

芝浦工業大学  
博士学位論文

建物の省エネルギー化等における  
既存地域熱供給システムの活用に関する研究

2019年3月

田中翔大



# 目次

## **第1章 序論**

1.1 本研究の背景 .....	1
1.1.1 地球温暖化対策のエネルギーの面的利用の位置づけ .....	1
1.1.2 都市づくりにおけるエネルギーの面的利用の位置づけ .....	1
1.1.3 日本の地域熱供給の現状 .....	3
1.1.4 既存地域熱供給の活用 .....	7
1.2 本研究の目的 .....	8
1.3 関連の既往研究 .....	8
1.3.1 建物のエネルギー消費量実態 .....	8
1.3.2 地域熱供給システムのエネルギー効率の評価 .....	10
1.3.3 地域熱供給システムにおけるコージェネレーションシステムの導入効果の検証 .....	10
1.4 本論文の構成 .....	13

## **第2章 既存地域熱供給システムの東京特別区内の建物の省エネルギーに対する影響分析**

2.1 研究概要 .....	17
2.2 東京特別区内の建物における既存地域熱供給システムの需要家建物の割合 .....	17
2.2.1 使用データ概要 .....	17
2.2.2 分析方法 .....	19
2.2.3 分析結果 .....	22
2.3 東京都区別区における既存地域熱供給システムのCO <sub>2</sub> 排出量及び効率の推移 .....	23
2.3.1 分析概要及び方法 .....	23
2.3.2 販売熱量と供給面積の推移の分析結果 .....	26
2.3.3 CO <sub>2</sub> 排出量と単位面積当たりの販売熱量の推移の分析結果 .....	27
2.3.4 エネルギーシステム効率とその評価の推移の分析結果 .....	28
2.4 結論 .....	31

## **第3章 既存地域熱供給システム需要家の熱負荷・電力負荷の調査分析**

3.1 研究概要 .....	33
3.2 負荷原単位の概要 .....	33
3.2.1 既存負荷原単位の概要 .....	33
3.2.2 負荷原単位の利用方法 .....	34
3.3 調査分析概要 .....	35
3.3.1 調査概要 .....	35
3.3.2 分析概要 .....	36
3.4 調査結果 .....	39
3.4.1 年間負荷原単位の調査結果 .....	39

3.4.2	月別負荷比率の調査結果 .....	44
3.4.3	時刻別負荷比率の調査結果 .....	49
3.4.4	年間の負荷推移の分析 .....	63
3.5	結論 .....	68

#### **第4章 既存地域熱供給システム需要家の震災前後の熱負荷・電力負荷の変化の分析**

4.1	研究概要 .....	69
4.2	分析建物概要 .....	69
4.3	年間、月別熱負荷・電力負荷の変化 .....	70
4.4	熱負荷原単位の変化率からみた検討 .....	74
4.4.1	年間熱負荷原単位の変化率による分析 .....	74
4.4.2	月別熱負荷の変化率による分析 .....	75
4.5	ピーク熱負荷・電力負荷の変化 .....	76
4.5.1	ピーク日選定方法 .....	76
4.5.2	分析結果比較・考察 .....	77
4.5.3	ピーク熱負荷の変化率による分析 .....	80
4.5.4	年間熱負荷原単位とピーク熱負荷原単位の変化率による分析 .....	81
4.6	気温影響を考慮したピーク熱負荷・電力負荷の変化 .....	82
4.6.1	震災前後の外気温の比較 .....	82
4.6.2	分析方法 .....	83
4.6.3	分析結果比較・考察 .....	84
4.6.4	気温影響を考慮した場合のピーク熱負荷の変化率 .....	86
4.7	震災前後の負荷の変化がエネルギーシステムに与える影響 .....	87
4.7.1	熱負荷の負荷率の出現頻度による分析・考察 .....	87
4.7.2	電力負荷に対する熱負荷の比率・温熱比率の変化による分析・考察 .....	90
4.8	結論 .....	94

#### **第5章 熱負荷・電力負荷の変化が空調設備設計に与える影響の分析**

5.1	研究概要 .....	95
5.2	シミュレーションによる熱源機器の台数分割の影響分析 .....	95
5.2.1	シミュレーション概要 .....	95
5.2.2	熱源システムモデルの概要 .....	96
5.2.3	シミュレーション結果 .....	101
5.3	シミュレーションによるコージェネレーションシステム導入の影響分析 .....	104
5.3.1	シミュレーション概要 .....	104
5.3.2	検討システムモデルの概要 .....	104
5.3.3	比較熱源システムの設定 .....	111
5.3.4	シミュレーション結果比較 .....	115

5.4 結論 .....	124
--------------	-----

## **第 6 章 既存地域熱供給システムのリニューアル傾向の調査分析**

6.1 研究概要 .....	125
6.2 既存地域熱供給システムにおける熱源機器のリニューアル内容の調査 .....	125
6.2.1 調査概要及び方法 .....	125
6.2.2 熱源機器のリニューアル内容の実態 .....	126
6.3 熱源機器のリニューアル内容の傾向分析 .....	131
6.3.1 システム効率が向上した地区のリニューアル内容 .....	131
6.3.2 エネルギー効率向上の要因分析 .....	153
6.4 結論 .....	155

## **第 7 章 既存地域熱供給システムのコージェネレーション設置利用形態とリニューアル内容の調査分析**

7.1 研究概要 .....	157
7.2 コージェネレーションシステム設置利用形態の考え方 .....	157
7.2.1 コージェネレーションシステム設置利用形態のタイプ分類の考え方 .....	157
7.2.2 分類結果 .....	160
7.2.3 コージェネレーションシステム設置利用形態の受電形態の整理 .....	160
7.2.4 受電形態の整理結果 .....	162
7.3 コージェネレーションシステム設置利用形態の調査 .....	165
7.3.1 調査概要 .....	165
7.3.2 調査結果 .....	166
7.4 コージェネレーションシステムのリニューアル内容とその効果の調査分析 .....	167
7.4.1 調査概要 .....	167
7.4.2 調査結果 .....	168
7.4.3 改修効果分析 .....	176
7.5 結論 .....	179

## **第 8 章 ターミナル周辺地区におけるコージェネレーションシステムと既存地域熱供給システム連携効果のモデルスタディ**

8.1 研究概要 .....	181
8.2 コージェネレーションシステムと既存地域熱供給システムとの連携システムの提案 .....	181
8.2.1 地域熱供給システムの集積度合いの把握 .....	181
8.2.2 コージェネレーションシステムと既存地域熱供給システムの連携システムの概要 .....	183
8.2.3 対象地域におけるエリア防災用地理情報データベースの構築 .....	184
8.2.4 連携システムの計画方法 .....	184
8.3 T 駅周辺地区におけるコージェネレーションシステムと既存地域熱供給システムの	

連携システムのモデルスタディ .....	185
8.3.1 モデルスタディの概要 .....	185
8.3.2 既存地域熱供給システムのシミュレーション .....	187
8.3.3 連携システムのシミュレーション .....	191
8.4 連携システムによるターミナル周辺地区の災害時電源確保程度の分析 .....	196
8.4.1 連携システムによる災害時電源確保程度の評価指標 .....	196
8.4.2 既存非常用発電機の稼動可能時間の調査 .....	197
8.4.3 導入コージェネレーションシステムによる災害時電源確保程度の分析 .....	200
8.5 結論 .....	201

## **第9章 総括**

9.1 総括結論 .....	203
9.2 今後の展望 .....	206

## **謝辞**

## **履歴書・研究業績**

# 第 1 章 序章



## 第1章 序論

### 1.1 本研究の背景

#### 1.1.1 地球温暖化対策のエネルギーの面的利用の位置づけ

2015年12月に、パリで開かれた第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において日本は、2030年までに2013年比で温室効果ガス排出量を26%削減する目標が義務付けられた。この目標達成のためには特に、家庭・業務部門において40%の排出量削減<sup>1-1)</sup>が必要である。

様々な活動が展開され、エネルギーが高密度に消費されている都市では、大量の二酸化炭素が排出されている。1970年代までの高度経済成長期には、国内総生産（GDP）よりも高い伸び率で増加したが、1970年代の二度にわたるオイルショックを契機に産業部門において省エネルギー化が進むとともに、省エネルギー型製品の開発も盛んに行われた。我が国における総二酸化炭素排出量の内、家庭部門及びオフィスや商業等の業務部門における排出量は全体の約36%<sup>1-2)</sup>を占めている。特に事務所施設ではエネルギー消費量の約30%を熱源システムが占めており、熱源システムのエネルギー効率の向上等、今後更なる省エネルギー対策が必要であると考えられる。

また、二酸化炭素の排出量と都市構造の在り方は密接に関係している。例えば、都市機能の拡散は、自家用車利用を促進させ移動距離の増加に比例して二酸化炭素排出量が増加し、環境負荷の増加が懸念されている。これまで、都市中心部への人口集中に対処するため、都市郊外への住宅供給が進められてきた。その結果生じた都市の空洞化が交通問題をはじめとして、環境負荷の大きな都市構造を作り出している。

近年、環境負荷の小さな都市構造への転換が求められているのは、その対処のひとつである。また、緑地の減少、人工排熱の増大、市街地の高密度化、風通しや水循環の悪化等により、ヒートアイランド化が進み都市部の温度の上昇が懸念されるとともに、コンピューター等の内部発熱の増加による冷房使用の長時間化や冬季においても冷房需要が存在するといった状況も増加し、エネルギー消費量増大の原因となっている。

都市における省エネルギー・省CO<sub>2</sub>を進める上では、建物個々の取り組みも重要である。これに加えて、その前提となる都市のエネルギー供給システムのあり方についても検討を加える必要がある。例えば、当該地域のエネルギーの需要や、未利用エネルギー、再生可能エネルギーの賦存状況に応じて、地域のエネルギー負荷を集約し、エネルギー効率が高くなるように地域熱供給システムの導入を図り、建物間のエネルギー融通を図る等、エネルギーを面的に利用しエネルギー効率の高い都市形成を進めていくことが重要である。

#### 1.1.2 都市づくりにおけるエネルギーの面的利用の位置づけ

東京都は、2040年代の目指すべき東京の都市像とその実現に向けた、都市づくりの基本的な方針と具体的な方策をまとめた「都市づくりグランドデザイン」を定めている。これは、都市づくりの7つの戦略を定めたものであり、その内の一つの柱である「災害リスクと環境問題に立ち向かう都市の構築」では、図1.1.1に示すように、エネルギーを高密度で消費する拠点の開発とともに、エネルギーの面的利用を誘導し、都市全体のエネルギー負荷の減少を目指している。また、自立分散型の発電設備の整備を促進し、エネルギーの面的利用との連係により災害時のエネルギー自立化・多重化の促進も目指している。

加えて、都市づくりの政策として「新しい都市づくりのための都市開発諸制度活用方針」を定めており、その中で都市の環境負荷の低減に寄与する取組として地域熱供給システム等の導入によるエネルギーの面的利用の推進を掲げている。

エネルギー面的利用には、利用する施設・建物・地域の特性により多様なものがあり、表1.1.1に示すように熱供給事業型、集中プラント型、建物間エネルギー融通型の3つに大別され、熱供給事業型と集中プラント型の2つは地域熱供給型（DHC）と呼ばれる。本研究では熱供給事業として事例や統計資料等が整理されている地域熱供給事業型の地域熱供給の省エネルギー・CO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルに着目する。

**第5章**

**02**

**戦略03 STRATEGY**

**政策方針 15 POLICY**

### 都市全体でエネルギー負荷を減らす

高度に都市機能が集積した都市部においてCO<sub>2</sub>排出やエネルギー消費を最大限減らすとともに、最先端の技術を生かした再生可能エネルギー等も活用し、エネルギーの自立性を向上させながら、ゼロエミッション東京の実現を目指します。

**取組1 INITIATIVE**

**開発の機会を捉えて、低炭素化、エネルギー利用の高効率化を進める**

環境に優しい建物が普及している

- エネルギー性能評価に重点を置き、「東京都建築物環境計画制度」にゼロエネルギービル（ZEB）等、ゼロエミッションの考え方を取り入れ、活用することなどにより、省エネルギービルの普及を促進します。
- 環境性能の高い建物が不動産市場で評価されるよう、ラベリング制度\*の充実強化を図ります。
- 家庭でのエネルギー利用の高度化を推進するため、家庭用燃料電池や太陽光発電、エコハウスなどの普及とともに、IoTやAIなどの先端技術を活用していきます。

エネルギーの面的利用が地区単位で進んでいる

- エネルギーを高密度で消費する拠点等での開発の機会を捉え、エネルギーを街区・地区単位で融通するエネルギーの面的利用を誘導します。
- 需要パターン異なる建物用途間でエネルギー融通を行い、エネルギー利用を効率化するため、多様な用途の複合化の誘導等により、環境負荷低減と活力にぎわいの創出を両立できる開発を促進します。
- 拠点形成に際し、自立分散型の発電施設の立地を促進するとともに、再生可能エネルギーを積極的に導入しながらエネルギーの安定的な供給と事業継続性の確保を図ります。

**エネルギーの面的利用のイメージ**

**第5章**

**02**

**戦略03 STRATEGY**

**政策方針 13 POLICY**

### 災害時にも都市活動と都民の生活を継続し速やかな復興につなげる

平時から大規模な災害の発生を想定し、時代を先取りした復興に関する計画や仕組みを持つことで、発災後には東京を更に強靱化します。

**取組1 INITIATIVE**

**復興の目標を明確にし、平時の都市づくりに生かす**

平時から復興を意識した都市づくりが進み、地域の価値も向上している

- 都市復興のモデルとなる防災拠点などの整備を誘導します。
- 災害時における水上輸送の拠点となる防災船舶着場の整備・管理を推進します。
- 想定外の災害時における活用や将来の更新プロセスを考慮し、計画的なオープンスペースの創出を図るとともに、平時はコミュニティスペースに利用するなど、多目的な利用が可能な土地利用を誘導します。
- 災害時の備えとして、防火水槽や消火性の整備に加え、水蓄熱槽や雨水の利用など、多様な消防水利を確保することで、まちの消火機能を強化します。
- 水道施設のバックアップ機能の強化や下水道施設の耐震対策の推進により、災害時にもライフラインを確保します。

水辺も活用した防災強靱帯の形成イメージ

様々な拠点で災害時でも都市活動が続いている

- 拠点形成に併せ、自立分散型の発電施設やコージェネレーションシステム\*の導入を促進するとともに、ネットワーク化によるエネルギーの相互融通を可能にし、地域全体でのエネルギーの面的利用による自立化・多様化を促進します。
- 都市開発諸制度や都市再生特別地区を活用する開発等において、備蓄倉庫や非常用発電機設備の整備を促進するとともに、帰宅困難者の安全確保を図ります。
- 乗降客の多い駅周辺において、国や区市、民間事業者などと連携し、帰宅困難者等の安全確保に向けた計画の作成を進め、避難に関するルールの作成や防災備蓄倉庫の設置などを誘導します。
- 災害時における人員・物資の緊急輸送の中継や集積拠点としての機能確保等の観点から、広域的な防災拠点へのアクセス向上を図ります（例：立川広域防災拠地、東京臨海広域防災公園）。

復興時の都市づくりの方針が示されている

- 復興時の都市づくりの基本的な方針を都の広域的な計画として示し、都民とあらかじめ共有します。
- 地域単位の復興まちづくりの方針については、区市町村の都市計画マスタープランへの位置付けを促進します。

図1.1.1 都市づくりグランドデザイン抜粋 出典) 都市づくりグランドデザイン：  
[http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/keikaku\\_chousa\\_singikai/grand\\_design.html](http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/keikaku_chousa_singikai/grand_design.html)

表 1.1.1 地域熱供給（エネルギーの面的利用）の類型<sup>1-4)</sup>

分類	地域熱供給事業型	地点熱供給事業型 (集中プラント型)	建物間熱融通型
概要	通常「地域熱供給」あるいは「地域熱供給」と称され、加熱能力 21[GJ/h]以上で、一般の需要に応ずる場合に熱供給事業法の適用対象となるシステム。供給地域間で熱融通する場合もある。	集中熱発生施設による熱供給システムであるが、加熱能力 21[GJ/h]未満の小さいものであったり、同一敷地内で特定の需要家に供給するもの	近隣の建物相互間で熱を融通したり、熱源設備を共同利用するもの
規模	大 加熱能力が 21[GJ/h] (5.83MW) 以上	中～小	小
契約等	熱供給事業法の改正により、許可制から登録制へ移行し、供給義務の代わりに供給能力の確保義務が課された。(供給条件は熱供給契約に基づく)	供給者・需要家間の契約に基づく供給義務(供給条件は契約に基づく)	建物所有者同士の相互契約に基づく供給義務(供給条件は相互契約に基づく)

### 1.1.3 日本の地域熱供給の現状

1972年以降のわが国の地域熱供給の変遷を概観すると、創世期、成長期、普及期、低迷期、再生期の大きく5期に区分される<sup>1-5)</sup>。その概観を表1.1.2に示す。

#### (1) 創成期（1970年代）

都市開発が進展する中で、都市の大気汚染防止対策やビル管理の省力化、機械室の省スペース化などの効果が期待され、全国的に次々と導入された。そして、1970年には「東京都公害防止条例」において地域熱供給計画地区指定が規定化され、1972年には、第三の公益事業として「熱供給事業法」が制定されるなど、その後の普及の契機となった。代表例には、札幌市都心地区、新宿新都心地区、千里中央地区などがある。

しかし、1973年頃からの第一次石油ショックの影響により、石油価格の高騰、都市開発の停滞などから、1970年代後半は低迷した。

#### (2) 成長期（1980年代）

1980年代前半は、1970年代後半に引き続き低迷を続ける。しかし、石油ショックの経験を踏まえ、省エネルギー化や省コスト化などの改善努力とともに、都市開発の活発化やガス会社や電力会社等の積極的な取り組みなどから、特に1980年代後半には首都圏を中心に導入が大きく進展した。前半には、清掃工場排熱利用システムの光が丘団地地区や品川八潮団地地区、ヒートポンプ+氷蓄熱システムの銀座二・三丁目地区、コージェネレーションシステムの芝浦地区など、新しい技術が導入されている。そして後半には、変電所排熱利用の新川地区、河川水利用の箱崎地区、工場排熱利用の日立駅前地区などの未利用エネルギー活用システムが導入されている。

#### (3) 普及期（1990年代）

1990年代に入ると、1980年代を大きく上回る勢いで、首都圏のみならず、中部地区、近畿地区、九州地区など全国的に導入が大きく進展した。1990年代だけで77地区が導入され、累計で136地区に至り、本年代だけでその57%を占めている。その背景には、都市開発の活発化や行政の積極的な支援などがある。

都市開発の事例では、恵比寿地区や立川曙町等の市街地開発事業、千葉ニュータウン地区や港北

ニュータウン地区等の土地区画整理事業、六甲アイランドセンターや東京臨海副都心地区等のウォーターフロント開発などがある。

行政の動きでは、東京都では、1991年および1994年に「地域熱供給推進に関する指導要綱」を大幅改訂し、「環境保全型地域熱供給推進指導基準」を創設した。これにより、未利用エネルギーの活用、省スペース、アメニティなどの新たな方向づけが行われた。そして、名古屋市、大阪府や横浜市でも要綱や推進指針が制定された。

未利用エネルギーの活用では、下水処理水利用の幕張新都心ハイテクビジネスパーク地区や生下水利用の後楽一丁目地区、海水利用の大阪南港コスモタウン地区やシーサイドももち地区、河川水利用の富山駅北地区などがある。

また、供給開始後20年程度を迎える1990年代に導入された地区は全国の半分強にあたる。そのため今後、熱源システムのリニューアルを迎える地区が多いことが考えられる。1990年に千里中央地区、1993年に新宿新都心地区で高効率システムを導入した設備更新が行われている。

#### (4)低迷期（2000年代）

1990年代は飛躍的に導入が進んだが、後半には日本経済のバブル崩壊による景気低迷や地価下落等の影響により、都市開発が停滞し、地域熱供給の導入は激減した。また、高効率なパッケージ空調機の開発普及もあり、地域熱供給にとっては厳しい時代を迎えた。前半には、晴海アイランド地区や六本木ヒルズ地区などを始め全国14地区で導入されるが、後半は5地区のみである。また、7地区が事業廃止あるいは熱供給事業法適用外となった。

一方、世界的に地球温暖化が問題になる中で、2002年に京都議定書が批准され、「地球温暖化対策推進大綱」が制定された。そして、2008年には、「低炭素型都市・地域構造や社会システムの形成」「集約型・低炭素型都市構造の実現」などが位置づけられた。そして、低炭素都市づくりの核として、エネルギーの面的利用システムや未利用エネルギー活用システムとしての地域熱供給が大きく期待されるようになった。そして、2つのプラント間で連携する名駅東地区、熱源水・冷却水に河川水を全面活用する中之島二・三丁目地区など、新しいタイプとして期待されるものが導入された。

#### (5)再生期（2010年代）

2000年代は地域熱供給の導入にとっては低迷期であったが、2010年代に入ると、2011年の東日本大震災を契機に地域熱供給の普及促進につながる動きが始まった。大震災後の計画停電や電力使用制限など、エネルギー政策において電力需給逼迫が大きな課題となる中で、特定電気事業地区でもある六本木ヒルズ地区のコージェネレーションシステム（CGS：Cogeneration System）を用いた自立分散型エネルギー供給システムが注目された。そして、平常時のエネルギー効率向上による省エネルギー・省CO<sub>2</sub>のみならず、災害時に地区の機能維持：BCD（Business Continuity District）が重要視されるなど、熱供給のみならず電力供給も行うスマートコミュニティなどが注目されるようになった。その事例としては、田町駅東口北地区や豊洲埠頭地区がある。また、未利用エネルギー利用のみならず再生可能エネルギー利用が求められる中で、地中熱を活用する東京スカイツリー地区が整備されている。



b) システムタイプごとの地域熱供給システムの変遷

	1970-1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-
	創成期	成長期	普及期	低迷期	再生期				
廃棄物エネルギー用システム	74:札幌市都心 74:札幌市厚別 71:札幌市真駒内	76:大坂市森之宮	83:岩手県花巻市 83:品川入瀬団地		93:千葉ニュータウン都心	95:東京臨海副都心			
温度差エネルギー活用システム				89:箱崎	90:森根新都心がけビニル 93:千葉同慶町 93:高崎市番町 93:シブヤクももち 94:後楽一丁目 94:大坂南港3577	96:富山駅北 96:大宮線一丁目 97:高松市番町 97:盛岡駅西口 98:下川陣内朝陽	01:羽村一丁目 04:中部国際空港島	05:中之島二・三丁目	'12:ささしまライブ24 '12:茨城2777 '14:田町駅東口北
排熱エネルギー活用システム				88:新川 89:日立駅前	91:宇都宮市中央 94:和歌山がけビニル	95:新宿南口西 96:りんくうがけ 97:盛岡駅西口 97:西鉄福岡駅再開発	02:西郷		'16:豊洲埠頭
コージェネレーションシステム※	70:千里中央 71:札幌市都心 71:新橋新都心 73:丸の内二丁目		80:赤坂 83:芝浦 84:西新橋	86:赤坂・六本木7-9ビル 88:千代 89:西新橋一丁目 89:新橋(カサガキ)ビル 89:紀尾井町	90:名古屋三丁目 90:赤坂 90:神戶7-17ビル 91:大甲7ビル 92:明石町 92:佐世保がけビニル 94:恵比寿 94:大坂南港3577	95:港北ニュータウン 96:芝浦線一丁目 96:新橋線一丁目 98:小樽がけビニル 98:横浜駅西口 98:浦田五丁目東 98:JR奈良駅周辺 98:名駅南 98:諏訪市衣ヶ崎周辺 99:JR東海名古屋駅周辺 99:三宮駅前	00:山形駅西口 00:渋谷道玄坂 00:さいたま新都心西 01:大坂此花臨海 02:東品川四丁目 02:汐留北 03:品川駅東口 03:六本木7ビル 04:中部国際空港島	05:豊洲三丁目 05:名古屋三丁目北 05:東横 06:名駅東	'12:ささしまライブ24 '14:田町駅東口北 '16:豊洲埠頭
一般システム	71:東北東ヶ丘 72:宮小牧市日新団地 74:宮小牧中心街南	75:札幌市光星 76:宮小牧市西部 76:大手町 78:渡辺通再開発 78:東池袋 79:芦屋浜高層住宅	80:内幸町 82:東銀座 82:多摩センター 83:京浜研究学園都市 84:丸の内一丁目	85:西池袋 87:霞ヶ関三丁目 87:芝浦四丁目 87:銀座五・六丁目 87:日比谷 88:神田駿河台 89:八重洲・日本橋 89:MM21中央 89:かながわがけビニル 89:札幌駅北口再開発 89:名古屋茶屋四丁目 89:北九州由里・岸の浦	90:横浜ビブレがけ 90:青葉町 90:小牧駅西 91:北青山二丁目 91:南大井六丁目 91:天王洲 91:竹芝 91:虎ノ門四丁目城山 91:銀座四丁目 91:大坂西船場 91:府中目黒町 92:八王子南大沢 92:大坂本庄東 92:中之島六丁目西 93:千代田駅前 93:新橋駅前 93:有明四丁目 93:横須賀老人駅前 94:赤坂五丁目 94:立川駅前 94:西新橋六丁目西部 94:浜松がけビニル駅前 94:関西国際空港島内 94:神戸がけビニルの子	95:赤坂 95:東横 96:東京国際ビル 96:新橋南口東 97:広尾一丁目 97:新永町駅前北口 98:本駒込二丁目 98:品川東口南 98:神戸東部新都心 99:大崎一丁目	00:永田町二丁目 01:晴海7ビル 01:広島市総領事館		
社会動向	70:日本万国博覧会(大阪) 72:熱供給事業法制定 73:第一次石油ショック	75:沖繩海洋博 79:省エネルギー法制定 78:第二次石油ショック	80:石油代替法制定 80:50%削減 80:50%削減	85:筑波科学博 86:50%削減 87:国鉄民営化	90:横浜ビブレ 92:ビブレ 91:7/7閉業	95:阪神・淡路大震災 97:京都会議COOP3 95:第一次電気事業法改定 99:第二次電気事業法改定	02:都市再生特別措置法 05:COOP3目標達成計画 08:瀬戸湖がけ	05:愛知万博 05:COOP3目標達成計画 08:瀬戸湖がけ	05:愛知万博 13:第5次電気事業法改定 13:国鉄民営化 14:第四次IT化 - 基本計画 16:電力小売全面自由化

※: 地区名の前に記されている西暦は熱供給開始年であるが、熱供給開始年後にコージェネレーションが導入されている地区もある。

## 1.1.4 既存地域熱供給の活用

図 1.1.2 に 1972 年から 2014 年までの地域熱供給システムの地区数の推移を示す。地域熱供給システムは 1970 年代から整備され現在では 131 地区<sup>1-6)</sup>が稼動している (2018 年 12 月末)。そして、現在の地区数の約 45%にあたる数の地域熱供給システムは、普及期 (1990 年代) に整備されている。現在これらの地区では、熱供給開始から 20 年以上経過しており、多くの熱源システムが改修時期を迎えていると考えられる。

さらに、低迷期 (2000 年代) では、地区数・事業者数が減少しており、再生期を迎えている現在でも、地区数の増加傾向は見られない。そのため、都市内の建物の省エネ・省 CO<sub>2</sub> 化や災害時のエネルギー自立化に向けて、新たな地域熱供給システムの整備だけでなく、既存地域熱供給システムの活用も重要であると考えられる。

既存地域熱供給システムの活用方策は、熱源設備のリニューアルによるエネルギーシステム効率の向上、CGS との連携による災害時の事業継続化や需要家建物への電力供給だけでなく、既存システムでリニューアルを行った事例を基礎資料としてまとめ、熱源システムの改修計画の参考資料として用いること等が考えられる。また、新たに導入する地域熱供給システムに対する既存システムの活用方策として、既存地域熱供給システムの時刻別の販売熱量データを熱源システム計画の参考資料として用いることも考えられる。

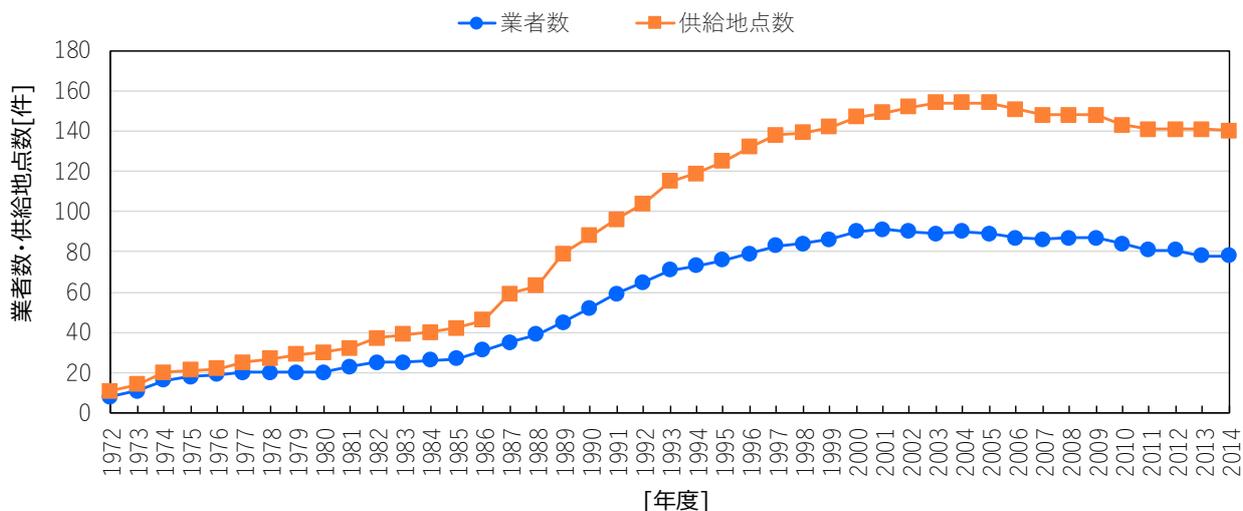


図 1.1.2 地域熱供給システムの地区数の推移

出典：経済産業省

([http://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/kihon\\_seisaku/gas\\_system/pdf/014\\_06\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/kihon_seisaku/gas_system/pdf/014_06_00.pdf))

## 1.2 本研究の目的

研究背景を踏まえ、新規の地域熱供給システムの整備も重要であるが、既に整備されている地域熱供給システムのエネルギー効率の向上や自立分散型電源（コージェネレーションシステム：CGS）の導入や連携など、既存地域熱供給システムの活用も重要である。

そこで本研究では、東京 23 区内の建物の熱源方式における地域熱供給システムの影響を明らかにするとともに、地域熱供給のシステムのエネルギー効率向上を図るための基礎データとなる熱源負荷の実態、近年の熱源プラントの改修実態、特に東日本大震災後に導入が進むコージェネレーションシステムの導入実態を明らかにした上で、既存熱供給システムの更なる活用方を検討することで、建物の省エネルギー化や災害時の建物機能継続などに貢献することを目的とした。

## 1.3 関連の既往研究

### 1.3.1 建物の熱負荷・電力負荷に関する研究

建物のエネルギー使用量削減を検討する際には、現在の建築物の実態を把握すること、具体的には建物概要とエネルギー使用量に関するデータベースが不可欠であるが、日本においては大学等の研究機関により断片的に、あるいは限られた施設や地域において調査されている。日本においては、全国33の大学、研究機関が連携し、既存建築物のエネルギー使用量調査を行い、DECC（Database for Energy Consumption of Commercial buildings）としてデータベースを作成している。この全体概要については高口等<sup>1-7)</sup>の論文があり、それに係わる論文としては、小林等<sup>1-8)</sup>による関東地域の官公庁・文化施設・研究機関のエネルギー・水消費量、池田等<sup>1-9)</sup>による福祉施設のエネルギー消費特性、山崎等<sup>1-10)</sup>による商業施設のエネルギー消費量の実態等の調査がある。その他には、渡辺等<sup>1-11)</sup>による東北地方の学校建築のエネルギー消費量、高草木等<sup>1-12)</sup>による大規模病院におけるエネルギーと水の消費量、井城等<sup>1-13)</sup>により宿泊建物のエネルギー消費原単位推定などの調査がある。これらは、全国の非住宅建築物の貴重な調査分析結果であるが、あくまで建物の電気、ガス、灯油等の消費量であり、熱負荷の値ではない。

建物の熱源システムの計画やエネルギー消費量削減の検討において、建物仕様や使われ方が明確でない計画段階では、年間の負荷推移の想定が必要であり、そのためには単位面積当たりの負荷の統計値である負荷原単位が現在広く用いられている。

既往の負荷原単位は過去に複数作成されており、その中でも代表的な負荷原単位の文献と概要を表 1.3.1に示す。既往文献は可能な限り出典元文献を調査したが、調査が難しい文献に関しては、既往負荷原単位がまとめて掲載されている文献<sup>1-14)</sup>を元に調査を行った。

文献(1)に掲載された熱・電力負荷原単位は、1984年に尾島俊雄 他により統計値を元に作成されたものである。国内の熱・電力負荷調査資料では最古に部類される文献であり、建物 3,000 例、23 施設における実態調査に基づいて解析が行われている。

文献(2)に掲載された熱・電力負荷原単位は、1985年に総合研究開発機構（NIRA）の研究助成を受け、財団法人省エネルギーセンター（当時）が研究成果をまとめた「分散型電源システムの最適化に関する調査研究」の一部として作成されている。この文献では、冷房用・暖房用熱負荷原単位は熱負荷計算（HASP/ACLD）により設定された値である

文献(3)に掲載された熱負荷原単位は、1987,1988年度の東京都内における263棟の地域熱供給の販売熱量データ及び一般建物のデータから作成されている。ピーク熱負荷は実績値から算出しているが、一部の建物については契約容量及び設備容量などから最大熱負荷を推計している。事務所施設に関しては、年間・ピーク熱負荷原単位が規模別に作成されている。

文献(4)に掲載された熱・電力負荷原単位は、1992年に住宅・建築省エネルギー機構(IBEC)により、統計値を元に作成されている。

文献(5) i は、1994年に空気調和衛生工学会により作成された熱・電力負荷原単位が掲載されている。この原単位は文献(2)を元に、新しい建物のエネルギー需要分析結果を加えて見直しを図り、標準値としたものである。また、事務所に関しては文献(5) i で作成された事務所標準型を基に、1995年に文献(5) ii で作成された事務所標準型を基に、1995年に文献(5) ii で事務所OA型が作成されている。この負荷原単位は、冷房・暖房・給湯・電力負荷それぞれに年間・ピーク負荷原単位、月別・時刻別負荷比率が設定されており、現在最も広く認知されている値である。

文献(5)の負荷原単位は作成から23年が経過(2018年時点)しており、現在の建物の負荷実態と異なると考えられる。負荷原単位から想定した熱負荷は熱源機器総容量や台数分割等、熱源システムの基本計画に大きく影響することから、原単位の更新が求められている。

建物の熱負荷データは、中央熱源方式の建物ではBEMSで計測された値を調査する必要があるが、建物によって計測状態は様々であり、計測していない建物が大半である。また、パッケージ型空調方式の建物では熱負荷が計測できない。これらの理由から熱負荷データの調査は困難であり、負荷原単位が20年以上更新されていない要因となっている。

また、2011年3月に発生した東日本大震災と電力需給の逼迫を経験した我が国では、震災の前後で建物の設備機器の省エネ化が進んだこともあり、熱負荷の使用実態に更なる影響を与えていると考えられる。このような震災前後の建物のエネルギー消費量の変化動向の実態調査では、橋達等<sup>1-15)</sup>が1998年～2012年の新宿の地域熱供給需要家建物の冷温熱エネルギー消費量データと電力消費量データを収集しているが、月別・時刻別レベルでの負荷推移の変化動向については言及していない。

表 1.3.1 既往文献の負荷原単位の概要

文献番号	著者名	書名	出版年
(1)	尾島俊雄	建築の光熱水費	1984
(2)	(公財) 総合研究開発機構(NIRA)	分散型電源システムの最適化に関する調査研究	1985
(3)	東京都環境安全局助成地課地域熱供給係	地域熱供給推進に関する指導要綱	1991
(4)	(一財) 住宅・建築省エネルギー機構(IBEC)	都市住宅エネルギーシステム研究	1992
(5)	i (一社) 空気調和・衛生工学会 (事務所標準型・商業・宿泊・病院・住宅・スポーツ施設)	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	1994
	ii (一社) 空気調和・衛生工学会 (事務所OA型)	都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム - CASCADE III -, 空気調和衛生工学会	1995

### 1.3.2 地域熱供給システムのリニューアルに関する研究

地域熱供給システムのリニューアルに関する研究では、佐藤等<sup>1-16)</sup>は丸の内熱供給株式会社の1地区を例に効率の違う3つのプラントをネットワーク化することで、連携するプラントの全供給エリアが一番高効率なプラントに近い効率で運転できるようになるシステムのリニューアル事例を報告していた。このシステムでは、最初に稼動した古いプラントにおいて効率向上のリニューアルを行い、連携によって全供給エリアの効率を引き上げていた。下田等<sup>1-17)</sup>は熱源機器の高効率化回収を行った吸収式冷凍機・ボイラ方式のプラントを対象に、改修前後のプラントを再現したシミュレーションモデルを作成し、プラントの実データを用いてその効果を検証するとともに、改修後の熱源機器の運転改善による効率向上の評価を行った。これにより、シミュレーションの結果31%の総合エネルギー効率の上昇を確認した。小此木等<sup>1-18)</sup>は、個別熱源方式の建物と地域熱供給システムにおけるエネルギー消費量実態について調査し、シミュレーションによりシステムCOPやエネルギー消費量の特性を分析した。これらの研究は、今後新規に導入される地域熱供給システムやリニューアルによる既存システムの効率向上を図る上で重要な研究である。しかし、個々のシステムの運用実績に関する調査はあるが、マクロ的なリニューアルの傾向に着眼した調査は無い。

### 1.3.3 地域熱供給システムにおけるCGSの導入効果の検証

地域熱供給システムにおけるCGSに関する研究では、稲垣ら<sup>1-19)</sup>が都市の現況を考慮したCGS導入候補エリアを選定し、崔ら<sup>1-20)</sup>が東京都の官公庁施設・厚生医療施設を対象にCGS導入エリアを選定しその効果を評価している。また、CGS導入効果の検証に関する研究では、市川ら<sup>1-21)</sup>が首都圏の大規模住宅団地を対象としたCGSの導入効果をシミュレーションにより分析し、山口ら<sup>1-22)</sup>が二棟の建物間を連携し、CGSを用いた蒸気と電力の融通を行うシステムの定量的評価を行っている。

また、東日本大震災を契機に、事業継続計画（BCP）の観点から、CGSの導入効果として従来から言われていた省エネ・省CO<sub>2</sub>に加えて、電力需要の制御やエネルギーの安定供給にも注目が集まっており、地域熱供給システムへの導入だけにとどまらず、下記のようなCGSの導入事例が見られる。

田町駅東口北地区<sup>1-23)</sup>では、官民連携し、エネルギーの面的利用や未利用エネルギーなどを活用し、環境性・防災性に優れた複合市街地の形成を目指したスマエネの構築が進められている。公共公益施設、医療施設、児童福祉施設からなる第一街区とオフィスビルなどが計画されている第二街区からなり、それぞれにエネルギーセンターが設置される予定である。エネルギーセンターには、コージェネ、燃料電池、太陽熱集熱器、空調設備が設置され、それぞれの街区に電力、熱（温熱、冷熱）を供給する。熱については、両エネルギーセンター間で融通される。2箇所エネルギーセンターを連携し、統合的に制御するために図1.3.1に示すSENEMS（Smart Energy Network Energy Management System）を開発中である。これは、ICTの活用により外気温、空調機等のエネルギー利用状況、熱源機の運転状況を常時把握し、熱源機だけでなく空調機制御をリアルタイムで行うことでエリアのエネルギー需給を一括管理・制御を行うものである。

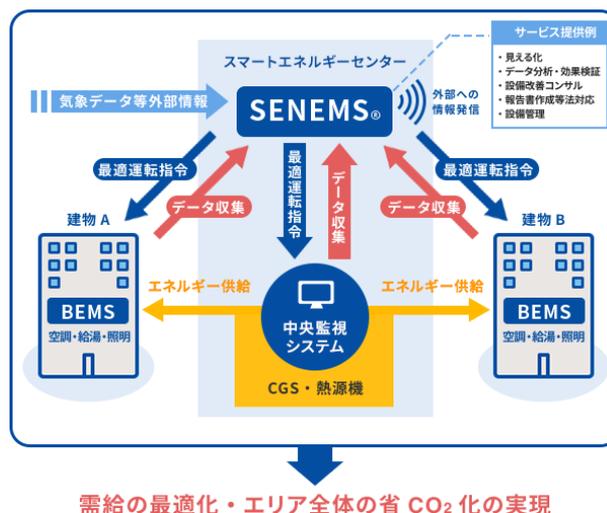


図 1.3.1 SENEMS の概要

出典：東京ガスエンジニアリングソリューションズ HP ([http://www.tokyogas-es.co.jp/case/redevelopment/tamachi\\_district.html](http://www.tokyogas-es.co.jp/case/redevelopment/tamachi_district.html))

豊洲埠頭地区<sup>1-23)</sup>では、公益施設、業務・商業施設、住宅などによる再開発が予定されている。図 1.3.2 に当該地区の設備構成を示す。エネルギーセンターには、8MW 級高効率ガスエンジンコージェネを中核に、蒸気ボイラー、多種類の冷凍機蓄熱槽から構成され、地域に電力、熱（蒸気、温水、冷水）を供給する。常時は、需要に対して省 CO<sub>2</sub> 優先、省電力優先、経済性優先など、最適な運転制御が行われる。停電時は、信頼性の高い中圧 A の都市ガスにより駆動される保安用発電設備により 8MW 級ガスエンジン、排熱投入型蒸気吸収冷凍機、蒸気吸収冷凍機を稼働させて、エネルギーの供給が継続される。また、中圧ガス管を流れる都市ガスの圧力差により、タービンを回転させ発電するとともに、発電時のガスの減圧により発生する冷熱を利用するガス圧力差発電が導入され、エネルギーの有効利用が図られている。

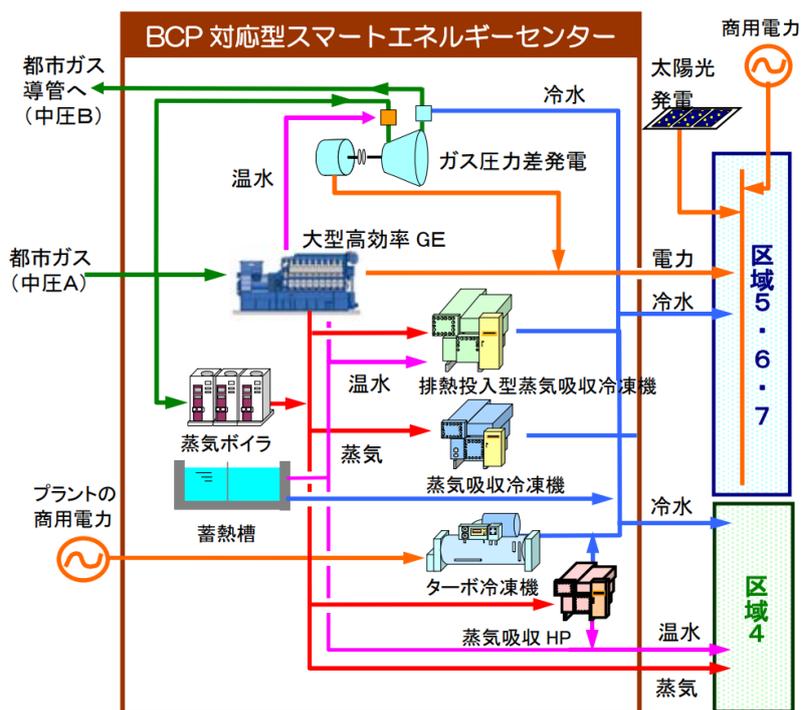


図 1.3.2 豊洲埠頭地区の設備構成

出典：建築研究所資料, p189

([https://www.kenken.go.jp/shouco2/past/pdf/BRI164/BRIreport164\\_chap03\\_4.pdf](https://www.kenken.go.jp/shouco2/past/pdf/BRI164/BRIreport164_chap03_4.pdf))

以上のように、地域熱供給におけるCGSに関する研究は、主に都市部を対象にCGS導入地区の選定や導入効果の検証に関する研究が進められており、導入されているCGSの設置利用形態に着眼した研究はない。

## 1.4 本研究の構成

図1.1.2に本論文の研究フローを示す。まず第2章では、東京都特別区の地域熱供給システムの整備状況や熱供給システム地区内の建物の集積状況を把握し、地域熱供給システムが都市内の建物の省エネルギー化に与える影響を把握した。

第3章では、既存の地域熱供給システムの熱負荷・電力負荷を調査し、地域熱供給システムの熱源設備のシステム計画等に活用する負荷原単位を作成した。また、現在使用されている負荷原単位と比較分析することで、近年の建物の負荷の特徴を整理した。

第4章では、震災前後の冷熱負荷が減少し温熱負荷が増加すると言われている負荷変化の実態を把握するため、前章で震災前後の負荷を調査した建物を対象に、年間・月別・時刻別の熱負荷・電力負荷分析を行った。また、部分負荷率の変化の分析や電力負荷に対する熱負荷、熱負荷に対する温熱の比率の変化の分析も行った。

そして第5章では、前章で分析した負荷の変化が空気調和機や熱源設備のシステム計画にどのような影響を及ぼすかを把握するために①部分負荷運転時間の増加により熱源機器の台数分割がシステムのエネルギー効率に与える影響、②電力負荷に対する熱負荷、熱負荷に対する温熱の比率の変化によりCGSの導入がシステムのエネルギー効率に与える影響の2つの分析を行った。

第6章では、東京都区内61地区の地域熱供給システムの中から、46地区を対象として、2009年度から2015年度までの7年間における熱源システムの構成を調査し、エネルギー効率の向上に寄与するリニューアル傾向の分析を行った。

第7章では、既存地域熱供給システムにおけるコージェネレーションシステムの利用形態やリニューアル傾向を調査し、地域熱供給システムにおけるコージェネレーションシステムの導入実態やその効果を整理した。

第8章では、これまで整理した基礎資料を参考に、都市内の建物の省エネルギー化・機能継続に寄与する地域熱供給システムの活用方策の一つとしてターミナル周辺地区における地域熱供給システムとコージェネレーションシステムを連携したシステムを提案し平常時・非常時の効果を分析した。

第9章では、本論文から得られた結果をとりまとめる。

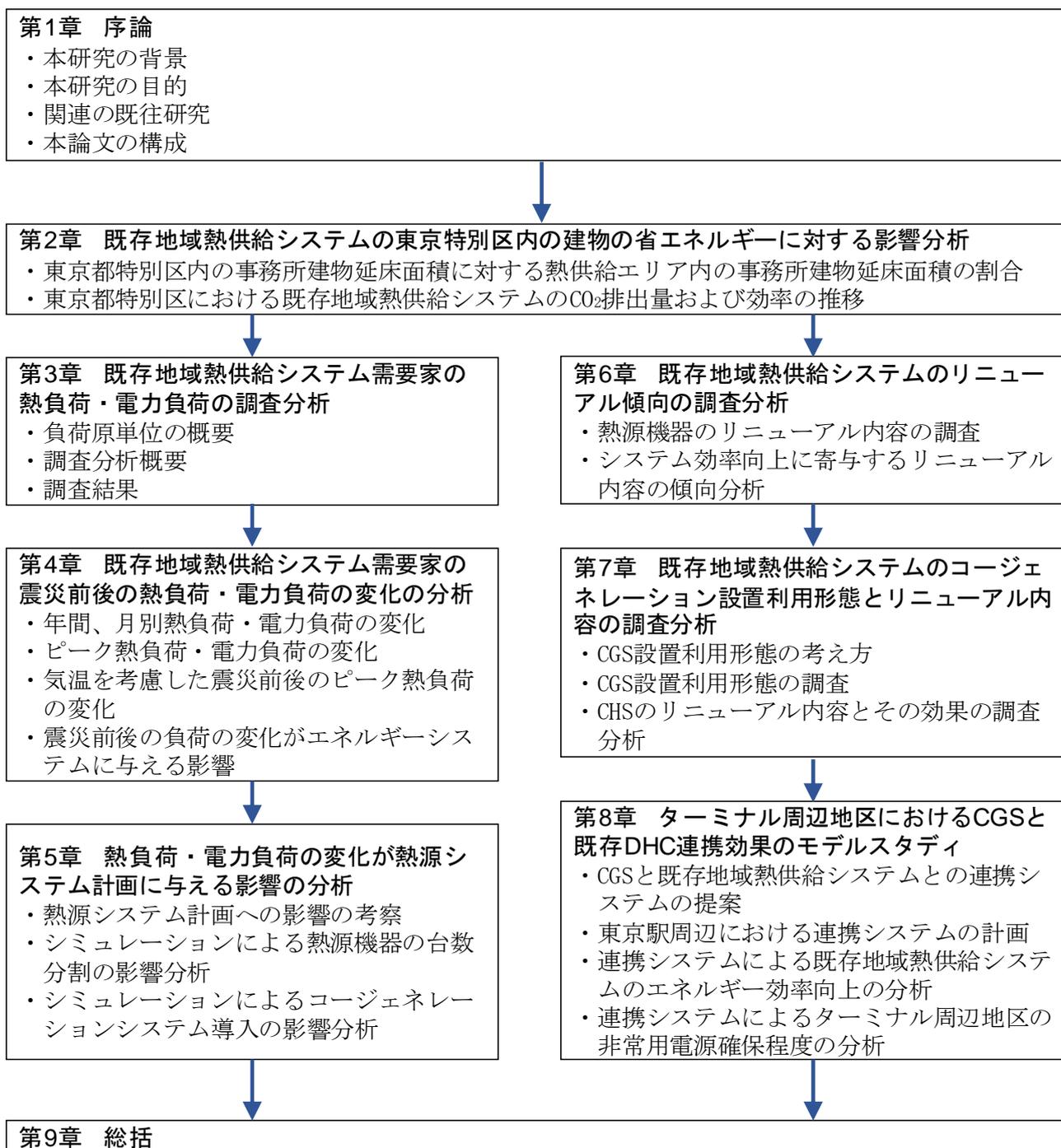


図 1.1.2 研究フロー

## 【参考文献】

- 1-1) 経済産業省省エネルギー庁記  
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pariskyotei.html>
- 1-2) 全国地球温暖化防止活動推進センター：日本の部門別二酸化炭素排出量の推移  
[http://www.jccca.org/chart/chart04\\_05.html](http://www.jccca.org/chart/chart04_05.html)
- 1-3) 環境省：地球温暖化対策推進法の改正による温暖化対策の推進  
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/kptap/progress/111220-2f.pdf>
- 1-4) エネルギーの面的利用導入ガイドブック作成研究会：エネルギーの面的利用導入ガイドブック 平成17年度，2005年，pp.3-6,
- 1-5) 一般社団法人都市環境エネルギー協会：地域熱供給技術手引書〔改訂第4版〕，2013年11月，pp.10～15
- 1-6) 一般社団法人 日本熱供給事業協会 HP (<http://www.jdhc.or.jp/>) , 2018.12.29 閲覧
- 1-7) 高口洋人・井筒進平・鶯谷聡之：非住宅（民生業務部門）建築物の環境関連データベース（DECC）の構築と解析，その1 基礎データベースの構築，日本建築学会環境系論文集 No.678, pp.699~705, 2012.8
- 1-8) 小林正和・馬場雅裕・亀谷茂樹・高口洋人：非住宅（民生・業務部門）建築物環境関連データベース構築に関する研究 2007年度 関東地域の官公庁・文化施設・研究機関のエネルギー・水消費量，2008年度日本建築学会関東支部研究報告書，pp.633-636, 2009.3
- 1-9) 池田大輔・村川三郎・西名大作：非住宅建築物の環境関連データベースに基づく福祉施設のエネルギー消費特性に関する研究，日本建築学会環境系論文集 第76巻 第670号, 1pp.109-1117, 2011.12
- 1-10) 山崎政人・山口容平・下田吉之：非住宅（民生業務部門）建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その81 商業施設のエネルギー消費量の実態（2011年度夏季節電実態緊急調査結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学-I, pp.961-962, 2012.9
- 1-11) 渡辺浩文・三浦秀一・須藤諭：東北地方における学校建築のエネルギー消費に関する実態調査，日本建築学会環境系論文集 No.597, pp.57~63, 2005.11
- 1-12) 高草木明・吉野大輔：大規模病院におけるエネルギーと水の消費量に関する調査研究，日本建築学会技術報告集 第17巻 第35号, pp.233-238, 2011.2
- 1-13) 井城依真，須藤諭，吉野博，他 13名：宿泊物のエネルギー消費原単位の推定に関する研究 -非住宅建築物の環境関連データベースにおける平成21年度調査データによる分析 その2-，日本建築学会環境系論文集 No.683, pp.45~54, 2013.1
- 1-14) 空気調和・衛生工学会：コージェネレーションの設計・評価の手法, 1994.6
- 1-15) 橋達大輔・中島裕輔：新宿 DHC 地区超高層ビルにおけるエネルギー消費に関する研究 -東日本大震災前後のエネルギー消費量分析-，日本建築学会環境系論文集 第80巻 第709号, pp.269-277, 2015.3
- 1-16) 下田吉之・宇野義隆・砂川 良・梅野良枝・渡辺健一郎・莊司 豊：地域熱供給リニューアルに伴う高効率化シミュレーション(その2)，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 {2009.9.15~17 (熊本)} , p.831-834
- 1-17) 佐藤文秋・佐々木邦治・佐々木邦治・鈴木岳志・野部達夫・藤井 研一：地域熱供給の負荷実態に基づく省エネルギー手法に関する研究 その2 プラント連携運転によるスパイラルアップ効果の概

---

念と実際, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 {2016.9.14~16 (鹿児島)}, p.85-88

- 1-18)小此木時雄・吉川貴美男・田中良彦・原哲・大島昇・岡村明彦・八塩彰・濱田和康・五嶋亨：建物のエネルギー消費実態調査に関する研究：地域熱供給方式と個別熱源方式の比較 (第二報)モデルシステムによるシミュレーション. 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 {2009.9.15~17(熊本)}, p. 305–308.
- 1-19)稲垣景子・佐土原聡：都市域における防災・環境面からみた分散型エネルギー拠点構築ポテンシャル評価, 日本建築学会技術報告集 第21巻 第47号, pp.205~208, 2015.2
- 1-20)崔錦丹・佐土原聡・吉田聡・稲垣景子：東京都における自立分散型電源の導入拠点の構築に関する研究 官公庁施設と厚生医療施設を対象とした CGS の導入, 地域安全学会論文集 No.19, pp.39~49, 2013.3
- 1-21)市川徹・佐土原聡・尾島俊雄：首都圏の大規模住宅団地におけるコージェネレーションシステム導入の可能性に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集 No.427, pp.29~38, 1991.9
- 1-22)山口容平・下田吉之・水野稔：コージェネレーションにおける建物間連携の評価 排熱利用に上限がある冷凍機を利用した場合, 空気調和・衛生工学会論文集 No.97, pp.39~50, 2005.4
- 1-23)緒方隆雄：スマートグリッドの需要予測と供給側の個別・応用技術, 電気設備学会誌 33巻 9号, pp.700~703,

## 第2章 既存地域熱供給システムの 東京特別区内の建物の省エネルギー に対する影響分析



## 第2章 既存地域熱供給システムの東京特別区内の建物の省エネルギーに対する影響分析

### 2.1 研究概要

本章では既存地域熱供給システムの熱供給システム効率に資する基礎資料を整理する前に、地域熱供給システムが建物の省エネルギー化に与える影響を定量的に把握するために、二つの分析を行った。一つ目は、東京都特別区内の事務所建物に対する地域熱供給システム地区内の事務所建物の延床面積割合の分析である。二つ目は、1998年から2015年までの18年間の熱供給システム効率及びCO<sub>2</sub>排出量の推移の分析である。

一つ目の分析では、東京都特別区内の事務所ビルを対象に、地理情報システム（以下GIS：Geographic Information System）を用いて、東京都特別区内の事務所総延床面積と地域熱供給システム供給地区内の事務所総延床面積を推計し、東京都特別区内の事務所建物に対する地域熱供給システム地区内の事務所建物の延床面積の割合を算出した。

二つ目の分析は、東京都特別区内の地域熱供給システムを対象に、18年に亘る販売熱量や原・燃料使用量などの運転実績、及び供給地区面積と供給延床面積を調査し、各地域熱供給システムのCO<sub>2</sub>排出量と熱供給システム効率の推移を推計した。

### 2.2 東京都特別区内の建物における既存地域熱供給システムの需要家建物の割合の調査

#### 2.2.1 使用データ概要

##### (1) GIS(地理情報システム)

本研究では東京都特別区内の地域熱供給システムの供給地区や需要家建物の位置を把握するためにGISを用いた。

GISは現実世界の現象や物事に含まれる様々な情報、要因をコンピューター上で「空間的」に管理することで、効率的・合理的に現象を理解・分析するためのツールである。また、様々な情報を「位置」を基に統合化することで、空間的な関係性を分析することができる。

GISデータは、地図画面上の図形(多角形：ポリゴン、線：ライン、点：ポイント等)とそれに関連する属性情報が組み合わさっている。そのため、1つのGISデータを構築するために、いくつかの拡張子のデータがセットになっている。中でも、図形情報は拡張子.shpのshapeファイル、属性情報は拡張子.dbfのデータベースファイルに対応している。また、本研究ではGISデータの編集にESRI, Inc.のArcGISを用いた。

##### (2) GIS建物現況データ

調査対象は東京都特別区であるため、東京都が発行するGIS建物現況データを用いた。東京都は、平成23年(2011年)に東京都特別区を対象に土地利用現況調査を行い、「東京の土地利用平成23年東京都区部」に取りまとめている。この調査は東京都の土地利用の現況と変化の動向を把握するため、概ね5年ごとに実施されており、GIS建物現況データはこの調査の結果を活用し作成されている。

GIS建物現況データには、表2.2.1に示すように建物のポリゴンごとに建築面積、建物階数、建物施設、延床面積換算係数等の属性情報が存在する。建物の施設分類には

表2.2.2に示すGIS建物現況データ内の建物施設分類コード(BV\_6)と建物施設細分類コード(BV\_7)

を用いた。

表 2.2.1 GIS 建物現況データの属性情報

AREA	図形面積
BV_3	建物地上階数
BV_4	建物地下階数
BV_5	建物構造コード
BV_6	建物施設分類コード
BV_7	建物施設細分類コード
BV_8	延べ面積換算コード
BV_9	変化フラグ
BV_10	延床面積換算係数
BV_11	過年度修正フラグ
BV_12	調整フラグ
BV_13	説明注記
CODE2	区市町村コード
CODE3	大字・町コード
CODE4	町・丁目コード
CODE5	13+区市町村コード+大字・町コード+町・丁目コード
NANE1	区市町村名称
NANE2	町丁目名称

表 2.2.2 GIS 建物現況データの建物施設分類一覧

コード	主施設	細分類コード	
111	官公庁施設	0	
112	教育文化施設	1	教育施設
		2	文化施設
		3	宗教施設
113	厚生医療施設	1	医療施設
		2	厚生施設
114	供給処理施設	1	供給施設
		2	処理施設
121	事務所建築物	0	
122	専用商業施設	1	商業施設
		2	公衆浴場等
123	住商併用建物	0	
124	宿泊・遊興施設	1	宿泊施設
		2	遊興施設
125	スポーツ・興行施設	1	スポーツ施設
		2	興行施設
131	独立住宅	0	
132	集合住宅	0	
141	専用工場	0	
142	住居併用工場	0	
143	倉庫運輸関係施設	1	運輸施設等
		2	倉庫施設等
150	農林漁業施設	0	

### 2.2.2 分析方法

はじめに東京都特別区内の事務所建物の総延床面積を GIS を用いて推計した。次に、東京都特別区内の地域熱供給システム地区の GIS データを作成し、熱供給地区の場所や地区内の建物を把握した。そして、地区内の事務所総延床面積を推計し、この値を特別区内の事務所総延床面積で除すことで、東京都特別区内に対する地域熱供給システム地区内の事務所総延床面積の割合を算出した。以下に算出方法の詳細を記す。

#### (1) 東京都特別区内の建物の延床面積の算出

東京都の GIS 建物現況データには、延床面積に該当する値の属性情報が無いため新たに算出する必要がある。延床面積は、東京都建物現況データに付与されている属性データを用いて算出した。はじめに AREA (図形面積、単位：㎡) に BD\_3 (地上階数)、BD\_4 (地下階数) を乗じ延床面積を算出する。次に建物形状によって生じる延床面積の変化を反映させるため、表 2.2.3 に示す BV\_8 (延床面積換算コード) を基に BV\_10 (延床面積換算係数) を先程算出した延床面積に乗じることで建物形状を考慮した延床面積を算出した。また、事務所建物の延床面積は BV\_6 (建物施設分類コード) が 121 (事務所建築物) の建物を抽出し算出した。

表 2.2.3 延べ面積換算コード表

コード	内容
1	全階数とも同一形状
2	建物の上層部が下層部の形状の 50%以上 100%未満
3	建物の上層部が下層部の形状の 50%未満

表 2.2.4 延べ面積換算係数表

コード	建物階数	係数
1	全て	1.00
2	2F	0.90
	3F	0.85
	4F 以上	0.80
3	2F	0.65
	3F	0.55
	4~11F	0.45
	12F 以上	0.40

(2) 既存地域熱供給システム地区の GIS データの作成

既存地域熱供給システム地区の GIS データは、各熱供給事業者が発行するパンフレットや地域熱供給事業協会 HP の熱供給事業導入事例を参考資料として作成する。地域熱供給システム地区の GIS データは①供給エリア、②エリア内建物、③プラント位置、④地域導管の4つのデータで構成する。また、②エリア内建物には属性情報として需要家建物の該当・非該当の情報を付与する。

①供給エリア、③プラント位置、④地域導管の3つのデータは、参考資料を基に GIS 上で新たにデータを作成した。また、①供給エリアは多角形（ポリゴン）、③プラント位置は点（ポイント）、④地域導管は線（ライン）の形状でデータを作成した。

②エリア内建物のデータは、東京都が作成した建物現況データと①供給エリアのデータを GIS 上で重ね合わせ熱供給エリア内の建物を示すポリゴンのみを抽出することで作成した。また、地域熱供給事業協会 HP の熱供給事業導入事例集を参考にエリア内建物の内、需要家建物に当たるポリゴンに需要家であることを示す属性情報を付与した。

図 2.2.1 に作成した地域熱供給システム GIS データの一例（赤坂・六本木アーキヒルズ地区）を示す。赤坂・六本木アーキヒルズ地区の GIS データを作成したことにより、需要家建物の建物施設や表 2.2.5 に示すような地区面積、建物施設ごとの熱供給延床面積を算出することができた。このような地域熱供給システムの GIS データを 61 地区分作成し、図 2.2.2 に示すように東京都特別区内の地域熱供給システムの整備実態を把握することができた。

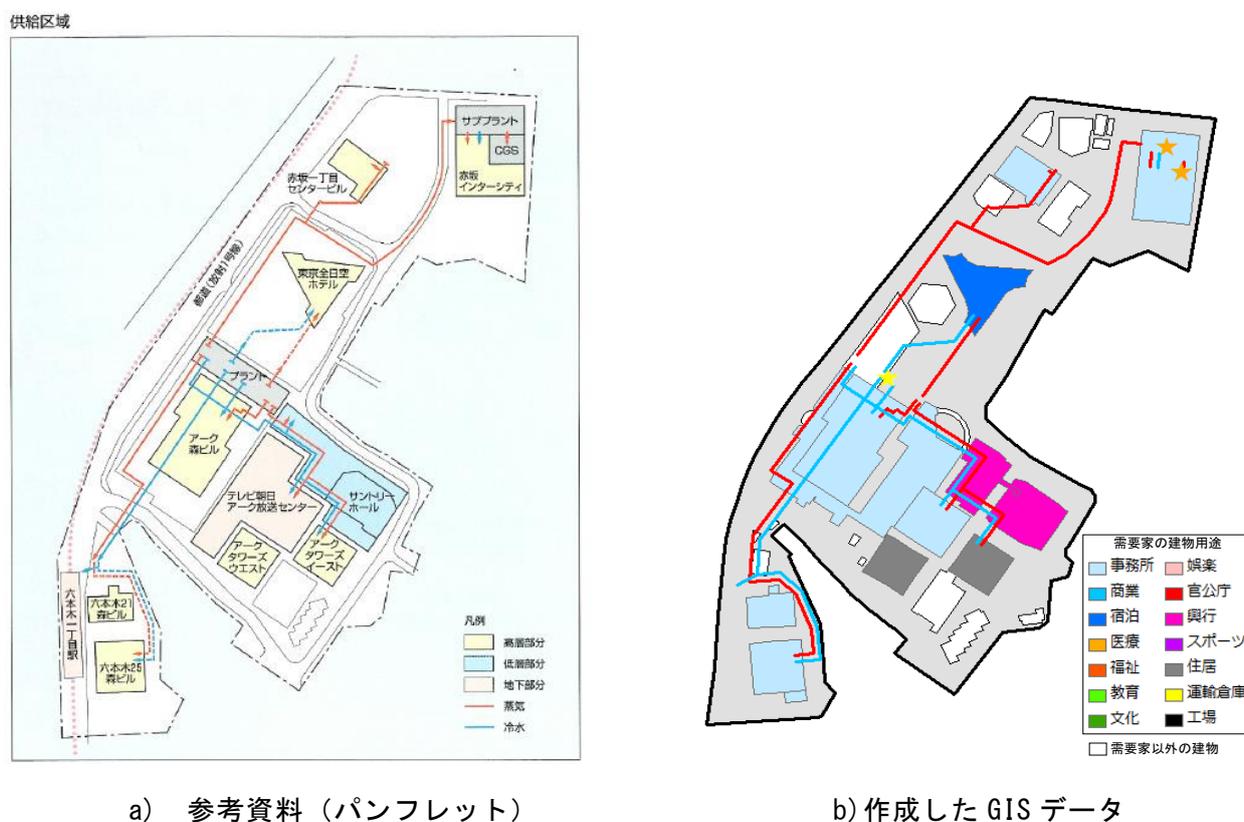


図 2.2.1 地域熱供給システムの GIS データ作成例（赤坂・六本木アーキヒルズ地区）

表 2.2.5 地域熱供給システムの GIS データの作成結果（赤坂・六本木アークヒルズ地区）

地区面積[m <sup>2</sup> ]		77,614[m <sup>2</sup> ]
熱供給地区内建物件数[棟]		33[棟]
熱供給地区内建物延床面積[m <sup>2</sup> ]		452,059[m <sup>2</sup> ]
熱供給建物件数[棟]		14[棟]
熱供給延床面積[m <sup>2</sup> ]	事務所	299,993[m <sup>2</sup> ]
	商業	-
	宿泊	58,966[m <sup>2</sup> ]
	医療	-
	福祉	-
	教育	-
	文化	-
	娯楽	-
	官公庁	-
	興行	6,325[m <sup>2</sup> ]
	スポーツ	-
	住居	52,819[m <sup>2</sup> ]
	運輸倉庫	-
	工場	-
合計	418,103[m <sup>2</sup> ]	

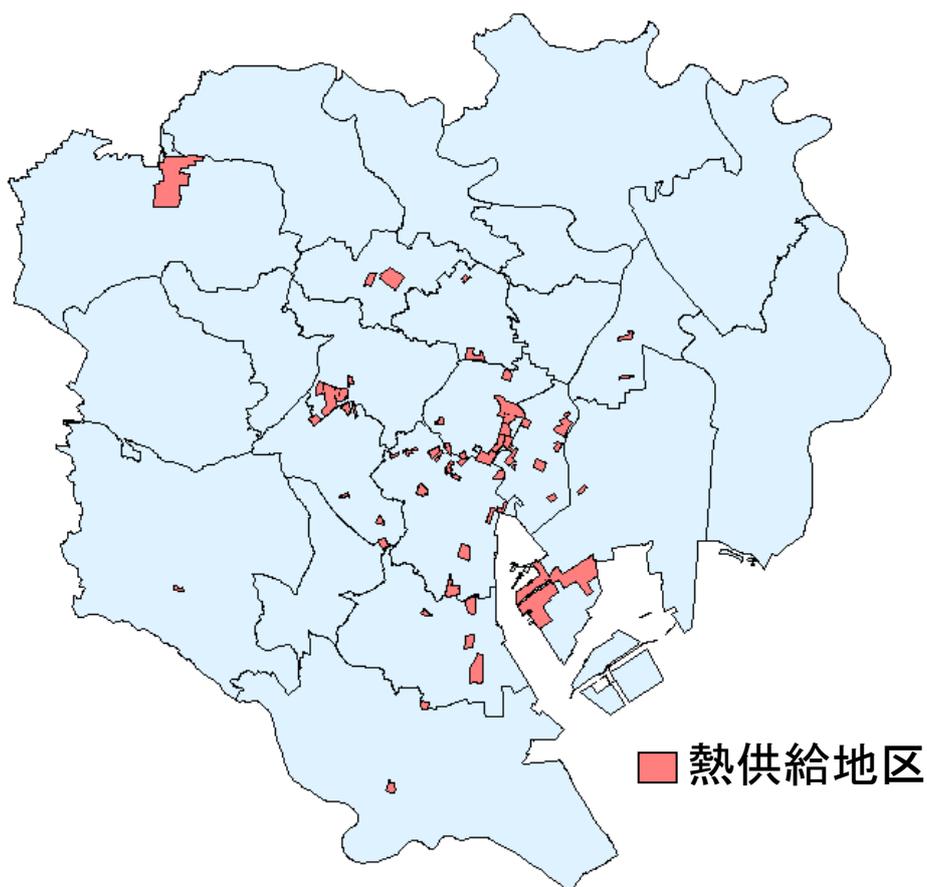


図 2.2.2 東京都特別区における地域熱供給システム GIS データの作成（2011 年度）

### 2.2.3 分析結果

図 2.2.3 に東京都特別区各区における地域熱供給システム地区内外の事務所建物の延床面積を示し、図 2.2.4 に各区の事務所建物総延床面積を 100%とした際の熱供給地区内外の延床面積割合を示す。

東京都特別区全体の事務所建物の総延床面積は 101,475[千㎡]で有るのに対し、地域熱供給システム地区内に立地する全ての事務所建物の総延床面積は 23,738[千㎡]であり、東京特別区内の事務所建物総延床面積に対する地域熱供給システム地区内の事務所総延床面積の割合は 23%であった。

各区の熱供給地区内の事務所総延床面積は、千代田区が 7,002[千㎡] (41%)、港区が 5,895[千㎡] (30%)、中央区が 1,871[千㎡] (15%)、新宿区が 3,932[千㎡] (41%)、江東区が 1,447[千㎡] (22%)、渋谷区が 611[千㎡] (10%)、品川区が 1,551[千㎡] (28%)、文京区が 193[千㎡] (7%)、大田区が 238[千㎡] (9%)、豊島区が 583[千㎡] (23%)、墨田区が 170[千㎡] (10%) であった。また、熱供給地区内の事務所総延床面積の内、約 6 割の建物がある都心 3 区（千代田区、港区、中央区）の熱供給地区内には、特別区内の約 4 割の事務所建物の延床面積が集積していた。このことから地域熱供給システムの高効率化は、東京都区内の CO<sub>2</sub> 排出量の削減において大きな影響があると考えられる。

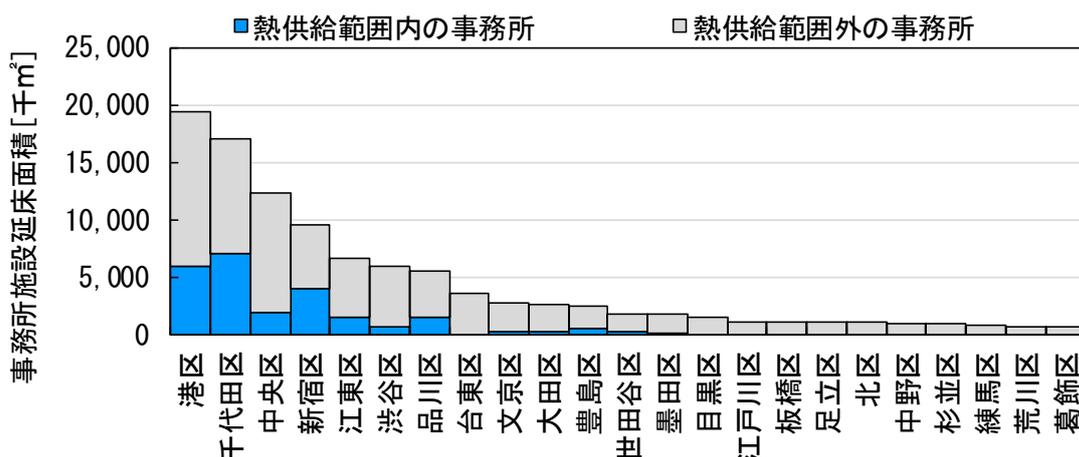


図 2.2.3 東京都特別区における事務所総延床面積と供給範囲内の延床面積

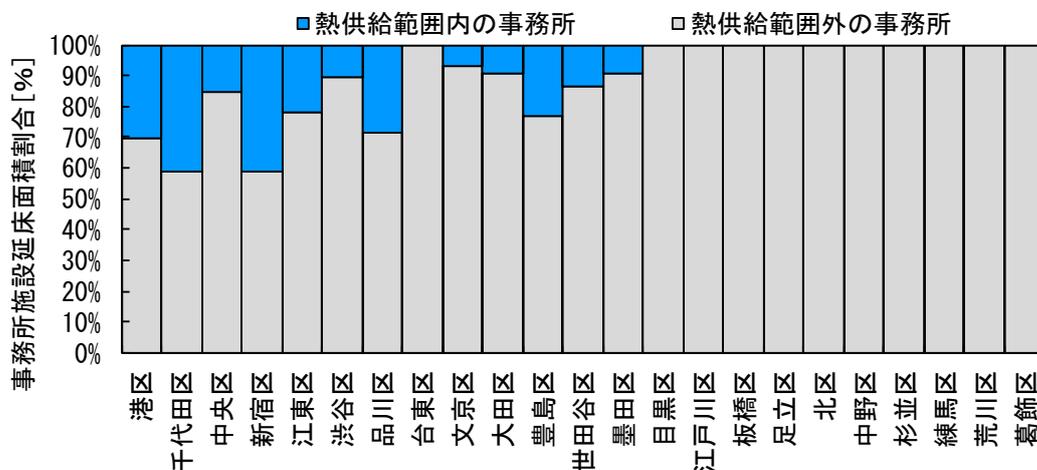


図 2.2.4 東京都特別区における事務所総延床面積と供給範囲内の延床面の割合

2.3 東京都特別区における既存地域熱供給システムのCO<sub>2</sub>排出量及び効率の推移

## 2.3.1 分析概要及び方法

東京都特別区内の地域熱供給システムにおける、1998年度～2015年度の販売熱量と原・燃料使用量、及び供給地区面積と供給延床面積を調査し、熱供給システム効率とCO<sub>2</sub>排出量を算出した。調査には、一般社団法人日本熱供給事業協会が発行する熱供給事業便覧の1999年度版（1998年度のデータ記載）から2016年度版（2015年度のデータ記載）を用いた。

調査対象は、東京都特別区内の地域熱供給システム61地区において、熱供給事業便覧上に原・燃料使用量、販売熱量の内訳が記載されているシステム効率が算出可能な46地区とした。残りの15地区は販売熱量と原・燃料使用量の内訳が不明なため分析対象外とした。

販売熱量は温水、蒸気、直接蒸気、冷水、給湯の項目に分かれており、単位が[GJ]で統一されている。一方、原・燃料使用量はガス[千m<sup>3</sup>]、LPG[t]、石炭[t]、灯油[kl]、重油[kl]、再生油[kl]、購入排熱[GJ]、電力[千kWh]、その他[GJ]の項目に分かれており、各項ごとに単位が設定されている。

地域熱供給システムの効率を算出するためには、原・燃料使用量から一次エネルギー消費量[GJ]を算出する必要があるため、表2.3.1に示す一次エネルギー換算係数を原・燃料使用量に乗じて算出した。この値は「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」で設定されている値を用いた。

なお、販売熱量は一般家庭用と業務用に分かれているが本研究では一般家庭用と業務用を足した値を用いた。

表 2.3.1 一次エネルギー換算係数

原・燃料使用量	一次エネルギー換算係数
電力[千kWh]*	9.76[GJ/千kWh]
ガス[千m <sup>3</sup> ]*	45[GJ/千m <sup>3</sup> ]
LPG[t]*	50.8[GJ/t]
石炭[t]*	29.4[GJ/t]
灯油[kl]*	36.7[GJ/kl]
重油[kl]*	39.1[GJ/kl]

\*エネルギーの使用の合理化等に関する法律

(1) CO<sub>2</sub>排出量の算出方法

熱供給事業便覧に記載されている調査対象地区の1998年度から2015年度までの原・燃料使用量に、表2.3.2に示すCO<sub>2</sub>換算係数を乗じ、各地域熱供給システムの年度ごとのCO<sub>2</sub>排出量を算出した。

電力のCO<sub>2</sub>排出量の算出では、東京電力が公表した2015年度の調整後CO<sub>2</sub>換算係数0.491 [kg-CO<sub>2</sub>/kWh]を用いた。この値は、発電事業者の電源構成比とともに年度ごとに変動しており、1998年度は0.315[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]と2015年度に対して35%小さい値であった。本章では電力由来のCO<sub>2</sub>排出量を同一の条件で分析するため、各年度の電力消費量に2015年度の換算係数を乗じCO<sub>2</sub>排出量を算出した。

そして、ガスのCO<sub>2</sub>排出量の算出は、東京ガスのガス種類13A・中圧供給のCO<sub>2</sub>換算係数2.19 [kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]を用いて算出した。また、LPG・灯油・重油のCO<sub>2</sub>排出量の算出は、「地球温暖化対策推進法」の関連法令である「特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令」に基づき、表2.3.2に示すCO<sub>2</sub>換算係数を用いて算出した。また、CO<sub>2</sub>排出量を供給範囲内の事務所延床面積の合計値で除し、単位面積当たりのCO<sub>2</sub>排出量を算出した。

表 2.3.2 CO<sub>2</sub>換算係数

CO <sub>2</sub> 換算係数	係数値
電力*	0.491 [kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
ガス**	2.19 [kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]
LPG***	0.059 [t-CO <sub>2</sub> /GJ]
灯油***	0.068 [t-CO <sub>2</sub> /GJ]
重油***	0.069 [t-CO <sub>2</sub> /GJ]

\*東京電力 HP 2015年度値

\*\*東京ガス HP 13A 中圧供給

\*\*\*特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令別表第1

(2) 熱供給システム効率の算出方法

地域熱供給システムの熱供給システム効率の算出に用いた式を式(1)に示す。本研究において熱供給システム効率は、販売熱量の合計値から熱供給事業便覧に記載されている原・燃料使用量を基に算出した一次エネルギー消費量を除すことで算出した。また、本研究では排熱の一次エネルギー換算係数をゼロとした。

また、本研究では地域熱供給システムのシステム効率を、表 2.3.3 に示す「地域熱供給システムの熱供給システム効率の評価基準」を用いて評価し、熱供給システム効率評価の推移を分析した。

この評価基準は、2002 年度に東京都環境局が策定した「新しい都市づくりのための都市開発諸制度活用方針」で定められたものである。これにより東京都の地域熱供給プラントは、熱供給システム効率を基に AA、A<sup>+</sup>、A、A<sup>-</sup>、B、C の 6 段階に評価が格付けされた。

$$NE = (CL + HL + DS + S + HW) / (E + G + PG + C + H + K + O) \dots\dots\dots (1)$$

- NE : 熱供給システム効率[-]
- CL : 冷水販売量[MJ]
- HL : 温水販売量[MJ]
- DS : 直接蒸気販売量[MJ]
- S : 蒸気販売量[MJ]
- HW : 給湯用温熱販売量[MJ]
- E : 熱源システム電力消費量[MJ] (換算係数 : 9.76[MJ/kWh])
- G : 熱源システム都市ガス消費量[MJ] (換算係数 : 45[MJ/m<sup>3</sup>])
- PG : 熱源システム LPG 消費量[MJ] (換算係数 : 50.8[MJ/kg])
- C : 熱源システム石炭消費量[MJ] (換算係数 : 29[MJ/kg])
- H : 熱源システム A 重油消費量[MJ] (換算係数 : 39.1[MJ/l])
- K : 熱源システム灯油消費量[MJ] (換算係数 : 36.7[MJ/l])
- O : 熱源システムその他燃料消費量[MJ]

表 2.3.3 熱供給システム効率値の評価基準

熱供給システム効率の値	評価
0.9 以上	AA
0.85 以上～0.90 未満	A <sup>+</sup>
0.80 以上～0.85 未満	A
0.73 以上～0.80 未満	A <sup>-</sup>
0.65 以上～0.73 未満	B
0.65 未満	C

### 2.3.2 販売熱量と供給面積の推移の分析結果

図 2.3.1 に地域熱供給地区面積、図 2.3.2 に地域熱供給延床面積、図 2.3.4 に原・燃料使用量、図 2.3.3 に販売熱量の 1998 年度～2015 年度の推移グラフを示す。

1998 年度と 2015 年度を比較すると供給地区面積は 9,409[千㎡]から 10,079[千㎡]に 7.1%増加し、供給延床面積は 16,968[千㎡]から 21,899[千㎡]に 18.9%増加していた。また、原・燃料使用量は 13,035[TJ/年]から 10,864[TJ/年]に 16.7%減少し、販売熱量は 8,994[TJ/年]から 9,524[TJ/年]に 6%増加していた。

以上の結果から、供給延床面積が 18.9%増加したのに対し販売熱量が同程度の値であったことから、需要家建物側の空調に必要な負荷量が減少したと考えられる。また、原・燃料使用量が 16.7%減少したのに対し販売熱量が同程度の値であったことから、システム改修等の理由により熱供給プラントのシステム効率が向上したと考えられる。

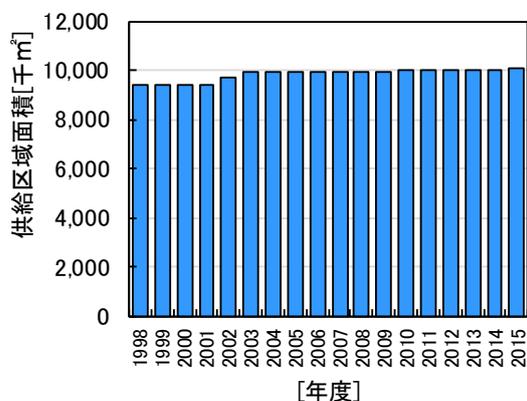


図 2.3.1 地域熱供給区域面積の推移

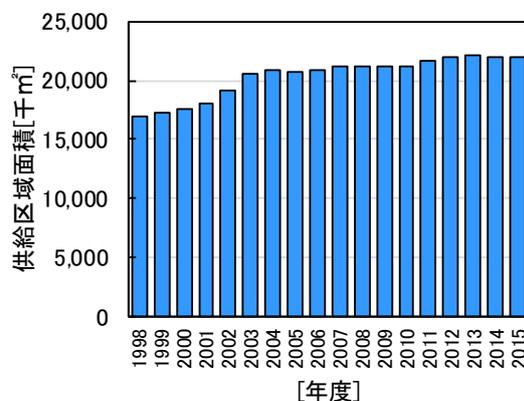


図 2.3.2 地域熱供給延床面積の推移

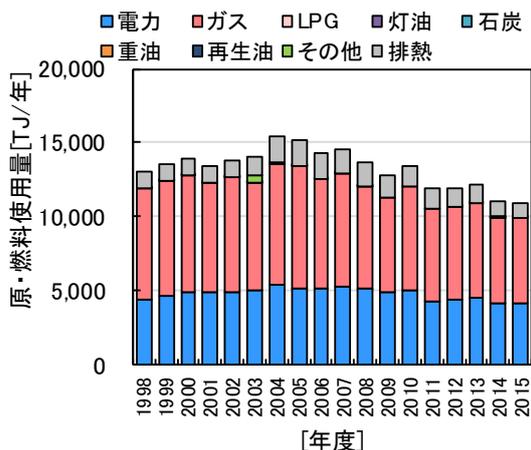


図 2.3.4 原・燃料使用量の推移

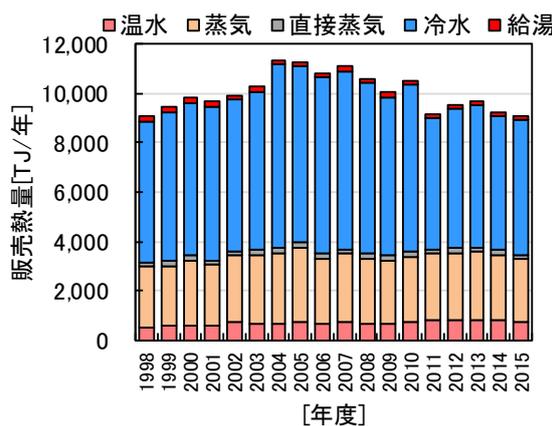


図 2.3.3 販売熱量の推移

### 2.3.3 CO<sub>2</sub> 排出量と単位面積当たりの販売熱量の推移の分析結果

図 2.3.6 に CO<sub>2</sub> 排出量の推移を示す。1998 年度と 2015 年度を比較すると約 590,000[t]から約 522,000[t]に 12%減少していた。また、図 2.3.5 に販売熱量と供給延床面積から算出した単位面積当たりの販売熱量の推移を示す。1 m<sup>2</sup>当たりの販売熱量は 536.3[MJ/m<sup>2</sup>年]から 414.8[MJ/m<sup>2</sup>年]に約 23%減少していた。

次に、原燃料使用量及び供給延床面積から算出した単位面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出量の推移を図 2.3.8 に示す。供給面積当たりの CO<sub>2</sub> 排出量は 34.7[t/千m<sup>2</sup>]から 22.4[t/千m<sup>2</sup>]に約 35%減少していた。また、供給延床面積当たりの一次エネルギー消費量を図 2.3.7 に示す。1 m<sup>2</sup>当たりの一次エネルギー消費量は 768[MJ/m<sup>2</sup>]から 496[MJ/m<sup>2</sup>]に 36%減少していた。これらの要因として、地域熱供給システムのリニューアルによりシステムの高効率化・低炭素化が図られたこと、東日本大震災後の省エネ活動・意識の普及したこと等が考えられる。

そして、単位面積あたりの販売熱量と CO<sub>2</sub> 排出量・一次エネルギー消費量の減少割合を比較すると、販売熱量の減少割合（約 23%）より、CO<sub>2</sub> 排出量・一次エネルギー消費量の減少割合（約 36%）の方が 13 ポイント大きく、この減少割合の増分が熱供給システム効率向上の寄与分を示していると考えられる。

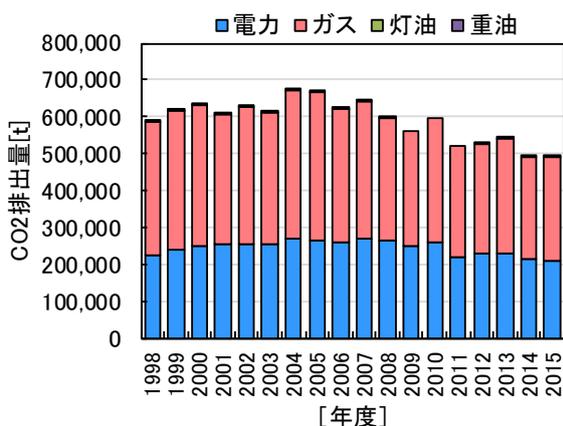


図 2.3.6 CO<sub>2</sub> 排出量の推移

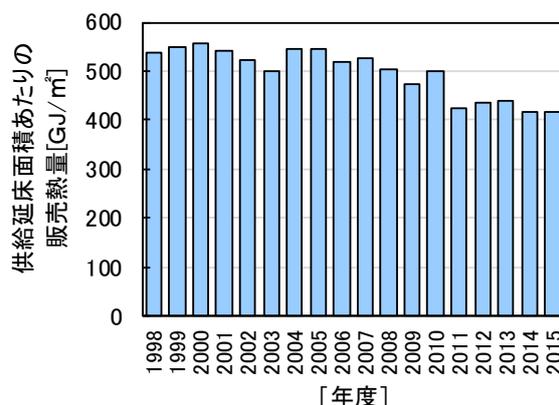


図 2.3.5 供給延床面積あたりの販売熱量の推移

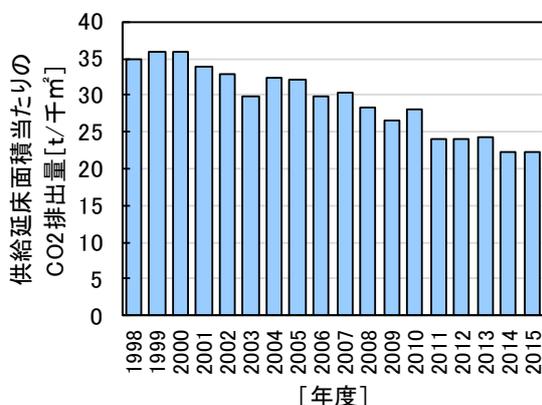


図 2.3.8 供給延床面積あたりのCO<sub>2</sub> 排出量の推移

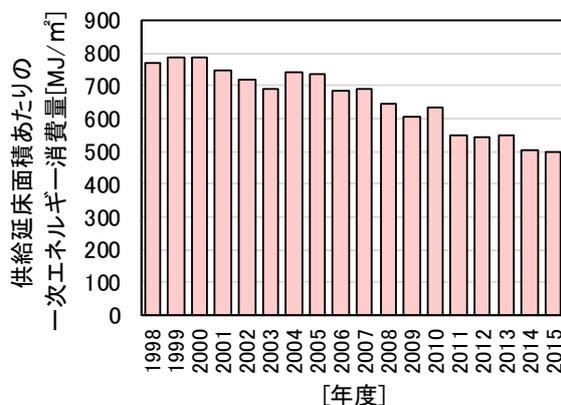


図 2.3.7 供給延床面積あたりの一次エネルギー消費量の推移

### 2.3.4 エネルギーシステム効率とその評価の推移の分析結果

#### (1) 東京都特別区内の地域熱供給システムにおけるシステム効率の推移

図 2.3.9 に地域熱供給システムのシステム効率の平均値推移を示す。左軸は熱供給システム効率[-]を示しており、右軸は地域熱供給プラントの格付け制度が開始された前年の 2001 年度を 1.0 とした各年度の比率[-]を示している。2002 年度以降のシステム効率の平均値は、2001 年度と 2015 年度で比較すると 0.74[-]から 0.89[-]に上昇しており、熱供給システム効率は平均で約 20%向上していた。また、2001 年度に対する比率では 2015 年度が 1.13 倍となった。

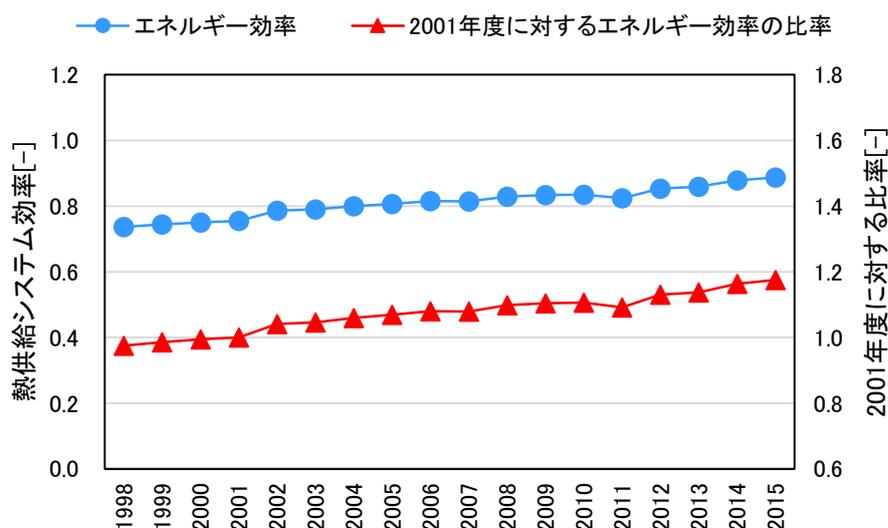


図 2.3.9 東京都 23 区における熱供給システム効率の平均値推移

(2) エネルギーシステム効率の評価の推移

熱供給システム効率の評価基準を用いた1998年度から2015年度まで地域熱供給システムのシステム効率評価の推移と地区数の割合を図2.3.10に示す。

AA地区は10地区から21地区に増加、A+地区は1地区から5区に増加、A地区は3地区から10地区に増加、A-地区は8地区から6地区に減少、B地区は8地区から6地区に減少、C地区は13地区から1地区に減少していた。またAA地区は2001年度と比較すると2.1倍となっていた。これにより熱供給システム効率が高い地区が増え、効率の悪い地区が減少している傾向を確認した。

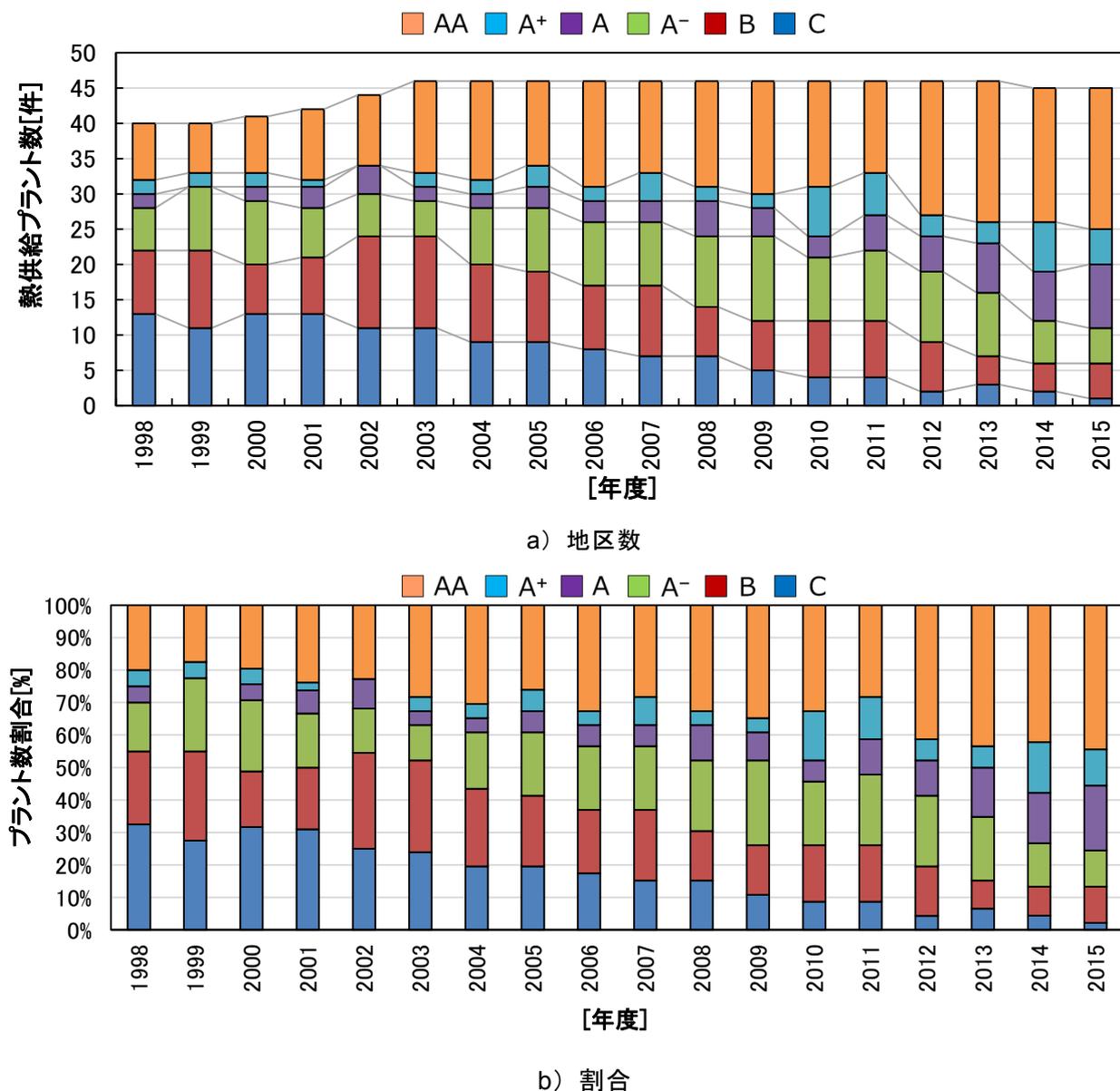


図 2.3.10 東京都特別区内における地域熱供給システムの熱供給システム効率評価の推移

(3) システムタイプ毎の2001年度に対する2015年度のシステム効率の変化

図 2.3.11 にシステムタイプ毎の2001年度と2015年度の熱供給システム効率の関係を示す。東京都特別区内における61地区のプラントを①廃棄物エネルギー、②温度差エネルギー、③排熱エネルギー、④天然ガスコージェネレーションシステム、そして未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による⑤一般的なシステムの5つに分類し横軸に2001年度、縦軸に2015年度の熱供給システム効率をとった散布図を作成した。

また、対象地区数は2001年度、2015年度の熱供給システム効率が算出できた地区のみを対象地区としているため41地区となる。ただし、品川八潮地区、恵比寿地区は原・燃料使用量の内訳が不明であり他の地区と比べ熱供給システム効率が高くなりすぎたため今回の調査ではこの2地区を除外した39地区を分析対象とした。

図 2.3.11 では熱供給システム効率を0.4[-]~1.4[-]の範囲を表示しており、表 2.3.3 の値を用いて熱供給システム効率の評価範囲を赤い破線で示している。分析対象の39地区の内34地区では、2001年度に対して2015年度の熱供給システム効率が上昇した。2001年度から2015年度にかけてAA地区は8地区から15地区に増加していた。その中で熱供給システム効率が向上しているのは11地区であった。

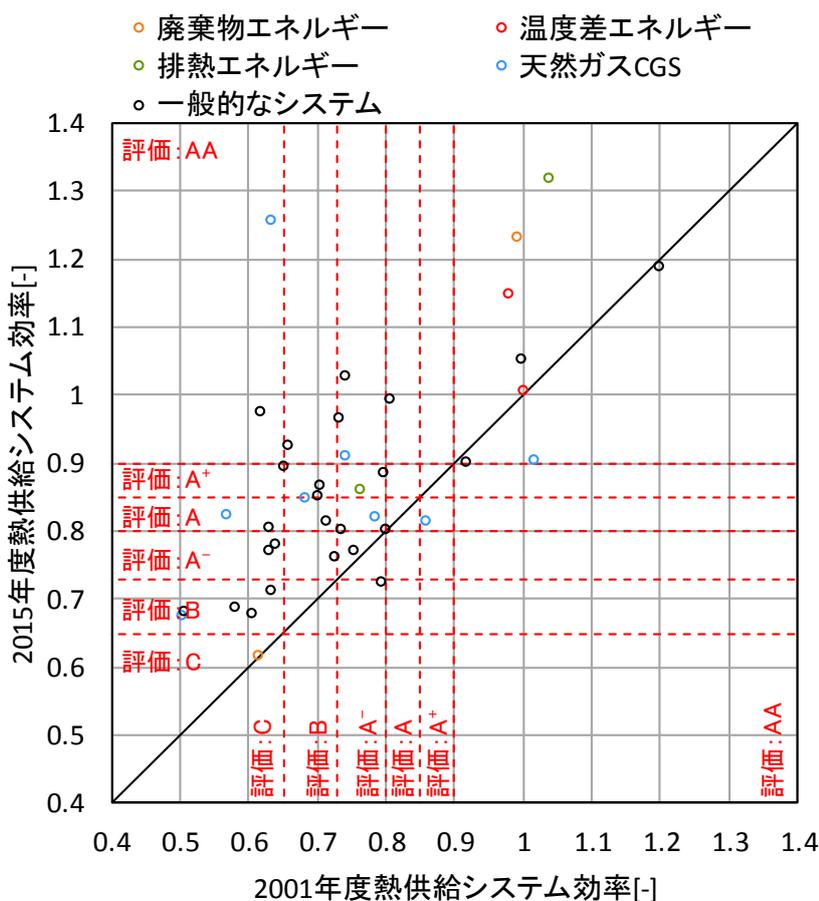


図 2.3.11 2001年度と2015年度の熱供給システム効率の関係 (n=39)

## 2.4 結論

本章では地域熱供給システムが都市の省エネルギー化に与える影響を分析するため、東京都特別区内の事務所総延床面積に対する熱供給地区内の事務所総延床面積の割合と、18年間に亘る地域熱供給システムの運転実績を基にしたCO<sub>2</sub>排出量及び熱供給システム効率を算出し、以下の知見を得た。

- 1) 東京特別区内に対する地域熱供給システム地区内の事務所総延床面積の割合は平均して約23%であり、都心部（港区、千代田区、中央区、新宿区）では東京都特別区内の事務所建物の延床面積の約40%が熱供給地区内に集積していた。このことから、地域熱供給システムの高効率化は東京都特別区内の建物のCO<sub>2</sub>排出量の削減に大きな影響を与えると考えられる。
- 2) 分析対象46地区における1998年度から2015年度の運転実績の推移を分析した結果、供給地区面積は7.1%増加、供給延床面積は18.9%増加、販売熱量は0.2%減少、原燃料使用量は16.7%減少していた。
- 3) 1998年から2015年にかけて、地域熱供給システムの供給延床面積あたりのCO<sub>2</sub>排出量・一次エネルギー消費量割合に対するに年間販売熱量減少割合は13ポイント大きい値をしめした。この減少割合の増分が地域熱供給システムのシステム効率の向上の寄与分を示していると考えられる。
- 4) 1998年度から2015年度の各地域熱供給プラントの熱供給システム効率の平均値を比較すると0.74から0.89へ約1.2倍に向上していた。また、地域熱供給システムの熱供給システム効率の格付けでは、1998年度と2015年度を比較するとAA地区は8地区から20地区に増加しており、C地区は13地区から1地区に減少していた。

### 【参考文献】

- 2-1) 地域熱供給事業便覧:日本熱供給事業協会, (1999年度版～2016年度版)
- 2-2) 東京電力株式会社 HP:[https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h28\\_coefficient\\_rev2.pdf](https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h28_coefficient_rev2.pdf), 閲覧日, 2017.12
- 2-3) 東京ガス株式会社 HP:<http://home.tokyo-gas.co.jp/gas/userguide/shurui.html>, 閲覧日, 2017.12
- 2-4) 経済産業省・環境省 HP:特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令,<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12339>. 閲覧日, 2017.12
- 2-5) 日本LPガス協会 HP:<http://www.j-lpgas.gr.jp/nenten/co2.html>, 閲覧日, 2017.12



# 第3章 既存地域熱供給システム需要家の熱負荷・電力負荷の調査分析



## 第3章 既存地域熱供給システム需要家の熱負荷の調査分析

### 3.1 研究概要

前章では、東京都特別区を対象に地域熱供給システムの高効率化が都心部の約4割の建物の省エネルギー化に影響を与え、その効果は年々向上してきていることを確認した。

今後、建物の省エネルギー化を図る上で、既存地域熱供給システムのエネルギー効率向上や新規の地域熱供給システムを導入することが重要である。そのためには、計画の初期段階から正確な熱負荷・電力負荷を想定しシステム計画に反映させる必要である。このような負荷の想定には既存の熱負荷・電力負荷原単位（空気調和・衛生工学会）が広く用いられているが20年以上前の値であり、現在の建物の負荷実態と異なると考えられる。

そこで、本章では地域熱供給システムのシステム効率向上に資する基礎資料として、熱供給システムのリニューアル・計画時の負荷想定に用いる熱負荷・電力負荷原単位を整理する。はじめに、地域熱供給システムの需要家建物が冷房や暖房などに用いる冷水、温水、蒸気等の使用量であり、1時間単位の積算熱量が計量されている購入熱量データに着目し、2008年度～2014年度にかけて地域熱供給システムの需要家建物に対して実態調査を実施した。そして、収集した購入熱量データを用いて近年の建物の負荷原単位を分析し、既存の負荷原単位と比較することで既存負荷原単位と近年の建物の負荷原単位との差異を把握した。

### 3.2 負荷原単位の概要

#### 3.2.1 既存負荷原単位の概要

##### (1) 熱負荷と電力負荷の定義

本研究における既存負荷原単位は1.3.1項に示した「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」に記載されている熱・電力負荷原単位とする。

既存負荷原単位における熱負荷は、中央熱源方式の建物を想定した熱源設備で製造する冷暖房用や給湯用等の冷水、温水、蒸気等の製造熱量（熱源負荷）である。本研究では、地域熱供給の需要家建物の購入熱量がそれに相当すると考え、分析に用いた。また、熱負荷の内訳は冷房用熱負荷、暖房用熱負荷、給湯用熱負荷があり、本研究では冷房用熱負荷を冷熱負荷、暖房用熱負荷と給湯用熱負荷の合計値を温熱負荷と称する。

一般的に中央熱源方式の建物の電力負荷には、照明、空調、コンセント用電気機器、及びエレベーターなど動力設備、熱源設備などの電力需要を含む。しかし、地域熱供給の需要家建物は熱源設備（熱源機器本体・一次ポンプ・冷却塔・冷却水ポンプ・その他補機等）を所有しておらず、本報では熱源設備の電力消費量以外の電力需要を「電力負荷」と称する。

##### (2) 負荷原単位の構成

既存負荷原単位の構成を表3.2.1に示す。既存負荷原単位は事務所施設、宿泊施設、病院施設、商業施設、住居施設、スポーツ施設の建物施設ごとに設定されている。

負荷原単位は、建物が年間で必要とする熱負荷と電力負荷の単位延床面積当たりの値である「年間熱負荷原単位[MJ/m<sup>2</sup>年]」・「年間電力負荷原単位[kWh/m<sup>2</sup>年]」、年間負荷量を100%とした際の各月の負荷比率である「月別熱・電力負荷比率[%]」、1日の負荷量を100%とした際の各時刻の負荷比率である「時刻別熱・電力負荷比率[%]」で構成されている。また、時刻別負荷比率は夏期（6月～9

月)、冬期(12月、1月～3月)、中間期(4月～5月、10月～11月)ごとに設定されている。

表 3.2.1 既存負荷原単位の構成

建物種類	事務所施設、宿泊施設、病院施設、商業施設、住居施設、スポーツ施設	
負荷種類	冷房、暖房、給湯、電力	
負荷構成	年間負荷原単位[MJ/m <sup>2</sup> y][kWh/m <sup>2</sup> y]	単位面積当たりの年間負荷
	月別負荷比率[%]	年間を100%とした際の各月の負荷比率
	時刻別負荷比率[%]	1日を100%とした際の各時刻の負荷比率であり夏期、冬期、中間期に設定されている

### 3.2.2 負荷原単位の利用方法

建物のエネルギーシステム計画時に必要となる年間の時刻別負荷推移の想定は、建物施設と延床面積から、年間負荷原単位、月別負荷原単位、時刻別負荷原単位を用いて算出することができる。以下(1)～(4)式に、年間の負荷推移の想定方法を示す。また、地域単位の負荷を求める場合は、算出した地域内の核建物の負荷を合計する。

$$Y_U = Y_{UB} \times A \dots\dots\dots (1)$$

$Y_U$  : U施設の年間負荷[MJ/年][kWh/年]  
 $Y_{UB}$  : U施設の年間負荷原単位[MJ/m<sup>2</sup>年][kWh/m<sup>2</sup>年]  
 (U=事務所、宿泊、病院、商業、住居、スポーツ)  
 $A$  : 建物延床面積[m<sup>2</sup>]

$$M_{UJ} = Y_U \times M_{UJR} / 100 \dots\dots\dots (2)$$

$M_{UJ}$  : U施設J月の負荷[MJ/月][kWh/月]  
 $M_{UJR}$  : U施設J月の月別負荷比率[%] (J=1月～12月)

$$D_{UJ} = M_{UJ} / N_J \dots\dots\dots (3)$$

$D_{UJ}$  : U施設J月の日別負荷[kJ/日][Wh/日]  
 $N_J$  : J月の総日数[日]

$$H_{UJT} = D_{UJ} \times H_{UJTR} / 100 \dots\dots\dots (4)$$

$H_{UJT}$  : U施設J月T時の負荷[kJ/h][Wh]  
 $H_{UJTR}$  : U施設J月T時の時刻別負荷比率[%] (T=0時～23時)

既存負荷原単位の日別負荷の算出方法は、月別負荷を各月の総日数で除すため、平日と休日の区分ができていない。しかし、実際の建物の使われ方は平日と休日で異なるため、既存負荷原単位から想定する時刻別負荷は、実際の負荷特性と差異が生じると考えられる。

### 3.3 調査分析概要

#### 3.3.1 調査概要

熱負荷調査で負荷データを回収した建物件数を表 3.3.1、熱負荷収集時のアンケート調査項目を表 3.3.2 に示す。調査は 2009 年度～2016 年度にかけて行い、2008 年度～2010 年度、2013 年度、2015 年度の負荷データを収集した。熱負荷は 2011 年 3 月に発生した東日本大震災の影響を受けていると考えられるため、収集した負荷データの内、震災発生以前の 2008 年度～2010 年度の熱負荷を「実績データⅠ」、震災発生後の 2013 年度・2015 年度の熱負荷を「実績データⅡ」と分けて表記する。

調査は熱供給事業者の協力を得ながら、需要家建物一つ一つにヒアリング調査や郵送調査を行った。そして、協力を得た需要家建物から年間の時刻別の購入熱量データを提供していただいた。

表 3.3.1 熱負荷データの回収状況

	調査建物件数	回収建物件数	回収データ件数**					
			実績データⅠ***			実績データⅡ***		
			冷熱負荷	温熱負荷	電力負荷	冷熱負荷	温熱負荷	電力負荷
事務所施設	92 件	67 件 (73)*	98 件	95 件	8 件	23 件	17 件	22 件
官公庁施設	6 件	6 件 (100)*	8 件	8 件	2 件	5 件	5 件	3 件
商業施設	2 件	2 件 (100%)*	1 件	1 件	-	1 件	-	1 件
宿泊施設	7 件	6 件 (86)*	8 件	8 件	2 件	4 件	4 件	4 件
病院施設	8 件	8 件 (100%)*	4 件	4 件	1 件	4 件	4 件	4 件
合計	117 件	91 件 (77%)*	119 件	116 件	13 件	37 件	30 件	34 件

\*括弧内は回収率を示す。

\*\*回収データ件数はデータを回収した建物の複数年度の負荷データの合計件数を示している。

\*\*\*実績データⅠは 2008 年度～2010 年度の負荷データ、実績データⅡは 2013 年度・2015 年度の負荷データである。

表 3.3.2 アンケート調査項目

建物属性情報	建物名称，竣工年，階数，延床面積，基準階面積，付属施設面積，熱源機器，熱源機器設置面積，外壁の窓の仕様，コアの配置計画，パッケージ空調機の有無
環境関連データ	時刻別熱負荷量データ，時刻別電力負荷データ

### 3.3.2 分析概要

#### (1) 分析データの概要

##### a) 負荷データの特性と整理

負荷原単位作成の前段階として、使用データの整理を行う。熱負荷データは使用データのほとんどが地域熱供給の販売熱量データであるため、温熱負荷データは建物により給湯・温熱負荷を含んだ値となっている。事務所施設は給湯負荷を含むデータが混在しているが、建物の施設上、温熱負荷全体に対する給湯負荷の比率は非常に少ないものと考えられるので、両者を同一のデータと見なし温熱負荷として扱った。また、官公庁・宿泊施設は全ての建物の温熱負荷が給湯負荷を含む値、病院施設は給湯負荷を含まない温熱負荷として熱負荷原単位の作成を行った。

また、地域熱供給を受けている建物は一部に個別熱源（パッケージ空調機など）を保有している場合があるが、個別熱源による空調面積の比率が小さい建物データはそのまま分析に用いた。しかし、個別熱源面積の比率が極端に高い建物は、分析対象から除外するなどの対応を行った。事務所・官公庁施設に関しては、ペリメータ負荷の処理方法（パッケージ空調機など）により、地域熱供給の販売熱量データにペリメータ負荷分を含まない建物があるが、今回使用している建物の殆どは延床面積 10,000 m<sup>2</sup>以上の建築物であり、全体の熱負荷に対するペリメータ負荷の比率は小さいと仮定し、両者を区別しないで分析を行った。

また、宿泊施設の温熱負荷は全ての建物が給湯負荷を含んだ値となっているが、給湯に関しては、地域熱供給からの受入蒸気を使用した貯湯式給湯システムである為、時刻別負荷は給湯需要をそのまま反映した推移ではない点に注意が必要である。

電力負荷データに関しては、建物ごとに BEMS（Building and Energy Management System：ビルエネルギー管理システム）データのポイントを集計しているが、単独で個別熱源を持つ建物に関しては、熱源機器（熱源本体・一次ポンプ・冷却塔・冷却塔ポンプ・その他補機など）の消費電力量を除いたものを建物の電力負荷として算出した。

負荷原単位の作成に際して、各建物の時刻別負荷データから負荷原単位を算出する際は、時刻別負荷の年間積算値を年間負荷原単位とし、月別負荷率は月別の負荷積算値から算出、時刻別熱負荷比率は季節別の時刻別負荷平均値から算出した。また、原単位化する際は、屋内駐車場を除いた床面積を用いる場合があるが、本研究では屋内駐車場を含む延床面積を用いた。

##### b) 負荷データの選定

次に、熱・電力負荷データから、実際に原単位作成に使用する建物の選別を行った。図 3.3.1 にデータ選別フローを示す。はじめに、負荷データでデータ欠損の多い建物は使用データから除外した。また、データ件数の多い事務所施設の熱負荷データに関しては、付属施設が建物全体の熱負荷に与える影響が大きいため、調査時アンケートを元に付属施設の比率が大きい建物や、ホテル、住宅、データセンター等が付属している建物は今回の使用データから除外した。さらに、スミルノフ・グラブス検定などを用いて特殊な熱負荷の建物を除外した。

スミルノフ・グラブス検定は年間冷熱・温熱負荷を用いて、有意水準 0.05 を基準として極端に年間熱負荷の大きい建物を除外した。この操作は、アンケートによる付属建物の回答以外にも、特殊な付属施設や使われ方をしている建物がある可能性を排除するためのものである。

また、地域熱供給の販売熱量データは、販売する熱負荷量に対してデータ目盛（計量用）が大きい事が多く、正確な時刻別負荷推移を作成する事が出来ないことがあるために、そのようなデータを分析から除外した。除外の目安は、年間 8760 時間中の最小熱負荷値をデータ目盛 1 と仮定し、その値と年間ピーク熱負荷の比率が 30 倍以下を除外した。

表 3.3.3 に上記の実績データ選別手法により選定した分析負荷データ件数を示す。本章では、震災後の実績データⅡのデータ件数が少ないこと、震災前後の負荷の変化を第4章で分析することから、実績データⅠを用いて近年の建物の負荷原単位を算出し、既存負荷原単位と比較分析を行った。分析に用いたデータを回収した需要家建物の所在地は以下である。事務所施設の冷房用熱負荷については、東京都 34 件、千葉県 5 件、埼玉県 1 件、神奈川県 2 件、暖房用熱負荷については、東京都 13 件、千葉県 4 件、埼玉県 1 件、神奈川県 2 件の建物である。官公庁施設については東京都 2 件、埼玉県 2 件の建物である。商業施設については東京都 1 件の建物である。宿泊施設については東京都 1 件、千葉県 2 件、埼玉県 1 件の建物である。病院施設については神奈川県 1 件、香川県 3 件の建物である。事務所施設は 2009 年度と 2013 年度の両方の負荷データを収集した建物に限定して震災前後の負荷の変化動向の比較分析を行った。

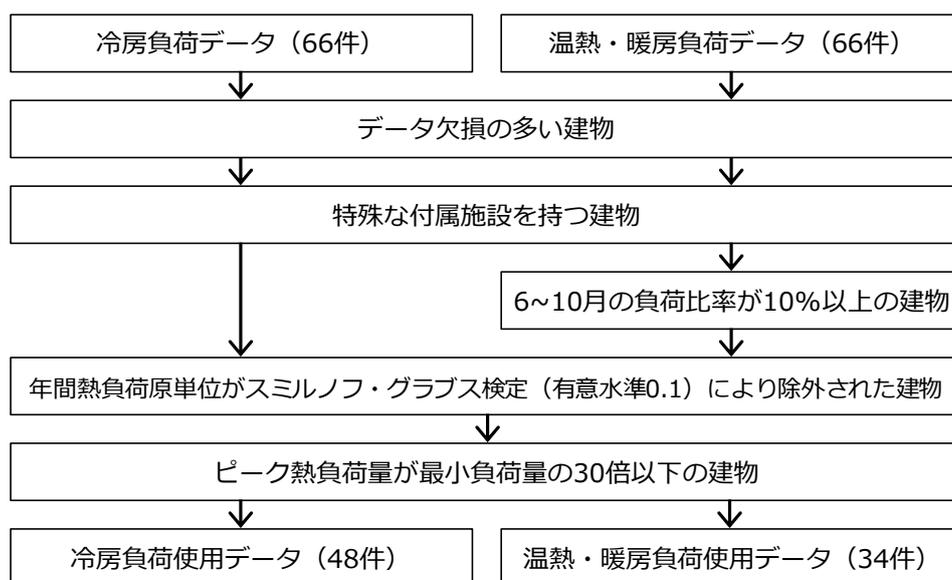


図 3.3.1 事務所熱負荷のデータ選別フロー

表 3.3.3 分析対象の負荷データ件数

	実績データⅠ			実績データⅡ		
	冷熱負荷	温熱負荷	電力負荷	冷熱負荷	温熱負荷	電力負荷
事務所施設	42	20 件	6 件	13 件	10 件	11 件
官公庁施設	4	4 件	1 件	—	—	2 件
商業施設	1	1 件	-	—	—	1 件
宿泊施設	4	4 件	1 件	1 件	1 件	2 件
病院施設	4	4 件	1 件	2 件	2 件	2 件
合計	55 件	33 件	15 件	16 件	16 件	18 件

(2) 分析建物の概要

実績データ I の各建物施設の建物規模別割合を図 3.3.2 に示す。事務所施設の負荷データは 10,000 m<sup>2</sup>以上 30,000 m<sup>2</sup>未満の建物が全体の 25%、30,000 m<sup>2</sup>以上 100,000 m<sup>2</sup>未満の建物が 36%、100,000 m<sup>2</sup>以上の建物が 39%を占めている。官公庁の負荷データは 4 件全てが 100,000 m<sup>2</sup>以上の建物である。商業施設の負荷データは分析対象として収集できた建物が 1 件のみであり、10,000 m<sup>2</sup>以上 30,000 m<sup>2</sup>未満の建物であった。宿泊施設の負荷データは 10,000 m<sup>2</sup>以上 30,000 m<sup>2</sup>未満の建物が 75%であった。病院施設の負荷データは 10,000 m<sup>2</sup>以上 30,000 m<sup>2</sup>未満の建物が 25%、30,000 m<sup>2</sup>以上 100,000 m<sup>2</sup>未満の建物が 75%であった。

実績データ I の各建物施設の竣工年代別割合を 図 3.3.3 に示す。全体では、1990 年代に竣工した建物が最も多く 40%、2000 年代に竣工した建物が 33%、1980 年代に竣工した建物が 13%と全体の 86%を占めている。施設別では、商業施設 1 件は、1980 年代に竣工した建物である。

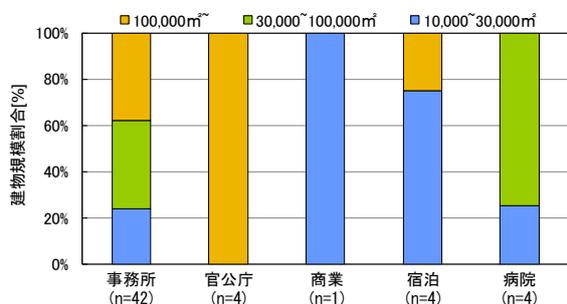


図 3.3.2 各建物施設の建物規模別割合 (実績データ I)

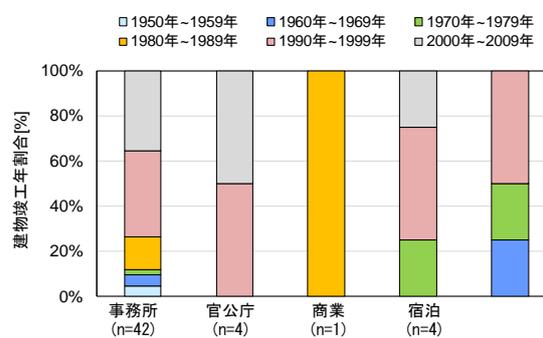
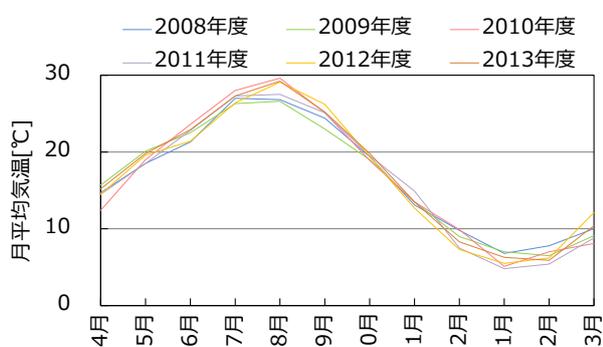


図 3.3.3 各建物施設の竣工年代別割合 (実績データ I)

(3) 外気温度の概要

東京都の月別外気温度を図 3.3.4 に示す。各年度で夏期・冬期の月平均気温は 3℃程度のばらつきがある。事務所施設の負荷データが 2008 年度と 2009 年度の値、官公庁施設、商業施設、宿泊施設の負荷データが 2009 年度のみ、病院施設の負荷データが 2010 年度のみである。また、2008 年度・2009 年度の外気温度はほぼ同様の値であり、2010 年度の外気温度は 2008 年度・2009 年度と比較し、外気温度は夏期が高く、中間期・冬期はほぼ同様の値であった。



[℃]	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度
4月	14.7	15.7	12.4	14.5	14.5	15.2
5月	18.5	20.1	19.0	18.5	19.6	19.8
6月	21.3	22.5	23.6	22.8	21.4	22.9
7月	27.0	26.3	28.0	27.3	26.4	27.3
8月	26.8	26.6	29.6	27.5	29.1	29.2
9月	24.4	23.0	25.1	25.1	26.2	25.2
10月	19.4	19.0	18.9	19.5	19.4	19.8
11月	13.1	13.5	13.5	14.9	12.7	13.5
12月	9.8	9.0	9.9	7.5	7.3	8.3
1月	6.8	7.0	5.1	4.8	5.5	6.3
2月	7.8	6.5	7.0	5.4	6.2	5.9
3月	10.0	9.1	8.1	8.8	12.1	10.4
年平均	16.4	16.7	16.9	16.5	16.3	17.0

図 3.3.4 東京の月平均気温

### 3.4 調査結果

#### 3.4.1 年間負荷原単位の調査結果

##### (1) 事務所施設

図 3.4.1~図 3.4.3 に、事務所施設における既存原単位と実績データ I の年間負荷を示す。既存原単位は、事務所（標準型）を用いて比較を行った。図 3.4.1 より、実績データ I の冷熱負荷は 294.5[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存と同等の値であった。また、実績データ I の元データ 42 件の内、最小値は 146.3[MJ/m<sup>2</sup>年]、最大値は 510.9[MJ/m<sup>2</sup>年]、標準偏差は 78 であり、各データの差が約 360 [MJ/m<sup>2</sup>年]と非常に大きい傾向にあった。

図 3.4.2 より、年間温熱負荷は、実績データ I が 89.3[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存（暖房負荷と給湯負荷の合算値）の 64%の値であった。また、実績データ I の元データ 24 件の内、最小値は 49[MJ/m<sup>2</sup>年]、最大値は 153.4[MJ/m<sup>2</sup>年]、標準偏差は 27.7 であり、各データの差が約 100[MJ/m<sup>2</sup>年]と大きい傾向にあった。また、図 3.4.3 より、年間電力負荷は実績データ I が 185.6[kWh/m<sup>2</sup>年]であり、既存の 118%の値であった。

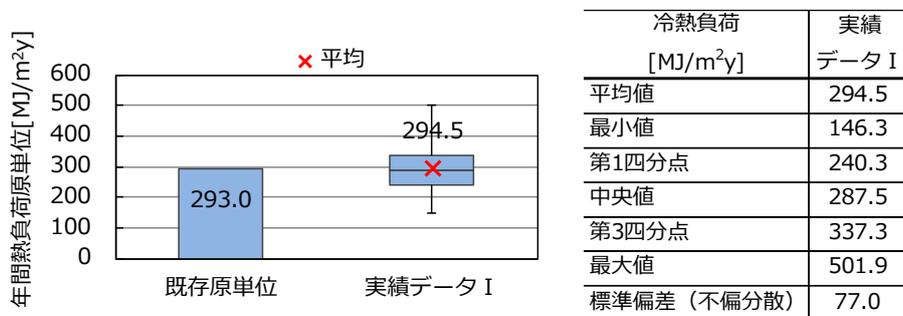


図 3.4.1 事務所 既存と実績データ I の年間冷熱負荷 (n=42)

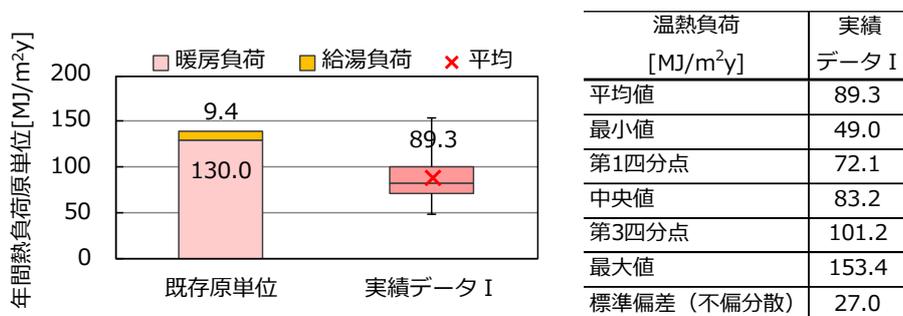


図 3.4.2 事務所 既存と実績データ I の年間温熱負荷 (n=20)

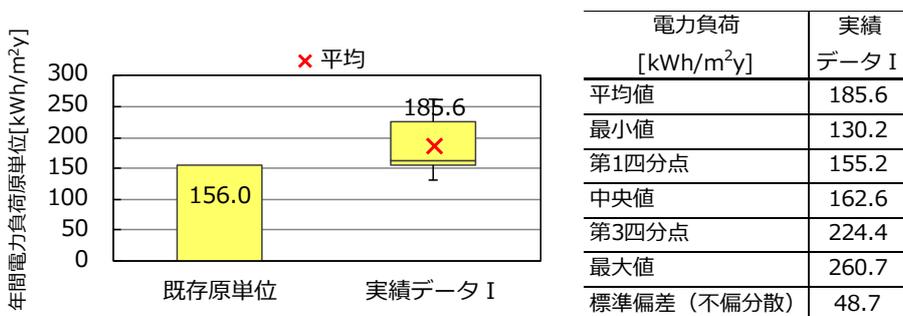


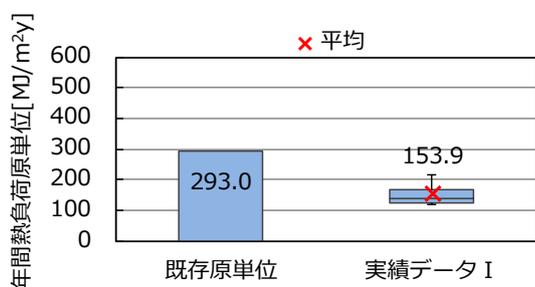
図 3.4.3 事務所 既存と実績データ I の年間電力負荷 (n=6)

(2) 官公庁施設

図 3.4.4~図 3.4.6 に、官公庁施設における既存原単位と実績データ I の年間負荷を示す。既存原単位には官公庁施設の負荷は設定されていない為、事務所施設の原単位を用いて既存と実績データ I の比較を行った。図 3.4.4 より、実績データ I の冷熱負荷は 153.9[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存の 53%であった。実績データ I の元データ 4 件の内、最小値は 119.7[MJ/m<sup>2</sup>年]、最大値は 214.1[MJ/m<sup>2</sup>年]、標準偏差は 37.2 であった。

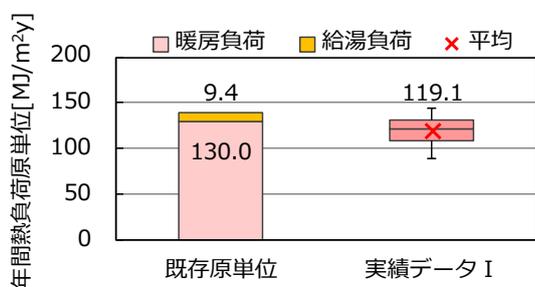
図 3.4.5 より、年間温熱負荷は、実績データ I が 119.1[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存（温熱負荷と給湯負荷の合算値）の 92%であった。また、実績データ I の元データ 4 件の内、最小値は 89.5[MJ/m<sup>2</sup>年]、最大値は 131.6[MJ/m<sup>2</sup>年]、標準偏差は 20.1 であった。

図 3.4.6 より、年間電力負荷はデータ件数が 1 件であり参考程度の値ではあるが、実績データ I が 138.3[kWh/m<sup>2</sup>年]で既存の 88%の値であった。



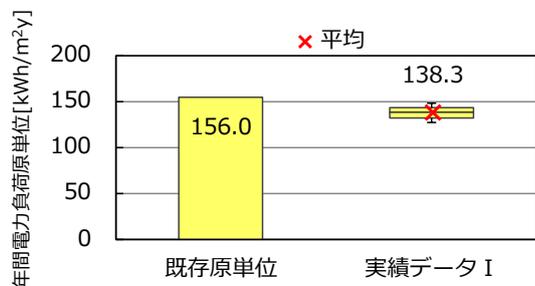
冷熱負荷 [MJ/m <sup>2</sup> y]	実績データ I
平均値	153.9
最小値	119.7
第1四分点	124.9
中央値	140.9
第3四分点	170.0
最大値	214.1
標準偏差 (不偏分散)	37.2

図 3.4.4 官公庁 既存と実績データ I の年間冷熱負荷 (n=4)



温熱負荷 [MJ/m <sup>2</sup> y]	実績データ I
平均値	119.1
最小値	89.5
第1四分点	108.5
中央値	121.1
第3四分点	131.6
最大値	144.8
標準偏差 (不偏分散)	20.1

図 3.4.5 官公庁 既存と実績データ I の年間温熱負荷 (n=4)



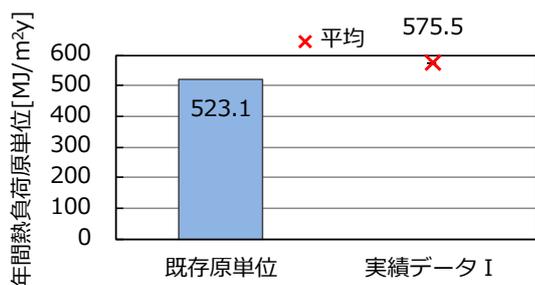
電力負荷 [kWh/m <sup>2</sup> y]	実績データ I
平均値	138.3
最小値	128.3
第1四分点	133.3
中央値	138.3
第3四分点	143.3
最大値	148.3
標準偏差 (不偏分散)	10.0

図 3.4.6 官公庁 既存と実績データ I の年間電力負荷 (n=1)

(3) 商業施設

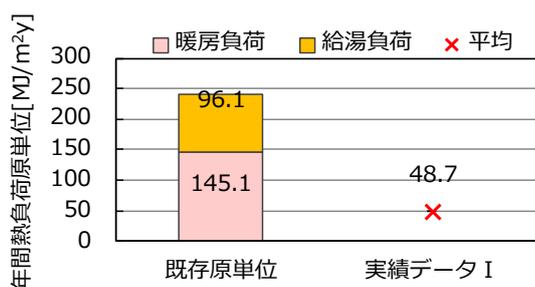
図 3.4.7~図 3.4.8 に、商業施設における既存原単位と実績データ I の年間負荷を示す。商業施設は負荷データを 1 件のみ収集したため参考値として記載する。図 3.4.7 より、実績データ I の冷熱負荷は 575.5[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存より約 10%大きい値を示した。

図 3.4.8 より、年間温熱負荷は、実績データ I が 48.7[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存（温熱負荷と給湯負荷の合算値）の 33%であった。



冷熱負荷 [MJ/m <sup>2</sup> y]	実績 データ I
平均値	575.5
最小値	575.5
第1四分点	575.5
中央値	575.5
第3四分点	575.5
最大値	575.5
標準偏差 (不偏分散)	0.0

図 3.4.7 商業 既存と実績データ I の年間冷熱負荷 (n=1)



温熱負荷 [MJ/m <sup>2</sup> y]	実績 データ I
平均値	48.7
最小値	48.7
第1四分点	48.7
中央値	48.7
第3四分点	48.7
最大値	48.7
標準偏差 (不偏分散)	0.0

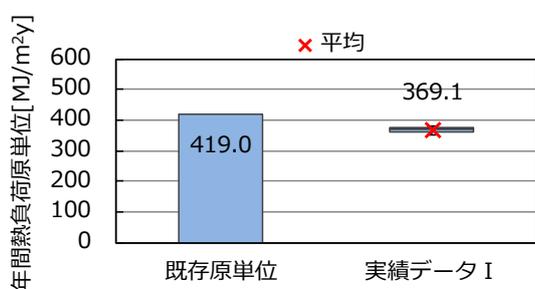
図 3.4.8 商業 既存と実績データ I の年間温熱負荷 (n=1)

(4) 宿泊施設

図 3.4.9~図 3.4.11 に、宿泊施設における既存原単位と実績データ I の年間負荷を示す。図 3.4.9 より、実績データ I の冷熱負荷は 369.1[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存の 88%であった。実績データ I の元データ 4 件の内、最小値は 353.6[MJ/m<sup>2</sup>年]、最大値は 381.5[MJ/m<sup>2</sup>年]、標準偏差は 23.6 であり、各データの差は約 28[MJ/m<sup>2</sup>年]と小さい傾向にあった。

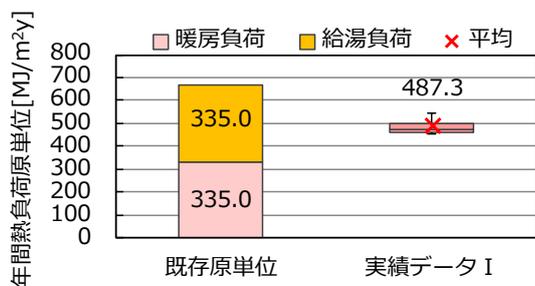
図 3.4.10 より、年間温熱負荷は、実績データ I が 487.3[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存（温熱負荷と給湯負荷の合算値）の 72%であった。また、実績データ I の元データ 4 件の内、最小値は 454.3[MJ/m<sup>2</sup>年]、最大値は 543.1[MJ/m<sup>2</sup>年]、標準偏差は 39 であり、各データの差が約 88.5[MJ/m<sup>2</sup>年]であった。宿泊施設の年間熱負荷は、冷熱負荷、温熱負荷ともに実績データ I は既存より低下している傾向にあった。

図 3.4.11 より、年間電力負荷はデータ件数が 1 件であり参考程度の値ではあるが、実績データ I が 194.4[kWh/m<sup>2</sup>年]で既存の 97%とほぼ同様の値を示した。



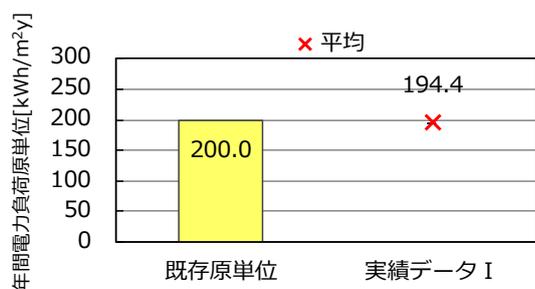
冷熱負荷 [MJ/m <sup>2</sup> y]	実績データ I
平均値	369.1
最小値	353.6
第1四分点	361.9
中央値	370.8
第3四分点	378.1
最大値	381.5
標準偏差 (不偏分散)	10.9

図 3.4.9 宿泊 既存と実績データ I の年間冷熱負荷 (n=4)



温熱負荷 [MJ/m <sup>2</sup> y]	実績データ I
平均値	487.3
最小値	454.5
第1四分点	464.1
中央値	475.8
第3四分点	498.9
最大値	543.1
標準偏差 (不偏分散)	33.9

図 3.4.10 宿泊 既存と実績データ I の年間温熱負荷 (n=4)



電力負荷 [kWh/m <sup>2</sup> y]	実績データ I
平均値	194.4
最小値	194.4
第1四分点	194.4
中央値	194.4
第3四分点	194.4
最大値	194.4
標準偏差 (不偏分散)	0.0

図 3.4.11 宿泊 既存と実績データ I の年間電力負荷 (n=1)

(5) 病院施設

図 3.4.12~図 3.4.14 に、病院施設における既存原単位と実績データ I の年間負荷を示す。図 3.4.12 より、実績データ I の冷熱負荷は 252.9[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存の 76%であった。実績データ I の元データ 4 件の内、最小値は 189.0[MJ/m<sup>2</sup>年]、最大値は 346.3[MJ/m<sup>2</sup>年]、標準偏差は 57.8 であり、各データの差は約 160[MJ/m<sup>2</sup>年]と大きい傾向にあった。

病院施設の温熱負荷データは全て、給湯負荷を含まない値であるので、以降の分析では既存原単位の温熱負荷と比較した。図 3.4.13 より、年間温熱負荷は実績データ I が 111.7[MJ/m<sup>2</sup>年]であり、既存の 37%と非常に低い傾向にあった。また、実績データ I の元データ 4 件の内、最小値は 95.1[MJ/m<sup>2</sup>年]、最大値は 131.6[MJ/m<sup>2</sup>年]、標準偏差は 15.1 であり、各データの差が約 40[MJ/m<sup>2</sup>年]であった。病院施設の実績データ I は、元データ年度が 2010 年年度と猛暑として記録された年であるにもかかわらず、既存原単位より冷房・温熱負荷ともに低い傾向にあった。

図 3.4.14 より、年間電力負荷はデータ件数が 1 件であり参考程度の値ではあるが、実績データ I が 174.0[kWh/m<sup>2</sup>年]で既存の 102%とほぼ同様の値を示した。

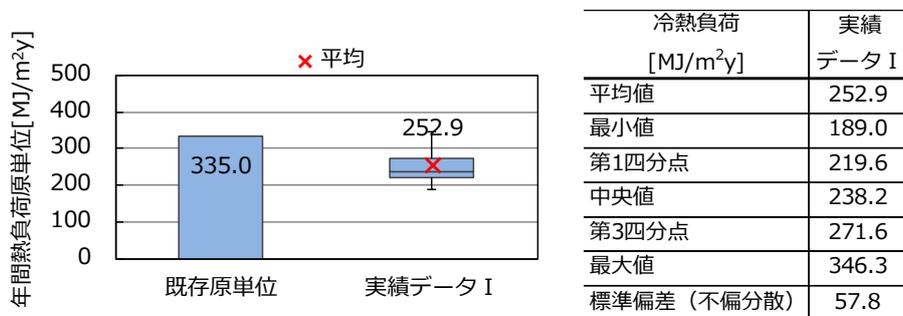


図 3.4.12 病院 既存と実績データ I の年間冷熱負荷 (n=4)

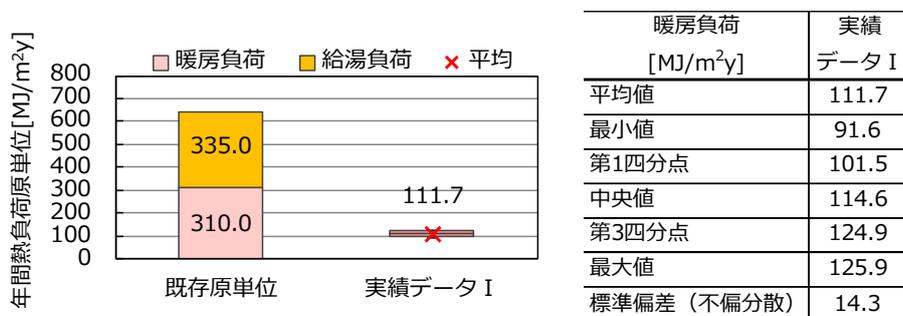


図 3.4.13 病院 既存と実績データ I の年間温熱負荷 (n=4)

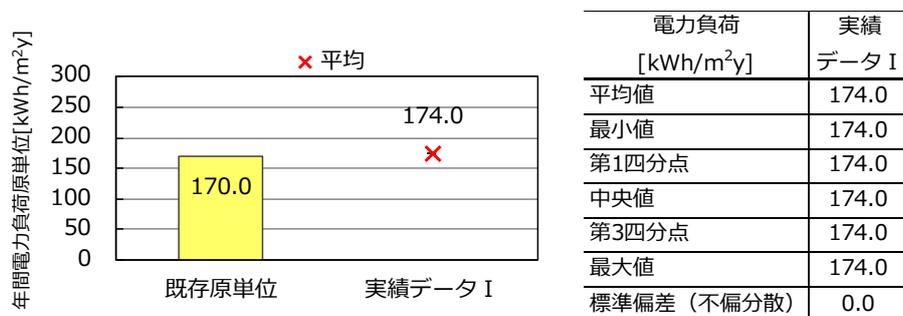
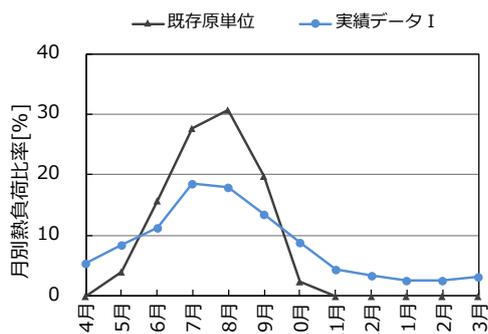


図 3.4.14 病院 既存と実績データ I の年間電力負荷 (n=1)

### 3.4.2 月別負荷比率

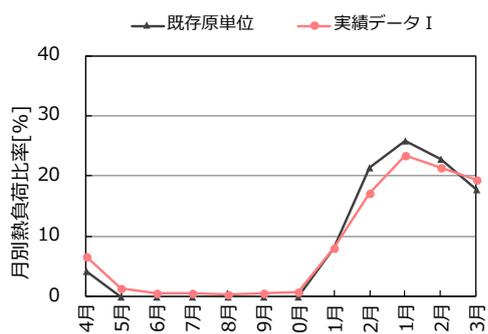
#### (1) 事務所施設

図 3.4.15~図 3.4.17 に、事務所施設における既存と実績データ I の月別負荷比率を示す。図 3.4.15 より、実績データ I の冷熱負荷は既存と異なる推移を示しており、冬期にも 2.4~3.5 ポイント熱負荷が発生している。これは、冬期に外気の影響を受けにくいインテリアゾーンにおける OA 機器や人体発熱によるものだと考えられる。また、図 3.4.16 より、実績データ I の温熱負荷（温熱負荷と給湯負荷の合算値）は、既存とほぼ同様の推移を示している。実績データ I の電力負荷も、図 3.4.17 より既存とほぼ同様の推移を示しており、年間ではほぼ一定の比率となっている。



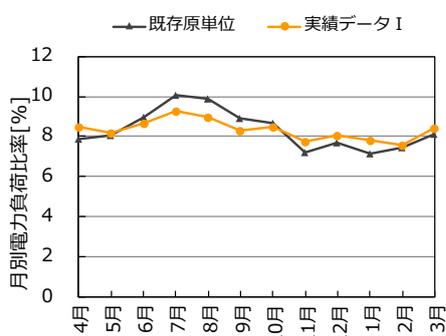
冷熱 [%]		既存 原単位	実績 データ I
4月	中間期	0.00	5.32
5月		3.92	8.41
6月	夏期	15.67	11.32
7月		27.63	18.57
8月		30.72	17.90
9月		19.79	13.59
10月	中間期	2.27	8.87
11月		0.00	4.29
12月	冬期	0.00	3.33
1月		0.00	2.57
2月		0.00	2.59
3月		0.00	3.23
計		100	100

図 3.4.15 事務所 既存と実績データ I の月別冷熱負荷比率 (n=42)



温熱 [%]		既存 原単位	実績 データ I
4月	中間期	4.27	6.66
5月		0.00	1.41
6月	夏期	0.00	0.61
7月		0.00	0.48
8月		0.00	0.43
9月		0.00	0.47
10月	中間期	0.00	0.78
11月		7.98	7.93
12月	冬期	21.37	17.13
1月		25.93	23.37
2月		22.79	21.45
3月		17.66	19.28
計		100	100

図 3.4.16 事務所 既存と実績データ I の月別温熱負荷比率 (n=20)



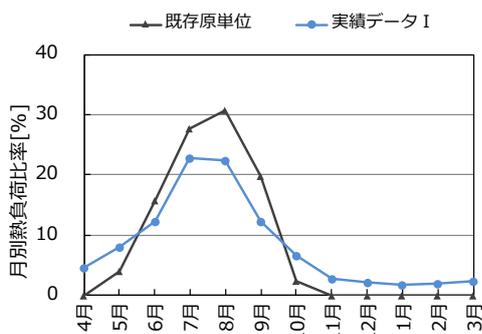
電力 [%]		既存 原単位	実績 データ I
4月	中間期	7.90	8.48
5月		8.03	8.15
6月	夏期	8.95	8.66
7月		10.07	9.25
8月		9.87	8.99
9月		8.89	8.33
10月	中間期	8.66	8.48
11月		7.22	7.76
12月	冬期	7.68	8.07
1月		7.15	7.82
2月		7.43	7.59
3月		8.15	8.42
計		100	100

図 3.4.17 事務所 既存と実績データ I の月別電力負荷比率 (n=6)

(2) 官公庁施設

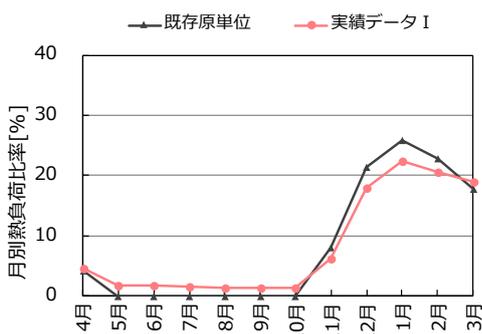
図 3.4.18~図 3.4.20 に、官公庁施設における既存と実績データ I の月別負荷比率を示す。図 3.4.18 より、実績データ I の冷熱負荷は事務所施設と同様に既存と異なる推移を示しており、冬期にも 1.8 ~2.4 ポイント熱負荷が発生している。

図 3.4.19 より、実績データ I の温熱負荷（温熱負荷と給湯負荷の合算値）は、既存とほぼ同様の推移を示している。また、図 3.4.20 より、実績データ I の電力負荷も既存とほぼ同様の推移を示しており、年間でほぼ一定の比率となっている。



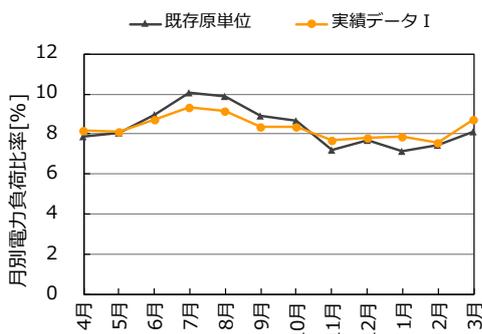
冷熱 [%]		既存 原単位	実績 データ I
4月	中間期	0.00	4.49
5月		3.92	8.04
6月	夏期	15.67	12.19
7月		27.63	22.88
8月		30.72	22.33
9月	中間期	19.79	12.38
10月		2.27	6.63
11月		0.00	2.81
12月	冬期	0.00	2.15
1月		0.00	1.83
2月		0.00	1.87
3月		0.00	2.41
計		100	100

図 3.4.18 官公庁 既存と実績データ I の月別冷熱負荷比率 (n=4)



温熱 [%]		既存 原単位	実績 データ I
4月	中間期	4.27	4.63
5月		0.00	1.71
6月	夏期	0.00	1.75
7月		0.00	1.57
8月		0.00	1.41
9月	中間期	0.00	1.44
10月		0.00	1.40
11月		7.98	6.30
12月	冬期	21.37	17.96
1月		25.93	22.37
2月		22.79	20.52
3月		17.66	18.95
計		100	100

図 3.4.19 官公庁 既存と実績データ I の月別温熱負荷比率 (n=4)



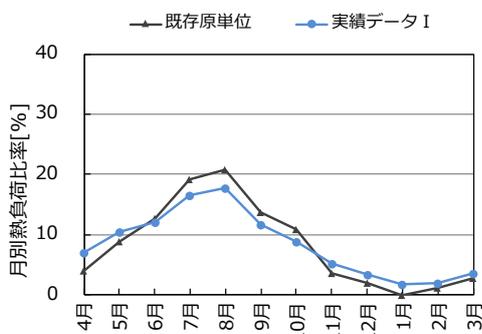
電力 [%]		既存 原単位	実績 データ I
4月	中間期	7.90	8.17
5月		8.03	8.14
6月	夏期	8.95	8.73
7月		10.07	9.33
8月		9.87	9.14
9月	中間期	8.89	8.39
10月		8.66	8.37
11月		7.22	7.70
12月	冬期	7.68	7.83
1月		7.15	7.89
2月		7.43	7.57
3月		8.15	8.74
計		100	100

図 3.4.20 官公庁 既存と実績データ I の月別電力負荷比率 (n=1)

(3) 商業施設

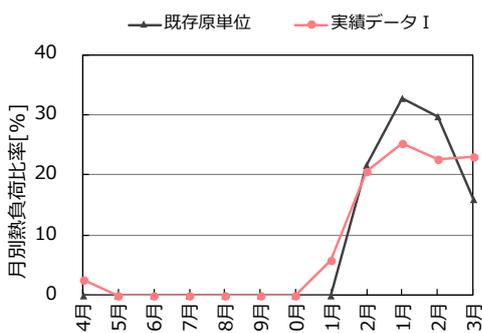
図 3.4.21~図 3.4.22 に、商業施設における既存と実績データ I の月別負荷比率を示す。図 3.4.21 より、実績データ I の冷熱負荷は既存とほぼ同様の推移を示している。

また、図 3.4.22 より、実績データ I の温熱負荷（温熱負荷と給湯負荷の合算値）は、既存とほぼ同様の推移を示している。



冷熱 [%]	既存 原単位	実績 データ I
4月	4.05	6.95
5月	8.91	10.50
6月	12.63	12.09
7月	19.27	16.56
8月	20.83	17.71
9月	13.68	11.73
10月	10.93	8.91
11月	3.64	5.13
12月	2.02	3.27
1月	0.00	1.79
2月	1.21	1.86
3月	2.83	3.49
計	100	100

図 3.4.21 商業 既存と実績データ I の月別冷熱負荷比率 (n=1)



温熱 [%]	既存 原単位	実績 データ I
4月	0.00	2.54
5月	0.00	0.00
6月	0.00	0.00
7月	0.00	0.00
8月	0.00	0.00
9月	0.00	0.00
10月	0.00	0.00
11月	0.00	5.89
12月	21.69	20.69
1月	32.81	25.28
2月	29.63	22.61
3月	15.87	22.99
計	100	100

図 3.4.22 商業 既存と実績データ I の月別温熱負荷比率 (n=1)

(4) 宿泊施設

図 3.4.23~図 3.4.25 に、宿泊施設における既存と実績データ I の月別負荷比率を示す。図 3.4.23 より、実績データ I の冷熱負荷は、既存とほぼ同様の推移を示している。

また、図 3.4.24 より、実績データ I の温熱負荷（温熱負荷と給湯負荷の合算値）は、既存とほぼ同様の推移を示しているが、実績データ I の夏期の負荷比率が既存より 1~2 ポイント程度増加している。これは、実績データ I の冬期の温熱負荷が既存より低下している為である。図 3.4.25、実績データ I の電力負荷も既存とほぼ同様の推移を示しており、年間ではほぼ一定の比率となっている。夏期の負荷比率は、既存原単位と比較して実績データ I が 1 ポイント程度低下している。

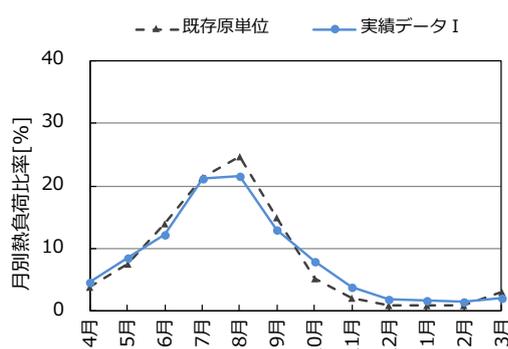


図 3.4.23 宿泊 既存と実績データ I の月別冷熱負荷比率 (n=4)

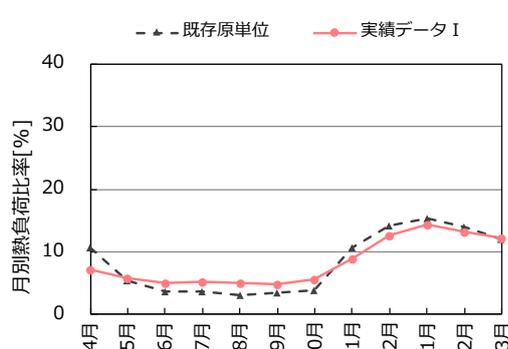


図 3.4.24 宿泊 既存と実績データ I の月別温熱負荷比率 (n=4)

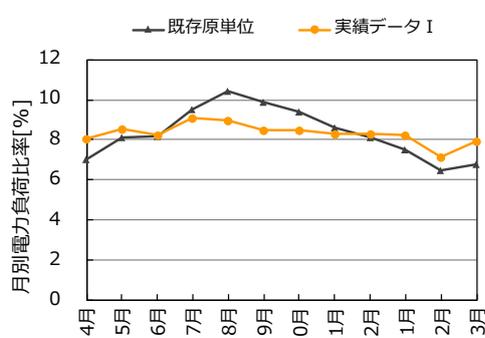


図 3.4.25 宿泊 既存と実績データ I の月別電力負荷比率 (n=1)

(5) 病院施設

図 3.4.26~図 3.4.28 に、病院施設における既存と実績データ I の月別負荷比率を示す。図 3.4.26 より、実績データ I の冷熱負荷は、既存と比較して夏期ピーク月の負荷比率が約 18 ポイント低下している。また、既存では冬期に冷熱負荷が発生していなかったが、実績データ I では 0.6~1 ポイント程度の冷熱負荷が発生している。図 3.4.27 より、実績データ I の温熱負荷は、既存とほぼ同様の推移を示している。また、図 3.4.28 より、実績データ I の電力負荷も既存とほぼ同様の推移を示しており、年間ではほぼ一定の比率となっている。

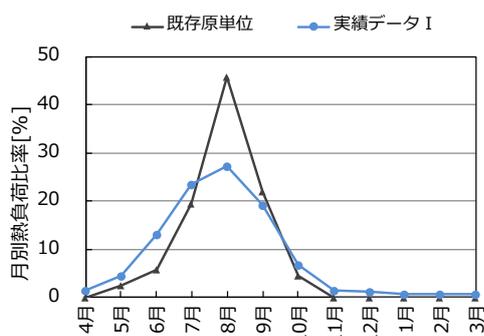


図 3.4.26 病院 既存と実績データ I の月別冷熱負荷比率 (n=4)

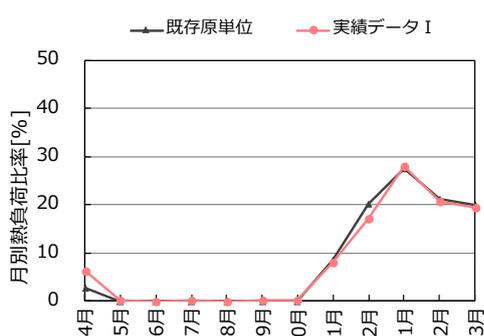


図 3.4.27 病院 既存と実績データ I の月別温熱負荷比率 (n=4)

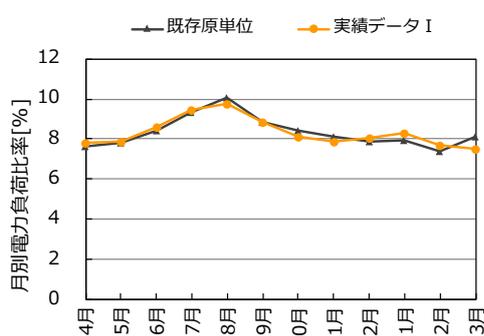


図 3.4.28 病院 既存と実績データ I の月別電力負荷比率 (n=1)

冷熱 [%]		既存原単位	実績データ I
4月	中間期	0.00	1.33
5月		2.53	4.43
6月	夏期	5.85	13.09
7月		19.35	23.44
8月		45.83	27.37
9月	中間期	21.95	19.04
10月		4.49	6.70
11月		0.00	1.38
12月	冬期	0.00	1.05
1月		0.00	0.67
2月		0.00	0.77
3月		0.00	0.74
計		100	100

暖房 [%]		既存原単位	実績データ I
4月	中間期	2.67	6.26
5月		0.00	0.18
6月	夏期	0.00	0.01
7月		0.00	0.06
8月		0.00	0.01
9月	中間期	0.00	0.13
10月		0.00	0.28
11月		8.64	7.94
12月	冬期	20.07	17.20
1月		27.50	28.01
2月		21.20	20.58
3月		19.92	19.35
計		100	100

電力 [%]		既存原単位	実績データ I
4月	中間期	7.64	7.83
5月		7.79	7.89
6月	夏期	8.45	8.63
7月		9.33	9.47
8月		10.06	9.76
9月	中間期	8.85	8.85
10月		8.41	8.14
11月		8.15	7.86
12月	冬期	7.86	8.06
1月		7.94	8.28
2月		7.41	7.67
3月		8.11	7.54
計		100	100

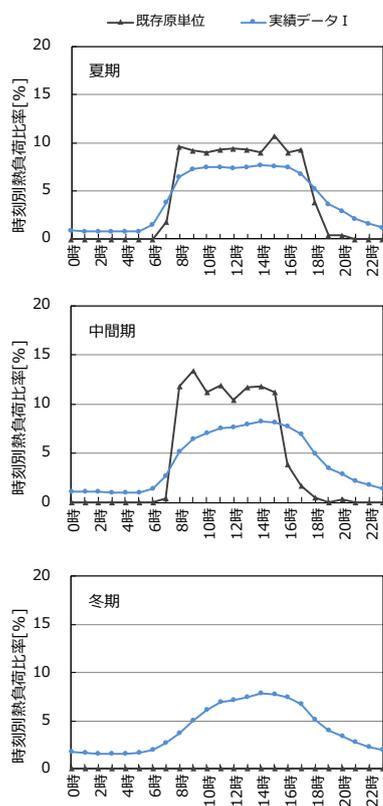
### 3.4.3 時刻別負荷比率の調査結果

#### (1) 事務所施設

図 3.4.29 に、事務所施設における既存と実績データ I の時刻別負荷を示す。より、実績データ I の冷熱負荷は、既存と異なる推移を示しており、24 時間負荷が発生している。

元データの多くの建物は電算室（サーバー等）を設置しているが、負荷の処理方法はほぼ全てパッケージ空調機によるものであり、今回使用している地域熱供給の販売熱量データに負荷は含まれていない。そのため、夜間の負荷は共用部や商業施設、付属施設におけるものだと考えられる。また、元データのほとんどの建物が地域熱供給からの熱供給を受けており、そのため熱負荷推移も個別熱源の建物とは異なる可能性があるが、本研究では個別熱源建物の負荷推移と比較を行い、地域熱源建物の推移が一般的である事を確認している。

実績データ I では 17 時以降の残業時に熱負荷比率が急激に低下する事は無く、残業時の負荷が夜間に向けて徐々に低下している。季節別では、冬期に日中の冷熱負荷が低くなるので、夏期負荷比率と比較して日中の負荷比率が下がっている。

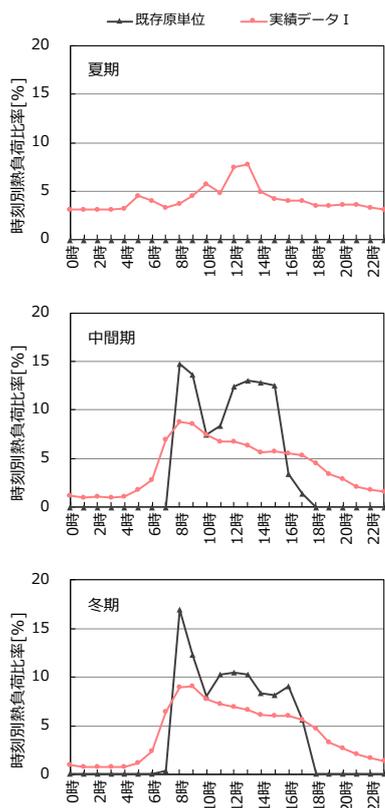


冷熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	0.00	0.00		0.87	1.14	1.72
1時	0.00	0.00		0.82	1.09	1.67
2時	0.00	0.00		0.79	1.05	1.60
3時	0.00	0.00		0.75	1.02	1.58
4時	0.00	0.00		0.76	1.00	1.56
5時	0.00	0.00		0.85	1.03	1.63
6時	0.00	0.00		1.52	1.41	1.95
7時	1.79	0.40		3.80	2.71	2.66
8時	9.57	11.78		6.45	5.19	3.72
9時	9.17	13.37		7.25	6.45	5.06
10時	8.97	11.19		7.47	7.08	6.12
11時	9.27	11.88		7.52	7.50	6.89
12時	9.37	10.40		7.42	7.62	7.15
13時	9.27	11.68		7.53	7.91	7.48
14時	8.97	11.78		7.67	8.20	7.84
15時	10.69	11.19		7.63	8.12	7.79
16時	8.97	3.86		7.46	7.77	7.48
17時	9.27	1.68		6.75	6.94	6.75
18時	3.89	0.50		5.23	4.97	5.13
19時	0.40	0.00		3.64	3.52	3.97
20時	0.40	0.30		2.94	2.91	3.34
21時	0.00	0.00		2.14	2.21	2.74
22時	0.00	0.00		1.57	1.75	2.24
23時	0.00	0.00		1.20	1.42	1.93
計	100	100		100	100	100

図 3.4.29 事務所 既存と実績データ I の時刻別冷熱負荷比率 (n=42)

また、図 3.4.30 より、実績データ I の温熱負荷は冷熱負荷と同様に既存と異なる推移を示しており、24 時間負荷が発生している。また、冬期負荷比率において始業時の、ピーク負荷比率が既存より 5 ポイント程度低下している。

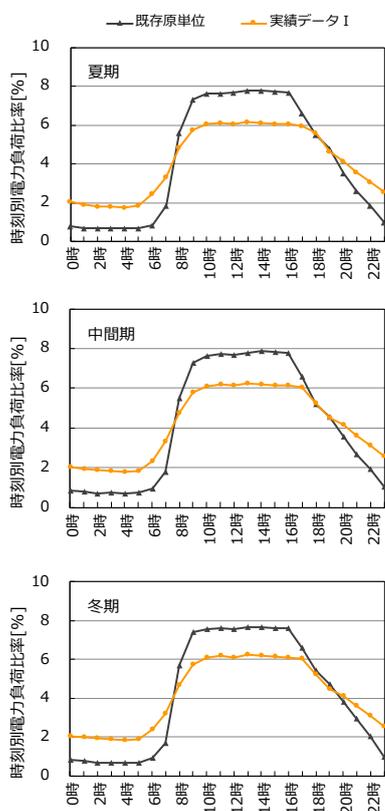
また、中間期の負荷比率は既存と実績データ I で大きく異なっており、既存では 10~12 時に負荷比率が大きく低下する推移を示しているのに対して、実績データ I では冬期負荷比率と同様の推移となっている。



温熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	0.00	0.00	0.00	3.11	1.15	0.94
1時	0.00	0.00	0.00	3.09	0.99	0.79
2時	0.00	0.00	0.00	3.11	1.07	0.79
3時	0.00	0.00	0.00	3.13	1.00	0.75
4時	0.00	0.00	0.00	3.26	1.07	0.80
5時	0.00	0.00	0.00	4.54	1.79	1.16
6時	0.00	0.00	0.00	4.02	2.84	2.40
7時	0.00	0.30	0.30	3.32	6.99	6.42
8時	14.76	16.99	3.73	3.73	8.82	9.01
9時	13.65	12.29	4.56	4.56	8.62	9.02
10時	7.48	8.09	5.77	5.77	7.44	7.75
11時	8.39	10.29	4.90	4.90	6.72	7.27
12時	12.44	10.49	7.49	7.49	6.72	6.90
13時	13.04	10.29	7.83	7.83	6.34	6.58
14時	12.84	8.39	4.91	4.91	5.63	6.08
15時	12.54	8.19	4.29	4.29	5.72	6.03
16時	3.44	9.09	4.04	4.04	5.52	5.98
17時	1.42	5.59	4.09	4.09	5.34	5.59
18時	0.00	0.00	3.58	3.58	4.52	4.65
19時	0.00	0.00	3.50	3.50	3.38	3.27
20時	0.00	0.00	3.62	3.62	2.87	2.69
21時	0.00	0.00	3.62	3.62	2.07	2.06
22時	0.00	0.00	3.31	3.31	1.82	1.66
23時	0.00	0.00	3.17	3.17	1.57	1.41
計		100	100		100	100

図 3.4.30 事務所 既存と実績データ I の時刻別温熱負荷比率 (n=20)

図 3.4.31 より、実績データ I の電力負荷は、既存よりも夜間の負荷比率が 1.5 ポイント程度増加している傾向にある。これは、事務所では 24 時間電力を消費する電算室（サーバー等）を設置する建物が多いと考えられる。また、実績データ I では昼休憩時の負荷比率が低下している等、東日本大震災以前の節電行動が確認できる。



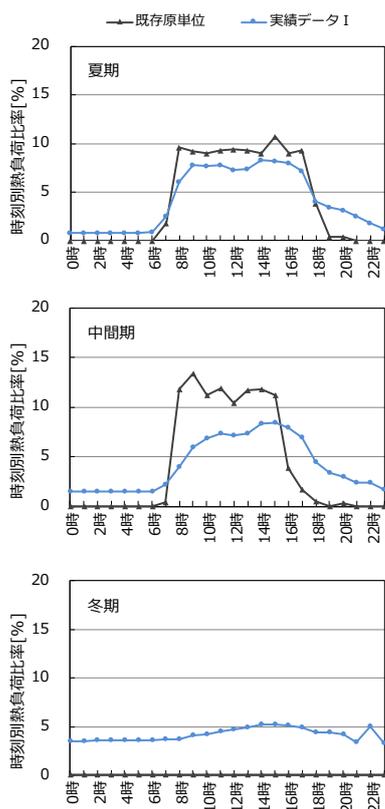
電力 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	0.82	0.85	0.84	2.07	2.05	2.05
1時	0.73	0.78	0.76	1.91	1.92	2.00
2時	0.69	0.71	0.69	1.84	1.87	1.95
3時	0.69	0.76	0.69	1.82	1.82	1.90
4時	0.69	0.71	0.67	1.79	1.81	1.86
5時	0.69	0.73	0.69	1.89	1.85	1.90
6時	0.88	0.95	0.94	2.45	2.35	2.41
7時	1.86	1.78	1.70	3.33	3.30	3.24
8時	5.61	5.48	5.67	4.86	4.76	4.69
9時	7.32	7.31	7.40	5.77	5.80	5.73
10時	7.64	7.62	7.57	6.06	6.11	6.08
11時	7.66	7.72	7.64	6.13	6.22	6.19
12時	7.71	7.70	7.57	6.05	6.14	6.12
13時	7.78	7.80	7.65	6.17	6.25	6.23
14時	7.82	7.89	7.65	6.11	6.19	6.19
15時	7.75	7.84	7.62	6.06	6.14	6.13
16時	7.68	7.80	7.62	6.05	6.12	6.12
17時	6.63	6.60	6.61	5.98	6.03	6.03
18時	5.50	5.21	5.43	5.63	5.26	5.22
19時	4.81	4.58	4.71	4.64	4.50	4.49
20時	3.52	3.56	3.82	4.15	4.16	4.14
21時	2.65	2.68	2.98	3.58	3.64	3.62
22時	1.88	1.92	2.07	3.09	3.12	3.12
23時	0.99	1.02	1.01	2.56	2.58	2.58
計	100	100	100	100	100	100

図 3.4.31 事務所 既存と実績データ I の時刻別電力負荷比率 (n=6)

(2) 官公庁施設

図 3.4.32~図 3.4.34 に、官公庁施設における既存と実績データ I の時刻別負荷を示す。図 3.4.32 より、実績データ I の冷熱負荷は、既存と異なる推移を示しており、24 時間負荷が発生している。事務所施設と同様に、夜間の負荷は共用部や、付属施設によるものだと考えられる。

実績データ I では 17 時以降の残業時に熱負荷比率が急激に低下する事は無く、残業時の負荷が夜間に向けて徐々に低下している。季節別では、冬期に日中の冷熱負荷が低くなるので、夏期負荷比率と比較して日中の負荷比率が低下しており、夜間負荷と同程度の負荷比率となっている。

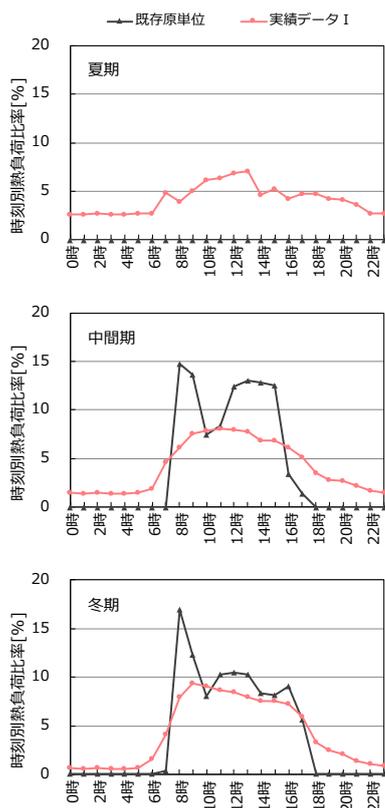


冷熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	0.00	0.00		0.84	1.47	3.50
1時	0.00	0.00		0.81	1.47	3.54
2時	0.00	0.00		0.81	1.50	3.57
3時	0.00	0.00		0.80	1.48	3.57
4時	0.00	0.00		0.80	1.49	3.62
5時	0.00	0.00		0.79	1.48	3.60
6時	0.00	0.00		0.92	1.46	3.60
7時	1.79	0.40		2.49	2.16	3.67
8時	9.57	11.78		6.05	4.01	3.71
9時	9.17	13.37		7.75	5.91	4.07
10時	8.97	11.19		7.71	6.80	4.15
11時	9.27	11.88		7.81	7.31	4.52
12時	9.37	10.40		7.31	7.14	4.74
13時	9.27	11.68		7.35	7.33	4.95
14時	8.97	11.78		8.31	8.31	5.26
15時	10.69	11.19		8.20	8.43	5.24
16時	8.97	3.86		8.04	7.95	5.14
17時	9.27	1.68		7.17	6.98	4.94
18時	3.89	0.50		4.00	4.47	4.39
19時	0.40	0.00		3.43	3.42	4.40
20時	0.40	0.30		3.18	2.93	4.19
21時	0.00	0.00		2.48	2.38	3.39
22時	0.00	0.00		1.78	2.41	4.96
23時	0.00	0.00		1.17	1.69	3.30
計	100	100		100	100	100

図 3.4.32 官公庁 既存と実績データ I の時刻別冷熱負荷比率 (n=4)

図 3.4.33 より、実績データ I の温熱負荷は冷熱負荷と同様に既存と異なる推移を示しており、24 時間負荷が発生している。また、冬期負荷比率において始業時のピーク負荷比率が既存より 9 ポイント程度低下している。

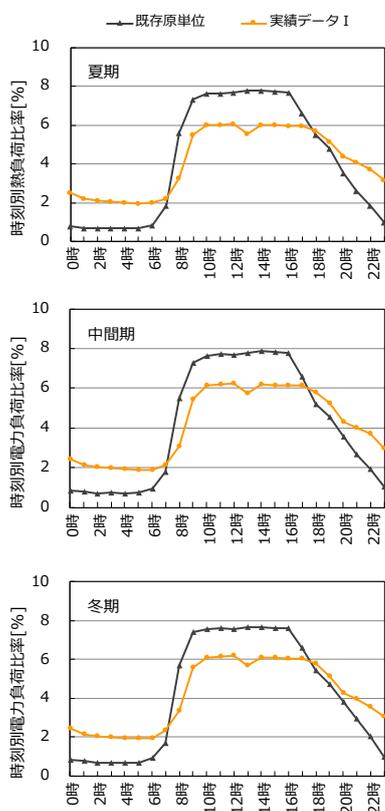
また、中間期の負荷比率は既存と実績データ I で大きく異なっており、事務所施設と同様に、既存では 10~12 時に負荷比率が大きく低下する推移を示しているのに対して、実績データ I では冬期負荷比率と同様の推移となっている。



温熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	0.00	0.00	0.00	2.64	1.44	0.62
1時	0.00	0.00	0.00	2.63	1.40	0.59
2時	0.00	0.00	0.00	2.74	1.50	0.62
3時	0.00	0.00	0.00	2.60	1.35	0.57
4時	0.00	0.00	0.00	2.60	1.37	0.58
5時	0.00	0.00	0.00	2.75	1.49	0.68
6時	0.00	0.00	0.00	2.74	1.89	1.57
7時	0.00	0.30	0.30	4.87	4.68	4.10
8時	14.76	16.99	3.96	6.13	7.98	7.98
9時	13.65	12.29	5.01	7.59	9.34	9.34
10時	7.48	8.09	6.18	7.90	9.07	9.07
11時	8.39	10.29	6.34	8.10	8.61	8.61
12時	12.44	10.49	6.87	8.00	8.41	8.41
13時	13.04	10.29	7.09	7.78	8.00	8.00
14時	12.84	8.39	4.66	6.87	7.50	7.50
15時	12.54	8.19	5.21	6.85	7.55	7.55
16時	3.44	9.09	4.20	6.17	7.25	7.25
17時	1.42	5.59	4.78	5.08	5.97	5.97
18時	0.00	0.00	4.72	3.52	3.25	3.25
19時	0.00	0.00	4.22	2.85	2.43	2.43
20時	0.00	0.00	4.17	2.71	2.04	2.04
21時	0.00	0.00	3.61	2.16	1.33	1.33
22時	0.00	0.00	2.70	1.66	1.08	1.08
23時	0.00	0.00	2.70	1.49	0.85	0.85
計		100	100		100	100

図 3.4.33 官公庁 既存と実績データ I の時刻別温熱負荷比率 (n=4)

図 3.4.34 より、実績データ I の電力負荷は、既存よりも夜間の負荷比率が 2 ポイント程度増加している傾向にある。これは、事務所施設と同様に、官公庁施設も 24 時間電力を消費する電算室（サーバー等）を設置する建物が多い為と考えられる。また、実績データ I では昼休憩時の負荷比率が低下している。



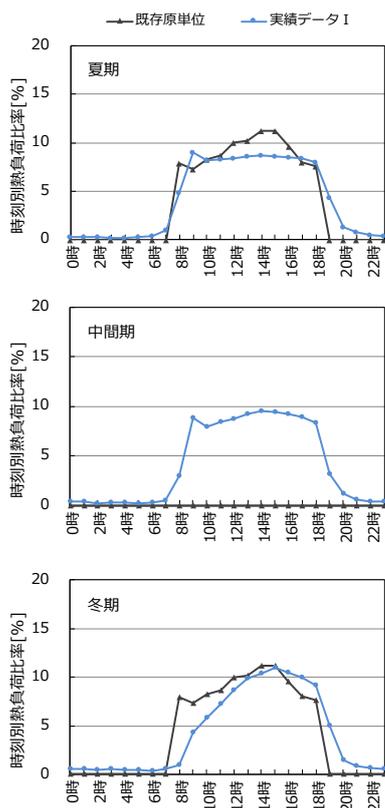
電力 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	0.82	0.85	0.84	2.52	2.44	2.47
1時	0.73	0.78	0.76	2.25	2.14	2.17
2時	0.69	0.71	0.69	2.15	2.05	2.07
3時	0.69	0.76	0.69	2.07	1.97	1.98
4時	0.69	0.71	0.67	2.03	1.93	1.93
5時	0.69	0.73	0.69	1.99	1.90	1.93
6時	0.88	0.95	0.94	2.02	1.90	1.96
7時	1.86	1.78	1.70	2.23	2.14	2.35
8時	5.61	5.48	5.67	3.26	3.07	3.37
9時	7.32	7.31	7.40	5.51	5.44	5.61
10時	7.64	7.62	7.57	6.04	6.14	6.07
11時	7.66	7.72	7.64	6.00	6.20	6.13
12時	7.71	7.70	7.57	6.10	6.26	6.19
13時	7.78	7.80	7.65	5.58	5.73	5.69
14時	7.82	7.89	7.65	6.01	6.18	6.12
15時	7.75	7.84	7.62	6.02	6.14	6.08
16時	7.68	7.80	7.62	5.97	6.15	6.04
17時	6.63	6.60	6.61	5.96	6.14	6.03
18時	5.50	5.21	5.43	5.72	5.79	5.79
19時	4.81	4.58	4.71	5.17	5.28	5.12
20時	3.52	3.56	3.82	4.39	4.30	4.26
21時	2.65	2.68	2.98	4.11	4.00	4.00
22時	1.88	1.92	2.07	3.73	3.73	3.56
23時	0.99	1.02	1.01	3.18	2.98	3.07
計	100	100	100	100	100	100

図 3.4.34 官公庁 既存と実績データ I の時刻別電力負荷比率 (n=1)

(3) 商業施設

図 3.4.35~図 3.4.36 に、商業施設における既存と実績データ I の時刻別負荷を示す。図 3.4.35 より、実績データ I の冷熱負荷は、既存と異なる推移を示しており、夏期・冬期において負荷の立ち上がりが 1 時間遅れて発生し、終業時間帯も負荷が発生している。また、中間期に負荷が発生している。

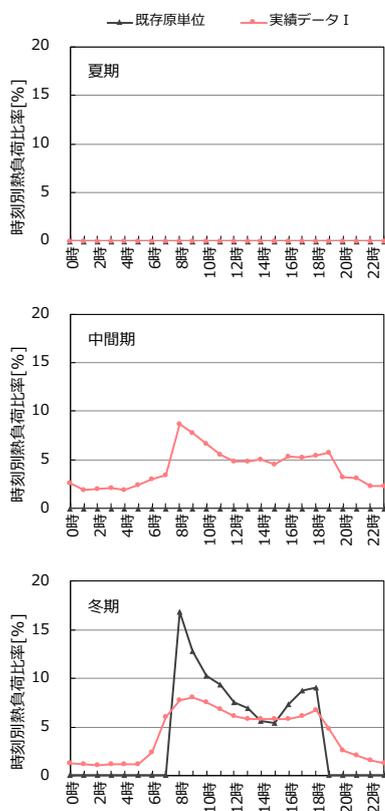
実績データ I では既存と比較し夏期・冬期の 12 時台~16 時台に発生した負荷が平準化される推移となった。



冷熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	0.00		0.00	0.35	0.36	0.52
1時	0.00		0.00	0.27	0.36	0.52
2時	0.00		0.00	0.26	0.24	0.40
3時	0.00		0.00	0.24	0.29	0.54
4時	0.00		0.00	0.24	0.27	0.42
5時	0.00		0.00	0.29	0.23	0.50
6時	0.00		0.00	0.41	0.31	0.30
7時	0.00		0.00	1.00	0.49	0.50
8時	7.90		7.90	4.88	3.02	0.95
9時	7.30		7.30	9.03	8.79	4.30
10時	8.30		8.30	8.20	7.97	5.85
11時	8.70		8.70	8.27	8.38	7.23
12時	10.00		10.00	8.43	8.74	8.60
13時	10.20		10.20	8.63	9.26	9.83
14時	11.20		11.20	8.70	9.57	10.39
15時	11.20		11.20	8.61	9.42	10.98
16時	9.60		9.60	8.46	9.21	10.44
17時	8.00		8.00	8.39	8.93	10.02
18時	7.60		7.60	8.01	8.34	9.17
19時	0.00		0.00	4.31	3.21	5.06
20時	0.00		0.00	1.31	1.19	1.50
21時	0.00		0.00	0.77	0.62	0.84
22時	0.00		0.00	0.51	0.44	0.62
23時	0.00		0.00	0.45	0.38	0.53
計	100	0	100	100	100	100

図 3.4.35 商業 既存と実績データ I の時刻別冷熱負荷比率 (n=1)

図 3.4.36 より、実績データ I の温熱負荷は冷熱負荷と同様に既存と異なる推移を示しており、中間期に負荷が発生し、冬期には 24 時間負荷が発生している。また、冬期負荷比率において始業時のピーク負荷比率が既存より約 10 ポイント程度低下している。



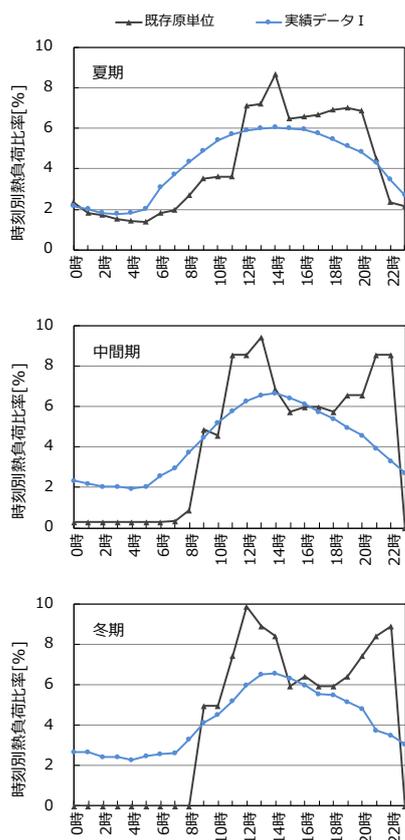
温熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時			0.00	2.65	1.24	
1時			0.00	1.94	1.15	
2時			0.00	2.01	1.11	
3時			0.00	2.12	1.13	
4時			0.00	1.93	1.15	
5時			0.00	2.43	1.15	
6時			0.00	3.00	2.41	
7時			0.00	3.42	6.01	
8時			16.90	8.64	7.77	
9時			12.80	7.73	8.09	
10時			10.30	6.62	7.53	
11時			9.40	5.55	6.79	
12時			7.50	4.87	6.12	
13時			6.90	4.80	5.78	
14時			5.60	5.03	5.78	
15時			5.40	4.53	5.87	
16時			7.30	5.38	5.83	
17時			8.80	5.27	6.14	
18時			9.10	5.42	6.68	
19時			0.00	5.70	4.77	
20時			0.00	3.24	2.55	
21時			0.00	3.14	2.07	
22時			0.00	2.27	1.59	
23時			0.00	2.32	1.31	
計		0	100	100	100	

図 3.4.36 商業 既存と実績データ I の時刻別温熱負荷比率 (n=1)

(4) 宿泊施設

図 3.4.37~図 3.4.39 に、宿泊施設における既存と実績データ I の時刻別負荷を示す。図 3.4.37 より、既存原単位の冷熱負荷は 11~20 時にかけて負荷比率が高くなる推移に対し、実績データ I では 4~8 時の負荷比率が高くなっており、なだらかな負荷の推移を示している。

中間期、冬期の時刻別負荷は、既存原単位が朝夕に 2 回ピークが発生する推移となっているのに対し、実績データ I では夏期とほぼ同様の推移となっており、24 時間負荷が発生している。

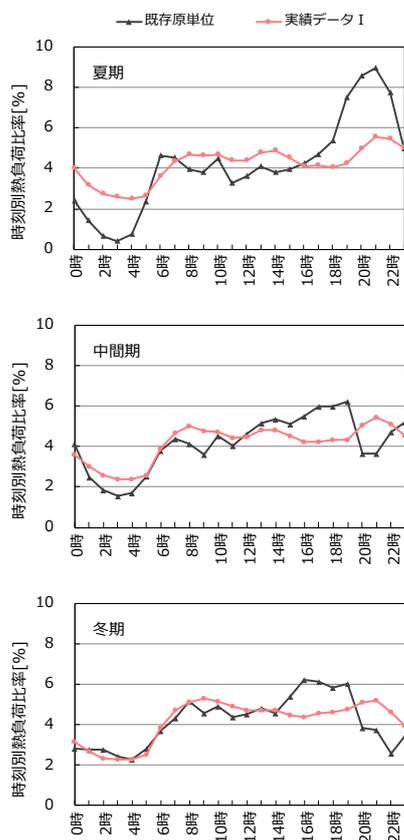


冷熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	2.34	0.29	0.00	2.17	2.34	2.69
1時	1.80	0.29	0.00	2.00	2.17	2.65
2時	1.71	0.29	0.00	1.80	2.03	2.45
3時	1.53	0.29	0.00	1.78	2.03	2.44
4時	1.44	0.29	0.00	1.79	1.97	2.28
5時	1.35	0.29	0.00	2.02	2.06	2.48
6時	1.80	0.29	0.00	3.08	2.56	2.56
7時	1.98	0.34	0.00	3.69	2.99	2.62
8時	2.71	0.86	0.00	4.33	3.73	3.30
9時	3.52	4.87	4.95	4.87	4.47	4.12
10時	3.61	4.58	4.95	5.39	5.20	4.53
11時	3.61	8.59	7.43	5.70	5.79	5.19
12時	7.13	8.59	9.89	5.89	6.26	5.99
13時	7.22	9.43	8.90	5.99	6.56	6.50
14時	8.68	6.87	8.42	6.06	6.65	6.59
15時	6.49	5.73	5.94	5.97	6.44	6.34
16時	6.58	6.01	6.44	5.93	6.11	5.96
17時	6.67	6.01	5.94	5.75	5.76	5.53
18時	6.94	5.73	5.94	5.44	5.38	5.50
19時	7.03	6.59	6.44	5.10	4.99	5.16
20時	6.85	6.59	7.43	4.82	4.57	4.80
21時	4.51	8.59	8.42	4.28	3.93	3.76
22時	2.34	8.59	8.91	3.48	3.29	3.51
23時	2.16	0.00	0.00	2.68	2.72	3.06
計	100	100	100	100	100	100

図 3.4.37 宿泊 既存と実績データ I の時刻別冷熱負荷比率 (n=4)

図 3.4.38 より、実績データ I の温熱負荷は既存とほぼ同様の推移を示している。しかし、ピーク発生時刻は既存原単位が 19 時であるのに対して、実績データ I は 21 時であった。

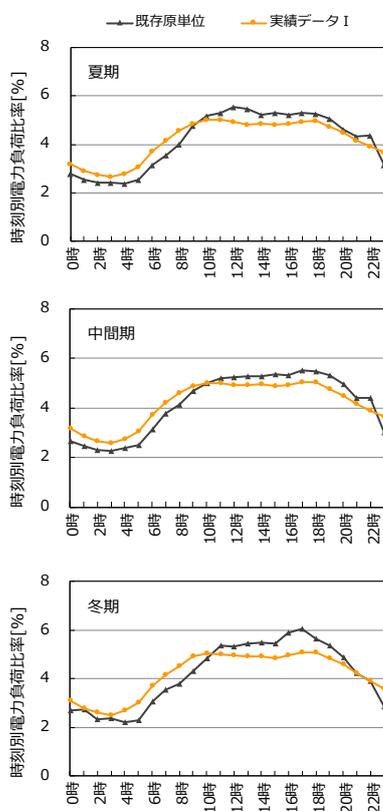
また、実績データ I の夏期の負荷比率は給湯負荷によるものと考えられるが、既存原単位と実績データ I の推移は異なっており、実績データ I のピーク時の負荷比率は既存より約 3.5 ポイント低下している。また、0~6 時の夜間負荷は実績データ I が既存より 1~2 ポイント程度増加している。



温熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	2.37	4.13	2.82	4.00	3.61	3.15
1時	1.43	2.48	2.77	3.16	3.01	2.66
2時	0.64	1.84	2.76	2.71	2.56	2.31
3時	0.38	1.58	2.42	2.57	2.37	2.27
4時	0.73	1.72	2.28	2.47	2.40	2.27
5時	2.35	2.54	2.82	2.63	2.58	2.50
6時	4.64	3.80	3.70	3.61	3.87	3.85
7時	4.53	4.38	4.30	4.35	4.66	4.70
8時	3.97	4.15	5.13	4.66	5.00	5.12
9時	3.80	3.61	4.57	4.64	4.78	5.28
10時	4.51	4.53	4.93	4.68	4.72	5.15
11時	3.25	4.02	4.39	4.40	4.45	4.90
12時	3.59	4.63	4.50	4.37	4.49	4.72
13時	4.08	5.14	4.79	4.80	4.80	4.73
14時	3.80	5.35	4.57	4.88	4.82	4.71
15時	3.95	5.09	5.39	4.52	4.52	4.45
16時	4.23	5.52	6.24	4.12	4.25	4.39
17時	4.68	6.00	6.14	4.14	4.25	4.55
18時	5.36	5.99	5.86	4.04	4.33	4.63
19時	7.48	6.22	6.04	4.22	4.35	4.75
20時	8.57	3.67	3.85	4.96	5.05	5.12
21時	8.96	3.67	3.73	5.58	5.48	5.20
22時	7.74	4.75	2.56	5.46	5.13	4.64
23時	4.96	5.19	3.43	5.03	4.52	3.92
計	100	100	100	100	100	100

図 3.4.38 宿泊 既存と実績データ I の時刻別温熱負荷比率 (n=4)

図 3.4.39 より、実績データ I の電力負荷は既存とほぼ同様の推移を示している。また、季節別の時刻別負荷の推移に差異はほとんどなかった。

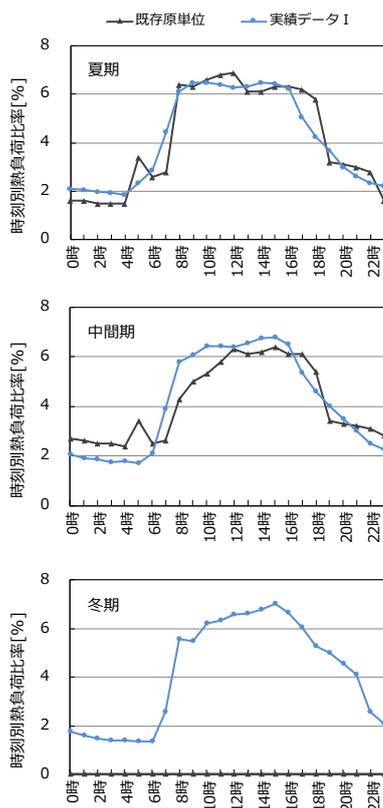


電力 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	2.81	2.67	2.68	3.21	3.16	3.08
1時	2.55	2.45	2.74	2.91	2.84	2.78
2時	2.41	2.32	2.31	2.76	2.66	2.62
3時	2.41	2.27	2.36	2.67	2.57	2.51
4時	2.38	2.40	2.19	2.78	2.73	2.70
5時	2.53	2.51	2.29	3.08	3.06	3.03
6時	3.14	3.15	3.07	3.71	3.73	3.69
7時	3.58	3.77	3.56	4.19	4.22	4.16
8時	4.00	4.12	3.79	4.58	4.60	4.53
9時	4.79	4.67	4.31	4.87	4.89	4.93
10時	5.17	4.98	4.84	5.01	4.98	5.04
11時	5.31	5.20	5.38	5.02	5.00	5.02
12時	5.55	5.23	5.34	4.92	4.93	4.96
13時	5.45	5.27	5.44	4.83	4.91	4.90
14時	5.24	5.27	5.47	4.87	4.95	4.92
15時	5.31	5.36	5.46	4.81	4.88	4.83
16時	5.24	5.32	5.89	4.86	4.91	4.96
17時	5.31	5.50	6.04	4.95	5.03	5.09
18時	5.28	5.46	5.64	4.96	5.03	5.10
19時	5.07	5.32	5.36	4.72	4.76	4.84
20時	4.63	4.94	4.87	4.48	4.50	4.59
21時	4.33	4.39	4.22	4.18	4.16	4.24
22時	4.37	4.41	3.90	3.93	3.87	3.89
23時	3.14	3.02	2.85	3.68	3.63	3.60
計	100	100	100	100	100	100

図 3.4.39 宿泊 既存と実績データ I の時刻別電力負荷比率 (n=1)

(5) 病院施設

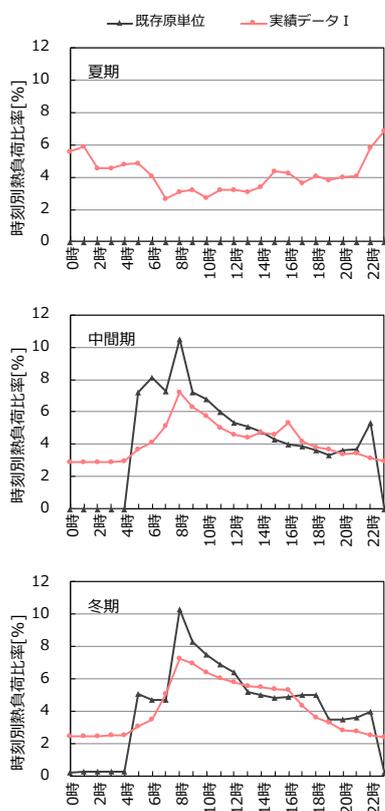
図 3.4.40~図 3.4.42 に、病院施設における既存と実績データ I の時刻別負荷を示す。図 3.4.40 より、既存と実績データ I の冷熱負荷は、ほぼ同様の推移を示している。しかし、事務所施設と同様に、実績データ I では夕方以降の負荷比率はなだらかに減少する傾向にある。また、既存原単位では 5 時に負荷比率が一度増加しているが、実績データ I ではそのような推移は見られなかった。中間期の時刻別負荷も、夏期とほぼ同様の推移を示している。



冷熱 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	1.60	2.70		2.12	2.05	1.78
1時	1.60	2.60		2.05	1.92	1.62
2時	1.50	2.50		2.00	1.86	1.47
3時	1.50	2.50		1.94	1.76	1.40
4時	1.50	2.40		1.85	1.80	1.39
5時	3.40	3.40		2.33	1.69	1.35
6時	2.60	2.50		2.88	2.11	1.37
7時	2.80	2.60		4.44	3.87	2.57
8時	6.40	4.30		6.11	5.80	5.58
9時	6.30	5.00		6.48	6.05	5.50
10時	6.60	5.30		6.46	6.42	6.22
11時	6.80	5.80		6.41	6.44	6.33
12時	6.90	6.30		6.28	6.40	6.59
13時	6.10	6.10		6.33	6.52	6.61
14時	6.10	6.20		6.49	6.75	6.78
15時	6.30	6.40		6.46	6.78	7.03
16時	6.30	6.10		6.23	6.51	6.68
17時	6.20	6.10		5.06	5.35	6.07
18時	5.80	5.40		4.25	4.62	5.29
19時	3.20	3.40		3.69	4.01	5.00
20時	3.10	3.30		2.98	3.48	4.57
21時	3.00	3.20		2.63	3.02	4.11
22時	2.80	3.10		2.34	2.51	2.59
23時	1.60	2.80		2.22	2.28	2.10
計	100	100		100	100	100

図 3.4.40 病院 既存と実績データ I の時刻別冷熱負荷比率 (n=4)

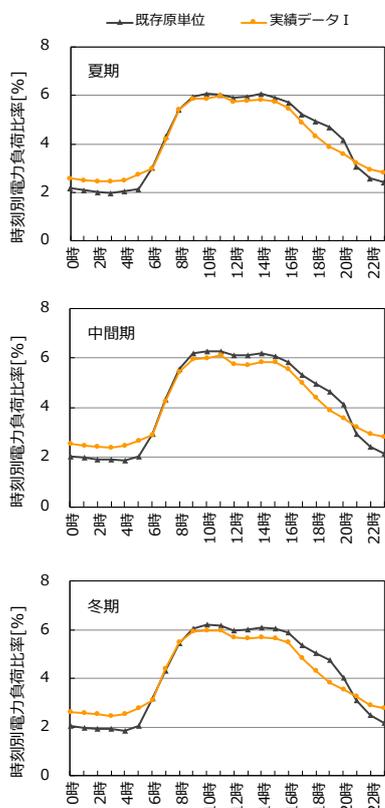
図 3.4.41 より、実績データ I の温熱負荷は、既存原単位と比較してピーク熱負荷が約 3 ポイント低下している。また、実績データ I では夜間も負荷が発生している。これは、病室などの 24 時間稼働している施設の負荷であると考えられる。中間期の時刻別負荷も、冬期とほぼ同様の推移を示している。



暖房 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	0.00	0.20	5.60	2.90	2.45	
1時	0.00	0.30	5.90	2.92	2.47	
2時	0.00	0.30	4.57	2.90	2.44	
3時	0.00	0.30	4.58	2.89	2.51	
4時	0.00	0.30	4.77	2.95	2.53	
5時	7.20	5.10	4.87	3.68	3.08	
6時	8.10	4.70	4.09	4.10	3.47	
7時	7.30	4.70	2.69	5.13	5.09	
8時	10.50	10.30	3.08	7.22	7.23	
9時	7.20	8.30	3.21	6.32	6.96	
10時	6.80	7.50	2.76	5.78	6.39	
11時	6.00	6.90	3.24	5.03	6.02	
12時	5.30	6.40	3.23	4.62	5.80	
13時	5.10	5.20	3.08	4.41	5.54	
14時	4.80	5.00	3.43	4.70	5.48	
15時	4.30	4.80	4.38	4.58	5.39	
16時	4.00	4.90	4.23	5.31	5.32	
17時	3.90	5.00	3.62	4.18	4.37	
18時	3.60	5.00	4.06	3.80	3.63	
19時	3.30	3.50	3.79	3.69	3.30	
20時	3.60	3.50	4.00	3.38	2.85	
21時	3.70	3.60	4.08	3.42	2.75	
22時	5.30	4.00	5.85	3.13	2.52	
23時	0.00	0.20	6.89	2.93	2.42	
計	100	100		100	100	

図 3.4.41 病院 既存と実績データ I の時刻別温熱負荷比率 (n=4)

図 3.4.42 より、実績データ I の電力負荷は既存とほぼ同様の推移を示しているが、夜間の負荷比率は実績データ I が既存より約 0.5 ポイント高い傾向にあった。また、季節別の時刻別負荷の推移に差異はほとんどなかった。



電力 [%]	既存原単位			実績データ I		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
0時	2.19	2.04	2.04	2.59	2.54	2.63
1時	2.09	1.98	1.97	2.52	2.46	2.57
2時	2.04	1.89	1.91	2.49	2.43	2.52
3時	2.00	1.89	1.91	2.46	2.39	2.45
4時	2.06	1.85	1.86	2.52	2.46	2.55
5時	2.15	2.02	2.06	2.77	2.66	2.78
6時	3.02	2.92	3.17	3.01	2.90	3.09
7時	4.32	4.31	4.31	4.22	4.24	4.41
8時	5.43	5.56	5.44	5.41	5.41	5.49
9時	5.94	6.18	6.07	5.85	5.95	5.92
10時	6.07	6.28	6.20	5.88	5.99	5.97
11時	6.05	6.27	6.18	5.98	6.10	5.98
12時	5.90	6.09	5.96	5.74	5.77	5.67
13時	5.94	6.09	6.01	5.78	5.72	5.64
14時	6.06	6.18	6.09	5.84	5.84	5.69
15時	5.92	6.07	6.05	5.76	5.82	5.66
16時	5.70	5.83	5.88	5.47	5.56	5.50
17時	5.23	5.30	5.38	4.89	4.98	4.86
18時	4.94	4.97	5.03	4.34	4.39	4.31
19時	4.70	4.66	4.75	3.89	3.87	3.83
20時	4.15	4.11	4.01	3.59	3.59	3.55
21時	3.08	2.92	3.08	3.25	3.22	3.25
22時	2.60	2.44	2.47	2.94	2.92	2.91
23時	2.42	2.15	2.17	2.83	2.80	2.79
計	100	100	100	100	100	100

図 3.4.42 病院 既存と実績データ I の時刻別電力負荷比率 (n=1)

### 3.4.4 年間の負荷推移の分析

#### (1) 事務所施設

既存と実績データ I からそれぞれ算出した、単位面積当たりの年間負荷推移を図 3.4.43 に示す。算出には、2008 年度（365 日）の日数を用いた。

事務所施設の年間冷熱負荷は、実績データ I と既存原単位がほぼ同様の値であった。しかし、実績データ I の平日ピーク熱負荷（年間の負荷推移の中での最大値）は、既存の半分以下であり、9 時～17 時の業務時間帯の冷熱負荷が低下し、夜間や冬期の冷熱負荷が増え、年間で冷熱負荷が発生している傾向にある。

また、実績データ I の温熱負荷は、年間熱負荷原単位が既存の半分以下であり、平日ピーク熱負荷も 30%程度 の値であった。これらの結果を踏まえると、熱源システム計画において既存原単位を用いた計画は、熱源総容量が過大になる可能性がある。また、実績データ I の運転時間は冷熱負荷、温熱負荷ともに長くなる傾向にあるので、低負荷時の負荷率が年間の熱源システム効率に与える影響が大きくなると考えられる。

実績データ I の年間電力負荷は、既存とほぼ同様の値であった。しかし、実績データ I は夜間の負荷比率が高く、年間の負荷推移ではピーク時電力負荷が既存の 80%程度となっている。

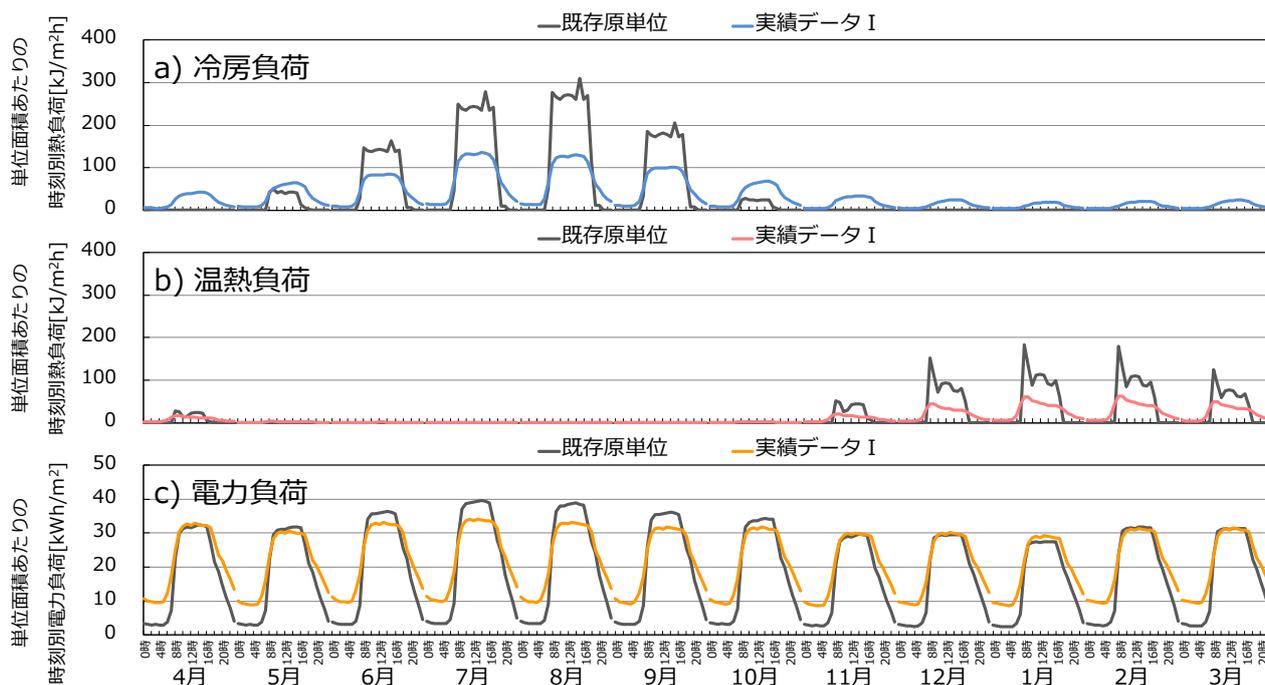


図 3.4.43 事務所 既存と実績データ I の単位面積当たりの年間負荷推移

(2) 官公庁施設

既存と実績データ I からそれぞれ算出した、官公庁施設の単位面積当たりの年間負荷推移を図 3.4.44 に示す。算出には、事務所施設と同様に 2008 年度（365 日）の日数を用いた。

実績データ I の年間冷熱負荷は、既存原単位の半分程度の値であり、平日ピーク熱負荷も既存の 30%程度であった。事務所施設は冬期にも冷熱負荷が発生しているが、官公庁施設は既存とほぼ同様の、4~10 月にかけて冷熱負荷が発生している。冬期にも冷熱負荷が発生しているが、非常に小さい値であった。民間の会社が入居する事務所施設と類似した施設にも関わらず、官公庁施設の冷熱負荷推移が異なる要因としては、大規模なテナントビルは一般に執務室以外の施設（商業など）が附属しているが、官公庁施設の建物はほぼ執務室のみで構成されている点が挙げられる。また、テナントビルと異なり、官公庁は冷暖房の設定を厳密に行っている可能性も考えられる。

また、実績データ I の年間温熱負荷は事務所施設よりも高い傾向にあり、平日ピーク熱負荷は既存の半分程度であった。

実績データ I の年間電力負荷は、既存とほぼ同様の値であった。しかし、実績データ I は夜間の負荷比率が高く、年間の負荷推移ではピーク時電力負荷が既存の 40%程度となっている。

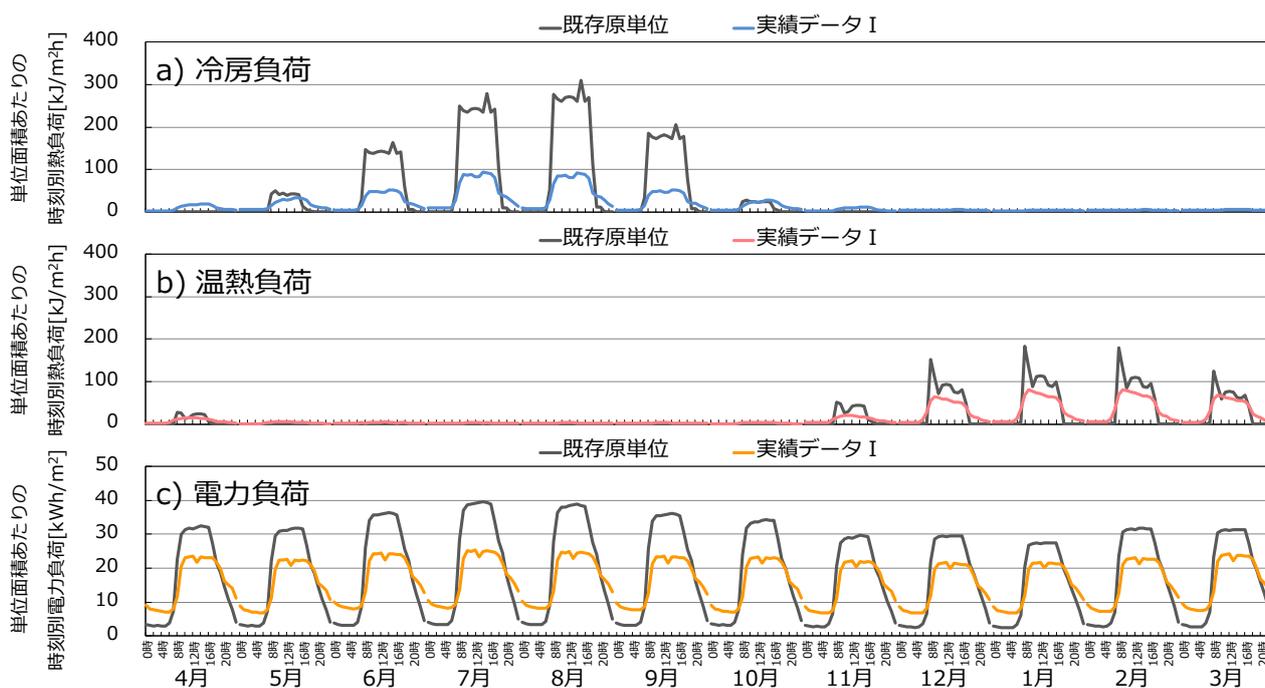


図 3.4.44 官公庁 既存と実績データ I の単位面積当たりの年間負荷推移

(3) 商業施設

既存と実績データ I からそれぞれ算出した、商業施設の単位面積当たりの年間負荷推移を図 3.4.45 に示す。算出には、事務所施設と同様に 2008 年度（365 日）の日数を用いた。また、商業施設の既存原単位は中間期の時刻別負荷比率が無いいため 4～5 月・10～11 月の時刻別負荷比率は夏期の値を用いる。実績データ I のデータ件数は 1 件のみであるため参考までに記載する。

実績データ I の年間冷熱負荷は、既存原単位より 10% 大きい値であったのに対し、平日ピーク熱負荷は既存の 70% 程度であった。6～8 月にかけて業務時間帯の負荷は増加しているが夜間時間帯の負荷の発生や 4～5 月・11～3 月にかけて負荷が大きくなり、年間を通して冷熱負荷が発生する傾向にある。

また、実績データ I の年間温熱負荷は、既存原単位より 33% 程度の値であり、平日ピーク熱負荷も既存の 15% 程度の値であった。

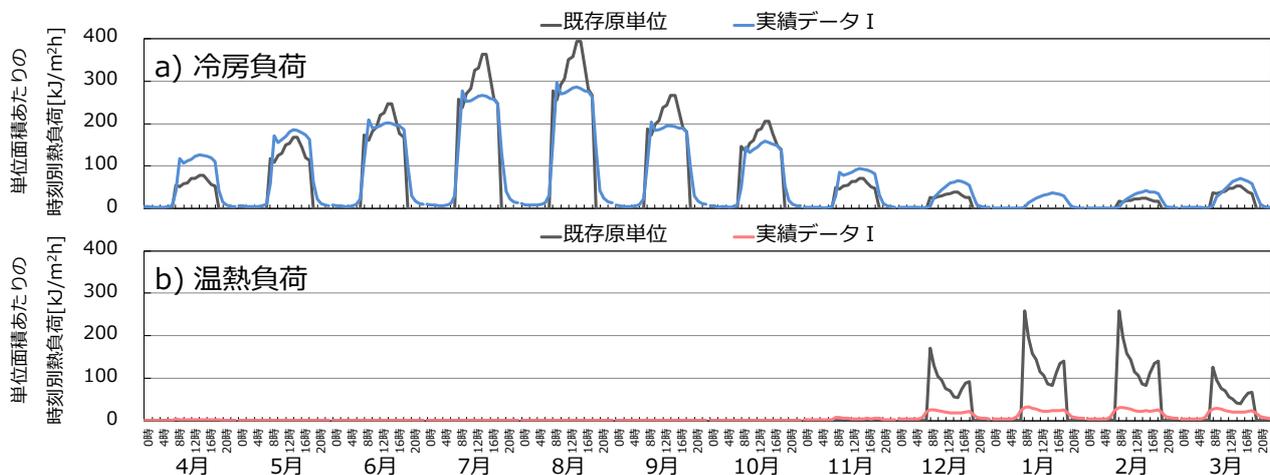


図 3.4.45 商業 既存と実績データ I の単位面積当たりの年間負荷推移

(4) 宿泊施設

既存と実績データ I からそれぞれ算出した、宿泊施設の単位面積当たりの年間負荷推移を図 3.4.46 に示す。算出には、事務所施設と同様に 2008 年度（365 日）の日数を用いた。

実績データ I の年間冷熱負荷は、既存原単位の 80%程度 の値であったが、平日ピーク熱負荷は既存の半分程度であった。既存原単位の冷熱負荷は夏期日中のピーク熱負荷比率が高いが、実績データ I は夜間の負荷比率が高く、夏期ピーク時もなだらかな負荷推移を示している。

また、実績データ I の年間温熱負荷は既存の 70%程度であり、平日ピーク熱負荷は既存の半分程度であった。しかし、夏期の温熱負荷は既存と実績データ I でほぼ同様の推移を示している。夏期の温熱負荷は給湯負荷によるものだと考えられ、夏期における既存原単位の給湯負荷は、実績データ I と同様であると考えられる。

実績データ I の年間電力負荷は、既存とほぼ同様の値であり、年間電力負荷推移も既存と実績データ I でほぼ同様の推移を示している。夏期日中の電力負荷は、実績データ I が既存の 80%程度 の値であった。

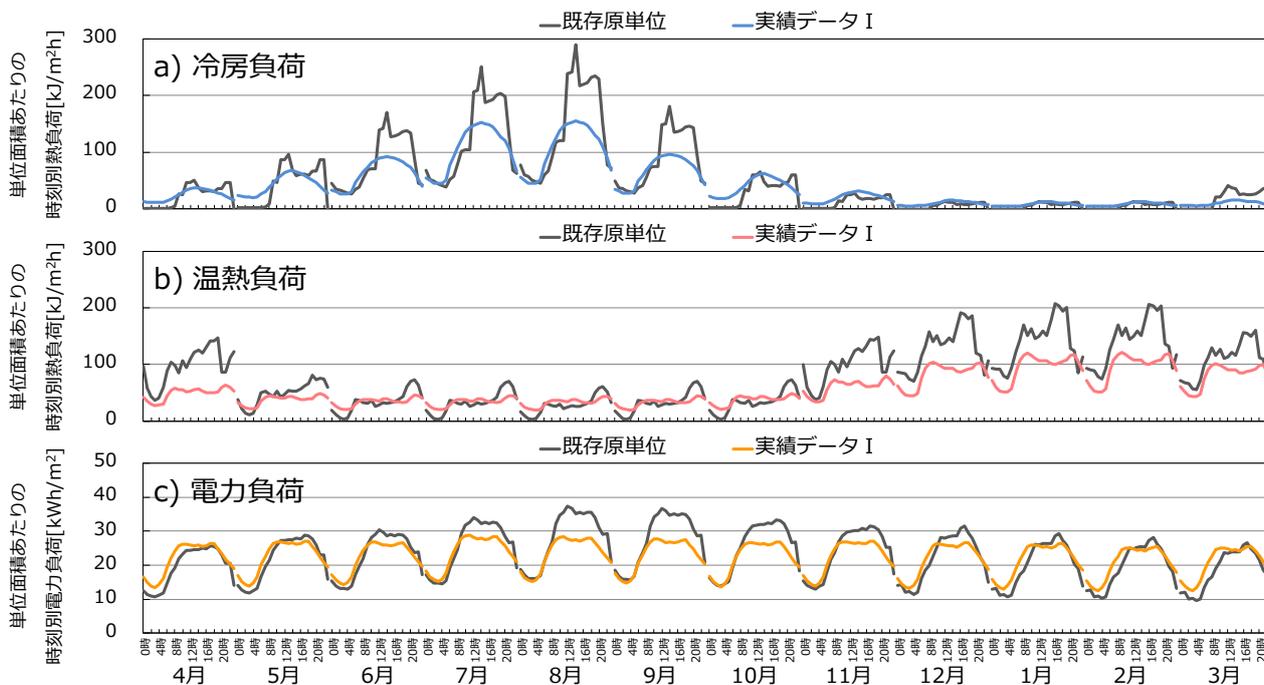


図 3.4.46 宿泊 既存と実績データ I の単位面積当たりの年間負荷推移

(5) 病院施設

既存と実績データ I からそれぞれ算出した、病院施設の単位面積当たりの年間負荷推移を図 3.4.47 に示す。算出には、事務所施設と同様に 2008 年度（365 日）の日数を用いた。

実績データ I の年間冷熱負荷は、既存原単位の 80%程度であったが、平日ピーク熱負荷は既存の 40%程度であった。これは、既存原単位の月別熱負荷比率が、8 月のみ極端に高い値であったためである。中間期・冬期の負荷推移は既存と実績データ I で同程度であった。

また、実績データ I の年間温熱負荷は既存の 40%程度であり、平日ピーク熱負荷も既存の 30%程度であった。実績データ I の始業時のピーク熱負荷は、既存原単位と異なり、極端に高い値を示していない。

実績データ I の年間電力負荷は、既存とほぼ同様の値であり、年間電力負荷推移も既存と実績データ I でほぼ同様の推移を示している。

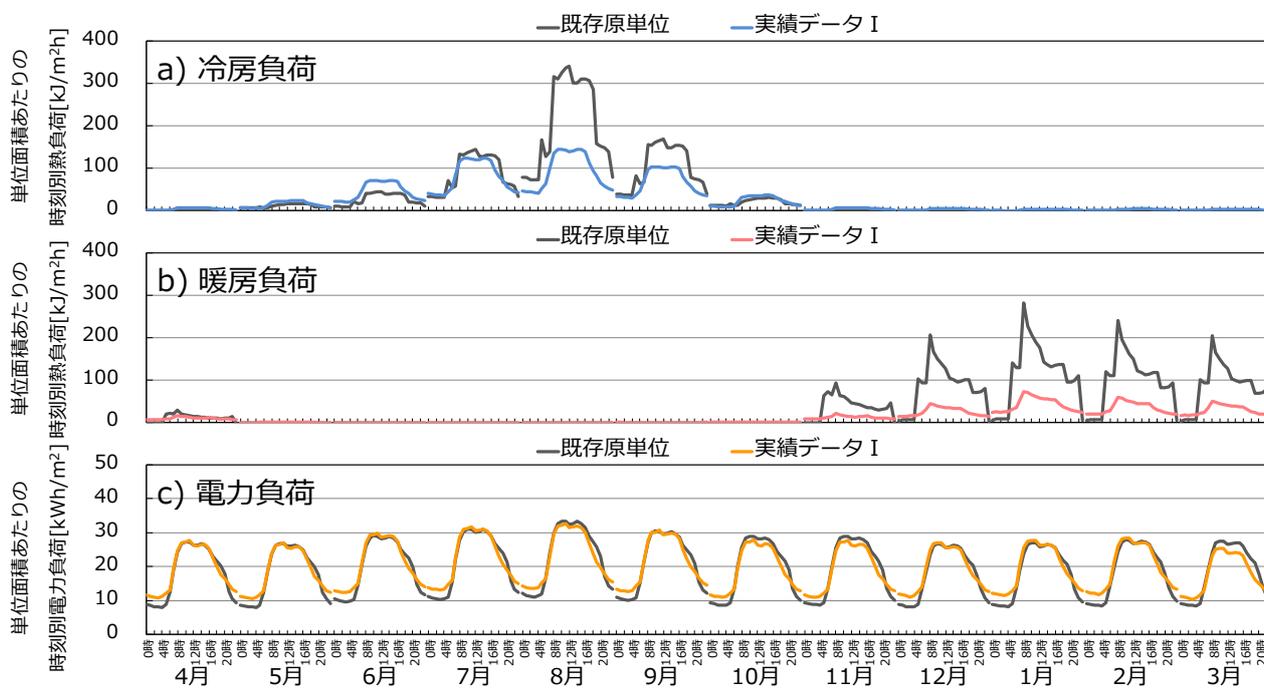


図 3.4.47 病院 既存と実績データ I の単位面積当たりの年間負荷推移

### 3.5 結論

本章では、地域熱供給システムの需要家建物に対して 2008 年度～2011 年度の購入熱量の実態調査を実施し、近年の建物の負荷原単位を算出することで、既存負荷原単位との負荷実態の差異を比較分析し、以下の知見を得た。

- 1) 本調査による年間負荷原単位は、既存負荷原単位と比較して、事務所施設の冷房用熱負荷では同程度の値であったが、暖房用熱負荷では 32% 小さな値であった。また、官公庁施設・宿泊施設・病院施設は、既存負荷原単位と比較し冷房用熱負荷と暖房用熱負荷共に減少し、商業施設では冷房用熱負荷が増加していた。
- 2) 本調査による月別負荷比率は、既存負荷原単位と比較して、事務所施設では、暖房用熱負荷は同程度の負荷推移だったが、冷房用熱負荷において、夏期に負荷比率が低下し、冬期に上昇していた。また、官公庁施設では事務所施設と同様の变化傾向が見られ、商業施設は暖房用熱負荷では冬期の負荷比率が低下し、11 月に負荷比率が上昇していた。宿泊施設は冷房用熱負荷、暖房用熱負荷と給湯用熱負荷の合計値共に既存負荷原単位と同程度の負荷比率の推移であり、病院施設では冷房用熱負荷において、8 月の負荷比率が 18 ポイントと大幅に低下した。
- 3) 本調査による時刻別負荷比率は、既存負荷原単位と比較し、事務所施設、官公庁施設、商業施設は冬期の暖房用熱負荷において、ピーク時の負荷比率が低下し、夜間の負荷比率が上昇していた。冷房用熱負荷は事務所施設・官公庁施設では夏期の負荷比率が 8 時～17 時の業務時間帯で低下し、夜間時間帯に負荷比率が上昇し、冬期において負荷が発生していた。また、宿泊施設の暖房用熱負荷と給湯用熱負荷の合計値と病院施設の冷房用熱負荷と暖房用熱負荷は既存負荷原単位と比較して同程度の負荷比率の推移であった。
- 4) 本調査による負荷原単位から算出した年間の負荷推移は、既存負荷原単位から算出した値と比較し、事務所施設の冷熱負荷・温熱負荷では業務時間帯の負荷の低下・夜間時間帯の負荷の発生等から年間を通して負荷が発生する傾向を示した。また、電力負荷では業務時間帯の負荷が低下し夜間時間帯の負荷が増加する傾向を示した。官公庁施設、商業施設では事務所施設と同様の变化傾向が見られ、宿泊施設、病院施設では業務時間帯の負荷の低下等の变化傾向が見られた。

#### 【参考文献】

- 3-1) 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，空気調和・衛生工学会，1994.6
- 3-2) 尾島俊雄：建築の光熱水費 企画・設計・管理者の手引，pp.55~84，1984
- 3-3) 総合研究開発機構：分散型電源システムの最適化に関する調査研究，pp.40~119，1985
- 3-4) 日本サステナブル建築協会：非住宅建築物の環境関連データベース，  
[http://www.jsbc.or.jp/decc\\_download/](http://www.jsbc.or.jp/decc_download/)

## 第4章 既存地域熱供給システム需要家の震災前後の熱負荷・電力負荷の変化の分析



## 第4章 既存地域熱供給システム需要家の震災前後の熱負荷・電力負荷の変化の分析

### 4.1 研究概要

前章では、地域熱供給システムの需要家建物の熱負荷・電力負荷を調査し、近年の建物の負荷原単位を算出した。しかし、2011年3月に発生した東日本大震災と電力需給の逼迫を経験した我が国では、省エネ化や省エネ行動が進み、震災前後で電力、冷熱、温熱の負荷バランスが変化したと言われており、負荷原単位にも更なる変化が現れると考えられる。

負荷バランスの変化は空気調和機や熱源設備の設計計画に影響を及ぼす。例として、ピーク負荷が変化することによる熱源機器の総装置容量の変化、電力負荷に対する熱負荷の比率の変化によるコージェネレーションシステム（以下、CGS : Cogeneration System）計画に与える影響などが挙げられる。今後の既存地域熱供給システムの改修時において参考にするために震災前後の負荷の変化を把握することは重要である。

そこで本章では、前章の建物の負荷調査で震災前後（2009年度、2015年度）の負荷データを収集できた業務施設8件の年間・月別・時刻別の熱負荷・電力負荷分析を行った。また、部分負荷率の分析や電力負荷に対する熱負荷の比率、熱負荷に対する温熱負荷の比率の分析も行った。

### 4.2 分析建物概要

表 4.2.1 に分析建物概要を示す。分析対象の建物は、前章で熱負荷・電力負荷を調査した地域熱供給システムの需要家建物の内、気温推移の差異が小さな2009年度と2015年度の時刻別負荷データが比較的揃っており、かつデータに異常があるものを除いた事務所建物8棟とした。

表 4.2.1 分析建物概要

	竣工年	延床面積	建物規模	建物施設	所有形態
Aビル	2009年	約 205,000 m <sup>2</sup>	地上 34 階、 地下 4 階	事務所・店舗	テナントビル
Bビル	2004年	約 66,000 m <sup>2</sup>	地上 29 階、 地下 4 階	事務所	テナントビル
Cビル	2003年	約 110,000 m <sup>2</sup>	地上 30 階、 地下 4 階	事務所・店舗	自社ビル
Dビル	2007年	約 200,000 m <sup>2</sup>	地上 34 階、 地下 4 階	事務所・店舗	テナントビル
Eビル	1958年 (2001年リニューアル)	約 90,000 m <sup>2</sup>	地上 10 階、 地下 3 階	事務所・店舗	テナントビル
Fビル	1958年	約 110,000 m <sup>2</sup>	地上 9 階、 地下 3 階	事務所・店舗	テナントビル
Gビル	2005年	約 150,000 m <sup>2</sup>	地上 33 階、 地下 4 階	事務所・店舗	テナントビル
Hビル	1981年	約 130,000 m <sup>2</sup>	地上 31 階、 地下 5 階	事務所・店舗	テナントビル

### 4.3 年間、月別熱負荷・電力負荷の変化

本研究では、震災前後のエネルギー負荷量変化を分析するため、過去10年平均の外気温度と推移が同程度であった2009年度（震災前）と2015年度（震災後）を分析対象年度に選定した。但し、Aビルは2009年度の負荷データが欠如していたため、Aビルのみ2010年度と2015年度で比較を行った。各ビルの震災前後の年間電力負荷原単位の比較結果を図 4.3.1に、年間熱負荷原単位の比較結果を図 4.3.2に示す。また、震災前後の月別電力負荷原単位を表 4.3.1、年間電力負荷原単位と月別電力負荷原単位を表 4.3.2に示す。

Aビルでは、震災前の電力負荷データが欠如しているため電力負荷の比較は行わなかった。年間冷熱負荷原単位は2010年度が320[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が288[MJ/m<sup>2</sup>年]と10%減少していた。月別冷熱負荷では主に6月～9月で減少しており、ピーク月（8月）では2010年度が74[MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が58[MJ/m<sup>2</sup>月]と約22%減少していた。年間温熱負荷は2010年度が139[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が104[MJ/m<sup>2</sup>年]と25%減少していた。月別温熱負荷では主に11月～3月で減少しており、ピーク月（1月）では2010年度が35[MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が29[MJ/m<sup>2</sup>月]と16%減少していた。

Bビルでは、震災前の電力負荷データが欠如しているため電力負荷の比較は行わなかった。年間冷熱負荷は2009年度が297[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が197[MJ/m<sup>2</sup>年]と34%減少していた。月別冷熱負荷では年間を通して減少しており、ピーク月（7月）では2009年度が48[MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が35[MJ/m<sup>2</sup>月]と28%減少していた。年間温熱負荷は2009年度が32[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が58[MJ/m<sup>2</sup>年]と81%増加していた。月別温熱負荷では主に11月～3月で増加しておりピーク月（1月）では2009年度が8[MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が16[MJ/m<sup>2</sup>月]と100%増加していた。

Cビルでは、年間電力負荷は2009年度が160[kWh/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が133[kWh/m<sup>2</sup>年]と34%減少していた。月別電力負荷は年間を通して減少しており、ピーク月(7月)では2009年度が15[kWh/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が12[kWh/m<sup>2</sup>月]と17%減少していた。年間冷熱負荷は2009年度が212[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が197[MJ/m<sup>2</sup>年]と7%減少していた。月別冷熱負荷は主に4月、5月、6月、10月で減少しており、ピーク月(8月)では2009年度が42[MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が45[MJ/m<sup>2</sup>月]と4%増加していた。年間温熱負荷は2009年度が101[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が114[MJ/m<sup>2</sup>年]と13%増加していた。月別温熱負荷は主に1月～3月で増加しておりピーク月(1月)では2009年度が23[MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が29[MJ/m<sup>2</sup>月]と24%増加していた。

Dビルでは、年間電力負荷は2009年度が244[kWh/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が215[kWh/m<sup>2</sup>年]と12%減少していた。月別電力負荷は年間を通して減少しており、ピーク月では(7月)では2009年度が22[kWh/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が19[kWh/m<sup>2</sup>月]と13%減少していた。年間冷熱負荷は2009年度が453[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が425[MJ/m<sup>2</sup>年]と6%減少していた。月別冷熱負荷は主に6月、7月で減少しており、ピーク月（7月）では2009年度が85[MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が81[MJ/m<sup>2</sup>月]と5%減少していた。年間温熱負荷は2009年度が146[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が123[MJ/m<sup>2</sup>年]と16%減少していた。また、月別温熱負荷は主に11月、12月、3月で増加しており、ピーク月（1月）では2009年度・2015年度が36[MJ/m<sup>2</sup>月]と同意

程度の値であった。

Eビルでは、年間電力負荷は2009年度が166 [kWh/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が146 [kWh/m<sup>2</sup>年]と12%減少していた。月別電力負荷は年間を通して減少しておりピーク月(7月)では2009年度が18 [kWh /m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が16 [kWh /m<sup>2</sup>月]と9%減少していた。年間冷熱負荷は2009年度が234 [MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が213 [MJ/m<sup>2</sup>年]と9%減少していた。別冷熱負荷は主に4月と7月で減少しておりピーク月(7月)では2009年度が45 [MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が41 [MJ/m<sup>2</sup>月]と5%減少していた。年間温熱負荷は2009年度が69 [MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が63 [MJ/m<sup>2</sup>年]と9%減少していた。また、月別温熱負荷は主に12月と3月で減少しておりピーク月(1月)では2009年度・2015年度が18 [MJ/m<sup>2</sup>月]と同意程度の値であった。

Fビルでは、温熱負荷データが欠如しているため温熱負荷の比較は行わなかった。年間電力負荷は2009年度が154 [kWh/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が129 [kWh/m<sup>2</sup>年]と16%減少していた。月別電力負荷は年間を通して減少しておりピーク月(7月)では2009年度が50 [kWh /m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が53 [kWh /m<sup>2</sup>月]と16%減少していた。年間冷熱負荷は2009年度が280 [MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が261 [MJ/m<sup>2</sup>年]と7%減少していた。月別冷熱負荷は主に4月、7月、8月、1月、2月、3月で減少しておりピーク月(8月)では2009年度が49 [MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が55[MJ/m<sup>2</sup>月]と10%増加していた。

Gビルでは2009年度の4月の熱負荷のデータが欠如していると考えられるため、5月～3月と比較した。年間電力負荷は2009年度が261[kWh/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が198 [kWh/m<sup>2</sup>年]と24%減少していた。月別電力負荷は年間を通して減少しておりピーク月(7月)では2009年度が23 [kWh/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が18[kWh/m<sup>2</sup>月]と22%減少していた。年間冷熱負荷は2009年度が334 [MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が318 [MJ/m<sup>2</sup>年]と5%減少していた。月別冷熱負荷は主に6月、7月、9月、10月で減少しておりピーク月(7月)では2009年度が68 [MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が65 [MJ/m<sup>2</sup>月]と5%減少していた。年間温熱負荷は2009年度が99 [MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が108 [MJ/m<sup>2</sup>年]と9%増加していた。月別温熱負荷は主に1月に増加しておりピーク月(1月)では2009年度が25 [MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が29 [MJ/m<sup>2</sup>月]と15%増加していた。

Hビルでは年間電力負荷は2009年度が130 [kWh/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が98 [kWh/m<sup>2</sup>年]と25%減少していた。月別電力負荷は年間を通して減少しておりピーク月(7月)では2009年度が12 [kWh /m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が9[kWh /m<sup>2</sup>月]と24%減少していた。年間冷熱負荷は2009年度が316 [MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が231[MJ/m<sup>2</sup>年]と27%減少していた。月別冷熱負荷は年間を通して減少しておりピーク月(7月)では2009年度が56 [MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が44 [MJ/m<sup>2</sup>月]と18%減少していた。年間温熱負荷は2009年度が83[MJ/m<sup>2</sup>年]であったのに対し2015年度が84 [MJ/m<sup>2</sup>年]と1%増加していた。月別温熱負荷は主に4月に増加、3月に減少しており、ピーク月(1月)では2009年度が20 [MJ/m<sup>2</sup>月]であったのに対し2015年度が21[MJ/m<sup>2</sup>月]と3%増加していた。

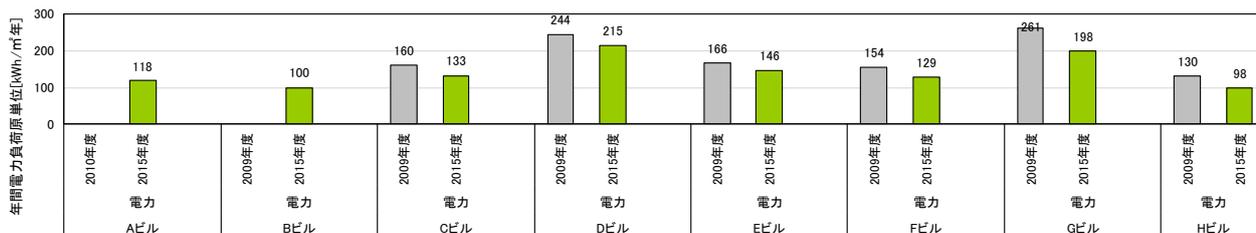


図 4.3.1 震災前後の年間電力負荷原単位の比較

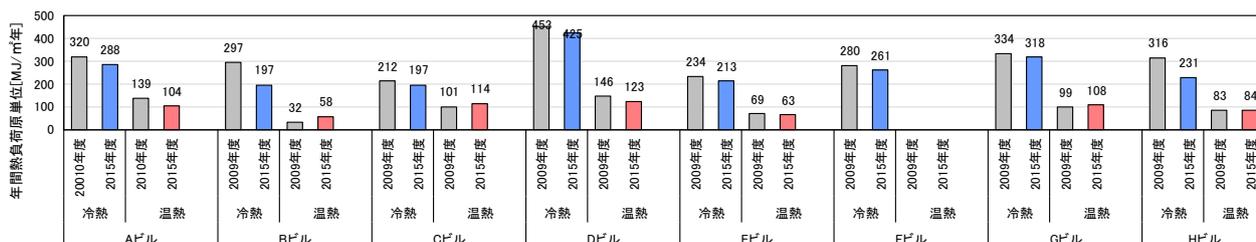


図 4.3.2 震災前後の年間熱負荷原単位の比較

表 4.3.1 震災前後の月別電力負荷原単位の比較

		月別電力負荷原単位[kWh/m²月]											
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
電力	2010年度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015年度	9.95	9.57	9.75	10.13	9.89	9.36	9.91	9.64	10.14	10.10	9.51	10.37
電力	2009年度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2015年度	8.42	8.12	8.49	8.86	8.43	7.82	8.35	7.90	8.28	8.26	7.94	8.94
電力	2009年度	13.92	12.95	13.83	14.50	14.07	13.05	13.48	12.53	13.22	12.60	11.93	13.52
	2015年度	11.30	10.92	11.43	12.02	11.67	10.86	11.21	10.49	10.99	10.38	9.99	11.36
電力	2009年度	20.53	20.41	20.92	21.81	21.51	20.44	20.74	19.45	20.24	19.13	18.35	20.46
	2015年度	17.73	17.76	18.09	18.88	18.62	17.72	18.39	17.51	18.25	17.25	16.45	18.36
電力	2009年度	13.35	12.98	14.99	17.96	17.28	14.58	13.74	11.52	11.49	11.85	12.59	13.27
	2015年度	10.79	12.16	14.19	16.39	16.31	12.80	12.84	10.78	10.27	9.73	9.18	10.67
電力	2009年度	13.05	12.15	13.45	14.20	13.71	12.81	13.22	11.92	12.53	12.14	11.56	12.95
	2015年度	10.54	10.43	11.32	11.97	11.56	10.65	10.99	9.92	10.46	10.31	9.84	11.02
電力	2009年度	22.18	21.25	21.98	23.01	22.19	21.30	22.27	21.03	21.81	21.12	20.16	22.43
	2015年度	16.58	16.30	16.89	17.91	17.50	16.49	16.83	15.91	16.44	16.05	14.93	16.68
電力	2009年度	11.39	11.09	11.28	11.56	11.36	10.58	11.00	10.00	10.56	10.27	9.97	11.19
	2015年度	8.08	7.82	8.46	8.75	8.53	8.02	8.52	7.75	8.11	7.91	7.66	8.52

表 4.3.2 震災前後の月別熱負荷原単位の比較

		月別熱負荷原単位[MJ/m <sup>2</sup> 月]												
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
aビル	冷熱	2010年度	10.73	22.44	41.39	65.20	73.82	49.20	23.62	10.08	7.82	5.19	5.44	5.33
		2015年度	13.39	26.25	34.43	55.80	57.73	34.95	21.72	13.45	8.64	6.72	6.38	8.53
	温熱	2010年度	14.58	1.58	0.15	0	0	0	1.25	9.09	20.00	34.62	27.66	30.44
		2015年度	9.53	0.96	0.61	0.22	0.06	0	0	0	15.32	29.16	27.17	20.87
bビル	冷熱	2009年度	25.86	27.43	35.21	47.95	46.20	32.55	25.48	15.48	10.60	8.55	9.07	12.24
		2015年度	12.11	19.30	23.34	34.58	34.32	21.67	15.86	10.03	6.94	5.49	5.37	8.10
	温熱	2009年度	1.00	0	0	0.03	0	0.01	0.02	1.34	6.56	8.07	8.35	7.11
		2015年度	3.58	0	0.01	0	0	0	0.04	2.81	10.93	15.59	14.54	10.19
cビル	冷熱	2009年度	11.22	20.29	30.42	42.95	42.45	26.03	18.85	6.85	4.07	2.56	2.56	3.93
		2015年度	7.31	17.45	25.60	42.77	44.71	25.82	14.42	6.68	3.89	2.22	2.24	3.81
	温熱	2009年度	5.53	0.19	0.01	0.01	0.01	0.02	0.29	7.91	19.59	23.49	23.46	20.01
		2015年度	7.57	0.20	0.23	0.23	0.06	0.03	0.14	6.47	19.26	29.22	28.95	21.67
dビル	冷熱	2009年度	25.94	38.90	55.56	85.37	84.41	52.95	37.61	20.84	13.93	11.73	11.09	14.79
		2015年度	22.09	41.70	48.43	81.21	84.01	51.20	34.48	20.04	12.53	9.04	8.14	12.26
	温熱	2009年度	5.00	0.09	0	0	0	0.01	0.23	9.97	29.21	36.13	35.19	29.70
		2015年度	6.93	0.04	0.01	0	0	0	0.17	4.17	20.80	35.59	33.18	21.83
eビル	冷熱	2009年度	14.04	20.72	28.33	44.89	43.35	27.54	19.20	9.45	6.93	5.45	6.18	8.05
		2015年度	9.25	19.23	26.72	40.72	42.47	26.57	17.29	8.27	6.02	4.57	4.77	6.72
	温熱	2009年度	1.22	0.01	0	0	0	0	0.03	2.26	14.83	18.03	17.77	14.53
		2015年度	2.52	0.03	0	0	0	0	0.08	1.97	11.79	18.06	17.16	11.12
fビル	冷熱	2009年度	18.77	24.89	36.81	50.44	48.84	30.57	23.79	13.26	9.46	6.31	7.13	10.16
		2015年度	14.91	24.98	36.07	52.92	55.34	30.92	22.13	12.73	9.38	1.86	0	0
	温熱	2009年度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2015年度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gビル	冷熱	2009年度	0.33	32.50	45.87	68.31	64.87	44.60	30.17	14.77	9.26	7.88	7.18	8.74
		2015年度	13.97	31.61	40.25	64.78	65.03	40.77	25.00	12.74	6.19	4.91	4.97	7.42
	温熱	2009年度	0.01	0.24	0	0	0	0.01	0.03	7.22	20.86	25.49	24.60	20.09
		2015年度	7.79	0	0	0.01	0	0.00	0.01	5.44	19.45	29.20	26.04	19.82
hビル	冷熱	2009年度	21.62	31.22	39.84	56.20	55.12	36.92	26.53	12.74	9.19	8.30	8.01	10.36
		2015年度	11.77	22.66	28.75	44.48	46.00	27.55	18.18	9.42	6.29	4.47	4.21	6.93
	温熱	2009年度	3.17	0.49	0.25	0.24	0.23	0.25	0.35	4.13	15.78	20.35	20.32	17.27
		2015年度	6.73	0.39	0.31	0.25	0.20	0.27	0.41	6.07	14.48	20.87	18.85	14.80

#### 4.4 熱負荷原単位の変化率からみた検討

##### 4.4.1 年間熱負荷原単位の変化率による分析

図 4.4.1 に震災前後の年間冷熱負荷と年間温熱負荷の変化率のグラフを示す。ここで、震災前後の年間冷熱負荷が 34%減少、年間温熱負荷が 78%増加しており、温熱負荷の変化率が大きく特異であると考え、B ビルを除外した。また、温熱負荷データが欠如している F ビルも除外した。

図 4.4.1 から、年間熱負荷において、冷熱負荷が減少し温熱負荷が増加する熱負荷変化を示している建物は 6 件中 3 件 (C ビル、G ビル、H ビル) であった。また、A ビル、D ビル、E ビルは冷熱負荷、温熱負荷が共に 2015 年には減少する変化率を示した。平均の変化率は冷熱が-11%、温熱が-5%であり、冷熱負荷が減少し温熱負荷が増加する熱負荷変化を示していないことが分かった。

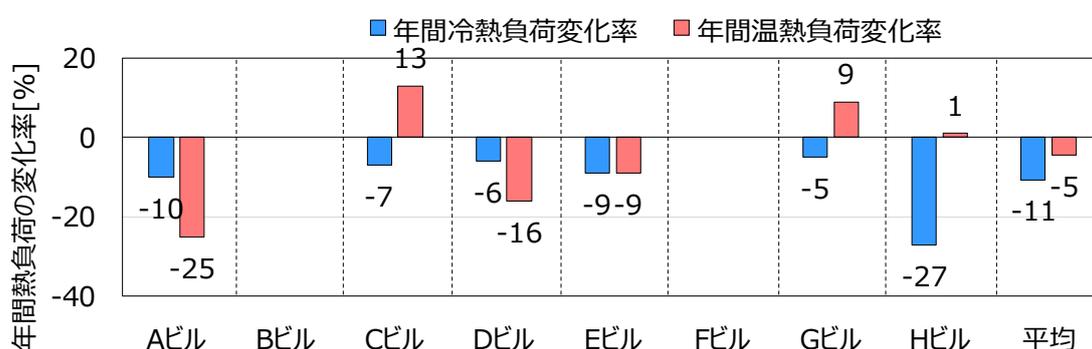


図 4.4.1 震災前後の年間熱負荷原単位の変化率

#### 4.4.2 月別熱負荷の変化率による分析

図 4.4.2 に対 2009 年度比率の震災前後の月別電力負荷原単位の変化率の推移、図 4.4.3 に対 2009 年度比率の震災前後の月別熱負荷原単位の変化率の推移を示す。

図 4.4.2 より、月別電力負荷は全分析建物において、年間通じて減少しており、変化率が大きいビルでは 25%程度小さい値を示した。各建物では、月毎の変化率の差は小さく、年間通じて一定の削減効果をしていることがわかる。

図 4.4.3 より、月別冷熱負荷は、年間通じて減少傾向にあり、特に中間期・冬期に顕著な傾向が見られた。月別温熱負荷は、変化率が大きく、全分析建物において明確な傾向はみられなかった。

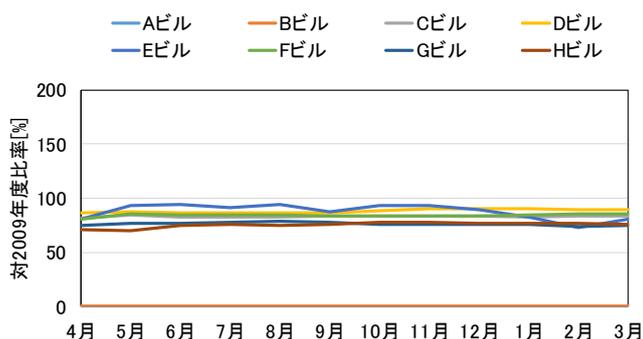
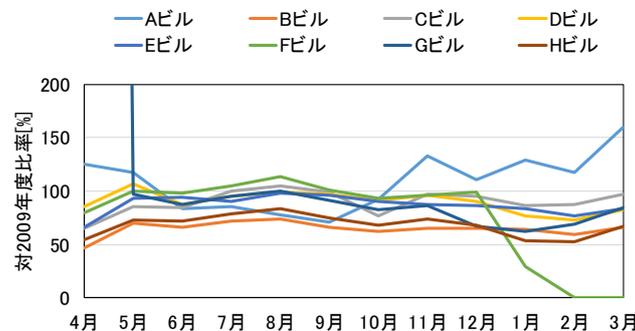
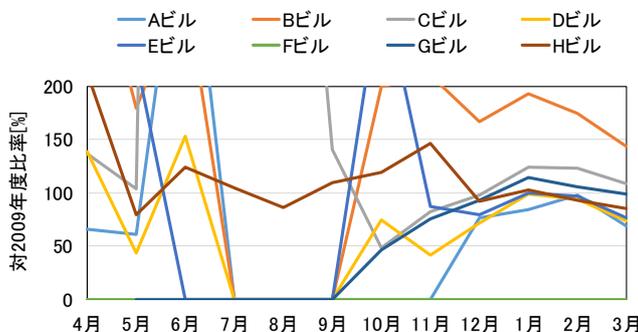


図 4.4.2 震災前後の月別電力負荷原単位の変化率の推移



a) 冷熱負荷



b) 温熱負荷

図 4.4.3 震災前後の月別熱負荷原単位の変化率の推移

## 4.5 ピーク熱負荷・電力負荷の変化

### 4.5.1 ピーク日選定方法

本節では、震災前後のピーク負荷量の変化の分析とピーク負荷が発生した日の日負荷量の変化を分析する。年間のピーク負荷は熱源機器の総装置容量の検討等に用いる重要な値であるが、年間8760時間の時刻別負荷を降順にした際、最大値が極端に値の大きい特異値となる場合がある。主な要因は負荷計測時のエラーなどが考えられる。また、一日の時刻別負荷推移は、年始の蓄熱負荷の影響などにより、空調開始時間を前倒しにするなど負荷推移が特異な変動となる場合がある。

そこで本研究では、ピーク負荷と時刻別負荷推移が特異である場合を考慮するため、図4.5.1に示すピーク日選定方法を提案した。以下にその方法を記す

はじめに、年間8,760時間分の時刻別熱負荷のうち、上位5位の時刻別熱負荷を含む日を冷熱負荷と温熱負荷でそれぞれ抽出し、抽出した5日の時刻別負荷推移の平均値を算出する。そして、算出した平均負荷推移と抽出した日の負荷推移をそれぞれ比較し、平均負荷推移と最も類似した負荷推移の日をピーク日とし、その日の時刻別最大熱負荷をピーク負荷とする。また、特異日を排除するために、曜日や負荷推移の特徴も考慮し選定する。

なお、電力負荷は、冷熱負荷のピーク日を夏期ピーク日、温熱負荷のピーク日を冬期ピーク日として分析を行った。

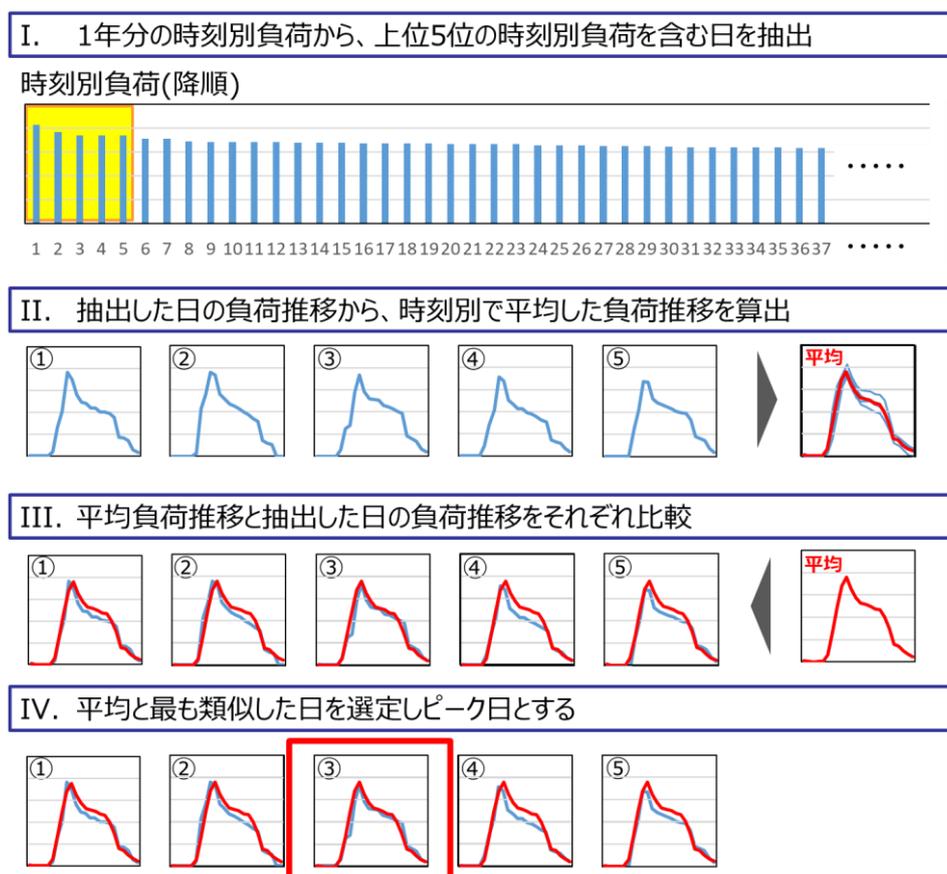


図 4.5.1 ピーク日選定方法のイメージ

## 4.5.2 分析結果比較・考察

図 4.5.2 に震災前後のピーク熱負荷原単位、図 4.5.3 に震災前後のピーク電力負荷原単位、図 4.5.4 に震災前後の日別熱負荷原単位、図 4.5.5 に震災前後の日別電力負荷原単位を示す。

A ビルの夏期ピーク日は、震災前は 2010 年 9 月 6 日(月)、震災後は 2015 年 8 月 3 日(月)であり、冬期ピーク日は、震災前は 2011 年 2 月 14 日(月)、震災後は 2016 年 1 月 26 日(火)であった。夏期ピーク日において、震災前の電力負荷データが欠如しているため電力負荷の比較はできなかった。冷熱のピーク負荷は、震災前後で 8%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 9%減少していた。冬期ピーク日において、震災前の電力負荷データが欠如しているため電力負荷の比較はできなかった。温熱のピーク負荷は、震災前後で 6%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 14%減少していた。

B ビルの夏期ピーク日は、震災前は 2009 年 7 月 30 日(木)、震災後は 2015 年 8 月 4 日(火)であり、冬期ピーク日は、震災前は 2010 年 1 月 18 日(月)、震災後は 2016 年 1 月 18 日(月)であった。夏期ピーク日において、震災前の電力負荷データが欠如しているため電力負荷の比較はできなかった。冷熱のピーク負荷は、震災前後で 17%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 14%減少していた。冬期ピーク日において、震災前の電力負荷データが欠如しているため電力負荷の比較はできなかった。温熱のピーク負荷は、震災前後で 27%増加し、ピーク日の日負荷量で比較すると 87%増加していた。

C ビルの夏期ピーク日は、震災前は 2009 年 7 月 29 日(水)、震災後は 2015 年 8 月 6 日(木)であり、冬期ピーク日は、震災前は 2010 年 1 月 18 日(月)、震災後は 2016 年 2 月 8 日(月)であった。夏期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で 18%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 16%減少していた。冷熱のピーク負荷は、震災前後で 5%増加し、ピーク日の日負荷量で比較すると 13%増加していた。冬期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で 18%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 17%減少していた。温熱のピーク負荷は、震災前後で 3%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 6%増加していた。

D ビルの夏期ピーク日は、震災前は 2009 年 8 月 7 日(金)、震災後は 2015 年 8 月 6 日(木)であり、冬期ピーク日は、震災前は 2010 年 1 月 14 日(木)、震災後は 2016 年 1 月 20 日(水)であった。夏期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で 12%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 11%減少していた。冷熱のピーク負荷は、震災前後で 5%増加し、ピーク日の日負荷量で比較すると 9%増加していた。冬期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で 6%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 8%減少していた。温熱のピーク負荷は、震災前後で 9%増加し、ピーク日の日負荷量で比較すると 4%減少していた。

E ビルの夏期ピーク日は、震災前は 2009 年 7 月 29 日(水)、震災後は 2015 年 8 月 6 日(木)であり、冬期ピーク日は、震災前は 2010 年 1 月 14 日(木)、震災後は 2016 年 1 月 20 日(水)であった。夏期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で 13%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 6%減少していた。冷熱のピーク負荷は、震災前後で 8%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 2%減少していた。冬期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で 26%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 20%減少していた。温熱のピーク負荷は、震災前後で 6%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると 17%減少していた。

Fビルの夏期ピーク日は、震災前は2009年8月7日(金)、震災後は2015年8月4日(火)であり、冬期ピーク日は、温熱負荷データが欠如しているためピーク日を選定できなかった。夏期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で17%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると15%減少していた。冷熱のピーク負荷は、震災前後で14%増加し、ピーク日の日負荷量で比較すると13%増加していた。

Gビルの夏期ピーク日は、震災前は2009年7月16日(木)、震災後は2015年8月6日(木)であり、冬期ピーク日は、震災前は2010年1月18日(月)、震災後は2016年2月8日(月)であった。夏期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で22%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると21%減少していた。冷熱のピーク負荷は、震災前後で8%増加し、ピーク日の日負荷量で比較すると13%増加していた。冬期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で26%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると27%減少していた。温熱のピーク負荷は、震災前後で10%増加し、ピーク日の日負荷量で比較すると19%増加していた。

Hビルの夏期ピーク日は、震災前は2009年7月13日(月)、震災後は2015年8月10日(月)であり、冬期ピーク日は、震災前は2010年1月18日(月)、震災後は2016年2月1日(月)であった。夏期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で24%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると24%減少していた。冷熱のピーク負荷は、震災前後で4%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると13%減少していた。冬期ピーク日において、電力のピーク負荷は、震災前後で24%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると23%減少していた。温熱のピーク負荷は、震災前後で13%減少し、ピーク日の日負荷量で比較すると9%減少していた。

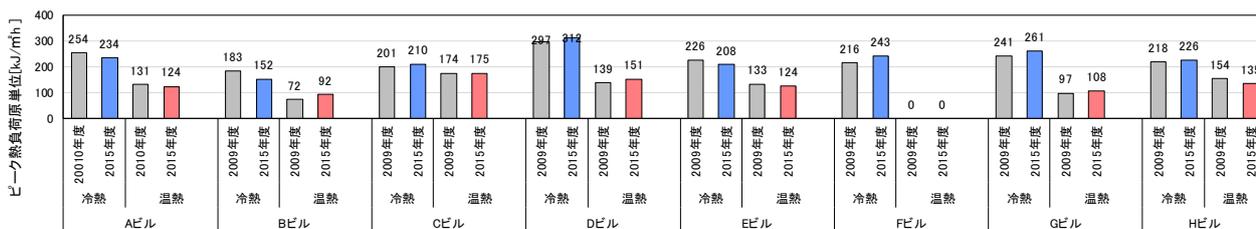


図 4.5.2 震災前後のピーク熱負荷原単位の比較

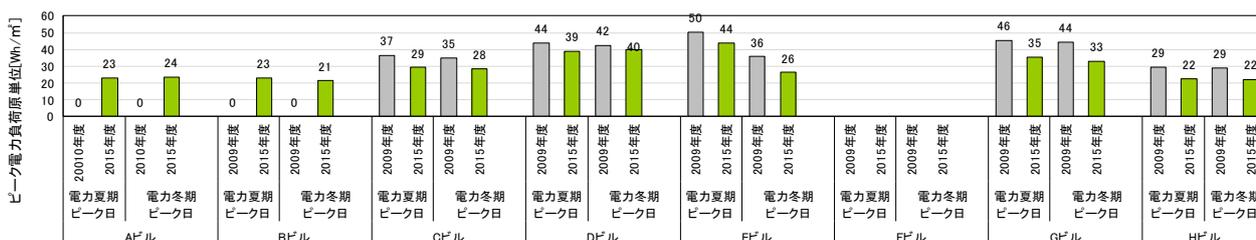


図 4.5.3 震災前後のピーク電力負荷原単位の比較

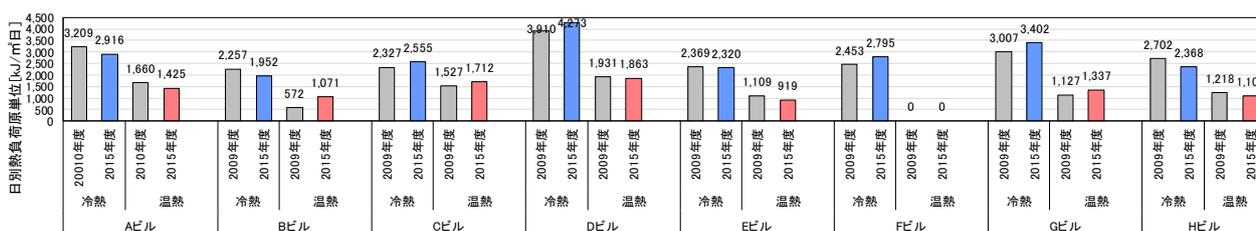


図 4.5.4 震災前後の日別熱負荷原単位の比較

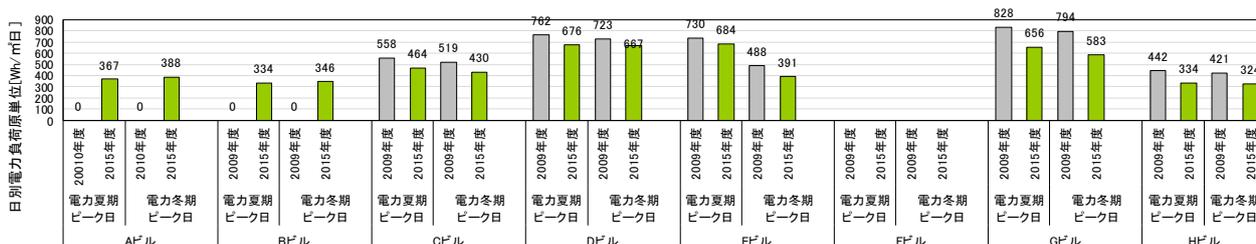


図 4.5.5 震災前後の日別電力負荷原単位の比較

### 4.5.3 ピーク熱負荷の変化率による分析

図 4.5.6 に震災前後のピーク冷熱負荷とピーク温熱負荷の変化率のグラフを示す。ここで、4.4.1 項に記したように変化率が特異であると考えられる B ビルと温熱負荷データが欠如している F ビルを除いている。

図 4.5.6 から、ピーク熱負荷において、一般的に言われている冷熱負荷の減少と温熱負荷の増加傾向を示している建物は見られなかった。平均の変化率は冷熱が+1%、温熱が-1%であり冷熱・温熱共に震災前後での変化は小さいことが分かった。また、冷熱温熱共に減少傾向の変化率を示した建物が3件、増加傾向を示した建物が2件、冷熱のみが増加傾向を示した建物が1件とピーク熱負荷には明確な変化傾向が見られなかった。

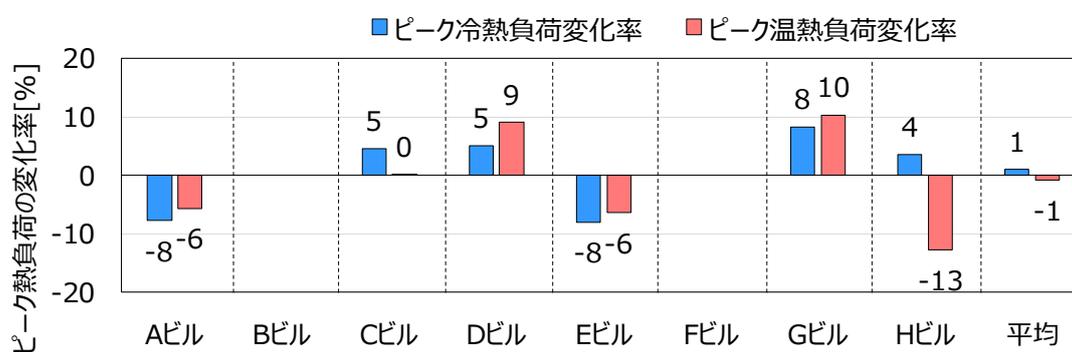


図 4.5.6 震災前後のピーク熱負荷原単位の変化率

#### 4.5.4 年間熱負荷原単位とピーク熱負荷原単位の変化率による分析

図 4.5.7 に X 軸を年間冷熱（温熱）負荷の変化率、Y 軸にピーク冷熱（温熱）負荷をとった震災前後の年間熱負荷とピーク熱負荷原単位の変化率の分布を示す。ここで、変化率が特異であると考えられる B ビルと温熱負荷データが欠如している F ビルを一部除いている。

図 4.5.7 から震災前後で年間熱負荷とピーク熱負荷が共に減少している建物は、冷熱負荷は 8 件中 4 件、温熱負荷は 6 件中 2 件、共に増加している建物は、冷熱負荷では無く、温熱負荷は 6 件中 1 件であり、年間熱負荷とピーク熱負荷の増減が一致するとは限らないことが分かる。

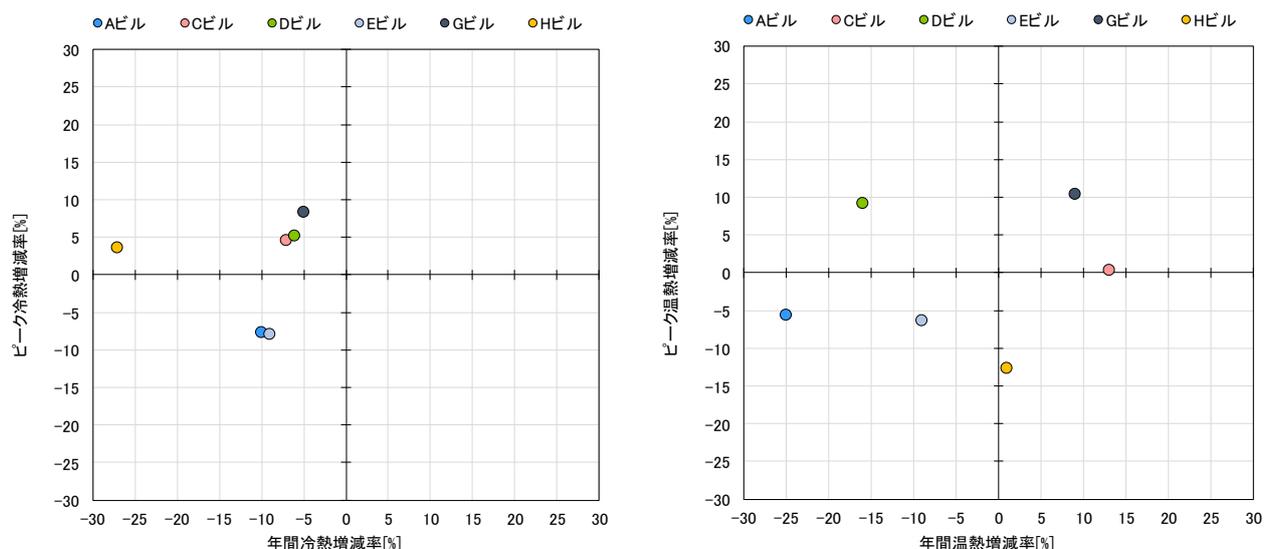


図 4.5.7 震災前後の年間熱負荷とピーク熱負荷原単位の変化率  
(左：冷熱負荷 右：温熱負荷)

#### 4.6 気温影響を考慮したピーク熱負荷・電力負荷の変化

熱負荷は日射や気温といった気象要因の影響を受けやすい。そのため、正味の負荷の変化を分析するには、気象要因を考慮した負荷分析が必要となる。そこで本研究では気象要因として気温を用いて分析し、気温による影響を無くした場合の負荷変化を分析する。

##### 4.6.1 震災前後の外気温の比較

図 4.6.1 に、気象庁が公開している東京都大手町地点の 2009 年度と 2015 年度の時刻別気温データを降順に並べたものを示す。グラフより、震災前後で概ね気温推移は同様であるが、30℃以上の時間数が 2015 年度のほうが時間数でみると多く存在していることが分かる。

図 4.6.2 に、東京都大手町地点における 2009 年度と 2015 年度の 30℃以上、35℃以上、0℃未満の時間数を示す。この気温は真夏日（日最高気温が 30℃以上の日）、猛暑日（日最高気温が 35℃以上の日）、真冬日（日最高気温が 0℃未満の日）として定義されている気温を参考にした。2009 年度は 30℃以上の時間が 173 時間であるのに対し、2015 年度は 30℃以上の時間が 309 時間に増加している。また、35℃以上の時間は 0 時間から 8 時間に増加し、0℃未満の時間は 2 時間から 15 時間に増加している。そのため震災前後の熱負荷変化、特にピーク負荷は気温の変化も影響していると考えられる。

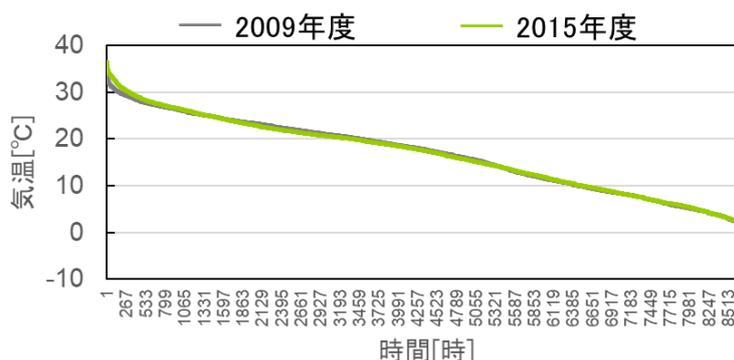


図 4.6.1 東京の 2009 年度と 2015 年度の時刻別気温の比較（デレクションカーブ）

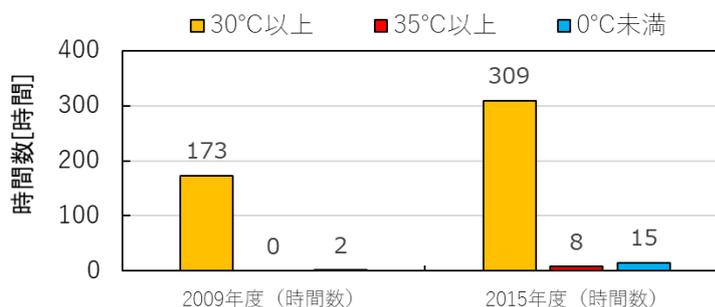


図 4.6.2 東京の 2009 年度と 2015 年度の時刻別気温の比較（頻度積算）

### 4.6.2 分析方法

分析は、永富悠『東京電力管内及び東北電力管内における気温影響を考慮した節電効果に関する試算』<sup>4-2)</sup>と菅沼祐一『日最大電力からみた東日本地域での夏期のピーク時電力消費の減少動向の分析と考察』<sup>4-3)</sup>の論文で用いていた方法を用いる。

図 4.6.3 に、分析方法のイメージを示す。この分析方法は、X 軸に比較年度の同月同週同曜日の日平均気温の気温差、Y 軸に比較年度の同月同週同曜日の時刻別ピーク負荷の変化率をとった散布図を作成する。その散布図の一回帰曲線の Y 切片（日平均気温差 0℃）が気温影響を無くした場合の正味の増減率となるものである。例えば、図 4.6.3 の例では、Y 切片が-0.0862 であるので、-8.62%となる。

本研究の気温影響を無くした場合のピーク冷熱負荷の分析は、X 軸を 2009 年度と 2015 年度の 7・8 月平日の同月同週同曜日の日平均気温の気温差、Y 軸を 2009 年度と 2015 年度の 7・8 月平日の同月同週同曜日の時刻別ピーク負荷の変化率をとり、この時の分布から得られる一回帰曲線の Y 切片を、気温影響を考慮した場合の正味のピーク冷熱負荷の増減率とした。ピーク温熱負荷の分析は、両年度の 1・2 月平日のデータを用いて分析する。

この平日 2 ヶ月のデータを用いた分析は、冷熱負荷は 7・8 月、温熱負荷は 1・2 月の平日の 2 ヶ月のデータによる分析が最も決定係数が高くなったため、この方法を採用した。

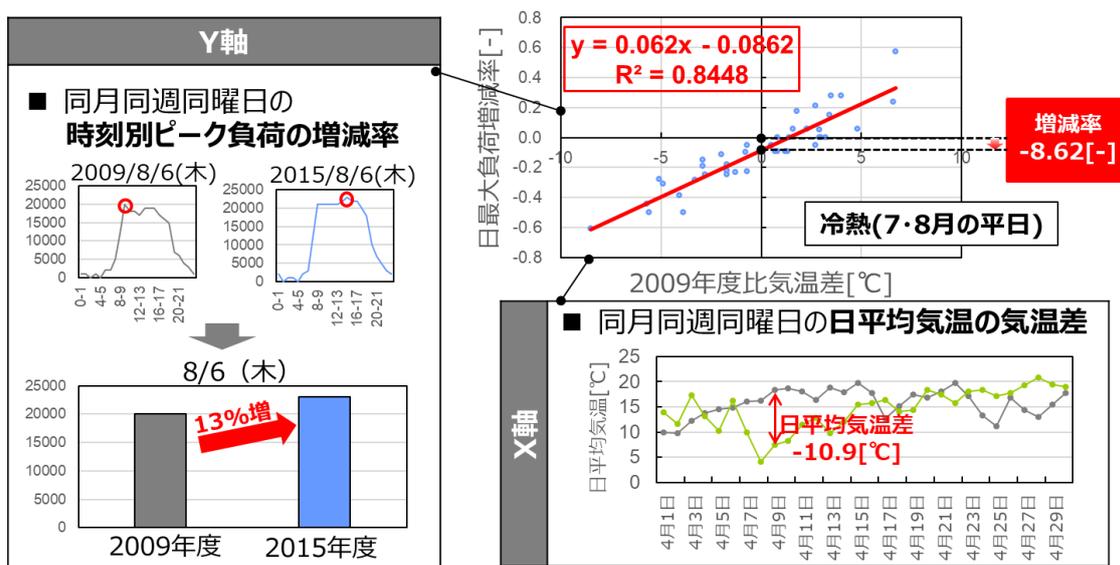


図 4.6.3 気温影響を無くした場合の負荷分析方法のイメージ

## 4.6.3 分析結果・比較

図 4.6.4 に冷熱負荷、図 4.6.5 に温熱負荷の震災前後のピーク負荷の変化率と気温影響を考慮したピーク負荷の変化率の比較結果を示す。

A ビルの震災前後の気温影響を考慮していないピーク冷熱負荷は 8%減少していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク冷熱負荷では、6.5%減少であった。また、震災前後の気温影響を考慮していないピーク温熱負荷は 6%減少していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク温熱負荷では、2.6%減少であった。

B ビルの震災前後の気温影響を考慮していないピーク冷熱負荷は 17%減少していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク冷熱負荷では、26.5%減少であった。また、震災前後の気温影響を考慮していないピーク温熱負荷は 27%増加していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク温熱負荷では、28.6%増加であった。

C ビルの震災前後の気温影響を考慮していないピーク冷熱負荷は 5%増加していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク冷熱負荷では、8.6%減少であった。また、震災前後の気温影響を考慮していないピーク温熱負荷は 3%減少していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク温熱負荷では、22.3%増加であった。

D ビルの震災前後の気温影響を考慮していないピーク冷熱負荷は 5%増加していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク冷熱負荷では、1.4%減少であった。また、震災前後の気温影響を考慮していないピーク温熱負荷は 9%増加していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク温熱負荷では、23.0%増加であった。

E ビルの震災前後の気温影響を考慮していないピーク冷熱負荷は 8%減少していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク冷熱負荷では、9.2%減少であった。また、震災前後の気温影響を考慮していないピーク温熱負荷は 6%減少していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク温熱負荷では、0.5%減少であった。

F ビルは温熱負荷データが欠如していたため、分析を行わなかった。F ビルの震災前後の気温影響を考慮していないピーク冷熱負荷は 14%増加していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク冷熱負荷では、4.8%増加であった。

G ビルの震災前後の気温影響を考慮していないピーク冷熱負荷は 8%増加していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク冷熱負荷では、8.7%減少であった。また、震災前後の気温影響を考慮していないピーク温熱負荷は 10%増加していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク温熱負荷では、25.2%減少であった。

H ビルの気温影響を考慮した場合のピーク冷熱負荷の増減率、ピーク温熱負荷の増減率を示す。H ビルの震災前後の気温影響を考慮していないピーク冷熱負荷は 4%減少していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク冷熱負荷では、20.4%減少であった。また、震災前後の気温影響を考慮していないピーク温熱負荷は 13%減少していたが、震災前後の気温影響を考慮したピーク温熱負荷では、7.4%減少であった。

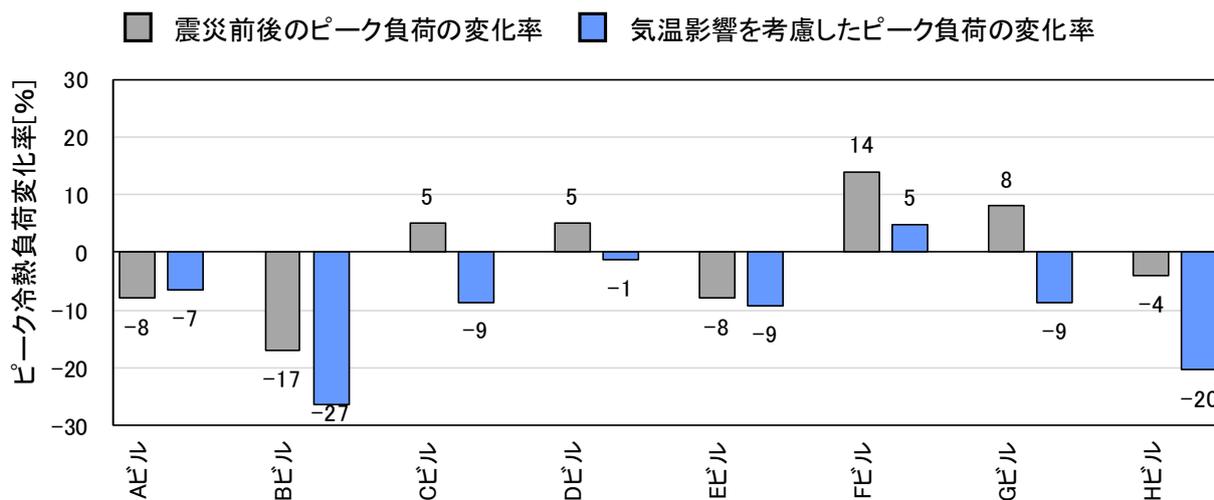


図 4.6.4 震災前後のピーク冷熱負荷の変化率と  
気温影響を考慮したピーク冷熱負荷の変化率の比較結果

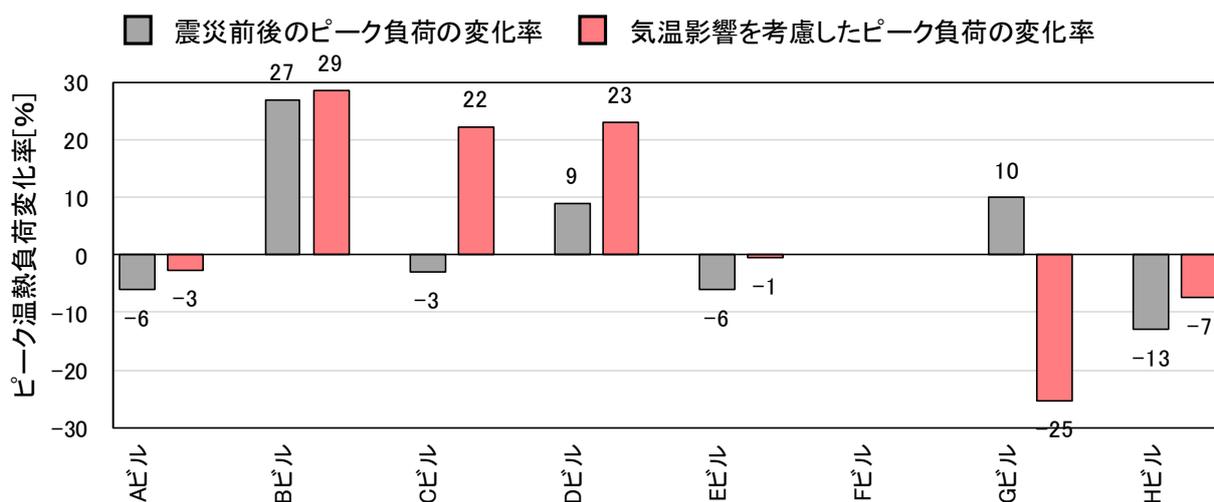


図 4.6.5 震災前後のピーク温熱負荷の変化率と  
気温影響を考慮したピーク温熱負荷の変化率の比較結果

#### 4.6.4 気温影響を考慮した場合のピーク熱負荷の変化率

図 4.6.6 に、気温影響を考慮した場合のピーク熱負荷の変化率による分布を示す。気温影響を考慮した場合、冷熱負荷は全ての建物で減少傾向を示した。また、温熱負荷は7件中3件増加、2件減少、1件同程度の傾向を示した。また、ピーク熱負荷の平均変化率は冷熱負荷、温熱負荷ともに小さかったが、気温影響を考慮した負荷の平均は、冷熱は-10%し温熱は+13%であり、同じ気温条件で補正した負荷の変化の平均は、一般的に言われている負荷変化と同様の傾向を示した。これにより震災後、同じ気温条件であれば熱源機器容量を削減できる可能性はあるが、実際にはピーク負荷に影響する最高気温や最低気温は年により変化するため熱源機器総容量の削減の可能性を断定することは難しいと考えられる。

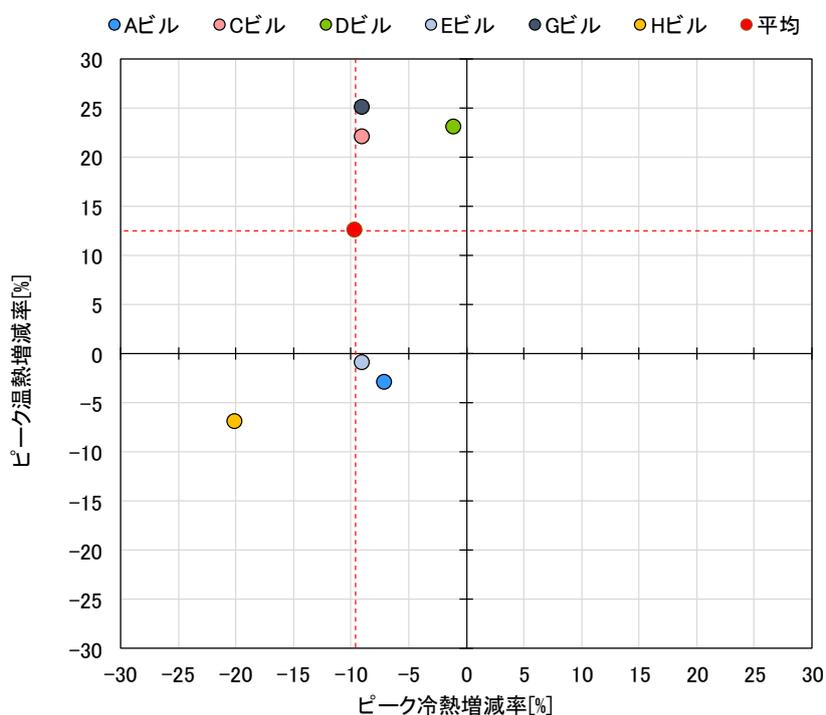


図 4.6.6 気温影響を考慮した場合のピーク熱負荷の変化率

## 4.7 震災前後の負荷の変化がエネルギーシステムに与える影響

### 4.7.1 熱負荷の負荷率の出現頻度による分析・考察

図 4.7.1 に全対象建物の震災前後の冷熱負荷率、図 4.7.2 に全分析建物の震災前後の温熱負荷率の出現頻度割合を示す。負荷率は 8760 時間の時刻別熱負荷の最大値に対する各時刻別熱負荷の比率とした。

A ビルでは、冷熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2010 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率 1～10%の出現頻度は 2010 年度の方が高いが、負荷率 11～20%の出現頻度は 2015 年度の方が高くなっていることが分かる。温熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2010 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率 1～10%の出現頻度は 2015 年度の方が高いが、負荷率 11～20%の出現頻度は 2010 年度の方が高くなっていることが分かる。このことから、温熱源機器において台数分割により、震災前に比べ震災後の方が低負荷時間帯に熱源機器効率が向上し省エネルギー効果が大きいと予測される。

B ビルでは、冷熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率 1～30%の出現頻度は 2009 年度の方が高くなっていることが分かる。温熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率 1～10%の出現頻度は 2015 年度の方が高いが、負荷率 11～20%の出現頻度は 2009 年度の方が高くなっていることが分かる。

C ビルでは、冷熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率 1～10%の出現頻度は 2009 年度の方が高いが、負荷率 11～20%の出現頻度は 2015 年度の方が高くなっていることが分かる。温熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、C ビルの時刻別温熱負荷を調べると、2015 年度の深夜に負荷率 10%以下の温熱負荷の低負荷運転時間時間が特異的に増加していることが分かった。

D ビルでは、冷熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率 1～10%の出現頻度は 2015 年度の方が高いが、負荷率 11～20%の出現頻度は 2009 年度の方が高くなっていることが分かる。温熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率 1～10%の出現頻度は 2009 年度の方が高いが、負荷率 11～20%の出現頻度は 2015 年度の方が高くなっていることが分かる。

E ビルでは、冷熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率 1～10%の出現頻度は 2009 年度と 2015 年度は同程度で、負荷率 11～20%の出現頻度は 2015 年度の方が高くなっていることが分かる。

温熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009 年度、2015 年度共に、負荷率 1～10%の出現頻

度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率1～30%の出現頻度は2015年度の方が高くなっていることが分かる。

Fビルでは、冷熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009年度、2015年度共に、負荷率1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率1～20%の出現頻度は2015年度の方が高くなっていることが分かる。温熱負荷の負荷率別の出現頻度において、温熱負荷のデータが欠如しているため比較ができなかった。

Gビルでは、冷熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009年度、2015年度共に、負荷率1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率1～30%の出現頻度は2015年度の方が高くなっていることが分かる。温熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009年度は負荷率11～20%の出現頻度が最も高く、2015年度共は負荷率1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率1～10%、21～30%の出現頻度は2015年度の方が高いが、負荷率11～20%の出現頻度は2009年度の方が高くなっていることが分かる。

Hビルでは、冷熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009年度、2015年度共に、負荷率1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率1～20%の出現頻度は2009年度の方が高くなっていることが分かる。温熱負荷の負荷率別の出現頻度において、2009年度、2015年度共に、負荷率1～10%の出現頻度が最も高いことが分かる。また、低負荷率の出現頻度に着目すると、負荷率1～30%の出現頻度は2015年度の方が高くなっていることが分かる。

これらの結果より、温熱負荷の方が震災前後での変化が大きい、冷熱負荷は温熱負荷より負荷率30%以下の低負荷時間の割合が大きいことが分かる。また、負荷率30%以下の低負荷運転時間の出現頻度割合が震災前後で増加している建物は、冷熱負荷は8件中5件、温熱負荷は7件中6件であった。そして、震災前と比べて震災後の負荷は、Aビル、Bビル、Cビル、Hビルでは温熱源機器、Dビル、Fビルでは冷熱源機器、Eビル、Gビルでは冷熱・温熱源機器の台数分割によって、低負荷率時の熱源機器の高効率化が図られ省エネルギーに寄与すると予想される。

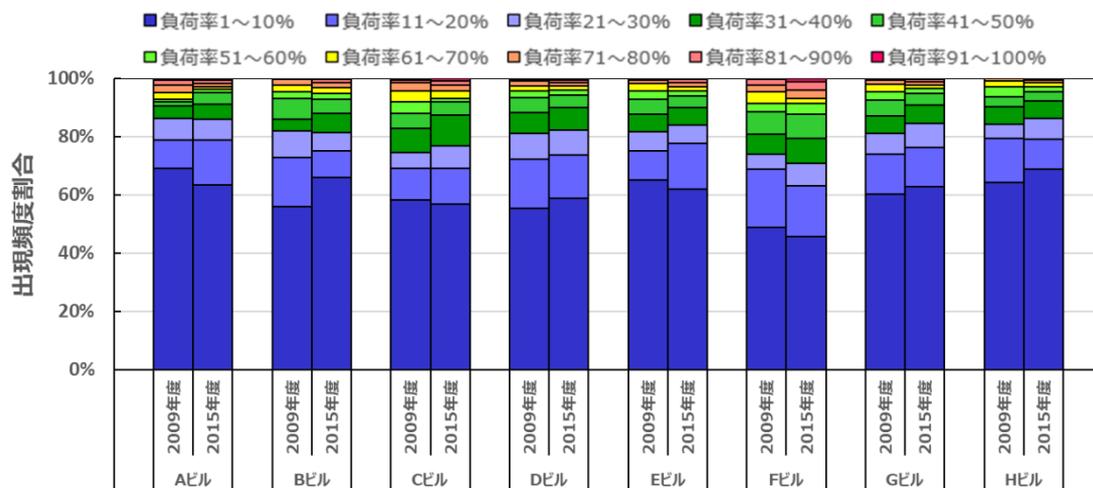


図 4.7.1 全分析建物の震災前後の冷熱負荷率の出現頻度割合

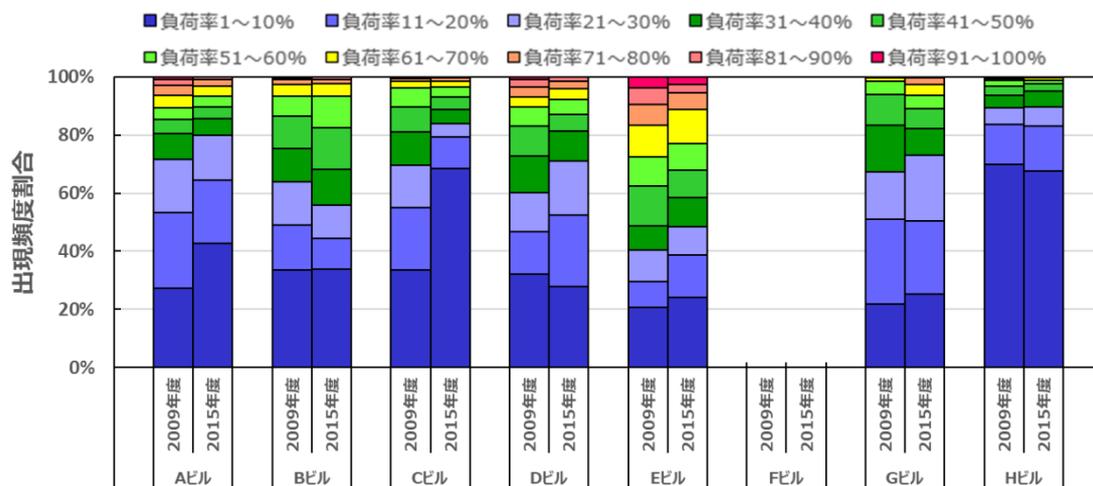


図 4.7.2 全分析建物の震災前後の温熱負荷率の出現頻度割合

#### 4.7.2 電力負荷に対する熱負荷の比率・温熱比率の変化による分析・考察

##### (1) 分析方法

これまでの分析結果より、建物によって冷熱・温熱の変化率の傾向は多様であるが、電力負荷は全ての建物において減少傾向を示した。その為、震災前と比較し震災後に電力負荷が減少し、温熱負荷が増加する建物の場合では、熱負荷の割合が増大し、CGS 導入がエネルギー効率の向上に影響を与えると考えられる。これは、CGS の発電時に排出する排熱を有効利用できる量が増えるためである。

そこで本章では、熱負荷（温熱負荷）の増加がコージェネレーションシステム導入の有効性に影響を与えるかを考察するため、以下の二つの値を用いて分析を行った。一つ目は電力負荷に対する熱負荷の比率、二つ目は熱負荷に対する温熱負荷の比率である。

これらの値の算出には、年間電力負荷原単位、年間熱負荷原単位、年間温熱負荷原単位を用いて行った。そこで式（1）に電力負荷に対する熱負荷の比率、式（2）に熱負荷に対する温熱負荷の比率の算出方法を示す。この計算方法を用いて、建物毎に比率を算出した。

$$\text{HPR} = \text{HB} \times 100 / (\text{EB} \times 3.6) \dots\dots\dots (1)$$

HPR：電力負荷に対する熱負荷の比率[%]

HB：年間熱負荷原単位[MJ/m<sup>2</sup>年]（年間冷熱負荷原単位+年間温熱負荷原単位）

EB：年間電力負荷原単位[kWh/m<sup>2</sup>年]

$$\text{HR} = \text{WB} \times 100 / \text{HR} \dots\dots\dots (2)$$

HR：熱負荷に対する温熱負荷の比率[%]

WB：年間温熱負荷原単位[MJ/m<sup>2</sup>年]

## (2) 分析結果比較

図 4.7.4 に震災前後の電力負荷に対する熱負荷の比率、図 4.7.5 に震災前後の熱負荷に対する温熱負荷の比率の比較結果を示す。

A ビルは震災前の電力負荷のデータが欠如し電力負荷に対する熱負荷の比率の算出ができなかった。A ビルでは、熱負荷に対する温熱負荷の比率が 30%から 27%に 3 ポイント減少していた。

B ビルは震災前の電力負荷のデータが欠如し電力負荷に対する熱負荷の比率の算出ができなかった。B ビルでは、熱負荷に対する温熱負荷の比率が 10%から 23%に 13 ポイント増加していた。

C ビルでは、電力負荷に対する熱負荷の比率が 54%から 65%に 11 ポイント増加していた。また、熱負荷に対する温熱負荷の比率が 32%から 37%に 5 ポイント増加していた。

D ビルでは、電力負荷に対する熱負荷の比率が 68%から 71%に 3 ポイント増加していた。また、熱負荷に対する温熱負荷の比率が 24%から 22%に 2 ポイント減少していた。

E ビルでは、電力負荷に対する熱負荷の比率と熱負荷に対する温熱負荷の比率が震災前後で同程度の値を示した。

F ビルは温熱負荷のデータが欠如し熱負荷に対する温熱負荷の比率の算出ができなかった。F ビルでは、電力負荷に対する熱負荷の比率が 51%から 56%に 5 ポイント増加していた。

G ビルは 2009 年度の 4 月の熱負荷のデータが欠如していると考えられるため、5 月～3 月のデータで算出した。G ビルでは、電力負荷に対する熱負荷の比率が 50%から 62%に 12 ポイント増加していた。また、熱負荷に対する温熱負荷の比率が 23%から 25%に 2 ポイント増加していた。

H ビルでは、電力負荷に対する熱負荷の比率が 85%から 89%に 4 ポイント増加していた。また、熱負荷に対する温熱負荷の比率が 21%から 27%に 6 ポイント増加していた。

A ビルと E ビルでは、震災前と比較し震災後の値が減少もしくは同程度の値であったため、震災後の CGS 導入の有効性は確認できなかった。一方、B ビル・C ビルでは熱負荷に対する温熱負荷の比率、F ビルでは電力負荷に対する熱負荷の比率、D ビル・G ビル・H ビルでは、両方の値が震災前と比較し震災後に増加していた。これらの建物では、震災後に排熱を有効利用できる量が増えると考えられる。

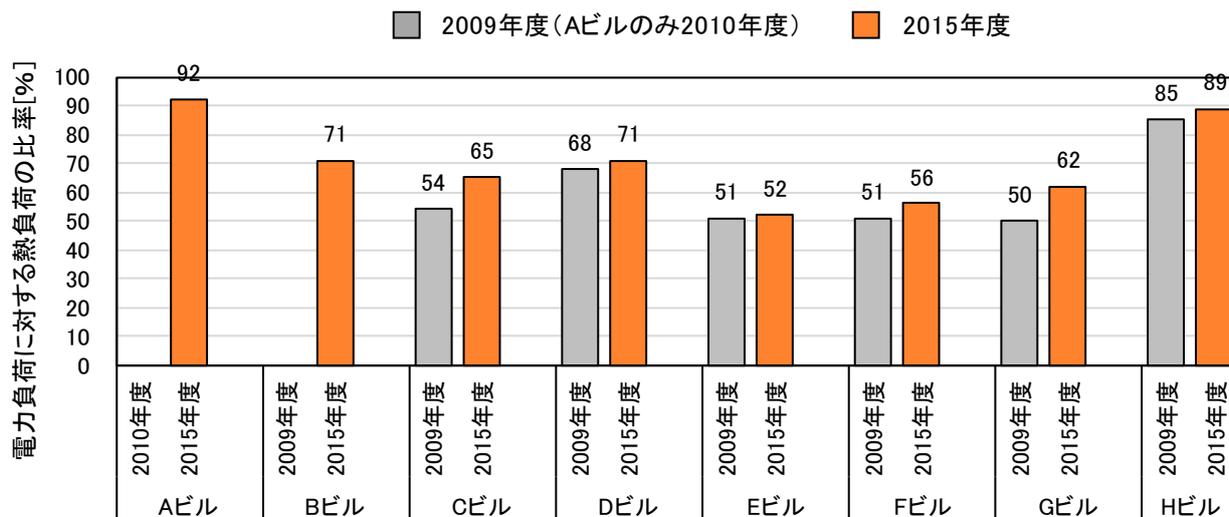


図 4.7.3 震災前後の電力負荷に対する熱負荷の比率の比較結果

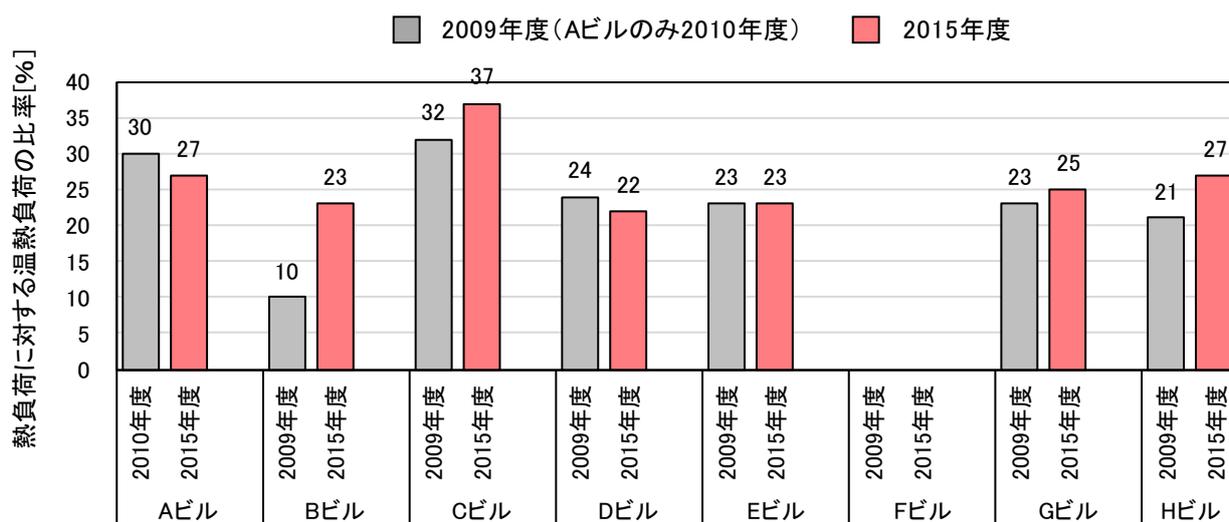


図 4.7.4 震災前後の熱負荷に対する温熱負荷の比率の比較結果

図 4.7.5 に、X 軸に電力負荷に対する熱負荷の比率の変化、Y 軸に熱負荷に対する温熱負荷の比率の変化をとった変化の分布を示す。今回、A ビルと B ビルは電力負荷の欠如、F ビルは温熱負荷データが欠如しているため分布からは除いた。

熱負荷に対する温熱負荷の比率は 5 件中 3 件が増加、1 件が同程度、1 件が減少する傾向を示した。それに対して電力負荷に対する熱負荷の比率はすべてのビルにおいて増加していた。温熱比率と電力負荷に対する熱負荷の比率がともに増加しているビルは 5 件中 3 件であった。このことから、これらの建物では温熱負荷の割合が増加し、CGS の排熱利用の有効利用によるエネルギー効率の向上が期待できるため、震災後は CGS 導入が有効になると考えられる。

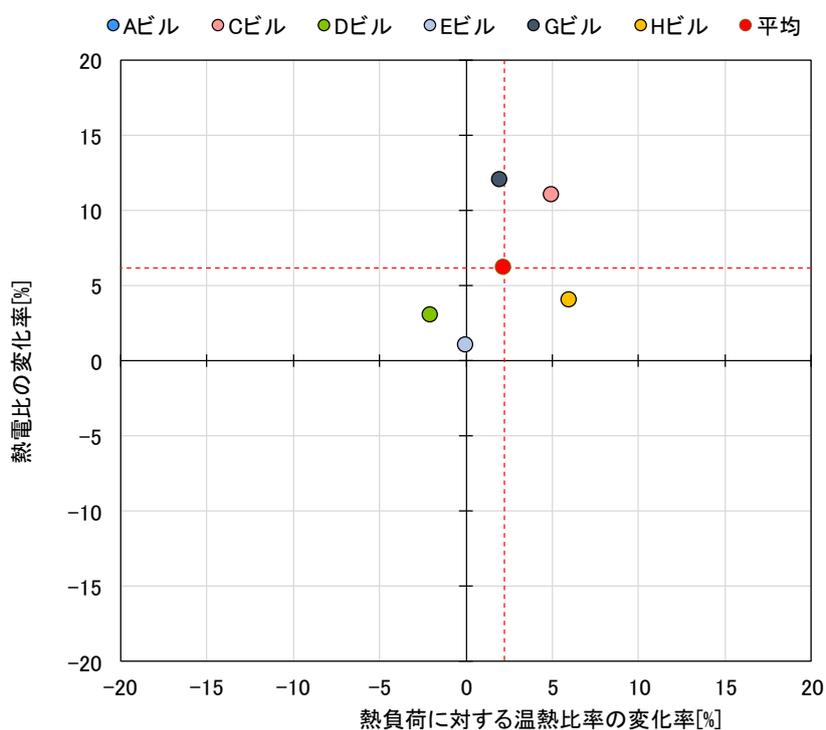


図 4.7.5 温熱比率と電力負荷に対する熱負荷の比率の変化による分布

## 4.8 結論

本研究では、2009年度、2015年度両年度の熱負荷・電力負荷を収集した事務所建物8件を対象に震災前後の負荷の変化や負荷バランスの変化を分析したことで、以下の知見を得た。

- 1) 年間熱負荷と年間電力負荷の変化の分析より、震災前後で電力負荷は6件全て減少し、平均17%減少していた。また冷熱負荷は8件全て減少し、平均13%減少していた。温熱負荷は7件中4件増加、3件減少し、平均6%減少していた。一般的に言われている、冷熱負荷が減少し温熱負荷が増加していた建物は6件中3件であった。
- 2) 年間ピーク熱負荷の変化の分析より、震災前後で年間熱負荷とピーク熱負荷の増減傾向が一致している建物は、冷熱負荷は8件中4件(減少)、温熱負荷は6件中3件(2件減少、1件増加)であり、年間熱負荷とピーク熱負荷の増減傾向が一致するとは限らなかった。
- 3) 気温影響を考慮した熱負荷分析より、気温影響を無くした場合、ピーク冷熱負荷は平均10%減少し、ピーク温熱負荷は13%増加すると推測された。震災後、気温変化が無ければ冷熱源機器の総容量を削減できる可能性はあるが、実際には気温変化の影響があるため熱源機器の総容量の削減の可能性を明言することは現段階では難しいと考えられる。
- 4) 部分負荷運転時間の分析より、負荷率30%以下の低負荷運転時間の出現頻度割合が震災前後で増加している建物は、冷熱負荷は5/8件、温熱負荷は6/7件であり、台数分割や低負荷対応の熱源機器の設置が有効になると考えられる。
- 5) 電力負荷に対する熱負荷の比率は5件すべてのビルにおいて増加し、熱負荷に対する温熱負荷の比率も増加している建物は5件中3件であった。これらより、震災後の方がCGS導入が有効な傾向にあると考えられる。

### 【参考文献】

- 4-1) 田中翔大・村上公哉：東日本大震災前後における建築物の熱負荷と電力負荷の変化に関する研究,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,2017
- 4-2) 富永悠：東京電力管内及び東北電力管内における気温影響を考慮した節電効果に関する資産,IEEJ,2011
- 4-3) 菅沼祐一：日最大電力からみた東日本地域での夏期のピーク時電力消費の減少動向の分析と考察,環境科学会誌 29 卷,2016

## 第5章 熱負荷・電力負荷の変化が 空調設備設計に与える影響の分析



## 第5章 熱負荷・電力負荷の変化が空調設備設計に与える影響の分析

### 5.1 研究概要

前章では、業務施設8件を対象とした震災前後の年間・月別負荷とピーク負荷の変化を分析するとともに、熱源機器の総装置容量の削減の可能性を検討した。

そして、震災後の負荷は、震災前と比較し、低負荷時間帯の出現頻度割合が増加しており、これは熱源機器の台数分割に影響すると考えられる。また、熱電比と熱負荷に対する温熱比率が増加しており、これは東日本大震災などを契機に今後導入が期待されるコージェネレーションシステムの導入計画に影響すると考えられる。

そこで本章では、エネルギーシステムシミュレーションを用いて以下二点の分析を行った。一つ目は、熱源システムの部分負荷運転時間が増加している建物において、熱源機器台数を2台から10台まで分割した際の熱源システムのエネルギー消費量や熱供給システム効率の震災前後の変化を分析した。二つ目は、熱電比と熱負荷に対する温熱比率が増加している建物において、コージェネレーションシステムを導入した際の熱源システムのエネルギー消費量や熱供給システム効率の震災前後の変化を比較分析した。

### 5.2 シミュレーションによる熱源機器の台数分割の影響分析

#### 5.2.1 シミュレーション概要

部分負荷運転時間が増加している建物において、熱源機器の台数分割を行うことにより、エネルギー消費量や年間エネルギー効率が震災前後でどのように変化するかを、シミュレーションによって確認する。シミュレーションにはENEPRO21（株）E.I.エンジニアリングを用いた。ENEPRO21は、熱源システムの運用改善や機器更新による省エネ・省コスト効果をさまざまなパターンで算定することができるシミュレーションソフトである。新設設備の設計では、種々の機器の組み合わせで、熱源機器の最適な容量分割方法の検討や熱源機器の運転優先順位の検討などに活用することができる。

前章で負荷分析を行った建物では、その多くが震災後の電力需要の逼迫を受け、建物における省エネ意識の向上や省エネ対策により、照明設備のランプの間引きを行っていた。この結果、電力負荷の減少に伴い、室内の内部発熱量も減少することで、温熱負荷の増加及び冷熱負荷の減少傾向を示すと考えられる。

本章におけるシミュレーション対象建物は、年間負荷量がこのような負荷変動を示し、低負荷運転時間割合が増加している建物であるHビルとした。Cビル、Gビルにおいても一般的に言われている負荷変動を示しているが、Cビルは2015年度の深夜に負荷率10%以下の温熱負荷の低負荷運転時間時間が特異的に増加しており、Gビルは2009年度4月の熱負荷データが欠損しているため、候補から除外した。

5.2.2 熱源システムモデルの概要

(1) 代表日選定

代表日として、平日と休日を月ごとに1日ずつ選定した。はじめに、各月の平日の日別熱負荷の平均値を算出する。そして、平均値と各月の平日の日別熱負荷を比較し、平均値との差が最も小さい日をその月の平日の代表日とする。

平均値との差の絶対値が最も小さい日が複数ある場合、その中で最も日付の早い日を代表日とする。これを、休日でも同様に行い代表日を選定する。例として図 5.2.1 に、2009 年度 7 月の平日の日別冷熱負荷を降順に並べたものを示す。また、表 5.2.1 にこの方法で選定した代表日を示す。

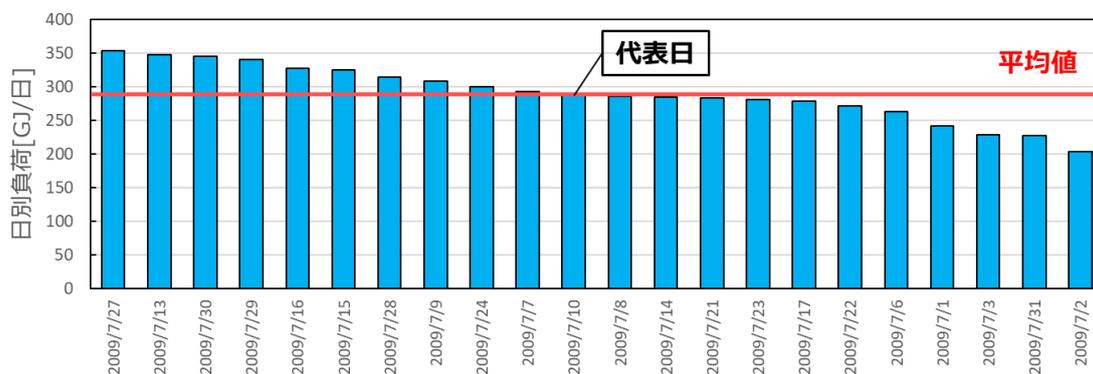


図 5.2.1 2009 年度 7 月の平日の日別冷熱負荷

表 5.2.1 代表日一覧

(左：2009 年度 右：2015 年度)

	冷熱		温熱			冷熱		温熱	
	平日	休日	平日	休日		平日	休日	平日	休日
4月	8日	29日	10日	11日	4月	16日	4日	1日	19日
5月	25日	16日	18日	2日	5月	29日	4日	14日	3日
6月	10日	6日	1日	6日	6月	10日	6日	1日	6日
7月	10日	19日	6日	4日	7月	17日	26日	1日	4日
8月	24日	9日	4日	1日	8月	14日	2日	3日	1日
9月	17日	6日	1日	5日	9月	15日	26日	9日	5日
10月	30日	24日	2日	3日	10月	6日	17日	2日	3日
11月	12日	3日	17日	8日	11月	11日	1日	19日	22日
12月	9日	26日	11日	5日	12月	22日	13日	10日	5日
1月	19日	24日	26日	17日	1月	6日	1日	27日	24日
2月	10日	13日	19日	27日	2月	4日	6日	4日	7日
3月	3日	27日	26日	20日	3月	7日	21日	3日	19日

(2) 熱負荷設定

図 5.2.2 にシミュレーションで用いる平日と休日における代表日の時刻別熱負荷推移と時刻別最大負荷日(夏期・冬期設計日)の時刻別熱負荷推移を示す。H ビルは年間を通して冷熱需要が発生している建物であることが分かる。

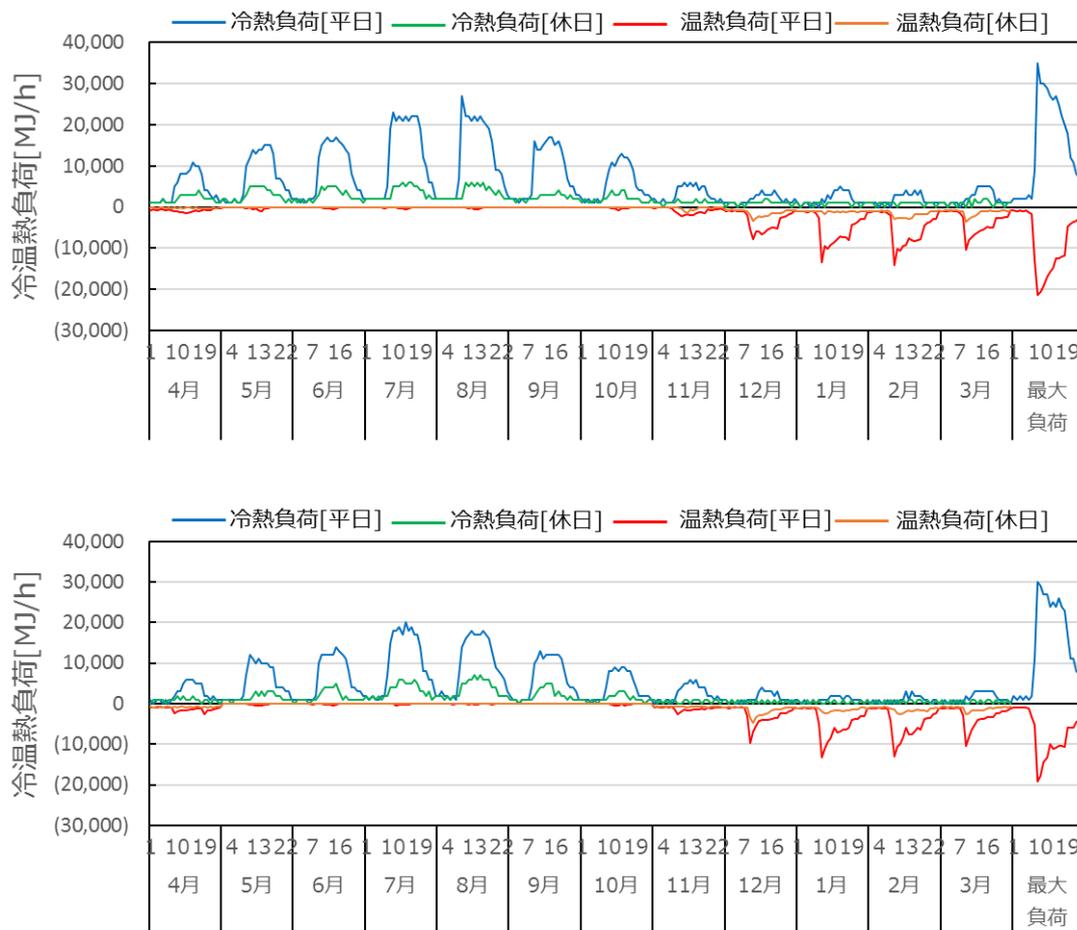


図 5.2.2 代表日と時刻別最大負荷日の熱負荷の時刻別負荷推移  
(上：2009 年度 下：2015 年度)

## (3) 台数分割熱源システムモデル

## a) システム構成

図 5.2.3 に想定した台数分割熱源システム構成を示す。熱源システムは電気式のモデルとし、冷熱負荷を空冷ヒートポンプとターボ冷凍機で賄い、温熱負荷を空冷ヒートポンプで賄うシステム構成とする。冷水の行き温度は 7℃、還りの温度は 12℃で温度差 5℃とし、温水の行き温度は 45℃、還りの温度は 40℃で温度差 5℃とする。冷水・温水ポンプは 2 次ポンプ方式とする。冷却塔は個別冷却塔を採用する。

熱源機器の機器総容量は、経年劣化を考慮して、時刻別熱負荷の最大値を 1.1 倍した値とする。まず最大温熱負荷を賄える容量の空冷ヒートポンプを大型機として選定し、次に、最大冷熱負荷から空冷ヒートポンプの冷凍能力を差し引いた負荷をターボ冷凍機で賄うように選定する。

シミュレーションでは、熱源機器の機器総容量は変更せずに、震災前後の負荷を用いて 2 台分割時～10 台分割時のシミュレーションモデルを構築する。また、熱源機器の COP や部分負荷特性は熱源システムの効率に影響を与えるため、各台数分割時の熱源機器の COP と部分負荷特性の設定は、図 5.2.5 に示す空冷ヒートポンプ、図 5.2.4 に示すターボ冷凍機の値に統一した。これらの機器は、(株)E.I.エンジニアリングの活用データ集より選定した。空冷ヒートポンプの定格 COP は 3.87(冷水製造時)と 3.1(温水製造時)であり、ターボ冷凍機は定格 COP 6.18 の機器である。

また、各台数分割時の熱源機器の補機の設定は、表 5.2.2 に示す値に統一した。各ポンプのポンプ効率は ENEPRO21 内で構築されている計算機能により求め、制御方式は定流量制御とした。

表 5.2.3a)に空冷ヒートポンプの各台数分割時の一台当たりの熱源機器容量を示す。2009 年度の空冷ヒートポンプの合計加熱能力は、温熱の時刻別最大負荷の 1.1 倍である 6,522[kW]とする。また冷凍能力は、選定した空冷ヒートポンプの加熱能力と冷凍能力の比より 7,998[kW]とする。また、表 5.2.3b)にターボ冷凍機の各台数分割時の一台当たりの熱源機器容量を示す。2009 年度の冷凍能力は、冷熱の時刻別最大負荷の 1.1 倍(10,694[kW])と空冷ヒートポンプ冷凍能力(7,998[kW]) の差である 2,629[kW]とする。そして、2015 年度も同様に設定しシミュレーションモデルを構築した。

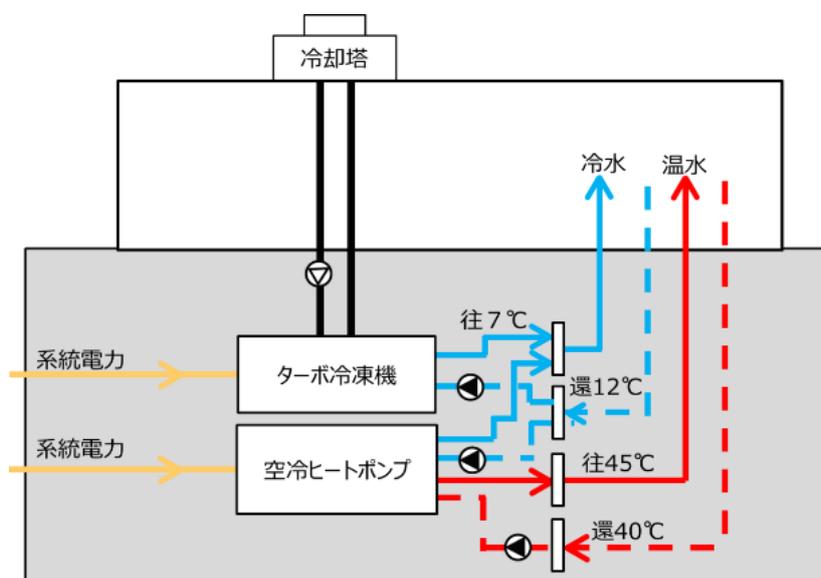


図 5.2.3 台数分割熱源システム構成

空冷ヒートポンプ	
メーカー	株式会社前川製作所
シリーズ	空気熱源式AWシリーズ
型番	AW-525MMA

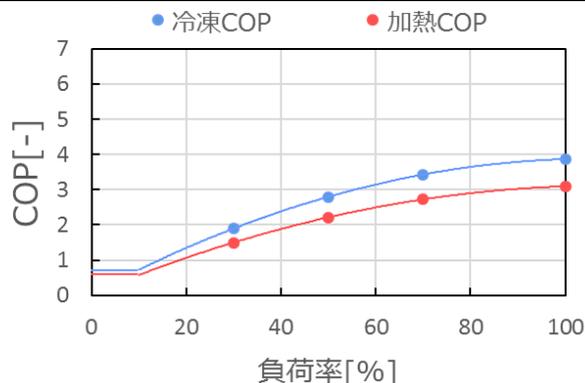


図 5.2.4 選定した空冷ヒートポンプのCOPと部分負荷特性

ターボ冷凍機	
メーカー	荏原冷熱システム株式会社
シリーズ	高効率ターボ冷凍機 RTBF型
型番	RTBF050

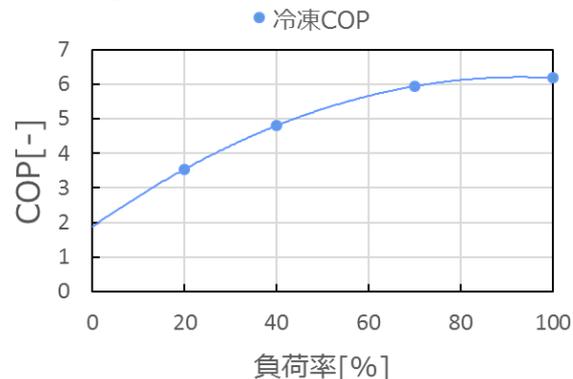


図 5.2.5 選定したターボ冷凍機のCOPと部分負荷特性

表 5.2.2 熱源機器の補機の設定条件

a)揚程		b)流量			
冷温水一次ポンプ	20[m]		台数	一台当たりの流量	総流量
冷温水二次ポンプ	21.45[m]	冷水二次ポンプ	3[台]	615[m <sup>3</sup> ]	1,839[m <sup>3</sup> ]
冷却水ポンプ	35[m]	温水二次ポンプ	3[台]	375[m <sup>3</sup> ]	1,122[m <sup>3</sup> ]

表 5.2.3 各台数分割時の一台当たりの熱源機器容量

a) 空冷ヒートポンプ

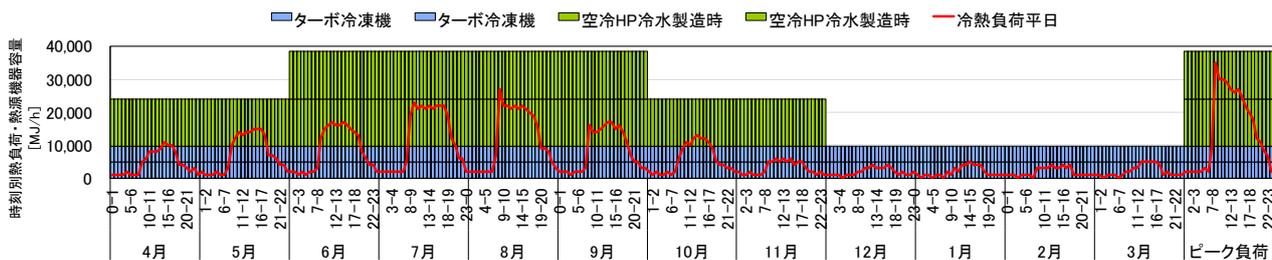
年度	2台	3台	4台	5台	6台	7台	8台	9台	10台
2009年度									
冷凍能力[kW]	3,999	2,666	2,000	1,600	1,333	1,143	1,000	889	800
加熱能力[kW]	3,261	2,174	1,631	1,305	1,087	932	816	725	653
2015年度									
冷凍能力[kW]	3,576	2,384	1,788	1,431	1,192	1,022	894	795	716
加熱能力[kW]	2,916	1,944	1,458	1,167	972	833	729	648	854

b) 空冷ヒートポンプ

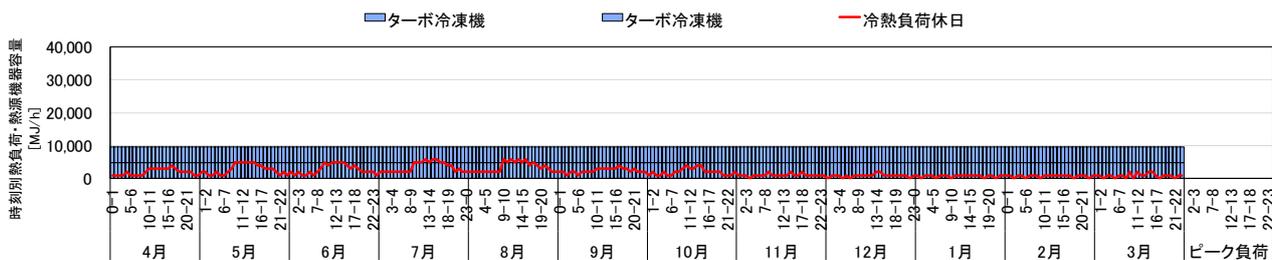
年度	2台	3台	4台	5台	6台	7台	8台	9台	10台
2009年度									
冷凍能力[kW]	1,348	899	674	540	450	386	337	300	270
2015年度									
冷凍能力[kW]	1,008	672	504	404	336	288	252	224	202

b) 運転計画設定

熱源機器の運転は、8時～22時を昼間、22時～8時を夜間とし平日休日ごとに設定した。年間を通じて冷水は機器効率の高いターボ冷凍機を優先して運転する。空冷HPは夏期(6月～9月)は冷水専用運転で冬期(12月～3月)は温水専用運転とする。中間期(4月、5月、10月、11月)においては、冷水専用運転用と温水専用運転用の2種に分けて運転した。図5.2.6に、例として2009年度の代表日の熱負荷と2台分割時の熱源機器構成を示す。熱源機器の増段は熱負荷が運転中の熱源機器の装置容量を超えた時に起こる。また、運転中の熱源機器は負荷率が同じになるように熱を製造する。



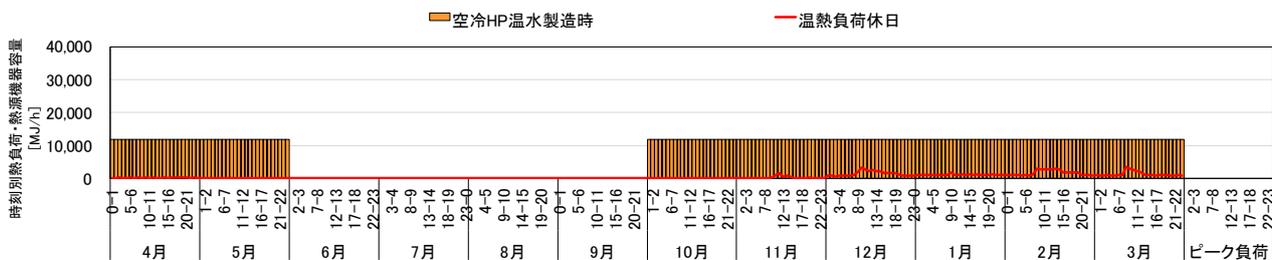
a) 冷熱負荷平日



b) 冷熱負荷休日



c) 温熱負荷平日



d) 温熱負荷休日

図 5.2.6 2009年度の代表日の熱負荷と2台分割時の熱源機器構成

### 5.2.3 シミュレーション結果

#### (1) 電力消費量

図 5.2.7 に H ビルの 2009 年度と 2015 年度の分割台数毎の電力消費量の比較を示す。2009 年度と 2015 年度ともに、台数分割によって電力消費量は減少傾向にあることが分かった。内訳を見ると、分割台数が増えるとターボ冷凍機の冷却塔の電力消費量は増加傾向にあった。空冷ヒートポンプ主機の電力消費量は減少傾向にあることが分かる。ターボ冷凍機主機、ターボ冷凍機補機、空冷ヒートポンプ補機、冷温水二次ポンプの電力消費量の変化は小さいことが分かる。

全体の電力消費量において、2009 年度は 9 台分割したときまで減少し続け、2 台分割時と比較すると最大で 22%減少し、2015 年度は 7 台分割したときまで減少し続け、2 台分割時と比較すると最大で 25%減少することが分かった。

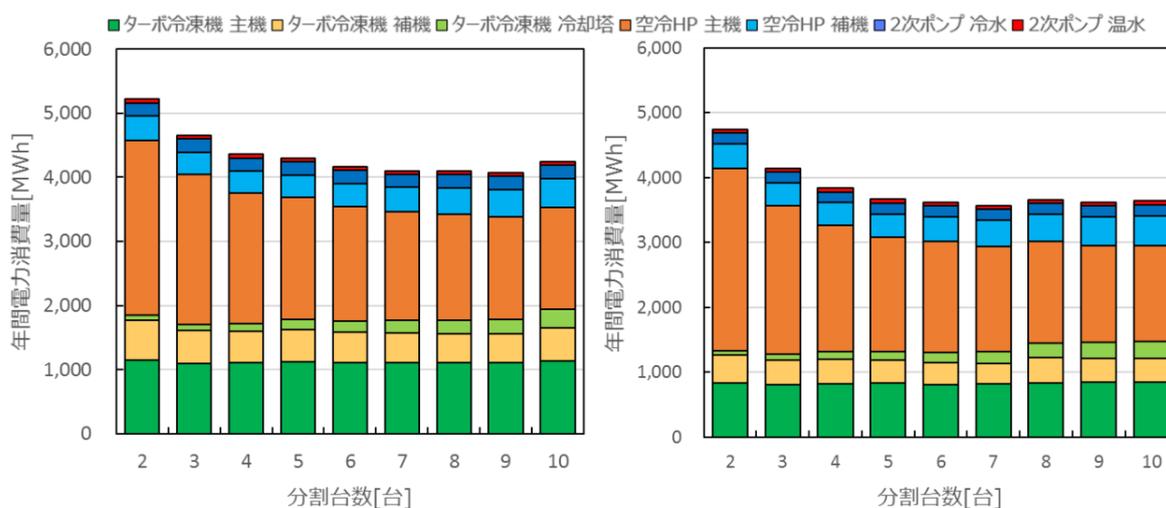


図 5.2.7 H ビルの 2009 年度と 2015 年度の分割台数毎の電力消費量の比較

(左 : 2009 年度 右 : 2015 年度)

(2) 年間エネルギー効率

図 5.2.8 に、H ビルの 2009 年度と 2015 年度の分割台数毎の年間エネルギー効率の比較を示す。年間エネルギー効率は、2009 年度は 9 台分割したときまで上がり続け、2015 年度は 7 台分割したときまで上がり続けていることが分かる。2~10 台分割すべてにおいて 2015 年度の方が年間エネルギー効率は低かった。

図 5.2.9 に H ビルの 2009 年度と 2015 年度の 2 台分割時の年間エネルギー効率を 100%とした場合の 3~10 台分割時の年間エネルギー効率の比を示す。この比を 2009 年度と 2015 年度で分割台数毎に比較すると、すべての分割台数時において 2015 年度の方が高い値となっている。また、2009 年度は 2 台分割時から最高効率の 9 台分割時で年間エネルギー効率は 0.99 から 1.27 に上昇し、効率が 1.28 倍に向上しており、2015 年度は 2 台分割時から最高効率の 7 台分割時で年間エネルギー効率は 0.90 から 1.20 に上昇し、効率が 1.33 倍に向上した。

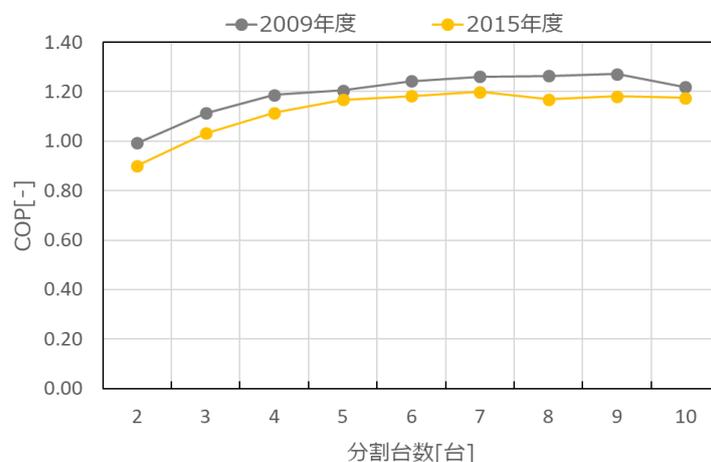


図 5.2.8 H ビルの 2009 年度と 2015 年度の分割台数毎の年間エネルギー効率の比較



図 5.2.9 H ビルの 2009 年度と 2015 年度の対 2 台分割時の年間エネルギー効率比率

図 5.2.10にHビルの分割台数毎の熱負荷率別出現頻度割合を示す。台数分割によって運転台数を制御し、それぞれの熱源機器にかかる熱負荷率が上昇したため、2009年度と2015年度共に効率が向上していると考えられる。また、冷熱負荷の負荷率91~100%の出現頻度割合を見ると、2009年度では9台分割時、2015年度では7台分割時に最も大きくなっており、定格に近い運転を続けられたため、2009年度9台分割時と2015年度7台分割時に年間エネルギー効率が最大効率になったと考えられる。

図 5.2.11にHビルの年間冷温熱負荷割合を示す。年間熱負荷に対する年間冷熱負荷の割合は、2009年度は約79%、2015年度年は約73%であった。年間熱負荷に対する年間温熱負荷の割合は、2009年度は約21%、2015年度年は約27%であった。このことから、2009年度に比べ2015年度の方が冷熱比率が低く温熱比率が高くなっていることが分かる。

この負荷変化により、2009年度と比べ2015年度の方が空冷ヒートポンプの冷熱製造割合が増加した。一方、空冷ヒートポンプより冷凍COPが高いターボ冷凍機の冷熱製造割合が減少した。また、空冷ヒートポンプの加熱COPは、空冷ヒートポンプの冷凍COPやターボ冷凍機の冷凍COPよりも低い部分負荷特性である。そして、2009年度と比べ2015年度の方が空冷ヒートポンプの加熱運転時間が増えている。これらの影響から、2009年度と比べ2015年度の方が年間エネルギー効率が低い値となったと考えられる。

電力消費量と年間エネルギー効率の比較結果より、2009年度に比べ2015年度の方が台数分割による効果が大きいと考えられる。

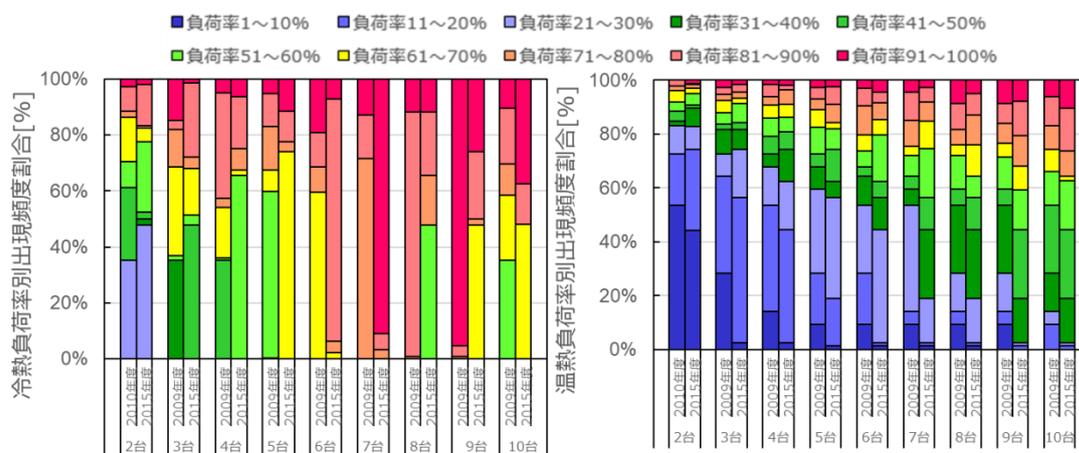


図 5.2.10 Hビルの分割台数毎の熱負荷率別出現頻度割合

(左：冷熱負荷 右：温熱負荷)

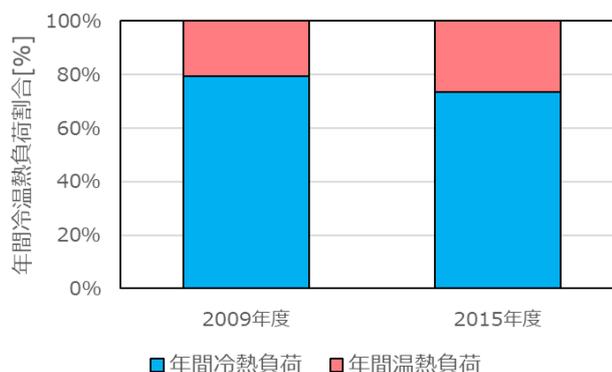


図 5.2.11 Hビルの年間冷温熱負荷割合

### 5.3 シミュレーションによるコージェネレーションシステム導入の影響分析

#### 5.3.1 シミュレーション概要

前章では震災後はよりコージェネレーションシステム導入が有効な傾向であることがわかった。そこで、熱電比と熱負荷に対する温熱比率が増加している建物において、コージェネレーションシステムを導入することで、エネルギー消費量や年間エネルギー効率が震災前後でどのように変化するかを、シミュレーションによって確認する。また、ガス・電気複合式モデルと熱源台数分割シミュレーションで用いた電気式モデルを比較熱源システムとし、震災前後でのコージェネレーションシステム導入の効果を確認する。シミュレーションには ENEPRO21 ((株)E.I.エンジニアリング) を用いた。

対象建物は、台数分割のシミュレーションと同様に熱電比と熱負荷に対する温熱比率が増加している H ビルとした。

#### 5.3.2 検討システムモデルの概要

##### (1) 熱負荷・電力負荷設定

シミュレーションの負荷設定に用いる代表日は、前節と同様に表 5.2.1 に示す各月の日を選定し、熱負荷推移は図 5.2.6 に示すものを用いる。また、本シミュレーションのガス・電気式モデルと CGS モデルでは蒸気供給を想定しているため、温熱負荷は低圧蒸気負荷で設定する。また、コージェネレーションシステムモデルの場合、電力負荷が必要となるため、熱負荷の各月の代表日に対応した電力負荷を用いてシミュレーションを行う。図 5.3.1 にシミュレーションで設定した電力負荷の時刻別推移を示す。

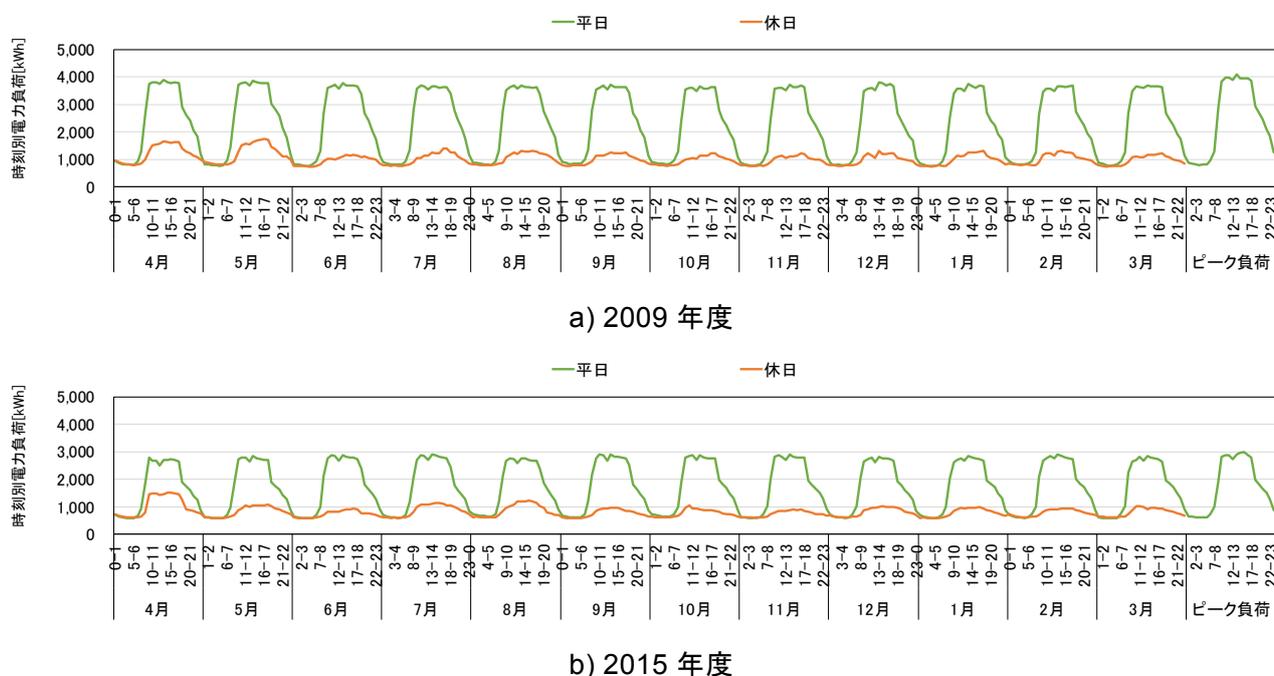


図 5.3.1 代表日と時刻別最大負荷日の電力負荷の時刻別負荷推移

(2) コージェネレーションシステムモデル

本シミュレーションでは、台数制御、また故障やメンテナンス等を考慮しガスエンジンコージェネレーションを2基以上とした。そこで、2009年度〔GE-2基〕と2015年度〔GE-2基〕に加えて、震災後はコージェネレーションシステムが有効になると考えられるため、2015年度〔GE-3基〕でのシミュレーションも行った。そのため、ケースモデルは、2009年度〔GE-2基〕、2015年度〔GE-2基〕、2015年度〔GE-3基〕の3つである。

a) システム構成

電力負荷をガスエンジン発電機と系統電力で賄い、冷房負荷を電動冷凍機（ターボ冷凍機）と蒸気焚ジェネリンクで賄い、暖房負荷をガスエンジン発電機の排熱とボイラで賄うシステム構成とする。図 5.3.2 にコージェネレーションシステムモデルのシステム構成を示す。冷水の往きの温度は7℃、還りの温度は14℃で温度差7℃とする。温熱の搬送は蒸気で行い、行きは0.785MPa、還りの温度は80℃とする。発電機の容量は2009年度の需要家の電力負荷の8-22時における最小供給電力を基準にし選定する。排熱は蒸気と温水の両方を取り出せるタイプを使用する。蒸気は圧力により搬送するためポンプを用いない。冷却塔は個別冷却塔を採用する。

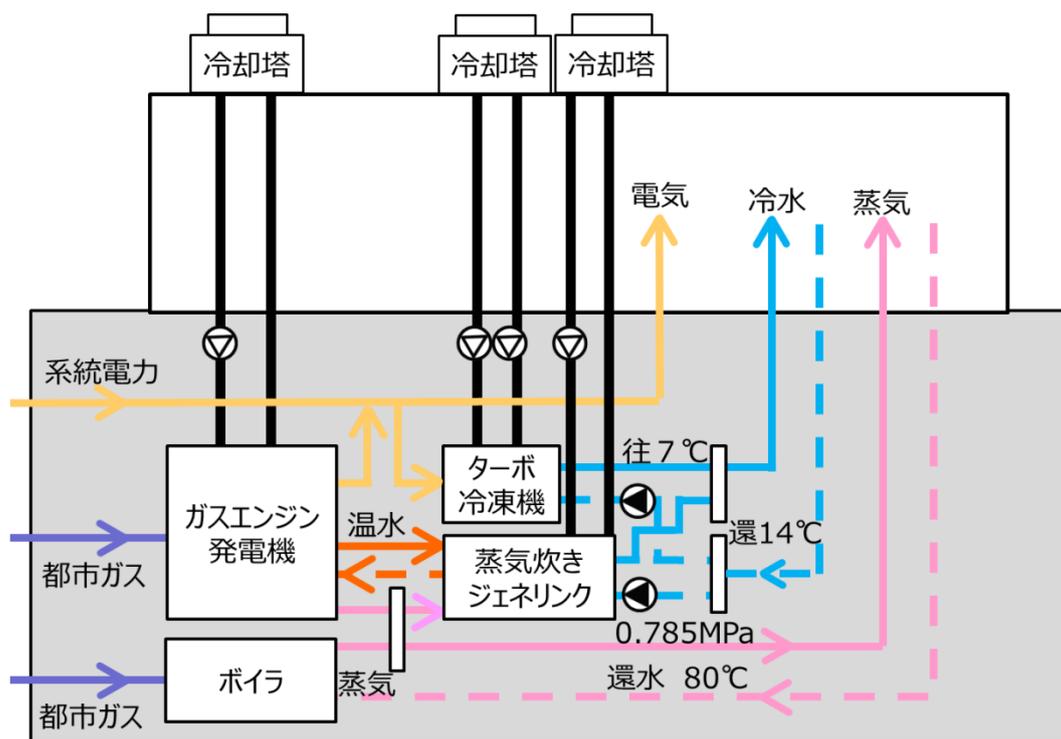


図 5.3.2 コージェネレーションシステムモデルのシステム構成

b) 発電機器・熱源機器の選定方針

図 5.3.3 に発電機器と熱源機器の設計方針を示す。①に機器選定の参考とした熱・電力負荷を示す。熱源機器は経年劣化を考慮して、時刻別熱負荷の最大値を 1.1 倍した値が賄えるように機器容量を決定する。

まず②のガスエンジン発電機を 8-22 時における時刻別電力負荷の最小値約 1,000[kWh]を参考に、発電効率が高い容量規模から、550[kW]を 1 台の容量基準として、2 台と 3 台のケースを想定した。また、次に③の蒸気焚ジェネリンクをガスエンジン発電機の排温水を消費できるように選定する。次に④のターボ冷凍機を蒸気焚ジェネリンクと合わせて夏期最大冷熱負荷が賄えるように選定する。次に⑤のボイラをガスエンジン発電機の蒸気排熱と合わせて冬期最大温熱（蒸気）負荷が賄えるように選定する。

以上の方針により設定した各熱源機器の台数を表 5.3.1 にケース別で示す。また、図 5.3.4～図 5.3.6 に、2009 年度・2015 年度 [GE-2 基]・2015 年度 [GE-3 基] の代表日の熱・電力負荷推移に対する熱源機器容量を示す。

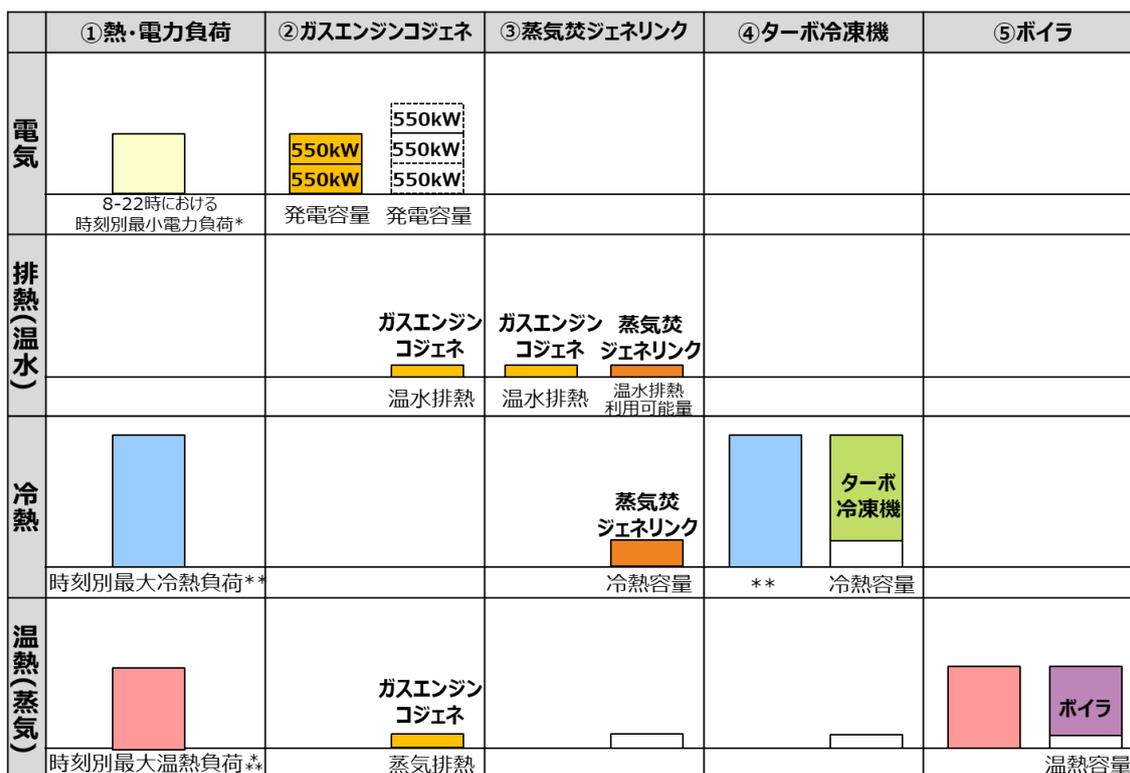
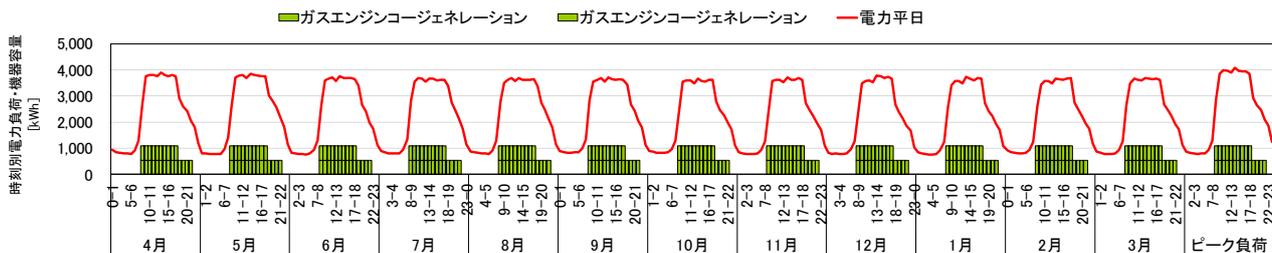


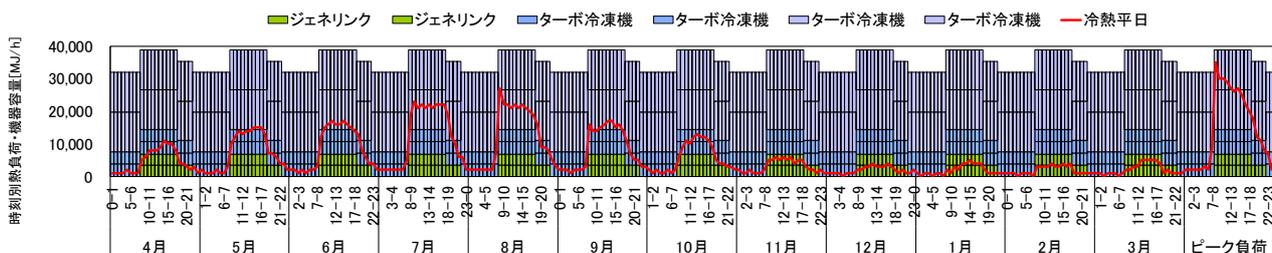
図 5.3.3 コージェネレーションシステムモデルの機器選定方針

表 5.3.1 ケース別各熱源機器の台数

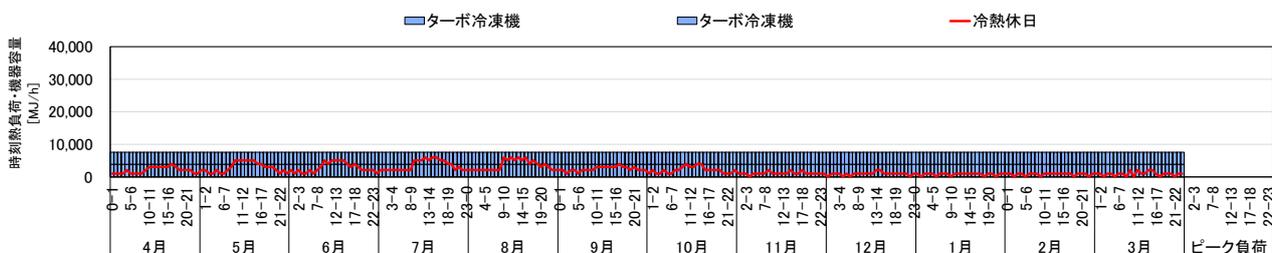
	2009 年度	2015 年度 [GE2 台]	2015 年度 [GE3 台]
GE コージェネレーション	2 基	2 基	3 基
蒸気焚ジェネリンク	2 基	2 基	3 基
小型ターボ冷凍機	2 基	1 基	2 基
大型ターボ冷凍機	2 基	2 基	2 基
小型ボイラ	2 基	1 基	2 基
大型ボイラ	3 基	3 基	2 基



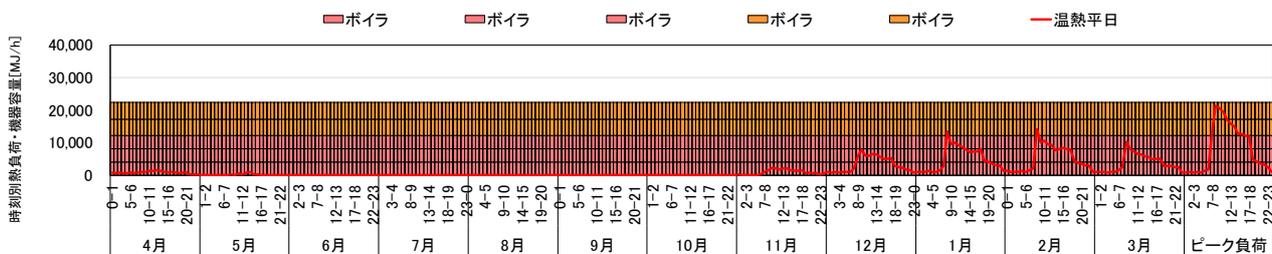
a) 電力負荷平日



b) 冷熱負荷平日



c) 冷熱負荷休日



d) 温熱負荷平日



e) 温熱負荷休日

図 5.3.4 2009 年度の熱・電力負荷推移に対する熱源機器容量

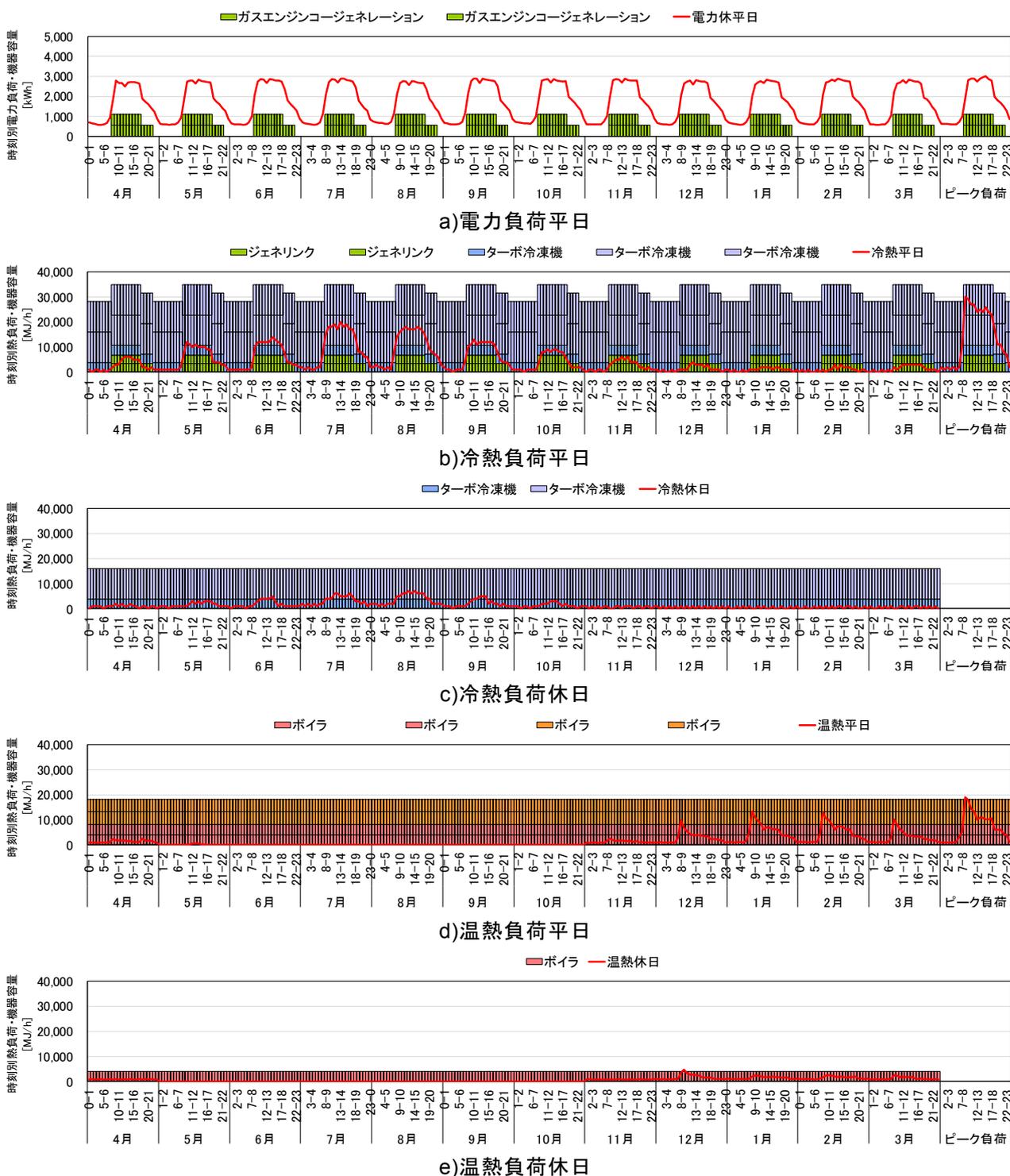


図 5.3.5 2015 年度 [GE-2 基] の熱・電力負荷推移に対する熱源機器容量

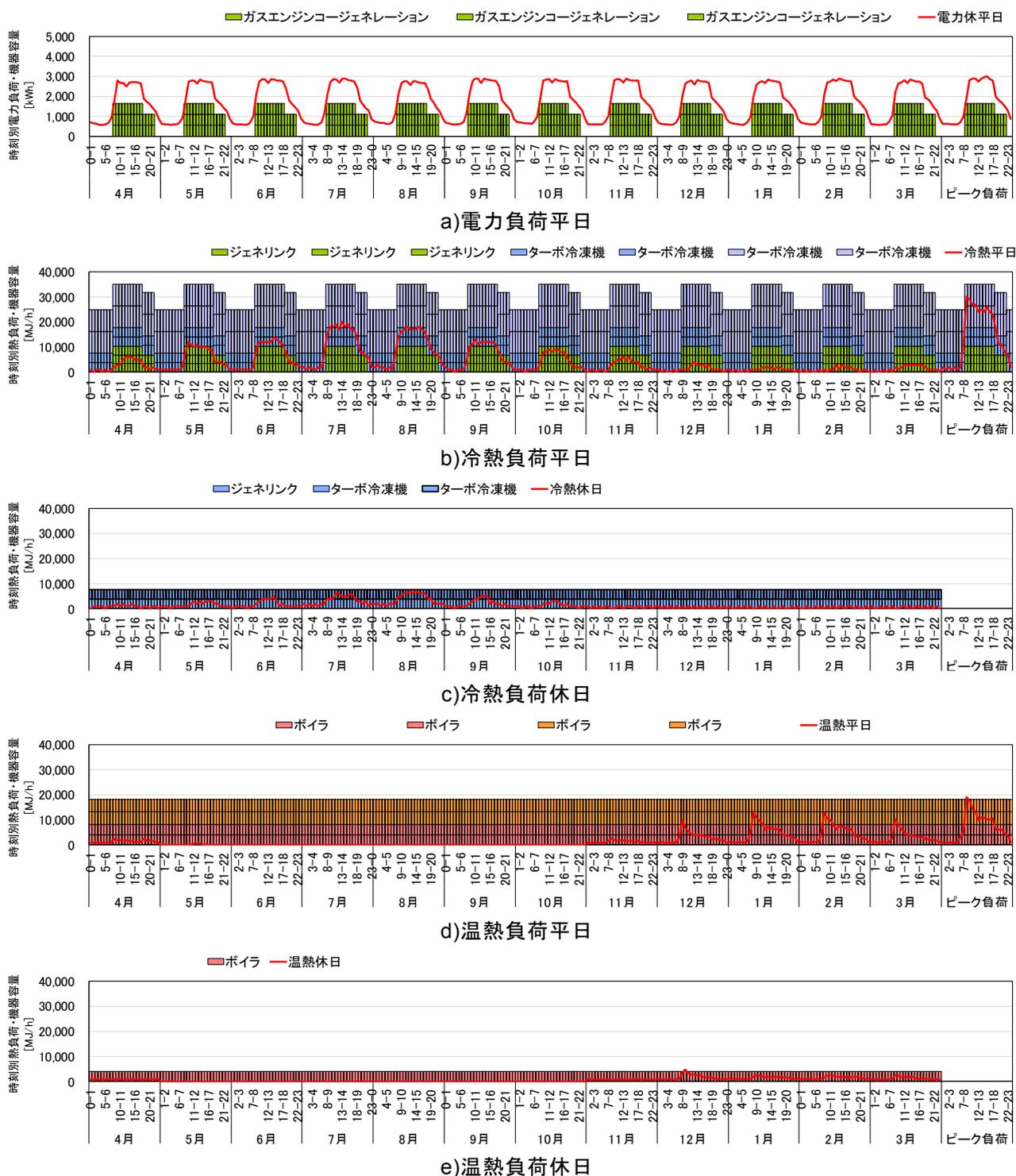


図 5.3.6 2015 年度 [GE-3 基] の熱・電力負荷推移に対する熱源機器容量

c) ガスエンジンコージェネレーション運転計画

運転計画の方針を表 5.3.2 に示す。平日の 8-22 時に運転し発電させる。8-18 時の間は選定した全基運転させ、18-22 時の間は電力負荷に追従するため 1 基運転を止める。

表 5.3.2 ガスエンジンコージェネレーション運転計画

	昼間 (8-22 時)		夜間 (22-8 時)
	昼間① (8-18 時)	昼間② (18-22 時)	
夏期 (6-9 月)	GE-2 基(3 基)*	GE-1 基(2 基)*	—
冬期 (12-3 月)	GE-2 基(3 基)*	GE-1 基(2 基)*	—
中間期 (4,5,10,11 月)	GE-2 基(3 基)*	GE-1 基(2 基)*	—

\*括弧内は GECGS-3 基の場合の運転計画を示す。

d) 熱源機器運転計画

運転計画の方針を表 5.3.3 に示す。CGS の排熱を消費することを優先するため、蒸気焚ジェネリックは、ガスエンジン台数と合わ、コージェネレーションシステム同様に 8-18 時の間は選定した全基運転させ、18-22 時の間は 1 基運転を停止する。

ターボ冷凍機は夏期 (6-9 月) では大型機を優先として運転し、その他の月では小型機を優先とする。またボイラは、冬期 (12-3 月) では大型機を優先として運転する。その他の月では、小型機を優先とする。

表 5.3.3 熱源機器運転計画

	昼間 (8-22 時)		夜間 (22-8 時)	
	冷水優先順位	蒸気優先順位	冷水優先順位	蒸気優先順位
夏期 6-9 月	1.蒸気焚ジェネリック 2.ターボ冷凍機	1.CGS 排熱 2.ボイラ	ターボ冷凍機	ボイラ
冬期 12-3 月	1.蒸気焚ジェネリック 2.ターボ冷凍機	1.CGS 排熱 2.ボイラ	ターボ冷凍機	ボイラ
中間期 4,5,10,11 月	1.蒸気焚ジェネリック 2.ターボ冷凍機	1.CGS 排熱 2.ボイラ	ターボ冷凍機	ボイラ

## 5.3.3 比較熱源システムの設定

## (1) 電気式システムモデル

冷房負荷を電動冷凍機（ターボ冷凍機）と空冷ヒートポンプで賄い、暖房負荷を空冷ヒートポンプで賄うシステム構成とする。図 5.3.7 に電気式モデルのシステム構成を示す。冷熱負荷を空冷ヒートポンプとターボ冷凍機で賄い、温熱負荷を空冷ヒートポンプで賄うシステム構成とする。冷水の行き温度は 7℃、還りの温度は 12℃で温度差 5℃とし、温水の行き温度は 45℃、還りの温度は 40℃で温度差 5℃とする。冷水・温水ポンプは 2 次ポンプ方式とする。冷却塔は個別冷却塔を採用する。

比較対象である、本電気式モデルは 3 台分割時のシステムとした。

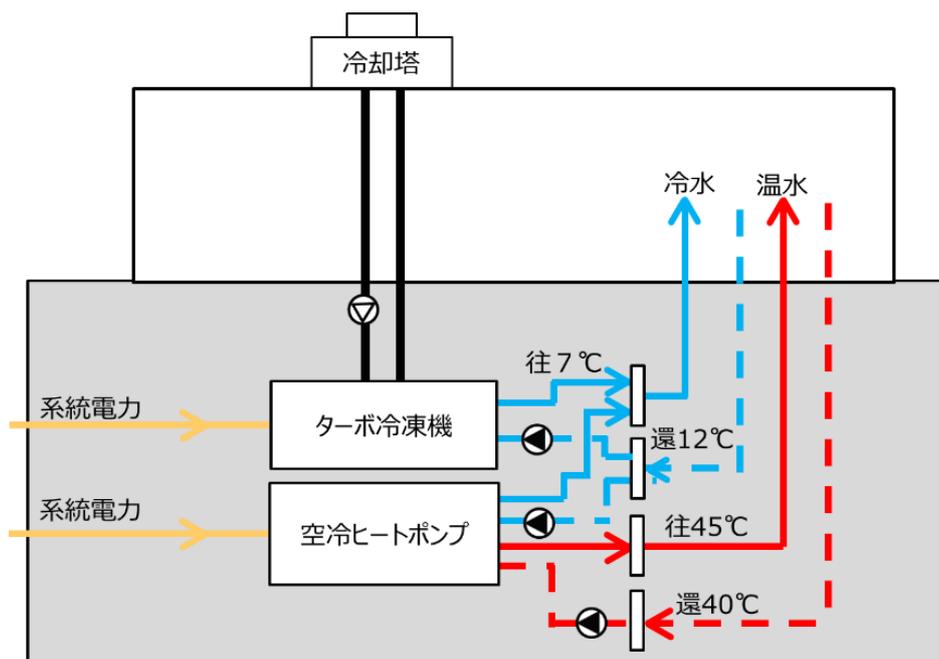


図 5.3.7 電気式システムモデルシステム構成

## a) 熱源機器選定方針

図 5.3.8 に空冷ヒートポンプ+ターボ冷凍機の設計方針を示す。①では熱源機器選定に用いる熱負荷を示す。熱源機器の経年劣化を考慮して、時刻別熱負荷の最大値を 1.1 倍した値が賄えるように機器容量を決定する。

まず②の最大温熱負荷を賄える容量の空冷ヒートポンプを大型機として選定する。次に、③の最大冷熱負荷は空冷ヒートポンプの冷凍能力で賄えない負荷をターボ冷凍機で賄うように選定する。次に④の台数分割はそれぞれの熱源機器容量を等分割にし、容量を設定する。比較モデルは 3 台分割であるため、容量を 3 等分する。

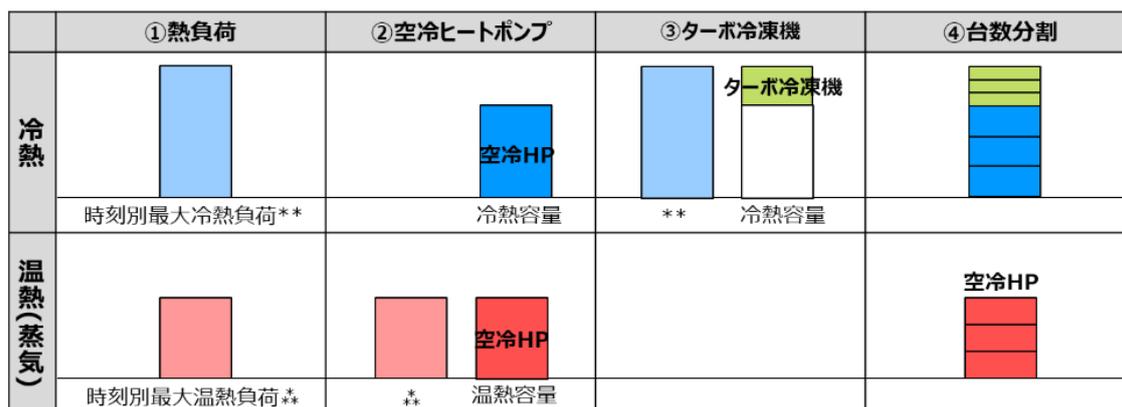


図 5.3.8 電気式モデルの機器選定方針

b) 運転計画設定

表 5.3.4 に熱源機器の運転計画を示す。年間を通じて冷水は機器効率の良いターボ冷凍機を優先して運転する。空冷ヒートポンプは、夏期（6月～9月）は冷水専用運転で冬期（12月～3月）は温水専用運転とする。中間期（4月、5月、10月、11月）はターボ冷凍機のみで冷熱負荷を賄えないため、空冷ヒートポンプは冷水専用運転と温水専用運転の2種とし、冷水専用運転の台数を温水専用運転の台数より1台多くする。

表 5.3.4 熱源機器の運転計画

	昼間（8-22時）		夜間（22-8時）	
	冷水優先順位	蒸気優先順位	冷水優先順位	蒸気優先順位
夏期 6-9月	1.ターボ冷凍機 2.空冷HP	—	1.ターボ冷凍機 2.空冷HP	—
冬期 12-3月	1.ターボ冷凍機 2.空冷HP	空冷HP	ターボ冷凍機	空冷HP
中間期 4,5,10,11月	1.ターボ冷凍機 2.空冷HP	空冷HP	1.ターボ冷凍機 2.空冷HP	空冷HP

(2) ガス・電気式システムモデル

CGSモデルの効果を分析する上で、ガス・電気式熱源システムとの比較も重要である。そこで比較熱源システムとして本研究におけるガス・電気式システムモデルは、CGSモデル熱源機器構成をベースに、蒸気焚きジェネリンクを吸収冷凍機に変えたシステムをガス・電気式熱源システムとした。

冷房負荷をターボ冷凍機と吸収冷凍機で賄い、暖房負荷をボイラで賄うシステム構成とする。図5.3.9にガス・電気式システムモデルのシステム構成を示す。冷水の往きの温度は7℃、還りの温度は14℃で温度差7℃とする。温熱の搬送は蒸気で行き、行きの圧力は0.785MPa、還りの温度は80℃とする。冷却塔は個別冷却塔方式を採用する。

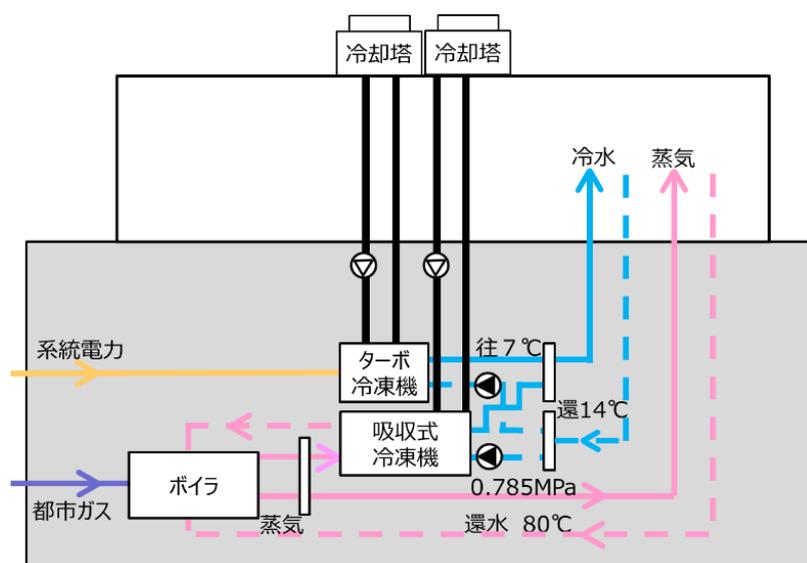


図 5.3.9 ガス・電気式システムモデルのシステム構成

a) 熱源機器選定方針

図5.3.10に吸収冷凍機+電動冷凍機+ボイラの設計方針を示す。①に機器選定に用いる熱負荷を示す。原則、CGSモデルと同様の種類の機器を用いる。まず②の吸収式冷凍機は、CGSモデルの蒸気焚きジェネリンクと同程度の容量のものを選定する。また蒸気焚きジェネリンクと同じ台数にする。次に③のターボ冷凍機は吸収冷凍機の冷房能力と合わせて夏期最大冷熱負荷が賄えるように選定する。次に④のボイラを冬期最大温熱（蒸気）負荷が賄えるように選定する。CGSモデルに対してCGSの排蒸気分も必要となるため、ボイラはCGSモデルより台数が多くなる。

表5.3.5に各熱源機器の台数をケース別で示す。

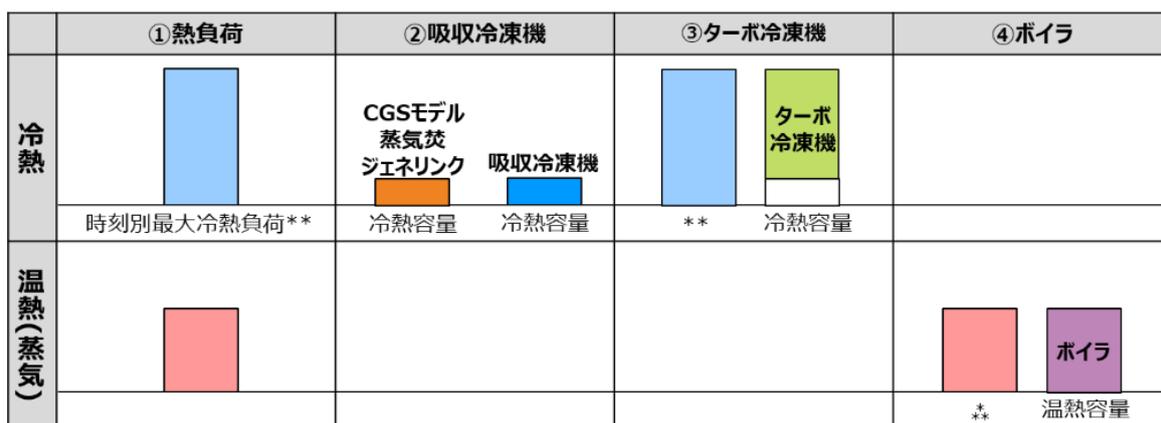


図 5.3.10 ガス・電気式システムモデルの機器選定方針

表 5.3.5 ケース別各熱源機器の台数

	2009 年度	2015 年度 〔GE2 台〕	2015 年度 〔GE3 台〕
吸収冷凍機	2 基	2 基	3 基
小型ターボ冷凍機	2 基	1 基	2 基
大型ターボ冷凍機	2 基	2 基	2 基
小型ボイラ	4 基	3 基	3 基
大型ボイラ	2 基	2 基	2 基

b) 運転計画設定

運転計画の方針を表 5.3.6 に示す。CGS モデルの運転計画を参考にし、吸収冷凍機を優先してする。ターボ冷凍機は夏期（6-9 月）では大型機を優先として運転する。その他の月では、小型機を優先とする。ボイラは、冬期（12-3 月）では大型機を優先として運転する。その他の月では、小型機を優先とする。

表 5.3.6 熱源機器運転計画

	昼間（8-22 時）		夜間（22-8 時）	
	冷水優先順位	蒸気優先順位	冷水優先順位	蒸気優先順位
夏期 6-9 月	1.吸収冷凍機 2.ターボ冷凍機	ボイラ	ターボ冷凍機	ボイラ
冬期 12-3 月	1.吸収冷凍機 2.ターボ冷凍機	ボイラ	ターボ冷凍機	ボイラ
中間期 4,5,10,11 月	1.吸収冷凍機 2.ターボ冷凍機	ボイラ	ターボ冷凍機	ボイラ

## 5.3.4 シミュレーション結果

## (1) 年間エネルギー効率比較

## a) 月別エネルギー消費量・エネルギー効率

図 5.3.11 にコージェネレーションシステムモデルの月別エネルギー消費量とエネルギー効率を示す。エネルギー効率は式 1 により算出した

3 ケースにおいて冬期（12～3 月）のエネルギー効率はほぼ同等であった。夏期（6～9 月）、中間期（4、5、10、11 月）に震災後の方が、エネルギー効率が低い傾向にある。2015 年度〔GE-3 基〕以外の 2 ケースは、5 月と 10 月が夏期に比べエネルギー効率が上がるが、2015 年度〔GE-3 基〕は 5 月～10 月はほぼ一定で、夏期においてエネルギー効率は低下しなかった。

$$NE=(CL+HL)/(E+G-GE)\dots\dots\dots(1)$$

NE：熱供給システム効率[-]

CL：冷熱負荷[GJ]

HL：蒸気負荷（温熱負荷）[GJ]

E：熱源システム商用電力消費量（CGS 補機電力含む）[GJ]（換算係数：9.76[MJ/kWh]）

G：熱源システム都市ガス消費量[GJ]（換算係数：45[MJ/m<sup>3</sup>]）

GE：CGS の発電電力量[GJ]（換算係数：9.76[MJ/kWh]）

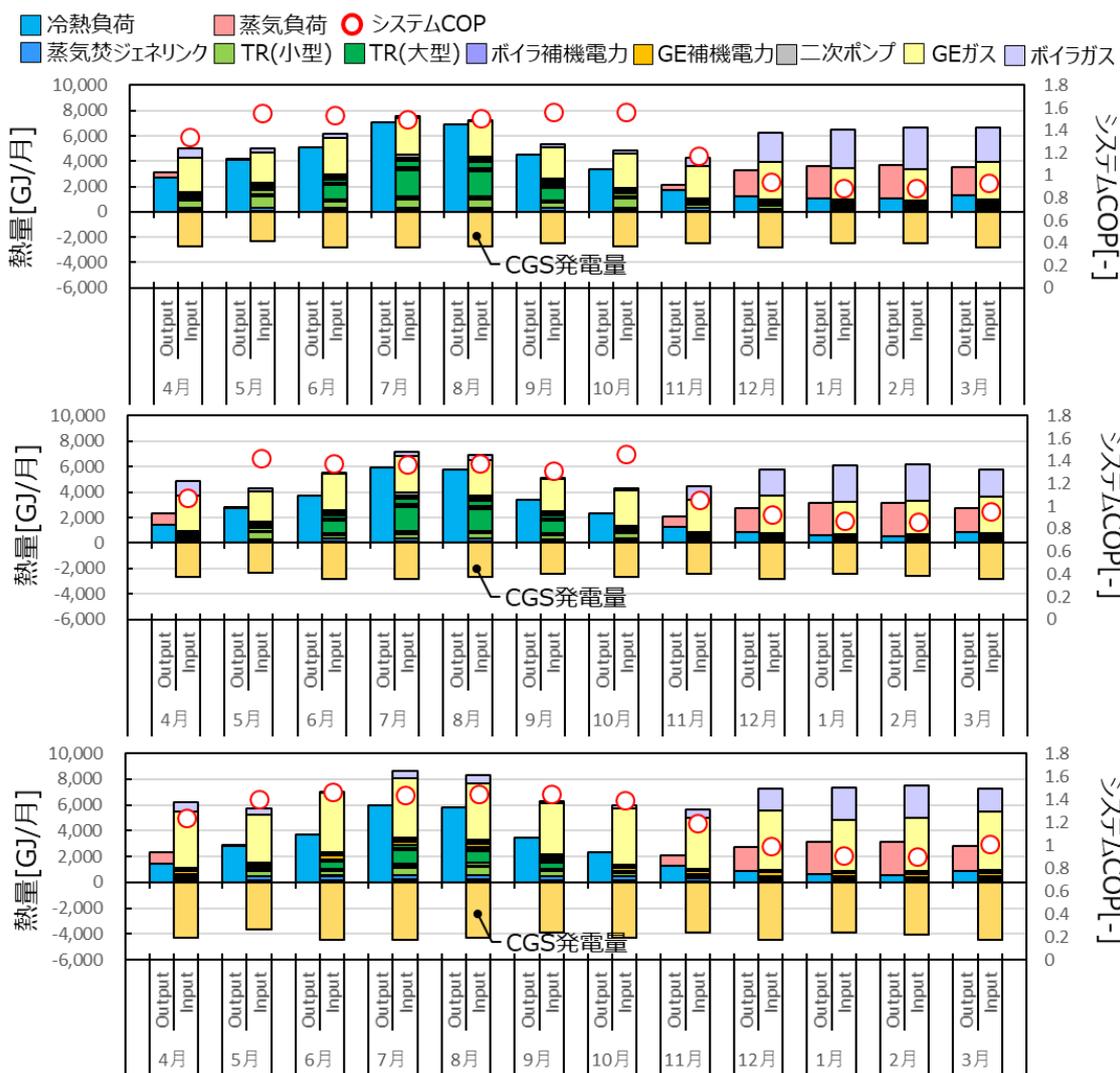


図 5.3.11 CGS モデルの月別エネルギー消費量・エネルギー効率

(上：2009 年度 中：2015 年度〔GE-2 基〕 下：2015 年度〔GE-3 基〕)

b) 比較検討システムモデル〔電気式モデル（3台分割時）〕

図 5.3.12 に比較検討システムモデルの電気式モデル（3台分割時）の月別エネルギー消費量とエネルギー効率を示す。エネルギー効率は式2により算出した。

図 5.3.12 より、震災前後で夏期（6～9月）、冬期（12～3月）のエネルギー効率はほぼ同等であるのに対し、中間期（4、5、10、11月）において、エネルギー効率が下がっていた。特に4、11月においては、温熱比率が増大していることが要因であると考えられる。

$$NE = (CL + HL) / E \dots\dots\dots (2)$$

NE：熱供給システム効率[-]

CL：冷熱負荷[GJ]

HL：温水負荷（温熱負荷）[GJ]

E：熱源システム商用電力消費量[GJ]（換算係数：9.76[MJ/kWh]）

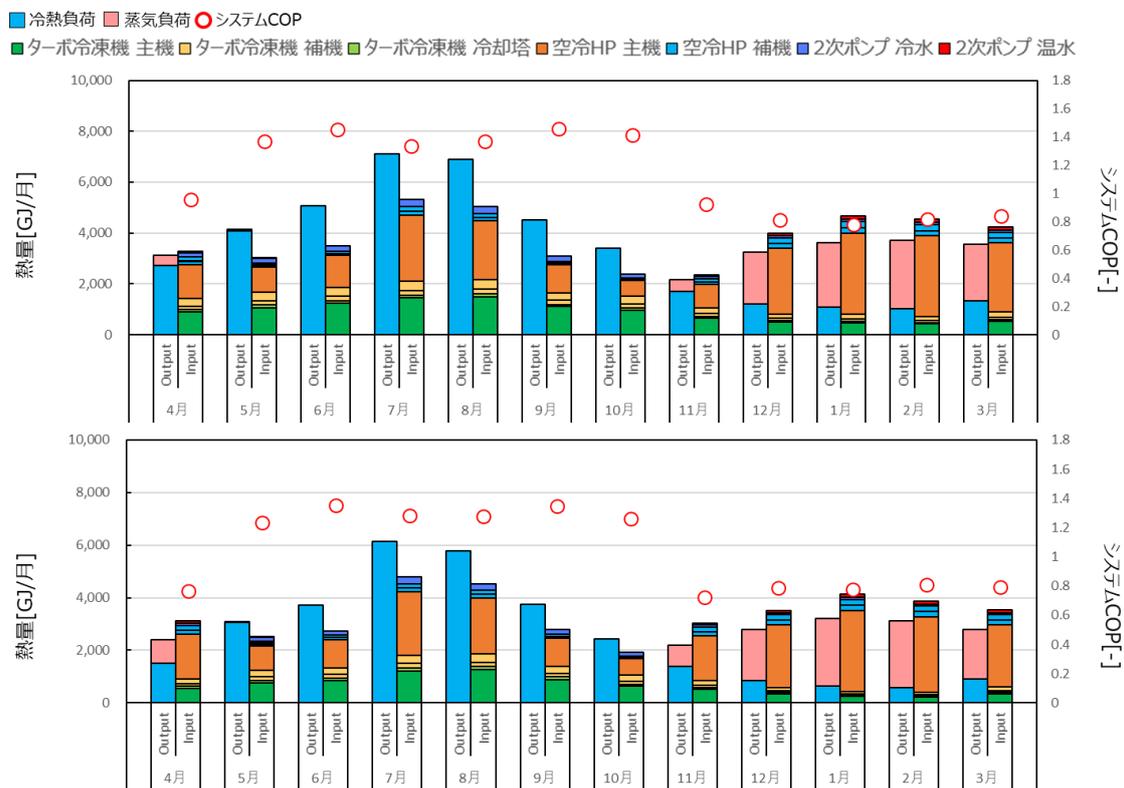


図 5.3.12 電気式モデル（3台分割時）の月別エネルギー消費量・エネルギー効率  
（上：2009年度 下：2015年度）

c) 比較検討システムモデル〔ガス・電気式モデル〕

図 5.3.13 に比較検討システムモデルのガス・電気式モデルの月別エネルギー消費量とエネルギー効率を示す。エネルギー効率は式 3 により算出した。

図 5.3.13 より、震災前後で冬期（12～3月）のエネルギー効率はほぼ同等であった。夏期（6～9月）と中間期（4、5、10、11月）において、エネルギー効率が下がっていた。

2015年度〔GE-3基〕は2015年度〔GE-2基〕に比べ、効率の良いターボ冷凍機の比率が小さくなり、吸収式冷凍機の比率が大きいがエネルギー効率はほぼ同等であった。これは、吸収式冷凍機の部分負荷特性が低負荷時でも定格 COP と大きく変わらないことが、要因であると考えられる。

$$NE=(CL+HL)/(E+G) \dots\dots\dots (3)$$

NE：熱供給システム効率[-]

CL：冷熱負荷[GJ]

HL：蒸気負荷（温熱負荷）[GJ]

E：熱源システム商用電力消費量[GJ]（換算係数：9.76[MJ/kWh]）

G：熱源システム都市ガス消費量[GJ]（換算係数：45[MJ/m<sup>3</sup>]）

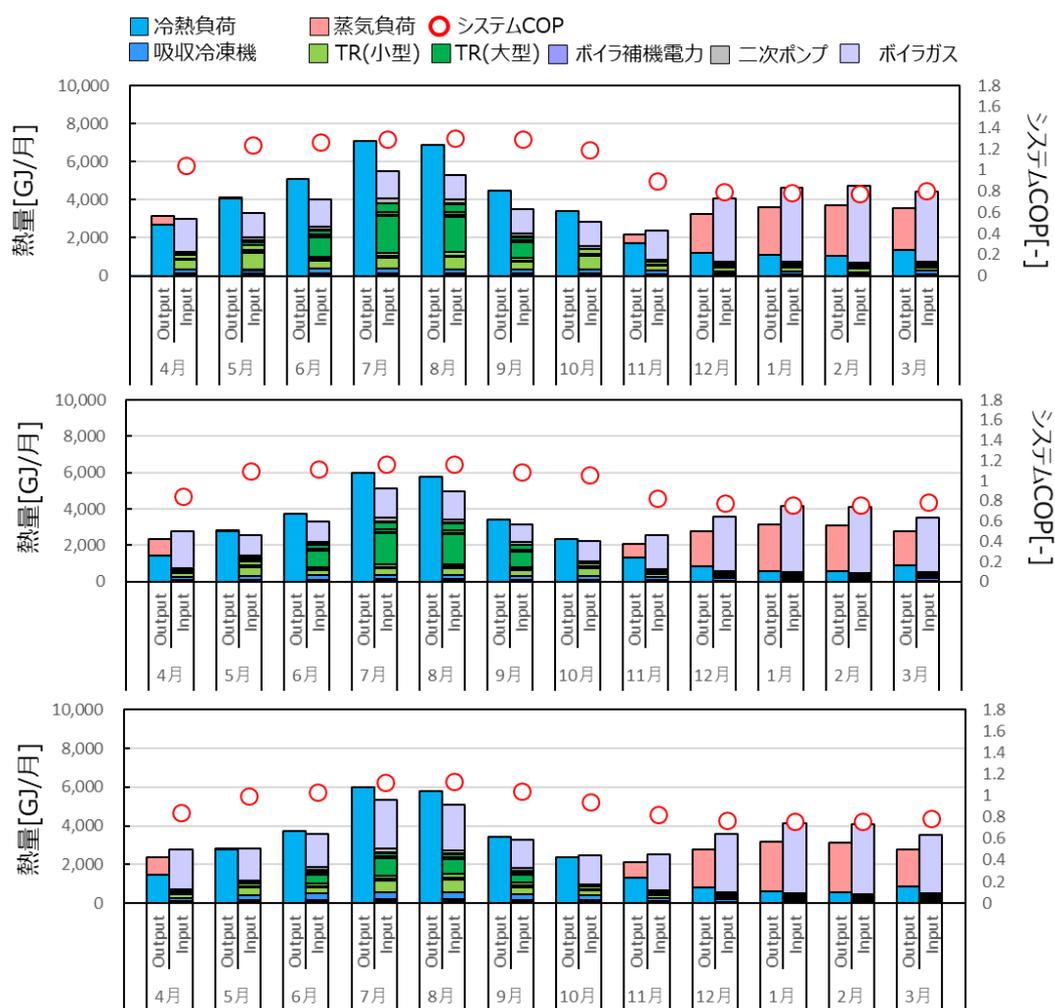


図 5.3.13 ガス・電気式モデルの月別エネルギー消費量・エネルギー効率  
（上：2009年度 中：2015年度〔GE-2基〕 下：2015年度〔GE-3基〕）

(2) 年間エネルギー効率

図 5.3.14 に年間エネルギー効率の比較を示す。CGS モデルは GE-2 基構成よりも GE-3 基構成の方が約 6%効率が向上している。震災前後の年間エネルギー効率は、電気式では 2009 年度の COP1.11 から 2015 年度の COP1.03 と 7.2%低下した。また、ガス・電気式では 2009 年度 2 基ケースの COP1.06 に対し、2015 年度 2 基ケースでは 9.4%、3 基ケースでは 12.3%低下した。一方、CGS モデルは 2009 年度 2 基の COP1.26 に対し、2015 年度 2 基では 7.9%、3 基では 2.4%低下した。

電気式比較モデルの震災後の効率低下は、5.2.3 項 (2) で示したように熱負荷に対する温熱比率の増加が要因であると考えられる。また、ガス・電気式比較モデルの 2015 年度 2 基ケースの効率低下は温熱比率の増加、2015 年度 3 基ケースは温熱比率の増加に加え、吸収冷凍機容量の増加による効率が低いターボ冷凍機の運転時間の減少が要因であると考えられる。

CGS モデルでは、2015 年度 2 基ケースより 3 基ケースの効率の方が、2009 年度 2 基ケースと比較しシステム効率の減少割合が少なくなっており、震災後のほうが CGS の排熱を活用しやすくなっていると考えられる。

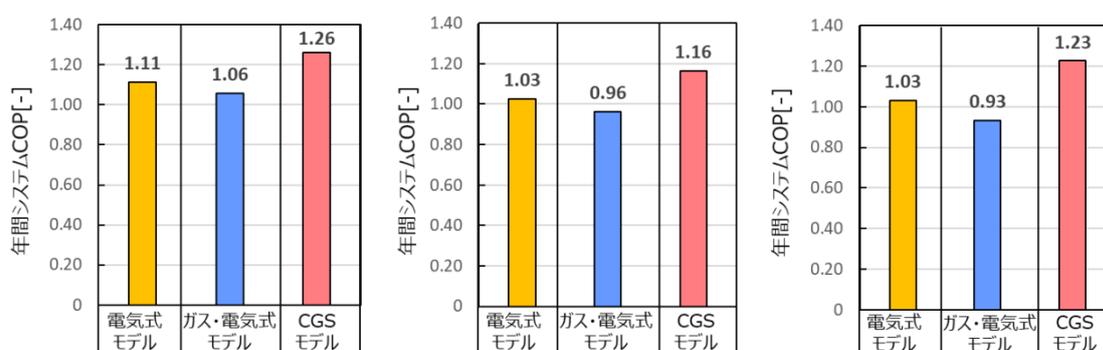


図 5.3.14 年間エネルギー効率比較

(左 : 2009 年度 中 : 2015 年度 [GE-2 基] 右 : 2015 年度 [GE-3 基])

(3) 省エネルギー率の比較

図 5.3.15 に 2009 年度・2015 年度〔GE-2 基〕・2015 年度〔GE-3 基〕の 3 ケースにおいて、それぞれの電気式モデルのエネルギー消費量を 100%とした場合の消費エネルギー率を示す。

電気式モデルを 100%とした場合、ガス・電気式モデルは 5%程度増加、CGS モデルは 12%から 18%減少しており、CGS モデルは全てにおいて省エネであった。特に、震災後の方が電気式モデルに比べ、CGS モデルの省エネルギー率が 12%から 18%に増加していた。

図 5.3.16 に 2009 年度・2015 年度〔GE-2 基〕・2015 年度〔GE-3 基〕の 3 ケースにおいて、それぞれのガス・電気式モデルのエネルギー消費量を 100%とした場合の消費エネルギー率を示す。

ガス・電気式モデルを 100%とした場合、電気式モデルは 5%程度減少、CGS モデルは 16%から 24%減少しており、CGS モデルは全てにおいて省エネであった。特に、震災後の方が電気式モデルに比べ、CGS モデルの省エネルギー率が 16%から 24%に増加していた。

これらのことより、震災後の CGS 容量を増大したほうが震災前に比べ省エネルギー率が向上しており、CGS の容量増大による省エネルギー化の可能性を示唆することが出来たと考えられる。

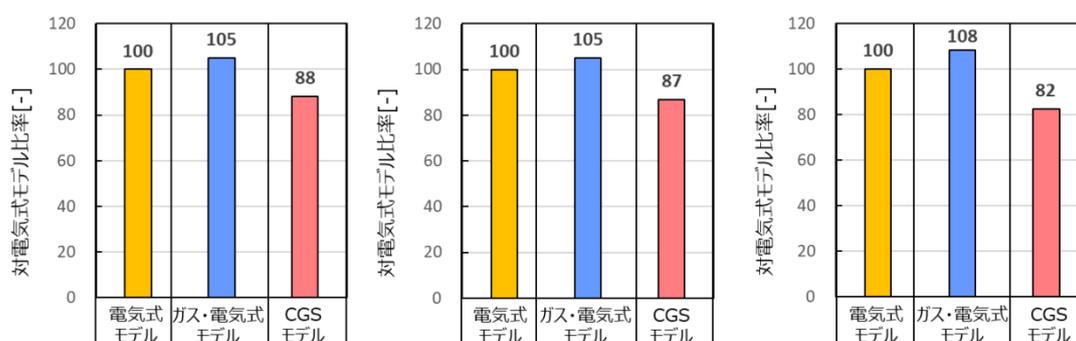


図 5.3.15 電気式を 100%とした場合の消費エネルギー率の比較

(左：2009 年度 中：2015 年度〔GE-2 基〕 右：2015 年度〔GE-3 基〕)

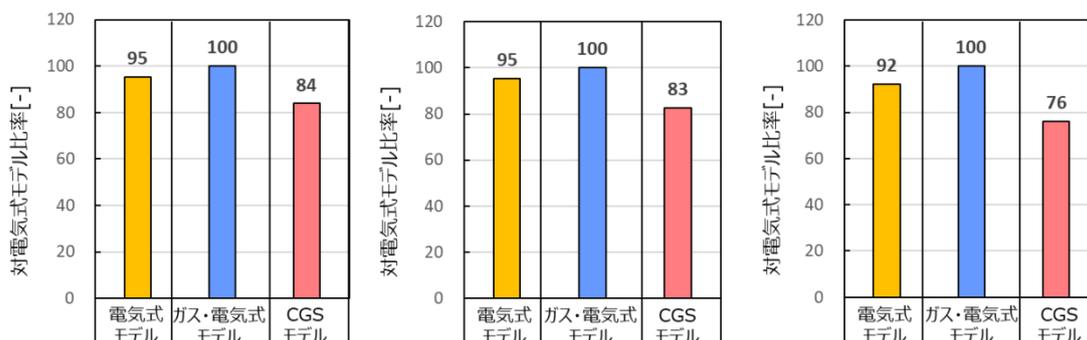


図 5.3.16 ガス・電気式を 100%とした場合の消費エネルギー率の比較

(左：2009 年度 中：2015 年度〔GE-2 基〕 右：2015 年度〔GE-3 基〕)

(4) 排熱利用率と稼働時間

表 5.3.7 に排蒸気利用率を示す。2015 年度〔GE-2 基〕の9月においてはガスエンジンコージェネレーションの蒸気排熱が余り排蒸気利用率は 88%となっているが、他は全て 100%であった。

表 5.3.7 排蒸気利用率

	2009 年度			2015 年度(GE-2 基)			2015 年度(GE-3 基)		
	蒸気 発生量 [k.t]	余剰 蒸気 [k.t]	排蒸気 利用率 [%]	蒸気 発生量 [k.t]	余剰 蒸気 [k.t]	排蒸気 利用率 [%]	蒸気 発生量 [k.t]	余剰 蒸気 [k.t]	排蒸気 利用率 [%]
1 月	0.17	0	100	0.17	0	100	0.26	0	100
2 月	0.17	0	100	0.17	0	100	0.28	0	100
3 月	0.19	0	100	0.19	0	100	0.3	0	100
4 月	0.18	0	100	0.18	0	100	0.29	0	100
5 月	0.16	0	100	0.16	0	100	0.25	0	100
6 月	0.19	0	100	0.19	0	100	0.3	0	100
7 月	0.19	0	100	0.19	0	100	0.3	0	100
8 月	0.18	0	100	0.18	0	100	0.29	0	100
9 月	0.17	0	100	0.17	0.02	88	0.26	0	100
10 月	0.18	0	100	0.18	0	100	0.29	0	100
11 月	0.17	0	100	0.17	0	100	0.26	0	100
12 月	0.19	0	100	0.19	0	100	0.3	0	100
年間	2.14	0	100	2.14	0.02	99	3.38	0	100

表 5.3.8 に排温水利用率を示す。排温水利用率では、2009 年度が年間で 99.3%とほとんど利用できている。2015 年度〔GE-2 基〕は年間で 94.4%と 2009 年度に比べて低くなっているが、ほとんど利用できている。2015〔GE-3 基〕は年間で 83.9%と他の 2 ケースに比べて低く、特に冬期（12-3 月）において低くなっていた。

表 5.3.8 排温水利用率

	2009 年度			2015 年度 (GE-2 基)			2015 年度 (GE-3 基)		
	排温水 発生量 [GJ]	余剰 排温水量 [GJ]	排温水 利用率 [%]	排温水 発生量 [GJ]	余剰 排温水量 [GJ]	排温水 利用率 [%]	排温水 発生量 [GJ]	余剰 排温水量 [GJ]	排温水 利用率 [%]
1 月	490.40	16.00	97	490.40	56.20	89	776.40	308.50	60
2 月	490.40	13.40	97	516.20	127.70	75	817.30	404.30	51
3 月	567.80	4.40	99	567.80	31.70	94	899.00	313.90	65
4 月	542.00	0	100	542.00	4.20	99	858.10	85.90	90
5 月	464.60	0	100	464.60	0	100	735.50	5.90	99
6 月	567.80	0	100	567.80	0.00	100	899.00	12.70	99
7 月	567.80	0	100	567.80	29.60	95	899.00	48.70	95
8 月	542.00	0	100	542.00	41.60	92	858.10	64.60	92
9 月	490.40	0	100	490.40	0	100	776.40	0	100
10 月	542.00	0	100	542.00	0	100	858.10	0	100
11 月	490.40	0	100	490.40	1.90	100	776.40	36.40	95
12 月	567.80	13.30	98	567.80	59.80	89	899.00	336.20	63
年間	6323.40	47.10	99	6349.20	352.70	94	10052.3	1617.10	84

表 5.3.9 にガスエンジンコージェネレーションの震災前後の年間稼働時間を示す。両年度において2月を除き、稼働時間は同じであった。2015年度は閏年があるため、2月で稼働時間が多くなっている。

2015(GE-3台)の場合は、GE-1とGE-2が2015年度(GE-2台)のGE-1の場合と同じ稼働時間数であり、GE-3は2015年度(GE-2台)のGE-2の場合と同じ稼働時間であった。

表 5.3.9 ガスエンジンコージェネレーションの年間稼働時間

	2009年度(GE2台)		2015年度(GE2台)	
	GE-1	GE-2	GE-1	GE-2
1月	14h×19日=266h	10h×19日=190h	14h×19日=266h	10h×19日=190h
2月	14h×19日=266h	10h×19日=190h	14h×20日=280h	10h×20日=200h
3月	14h×22日=308h	10h×22日=220h	14h×22日=308h	10h×22日=220h
4月	14h×21日=294h	10h×21日=210h	14h×21日=294h	10h×21日=210h
5月	14h×18日=252h	10h×18日=180h	14h×18日=252h	10h×18日=180h
6月	14h×22日=308h	10h×22日=220h	14h×22日=308h	10h×22日=220h
7月	14h×22日=308h	10h×22日=220h	14h×22日=308h	10h×22日=220h
8月	14h×21日=294h	10h×21日=210h	14h×21日=294h	10h×21日=210h
9月	14h×19日=266h	10h×19日=190h	14h×19日=266h	10h×19日=190h
10月	14h×21日=294h	10h×21日=210h	14h×21日=294h	10h×21日=210h
11月	14h×19日=266h	10h×19日=190h	14h×19日=266h	10h×19日=190h
12月	14h×22日=308h	10h×22日=220h	14h×22日=308h	10h×22日=220h
年間	3,430h	2,450h	3,444h	2,460h

## 5.4 結論

本研究ではシミュレーション分析により負荷の変化が熱源システムに与える影響を検討し、以下の知見を得た。

- 1) 台数分割シミュレーション分析の結果、震災後の方が全般的にシステム効率が低下傾向にあった。2台ケースに対する台数分割の効果は、2009年度の場合は約1.28倍、2015年度の場合は約1.33倍に向上したことから、震災後の方が台数分割の効果が大きいと考えられる。
- 2) CGSモデルシミュレーション分析の結果、ガス・電気式モデルの年間効率は、2009年度に対して2015年度では約9.4%と約12.3%に低下した。一方、CGSの場合は2009年度に対して2015年度〔GE-2基〕で約7.9%低下、2015年度〔GE-3基〕で約2.4%低下であり、ガス・電気式モデルと比較して低下率が小さかった。また震災後はGEが2基よりも3基の方が効率が高くなるとともに、ガス・電気式モデルに対する省エネルギー率が向上しており、CGSの容量増大による省エネルギー化の可能性を示した。

### 【参考文献】

- 5-1) 田中翔大・村上公哉：東日本大震災前後における建築物の熱負荷と電力負荷の変化に関する研究,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,2017
- 5-2) 株式会社 E.I.エンジニアリング HP : <http://www.eie-e.com/>

## 第6章 既存地域熱供給システムの リニューアラル傾向の調査分析



## 第6章 既存地域熱供給システムのリニューアル傾向の調査分析

### 6.1 研究概要

前章までは地域熱供給システムの需要家建物の負荷原単位を算出し、震災前後の負荷変化が空気調和設備計画に与える影響を分析した。これにより、地域熱供給システムの熱源システム計画の基礎資料として、既存の地域熱供給システムの実績データを用いて、主に新規の地域熱供給システムの導入計画に用いる近年の建物の負荷の実態や熱源機器の設定方針、CGS 活用の有効性を整理できた。

本章からは既存の地域熱供給システムのエネルギー効率向上に着目して研究を行う。現在地域熱供給システムは全国で 131 地区（2018 年 12 月時点）導入されており、多くの地域熱供給システムは 1990 年代に整備されている。そして、20 年以上経過した現在、多くの熱源システムが改修時期を迎えていると考えられる。そこで本章では、既存地域熱供給地区が実際に行った熱源機器のリニューアル内容を調査し、地域熱供給システムの効率向上に資する基礎資料として整理する。

リニューアル内容の調査では、東京都区内 61 地区の地域熱供給システムの中から、46 地区を対象として、2009 年度から 2015 年度までの 7 年間における熱源システムの構成を調査し、エネルギー効率の向上に寄与するリニューアル傾向の分析を行った。

### 6.2 既存地域熱供給システムにおける熱源機器のリニューアル内容の調査

#### 6.2.1 調査概要及び方法

##### (1) 調査対象地区

東京都特別区内の 61 地区（記号：DHC.1 地区～DHC.61 地区）のうち、本報では 46 地区を対象として分析を行った。分析を行う際、実績報告書に記載がない地区、または前報で調査した熱供給事業便覧との整合性が得られなかった 15 地区を分析の対象外とした。

##### (2) 調査方法

本研究では東京都特別区内の地域熱供給プラント 61 地区を対象に、平成 21 年度（2009 年度）から平成 27 年度（2015 年度）版東京都環境局実績報告書より主要熱源機器等の概要欄、熱供給プラントの設備更新等により変更した内容欄に記載されている機器改修内容を調査する。また、温熱原機器側と冷熱原機器側の熱源機器改修を行っているプラントの件数、プラントごとの熱源機器改修の動向を明らかにする。ただし、東京都環境局実績に機器改修内容の記載がない地域は除く。図 6.2.1 に東京都環境局実績報告書の改修欄の例を示す。

9 エネルギーを供給した設備等の概要		
エネルギー供給開始時期	平成07年10月	
熱供給プラントの名称	台場管理事務所 有明南管理事務所 青海南管理事務所	
	平成21年4月1日から 平成22年3月31日まで	
使用したエネルギーの種類、期間及び実績	電気	60182171.00kWh
	都市ガス	354487.00GJ
	他人が所有する熱電供給設備の排熱	GJ
	その他	清掃工場ゴミ焼却排熱 244,222 GJ
主要熱源機器等の概要	電動ターボ冷凍機 3000RT×5 電動ブラインターボ冷凍機 2400RT×1(製氷時1600RT) 1200RT(製氷時755RT)×2 熱回収ヒートポンプ(蓄熱専用) 800RT×1 600RT×2 二重効用蒸気吸収冷凍機 3000RT×1 2600RT×5 2500RT×5 冷水熱交換器 1400RT×2 1000RT×6 ブライン熱交換器(放熱時) 1500RT×4 ブライン熱交換器(追掛時) 1200RT×4 炉筒煙管ボイラ 30t/h×3 25t/h×3 24t/h×2 14t/h×1	
熱供給プラントの設備更新等により変更した内容	※21年度 更新なし	

図 6.2.1 東京都環境局実績報告書例(平成 7 年度[1995 年度])

6.2.2 熱源機器のリニューアル内容の実態

(1) リニューアル件数

図 6.2.2 に東京都特別区内の地域熱供給システムの改修実態、表 6.2.1 に分析対象の DHC 地区の概要を示す。本研究では東京都特別区内の地域熱供給システム 61 地区のうち熱供給事業便覧からエネルギー効率の算出が可能であった 49 地区を対象とし東京都環境局実績報告書平成 21 年度から平成 27 年度版を用いて熱源機器の改修件数、改修による機器容量の変化を明らかにする。

機器改修を行っている地区は 23 件あり、機器改修を行っていない地区は 26 件であった。東日本大震災を背景に、平常時の熱供給システムのエネルギー効率の向上だけでなく災害時の事業継続(以下、BCP : Business Continuity Plan) 性能も重要視されるようになってきたことから、CGS は今後の地域熱供給にとって重要なシステムになると考えられる。その為、本章では熱源機器を改修した熱供給地区 23 件の内、CGS の導入が無い地区 17 件を対象に調査分析を行い、CGS を導入した熱供給地区の調査は次章で行う。

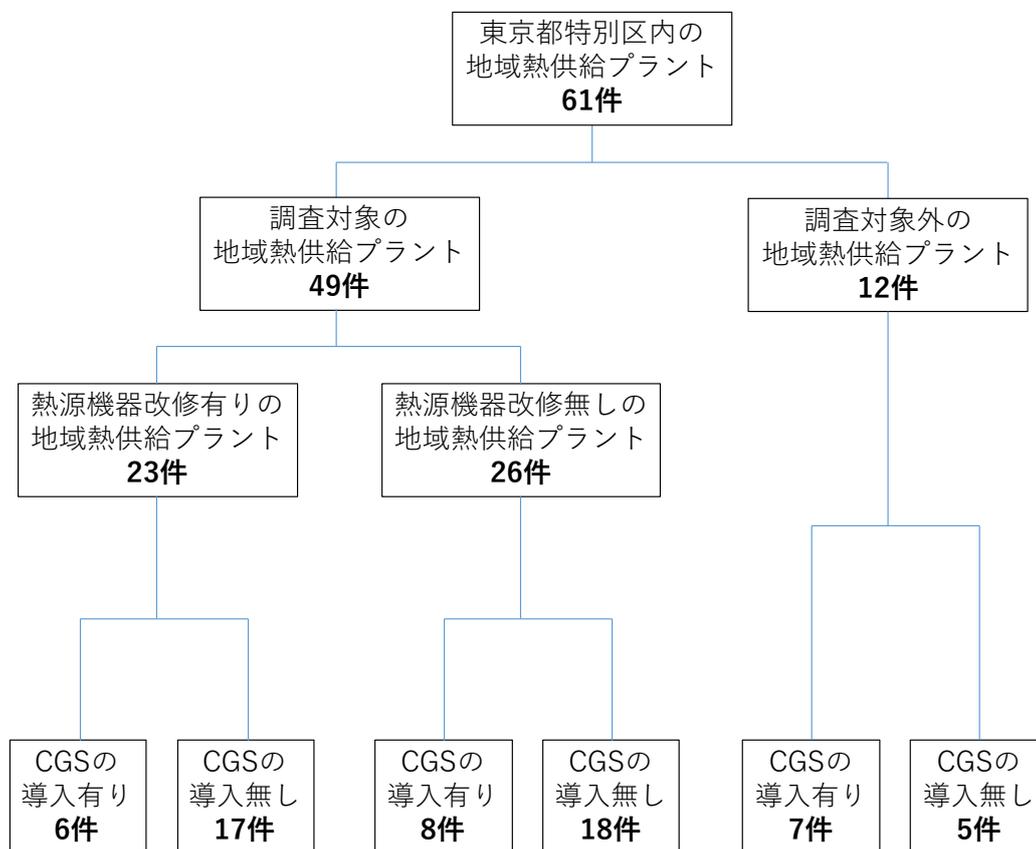


図 6.2.2 東京都特別区内の地域熱供給システムの改修実態

表 6.2.1 分析対象 DHC 地区の概要

地区番号	エネルギー効率の算出の可否	改修の有無	CGSの導入有り	分析対象地区
DHC 1	算出可能	改修有		分析対象
DHC 2	算出可能	改修有		分析対象
DHC 3	算出可能			
DHC 4	算出可能	改修有		分析対象
DHC 5	算出可能	改修有		分析対象
DHC 6				
DHC 7	算出可能	改修有		分析対象
DHC 8	算出可能	改修有		分析対象
DHC 9	算出可能	改修有	CGS導入有	
DHC 10	算出可能		CGS導入有	
DHC 11	算出可能		CGS導入有	
DHC 12	算出可能		CGS導入有	
DHC 13	算出可能	改修有	CGS導入有	
DHC 14	算出可能		CGS導入有	
DHC 15			CGS導入有	
DHC 16		改修有	CGS導入有	
DHC 17	算出可能	改修有	CGS導入有	
DHC 18	算出可能		CGS導入有	
DHC 19	算出可能	改修有	CGS導入有	
DHC 20	算出可能		CGS導入有	
DHC 21	算出可能			
DHC 22	算出可能	改修有	CGS導入有	
DHC 23			CGS導入有	
DHC 24	算出可能	改修有	CGS導入有	
DHC 25	算出可能			
DHC 26	算出可能	改修有		分析対象
DHC 27	算出可能	改修有		分析対象
DHC 28	算出可能	改修有		分析対象
DHC 29	算出可能			
DHC 30				
DHC 31	算出可能		CGS導入有	
DHC 32	算出可能			
DHC 33	算出可能			
DHC 34	算出可能			
DHC 35			CGS導入有	
DHC 36			CGS導入有	
DHC 37	算出可能			
DHC 38	算出可能			
DHC 39	算出可能			
DHC 40	算出可能			
DHC 41				
DHC 42	算出可能	改修有		分析対象
DHC 43	算出可能	改修有		分析対象
DHC 44	算出可能			
DHC 45	算出可能			
DHC 46	算出可能			
DHC 47	算出可能			
DHC 48	算出可能			
DHC 49	算出可能			
DHC 50	算出可能	改修有		分析対象
DHC 51		改修有		
DHC 52	算出可能	改修有		分析対象
DHC 53	算出可能	改修有		分析対象
DHC 54	算出可能			
DHC 55	算出可能		CGS導入有	
DHC 56	算出可能	改修有		分析対象
DHC 57	算出可能	改修有		分析対象
DHC 58	算出可能	改修有		分析対象
DHC 59			CGS導入有	
DHC 60				
DHC 61			CGS導入有	
地区数合計	49	25	21	17

## (2) リニューアル内容の一覧

本研究では平成21年度から平成27年度版の東京都環境局実績報告書より対象地区の熱源機器改修内容を温熱源機器側と冷熱源機器側で以下の6項目に分類し、熱源機器の具体的な改修内容とその傾向を明らかにする。

- ・撤去：既存の熱源機器を撤去すること。
- ・増設：既存の熱源機器と同種の機器を新たに設置すること。
- ・新設：既存の熱源機器と異なる種類の機器を新たに設置すること。
- ・更新：既存の熱源機器を撤去し、撤去されたものと同種の機器を新たに設置すること。
- ・撤去+増設：既存の熱源機器の撤去し、撤去されたものと異なる種類の機器を増設すること。
- ・撤去+新設：既存の熱源機器を撤去し、異なる種類の機器を新たに設置すること。

表6.2.2に冷熱源機器の改修内容一覧とその地区、表6.2.3に温熱源機器の改修内容一覧とその地区を示す。まず、冷熱源機器側の機器改修内容を見るとヒートポンプを撤去するタイプ(1件)、吸収式冷凍機を撤去し電動ターボ冷凍機を新設するタイプ(2件)、吸収式冷凍機を撤去し電動ターボ冷凍機を増設するタイプ(3件)、空冷ヒートポンプと吸収式冷凍機を撤去し電動ターボ冷凍機と水冷ヒートポンプを増設するタイプ(4件)、ヒートポンプを更新するタイプ(4件)、電動ターボ冷凍機を増設するタイプ(2件)、スクリーン冷凍機を新設するタイプ(1件)の7タイプに分類できることが分かった。中でも吸収式冷凍機を撤去し電動ターボ冷凍機を新設または増設するタイプの改修内容が多い傾向にあることが分かった。吸収式冷凍機を撤去し空いたスペースに高効率な電動ターボ冷凍機を導入し冷熱源機器の効率向上を図っていると考えられる。

次に温熱源機器側の機器改修内容を見ると給湯用ヒートポンプを撤去するタイプ(1件)、炉筒煙管ボイラを撤去し貫流ボイラを新設するタイプ(3件)、ヒートポンプを更新するタイプ(1件)、炉筒煙管ボイラ・貫流ボイラ・給湯用ヒートポンプを更新するタイプ(3件)、炉筒煙管ボイラを増設するタイプ(2件)の5タイプに分類できることが分かった。温熱源機器側では容量の大きい炉筒煙管ボイラを撤去し小型貫流ボイラを新設しているタイプと炉筒煙管ボイラ、貫流ボイラ、給湯用ヒートポンプを更新しているタイプの改修内容が多い傾向にあることが分かった。効率の高い貫流ボイラに改修することで温熱源機器側の機器効率を上げることが考えられる。

表 6.2.2 冷熱源機器改修内容

冷熱[17件]	容量	台数	件数	備考 ( )は件数		
撤去	減少	減少	1	HP	DHC.42	
撤去+新設	増加	増加				
		変化なし	1	吸収式撤去→電動	DHC.27	
		減少				
	変化なし	増加				
		変化なし				
		減少				
	減少	増加				
		変化なし	1	吸収式撤去→電動	DHC.26	
減少						
撤去+増設	増加	増加	1	吸収式撤去→電動	DHC.1	
		変化なし	1	吸収式撤去→電動	DHC.51	
		減少				
	変化なし	増加	1	吸収式撤去→電動	DHC.52	
		変化なし				
		減少				
	減少	増加				
		変化なし				
減少		4	空冷HP→電動+水冷HP(1) 吸収式→電動(3)	DHC.7,DHC.8,DHC.53DHC.21		
更新	増加	増加				
		変化なし				
		減少				
	変化なし	増加				
		変化なし				
		減少				
	減少	増加	1	HP→HP	DHC.42	
		変化なし	1	HP→HP	DHC.5	
減少		2	HP→HP	DHC.2,DHC.43		
増設	増加	増加	2	電動ターボ冷凍機(2)	DHC.56,DHC.58	
新設	増加	増加	1	スクルー冷凍機	DHC.50	

表 6.2.3 温熱源機器改修内容

温熱[10件]	容量	台数	件数	備考 ( )は件数	
撤去	減少	減少	1	給湯HP	HDC.7
撤去+新設	増加	増加	1	炉筒煙管→貫流ボイラ	DHC.2
		変化なし			
		減少			
	変化なし	増加			
		変化なし			
		減少			
	減少	増加	2	炉筒煙管→貫流ボイラ(2)	DHC.28,DHC.56
		変化なし			
		減少			
撤去+増設	増加	増加			
		変化なし			
		減少			
	変化なし	増加			
		変化なし			
		減少			
	減少	増加			
		変化なし			
		減少			
更新	増加	増加			
		変化なし	1	給湯HP	DHC.43
		減少			
	変化なし	増加			
		変化なし			
		減少			
	減少	増加			
変化なし		3	炉筒煙管ボイラ(1) 貫流ボイラ(1) 給湯HP(1)	DHC.26,DHC.50,DHC.5	
減少					
増設	増加	増加	2	炉筒煙管ボイラ(2)	DHC.1,DHC58
新設	増加	増加			

### 6.3 熱源機器のリニューアル内容の傾向分析

#### 6.3.1 システム効率が向上した地区のリニューアル

##### (1) DHC.1 地区の分析結果[廃棄物エネルギー]

図 6.3.1 に DHC.1 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。a)~d)のグラフは、熱供給事業便覧を用いて作成した。1998 年から 2015 年度の 18 年間に亘る販売熱量、原・燃料使用量、冷却能力及び加熱能力、原・燃料使用量に対する販売熱量の比率である熱供給システム効率の推移を示している。また、e)・f)のグラフは、東京都環境局実績報告書を用いて作成した。2009 年度～2015 年度の 6 年間に亘る冷熱源機器及び温熱源機器構成と実績報告書に記載されていた熱供給システム効率の推移を示している。

この地区は清掃工場からの排熱を利用しており、a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 55%の増加、原燃料使用量は 9%の増加、システム効率は 24%の向上を示した。また、熱源機器容量は、実績報告書に機器情報が記載されていた 2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 22%、温熱源機器では 9%の増加を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2010 年度、2011 年度に行ったことを確認した。2010 年度の改修では電動ターボ冷凍機 38[GJ/h]を 3 台増設、小型貫流ボイラ 5.6[GJ/h]を 10 台増設、炉筒煙管ボイラを 57[GJ/h]を 1 台増設しており、2011 年度の改修では二重効用蒸気吸収式冷凍機 33[GJ/h]を 1 台撤去し 32[GJ/h]を 1 台増設、電動ターボ冷凍機[38[GJ/h]]を 2 台増設、炉筒煙管ボイラ 54[GJ/h]を 1 台増設していた。

DHC.1 地区は供給延床面積が 2009 年度と 2015 年度を比較し 2,142[千㎡]から 2,534[千㎡]に増加しており、供給量が増加した場合でも機器を増設し高負荷で稼働できるようになったことがエネルギー効率向上の要因になったと考えられる。

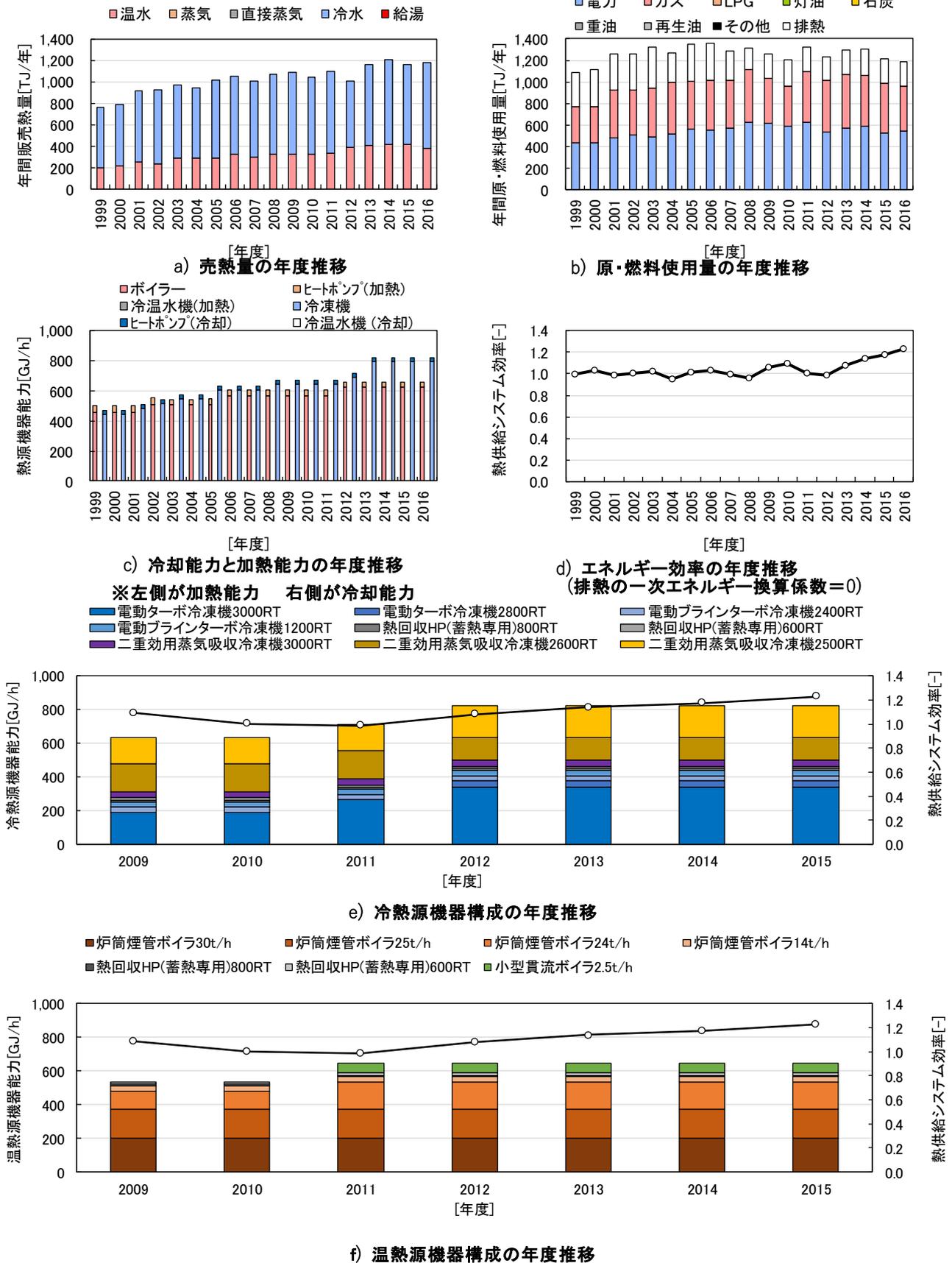


図 6.3.1 DHC.1 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

## (2) DHC.4 地区の分析結果[温度差エネルギー]

図 6.3.1 に DHC.4 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。この地区では実績報告書に温熱源機器の情報が記載されていなかったため温熱源機器構成の年度推移のグラフを作成できなかった。

この地区は、熱源機器の熱原水・冷却水に未利用エネルギーである未処理下水を用いている。1998年・1999年の値が極端に小さいため実績報告書に機器情報が記載されていた2009年度と2015年度を対象に分析を行った。a)~d)のグラフより2009年度と2015年度を比較すると販売熱量は17%の減少、原燃料使用量は18%の減少、システム効率は1%の向上と同程度の値を示した。また、熱源機器容量は、2009年度と2015年度を比較すると冷熱源機器では17%、温熱源機器では24%の減少を示した。

また、e)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を2014年度・2015年度に行ったことを確認した。2014年度の改修では、水熱源ターボ式HP(熱回収)14[GJ/h)を1台撤去し、水熱源ターボ式HP(熱回収)17[GJ/h)を1台導入しており、2015年度の改修では水熱源ターボ式HPが3台とインバータターボ冷凍機が1台になった。

DHC.4地区は2013年度までの機器容量と比べると容量の小さい熱源機器が増え低負荷時にも高効率で稼働できるようになったことが効率向上要因と考えられる。

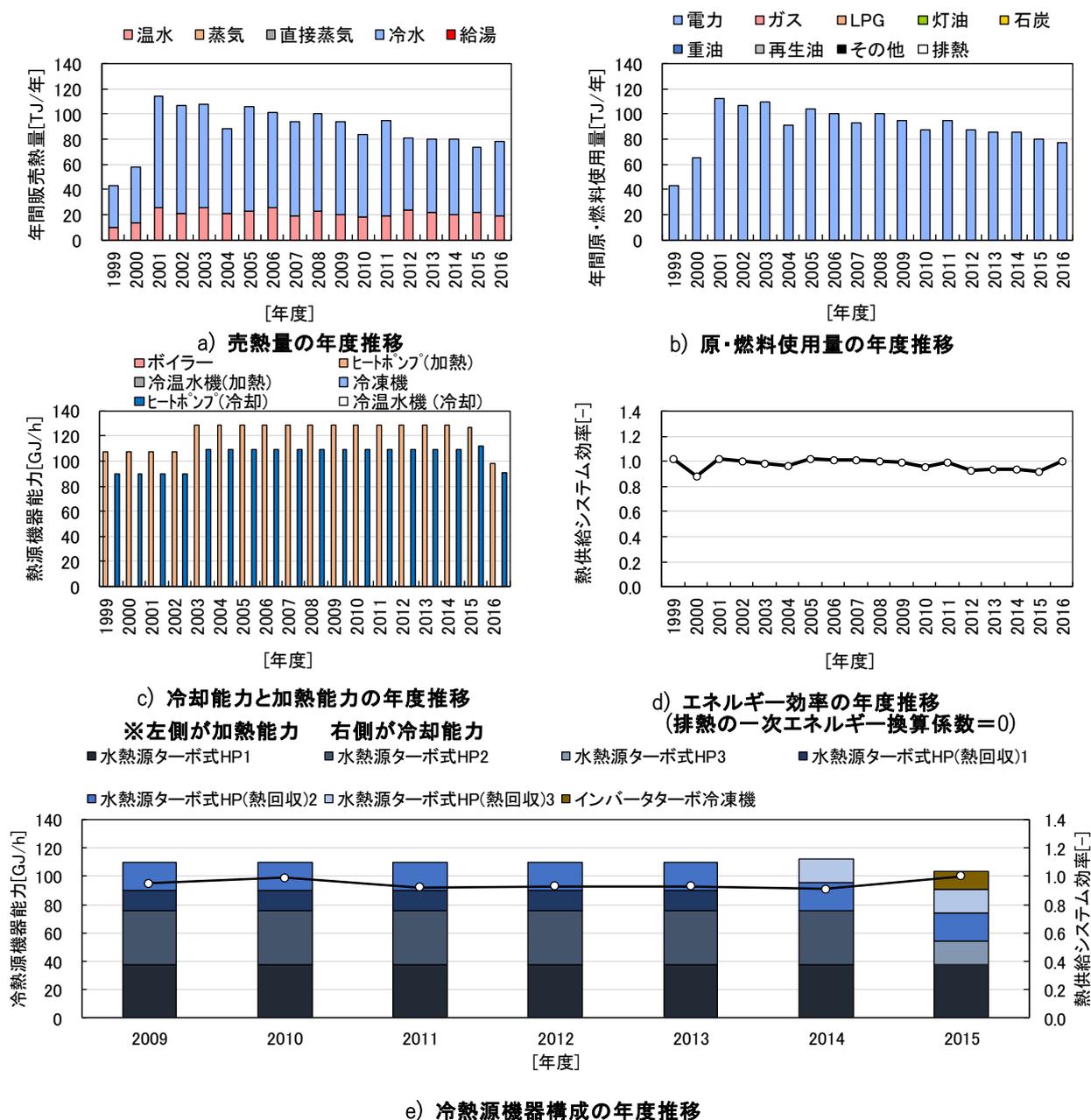


図 6.3.2 DHC.4 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

(3) DHC.5 地区の分析結果[温度差エネルギー]

図 6.3.3 に DHC.5 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 27%の減少、原燃料使用量は 36%の減少、システム効率は 13%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 15%、温熱源機器では 20%の減少を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2014 年度に行ったことを確認した。改修では、冷却能力 20[GJ/h]×2 台撤去、加熱能力 14[GJ/h]×2 台撤去し冷却能力 14[GJ/h]×2 台設置、加熱能力 9[GJ/h]×2 台設置していた。

DHC.5 地区は機器更新の際に機器容量を見直した結果、機器に余力があり最適な空調設備容量ではなかったため容量を小さくしたことが効率向上の要因になったと考えられる。

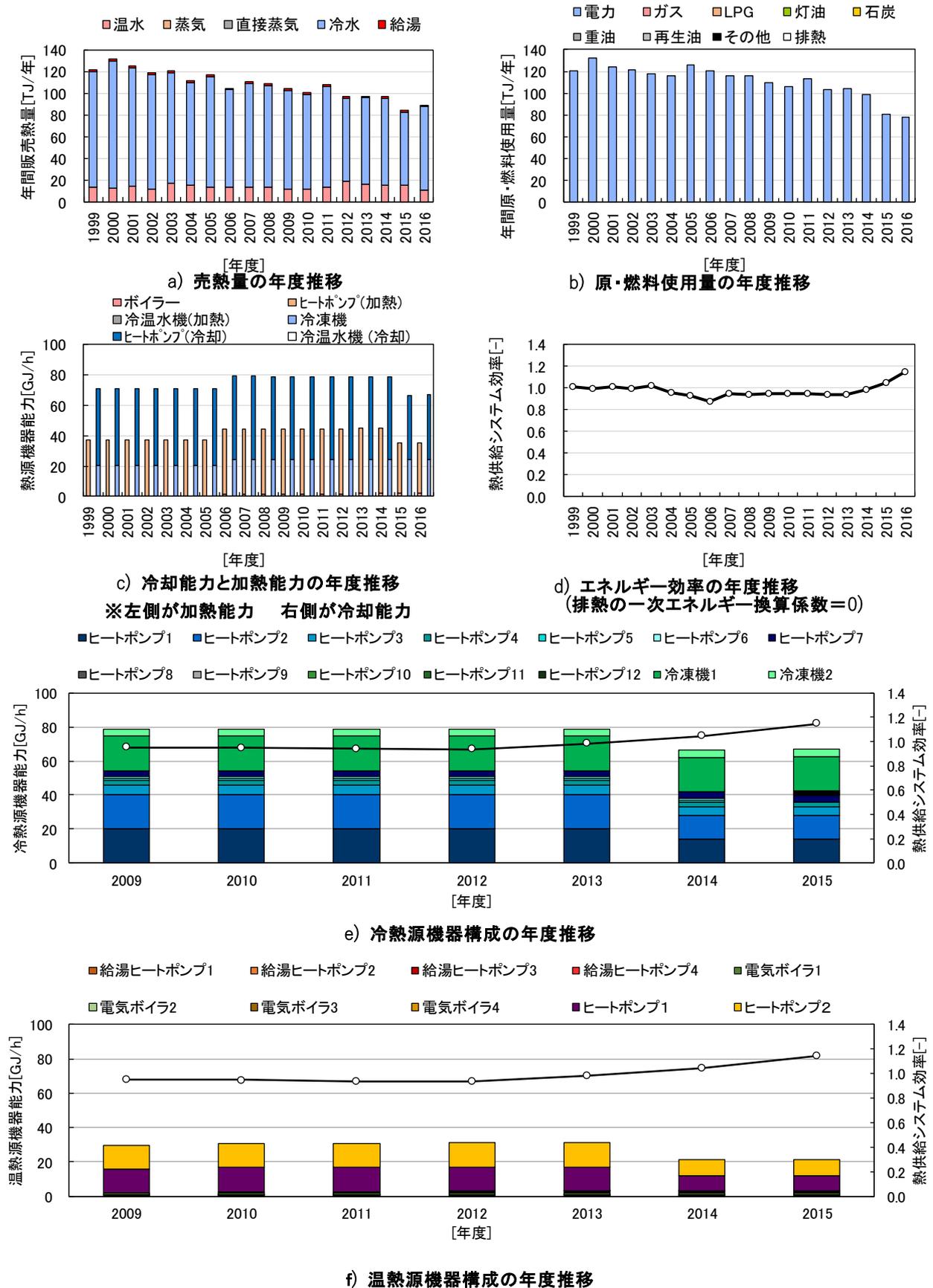


図 6.3.3 DHC.5 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

(4) DHC.7 地区の分析結果[一般的なシステム]

図 6.3.4 に DHC.7 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。

この地区は、未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による一般的なシステムである。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 4%の増加、原燃料使用量は 22%の減少、システム効率は 33%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 4%の減少を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2009 年度~2013 年度に亘り行っており、2013 年度の改修では、電動ターボ冷凍機を 15[GJ/h]×1 台導入していた。

DHC.7 地区は高効率な電動ターボ冷凍機を増設したことがエネルギー効率向上要因と考えられる。

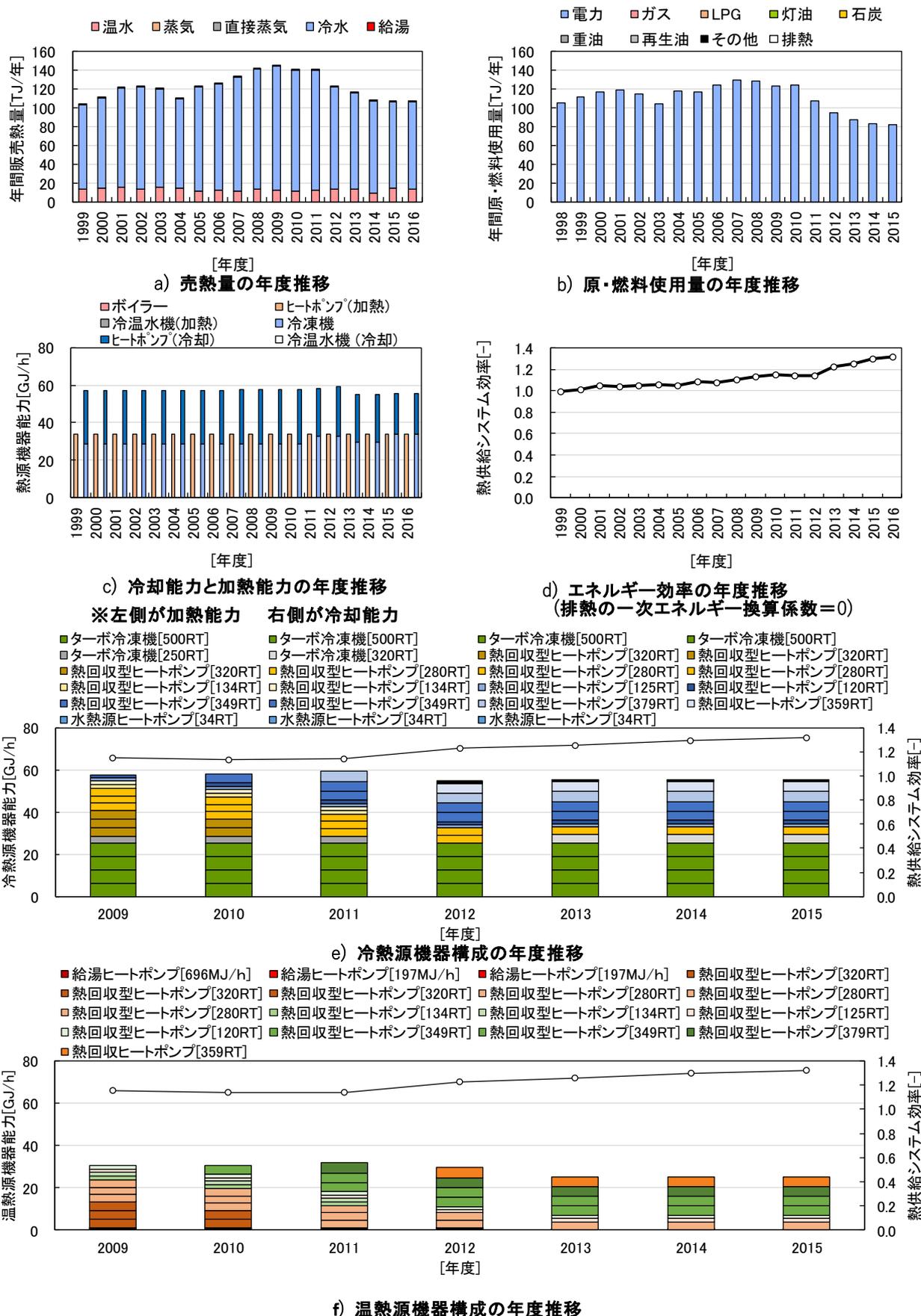


図 6.3.4 DHC.7 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

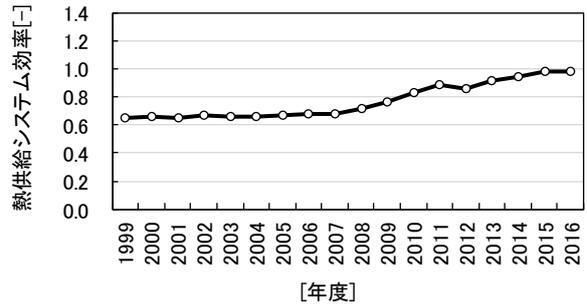
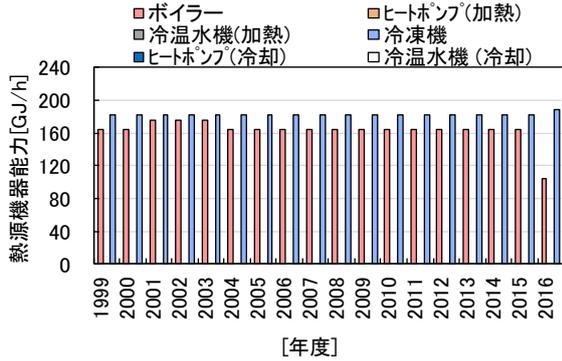
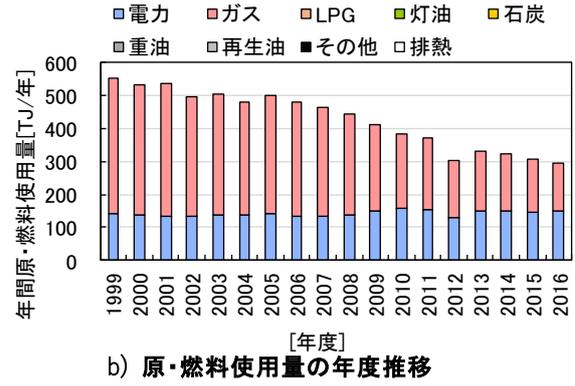
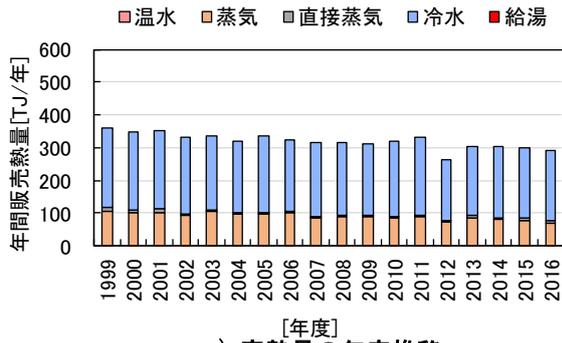
## (5) DHC26 地区の分析結果[一般的なシステム]

図 6.3.5 に DHC.26 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。

この地区は、未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による一般的なシステムである。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 19%の減少、原燃料使用量は 46%の減少、システム効率は 51%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 2%の増加、温熱源機器では 37%減少を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2012 年度・2013 年度に亘り行っており、2012 年度の改修では、冷熱源機器では電動ターボ冷凍機 19[GJ/h]を 1 台導入し、2013 年度の改修では吸収式冷凍機 25[GJ/h]を 1 台撤去していた。温熱源機器では 2013 年度の改修で炉筒煙管ボイラ 34[GJ/h]を 1 台撤去し 23[GJ/h]を 1 台導入していた。

DHC.26 地区は吸収式冷凍機を撤去し高効率な電動ターボ冷凍機を増設したことがエネルギー効率向上要因と考えられる。



※左側が加熱能力 右側が冷却能力

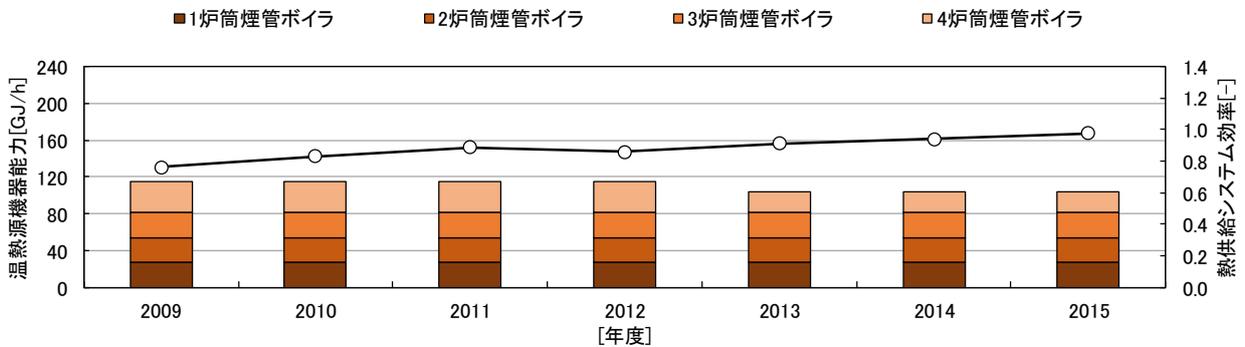
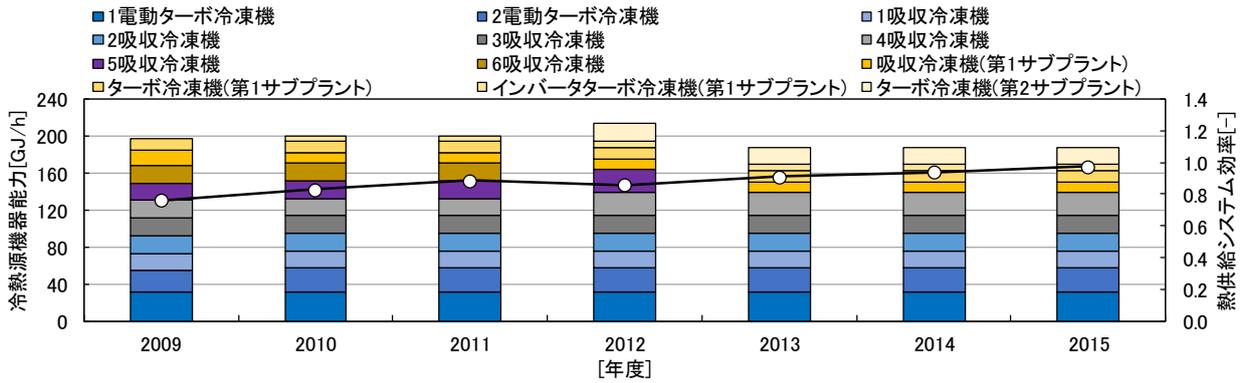


図 6.3.5 DHC.26 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

## (6) DHC.27 地区の分析結果[一般的なシステム]

図 6.3.6 に DHC.27 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。

この地区は、未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による一般的なシステムである。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 41%の減少、原燃料使用量は 49%の減少、システム効率は 16%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 2%の増加、温熱源機器では同程度の値を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2009 年度・2010 年度に行っており、2009 年度の改修は、冷熱源機器では二重効用蒸気吸収式冷凍機 5.7[GJ/h]を 1 台撤去し、2010 年度の改修では電動ターボ冷凍機 6[GJ/h]を 1 台撤去していた。

DHC.27 地区は吸収式冷凍機を撤去し高効率な電動ターボ冷凍機を増設したことがエネルギー効率向上要因と考えられる。

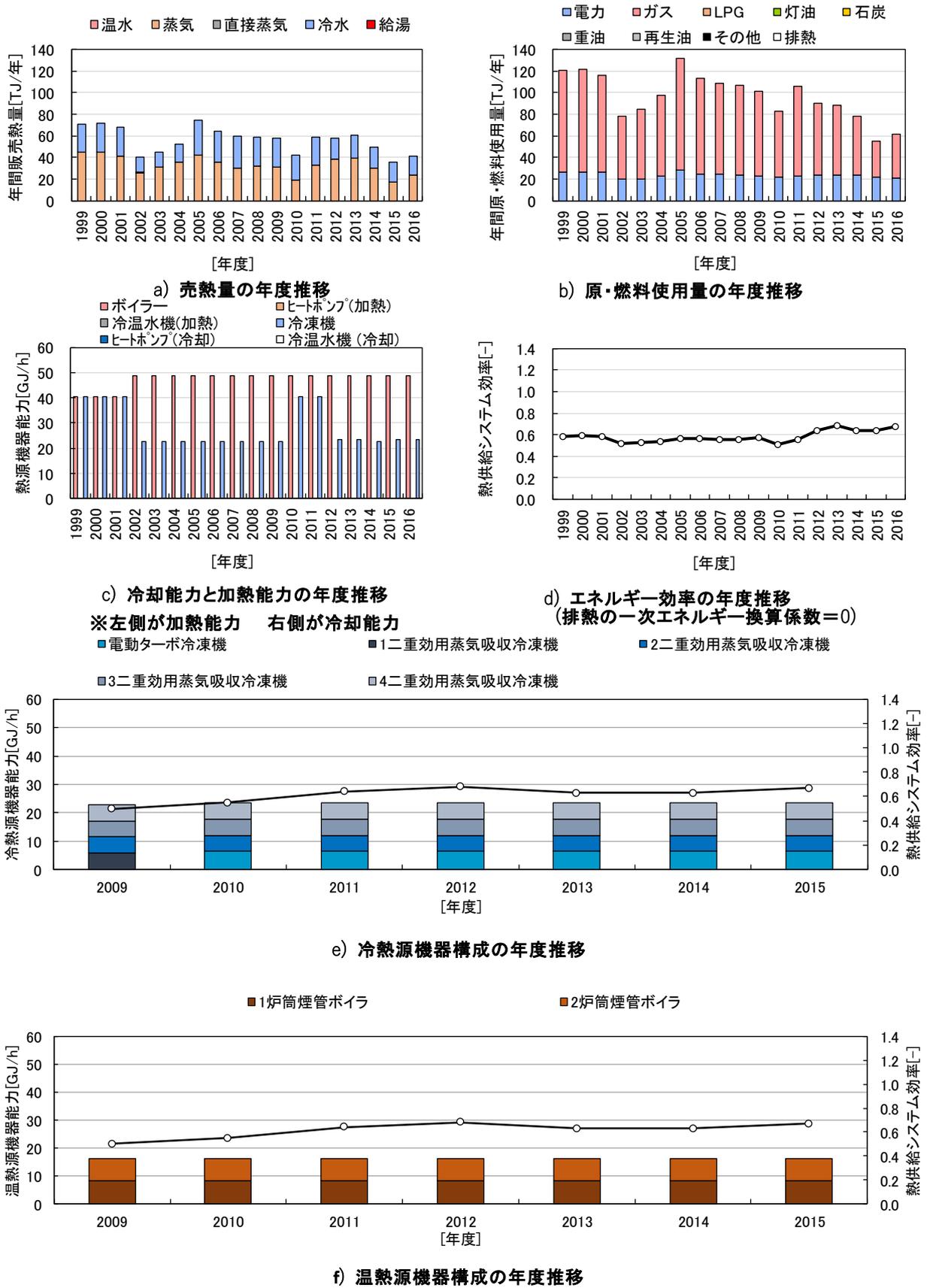


図 6.3.6 DHC.27 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

## (7) DHC.28 地区の分析結果[一般的なシステム]

図 6.3.7 に DHC.28 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。

この地区は、未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による一般的なシステムである。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 27%の減少、原燃料使用量は 37%の減少、システム効率は 15%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 67%の増加、温熱源機器では 33%の増加を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2010 年度・2011 年度に行っており、2010 年度の改修は、温熱源機器では炉筒煙管ボイラ 21[GJ/h]を 1 台撤去しており、2011 年度の改修では炉筒煙管ボイラ 21[GJ/h]を 1 台撤去し小型貫流ボイラ 7[GJ/h]を 5 台導入していた。

DHC.28 地区は炉筒煙管ボイラを撤去し、小型貫流ボイラを複数台導入したことがエネルギー効率向上の要因と考えられる。

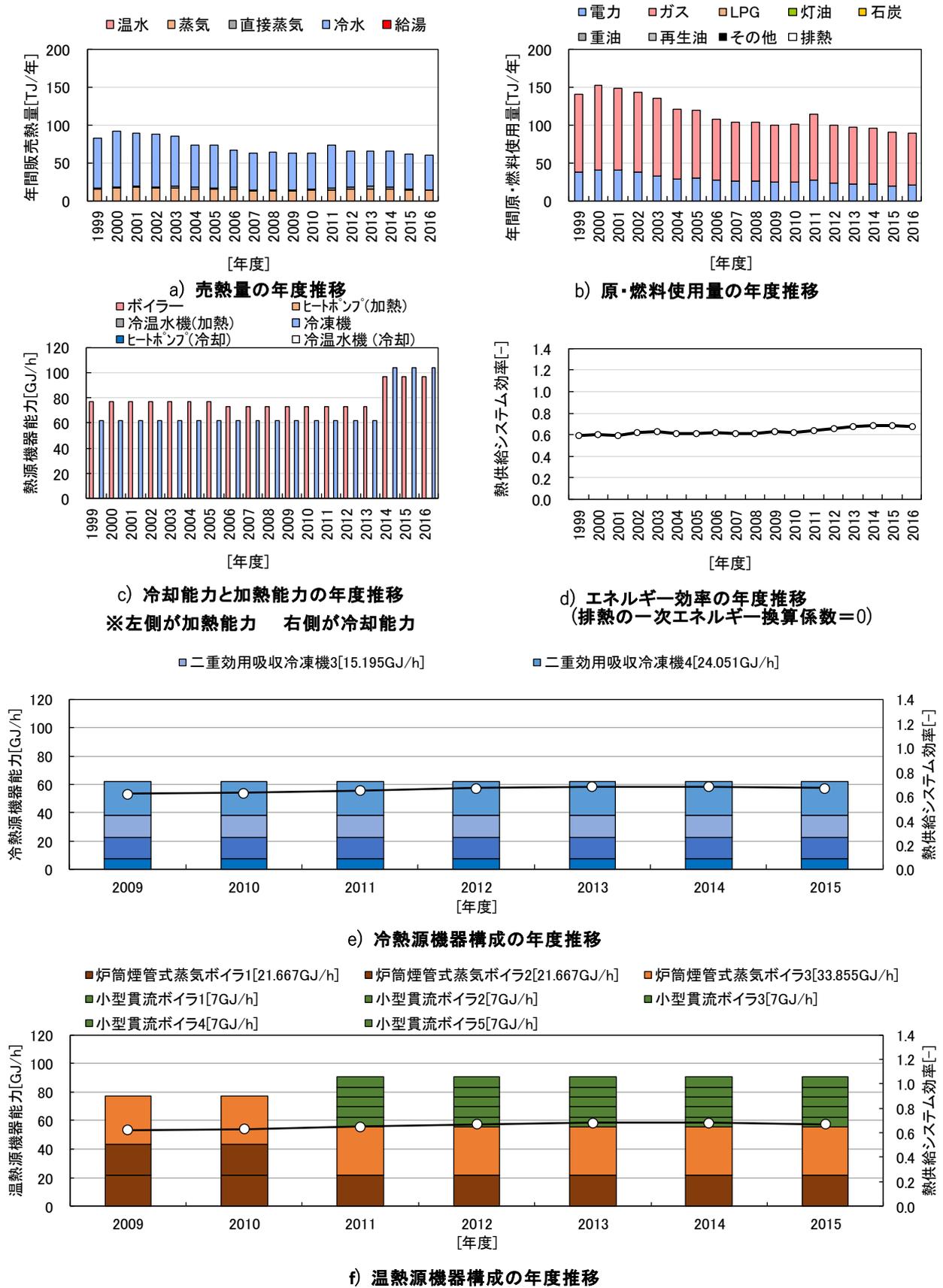


図 6.3.7 DHC.28 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

## (8) DHC.43 地区の分析結果[一般的なシステム]

図 6.3.8 に DHC.43 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。

この地区は、未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による一般的なシステムである。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 30%の減少、原燃料使用量は 44%の減少、システム効率は 26%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 9%の減少、温熱源機器では同程度の値を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2011 年度・2013 年度に行っており、2011 年度の改修は、温熱源機器では給湯ヒートポンプ 0.4[GJ/h]を 2 台撤去し給湯ヒートポンプ 0.5[GJ/h]を 2 台導入しており、2013 年度の改修は冷熱源機器ではヒートポンプ 4[GJ/h]を 1 台撤去しヒートポンプを 3[GJ/h]を 1 台導入していた。

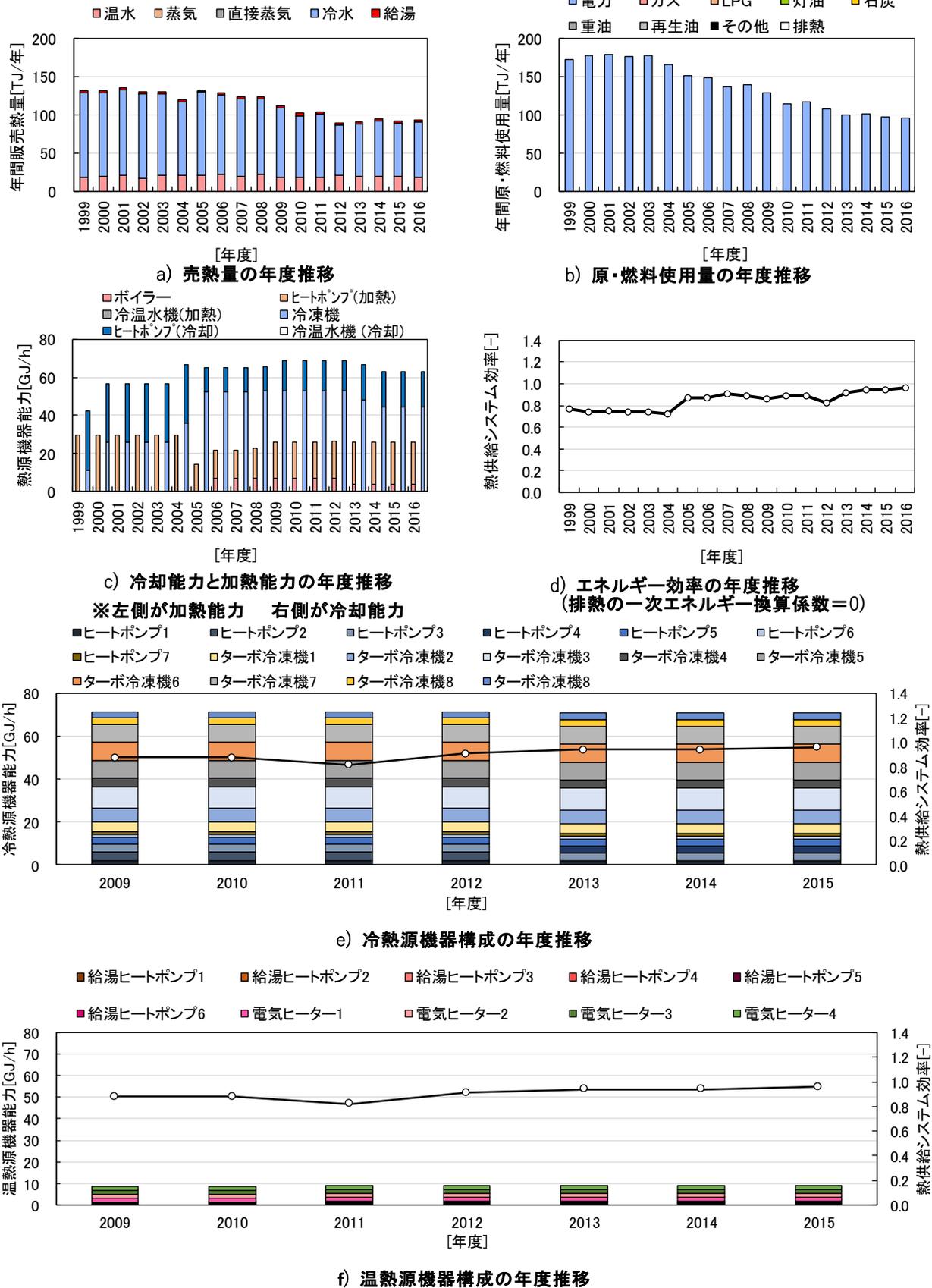


図 6.3.8 DHC.43 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

## (9) DHC52 地区の分析結果[一般的なシステム]

図 6.3.9 に DHC.52 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。

この地区は、未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による一般的なシステムである。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 39%の減少、原燃料使用量は 50%の減少、システム効率は 21%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器と温熱源機器では同程度の値を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2011 年度～2013 年度・2015 年度に行っており、2011 年度の改修は、冷熱源機器では二重効用吸収式冷凍機 9[GJ/h]を 1 台撤去、二重効用吸収式冷凍機 18[GJ/h]を 3 台撤去、電動ターボ冷凍機 9[GJ/h]を 1 台撤去し電動ターボ冷凍機(INV)10[GJ/h]を 3 台導入していた。2012 年度の改修は、冷熱源機器では二重効用吸収式冷凍機 18[GJ/h]を 2 台撤去し二重効用吸収式冷凍機 16[GJ/h]を 2 台導入、電動ターボ冷凍機 10[GJ/h]を 1 台導入していた。2013 年度の改修は冷熱源機器では二重効用吸収式冷凍機 16[GJ/h]を 2 台導入しており、2015 年度の改修は冷熱源機器では吸収式冷凍機 8[GJ/h]を 1 台撤去しターボ冷凍機 10[GJ/h]を 1 台導入していた。

DHC.52 地区は低負荷に対応する電動ターボ冷凍機を複数台導入したことがエネルギー効率向上の要因と考えられる。

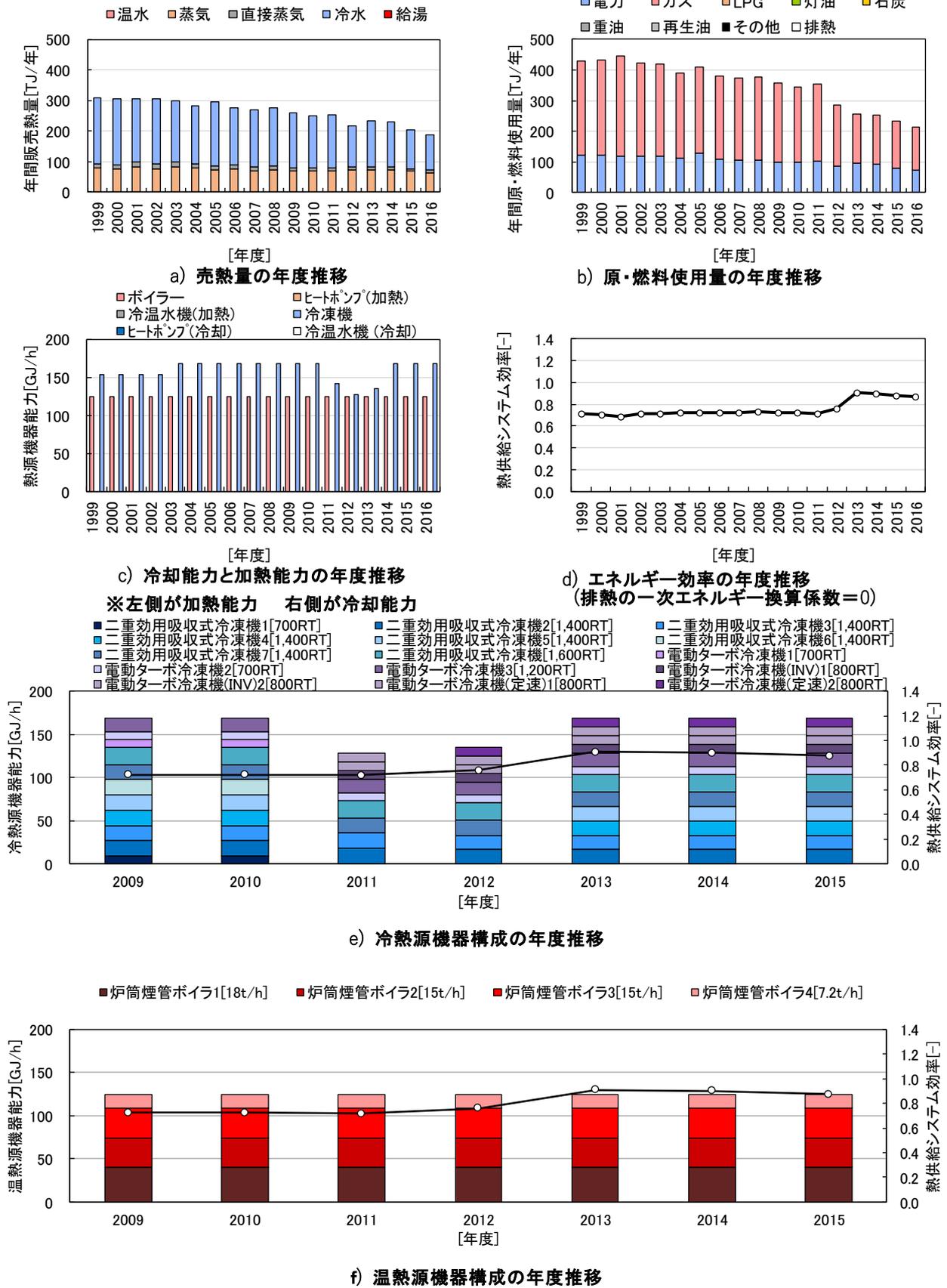


図 6.3.9 DHC.52 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

## (10) DHC.53 地区の分析結果[一般的なシステム]

図 6.3.10 に DHC.53 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。

この地区は、未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による一般的なシステムである。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 23%の減少、原燃料使用量は 42%の減少、システム効率は 32%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 14%の減少、温熱源機器では 8%の減少を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2012 年度・2013 年度に行っており、2012 年度の改修は、冷熱源機器では電動ターボ冷凍機(密閉型)4[GJ/h]を 1 台撤去しスクリー冷凍機(密閉型電動)1.2[GJ/h]を 4 台導入していた。2013 年度の改修は、冷熱源機器では二重効用吸収式冷凍機 23[GJ/h]を 1 台撤去、ヒートポンプ電動ターボ冷凍機(密閉型) 8[GJ/h]を 1 台撤去しターボ冷凍機(密閉型)11[GJ/h]を 1 台導入していた。

DHC.53 地区は低負荷に対応する電動ターボ冷凍機を複数台導入したことがエネルギー効率向上の要因と考えられる。

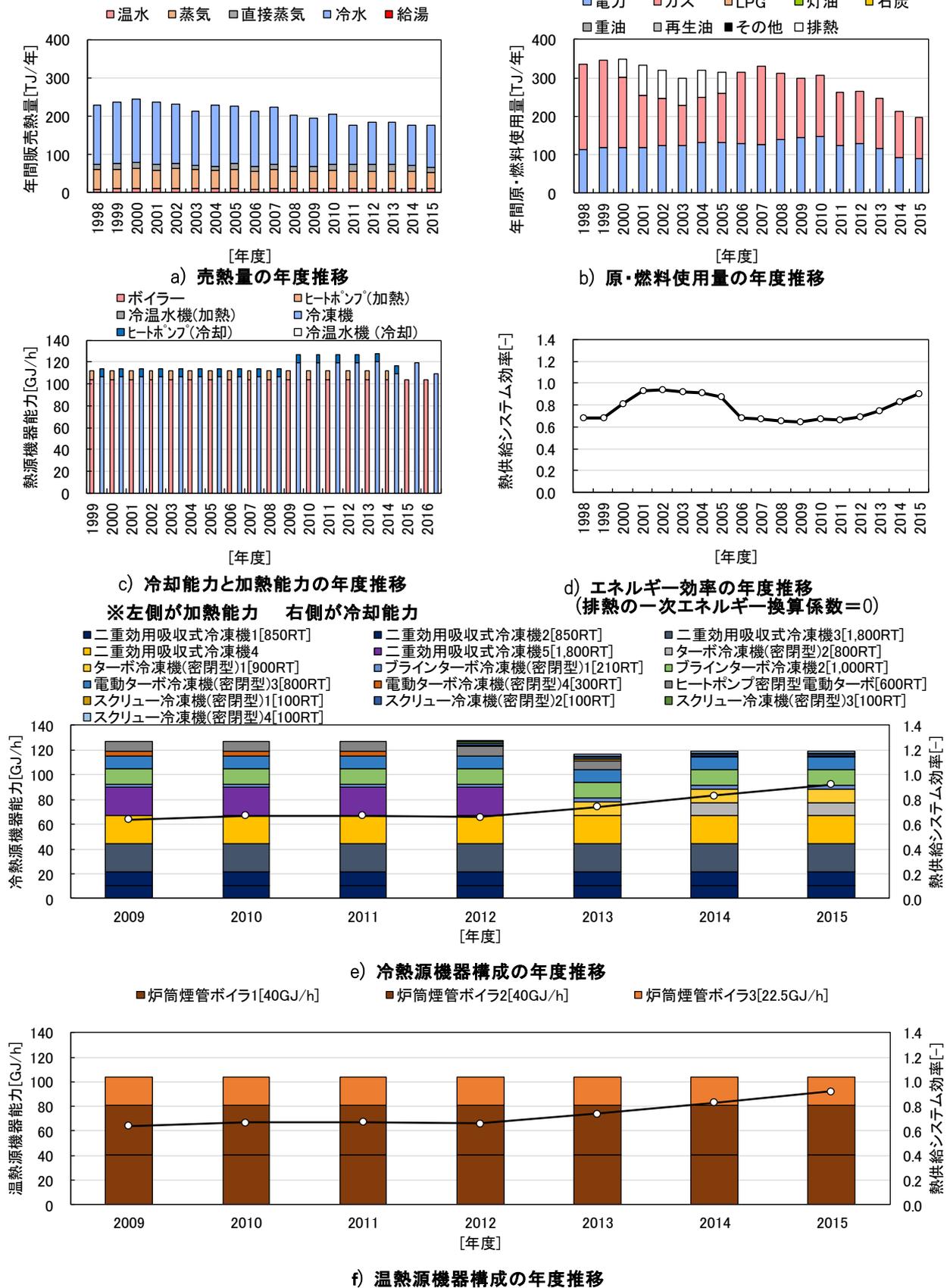


図 6.3.10 DHC.53 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

## (11) DHC.56 地区の分析結果[一般的なシステム]

図 6.3.11 に DHC.56 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移を示す。

この地区は、未利用エネルギーや天然ガスコージェネレーションを有しない、ボイラ、冷凍機、ヒートポンプなど熱源機による一般的なシステムである。a)~d)のグラフより 1998 年度と 2015 年度を比較すると販売熱量は 4%の減少、原燃料使用量は 36%の減少、システム効率は 49%の向上を示した。また、熱源機器容量は、2009 年度と 2015 年度を比較すると冷熱源機器では 10%の増加、温熱源機器では 11%の減少を示した。

また、e)・f)のグラフよりこの地区は熱源機器改修を 2014 年度に行っており、改修は、冷熱源機器では電動インバーターターボ冷凍機 9[GJ/h]を 1 台増設していた。温熱源機器では炉筒煙管ボイラ 27[GJ/h]を 1 台を撤去し小型貫流ボイラ 5[GJ/h]を 4 台導入していた。

DHC.56 地区は電動インバーターターボ冷凍機を導入することで低負荷時にも高効率で機器を稼働できるようになったことが効率向上の要因と考えられる。

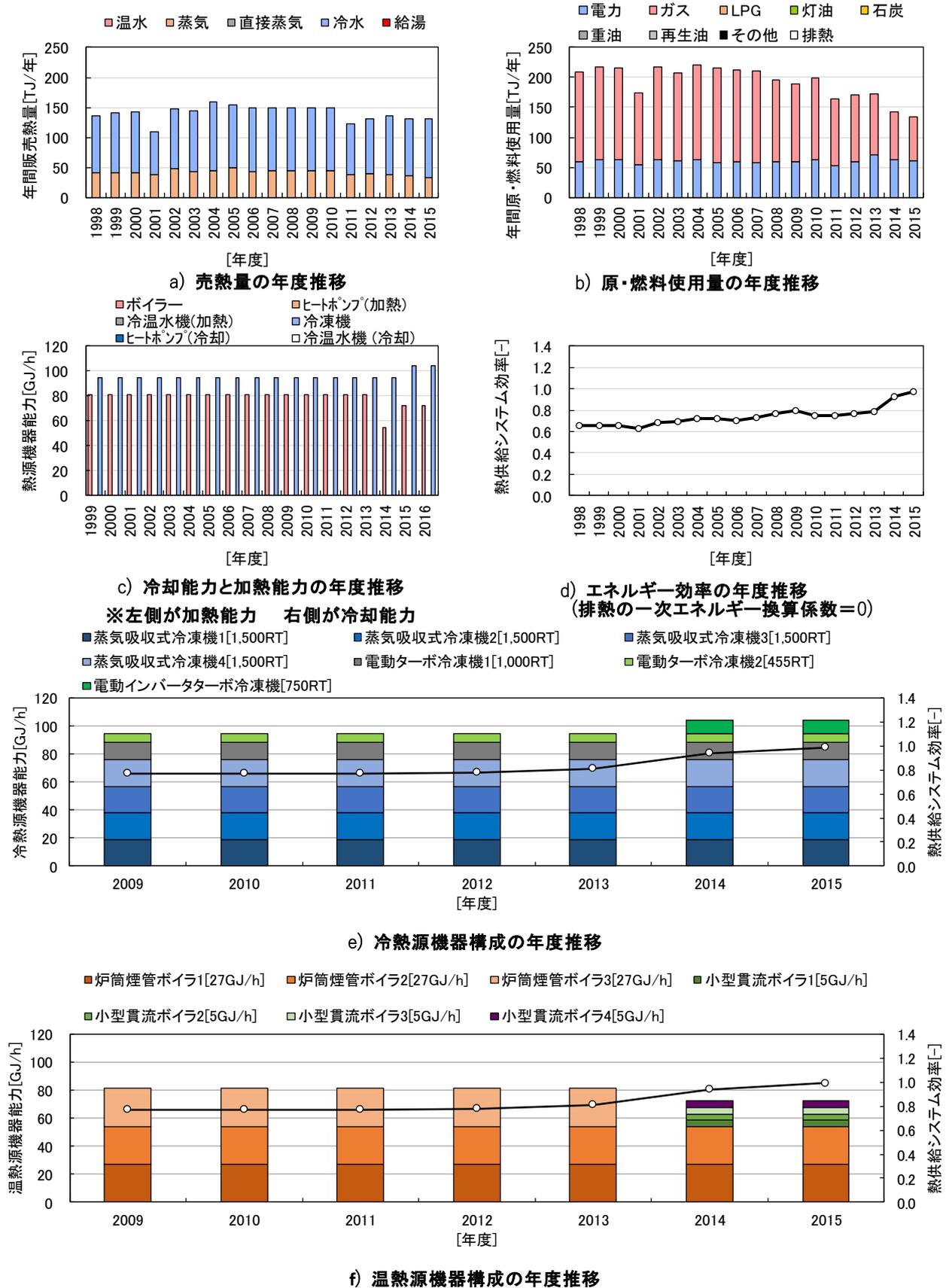


図 6.3.11 DHC.56 地区の運転実績と熱源機器構成の年度推移

### 6.3.2 エネルギー効率向上の要因分析

#### (1) 年間エネルギー効率の向上率

図 6.3.12 に熱源機器のリニューアルを行った 17 地区のうちエネルギー効率が向上した地区の 2009 年度の年間エネルギー効率に対する 2015 年度の年間エネルギー効率の比率である向上率を示す。この値は東京都環境局実績報告書に記載されていた熱供給システムのエネルギー効率を用いて算出した。2009 年度と 2015 年度を比較して、年間エネルギー効率の向上率が最も大きい地区は DHC.53 地区であり、エネルギー効率は約 43.8%向上していた。また、最も年間エネルギー効率の向上率が小さかった地区は DHC.4 地区であり、2009 年度から 2015 年度にかけて約 5.3%向上していた。

2009 年度から 2015 年度にかけて熱源機器をリニューアルした地区全体の年間エネルギー効率の向上率の平均は 16.5%であった。

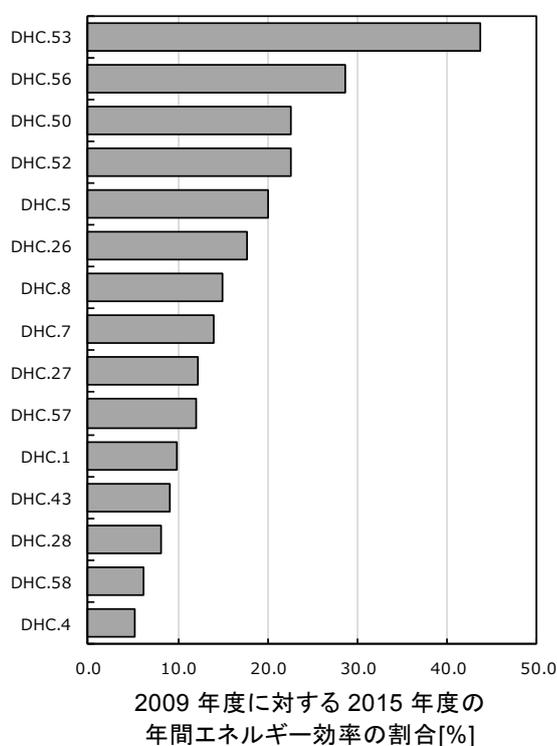


図 6.3.12 年間エネルギー効率の向上率

## (2) リニューアル内容の傾向分析

表 6.3.1 に 17 地区におけるリニューアル傾向を示す。

冷熱源機器のリニューアルでは、吸収式冷凍機を撤去し電動式の冷凍機を導入した地区が 17 地区中 8 地区と最も多く、電動式の冷凍機を増設・新設している地区が 17 地区中 4 地区であった。またヒートポンプを更新した地区が 17 地区中 4 地区であった。

温熱源機器のリニューアルでは、炉筒煙管ボイラの撤去と小型貫流ボイラの導入や小型貫流ボイラの更新など、炉筒煙管ボイラと小型貫流ボイラに関するリニューアルが見られた。

表 6.3.1 リニューアル傾向

	リニューアル傾向	地区数
冷熱源機器のリニューアル内容	1.吸収式冷凍機撤去+電気式冷凍機導入	8 地区
	2.電気式冷凍機増設・新設	4 地区
	3.ヒートポンプ更新	4 地区
	4.ヒートポンプ撤去+電気式冷凍機導入	1 地区
温熱源機器のリニューアル内容	5.炉筒煙管ボイラ更新	3 地区
	6. 炉筒煙管ボイラ撤去+小型貫流ボイラ導入	2 地区
	7. 小型貫流ボイラ更新	2 地区
	8.給湯ヒートポンプ撤去	1 地区
	9.給湯ヒートポンプ更新	1 地区

## 6.4 結論

本研究では、東京都環境局エネルギー供給実績報告書を用いて 2009 年度から 2015 年度までの熱源機器改修内容の調査を行い、東京都特別区内の地域熱供給プラントの熱源機器構成の推移を分析し、以下の知見を得た。

- 1) 熱源機器のリニューアルを行っていた地区は 49 地区中 23 地区であった。そのうち、CGS を活用している地区は 6 区あり、それ以外の地区は 17 地区であった。また、改修によりエネルギー効率が向上した地区は 15 地区であった
- 2) CGS を活用していない 17 地区で冷熱源機器のリニューアルを行っていた地区は 15 地区、温熱源機器のリニューアルを行っていた地区は 10 地区であった。
- 3) 2009 年度に対する 2015 年度の熱供給システム効率の比率を向上率とし、分析を行った。最も年間エネルギー効率の向上率が大きい地区の向上率は DHC.53 地区の約 43.8%であり、最も小さい向上率は DHC.4 地区の約 5.3%であった。
- 4) エネルギー効率向上要因は、冷熱源機器側では小容量の吸収式冷凍機により台数分割を行うことで低負荷時にも機器を高効率で運転できるようになったこと、高効率な電動ターボ冷機を導入していることが確認でき、温熱源機器側では炉筒煙管ボイラをより効率の良い貫流ボイラに改修していることが要因と考えられる。なお、このような導入傾向は CGS を含まないシステムにおけるものであり、CGS 導入システムであれば異なるリニューアル傾向が見られると考えられる。

### 【参考文献】

- 6-1) 一般社団法人日本熱供給事業協会 HP, 熱供給事業の導入事例：  
<http://www.jdhc.or.jp/category/area/>
- 6-2) 東京都環境局：地域におけるエネルギーの有効利用に関する制度(2009 年度～2015 年度)  
[http://www7.kankyo.metro.tokyo.jp/yukoriyou/area\\_select.html](http://www7.kankyo.metro.tokyo.jp/yukoriyou/area_select.html)



# 第7章 既存地域熱供給システムの コージェネレーション設置利用形態と リニューアル内容の調査分析



## 第7章 既存地域熱供給システムのコージェネレーション設置利用形態とリニューアル内容の調査分析

### 7.1 研究概要

近年、東日本大震災を背景に、平常時の熱供給システムのエネルギー効率の向上だけでなく災害時の事業継続（以下、BCP：Business Continuity Plan）性能が重要視されるようになってきたことから、CGSは今後の地域熱供給にとって重要なシステムになると考えられる。また、第5章でも熱源機器のリニューアルだけでなく CGS の導入が地域熱供給システムの効率向上に有効であることが確認できた。そこで本章では既存地域熱供給システムの CGS の導入実態やリニューアル傾向を調査分析することで、前章の熱源機器のリニューアル傾向と合わせて既存地域熱供給システムの効率向上に寄与する基礎資料として整理する。

本章では、地域熱供給に導入されている CGS の設置利用形態を整理するとともに、首都圏における CGS の設置利用形態や近年の改修内容の実態を把握することを目的とした。最初に、発電機の設置場所と発電電力の供給施設の組み合わせから CGS 設置利用形態(CGS installation utilization pattern)のタイプを整理した。そして、既存地域熱供給システム地区の内、東京都特別区、千葉市、さいたま市の CGS を活用する 24 地区を対象に調査を行い、CGS 設置利用形態を把握した。さらに、調査地区の内、近年 CGS を改修あるいは新規に導入した地区に対して追加調査を実施し、設置利用形態の変化や改修による平常時と非常時の効果を評価した。

### 7.2 既存地域熱供給システムにおけるコージェネレーションシステム設置利用形態の考え方

#### 7.2.1 コージェネレーションシステム設置利用形態のタイプ分類の考え方

CGS を活用する地域熱供給システムのタイプ分類を検討する。CGS 設置利用形態に係る CGS の設置場所と発電電力の供給施設として、以下の三者を想定した。

- ・熱供給プラントが設置された需要家建物内のプラント部分（以降、プラント）
- ・熱供給プラントが設置された需要家建物内のプラント以外の需要家部分（以降、プラント設置建物内需要家）
- ・プラント設置建物以外の一般需要家

本章におけるタイプ分類の検討では、CGS 発電電力を地域熱供給システム地区内のみで活用することを想定する。また、CGS を活用する地域熱供給システムの実例として CGS 発電電力を他者に供給する場合に CGS 設置場所はプラントが一般的であることを考慮する。よってタイプ分類にあたり、以下の3つの前提条件を設けた。

条件①：発電電力は、地域熱供給システム地区内のみでの供給を想定とする。

条件②：発電電力を CGS が設置された建物外に供給できるのは CGS 設置場所がプラントの時のみとする。

条件③：発電電力を利用せずに全量を他者にのみ供給できるのは CGS 設置場所がプラントの時のみとする。

また、一般的には CGS 設置者（所有者）と設置場所は同一であるが、最近、プラント（事業者）がエネルギーサービスの一環として需要家建物側に CGS を所有設置するケースも出てきている。今後、CGS 設置者と CGS 設置場所が異なるケースが出てくると考えられ、CGS 所有者の観点も含

めタイプ分類することが理想であるが、タイプ分類が複雑になるため、本報では CGS 所有者の観点  
を除外した。

表 7.2.1 に本章で検討した地域熱供給システムにおける CGS の設置利用形態のタイプ分類結果  
を示す。本章における CGS 設置利用形態の検討は、設置 CGS 一基に対する CGS の設置場所と CGS  
の発電電力の供給施設の組合せにより分類した。

表 7.2.1 の縦軸に示す CGS の設置場所のタイプは、A～C の 3 つである。A タイプはプラントに  
設置、B タイプはプラント設置建物内需要家に設置、C タイプは一般需要家に設置されるタイプで  
ある。

表 7.2.1 の横軸に示す発電電力の供給施設三者の組合せは I～VII タイプの 7 通りである。I～III  
タイプは施設単体に発電電力を供給するタイプであり、I タイプはプラントに供給するタイプ、II  
タイプはプラント設置建物内需要家に供給するタイプ、III タイプは一般需要家建物に供給するタイ  
プである。

それらに対し、IV～VII タイプは複数施設に供給するタイプであり、IV タイプはプラントとプラン  
ト設置建物内需要家の両方に供給するタイプ、V タイプはプラントと一般需要家建物に供給するタ  
イプ、VI タイプはプラント設置建物内需要家と一般需要家建物に供給するタイプ、VII タイプは三者  
に供給するタイプである。

以上より、CGS 設置場所のタイプは 3 通りであり、供給施設のタイプは 7 通りであることから、  
それらの組合せによる CGS 設置利用形態のタイプは 21 通りが考えられる。しかし、条件②と③か  
ら 11 通りが除外されるため、最終的に CGS 設置利用形態を 10 通りのタイプに整理した。以下に  
CGS の設置場所ごとに想定される CGS 設置利用形態について述べる。

表 7.2.1 CGS 設置利用形態のタイプ分類結果

CGS の設置場所	CGS 発電電力の供給施設		CGS 設置 利用形態	分類 結果	除外した理由	
	プラント 設置建物					
	プラント	需要家				
A：プラント設置建物 (プラント側)	○	-	-	A-I	○	-
	-	○	-	A-II	○	-
	-	-	○	A-III	○	-
	○	○	-	A-IV	○	-
	○	-	○	A-V	○	-
	-	○	○	A-VI	○	-
	○	○	○	A-VII	○	-
B：プラント設置建物 (需要家側)	○	-	-	B-I	×	条件③より CGS 設置者であるプラント設置建物内の需要家が発電電力を消費しないため除外
	-	○	-	B-II	○	-
	-	-	○	B-III	×	条件②より CGS が設置されたプラント設置建物内の需要家からプラント設置建物外である一般需要家建物に発電電力を供給するため除外
	○	○	-	B-IV	○	-
	○	-	○	B-V	×	条件②より CGS が設置されたプラント設置建物内の需要家からプラント設置建物外である一般需要家建物に発電電力を供給するため除外
	-	○	○	B-VI	×	条件②より CGS が設置されたプラント設置建物内の需要家からプラント設置建物外である一般需要家建物に発電電力を供給するため除外
	○	○	○	B-VII	×	条件②より CGS が設置されたプラント設置建物内の需要家からプラント設置建物外である一般需要家建物に発電電力を供給するため除外
C：一般需要家建物	○	-	-	C-I	×	条件③より CGS 設置者である一般需要家建物が発電電力を消費しないため除外
	-	○	-	C-II	×	条件③より CGS 設置者である一般需要家建物が発電電力を消費しないため除外
	-	-	○	C-III	○	-
	○	○	-	C-IV	×	条件③より CGS 設置者である一般需要家建物が発電電力を消費しないため除外
	○	-	○	C-V	×	条件②より CGS が設置された一般需要家建物から建物外であるプラント設置建物に発電電力を供給するため除外
	-	○	○	C-VI	×	条件②より CGS が設置された一般需要家建物から建物外であるプラント設置建物に発電電力を供給するため除外
	○	○	○	C-VII	×	条件②より CGS が設置された一般需要家建物から建物外であるプラント設置建物に発電電力を供給するため除外

## 7.2.2 分類結果

### (1) プラント内設置タイプ

CGS がプラントに設置された場合は、条件②と③から除外されるタイプが無いため A-I ～A-VII の7通りとなる。

### (2) プラント設置建物内需要家設置タイプ

CGS がプラント設置建物内需要家に設置された場合は、条件②より一般需要家建物に発電電力を供給するタイプは除外される。それらは B-III（供給先：一般需要家建物）、B-V（供給先：プラント、一般需要家建物）、B-VI（供給先：プラント設置建物内需要家、一般需要家建物）、B-VII（供給先：プラント及びプラント設置建物内需要家、一般需要家建物）である。また条件③よりプラント設置建物内需要家が発電電力を使用しないタイプは除外される。それは B-I（供給先：プラント）である。以上より B タイプでは B-II（供給先：プラント設置建物内需要家）と B-IV（供給先：プラント及びプラント設置建物内需要家）の2通りとなる。

### (3) 一般需要家建物設置タイプ

CGS が一般需要家建物に設置された場合は、条件②よりプラントとプラント設置建物内需要家に発電電力を供給するタイプは除外される。それらは C-V（供給先：プラント、一般需要家建物）、C-VI（供給先：プラント設置建物内需要家、一般需要家建物）、C-VII（供給先：プラント及びプラント設置建物内需要家、一般需要家建物）である。また条件③より一般需要家建物が発電電力を使用しないタイプは除外される。それらは C-I（供給先：プラント）、C-II（供給先：プラント設置建物内需要家）、C-IV（供給先：プラント及びプラント設置建物内需要家）である。以上より C タイプでは C-III（供給先：一般需要家建物）のみとなる。

## 7.2.3 コージェネレーションシステム設置利用形態の受電形態の整理

### (1) 個別受電と一括受電の形態の考え方

CGS 設置利用形態が同じタイプでも商用電力の受電形態によって受変電設備の設置場所や発電電力の配電方法などが異なるものがある。そこで CGS 設置利用形態のタイプごとの受電形態を整理した。なお整理の対象は、プラントとそれ以外の2施設（プラント設置建物内需要家、一般需要家建物）の発電電力が関係する受電形態とした。受電形態には個別受電と一括受電の2つがある。

本報における個別受電はプラントとそれ以外の2施設が別々に受変電設備を所有し商用電力を受電する形態である。そして、一括受電はプラントとそれ以外の2施設が一つの受変電設備で商用電力をまとめて受電する形態である。したがって、プラント設置建物内の需要家と一般需要家建物が一括受電する場合は、本報では個別受電となる。

本報では、一括受電の形態を表 7.2.2 のように[a]～[c]に整理した。まず一括受電の形態は二者の一括受電と三者の一括受電の場合がある。二者の一括受電は考えられる組み合わせが3つある。1つ目は[a]:プラントとプラント設置建物内需要家の一括受電で、2つ目は[b]:プラントと一般需要家建物の一括受電で、3つ目はプラント設置建物内需要家と一般需要家建物の一括受電である。しかし3つ目は、本報ではプラントとの一括受電でないため除外した。三者の一括受電は[c]:プラントとプラント設置建物内需要家、一般需要家建物の一括受電のみである。これにより、一括受電の形態は[a]～[c]の3つの形態に分類した。

また、本報では一括受電を行う場合、受変電設備を設置できるのはプラント設置建物のみとし、

設置場所はプラント側あるいは需要家側とする。そのため、一括受電[a]と[c]はプラントに受変電設備を設置する場合とプラント設置建物内需要家に設置する場合の2通りが考えられる。一方、一括受電[b]はプラント側に受変電設備を設置する場合の1通りが考えられる。

以上より、本報ではCGS設置利用形態の各タイプの受電形態は、個別受電と5通りの一括受電の計6ケースに整理される。

表 7.2.2 プラントとの一括受電の形態

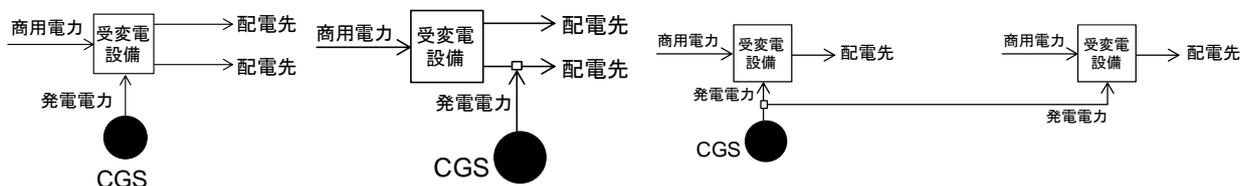
			プラント設置建物		一般 需要家建物
			(プラント 側)	(需要家側)	
二者	[a]	プラントとプラント設置建物内需要家の一括受電	◎	○	—
	[b]	プラントと一般需要家建物の一括受電	◎	—	○
三者	[c]	プラントとプラント設置建物内需要家、 一般需要家建物の一括受電	◎	○	○
			○	◎	○

◎：受変電設備が設置される施設

## (2) 一括受電における連系の考え方

本研究における一括受電した商用電力とCGS発電電力の連系は、図7.2.1に示す3つの方法が考えられる。一つ目は[i]：受変電設備で商用電力と発電電力を直接連系する方法、二つ目は[ii]：受変電設備で配電された後の商用電力と発電電力を連系する方法、三つ目は[iii]：発電電力を複数の商用電力の系統に連系する方法である。本報ではCGSの導入事例として一般的な[i]：受変電設備で商用電力と発電電力を直接連系する方法を用いた一括受電の形態のみを整理した。

連系方法[ii][iii]にあたる例を図7.2.4に示す。これらはCGSをプラントに設置し発電電力をプラントに供給するCGS設置利用形態である。[ii]の例は、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電し、プラントに配電された商用電力に発電電力が連系しているため対象外となる。また、[iii]の例は、個別受電をしているプラントとプラント設置建物内需要家の2系統に対してCGS一基で発電電力を配電しているため対象外となる。



[i] 受変電設備で商用電力と [ii] 受変電設備で配電された後の  
発電電力を直接連系 商用電力と発電電力を連系

[iii] 発電電力を複数の系統に配電し  
商用電力と連系

図 7.2.1 一括受電した商用電力と発電電力の連系方法

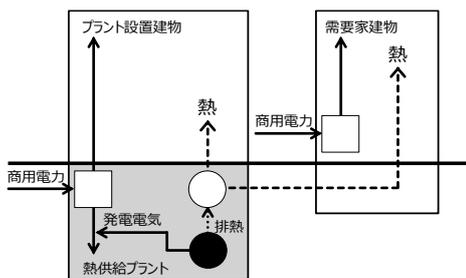


図 7.2.2-1 連係方法[ii]の例

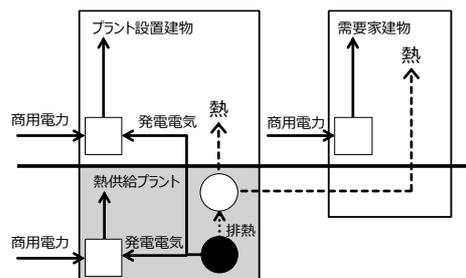


図 7.2.3-2 連係方法[iii]の例

図 7.2.4 本報で整理から対象外となる CGS 設置利用形態の例

### (3) 一括受電における前提条件

本報の CGS 設置利用形態ではプラントとそれ以外の 2 施設が発電電力を使用する場合、CGS 一基で発電電力を複数施設に供給するため、商用電力の受電形態は一括受電のみとなる（条件④）。さらに一括受電した商用電力が発電電力が関係しない場合（条件⑤）も除外した。以上を考慮し、本報では以下の条件を設定した。

条件④：プラントとそれ以外の 2 施設が発電電力を使用する場合は一括受電のみとする。（これに当たるのは A-IV、A-V、A-VII、B-IV タイプである）

条件⑤：一括受電した商用電力と発電電力が全く関係しない場合は除外する

### 7.2.4 受電形態の整理結果

#### (1) プラント設置タイプ

表 7.2.2 の一括受電の形態を受け CGS 設置利用形態の各タイプにおける商用電力の受電形態の整理結果を表 7.2.3 に示す。さらに受電形態も含めた CGS 設置利用形態の各タイプの系統図を図 7.2.5 に示す。なお、表 7.2.3 には CGS 設置利用形態の各タイプにおいて該当する系統図の図番号を示す。

##### a) A-I タイプ（図 7.2.5-1）

本タイプは、CGS をプラントに設置し発電電力をプラントのみに供給する。しかし、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電する場合（一括受電[a]）やプラントと一般需要家建物が一括受電する場合（一括受電[b]）、三者による一括受電の場合（一括受電[c]）は、発電電力がプラント以外に供給されることになるためにありえない。したがって、本タイプの受電形態は図 7.2.5-1 i に示すように個別受電のみとなる。

##### b) A-II タイプ（図 7.2.5-2）

本タイプは、CGS をプラントに設置し発電電力をプラント設置建物内需要家のみに供給する。まず、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電する場合（一括受電[a]）は、発電電力がプラントにも供給されることになるためにあり得ない。また、プラントと一般需要家建物が一括受電する場合（一括受電[b]）は、一括受電に発電電力が全く同期しないため、条件⑤よりあり得ない。そして、三者による一括受電の場合（一括受電[c]）は、発電電力がプラントと一般需要家建物にも供給されることになるためにあり得ない。したがって、本タイプの受電形態は図 7.2.5-2 i に示すように個別受電のみとなる。

c) A-Ⅲタイプ (図 7.2.5-3)

本タイプは、CGS をプラントに設置し発電電力を一般需要家建物のみにも供給する。まず、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電する場合 (一括受電[a]) は、一括受電に発電電力が全く同期しないため、条件⑤よりあり得ない。また、プラントと一般需要家建物が一括受電する場合 (一括受電[b]) は、プラントにも供給されることになるためにあり得ない。そして、三者による一括受電の場合 (一括受電[c]) は、発電電力がプラントとプラント設置建物内需要家にも供給されることになるためにあり得ない。したがって、本タイプの受電形態は図 7.2.5-3 i に示すように個別受電のみとなる。

d) A-Ⅳタイプ (図 7.2.5-4)

本タイプは、CGS をプラントに設置し発電電力をプラントとプラント設置建物内需要家の 2 施設に供給する。そのため、条件④より本タイプは一括受電のみとなる。まず、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電する場合 (一括受電[a]) はあり得る。そして、プラント側で一括受電する場合である図 7.2.5-4 i と需要家側で一括受電する場合である図 7.2.5-4 ii がある。一方、プラントと一般需要家建物が一括受電する場合 (一括受電[b]) や三者による一括受電の場合 (一括受電[c]) は一般需要家建物にも発電電力が供給されるためにあり得ない。

e) A-Ⅴタイプ (図 7.2.5-5)

本タイプは、CGS をプラントに設置し発電電力をプラントと一般需要家建物の 2 施設に供給する。そのため、条件④より本タイプは一括受電のみとなる。まず、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電する場合 (一括受電[a]) は、プラント設置建物内需要家に発電電力が供給されるためにあり得ない。また、プラントと一般需要家建物が一括受電する場合 (一括受電[b]) はあり得る。そして、一般需要家建物には一括受電用の受変電設備を設置できないためにプラント側で一括受電する場合である図 7.2.5-5 i のみがある。そして、三者による一括受電の場合 (一括受電[c]) は、プラント設置建物内需要家にも発電電力が供給されるためにあり得ない。

f) A-Ⅵタイプ (図 7.2.5-6)

本タイプは、CGS をプラントに設置し発電電力をプラント設置建物内需要家と一般需要家建物に供給する。そのため、プラントとの一括受電はプラントに発電電力が供給されるためにあり得ない。  
し

したがって、本タイプの受電形態は図 7.2.5-6 i に示すように個別受電のみとなる。

g) A-Ⅶタイプ (図 7.2.5-7)

本タイプは、CGS をプラントに設置し発電電力をプラントとプラント設置建物内需要家、一般需要家建物の三者に供給する。そのため、条件④より三者による一括受電しかあり得ない。そして、プラント側で一括受電する場合である図 7.2.5-7 i と需要家側で一括受電する場合である図 7.2.5-7 ii がある。

(2) プラント設置建物内需要家設置タイプ

a) B-Ⅱタイプ (図 7.2.5-8)

本タイプは、CGS をプラント設置建物内需要家に設置し発電電力をプラント設置建物内需要家のみにも供給する。まず、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電する場合 (一括受電[a]) は、発電電力がプラントにも供給されることになるためにあり得ない。また、プラントと一般需要家建

物が一括受電する場合（一括受電[b]）は、一括受電に発電電力が全く同期しないため、条件⑤よりあり得ない。そして、三者による一括受電の場合（一括受電[c]）は、発電電力がプラントと一般需要家建物にも供給されることになるためにあり得ない。したがって、本タイプの受電形態は図 7.2.5-8 i に示すように個別受電のみとなる。

b) B-IVタイプ（図 7.2.5-9）

本タイプは、CGS をプラント設置建物内需要家に設置し発電電力をプラントとプラント設置建物内需要家の2施設に供給する。そのため、条件④より本タイプは一括受電のみとなる。まず、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電する場合（一括受電[a]）はあり得る。そして、プラント側で一括受電する場合である図 7.2.5-9 i と需要家側で一括受電する場合である図 7.2.5-9 ii がある。

一方、プラントと一般需要家建物が一括受電する場合（一括受電[b]）や三者による一括受電の場合（一括受電[c]）は一般需要家建物にも発電電力が供給されるためにあり得ない。

(3) 一般需要家建物設置タイプ

a) C-Ⅲタイプ（図 7.2.5-10）

本タイプは、CGS を一般需要家建物に設置し発電電力を一般需要家建物のみ供給する。まず、プラントとプラント設置建物内需要家が一括受電する場合（一括受電[a]）は、一括受電に発電電力が全く同期しないため、条件⑤よりあり得ない。また、プラントと一般需要家建物が一括受電する場合（一括受電[b]）は、発電電力がプラントにも供給されるためにあり得ない。そして、三者による一括受電の場合（一括受電[c]）は、発電電力がプラントとプラント設置建物内需要家にも供給されることになるためにあり得ない。したがって、本タイプの受電形態は図 7.2.5-10 i に示すように個別受電のみとなる。

表 7.2.3 CGS 設置利用形態における商用電力の受電形態の整理

CGS の設置場所	CGS 発電電力の供給施設			CGS 設置利用形態	商用電力の受電形態					
	プラント設置建物		一般需要家		個別受電	一括受電				
	プラント	需要家				二者		三者		
						[a]:プラント設置建物内のプラント側と需要家側	[b]:プラント設置建物内のプラント側と一般需要家建物	[c]:プラント設置建物のプラント側・需要家側と一般需要家建物		
			プラント側受電	需要家側受電		プラント側受電	プラント側受電	需要家側受電		
A: プラント	○	-	-	A-I	○ 図 1-1 i					
	-	○	-	A-II	○ 図 1-2 i			条件⑤より除外		
	-	-	○	A-III	○ 図 1-3 i	条件⑤より除外	条件⑤より除外			
	○	○	-	A-IV	条件④より除外	○* 図 1-4 i	○* 図 1-4 ii			
	○	-	○	A-V	条件④より除外			○* 図 1-5 i		
	-	○	○	A-VI	○ 図 1-6 i					
	○	○	○	A-VII	条件④より除外			○* 図 1-7 i	○* 図 1-7 ii	
B: プラント設置建物内需要家	-	○	-	B-II	○ 図 1-8 i			条件⑤より除外		
	○	○	-	B-IV	条件④より除外	○* 図 1-9 i	○* 図 1-9 ii			
C: 一般需要家	-	-	○	C-III	○ 図 1-10 i	条件⑤より除外	条件⑤より除外			

\*発電電力が商用電力と直接同期する形態を示す。

\*\*発電電力が配電後の商用電力と同期する形態を示す。

〔凡例〕  
 ○ 熱源機器 ● CGS □ 受電設備

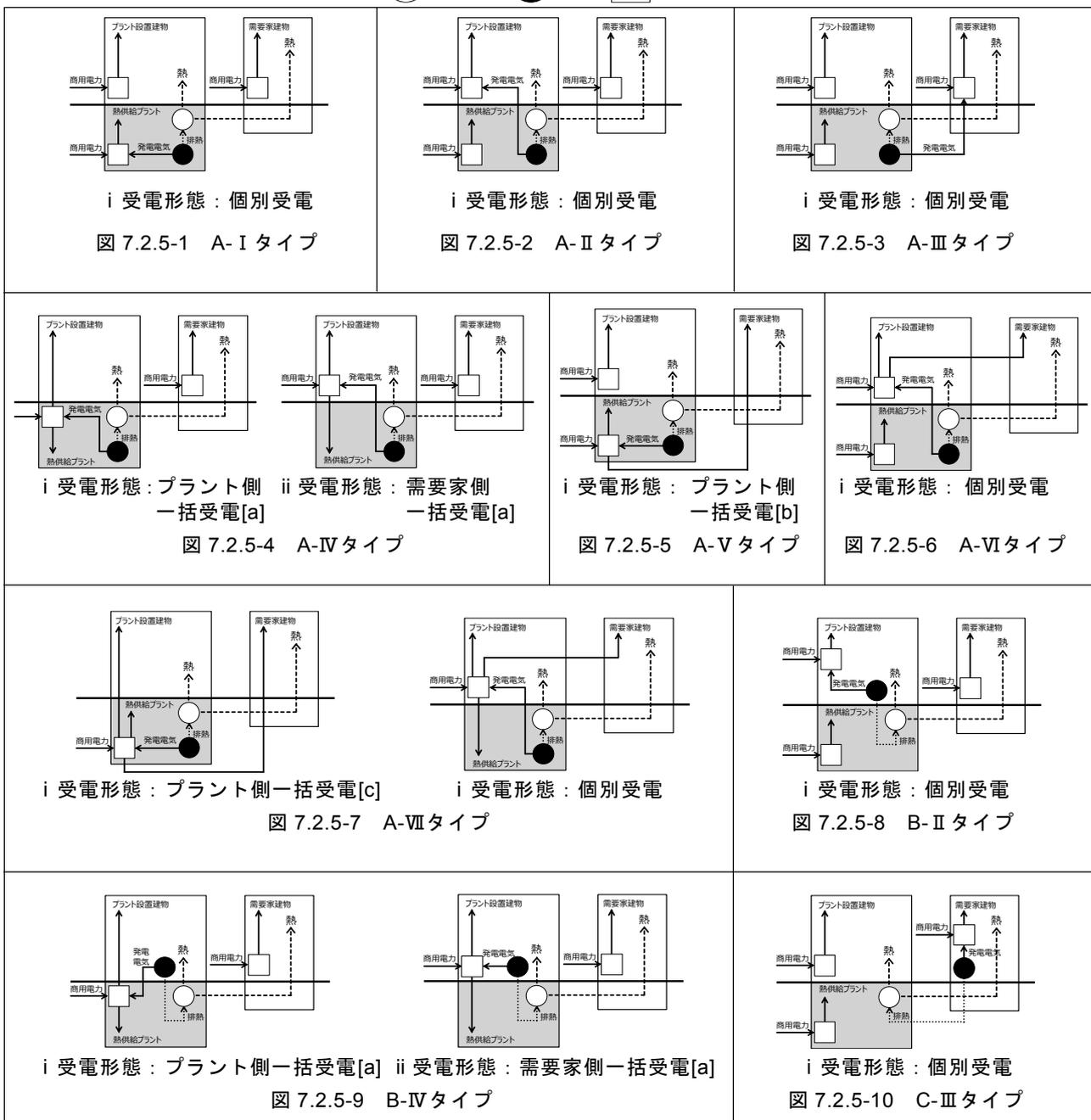


図 7.2.5 CGS 設置利用形態の系統図

### 7.3 コージェネレーションシステム設置利用形態の調査

#### 7.3.1 調査概要

調査は首都圏の地域熱供給 64 地区の内、天然ガス CGS が導入されている東京都特別区、千葉市、さいたま市の 24 地区を対象に、CGS 設置利用形態を分析するため CGS の設置場所、発電電力の供給先、商用電力の受電方法を文献や熱供給事業者へのヒアリングにより、2015 年度に調査し 17 地区の情報を収集した。また、その他の 7 施設は、情報が非公開だったことや明確な記述を確認できなかったことから十分な調査ができなかった。

7.3.2 調査結果

(1) コージェネレーションシステム設置利用形態

表 7.3.1 に調査により確認できた各地区の CGS 設置利用形態、図 7.3.1 にタイプごとの地域熱供給地区数を示す。実際の地域熱供給地区における CGS 設置利用形態は、調査できた 17 地区の内、A-I タイプが 3 地区(18%)、A-II タイプが 3 地区 (18%)、A-IVタイプが 1 地区 (6%)、A-VIIタイプが 2 地区 (12%)、B-II タイプが 4 地区 (24%)、C-IIIタイプが 1 地区 (6%) あり、A-IIタイプと A-IIIタイプの複合タイプが 1 地区 (6%) あった。また、f 地区と k 地区はそれぞれ A-I タイプであったが、季節により余剰電力を地域熱供給システムエリア外に逆潮流、または自己託送をしていたため条件①よりタイプ分類から除外した。

表 7.3.1 調査を実施した地域熱供給地区の CGS 設置利用形態

地区番号	地域熱供給地区	熱供給開始年	改修の有無	改修年	CGS 設置利用形態のタイプ	該当タイプの系統図
1	a 地区	1971 年 4 月	○	2012 年 12 月	A-II (個別受電) & A-III (個別受電)	図.3-2 i & 図.3-3 i
2	b 地区	1980 年 10 月	○	2003 年 3 月	A-I (個別受電)	図.3-1 i
3	c 地区	1984 年 9 月	○	2013 年 2 月	A-I (個別受電)	図.3-1 i
4	d 地区	1986 年 4 月	○	2005 年 2 月	B-II (個別受電)	図.3-8 i
5	e 地区	1989 年 7 月	○	2008 年 8 月	C-III (個別受電)	図.3-10 i
6	f 地区	1989 年 10 月	○	2007 年 7 月	A-I (個別受電) (自己託送あり)	図.3-1 i
7	g 地区	1989 年 12 月	○	2012 年 7 月	A-I (個別受電)	図.3-1 i
8	h 地区	1992 年 4 月	○	2008 年 10 月	A-II (個別受電)	図.3-2 i
9	i 地区	1994 年 9 月	○	2016 年 1 月	A-II (個別受電)	図.3-2 i
10	j 地区	1998 年 11 月	○	2015 年 7 月	A-VII (一括受電[c] (需要家側))	図.3-7 ii
11	k 地区	2000 年 4 月	○	2012 年 12 月	A-I (個別受電) (逆潮流・自己託送あり)	図.3-1 i
12	l 地区	2000 年 4 月	×	-	B-II (個別受電)	図.3-8 i
13	n 地区	2002 年 10 月	×	-	B-II (個別受電)	図.3-8 i
14	m 地区	2002 年 11 月	×	-	B-II (個別受電)	図.3-8 i
15	o 地区	2003 年 5 月	×	-	A-VII (一括受電[c] (プラント側))	図.3-7 i
16	p 地区	2006 年 2 月	×	-	A-II (個別受電)	図.3-2 i
17	q 地区	2014 年 11 月	×	-	A-IV (一括受電[a] (需要家側))	図.3-4 ii

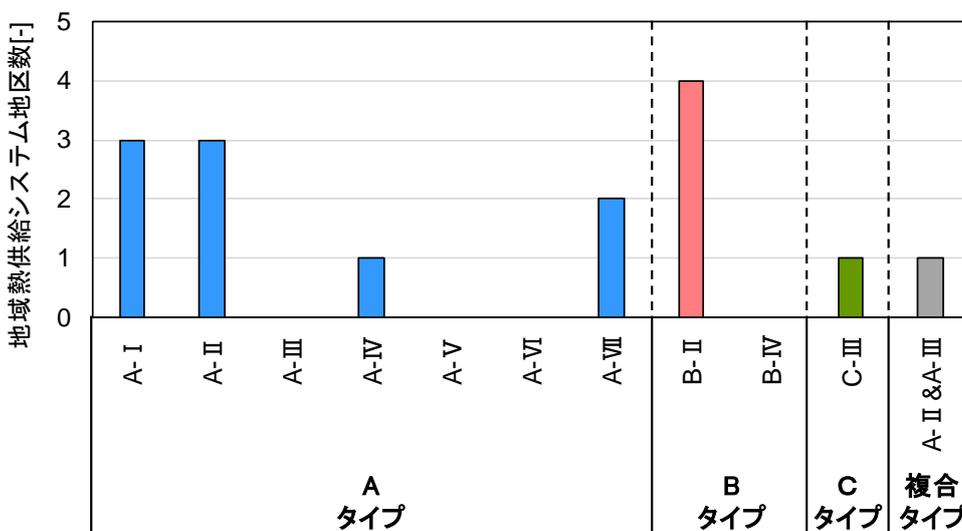


図 7.3.1 CGS 設置利用形態ごとの地域熱供給地区数

(2) 商用電力の受電形態

商用電力を個別受電し CGS が設置された建物内で発電電力を消費する地域熱供給地区は、A-I (b 地区、c 地区、g 地区)、A-II (h 地区、i 地区、p 地区)、B-II (d 地区、l 地区、n 地区、m 地区)、C-III (e 地区) にあたる 11 地区であり、一括受電により消費する地区は A-IV (q 地区) にあたる 1 地区のみであった。

また、A-II タイプと A-III タイプの複合タイプである a 地区は、プラントに設置された 2 台の CGS の内、一台は熱供給プラントが個別受電により発電電力を消費し、もう一台はプラント設置建物外の一般需要家建物専用のもので使用され同建物が個別受電により消費していた。A-VII タイプ (j 地区、o 地区) の 2 地区はどちらも商用電力を一括受電しており、エリア内の施設に対して発電電力を供給していた。これにより、CGS を設置した建物内で発電電力を消費する地区は 17 地区中 12 地区 (71%) であり、CGS を設置した建物外へ供給する地区は 17 地区中 3 地区 (18%) であった。

7.4 コージェネレーションシステムのリニューアル内容とその効果の調査分析

7.4.1 調査概要

表 7.4.1 に地域熱供給地区における CGS 改修実態調査の調査項目を示す。調査は CGS 設置利用形態の調査と同様の方法により CGS 設置利用形態を調査した 17 地区の内、CGS を改修した 11 地区を把握し、この地区を対象に CGS 改修前後の表 7.4.1 の内容を 2016 年度に調査した。また本調査は、上記の調査項目に加え、CGS 改修による平常時、非常時効果を分析するためプラントの熱源システムのエネルギー消費量 (年間電力消費量、年間ガス消費量) と CGS のエネルギー消費量及び発電電力量、排熱回収量 (年間ガス消費量、年間発電電力量の使用内訳 (プラント内熱源システム利用量、補機電力消費量、外部供給量)、年間排熱 (蒸気) 回収量、年間排熱 (温水) 回収量) を調査した。これにより、11 地区の内、6 地区の地域熱供給事業者に対しヒアリングを行い 5 地区のプラントの熱源システムのエネルギー消費量と CGS のエネルギー消費量及び発電電力量、排熱回収量の情報を収集した。また、ヒアリングを行えなかった 5 地区は、文献により改修前後のシステム概要の情報を 3 地区調査したが、残り 2 地区に関しては十分な情報の記載が見られなかった。

表 7.4.1 CGS 改修実態調査の項目

調査項目	調査内容
改修概要	改修の有無、改修年、改修回数
改修前後のシステム概要	発電機概要、プラントエネルギー消費量、CGS エネルギー消費量、CGS 発電電力量、CGS 排熱回収量、排熱の利用方法、プラント受電方法、BOS 対応
非常用発電機概要	改修の有無、改修年、導入年、発電機容量、設置場所、所有者

7.4.2 調査結果

地域熱供給地区における改修前後の CGS 設置利用形態を表 7.4.2 に示す。本報では CGS 改修ケースを、プラントへの新設（3 地区）、需要家への新設（2 地区）、個別受電から一括受電に移行（1 地区）、設置場所の変更（2 地区）、発電電力供給先の変更（1 地区）、非常時対応のみの追加（1 地区）の 6 ケースに整理した。

表 7.4.2 地域熱供給地区における改修前後の CGS 設置利用形態

CGS の改修形態	地区	改修前後	改修前後の CGS 設置利用形態	CGS の設置場所			CGS 発電電力の供給施設			受電方法
				プラント設置建物		一般 需要家	プラント設置建物		一般需 要家	
				プラント側	需要家側		プラント側	需要家側		
CGS 新設 (プラント)	b 地区	前	無し	-	-	-	-	-	-	-
		後	A-I (個別)	○	-	-	○	-	-	個別
	g 地区	前	無し	-	-	-	-	-	-	-
		後	A-I (個別)	○	-	-	○	-	-	個別
	c 地区	前	無し	-	-	-	-	-	-	-
		後	A-I (個別)	○	-	-	○	-	-	個別
CGS 新設 (需要家)	d 地区	前	無し	-	○	-	-	○	-	-
		後	B-II (個別)	-	○	-	-	○	-	個別
	e 地区	前	無し	-	-	-	-	-	-	-
		後	C-III (個別)	-	-	○	-	-	○	個別
一括受電 移行	j 地区	前	A-VI (個別)	○	-	-	-	○	○	個別
		後	A-VII (一括[c])	○	-	-	○	○	○	一括[c]
CGS 設置 場所変更	h 地区	前	B-II (個別)	-	○	-	-	○	-	個別
		後	A-II (個別)	○	-	-	-	○	-	
	i 地区	前	A-II (個別) & B-II (個別)	○	○	-	-	○	-	個別
		後	A-II (個別)	○	-	-	-	○	-	
発電電力 供給先変更	a 地区	前	A-I (個別) & A-II (個別)	○	-	-	○	○	-	個別
		後	A-II (個別) & A-III (個別)	○	-	-	-	○	○	
非常時対応 追加	k 地区	前	A-I (個別) (逆潮流・自己託送あり)	○	-	-	○	-	-	個別
		後	A-I (個別) (逆潮流・自己託送あり)	○	-	-	○	-	-	

※個別受電：個別、一括受電[c]：一括[c]

(1) プラントへの新設

図 7.4.1にb地区, g地区, c地区の改修前後のシステム比較図を示す。

改修前はCGSが導入されていない一般システムであった。そして、2012年にプラントへCGSが新規導入され発電電力がプラントに供給されるようになり、改修後のCGS設置利用形態がA-Iタイプになった。また、b・c地区も同様の改修を行った。

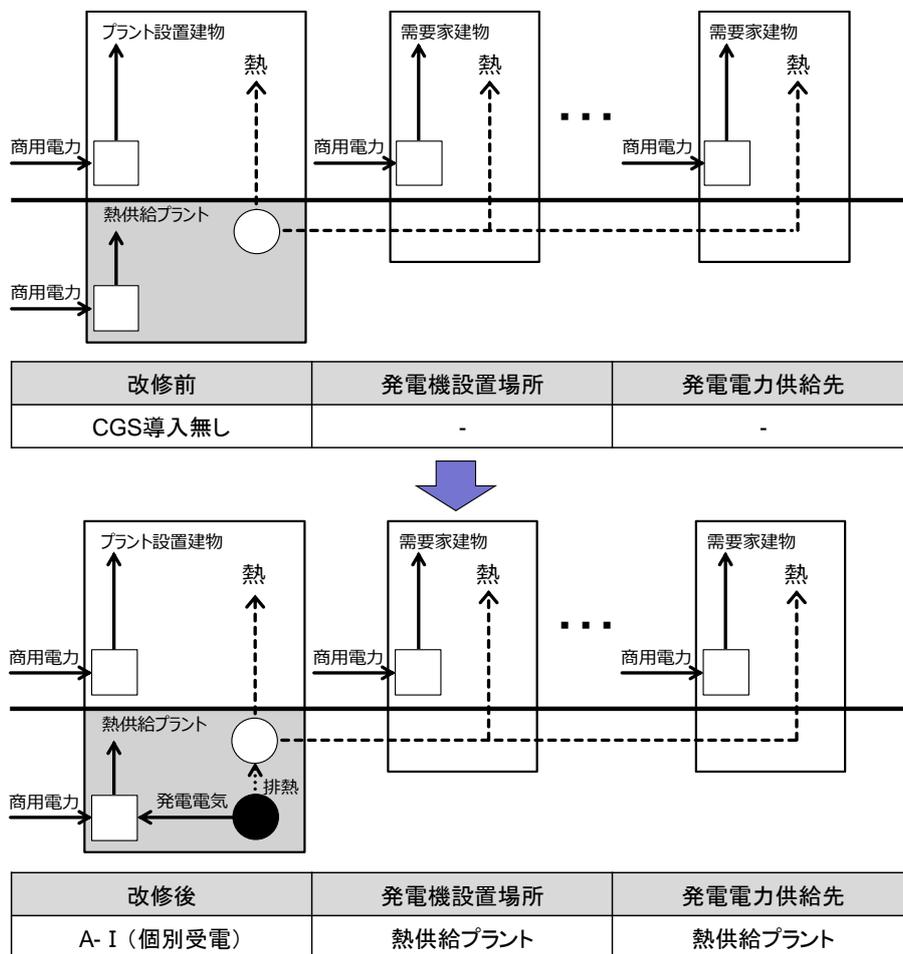


図 7.4.1 b地区、g地区、c地区の改修前後のCGS設置利用形態の系統図

(2) 需要家への新設

a) プラント設置建物新設時に需要家側に CGS が新規導入された場合

図 7.4.2 に d 地区の改修前後のシステム比較図を示す。

d 地区は、改修前は一般システムであった。そして、2005 年にサブプラントが設置された需要家建物が新設し、需要家側に設置された CGS から発電電力が同建物の需要家に供給されるようになった。これにより、改修後の CGS 設置利用形態が B-II タイプになった。

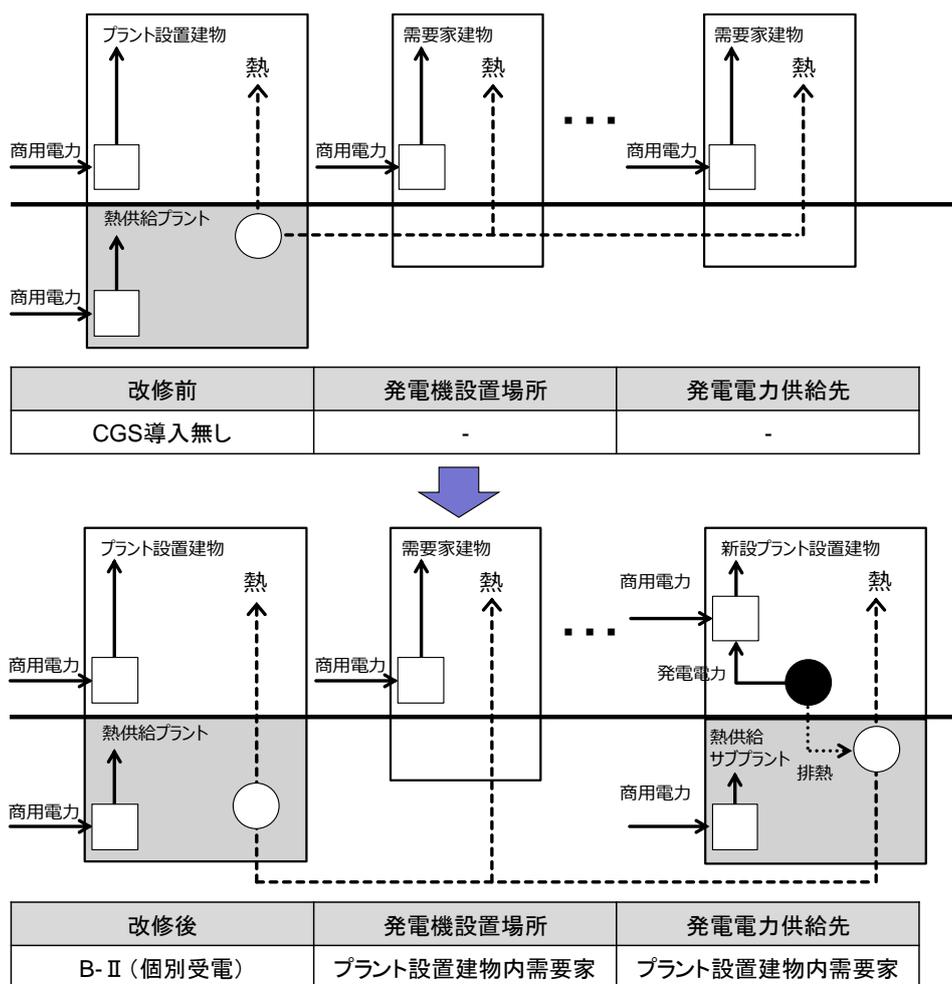


図 7.4.2 d 地区の改修前後の CGS 設置利用形態の系統図

b) 一般需要家新設時に CGS が新規導入されたケース

図 7.4.3にe地区の改修前後のシステム比較図を示す。

e 地区は、改修前は一般システムであった。そして、2008 年に新設された一般需要家建物に CGS が新規導入され、改修後の CGS 設置利用形態が C-IIIタイプになった。

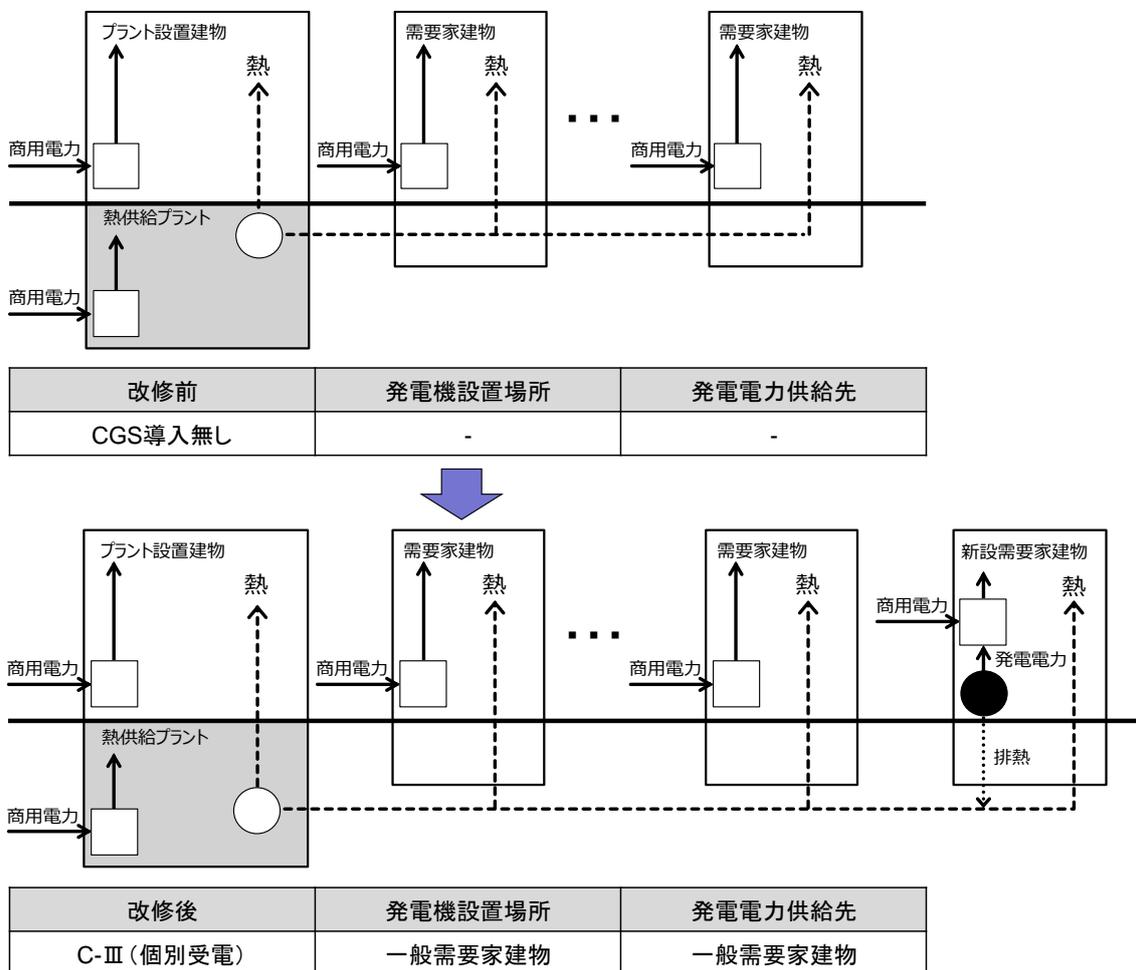


図 7.4.3 e 地区の改修前後の CGS 設置利用形態の系統図

(3) 個別受電から一括受電に以降

図7.4.4にj地区の改修前後のシステム比較図を示す。

j地区は、改修前のCGS設置利用形態がA-VIタイプであった。そして、2015年に三者が一括受電しプラントとプラント設置需要家建物、一般需要家建物で発電電力を消費するようになり、改修後のCGS設置利用形態がA-VIIタイプになった。

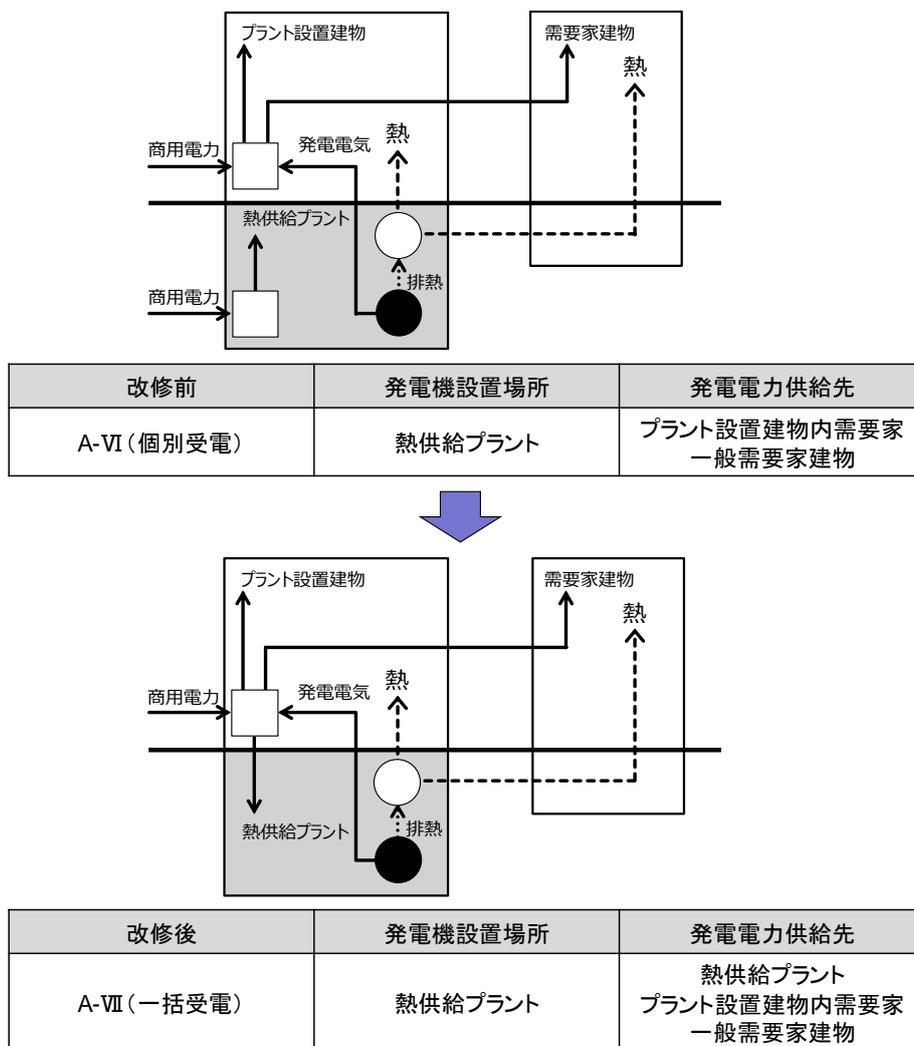


図 7.4.4 j 地区の改修前後の CGS 設置利用形態の系統図

(4) 設置場所の変更

a) 設置場所がプラント設置建物内需要家からプラントに移動したケース

図7.4.5にh地区の改修前後のシステム比較図を示す。

h地区は、改修前のCGS設置利用形態がB-IIタイプであった。そして、2005年にプラント設置建物の需要側に設置されていたCGSを撤去し、CGS設置場所をプラントに変更した。これにより、改修後のCGS設置利用形態がA-IIとなった。

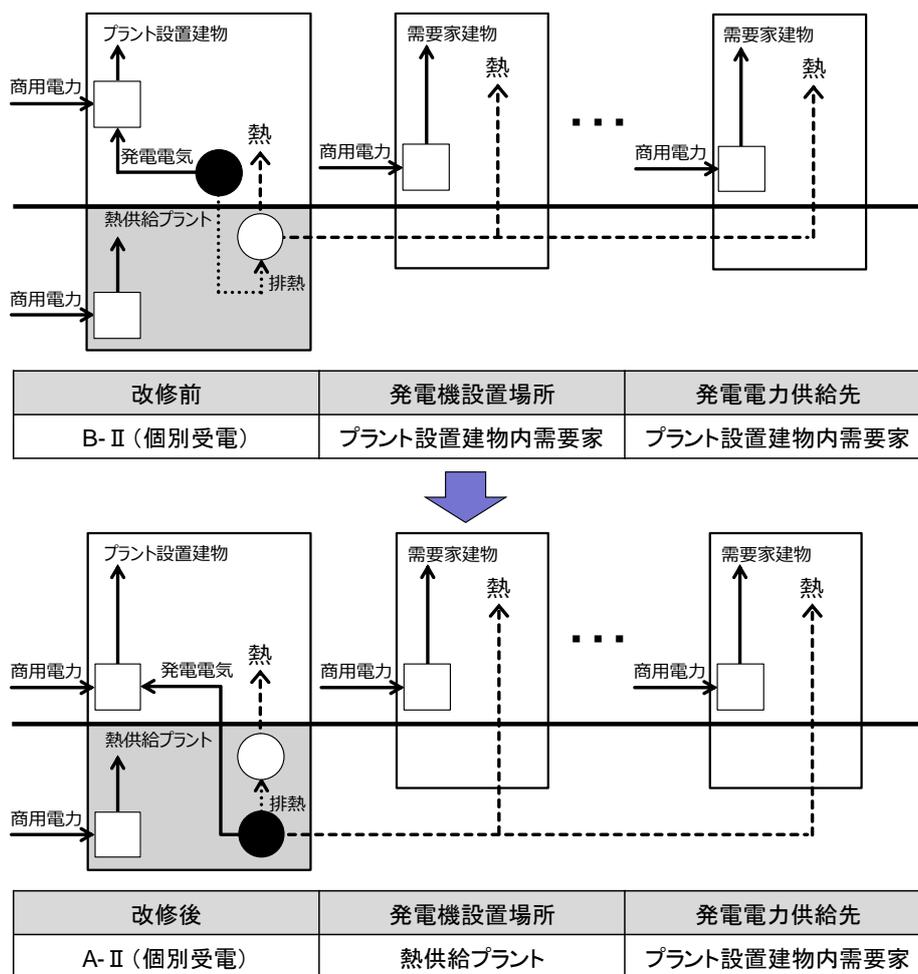


図 7.4.5 h 地区の改修前後の CGS 設置利用形態の系統図

b) プラントとプラント設置建物内需要家に設置されていたCGSが集約したケース

図7.4.6にi地区の改修前後のシステム比較図を示す。

i地区は、改修前のCGS設置利用形態がA-IIタイプとB-IIタイプの複合タイプであった。そして、2016年にプラントとプラント設置建物内需要家の2箇所を設置されていたCGSをプラントに集約したことにより、改修後のCGS設置利用形態がA-IIタイプとなった。

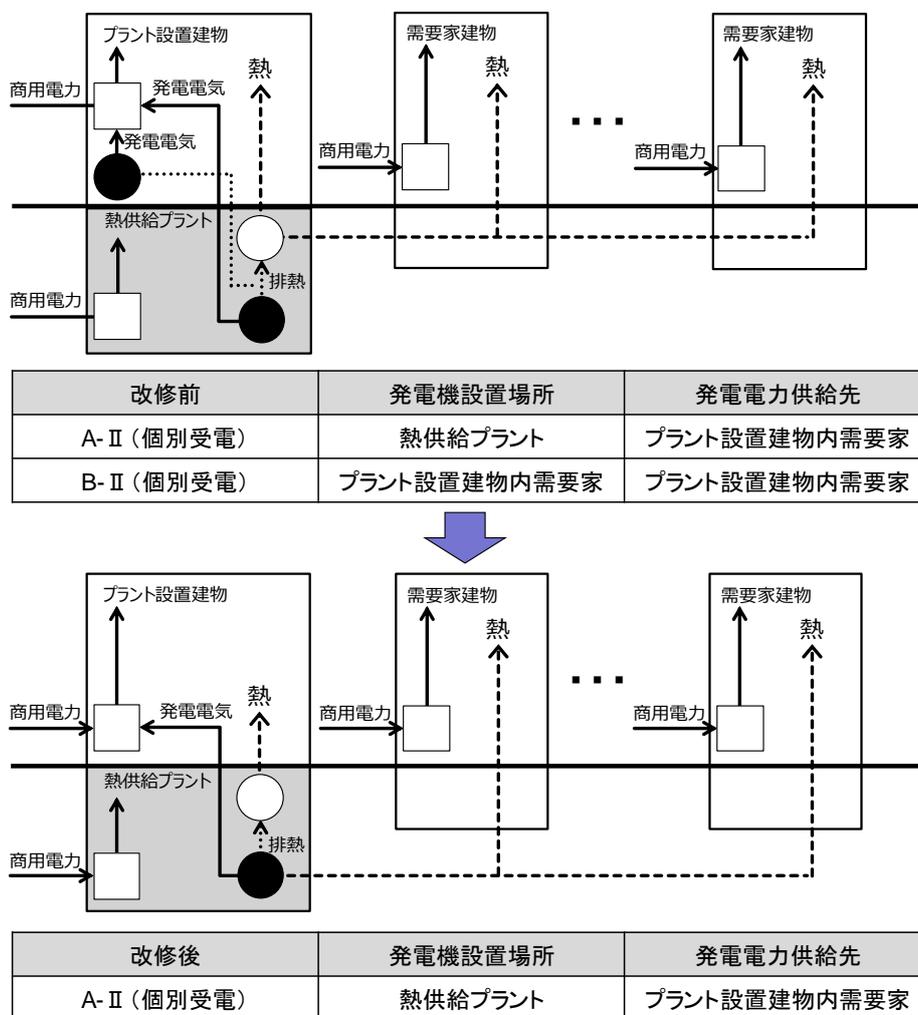


図 7.4.6 i地区の改修前後のCGS設置利用形態の系統図

(5) 発電電力の供給先が変更

図7.4.7にa地区の改修前後のシステム比較図を示す。

a地区は、改修前のCGS設置利用形態がA-I とA-II タイプの複合タイプであった。そして、2012年に発電電力の供給先をプラントとプラント設置建物内需要家からプラント設置建物内需要家と一般需要家建物に変更したことにより、改修後のCGS設置利用形態がA-II とA-IIIタイプの複合タイプになった。

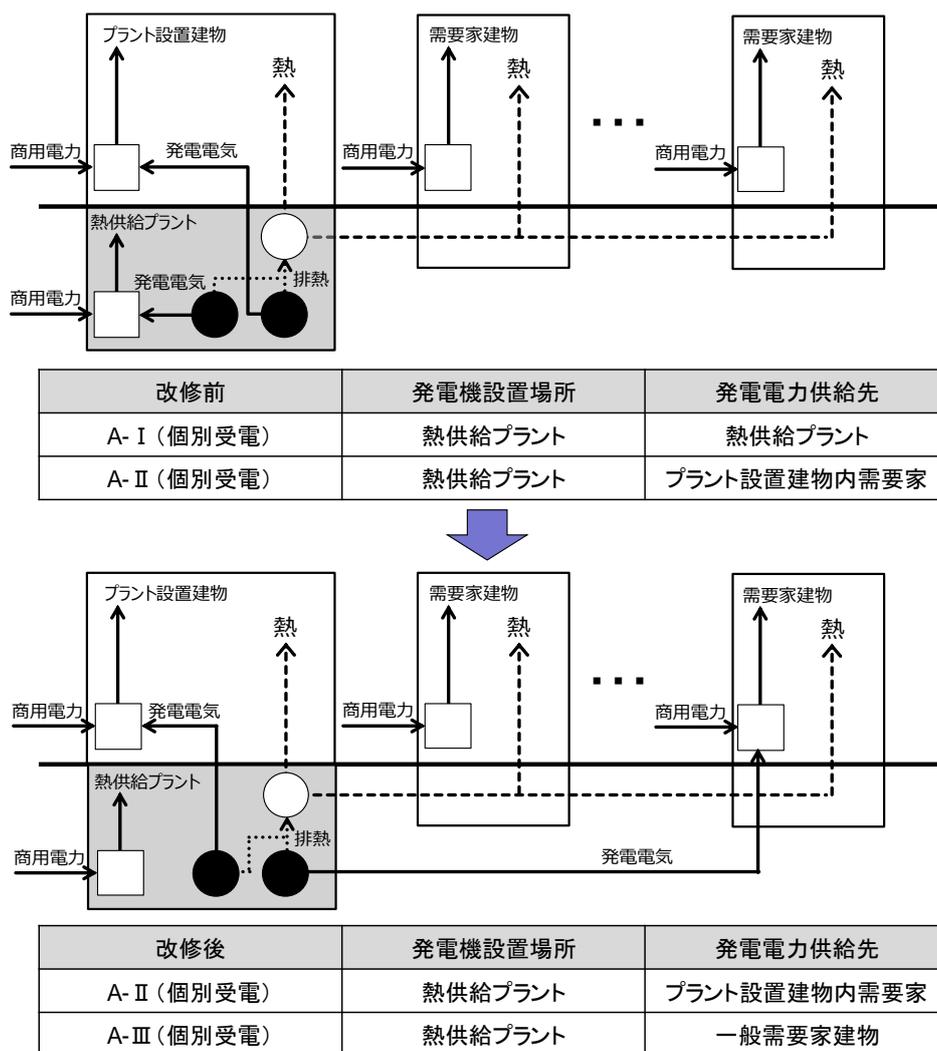


図 7.4.7 a 地区の改修前後の CGS 設置利用形態の系統図

(6) 非情時対応のみの追加

k 地区は、CGS 本体の改修ではなくプラントに設置されていた CGS をブラックアウトスタート対応 (BOS(Black out start) : 商用電力停電時に自動で運転を再開する機能) ができるように改修した。

### 7.4.3 改修効果分析

#### (1) 改修効果指標

CGS 改修による平常時の効果を比較するため、CGS 総合効率と地域熱供給システムの熱供給システム効率を効果指標として用いた。それぞれの指標について下記する。

##### a) コージェネレーションシステム総合効率 (HHV)

CGS 総合効率 (EE+HE) は、CGS 発電電力 (GE) を CGS ガス消費量 (GG) で除した発電効率 (EE) (式 1) と、排熱 (蒸気及び温水) 回収量 (S+HW) を CGS ガス消費量 (GG) で除した排熱回収率 (HE) (式 2) を合計し算出した (式 3)。

$$EE=GE/ GG \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

EE : 発電効率 [%]

GE : CGS 発電電力量 [MJ] (換算係数 : 9.76[MJ/kWh])

GG : CGS ガス消費量 [MJ] (換算係数 : 45[MJ/m<sup>3</sup>])

$$HE=(S+HW)/ GG \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

HE : 排熱回収率 [%]

S : 排熱 (蒸気) 回収熱量[MJ]

HW : 排熱 (温水) 回収熱量 [MJ]

$$TE=EE+HE \dots\dots\dots (3)$$

TE : 総合効率 [%]

##### b) 熱供給システム効率

熱供給システム効率 (NE) は、地区内需要家建物への販売熱量 (CL+HL) をプラントの熱源システムのエネルギー消費量を一次換算した値で除して算出した (式 4)。エネルギー消費量は、電気とガス消費量 (E+G) に、CGS ガス消費量の内、熱源システムで利用した CGS 発電電力量と排熱回収量に相当するガス消費量 (A) を加算した値で除し算出した。

CGS で消費するガスは発電電力と回収排熱に転換される。さらに、発電電力は熱源システムの利用分、外部への供給分と CGS 補機電力分の 3 つに転換される。したがって外部への供給分と CGS 補機電力分以外が熱源システムでの利用分となる。本章における、CGS ガス消費量を発電電力分と排熱回収分とに配分する方法は、発電電力は商用電量と同じ一次換算熱量とし、CGS ガス消費量の一次換算熱量からこの値を差し引いた熱量を排熱回収分とした。したがって、そこで本報では、熱源システムで利用した CGS 発電電力量と排熱回収量に相当するガス消費量 (A) は、CGS ガス消費量 (GG) から CGS 補機電力消費量 (SE) と外部への発電電力供給量 (OGE) を一次換算した値を差し引いて算出した (式 5)。

$$NE=(CL+HL)/(E+G+A) \dots\dots\dots (4)$$

NE : 熱供給システム効率[-]

CL : 冷熱販売量[MJ]

HL : 温熱販売量[MJ]

E : 熱源システム商用電力消費量[MJ] (換算係数 : 9.76[MJ/kWh])

G : 熱源システム都市ガス消費量[MJ] (換算係数 : 45[MJ/m<sup>3</sup>])

A : 熱源システムで利用した CGS 発電電力量と排熱回収量に相当するガス消費量[MJ]

$$A=GG-(SE+OGE)\dots\dots\dots(5)$$

SE : CGS 補機電力消費量[MJ] (換算係数 : 9.76[MJ/kWh])

OGE : 外部への発電電力供給量[MJ] (換算係数 : 9.76[MJ/kWh])

(2) 改修効果の分析結果

a) コージェネレーションシステム総合効率 (HHV)

調査地区における改修前後の CGS 総合効率を図 7.4.8 に示す。CGS の改修では、g・e 地区は新規にガスエンジンを導入し、j 地区はタスタービンからガスエンジンに更新し、h 地区はガスエンジンからガスエンジンに更新している。また、a 地区はガスタービンを更新せず発電電力の供給先を変更していた。なお e 地区の総合効率は、CGS ガス消費量 (GG) が調査できなかったため記載していない。

図.6 を見ると、j 地区では、発電効率は 16 ポイント上昇し、排熱回収率は 12 ポイント低下し、総合効率が 4 ポイント程上昇していた。h 地区では、発電効率は 8 ポイント上昇し、排熱回収率は 10 ポイント低下し、総合効率が 2 ポイント低下していた。a 地区では、発電効率 24%に変化は無いが、排熱回収率が 6 ポイント上昇していた。

総合効率が低下した h 地区は、CGS 設置利用形態が B-II タイプ (ガスエンジン) から A-II タイプ (ガスエンジン) に変わったケースであり、改修前後で CGS の発電容量は同程度であった。総合効率低下の要因としては、原動機の発電効率と排熱回収効率のバランスの差異が影響していると考えられる。

また表 7.4.2 に示すように、5 地区における改修前後の CGS 設置利用形態のタイプの組合せが全て異なることと、サンプル数が少ないため、タイプによる傾向を分析するに至らなかった。

b) 熱供給システム効率

調査地区における改修前後のプラント熱供給システム効率を図7.4.9に示す。e 地区は、改修前は CGS の設置はなく、改修後に CGS が設置された。調査では CGS ガス消費量 (GG) と補機電力消費量 (SE) が得られなかった。そのため、代用値を用いて、改修後の熱供給システム効率を推計した。CGS ガス消費量 (GG) は、e 地区の CGS 発電量と 3 地区 ([GJ/h] 地区) の平均発電効率から算出した。補機電力消費量は、e 地区の CGS 発電量と 3 地区の平均補機電力量比率から算出した。

Fig.7 より、各地区において改修前後でプラント熱供給システム効率が向上していた。CGS を新規に設置した地区 (g 地区、e 地区) では、改修前に比べプラント熱供給システム効率が 1.27~1.52 倍向上していた。CGS を更新した地区では、改修前に比べ 1.11~1.43 倍向上していた。

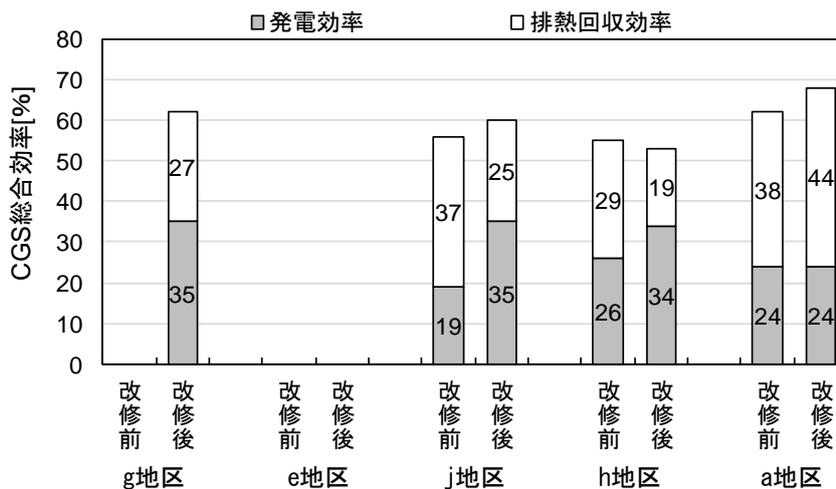


図 7.4.8 CGS 総合効率の改修前後の比較

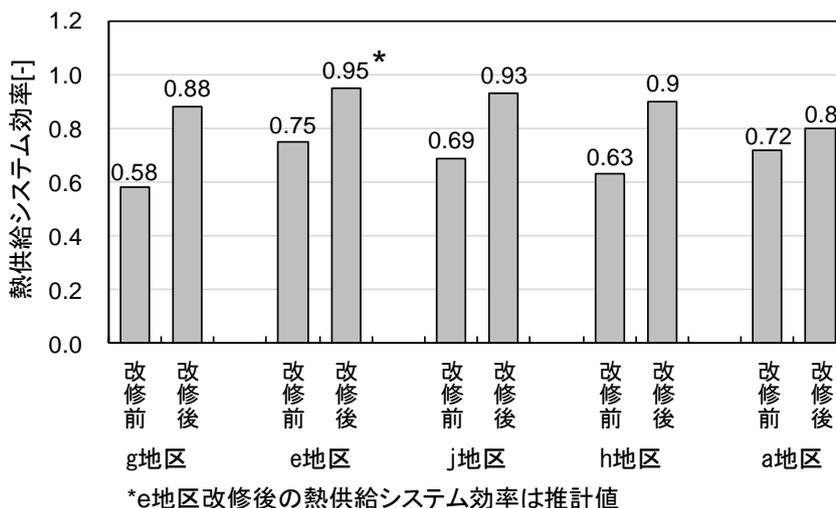


図 7.4.9 プラント熱供給システム効率の改修前後の比較

## 7.5 結論

本章では、既存の地域熱供給システム地区の中で、CGSを持つ地区を研究対象として、そのエネルギーシステム形態を調査し、CGSの設置利用形態をタイプ分類しその特徴を把握した。また、近年CGSを改修あるいは新規導入した地域熱供給システム地区のエネルギーシステムを調査し、改修・新規導入内容を整理した上で、改修によるシステムの平常時、非常時の効果指標を提案・評価し、以下の知見を得た。

- 1) 地域熱供給地区におけるCGS設置利用形態は、プラントにCGSが設置される形態を7タイプ、プラント設置建物内需要家に設置される形態を3タイプ、一般需要家建物に設置される形態を1タイプ、計10タイプに整理した。そして、各タイプの商用電力の受電形態を含めると13タイプとなる。
- 2) 首都圏のCGSを導入している24地区の内、東京都特別区、千葉市、さいたま市17地区の調査結果よりCGSを設置した建物内で発電電力を消費する地区は17地区中12地区(71%)であり、CGSを設置した建物外へ供給する地区は17地区中3地区(18%)であった。
- 3) CGSを改修した9つの地域熱供給地区の調査結果より、CGSの改修ケースは、プラントへの新設、需要家への新設、個別受電から一括受電への移行、設置場所の変更、発電電力の供給先が変更、非常時対応のみの追加の6ケースに整理した。
- 4) 改修実態調査を行った9地区の内、プラントの熱源システムのエネルギー消費量とCGSのエネルギー消費量及び発電電力量、排熱回収量を調査できたのは5地区であった。それら5地区のCGS総合効率と地域熱供給システムの熱供給システム効率、地区の非常時電気供給率を算出した。その結果、発電効率は全ての地区で向上しているが総合効率は4~6ポイント上昇する地区や2ポイント低下する地区があった。また、熱供給システム効率は、改修前後で全ての調査地区において1.1~1.4倍に向上する傾向を示した。そして、非常時電気供給率は、改修前後で7~30ポイント上昇する傾向を示した。

### 【参考文献】

- 7-1) 田中翔大・村上公哉：地域エネルギーシステム地区の自立分散型電源の導入形態とその導入効果の調査分析，第50回空気調和・冷凍連合講演会,2016.4
- 7-2) 田中翔大・村上公哉：地域エネルギーシステム地区の自立分散型電源の導入形態とその導入効果の調査分析，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）,2016.8
- 7-3) 田中翔大・村上公哉：地域エネルギーシステム地区の自立分散型電源の導入形態とその導入効果の調査分析，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集（鹿児島）,2016.9



# 第8章 ターミナル周辺地区における コージェネレーションシステムと 既存地域熱供給システム連携効果の モデルスタディ



## 第8章 ターミナル周辺地区における CGS と既存 DHC 連携効果のモデルスタディ

### 8.1 研究概要

本章ではこれまでの研究で整理した基礎資料を用いて、ターミナル周辺地区において地域熱供給システムの効率向上を検討するモデルスタディを行う。ターミナル周辺地区は、「都市再生特別措置法」において、都市開発事業などにより緊急かつ重点的に市街地整備を推進する都市再生緊急整備地域に指定される等、今後発生するとされる首都直下型地震時にライフライン寸断時の事業継続対策や帰宅困難者の安全確保が求められている。この課題を解決するためには、電気・熱の自立分散型面的エネルギーシステムを整備することが有効であると考えられる。

本研究ではターミナル周辺地区内に整備されている既存地域熱供給システムと CGS を用いた連携システムを提案し、T 駅周辺とその周辺にある既存地域熱供給地区を対象に連携システムのモデルスタディを行う。また、連携システムの導入効果として、平常時は地域熱供給システムのエネルギー効率の変化を分析する。非常時の導入効果は地域熱供給システムと連携した CGS によるモデルスタディ対象エリア内の建物の非常発電機に対する災害時の電力供給度合いを示した災害時電源カバー率を提案し分析を行った。

### 8.2 ターミナル周辺地区におけるコージェネレーションシステムと既存地域熱供給システムとの連携システムの提案

#### 8.2.1 地域熱供給システムの集積度合いの把握

はじめに、地域熱供給システムのターミナル周辺地区における集積度合いを把握する。本研究では、「都市再生特別措置法」で指定されている特定都市再生緊急整備地域内の乗降客数が最も多い駅をターミナル駅とした。図 8.2.1 に各特定都市再生緊急整備地域内の地域熱供給の整備数を示す。この結果、13 地域中、12 地域に地域熱供給が整備されていることが分かった。

特定都市再生緊急整備地域によってはエリアが広大であることから、実際にターミナル駅周辺に地域熱供給システムが整備されているかを把握するため、GIS を用いて各地域のターミナル駅から地域熱供給プラント設置建物までの距離を算出した。図 8.2.2a) に特定都市再生緊急整備地域内のターミナル駅を中心とした 500[m] 単位の距離帯の地域熱供給システムの集積度合いを示す。また、図 8.2.2b) に特定都市再生緊急整備地域外の乗降客数が最も多い駅を中心とした地域熱供給システムの集積度合いを示す。これらのグラフは特定都市再生緊急整備地域内外ごとに、全国の地域熱供給システム 132 地区を 100% としたときに、どの距離帯にどれだけの割合の地域熱供給が集積しているかを示している。特定都市再生緊急整備地域外では 1km 圏内に地域熱供給システムが約 20% 集積しているのに対し、地域内では約 43% と約半数が集積していることが分かった。

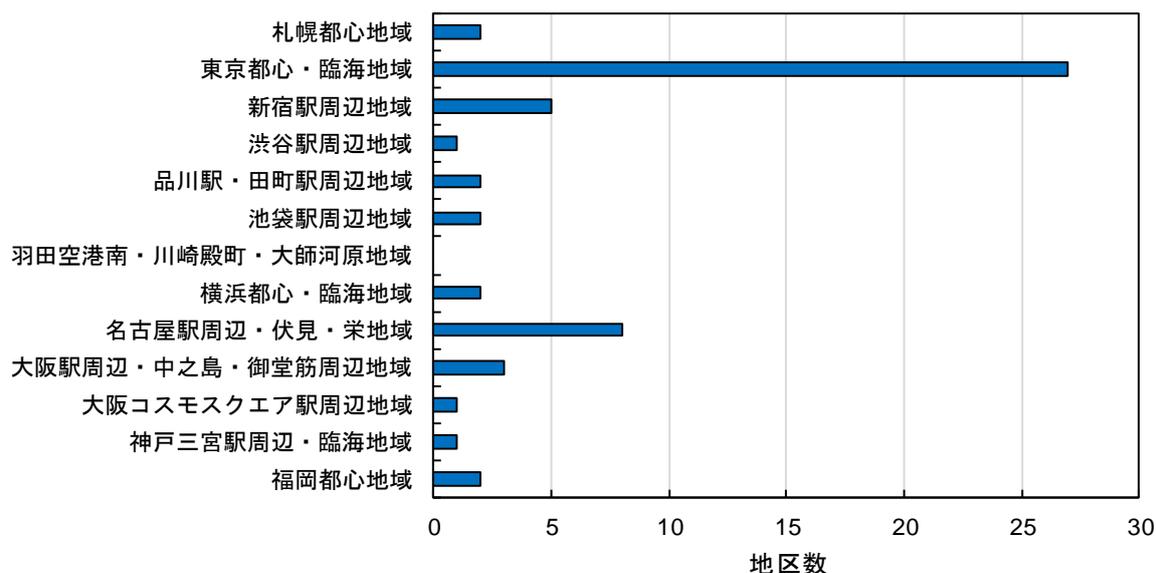


図 8.2.1 各特定都市再生緊急整備地域内の地域熱供給の整備数

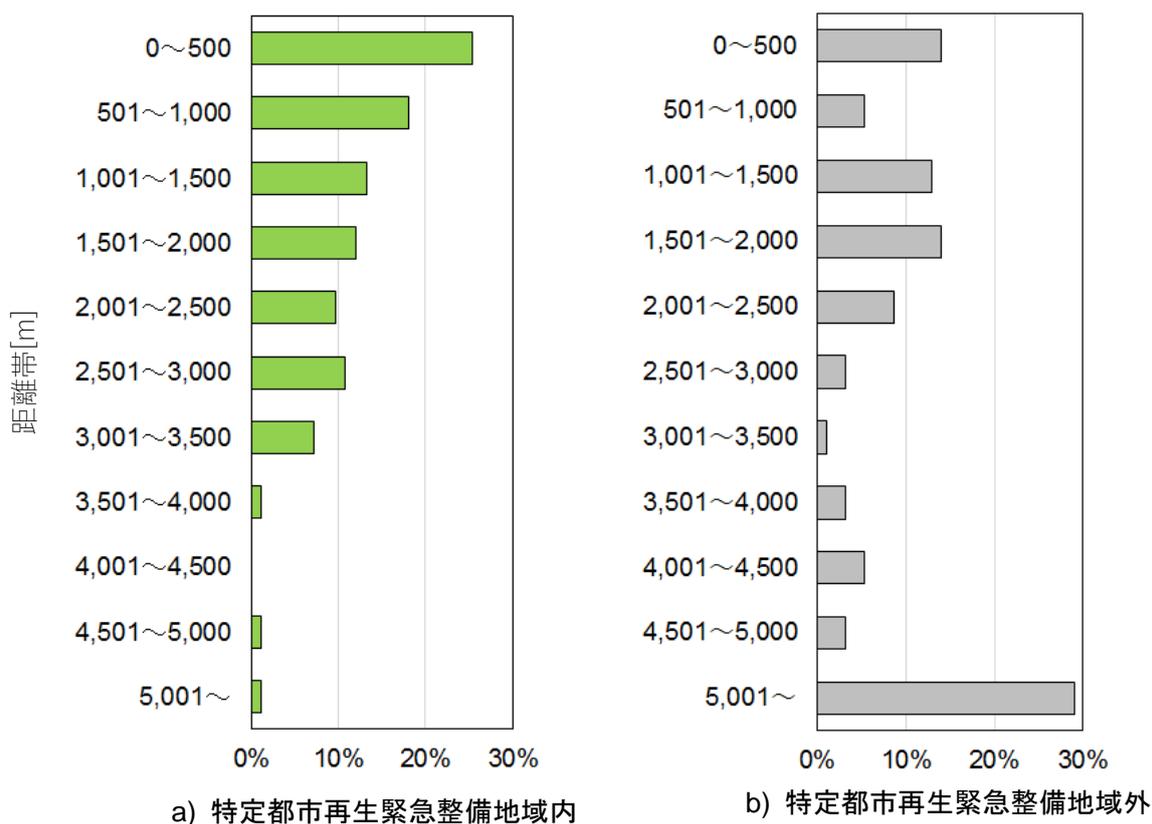


図 8.2.2 ターミナル周辺の地域熱供給システムの集積度合い

### 8.2.2 コージェネレーションシステムと既存地域熱供給システムの連携システムの概要

都市のターミナル駅周辺のようなビジネス機能が集積する業務中枢地区では、大規模な建物が集積しエネルギーを高密度で消費している。このような地域での災害時の安全確保には業務機能・行政機能等の継続を確保するために、退避経路、退避施設、備蓄倉庫等の整備に加え、いったん供給が途絶えると業務・行政機能に深刻な影響を与える電気や熱等のライフラインの寸断への対応を強化することが必要であると考えられる。そこで本研究では、ターミナル周辺地区に集積している地域熱供給システムを活用して、災害に強い中圧ガス管により供給されるガスを用いたガスエンジンコージェネレーションシステム（以下、GE-CGS）と連携したシステムの構築を提案する。

災害時においてターミナル駅周辺に立地している多数の帰宅困難者を受け入れるための一時滞在施設や地下街、主要な業務機能を抱えた建物は、施設の機能維持が重要である。地震等により、ライフラインが寸断された場合、建物に設置されている非常用発電機が稼働し、防災負荷と保安負荷に供給される。しかし、非常用発電機の稼働時間は建物ごとに異なっており、稼働が停止した場合、その建物の機能維持は不可能となる。また、非常用発電機は導入建物によって燃料種別や燃料備蓄量、稼働時間が様々であり、全ての建物が災害発生後 72 時間施設機能を維持するために自前で設備の増強を図ることは困難であると考えられる。

そこで本研究ではこの対応策として、災害時機能継続が必要な建物の非常用発電機を 72 時間稼働できるようにバックアップするシステムとして図 8.2.3 に示すように CGS をターミナル周辺地区に導入すること提案する。また、このコージェネレーションシステムは、発電の際に発生する排熱を有効活用することにより、省エネ性能の向上を図ることが可能である。そのため、CGS の排熱はターミナル周辺の DHC で有効活用する連携システムを構築する。これにより、災害時では地域での建物の機能維持が図られ、平常時では周辺地域熱供給の排熱活用による省エネ化やバックアップ対象施設の契約電力の低減が図られる。

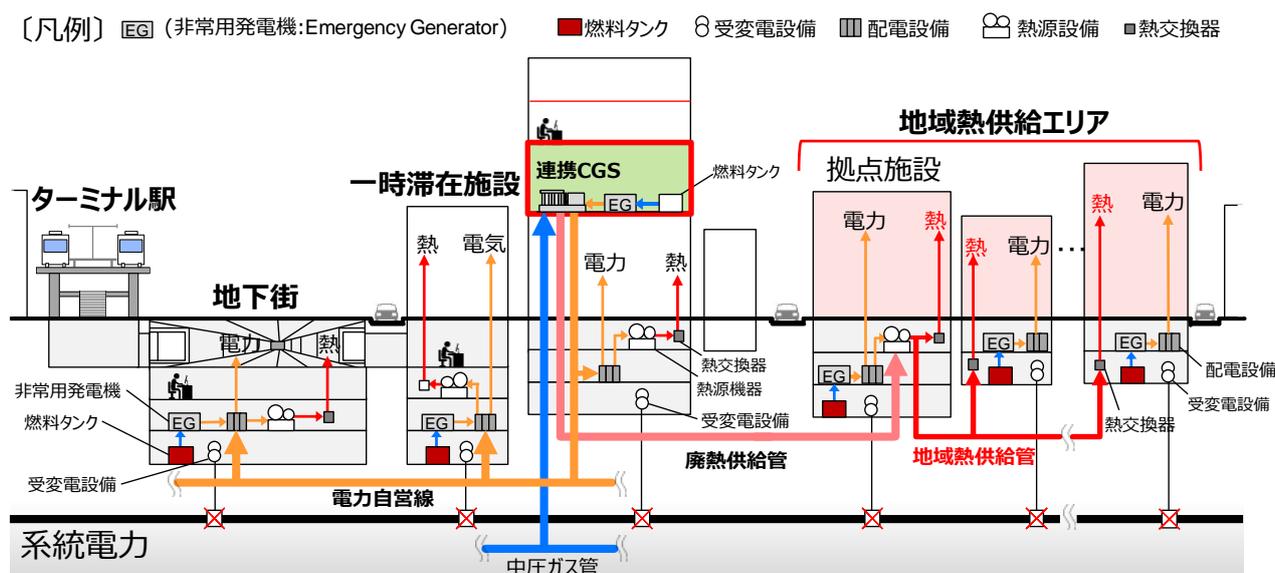


図 8.2.3 CGS と既存地域熱供給システムの連携システムの概念図

### 8.2.3 対象地域におけるエリア防災用地理情報データベースの構築

連携システムの計画を行う上で、CGSの発電容量や電力の供給施設等を検討するためにエリア内の施設情報が必要不可欠である。そのため、計画に必要な情報を調査収集し、エリア防災用情報データベースを構築する。

エリア防災用情報データベースは建物情報データ、地下空間情報データ、地域熱供給情報データの3つで構成される。まず建物情報データについて説明する。元データには、東京都が作成するGIS建物現況データを用いる。このデータには建物施設、建物高さ、建築面積など建物概要が基から格納されており、建物への実態調査等により調査した非常用発電機の容量、種類、稼働時間などの概要や建物延べ床面積などのデータを新たに付与する。また、建物によっては複数の非常用発電機を有している施設も存在するが、全ての発電機の容量を合計値を付与している。

次に地下空間情報データについて説明する。東日本大震災時には地下街が一時滞在施設として有効に活用されてきた背景もあり、災害時の帰宅困難者の受入施設として活用が期待される。元データには(株)ESRI ジャパンが販売する詳細地図に有る地下空間データを用いる。このデータには建築面積、施設高さなどの情報が格納されている。また、受入を行った地下街では空調換気が行われており、それらのエネルギーを確保することが重要である。そのため、地下街の空調設備情報、非常用発電機情報が必要である。都市を構成する要素として地下空間はなくてはならないものであるため、地上の建物情報と地下施設は分けて構築する。

最後に、地域熱供給情報データについて説明する。前項で説明したように、連携システムのCGSの発電排熱は既存地域熱供給システムに供給するため、受入先のシステム情報を把握しなければならない。また、地域熱供給システムでは発電排熱の受入可能量だけでなく、ガス主体システムか電気主体システムかによって排熱の受入可能量が大きく変化するため連携対象として該当するか非該当かの情報や需要家建物の年間の購入熱量データ(熱負荷)も重要である。そのため、第2章で作成した地域熱供給システムGISデータ(熱供給地区、熱供給導管、需要家建物、プラント位置)に第3章で調査した地域熱供給システム需要家の購入熱量データ、熱源システム構成などの情報を結合してデータベースを作成する。

本研究で構築するデータベースでは、基本的に東京都特別区を対象に作成する。また、建物によっては複数の非常用発電機を有しているものも存在するが、全ての発電機の容量を合計したものを非常用発電機容量として組み込んでいる。また、本研究では、地下空間情報データは作成せず建物情報データと地域熱供給情報データを用いて連携システムのモデルスタディを行う。

### 8.2.4 連携システムの計画方法

連携システムのシステム計画は主に既存地域熱供給システムと連携するCGSの容量と排熱を受入れる熱源機器の容量を決定する。初めに、連携システムCGSの発電時排熱の受入先となる既存地域熱供給システムの排熱受入可能量を連携地域熱供給システムの製造熱量である需要家建物の年間の購入熱量データ(熱負荷)の温熱負荷から決定し、排熱受入可能量を賄える排熱を回収するCGSを選定する本研究では主にガスエンジンコージェネレーションシステム(GE-CGS)の設定を想定する。次に排熱を受け入れる熱源機器は、冷熱源機器では、排熱から排熱蒸気・温水が発生するため蒸気

焚きジェネリンクを設定する。CGS が回収する排熱温水を全量利用できる排熱回収容量を持つ機器を選定する。また、温熱源機器機では排熱蒸気・温水を既存地域熱供給システムに直接供給することを想定する。そして、既存地域熱供給システムの熱負荷に対して排熱利用により賄えなかった分の熱量は既存の熱源機器を用いて製造する。

### 8.3 T 駅周辺地区におけるコージェネレーションシステムと既存地域熱供給システムの連携システムのモデルスタディ

#### 8.3.1 モデルスタディの概要

##### (1) 対象エリア

図 8.3.1 にモデルスタディの対象エリアを示す。本研究で提案する連携システムは CGS の発電電力や排熱を周辺の施設や DHC に供給するため、モデルスタディの対象エリアは T 駅周辺で地下街と地域熱供給地区が隣接するエリアとする。

また、この地区では現在再開発計画が立てられており、再開発建物に地域熱供給プラントと CGS が導入され、既存地域熱供給システムと熱融通を行う予定である。そこで、本モデルスタディでは再開発建物に設置した CGS と既存地域熱供給システムの連携システムを想定する。



図 8.3.1 シミュレーション対象エリア

(2) 対象エリア内の地域熱供給システム

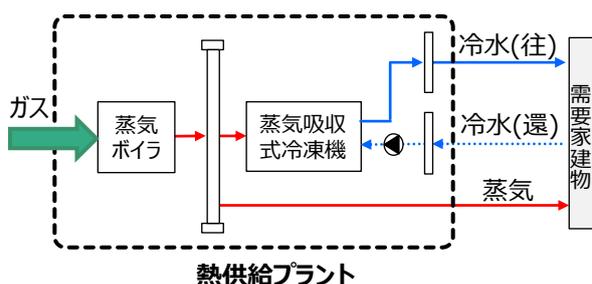
図 8.3.2 に既存地域熱供給地区の需要家建物概要を示す。DHC 内の合計の延床面積は 140,278m<sup>2</sup> であり、①のプラントにあるボイラーと冷凍機で熱を生成し、②から⑩の各建物に供給するシステムである。

図 8.3.3 に既存地域熱供給地区のシステム概要を示す。プラントにあるボイラーと冷凍機で熱を生成し、地域熱供給内の建物 9 棟に冷水温水を供給システムである。冷凍機は二重効用吸収式冷凍機を計 4 台使用しており、ボイラーは貫流ボイラー 5 台と炉筒煙式ボイラー 2 台の計 7 台を使用している。



No.	需要家	延床面積[m <sup>2</sup> ]
①	プラント	約 1,200
②	a ビル	約 30,000
③	b ビル	約 17,000
④	c ビル	約 10,000
⑤	d ビル	約 7,000
⑥	e ビル	約 6,000
⑦	f ビル	約 17,000
⑧	g ビル	約 4,000
⑨	h ビル	約 22,000
⑩	i ビル	約 26,000

図 8.3.2 既存地域熱供給地区の需要家建物概要



プラント設備	機器名称	能力 [MJ]	台数 [台]
冷熱源	吸収式冷凍機①	7,600	1
	吸収式冷凍機②	15,000	2
	吸収式冷凍機③	24,000	1
温熱源	炉筒煙管ボイラ①	6,800	5
	炉筒煙管ボイラ②	22,000	1

図 8.3.3 既存地域熱供給システムのシステム概要

### 8.3.2 既存地域熱供給システムのシミュレーション

#### (1) 負荷想定

図 8.3.4 に既存地域熱供給地区の需要家建物の延床面積と年間熱負荷を示す。既存 DHC の熱負荷は、需要家建物 9 棟の内、第 3 章の調査で実績値を得られた建物の値を用いて想定する。また、実績値を得られた需要家建物は②b ビル、⑩i ビル、⑦f ビル、⑤d ビル、⑧g ビルの 5 棟である。

実績値が得られなかった需要家建物の熱負荷は、図 8.3.4 の上段に示す実績値が得られた建物の内延床面積が近い建物の熱負荷原単位に熱負荷を算出する需要家建物の延床面積を乗じ求めた。

これらの建物毎の年間熱負荷を用いて想定した既存地区の年間熱負荷は、冷熱が 39,358[MJ/m<sup>2</sup>年]、温熱が 16,264 [MJ/m<sup>2</sup>年]であった。しかし、熱供給事業便覧による年間販売熱量の実績では冷熱が 48,344 [MJ/m<sup>2</sup>年]、温熱が 13,945[MJ/m<sup>2</sup>年]と差異が生じた為、各需要家建物の時刻別熱負荷に対し、冷熱は 1.23、温熱は 0.86 を乗じ補正した値をシミュレーションで用いた。シミュレーションで設定した時刻別熱負荷（平日・休日）を図 8.3.5 に示す。

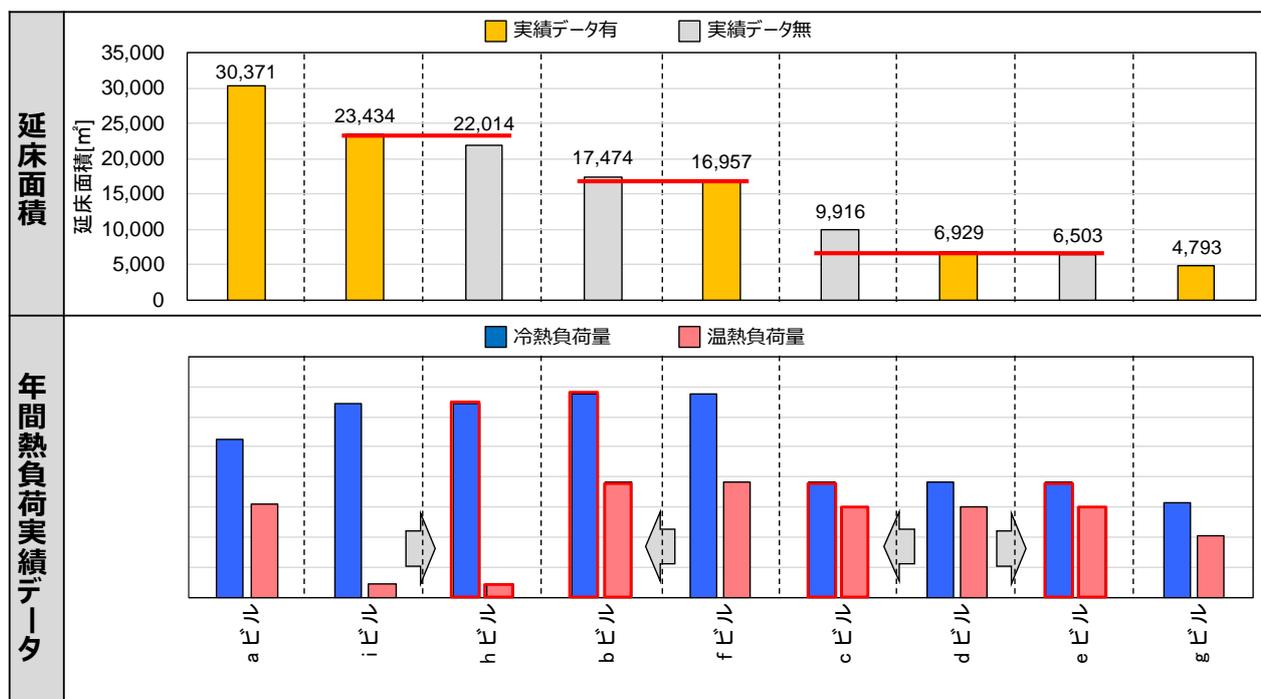
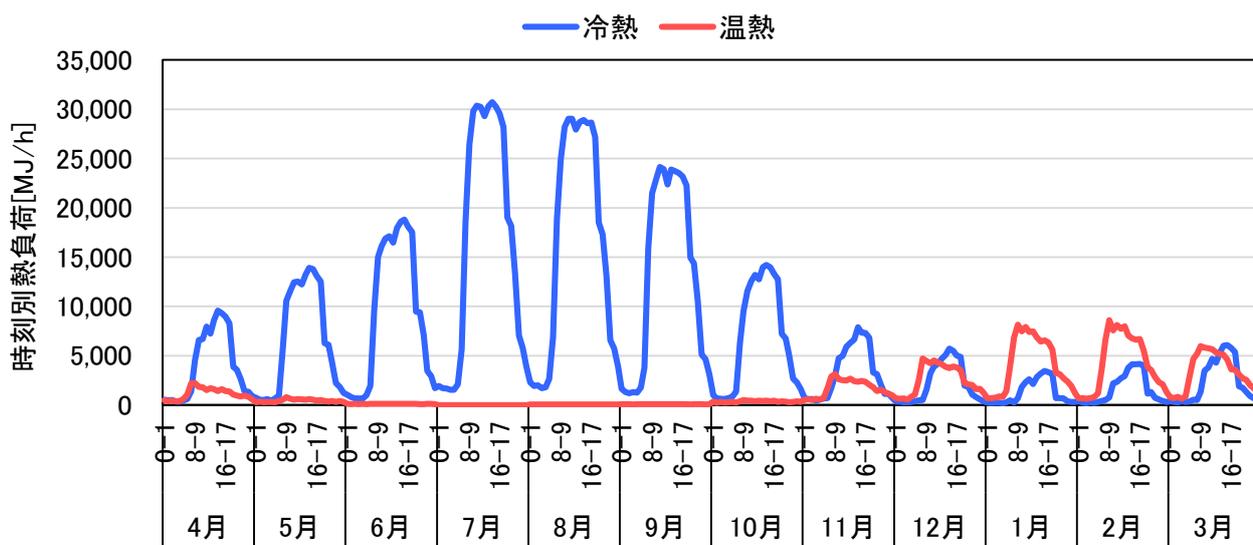
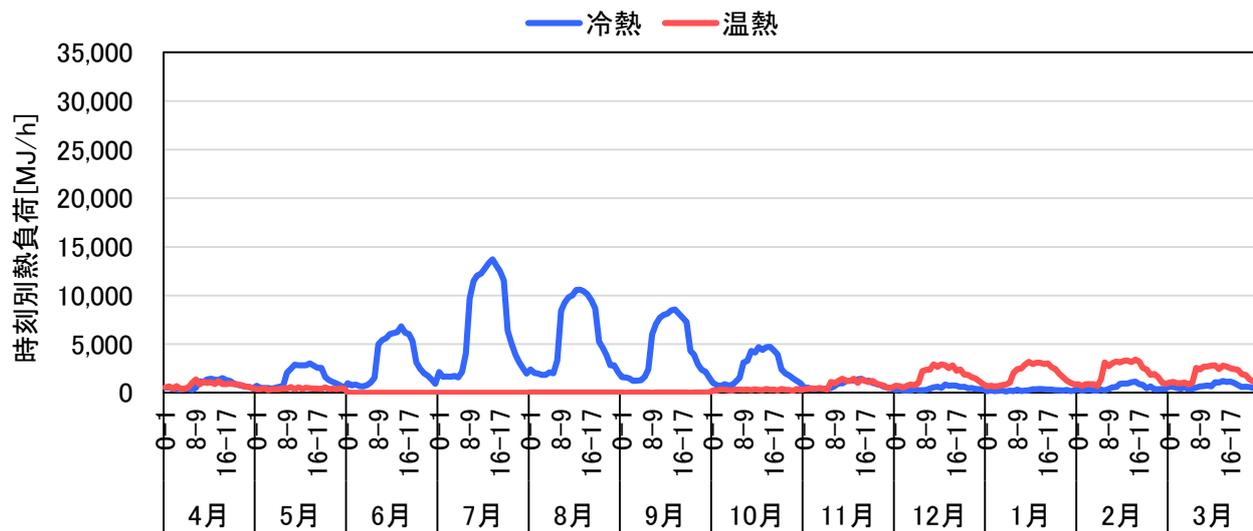


図 8.3.4 既存 DHC 需要家建物の延床面積と年間熱負荷データ



a) 平日負荷



b) 休日負荷

図 8.3.5 シミュレーションに用いる時刻別熱負荷

## (2) 機器選定・運転計画の設定

既存地区の熱源機器は部分負荷効率などの詳細な機器情報が分からないためシミュレーションでは設定できない。そのため、E.I.エンジニアリングの ENPRO21 活用データ集から実際の熱源機器の能力に近似する熱源機器を選定しシミュレーションに用いた。

運転計画は、冷熱源機器では図 8.3.6 に示すように、冷凍機の運転パターンの設定として、昼間を 8～22 時、夜間を 22～8 時と決め、月ごとの負荷に適した能力の機器を優先的に選び、年間 COP が高くなる運転計画で設定する。その結果、吸収冷凍機①7,600[MJ/h]を優先的に動かし、不足分は吸収冷凍機②15,000[MJ/h]、吸収冷凍機③24,000[MJ/h]を稼動する運転パターンを設定した。

温熱源機器では図 8.3.6 に示すように、ボイラーの運転パターンの設定として、吸収式冷凍機と同様に、昼間を 8～22 時、夜間を 22～8 時と決め、炉筒煙管ボイラ①6,800[MJ/h]5 台を負荷に応じ

で稼動する運転パターンを設定した。

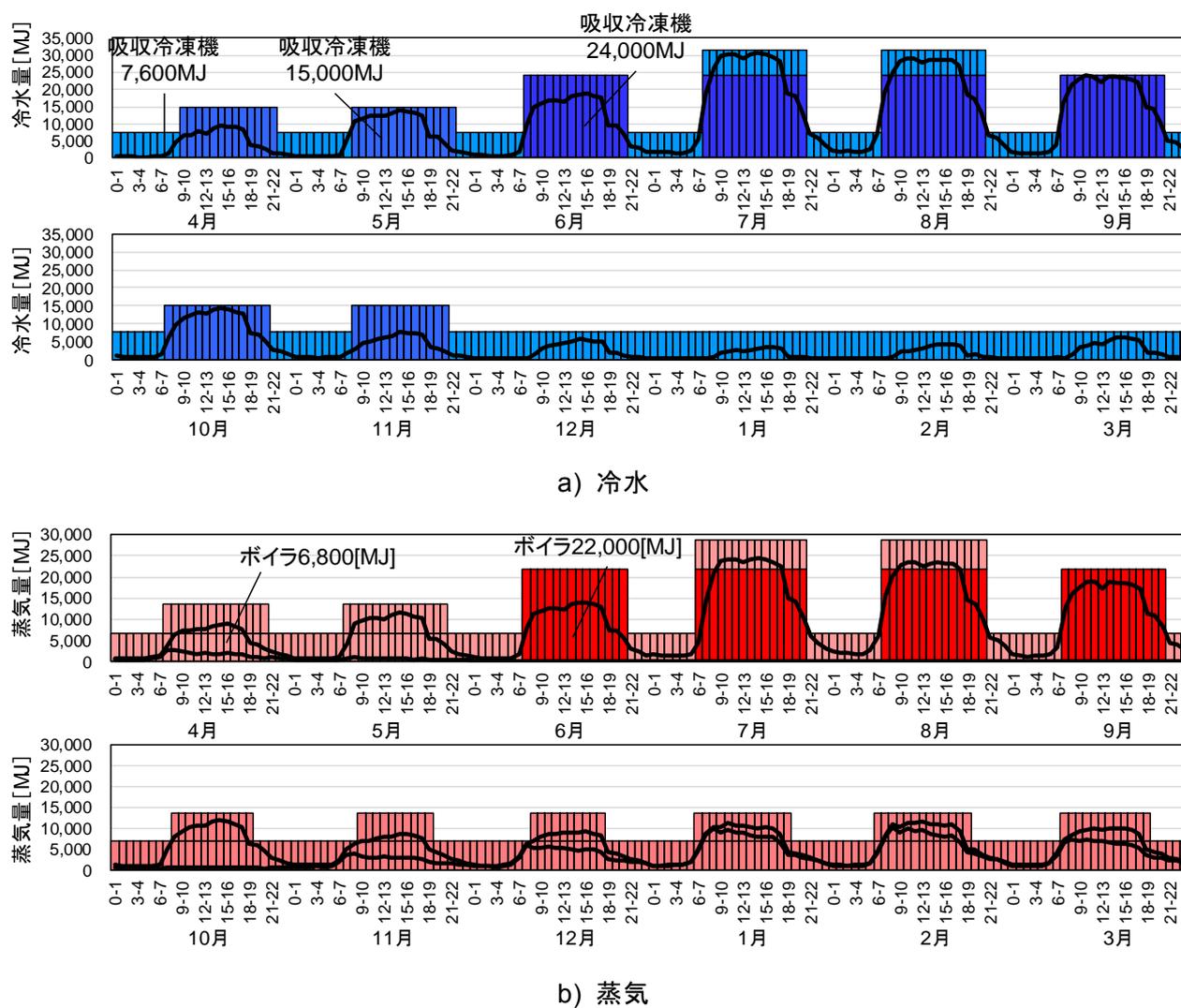


図 8.3.6 熱源機器の運転パターン

### (3) 実績値を用いたシステム効率とシミュレーション結果の比較

図 8.3.7 に既存地区の月毎のシミュレーション結果、図 8.3.8 に年間のシミュレーション結果と熱供給事業便覧の 2008 年度実績値との比較結果を示す。システム効率は式 (1) に示すように冷水・蒸気の製造熱量を設定した熱源機器が消費したガス及び電気消費量の合計値で除した値として算出した。

既存地区のシミュレーション結果より、月毎のシステム効率は 0.64[-]~0.75[-]の値を示しており年間のシステム効率は 0.71[-]であった。図題より熱供給事業便覧から算出した既存地区の 2008 年度実績値は 0.63[-]であり、シミュレーション結果 0.71[-]に対して約 12%小さい値を示した。熱源機器の部分負荷率などの詳細や運転計画を想定して設定しているため実績値と誤差が出たと考えられる。しかし本研究の目的は既存地域熱供給システムの再現ではなく連携システムのモデルスタディであるため、補正などは行わないこととした。

$$NE=(CL+HL)/(E+G) \dots\dots\dots (1)$$

NE：熱供給システム効率[-]

CL：冷熱販売量[MJ]

HL：温熱販売量[MJ]

E：熱源システム商用電力消費量[MJ]（換算係数：9.76[MJ/kWh]）

G：熱源システム都市ガス消費量[MJ]（換算係数：45[MJ/m<sup>3</sup>]）

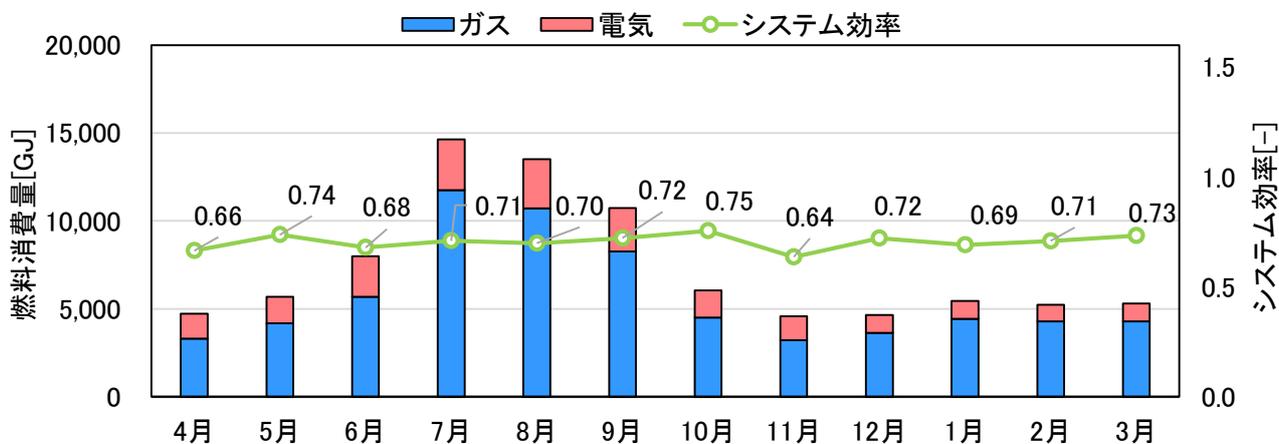


図 8.3.7 既存地区のシミュレーション結果（月毎）

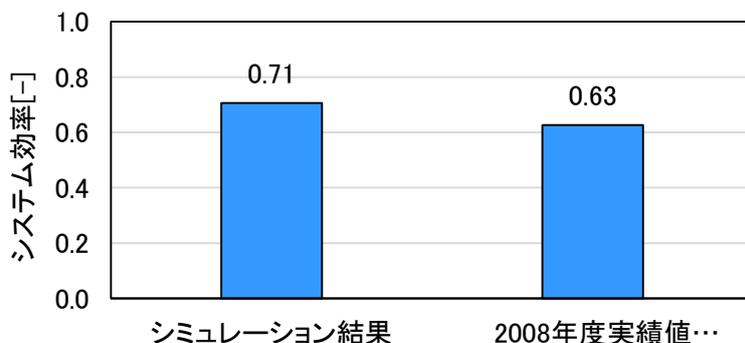


図 8.3.8 既存地区のシミュレーション結果（年間）

### 8.3.3 連携システムのシミュレーション

#### (1) BCD 電源の排熱回収量を基にした発電機器・熱源機器の選定

図 8.3.9 に本モデルスタディにおける CGS の選定フローを示す。CGS のシステム効率を定格通りに稼働させるためには余剰排熱量を少なくすることが重要である。そのため連携システムにおける CGS の設定は、連携する DHC の排熱受入可能量から CGS の回収排熱量を設定し、E.I.エンジニアリングの活用データ集のガスエンジン CGS の中から同程度の排熱を回収できる機器を選定する。

はじめに DHC の排熱受入可能量は、既存地区の温熱負荷に用いる蒸気消費量と再現シミュレーションにより得られた吸収冷凍機に用いる蒸気消費量の合計値を参考に設定した。また、これらの値は再現シミュレーションで設定した熱負荷と同様に各月の時刻別蒸気消費量の平均値である。

次に図 8.3.10 に示す既存地区の温熱負荷と吸収冷凍機に用いる蒸気消費量の合計値の年間の推移の内、就業時間帯の 9 時～18 時に発生する蒸気総消費量の最小値を既存地区の排熱受入可能量として設定した。この結果、本モデルスタディにおける八重洲・日本橋地区の排熱受入可能量は 11 月 9 時台の 6,767[MJ/h]となった。

最後に、E.I.エンジニアリングの活用データ集で記載されている機器性能は kW 表記であるため、排熱受入可能量 6,767[MJ/h]を 3.6 で除した 1,879[kW]を参考に一台あたりの排熱蒸気回収量 654[kW]、排熱温水回収量 546[kW]、発電容量 1,500[kW]のガスエンジン CGS を 3 台選定した。

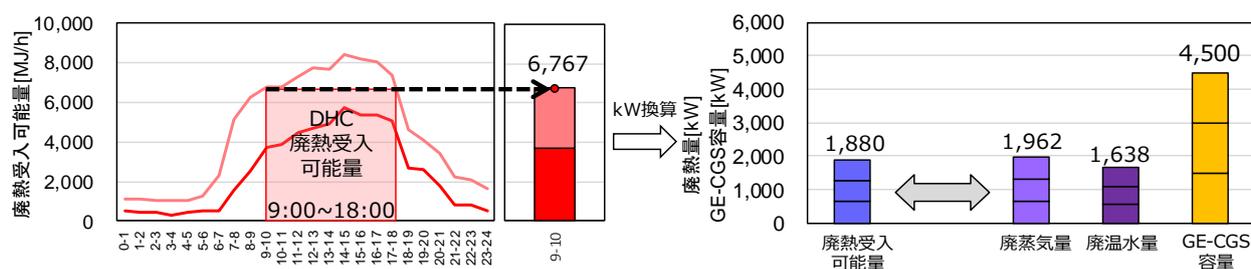


図 8.3.9 本モデルスタディにおける CGS の選定フロー

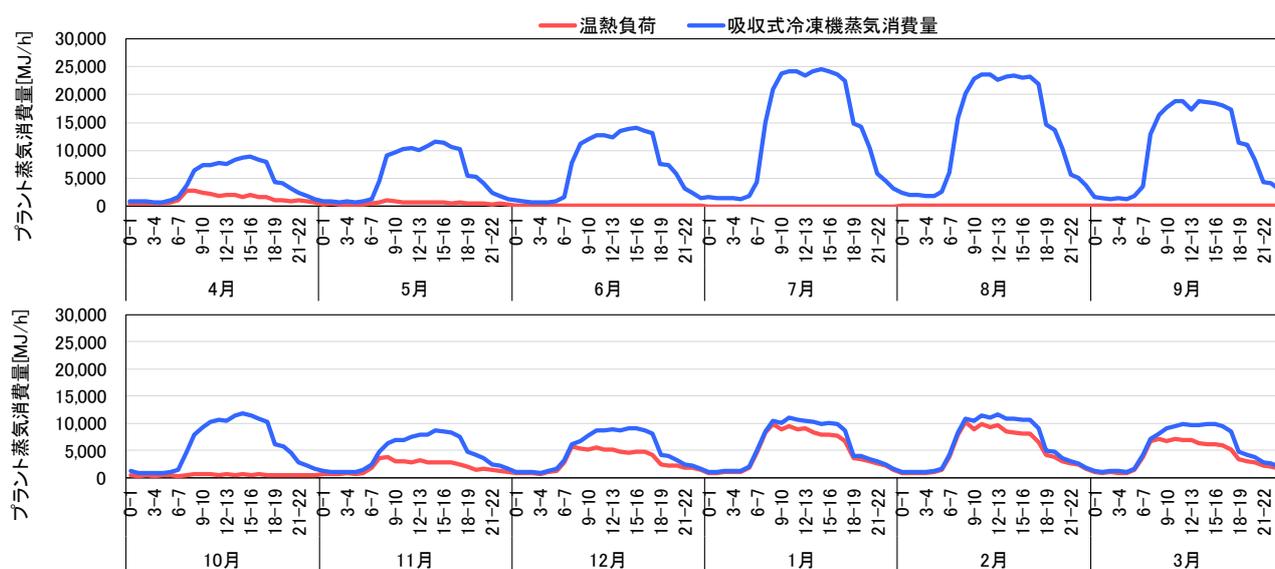


図 8.3.10 温熱負荷と吸収冷凍機に用いる蒸気消費量の年間の推移

a) 冷熱源機器の設定

図 8.3.11 に本モデルスタディにおける冷熱源機器の選定フローを示す。ガスエンジン CGS は排熱を蒸気と温水で回収するが既存地区は蒸気により温熱を供給しているため現状のシステムのままでは排熱温水を活用することができない。そのため、排熱蒸気・温水を用いて冷水を製造する蒸気焚きジェネリンクを既存地区の熱供給プラントに増設し、ジェネリンクで賄いきれない冷熱負荷に応じた冷熱源機器を既存の吸収式冷凍機から選定する。また、E.I.エンジニアリングの活用データ集の蒸気焚きジェネリンクは図 8.3.12 (例：製造冷水熱量 2657[MJ]) に示すように機器稼働率 24%の時に排熱温水消費量が最大となり、負荷率が增加すると共に回収量は減少する。本研究では排熱温水と排熱蒸気の消費量が同程度となる機器稼働率 60%時の排熱温水消費量を参考にジェネリンクを設定する。

はじめに、設定した CGS の排熱温水総回収量 1,638[kW] (5,896[MJ/h]) を参考に稼働率が 60%時の排熱温水回収量 2,549[MJ/h]の蒸気焚きジェネリンクを CGS と同数の 3 台設定した。また、ジェネリンクの総容量は 18,987[MJ/h]となった。

そして、既存地区の再現シミュレーションで設定した年間の時刻別冷熱負荷のピーク値 30,592[MJ/h]からジェネリンク総容量 18,987[MJ]を差引いた 11,605[MJ/h]を賄える既存の吸収式冷凍機 15,200[MJ/h]を選定した。これにより、本モデルスタディの冷熱源機器総容量は 34,187[MJ]となった。

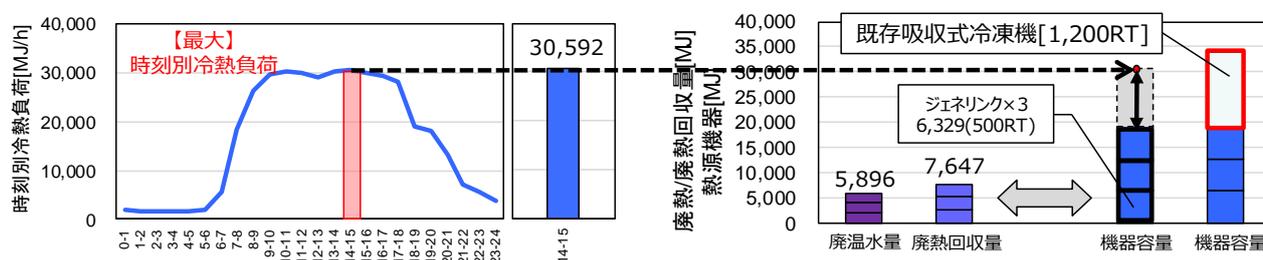
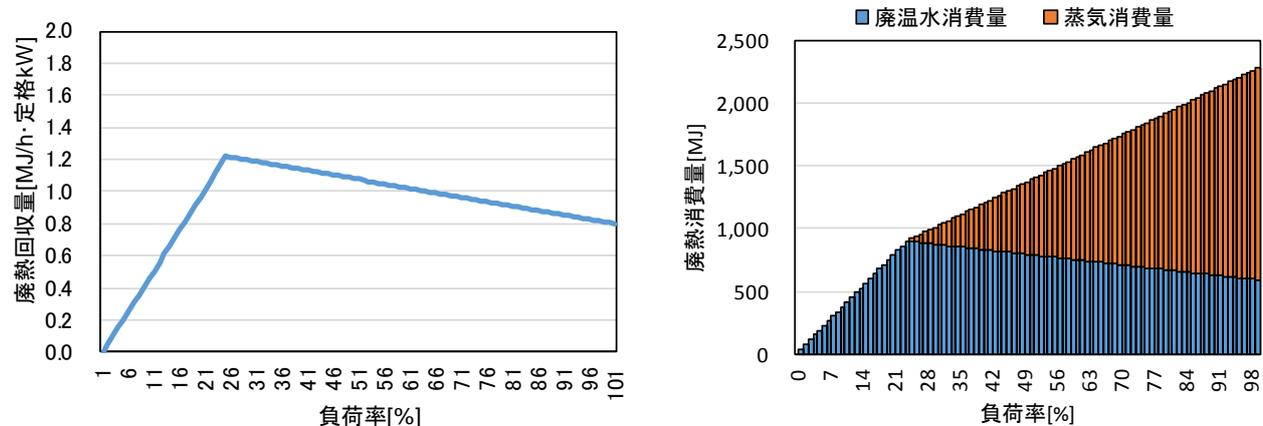


図 8.3.11 本モデルスタディにおける冷熱源機器の選定フロー



a) 排熱回収効率

b) 排熱回収量

図 8.3.12 蒸気焚きジェネリンクの機器特性

(例：E.I.エンジニアリング 活用データ集 製造冷水熱量 2657[MJ])

## b) 温熱源機器の設定

図 8.3.13 に本モデルスタディにおける温熱源機器の選定フローを示す。既存地区は蒸気により温熱を供給しているため CGS の排熱蒸気を直接温熱供給に利用することができる。そのため、排熱蒸気で賄いきれない温熱負荷に応じた温熱原器機を既存の貫流ボイラーから選定する。

既存地区の再現シミュレーションで設定した年間の時刻別温熱負荷のピーク値 10,247[MJ]から CGS の排熱蒸気回収量 2,234[kW]に 3.6 を乗じた 7,063[MJ]を差引いた 3,184[MJ]を賄える貫流ボイラー6800[MJ]を選定した。これにより、本モデルスタディの温熱原器機総容量は 13,863[MJ]となった。

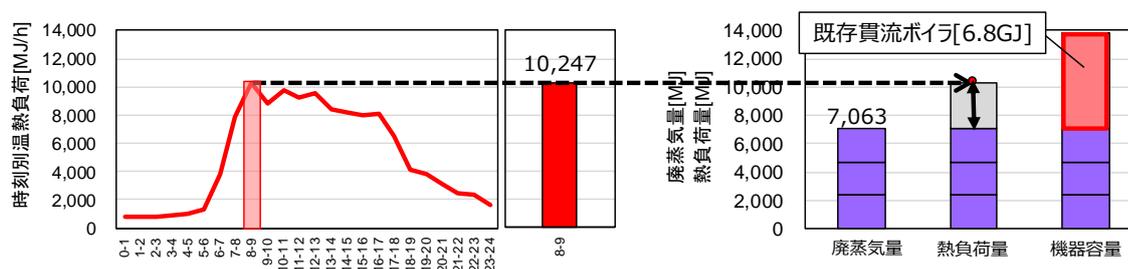


図 8.3.13 本モデルスタディにおける温熱源機器の選定フロー

## (2) 運転計画の設定

運転計画は、冷熱源機器では図 8.3.14 に示すように、連携システム CGS は 8～22 時の稼動を想定した。冷凍機の運転パターンの設定として、既存 DHC のシミュレーションと同様に昼間を 8～22 時、夜間を 22～8 時と設定した。冷熱源機器は CGS が稼動する 8～22 時に蒸気焚きジェネリンク①2,109[MJ]3 台を優先的に稼動し、不足分は吸収冷凍機②15,000[MJ]を稼動する運転パターンを設定した。また、夜間は蒸気焚きジェネリンク①2,109[MJ]1 台を稼動する運転パターンを設定した。

温熱源機器では、CGS が稼動する 8～22 時に CGS から回収される 4,000[MJ]の排熱蒸気を優先的に使用し、不足分は炉筒煙管ボイラ①6,800[MJ]5 台や炉筒煙管ボイラ②22,000[MJ]1 台を負荷に応じて稼動する運転パターンを設定した。また、夜間は炉筒煙管ボイラ①6,800[MJ]1 台を稼動する運転パターンを設定した。

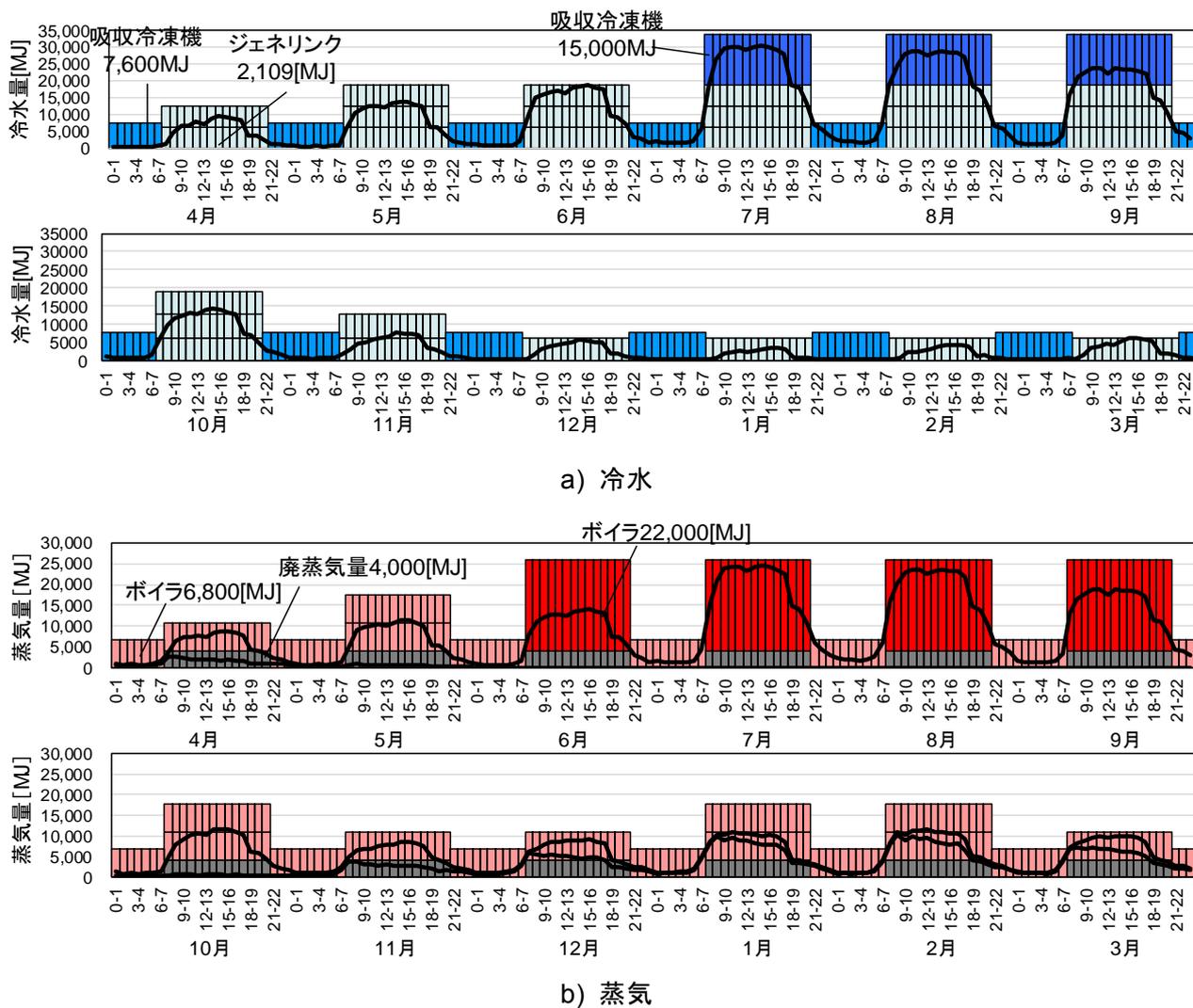


図 8.3.14 熱源機器の運転パターン

(3) 連携前後のシステム効率のシミュレーション結果の比較

図 8.3.15 に既存地区の CGS との連携前後のシステム効率を示す。システム効率は式 (2) に示すように区内需要家建物への販売熱量 (CL+HL) をプラントの熱源システムのエネルギー消費量を一次換算した値で除して算出した (式 4)。エネルギー消費量は、電気とガス消費量 (E+G) に、CGS ガス消費量の内熱源システムで利用した排熱回収量に相当するガス消費量 (A) を加算した値で除し算出した。

CGS で消費するガスは発電電力と回収排熱に転換される。連携システムでは発電電力はプラントでは使用しないため、熱源システムで利用した値に相当するガス消費量 (A) は、CGS ガス消費量 (GG) から CGS 発電電力量 (GE) を一次換算した値を差し引いて算出した (式 3)。

既存地区のシミュレーション結果より、連携後のプラントのエネルギー効率は月毎のシステム効率が 1.03[-]~1.36[-]であり年間のシステム効率は 1.13[-]であった。連携前のエネルギー効率である既存地区の再現シミュレーションの結果と比較し年間を通して連携前のエネルギー効率より大きな値を示し省エネ率は 37[%]であった。

$$NE = (CL + HL) / (E + G + A) \dots\dots\dots (2)$$

NE : 熱供給システム効率[-]

CL : 冷熱販売量[MJ]

HL : 温熱販売量[MJ]

E : 熱源システム商用電力消費量[MJ] (換算係数 : 9.76[MJ/kWh])

G : 熱源システム都市ガス消費量[MJ] (換算係数 : 45[MJ/m<sup>3</sup>])

A : 熱源システムで利用した排熱回収量に相当するガス消費量[MJ]

$$A = GG - GE \dots\dots\dots (3)$$

GG : CGS ガス消費量 [MJ] (換算係数 : 45[MJ/m<sup>3</sup>])

GE : CGS 発電電力量 [MJ] (換算係数 : 9.76[MJ/kWh])

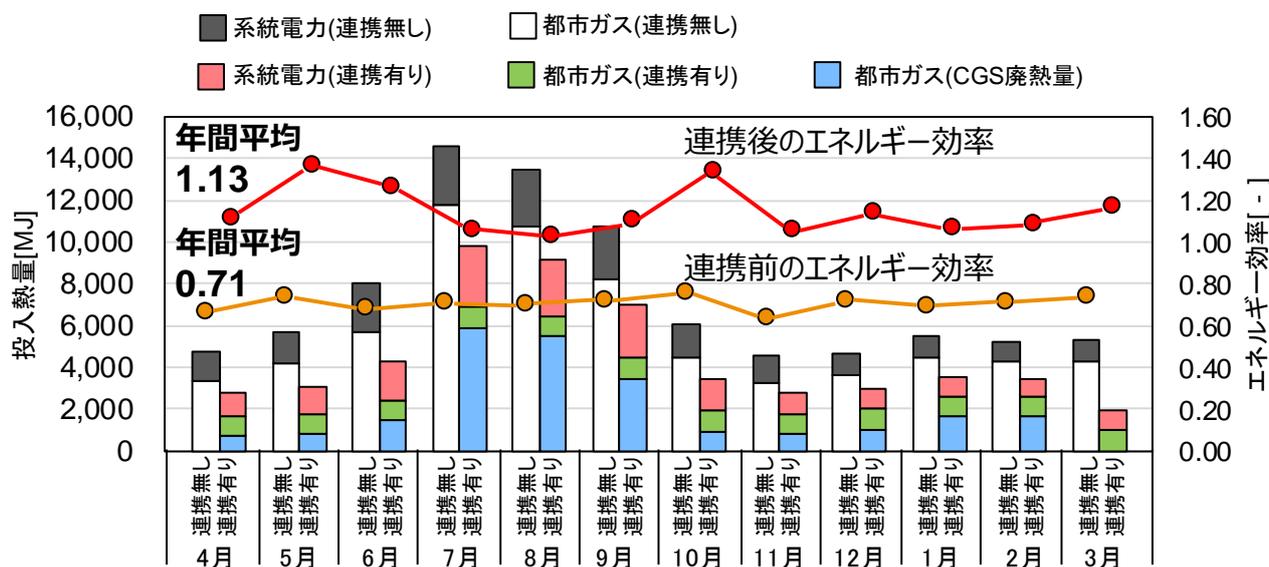


図 8.3.15 連携システムのシミュレーション結果

## 8.4 連携システムによるターミナル周辺地区の災害時電源確保程度の分析

### 8.4.1 連携システムによる災害時電源確保程度の評価指標

災害時の電源確保程度の評価方針のイメージを図 8.4.1 に示す。非常用発電機における稼働時間は機器ごとに異なっており、その使用施設についても建物によって様々である。また、多くの建物は、非常用発電機を災害時の救助の目安とされている 72 時間連続で稼働させることができず、災害時の電力が不足すると考えられる。

そこで本研究では、災害時の救助の目安とされている 72 時間を電力供給の目標値として設定し、連携システムの CGS から発電電気をターミナル駅周辺にある建物の非常用発電機に供給することで 72 時間稼働できるようにバックアップすることを想定する。この際、自前の設備で 72 時間稼働できる非常用発電機には CGS から発電電力を供給しない。

図 8.4.1 のグラフは、横軸を非常用発電機の稼働時間[h]、縦軸をエリア内の非常用発電機容量[kW]とし、横軸（稼働時間）の上限値を、72 時間としている。グラフ全体の面積は、エリア内の非常用発電機が 72 時間稼働した場合の発電電力量、色つきの部分はエリア内の非常用発電機が自前の設備で確保できる発電電力量、白い部分は連携システムの CGS がカバーする電力量を示している。そして、色つきの面積（エリア内の非常用発電機が自前の設備で確保できる発電電力量）に対するグラフ全体の面積（エリア内の非常用発電機が 72 時間稼働した場合の発電電力量）の増加率を災害時電源カバー率とし評価に用いる災害時電源カバー率の算出方法を式（4）に示す。

$$P_{ca} = AP / \sum_{h=1}^{72} Ph \dots\dots\dots (4)$$

$P_{ca}$  : 災害時電源カバー率[%]

$AP$  : エリア内の非常用発電機が 72 時間稼働した場合の発電電力量[kW]

$Ph$  : h 時におけるエリア内の非常用発電機の発電電力量[kW]

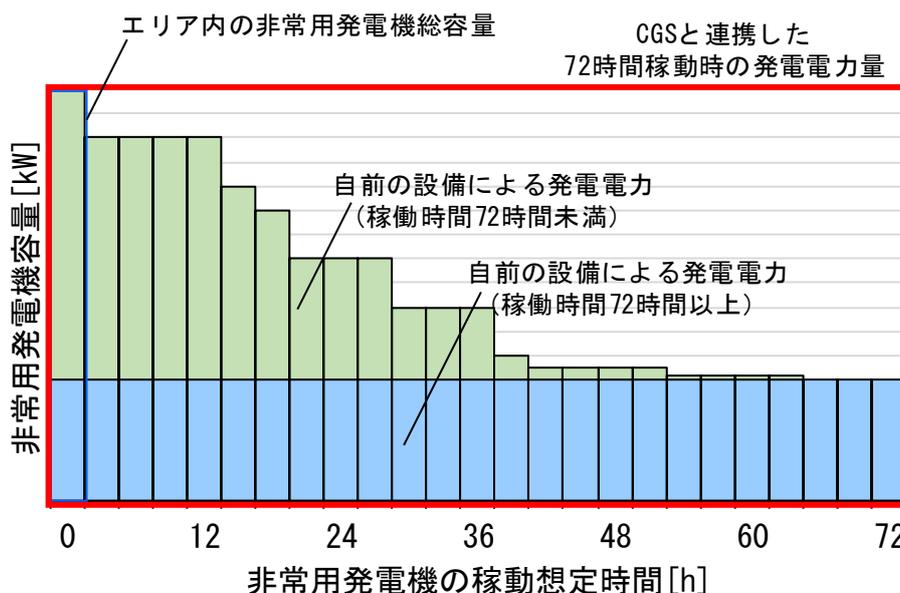


図 8.4.1 連携システムの CGS による災害時電源カバー率のイメージ

#### 8.4.2 既存非常用発電機の稼働可能時間の調査

災害時電源カバー率を算出するにあたって、地区内における非常用発電機の出力と稼働時間を把握する必要がある。連携システムのシミュレーションエリア内の非常用発電機容量は東京消防庁に電話でヒアリングを行い、東京23区の届出を行っている全ての非住宅建物12,914件の非常用発電機の情報をExcel媒体で調査した。これにより表8.4.1に示すようにシミュレーションエリア内の非常用発電機を設置している16件の建物とその電源容量を特定できた。

消防庁のデータには稼働時間の記載がないため、東京駅周辺の八重洲・日本橋・京橋地区の非常用電源を持つ建物172件を対象に表8.4.2に示す内容をアンケート調査した。この結果172件中36件(20.9%)の回答があり、その内有効回答件数は31件(18%)であった。しかし、シミュレーションエリア内の建物の稼働可能時間は16件中4件のデータしか調査できなかった。

そこで本研究では、実態調査によって得られた31件の非常用発電機の稼働可能時間と(一社)電気設備学会が発行する「D&Dデータ」内に記載されている稼働可能時間を用いて調査で得られなかった建物の稼働可能時間を推計する。D&Dデータとは電気設備学会が毎年実施している「新築ビルディング電気設備調査」の結果をエクセルでまとめたものであり、新築建物の建物概要、受変電設備、発電設備の概要が記載されたものである。

表 8.4.1 シミュレーション対象エリア内の非常用発電機が設置された建物の概要

ビル名称	延床面積[m <sup>2</sup> ]	建物施設	発電機容量[kW]	稼働時間[h] 実態調査結果
Aビル	1,516	事務所	10	
Eビル	5,930	非特定施設の複合	48	
Bビル	895	特定施設の複合	16	
Cビル	1,543	停車場	40	
Dビル	838	事務所	42	
Gビル	8,979	事務所	80	2.93
Fビル	3,122	事務所	52	
Jビル	4,820	事務所	140	
Hビル	3,168	特定施設の複合	110	
Iビル	2,376	事務所	130	
Mビル	15,218	事務所	252	2.5
Kビル	14,157	特定施設の複合	240	97
Lビル	3,210	事務所	240	
Pビル	23,329	事務所	400	25
Nビル	16,527	特定施設の複合	300	
Qビル	21,252	事務所	440	
Oビル	11,162	事務所	318	
Rビル	16,962	事務所	500	
Sビル	16,353	事務所	500	
Tビル	41,478	事務所	1,050	

表 8.4.2 非常用発電機概要の調査項目

建物概要	建物名称、竣工年、延床面積
非常用発電機の設備概要	発電機総数、原動機種、使用施設、機器容量、燃料の種類、燃料備蓄量、稼働可能時間

表 8.4.3 に稼働可能時間想定フローを示す。まず、シミュレーションエリア内の建物の内、実態調査により稼働時間が得られた建物はその値を用いる。稼働時間データがない建物は実態調査結果 31 件と千代田区、港区、中央区内の D&D データ記載建物 26 件の実績データの出現頻度を分析し、消防庁のデータに原動機・燃料種別、非常用発電機容量別に稼働時間を当てはめる。

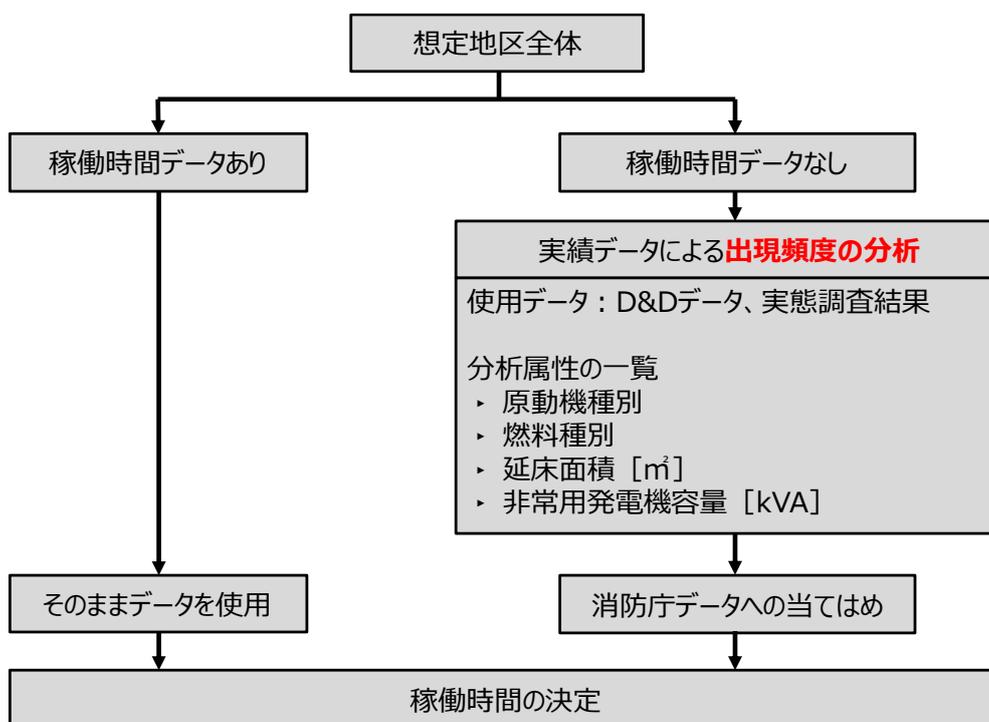
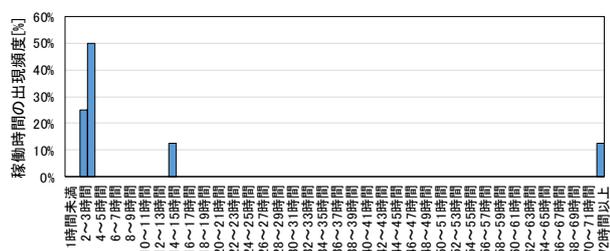


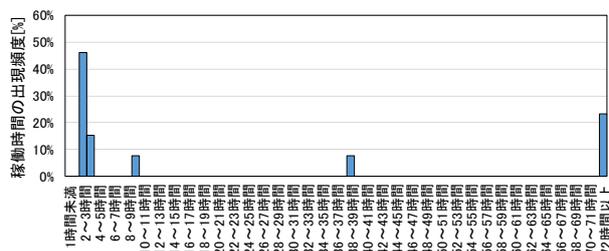
表 8.4.3 非常用発電機の稼働可能時間想定フロー

図 8.4.2 に非常用電源容量ごとの実績データにおける稼働時間の出現頻度を示す。稼働可能時間の出現頻度は、非常用発電機の容量を 50[kW]未満、50~100[kW]、150~300[kW]、300~800[kW]、800[kW]以上の 5 クラスに分類して分析を行った。これにより、稼働時間において 10 時間未満のデータと 72 時間以上のデータが大きな割合を占めることがわかった。また、非常用発電機容量が大きくなるに従い、稼働時間が長いデータの割合が大きくなることが分かった。

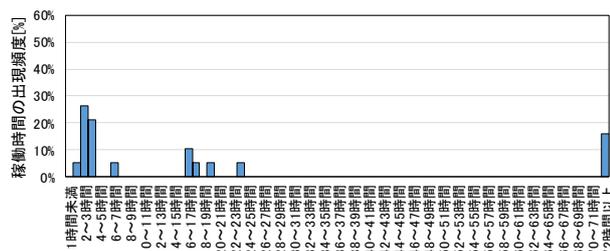
表 8.4.4 に 300~800[kW]を例に稼働時間に割り当てる消防庁データの建物件数を示す。表 8.4.4 の出現頻度は図 8.4.2d)の値であり、この値を用いてシミュレーションエリア内の非常用発電機 300~800[kW]の建物 5 件を按分する。そして、算出された想定台数の小数点を繰上げた決定台数を稼働時間に割り当てる建物件数とする。



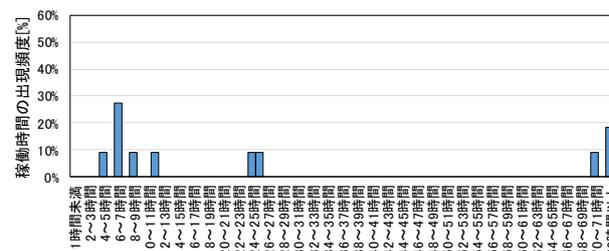
50[kW]未満(n=8)



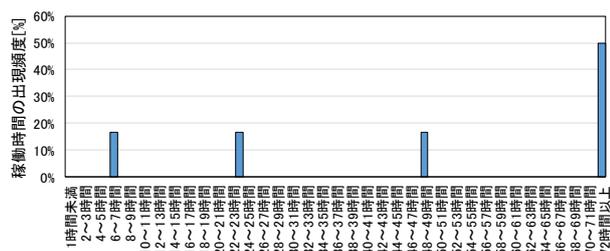
b) 50~100[kW] (n=13)



150~300[kW](n=19)



d) 300~800[kW](n=11)



e) 150~300[kW](n=6)

図 8.4.2 実績データにおける稼働時間の出現頻度

表 8.4.4 消防庁データの稼働時間の割り当て方法

	稼働時間	出現頻度[%]	想定台数(小数)	決定台数(整数)
300~800kW	4~5 時間	9.1%	0.45	1 台
	6~7 時間	27.3%	1.36	1 台
	8~9 時間	9.1%	0.45	1 台
	11~12 時間	9.1%	0.45	1 台
	24~25 時間	9.1%	0.45	0 台
	25~26 時間	9.1%	0.45	0 台
	70~71 時間	9.1%	0.45	0 台
	72 時間以上	18.2%	0.91	1 台
合計	-	100%	5 台	5 台

### 8.4.3 導入コージェネレーションシステムによる災害時電源確保程度の分析

図 8.4.3 にシミュレーション対象エリアにおける非常用発電機の稼働可能時間の想定結果を示す。シミュレーション対象エリア内建物 16 件の非常用発電機の総容量は 4,908[kW]であるが、連携システムの CGS は自前の設備で 72 時間稼働できる建物には電力を供給しないため、稼働可能時間が 72 時間未満の建物の非常用発電機の容量は 2,946[kW]となり連携システムで設定した CGS4,500[kW]でバックアップができることを確認した。

また、各建物の稼働可能時間を昇順に並び替えた積み重ねたグラフを図 8.4.4 に示す。赤色のグラフは実績調査から稼働時間が得られた建物、青色のグラフは稼働時間を想定した建物を示す。

シミュレーションエリア内の非常用発電機が自前の設備のみで稼働したときの発電電力量は 165,978[kWh]であった。それに対しエリア内の非常用発電機が 72 時間稼働した場合の発電電力量は 353,376[kWh]であり、連携システムの CGS が賄う発電電力量は 187,398[kWh]となった。この結果、連携システムの CGS の災害時導入効果である災害時電源カバー率は 2.13 倍となった。

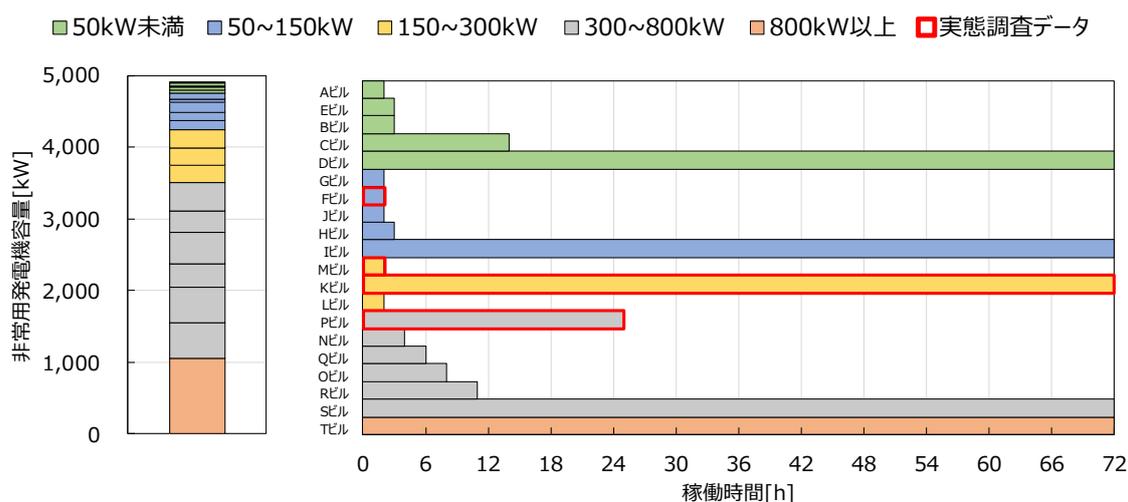


図 8.4.3 シミュレーション対象エリアにおける非常用発電機の稼働可能時間想定結果

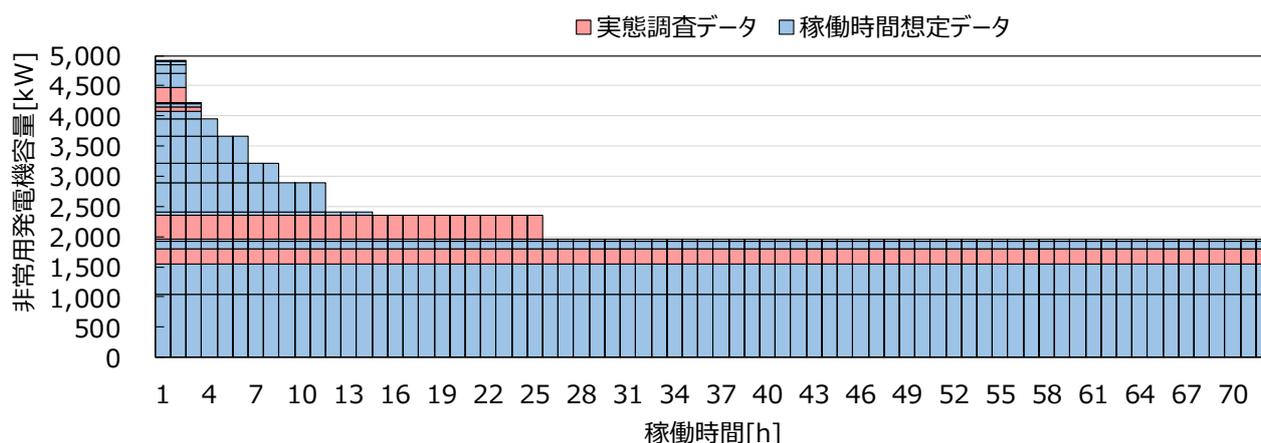


図 8.4.4 災害時電源カバー率の算出結果

## 8.5 結論

本章では、既存地域熱供給システムと隣接するターミナル駅周辺地区を対象にエリア内建物の事業継続と地域熱供給システムの効率向上を図る CGS と既存地域熱供給システムの連携システムを提案しモデルスタディを行うことで以下の意見を得た。

- 1) 連携システムの平常時効果である既存地域熱供給システムのエネルギー効率をシミュレーションにより算出した。これにより、連携前のシステム効率は 0.71[-]であるのに対し連携後のシステム効率は 1.13[-]と約 1.6 倍の値を示した。
- 2) 連携システムの災害時の効果指標として建物に対する災害時の電力供給度合いを示した災害時電源カバー率を提案した。モデルスタディ対象エリア内の建物の非常用発電機の容量と稼働時間を調査し、シミュレーションエリア内の非常用発電機が自前の設備のみで稼働したときの発電電力量は 165,978[kWh]であった。そして、CGS 導入により災害時、商用電力に頼らずエリア内の建物に供給できる発電電力量が 2.1 倍になることを確認した。

### 【参考文献】

- 8-1) 村上公哉・原英嗣・堀英祐：大災害時ターミナル周辺地区および地下街の安全安心対策としてのオフサイトセンターの実証研究(第1報)、空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, 2016
- 8-2) 乙幡裕太・村上公哉・竹林芳久・原英嗣・堀英祐：大災害時におけるターミナル駅周辺地区および地下街のエリア防災対策としてのオフサイトセンターに関する研究(第6報)、空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, 2017
- 8-3) 電気設備学会：D&D データベース（新築ビルディング電気設備調査のデータベース）  
<https://www.ieiej.or.jp/dddata/01-about.html>



## 第9章 総括



## 第9章 総括

### 9.1 総括結論

本研究では、既存地域熱供給システムのエネルギー効率向上に寄与する調査研究を行った。まず、東京都特別区の地域熱供給システムの整備状況から、地域熱供給システムが建物の省エネルギー化に与える影響を確認し、地域熱供給システムの熱源システム計画の参考となる負荷原単位の作成と負荷バランスの変化が計画に与える影響を整理した。次に、既存地域熱供給システムの効率向上の参考となる熱源機器のリニューアル実態やコージェネレーションシステムの導入実態の整理を行った。そして、これまでの整理結果を参考に都市内の建物の省エネルギー・レジリエンス強化に寄与する地域熱供給システムの活用方策のモデルスタディを行った。

第2章は、地域熱供給システムが建物の省エネルギー化に与える影響に関わる内容、第3章、4章、5章は、負荷原単位の作成と熱源システム計画に与える影響に関わる内容、第6章、7章は既存地域熱供給システムの熱源機器のリニューアル実態とコージェネレーションシステムの導入実態及びその改修内容に関わる内容、第8章は都市内の建物の省エネルギー・レジリエンス強化に寄与する地域熱供給システムの活用方策のモデルスタディに関わる内容である。

第2章では、東京特別区内の事務所総延床面積に対する既存地域熱供給システム地区内の事務所総延床面積の割合を分析し、都心部（港区、千代田区、中央区、新宿区）では約4割の事務所建物が熱供給地区内に集積しており、地域熱供給システムが都市内の建物の低炭素化に大きな影響を与えることを確認した。また、1998年から2015年にかけて、地域熱供給システムのCO<sub>2</sub>排出量及びエネルギー効率を算出した。この結果、供給延床面積あたりのCO<sub>2</sub>排出量・一次エネルギー消費量割合に対するに年間販売熱量の減少割合は13ポイント大きい値を示し、エネルギー効率は約1.2倍に向上していたことから、地域熱供給システムの建物の省エネルギー化に対する寄与度を把握した。

第3章では、地域熱供給システムの需要家建物に対して購入熱量の実態調査を実施し、エネルギーシステム計画に用いる事務所施設、官公庁施設、商業施設、宿泊施設、病院施設の負荷原単位を算出した。そして、この原単位と既存負荷原単位を比較し近年の建物の負荷実態を把握した。年間負荷原単位は、既存負荷原単位と比較して、事務所施設の冷熱負荷では同程度の値であったが、温熱負荷では32%小さな値であった。また、官公庁施設・宿泊施設・病院施設は、既存負荷原単位と比較し冷熱負荷と温熱負荷は共に減少し、商業施設では冷熱負荷が増加していた。また、月別負荷比率は、既存負荷原単位と比較して、主に事務所施設において温熱負荷比率では同程度の負荷推移であったが、冷熱負荷比率では夏期に負荷比率が低下し、冬期に上昇していた。時刻別負荷比率は、ピーク時や業務時間帯の負荷比率が低下し、夜間の負荷比率が上昇していた。そして、冷熱は冬期において負荷が発生していた。

また、新しく算出した原単位から算出した負荷推移は既存と比較し、ピーク負荷や低負荷時間帯が増加する傾向にあり、負荷推移の差異が大きいことを確認した。

第4章では、震災の影響を受け変化した負荷の実態を分析するため、2009年度、2015年度両年度の熱負荷・電力負荷を収集した事務所建物8件を対象に震災前後の負荷の変化や負荷バランスの変化を分析した。

年間熱負荷と年間電力負荷の変化の分析より、一般的に言われている冷熱負荷が減少し温熱負荷が増加していた建物は6件中3件と明確な傾向は見られず、年間ピーク熱負荷の変化の分析では、年間熱負荷とピーク熱負荷の増減傾向が一致するとは限らなかった。また、気温影響を無くした場合、震災後冷熱源機器の総容量を削減できる可能性はあるが、実際には気温変化の影響があるため熱源機器の総容量の削減の可能性を明言することは現段階では難しいことを確認した。

また、熱源システムの台数分割に関わる部分負荷運転時間やCGS導入に関わる電力負荷に対する熱負荷・熱負荷に対する温熱負荷の比率の比較分析により、分析負荷率30%以下の低負荷運転時間の出現頻度割合が震災後で増加し、台数分割や低負荷対応の熱源機器の設置が有効になる可能性、震災後に電力負荷が減少し温熱負荷が増加することで排熱回収がしやすくなりCGS導入が有効になる可能性を検討した。

第5章では、前章で分析した震災後の台数分割とCGS導入の有効性を検証するためシミュレーションを行った。台数分割シミュレーション分析の結果、震災後の方が全般的にシステム効率が低下傾向にあったが2台ケースに対する台数分割の効果が、2009年度の場合は約1.28倍、2015年度の場合は約1.33倍に向上したことから、震災後の方が台数分割の効果が大きいことを確認した。また、CGSモデルシミュレーション分析の結果、ガス・電気式モデルの年間効率は、2009年度に対して2015年度では約9.4%と約12.3%に低下した。一方、CGSの場合は2009年度に対して2015年度〔GE-2基〕で約7.9%低下、2015年度〔GE-3基〕で約2.4%低下であり、ガス・電気式モデルと比較して低下率が小さかった。また震災後はGEが2基よりも3基の方が効率が高くなるとともに、ガス・電気式モデルに対する省エネルギー率が向上しており、CGSの容量増大による省エネルギー化の可能性を示した。

第6章では、既存地域熱供給システムの効率向上に向けた基礎資料の整理として東京都環境局エネルギー供給実績報告書を用いて2009年度から2015年度までの熱源機器改修内容の調査を行い、東京都特別区内のCGSを含まない地域熱供給プラントの熱源機器構成の推移を分析した。

熱源機器のリニューアルによりエネルギー効率が向上した地区は15地区であり、エネルギー効率向上要因としては冷熱源機器側では吸収式冷凍機を容量の小さいものにし台数分割を行うことで低負荷時にも機器を高効率で運転できるようになったこと、高効率な熱源機器を導入していることが確認でき、温熱源機器側では炉筒煙管ボイラをより効率の良い貫流ボイラに改修していることが要因であることを確認した。

第7章では、既存地域熱供給システムの効率向上の方法としてCGS導入に着目した。既存の地域熱供給システム地区の中で、CGSを持つ地区を研究対象として、そのエネルギーシステム形態を調査した。東京都特別区、千葉市、さいたま市17地区の調査結果よりCGSを設置した建物内で発電電力を消費する地区は17地区中12地区(71%)であり、CGSを設置した建物外へ供給する地区は

17 地区中 3 地区（18%）であった。

また、近年 CGS を改修あるいは新規導入した地域熱供給システム 9 地区のエネルギーシステムを調査し、プラントへの新設、需要家への新設、個別受電から一括受電への移行、設置場所の変更、発電電力の供給先が変更、非常時対応のみの追加の 6 ケースに整理した。そして、9 地区の内 5 地区のエネルギー消費量等を調査し、発電効率は全ての地区で向上し総合効率が 4~6 ポイント上昇する地区や 2 ポイント低下する地区があること、熱供給システム効率は、改修前後で全ての調査地区において 1.1~1.4 倍に向上する傾向があることを確認した。

第 8 章では、これまでの調査分析結果を基に、都市内の建物の省エネルギー化・機能継続に寄与する地域熱供給システムの活用方策の一つとして、ターミナル駅周辺地区を対象に、ターミナル駅に隣接する既存地域熱供給システムと都市の再開発に合わせて導入される大規模 CGS の連携システムを提案しモデルスタディを行った。連携システムの平常時効果として既存地域熱供給システムのエネルギー効率をシミュレーションにより算出した結果、連携前のシステム効率は 0.71[-]であるのに対し連携後のシステム効率は 1.13[-]と約 1.6 倍の値を示した。また、連携システムの非常時の効果として、エリア内災害時電源カバー率を提案し、連係 CGS 導入により災害時、商用電力に頼らずエリア内の建物に供給できる発電電力量が 2.13 倍になることを確認した。

以下に 2 章~8 章で得られた知見をまとめる。

- 1) 東京都特別区において、地域熱供給システム地区内には都心部に立地する事務所建物の延床面積の約 40%が集積しており、地域熱供給システムが建物の省エネルギー化に与える影響は大きいと考えられる。そして、1998 年から 2015 年の 18 年に亘る地域熱供給システムの運転実績を分析し、システム効率が増加したことから地域熱供給システムは都市内の建物の省エネルギー化に寄与していることを定量的に確認した。
- 2) 地域熱供給システムの熱供給需要家建物の購入熱量データを調査することで、5 つの建物施設の負荷原単位を新たに算出し、既存の負荷原単位との比較により近年建物の負荷実態を把握した。そして、震災前後の負荷の変化傾向の分析により、震災前後で熱負荷は減少したが熱源機器総容量の削減・増加の可能性を断言することは難しいことを確認した。更に、震災後は低負荷時間帯の増加や電力負荷の減少・温熱負荷の増加を確認したことから、シミュレーションを用いて震災後の熱源機器の台数分割と CGS 導入の有効性を検証しその効果を確認した。
- 3) 既存地域熱供給システムの熱源機器の改修内容を整理し、冷熱源機器側では台数分割による低負荷時の高効率運転や高効率機器の導入、温熱源機器側では高効率機器への更新がシステム効率向上に影響を与えたことを確認した。また、地域熱供給システムにおける CGS の活用形態や改修内容を調査し、CGS の改修による発電効率の上昇と CGS を含めた熱供給システム効率の上昇を確認した。
- 4) 建物の省エネ化・レジリエンス強化に向けた地域熱供給システムの活用方策の一つとして、地域熱供給システムと CGS の連携システムを提案した。ターミナル駅周辺地区におけるモデルスタディの結果、CGS の発電時排熱を活用した地域熱供給システム効率向上と災害時の発電電力供給量の向上を確認した。

## 9.2 今後の展望

本研究では、既存地域熱供給システムが都市内の建物の省エネルギー化に与える影響に注目し、以下の三つの分析を行った。一つ目は地域熱供給システムが建物の省エネルギー性能に与える影響、二つ目は既存負荷原単位と比較した近年の負荷原単位の傾向とエネルギーシステム計画に与える影響、三つ目は既存地域熱供給システムや CGS 導入システムのリニューアル傾向とエネルギーシステム効率に与える影響の分析である。

地域熱供給システムが建物の省エネルギー性能に与える影響の分析では、都市や地域エネルギーシステムの動向を把握するために、現在東京都特別区などの都市部で土地の再開発に合わせて新規に計画される地域熱供給システムや、リニューアルが計画される既存システム等の最新動向を調査し、データベースの内容を更新し続けることが重要であると考えられる。

既存負荷原単位と比較した近年の負荷原単位の傾向とエネルギーシステム計画に与える影響では、本研究では主に 2008 年～2015 年の負荷データを用いて分析を行ったが、この 7 年間の間でも負荷は変化しており、負荷データの経年による陳腐化は避けられない問題である。そのため、負荷の継続した調査による原単位の更新が建物の適切なエネルギーシステム計画には必要不可欠であると考えられる。

既存地域熱供給システムや CGS 導入システムのリニューアル傾向とエネルギーシステム効率に与える影響では、本研究では、熱源システムのリニューアルにおいて機器の台数分割による低負荷対応や、電動ターボ冷凍機などの高効率な機器の導入による効率向上を確認した。しかし、このような傾向は電気主体のエネルギーシステムにおいてのものであり、ガス主体のシステムでは CGS の導入や廃熱を有効活用できる廃熱投入型吸収式冷凍機などの導入が有効であると考えられる。今後はエネルギー主体別のシステムにおけるシステムリニューアルの体系を整理する必要があると考えられる。また、CGS の導入形態の調査では、本研究では CGS 設置利用形態の調査において CGS 所有者や発電電力の供給方式については言及できなかった。そのため、新規に導入・改修されるシステムを対象に継続した CGS 導入形態の調査を実施すると共に、CGS 設置利用形態の精査が必要であると考えられる。

また、本研究では最後に都市内の建物の低炭素・レジリエンス強化に寄与する CGS と地域熱供給システムの連係システムを提案し、モデルスタディを行った。今回は連係システムがバックアップする対象エリア内の建物の非常用発電機総容量により連係 CGS を設定した。しかし、一般の建物では災害時に非常用電源を空調などの保安負荷で活用するケースは少なく、本研究で計画したシステム電源容量では災害時の機能継続に必要な電源が不足すると考えられる。そのため、建物の非常時に必要な電力需要を推計し、連係システムを計画することが必要であると考えられる。

謝辭



## 謝辞

学位論文の完成にあたり、終始温かくご指導ご鞭撻を賜り、主査としてご審査いただきました芝浦工業大学建築学部 村上公哉教授に心より感謝申し上げます。また、本論文をご審査いただき、ご指導賜りました芝浦工業大学建築学部 秋元孝之教授、西村直也教授、システム理工学部 増田幸宏教授、国士舘大学理工学部 原英嗣教授に厚くお礼申し上げます。

本研究では、村上研究室において卒業論文、修士論文でまとめてきた内容を基礎としており、公益社団法人 空気調和・衛生工学会の小委員会「空気調和設備委員会 エネルギーシステム設計情報データベース小委員会」の活動により、研究に必要なデータを調査することが出来ました。また、村上主査（芝浦工業大学）、百田幹事（東京電気大学）、宮良幹事（ジェス）、下田委員（大阪大学）、布施委員（日本設計）、成田委員（日本設計）、原委員（国士舘大学）、林委員（千葉大学）、三輪委員（当時日本熱供給事業協会）、吉田委員（横浜国立大学）、渡辺悦郎委員（新菱冷熱工業）、渡辺健一郎委員（当時芝浦工業大学）には3年間に亘り様々なご指導を賜りました。空気調和・衛生工学会と小委員会の委員の皆様方には、この分野で研究者として生きていくきっかけと自信を与えていただき心から感謝いたします。そして、芝浦工業大学 渡辺健一郎特任教授（当時）、竹林芳久特任教授（当時）には、研究に対する貴重なご意見だけでなく、社会人としての考え方や研究者としての生き残り方等、私の血肉となる事を教えていただきました。また、貴重な建物の負荷データや地域熱供給システムの設備情報等を、研究のために提供してくださいました各建物及び各熱供給事業者の関係各位に心より感謝いたします。

村上研究室の先輩である原瀬拓也氏（現在㈱竹中工務店）には、卒業研究生時代の建物の熱負荷原単位の作成の研究において貴重な指導・助言を頂きました。また、平石拓也氏（現在㈱日本設計）には、熱源システムのシミュレーションにおいて ENEPRO21 の詳細な設定方法を指導いただくとともに機会ある事に激励を頂きました。また、博士課程の先輩である永井猛先生（現在芝浦工業大学講師）には御助言・激励を頂きました。

修士2年の小野坂佳樹君と修士1年の小菅駿佑君には、地域熱供給システムが都市内の建物の省エネルギー化に与える影響とシステムのリニューアル傾向の研究において、修士2年の布施蓮君と修士1年の中野達基君には、東日本大震災前後の熱負荷・電力負荷の変化傾向とその変化がエネルギーシステムに与える影響の研究において、卒業生の島津朱里氏には、地域熱供給システムのCGSの導入実態とそのリニューアル内容の研究において、卒業院生の乙幡祐太氏（現在東京電力エナジーパートナー㈱）と修士1年の深澤英一君と山田哲寛君には、ターミナル駅周辺地区における地域熱供給システム活用のモデルスタディにおいて、多大な貢献をいただきましたことを感謝いたします。大学院生の内田晃祐君、南孝佳君、山本真広君や卒業した大勢の卒業研究生の諸君には、論文の作成においてご協力いただきましたことを感謝いたします。

村上公哉教授には、非才な私を研究者としての道に誘い、多大な御心配御面倒をおかけしながらも、暖かさで厳しさを持ってここまで御指導いただきました。博士課程進学と博士論文をまとめる機会を与えて下さり心から感謝いたします。そして、私の研究室生活を支えて頂きました渡辺健一郎特任教授、竹林芳久特任教授、2013年度～2018年度の卒業研究生・院生の皆様に感謝いたします。

最後に、私の身勝手を許し博士課程に進学させていただき、実生活においても筆舌に尽くし難いご尽力を賜りました敬慕する母・田中香、私を生み育ててくれた父・田中清に心から感謝いたします。

## 履歷書・研究業績



## 履歴書

本籍地 東京都荒川区荒川 8 丁目 20 番地 5 号  
〒116-0002

現住所 東京都荒川区荒川 8-20-5 サンパティエ東京 804 号室  
TEL:03-(6323)-2925

ふりがな 氏名 田中 翔大  
生年月日 1991 年 8 月 28 日 (27 歳)

## 学歴

2010 年 3 月	芝浦工業大学附属高等学校	卒業
2010 年 4 月	芝浦工業大学工学部 建築工学科	入学
2014 年 3 月	同上	卒業
2014 年 4 月	芝浦工業大学大学院 理工学研究科 建設工学専攻修士課程	入学
2016 年 3 月	同上	修了
2016 年 4 月	芝浦工業大学大学院 理工学研究科 地域環境システム専攻博士課程	入学
2019 年 3 月	同上	修了

## 職歴

なし

## 賞罰

なし

## 研究業績（国内学会）

種類別	題名、発表・発行掲載誌名、発表・発行年月、著者
論文○	首都圏等の地域冷暖房システムの需要家調査に基づく非住宅（民生業務部門）建築物の熱負荷原単位の調査分析，日本建築学会環境系論文集，2018.6，田中翔大・村上公哉
論文○	首都圏の地域熱供給システムにおけるコージェネレーションシステムの設置利用形態と改修内容の調査分析，日本建築学会環境系論文集，201.3，田中翔大・村上公哉・竹林芳久
講演	エネルギーシステムシミュレーションに関する研究 システム基本計画時の建物負荷想定に用いる熱・電力負荷原単位の更新，空気調和・冷凍連合講演会講演論文集，2014.4，田中翔大・原瀬拓也・村上公哉
講演	エネルギーシステムの基本計画時に用いる熱・電力負荷原単位の更新に関する研究第1報 熱・電力負荷の実態調査，日本建築学会学術講演梗概集，2014.9，田中翔大・原瀬拓也・村上公哉
講演	地域・建物エネルギーシステムの基本計画の検討手法に関する研究 第1報 システム基本計画時の負荷想定に用いる熱・電力負荷原単位の更新，空気調和・衛生工学会学術講演会論文集，2014.9，田中翔大・原瀬拓也・村上公哉
講演	都市エネルギー計画マスタープランの研究 第3報 建物実態情報データベース作成とエネルギー消費量密度マップ作成のモデルスタディ，日本建築学会学術講演梗概集，2015.9，田中翔大・平石拓也・村上公哉
講演	都市エネルギー計画マスタープランに関する研究（第2報）マスタープラン作成に必要なベースプロセスのモデルスタディ，空気調和・衛生工学会学術講演会論文集，2015.9，田中翔大・平石拓也・村上公哉
講演	地域エネルギーシステム地区の自立分散型電源の導入形態とその導入効果の調査分析，空気調和・冷凍連合講演会講演論文集，2016.4，田中翔大・村上公哉
講演	地域エネルギーシステム地区の自立分散型電源の導入形態とその導入効果の調査分析，日本建築学会学術講演梗概集，2016.9，田中翔大・村上公哉

講演	地域エネルギーシステム地区の自立分散型電源の導入形態とその導入効果の調査分析, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2016.9, 田中翔大・村上公哉 コージェネレーションを活用した地域熱供給システムの改修実態とその効果, 空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, 2017.4, 田中翔大・村上公哉・竹林芳久
講演	東日本大震災前後における建築物の熱負荷と電力負荷の変化に関する調査分析, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2017.9, 田中翔大・村上公哉
その他	ターミナル周辺地区の事業継続のための地域エネルギーシステムに関する研究 (第1報) エリア防災用地理情報データベースの提案と各建物施設の機能継続の必要程度等の基礎調査, 日本建築学会学術講演梗概集, 2017.8, 乙幡祐太・田中翔大・村上公哉・竹林芳久
その他	地域熱供給システムのリニューアルに関する調査研究 (第1報) 東京都区内の熱源プラントにおけるエネルギー効率とCO2排出量の推移, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2018.9, 小菅駿佑・小野坂佳樹・村上公哉・竹林芳久・田中翔大
その他	地域熱供給システムのリニューアルに関する調査研究 (第2報) 東京都区内の熱源プラントのリニューアル傾向, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2018.9, 小野坂佳樹・小菅駿佑・村上公哉・竹林芳久・田中翔大
その他	震災前後の建築物のエネルギー負荷の変化が空調設備設計に及ぼす影響に関する研究 (第1報) 熱負荷と電力負荷の変化の分析, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2018.9, 中野達基・布施蓮・村上公哉・竹林芳久・田中翔大・武田晃成・笹本太郎
その他	震災前後の建築物のエネルギー負荷の変化が空調設備設計に及ぼす影響に関する研究 (第2報) システムシミュレーションによる熱源システム設計への影響分析, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2018.9, 布施蓮・中野達基・村上公哉・竹林芳久・田中翔大・武田晃成・笹本太郎
その他	大災害時におけるターミナル駅周辺地区および地下街のエリア防災対策としてのオフサイトセンターに関する研究 (第11報) BCD電源システムと既存地域熱供給システムとの連携の可能性の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2018.9, 深澤英一・山田哲寛・田中翔大・村上公哉・竹林芳久・原英嗣・堀英祐

## 研究業績（国際学会）

種類別	題名、発表・発行掲載誌名、発表・発行年月、著者
講演	Study on simulation of building and community energy systems : Updating the heat and power load basic unit in order to estimate building loads during system master planning, International Conference of Asia Institute of Urban Environment, 2014.11, Shodai Tanaka / Kimiya Murakami
講演	Study on a city energy planning master plan Proposal of a city energy planning master plan, and model study of making process, International Conference of Asia Institute of Urban Environment, 2015.11, Shodai Tanaka / Kimiya Murakami
講演	Survey of the Introduction Form and the Introduction Effect of the Independence Dispersed-type Powers in a Regional Energy System Area, International Conference of Asia Institute of Urban Environment, 2016.11, Shodai Tanaka / Kimiya Murakami
講演	Analysis of changes in the heat and electricity loads of buildings before and after the Great East Japan Earthquake, International Conference of Asia Institute of Urban Environment, 2017.11, Shodai Tanaka / Kimiya Murakami

## 受賞歴

賞名	題名、受賞年月、機関等
優秀講演奨励賞	地域・建物エネルギーシステムの基本計画の検討手法に関する研究 第1報システム基本計画時の負荷想定に用いる熱・電力負荷原単位の更新, 2014.10, 平成26年度(2014年度) 空気調和・衛生工学会大会〈秋田〉
Best paper award	Study on simulation of building and community energy systems: Updating the heat and power load basic unit in order to estimate building loads during system master planning, 2014.11, 12th International Conference of Asia Institute of Urban Environment
優秀講演賞	地域エネルギーシステム地区の自律分散型電源の導入形態とその導入効果の調査分析, 2016.10, 第50回空気調和・冷凍連合講演会
Best paper award	Survey of the Introduction Form and the Introduction Effect of the Independence Dispersed-type Powers in a Regional Energy System Area, 2016.11, 13th International Conference of Asia Institute of Urban Environment

