

平成 30 年度 博士論文

レジリエントな地域エネルギーシステムの
気候変動への適応に関する研究

A Study on Adaptation of Resilient District Energy System to Climate Change

指導教員 佐土原 聡
横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府
都市イノベーション専攻

15WA902 金 康珉

目次

I. 序論	1
1.1 研究の背景.....	3
1.1.1 持続可能性と気候変動とエネルギーに関する研究の動向.....	3
1.1.2 気候変動と異常気象.....	4
(1) 気候変動の問題の台頭.....	4
(2) 異常気象の問題.....	5
(3) 日本の現象.....	7
1.1.3 日本のエネルギー市場の動向.....	9
(1) エネルギー分野.....	9
(2) 地域エネルギーシステム分野.....	9
1.2 研究の目的と範囲.....	11
1.2.1 研究の目的.....	11
(1) 研究の位置付け.....	11
(2) 研究の目的.....	11
1.2.2 研究の範囲と流れ.....	12
(1) 1段階：理論考察.....	12
(2) 2段階：現況分析.....	12
(3) 3段階：シミュレーション研究.....	13
(4) 本研究の状況設定.....	13
1.3 研究のフレームワーク.....	14
1.3.1 理論考察からのフレームワーク.....	14
1.3.2 研究の範囲としてのフレームワーク.....	15
II. レジリエントな地域エネルギーシステムの概念構築	17
2.1 理論考察の概要と流れ.....	19
2.2 レジリエンスの概要考察.....	20
2.2.1 レジリエンス.....	20
(1) レジリエンスの由来と分野別特徴.....	20
(2) 分野別のレジリエンスの特徴.....	21
(3) レジリエンスの概念の定義.....	21
(4) 都市のレジリエンス(Urban resilience)の概念.....	23
(5) レジリエンスの原理と特性.....	24
2.3 レジリエンスと持続可能性と気候変動の関係性の考察.....	27

2.3.1	レジリエンスと持続可能性	27
2.3.2	レジリエンスと気候変動	30
2.4	レジリエントなエネルギーシステムの構築	33
2.4.1	レジリエントなエネルギーの基本的な考え方	33
(1)	Sharifi A.	33
(2)	Henry H. W.	35
(3)	他の文献	37
2.4.2	レジリエントエネルギーの構成要素	38
(1)	都市分野のレジリエンスの構成要素	38
(2)	エネルギー分野のレジリエンスの構成要素	44
(3)	都市とエネルギー分野の構成要素のまとめ	45
2.5	レジリエント都市エネルギーシステムのあり方	47
2.5.1	レジリエントエネルギーシステムの概念	47
(1)	レジリエントエネルギーシステムの定義	47
(2)	レジリエントな都市エネルギーシステムのモデル	47
2.5.2	レジデンスと地域エネルギーシステム	49
(1)	地域エネルギーシステムの構成	49
(2)	地域エネルギーシステムの技術要素	50
(3)	レジリエンスと地域エネルギーシステムの技術要素	52
2.6	フレームワークの設定	54
2.6.1	レジリエントな地域エネルギーシステムのフレームワーク	54
2.6.2	研究のフレームワーク	55
III.	日本の地域冷暖房地区の現況分析	57
3.1	現況分析の概要	59
3.1.1.	現況分析の背景と目的	59
3.1.2.	現況分析の概要	60
(1)	現況分析の構成	60
3.2	基礎データ分析	62
3.2.1	傾向分析	62
(1)	日本地域冷暖房地区の分布	62
(2)	供給エネルギー	63
(3)	規模	64
(4)	設備別能力の割合	65
(5)	COP	66
(6)	開始年度による分析	67

3.3	レジリエンスの検討	69
3.3.1	資源のレジリエンス	69
(1)	未利用エネルギー	69
(2)	非常用資源	71
3.3.2	冷房設備のレジリエンス	74
(1)	冷房供給の能力	75
(2)	冷房設備の柔軟性	76
3.3.3	電力設備のレジリエンス	77
(1)	停電時のための設備	77
(2)	発電機	77
(3)	蓄電設備	79
(4)	非常電力の供給用途	80
3.3.4	インフラのレジリエンス	82
(1)	共同溝	82
(2)	ガス管	82
(3)	受電方式	83
3.4	現況分析のまとめ	84
3.4.1	傾向検討のまとめ	84
3.4.2	レジリエンス検討のまとめ	85
(1)	資源のレジリエンス	85
(2)	設備のレジリエンス	85
(3)	インフラのレジリエンス	86
3.4.3	レジリエンス改善の可能性	87
IV.	予測分析1：冷暖房需要の変化予測	89
4.1	予測研究の概要	91
4.1.1	背景と目的	91
(1)	背景	91
(2)	目的	91
4.1.2	既存研究と予測分析の流れ	93
(1)	既存研究の考察	93
(2)	予測分析の全体流れ	96
4.2	冷暖房需要予測の要件	97
4.2.1	対象地区と d4PDF の概要	97
(1)	みなとみらい 21 地区の概要	97
(2)	d4PDF の活用	100

4.2.2	データの検討	101
(1)	平年と 4°C上昇後の気象データ	101
(2)	横浜と東京の気象データ	102
(3)	MM21 地区の冷暖房需要データ	103
4.3	回帰分析と冷暖房需要予測	106
4.3.1	回帰式の導出	106
(1)	回帰分析の流れ	106
(2)	相関関係と回帰分析	106
(3)	予測値の導出と検証	109
4.3.2	冷暖房需要の変動	112
(1)	回帰式の活用と計算値の補正	112
(2)	年間冷暖房需要	114
(3)	ピーク需要と全負荷相当時間	116
V.	予測分析 2 : 冷暖房システムへの影響予測	117
5.1	冷暖房システムへの影響予測の概要	119
5.1.1	予測分析 2 の概要	119
(1)	予測分析 2 の目的	119
(2)	シミュレーションの流れ	120
(3)	ENEPRO21 の活用	121
5.1.2	シミュレーションの基盤構築	123
(1)	MM21 地区の冷暖房システムの再現	123
(2)	需要パターンの設定	127
(3)	運転計画の再構成	128
5.1.3	シミュレーションの条件	129
5.2	冷暖房熱源システムへの影響検討	131
5.2.1	シミュレーションの精度検証	131
(1)	冷暖房負荷パターンの精度検証	131
(2)	エネルギー消費量の精度検証	131
5.2.2	冷暖房の熱源システムへの影響検討の概要	134
5.2.3	年間値の比較	135
(1)	冷水需要と蒸気需要	135
(2)	エネルギー消費	137
(3)	環境負荷	139
5.2.4	ピーク需要の比較	141
(1)	エネルギー消費	141

(2) 環境負荷.....	142
5.2.5 冷暖房の熱源システムへの影響検討のまとめ	143
(1) 年間値	143
(2) ピーク需要	143
5.3 蓄熱槽の効果検討.....	144
5.3.1. 蓄熱槽の効果検討の概要.....	144
(1) 蓄熱槽の効果検討のケース設定	144
(2) 運転計画の変更.....	145
5.3.2 夏季の比較.....	146
(1) 冷水負荷と蒸気消費.....	146
(2) エネルギー消費.....	148
(3) 環境負荷.....	150
5.3.3 ピーク需要の比較.....	152
(1) エネルギー消費.....	152
(2) 環境負荷.....	153
5.3.4 蓄熱槽の効果のまとめ.....	154
(1) 夏季の需要	154
(2) ピーク需要	155
5.4 CGS の効果検討.....	156
5.4.1 CGS の効果検討の概要	156
(1) CGS の効果検討のケース設定	156
(2) 設備の変更.....	157
(3) 運転計画の変更.....	158
5.4.2 熱電比を考慮した省エネルギー率の検討.....	159
(1) 熱電比の検討の流れ.....	159
(2) 熱電比を考慮した省エネルギー率の算定.....	160
(3) 年間省エネルギー率の比較.....	163
5.4.3 年間値の比較	164
(1) 冷水負荷と蒸気負荷.....	164
(2) エネルギー消費.....	166
(3) 環境負荷.....	168
5.4.4 ピーク需の比較.....	170
(1) エネルギー消費.....	170
(2) 環境負荷.....	171
5.4.5 冷暖房の熱源システムへの影響検討のまとめ	172
(1) 年間値	172

(2) ピーク需要	173
5.5 予測分析のまとめ	174
5.5.1 CGS(50%)導入と蓄熱槽増設	174
(1) シミュレーションの設定	174
(2) 年間値	175
(3) ピーク需要	176
5.5.2 予測分析のまとめ	177
VI 研究のまとめ	181
6.1 段階別研究のまとめ	183
(1) 理論研究のまとめ	183
(2) 現況分析のまとめ	183
(3) 予測分析のまとめ	184
6.2 研究の課題と意義	185
(2) 研究の課題	185
(1) 研究の意義と活用	185
VII 付録	187
[参考論文]	189
[アンケート調査の様式]	197
[研究の梗概]	203
[履歴書]	209
[研究実績]	211
[謝辞]	215

I

序論

1.1 研究の背景

1.1.1 持続可能性と気候変動とエネルギーに関する研究の動向

1970年代から、環境問題が問題となりはじめ、人類発展の限界に関する自問をし始めた。この時期、ローマクラブが「成長の限界」の報告書を発表し(1972年)、1972年のUN会議において、人間環境の改善と保存に世界人を導くためのUNCHE宣言(Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment)が発表された。エネルギー分野においては、第一次オイルショック(1973年)、第二次オイルショック(1978年)が起き、限られた燃料資源への依存に警告を発するできごととなった。

このようなできごとは、建築と都市計画の分野にも影響を及ぼし、1980年代から環境と資源の限界と生態系の原則下で解決するために、自然環境にやさしいEcologyの概念が適用されてEcological architectureとEco city, Green cityの計画論が登場した。1987年のThe Brundtland Report, 「Our Common Future」から、「持続可能な開発(Sustainable Development)」という考え方が広く認知されるようになった。持続可能な開発は、環境と開発の問題を包括する概念とし、人類が直面している環境や資源の問題と開発の間の均衡を世界に強調するきっかけになり、都市と建築分野でのEcologyの発展につながった。

1990年代には、1992年のRio Summitと1997年の京都議定書がきっかけとなり、地球温暖化の課題が全世界の関心を集めた。都市・建築分野では、脱化石燃料・再生可能エネルギーの技術開発と適用の機運が盛り上がった。

2000年からは都市・建築に大きな影響を与える低炭素都市、低炭素建築という計画論が出てきた。1990年代の持続可能な開発では、持続性と成長のビジネス的な思考が関心の的であったが、2000年代以降は、環境への適応と脆弱性への対応の観点から、Resilienceの概念が都市計画に適用され始めた。特に、米国での2005年の超大型ハリケーン、カトリナが発生は、都市における災害に対する回復力を点検すべきだとの主張をまき起こした。

2010年代前後から、第3次産業革命と呼ばれる通信・インターネットの技術が建築・都市計画に適応されて、Smart city等の計画論が急速に展開されている。Smart cityのIoT技術は、都市エネルギーシステムに劇的な変化をもたらして、双方向サービスによる分散型エネルギーシステム(Smart grid)に適用されている。

2018年現在、第4次産業革命時代の入り口として、都市の複雑性とビックデータ、A.I.の複合的な活用による都市の将来予測と迅速な適応性、または対応性に関する研究が注目されている。

今後、気候変動に対するレジリエンス、エネルギーのIoT化などが同時に実際の生活に適用されながら、将来予測と適応のため、多様なデータによる相互融合的な研究がより活発に行われると予測される。

1.1.2 気候変動と異常気象

(1) 気候変動の問題の台頭

21世紀に入って、人類の持続可能性を脅かしている問題は、地球の気候変動である。NASAの「Goddard Institute for Space Studies」によると、地球表面の温度が20世紀初めより過去の10年が 0.88°C 高く、この温度上昇の3分の2が1975年以降に起きた [Hansen, 2010]。最近の研究によると、地球温暖化が人間活動によるものと考えられている [Min, 2011]。IPCCは第4次報告書においてこの100年間、地球の平均気温が 0.74°C 上昇し、21世紀末には最小 1.8°C 、最大 4°C の気温上昇を予測している [IPCC(Climates Change 2014), 2015]。IPCCの新温室効果ガスシナリオでは、現在の温室効果ガス排出の水準が維持されると、21世紀末に、平均気温が 4.8°C 上昇し、温室効果ガスを削減する場合(RCP 4.5 シナリオ)においても、 2.8°C 上昇すると予測している [IPCC(Climates Change 2014), 2015]。

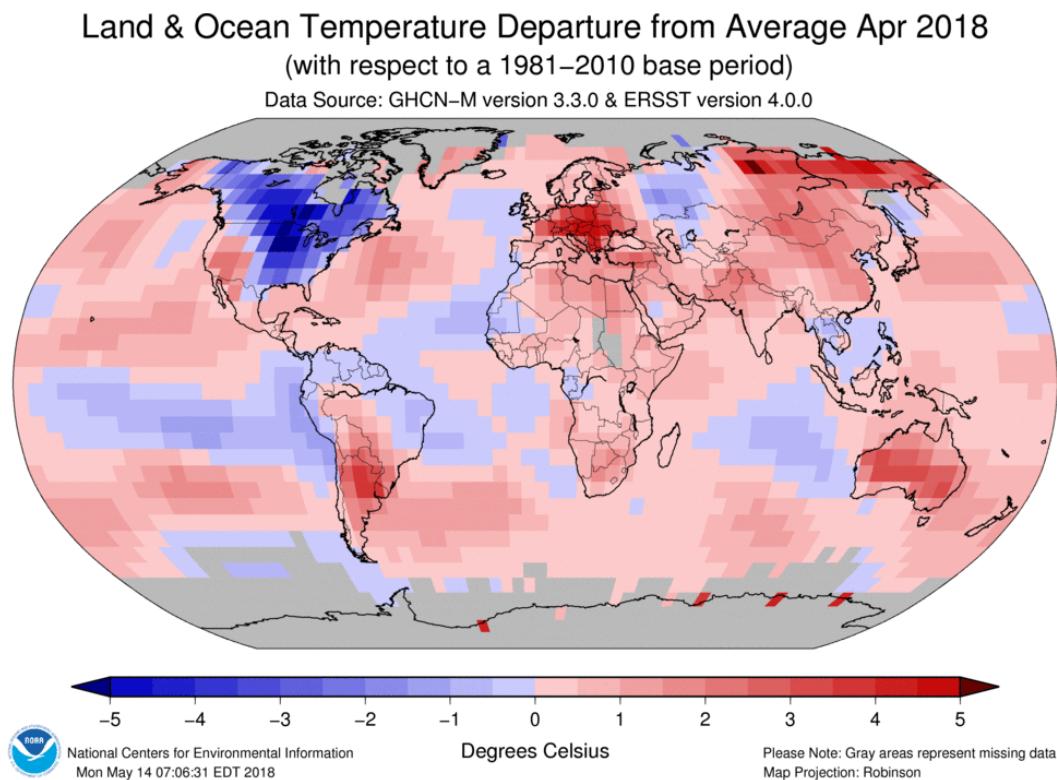
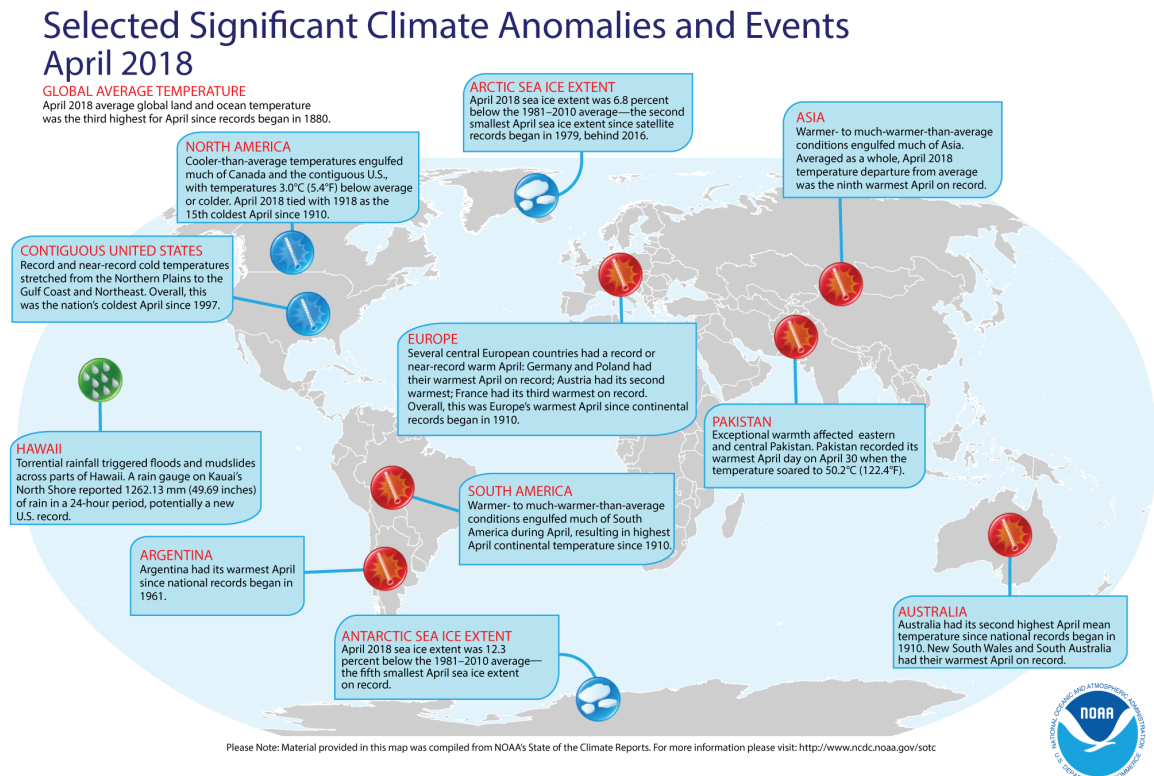


図 1.1 2018 年 4 月の陸地と海の温度変化¹

¹ NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for April 2018, published online May 2018, “April 2018 Blended Land and Sea Surface Temperature Anomalies in degrees Celsius”, retrieved on September 15, 2018 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201804>.

図 1.2 2018 年 4 月の異常気象¹

(2) 異常気象の問題

① 気温上昇は、過去より激しい異常気象をもたらしている。

地球全体に暑い日数が増え、寒い日数が減った。過去の数十年間にアフリカとアジアの一部地域は、頻繁で強烈な旱魃が増加した。2003 年、リユーロプの酷暑は、22,000~30,000 名の命を奪って、経済的損失は 130 億 USD であった(IFRC,2004) [Maarten K. van Aalst, 2006]。カナダのケベックでは今年 36.6°Cまで気温が上昇し 44 名の死亡者があり、147 年間の気象観測史上の最高気温であった [Sean Breslin, 2018]。

中国のメディアによると、22 ヶ所の都市の今年 7 月気温が観測史上最高であるの報告であった。インドの Kolkata の 7 月の最高気温は、平年より 7°Cが高かった。World Bank のレポートによると、インドでは気温上昇とモンスーン降雨が 2050 年までに GDP の 2.8% を消費させると予測している [Shinya Oshino, 2018]。韓国の気象庁は、8 月 1 日、ホンチョン市の気温が 40.7°Cで、最高記録であると発表した [Andrew Freedman, 2018]。

② 異常気候は、大雨や洪水、台風の影響も発生させている。

“Risks from climate change impacts arise from the interaction between hazard (triggered by an event or trend related to climate change), vulnerability (susceptibility to harm) and exposure (people, assets or ecosystems at risk)” [Climate Change 2014 Synthesis Report, 2015]

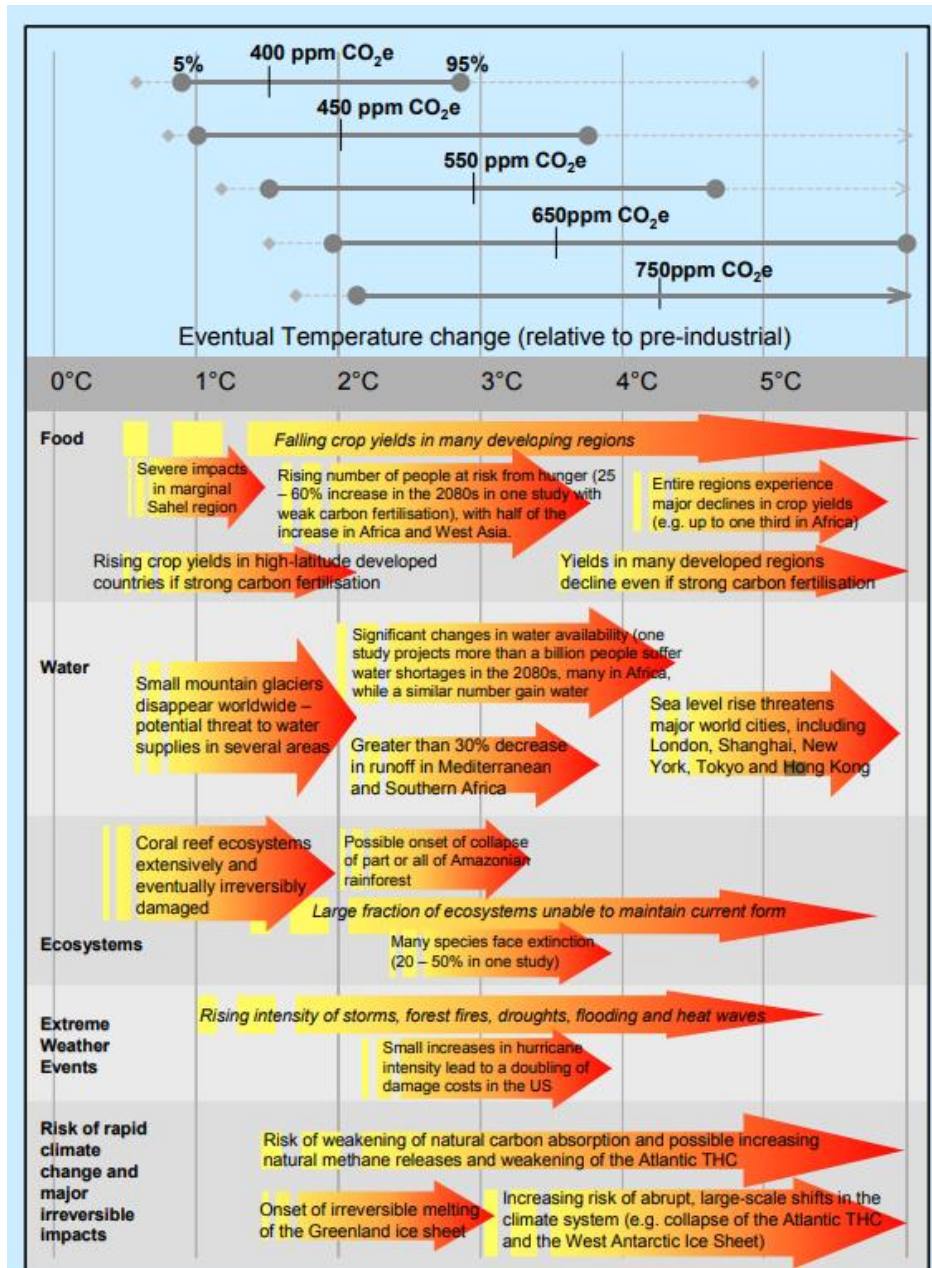


図 1.3 気温変動にともなう発生事象の予測²

² Nicholas Stern(2007), The Stern Review on the Economics of Climate Change, Cambridge, 2007. 1

歴史的記録の分析とシミュレーションの研究は、地球温暖化が台風の活動と強度を増加させる事実を明らかにしてきた(Knutson and Tuleya, 2004, Emanuel, 2005, Trenberth, 2005, Webster et al., 2005, Hoyos et al., 2006, Allan and Soden, 2008, Elsner et al., 2008) [Shou-Hao Chiang, 2011]。最近、世界各地の気温が上がって、世界のメディアから異常気象による様々な事件の報道がなされている。ベトナムは、今年7月18日、激しい大雨で30名、7月23日の大雨で6,600名の難民が発生した [Andrew Freedman, 2018]。2017年12月、Californiaの300,000 acreが燃えた火災(The Thomas fire, north of Ventura, Calif.)は、アメリカ歴史上、一番大きい火災であったが、専門家たちは最近5年間、平年より高い気温と激しい日照りが火災の規模を拡大したと述べている [HAROLD S. J. ZALD, 2018], [Chad T. Hanson, 2018], [Carla Green, 2018]。

(3) 日本の現象

日本の平均年間気温は、1世紀の間、 1°C 上昇した(Cruz et. al., 2007)。一日の最高気温が 35°C 以上の日数が増加し(JMA, 2005)、日本の平均気温が 1.09°C 上昇し、北海道の平均気温は 1.33°C 上昇した(JMA, 2006) [Michael Case, 2008]。

日本の気象庁によると、東日本の今年7月気温は強い太平洋高気圧の影響で、気象観測以来(1946年から)、最高気温を記録した。西日本も平均気温より 2.8°C 高く、東京は平年より 3.3°C 高く、 28.3°C であった。7月23日、埼玉県熊谷市では 41.1°C で、最高気温の記録を更新した。広島市では今年7月、48時間の記録的な降雨がAMeDASで報告された [TAKUYA KADO, 2018]。

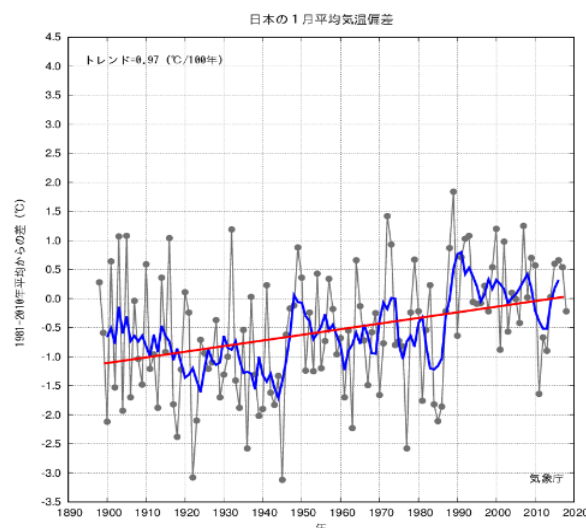


図 1.4 日本の1月の気温変化³

³ 国土交通省気象庁：日本の1月平均気温の偏差の経年変化(1898～2018年),

https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/jan_jpn.html

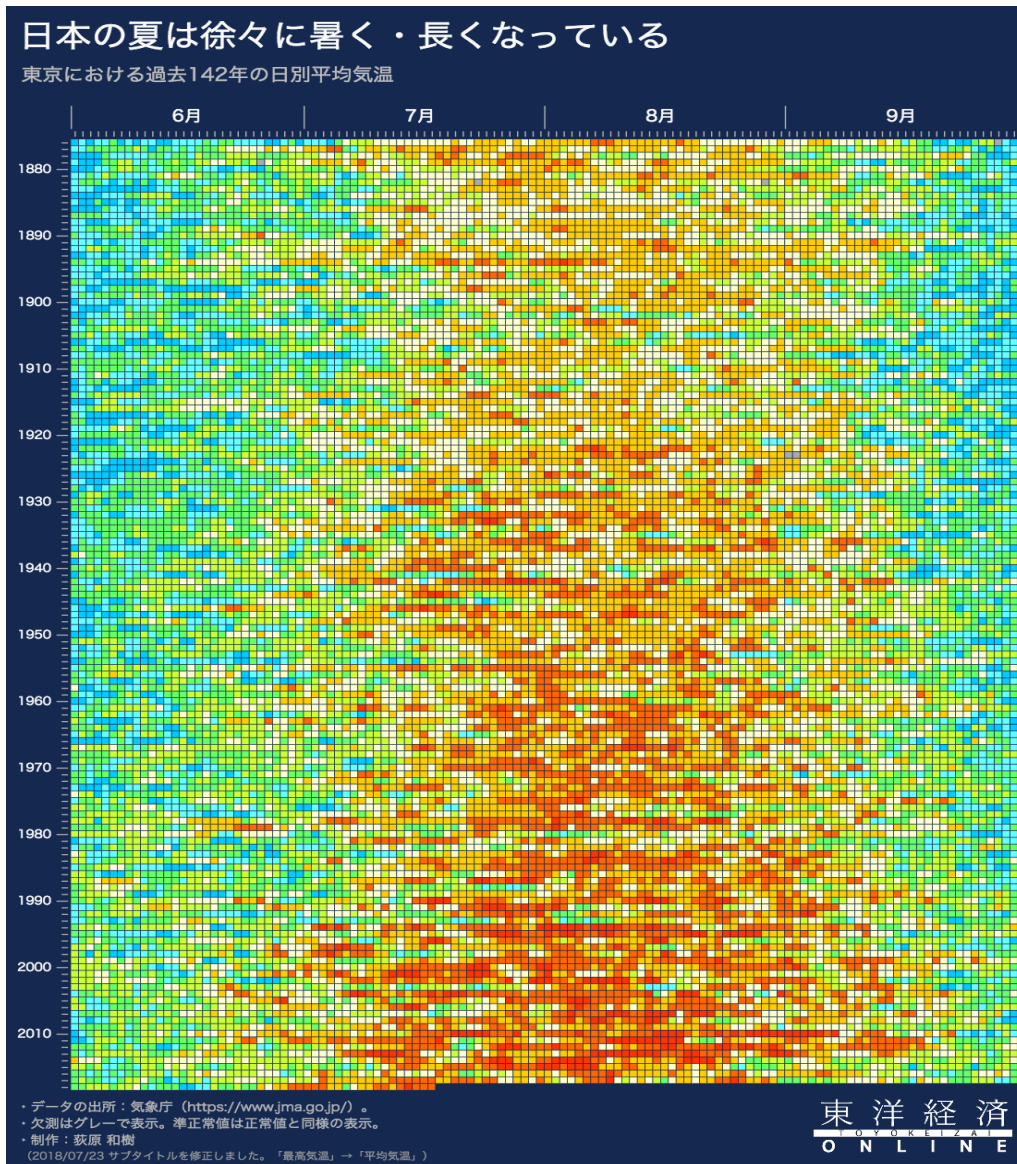


図 1.5 日本の夏の気温変化⁴

⁴ 荻原 和樹 (東洋経済オンライン編集部) : 過去 140 年の日別平均気温をビジュアル化, 2018.07.21,
<https://toyokeizai.net/articles/-/229965?page=2>

1.1.3 日本のエネルギー市場の動向

(1) エネルギー分野

① 低炭素とエネルギー需給計画

低炭素への国際的動向により、日本のエネルギー分野も化石燃料から再生可能エネルギーへの転換へと社会が動いている。省エネルギーの努力と共に、エネルギーの多様化を模索するために、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」が2003年から始まり、2012年からは「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に更新されて施行されている。

経済産業省は2014年のエネルギー基本計画を再検討して、2015年7月に「長期エネルギー需給計画」を発表した。この計画を見ると、安定性の確保を大前提としつつ、安定供給(自給率25%)、経済効果(電力コストの引き下げ)、環境適合(2013年対比21.9%減の予測)を達成するための目標を設定し、2030年度のエネルギー需給構造として、17%(1,961億kWh)を節電する構想となっている。

② エネルギー自由化とエネルギーシステムの転換

日本のエネルギー市場の今後の動向は、自由化と分散自立化の2つのキーワードで説明できる。1995年の電気事業法改正により、発電部門が自由化され、2016年4月から、家庭向けなどを含めた電力の小売全面自由化が始まった。その後、2017年4月からは、家庭向けの都市ガスの自由化が始まった。この自由化によって、誰でもエネルギー事業に参加できるようにエネルギー市場が変わり、本格的な競争の時代が始まったことを意味する。今後、事業の競争力向上のために、より合理的な値段と安定的なエネルギー供給がエネルギー供給者に求められると予測される。

一方、2011年3月の東日本大震災は、市場のBCPを見直すきっかけになり、都市エネルギーシステムの分散・自立化がより求められるようになった。系統電力からの供給が絶えても、一定時間の電力使用ができるように、非常用電力システムを備えた建築物と地域が増えている。そして、少子高齢化の社会背景は、エネルギーの地産地消を志向させながら、地域単位のエネルギー政策の策定と自治体の自主的な計画推進を求めている。

(2) 地域エネルギーシステム分野

① 地域冷暖房地区の動向

地域エネルギーシステムとして、地域冷暖房が1970年に日本万国博覧会並びに千里中央地区に初めて導入され、1980年代、オイルショックによる省エネルギーとローコストのスローガンと共に、都市開発の活発化にともなって成長してきた。

1990年代から普及期として、年間約8地区と急激に増加した。2000年代からは、日本の景気の沈滞と都市開発の停滞により、低迷期として、全国7地区のみが新しく導入され、既存の7地区が廃止或いは熱供給事業法適用外になった。一方、1997年の京都議定書を起点とし、低炭素社会の問題が本格的に台頭し、2000年中盤後は、エネルギー面的利用と多様な再生エネルギー利用の導入実績がある地域冷暖房の可能性を改めて見直す機会になった。

2011年の東日本大震災後、計画停電や電力使用制限などの電力供給の不透明な場合にも、分散自立型エネルギーシステム(CGS)を設けている六本木ヒルズ地区が電力供給についての心配が全くなかったことから注目され、BCPの観点からこのようなシステムの導入が期待されている。そして、エネルギーベストミックス、分散型エネルギーシステム、スマートシティ、低炭素まちづくりなどのキーワードで、2010年頃からは、再生期として、地域エネルギーシステムが社会的に重要な役割を担う必要性和可能性が高まっている [一般社団法人都市環境エネルギー協会, 2013]。

1.2 研究の目的と範囲

1.2.1 研究の目的

(1) 研究の位置付け

本研究の背景である3つのキーワード、「レジリエンス」、「気候変動と異常気象」、「地域エネルギーシステム」から、研究の位置付けを設定し、設定した位置付けに適合する研究の目標と範囲、研究の目的を設定している。

① レジリエンスと地域エネルギーシステム

持続可能性の適応(Adaptation)観点で、地球温暖化、または異常気象に対するレジリエンスの概念をエネルギーシステムに適用する際、理論考察の基礎資料として活用できるようにレジリエンスの概要に関する計画論を考察・整理し、地域エネルギーシステムとの関係性を検討する。

② 気候変動と異常気象とエネルギーシステム

気候変動と異常気象に対応するレジリエンス向上のために、現在の気象データと将来の気象予測データを活用したエネルギー需要の変動を予測し、この変動のエネルギーシステムへの影響を検討する。エネルギー需要の変動と影響を予測した事例研究から本研究の位置付けを明らかにする。

③ レジリエンスと日本の地域エネルギーシステム

1970年から導入されてきた既存の地域冷暖房地区は、経年により、新しいシステムと設備の補強、社会のニーズとエネルギー環境の変化に従って、システムの点検と再設定が必要な時期を迎えている。本研究では、レジリエンスの観点から、地域冷暖房地区の現況を調査・検討し、今後、地域冷暖房地区に必要な対策や対応の方向性を検討する際の参考資料とする。

(2) 研究の目的

本研究では、地球温暖化に対するレジリエンスの概念を地域エネルギーシステムに導入した概念を整理・提案すると共に、将来の気象予測データを活用して、将来気象が都市エネルギーシステムに与える影響を予測し、既存の冷暖房供給地区を対象として、レジリエンスの観点から、都市エネルギーシステムのあり方を検討することを研究の目的とする。

1.2.2 研究の範囲と流れ

本研究は、レジリエンスの概念を地域エネルギーシステムに適用するために、理論考察、現況分析、シミュレーション研究の3段階の研究について、表1.1のような研究の範囲を設定している。

表 1.1 研究の範囲

区分	1 段階	2 段階	3 段階
	理論考察	現況分析	シミュレーション研究
内容	Resilience Urban Resilience Resilience Energy に関わる文献考察	地域冷暖房地区の データ分析 電力 BCP 設備の アンケート調査	4°C上昇後の 冷暖房需要変化、 冷暖房システムへの 影響、 CGS と蓄熱槽の効果
対象	地域 エネルギーシステム	日本地域冷暖房地区	みなとみらい21地区
対象とする 時間	1970年代から最近までの 研究	現在	平均気温の 4°C上昇後の将来 (2100年)
状況	レジリエンスの概念の「予測できる、或は予測できない外部環境の変化」として、気候変動(4°C上昇)と異常気象による外部エネルギーの供給の途絶(特に、系統電力供給の途絶)を想定する。		

(1) 1 段階：理論考察

地域エネルギーシステムにレジリエンスの概念を適用するために、レジリエンスの概念について、理論的な考察を行う。レジリエンスの概念が登場した1970年代の理論的な背景から、最近の文献までを調べる。対象範囲としては、地域エネルギーシステムを中心として、レジリエンスの概念を整理するために、都市とエネルギー分野における関連文献を主に扱う。

研究の結果として、都市エネルギーシステムのレジリエンスモデルを整理・提案し、地域エネルギーシステムの構成要素との関係性を明らかにする。

(2) 2 段階：現況分析

地域エネルギーシステムの方式である地域冷暖房地区を対象とする。研究の容易性を考慮して、日本熱供給協会に加入している134ヶ所のデータ(平年30年基準)を扱う。

利用するデータは日本熱供給協会から提供されている熱供給事業便覧と日本熱供給協会のサイトに公開されている各地区の紹介内容、各地区の熱供給事業者のホームページ、パンフレット、東京環境局の公開資料「地域エネルギー供給実績報告書平成28年」、アンケート

調査のデータである。

アンケート調査は、事業者が理解しやすくために、「電力BCPに関するアンケート調査」という題目で、電力BCP設備に関わる設備と資源の現況調査を行う。

研究の結果として、レジリエンスの観点から地域冷暖房地区の現況を検討して、対策・対応が必要な部分を整理する。

(3) 3段階：シミュレーション研究

みなとみらい21地区を対象として、4°C上昇後の冷暖房需要の予測、冷暖房システムへの影響、レジリエンスを向上するCGSと蓄熱槽の効果をENEPRO21（発電設備、太陽光発電、太陽熱利用なども含め、あらゆるエネルギー設備の評価するシミュレーションプログラム）上で、シミュレーションする。

現在の冷暖房需要として、2014年4月～2015年3月の冷暖房需要と電力需要の実績データを利用し、将来の気象データとしては、東京地域のd4PDF(地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、database for Policy Decision making for Future climate change)を活用する。

(4) 本研究の状況設定

レジリエンスの概念を定義する際、外部環境の変化を「予測できること」と「予測できないこと」で説明している。本研究では、「予測できること」を地球温暖化による平均気温上昇を想定し、「予測できないこと」としては、異常気象によって外部からのエネルギー供給の途絶を想定している。「予測できないこと」として、具体的に平均気温の4°C上昇、「予測できないこと」としては、系統電力の途絶を考慮して、アンケート調査とシミュレーション研究を行う。

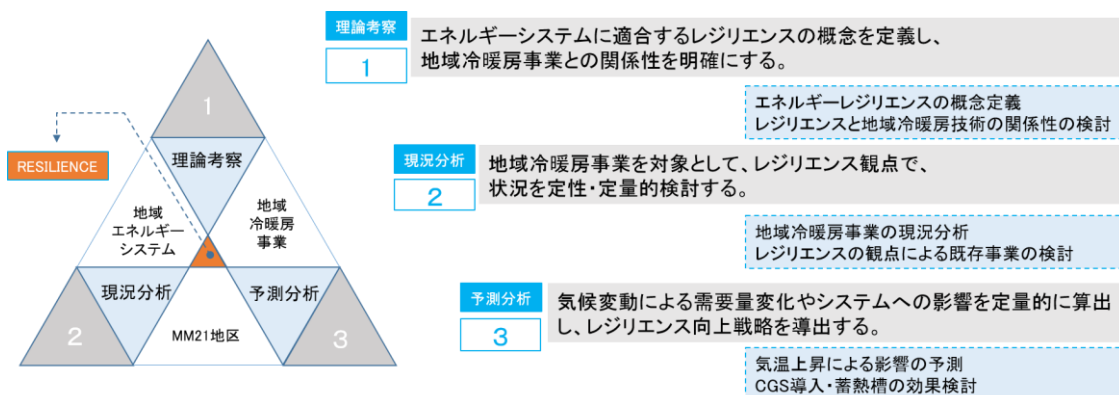


図1.6 研究の段階

1.3 研究のフレームワーク

本研究は、理論考察から、フレームワークを地域エネルギーシステムの構成要素とレジリエンスの概念的な関係性で検討して、整理しているが、本研究の範囲と目的に合わせて、部分的に再編集した。

1.3.1 理論考察からのフレームワーク

本研究が志向している都市エネルギーシステムのレジリエンスと地域エネルギーシステムの構成要素、技術要素の関係を検討することで、フレームワークを設定している。このフレームワークは、地域エネルギーシステムの構成である資源、インフラ、設備(生産・貯蔵)、影響のカテゴリーで、地域エネルギーシステムの構成要素の中で、レジリエンスに関わっている重要な技術要素を整理している。

地域エネルギーシステムの構成	技術要素		レジリエンスの重要関係
	熱	電気	
Resource (投入INPUT)	石油、ガス、電力 再生エネルギー・未利用エネルギー		重複性(非常燃料) 多様性(エネルギー源)
インフラ (供給Supply)	ガス管、熱供給管 共同溝	受電設備	重複性(予備インフラ) 強健性
設備 (生産Product)	ボイラ、冷動機、ヒートポンプ コジェネレーション	発電機 燃料電池	重複性(能力)、独立性(電力)
設備 (貯蔵Storage)	蓄熱槽	UPS 蓄電池	重複性(予備設備)
影響Impact (産出OUTPUT)	システムCOP・ベストミックス コストパフォーマンス CO ₂ 、排熱、排水		エネルギーの効率性・柔軟性 経済性 環境性

図 1.7 理論考察からのフレームワーク

1.3.2 研究の範囲としてのフレームワーク

研究の範囲としてのフレームワークは、理論考察からのフレームワークを本研究の範囲と目的に合わせて、再編集したものである。

本研究は、物理的な技術要素を主に扱う。特に、CGSは、災害に対応できる対策であり、蓄熱槽は、気候変動による冷房需要増加に対応する対策であるので、CGSと蓄熱槽を中心として、研究を行う。

シミュレーション研究として、4°C上昇後の影響を検討するので、扱う期間は、2100年以後になる。環境性とエネルギー(エネルギーの効率性)は、現況の条件で検討して、現在から将来までの傾向を確認するが、経済性は、社会的に多様な要因との関係性が複雑であるので、本研究は影響のエネルギー(エネルギーの効率性)と環境性のみを検討する。

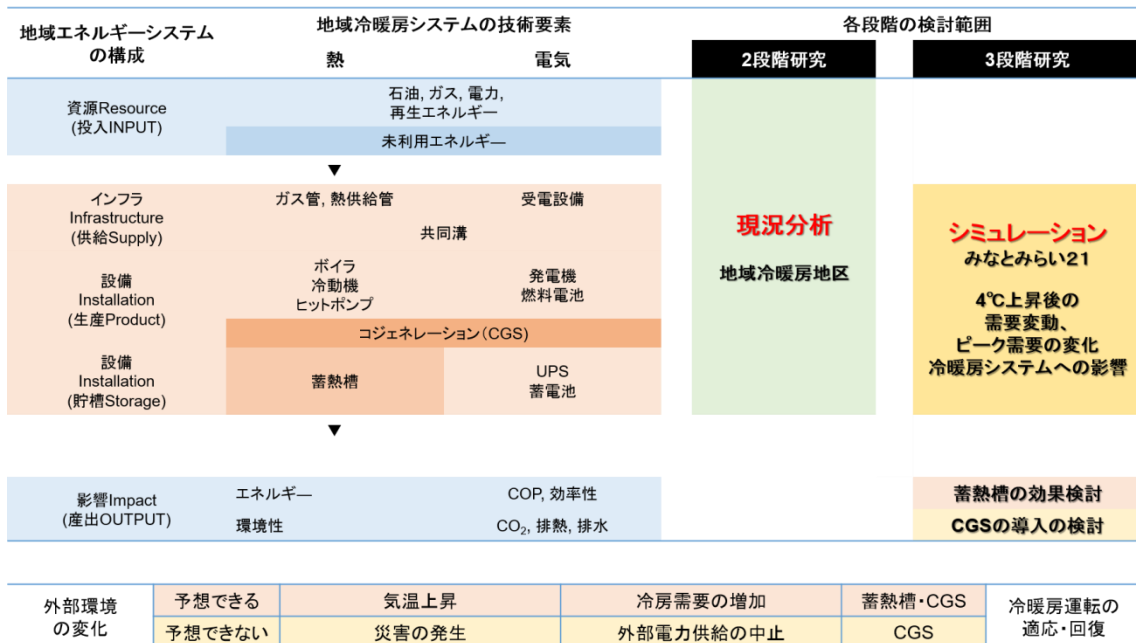


図 1.8 研究の範囲としてのフレームワーク

II

レジリエントな地域エネルギーシステム の概念構築

2.1 理論考察の概要と流れ

本研究で扱っているレジリエンスの用語は、「予想できる、或いは予想できない環境変化における適応に関するシステムの能力」を意味する。研究分野別、又は研究者によって、定義と特性に関する説明に差がある。また、多くの研究が、概念の理論研究であるので、都市エネルギーシステムに実際に適用するのに、難しさがある。

従って、理論考察には、レジリエンスの概念を地域エネルギーシステムに適用できるように、レジリエンスの概念を都市エネルギーの観点で整理し、レジリエントなエネルギーシステムのモデルを構築する。

そのために、3つの過程を設ける(図 2.1)。

まず、レジリエンスエネルギーの概要を定義するために、レジリエンスを定義・説明している文献をとりあげ、その内容を考察する。特に、都市エネルギー分野のレジリエンスを中心として、考察する。

次は、都市エネルギーシステムのモデルを構築するために、都市とエネルギーに関する文献からレジリエンスの特性と構成要素を調査して、再編成する。

最後に、理論的なレジリエンスの概念を実際のエネルギーシステムに適用できるように、地域エネルギーシステムの構成と技術要素を調査し、レジリエンスとの関係性を明確にする。

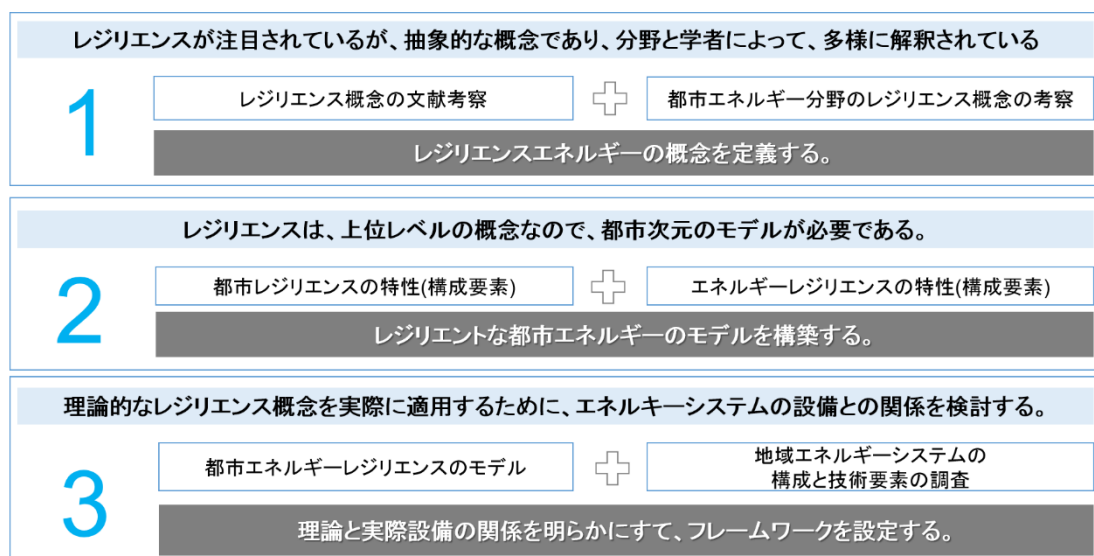


図 2.1 理論考察の過程別内容

2.2 レジリエンスの概要考察

2.2.1 レジリエンス

(1) レジリエンスの由来と分野別特徴

Resilience(レジリエンス)は, 'to jump back', 'to rebound' 又は, 'to recoil'を意味するラテン語'resilio'を起源とする [Manyena, 2006] [Richard J. T., 2003]。

‘レジリエンス’は心理学と生態学を中心とし発展してきた。20世紀後半からは、複雑系理論が台頭しながら、多様な分野へこの概念の拡大が始まった。以後、工学、環境工学、エネルギー、農業や生命工学のみならず、事業管理及び会計、経営学、経済学、政治学、人文地理学など、更に幅広く適用されて、多様に発展しており、多分野で議論が行われている (Kegler 2014; Karrholm, Nylund & dela Fuente, 2014; Chelleri, 2012; Christmann et al. 2011) [Kim J., 2016]。

“a measure of the persistence of systems and of their ability to absorb change and disturbance and still maintain the same relationships between populations or state variables” (Holling, 1973, p.14).

最近、台頭しているこの概念の学術的な背景は、1973年生態学者、C. S. Holling の論文からといわれている。Holling は、予期せぬ外部の変化や妨害にさらされたシステムの動作を定量的に検討するために、レジリエンスの概念を使用し、レジリエンスを「システム内の関係の持続性」、「変化と妨害を吸収し、人口や状態変数間の同一関係を維持するシステムの能力(Holling, 1973)」と定義した。

都市計画分野において、レジリエンスが注目され始めたのは、2001年のニューヨークの911テロ事件からであった。911事件をきっかけとして、2002年MIT Conferenceに、‘The Resilient City: Trauma, Recovery, and Remembrance’ という用語が用いられ、以後ValeとCampanellaが‘The Resilient City: How Modern Cities Recover from Disaster’と題した本を著した(Kegler, 2014)。これ以後、都市環境のレジリエンスは、都市と自然環境による極端な現象にさらされることと未来に対する不確実性、不安定性が過去より早く、予測し難い形で現れる、このような脅威に対処するための新しい視点と方法として、米国の学系に本格的に登場した。

レジリエンスの概念は、学会のみならず、様々な国際機関が注目している。UN, UNISDR, UN-Habitat, OECD, IPCCなどの国際機関は、政策立案のフレームワークと評価要素として、レジリエンスの概念を活用しているが、学問分野と学者らの間に、合議された概念としては、同一の定義が確立されていない。

(2) 分野別のレジリエンスの特徴

レジリエンスの概念は、多様な分野に適用されて、各々の特性を持っている。表 2.1 は、Folke(2006)が、工学、生態・社会、社会生態の分野別にレジリエンスの特性、重点、脈絡の側面で整理したものである(表 2.1) [Folke, 20006]。社会生態分野が、比較的に関工分野と生態・社会分野より幅広く、統合的にレジリエンスを扱っている。

表 2.1 Folke の工学、生態・社会、社会生態の分野別にレジリエンスの特性、重点、脈絡

Resilience 概念	性格	重点	脈絡(Context)
工学的レジリエンス	効率性、復旧期間	復旧、持続性	安定的均衡の状態
生態的・エコシステムレジリエンスと社会的レジリエンス	緩衝能力、衝撃からの耐久性、機能の維持	持続性、妨害(障害)の吸収	複合的均衡、安定性
社会生態的レジリエンス	相互作用、再編成、維持、発展	適応性の能力、変形力、学習、革新	統合的なシステムフィードバック、スケールを交差する相互作用

(3) レジリエンスの概念の定義

レジリエンスの定義について明確に公表されたものはないので、既存の文献資料から定義を検討し、共通した意味を導出した。表 2.2 は、調べた文献資料からレジリエンスの定義及び説明を整理したものである。一般的に、レジリエンスの概念は、予想できる又は、予想できない衝撃に対して、対応・回復する能力であると整理できる。

表 2.2 各文献のレジリエンス概念の説明

(2012) Tien Peng, CONCRETE in focus	Resilience can be understood as the capacity to anticipate and minimize potential destructive forces through adaptation or resistance. Basically, addressing changes in the environment, whether gradual (climate change) or more abrupt (such as hurricanes) or immediate (such as a terrorist attack), require actions to mitigate their negative effects. レジリエンスは、アダプテーション又は抵抗性を通じて潜在的破壊力を予想あるいは最小化する能力の意味と理解できる。基本的に、漸進的、もしくは突然、又は即時の環境変化を意味する。
(2011) The Infrastructure Security Partnership, Regional	“the capability to prepare for prevent, protect against, respond to or mitigate any anticipated or unexpected significant threat or event, to adapt to changing conditions and rapidly recover to normal or a “new normal,” and reconstitute critical as sets, operations and services with minimum damage and disruption to public health and safety, the economy, environment and national security. 予想できる又は予想できない重要な脅威を緩和、対応、防護、防止するため、

Disaster Resilience	又変化している条件に適応し、ノーマル又はニューノーマルに迅速に回復させ、公共の健康と安全、経済、国家的な安定に妨害や被害になることを最小化させ、コミュニティ、作動、サービスなどを安定的に再構成するための準備する能力。
(2014) IPCC, Climate Change 2014	The capacity of social, economic, and environmental systems to cope with a hazardous event or trend or disturbance, responding or reorganizing in ways that maintain their essential function, identity, and structure, while also maintaining the capacity for adaptation, learning, and transformation 危険なイベント、傾向、妨害に対処する社会的、経済的、環境的システムの容積（能力）であり、このような重要な機能、特性、構成を維持する方式で対応したり、再編成したりする一方、適応、学習、転換のための能力を維持する。
(2013) Presidential Policy Directive 2013	“The ability to prepare for and adapt to changing conditions and withstand and recover rapidly from disruptions. Resilience includes the ability to withstand and recover from deliberate attacks, accidents, or naturally occurring threats or incidents” 変化している条件に適応や準備することと、破壊に耐え、迅速に回復する能力。レジリエンスは複雑な攻撃、事故、自然に起きる脅威や事件を耐える能力を含む。
(2012) NAS	With respect to systems associated with essential social functions, a National Academy of Science (NAS) report identifies four basic resilience components: plan/prepare, absorb, recover, and adapt to anticipated and unanticipated conditions 必須の社会的な機能に関わっているシステムの観点から、レジリエンスを4つの要素で特性づける。予想できる、あるいはできない条件に、計画/予備、吸収、回復と適応
(2013) Department of Homeland Security	“Having accurate information and analysis about risk is essential to achieving resilience. Resilient infrastructure assets, systems, and networks must also be robust, agile, and adaptable. Mitigation, response, and recovery activities contribute to strengthening critical infrastructure resilience” レジリエンスを実現するには正確な情報や分析が必須である。レジリエントなインフラストラクチャー資産、システム、ネットワークは必ず、強健、機敏であり、重要なインフラストラクチャーを強化するのに適応、緩和、対応、回復の活動が寄与する。
(2009) Haimes	Resilience is the ability of the system to withstand a major disruption within acceptable degradation parameters and to recover within an acceptable time and composite costs and risks. 受容可能なパラメータ内の重要な阻害に耐え、受容できる時間やコスト、リスクの範囲内に限られている回復のためのシステムの能力
(2013) White House	Resilience is the ability to prepare for and adapt to changing conditions and withstand and recover rapidly from disruptions. . . [It] includes the ability to withstand and recover from deliberate attacks, accidents, or naturally occurring threats or incidents. 変化する条件に適応すること、阻害から迅速に回復し、耐えることを準備する能力…意図的な攻撃、事故、又は自然に起こる脅威や事故に耐え、回復する能力。
(2012) Committee on Increasing National Resilience to Hazards and Disasters	Resilience is the ability to prepare and plan for, absorb, recover from, and more successfully adapt to adverse events. 不利な事件によりうまく適応、回復、吸収、計画や準備するための能力。
Henry H. Willis (2015), Kathleen Loa, Measuring the resilience of energy distribution systems, RAND	

(4) 都市のレジリエンス(Urban resilience)の概念

表2.3 はレジリエンス(Urban Resilience)の概念を分野別の参考文献から整理した表である [Sara Meerow, 2016]。都市レジリエンスの概念を、変化、障害などの不確実性に直面する時、その影響を調整したり、収容したり、跳ね返したりする都市の能力と説明している。ただ、各々の分野に従って、変化と障害の対象が洪水、気象、社会的な変動、経済の衝撃などになり、対象によってレジリエンスの能力又は措置が変わる。都市の場合、複合的な分野が多次元的に混在するので、都市のレジリエンスを説明するために、都市の各分野との関係を整理した文献資料も多数存在している。

表2.3 Sara Meerow の文献資料による都市のレジリエンスの概念整理

学者	分野	概念説明
Alberti (2003)	Agricultural and biological sciences; environmental science	新たな構造とプロセスを再構築する前に都市が変化を容認する程度 “. . . the degree to which cities tolerate alteration before reorganizing around a new set of structures and processes” (p. 1170).
Godschalk (2003)	Engineering	物理システムと人間社会の持続可能なネットワーク “. . . a sustainable network of physical systems and human communities” (p. 137)
Pickett (2004)	Agricultural and biological sciences; environmental science	変化する状況に直面して調整するシステムの能力 “. . . the ability of a system to adjust in the face of changing conditions” (p. 373)
Ernstson et al (2010)	Environmental science; social sciences	一定のダイナミックな体制を維持するためには、都市ガバナンスは不確実性に直面する変革的能力を構築し、変化させる必要もある “To sustain a certain dynamic regime, urban governance also needs to build transformative capacity to face uncertainty and change” (p. 533).
Campagna (2006)	Social sciences	破壊から立ち直る都市の能力 “. . . the capacity of a city to rebound from destruction” (p. 141)
Wardeker (2010)	Business management and accounting; psychology	その影響を治める特性や措置を通じた障害（事件や傾向）に耐えられるシステム、損害や障害を軽減またはそれらに対応することによって、システムが相互反応し、障害に迅速に対応することを可能にするシステム “. . . a system that can tolerate disturbances (events and trends) through characteristics or measures that limit their impacts, by reducing or counteracting the damage and disruption, and allow the system to respond, recover, and adapt quickly to such disturbances” (p. 988).
Ahern (2011)	Environmental science	システムが他の状態変化なく、変化と障害から再構成し、回復する能力… 「safe to fail」のシステム “. . . the capacity of systems to reorganize and recover from change and disturbance without changing to other states . . . systems that are “safe to fail” (p. 341)
Leichenko (2011)	Environmental science; social sciences	様々なショックやストレスに耐える能力 “. . . the ability . . . to withstand a wide array of shocks and stresses” (p. 164)

(5) レジリエンスの原理と特性

レジリエンスは、外部の衝撃に対して、絶えるシステムの能力、又はその状態を意味するが、レジリエンスをより詳しく理解するためには、原理と特性によるレジリエンスのプロセスを整理しなければならない。従って、学者らの説明と主張を調べ、一般的な共通点を確認した。

① Holling(1973) [Holling, 2001]

Holling は、社会・生態システムの適応過程を適応的循環 (Adaptive cycle) で説明した(図 2.2)。適応的循環は、システムが将来に対応する時の富(Wealth), 調整能力(Controllability), 適応能力(adaptive capacity)の 3 つの特性によって形成されると主張した。そして、4 段階の再生周期がある発見的なモデル (Heuristic model) である。

図 2.2 に 4 つの段階を、(1) r: 利用/成長 (Exploitation), (2) K: 保存 (Conservation), (3) Ω : 解体 (Release), (4) α : 再組織化 (Reorganization) で表している。Y 軸の可能性 (Potential) は、蓄積された資源と意味し、X 軸の調整されている変数との間の組織化 (Connectedness) の程度を意味する。この X 軸と Y 軸 2 つの特性の変化に応じた適応的再生サイクルに基づいて生態系の回復力を高めることにより、オブジェクトの生存の可能性が確保されて進化するように見える(Berkes et al., 2003, Kim J., 2016)。r から K に移動する過程 (r→K) は、比較的遅く、漸進的な「前面部ループ (Foreloop)」であり、 Ω から α に移動する過程 (Ω → α) は、混沌として速い「背面ループ (Backloop)」であり、次の前面部のループの特性に強い影響を与える過程である (Folke et al., 2010)。

図 2.3 は、ペナキ(Panarchy)という概念であり、複雑に適応するシステムの全体的な基本構造を表す。ペナキは、一方的に支配する「位階(Hierarchy)」との差を概念的に説明するための用語であり、伝統的に存在してきた概念ではない。階層間が連携されて、総合作用を行う構造を意味する (Churchill, 2003)。

時間的位階で、下位階層の適応的循環の周期は、小さくて速い反面、上位階層の適応的循環は大きく遅い特性が見られる。

また、下位階層の解体及び転換段階を通じて、上位階層に衝撃(revolt)を与え、上位階層は下位階層の安定に対する記憶(Remember)を提供することで、階層は相互影響を取り交わす(Holling et al., 2002, Schnur,2013)。特に、上位階層が下位階層に提供する記憶(Remember)を通じて、下位階層は再組織化段階と成長段階に入ることができる。このような特徴は、システム全体の「連続性 (CONTINUITY)」と「共振化 (COEVOLUTION)」の特性を作り出す。各階層の適応的循環が異なる速度で動作することが「複雑性 (COMPLEXITY)」の特性を生じさせる。

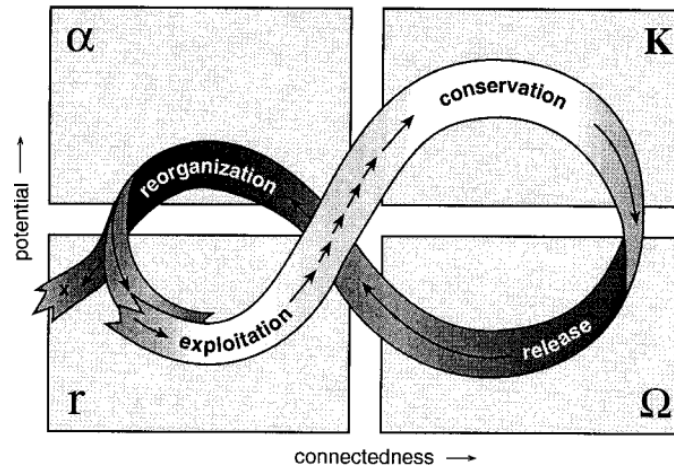


図 2.2 適応的サークル¹
(The adaptive cycle)

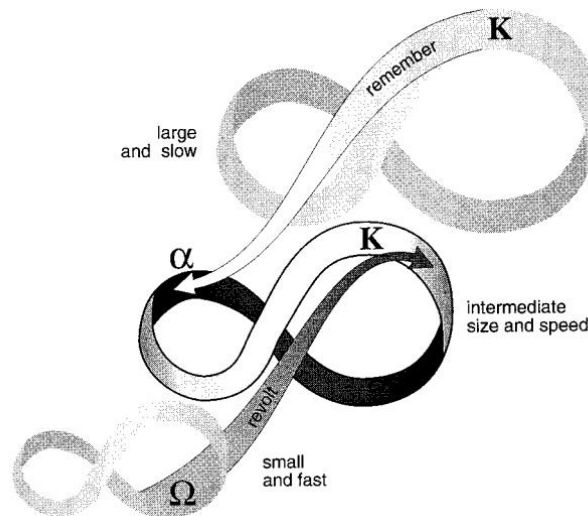


図 2.3 Panarchy 又は、適応的サークルに連携されている多重スケール¹
(Panarchy or linked multi-scale adaptive cycles)

② Kathryn A. Foster [Kathryn A. Foster, 2006]。

Kathryn A. Foster は、地域のレジリエンス (Regional resilience) を、障害に対して予測、準備、反応、回復する地域の能力であると定義し、Kathryn A. Foster の地域のレジリエンスの枠組みを Preparation Resilience と Performance Resilience の2つのタイプで分けて定義している(図 2.4 と 2.5)。Preparation の段階は、評価(Assessment)と準備(Readiness)で

¹ Holling S.C. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. Ecosystems (2001)

構成され、Performance Resilience の段階は反応(Response)と回復(Recovery)で構成される。そして、地域のレジリエンスの状態を4つの段階で評価できるように設定している。つまり、Kathryn A. Foster はレジリエンスの原理を評価(Assessment)、準備(Readiness)、反応(Response)、回復(Recovery)が順次的・還元的に作動し、Preparation Resilience と Performance Resilience を向上させることを理想的な状態と考えている。

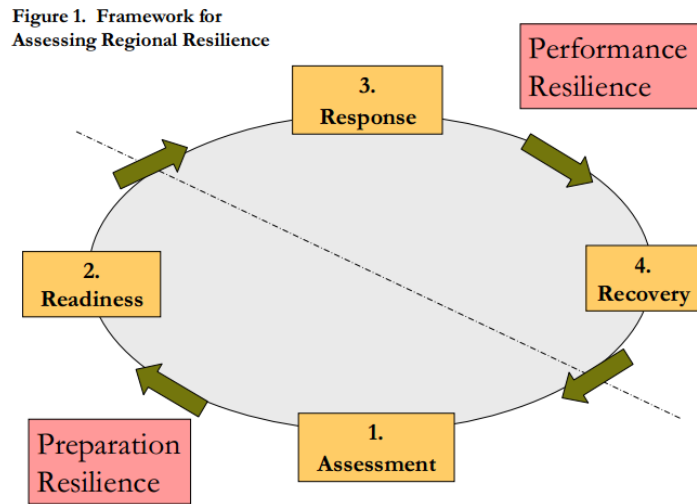


図 2.4 地域レジリエンスの評価の枠組²

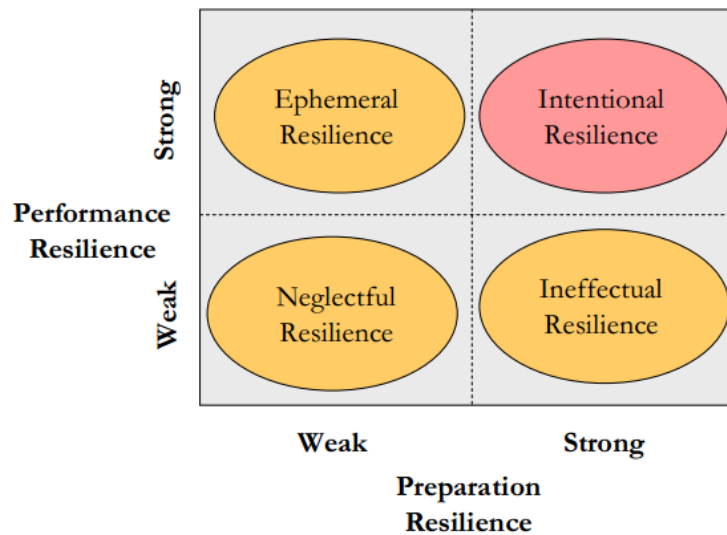


図 2.5 地域レジリエンスのマトリックス²

² Kathryn A. Foster. (2006). A Case Study Approach to Understanding Regional Resilience. Working Paper prepared for the Building Resilient Regions Network and presented at the Annual Conference of the Association of Collegiate Schools of Planning. University of California.

2.3 レジリエンスと持続可能性と気候変動の関係性の考察

2.3.1 レジリエンスと持続可能性

気候変動の緩和と適応に対応した都市(Mitigation and Adaptation)と都市のレジリエンス(Urban resilience)は、1987年N World Commission on Environment and Developmentのブルントラント報告書、「Our Common Future」から持続可能性(Sustainability)が登場した以後に出た都市モデルである。

この中で、持続可能性と都市のレジリエンスは、概念と目標が類似しているため、この関係を考察することは学術的に意味がある。持続可能性の概念が登場した初期1990年代には、ビジネスの観点から持続性と成長の間の均衡が焦点となっていたが、2000年以降は、適応(Adaptation)と敏捷性に関するアジェンダの焦点となってきた。

一部の学者らは、都市の政策と計画分野においては、持続可能性より比較的に遅く表れたレジリエンスを持続可能性と同一と見たり、持続可能性を代替できる概念として考えたりする場合もある。

表2.4は、Lizarralde (2015)が持続可能性とレジリエンスの概念の間の差異について物理・関係分野(イギリス)を中心にして整理した内容である [Lizarralde G., 2015]。

表 2.4 Lizarralde による持続可能性とレジリエンスの概念の差異

理論提示の時期	Brundtland report(1987)の持続可能な発展(Sustainable development)	Holling の生態系の適応(adaptation)概念(Holling, Gunderson, & Ludwig, 2002)
初期分野	経済学	心理学(19世紀), 製造業(20世紀前半), 生態学(1950年代), 災害リスク減少(2000年代)
拡張分野	生態学, 建築学, 都市, 造景学, デザイン, 製造業, 交通, 農業, 林学	社会学, 人類学, 社会学, 建築学, 都市, 工学, 造景学, 農業
最終目標	環境の保全	環境に適応する能力
遂行方法	システムのエコ-効率性(ECO-EFFICIENCY), 資源利用を最小化する能力など	システムの効率性, 余裕等

システムの実行に関する焦点	環境破壊シナリオに対して、現在の目標に合わせて定義される中期平衡(Mid-term equilibrium)	変動状況（分からない）によって定義される長期平衡(Long-term equilibrium)
自然, 社会, 人工環境間の平衡に対する観点	証明による基準の定義	潜在性と能力の認識と開発
建築環境の政策分野における核心となる概念	Green/sustainable cities, green neighborhoods, environmental impacts, environmentally-friendly products, eco-design	Resilient cities, protection, resistance, adaptation, bounce-back, risk reduction, mitigation, ecosystem equilibrium, climate change adaptation
建築環境のプロジェクトにおける革新的な概念	Green projects, lean construction, project life cycle, self-sustaining communities	Resilient communities, resilient infrastructure, local capacities, expertise and know-how, system redundancy, system failure
建築環境分野における遂行ツール	Green building certifications, sustainable development certifications, environmental certifications	Risk reduction programmes, contingency plans, buffer zones, mitigation plans, reconstruction plans
人工環境の目標	炭素と温室ガス排出, land footprint, 化石燃料と再利用不可能な資源, エネルギー及び水資源消費, 廃棄物と汚染の減少	適応能力の増加, 剰余システム要素の活用可能性, 効果的な再建築, 災害に強い建築と基盤施設
人工環境における実行のハードル	追加的費用 持続可能性の狭い観点 経済成長の観点	機関が自由に事前予防より事後対応する傾向 大衆の認識不足 漠然とした否定的な認識

表 2.5 は, Dayton Marchese が整理した持続可能性とレジリエンの関係性による差異を説明している [Dayton Marchesea, 2017]。

学者によっては持続可能性とレジリエンスの関係の相違を説明する。しかし, この二つの概念の関係に対する必須の目標として, 持続可能性を考慮すべきで, レジリエンスは持続可

能性を達成するための考え及び行動の方法論と理解できる(Harrison et al., 2014)。このような見解をもっている学者の中で, Walker & Salt(2006)は,「レジリエンスは持続可能性の核心である。」といい, Harrison et al.(2014)は,「予測できない変化に直面する際, 高い水準のレジリエンス, または適応力を達成できたら, このシステムは持続可能な状態である」と述べている。

表 2.5 Dayton Marchese の説明：持続可能性とレジリエンスの関係による差異³

<p>概念図</p>			
<p>関係</p>	<p>持続可能性を構成要素とするレジリエンス</p>	<p>レジリエンスを構成要素とする持続可能性</p>	<p>持続可能性とレジリエンスを個別のものとする</p>
<p>特徴</p>	<p>よりレジリエント状態は, より持続可能な遂行を維持・達成する</p>	<p>より持続可能なシステムは, 重要な機能の機能性の喪失を低減する。</p>	<p>持続可能性とレジリエンスはネガティブな相互関係, ポジティブな相互関係, 又は無関係である</p>

³ Dayton M., Erin R., Matthew E. B., Heather M., Susan S. C., Igor L., Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications, Science of The Total Environment, Vol.613-614, pp.1275-1283, 2018.02.01.

2.3.2 レジリエンスと気候変動

気候変動は、持続可能性を脅かす現人類の共通の課題である。これを解決するための対策として、2000年代初頭までは、低減（Adaptation）の観点から、低炭素社会のための政策と研究が主に行われてきた。しかし、IPCCの気候予測レポートは、人類が現在の温室効果ガスの排出を抑制しても、一定の部分の気候変動は避けられない状況だと説明している。

2000年代初頭以降からは、人類生存の脅威を最大限に減らすために、被害を予防・最小化する研究と計画の必要性が高まり、適応（Adaptation）の概念が台頭した。したがって、低炭素都市の適応の概念は、持続可能性のカテゴリに属し、気候変動の対策の一部として考えられ、外部環境の変化に適応するという意味で、レジリエンスの範囲にも属していると言える。気候変動の適応として、レジリエンスの概念がどのように扱われているかを確認する。

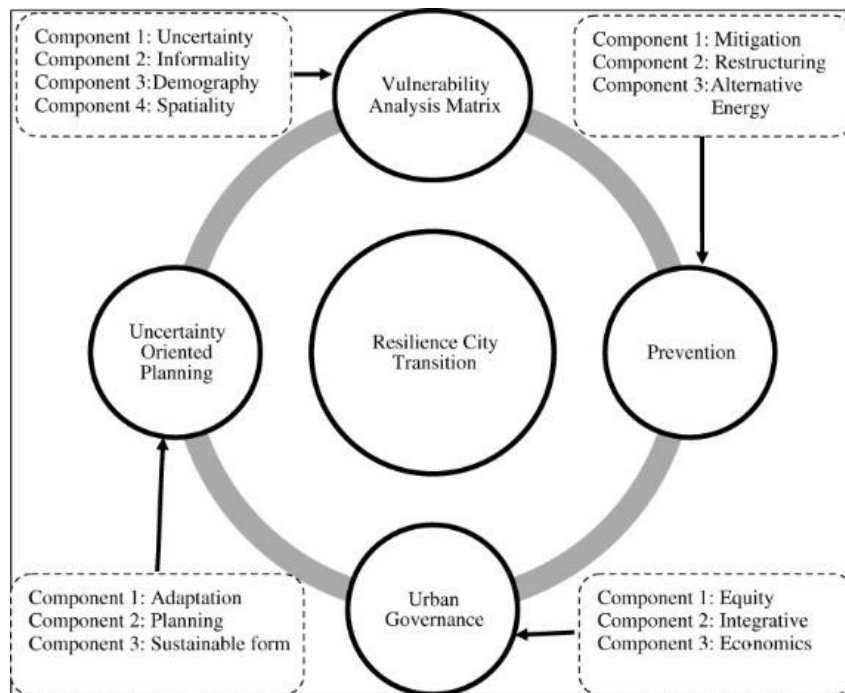


図 2.6 Jabareen のレジリエンス都市計画のフレームワーク⁴

Leichenko は、文献考察を通じて、気候変動に対応する都市のレジリエンス (Urban Resilience) のあり方として、気候変動に対応するために、より広い範囲の衝撃とストレスに対して、回復力 (Resilient) を持たなければならず、都市開発と持続可能性促進の努力と共に、気候変動のレジリエンスを促進すべきだと述べている。レジリエンスアプローチの実際の

⁴ Jabareen Y. (2012). Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities*, Volume 31, pp 220-229, 2013.04.

な適用に関連する課題として、都市内、および都市間での不均等なレジリエンスのパターンに伴う公平性、実施コストの評価の必要性を強調しながら、都市のレジリエンスのキーポイントとして、多様性を挙げている [Leichenko R., 2011]。

Jabareen は、レジリエンスが概念的に定義され、用語の混乱性がある、明確ではなく、気候変動と環境リスクに対する都市のレジリエンスの理論と実行の間に、齟齬が生じる問題を提示している。そして、レジリエンスの概念と都市の分野を 4 つのフレームに分けて評価できる質問を提示している(図 2.6) [Jabareen Y., 2012]。

・世界銀行 (World bank) の気候レジリエントシティ (Climate resilient cities) [The World Bank, 2009]

世界銀行 (World bank) が発表した「Climate resilient cities」の報告書は、気候変動による自然災害を最小限に抑えるために、都市の政策と評価をどのような方向性で進めるべきかを説明している。特に都市の水資源とエネルギーを中心として方向性を設定しており、気温上昇による自然災害に対応する都市の低減と適応・対策の調和の状態を気候レジリエントシティ (Climate Resilient city) で、表現している。

この報告書は、Stern N.の研究を例に挙げて、適応の必要性を経済的な観点で説明している。気候変動に対して、積極的に適応コストを使うことが、今後の気候変動において、費用対効果を高められると主張している (N.Stern, 2007)(図 2.8)。

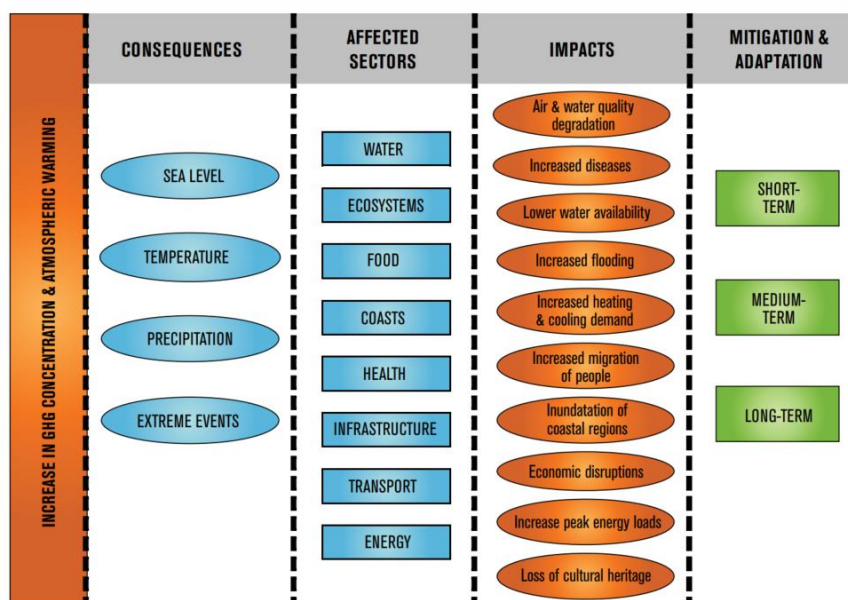


図 2.7 気候変動の低減と適応と可能な衝撃の結果と関連分野⁵

⁵ The World Bank. (2009), Climate Resilient Cities, The World Bank, Washington.

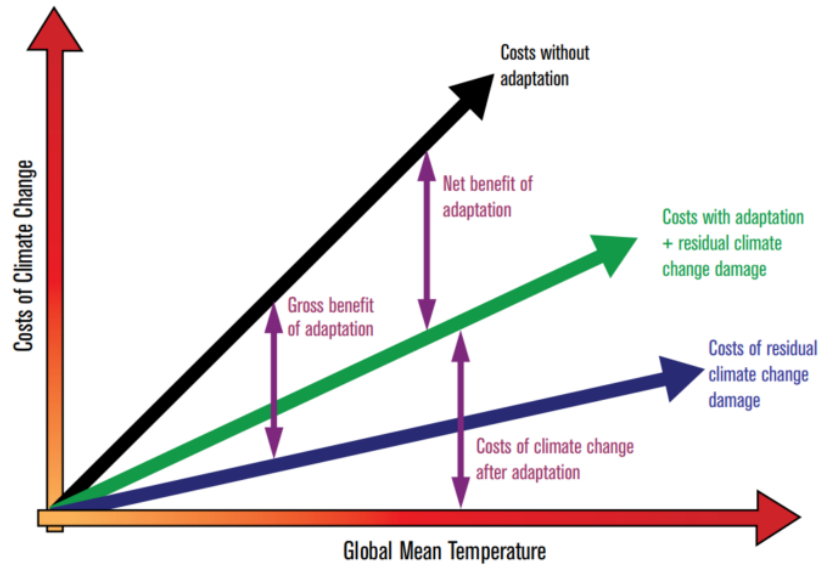


図 2.8 気候変動と適応費用の関係⁵

2.4 レジリエントなエネルギーシステムの構築

2.4.1 レジリエントなエネルギーの基本的な考え方

(1) Sharifi A. [Sharifi A., 2015]

Sharifi A.は、都市エネルギーシステムのレジリエンスのフレームワークを設定するために、Preparation, Absorption, Recovery, Adaptionの4つの段階でレジリエンスを説明している(図2.9)。4つの段階の能力をシステムに統合することで、エネルギーの4つの持続可能性に関連する次元として、「Availability」, 「Accessibility」, 「Affordability」, 「Acceptability」を継続的に取り上げることができると述べている(図2.10)。

- ・準備 (Preparation)：エネルギーサービスの可用性 (availability), アクセス可能性 (accessibility), 措置能力 (affordability), 収容可能性 (acceptability)への潜在的な悪影響を最小限に抑えることで潜在的な障害を回避し、広範囲な計画と設計措置を採用して予測・準備する。

- ・吸収 (Absorption)：システムがショックに耐えるように準備されていても、潜在的な影響はシステムの抵抗閾値を超えている可能性がある。したがって、システムの構成要素とその関係は、システムのパフォーマンスを大幅に低下させることなく、破壊的なイベントからの最初のショックを吸収できるように構成する必要がある。また、障害を避けるために、連続的な影響に対する回避の仕組みが必要である。吸収により、システムは障害の潜在的な全体的影響を最小限に抑えることができる。

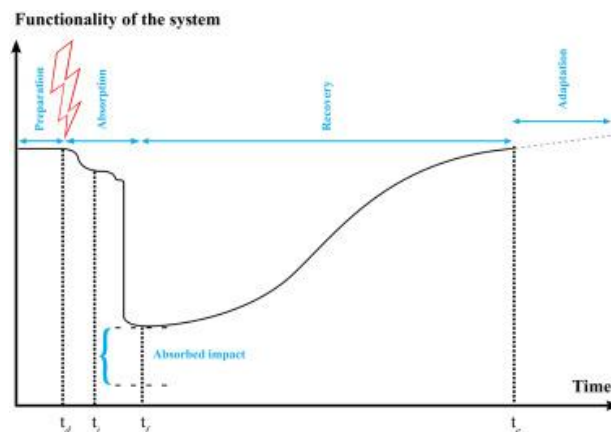


図 2.9 Sharifi のレジリエンスのフロー⁶

⁶ Sharifia A., Yamagata Y.(2015), Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review,

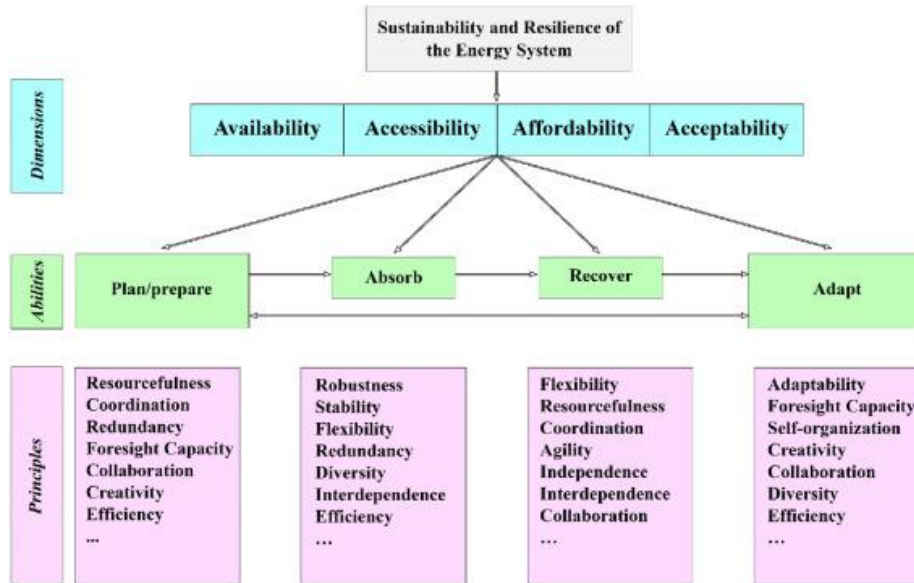


図 2.10 Sharifi のレジリエンスの構成⁶

・復旧 (Recovery) : 迅速に対応し、すべてのシステムの運用とサービスの可用性をイベント前の能力(Pre-event Capacity) と効率に戻すため、リスク管理アプローチを確立する。理想的には、復旧プロセスの計画は破壊的なイベントの前に開始する必要がある。通常の状態への復帰は、イベントの強度とイベント前の準備の程度にかかわる。計画と吸収の活動が十分に実施されると回復プロセスは加速化され、システムは、すべての資源を効果的に動員して、適時に処置できる。

・適応(Adaptation) : イベントから学び、システムのパフォーマンスを評価し、構成、トレーニングメカニズム、機能を変更して適応能力を高め、将来の障害に対して、より柔軟に対応能力を確保する。適応プロセスは、(イベント前の状況と比較して) システム状態の全体的な改善をもたらすはずである。適応活動は、しばしば段階的・小規模に外部の障害に対応できる [R.W. Kates W. T., 2012]。しかし、システムが非常に脆弱で、リスクとストレスが比較的深刻でそれらの間隔が短くなると、システムの閾値を超えて、極端に異なる経路に入り込む可能性がある。このような状況下では、段階的かつ小規模な適応では不十分であり、「変換的適応」(transformational adaptation)が必要となる [Hughes, 2015] [R.W. Kates, 2012] [C. Folke, 2010]。変換的適応によって、システムは「安定領域(stability domain)」(正常状態)から、また別の発展へ転換させられる。

(2) Henry H. W. [Henry H. W., 2015]

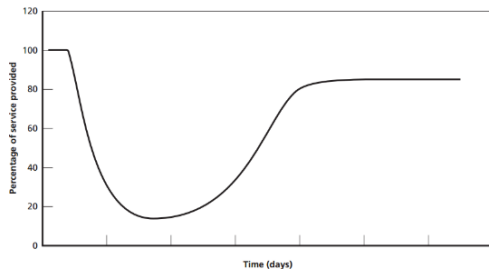


図 2.11 レジリエンスは、システムの障害にの反応する際のサービスの状態である。⁷

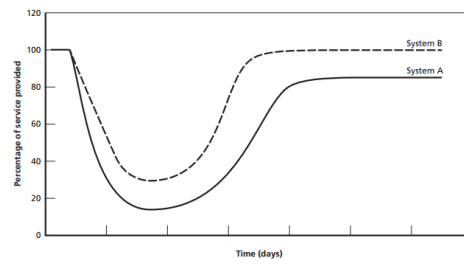


図 2.12 同じ障害に対して、違うシステムは違うレジリエンスを持つ。⁷

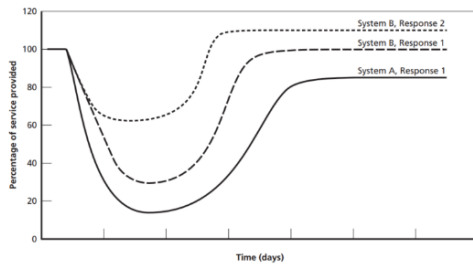


図 2.13 違う対応は、違うコストにおいて違うレジリエンスを齎す。⁷

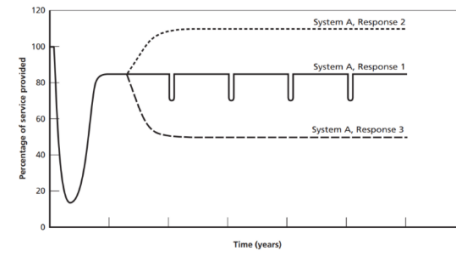


図 2.14 レジリエンスのシステムはタイムスケールに従う。⁷

レジリエンスを評価するために、マトリックスを設定している。遂行的な観点と戦略的な観点で構成され、「Inputs」、「Capacities」、「Capabilities」、「Performance」、「Outcome」のカテゴリで区分されたマトリックスを提案している(図 2.15)。

- ・ Input : レジリエンスの構築は、レジリエンスをサポートするために、利用可能なものを入力することである。エネルギーシステムにおける投入の例には、予算、設備、予備部品、および復旧作業を支援する人員が含まれる。

- ・ Capacity : レジリエンスをサポートするために、編成する方法を Capacity という。例えば、機器の修理が可能な対応チーム、災害後に実施可能な復旧計画、停電時の電力の再稼働、およびグリッドの一部の再構成に使用できる高度な技術などである。ただ、これらの機能を適切に使用することは、これらを使用できることと同じことではない。

- ・ Capability : Capability は、システムが能力を必要とする時に、どれだけうまく能力を出せるかを反映することである。巧みに、作業を実行する方法を示す。例として、電気漏出や停電の検出、損傷した電源線やパイプラインの修理、停電を復元することなどである。Capability は、システム性能(system performance)を向上させるために要求される。

- ・ Performance : Performance は、設計されたシステムによって、生成されるものを意味

⁷ Henry H. W., Kathleen L. (2015), Measuring the Resilience of Energy Distribution Systems. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2015.

する。エネルギーシステムでは、例として効率、信頼性、耐故障性、持続可能性、または強健性など、システムのエネルギー供給量または動作特性まで含まれる。

・ **Outcome** : 最終的に、エネルギーシステムのパフォーマンスは、社会が達成しようとしている成果(**Outcome**)をどのように達成するかによって、レジリエンスを測定できる。災害による被害の減少、経済活動の増加、災害による死亡者や傷害の減少など、多くの結果がある。

Metrics Can Serve Both Operational and Strategic Decisionmaking

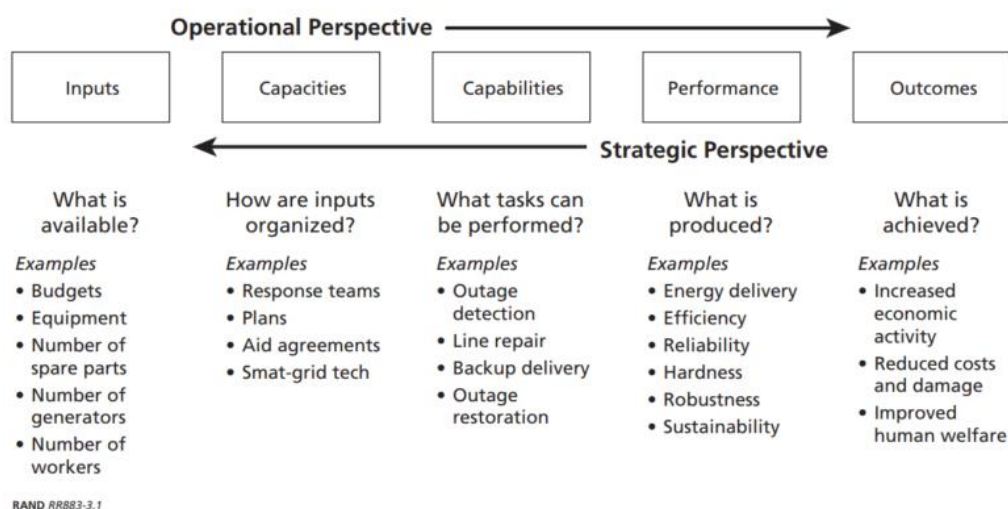


図 2.15 マトリックスは、運用上の意思決定と戦略的な意思決定の両方に役立つ。⁷

(3) 他の文献

表 2.6 参考文献からのレジリエンス概念の特性と原理

文献	分野	内容の特徴
2015, World Energy Council Marsh & McLennan Companies, Swiss Re Corporate Solutions, 2015 The road to resilience World Energy Council	エネルギー 政策	レジリエンスのために、energy trilemma (energy security, energy equity and environmental sustainability) が必要であ ると説明している。レジリエンスの2つの 側面(Hard/Soft resilience)を定義してい る。
2006, Kathryn A. Foster A Case Study Approach to Understanding Regional Resilience	地域開発	レジリエンスのプロセスを定義している。 Performance resilience・Preparation resilience
2014, Jo da Silva City Resilience Framework Ove Arup & Partners International Limited 2014	都市計画 (政策)	City Resilience Framework を設定してい る。レジリエンスは多重の危険に会う際、 パフォーマンスを高めることに焦点をあて る。
2015, IED Making the energy sector more resilient to climate change	エネルギー 政策	ビジネスとガバナンスに焦点として、コス トとタイムスケールの効率性を考慮してい る。
2015, Henry H. Willis, Kathleen Loa, Measuring the resilience of energy distribution systems, RAND	国家的な規 模のエネル ギーシステ ムの政策	国家レベルにおけるエネルギーセキュリテ ィに関するフレームワークを整理 エネルギーセキュリティはレジリエンス (Technology Development and Efficiency) の上位概念として設定されて いる。評価指標を単純指標と複合指標に分 けて設定している。
2014, Evans, P. FoxPenner, P. Resilient and Sustainable Infrastructure for Urban Energy Systems, Solutions.	都市エネル ギーインフ ラー	都市エネルギーインフラストラクチャーの レジリエンスを Resilience-sustainable infrastructure の用語で表現している。

2.4.2 レジリエントエネルギーの構成要素

レジリエンスの構成要素を検討するために、都市分野とエネルギー分野において、レジリエンスの特性又は構成要素を述べている文献を調査・整理した。都市分野の文献としては、Bruneau M.(2006), Arup のレポート(2014), Sharifi A.(2015)を整理し、エネルギー分野の文献としては、Evans C. P.(2014), IED のレポート(2015)を整理した。

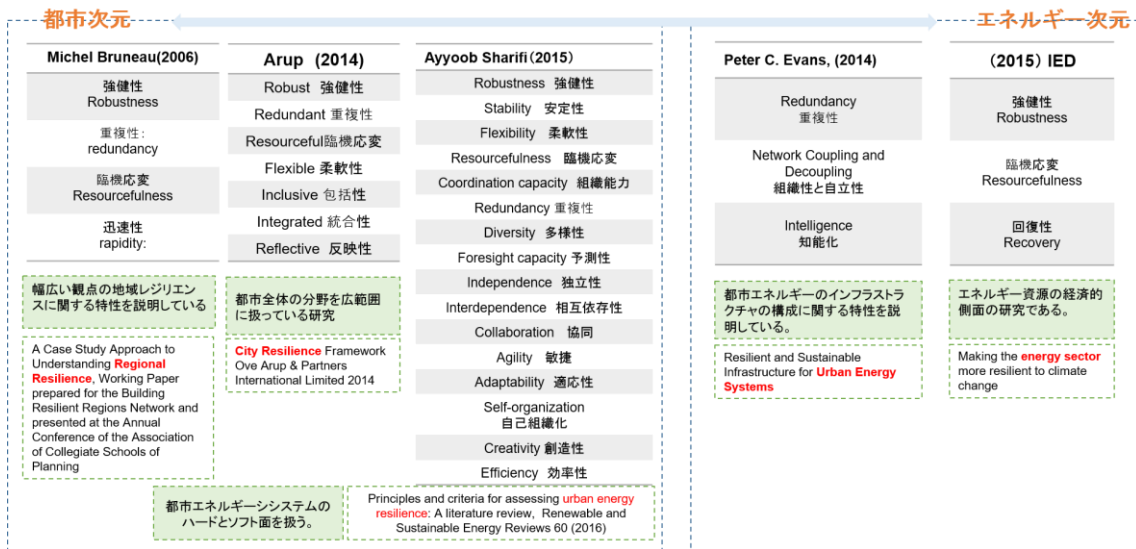


図 2.16 都市とエネルギー分野のレジリエンスの参考文献からの構成要素

(1) 都市分野のレジリエンスの構成要素

① Michel Bruneau [Michel Bruneau, 2003]

Michel Bruneau は、災害に対するコミュニティのレジリエンスを評価し、向上させるために、レジリエンスの概念を整理した。特に、地震に対するコミュニティのレジリエンス能力を定量的に評価するために、レジリエンスの特性を4つの要素で定義している。そして、レジリエンスは、技術(technical)、組織(organizational)、社会(social)、経済(economic)の4次元によって相互作用すると説明している。

表 2.7 Michel Bruneau の要素別説明

特性	定義
robustness	機能の低下、または機能低下を起こさずに、破壊に耐えるシステムおよびその要素の強度
redundancy	中断の場合、機能を維持するためのシステムまたはその要素が代替物を持っている程度
resourcefulness	問題を特定し、優先順位を設定し、障害に直面したリソースを動員して適用するシステム内の能力
rapidity	優先順位を満たし、損失を抑え、将来の混乱を阻止するためのタイムリーな目標達成能力

② Arup [Arup, 2014]

Arup は都市のレジリエンスを「都市に住んでいる人々、特に脆弱層、又は貧困層の人が、生存・繁栄するのに、直面しているストレスと衝撃によって、障害にならないようにする都市が機能する能力である」と定義している。都市のレジリエンスを評価するために、12 部門を7つの特性で検討するフレームワークを設定している。

表 2.8 Arup の要素別説明⁸

特性	定義(説明)
Reflective	Reflective システムは、今日の世界において、本質的であり、継続的に不確実性と変化を受け入れている。現状に基づいて、恒久的な解決策を模索するのではなく、絶え間なく進化する仕組みを持ち、示している証拠に基づいて、基準や規範を修正する。その結果、人々や機関は、過去の経験から調査し、体系的に学び、将来の意思決定に役立てるためにこの学習を活用する。
Robust	強健なシステムには、十分に構想・構築・管理された物理的な資産を含めて有しているため、重大な障害や機能の損失なしにハザードイベントの影響に耐えることができる。強健な設計は、システムの潜在的な障害を予測し、障害が予測可能で安全であることと、その原因が不均衡ではないことを保証する。単一の資産に対する過度の依存、連続的な障害、および超過した場合、壊滅的な崩壊につながる可能性のある設計値を積極的に避ける。
Redundant	重複性とは、システム内で、意図的に作成された余分な容量を意味し、中断、過度の圧力、または需要の急増に対応できるようにする。それには多様性が含まれている。ニーズに対応するための複数の方法が存在、または特定の機能を果たすこと。その例には、分散型インフラストラクチャネットワークとリソース確保が含まれる。重複性は意図的で、費用対効果が高く、都市規模で優先順位を付け、非効率な設計の外部性 (externality) があってはならない。
Flexible	柔軟性とは、システムが変化する状況に応じて変化・適応することができることを意味する。これは、インフラまたは生態系管理に分散的・モジュール的な接近を志向する可能性もある。柔軟性は、必要に応じて、新しい知識や技術の導入によって達成できる。それはまた、先住民民族または伝統的な知識と実践を新しい方法で検討し、組み込むことを意味する。
Resourceful	臨機応変とは、人々や機関がショックやストレス下で目標を達成したり、ニーズを満たすさまざまな方法をすばやく見つけることができることを意味する。これには、将来の状況を予測し、優先順位を設定し、例えば、より広い人的、財政的、および物理的資源を動員・調整する能力に投資することが含まれる。資源の臨機応変性は、深刻な圧迫条件下に、システムの機能を復元する都市の能力に役立つ。
Inclusive	包括性とは、最も脆弱なグループを含むコミュニティの幅広い協議と関与の必要性を強調する。あるセクター、場所、またはコミュニティが直面しているショックやストレスに対処することは、レジリエンスという考え方を揺るがすものである。包括的なアプローチは、都市レジリエンスを構築するための共通のオーナーシップ感覚または共同ビジョンに寄与する。
Integrated	都市システム間の統合と調整は、意思決定の一貫性を促進し、すべての投資が共通の結果に対して相互に支持することを保証する。統合性は、弾力性のあるシステムの中で、そして、その動作の異なる規模にわたって、現れる。システム間で情報を交換することで集合的に機能し、都市全体の短いフィードバックループを通じて迅速に対応することができる。

⁸ Arup. (2014). City Resilience Framework. Arup International Development.

③ Ayyoob Sharifi [Sharifi A., 2015]

Sharifi A.は、都市エネルギーのレジリエンスを評価するための概念的なフレームワークを開発し、評価できる計画と設計基準を作成している。これらの基準と概念的フレームワークの基本的な要素との関係を調べるエネルギーレジリエンスに関する文献を検討している。

表 2.9 Sharifi A.の要素別説明⁹

特性	定義(説明)
Flexibility	将来の災害に内在する柔軟性の不確実性は、fail-safe の設計目標を達成することを困難にし、システムの再構成が避けられないことがある。柔軟性とは、システムが変化する条件に適応する能力を持ち、その構成を変更することによって、安全に障害(a safe failure)を被ることを意味する。柔軟なシステムは、脅威を検知し、障害を即座に検出し、そのサブシステムのより小さなスケールで迅速な変更を行い、それによって災害時の全体的なパフォーマンスを維持することができる。Roggema は、柔軟な都市システムの構成要素（「機能のおよび物理的な両方」）を、適切な方法で、それらを分解して並べ替えることができるように設計し、配置する必要があると主張する。これは、システム構成要素の多機能性を保証し、短期間の外乱に対処する能力をシステムに与え、重要な機能を保持する能力を促進し、短期間の欠陥に耐え、比較的短い時間内に正常な機能に戻る期間である。エネルギーシステムでは、これは、（例えば）異なるエネルギーシステムの構成要素間を移動する能力、または変化する条件に応じて規制または価格を調整する能力を指す。
Resourcefulness	臨機応変は、都市計画者と意思決定者が、潜在的な混乱を適切に特定し、対応し、回復するためのリソースの妥当性に関連している。これには、状況を理解し、パターン、潜在的な脅威、偶発事象を特定する適切な能力を有することが含まれる。また、システムには、閾値（tipping points）を簡単に超えず、システムのエネルギー要求事項が常に提示されるように、ある程度の「緩衝(buffering)」を提供する必要がある。
Coordination	調整能力とは、さまざまなセクターや組織間で、さまざまな規模の

⁹ Sharifia A., Yamagata Y.(2015). Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 60. 2016.07

capacity	予備的および回復的活動を効果的に調整するための管理能力を指す。この能力がなければ、既存の資源を災害の準備に効果的に活用することはできないため、システムは完全な吸収能力を達成することができず、その結果、復興努力に遅れが生じる。
Redundancy	重複性とは、適応能力とショックを吸収する能力を強化し、問題解決のための予備能力を与え、障害の原因となる不確実なことを確実にすることである。都市システムにおいて、1つの構成要素の変位がシステム全体の故障をもたらすことはない。重複容量を備えたシステムでは、1つの要素を除外しても機能が大幅に失われない。重複性の短所はシステムにかなりのコストを生じる可能性があり、効率性などの他の復元力の原則を改善する能力に悪影響を及ぼす。
Diversity	Wardekker と Dejong は、この原理を説明するために、Diversity を雑食性(omnivory)で隠喩(metaphor)している。これは同時に使用できる複数の個別の機能がシステムに含まれている程度を指す。この原則の目的は、供給の混乱を回避し、都市システムに外乱や機能を保証するためのさまざまなオプション（資源、器具など）を確実に確保することである。エネルギーの弾力性のある都市は、土地利用パターン、インフラ、供給業者、知識、経済、人口構造の面で多様でなければならない。
Foresight capacity	レジリエントなシステムは、将来の条件の不確実性と相対性に直面しなければならない。災害の概念は、潜在的にシステムの外乱源になる可能性のある内・外的な力の影響と行動の不確実性および非線形性と絡み合っている。この原則は、災害の備えと初期ショックの吸収に必須である。これは、過去のイベントによって、もたらされた欠点に基づく準備だけでは不十分であり、将来予測される新しいリスクに対応するための予測方法も適用すべきであることを意味する。自然災害（およびその潜在的な影響）を予見する能力が不足すると、制御不能な「不自然な」災害や、関係するシステムを越えた波及効果が生じる可能性がある。さらに、不自然な危険への曝露に伴うリスクを悪化させる可能性がある。
Independence	レジリエントなシステムは、「外乱の影響を受けたときに、外部からのサポートなしに」機能の最低許容レベルを維持する能力を与える「ある程度の自立」を持つべきである。これには、目標とビジョンを設定し、行動を開始する能力を促進する強力なリーダーシップが必要である。

Interdependence	<p>相互依存性（相互連関性）とは、相互接続され、統合されたネットワークの一部としてのシステムが、ネットワーク内の他のシステムと機能的および物理的関係を持ち、それらのサポート、入力、およびフィードバックを受け取ることができる仕組みを有することを指す。外部供給源に依存しているエネルギーシステムでは、これは両刃の剣として作用する可能性があり、広範なシステムの1つ以上の構成要素において、実質的な供給停止が潜在的に他の部分で重大な問題につながる可能性がある。エネルギーシステムにおける相互依存性の例として、Farrell は、発電における石油に大きく依存しているシンガポール、イタリア、フィリピンを言及する。相互依存性はまた、エネルギーシステムの機能性が、給水および配電、食品産業、輸送などの他のシステムの動作および性能に影響を及ぼし、影響を受けることを意味する。</p>
Collaboration	<p>コラボレーションとは、都市システムが意思決定プロセスにおいて幅広いステークホルダーの積極的な参加を促す環境を促進すべきであることを意味する。地方自治体の参加と代表団による共同作業計画。</p>
Agility	<p>敏捷性は、回復に必要なリソースを動員し、許容範囲内で通常の機能に復帰するシステムの能力を表す。システム内の他の機能を中断させる可能性のあるカスケード障害を回避するには、機敏性が不可欠である。人間の居留地は伝統的には災害から回復するのに合理的に成功してきたが、回答の迅速性が必ずしも高かったわけではなく、回復プロセスはしばしば遅く断続的であった。したがって、回復プロセスが適切な時期に達成されて、システムのレジリエンスに寄与することを強調すべきである。</p>
Adaptability	<p>適応性とは、都市システムが災害から学び、その障害以前の脆弱性を減らし、変化する条件への適応能力を強化する能力を指す。適応性とは、システムの構成要素の固有な脆弱性と、危機発生時のタスクの優先順位を決定するための適切な知識と権限の割り当てと、「safe-to-fail」（少なくとも「soft-fail」）の都市システムを促進するための迅速な対応能力を意味する。レジリエントな都市システムは、長期間にわたる資源の集約と変革の間で交代し、革新の機会を創出する短期間の交互を繰り返す。そして、「適応」サイクルを伴い、それによってシステムの生存能力を保証すべきである。</p>
Self-organization	<p>自己組織化とは、プロセスとの相互補完的な相互作用からの「マク</p>

	<p>ロスケールパターンの出現」,「小規模ルール」,構造または関係を意味する。自己組織化されたシステムは,資源と権限の集中を外し,災害,規模の異なるパートナーシップ,システムに直接フィードバックを提供する「水平」・「垂直」の制度的連携に独立に対応できる。コミュニティベースの管理を含めるべきで,より良い情報に基づく意思決定を可能にする。さらに,初期の障害(「制度的記憶」)に対応するために確立されたネットワークを構築し,強化する能力を必要とする。</p>
Creativity	<p>この特性は,「より高度な状態を達成する機会としての混乱を利用する都市システムの能力」を意味する。これには,都市システムの管理,計画,設計に技術革新(技術と非技術の両方)を活用することが必要である。多様なレジリエンスの能力を強化し,絶え間なく変化するリスクの性質に圧倒されることを避けるために,革新は必須である。特に,システムの変形適応性を強化するために必要とされる。</p>
Efficiency	<p>効率性とは,投入するエネルギーに対して,都市エネルギーシステムの提供するエネルギーと資源の割合が,正しい割合であり,資源使用の生産性を向上させ,無駄を避けることを意味する。このシステムは,エネルギーおよび資源への投資に対してより高いエネルギー資源を提供すべきである。エネルギー密度を低減することは,システムの効率を改善するために必要である。Molyneaux は,エネルギーシステムが変動を吸収し,その完全性を維持するためには効率が必要であると主張した。効率の向上は,システムのインプット(エネルギー)に対する需要を減らすために必須である。都市エネルギーシステムの効率を高めるためには,省エネルギーの改善が必要である。</p>
Equity	<p>エクイティは,それは2つの点で,都市エネルギーと関連している。①計画は地域社会におけるエネルギーサービスの公平な配分に基づいて行われるべきである。これは,すべての都市市民がエネルギーサービスを利用して準備/計画を立て,混乱から回復し,回復することを確実にすることである。②エネルギーの生産,伝達,配分に伴う影響への公開に関しては,正義が必要である。これは,疎外された貧しい人々がその影響を受けないようにするためである。これらの2つの問題に対処することは,ショックからの吸収と回復に必要な社会的結束性を高めるためにも不可欠である。</p>

(2) エネルギー分野のレジリエンスの構成要素

① Peter C. Evans [Peter C. Evans, 2014]

Peter C. E.は、レジリエントで持続可能なインフラストラクチャソリューション（「RSIソリューション」）を構築するために、知能化(Intelligence)、重複性(Redundancy)、ネットワーク内での結合と分離(Network Coupling and Decoupling)などの技術的ソリューションが必要だと述べている。

表 2.10 Peter C. E.の要素別説明¹⁰

特性	定義(説明)
Redundancy	重複性は 例えば 複数の送電機を持つことは 1つの設備が閉鎖された場合に柔軟性を提供することである。電力の重複性を確立する一般的な方法は バックアップ送電機を設置することである。しかし、バックアップディザスタ送電機の重複性は持続可能性目標と矛盾する可能性がある。したがって 可能な範囲で、重複システムは最小限の環境影響を持つ必要がある。
Network Coupling and Decoupling	ネットワークの結合は、ほとんどのエネルギーインフラシステムの重要な特徴である。電力の場合、中央グリッドネットワークを強化すること、分離可能な発電機の数とタイプを拡大することでレジリエンスを高められる。これは、大量に貯蔵することができず、需要と供給のマッチングを必要とする電気の場合に特に有益である。しかし、ネットワークが故障した場合、ユーザは、中央システムのサポートなしで、「分離」能力を必要とする可能性もある。これは特に、病院、水処理施設、通信システムなどの重要な施設に該当する。
Intelligence	より良い知能によってレジリエンスを高めること。情報技術を活用して、ビッグデータ、高度な分析、高度な監視と自動化を活用することが含まれる。例としては、「予測と備え」、「危機管理と回復」、「ソーシャルメディア」などがある。

② IED (2015) [OECD/IEA, 2015]

IED のレポートは、エネルギー部門は気候変動、特に天候による複数の脅威について、エネルギーセンターの政府、ステークホルダー、財政機関、エネルギー会社などのエネルギー経済の観点から、レジリエンスを考察している。

表 2.11 IED の要素別説明¹¹

特性	定義(説明)
Robustness	エネルギーシステムが極端な気象事象に加えて徐々に起こっている変化（例えば、海面上昇）に耐え、運転を継続する能力。
Resourcefulness	極端な気象事象の間、操作を効果的に管理する能力。
Recovery	中断後に、オペレーションを望ましいパフォーマンスレベルに復元する能力。

¹⁰ Peter C. Evans, Peter Fox-Penner. (2014), Resilient and Sustainable Infrastructure for Urban Energy Systems. Solution, Volume 5, Issue 5, pp.48-54, 2014.09

¹¹ OECD/IEA. (2015). Making the energy sector more resilient to climate change.

(3) 都市とエネルギー分野の構成要素のまとめ

都市分野とエネルギー分野のレジリエンスの構成要素を文献研究で調べて、まとめて、本研究のレジリエンスの構成要素として整理するために、ハード面とソフト面の計画特性を区分し、定義の説明を整理した。

表 2.12 都市分野の構成要素のまとめ

特性	意味	ソフト	ハード	気温 上昇	自然 災害
強健性	重要機能の低下なしに、内外部のインパクトに耐えるためのシステムの強さである。	○			■
重複性	インパクトを吸収することと適応性を高めるために、類似機能を持っている要素の効用性である。	○		■	■
多様性	阻害に対する対応のために多様な選択権を備える。	○		■	■
柔軟性	変動している状態に適応できるシステムの能力である。	○	○	■	
独立性	外部の援助がなくても、最低限の機能を維持できる。	○		■	■
効率性	エネルギーや資源の効率性である。	○	○	■	
敏捷性	受容可能な時間範囲内に回復するために、必要な資源を運用するシステムの能力である。	○			■
相互依存性	他のシステムから援助を受けるために、統合的ネットワークの一部としてのメカニズムを持っていることである。	○	○	■	■
予測能力	関連している将来の状況を予測する能力である。		○	■	■
臨機応変	可能な阻害に準備、対応、回復するための計画者や決定権者の機知である。		○		■
組織能力	多様な相違するセクターと組織間の対比又は回復作業を効率的に運営できる能力である。		○	■	■
協同	意思決定する際、人々（住民）が積極的に参加できる環境を意味する。		○	■	■
自己組織化	小規模の規則や過程の相互作用が強まることによる大規模なパターン、構造、或いは関係が生じることである。集中化を抑制し、地域コミュニティの強化によるコミュニティー基盤の運営を含む。		○	■	■
創造性	危機を機会として活用できる都市システムの能力であり、このため計画とマネジメントの革新が要求される。		○	■	■
適応性	過去の阻害や変化に適応できる柔軟性から学習できるシステムの能力である。		○		■

表 2.13 エネルギー分野の構成要素のまとめ

特性	意味	ソフト	ハード	気温 上昇	異常 気象
ネットワーク	ネットワークは、エネルギーグリッドの結合・分離することである。ネットワークの分離の良い例として、CHP(CGS)がある。		○	■	■
重複性	重複性は、多様な生産施設が崩壊する際、柔軟性を提供する。一般的に電力の重複性のために、バックアップ設備を設置する。重複したシステムは環境的影響を最小化すべきである。		○		■
強健性	持続的な運営と漸進的な変化に耐えるエネルギーシステム能力		○	■	■
知能化	より良い知能化を通じたレジリエンスの向上は有望なアプローチである。ビッグデータ、先端的分析、より精巧なモニタリングや自動化を利用した技術である。	○	○	■	

2.5 レジリエント都市エネルギーシステムのあり方

2.5.1 レジリエントエネルギーシステムの概念

(1) レジリエントエネルギーシステムの定義

理論考察で、レジリエンスの概念の定義、原理、特性、要素を調査して、レジリエントエネルギーシステムの概念の整理し、レジリエントな都市エネルギーシステムのモデルを構築した。

本研究におけるレジリエントエネルギーの定義は、都市のエネルギーシステムに関する、予想できる、或いは予想できない環境変化に対する適応能力である。従って、気候変動による異常気象のみならず、災害（地震や津波など）について、予測、適応、回復、評価の過程におけるエネルギーの安定性、効率性、環境性に関する能力である。

この能力を高めるために、都市のエネルギーシステムのハード面とソフト面からのアプローチが必要である。

(2) レジリエントな都市エネルギーシステムのモデル

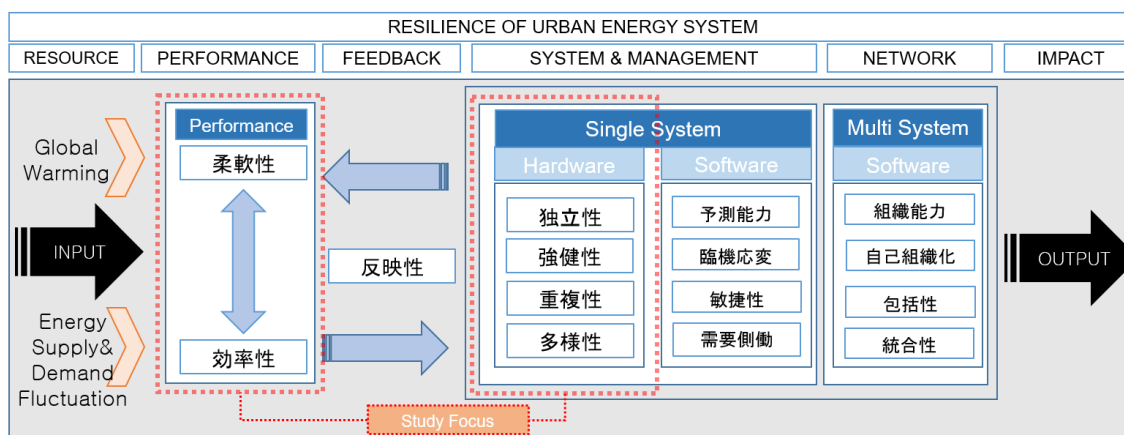


図 2.17 レジリエントな都市エネルギーシステムのモデル

先に、まとめたレジリエンスの構成要素を都市エネルギーシステムのモデルに関して、次のように構築した。

- ① ハード面の計画に関わっている構成要素である「独立性」、「強健性」、「重複性」、「多様性」をシステムの基盤要素として考慮する。

- ② ハード面の要素を適切に利用するためのレジリエンスの構成要素をとして、ソフト面の「予測能力」、「臨時応変」、「敏捷性」、「需要側協同」を考慮する。
- ③ Panarchy の概念が含まれるように、「組織能力」、「自己組織化」、「包括性」、「総合性」を考慮する計画で、複数のシステム、或いは上位のシステムとの関係を考慮する。
- ④ 繰り返す予測、適応、回復、評価の過程をエネルギーシステムが適切に遂行するために、システムの外部と内部の状況と変化を反映する「反映性(Reflective)」を考慮する。
- ⑤ システムのパフォーマンスであるエネルギーの安定性、効率性、環境性は、システムのすべての要素と過程による結果として、また「効率性」と「柔軟性」の相互作用の関係で、決定される。

2.5.2 レジリエントな地域エネルギーシステム

本研究では、地域エネルギーシステムのレジリエンスの検討を目的としているので、構築したレジリエントなエネルギー概念を地域エネルギーシステムの技術要素に適用するために参考文献から、レジリエントなエネルギーに関連している地域エネルギーシステムの構成要素と技術要素を調査して、まとめた。

(1) 地域エネルギーシステムの構成

地域エネルギーシステムの構成要素については、Carreon の Urban energy system を再解析した。

Carreon は、エネルギーシステムを、エネルギー源の貯蔵(供給、又は1次エネルギー)と必要な場所にエネルギーを供給・分配(二次エネルギー)する相互に関係のあるネットワークとして考えられると述べている (Blok and Nieuwlaar, 2017)¹²。そして、都市レベルでは、住宅、商業、工業、輸送などのエネルギー分野があり、各部門は、人や物資を輸送するために熱、電気、燃料の形でエネルギーを供給するためにエネルギーを使用して、人間のニーズを満たすと説明している [Jesús R. C., 2018]。

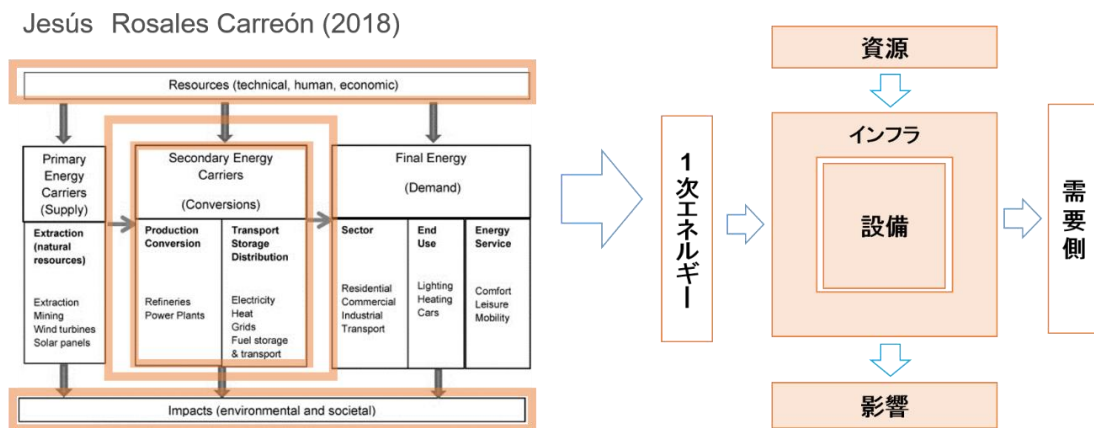


図 2.18 Carreon の都市エネルギーシステムの再解析

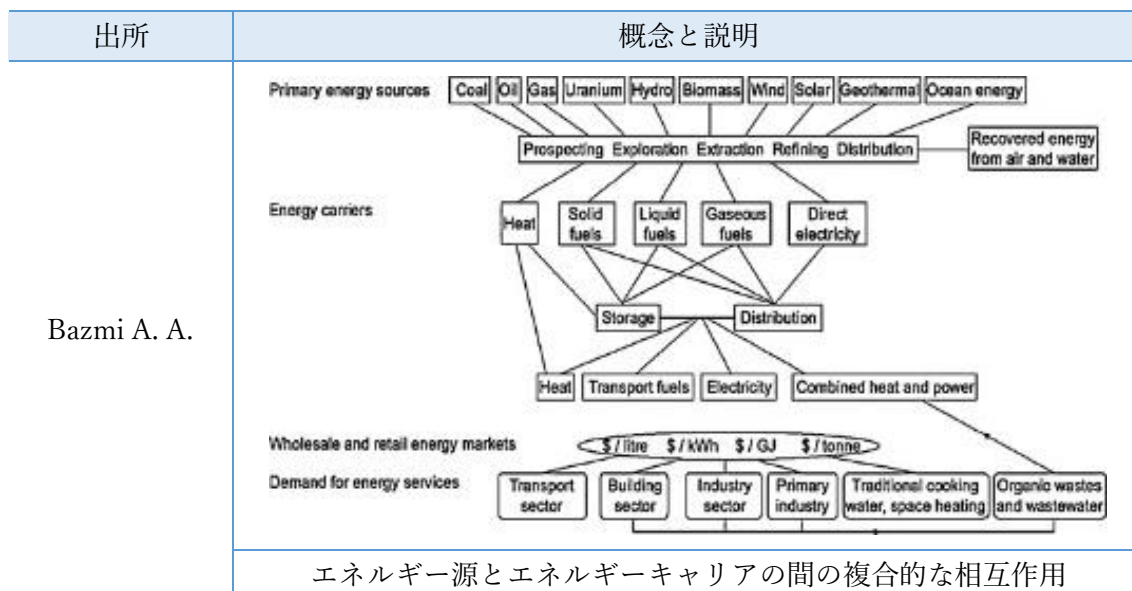
地域エネルギーシステムは、1次エネルギー、又は資源を受け入れて需要側に熱・電気を供給するサービスを行い、この過程で環境的・社会的影響を与える。2次エネルギーキャリアとして、資源と1次エネルギーを投入し、エネルギーを貯蔵・転換して、需要側にエネルギーを供給するために、インフラと設備が必要である。従って、地域エネルギーシステムの構成を「資源」、「インフラ」、「設備」、「影響」とする。

¹² “An energy system may be thought of as an interrelated network of energy sources and stores of energy (supply or primary energy), connected by transmission and distribution (secondary energy) of that energy to where it is needed”

(2) 地域エネルギーシステムの技術要素

本研究は、エネルギーシステムの物理的な設備を中心として検討するので、物理的な技術要素を参考文献で調査して、地域エネルギーシステムの構成をカテゴリに整理した。重要参考文献として、Bazmi A. A., European Commission の報告書, Gang W., 地域冷暖房技術手引き書を活用した(表 2.14 と表 2.15) [Bazmi A. A., 2011] [EUPEAN COMMISSION, 2016] [Gang W., 2016] [都市環境エネルギー協会, 2013]。

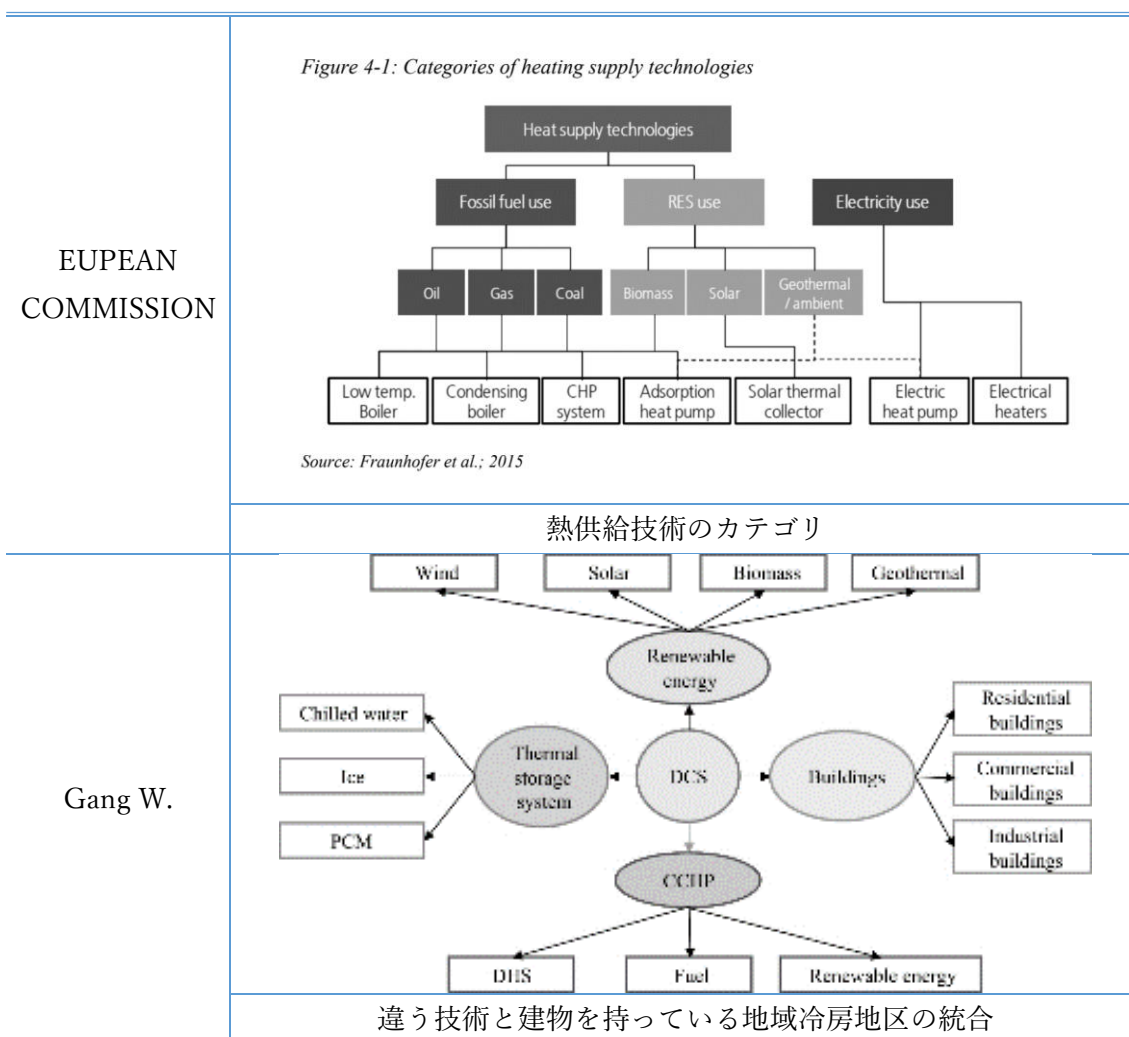
表 2.14 各文献からの地域エネルギーシステムの要素¹³



¹³ Bazmi A. A., Zahedi G., (2011), Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply, A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 8, pp.3480-3500, 2011.10.

EUPEAN COMMISSION., (2016), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy for Heating and Cooling.2016.02.16.

Gang W., Wang S., (2016), District cooling systems: Technology integration, system optimization, challenges and opportunities for applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 53, pp.253-264, 2016.01.



参考文献を検討して、地域エネルギーシステムの技術要素を検討して、表 2.16 のように整理した。「エネルギー源」、「冷暖房」、「発電」、「エネルギー貯蔵」、「インフラ」、「EMS」で分けて、細部技術要素を区分した。

表 2.15 参考文献によって、整理した地域エネルギーシステムの技術要素

区分	技術要素
エネルギー源	ガス、石油、電力、未利用エネルギー、再生エネルギー
冷暖房	ボイラ、冷凍機、ヒートポンプ
発電	発電機、CGS(CHP)、燃料電池
エネルギー貯蔵	蓄熱槽、蓄電池、UPS
インフラ	ガス管、共同溝、受電設備、導管方式
EMS (Energy management system)	BEMS, CEMS, DEMS, DR

(3) レジリエンスと地域エネルギーシステムの技術要素

レジリエントな都市エネルギーシステムの構成要素と地域エネルギーシステムの技術要素の関連性を検討した。1つの技術要素が複数の構成要素に影響を与えて複雑な関係を持っているが、ハード面の特性を基本として、影響関係を整理した。

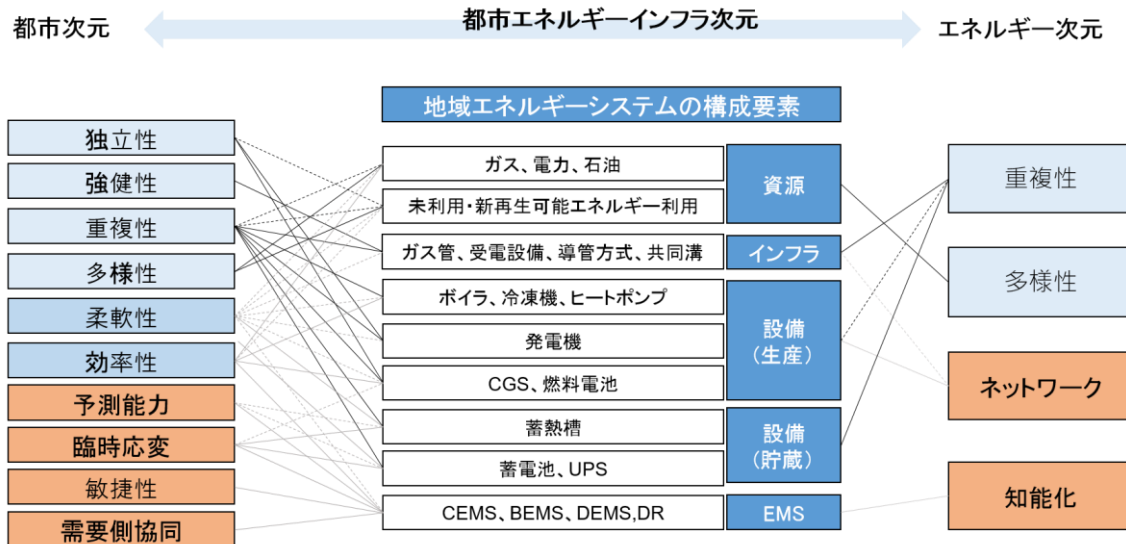


図 2.19 都市エネルギーシステムの構成要素と地域エネルギーシステムの構成要素の関係図

表 2.16 地域エネルギーシステムの構成要素とレジリエンスの関係性

構成	技術要素	関係性	予測可能	予測不可
資源	ガス, 電力, 石油	・ガスと電力のベストミックスによる柔軟な運用。 (多様性→柔軟性, 効率性)	●	○
		・非常燃料の備え(重複性)		●
	未利用/ 再生 エネルギー	・未利用/再生エネルギーを利用すると, 外部からの電力又は化石燃料の依存度が低くなる。 (独立性, 多様性→柔軟性)		●
		・資源の効率が向上する。(効率性)	●	

インフラ	ガス管	・外部の物理的な衝撃に耐えるインフラ。 (強健性)		●
	受電設備	・一部が止まった非常時にも一部が運転できる。 (重複性→柔軟性)		●
	共同溝	・外部の物理的な衝撃に耐えるインフラ。 (強健性) 。		●
・インフラ管理の容易性。 (効率性)		●	○	
生産設備	ボイラ, 冷凍機, ヒートポンプ	・十分な供給能力が需要増加に柔軟に対応する。 (重複性)	●	
		・ベストミックスのための設備構成。 (多様性→柔軟性, 効率性)	●	○
	発電機	・エネルギーの急激な変動に対応するため、余分の設備である。 (重複性→柔軟性)		●
		・多様なエネルギー源の設備が混在して、柔軟な運転が可能である。 (多様性→柔軟性)	○	●
		・内部の発電で電力供給が自立する。 (独立性)		●
	・(特に CGS) 熱と電気を一緒に利用して、エネルギーの効率が向上する。 (効率性)	●	●	
燃料電池	・熱と電気を一緒に利用する場合、効率が高いが、まだ、現在の実現性は低い。	○	○	
貯蔵設備	蓄熱槽	・エネルギーを蓄積して、ピーク需要に対応する。 (重複性→柔軟性, 効率性)	●	○
	蓄電池	・非常用電力の備蓄で、外部からのエネルギー供給が絶えても、維持できる。 (重複性→柔軟性)		●

●：直接的な関係, ○：間接的な関係

2.6 フレームワークの設定

フレームワークの設定では、理論考察の内容を踏まえて、地域エネルギーシステムのハード面のレジリエンスを向上させるシステム設備の技術要素と中心として、レジリエントなエネルギーシステムのフレームワークで設定した。そして、本研究が扱う研究の範囲を考慮して、段階別研究をフレームワークに配置して、本研究のフレームワークで設定した。

2.6.1 レジリエントな地域エネルギーシステムのフレームワーク

地域エネルギーシステムの構成として資源、インフラ、設備を設定し、資源の INPUT と設備の運転による影響の OUTPUT としてシステムの効率性と柔軟性、経済性、環境性を設定している。

技術要素をより詳細に各々の地域エネルギーシステムの構成に分類し、設備の構成に該当する技術要素はエネルギーを扱う特性を考慮して、エネルギーの生産と貯蔵で区分した。分類された技術要素が主にレジリエンスのどんな特性に関わっているかを考慮して、レジリエンスの特性と重要な関係として結びつけ、技術要素の効率性、経済性、環境性を定量的に検討できるように、エネルギーシステムの性能を判断する項目、システム COP、ベストミックス、コストパフォーマンス、CO₂排出量、排熱、排水を詳細項目で整理した。

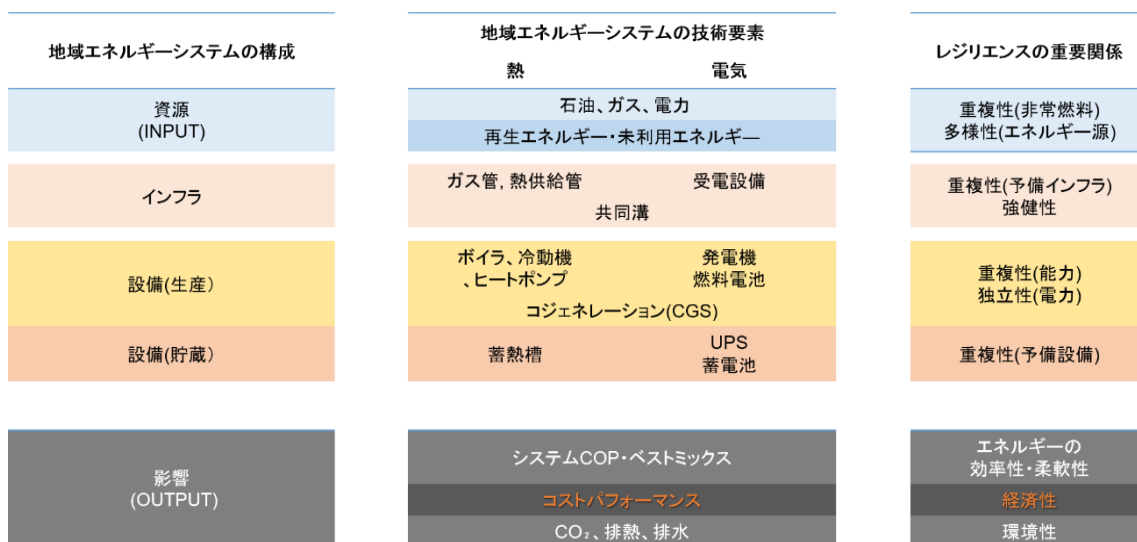


図 2.20 レジリエントな地域エネルギーシステムのフレームワーク

2.6.2 研究のフレームワーク

理論考察から、レジリエントな地域エネルギーシステムのフレームワークを設定したが、本研究が扱う研究の範囲を考慮して、段階別研究をフレームワークに配置した。段階別研究の究目的と研究の容易性に適合するように、現況分析とシミュレーション研究を分けて、現況分析は、資源からインフラと設備までを対象とした。シミュレーション研究は、地域冷暖房地区の事例として、みなとみらい21地区を対象として、設備の構成と気象データを操作して、エネルギーシステムのCOP、CO₂排出量、排熱、排水等を計算することとした。ただ、影響の経済性は、多様な要素が関わっており、今後の予測が難しいことから、研究範囲から除いた。シミュレーション研究で、地域エネルギーシステムのレジリエンスを向上させる設備として、適用と補給が容易であり、レジリエンスの多様な特性を効率的に向上できるCGSと蓄熱槽を設定した。

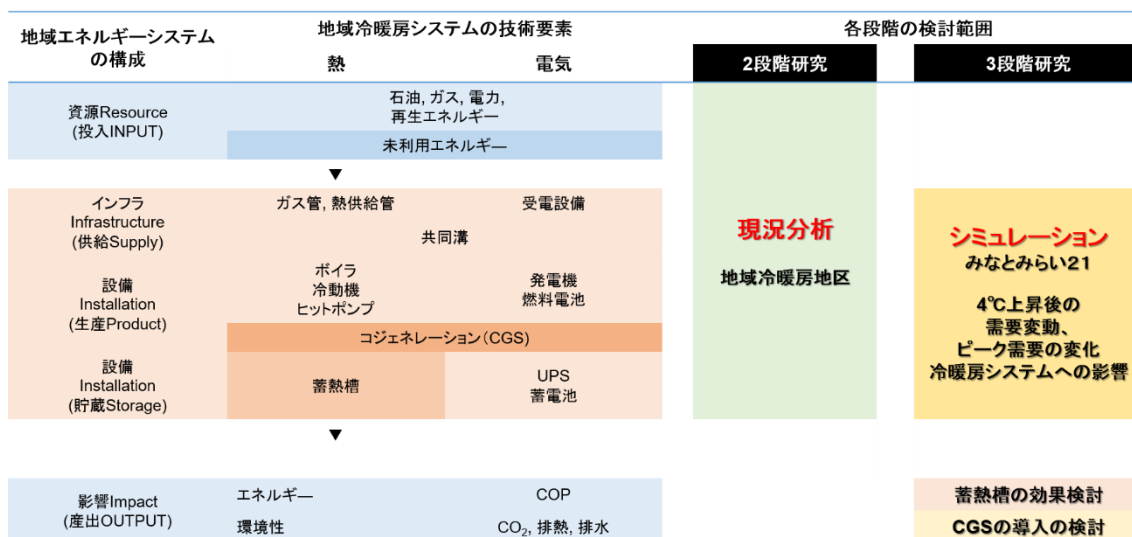


図 2.21 研究のフレームワーク

III

日本の地域冷暖房地区の現況分析

3.1 現況分析の概要

3.1.1. 現況分析の背景と目的

集中分散型のエネルギーシステムである地域冷暖房システムは、エネルギーを複数の施設間で共有し、集中管理下で利用するシステムである。地域熱供給に加えて、電気等も共有し、集中管理することでエネルギー供給の効率を上げることができ、公害防止、都市防災、CO₂の削減、都市美観の向上など、様々なメリットを持っている。特に、CGSにより生産された電気・熱の両方をビル間で活用することで、レジリエンスを向上できるエネルギーシステムと考えることができる。

日本の地域冷暖房事業の変遷をみると、1972年に熱供給事業法が公布・施行されてから、2000年代前半まで、その地点数が増加してきたが、2000年代以降、景気低迷、デフレ、地価下落などの影響により、都市開発は停滞し、凍結や遅延が生じて、導入が激減した。しかし、2002年の京都議定書の批准から「低炭素まちづくり促進法」までCO₂低減対策が具体化されていること、2011年のエネルギー・環境会議により「エネルギーベストミックス」、「分散型エネルギーシステム」、「再生可能なエネルギー導入」を促進している国の政策、東日本大震災以降、自立分散型エネルギーシステムが注目されていることなどから、地域冷暖房システムの可能性が見直されている状況である。

一方、エネルギー市場の自由化が進んでいる。新しいエネルギー市場を形成しながら、既存のエネルギー事業者の競争を強化させているが、効率的なエネルギー供給と共に、非常時の安定的なエネルギー供給がエネルギー供給事業者の競争力になっている。従って、日本の地域冷暖房事業の現況を検討する必要があるが、今まで、地域冷暖房地区、又は事業に関する調査と研究は主にエネルギーの効率性、BCP関係の一部設備に限定した調査が行われてきた。

従って、レジリエンス概念で、冷暖房供給地区の全般的な現況を検討する必要があり、3章では、日本熱供給事業協会の熱供給事業地区を対象として、インフラ、冷暖房設備、資源に関して、レジリエンスの観点から現況分析を行い、改善案を提案する。

3.1.2. 現況分析の概要

(1) 現況分析の構成

現況分析は、基礎データ分析とアンケート調査で構成される。基礎データ分析では、公開されている（一社）日本熱供給事業協会のデータを用いて、現在の状況を検討し、アンケート調査では、基礎データで入手できない電力に関わる資源(非常用燃料と非常用冷却水)、インフラ、設備の情報をアンケート調査で収集して、検討することである。基礎データとしては、日本熱供給事業協会の熱供給事業便覧平成27年版、熱供給事業者のホームページ(参考資料を参照)、パンフレット、東京環境局の公開資料「地域エネルギー供給実績報告書平成28年」を活用した¹。

現況分析は、地域エネルギーシステムの構成の資源、設備、インフラ、影響で区分しているが、今後、需要量が増加すると予測されている冷房に着目して、冷暖房設備の中で冷房設備のみを対象とした。

資源では、資源のレジリエンスを検討するために、未利用エネルギーの利用、非常用資源の備蓄を検討した。ピーク冷水需要に対する冷房設備の能力、エネルギー源別冷房設備の構成比率、蓄熱槽を調査した。電力設備については、蓄電池とCGSを含む発電機を調査し、インフラについては受電方式、中圧ガス管と共同溝の設置について調査した。影響については効率性として、基礎データからシステムのCOPを分析した。

表 3.1 現況分析の構成

構成	関連事項	関連特性	基礎データ分析	アンケート調査
資源	未利用エネルギーの利用	多様性 独立性	○	
	非常用資源の備蓄	重複性		○
設備 (冷房)	エネルギー別冷房設備の構成比率	多様性	○	データ追加
	ピーク冷水需要に対する冷房設備の能力	独立性	○	
	蓄熱槽	重複性	○	
設備 (電力)	常用の発電機・CGS	多様性 独立性		○
	非常用の発電機・CGS、蓄電池	重複性		○
インフラ	予備インフラの備え(受電方式)	重複性		○
	中圧ガス管からの供給	強健性		○
	共同溝の設置		○	
傾向 分析	システムCOP	効率性	○	
	供給エネルギー、規模、設備別能力	現況 分析	○	
	開始年度による分析 (COP、規模、経済性、CO ₂ 排熱量等)	効率性 環境性	○	

¹ 参考したサイトは、本章の最後のページにまとめた。

(2) アンケート調査の概要

① アンケート調査の項目

アンケート調査の項目は、表 3.2 のように、10 項目で構成した。「①用途別床面積」と「②契約電力」はデータ推計によるエネルギー柔軟性の検討のための質問事項であり、他の項目は、プラントの電力 BCP に関わる設備の項目である(表 3.2)

表 3.2 アンケート調査の項目

項目	内容	1 段階 (有無)	2 段階 (容量)
① 用途別床面積	(基礎データ)		
② 契約電力	(基礎データ)		
③ 非常用設備	プラント運営のための非常用設備の備え	○	-
④ 受電方式	受電方式の安定性	○	-
⑤ 発電機	常用, 非常用, 常用・非常用兼用の発電機	○	○
⑥ ガス管	中圧ガス管からの供給	○	-
⑦ 非常燃料	燃料の種類, 備蓄量, 稼働時間	○	○
⑧ 非常用冷却水	水冷式発電機の冷却水	○	○
⑨ 蓄電池	非常用蓄電池の設置	○	○
⑩ 非常電力の用途	非常用発電の用途	○	-

② アンケート調査の実施

アンケート調査は、全国の熱供給事業地区を対象として、2017 年 8 月から 10 月まで、メール、ファクス、郵便を通じて、配布・回収した。全国 134 地区の中で、東京にある地区から 44 ケ所、東京以外にある地区から 36 ケ所、合計 80 地区から回答が得られた。

表 3.3 アンケート調査の概要

区分	内容
対象	全国の熱供給事業地区 (2017 年の資料を基準として、134 地区)
期間	2017 年 8 月から 10 月
調査方法	メール, ファックス, 郵便
総回収	80 地区
東京地区の回収	44 地区(匿名:2 地区)
東京以外地区の回収	36 地区

3.2 基礎データ分析

3.2.1 傾向分析

傾向分析では、供給エネルギーと消費燃料、面積などの規模と設備の種類別の能力、COP、日本地域冷暖房地区の現況と変遷を検討することで、日本地域冷暖房地区の一般的な状況を把握した。

(1) 日本地域冷暖房地区の分布

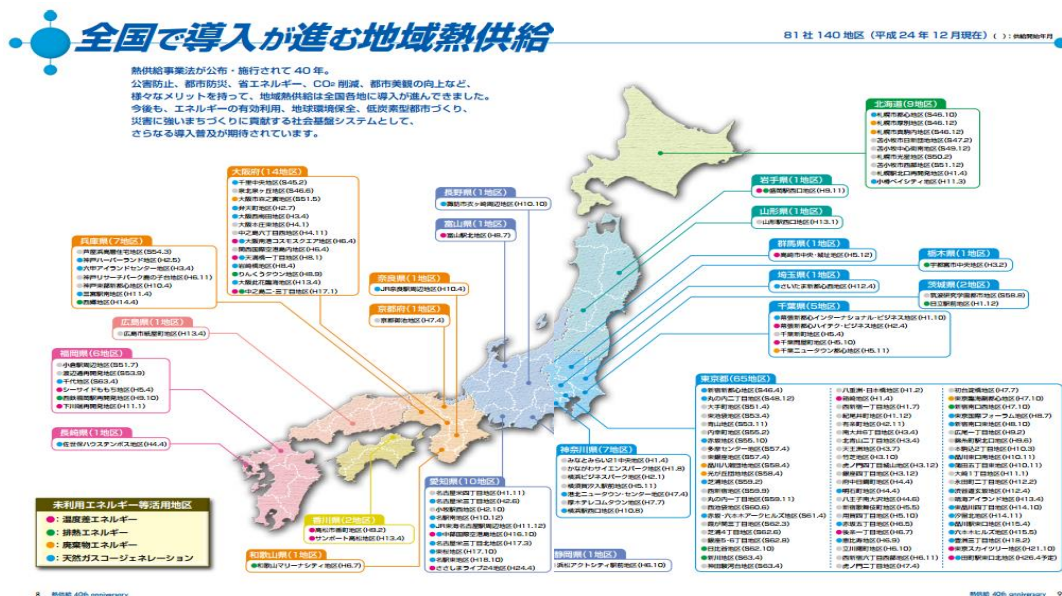


図 3.1 全国の地域冷暖房地区

（資料：一般社団法人 日本熱供給事業協会 刊行物「熱供給」40周年記念号）

表 3.4 地域別の地域冷暖房地区

地域	地区数	割合
北海道	9	6.5%
東北・関東	84	60.9%
中部	12	8.7%
近畿・中国・四国	26	5.1%
九州	7	5.1%

平成27年3月時点の地区数

全国の地域冷暖房地区の中で60.9%の半分以上の地区が東京と東北に位置している。

(2) 供給エネルギー

供給エネルギーの状況を見ると、137ヶ所の中で温熱を供給している地区は100%の137ヶ所であり、冷熱供給地区は93.4%の128ヶ所である。温熱と冷熱を同時に供給しているところが大部分で、6.5%の9ヶ所は温熱のみを供給している(表3.5)。

表3.5 温熱・冷熱供給

供給熱	温熱	冷熱	温熱のみ	冷熱のみ	温・冷熱
地区数	137	128	9	0	128
(%)	100%	93.4%	6.5%	0%	93.4%
全体地区数	137地区(1地区はデータ無し)				

平成27年時点の、プラントの加熱・冷却能力を基準とする。

住宅用で販売した熱量が3.3%、業務用は96.7%で、冷暖房地区は商業、オフィスなどの業務施設を主に供給対象としている。年間販売熱量を供給熱媒で分類して割合をみると、冷水(60.28%)、蒸気(28.98%)、温水(8.42%)、直接蒸気(1.30%)、給湯(1.02%)の順である(表3.6)。

表3.6 年間販売熱量

	温水	蒸気	直接蒸気	冷水	給湯	計
住宅用(GJ)	184,173	179,557	194	79,424	187,971	631,319
	29.17%	28.44%	0.03%	12.58%	29.77%	100%
業務用(GJ)	1,431,080	5,380,154	250,159	11,486,394	8,261	18,556,048
	7.71%	28.99%	1.35%	61.90%	0.04%	100%
総合(GJ)	1,615,253	5,559,711	250,353	11,565,818	196,232	19,187,367
	8.42%	28.98%	1.30%	60.28%	1.02%	100%
地区数	73	77	47	112	16	122
	59.84%	63.11%	40.98%	92.62%	13.11%	100%

平成27年時点を基準として、データの無い地区(15ヶ所)は除外する。

(3) 規模

表 3.7 冷暖房地区の規模

	プラント 面積 (m^2)	供給区域 面積 ($\text{千}\text{m}^2$)	供給延床 面積 ($\text{千}\text{m}^2$)	加熱能力 (GJ/h)	冷却能力 (GJ/h)	源・燃料 使用量 (TJ)	販売熱量 (TJ)
合計	521,289	33,858	48,123	13,538.8	14,305.3	15,642.9	19,187.4
地区数	137ヶ所	137ヶ所	137ヶ所	137ヶ所		122ヶ所	

平成 27 年時点を基準とする。

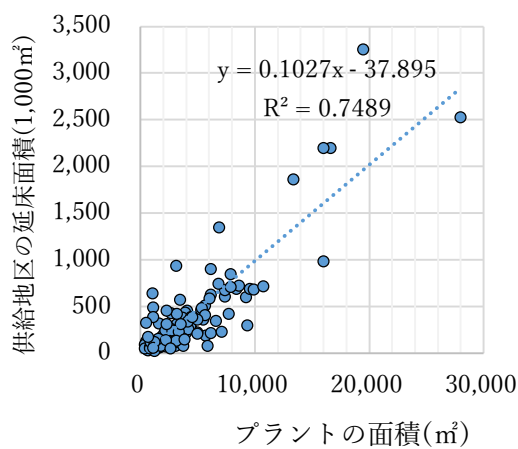


図 3.2 プラントと供給延床面積の比較

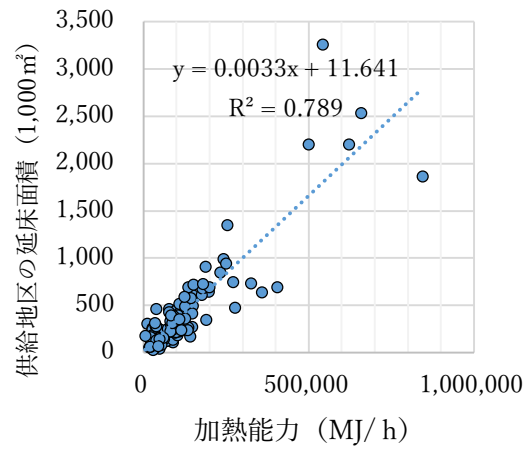


図 3.3 加熱能力と供給延床面積

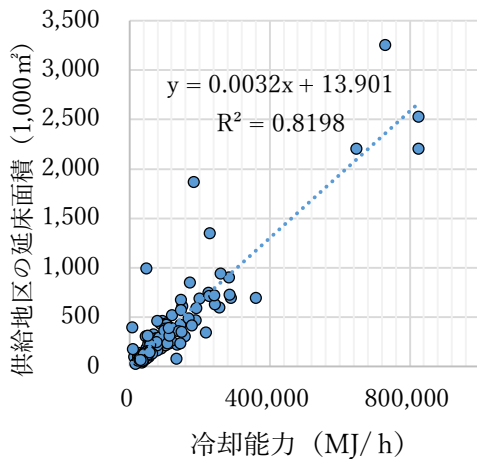


図 3.4 冷却能力と供給延床面積

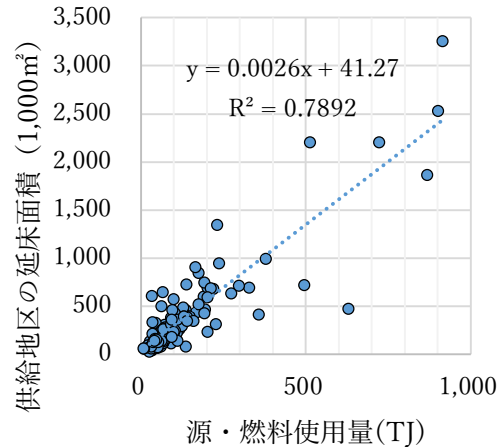


図 3.5 源・燃料使用量と供給延床面積

地域冷暖房地区の規模を面積と熱供給の能力、源・燃料使用料と販売熱量で検討した。供給地区の延床面積、加熱能力、冷却能力、源・燃料使用量が、すべて高い相関関係で、正比例関係である。

表 3.8 需要施設数による規模

	小規模	複合施設群	地域地区	データ無し	総合
供給施設数	~ 3	4~10	11~	-	137
地区数	27	67	33	10	
%	20%	49%	24%	7%	100%

現在(平成 30 年), 熱供給協会に情報が無い地区は, 10 ヶ所である。

需要施設数による規模を分類したところ, 小規模(3 ヶ所未満) 20%(27 地区), 複合施設群(4~10 ヶ所)49%(67 地区), 地域地区(11 ヶ所以上)24% (33 地区) で, 複合施設群の地区が全体の半分であった(表 3.8)。

(4) 設備別能力の割合

表 3.9 設備別容量と割合

設備	温熱					冷熱						
	ボイラー (MJ/h)	冷温水機 (MJ/h)	ヒートポンプ (MJ/h)	水蓄熱槽 (MJ)	コージェネ排熱 (MJ/h)	冷凍機 (MJ/h)	冷温水機 (MJ/h)	ヒートポンプ (MJ/h)	水蓄熱槽 (MJ)	氷蓄熱槽 (MJ)	熱交換器 (MJ/h)	
容量	78.00	3.49	10.82	4.70	0.50	55.71	2.74	34.18	5.70	0.02	1.65	
%	39.5%	1.8%	5.5%	2.4%	0.3%	28.2%	1.4%	17.3%	2.9%	0.0%	0.8%	
	49.4%					50.6%						

蓄熱槽の容量は, 6 時間の放熱を想定した。

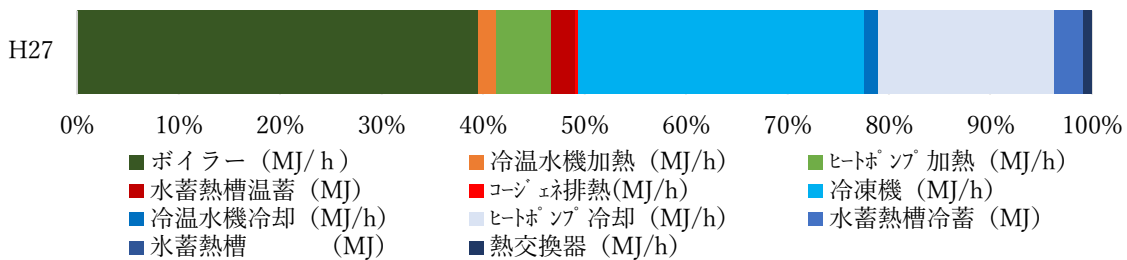


図 3.6 設備別容量と割合グラフ

設備の能力を温熱と冷熱について比べると, 49.4%と 50.6%で, ほぼ同じである。温熱設備としては, ボイラーが 39.5%と最も多く, 冷熱設備としては冷凍機とヒートポンプが各々 28.2%と 17.3%を占めている(表 3.9 と図 3.6)。

(5) COP

全国の地域冷暖房地区の年間 COP を「販売熱量/源・エネルギー使用量×100%」で、計算すると、平均 COP が 2.19 であり、最高・最低 COP が各々4.11、0.49 である。エネルギー源別使用量の割合と COP を比べると、電力使用率が高いほど COP が上がる傾向が見られる。

表 3.10 地域冷暖房地区の COP

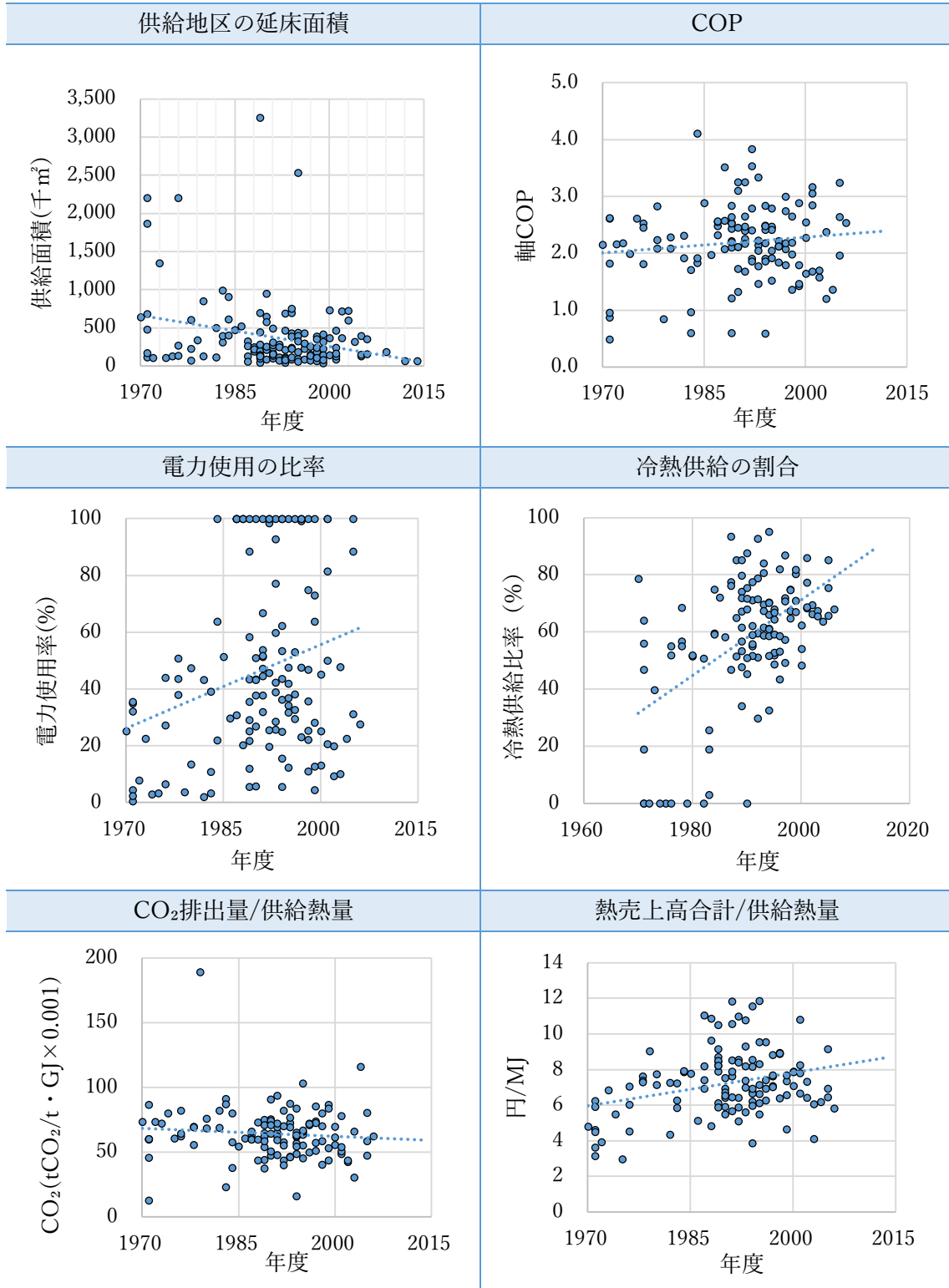
COP 計算式			
販売熱量 ÷ 源・エネルギー使用量			
平均 COP	最高 COP	最低 COP	地区数
2.19	4.11	0.49	122

表 3.11 エネルギー源の利用率と COP の関係性

	電力使用率との関係	ガス力使用率との関係
グラフ		
R 値	0.59	-0.09
関係	電力使用率が高いほど COP が上がる	関係なし

(6) 開始年度による分析

表 3.12 地区の熱供給開始年度による変化



全国の地域冷暖房地区について熱供給開始年度との関係で変化を分析した。延床面積は、過去より最近小さくなっている。大規模なエネルギー供給は外部の変化に対して迅速に対応することがむずかしいためか、プラントの規模を小さくしてそれらがネットワークされ、相互補完的に運転している傾向にあると思われる。COP はやや上がっている。電力使用率が高くなり、温熱供給より冷熱供給比率が高くなっている。供給熱量当たりの CO₂排出量は小さくなり、熱売上高合計は上がっている(表 3.12)。

表 3.13 年代別平均値の比較

年代	COP	供給面積	電力 使用率	冷熱 供給割合	経済性	CO ₂ 排出量
	COP	千m ²	%	%	円/MJ	tCO ₂ /GJ
1970-1975	1.86	714.27	15.62	18.34	5475.72	62.52
1976-1980	2.13	536.44	30.52	66.68	6843.90	62.91
1981-1985	2.05	517.09	36.06	48.26	6420.75	63.13
1986-1990	2.30	414.04	52.32	50.71	7579.08	62.75
1991-1995	2.31	310.69	53.50	67.60	7926.62	62.80
1996-2000	2.11	229.42	50.19	61.43	7061.23	69.06
2000-	2.24	311.67	47.16	71.68	7069.86	60.37

1970年から5年ごとの区分で、年代別平均値を比べた。供給面積の規模が明らかに小さくなり、冷熱供給の割合が増加して2000年以降、70%を超えた。特に、平均気温の上昇と異常気象の頻度増加で、冷熱供給の効率性と夏季のピークカット対策をより重要視する必要があると思われる。

1970年から1991年~1995年まで、電力使用率が上がりながら、COPと経済性が一緒に上がってきたが、1996年以後、電力使用率と経済性が下がった。ただ、CO₂排出量は1970年から1995年までは、類似の水準であったが、1996年~2000年の間に最も高かった。2000年代以降のCO₂排出量が他の時期より大幅に下がったが、これは、1990年代より最近のエネルギー利用に関して、環境性、特に低炭素対策を考慮していることが反映していると思われる。1970年から1975年には、大規模の暖房供給を中心としている地区が多いが、COPと経済性が比較的低い。

3.3 レジリエンスの検討

3.3.1 資源のレジリエンス

(1) 未利用エネルギー

① エネルギー源別の使用量の変化

平成12年から平成27年までのエネルギー源別の利用割合を検討すると、ガスと電力の利用率が上がってきたことがわかる。効率が高いターボ冷凍機の利用が増えたことが原因で、電力利用率が高くなったこと、環境性が良くない石炭と灯油に代わり、環境性がよりよいガス利用が増えたと考えられ、また、排熱の利用割合が減少している(図3.7)。

利用エネルギー源別割合

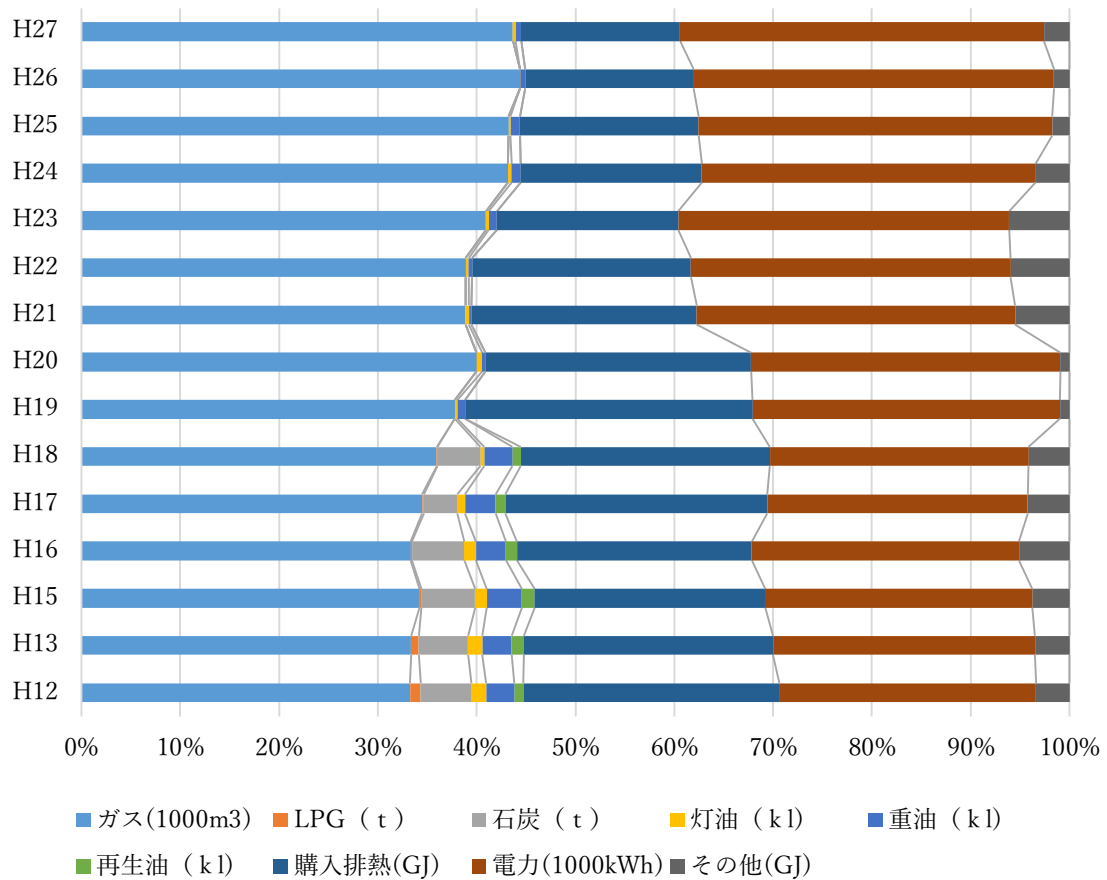


図 3.7 利用エネルギー源別割合の変化 (平成12年～平成27年)

② 現在の未利用エネルギーの利用率

表 3.14 現在（平成 27 年）のエネルギー源別利用率

	ガス (1,000m ³)	灯油 (kl)	重油 (kl)	購入排熱 (GJ)	電力 (MWh)	その他 (GJ)
各単位	301,422	1,531	1,485	1,519,754	1,003,274	254,006
GJ	4,231,965	28,645	28,690	1,519,754	9,709,366	254,006
割合	26.83%	0.18%	0.18%	9.64%	61.56%	1.61%
地区数	113	6	9	28	138	7

- ・その他：木質バイオマス，RDF，冷水融通，産業用蒸気，発電所油気，購入した蒸気・冷水
- ・平成 27 年の冷暖房事業地区：138 ヶ所
- ・GJ 換算係数：ガス(14.04)，灯油(18.71)，重油(19.32)，電力(9.757)

平成 27 年のエネルギー源別利用率を見ると，購入した排熱とその他のエネルギーの利用率が電力 61.56%，ガス 26.83%，購入排熱 9.64%，灯油 0.18%，重油 0.18%，その他 1.61%であった。未利用・再利用エネルギーの割合をみると海水 21.2%，ごみ焼却 17.5%，木質バイオマス 17.4%，RDF 17.3%，下水 9.0%，河川水 7.4%，ビル排熱 6.0%，発電所油気 3.2%，工場排熱 0.5%，地下水 0.2%，発電所の排熱 0.1%，地中熱 0.04%，太陽光 0.005%，であった。

未利用・再生可能エネルギーの種類別利用割合

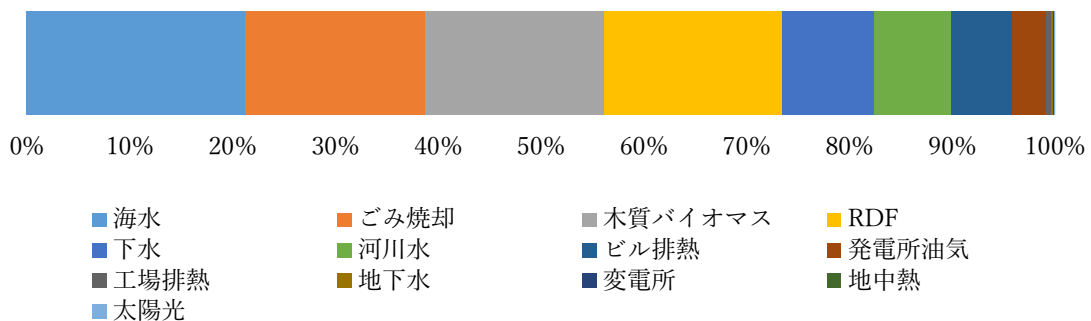


図 3.8 未利用・再生可能エネルギーの種類別利用

表 3.15 未利用・再生可能エネルギーの種類別利用率

区分	GJ/年	割合
海水	699,677	21.242%
ごみ焼却	576,801	17.512%
木質バイオマス	574,714	17.448%
RDF	569,451	17.289%
下水	296,804	9.011%
河川水	244,558	7.425%
ビル排熱	198,612	6.030%
発電所油気	105,354	3.199%
工場排熱	16,999	0.516%
地下水	6,317	0.192%
変電所の排熱	3,220	0.098%
地中熱	1,279	0.039%
太陽光	151	0.005%

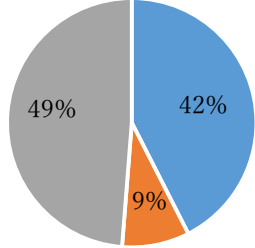
(2) 非常用資源

① 非常用燃料

発電機のある地区に対して、非常用燃料の有無、種類、非常用燃料による運転可能時間を調べた。回答した地区全体の中で、非常用燃料がある地区は、42.50%(34地区)、非常用燃料がない地区は、57.5%であった。発電機のある地区の中で、83%(34地区)が非常用燃料を備えており、17%(7地区)は非常用燃料を備えてないとの結果であった。非常用燃料を備えている地区は外部からの燃料供給が絶えても一時的に発電機の運転を持続できることを意味するので、よりエネルギー安定性があると考えられる。

表 3.16 非常用燃料の有無

発電機	発電機がある地区		発電機がない地区
	有り	無し	無し
非常用燃料			
比率	42.50% (34地区)	8.75% (7地区)	48.75% (39地区)
回答	80地区		



- 発電機がある地区 (非常用燃料有り)
- 発電機がある地区 (非常用燃料無し)
- 発電機がない地区 (非常用燃料無し)

表 3.17 非常用燃料の種類

燃料	灯油	軽油	重油
割合	30% (11 地区)	30% (11 地区)	40% (15 地区)
回答	非常用燃料のある 34 地区中 回答：34 地区，重複回答：3 地区		

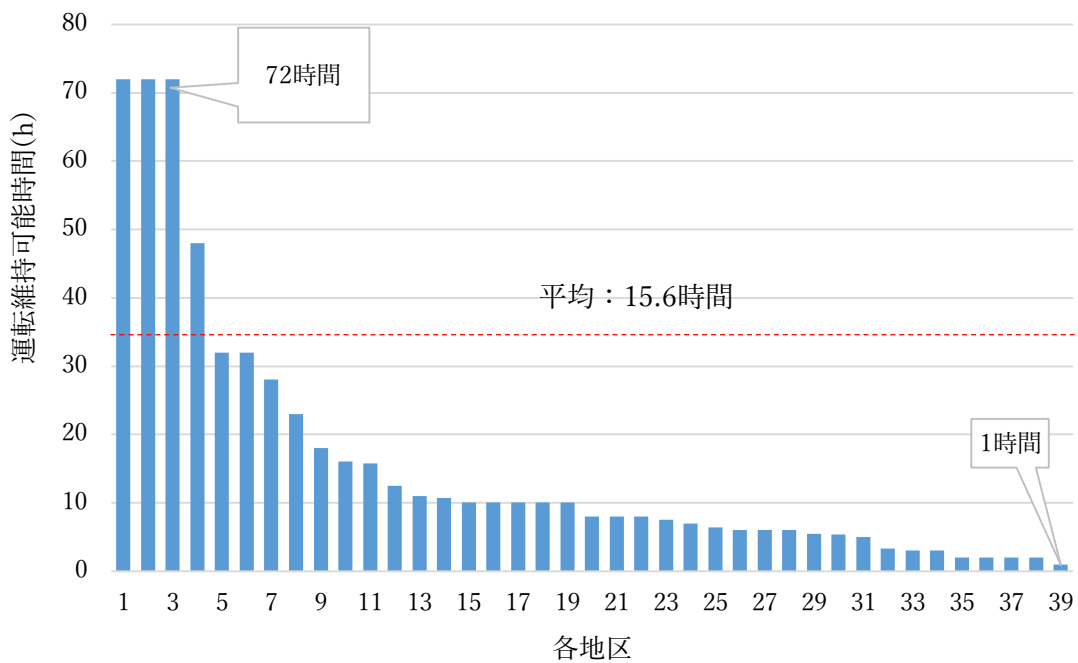
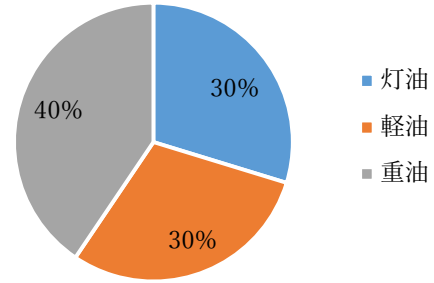


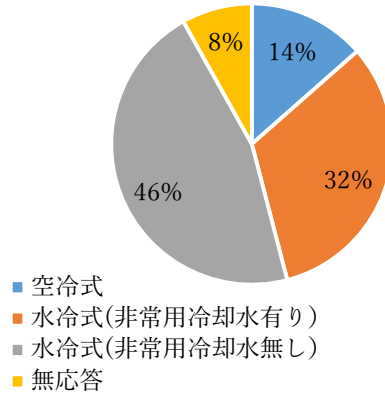
図 3.9 非常用燃料の運転継続可能時間

非常用燃料の種類は，灯油と軽油が各々30%(11 地区)，重油が 40%(15 地区)であり，運転可能時間は最大 72 時間から最小 1 時間までの範囲に分布している。非常用燃料で運転可能時間が 24 時間以下の地区が 34 地区の中に 26 地区で，多くの地区が短時間の非常時運転を想定してると考えられる。

② 非常用冷却水

表 3.18 非常用冷却水の有無

冷却方式	水冷式		空冷式	無応答
	有り	無し		
非常用冷却水	有り	無し	-	-
全体割合	14% (12 地区)	32% (17 地区)	14% (5 地区)	8% (3 地区)
水冷式割合	41%	59%	-	-
回答	非常用発電機がある 37 地区の中 回答：34 地区，無応答：3 地区			



非常用発電機の冷却水の供給が停止する状況まで考慮して、発電機の冷却方式と非常用冷却水の有無を調査した。非常用発電機のある 34 地区の中で 29 ヶ所が水冷式であり、この中で非常用冷却水を備えている地区が 41%(12 地区)であり、備えてない地区は 59%(17 地区)であった。59%の 17 地区の非常用発電機は、冷却水の供給が途絶えると、運転できない脆弱性があると考えられる。

3.3.2 冷房設備のレジリエンス

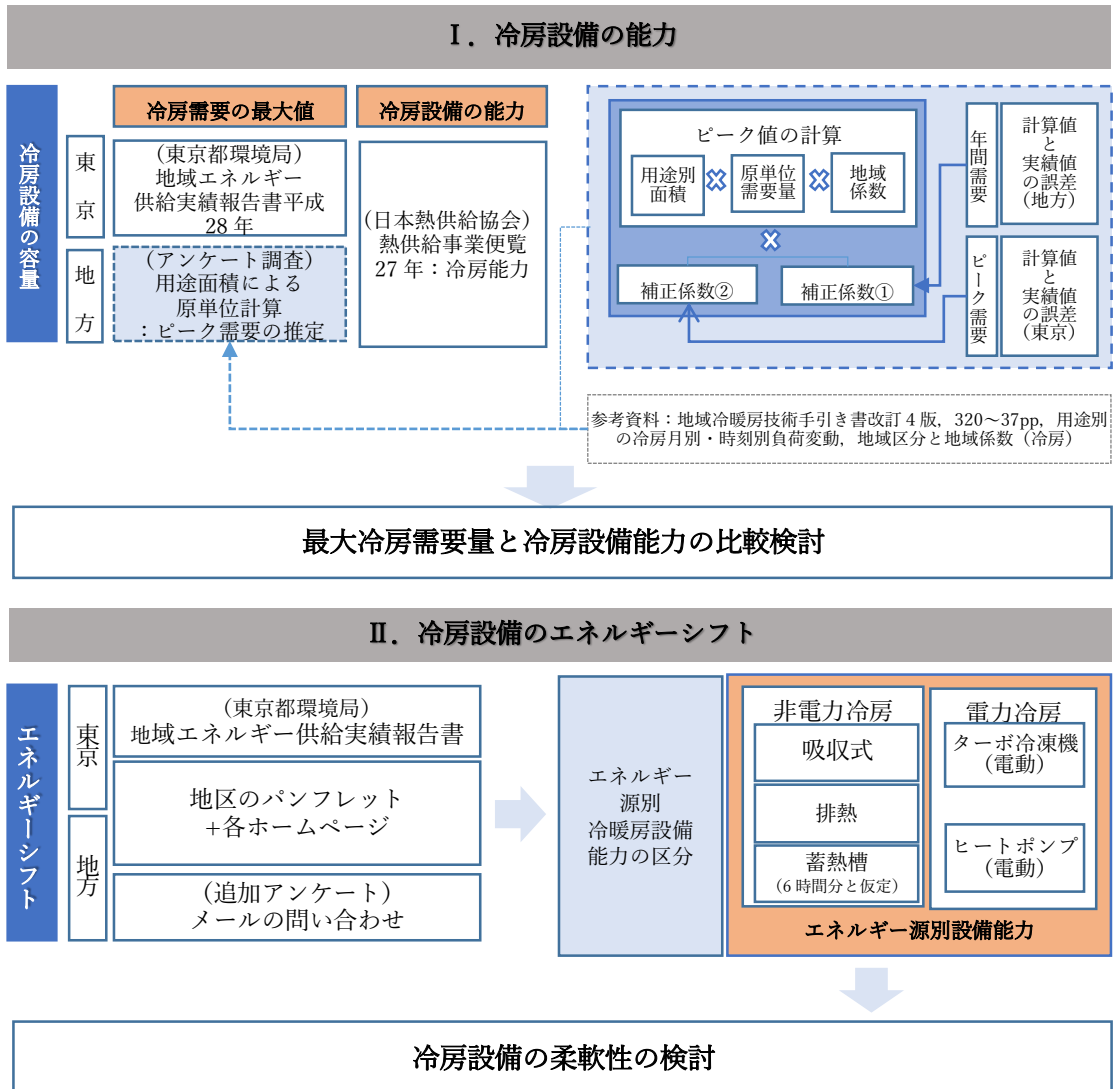


図 3.10 冷房のレジリエンス検討の流れ

冷房のレジリエンスを検討するため、冷房設備の能力と柔軟性、2つの側面を検討した。まず、冷房設備の能力の検討は、冷房設備の能力を各地区の最大冷房需要量と比べた。東京都の地区は、東京都環境局が公開している最大冷房需要量の実績データを利用したが、東京都以外の地区については実績データがないので、用途別冷房需要の原単位による計算値を活用した。計算値を算出する際、地域ごとの地域係数をかけた。計算値の精度を高めるために、東京都の原単位計算値と実績値の差を適用して計算値を補正した。

冷房設備の柔軟性を検討するために、冷房設備の熱源をシフトする可能性を検討した。各地区の冷房設備の能力を機種別に調査して、電力冷房設備と非電力冷房設備で分けて、割合を比べた。蓄熱槽については非電力設備として、6時間の均等な運転を想定して能力を求めた。

(1) 冷房供給の能力

冷暖設備の能力と冷房最大需要量を比較するために、全国 134 地区について冷暖設備の能力と冷房最大需要量がある地区(東京の地区)、又は用途別床面積があって冷房最大需要量を推定できる地区(東京以外の地区)のみを選び、データの正確性を考慮して、52 個のデータ(東京都の地区:37 個, 東京都以外の地区:15 個)のみを対象とした。冷房設備の能力を計算する際、蓄熱槽については全体の容量を6時間に均等に分け、次の計算式で計算した。

・ 計算式： $\{(\text{冷房設備能力} + \text{蓄熱槽}/6) / \text{冷房最大需要量}\} \times 100(\%)$

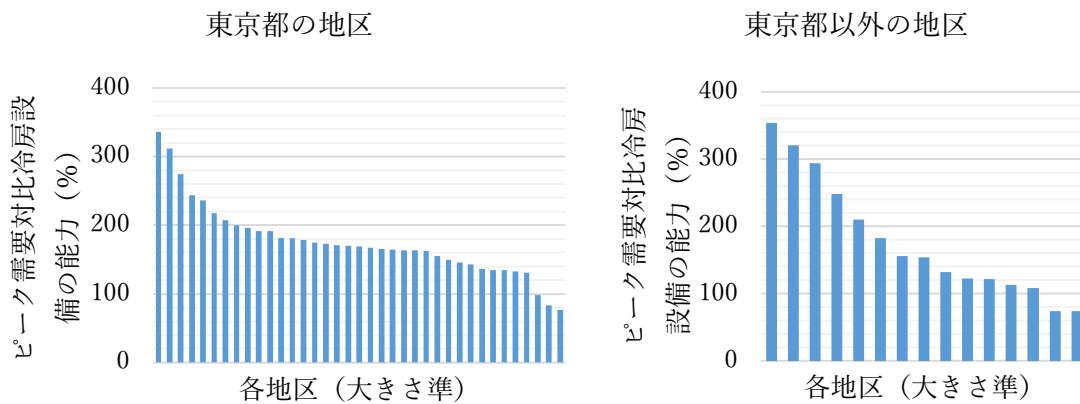


図 3.11 冷房最大需要量と冷暖設備の能力の比較

表 3.15 冷房設備の能力と冷房最大需要量の比較

区分	東京都の地区	東京都以外の地区	全国
データ数	37	15	52
最小値	76.7%	73.8%	73.8%
最大値	336.0%	354.0%	354.0%
平均値	176.0%	178.0%	176.6%

選別された地区を用いて、冷房最大需要量と冷房設備の能力を比較検討すると、東京都の地区は 76.7%から 336.0%まであり、東京都以外の地区は 73.8%から 354.0%であった。平均値は東京都の地区 176.0%であり、東京都以外の地区 178.0%、全国 176.6%であった。この数値を冷房需要に対して冷房設備の供給能力として考えると、現在の熱供給地区は平均的に十分な冷房能力を持っていると判断される。

(2) 冷房設備の柔軟性

冷房設備のベストミックスを検討するために、冷房設備の能力を電力冷房、非電力冷房で分類した。電力冷房と非電力冷房、蓄熱冷房の割合がベストミックスのためのエネルギーの柔軟性であると考えられる。

ベストミックスの検討は、熱供給地区のプラント設備のデータが揃っている全国61地区（東京都の地区40地区、東京都以外の地区21地区）を対象とした。図3.12は、各プラントの冷房能力を非電力（燃料と排熱）冷房、蓄熱冷房、電力冷房で分類して表したものである。東京都の地区の平均割合を見ると、非電力冷房が50.2%、蓄熱冷房が12.4%、電力冷房が37.4%であった。東京都以外の地区は、非電力冷房50.2%、蓄熱冷房11.1%、電力冷房41.8%であり、全国平均は各々49.1%、12.0%、38.9%であった（表3.19）。

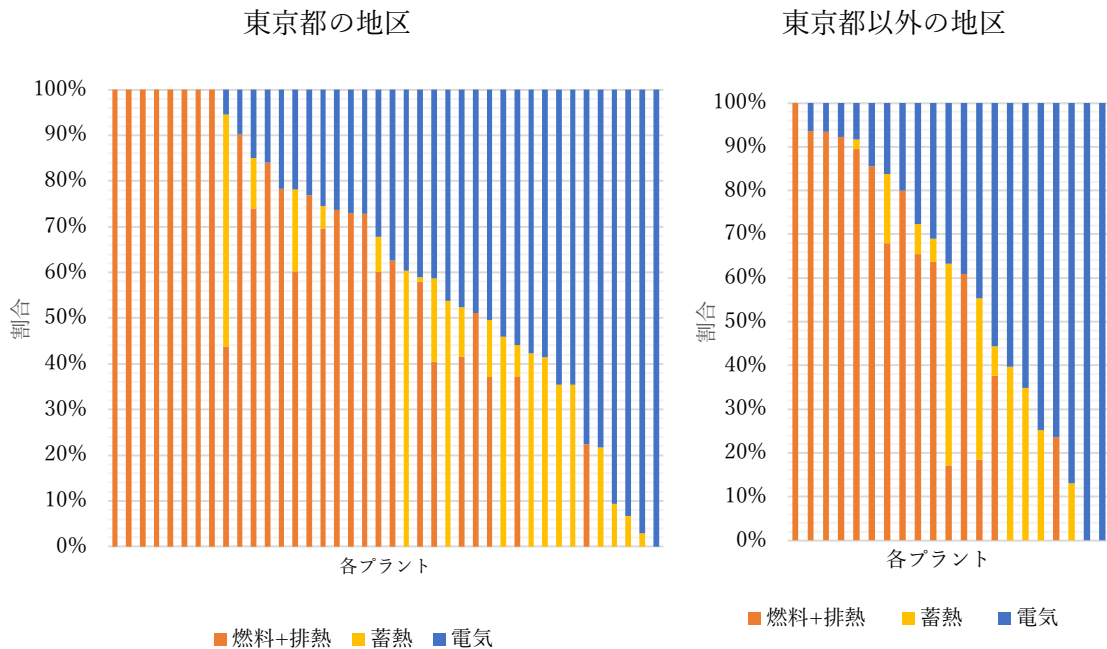


図 3.12 冷暖設備の能力と冷房最大需要量の比較

表 3.19 冷房設備の電力・非電力・蓄熱の割合

区分	地区数	非電力冷房 (燃料+排熱)	蓄熱冷房	電力冷房
東京都の地区	40	50.2%	12.4%	37.4%
東京都以外の 地区	21	47.1%	11.1%	41.8%
全国	61	49.1%	12.0%	38.9%

3.3.3 電力設備のレジリエンス

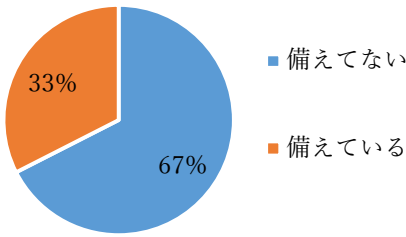
(1) 停電時のための設備

アンケート調査に回答した 80 地区の中で、33%の 26 地区のみ、停電時、プラント運転のための非常用

発電設備、または非常用蓄電設備を備えていると回答している。即ち、67%の 54 地区は、停電時、設備的には備えがないので、電力 BCP について脆弱であると考えられる。

表 3.20 停電時の非常用設備

区分	備えてない	備えている
割合	67%	33%
東京	32 地区	12 地区
東京以外	22 地区	14 地区
全体	54 地区	26 地区
回答	80 地区	



(2) 発電機

表 3.21 発電機の有無

区分	有り	無し
割合	51%	49%
地区	41 地区	39 地区
回答	80 地区	

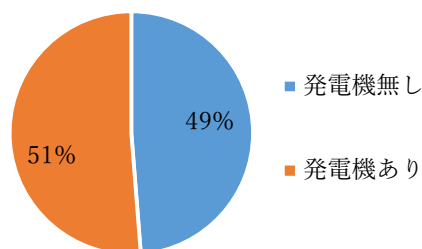
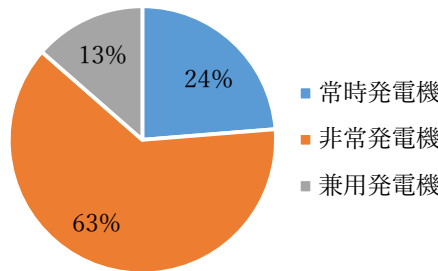


表 3.22 用途別発電機の割合

区分	常用	非常用	兼用 (常用非常用)
割合	24%	63%	13%
地区	14 地区	37 地区	8 地区
回答	発電機のある 41 地区中 回答：41 地区		



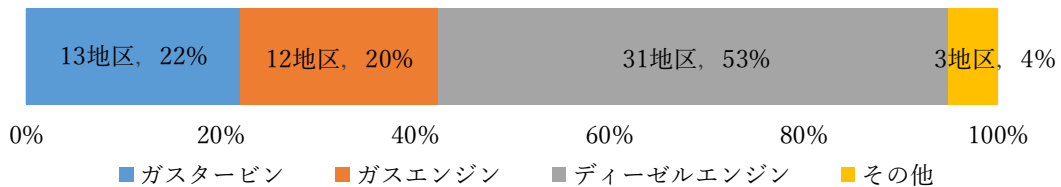
プラント内に発電機を揃えている地区は、51%(41 地区)であり、発電機のない地区は

49%(39地区)であった。

発電機のある41地区について運転方式、機種、発電機の容量に関する詳細の内容を検討した。運転方式によって区分すると、常用発電機、非常用発電機、兼用発電機が各々24%(14地区)、63%(37地区)、13%(8地区)である(表3.23)。発電機の機種で分類すると、ガスエンジン22%(13地区)、ガスエンジン20%(12地区)、ディーゼルエンジン53%(31地区)、その他の機種4%(3地区)で有った(表3.23)。

表3.23 発電機の機種

機種	ガスタービン	ガスエンジン	ディーゼルエンジン	その他
割合	22%	20%	53%	4%
地区数	13	12	31	3



※その他：蒸気タービン、燃料電池 CGS、マイクロ CGS

回答	発電機のある41地区中、回答：41地区
----	---------------------

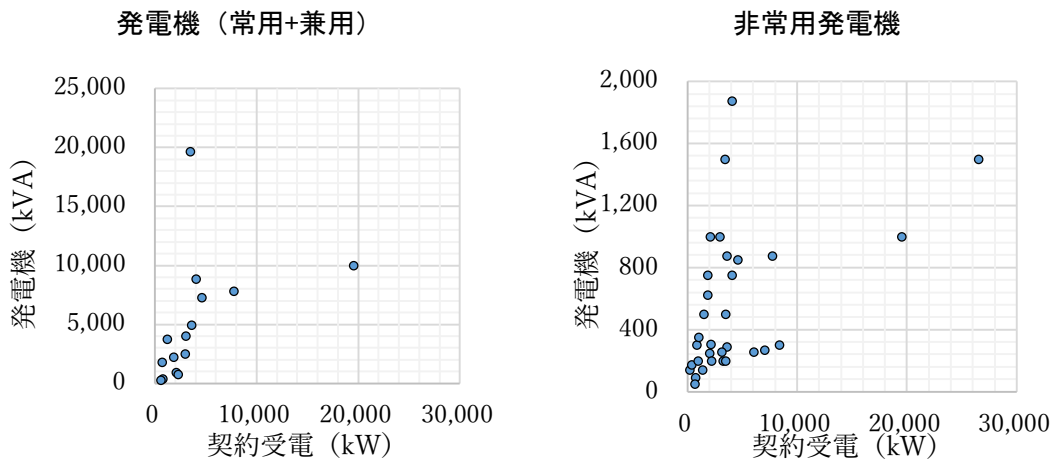


図3.13 契約電力と発電機の容量比較

図3.13は発電機の容量と契約電力を比較したものであり、ある程度の比例関係が見える。図3.14は契約電力の規模を100%として、各地区の用途別発電機の能力を比べたものであり、発電機の容量が契約電力より大きい地区は、37ヶ所のうち10ヶ所であった。

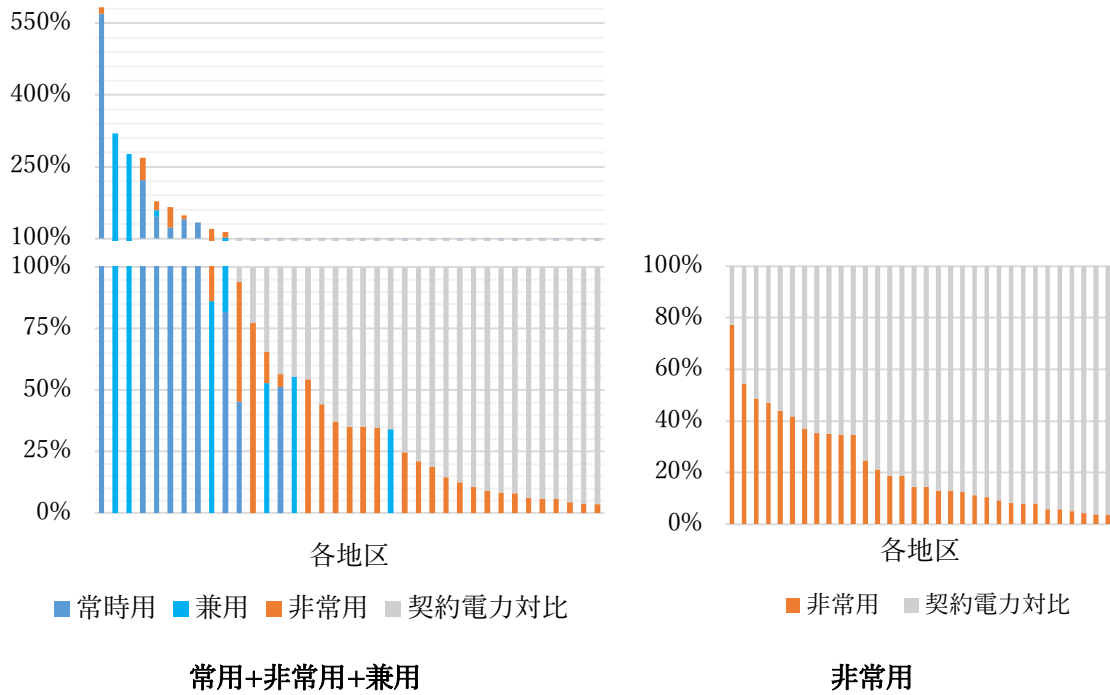


図 3.14 用途別発電機の能力と契約電力の比較

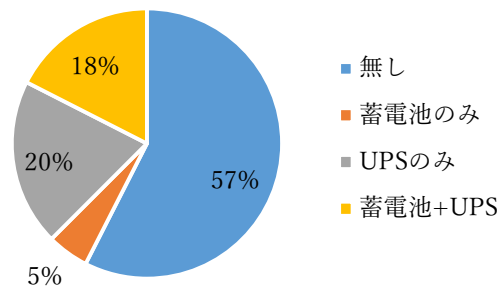
(3) 蓄電設備

停電時、短時間の非常時電力供給を維持するために、蓄電設備を備えている地区を調べた。80 地区の中で 43% (34 地区) が蓄電設備を設けている、56%(46 地区)が蓄電設備を設けてないと回答している。

蓄電設備を種類別に見たら、非常用蓄電池のみ、UPS のみを設けている地区は、各々 12%(4 地区)、41%(16 地区)であり、両方設けている地区は、47%(14 地区)であった。非常用蓄電池の容量は最小 50Ah から最大 34, 200Ah までであり、多くが 300Ah 以下の規模であり、UPS の容量は 3kAV から 55kVA までであった(図 3.15)。

表 3.24 蓄電設備の有無

蓄電施設	無し	有り		
		蓄電池のみ	UPSのみ	蓄電池+UPS
割合	57%	5%	20%	17.5%
地区数	46	4	16	14
回答	80 地区から			



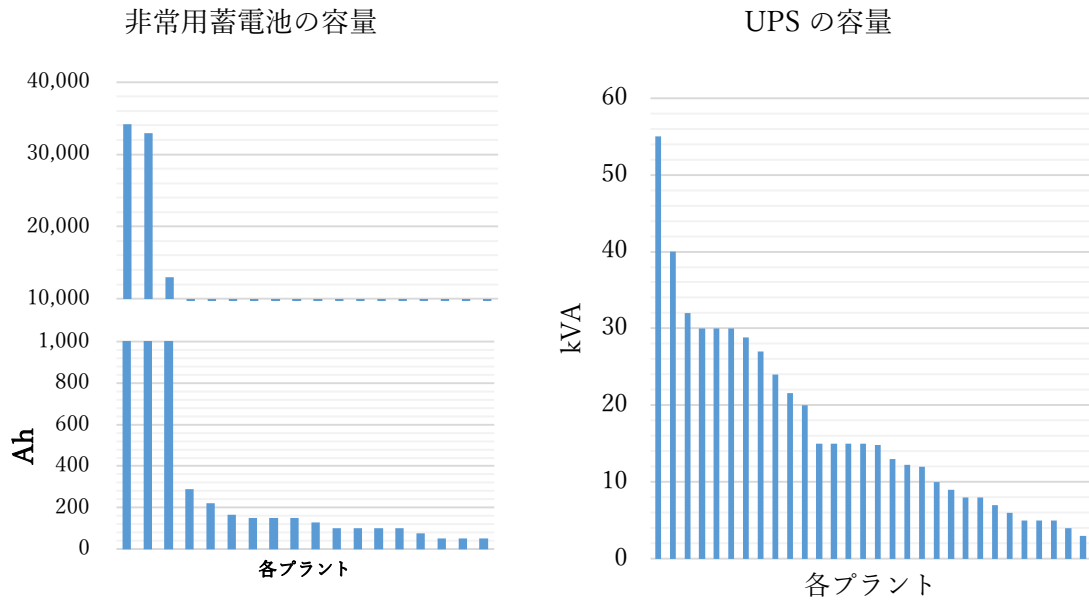


図 3.15 非常用蓄電池と UPS の容量

(4) 非常電力の供給用途

表 3.25 非常用発電機の非常用電力の供給用途

順位	供給用途	割合	地区数
1	照明	82%	28
2	消火設備	74%	25
3	UPS	66%	23
4	冷暖房設備	56%	19
5	防犯設備	41%	14
5	緊急遮断	41%	14
5	プラントの空調	41%	14
8	熱供給地区内の一部施設	29%	10
9	昇降機	26%	9
10	受電設備	9%	3
11	機器制御・中央監視装置	6%	2
12	プラント全体	6%	2

※重複回答可能として調査を行った（割合は 34 地区数を基準として）

非常用発電機のある 35 地区，回答：34 地区

非常用発電機のある地区の35地区を対象として、非常用発電機の非常電力の供給用途を調べ、34地区から回答を得た。結果は、停電時の照明(82%)、消火設備(74%)、UPS(66%)、冷暖房設備(56%)、防犯設備(41%)、緊急遮断(41%)、プラントの空調(41%)、熱供給事業地区の一部施設(29%)、昇降機(26%)、受電設備(6%)、機器制御・中央監視装置(6%)、プラント全体(6%)の順位であった(表3.25)。

表3.26 非常用蓄電設備の非常電力の供給用途

順位	供給用途	割合	地区数
1	UPS	74%	25
2	受電設備	47%	16
3	機器制御・中央監視装置	35%	12
4	緊急遮断	18%	6
5	消火設備	6%	2
6	照明	3%	1
6	冷暖房設備	3%	1

※重複回答可能として調査を行った（割合は34地区数を基準として）

非常用蓄電設備のある34地区、回答：34地区

非常用蓄電設備のある34地区から34の回答を得た。非常用蓄電設備(蓄電池とUPS)の電力供給の用途は、UPS(74%)、受電設備(47%)、機器制御・中央監視装置(35%)、緊急遮断(18%)、消火設備(6%)、照明(3%)、冷暖房設備(3%)であった(表3.26)。

3.3.4 インフラのレジリエンス

(1) 共同溝

表 3.27 導管敷設状況

区分	共同溝	専用洞道	直埋	その他	合計
長さ	139,647m	119,934m	337,629m	56,956m	654,166m
	21%	18%	52%	9%	100%
地区数	25	70	93	70	138
	18.1%	50.7%	67.4%	50.7%	100%

平成 27 年現在の 138 地区を基準として

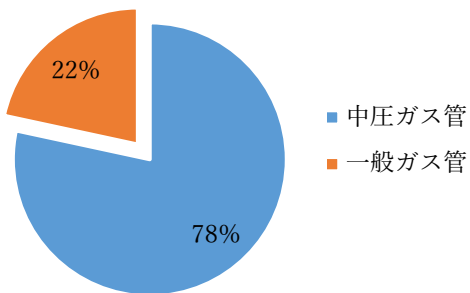
導管敷設の状況を地区数で見ると直埋が 67.4%(93 地区)最も多く、全体の導管の長さで比べると、直埋 52%、共同溝 21%、専用洞道 18%の順で、共同溝の利用が全体の 1/5 を占めている。

(2) ガス管

表 3.4 中圧ガス管からの供給の有無

ガス管類型	地区数	割合(%)
中圧ガス管	29 地区	71%
低圧ガス管	8 地区	19%
無応答	4 地区	10%

発電機のある 41 地区の中、回答：37 地区



■ 中圧ガス管
■ 一般ガス管

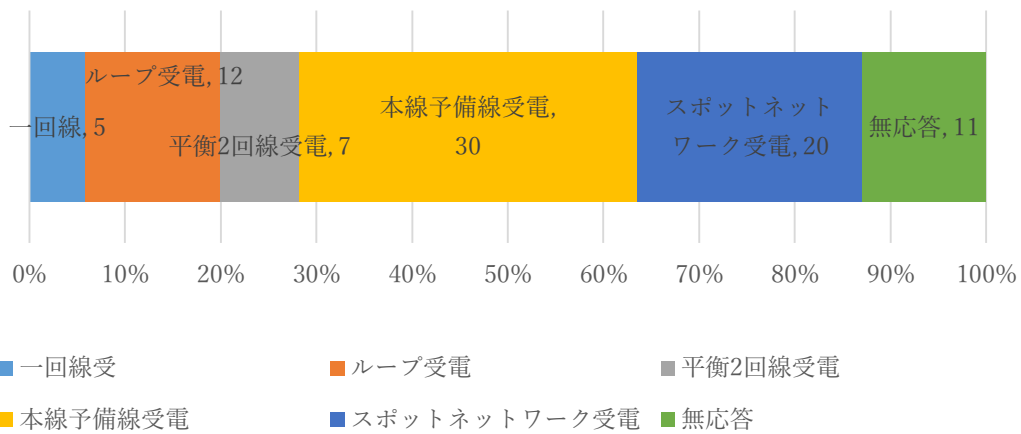
熱供給地区において、都市ガスは熱源設備に主に使われているが、発電機にも利用されるので、都市ガス管も電力供給に間接的に関わっている。今回のアンケート調査は、発電機のある 41 地区から、37 の回答を得た。物理的な衝撃に対する耐久性のある中圧ガス管からの供給を受けている地区は、71%(29 地区)であり、低圧ガス管からの供給を受けている地区は 19%(8 地区)であった。

(3) 受電方式

電力BCP観点から、熱供給地区のプラントに対するエネルギーインフラを検討するために、受電方式を調査した。

表 3.28 受電方式

区分	一回線	ループ	平衡2回線	本線予備線	スポットネットワーク	無応答
割合	5.88%	14.12%	8.24%	35.29%	23.53%	12.94%
地区	5地区	12地区	7地区	31地区	20地区	11地区



回答	80地区から68地区の回答を回収し、無回答は11地区であった。 複数のフランがある地区の重複回答(5個)を含めて、73の回答
----	---

受電方式については、68地区から回答を得た。ループ方式(15%)、平衡2回線方式(9%)、本線予備線方式(40%)の受電は2回線であり、スポットネットワーク方式(26%)の受電は2回線以上であるので、比較的に設備の信頼性があるが、一回線方式の6%(5地区)は、受電の補完対策が必要と判断される。

3.4 現況分析のまとめ

3.4.1 傾向検討のまとめ

表 3.29 傾向分析のまとめ

	現況	詳細分析
供給エネルギー	・温熱と冷熱を同時に供給している地区が 93.4% (128 ケ所) である。	・販売熱量で確認すると、冷水 60.28%、蒸気 28.98%、温水 8.42% で、冷水による冷熱供給が中心となっている。
規模	・供給施設数で区分すると、4～10 個の複合施設群が 49% で最も多い。	・プラント面積、供給延床面積、冷暖房能力、燃料使用量すべて、正比例関係である。
設備別の能力	・温熱設備、冷熱設備の比率が 50.6%、44.4% である。	・設備別能力の需要構成は、ボイラー 39.5%、冷凍機 28.2%、ヒートポンプ(温冷合計)22.8% である。 ・蓄熱の割合は、温水蓄熱 2.4%、冷水蓄熱 2.9% となっている。
COP	・地区全体の燃料投入量に対する販売熱量の COP は、1.23 であり、最高 COP4.11、最低 COP0.49 で幅が大きい。	・電力使用の比率が高いほど、COP が高い。 ・排熱・再生エネルギー利用率が高いほど、COP が低い。
年度別変遷	・供給地区の延床面積の規模が小さくなってきている。 ・平均 COP と CO ₂ 排出量は、やや上昇したが、その幅は大きくない。 ・冷房供給の比率が高くなってきている。	・1970 年～1975 年に供給を開始したの地区は温熱供給が中心で、COP が低く、供給地区は広く、電力使用割合が低く、経済性が低い。1986 年～1995 年に供給を開始した地区は COP、経済性が高く、電力使用の割合も高い。1996 年～2000 年に供給を開始した地区は CO ₂ 排出量が高い。

地域冷暖房地区の傾向分析の結果をまとめて、表 3.28 に整理した。

供給エネルギーは、一般的に温熱と冷熱を一緒に供給しているが、熱媒の種類としては、冷水の割合が一番多い。加熱・温熱能力の割合はほぼ同じであり、プラント面積、供給延床面積と冷暖房能力、燃料使用量の規模は正比例の関係にある。供給施設数は 4～10 個の複合施設群が 49% で最も多い。設備別の能力を見ると、温熱設備、冷熱設備の比率が 50.6%、44.4% で、ほぼ等しい。地区全体の燃料投入量と販売熱量から算出した COP は、1.23 であり、最高 COP4.11、最低 COP0.49 と幅が大きい。詳しくみると、電力使用の比率が高いほど COP が高く、排熱・再生エネルギー利用率が高いほど COP が低い傾向が見られる。年度別の変遷を分析した結果で、供給地区の延床面積の規模が小さくなってきたこと、平均 COP と CO₂排出量はやや上昇したが、その幅は大きくないこと、冷房供給の比率が高くなってきたことが分かった。熱供給開始年度の区分による比較では、1970 年～1975 年に供給を開始した地区は温熱供給を中心とし、COP が低く、供給地区は広く、電力使用割合が低く、経済性が低くであり、1986 年～1995 年の地区は COP、経済性が高いが、電力使用の割合も高い。1996 年～2000 年の地区は CO₂排出量が高いことが確認できた。

3.4.2 レジリエンス検討のまとめ

(1) 資源のレジリエンス

レジリエンスの観点から地域冷暖房地区を資源、設備、インフラの現況を分析した結果を表 3.39～表 3.31 でまとめた。

表 3.30 資源のレジリエンスのまとめ

区分	第1段階検討	第2段階検討
再生・未利用エネルギー	利用地区の数	全体の消費エネルギー量に対する比率
	・134ヶ所の中で、22.4% (30ヶ所) が利用している。	・電力とガスの割合が、88.39%で、再生・未利用エネルギーの比率は、11.25%である。この中で、海水 22.9%、ごみ焼却 18.9%、木質バイオマス 18.8%、RDF18.7%が主に利用されている。
非常燃料	有無	保有量の運転時間
	・非常用発電機がある 37ヶ所の中、92%が非常用燃料を保有している。8%は非常用燃料を保有していない。	・平均 15.6 時間であるが、73.5%(25ヶ所) が 10 時間以下の運転時間分を保有している。
非常冷却水	有無	保有量
	・水冷式の非常発電機、29ヶ所のうち 41.4%が非常用冷却水を備えている。58.6%は備えてないので、非常時、冷却水の供給が途絶えると運転できない。	・保有量の幅は広く、500ℓから 30,000ℓ までである。発電機の能力と非常用冷却水容量の間の関係は見えない。

(2) 設備のレジリエンス

表 3.31 設備のレジリエンスのまとめ(設備)

	第1段階検討	第2段階検討
冷暖房供給能力	最大需要と冷房設備の能力の比較	冷房設備の熱源エネルギーシフト
	・冷房設備の能力の最大需要に対する比率は全国平均 176.6%であり、現在十分な能力を持っている。	・全国地区の冷房設備の種類割合は、電力 49.1%、蓄熱 12.0%、非電力(燃料+排熱)38.9%である。 ・電動の冷凍機のみで、冷房を賄っている地域もあり、電力の依存性が高い地区もある。
蓄熱槽	有無	全体の冷暖房設備能力対比の容量
	・冷水・温水蓄熱槽が設置されている地区は 43.2%、氷蓄熱槽設置されている地区は 31.3%である。	・6 時間運転を基準とすると、(冷水+氷) 冷熱蓄熱槽は 13%、温熱(温水)蓄熱槽は 5%である。

表 3.32 設備のレジリエンスのまとめ(電力設備)

	第1段階検討	第2段階検討
電力BCP設備	プラント運営のための非常用設備	-
	・有る地区は33%, 無い地区は33%である。	-
発電機	有無	契約電力に対する比率
	・有る地区は51%, 無い地区は49%であり, 半分程度の地区は電力の自立性がないと判断された。 ・CGSがある地区は20.9%である。	・契約電力に比べて, 常用は平均168.0%, 兼用は平均107.4%, 非常用は22.4%であり, 全体合計の平均は83.5%である。特定地区の発電能力が高く, 73.0%の地区(37ヶ所の中, 20ヶ所)は契約電力より小さく, 平均28.9%にしかない。
蓄電池	有無	蓄電池・UPSの容量
	・蓄電池, UPSがある地区は43%, 無い地区は57%である。	・蓄電池の場合, 冷暖房地区の機能(空港, 総合病院)と太陽光利用によって, 高い容量の蓄電池を持っている一部の地区を除くと, 平均容量は125Ahである。UPSの平均容量は, 17.4kVaである。
非常電力の供給	非常発電機による電力供給	蓄電池による電力供給
	・主に, 照明, 消火設備, UPS等, 非常時の緊急電力に利用しているが, 冷暖房設備の電力供給に使う地区は55.9%である。	・UPS, 受電設備の緊急電力・機器制御・中央監視装置が重要な目的である。

(3) インフラのレジリエンス

表 3.33 インフラのレジリエンスのまとめ

	第1段階検討	第2段階検討
受電方式	類型	-
	・90%のプラントが二重化されている受電方式を採択している。本線予備線は40%で一番多いが, 6%のプラントは, 一回線受電方式で, 受電方式の追加的対策が必要である。	-
ガス管	有無	-
	・ガス発電機がある地区の中で(20ヶ所), 中圧ガス管からの供給を受けている地区は75%, 低圧ガス管からの供給を受けている地区は25%である。	-
共同溝	有無	割合 (導管全体の長さに対する比率)
	・138ヶ所の中で, 25ヶ所(18.1%)に共同溝があり70ヶ所(50%)に専用洞道がある。	導管全体に対して21%が共同溝であり, 専用洞道は18%である。

3.4.3 レジリエンス改善の可能性

表 3.34 現況分析から見た改善案と CGS・蓄熱槽

	現在の弱点	改善案	技術要素	
			CGS	蓄熱槽
資源	電力・ガスのみをエネルギー源として利用している地区が多い(77.6%)。	長期：より多様な再生可能なエネルギー源の活用		
	水冷式の非常用発電機がある地域の中で、非常用冷却水を備えてない地区がある(58.6%)。	中期：非常用冷却水・非常用水の確保の一環として、蓄熱槽の増設 短期：適切な非常用発電の稼働維持時間の想定と非常用燃料の備え		○
	非常用発電機を設けている地区の中で8%は、非常用燃料がない。			
インフラ	一回線受電方式で、受電方式の追加的対策が必要とされる地区がある(6%)。	長期：エネルギーの地産地消 中期：共同溝によるライフライン整備の追加的対策 短期：発電機、蓄電池の設置、非常用燃料と資源の備え	○	
	ガス発電機がある地区の中で、低圧ガス管からの供給を受けている地区がある(25%)。			
	共同溝又は専用洞道ではない導管は全体長さの61%である。			○
設備	電力冷房に90%以上依存している地区が、9.8%で、エネルギーの柔軟性が低い。	長期：再生エネルギー設備の導入 中期：中圧ガス管への接続 短期：蓄電池と非常用燃料の確保、発電機の設置・増設	●	●
	電力BCPのための非常用設備を備えてない地区は33%である。		●	
	契約電力に対する発電機の容量が低い。		●	
傾向分析	1970年-1975年に供給開始した地区は比較的COP(1.86)が低い。	短期：高効率・エネルギー面的利用の設備(CGS)に更新	●	
	1996年-2000年に供給開始した地区の場合、CO ₂ 排出量(tCO ₂ /GJ)が大きい。	長期：再生エネルギーの導入 短期：エネルギー利用の効率化	●	
	気温上昇と冷熱供給中心になっている。	長期：冷熱供給の効率性強化 短期：ピークカットの対応策	●	●

●：直接的関係，○：間接的關係

傾向分析とレジリエンス検討による結果の中で、改善が必要な部分を抽出し、改善案を整理した。本研究では、レジリエントな地域エネルギーシステムの技術要素の中で、CGSと蓄熱槽を注目しているため、この2つの技術要素と改善案の関係を検討した。

① 資源のレジリエンス

電力・ガスだけのエネルギー源を利用している地区が多いが、多様なエネルギー源が活用されず、電力・ガスに依存しているところを、他の再生エネルギーに分担させることで脆弱性を緩和する。適用の現実性を考慮して、それを長期的な対策とした。

非常時の燃料と資源を揃えてない地区は、適切な非常用発電の稼働維持時間の想定と非常用燃料の備えが必要であるが7、地区の特性に合う確保量の基準も設定すべきである。非

常用冷却水・非常用水の確保の一環として、蓄熱槽の増設も役に立つ。

② インフラのレジリエンス

受電方式の中で、予備受電線がない一回線受電方式を適用している地区は追加的対策が必要である。直接的な対策として予備受電線を増設することがあるが、地区内部に発電設備を増設することで対応できるので、CGSが間接的な対策であると考えられる。

ライフラインの関係で、低圧ガス管より強い中圧ガス管からの供給に変えることと、災害に強い共同溝でインフラを強化することが中期的な対策として挙げられるが、長期的にエネルギーの地産地消の方向性をめざすことがインフラのレジリエンス向上の根本的な対策である。増設・更新の難しさがああり、中長期的な計画が必要であるので、CGSと蓄熱槽のような非常用資源と非常用設備の備えが臨時的な方案になりえる。

③ 設備のレジリエンス

電力による冷房の割合が高い地区の電力依存を減らすために、電力使用の効率を向上させ、電力ピークを行い、非電力冷房設備を増設することで電力の依存性を減らす対策が必要である。そして、特に過去より近年、冷熱供給の割合が高くなってきたこと、今後も気温上昇が予測されているので、冷房需要が増え、冷房設備の重要性が高まると判断される。従って、電力による冷房の割合が高い地区のみでなく、地域冷暖房地区の全体が、長期的に冷房供給に再生エネルギーの利用率を増やすことも必要である。

電力BCPのための非常用設備を備えてない地区(33%)は、蓄電池、又は自家発電機を設置し、発電機がある地区の中でも、契約電力に対する発電機の容量比率が低い地区は、非常時のために発電設備の増設すること考慮すべきである。

CGSと蓄熱槽は、電力依存性とピークカットに直接に効果がある。

④ 傾向分析

傾向分析の結果、COPが低い地区で効率性の向上が必要であり、2000年以前に供給を開始した地区は、2000年代以降に供給を開始した地区よりCO₂排出原単位が高く(1996年-2000年に供給を開始した地区は約15%高い)、低炭素対策が必要であると判断される。そして、供給地区の規模が過去より小さくなっていること、冷房の割合が高くなっていることから、冷房エネルギーの有効利用のために、CGSによる電力、又は蒸気の融通などのネットワークの可能性も検討する必要があると思われる。

気温上昇と冷熱供給中心になっている状況から、夏季の電力消費量の増加には、蓄熱槽のピークカットが役に立つと判断される。

IV

予測分析 1 : 冷暖房需要の変化予測

4.1 予測研究の概要

4.1.1 背景と目的

(1) 背景

全世界は気候変化の緩和とともに、予測されている気候変化に対応するために、適応に取り組んでいる。IPCCは第4次報告書においてこの100年間、地球の平均気温が0.74°C上昇し、21世紀末には最小1.8°C、最大4°Cの気温上昇を予測している。IPCCの新温室効果ガスシナリオでは、現在の温室効果ガス排出の水準が維持されると、21世紀末に、平均気温が4.8°C上昇し、温室効果ガスを削減する場合(RCP 4.5 シナリオ)においても、2.8°C上昇すると予測している。このように避けられない気温上昇に備えるための適応策が必要である。

IPCCからの地球温暖化による平均気温上昇の将来気象データの発表と共に、様々な分野において影響の評価と適応戦略に関する研究が国際的に行われている。建築冷暖房システムの分野においては、EnergyPlus、TRNSYSを用いて建物のエネルギー需要への影響を検討する研究が行われている。

日本の最近の研究として、将来の気象データを用いた空調熱負荷予測の応用可能性を検討した研究、過去の気象データを用いて、オフィスの冷暖房負荷の変化を検討した研究、大気循環モデルからダウンスケーリングした近未来の気象データを導出し、近未来の住宅の冷暖房負荷を予測した研究などがある。しかし、それらはシミュレーション上の仮想施設を想定して、冷暖房需要のみを検討しているため、冷暖房の熱源システムへの影響まで検討する必要があると考えられる。

日本の文科省・気候変動リスク情報創生プログラムでは、高解像度全球大気モデルおよび高解像度領域大気モデルを用い、これまでにない多数(最大100メンバ)のアンサンブル実験を行うことによって、確率密度分布の裾野にあたる極端気象の再現と変化を予測する「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」(以下d4PDF)を作成した。国による確率分布的に扱うことができる基盤データが整備されたことから、それを活用して変動幅も含めた様々な影響や対応策を検討することができるようになった今の時期に、その基盤データを活用した研究に取り組むことは意義がある。

(2) 目的

予測分析の研究は、既存の地域冷暖房地区を対象として、d4PDFを用いて、気温の上昇などの気象条件の変化による地域冷暖房の熱需要の変化を予測し、冷暖房の熱源システム

への影響を明らかにすることを目的とする。

そして、予測分析では、本研究で定義しているレジリエントな地域エネルギーシステムの効果を定量的に検討する。理論研究で導出したレジリエンスを向上させる技術要素として、CGS と蓄熱槽の効果を実際の事例に適用し、定量的な計算で効果を確認することで、理論研究の検証と適用・理論研究の活用を部分的に行うことを目指している。

従って、予測分析は、本研究の3段階として、2つの目標がある。将来気象変動による冷暖房エネルギー需要とエネルギーシステムへの影響を定量的に検討すること、レジリエントな地域エネルギーシステムの技術要素であるCGS と蓄熱槽を対象として、導入の効果をシミュレーション上で計算し、将来気象と現況の気象における効果を比較検討することである。

4.1.2 既存研究と予測分析の流れ

(1) 既存研究の考察

既存研究の考察として、比較的最新の研究であり、気候と冷暖房エネルギーの影響関係を検討する海外と日本の研究を抽出し、内容の特徴を整理した。

① Pieter de Wilde¹

気候変化が建物に及ぼす影響を検討するための建物性能シミュレーションを将来の気象データである UKCIP02 (2020 年代, 2050 年代, 2080 年代) を用いて行った。多重回帰で理論上の英国オフィスビルの熱的性能と気候変化の影響を分析した。性能メトリクスとその基礎となるモデリングを仮定し, EnergyPlus を用いて, 主要設計要素(面積, 窓の面積率, ガラスの遮蔽係数, 冷房, 暖房など)と計算結果の感度を検討し, ゾーニング別の性能への影響を検討した結果, 電力変換係数, 室内発熱の適切な管理, 詳細なゾーニング別の適切な対策が重要であると調べている。

② Haojie Wang²

気候変化が冷暖房エネルギー消費に与える影響を検討した。影響を定量化するために, HadCM3 GCM (Global Circulation Model) の気象データを使用して, 米国の 15 都市を 7 つの気候ゾーンに区分した。区分された地域を 3 つの CO₂排出シナリオに基づいた 2020 年, 2050 年, 2080 年の将来気象データの条件をモーフィング法でダウンスケーリングして, EnergyPlus 上で, 2 種類の居住用建物と 7 種類の商業用建物を想定して, 建物のエネルギーシミュレーションを行った。この研究は, 米国全地域にわたる建物について加重平均結果を提供している。また, 気候変化が将来のエネルギー消費に及ぼす影響の地理的な変化を確認した。

③ Navid Aghdaei³

オーストラリアのニューサウスウェールズ州の 3 つの主要な気候にわたる代表的な住宅の年間熱負荷を予測するために, 開発された既存の線形回帰モデルの方法論を利用した, 建物外皮の影響の評価に関する研究である。16 個の建物外皮パラメーターについて感度分

¹ Pieter de Wilde, Wei Tian, (2010), Predicting the performance of an office under climate change: A study of metrics, sensitivity and zonal resolution, Energy and Buildings, Volume 42, Issue 10, pp.1674–1684, 2010.10

² Haojie Wang b, Qingyan Chen, (2014), Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States, Energy and Buildings 82, pp.428-436, 2014.10

³ Navid Aghdaei*, Georgios Kokogiannakis, Daniel Daly, Timothy McCarthy, (2017), Linear regression models for prediction of annual heating and cooling demand in representative Australian residential dwellings, Science Direct Energy Procedia, Volume 121, pp.79-86, 2017.09

析を行い、6個のパラメーターを重要要素として確認した。そしてこの6つのパラメーターをEnergyPlusのシミュレーションによって、新しい線形回帰モデルを作成・精度検討を行った。

④ 曾我和弘⁴

気象予測データを用いて、建築物の負荷計算に活用できるかを検討した。このため、HASP/ACLDVのプログラムを利用して、過去の実際気象データと再現された気象データによるオフィスビルの年間空調負を計算・比較した。研究の結果として、年間空調負荷を予測するための入力気象データとして、地球温暖化予測情報第6巻に基づく標準年将来気象データを使用できることと、833地点の現在と将来の標準年気象データを応用すれば、将来の年間空調熱負荷が、現在のどこの地点の年間空調熱負荷に類似するのか、熱負荷距離を指標として、探索可能になると考えられることを挙げた。

⑤ 磯崎恭一郎⁵

最近約50年の東京の気象データを利用して、気象指数を作成し、LESCOMのプログラムを用いて、50年間の年間冷暖房負荷を計算した。気象データの中で、気温、湿度、日射量を基準指標として各々の基準を設定して、これらと冷暖房の直線、及び曲線回帰式で、計算値を導出・感度を検討した。その結果で、冷暖房負荷計算する際、適合している指標が何かを明らかにし、この指標による50年間の年間冷暖房負荷を計算した。

⑥ 有馬 雄祐⁶

近未来の建築熱負荷を予測するために、8月と1月に対して、現在(2001-2010年)と近未来(2026-2035年)の気象データであるGCM(全球気候モデル)をRCM(領域気象モデル)で力学的ダウンスケーリングした。そして、TRNSYS17のプログラムを利用して、東京都大手町の現在と近未来の建築熱負荷を予測することで、気象影響を評価した。対象建物としては、IBECによる、4人家族を想定した標準的な日本の戸建住宅モデルを想定した。

既存研究の特徴を総合すると、シミュレーション上の仮想施設を想定し、冷暖房需要のみを検討していることを分かった。従って、冷暖房の熱源システムへの影響まで検討する本シミュレーションの研究は意義があると思われ、横浜みなとみらい21地区(以下MM21地区)を対象として、4°C上昇後の冷暖房需要の変化と冷暖房エネルギーシステムへの影響のシミュレーションを行った。

⁴ 曾我和弘他, (2015), 地球温暖化予測情報第6巻に基づく標準年将来気象データの空調熱負荷計算への応用, 日本建築学会技術報告集第21巻第47号, pp.177-182, 2015.2.

⁵ 磯崎恭一郎, 武田仁, (2016), 気象指標に基づく近未来冷暖房負荷の予測, 日本建築学会環境系論文, 81巻 726号, pp.669-678, 2016.8.

⁶ 有馬雄祐, 菊本英紀, 大岡龍三, 山中徹, (2015), GCMを使用した領域気象モデルによる近未来標準気象データ作成に関する研究(その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 巻号 2015, pp.857-859, 2015.9.

表 4.1 既存研究の考察

研究者	研究	シミュレーションツール
Pieter de Wilde (2010)	Predicting the performance of an office under climate change: A study of metrics, sensitivity and zonal resolution	EnergyPlus オフィス
	EnergyPlus を用いて、気温変動が理論的にオフィス建物の熱的パフォーマンスに与える影響を検討	
Haojie Wang (2014)	Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States	EnergyPlus 住宅と商業
	2020年、2050年、2080年の予測気象データで、15の都市を対象として住居と商業機能の建物、7種類の冷房エネルギーをシミュレーションした。EnergyPlus を利用	
Navid Aghdaei (2017)	Linear regression models for prediction of annual heating and cooling demand in representative Australian residential dwellings	EnergyPlus 住宅
	EnergyPlus と回帰モデルを利用して、年間冷暖房エネルギーのシミュレーション結果を比較した。冷房エネルギーの予測する際、回帰モデルの利用可能性を検討。	
曾我和弘 (2015)	地球温暖化予測情報第6巻に基づく標準年将来気象データの空調熱負荷計算への応用	HASP/ACLVDV オフィス
	将来の気象データを用いた空調熱負荷予測の応用可能性を検討した研究	
磯崎恭一郎 (2016)	気象指標に基づく近未来冷暖房負荷の予測(東京の最近50年間よりのオフィス年間冷暖房負荷予測)	LESCOM オフィス
	過去の気象データを用いて、オフィスの冷暖房負荷の変化を検討した研究	
有馬 雄祐 (2013)	GCM を使用した領域気象モデルによる近未来標準気象データ作成に関する研究(その4)	TRNSYS17 住宅
	大気循環モデルからダウンスケーリングした近未来の気象データを導出し、近未来の住宅の冷暖房負荷を予測した研究	

(2) 予測分析の全体流れ

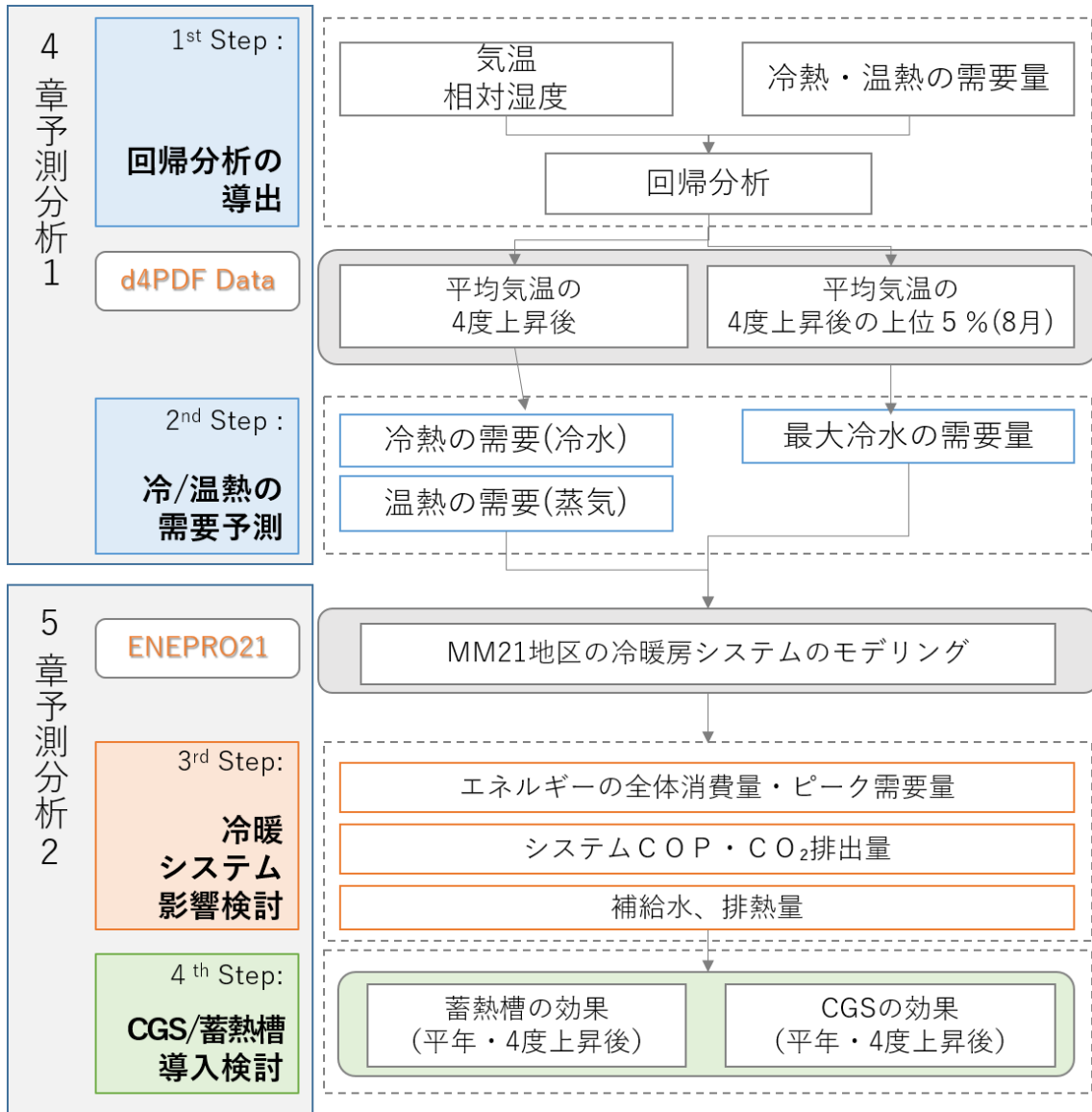


図 4.1 予測分析全体の流れ

予測分析は、回帰分析、冷暖房の需要予測、冷暖房システムの影響予測、レジリエンスシステムの導入予測の4ステップで構成される。各予測分析は、平均気温と4°C上昇後の変化を比較した。

4章(予測分析1)は、4°C上昇後の冷暖房エネルギーの変化を計算するための回帰分析と冷暖房の需要予測を行い、5章(予測分析2)は、この影響をシミュレーションする冷暖房システムの影響予測、レジリエンスシステムの導入予測を行っている。

4.2 冷暖房需要予測の要件

4.2.1 対象地区と d4PDF の概要

(1) みなとみらい 21 地区の概要

MM21 地区は、業務、商業、都市型住居を中心とした複合用途の建物で構成され、現在、49 件の需要家を有する地域冷暖房地区であり、熱源として都市ガスや系統電力を使用して蒸気と冷水を供給している。日本の地域冷暖房地区の中で、熱供給規模が一番大きく、用途別床面積割合が全国の平均割合に近い、地域冷暖房事業の成長期と普及期の間(1986 年)に設立され、供給を開始した代表的地区である。



図 4.2 みなとみらい 21 地区

(資料：みなとみらい 21 熱供給株式会社： <http://www.mm21dhc.co.jp/owner/erea.php>)

① 用途別床面積と熱供給量

MM21 地区は業務、商業、都市型住居を中心とした複合用途で構成される地域冷暖房地区であり、熱源として都市ガスや系統電力を使用して蒸気と冷水を供給している。表 4.2 は MM21 地区の用途別延床面積であり、表 4.3 は MM21 地区の 2014 年 4 月から 2015 年 3 月まで(以下 2014 年度)の冷暖房需要量とエネルギー消費量である。

MM21 地区は、総延床面積 3,135,600 m²の比較的大規模な地域冷暖房地区であり、用途別延床面積の割合を見ると、オフィス機能を中心とした複合用途の地区である。

本研究は、地域冷暖房地区の代表的な地区として MM21 地区を扱っているが、全国冷暖房地区の中で、MM21 地区を代表的な地区として取り上げる理由は次の 3 点である。

- ・全国の地域冷暖房地区の用途別床面積割合が MM21 地区の用途別床面積割合と比較的似ている。
- ・熱供給量が全国最大規模である。
- ・関東・関西地域に所在し、都市ガスと電力を使って、蒸気と冷水を供給している一般的な傾向を持っている。

表 4.2 MM21 地区と全国の地域冷暖房地区の用途別延床面積の割合(1,000 m²)

	住宅	商業	病院	文化	娯楽	オフィス	宿泊
全国地区	1.8%	31.6%	4.6%	7.3%	7.0%	34.9%	12.3%
MM21 地区	16.5%	15.2%	1.1%	5.5%	1.3%	49.4%	11.0%
	518.5	477.9	34.5	173.8	39.5	1,551.0	347.4
総延床面積: 3,135.6							

全国地区は、アンケート調査からのデータである。

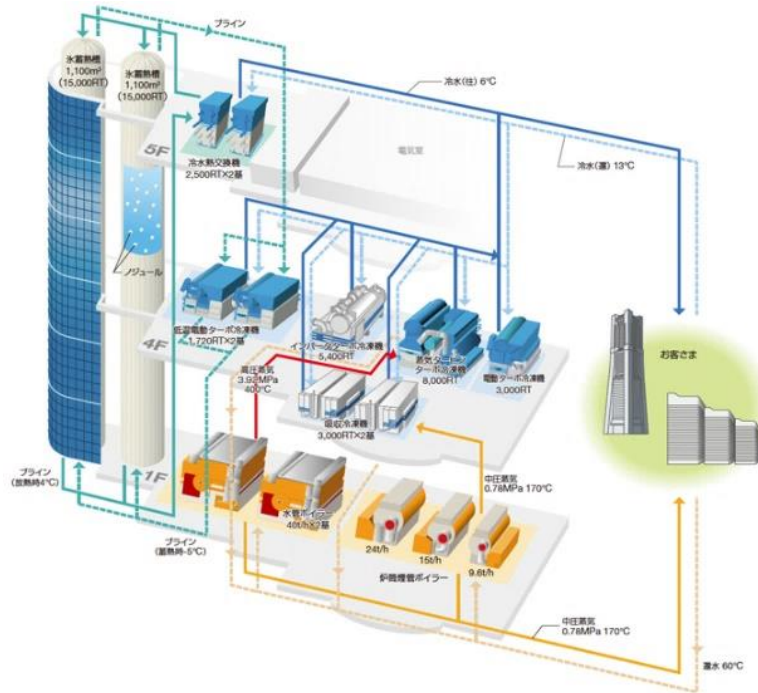
表 4.3 MM21 地区の熱供給量とエネルギー源使用量

	年間需要	燃料	年間エネルギー消費量
蒸気	637.8 TJ	都市ガス	都市ガス: 22,741 kN m ³ 電力: 63,430 MWh
冷水	791.7 TJ	都市ガス, 電力	

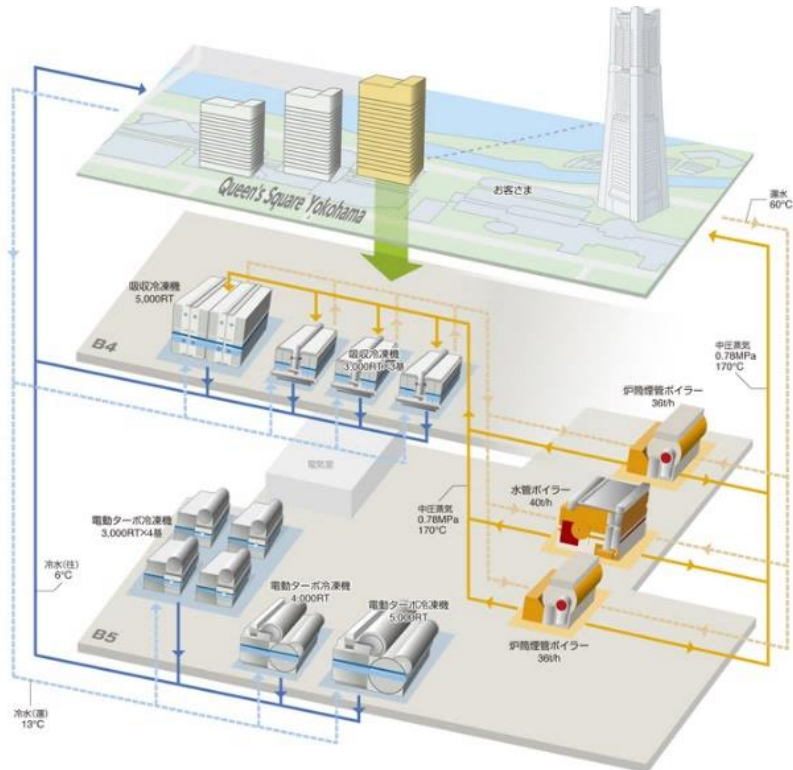
※ 2014 年実績データ(2014 年 4 月～2015 年 3 月)

② 冷暖房エネルギーシステム

MM21 地区は、センタープラントと第二プラントで構成されている。センタープラントは、1989 年の熱供給開始と同時に稼動を始めた。熱源設備として、蓄熱システムと電動ターボ冷凍機、吸収冷凍機、蒸気タービンターボ冷凍機、水管ボイラ、炉筒煙管ボイラなどがある。第 2 プラントは、1997 年に稼動を開始した。熱源設備として、二重効用吸収冷凍機、電動ターボ冷凍機等がある。



センタープラントの熱源設備の構成図



第二プラントの熱源設備の構成図

図 4.3 MM21 地区のプラント別熱源設備の構成図

(資料： http://www.mm21dhc.co.jp/owner/erea_center.php)

(2) d4PDF の活用

① d4PDF について

文科省・気候変動リスク情報創生プログラムでは、高解像度全球大気モデルおよび高解像度領域大気モデルを用い、これまでにない多数(最大 100 メンバ)のアンサンブル実験を行うことによって、確率密度分布の裾野にあたる極端気象の再現と変化を予測する「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」(以下 d4PDF)を作成した。

d4PDF は、水平解像度約 60 km の気象研究所全球大気モデル MRI-AGCM3.2 を用いた全球実験と、水平解像度約 20 km で日本域をカバーする気象研究所領域気候モデル NHRCM を用いた領域実験によって構成される。領域モデル実験の 4°C 上昇実験は 61 年間(2050 年 9 月～2111 年 8 月)において、全球平均温度が 4°C 上昇した世界をシミュレーションする予測データである。

② d4PDF の活用

本研究では東京地域の象研究所領域気候モデル NHRCM の 4°C 上昇実験に該当するデータを用いた。東京地域の気象データを利用したのは、MM21 地区を含む d4PDF メッシュ地域は海の影響が大きいいため、気温の日較差が小さいなど、陸域の分析に適さないためであり、最寄りの陸域データである東京都心部のメッシュ地域を用いた。

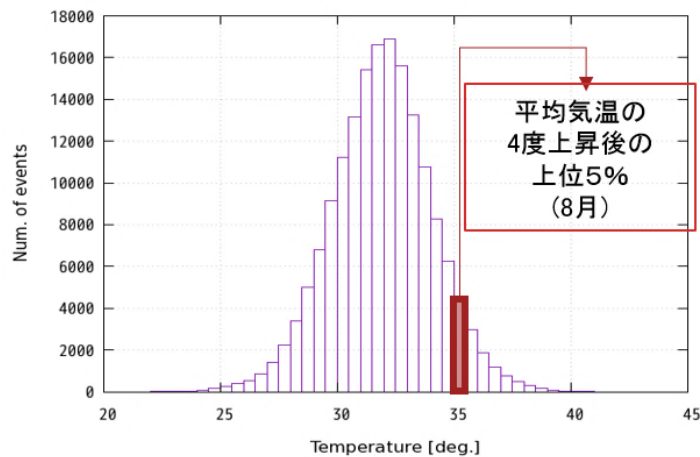


図 4.4 d4PDF の 4°C 上昇のデータの中の上位 5% データ

冷暖房需要量の平均的変動から極端な変動まで検討するために、d4PDF の気象データを二つの方法で利用した。まず、4°C 上昇後の気象データの月別平均気温と湿度である(以下 4°C 上昇後のデータ)。そして、極端な変動を考慮するために、4°C 上昇後のデータの中で、d4PDF の 90 アンサンブルの 8 月データの中で、日平均気温の上位 5% 付近の 21 サンプルに該当する気象データの時刻平均の気温と湿度(以下 4°C 上昇上位 5% のデータ)を利用した。

4.2.2 データの検討

(1) 平年と4°C上昇後の気象データ

本研究が利用している気象データは、国土交通省の気象庁からの過去気象データとd4PDFからの4°C上昇後のデータと4°C上昇後の上位5%に当たる8月の気象データであり、気象データは月別時刻別の気温と湿度である。

表 4.4 d4PDF の月別平均気温と平均湿度(東京)

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温 °C	平年	6.1	6.7	9.8	14.8	19.2	22.5	26.3	27.5	24.2	18.9	13.6	8.7
	4°C上昇後	10.0	11.1	14.8	20.1	25.0	27.9	30.6	31.9	28.8	24.0	17.9	12.4
湿度 %	平年	47.8	49.5	53.9	59.1	64.1	71.6	72.4	71.0	70.5	66.1	59.9	51.6
	4°C上昇後	60.7	57.4	57.2	60.2	64.1	70.8	76.3	73.3	72.6	66.7	63.2	63.0

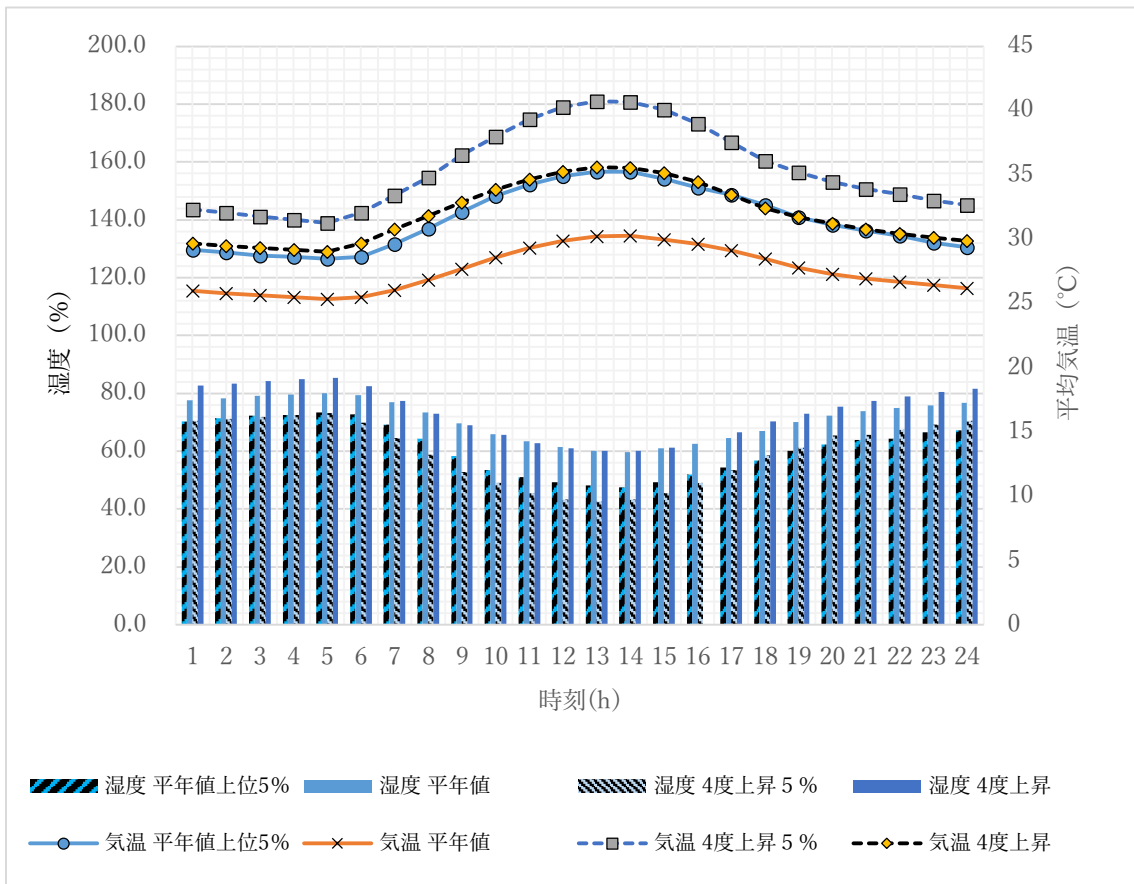


図 4.5 平年と4°C上昇の気象データの比較(8月)

表 4.5 平年と 4°C上昇の気象データの比較(8月)

時刻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
気温 °C	N5%	292	290	287	286	285	286	296	308	321	334	342	349	352	353	347	340	334	327	317	311	307	303	297	294
	N	26.0	25.8	25.6	25.5	25.4	25.5	26.0	26.8	27.7	28.6	29.3	29.9	30.2	30.3	30.0	29.6	29.1	28.5	27.8	27.3	26.9	26.7	26.4	26.2
	4R5%	323	320	318	315	313	321	334	348	365	380	393	403	407	407	401	390	376	361	352	345	339	335	330	326
	4R	29.7	29.5	29.3	29.1	29.0	29.7	30.8	31.8	32.8	33.8	34.7	35.3	35.6	35.5	35.1	34.4	33.4	32.4	31.7	31.2	30.8	30.4	30.1	29.9
湿度 %	N5%	70.3	71.4	72.3	72.5	73.3	72.9	69.1	64.4	58.4	53.5	51.0	49.4	48.2	47.6	49.2	52.0	54.3	56.7	60.1	62.3	63.9	64.4	66.6	67.2
	N	77.6	78.3	79.1	79.6	80.0	79.5	76.9	73.4	69.5	65.9	63.4	61.5	60.1	59.8	61.0	62.5	64.6	67.0	70.1	72.2	73.8	74.9	75.9	76.8
	4R5%	70.4	71.2	71.9	72.5	73.2	69.9	64.5	58.7	52.8	49.2	45.5	43.4	42.6	43.3	45.5	49.0	53.6	58.7	61.3	65.4	65.7	67.5	69.1	70.5
	4R	82.6	83.5	84.2	84.9	85.4	82.5	77.3	72.9	69.0	65.6	62.9	61.0	60.0	60.2	61.3	66.6	70.3	73.0	75.4	77.4	79.0	80.4	81.6	

※N5%:平年上位 5%, N:平年, 4R5%: 4°C上昇後の上位 5%, 4R: 4°C上昇後

8月の平年と4°C上昇後の平均気温を比べると、夜間より昼間の温度差の幅が大きく、平年の平均気温の上位5%が4°C上昇後の平均気温に近い。湿度は、平年と4°C上後の差より、平均値と上位5%の間の差が大きい。

(2) 横浜と東京の気象データ

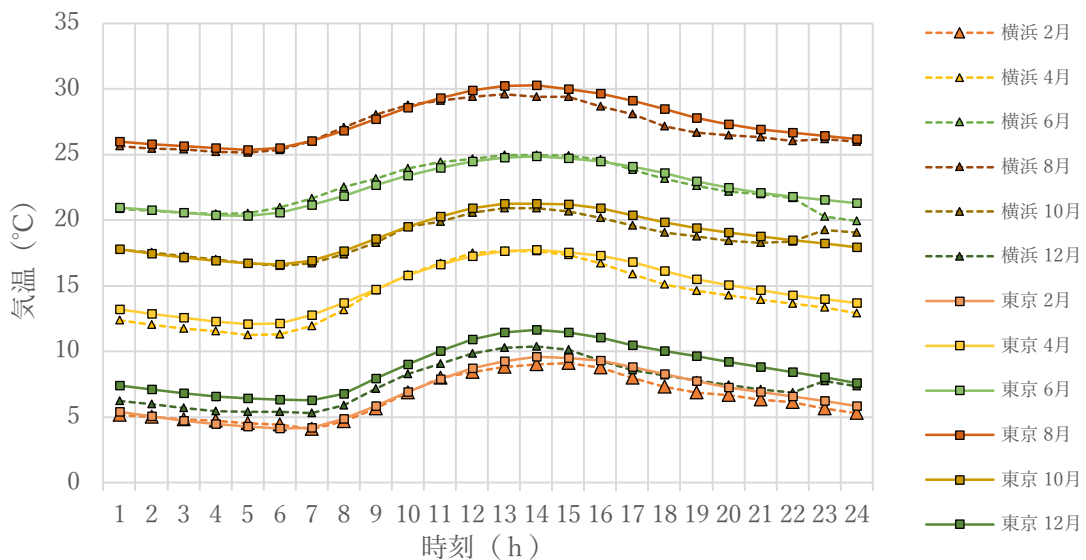


図 4.6 東京と横浜の平均気温の比較

本研究では、横浜のMM21地区を対象として、d4PDFの東京の気象データを利用しているため、図4.6のように東京と横浜の平均気温を比較している。2つの気象データは、高い類似性を持っているため、代替可能であると見られる。

(3) MM21 地区の冷暖房需要データ

① 年間月別需要パターン

図 4.7 と図 4.8 は、MM21 地区の月別の蒸気と冷水需要である。MM21 地区の冷暖房需要を見ると、気温が低い冬季に蒸気需要が大きく、気温が高い夏季に冷水需要が大きい典型的な需要パターンである。1月が蒸気最大需要の月であり、8月は冷水最大需要の月である。

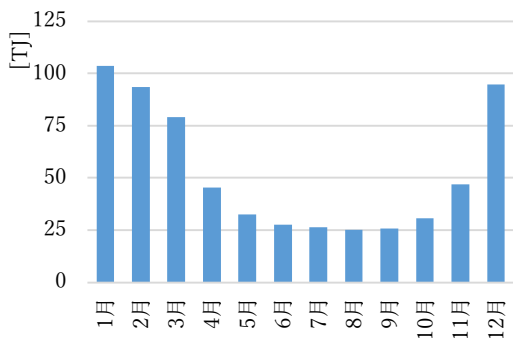


図 4.7 MM21 地区の月別蒸気需要

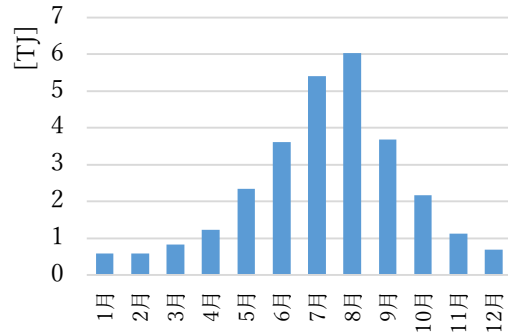


図 4.8 MM21 地区の月別冷水需要

② 月別時刻別需要パターン

本研究で使っている MM21 地区の蒸気と冷水需要のデータは、需要側の利用パターンを考慮して、平日と休日に分けて扱った。蒸気と冷水の時刻別需要パターンは、平日・休日、両方とも昼間に大きくなり、夜間に小さくなり、また平日が休日より大きい。

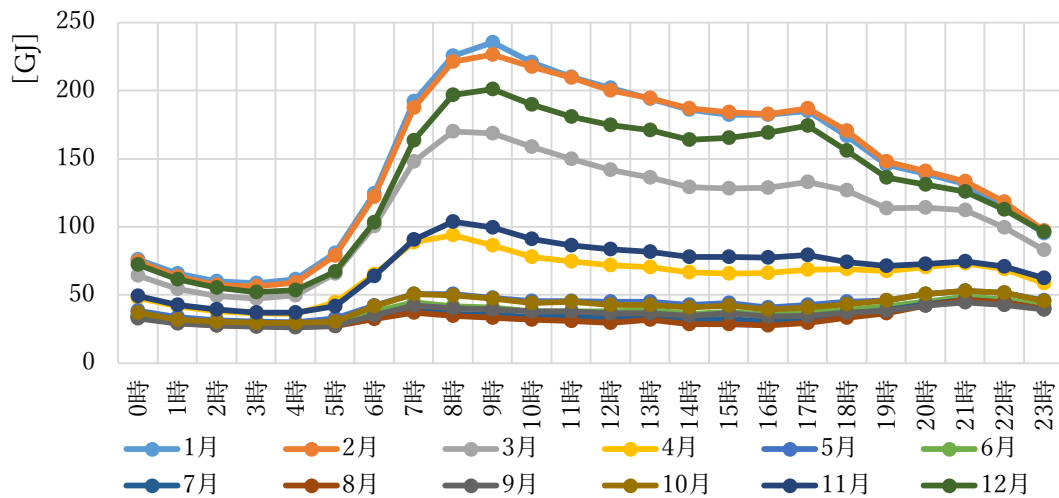


図 4.9 MM21 地区の平日の蒸気需要(2014年)

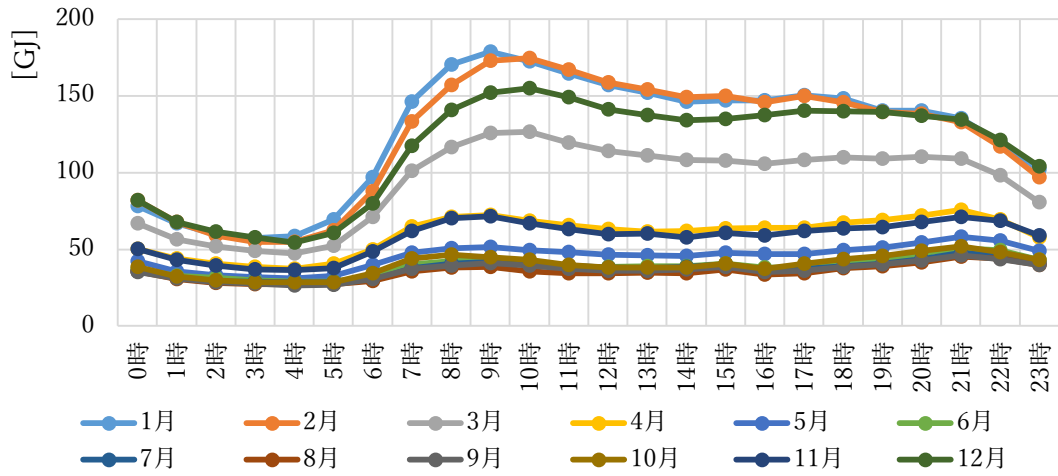


図 4.10 MM21 地区の休日の蒸気需要(2014 年)

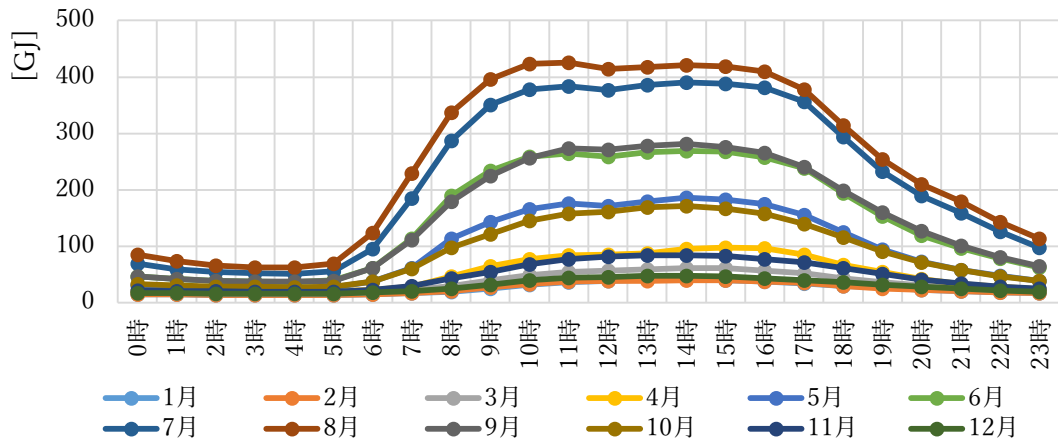


図 4.11 MM21 地区の平日の冷水需要(2014 年)

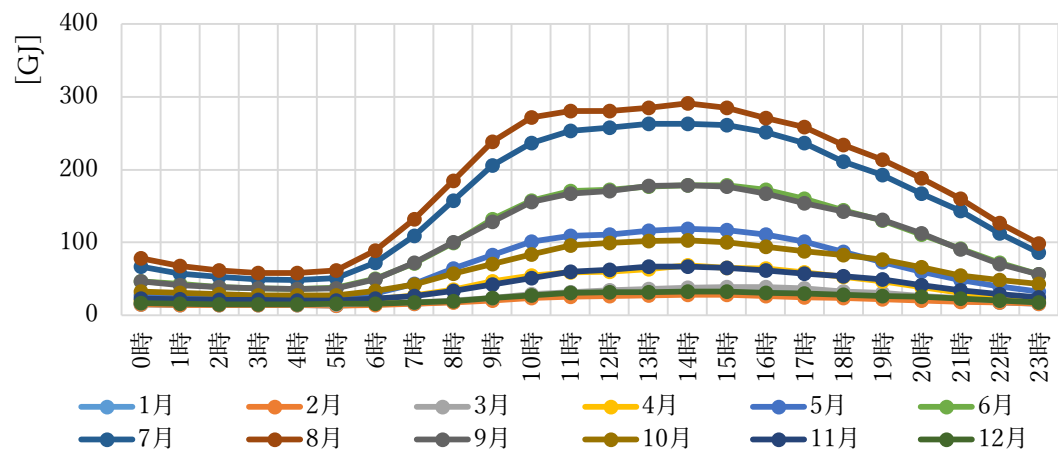


図 4.12 MM21 地区の休日の冷水需要(2014 年)

③ 気象データと蒸気と冷水の需要データ

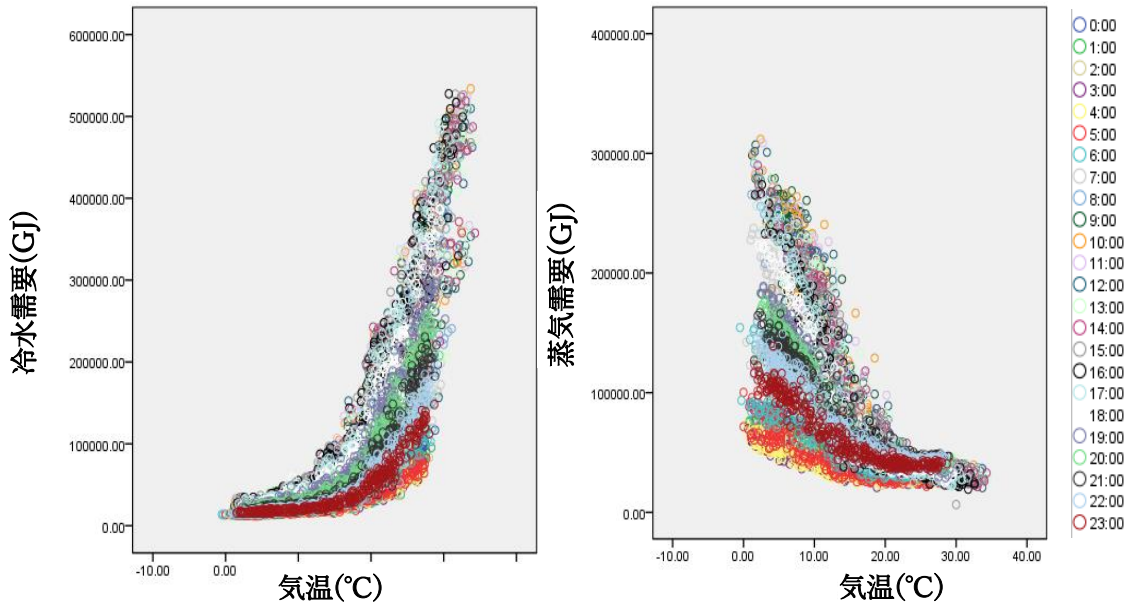


図 4.13 気温と冷水と蒸気の需要量

図 4.14 は、気温と冷暖房需要である蒸気と冷水の需要データを比較したグラフである。各時刻別の需要データが、気温の変化によって、連続的な線形を描いている。このような MM21 地区の蒸気と冷水の需要特性をふまえて、回帰分析を利用した将来の冷暖房需要量を予測した。

4.3 回帰分析と冷暖房需要予測

4.3.1 回帰式の導出

(1) 回帰分析の流れ

回帰式を導出するために、冷水は気温と相対湿度との重回帰分析、蒸気は気温との曲線回帰分析を行っている。そして、回帰式による需要値と実際値を比較することで回帰式による計算値の精度を検証した。

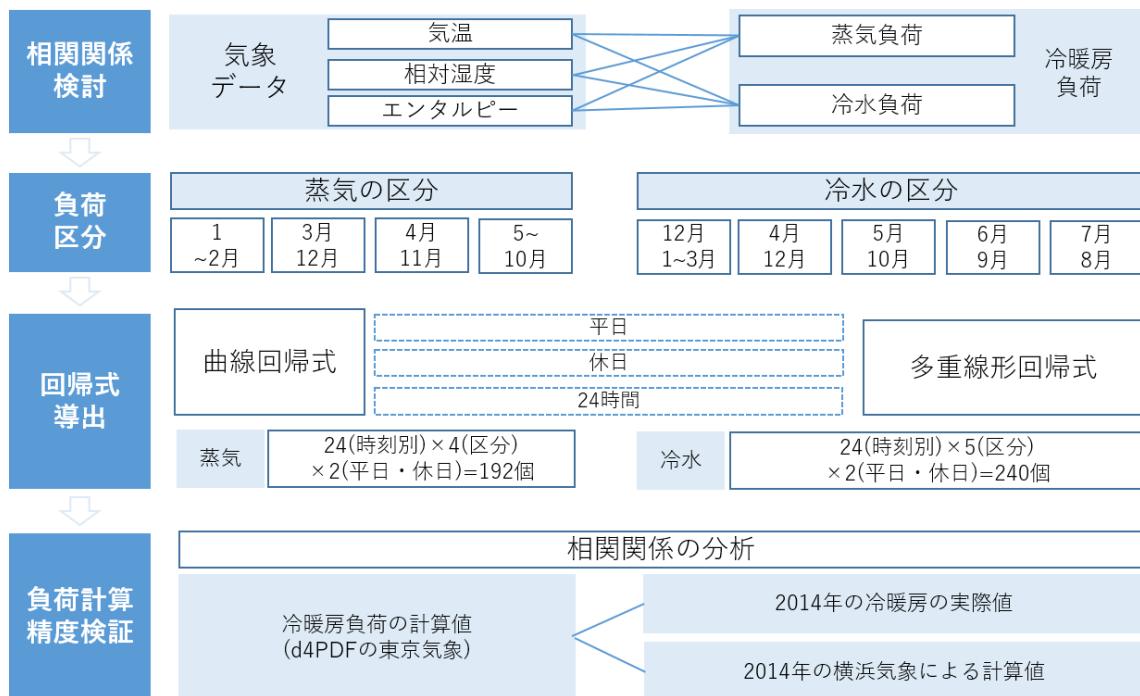


図 4.14 回帰式導出の流れ

(2) 相関関係と回帰分析

気象データの要素の中で、気温と相対湿度が冷暖房需要に重要な因子と考えられるので、気温や相対湿度と MM21 地区の 2014 年の時刻別冷暖房需要の相関関係を分析した。蒸気との相関関係は、気温 0.736、相対湿度 0.088 であり、冷水は、気温-0.669、相対湿度-0.377 であり、有意確率は、すべて 0.00 であった(表 4.6)。

冷暖房需要の時刻変動パターンには、気象条件や日照などの自然条件、曜日による建物等の使われ方の違いなどが影響すると考えられるので、ここでは、月ごと、および平日・休日を分けて相関分析を行い、類似している月同士はまとめることとした。) 蒸気は1月～2月、

3月と12月、4月と11月、5月～10月で、冷水は12月と1～3月、4月と11月、5月と10月、6月と9月、7月と8月でまとめた。

回帰分析の式の種類として、冷水は気温と相対湿度の影響を考慮して、多重回帰分析を利用したが、蒸気は気温のみを用いて、曲線回帰分析を行った。蒸気の場合、最初に単純直線回帰式を用いて、需要量を計算したが、4°C上昇後の予測値が不正確な需要パターンとなったので、曲線回帰分析で修正した。

最終的に、回帰分析から導出された式の数 が 蒸気 192, 冷水 240 であった。

- ・ 蒸気 の回帰式の数：24(時刻別)×4(区分)×2(平日・休日)=192
- ・ 冷水 の回帰式の数：24(時刻別)×5(区分)×2(平日・休日)=240

表 4.6 冷暖房需要(冷水・蒸気)と気温・相対湿度の相関関係

		冷水負荷	蒸気負荷	気温	相対湿度
冷水負荷	Pearson 相関係数	1	-.379	-.669	-.377
	有意確率		.000	.000	.000
	N	8760	8760	8760	8760
蒸気負荷	Pearson 相関係数	-.379	1	.736	.088
	有意確率	.000		.000	.000
	N	8760	8760	8760	8760
気温	Pearson 相関係数	-.669	.736	1	.258
	有意確率	.000	.000		.000
	N	8760	8760	8760	8760
相対湿度	Pearson 相関係数	-.377	.088	.258	1
	有意確率	.000	.000	.000	
	N	8760	8760	8760	8760

蒸気 の回帰分析の平均決定係数(R^2)は、平日 0.73, 休日 0.67 であり、需要量の変動が大きい時間帯(7～23時)だけの決定係数をみると、平日は 0.80, 休日は 0.71 であった。冷水の平均決定係数は平日 0.80, 休日 0.78 であった。冷水と蒸気、両方とも十分な説明力を持っていると判断した。蒸気の場合、0時から8時までの需要において、気温とは関わらない一定の需要量の割合が気温変化による変動量の割合より高いので、決定係数が割に低くなる。しかし、主な需要時間帯に比べて、変動幅が大きくないので、全般的な精度を下げないと判断される。

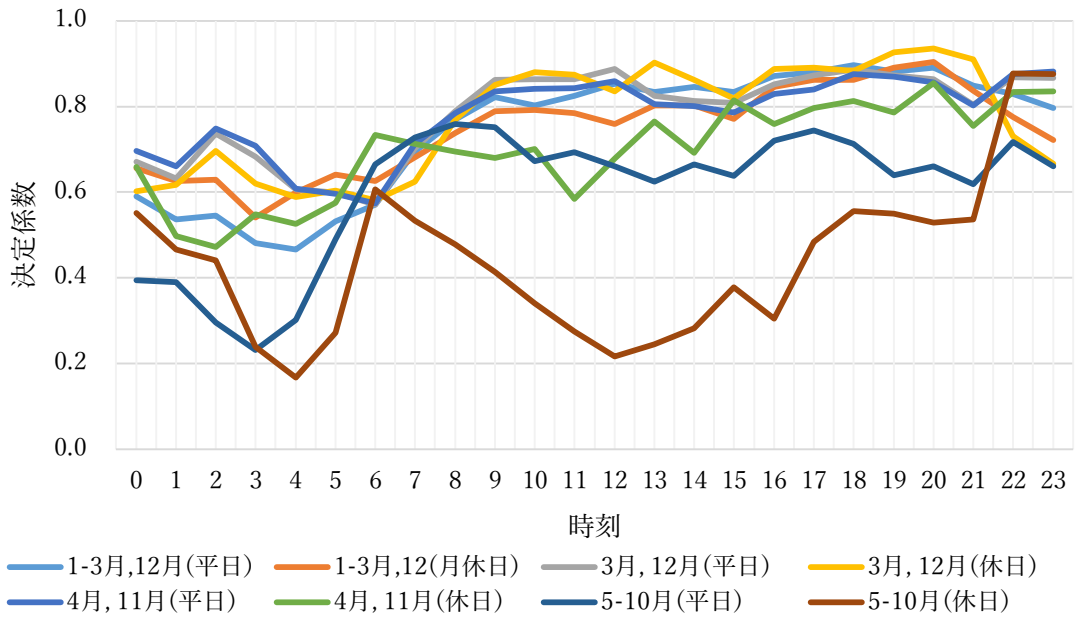


図 4.15 蒸気の回帰式の決定係数

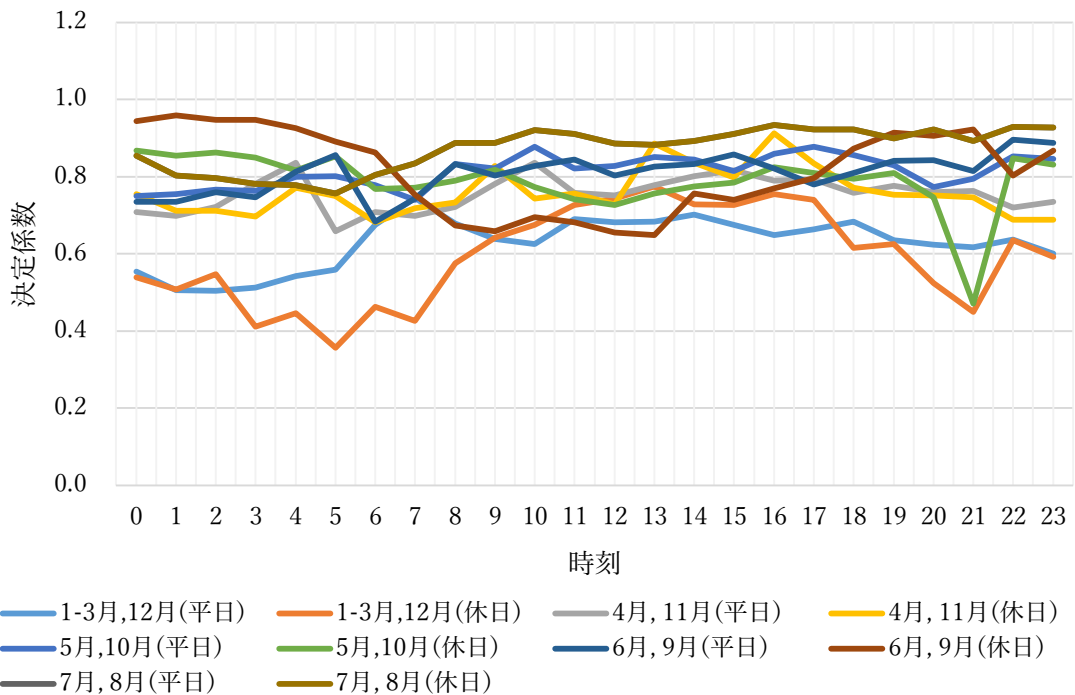


図 4.16 冷水の回帰式の決定係数

(3) 予測値の導出と検証

① 回帰式からの計算値の導出

蒸気と冷水の回帰式から、2014年の横浜気象データを用いて需要量を計算した。図4.18～21は蒸気と冷水需要の2014年の計算値と実際値を比較したグラフである。回帰式から得た計算値の需要パターンと実際値の需要パターンが合致している。

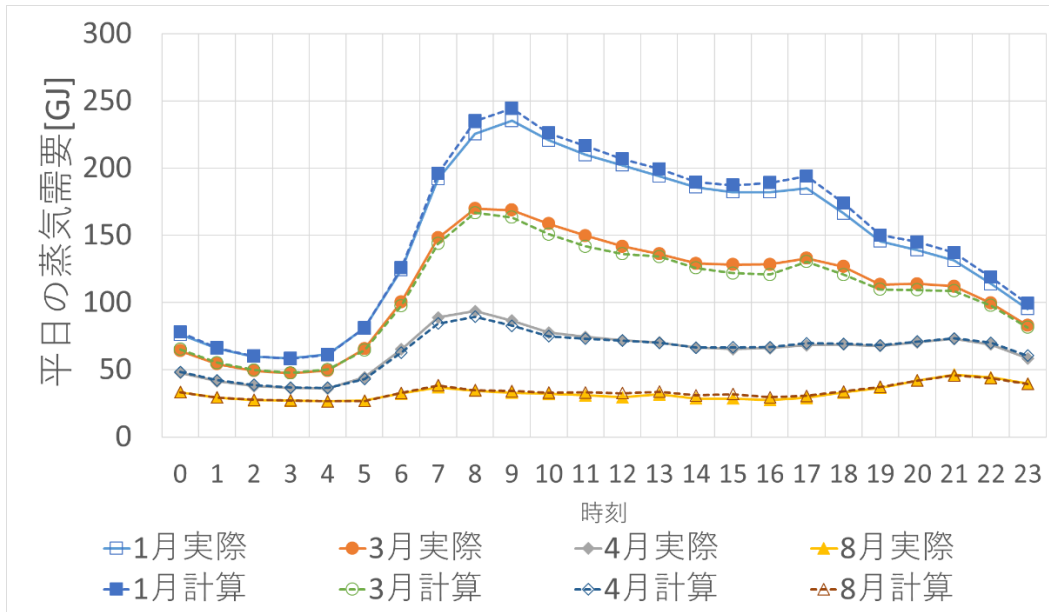


図 4.17 平日の月別時刻別蒸気需要の実際値と計算値

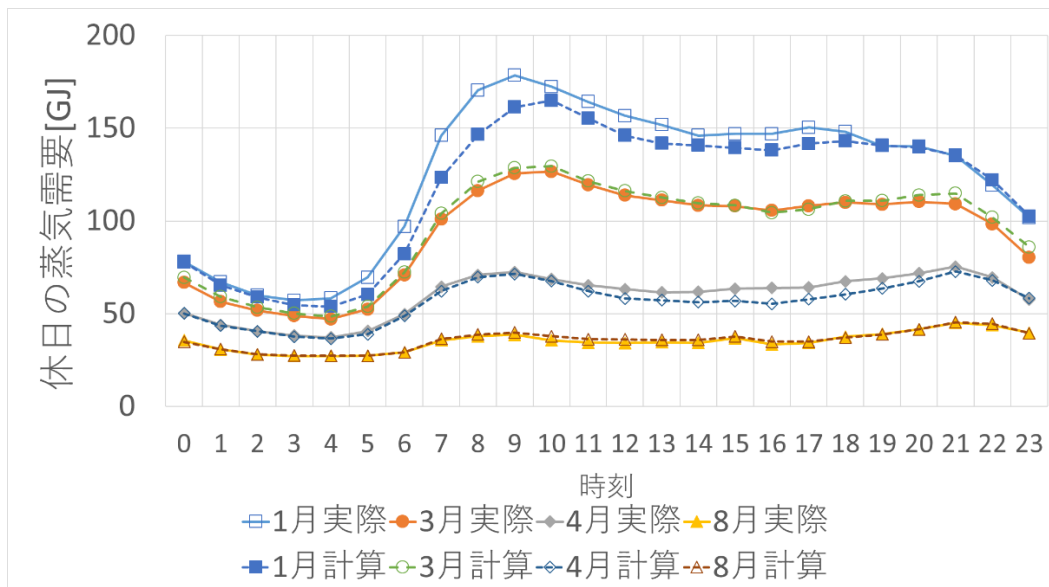


図 4.18 休日の月別時刻別蒸気需要の実際値と計算値

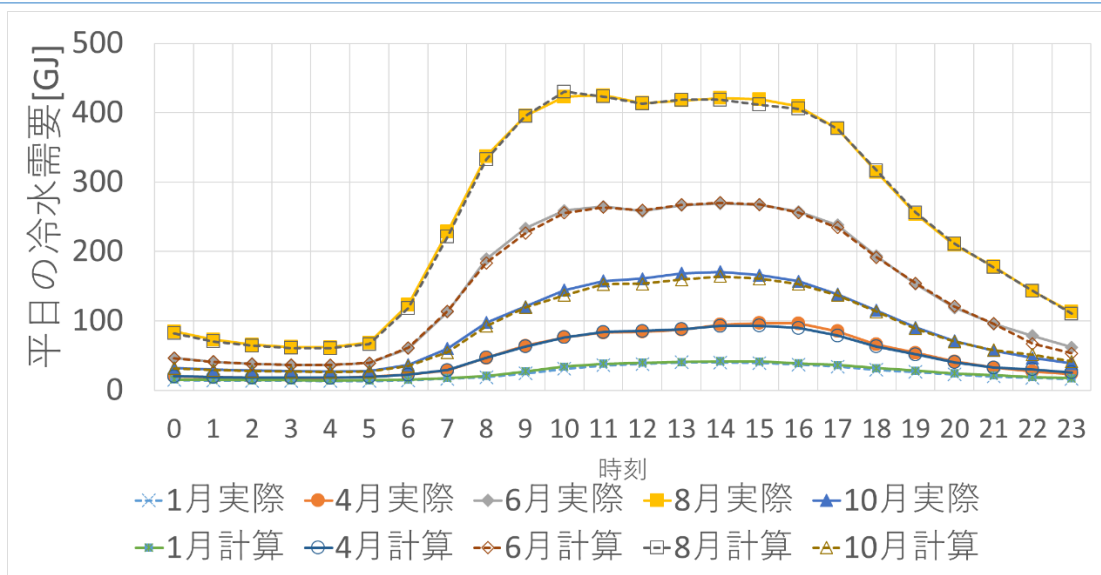


図 4.19 平日の月別時刻別冷水需要の実際値と計算値

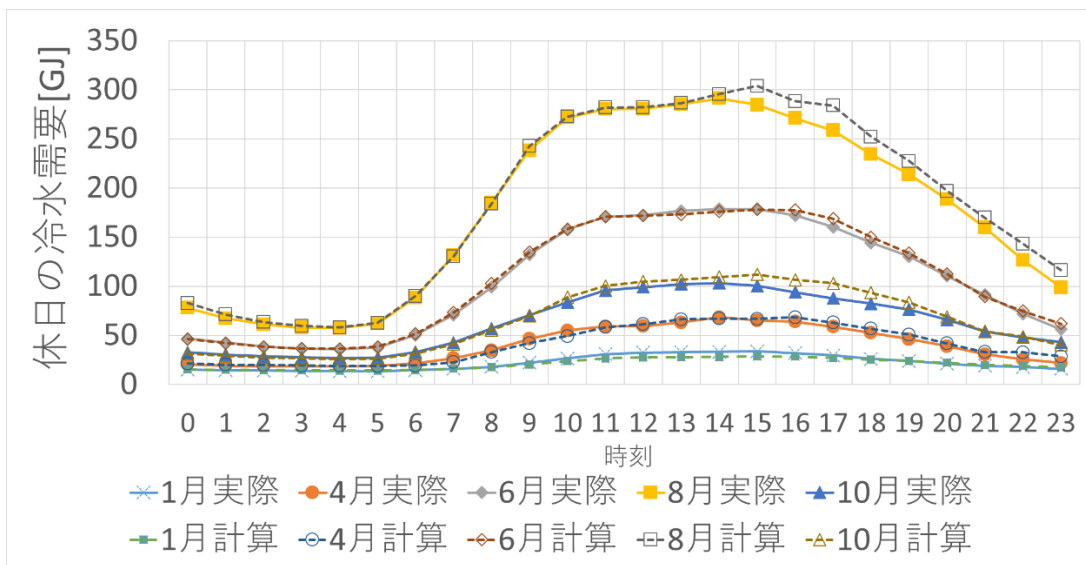


図 4.20 休の月別時刻別冷水需要の実際値と計算値

② 計算値の検証

計算値の精度を定量的に検討するために、2つの検証を行った。まず、2014年の横浜の気象データによる計算値とMM21地区の実際値を検証して、実際値と計算値の精度を検証した。そして、東京と横浜の気象データの平年値(1990年～2016年)から月別時刻別の平均値で、月別時刻別の平均需要量を求めて比較した。

図 4.22 は、2014年の月別時刻別の平均需要の実際値と計算値を相関分析したグラフである。決定係数(R^2)が蒸気 0.98、冷水 0.99 以上という結果で、回帰式による 2014年の月別時刻別の平均値は高い精度を持っていると見られる。

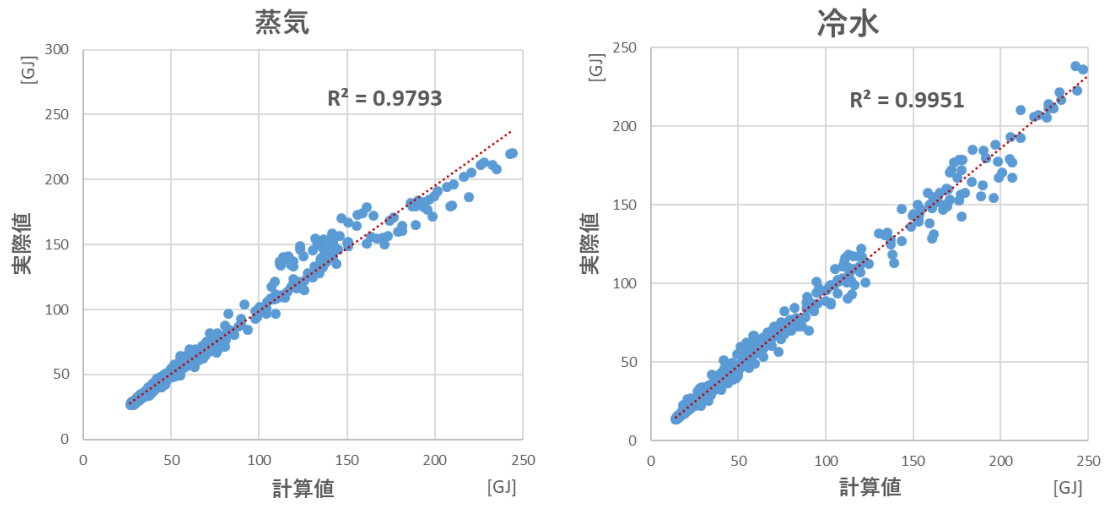


図 4.21 蒸気と冷水の実際値と計算値の相関関係

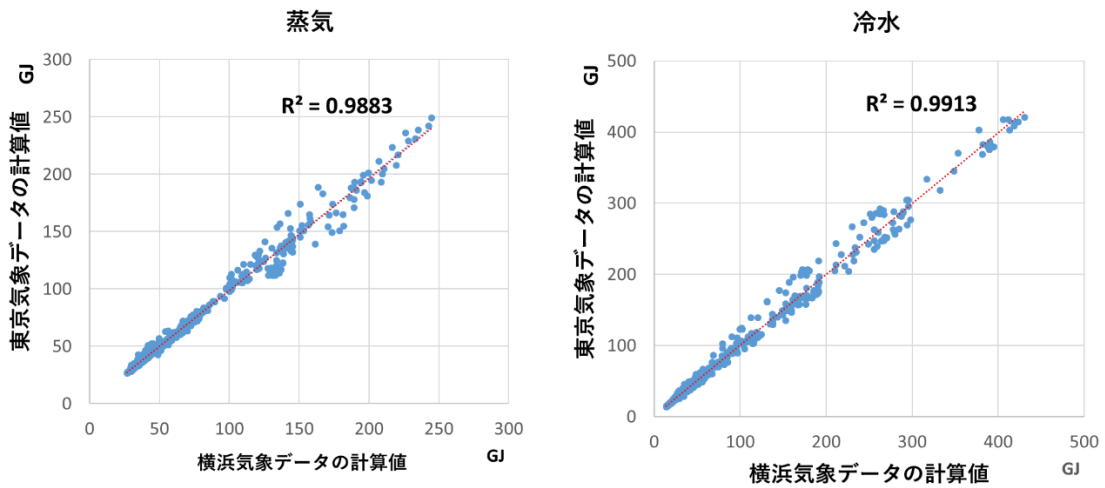


図 4.22 横浜と東京の気象データによる蒸気と冷水の相関関係

そして、東京と横浜の気象データの平年値(1990年～2016年)から月別時刻別の平均値で、月別時刻別の平均需要量を求めて比較した。蒸気と冷水の決定係数(R^2)が両方とも0.98以上であり、月別時刻別需要の差の平均は蒸気3.76%、冷水4.77%であった。

月別時刻別の平均需要量から年間需要量を計算すると、年間需要量の差は蒸気1.03%、冷水0.51%であり、東京と横浜の需要量の差は小さいと思われる。従って、 4°C 上昇後の予測需要量の算出にあたり、東京の気象データをMM21熱供給地区に適用しても十分に妥当であると判断した。

4.3.2 冷暖房需要の変動

(1) 回帰式の活用と計算値の補正

① 回帰式の活用

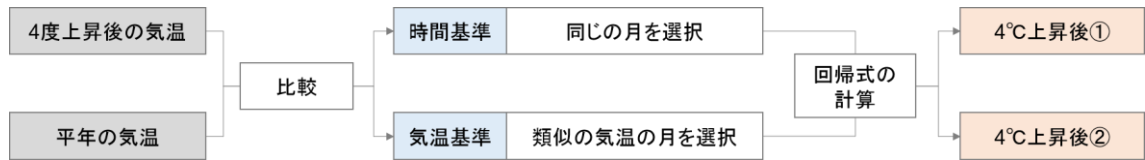


図 4.23 回帰式の活用方式

気象データと冷房需要データの回帰分析から得た回帰式は、4度上昇後の需要量を計算する際、4°C上昇①と4°C上昇②の2つ方式で利用した。4°C上昇①は、時間を基準として、同じの月の回帰式を利用して需要量を計算したものであり、4°C上昇②は、気温を基準として、類似の平年の回帰式を利用して計算したものである。例えば、4°C上昇後②の場合、1月の平均気温が10°Cで、平年値の3月気温(9.8°C)と近いので、1月の需要パターンより3月の需要パターンになると想定して、3月に当たる回帰式を適用する。4°C上昇後①の算出方法は、冷暖房需要パターンが4°C上昇しても、同一の月に従うと想定するものであり、4°C上昇後②の算出方法は、冷暖房需要パターンが月平均気温に従うと想定するものである。2つの方法による冷暖房需要量は4°C上昇後の予測値の幅として考えることとした。

表 4.7 の平年気温により導出された回帰式から、表 4.8 のように4°C上昇後の気温に従って、回帰式を適用した。

表 4.7 月別気温と回帰式の導出

平年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温(°C)	6.1	6.7	9.8	14.8	19.2	22.5	26.3	27.5	24.2	18.9	13.6	8.7
蒸気回帰式	①	①	②	②	③	④	④	④	④	③	②	①
冷水回帰式	①	①	①	②	③	④	⑤	⑤	④	③	②	①

表 4.8 4°C上昇後②の回帰式の適用

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温(°C)	10.0	11.1	14.8	20.1	25.0	27.9	30.6	31.9	28.8	24.0	17.9	12.4
平年該当	3月	3 -4月	4月	5月	6月	8月	なし	なし	8月	6 -7月	4 -5月	3 -4月
蒸気適用	②	②	③	④	④	④	④	④	④	④	④	③
冷水適用	①	①	②	③	④	⑤	⑤	⑤	⑤	④	③	②

② 計算値の補正

回帰式によって計算された予測値は月別時刻別の平均値なので、同月同時刻の需要量が同じ値である。実際のような日々変動する値に補正するために、実際値と実際の月別時刻別平均値との偏差を求めて、この偏差の比率から予測偏差を求めて、予測値に加えた。この補正で予測値は実際値と同じように毎時刻異なる値になる。

従って、ピーク需要による全負荷相当時間の検討、および冷暖房設備への影響を検討する際、より高い精度の計算をするために、実際値から時刻別の偏差を算出し、予測値に適用して毎時刻別需要を算出することで計算値の補正を行った。

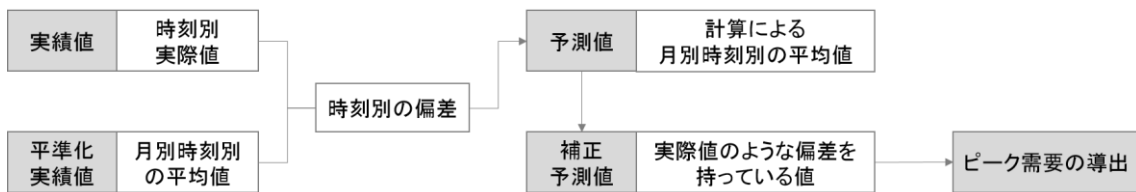


図 4.24 計算値の補正方式

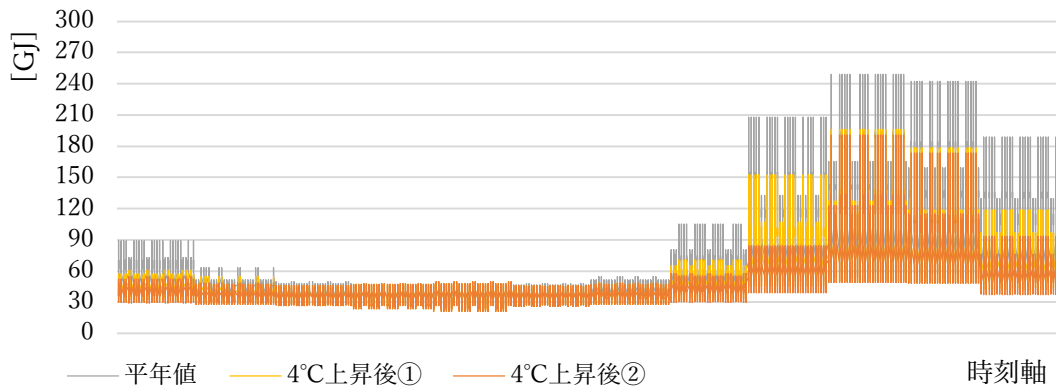


図 4.25 蒸気の時刻別需要量(補正前)

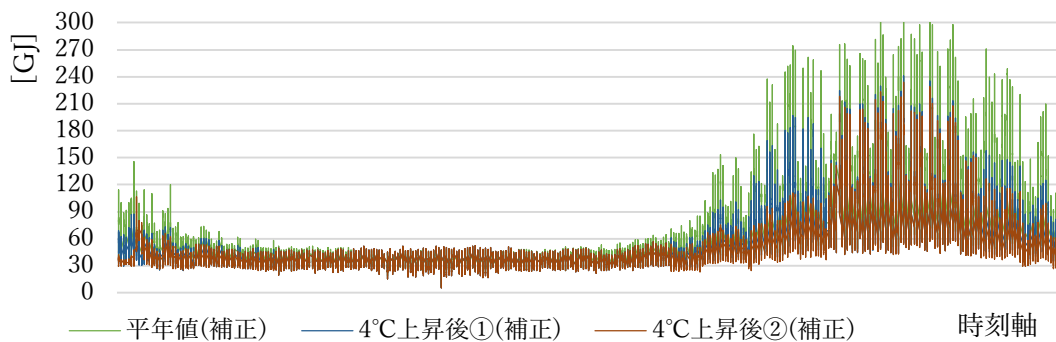


図 4.26 蒸気の時刻別需要量(補正後)

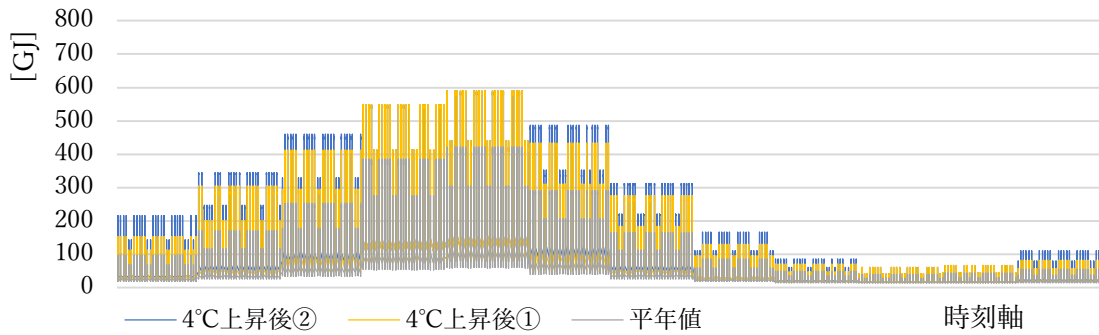


図 4.27 冷水の時刻別需要量(補正前)

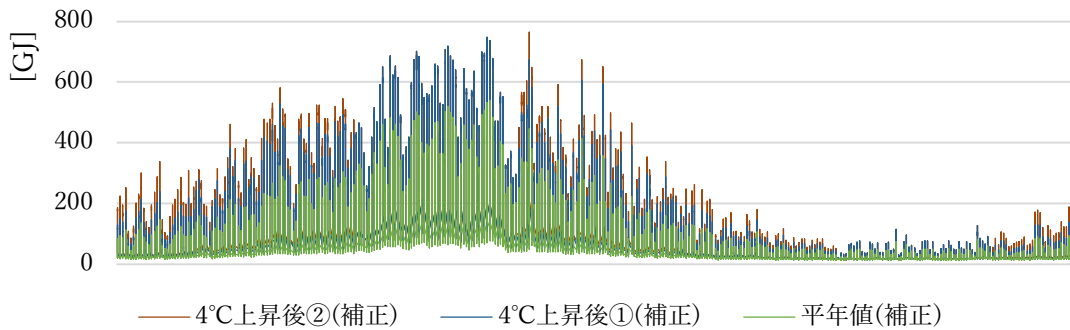


図 4.28 冷水の時刻別需要量(補正後)

(2) 年間冷暖房需要

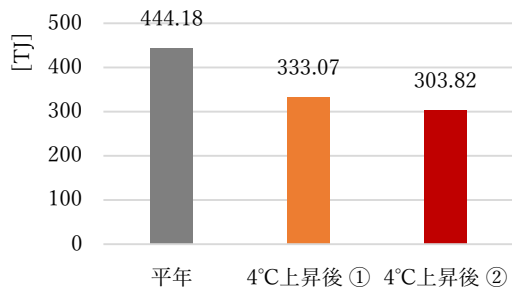


図 4.29 蒸気の年間需要

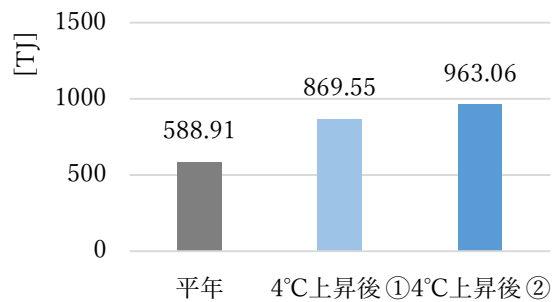


図 4.30 冷水年間需要

表 4.9 年間冷暖房（蒸気と冷水）の需要量

	蒸気			冷水		
	平年	4°C上昇後 ①	4°C上昇後 ②	平年	4°C上昇後 ①	4°C上昇後 ②
年間需要(TJ)	444.18	333.07	303.82	588.91	869.55	963.06
比率(%)	100	74.98	68.40	100	147.65	163.53

回帰式に平年の気象データと4°C上昇後の気象データを適用して算出した年間冷暖房需要量を比較した。蒸気の年間平日需要量は4°C上昇すると、平年値(444.2TJ)に対して75.0%(333.1TJ) (4°C上昇後①)から68.0%(303.8TJ) (4°C上昇後②)まで減少するとの予測結果が出た。冷水の平日需要の場合、平年値(588.9TJ)に対して147.7%(869.6TJ) (4°C上昇後①)から163.5%(963.1TJ) (4°C上昇後②)まで増加するとの結果になった。月別の変動を見ると、蒸気は1月、冷水は8月において、最も大きい変動幅が見られる。

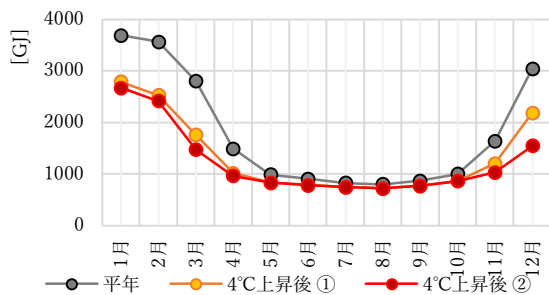


図 4.31 月別蒸気需要(平日)

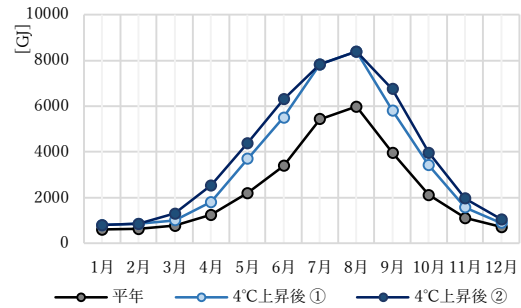


図 4.32 月別冷水需要(平日)

平均気温上昇が進行する際、極端な気温上昇の可能性も考慮する必要がある。8月の平均気温は年間最高で、冷水需要量が最大になる時期で、4°C上昇時の需要変動幅も最も大きい。従って、極端な気温上昇による需要変動を確認するために、8月の冷水需要量を対象として、4°C上昇の上位5%の気温(以下4°C上昇上位5%)に当たるデータのみ(d4PDFの90アンサンブルの8月データの中で、日平均気温の上位5%付近の21サンプルに該当する気象データ)を用いて、冷水の需要予測を行った。

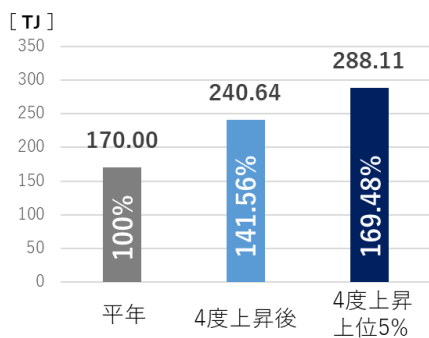


図 4.33 8月の冷水需要の比較

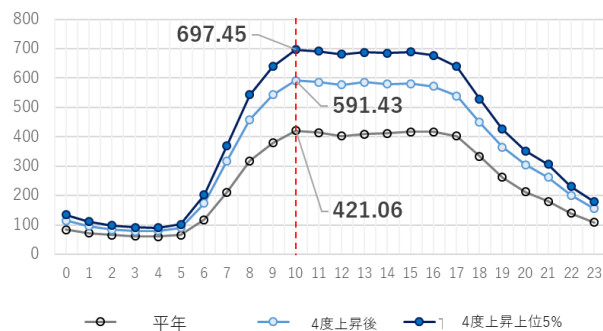


図 4.34 8月の時刻別冷水需要の比較

8月の冷房需要は、平年需要量(170.0TJ)に比べて、4°C上昇後^{注10)}は141.6%(240.6TJ)、4°C上昇上位5%は、169.5%(288.1TJ)となり、4°C上昇後と4°C上昇上位5%の間の差が27.9%(47.5TJ)であった。時刻別需要のピーク値を比べると、平年値を基準として、4°C上昇

後は140.5%(591.4GJ)、4°C上昇上位5%は165.6%(697.5GJ)であり、4°C上昇後と4°C上昇上位5%の差は25.1%(106.1GJ)となった。

(3) ピーク需要と全負荷相当時間

蒸気のピーク需要は平年328.2GJ/hから、4°C上昇後①は73.7%(240.9GJ/h)、4°C上昇後②は71.3%(234.0GJ/h)に減少するが、全負荷相当時間は平年1928.1hから、4°C上昇後①は105.2%(2028.2h)、4°C上昇後②は99.1%(1913.9h)で大きな変化は見られない(表4.10)。即ち、蒸気の場合、ピーク需要量と年間総需要量が同程度の水準で減少すると予測される。一方で、4°C上昇後上位5%の場合の場合、冷水のピーク需要が184.3%(992.0GJ/h)まで上がり、全負荷相当時間は平年値の92.9%(1377.8h)であった(表4.11)。

表4.10 補正された蒸気需要の比較

区分	○	A	R①	R②	R5%
補正された年間蒸気需要 (TJ)	637.8	632.9 (100.0%)	488.3 (77.2%)	447.9 (70.7%)	446.9 (70.6%)
ピーク需要量 (GJ/h)	311.8	328.2 (100.0%)	240.9 (73.4%)	234.0 (71.3%)	234.0 (71.3%)
全負荷相当時間(h)	2045.3	1928.1 (100.0%)	2028.2 (105.2%)	1913.9 (99.1%)	1909.9 (99.1%)

○: 2014年の実際値、A: 平年、
R①:4°C上昇後①、R②: 4°C上昇後②、 R5%: 4°C上昇上位5%

表4.11 補正された冷水需要の比較

区分	○	A	R①	R②	R5%
補正された年間蒸気需要 (TJ)	791.7	798.6 (100.0%)	1181.1 (147.9%)	1304.6 (163.4%)	1366.8 (171.1%)
ピーク需要量 (GJ/h)	538.7	538.3 (100.0%)	746.3 (138.6%)	764.3 (142.0%)	992.0 (184.3%)
全負荷相当時間(h)	1483.6	1483.7 (100.0%)	1582.9 (106.7%)	1707.0 (115.1%)	1377.8 (92.9%)

○: 2014年の実際値、A: 平年、
R①:4°C上昇後①、R②: 4°C上昇後②、 R5%: 4°C上昇上位5%

V

予測分析 2 : 冷暖房システムへの影響予測

5.1 冷暖房システムへの影響予測の概要

5.1.1 予測分析2の概要

(1) 予測分析2の目的

前提	MM21地区データ d4PDFデータ	気候変化	レジリエントなエネルギーシステム
目的		4°C上昇後の影響	レジリエントな設備の効果
対象	基本システム		
	蓄積槽の効果		
	CGSの効果		
条件	平年気温		
	4°C上昇後の気温		
方法	熱電比の検討		
	ENEPRO21		
項目	ガス・電力消費・1次エネルギー		
	システムCOP・CO ₂ 排出量		
	補給水・排熱		

図 5.1 予測分析2 (5章)の内容

本研究の4章では、平年の気象データと冷暖房需要データを用いて、4°C上昇後の冷暖房負荷を予測した。5章では、4章で計算した冷暖房需要量の変化がエネルギーシステムに与える影響を検討する。そして、理論研究から導出したレジリエントなエネルギーシステムの設備であるCGSと蓄熱槽の効果を検討する。

そのために、5章では、4°C上昇という気象変化がエネルギーシステムへの与える影響とCGSや蓄熱槽の効果を検討する2つの目的があり、平年気温と4°C上昇後の気温の条件下で、ENEPRO21を利用したシミュレーションを行う。

(2) シミュレーションの流れ

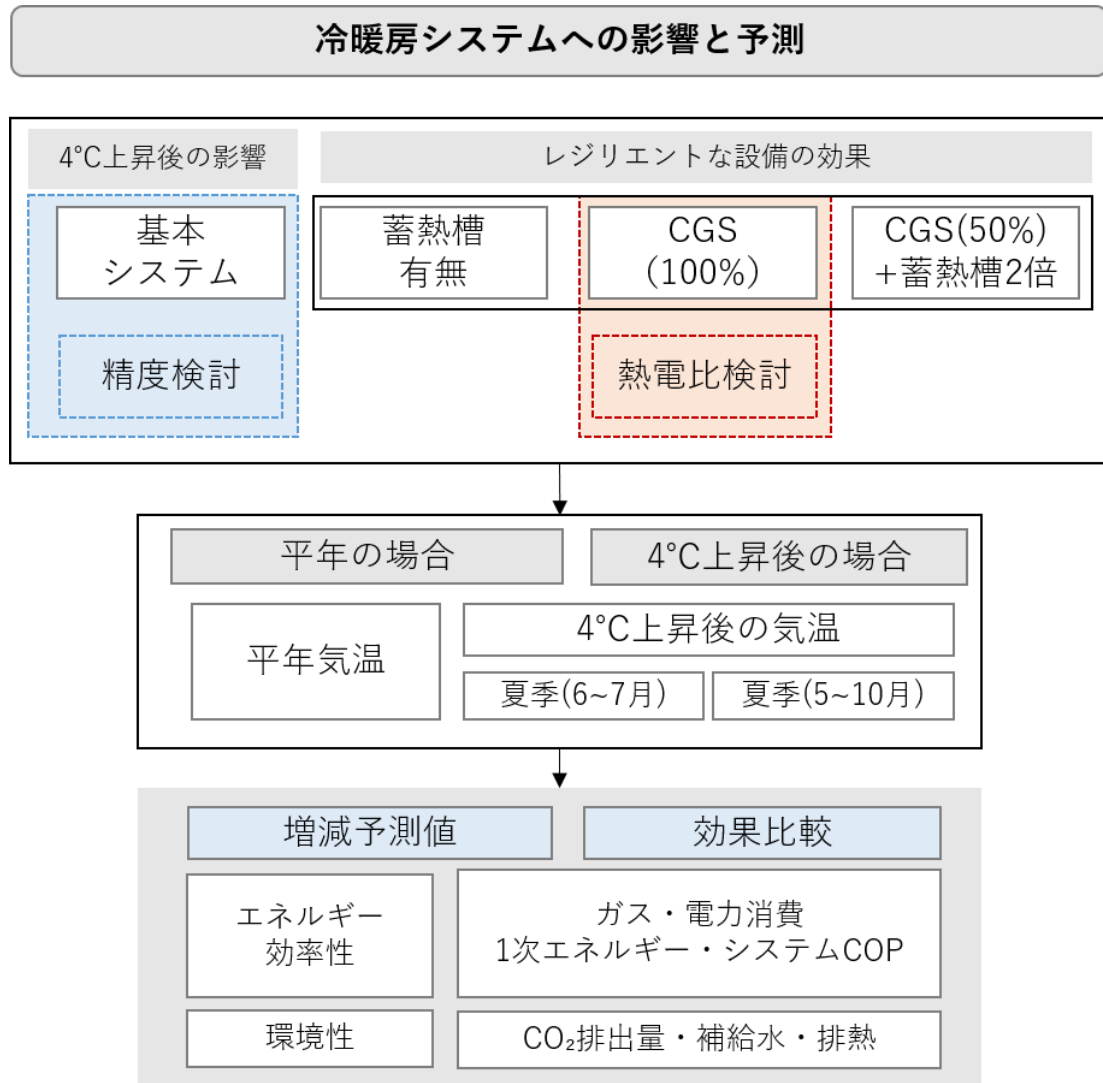


図 5.2 予測分析2の流れ

気温の4°C上昇の熱源システムへの影響を検討するために、ENEPRO21を用いて、MM21地区の熱源システムを再現し、ガスと電力の消費量、システムCOPとCO₂排出量、排熱や排水、冷却塔補給水量の変化を分析する。ただ、本研究の冷暖房の熱源システムは、冷暖房の熱源設備と冷却塔設備、冷水ポンプを含むが、蒸気の還水ポンプは含まれない。

本章のシミュレーションは、4つのシナリオで構成される。まず、現在のMM21地区の冷暖房システムを再現して、本シミュレーションの精度を確認し、4°C上昇の影響を検討することが最初のシミュレーションである。第2番目が、蓄熱槽の効果を検討することで、現在MM21地区のプラントに設置されている蓄熱槽の有無条件を仮定したシミュレーションを行う。第3番目は、CGS導入を仮定して、効率性などの影響を検討する。特に

CGS 導入の効率性の検討は、熱電比による省エネルギー率を理論的に計算した結果とシミュレーションの結果を比較する。最終的には、CGS と蓄熱槽の増設を一緒に適用してシミュレーションを行って、レジリエントな設備の効果を検討する。

(3) ENEPRO21 の活用

① ENEPRO21 とは

予測分析 2 は、冷暖房システムへの影響を検討するために、ENEPRO21 を活用した。ENEPRO21(ENPRO21Regula.ver4)は、冷暖房設備のみならず、発電系設備、太陽光発電、太陽熱利用なども含め、エネルギー設備の評価ができるシミュレーションプログラムである。

ENEPRO21 を提供している会社の説明によると、実設備の年間運転実績を 1~2%の誤差で再現できる高い精度を持っているとのことである。同会社が提供している 7,000 基以上の機器性能データ、環境負荷データ、電力・気象データ、ガスと電力料金データで実際のシステムの再現を容易性にし、精度を高めている。

② ENEPRO21 の利用

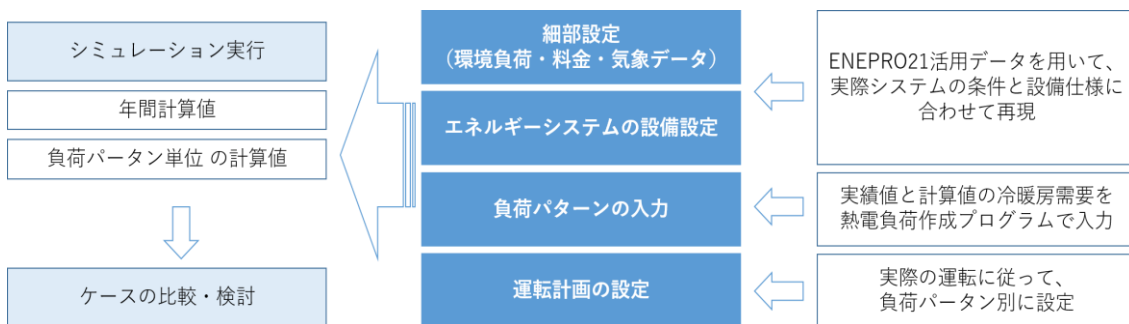


図 5.3 ENEPRO21 の利用フロー

ENEPRO21 は、熱源負荷作成プログラム、シミュレーションプログラム、ENEPRO21 活用データが一体となったソフトウェアであり、シミュレーションを行うためには、図 5.5 のような作業が必要である。本研究では、MM21 地区のエネルギーシステム再現するために、ENEPRO21 活用データと d4PDF を用いて、MM21 地区のエネルギーシステムを再現している。ENEPRO21 上の負荷パターンを作成するために、本章では、2014 年の MM21 地区の実際冷暖房負荷データを用いて、平年と 4℃上昇後の負荷データを計算している。運転計画の設定は、実際の運転計画を踏まえて、シミュレーション結果値の精度とケース設定に従って設定し、ENEPRO21 の計算結果を比較することで、平年と 4℃上昇後の差を検討している。

③ ENEPRO21 の制約と補完

本研究が利用している ENEPRO21 は、実際の MM21 地区のエネルキースystemを再現するのに制約があり、本研究ではシミュレーションする際、この制約を補完するため、以下の通りの対応が必要であった。

・制約1：負荷パターンで計算する ENEPRO21 は、毎時刻ごと変化している実際の負荷データをすべて、反映できない。

・対応1：本研究で重要となる夏季(平年：6~9月, 4°C上昇後：5~10月)は、負荷パターンを最大冷房需要量と1日冷房需要量で、負荷データを分類して、負荷パターンを細分化した。

・制約2：設備仕様の設定は、実際の設備と同一の製品データがないので、部分負荷の効率など、すべての詳細な仕様を再現できない。

・対応2：実際の設備に最も類似した製品データを適用した。

・制約3：運転計画の設定上では、同一時間帯に運転優先順位を1つの設備のみを選択できるので、同時に2つの設備が稼働しない。

・対応3：MM21地区の実際運転計画を踏まえて、再編成した運転計画を作成した。

ENEPRO21 のシミュレーション結果値と2014年のMM21地区の実績データの精度を検討して、信頼性を検討した。

5.1.2 シミュレーションの基盤構築

(1) MM21 地区の冷暖房システムの再現

① MM21 地区の冷暖房システムの概要

実際 MM21 地区にはプラントが 2 カ所に分けて設置されているが，ENEPRO21 では図 5.5 のように統合させた。

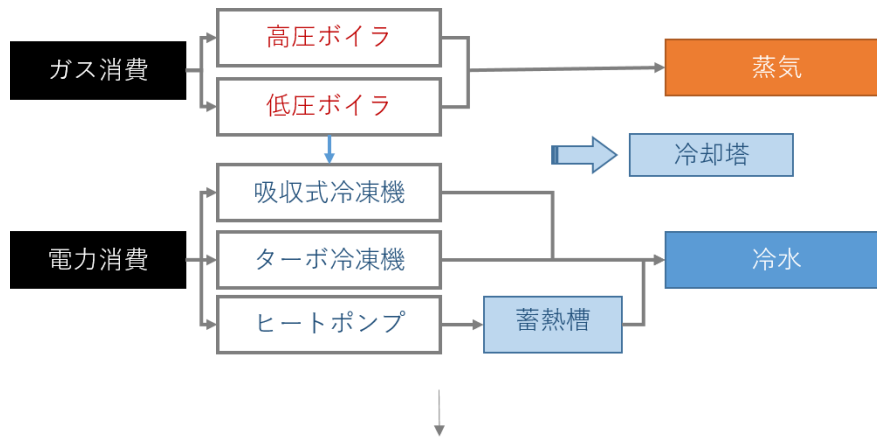


図 5.4 ENEPRO21 での MM21 地区の冷暖房システム

表 5.5.1～表 5.5.6 は MM21 地区の冷暖房設備に基づいて，ENEPRO21 上に入力した設備仕様である。プログラム上で実際の設備や条件がモデル化できない場合は，類似の設備や条件で調整した。実際の MM21 地区は低温ターボ冷凍機によって蓄熱用の冷熱が製造されるが，適当な機器がないので，ヒートポンプで代用した。MM21 地区には 4 つのグループ冷却塔があるが，シミュレーション上は最大 3 つのグループ冷却塔が設定できるので，3 つのグループ冷却塔で調整した。そして，4°C 上昇後のシミュレーションを行う際，不足する冷凍能力を補うために，最後に起動する冷凍機(TR5)と同様の冷凍機が追加されるものとした。

表 5.5.1 MM21 地区の冷暖房設備

	ENEPRO21 上	表記	合計		容量	台数	メーカー	型番	MM21 地区の実際
ボイラ系	高圧ボイラ (1)	HB1	80	t/h	40	2	株式会社 IHI 汎用ボイラ	SCM-353	センタープラント水管ボイラ
	高圧ボイラ (2)	HB2	40	t/h	40	1	株式会社 IHI 汎用ボイラ	SCM-353	第2プラント水管ボイラ
	低圧ボイラ (1)	LB1	9.6	t/h	9.6	1	株式会社ヒラカワ	MP-ADW-80	センタープラント炉筒煙管ボイラ
	低圧ボイラ (2)	LB2	15	t/h	15	1	株式会社ヒラカワ	MP-ADW-125	センタープラント炉筒煙管ボイラ
	低圧ボイラ (3)	LB3	24	t/h	24	1	株式会社ヒラカワ	MP-ADW-200	センタープラント炉筒煙管ボイラ
	低圧ボイラ (4)	LB4	36	t/h	36	1	株式会社ヒラカワ	MP-AD-250	センタープラント炉筒煙管ボイラ
冷水系	低圧ボイラ (5)	LB5	36	t/h	36	1	株式会社ヒラカワ	MP-AD-250	センタープラント炉筒煙管ボイラ
	吸収式冷凍機 (1)	AR1	6,000	RT	1,500	4	日立アプライアンス株式会社	HAU-W-2240SX	センタープラント二重効用吸収冷凍機
	吸収式冷凍機 (2)	AR2	5,000	RT	2,500	2	荏原冷熱システム株式会社	RFW-250K12WE	第2プラント二重効用吸収冷凍機
	吸収式冷凍機 (3)	AR3	6,000	RT	1,500	4	日立アプライアンス株式会社	HAU-W-2240SX	第2プラント二重効用吸収冷凍機
	吸収式冷凍機 (4)	AR4	3,000	RT	1,500	2	日立アプライアンス株式会社	HAU-W-2240SX	第2プラント二重効用吸収冷凍機
	吸収式冷凍機 (5)	AR5	8,000	RT	2,000	4	荏原冷熱システム株式会社	RFW-200K10WE	センタープラント蒸気タービントーボ冷凍機
	電動ヒートポンプ	HP		RT	1,800		三菱重工業株式会社	AART-180	
	電動ターボ冷凍機 (1)	TR1	3,000	RT	1,500	2	三菱重工業株式会社	AART-145	センタープラント電動ターボ冷凍機
	電動ターボ冷凍機 (2)	TR2	3,000	RT	1,500	2	三菱重工業株式会社	AART-145	センタープラント電動ターボ冷凍機
	電動ターボ冷凍機 (3)	TR3	4,160	RT	2,000	2	三菱重工業株式会社	AART-200	センタープラント低温運動ターボ冷凍機
	電動ターボ冷凍機 (4)	TR4	12,000	RT	1,500	8	三菱重工業株式会社	AART-145	第2プラント電動ターボ冷凍機
電動ターボ冷凍機 (5)	TR5	9,000	RT	1,500	6	三菱重工業株式会社	AART-145	第2プラント電動ターボ冷凍機	
冷却塔系	グループ冷却塔 (A)		39,481	CT		23			
	グループ冷却塔 (B)		28,000	CT	91,981	17			
	グループ冷却塔 (C)		24,500	CT					
蓄熱系	冷水取出機 (1)		17600	kW	8,800	2			
	蓄熱槽 (1)	CS	38100 0	MJ	190,500	2			

② 冷暖房設備仕様の詳細

表 5.5.2 ボイラの仕様

設備	表 5.5.記	圧力 (MpaG)	効率性 (%)	補機消費電力 (kW)
高圧ボイラ (1)	HB1	4	87	156
高圧ボイラ (2)	HB2	4	87	156
低圧ボイラ (1)	LB1	0.785	88	33
低圧ボイラ (2)	LB2	0.785	88	48
低圧ボイラ (3)	LB3	0.785	88	90
低圧ボイラ (4)	LB4	0.785	88	132
低圧ボイラ (5)	LB5	0.785	88	132

表 5.5.3 熱源設備の部分負荷の効率

暖房設備							
低圧ボイラ	LB1~5	負荷率(%)	25	40	60	80	100
		効率性(%)	88	88	88	88	88
高圧ボイラ	HB1~2	負荷率(%)	30	40	60	80	100
		効率性(%)	87.2	88	88.3	87.5	87
冷房設備							
吸収式冷凍機	AR1~5	負荷率(%)	25	40	70	100	
		COP	1.43	1.5	1.52	1.51	
ターボ冷凍機	TR1~2, TR4~5	負荷率(%)	20	40	70	100	
		COP	2.79	4.5	5.55	5.93	
	TR3	負荷率(%)	20	40	70	100	
		負荷率(%)	2.82	4.54	5.61	6	
電動ヒートポンプ	HP	COP	20	40	70	100	

表 5.4 ENEPRO21 上の冷暖房設備の設定

設備	COP	①	②	③	冷却水ポンプ			冷水ポンプ		
					④	⑤	⑥	④	⑤	⑥
AR1	1.51	7	8	A	648.1	75	174.1	943.2	40	133.7
AR2	1.51	7	8	C	1080	75	285.9	1571.8	40	219.7
AR3	1.51	7	8	C	648.1	75	174.1	943.2	40	133.7
AR4	1.51	7	8	C	648.1	75	174.1	943.2	40	133.7
AR5	1.51	7	8	A	864	75	230.1	1257.5	40	176.8
TR1	5.93	7	8	A	647.9	75	174	663.2	40	94.9
TR2	5.93	7	8	A	647.9	75	174	663.2	40	94.9
TR3	6	7	8	A	864	75	230.1	882.8	40	125.3
TR4	5.93	7	8	B	647.9	75	174	663.2	40	94.9
TR5	5.93	7	8	B	647.9	75	174	663.2	40	94.9
HP	6.01	7	8	A	899.4	75	239.3	918.8	40	130.3

① 冷水設計温度差(°C)

② 冷却水設計温度差(°C)

③ 冷却塔(A, B, C)

④ 容量(m³/h)

⑤ 揚程 (m)

⑥ ポンプ動力(kW)

③ 冷却塔設備仕様の詳細

表 5.5 ENEPRO21 上の冷却塔仕様

グループ冷却塔	A	B	C
ユニット	10	8	7
流量	16,960 m ³ /h	13,568 m ³ /h	11,872 m ³ /h
入・出口温度	40°C/32°C		
風量制御方法	ポールチェンジ (4P/8P)		
ファン動力	160kW(4P) / 20kW(8P)		
制御温度	25°C~32°C	20°C~32°C	20°C~32°C
対応冷凍機	センタープラント 全冷凍機	第2プラント ターボ冷凍機	第2プラント 吸収式冷凍機

④ 蓄熱系設備仕様の詳細

表 5.6 ENEPRO21 上の蓄熱槽と熱交換機

冷熱蓄熱槽				
ユニット	ユニット容量	蓄熱時間	放熱時間	
2	190,500MJ/unit	22~08 時	10~16 時	
熱交能力				
類型	揚程/効率		設計温度差	
設計能力と台数	ポンプ	1次冷水 /ブライン	冷却水	1次冷却水
8,800kW×2	75 m /73.8%	25 m /72.4%	7°C	9°C

(2) 需要パターンの設定

ENEPRO21のシミュレーションは、環境負荷データや温度データなどの基本条件と共に、冷暖房の需要負荷パターン、冷暖房設備の仕様、運転計画の入力によって、冷暖房設備システムの消費エネルギー、環境負荷量(CO₂排出量)、COP、冷却水需要量、排熱などの計算値が出る。従って、4章の冷暖房負荷データをENEPRO21上の冷暖房の需要負荷パターンの形式で、再編成した。

需要負荷パターンは、冷水と蒸気の需要量を平日と休日で分け、月別に入力した。夏季のシミュレーションの精度をより高めるために6月～9月(4℃上昇後の場合、5月～10月)は細分化した。細分化の方法は、最大冷水需要量と1日冷水需要量を基準として検討して、類似の日々を束ねて、各々の需要負荷パターンを作成した。

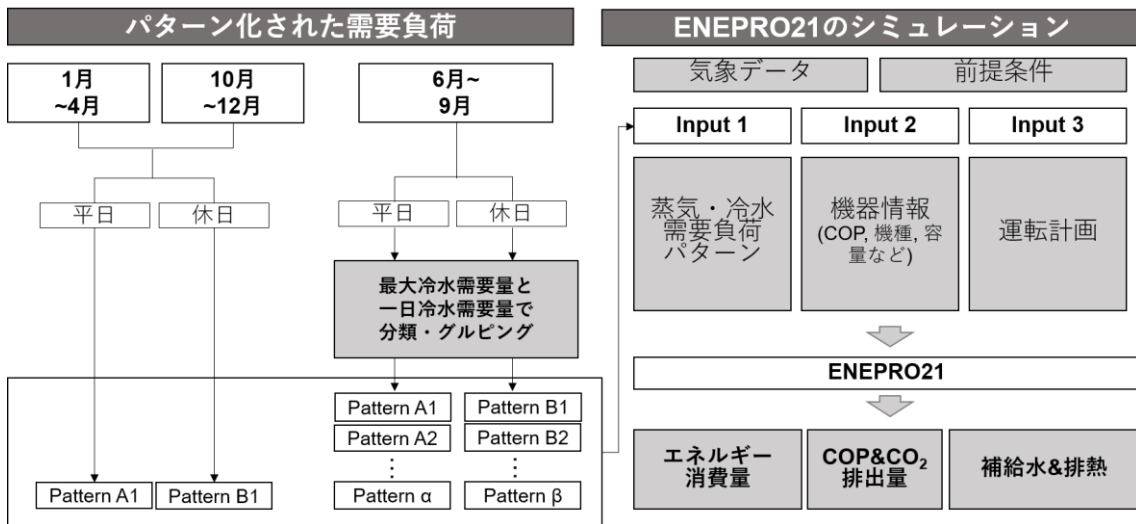


図 5.5 ENEPRO21 のシミュレーションの流れ

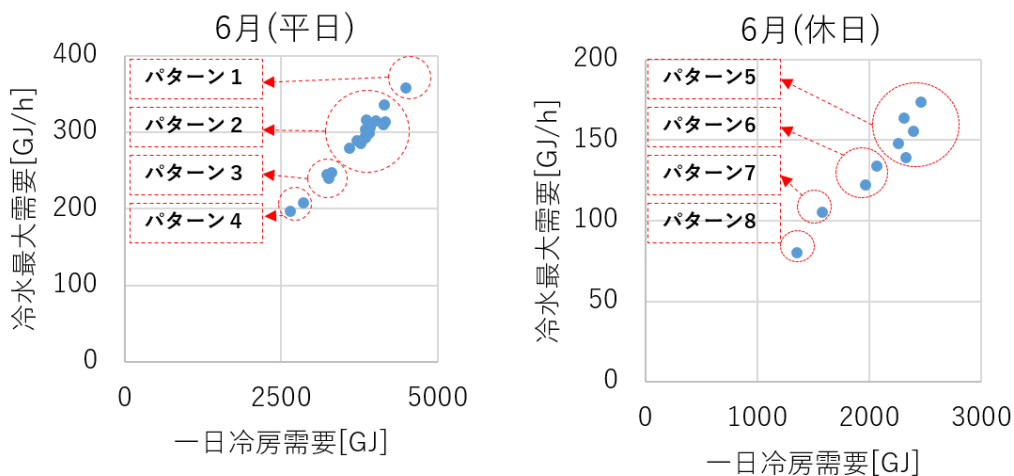


図 5.6 夏季の負荷パターンの細分化の例(平年の6月)

(3) 運転計画の再構成

MM21 地区の実際運転計画は2つのプラントで異なっているが、シミュレーションを行うため、1つの運転計画として、表5.7表5.8のように ENEPRO21 上の運転計画を作成した。4°C上昇後のシミュレーションを行う際、気温上昇による夏季の延長を考慮して、6～9月の運転計画を5～10月に適用した。

蓄熱槽は、6月から9月までピークカットに使われる電動ヒートポンプ(HP)によって22時から8時までの夜間に蓄熱される。放熱運転は10時から16時まで(6時間)の優先運転で、毎時間一定量を放熱する方式である。

表5.7 ENEPRO21上の暖房運転計画

優先順位	1	2	3	4	5	6	7
設備	LB1	LB2	LB3	LB4	LB5	HB2	HB1

表5.8 ENEPRO21上の冷房運転計画

昼/夜	月	時間帯	優先順位										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
昼間	1～5月 10～12月	08～22	TR5	TR1	TR2	TR4	TR3	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	-
	夏季	08～10	TR5	TR1	TR2	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	TR4	TR3	-
	平年：6～9月	10～13	CS	TR5	TR1	TR2	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	TR4	TR3
	4°C上昇後：	13～16	CS	TR5	TR1	AR3	AR4	AR1	AR5	TR2	AR2	TR4	TR3
	5～10月	16～22	TR5	TR1	TR2	TR4	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	TR3	-
夜間	1～12月	22～08	TR5	TR1	TR2	TR4	TR3	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	-

5.1.3 シミュレーションの条件

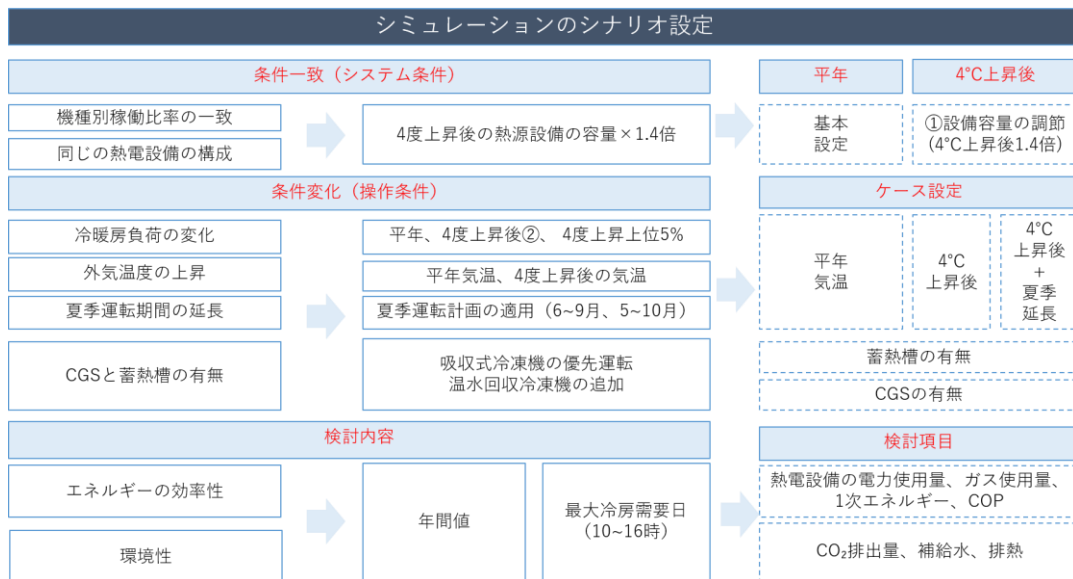


図 5.7 シミュレーションの条件とシナリオ設定

本章のシミュレーションは、同じくするシステム条件と平年と 4°C上昇、CGS と蓄熱槽の有無によって操作する操作条件で、各ケースが設定される。

システム条件は、平年と 4°C上昇後において、機種別冷暖房設備の稼働率を同じにするために、冷水のピーク需要量を基準として、平年と 4°C上昇後の比率を各冷暖房設備の容量に適用することである(表 5.9, 表 5.10)。このシステム条件によって、吸収式冷凍機と電動ターボ冷凍機の稼働率変化の影響を排除でき、平年と 4°C上昇後の気温と冷暖房需要変化が冷暖房システムに与える影響を確認できる。

操作条件としては、冷暖房負荷の変化、外気温度の変化、夏季運転期間、CGS と蓄熱槽の有無がある。4 章では平年、および 4°C上昇後①、4°C上昇後②の冷水と蒸気の負荷を求めたが、5 章のシミュレーションでは 4°C上昇後の冷暖房負荷として 4°C上昇後②のみを扱う。回帰式を利用する際、気温を基準とした 4°C上昇後②が、熱電比の検討において 4°C上昇後①より、平年の熱電比に類似したなめらかな分布を示しており、シミュレーションのケースの数を抑えることを考慮して、4°C上昇後②のみを選んだ。夏季運転期間は、平年の 6 月～9 月に適用される夏季運転計画が、4°C上昇後の場合、5 月～10 月に適用されている。CGS と蓄熱槽の有無は、レジリエントなエネルギーシステムへの影響を検討するために設定している。このような操作条件によって、シミュレーションのケースを設定し、結果を相互比較した。

検討内容としては、エネルギーの効率性と環境性を評価するために、年間単位と最大冷水需要日の時間単位で、電量・ガス・1 次エネルギーの消費量、COP、CO₂排出量、補給水、排熱を比較した。最大冷水需要日の場合、蓄熱槽の稼働時間帯である 10 時から 16 時の変化を基準とした。

表 5.9 冷水の最大需要による容量設定

区分	実績値	平年値	4°C上昇	4°C上昇 上位 5%
冷水最大需要 (GJ/h)	538.7	538.3	764.3	992.0
比較	-	100.0%	142.0%	184.3%
容量設定	-	1 倍	1.4 倍	

表 5.10 平年と 4°C上昇後の冷暖房設備の容量設定

	機器	平年の容量 (1 倍)	4°C上昇後の容量(1.4 倍)
冷 凍 機 系	吸収式冷凍機①	5275(t/h)x4	7385(t/h)x4
	吸収式冷凍機②	8791(t/h)x2	12307.4(t/h)x2
	吸収式冷凍機③	5275(t/h)x4	7385(t/h)x4
	吸収式冷凍機④	5275(t/h)x2	7385(t/h)x2
	吸収式冷凍機⑤	7033(t/h)x4	9846.2(t/h)x4
	ターボ冷凍機①	5274(kW)x2	7383.6(kW)x2
	ターボ冷凍機②	5274(kW)x2	7383.6(kW)x2
	ターボ冷凍機③	7033(kW)x2	9846.2(kW)x2
	ターボ冷凍機④	5274(kW)x8	7383.6(kW)x8
	ターボ冷凍機⑤	5274(kW)x6	7383.6(kW)x6
ボ イ ラ 系	低圧ボイラ①	9.6(t/h)x1	13.44(t/h)x1
	低圧ボイラ②	15(t/h)x1	21(t/h)x1
	低圧ボイラ③	24(t/h)x1	33.6(t/h)x1
	低圧ボイラ④	18(t/h)x2	25.2(t/h)x2
	低圧ボイラ⑤	18(t/h)x1	25.2(t/h)x1
	高圧ボイラ①	40(t/h)x1	56(t/h)x1
	高圧ボイラ②	40(t/h)x2	56(t/h)x2
蓄 熱 系	電動ヒートポップ	冷水：7321(kW)X2 冷水蓄熱：6054(kW)X2	冷水：10249.4(kW)x2 冷水蓄熱：8475.6(kW)x2
	蓄熱系	A：8800(kW)x1	12320(kW)x1
	冷水取出機	B：8800(kW)x1	12320(kW)x1
	蓄熱槽	190500(MJ)x2	266700(MJ)x2

5.2 冷暖房熱源システムへの影響検討

5.2.1 シミュレーションの精度検証

シミュレーションの誤差が出る理由として挙げられることには、運転計画と需要負荷の違いがある。シミュレーションを行うため、ENEPRO21の限界として、前述したように、ENEPRO21の操作過程の中で、実際条件との差が生じる。2つのプラントに設置されている設備は、優先順位の順番で単独に稼働するのではなく、ユニット単位で他機種の設備と同時に稼働している。例えば、需要に対応して吸収式冷凍機の一部とターボ冷凍機の一部が同時に稼働しているようである。そして、ENEPRO21は、負荷パターン単位でエネルギー消費量を計算するので、負荷データを負荷パターンでまとめて、ENEPRO21に入力する際に、誤差が生じる可能性がある。従って、シミュレーションの結果と実際値を比較することで、シミュレーションの信頼性を検討した。

(1) 冷暖房負荷パターンの精度検証

毎時刻別に変化する実際の負荷量によって近似の値を入力するために、負荷パターンを作成する際、夏季を細分化した。最終的にENEPRO21に入力した負荷と実際の負荷を比較した。実際値と作成された負荷パターンの相関を見ると、蒸気の決定係数は0.90、冷水は0.96であった。

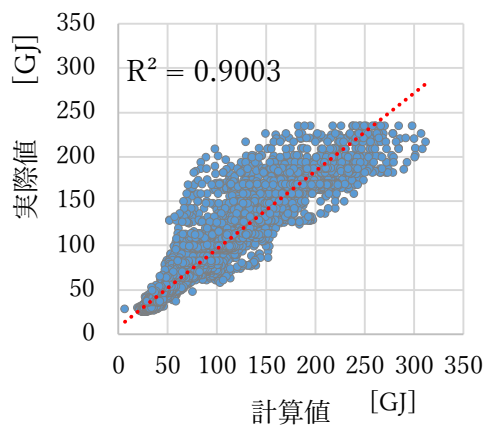


図 5.8 時刻別蒸気需要の実際値と計算値

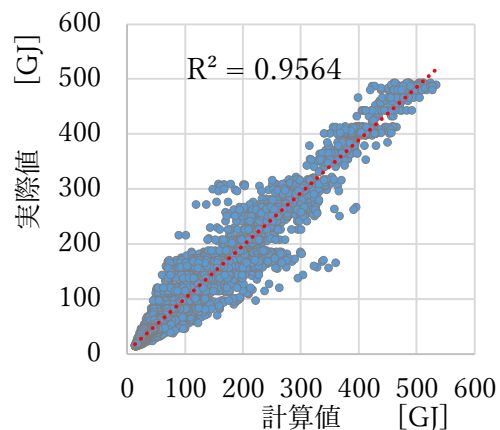


図 5.9 時刻別冷水需要の実際値と計算値

(2) エネルギー消費量の精度検証

蒸気と冷水の需要パターンとMM21地区の現況をモデル化した冷暖房設備、運転計画をENEPRO21に入力し、年間消費エネルギーを算出した。結果を実際値と比べると、電力の

年間消費量はシミュレーション値が 10.6%低く算出され、ガスの年間消費量はシミュレーション値が 8.8%高く算出された。電気とガスを合わせた年間1次エネルギー消費量に換算すると、計算値が実際値に比べて、0.07%小さい結果となった。

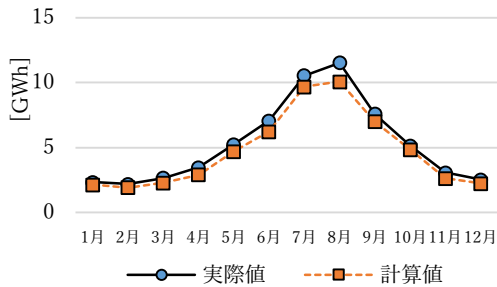


図 5.10 熱源設備の月別電力消費

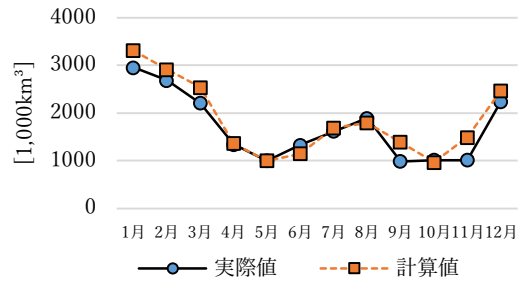


図 5.11 月別ガス消費

表 5.11 実際値と計算値の比較

	実際値	計算値
電力 (%)	63.43 GWh (100%)	56.71 GWh (98.4%)
ガス (%)	20244.95 km ³ (100%)	22023.80 km ³ (108.8%)
1次エネルギー換算量 [※] (%)	1529.82 TJ (100%)	1528.74 TJ (99.93%)

※1次エネルギー消費量で換算：電力の換算値は省エネ法の値を、ガスの換算値は東京ガスの都市ガス(13A)の発熱量を基準とした。

[昼間電力:1kWh=9,970kJ, 夜間電力:1kWh=9,280kJ, ガス:1m³=45,000kJ]

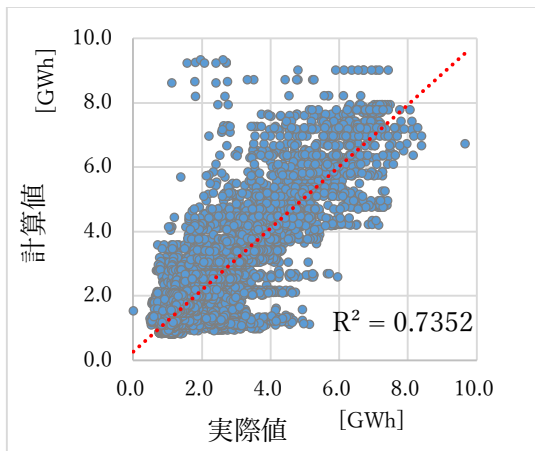


図 5.12 熱源設備の時刻別電力消費の
相関関係

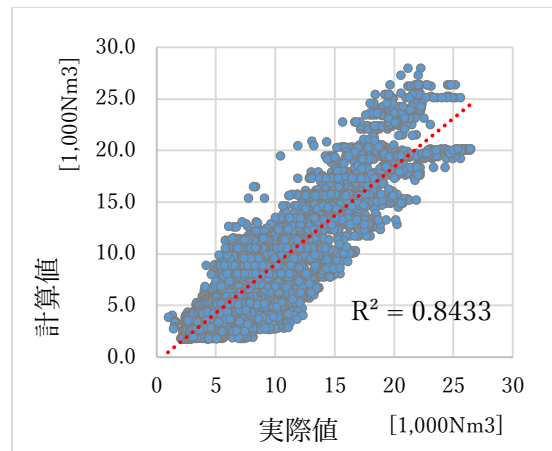


図 5.13 時刻別ガス消費の
相関関係

シミュレーションからの計算値と実際値の誤差を決定係数(R^2)で検討すると、ガス消費は0.84、電気消費は0.74である。時刻別平均誤差を求めると、ガス消費は21.3%であり、電気消費は26.8%である。このような誤差は、需要パターンの誤差と設備の詳細仕様の差、プラントの運転計画が影響していると思われる。しかし、月別ガスと電力の消費量の変動パターンは類似しているため、同一条件での平年気温と4°C上昇後の冷暖房需要によるシミュレーション結果も信頼性があると判断した。

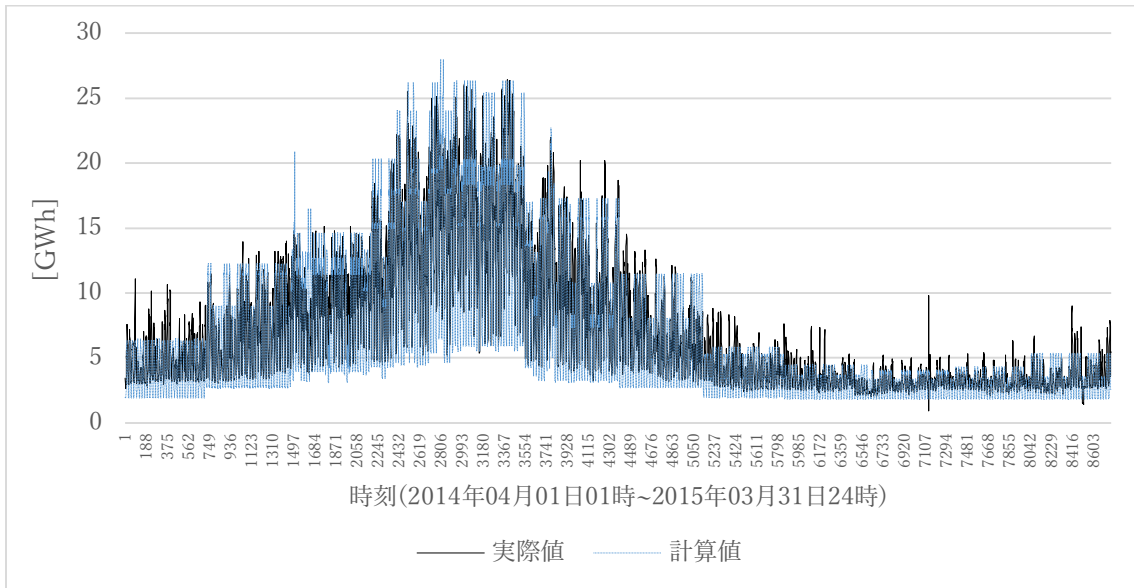


図 5.14 熱源設備の時刻別電力消費

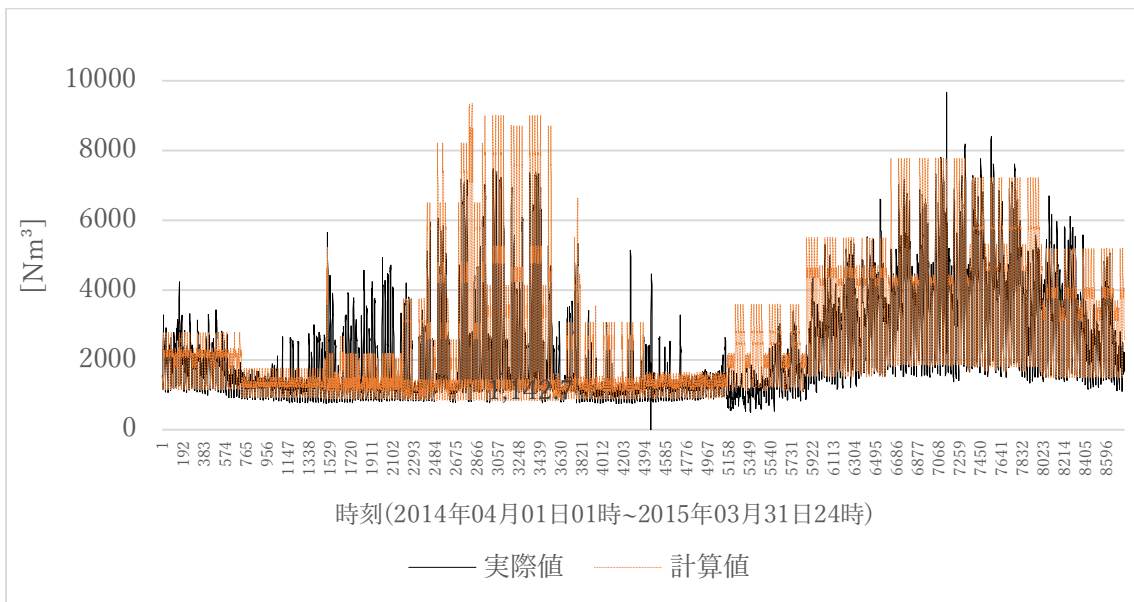


図 5.15 時刻別ガス消費

5.2.2 冷暖房の熱源システムへの影響検討の概要

冷暖房の熱源システムへの影響検討は、平年気温と4°C上昇後の気温による冷暖房需要量の変化がMM21地区の冷暖房システムにどのような影響を与えるかを検討するシミュレーションである。表5.12のように、3つのケースに分けてシミュレーションを行った。ケース「OG-N1」は、現在のMM21地区を平年気温で再現したケースであり、ケース「OG-4R2a」と「OG-4R2b」は、4°C上昇後のMM21地区の冷暖房システムである。

表 5.12 冷暖房の熱源システムへの影響検討のケース設定

表記	OG-N1	OG-4R2a	OG-4R2b
ピーク需要表記	OG-N1	OG-4R	
運転計画	精度基準	精度基準	精度基準
気温データ	平年	4度上昇後	4度上昇後
冷暖房需要データ	平年	4度上昇後②	4度上昇後②
夏季運転計画	6月～9月	6月～9月	5月～10月
設備容量	1倍	1.4倍	1.4倍
蓄熱槽	1倍	1.4倍	1.4倍
CGS容量 (ピーク対比)	0%	0%	0%

需要影響	冷暖房システムへの影響と予測
暖房需要の減少 冷房需要の増加	ボイラの稼働率の減少，冷凍機の稼働率の増大 夏季の冷凍機稼働率の増加で補給水・排熱の増加
冷水の 全負荷相当時間の増大	冷房設備の効率向上によるCOPの向上

図 5.16 冷暖房の熱源システムへの影響の予測

4°C上昇後の暖房需要の減少と冷房需要の増加の冷暖房システムへの影響として、ボイラの稼働率の減少，冷凍機の稼働率の増大が考えられる。従って、補給水，排熱の増加が予測された。冷水の全負荷相当時間が増大することで、冷房設備の効率が向上し、COPが向上すると予測される。

5.2.3 年間値の比較

(1) 冷水需要と蒸気需要

① 冷水需要

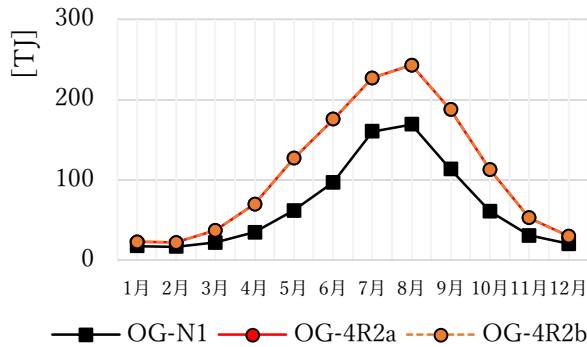


図 5.17 月別冷水需要

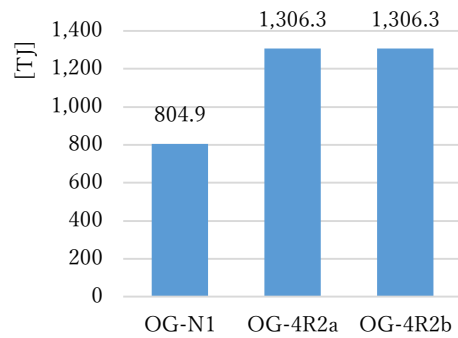


図 5.18 年間冷水需要

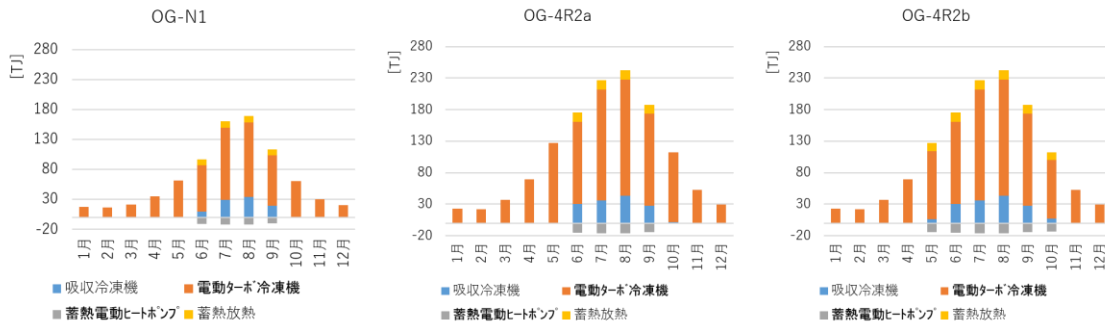


図 5.19 月別機種別冷水需要

表 5.13 基本システムの冷水需要の比較

	OG-N1 (GJ)		OG-4R2a (GJ)		OG-4R2b (GJ)	
吸収冷凍機	93,228.0	11.6%	138,835.2	10.6%	150,651.0	11.5%
電動ターボ冷凍機	669,954.3	83.2%	1,108,022.7	84.8%	1,070,212.0	81.9%
蓄熱電動ヒートポンプ	43,956.7	5.5%	62,562.2	4.8%	89,925.3	6.9%
蓄熱放熱	41,758.8	5.2%	59,434.2	4.5%	85,429.2	6.5%
合計	804,941.0		1,306,292.0		1,306,292.0	
%	100.0%		162.3%		162.3%	

4°C上昇後の場合、冷水需要が162.3%に増加する。機種別の冷水需要割合を見ると、OG-4R2aとOG-4R2bの数値が平年気温の機種別の冷水需要割合に類似なので、機種別稼働率が4°C上昇後にも類似であると判断した。

② 蒸気需要

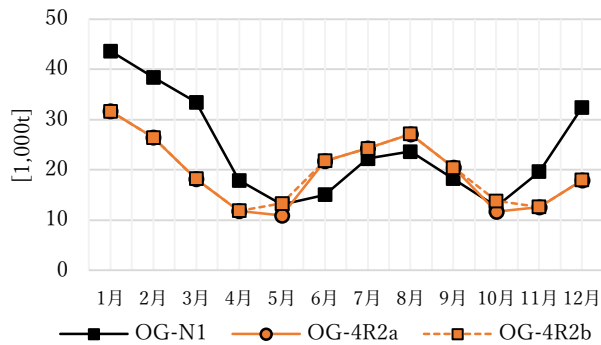


図 5.20 月別蒸気需要

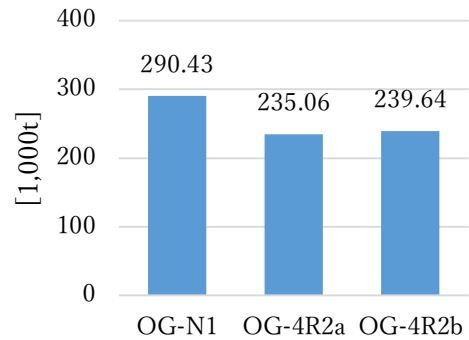


図 5.21 年間蒸気需要

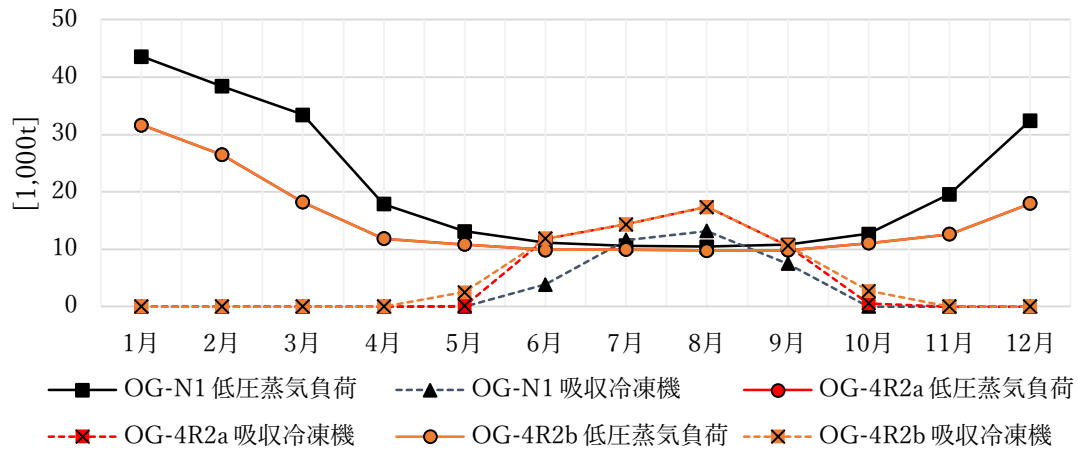


図 5.22 月別機種別蒸気需要

表 5.14 基本システムの蒸気需要の比較

	OG-N1 (1,000t)		OG-4R2a (1,000t)		OG-4R2b (1,000t)	
	値	%	値	%	値	%
低圧蒸気負荷	254.28	87.6%	180.15	76.6%	180.15	75.2%
吸収冷凍機負荷	36.15	12.4%	54.92	23.4%	59.50	24.8%
合計	290.43		235.06		239.64	
%	100.0%		80.9%		82.5%	

4°C上昇後の場合、冬季のボイラの蒸気需要が減少するが、夏季に吸収式冷凍機の稼働で夏季蒸気負荷は増加するが、年間蒸気負荷は80.9%~82.5%に減少する。

(2) エネルギー消費

① 電力消費とガス消費

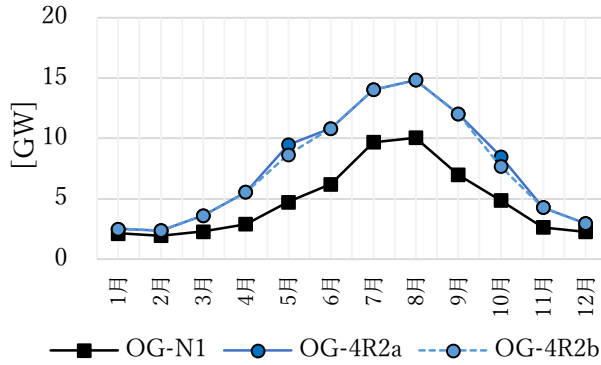


図 5.23 熱源設備の月別電力消費

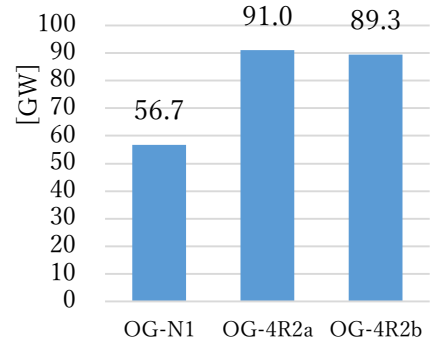


図 5.24 熱源設備の年間電力消費

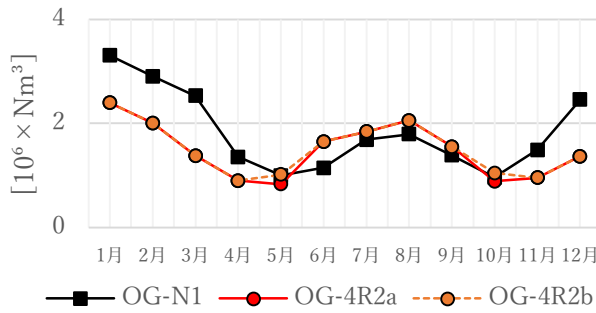


図 5.25 月別ガス消費

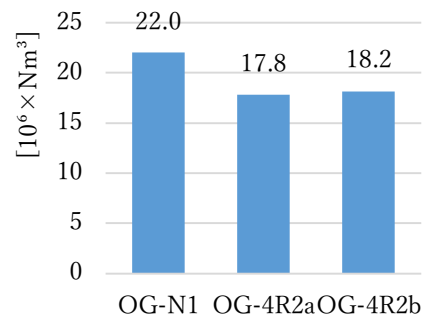


図 5.26 年間ガス消費

表 5.15 基本システムの電力消費とガス消費の比較

	OG-N1	OG-4R2a	OG-4R2b
熱源設備の電力消費 (MW)	56,709.6	90,977.2	89,328.3
(%)	100.0%	160.4%	157.5%
電力消費全体 (MW)	478,596.6	518,282.3	516,633.4
(%)	100.0%	108.3%	107.9%
ガス消費 (kNm^3)	22,023.8	17,824.8	18,172.2
(%)	100.0%	80.9%	82.5%

夏季の冷水負荷の増加と冬季の蒸気負荷の減少で、熱源設備の夏季電力消費が増加し、冬季ガス消費が80.9%~82.5%に減少する。

② 1次エネルギー消費と COP

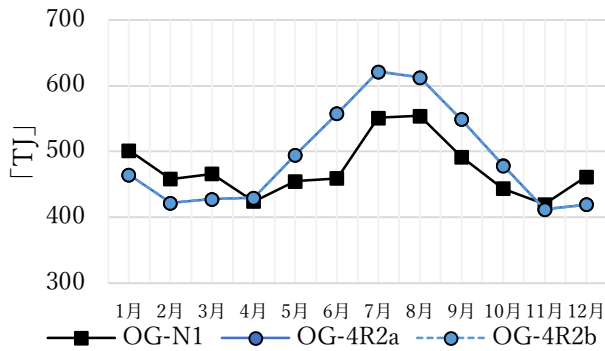


図 5.27 月別 1次エネルギー消費

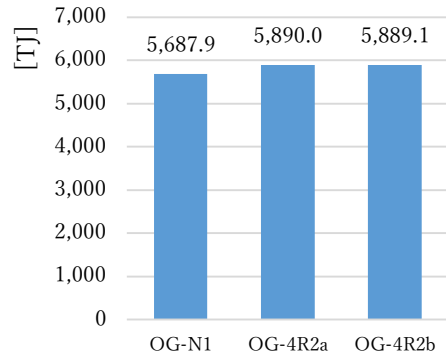


図 5.28 年間ガス消費

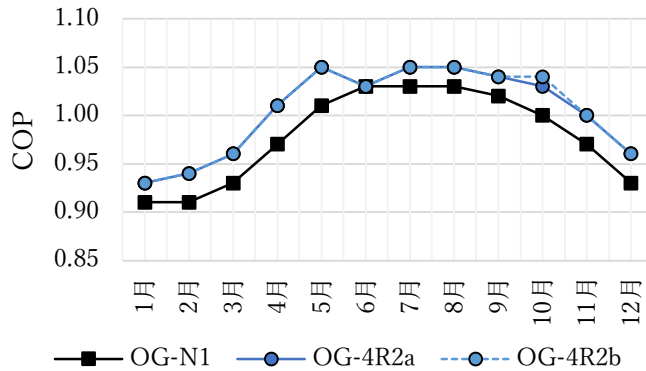


図 5.29 月別 COP

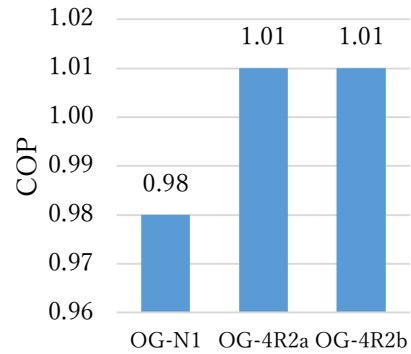


図 5.30 年間 COP

表 5.16 基本システムの年間 COP の比較

	OG-N1	OG-4R2a	OG-4R2b
1次エネルギー消費(GJ)	5,687,885.8	5,890,018.9	5,889,141.9
(%)	100.0%	103.6%	103.5%
年間 COP	0.98	1.01	1.01

1次エネルギー消費量が103.6%~103.5%に増加するが、年間COPは向上する結果であった。吸収式冷凍機の稼働で夏季のCOPが他の時期に比べて上昇幅が小さいと推定される。

(3) 環境負荷

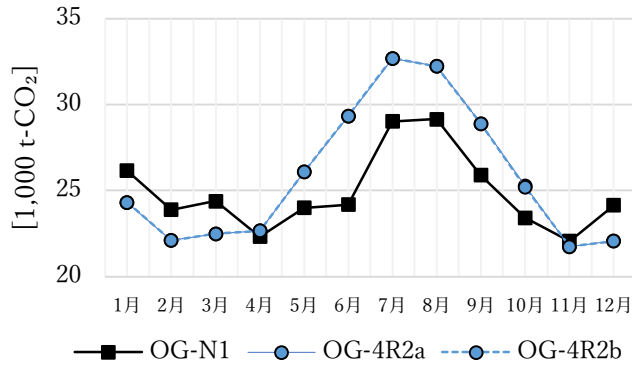


図 5.31 月別 CO₂排出量

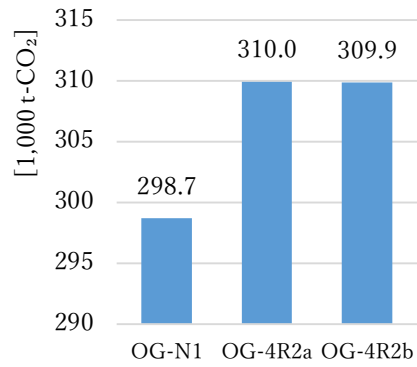


図 5.32 年間 CO₂排出量

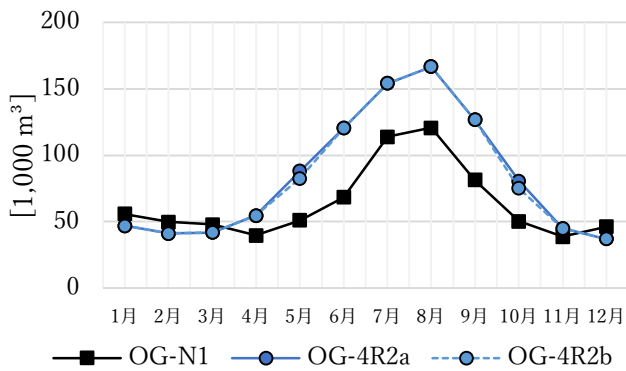


図 5.33 月別補給水

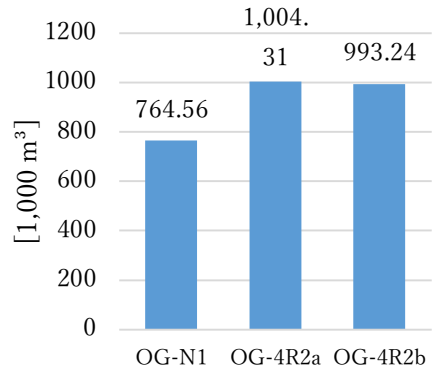


図 5.34 年間補給水

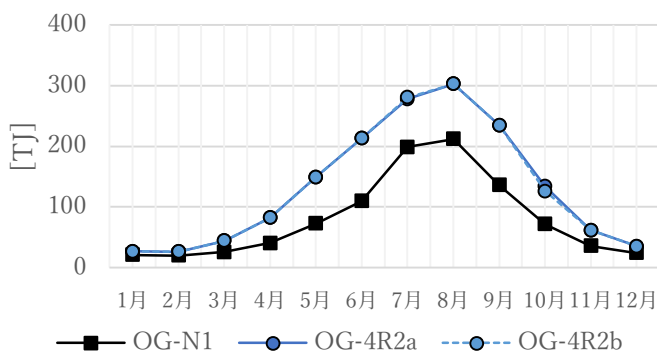


図 5.35 月別排熱

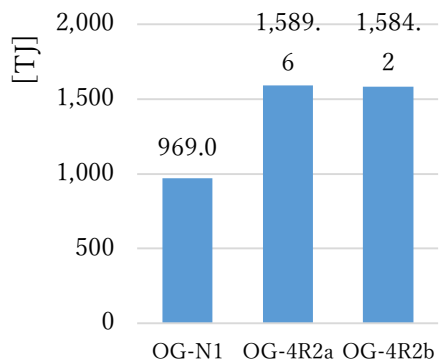


図 5.36 年間排熱

表 5.17 基本システムの環境負荷の比較

	OG-N1	OG-4R2a	OG-4R2b
CO ₂ 排出量(t-CO ₂)	298,682.2	309,952.2	309,871.5
(%)	100.0%	103.8%	103.7%
補給水(1,000 m ³)	764.56	1,004.31	993.24
(%)	100.0%	131.4%	129.9%
排熱(GJ)	968,974.9	1,589,625.3	1,584,153.1
(%)	100.0%	164.1%	163.5%

冬季のCO₂排出量は減少するが、夏季のCO₂排出量がそれより多く増加し、CO₂排出量も103.7～103.8%に増加する結果となった。夏季の補給水と排水は増大して、補給水129.9%～131.4%、排水163.5%～164.1%に増加する結果となった。

5.2.4 ピーク需要の比較

(1) エネルギー消費

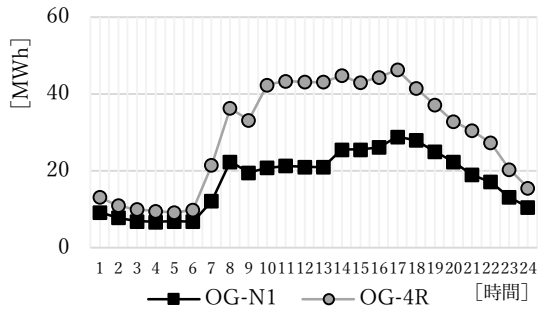


図 5.37 時刻別熱源設備の電力消費

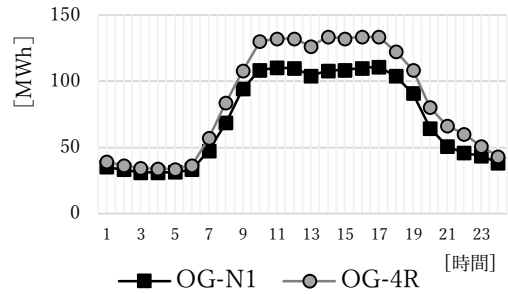


図 5.38 時刻別電力消費

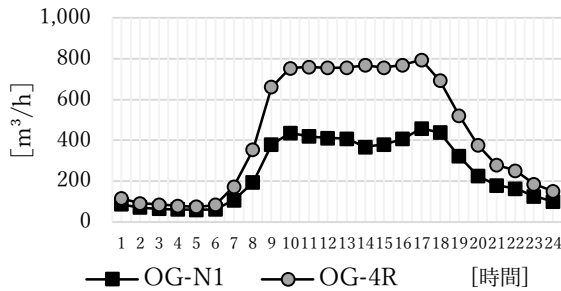


図 5.39 時刻別ガス消費

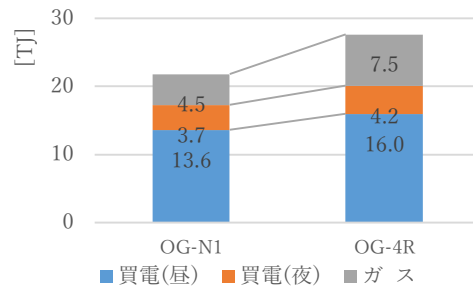


図 5.40 1日1次エネルギー消費

表 5.18 基本システムのピーク需要時間(10時～16時)のエネルギー消費

	OG-N1	OG-4R
熱源設備の電力消費(KW)	140,403.2	262,040.2
(%)	100.0%	186.6%
電力消費量全体(KW)	669,386.6	791,023.6
(%)	100.0%	118.2%
ガス消費(N m³)	47,210.9	85,060.4
(%)	100.0%	186.6%
1日1次エネルギー消費(GJ)	21,804.9	27,661.9
(%)	100.0%	126.9%

ピーク需要時間帯に冷水需要の増加で、熱源設備の電力消費が 186.6%、ガス消費が 186.6%に増加して、1日の1次エネルギー消費量が 126.9%に増加すると予測された。

(2) 環境負荷

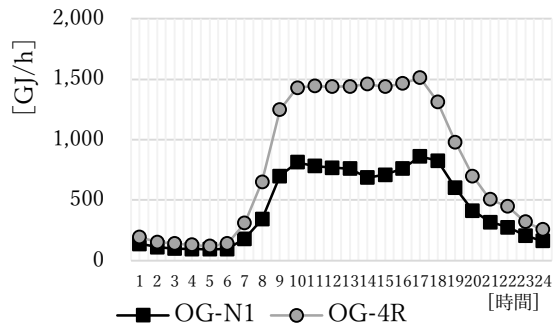


図 5.41 時刻別排熱

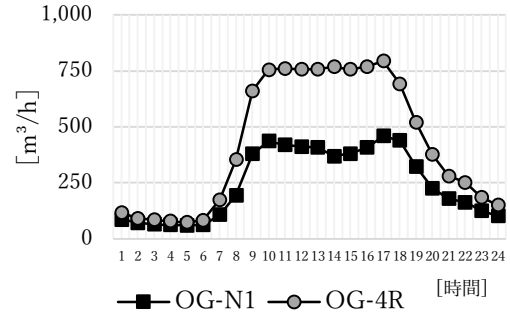


図 5.42 時刻別補給水

表 5.19 基本システムの排熱と補給水(10時～16時)

	OG-N1	OG-4R
排熱(MJ)	4,467,316.9	8,687,181.9
(%)	100.0%	194.5%
補給水(m³)	2,393.5	4,568.9
(%)	100.0%	190.9%

表 5.20 基本システムの1日CO₂排出量

[t-CO ₂]	(単位：t-CO ₂)	OG-N1	OG-4R
		買電(昼)	13,645.2
	買電(夜)	3,660.3	4,160.3
	ガ ス	4,499.4	7,539.4
	合計	21,804.9	27,661.9
	(%)	100.0%	126.3%

排水と補給水は、各々194.5%、190.9%に増加し、1日のCO₂排出量が126.3%に増えるという結果になった。

5.2.5 冷暖房の熱源システムへの影響検討のまとめ

(1) 年間値

表 5.21 基本システムのシミュレーションの年間値の変化

表記	平年気温	4°C上昇後	
	OG-N1	OG-4R2a	OG-4R2b
冷水負荷	100.0%	162.3%	162.3%
蒸気発生	100.0%	82.6%	82.5%
ガス消費	100.0%	82.6%	82.5%
熱源設備の電力消費	100.0%	162.3%	157.5%
電力消費量全体	100.0%	159.6%	107.9%
1次エネルギー消費	100.0%	103.8%	103.5%
COP	0.98	1.01	1.01
CO ₂ 排出量	100.0%	104%	103.7%
補給水	100.0%	132.0%	129.9%
排熱	100.0%	164.1%	163.5%

4°C上昇すると、冷暖房システムの冷水負荷は 162.3%に増加し、蒸気発生は 82.6%～82.5%まで減少する。1次エネルギー消費量は、ガス消費が減少し、電力消費が増加して、103.5%～103.8%に増加するが、夏季の冷房需要が増えて、ターボ冷凍機の稼働率が上がるので、COPは 0.98 から 1.01 に向上される。1次エネルギー消費量の増加によって、CO₂排出量が増加して 104.0%～103.7%になり、補給水と排熱は各々129.9%～132.0%、163.5%～164.1%に増加する。

(2) ピーク需要

表 5.22 基本システムのシミュレーションのピーク負荷の変化

表記	平年気温	4°C上昇後
	OG-N1	OG-4R2
冷水負荷	100.0%	189.5%
蒸気発生	100.0%	180.0%
ガス消費	100.0%	180.2%
熱源設備の電力消費	100.0%	186.6%
電力消費量全体	100.0%	118.2%
1次エネルギー消費	100.0%	126.9%
CO ₂ 排出量	100.0%	126.3%
補給水	100.0%	190.9%
排熱	100.0%	194.5%

4°C上昇すると、ピーク需要の時間帯(10～16時)にガス消費と熱源設備の電力消費量が増加して、各々180.0%、186.6%になると予測された。1日の1次エネルギー消費量とCO₂排出量は126.9%、126.3%になるとの結果となった。補給水と排熱は各々190.9%、194.5%になると予測された。

5.3 蓄熱槽の効果検討

5.3.1. 蓄熱槽の効果検討の概要

(1) 蓄熱槽の効果検討のケース設定

蓄熱槽の効果を検討するために、現在MM21 地区に設けている蓄熱槽設備を基準として、蓄熱槽の有無のケースをシミュレーションした。平年気温の蓄熱槽有無のケース、4°C上昇後の蓄熱槽有無のケース、夏季運転計画の延長のケースを設定した。4°C上昇後の場合、機種別稼働率を同一にするために、冷房設備と蓄熱槽の容量を1.4倍とした。

結果値の検討は5～10月の夏季を中心とし、「CS-N1」を基準値とした変化率を検討した。

表 5.23 蓄熱槽の効果検討のケース設定

表記	平年気温		4°C上昇後		
	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R2a	CS-4R2b
ピーク需要表記	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R21(4°C上昇上位 5%)	
運転計画	蓄熱基準	蓄熱基準	蓄熱基準	蓄熱基準	蓄熱基準
気温データ	平年	平年	4度上昇後	4度上昇後	4度上昇後
冷暖房需要データ	平年	平年	4度上昇後 ②	4度上昇後 ②	4度上昇後 ②
夏季運転計画	6月～9月	6月～9月	6月～9月	6月～9月	5月～10月
設備容量	1倍	1倍	1.4倍	1.4倍	1.4倍
蓄熱槽	0	1倍	0	1.4倍	1.4倍
CGS容量 (ピーク対比)	0%	0%	0%	0%	0%

影響		システムへの影響予測	
蓄熱槽	① 電動式冷凍機稼働を抑制し、電力のピークカット ② 熱損失による効率低下	①放熱時の電力消費量・補給水・排熱の減少 ②熱損失で COP 低下，エネルギー消費の増加	
4°C 上昇	暖房需要の減少 冷房需要の増加	平年より大きい効果	

図 5.43 蓄熱槽の効果の予測

蓄熱槽の利用は、電力需要のピークカットの効果を期待して設ける設備で、放熱時に冷房に使う電力量を抑制すると共に、放熱量程、冷房設備が稼働しないので、補給水と排熱も減少する効果も期待できる。しがし、蓄熱と放熱の間の熱損失で、効率が下がり、エネルギー消費が増加すると予測した。4°C上昇後の場合、冷房需要の割合が増加し、蓄熱槽の効果がより大きいと仮定してシミュレーションを行った。

(2) 運転計画の変更

蓄熱槽の利用は、ピークカットを狙うので、蓄熱槽の効果をより明確に確認できるように、運転計画を変更してシミュレーションを行った。夏季の放熱時間帯に、電動式ターボ冷凍機の運転順位を吸収式冷凍機より優先する設定とした。

表 5.24 蓄熱槽の効果検討のための冷房運転計画

月	時間帯	優先順位										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
夏季	08~10	TR5	TR1	TR2	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	TR4	TR3	-
平年：6~9月	10~16	CS	TR5	TR1	TR2	TR4	TR3	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2
4°C上昇後：5~10月	16~22	TR5	TR1	TR2	TR4	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	TR3	-

5.3.2 夏季の比較

(1) 冷水負荷と蒸気消費

① 冷水負荷

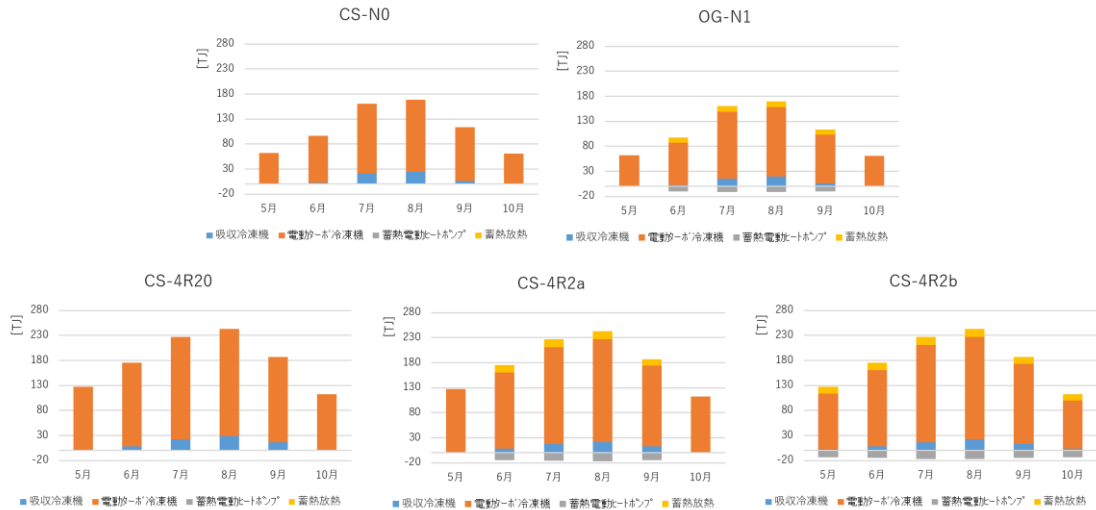


図 5.44 月別機種別冷水生産量

表 5.25 基本システムの冷水負荷の比較(夏季)

	CS-N0 (1,000Tj)		CS-N1 (1,000Tj)		CS-4R20 (1,000Tj)		CS-4R2a (1,000Tj)		CS-4R2b (1,000Tj)	
吸収冷凍機	53.6	8.1%	42.5	6.4%	77.4	7.2%	61.0	5.7%	65.4	6.1%
電動ターボ冷凍機	608.9	91.9%	578.2	87.3%	994.6	92.8%	951.6	88.8%	921.2	85.9%
蓄熱源動ヒートポンプ	0.0	0.0%	44.0	6.6%	0.0	0.0%	62.5	5.8%	89.9	8.4%
蓄熱放熱	0.0	0.0%	41.7	6.3%	0.0	0.0%	59.4	5.5%	85.4	8.0%
合計	662.5		662.5		1,072.0		1,072.0		1,072.0	
(%)	100.0%		100.0%		161.8%		161.8%		161.8%	

機種別冷水生産量を検討したところ、平年気温の場合、電動ターボ冷凍機と吸収式冷凍機の冷水が 4.6%、1.5%減少し、4°C上昇後の場合、電動ターボ冷凍機の冷水が 1.1%~1.5%、吸収式冷凍機の冷水が 4.0%~6.9%減少する結果となった。4°C上昇後の場合には、冷水需要量が増えて、電動ターボ冷凍機だけの冷水供給では足りない時間帯が増えるので、運転順位が下位である吸収式冷凍機の冷水生産の減少比率が、電動ターボ冷凍機の減少比率より大きいと考えられる。

② 蒸気消費

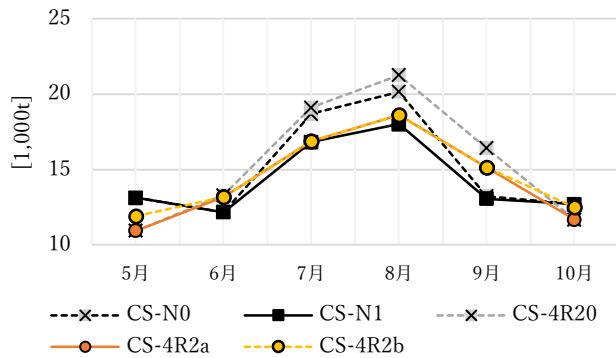


図 5.45 月別蒸気消費量(夏季)

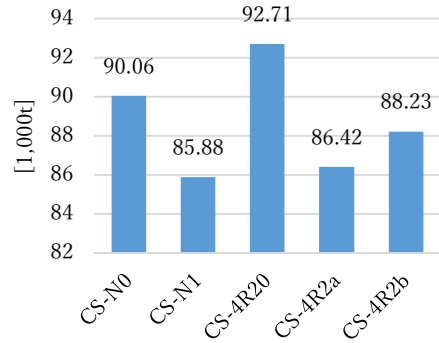


図 5.46 夏季の蒸気消費量

表 5.26 蓄熱槽の有無，大きさによる蒸気消費量の比較(夏季)

	CS-N0 (1,000t)	OG-N1 (1,000t)	CS-4R20 (1,000t)	CS-4R2a (1,000t)	CS-4R2b (1,000t)
低圧蒸気負荷	68.86	68.86	61.38	61.38	61.38
吸収冷凍機	21.19	17.01	126.33	106.86	105.65
合計	90.06	85.88	92.71	86.42	88.23
増減率*		-4.9%		-5.3%	-7.4%
(%)	104.9%	100.0%	108.0%	100.6%	102.7%

※増減率：蓄熱槽の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

蓄熱槽の運転で吸収式冷凍機の稼働率も下がり，蒸気消費も減少する。蓄熱槽の運転によって，平年の場合 4.9%，4°C上昇後の場合に 5.3%~7.4%減少すると予測された。

(2) エネルギー消費

① 電力消費量とガス消費量

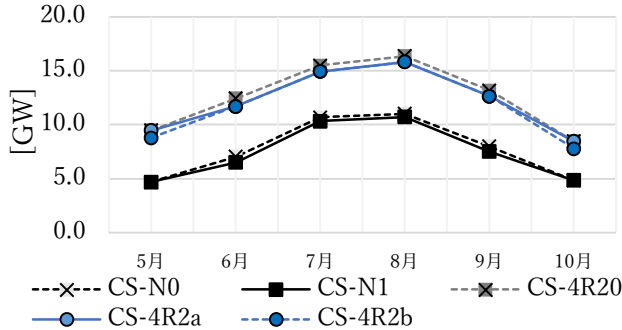


図 5.47 熱源設備の月別電力消費量(夏季)

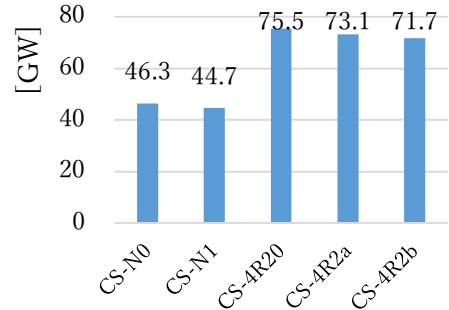


図 5.48 熱源設備の夏季電力消費量

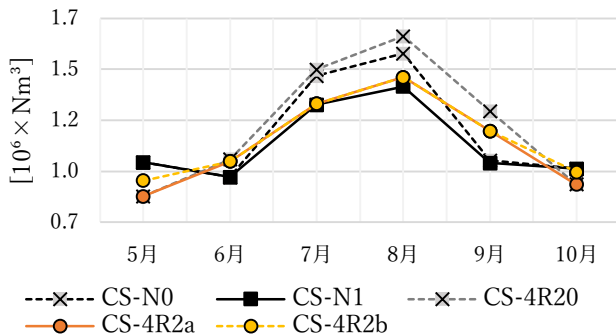


図 5.49 熱源設備の月別ガス消費量(夏季)

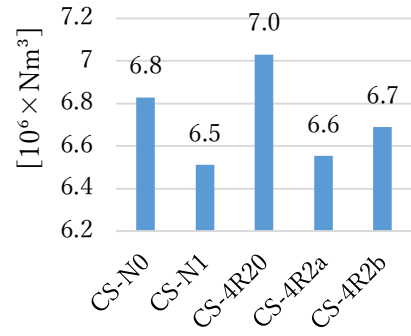


図 5.50 熱源設備の夏季ガス消費量

表 5.27 蓄熱槽の有無，大きさによるガス消費量の比較(夏季)

	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R2a	CS-4R2b
熱源設備の電力消費(MW)	46,324.9	44,680.0	75,467.6	73,079.6	71,721.4
増減率※ (%)	103.7%	100.0%	168.9%	163.6%	160.5%
電力消費全体(MW)	268,406.7	266,761.8	302,967.5	300,579.5	299,221.3
増減率※ (%)	100.6%	100.0%	113.6%	112.7%	112.2%
ガス消費(1,000Nm ³)	6,828.7	6,511.4	7,030.1	6,553.4	6,690.7
増減率※ (%)	104.9%	100.0%	108.0%	100.6%	102.8%

※増減率：蓄熱槽の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

蓄熱槽の効果で，熱源設備の電力消費は，平年 3.7%減少し，4℃上昇後 5.3%~8.4%減少すると予測された。電力消費合計を基準とすると，平年は 0.6%，4℃上昇後は 0.9%~1.4%減少する。ガス消費量の変化を見ると，蓄熱槽の効果で平年は 4.9%増加し，4℃上昇後は 5.2%~7.4%増加すると予測された。

② 1次エネルギー消費量と COP

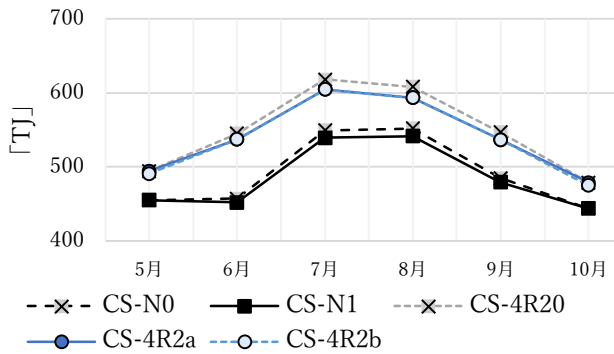


図 5.51 月別 1次エネルギー消費量(夏季)

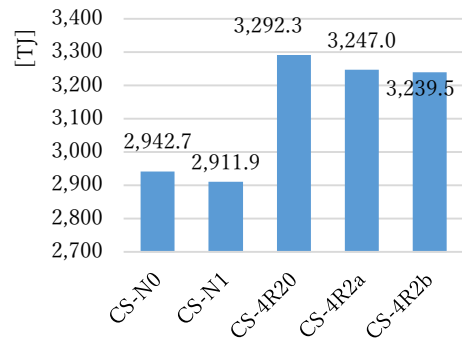


図 5.52 夏季の 1次エネルギー消費量

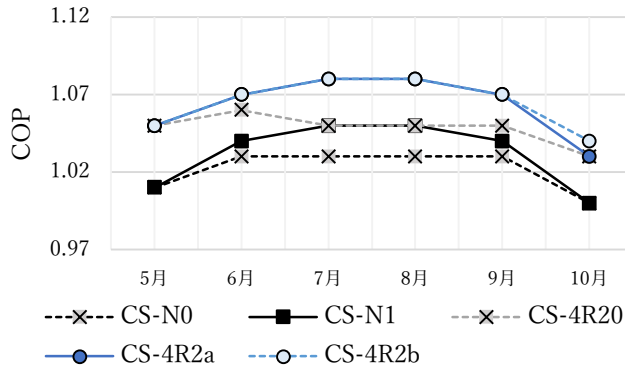


図 5.53 月別 COP(夏季)

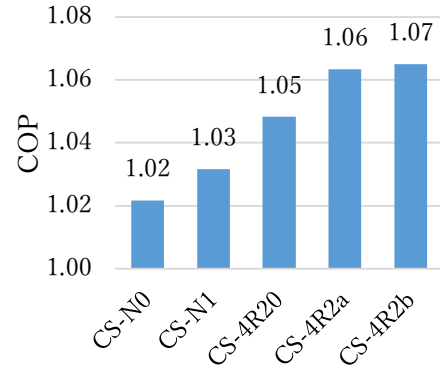


図 5.54 夏季の COP

表 5.28 蓄熱槽の有無, 大きさによる 1次エネルギー消費量と COP の比較(夏季)

	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R2a	CS-4R2b
1次エネルギー消費(GJ)	2,942,653.0	2,911,903.0	3,292,328.7	3,246,968.1	3,239,532.8
増減率※ (%)	101.1%	100.0%	113.1%	111.5%	111.3%
年間 COP	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07

※増減率：蓄熱槽の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

1次エネルギー消費量と COP の変化を見ると、平年は 1.1%減少し、COP が 0.01 上がるが、4°C上昇後の場合、1次エネルギー消費量が 1.6%~1.8%減少して、COP が 0.01~0.02 上がると予測された。この結果は、シミュレーション前の蓄熱槽効果の予測と異なる。蓄熱の損失があっても、昼間冷凍機の COP より、蓄熱する電動ヒートポンプの COP が高いからと考えられる。

(3) 環境負荷

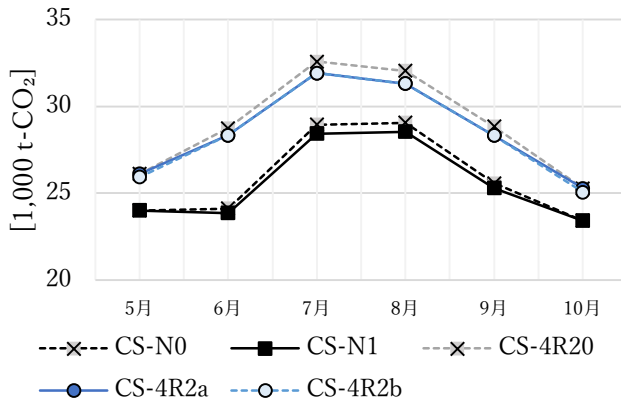


図 5.55 月別 CO₂排出量(夏季)

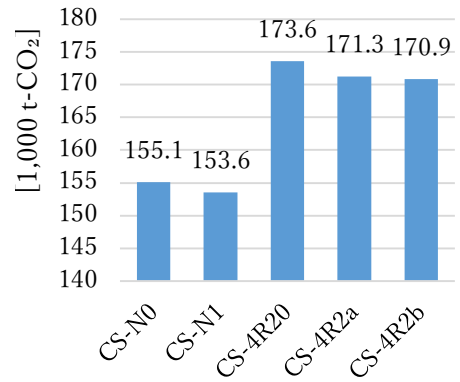


図 5.56 夏季の CO₂排出量

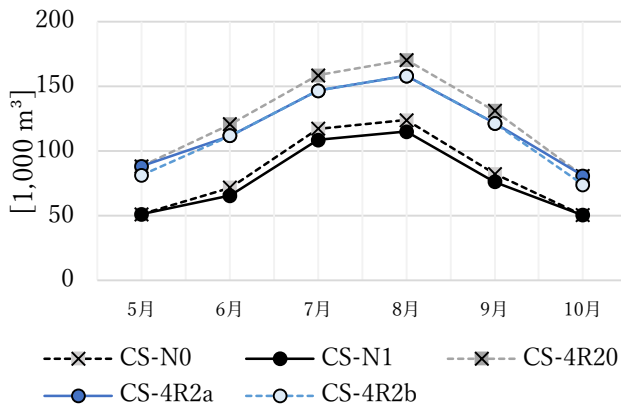


図 5.57 月別補給水(夏季)

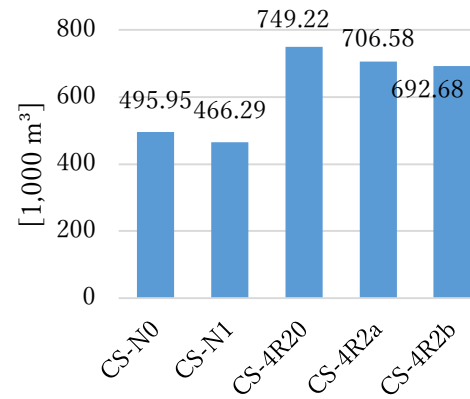


図 5.58 夏季の補給水

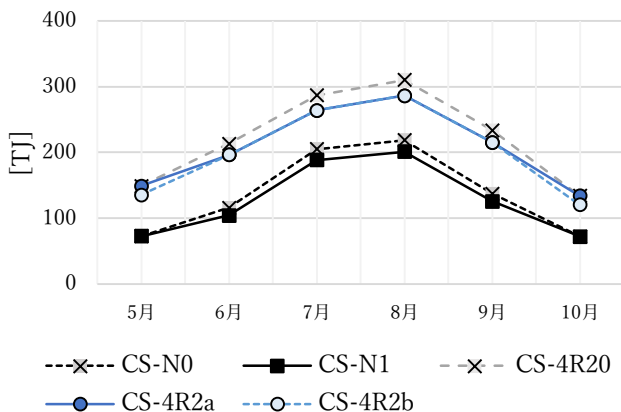


図 5.59 月別排熱(夏季)

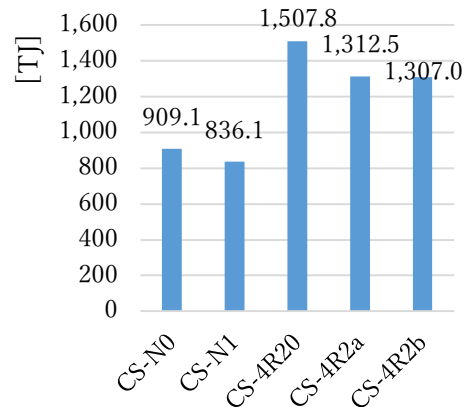


図 5.60 夏季の排熱

表 5.29 蓄熱槽の有無，大きさによる環境負荷の比較(夏季)

	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R2a	CS-4R2b
CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	155,136.1	153,568.6	173,593.2	171,281.7	170,881.8
増減率※ (%)	101.0%	-1.0%	113.0%	+1.5%	+1.7%
補給水 (1,000 m ³)	495.95	466.29	749.22	706.58	692.68
増減率※ (%)	106.4%	-6.4%	160.7%	-9.2%	-7.5%
排熱 (GJ)	821,946.3	764,547.9	1,327,544.8	1,245,201.5	1,218,143.5
増減率※ (%)	107.5%	-7.5%	173.6%	-10.7%	-14.3%

※増減率：蓄熱槽の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

CO₂排出量は，1次エネルギー消費量が減少する影響で，平年は1.0%，4℃上昇後は1.5%~1.7%減少すると予測された。補給水と排熱も蓄熱槽の運転で減少するとの結果が出た。補給水と排熱は平年6.4%，7.5%減少し，4℃上昇後の補給水は9.2%~12.1%，排熱は10.7%~14.3%減少する。

5.3.3 ピーク需要の比較

(1) エネルギー消費

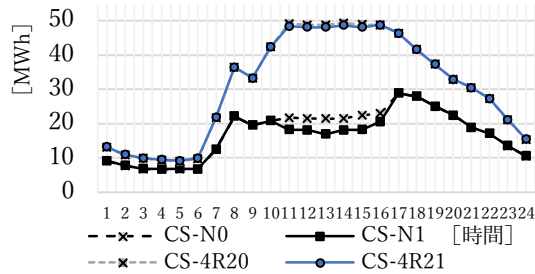


図 5.61 時刻別熱源設備の電力消費量

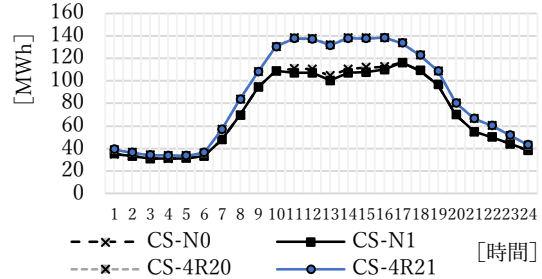


図 5.62 時刻別電力消費量

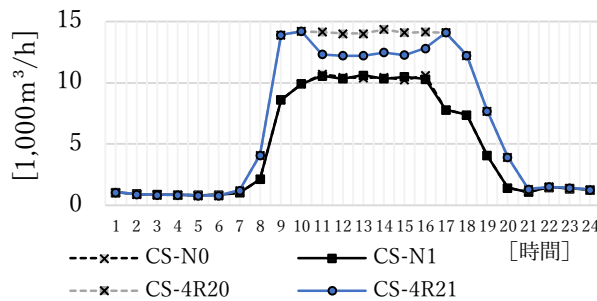


図 5.63 時刻別ガス消費量

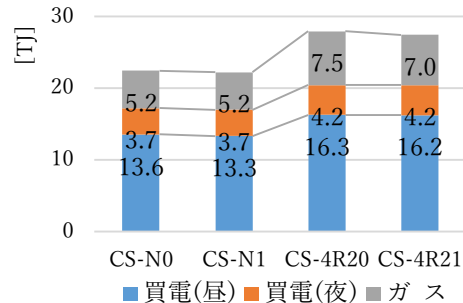


図 5.64 時刻別電力消費量

表 5.30 蓄熱槽の有無，大きさによるエネルギー消費量の変化(10時~16時)

	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R21
熱源設備の電力消費(KW)	131,452.2	110,146.5	293,587.0	290,090.5
増減率※ (%)	119.3%	100.0%	266.5%	263.4%
電力消費全体(KW)	660,435.6	639,129.9	822,570.4	819,073.9
増減率※ (%)	103.3%	100.0%	128.7%	128.2%
ガス消費(N m³)	62,789.9	62,605.5	84,697.4	74,268.5
増減率※ (%)	100.3%	100.0%	135.5%	135.9%
1日1次エネルギー消費(GJ)	22,420.1	22,208.2	27,941.5	27,449.6
増減率※ (%)	101.0%	100.0%	125.8%	123.6%

※増減率：蓄熱槽の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

熱源設備の電力消費は平年ピークの場合 19.3%，4℃上昇上位 5%の場合，3.4%減少し，電力消費全体の割合では，平年 3.3%の減少，4℃上昇後 0.5%の減少である。ガス消費は，平年ピークの時 0.3%増加，4℃上昇上位 5%では 16.6%減少する結果となった。1日1次エネルギーは，平年ピークは 1.0%，4℃上昇上位では 2.2%減少すると予測された。

4℃上昇上位 5%の場合，冷水需要の増加で蓄熱槽とターボ冷凍機だけでは冷水供給能力が足りないのので，電力ピークカットにより，ガス消費量の減少効果が出ると判断される。

(2) 環境負荷

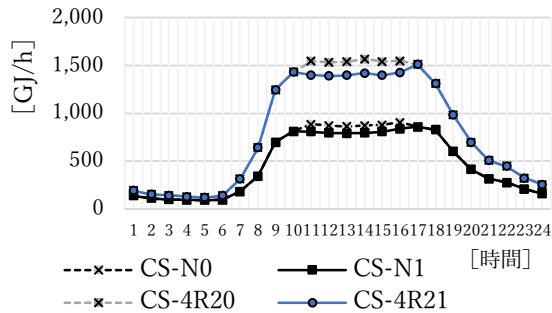


図 5.65 時刻別排熱量

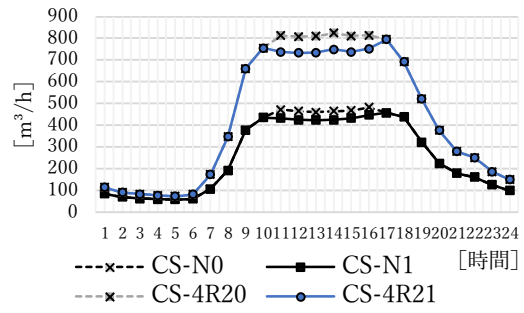


図 5.66 時刻別補給水量

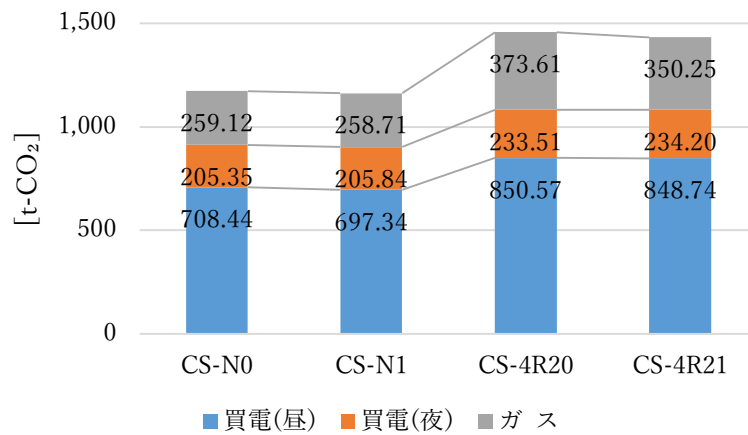


図 5.67 CO₂排出量(10時~16時)

表 5.31 蓄熱槽の有無，大きさによる排熱と補給水の比較(10時~16時)

	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R21
排熱(MJ)	5,277,941.0	4,837,775.4	9,286,241.6	8,443,354.4
増減率※ (%)		-9.1%	192.0%	-17.5%
補給水(m ³)	2,815.0	2,588.3	4,877.3	4,443.3
増減率※ (%)		-8.8%	188.4%	-16.7%
1日CO ₂ 排出量(t-CO ₂)	1,172.91	1,161.89	1,457.69	1,433.19
増減率※ (%)		-0.9%	125.5%	-2.2%
	100.9%	100.0%		123.3%

※増減率：蓄熱槽の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

平年ピークの排熱と補給水は 9.1%、8.8%減少し、4°C上昇上位 5%の排熱と補給水は 17.5%、16.7%減少する。1日CO₂排出量は、平年ピークと4°C上昇上位5%が各々、0.9%、2.2%減少すると予測された。気温が高い時間帯に、冷凍機の稼働率が下がるので、排熱と補給水が減少すると考えられる。

5.3.4 蓄熱槽の効果のまとめ

(1) 夏季の需要

表 5.32 蓄熱槽の効果のシミュレーションの結果(年間)

表記	平年気温		4°C上昇後		
	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R2a	CS-4R2b
冷水負荷	100.0%	100.0%	162.3%	162.3%	162.3%
蒸気負荷	101.5%	100.0%	78.0%	75.6%	76.3%
ガス消費	101.5%	100.0%	78.0%	75.6%	76.3%
熱源設備の 電力消費	102.8%	100.0%	164.5%	160.4%	158.1%
電力消費量全体	100.3%	100.0%	109.0%	108.5%	108.2%
1次エネルギー消費	100.5%	100.0%	104.0%	103.2%	103.0%
COP	0.98	0.99	1.01	1.02	1.02
CO ₂ 排出量	100.5%	100.0%	104.2%	103.4%	103.3%
補給水	104.0%	100.0%	136.4%	130.7%	128.8%
排熱	106.2%	100.0%	172.2%	163.3%	160.4%

表 5.33 CGS と 4°C上昇の影響(夏季)

表記	蓄熱槽の効果			4°C上昇後の影響		
	平年気温 CS-N0 ~CS-N1	格差	4°C上昇後 CS-4R20 ~CS-4R2b	蓄熱槽無し CS-N0 ~CS-4R20	格差	蓄熱槽有り CGS-N1 ~CGS-4R2b
冷水負荷	100.0%	0.0%	100.0%	161.8%	0.0%	161.8%
蒸気発生	95.4%	-0.2%	95.2%	102.9%	-0.2%	102.7%
ガス消費	95.4%	-0.2%	95.2%	102.9%	-0.2%	102.8%
熱源設備の 電力消費	96.4%	-1.4%	95.0%	162.9%	-2.4%	160.5%
電力消費量全体	99.4%	-0.6%	98.8%	112.9%	-0.7%	112.2%
1次エネルギー 消費	99.0%	-0.6%	98.4%	111.9%	-0.6%	111.3%
COP	0.01	+0.01	0.02	0.03	0.0	0.03
CO ₂ 排出量	99.0%	-0.6%	98.4%	111.9%	-0.6%	111.3%
補給水	94.0%	-1.6%	92.5%	151.1%	-2.5%	148.6%
排熱	93.0%	-1.3%	91.8%	161.5%	-2.2%	159.3%

年間単位で蓄熱槽の影響を検討すると、電力消費のみならず、ガス消費にも肯定的な効果で、1次エネルギー消費量が節約できるが、年間値としての減少量は大きくない。蓄熱に利用されるヒートポンプの効率が非常に高いので、蓄熱槽を使うほど、エネルギー効率とCO₂排出量に有利になる。排熱量と補給水量も減少して、環境負荷の軽減効果も期待できる。

蓄熱槽の効果は、夏季の延長と冷水需要の増加で、4°C上昇後の効果がより大きくなると予測された。

(2) ピーク需要

表 5.34 蓄熱槽の効果のシミュレーションの結果 (ピーク需要)

表記	半年冷水最大需要日		4°C上昇上位 5%	
	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R2
冷水負荷	100.0%	100.0%	189.5%	189.5%
蒸気負荷	100.3%	100.0%	135.5%	118.8%
ガス消費	100.0%	99.7%	134.9%	118.3%
熱源設備の 電力消費	119.3%	100.0%	266.5%	263.4%
電力消費全体	103.3%	100.0%	128.7%	128.2%
1次エネルギー消費 (1日)	101.0%	100.0%	125.8%	123.6%
CO ₂ 排出量(1日)	100.9%	100.0%	125.5%	123.3%
補給水	108.8%	100.0%	188.4%	171.7%
排熱	109.1%	100.0%	192.0%	174.5%

表 5.35 蓄熱槽と4°C上昇の影響(ピーク需要)

表記	蓄熱槽の効果			4°C上昇の影響		
	半年冷水 最大需要日	格差	4°C上昇 上位 5%	蓄熱槽無し	格差	蓄熱槽有り
	CS-N0 ~CS-N1		CS-4R20 ~CS-4R21	CS-N0 ~CS-4R20		CS-N1 ~CS-4R21
冷水負荷	100.0%	0.0%	100.0%	189.5%	0.0%	189.5%
蒸気負荷	99.7%	-12.0%	87.7%	135.1%	-16.3%	118.8%
ガス消費	99.7%	-12.0%	87.7%	134.9%	-16.3%	118.6%
熱源設備の 電力消費	83.8%	+15.0%	98.8%	223.3%	+40.0%	263.4%
電力消費全体	96.8%	+2.8%	99.6%	124.5%	+3.6%	128.2%
1次エネルギー 消費 (1日)	99.1%	-0.8%	98.2%	124.6%	-1.0%	123.6%
CO ₂ 排出量 (1日)	99.1%	-0.7%	98.3%	124.3%	-0.9%	123.3%
補給水	91.9%	-0.8%	91.1%	173.3%	-1.6%	171.7%
排熱	91.7%	-0.7%	90.9%	175.9%	-1.4%	174.5%

平年の冷水最大需要日のピーク時間帯、熱源設備の電力ピークカットの効果が 19.3%となるが、4°C上昇上位 5%の場合、電力のピークカットよりガス消費の節約の効果が出る。これは、冷水需要が増えて、蓄熱槽とターボ冷凍機の冷水供給能力を超えるからである。

蓄熱槽は気温が高い時間帯に冷凍機稼働率が下がり、補給水と排熱の減少効果もあるが、冷水需要量が多く、気温も高い4°C上昇上位 5%の場合がより大きい効果をもたらすと予測された。

5.4 CGS の効果検討

5.4.1 CGS の効果検討の概要

(1) CGS の効果検討のケース設定

CGS の効果を検討するシミュレーションでは、平年気温と 4°C 上昇後を分けて CGS の有無のケースを設定した。4°C 上昇後の場合、機種別稼働率を同じくするために、冷房設備と蓄熱槽の容量を 1.4 倍とし、夏季の運転計画を 5~10 月とするケースを追加した。CGS の容量は、平年の MM21 地区の最大電力需要量を 100% 賄えるとし、08 時~22 時までの昼間運転を想定した。

表 5.36 CGS の効果検討のケース設定

気温データ	平年気温		4°C 上昇後		
	CGS-N0	CGS-N1	CGS-4R20	CGS-4R2a	CGS-4R2b
ピーク需要の表記	CS-N0	CS-N1	CS-4R20	CS-4R21(4°C 上昇上位 5%)	
運転計画	CGS 導入用	CGS 導入用	CGS 導入用	CGS 導入用	CGS 導入用
冷暖房需要データ	平年	平年	4 度上昇後 ②	4 度上昇後 ②	4 度上昇後 ②
夏季運転計画	6 月~9 月	6 月~9 月	6 月~9 月	6 月~9 月	5 月~10 月
設備容量	1 倍	1.4 倍	1.4 倍	1.4 倍	1.4 倍
蓄熱槽	1 倍	1.4 倍	1.4 倍	1.4 倍	1.4 倍
CGS 容量 (ピーク対比)	0%	100%	0%	100%	100%

影響		システムへの影響予測
CGS	エネルギー面的利用による効率向上	エネルギー面的利用で 1 次エネルギー消費量と CO ₂ 排出量が減少, COP が向上。
4°C 上昇	暖房需要の減少 冷房需要の増加	熱電比の変化による効率変化

図 5.68 CGS の効果の予測

CGSは、熱と電気を同時に利用できるため、エネルギー効率が上がり、1次エネルギー消費量とCO₂排出量が減少し、COPが向上すると予測されるが、4°C上昇後のMM21地区の熱電比によって、CGS稼働に与える影響が変わるので、シミュレーションと共に、理論的に熱電比の変化を検討した。

(2) 設備の変更

CGSからの排熱を利用するために、CGSの排熱量に合わせて、温水熱回収冷水機を新設し、CGSの排蒸気は、吸収式冷凍機に使用されるように既存MM21地区の冷暖房システムを変更した。表5.44と表5.45は、追加設備の仕様と効率に関する情報である。

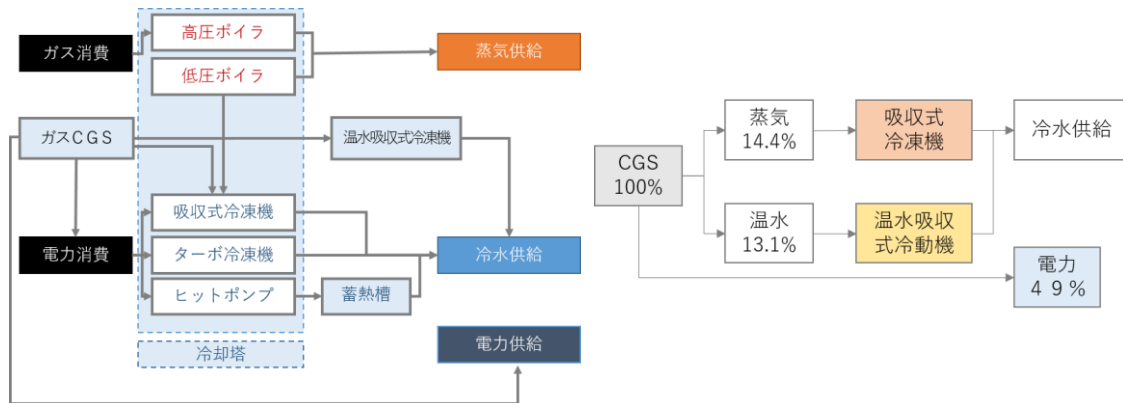


図 5.69 CGSが導入されたシステムの構成とCGSの熱源効率

表 5.37 追加設備の仕様

ENEPRO21 上	表記	合計	容量	台数	メーカー	型番
ガスエンジンコージェネ(2)	CGS2	117,000 kW	7,800	15	川崎重工業株式会社	KG-18-V-高効率型
温水吸収式冷凍機(1)	WA	29,886 kW	1,758	17	川重冷熱工業株式会社	ΣTSH-500

表 5.38 CGSと温水吸収冷凍機の効率

CGSの効率(燃料のLHVに基づく熱効率)						
ガスエンジン コージェネ(2)	CGS2	負荷率(%)	50	75	100	
		発電効率(%)	44.7	47.7	49	
		蒸気熱回収率(%)	20.7	18.8	14.4	
		温水熱回収率(%)	9.4	11.6	13.1	
温水吸収式冷凍機の効率						
温水吸収冷水機(1)	WA	負荷率(%)	20	40	70	100
		COP	0.8	0.8	0.8	0.8

(3) 運転計画の変更

基本システムのシミュレーションで設定した運転計画を基本としたが、CGSの排熱を有効活用できるように、8時~22時の運転計画を再編成した。CGSの稼働時間帯に発生した温水と蒸気が、温水吸収冷動機(1)と吸収冷凍機(4)と(3)で使用されるようにした。

表 5.39 蓄熱槽の効果検討のための冷房運転計画

月	時間帯	優先順位										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1~5月, 10~12月	08~22	WA	AR4	AR3	TR5	TR1	TR2	TR4	TR3	AR1	AR5	AR2
夏季 平年：6~9月 4℃上昇後：5~10月	08~22	WA	AR4	AR3	TR5	TR1	TR2	AR1	AR5	AR2	TR4	TR3

5.4.2 熱電比を考慮した省エネルギー率の検討

(1) 熱電比の検討の流れ

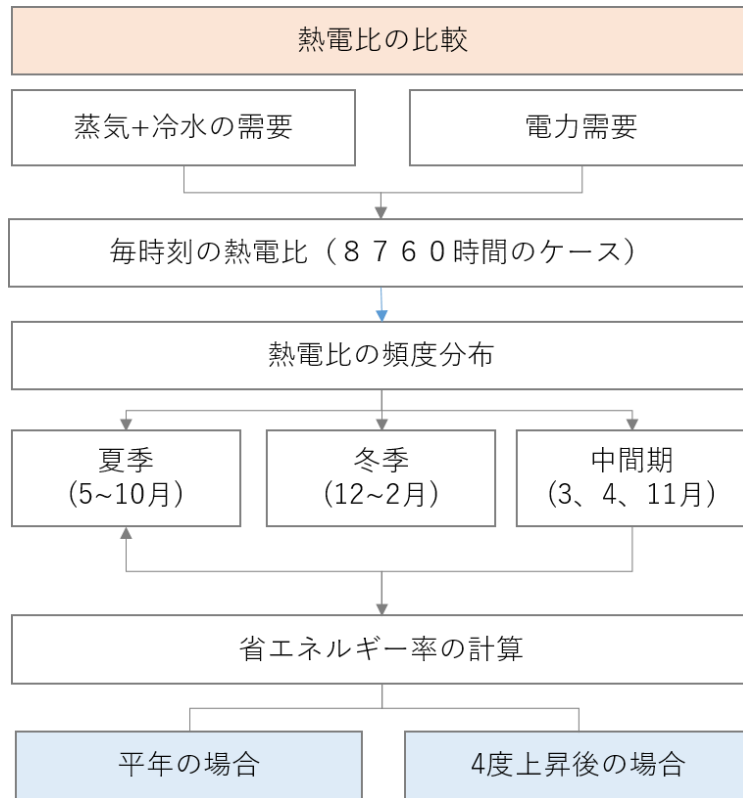


図 5.70 熱電比による省エネルギー率比較の流れ

平均気温 4℃上昇の影響が CGS 導入に与える影響を検討するために、熱電比による省エネルギー率を理論的に計算して、平年と 4℃上昇後を比較した。

頻度分布は、年間毎時刻単位の熱電比に熱源負荷の大きさを重み付けて、0.1 間隔で区分して計算した。頻度分布による CGS の省エネルギー率は、ENEPRO21 の CGS 効率を参考にして計算した。

(2) 熱電比を考慮した省エネルギー率の算定

① 熱電比を考慮した省エネルギー率の計算条件

熱電比を考慮して省エネルギー率を計算するために、次のように計算条件を想定した。

- ・シミュレーションに利用している CGS の 100%負荷効率を基準として、熱電比による省エネルギー率を計算する。
- ・系統電力の単位熱量の換算係数は、 $[9,600(\text{MJ}/\text{kWh}) \div 3,600(\text{MJ}/\text{kWh}) = 2.67]$ とする。
- ・冷暖房のエネルギー効率は、100%と想定する。

表 5.40 熱電比を考慮した省エネルギー率の計算条件

CGS (100%負荷)の発電効率と熱回収率		
熱	電力	49%
	蒸気(22.8%)	27.5%
	温水(18.8%)	
系統電力の単位熱量 (kW→MJ)		$9,600(\text{MJ}/\text{kW}) \div 3,600(\text{kW}/\text{MJ}) = 2.67(\text{MJ}/\text{kW})$
冷暖房設備の効率		100%を想定

設定された熱電比を考慮した省エネルギー率の計算条件で、熱電比に対する省エネルギー率をいくつか計算して、図 5.71 のような熱電比による省エネルギー率のグラフを描いた。このグラフから近似曲線計算式で、0.1 単位ごとの省エネルギー率を計算して、最終的に図 5.72 のようなグラフを作成した。

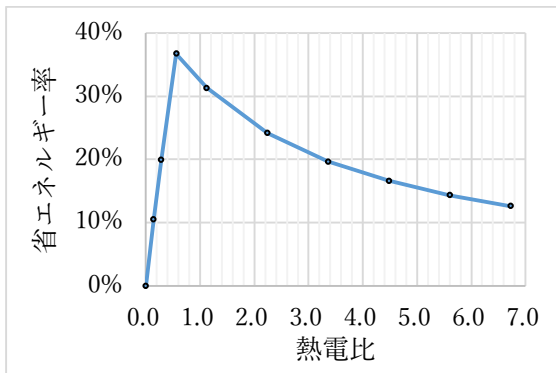


図 5.71 計算された熱電比と省エネルギー率のグラフ

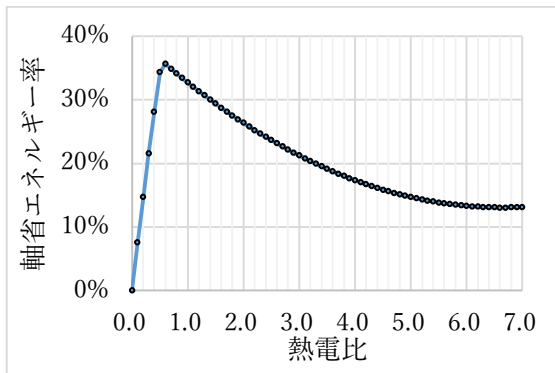


図 5.72 近似曲線式による熱電比と省エネルギー率のグラフ

表 5.41 は、計算された省エネルギー率とこれらの計算値からの近似曲線式で計算した値を比較したものである。

表 5.41 省エネルギー率の計算値と近似曲線式の値

熱電比	省エネルギー率		近似曲線式	R ²
	比例式の値	近似曲線式の値		
0.035	2.75%	2.74%	0.0 ≤ X ≤ 0.5 y = -0.1555X ² + 0.762X + 0.0009	1.00
0.07	5.42%	5.36%		
0.14	10.57%	10.48%		
0.28	20.14%	20.25%		
0.56	36.73%	—	—	—
1.12	31.29%	31.87%	0.5 < X → ②式 y = 0.0062X ² - 0.0822X + 0.403	0.99
2.24	24.15%	25.00%		
3.36	19.66%	19.68%		
4.48	16.58%	15.92%		
5.6	14.34%	13.71%		
6.72	12.62%	13.06%		

② 熱電比の負荷分析

平年と4℃上昇後の冷暖房と電力需要データを用いて、熱電比の頻度分布を作成し、熱電比と省エネルギー率のグラフ上に描き、比較対照した。

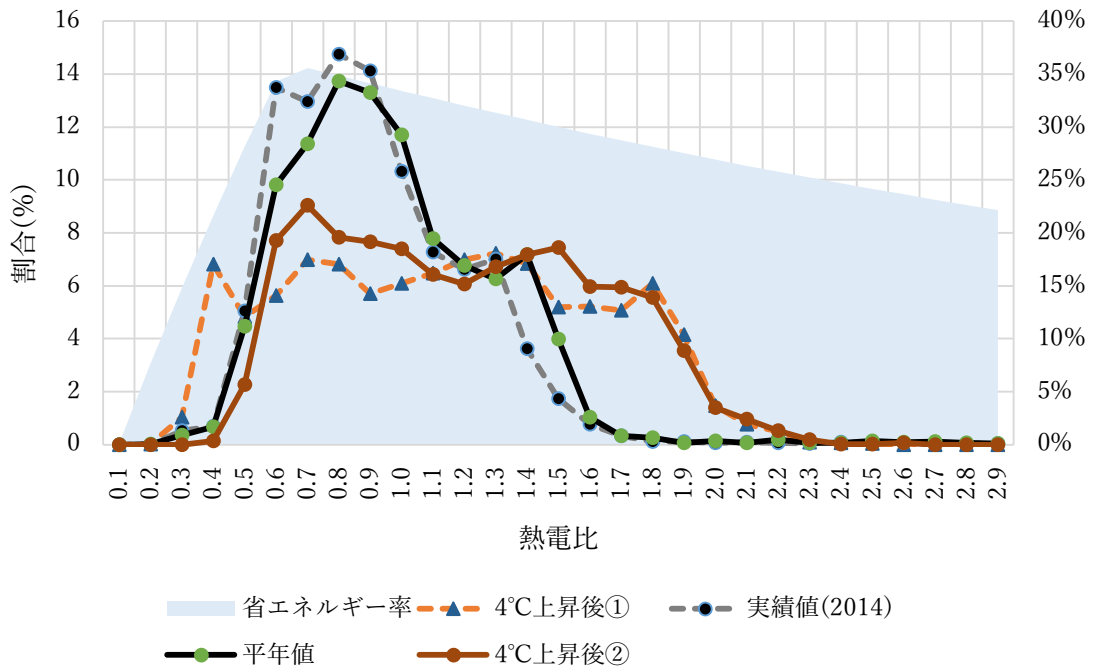


図 5.73 熱電比の頻度分布と省エネルギー率(年間)

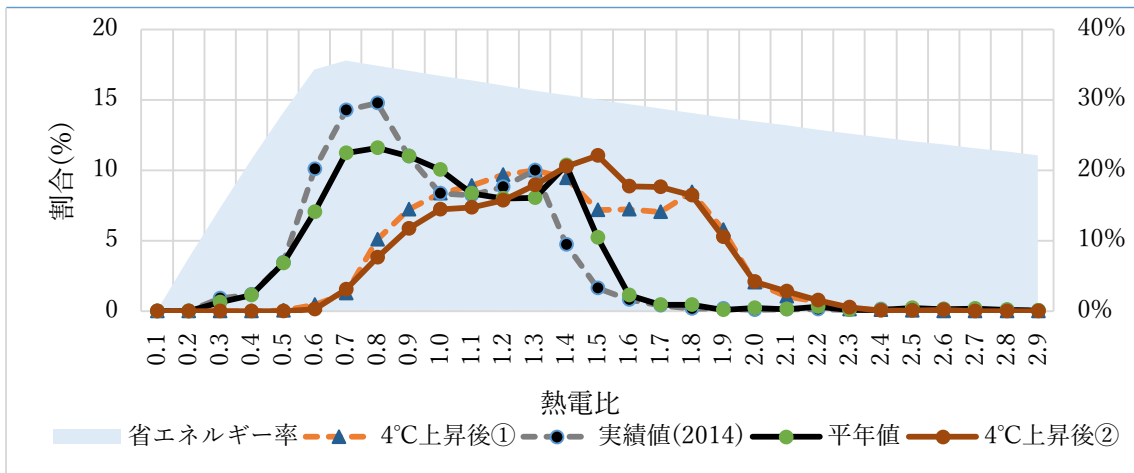


図 5.74 夏季(5月~10月)の熱電比の頻度分布と省エネルギー率

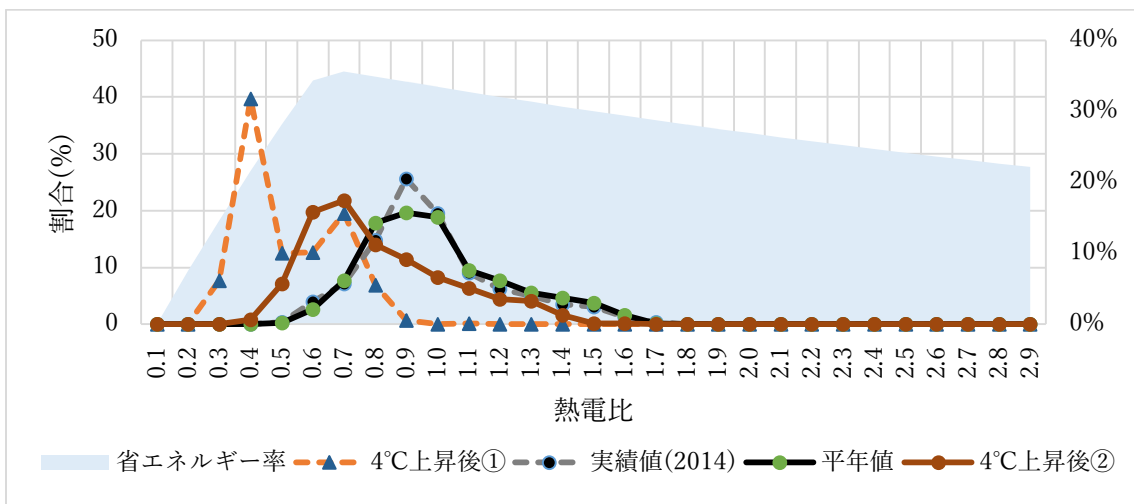


図 5.75 冬季(12月~2月)の熱電比の頻度分布と省エネルギー率

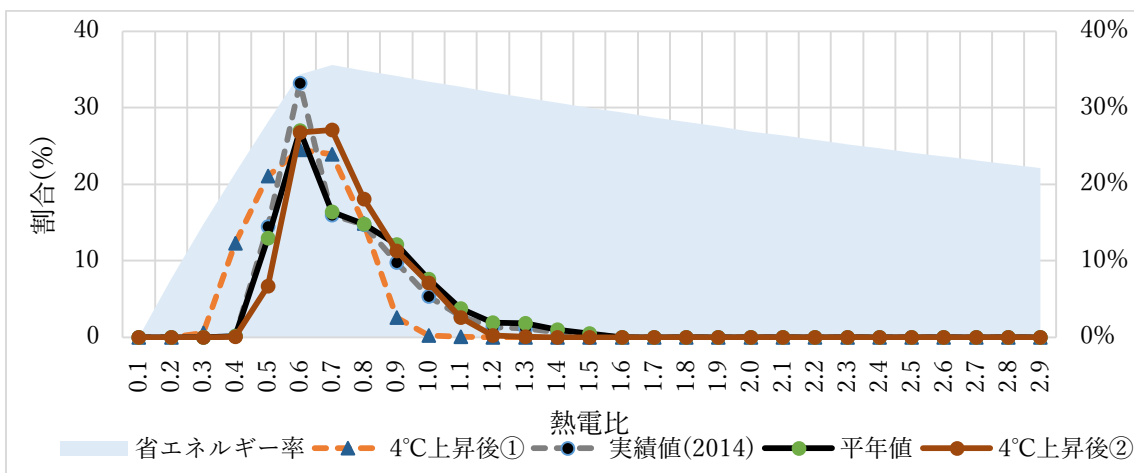


図 5.76 中間期(3月~4月, 11月)の熱電比の頻度分布と省エネルギー率

夏季の場合、平年の頻度分布が熱電比 0.56 により近いので、4℃上昇後より省エネルギーに有利になると判断される。冬季の場合、4℃上昇後②が平年より熱電比 0.56 に近い負荷分布で、有利になると判断される。4℃上昇後①は効率の低い熱電比の方に頻度が高く、不利になると判断される。4℃上昇後①は、冬季の頻度分布の様子が4℃上昇後②より崩れているので、4℃上昇後②よりデータの信頼性が低いと判断される。そこで、5章の「予測分析2」において、4℃上昇後の冷暖房需要データとしては、4℃上昇後②のみを活用した。中間期の場合、平年、4℃上昇後とも、省エネルギー率の高い熱電比の区間に分布の割合が大きく、平年と4℃上昇後の省エネルギー率の差は単純に見た目で判断できない。

年間熱電比の頻度分布のグラフ(図 5.77)を見ると、4℃上昇後より平年の場合が、CGSの省エネルギー率に有利であると判断できた。

(3) 年間省エネルギー率の比較

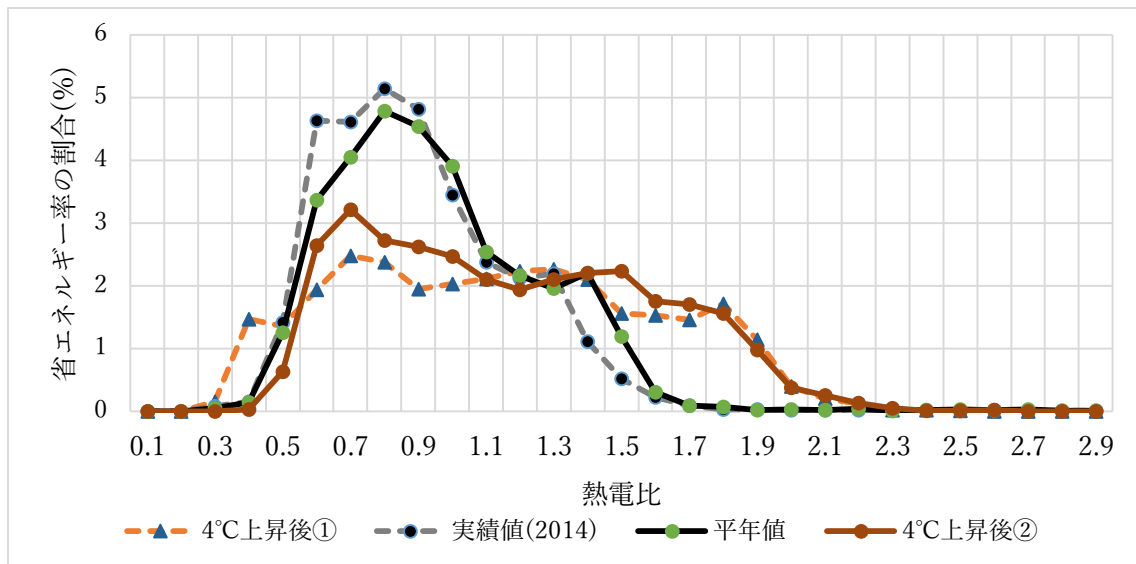


図 5.77 年間熱電比別省エネルギー率の分布

表 5.42 年間省エネルギー率

	実際値(2014年)	平年	4℃上昇後①	4℃上昇後②
省エネルギー率	33.12%	32.87%	30.61%	31.74%

年間省エネルギー率を計算すると、平年は 32.87%、4度上昇後①は 30.61%、4℃上昇後②は 31.74%である。つまり、理論的には、CGS 導入は、4℃上昇後より平年の方が省エネルギー率の 1.13%~2.26%高いことを意味している。しかし、想定した条件と実際値の間の誤差、冷暖房機器の実際構成と部分負荷の効率、運転計画などによって、変わる可能性がある。

5.4.3 年間値の比較

(1) 冷水負荷と蒸気負荷

① 冷水負荷

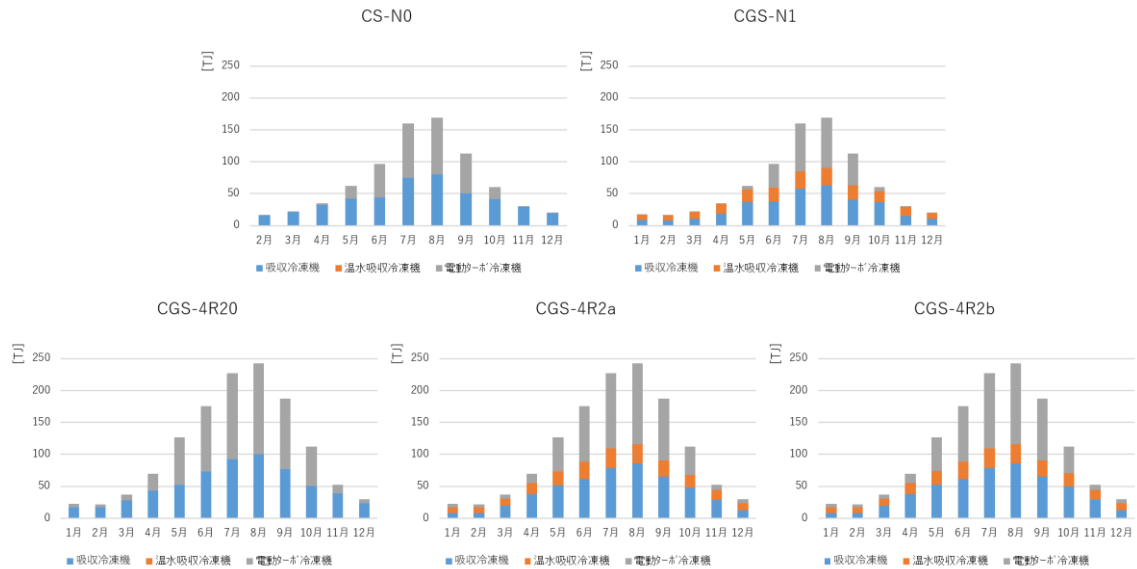


図 5.78 月別機種別冷水生産量

表 5.43 CGS(100%)の冷水負荷の比較

	CS-N0 (1,000TJ)		CS-N1 (1,000TJ)		CS-4R20 (1,000TJ)		CS-4R2a (1,000TJ)		CS-4R2b (1,000TJ)	
吸収冷凍機	469.3	58.3%	345.6	42.9%	612.8	46.9%	506.7	38.8%	509.8	39.0%
温水吸収 冷水機	0.0	0.0%	201.6	25.0%	0.0	0.0%	226.6	17.3%	226.5	17.3%
電動ターボ 冷凍機	335.6	41.7%	257.7	32.0%	693.5	53.1%	573.1	43.9%	570.0	43.6%
合計 %	804.9	100.0%	804.9	100.0%	1,306.3	162.3%	1,306.3	162.3%	1,306.3	162.3%

平年は CGS 運転で、温水回収冷凍機が冷水を生産するので、吸収式冷凍機の冷水が 4%、電動ターボ冷凍機の冷水が 9.7%減少し、4°C上昇後には吸収式冷凍機の冷水が 7.9%~8.1%、電動ターボ冷凍機の冷水が 9.2%~9.5%減少すると予測された。

② 蒸気消費量

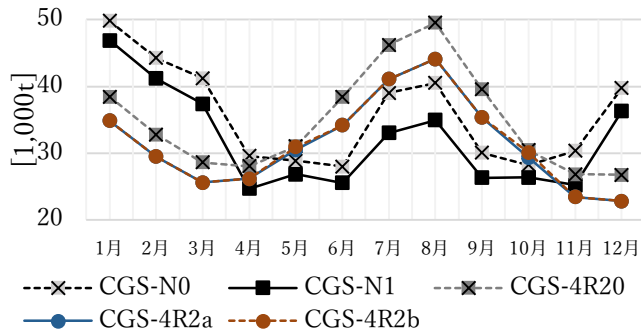


図 5.79 月別蒸気消費量

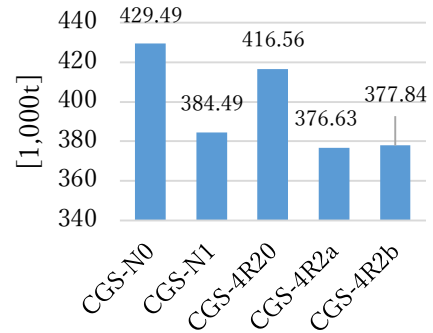


図 5.80 年間蒸気消費量

表 5.44 CGS(100%)の蒸気消費の比較

(単位：1,000t)	CGS-N0	CGS-N1	CGS-4R20	CGS-4R2a	CGS-4R2b
低圧蒸気負荷消費	254.28	254.28	180.15	180.15	180.15
吸収冷凍機消費	175.21	130.33	236.38	196.58	197.78
合計	429.49	384.49	416.56	376.63	377.84
増減率*		-11.5%		-9.3%	-11.0%
(%)	100.0%	89.5%	97.0%	87.7%	88.0%

※増減率：CGS の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

蒸気消費は、CGS の排熱が冬季に暖房で使われ、夏季に吸収式冷凍機に使われるので、吸収式冷凍機の蒸気消費が減少すると予測された。平年は11.5%、4°C上昇後は9.3%~11.0%減少するとの結果となった。

(2) エネルギー消費

① 電力消費量とガス消費量

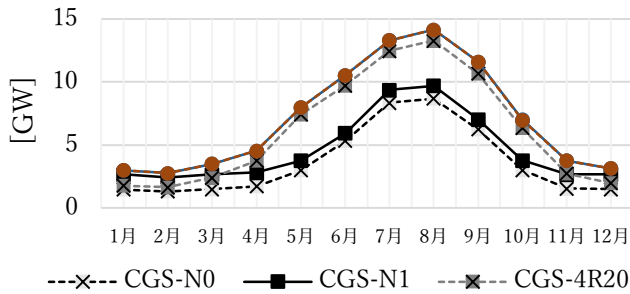


図 5.81 熱源設備の月別電力消費量

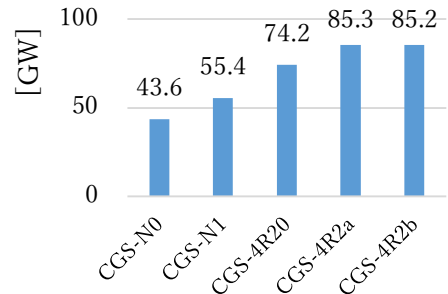


図 5.82 熱源設備の年間電力消費

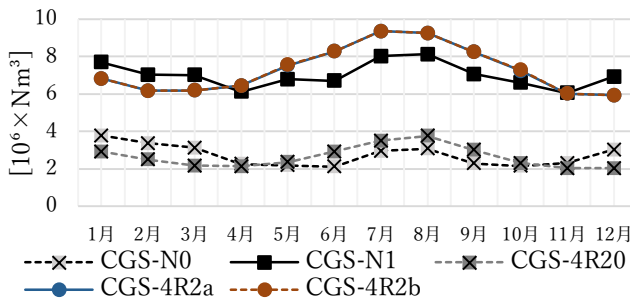


図 5.83 月別ガス消費量

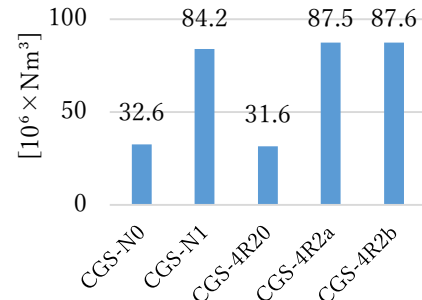


図 5.84 年間ガス消費量

表 5.45 CGS(100%)の電力, ガス消費の比較

	CGS-N0	CGS-N1	CGS-4R20	CGS-4R2a	CGS-4R2b
熱源設備の電力消費(MW)	43,625.2	55,367.2	74,185.9	85,261.5	85,212.9
増減率※ (%)	100.0%	+26.9%	170.1%	+25.2%	+25.3%
電力消費全体(MW)	465,512.2	477,254.2	501,491.0	512,566.6	512,518.0
増減率※ (%)	100.0%	+2.5%	107.7%	+2.4%	+2.4%
ガス消費(1,000Nm ³)	32,572.2	84,161.6	31,586.3	87,492.9	87,580.8
増減率※ (%)	100.0%	+158.4%	97.0%	+171.6%	+171.9%

※増減率：CGS の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

熱源設備の電力は、平年は 26.9%、4℃上昇後は 25.2%~25.3%増加するとの結果で、電力消費全体としては、平年は 2.5%、4℃上昇後は 2.4%増加した。

ガス消費は、CGS による利用で平年は 158.4%、4℃上昇後は 171.6%~171.9%増加すると予測された。

② 1次エネルギー消費量と COP

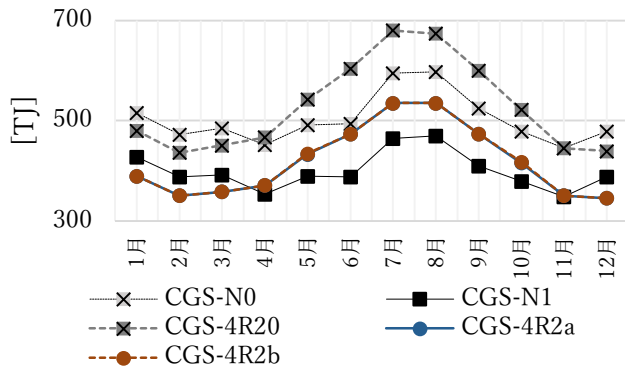


図 5.85 月別 1次エネルギー消費量

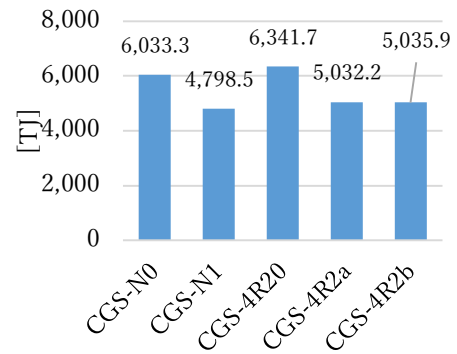


図 5.86 年間ガス消費量

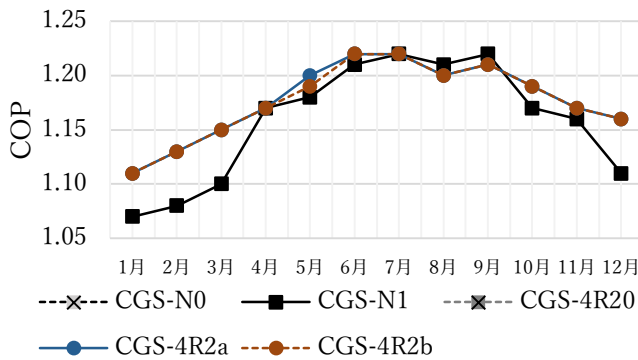


図 5.87 月別 COP

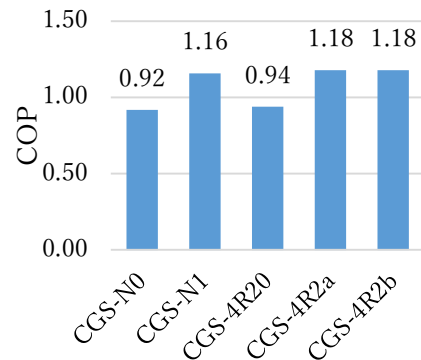


図 5.88 年間 COP

表 5.46 CGS(100%)の 1次エネルギー消費と年間 COP の比較

	CGS-N0	CGS-N1	CGS-4R20	CGS-4R2a	CGS-4R2b
1次エネルギー消費(GJ)	6,033,298.6	4,798,516.4	6,341,670.5	5,032,189.3	5,035,860.9
増減率※ (%)	100.0%	-20.5%	105.1%	-21.7%	-21.6%
年間 COP	0.92	1.16	0.94	1.18	1.18

※増減率：CGS の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

CGS の省エネルギー効果で 1 次エネルギー消費が減少し、年間 COP が向上する。1 次エネルギー消費は、平年は 20.5%，4℃上昇後は 21.6%~21.7%減少すると予測された。年間 COP は、平年は 0.92 から 1.16 まで、4℃上昇後は 0.94 から 1.18 まで上がる結果となった。

(3) 環境負荷

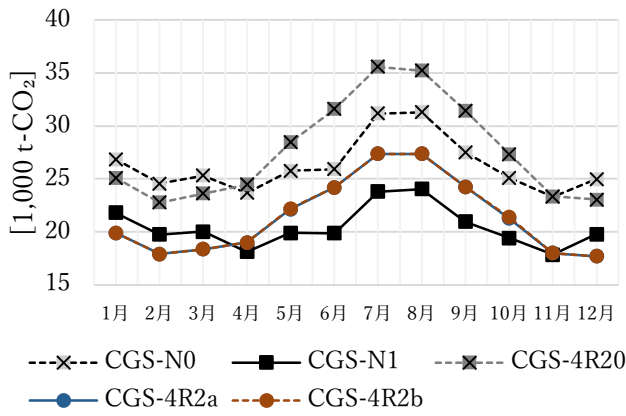


図 5.89 月別 CO₂排出量

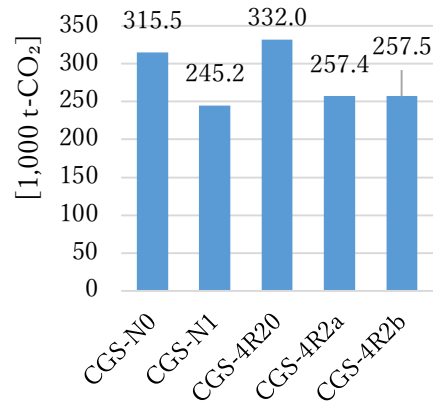


図 5.90 年間 CO₂排出量

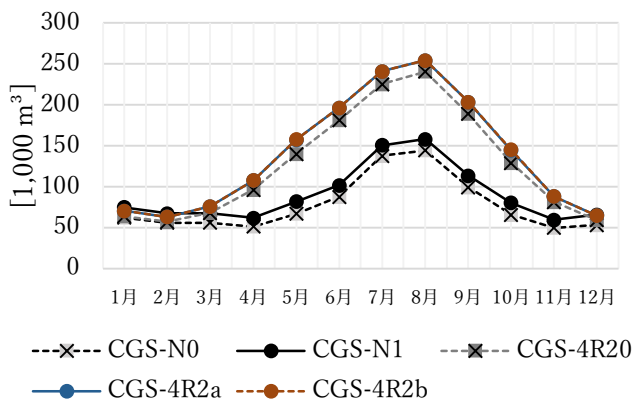


図 5.91 月別補給水量

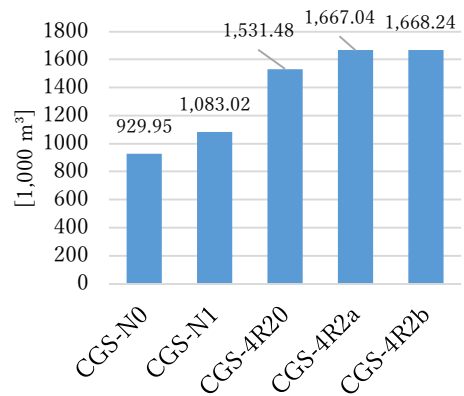


図 5.92 年間補給水量

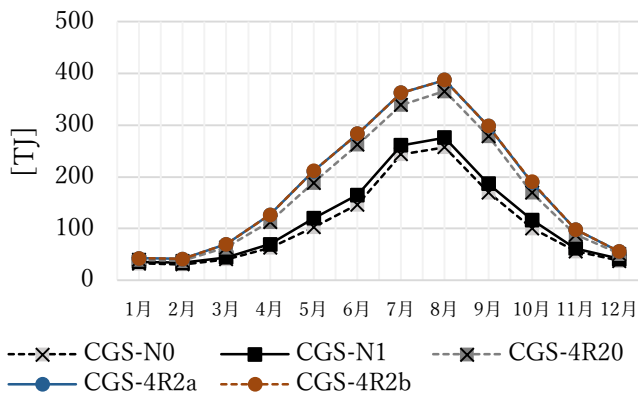


図 5.93 月別排熱量

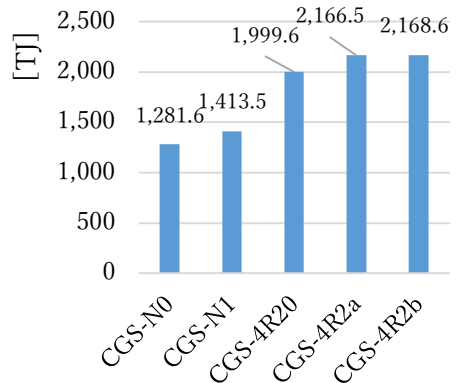


図 5.94 年間排熱量

表 5.47 CGS(100%)の年間環境負荷の比較

	CGS-N0	CGS-N1	CGS-4R20	CGS-4R2a	CGS-4R2b
CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	315,493.8	245,212.3	326,781.4	257,363.8	257,547.0
増減率※ (%)	100.0%	-22.3%	105.2%	-23.6%	-23.6%
年間補給水量 (1,000 m ³)	929.95	1,083.02	1,531.48	1,667.04	1,668.24
増減率※ (%)	100.0%	+16.5%	164.7%	+14.6%	+14.7%
排熱量 (GJ)	1,281,583.7	1,413,468.2	1,999,649.8	2,166,508.2	2,168,603.9
増減率※ (%)	100.0%	+10.3%	156.0%	+13.0%	+13.2%

※増減率：CGS の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

CGS の運転はエネルギー消費量を削減して、CO₂排出量も減らすが、CGS と共に、CGS の排熱を利用する冷房機器稼働し、補給水と排熱量は増加すると予測された。

CO₂排出量の減少率は、平年は 22.3%、4°C上昇後は 23.6%であった。補給水量と排熱量は平年が各々 16.5%、10.3%増加し、4°C上昇後は補給水が 14.6%～14.7%、排熱が 13.0%～13.2%増加する結果となった。

5.4.4 ピーク需の比較

(1) エネルギー消費

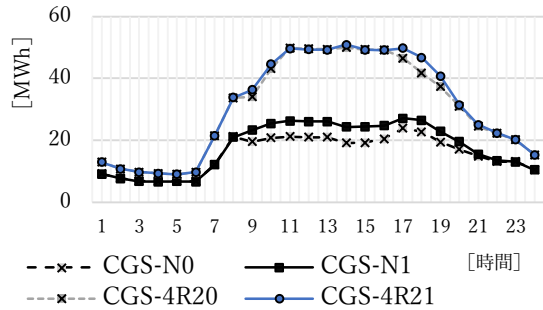


図 5.95 時刻別熱源設備の電力消費量

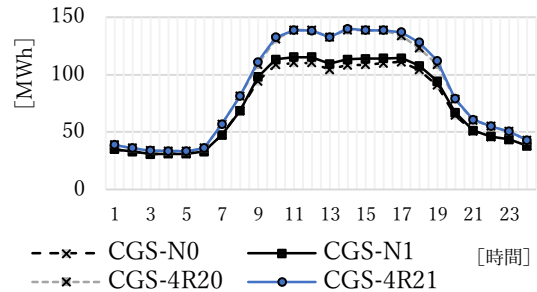


図 5.96 時刻別全体電力消費量

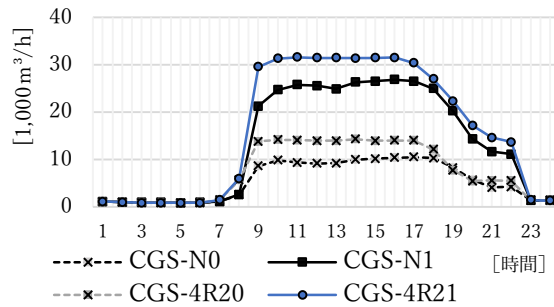


図 5.97 時刻別ガス消費量

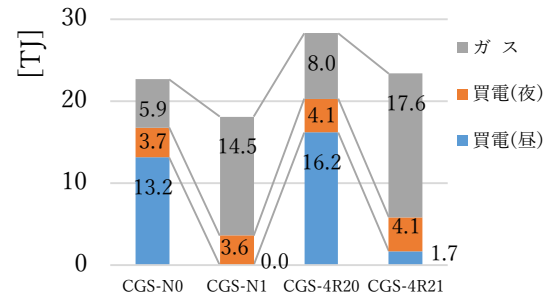


図 5.98 1日1次エネルギー消費量

表 5.48 CGS(100%)のピーク需要時間(10時~16時)のエネルギー消費

	CGS-N0	CGS-N1	CGS-4R20	CGS-4R21
熱源設備の電力消費(KW)	122,206.1	151,930.5	297,412.2	297,512.8
増減率* (%)	100.0%	+24.3%	243.4%	+0.1%
電力消費全体(KW)	651,189.5	680,913.9	826,395.6	826,496.2
増減率* (%)	100.0%	+4.6%	126.9%	126.9%
ガス消費(N m³)	58,036.8	155,943.3	84,111.8	188,848.1
増減率* (%)	100.0%	+168.7%	144.9%	+180.5%
1日1次エネルギー消費(GJ)	22,714.3	18,152.0	28,308.2	23,420.0
増減率* (%)	100.0%	-20.1%	124.6%	-21.5%
		79.9%		103.1%

※増減率：CGS の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

熱源設備の電力消費は平年ピークと4°C上昇上位5%の場合、24.3%、0.1%増加し、電力消費全体の割合では平年は4.6%増加し、4°C上昇上位5%はほとんど増加しないと結果であった。ガス消費量は、平年のピーク時は168.7%増加、4°C上昇上位5%のピーク時は180.5%増加する結果となり、1日1次エネルギー消費量は、平年のピークで20.1%、4°C上昇上位5%で21.5%減少すると予測された。

(2) 環境負荷

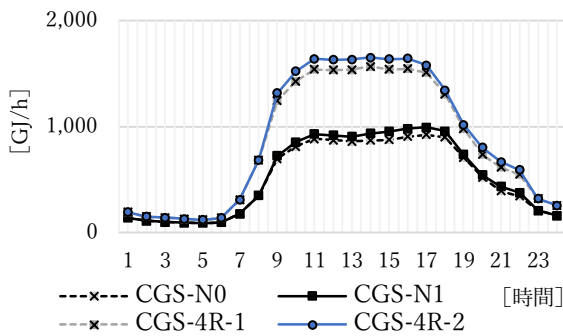


図 5.99 時刻別排熱量

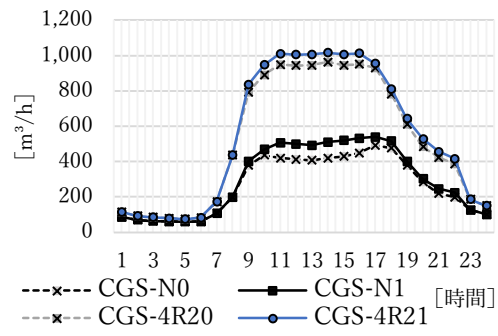


図 5.100 時刻別補給水量

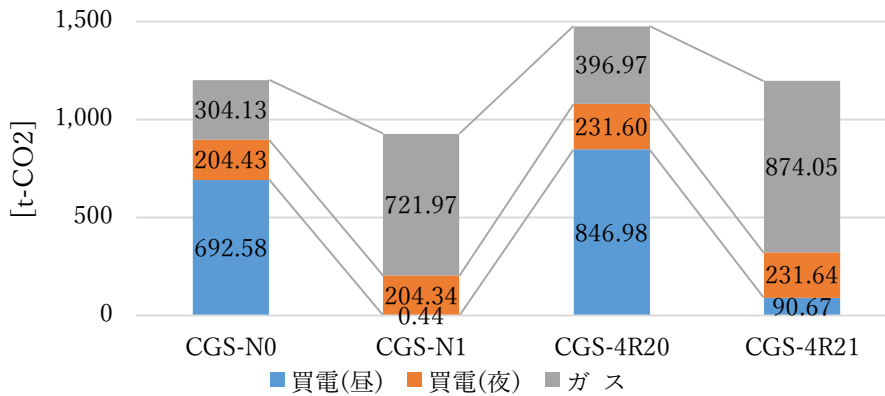


図 5.101 CO₂排出量(1日)

表 5.49 CGS(100%)の排熱量と補給水量(10時~16時)

	CGS-N0	CGS-N1	CGS-4R20	CGS-4R21
排熱(MJ)	5,272,887.6	5,627,589.1	9,262,872.5	9,834,634.7
増減率 [※] (%)	100.0%	106.7%	175.7%	186.5%
補給水(m ³)	2,535.7	3,059.9	5,695.8	6,055.0
増減率 [※] (%)	100.0%	120.7%	224.6%	238.8%
1日 CO ₂ 排出量(t-CO ₂)	1,201.14	926.75	1,475.55	1,196.36
増減率 [※] (%)	100.0%	77.2%	122.8%	99.6%

※増減率：CGS の効果を確認するために、蓄熱槽の有無による増加率を表す。

平年のピーク日、10時~16時の排熱量と補給水量は6.7%、20.7%増加し、4℃上昇上位5%の排熱量と補給水量は10.8%、14.2%増加する。1日CO₂排出量は、平年のピーク日と4℃上昇上位5%が各々、22.8%、23.2%減少すると予測された。気温が高い時間帯に、CGSとCGSに関わっている冷房機器が稼働して、排熱量と補給水量が増加すると考えられる。

5.4.5 冷暖房の熱源システムへの影響検討のまとめ

(1) 年間値

表 5.50 CGS(100%)のシミュレーションの結果(年間)

表記	半年		4°C上昇後		
	CGS-N0	CGS-N1	OG-4R20	CGS-4R2a	CGS-4R2a
冷水負荷	100.0%	100.0%	162.3%	162.3%	162.3%
蒸気負荷	100.0%	89.5%	97.0%	87.7%	88.0%
ガス消費	100.0%	258.4%	97.0%	268.6%	268.9%
熱源設備の 電力消費	100.0%	126.9%	170.1%	195.4%	195.3%
電力消費全体	100.0%	102.5%	107.7%	110.1%	110.1%
1次エネルギー消費 量	100.0%	79.5%	105.1%	83.4%	83.5%
COP	0.92	1.16	0.94	1.18	1.18
CO ₂ 排出量	100.0%	77.7%	105.2%	81.6%	81.6%
補給水	100.0%	116.5%	164.7%	179.3%	179.4%
排熱	100.0%	110.3%	156.0%	169.0%	169.2%

表 5.51 CGS と 4°C上昇後の影響(年間)

表記	CGS の効果			4°C上昇後の影響		
	半年	格差	4°C上昇後	CGS 無し	格差	CGS 有り
	CGS-N0 ~CGS-N1		CGS-4R20 ~CGS-4R2b	CGS-N0 ~CGS-4R20		CGS-N1 ~CGS-4R2b
冷水負荷	100.0%	0.0%	100.0%	162.3%	0.0%	162.3%
蒸気負荷	89.5%	+1.2%	90.7%	97.0%	+1.3%	98.3%
ガス消費	258.4%	+18.9%	277.3%	97.0%	+7.1%	104.1%
熱源設備の 電力消費	126.9%	-12.1%	114.9%	170.1%	-16.1%	153.9%
電力消費全体	102.5%	-0.3%	102.2%	107.7%	-0.3%	107.4%
1次エネルギー 消費量	79.5%	-0.1%	125.9%	105.1%	-0.2%	104.9%
COP	0.24	0.0	0.24	0.02	0.0	0.02
CO ₂ 排出量	77.7%	-0.2%	77.6%	105.2%	-0.2%	105.0%
補給水	116.5%	-7.5%	108.9%	164.7%	-10.6%	154.0%
排熱	110.3%	-1.8%	108.4%	156.0%	-2.6%	153.4%

CGS の稼働で、熱源設備の電力消費量が増加するが、エネルギー効率が上がり、1次エネルギー消費量が減少する。1次エネルギー消費量の減少でCO₂排出量は改善されるが、CGS と CGS に関わっている冷房設備の稼働で、補給水と排熱の量は増加する。

CGS の省エネルギー率の理論的な計算では、半年が1.13%有利(4°C上昇後②負荷データを基準として)になると結果であったが、シミュレーション結果は、半年と4°C上昇後の変化率の差が0.2%であまりない結果となった。

(2) ピーク需要

表 5.52 CGS(100%)のシミュレーションの結果(ピーク需要)

表記	平年冷水最大需要日		4°C上昇上位 5%	
	CGS-N0	CGS-N1	CGS-4R20	CGS-4R21
冷水負荷	100.0%	100.0%	189.5%	189.5%
蒸気負荷	100.0%	93.9%	144.9%	145.0%
ガス消費量	100.0%	268.7%	144.9%	325.4%
熱源設備 電力消費量	100.0%	124.3%	243.4%	243.5%
電力消費量全体	100.0%	104.6%	126.9%	126.9%
1次エネルギー 消費量(1日)	100.0%	79.9%	124.6%	103.1%
CO ₂ 排出量 (1日)	100.0%	77.2%	122.8%	99.6%
補給水量	100.0%	120.7%	224.6%	238.8%
排熱量	100.0%	106.7%	175.7%	186.5%

表 5.53 CGS(100%)と4°C上昇の影響(ピーク需要)

表記	CGS の効果			4°C上昇の影響		
	平年冷水最大 需要日	格差	4°C上昇上位 5%	CGS 無し	格差	CGS 有り
	CGS-N0 ~CGS-N1		CGS-4R20 ~CGS-4R21	CGS-N0 ~CGS-4R20		CGS-N1 ~CGS-4R21
冷水負荷	100.0%	0.0%	100.0%	189.5%	0.0%	189.5%
蒸気負荷	93.9%	+6.2%	100.1%	144.9%	+9.5%	154.4%
ガス消費量	268.7%	-44.2%	224.5%	144.9%	-23.8%	121.1%
熱源設備の 電力消費量	124.3%	-24.3%	100.0%	243.4%	-47.5%	195.8%
電力消費量全体	104.6%	-4.6%	100.0%	126.9%	-5.5%	121.4%
1次エネルギー 消費量 (1日)	79.9%	+2.8%	82.7%	124.6%	+4.4%	129.0%
CO ₂ 排出量 (1日)	77.2%	+3.9%	81.1%	122.8%	+6.2%	129.1%
補給水量	120.7%	-14.4%	106.3%	224.6%	-26.7%	197.9%
排熱量	106.7%	-0.6%	106.2%	175.7%	-0.9%	174.8%

CGSの導入効果を1次エネルギー消費量の減少比率で確認すると、4°C上昇上位5%より平年のピーク日で、2.8%高いと予測され、CO₂排出量も平年のピーク日が1.2%高いと結果であったが、平年のピーク日の補給水の増加が4°C上昇上位5%より14.4%高い変化率になると予測された。

4°C上昇の影響を見ると、CGSがある条件で、電力消費の変化幅が小さいが、1次エネルギー消費とCO₂排出量の変化幅はCGSがない条件での変化幅が小さいという結果になった。排熱量は、CGSがない条件の変化率が0.9%高いが、補給水量はCGSがない条件の方の変化率が26.7%高い結果となった。

5.5 予測分析のまとめ

5.5.1 CGS(50%)導入と蓄熱槽増設

(1) シミュレーションの設定

① ケースの設定

予測分析2ではレジリエントな冷暖房設備として、蓄熱槽とCGSの効果を個別に検討した。予測分析2のシミュレーション検討のまとめとして、MM21地区の基本システムにピーク電力需要の50%容量を持っているCGSと蓄熱槽容量の2倍(4°C上昇後は2.8倍)増加を一緒に適用し、CGSの運転時間は、8時~22時とした。シミュレーションの結果は「OG-N1」を基準とした変化率で検討した。

表 5.54 CGS(50%)+蓄熱槽2倍の効果検討のケース設定

気温データ	平年気温		4°C上昇後		
表記	OG-N1	R-N1	OG-4R2a	R-4R2a	R-4R2b
ピーク需要の表記	OG-N1	R-N1	OG-4R	R-4R21	
運転計画	精度基準	CGS 導入用	CGS 導入用	CGS 導入用	CGS 導入用
冷暖房需要データ	平年	平年	4度上昇後 ②	4度上昇後 ②	4度上昇後 ②
夏季運転計画	6月~9月	6月~9月	6月~9月	6月~9月	5月~10月
設備容量	1倍	1倍	1.4倍	1.4倍	1.4倍
蓄熱槽	1倍	2倍	1.4倍	2.8倍	2.8倍
CGS容量 (ピーク対比)	0%	50%	50%	50%	50%

② CGS容量設定

表 5.55 MM21地区の電力需要とCGS容量設定

平均負荷量 (KW)	ピーク負荷対比 の割合	CGS1 (7,800KW)	CGS2 (5,200KW)	CGS 総合 (KW)
59,581	≒50%	7	1	59,800

2014年のMM21地区の電力需要の50%に対するCGS容量を設定するために、7,800kWのCGS1を7台、5,200kWのCGS2を1台追加し、CGSからの排水を利用するために、温水回収冷凍機(1)を追加した。CGS2の効率は、CGS1と同じであるので、記述を省略する。

表 5.56 追加設備の仕様

ENEPRO21上	表記	合計	容量	台数	メーカー	型番
ガスエンジンコージェネ(1)	CGS1	5,200 kW	5200	1	川崎重工業株式会社	KG-12-V-高効率型
ガスエンジンコージェネ(2)	CGS2	117,000 kW	7,800	15	川崎重工業株式会社	KG-18-V-高効率型
温水熱回収冷凍機(1)	WA	29,886 kW	1,758	10	川重冷熱工業株式会社	ΣTSH-500

③ 運転計画

MM21 地区の基本システムをシミュレーションするための運転計画を基本として、CGS が昼間 08~22 時に稼働して、発生した排水と排蒸気を利用するために、温水熱回収冷凍機 (1)と吸収冷凍機(3), 吸収冷凍機(4)を優先として、運転計画を変更した。

表 5.57 運転計画

昼夜	月	時間帯	優先順位											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
昼間	1~5月 10~12月	08~22	WA	AR4	AR3	TR5	TR1	TR2	TR4	TR3	AR1	AR5	AR2	-
	夏季	08~10	WA	TR5	TR1	TR2	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	TR4	TR3	-
	平年：6~9月 4°C上昇後： 5~10月	10~13	WA	CS	AR3	AR4	TR5	TR1	TR2	AR1	AR5	AR2	TR4	TR3
		13~16	WA	CS	AR3	AR4	TR5	TR1	AR1	AR5	TR2	AR2	TR4	TR3
		16~22	WA	TR5	TR1	TR2	TR4	AR3	AR4	AR1	AR5	AR2	TR3	-

(2) 年間値

表 5.58 CGS(50%)+蓄熱槽 2 倍のシミュレーションの結果(年間)

表記	平年気温		4°C上昇後		
	OG-N1	R-N1	OG-4R2a	R-4R2a	R-4R2b
冷水負荷 (増減率※)	100.0%	100.0% (0.0%)	162.3%	162.3% 0.0%	162.3% 0.0%
蒸気発生 (増減率※)	100.0%	131.1% (+31.1%)	80.9%	125.2% (+44.3%)	123.7% (+42.7%)
ガス消費 (増減率※)	100.0%	321.5% (+221.5%)	80.9%	317.6% (+236.7%)	316.1% (+235.1%)
熱源設備の電力消費 (増減率※)	100.0%	88.7% (-11.7%)	160.4%	139.5% (-21.0%)	135.9% (-24.5%)
全体電力消費 (増減率※)	100.0%	98.7% (-2.3%)	108.3%	105.8% (-2.5%)	105.4% (-2.9%)
1次エネルギー消費 (増減率※)	100.0%	88.3% (-11.7%)	103.6%	93.0% (-10.6%)	92.3% (-11.2%)
COP (増減率※)	0.98	1.11 (+0.03)	1.01	1.12 (+0.11)	1.13 (+0.12)
CO ₂ 排出量 (増減率※) ※	100.0%	86.5% (-13.5%)	103.8%	91.3% (-12.5%)	90.7% (-13.1%)
補給水 (増減率※)	100.0%	128.6% (+28.6%)	131.4%	199.6% (+68.2%)	193.8% (+62.4%)
排熱 (増減率※)	100.0%	129.6% (+29.6%)	163.1%	162.0% (-1.1%)	154.8% (-8.3%)

※増減率：CGS(50%)と蓄熱槽増設(2倍)の効果を確認するために、適用の有無による増加率を表す。

平年の基本システムを基準として、CGS50%と蓄熱槽 2 倍を設置すると、平年の場合 1 次エネルギー消費が 11.7%減少し、COP が 0.3 上がると予測された。CO₂排出量は 23.5%減少するが、補給水量と排熱量が 28.6%, 29.6%増加する結果でとなった。

4°C上昇後の場合、平年の基本システムを基準として、基本システムでは 1 次エネルギー

消費量が0.36%増加するが、CGS(50%)と蓄熱槽(2倍)の設置で7.0%~7.7%減少する。

4°C上昇後の冷水需要ピークの増大でターボ冷凍機の稼働率が上がり、基本システムのCOPが0.03上がるが、CGS50%導入と蓄熱槽設置で0.12~0.13向上すると結果であった。CO₂排出量は、4°C上昇後の基本システムでは3.8%増加するが、CGS50%設置と蓄熱槽設置で8.7%~9.3%減少する。

補給水量は、4°C上昇後の基本システムでは、31.4%増加するが、CGS50%と蓄熱槽を設置すると、99.6%~93.8%増加すると予測された。排熱量は、基本システムでは63.1%増加するが、CGS50%導入と蓄熱槽設置で54.8%~62.0%増加する結果となった。

(3) ピーク需要

表 5.59 CGS(50%)+蓄熱槽 2 倍のシミュレーションの結果 (ピーク需要)

表記	平年気温		4°C上昇後	
	OG-N1	R-N1	OG-4R	R-4R21
冷水負荷 (増減率※)	100.0%	100.0% (0.0%)	189.5%	189.5% (0.0%)
蒸気負荷 (増減率※)	100.0%	90.4% (-9.5%)	180.0%	178.5% (-1.5%)
ガス消費 (増減率※)	100.0%	203.8% (+103.8%)	180.3%	292.0% (+111.7%)
熱電源設備の電力消費 (増減率※)	100.0%	95.1% (-4.9%)	186.7%	174.9% (-11.8%)
電力消費全体 (増減率※)	100.0%	99.0% (-1.0%)	118.2%	115.7% (-2.5%)
1次エネルギー消費(1日) (増減率※)	100.0%	88.9% (-11.1%)	126.8%	114.4% (-12.4%)
CO ₂ 排出量(1日) (増減率※)	100.0%	87.6% (-12.4%)	126.3%	112.7% (-13.6%)
補給水 (増減率※)	100.0%	95.9% (-4.1%)	190.9%	220.6% (-29.7%)
排熱 (増減率※)	100.0%	80.5% (-19.5%)	194.5%	173.6% (-20.9%)

※増減率：CGS(50%)と蓄熱槽増設(2倍)の効果を確認するために、適用の有無による増加率を表す。

冷水最大需要日のピーク時間帯を比べると、平年の場合、熱源設備の電力消費が4.9%減少し、補給水量と排熱量は、4.1%、19.5%が減少するとの数値となった。1次エネルギー消費(1日)が11.1%減少して、CO₂排出量(1日)も13.4%減少すると予測された。

4°C上昇後の場合は、基本システムと設備変更の場合を比較すると、1次エネルギー消費量(1日)が126.%から114.4%に減り、CO₂排出量も126.3%から112.7%に減少するとの結果が出た。補給水は190.9%から220.6%増えるが、排熱は194.5%から173.6%まで減る結果であった。

5.5.2 予測分析のまとめ

(1) 予測分析1の結果

平年気温が4°C上昇すると、年間蒸気需要が平年の77.2%~70.7%に減少し、年間冷水需要は増加して、平年の147.9%~163.4%になる。最大冷水需要は、4°C上昇後、184.63%まで上がると予測された。

(2) 予測分析2の結果

① 冷暖房システムへの影響

平均気温4°Cの上昇が、MM21地区の基本冷暖房システムに与える影響をシミュレーションした結果として、次のような結果値を得た。

- ・1次エネルギー消費量が103.5%~103.8%に増加する。
- ・COPは0.98から1.01に向上する。
- ・CO₂排出量が104.0%~103.7%に増加し、補給水量と排熱量は各々129.9%~132.0%、163.5%~164.1%に増加する。

本研究では、レジリエントな冷暖房設備としてCGSと蓄熱槽を取り上げ、その効果を検討して、次のような結果を確認した。

② 蓄熱槽の効果

[年間値]

- ・1次エネルギー消費量が平年より0.5%減少し、4°C上昇後は0.8~1.0%減少する。
- ・COPが平年は0.98から0.99まで上がり、4°C上昇後は1.01から1.02まで上がる。
- ・CO₂排出量が平年より0.5%下がり、4°C上昇後は0.8%~0.9%下がる。
- ・補給水量が平年より4.0%減少し、4°C上昇後は5.7%~7.6%減少する。
- ・排熱量が平年より6.2%減り、4°C上昇後は8.9%~12.3%が減る。

[最大冷水需要の時間帯]

- ・熱源設備の電力消費が平年は19.3%、4°C上昇後は3.1%減る。
- ・補給水量が平年は8.8%、4°C上昇後は16.7%減る。
- ・排熱量が平年は9.1%、4°C上昇後は17.5%減少する。
- ・1日1次エネルギー消費量が平年は1.0%、4°C上昇後は2.2%減少する。
- ・1日CO₂排出量が平年は0.9%、4°C上昇後は2.2%減少する。

③ CGS(100%)の効果

[年間値]

- ・1次エネルギー消費量が平年は20.5%減少し、4°C上昇後は21.6~21.7%減少する。
- ・COPが、平年は0.92から1.16まで上がり、4°C上昇後は0.94から1.18まで上がる。
- ・CO₂排出量が、平年は22.3%下がり、4°C上昇後は23.6%下がる。
- ・補給水量が、平年は16.5%増加し、4°C上昇後は14.6~14.7%増加する。
- ・排熱量は、平年は10.3%増え、4°C上昇後は13.0%~13.2%が増える。

[最大冷水需要の時間帯]

- ・ガス消費が平年は168.7%、4°C上昇後は180.5%増加する。
- ・補給水が平年は20.7%、4°C上昇後は14.2%増加する。
- ・排熱量が平年は6.7%、4°C上昇後は10.8%増加する。
- ・1日1次エネルギー消費が平年は22.8%、4°C上昇後は23.2%減少する。
- ・1日CO₂排出量が平年は22.8%、4°C上昇後は23.2%減少する。

④ CGS(50%)と蓄熱槽2倍増設の効果

[年間値]

- ・1次エネルギー消費量が平年は11.7%減少し、4°C上昇後は10.6~11.3%減少する。
- ・COPが平年は0.98から1.11まで上がり、4°C上昇後は1.01から1.12~11.3まで上がる。
- ・CO₂排出量が、平年は13.5%下がり、4°C上昇後は12.5~13.1%下がる。
- ・補給水量が平年は28.6%減少し、4°C上昇後は62.4%~68.2%減少する。
- ・排熱量が平年は29.6%増え、4°C上昇後は1.1%~8.3%が減る。

[最大冷水需要の時間帯]

- ・熱源設備の電力消費が平年は4.9%、4°C上昇後は11.8%減る。
- ・ガス消費量が平年は103.8%、4°C上昇後は111.7%増加する。
- ・補給水量が平年は4.1%減少し、4°C上昇後が29.7%増加する。
- ・排熱量が平年は19.5%、4°C上昇後は20.9%増加する。
- ・1日の1次エネルギー消費量が平年は11.8%、4°C上昇後は12.4%減少する。
- ・1日のCO₂排出量が平年は12.4%、4°C上昇後は13.6%減少する。

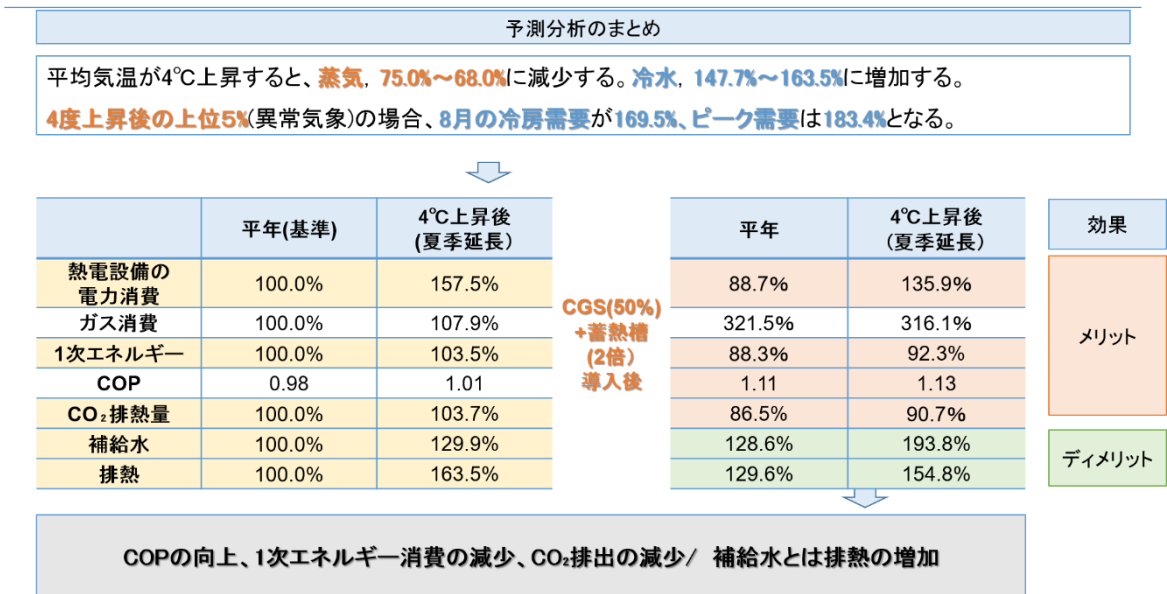


図 5.102 予測分析のまとめ

VI

研究のまとめ

6.1 段階別研究のまとめ

(1) 理論研究のまとめ

理論研究の第2章では、レジリエンスの概念から、レジリエントな地域エネルギーシステムのモデルを構築し、地域エネルギーシステムのレジリエンスを向上するための設備要素として、CGSと蓄熱槽を導き出した。

- ① 理論研究の結果、レジリエントエネルギーの概念を「レジリエントエネルギーの定義は、都市のエネルギーシステムに関する、予想できる、或いは予想できない環境変化に対する適応能力である。」と定義し、関連文献から、ハード面とソフト面の構成要素を導き出した。
- ② 理論研究から導き出した構成要素は、ハード面で「独立性」、「強健性」、「重複性」、「多様性」があり、ソフト面で「予測能力」、「臨時応変」、「敏捷性」、「需要側協働」、「自己組織化」、「包括性」、「総合性」がある。
- ③ 地域冷暖房の技術要素とレジリエントなエネルギーシステムの構成要素の関係を整理し、地域エネルギーシステムのレジリエンスを向上させる重要な技術要素として、CGSと蓄熱槽を挙げた。

(2) 現況分析のまとめ

第3章は、日本の地域冷暖房地区を対象として、一般的な傾向分析とレジリエンスの観点からの現況を分析し、レジリエンスを向上させるための改善案を整理した。

- ① 一般的な傾向分析から、時代別冷暖房地区の傾向を把握できた。1970年～1975年に供給を開始した地区は、COPと経済性が低いこと、1986年～1995年に供給を開始した地区は、経済性が高いが、電力使用の割合も高いことが確認できた。
- ② 日本の地域冷暖房地区のエネルギー源のレジリエンスに対する改善案を整理した。電力・ガスだけのエネルギー源を利用している地区が多いので、長期的な対策として、再生エネルギーに分担させることで脆弱性を緩和することを提案した。非常用発電機があっても、非常時の燃料と冷却水を揃えてない地区があるので、適切な非常用発電の稼働継続時間の設定と非常用燃料・冷却水の備えが必要であることを提言した。
- ③ インフラのレジリエンスのため、アンケート調査で把握した予備受電線がない一回線受電方式を適用している地区に対しては、予備受電線の増設、又はCGSの導

入を提案し、長中期的には共同溝とエネルギー地産地消を提案した。

- ④ 設備のレジリエンスのために、非電力冷房設備を増設することで電力の依存性を減らす対策が必要であるが、非常用設備を備えてない地区が 33%であり、発電機がある地区の中でも、契約電力に対する発電機の容量比率が低い地区もあるので、非常用発電機と電力ピークカットのために、CGS と蓄熱槽の設置を提案した。

(3) 予測分析のまとめ

第4章と第5章では、MM21 地区を対象として、将来、平均気温が 4°C上昇した場合を想定して、冷暖房需要量と冷暖房システムへの影響、CGS と蓄熱槽の効果をシミュレーションした。

- ① 平年気温が4°C上昇すると、年間蒸気需要が減少して平年の 77.2%~70.7%になり、年間冷水需要は増加して平年の 147.9%~163.4%になる。最大冷水需要は、4°C上昇後、184.63%まで増大すると予測された。
- ② 冷暖房システムへの影響で、冬季の蒸気需要量が減少しても、夏の冷水需要量が増加して、1次エネルギー消費量が増加するが、冷房機器の稼働率が増加して、補給水量と排熱量は大幅に増加する。
- ③ 蓄熱槽の運転は、冷暖房システムの年間値に大きい影響を及ぼさないが、冷水需要のピーク時間帯に、熱源設備の電力消費のピークカットの効果が大きく、補給水量と排熱量の低減にも効果がある。ただ、MM21 地区の場合、蓄熱用ヒートポンプの効率が高いので、運転時間が長いほど COP の向上、1次エネルギー消費量の減少の効果もある。
- ④ CGS の導入で、年間1次エネルギー消費量と COP が大幅に下がって、CO₂排出量も減る。ただ、補給水量と排熱量が増加する問題がある。冷水需要のピーク時間帯にガス消費量が大幅に増加し、熱源設備の電力消費量も増加するが、CGS のエネルギーの面的利用で1次エネルギー消費量は、平年より小さい。
- ⑤ 平均気温が4°C上昇すると、夏季の冷水需要に使われるエネルギーの割合が大きくなるので、蓄熱槽の効果は平年より4°C上昇後に大きくなる。CGS の場合、4度上昇が熱電比に影響を及ぼして、省エネルギー率が平年より 1.13%(4°C上昇後②)低くなると計算されたが、シミュレーションの結果を見ると、4°C上昇後が 0.5%高い結果であり、補給水量と排熱量の増加率も平年より4°C上昇後が低いと予測された。

6.2 研究の課題と意義

(2) 研究の課題

本研究では、理論検討、現況分析、シミュレーション研究をこの順番で順次行っただけならず、同時に進行したので、理論研究のフレームワークの全体をシミュレーション研究まで十分に適用できず、物理的な側面の一部設備のみを適用して検討した。レジリエンスの概念は、さまざまな環境において統合的なシステムを総合的に検討する際、より意味があるので、社会と経済、計画的な側面の検討が必要であり、各段階別の課題は次の通りである。

- ① 理論研究の課題としては、レジリエンスの構成要素と冷暖房システムの設備要素の関係性を検討する際、設備要素の一般的な用途と効果のみを述べているので、各設備要素の影響と効果の重みを考慮していない。上位概念の構成要素と物理的な技術要素を連携するためには、より客観的な根拠と合致できる判断基準が必要である。
- ② 現況分析のアンケート調査は全ての地区からの回答ではないため、各地区の状況と特性を考慮していない。現況を検討しているが、各検討項目に対する明確な評価基準がないので、良い・悪いを判断できない。
- ③ シミュレーションの対象は、1つの地区のみを扱っているため、巨視的・長中期的な気候の変化の影響を検討する研究として、一般化する上で課題がある。

今後の研究として、上記の課題を補完する研究が望ましい。

(1) 研究の意義と活用

前述した通りの研究の課題があるが、次のような意義と活用可能性がある。

- ① レジリエンスの概念を地域エネルギーシステムに適用したモデルを構築したので、地域エネルギーシステムをレジリエンスの観点で計画・検討する際、概念的な資料として活用できる。
- ② 具体的な CGS、蓄熱槽などの冷暖房設備・技術要素と概念的・抽象的な概念であるレジリエンスとの関連性を整理したので、冷暖房設備の効果をレジリエンスの観点で評価する際、参考にできる。特に、本研究では、CGS と蓄熱槽の効果を、理論的な検討から実体的・定量的な計算で確認した。

- ③ 日本の地域冷暖房地区をレジリエンスの観点で検討したので、現況資料として意味がある。
- ④ 将来の気象データを用いて、冷水需要量の変化と冷暖房システムへの影響を定量的に検討したので、将来予測資料として意味がある。

VII

付録

[参考論文]

1 章・2 章の参考論文

Andrew Freedman, (2018): 2018's global heat wave is so pervasive it's surprising scientists, AXIOS, 2018.07.28.

<https://www.axios.com/global-heat-wave-stuns-scientists-as-records-fall-4cad71d2-8567-411e-a3f6-0febaa19a847.html>

Arup, (2014): City Resilience Framework. Arup International Development.

Bazmi A. A., Zahedi G., (2011), Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply. A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 8, pp.3480-3500, 2011.10.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.003>

Folke C., S. R. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Chapin, and J. Rockström,(2010): Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. Ecology and Society, Volum15, Issue4, p.20, 2010.

<http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>

Carla Green, (2018): 'Apocalyptic threat': dire climate report raises fears for California's future, The Guardian, 2018.08.28.

<https://www.theguardian.com/environment/2018/aug/27/california-climate-change-report-wildfires-jerry-brown>

Chad T. Hanson Brune Michael, (2018): Using Wildfires as an Excuse to Plunder Forests. The Newyork TImes, 2018.09.04

<https://www.nytimes.com/2018/09/04/opinion/california-wildfires-logging-farm-bill.html>.

IPCC2014, (2015). Climate Change 2014 Synthesis Report.

Dayton M., Erin R., Matthew E. B., Heather M., Susan S. C., Igor L., (2017): Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications, Science of The Total Environment, Vol.613–614, pp.1275-1283, 2018.02.01.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.086>

EUPEAN COMMISSION, (2016): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy for Heating and Cooling. 2016.02.16.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52016SC0024>

Folke Carl, (2006): Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. Global Environmental Change, Volume 16, Issue 3, 2006.08.

- <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Gang W.S., Xiao F., Gao D., Wang, (2016): District cooling systems: Technology integration, system optimization, challenges and opportunities for applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 53, pp.253-264, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.051>
- J. Hansen, R. Ruedy, M. Sato, K. Lo, (2010): Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*, Volume. 48, Issue. 4, 2010.12.14
<https://doi.org/10.1029/2010RG000345>
- Zald HSJ, Dunn CJ., (2018): Severe fire weather and intensive forest management increase fire severity in a multi-ownership landscape, *The Ecological Society of America, Ecological Applications*, Volume. 28, Issue. 4, pp.1068-1080, 2018. 06.
<https://www.emwh.org/issues/habitat/Severe%20fire%20weather%20and%20intensive%20forest%20management%20increase%20fire%20severity%20in%20a%20multi-ownership%20landscape.pdf>
- Henry H. W., Kathleen L., (2015): *Measuring the Resilience of Energy Distribution Systems*, RAND Corporation, 2015.
https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR883.html
- HollingS.C., (2001): Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, Volume. 4, Issue. 5, pp.390-405, 2001.08.
<https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>
- HollingS.C., (1973): Resilience and Stability of Ecological Systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4, pp.1-23, 1973.11.
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Hughes L., (2015): The effects of event occurrence and duration on resilience and adaptation in energy systems. *Energy*, 84 (2015), pp. 443-454.
- IPCC(Climate Change 2014), (2015): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- Jabareen Y., (2012): Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities*, Volume 31, pp. 220-229, 2013.04.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.05.004>
- Jesús R. C., Ernst W., (2018), Urban energy systems within the transition to sustainable development: A research agenda for urban metabolism *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 132, pp.258-266, 2018.05.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.004>
- Kathryn A. Foster, (2007): *A Case Study Approach to Understanding Regional Resilience*.

- Working Paper prepared for the Building Resilient Regions Network and presented at the Annual Conference of the Association of Collegiate Schools of Planning, University of California.2007.11.01.
<https://escholarship.org/uc/item/8tt02163>
- Kim J.J., Lee S., Im J., (2016): A research on Resilience for Urban Regeneration, Republic of Korea: LHI
lhi.lh.or.kr/common/include/file_download.asp?category=memberdata&idx=952
- Leichenko R., (2011): Climate change and urban resilience, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Volume 3, Issue 3, pp.164-168, 2011.05.
 doi:<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.014>
- Lizarralde G.K., Boshier L., Dainty A.Chmutina, (2015): Sustainability and resilience in the built environment: The challenges of establishing a turquoise agenda in the UK. *Sustainable Cities and Society*, Volume.15, pp.96-104, 2015.07.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.004>
- Maarten K. van Aalst, (2006): The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters*, Volume30, Issue 1, Special Issue: Climate change and disasters, 2006.03.01
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00303.x>
- Siambabala Bernard Manyena, (2006): The concept of resilience revisited. *Disasters*, Volume30, Issue4. 2006.11.13.
<https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x>
- Michael Case, Tidwell Andrea, (2008): *Nippon Changes:Climate impacts threatening Japan today and tomorrow*. WWF.
https://www.wwf.or.jp/activities/lib/pdf_climate/environment/WWF_NipponChanges_lores.pdf
- Michel Bruneau, Stephanie E. Chang, Ronald T. Eguchi, George C. Lee, Thomas D. O'Rourke, Andrei M. Reinhorn, Masanobu Shinozuka, Kathleen Tierney, William A. Wallace, and Detlof von Winterfeldt, (2003): A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, Vol. 19, No. 4, pp. 733-752, 2003.11.
 doi:<https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- MinZhang, X., Zwiers, F. W., & Hegerl, G. C.S.-K., (2011): Human contribution to more-intense precipitation extremes, *Nature*, Volume 470, 2011.02.17.
<https://www.nature.com/articles/nature09763>
- N.Stern. (2007): *The Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, 2004.03
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>

-
- OECD/IEA, (2015): Making the energy sector more resilient to climate change, 2005.11
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/COP21_Resilience_Brochure.pdf
- Peter C. Evans, Peter Fox-Penner. (2014): Resilient and Sustainable Infrastructure for Urban Energy Systems, *Solution*, Volume 5, Issue 5, pp.48-54, 2014.09
<https://www.thesolutionsjournal.com/article/resilient-and-sustainable-infrastructure-for-urban-energy-systems/>
- Robert. W. K., William R. T., Thomas J. W., (2012): Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient, *National Academy of Sciences*, pp. 7156-7161, 2012.04.12.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1115521109>
- Richard J. T. Klein, Robert J., Nicholls & Frank Thomalla, (2003): Resilience to natural hazards: How useful is this concept? *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, Volume 5, Issue 1, pp.35-45, 2003.05.05.
<https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>
- Sara Meerow, Joshua p. Newell, Melissa Stults, (2016): Defining urban resilience: A review, *Landscape and Urban Planning*, Volume.147, pp.38-49, 2016.03.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- Sean Breslin, (2018): Record-Breaking Heat Isn't Just Uncomfortable – It's Killing People., *Weather.com*, 2018.07.14.
<https://weather.com/safety/heat/news/2018-07-05-deadly-heat-wave-impacts-us-canada-europe-asia>
- Sharifia A., Yamagata Y., (2015): Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume. 60, pp.1654-1677, 2016.07.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.028>
- Shinya Oshino, (2018), Asian economies feel the heat from extreme weather, *Nikkei Asian Review*. 2018.07.27.
<https://asia.nikkei.com/Economy/Asian-economies-feel-the-heat-from-extreme-weather>
- Shou-Hao Chiang, Kang-Tsung Chang, (2011): The potential impact of climate change on typhoon-triggered landslides in Taiwan, *Geomorphology*, Volume. 133, Issues. 3-4, pp.201-209. 2011.10.15.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.028>
- Takuya Kado, (2018): ‘Abnormal climate’ caused July’s record heat and rain. *The Asahi Shinbun*, 2018.08.02.
-

<http://www.asahi.com/ajw/articles/AJ201808020047.html>

The World Bank, (2009): Climate Resilient Cities: A Primer on Reducing Vulnerabilities to Disasters, The World Bank, Washington, 2008.11.

<https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7766-6>

World Energy Council, (2015): World Energy Perspective, 2015.09.

<https://www.worldenergy.org/publications/2015/the-road-to-resilience-managing-and-financing-extreme-weather-risk/>

一般社団法人都市環境エネルギー協会.,(2013): 地域冷暖房技術手引き書改訂第4版. (技術委員会地域冷暖房技術手引き書小委員会, 編), 一般社団法人都市環境エネルギー協会

都市環境エネルギー協会, (2013): 地域冷暖房技術手引き書

3章の現況分析の参考資料

熱供給事業便覧 平成27年版,(2017): 一般社団法人 日本熱供給事業協会, 2017.02.01

<http://www.ytmirai.co.jp>

<https://www.ace.or.jp>

<http://www.akanetsu.co.jp>

<http://www.jdhc.or.jp>

<https://www.ace.or.jp>

<http://www.ikenetu.co.jp>

<http://www.tokyogas-es.co.jp>

<http://www.kinshi-netsu.com>

<https://www.tts-kk.co.jp>

<http://www.tokyo-rinnetu.co.jp>

<http://www.tounetu.co.jp>

<http://www.tennoz-dhc.co.jp>

<http://www.dhc-nagoya.co.jp>

<http://www.kiahc.co.jp>

<http://www.fukuoka-es.co.jp>

<http://www.t-t-c.co.jp>

<http://www.nc-energy.co.jp>

<http://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/attachment/23055.pdf>

<http://www.city.yokohama.lg.jp/ondan/yscp/masterplan3.pdf>

4章・5章の参考文献

- Pieter de Wilde, Wei Tian, (2010): Predicting the performance of an office under climate change: A study of metrics, sensitivity and zonal resolution, *Energy and Buildings*, Volume 42, Issue 10, pp.1674–1684, 2010.10
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.04.011>
- Haojie Wang b, Qingyan Chen, (2014): Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States, *Energy and Buildings* 82, pp.428-436, 2014.10
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.034>
- Navid Aghdaei, Georgios Kokogiannakis, Daniel Daly, Timothy McCarthy, (2017): Linear regression models for prediction of annual heating and cooling demand in representative Australian residential dwellings, *Science Direct Energy Procedia*, Volume 121, pp.79-86, 2017.09
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.482>
- 曾我和弘他, (2015): 地球温暖化予測情報第6巻に基づく標準年将来気象データの空調熱負荷計算への応用, *日本建築学会技術報告集第21巻第47号*, 177-182, 2015.2.
<https://doi.org/10.3130/aijt.21.177>
- 磯崎恭一郎, 武田仁, (2016): 気象指標に基づく近未来冷暖房負荷の予測, *日本建築学会環境系論文*, 81巻 726号, pp.669-678, 2016.8.
<https://doi.org/10.3130/aije.81.669>
- 有馬雄祐, 菊本英紀, 大岡龍三, 山中徹, (2015): GCMを使用した領域気象モデルによる近未来標準気象データ作成に関する研究(その4), *日本建築学会大会学術講演梗概集*, 巻号 2015, pp.857-859, 2015.9.
- 吉田聡, 杉山徹, 伊藤俊介, 金康珉, 佐土原聡, (2017): 地球環境未来都市研究 その35 d4PDFデータを用いた地域冷暖房地区熱需要の将来予測その1 研究の目的および方法, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, 巻号 2017, pp. 929-930, 2017.07.
- 伊藤 俊介, 金 康珉, 吉田 聡, 杉山 徹, 佐土原 聡, (2017): 地球環境未来都市研究 その36 d4PDFデータを用いた地域冷暖房地区需要の将来予測その2 熱需要と気温・湿度の関係分析, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, 巻号 2017, pp. 921-932, 2017.07.
- 金康珉, 伊藤俊介, 吉田聡, 杉山徹, 佐土原聡, (2017): 地球環境未来都市研究 その37 d4PDFデータを用いた地域冷暖房地区需要の将来予測その3 d4PDFデータによる将来熱需要量の予測, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, 巻号 2017, pp. 933-934, 2017.07.
- 金康珉, 伊藤俊介, 吉田聡, 佐土原聡, (2019): d4PDFを用いた気候変動による冷暖房の需要変化と熱源システムへの影響分析 横浜みなとみらい21地区の地域冷暖房を対

-
- 象として, 日本建築学会環境系論文, 巻号 755, pp. 83-91, 2019.01.
- 佐土原聡, 柴田理, 市川徹, 尾島俊雄, (1995): 東京都区部におけるコージェネレーション導入地区の選定に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 巻号 468, pp.47-54, 1995.02.
- 市川徹, 尾島俊雄, (1992): 民生用コージェネレーションの省エネルギー性に関する理論的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 巻号 433, pp.21-29, 1992.03.

地域熱供給事業地区へのアンケートご協力をお願い

地域熱供給事業の電力BCPと需要家連携に関するアンケート調査

時下、ますますご清祥のことと存じます。

さて、横浜国立大学佐土原・吉田・稲垣研究室では、「地域エネルギー供給のBCPおよび需要家との連携に関する研究」に取り組んでおりますが、この度、その基礎資料を収集する目的で、標記のアンケート調査を行うことになりました。

お忙しいところ、大変お手数をおかけしますが、本アンケート調査にご協力くださいますようお願い申し上げます。ご不明な点がございましたら下記連絡先までお問い合わせ下さい。宜しくお願い致します。

横浜国立大学 都市イノベーション学府 佐土原・吉田・稲垣研究室

博士後期課程 金 康珉 (キム カンミン)

お問い合わせ先

横浜国立大学 佐土原・吉田・稲垣研究室

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7

研究室 Tel・FAX : 45-339-4247

Email : kim-kangmin-rc@ynu.jp

(担当：都市イノベーション学府博士後期課程 金康珉)

資料調査の回答について

本アンケート回答は、平成29年11月30日までにお願いできれば幸いです。
また、それ以降の場合でも、是非アンケートにご協力お願い申し上げます。

■ 本アンケートの構成

本アンケートの構成は、つぎのとおりです。

1. 供給地区名等の属性：「1-1」～「1-2」
2. 用途別延床面積の調査：「2-1」
3. 非常用発電設備に関する質問：「3-1」～「3-3」
4. ソフト面に関する質問：「4-1」～「4-7」

1. 供給地区名等の属性

1-1 貴社の熱供給地区についてお答えください。

① 熱供給地区名：

地区

② 熱供給会社名：

1-2 あなたの所属、業務概要についてお答えください。

① 所属

：

業務分野：

② 担当者名：

③ 連絡先

Email：

Tel：

2. 用途別延床面積の調査

2-1. 貴社のプラントが供給している対象施設の用途別延床面積をお教えてください。

区分：用途・施設		延床面積	割合
全体		m ²	100%
業務	一般（オフィス）	m ²	%
	公共施設の業務	m ²	%
住宅		m ²	%
商業		m ²	%
宿泊		m ²	%
文化		m ²	%
娯楽		m ²	%
医療		m ²	%
教育		m ²	%
※ 分類がむずかしい用途の場合、「その他」に直接記入してください。			
その他1		m ²	%
その他2		m ²	%
その他3		m ²	%

3. 非常時の電力確保設備に関する質問

3-1 停電時、プラント運転のため、非常用発電設備、または非常用蓄電設備を備えていますか。

- 備えている。
- 備えていない。

（「備えている。」と回答した場合は、「3-2」と「3-3」にご記入お願い致します。）

3-2 電力設備についてお答え下さい。

① 契約電力の容量と受電方式			
契約電力	_____kw		
受電方式	<input type="checkbox"/> 一回線受電 <input type="checkbox"/> ループ受電 <input type="checkbox"/> 平衡2回線受電 <input type="checkbox"/> 本線予備線受電 <input type="checkbox"/> スポットネットワーク受電 <input type="checkbox"/> 本線予備電源		
② プラント全体の発電機と燃料 (プラント全体の発電機と燃料トについてお答えください。)			プラント全体の燃料容積
発電機類型	発電機の容量と運転方式	熱併合	燃料種類
ガスエンジン	_____kVA _____台 (<input type="checkbox"/> 常用 <input type="checkbox"/> 非常用 <input type="checkbox"/> 常用非常用)	<input type="checkbox"/> コージェネ <input type="checkbox"/> モノジェネ	<input type="checkbox"/> 都市ガス <input type="checkbox"/> LPガス
	_____kVA _____台 (<input type="checkbox"/> 常用 <input type="checkbox"/> 非常用 <input type="checkbox"/> 常用非常用兼用)	<input type="checkbox"/> コージェネ <input type="checkbox"/> モノジェネ	<input type="checkbox"/> 都市ガス <input type="checkbox"/> LPガス
ガスタービン	_____kVA _____台 (<input type="checkbox"/> 常用 <input type="checkbox"/> 非常用 <input type="checkbox"/> 常用非常用兼用)	<input type="checkbox"/> コージェネ <input type="checkbox"/> モノジェネ	<input type="checkbox"/> 都市ガス <input type="checkbox"/> LPガス
	_____kVA _____台 (<input type="checkbox"/> 常用 <input type="checkbox"/> 非常用 <input type="checkbox"/> 常用非常用兼用)	<input type="checkbox"/> コージェネ <input type="checkbox"/> モノジェネ	<input type="checkbox"/> 都市ガス <input type="checkbox"/> LPガス
燃料電池活用 コージェネ	電池類型 (_____) 発電容量 (_____kVA _____台) (<input type="checkbox"/> 常用 <input type="checkbox"/> 非常用 <input type="checkbox"/> 常用非常用)	<input type="checkbox"/> コージェネ <input type="checkbox"/> モノジェネ	<input type="checkbox"/> 都市ガス <input type="checkbox"/> LPガス

都市ガス LPガス

中圧ガス管に _____ ton/

繋がっている _____ 時間

繋がっていない

ディーゼル エンジン	_____kVA_____台 (<input type="checkbox"/> 常用 <input type="checkbox"/> 非常用 <input type="checkbox"/> 常用非常用兼用)	<input type="checkbox"/> コージェネ <input type="checkbox"/> モノジェネ	燃料：(_____)	燃料：_____ 燃料：_____ _____ ton _____ ton / _____時間 / _____時間
	_____kVA_____台 (<input type="checkbox"/> 常用 <input type="checkbox"/> 非常用 <input type="checkbox"/> 常用非常用兼用)	<input type="checkbox"/> コージェネ <input type="checkbox"/> モノジェネ	燃料：(_____)	
その他	種類 (_____) _____kVA_____台 (<input type="checkbox"/> 常用 <input type="checkbox"/> 非常用 <input type="checkbox"/> 常用非常用兼用)	<input type="checkbox"/> コージェネ <input type="checkbox"/> モノジェネ	燃料：(_____)	

発電容量	全体発電機の合計容量：_____kVA 非常用発電機の合計容量：_____kVA
------	--

③ 非常用発電機と非常用燃料 (①プラント全体の発電機と燃料の中で、非常用発電機に関しては以下にお答えください。)

非常用発電機の類型	発電機の容量	非常燃料の種類	(非常用) 燃料容積量/運転可能時間	冷却方式	(水冷の場合) 非常用冷却水の備え	非常用冷却水量
	kVA		_____ ton / _____時間	<input type="checkbox"/> 空冷 <input type="checkbox"/> 水冷	<input type="checkbox"/> 無し <input type="checkbox"/> 有り：	_____ℓ
	kVA		_____ ton / _____時間	<input type="checkbox"/> 空冷 <input type="checkbox"/> 水冷	<input type="checkbox"/> 無し <input type="checkbox"/> 有り：	_____ℓ
	kVA		_____ ton / _____時間	<input type="checkbox"/> 空冷 <input type="checkbox"/> 水冷	<input type="checkbox"/> 無し <input type="checkbox"/> 有り：	_____ℓ

④ 非常時電力供給の対象

プラント全体

プラントの一部 (供給用途に全部○を付けてください。)

①消火設備 ②防犯設備 ③緊急遮断 ④照明 ⑤空調 ⑥冷暖房設備 ⑦昇降機 ⑧UPS ⑨その他 (_____)

熱供給地区内の一部施設：
_____施設の_____用途

3-3 蓄電容量についてお答え下さい。

		蓄電容量
蓄電設備	機種	<input type="checkbox"/> ナトリウム硫黄電池 : () kVA, ___ 台 <input type="checkbox"/> レドックスフロー電池 : () kVA, ___ 台 <input type="checkbox"/> ニッケル水素電池 : () kVA, ___ 台 <input type="checkbox"/> リチウムイオン電池 : () kVA, ___ 台 <input type="checkbox"/> 鉛蓄電池 : () kVA, ___ 台 <input type="checkbox"/> その他 () : () kVA, ___ 台
	供給対象	<input type="checkbox"/> プラント全体 <input type="checkbox"/> プラントの一部（供給用途に全部○を付けてください。） ①消火設備 ②防犯設備 ③緊急遮断 ④照明 ⑤空調 ⑥冷暖房設備 ⑦昇降機 ⑧UPS ⑨その他 () <input type="checkbox"/> 熱供給地区内の一部施設： _____施設の_____用途

1. 背景と目的

21世紀に入って、人類の持続可能性を脅かしている問題は、地球の気候変動である。IPCCは、第4次報告書においてこの100年間、地球の平均気温が0.74℃上昇し、21世紀末には最小1.8℃、最大4℃の気温上昇を予測している¹⁾。日本の平均年間気温は、1世紀の間、1℃上昇し、東日本の去年7月の気温は強い太平洋高気圧の影響で、気象観測以来(1946年から)、最高気温を記録した²⁾。このような気温変動は、異常気象による自然災害も増加させているので、都市計画における気温上昇と異常気象による災害に対応するレジリエンスの概念が重要となっている。

一方、日本の場合、東日本大震災の影響で、エネルギー供給のBCPが注目され、エネルギー市場の自由化は、自立分散型エネルギーシステムによる、より安定的なエネルギー供給を求めている。

このような動向に従って、本研究は地球温暖化に対するレジリエンスの概念を地域エネルギーシステムに導入して整理・提案すると共に、将来の気象予測データを活用して、将来気象が都市エネルギーシステムに与える影響を予測し、既存の地域冷暖房地区を対象として、レジリエンスの観点から、都市エネルギーシステムのあり方を検討することを目的とする。

2. 研究の流れ

本研究は、レジリエンスの概念を地域エネルギーシステムに適用するために、理論考察、現況分析、予測分析の3段階の研究で構成されている。

第一の理論考察では、地域エネルギーシステムにレジリエンスの概念を適用するために、レジリエンスの概念について、理論的な考察を行う。

第二の現況分析では、地域冷暖房地区を対象として、レジリエンスの観点から現況を検討し、弱点と改善案を提案する。

第三の予測分析では、将来の気象データであるd4PDFを用いて、横浜みなとみらい21地区(以下、MM21地区)を対象として、平均気温の4℃上昇後の冷暖房需要の変化を予測し、地域冷暖房システムへの影響、CGSと蓄熱槽の効果についてシミュレーションで検討する。

3. 理論考察

理論考察は、①レジリエントエネルギーの概要を定義すること、②レジリエントな都市エネルギーシステムのモデルを構築すること、③理論的なレジリエンスの概念を実際のエネルギーシステムに適用して、本研究のフレームワークを構築することの3つの過程がある。

3.1 レジリエントエネルギーの定義

レジリエンスの概念は、1973年生態学者、C. S. Holling³⁾の論文からといわれている。一般的にレジリエンスの概念は、予想できる又は、予想できない衝撃に対する対応・回復能力であると整理できる。

最近、気候変動と異常気象による自然災害が頻繁に起き、都市計画分野において、レジリエンスが注目されているが、分野と学者によって、各々の特性と定義が違う。従って、都市とエネルギー分野におけるレジリエンスの概念を調べて、本研究に適するレジリエントエネルギーの概念を定義した。

レジリエントなエネルギーとは、都市のエネルギーシステムに関する、予想できる、或いは予想できない環境変化に対する適応能力である。従って、気候変動

による異常気象のみならず、災害（地震や津波など）について、予測、適応、回復、評価の過程におけるエネルギーの安定性、効率性、環境性に関する能力である。この能力を高めるために、都市のエネルギーシステムのハード面とソフト面からのアプローチが必要である⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。

3.2 レジリエントな都市エネルギーシステムのモデルの構築

レジリエントな都市エネルギーシステムのモデルを構築するために、文献考察でレジリエンスの特性と構成要素を調査・整理し、各要素の特性によって、ハード面とソフト面に区分した⁸⁾⁹⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。

ハード面には、「独立性」、「強健性」、「重複性」、「多様性」があり、ソフト面には「予測能力」、「臨時応変」、「敏捷性」、「需要側協働」、「組織能力」、「自己組織化」、「包括性」、「総合性」がある。この要素によって、システムの「効率性」と「柔軟性」が決められ、システムの外部と内部の状況と変化を反映する

「反映性」をシステムのパフォーマンスとフィードバックの要素で整理した(図1)。本研究は、ハード面とシステムのシステムのパフォーマンス面の要素のみを扱うこととした。

3.3 レジリエントな地域エネルギーシステムのフレームワーク

本研究では、地域エネルギーシステムのレジリエンスの検討を目的としているので、構築したレジリエントなエネルギーの概念を地域エネルギーシステムの技術要素に適用するために参考文献¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾から、レジリエントなエネルギーに関連している地域エネルギーシステムの構成要素と技術要素を抽出して、レジリエントな地域エネルギーシステムのフレームワークとしてまとめた(図2)。

構築したレジリエントな地域エネルギーシステムのフレームワークの中で、影響の経済性は、多様な要因に関わっているため、本研究の範囲としては経済性を除いて、本研究のフレームワークとして用いた。

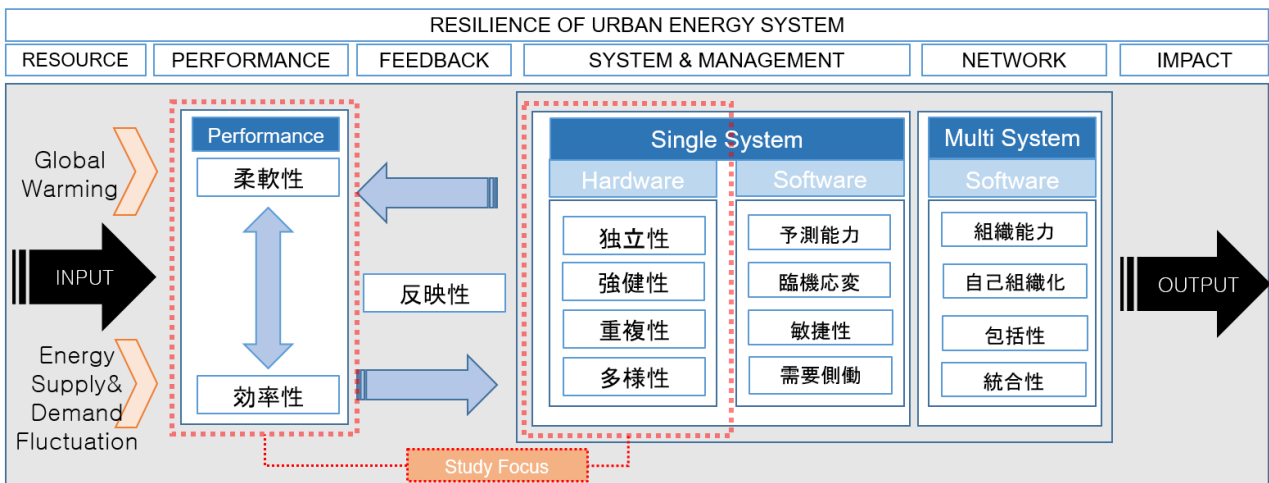


図1 レジリエントな都市エネルギーシステムのモデル

地域エネルギーシステムの構成	地域エネルギーシステムの技術要素	レジリエンスの重要関係
資源 (INPUT)	熱: 石油、ガス、電力 電気: 再生エネルギー・未利用エネルギー	重複性(非常燃料) 多様性(エネルギー源)
インフラ	ガス管、熱供給管 受電設備 共同溝	重複性(予備インフラ) 強健性
設備(生産)	ボイラ、冷動機、ヒートポンプ 発電機 燃料電池 コジェネレーション(CGS)	重複性(能力) 独立性(電力)
設備(貯蔵)	蓄熱槽 UPS 蓄電池	重複性(予備設備)
影響 (OUTPUT)	システムCOP・ベストミックス コストパフォーマンス CO ₂ 、排熱、排水	エネルギーの効率性・柔軟性 経済性 環境性

図2 レジリエントな地域エネルギーシステムのフレームワーク

4. 現況分析

構築されたフレームワークを踏まえて、日本の地域冷暖房地区を対象とした冷暖房システムの技術要素に関する現況分析を行った。現況分析は基礎データ分析とアンケート調査の2つの方式で行い、資源、インフラ、設備(電力設備と冷房設備)、傾向分析(影響)のカテゴリーでまとめた。

基礎データ分析は、公表されている日本熱供給事業協会のデータを用いて行い、アンケート調査は、基礎データで入手できない電力に関わる資源(非常用燃料と非常用冷却水)、インフラ、設備の情報を収集するために行った。

アンケート調査は、第1段階の検討で得られた関連設備と非常用資源の有無、第2段階の検討で得られた設備・非常用資源の容量、種類などの区分や項目を用いて作成し、2017年8月から10月に全国134ヶ所の地域冷暖房事業地区を対象として「電力BCPに関するアンケート調査」と題して実施し、80ヶ所から回答を回収した。

4.1章～4.4章は、現況分析の各カテゴリー別の重要な内容をまとめたものである。

4.1 傾向分析

表1 傾向分析のまとめ

供給エネルギー	
現況	・温熱と冷熱を同時に供給している地区が93.4% (128ヶ所) である。
詳細分析	・販売熱量を確認すると、冷水60.28%、蒸気28.98%、温水8.42%で、冷水による冷熱供給が中心となっている。
規模	
現況	・供給対象施設数で区分すると、4～10個の複合施設群が49%で最も多い。
詳細分析	・プラント面積、供給延床面積、冷暖房能力、燃料使用量がすべて、相互正比例関係である。
設備別の能力	
現況	・温熱設備、冷熱設備の比率がそれぞれ49.4%、50.6%である。
詳細分析	・設備別能力の需要構成は、ボイラー39.5%、冷凍機28.2%、ヒートポンプ(温冷合計)22.8%である。 ・蓄熱の割合は、温水蓄熱2.4%、冷水蓄熱2.9%となっている。
COP	
現況	・地区全体の燃料投入量に対する販売熱量のCOPは、1.23であり、最高COP4.11、最低COP0.49で幅が大きい。
詳細分析	・電力使用の比率が高いほど、COPが高い。 ・排熱・再生可能エネルギー利用率が高いほど、COPが低い。

年度別変遷

現況	・供給地区の延床面積の規模が小さくなってきている。 ・平均COPとCO ₂ 排出量は、やや上昇したが、その幅は大きくない。 ・冷房供給の比率が高くなってきている。
詳細分析	・1970年～1975年に供給開始した地区は温熱供給が中心で、COPが低く、供給地区は広く、電力使用割合が低く、経済性が低い。 ・1986年～1995年に供給開始した地区はCOP、経済性が高く、電力使用の割合も高い。 ・1996年～2000年に供給開始した地区はCO ₂ 排出量が高い。

4.2 資源のレジリエンス

表2 資源のレジリエンスのまとめ

再生可能・未利用エネルギー	
利用地区の数	・134ヶ所の中で、22.4% (30ヶ所) が利用している。
全体の消費エネルギー量に対する比率	・電力とガスの割合が、88.39%で、再生可能・未利用エネルギーの比率は、11.25%である。この中で、海水22.9%、ごみ焼却18.9%、木質バイオマス18.8%、RDF18.7%が主に利用されている。
非常用燃料	
有無	・非常用発電機がある37ヶ所の中、92%が非常用燃料を保有している。8%は非常用燃料を保有していない。
保有量の運転時間	・平均15.6時間であるが、73.5%(25ヶ所)が運転可能時間10時間以下である。
非常用冷却水	
有無	・水冷式の非常用発電機、29ヶ所のうち41.4%が非常用冷却水を備えている。58.6%は備えていないので、非常時、冷却水の供給が途絶えると運転できない。
保有量	・保有量の幅は広く、500ℓから30,000ℓまでである。発電機の能力と非常用冷却水容量の間の関係は見られない。

4.3 設備のレジリエンス

表3 設備のレジリエンスのまとめ(冷房設備)

供給能力	
最大需要と冷房設備の能力の比較	・冷房設備の能力の最大需要に対する比率は全国平均176.6%であり、現在十分な能力を持っている。
冷房設備の熱源エネルギーシフト	・全国地区の冷房設備の種類割合は、電力49.1%、蓄熱12.0%、非電力(燃料+排熱)38.9%である。 ・電動冷凍機のみで冷房を賅っている地域もあり、電力依存性が高い地区もある。
蓄熱槽	
有無	・冷水・温水蓄熱槽が設置されている地区は43.2%、氷蓄熱槽設置されている地区は31.3%である。
全体の冷暖房設備能力対比の容量	・6時間運転を基準とすると、(冷水+氷)冷熱蓄熱槽は13%、温熱(温水)蓄熱槽は5%である。
プラント運営のための非常用設備	
有無	・有る地区は33%、無い地区は33%である。

発電機	
有無	・有る地区は51%、無い地区は49%であり、半分程度の地区は電力の自立性がないと判断された。 ・CGSがある地区は20.9%である。
契約電力に対する比率	・契約電力に比べて、常用は平均168.0%、兼用は平均107.4%、非常用は22.4%であり、全体合計の平均は83.5%である。特定地区の発電能力が高く、73.0%の地区(37ヶ所の中、20ヶ所)は契約電力より小さく、平均28.9%にしかならない。
蓄電池	
有無	・蓄電池、UPSがある地区は43%、無い地区は57%である。
蓄電池・UPSの容量	・蓄電池の場合、冷暖房地区の機能(空港、総合病院)と太陽光利用によって、高い容量の蓄電池を持っている一部の地区を除くと、平均容量は125Ahである。UPSの平均容量は、17.4kVAである。
非常用電力の供給	
非常用発電機による電力供給	・主に、照明、消火設備、UPS等、非常時の緊急電力に利用しているが、冷暖房設備の電力供給に使う地区は55.9%である。
蓄電池による電力供給	・UPS、受電設備の緊急電力・機器制御・中央監視装置が重要な目的である。

4.4 インフラのレジリエンス

表5 インフラのレジリエンスのまとめ

受電方式	
類型	・90%のプラントが二重化された受電方式を採択している。本線予備線は40%で一番多いが、6%のプラントは、一回線受電方式で、受電方式の追加的対策が必要である。
ガス管	
有無	・ガス発電機がある地区の中で(20ヶ所)、中圧ガス管からの供給を受けている地区は75%、低圧ガス管からの供給を受けている地区は25%である。
共同溝	
有無	・138ヶ所の中で、25ヶ所(18.1%)に共同溝があり70ヶ所(50%)に専用洞道がある。
割合	導管全体に対して21%が共同溝であり、専用洞道は18%である。

4.5 現況分析のまとめ

4.5章は、現況分析によって明らかになった地域冷暖房地区の問題点とCGSと蓄熱槽の関係性を整理したものである。

・資源：非常用冷却水として、蓄熱槽の水を活用することで、間接的な効果がある。

表6 現況分析からの問題点とCGS・蓄熱槽の関係

	現在の問題点	C G S	蓄 熱 槽
資源	電力・ガスのみをエネルギー源として利用している地区が多い(77.6%)。		
	水冷式の非常用発電機がある地域の		○

	中で、非常用冷却水を備えてない地区がある(58.6%)。		
	非常用発電機を設けている地区の中で8%は、非常用燃料がない。		
インフラ	一回線受電方式で、受電方式の追加的対策が必要とされる地区がある(6%)。	○	
	ガス発電機がある地区の中で、低圧ガス管からの供給を受けている地区がある(25%)。		
	共同溝又は専用洞道ではない導管は全体長さの61%である。		○
設備	電力冷房に90%以上依存している地区が、9.8%で、エネルギーの柔軟性が低い。	●	●
	電力BCPのための非常用設備を備えてない地区は33%である。	●	
	契約電力に対する発電機の容量が低い。	●	
傾向分析	1970年-1975年に供給開始した地区は比較的にCOP(1.86)が低い。	●	
	1996年-2000年に供給開始した地区の場合、CO ₂ 排出量(tCO ₂ /GJ)が大きい。	●	
	気温上昇と冷熱供給中心になっている。	●	●

●：直接的関係、○：間接的關係

・資源：非常用冷却水として、蓄熱槽の水を活用することで、間接的な効果がある。

・インフラ：CGSの導入が系統電力に対する依存性を減らすことで、間接的に受電インフラのバックアップになる。蓄熱槽を非常用水に用いることで、水道管のバックアップになる。

・設備：CGSは常用・非常用の発電機と、蓄熱槽は冷暖房設備と関係性があり、レジリエンスを高める。

・傾向分析：COP、エネルギー効率向上、低炭素対策が必要な地区はCGSが改善案として考えられる。気温上昇による冷熱供給が増えることに対して、蓄熱槽のピークカットが短期的な対策になる。

5. 予測分析

予測分析では、MM21地区を対象として、4℃上昇後の冷暖房需要と冷暖房システムへ影響、CGSと蓄熱槽の効果を検討した。

回帰分析、冷暖房の需要予測、冷暖房システムの影響予測、レジリエントシステムの導入予測の4ステップで構成されている。分析では、平均気温と4℃上昇後の変化を比較した(図3)。

d4PDF¹⁷⁾は、「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」という産業革命以後4℃上昇後の将来予測気象データであり、本研究では、平均気温と極端な異常気象を考慮した4℃上昇後の上位

5%（8月）を利用した。冷暖房システムへの影響を CGS と蓄熱槽の効果分析によって検討するために、シミュレーションプログラムとして ENPRO21 を利用した。

5.1 回帰分析

気象データである気温・相対湿度と蒸気・冷水需要量の相関関係を分析して、蒸気は、気温との曲線回帰で、192 個の回帰式を導出した。冷水は、気温と相対湿度の多重線型回帰で、240 個の回帰式を導出した。

蒸気回帰分析の平均決定係数(R^2)は、平日 0.73、休日 0.67 であり、需要量の変動が大きい時間帯(7~23 時)だけの決定係数をみると、平日は 0.80、休日は 0.71 であった。冷水の平均決定係数は平日 0.80、休日 0.78 であった。

回帰式による計算値と時実際値の精度検証として、2014 年の実際値の比較と横浜と東京都の気象データによる計算値¹の比較を相関分析で行った。2つの検証で蒸気と冷水の決定係数が 0.97 以上であったことから、信頼性があると判断した。

5.2 冷暖房需要の予測の結果

蒸気の年間平日需要量は 4℃上昇すると、平年値に対して 75.0%から 68.0%まで減少するとの予測結果が得られた。冷水の平日需要の場合、平年値に対して 147.7%から 163.5% まで増加する結果になった。8月の冷房需要は、平年需要量に比べて、4℃上昇後は 141.6%(240.6TJ)、4℃上昇上位 5%は、169.5%となり、4℃上昇後と 4℃上昇上位 5%の間の差が 27.9%であった。時刻別需要のピーク値を比べると、平年値

を基準として、4℃上昇後は、140.5%、4℃上昇上位 5%は 165.6%であり、4℃上昇後と 4℃上昇上位 5%の差は 25.1% となった。4℃上昇上位 5%の年間最大冷水需要量²は、平年値に対して 184.3%まで上がるとの結果が出た。

5.3 冷暖房熱源設備への影響

MM21 地区のプラントを ENPRO21 上にモデリングして、4℃上昇後の影響をシミュレーションした。

1次エネルギー消費量が 103.5%~103.8%に増加し、COP は 0.98 から 1.01 に向上し、CO₂排出量が 104.0%~103.7%に増加し、補給水量と排熱量は各々 129.9%~132.0%、163.5%~164.1%に増加する結果となった。

5.4 蓄熱槽の効果検討

現況の MM21 地区にある蓄熱槽を基準として、平年気温と 4℃上昇後の場合のケースを分けて、効果を検討した。

蓄熱槽の効果で、夏季(5月~10月)の1次エネルギー消費量が平年より 0.5%減少し、4℃上昇後は 0.8~1.0%減少し、夏季の補給水量は平年より 4.0%減少し、4℃上昇後は 5.7%~7.6%減少するとの結果が出た。最大冷水需要を検討すると、ピーク時間帯(10~16 時)排熱量が平年は 19.5%、4℃上昇後は 20.9%増加し、1日1次エネルギー消費量が平年は 11.8%、4℃上昇後は 12.4%減少すると予測された。蓄熱槽の効果は、4℃上昇後より大きい結果となった。

5.5 CGS の効果検討

平年ピーク電力需要量を 100%まかなえる CGS の

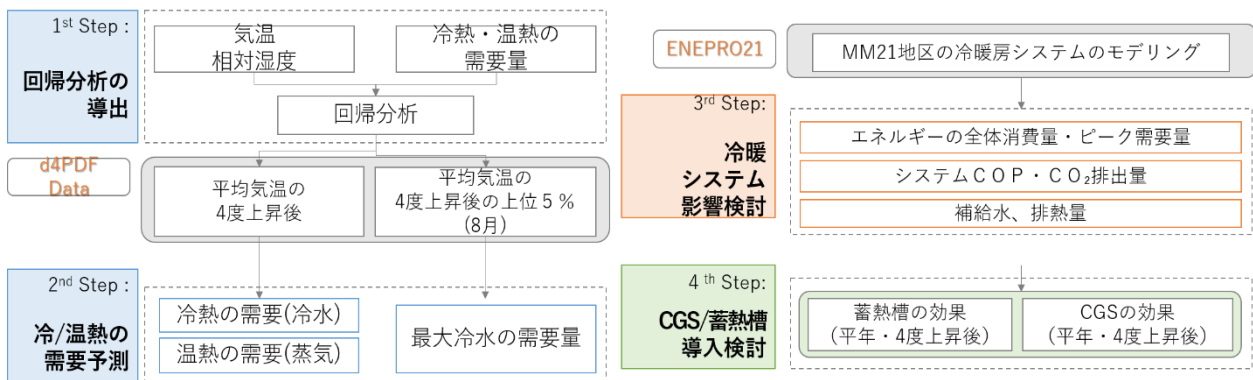


図 1 予測分析の流れ

1 本研究では東京地域の気象研究所領域気候の 4℃上昇実験に該当するデータを用いた。東京地域の気象データを利用したのは、MM21 地区を含む d4PDF メッシュ地域は海の影響が大きいこと、気温の日較差が小さいこと、陸域の分析に適さないためであり、最寄りの陸域データである東京都心部のメッシュ地域を用いた。横浜に

所在している MM21 地区に東京地域の気象データを適用した回帰式からの計算値を検討する必要がある。

2 計算された冷暖房需要量に実績値の時刻別偏差を適用して補正すると、実際値に類似の変動幅が適用され、年間ピーク需要量を求められる。

導入を想定して、理論的に熱電比の省エネルギー率を計算すると、平年の場合が、4℃上昇後より 1.13%～2.26%高いと予測された。

ENEPRO21 によるシミュレーション(CGS を 8 時～22 時に運転すると想定)では、年間 1 次エネルギー消費は、平年の場合 20.5%、4℃上昇後の場合 21.5%～21.6%減少すると予測され、平年と 4℃上昇後の省エネルギー率の差が余りないと結果となった。即ち、平年と 4℃上昇後の理論的な省エネルギー率の差は、運転計画によって変化する幅の範囲内と考えられる。なお、CGS と CGS に関わる設備の稼働で、年間補給水量が、平年は 16.5%増加し、4℃上昇後は 14.6～14.7%増加すると予測された。

6. まとめ

本研究は、理論的な概念のレジリエンスを地域エネルギーシステムに適用してモデルを構築し、ハード面の関連技術要素について、日本の地域冷暖房地区の現況分析を行った。また、産業革命以降 4℃上昇後の冷暖房需要量と冷暖房システムへ影響、CGS と蓄熱槽の効果を回帰分析とシミュレーションで計算した。この成果は、レジリエンスの概念の都市エネルギーの概念整理の資料、現況分析の資料、将来気象予測と冷暖房需要、エネルギーシステムの予測データとして、今後、活用できる。

[参考文献]

1. IPCC(Climat e Change 2014): Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III, 2015.
2. Michael Case, Andrea Tidwell: The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, WWF, 2008.
3. Holling S.C.: Resilience and Stability of Ecological Systems, Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 4, pp.1-23, 1973.11.
4. Henry H. Willis: Kathleen Loa, Measuring the resilience of energy distribution systems, RAND
5. Sara Meerow, Joshua P. Newell, Melissa Stults: Defining urban resilience: A review, Landscape and Urban Planning 147, pp. 38-49, 2016.03.
6. World Energy Council: World Energy Perspective,

2015.09.

7. Kathryn A. Foster: A Case Study Approach to Understanding Regional Resilience, University of California, 2007.11.01.
8. Arup: City Resilience Framework, 2015.12.
9. IED: Making the energy sector more resilient to climate change, 2015.11.
10. Evans P. Fox, Penner P.: Resilient and Sustainable Infrastructure for Urban Energy Systems, Solutions. Vol 5, No. 5, pp. 48-54, 2014.09.
11. Michel Bruneau et al.: A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. Earthquake Spectra, Vol. 19, No. 4, pp. 733-752, 2003.11.
12. Sharifia A., Yamagata Y.: Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume. 60, pp.1654-1677, 2016.07.
13. Jesús R. C., Ernst W.: Urban energy systems within the transition to sustainable development: A research agenda for urban metabolism Resources, Conservation and Recycling, Volume 132, pp.258-266, 2018.05.13.
14. Bazmi A. A., Zahedi G.: Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply. A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 8, pp.3480-3500, 2011.10.14.
15. Gang W.S. et al.: District cooling systems: Technology integration, system optimization, challenges and opportunities for applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 53, pp.253-264, 2016.15.
16. 一般社団法人都市環境エネルギー協会: 地域冷暖房技術手引き書改訂第 4 版, 一般社団法人都市環境エネルギー協会, 2013.
17. 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF), <http://www.mirocgcm.jp/~pub/d4PDF/>

姓名	(フリガナ)	キム カンミン
	(漢字)	金 康珉
	(英語)	Kim Kangmin
Email	333miles@gmail.com	
住所	〒 221-0866 神奈川県横浜市神奈川区羽沢南町2丁目26-2、 羽沢インターナショナルレジデンス、N-307号	
生年月日	1983年7月14日	
所属	大学	横浜国立大学大学院
	専攻	都市イノベーション学府

学歴	期間	教育機関	所在地	その他
	1999.3 - 2002.2	南大田高等学校 理系	韓国 大田市	
	2003.3 - 2010.2	国立忠南大学 建築学科(5年制)	韓国 大田市	学部・早期卒業 成績(4.02/4.5)
	2010.3 - 2012.2	国立忠南大学大学院 建築工学科	韓国 大田市	修士課程 成績(4.31/4.5)
	2013.4 - 2013.10	国書日本語学校	日本 東京	
	2014.4 - 2014.10	横浜国立大学 都市イノベーション学府	日本 横浜市	研究生
	2015.4 - 2019.3	横浜国立大学 都市イノベーション学府	日本 横浜市	博士後期課程 GPA(3.727/4.0)
兵歴	2002.12 - 2004.12	陸軍兵長(満期退役)		

勤務 経歴	期間	勤務機関	職位
	2010.3 - 2012.2	国立忠南大学建築建築研究所	研究補助員 (RA)
	2012.3 - 2012.10	韓国国際科学ビジネスベルト天安機能地 区 支援協議会	幹事
	2013.7 - 2014.3	日本建築設計株式会社	設計補助員 (アルバイト)
	2014.4 - 2016.3	株式会社スローステップ	介護ヘルパー
	2015.4 - 2019.3	横浜国立大学大学院都市 イノベーション学府	研究補助員 (RA)

	2016. 4 - 現在	横浜市国際交流協会 鶴見国際交流ラウンジ	相談窓口スタッフ (アルバイト)
課外 活動	期間	勤務機関	職位
	2006. 3 - 2007. 3	(韓国) 大田広域市eー市政ヘルパー	市政ボランティア
	2009. 7 - 2010. 6	(韓国) 大田広域市第一期大学生記者団	学生記者
	2009. 6 - 2009. 7	(韓国) 国立忠南大学 2009年モンゴル海外ボランティア	海外ボランティア
	2011. 4 - 2012. 3	(韓国) 都市設計学会第9期学生記者	学生記者
	2017. 8 - 2018. 3	(日本) 鶴見区子ども青少年元気支援事業 つるみ元気塾まったりんく (営利活動法人あしほ)	韓国語教師

受賞	年月日	大会名・授与機関	受賞内訳
	2009. 12. 9	第20回大田広域市建築コンペティション	入賞
	2010. 5. 26	2010年韓国生態環境建築学会 秋季学術発表大会	優秀論文発表賞
	2011. 11. 29	2011年韓国生態環境建築学会 春季学術発表大会	優秀論文発表賞
	2012. 2	2012年国立忠南大学 優秀学位論文賞	優秀学位論文賞 (大学内)
	2012. 10. 26	2012年韓国生態環境建築学会論文賞	論文賞

奨学金/ 研究 助成金	期間	名称
	2018. 4 - 2019. 3	公益財団法人横浜工業会
	2016. 4 - 2018. 3	ロータリー米山記念奨学金
	2017. 8 - 2017. 10	韓国土地住宅公社国外新進研修者支援事業
	2015. 8 - 2015. 10	韓国土地住宅公社国外新進研修者支援事業

取得 資格	年月日	資格	授与機関
	2014. 7	日本語能力試験 (JLPT) N1	日本国際教育支援協会 国際交流基金
	2014. 3. 4	介護職員初任者研修	日本教育クリエイト
	2017. 4. 5	運転免許	神奈川県公安委員会

査読論文 : 3本	
① 論文 題名	An Analysis of Interrelation and Relative Importance of Energy Self-sufficiency Urban Planning System Responding Climate Change
著者名	<u>Kim KangMin</u> , Lee Taehee, Oh Deogseong
年月日	2012年8月30日
雑誌名	韓国生態環境建築学2012、12巻、4号、ISSN1598-3730
学会	韓国生態環境建築学会
② 論文 題名	Urban Structure Analysis Focused on Sustainable Development of Ulaanbaatar city, Mongolia : In Terms of Street Networks, Residential Buildings and Urban Landscape
著者名	Dalanjargal Sambuu, <u>Kim Kang-Min</u> , Oh Deog-Seong
年月日	2012年1月28日
雑誌名	大韓建築学会連会論文集2012、14巻、1号、ISSN1229-5752
学会	大韓建築学会地会連合会
③ 論文 題名	d4PDFを用いた気候変動による冷暖房の需要変化と熱源システムへの影響分析 横浜みなとみらい21地区の地域冷暖房を対象として
著者名	金康珉、伊藤俊介、吉田聡、佐土原聡
年月日	2019年1月
雑誌名	日本建築学会環境系論文集
学会	日本建築学会

学術発表論文 : 7本	
① 論文 題名	Green City Strategy Responding to Climate Change - Case Study of Hak-ha New Town in Daejeon Metropolis
著者名	<u>Kim Kang-Min</u> , Shin Jae-hoon, Choi Jun-seong, Oh Deog-Seong
年月日	2010年5月26日
雑誌名	韓国生態環境建築学、学術発表大会論文集、通巻18号、ISSN1975-3616
学会	韓国生態環境建築学
② 論文 題名	A Study on the Characteristics and the Planning Elements of the Plus Energy Housing Estate
著者名	<u>Kim Kang-Min</u> , Oh Deog-Seong
年月日	2011年4月
雑誌名	韓国都市設計学会、春季学術発表大会論文集 (2011-04)

学会	韓国都市設計学会
③ 論文 題名	A Study on the Characteristics and the Planning Elements of the Plus Energy Housing Estate
著者名	Kim Kang-Min , Oh Deog-Seong
年月日	2011年11月29日
雑誌名	韓国生態環境建築学会学術発表大会論文集、通巻18号、ISSN1975-3616
学会	韓国生態環境建築学会
④ 論文 題名	Energy Consumption Analysis for Energy Management on YNU Campus
著者名	Kangmin Kim , Satoshi Yoshida, Satoru Sadohara
年月日	2016年10月7日
雑誌名	Journal of Asian Urban Environment Annual 2016, Special issue, ISSN2189-7972
学会	Asian Institute of Urban Environment
⑤ 論文 題名	d4PDFデータを用いた地域冷暖房地区需要の将来予測その3：－d4PDFデータによる将来熱需要量の予測－
著者名	金康珉 、伊藤俊介、吉田聡、杉山徹、佐土原聡
年月日	2017年10月3日
大会名	2017年度日本建築学会大会(中国)
学会	日本建築学会大会
⑥ 論文 題名	地球環境未来都市研究 その35 d4PDFデータを用いた地域冷暖房地区熱需要の将来予測その1 研究の目的および方法
著者名	吉田聡、杉山徹、伊藤俊介、 金康珉 、佐土原聡
年月日	2017年10月3日
大会名	2017年度日本建築学会大会(中国)
学会	日本建築学会大会
⑦ 論文 題名	地球環境未来都市研究 その36 d4PDFデータを用いた地域冷暖房地区需要の将来予測その2 熱需要と気温・湿度の関係分析
著者名	伊藤俊介、 金康珉 、吉田聡、杉山徹、佐土原聡
年月日	2017年10月3日
大会名	2017年度日本建築学会大会(中国)
学会	日本建築学会大会

参加したプロジェクト（9件）：研究員（4件）、研究補助員（5件）					
①題名	地域戦略産業専門系高校連携基盤構築産業モニタリング				
研究期間	2008. 12 - 2009. 2	発注	(韓国)教育科学技術部	役割	研究補助員
②題名	都市再生事業団核心課題：高層高密度団地の再生手法の開発				
研究期間	2008. 7 - 2009. 6	発注	(韓国)国土海洋部	役割	研究補助員
③題名	大田大東地区低炭素グリーン成長型モデル都市開発構想と妥当性の検討				
研究期間	2010. 11 - 2010. 12	発注	(韓国)土地住宅公社	役割	研究補助員
④題名	牙山市低炭素総合計画				
研究期間	2010. 6 - 2011. 1	発注	(韓国)忠清南道牙山市	役割	研究補助員
⑤題名	SBプラザ造成に関する研究				
研究期間	2012. 2 - 2012. 8	発注	(韓国)忠清南道天安市	役割	研究員
⑥題名	大田市世界革新フォーラム主題選定				
研究期間	2016. 5 - 2016. 9	発注	(韓国)世界科学都市連合	役割	研究補助員
⑦題名	2015年外国新進研究者支援事業(気候とエネルギー問題を解決するための日本の都市計画と推進事業の状況)				
研究期間	2015. 8 - 2015. 10	発注	(韓国)土地住宅研究院	役割	研究員
⑧題名	2017年外国新進研究者支援事業(ガスエンジン、燃料電池などを利用した日本Cogeneration Systemの動向調査)				
研究期間	2017. 8 - 2017. 10	発注	(韓国)土地住宅研究院	役割	研究員
⑨題名	平成30年度東京ガス(株)共同研究(屋外熱環境の変化を踏まえた地域コージェネレーションシステムの計画に関する研究)				
研究期間	2018. 8 - 2019. 3	発注	東京ガス(株)	役割	研究員

謝辞

本研究は、多くの方々の助けを借りて完成されました。

研究分野を再設定した私を偏見なく、受け入れていただき、最初から最後まで、基礎的な用語からいちいち教えて下さった佐土原先生

研究の技術的な部分の方向性についてご助言して頂いた吉田先生

分野を越えて、論文や進路についてのご助言して頂いた稲垣先生

家族のように、学生の生活を世話し下さった尾田さん

親切に相談を受けて頂いた西岡さん

現業の専門家として、ご助言して下さった横田さん

足りない留学生と一緒に研究してくれた伊藤さん

研究室で、話し相手になってくれた喜納さん

ありがとうございました。

本研究に必要なデータの提供とご協力をしていただいた関係者の皆様に感謝いたします。

JAMSTEC の杉山さん、みなとみらい 21 地区の関係者の方、都市環境エネルギー協会の関係者の方、アンケート調査に応じて下さった現場の専門家の方々に感謝いたします。

本研究を行った博士課程の 2 年間、ロータリー米山奨学生として、財政的支援を頂きました。世話クラブの本郷ロータリーの方々に感謝いたします。

カウンセラーの白井さん、安らかにご永眠されますよう、お祈りしております。

ありがとうございました。

2019.2.28

金康珉

감사의 말씀

박사과정을 마치기까지 언제나 응원해주시고 믿어주신 나의 부모님과 가족들에게 감사를 드리고, 사랑합니다.

2013년 3월 3일부터 유학을 시작한지 3일이 부족한 6년의 시간이 지났습니다.
생각했던 것보다 긴 시간이 흘렀고, 박사학위라는 것을 얻게 되었습니다.
무엇보다 그 사이에 하나님께서 동행하여 주셨음에 감사합니다.

2019.2.28

김강민