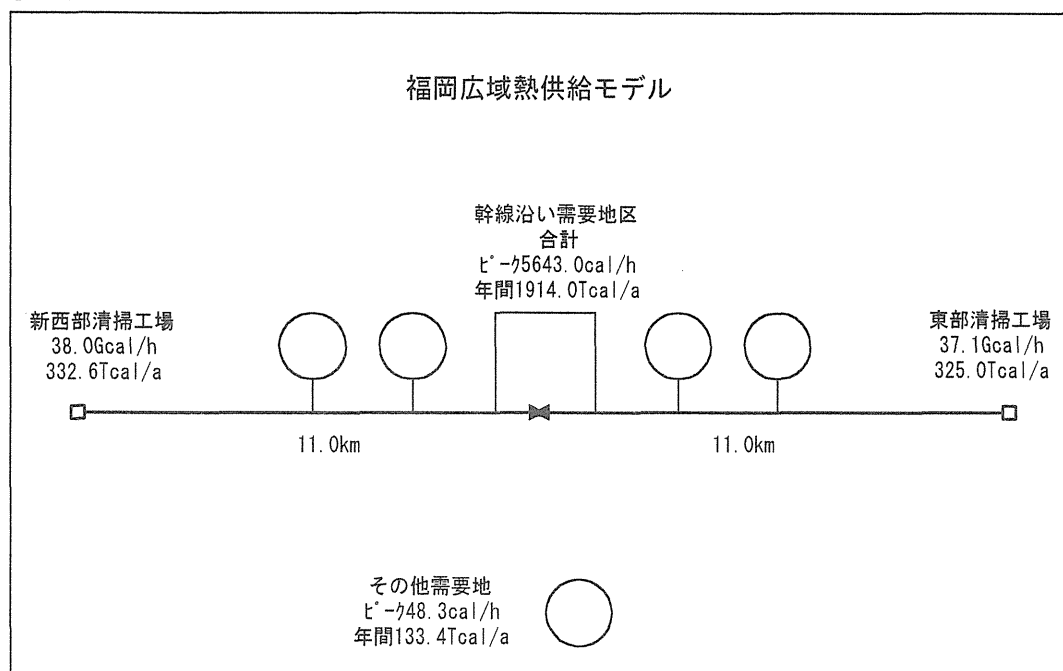


図 7.17.1 福岡市広域熱供給ネットワークモデル

福岡市の熱供給対象地区と広域熱供給熱源の位置をモデル化すると図 7.17.1 のようになる。福岡市の特徴としては、清掃工場は熱供給対象地区から離れていることと、中心市街地及びその周辺に熱供給対象地区が集中していることである。

検討ケースの設定は、中心市街地に集中した熱供給対象地区を一つの大きな地区と仮定して、新西部清掃工場と東清掃工場からのルートをもとに考えている。

検討 Case の設定及びスタディの結果をそれぞれ表 7.16.1, 表 7.16.2.に示す。

検討の結果、図 7.17.1 を見てもわかるように、福岡市には広域熱供給の熱源が少なく、対照的に中心市街地の熱需要量が大きいことから、広域熱供給ネットワークを最大に活用するケース (Case2) でも、従来型地域冷暖房に対する省エネルギーは 25.3%と極めて低い値となった。

表 7.17.1 福岡市広域熱供給ネットワーク検討 Case の設定

	熱供給対象地区		広域熱供給熱源		広域熱供給幹線 距離 km
	ネットワーク 沿い	その他	東部 清掃 工場	新 西部 清掃 工場	
Case1	○		○		11.0
Case2	○		○	○	22.0

表 7.17.2 福岡市広域熱供給ネットワークのケーススタディ結果

	従来型DHC システム 投入E Tcal/年	検討モデル 投入E Tcal/年	広域熱供給 ネットワーク 幹線総延長距離 km	省エネルギー量 Tcal/年	省エネルギー率 %	単位幹線 あたりの 省エネルギー量 Tcal/年 km
Case1	2,274.9	1,946.3	11.0	328.6	14.4	29.9
Case2	2,274.9	1,698.3	22.0	576.6	25.3	26.2

7-4 日本全国での導入波及効果

7-3での各都市のケーススタディの結果をもとに、広域熱供給ネットワークが仮に全国の都市で導入された場合、「公共性」の見地からどれだけの波及効果があるかを、既存の個別システム、既存の地域冷暖房システムに対する、省エネルギー率、CO₂削減率という二つの指標をもとに評価した。

評価の条件、および結果をそれぞれ、表 7.4.1, 表 7.4.2 に示す。

都市間の比較で見ると、熱供給対象地区の熱需要量は東京都区部が圧倒的に大きく、続いて大阪市、名古屋市、横浜市、福岡市、札幌市の順になっているが、従来型のシステム（個別、DHC）に対する省エネルギー率では、尼崎市、船橋市、北九州市、市川市、大阪市、仙台市の順となり、東京都区部や名古屋市、福岡市、札幌市は省エネルギー率の順位は低くなっている。これは、尼崎市、船橋市、大阪市は熱供給対象地区の熱需要に対して、広域熱供給ネットワークの熱源である高温都市排熱、特に清掃工場排熱、工場排熱が十分に存在することが要因と考えられる。また、名古屋市や川崎市は発電所抽気蒸気が利用可能であり、広域熱供給ネットワークの熱源で全ての負荷を賄っているものの、熱供給対象地区の熱需要に対して、清掃工場や工場の排熱で賄う割合が低く、反対に発電所抽気蒸気で賄う割合が大きすぎることから、発電出力の低下を補うために追投入すべきエネルギーが大きくなり、結果として省エネルギー率が低くなっている。東京都区部は、熱供給対象地区の熱需要量が膨大で、広域熱供給ネットワークの熱源では約半分の熱需要しか賄うことができないため、省エネルギー率が低くなっている。しかし、全国トータルの省エネルギー量でみた場合には、その量はきわめて大きく、寄与率が高い。また、川崎市の広域熱供給ネットワーク熱源への接続を考えれば更に省エネルギー量は大きくなるものと推測される。

次に、全国的なトータル量で、省エネルギー量、CO₂削減量を算出した。その結果を表 7.4.3 に示す。表 7.4.3 によれば、高温の都市排熱による広域熱供給ネットワークを、これらの 17 都市に導入した場合に従来の個別システムと比較した省エネルギー量は、都市ガスに換算して 2,867,704 千 Nm³ になり、省エネルギー率は 57.4% になった。

また、この省エネルギー量から CO₂ の削減量を求めると、184 万 t-c（炭素換算トン、6,753 千トン）となった。1997 年 12 月に COP3 にて決定した日本国の CO₂ 削減目標「1990 年レベルから 6% の削減」によれば、1997 年時点ですでに 4,500 万 t-c の削減が必要であることから、この 4,500 万 t-c の削減に対する寄与率を求めると、寄与率は 4.1% となった。

文献 1) では、全国で未利用エネルギーを活用した地域冷暖房を導入した場合、最大で 178 万 t-c が削減でき、1994 年時点での削減目標量 3,300 万 t-c に対する寄与率は 5.4% であるとしている。文献 1) では高温都市排熱は 5km、低温未利用エネルギーは 2km の範囲で利用するものとしている点、熱供給可能量と熱需要量を年間値で比較して概算している点、搬送動力を考慮していない点など、本章での検討方法とは異なるが、広域熱供給ネットワークを導入することにより、搬

送動力やピーク時の熱の需給関係などを考慮しても、184 万 t-c 削減できるということは、広域熱供給ネットワークが今まで距離が離れているなどの理由で利用され得なかった都市排熱を有効に活用し、省エネルギー、CO₂ 削減に大きく寄与する有望な手段であることが明らかになった。

表 7.4.1 評価の条件

従来個別システム	温熱:ボイラ 効率=0.75 冷熱:ヒートポンプ COP=3.5
従来DHCシステム	温熱:ボイラ 効率=0.9 冷熱:吸収式冷凍機 COP=1.08
電力1次換算	1kWh=2250kcal/h
電力2次換算	1kWh=860kcal/h
都市ガスの低位発熱量	11,000 kcal/Nm ³ (13A都市ガス)
都市ガスのCO ₂ 排出原単位	2.355 kg/Nm ³ 13A都市ガス(東京ガス管内)ガス組成より, 理論乾き排ガス中のCO ₂ 容積 =1.199 Nm ³ /Nm ³ よって, $1.199 \times 44 \times 22.4 = 2.355 \text{ kg/Nm}^3$

表 7.4.3 広域熱供給ネットワークの全国波及効果・公共性の評価

	(佐土原計算値)		本研究検討結果	
都市ガス削減量	-	千Nm ³	2,867,704	千Nm ³
CO ₂ 削減量	6,542	千トン	6,753	千トン
	178	万トン-C	184	万トン-C
CO ₂ 削減目標量	3,300	万トン-C (1994年)	4,500	万トン-C (建設省1997年)
寄与率	5.4	%	4.1	%

表 7.4.2 広域熱供給ネットワークの全国波及効果

	都市名	年間熱需要			従来システム投入E		広域熱供給NW最大ケース							
		温熱	冷熱	合計	個別	既存DHC	投入E	搬送距離総延長	省エネルギー量		省エネルギー率		搬送延長距離あたりの省エネルギー量	
									比個別	比既存DHC	比個別	比既存DHC	比個別	比既存DHC
		Tcal/年			Tcal/年		Tcal/年	km	Tcal/年		%		Tcal/年m	
1	札幌	1,621.6	361.5	1,983.1	2,432.3	2,136.5	1,241.3	38.0	1,191.0	895.1	49.0	41.9	31.3	23.6
2	仙台	599.4	159.4	758.8	918.3	813.6	183.0	27.3	735.3	630.6	80.1	77.5	26.9	23.1
3	千葉	297.4	224.9	522.3	564.6	538.7	132.7	19.0	432.0	406.0	76.5	75.4	22.7	21.4
4	市川	48.1	31.7	79.9	87.9	82.9	11.9	10.5	76.0	71.0	86.5	85.7	7.2	6.8
5	船橋	70.8	51.6	122.4	133.0	126.5	6.5	3.4	126.5	120.0	95.1	94.9	37.2	35.3
6	東京	15,513.8	8,855.3	24,369.2	27,304.6	25,437.0	14,964.0	139.0	12,340.5	10,473.0	45.2	41.2	88.8	75.3
7	川崎	1,034.0	564.8	1,598.8	1,800.8	1,671.8	585.4	24.9	1,215.4	1,086.4	67.5	65.0	48.8	43.6
8	横浜	1,413.9	901.4	2,315.4	2,559.1	2,405.7	639.5	38.4	1,919.6	1,766.2	75.0	73.4	50.0	46.0
9	名古屋	1,588.7	1,314.6	2,903.3	3,101.0	2,982.5	1,198.1	29.0	1,902.8	1,784.3	61.4	59.8	65.6	61.5
10	京都	715.2	617.3	1,332.6	1,415.1	1,366.3	312.0	29.4	1,103.1	1,054.3	78.0	77.2	37.5	35.9
11	大阪	4,086.1	3,356.5	7,442.7	7,957.2	7,648.1	1,244.4	47.0	6,712.9	6,403.7	84.4	83.7	142.8	136.2
12	堺	140.2	155.8	296.0	303.4	300.0	79.9	7.5	223.5	220.1	73.7	73.4	29.8	29.4
13	尼崎	95.4	84.2	179.5	190.1	183.9	2.5	7.1	187.6	181.5	98.7	98.7	26.4	25.6
14	神戸	786.4	579.9	1,366.3	1,482.0	1,410.7	436.8	21.0	1,045.2	973.9	70.5	69.0	49.8	46.4
15	広島	586.3	461.2	1,047.5	1,126.5	1,078.5	555.1	22.0	571.3	523.3	50.7	48.5	26.0	23.8
16	北九州	621.7	504.8	1,126.5	1,206.3	1,158.2	157.8	41.6	1,048.5	1,000.4	86.9	86.4	25.2	24.0
17	福岡	1,257.5	983.3	2,240.8	2,411.7	2,307.7	1,698.3	22.0	713.4	609.4	29.6	26.4	32.4	27.7
	全国合計	30,476.7	19,208.3	49,685.0	54,994.0	51,648.5	23,449.3	527.1	31,544.7	28,199.3	57.4	54.6	59.8	53.5

7-5 結論

本章では、前章までの研究の成果を受けて、都市排熱を有効に活用する広域熱供給ネットワークを全国の都市に導入した場合の導入モデルを各都市ごとに作成し、ネットワークのルートや、規模などをもとに複数のケースを設定して、各都市ごとに、従来の地域冷暖房システムと比した省エネルギー率、単位熱供給ネットワーク幹線長あたりの省エネルギー量を求めた。

この結果、以下の点が明らかになった。

- 1) 熱供給対象地区の熱需要量の規模では、東京都区部が突出して大きく、大阪市、名古屋市、横浜市、福岡市、札幌市の順でつづく。
- 2) 従来システムに対する省エネルギー率では、尼崎市、船橋市、北九州市、市川市、大阪市の順となり、清掃工場と工場からの熱供給可能量で、熱需要量を賄うことができる都市が省エネルギー率が高くなる。
- 3) 発電所抽気蒸気を利用可能な都市でも、発電所抽気蒸気への依存度が高い名古屋市や川崎市は、発電出力の低下を補う追投入エネルギーが必要なことから、省エネルギー率は比較的低いものとなる。
- 4) 熱供給対象地区と広域熱供給熱源は近接している方が、単位熱供給ネットワーク幹線あたりの省エネルギー量は大きくなり、省エネルギー率も高くなる傾向にある。

次に、全国トータルして、広域熱供給ネットワークを導入した場合の波及効果を、省エネルギー量と、CO₂削減量を指標に評価した。その結果以下のことがわかった。

- 5) 全国での省エネルギー量は都市ガスに換算して、2,867,704 千 NM³ となる。
- 6) 省エネルギー量から試算した CO₂削減量は 184 万 t-c（炭素換算トン）で、1997 年 12 月に COP3 京都会議で決定した目標値「1990 年レベルの 6%削減」に対する寄与率は、1997 年時点の削減目標値 4,500 万 t-c から計算して、4.1% であることがわかった。

このように、広域熱供給ネットワークは都市排熱を既存の技術のみで有効に活用するものでありながら、CO₂削減に大きく寄与するシステムであることが明らかになった。

第 8 章

集中型・分散型エネルギーシステムの グラウンドデザインに向けて

目次

- 8-1 概要
- 8-2 集中型エネルギーシステム（都市熱源ネットワーク）
- 8-3 分散型エネルギーシステム（燃料電池コージェネレーションシステム）
- 8-4 集中型・分散型エネルギーシステムの最適導入計画（ケーススタディ）
- 8-5 結論

第8章 集中型・分散型エネルギーシステムのランドデザインに向けて

8-1 概要

現在、地球環境問題、代替エネルギーなどの問題により、都市におけるエネルギー供給に関しても様々な試行錯誤がなされている。しかしその過程で様々なインフラ・機器が都市に乱雑に配置されてきた事は否定できない。また近年の技術革新は、高効率の発電、損失の少ないエネルギー搬送、都市内の様々なレベルの排熱の皆朱利用を可能にしようとしている。他にも小型の分散型電源として燃料電池などが実用化の段階にきている。

以上を踏まえて、都市全体として高効率で、しかも投入エネルギーをミニマムに抑えることが可能なエネルギーシステムの再構築に向けて、都市において導入する熱源別に色分けを行うランドデザインが必要である。

本調査研究の都市排熱を活用した広域熱供給ネットワークも同様であり、これを導入することにより、他の熱源との比較により、より省エネルギー効果がある地区を選定していくランドデザインが必要である。

本章では東京都 23 区において、マクロの視点からどの熱源を利用すべきかのランドデザインを行い、広域熱供給ネットワークを導入することができる地区を抽出していく。

ランドデザインの概要としては、東京都 23 区の都市計画基礎調査の 500mメッシュデータを用い、各メッシュのエネルギー消費と周辺の未利用エネルギーの状況から、

- ① 未利用エネルギーを利用する集中型エネルギーシステム
- ② 燃料電池コージェネレーションを利用した分散型エネルギーシステム
- ③ 個々の建物での熱供給を行うシステム

の 3 つに分類していく。

8-2 集中型エネルギーシステム（都市熱源ネットワーク）

都市における集中型エネルギーシステムとは現在検討されている都市熱源ネットワークである。日本では地域レベルの集中型エネルギーシステムとしては、地域冷暖房などの特定地域内に一括で熱を製造し、複数の建物に熱を供給するシステムが普及されてきたが、これも都市レベルで見れば分散型エネルギーシステムの枠に入ってしまう。

現在、我が国の都市部人口比は約 80%に達しており、CO₂ 排出の相当の部分が都市での集中的なエネルギー消費によるものと推測される。エネルギー消費の民生部門における値の伸び率は、1990 年から 1995 年にかけて 19.4%と他の部門の伸び率を大幅に上回っており、その後は経済活動の停滞などの原因によりその伸びは鈍化しているものの、今後も業務活動の増加とインテリジェント化、住環境の向上からその需要は増加の一途を辿っていくと考えられる。

この民生部門におけるエネルギー需要の 30%を占め、民生熱需要の大部分を占める冷暖房用のエネルギーは、必ずしも質の高いエネルギーを投入する必要は無く、低レベルの熱で十分賄えるものであり、一方、都市には工場廃熱や清掃工場のごみ焼却廃熱、下水処理場の処理廃熱などの高温廃熱や、河川水の温度差などの未利用エネルギー源が多く点在しており、その賦存熱量は膨大な量である。都市熱源ネットワークはこれらの廃熱源や未利用エネルギー源と熱需要地区とを接続し冷暖房の熱源として利用するネットワークシステムであり、都市全体の民生熱需要の大部分を賄うことが可能になると考えられる集中型エネルギーシステムである。

またデンマークやフィンランドなどの北欧諸国では、熱併給発電からの排熱や清掃工場からのごみ焼却排熱などの都市排熱源と都市内の熱需要地区を接続し、暖房の熱源として利用する都市熱源ネットワークの整備が 1980 年前半頃から本格的に進められ、一次エネルギー消費量削減、CO₂ 排出量削減ともに一定の効果を實現している。

我が国においても、都市における都市熱源ネットワークの導入が地球環境問題に寄与する手段として注目されており、一次エネルギー消費量削減効果や CO₂ 排出量削減効果、供給信頼性の向上や防災性の向上などの効果が見込まれ、その導入可能性の検討が進められている。

また排熱源や未利用エネルギー源と熱需要地区とを接続するだけでなく、地域冷暖房プラントと接続することで熱供給におけるバックアップ、ピーク負荷補助などの効果があると考えられる。

8-3 分散型エネルギーシステム（燃料電池コージェネレーションシステム）

都市レベルでの分散型エネルギーシステムで挙げられるのは特に地域冷暖房である。1970年に開催された大阪万博に導入して以来、約30年の歴史を持つ我が国の地域冷暖房は、初期には主に大気汚染防止策として導入が進み、その後、1973年の石油危機で一時導入が低迷したが、経済の回復とともに都市開発が盛んになり、開発の付加価値を高める重要な基盤施設として位置付けられるようになった。さらに、1990年代に入って地球環境問題を解決するための手段として重要性が高まってきて、現在では全国において134地区で事業が展開されている。しかし、近年は建物個別熱源システムの機器効率向上などに伴い、地域冷暖房も専用熱源を用いたシステムではなく、未利用エネルギー、コージェネレーションを利用したものでなくては、省エネルギーの面でもそれほどメリットがあるとは言えなくなっている。さらに2000年3月に施行された改正電気事業法により、新たに特定規模電気事業が創設され大口需要家への電力の小売りが可能になった。このことによりこれからの地域冷暖房にはコージェネレーションシステムを用いたものが増えていくことが考えられる。

このコージェネレーションシステムでも特に今度普及していくと考えられているのが燃料電池によるものである。燃料電池は近年多分野にわたり開発されてきており、都市インフラの分野においてもすでに実用化の段階にある。燃料電池の原理は水の電気分解の逆反応であり、電極に水素と酸素を供給することにより電力を精製する仕組みである。燃料は純水素であるが、天然ガス、メタン、LPGなどを改質することにより得られる水素を用いることが可能であるため、多様な燃料が利用可能である。従来のコージェネレーションと同等以上の効率であり、さらに化学反応による発電のため環境負荷を削減することができ、低負荷運転時の効率低下もほとんどないことから、今後普及していくことが予想される。コージェネレーションというように、電力を精製する段階で発生する熱を利用することにより熱併給発電が可能である。

幾つかある燃料電池の種類の中で現在実用化されているものはリン酸型燃料電池であり、関東地区においても30サイト以上に導入されており、そのほとんどが電力だけでなく熱も利用している。燃料はほとんどが天然ガスであり、都市ガスを利用していることが分かる。また出力は50～200kWであり、そのエネルギー効率だけでなく、他の付加価値からも今後は地域冷暖房だけでなく、個々の建物にも導入されていき、結果都市レベルだけでなく地域レベルでの分散型エネルギーシステムに燃料電池コージェネレーションが使われると考えられる。

本章で扱う集中型エネルギーシステムも将来を見据え、燃料電池コージェネレーションを検討することにした。

8-4 集中型・分散型エネルギーシステムの最適導入計画（ケーススタディ）

8-4-1 地域冷暖房導入可能メッシュの選定

概要でも述べた通り，東京都区部の 500mメッシュを分類していく。500mメッシュを線引きする最初の段階として，地域冷暖房導入可能メッシュを選定した。未利用エネルギーを利用した都市熱源ネットワークである集中型エネルギーシステムは，少なくとも複数の地域冷暖房地区が含まれる必要があるため，地域冷暖房導入可能メッシュ以外のメッシュは都市熱源ネットワークの対象外となる。

地域冷暖房導入可能メッシュを選定するために各メッシュの熱負荷密度を算出した。文献 1) によると地域冷暖房の導入対象地区選定の手法として，熱負荷密度 1.0Tcal（4.187TJ）/ha・年以上という基準が用いられていることもあり，今回の線引きの基準として熱負荷密度 1.0Tcal/ha・年以上のメッシュを地域冷暖房導入可能メッシュ，未滿を個々の建物で熱供給を行うメッシュとして分類した。表 8.1 に熱負荷密度による東京都区部 500mメッシュの地区の分類結果を，また表 8.2 に東京都区部と地域冷暖房導入可能メッシュの面積関係を示す。

表 8.1 熱負荷密度によるメッシュの分類

		メッシュ数
東京都23区全メッシュ		2517
地域冷暖房導入可能メッシュ		507
熱負荷密度	10.0Tcal/ha・年～	2
	5.0Tcal/ha・年～	20
	2.0Tcal/ha・年～	130
	1.0Tcal/ha・年～	355
	～1.0Tcal/ha・年	2010

表 8.2 面積関係

	土地面積(ha)	宅地面積(ha)	建築面積(m ²)	総延床面積(m ²)
東京都23区	55,898	34,834	164,172,971	478,065,438
地域冷暖房導入可能メッシュ	12,168	7,896	45,473,044	191,304,708

8-4-2 地域冷暖房導入可能メッシュの分類

8-4-1において、熱負荷密度 $1.0\text{Tcal/ha} \cdot \text{年}$ 以上の 507 メッシュが地域冷暖房導入可能メッシュとして選定した。この 507 メッシュをさらに分類していく。地域冷暖房導入可能メッシュを未利用エネルギー利用地域冷暖房と燃料電池コージェネレーションを導入した地域冷暖房導入可能メッシュに分類していく。

分類方法として未利用エネルギー供給による一次エネルギー削減量と燃料電池コージェネレーションによる一次エネルギー削減量を各メッシュで比較して、削減量が多い方を導入することにした。

各メッシュの燃料電池による一次エネルギー削減量をもとめるのに、導入する地区の電力と熱の需要の関係（熱電比）と燃料電池のもっている熱電比特性が重要になっていることから、本項ではまず文献 1）で分類および類型化されたものを参考にした。文献での類型化を簡単に説明すると

① サンプルメッシュの熱電比近似頻度分布の参照

地区の熱電比はその地区の用途別建物床面積構成に関係することから、用途別建物床面積構成のなるべく異なる 33 メッシュをサンプルとして取り上げ、時刻別に電力および熱エネルギー需要量を算出する。それを 1 次エネルギー換算して熱電比区間ごとに積算して、各区間の 1 次エネルギー需要量が全 1 次エネルギー需要量に占める割合を求めて、熱電比頻度分布を作成する。熱電比は全熱需要量合計が分子、電力が分母にくるものとした。次に熱電比頻度分布を対数正規分布に近似する。

② クラスタ分析による類型化

①で求めた熱電比近似頻度分布の平均値および標準偏差をそれぞれ X 、 Y の値として、重心法によるクラスタ分類を行い、5 類型に分類する。

③ 全ての対象メッシュへの類型化の適用

判別分析によりすべての対象メッシュへ類型化を適用する。これにあたり 507 メッシュ全ての計算量は膨大になるため、用途別床面積構成とその 2 乗、3 乗を説明変数にして、目的変数である熱電比近似頻度分布の平均値、標準偏差を求める重回帰式を作り、推測値を求める。求めた 2 つの推測値をもとに判別分析を行い、全対象メッシュの類型化を行った。

表 8-3 に全対象メッシュの判別結果を示す。またサンプルメッシュの類型化における各類型の平均の用途別建物床面積構成を図 8.1 に示す。類型 1 から数字が大きくなるにしたがって、順に熱電比が大きくなる。類型 1 は熱電比が小さく、商業・業務中心の地区で、類型 3 は住宅の割合が大きく、類型 4・5 は医療、宿泊中心の地区である。

文献 1：佐土原聡「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」日本建築学会計画系論文集，第 468 号，47-54，

表 8.3 メッシュの類型(判別分析結果)

	メッシュの個数	全導入可能メッシュに対する割合	東京都23区全体に対する割合
類型1	10	1.97%	0.40%
類型2	184	36.29%	7.31%
類型3	235	46.35%	9.34%
類型4	75	14.79%	2.98%
類型5	3	0.59%	0.12%
合計	507	100%	20.14%

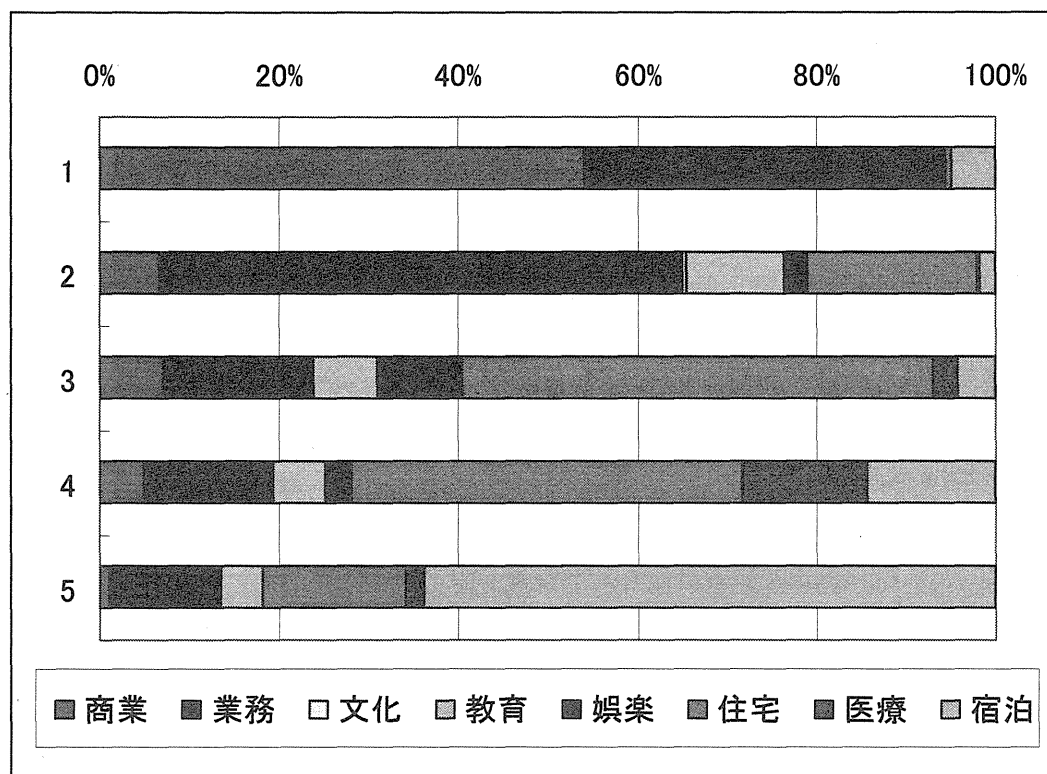


図 8.1 各類型の用途別床面積構成(平均)

8-4-3 燃料電池導入による投入一次エネルギー削減量算出

次に地域冷暖房導入可能地区に燃料電池を導入した場合の一次エネルギー削減量を算出する。この燃料電池によるコージェネレーションは地域冷暖房に組み込むものとして扱うことから、まずは東京都区部 500mメッシュの 1つのメッシュを 1地区と考え、熱負荷密度 1.0Tcal/ha・年以上の地域冷暖房導入可能メッシュに一つの大規模なコージェネレーションプラントを置き、電力と熱の併給を行うときの効果について検討した。ただし、ここでは電力・熱は余剰分が発生しないような運転とし、不足分は従来の方式でまかなうとした。以下に手順を追って示す。

- A) 燃料電池導入による、1次エネルギー削減率を表 8.4 をもとに、各熱電比ごとに算出する。なお燃料電池の 1次エネルギー削減率を求める際の電力の 1次エネルギー換算は発電端効率を 40.6%、送配電ロス率を 5.0%、発電所所内率を 3.9%として得られた 1kwh=2310.8kcal を使った。
- B) A) で求めた削減率曲線を、前項で分類した地域冷暖房導入可能メッシュの 5 種類のそれぞれの熱電比近似頻度分布に掛け合わせて合計し、年間の削減率を算出した。各類型の年間削減率を表 8.5 に示す。
- C) B) の結果を東京都 23 区の地域冷暖房導入可能メッシュ全体に適用する。前項で判別分析により 5 類型に分けられたメッシュのそれぞれの 1次エネルギー投入量に B) で求めた類型ごとの削減率を掛け合わせて、メッシュごとに削減量を算出し、地域冷暖房導入可能メッシュ全体、および東京都区部全体で評価を行った。評価結果を表 8.6 に示す。

表 8.4 燃料電池システムの効率

	発電効率	排熱発生率	系統電力供給効率	ボイラ効率
燃料電池	0.35	0.4	(買電) 0.372	補助熱源 0.8
専用熱源	—	(ボイラ効率0.8)		0.8

表 8.5 燃料電池による各類型の年間1次エネルギー削減率

	類型1	類型2	類型3	類型4	類型5
年間の一次エネルギー削減率 (%)	21.65	23.95	25.88	23.63	19.54

表 8.6 燃料電池導入による 1次エネルギー削減率

	削減率 (%)
対象メッシュ全体に対して	24.48
東京都23区全体に対して	14.48

8-4-4 地域冷暖房導入可能メッシュの分類

次に未利用エネルギーを利用した地域冷暖房導入可能メッシュを燃料電池導入による1次エネルギー削減量と比較しながら選定していき、結果地域冷暖房導入可能メッシュを、未利用エネルギーを利用したメッシュと燃料電池を利用したメッシュに分類していく。

地域冷暖房導入可能メッシュに未利用エネルギーを供給する際に、供給熱量を一定にして容易に評価することができるように全地域冷暖房導入可能メッシュ内に熱負荷ピークが5 Gcal/h の「地域冷暖房導入可能地区」があるとして、これに未利用エネルギーを供給するものとする。熱負荷ピークを5 Gcal/h としたのは、地域冷暖房導入地区の基準としてピーク負荷が最低限5 Gcal/h 必要であることによるものである。地域冷暖房導入可能地区の負荷については、各メッシュのピークを5 Gcal/h に縮小した際の係数を毎時間の負荷に掛けたものとする。投入1次エネルギーも縮小された負荷から求めたものとする。

供給熱量としては各メッシュに対してピークの75%、50%、25%の熱量(3.75, 2.5, 1.25 Gcal/h)を毎時間送る3パターンをあつかい、燃料電池の効率と比較して東京都区部から見た投入1次エネルギー削減量によりパターンを決定していく。

未利用エネルギー導入による地域冷暖房導入可能地区の分類は、3段階に分けて行った。

まず排熱源の供給可能熱量と供給可能メッシュ数を算定した。地域冷暖房導入可能地区に排熱を供給する施設として、本研究では東京都区部内にある清掃工場とある程度の規模をもつ工場を対象とした。

対象施設の年間熱賦存量を下の式と表8.7より求めた。また年間排熱量から1時間当たりの供給可能排熱量を求め、75%、50%、25%の3パターンでの供給可能なメッシュ数を算定した。これらを表8.8に示す。

・ 清掃工場

$$\text{貯存熱量 (Tcal/年)} = \text{年間処理実績 (t/年)} \times \text{ゴミの発熱原単位 (kcal/kg)} \\ \times 10^{-3}$$

ゴミの排熱原単位：2000kcal/kg

・ 工場

$$\text{貯存熱量 (Tcal/年)} = \text{従業員数 (人)} \times \text{従業員当たり1次エネルギー投入量} \\ (\text{Tcal/年} \cdot \text{人}) \times [\text{高温, 低温}] \text{製造工程からの排熱割合 (\%)} / 100$$

表 8.7 排熱量の多い工場6業種の従業員当たりの排熱割合

	従業員一人当たりの 1次エネルギー投入量	製造工程からの排熱割合	
		高温排熱	低温排熱
	Tcal/年・人	%	%
パルプ・紙加工品	2.941	0.05	0.45
化学工業	3.516	1.86	1.38
石油・石炭製品	7.458	0.74	4.71
窯業・土石製品	0.689	0.78	0.14
鉄鋼業	2.418	2.78	8.43
非鉄金属	0.540	1.28	0.65

表 8.8 排熱源の賦存熱量と供給可能メッシュ数

工場名		熱賦存量		搬送可能メッシュ数		
		Tcal/年	Gcal/h	75%	50%	25%
清掃工場	葛飾清掃工場	706	80.6	21	32	64
	光が丘清掃工場	199	22.7	6	9	18
	江戸川清掃工場	354	40.4	10	16	32
	港清掃工場	558	63.7	16	25	50
	新江東清掃工場	1116	127.4	33	50	101
	杉並清掃工場	344	39.3	10	15	31
	世田谷清掃工場	375	42.8	11	17	34
	千歳清掃工場	361	41.2	10	16	32
	多摩川清掃工場	271	30.9	8	12	24
	大井清掃工場	629	71.8	19	28	57
	大田清掃工場	616	70.3	18	28	56
	板橋清掃工場	614	70.1	18	28	56
	豊島清掃工場	248	28.3	7	11	22
	北清掃工場	372	42.5	11	16	33
	墨田清掃工場	372	42.5	11	16	33
	目黒清掃工場	329	37.6	10	15	30
	有明清掃工場	271	30.9	8	12	24
	足立清掃工場	584	66.7	17	26	53
	練馬清掃工場	292	33.3	8	13	26
工場	トアスチール	95	10.8	2	4	8
	花王(株)東京工場	205	23.4	6	9	18
	三共(株)品川工場	170	19.4	5	7	15
	三菱製鉄(株)東京製作所	203	23.2	6	9	18
	高砂鉄鋼(株)	95	10.8	2	4	8
	日本金属(株)板橋工場	203	23.2	6	9	18

8-4-5 未利用エネルギー導入による地域冷暖房導入可能地区の分類

未利用エネルギー導入による地域冷暖房導入可能地区の第一段階の分類を行う。まず 507 の地域冷暖房導入可能地区すべてにピーク負荷の 75%、50%、25%の熱量（3.75、2.5、1.25Gcal/h）を供給できるとして、供給熱量による各地区の 1 次エネルギー削減量を算出した。なおこの段階では 1 次エネルギー削減量に搬送動力を考慮しないものとする。

さらにこの削減量と燃料電池による削減量を各地区で比較して、未利用エネルギーによる投入 1 次エネルギー削減量が燃料電池によるものより大きい地区を選出した。

なお燃料電池による投入 1 次エネルギー削減量は、前項で求めた各メッシュの削減率をピーク負荷 5 Gcal/h になるように縮小させた投入 1 次エネルギー量に掛けて算出したものである。

この未利用エネルギー導入による地域冷暖房導入可能地区の分類結果を表 8.9 に示す。

これを見るとピークの 25%の供給熱量だと多くの地区にとっては少ないため、燃料電池による削減量が大きくなってしまふことがわかる。逆に 75%、50%だとほとんどの地区の削減量は燃料電池のそれを上回ることがわかる。これは地区の多くの時間の熱負荷がピークの 75%、50%を下回るからである。

表 8.9 未利用エネルギー導入による地区の分類結果

	75%	50%	25%
未利用エネルギー利用メッシュ数	507	477	153
燃料電池利用メッシュ数	0	30	354
合計	507	507	507

8-4-6 搬送可能距離を考慮した地区の分類

前節で分類した未利用エネルギー導入地区を、排熱を供給するのに必要な搬送エネルギーを考慮して分類していく。

前節で排熱を供給することにより燃料電池よりも高い1次エネルギー削減量になる地区を選出したが、周辺の排熱源から熱を供給するのにかかる搬送エネルギーが大きくなった結果、燃料電池の削減量よりも下回る地区には未利用エネルギーを供給する意味がない。そのためまずそれぞれの地区の可能搬送エネルギーをもとめた。可能搬送エネルギーは、各地区の未利用エネルギーによる1次エネルギー削減量を燃料電池による1次エネルギー削減量で引いたもので、この可能搬送エネルギーすべてを搬送エネルギーとして使われても、地区の削減量は少なくとも燃料電池による削減量と同値であり、未利用エネルギーを導入することができる地区だといえる。

この可能搬送エネルギーからさらに搬送可能距離をもとめて、地区を分類していく。地区ごとに搬送可能距離内に排熱源が一ヶ所以上あれば1次エネルギー削減量は燃料電池よりも上回り未利用エネルギーを導入可能であり、逆に一ヶ所もなければ未利用エネルギーを導入する意味がないことがわかる。

可能搬送エネルギーから搬送可能距離を算出するのに表 8.10 の条件と式を用いた。また搬送エネルギーを計算値ではなくより現実的なものとしていくために既存の地域冷暖房の搬送エネルギーの実データと計算値による数値を比較して得られた係数値を、搬送可能距離を算出する際に適用する事とした。

この搬送可能距離による未利用エネルギー導入地区の分類結果をパターンごとに表 8.11 に示す。

供給熱量が大きい 75%のパターンは削減量が大きくなり結果遠くの排熱源にまで対応できるため、ほとんどが未利用エネルギー供給地区に分類される。逆に 25%のパターンはこの第2段階の分類でほとんどが燃料電池導入地区に分類されてしまった。また 75%, 50%でも千代田区辺りがまとまって燃料電池導入地区に分類されている。排熱源からの距離が遠い地区もあるが遠い場所ではない地区もあり、この地区の燃料電池による1次エネルギー削減量の高さが考えられる。電力を多く消費する用途の割合が大きいため燃料電池導入による1次エネルギー削減量が高くなり、未利用エネルギー導入による1次エネルギー削減量との差が小さくなったことが原因だといえる。

表 8.10 搬送可能距離算出式, 条件

可能搬送エネルギー（Tcal／年）

搬送可能距離（m） =
単位長さ当たりの搬送エネルギー（Tcal／年・m） × 2 × 係数

単位長さ当たりの搬送エネルギー（Tcal／年・m）

75%	50%	25%
0.000213	0.000163	0.000111

既存地域冷暖房の実データ解析から得られた係数＝1.6655

単位長さ当たりの搬送エネルギー計算条件

温度 ℃	温度差 Δt ℃	流速 v m/s	比容積 l/kgf	比熱 kJ/kgf・℃	動粘度 ν m ² /s	管内面粗さ ε	ポンプ効率 η _p	モーター効率 η _m
180	35	1.5	1.127981	4.409	1.71 × 10 ⁻⁷	0.1	0.7	0.95

$$W_p = qh / \eta_p \eta_m$$
$$H = 9.8L \times \lambda / d \times v^2 / 2g + v^2 / 2g$$
$$\lambda = 0.0055 \{ 1 + (20000 \varepsilon / d + 10^6 / Re)^{1/3} \}$$
$$Re = \nu d / \nu$$
$$S = \pi \times (d/2)^2$$
$$Q_{MAX} = S \times v \times 3600$$
$$(d/2)^2 = S / \pi = Q_{MAX} / 3600 \nu \pi$$

q：流量
η_p：ポンプ効率
L：配管相当長
λ：摩擦係数
g：重力加速度
Re：レイノルズ数

h：ポンプの圧力水頭
η_m：モーター効率
d：実管径
ν：流速
ε：管内面の粗さ
Wp: ポンプ動力

表8.11 搬送可能距離を考慮した地区の分類結果

	75%	50%	25%
未利用エネルギー利用メッシュ数	452	395	97
燃料電池利用メッシュ数	55	112	410
合計	507	507	507

8-4-7 排熱供給可能量による地区の分類

第三段階の分類をおこなう。第一段階、第二段階ではどの地区にもピークの 75%、50%、25%の熱量（3.75、2.5、1.25Gcal/h）を供給できるものとしたが表 8-8 で示した通り、各排熱源には供給限界があるため、ここではこの供給可能量で第 2 段階で分類されたものをさらに分類して最終分類としていく。

方法としては各排熱源に供給可能距離から該当する地区を、その排熱源までの距離が小さい地区から供給可能メッシュ数分だけ当てはめていき、それをすべての排熱源で行っていく。このスタディを行う排熱源の順番としては対応メッシュ数の少ないものから始めていった。また各地区に供給することができる排熱源は一ヶ所とした。

この排熱源の搬送可能熱量による分類結果を表 8.12 に示す。

ピーク 75%では各排熱源の供給可能メッシュ数が少ないため、最終的には 50%のパターン未利用エネルギー供給地区の地区数が一番多くなった。また 25%は第 2 段階と変わらず、75%、50%のパターンでは排熱源から遠い中心部辺りが燃料電池導入地区に分類された。

表 8.12 排熱源の供給可能量による地区の分類結果

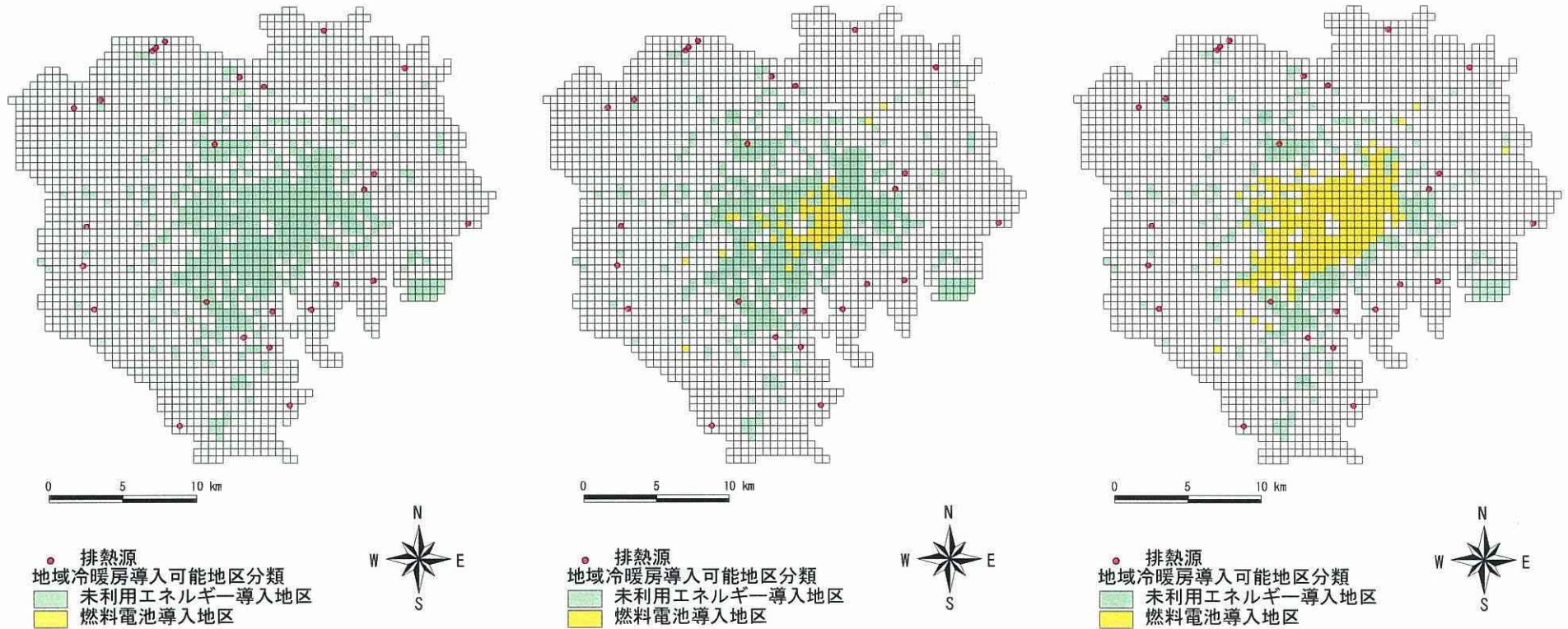
	75%	50%	25%
未利用エネルギー利用メッシュ数	279	375	97
燃料電池利用メッシュ数	228	132	410
合計	507	507	507

以上（8-4-5 ～ 8-4-7）のスタディでは、各地区のピーク熱負荷に対して 75%、50%、25%で排熱源からの未利用エネルギーの供給を行なった場合、燃料電池コージェネレーションシステムと比較して省エネルギー効果があるものを抽出した。その過程として以下の段階で評価をした。

- ① 搬送動力、熱源の供給能力は考慮しない場合
- ② 搬送動力を考慮する場合
- ③ 搬送動力、熱源の供給能力を考慮する場合

以下（図 8.2～図 8.4）にその結果をまとめる。

未利用エネルギーピーク負荷 75%供給パターン



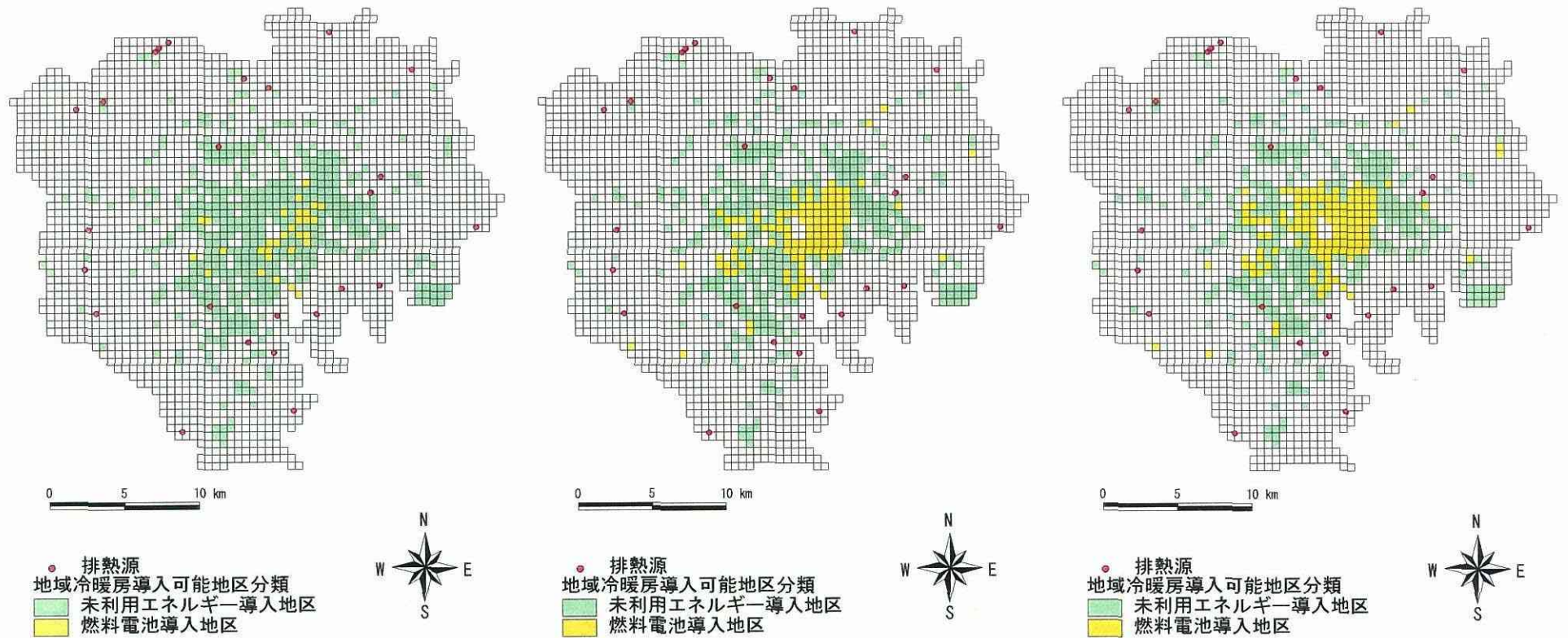
未利用エネルギー供給による分類結果

搬送可能距離による分類結果

排熱源の搬送可能熱量による分類結果

図 8.2 未利用エネルギーを活用した地域冷暖房の導入可能地区(ピーク負荷の 75%供給)

未利用エネルギーピーク負荷 50%供給パターン



未利用エネルギー供給による分類結果

搬送可能距離による分類結果

排熱源の搬送可能熱量による分類結果

図 8.3 未利用エネルギーを活用した地域冷暖房の導入可能地区(ピーク負荷の 50%供給)

未利用エネルギーピーク負荷 25%供給パターン

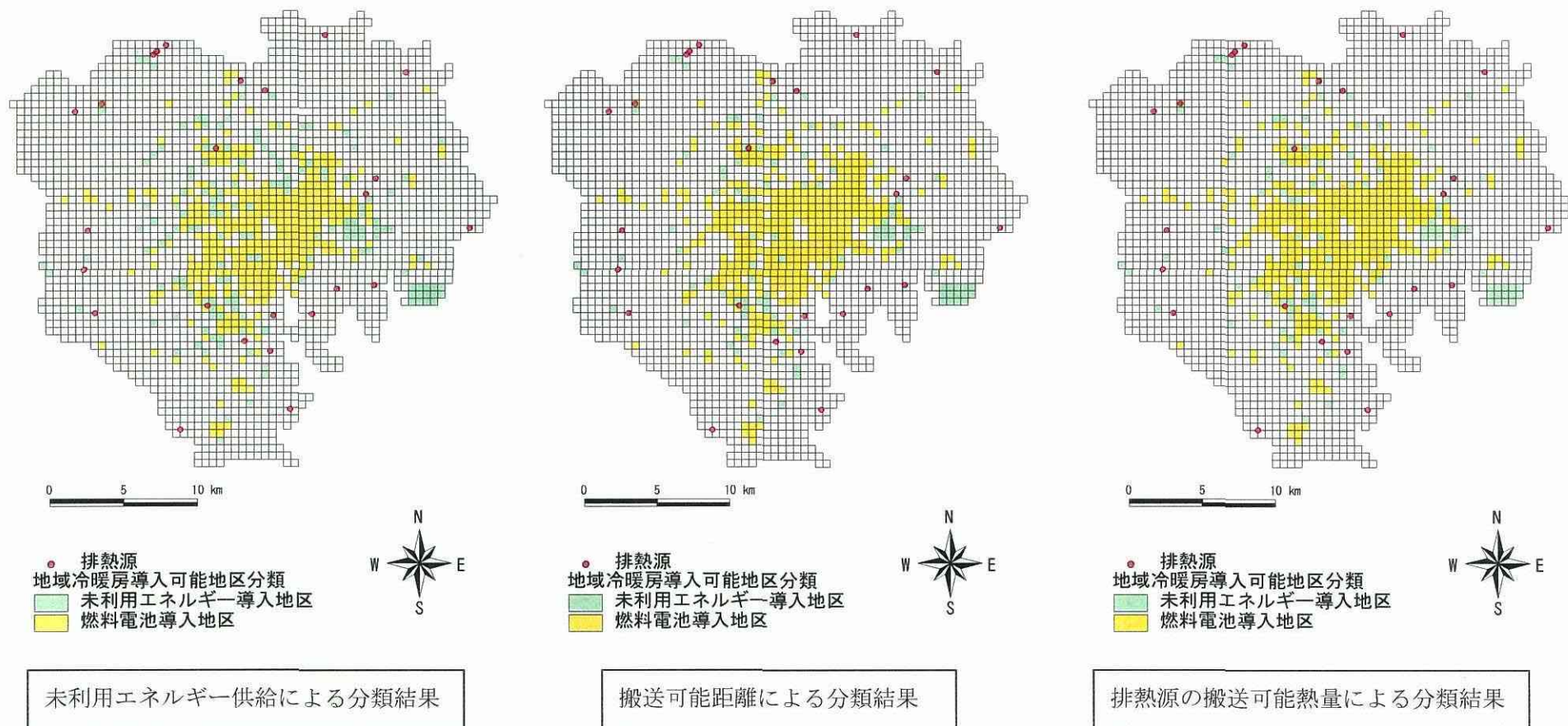


図 8.4 未利用エネルギーを活用した地域冷暖房の導入可能地区(ピーク負荷の 25%供給)

8-4-8 地域冷暖房導入可能地区の最終分類

ここではこのピーク負荷の 75%、50%、25%の熱量（3.75、2.5、1.25Gcal/h）で排熱を供給した 3 パターンのうちどのパターンがもっとも都市のエネルギーシステムを効率的にしていけるのかを検討し、最終的な地域冷暖房導入可能地区の分類に使うパターンを決定する。

3 パターンの比較検討には地域冷暖房導入可能地区全体での投入 1 次エネルギー削減量と削減率を算出し、これを用いた。地域冷暖房導入可能地区の 1 次エネルギー削減量を燃料電池のみの場合と各パターンの最終分類の場合で算出し比較したものを、東京都区部全体・地域冷暖房導入可能メッシュ・地域冷暖房導入可能地区での投入 1 次エネルギー削減率と合わせて表 8.13 に示す。

表からもわかる通り、もっとも削減量・削減率が高いのはピーク負荷の 75%で供給したパターンであることがわかった。しかし 50%のパターンもこれに近い数値を示していることも分かった。またどのパターンでも燃料電池のみ導入した場合よりも削減率は高くなることが分かる。未利用エネルギーを適所に導入していくことが重要であることが確認できた。また 75%・50%のパターンはほぼ同じ値になることから、未利用エネルギーを求める地区が多くなっても 50%ぐらいでは十分対応できることが分かる。

最終分類の結果として、1 次エネルギー削減率を表 8.13 と東京都区部における分類されたメッシュを図 8.5、8.6、8.7 に示す。

表 8.13 最終分類結果での 1 次エネルギー削減量と削減率

			燃料電池利用	未利用・燃料電池組み合わせ		
				75%	50%	25%
1次エネルギー削減量		(TJ/年)	23422.9	26013.3	25942.4	23709.1
1次エネルギー削減率	東京都23区	(%)	3.82	4.24	4.23	3.86
	地域冷暖房導入可能メッシュ	(%)	7.15	7.94	7.92	7.23
	地域冷暖房導入可能地区	(%)	24.69	27.42	27.35	24.99

8-5 結論

ケーススタディの結果、未利用エネルギーを利用する地域冷暖房を導入したほうが、燃料電池コージェネレーションによる地域冷暖房を導入するよりも省エネルギー効果をもつメッシュが存在することが分かった。この未利用エネルギー利用地域冷暖房導入メッシュが連続していれば、これらを接続して都市熱源ネットワークをつくることができると言える。よって地域冷暖房導入可能メッシュでは、ピーク負荷の75%で排熱を供給するパターンでは集中型エネルギーシステムと分散型エネルギーシステムがほぼ半分ずつ、50%のパターンでは集中型エネルギーシステムが多くなる色分けとなる。このことから現在検討されている、集中型エネルギーシステムである都市熱源ネットワークを東京都区部に導入することは大変意義があることだと言える。

次に集中型エネルギーシステムと分散型エネルギーシステムに分類されたメッシュの傾向を見た。建物用途や熱電比による5類型から見ていくと、集中型エネルギーシステムでは住宅・宿泊が多く、分散型エネルギーシステムでは業務が多くなった。このことから、熱電比が大きければ集中型、小さければ分散型エネルギーシステムになると分かった。

結論としては、都市全体のエネルギーシステムの効率化を考慮していくためには、熱電比の高い地区（住宅・宿泊の用途割合が高い地区）では集中型エネルギーシステムである都市熱源ネットワーク導入による省エネルギー効果が得られる。逆に熱電比の低い地区（業務の用途割合が高い地区）では都市熱源ネットワーク導入による省エネルギー効果はあまり得られず、燃料電池コージェネレーションによる分散型エネルギーシステムを導入していく方がふさわしいと考えられる。

以上から、同じ都市内でも地域ごとで最適なエネルギーシステムは違うということが分かった。このことから、今回のスタディエリアの東京都区部だけでなく、他の都市でも今後エネルギーシステムの最適化を目指すのならば、ランドデザインは必要であると言える。

第 9 章

結 論 と 展 望

目 次

- 9-1 研究成果のまとめ
- 9-2 今後の課題と展望

第9章 結論と展望

9-1 研究成果のまとめ

序章では、従来の研究や、関連の社会の動向、既往の構想やプロジェクトを文献などにより調査し、研究目的を明確化し、本論文で扱うべき研究領域とその位置付けを明らかにした。具体的には、研究領域として、都市内の未利用エネルギーを活用する日本独自の広域熱供給システムを提案すること、日本における広域熱供給システムの導入可能都市を明らかにすること、「公共性」という視点からエネルギー的な効果だけでなく防災的な効果など多様な効果を明らかにすること、「地球温暖化防止」にどれだけ寄与するか、を設定して、研究の方向性を明らかにした。

第1章は「広域熱供給システムの構築のための概念研究」と題して、北欧の広域熱供給ネットワークを「公共性」の立場から分析し、日本の地域冷暖房、日本の社会背景と比較して、日本において広域熱供給システムを導入する際の課題を明らかにするとともに、本論文における広域熱供給システムの考え方を示した。具体的には、課題として国や自治体の地域熱供給への関わりが少ないこと、事業主体がばらばらでネットワーク化への支障が多いこと、コストが高いことなどを挙げた。また、日本独自の課題である地震災害を考慮したエネルギーシステムとして広域熱供給システムを位置付け、この広域熱供給システムはネットワーク型システムと地区拠点型のシステムから構成されるとした。

第2章は「日本における広域熱供給システムの導入可能都市域の抽出とその都市特性に関する研究」と題し、都市の熱需要量とその分布、都市の未利用エネルギー賦存量とその分布といった都市特性を調査をもとに明らかにし、都市内の未利用エネルギーを熱源として活用する広域熱供給システムの導入可能性の検討をおこなった。まず最初に、高温の未利用エネルギーは5km以内、低温の未利用エネルギーは2km以内で地域冷暖房として活用するとして、高温未利用エネルギーの活用率と投入1次エネルギー削減率を求め、そこから、高温の未利用エネルギーを活用できていない都市、熱需要が未利用エネルギー賦存量を大幅に上回り熱が不足している都市を明らかにした。次に、それらの都市、または都市域に広域熱供給ネットワークを導入した場合の熱供給ネットワーク幹線の単位長さあたりの熱供給量を求め、コペンハーゲン CTR社、ヘルシンキ市の広域熱供給ネットワークの場合のものとの比較により、実現性の面から東京－横浜都市域、大阪－神戸都市域における導入可能性の高さを明らかにした。さらに、広域熱供給ネットワークの構築を考えると重要となってくるシステムの規模について検討し、熱需要と熱賦存の分状況からおおよそ20km圏を想定するのが適当であるとした。

第3章、第4章、第5章は、広域熱供給システムの熱源の検討をした。

第3章は「広域熱供給システムの熱源としての熱併給発電の可能性」と題して、現在の火力発電所を北欧で見られる熱併給発電所に変更した場合に、発電を最大限に行ってヒートポンプによって冷暖房を賄う場合と比較して、エネルギー的にみて成り立つかについて検討した。その結果、時刻別で見ればヒートポンプシステムの方がエネルギー的に効率がよくなる場合があるが、年間トータルで見た場合、熱併給発電に変更した場合のほうがエネルギー的に効率がよくなるということがわかった。また、都市特性をあらわす指標として「冷熱比」をもちいて地域的なエネルギー評価を試み、その結果、冷熱製造に熱媒温度条件が関与することから、東京以北の冷熱比の小さい都市においては低圧タービンから抽気した熱媒温度約 120℃のシステムが効率がよく、東京以南の冷熱比の大きい都市では IP 抽気による熱媒温度 160℃以上のシステムの方が効率がよくなることがわかった。

第4章は「広域熱供給システムの熱源としての工場排熱の利用可能性に関する調査研究」と題して、工場に対するアンケート調査により、「日本標準産業中分類」の産業ごとに従業員あたりの1次エネルギー投入量、投入エネルギーに対する高温排熱、低温排熱の割合を明らかにして、工場排熱原単位を作成した。その結果、従業員1人あたりでみて、高温排熱が多く賦存している産業種は、化学工業、石油・石炭製品製造業、鉄鋼業であり、低温排熱が多く賦存している産業種は、石油・石炭製造業、鉄鋼業であることがわかった。またその他にもパルプ・紙・紙加工品製造業、窯業・土石製品製造業、非鉄金属製造業が比較的排熱賦存量が多いことがわかった。さらに、工場の稼働状況から、鉄鋼業と、石油・石炭製品製造業は熱源としての活用可能性が高いことがわかった。

第5章は「広域熱供給システムの熱源としての都市排熱の利用可能性に関する研究」都題して、都市排熱と呼ばれる発電所排熱、清掃工場排熱、下水排熱、污泥処理排熱、工場排熱を取り上げ、とくに清掃工場、下水処理場、污泥処理施設といった都市処理施設からの熱供給可能性を検討している。その結果、污泥処理施設は排熱量が少ないが、清掃工場や下水処理場は排熱量が多く、広域熱供給システムの熱源として十分に利用可能性があることがわかった。またここで、長距離熱搬送における単位流量あたりの熱供給量から下水処理排熱は温度レベルが低く利用温度差も小さいことから、現在の地域冷暖房規模の地区レベルでの利用が好ましく、清掃工場からの高温排熱は利用温度差が大きいことから広域利用が好ましいとした。さらに、清掃工場のごみ発電主体の熱利用の現状および、スーパーごみ発電などの高効率技術についても考察を行っている。

第6章、第7章は広域熱供給システムの導入効果に関してケーススタディを行った。

第6章は「広域熱供給システムの構築による効果に関する研究」と題して、横浜臨海地区および東京都区部において広域熱供給システムを構築した場合の効果について検討している。横浜臨海地区におけるケーススタディでは、「省エネルギー性」「環境保全性」の評価だけでなく、災害時のエネルギー自給率、蓄熱槽の防火水槽との兼用による消火能力の向上効果などについても評価をおこなっている。東京都区部におけるケーススタディでは、また別の視点から、ネットワーク化による地区プラントのボイラ容量の削減効果、ボイラ余裕率のネットワークへの貢献効果、熱供給による夏期の電力負荷ピークの削減効果についても検討した。

第7章は「日本における広域熱供給システムの波及効果に関する研究」と題して、第2章の研究成果として抽出された8都市域（17都市）とその都市特性をもとに、第3章、第4章、第5章で明らかにした広域熱供給システムの熱源の利用可能性を用いて、各都市の都市特性にあった広域熱供給システムを提案し、「省エネルギー」「CO₂削減」の面から評価を行った。評価は各都市ごとに行い、最終的には日本全国での評価とした。その結果、広域熱供給システムを導入することにより、31,544.7Tcal/年（132,071.4TJ/年）、都市ガス換算で2,867,704千Nm³/年、石油換算で341万klの省エネルギーが可能で、CO₂は184万t・c/年削減が可能ということが明らかになった。CO₂184万t・c/年削減は、1997年12月のCOP京都会議で決定した目標値「1990年レベルの6%削減」に対して、1997年時点での削減目標値基準では、寄与率は約4.1%となることがわかった。

第8章は「集中型・分散型エネルギーシステムのグランドデザインへ向けて」と題して、東京都区部を取り上げ、清掃工場排熱などの高温の未利用エネルギーを用いた広域熱供給ネットワークシステムと、近年技術開発が進んでいる燃料電池による分散（拠点）型のエネルギーシステムに関して、省エネルギー性の観点からどちらのシステムがふさわしいかを、地域の特性や熱源の位置などから色分けした。結果、未利用エネルギーを十分に利用できる場合は、燃料電池システムに比べて広域熱供給ネットワークシステムの方が省エネルギー性が高いが、実際は搬送動力がかかることや、熱源から供給できる排熱量に限りがあることなどから、未利用エネルギーを活用できる地区が限られ、集中型エネルギーシステムと分散型エネルギーシステムの大まかな棲み分けを明らかにすることができた。

9-2 今後の課題と展望

本研究では、広域熱供給システムを地区拠点型システムとネットワーク型システムとで構成すべきであるとした。第6章の中で横浜臨海地区における広域熱供給システム構築のケーススタディを行い、「公共性」の見地から、防災性など様々な視点からの評価を行い、広域熱供給システムの中の地区拠点型システムにおいても「公共性」で評価し得る部分が多いことが明らかになった。しかし、既存の地域冷暖房を見てみると、公益事業として成立しており、熱の受益の点では決して「公共性」があるとはいえない。しかし、ネットワーク型システムの部分に関しては、現状のシステムでは活かしきれない都市の排熱を有効に活用することで、化石燃料の消費を減らし、CO₂削減に寄与することを考えれば、これからの地球環境時代、環境共生時代の中で十分に「公共性」があるといえる。

現在、建設省が「都市熱源ネットワーク」として、本研究で取り扱ったような広域熱供給ネットワークに関して、ネットワーク幹線の建設費に補助金を付ける方向で検討されていることは、きわめて重要なことで期待される。

一方、風力発電や太陽光発電、太陽熱利用といった自然エネルギーの活用や、コージェネレーションや燃料電池による個別分散型エネルギーシステムが、研究開発も進み、実用化、普及の段階にあることも事実である。しかし、これらの技術と広域熱供給システムは相いれない関係ではないと考える。何故ならば、広域熱供給システムは、ネットワーク型システムと地区拠点型（分散型）システムを組み合わせたものであり、ネットワーク型システムと拠点型システムが融通し合う、補完し合うシステムであるからである。また、前述の通りネットワークにより今まで利用し得なかった都市排熱を利用することにより、省資源、地球環境負荷物質の排出量削減に寄与するということは、事実であり、これらの熱源を無駄にすることがないように都市全体のシステムを変えていかなければならない。

このような意味で、広域熱供給システムのネットワーク型システムの部分を、デンマーク・コペンハーゲンの CTR 社のように、国や自治体が積極的に整備・運営していく必要があると考える。

そのためには、まだまだたくさんのハードルがあると考ええる。一つはコストが膨大であるということである。国や自治体からの補助金が出るとしても、数十 km の広域熱供給ネットワークの建設コストはかなりの額になる。例えば、現在配管敷設コストは、1m あたり 150 万円～300 万円といわれていることから、推算すると、10km で 150～300 億円になる。二つめは、熱供給事業法とは別の卸熱供給に関わる法律を整備することと、同時に熱供給事業法の適用範囲を緩和して拡大し、簡便な地区システムが構築できるようになること、小規模の地区システムでも熱供給事業法の適用を受けて補助金などの面で優遇が受けられるようになることである。三つめは、今まで迷惑施設とされてきた清掃工場などの都市排熱源を、居住地近くにも立地させ、熱の利用を効率よくできるようにすることである。これは、住民感情や、居住環境の面から多くの問題があるが、騒音や悪臭、ダイオキシンなどの環境負荷を削減する技術も開発されてきており、これらを組み合わ

せることで上手に居住環境に適応させていく努力が必要である。四つめは、広域熱供給ネットワークも含めて、熱供給事業というものの効果をきちんと評価し、それを世間に知らせていくことである。熱供給により各家庭のエネルギーコストが高くなるか安くなるかは未知数であるが、その効果を社会全体のものと認識できるような社会常識を形成していく必要がある。

また、8章において、近年技術開発が進んでいる燃料電池による分散型拠点システムと都市排熱による広域熱供給システムを省エネルギーの面から比較し、東京の地区特性を指標に導入すべきシステムの色分けを行なったが、都市全体のエネルギーシステムを循環型で無駄の少ない、環境負荷の小さいシステムに再構築していく必要がある現在において、このようなエネルギー有効利用に関するグランドデザインを行なっておくことは重要である。

これらの課題に対して、それぞれ個別に対応していくのではなく、しっかりした手順を踏んで、全体的な考え方、総合的な考え方、長期的な考え方で取り組んでいく必要があるといえる。

参 考 文 献

- 1) 社団法人日本地域冷暖房協会,「地域冷暖房のあゆみ」, 1995 年
- 2) 社団法人日本地域冷暖房協会,「地域冷暖房技術手引書(改訂第3版)」, 1997 年 6 月
- 3) 佐土原聡他,「日本全国の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第 510 号, P.61 - , 1998 年 8 月
- 4) 白珉浩他,「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, 第 523 号, P109 - , 1999 年 9 月
- 5) 渡辺健一郎他,「東京都区部における熱供給ネットワークの可能性に関する研究, その 1~その 8」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991 年~1995 年
- 6) 下田吉之他,「都市未利用の活用可能性評価手法に関する研究第 2 報 - 未利用熱源水ネットワークの省エネルギーポテンシャル - 」, 空気調和・衛生工学論文集, 第 67 号, 1997 年 10 月
- 7) 建設省都市局街路課,「都市熱源ネットワーク」, パンフレット, 1999 年
- 8) 東京都都市局,「平成 8 年度都市熱源ネットワーク整備基本計画調査報告書」, 平成 9 年 3 月
- 9) 東京都都市局,「平成 9 年度都市熱源ネットワーク整備基本計画調査報告書」, 平成 10 年 3 月
- 10) 国土庁大深度地下利用研究会編,「大深度地下利用の課題と展望 - 臨時大深度地下利用調査会答申の解説 - 」, 平成 10 年 10 月, ぎょうせい
- 11) 近畿通商産業局, 株式会社日建設計,「平成 7 年度新エネルギー導入促進基礎調査, 『防災及び環境調和型広域共同熱供給システムの調査』委託業務報告書『広域共同熱供給システム構想 - 神戸市域における広域共同熱供給システムの検討 - 』」, 平成 8 年 5 月
- 12) 都市高度化推進調査会, (財) 北海道地域総合振興機構 (はまなす財団),「ふゆ未来 2010 - 新北方型都市整備プラン - 」, 平成 8 年 10 月

- 13) 藤原陽三他,「多雪寒冷都市における広域地域熱供給システム導入についての検討」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997 年 9 月
- 14) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO),「新しい都市エネルギーシステムの構築に向けて - エコエネ都市プロジェクト推進の基本的方向 - 」, パンフレット, 1995 年
- 15) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO),「第 17 回事業報告書」, 平成 9 年 9 月
- 16) 日本建築学会都市設備・環境管理小委員会総合都市インフラ SWG,「総合都市インフラ連続シンポジウム第 1 回, 都市における広域熱供給ネットワークの展望」, 1999 年 7 月 13 日
- 17) Helsinki Energy,「Data Card」, 1997 年
- 18) Helsinki Energy,「Energy for Helsinki」, パンフレット, 1997 年
- 19) CTR (Metropolitan Copenhagen Heating Transmission Company),「CTR Annual Report 1997」, 1998 年
- 20) SK power,「Avedøre2」, パンフレット
- 21) SK power,「Avedøre Power Station」, パンフレット
- 22) SK power,「Avedøre2 Power Station」, パンフレット
- 23) BEWAG,「Bewag Annual Report 1996/97」, 1997 年
- 24) BEWAG,「Mitte Cogeneration Plant -Environmentally compatible energy generation in the heart of Berlin.- 」, パンフレット
- 25) BEWAG,「Fach Report -Electricity, Heating and Cooling for Potsdamer Platz. -」, パンフレット
- 26) 資源エネルギー庁公益事業部計画課熱供給産業室監修,「熱供給事業便覧 (平成 10 年版)」, 社団法人熱供給事業協会, 平成 10 年 12 月
- 27) 東京臨海副都心地域冷暖房施設設計共同体, 東京臨海熱供給株式会社,「ヨーロッパ諸国の地域冷暖房及び周辺事情に関する調査報告書」, 1991 年 8 月

- 28) 社団法人日本地域冷暖房協会,「欧州熱源ネットワーク事情調査報告書」,1999 年 4 月
- 29) 社団法人日本地域冷暖房協会,「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」,平成 7 年 4 月
- 30) 社団法人日本地域冷暖房協会,「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 7 年度報告書 (No.1)」,平成 8 年 4 月
- 31) 社団法人日本地域冷暖房協会,「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 7 年度報告書 (No.2)」,平成 8 年 4 月
- 32) 電源開発株式会社,「日本における熱併給発電の導入形態調査ステップII」,昭和 60 年 6 月
- 33) 電源開発株式会社,「石炭火力発電暑熱併給システム調査報告書」,平成元年 3 月
- 34) 電源開発株式会社,「未利用エネルギーの活用可能性に関する調査報告書」,平成 5 年
- 35) 佐土原聡,市川徹,「日本各地の地域規模のコージェネレーション導入の可能性に関するシミュレーション研究その 1-日本各地の熱需要原単位の推定及びコージェネレーションによる年間 1 次エネルギー削減率-」,日本建築学会大会学術講演梗概集, P.709-, 1996 年 8 月
- 36) 吉田聡,渡辺健一郎他,「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-」,日本建築学会計画系論文集,第 497 号, P.53-, 1997 年 7 月
- 37) 内田鉄平,吉田聡他,「主要都市における未利用エネルギー活用可能性の検討-日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究その 1-」,日本建築学会大会学術講演梗概集,環境工学-I, P.553-, 1998 年 9 月
- 38) 吉田聡他,「北欧事例との比較による広域熱供給ネットワーク導入可能都市域の抽出に関する研究-日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究その 2-」,日本建築学会大会学術講演梗概集,環境工学-I, P555-, 1998 年 9 月

- 39) 鈴木将史, 吉田聡他, 「日本における広域熱供給ネットワーク導入可能都市の抽出とその特性に関する研究 - 日本における広域熱供給ネットワークの導入可能性に関する研究その 3 - 」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 - I, P.635-, 1999 年 9 月
- 40) 成田樹昭他, 「広域熱供給システムの熱供給温度に関する基礎的研究」, 空気調和・衛生工学会論文集, No.64, 1997 年 1 月
- 41) Avedøre2 Power Plant 2 パンフレット, SK Power Company, Denmark
- 42) 広域共同熱供給システム検討委員会, 「広域共同熱供給システム構想 - 神戸市域における広域共同熱供給システムの検討 - 要約版」平成 8 年 5 月
- 43) 空気調和・衛生工学会, 「空気調和・衛生工学便覧 1 基礎篇」, 第 12 版, 1995 年, 丸善
- 44) 空気調和・衛生工学会, 「空気調和・衛生工学便覧 2 汎用機器・空調機器篇」, 第 12 版, 1995 年, 丸善
- 45) 尾島俊雄, 根津浩一郎, 「都市の熱消費・熱排出構造に関する研究(その 1) - 生産施設の熱消費指標, 熱排出指標による調査解析 - 」, 日本建築学会論文報告集, 第 236 号, 昭和 50 年 10 月
- 46) 根津浩一郎, 下田学, 井口光雄, 「排熱利用に関する実態調査, (第 1 報)工場廃熱の賦存量・利用可能量に関する調査分析」, 空気調和・衛生工学会論文集 No22, 1983 年 6 月
- 47) 下田学, 岡健雄, 「熱電比の大きい産業業種のエネルギー消費実態調査, 空気調和・衛生工学会論文集, No40, 1989 年 6 月
- 48) 岡健雄, 加藤良夫, 「熱電比の大きい工場におけるエネルギー消費の分析, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 428 号, 1991 年 10 月
- 49) 通商産業大臣官房調査統計部編, 「平成 5 年 石油等消費構造統計表」, 1195 年 3 月, 通産統計協会
- 50) 通商産業省編, 「1994 - 1995 年度 全国工場通覧」, 1994.6.30 日刊工業新聞社

- 51) 望月直樹,「横浜市・川崎市臨海地域における工場排熱利用の可能性に関する研究－神奈川県における未利用熱エネルギーの利用可能性に関する研究(その2)－」,日本建築学会大会学術講演梗概集, No.4606, 1992 年 8 月
- 52) 弘田亀之助,「燃焼及び機関設備－熱工学的計算法－」,昭和 12 年 12 月,オーム社
- 53) 千鳥一平,「神奈川県における地域冷暖房導入対象地区の抽出と未利用エネルギー活用の可能性に関する研究,日本全国の地域冷暖房導入可能性に関する調査研究(その6)」,日本建築学会大会学術講演梗概集, No.40340, 1995 年 8 月
- 54) 猪股桂子,吉田聡他 3 名,「産業排熱原単位に関する研究－神奈川県の未利用エネルギー利用可能性に関する研究 その9－」,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1996 年 9 月
- 55) 吉田聡,猪股桂子他 3 名,「神奈川県の産業排熱の地域冷暖房への活用可能性に関する研究,神奈川県の未利用エネルギー利用可能性に関する研究 その10」,日本建築学会大会学術講演梗概集, 1996 年 9 月
- 56) 那覇新都心株式会社,「那覇新都心未利用エネルギー活用地域熱供給事業調査報告書」,平成 8 年 3 月
- 57) 石川禎昭,「ごみ焼却排熱の有効利用－高効率ごみ発電と排熱の高度利用－」,理工図書
- 58) 「後楽 1 丁目地域冷暖房」パンフレット
- 59) 横浜市,「横浜市北部汚泥処理センター」パンフレット
- 60) 水道と地球環境を考える研究会編:「地球環境時代の水道」,1992 年,技報堂出版
- 61) 芽 陽一:「地球環境と地域冷暖房」,第 3 回 DHC シンポジウム基調講演資料, 1996 年 11 月 25 日 社団法人日本地域冷暖房協会
- 62) 東京臨海副都心地域冷暖房施設設計共同企業体、東京臨海熱供給株式会社:「ヨーロッパ諸国の地域冷暖房および周辺事情に関する調査報告書」,1991 年

- 63) 財団法人 大阪科学技術センター：「欧米のエネルギー技術の現状と将来」，1981 年 6 月
- 64) 社団法人日本地域冷暖房協会：「都市の再開発とエネルギー供給システム訪米調査団報告」，1984 年 5 月
- 65) 橘 雅哉：「西ドイツにおける地域冷暖房（その 2）ベルリンにおける地域冷暖房」，1990 年 7 月，地域冷暖房ニュース，社団法人日本地域冷暖房協会
- 66) 小澤秀成：「オランダのコージェネレーション導入成功例」，クリーンエネルギー増刊号，「環境とコージェネレーション」，1996 年 10 月，日本工業出版
- 67) 小倉正雄：「ヨーロッパにおけるコージェネレーション導入時例」，クリーンエネルギー増刊号，「環境とコージェネレーション」，1996 年 10 月，日本工業出版
- 68) 斎藤忠義：「ドイツにおける地域熱供給と導管に関する現況」，1995 年，地域冷暖房 No.42，社団法人地域冷暖房協会
- 69) 「数表で見る東京電力」1996 年度，東京電力広報部
- 70) 空気調和・衛生工学会編，落藤，谷口孚幸：「地域冷暖房とエネルギーの有効活用ー北ヨーロッパを例としてー」，1995 年，空気調和・衛生工学会新書，理工図書
- 71) 日本地域冷暖房協会：「地域冷暖房技術 20 年の軌跡と革新」
- 72) 大原千幸：「海水利用ー大阪南港コスモスクエア地区地域冷暖房について」，第 3 回 DHC シンポジウム基調講演資料，1996 年 11 月 25 日，社団法人日本地域冷暖房協会
- 73) 後楽 1 丁目地区地域冷暖房パンフレット：「DISTRICT HEATING AND COOLING SYSTEM-地域冷暖房-」，東京下水道エネルギー株式会社
- 74) 東京都下水道局：「リサイクル読本」
- 75) 社団法人地域冷暖房協会：「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 年 3 月，社団法人日本地域冷暖房協会研究企画委員会自主研究委員会

- 76) 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」昭和 61 年 12 月，早稲田大学博士論文
- 77) 佐土原聡：「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」，日本建築学会計画系論文集，第 468 号，47-54，Feb.1995
- 78) 東京都清掃局：「'96 清掃のあらまし」，平成 8 年 8 月 30 日，東京都清掃局ごみ減量総合対策室
- 79) 東京都下水道局：「'96 東京 23 区の下水道」
- 80) 社団法人 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計画・設計と評価」，平成 6 年，丸善
- 81) 「東京を開く 尾島俊雄の構想」PROCESS Architecture，第 99 号，1991 年 11 月 1 日
- 82) 国立天文台編：「理科年表 平成 8 年」，丸善
- 83) 村田和彦：「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ーゴミ・下水・汚泥処理施設のスケール分析ー」，日本建築学会大会学術講演梗概集，No.40337，1996 年 9 月