

芝浦工業大学

博士学位論文

気候変動による建築冷暖房負荷の変動と遮蔽物自動制御による経年増加
冷房負荷量低減技術の検討

令和4年3月

磯崎 恭一郎

目次

第1章 序論

1. 1 建築と人と地球温暖化	3
-----------------	---

第2章 本研究の背景と目的

2. 1 背景	
2. 1. 1 地球温暖化及びヒートアイランド現象と CO ₂ 排出量ゼロ	6
2. 1. 2 既往研究と本研究	6
2. 2 目的	7
2. 3 論文構成	10
本論文フローチャート	13
2章の参考文献	

第3章 気象指標の経年推移と予測

3. 1 気象データ	
3. 1. 1 種類	17
3. 1. 2 熱負荷計算用気象データのフォーマット	18
3. 1. 3 熱負荷計算用気象データ作成方法および経緯	21
3. 2 各種気象指標の予測手法	
3. 2. 1 対象気象データ	22
3. 2. 2 気象指標の予測式	23
3. 3 冬季の気象指標予測	23
3. 4 夏季の気象指標予測	27
第3章 まとめ	32
3章の参考文献	

第4章 冷暖房負荷の長期経年変化と近未来予測

4. 1 熱負荷計算プログラム LESCOM	
4. 1. 1 LESCOM 概要	35
4. 2 対象建物	
4. 2. 1 オフィス	37
(1) 建物条件	
(2) 冷暖房設定条件	

4. 2. 2	戸建住宅	39
(1)	建物条件	
(2)	冷暖房設定条件	
4. 3	オフィスビルの気象指標に基づく近未来冷暖房負荷の予測と経年変化近似式に基づく戸建住宅の近未来冷暖房負荷の予測	
	—東京の最近 60 年間よりのオフィスビル及び戸建住宅年間冷暖房負荷予測—	
4. 3. 1	オフィスビル	
4. 3. 1. 1	熱負荷計算プログラム	42
4. 3. 1. 2	シミュレーション条件	42
4. 3. 1. 3	熱負荷シミュレーション	42
4. 3. 1. 4	年間冷暖房負荷	42
(1)	年間冷暖房負荷の変動	
(2)	年間冷暖房負荷の経年変化式	
(3)	年間冷暖房負荷と各気象指標の経年変化	
(4)	年間部位別冷房負荷の変動	
(5)	開口部、外気取り入れ及び外壁の年間冷暖房負荷の経年変化	
まとめ		67
4. 3. 2	戸建住宅	
4. 3. 2. 1	熱負荷計算プログラム	68
4. 3. 2. 2	シミュレーション条件	68
4. 3. 2. 3	熱負荷シミュレーション	68
(1)	年間冷暖房負荷	
1)	60 年間冷暖房負荷の変動	
2)	60 年間冷暖房負荷の経年変化式	
3)	60 年間部位別冷房負荷の変動	
4)	開口部及び外壁の年間冷房負荷の経年変化式	
4. 3. 2. 4	シミュレーション結果の詳細表示	
まとめ		74
	第 4 章の参考文献	

第 5 章 遮蔽物自動制御による負荷軽減

5. 1	昼光シミュレーション Radiance	
5. 1. 1	Radiance 概要	77
5. 2	オフィスビル及び戸建住宅の遮蔽物自動制御技術による冷房負荷削減量の算定	

及び予測

5. 2. 1	オフィスビル	
5. 2. 1. 1	熱負荷計算プログラム	83
5. 2. 1. 2	シミュレーション条件	83
5. 2. 1. 3	冷房負荷増大に対する対処	83
	(1) ブラインドの光学特性	
	(2) 年間冷房負荷	
5. 2. 1. 4	ブラインド制御による年間冷房パターン	86
5. 2. 1. 5	シミュレーション結果	87
5. 2. 2	戸建住宅	
5. 2. 2. 1	熱負荷計算プログラム	94
5. 2. 2. 2	シミュレーション条件	94
5. 2. 2. 3	開口部の遮蔽物による冷房負荷削減対策	94
5. 2. 2. 4	ブラインドによる対処	94
	(1) ブラインドの光学特性	
	(2) 年間冷房負荷	
	(3) ブラインドの詳細変動	
5. 2. 2. 5	カーテンによる対処	99
	(1) カーテンの光学特性	
	(2) カーテンの中空層熱抵抗	
	(3) 年間冷房負荷	
	(4) カーテンの詳細作動	
	第5章 まとめ	104

第6章 結論と今後の課題

6. 1	結論	106
6. 2	課題	109

謝 辞

参考編

1.	各自治体における2050年二酸化炭素排出実質ゼロに向けた取り組み	103
----	----------------------------------	-----

第 1 章

序論

1. 1 建築と人と地球温暖化

第1章 序論

1. 1 建築と人と地球温暖化

2020年10月26日、第203回臨時国会の所信表明演説において、菅義偉内閣総理大臣は「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする(※)、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言しました。

※「排出を全体としてゼロ」とは、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出量から、森林などによる吸収量を差し引いてゼロを達成すること。

地球温暖化とヒートアイランド現象とは人間活動が原因で気温の上昇をもたらすという点では同じだが、その仕組み、規模は全く違うものである。

地球温暖化は、二酸化炭素(CO₂)やメタン(CH₄)、フロンなどの温室効果ガスが増えることを原因として気温が上昇する現象で、影響は異常気象の多発や海面の上昇など、さまざまな場面に現れており、その広がりには地球規模である。IPCC第5次評価報告書によると陸域と海上を合わせた世界平均地上気温は、線形の変化傾向から計算すると、独立して作成された複数のデータセットが存在する1880年から2012年の期間に0.85℃上昇し、地球の表面では、最近30年の各10年間はいずれも、1850年以降の各々に先立つどの10年間よりも高温でありつづけたとしている。

対して、ヒートアイランド現象は、人工的構造物や排熱が原因で気温が上昇する現象で、その広がりには都市を中心とした限られた範囲であり郊外に比べ都市部ほど森林等が少ないことで熱がこもりやすく気温が高くなる現象である。東京の年平均気温は、過去100年で2.9℃の上昇がみられ、他の大都市の平均上昇気温2.4℃、中小規模の都市の平均上昇気温1℃に比べて大きな上昇である。気温上昇の原因には、地球温暖化の影響もあるが、ヒートアイランド現象を含む都市温暖化の傾向が顕著に現れている(平成14年2月に発行された「東京都環境基本計画」から抜粋)。

気象庁は、全国約150地点の気温等の気象観測を実施しており、ほとんどの観測所で気温の長期的な上昇を確認し、気温上昇は地球温暖化が影響しているが、都市では都市化による局地的な気温の上昇が加わっているとしている。

地球温暖化への関心は世界でとどまることを知らず、1969年には世界的な公害問題、人口爆発、軍事的破壊力の脅威などの人類の危機の接近に対し、可能な解決策を追求するため、世界各国の科学者、経済学者、経営者などにより民間組織ローマクラブが設立されている。また、2006年には「不都合な真実」がアメリカで上映され温暖化により変化した自然の光景を描写し、環境問題に目を向けようとしない政府の姿勢を批判、自然環境をいつも頭に入れつつ生活する大切さを、学者レベルから一般レベルへ地球温暖化の認知を広く訴えかけている。

日本政府は、年間 CO₂ 排出量を 2030 年までに 25%削減、2050 年までに 80%削減することを目標に掲げており、全 CO₂ 排出量のうちの 3 分の 1 を占める民生部門の大幅な削減を実現するためには、建築物において様々な負荷削減技術を施し CO₂ 排出量の削減計画を進めていくことが不可欠である。

2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す動きが活発であり、SDGs など持続可能な開発目標が掲げられ、産業革命以降、社会における利便性、合理性を追い求めた結果、地球温暖化、および SDGs で提唱されている様々な問題を生んできた我々の地球を今の環境のまま子供、孫、ひ孫世代へと引き渡すわけにはいかない。

本論では、東京の最近の気象データを 60 年間用意し、長期のオフィスビル、戸建住宅の熱負荷シミュレーションを行い、年間冷暖房負荷の経年変化を捉え、近未来の冷暖房負荷予測を行っており、2050 年 CO₂ 排出量ゼロにむけ建物デザインや断熱性能、日射遮蔽建材の活用等のうち、ブラインド自動制御とカーテン開閉自動制御による負荷軽減技術を検証、提案する。

遮蔽物自動制御とはブラインドにおいて、昼光シミュレーションプログラムを導入し横型ブラインドスラット角度、反全閉（-75 度）～全閉（+75 度）1 度間隔、太陽プロファイル角度 5 度間隔の光学特性（日射反射率、透過率）を算出、熱的制御として夏季熱取得最少パターン、光環境制御として直射照度遮蔽、熱と光環境において直射照度遮蔽かつ夏季熱取得最少制御の 3 パターンをスラット角度 1 度間隔、1 分間隔で制御するものであり、またカーテンにおいてはカーテンのひだ形状を考慮し昼光シミュレーションプログラムを用い太陽プロファイル角度 5 度間隔における日射反射率、透過率を算出し、熱的に最適なカーテン開閉自動制御を 1 分間隔で行うものである。

各自治体における 2050 年二酸化炭素排出実質ゼロに向けた取り組み一覧を本論末尾に記述した。参考にしていただきたい。

第2章

本研究の背景と目的

- 2. 1 背景
 - 2. 2 目的
 - 2. 3 論文構成
- 2章の参考文献

第2章 本研究の背景と目的

2. 1 背景

2. 1. 1 地球温暖化及びヒートアイランド現象と CO2 排出量ゼロ

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は、世界気象機関(WMO)と国連環境計画 (UNEP) により 1988 年に設立された国連の組織である。

温暖化に関する最新の知見をまとめ、政策決定者をはじめ広く一般に利用してもらうことを任務として活動している。IPCC は、第 5 次評価報告書の第 1 作業部会報告書において

- “気候システムの温暖化には疑う余地はない” 気温、海水温、海水面水位、雪氷減少などの観測事実が強化され温暖化していることが再確認された。
- “人間の影響が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な (dominant) 要因であった可能性が極めて高い (95%以上) ”、前回報告書 (AR4) では「可能性が非常に高い (90%以上)」であったが、更に踏み込んだ表現となった。
- 今世紀末までの世界平均気温の変化は RCP シナリオによれば 0.3~4.8°C の範囲に、海面水位の上昇は 0.26~0.82m の範囲に入る可能性が高い。
- 気候変動を抑制するには、温室効果ガス排出量の抜本的かつ持続的な削減が必要である。
- “CO₂ の累積総排出量とそれに対する世界平均地上気温の応答は、ほぼ比例関係にある。” 最終的に気温が何度上昇するかは累積総排出量の幅に関係する。2007 年、最新の温暖化に関する評価報告書 (第 4 次評価報告書 (AR4)) を公表し、この中で「地球温暖化には疑う余地がない」ことを断定している。

と報告している。

2. 1. 2 既往研究と本研究

- 気象データ及び気象予測

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の報告書¹⁾等にみられるように大都市はヒートアイランド化が進んでいると言われている。

それらの基礎となる長期気象データの整理には赤坂裕、二宮秀興ら²⁾の拡張アメダス気象データ、武田仁ら³⁾の標準気象データと熱負荷プログラム LESCOM 等がある。また、長期気象データより代表的な 1 年間の気象データ、標準年気象データの作成法には曾我和弘、赤坂裕⁴⁾、稲沼實ら⁵⁾がある。

都市のヒートアイランド化の論文には萩島理、谷本潤ら⁶⁾、竹林英樹⁷⁾、飯塚悟、金原和也ら⁸⁾、北尾奈々子、森山正和ら⁹⁾があり、都市のヒートアイランド化の進捗状況を詳述している。

将来気象データ予測に関しては曾我和弘¹⁰⁾、有馬雄祐、大岡龍三ら¹¹⁾があり、

曾我¹²⁾ は空調負荷への応用をも論じている。

気象データは気象庁ホームページから得られるが 1991 年からとなっており、本研究で対象とした整備された 1960 年からの長期気象データは希少である。1960 年～2020 年という長期の東京気象データを用いて、気象指標（デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）の経年変化を近似式で捉え、近未来の気象指標を予測する。

東京 1960 年～2020 年の気象データを用い長期の各年冷暖房負荷を算出し上記、予測気象指標との相関から近未来の熱負荷を予測する。

・ブラインドの光学特性

地球温暖化、ヒートアイランド現象によって経年で増加する負荷を開口部に取り付けた横型ブラインドのブラインド角度を負荷が最小になるように自動制御、また、カーテン開閉自動制御することで負荷を削減する技術を検証し論じる。

ブラインドの形状を考慮し、ブラインドの光学特性を総合、定量的に評価する計算法が提案され始めている中、吉澤望ら¹³⁾ は、それらに並ぶ計算ツールとして照明シミュレーションプログラム Radiance^{注1)} の導入を試みている。

本論では Radiance^{注1)} を導入して横型ブラインドブラインド角度、反全閉（-75 度）～全閉（+75°）1 度間隔、太陽プロファイル角度 5 度間隔の光学特性（日射反射率、透過率）を算出、また、カーテンのひだ形状を考慮し平板形状カーテンの光学特性ではなく太陽プロファイル角度 5 度間隔における日射反射率、透過率を算出し厳密に横型ブラインド自動制御、カーテン開閉自動制御を検証する。

地球上の CO₂ 濃度が増加の一途をたどり地球温暖化、ヒートアイランド現象が加速する状況に待ったが許さない今、今すぐにでもこういった技術を積極的に導入していくことは、今後の人類において義務である。

2. 2 目的

気象庁「気象変動監視レポート 2018」¹⁴⁾ の報告書等にみられるように大都市は気象変動が激しく、ヒートアイランド化が進んでいると言われている。

気候変動を捉えるために、最近の約 60 年間の東京の毎時気象データを用いて気象指標を作成し、気象指標（デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）の経年変化を近似式で捉え近未来 2030 年までの気象指標予測を行う。

2030 年までとした根拠を 2 つあげる。

ひとつは、2021 年 4 月 22、23 日に開催された米国主催気候サミットにおいて、菅総理大臣は、2050 年カーボンニュートラルの長期目標として、我が国が、2030 年度において、温室効果ガスの 2013 年度からの 46%削減を目指すことを宣言するとともに、

さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく決意を表明したことを上げる。

もうひとつは、今回、近未来予測を近似式（線形、指数、対数、2次式）を用いて行うため特に2次式予測では例えば100年後予測となると予測推移が2次曲線となり長期予測に適していないことを上げる。2030年、つまり10年後までの予測とした。

本論では最近の外界気象変化によるエネルギー消費量との関連性が強い冷暖房負荷に注目し、予測した気象指標と年間冷暖房負荷との相関を求め、今回、東京の気象データを熱負荷計算用に60年間用意し、オフィスと戸建住宅の長期の熱負荷シミュレーションを行い、年間冷暖房負荷の経年変化を捉え、近未来の冷暖房負荷予測を行う。

建築温熱環境における開口部は断熱、日射の遮熱（夏期）、取得（冬季）性能等、ガラス種類、遮蔽物形状及び種類により刻々と変化する外界気象条件に対し、その変化に適した負荷軽減技術を施すことのできる重要な部位である。

日射遮蔽技術（庇、ルーバー、オーニング、フィルム等）がたくさんある中で、ブラインドに絞り、今回取り上げた理由は、次々変化する外界条件の1要素である日射に対して柔軟な対応ができる技術がブラインドであるからである。具体的に言うと、横型ブラインド、縦型ブラインド等はスラット角度を変化させることで、時々刻々変化する日射外界条件に合わせてその都度、最適な温熱、及び光環境を生み出すことができるといふ特性をもち、その特性に注目したからである。

本論で年間経年増加負荷量を明らかにし、CO₂排出量削減、冷房負荷低減技術として既存の建物にブラインドをつけ自動制御を行うことで、ブラインド固定角で使用する場合に対して、またカーテンの開閉を自動制御にすることでカーテンを閉じたままにした場合に対しての低減効果を示し、経年で増加する負荷量に対する遮蔽物自動制御を行うことによる負荷削減量を比較検証する。

ブラインドの日射遮蔽性能に関する研究は数多くあり、ガラスとブラインドを組み合わせた各種計算法及び性能値も提案されている。だが多くはブラインドスラット形状を平板として単純評価、また、ガラス窓の日射遮蔽係数においては設計値のための日射入射角（プロファイル角）を一定とみなしたものであり、入射光を平行光線（プロファイル角下向き30°入射角の一定値）の光学特性に限定したものである。

最近ではスラット材の実形状をモデル化し、ブラインドの光学特性を総合的、定量的に評価した計算法が提案され始めている。

吉澤望ら¹³⁾は、Radiance^{注1)}と近藤方式^{15) 16)}の比較を行っており、アルゴリズムの違いに関わらず、Radiance^{注1)}と近藤方式の結果は、ほぼ一致しており理論的に複雑な形状を持つブラインドの正反射率比を持つ一般的なベネシャンブラインドのブラインド特性においてRadiance^{注1)}も既存の手法（近藤方式）と同レベルの精度が得られることが確認されたとしており、今回、計算ツールとして照明シミュレーションプログラムRadiance^{注1)}を導入し、横型ブラインドスラット角度、反全閉（-75度）～全閉（+75度）1度間隔、太陽プロファイル角度5度間隔の光学特性（日射反射率、透過

率)を算出、また、カーテンの平板形状ではなく、ひだ形状を考慮し太陽プロファイル角度5度間隔における日射反射率、透過率を算出する。

また武田仁ら¹⁷⁾は、開口部の日射熱挙動の光学特性に Radiance^{注1)}、ガラスと遮蔽物との中空層熱解析との熱解析に CFD を導入し熱平衡式を作成、検証している。

本論では開口部の複雑な熱挙動の熱平衡式を、武田仁¹⁷⁾らのロジックを適用し、ブラインド制御による開口部の複雑な日射熱挙動の光学特性、中空層熱の熱平衡式を作成し、入射角特性に合わせてブラインドの日射遮蔽性能をモデル化した結果を、熱負荷計算プログラムに組み込み、入射角特性を考慮した年間シミュレーションを行い横型ブラインド自動制御、カーテン開閉自動制御による熱的評価を行う。

この研究成果が、省エネルギー基準適合化義務化の指針となることを期待する。

2. 3 論文構成

本論文は、本章を含めた全6章で構成される。以下に各章の要旨を示す。

第1章 建築と人と地球温暖化

- ・菅義偉内閣総理大臣「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」
- ・地球温暖化とヒートアイランド現象
- ・年間CO₂排出量を2020年までに25%削減、2050年までに80%削減
- ・SDGsなど持続可能な開発目標

第2章 本研究の背景と目的

2. 1 背景

2. 1. 1 地球温暖化及びヒートアイランド現象とCO₂排出量ゼロ

- ・“気候システムの温暖化には疑う余地はない”
- ・“人間の影響が温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高い”
- ・気候変動を抑制するには、温室効果ガス排出量の抜本的かつ持続的な削減が必要である。

2. 1. 2 既往研究と本研究

- ・ 気象データ及び気象予測

長期気象データの整理には赤坂裕、二宮秀興ら²⁾の拡張アメダス気象データ、武田仁ら³⁾の標準気象データと熱負荷プログラムLESCOM、長期気象データより代表的な1年間の気象データ、標準年気象データの作成法には曾我和弘、赤坂裕⁴⁾、稲沼實ら⁵⁾、都市のヒートアイランド化の論文には萩島理、谷本潤ら⁶⁾、竹林英樹⁷⁾、飯塚悟、金原和也ら⁸⁾、北尾奈々子、森山正和ら⁹⁾、将来気象データ予測に関しては曾我和弘¹⁰⁾、有馬雄祐、大岡龍三ら¹¹⁾があり、曾我¹²⁾は空調負荷への応用を論じている。

本研究では、1960年～2020年長期の東京気象データを用いて、気象指標の経年変化を近似式で捉え、近未来の気象指標を予測。

東京1960年～2020年の気象データを用いオフィスと戸建住宅の長期の各年冷暖房負荷を算出し、予測気象指標との相関から近未来の熱負荷を予測。

- ・ ブラインドの光学特性

ブラインドの形状を考慮し、ブラインドの光学特性を総合、定量的に評価する計算法が提案され始めている中、吉澤望ら¹³⁾は、照明シミュレーションプログラムRadiance^{注1)}の導入を試みている。

本論ではRadiance^{注1)}を導入して横型ブラインドスラット角度、反全閉（-75度）～全閉（+75度）1度間隔、太陽プロファイル角度5度間隔の光学特性（日射反射率、透過率）を算出、また、カーテンのひだ形状を考慮し平板形状カーテンの光学特性ではなく太陽プロファイル角度5度間隔における日射反射率、

透過率を算出し厳密に横型ブラインド自動制御、カーテン開閉自動制御を検証する。

2.2 目的

冷暖房負荷に注目し、予測した気象指標と年間冷暖房負荷との相関を求め、オフィスと戸建住宅の長期の熱負荷シミュレーションを行い、年間冷暖房負荷の経年変化を捉え、近未来の冷暖房負荷予測を行う。

年間経年増加負荷量を明らかにし、CO₂排出量削減、冷房負荷低減技術として既存の建物にブラインドをつけ自動制御を行うことで、経年で増加する負荷量に対する遮蔽物自動制御を行うことによる負荷削減量を比較検証する。

計算ツールとして照明シミュレーションプログラム Radiance^{注1)}を導入し、横型ブラインドスラット角度反全閉(-75度)～全閉(+75度)1度間隔、太陽プロファイル角度5度間隔の光学特性(日射反射率、透過率)を算出、また、カーテンのひだ形状を考慮し平板形状カーテンの光学特性ではない太陽プロファイル角度5度間隔における日射反射率、透過率を算出。

入射角特性に合わせてブラインドの日射遮蔽性能をモデル化した結果を、熱負荷計算プログラムに組み込み、入射角特性を考慮した年間シミュレーションを行い横型ブラインド自動制御、カーテン開閉自動制御による熱的評価を行う。

第3章 気象指標の経年推移と予測

- ・気象データ
- ・熱負荷計算用気象データ作成方法および経緯
- ・気象指標の予測

1960年～2020年という長期の東京気象データを用いて、気象指標(デグリーデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量)の経年変化を近似式で捉え、近未来の気象指標を予測。

第4章 冷暖房負荷の長期経年変化と予測手法

- ・オフィスビル：東京60年間の冷暖房負荷を算出、気象指標との相関から近未来冷暖房負荷を予測
- ・戸建住宅：東京60年間の冷暖房負荷を算出、近似式より近未来冷暖房負荷を予測

東京1960年～2020年の気象データを用いオフィスと戸建住宅の長期の各年冷暖房負荷を算出し上記、予測気象指標との相関から近未来の熱負荷を予測。

第5章 遮蔽物自動制御による負荷軽減

- ・オフィスビル及び戸建住宅の遮蔽物自動制御技術による冷房負荷削減量の算定及び予測

年間経年増加負荷量を明らかにし、CO₂排出量削減、冷房負荷低減技術として既存の建物にブラインドをつけ自動制御を行うことでブラインド固定角で使

用する場合に対して、またカーテンの開閉を自動制御にすることでカーテンを閉じたままにした場合に対しての低減効果を示し、経年で増加する負荷量に対する遮蔽物自動制御を行うことによる負荷削減量を比較検証する。

第6章 結論と今後の課題

地球温暖化及びヒートアイランド現象が進み CO₂ 排出量ゼロに向けた動きが活発な今、1960年～2020年という長期の東京気象データを用いて、気象指標（デグリーデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）の経年変化を近似式で捉え、近未来の気象指標を予測し、東京1960年～2020年の気象データを用い長期の各年冷暖房負荷を算出し上記、予測気象指標との相関から近未来の熱負荷を予測した。

次に、地球温暖化、ヒートアイランド現象によって経年で増加する負荷を開口部に取り付けた横型ブラインドのブラインド角度を負荷が最小になるように自動制御、及び、カーテン開閉自動制御することで負荷を削減する技術を検証し論じた。

開口部の複雑な日射熱挙動の光学特性、中空層熱の熱平衡式を作成し、入射角特性に合わせてブラインドの日射遮蔽性能をモデル化した結果を、熱負荷計算プログラムに組み込み、入射角特性を考慮した年間シミュレーションを行い横型ブラインド自動制御、カーテン開閉自動制御による熱的評価を行った。

上記気象指標、熱負荷予測、遮蔽物自動制御を行った場合の結果をまとめ、本研究で得られた今後の課題を上げる。

以下、本論文のフローチャートを図2-1に示す。

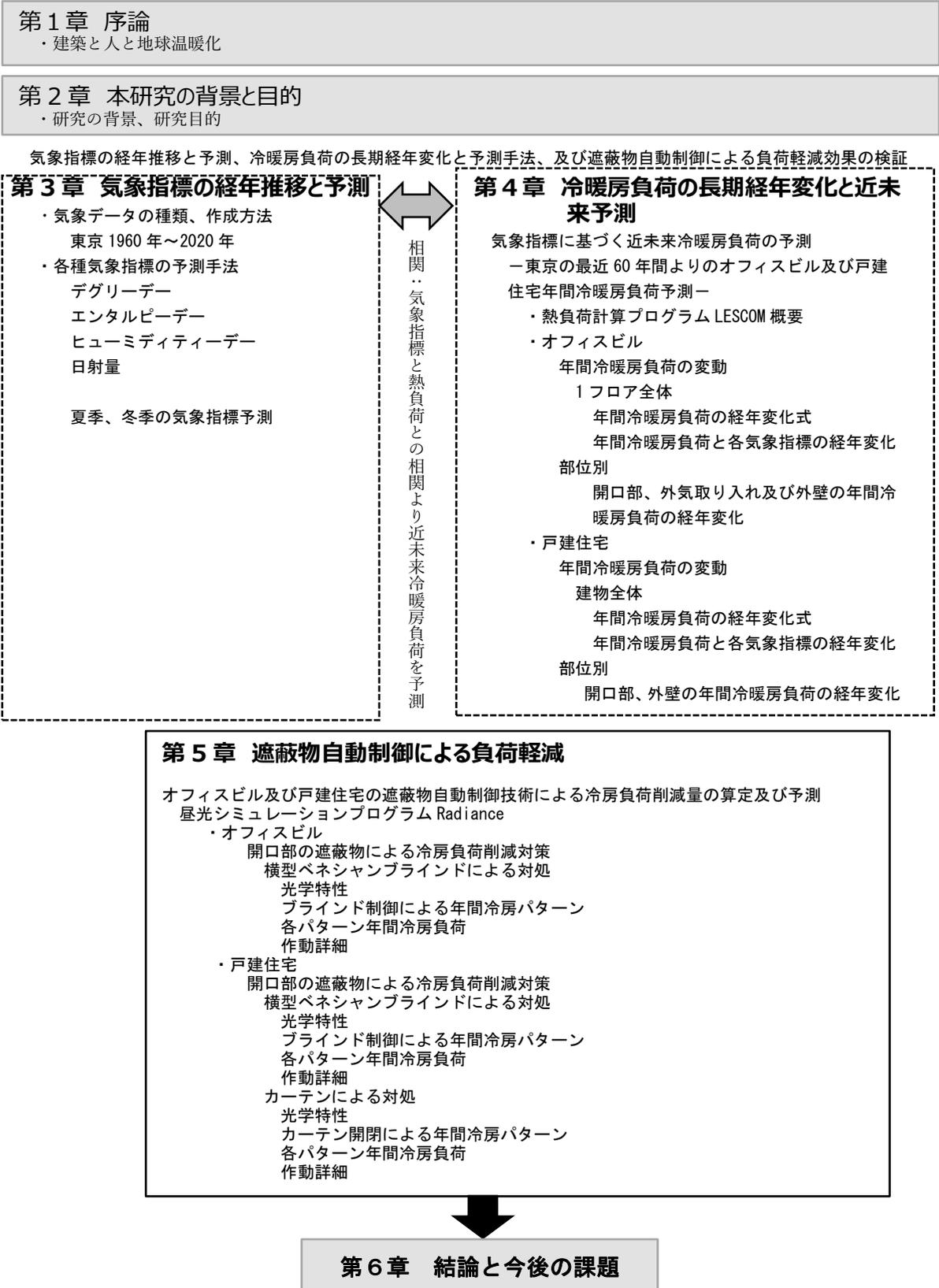


図 2-1 本論文のフローチャート

第2章の参考文献、注記

- 1) IPCC : CLIMATE CHANGE 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers,2014
- 2) 赤坂裕, 二宮秀興他 6 名 : 拡張アメダス気象データ,日本建築学会,2000
- 3) 武田仁, 稲沼寛, 吉澤望, 磯崎恭一郎:標準気象データと熱負荷計算プログラム LESCOM, 井上書院, 2005.3
- 4) 曾我和弘, 赤坂裕 : 標準気象データ作成法に関する研究 EA 法と SHASE 法の比較, 日本建築学会環境系論文集,No.581, pp.21-28, 2004.7
- 5) 稲沼寛, 吉村孝彦, 武田仁, 浅田秀男 : 長期観測データに基づく昼光照度基準の天空輝度分布を含む標準気象データに関する実証的研究,日本建築学会環境系論文集, No.576, pp.43-48, 2004.2
- 6) 萩島理, 谷本潤, 浅野文宏 : 改良建築-都市-土壌連成系モデル (AUSSSM) による都市高温化の構造解析 第3報 気象条件による都市高温化要因の違い, 日本建築学会環境系論文集,No.601, pp.43-50, 2006.3
- 7) 竹林英樹 : 上空気象データを用いたヒートアイランド対策技術導入効果の簡易評価方法の検討,日本建築学会環境系論文集,No.621, pp.57-62, 2007.11
- 8) 飯塚悟, 金原和矢他 3 名 : 夏季の名古屋の温熱環境を対象とした現状再現の制度検証と疑似温暖化手法を併用した将来予測の試み 領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温熱環境シミュレーション,その1,日本建築学会環境系論文集,No.647, pp.87-93, 2010.1
- 9) 北尾奈々子, 森山正和他 2 名 : メソ気象モデル WRF を用いた大阪地域のヒートアイランド現象に関する研究 潜在的な自然植生の概念を用いた都市化の影響評価,日本建築学会環境系論文集,No.651, pp.465-471, 2010.5
- 10) 曾我和弘 : 地球温暖化予測情報を用いた将来気象データの開発 気象変動に適応可能な建築・設備の計画支援と目的とする将来気象データに関する研究,日本建築学会環境系論文集,No.703, pp.803-812, 2014.9
- 11) 有馬雄祐, 大岡龍三, 菊本英紀, 山中徹 : 夏季の関東地方を対象とした近未来標準気象データの試作と気候変動の建築熱負荷への影響評価力学的ダウンスケーリングによる建築熱負荷計算のための近未来気象データの作成,その1,日本建築学会環境系論文集, No.710, pp.371-379, 2015.4
- 12) 曾我和弘 : 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
- 13) 吉澤望, 武田仁, 近藤純一 : 日射遮蔽物の入射角特性を考慮した熱負荷計算-内付けブラインドの光学特性計算への Radiance の適用-, 日本建築学会環境系論文集, Vol.79, No.640, pp. 675-683, 2009.6
- 14) 気象庁 : 気候変動監視レポート 2018, 2019.07
- 15) 近藤純一, 稲沼寛 : 外装ブラインドのある窓の日射伝播性能に影響を与えるスラット

特性に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.597, pp. 27-33, 2005.11

16) 近藤純一, 稲沼寛: 外装ブラインドのある窓に入射する日射伝播に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集, No.593, pp. 17-24, 2005.7

17) 武田仁, 鈴木宏和, 早川眞: 開口部の日射遮蔽物による熱特性—ベネシアンブラインドの光学特性および中空層の熱特性の検証—, 日本建築学会環境系論文集, Vol.74, No.706, pp. 1037-1047, 2014.12

注記

注1) Radiance は1980年代から Greg Ward(Lawrence Berkley National Laboratory)によって開発が進められた照明シミュレーションプログラムである。

第3章

気象指標の経年推移と予測

- 3. 1 気象データ
 - 3. 1. 1 種類
 - 3. 1. 2 熱負荷計算用気象データのフォーマット
 - 3. 1. 3 熱負荷計算用気象データ作成方法および経緯
- 3. 2 各種気象指標の予測手法
 - 3. 2. 1 対象気象データ
 - 3. 2. 2 気象指標の予測式
- 3. 3 冬季の気象指標予測
- 3. 4 夏季の気象指標予測

第3章 ま と め

3章の参考文献

第3章 気象指標の経年推移と予測

3.1 気象データ

3.1.1 種類

(1) 気象庁観測データ

気象データを全国的に展開する場合、国家機関で多額の予算を持ち、多くの専門家により観測している気象庁の観測網を利用することが考えられる。気象庁では、各種自然現象を観測しているが、建築環境工学に直接関係があると思われるものにSDPデータ、AMeDASデータ、日原簿及びそれらを統計処理した資料などがある。

(2) 熱負荷基準標準気象データ

標準気象データの概要

標準気象データとは、空気調和・衛生工学会の空調設備基準委員会第2小委員会標準気象データ分科会（斎藤平蔵主査、松尾陽幹事、昭和47～48年）が提案した気象データの作成法に基づく気象データである。当時、レスポンス・ファクタ法等のコンピューター用アルゴリズムが開発され、毎時の気象データで熱負荷計算を行うことが可能になり、この手法を「電算機による動的熱負荷計算法」と称した。動的熱負荷計算プログラムには、建物の仕様とともに、毎時の外界条件データが必要になり、そのための気象データの研究、整備に着手した。この分科会では、3種類の標準気象データを定義づけている。

- ① 代表年—実在の1年間であり、年間全負荷量および高負荷日、低負荷日の生起の割合などからみて、その土地の気象が最も特徴的に現れているような年のデータ
- ② 平均年—熱負荷計算結果が月別に最も平均的になるように人為的に継ぎ合わせて作成した1年分の気象データ
- ③ 極端年—冷房負荷が最も大きくなるであろうシーズンと、暖房負荷が最も大きくなるであろうシーズンの気象データとした。標準気象データとして「代表年気象データ」、「平均年気象データ」、「極端年気象データ」の3種類を上述のように定義したが、現実には「平均年気象データ」の作成のみが成案された。

「平均年気象データ」は、毎年の生データ「各年気象データ」より冷房及び暖房の期間負荷が平年並み（平均的）になるように、「各年気象データ」より月ごとに選定し、継ぎ合わせた1年分（365日×24時間）であるともいえる。一般に利用される段階になると、「標準気象データ」＝「平均年気象データ」となった。従って、厳密には標準気象データと称するよ

り「平均年気象データ」と称するのが正しいと思われる（しかし通称に従い、平均年気象データを標準年気象データと称す）。

標準気象データを作成するためには、その土地の10年程度の気象データから作成されるのが望ましい。統計期間を10年程度とするのは、都市域では人為的な要因による気象変動が顕著となっているため、あまり過去にさかのぼることは、かえって現時点の気象を反映せず、シミュレーションによる将来予測を誤らせる危険性が生じるためである。よって、各地の標準気象データは東京のごとく、1960年代東京標準気象データ（通称、旧東京、1960～1969年より作成）、1970年代東京標準気象データ（通称、新東京、1972～1979年より作成）、1980年代東京標準気象データ（通称、新々、1980～1989年より作成）と10年程度ごとに新たに作成することが望まれる。

標準気象データの使用方法としては種々考えられるが、期間冷暖房負荷が平均的に算出されるように気象データが作成されているので、この気象データをそれ以外、例えば太陽熱利用各種システムの評価、風力発電システムの評価、結露水量の算定などに利用する場合は、気象データの作成趣旨を念頭において利用する必要がある。

3. 1. 2 熱負荷計算用気象データのフォーマット

このように気象データは、気温（乾球温度）、絶対湿度、法線面直達日射量、水平面天空日射量、雲量、風向、風速の7気象要素の毎時のデータを1年間分納めたものである。単純に計算しても7[要素]×365[日]=2,555行、7[要素]×24[時間]×365[日]=61,320の莫大なデータ数となる。この他、日付や曜日などが記載されている。以前のパンチカードの名残で、1要素が1枚のカード80カラムに納まるように考えられ、コンパクトで分かりやすいよう心掛けられている。

当時は重いパンチカードで気象データのやり取りが行われた。その後、フロッピーディスクにファイルとして納められることが多くなり、現在は別の大容量の記憶媒体、例えば光ディスク、CD-ROM、USBメモリー等では作成されているすべての地域の気象データが1枚に格納できる。

作成した気象データフォーマットを下記、図3-1、3-2に示す

1行目 1	21	31	41	48
タイトル（地名等）	緯度（°）	経度（°）	年	
(A20)	(F10.4)	(F10.4)	(A7)	

図3-1 1行目フォーマット

2行目以降

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							72					80
1時	2時		3時		4時							24時	年	月	日	曜日				

枚目：1～7

図 3-2 気象データフォーマット（2行目以降）

1行目は地点名、緯度、経度である

2行目以降は下記の通りである。

- 1) データは7気象要素であり、1要素1日分を1行80カラムに納め、全要素1日分7行である。
- 2) データは1日分ずつまとめて、日付の順に並べられている。
- 3) 1時刻のデータはすべて3カラム内に納め、1日分を1～72カラムとして、1時～24時のデータ順である。
- 4) 末尾の8カラムは日付、曜日・休日表示、シーケンスのカラムである。
- 5) 73～78カラムは日付を示し、年、月、日、に2カラムずつとり、年は西暦の下2桁とし、月、日はそのままの値とする。
- 6) 79カラムは曜日、休日の表示で、日曜日を1、月曜日を2、以下、火：3、水：4、木：5、金：6、土：7とする。なお、休日は1行目の乾球温度の曜日欄を0とし、2～7行目の曜日欄は曜日コードを与えている。標準年データの曜日コードは1月1日を1、2日を2、3日を3、…、すなわち日曜日より始まり月、火、…とし、1月2日の1行目の曜日欄に0を入れ、休日としている。休日は気象データ作成当時のカレンダーに基づいている。
- 7) 80カラム目は、シーケンスで1日分7行の1行から順次1～7の数字が記入されている。

① 気温（1行目）

負値にならないように観測値に50.0[°C]を加え、さらに10倍した整数値（観測値+50.0[°C]、単位[0.1°C]の値）を各時間ごとに記載。したがって、使用する際には10分の1した後、50.0を差し引く必要がある。

② 絶対湿度（2行目）

観測値を絶対湿度に変換し、10倍にした整数値（単位[0.1g/kg']の値）を

各時間ごとに記載。したがって、使用する際には10分の1にする必要がある

③ 法線面直達日射量（3行目）

観測値を直散分離し、直達成分を整数値（単位[kcal/m²h]）として各時間ごとに記載。工業単位であるのでSI単位（W/m²）には0.86で割る必要がある

④ 水平面天空日射量（4行目）

観測値を直散分離し、天空成分を整数値（単位[kcal/m²h]）として各時間ごとに記載。工業単位であるので、SI単位（W/m²）には0.86で割る必要がある。

⑤ 雲量（5行目）

観測値（0～10）をそのまま整数値として各時間ごとに記載。

⑥ 風向（6行目）

観測値を時計回りの16方位のコード（0：無風、1：NNE、2：NE、・・・、16：N）の整数値で各時間ごとに記載。

⑦ 風速（7行目）

観測値を10倍にした整数値（単位[0.1m/s]の値）を各時間ごとに記載。使用する際には10分の1にする必要がある。

例として東京2017年気象データ（1月1日～1月5日）を下図3-3に示す。

TOKYO2017	35.6883										139.7567										2017									
551	541	540	530	536	525	528	537	564	593	617	637	629	631	623	615	578	578	570	580	570	583	576	553	17	1	1	11			
40	34	35	35	35	34	34	36	37	38	37	37	29	31	42	40	42	39	40	40	36	34	32	34	17	1	1	12			
0	0	0	0	0	0	0	316	507	640	689	710	695	623	438	196	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	1	13			
0	0	0	0	0	0	29	62	96	95	98	93	86	80	76	42	8	0	0	0	0	0	0	0	17	1	1	14			
4	5	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	4	3	3	17	1	1	15			
13	15	15	2	15	14	15	14	15	14	15	13	16	7	7	9	8	13	14	13	13	15	13	17	1	1	1	16			
35	17	15	10	22	17	21	19	17	18	28	25	23	15	21	17	25	23	10	29	18	32	14	15	17	1	1	17			
548	543	543	550	545	546	544	555	565	577	599	616	627	621	618	599	580	573	567	569	562	561	565	562	17	1	2	1			
34	36	36	40	40	39	37	36	36	35	39	40	42	39	39	48	45	42	44	45	45	44	45	43	17	1	2	22			
0	0	0	0	0	0	0	5	94	284	490	613	599	500	417	200	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	2	23			
0	0	0	0	0	0	8	37	99	151	147	122	111	103	72	41	8	0	0	0	0	0	0	0	17	1	2	24			
2	1	0	3	7	10	10	10	7	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	2	25			
15	12	14	13	15	1	14	14	14	12	2	1	1	14	1	10	8	8	10	9	10	13	14	15	17	1	2	26			
5	13	19	25	12	20	7	22	15	15	8	12	18	17	8	8	5	17	11	6	10	12	25	9	17	1	2	27			
543	547	541	545	538	549	554	557	582	599	613	626	632	631	621	614	602	595	587	583	574	565	566	554	17	1	3	31			
42	41	40	40	39	37	37	39	40	40	38	35	37	34	32	30	29	28	28	29	28	27	27	30	17	1	3	32			
0	0	0	0	0	0	0	311	521	610	649	667	674	391	142	162	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	3	33			
0	0	0	0	0	0	29	61	86	102	110	106	94	110	92	36	7	0	0	0	0	0	0	0	17	1	3	34			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	0	0	0	2	3	5	17	1	3	35				
12	13	12	13	15	14	15	14	15	1	16	15	15	15	15	15	16	15	15	15	15	16	15	1	1	17	1	3	36		
10	17	12	21	13	18	15	33	20	19	27	51	35	42	34	33	22	27	30	21	14	12	12	8	17	1	3	37			
554	562	562	558	555	546	537	554	587	603	621	625	633	634	631	629	612	595	588	581	572	570	567	564	17	1	4	41			
29	29	28	30	30	31	33	37	32	34	37	39	42	41	42	37	34	30	30	27	24	23	23	24	17	1	4	42			
0	0	0	0	0	0	0	285	487	571	622	634	605	538	390	181	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	4	43			
0	0	0	0	0	0	26	59	86	108	115	116	111	96	73	38	8	0	0	0	0	0	0	0	17	1	4	44			
7	8	10	9	9	8	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	4	45			
14	15	15	13	13	8	9	9	6	8	7	9	8	9	12	14	15	15	15	15	15	15	15	16	17	1	4	46			
18	15	21	20	14	13	28	9	9	30	33	31	28	15	18	36	28	29	45	44	45	58	36	32	17	1	4	47			
564	565	565	564	554	552	552	563	579	587	591	602	598	596	587	579	568	560	554	550	547	546	547	542	17	1	5	51			
23	20	19	19	21	20	20	22	26	24	27	23	22	24	22	24	24	24	22	22	21	18	20	17	1	5	52				
0	0	0	0	0	0	0	333	550	671	709	711	700	623	499	211	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	5	53			
0	0	0	0	0	0	29	61	87	86	94	96	89	93	74	50	11	0	0	0	0	0	0	0	17	1	5	54			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	5	55			
14	15	15	14	13	13	14	14	14	14	15	15	14	14	15	15	15	15	15	14	15	14	14	15	17	1	5	56			
38	47	54	45	38	27	39	32	45	53	60	51	70	69	54	50	47	53	43	70	29	57	57	30	17	1	5	57			

図3-3 東京2017年気象データ（1月1日～1月5日）

3. 1. 3 熱負荷計算用気象データ作成方法および経緯

熱負荷計算に用いる気象データは気象庁観測データとし、熱負荷に大きく関係する気温、露点温度、日射量、風向、風速、雲量の気象要素とする。対象は東京 1960 年 1 月から 2020 年 10 月までの 60 年間とする。

(1) 最近の 1991 年～2020 年

気象庁公表の「過去の気象データ・ダウンロード」¹⁸⁾を用いる。

主な理論式

①日射の直散分離

Reindl の式¹⁹⁾を用いる。

②太陽視赤緯、均時差

海上保安庁水路部（現海上情報部）の式²⁰⁾を用いる。

③絶対湿度計算

Wexler-Hyland(ASHRAE)の式²¹⁾を用いる。

(2) 作成開始時の 1960 年～1969 年

東京大学松尾陽教授（当時）が、当時、空気調和、衛生工学会の空調設備基準委員会²²⁾で発表した気象データ。

地上気象観測時日別編集データ(SDP データ)を用い、一部、記録紙データを追加する。日射の直散分離は Bouguer の式と永田の式²³⁾、太陽視赤緯、均時差は松尾の近似式²⁴⁾、絶対湿度計算は Goff-Gratch の式を用いた。

今回、気象データを同一理論式で処理するため、日射関係は当時使用した理論式を用い水平面全日射量を再現計算し、(1)に用いた式により、法線面直達日射量、水平面天空日射量を算出した。

絶対湿度は当時用いた式より露点温度を算出し、同様に(1)に用いた式により絶対湿度を算出した。

(3) 1970 年～1972 年

日射量欠測のため気象データは作成せず。

(4) 作成中間期の 1973 年～1990 年

地上気象観測時日別編集データ(SDP データ)を用い日射の直散分離は Bouguer の式と永田の式²³⁾、太陽視赤緯、均時差は松尾の近似式²⁴⁾、絶対湿度計算は Goff-Gratch の式を用いた。今回、観測データに立ち帰り、(1)と同様の処理を行い法線面直達日射量、水平面天空日射量、絶対湿度を算出した。

3. 2 各種気象指標の予測手法

東京 1960 年～2020 年の各気象指標（デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）の経年変化を捉え 2030 年まで予測する。

3. 2. 1 対象気象データ

気象データは東京の夏季：1960 年～2020 年（58 年）（70 年、71 年日射量欠測冬季：1960 年冬～2019 年冬（56 年）（69 年冬、70 年冬日射量欠測）、気象指標は冷暖負荷に大きく影響する気温、湿度、日射量の 3 要素を対象とする。

① デGREEデー（Degree days）

毎時気温データより日平均気温を算出し、暖房デGREEデーは 18°C、22°C および 24°C の基準温度より低い年間の積算値をいい、Dh18_18、Dh22_22 および Dh24_24 と表示する。同様に冷房デGREEデーは 22°C、24°C および 26°C の基準温度より高い年間積算値をいい、Dc22_22、Dc24_24 および Dc26_26 と表示する。

② エンタルピーデー（Emthalpy days）

毎時気温データおよび毎時絶対湿度より日平均エンタルピーを算出し、暖房エンタルピーデーは気温 18°C、相対湿度約 40% のエンタルピー 30[kJ/kg(DA)] より低い年間の積算エンタルピーを Eh30_30 と表示する。同様に 20°C、約 40% のエンタルピー 35[kJ/kg(DA)] を Eh35_35、22°C、約 40% のエンタルピー 40[kJ/kg(DA)] を Eh40_40 と表示する。冷房エンタルピーデーは同様に気温 22°C、相対湿度約 65% のエンタルピー 50[kJ/kg(DA)] より高い年間の積算エンタルピーを Ec50_50、24°C、約 60% のエンタルピー 55[kJ/kg(DA)] を Ec55_55、26°C、約 60% のエンタルピーを Ec60_60 と表示する。

③ ヒューミディティデー（Humidity days）

毎時絶対湿度より、日平均絶対湿度を算出する。暖房ヒューミディティデーは気温 18°C、相対湿度 50% に相当する絶対湿度 7.124g/kg' より低い年間の積算値を Hh7.1_7.1 と表示する。同様に 20°C、50% の絶対湿度 7.626g/kg' を Hh7.6_7.6、22°C、50% の絶対湿度 8.159g/kg' を Hh8.2_8.2 と表示する。同様に冷房ヒューミディティデーは気温 22°C、相対湿度 60% に相当する絶対湿度 10.842g/kg' より高い年間の積算値を Hc10.8_10.8 と表示する。同様に 24°C、60% の絶対湿度 11.360g/kg' を Hc11.4_11.4、26°C、60% の絶対湿度 12.121g/kg' を Hc12.1_12.1 と表示する。

④ 積算日射量

毎時法線面直達日射量(W/m²)および水平面天空日射量(W/m²)より太陽位置計算を用い水平面全天日射量(W/m²)を算出する。12 月～2 月の積算値を暖房期積算日射量 Sow(MJ)、7 月～9 月の積算値を冷房期積算日射量 Sos(MJ)と表示す

る。

3. 2. 2 気象指標の予測式

「高解像度北太平洋海洋モデル(NPOGCM)・SRES A1B シナリオ及び B1 シナリオを用いた 1981～2100 年の気候予測を一次回帰式によって予測²⁵⁾」を参考に、気象指標の予測式は、直線および曲線を想定する次の 4 式とする。

$$\text{線形式 } y = ax + b \quad (1)$$

$$\text{指数式 } y = a * \exp(bx) \quad (2)$$

$$\text{対数式 } y = a * \ln(x) + b \quad (3)$$

$$\text{2 次式 } y = ax^2 + bx + c \quad (4)$$

ただし、y:各種気象指標、a、b、c:予測の係数[-]である。

3. 3 冬季の気象指標予測

デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー、暖房期積算日射量を式(1)～(4)を用いた場合の残差分散を図 3-4～3-7 に示す。各残差分散の最小のものを信頼性が高いとし選定する。それによりデGREEデーは、Dh18_18、エンタルピーデーは、Eh30_30、ヒューミディティーデーは Hh7.6_7.6 を選定した。選定した各予測式（線形、指数、対数、2 次式）を表 3-1～3-4 に示す。

選定した各予測式を近未来予測に適用した。2030 年までの近未来予測、暖房デGREEデーDh18_18を図 3-8、暖房エンタルピーデーEh30-30を図 3-9、暖房ヒューミディティーデーHh7.6_7.6を図 3-10、暖房期積算日射量 Sowを図 3-11 に示す。暖房デGREEデーは減少傾向にあり減少は年 1.4～8.5 デGREEデー程度である。暖房エンタルピーデーは 2 次式予測を除き減少傾向にあり減少は年 1.1～7.0 エンタルピーデー程度である。暖房ヒューミディティーデーは 2 次式予測を除き、ほとんど変わらず増加は年 0.04 ヒューミディティーデー程度である。暖房期積算日射量は、2 次式を除き、やや増加の傾向があり増加は年 2.6～45.4MJ 程度である。なお、気象指標予測を 2 次式による外挿法は、やや極端な傾向がある。

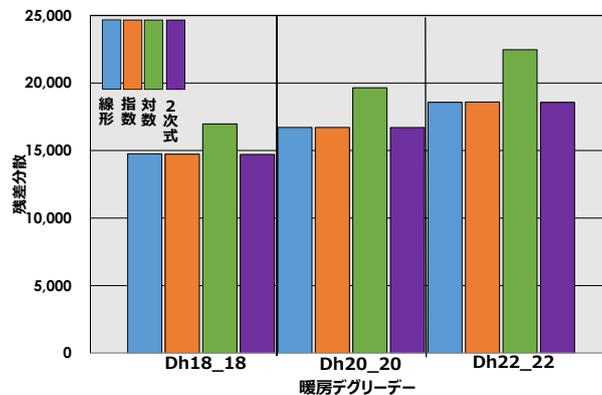


図 3-4 暖房デGREEデーの残差分散

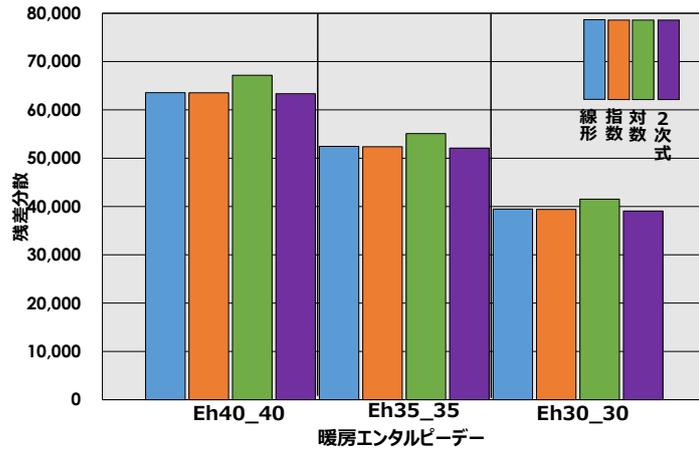


図 3-5 暖房エンタルピーデータの残差分散

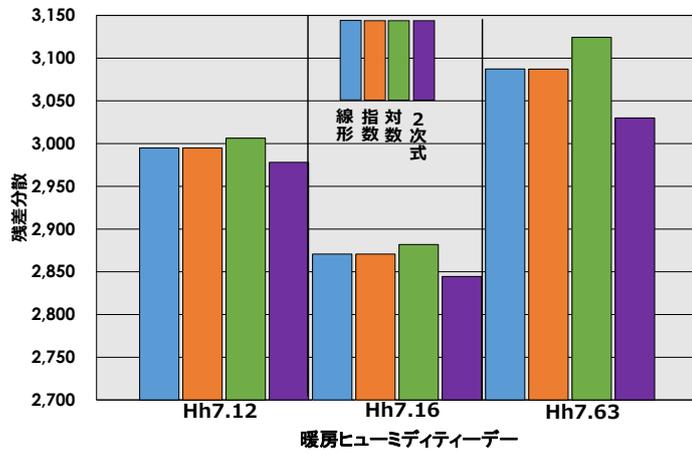


図 3-6 暖房ヒューミディティデータの残差分散

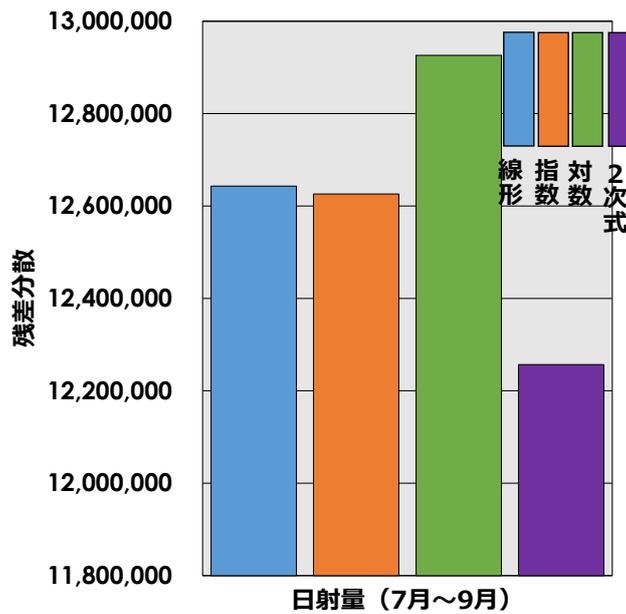


図 3-7 冬季日射量の残差分散

選定した各指標(暖房)と経年変化近似式のうち暖房デグリーデーを表 3-1、暖房エンタルピーデーを表 3-2、暖房ヒューミディティデーを表 3-3、日射量(12月～翌2月)を表 3-4 に示す。

表 3-1 暖房デグリーデー

Dh18	近似式
線形	$y = -5.73x + 1778.90$
指数	$y = 1776.5e^{-0.003x}$
対数	$y = -108.90\ln(x) + 1948.50$
2次式	$y = 0.15x^2 - 14.47x + 1866.20$

表 3-3 暖房ヒューミディティデー

Hh7.826	近似式
線形	$y = -0.7066x + 680.89$
指数	$y = 680.68e^{-0.001x}$
対数	$y = -6.783\ln(x) + 1681.15$
2次式	$y = -0.047x^2 - 2.0668x + 653.15$

表 3-2 暖房エンタルピーデー

Eh30	近似式
線形	$y = -5.73x + 2141.20$
指数	$y = 2136.2e^{-0.003x}$
対数	$y = -100.0\ln(x) + 2283.30$
2次式	$y = 0.06x^2 - 9.15x + 2175.40$

表 3-4 日射量(12月～翌2月)

Sow	近似式
線形	$y = 15.43x + 5154.60$
指数	$y = 5139.1e^{0.0028x}$
対数	$y = 178.88\ln(x) + 5053.40$
2次式	$y = 0.49x^2 - 13.47x + 5443.70$

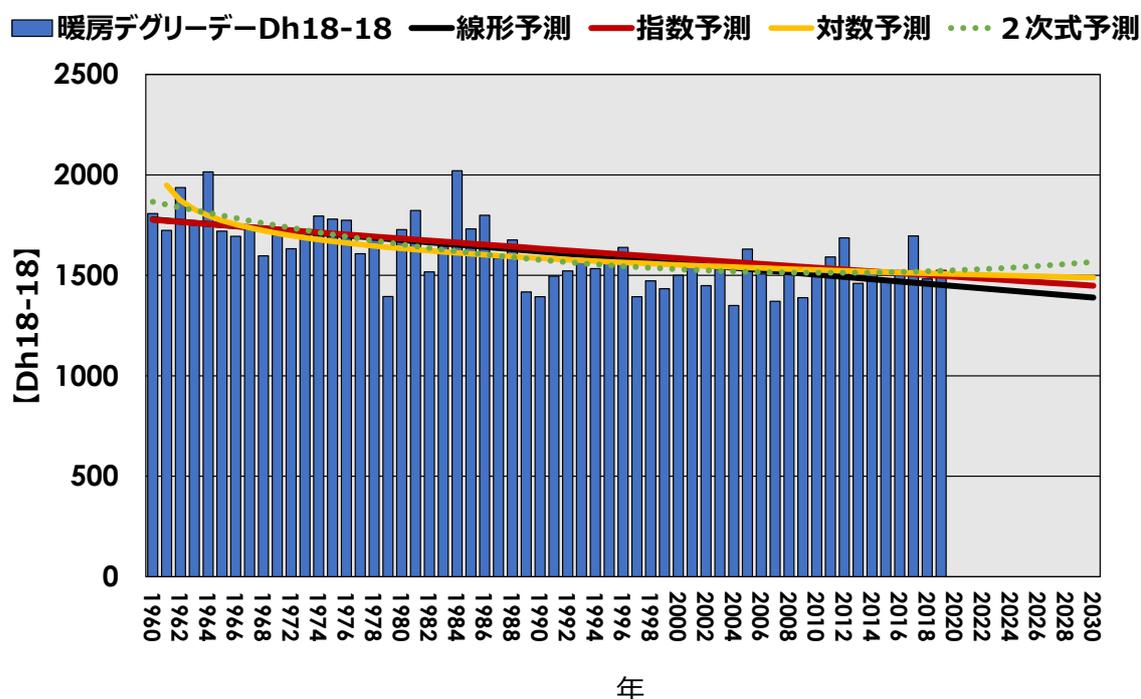


図 3-8 暖房デグリーデー(Dh18_18)の近未来予測

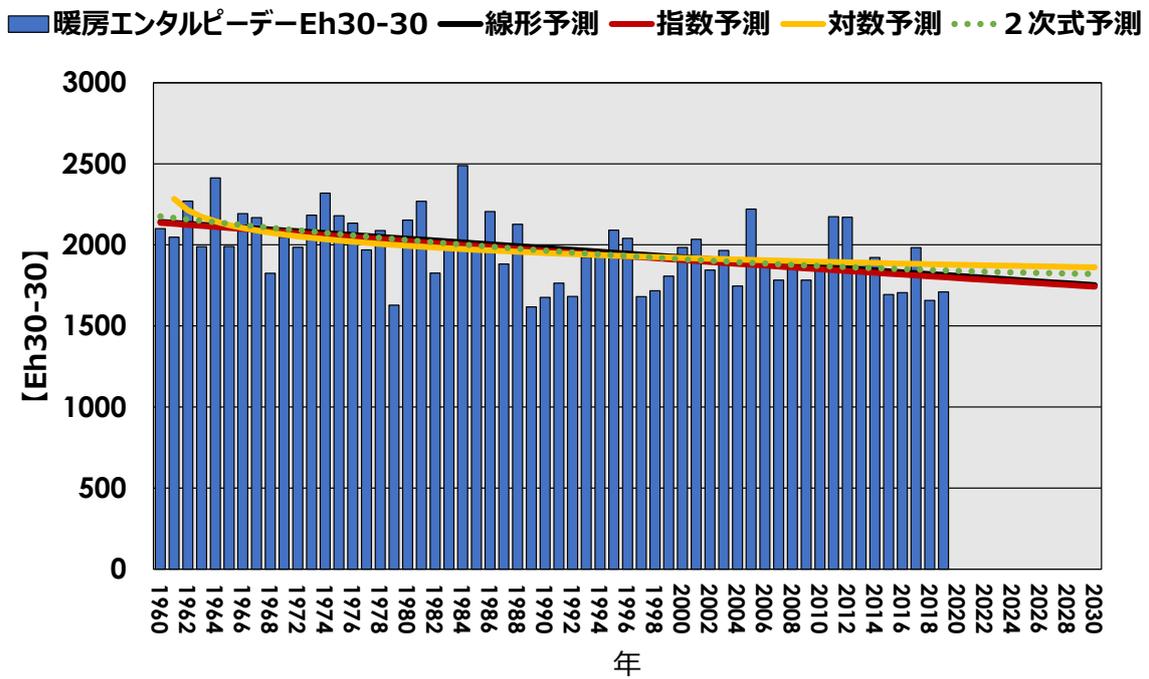


図 3-9 暖房エンタルピーデー (Eh30_30) の近未来予測

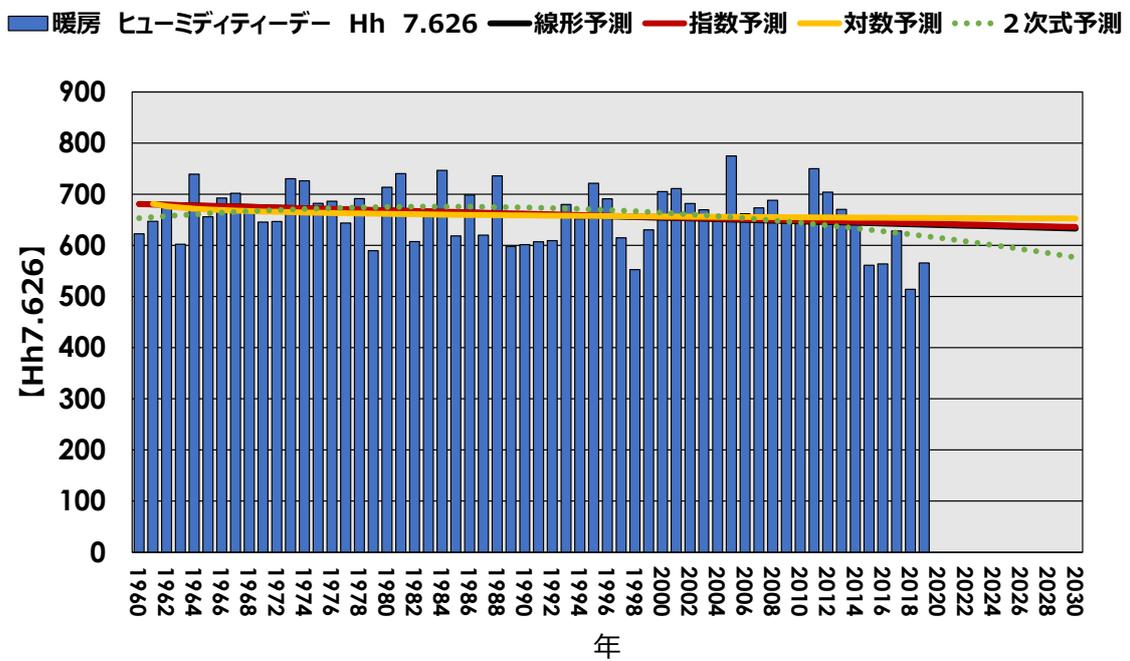


図 3-10 暖房ヒューミディティデー (Hh7.6_7.6) の近未来予測

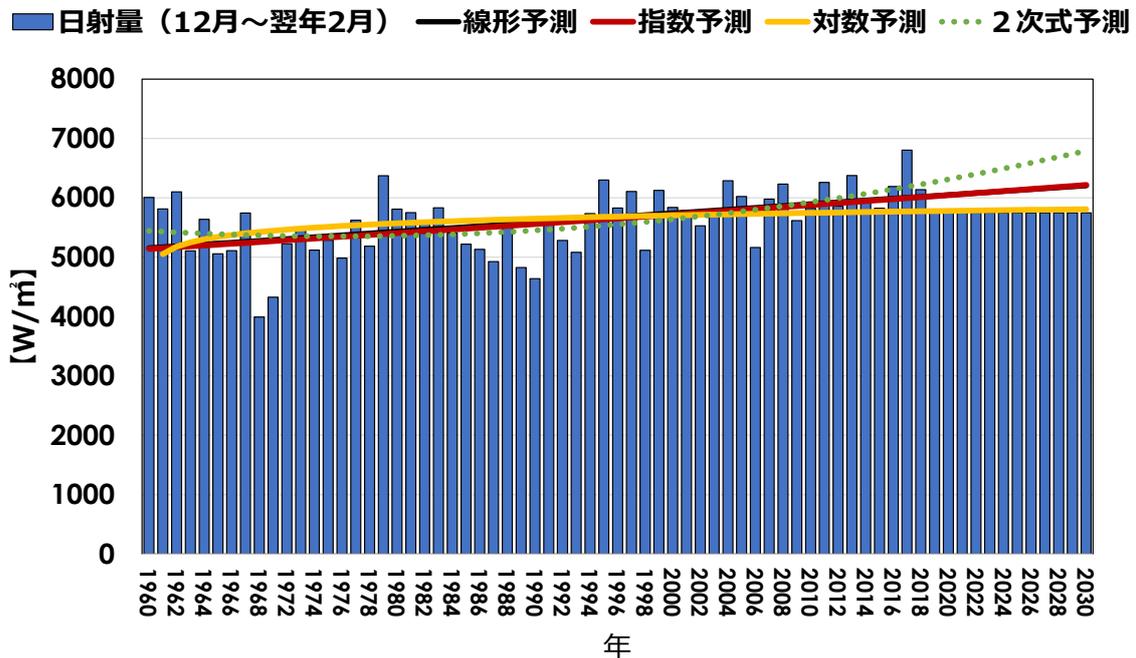


図 3-11 日射量（12月～翌年2月）の近未来予測

3. 4 夏季の気象指標予測

冬期と同様、夏季の冷房デGREEデー、冷房エンタルピーデー、冷房ヒューミディティデー、冷房期間積算日射量の残差分散を図 3-12～3-15 に示す。冷房デGREEデーDc26_26、冷房エンタルピーデーEc60_60、冷房ヒューミディティデーHc12.1_12.1 を選定した。選定した各予測式を表 3-5～3-8 に示す。選定した各予測式による 2030 年までの近未来予測、冷房デGREEデーDc26_26 を図 3-16、冷房エンタルピーデーEc60_60 を図 3-17、冷房ヒューミディティデーHc12.1_12.1 を図 3-18、冷房期間積算日射量 Sos の近未来予測を図 3-19 に示す。冷房デGREEデーは増加傾向にある。線形予測では年 1.2、指数予測では 2.8、対数予測では 0.16 デGREEデー増加する。冷房エンタルピーデーは、2次式予測を除き線形予測では年 1.1、指数予測では 1.0、対数予測では 0.5 エンタルピーデー減少する。冷房ヒューミディティデーは、2次式予測を除き線形予測では年 2.7、指数予測では 2.8、対数予測では 0.17 ヒューミディティデー減少する。冷房期積算日射量は、2次式予測を除き、線形予測では年 68.4、指数予測では 80.3、対数予測では 6.4MJ 増加する。

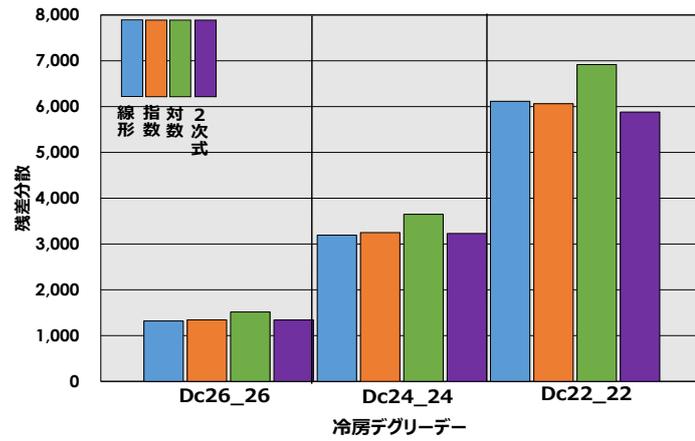


図 3-12 冷房デグリーデーの残差分散

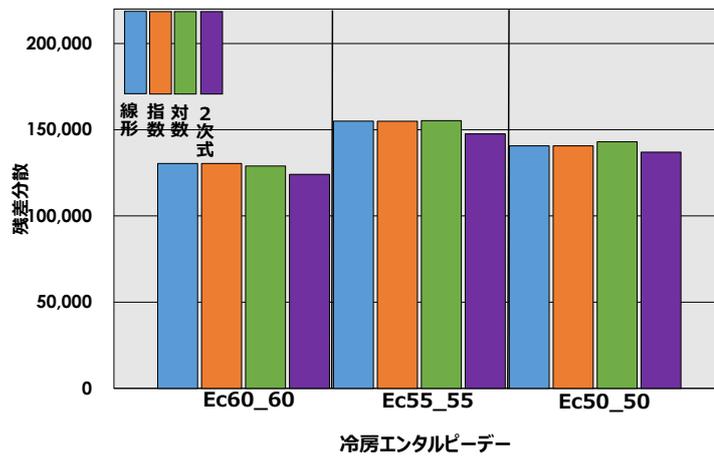


図 3-13 冷房エンタルピーデーの残差分散

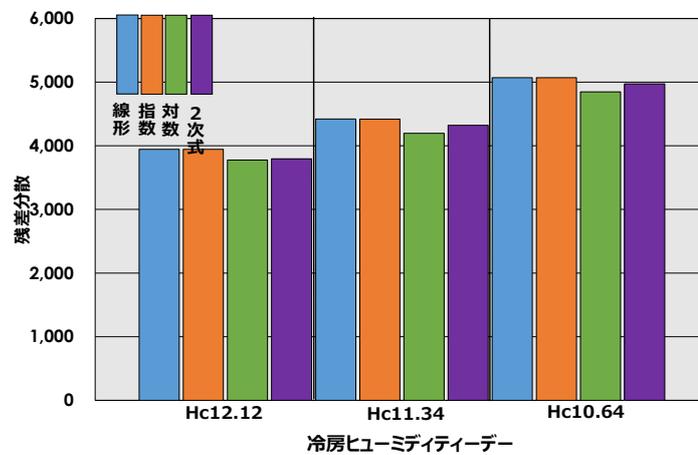


図 3-14 冷房ヒューミディティデーの残差分散



図 3-15 日射量（7月～9月）の残差分散

選定した各指標(冷房)と経年変化近似式を以下に示す。

表 3-5 冷房デグリーデー

Dc26	近似式
線形	$y=1.30x+65.06$
指数	$y=63.292e^{0.0132x}$
対数	$y=20.39\ln(x)+40.39$
2次式	$y=0.002x^2+1.20x+66.14$

表 3-6 冷房エンタルピーデー

Ec60	近似式
線形	$y=11.35x+1680.90$
指数	$y=63.292e^{0.0132x}$
対数	$y=99.22\ln(x)+1710.90$
2次式	$y=0.75x^2-33.51x+2136.90$

表 3-7 冷房ヒューミディティデー

Hc12.21	近似式
線形	$y=2.33x+264.99$
指数	$y=270.48e^{0.0061x}$
対数	$y=19.46\ln(x)+273.96$
2次式	$y=0.18x^2-8.61x+376.19$

表 3-8 日射量（7月～9月）

Sos	近似式
線形	$y=28.15x+7563.0$
指数	$y=7530.9e^{0.0034x}$
対数	$y=369.43\ln(x)+7252.0$
2次式	$y=0.64x^2-10.03x+7951.2$

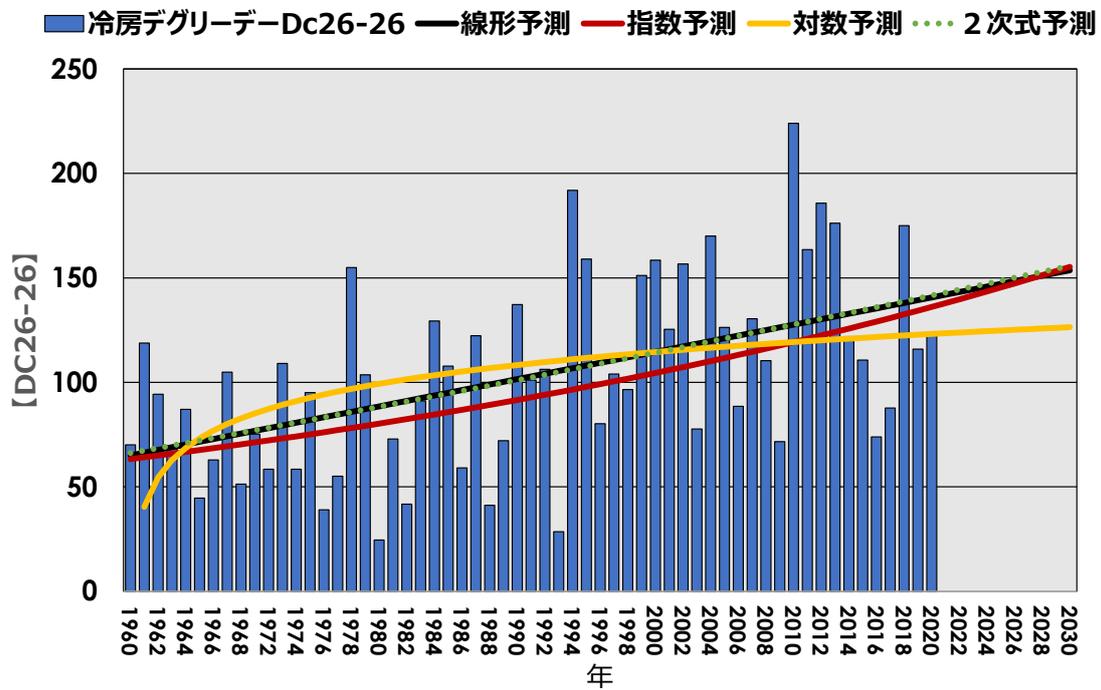


図 3-16 冷房デグリーデー (Dc26_26) の近未来予測

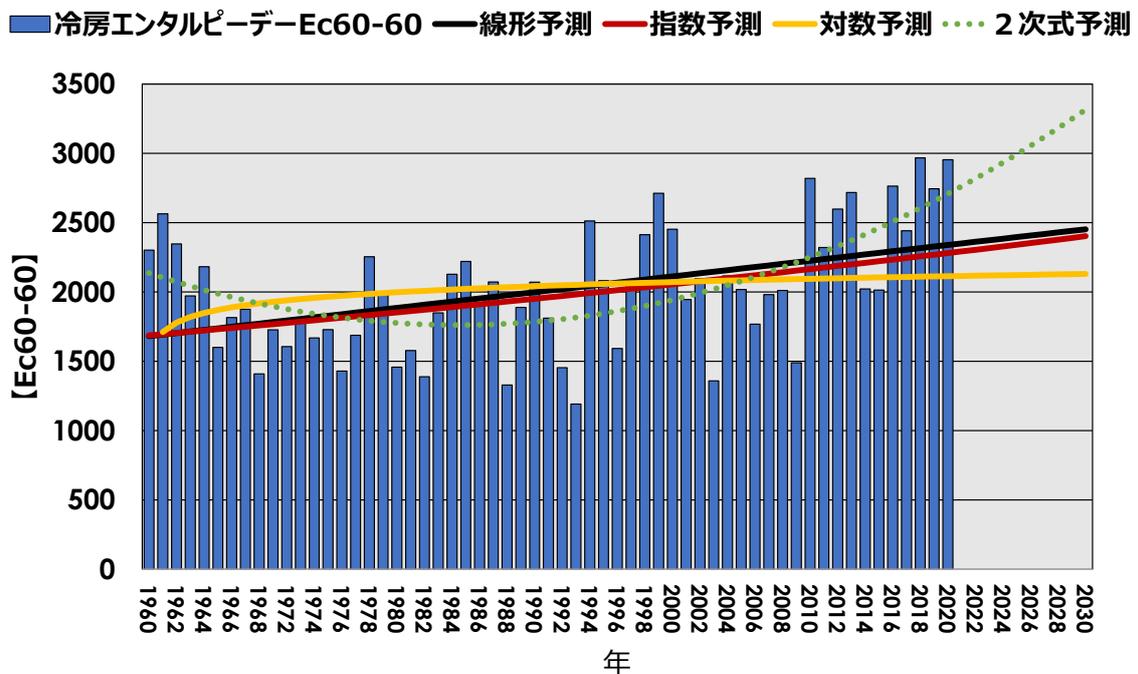


図 3-17 冷房エンタルピーデー (Ec60_60) の近未来予測

■ 冷房ヒューミディティーター Hc 12.12 — 線形予測 — 指数予測 — 対数予測 2次式予測

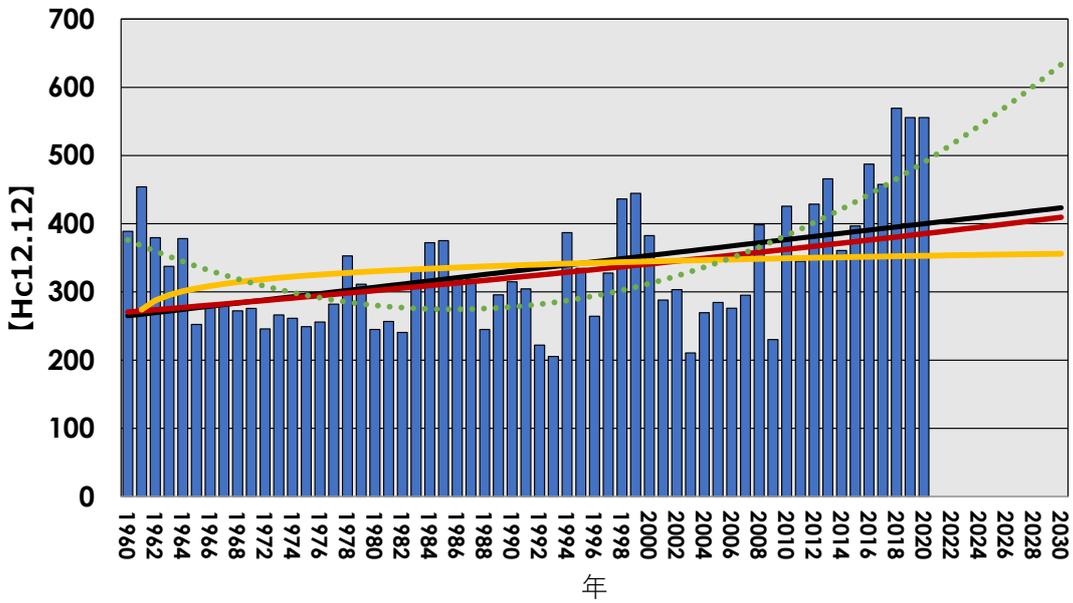


図 3-18 冷房ヒューミディティーター(Hc12.1_12.1)の近未来予測

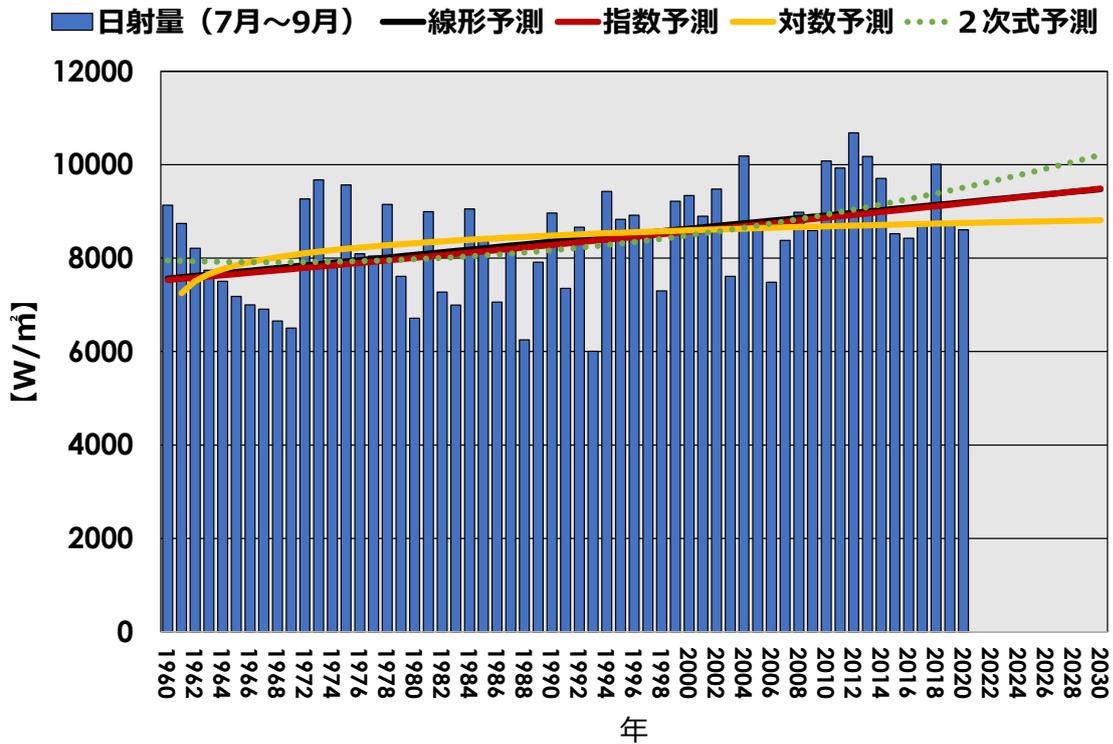


図 3-19 日射量 (7月～9月) の近未来予測

第3章 ま と め

気象指標の近未来予測

年間冷暖房負荷の予測の元となる気象指標は次の結果を得た。

- ・ 冬季の場合

残差分散による評価では、気温は暖房デGREEデーDh18_18、気温および湿度は暖房エンタルピーデーEh30_30、湿度は暖房ヒューミディティデーHh7.6_7.6を選定した。これらの気象指標を用いた近未来予測が良い。いずれの気象指標も近未来は減少傾向にある。

- ・ 夏季の場合

冬季と同様、気温は冷房デGREEデーDc26_26、気温および湿度は冷房エンタルピーデーEc60_60、湿度は冷房ヒューミディティデーHc12.1_12.1を選定した。これらの気象指標を用いるのが良い。Dc26_26 および Ec60_60 の近未来は増加傾向にあり Hc12.1_12.1 は減少傾向にある。

夏季、冬季とも日射量が経年で増加しているのは、大気中に浮遊する微粒子状の粉塵（自動車関係ではディーゼル車の排気中の黒煙、タール状物質、硫酸ミストなどの粒子状物質、タイヤやブレーキライニングおよびクラッチフェーシングなどの摩耗による粉塵）が、ガソリンの無鉛化、スパイクタイヤの製造・使用の禁止、粒子状物質排出規制導入などにより大気中の浮遊粒子状物質が減少傾向にあることが原因と思われる。

第3章の参考文献

- 18) <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
気象庁 | 過去の気象データ・ダウンロード(閲覧 2021.09.02)、
- 19) D.T.Reindl、 W.A.Beckman and J.A.Duffie : Diffuse Fraction Cor-relations、
Solar Energy、 Vol.45、 No、 1、 pp.1-7、 1990
- 20) 松本真一: 太陽視赤緯と均時差の計算精度の検討、 日本建築学会大会 学術講演
梗概集、 環境工学II、 pp.7-8、 2006、 7
- 21) Hyland、 R.W. and A. Wexler : Formulations for the thermodynamic properties
of dryair from 173.15 K to 373.15 K、 at pressures to 5 MPa、 ASHRAE
Transactions、 1989
- 22) 委員会報告: 標準気象データに関する研究、 空気調和・衛生工学会、 第 48 巻 7 号、
pp.603-625、 1974、 7
- 23) 永田忠彦、 沢田康二: 晴天空による水平面散乱日射の式の試案、 日本建築学会大会
学術講演梗概集、 pp.519-520, 1978.7
- 24) 松尾陽: 天空日射量の推定と直散分離、 日本建築学会大会学術講演梗概集、 pp.333-
334、 1973.7(in Japanese)
- 25) 気象庁: 地球温暖化予測情報第7巻、 2008.3

第 4 章

冷暖房負荷の長期経年変化と予測手法

- 4. 1 熱負荷計算プログラム LESCOM
- 4. 2 対象建物
 - 4. 2. 1 オフィス
 - 4. 2. 2 戸建住宅
- 4. 3 オフィスビルの気象指標に基づく近未来冷暖房負荷の予測と経年変化近似式に基づく戸建住宅の近未来冷暖房負荷の予測
—東京の最近 60 年間よりのオフィスビル及び戸建住宅年間冷暖房負荷予測—
 - 4. 3. 1 オフィスビル
 - 4. 3. 1. 1 熱負荷計算プログラム
 - 4. 3. 1. 2 シミュレーション条件
 - 4. 3. 1. 3 熱負荷シミュレーション
 - 4. 3. 1. 4 年間冷暖房負荷
 - (1) 年間冷暖房負荷の変動
 - (2) 年間冷暖房負荷の経年変化式
 - (3) 年間冷暖房負荷と各気象指標の経年変化
 - (4) 年間部位別冷房負荷の変動
 - (5) 開口部、外気取り入れ及び外壁の年間冷暖房負荷の経年変化
 - まとめ
- 4. 3. 2 戸建住宅
 - 4. 3. 2. 1 熱負荷計算プログラム
 - 4. 3. 2. 2 シミュレーション条件
 - 4. 3. 2. 3 熱負荷シミュレーション
 - (1) 年間冷暖房負荷
 - 1) 60 年間冷暖房負荷の変動
 - 2) 60 年間冷暖房負荷の経年変化式
 - 3) 60 年間部位別冷房負荷の変動
 - 4) 開口部及び外壁の年間冷房負荷の経年変化式
 - 4. 3. 2. 4 シミュレーション結果の詳細表示
 - まとめ

第4章 冷暖房負荷の長期経年変化と予測手法

4. 1 熱負荷計算プログラム LESCOM

本論においてシミュレーションに用いた熱負荷プログラム LESCOM について説明する。

4. 1. 1 LESCOM 概要

LESCOM(Life Energy Saving Computer Method)は、レスポンス・ファクタ法による多数室非定常熱負荷計算法を用いたプログラムである。1960年代後半、Stephenson らのレスポンス・ファクタ法が日本でも紹介され、当時出始めたばかりの大型計算機で試算してみたが、結果はあまり芳しくなかった。そのため日本で独自に開発された多層壁のレスポンス・ファクタの理論とプログラムを元に間欠空調の蓄熱負荷計算、多数室室温変動計算へと発展させたプログラムを開発。同時にオフィスビル等の実測も行い、実測値と理論値の比較・検証の結果、実用に耐えられることを確認している。

さらに、1972年から旧通産省生活産業局の住機能向上製品対策委員会（委員長勝田高志東京大学教授（当時））のもとで、熱負荷計算プログラムの開発が5年間かけて行われ、LESCOM が完成。

当時はオイルショックの時代で省エネルギー計算が注目されており、LESCOM による計算結果は「住宅と省エネルギー」の本として1975年に出版されている。

その後、コンピューターの発達により多数室非定常熱負荷計算が常識となり、様々なプログラムが開発され、アルゴリズムが異なるが、宇田川光弘工学院大学教授のMALTEP、坂本雄三東京大学教授のSMASHなどがある。いずれも純粋な理論値では変わりがなく、実測値と比較して、熱伝導率、実効放射量をどの程度見込むか等でそれぞれ工夫されており、やや結果に差異がある。

LESCOM 自体のプログラムはFortranで開発され、コアサイズは約600kB、行数は約4600行である。メインプログラム1個とサブルーチン38個で構成されている。

初期の頃は大型計算機を用いて計算を行っていたが、その後ワークステーションに変わり、現在ではPC(Personal Computer)上で全ての処理を行っている。

図4-1にフローチャートを示す。

LESCOM フローチャート

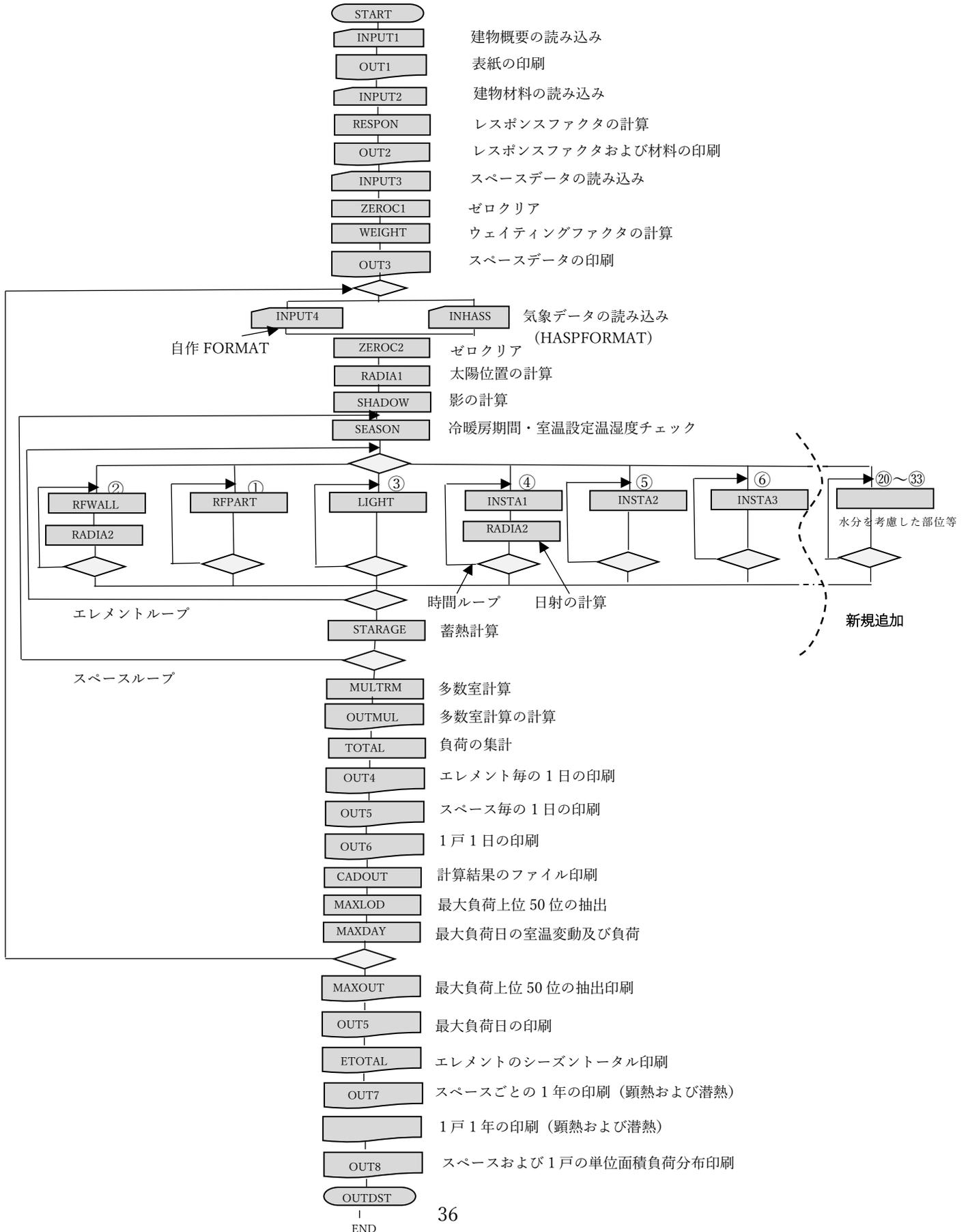


図 4-1 LESCOM フローチャート

4. 2 対象建物

シミュレーション対象建物はオフィスと戸建住宅とする。

4. 2. 1 オフィス

1) 建物条件

文献²⁶⁾の空気調和・衛生工学会 空調システムエネルギーシミュレーションツールの標準評価法開発に関する研究の報告書モデル建物（オフィスモデル）を対象とする。平面図、断面図を図4-2、4-3、面積表を表4-1に示す。スペース④、⑦インテリアの奥行は7,000mmである。開口部は単板透明8mmにベネシャンブラインド(夏季:スラット角度+45°、冬季:スラット角-45°、平板日射反射率54.5%)とした。

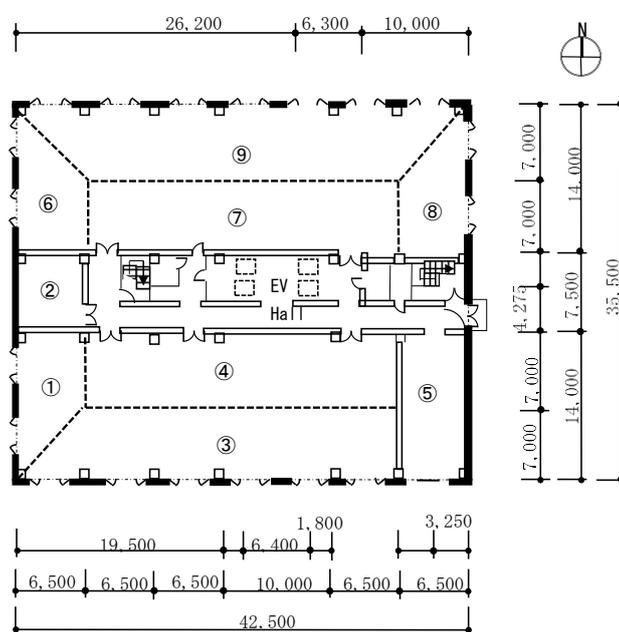


図4-2 オフィス基準階、平面図

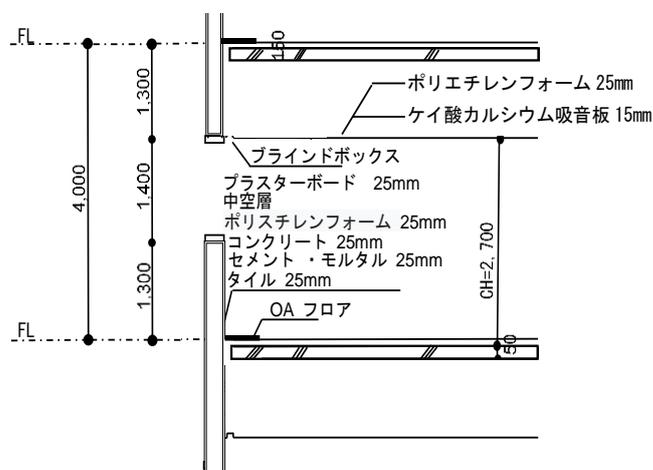


図4-3 オフィス基準階、断面図

表 4-1 オフィス各スペース面積表

スペース番号	スペース名称	面積 (m ²)	空調有無
①	南西ペリメーター	66.25	有
②	コア	318.75	無
③	南ペリメーター	229.25	有
④	インテリア (南)	206.50	有
⑤	自販機コーナー	91.00	無
⑥	北西ペリメーター	68.25	有
⑦	インテリア (北)	206.50	有
⑧	北東ペリメーター	68.25	有
⑨	北ペリメーター	252.00	有
	延べ床面積	1506.75	

2) 冷暖房設定条件

冷房設定は室温 26°C、湿度 50%、予冷 30 分、暖房設定は室温 22°C、湿度 50%、予熱 30 分とした。冷暖房設定条件および内部発熱条件を図 4-4 に示す。なお、予冷、予熱中は外気取入れを行わない。

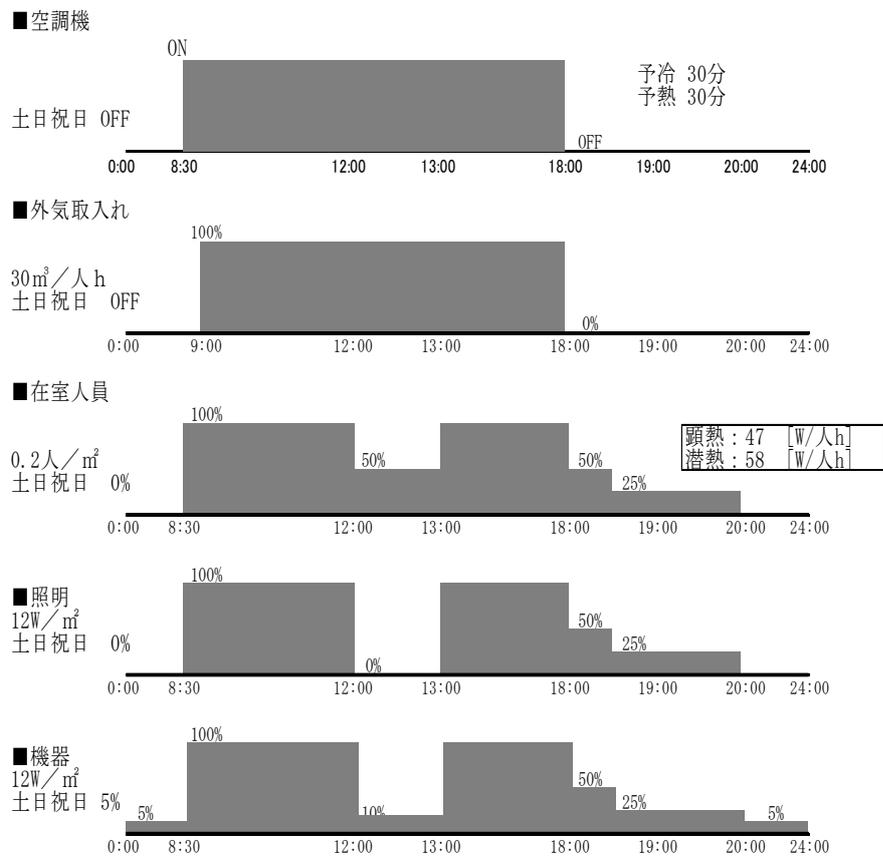


図 4-4 空調、内部発熱（在室人員、照明、機器）スケジュール（平日）

4. 2. 2 戸建住宅

1) 建物条件

平面図、立面図を図 4-5 に示す。面積表を表 4-2 に示す。文献²⁷⁾を参考に作成した。

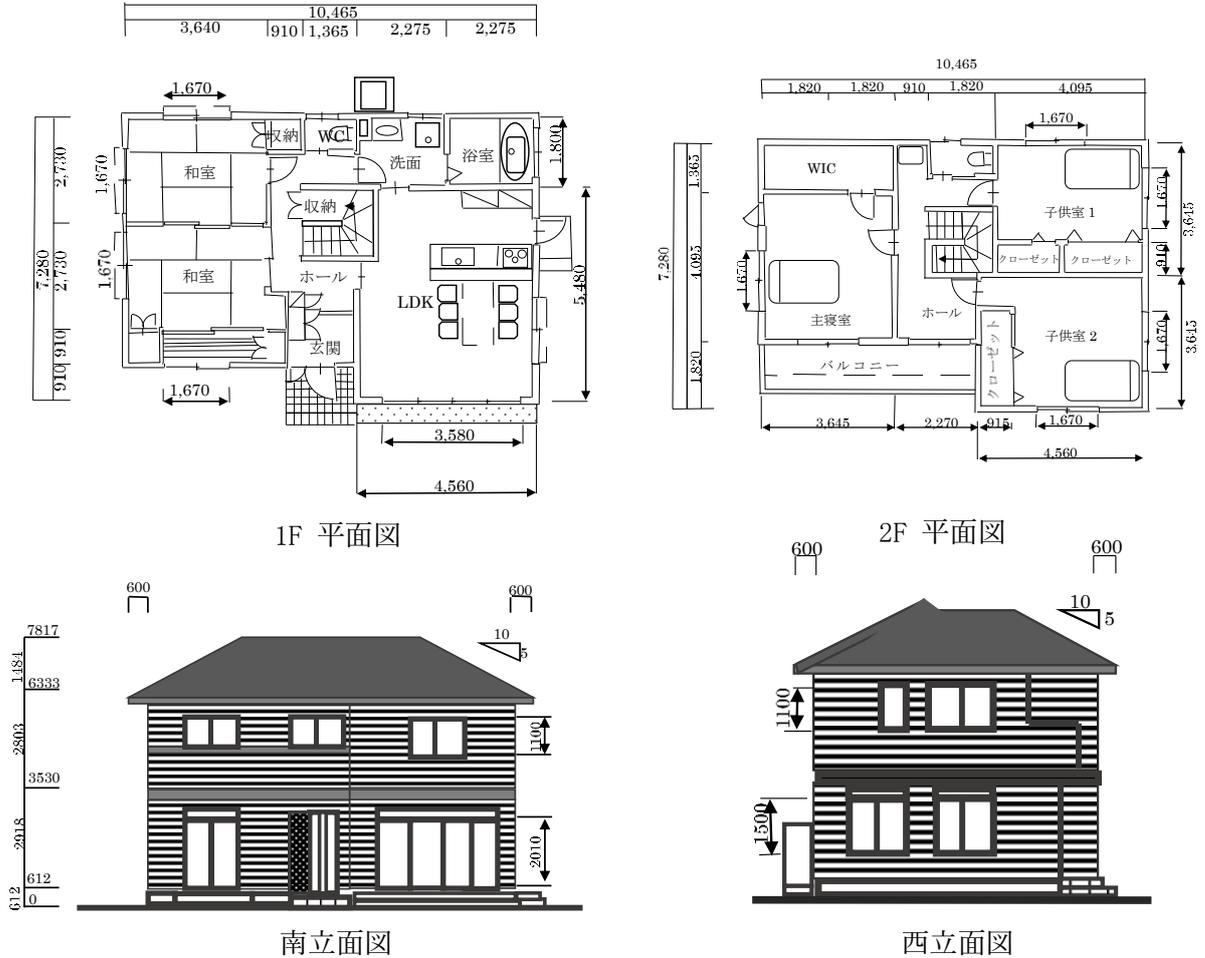


図 4-5 戸建住宅平面図、立面図

表 4-2 各スペース面積表

	室名	床面積(m ²)	空調
1F	DL	20.49	有
	K	7.23	有
	和室	13.25	有
	その他	21.96	なし
	小計	62.93	
2F	MB	20.49	有
	CB1	11.59	有
	CB2	11.59	有
	予備室	10.14	なし
	その他	9.12	なし
	小計	62.93	
	延べ床面積	125.86	

開口部は、透明複層 3+A6+3mm にベネシャンブラインド（夏季：スラット角度+45°、冬季：スラット角-45°、平板日射反射率 54.5%）とした。

2) 冷暖房設定条件

冷房設定温度は昼間 26°C、夜間就寝時 28°C、湿度は昼間夜間とも 50%、予冷時間 30 分、暖房設定温度は、昼間 22°C、夜間就寝時 20°C、湿度は昼間夜間とも 50%、予熱時間は 30 分とした。

冷暖房設定条件および内部発熱条件を図 4-6、4-7 に示す。

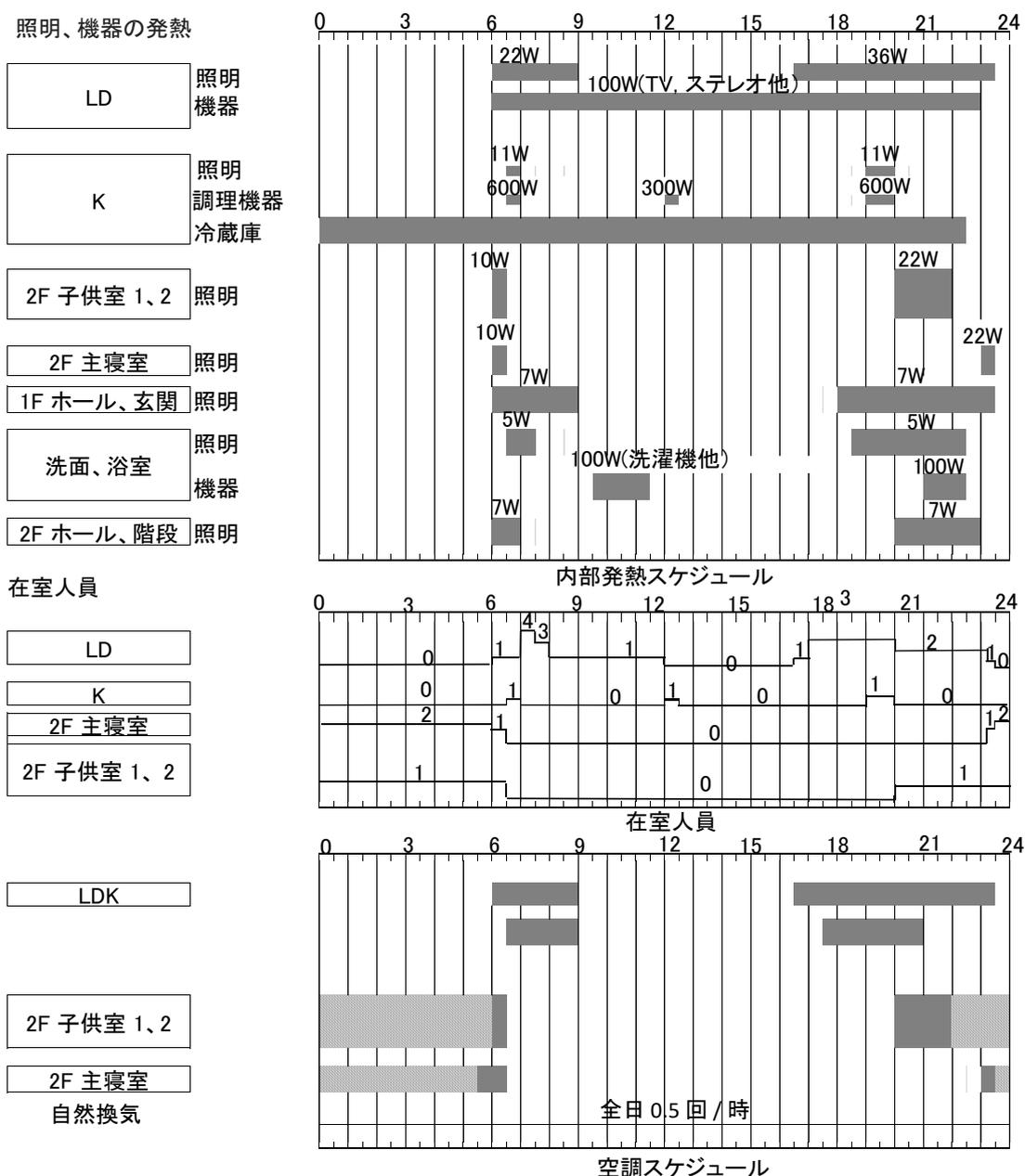


図 4-6 戸建住宅空調、内部発熱 平日スケジュール

の冷暖房負荷を算出し、気象指標との相関から近未来冷暖房負荷を予測する。

4. 3. 1. 1 熱負荷計算プログラム

4. 2と同様

4. 3. 1. 2 シミュレーション条件

4. 2. 1で示したオフィスとする

4. 3. 1. 3 熱負荷シミュレーション

建物仕様は3水準を想定した。水準1は断熱性、省エネルギー性がやや悪い、水準2は中程度、水準3は良いとする。建物仕様を表4-3に示す。水準2を主な計算対象とし以降、標準仕様と称す。

表 4-3 3水準建物仕様

外壁	断熱材	水準1	水準2	水準3
	熱貫流率[W/(m ² ·K)]	無	無	ロックウール25mm
開口部	ガラス種類	透明単板8mm	透明単板8mm	複層LowE (6+12(air)+6LowE)
	ブラインド	無	白色ブラインド (平板反射率54.5%)	高反射率ブラインド (平板反射率78.3%)
			夏季スラット角度: +45° 冬季スラット角度: -45°	夏季スラット角度: +75° 冬季スラット角度: -45°
日射遮蔽係数 (30°)	夏季	0.932	0.319	0.314
	冬季		0.739	0.558

4. 3. 1. 4 年間冷暖房負荷

(1) 年間冷暖房負荷の変動

東京のオフィスの年間冷暖房負荷 1960～2020年の変動の冷房負荷を図4-8、暖房負荷を図4-9に示す。

年間冷房負荷は、東京の建物水準1、2、3とも1960～1969年は減少傾向にあり、その後1972年より2020年迄は増加傾向にある。

年間冷房負荷の小さい順は常に水準3が一番小さく、次いで水準2、1である。東京のオフィスの年間暖房負荷は建物水準1、2、3とも1960年から2020年迄長期減少傾向にある。年間暖房負荷の小さい順は水準3が一番小さく、次いで水準2、1である。

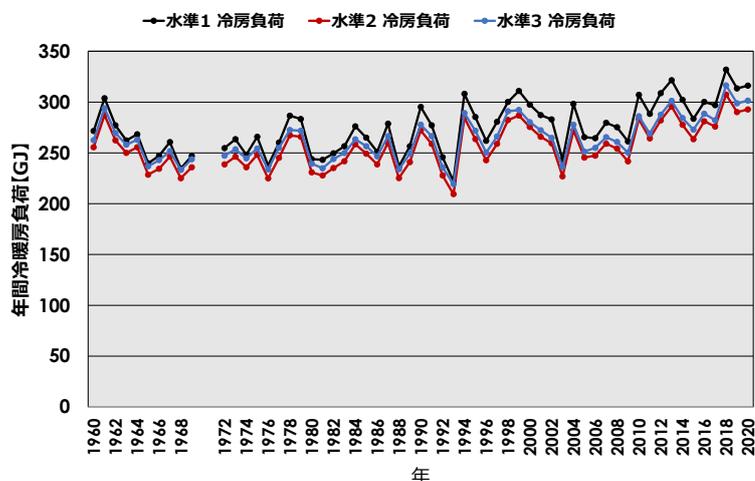


図 4-8 年間冷房負荷 1960～2020年の経年変化

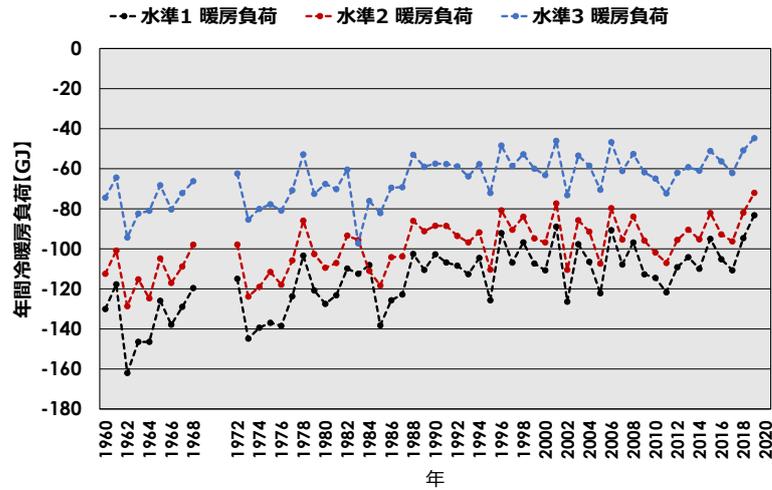


図 4-9 年間暖房負荷 1960-2020 年の経年変化

(2) 年間冷暖房負荷の経年変化式

年間冷暖房負荷の経年変化式を 4 式 (1 次式、2 次式、指数式、対数式) に適用し、残差分散が最小のものを選定した。結果を表 4-4 に示す。冷暖房とも 2 次式による推定となった。

- ① 東京のオフィス年間冷房負荷の直近の推定では水準 1 は、年 1.16GJ、水準 2 が年 0.95GJ、水準 3 は、年 0.93GJ 増加する。増加量の一番大きいのは水準 1 である。
- ② 東京のオフィス年間暖房負荷の直近の推定では水準 1 は、年 0.60GJ、水準 2 は、年 0.45GJ、水準 3 は、年 0.43GJ 減少する。減少量の一番大きいのは水準 1 である。

表 4-4 選定した年間冷暖房負荷の経年変化式 (2 次式) と残差分散と年間増減負荷 (水準 1~3)

			2 次近似式	残差分散	年間増減負荷 (GJ)
東京	水準 1	冷房負荷	$y=0.02x^2+0.05x+254.47$	373.12	1.16
		暖房負荷	$y=-0.02x^2+1.40x-133.34$	125.95	-0.6
	水準 2	冷房負荷	$y=0.02x^2+0.18x+243.56$	283.63	0.95
		暖房負荷	$y=-0.01x^2+1.04x-112.73$	109.83	-0.45
	水準 3	冷房負荷	$y=0.02x^2-0.30x+252.04$	242.74	0.93
		暖房負荷	$y=-0.02x^2+0.90x-77.84$	81.98	-0.43

(注) $x=z-1972$ (z :西暦)
 y :年間増減負荷 (直近 2019-2020 年)

(3) 年間冷房負荷と各気象指標との相関からと負荷自体からによる 2030 年までの負荷予測

① 年間冷房負荷と各気象指標の相関

年間冷房負荷と各気象指標(デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー、日射量)との相関係数を表 4-5、各気象指標の負荷との相関の回帰分析からの負荷予測式(1 指標から 4 指標の組み合わせの中で相関係数の一番高い組み合わせの時の式)を表 4-6 に示す。1 指標(単相関係数)では冷房エンタルピーデー(Ec60_60)、2 指標では冷房デGREEデー(Dc26_26)と冷房エンタルピーデー(Ec60_60)、3 指標では冷房デGREEデー(Dc26_26)、冷房エンタルピーデー(Ec60_60)、冷房ヒューミディティーデー(Hh12.1_12.1)との組み合わせが相関が高い。

表 4-5 年間冷房負荷と各気象指標の相関係数

	指標	単・重相関係数
1指標	Dc26	0.770
	Ec60	0.931
	Hc12.1	0.856
	Sos	0.644
2指標	Dc26、Ec60	0.942
	Dc26、Hc12.1	0.938
	Dc26、Sos	0.775
	Ec60、Hc12.1	0.931
	Ec60、Sos	0.940
	Hc12.1、Sos	0.912
3指標	Dc26、Ec60、Hc12.1	0.945
	Dc26、Hc12.1、Sos	0.941
	Dc26、Ec60、Sos	0.943
	Ec60、Hc12.1、Sos	0.940
4指標	Dc26、Ec60、Hc12.1、Sos	0.947

表 4-6 各気象指標との負荷との相関の回帰分析からの負荷予測式

指標数	負荷予測式 単位：GJ
1 指標	$(0.045 \times Ec60) + 164.6$
2 指標	$(0.1 \times Dc26) + (0.038 \times Ec60) + 168.9$
3 指標	$(0.073 \times Dc26) + (0.038 \times Ec60) + (0.002 \times Sos) + 159.23$
4 指標	$(0.11 \times Dc26) + (0.022 \times Ec60) + (0.068 \times Hc12.1) + (0.0017 \times Sos) + 163.05$

負荷自体からの4つの近似式（線形、指数、対数、2次式）による冷房負荷予測式を表4-7に示す。

表4-7 負荷自体からの予測式

	1次式	残差分散	指数	残差分散	対数	残差分散	2次式	残差分散
冷房負荷	$y=0.65x+236.49$	343.12	$y=236.73e^{0.0025x}$	339.92	$y=7.36\ln(x)+232.93$	431.79	$y=0.029x^2-1.07x+253.96$	297.58

② 2030年までの年間冷房負荷の予測

1指標～4指標の各気象要素の組み合わせの中で負荷との相関が一番高い（相関係数の値が最大）回帰式からの10年後の負荷予測を線形予測、指数予測、対数予測、2次式予測の順に図4-10～25に示す。

A. 線形予測

気象指標との相関と負荷自体からの各々の線形予測を1指標～4指標の順に図4-10～4-13に示す。

線形予測（1指標との相関、及び負荷自体から）
エンタルピーデー（Ec60_60）

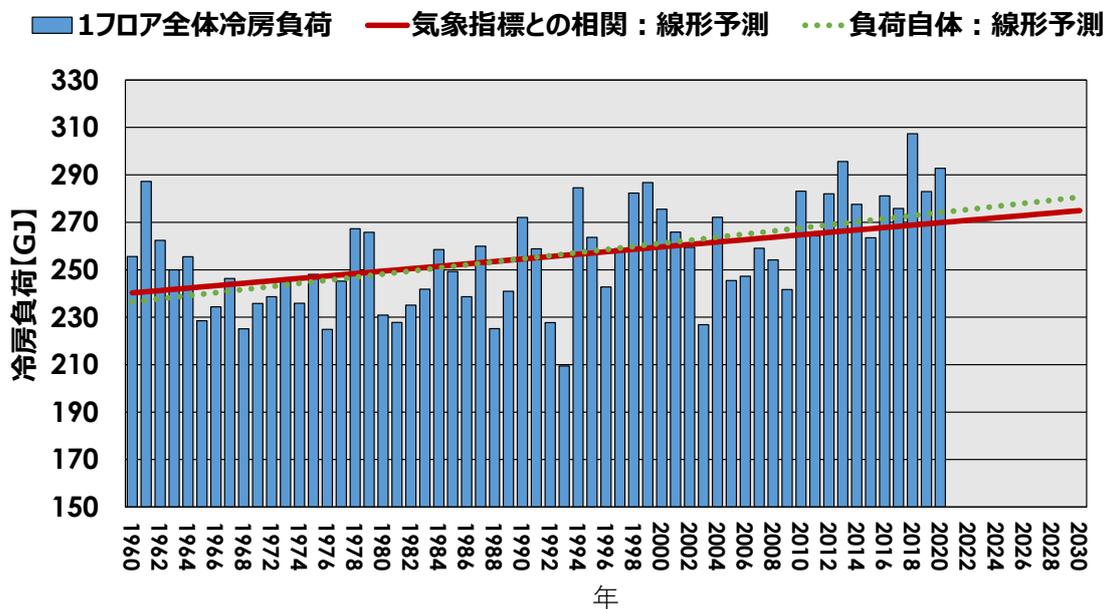


図4-10 1指標（冷房エンタルピーデー）との相関と負荷自体からの予測

線形予測（2指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26_26)、エンタルピーデー (Ec60_60)

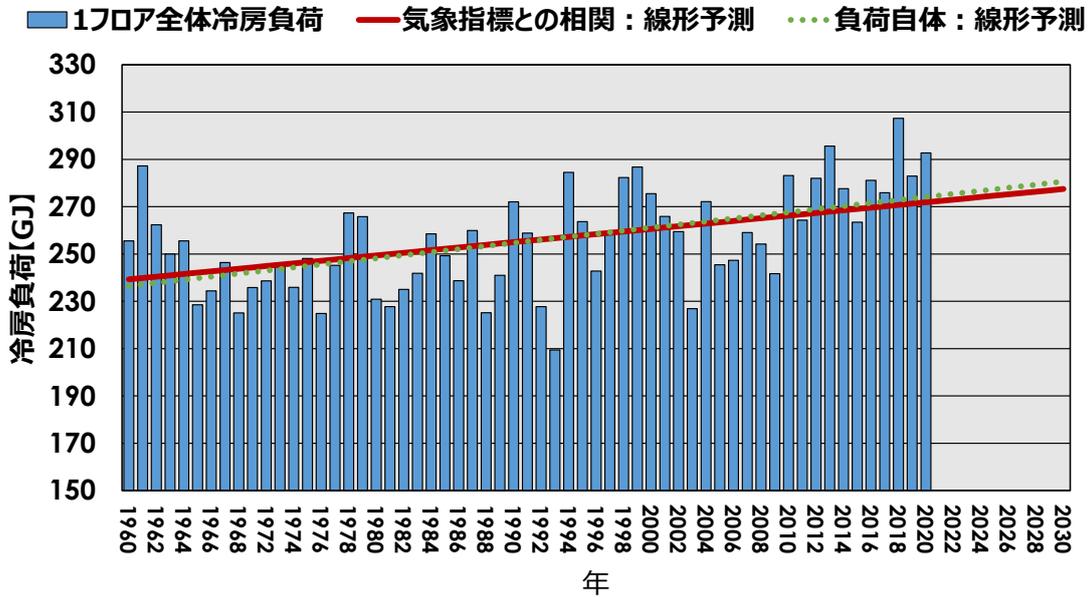


図 4-11 2 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー）との相関と負荷自体からの予測

線形予測（3指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26_26)、エンタルピーデー (Ec60_60)、ヒューミディティデー (Hc12.1_12.1)

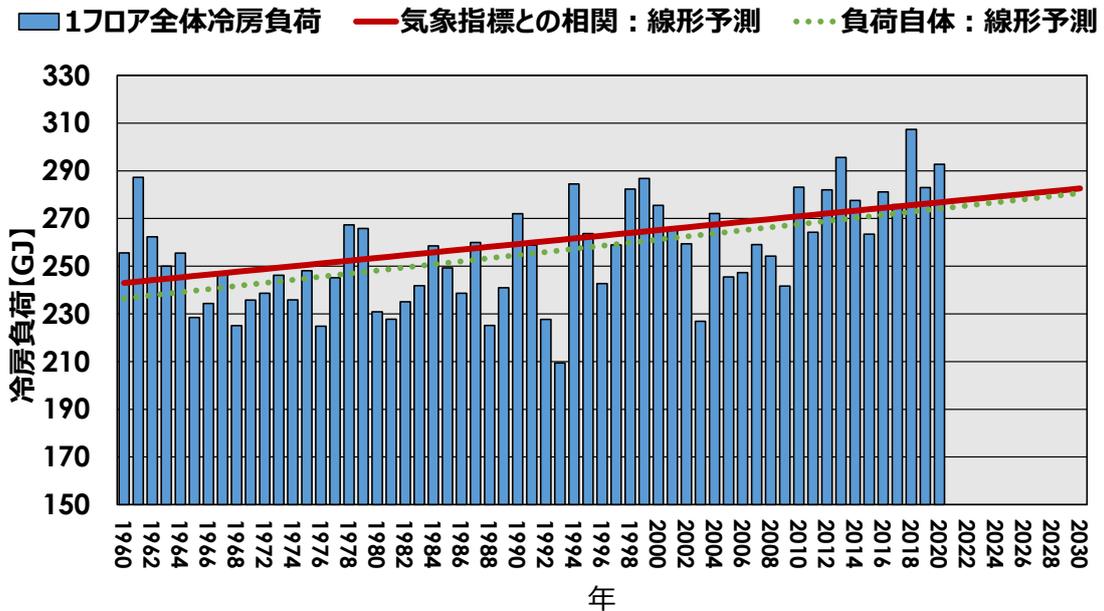


図 4-12 3 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー）との相関と負荷自体からの予測

線形予測（4指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー (Dc26_26)、エンタルピーデー (Ec60_60)、ヒューミディティデー (Hc12.1_12.1)、日射量 (Soc)

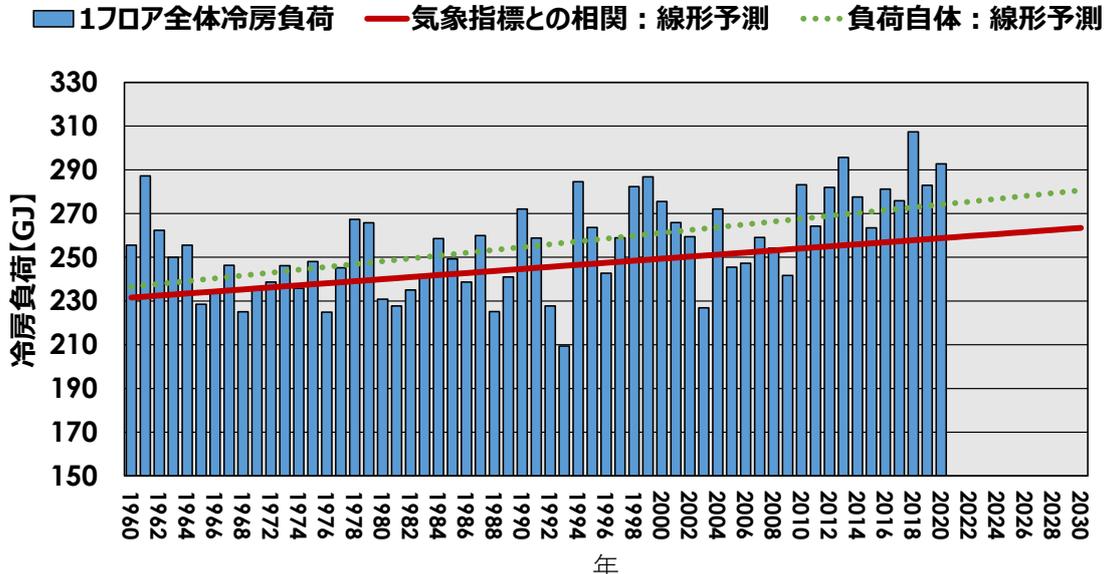


図 4-13 4 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

B. 指数予測

気象指標との相関と負荷自体からの各々の指数予測を 1 指標～4 指標の順に

図 4-14～4-17 に示す。

指数予測（1指標との相関、及び負荷自体から）

エンタルピーデー (Ec60_60)

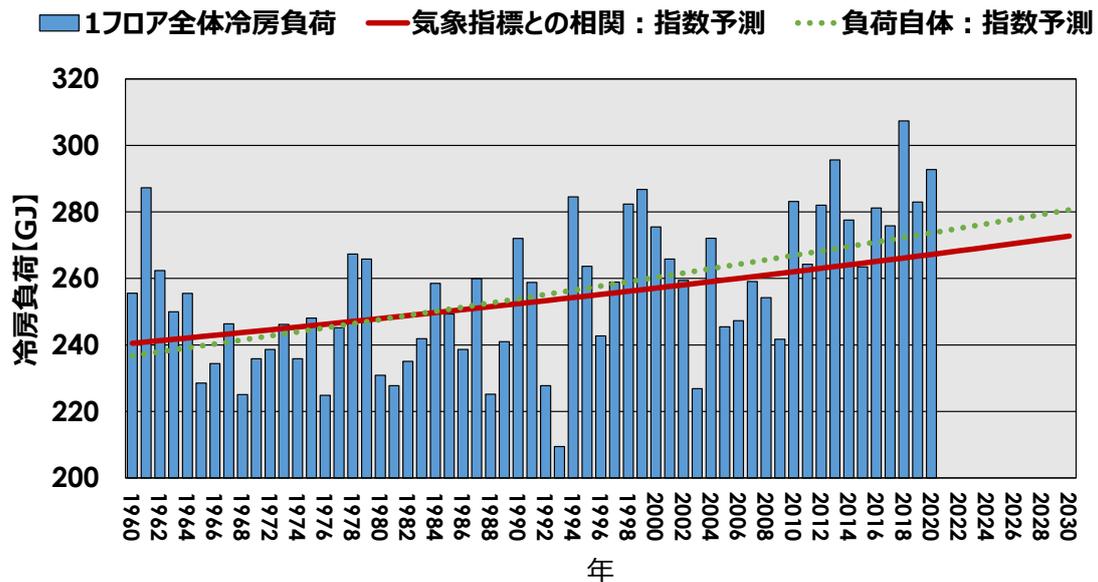


図 4-14 1 指標（冷房エンタルピーデー）との相関と負荷自体からの予測

指数予測（2指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26_26)、エンタルピーデー (Ec60_60)

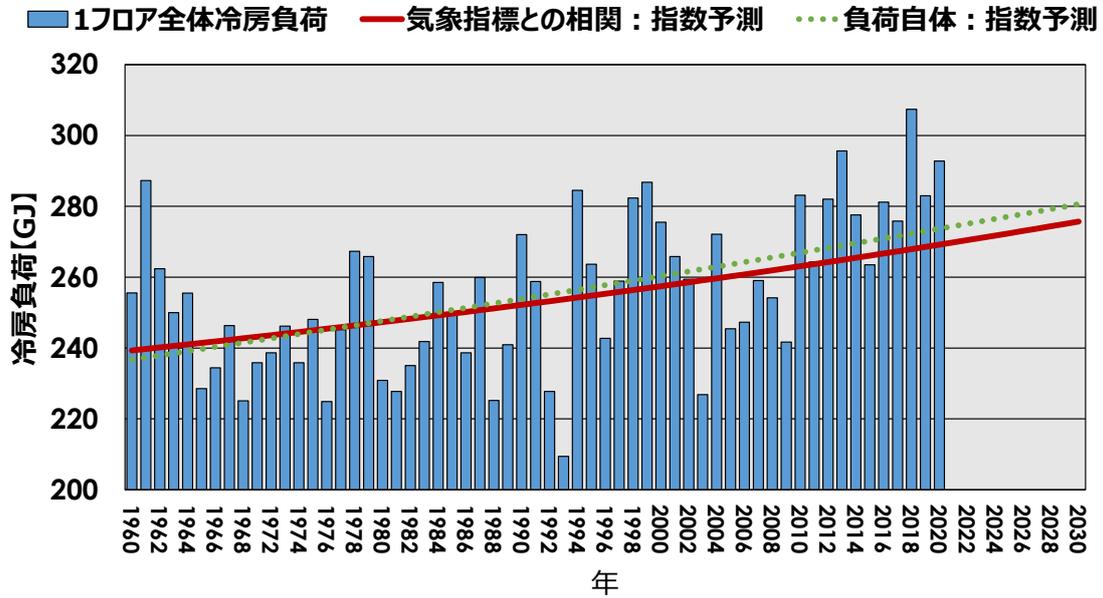


図 4-15 2 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー）との相関と負荷自体からの予測

指数予測（3指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26_26)、エンタルピーデー (Ec60_60)、ヒューミディティーデー (Hc12.1_12.1)

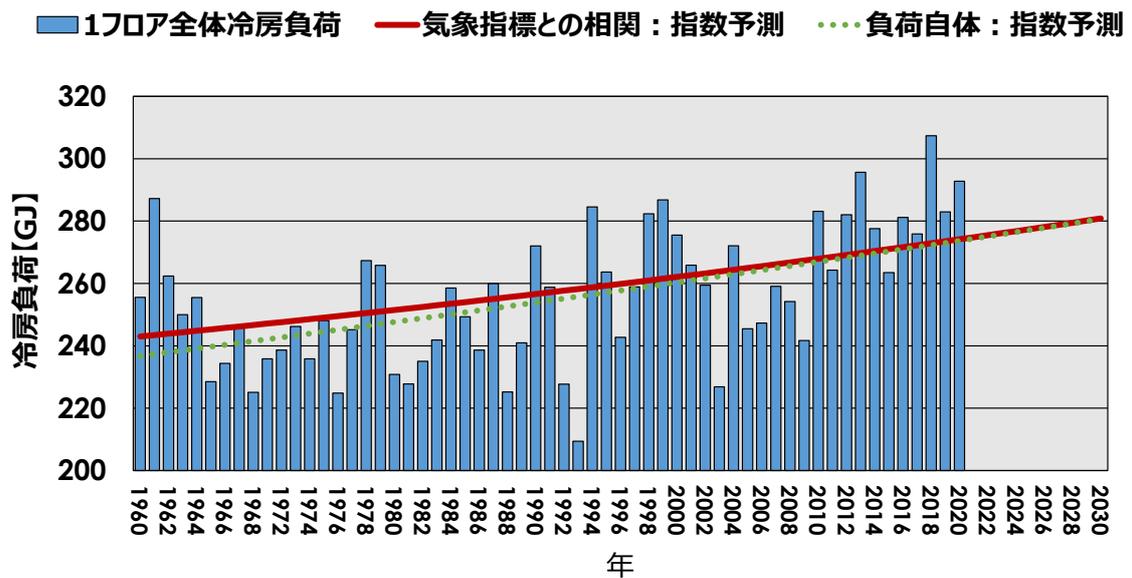


図 4-16 3 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー）との相関と負荷自体からの予測

指数予測（4指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー（Dc26 26）、エンタルピーデー（Ec60 60）、ヒューミディティデー（Hc12.1 12.1）、日射量（Soc）

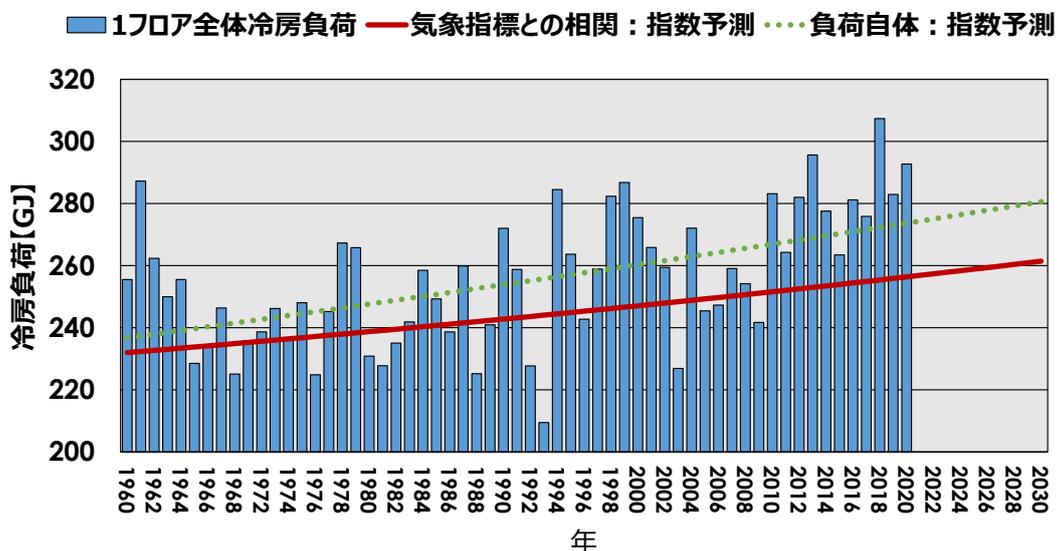


図 4-17 4 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

C. 対数予測

気象指標との相関と負荷自体からの各々の対数予測を 1 指標～4 指標の順に図 4-18～4-21 に示す。

対数予測（1指標との相関、及び負荷自体から）

エンタルピーデー（Ec60 60）

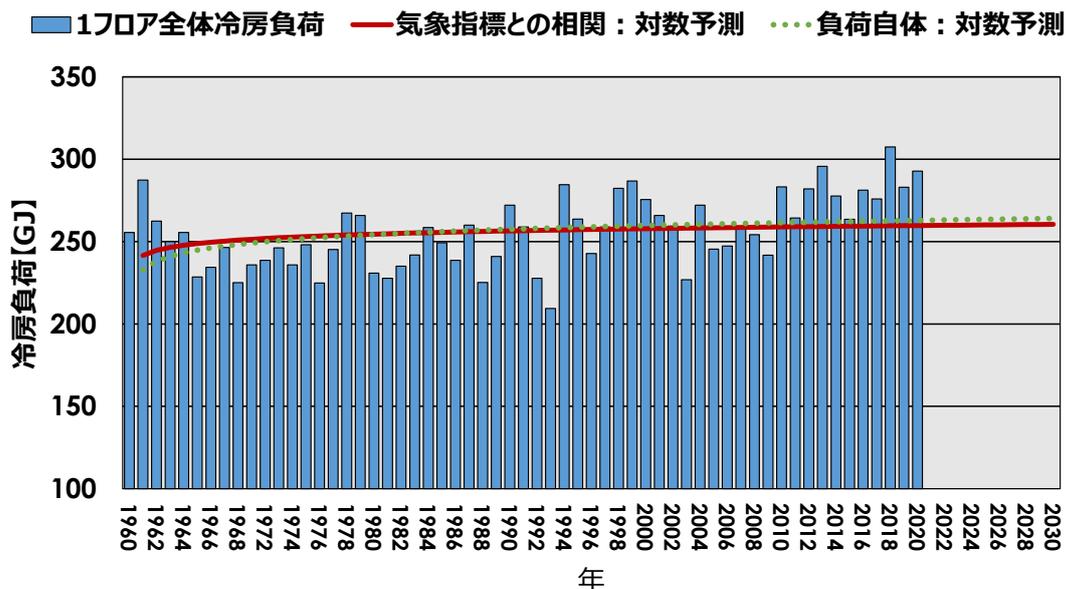


図 4-18 1 指標（冷房エンタルピーデー）との相関と負荷自体からの予測

対数予測（2指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26_26)、エンタルピーデー(Ec60_60)

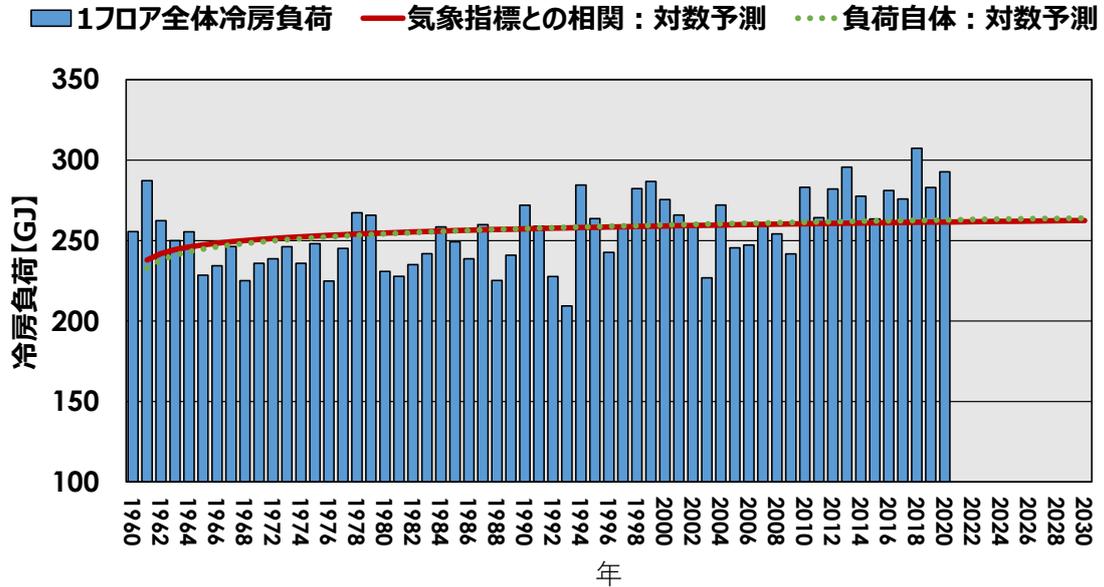


図 4-19 2 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー）との相関と負荷自体からの予測

対数予測（3指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26_26)、エンタルピーデー(Ec60_60)、ヒューミディティーデー(Hc12.1_12.1)

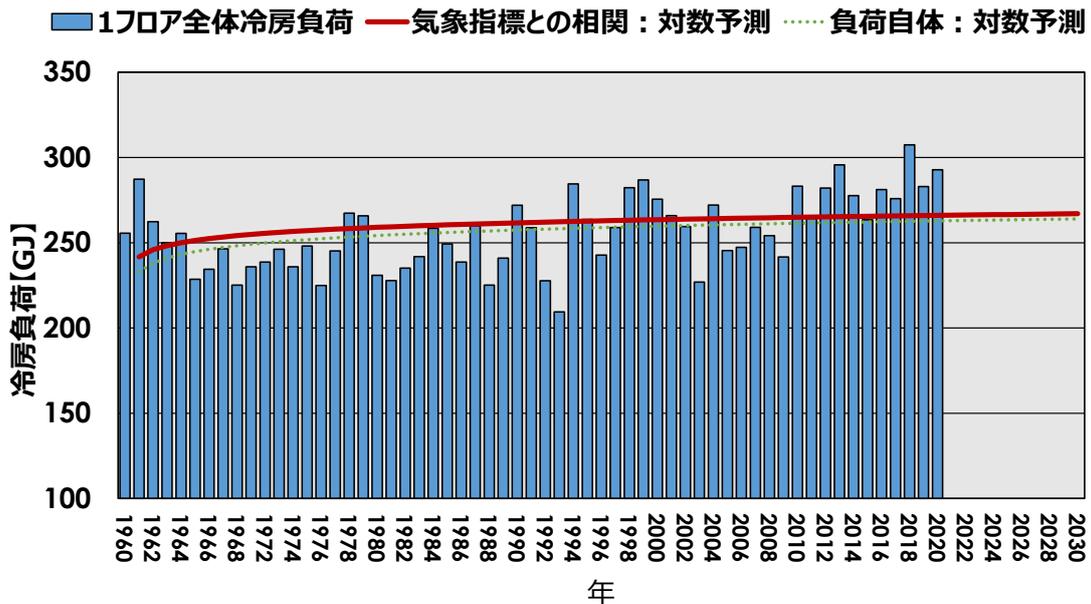


図 4-20 3 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー）との相関と負荷自体からの予測

対数予測（4指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー（Dc26 26）、エンタルピーデー（Ec60 60）、ヒューミディティデー（Hc12.1 12.1）、日射量（Soc）

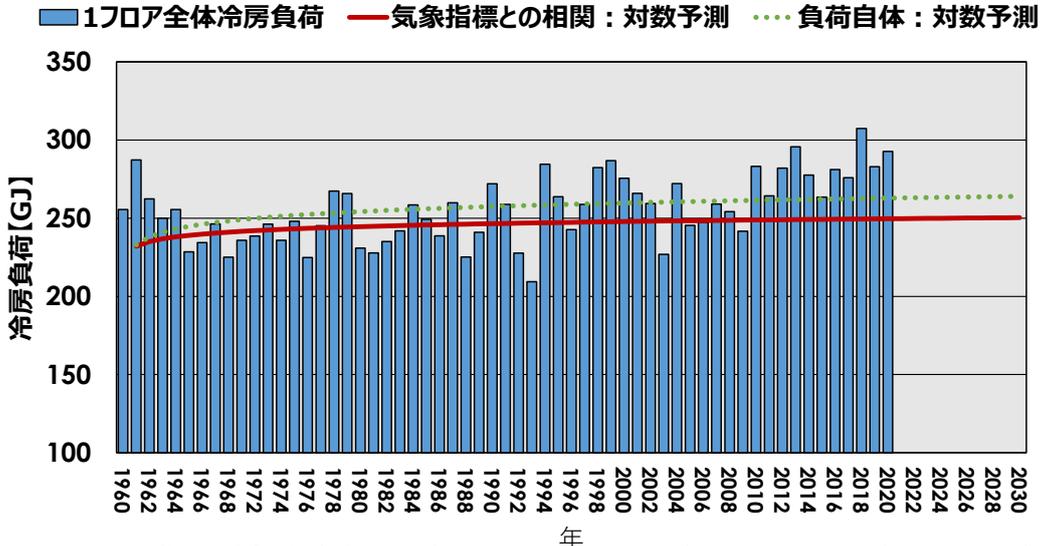


図 4-21 4 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

D. 2 次式予測

気象指標との相関と負荷自体からの各々の対数予測を 1 指標～4 指標の順に
図 4-22～4-25 に示す。

2次式予測（1指標との相関、及び負荷自体から）

エンタルピーデー（Ec60 60）

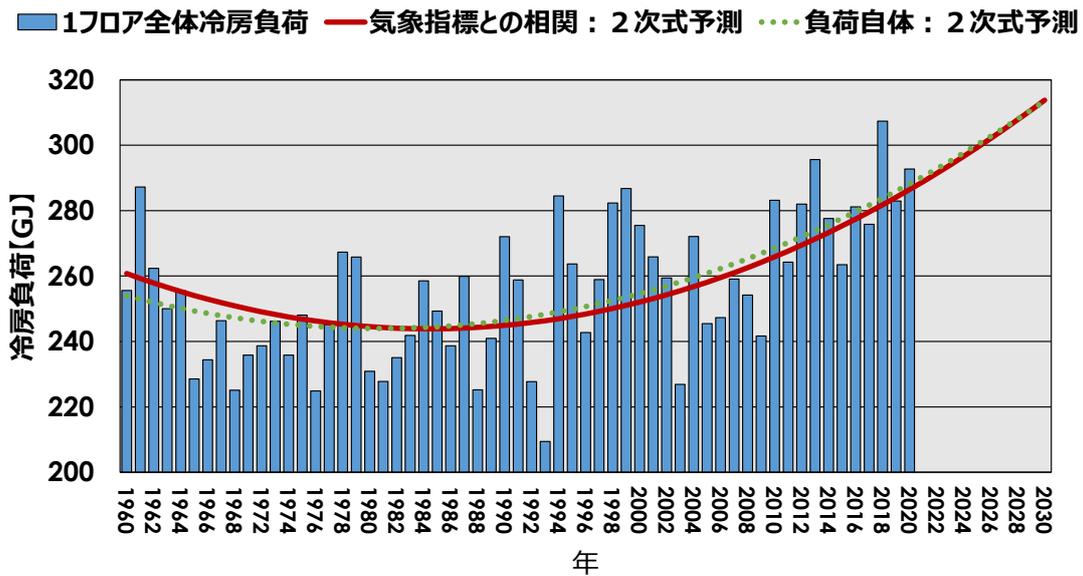


図 4-22 1 指標（冷房エンタルピーデー）との相関と負荷自体からの予測

2次式予測（2指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26_26)、エンタルピーデー (Ec60_60)

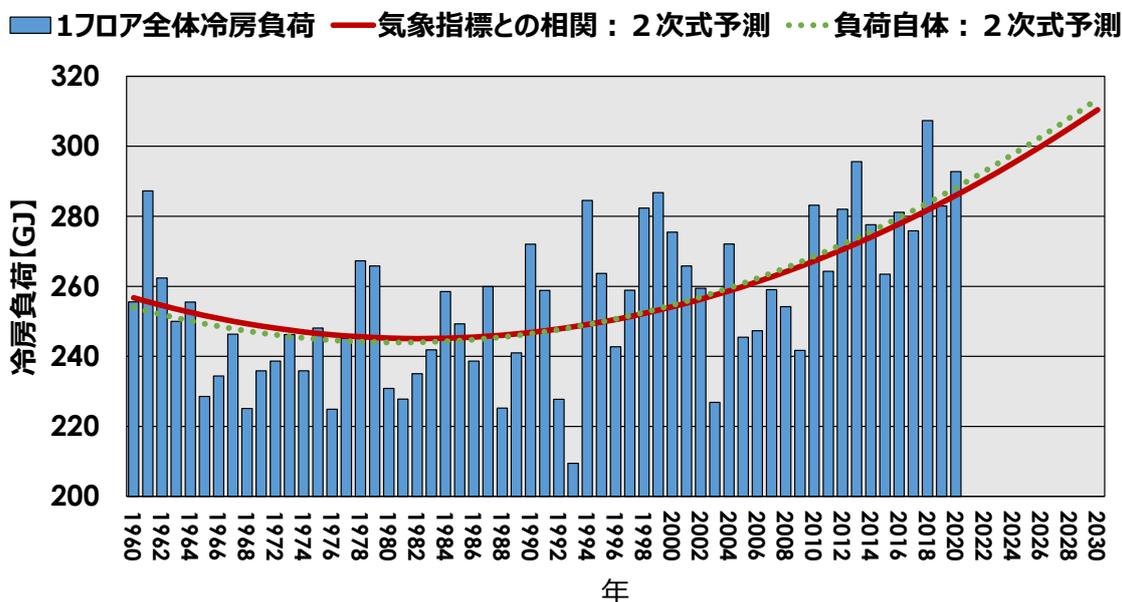


図 4-23 2 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー）との相関と負荷自体からの予測

2次式予測（3指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26_26)、エンタルピーデー (Ec60_60)、ヒューミディティーデー (Hc12.1_12.1)

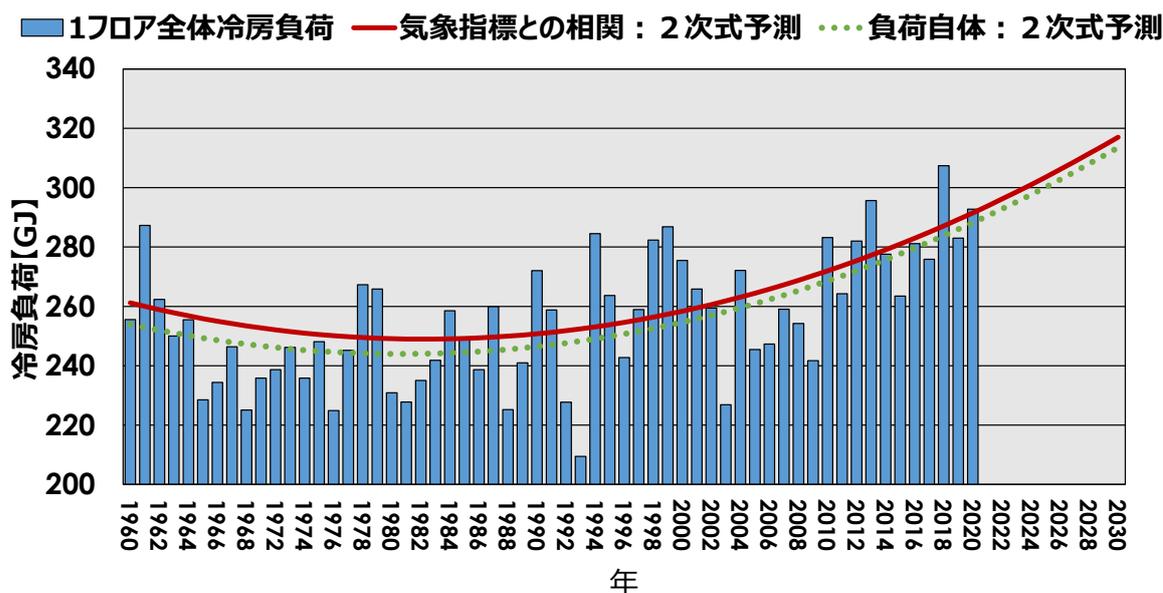


図 4-24 3 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー）との相関と負荷自体からの予測

2次式予測（4指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dc26 26)、エンタルピーデー (Ec60 60)、ヒューミディティーデー (Hc12.1 12.1)、日射量 (Soc)

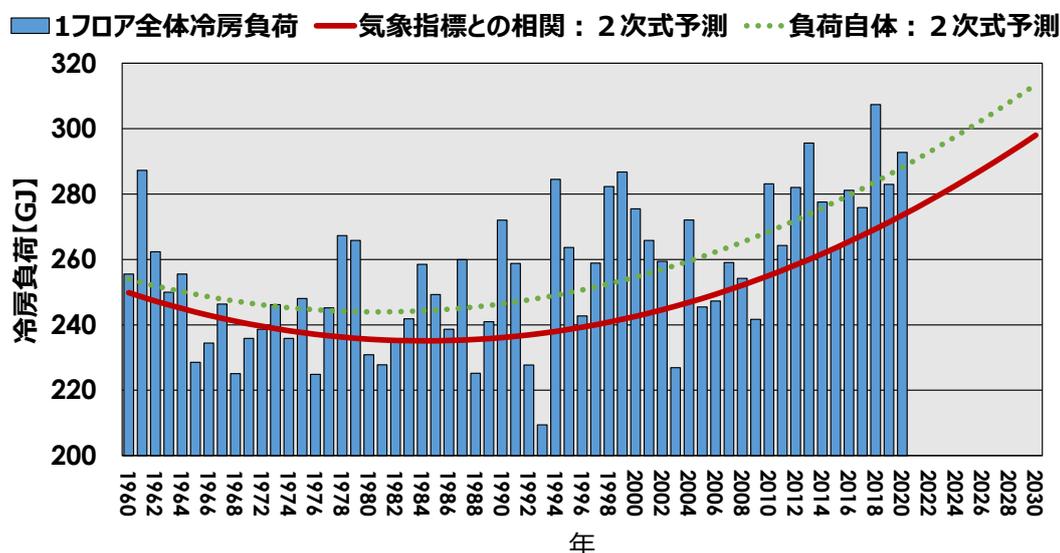


図 4-25 4 指標（冷房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

予測近似式の中では、2次近似式が、残差分散が一番小さくなり選定式としたいが、予測式として、急激に負荷が上昇する予測となるので、ここでは2番目に残差分散の値の小さい指数予測が一番良い予測式と言える。

故に指数予測による10年後の2030年の年間冷房負荷は冷房負荷自体からの予測値は280.60GJ、単相関（気象要素指数予測値との）からの予測値は272.70GJ（負荷自体からの予測の3%減）、2重相関（気象要素指数予測値との）からの予測値は275.71GJ（負荷自体からの予測の2%減）、3重相関（気象要素指数予測値との）からの予測値は280.83GJ（負荷自体からの予測の0.08%増）、4重相関（気象要素指数予測値との）からの予測値は261.43GJ（負荷予測の7%減）となった。

指数予測での負荷自体からの予測も相関予測も大きく予測値は離れていないが、相関係数が一番高い4重相関での予測が一番精度の良い式である。

(4) 年間暖房負荷と各気象指標との相関からと負荷自体からによる2030年までの負荷予測

① 年間暖房負荷と各気象指標の相関

年間暖房負荷と各気象指標（デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー、日射量）との相関係数を表4-8、各気象指標と負荷との相関からの回帰分析の負荷予測式（1指標から4指標の各気象指標の組み合わせの中で相関係数の一番高い組み合わせの時の式を表4-9に示す。1指標

(単相関係数)では暖房デグリーデー(Dh18_18)、2指標では暖房デグリーデー(Dh18_18)と暖房ヒューミディティーター(Hh7.6_7.6)、3指標では暖房デグリーデー(Dc26_26)、暖房エンタルピーデー(Ec60_60)、日射量(Sow)との組み合わせが、相関が高い。

表 4-8 年間暖房負荷と各気象指標の相関係数

	指標	単・重相関係数
1指標	Dh18	0.655
	Eh30	0.631
	Hh7.6	0.429
	Sow	0.120
2指標	Dh18, Eh30	0.666
	Dh18, Hh7.6	0.667
	Dh18, Sow	0.655
	Eh30, Hh7.6	0.646
	Eh30, Sow	0.639
	Eh7.6, Sow	0.447
3指標	Dh18, Eh30, Hh7.6	0.6670
	Dh18, Hh7.6, Sow	0.6672
	Dh18, Eh30, Sow	0.6673
	Eh30, Hh7.6, Sow	0.652
4指標	Dh18, Eh30, Hh7.6, Sow	0.668

表 4-9 各気象指標と負荷との相関からの回帰分析の負荷予測式

指標数	負荷予測式 単位 : GJ
1指標	$(-0.0539 \times Dh18) - 12.39$
2指標	$(-0.048 \times Dh18) + (-0.033 \times Hh7.6) + 0.23$
3指標	$(-0.034 \times Dh18) + (-0.017 \times Eh30) + (0.001 \times Sow) - 18.15$
4指標	$(-0.04 \times Dh18) + (-0.009 \times Eh30) + (-0.017 \times Hh7.6) + (0.0009 \times Sow) - 11.11$

負荷自体からの4つの近似式(線形、指数、対数、2次式)による暖房負荷予測式を表 4-10 に示す。

表 4-10 負荷自体からの予測式

	1次式	残差分散	指数	残差分散	対数	残差分散	2次式	残差分散
暖房負荷	$y=0.49x-113.5$	101.89	$y=-113.55e^{-0.005x}$	100.82	$y=8.77\ln(x)-126.35$	107.59	$y=-0.0077x^2+20.94x-117.91$	98.28

② 2030年までの年間暖房負荷の予測

1指標～4指標の各気象要素の組み合わせの中で負荷との相関が一番高い(相関係数の値が最大)回帰式からの10年後の負荷予測を線形予測、指数予測、対数予測、2次式予測の順に図 4-26～4-41 に示す。

A. 線形予測

気象指標との相関と負荷自体からの各々の線形予測を 1 指標～4 指標の順に図 4-26～4-29 に示す。

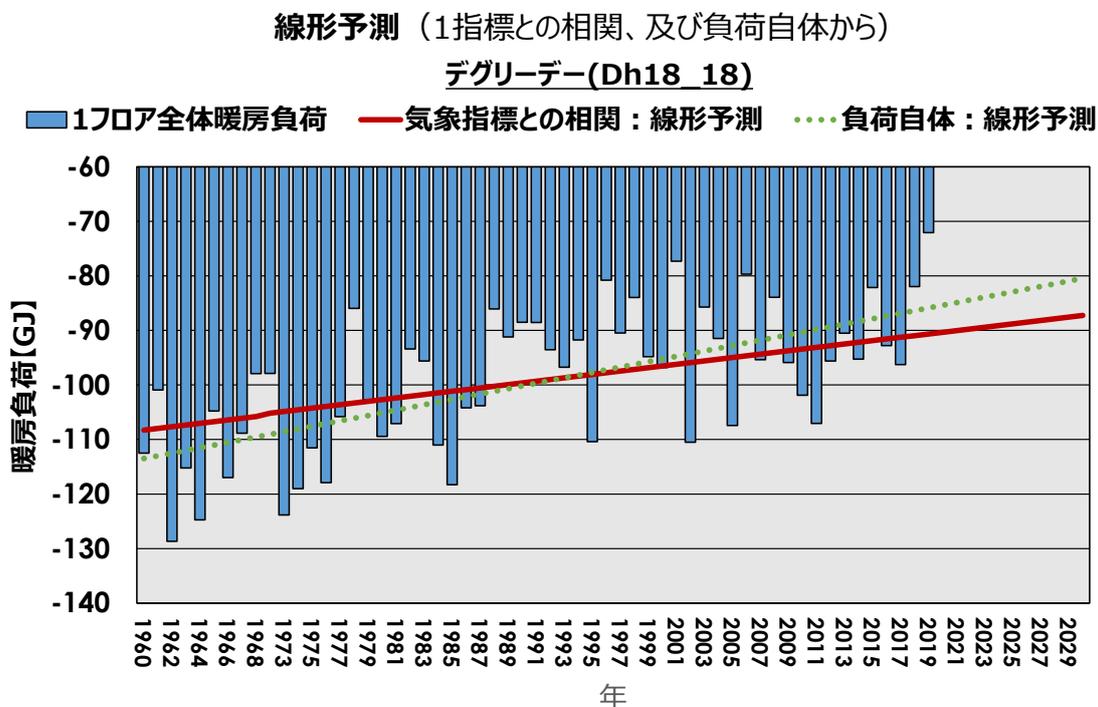


図 4-26 1 指標（暖房デGREEデー）との相関と負荷自体からの予測

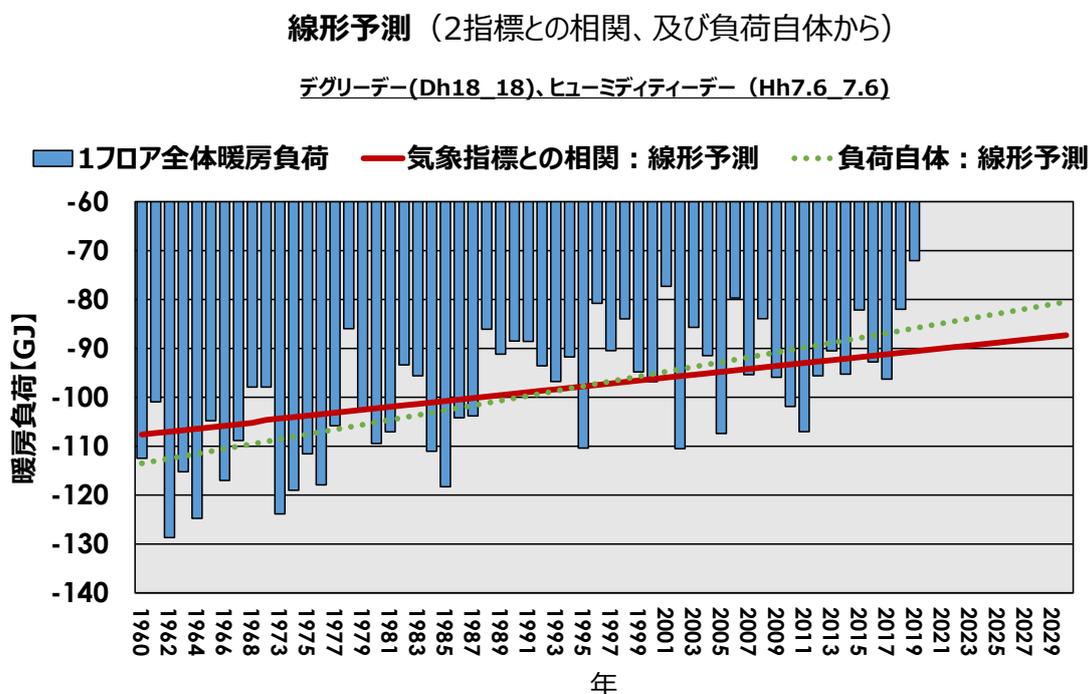


図 4-27 2 指標（暖房デGREEデー、ヒューミディティデー）との相関と負荷自体からの予測

線形予測（3指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dh18_18)、エンタルピーデー (Ec30_30)、日射量 (Sow)

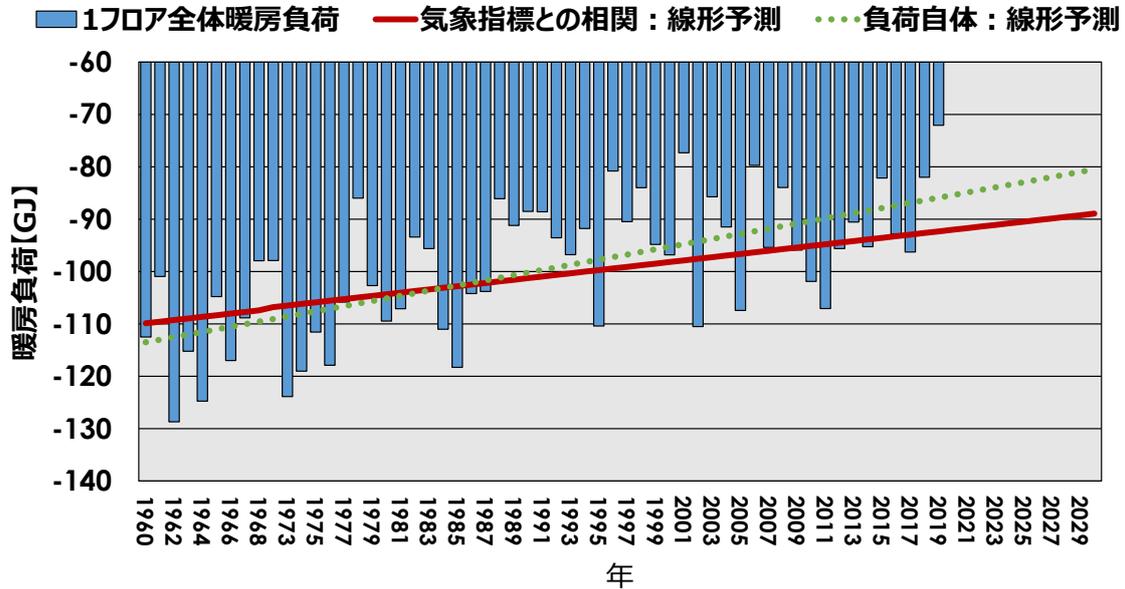


図 4-28 3 指標（暖房デGREEデー、エンタルピーデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

線形予測（4指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dh18_18)、エンタルピーデー (Ec30_30)、ヒューミディティーデー (Hh7.6_7.6)、日射量 (Sow)

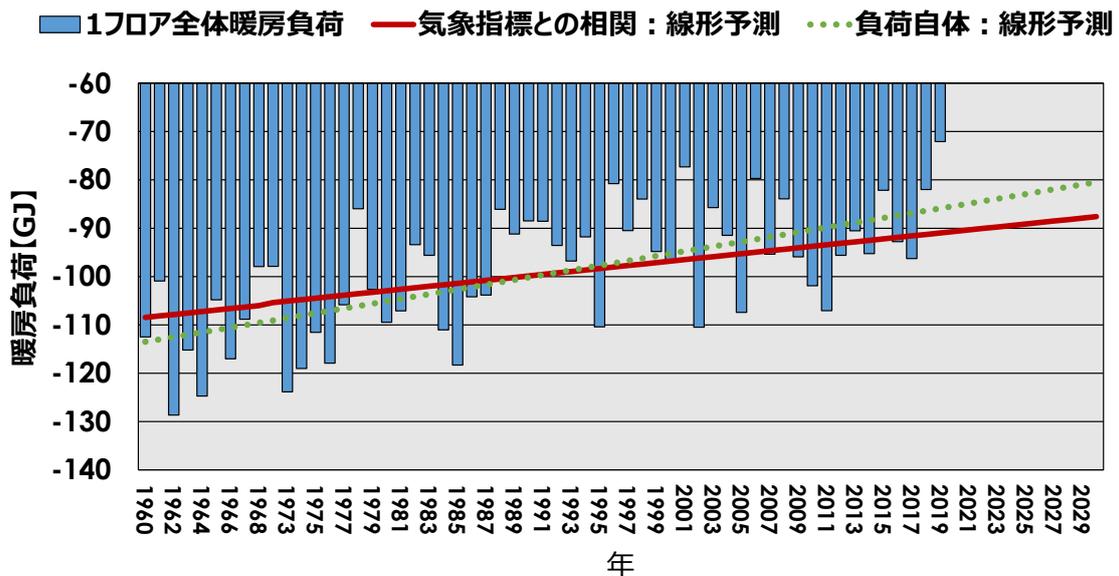


図 4-29 4 指標（暖房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

B. 指数予測

気象指標との相関と負荷自体からの各々の指数予測を1指標～4指標の順に図4-30～4-33に示す。

指数予測（1指標との相関、及び負荷自体から）
 デGREEデー(Dh18 18)

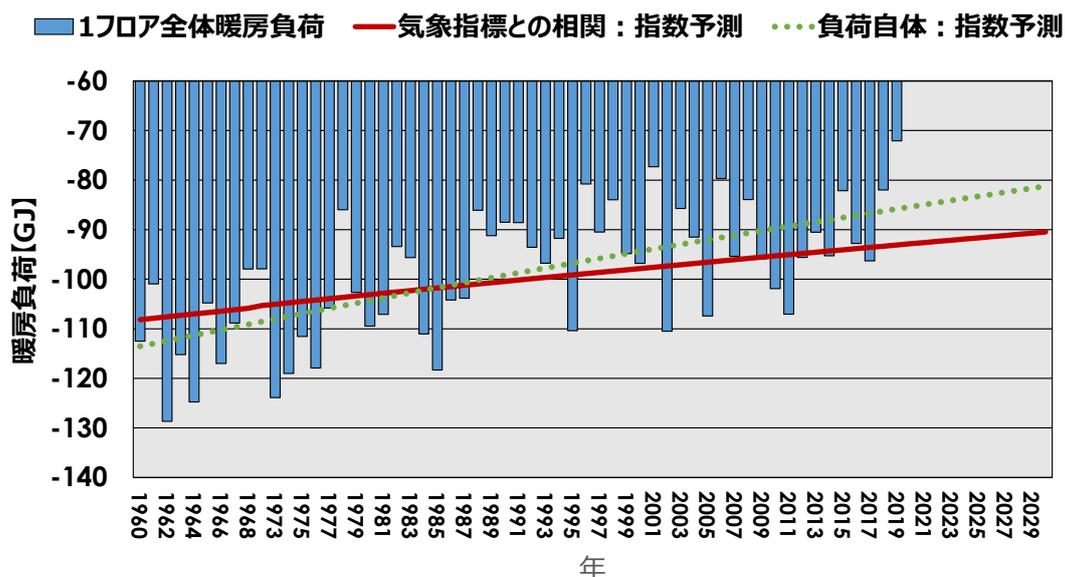


図4-30 1指標（暖房デGREEデー）との相関と負荷自体からの予測

指数予測（2指標との相関、及び負荷自体から）
 デGREEデー(Dh18 18)、ヒューミディティデー (Hh7.6 7.6)

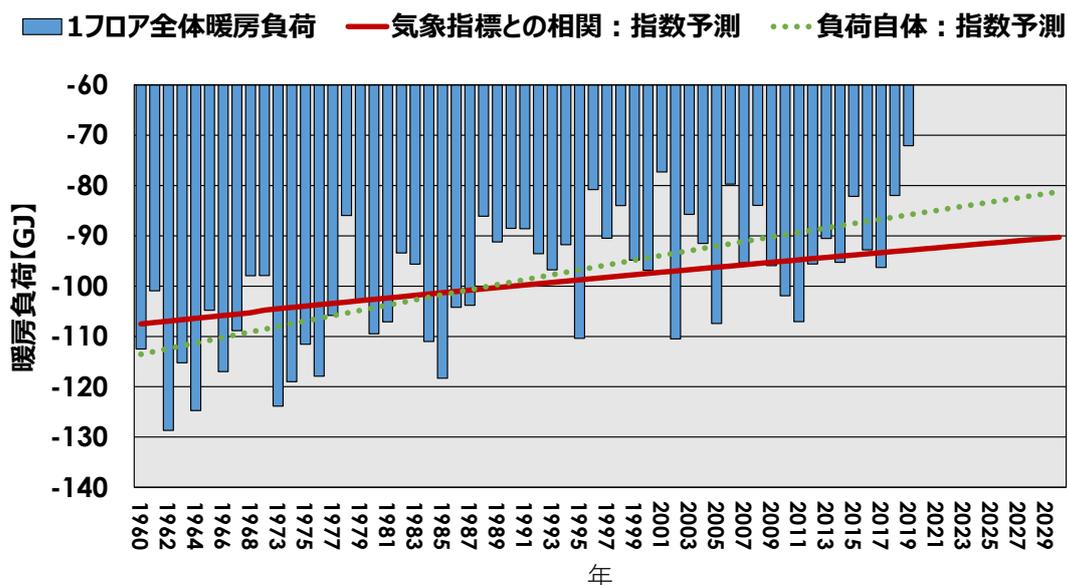


図4-31 2指標（暖房デGREEデー、ヒューミディティデー）との相関と負荷自体からの予測

指数予測（3指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dh18_18)、エンタルピーデー (Ec30_30)、日射量 (Sow)

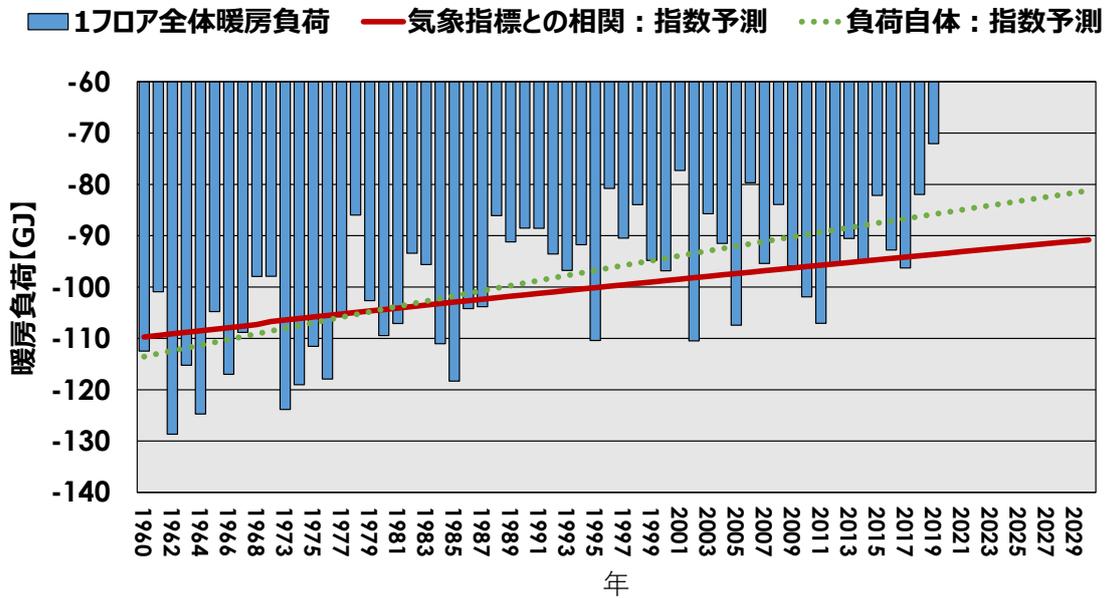


図 4-32 3 指標（暖房デGREEデー、エンタルピーデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

指数予測（4指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dh18_18)、エンタルピーデー (Ec30_30)、ヒューミディティデー (Hh7.6_7.6)、日射量 (Sow)

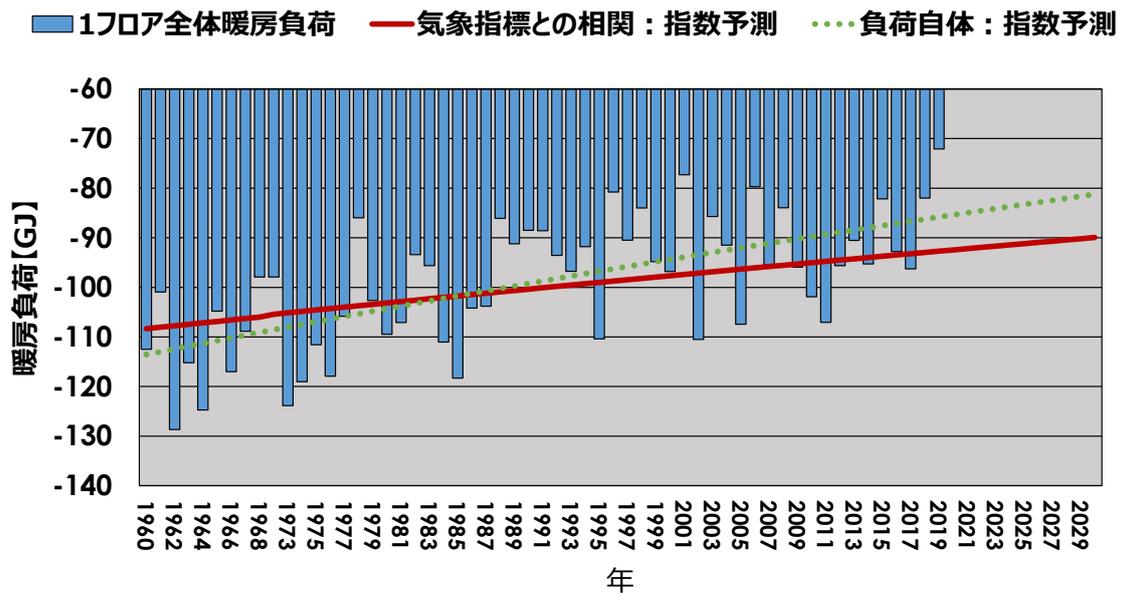


図 4-33 4 指標（暖房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

C. 対数予測

気象指標との相関と負荷自体からの各々の対数予測を 1 指標～4 指標の順に図 4-34～4-37 に示す。

対数予測（1指標との相関、及び負荷自体から）
デGREEデー(Dh18_18)

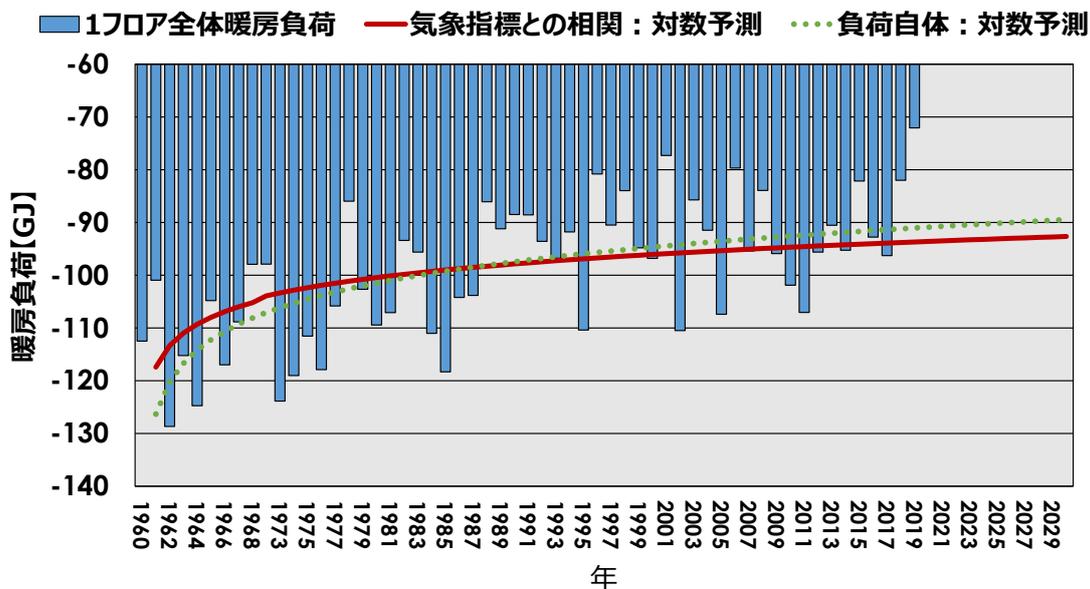


図 4-34 1 指標（暖房デGREEデー）との相関と負荷自体からの予測

対数予測（2指標との相関、及び負荷自体から）
デGREEデー(Dh18_18)、ヒューミディティーデー (Hh7.6_7.6)

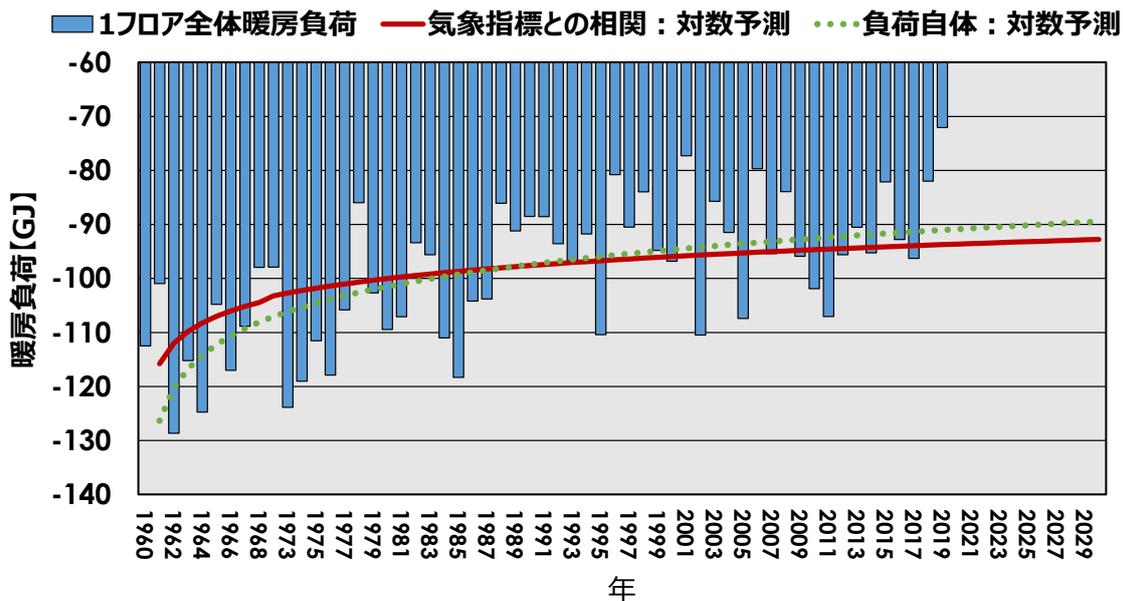


図 4-35 2 指標（暖房デGREEデー、ヒューミディティーデー）との相関と負荷自体からの予測

対数予測（3指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dh18_18)、エンタルピーデー (Ec30_30)、日射量 (Sow)

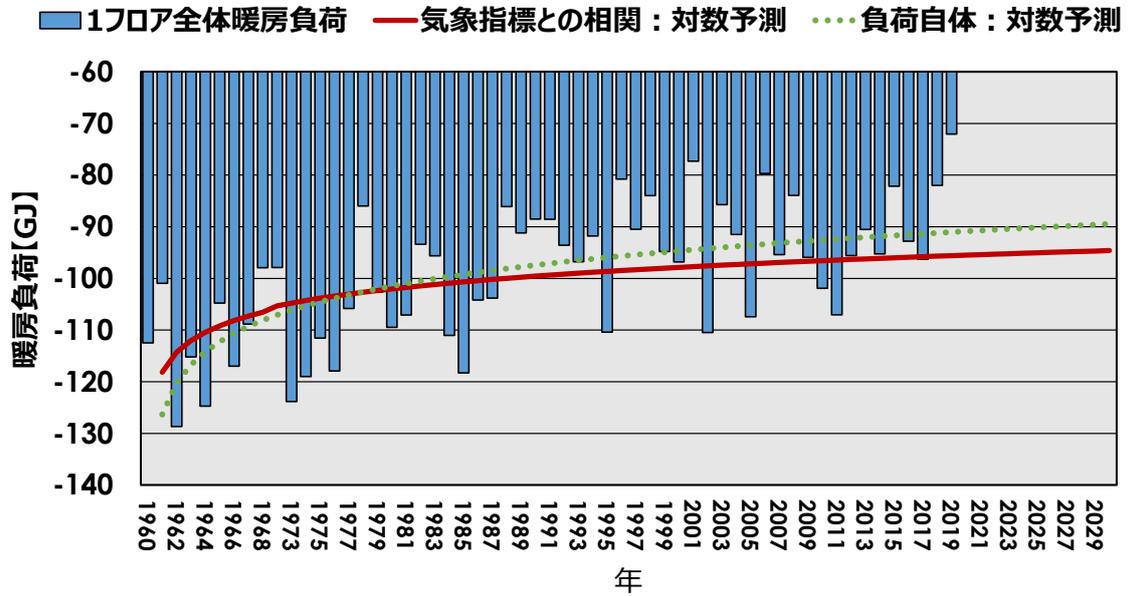


図 4-36 3 指標（暖房デGREEデー、エンタルピーデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

対数予測（4指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dh18_18)、エンタルピーデー (Ec30_30)、ヒューミディティデー (Hh7.6_7.6)、日射量 (Sow)

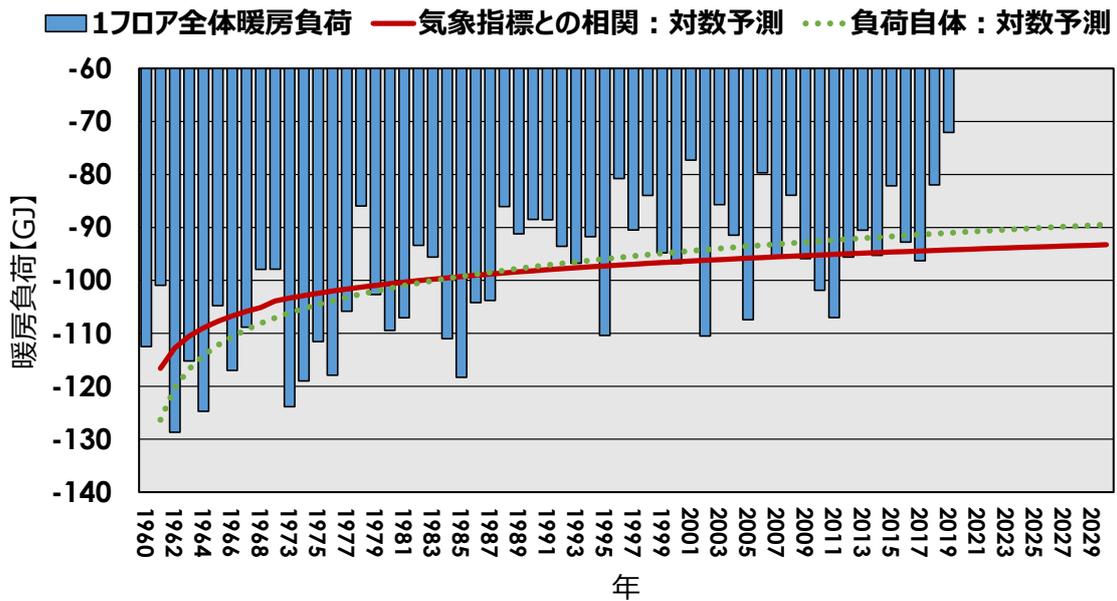


図 4-37 4 指標（暖房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

D. 2次式予測

気象指標との相関と負荷自体からの各々2次式予測を1指標～4指標の順に
 図4-38～4-41に示す。

2次式予測（1指標との相関、及び負荷自体から）
デGREEデー(Dh18_18)

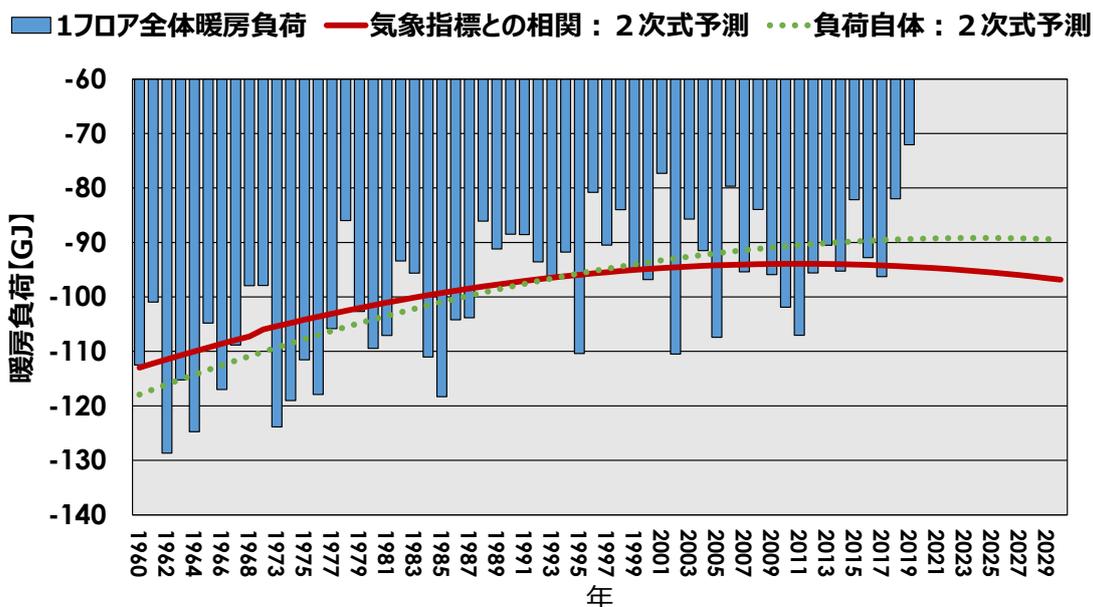


図4-38 1指標（暖房デGREEデー）との相関と負荷自体からの予測

2次式予測（2指標との相関、及び負荷自体から）
デGREEデー(Dh18_18)、ヒューミディTEEデー (Hh7.6_7.6)

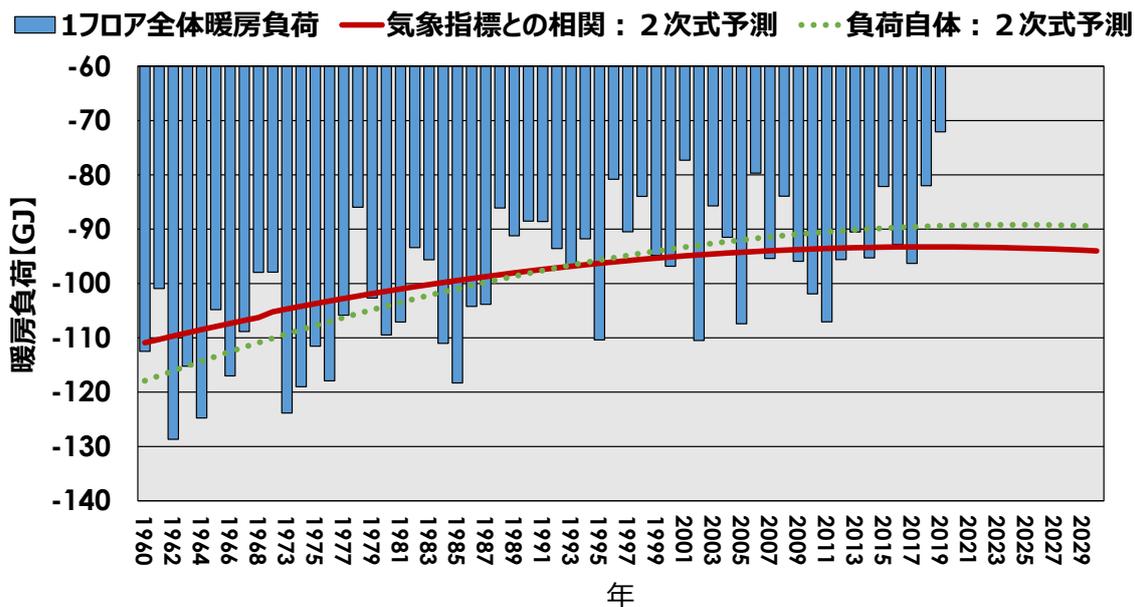


図4-39 2指標（暖房デGREEデー、ヒューミディTEEデー）との相関と負荷自体からの予測

2次式予測（3指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dh18_18)、エンタルピーデー(Ec30_30)、日射量(Sow)

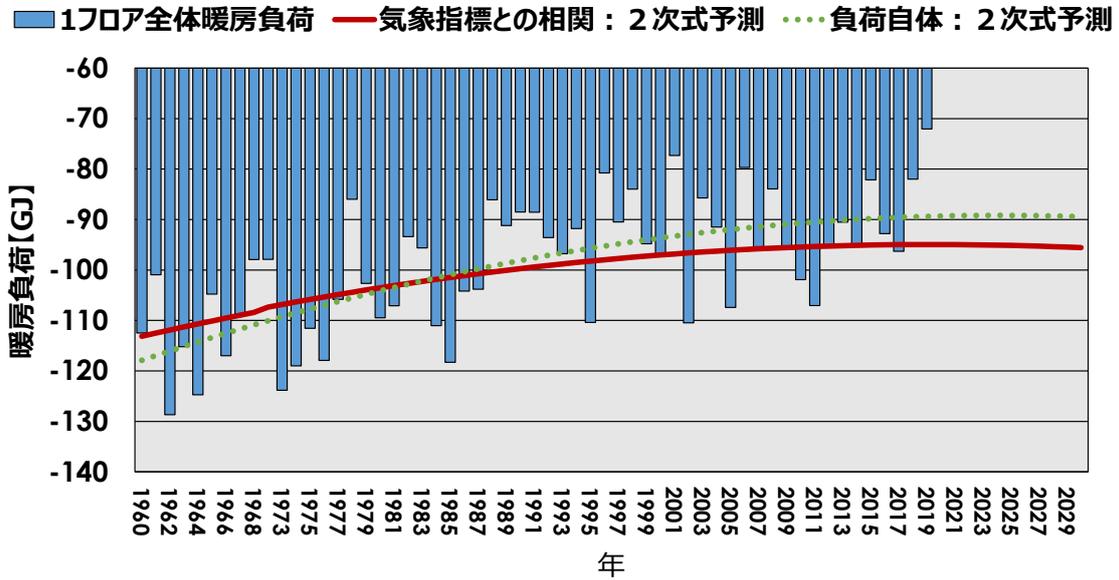


図 4-40 3 指標（暖房デGREEデー、エンタルピーデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

2次式予測（4指標との相関、及び負荷自体から）

デGREEデー(Dh18_18)、エンタルピーデー(Ec30_30)、ヒューミディティーデー(Hh7.6_7.6)、日射量(Sow)

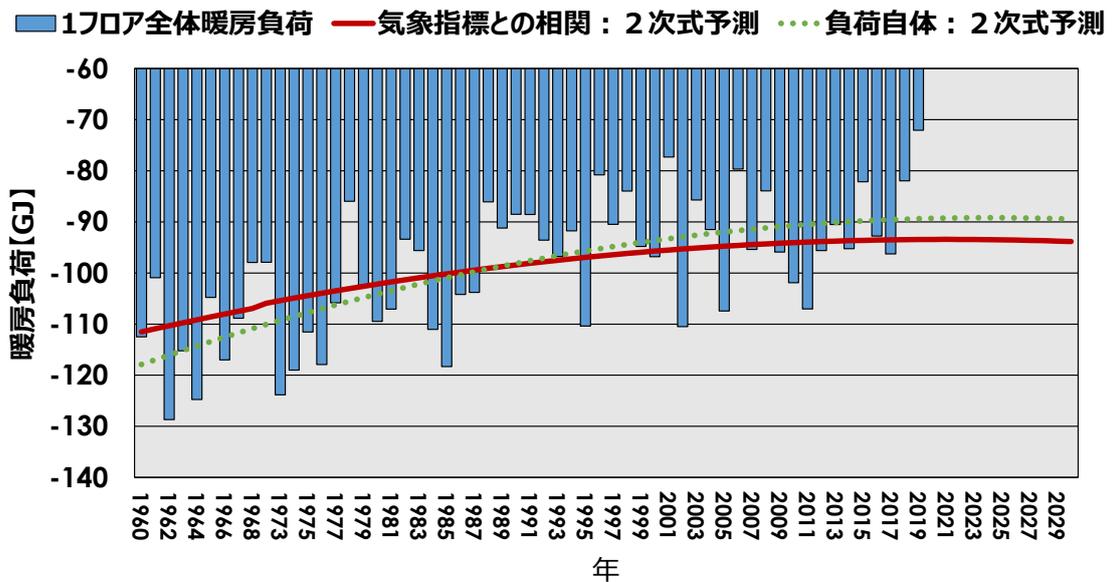


図 4-41 4 指標（暖房デGREEデー、エンタルピーデー、ヒューミディティーデー、日射量）との相関と負荷自体からの予測

予測近似式の中では、2次近似式が、残差分散が一番小さくなり選定式としたいが、予測式として、ある所から急激に暖房負荷が増加する予測となるので、ここでは2番目に残差分散の値の小さい指数予測が一番良い予測式と言える。

故に指数予測による10年後の2030年の年間暖房負荷予測は暖房負荷自体からの予測値は91.52GJ、単相関からの予測値は92.70GJ(負荷予測の1.3%増)、4重相関からの予測値は99.15GJ(負荷予測の8.3%増)となった。

負荷自体、単相関、4重相関の冷暖房負荷予測値は、10%以内に入っており3手法とも適しているといえる。

(5) 年間部位別冷房負荷の変動

東京のオフィス水準2の主要部位別(開口部、外気取り入れ、外壁)年間冷房負荷1960~2020年の変動を図4-42、年間暖房負荷を図4-43に示す。

開口部冷房負荷、外気取り入れ冷房負荷、外壁冷房負荷の変動は激しいが1960~1969年は減少傾向にあり、1972~2020年は増加傾向にある。

開口部暖房負荷、外気取り入れ暖房負荷、外壁暖房は1960~2019年まで一貫して減少傾向にある。

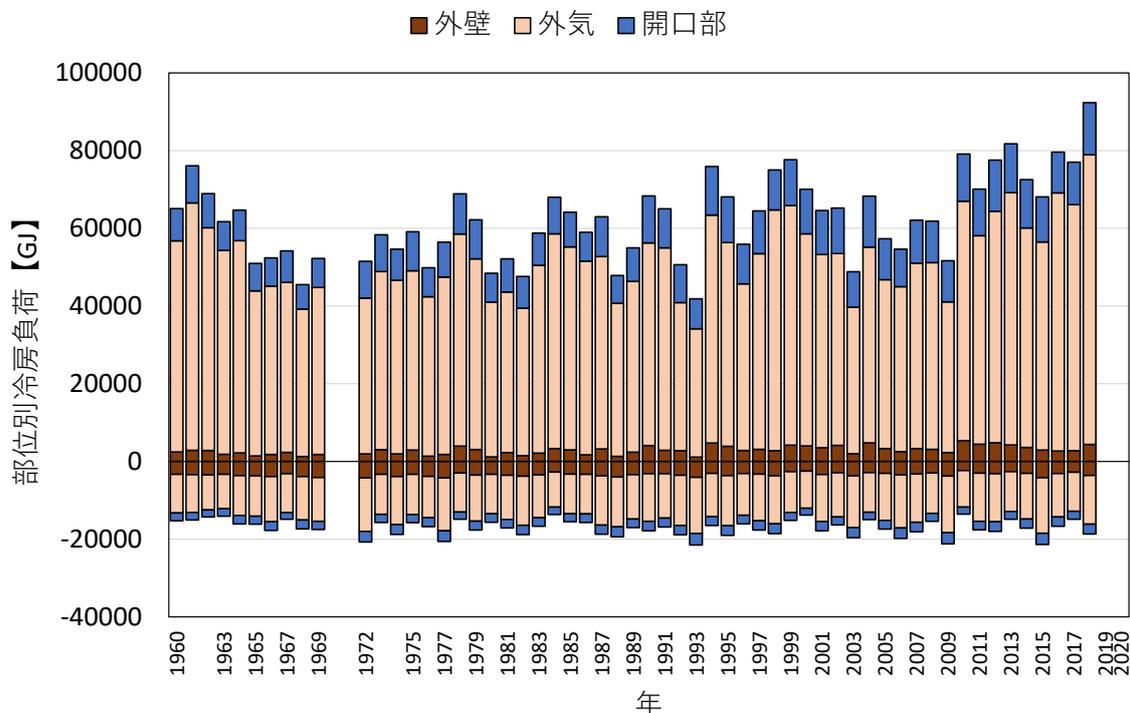


図4-42 年間部位別冷房負荷量(開口部、外気取入れ、外壁)
1960~2020年 経年変化

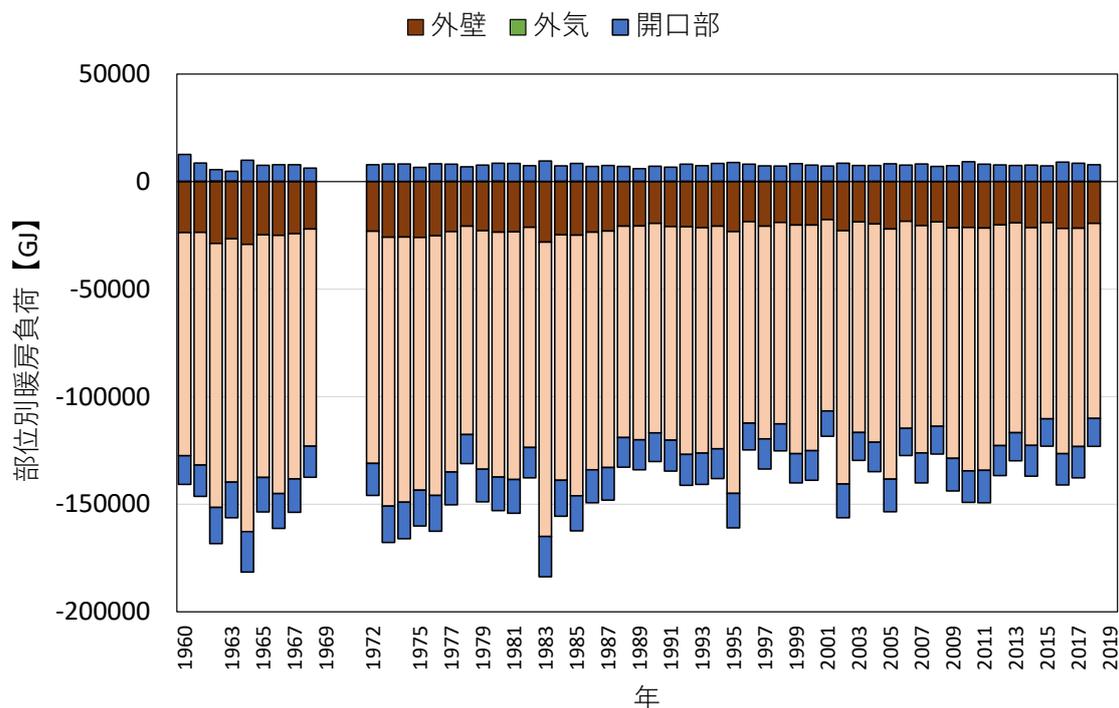


図 4-43 年間部位別暖房負荷量(開口部、外気取入れ、外壁)
1960～2019 年 経年変化

(6) 開口部、外気取り入れ及び外壁の年間冷暖房負荷の経年変化

東京の年間開口部及び外気取り入れの水準 2 の冷暖房負荷を前述の 4 式に適用し残差分散が最小値になる式を選定した。経年変化式を表 4-11 に示す。

表 4-11 開口部、外気取入、外壁 年間冷暖房負荷予測 2 次近似式

			2次近似式	残差分散	年間増減負荷 (GJ)
開口部	水準 2	冷房負荷	$y=0.0004x^2+0.05x+5.60$	1.77	0.77
		暖房負荷	$y=-0.0004x^2+0.08x-9.18$	1.46	-0.06
外気取入	水準 2	冷房負荷	$y=0.02x^2-0.85x+43.71$	63.90	0.17
		暖房負荷	$y=-0.0008x^2+1.03x-128.66$	134.51	-0.54
外壁	水準 2	冷房負荷	$y=0.0002x^2-0.006x+1.45$	0.01	0.003
		暖房負荷	$y=-0.0002x^2+0.24x-26.39$	4.61	-0.11

(注) $x=z-1972$ (z :西暦)
 y :予測負荷値

① 年間冷房負荷

東京の水準 1、2、3 とも主要部位の開口部、外気取り入れ、外壁の年間冷房負荷は 1960～1969 年は減少傾向にあり、その後 2020 年迄は増加傾向にある。開口部の直近の増加推定量は、水準 1 は、年 0.24GJ/年、水準 2、は 0.07GJ/年、水準 3 は、年 0.09GJ/年である。外気取り入れの直近の増加推定量は、水準 1 は 0.18GJ/年、水準 2 は 0.17GJ/年、水準 3 は 0.11GJ/年である。外壁の

直近の増加推定量は、水準 1 は 0.004GJ/年、水準 2 は 0.003GJ/年、水準 3 は 0.003GJ/年である。

② 年間暖房負荷

東京の水準 1、2、3 とも主要部位の開口部、外気取り入れ、外壁の年間暖房負荷は 1960 年～2019 年は減少傾向にある。開口部の直近の減少推定量は、水準 1 は 0.05GJ/年、水準 2 は 0.06GJ/年、水準 3 は 0.01GJ/年である。外気取り入れの直近の減少推定量は、水準 1 は 0.72GJ/年、水準 2 は 0.54GJ/年、水準 3 は 0.46GJ/年である。外壁の直近の減少推定量は、水準 1 は 0.14GJ/年、水準 2 は 0.11GJ/年、水準 3 は 0.09GJ/年である。

③ 最近の開口部冷暖房負荷

最近 5 年間の南ペリメータの開口部詳細冷房負荷を図 4-44 に示す。いずれの年も透過日射熱取得量の大きい順は水準 1、2、3、吸熱日射熱取得量の大きい順は水準 3、2、1、貫流熱取得量の大きい順は水準 1、2、3 となる。

水準別に比べると水準 1 は透過日射熱取得が水準 2、3 に比べて非常に大きい。貫流熱は正、負出ている。これは冷房運転時でも、外気温が設定温度に比べて低い場合は負になり、冷房負荷削減に寄与している。

水準 2 は、透過日射熱取得は水準 1 に比べ小さくなっている。ブラインドの日射遮蔽効果が出ており日射吸収量は水準 1 より大きく水準 3 より小さい。

水準 3 は、透過日射量が 1 番小さく、日射遮蔽効果がよく出ている。一方、日射吸熱量は他に比べて、1 番大きくなっている。貫流熱は正負とも小さくなっており、透過日射成分、吸熱成分、貫流成分の合計が冷房負荷になり、水準 3 が一番小さい。

最近 5 年間の南ペリメータの開口部詳細暖房負荷を図 4-45 に示す。いずれの年も透過日射熱取得量の大きい順は水準 1、3、2 となり、吸熱日射熱取得量の大きい順は水準 2、3、1、貫流熱取得量の大きい順は水準 2、1、3 となる。

水準別に比べると、水準 1 は暖房負荷の減少に寄与する透過日射熱取得量は大きいですが、暖房負荷を増大させる貫流熱取得量の値は負で大きい。

水準 2 は、透過日射量は小さいが、吸熱日射量は大きい。ガラス、ブラインドに吸熱した熱である。

貫流熱量の値は負で、3 種の水準のうちで一番大きな負の値になっている。水準 3 は透過日射熱取得、吸熱日射熱取得、貫流熱取得とも小さく、開口部の暖房負荷は一番小さくなっている。

負荷量における日射量の熱負荷成分は日射透過熱量、日射吸熱量から推測できる。

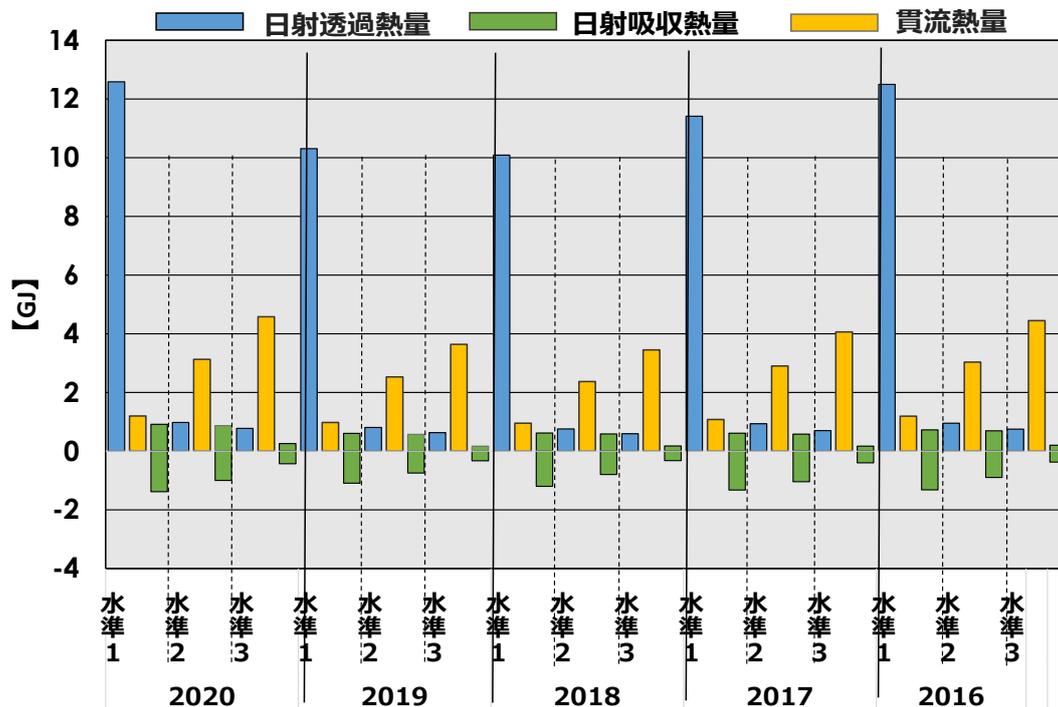


図 4-44 直近 5 年間 南ペリメーター 開口部詳細年間冷房負荷

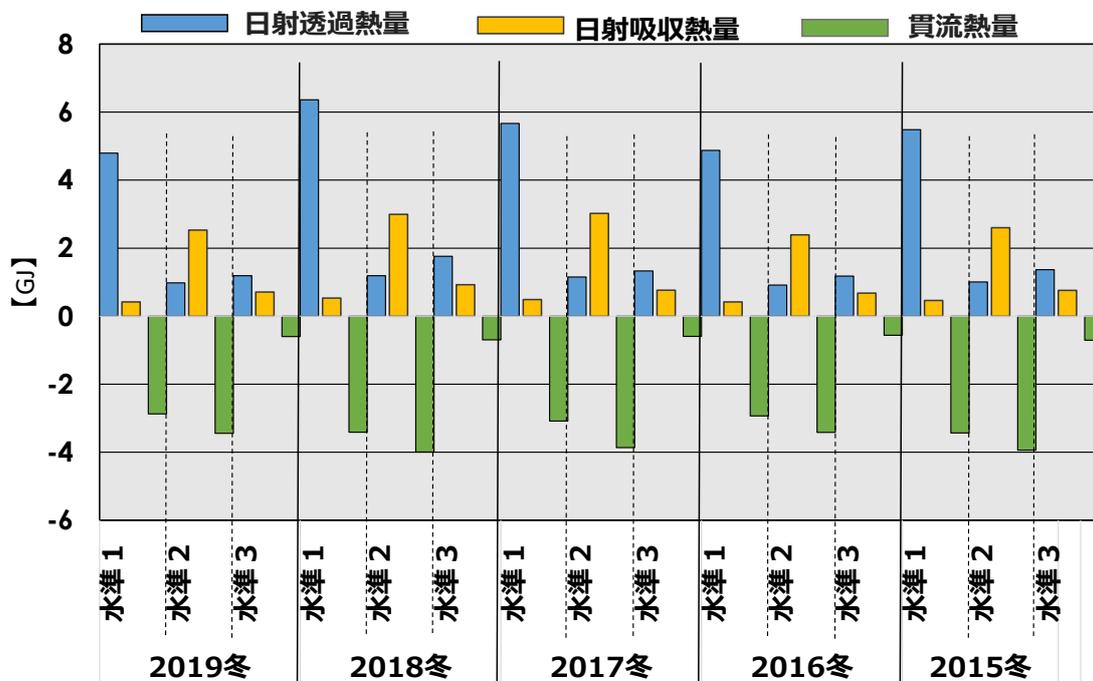


図 4-45 直近 5 年間 南ペリメーター 開口部詳細年間暖房負荷

ま と め

東京 1960 年～2020 年の気象データを用いオフィスの長期の各年冷暖房負荷を算出し、予測気象指標との相関から近未来の熱負荷を予測した。

・冷房負荷予測

指数予測による 10 年後の 2030 年の年間冷房負荷は、冷房負荷自体からの予測値は 280.60GJ、単相関による予測値は 272.70GJ(負荷自体からの予測の 3%減)、2 重相関による予測値は 275.71GJ(負荷自体からの予測の 2%減)、3 重相関(気象要素指数予測値との)による予測値は 280.83GJ(負荷自体からの予測の 0.08%増)、4 重相関(気象要素指数予測値との)からの予測値は 261.43GJ(負荷予測の 7%減)となった。指数予測での、負荷自体からの予測も相関予測も大きく予測値は離れていないが、相関係数が一番高い 4 重相関での予測が一番精度の良い式であるという結論を得た。

オフィスの年間冷房負荷(1フロア全体、開口部、外気取入れ、外壁)は 1960～1969 年は減少傾向にあり、1972 年以降は増加傾向にある。直近の標準仕様の推定増加量は 1フロア全体 0.58GJ/年(床面積当たり 0.53MJ/m²・年)、開口部 0.07GJ/年(開口部面積当たり 0.87MJ/m²・年)、外気取入れ 0.17GJ/年、外壁 0.003GJ/年(外壁面積当たり 0.007MJ/m²・年)となった。

・暖房負荷予測

指数予測による 10 年後の 2030 年の年間暖房負荷予測は、暖房負荷自体からの予測値は 91.52GJ、単相関からの予測値は 92.70GJ(負荷予測の 1.3%増)、4 重相関からの予測値は 99.15GJ(負荷予測の 8.3%増)となった。

負荷自体、単相関、4 重相関の冷暖房負荷予測値は 10%以内に入っており 3 手法とも適しているといえる。

年間暖房負荷(1フロア全体、開口部、外気取入れ、外壁)は、1960 年以降現在に至るまで、減少傾向にある。直近の標準仕様の推定減少量は 1フロア全体 0.47GJ/年(床面積当たり 0.43MJ/m²・年)、開口部 0.06GJ/年(開口部面積当たり 0.74MJ/m²・年)、外気取入れ 0.54GJ/年、外壁 0.11GJ/年(外壁面積当たり 0.27MJ/m²・年)となった。

4. 3. 2 戸建住宅

長期の戸建住宅の熱負荷シミュレーションを行い、年間冷暖房負荷の経年変化を捉え、近未来の冷暖房負荷予測を行う。

4. 3. 2. 1 熱負荷計算プログラム

4. 2と同様

4. 3. 2. 2 シミュレーション条件

4. 2. 1で示した戸建住宅条件とする。

断熱性、省エネルギー性を想定し、建物水準2を標準仕様とし、建物水準1は省エネルギー性が低く、水準3は高いとした。建物仕様水準を表4-12に示す。

表4-12 3水準 建物仕様

		水準1	水準2	水準3
外壁	断熱材	なし	グラスウール 50mm	グラスウール100mm
開口部	ガラス種類	3+6(air)+3mm透明複層ガラス	3+6(air)+3mm透明複層ガラス	6+12(air)+6mm複層LowEガラス
	ブラインド	なし	明色 (平板反射率54.5%)	明色 (平板反射率54.5%)
			夏季:スラット角度+45° 冬季:スラット角度-45°	夏季:スラット角度+75° 冬季:スラット角度-45°
熱損失係数(W/m ² ・K)		2.543	1.505	1.311

4. 3. 2. 3 熱負荷シミュレーション

(1) 年間冷暖房負荷

1) 60年間冷暖房負荷の変動

戸建住宅の年間冷暖房負荷1960～2020年の変動を図4-46、47に示す。

- ① 年間冷房負荷は、負荷変動はあるが、建物水準1、2、3とも1960～1969年は減少傾向にあり、その後1972年より2020年迄は増加傾向にある。年間冷房負荷は常に水準3が最小値で、次いで水準2、1である。
- ② 戸建住宅の年間暖房負荷は建物水準1、2、3とも負荷変動はあるが1960年から2019年迄長期減少傾向にある。年間暖房負荷の最小値は水準3で、次いで水準2、1である。

以下、熱負荷は冷房負荷を正の値、暖房負荷を負の値で示す。

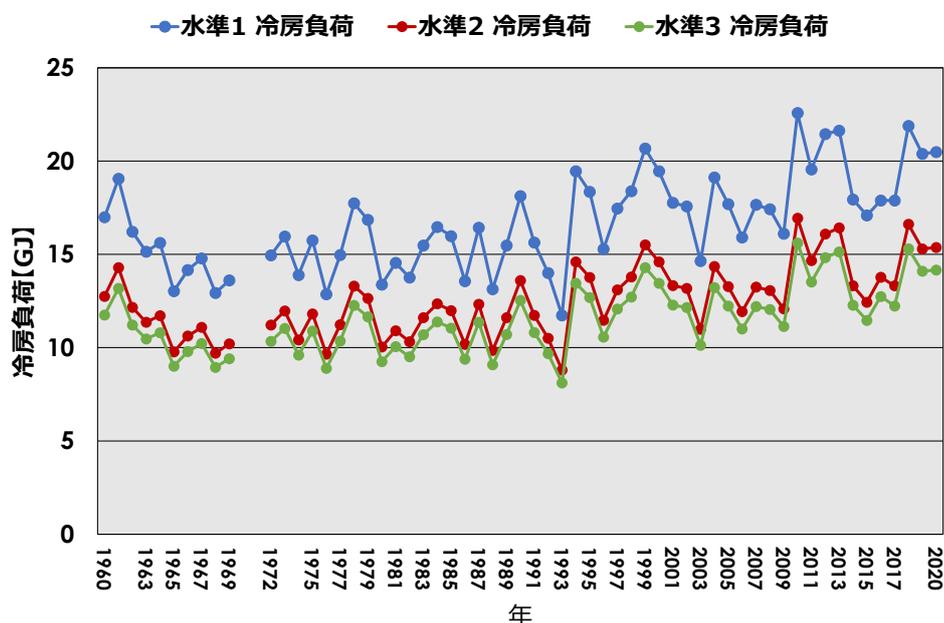


図 4-46 年間冷房負荷の経年変化 (1960～2020 年)

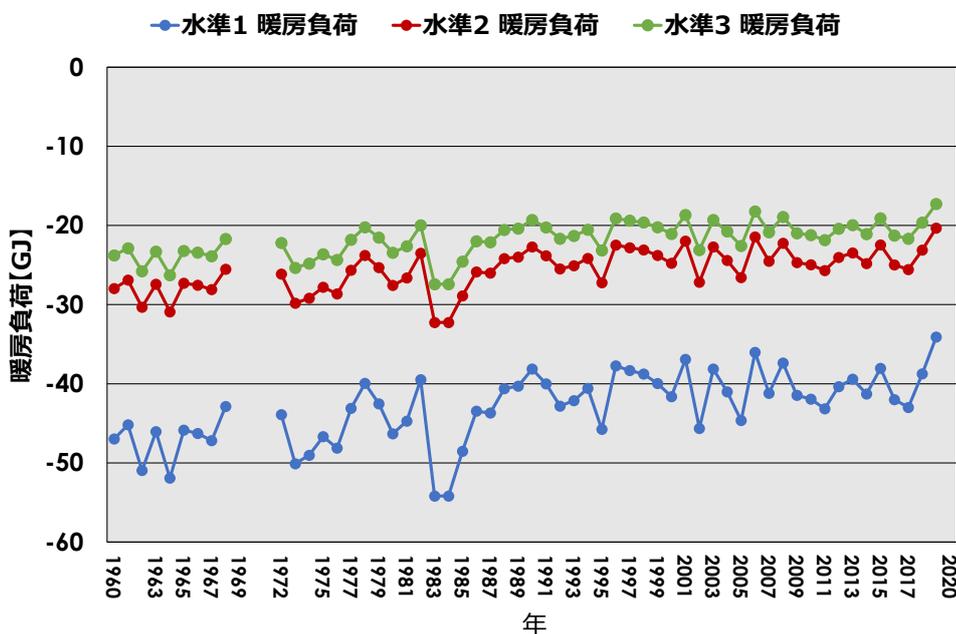


図 4-47 年間暖房負荷の経年変化 (1960～2019 年)

2) 60 年間冷暖房負荷の経年変化式

年間冷暖房負荷の経年変化式を 4 式 (1 次式、2 次式、指数式、対数式) に適用し、各水準の冷暖房とも残差分散が最小となる式を選定、2 次式を推定式とした。結果を表 4-13 に示す。

表 4-13 年間冷暖房負荷の経年予測近似式（水準 1～3）

		2次近似式		残差分散	年間増減負荷 (GJ/年)
東京	水準1	冷房負荷	$y = 0.0025x^2 - 0.069x + 15.535$	3.31	0.089
		暖房負荷	$y = -0.0009x^2 + 0.218x - 48.722$	11.18	-0.162
	水準2	冷房負荷	$y = 0.0019x^2 - 0.053x + 11.659$	1.53	0.067
		暖房負荷	$y = -0.0005x^2 + 0.130x - 29.003$	3.54	-0.096
	水準3	冷房負荷	$y = 0.0018x^2 - 0.048x + 10.745$	1.47	0.062
		暖房負荷	$y = -0.0005x^2 + 0.110x - 24.653$	2.32	-0.082

注) $x=z-1960$ (z :西暦)
 y :年間冷暖房負荷

- ① 戸建住宅年間冷房負荷の直近の推定では水準 1 は年 0.089GJ 水準 2 が年 0.067GJ、水準 3 は年 0.062GJ 増加する。増加量の最大値は水準 1 である。
- ② 戸建住宅年間暖房負荷の直近の推定では水準 1 は年 0.162GJ、水準 2 は年 0.096GJ、水準 3 は年 0.082GJ 減少する。減少量の最大値は水準 1 である。

3) 60年間部位別冷房負荷の変動

戸建住宅の主要部位（開口部、外壁）の年間冷房負荷 1960～2020 年の変動を 図 4-48 に示す。開口部冷房負荷、外壁冷房負荷の変動は激しいが 1960～1969 年は減少傾向にあり、1972～2020 年は増加傾向にある。開口部の冷房負荷は外壁に比べて 7 倍程度大きい。部位の冷房負荷がマイナスになっているのは、その時刻は冷房であるが外気温が室温に比べて低く、冷房負荷の削減に寄与している熱量である。

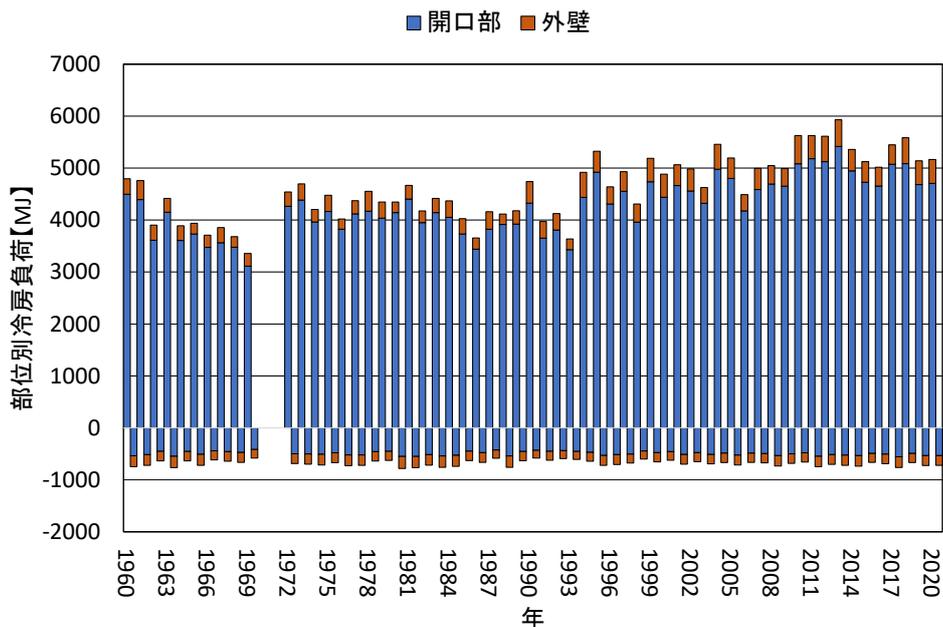


図 4-48 部位別冷房負荷の経年変化(開口部、外壁) 1960年～2020年

① 年間冷房負荷

水準 1、2、3 とも主要部位の開口部及び外壁の年間冷房負荷は 1960～1969 年は減少傾向にあり、その後 2020 年迄は増加傾向にある。開口部の直近の増加推定量は、水準 1 は年 0.048GJ/年、水準 2 は年 0.021GJ/年、水準 3 は年 0.015GJ/年である。外壁の直近の増加推定量は、水準 1 は 0.007GJ/年、水準 2 は 0.004GJ/年、水準 3 は 0.005GJ/年である。

同様に主要部位（開口部、外壁）の年間暖房負荷 1960～2020 年の変動を図 4-49 に示す。開口部暖房負荷、外壁暖房負荷に変動があるが 1960～2020 年は減少傾向にある。外壁の暖房負荷がプラスになっているのは外壁より室内への流入熱があるためである。

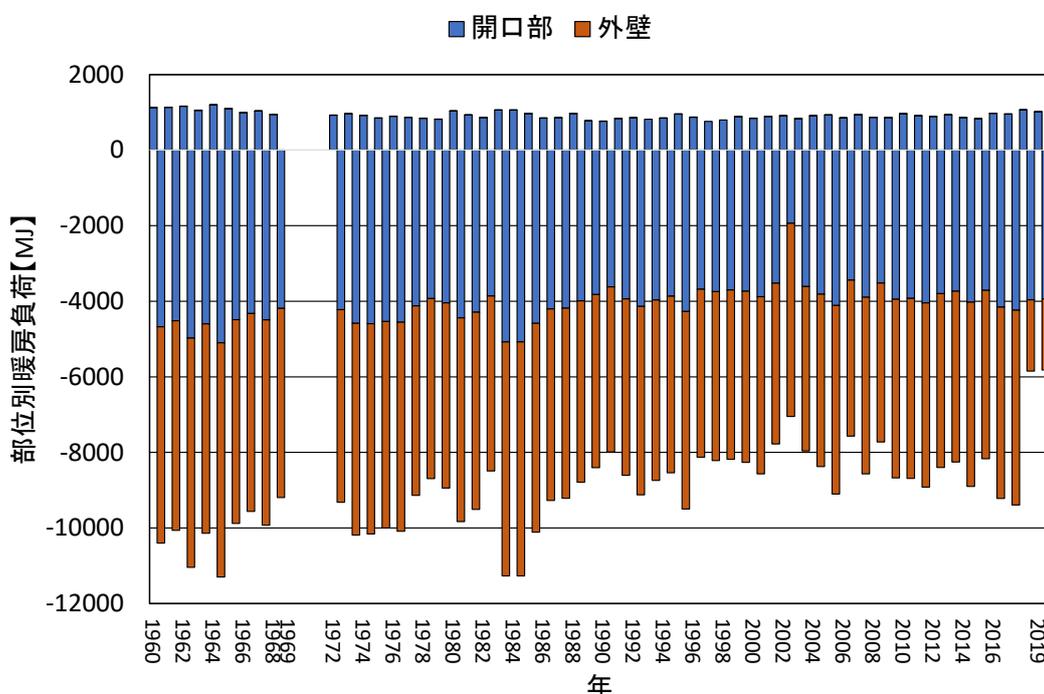


図 4-49 部位別暖房負荷経年変化（開口部、外壁）1960 年～2019 年

② 年間暖房負荷

水準 1、2、3 とも主要部位の開口部及び外壁の年間暖房負荷は、1960 年～2019 年減少傾向にある。開口部の直近の減少推定量は水準 2 で年 0.015GJ/年である。外壁の直近の減少推定量は水準 2 で年 0.03GJ/年である。

4) 開口部及び外壁の年間冷房負荷の経年変化式

年間開口部及び外壁の標準仕様（水準 2）の冷暖房負荷を前述の 4 式に適用すると冷暖房とも残差分散が最小値となるのは 2 次式となり推定式として選定した。経年変化式を表 4-14 に示す。

表 4-14 部位別冷暖房負荷推定経年変化式（開口部、外壁）

			2次近似式	残差分散	年間増減負荷 (GJ/年)
開口部	水準2	部位別冷房負荷	$y=0.0004x^2-0.0029x+3.393$	0.03	0.021
		部位別暖房負荷	$y=-0.0003x^2+0.0324x-3.780$	0.67	-0.015
外壁	水準2	部位別冷房負荷	$y=4E-05x^2+0.0017x+0.055$	0.0049	0.004
		部位別暖房負荷	$y=0.0003x^2+0.0153x-5.621$	0.14	-0.030

注) $x=z-1960$ (z :西暦)

y :2019 年を基準とした増減負荷量

4. 3. 2. 4 シミュレーション結果の詳細表示

長期気象データによる熱負荷シミュレーションを行い、統計処理を行っている。コンピューター内では1分間隔で計算しており、最近の気象データによる詳細計算結果の一部を示す。

2020年夏の瞬時最大冷房負荷は8月1日16時32分で前後3日間のLDK、主寝室の冷房負荷変動を図4-50に示す。立ち上がり時に先鋭的な冷房負荷になり、その後冷房負荷は急激に減少している。LDKの室温は使用状況により激しく変動している。一方、主寝室は比較的なめらかに変動している。

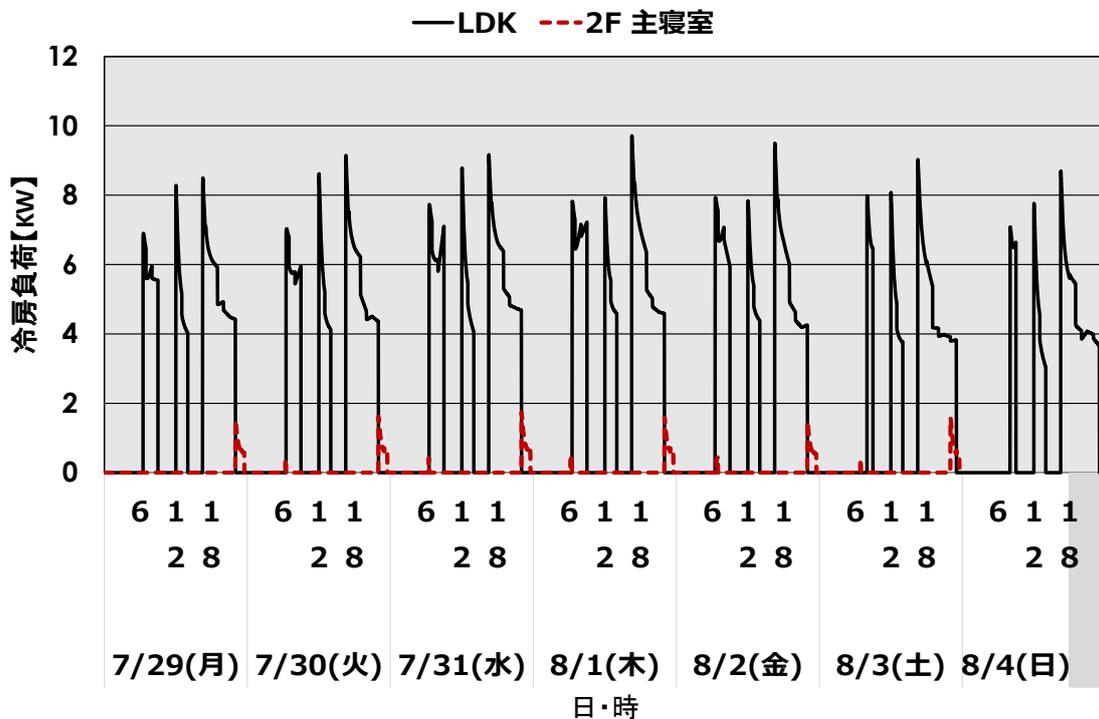


図 4-50 夏季の冷房負荷変動詳細(2020年7月29日~8月4日)

同一期間の室温変動を図 4-51 に示す。LDK は非空調時 35°Cを越す日がある。

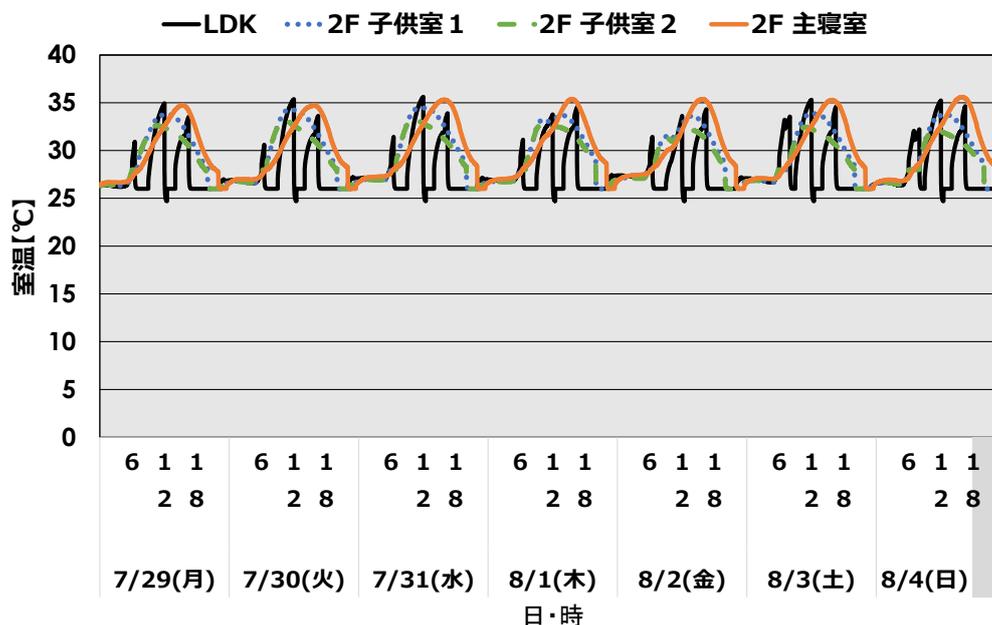


図 4-51 夏季の室温変動詳細 (2020 年 7 月 29 日～8 月 4 日)

2019 年秋から 2020 年春の瞬時最大暖房負荷は 2020 年 2 月 9 日 20 時 2 分で前後 3 日間の LDK、主寝室の暖房負荷変動を図 4-52 に示す。立ち上がり時に先鋭的な暖房負荷になっている。LDK は内部発熱の発生で暖房負荷が緩和されている。

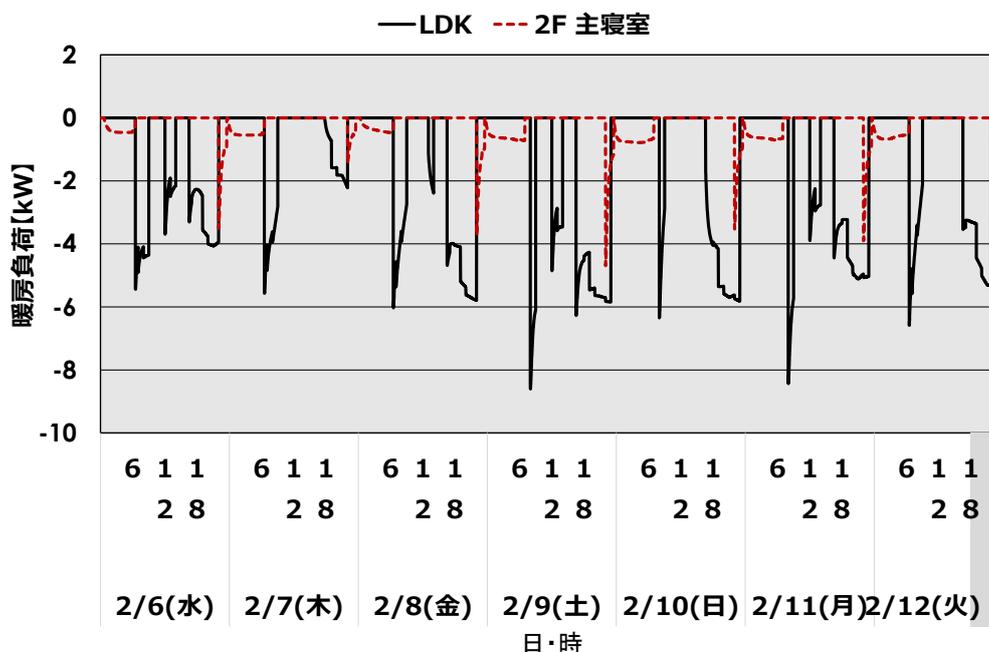


図 4-52 冬季の暖房負荷変動詳細 (2020 年 2 月 6 日～2 月 12 日)

同一期間の室温変動を図 4-53 に示す。LDK は空調時間帯でも設定温度より高くなることもある。主寝室は就寝時の設定温度 (20℃) になり、暖房が入る。

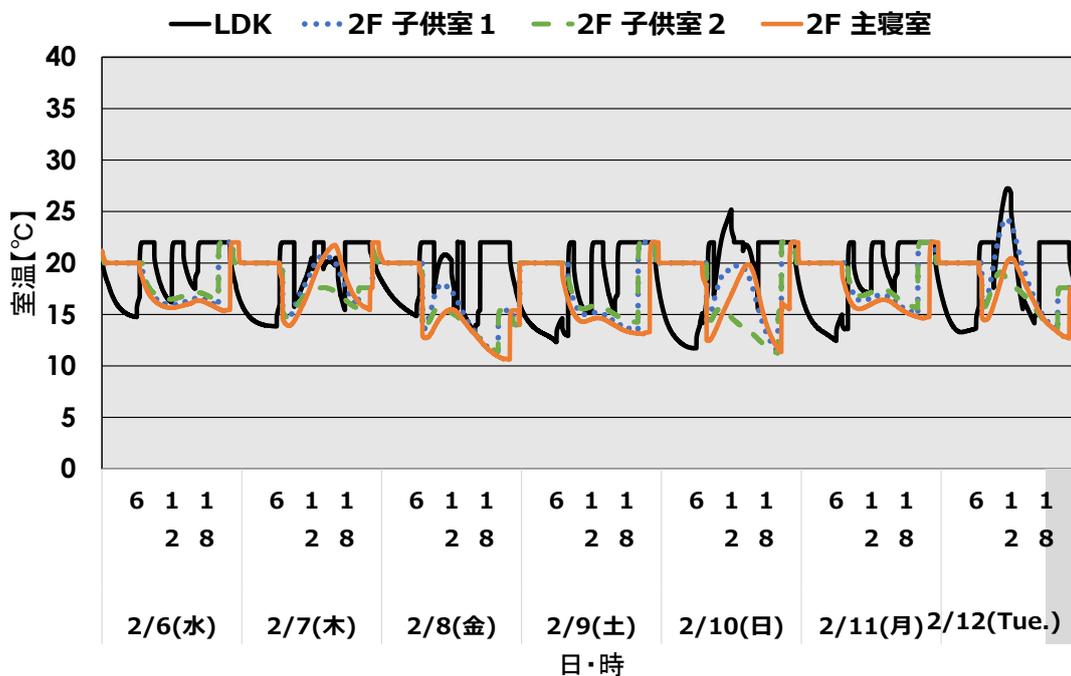


図 4-53 冬季の室温変動詳細(2020 年 2 月 6 日~2 月 12 日)

ま と め

東京 1960 年~2020 年の気象データを用い長期の各年冷暖房負荷を算出し年間冷暖房負荷の経年変化式を 4 式 (1 次式、2 次式、指数式、対数式) に適用し、各水準の冷暖房とも残差分散が最小となる式を選定、2 次式を推定式とし近未来予測を行った。

・冷房負荷予測

年間冷房負荷 (建物全体、開口部、外壁) は 1960~1969 年は減少傾向にあり、1972 年以降は増加傾向にある。直近の標準仕様の推定増加量は建物全体 0.067GJ/年、開口部 0.014GJ/年、外壁 0.005GJ/年となった。

・暖房負荷予測

年間暖房負荷 (建物全体、開口部、外壁) は 1960 年以降現在に至るまで、減少傾向にある。直近の標準仕様の推定減少量は建物全体 0.096GJ/年、開口部 0.780GJ/年、外壁 0.231GJ/年となった。

第4章の参考文献

- 26) 空気調和・衛生工学会 建築エネルギーシミュレーションツールの評価手法に関するガイドライン, pp49-54, 2016.03.30
- 27) 磯崎恭一郎, 武田仁: 2005 年代標準年気象データを用いた住宅冷暖房負荷 9 地点の 2 種類のハニカムブラインドの冷暖房負荷, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp.495-496, 2018.8

第5章

遮蔽物自動制御による負荷軽減

- 5. 1 昼光シミュレーション Radiance
- 5. 2 オフィスビル及び戸建住宅の遮蔽物自動制御技術による冷房負荷削減量の算定及び予測
 - 5. 2. 1 オフィスビル
 - 5. 2. 1. 1 熱負荷計算プログラム
 - 5. 2. 1. 2 シミュレーション条件
 - 5. 2. 1. 3 開口部の遮蔽物による冷房負荷削減対策
 - 5. 2. 1. 4 ブラインド制御による年間冷房パターン
 - 5. 2. 1. 5 シミュレーション結果
 - 5. 2. 2 戸建住宅
 - 5. 2. 2. 1 熱負荷計算プログラム
 - 5. 2. 2. 2 シミュレーション条件
 - 5. 2. 2. 3 開口部の遮蔽物による冷房負荷削減対策
 - 5. 2. 2. 4 ブラインドによる対処
 - (1) ブラインドの光学特性
 - (2) 年間冷房負荷
 - (3) ブラインドの詳細変動
 - 5. 2. 2. 5 カーテンによる対処
 - (1) カーテンの光学特性
 - (2) カーテンの中空層熱抵抗
 - (3) 年間冷房負荷
 - (4) カーテンの詳細作動

第5章 遮蔽物自動制御による負荷軽減

地球温暖化、ヒートアイランド化による冷房負荷増大に対処する1手法として既存の建物を想定し、開口部のベネシャンブラインド(以後ブラインドと略記)のスラット角制御およびカーテンの開閉制御技術を提案し経年で増加する冷房負荷の低減効果があることを示す。

5.1 昼光シミュレーション Radiance^{注1)}

本論において遮蔽物の光学特性算出に使った昼光シミュレーションプログラム Radiance^{注1)} について説明する。

5.1.1 Radiance^{注1)} 概要

Radiance とは、スタンフォード大学で開発されたフリーウェアの照明計算・レンダリングソフトであり、結果の信頼性及びレンダリング画像の美しさなどから米国の照明デザイン・照明研究分野で広範に用いられているソフトである。

Radiance^{注1)} の計算アルゴリズムは、モンテカルロ光線追跡法を用いている。コマンドがベースの照明計算プログラムで、昼光データや光源の光度分布、BRDF、BTDFなどの数値入力容易に可能であり、柔軟性の高いプログラムである。一般のCGソフトとは異なり、モデリング用のGUI(グラフィカル・ユーザーインターフェース)機能はなく、以下に示すフォーマットに基づいて座標・形状・マテリアル・テキスト等の情報を定義分として書き込む。例を図5-1、説明を図5-2に示す。

```
Modifier type identifier
n S1 S2 S3 ... Sn
0
m R1 R2 R3 ... Rm
```

図5-1

- Modifier :
先に他のプリミティブが入力されている場合に、そのプリミティブの identifier を書くとデータが継承される。継承がない場合は void と書く。
- type : マテリアルやポリゴン等の種類
- identifier : 固有の名前

図5-2

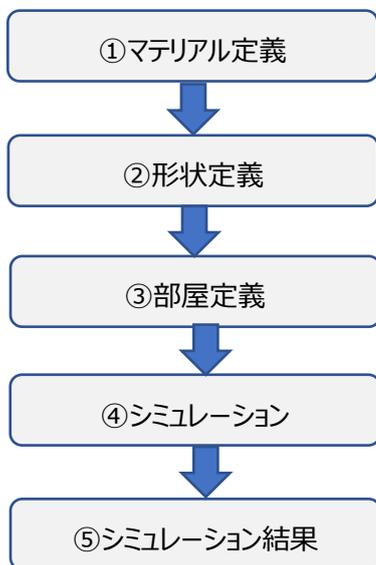
コマンドでテキストファイルを読み込み、シミュレーションをおこなう形式となっている。

本来はUNIX系のOS(Linux、Mac、FreeBSD)で動作するコマンドタイプのソフトウェアであるがWindows用に移植されたDesktop RADIANCEや、Cygwin(Windows上にLinuxを起動するプログラム)を使用することで様々なOSでRADIANCEを使用することが可能である。

今回、Desktop RADIANCEを使って昼光シミュレーションをおこなった。

プリーツスクリーン光学特性解析に Radiance^{注1)} を導入した事例を下記に示す。

プリーツスクリーン Radiance^{注1)} シミュレーション簡易フローを以下に示す。



① マテリアル定義

アルミ製ブラインド（ベネシャンブラインド等）ではマテリアル(material.rad ファイル)において plastic として与え拡散反射率のみ定義するが、プリーツブラインドや縦型ブラインド、ハニカムブラインド等繊維生地を使う場合は透過成分に対応するためにマテリアルに trans を適用する。インプット説明及び例を図 5-3、4 に示す。

* マテリアル trans は反射率と透過率の両方を定義できる点で plastic よりも優れている (plastic は反射率のみ)

```

#####
void trans id
0
0
7 A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7

A7=正透過率/(拡散透過率+正透過率)
A6=(拡散透過率+正透過率)/(拡散反射率+拡散透過率+正透過率)
A5=面の粗さ
A4=正反射率
A3=A2=A1=拡散反射率/((1-正反射率)×(1-A6))
#####

今回のケースでは

拡散反射率=日射反射率
正反射率=0
拡散透過率=日射透過率
正透過率=0
面の粗さ=0
  
```

図 5-3

```

void trans blind_Pleats_PS-6520
0
0
7 0.974 0.974 0.974 0 0 0.416 0
  
```

図 5-4

② 形状定義

プリーツスクリーンの形状を定義します。

* (例) blind_Pleats.rad ファイルを図 5-5、Radiance 描画機能による形状イメージ
図を図 5-6 に示す。

```

## Radiance geometry file blind_Pleats_PS-6520.rad for model:
blind_Pleats_PS-6520
## Material "blind_Pleats_PS-6520" should be previously defined.
## Geometry from layer or color "blind_Pleats_PS-6520" follows.

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.0.1
0
0
12 0 -0.017954 0.0875
0 -0.0001 0.105
0.5 -0.0001 0.105
0.5 -0.017954 0.0875

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.1.1
0
0
12 0 -0.017854 0.0875
0 0 0.105
0.5 0 0.105
0.5 -0.017854 0.0875

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.2.1
0
0
12 0 -0.017954 0.0175
0 -0.0001 0.035
0.5 -0.0001 0.035
0.5 -0.017954 0.0175

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.3.1
0
0
12 0 -0.017854 0.0175
0 0 0.035
0.5 0 0.035
0.5 -0.017854 0.0175

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.4.1
0
0
12 0 -0.0001 0
0 -0.017954 0.0175
0.5 -0.017954 0.0175
0.5 -0.0001 0

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.5.1
0
0
12 0 -0.017854 0.0175
0 0 0
0.5 0 0
0.5 -0.017854 0.0175

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.6.1
0
0
12 0 0 0
0 -0.0001 0
0.5 -0.0001 0
0.5 0 0

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.7.1
0
0
12 0 -0.017954 0.0525
0 -0.0001 0.07
0.5 -0.0001 0.07
0.5 -0.017954 0.0525

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.8.1
0
0
12 0 -0.01784 0.0525
0 0 0.07
0.5 0 0.07
0.5 -0.01784 0.0525

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.9.1
0
0
12 0 -0.0001 0.035
0 -0.017954 0.0525
0.5 -0.017954 0.0525
0.5 -0.0001 0.035

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.10.1
0
0
12 0 -0.01784 0.0525
0 0 0.035
0.5 0 0.035
0.5 -0.01784 0.0525

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.12.1
0
0
12 0 -0.017854 0.0875
0 0 0.07
0.5 0 0.07
0.5 -0.017854 0.0875

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.13.1
0
0
12 0 -0.0001 0.14
0 -0.017954 0.1575
0.5 -0.017954 0.1575
0.5 -0.0001 0.14

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.14.1
0
0
12 0 -0.017854 0.1575
0 0 0.14
0.5 0 0.14
0.5 -0.017854 0.1575

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.15.1
0
0
12 0 -0.0001 0.105
0 -0.017954 0.1225
0.5 -0.017954 0.1225
0.5 -0.0001 0.105

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.16.1
0
0
12 0 -0.017854 0.1225
0 0 0.105
0.5 0 0.105
0.5 -0.017854 0.1225

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.17.1
0
0
12 0 -0.017954 0.1225
0 -0.0001 0.14
0.5 -0.0001 0.14
0.5 -0.017954 0.1225

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.18.1
0
0
12 0 -0.017854 0.1225
0 0 0.14
0.5 0 0.14
0.5 -0.017854 0.1225

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.19.1
0
0
12 0 -0.017954 0.1575
0 -0.0001 0.175
0.5 -0.0001 0.175
0.5 -0.017954 0.1575

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.20.1
0
0
12 0 -0.017854 0.1575
0 0 0.175
0.5 0 0.175
0.5 -0.017854 0.1575

blind_Pleats_PS-6520 polygon blind_Pleats_PS-6520.21.1
0
0
12 0 0 0.175
0 -0.0001 0.175
0.5 -0.0001 0.175
0.5 0 0.175
    
```

Radiance の描画機能を用いたイメージ図

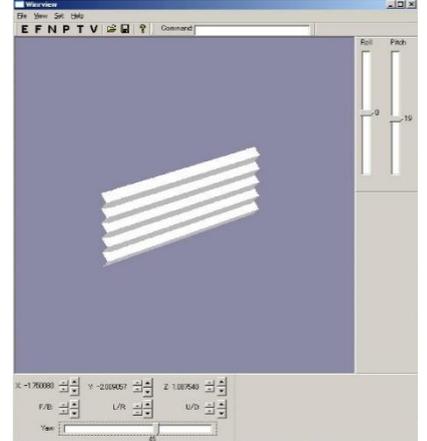


図 5-6

図 5-5

③ 部屋定義

ブラインドのある部屋を定義します(図 5-7)。

```
void plastic room
0
0
5 0 0 0 0
    ↑↑↑
    拡散反射率
```

図 5-7

* (例) 部屋定義、座標ファイル room.rad の内容を図 5-8 に、Radiance 描画機能を用いた部屋と遮蔽物イメージを図 5-9 に示す。

```
void plastic room
0
0
5 0 0 0 0

room polygon kabe_w
0
0
12
    0.5    -0.1    0
    0.5    -0.1    0.1
    0.5    0    0.1
    0.5    0    0

room polygon tenjo
0
0
12
    0    -0.1    0.1
    0    0    0.1
    0.5    0    0.1
    0.5    -0.1    0.1

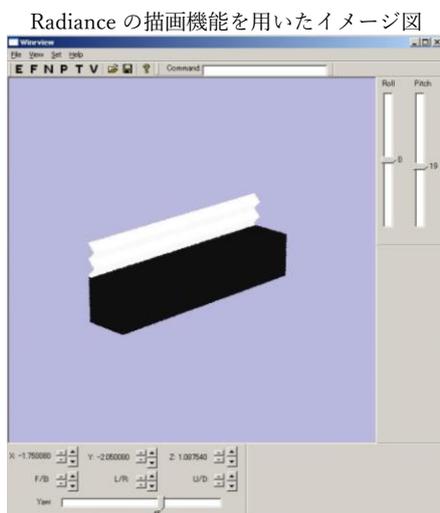
room polygon kabe_e
0
0
12
    0    -0.1    0
    0    0    0
    0    0    0.1
    0    -0.1    0.1

room polygon yuka
0
0
12
    0    -0.1    0
    0.5    -0.1    0
    0.5    0    0
    0    0    0

room polygon lkabe_n
0
0
12
    0    -0.1    0
    0    -0.1    0.1
    0.5    -0.1    0.1
    0.5    -0.1    0

    0.5    0    0.175
```

図 5-8



* 上図、白部分がブラインド、黒部分が部屋

図 5-9

⑤ シミュレーション結果

与えた形状の任意の幅を分割した（今回 300 分割）各々積算輝度成分 ALL（図 5-11）、BACK（図 5-12）、FRONT（図 5-13）の各太陽高度時輝度値が算出される（下記上部値から太陽高度 0、5、10、15、20、・・・・・・85°）。

ALL	BACK	FRONT
29120.973	15073.0176	5277.92496
29010.1362	14986.5817	5207.1987
28680.1676	14770.0592	5226.35811
28128.3464	14576.0272	5087.47135
27364.4997	14141.9266	5065.29226
26395.6801	13589.7279	4914.4246
25223.3196	13070.4555	4741.68482
23856.8336	12286.4316	4510.78684
22309.0564	11469.3383	4599.62954
20591.6409	10576.6697	4544.38412
18734.7665	9881.22871	3588.41015
16688.5781	9011.30974	3178.55795
14573.4264	7863.97119	2665.88957
12328.3332	6693.50034	2285.73085
9951.88985	5386.81469	1748.58203
7540.92811	4025.25833	1422.70328
5057.91171	2669.86648	885.638083
2544.6998	1191.14713	375.959326

ALL、BACK、FRONT 各輝度成分の比率より日射反射率、透過率が算出される。ブリーツ形状イメージ図に ALL、BACK、FRONT、解析輝度点を示す（図 5-14）シミュレーションによって得られた各太陽高度時の日射反射率、透過率を表 5-1 に示す。

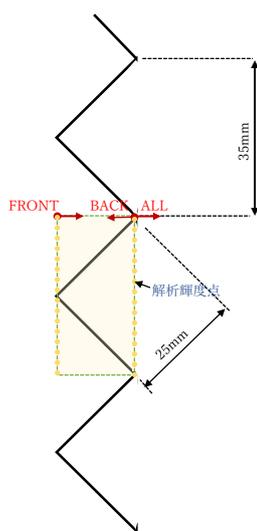


図 5-14

表 5-1

太陽高度	ブリーツスクリーン	
	反射率	透過率
0	0.5176	0.1812
5	0.5165	0.1794
10	0.5149	0.1822
15	0.5182	0.1808
20	0.5168	0.1851
25	0.5148	0.1852
30	0.5182	0.1881
35	0.5151	0.1891
40	0.5141	0.2062
45	0.5141	0.2206
50	0.5136	0.1913
55	0.5399	0.1905
60	0.5396	0.1829
65	0.5429	0.1854
70	0.5413	0.1757
75	0.5338	0.1886
80	0.5279	0.1751
85	0.4681	0.1477

5. 2 オフィスビル及び戸建住宅の遮蔽物自動制御技術による冷房負荷削減量の算定及び予測

5. 2. 1 オフィスビル

ーオフィスビルの冷暖房負荷の推移とブラインド制御による対処ー

5. 2. 1. 1 熱負荷計算プログラム

4. 2と同様

5. 2. 1. 2 シミュレーション条件

4. 2. 1で示したオフィス条件とする。

5. 2. 1. 3 冷房負荷増大に対する対処

東京の年間冷房負荷が経年で増大することが判明したので、これに対する対策として、オフィス開口部のブラインド制御による省エネルギー化を試みた。シミュレーションに用いる主なデータは次のとおりであり、標準仕様を基準としてブラインド制御シミュレーションを行った。

気象データは冷房負荷が増え始める 1972 年から 2020 年迄を用いる。

(1) ブラインドの光学特性

ブラインドの平板反射率は通常の反射率 (54.5%) と今回新たに高反射率 (78.3%) を想定した。Radiance^{注1)}を用いた入射角特性を図 5-15~5-18 に示す。

1) 横型ベネシャンブラインド(羽幅: 24.6mm、明色、平板反射率 54.5%)

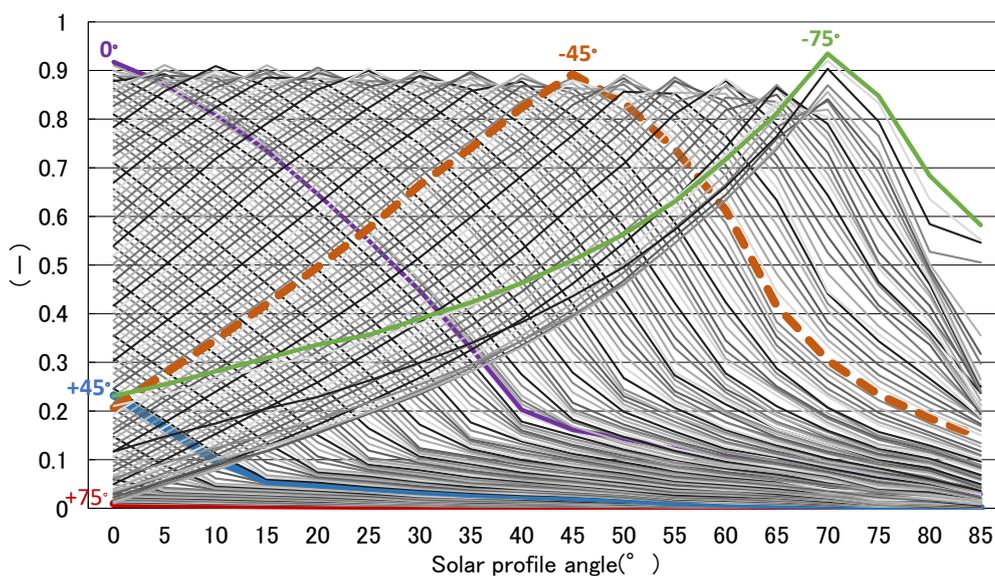
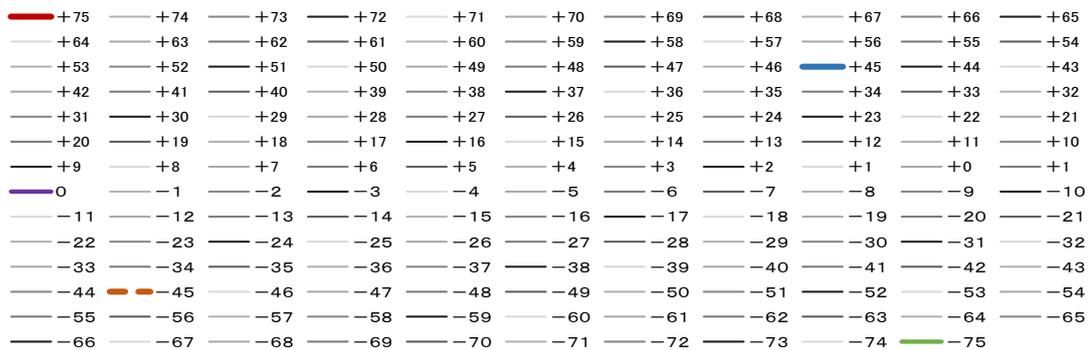


図 5-15 -75 度～ +75 度の入射角特性 (透過率)

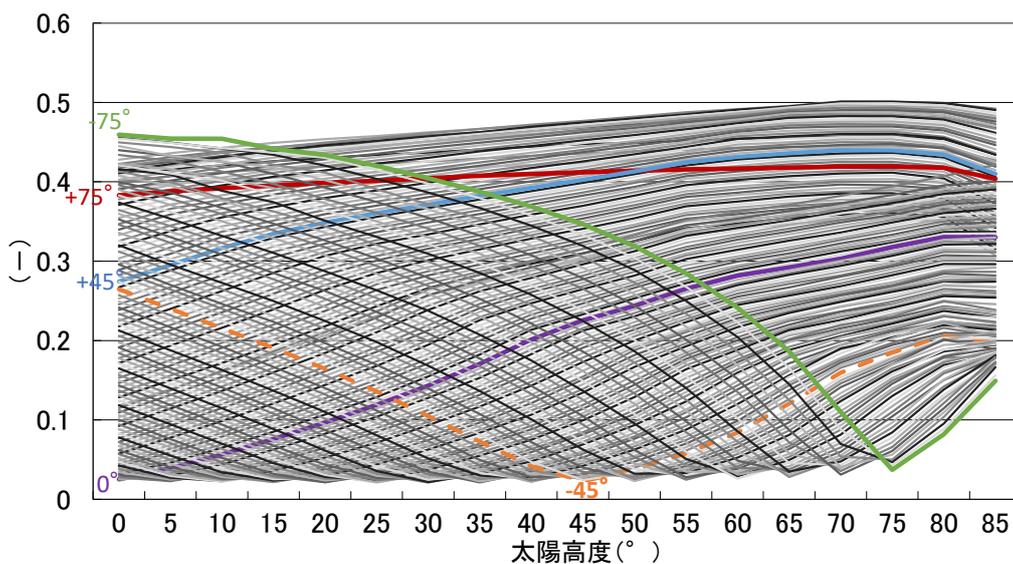


図 5-16 -75 度～ +75 度の入射角特性 (反射率)

2) 横型ベネシャンブラインド(羽幅: 24.6mm、明色、平板反射率 78.3%)

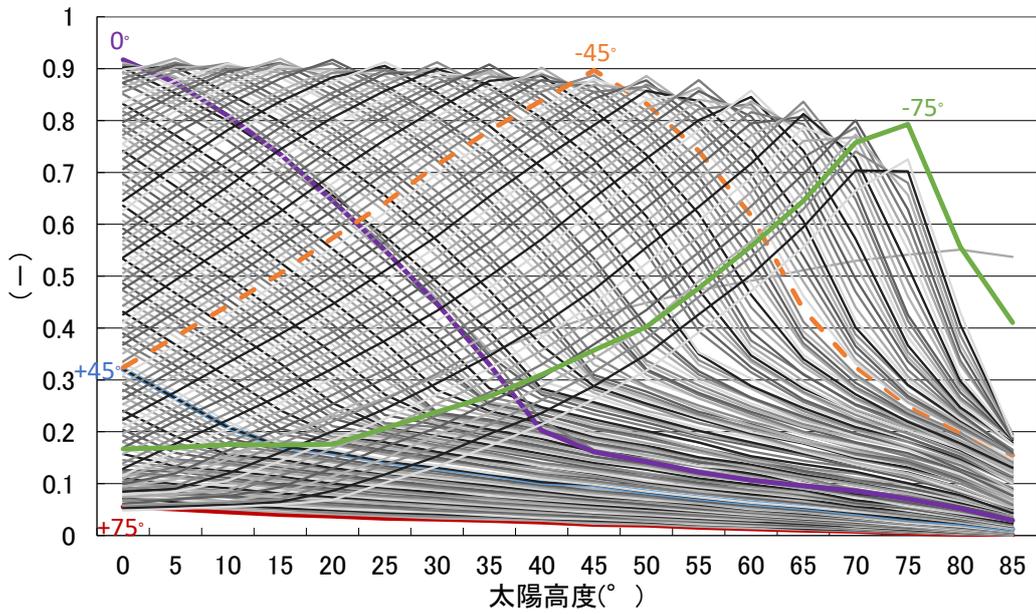
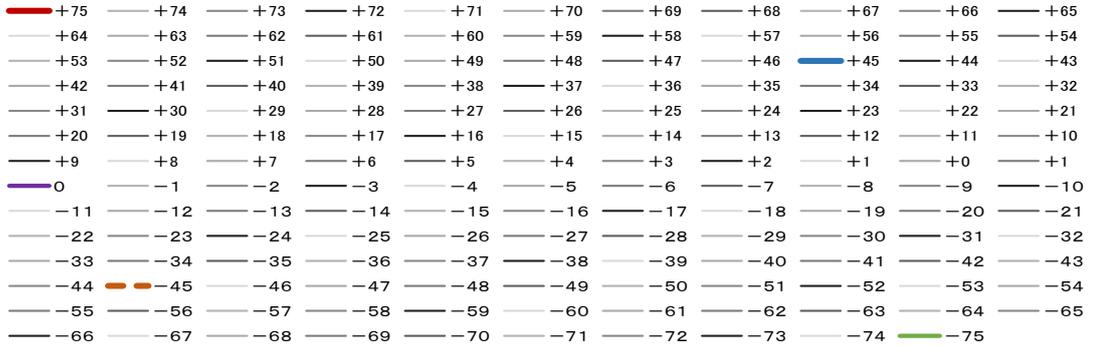


図 5-17 -75 度～ +75 度の入射角特性 (透過率)

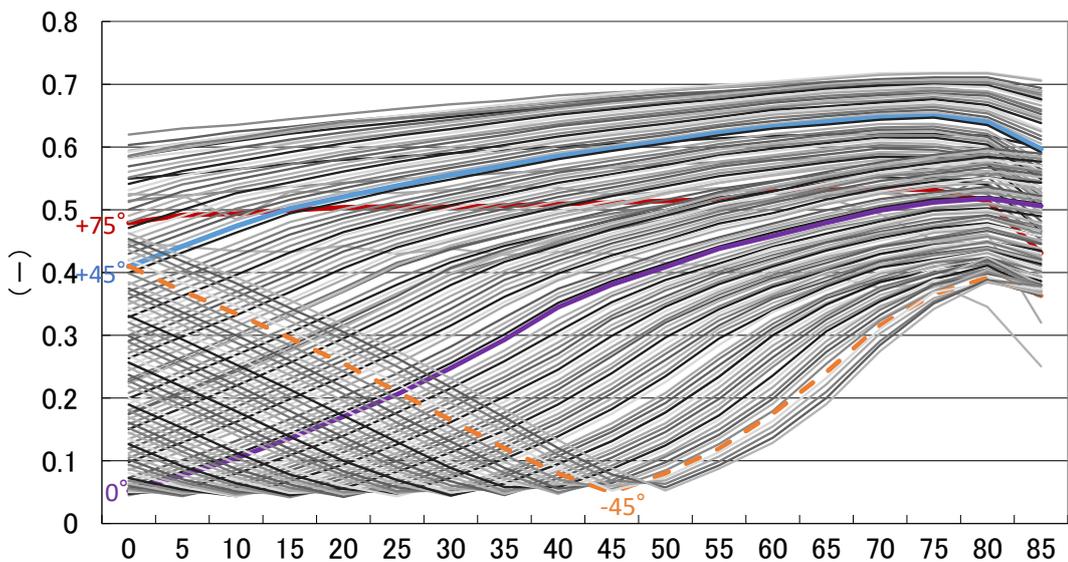


図 5-18 -75 度～ +75 度の入射角特性 (反射率)

5. 2. 1. 4 ブラインド制御による年間冷房パターン

計算対象として、標準仕様の建物に対して、ガラスのみ、通常ブラインドスラット角+45° 固定、夏季熱取得最少制御、直射照度遮蔽制御、直射照度遮蔽かつ夏季熱取得最少制御、プラス高反射率ブラインドを用いた熱取得最少とした。

① 夏季熱取得最少パターン

開口部より流入する透過日射熱取得量、吸収日射熱取得量および室内外温度差による貫流熱取得量の和によるブラインド制御を行う。熱取得量が最小パターン制御を行い、冷房負荷最小を目標にするロジックである。スラット角(+75度～-75度)の1度間隔およびガラスのみの計152タイプの熱取得を計算し、最小値をその中から選定する。なお、実用的なモーター制御を考慮し、1度間隔計算とする。

② 直射照度遮蔽

直射照度遮蔽パターンとは室内へ入射する直射光をブラインドのスラット角度でさえぎる制御である。さえぎる角度は正規と対象がある。昼光利用を想定しているため正規、対象いずれも制御可能な場合、スラット角が水平に近い方を選定する。常にブラインドを使用し、直射遮蔽がない場合、スラット角を水平にする。

③ 直射照度遮蔽かつ夏季熱取得最少制御

直射照度遮蔽制御を行いつつ冷房負荷削減を目的としたもので、スラット角を遮蔽制御角より閉じる場合を想定し、その内で熱取得最少を選定する。なお、直射遮蔽がない場合、ガラスのみでもよいとする。

年間冷房計算ケースを表5-2に示す。

表 5-2 年間冷房計算ケース

		平板透過率 (54.5、78.3%)
1	ガラスのみ	—
2	+45°固定	○
3	夏季熱取得最小制御	○
4	直射照度遮蔽制御	○
5	直射照度遮蔽かつ夏季熱取得最小制御	○

5. 2. 1. 5 シミュレーション結果

① 年間冷房負荷

各パターンの年間冷房負荷変動及び10年後の2030年までの冷房負荷予測を図5-19、変動の近似式を表5-3、標準仕様の基準と各パターンとの差を図5-20に示す。

対象期間は冷房負荷の増加が始まる1972年から2020年とした。年間冷房負荷は年とともに増加傾向にある。一番大きな負荷はガラスのみの場合で、次いで直射照度遮蔽制御、直射照度遮蔽かつ熱取得最少制御、通常ブラインドスラット角+45°固定(平板反射率54.5%)、通常ブラインド熱取得最少制御(平板反射率54.5%)、高反射率ブラインド熱取得最少制御(平板反射率78.3%)の順である。

最も省エネルギー効果があるのは、ブラインド熱取得最少制御で、スラット角+45°固定に比べて、2020年時点では通常ブラインドでは0.96GJ、高反射率ブラインドでは2.98GJ、省エネルギー効果がある。10年後の推定では通常ブラインドは1.24GJ、高反射率ブラインドでは4.09GJ削減可能との計算結果になった。

表5-3 各パターンの冷房負荷予測式

	予測近似式
ガラスのみ	$y=0.024x^2-0.12x+236.89$
基準(+45°固定)	$y=0.0022x^2-0.11x+243.05$
夏季熱取得最小制御(54.6%)	$y=0.022x^2-0.10x+242.06$
夏季熱取得最小制御(78.3%)	$y=0.021x^2-0.098x+239.99$
直射照度遮蔽制御	$y=0.023x^2-0.11x+252.33$
直射照度遮蔽かつ熱取得最小制御	$y=0.022x^2-0.11x-245.02$

(注) $x=z-1972$ (z :西暦) y : 予測負荷値

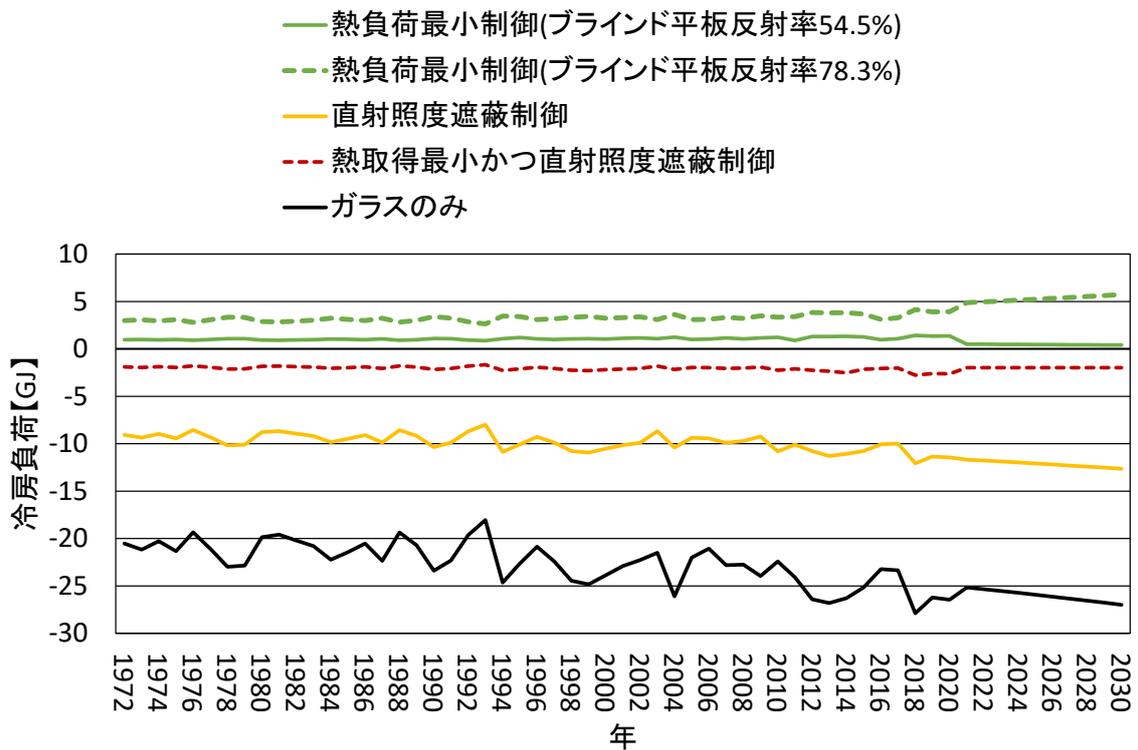


図 5-19 各パターンの基準（+45° 固定）との年間冷房負荷の差（1972～2030年）

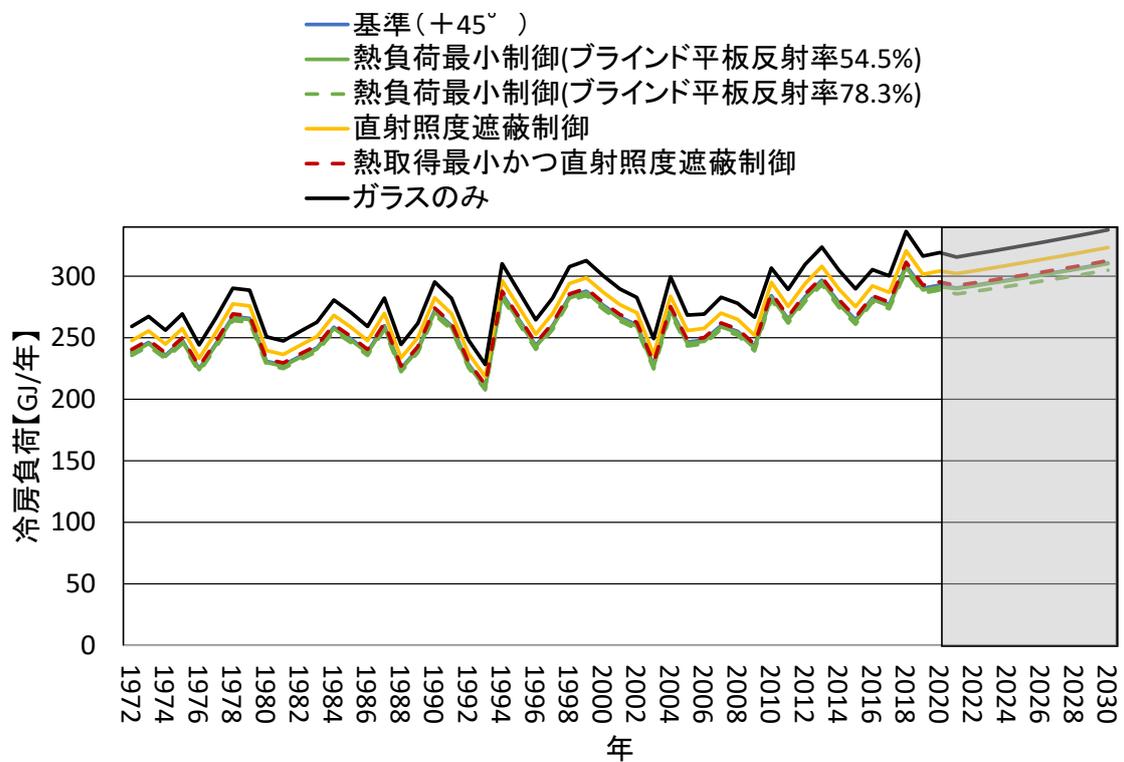


図 5-20 各パターンの年間冷房負荷の経年変化（1972～2020年）及び負荷予測（2021～2030年）

② ブラインド制御の効果

南ペリメータ 2020 年の冷房熱取得最少制御、直射照度遮蔽制御の開口部詳細年間冷房負荷（透過日射成分、日射吸熱成分、貫流熱成分）を図 5-21 に示す。ブラインド制御で効果のあるのは透過日射熱の制御である。透過日射熱を削減すると日射吸熱成分はやや増加するが、開口部の冷房負荷削減には透過日射の遮蔽効果が大きい。

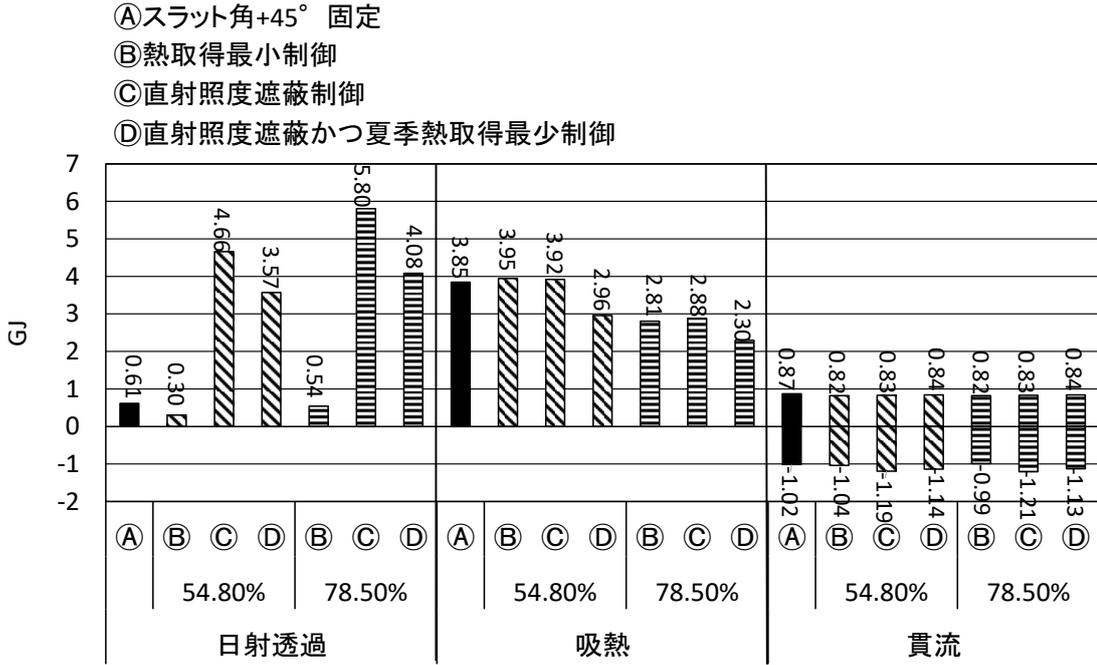
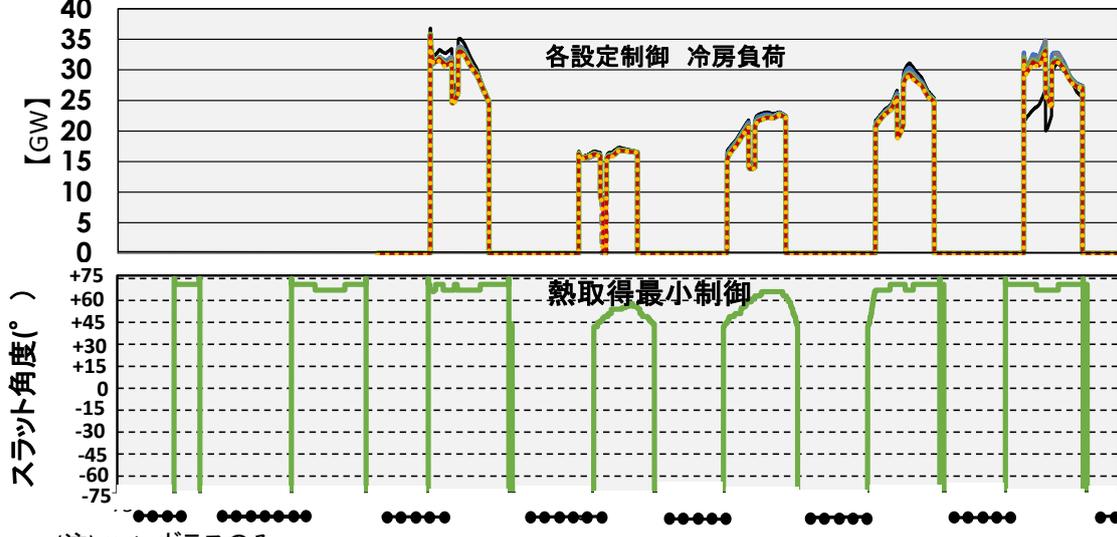
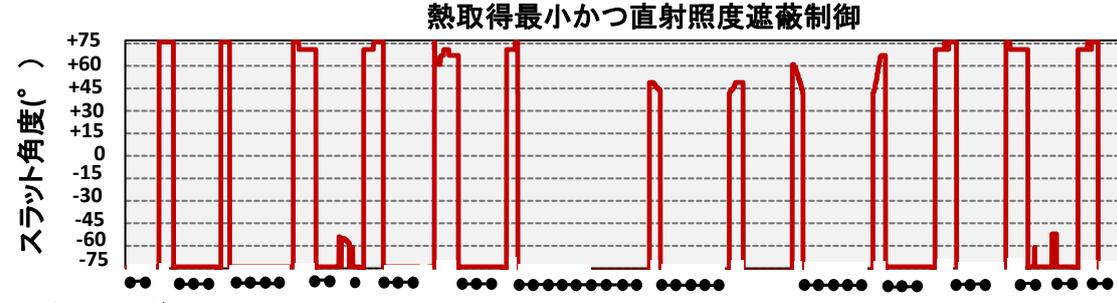
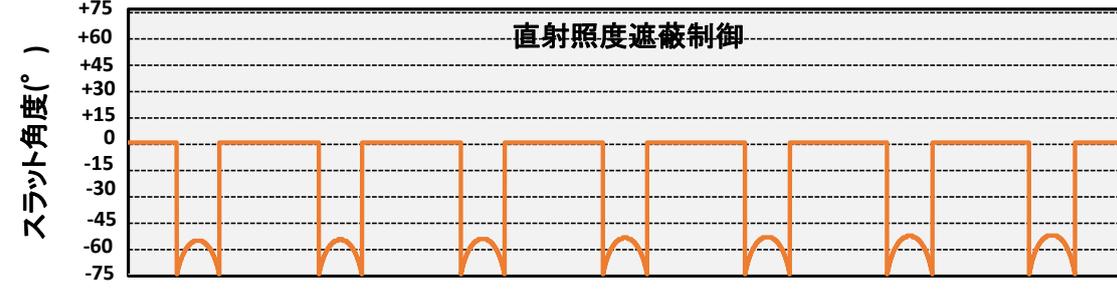


図 5-21 各パターンの開口部年間冷房負荷詳細（日射透過率成分、日射吸収率成分、熱貫流率成分）

— ガラスのみ
 - - 熱取得最小かつ直射照度遮蔽制御
 — 熱取得最小制御(スラット反射率54.5%)
 — 直射照度遮蔽制御
 — 基準 (+45°)
 ●●●●● 熱取得最小制御(スラット反射率78.3%)



(注) ● → ガラスのみ



(注) ● → ガラスのみ 熱負荷最小かつ保護角制御

6	12	18	6	12	18	6	12	18	6	12	18	6	12	18
8/6 (月)			8/7 (火)			8/8 (水)			8/9 (木)			8/10 (金)		

図 5-23 南ペリメータ 1分間隔ブラインドスラット角度の動き (2020年8月6日~8月10日)

- ガラスのみ
- 熱取得最小かつ直射照度遮蔽制御
- 熱取得最小制御(スラット反射率54.5%)
- 直射照度遮蔽制御
- 基準 (+45°)
- 熱取得最小制御(スラット反射率78.3%)

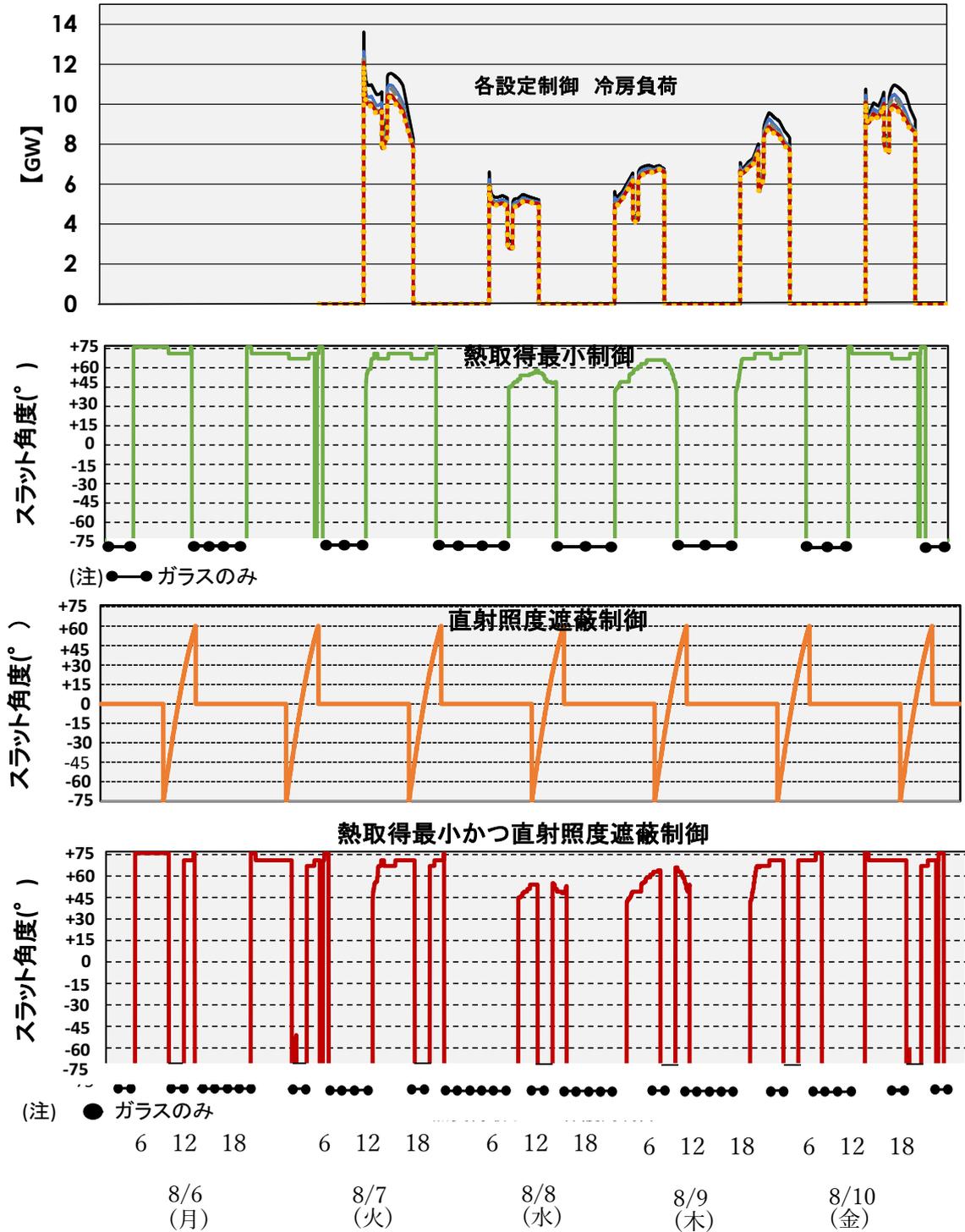


図 5-24 西ペリメータ 1 分間隔ブラインドスラット角度の動き (2020 年 8 月 6 日~8 月 10 日)

1 分間隔冷房負荷とブラインドスラット角の変動を代表例として 2020 年 8 月 6 日～10 日を東ペリメータ、南ペリメータ、西ペリメータを図 5-22～5-24 に示す。

- 1) 熱取得最少制御では昼間日射が大きい時は+75 度全閉に近い動きをし、夜間は、ガラスのみになり室温より外気が低い時は熱貫流を大きくし外気に放熱している。
- 2) 直射照度遮蔽制御のスラット角は開口部と太陽位置のみで決まるので、幾何学的な動きになり、各方位の特徴が現れている。
- 3) 直射照度遮蔽かつ熱取得最少制御では昼間の直射照度を遮蔽している。動きは熱取得最少制御に比較的近い。

5. 2. 2 戸建住宅

一戸建住宅の冷暖房負荷の推移と開口部遮蔽物制御による対処

5. 2. 2. 1 熱負荷計算プログラム

4. 2と同様

5. 2. 2. 2 シミュレーション条件

4. 2. 1で示した戸建住宅条件とする。

5. 2. 2. 3 開口部の遮蔽物による冷房負荷削減対策

年間冷房負荷が経年で増大することが判明したので、これに対する対策として戸建住宅の開口部のブラインドとカーテン制御による省エネルギーを試みた。建物は標準仕様を基準として遮蔽物制御シミュレーションを行った。

5. 2. 2. 4 ブラインドによる対処

(1) ブラインドの光学特性

ブラインドの平板反射率は明色の反射率 (54.5%) とする。

Radiance を用いた入射角特性を図 5-25、26 に示す。

ベネシャンブラインド(幅 24.6mm,明色, 平板日射反射率 54.5%)

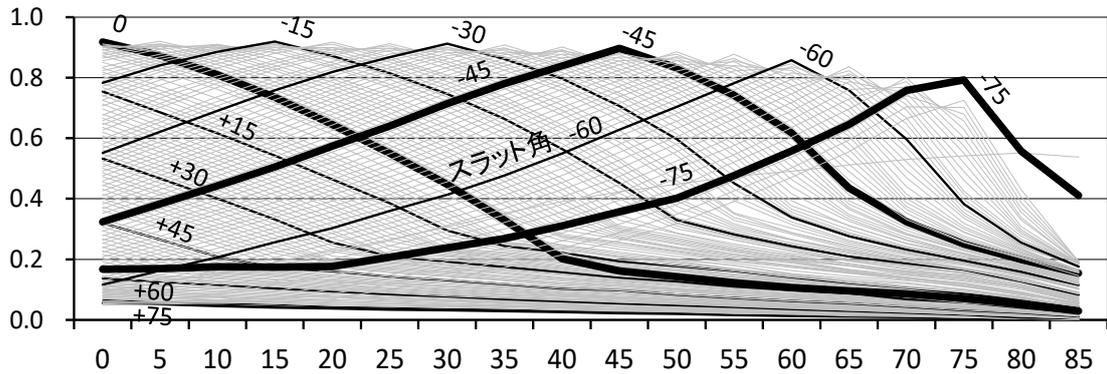


図 5-25 スラット角度 1 度間隔日射透過率 (-75 度~+75 度)

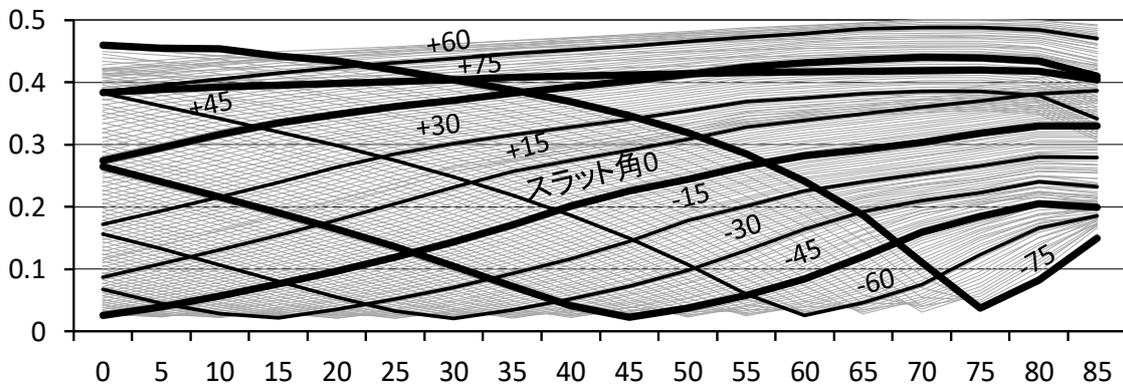


図 5-26 スラット角度 1 度間隔日射反射率 (-75 度~+75 度)

(2) 年間冷房負荷

対象期間は冷房負荷の増加が始まる1972年から2020年とし、2029年までの各パターンの年間冷房負荷の変動の近似式を表5-4、負荷予測を図5-27に示す。標準仕様の基準と各パターンとの差を図5-28に示す。+45度固定角に比べて、1位 熱取得最少制御、2位 直射照度遮蔽+熱取得最少制御、3位 直射照度遮蔽の順で冷房負荷削減効果は大きい。2020年の比較では1位は3.0GJ、2位は2.2GJ、3位は1.3GJの削減量となる。

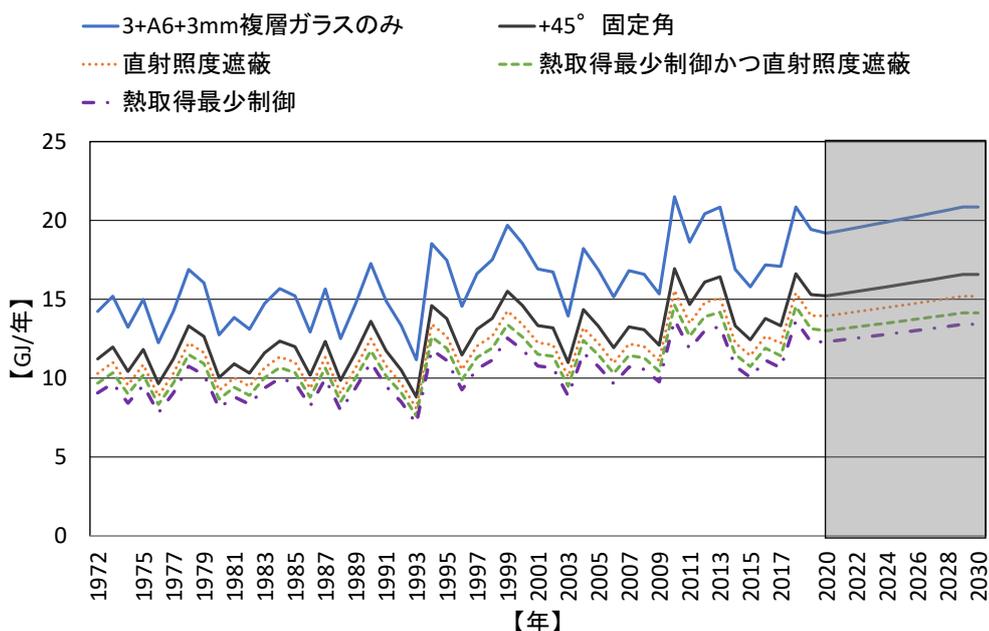


図5-27 各パターン冷房負荷（1972～2020年 将来の予測負荷（ブラインド制御））

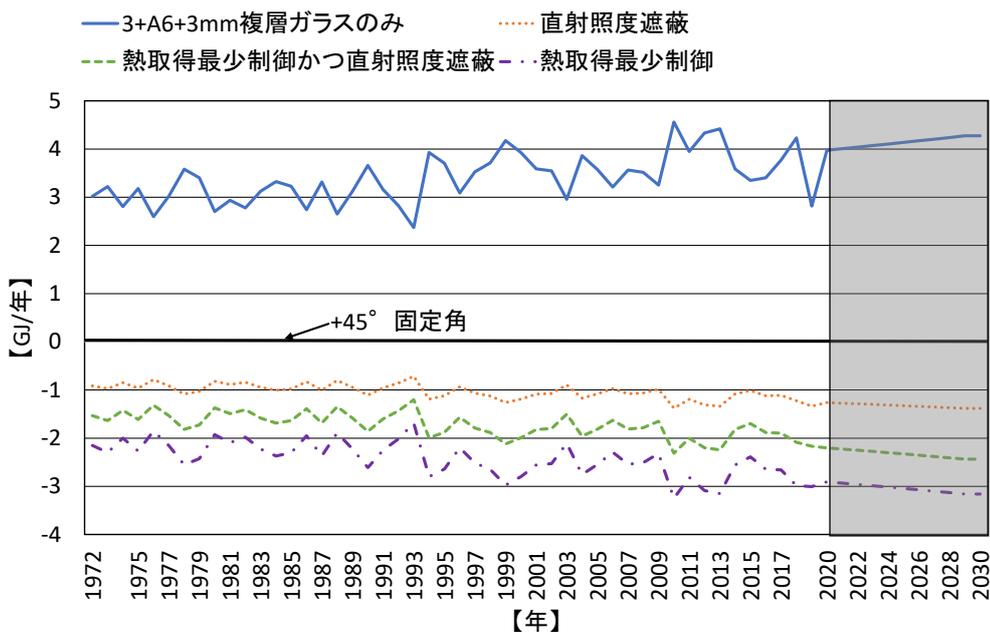


図5-28 基準パターン(+45度固定角：水準2)と各パターンの冷房負荷の差(ブラインド制御)

表 5-4 各パターンの負荷推定方程式

	負荷推定方程式
3+A6+3mm透明複層ガラスのみ	$y=0.0011x^2+0.0573x+13.822$
+45°固定	$y=0.001x^2+0.041x+10.917$
直射照度遮蔽	$y=0.0009x^2+0.0387x+10.021$
直射照度遮蔽かつ熱取得最小制御	$y=0.0007x^2+0.0409x+9.389$
熱取得最小制御	$y=0.0008x^2+0.0325x+8.826$

(注) $x=z-1960$ (z :西暦)
 y :年間増減負荷量

(3) ブラインドの詳細変動

2020年の瞬時冷房負荷最大時の前後3日間のブラインド作動状況を熱取得最少制御、直射照度遮蔽、直射照度遮蔽かつ熱取得最少制御の順に LDK 南開口部を図 5-29、東開口部を図 5-30 に示す。

1分間隔で計算しているため、急激な変動がみられる。昼間の直射日射の大きいときは、全閉になり、夜の室温が外気温度より低い場合はブラインドなしが冷房負荷削減に効果があるとの結果を得た。

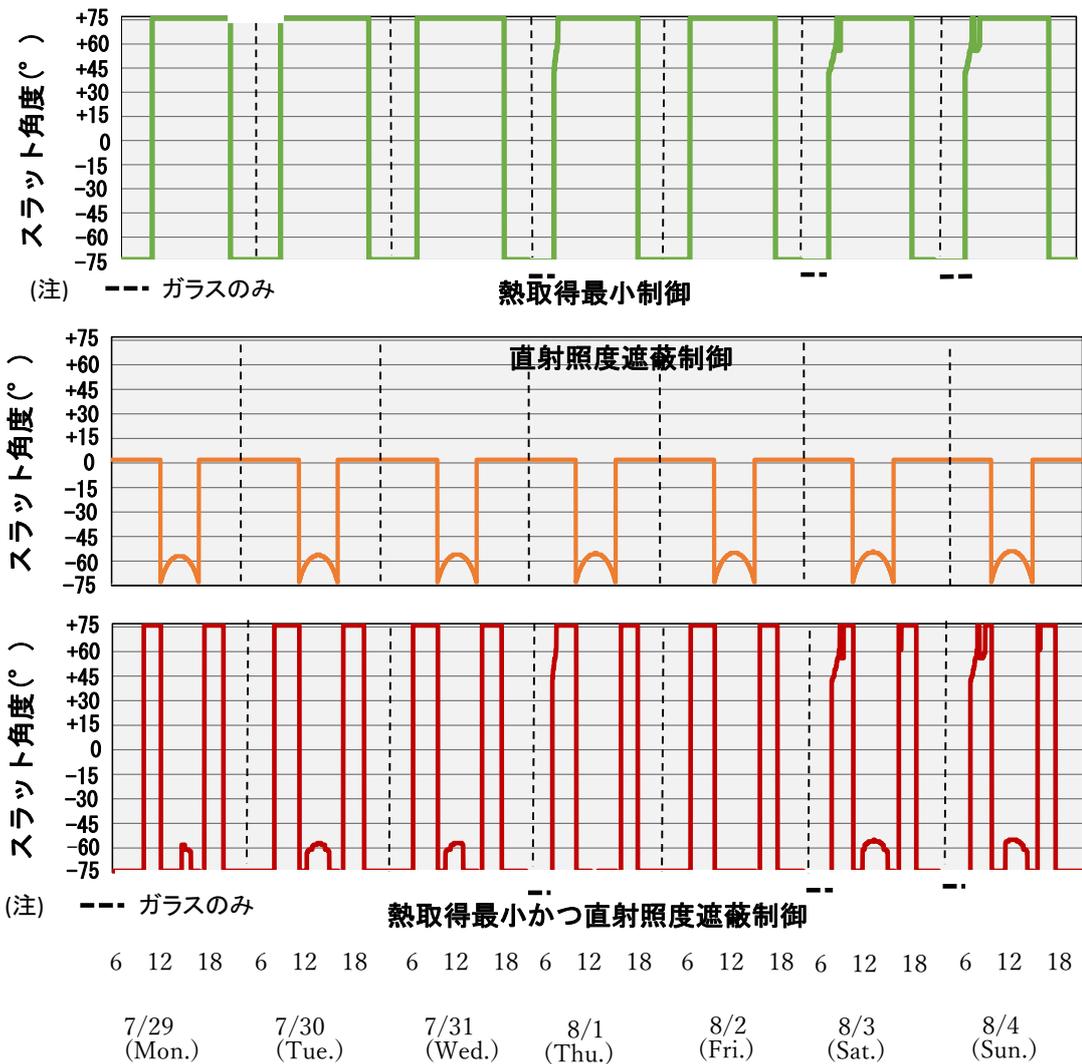
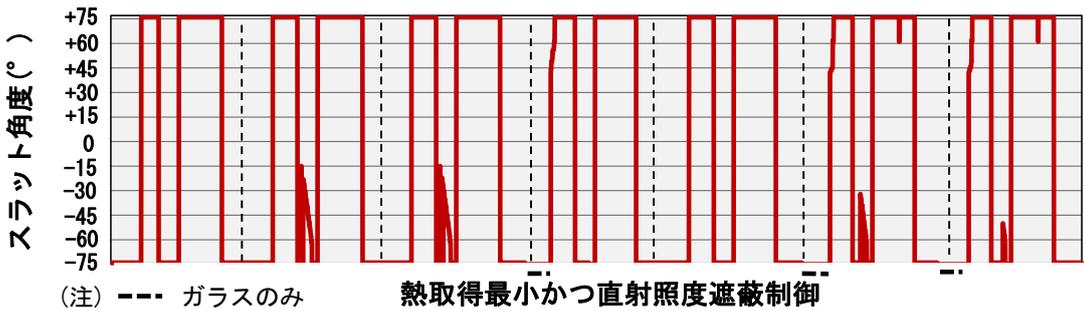
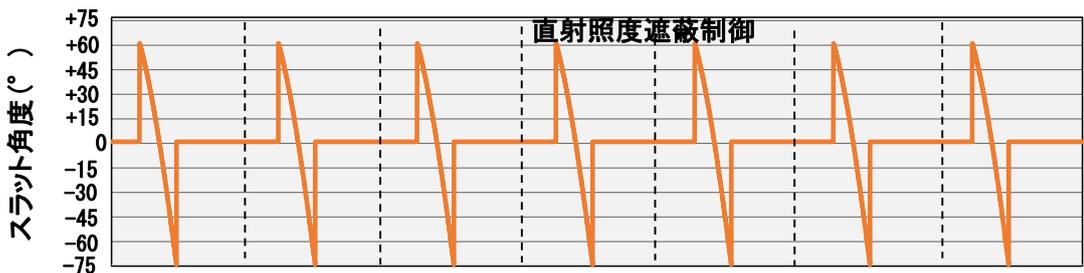
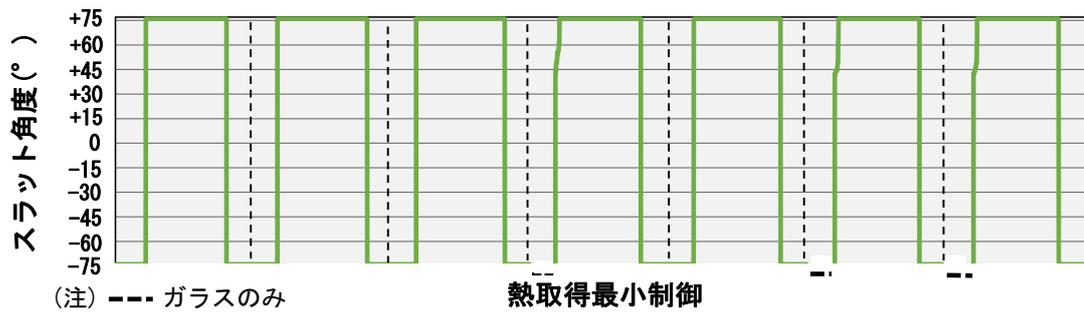


図 5-29 1 分間隔ブラインドスラット角度の動き 1F LDK 南開口部
(2020 年 7 月 29 日～8 月 4 日)



6 12 18 6 12 18 6 12 18 6 12 18 6 12 18 6 12 18 6 12 18

7/29 (Mon.) 7/30 (Tue.) 7/31 (Wed.) 8/1 (Thu.) 8/2 (Fri.) 8/3 (Sat.) 8/4 (Sun.)

図 5-30 1 分間隔ブラインドスラット角度の動き 1F LDK 東開口部
(2020 年 7 月 29~8 月 4 日)

5. 2. 2. 5 カーテンによる対処

カーテンは薄手のレースカーテンと厚手のカーテンを想定した。カーテンの作動は4パターンとし、表5-5に示す。

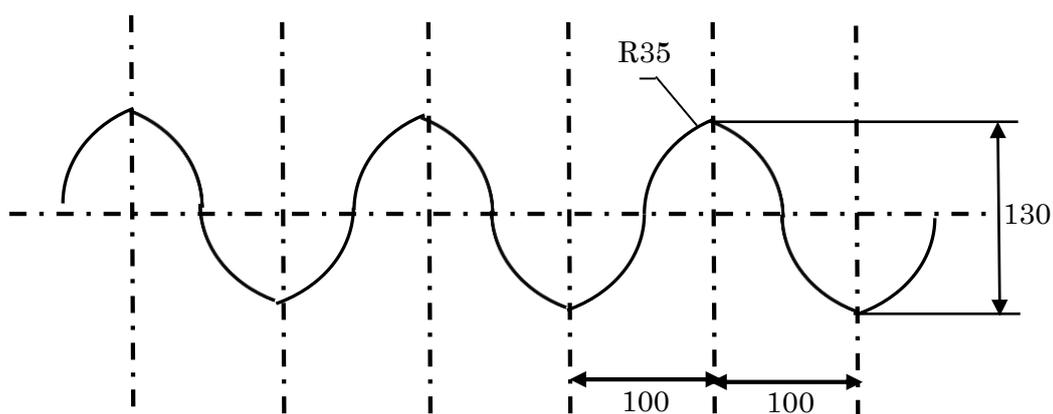
なお、冷房時の熱取得最少制御は、透過日射量+吸熱日射熱取得量+室内外温度差の貫流熱量の和の最小値による制御である。

表5-5 カーテン制御パターン

パターン	内容
1	3+A6+3mm複層透明ガラス
2	3+A6+3mm複層透明ガラス+薄手カーテン
3	3+A6+3mm複層透明ガラス+厚手カーテン
4	3+A6+3mm複層透明ガラス+薄手カーテン+厚手カーテン

(1) カーテンの光学特性

平板光学特性はレースカーテン（透過率 68.6%、反射率 29.6%）、厚手カーテン（透過率 30.6%、反射率 48.6%）とし、一般に使用している図5-31のような平板の1.5倍のひだを想定し、Radiance を用いた。レースカーテン、厚手カーテンの、ひだを想定した光学特性を図5-32、33に示す。



単位：mm

図5-31 1.5倍ひだカーテン

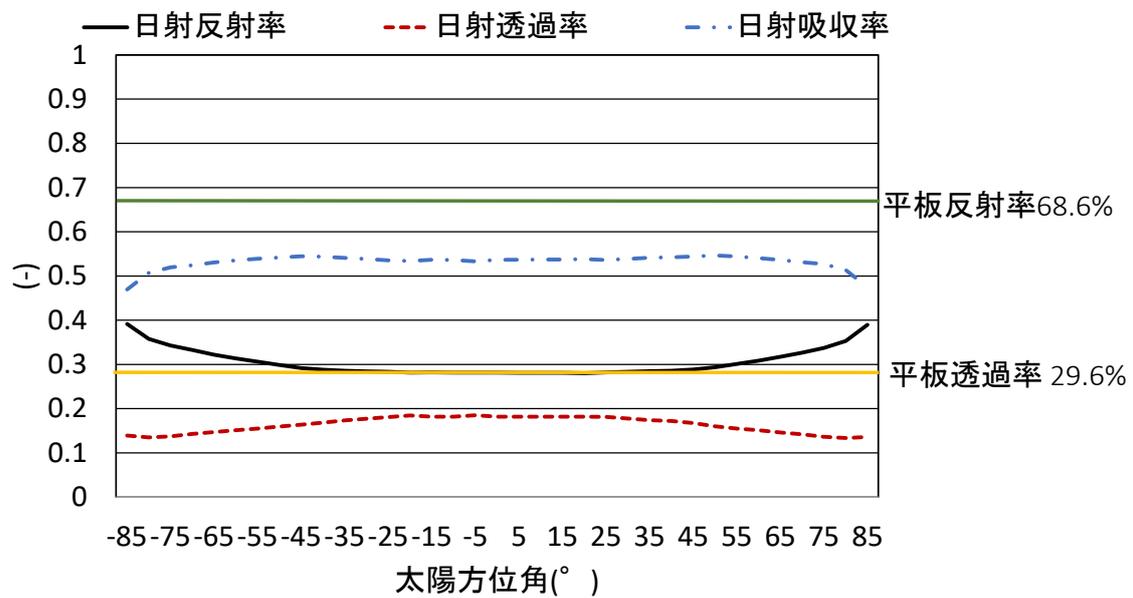


図 5-32 レースカーテン入射角特性 (透過率、反射率) : -85 度 ~ + 85 度

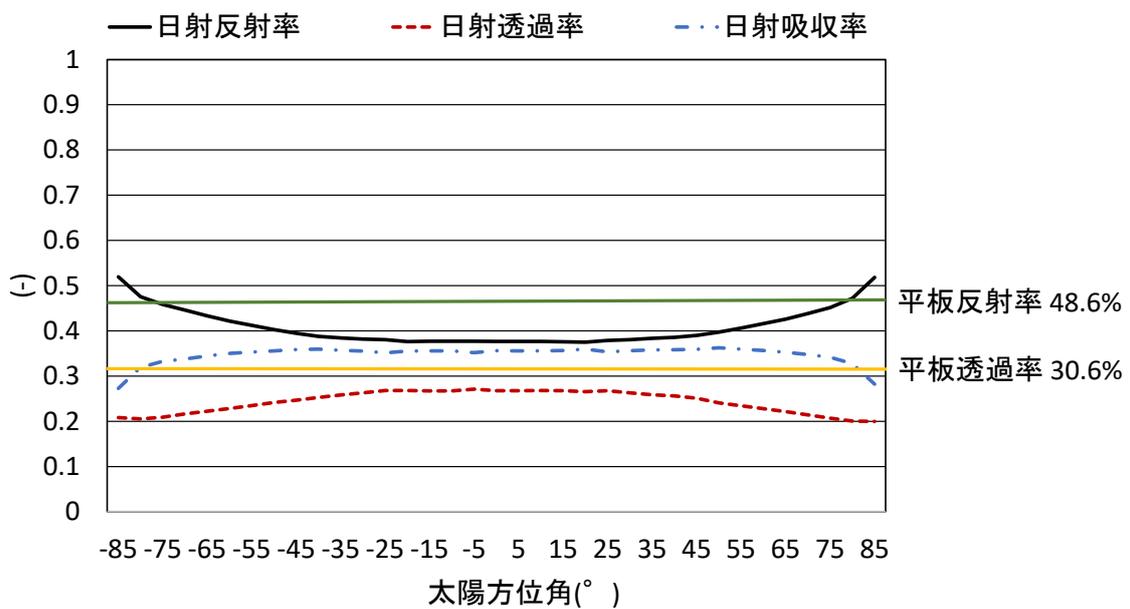


図 5-33 厚手カーテン入射角特性 (透過率、反射率) : -85 度 ~ + 85 度

(2) カーテンの中空層熱抵抗

カーテンの中空層の熱抵抗値を表 5-6 に示す。

表 5-6 カーテンの中空層の熱抵抗(ΔR)

	ΔR(m ² ・K/W)
3+A6+3mm複層透明ガラス+薄手カーテン	0.026
3+A6+3mm複層透明ガラス+厚手カーテン	0.060
3+A6+3mm複層透明ガラス+薄手カーテン+厚手カーテン	0.086

(3) 年間冷房負荷

対象期間は冷房負荷の増加が始まる 1972 年から 2020 年とし年間冷房負荷の変動を図 5-34 に示す。2 重ガラス+レースカーテンを基準とした各パターンとの差を図 5-35 に示す。2030 年までの各パターンの年間冷房負荷の変動の近似式を表 5-7 に示す。

カーテンの熱取得最少制御は効果があり、レースカーテン固定に対して、年間冷房負荷の削減は 2020 年では 4.7GJ になる。

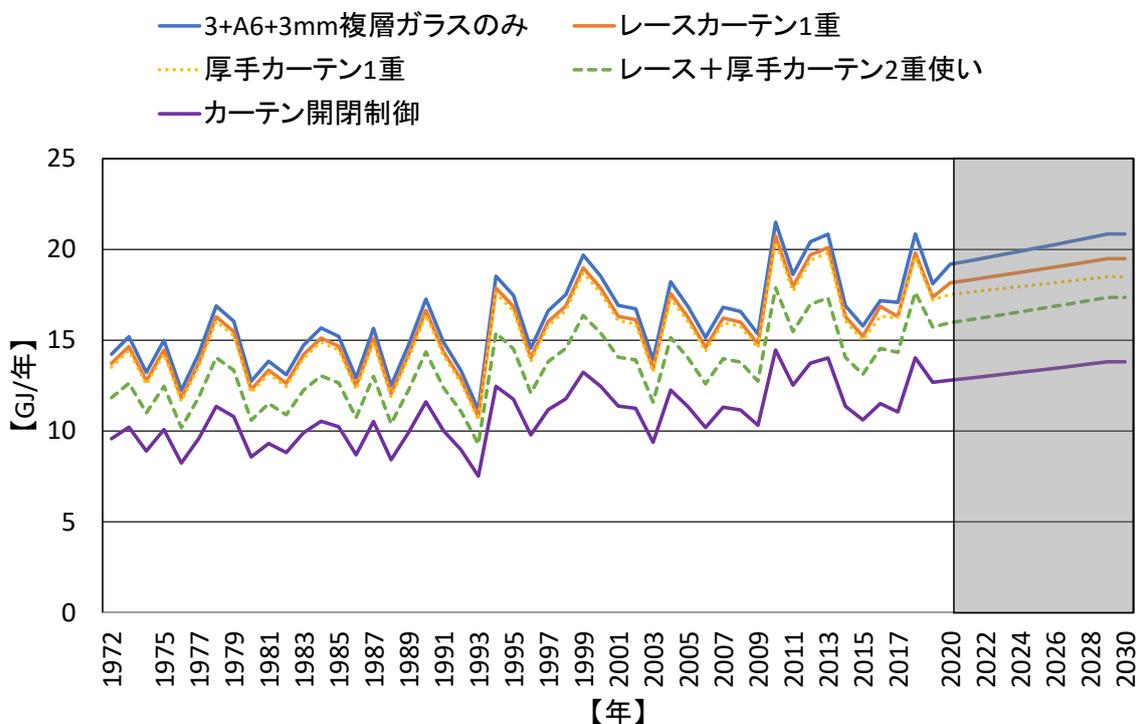
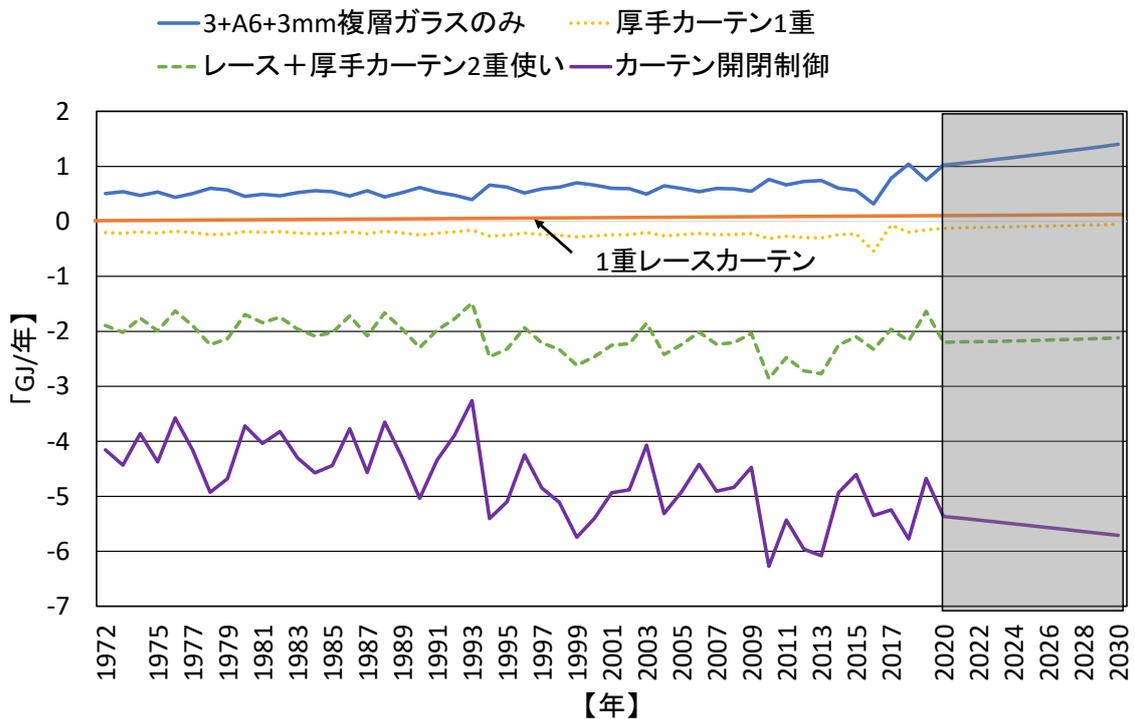


図 5-34 1972 年から 2030 年までの各パターンの冷房負荷と将来の予測負荷 (カーテン制御)



5-35 標準パターン（1重レースカーテン）との冷房負荷の差分負荷（カーテン制御）

表 5-7 各パターンの年間冷房負荷の変動の近似式

	負荷推定方程式
カーテン1重 レースカーテン	$y=0.0006x^2+0.0731x+13.217$
カーテン1重 厚手	$y=0.0001x^2+0.0929x+12.876$
カーテン2重 厚手+レースカーテン	$y=0.0009x^2+0.0477x+11.491$
カーテン開閉自動制御	$y=0.0006x^2+0.0439x+9.266$

(注) $x=z-1960$ (z :西暦)
 y :2019年を基準とした年間増減負荷量

(4) カーテンの詳細作動

2020年の7月29日~8月4日のカーテンの作動状況、LDK南開口部を図5-36、東開口部を図5-37示す。昼間の直射日射の大きい時は2重ガラス+2重カーテンになり、夜間の室温が外気温より低い場合は2重ガラスのみになる。朝、夕の日射が少なく、室温が低い時は2重ガラス+レースカーテンになる時がある。透過日射と室温のバランスで作動している。

1. 3+A6+3mm複層ガラスのみ
2. 3+A6+3mm複層ガラス+ レースカーテン
3. 3+A6+3mm複層ガラス+ 厚手カーテン
4. 3+A6+3mm複層ガラス+ レース+ 厚手カーテン

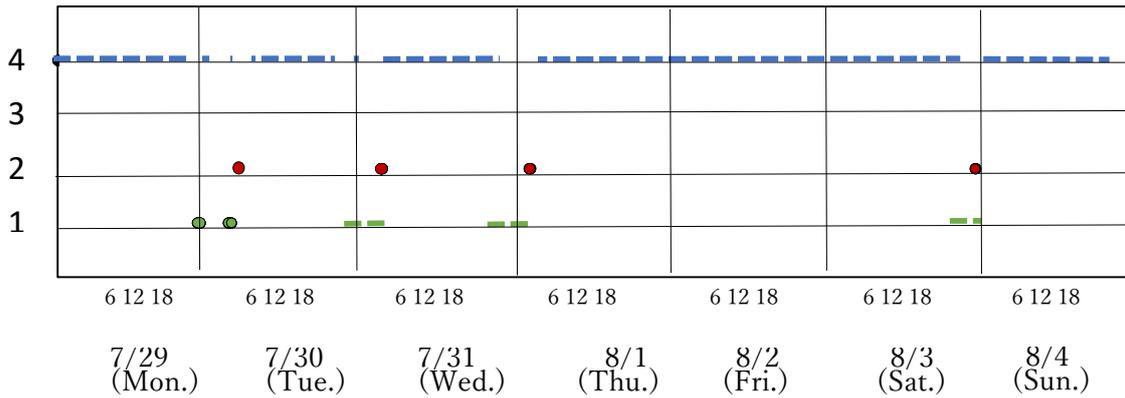


図 5-36 1F LDK 南開口部の1分間隔カーテンの作動状況 (2020/7/29~8/4)

1. 3+A6+3mm複層ガラスのみ
2. 3+A6+3mm複層ガラス + レースカーテン
3. 3+A6+3mm複層ガラス + 厚手カーテン
4. 3+A6+3mm複層ガラス + レース+厚手カーテン

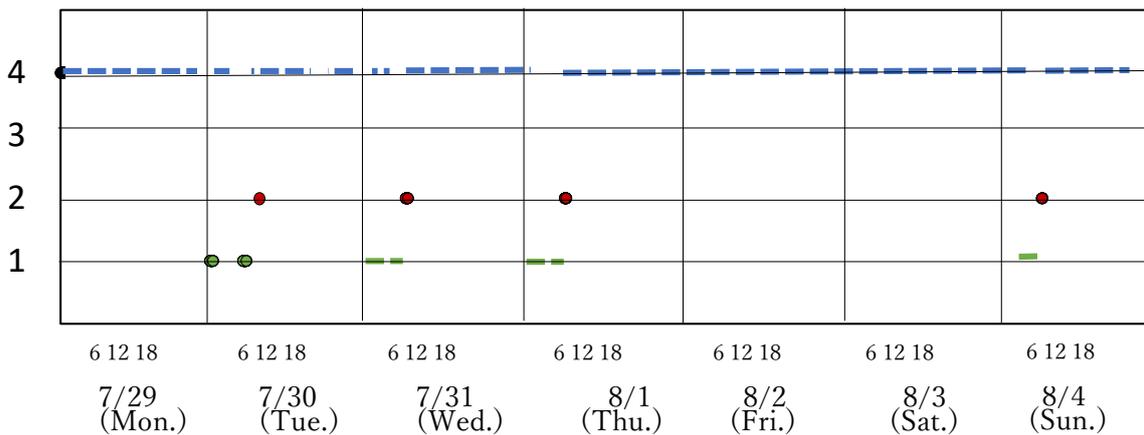


図 5-37 1F LDK 東開口部の1分間隔カーテンの作動状況 (2020/7/29~8/4)

第5章 まとめ

1) オフィス

オフィスの増加する冷房負荷に対処する方法として、ブラインド熱取得最少制御を行うと冷房負荷削減に効果があることがわかった。

2020年の標準仕様の通常ブラインド+45度固定と同一仕様で熱取得最小制御の年間冷房負荷を比べると熱負荷最小制御のほうが0.96GJ/年省エネルギーになる。同様に、高反射率ブラインドの熱負荷最小制御を行うと効果が大きく2.98GJ/年省エネルギーとなる。

直近の標準仕様の推定増加量は0.58GJ/年であり、一方、熱取得最小制御においては、通常ブラインドで0.96GJ/年、高反射率ブラインドでは2.98GJ/年で、経年で増加する冷房負荷と経年で増加する冷房負荷と遮蔽物自動制御による負荷軽減量は同等、それ以上である。

2) 戸建住宅

戸建住宅の増加する冷房負荷に対して、ブラインドの熱取得最少制御、直射照度遮蔽制御が、削減効果がある。熱取得最少制御ではブラインド+45度固定に比べ、2019年の比較では3.0GJ削減となる。夏季経年変化冷房負荷年率増加量に対して1.3倍の削減である。

同様にカーテンの熱取得最少制御は冷房負荷削減の効果がある。レースカーテン固定に比べ、2020年の比較では4.7GJ削減となる。夏季経年変化冷房負荷年率増加量に対して2.1倍の削減である。

形状や光学特性によって削減量は変わるがブラインド自動制御同様、ZEB^{注2)}の達成に向けて戸建住宅においてカーテンの開閉制御を積極的に行い推し進めることは、省エネ、負荷軽減技術として重要である。

注記

注2) Net Zero Energy Building (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) の略称で、「ゼブ」と呼び、快適な室内環境を実現しながら、建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建物のことである。

第6章

結論と今後の課題

- 6. 1 結論
- 6. 2 今後の課題

第6章 結論と今後の課題

6.1 結論

本研究では、2050年CO₂排出量ゼロにむけ、1960年～2020年という長期の東京気象データを用いて、対象とした東京1960年～2020年の気象指標（デグリーデー、エンタルピーデー、ヒューミディティデー、日射量）の経年変化を近似式で捉え、近未来の気象指標を予測。その予測した気象指標を活かし、気象指標と負荷との相関から近未来の負荷を予測した。

そしてCO₂排出量削減技術として建物デザインや断熱性能、日射遮蔽建材の活用等のうち、ブラインド自動制御とカーテン開閉自動制御による負荷軽減効果を検証した。

制御の検証に、昼光シミュレーションプログラムを導入し、横型ブラインドスラット角度別の太陽プロファイル角度5度間隔の光学特性を算出し、熱的に夏季熱取得最少パターン、光環境制御として直射照度遮蔽、熱と光環境において直射照度遮蔽かつ夏季熱取得最少制御の3パターンをスラット角度1度間隔、1分間隔で検証、カーテンにおいてはカーテンのひだ形状を考慮し太陽プロファイル角度5度間隔における光学特性を算出し、熱的に最適なカーテン開閉自動制御を1分間隔で検証し負荷削減量を算出した。

本論文全体の取り纏めとして各章の結論を総括する。

第1章

序論では「建築と人と地球温暖化」と題し地球温暖化、ヒートアイランド現象について説明及び現況を研究背景として提起し本論では2050年CO₂排出量ゼロにむけ建物デザインや断熱性能、日射遮蔽建材の活用等のうち、ブラインド自動制御による負荷軽減技術を検証、提案した。

第2章

背景として「地球温暖化及びヒートアイランド現象とCO₂排出量ゼロ」と題し、地球全体を取り巻く現況、報道等について具体的に示した。

目的として本研究では、建築温熱環境における開口部は断熱、日射の遮熱（夏期）、取得（冬季）性能等、ガラス種類、遮蔽物形状及び種類により刻々と変化する外界気象条件に対しその変化に適した負荷軽減技術を施すことのできる重要な部位であり、PASSIVE パッシブ技術である日射遮蔽に焦点を当て、2050年CO₂排出量ゼロにむけ、地球温暖化、ヒートアイランド現象によって経年で増加する負荷を開口部に取り付けられた横型ブラインドのスラット角度を負荷が最小になるように自動制御することで負荷を削減する技術を検証し論じた。

日射遮蔽技術（（庇、ルーバー、オーニング、フィルム等）がたくさんある中で、ブラインドに絞り、今回取り上げた理由は、次々変化する外界条件の1要素である

日射に対して次々柔軟な対応ができる技術がブラインドであるからである。具体的に言うと、横型ブラインド、縦型ブラインド等はスラット角度を変化させることで、時々刻々変化する日射外界条件に合わせてその都度、最適な温熱、及び光環境を生み出すことができるという特性をもち、その特性に注目したからである。

第3章

年間冷暖房負荷を予測の元となる気象指標の未来予測は次の結果を得た。

・冬季の場合

残差分散による評価では気温は、暖房デGREEデーDh18_18、気温および湿度は暖房エンタルピーデーEh30_30、湿度は暖房ヒューミディティデーHh7.6_7.6を選定した。これらの気象指標を用いた近未来予測が良い。いずれの気象指標も近未来は減少傾向にある。

・夏季の場合

冬季と同様、気温は冷房デGREEデーDc26_26、気温および湿度は冷房エンタルピーデーEc60_60、湿度は冷房ヒューミディティデーHc12.1_12.1を選定した。これらの気象指標を用いるのが良い。Dc26_26およびEc60_60の近未来は増加傾向にありHc12.1_12.1は減少傾向にある。

この章における予測を第4章以降の熱負荷予測に活かしている。

夏季、冬季とも日射量が経年で増加しているのは、大気中に浮遊する微粒子状の粉塵（自動車関係ではディーゼル車の排気中の黒煙、タール状物質、硫酸ミストなどの粒子状物質、タイヤやブレーキライニングおよびクラッチフェーシングなどの摩耗による粉塵）が、ガソリンの無鉛化、スパイクタイヤの製造・使用の禁止、ディーゼル車の黒煙や粒子状物質排出規制導入などにより大気中の浮遊粒子状物質が減少傾向にあることが原因と思われる。

第4章

東京 1960年～2020年の気象データを用いオフィスと戸建住宅の長期の各年冷暖房負荷を算出し第3章の予測気象指標との相関から近未来の熱負荷を予測した。

オフィスの年間冷房負荷（1フロア全体、開口部、外気取入れ、外壁）は1960～1969年は減少傾向にあり、1972年以降は増加傾向にある。直近の標準仕様の推定増加量は1フロア全体0.58GJ/年、開口部0.07GJ/年、外気取入れ0.17GJ/年、外壁0.003GJ/年となった。

年間暖房負荷（1フロア全体、開口部、外気取入れ、外壁）は、1960年以降現在

に至るまで、減少傾向にある。直近の標準仕様の推定減少量は1フロア全体0.47GJ/年、開口部 0.06GJ/年、外気取入れ 0.54GJ/年、外壁 0.11GJ/年となった。

戸建住宅の年間冷房負荷（建物全体、開口部、外壁）は1960～1969年は減少傾向にあり、1972年以降は増加傾向にある。直近の標準仕様の推定増加量は建物全体 0.067GJ/年、開口部 0.014GJ/年、外壁 0.005GJ/年となった。

年間暖房負荷（建物全体、開口部、外壁）は1960年以降現在に至るまで、減少傾向にある。直近の標準仕様の推定減少量は建物全体 0.096GJ/年、開口部 0.780GJ/年、外壁 0.231GJ/年となった。

オフィス、戸建住宅とも1960年～2020年における経年増減推移傾向は同様となった。

第5章

昼光シミュレーションプログラム Radiance^{注1)}を用いて横型ブラインドスラット角度1度間隔の光学特性（日射反射率、透過率）、また1.5倍ひだカーテンの太陽方位角度(-85度～+85度)の時の光学特性を算出し熱負荷プログラムに適用、ブラインドにおいては遮蔽物自動制御、カーテンにおいては開閉自動制御による熱負荷を1960年～近未来2030年まで各年で算出し、固定スラット角度、カーテンにおいてはレースカーテン1枚に対する負荷削減量を算出した。

オフィスにおける横型ブラインド自動制御は、2020年の標準仕様の通常ブラインド+45度固定と同一仕様で熱取得最小制御の年間冷房負荷を比べると熱負荷最小制は0.96GJ/年省エネルギーとなった。高反射率ブラインドを用いて熱負荷最小制御を行うと効果は大きく2.98GJ/年省エネルギーとなった、経年で直近における標準仕様の推定増加量は0.58GJ/年であり、熱負荷最小制御では、通常ブラインドで0.96GJ/年、高反射率ブラインドでは2.98GJ/年削減となり、経年で増加する冷房負荷と経年で増加する冷房負荷と遮蔽物自動制御による負荷削減量は経年で増加する負荷量の同等、または、それ以上となった。

戸建住宅における横型ブラインド自動制御は、熱取得最少制御ではブラインド+45度固定に比べ、直近の比較では3.0GJ削減となる。夏季経年変化冷房負荷年率増加量に対して1.3倍の削減となった。同様にカーテンの熱取得最少制御は冷房負荷削減の効果があり、レースカーテン固定に比べ、2020年の比較では4.7GJ削減となり夏季経年変化冷房負荷年率増加量に対して2.1倍の削減となった。

以上の結果が得られ、既存の建物にブラインドをつけ自動制御を行うことで、ブラインド固定角で使用する場合に対して、またカーテンの開閉を自動制御にすることでカーテンを閉じたままにした場合に対しての低減効果を示し増加する冷房負荷に対処する方法として、ブラインド熱取得最少制御またカーテン開閉自動制御を行うと冷房負荷削減に効果があることがわかった。

ブラインドの形状や平板反射率等によって削減量は変わるが ZEB の達成に向けた CO₂ 排出量削減技術としてブラインド自動制御、カーテンの自動開閉制御を積極的に行い、省エネ、負荷軽減を推し進めることは非常に重要である。

6. 2 今後の課題

太陽エネルギーについて、太陽から受ける単位時間当りのエネルギーは太陽定数とよばれ、太陽定数には太陽活動（太陽黒点数等）に平行し 0.1% 程度の変化のあることが確認されている。モデル計算によれば太陽定数 0.1% の変化は地球気温に 0.1~0.2° C の変化をもたらすといわれているが、負荷の経年変化において太陽定数の変化も考慮すべきであるが、本論シミュレーション及び予測において太陽エネルギーは一定としている。

また、内部発熱設定において今回のシミュレーションにおいて各年代における機器（OA 機器、LED 照明等）発熱量の違いは反映していない。各年代ごとに内部発熱を設定すべきである。

また、気象変動の予測はノーベル賞を最近とられた真鍋淑郎さんの様な複雑な要素（大気、海洋、放射の影響等）は今回反映していません、自分が持っている 1960 年~2020 年までのデータ（気象指標としての気温、湿度、日射量）の経年変化を 4 式で予測し、気象と負荷との相関から予測負荷を算出という限定的なロジックとなっており、的確に検証した各複合要素を盛り込んだ予測ロジックを自分で構築することが、今後の課題である。

昼光シミュレーションプログラム Radiance^{注1)}を用いて本論では、遮蔽物の熱的評価を横型ブラインドの場合、スラット角度 1 度間隔の日射透過率、反射率を外からの日射を 1 としプロファイル角度（太陽高度）0 度~85 度、5 度刻みで算出し、入射熱の計算を行い、冷房負荷計算を行った。

遮蔽物の各スラット角度による（日射透過率、反射率、窓との中空層抵抗値）の変化により暖房負荷快適制御も考えられるが、暖房負荷は経年で減少する傾向にあるので本論では冷房負荷削減効果についてのみ検証している。

遮蔽物は多種多様（横型ブラインド、縦型ブラインド、プリーツスクリーン、ハニカムスクリーン、カーテン、ルーバー等）なものが存在する。様々な形状、仕様により開口部に入射する日射量は無限に変化するもので開口部位による建築温熱環境に

与える影響を解析することは非常に重要である。本論では横型ブラインドとカーテンのみの解析評価に留まっており、多種多様な遮蔽物の検証を行っていくことは今後必須である。

本論では直射照度遮蔽制御については論じているが主に熱負荷についての解析となっている。建築空間において最適な空間を提案するには光と熱との両方からの検証が必要であり、光環境であるグレア対処制御や机上面照度を算出し最適照度空間をシミュレーションしていくことなど、課題は山積である。

謝 辞

本論は、以下の建築学会環境系論文集5編、空気調和・衛生工学会論文集3編を纏めたものとなります。

・ 建築学会

- ① 磯崎恭一郎, 武田仁: 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の予測—, 日本建築学会環境系論文集, vol.181, No.726, pp.669-678, 2016.8
- ② 磯崎恭一郎, 武田仁: 最近の気象データによる全国冷暖房負荷の変動—戸建住宅 全国の1991~2017年の年間冷暖房負荷, ピーク負荷の推移—, 日本建築学会環境系論文集, vol.84, No.759, pp.495-505, 2019.5
- ③ 磯崎恭一郎, 武田仁: 最近の気象データによるオフィスビル冷暖房負荷シミュレーション—オフィス 全国30地点 1991~2018年の年間冷暖房負荷, ピーク負荷の推移—, 日本建築学会環境系論文集, vol.84, No.760, pp.565-575, 2019.6
- ④ 磯崎恭一郎, 武田仁, 秋元孝之: 最近の東京60年の気象データによるオフィスビルの冷暖房シミュレーション—オフィスビルの冷暖房負荷の推移とブラインド制御による対処—, 日本建築学会環境系論文集, vol.85, No.774, pp.591-601, 2020.8
- ⑤ 磯崎恭一郎, 武田仁, 秋元孝之: 最近の東京60年の気象データによる住宅の冷暖房シミュレーション—戸建住宅の冷暖房負荷の推移と開口部遮蔽物制御による対処—, 日本建築学会環境系論文集, vol.85, No.778, pp.953-963, 2020.12

・ 空気調和・衛生工学会

- ① 磯崎恭一郎, 武田仁, 秋元孝之: 気候変動による冷暖房負荷の変動 第1報—最近の東京60年と10年毎の東京標準年気象データの比較検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No.207, 2021.2
- ② 磯崎恭一郎, 武田仁, 秋元孝之: 気候変動による冷暖房負荷の変動 第2報—全国17地点の各年および標準年気象データによる冷暖房負荷の比較検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No.295, 2021.10
- ③ 磯崎恭一郎, 武田仁, 秋元孝之: 気候変動による冷暖房負荷の変動 第3報—TAC法による設計用外界条件と長期気象データを用いた瞬時冷暖房の比較検討, 空気調和・衛生工学会 (2022.3月掲載予定)

本研究を進めるにあたり、多大なご指導をいただきました芝浦工業大学建築学部 秋元孝之教授、本研究を始めるきっかけを与えてくださった東京理科大学理工学部建築学科 武田仁名誉教授に感謝の意を表します。

秋元先生には、本論を纏めるにあたり章立て等、論文の流れ、論じる表現の仕方等、自分の不得手なところを、いつも温かい目で見守っていただきたくさにご指導いただきました。

武田先生には、本研究を始めるきっかけを与えていただき、建築における温熱環境はいかにあるべきかを、数えきれないご指導をいただきながら長い期間、自分のような温熱環境に対する知見、見解の乏しいものに対して、時には厳しく長い目で見えていただきいつも見守っていただきました。

両先生のご指導が無ければ、本論分を書き終えることは困難であり、先生方に出合えた自分は、とても幸せものです。

本研究に関わっていただいた全ての方々に心より感謝の意を表します。

最後に、大学を卒業し就職することもなく自分が体調を崩し家で療養しているときに、9年前に亡くなった父が、自分が頼んでいないにも関わらず卒業した研究室である武田先生のところへ父ひとりで行き、自分はその当時少しプログラムを書いたのですが、なんとかこの子を先生のところにおいてもらえないかと頼みにいってくれました。そのことがきっかけで本論における研究が始まりました。

父に、この論文を見せてあげたかったです、天国で読んでくれていると信じております。

また母は、就職もせずぶらぶらしている自分を時に厳しく、しかしながら最後まで優しい目で見守ってくれていて、今も健在です。

妻に、この論文を見てもらいましたが、「何を言っているのか全くわからない」、もっと知見のない人にもわかりやすい日本語にしてくださいと指摘され笑われました。しかしながらいつも自分の身体を心配してくれてとても優しい妻です。

自分は、これまでたくさんの方とのいい出会いをし、皆さんが与えてくれた様々な経験が自分を奮い立たしてくれた要因であると思い、本当に幸せ者です。

2022年1月31日

磯崎恭一郎

参考編

1. 各自治体における 2050 年二酸化炭素排出実質ゼロに向けた取り組み

地方公共団体における 2050 年二酸化炭素排出実質ゼロ表明の状況を下記に示す。

* 参考 URL: <https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html>

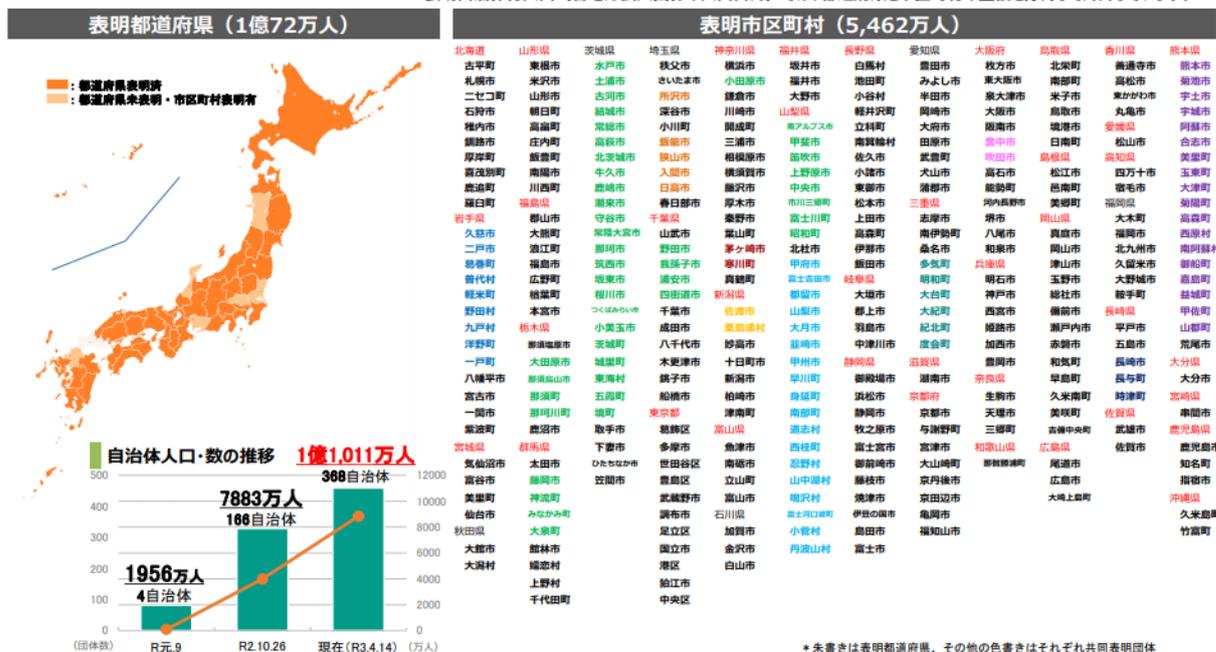
https://www.env.go.jp/policy/zero_carbon_city/01_ponti_210414.pdf (環境省資料)

https://www.env.go.jp/policy/zero_carbon_city/02_list_2021.4.14_2.pdf



■ 東京都・京都市・横浜市を始めとする368自治体（40都道府県、214市、6特別区、89町、19村）が「2050年までに二酸化炭素排出実質ゼロ」を表明。**表明自治体総人口約1億1,011万人**※。

※表明自治体総人口（各地方公共団体の人口合計）では、都道府県と市区町村の重複を除外して計算しています。



* 未書きは表明都道府県、その他の色書きはそれぞれ共同表明団体

自治体名	表明日	2050年カーボンゼロ表明概要	脱炭素に向けた主な取組・施策
京都府京都市	2019/5/11	<p>・IPCC第49回総会京都市開催記念シンポジウム「脱炭素社会の実現に向けて～世界の動向と京都の挑戦～」において、「2050年までの二酸化炭素排出量正味ゼロ」を目指すことを市長が表明。あわせて、「1.5℃を目指す京都アピール」を発表・京都市地球温暖化対策条例を改正し、2050年二酸化炭素排出量正味ゼロを目指すことを明記（2020年12月改正）</p>	<p>■2004年に日本初の地球温暖化対策に特化した条例を制定。温室効果ガス排出量はピークアウトしており、エネルギー消費量はピーク時から28%削減、ごみ量は半減などの成果が上がっている。■2050年の削減シナリオでは、正味ゼロが技術的には達成可能であることが、京都市協力のもと実施されたNPO等による研究で示されている。■1997年の「京都議定書」に続き、2019年5月にIPCC総会のホストシティとしてバリ協定の実行を支える「IPCC京都ガイドライン」誕生の地となった。■京都市地球温暖化対策条例（愛称：2050京からCO2ゼロ条例）を改正（2020年12月）（主な改正点）・2050年二酸化炭素排出量正味ゼロを目指すことを明記・2030年度の削減目標の見直し（1990年度比40%削減 ⇒2013年度比40%以上削減）・中規模排出事業者へのエネルギー消費量等報告書の提出義務の新設・建築物に係る再エネ導入義務の強化（大規模：導入義務量の引き上げ。中規模：導入義務の新設）・建築士による再エネ導入に係る説明義務の新設■京都市地球温暖化対策計画<2021-2030>の策定（概要）・4つの分野（ライフスタイル、ビジネス、エネルギー、モビリティ）の転換を進める施策の展開により、省エネの加速（エネルギー排出量18%以上削減）と再エネの飛躍的な拡大（消費電力に占める割合を35%以上に拡大）を図る。・また、森林・農地等の吸収機能の保全・強化を図り、CO2の吸収源対策を推進する。</p>
東京都	2019/5/21	<p>東京都は、Urban 20（U20）の2019年議長都市として、U20東京メイヤーズ・サミットを主催し、「G20に向けたコミュニケ」に2050年二酸化炭素排出量実質ゼロを宣言「ゼロエミッション東京」（2019年12月策定）にて明記</p>	<p>プラスチック、ZEV※に関する中期目標「2030年までに都内の乗用車の新車販売台数に占める割合5割を目指し、公共用充電器数を倍増し、急速充電器は2030年までに1000基にするなど）や省エネ・再エネ施策等の更なる強化※ゼロエミッションビークル（電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車）</p>
神奈川県横浜市	2019/6/17	<p>JCLPシンポジウム「再生可能エネルギー需要の増加によるマーケットへの影響 急増する再エネ100%への企業ニーズ」におけるオープニングスピーチにおいて、市長が2050年までの温室効果ガス排出量ゼロを目指すことを表明。横浜市は2018年改定の実行計画で「2050年も見据えて今世紀後半のできるだけ早い時期における脱炭素化」を明記。</p>	<p>再生可能エネルギーを軸とした広域連携・再生可能エネルギーの余剰ポテンシャルを有する地域と連携し、環境モデルゾーンへ供給の実証・横浜市との広域連携により、再エネ・環境価値をはじめとした経済の好循環（まちおこし等）により地域循環共生圏の形成を目指す。具体的には、横浜市・東北12市町村（青森県横浜町、岩手県久慈市、二戸市、葛巻町、普代村、軽米町、野田村、九戸村、洋野町、一戸町、福島県会津若松市、郡山市）の連携</p>
徳島県	2019/11/15	<p>定例記者会見の場で、知事が「2050年温室効果ガス実質排出ゼロ」を宣言現在改定中の「地球温暖化対策推進計画」の長期目標に文言を盛り込む。</p>	<p>徳島県は、全国初の「脱炭素条例」を策定し、国を上回る温室効果ガス削減目標を掲げている。水素エネルギーの率先導入を一層図ることにより「環境先進県」として2050年温室効果ガス実質排出ゼロを目指す。</p>
奈良県生駒市	2019/11/25	<p>定例記者会見の場で、市長が「ゼロカーボンシティ生駒」の実現に向け、環境モデル都市及びSDGs未来都市としての取組をさらに加速させ、幅広い分野で総合的な取組を展開することを宣言。</p>	<p>・地産エネルギーの利用拡大（いこま市民パワーによる地産地消ほか）・需用側の省エネ推進・資源循環の推進（資源循環コミュニティステーションの実証を踏まえた100の複合型コミュニティづくりほか）</p>
岩手県	2019/11/27	<p>知事が定例記者会見の場で、令和2年度に策定予定の次期岩手県環境基本計画に、当該計画期間を超えた目標として、「2050年温室効果ガス排出量の実質ゼロ」を掲げることを発表</p>	<p>・全県的な団体・機関で構成する温暖化防止いわて県民会議を中心に各主体が温室効果ガスの排出削減に向けた具体的な行動に取り組む県民運動を展開・全国トップクラスの再生可能エネルギーのポテンシャルを最大限に活用・地域資源の好循環に向けた再エネ由来の水素の活用を推進・具体的な取組は、来年度策定する計画に盛り込む予定。</p>

自治体名	表明日	2050年カーボンゼロ表明概要	脱炭素に向けた主な取組・施策
福島県郡山市	2019/11/28	臨時記者会見において、市長が「2050年二酸化炭素排出量実質ゼロ」を宣言	・2021年に地球温暖化対策に係る総合的な計画を策定し、中長期的な取組を定めるとともに、横浜市やこおりやま連携中枢都市圏自治体との広域連携による地域循環共生圏の形成を目指す。・地域新電力の設立等による再生可能エネルギーの有効活用と地産地消の推進・燃料電池自動車、水素ステーションの普及促進による水素利活用の推進・クールチョイスの推進
愛知県豊田市	2019/11/29	市長記者会見の場で、市長が「2050年におけるCO2排出量実質ゼロ」を目指すことを宣言今後策定する、第8次総合計画後期実践計画や地球温暖化防止行動計画において目標として設定する予定	・環境モデル都市として、脱炭素に向けた既存技術の積み上げや新技術の活用、ライフスタイルの転換に係る取組を継続して展開・産業、民生など多様な主体と連携し、脱炭素の目標の共有や行動のきっかけとなる取組を検討・SDGs未来都市として行っているSDGsパートナー（※）の仕組みの活用・水素社会を含め、様々な技術の劇的な革新を期待しつつ、既にCO2ゼロにチャレンジしている企業の取組など、産業界等と連携した実績の積み上げ※SDGsの達成、持続可能なまちの実現に向け、豊田市と共に取組等を実施、協力いただける企業・団体等
岩手県洋野町	2019/12/2	2019年2月に横浜市と再生可能エネルギー供給に関する包括連携協定を締結した12市町村のうち、北岩手9市町村の長が合同で記者会見を行い、「2050年二酸化炭素排出量実質ゼロ」を宣言。	・2014年に策定した再生可能エネルギービジョンの更なる推進によるエネルギー自給率の向上・メガソーラー、大型風力、洋上風力の設置計画の推進によるエネルギーの地域循環、地産地消の推進・町民のソーラーパネル設置費、蓄電池設置費助成の推進・検討・森林の整備促進によるCO2吸収効果増大の推進・自律分散型エネルギーシステムの構築推進
群馬県	2019/12/25	2019年12月に知事が環境大臣と会談し、2050年に向けた「ぐんま5つのゼロ」を宣言。自然災害による死者ゼロ、温室効果ガス排出量ゼロ、災害時の停電ゼロ、プラスチックごみゼロ、食品ロスゼロを実現し、災害に強く、持続可能な社会を構築するとともに、県民の幸福度を向上させる。	○「ぐんま再生可能エネルギープロジェクト」の推進・長い日照時間、豊富な水資源・森林資源など群馬県の恵まれた再生可能エネルギー資源のフル活用・エネルギーの自立・分散化（地産地消）の推進・水素社会の実現○省エネ・節電対策のさらなる推進など
鹿児島県鹿児島市	2019/12/25	定例記者会見で、市長が「ゼロカーボンシティかごしま」を宣言。今後、2021年度策定予定の「鹿児島市第三次環境基本計画」及び「鹿児島市第二次地球温暖化アクションプラン」等に2050年二酸化炭素排出実質ゼロを見据えた具体的な施策を盛り込み、体系的に事業の展開を図っていく予定。	・南国ならではの豊かな太陽の恵みを活かした再生可能エネルギーによるエネルギーの地産地消・一般廃棄物を活用した再生可能エネルギーの創エネ・走行時CO2排出量ゼロの電気自動車・燃料電池自動車の普及促進・家庭・事業所等でのエコスタイルへの転換
福島県大熊町	2020/2/9	2020年2月9日、小泉環境大臣と大熊町吉田町長が面会・記者会見した際に「大熊町2050ゼロカーボン」を宣言。2020年度、総合的なビジョンを策定予定。	（理念）原発事故を経験した町だからこそ、原発や化石エネルギーに頼らず、地域の再エネを活用した持続可能なまちづくりに取り組み、我々の子ども、孫たちが誇りをもって語れるまちを目指す。（具体的な施策の方向性）① 創る 地域資源を活用したエネルギー創出（太陽光、風力等の自然エネルギー）② 巡る 地域内循環システム構築（スマートコミュニティ、再エネ100%産業拠点地域新電力等）③ 贈る 持続可能な大熊を将来世代へ（SDGsと教育、社会的起業家支援等）
富山県	2020/3/6	「とやまゼロカーボン推進宣言」共同宣言式を開催し、知事が民間の関係団体とともに2050年までの温室効果ガス排出量の実質ゼロを共同宣言	・「新とやま温暖化ストップ計画（2019年8月策定）」に基づき、レジ袋無料配布廃止運動や食品ロス対策といった県民・事業者・行政が連携した取組に加え、再生可能エネルギーの推進、水と緑の森づくり税を活用した里山林整備など、温室効果ガスの排出量削減や吸収源対策などに徹底して取り組む。・「SDGs未来都市」にも選定された本県の持続可能な地域づくりのノウハウを生かしながら、国の取組と歩調を合わせ、地域を挙げて脱炭素社会づくりに向けた取組みを加速する。

自治体名	表明日	2050年カーボンゼロ表明概要	脱炭素に向けた主な取組・施策
岡山県真庭市	2020/3/17	2020年3月17日、市長が、記者会見において、脱炭素を前提とするまちづくりを加速させ、2050年二酸化炭素排出実質ゼロ都市を目指す「ゼロカーボンシティまにわ宣言」を実施。また、同3月23日、真庭市議会が、真庭市定例議会において、「ゼロカーボンシティまにわ」に向けた決議を実施。また、2021年2月2日に、岡山都市圏連携協議会において、2050年二酸化炭素排出実質ゼロを目指す取組を共同で行うとともに、各市町が各々の取組を進めることに同意し、共同で記者発表を行った。	『真庭市第2次環境基本計画』にある“低炭素で持続可能なエコタウン”の実現に向け、ソフト・ハード両面から脱炭素のまちづくりを行う。 ・木質バイオマスや豊富な水資源など、地域資源を活用した再生エネルギーの創出を進め、地域エネルギー自給率100%を目指す。また、地域マイクログリッド構築によるエコで災害につよまちづくりを行う。 ・エコカー・自転車・公共交通を活用した、回遊性が高く、エコで健康な交通網づくりを行う。 ・地産食材の給食利用など、地産地消を促進し、フードマイレージを低減する。 ・ごみの減量化という地域課題解決に向けた資源循環システムを構築する。 ・スマート農業の推進により、農業による環境負荷を低減する。 ・「COOL CHOICE(賢い選択)」推進により、エシカルな行動ができる人づくりを行う。 ・地域資源“木”を、脱炭素型の建材・プラスチック製品代替品として活用を図る。 ・蒜山高原をSDGsに沿った国立公園にすることを目指し、「住んでよし、訪れてよし」の持続可能な観光地域づくりを行う。 ・2021年度策定予定の「第4次真庭市地球温暖化対策実行計画」において、ゼロカーボンシティまにわに向けた取り組みを明記する。
静岡県浜松市	2020/3/30	2020年3月30日の市長定例記者会見で、「2050年までの二酸化炭素排出実質ゼロを目指し、浜松市域“RE100”を実現する」と表明	・浜松市域“RE100”の定義： 浜松市内の再生エネルギー≧浜松市内の総電力使用量・浜松市の強み「エネルギー」と「林業」を活かし、二酸化炭素排出実質ゼロを目指す。 ・浜松市域“RE100”戦略の3本柱 ①再生可能エネルギーの導入・利用拡大 ②徹底した省エネイノベーション ③森林の二酸化炭素吸収
長崎県平戸市	2020/4/1	2020年4月1日開催の定例記者懇談会において市長が、現在実施中のCO2排出ゼロ対策の継続的な取り組みの推進を図ることの意思表明として、「ゼロカーボンシティひらど」を表明。併せて2020年度策定予定の地方公共団体実行計画の中に、「ゼロカーボンシティひらど」を推進する旨の文言を明記する。(令和2年3月平戸市議会定例会における閉会挨拶において、市長が2020年4月1日に表明することを報告済)	平戸市は、2014年9月に「平戸市CO2排出ゼロ都市宣言」を行い、現在、「平戸市CO2排出ゼロ都市実行計画」に則り、2023年度を目標年としたCO2排出実質ゼロの実現に向け取り組んでいる。今後は、現計画の計画的遂行と併せ、今後の世界の潮流にあわせた地球温暖化対策に取り組むこととする。 ・再生可能エネルギー(風力・太陽光発電・木質バイオマス等)の導入、省エネルギー対策(LED化、高効率機器への切り替え等)の実施、森林吸収の3つの柱によりCO2の排出、削減の収支ゼロを目指す。 ・令和2年度において、現計画の後期計画と併せて、地方公共団体実行計画を策定予定。
茨城県牛久市	2020/7/28	市長が令和2年7月の臨時議会冒頭に、「2050年までに二酸化炭素の実質排出量ゼロを目指す」ことを表明。その後、北茨城市ホームページ上に「ゼロカーボンシティ宣言 ～2050年二酸化炭素排出実質ゼロに向けて～」を賛同した廃棄物と環境を考える協議会構成市町村の連名で公表。	牛久市は、これまでにバイオマスタウン構想を策定し、地域で排出されるバイオマスを有効活用するため、給食等で使用済みの廃食用油を原料としてBDFを製造し、公用車及びゴージュネレーションシステムに利用している。また木質ペレット用の空調設備を市庁舎等に整備したほか、太陽光発電、電気自動車を積極的に導入するなど、二酸化炭素の排出削減に努めてきた。今後は、現在策定中の牛久市第4次総合計画及び令和3年度に策定予定の牛久市第4期環境基本計画に、「2050年までに二酸化炭素の実質排出量ゼロを目指す」旨を記載し、その方策を環境審議会において議論を重ね、脱炭素のまちづくりに取り組んでいく。
群馬県藤岡市	2020/7/28	藤岡市議会において、市長が「2050年の脱炭素社会」の実現を目指して全力で取り組む」と表明その後、北茨城市ホームページ上に「ゼロカーボンシティ宣言 ～2050年二酸化炭素排出実質ゼロに向けて～」を賛同した廃棄物と環境を考える協議会構成市町村の連名で公表。藤岡市のホームページ上に「二酸化炭素排出量の実質ゼロ」について8月1日に広報と併せて掲載予定。	地球温暖化対策を強化するため「第3次藤岡市環境基本計画」を適切な時期に見直し、脱炭素社会の実現に向けた取り組みを加速。 ・木質バイオマス発電検討事業・再生可能エネルギー導入調査事業・住宅用再生可能エネルギー設備等設置補助金・クールチョイス事業の推進などの様々な施策を展開する。
北海道石狩市	2020/12/8	市議会定例会の一般質問の場で、市長が「2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにする「2050年ゼロカーボンシティを目指します」と表明。現在改定中の「石狩市環境基本計画」及び「石狩市地球温暖化対策推進計画」に、2050年までに実質排出量ゼロを目指す文言を盛り込む予定。	・市のポテンシャルを活かした再生可能エネルギーの積極的な導入の図るとともに、生産されたエネルギーの域内循環活用の調査・検討を行い実現に向けて取組を推進する。 ・水素エネルギーの活用に向けた、環境整備のための調査・検討を行い実現に向けて取組を推進する。 ・エネルギーマネジメントシステムの導入を推進し効果的な省エネルギーを図っている。

自治体名	表明日	2050年カーボンゼロ表明概要	脱炭素に向けた主な取組・施策
高知県	2020/12/15	・令和2年12月高知県議会定例会にて、「2050年のカーボンニュートラル」を目指し、取り組んでいくことを知事が宣言。・現在改定作業中の「高知県球温暖化対策実行計画」に、2050年の脱炭素社会の実現を目指す文章を盛り込む。	・豊富な森林資源を生かし、林業振興を通じた森林吸収源対策と、県産材の利用促進を通じた「都市の脱炭素化」を推進する。・省エネルギー化を促進し、「ものづくりやサービスの脱炭素化」を進め、産業振興と脱炭素化の両立を図る。この2つの方向性を柱として、今後強化策の検討を進めながらカーボンニュートラルの実現を目指す。
千葉県銚子市	2021/2/16	市長が記者会見の場で、「2050年までに二酸化炭素排出実質ゼロ」を目指す「ゼロカーボンシティ」を表明。	①洋上風力発電を活かしたまちづくり 銚子市が推進する洋上風力発電などの再生可能エネルギーのポテンシャルを最大限に活用し、地域と連携した経済の好循環により、地域循環共生圏の形成を目指します。②官民協働による再生可能エネルギーの導入促進 地域新電力である銚子電力株式会社などと連携し、公共施設に再生可能エネルギー100%の電力を供給します。③市民への地球温暖化対策の啓発 住宅用省エネルギー設備の設置費用の補助や、地球温暖化防止対策のための国民運動「COOL CHOICE（クールチョイス）」の推進により脱炭素に向けた意識の啓発に努めます。

各自治体による様々な脱炭素に向けた取組が表明されており、地域特性を活かした取り組みが多く見られます。以下に箇条書きで主な取り組みをピックアップした。

- ・ 再生可能エネルギー(風力・地中熱・太陽光)の導入促進 (地産地消で各自治体の再エネポテンシャルを活かす)
- ・ EV (電気自動車)、FCV(燃料電池車、水素自動車)の導入促進、燃料電池自動車の普及促進や水素ステーションの整備促進などによる水素エネルギーの利用拡大に向けた環境整備
- ・ 地域エネルギー供給システム：2050年までに地域エネルギー供給率 100%を目指す。
- ・ 地域の未利用エネルギー (バイオマス、地中熱など) の活用を推進
- ・ プラスチックごみ「ゼロ」(プラスチックのライフスタイル全体を通じた資源循環の構築)
- ・ 市役所新庁舎における ZEB 化の検討
- ・ 公共施設の LED化及び街路灯の LED化により消費エネルギーを削減
- ・ 資源の再利用や再資源化による、循環型社会の形成
- ・ 森林や干潟などの保全整備による、温室効果ガス吸収源の確保
- ・ 多極ネットワーク型コンパクトシティの推進
- ・ 木質バイオマスの利活用促進