

都市のエネルギー効率の向上に関する調査研究

— 地域熱供給施設の熱電併給化による省エネルギー効果の検討 —

森野 仁夫 傳田 篤 藤城 春雄
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Investigation Research on the Improvement in Energy Efficiency of a City

— Examination of Energy saving Effect by Co-generation on a District Heat and Cooling System —

by Kimio Morino, Atsushi denda and Haruo Fujishiro

Abstract

The purpose of this study is to explore the technical development subjects for improving the energy use efficiency in the social business sector of a city. We concretely made the model system of six patterns about the supply network of electric power and heat which included co-generation system in the existing District Heat and Cooling system (DHC), using three DHC of the Tokyo waterfront area as an examination example. And We performed the simulation of the amount of energy consumption, and evaluated the energy-saving effect which the system configuration of each model bring about. As a result of the examination, there was 11% of primary energy reduction effect in the model which attempted to do the small scale co-generation system at the electric power supply scale in the place based on the DHC system of the present situation. Moreover, by the large-scale co-generation system model which unified three DHC, and it was presumed supplies heat and electric power to the consumer of integrated area, there was no less than 30% of energy-saving effect.

概 要

本研究は、エネルギー自由化に伴って今後の導入拡大が予想される分散型電源を、既存の地域熱供給施設（DHC）に組込んだ熱電併給システムを構築し、そのシステム構成の違いによるエネルギー消費量を検討することにより、都市の民生用業務部門におけるエネルギー利用効率を改善するための技術開発課題を探ることを目的としたものである。

具体的には、東京臨海副都心地区の3つのDHCを対象として、これを熱電併給化、あるいはネットワーク化した6つのモデルシステムを構築し、エネルギー消費量のシミュレーションを行ない、各モデルの省エネルギー効果について評価した。

評価の結果、現状のDHCを基準として、小規模な所内電力供給規模で熱電併給化を図ったモデルでは11%の1次エネルギー削減効果があり、また、3つのDHCを統合し統合エリアの需要家に熱と電力を供給する大規模な熱電併給化を図ったモデルでは30%もの省エネルギー効果があることが推定された。

§ 1. はじめに

1.1 調査研究の背景

1997年の地球温暖化防止京都会議(COP3)の結果、先進各国の温室効果ガスの削減目標が定められ、わが国は2008年から2012年の平均値で1990年比6%の削減目標となっている。

わが国の場合、排出する温室効果ガスの約80%がエネルギー起源の二酸化炭素であり、政策としてこれを2010年度において90年度と同水準に抑制することとなっており、この目標に向けたさまざまなCO₂排出量抑制策の推進が行われている。

具体的には、省エネルギー、新エネルギーの導入、電力等の燃料転換等により、これを達成しようとする

ものであり、この中で、都市におけるエネルギーをいかに有効に利用するかについては、都市におけるエネルギー消費の増加傾向が近年継続的に拡大していることから^{1)、2)}、きわめて重要な役割を持っている。

また一方では、電力・ガスの自由化などエネルギー分野における一連の規制緩和と政策により、都市においても、ガスタービン、燃料電池やバイオマスなどの分散型電源の導入が進展することが予想されている³⁾。

しかし、これらの分散型電源は規模が小さく、発電出力数十万kW級の従来の大規模集中型発電と比べて、発電効率のみでは劣勢にあるのが現状であり、消費地点でのオンサイト立地において、熱と電気の両方を利用するいわゆるコ・ジェネレーションとして利用することで、はじめて総合効率として大規模集中型発電に対して優位性

を持つようになる。

この時、熱と電気の効率的な利用が実現されなければ、発電効率の低下や排熱の増加などを来たすこととなり、結果的には、都市域内への熱や燃焼排ガスの排出量が増加する事態も予想され、現状と比べて環境負荷が増大する懸念さえ考えられる。

すなわち、分散型電源の導入拡大を前提とした場合、都市のエネルギー効率向上のための第1の課題は、コージェネレーションシステムの導入であり、エネルギー需要に近接した地点で、熱と電気の合理的な利用を実現することが不可欠となる。

1.2 調査研究の目的

本調査研究は、今後のエネルギー自由化に伴って予想される都市域での分散型エネルギーの導入拡大を背景として、これらを熱電併給システムとして、既存のエネルギー供給ネットワークに組み込んだシステムを構築し、そのシステム構成の違いによるエネルギー消費量を検討することにより、都市の民生用業務部門におけるエネルギー利用効率を改善するための技術開発課題を探ることを目的としたものである。

具体的には、検討対象地域として東京臨海副都心地区を題材に、電力および熱の供給ネットワークについて6パターンの検討用モデルシステムを作成し、エネルギー消費量のシミュレーションを行い、各モデルのシステム

構成とネットワーク化による省エネルギー効果について評価した。

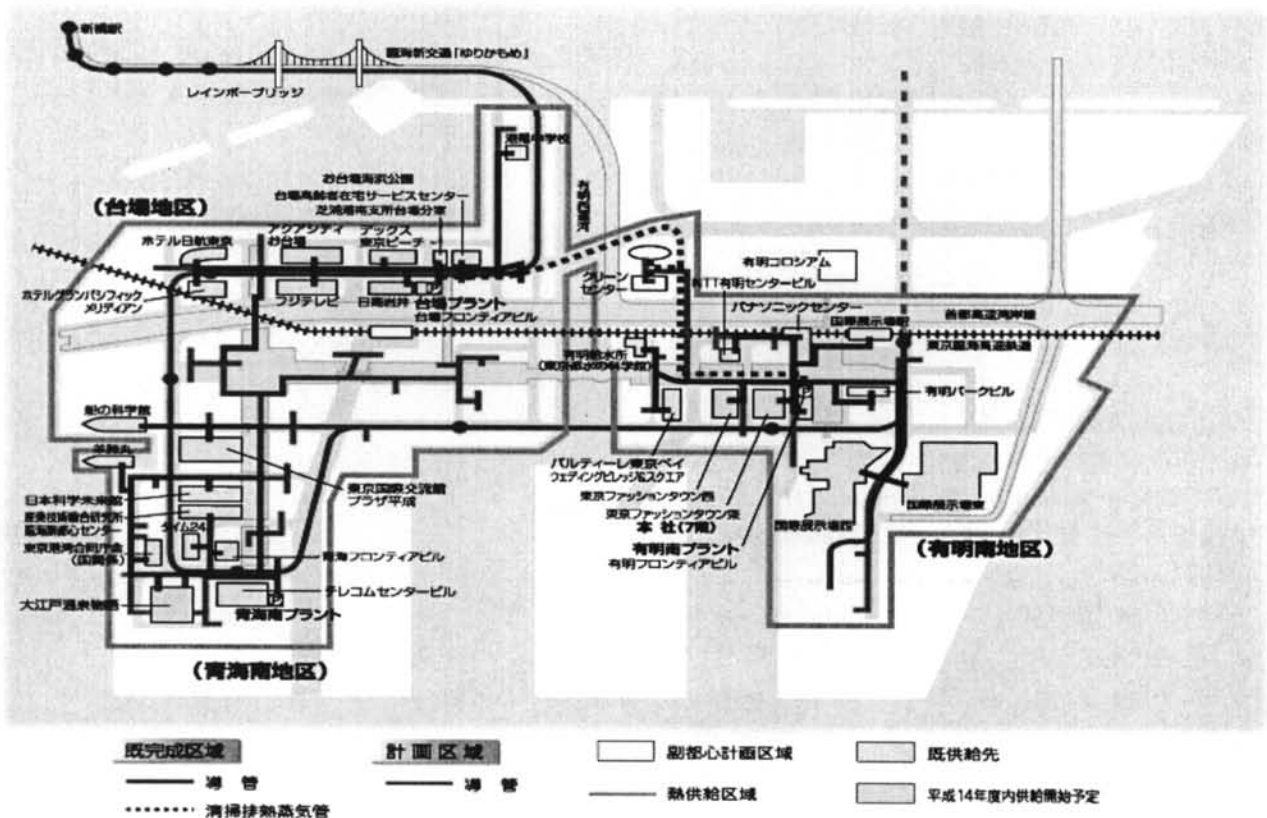
地域熱供給施設のネットワーク化については、過去にも様々な研究がなされているが、電力エネルギーまでも含めて、実用レベルの具体的な数値に基づいた検討を行った点が本調査研究の大きな特徴である。

§2. 検討モデルの設定

2.1 モデル地域の選定

モデル地域の設定に当たっては、都市におけるエネルギー供給システムとして現状で広く展開されている地域熱供給システム(DHC)をベースとして考え、①実態に近い負荷モデルが得られること、②エネルギー供給システムの導入に適した規模であること、③エネルギー供給システムのネットワーク化が比較的容易に可能であること、などを考慮して東京臨海副都心地区を選定した。

東京臨海副都心地区におけるDHCの概要を図-1に示す。当該地域では台場地区、青海南地区、有明南地区の3地区にそれぞれ地域熱供給プラントがあり、現在は3つのプラントが独立して運転されている。しかし、熱供給導管を収容する共同溝がインフラとして整備されており、将来的に熱供給導管をネットワーク化することが想定されている。



2.2 熱負荷および電力負荷の設定

負荷の設定については、モデル地域とした東京臨海副都心地域の施設構成を参考として、熱および電力の供給地区をA地区、B地区、C地区の3地区に区分して設定し、これらをネットワーク化した想定で3地区合計の負荷も設定した。

熱負荷については東京臨海熱供給(株)のデータが公開されていることから⁵⁾これを基本データとし、電力負荷については整備された既存データがないため文献データとヒアリング調査によって得られたデータを基に、それぞれ以下に示すように設定した。

需要家サイドの熱負荷は、東京臨海熱供給(株)の年間販売熱量とヒアリングによって得た各プラントの年間熱需要の冷熱・温熱比、ならびに、3つの地域熱供給(DHC)プラントごとの夏期、中間期、冬期における代表的な時間負荷パターンを参考に、1年12ヵ月について1ヵ月ごとの代表として平日と休日の24時間負荷パターンを作成した。

需要家の電力負荷は、参考文献6)の原単位と24時間パターンを基に、また、この資料に原単位が示されていない放送局についてはヒアリングによる調査を行った結果を基にして、表-1に示したように地区ごとの供給対象施設の延床面積を建物用途ごとに分類し、平日と休日の24時間負荷パターンを作成した。電力負荷の平日、休日の負荷配分は熱負荷における比率と同一とした。

なお、このような作業の結果作成した熱負荷と電力負荷については、熱電比において建物用途から判断して電力負荷が大き過ぎる傾向が見られたので、参考文献6)の熱電比データを基に、表-1の延床面積で各地区の熱電比を改めて計算し、これに一致するよう、先に設定した各地区の電力負荷を、年間を通じて一律に修正した。

今回の負荷設定においては、東京臨海副都心地域の施設構成を参考にしながらも、その設定作業の過程で幾つかの推定を行っており、結果として得られた熱および電力負荷は東京臨海副都心地域の実態を反映しているものではなく、あくまで、今回の検討に際してモデル負荷として作られたものになっている。

本研究の評価対象として設定した負荷について、年間負荷の特性を表-2に、月間の熱負荷と電力負荷の変動状況を図-2と図-3に示す。また、地区ごとの熱および電力の24時間負荷パターンを図-4から図-6に示す。

また、機器容量設計のために求めた、現状の各DHCプラントの電力消費と、DHCと需要家の電力需要を合成した時間負荷パターンを図-7に示す。

熱負荷の特性として、A地区はアミューズメント施設や放送局があるため夜間の負荷が大きく、B地区は典型的なオフィス地区の特性を有し、C地区はイベント会場があり午前の負荷の立上がり早い特性を有している。

電力負荷の特性としては、3地区で時刻パターンの大きな違いはないが、A地区では熱負荷と同様に夜間の負荷が大きくなっている。

表-1 熱供給対象建物の延床面積

| 地区 | 延床面積 m ² | 用途別床面積 m ² | | | |
|-----|------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|
| | | 事務所 | ホテル | 店舗 | 放送局 |
| A地区 | 666,800 | 164,500 | 189,000 | 171,500 | 141,800 |
| B地区 | 423,200 | 369,600 | — | 53,600 | — |
| C地区 | 586,100 | 321,100 | 62,000 | 203,000 | — |
| 合計 | 1,676,100 | 855,200 | 251,000 | 428,100 | 141,800 |

表-2 設定した年間負荷の特性

| 地区 | 年負荷量[GJ] | | 熱負荷合計 [GJ] | 年間電力量 [MWh] | 熱電比 |
|-----|----------|---------|---------------|----------------|------|
| | 冷熱 | 温熱 | | | |
| A地区 | 346,981 | 113,611 | 460,592 | 141,895 | 0.90 |
| B地区 | 99,138 | 37,870 | 137,008 | 44,382 | 0.86 |
| C地区 | 214,798 | 100,987 | 315,785 | 90,928 | 0.96 |
| 合計 | 660,917 | 252,468 | 913,385 | 277,205 | 0.92 |

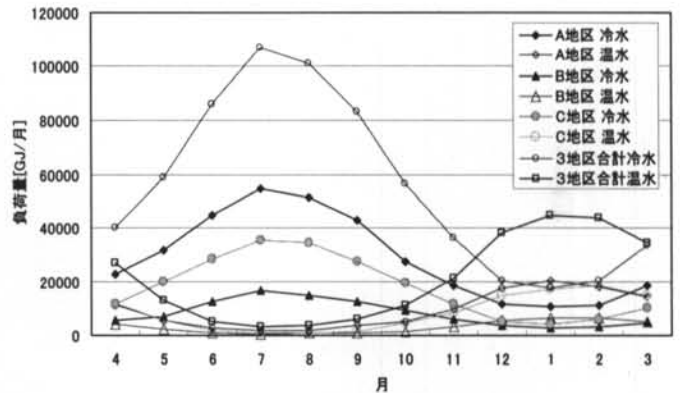


図-2 月間の熱負荷の変動状況

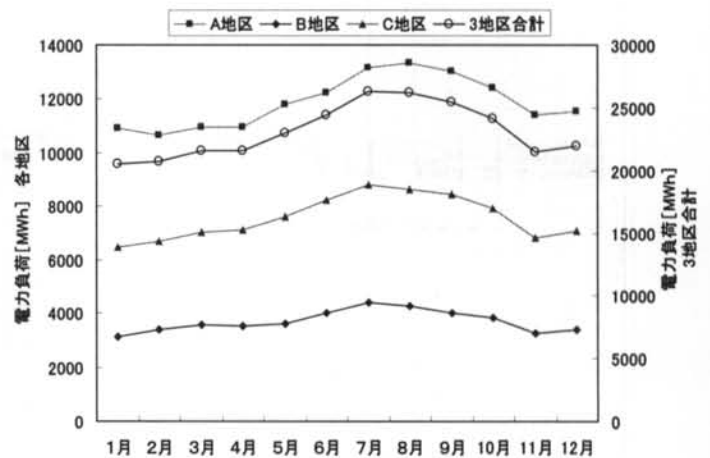


図-3 月間の電力負荷の変動状況

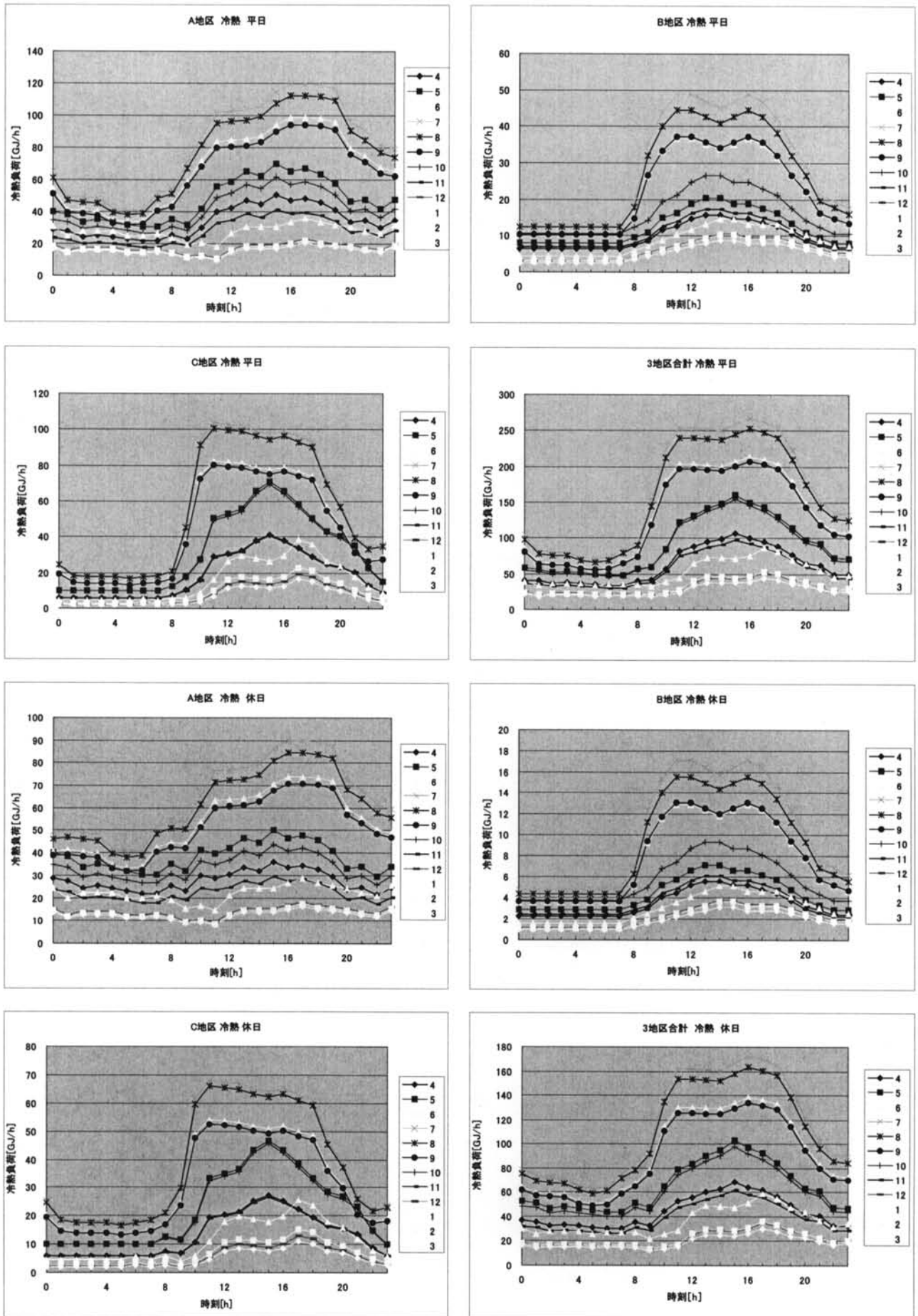


図-4 冷熱負荷の時間パターン

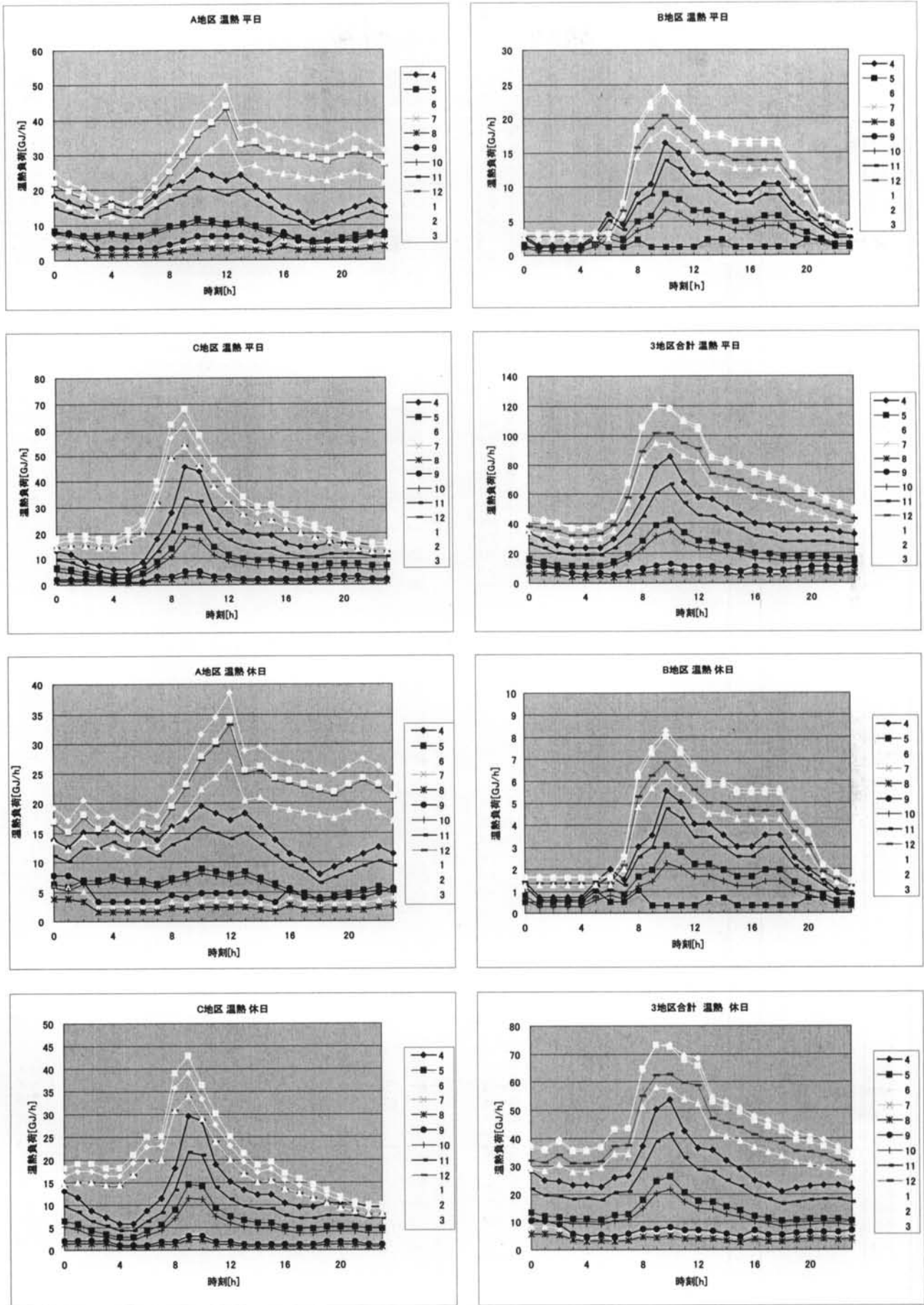


図-5 温熱負荷の時間パターン

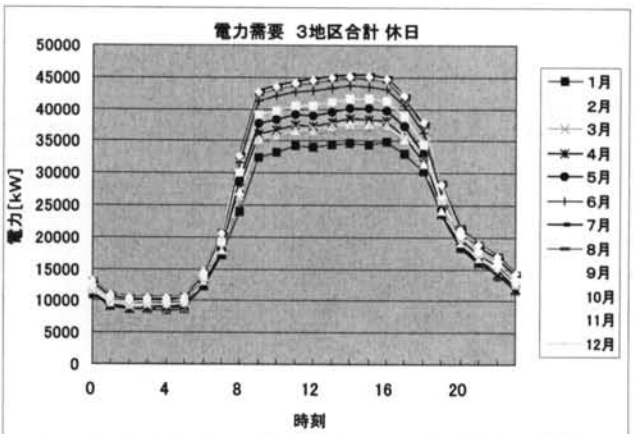
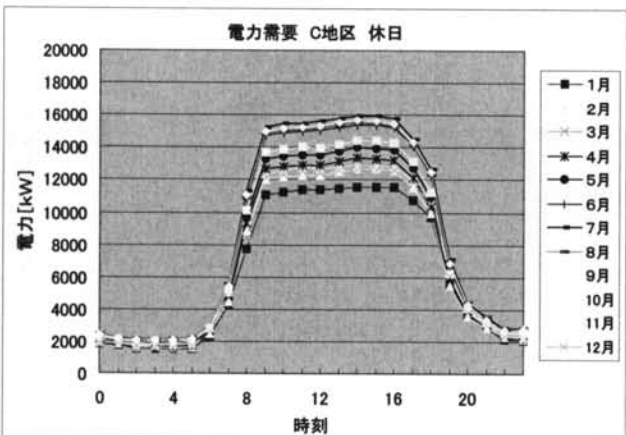
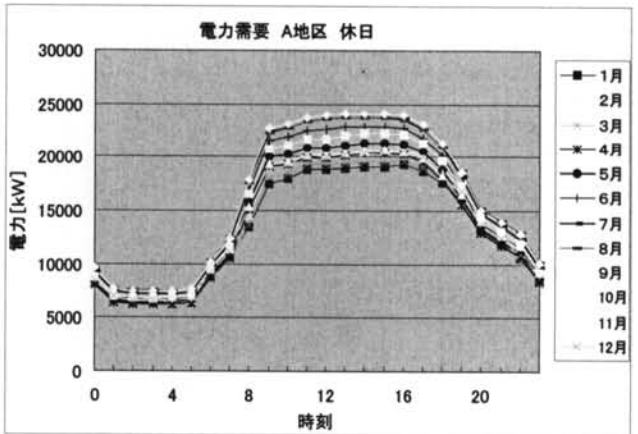
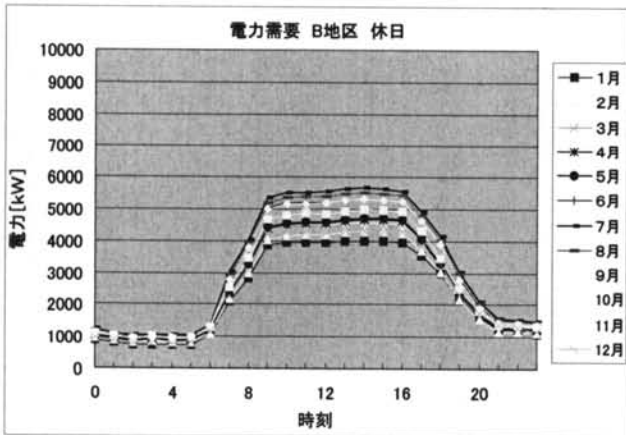
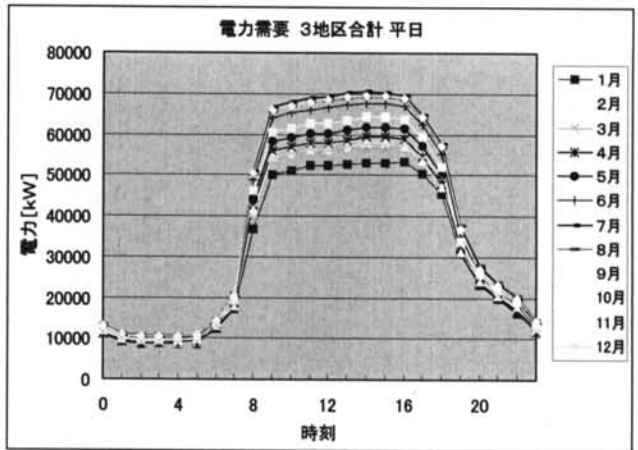
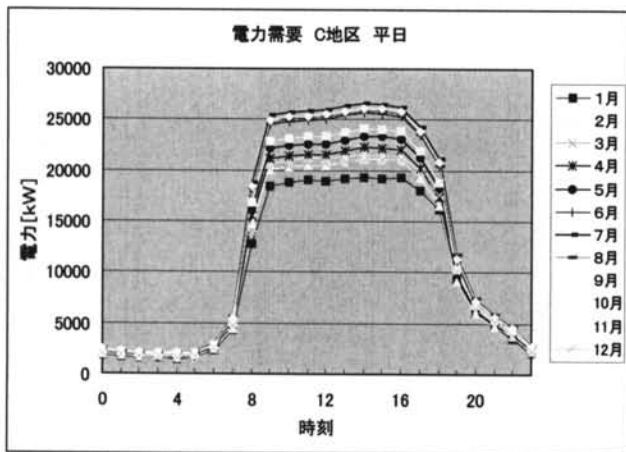
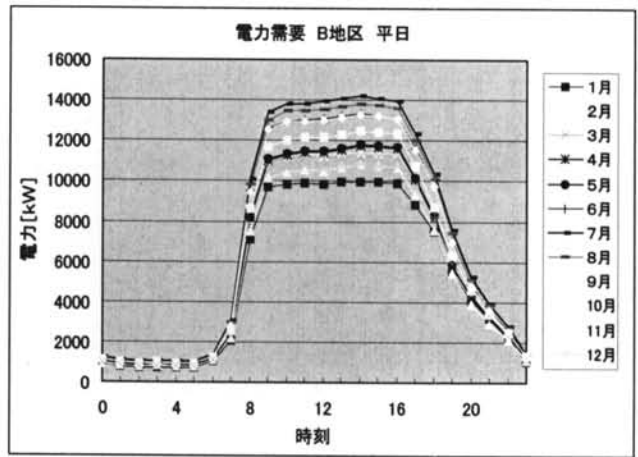
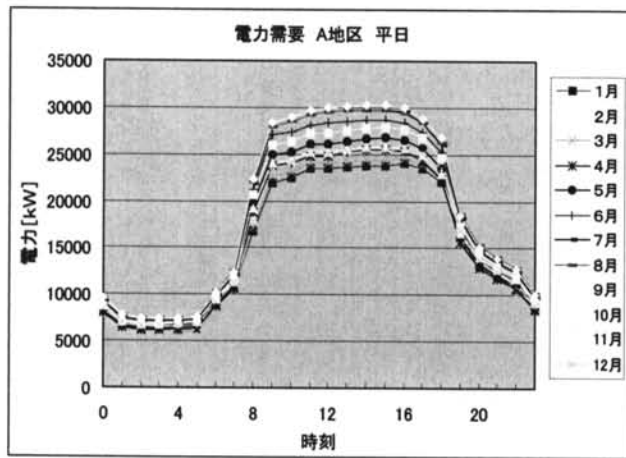


図-6 電力負荷の時間パターン

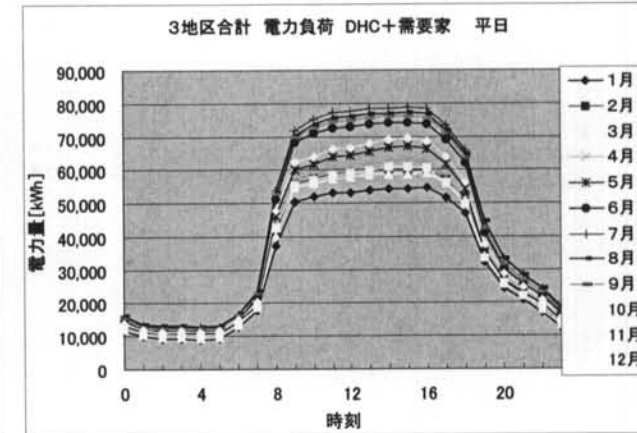
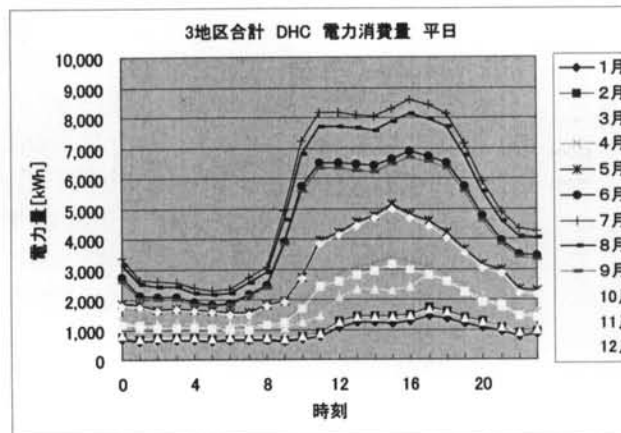
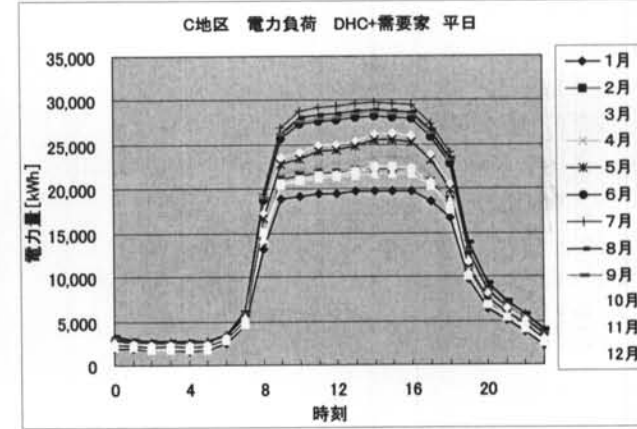
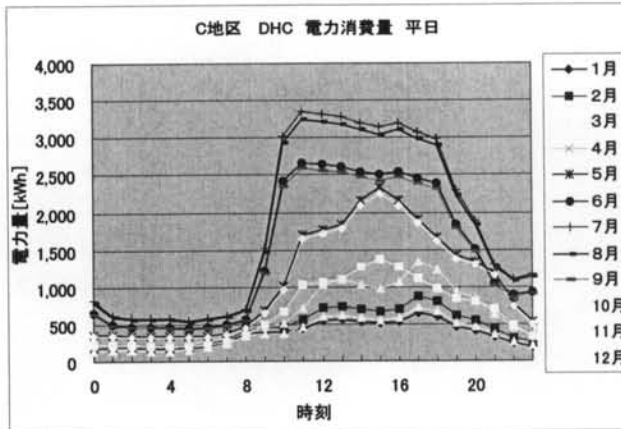
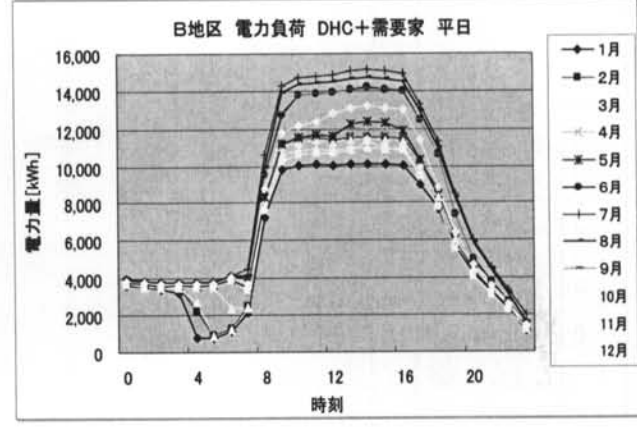
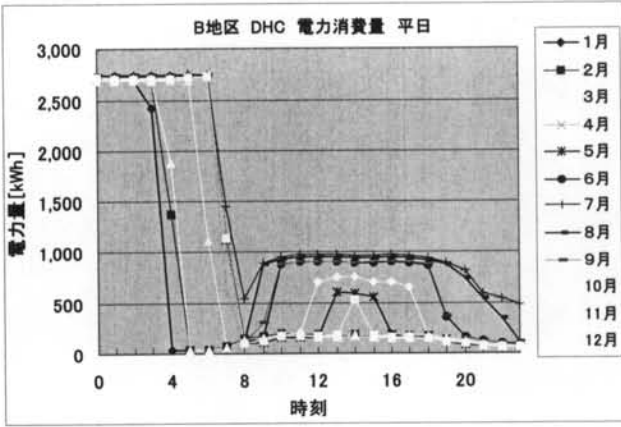
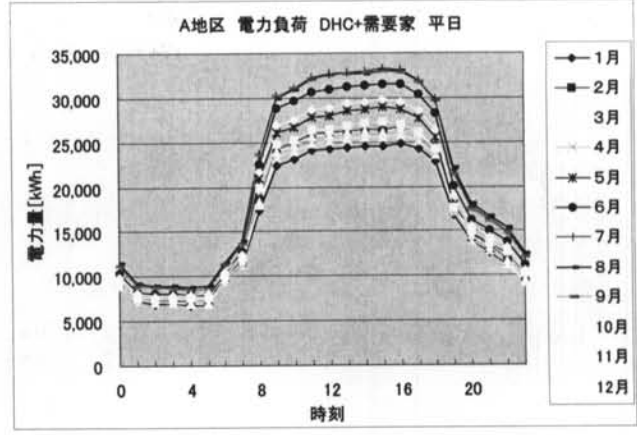
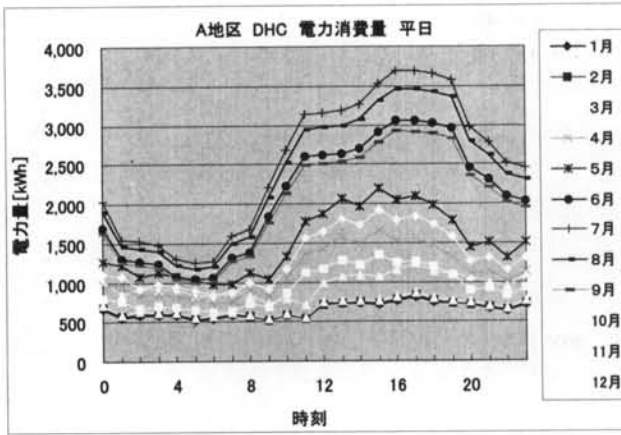


図-7 DHC電力消費量とDHC+需要家の電力負荷の時間パターン

§ 3. エネルギー供給システムの評価

3.1 モデルシステムの設定

都市のエネルギー利用効率を向上させるためには、エネルギー供給システムに関して、

①コ・ジェネレーションによりエネルギー供給における電気と熱の効率的な利用を実現すること

②電力と熱のエネルギー供給において、地域間融通を可能にするための地域エネルギー供給ネットワークを構築すること

③地域全体のエネルギーバランスを考慮した電力と熱エネルギーの供給を行う総合的なエネルギー管理システム (DEMS : District Energy Management System) を確立すること

などのシステム化が必要である。

本調査研究では、地域熱供給システム (DHC) を都市のエネルギー供給システムの基準モデルとして位置付け、これに対して、

①DHCへのコ・ジェネ導入

単独DHC内で熱と電気の効率的利用によりエネルギー効率を向上させる

②DHC間の熱のネットワーク化

複数DHCで熱源設備を共有することにより設備規模の適正化を行い、熱の効率的利用によりエネルギー効率を向上させる

③DHC間の電力と熱のネットワーク化

複数DHCで発電設備と熱源設備を共有することにより設備規模の適正化を行い、電力と熱の効率的利用によりエネルギー効率を向上させる

といった概念の下、具体的には、下記の6つのモデルシステムを設定し、既存DHCを熱電併給化あるいはネットワーク化する効果について評価を行った。

評価対象モデルの概要を表-3と以下に示す。

<モデルA> (基準) : 既存のDHC

現状の3地区独立のDHCを基準モデルとして設定する。各DHCはエリア内需要家に対して熱供給のみを行う。電力は各DHC、エリア内需要家とも電力会社の系統から買電する。

<モデルB> : 単独DHCの熱電併給システム化

モデルAで設定した各DHCをコ・ジェネレーション化し、各DHC内で熱と電気の効率的利用を図る。各DHCはエリア内需要家に対して熱供給のみを行う。電力はコ・ジェネレーションにより自己消費電力を賄うが、不足分は電力会社の系統から買電する。また、エリア内需要家は電力会社の系統から買電する。

<モデルC> : DHCの熱源ネットワーク化

モデルAで設定した3地区のDHC間を熱供給導管で繋ぐことにより熱供給をネットワーク化する。各DHCはエリア内需要家に対して熱供給のみを行うが、3地区間で熱の相互融通を行うことができる。電力は、各DHC、エリア内需要家とも、電力会社の系統から買電する。

<モデルD> : DHCのコ・ジェネレーション化+DHC間での熱源・電力ネットワーク化

モデルAで設定したDHCをコ・ジェネレーション化する。さらに、各DHC間を電源および熱源ネットワーク化し、熱と電力の相互融通によりエネルギー効率のよい地域エネルギー供給センター化を図る。

統合されたDHCはエリア内需要家に対して熱供給のみを行う。各DHCがコ・ジェネレーションにより自己消費電力を相互融通して賄うが、非常時対応として1地区のDHCが電力会社と事故時電力補給契約を結ぶ。エリア内需要家は系統から買電する。

<モデルE> : 単独DHCのエリア内需要家への熱・電供給化+DHCの熱源ネットワーク化

モデルAで設定した3地区のDHCを各エリア内需要家に熱と電力を供給するよう中規模コ・ジェネレーション化する。さらに、各DHC間を熱供給導管で繋ぐことにより熱源ネットワーク化し、熱の相互融通を図る。

3地区のDHCからのエリア内需要家に対する電力供給において託送はないものとする。また、3地区のDHCは相互の電力融通は行わないので、個別に電力会社と事故時電力補給契約を結ぶ。

<モデルF> : DHCの統合的ネットワーク化

モデルAで設定した3地区のDHCを電源ネットワークおよび熱源ネットワークで統合し、すべてのエリア内需要家に熱と電力を供給する大規模コ・ジェネレーションとする。大規模なコ・ジェネレーション化および熱と電力の統合的な相互融通によりエネルギー効率のよい地域エネルギー供給センター化を図る。統合されたDHCはエネルギー供給会社として、電力会社の系統からの完全独立は行わず、非常時対応として電力会社と事故時電力補給契約を結ぶ。

表-3 評価対象モデルの概要

| 検討モデル | 熱電供給方式 | エネルギー供給会社 | エリア内需要家 | 供給イメージ |
|-------|-------------------------------------|--|---------|----------------------------|
| A(基準) | 地域熱供給施設 (各施設独立) | 熱供給のみ | 系統から買電 | <p>熱エネルギー: → 電力: →</p> |
| B | 地域熱供給施設 (各施設独立) + 内部コージェネ化 | 自己消費電力のみ発電 不足分は系統から買電 | 系統から買電 | <p>熱エネルギー: → 電力: →</p> |
| C | 地域熱供給施設 + ネットワーク化熱 | 熱供給のみ | 系統から買電 | <p>熱エネルギー: → 電力: →</p> |
| D | 地域熱供給施設 + ネットワーク化熱電 | 自己消費電力のみ発電 不足分は系統から買電 | 系統から買電 | <p>熱エネルギー: → 電力: →</p> |
| E | 地域熱供給施設 + ネットワーク化熱 | 各プラントは系統から 事故時緊急時の DHC間で電力を融通しない | DHCから買電 | <p>熱エネルギー: → 電力: →</p> |
| F | 地域熱供給施設 + ネットワーク化熱電 | 1プラントのみ 事故時緊急時の DHC間で電力を融通する | DHCから買電 | <p>熱エネルギー: → 電力: →</p> |

3.2 評価方法

3.2.1 モデルシステムの機器構成と運転方法

3.1で示したモデルAからFについて、熱供給機器の構成を表-4に、発電機器の構成を表-5に示す。(表-5においてGT:ガスタービン、GE:ガスエンジン、GTCC:ガスタービンコンバインドサイクルを表す。)

エネルギー消費量の評価に際し、各モデルの熱供給機器および発電機の運転方法は以下のように想定した。

モデルA:3地区独立の熱供給(ベースシステム)

冷水供給において、A地区とC地区は蒸気焚き二重効用吸収式冷凍機による運転を優先し、不足時にはターボ冷凍機を運転。B地区は、ターボ冷凍機による夜間蓄熱運転を優先し、不足時に吸収式冷凍機を運転。温水供給は蒸気ボイラにより熱交換器を介して80℃の温水を供給。

モデルB:DHCの内部コ・ジェネレーション化

各地区ごとにDHC内部電力を賄うために1,000kW規模のGTを導入。3地区とも冷水は蒸気焚き二重効用吸収式冷凍機による供給、温水はコ・ジェネレーションシステムの排熱利用を優先し、不足分は蒸気ボイラで賄い、ともに熱交換器を介して80℃の温水を供給。

モデルC:3地区の熱供給のネットワーク化

蒸気焚き二重効用吸収式冷凍機とターボ冷凍機の設備容量を1:1とし、吸収式冷凍機優先で運転し、能力が不足する時にはターボ冷凍機を運転。単体の機器容量はモデルAと同様。

モデルD:モデルCの内部コ・ジェネレーション化

5,000kW規模のGTCCと4,000kW規模のGEを導入。冷水は蒸気焚き二重効用吸収式冷凍機による供給、温水はコ・ジェネレーションシステムの排熱利用を優先し、供給熱量の不足分は蒸気ボイラで賄い、ともに熱交換器を介して80℃の温水を供給。

表-4 熱源機器仕様

| 機種 | 入力 | 出力 | COP |
|-----------------------|----------------------------|----------------------|------|
| ターボ冷凍機 | 2100 kW | 10,551 KW 3000 RT | 5.3 |
| ターボ冷凍機 (蓄熱専用) | 2100 kW | 9,496 KW 2800 RT | 4.9 |
| 1次ポンプ 2次ポンプ 冷却塔 | 290 kW 300 kW 300 kW | | |
| 二重効用 吸収式冷凍機 | 89 kVA 蒸気消費量 112 t/h | 8,791 KW 2800 RT | 1.2 |
| 1次ポンプ 2次ポンプ 冷却塔 | 260 kW 290 kW 300 kW | | |
| 炉筒煙管ボイラ | 90 kW | 54 GJ/h | 0.93 |
| ボイラ補給水ポンプ | 28 kW | | |
| 温水熱交換器ポンプ | 128 kW | | |

モデルE:地区ごとに需要家も含めた熱・電需要に供給
9,000kW規模のGTCCと6,000kW規模のGEを導入。
熱供給はモデルDと同様。

モデルF:3地区ネットワークで全熱電需要に供給
32,000kW級のGTCCと10,000kW級のGTCC×4台
を導入。熱供給はモデルDと同様。

各モデルにおけるコ・ジェネレーション機器は、そのクラスで最も効率が良いトップランナー機器を選定した。

表-5 コ・ジェネレーション機器の構成

| A 3DHC独立(現状:熱供給のみ) 現状機器(表-4参照) | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|----|------|--------|--------|
| B 各DHCの内部コ・ジェネ化 | | | | | |
| 地区 | 発電出力 | 台数 | 機種 | 発電効率 | 総合熱効率 |
| A地区 3700 | 1,080 kW | 4 | GT | 24.9 % | 73.6 % |
| B地区 2800 | 1,080 | 3 | GT | | |
| C地区 3400 | 1,080 | 4 | GT | | |
| C 3DHCのネットワーク化(熱供給のみ) 現状機器(表-4参照) | | | | | |
| D Cの内部コ・ジェネ化 | | | | | |
| 地区 | 発電出力 | 台数 | 機種 | 発電効率 | 総合熱効率 |
| 3地区 9900 | 4,595 kW | 1 | GTCC | 33.4 % | 78.1 % |
| | 3,800 | 1 | GE | 42.5 | 58.7 |
| | 12,755 | 4 | GT | 24.9 | 73.6 |
| E 3DHCのネットワーク化(熱供給のみ)+各地区需要家への電力供給 | | | | | |
| 地区 | 発電出力 | 台数 | 機種 | 発電効率 | 総合熱効率 |
| A地区 33,300 | 9,200 kW | 1 | GTCC | | |
| | 5,750 | 3 | GE | | |
| | 3,800 | 1 | GE | | |
| | 34,610 | 4 | GT | | |
| B地区 15,200 | 9,200 | 1 | GTCC | 33.5 % | 78.2 % |
| | 5,750 | 1 | GE | 42.5 | 58.8 |
| | 3,800 | 1 | GE | 42.5 | 58.7 |
| | 23,110 | 4 | GT | 24.9 | 73.6 |
| C地区 30,000 | 9,200 | 1 | GTCC | | |
| | 5,750 | 3 | GE | | |
| | 3,800 | 1 | GE | | |
| | 33,520 | 3 | GT | | |
| F 3地区全体への熱電供給 | | | | | |
| 地区 | 発電出力 | 台数 | 機種 | 発電効率 | 総合熱効率 |
| 3地区 78,600 | 31,830 kW | 1 | GTCC | 47.0 % | 80.9 % |
| | 9,800 | 4 | GTCC | 33.5 | 78.2 |
| | 81,230 | 2 | GE | 42.5 | 58.8 |

注)表中の斜字体は地区のピーク電力を、その下の数字は発電機の総出力を表す。

3.2.2 冷房用冷凍機の選定

コ・ジェネレーション機器として、ガスタービンコンバインドサイクルを用いることを前提とした場合、熱供給システムを構成する上で議論となるのは、冷房用冷凍機として、①コンバインドサイクルから蒸気を全量(100%)抽気し蒸気二重効用吸収冷凍機を運転する(ただし、コンバインドサイクルからの蒸気は、スチームタービンサイクルから蒸気二重効用吸収冷凍機に必要なボトミングの圧力のもをを抽気し、トッピングの蒸気は発電に用いるシステムとする。)方法と、②コンバインドサイクルから蒸気を抽気せずに発電を行い、蒸気を全量抽気した場合との発電量の差分でターボ冷凍機を運転する方法の、省エネルギー上の優劣である。

この点について、図-8に示すような4MW級ガスタービン2台によるコンバインドサイクルを用いた場合を例として検討を行った。

検討においては、蒸気二重効用吸収冷凍機の運転成績係数を(COP=) 1.35とし、ターボ冷凍機の運転成績係数を(COP=) 6.00とした。

この結果は、表-6に示すとおりであり、100%抽気では0%抽気に比べてスチームタービンの発電出力が大きく減少するが、抽気分の蒸気(0.8MPa)を得ることができる。このときの①と②の場合の冷凍能力は①100%抽気のほうが大きくなることから、今回の高効率ガスタービンコンバインドサイクルを用いたモデルシステムの熱電併給設備の設計においては、冷凍機として蒸気二重効用吸収冷凍機を用いることとした。

3.2.3 エネルギー消費量の計算方法

エネルギー消費量の計算は、以下に示す方法で、エクセルのマクロプログラムを組んで行った。

・GTCC、GEの運転方法：構成機器を大型機から順次定格運転して行き、最小機器で部分負荷運転を行う。GTは抽気100%で運転。

・冷水負荷の処理：GTCCとGEからの回収蒸気(8kg/cm²)で吸収式冷凍機を運転。回収蒸気が不足する場合はボイラで蒸気を製造。回収蒸気が余る場合は温水負荷の処理に回す。

・温水負荷の処理：GTCCとGEからの回収した温水(80℃)を直接供給。冷水負荷の処理で回収蒸気が余る場合は温水負荷で利用。回収蒸気および回収温水が不足する場合はボイラで蒸気を製造。

・機器性能：コ・ジェネレーション設備の性能は、現状で市場に投入されているトップランナーの機種を選定した。主要機器の性能線図を図-8から図-10に示す。吸収式冷凍機、蒸気ボイラなどの熱供給システムの性能は、すべてのモデルでモデルAと同等とした。

・その他：配管損失などの熱損失10%を考慮。

表-6 冷房用冷凍機の検討

4MW級ガスタービン2台によるコンバインドサイクルを用いた場合

| 1. 発電量と蒸気発生量 | | | |
|----------------|-----------------|----------|--------|
| エバインドサイクルの運転方法 | | ① 100%抽気 | ② 0%抽気 |
| ガスタービン出力 | kW | 8,304 | 8,304 |
| スチームタービン出力 | kW | 915 | 3,247 |
| 蒸気発生量 | t/h | 16.6 | 0.0 |
| 燃料使用量 | Nm ³ | 2,383 | 2,383 |

| 2. 冷凍能力の比較 | | | |
|------------|---------|------------|----------|
| GTCCの運転方法 | 発電量(kW) | 冷凍能力(USRt) | 備考 |
| ① 100%抽気 | 9,219 | 4,446 | 吸収冷凍機利用 |
| ② 0%抽気 | 9,219 | 3,979 | ターボ冷凍機利用 |

注)0%抽気時の冷凍能力は、その時の発電量から100%抽気時の発電量を引いた電力でターボ冷凍機を運転したとした。

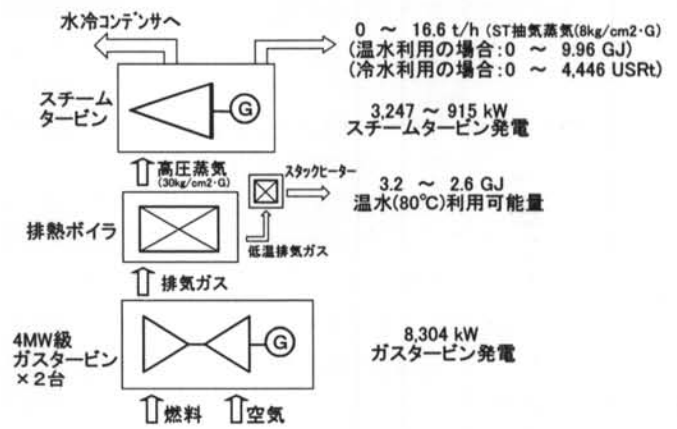


図-8 GTCCの発電量と熱回収量

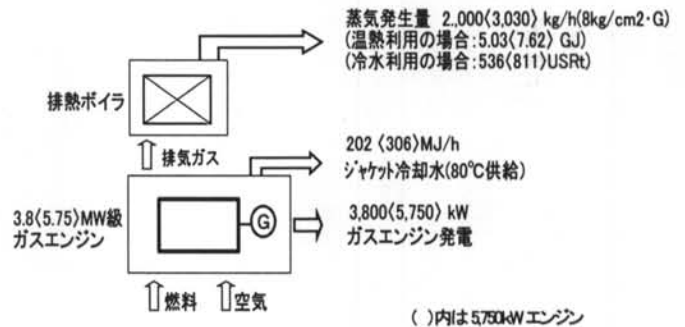


図-9 ガスエンジンの発電量と熱回収量

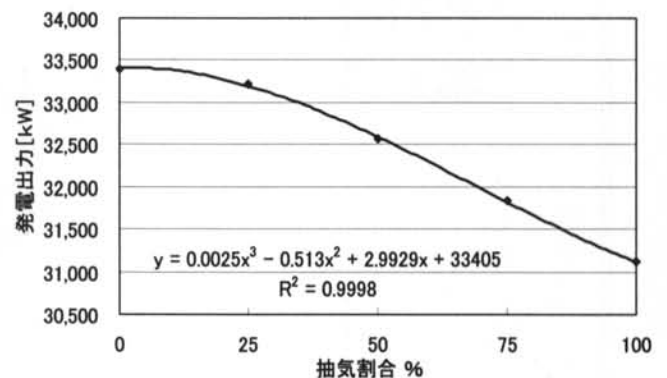


図-10 2.5MW級GTCCの性能線図

3.3 エネルギー消費量の評価

3.3.1 1次エネルギー消費量削減効果

各モデルの1次エネルギー消費量を図-11と表-7に示す。評価の結果、モデルAを基準として、小規模な内部コ・ジェネレーション化を図ったモデルBでは11%の1次エネルギー削減効果があり、熱供給のネットワーク化を図ったモデルCでも8%の省エネルギー効果があり、モデルDでは14%、モデルEで19%、モデルFでは30%もの省エネルギー効果があることが推定された。

このときの、各モデルの発電効率の年間平均値を表-8に示す。発電機が小型であるほど発電効率が低く、発電機の単体規模が1,000kW程度の機種が総発電機容量の50%程度を占めるモデルB、Dでは、年間の平均発電効率が30%を下回っている。これに対して、モデルEでは年間平均発電効率が30%を越え、3万kWクラスの高効率発電機を導入したモデルFでは平均発電効率が40%程度となっている。

このときの、各モデルの排熱回収の状況を表-9に示す。モデルBでは、吸収式冷凍機の蒸気需要(AR需要)に対して、コ・ジェネレーションからの供給(CG供給)が34.0%で、ボイラーからの供給(BO供給)が66%を占めているのに対し、コ・ジェネレーション導入規模が小さいために温水需要に対してはほとんど寄与していない。

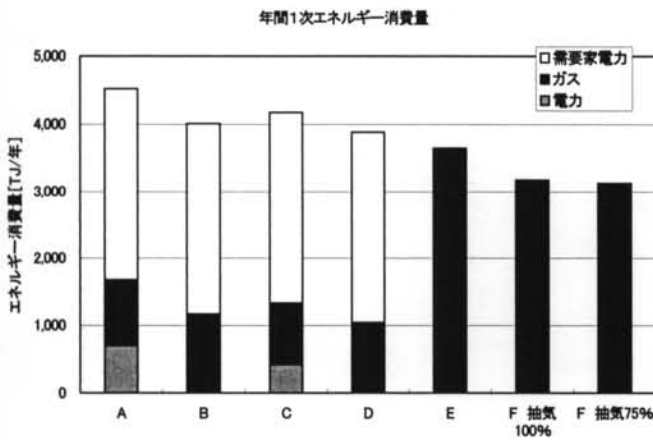


図-11 各モデルの1次エネルギー消費量

表-7 1次エネルギー消費量 (単位: TJ/年)

| モデル | プラント電力 | プラントガス | 需要家電力 | 合計 | 比率 | 省エネ率 |
|----------|--------|--------|-------|-------|-------|------|
| A | 699 | 982 | 2843 | 4524 | 1.000 | 基準 |
| B | 0 | 1,168 | 2,843 | 4,011 | 0.887 | 11% |
| C | 419 | 912 | 2,843 | 4,174 | 0.923 | 8% |
| D | 0 | 1,042 | 2,843 | 3,884 | 0.859 | 14% |
| E | 0 | 3,646 | 0 | 3,646 | 0.806 | 19% |
| F 抽気100% | 0 | 3,182 | 0 | 3,182 | 0.703 | 30% |
| F 抽気75% | 0 | 3,133 | 0 | 3,133 | 0.692 | 31% |

これに対して、モデルDではコ・ジェネレーション設備の導入規模がモデルBと比べて3倍弱となるため回収蒸気や回収温水の寄与率がやや高くなっている。

モデルEでは3地区に独立してコ・ジェネレーション設備(GTOC)が導入されるため排熱蒸気量、排熱水量はともにモデルFより多く、蒸気需要や温水需要の2倍弱となっている。排熱発生と需要の時間的なずれによって利用された蒸気量はその50%以下であるものの、冷房需要の97%、温水需要の87%が排熱によって賄われている。

また、モデルFにおいては、その排熱回収の寄与の傾向はモデルEと同様であるが、抽気100%と抽気75%の場合を比べると、抽気75%の場合の方が排熱量は少なく、排熱利用量もやや減っているものの、蒸気需要の85.5%、温水需要の73%を排熱回収で賄っている。

モデルEやモデルFについては、これらの排熱回収の効果が大幅なエネルギー効率の改善につながっている。

特にモデルFでは、上記の排熱回収量の有効利用と併せて、発電の需要規模が大きくなったため、高発電効率のGTOCの導入が可能となったことが、モデルEに比べても、さらに大幅なエネルギー効率の向上が実現された要因となっている。

表-8 発電効率 (年間平均値)

| モデル | 発電効率 | | |
|----------|-------|-------|-------|
| | A地区 | B地区 | C地区 |
| B | 0.226 | 0.149 | 0.206 |
| D | 0.278 | | |
| E | 0.354 | 0.306 | 0.336 |
| F 抽気100% | 0.394 | | |
| F 抽気75% | 0.411 | | |

表-9 排熱回収の状況

| モデル | B | | D | | E | |
|------|----------|-------|---------|-------|--------|-------|
| | 排熱量 | 利用量 | 排熱量 | 利用量 | 排熱量 | 利用量 |
| AR需要 | 34.1% | 34.0% | 40.3% | 37.1% | 191.6% | 96.8% |
| CG供給 | 66.0% | 66.0% | 62.9% | 62.9% | 3.2% | 3.2% |
| BO供給 | 66.0% | 66.0% | 62.9% | 62.9% | 3.2% | 3.2% |
| 温水需要 | 排熱量 | 利用量 | 排熱量 | 利用量 | 排熱量 | 利用量 |
| CG供給 | 0.3% | 0.3% | 7.4% | 7.3% | 197.7% | 87.2% |
| BO供給 | 99.7% | 99.7% | 92.7% | 92.7% | 12.8% | 12.8% |
| モデル | F 抽気100% | | F 抽気75% | | | |
| AR需要 | 排熱量 | 利用量 | 排熱量 | 利用量 | | |
| CG供給 | 178.2% | 93.9% | 127.8% | 85.5% | | |
| BO供給 | 6.1% | 6.1% | 14.5% | 14.5% | | |
| 温水需要 | 排熱量 | 利用量 | 排熱量 | 利用量 | | |
| CG供給 | 183.1% | 83.6% | 102.4% | 73.1% | | |
| BO供給 | 16.4% | 16.4% | 26.9% | 26.9% | | |

3.3.2 コ・ジェネレーション機器の総合熱効率

表-10には各モデルのコ・ジェネレーション機器の総合熱効率を示す。

各モデルのコ・ジェネレーション機器の総合熱効率は熱回収効率の高いモデルDが72%と高い値を示しているが、他のモデルでは総じて60~65%程度となった。

モデルDでは、導入された発電機の容量が熱供給プラントの電力を賄う分であるため熱需要に対して排熱量が過大にならず、また、3地区がネットワーク化されて熱融通が可能となったため排熱が有効に利用されて熱回収効率が大きくなり、この結果、総合熱効率が大きくなった。

これに対して、モデルBでは熱回収効率は比較的高いものの発電効率が低いため、またモデルEとFでは排熱需要に対して過大な排熱が発生するため熱回収効率が低くなり、モデルDと比べて総合熱効率が低い結果になっている。

表-10 総合熱効率

| モデル | B | D | E | F 抽気100% | F 抽気75% |
|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|
| 発電効率 | 0.209 | 0.278 | 0.341 | 0.394 | 0.411 |
| 熱回収効率 | 0.415 | 0.442 | 0.245 | 0.267 | 0.251 |
| 総合熱効率 | 0.624 | 0.720 | 0.586 | 0.661 | 0.662 |

3.3.3 地域熱供給におけるエネルギー消費量

需要家の電力需要までは賄わない、地域熱供給だけの範囲での1次エネルギー消費量を表-11と図-12に示す。

これより、各DHC単独で内部コ・ジェネレーション化したモデルBの場合でも31%の省エネルギー効果があり、ネットワーク化だけを行ったモデルCでも21%のエネルギー効率の向上が図られ、さらに3DHCで内部コ・ジェネレーション化を統合したモデルDでは38%もの1次エネルギー消費量の削減が達成されている。

この結果から、既に確実な熱需要が存在し、熱供給設備も整っているDHCにとって、コ・ジェネレーション化は、非常に効果のある手段であることが確認された。

表-11 熱供給の範囲内における1次エネルギー消費量

| モデル | 電力 | ガス | 小計 | 比率 | 省エネ率 |
|-----|-----|-------|-------|-------|------|
| A | 699 | 982 | 1,681 | 1.000 | 基準 |
| B | 0 | 1,168 | 1,168 | 0.695 | 31% |
| C | 419 | 912 | 1,331 | 0.791 | 21% |
| D | 0 | 1,042 | 1,042 | 0.619 | 38% |

単位:TJ/年

年間1次エネルギー消費量

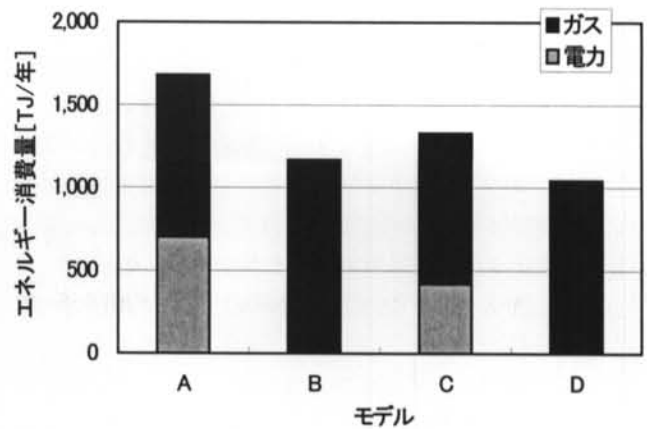


図-12 年間1次エネルギー消費量 (DHCプラント側のみ)

3.3.4 コンバインドサイクルにおける抽気の影響

モデルFについて、コンバインドサイクルにおける抽気の割合がエネルギー消費量に与える影響を解析した結果を図-13に示す。

表-9に示した通り、抽気100%の場合と抽気75%の場合を比較すると、排熱回収量では抽気100%の方が多いにもかかわらず、今回の計算条件では、抽気75%の場合が最も1次エネルギー消費量が少ない結果となった。

これは、モデルFでは抽気率が75%でも100%でも排熱が需要に対して過大に発生しているため、熱回収による省エネルギー貢献度に大差が現れず、発電効率の高さが総合効率に効いているためである。

しかし、エネルギー消費量は抽気率75%を最少として、抽気率を50%から0%へと低下させるにつれて再び増加する結果を示している。

これは、抽気率の減少によって発電効率は増加するが、排熱量が減少するため熱回収量が低下し総合熱効率が低下するためであり、この結果から、コンバインドサイクルの運転では、熱電荷の状況に応じた運転制御を行うことの有効性が示唆される。

抽気率とエネルギー消費量

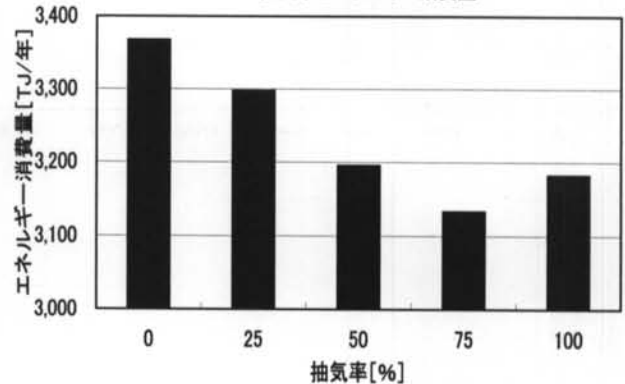


図-13 抽気率とエネルギー消費量 (モデルF)

3.3.5 経済性の評価

モデルBからモデルFについて、モデルAとの比較で単純回収年数を指標とした経済性の評価を行った。

評価に際して、建設コストとしてはモデルAの熱供給設備の構成を基準とし、これに対するコ・ジェネレーション機器増設分と熱供給をネットワーク化する場合の導管建設費を考慮した。なお、送配電設備の建設費は、既存の送配電網が共同溝内に整備されているため、これを利用できるものとして、建設費では考慮していない。

例えば、モデルFでは、モデルAに対して熱供給のネットワーク化を行い、さらに、熱供給先に電力の供給も行う。この結果、モデルFのシステム構成では、モデルAに付加される建設コストとしてコ・ジェネレーション化の費用が発生し、さらに、熱供給ネットワーク化のための熱導管建設コストが発生する。

図-14 にGTCCとGEの出力と建設コストの関係を示す。これは、現状における実勢価格をメーカーからのヒヤリングによって調査したものであり、コ・ジェネレーション設備の標準的な建設コストとして捉えることができる。

また、熱導管をネットワーク化する建設コストは参考文献7)を参考に建設単価を65万円/mとし、モデルシステムの3地区をネットワーク化するための熱導管の建設延長距離は臨海DHCの現状の熱導管の整備状況を参考に3,700mと見積もった。熱導管の建設コストを表-12に示す。

なお、ネットワーク化に伴う共同溝の建設コストは熱導管の建設コストには見込んでいない。

モデルFについて経済性の評価を単純回収年数を指標として行った結果を表-13に示す。

1次エネルギー消費量の差は表-7より約1,400TJで、

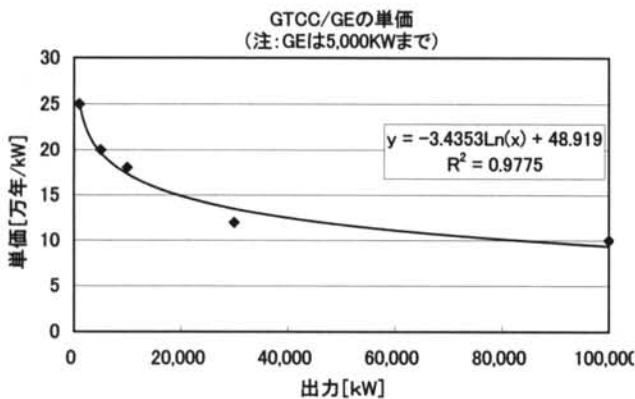


図-14 GTCC、GEの出力と初期コストの関係

表-12 熱導管の建設コスト

| 項目 | 建設費 |
|--------------------|------|
| 熱導管建設費(3地区ネットワーク分) | 24億円 |

燃料は都市ガス(13A)を使用するものとし、燃料単価は大口契約の実勢価格から35~40円/m³とした。

この結果、単純回収年数は11.5年から13.2年となり設備の耐用年数で回収できる程度となった。

表-13 モデルFの経済性の評価(単純回収年数)

| 項目 | 評価値 | 備考 |
|---------------|-------------------------|---------------------------|
| 1次エネルギー消費量の差 | 1,400 TJ | |
| 燃料消費量 | 3,344 万m ³ | LHV:41.6MJ/m ³ |
| 燃料コスト の削減分 | 燃料単価 35円/m ³ | 117,029 万円 11.7 億円 |
| | 40円/m ³ | 133,747 万円 13.4 億円 |
| モデルFの建設費増加分 | 154 億円 | |
| 単純回収年数 | 132 年 | 燃料単価 35円/m ³ |
| | 115 年 | 燃料単価 40円/m ³ |

同様に、モデルBからモデルEについて単純回収年数を評価した結果を図-15に示す。ここにおいて燃料単価Iはガス料金35円/m³、燃料単価IIはガス料金40円/m³の場合を示す。

この結果、単純回収年数はモデルBでは6年から7年、モデルDで8年から9年程度となり、モデルBとモデルCの関係を除いて、建設投資の少ないモデルが単純回収年数が短くなる結果となった。モデルBではコ・ジェネレーション設備に対する投資が30億円に対し、モデルCでは熱供給のネットワーク化に対する建設費が24億円となるが、省エネルギー効果がモデルCのほうが小さいため、単純回収年数は大きくなっている。

また、モデルEでは3つの地区が独立で発電設備を設置するためコ・ジェネレーション設備の総容量が最大になり、このため初期投資が高くなり、単純回収年数は16年から18年となった。この結果より、電力供給においても3つの地区のネットワーク化を進めるメリットがあることが確認された。

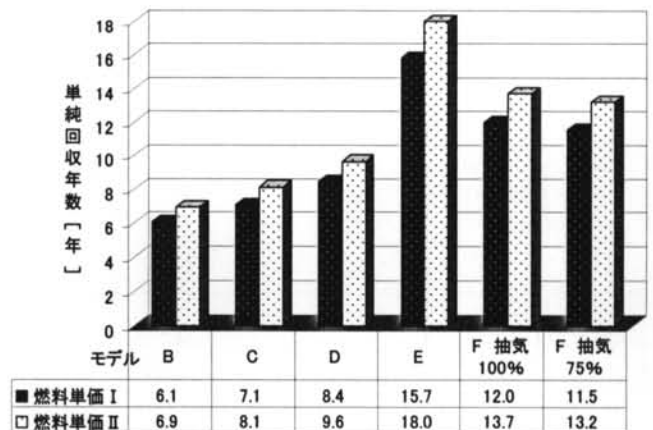


図-15 各モデルの単純回収年数

§ 4. 結論

4.1 システム評価のまとめ

今回のケーススタディの結果から、都市のエネルギー効率向上対策として、地域熱供給施設をコ・ジェネレーション化することは非常に有効であり、現状の地域熱供給システム（モデルA）と比べて、モデルBのように比較的小規模なコ・ジェネレーションシステムを自家発的に導入した場合でも、10%程度の1次エネルギー消費量削減効果が得られ、地域熱供給システムを大規模コ・ジェネレーション化し、さらに、熱と電力の供給とネットワーク化したシステムでは30%程度（モデルF）の1次エネルギー消費量削減効果を得られる可能性が確認された。

しかし、同時に、小型の発電機は発電効率が低く、コ・ジェネレーションシステム（CGS）として大幅なエネルギー効率の向上を狙う場合は、単機で数千～数万kW程度の高効率発電機が導入できる規模の電力負荷が必要となること、すなわち、都市のエネルギー効率向上対策としては、ある程度まとまった大きさの負荷の単位で、エネルギー供給を行うことが必要であることが示唆された。

また、ケーススタディの結果から、エネルギー消費量削減にはCGSからの排熱回収が大きく寄与しており、既存の地域熱供給システムをネットワーク化して排熱の融通を行い、CGSからの排熱を有効に利用することの重要性が再認識された。

一方、モデルEやモデルFなど、大規模な熱電併給を導入したモデルではCGSからの排熱が過剰になっていることが確認された。これらのモデルでは、需要家が既存の系統から電力の供給を受けるモデルと比べて、1次エネルギー消費量は大幅に削減されているが、モデルで導入されたCGSの総合熱効率は65%程度に留まっている。

しかし、実際のエネルギー需要において、温熱の需要を大幅に増加させることは現実的には困難であることから、CGSの総合熱効率を向上させるためには、現状の発電効率を一層向上させることが望まれる。

一方、経済性の評価では、大規模なCGS導入を図って大幅な1次エネルギー消費量の削減を達成したモデルより、小規模な投資で適度な省エネルギー効果を有するモデルの単純回収年数が短くなる結果となった。この結

果は、省エネルギーによって燃料消費量を削減したコスト利得よりも、これを得るためにCGSを建設するコストの方が大きいことを示唆しており、大規模なCGSの導入は、エネルギー消費量の削減という点で社会的には意味があるが、経済的には事業としての成立が比較的容易ではない状況にあることが理解される。

4.2 今後の課題

本調査研究の結果から導出された課題を以下に示す。

(1) 技術的課題

- ・コ・ジェネレーションシステムの発電効率の更なる向上
- ・既存市街地におけるエネルギーネットワーク形成のためのインフラ建設技術の開発
- ・電気と熱の効率的な供給システムの構築技術の開発
- ・異なる種類や規模の機器の組み合わせを最適化する技術の開発
- ・地域エネルギーマネジメントシステム(DEMS)の開発

(2) コスト的課題

- ・設備機器・システムの初期コストの低減
- ・熱供給ネットワーク建設コストの低減

(3) 都市計画的な課題

- ・広域熱供給ネットワークの都市インフラとしての計画的な整備
- ・既存送配電網の有効利用のための設備所有者との調整
- ・都市のエネルギー効率向上や省エネルギーをコンセプトとした新たな都市計画の策定と総合的な施策の展開

謝辞

本報告は、(財)エンジン振興協会から受託して平成13、14年度に実施した「都市のエネルギー効率の向上に関する基本構造課題と解決に関する研究」(委員長：東京大学・山地教授)の内容を基に、システム評価の部分をもとめたものである。本評価作業に当たってモデルシステムの設定、機器性能や機器コストなどのデータの収集などにご協力いただいた作業部会メンバー、(独)産業技術総合研究所・角口勝彦氏、(財)電力中央研究所・山本公夫氏、(株)荏原製作所・今野忠氏、(株)JFE・杉山正行氏、(株)日建設計・林一宏氏、清水建設(株)・樋口義弘氏には、記して感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 東京都環境局, 東京エネルギービジョン, 平成11年3月
- 2) 東京都環境局, 都におけるエネルギー需給構造調査, 平成13年2月
- 3) (財)省エネルギーセンター, 省エネルギー技術動向調査委員会, 省エネルギー技術動向調査, 平成12年3月
- 4) 東京臨海熱供給株, 東京臨海副都心地域冷暖房パンフレット, 平成12年4月
- 5) 社団法人熱供給事業協会, 熱供給事業便覧平成13年版, 平成13年12月
- 6) (社)空調和衛生工学会, 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6月
- 7) (社)日本地域冷暖房協会, 都市熱源ネットワーク整備費用縮減方策検討調査報告書, 平成12年3月

