

住宅向けコンパクト電気暖房システムの開発

Development of compact electric heating system
for houses

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

北海道電機株式会社

Hokkaido Electric Industries, Ltd.

概要 Abstract

住宅向けコンパクト電気暖房システムの開発 Development of compact electric heating system for houses

北谷 幸恵¹⁾、月館 司²⁾、下ノ菌 慧³⁾、坂 俊祐⁴⁾、赤坂 淳一⁴⁾、稲葉 盛⁴⁾
Yukie Kitadani¹⁾, Tsukasa Tsukidate²⁾, Kei Shimonosono³⁾,
Shunsuke Ban⁴⁾, Junichi Akasaka⁴⁾, Sakan Inaba⁴⁾

キーワード : 戸建住宅、暖房、温熱環境、エネルギー

Keywords : Detached houses, Heating, Thermal environment, Energy

1. 研究概要

1) 研究の背景

家庭部門エネルギーの削減に向けて、住宅の省エネルギー基準への対応が求められており、寒冷な北海道では暖房一次エネルギー消費量削減が極めて重要である。

- ・過疎地のガソリンスタンド減少や火災安全性の観点からオール電化のニーズが少なくなく、電気による暖房手法は今後も必要とされる。しかし、既存のヒートポンプを用いるダクト式全館空調や温水暖房は機器設置スペースやコストに課題がある。
- ・一方、エアコン1台で全室を暖房する手法は、一般的な温水暖房と比べて設置スペースは小さいものの、エアコンの無い部屋の室温確保のため室内ドアを開放する必要がある点や、温風の不快感等の改善が課題である。
- ・電気ヒータ（蓄熱暖房器、パネルヒータ等）は、小容量機器の各室配置が容易であるが、一次エネルギー消費量が多い。ただし、家庭部門エネルギー削減のため世帯人数の増減に応じたエネルギー利用が求められるなかで、電気ヒータは、日常は使用しない部屋の暖房の停止が容易である利点を有する。
- ・電気ヒータのうち、かつてのオール電化住宅の主要機器であった蓄熱暖房機は、大量に設置された既設機器の維持管理が必要なことから、技術継承が求められる。また、蓄熱暖房機は災害等による停電時において、ある程度の暖房が可能である利点がある。
- ・エアコンと電気ヒータの組み合わせにより、それぞれの機器が有する一次エネルギー消費量、コスト、温熱環境、設置スペースの課題に対応した暖房システム構築の可能性がある。

2) 研究の目的

本研究は戸建住宅を対象に、エアコンと電気ヒータ等からなるコンパクト電気暖房システムを提案し、一次エネルギー消費量、コスト、温熱環境、設置スペースの検討を行い、システムの設計手法を構築することを目的とする。

2. 研究内容

1) 温熱環境の検討 (H28~29 年度)

¹⁾ 建築研究部建築システムグループ 主査 ²⁾ 地域研究部 環境防災グループ 研究職員 ³⁾ 地域研究部 環境防災グループ 研究主幹 ⁴⁾ 北海道電機株式会社

¹⁾ Researcher of Building Engineering System Group, Building Research Division ²⁾ Researcher of Disaster Prevention and Environment Group, Regional Research Division ³⁾ Senior Research Manager of Disaster Prevention and Environment Group, Regional Research Division ⁴⁾ Hokkaido Electric Industries, Ltd.

・ね ら い：住宅の断熱性能と熱供給条件（熱量等）・温熱環境の関係を明らかにする。

・試験項目等：実験棟における温度環境実測、CFD 解析による検討

2) 暖房システムの検討 (H28~29 年度)

・ね ら い：構成機器のエネルギー消費等の特性を把握し、一次エネルギー消費量の最小化と良質な温熱環境形成を実現する機器の選択、制御手法を明らかにする。

・試験項目等：実験棟におけるエネルギー消費量・温熱環境等の実測、エネルギー消費量の数値解析

3) 設計手法の提案 (H28~29 年度)

・ね ら い：本暖房システムを導入する際の設計手法を検討し構築する。

・試験項目等：イニシャルコストおよびランニングコスト検討、設計手法の検討

3. 研究成果

エアコンを主暖房として一次エネルギー消費量を抑制し、開口とファンを用いてエアコンの熱を隣室に供給し、電気ヒータを補助暖房として使用する、コンパクト電気暖房システムを提案した（図 1）。

1) 温熱環境の検討 (H28~29 年度)

エアコンを設置しない部屋を対象に、開口やファンを設置してエアコン設置室から熱供給する場合、及び電気ヒータを設置する場合について、実棟実験と CFD 解析により、上下温度分布と気流分布等の特徴を明らかにした。また、ファンの適切な風量と設置位置を明らかにするなど、設計上の知見を得た。

2) 暖房システムの検討 (H28~29 年度)

実験棟実験や数値解析から開口の面積と供給熱量の関係を明らかにした。また、数値解析から、開口の面積やファン風量、外皮性能がエアコンや電気ヒータ等の電力消費量に及ぼす影響を明らかにした。

3) 設計手法の提案 (H28~29 年度)

設計フローを提案し（図 2）、室間の熱移動を考慮した暖房負荷計算等を行う「部屋毎の熱計算シート」や空気循環用の「開口の面積設計チャート」等の簡便な設計ツールを作成した。また、温熱環境等に配慮するための「機器等の設置方法の指針」と、「暖房負荷と一次エネルギー消費量の計算方法」を示した。この計算方法を用いたシミュレーション検討から、本システムは各室にエアコンを設置する場合と比べ、一次エネルギー消費量とランニングコストは増加するが、イニシャルコストは安くなる等の結果を得た。

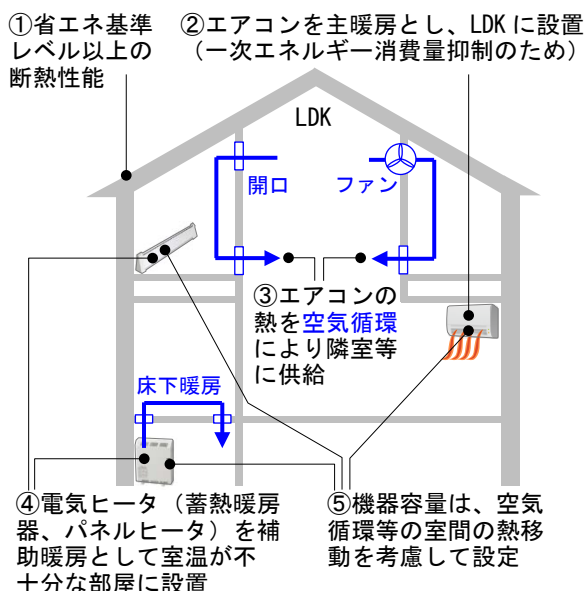


図 1 コンパクト電気暖房システム

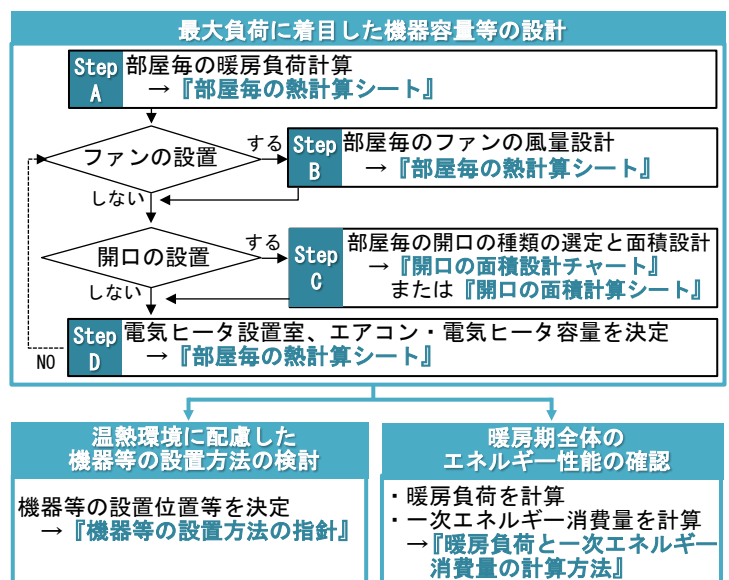


図 2 設計フロー

4. 今後の見通し

本研究の成果は新築・既存のオール電化住宅に活用でき、セミナーや資料配布を通じて道内等の住宅事業者に対する情報提供を図る。

目 次

1.	研究の概要	
1-1.	背景	..... 1
1-2.	目的	..... 3
1-3.	研究のフロー	..... 4
2.	コンパクト電気暖房システムの概要	
2-1.	コンパクト電気暖房システムの基本的考え方	..... 5
2-2.	部屋毎の暖房負荷の試算	..... 6
2-3.	暖房の設定室温	..... 9
3.	設計手法の検討	
3-1.	設計フロー	..... 11
3-2.	設計手法構築に向けた基礎情報収集のための実験棟実験	..... 12
3-3.	『部屋別の熱計算シート』の作成	..... 18
3-4.	壁面開口、壁・床面開口による隣室からの熱供給量の推定方法に関する検討	..... 22
3-5.	床面開口による下階からの熱供給量の推定方法に関する検討	..... 25
3-6.	床下暖房の場合の床面の必要有効開口面積の設定方法に関する検討	..... 32
3-7.	『機器等の設置方法の指針』構築に向けた実験棟実験による検討	..... 35
3-8.	『機器等の設置方法の指針』構築に向けたシミュレーション検討	..... 41
4.	実棟における開口とファンの効果の検証、電気ヒータの制御方法の検討	
4-1.	目的	..... 50
4-2.	実験棟の概要	..... 50
4-3.	開口による隣室からの熱供給に関する検証	..... 53
4-4.	パネルヒーターの制御方法（温度設定）に関する検討	..... 59
4-5.	蓄熱暖房器の制御方法（蓄熱量、温度設定）に関する検討	..... 62
4-6.	まとめ	..... 64
5.	温熱環境、暖房負荷、一次エネルギー消費量の解析とランニングコスト試算	
5-1.	目的	..... 65
5-2.	計算モデルおよび暖房負荷と室温の計算方法	..... 65
5-3.	消費電力量および一次エネルギー消費量の計算方法と結果	..... 72
5-4.	温熱環境の快適性検討	..... 76
5-5.	ランニングコストの試算	..... 86
5-6.	住宅外皮性能の違いによる一次エネルギー消費量、ランニングコストの試算	..... 88
5-7.	まとめ	..... 89
6.	コンパクト電気暖房システムの設計手法の提案	..... 91
7.	まとめ	..... 99

1. 研究の概要

1-1. 背景

省CO₂と民生用エネルギーの削減は急務であり、とりわけ北海道の住宅では暖房エネルギーが多いことから（図 1-1-1）、暖房設備の高効率化と建築外皮の高断熱化が省エネ化を推進するうえで重要である。

このうち暖房設備に関しては、オール電化が今後もある程度採用されていくと推測される。これは、高齢化を背景とする火災安全性に対するニーズ、また、過疎地での給油所減少（図 1-1-2）等のエネルギー供給の都合によるところが大きい。オール電化住宅等で採用される暖房設備の仕様は年々変化していると推測されるが、2012年時点においても（図 1-1-3）、電気ヒータ、すなわちパネルヒータや蓄熱暖房器等の直焚きヒータを、主暖房や補助暖房として採用した住宅が多い。特にパネルヒータについてはイニシャルコストが安いことが主要な採用理由の1つと考えられる。一方で、電気ヒータよりも効率の良いヒートポンプ式の温水暖房やセントラル空調の採用数は少ない。これはイニシャルコストが高いうえ、配管の施工手間や設置スペースが必要となること等が要因と考えられる。一次エネルギーの効率のみならず、イニシャルコストや設置スペースにも配慮したバランスの取れたシステムでなくては、普及は進まないと考えられる。

一方、エアコンの採用数も、他の暖房方式と比較して少なくない。ただし、本州以南のように部屋毎に個別エアコンを設置する方法は、住宅の暖房負荷に対して設備容量が過大となることや、機器コストが高額となることに加え、温風の不快感も課題である。こうした課題への対応として、1～2台程度の少台数のエアコンで全室を暖房する手法が考えられるが、この手法の場合、エアコンの無い部屋ではドアを閉じると室温が低下するといった温熱環境面での課題がある。

電気を熱源とする暖房については上述の課題を踏まえた、新たな暖房システムの開発・普及が必要である。

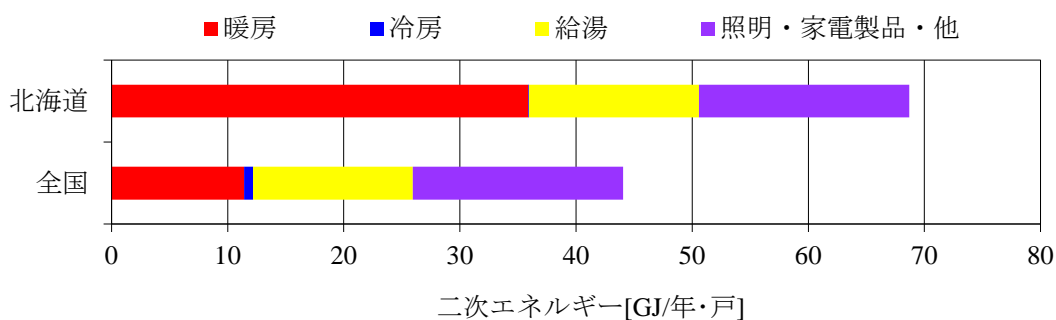


図 1-1-1 北海道の住宅における二次エネルギー消費量

出典：家庭用エネルギーハンドブック 2014

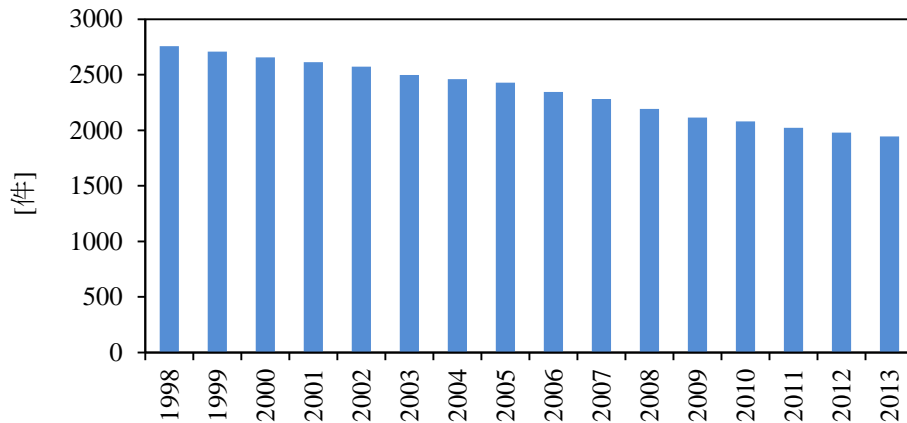


図 1-1-2 北海道の給油所 (SS) 数の推移

出典：一般社団法人 全国石油協会ホームページ (http://www.sekiyu.or.jp/topics/data_a.html)

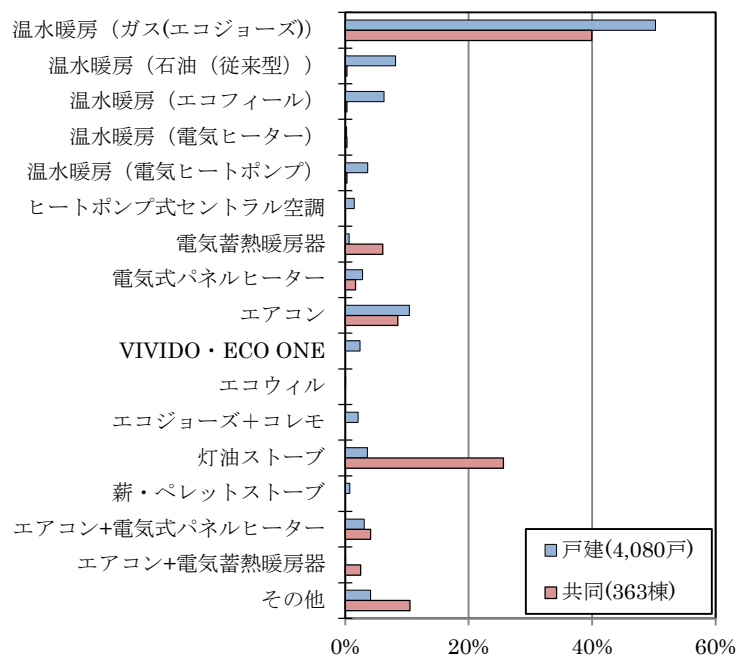


図 1-1-3 北海道の住宅における暖房の設備仕様比率

出典：北海道の新築戸建・共同住宅における断熱及び設備仕様調査、日本建築学会北海道支部研究発表会梗概集、2017

本研究で着目するのは、少台数のエアコンによる暖房をベースとし、熱が不足する部屋に電気ヒーターを設置する手法である (図 1-1-4)。この手法にはいくつかの利点がある。

まず、エアコンを主暖房とすることで一次エネルギー消費量を抑えることが可能と考えられる。

また、電気ヒーターは配管を用いずに小容量・小型形状の機器を各室に配置することが容易である。加えて、経年による世帯人数の増減に応じたエネルギー利用が省CO₂対策として重要となっているなかで、電気ヒーターは、日常は使用しない部屋の暖房の停止が容易な点も利点と言える。

蓄熱暖房器については、停電時において暖房がある程度可能である。加えて、高密度な蓄熱性能を有していることから、将来においては再生可能エネルギーの貯蔵技術として展開できる可能性がある。一方で、かつてのオール電化住宅における主要暖房機器であったことから、既存機器を活かした省エネ改修や、大量の既設機器の維持管理が必要となっている側面もある。これらを踏まえると、蓄熱暖房器を利用するシステム提案により、技術継承に寄与する点も利点と言える。

本研究では、こうした少台数エアコンと電気ヒータを組み合わせる暖房手法を「コンパクト電気暖房システム」と称する。本システムの実現に向けた課題としては、電気ヒータの一次エネルギー消費量を抑制し、温熱環境とコストと設置スペースに配慮したシステムとするため、個々の住宅における設計・運用を如何に行うかという点にある。その際、住宅の省エネルギー基準への対応にも配慮する必要がある。

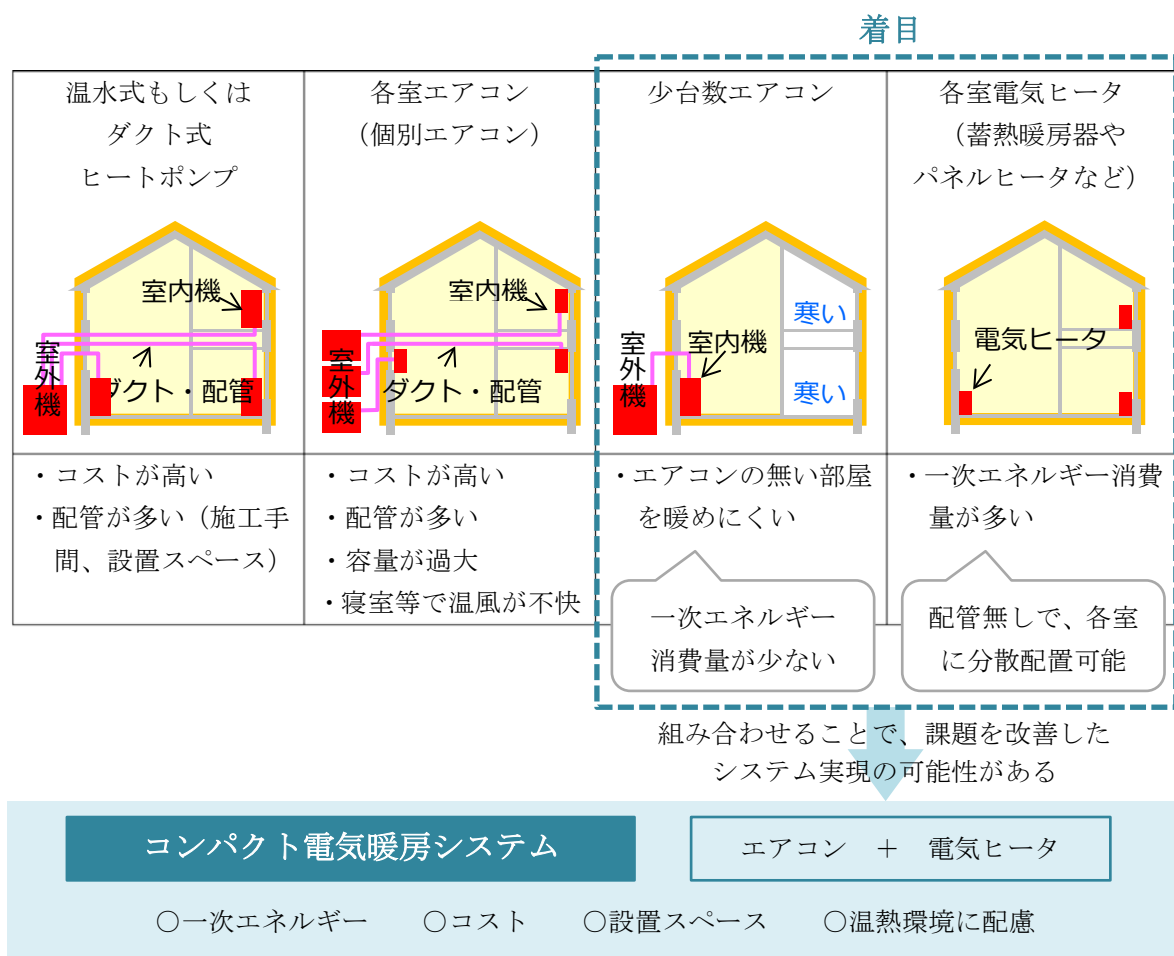


図 1-1-4 電力を用いる暖房設備の特徴

1-2. 目的

本研究は戸建住宅を対象に、エアコンと電気ヒータ等からなるコンパクト電気暖房システムを提案し、一次エネルギー消費量、コスト、温熱環境、設置スペースの検討を行い、システムの設計手法を構築することを目的とする。

1-3. 研究のフロー

図 1-3-1 に本研究のフローを示す。

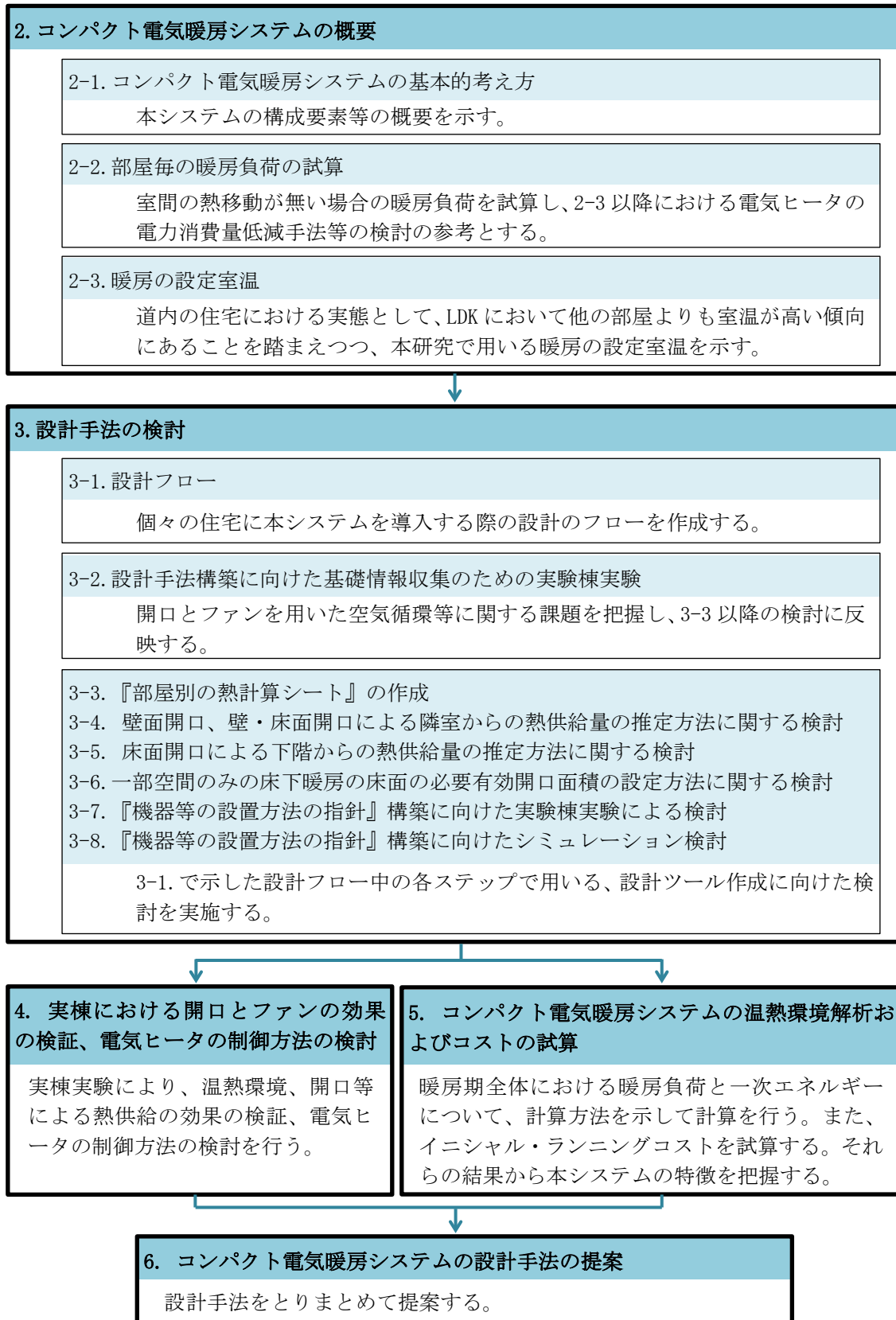


図 1-3-1 研究のフロー

2. コンパクト電気暖房システムの概要

2-1. コンパクト電気暖房システムの基本的考え方

図 2-1-1 にコンパクト電気暖房システムの基本的考え方を示す。この考え方をベースとして、2-2 以降の検討を実施する。

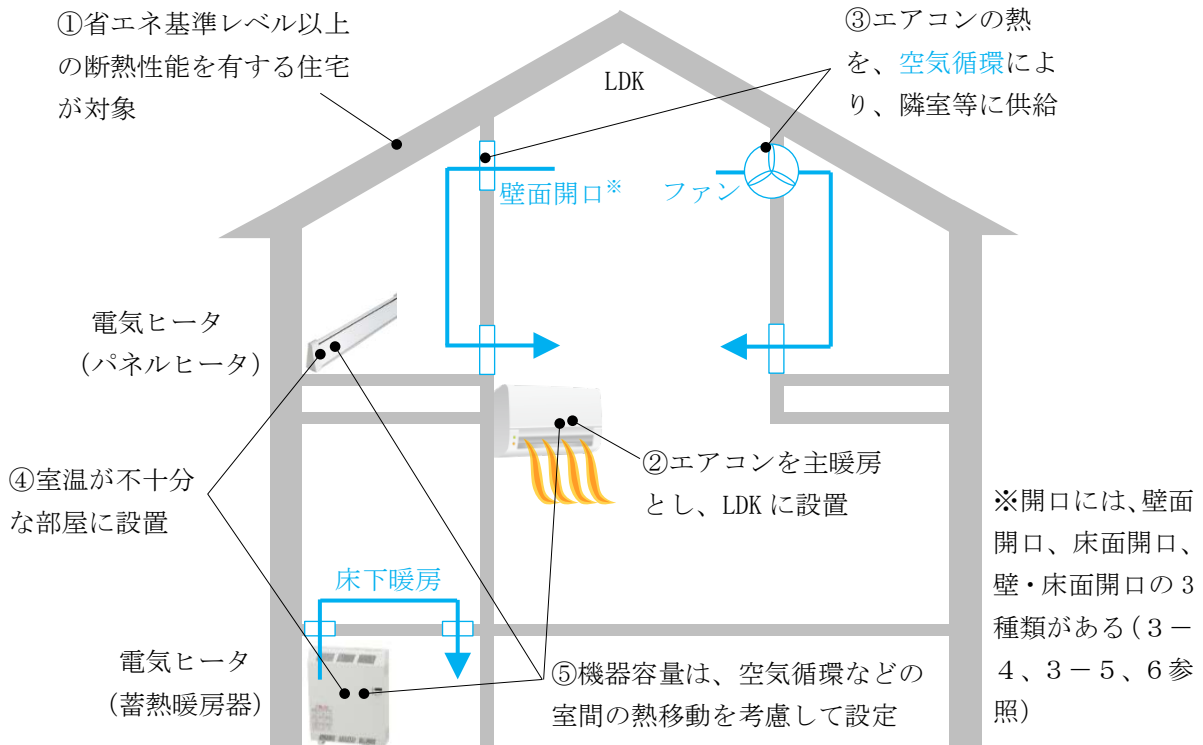


図 2-1-1 コンパクト電気暖房システムの基本的考え方

- ① 省エネルギー基準レベル以上の断熱性能を有する住宅を対象とする。
 - ・新築、改修の双方を対象とする。
- ② エアコンを住宅の主暖房とし、LDK に設置する。
 - ・エアコンは基本的にはLDK に設置する。
 - ・ただし、LDK 以外で暖房負荷が大きい部屋等がある場合は、必要に応じてエアコンを設置する。
- ③ エアコンの熱を、開口やファンを用いた空気循環により、LDK の隣室等に供給する。
 - ・扉を閉じた暮らしの場合にも、部屋を暖められるようにする。
 - ・室温確保の方法は、空気循環のみの場合と、給気循環と電気ヒータの組合せの場合がある。
 - ・開口は、本システムのために設ける場合や、ドアのアンダーカットや欄間を利用する場合等がある。
 - ・ファンを低風量型とするなど、気流による不快感を防止する。
- ④ 室温が不十分な部屋に電気ヒータを設置する。
 - ・床下を利用する等の方法で設置スペース低減に配慮する。
- ⑤ エアコンと電気ヒータの機器容量は、空気循環や貫流等の室間の熱移動を考慮して設定する。
 - ・北海道の住宅ではLDK が他の居室よりも室温が高い傾向にあり、LDK から得られる貫流熱を利用する。

2-2. 部屋毎の暖房負荷の試算

(1) 目的

本節では、LDK から隣室等に対するエアコンの熱の供給など、室間の熱移動が無い場合における、電気ヒータの最大負荷を把握し、それを 2-3 以降の検討の参考とするため、住宅の部屋毎の暖房負荷をシミュレーションにより試算した結果を報告する。

(2) 計算の方法

立地は名寄、旭川、釧路、札幌、帯広とし、外気温と日射量の気象データには拡張アメダス 2000 年版の標準年のデータを用いた。

図 2-2-1 に計算に用いる住宅モデルを示す。このモデルはBIS^{*1)}テキストに示される、北海道の住宅の典型的なプランとして作成されたものである。また、外皮平均熱貫流率は、省エネルギー基準の 1~2 地域の基準値である $0.46[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ 、およびHEAT20 委員会が示すG2 グレードの $0.28[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ の 2 種とした。

暖房は全館連続で設定室温を 20°C として、室間の熱移動は極力生じない条件とした。換気は第 3 種換気と第 1 種換気（熱交換効率 83%）の 2 種とし、換気回数は非居室も含めて $0.5[\text{回}/\text{h}]$ とした。

シミュレーションには道総研建築研究本部にて作成した熱収支プログラムを用い、毎時計算を行った。

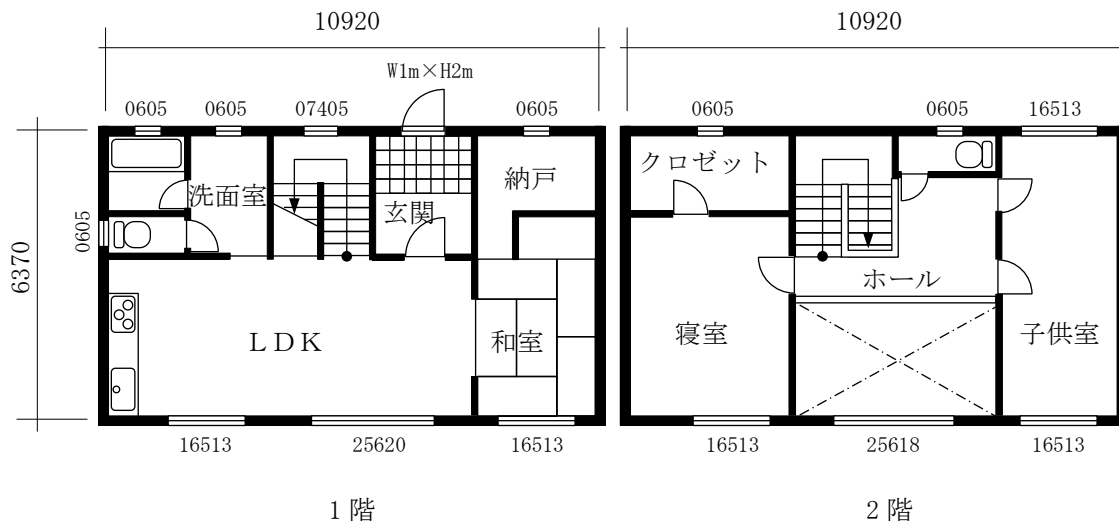


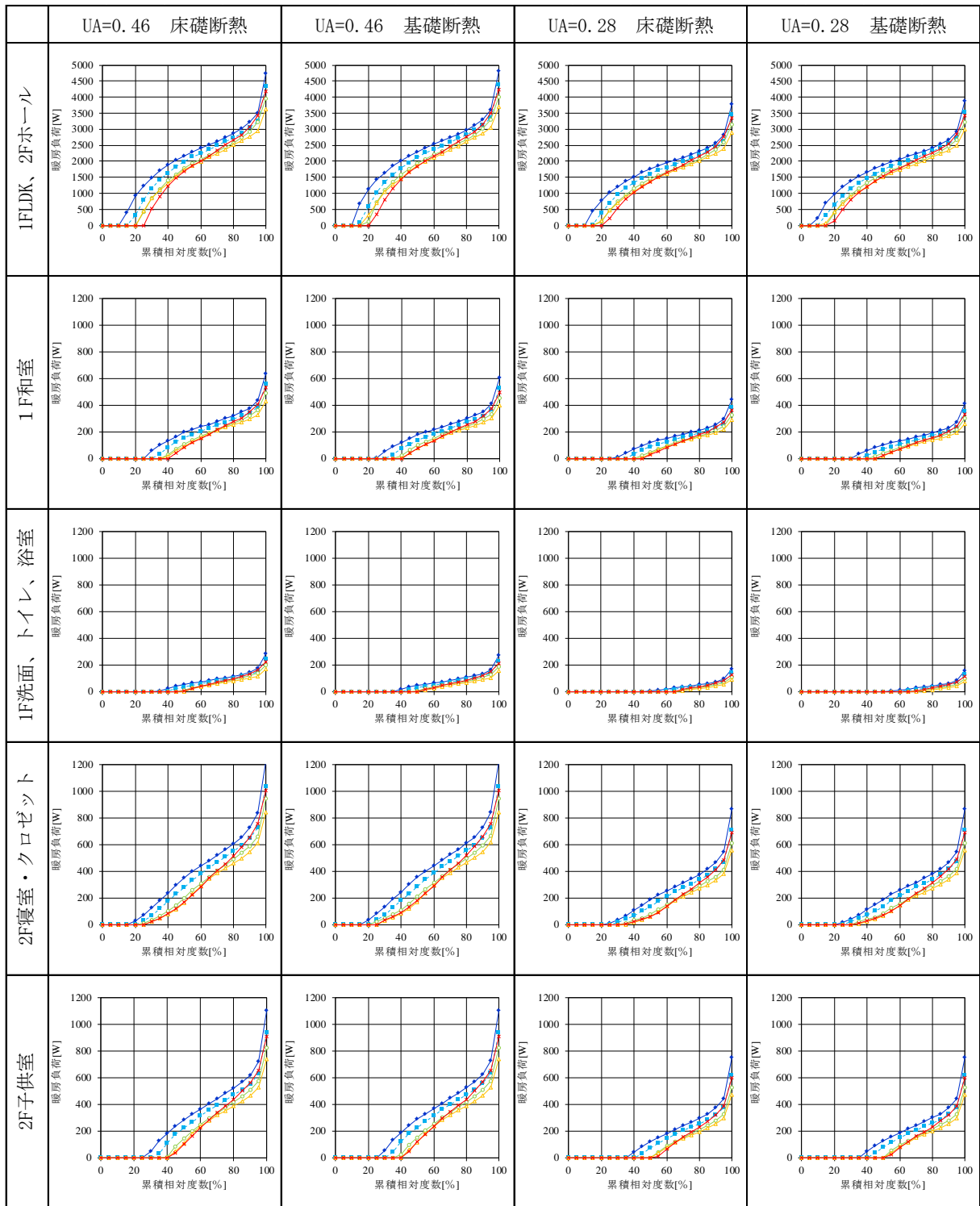
図 2-2-1 住宅モデル (BIS モデル)

(3) 計算結果

図 2-2-2 に居室および洗面室等における暖房負荷の年間の累積出現頻度を示す。暖房負荷は外皮平均熱貫流率が $0.46[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ の場合に寝室と子供室で最大 $1200[\text{W}]$ 程度となる場合がある。

コンパクト電気暖房システムでは、LDK 以外の部屋に空気循環等によりエアコンの熱を供給する。この熱供給量が多いほど、電気ヒータの機器容量や設置スペース、住宅の一次エネルギー消費量を低減できると考えられる。そのため、本シミュレーション結果を参考としつつ、2-3 以降では LDK 以外の部屋への熱供給手法等の検討を行う。

一方、外皮平均熱貫流率が $0.28[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ に性能向上した場合には、寝室と子供室の最大負荷は $800[\text{W}]$ 程度まで減少するが、洗面等の比較的小さな部屋も含めてゼロにはならない。このことから高断熱化により、空気循環や小容量機器による暖房の可能性やニーズが高まると推測される。



—●— 名寄
 - - -■- 旭川
 —○— 釧路
 —◇— 札幌
 —▲— 帯広

図 2-2-2 地域別・部屋別の暖房負荷の年間累積出現頻度

(4) まとめ

シミュレーションにより、住宅の部屋別の暖房負荷を試算し、以下の知見を得た。

- ・省エネルギー基準レベルの断熱性能を有する住宅では、LDK等からの熱供給が無い場合、他の居室で1200[W/部屋]程度の暖房負荷となる場合があることが分かった。
- ・外皮の断熱性能が向上すると、部屋別の最大負荷が低減することから、空気循環や小容量機器による暖房の可能性やニーズが高まると考えられる。

[参考文献]

※1)Building Insulation Specialist、北の住まいの熱環境計画 2015、(一社)北海道建築技術協会

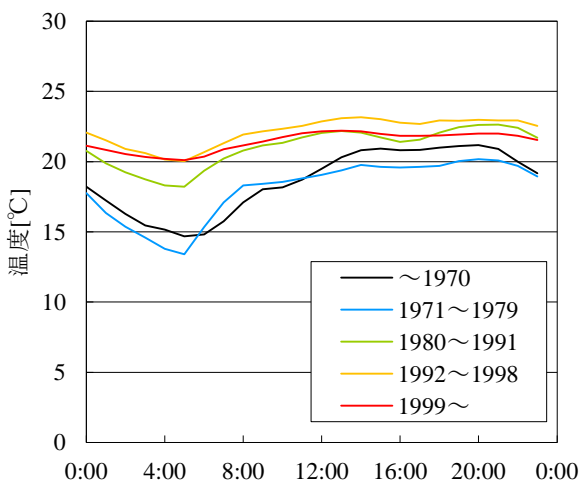
2-3. 暖房の設定室温

(1) 目的

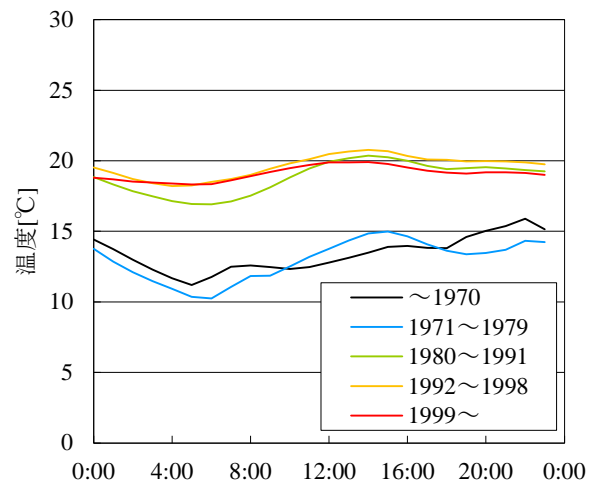
LDKとその他の暖房室の室温は、省エネルギー基準の解説書^{*1)}に示されるように、全て 20℃設定として暖房負荷等の検討を行うことが多い。2-2 でも 20℃の設定で負荷計算を行った。しかし、一般に、LDKの室温は他の部屋よりも高いと推測される。そのため、LDKと隣室の間の間仕切り壁等において貫流による熱移動が生じていると考えられる。この貫流熱を利用すれば、2-2 で試算したLDK以外の部屋の暖房負荷を低減できる可能性がある。また、2-1 で示した開口やファンによる熱供給量を把握するためにも、各室の温度を適切に設定する必要がある。以上のことを踏まえ、本節ではコンパクト電気暖房システムにおける暖房の基本的な設定室温を検討、設定する。

(2) 北海道の住宅における暖房時の室温

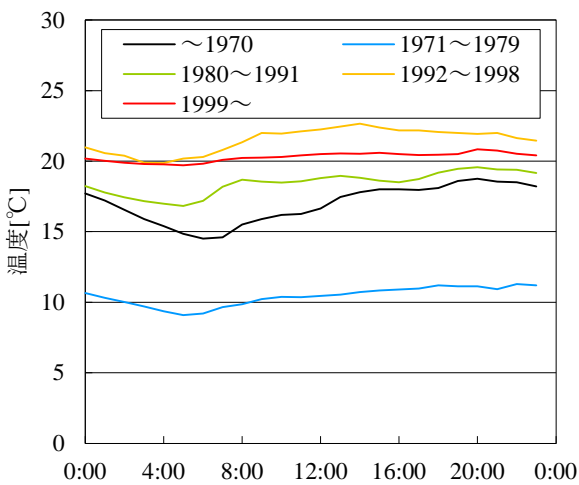
図 2-3-1 は、既往研究^{*2)}で示した道内 77 戸の戸建住宅の室温の統計値である。室温は住宅の建設年代により異なるが、1980 年代以降に建設された住宅では、暖房を実施していると思われる夕方～就寝



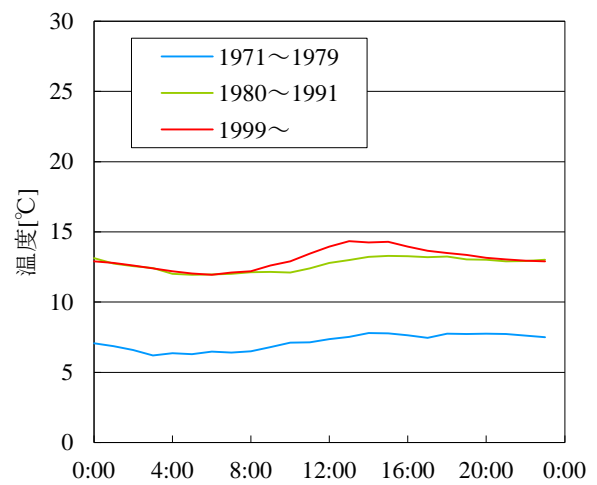
(1) LDK の室温



(2) その他の居室



(3) 洗面室・脱衣室



(4) トイレ

図 2-3-1 北海道の住宅における室温 (平日/調査対象の全住戸における中央値)

表 2-3-1 本研究で用いる暖房の設定室温

	暖房室			非暖房室
	LDK	他の居室	非居室	非居室等
設定室温[°C]	23°C	20°C	20°C	なりゆき

頃の時間帯において、LDK で 22～23°C、その他の居室で 19～20°C、洗面室・脱衣室で 19～21°C程度となっている。また、トイレは 15°C以下となり、非暖房室となっている住宅が少なくないと推測される。このデータを参考に作成した表 2-3-1 の設定室温を基本とし、本研究の各種検討を進める。

(3) まとめ

- ・本研究の各種検討で用いる暖房の設定室温を、既往の実態調査結果を基に、表 2-3-1 のとおり設定した。

[参考文献]

- ※1) 平成 25 年 省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 II 住宅、編集協力 (一財) 建築環境・省エネルギー機構
- ※2) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 北方建築総合研究所 調査研究報告 No. 339「主として暖房エネルギー削減と温熱環境性能向上が両立する木造戸建住宅の改修手法に関する研究」、2014. 3

3. 設計手法の検討

本章では、コンパクト電気暖房システムを個々の住宅に導入するための設計手法に関する検討結果を報告する。

3-1. 設計フロー

図 3-1-1 に設計フローを示す。この設計フローは、2-1 で示した基本的考え方を踏まえつつ、システムの構成要素毎に順を追って設計するために作成した。本研究では設計者が行う各種計算の簡便化を図るツールとして設計フロー図中の『部屋毎の熱計算シート』、『開口の面積設計チャート』、『開口の面積計算シート』を作成するとともに、温熱環境に配慮するための『機器等の設置方法の指針』を作成した。これらのツール等の作成に向けて実施したシミュレーションや実験による検討結果等を、3-2～3-8 において報告する。また、フロー図中に記載する「暖房負荷と一次エネルギー消費量の計算方法」については 5-3 および 5-4 に示す。

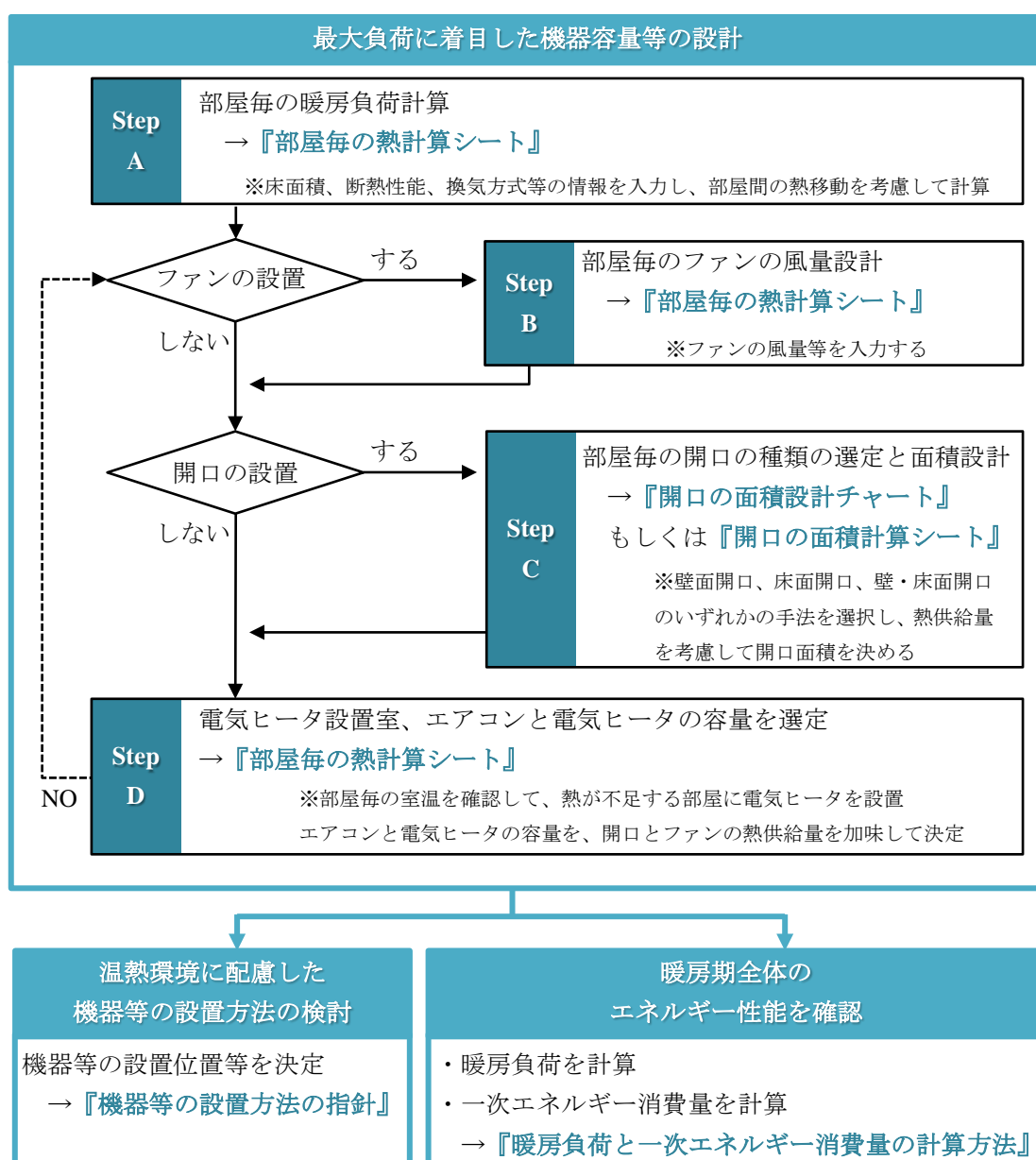


図 3-1-1 設計フロー

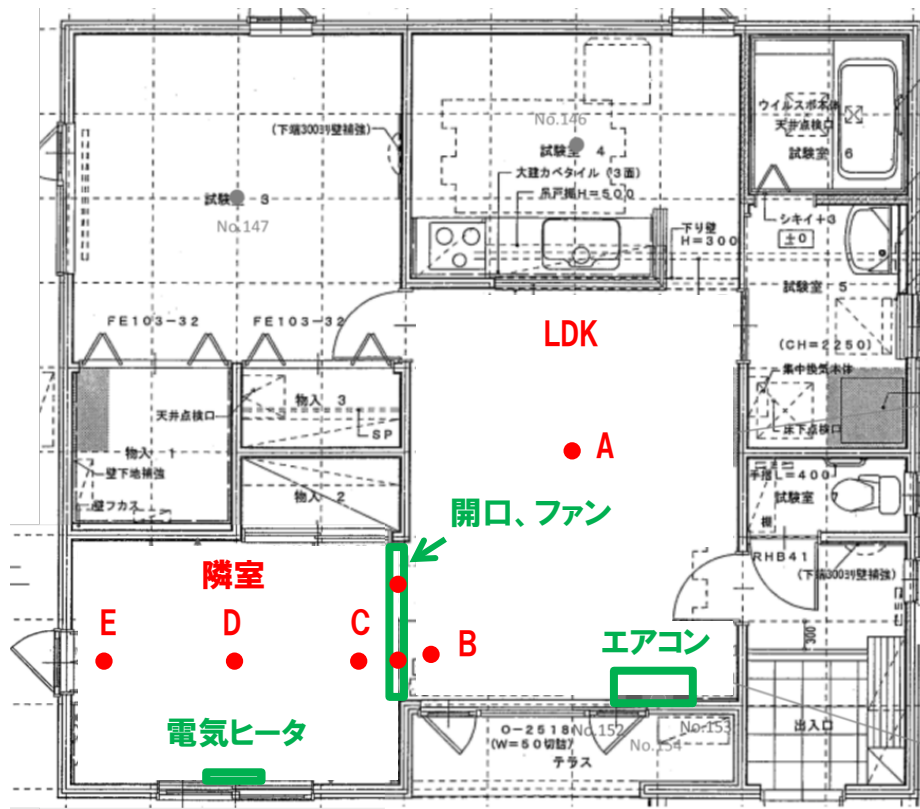
3-2. 設計手法構築に向けた基礎情報収集のための実験棟実験

(1) 目的

開口とファンを用いた空気循環について実験棟実験を行い、電気ヒータの電力消費量低減と温熱環境形成に向けた課題を抽出し、後述 3-3 以降の検討に反映する。

(2) 実験方法

実験は 2017 年 2 月～4 月に実施した。実験棟は奈井江町の北海道電機株式会社敷地内に建つ木造平屋住宅である。図 3-2-1 に本実験の平面、表 3-2-1 に開口の面積とファンの風量のカタログ値、写真 3-2-1 に内観、図 3-2-2 に温度測定用の K 熱電対の設置位置を示す。ファンの風量を風量測定器（コーナー札幌、SWF-125）により測定したところ 59.1[m³/h]であった。静圧の小さなプロペラファンであったため、風量測定器の圧力損失の影響が生じて、実際の風量よりも測定値の方が小さくなった可能性がある。温度と風速は 1 分インターバルで測定した。



● : 熱電対の設置位置

図 3-2-1 実験棟の概要（平面図）



表 3-2-1 開口とファン

開口の全開時の実面積	上	0.31[m ²]	(4つの開口の合計)
	下	0.34[m ²]	(2つの開口の合計)
ファン	最大風量	75[m ³ /h]	(メーカーのカタログ値)



(1) LDK の内観



(2) 隣室の内観



(3) 上の開口



(4) 下の開口

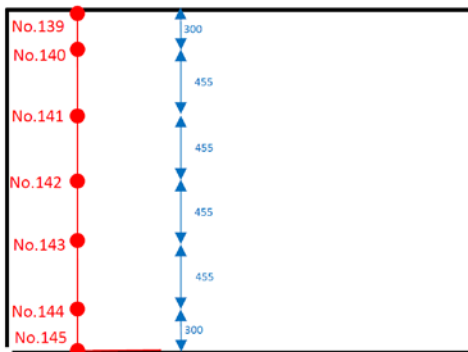


(5) 襖

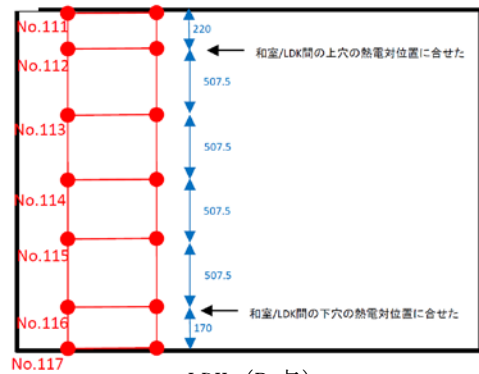


(6) ファン

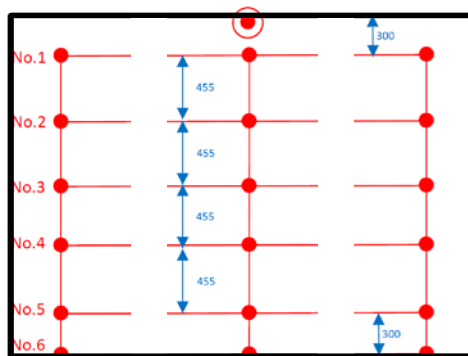
写真 3-2-1 実験棟の内観



LDK (A 点)



LDK (B 点)



隣室 (C、D、E 点)



開口

図 3-2-2 K 熱電対の設置位置 (断面図)

(3) 実験結果

1) 開口の効果

本実験では LDK のエアコンを使用し、屋内と外気の内外温度差をつけることを意図して 30℃に設定した。隣室の電気ヒータは使用していない。また、上の開口、下の開口、襖のそれぞれを開けた場合、閉じた場合の実験を行った。

図 3-2-3 に実験結果を示す。分析には、夜間のなるべく温度変化が生じていない、連続した 1~2 時間の時間帯における実測値の平均値を用いている。また、外気が -10℃、LDK の A 点中央高さが 23℃の場合の温度を示すように、実測値を式 (3-2-1) により補正した。

$$T = (23 - (-10)) \times (T_N - T_O) / (T_{LDK} - T_O) - 10 \quad (3-2-1)$$

- T : 隣室の任意の点における補正後の温度[℃]
- T_N : 隣室の任意の点における温度の実測値[℃]
- T_O : 外気温の実測値[℃]
- T_{LDK} : LDKの室温の実測値[℃]

開口や襖を開けた場合には、開口を上下とも閉じた場合よりも隣室の室温が大きく上昇し、熱供給の効果を確認できる。開口を上下とも開けた場合は、襖を開けた場合と隣室の室温が同程度となった。上と下の開口のいずれか片方のみを開けた場合でも、ある程度の熱供給の効果が合えられるが、下の開口を開けた方が隣室の床付近の温度が上昇し、上下温度むらが緩和した。

一方、LDK の室温は、開口から離れた A 点では、開口の開閉による影響はほぼ見られない。しかし、開口に近い B 点では、開口の開閉条件により床付近の温度に違いが生じた。このことから下の開口、すなわち還気用の開口については、設置位置を工夫するなど LDK の温熱環境に対する配慮が必要と考えられる。

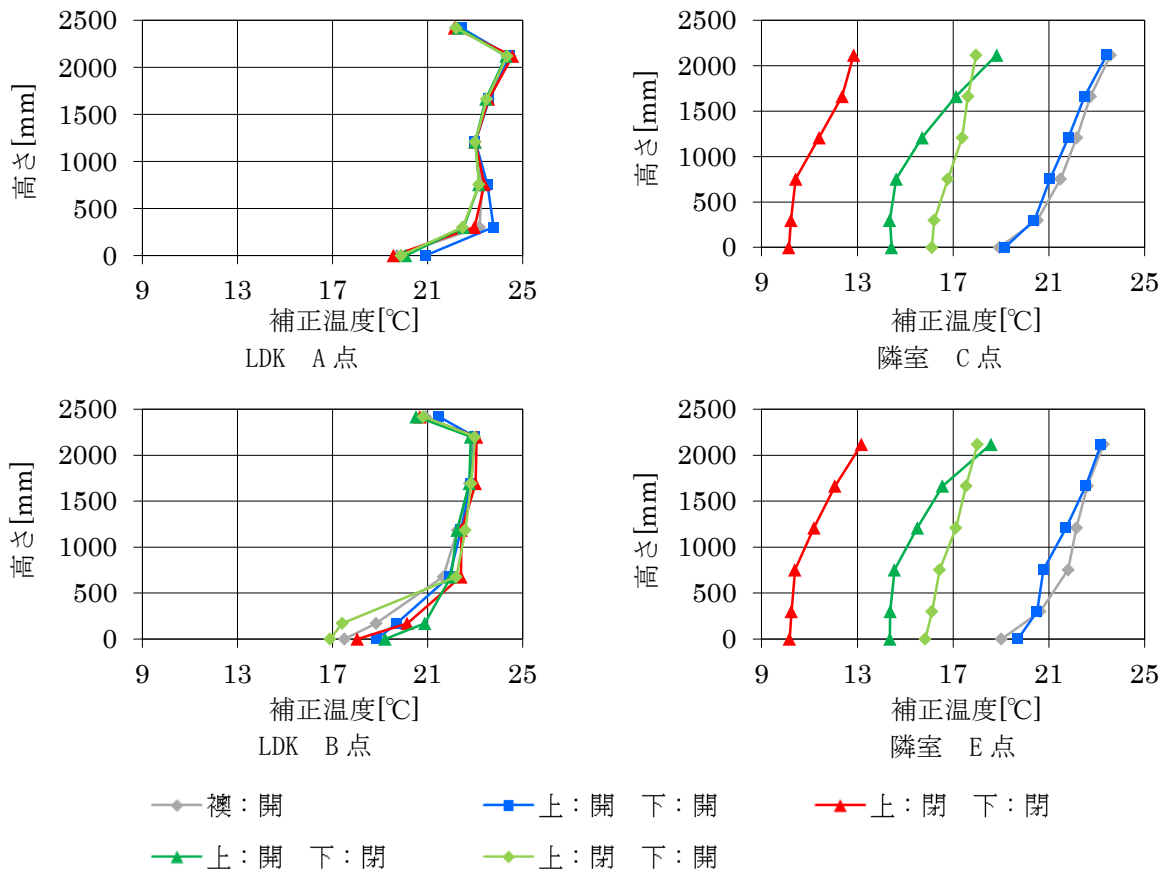


図 3-2-3 開口を設置した場合の実験結果

2) ファンの効果

本実験ではLDKのエアコンを使用し、屋内と外気の内外温度差をつけることを意図して30℃に設定した。隣室の電気ヒータは使用せず、ファンを用いた。下の開口はLDKへの還気のために設けており、全て開けた場合、実面積で2/3開けた場合、1/3開けた場合、閉じた場合の実験を行った。

図3-2-4に実験結果を示す。前述1)と同様に、分析には夜間の1~2時間の実測値を用い、補正を行った。補正方法は1)で述べたとおりである。

前掲図3-2-3に示した上下の開口を閉じた場合と比較して、ファンを使用した場合には隣室の室温が高く、熱供給の効果を確認できる。

下の開口の面積が隣室の室温に及ぼす影響は明確ではない。下の開口を閉じた場合でもファンによる熱供給の効果が得られているが、隣室からの空気の流出先については把握できておらず、屋内と屋外の双方に流出した可能性がある。一般論として考えると、LDK等の屋内に通じる還気用の開口を設けない場合には、隣室の自然換気口等から排気して熱損失が生じる可能性がある。こうした熱損失を防止するためには適切な面積の還気口用の開口を設ける必要がある。

また、測定結果から、LDKのB点の床付近の温度は、下の開口の面積が大きいほど低下した。還気用の開口の設置に際しては、LDKの温熱環境への配慮が必要である。ただし、ファンを用いる場合には壁面上部に設置できる可能性もある。

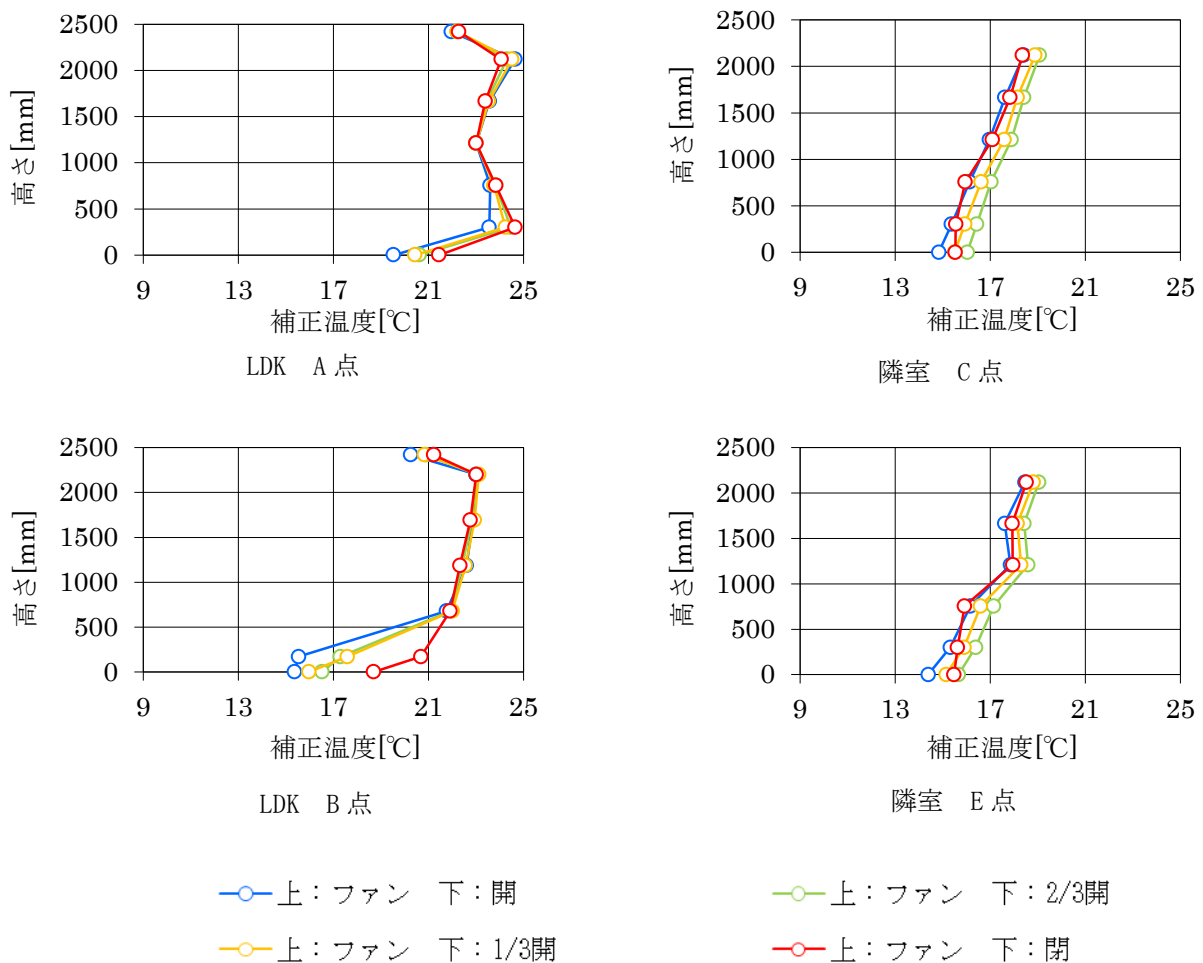


図3-2-4 ファンを設置した場合の実験結果

3) 電気ヒータの設定温度が開口の効果に及ぼす影響

本実験では LDK のエアコンを使用し、屋内と外気の内外温度差をつけることを意図して 30℃に設定した。隣室の電気ヒータは使用しない場合と、使用する場合の 2 パターンとし、使用時の設定温度は 30℃とした。また、上下の開口を全て開けた。

図 3-2-5 に電気ヒータを使用しない場合、図 3-2-6 に電気ヒータを使用した場合の実測結果を示す。

電気ヒータを使用しない場合には、隣室の室温は LDK より 2~3℃低く推移した。

一方、電気ヒータを使用し、LDK と隣室の設定温度を同値とした場合には、上下の開口の風速が電気ヒータを使用しない場合よりも小さくなった。両室間の温度差が無くなったことで、対流が起きにくくなり、熱供給が減少したと考えられる。このことから、エアコンを設置した LDK から電気ヒータ設置室に対し、開口を用いて熱供給する際には、電気ヒータの設定温度を LDK よりも低くする必要があることが確認された。

また、電気ヒータを用いた場合には、隣室の室温が 2℃程度の幅で上下した。隣室の室温が LDK よりも高い時に開口内の風速が増したことから、隣室の熱が LDK に流出したと考えられる。

仮に隣室の設定温度を LDK よりも低くした場合でも、隣室の室温の上下変動の幅が大きいと、LDK よりも高い室温となる時が生じる可能性がある。室温の上下変動の幅は、電気ヒータの内蔵プログラムの変更により狭くできるが、そうすると on-off の回数が増加して機器の耐久性が低下する可能性がある。

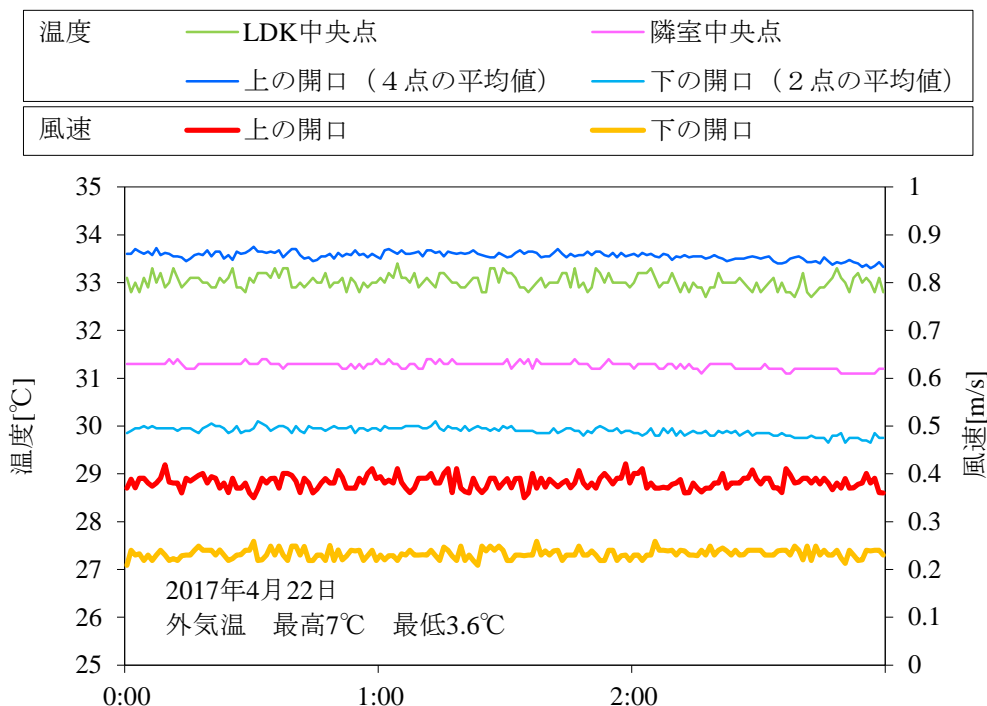


図 3-2-5 電気ヒータを使用しない場合の測定結果

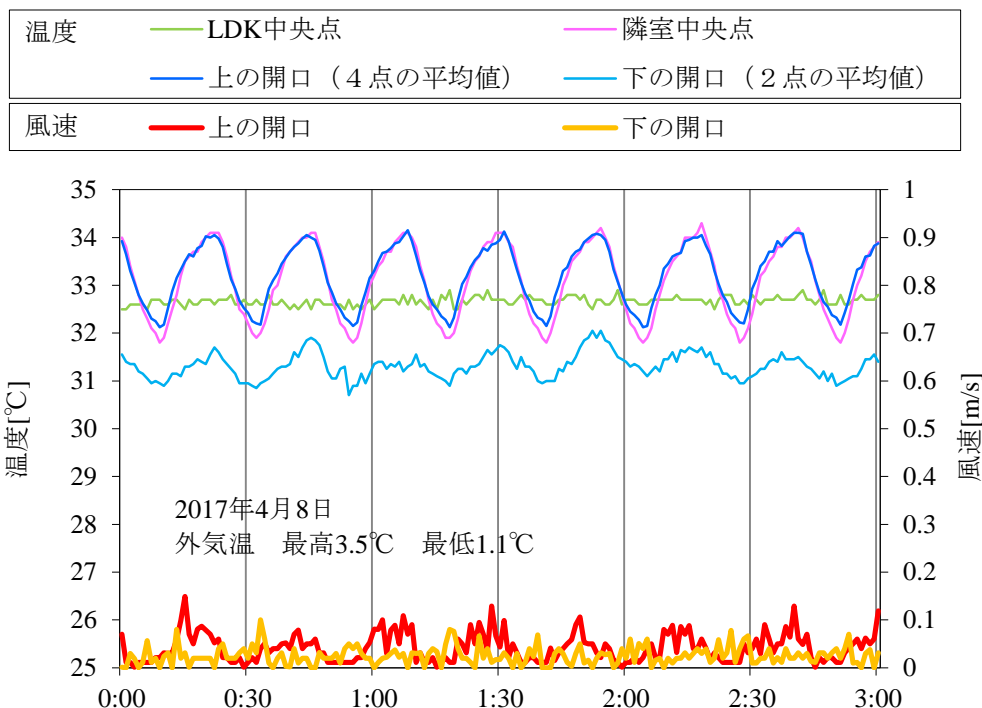


図 3-2-6 電気ヒータを使用した場合の測定結果

(4) まとめ

屋外実験棟における実験を実施し、次の知見を得た。

- 開口によりエアコン設置室から隣室に対して熱供給できることを確認した。
- 開口を設けた場合において、還気用の開口近傍において、LDK（エアコン設置室）の床付近の室温が低下した。開口の設置位置を工夫するなど、LDKの温熱環境への配慮が必要である。
- ファンによりエアコン設置室から隣室に対して熱供給できることを確認した。
- ファンを設けた場合において、還気用の開口が無くても熱供給がなされた。このことから、隣室の自然換気口等から排気して熱損失が生じる可能性があり、こうした熱損失を防止するためには適切な面積の還気用の開口を設ける必要があることが示唆された。
- ファンを設けた場合、還気用の開口近傍において、LDK（エアコン設置室）の床付近の室温が低下した。開口の設置位置を工夫するなど、LDKの温熱環境への配慮が必要である。ただし、還気口は壁面上部に設置できる可能性がある。
- 電気ヒータを使用した場合において、電気ヒータの on-off 制御により、室温が一定の幅の範囲内で上下変動した。仮に電気ヒータの設定温度を LDK（エアコン設置室）の室温より低くした場合でも、上下変動の幅の設定次第では、LDK よりも電気ヒータ設置室の方が高い室温となる時が生じて、熱が LDK に流出すると推測される。

3-3. 『部屋別の熱計算シート』の作成

(1) 目的

3-1. の設計フローに示したとおり、Step-A では部屋毎の暖房負荷を計算する。また、Step-B では部屋毎の暖房負荷を踏まえたファンの風量を計算により設計し、Step-D ではファンと開口による熱供給を考慮したエアコンと電気ヒータの機器容量を計算する。

これらの計算では、外皮における貫流と換気による屋内外間の熱移動、室間の貫流による熱移動、内部発熱等を考慮する必要がある、こうした計算を簡便に行うための計算シートを作成する。

(2) 計算シートの概要

既往の理論式に基づく計算式 (3-3-1) ~ (3-3-5) を以下に示す。

$$qE = \Sigma SE \cdot UE \cdot a \quad (3-3-1)$$

$$qV = SF \cdot H \cdot b \cdot (1-E) \cdot C \quad (3-3-2)$$

$$QP = \Sigma SP \cdot UP \cdot \Delta T2 \quad (3-3-3)$$

$$Ti = To + (QP + QI) / (qE + qV) \quad (3-3-4)$$

$$HL = \Delta T1 \cdot (qE + qV) - QP - QI \quad (3-3-5)$$

- a : 温度差係数[-]
- b : 換気回数[回/h]
- C : 空気の比熱[Wh/m³・K] (=0.35)
- E : 熱交換効率[%] (第3種換気の場合は「0」)
- H : 部屋の天井高さ[m]
- HL : 暖房負荷[W]
- qE : 外皮における貫流熱損失[W/K]
- qV : 換気による熱損失[W/K]
- QP : 間仕切り壁、1階と2階の間の床における貫流熱量[W]
- QI : 内部発熱 (人体、機器発熱) [W]
- SE : 外皮の面積[m²]
- SF : 部屋の床面積[m²]
- SP : 間仕切り壁、1階と2階の間の床の面積[m²]
- To : 外気温[°C]
- Ti : エアコンが無い部屋の室温[°C]
- ΔT1 : エアコンが無い部屋と外気の温度差[°C]
- ΔT2 : エアコンが無い部屋と隣室の温度差[°C]
- UE : 外皮の熱貫流率[W/m²・K]
- UP : 間仕切り壁、1階と2階の間の床の熱貫流率[W/m²・K]

図 3-3-1~図 3-3-4 に部屋別の熱計算シートの入出力画面を示す。上記の計算を行うため、部屋別の熱計算シートには設計外気温、および、部屋毎の床面積、外皮や間仕切りの面積、換気の種類と換気回数を入力する。

(3) まとめ

- ・設計の Step-A、B、D における暖房機器容量等の計算のため、設計外気温を用いた室温と暖房負荷の瞬時値計算を行う『部屋毎の熱計算シート』を、既往の理論式をベースに作成した。

	AB	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	NO	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AE																																																																									
1	Step-A 部屋毎の暖房負荷の計算																																																																																																		
2	(1) 部屋の種類																																																																																																		
3	住宅の全ての居室と非居室を、次の3種類に分類します。																																																																																																		
4	・ エアコン設置室： 基本的にはLDKですが、他にも設けることが可能																																																																																																		
5	・ その他の暖房室： エアコンは設置せず、開口、ファン、電気ヒータにより暖める部屋																																																																																																		
6	・ 非暖房室： エアコン、電気ヒータ、開口、ファンを設置しない部屋																																																																																																		
7	下の表に記入します。																																																																																																		
8	・ 部屋の名前																																																																																																		
9	・ 内部発熱(計算を想定する日時における、その部屋の滞在人数、照明等の機器発熱)																																																																																																		
10	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">エアコン設置室</th> </tr> <tr> <th>番号</th> <th>部屋名</th> <th colspan="2">内部発熱</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>人数[人]</th> <th>機器[W]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>LDK</td> <td>1</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ホール</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>																											エアコン設置室				番号	部屋名	内部発熱				人数[人]	機器[W]	1	LDK	1	30	2	ホール	0	10																																																				
エアコン設置室																																																																																																			
番号	部屋名	内部発熱																																																																																																	
		人数[人]	機器[W]																																																																																																
1	LDK	1	30																																																																																																
2	ホール	0	10																																																																																																
11	この計算表の使い方																																																																																																		
12	入力してください																																																																																																		
13	計算結果が表示されます																																																																																																		
14	入力できません																																																																																																		
15	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">エアコン設置室</th> </tr> <tr> <th>番号</th> <th>部屋名</th> <th>人数[人]</th> <th>機器[W]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>LDK</td> <td>1</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ホール</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>																											エアコン設置室				番号	部屋名	人数[人]	機器[W]	1	LDK	1	30	2	ホール	0	10																																																								
エアコン設置室																																																																																																			
番号	部屋名	人数[人]	機器[W]																																																																																																
1	LDK	1	30																																																																																																
2	ホール	0	10																																																																																																
16																																																																																																			
17	(2) 設計外気温																																																																																																		
18	右の表に設計外気温を記入します。																																																																																																		
19	ワークシート【②部屋の大きさ、換気、外皮】に記入します。																																																																																																		
20	ワークシート【③外皮以外の壁・床】に記入します。																																																																																																		
21	下の表に、その他の暖房室の室温が表示されます。																																																																																																		
22	その他の暖房室に → →開口を設置する場合はStep-Bにのみ入力します。																																																																																																		
23	→ファンを設置する場合はStep-Cにのみ入力します。																																																																																																		
24	→開口もファンも設置しない場合はStep-Dにのみ入力します。																																																																																																		
25																																																																																																			
26	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">エアコン設置室</th> </tr> <tr> <th>番号</th> <th>部屋名</th> <th>設定室温 [°C]</th> <th>開口・ファンが無い場合の暖房負荷</th> <th>外皮・換気熱損失[W/K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>LDK</td> <td>23</td> <td>1602</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ホール</td> <td>23</td> <td>1011</td> <td>31</td> </tr> </tbody> </table>																											エアコン設置室					番号	部屋名	設定室温 [°C]	開口・ファンが無い場合の暖房負荷	外皮・換気熱損失[W/K]	1	LDK	23	1602	48	2	ホール	23	1011	31																																																				
エアコン設置室																																																																																																			
番号	部屋名	設定室温 [°C]	開口・ファンが無い場合の暖房負荷	外皮・換気熱損失[W/K]																																																																																															
1	LDK	23	1602	48																																																																																															
2	ホール	23	1011	31																																																																																															
27																																																																																																			
28	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">その他の暖房室</th> </tr> <tr> <th>番号</th> <th>部屋名</th> <th>設定室温 [°C]</th> <th>暖房負荷 [W]</th> <th>電気ヒータ、開口、ファンが無い場合の室温 [°C]</th> <th>外皮・換気熱損失[W/K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>寝室</td> <td>20</td> <td>330</td> <td>3</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>子供室</td> <td>20</td> <td>408</td> <td>2</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td>20</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>																											その他の暖房室						番号	部屋名	設定室温 [°C]	暖房負荷 [W]	電気ヒータ、開口、ファンが無い場合の室温 [°C]	外皮・換気熱損失[W/K]	1	寝室	20	330	3	29	2	子供室	20	408	2	29	3		20	0		0	4		20	0		0	5		20	0		0	6		20	0		0	7		20	0		0	8		20	0		0	9		20	0		0	10		20	0		0
その他の暖房室																																																																																																			
番号	部屋名	設定室温 [°C]	暖房負荷 [W]	電気ヒータ、開口、ファンが無い場合の室温 [°C]	外皮・換気熱損失[W/K]																																																																																														
1	寝室	20	330	3	29																																																																																														
2	子供室	20	408	2	29																																																																																														
3		20	0		0																																																																																														
4		20	0		0																																																																																														
5		20	0		0																																																																																														
6		20	0		0																																																																																														
7		20	0		0																																																																																														
8		20	0		0																																																																																														
9		20	0		0																																																																																														
10		20	0		0																																																																																														
29																																																																																																			
30																																																																																																			
31																																																																																																			
32	非暖房室																																																																																																		
33	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">内部発熱</th> </tr> <tr> <th>番号</th> <th>部屋名</th> <th>人数[人]</th> <th>機器[W]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>玄関</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>洗面室</td> <td>1</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2階のトイレ</td> <td>0</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>																											内部発熱				番号	部屋名	人数[人]	機器[W]	1	玄関	0	10	2	洗面室	1	20	3	2階のトイレ	0	10	4			0	5			0	6			0	7			0	8			0	9			0	10			0																								
内部発熱																																																																																																			
番号	部屋名	人数[人]	機器[W]																																																																																																
1	玄関	0	10																																																																																																
2	洗面室	1	20																																																																																																
3	2階のトイレ	0	10																																																																																																
4			0																																																																																																
5			0																																																																																																
6			0																																																																																																
7			0																																																																																																
8			0																																																																																																
9			0																																																																																																
10			0																																																																																																
34	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">非暖房室 (エアコン設置室とその他の暖房室が設定室温の場合)</th> </tr> <tr> <th>部屋名</th> <th>室温</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 玄関</td> <td>15.6</td> </tr> <tr> <td>2 洗面室</td> <td>17.7</td> </tr> <tr> <td>3 2階のトイレ</td> <td>17.2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																											非暖房室 (エアコン設置室とその他の暖房室が設定室温の場合)		部屋名	室温	1 玄関	15.6	2 洗面室	17.7	3 2階のトイレ	17.2	4		5		6		7		8		9		10																																																	
非暖房室 (エアコン設置室とその他の暖房室が設定室温の場合)																																																																																																			
部屋名	室温																																																																																																		
1 玄関	15.6																																																																																																		
2 洗面室	17.7																																																																																																		
3 2階のトイレ	17.2																																																																																																		
4																																																																																																			
5																																																																																																			
6																																																																																																			
7																																																																																																			
8																																																																																																			
9																																																																																																			
10																																																																																																			
35																																																																																																			
36																																																																																																			
37																																																																																																			
38																																																																																																			
39																																																																																																			
40																																																																																																			
41																																																																																																			
42																																																																																																			
43																																																																																																			
44																																																																																																			
45																																																																																																			

図 3-3-1 部屋別の熱計算シートの入出力画面 ワークシート①の左半分

	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BE																																																																											
1	Step-B 部屋毎のファンの風量設計																																																																																																		
2	熱の供給元となるエアコン設置室の部屋名を選択します。																																																																																																		
3	ファンの風量を、下の表に記入します。																																																																																																		
4	下の表に、ファンを設置した場合の室温が表示されます。																																																																																																		
5																																																																																																			
6	Step-C 部屋毎の開口の面積設計																																																																																																		
7	熱の供給元となるエアコン設置室の部屋名を選択します。																																																																																																		
8	『開口の面積設計シート』もしくは『開口の面積計算シート』を用いて熱供給量を求め、下の表に記入します。																																																																																																		
9	下の表に、開口を設置した場合の室温が表示されます。																																																																																																		
10																																																																																																			
11	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">その他の暖房室</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">部屋名</th> <th colspan="2">熱の供給元のエアコン設置室</th> <th colspan="2">開口</th> <th colspan="2">ファン</th> </tr> <tr> <th>部屋名</th> <th>室温 [°C]</th> <th>熱供給量 [W]</th> <th>風量 [m³/h]</th> <th>熱供給量 [W]</th> <th>開口もしくはファンを設置した場合の室温 [°C]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寝室</td> <td>LDK</td> <td>23</td> <td>300</td> <td></td> <td>0</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>子供室</td> <td>LDK</td> <td>23</td> <td></td> <td>100</td> <td>105</td> <td>105</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>																							その他の暖房室							部屋名	熱の供給元のエアコン設置室		開口		ファン		部屋名	室温 [°C]	熱供給量 [W]	風量 [m³/h]	熱供給量 [W]	開口もしくはファンを設置した場合の室温 [°C]	寝室	LDK	23	300		0	300	子供室	LDK	23		100	105	105						0	0						0	0						0	0						0	0						0	0						0	0
その他の暖房室																																																																																																			
部屋名	熱の供給元のエアコン設置室		開口		ファン																																																																																														
	部屋名	室温 [°C]	熱供給量 [W]	風量 [m³/h]	熱供給量 [W]	開口もしくはファンを設置した場合の室温 [°C]																																																																																													
寝室	LDK	23	300		0	300																																																																																													
子供室	LDK	23		100	105	105																																																																																													
					0	0																																																																																													
					0	0																																																																																													
					0	0																																																																																													
					0	0																																																																																													
					0	0																																																																																													
					0	0																																																																																													
12	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">開口とファンによる他室への熱供給を考慮したエアコンの容量</th> </tr> <tr> <th>部屋名</th> <th>エアコンの容量 [W]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LDK</td> <td>2007</td> </tr> <tr> <td>ホール</td> <td>1011</td> </tr> </tbody> </table>																							開口とファンによる他室への熱供給を考慮したエアコンの容量		部屋名	エアコンの容量 [W]	LDK	2007	ホール	1011																																																																				
開口とファンによる他室への熱供給を考慮したエアコンの容量																																																																																																			
部屋名	エアコンの容量 [W]																																																																																																		
LDK	2007																																																																																																		
ホール	1011																																																																																																		
13	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">電気ヒータの容量</th> </tr> <tr> <th>部屋名</th> <th>電気ヒータの容量 [W]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>寝室</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>子供室</td> <td>413</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>																							電気ヒータの容量		部屋名	電気ヒータの容量 [W]	寝室	180	子供室	413																																																																				
電気ヒータの容量																																																																																																			
部屋名	電気ヒータの容量 [W]																																																																																																		
寝室	180																																																																																																		
子供室	413																																																																																																		
14																																																																																																			
15																																																																																																			
16																																																																																																			
17																																																																																																			
18																																																																																																			
19																																																																																																			
20																																																																																																			
21																																																																																																			
22																																																																																																			
23																																																																																																			
24																																																																																																			
25																																																																																																			
26																																																																																																			
27																																																																																																			
28																																																																																																			
29																																																																																																			
30																																																																																																			
31																																																																																																			
32																																																																																																			
33																																																																																																			
34																																																																																																			
35																																																																																																			
36																																																																																																			
37																																																																																																			
38																																																																																																			
39																																																																																																			
40																																																																																																			
41																																																																																																			
42																																																																																																			
43																																																																																																			
44																																																																																																			
45																																																																																																			

図 3-3-2 部屋別の熱計算シートの入出力画面 ワークシート①の右半分

B		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
②部屋の大きさ、換気、外皮																		
エアコン設置室の外皮			1		2		※換気回数:換気を行っていない部屋は、何も記入しません。 ※熱交換効率:熱交換を行っていない部屋は、何も記入しません。											
番号		LDK		ホール														
部屋名																		
部屋の大きさ	床面積[m ²]	30		20														
	天井高さ[m]	2.5		2.5														
換気	換気回数[回/h]	0.5		0.5														
	熱交換効率[%]	83		83														
外皮	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)														
	天井・屋根	0	0.2	20	0.2													
	外壁	50	0.4	40	0.4													
	窓	10	1.9	5	1.9													
	ドア	0	0	0	0													
	床・基礎(床下)	30	0.3		0.3													
	床・基礎(外気)																	
その他の暖房室の外皮			1		2		3		4		5							
番号		寝室		子供室		0		0		0								
部屋名																		
部屋の大きさ	床面積[m ²]	20		20														
	天井高さ[m]	2.5		2.5														
換気	換気回数[回/h]	0.5		0.5														
	熱交換効率[%]	83		83														
外皮	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)	面積[m ²] (基礎は長さ[m])	熱貫流率 [W/m ² ·K] (基礎は線熱貫流率)				
	天井・屋根	20	0.2	20	0.2													
	外壁	35	0.4	35	0.4													
	窓	5	1.9	5	1.9													
	ドア																	
	床・基礎(床下)																	
	床・基礎(外気)																	
非暖房室の外皮			1		2		3		4		5							
番号		玄関		洗面室		2階のトイレ		0		0								
部屋名																		
部屋の大きさ	床面積[m ²]	10		10		2												
	天井高さ[m]	2.5		2.5		2.5												
換気	換気回数[回/h]																	
	熱交換効率[%]																	
		面積[m ²]	熱貫流率	面積[m ²]	熱貫流率	面積[m ²]	熱貫流率	面積[m ²]	熱貫流率	面積[m ²]	熱貫流率							

図 3-3-3 部屋別の熱計算シートの入出力画面 ワークシート②の抜粋

E43																			
B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
㊦外皮以外の壁・床																			
部屋と部屋間の壁や床の面積を全て記入します。																			
エアコン設置室とその他の暖房室の間の壁・床[m2]					エアコン設置室と非暖房室の間の壁・床[m2]					その他の暖房室と非暖房室の間の壁・床[m2]									
					エアコン設置室														
					1 2					1 2									
					LDK ホール					LDK ホール									
その他の暖房室	1	寝室	天井・床 間仕切り壁	17	10														
	2	子供室	天井・床 間仕切り壁	15	10														
	3		天井・床 間仕切り壁																
	4		天井・床 間仕切り壁																
	5		天井・床 間仕切り壁																
	6		天井・床 間仕切り壁																
	7		天井・床 間仕切り壁																
	8		天井・床 間仕切り壁																
	9		天井・床 間仕切り壁																
	10		天井・床 間仕切り壁																
非暖房室	1	玄関	天井・床 間仕切り壁	10															
	2	洗面室	天井・床 間仕切り壁	10															
	3	2階のトイレ	天井・床 間仕切り壁			6													
	4		天井・床 間仕切り壁																
	5		天井・床 間仕切り壁																
	6		天井・床 間仕切り壁																
	7		天井・床 間仕切り壁																
	8		天井・床 間仕切り壁																
	9		天井・床 間仕切り壁																
	10		天井・床 間仕切り壁																
非暖房室	1	玄関	天井・床 間仕切り壁															5	
	2	洗面室	天井・床 間仕切り壁														3		
	3	2階のトイレ	天井・床 間仕切り壁																
	4		天井・床 間仕切り壁																
	5		天井・床 間仕切り壁																
	6		天井・床 間仕切り壁																
	7		天井・床 間仕切り壁																
	8		天井・床 間仕切り壁																
	9		天井・床 間仕切り壁																
	10		天井・床 間仕切り壁																

図 3-3-4 部屋別の熱計算シートの入出力画面 ワークシート③の抜粋

3-4. 壁面開口、壁・床面開口による隣室からの熱供給量の推定方法に関する検討

(1) 目的

本節では、間仕切り壁等に高さの異なる2か所の開口を設けて、エアコン設置室から隣室に熱供給する手法を検討対象とする。図3-4-1に開口の設置方法のイメージを示す。壁面開口は間仕切り壁の上部と下部のなるべく高低差がつく位置に、計2か所の開口を設ける。壁・床面開口は間仕切り壁のなるべく上部と床面に、計2か所の開口を設ける。以降では熱供給量を簡易に推定して開口の面積を設計するための『開口の面積計算シート』および『開口の面積設計チャート』の作成概要を報告する。

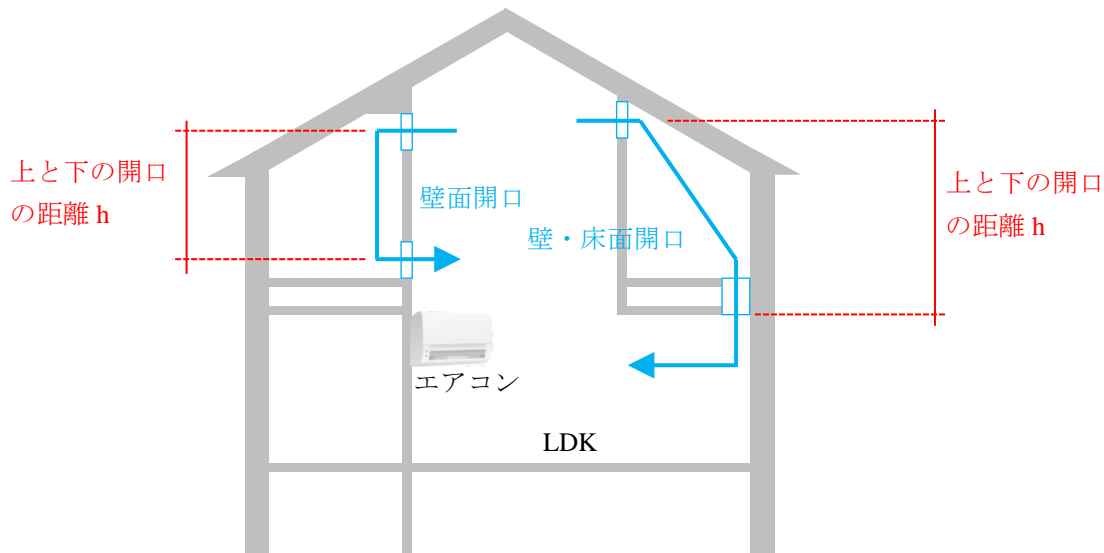


図3-4-1 開口の設置方法のイメージ

(2) 『開口の面積計算シート』の作成

1) 計算方法

表3-4-1に計算式を示す。計算は既往の理論式を基にしている。エアコン設置室と熱供給先の部屋との間に、機械換気の影響による空気移動が生じるケース、およびStep-Bのファンによる熱供給の手法を併用するケースが想定されることから、こうした空気移動量も計算に算入できるようにしている。

図3-4-2にこの式による計算を行う『開口の面積計算シート』の画面を示す。

表3-4-1 計算式

		電気ヒータ 設置室	エアコン 設置室	式・備考
室温	°C	T1	T2	T1=20、T2=23
空気の密度	kg/m ³	γ_1	γ_2	$\gamma=353.25 / (273.15+T)$
上下の開口の距離	m	h		正確には中性帯との距離を用いるべきだが簡略化
開口の位置の圧力	kgf/m ²	P1	P2	$P=-1 \times \gamma \times h / 2$
実開口面積	m ²	A		上もしくは下の開口の大きさ
流量計数		α		下図は $\alpha=0.6$ で計算
有効開口面積	m ²	αA		$\alpha A = \alpha \times A$
開口における流量	m ³ /h	V		$V=4 \times \alpha A \times \sqrt{P_2 - P_1} \times 60 \times 60$
空気の比熱	Wh / m ³ ·K	c		0.35
熱量	W	Q		$Q = (T_2 - T_1) \times V \times c \times (V / (V + B))$
機械換気、ファンの風量	m ³ /h	B		エアコン設置室に流出する場合はプラスの値

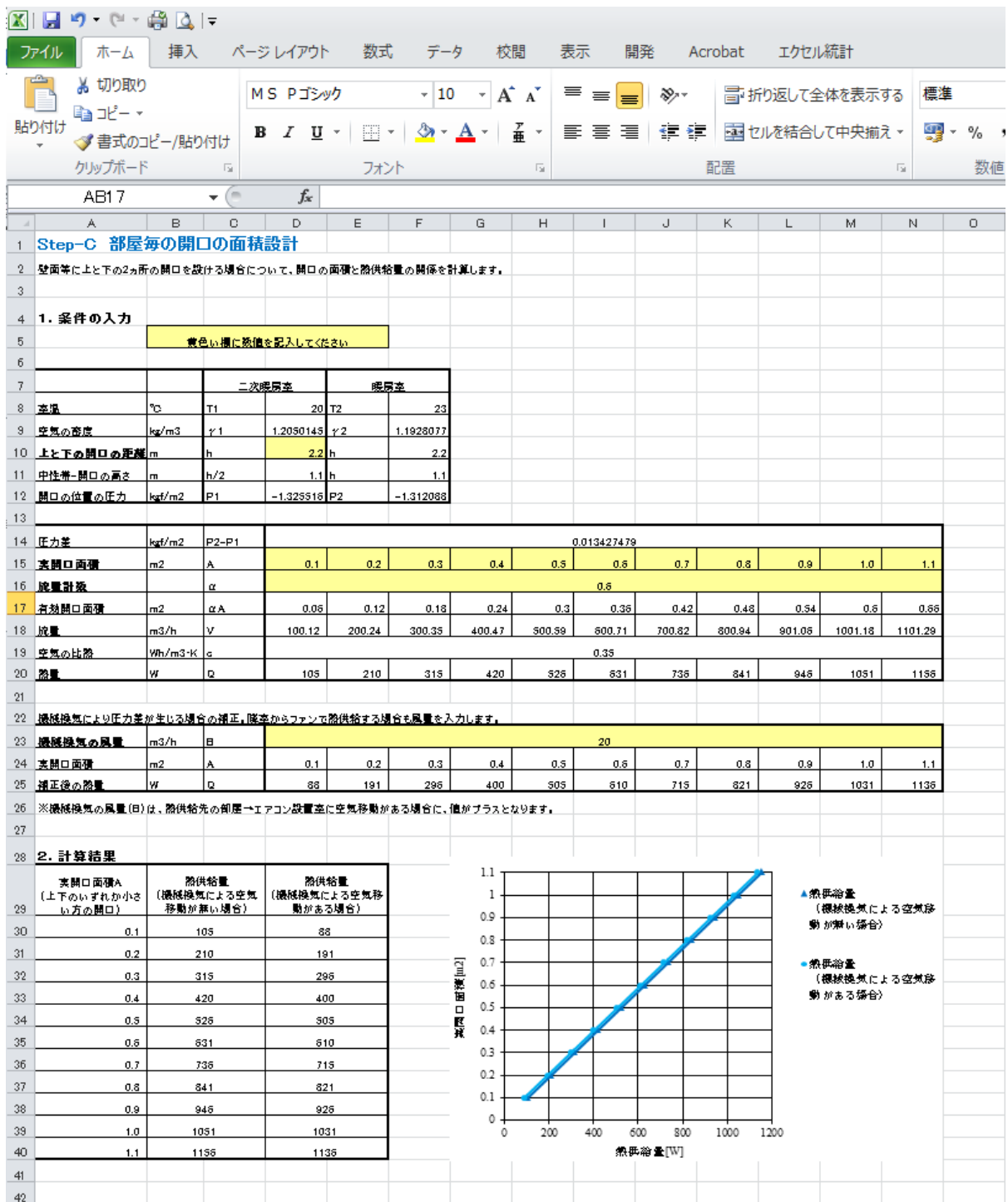


図 3-4-2 開口の面積計算シートの入力・出力画面

(3) 『開口の面積設計チャート』の作成

図 3-4-3 に『開口の面積設計チャート』の例を示す。これは前述の『開口の面積計算シート』を用いた計算を行い作成したもので、機械換気による室間の空気移動が無い場合の例である。この他にエアコン設置室と熱供給先の部屋との間に 20[m³/h]の空気移動がある場合の『開口の面積設計チャート』も作成しており、6-2. コンパクト電気暖房システムの設計手法に示す。

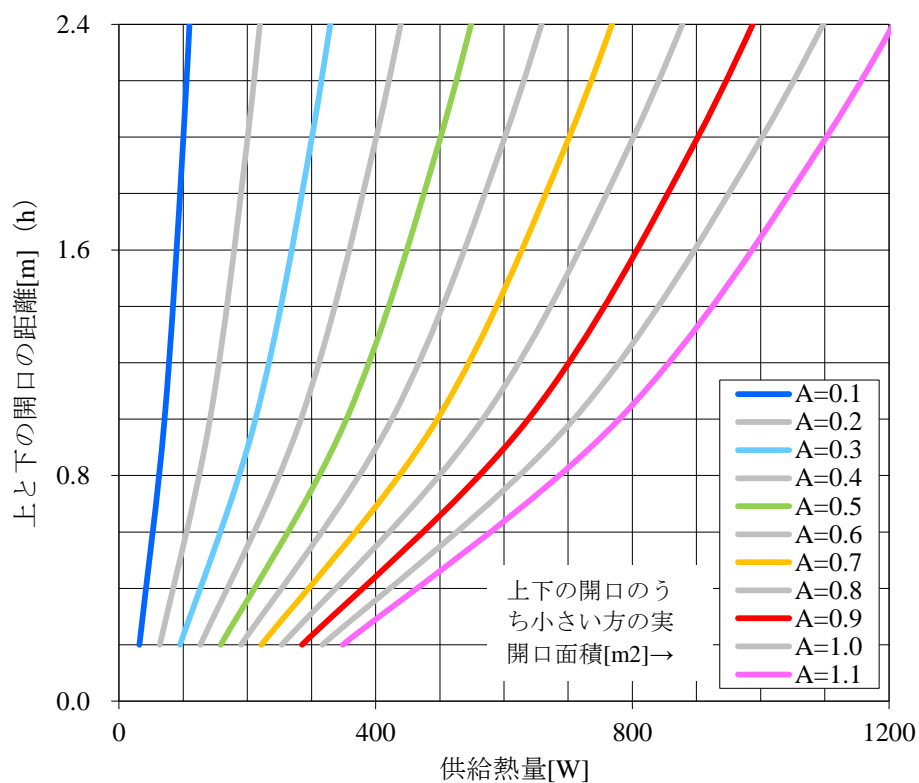


図 3-4-3 開口の面積計算チャート
 流量計数 $\alpha = 0.6$ 、機械換気による空気移動無し ($B=0$) の場合

(4) まとめ

- 壁面開口、壁・床面開口について、なるべく簡便にエアコン設置室からの供給熱量を推測して開口の面積を設計するための『開口の面積計算シート』と『開口の面積設計チャート』を、既往の理論式を基にして作成した。

3-5. 床面開口による下階からの熱供給量の推定方法に関する検討

(1) 目的

本節では、2階の床面に開口を設けて1階から2階に熱供給する手法を検討対象とする。2階床面の開口面積を設計する際に熱供給量を推定する必要があるため、開口面積と熱供給量の関係を実験室実験により明らかとする。

(2) 実験棟の総熱損失係数

1) 実験方法

実験は北海道立総合研究機構建築研究本部の外部環境シミュレータ室内に、図 3-5-1 に示す実験棟を設置して実施した。実験棟には2階および階間を想定した空間がある。

本項では、2階の外壁・天井部分の熱損失量を把握する実験の結果を報告する。これは、後述(3)(4)の実験において熱供給量を推定するために必要となる。

実験では階間に面発熱ヒータを敷設し、2階に電気ヒータと攪拌ファンを設置した。両空間ともに20℃を設定温度として、各空間中央点の温度でon-off制御を行った。外気温(実験室内の空気温)は2℃設定とした。また、実験棟内外の温度、2階の電気ヒータと測定関連機器の電力を10分インターバルで記録した。以降の分析では、温度が安定に達した後における、連続5時間分の測定値の算術平均値を用いる。

2) 実験結果

表 3-5-1 に実験結果を示す。2階と階間の温度が等しくなるように制御できなかったため誤差はあるが、2階の熱損失量の推定値は14.5[W/K]となった。この値を(3)(4)の実験の分析に用いる。

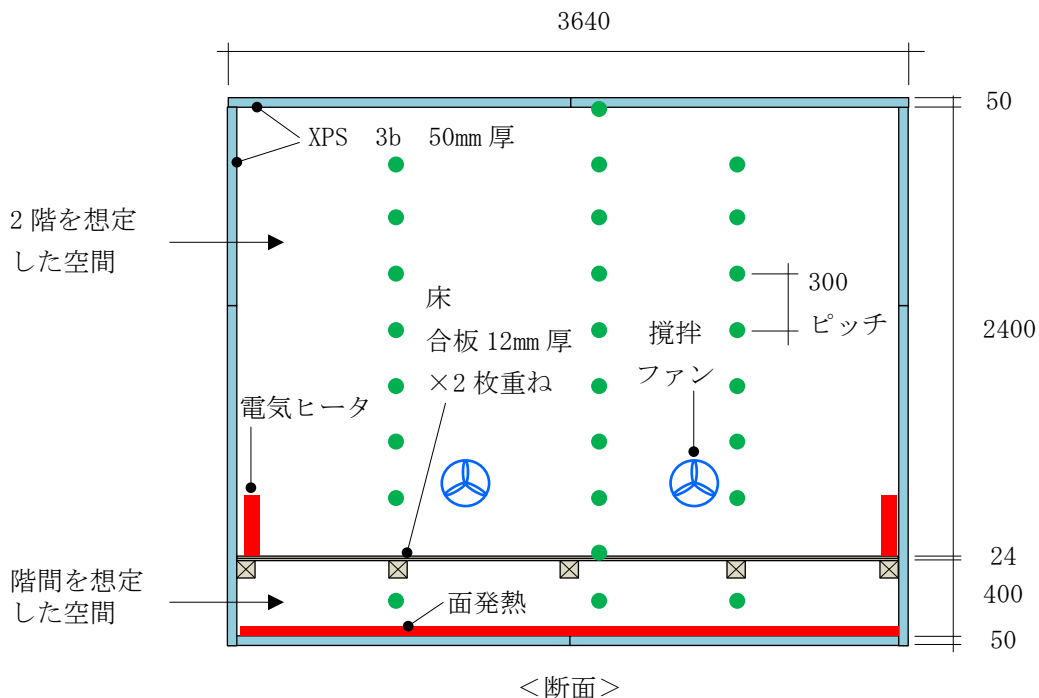


図 3-5-1① 実験棟の概要 (●: 温度測定点)

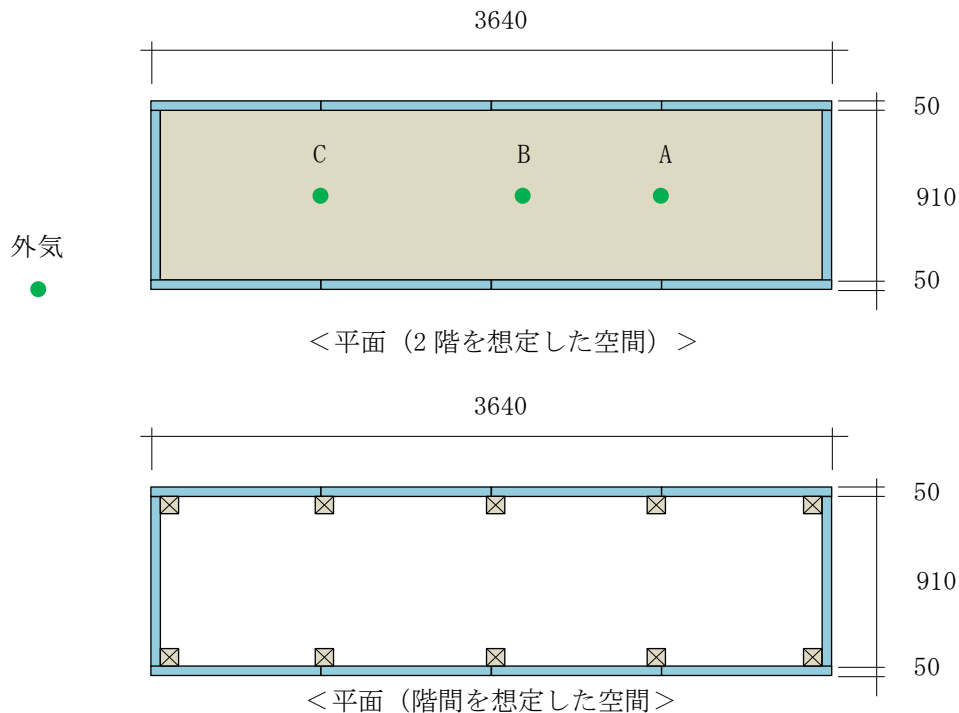


図 3-5-1② 実験棟の概要 (●: 温度測定点)

表 3-5-1 実験結果

外気[°C] : Tout	1.5
階間の全測定点の平均値[°C]	20.8
2階の室温の全測定点の平均値[°C] : Tin	19.4
2階の電気ヒータ・測定器の電気力消費[W] : H	259.7
熱損失量[W/K] : Q=H/(Tin-Tout)	14.5

(3) 床面に開口がある場合の熱供給量

1) 実験方法

本項では、2階の床面に開口がある場合について、階間から2階への熱供給量を把握する実験の結果を報告する。

実験では前述(2)と同一の実験棟を使用した。図3-5-2に概要を示す。2階では床面に開口を設け、室温はなりゆきとした。実験条件を表3-5-2に示す。その他の実験方法は(2)と同じである。また、本実験では式(3-5-1)～(3-5-2)により階間から2階への熱供給量を推定した。

$$W_{\text{total}} = (T_2 - T_{\text{out}}) Q \quad (3-5-1)$$

$$W_{\text{open}} = W_{\text{total}} - W_{\text{floor}} \quad (3-5-2)$$

W_{total} : 階間から2階への熱供給量の合算値[W]

W_{floor} : 床合板を介した貫流による熱供給量[W]

W_{open} : 開口を介した空気移動による熱供給量[W]

T₂ : 2階の平均室温[°C] (A、B、Cの測定結果を用いて算出した加重平均値)

T_{out} : 外気温[°C]

Q : 2階の熱損失量=14.5[W/K]

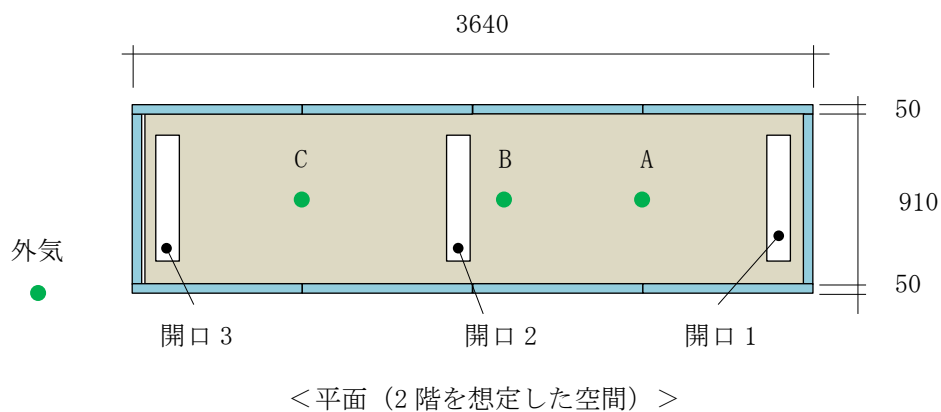
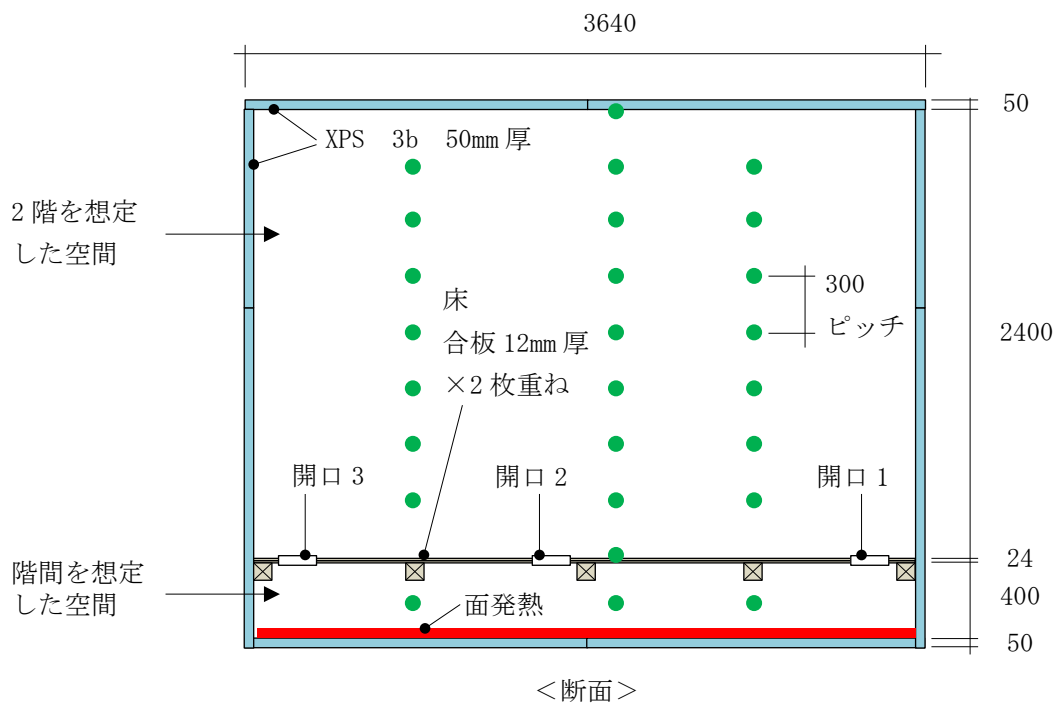


図 3-5-2 実験棟の概要 (●: 温度測定点)

表 3-5-2 実験条件

設置位置	2階の床面の開口		階間の設定温度[°C]
	仕様	全開口の合計の有効開口面積[cm ²]	
なし	—	0	5、20、30
1、3	ガラリ	700 (350×2ヶ所)	5、10、20、30、40
1、2、3	ガラリ	1050 (350×3ヶ所)	10、20、30、40
1、3	単純開口 (長方形)	2296 (1148×2ヶ所)	10、20、30
1、2、3	単純開口 (長方形)	3444 (1148×3ヶ所)	10、20、30、40

※有効開口面積は、ガラリがメーカーカタログ値、単純開口は実開口面積×0.7とした。

2) 実験結果

図 3-5-3 に W_{total} 、 W_{floor} の実測結果を示す。図中の「0cm²計算値」は、合板の熱伝導率を 0.16 [W/m・K]、表面熱伝達抵抗を 0.3 [m²・K/W] と仮定した場合の計算値である。

図 3-5-4 に、図 3-5-3 中に示す近似式を用いて、[階間-2 階]の温度差が 2℃の場合における熱供給量 (W_{open}) を推定した結果を示す。開口の設置数が 3ヶ所の方が 2ヶ所よりも熱供給量が少なくなった。3ヶ所の場合には、下降気流が生じた開口と上昇気流が生じた開口の面積や流速に違いが生じたか、あるいは、下降気流も上昇気流も生じていない開口があったと想像されるが、実際に生じた現象は把握できていない。

図 3-5-5 に、図 3-5-3 中に示す近似式を用いて、開口が 2ヶ所の場合における熱供給量 (W_{open}) を推定した結果を示す。

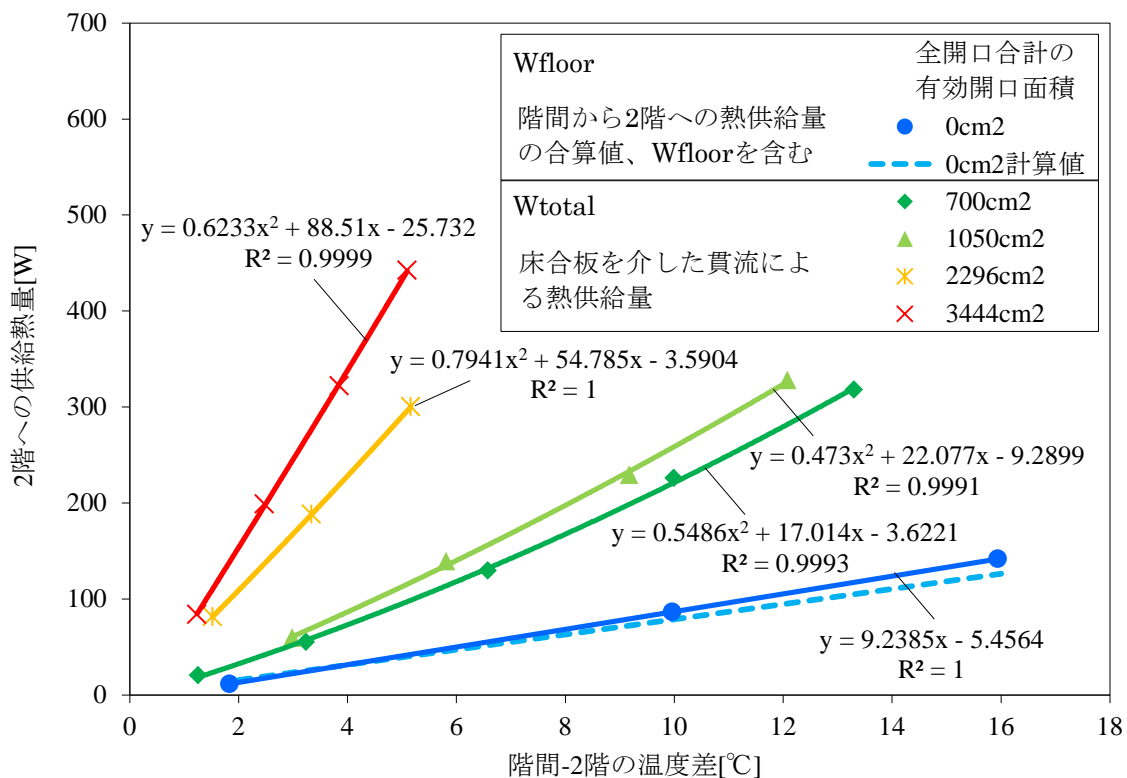


図 3-5-3 実験結果

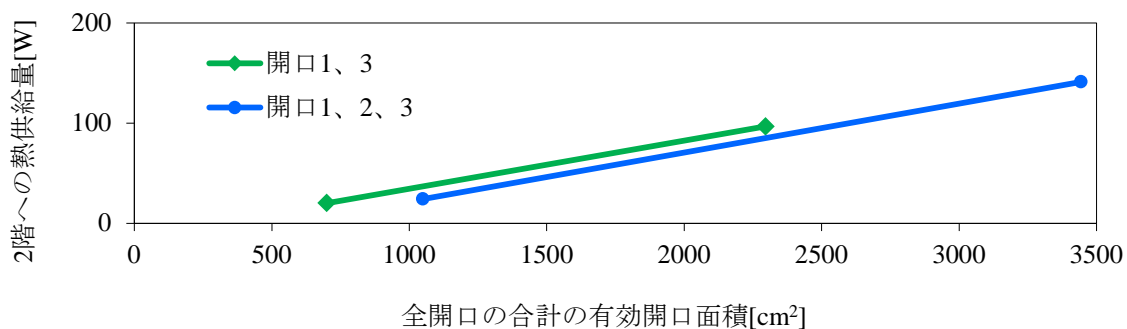
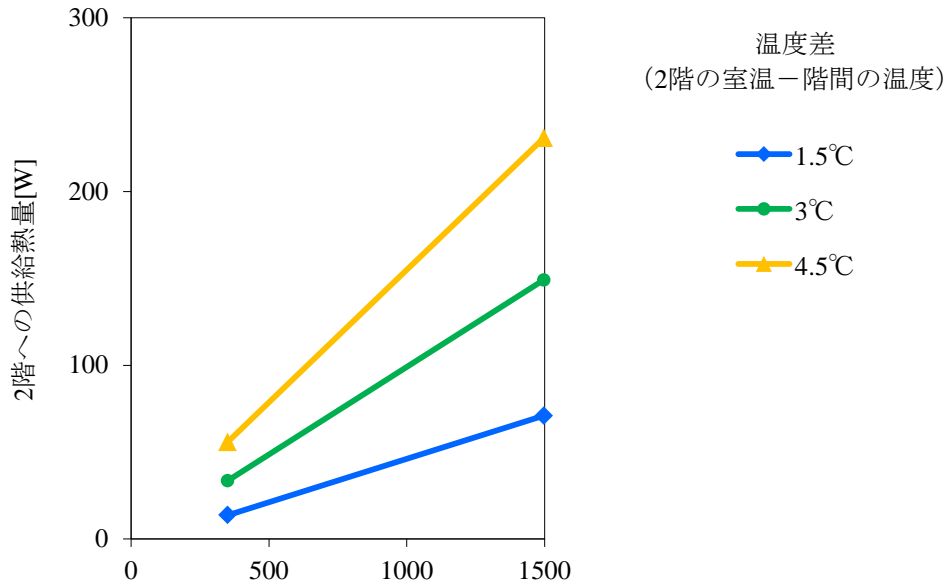


図 3-5-4 熱供給量の推定結果 (階間-2 階の温度差が 2℃の場合)



床面開口の有効開口面積[cm²] (上昇側・下降側の各面積)

図 3-5-5 熱供給量の推定結果 (開口が 2 か所の場合)

(4) 床面に開口があり、2 階に誘引ヒータがある場合の熱供給量

1) 実験方法

本項では誘引ヒータを用いる手法、すなわちヒータにより上昇気流を発生させることで階間からの熱供給を促進させる手法を対象として、階間から 2 階への熱供給量を把握する実験の結果を報告する。

実験は前述 (2) と同一の実験棟を使用した。図 3-5-6 に概要を示す。表 3-5-3 に実験条件を示す。また、本実験では式 (3-5-3) ~ (3-5-4) により階間から 2 階への熱供給量を推定した。

$$W_{\text{total}} = (T_2 - T_{\text{out}}) Q \quad (3-5-3)$$

$$W_{\text{open}} = W_{\text{total}} - W_{\text{floor}} - W_{\text{heater}} \quad (3-5-4)$$

W_{total} : 階間から 2 階への熱供給量の合算値[W]

W_{floor} : 床合板を介した貫流による熱供給量[W]

W_{heater} : 誘引ヒータの発熱量[W]

W_{open} : 開口を介した空気移動による熱供給量[W]

T_2 : 2 階の平均室温[°C] (A、B、C の測定結果を用いて算出した加重平均値)

T_{out} : 外気温[°C]

Q : 2 階の熱損失量=14.5[W/K]

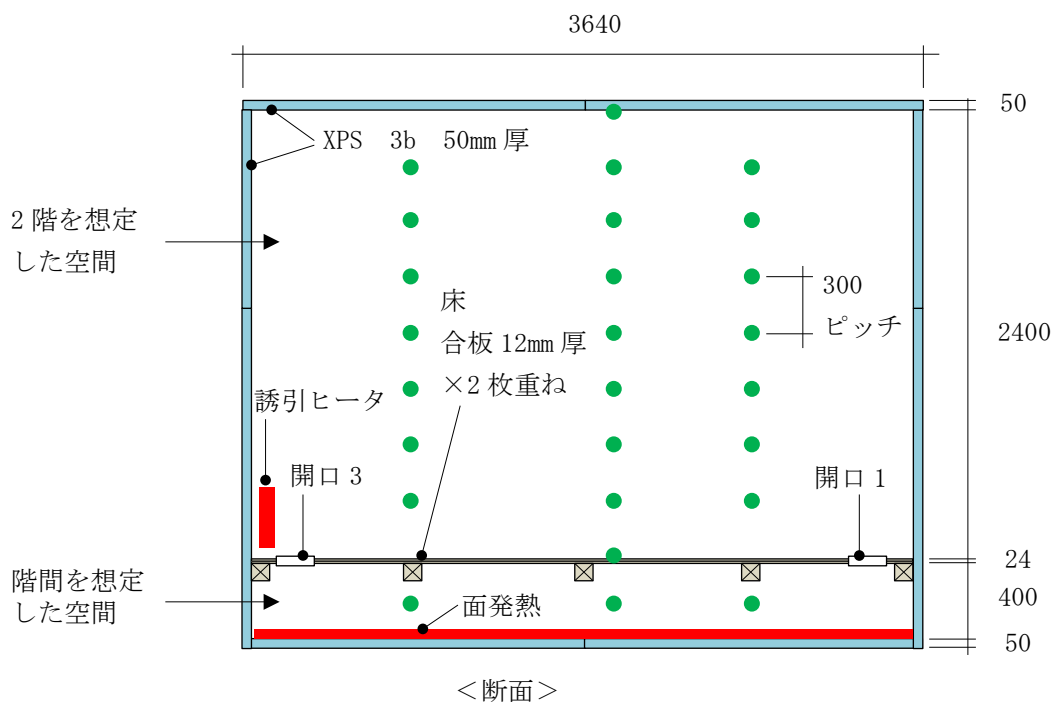


図 3-5-6 実験棟の概要 (● 温度測定点)

表 3-5-3 実験条件

2階の床面の開口			階間の設定温度[℃]
設置位置	仕様	全開口の合計の有効開口面積[cm ²]	
なし	—	0	10、30
1、3	ガラリ	700	10、20、25、30

※有効開口面積は、ガラリのメーカーはカタログ値とした。

2) 実験結果

図 3-5-7 に実験結果を示す。誘引ヒータの電力消費（発熱量）は基本的には 180[W]だが、一部の実験においてヒータの温度制御機能が働いて電力消費が小さくなった。また、2階の室温が階間より高くなる条件では、熱供給量がマイナスとなった（2階から階間に熱が移動）。

図 3-5-8 に、図 3-5-7 および図 3-5-3 中に示した近似式を用いて、熱供給量（Wopen）を推定した結果を示す。誘引ヒータが無い方が熱供給量は多くなった。本実験の条件においては誘引ヒータにより2階の室温が上昇し、階間から熱供給がされづらくなると推測される。

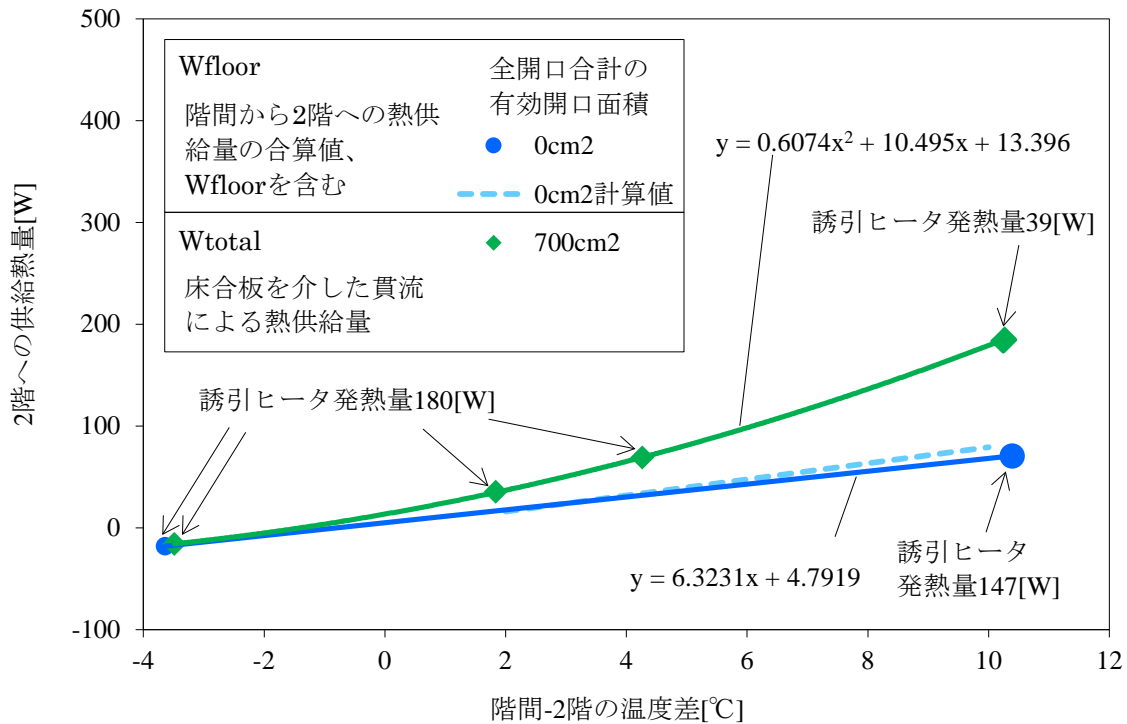


図 3-5-7 実験結果

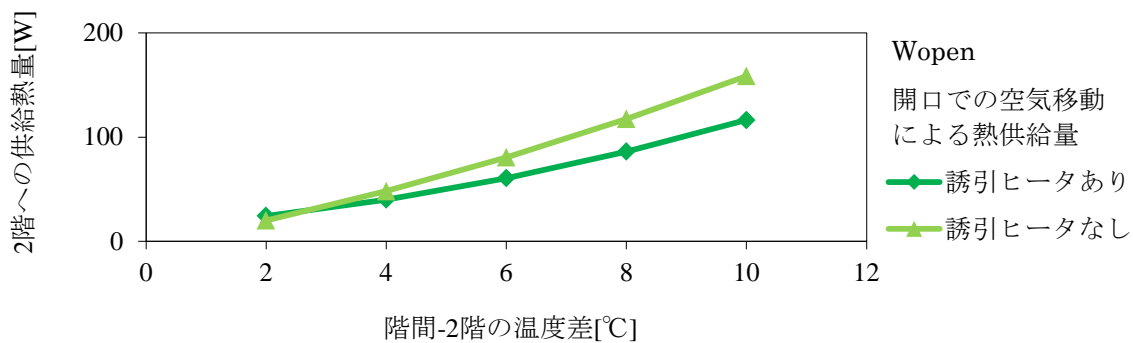


図 3-5-8 誘引ヒータの有無の比較 (全開口の合計の有効開口面積が 700cm²の場合)

(5) まとめ

- 2階の床面に開口を設けて1階から2階に熱供給する手法について、開口面積と熱供給量の関係を、実験室実験により明らかにした。(図 3-5-5)
- 開口を3か所に設置すると、2か所の場合よりも、有効開口面積あたりの熱供給量が減少した。
- 誘引ヒータにより熱供給量を増大させる手法については、本実験では効果を確認できなかった。そのため、本システムの設計手法には組み込まないこととする。

3-6. 床下暖房の場合の床面の必要有効開口面積の設定方法に関する検討

(1) 目的

床下暖房とは、床下に暖房機器を設置し、居住空間に対して空気移動により熱供給する暖房手法である。全屋もしくは1階を暖房空間とする場合については、個々の住宅の設計に利用するマニュアルが、北海道住宅環境協議会から発行されている。

本研究では、非居室等の1階の一部空間のみに床下暖房を適用する手法を検討する。本項では床下から1階への熱供給のための床面開口について、必要となる有効開口面積の導出を目的に実施した、実験室実験の結果を報告する。

(2) 実験方法

実験は北海道立総合研究機構建築研究本部の外部環境シミュレータ室で実施した。実験では前述3-5で示した実験棟を用いた。図3-6-1に実験棟の概要を示す。実験では開口3の真下の床下に電気ヒータを設置し、床下中央点の温度でon-off制御を行った。1階の室温はなりゆきとし、外気温（実験室内の空気温）は2℃設定とした。表3-6-1に実験条件を示す。また、実験棟内外の温度を10分インターバルで記録した。以降の分析では、温度が安定に達した後における、連続3時間以上の時間帯における測定値の算術平均値を用いる。また、本実験では次式により床下から1階への熱供給量を推定した。

$$W_{total} = (T_1 - T_{out}) Q$$

$$W_{open} = W_{total} - W_{floor}$$

W_{total} : 床下から1階への熱供給量の合算値[W]

W_{floor} : 床合板を介した貫流による熱供給量[W]

W_{open} : 開口を介した空気移動による熱供給量[W]

T_1 : 1階の平均室温[℃] (A、B、Cの測定結果を用いて算出した加重平均値)

T_{out} : 外気温[℃]

Q : 1階の熱損失量=14.5[W/K]

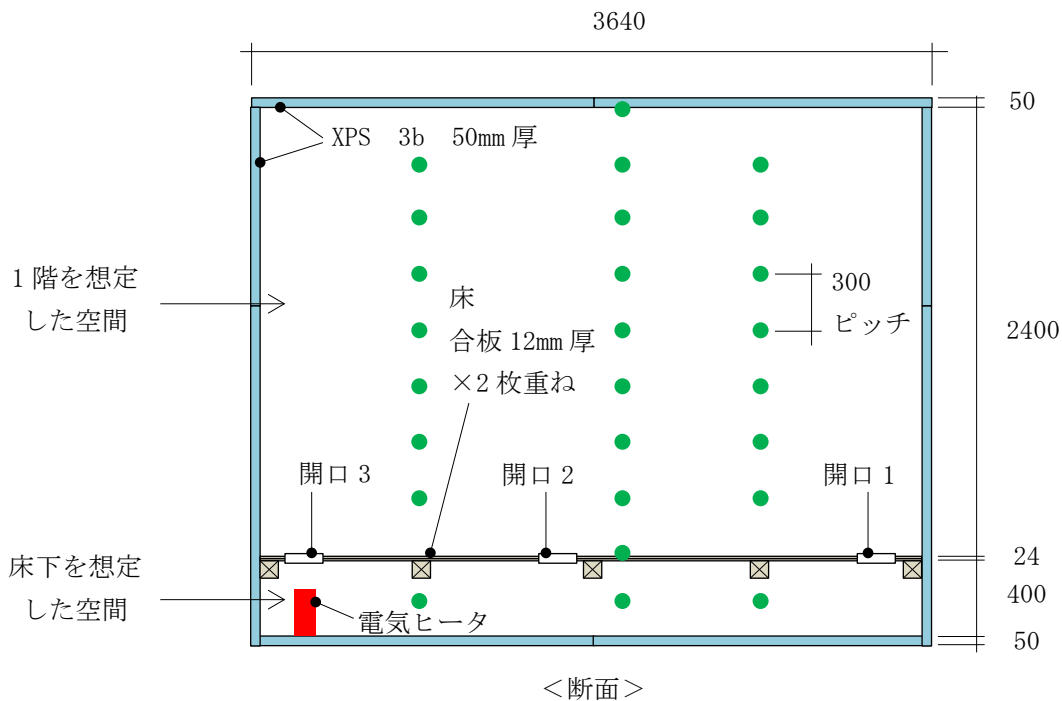


図3-6-1① 実験棟の概要 (●: 温度測定点)

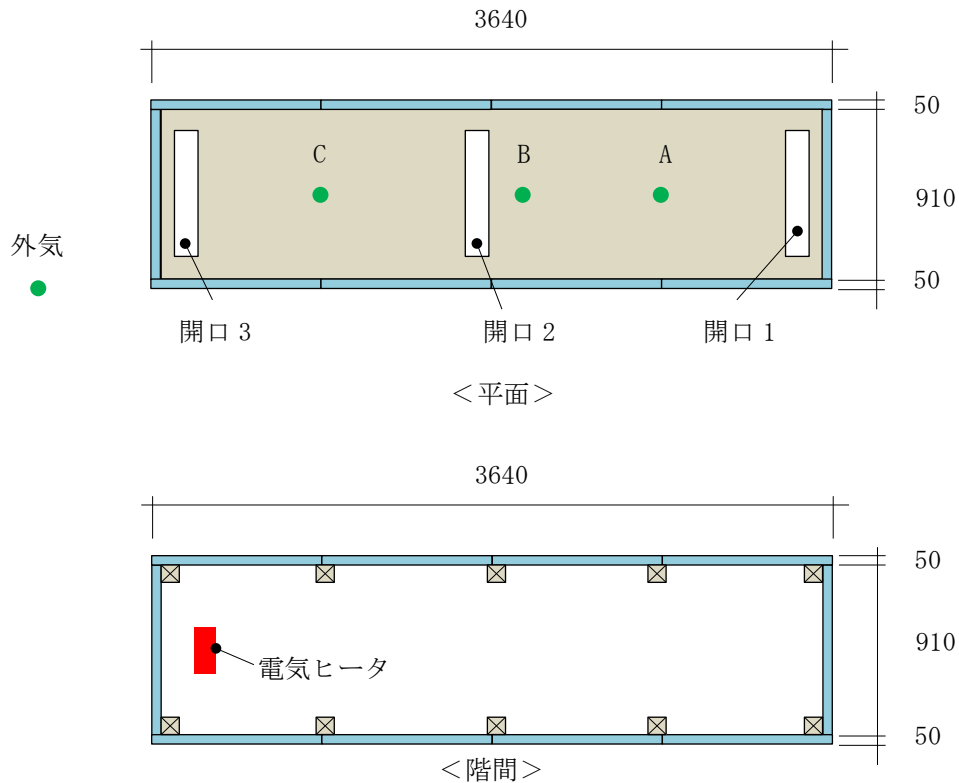


図 3-6-1② 実験棟の概要 (●: 温度測定点)

表 3-6-1 実験条件

1 階の床面の開口			床下の設定温度[°C]
設置位置	仕様	全開口の合計の有効開口面積[cm ²]	
1、3	ガラリ	174 (87×2 ヌ所)	30
		350 (175×2 カ所)	
		700 (350×2 カ所)	
2、3	ガラリ	700 (350×2 カ所)	30

※有効開口面積は、ガラリメーカーのカタログ値とした。

(3) 実験結果

図 3-6-2 に実験結果から推定した床面開口の有効開口面積と熱供給量 (Wopen) の関係を示す。床下から 1 階室内への熱供給量が大きいほど、有効開口面積は大きくする必要がある。また、開口の設置位置は、上昇側 (ヒータの真上) と下降側の開口の距離を比較的離れた場合 (開口 1、3) と、距離を近くした場合 (開口 2、3) での違いは、本実験では見いだせなかった。

図 3-6-3 に床下と 1 階の温度の関係を示す。

床面開口の有効開口面積が比較的小さい場合には床下の方が 1 階よりも温度が高い。この場合、電気ヒータの設定温度、すなわち床下の温度は 1 階の室温よりも高くする必要が生じ、その結果、基礎における熱損失が増加すると考えられる。

一方、有効開口面積が大きくなると床下と 1 階の温度差はほとんど無くなる。この場合は、床合板

における床下と1階間の貫流熱が生じることから、床下から1階への熱供給は開口のみで生じると考えて有効開口面積を設計することとなる。また、電気ヒータの設定温度は1階の室温の設定温度と同程度で良いと考えられる。

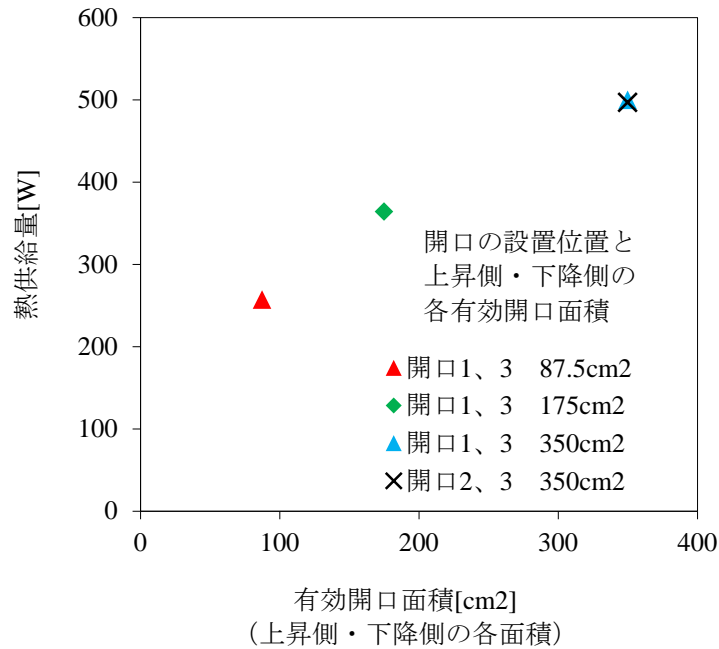


図 3-6-2 実験結果

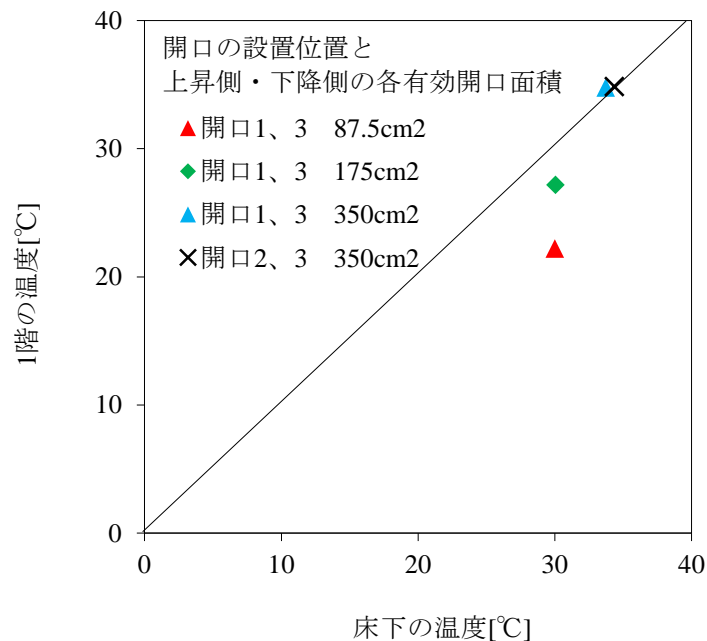


図 3-6-3 床下温度と1階室温の関係

(4) まとめ

- 住宅内の一部空間のみで床下暖房を実施する場合について、開口の面積を簡便に設計する「開口の面積チャート」の作成のため、開口面積と床下から1階室内への供給熱量の関係を、実験室実験から明らかにした(図 3-6-2)。

3-7. 『機器等の設置方法の指針』構築に向けた実験棟実験による検討

(1) 目的

本節では、電気ヒータ設置室における良好な温熱環境形成に配慮したファンや開口等の設置方法、および一次エネルギーの増加を抑制する制御手法について、実験棟における実験を行い検討する。検討結果は設計指針に反映する。

(2) 実験方法および開口・ファン・電気ヒータの設置方法

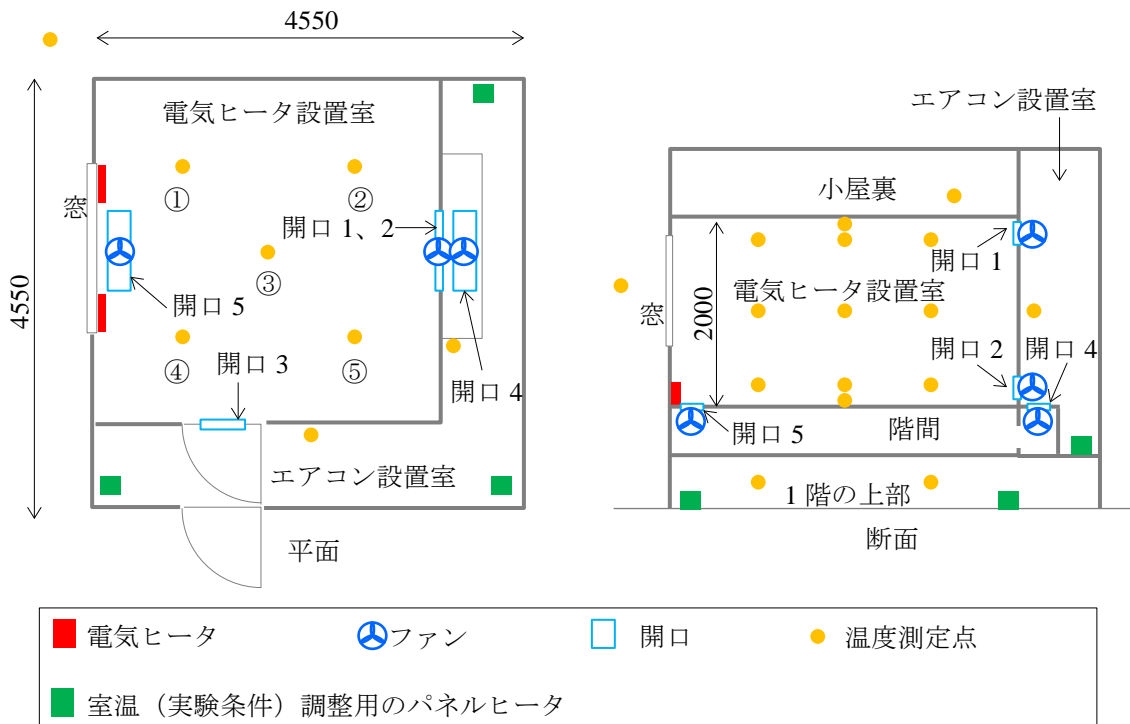
実験は北海道立総合研究機構建築研究本部の外部環境シミュレータ室内に設置された実験棟において実施した。

図 3-7-1 に実験棟の平面、断面を示す。実験建物には 2 階の電気ヒータ設置室、エアコン設置室、階間、1 階を想定した空間がある。電気ヒータは 500[W] のパネルヒータ 2 台を窓下に設置し、電気ヒータ設置室中央点における温度により on-off 制御した。図中に示す温度測定点の空気温度、および電気ヒータの電力消費量を 10 分間隔で連続測定した。

表 3-7-1 に電気ヒータ設置室の断熱仕様を示す。

表 3-7-2 に各空間の設定温度を示す。測定機器等の凍結を避けるため、各空間において想定温度よりも 12°C 高い温度に設定した。また、1 階は暖房している場合、暖房していない場合の 2 条件とした。なお、エアコン設置室は、LDK の吹き抜け部分で室温 23°C（実験条件では 35°C）と想定したが、本実験ではエアコンは設置せず、電気のパネルヒータにより室温を調整した。

図 3-7-2、写真 3-7-1、表 3-7-3 に、開口の設置位置と有効開口面積、およびファンの設置位置と風量を示す。ファンは室温に関わらず連続運転した。



※温度測定点は、電気ヒータ設置室は床面から 0、200、1000、1800、2000mm の高さ、他は各空間の中央高さ

図 3-7-1 実験棟の概要

表 3-7-1 電気ヒータ設置室の断熱等の仕様

		断熱材	厚み[mm]	熱貫流率[W/m ² ・K]	面積[m ²]
外皮	外壁	XPS	60	0.38	12.4
	天井	XPS	120	0.19	13.2
	窓	樹脂サッシ、低放射複層ガラス		2.33	2.2
	熱損失率	(電気ヒータ設置室の外壁・天井・窓) 14.8[W/K]			
エアコン設置室との間の間仕切り壁		455mm ピッチで柱、間柱があり、両面に石膏ボードを施工。中空層の厚みは 105mm。			

表 3-7-2 設定室温

	外気 (実験室内)	2階		階間	1階	
		電気ヒータ 設置室	エアコン 設置室		暖房時	非暖房時
実験条件	2℃	32℃	35℃	なりゆき	35℃	26℃
実住宅における想定	-10℃	20℃	23℃	なりゆき	23℃	14℃
備考	空調機の設定温度	中央の位置の温度で on-off 制御			中央の位置の温度で on-off 制御	

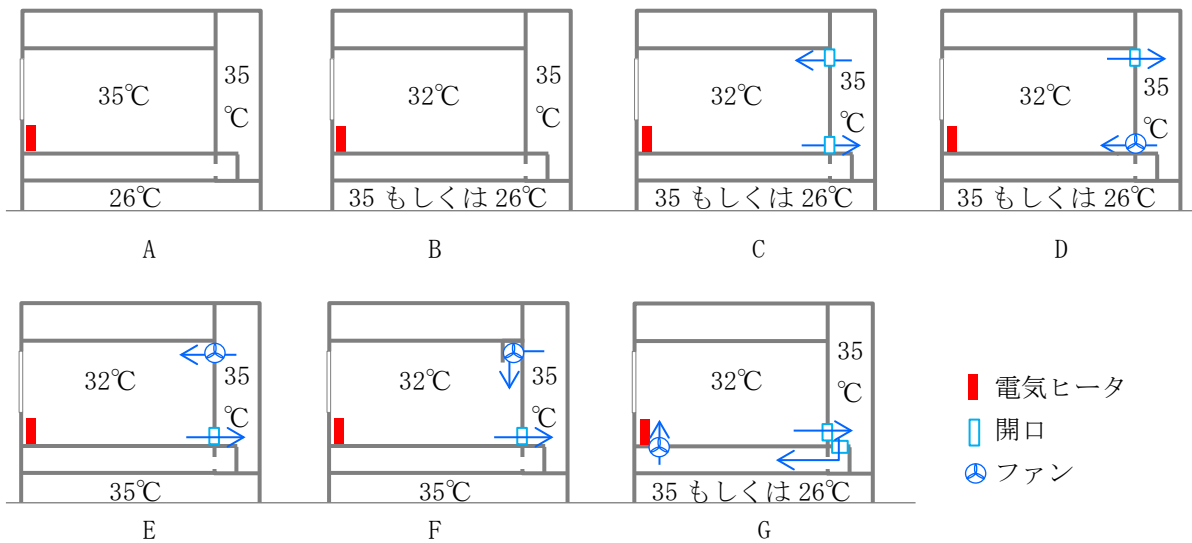


図 3-7-2 開口とファンの設置位置 (図中の温度は電気ヒータの設定値)



写真 3-7-1 開口とファンの設置状況

表 3-7-3 開口の大きさ、ファンの流量

実験 No.		A	B	C	D	E	F	G		
開口の有効開口面積[cm ² /ヶ所] ファンの設置位置	開口 1 間仕切り上部	全閉	全閉	770	350	350	350	—		
	開口 2 間仕切り下部			770	350	350	ファン	ファン	770	
	開口 3 間仕切り壁下部								651	
	窓下・床面			—	—	—	—	—	—	350 ファン
	エアコン設置室 床面			—	—	—	—	—	—	350

(3) 実験結果

表 3-7-4 に電気ヒータの電力消費と温度の測定結果を示す。測定結果は全て、温度が定常に達した後の 3 時間以上の連続した時間帯における測定値の平均値を示す。また、電気ヒータ設置室の室温は空間内の気積を考慮した加重平均値である。

1) エアコン設置室からの貫流熱取得の効果

1 階が暖房時の実験 A と比べ、B は電気ヒータ設置室の温度が 3[°C]低い。B は A よりも電気ヒータ設置室の外皮における貫流熱損失が低減しているはずであり、その低減量をまずは推定する。A、B それぞれにおける貫流熱損失を次式により求める。

外皮の貫流熱損失 = [電気ヒータ設置室の室温 - 外気温] × 表 3-7-1 に示した熱損失率

推定結果は、A が 499[W]、B が 457[W]で、その差の 42[W]が低減量となる。

次に、実験 B ではエアコン設置室や 1 階からの貫流熱取得が発生したはずであり、その量を推定する。電気ヒータの電力消費量は A が 421[W]、B が 241[W]、その差は 180[W]である。外皮における貫流熱損失の変化分を差し引くと、180[W]-42[W]=138[W]となり、これがエアコン設置室や 1 階からの貫流熱取得の量と推測される。

以上のことから、2-2 で述べた LDK と他の居室との温度差を想定し、エアコン設置室から得られる貫流熱を利用する暖房方法により、電気ヒータの電力消費量を低減可能であることを確認できた。

2) 開口の効果

1 階が暖房時と非暖房時の双方において、実験 B と C を比較すると、エアコン設置室との間に開口を設置した C の方が、電気ヒータの電力消費量が少なかった。このことから開口の効果を確認できる。

また、電力消費量の低減量は、1 階が非暖房時の場合で 342[W]-131[W]=211[W]である。一方、前述 3-4 の方法で開口の熱供給量を計算すると、B の場合は 200[W]となる。2 つの値は概ね合致し、3-4 の計算方法の妥当性を確認できる。

3) ファンの効果

1 階が暖房時と非暖房時の双方において、実験 B よりも D、E、F の方が、電気ヒータの電力消費量が低減した。このことから、エアコン設置室との間にファンを設置した効果を確認できる。

ただし、E、F の方が D よりも電力消費量が少ない。D では床付近の空気を送風したのに対し、E、F

ではエアコン設置室の天井付近の空気を電気ヒータ設置室に送風した。一般的に、エアコン暖房の部屋では、上下温度むらが発生する。そのため、ファンの風量が同一の場合、床付近よりも天井付近の空気を送風する方が、電気ヒータ設置室に対する熱供給量が多くなる。このことがE、Fにおいて電力消費量の低減効果が大きくなった理由である。このことから、ファンはなるべく天井に近い位置に設置した方が良いと言える。

4) 階間を利用してファンで送風する手法の効果

実験Gでは、エアコン設置室から階間を介して電気ヒータ設置室にファンで送風した。Gの電気ヒータの電力消費量をBと比較すると、1階が暖房時の場合は低減するが、1階が非暖房時の場合は大差がない。床面開口近傍の温度を見ると、1階が非暖房時の場合は電気ヒータ設置室の室温とほぼ同温であり、エアコン設置室から熱供給できていない。これは、階間内の温度が1階の室温の影響を大きく受けるためである。

以上のとおり本手法は、1階が暖房時には効果が得られる。そのため、1階および本手法を適用する部屋の暖房スケジュールを考慮して、適用の是非を判断する必要がある。

表 3-7-4 実験結果

実験 No.		A	B	C	D	E	F	G	
1階が暖房時の測定結果	電気ヒータの電力[W]	421	241	0	115			105	
	温度 [°C]	外気	2.4	2.2	2.2			2.3	2.3
		エアコン設置室	35.6	35.5	35.6			35.7	35.2
		1階	35.6	35.4	35.5			35.7	35.5
		電気ヒータ設置室	36.1	33.1	33			33.2	32.9
		床面開口近傍	—	—	—			—	35.8
		開口1近傍	—	—	38.6			34.1	—
		開口2、3近傍	—	—	32.8			36.6	33.4
	ファン	流量[m ³ /h]	—	—	—			88.9	123.9
		供給熱量[W]	—	—	—			80.1	102.9
1階が非暖房時の測定結果	電気ヒータの電力[W]		342	131	256	87	91	334	
	温度 [°C]		外気	2.2	2.3	2.2	2.3	2.2	2.3
			エアコン設置室	35.5	35.3	35.5	35.3	35.6	35
			1階	26.6	26.6	26.5	26.6	26.5	26.5
			電気ヒータ設置室	32.7	33	33	33	33	32.8
			床面開口近傍	—	—	—	—	—	32.5
			開口1近傍	—	38.3	34.2	37.9	38.8	—
			開口2、3近傍	—	31.4	35.6	31.7	34.5	32.5
	ファン		流量[m ³ /h]	—	—	88.9	99.6	99.6	123.9
			供給熱量[W]	—	—	42	216.4	151.9	-1.7

※開口の有効開口面積：350[cm²]はガラリメーカーのカタログ値。770[cm²]と651[cm²]は長方形の開口であり、 α を0.7と仮定して実面積に乗じた値。

5) 上下温度むらの改善に寄与する熱供給手法

図 3-7-3 に 1 階が非暖房時の場合における電気ヒータ設置室の上下温度分布を示す。1 点の値は、図 3-7-1 の①～⑤の位置の測定データの算術平均値である。

1 階が非暖房時の場合は、床付近の温度が低下しやすい。実験 B よりも、開口もしくはファンを設置した C、D、E、F、G の方が床付近の温度が上昇している。特に F のファンを間仕切り壁上部に設置して下向きに送風した場合において、床付近の温度上昇効果が高かった。

ただし、このような効果は、電気ヒータとファンの位置関係等により異なる可能性がある。そのため、電気ヒータとファンの位置関係、ファンの吹き出し方向をパラメータとする CFD 解析による検討を行うこととし、後述 3-8 において報告する。

6) ファンの運転方法

ファンは暖房を行う時間帯において連続運転する方法と、電気ヒータと同様に室温で on-off 制御する方法が考えられる。このうち連続運転する方法の方が、エアコン設置室からの熱供給量が多く、望ましい手法と考えられる。

図 3-7-4 に、1 階が非暖房時の実験 F の測定結果を示す。本実験ではファンを連続運転し、電気ヒータは on-off 制御したが、電気ヒータ設置室の室温は概ね一定に保たれた。

しかし、実住宅では日射で室温が上昇する場合があります。そういった場合にエアコン設置室からの熱供給を停止するには、手動制御に加え、ファンを電気ヒータより高い温度で on-off 制御する方法が考えられる。

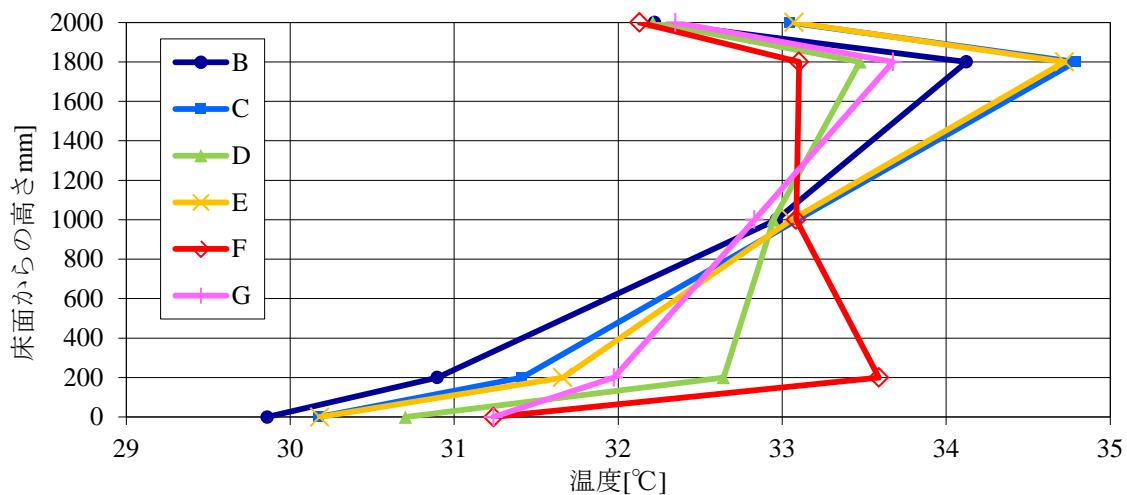


図 3-7-3 電気ヒータ設置室の上下温度分布 (1 階が非暖房時の場合)

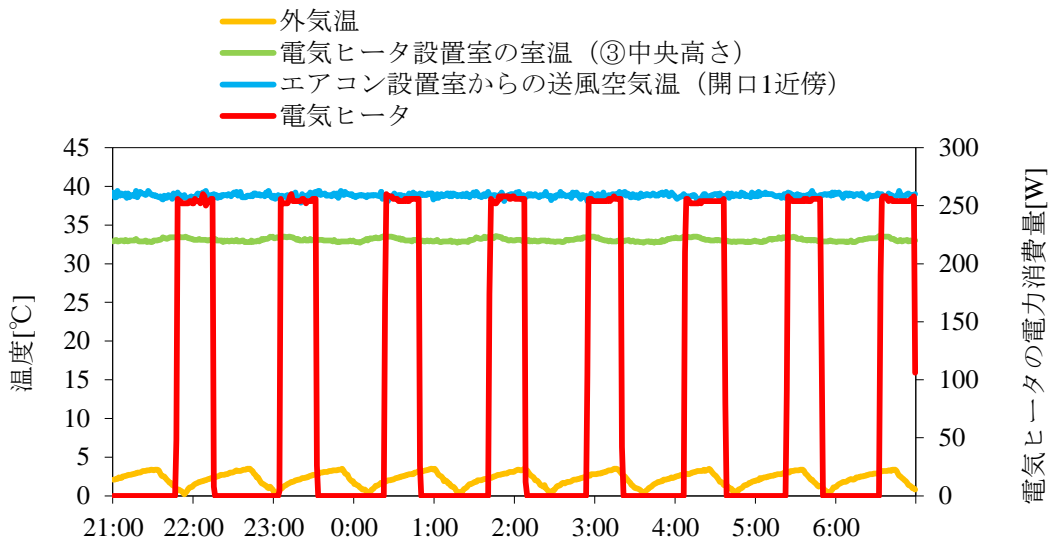


図 3-7-4 実験 F の測定結果 (1 階が非暖房時の場合)

(4) まとめ

実験棟における実験から次の知見を得た。

- ・前述 2-2 で述べた LDK と他の居室との温度差を想定し、エアコン設置室から得られる貫流熱を利用する暖房方法により、電気ヒータの電力消費量を低減可能であることを確認できた。
- ・開口による熱供給により、電気ヒータの電力消費量を低減できることを確認した。また、3-4 で示した開口による熱供給量の計算方法の妥当性を確認できた。
- ・ファンによる熱供給により、電気ヒータの電力消費量を低減できることを確認した。また、エアコン設置室の上下温度むらを考慮すると、ファンはなるべく天井に近い位置に設置した方が高い温度の空気を送風することとなり、熱供給の効果を得やすいことが分かった。
- ・階間を利用してエアコン設置室の熱を電気ヒータ設置室に送風する手法は、1 階が非暖房時には効果が得られないが、1 階が暖房時には効果が得られる。そのため、1 階と 2 階の暖房スケジュールを考慮して本手法の採用の是非を判断すべきであることが分かった。
- ・ファンは間仕切り壁上部に設置して下向きに送風すると、床付近の温度上昇効果が高くなった。これについては、ファンの吹き出し方向等をパラメータとする CFD 解析による検討を実施し、3-8 において報告する。
- ・ファンを連続運転し、電気ヒータは on-off 制御した場合において、電気ヒータ設置室の室温は概ね一定に保たれた。ただし、実住宅では日射で室温が上昇する場合があります。そういった場合にエアコン設置室からの熱供給を停止するには、手動制御に加え、ファンを電気ヒータより高い温度で on-off 制御する方法が考えられる。

3-8. 『機器等の設置方法の指針』構築に向けたシミュレーション検討

(1) 目的

本節はCFDを用いて、主暖房（エアコン）を設置しない室への熱供給手法の検討と電気ヒータを利用する利点を確認することを目的とする。

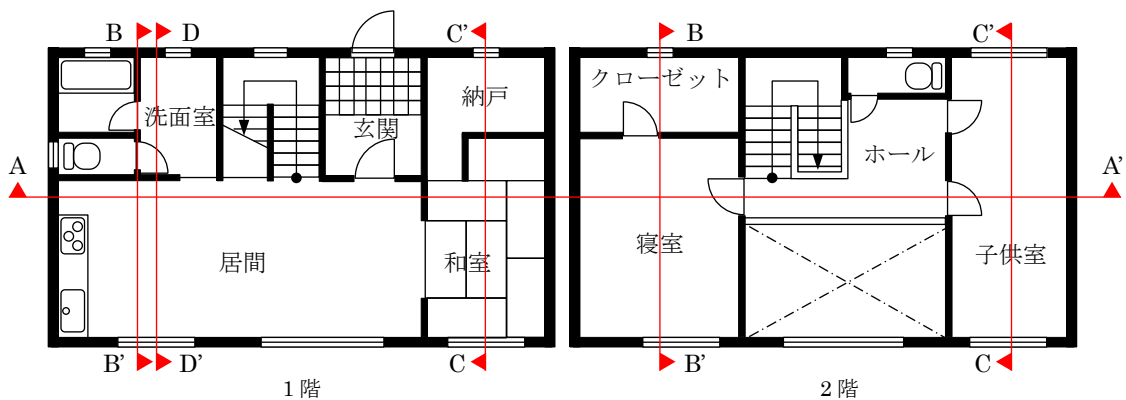
(2) 検討内容と計算方法

主暖房を設置しない室への熱供給手法については、間仕切り壁またはドアに壁面開口・ファンを設ける手法とエアコンの吸込みを利用する手法を解析する。電気ヒータを設置する利点については、ダウンドラフト低減の効果と、洗面室の床下暖房によるトイレと浴室の昇温効果を検証する。

計算モデルは、一般社団法人北海道建築技術協会が出版している **Building Insulation Specialist** テキストに掲載されている住宅モデル（以下、BISモデルと記す。）を対象とした。BISモデル平面図を図3-8-1に示す。1階南側に居間と和室、2階南側に寝室と子供室があり、北側にトイレ・浴室・階段室等がある。また、居間の一部は吹き抜け空間となっており、2階ホールと一体空間となっている。

住宅の外皮性能は表5-2-1、CFDの計算基本条件は5章2節2項および表5-2-7を参照されたい。本節では住宅全体を解析領域とせず、各項で必要な室のみ解析領域としている。解析領域外に面する境界条件は解析領域外の温度と内壁の熱抵抗を与えている。解析領域外の温度は居間、和室、寝室、子供室を20℃、その他の室を15℃仮定した。また、内壁の熱抵抗は0.36m²・K/Wとしている。

なお、計算結果を断面コンター図として示すことがあるが、これは図3-8-1に示す断面位置としている。また、評価指標として用いるEDT（Effective Draft Temperature：有効ドラフト温度）については、5章4節を参照されたい。



※D-D'断面は1階の解析のみで用いる

図 3-8-1 BISモデル平面図および垂直断面位置

1) ファンの吹出し方向と電気ヒータの位置関係の違いによる室内環境

3-7-(3)-5) に示した実験において、ファンの吹出しを下向きに吹出すことで、上下温度むらが小さくなることが示唆された。このことを踏まえ、本項ではファンによる熱供給手法について、温熱環境形成の面から検討する。

計算モデルを図 3-8-2 に示す。図では寝室のみ示しているが、解析領域は寝室、居間、2階ホール、階段室とし、居間、2階ホールはエアコン (35°C、280m³/h吹出し) で暖房している。寝室-2階ホール間にファンを設置し、ファンの吹出し方向および電気ヒータの位置を変更して、効果を解析する。

計算条件を表 3-8-1 に示す。CFD では、ファンの吹出し方向を水平、下向きに加え、45° 下向きという条件も解析している。また、電気ヒータの位置を窓下 (電気ヒータ 1) と室奥 (電気ヒータ 2) の 2 パターン用意し、影響を把握する。評価項目はファンと電気ヒータからの流線と寝室中央の上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布とした。なお、電気ヒータの出力は寝室-2階ホール間のドアに設けた壁面開口とファンによる熱供給で 20°C に達しない不足分を補うために 270.0W と設定した。

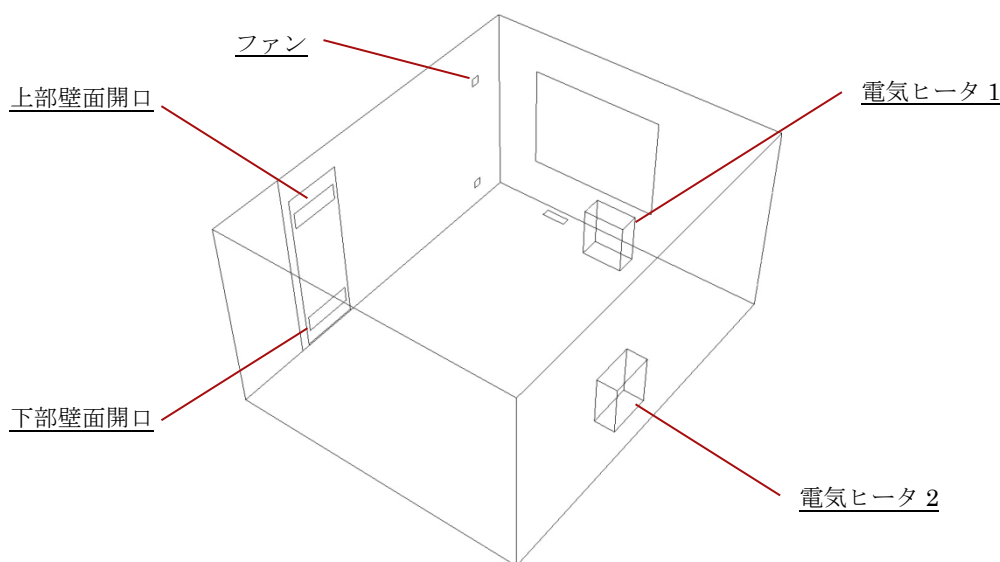


図 3-8-2 ファンによる寝室への熱供給手法モデル

表 3-8-1 計算条件

条件 0	上下壁面開口 (各 600mm×200mm) を開放し、60m ³ /hのファンを設置する。(以下、同様) 電気ヒータ 1 を 270W で運転し、ファンは水平に吹出す。
条件 1	電気ヒータ 1 を 270W で運転し、ファンは 45° 下向きに吹出す。
条件 2	電気ヒータ 1 を 270W で運転し、ファンは下向きに吹出す。
条件 3	電気ヒータ 2 を 270W で運転し、ファンは水平に吹出す。
条件 4	電気ヒータ 2 を 270W で運転し、ファンは 45° 下向きに吹出す。
条件 5	電気ヒータ 2 を 270W で運転し、ファンは下向きに吹出す。

ファンの吹出し方向と電気ヒータの設置位置の違いによる気流線を図 3-8-3、図 3-8-4 に示す。この気流線は全ての流線を示しておらず、ファンからの空気と電気ヒータからの気流のみを示している。水平吹出しは電気ヒータの設置位置によらず、上部に暖気が溜まっている状況であった。45° 下向き吹出しはファンのからの気流線上に電気ヒータがある場合は電気ヒータで空気が暖められ、上昇気流となった。下向き吹出しはファンからの気流は床に到達し、床付近を沿うような気流線となった。特

にファンと電気ヒータが近くにある場合は、電気ヒータからの気流がファンの気流に引き寄せられ、床付近を沿うような気流となっていることから、床付近の温度上昇に寄与している。

また、上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布を図 3-8-5 に示すが、下向き吹出しは上下温度分布の改善に寄与する一方で、床付近の風速が上昇し、EDT が快適範囲 ($-1.7^{\circ}\text{C}\sim 1.1^{\circ}\text{C}$) に入っているものの、床付近は寒く感じられる場合がある。

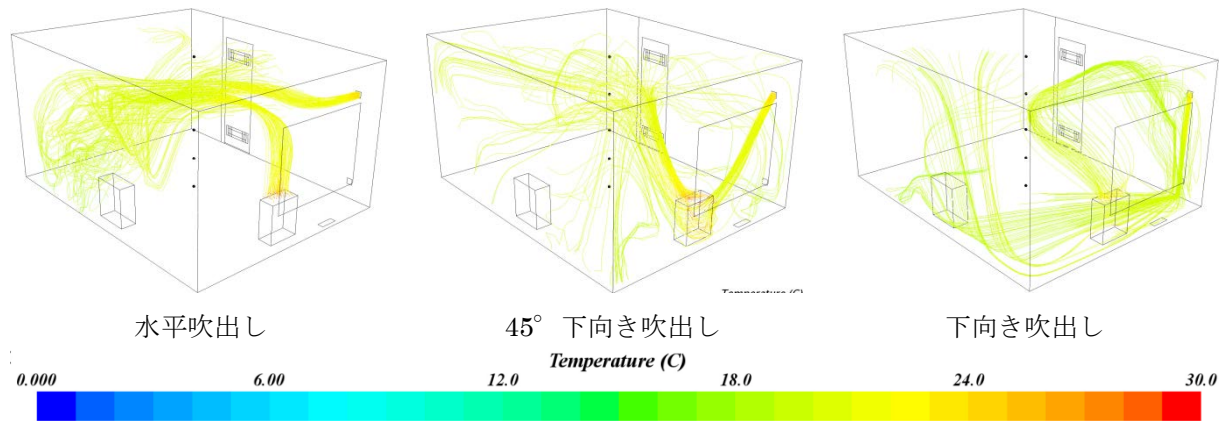


図 3-8-3 電気ヒータ 1 が発熱する時のファンの吹出し方向による気流線

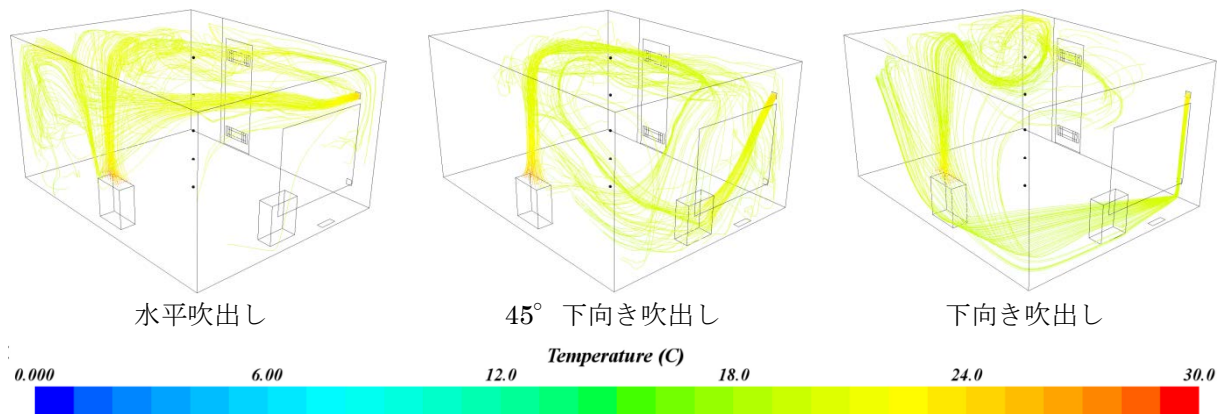


図 3-8-4 電気ヒータ 2 が発熱する時のファンの吹出し方向による気流線

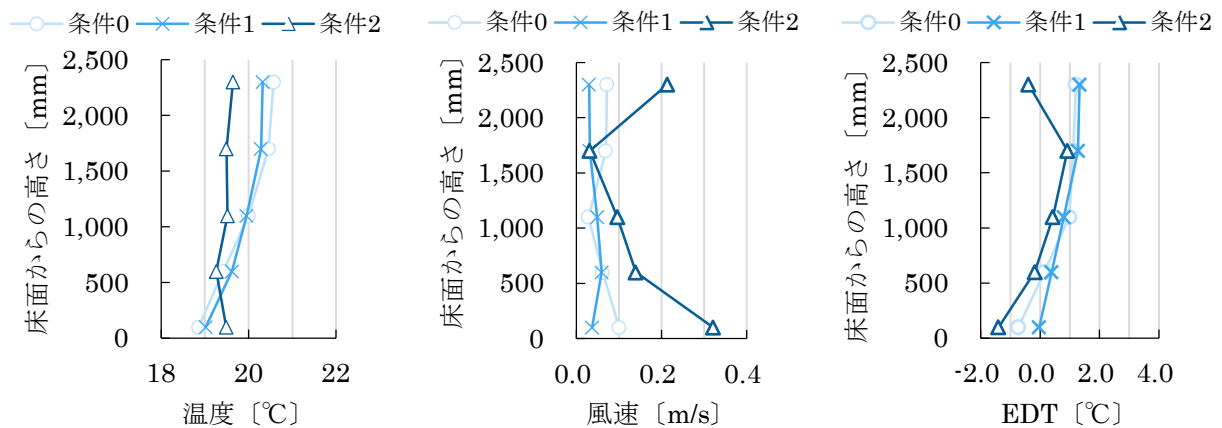


図 3-8-5 上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布 (条件 0~条件 2 のみ)

条件 2 と条件 5 の上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布を比較した結果を図 3-8-6 に示す。両条件は下向きに吹出す条件であり、条件 2 では床付近の風速上昇が見受けられたが、条件 5 では 0.1m/s 以内に抑えられていた。条件 2 ではファンと電気ヒータの距離が近かったため、電気ヒータからの上昇気流がファンからの気流に引き寄せられて風量（風速）上昇を招いたが、条件 5 ではファンと電気ヒータの距離が遠いため、前述の事象は発生しなかった。そのため、床付近の温度は条件 2 の方が高いが、EDT は条件 5 の方が高い結果となった。

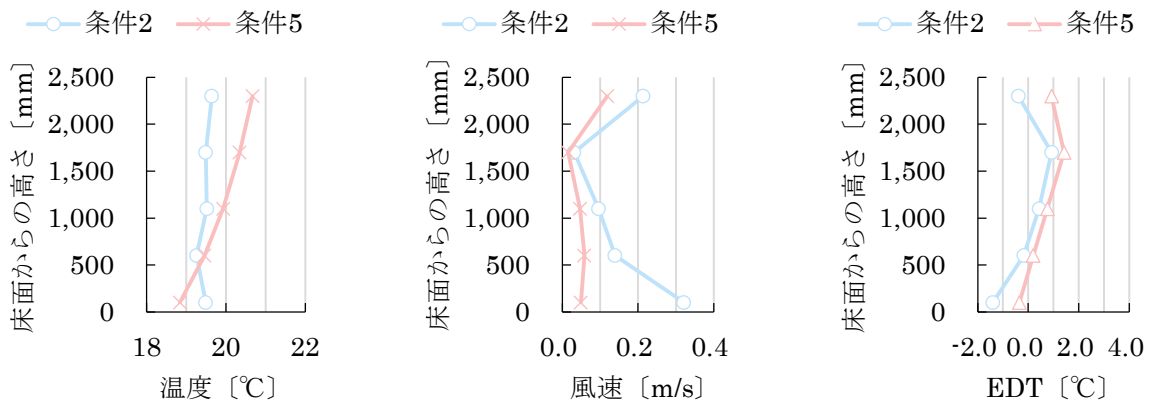


図 3-8-6 上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布（条件 2 と条件 5 の比較）

2) エアコンの吸込みの力を用いた暖房手法

本項では、2 階寝室に暖房機器を設置せず、2 階ホールから壁面開口を通じて熱供給をする手法について検討する。エアコンはエアコン上面から空気を吸い込むため、1 階に設置したエアコン直上の階間に 2 階へ続く床面開口を設けることで、空気を 2 階寝室から吸い込むことができると考えた。さらに、寝室-2 階ホール間のドアに壁面開口を設けることで、エアコンの吸込みの力を用いて、2 階ホールから寝室への熱供給の可能性を検討する。

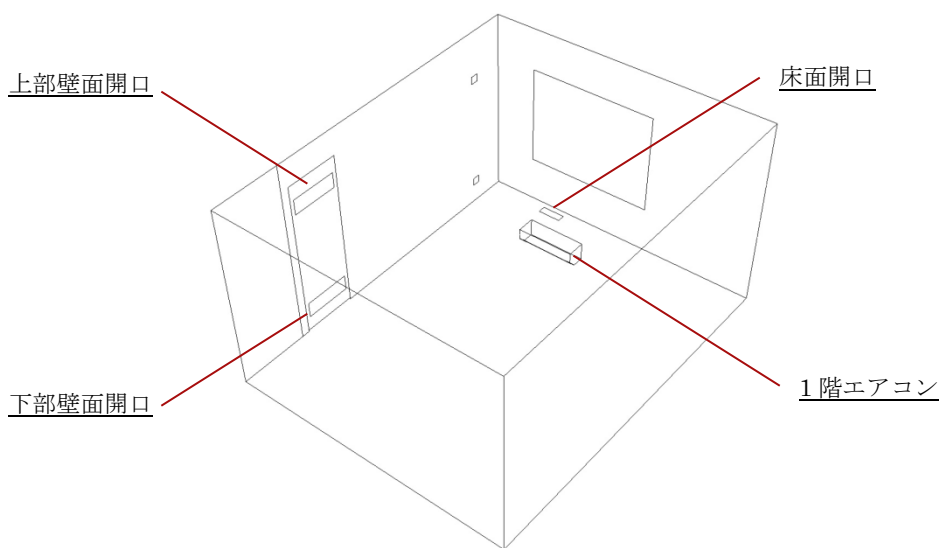


図 3-8-7 エアコンの吸込みを利用した暖房手法（寝室と 1 階エアコン）

表 3-8-2 計算条件

条件 0	下部壁面開口 (300mm×100mm) を開放し、床面開口を閉鎖する。
条件 1	下部壁面開口 (300mm×100mm) を開放し、床面開口 (300mm×100mm) を開放する。
条件 2	下部壁面開口 (600mm×200mm) を開放し、床面開口 (300mm×100mm) を開放する。
条件 3	上部壁面開口 (300mm×100mm) を開放し、床面開口 (300mm×100mm) を開放する。
条件 4	上部壁面開口 (600mm×200mm) を開放し、床面開口 (300mm×100mm) を開放する。

計算モデルを図 3-8-7 に示す。3.8.1 と同様に、寝室と居間、2 階ホール、階段室とし、居間、2 階ホールはエアコン (35°C、280m³/h吹出し) で暖房している。評価項目は図 3-8-1 に示すA-A'断面図の温度分布と室平均空気温度、寝室中央の上下温度分布とした。

計算条件を表 3-8-2 に示す。エアコン吸込みの力を用いない条件 0 を設定し、条件 1 以降との比較対象とする。条件 1、条件 2 では寝室-2 階ホール間のドアの F.L.+300mm の位置に下部壁面開口を設けた。条件 3、条件 4 では、寝室-2 階ホール間のドアの F.L.+1,800mm の位置に上部壁面開口を設けた。下部壁面開口および上部壁面開口は 300mm×100mm または 600mm×200mm の大きさをもつ。

A-A'断面図における温度分布を図 3-8-8、室平均空気温度を図 3-8-9、上下温度分布を図 3-8-10 に示す。条件 0 は下部壁面開口を開放しているが、エアコンの吸込みを利用していない条件のため、2 階ホールからの暖気流入量は少なく、室平均空気温度も 13.5°C に留まっている。エアコンの吸込みを利用している条件 1~条件 4 では昇温効果が認められた。条件 1 よりも条件 2 の方が寝室-2 階ホール間のドアの壁面開口面積を 4 倍にしているが、0.4K の昇温効果に留まった。一方で、上部壁面開口を開放する条件 3、条件 4 において、300mm×100mm の小さい壁面開口でも条件 2 よりも昇温効果があった。これは、2 階ホールにも上下温度分布が発生しており、2 階ホールの上部から寝室へ暖気を取り入れることで、昇温効果が高いと推察される。一方で、上下温度分布については、下部壁面開口を設ける条件 1、条件 2 の方が小さい結果となった。しかし、条件 3、条件 4 においても、F.L.+100mm の位置と F.L.+1,700mm の位置で 1.0K 程度の温度差に留まっている。

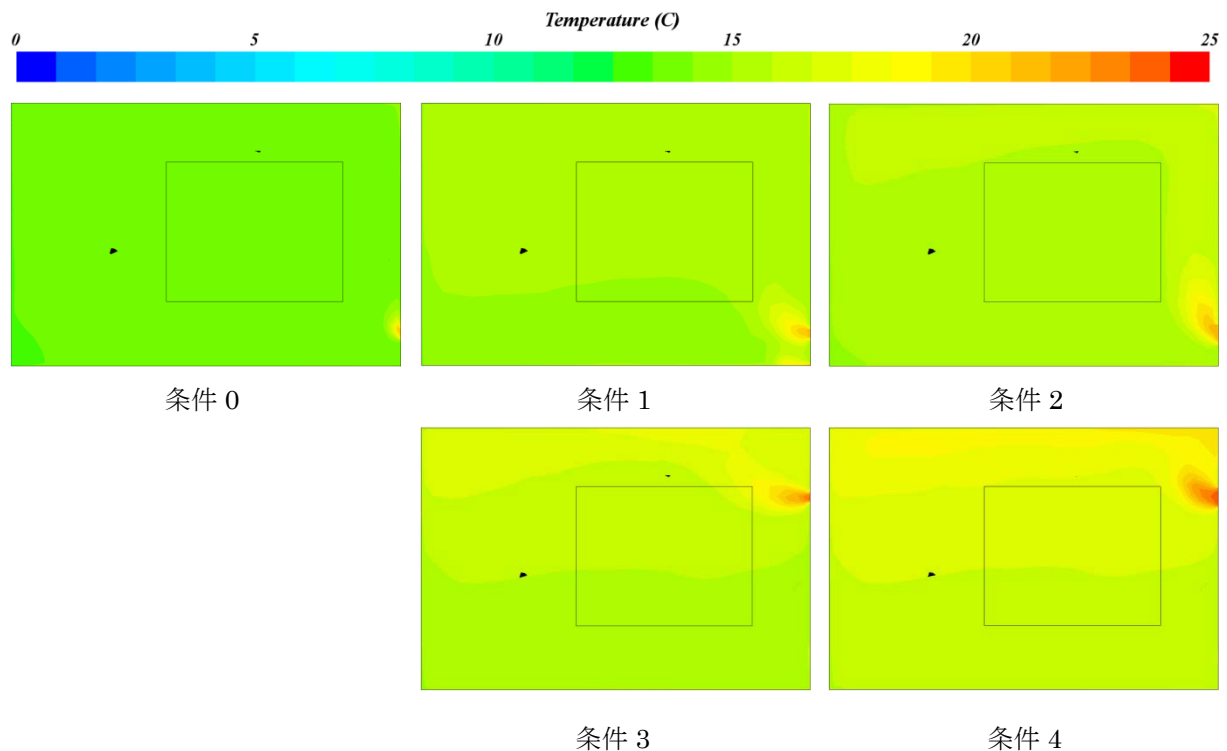


図 3-8-8 エアコンの吸込みの力を用いた熱供給手法 (A-A'断面の温度分布)

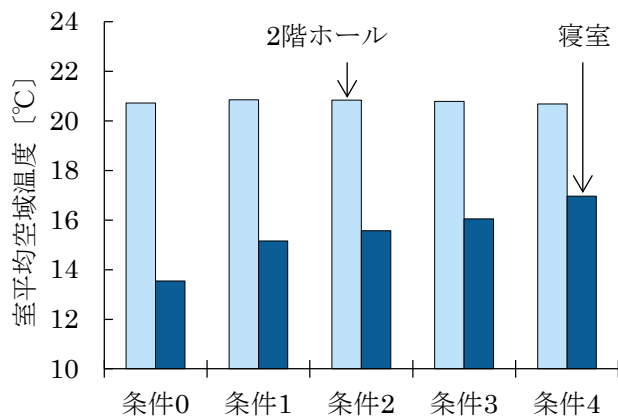


図 3-8-9 室平均空気温度

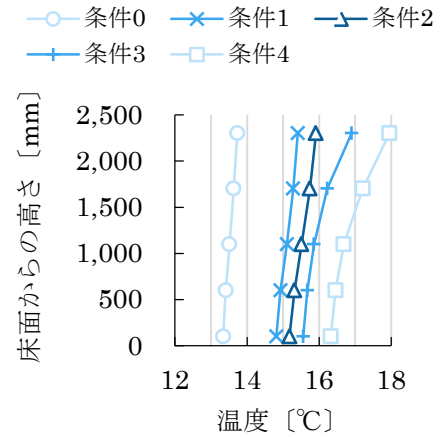
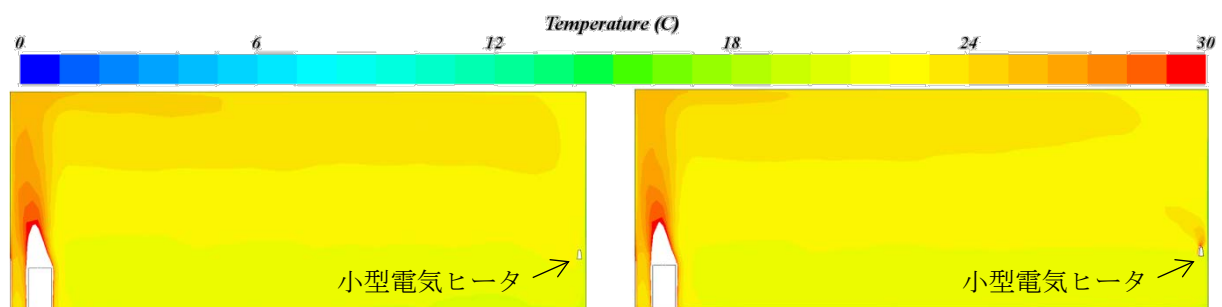


図 3-8-10 上下温度分布

3) ダウンドラフト低減効果

本項では、小型電気ヒーターを用いることによる、ダウンドラフト低減の利点を確認する。ここでは、南北に窓がある BIS モデルの子供室を対象とした。南側窓下に電気ヒーターを設置し、北面窓でのダウンドラフトが生じやすい状況としている。北側窓下の小型電気ヒーターの出力をパラメータとして、ダウンドラフト低減効果を検討する。評価項目は図 3-8-1 の C-C'断面図と F.L.+100mm の風速分布とした。なお、南側窓下の電気ヒーターは子供室暖房負荷である 811.5W、北側窓下の小型電気ヒーターは 50.0W または 100.0W とした。

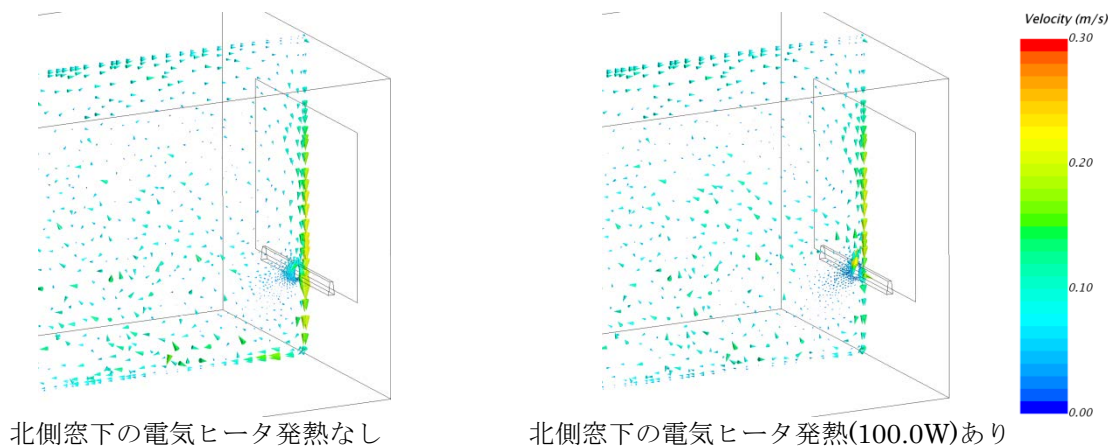
北側窓下の小型電気ヒーターの有無による C-C'断面図の温度分布を図 3-8-11、気流速度分布を図 3-8-12 に示す。紙面右側が北面であり、100.0W の電気ヒーターを設置している。温度分布によると床付近の温度上昇、気流速度分布によると小型電気ヒーター直下の風速が低減していることが分かる。また、小型電気ヒーター 50.0W の条件も追加して、F.L.+100mm の位置の風速分布を図 3-8-13 に示す。横軸は東側外壁からの距離を示しており、子供室を 4 分割した位置とした。小型電気ヒーター 100.0W 条件では、0.0W と比較して、北側 100mm の位置で 0.04m/s、北側壁面から 200mm の位置で 0.05m/s、北側壁面から 500mm の位置で 0.03m/s ダウンドラフトが低減した。なお、50.0W の発熱でもダウンドラフト低減が見受けられたが、その量はごく僅かである。



北側窓下の電気ヒーター発熱なし

北側窓下の電気ヒーター発熱(100.0W)あり

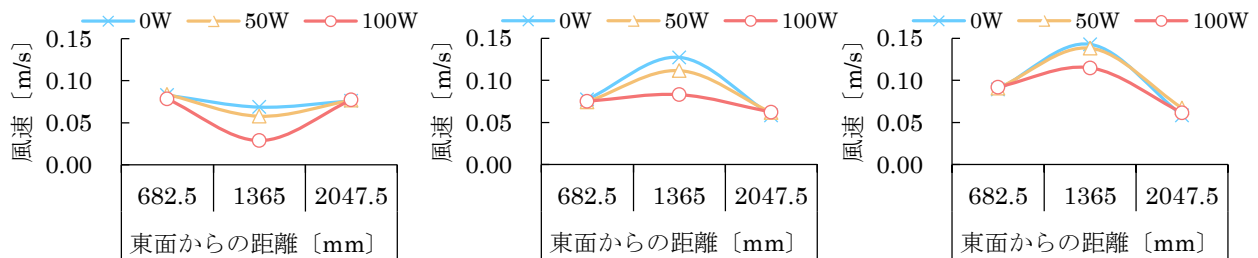
図 3-8-11 北側開口部下の電気ヒーター有無による温度分布 (C-C'の断面の温度分布)



北側窓下の電気ヒータ発熱なし

北側窓下の電気ヒータ発熱(100.0W)あり

図 3-8-12 北側開口部下の電気ヒータ有無による気流速度分布



北側壁面から 100mm の位置

北側壁面から 200mm の位置

北側壁面から 500mm の位置

図 3-8-13 北側壁面から 100mm、200mm、500mm の位置における F.L.+100mm の風速分布

4) 洗面室の床下暖房の効果

最後に、洗面室床下に電気ヒータを設置し、洗面室、トイレ 1 階、浴室の昇温効果を検討する。計算モデルを図 3-8-14 に示す。解析領域は洗面室、トイレ 1 階、浴室、居間、2 階ホール、階段室としており、居間、2 階ホールにはエアコンを設置している。計算条件を表 3-8-3 に示す。電気ヒータの効果を検討するため、発熱なし (条件 0) を設定している。床下電気ヒータ (200.0W) を設置した条件 1 と床下暖房直上に床面開口を設け、洗面室-浴室の貫流熱量が増加させる意図がある条件 2 を設定している。なお、居間には居間の温度が 23℃になるようにエアコンを設置しており、居間-洗面室間のドアは開放した条件となっている。なお、条件 1、条件 2 の時には、そのエアコンの出力を 200.0W 分低下させている。また、トイレ床面は無断熱、浴槽は湯張りをしておらず、浴室床面の熱抵抗は $0.36\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ としている。評価項目は D-D' 断面図の温度分布、室平均空気温度とした。

D-D' 断面の温度分布を図 3-8-15、室平均空気温度を図 3-8-16 に示す。居間-洗面室間のドアを開放しているため、洗面室の温度は条件 0 においてもある程度維持されているが、洗面室との間のドアを閉じているトイレと浴室では、電気ヒータを設置しない条件 0 の場合には、トイレ 1 階で 14.2℃、浴室で 12.1℃となり、居間-洗面室間のドアを開放しただけでは暖房の熱が行き渡らないことが分かる。一方、床下暖房を設置したときには、トイレ 1 階で 2.2K、浴室で 2.8K の昇温効果があった。トイレの床面に床面開口を設ければ、熱供給量が増加し、1 台の電気ヒータで洗面室、トイレ、浴室の 3 室の昇温効果が得られると考えられる。なお、床面開口を 2 つ設ける条件 2 では、条件 1 よりもトイレと浴室の温度が低下したが、これは居間-洗面室のドアを開放しているため、居間へ熱流出したと考えられる。

表 3-8-3 計算条件

条件 0	電気ヒータの発熱なし
条件 1	電気ヒータの発熱あり (200.0W) 床面開口なし
条件 2	電気ヒータの発熱あり (200.0W) 床面開口 (300mm×100mm×2つ) 設置

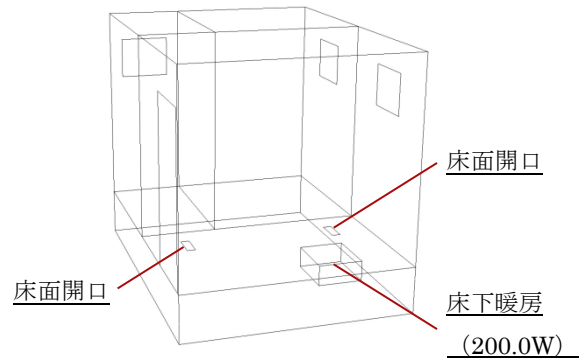


図 3-8-14 床下暖房モデル

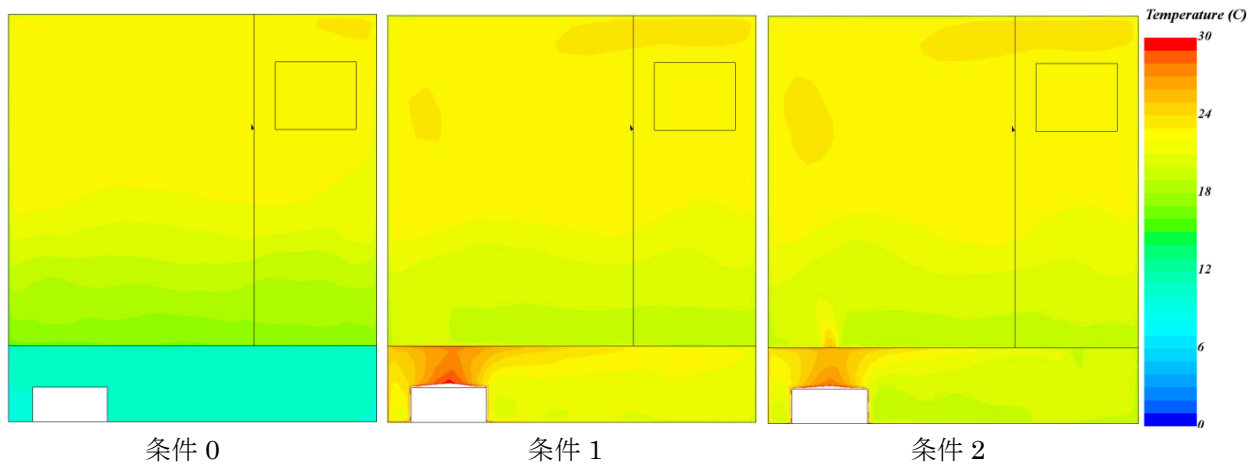


図 3-8-15 洗面室の温度分布 (D-D'断面の温度分布)

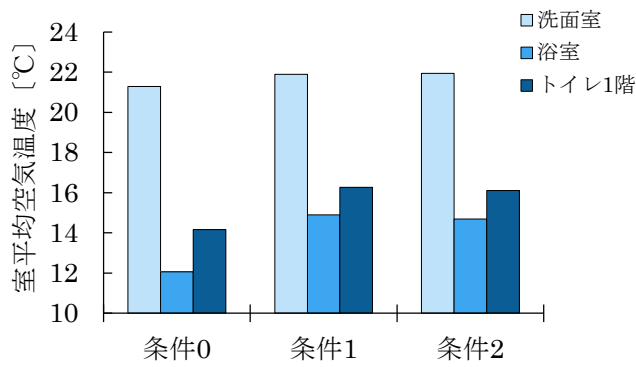


図 3-8-16 床下暖房時の各室平均空気温度

(3) まとめ

本節では、主暖房（エアコン）を設置しない室への熱供給手法を 2 つ検討し、電気ヒータを設置する利点を 2 つ確認した。本節で得られた知見を下記に示す。

- ファンの吹出し方向は水平方向よりも 45° 下向き、または下向きとすることで F.L.+100mm の位置の温度が上昇し、上下温度分布が改善された。一方で、下向き吹き出しは F.L.+100mm の位置の風速が増大し、EDT 低下の原因となっていることから、温度は上昇したものの寒く感じる可能性が示唆された。これは、ファンと電気ヒータの位置関係によるものであり、ファンと電気ヒータの距離を離すことで改善される。
- エアコンの吸込みの力を用いることで、寝室の昇温効果に寄与し、特に、室間壁面開口を可能な限り上部とすることで、その効果が高いことが推定された。ただし、寝室の暖房をするために、居間のエアコンを作動させなくてはならない状況となる。居間と寝室では在室時間帯が見合わず、非効率的な運転になりかねない。つまり、1 階と 2 階で同時刻に使用される室の場合、もしくは居間の暖房を行わない時間帯には壁面開口を閉じて別の手段で暖房する手法の場合であれば、効果的に利用できるかと推察される。
- 窓下に小型電気ヒータを設置することで、F.L.+100mm の位置で最大 0.05m/s のダウンドラフトが低減された。また、小型電気ヒータの発熱量が 50.0W であっても、ダウンドラフトが低減したが、その量はごく僅かであった。
- 洗面室の床下に暖房を設置することで、トイレ 1 階では 2.2K、浴室では 2.8K の昇温効果が確認された。一方で、床下開口を洗面室に設けることで、洗面室→トイレ 1 階、浴室への貫流熱が増加するという予想であったが、増加しなかった。床面開口をトイレ 1 階にも設置することができれば、昇温効果が顕れる可能性はある。

4. 実棟における開口とファンの効果の検証、電気ヒータの制御方法の検討

4-1. 目的

屋外に建つ実験棟において、エアコン設置室と隣接する電気パネルヒータもしくは蓄熱暖房器を設置する部屋との温度差、それらの室間の開口やファン、電気パネルヒータの温度設定及び蓄熱暖房器の蓄熱量等をパラメータとする実験を実施し、開口とファンによる熱供給の効果を検証するとともに、電気ヒータの制御に関わる知見を得る。

4-2. 実験棟の概要

(1) 実験棟の外観、図面

本章で報告する実験は全て、北海道電機株式会社敷地内（北海道空知郡奈井江町字奈井江 776 番地）に 2003 年 9 月に建設した木造平屋建（枠組壁工法）の実験棟（プロメテウスⅡ）で実施した。実験棟の外観写真を図 4-2-1 に、図面を図 4-2-2 に示す。



図 4-2-1 実証住宅外観

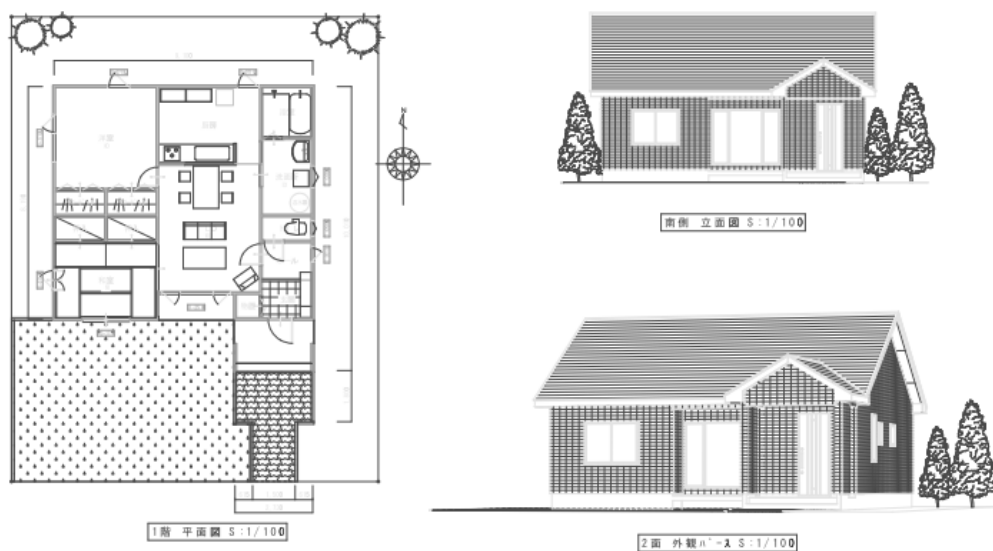


図 4-2-2 実証住宅図面

(2) 実験棟の仕様と性能

実験棟は延床面積 71.14m² で、外皮の断熱仕様は壁・床がウレタン 89mm 厚、天井がグラスウール 300mm 厚である。また、窓は樹脂サッシ、低放射複層ガラスで中空層は 16mm 厚のアルゴン充填である。

図 4-2-3 に示す色付きの部屋が本実験で暖房空間として使用する範囲であり、この範囲の熱損失率等を次のとおり実測を基に推定した。実測では暖房空間の各部屋に電気パネルヒータを設置し、各部屋がなるべく同一温度 (21℃) になるように電気パネルヒータの出力を調整した。日照の影響を排除するために 0:00~6:00 の夜間 6 時間における実測結果を用い、この時間帯における暖房熱量の平均値を外気温の度差平均値で除して熱損失率を推定した。推定した暖房空間全体の熱損失率は 90.92 W/K (換気無し)、部屋別の熱損失率は LDK45.78 W/K、和室 18.40 W/K、洋室 26.74 W/K である。

(3) 実験棟内の暖房器の内容及び配置

実験棟の暖房器の配置を図 4-2-3 に、また暖房器の概要を表 4-2-1 に示す。

実験時は LDK と玄関、脱衣所間の扉を閉め、図 4-2-3 の色付部分が暖房されるようにした。

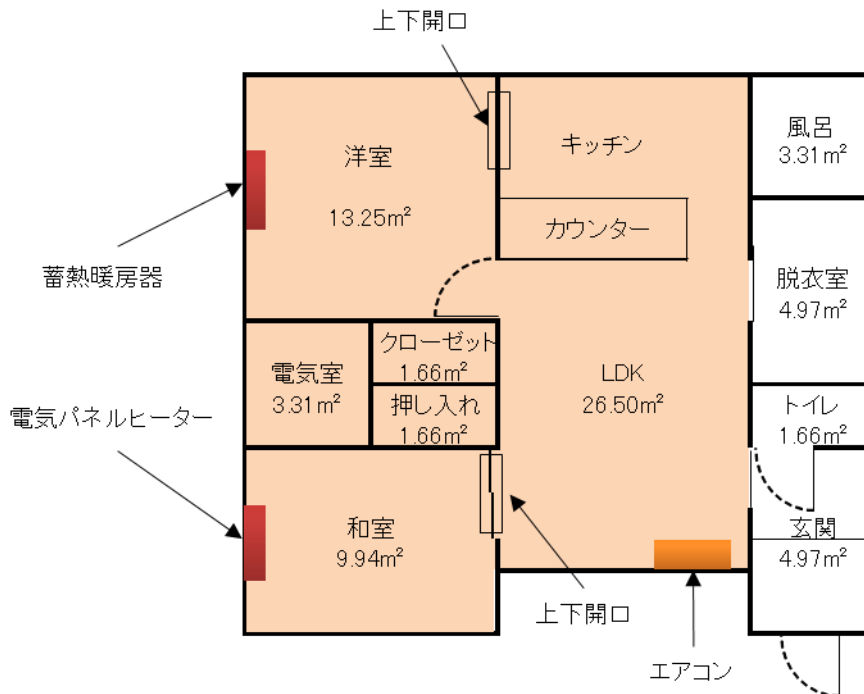


図 4-2-3 実験棟の暖房器配置状況/部屋間開口設置状況

表 4-2-1 暖房器の概要

暖房器種類	メーカー	型式
エアコン (マルチエアコン)	ダイキン工業株式会社	室外機：5M100NV 室内器：C22NTV-W
電気パネルヒータ	北海道電機株式会社	PHR-740-W
蓄熱暖房器	北海道電機株式会社	MVA-3000

(4) 実験棟内の部屋間開口の設定

LDK と和室の間、及び LDK (キッチン) と洋室の間の間仕切り壁に図 4-2-4 に示す開口を設置した。開口は図 4-2-4 の状態だけでなく、一部を塞いで実開口面積を 1/3 にする条件も設定した。これらの開口の実面積、及び上下開口の距離 (上下それぞれの開口の中央高さの間の距離) を表 4-2-2 に示す。実験における開口の条件は次の 5 通りとした。

<開口の条件>

- ① 扉を開けて、上下開口を全開
- ② 扉を閉めて、上下開口を全開
- ③ 扉を閉めて、上下開口を 1/3 開
- ④ 扉と上下開口の両方を全閉
- ⑤ 扉を閉めて、上部にファンを設置して、下の開口を全開

上記⑤は扉を閉めて上部開口のみを塞ぎ、その塞いだ部分にファン (三菱電機株式会社製パイプ用ファンV-08PA7) を配置設定した。ファンの風量を風量測定器 (コーナー札幌、SWF-125) により測定したところ、62.0[m³/h]であった。ただし、静圧の小さなプロペラファンであったため、風量測定器の圧力損失の影響が生じて、実際の風量よりも測定値の方が小さくなっている可能性がある。図 4-2-5 にファンの設置状況を示す。

なお開口の一部もしくは全部を塞ぐ場合は、熱伝導率 0.028[W/m・K]、10mm 厚の押出法ポリスチレンフォーム保温板を設置した。



図 4-2-4 (左) 和室と LDK、(右) 洋室と LDK (キッチン) 間の開口

表 4-2-2 開口の位置と面積、上下開口の距離

開口の状態	開口の場所	実開口面積 (上下それぞれ)	上下開口の距離
全開	和室と LDK の間	0.323m ²	2.05m
	洋室と LDK (キッチン) の間	0.274m ²	2.05m
1/3 開	和室と LDK の間	0.108m ²	2.05m
	洋室と LDK (キッチン) の間	0.091m ²	2.05m



図 4-2-5 (左) 和室とLDK、(右) 洋室とLDK (キッチン) 間の上部開口にファンを設置した状態

(5) 温度、電力測定

LDK、キッチン、和室、洋室の中央点(平面、高さともに中央の位置)、各開口の中央の位置、屋外(外気)に熱電対を設置して温度を1分間隔で測定した。また、各暖房器の電気配線にクランプオンパワーハイテスタ(HIOKI3168)を接続して1分間隔で電圧と電流値を測定し、消費電力を算出した。

4-3. 開口による隣室からの熱供給に関する検証

(1) 目的

部屋間の開口がエアコン設置室から隣室にもたらす熱供給量について、実験値と理論値を比較することで、開口の有効性と3-4で示した設計手法の妥当性を検証する。

(2) 実験条件

暖房器はLDKのエアコンのみを用い、LDKが23℃程度となり、風量と風向が固定されるように運転条件を設定した。和室とLDK、洋室とLDKの間に、4-2(4)で述べた①～④の条件の開口を設けた。実験では各部屋の温度とエアコン消費電力を測定した。なお機械換気は実施していない。

日照の影響を排除するため、0:00～6:00の測定データの平均値を後述の分析に用いた。また、エアコン消費電力と外気温度の実測値を用い、住宅の省エネルギー基準の一次エネルギー消費量の計算方法に基づき(エネルギー消費性能計算プログラム(住宅版) Ver. 2.0～)、エアコンの部分負荷効率を考慮したCOPを計算したうえで、エアコンの暖房出力(LDK内に吹き出した熱量の仕事率)を推定した。

また実験実施期間中において外気温度が変動したが、実証住宅の熱損失率を4-2(2)で示した90.92 W/K(換気無し)として外気温度0℃における必要熱量を補正計算した。

(3) 実験結果

表4-3-1及び図4-3-1、4-3-2に各部屋の温度の実測値、及びエアコンの暖房出力の推定値を示す。図4-3-2に示すエアコンの暖房出力を見ると、部屋間の開口が大きいほどエアコンの暖房出力が増加する傾向にある。このことから、開口が大きいほど隣室に対する熱供給量が増加したことが分かる。

表 4-3-1 LDK のエアコンのみで暖房を行う場合の実験結果（部屋間の開口の条件は①～④）

部屋間条件	和室中央平均温度 (°C)	洋室中央平均温度 (°C)	キッチン中央平均温度 (°C)	LDK 中央平均温度 (°C)	外気温度平均温度 (°C)	LDK エアコンの消費電力 (W)	エアコン COP*	LDK エアコンの暖房出力 (W)	外気温度 0°C のエアコンの暖房出力補正值 (W) **
①扉を開けて、上下開口を全開	21.0	20.1	21.1	22.4	0.5	1033	2.33	2404	2453
②扉を閉めて、上下開口を全開	20.5	19.0	20.8	22.6	0.2	963	2.23	2151	2173
③扉を閉めて、上下開口を 1/3 開	19.2	17.5	21.0	22.6	2.6	816	2.11	1723	1963
④扉と上下開口の両方を全閉	15.0	14.1	21.2	22.6	0.1	844	2.07	1744	1753

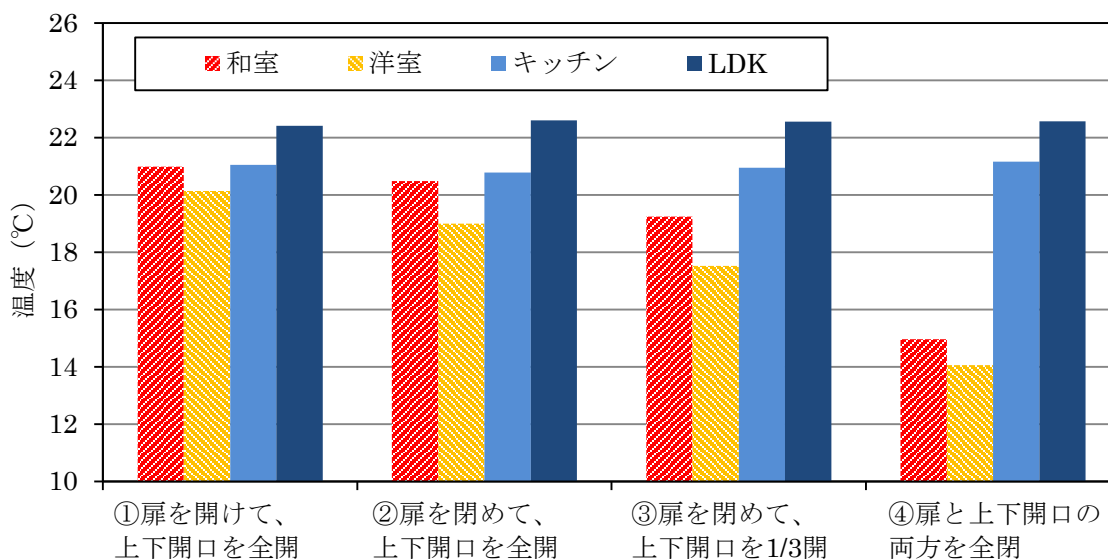


図 4-3-1 開口条件別の各部屋中央温度

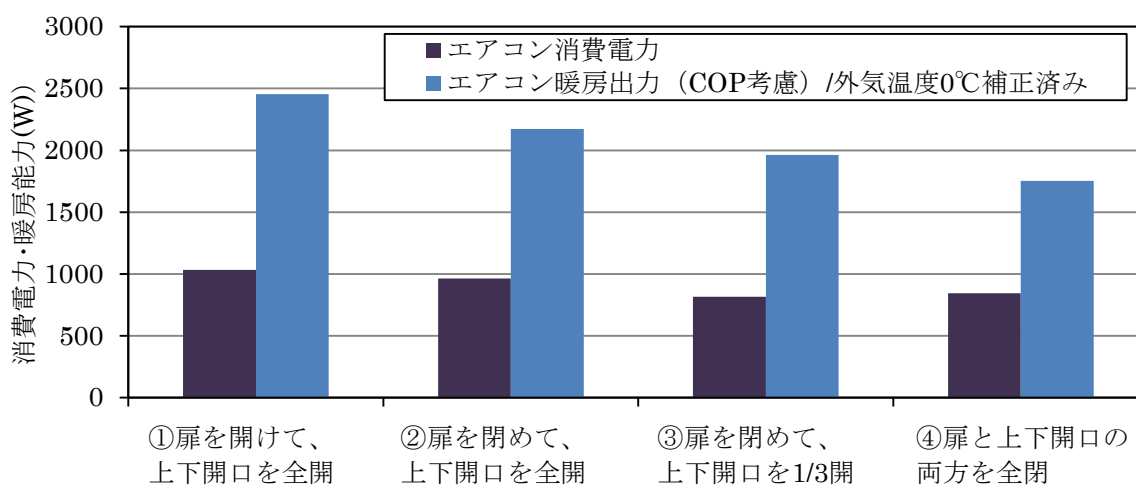


図 4-3-2 開口条件別のエアコンの消費電力と暖房出力

(4) 部屋間の開口による熱供給量の分析

部屋間に開口を設けることで生じる、温度が高い部屋から低い部屋に対する空気対流による熱供給について分析する。分析では図 4-3-3 および式 (4-3-1) に示す方法により算出される熱抵抗を利用する。なお、その逆数を熱供給率と称する。

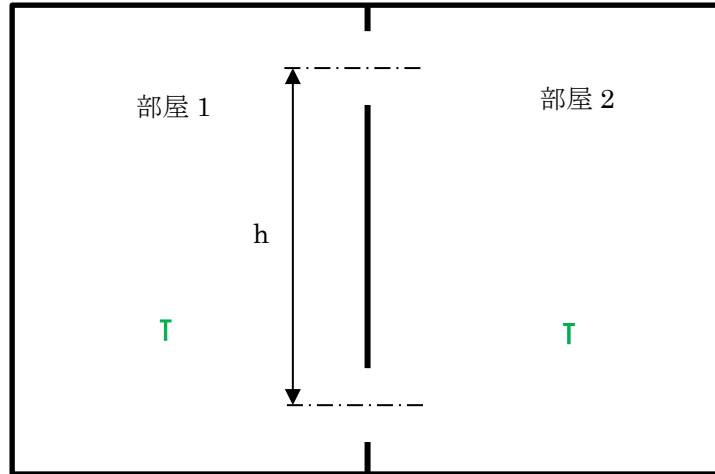


図 4-3-3 部屋間の開口の熱抵抗の計算方法

$$R=1/CV\gamma[K/W] \quad (4-3-1)$$

$$V=\alpha A\sqrt{(gh \cdot \Delta T/T_0)} \quad (4-3-2)$$

R : 熱抵抗

C:空気比熱[J/kg・K]

γ :空気密度[Kg/m³]

V:空気開口速度[m³/s]

α :流量係数

A : 開口面積 (上下片側) [m²]

g:重力加速度[m/s²]

h:上下開口の距離[m]

$\Delta T = T_1 - T_0$

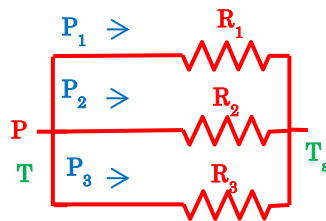
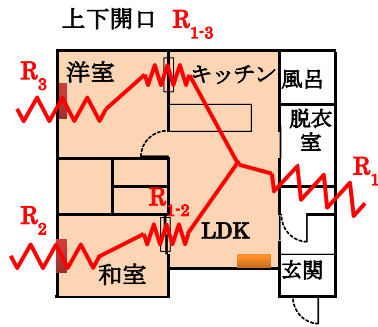
T₁ : 部屋 1 温度

T₀ : 部屋 2 温度

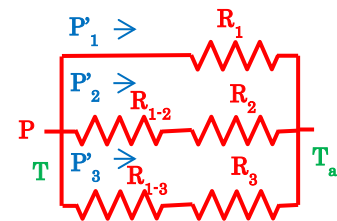
図 4-3-4 および式 (4-3-3) ~ (4-3-11) に部屋間の開口の条件によって熱抵抗が変わる場合の説明を記載する。

図 4-3-5 に、開口の条件が②の場合における部屋間の温度差と熱抵抗および熱供給率の関係を示す。部屋間の温度差が大きい程熱抵抗は小さくなり熱供給量が多くなるが、その進行と共に部屋間の温度差が小さくなることで熱供給量が減少し、室間の温度差がある一定値となったところで釣り合う。

図 4-3-5 の温度差は部屋間温度差としているが、実際の住空間では上下温度むらがあり、上と下の開口の位置で温度が異なると推測される。表 4-3-2 に今回の実験で得られた各部屋の中央の温度から算出した温度差、および各開口上下の温度差を示す。上下温度むらに起因して、2 部屋の中央の温度差よりも上下の開口の位置の温度差の方が大きくなっている。このことが熱供給量におよぼす影響を分析するため、図 4-3-6 に示す方法で開口の熱抵抗を計算し、前述の図 4-3-3 の理論式から得られる熱抵抗と比較した。表 4-3-3 に開口の条件が②③の場合の推定結果を示す。熱抵抗は[理論値 > 実測に基づく計算値]という関係になったが、その違いは 10~30%程度であった。この違いの発生原因として、図 4-3-6 の方法では開口を作った場合の壁の熱抵抗低下を考慮していないこと、また、理論値は開口部の流量係数を 0.6 と推定して利用していることが考えられる。但しこのようなある程度ラフな計算においても、実験結果に比較的近い値が得られた。



a.LDK/和室、LDK/洋室の間の扉を開け、この間の熱抵抗=0と仮定した場合の熱回路網



b.LDK/和室、LDK/洋室の扉を締めたり、開口を作りこの間の熱抵抗があると仮定した場合の熱回路網

エアコンは T (LDK 温度) 一定となるように制御するため、(1)(2)式より(3)(4)式の関係となる。R' total > Rtotal であるので P' < P となり、LDK/和室、LDK/洋室間に熱抵抗が存在するとエアコン暖房出力は小さくなる。

図 4-3-4 部屋間の開口の熱抵抗が変化した場合の LDK エアコンの暖房出力の変化の考え方

a. LDK/和室、LDK/洋室の間の扉を開け、この間の熱抵抗=0と仮定した場合の熱回路網

$$\Delta T = T - T_a \quad (4-3-3)$$

$$1/R_{total} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \quad (4-3-5)$$

$$P \times R_{total} = \Delta T \quad (4-3-6)$$

P : エアコン暖房出力[W]

P1 : LDK から外気に直接流れるエアコン暖房出力[W]

P2 : LDK から和室を経由して外気に流れるエアコン暖房出力[W]

P3 : LDK から洋室を経由して外気に流れるエアコン暖房出力[W]

T : LDK 温度[°C]

Ta : 外気温度[°C]

R1 : LDK/外気間の熱抵抗[K/W]

R2 : 和室/外気間の熱抵抗[K/W]

R3 : 洋室/外気間の熱抵抗[K/W]

Rtotal : 熱抵抗の合成抵抗

b. LDK/和室、LDK/洋室の扉を締めたり、開口を作りこの間の熱抵抗があると仮定した場合の熱回路網

$$\Delta T = T - T_a \quad (4-3-7)$$

$$1/R'_{total} = 1/R_1 + 1/(R_2 + R_{1-2}) + 1/(R_3 + R_{1-3}) \quad (4-3-8)$$

$$P' \times R'_{total} = \Delta T \quad (4-3-9)$$

P' : エアコン暖房出力[W]

P'1 : LDK から外気に直接流れるエアコン暖房出力[W]

P'2 : LDK から和室を経由して外気に流れるエアコン暖房出力[W]

P'3 : LDK から洋室を経由して外気に流れるエアコン暖房出力[W]

T : LDK 温度[°C]

Ta : 外気温度[°C]

R1 : LDK/外気間の熱抵抗[K/W]

R2 : 和室/外気間の熱抵抗[K/W]

R3 : 洋室/外気間の熱抵抗[K/W]

R1-2 : LDK/和室間の熱抵抗[K/W]

R1-3 : LDK/洋室間の熱抵抗[K/W]

R'total : 熱抵抗の合成抵抗

$$P' \times R'_{total} = P \times R_{total} \quad (4-3-10)$$

$$P'/P = R_{total} / R'_{total} \quad (4-3-11)$$

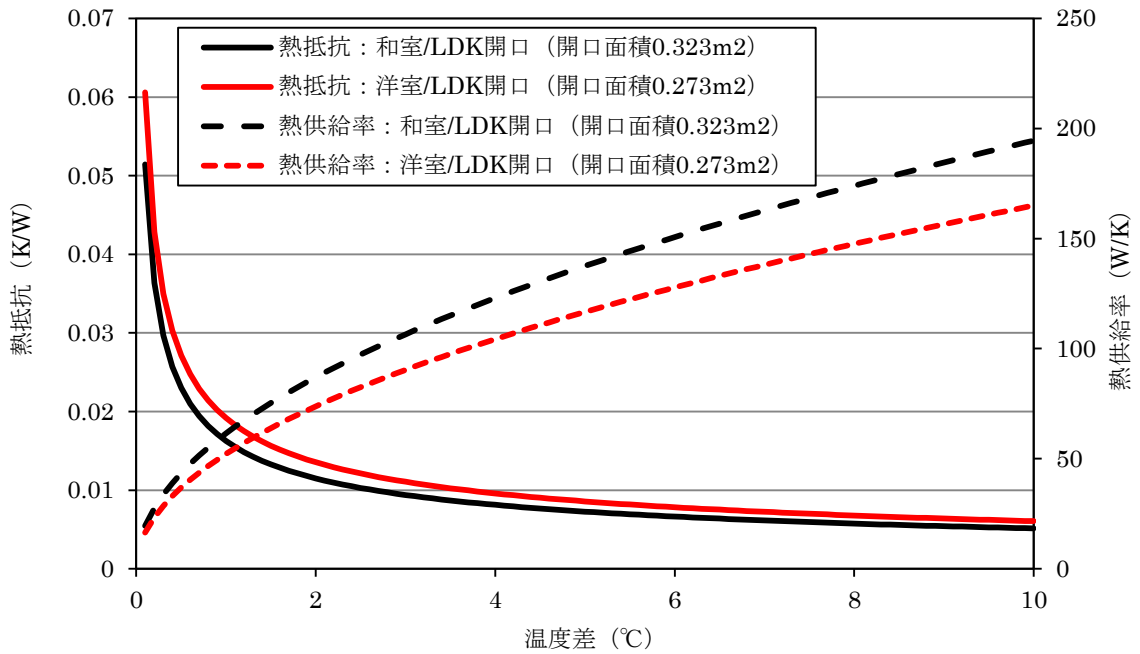
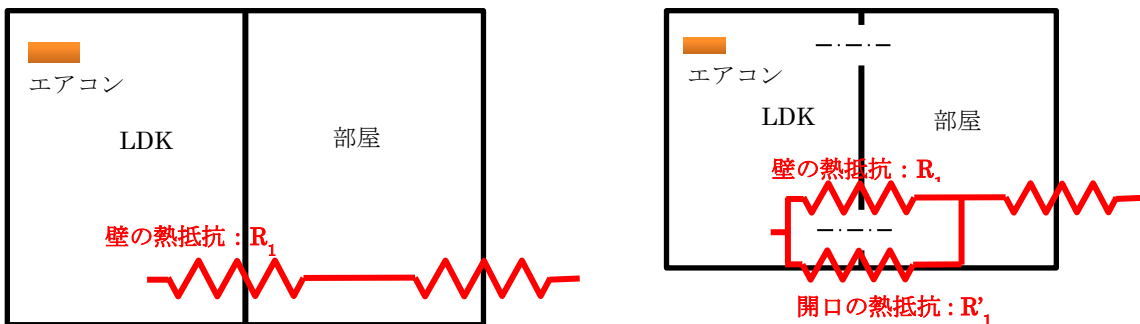


図 4-3-5 部屋間に上下開口が存在する場合の熱抵抗と部屋間温度差の関係

表 4-3-2 部屋間温度差と開口上下温度差の関係

部屋間条件	和室/LDK 温度差 (°C)	和室/LDK 上下開口 温度差 (°C)	洋室/LDK 温度差 (°C)	キッチン/LDK 温度差 (°C)	洋室/LDK 上下開口 温度差 (°C)
①扉を開けて 上下開口を全開	1.4	3.0	2.3	0.9	1.5
②扉を閉めて 上下開口を全開	2.1	3.4	3.6	1.8	2.2
③扉を閉めて 上下開口を 1/3 開	3.3	4.6	5.0	3.4	3.6
④扉と上下開口の 両方を全閉	7.6	2.0	8.5	7.1	0.7



(1) 部屋/LDK 間が全閉の状態でも LDK エアコンのみを動作させた実験と、別に測定した部屋の熱損失率から、部屋/LDK 全閉における壁の熱抵抗 R_1 が計算できる。(部屋温度/外気温度差と部屋の熱損失率から計算される LDK から部屋への移動熱量と、LDK 温度/部屋温度差から計算できる。)

(2) 部屋/LDK 間で開口を設けた場合、壁の熱抵抗 (R_1) と並列に開口の熱抵抗 $R'1$ が存在し、合成抵抗 $R(1)$ が全体の抵抗となる。この $R(1)$ も (1) と同様の方法で計算できる。

(3) R_1 と $R(1)$ の値から、開口の熱抵抗 $R'1$ を計算する。

図 4-3-6 実験データを用いた開口の熱抵抗の推定方法

表 4-3-3 和室とLDK、洋室とLDKの間の開口の熱抵抗と熱供給量

②扉を閉めて上下開口を全開				③扉を閉めて上下開口を1/3開			
和室/LDK間				和室/LDK間			
空気比熱 (20℃)	C	1006	J/kg・K	空気比熱 (20℃)	C	1006	J/kg・K
空気密度 (20℃)	ρ	1.2048	kg/m ³	空気密度 (20℃)	ρ	1.2048	kg/m ³
和室開口断面積	A	0.323	m ²	和室開口断面積	A	0.108	m ²
和室上下開口距離	h	2.05	m	和室上下開口距離	h	2.05	m
流量係数	α	0.6		流量係数	α	0.6	
LDK/和室上下開口温度差	ΔT	3.40	℃	LDK/和室上下開口温度差	ΔT	4.56	℃
開口寸法と実測開口温度差で計算される開口熱抵抗	R1'	0.0088	K/W	開口寸法と実測開口温度差で計算される開口熱抵抗	R1'	0.0228	K/W
LDK/和室中央部温度差		2.11	℃	LDK/和室中央部温度差		3.32	℃
和室/屋外温度差		20.25	℃	和室/屋外温度差		16.6	℃
壁熱抵抗	R1	0.0278	K/W	壁熱抵抗	R1	0.0278	K/W
和室の熱損失率と和室/屋外温度差から計算される熱流		372.59	W	和室の熱損失率と和室/屋外温度差から計算される熱流		305.38	W
LDK/和室 合成熱抵抗	R(1)	0.0057	K/W	LDK/和室 合成熱抵抗	R(1)	0.0109	K/W
LDK/和室 壁熱抵抗	R1	0.0278	K/W	LDK/和室 壁熱抵抗	R1	0.0278	K/W
上記2つより計算される開口熱抵抗	R1'	0.0071	K/W	上記2つより計算される開口熱抵抗	R1'	0.0178	K/W

②扉を閉めて上下開口を全開				③扉を閉めて上下開口を1/3開			
洋室/LDK間				洋室/LDK間			
空気比熱 (20℃)	C	1006	J/kg・K	空気比熱 (20℃)	C	1006	J/kg・K
空気密度 (20℃)	ρ	1.2048	kg/m ³	空気密度 (20℃)	ρ	1.2048	kg/m ³
洋室開口断面積	A	0.274	m ²	洋室開口断面積	A	0.0913	m ²
和室上下開口距離	h	2.05	m	和室上下開口距離	h	2.05	m
流量係数	α	0.6		流量係数	α	0.6	
LDK/洋室上下開口温度差	ΔT	2.24	℃	LDK/洋室上下開口温度差	ΔT	3.63	℃
開口寸法と実測温度差で計算される開口熱抵抗	R2'	0.0128	K/W	開口寸法と実測温度差で計算される開口熱抵抗	R2'	0.0302	K/W
LDK/洋室中央部温度差		3.60	℃	LDK/洋室中央部温度差		5.03	℃
洋室/外温度差		18.76	℃	洋室/外温度差		14.88	℃
壁熱抵抗	R2	0.0228	K/W	壁熱抵抗	R2	0.0228	K/W
洋室の熱損失率と和室/屋外温度差から計算される熱流		501.60	W	洋室の熱損失率と和室/屋外温度差から計算される熱流		397.76	W
LDK/洋室 合成熱抵抗	R(2)	0.0072	K/W	LDK/洋室 合成熱抵抗	R(2)	0.0127	K/W
LDK/洋室 壁熱抵抗	R2	0.0228	K/W	LDK/洋室 壁熱抵抗	R2	0.0228	K/W
上記2つより計算される開口熱抵抗	R2'	0.0105	K/W	上記2つより計算される開口熱抵抗	R2'	0.0284	K/W

(5) まとめ

エアコン設置室 (LDK) と隣室の間の開口の面積が大きくなるほど LDK から隣室に対する熱供給量が増加することを確認した。

また、実際の住空間では上下温度むらが生じて上と下の開口の位置で温度差が生じ、その結果、3-4で述べた計算方法による理論値よりも熱供給量が多くなることが分かった。しかし、その差は本実験条件では 10~30%程度であり、隣室の暖房の設計上、安全側となることから、3-4の開口面積の設計方法は実用可能であると考えられる。

4-4. 電気パネルヒータの制御方法（温度設定）に関する検討

（1）目的

2-1 等で述べたとおり、エアコンを設置しない部屋ではファンや開口を用いてエアコン設置室から熱供給する手法を提案するが、ファンや開口を設置できない場合や、設置しても十分な熱が得られない場合には、電気ヒータにより熱を補う。本節ではエアコン設置室（LDK）との間に開口やファンを設置した条件下における、隣室（和室）の電気パネルヒータの動作状態を確認した実験の結果を報告する。

（2）実験条件

LDK のエアコン、和室の電気パネルヒータ、洋室の蓄熱暖房器を運転させた。また、和室と LDK、洋室と LDK の間の開口の条件は前述の①～⑤とした。エアコンは LDK が 23℃程度になるように運転し、風量、風向は固定条件とした。和室のパネルヒータの温度設定は 17、18、19、20℃の 4 条件とした。なお機械換気は実施していない。

日照の影響を排除するため、0:00～6:00 の測定データの平均値を後述の分析に用いた。また、エアコン消費電力と外気温度の実測値を用い、住宅の省エネルギー基準の一次エネルギー消費量の計算方法に基づき（エネルギー消費性能計算プログラム（住宅版）Ver. 2.0～）、エアコンの部分負荷効率を考慮した COP を計算したうえで、エアコンの暖房出力（LDK 内に吹き出した熱量の仕事率）を推定した。

また、実験実施期間中において外気温度が変動したが、電気ヒータ別に熱供給量等の温度補正を行うことが困難であるため外気温度を同一とするための補正は実施していない。

（3）実験結果

表 4-4-1、図 4-4-1～4-4-5 に、各室の室温と電気ヒータの消費電力の実測結果、およびエアコンの暖房出力の推定結果を示す。

和室の電気パネルヒータは、エアコン設置室の LDK から得られる熱供給で到達する温度よりも、設定温度が低い場合には動作しない。例えば図 4-4-1 に示す通り、和室と LDK の間の開口が大きく、電気パネルヒータの設定温度が 17～18℃と低い場合は動作しなかった。

また図 4-3-5 で示したとおり、部屋間の温度差が小さいほど、開口の熱抵抗は大きくなり部屋間の熱移動が減少する。そのため図 4-4-1～4-4-3 に示すとおり、電気パネルヒータ温度設定を 20℃にした場合は両室の温度差が殆どなくなり、その結果エアコンの暖房出力が大きくなること（エアコンの熱が自室である LDK 以外の暖房にはあまり利用されない状態）が確認された。この結果から、電気パネルヒータの設定温度をエアコンよりも若干でも低くすることが、エアコン設置室からの熱供給を得て、電気パネルヒータの消費電力を低減することになると確認できる。

なお、電気パネルヒータの温度制御のための室温測定は機器内部の温度センサにより行うため、設定温度は温度測定位置や部屋全体の場所を考慮して決定する必要がある。本実験で電気パネルヒータが作動した（消費電力が 0 よりも多くなった）条件では、設定温度と部屋中央の温度差が 1.7～3.0℃となった。

ファン（70m³/h）で強制的に熱供給する場合（図 4-4-5）の電気パネルヒータの消費電力を、開口の条件①②③（図 4-4-1～図 4-4-3）と比較すると、17～18℃設定の場合には多いが、20℃設定の場合には若干少ない。このことから、エアコン設置室との温度差が小さいほど、開口の場合は対流の量が少なくなるが、ファンの場合は風量が一定のため、ある程度の熱供給を得られることを確認できる。

また図 4-4-6 に開口条件①～⑤について、横軸に（和室室温-外気温）/（LDK 室温-外気温）をとり、縦軸に和室電気パネルヒータの消費電力をプロットしたものを示す。この結果を見ると和室と LDK の温度差がある程度ある場合には、LDK からのエアコンの熱供給の受けやすさは①<②<③<⑤<④となっていることがわかる。

表 4-4-1 和室電気パネルヒータ制御温度と開口条件の組み合わせ実験結果

隙間条件	電気ヒータ設定条件	和室中央平均温度(°C)	洋室中央平均温度(°C)	キッチン中央平均温度(°C)	LDK中央平均温度(°C)	外気温度平均温度(°C)	和室暖房エネルギー(W)	洋室暖房エネルギー(W)	LDKエアコンエネルギー(W)	エアコン*COP	LDKエアコン暖房エネルギー(W)	最小蓄熱温度(°C)	最大蓄熱温度(°C)
①扉を開けて上下隙間を全開	和室パネルヒータ17°C設定 洋室蓄熱量中設定ファン動作17°C設定	21.4	21.3	21.6	23.0	-0.2	0	1031	1001	2.26	2266	318	516
②扉を閉めて上下隙間を全開		20.5	20.3	21.2	22.7	-3.9	0	1021	1091	2.21	2410	320	515
③扉を閉めて上下隙間を1/3開		19.5	20.1	21.2	22.5	-0.6	0	1043	840	2.04	1712	314	517
④扉と上下隙間の両方を全開		19.6	18.6	21.7	22.9	-5.9	330	1022	1036	2.09	2168	315	516
⑤扉を閉めて上部にファンを設置		19.1	20.3	21.8	23.1	-1.6	95	1038	944	2.14	2023	321	517

隙間条件	電気ヒータ設定条件	和室中央平均温度(°C)	洋室中央平均温度(°C)	キッチン中央平均温度(°C)	LDK中央平均温度(°C)	外気温度平均温度(°C)	和室暖房エネルギー(W)	洋室暖房エネルギー(W)	LDKエアコンエネルギー(W)	エアコン*COP	LDKエアコン暖房エネルギー(W)	最小蓄熱温度(°C)	最大蓄熱温度(°C)
①扉を開けて上下隙間を全開	和室パネルヒータ18°C設定 洋室蓄熱量中設定ファン動作18°C設定	21.1	20.9	21.2	22.6	-5.2	0	1034	1090	2.16	2357	319	516
②扉を閉めて上下隙間を全開		20.7	20.2	21.4	22.6	-7.1	122	1003	1211	2.18	2642	306	507
③扉を閉めて上下隙間を1/3開		20.4	20.1	21.1	22.5	0.7	126	1048	782	1.99	1556	321	517
④扉と上下隙間の両方を全開		20.8	18.3	21.5	22.8	-13.6	434	1024	1146	1.93	2210	314	515
⑤扉を閉めて上部にファンを設置		19.7	19.8	21.4	22.8	-1.2	152	1021	939	2.15	2019	321	515

隙間条件	電気ヒータ設定条件	和室中央平均温度(°C)	洋室中央平均温度(°C)	キッチン中央平均温度(°C)	LDK中央平均温度(°C)	外気温度平均温度(°C)	和室暖房エネルギー(W)	洋室暖房エネルギー(W)	LDKエアコンエネルギー(W)	エアコン*COP	LDKエアコン暖房エネルギー(W)	最小蓄熱温度(°C)	最大蓄熱温度(°C)
①扉を開けて上下隙間を全開	和室パネルヒータ19°C設定 洋室蓄熱量中設定ファン動作19°C設定	21.6	21.1	21.4	22.8	-5.6	174	1025	1125	2.18	2450	321	515
②扉を閉めて上下隙間を全開		22.0	20.1	21.2	22.6	-6.0	549	1014	1094	2.14	2339	319	515
③扉を閉めて上下隙間を1/3開		21.4	20.2	21.1	22.5	-3.0	272	1042	786	1.88	1479	320	517
④扉と上下隙間の両方を全開		22.0	18.2	21.5	22.8	-13.6	486	1277	1135	1.92	2183	278	498
⑤扉を閉めて上部にファンを設置		20.9	19.3	21.5	22.8	-8.6	308	1021	1111	2.06	2292	315	514

隙間条件	電気ヒータ設定条件	和室中央平均温度(°C)	洋室中央平均温度(°C)	キッチン中央平均温度(°C)	LDK中央平均温度(°C)	外気温度平均温度(°C)	和室暖房エネルギー(W)	洋室暖房エネルギー(W)	LDKエアコンエネルギー(W)	エアコン*COP	LDKエアコン暖房エネルギー(W)	最小蓄熱温度(°C)	最大蓄熱温度(°C)
①扉を開けて上下隙間を全開	和室パネルヒータ20°C設定 洋室蓄熱量中設定ファン動作20°C設定	22.1	20.4	20.9	22.3	2.2	461	2305	695	1.88	1308	133	514
②扉を閉めて上下隙間を全開		21.7	20.0	20.5	22.0	2.4	578	2277	399	1.21	482	150	515
③扉を閉めて上下隙間を1/3開		22.4	21.0	20.7	22.0	1.9	409	1012	373	1.05	390	323	515
④扉と上下隙間の両方を全開		22.8	19.0	21.5	22.8	-8.4	469	1282	1013	1.99	2014	263	495
⑤扉を閉めて上部にファンを設置		21.9	19.3	21.5	22.9	-5.5	369	1524	1065	2.13	2271	255	512

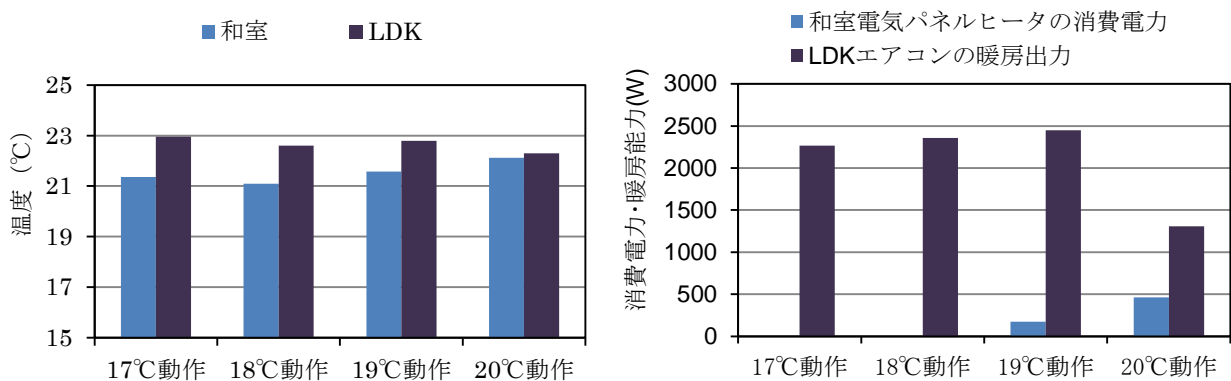


図 4-4-1 「①扉を開けて上下開口を全開」の室温、電気パネルヒータの消費電力、エアコンの暖房出力

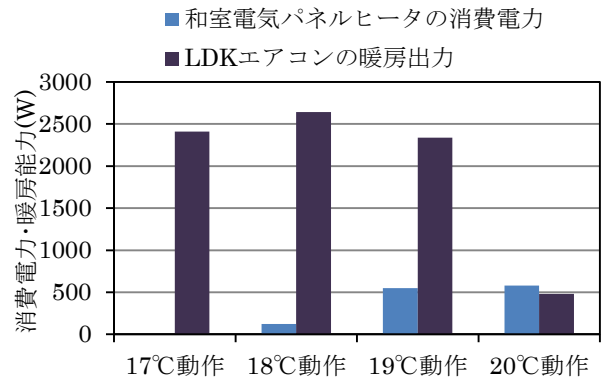
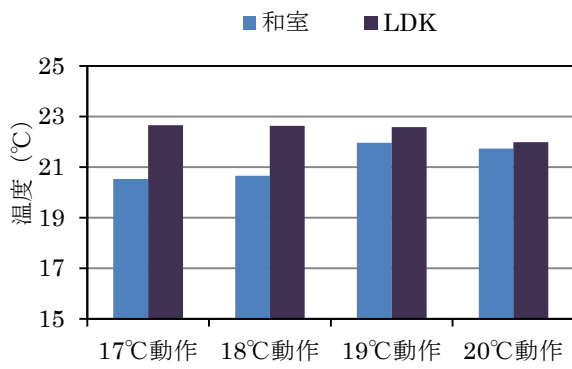


図 4-4-2 「②扉を閉めて上下開口を全開」の室温、電気パネルヒータの消費電力、エアコンの暖房出力

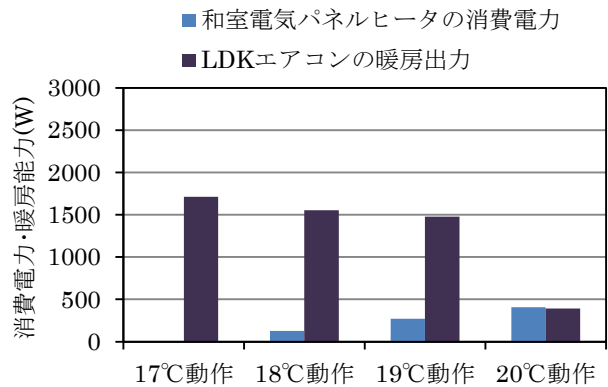
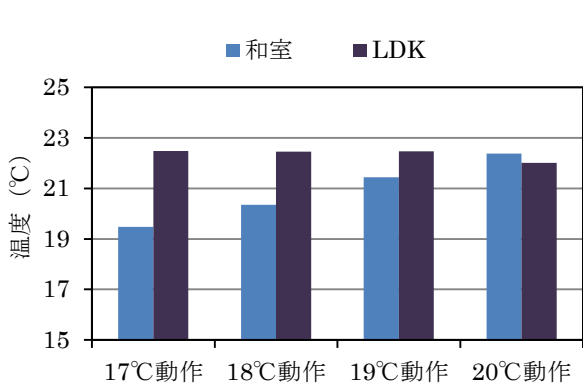


図 4-4-3 「③扉を閉めて上下開口を 1/3 開」の室温、電気パネルヒータの消費電力、エアコンの暖房出力

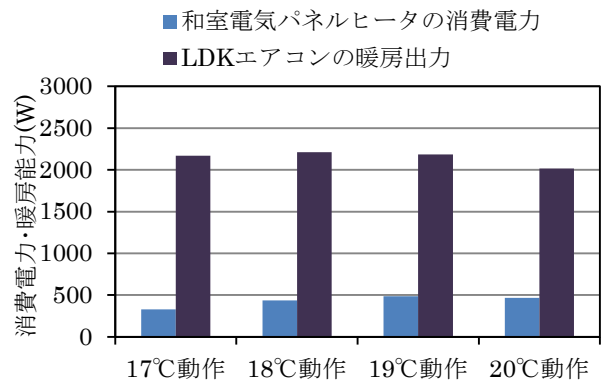
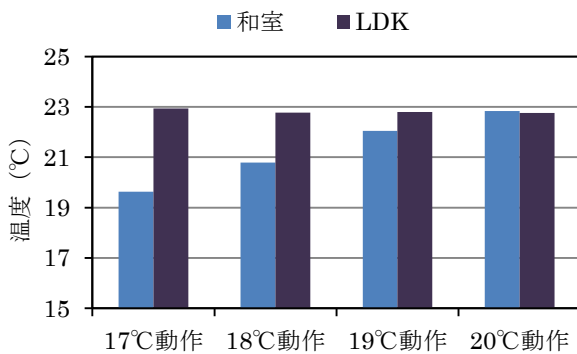


図 4-4-4 「④扉と上下開口の両方を全閉」の室温、電気パネルヒータの消費電力、エアコンの暖房出力

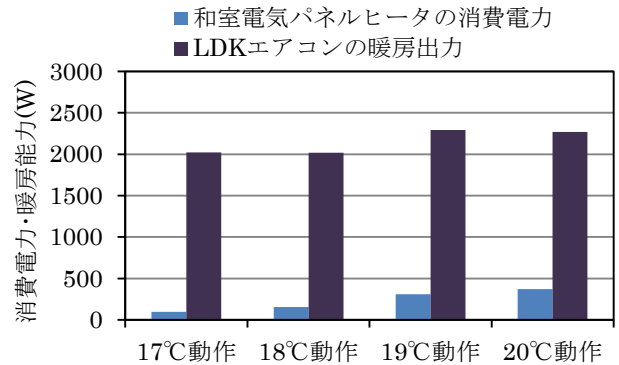
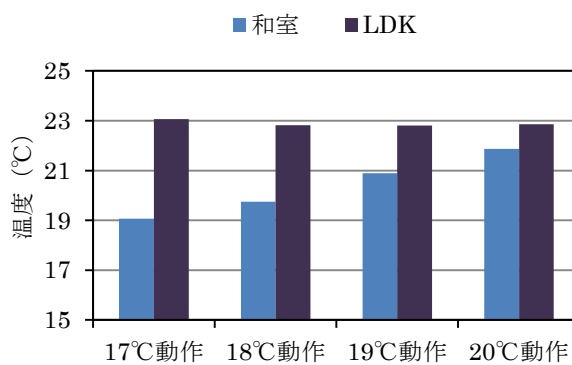


図 4-4-5 「⑤扉を閉めて上部にファンを設置し下の開口を全開」の室温、電気パネルヒータの消費電力、エアコンの暖房出力

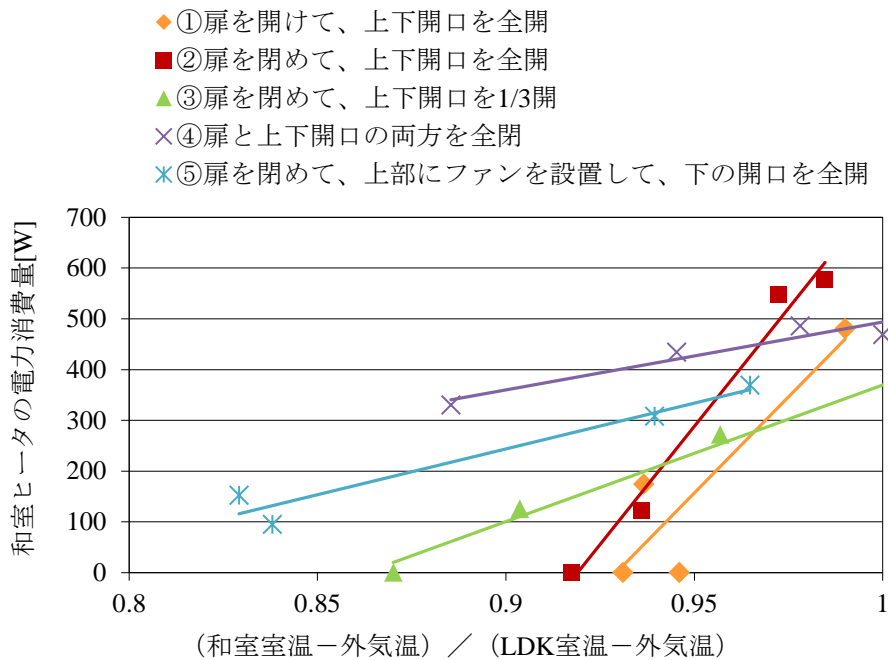


図 4-4-6 ①～⑤条件における温度状態と和室電気パネルヒータの消費電力との関係

(4) まとめ

LDK にエアコン、隣室である和室に電気パネルヒータを設置し、両室間の開口の条件および電気パネルヒータの設定温度を変化させて実験を行った。その結果、電気パネルヒータ設置室の温度をエアコン設置室である LDK より低くすることで、LDK からの熱供給を得て電気パネルヒータの消費電力を減らすことができることを確認した。ただし、電気パネルヒータに内蔵される温度センサが感知する温度は室温とは異なるため、本実験では室温は設定温度よりも 1.7～3.0℃高くなったことから、こうした温度差を考慮した温度設定を行う必要がある。

またファンで強制的にエアコン設置室からの熱供給を行う手法の検証をしたところ、電気パネルヒータ設置室とエアコン設置室の温度差が比較的小さい場合でも、ある程度の熱供給が行えることを確認した。

4-5. 蓄熱暖房器の制御方法（蓄熱量、温度設定）に関する検討

(1) 目的

エアコン設置室（LDK）との間に開口やファンを設置した条件下における、隣室（洋室）の蓄熱暖房器の動作状態を確認した実験の結果を報告する。

(2) 実験条件

LDK のエアコン、和室の電気パネルヒータ、洋室の蓄熱暖房器を運転させ、和室と LDK、洋室と LDK の間の開口の条件は前述の①～⑤とした。エアコンは LDK が 23℃程度になるように運転条件を設定し、風量、風向は固定条件とした。蓄熱暖房器は蓄熱量の設定を「小」「中」「大」の 3 条件とし、蓄熱は 23:00～7:00 の深夜時間帯に行われるようにし、蓄熱開始時刻は残熱量から計算された必要蓄熱時間となるように設定した。蓄熱暖房器の内蔵ファンの動作温度は 15、17℃の 2 条件とし、内蔵ファンは通

常蓄熱時間帯には動かさないため、タイマーによって動作時刻を 7:00~23:00 に制限した。なお住宅の機械換気は実施していない。

日照の影響を排除するため、0:00~6:00 の測定データの平均値を後述の分析に用いた。この時間帯には、蓄熱暖房器への蓄熱が一部の時間で行われており、内蔵ファンは動かないが自然放熱は生じている。

また、実験実施期間中において外気温度が変動したが、電気ヒータ別に熱供給量等の温度補正を行うことが困難であるため外気温度を同一とするための補正は実施していない。

(3) 実験結果

図 4-5-1 に開口の条件を③とし、蓄熱設定量を「小」「中」「大」と変化させた場合の洋室、LDK 及び外気の温度を示す。蓄熱設定量が「小」→「中」→「大」に変わる毎にヒータへの通電時間が伸びており、自然放熱が増加したことで室温が高くなったと考えられる。このことから、蓄熱量を過度に大きく設定すると、蓄熱を行っている夜間において室温が上昇し、エアコン設置室からの熱供給が減少して、蓄熱暖房器の消費電力の増加を招くと考えられる。

また、図 4-5-2 に蓄熱設定量「中」とした場合における、洋室と LDK 及び外気の温度を示す。開口が大きいほど（開口条件④→③→②→①）洋室の室温が上昇しており、エアコン設置室である LDK からの熱供給量の増加が伺える。また、開口を全閉する場合（④）よりもファンを稼働させた方が（⑤）室温が高い。これらのことから、蓄熱暖房器を利用する場合であっても、開口やファンによる熱供給の効果が得られることを確認できる。

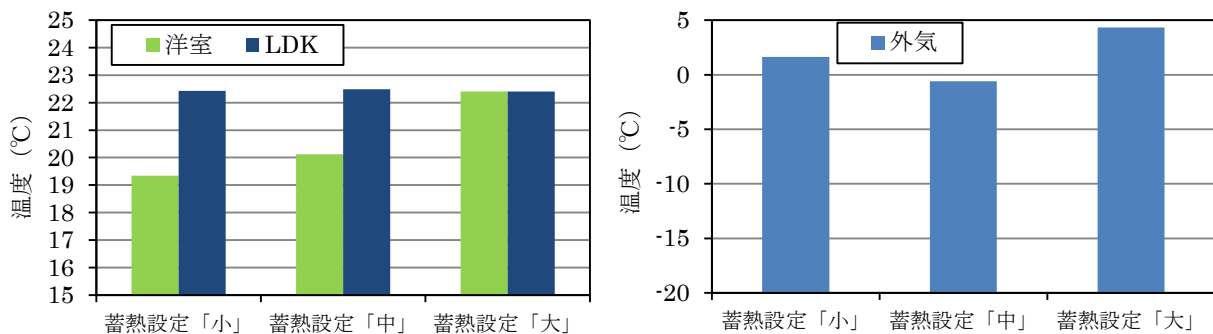


図 4-5-1 「③扉を閉めて上下開口を 1/3 開」で蓄熱設定量を変えた場合の洋室、LDK 及び外気の温度

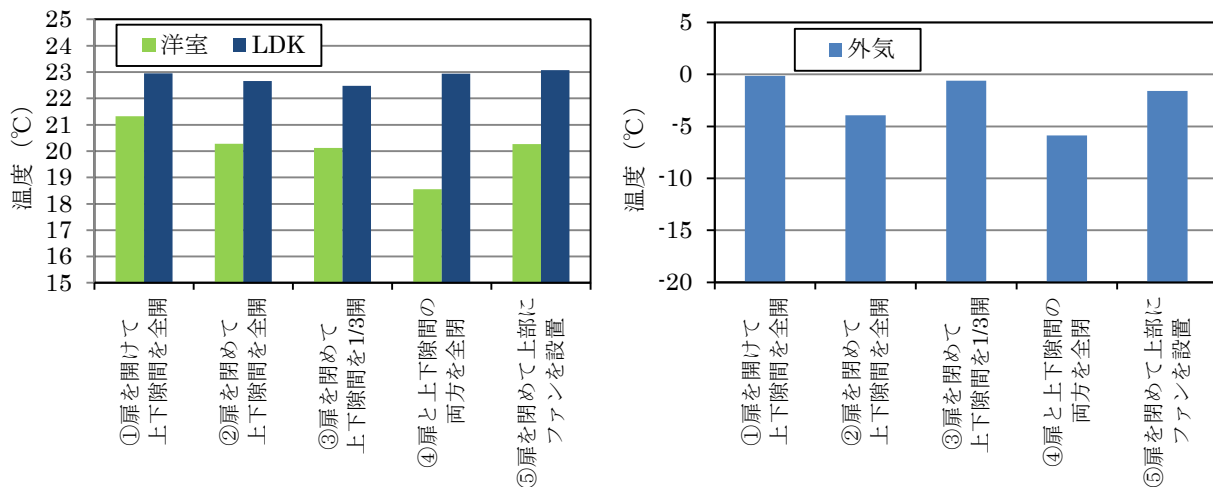


図 4-5-2 蓄熱設定量「中」で開口条件を変えた場合の洋室、LDK 及び外気の温度

(4) まとめ

LDK にエアコン、洋室に蓄熱暖房器を設置した状態で、両室の開口の条件と蓄熱暖房器の蓄熱設定量の条件を各種設定した実験を行った。その結果、蓄熱設定量を過度に多く設定すると、自然放熱により室温が上昇して、エアコン設置室である LDK から洋室に対する熱供給が阻害されることを確認した。

4-6. まとめ

屋外に建つ実験棟における実験から以下の知見を得た。

- 部屋間の開口の面積が大きいほど、エアコン設置室からの熱供給量が増加することを確認した。
- 部屋間の開口による熱供給量は、室内の上下温度むらに起因して 3-4 で示した理論式による推定値よりも増加し、その差は本実験条件では 10~30%となった。開口面積の設計上は安全側の誤差であり、3-4 の設計方法は実用可能と考えられる。
- 電気パネルヒータ設置室の室温を、エアコン設置室よりも低くすることで、開口による熱供給がなされて電気パネルヒータの消費電力を低減できることを確認した。ただし、電気パネルヒータが内蔵する温度センサが感知する温度と部屋中央等の室温との差を考慮した温度設定が必要となる。
- ファンを用いたエアコン設置室からの熱供給は、室間の温度差が比較的小さい場合でもある程度得られることを確認した。
- 蓄熱暖房器の蓄熱量を過度に多く設定すると、自然放熱により室温が上昇して、エアコン設置室である LDK から洋室に対する熱供給が阻害されることを確認した。適切な蓄熱設定量とする必要がある。

5. 温熱環境、暖房負荷、一次エネルギー消費量の解析とランニングコスト試算

5-1. 目的

2章でコンパクト電気暖房システム（以下、本システムと記す。）のイメージを概説した。本システムは主暖房室から隣室等へ熱供給することにより、各室エアコン方式（全居室にエアコンを1台ずつ設置）と比較して、エアコンの配管等の設置スペースの低減、気流感緩和を図るため、少ない暖房機器の台数や容量で住宅全体を賄う。そのため、本システムの一次エネルギー消費量とランニングコストは、各室エアコン方式と比較すれば若干増加するものの、従来型オール電化住宅で採用された各室電気ヒータ方式（全居室等に電気ヒータを設置）と比較すると優位性があると推測される。一方で、暖房機器を設置しない部屋では設置スペースが低減される一方で、快適性が低下する可能性もある。これら総合的に評価し、本システムの特徴を示すことを本章の目的とする。

本章では5-2において計算モデルおよび暖房負荷と室温の計算方法を示す。5-3において、電力消費量と一次エネルギー消費量について、計算方法を示したうえで、本システムを採用した場合の暖房機器消費電力量を各室エアコン方式、各室電気ヒータ方式の場合と比較検討する。本システムは隣室等への熱供給手法として、「壁面開口」や「ファン」を設ける手法が講じられる。この壁面開口の大きさやファンの風量をパラメータとした熱・換気回路網連成計算により暖房機器消費電力量を試算した。5-4では、前述の壁面開口の大きさやファンの風量をパラメータとした数値流体解析（以下、CFDと記す。）により、温熱環境を検証した。5-5では、本システムを導入する際のランニングコストを試算し、本システムの特徴を示す。

なお、電気ヒータとは、電気パネルヒータ、蓄熱暖房器の総称を示すこととする。

5-2. 計算モデルおよび暖房負荷と室温の計算方法

計算モデルは、一般社団法人北海道建築技術協会が出版している **Building Insulation Specialist** テキストに掲載されている住宅モデル（以下、BISモデルと記す。）を対象とした。BISモデル平面図を図に示す。1階南側に居間と和室、2階南側に寝室と子供室があり、北側にトイレ・浴室・階段室等がある。また、居間の一部は吹き抜け空間となっており、2階ホールと一体空間となっている。本研究では、居間、和室、寝室、子供室を「居室」と呼ぶこととし、居室への暖房手法を検討する。

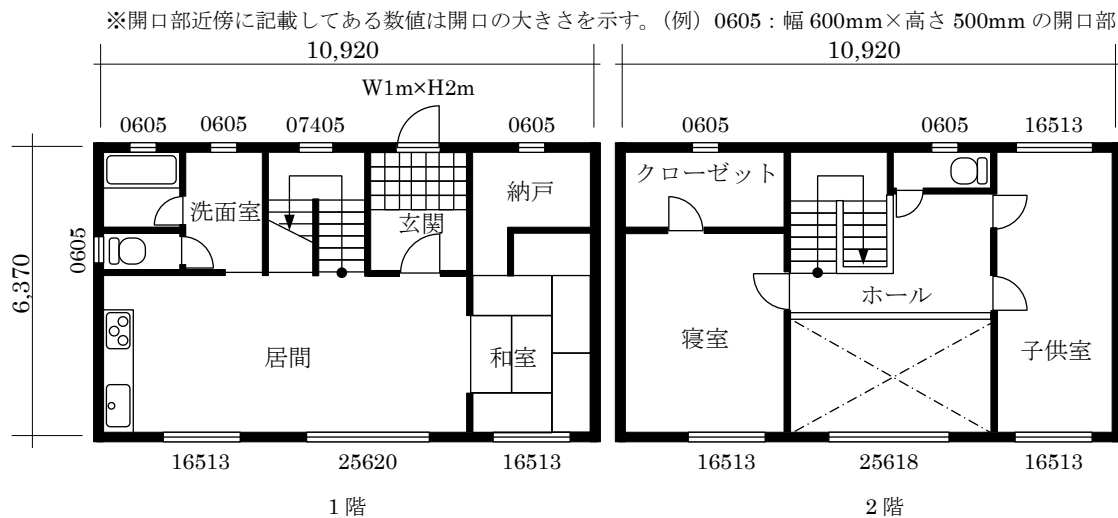


図 5-2-1 BISモデル平面図

住宅の外皮仕様について、床断熱の場合を表 5-2-1、基礎断熱の場合を表に示す。いずれも省エネ基準の 1・2 地域の現行基準である U_A 値 $0.46\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ を採用した。本章では、床断熱を主に採用することとし、床下に蓄熱暖房器を設置する場合のみ、基礎断熱を採用することとした。

表 5-2-1 外皮仕様 (U_A 値 $0.46\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、床断熱)

	面積	長さ	熱貫流率	温度差係数	貫流熱損失
	m^2	m	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	—	W/K
天井	69.56	—	0.19	1.0	13.22
外壁	163.76	—	0.35	1.0	57.32
窓	24.44	—	2.33	1.0	56.95
ドア	2.00	—	2.33	1.0	4.66
床	69.56	—	0.39	0.7	18.99
基礎	—	—	—	—	0.00
合計	329.32	0.00	—	—	151.33
				U_A 値	0.46

表 5-2-2 外皮仕様 (U_A 値 $0.46\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、基礎断熱)

	面積	長さ	熱貫流率	温度差係数	貫流熱損失
	m^2	m	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	—	W/K
天井	69.56	—	0.19	1.0	13.22
外壁	163.76	—	0.35	1.0	57.32
窓	24.44	—	2.33	1.0	56.95
ドア	2.00	—	2.33	1.0	4.66
床	—	—	—	—	—
基礎	—	34.58	$0.59\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	1.0	20.40
合計	329.32	34.58	—	—	152.54
				U_A 値	0.46

計算条件は (1) 熱・換気回路網連成計算と (2) CFD では、計算条件が大きく異なるため、項目別に計算条件を概説する。

(1) 熱・換気回路網連成計算

熱・換気回路網連成計算とは壁体や空間等を熱容量のある節点 (ノード) と熱伝導、放射、対流、換気の熱コンダクタンス (リンク) で構成する熱回路網とそのノードの圧力を仮定し、風量バランスが取れるよう収束計算を行う換気回路網を連成させた計算法のことである。後退差分法を用いると、ある節点 p に対し、次の熱収支式 (5-2-1) ~ (5-2-3) が成り立つ。

$$C_p(\theta_p - \theta'_p) = \{\sum K_{ip}(\theta_i - \theta_p) + Q_p\} \Delta t \quad (5-2-1)$$

ここで、 C_p ：節点 p の熱容量

θ_p ：節点 p の現在の温度

θ'_p ：節点 p の Δt 時間前の温度

θ_i ：節点 i の現在の温度

K_{ip} ：節点 i と p の間の熱コンダクタンス

Q_p ：節点 p への供給熱量

Δt ：時間

各接点について、この式が成り立つので、連立して解いて、温度あるいは供給熱量を求める。また、換気計算において、一つの開口における風量は次式で求められる。

$$F_i = F_{i0} \left(\frac{\Delta P_i}{\Delta P_0} \right)^n \quad (5-2-2)$$

$$F_{i0} = \alpha A_i \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P_0} \quad (5-2-3)$$

ここで、 ΔP_0 ：基準圧力差 (=9.8Pa)

ΔP_i ：開口 i にかかる圧力差

F_{i0} ：基準圧力差のときの開口 i の風量 F_i ：開口 i の風量

αA_i ：開口 i の有効開口面積

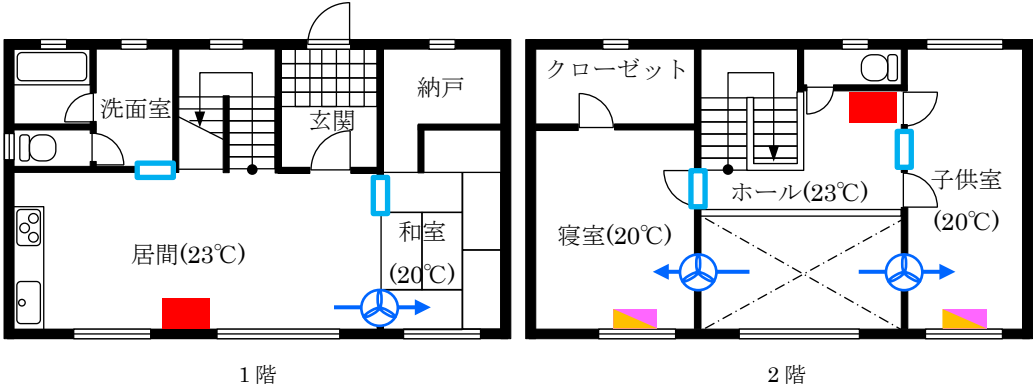
ρ ：空気の密度 (=1.2kg/m³)

すべての部屋でこれらの式が成り立つので、圧力に関する非線形の連立方程式が得られる。これを解くことで、各計算スペースの圧力、壁面開口における風量が求められる。なお、空気の密度は前時間ステップの値を用いた。

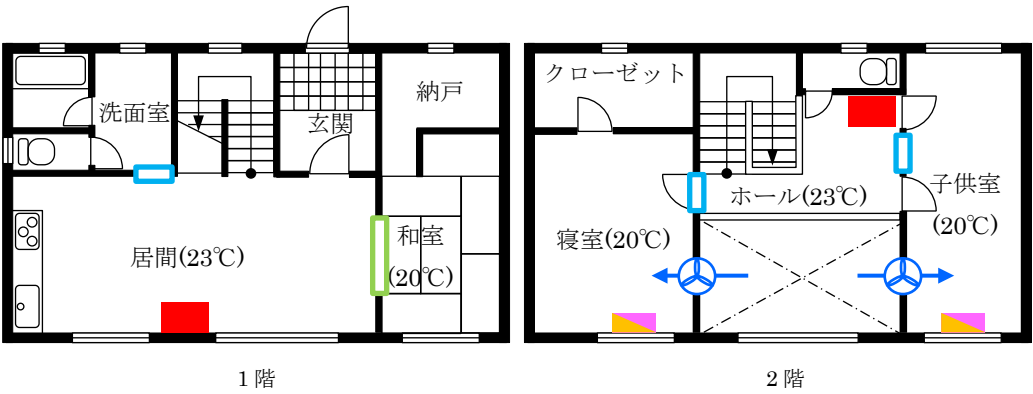
計算における基本条件を表、提案する暖房システムのイメージの一例を図 5-2-2 提案する暖房システムの一例、計算条件を表、内部発熱スケジュールを表、表に示す。計算に用いる気象データは EA 札幌（標準年）とし、冬期（11月～4月）を対象とした。60分間隔で計算を行い、室温、暖房負荷、消費電力量を算出している。計算パターンは大きく 8 種類あり、パラメータ解析・電気ヒータ種類の検討を含めると 41 の計算条件となっている。内部発熱については、IBEC 暖冷房熱負荷計算—住宅事業建築主の判断基準を参考に設定している。

表 5-2-3 計算基本条件（熱・換気回路網連成計算）

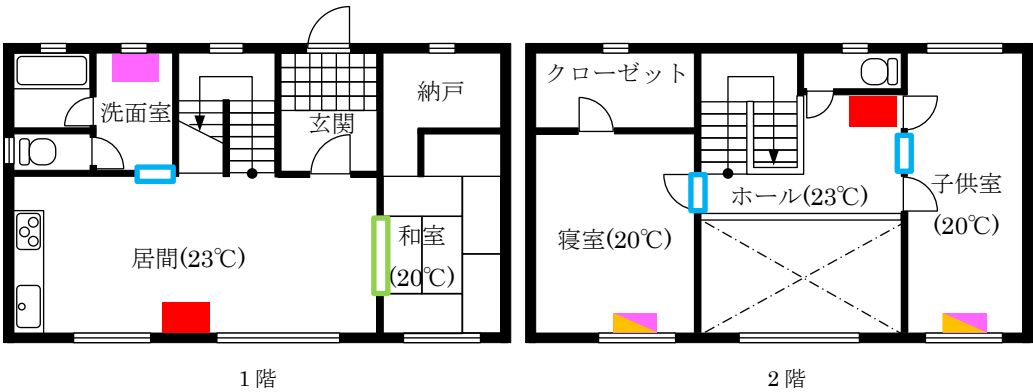
気象データ	EA 気象データ（札幌、標準年）	
	期間	11/1～4/30（助走期間 10/22～10/31、計算日数 191 日）
計算	間隔	60 分
	方法	熱・換気回路網連成計算、後退差分法
	対象室	居室（居間、和室、寝室、子供室）、洗面室
暖房	運転時間	表、表による。ただし、和室、洗面室は居間と同一スケジュールとし、2 階ホールは平日 10～12 時、14～16 時、休日 14～16 時を除き運転
	設定温度	23℃ ただし、本システムにおける隣室目標温度は 20℃とする。
換気	居室のみに 0.5 回/h 相当	



(表の条件④、条件⑤)



(表の条件⑥)



(床下暖房の効果：CFDのみ)

図 5-2-2 提案する暖房システムの一例

表 5-2-4 熱・換気回路網連成計算の条件

○：設置する ー：設置しない

パ タ ー ン	条件 番号 (詳細)	エアコン 設置位置	和室					寝室					子供室					洗面室					
			蓄 暖	PH	壁 面 開 口	フ ァ ン	ド ア	蓄 暖	PH	壁 面 開 口	フ ァ ン	ド ア	蓄 暖	PH	壁 面 開 口	フ ァ ン	ド ア	蓄 暖	PH	壁 面 開 口	フ ァ ン	ド ア	
①	条件 00	居室	ー	ー	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	ー	○	ー	ー	閉	
	条件 01	居室	ー	ー	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	○	ー	ー	ー	閉	
②	条件 02	居間、2階ホール	ー	ー	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	
	条件 03	居間、2階ホール	ー	ー	ー	ー	開	ー	ー	ー	ー	開	ー	ー	ー	ー	開	ー	ー	ー	ー	開	
③	条件 04	居間、2階ホール	ー	○	ー	ー	閉	ー	○	ー	ー	閉	ー	○	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	
	条件 05	居間、2階ホール	○	ー	ー	ー	閉	○	ー	ー	ー	閉	○	ー	ー	ー	閉	ー	ー	ー	ー	閉	
④	条件 06~10	居間、2階ホール	ー	○	○	ー	閉	ー	○	○	ー	閉	ー	○	○	ー	閉	ー	ー	○	ー	閉	
	条件 11~15	居間、2階ホール	○	ー	○	ー	閉	○	ー	○	ー	閉	○	ー	○	ー	閉	ー	ー	○	ー	閉	
⑤	条件 16~25	居間、2階ホール	ー	○	○	○	閉	ー	○	○	○	閉	ー	○	○	○	閉	ー	ー	○	○	閉	
	条件 26~35	居間、2階ホール	○	ー	○	○	閉	○	ー	○	○	閉	○	ー	○	○	閉	ー	ー	○	○	閉	
⑥	条件 36	居間、2階ホール	ー	ー	ー	ー	開	ー	○	○	○	閉	ー	○	○	○	閉	ー	ー	○	○	閉	
	条件 37	居間、2階ホール	ー	ー	ー	ー	開	○	ー	○	○	閉	○	ー	○	○	閉	ー	ー	○	○	閉	
⑦	条件 38	居間、2階ホール	ー	ー	ー	ー	開	ー	ー	ー	ー	開	ー	○	○	○	閉	ー	ー	○	○	閉	
	条件 39	居間、2階ホール	ー	ー	ー	ー	開	ー	ー	ー	ー	開	○	ー	○	○	閉	ー	ー	○	○	閉	
⑧	条件 40	ー	ー	○	ー	ー	閉	ー	○	ー	ー	閉	ー	○	ー	ー	閉	ー	○	ー	ー	閉	
	条件 41	ー	○	ー	ー	ー	閉	○	ー	ー	ー	閉	○	ー	ー	ー	閉	○	ー	ー	ー	閉	
①	各居室にエアコンを設置し、洗面室には補助暖房として電気パネルヒータまたは蓄熱暖房器を設置。																						
②	居間、2階ホールにエアコンを設置し、各居室には暖房機器を設置しない。各居室のドアは閉鎖または開放。																						
③	居間、2階ホールにエアコンを設置し、各居室に電気パネルヒータまたは蓄熱暖房器を設置。各居室のドアは閉鎖。																						
④	条件③+各居室に壁面開口 (0.03、0.05、0.08、0.10、0.12m ²) を上下 (F.L.+300mmとF.L.+1,800mm) に2つ設ける。																						
⑤	条件④+各居室にファン (60、120m ³ /h) を1つ設置する。																						
⑥	居間、2階ホールにエアコンを設置し、寝室、子供室に壁面開口 (0.10m ²) を上下に2つ、ファン (120m ³ /h) を1つ設置する。和室のドアは開放する。																						
⑦	居間、2階ホールにエアコンを設置し、子供室に壁面開口 (0.10m ²) を上下に2つ、ファン (120m ³ /h) を1つ設置する。和室、寝室のドアは開放する。																						
⑧	各居室に電気パネルヒータまたは蓄熱暖房器を設置。																						

表 5-2-5 内部発熱スケジュール (平日)

		※1 人は人数を示す ※2 機器は機器・照明発熱量 [W] を示す ※3 発熱量は人の顕熱発熱量を 50W としたときの内部発熱量 [W] を示す ※4 空欄は 0 を示す																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
LDK	人							1	2	1	1			1	1			1	2	2	3	3	2	1	1
	機器	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	106.9	366.6	323.1	282.8	134.9	66.9	252.7	271.2	66.9	66.9	202.9	288.7	373.9	349.1	389.1	339.1	312.9	278.0
	発熱量	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	156.9	466.6	373.1	332.8	134.9	66.9	302.7	321.2	66.9	66.9	252.9	388.7	473.9	499.1	539.1	439.1	362.9	328.0
和室	人																								
	機器																								
	発熱量																								
寝室	人	2	2	2	2	2	2	1																	1
	機器											310.1													
	発熱量	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0				310.1													50.0
子供室	人	1	1	1	1	1	1	1														1	1	1	
	機器	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	50.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	112.5	47.5	150.0	105.0
	発熱量	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	15.0	15.0	50.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	162.5	47.5	200.0	155.0

表 5-2-6 内部発熱スケジュール (休日)

		※1 人は人数を示す ※2 機器は機器・照明発熱量 [W] を示す ※3 発熱量は人の顕熱発熱量を 50W としたときの内部発熱量 [W] を示す ※4 空欄は 0 を示す																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
LDK	人									3	2	2	2	2	1			2	3	3	4	2	2	1	
	機器	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	84.3	66.9	389.1	406.6	312.9	136.9	388.9	157.4	66.9	66.9	237.8	339.1	383.9	292.8	339.1	339.1	312.9	66.9
	発熱量	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	66.9	84.3	66.9	539.1	506.6	412.9	236.9	438.9	207.4	66.9	66.9	337.8	489.1	533.9	492.8	439.1	439.1	362.9	66.9
和室	人																								
	機器																								
	発熱量																								
寝室	人	2	2	2	2	2	2	2	1																2
	機器												465.0												
	発熱量	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0				465.0												100.0
子供室	人	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1		1	1	1	1
	機器	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	116.3	150.0	150.0	15.0	15.0	15.0	15.0	90.0	90.0	52.5	15.0	150.0	48.8	150.0	15.0
	発熱量	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	166.3	200.0	200.0	15.0	15.0	15.0	15.0	140.0	140.0	102.5	15.0	200.0	98.8	200.0	65.0

(2) CFD

CFD (Computational Fluid Dynamics) とは空気流動、温度、汚染物質の分布やその他多くのパラメータについて、室内空気分布を予測可能なコンピュータ利用を前提としたモデルのことである。空間をメッシュと呼ばれる開放系の微小空間に分割することで、マイクロな可能となる。

計算における基本条件を表に示す。外気温度は -10°C と仮定し、目標温度は熱・換気回路網連成計算と同様に 23°C (エアコンを設置せず、補助暖房を隣室は 20°C) とした。これらの内外温度差と各室の熱損失係数から熱損失量を算出し、エアコンの境界条件を設定した。なお、エアコン 2 台で住宅全体の解析領域は住宅全体を解くのが良いが、パラメータ解析を行う関係上、計算負荷を小さくする目的で主要な室のみ解くこととした。例えば、熱・換気回路網連成計算において、本システムの検討では、エアコンを居間・2 階ホールに設置し、和室、寝室、子供室への熱供給を検討しているが、CFD では、熱供給先として寝室のみを考慮した。そのため、エアコンの境界条件については、居間、2 階ホール、階段室、寝室の熱損失量から決定している。

また、計算には SIEMENS 社の STAR-CCM+ (ver.11.02.009) を用いている。壁近傍のダウンドラフトも検討に入れるため、低レイノルズ数型の標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いた。また、メッシュについては、収束性の良いポリヘドラルメッシュを採用し、壁近傍のプリズムレイヤーを層流、遷移領域の 2 つを用意した。基準サイズは汎用性がある 100mm とし、エアコン吹出し、アンダーカット、壁面開口といった比較的小さい境界については、10mm の基準サイズを与えている。セル数は表中に示しているとおりであり、セルの品質も解析上、差し支えないことを確認している。また、流体の温度差によって生じる浮力はブジネスク近似と呼ばれる方法で考慮できるが、温度変化が大きく、密度変化に伴う運動量の変化を無視できない場合には、近似による誤差が大きくなることが知られている。本計算モデルは吹抜け空間を要し、上下の温度分布が大きくなることと、建物内外の温度差が大きいため、誤差が大きくなると予想されたため、理想気体を用いた。

表 5-2-7 計算基本条件 (CFD)

外気温度	-10°C		
目標温度	23°C ただし、本システムにおける隣室目標温度は 20°C とする。		
床下温度	-0.1°C (温度差係数 0.7) ただし、基礎断熱時には解析領域内とする。		
暖房負荷	居間・2 階ホール	2,343W (居間・2 階ホール・階段室の熱損失係数と内外温度差を乗じた値)	
	寝室	409W (寝室の熱損失係数と内外温度差を乗じた値)	
エアコン	吹出し風量	$280\text{m}^3/\text{h}$ (奈井江実験棟での実験中の実測値に近い値を採用)	
	吹出し温度	35°C ($280\text{m}^3/\text{h}$ で吹出すときの暖房負荷を賄うための温度)	
内部発熱	見込まない		
解析領域	本システムの検討	居間、2 階ホール、階段室、寝室	
	解析コード	STAR-CCM+ (ver.11.02.009)	
モデル	乱流モデル	種類	標準 $k-\varepsilon$ モデル (低レイノルズ数型)
		種類	ポリヘドラルメッシュ (任意面体)
	メッシュ	オプション	プリズムレイヤーメッシュ (プリズム数 2、伸長係数 1.5)
		基準サイズ	100mm (エアコン吹出し等はカスタム制御: 10mm)
		セル数	546,831
空気	理想気体 (内外温度差が大きいため、ブジネスク近似では誤差が大きい。)		

5-3. 消費電力量および一次エネルギー消費量の計算方法と結果

熱・換気回路網連成計算により、表 5-2-4 に示す 41 条件の消費電力量を算出する。電気パネルヒータの消費電力量は暖房負荷と同一とするが、エアコンについては部分負荷効率、蓄熱暖房器については通電可能時間を 8 時間と仮定し、通電可能時間終了時に満蓄となるように設定した。消費電力量の試算を行うにあたり、まずはその概説を行う。

(1) エアコンの消費電力特性

エアコンの消費電力や部分負荷特性は、省エネルギー基準の計算式により得られた値から重回帰式を作成して用いる。機器仕様を表 5-3-1、処理暖房負荷に対するエアコン消費電力量を表 5-3-2 に示す。エアコン消費電力量は「平成 25 年 省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 II 住宅」の p.750-に基づき、計算している。これらの値から重回帰分析により、エアコン消費電力 E [kW] は処理暖房負荷 Q [kW]、外気温度 θ [°C] を用いて式 (5-3-1) を得た。

$$E = (-0.002029Q^2 - 0.0009286Q - 0.00558)\theta + (0.0604Q^2 + 0.0797Q + 0.3081) \quad (5-3-1)$$

近似式による値と表 5-3-2 の値との関係を図 5-3-1 に示しており、精度よく近似できていることが分かる。また、部分負荷時の COP は図 5-3-2 のようになる。

表 5-3-1 エアコンの仕様

定格暖房能力	4kW
エネルギー消費効率	5.33
最大暖房能力	9.2kW

表 5-3-2 エアコン消費電力 [kW]

外気温度 [°C]	処理暖房負荷 [kW]				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
7.0	0.351874	0.498499	0.703658	0.956399	1.261760
2.0	0.425688	0.691391	1.048874	1.502702	2.123467
-3.0	0.463779	0.770824	1.176116	1.686182	2.401859
-8.0	0.502520	0.853383	1.309631	1.879325	2.700851
-13.0	0.541913	0.939067	1.449420	2.082132	3.020444
-18.0	0.581956	1.027877	1.595483	2.294603	3.360638

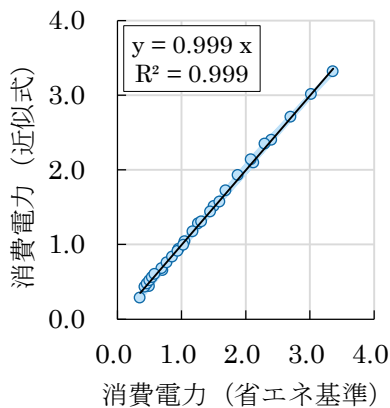


図 5-3-1 近似式の精度

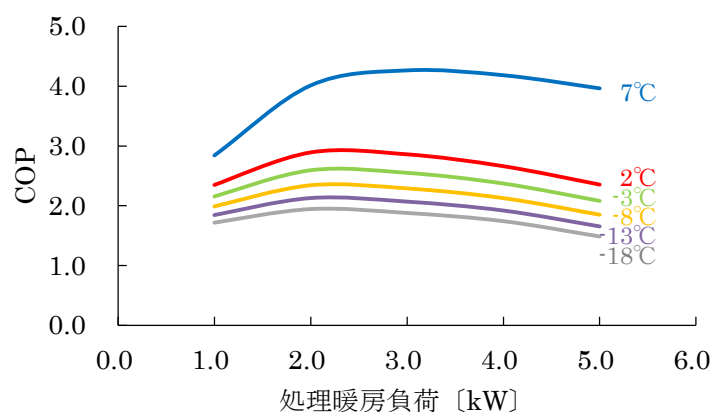


図 5-3-2 回帰式から得られる部分負荷時の COP

(2) 蓄熱暖房器の消費電力特性

放熱コンダクタンスはファン停止時の自然放熱とファン稼働時の強制放熱で異なる値となる。各パラメータは北海道電機(株)社製の製品の放熱特性を概ね再現するように設定した。蓄熱暖房器の機器容量 EC [kW] は日積算負荷 MDL [MJ] と通電可能時間 EH [h] により、式 (5-3-2) を用いて決定した。

$$EC = \frac{MDL \times 1000}{EH \times 3600} \quad (5-3-2)$$

また、蓄熱設定温度を表 5-3-3 に示す。通電可能時間を 23 時～翌 7 時と仮定し、7 時に設定温度になるように通電シフト時間を決定している。通電シフト時間は以下のようなロジックとなっている。

通電シフト時間 = 8 時間 (または計算時の残りの蓄熱時間) - 必要通電時間

必要通電時間 = $A \times$ 蓄熱量設定温度 - $A \times$ 残熱温度 + B (A および B は機器特性による定数)

(例) 23 時時点で通電シフト時間を 3 時間と計算したので、蓄熱開始を翌 2 時と判定した。

表 5-3-3 蓄熱設定温度

蓄熱設定量	設定蓄熱温度	適用期間	
小	260℃	10月22日	～ 11月14日
		3月15日	～ 4月30日
中	410℃	11月15日	～ 12月14日
		2月15日	～ 3月14日
大	630℃	12月15日	～ 2月14日

(3) 消費電力量および一次エネルギー消費量の算出結果

表 5-2-4 に示す 41 の条件下における消費電力量を図、一次エネルギー消費量を図に示す。グラフ中の塗りつぶしはエアコン、斜線は電気パネルヒータ、縦線は蓄熱暖房器の消費電力量および一次エネルギー消費量を示す。ファンは室温に応じた発停制御とすべきだが、ここでは安全側の試算とするため 2.1W のパイプファンを終日運転する場合の電力消費量を見込むこととする。一次エネルギー消費換算係数には 9.76MJ/kWh を用いた。電力消費量と一次エネルギー消費量では、条件による大小が逆転することはないことから、以下では一次エネルギー消費量を用いて考察を進める。

各室エアコン方式 (条件 00、条件 01) では住宅全体の一次エネルギー消費量は 66.2GJ、70.2GJ であった。エアコンを居間と 2 階ホールに設置する条件 02 の一次エネルギー消費量が最も小さくなるが、居室温度が 10℃ を下回る時間帯もあったため、現実的ではない。本システムの比較条件として、電気ヒータを居間以外の居室に設置して壁面開口やファンを設けない条件 04、条件 05 においては、居室の温度は 20℃ に保たれているものの、一次エネルギー消費量は 94.6GJ、109.6GJ であった。条件 04 に対して、壁面開口を 0.03m² (条件 06)、0.12m² (条件 10) 設けた場合に一次エネルギー消費量は 1.6%、5.5% 削減され、さらに、120m³/h (条件 17、条件 25) のファンを設置した場合に一次エネルギー消費量は 15.5%、18.0% 削減された。蓄熱暖房器の場合にも条件 05 と条件 35 (壁面開口 0.12m²、ファン 120m³/h) の比較で 14.2% の一次エネルギー消費量が削減された。また、和室の襖を開放し、電気ヒータを和室に設置しない条件 36、条件 37 では、76.1GJ、88.9GJ となり、暮らし方による省エネ削減効果も示唆された。なお、各室電気パネルヒータ方式、各室蓄熱暖房器方式とした条件 40、条件 41 における一次エネルギー消費量は 164.6GJ、198.6GJ であった。蓄熱暖房器を用いる条件 26～35 は、電気パネルヒータを用いる条件 16～25 よりも、一次エネルギー消費量が多いが、蓄熱暖房器のみで全屋を暖房している条件 41 と比べると大幅に削減される。このことから、蓄熱暖房器により暖房している住宅に対し、既存の蓄熱暖房器を活用しつつ、少台数のエアコンを導入する等の改修を行い本システムとすれば、一次エネルギー消費量を大きく削減可能と考えられる。

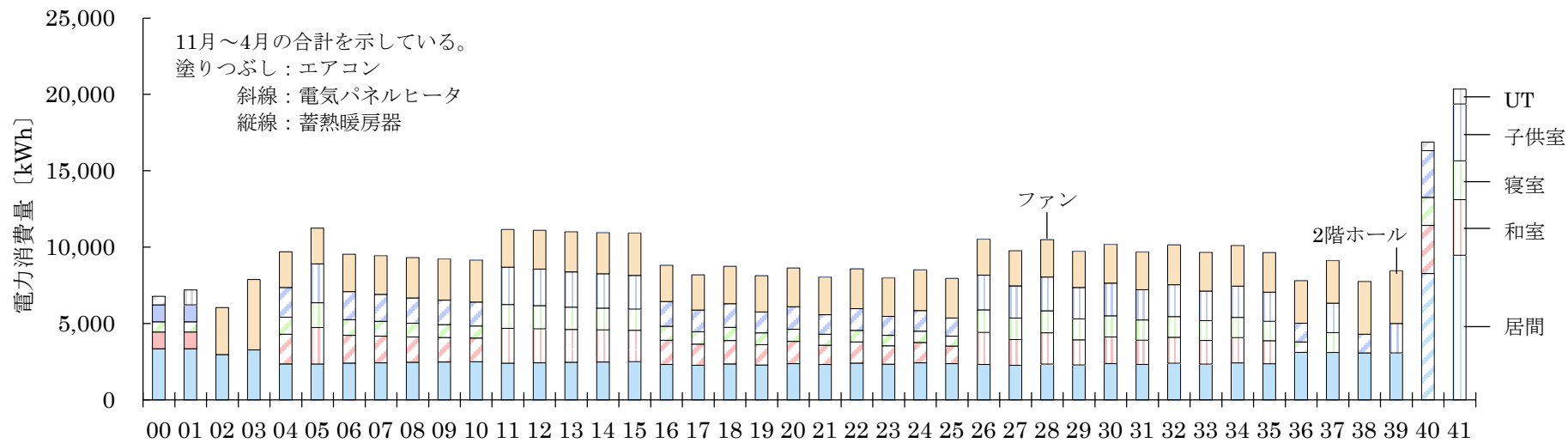


図 5-3-3 電力消費量 (居間のエアコン 4.0kW、その他エアコン 2.5kW)

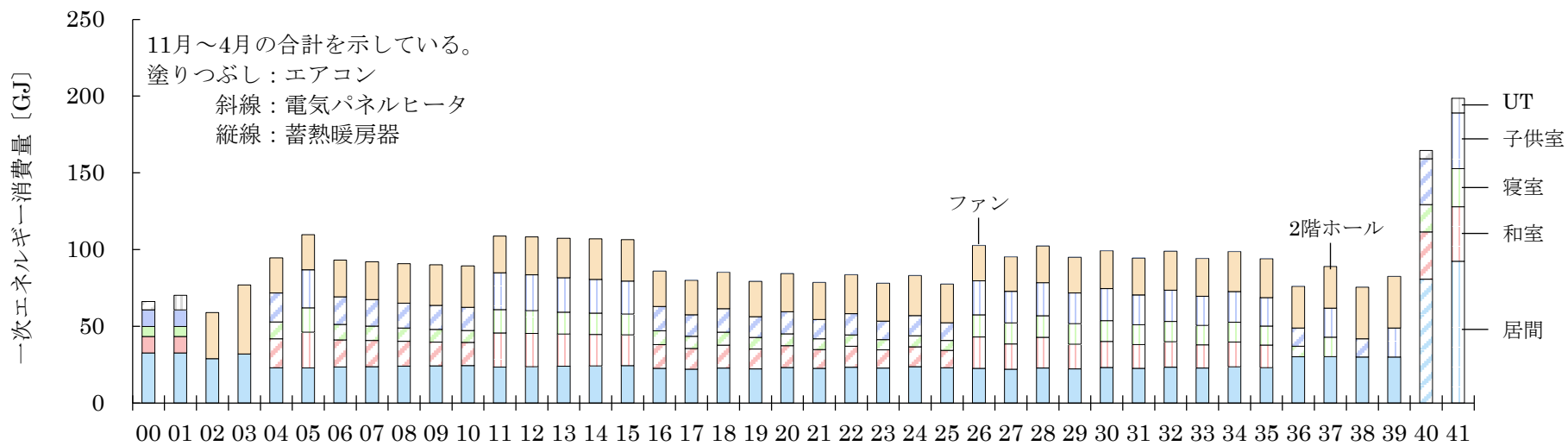


図 5-3-4 一次エネルギー消費量 (居間のエアコン 4.0kW、その他エアコン 2.5kW)

本システムはドア等を閉じた際にもエアコンを設置しない部屋の室温を確保できることを条件としている。ただし、居間に隣接する和室では日常は襖を開放している住宅も多いなど、時間帯や部屋の使用状況によってはドア等を開放しても差し支えない場合がある。そのような場合には、ドア等を開放することによりエアコンの熱が流入し、補助暖房やファンを使用しなくても室温を確保できる可能性がある。ここでは、ドア等を開放する場合に得られる室温について検討する。

和室、寝室に補助暖房を設置せず、両室のドアを開放する条件 39 における、和室、寝室の室内温度ヒストグラムを図に示す。表 5-3-5、表 5-2-6 に示す内部発熱スケジュールより、在室時を和室は 7 時～23 時、寝室は 23 時～翌 7 時と考え、その時間帯のみの室内温度ヒストグラムとしている。両室とも、隣室目標温度である 20℃程度となっている。和室の温度がやや高いのは日中のヒストグラムとなっていることから、日射の効果が考えられる。このようにドアを開放する部屋では補助ヒータを設置しなくても、室温を確保できると推測される。

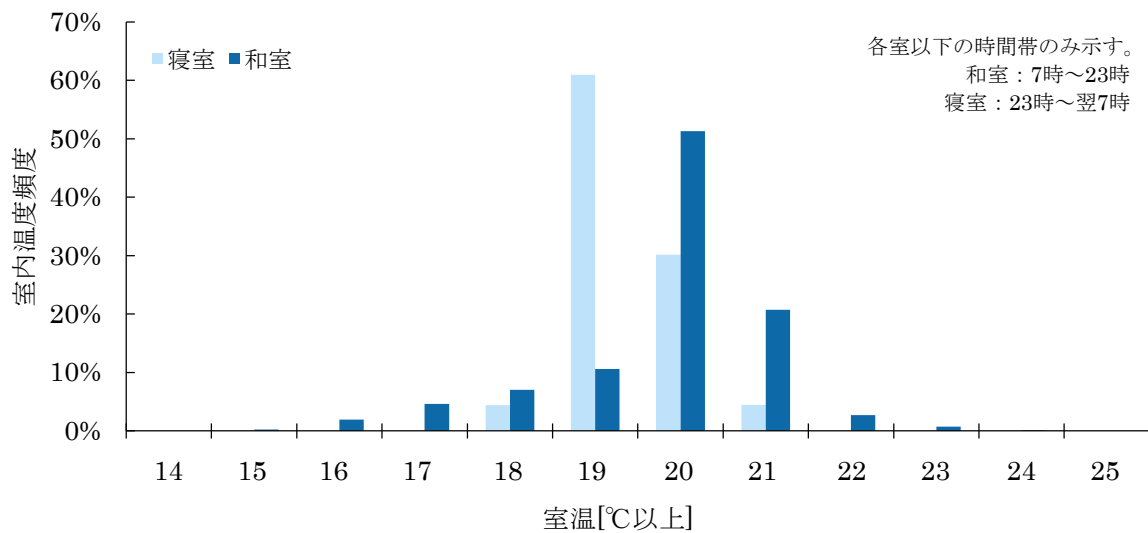


図 5-3-5 和室、寝室に補助暖房を設置しない条件での室内温度ヒストグラム

5-4. 温熱環境の快適性検討

表 5-2-4 に示す 41 条件の中から条件④（壁面開口を設ける）、条件⑤（壁面開口およびファンを設ける）について、CFD により快適性を評価する。比較条件として、条件①（各室エアコン方式）、条件③（壁面開口やファンを設けない）を解析対象とする。前述のように、CFD では解析領域を限定して解くこととし、居間、2 階ホールにエアコンを設置し、寝室-2 階ホール間に壁面開口やファンを設けたときの寝室の快適性を評価する。快適性の評価指標には、寝室平均空気温度、寝室中央上下温度分布、寝室中央上下風速分布を用いることとし、これらから寝室中央 EDT を算出する。EDT とは有効ドラフト温度と呼ばれ、空間平均温度、代表点温度、代表点風速から求まる評価指標であり、 -1.7°C ~ 1.1°C が快適範囲とされている。EDT については、式 (5-4-1) から求める。

$$EDT = (t_x - t_c) - 8 \times (V_x - 0.15) \quad (5-4-1)$$

ここで、 t_x : 代表点温度 t_c : 空間平均温度 V_x : 代表点風速

熱・換気回路網連成計算時には、寝室に補助暖房として電気ヒータを設置したが、CFD では設置しないことにした。これは、電気ヒータを設けることで、寝室平均空気温度が 20°C になることは自明であり、壁面開口やファンの設置による効果が判別できないと推察されたためである。そのため、寝室は壁面開口やファンにより、平均室温をどの程度上昇させられるかに着目する。当然、壁面開口を大きく、ファンの風量を大きくすることで、寝室の平均室温は上昇するが、気流分布の観点で快適性が損なわれる可能性があるため、それを明らかにしようとするのが本節の目的である。

CFD の結果の一つである温度分布を表示する際に、水平断面図および垂直断面図を用いる。水平断面図は寝室の F.L.+1,100 の位置とするが、垂直断面図は図に示すとおりとする。寝室-ホール間のドアに壁面開口を設けたため、A-A'断面図ではその空気流動を把握する。また、寝室中央の温度分布を把握するため、B-B'断面図を設けた。上下温度分布、上下風速分布は寝室中央の F.L.+100、F.L.+600、F.L.+1,100、F.L.+1,700、F.L.+2,300 を計算している。なお、前述のとおり、解析領域は居間、2 階ホール、階段室、寝室のみとする。解析領域外は和室、子供室を 20°C 均一、階段間、小屋裏含めたその他の室は 15°C 均一という仮定のもと計算した。

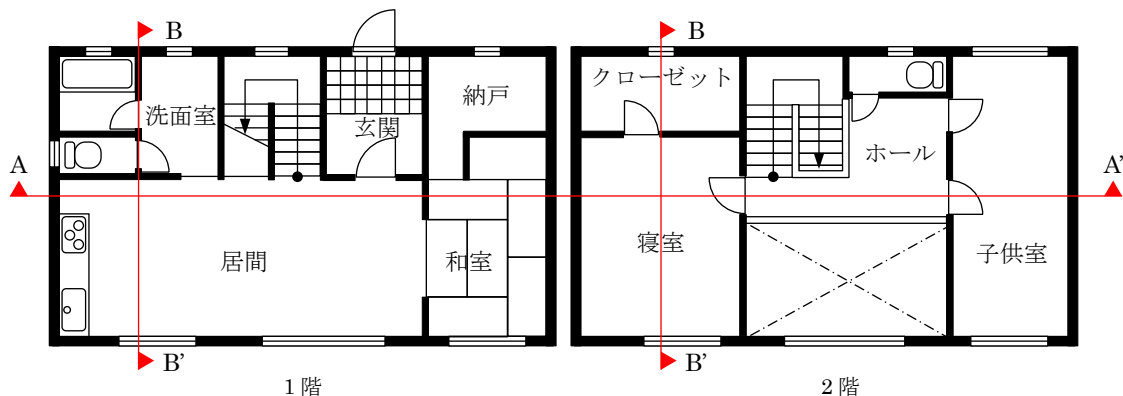


図 5-4-1 垂直断面位置

壁面開口やファンを設けない条件③、壁面開口を設ける条件④、壁面開口およびファンを設ける条件⑤における室平均空気温度を図 5-4-1 に示す。横軸は寝室-2 階ホール間に設けた壁面開口の面積とファンの風量を示している。例えば、「0.03_60」であれば、開口面積 0.03m²、ファンの風量 60m³/h という条件を示している。居間・2 階ホールの室温は 23℃を狙ってエアコンの境界条件を決めたが、解析領域外への熱損失は考慮していないため、23℃には到達しなかった。壁面開口およびファンを設けない場合の寝室平均空気温度は 11.8℃となった。この条件から壁面開口のみまたは壁面開口およびファンを設けることで、寝室平均空気温度は上昇する。まず、壁面開口のみを設けた場合は 0.03m²で 14.7℃、0.12m²で 17.8℃まで上昇した。開口面積が大きくなるほど、壁面開口前後の温度差が小さくなるため、室温上昇も緩やかになる。次に、壁面開口およびファンを設けた場合は、さらに室温が上昇するが、特に、開口面積が小さいほど、ファンの効果が大きいことが分かる。各条件での温度分布を図 5-4-2～図 5-4-17 に示すが、図 5-4-9、図 5-4-11 のA-A断面図を見ると、他の条件とは異なり、上の壁面開口から逆流が生じている。これは、ファンの風量が増大し、寝室圧力が増加したことによるものであると推察される。そのため、「0.03_120」と「0.05_120」では寝室平均室温の差が小さい結果となった。また、「0.12_60」と「0.12_120」を比較すると、「0.12_60」の方が寝室平均空気温度は高いことから、ファンを設置することで、壁面開口の対流を阻害する条件があることが示唆された。

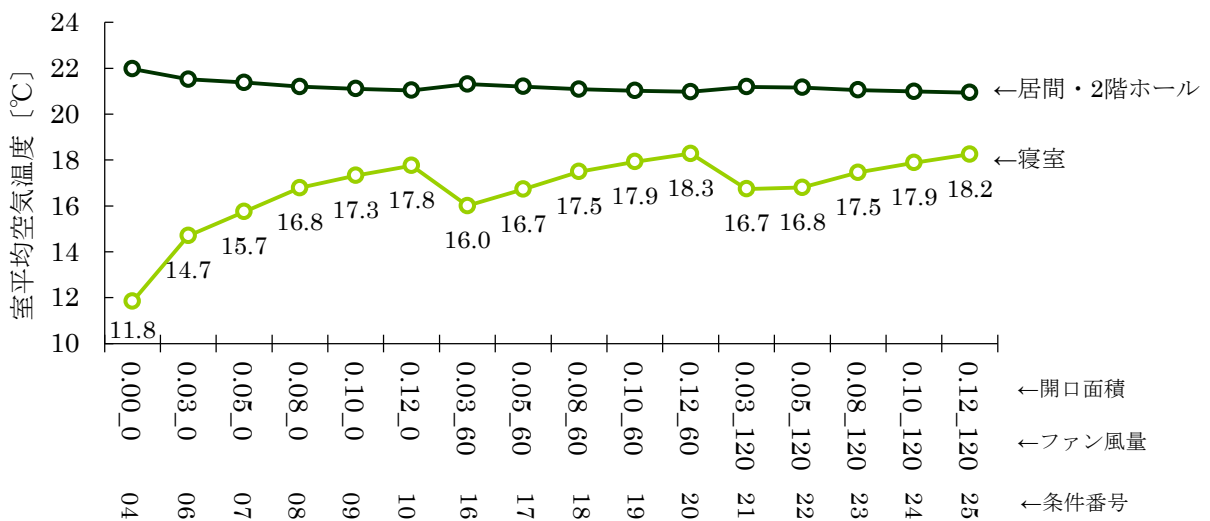


図 5-4-1 条件ごとの室平均空気温度

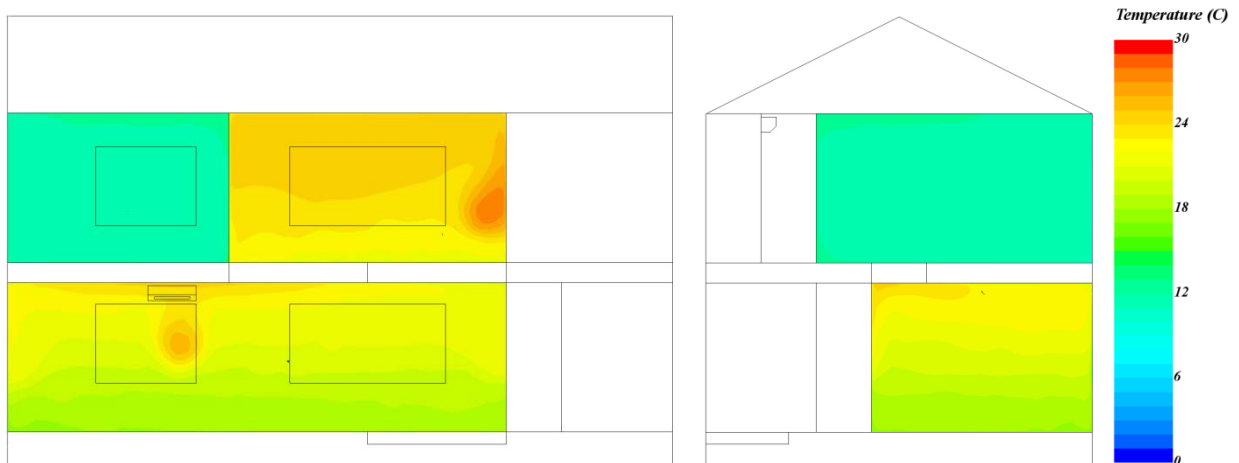


図 5-4-2 開口およびファンなし (条件 04)

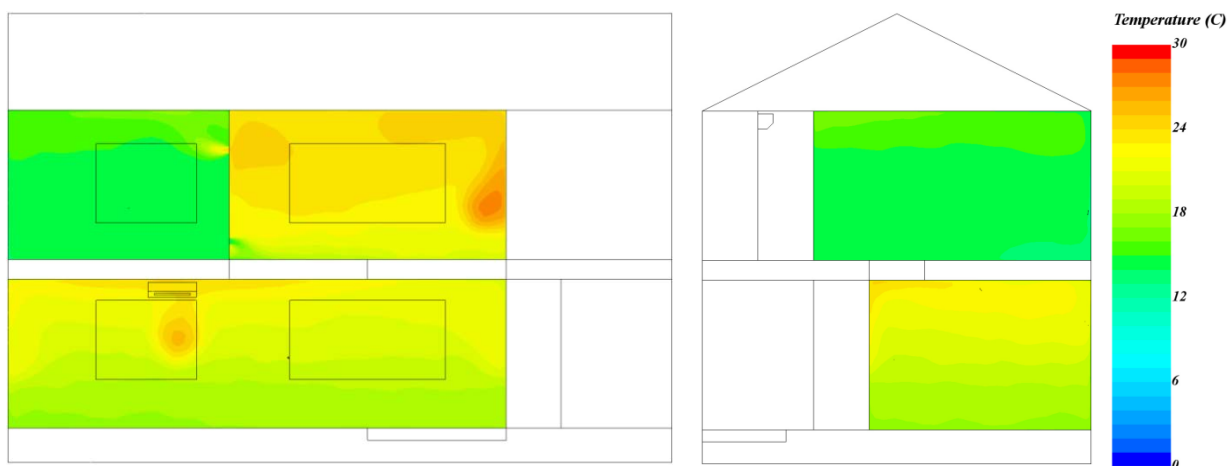


図 5-4-3 開口面積上下各 0.03m²、ファンなし (条件 06)

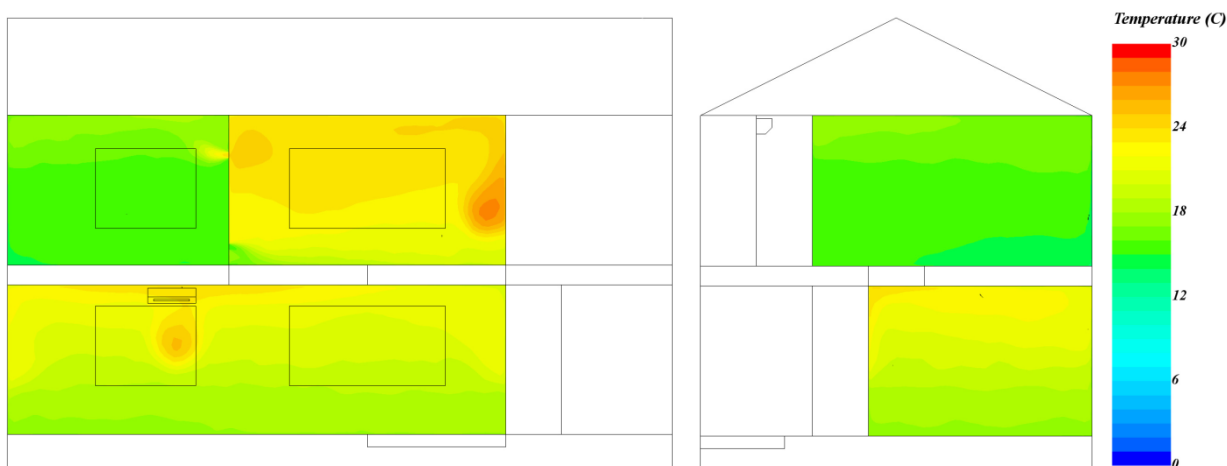


図 5-4-4 開口面積上下各 0.05m²、ファンなし (条件 07)

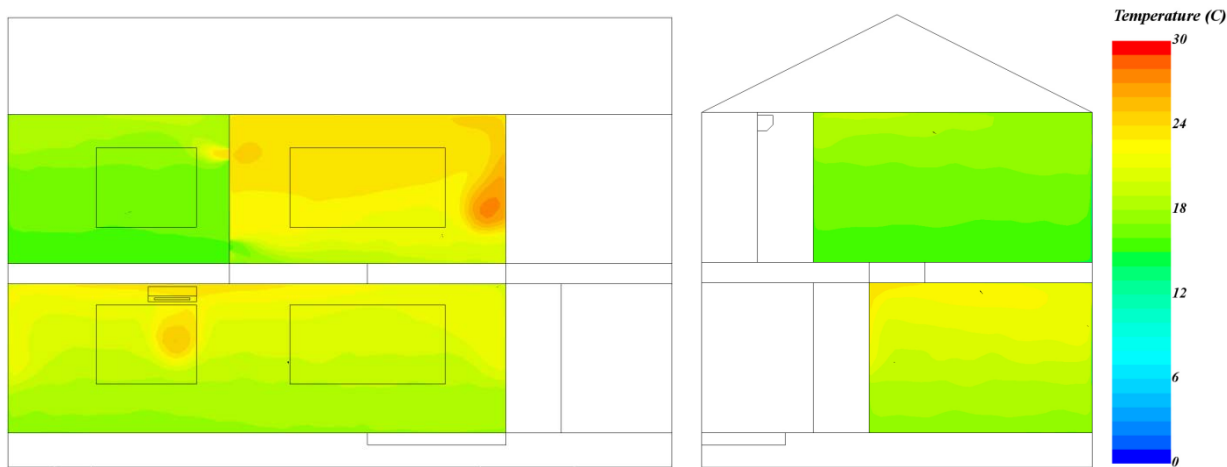


図 5-4-5 開口面積上下各 0.08m²、ファンなし (条件 08)

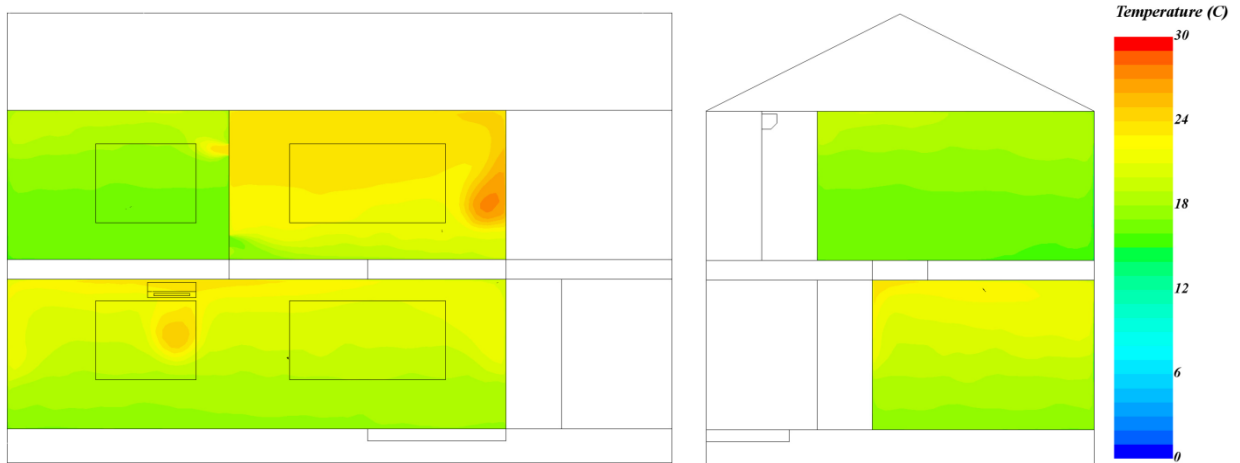


図 5-4-6 開口面積上下各 0.10m²、ファンなし (条件 09)

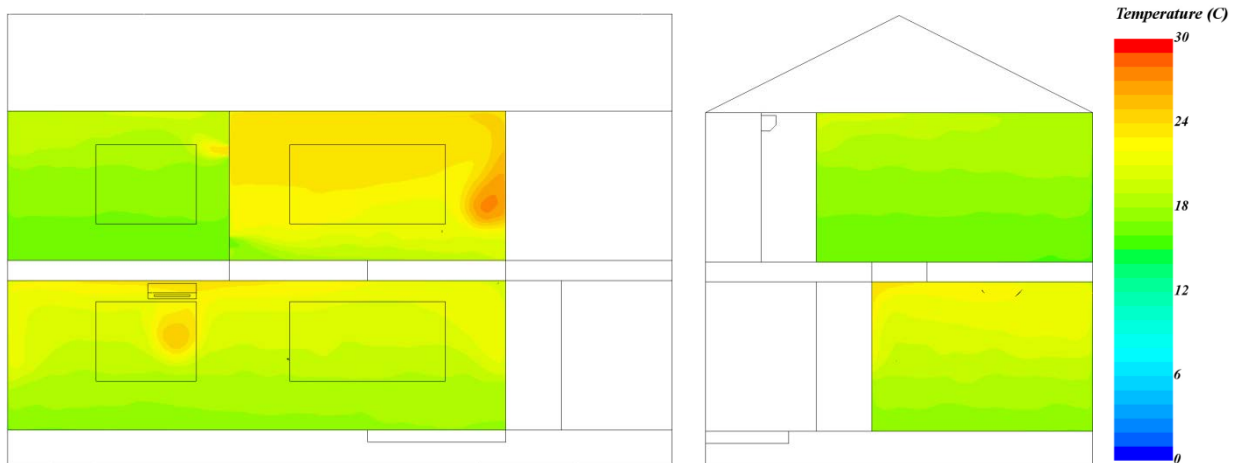


図 5-4-7 開口面積上下各 0.12m²、ファンなし (条件 10)

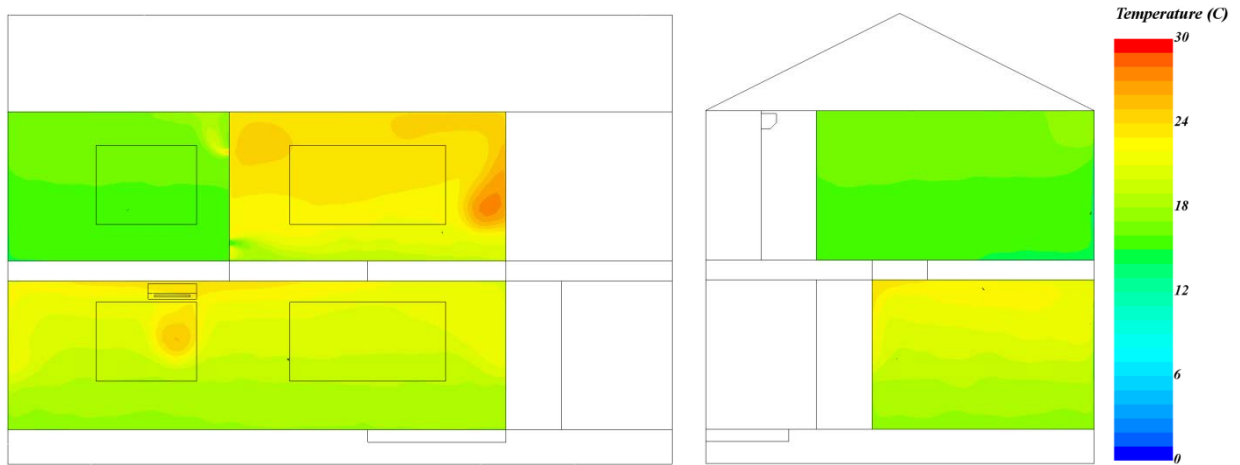


図 5-4-8 開口面積上下各 0.03m²、ファン 60m³/h (条件 16)

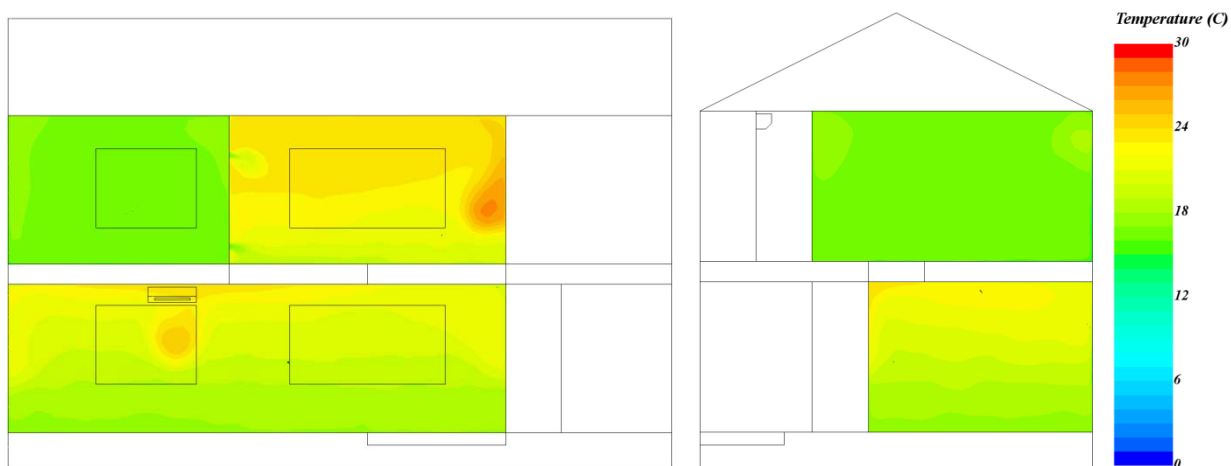


図 5-4-9 開口面積上下各 0.03m²、ファン 120m³/h (条件 17)

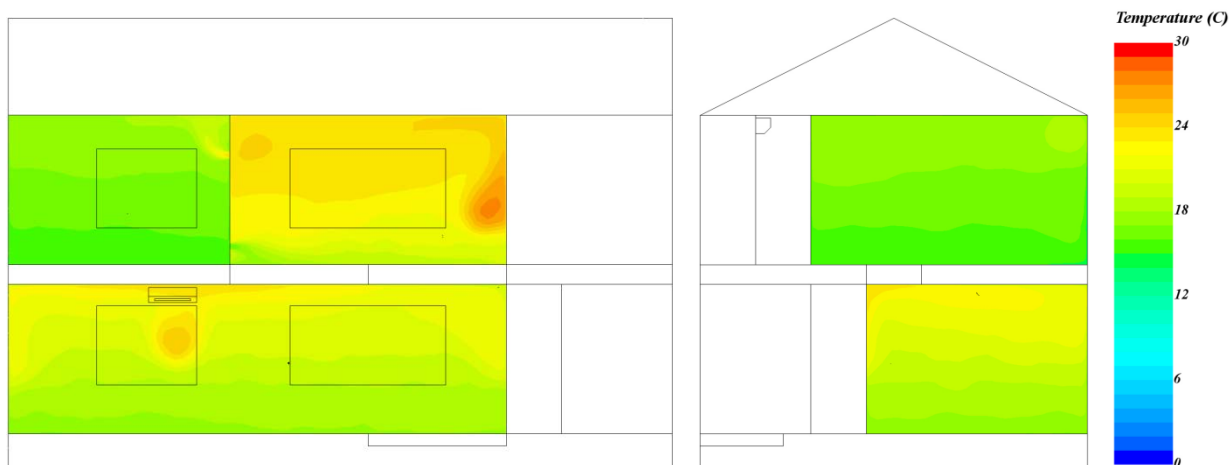


図 5-4-10 開口面積上下各 0.05m²、ファン 60m³/h (条件 18)

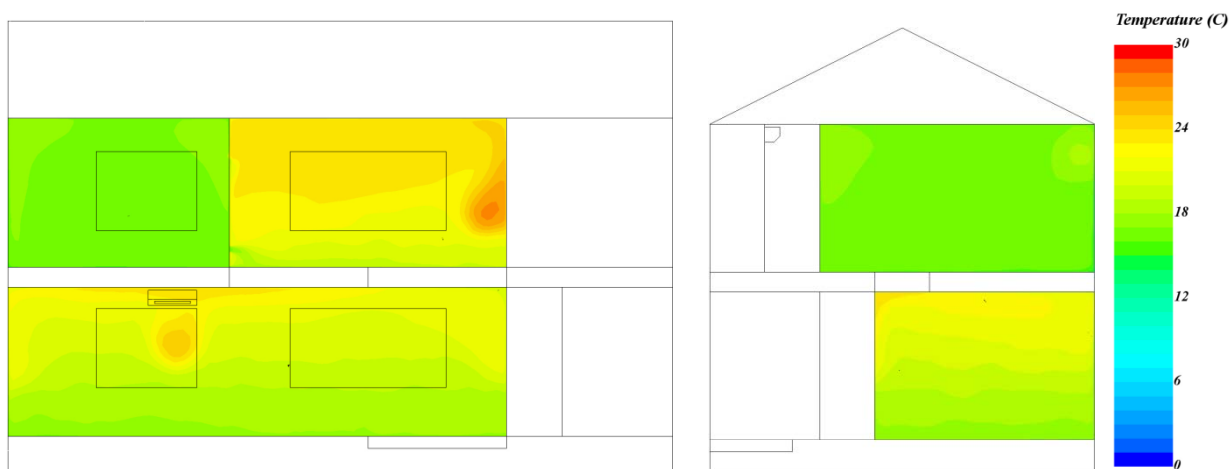


図 5-4-11 開口面積上下各 0.05m²、ファン 120m³/h (条件 19)

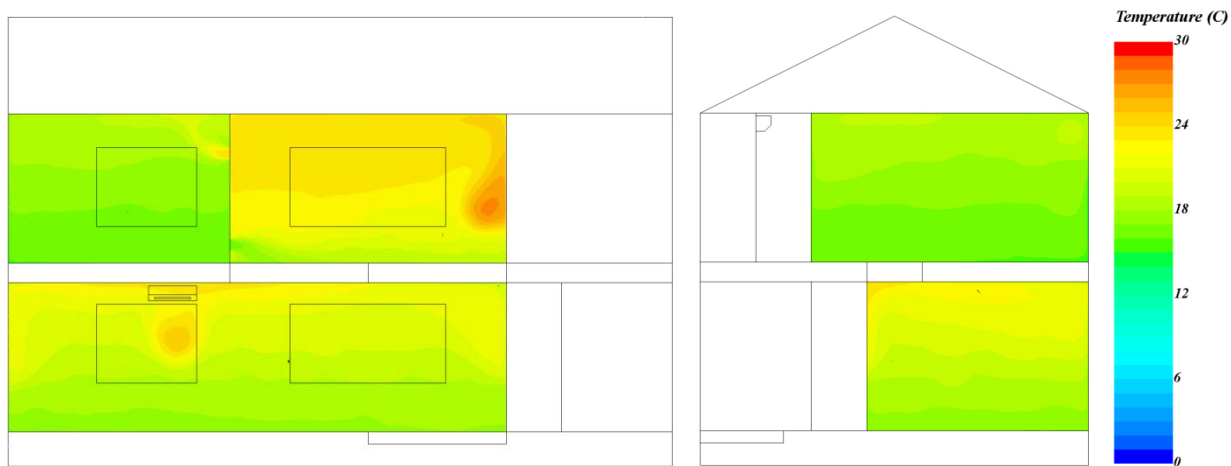


図 5-4-12 開口面積上下各 0.08m²、ファン 60m³/h (条件 20)

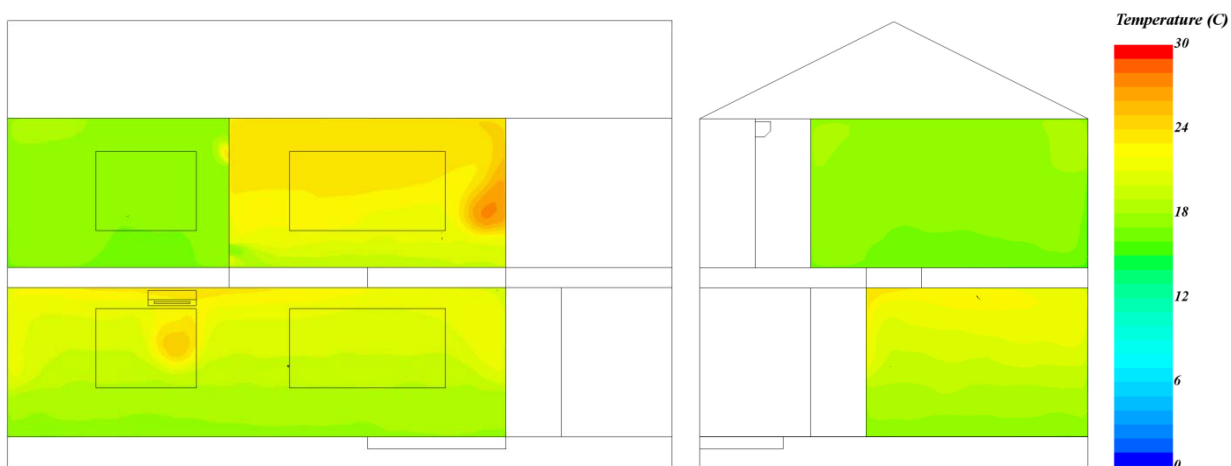


図 5-4-13 開口面積上下各 0.08m²、ファン 120m³/h (条件 21)

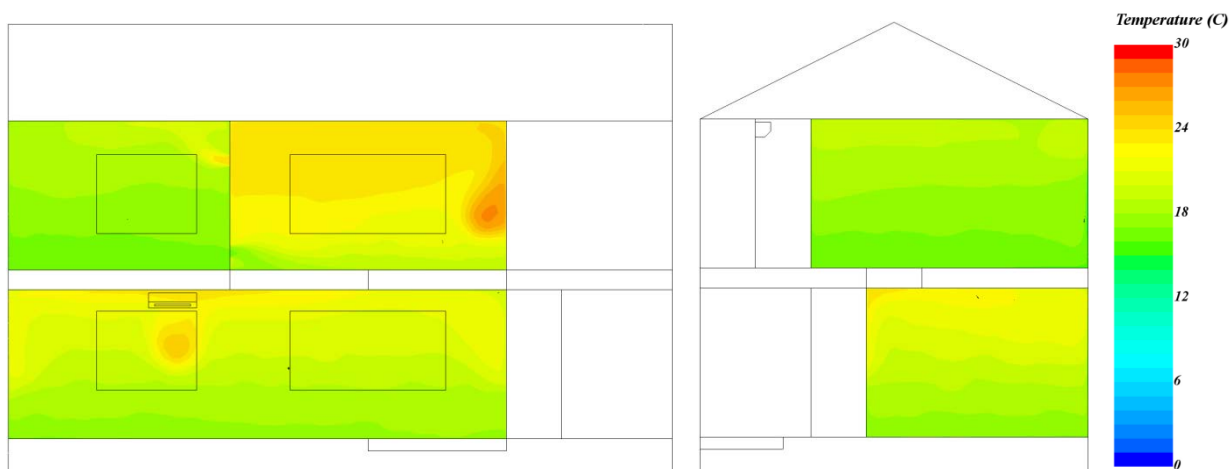


図 5-4-14 開口面積上下各 0.10m²、ファン 60m³/h (条件 22)

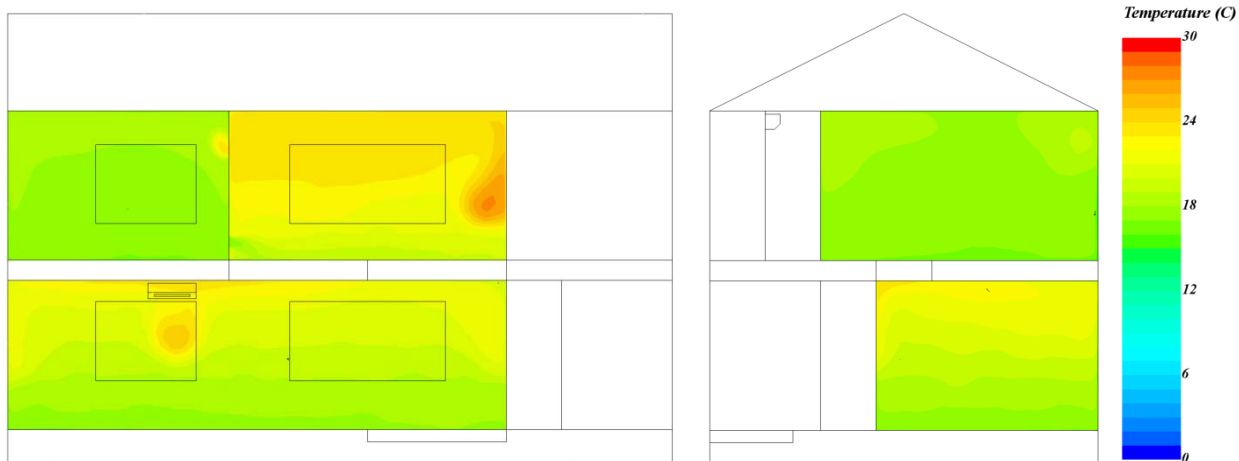


図 5-4-15 開口面積上下各 0.10m²、ファン 120m³/h (条件 23)

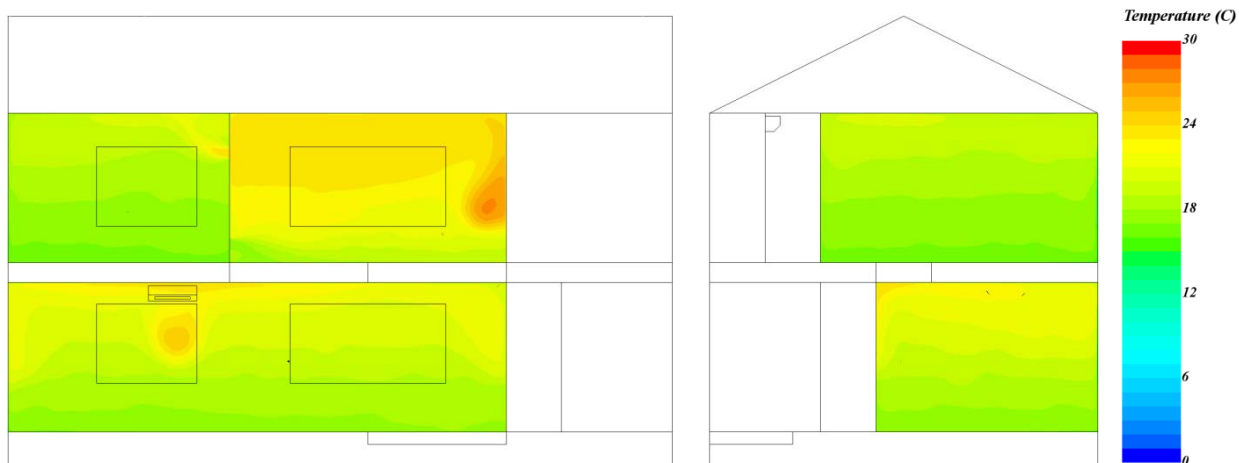


図 5-4-16 開口面積上下各 0.12m²、ファン 60m³/h (条件 24)

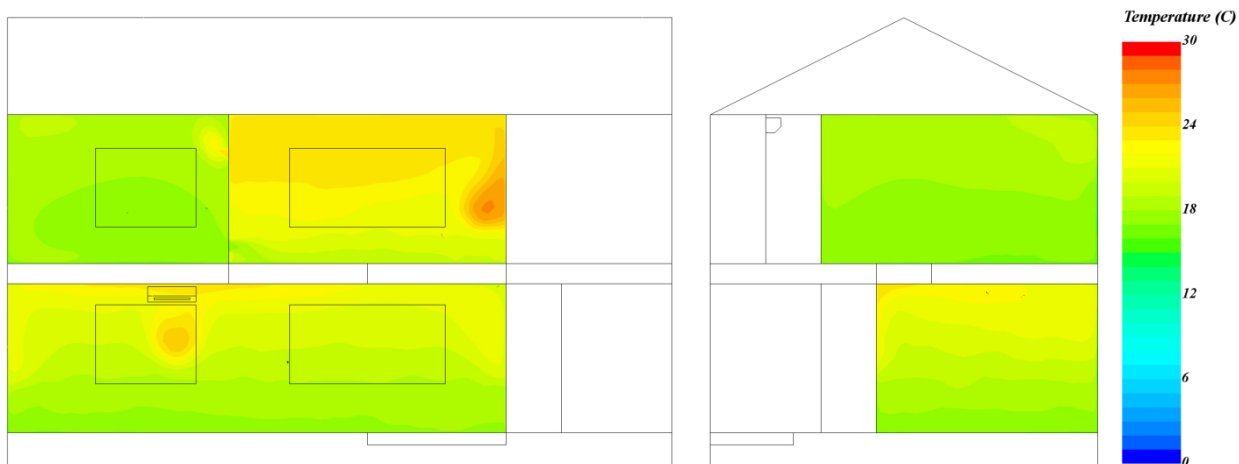


図 5-4-17 開口面積上下各 0.12m²、ファン 120m³/h (条件 25)

本システムの各条件における室中央の上下温度分布を図 5-4-18、上下風速分布を図 5-19-19、上下 EDT 分布を図 5-4-20 に示す。上下風速分布は任意の方向に対するベクトル量を示している（以下、同様）。ISO-7730 では F.L.+1,100 と F.L.+100 の温度差が 3.0K 以内、ASHRAE-55 では F.L.+1,700 と F.L.+100 の温度差が 3K 以内を推奨しているが、いずれのケースも 2K を超えることはなかった。上下風速分布については、概ね 0.1m/s 程度以内に抑えられており、微気流が発生している程度となった。EDT については、ほぼ全ての点で快適範囲（-1.7℃～1.1℃）に入っていた。

当初の想定では、120m³/h のファンを設置した時、ドラフト感が強くなるという想定であったが、120m³/h の条件が上下温度分布、上下 EDT 分布が最も小さくなった。これでは、本システムの中で一次エネルギー消費量が小さい「0.12_120」（図の条件 25）の条件で快適性も良いということになる。ファンの流量がさらに増大したときの快適性検証が必要であり、CFD では、「0.10_180」、「0.12_180」の条件を追加解析する。なお、ファンの流量を 120m³/h としたとき、上側の壁面開口で寝室から 2 階ホールへの逆流が生じる条件があったため、180m³/h の条件では、小さい開口面積の条件を除外した。ファンの流量を 180m³/h としたときの上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布を図 5-4-21 に示す。上下温度分布はほとんどないが、床付近の風速が 0.4m/s 程度まで上昇しており、床付近の EDT も快適範囲から外れている。EDT が負の値、つまり、床付近で寒く感じることになり、180m³/h のファンを設置することは適切でないことが示唆された。

以上の検討に対して、寝室の流線解析を行った結果を図 5-4-22 に示す。ここでは、開口面積を 0.12m² に固定し、ファンの流量を変えたときの流線解析を行った。ファンの流量は左から 0m³/h、120m³/h、180m³/h である。ファンが無い場合には、上部開口から暖気が 0.5m/s 程度で流入しているが、流入後は寝室上部へ進み、風速も小さくなっている。そのため、室中央付近では、0.1m/s 程度に抑えられている（図 5-19-19）。一方、120m³/h および 180m³/h のファンを設置したときは上部開口からの流入空気がファンの空気に引き寄せられている。特に、180m³/h のファンを設置したときには、上部開口からの流入空気が南側壁面まで到達しており、開口部を伝うダウンドラフトとなっている。このダウンドラフトが床付近の風速上昇に影響しており、床付近の EDT 低下を招いていることが分かった。

また、本システムの快適性を示すために、寝室にエアコンを設置した場合（20℃設定）と本システムの代表例として「0.12_60」の条件（隣室目標温度 20℃となるように補助暖房を設置）を選定して、上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布の比較を図 5-4-23 に示す。エアコンは室中央に向かって吹出す条件としており、寝室の暖房負荷に合わせて吹出し温度を決定している。上下温度分布は F.L.+100mm の位置と F.L.+1,100mm の位置での温度差はエアコンが 2.0K、本システムが 1.1K であった。また、エアコン時の F.L.+600mm、F.L.+1,100mm の位置では、エアコンの気流があたり、0.65m/s、0.60m/s と高い風速となっている。この影響により、EDT が負の値（寒いと感じられる）になっている。特に、F.L.+600mm、F.L.+1,100mm の位置の EDT は -2.1℃、-1.8℃となっており、快適範囲（-1.7℃～1.1℃）から外れていた。これらのことから、本システムは気流速度の面からの快適性はエアコンより優位性があるといえる。

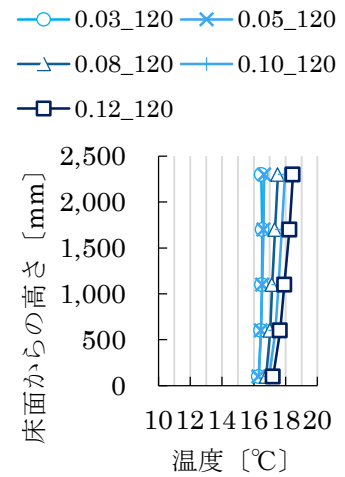
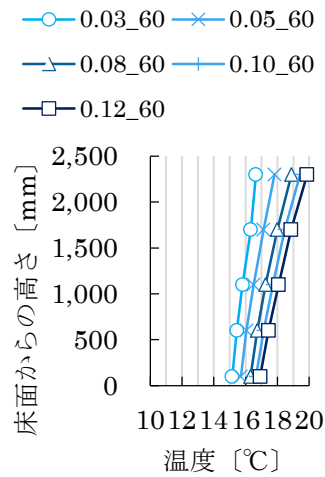
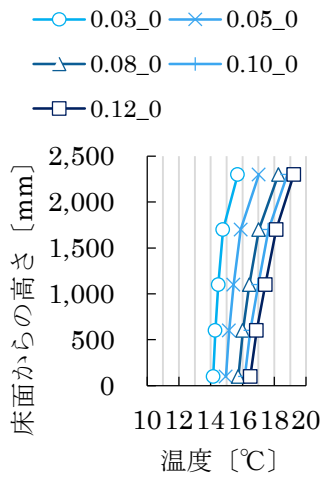


図 5-4-18 上下温度分布

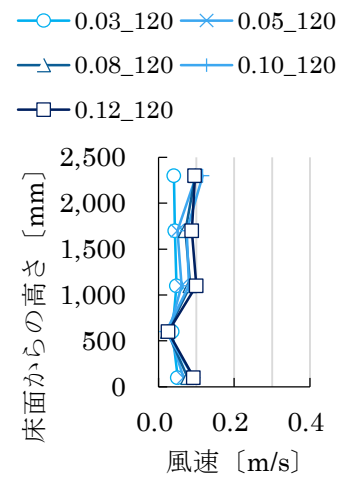
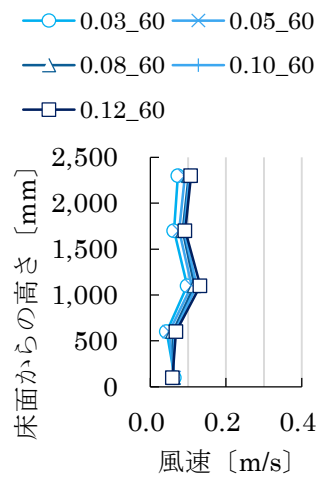
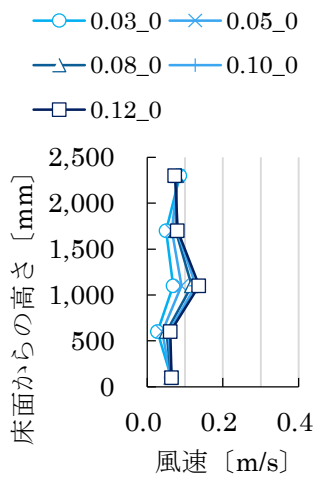


図 5-19-19 上下風速分布

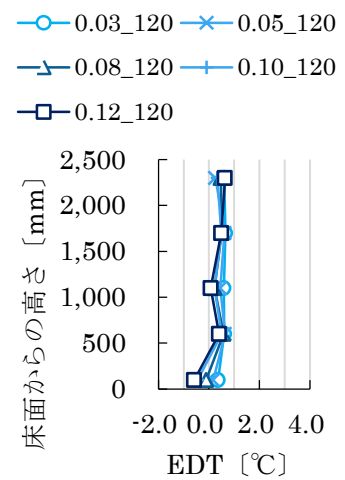
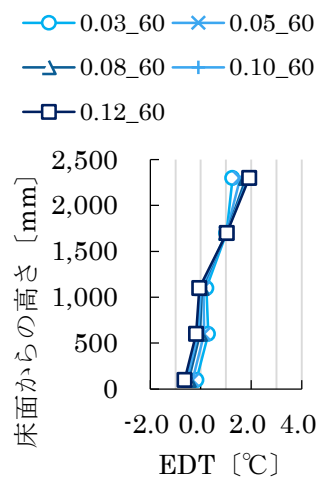
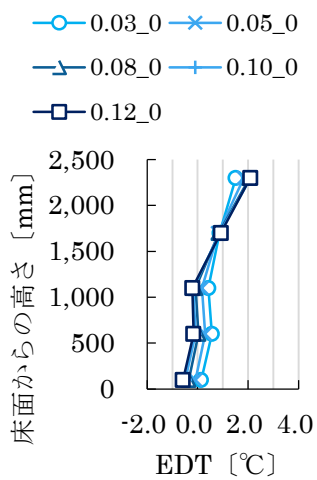


図 5-4-20 上下 EDT 分布

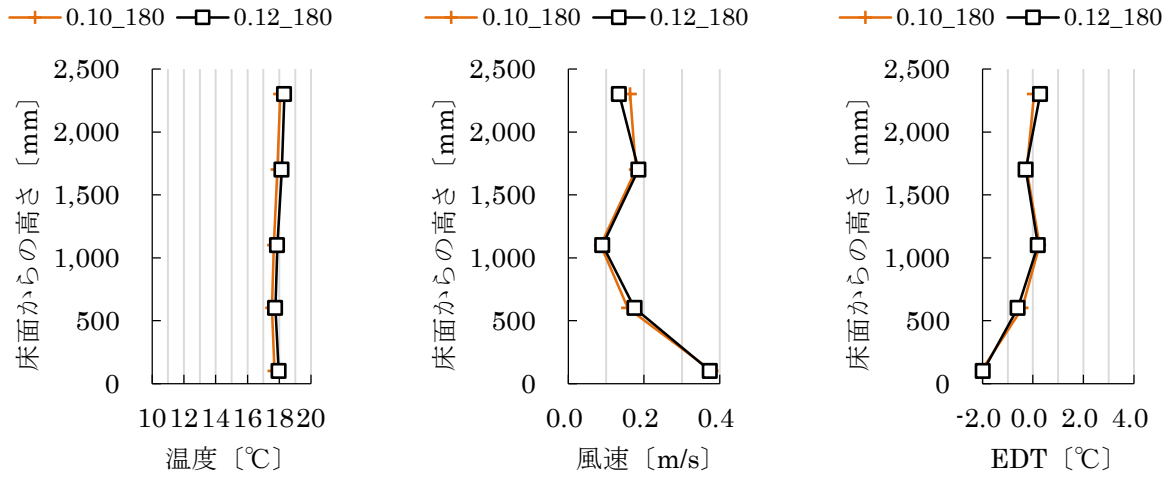


図 5-4-21 180m³/h のファンを設置したときの上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布

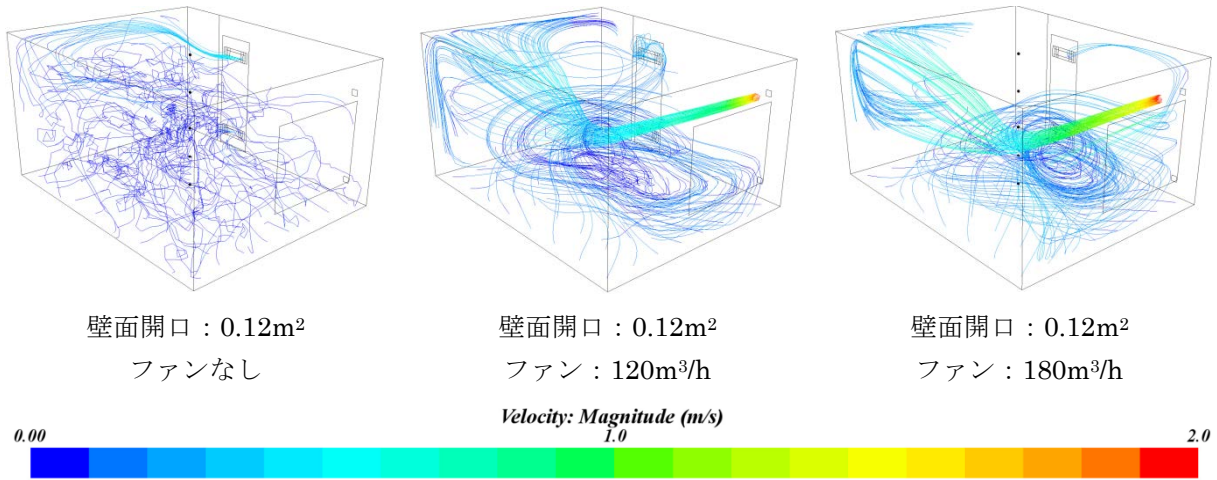


図 5-4-22 流線解析

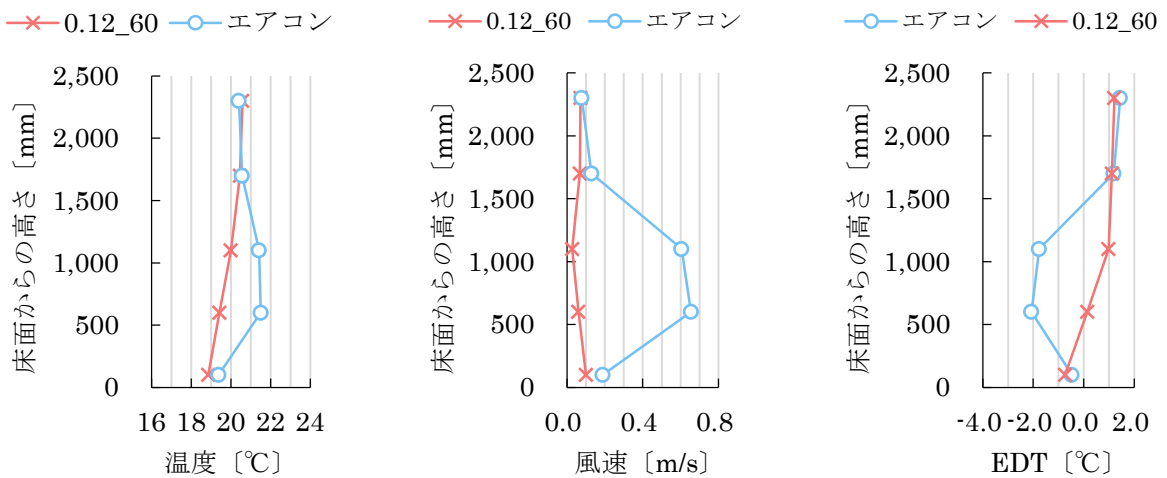


図 5-4-23 上下温度分布、上下風速分布、上下 EDT 分布 (エアコンと本システムの比較)

5-5. ランニングコストの試算

(1) 計算条件

1) 計算対象

本節では、一次エネルギー消費量が少なく快適性が比較的高かった条件（表 5-5-1）を対象に、ランニングコストを示す。ランニングコストは 5-3 で算出した電力消費量を基に試算する。

表 5-5-1 ランニングコスト試算の条件

条件	表での条件	
各室エアコン	条件 00	
壁面開口およびファンなし+補助暖房：電気パネルヒータ	条件 04	
壁面開口およびファンなし+補助暖房：蓄熱暖房器	条件 05	
壁面開口 0.12m ² + 補助暖房：電気パネルヒータ	条件 10	
壁面開口 0.12m ² + 補助暖房：蓄熱暖房器	条件 15	
本システム	壁面開口 0.12m ² + ファン 120m ³ /h + 補助暖房：電気パネルヒータ	条件 25
	壁面開口 0.12m ² + ファン 120m ³ /h + 補助暖房：蓄熱暖房器	条件 35
	壁面開口 0.12m ² + ファン 120m ³ /h + 補助暖房：電気パネルヒータ（和室なし）	条件 36
	壁面開口 0.12m ² + ファン 120m ³ /h + 補助暖房：蓄熱暖房器（和室なし）	条件 37
各室電気 パネルヒータ	条件 40	
各室蓄熱暖房器	条件 41	

2) 試算の条件

ランニングコストは 2018 年 2 月時点における北海道電力の電気料金メニューである「e タイム 3 プラス」に基づき試算する。「e タイム 3 プラス」は 1 日を 3 つの時間帯に分けて電気料金を設定したもので、表 5-5-2 に示すように割高な「午後時間」が 5 時間ある代わりに、割安な「夜間時間」が 10 時間と長く、さらに、「朝晩時間」も「午後時間」より割安な料金メニューとなっている。また、ランニングコストには、電力料金に加えて、基本料金、燃料費調整単価、暖房融雪割引、再生可能エネルギー発電促進賦課金が考慮されている（表 5-5-3）。

表 5-5-2 「e タイム 3 プラス」の時間帯別電気料金

名称	時間帯	電気料金（1kWh あたり）
夜間時間	22 時～翌 8 時	14.37 円
朝晩時間	8 時～13 時、18 時～22 時	30.35 円
午後時間	13～18 時	39.94 円

表 5-5-3 ランニングコストに含まれる料金の設定

基本料金	①電灯・コンセント：4.5kW ②IH クッキングヒータ：5.8kW ③エコキュート：1.5kW ④エアコン：各条件により変更 ⑤電気パネルヒータ、蓄熱暖房器：各条件により変更 契約容量=①+③+④+⑤ (IH は他機器の合間に利用)
燃料費調整単価 (平成 30 年 4 月金額)	-1.43 円/kWh
暖房融雪割引額	暖房機器類に対して決まる上限額
再生可能エネルギー発電促進賦課金単価	2.64 円/kWh (平成 29 年 5 月～平成 30 年 4 月)

(2) 計算結果

ランニングコストの試算結果を図 5-5-1 に示す。ランニングコストは各室エアコン (条件 00) の最も安く、次いで本システム (条件 04～37) が安く、蓄熱暖房器のみで暖房する場合 (条件 41) が最も高い。本システムについては、特に蓄熱暖房器を使用する場合 (条件 05、15、35、37) に高いため、蓄熱暖房器は多くの台数は設置せず、設置スペースや容量等を勘案してパネルヒータと組み合わせた導入方法とすべきと考えられる。一方、既存のオール電化住宅で設備改修を行う場合には、既設の蓄熱暖房器を利用することで改修コストを低減しつつ、ランニングコストを削減可能と考えられる。

本システムでは壁面開口やファンを設けることで、ランニングコストは安くなることが分かる (例えば、条件 04、条件 10、条件 25 の比較)。また、和室、寝室のドアを開放する条件 36、条件 37 では、補助暖房の台数が減るためイニシャルコスト低減を図ることができる。

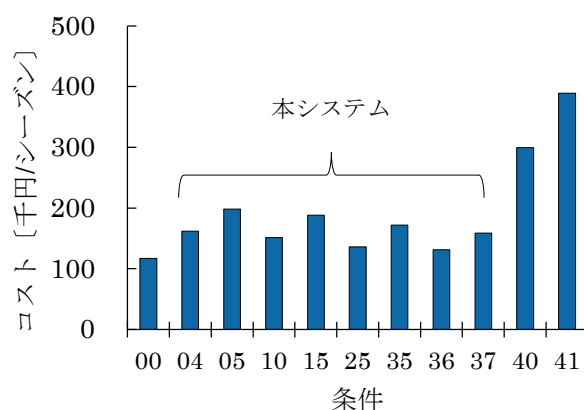


図 5-5-1 ランニングコストの試算結果

5-6. 住宅外皮性能の違いによる一次エネルギー消費量、ランニングコストの試算

ここまで、 U_A 値 $0.46\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ の場合における一次エネルギー消費量、ランニングコストの試算を行ったが、HEAT20 のG2 水準である U_A 値 $0.28\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ の場合における検討を行った。外皮仕様を表 5-6-1 示すとおりとし、解析条件は表 5-2-4 と同様とした。一次エネルギー消費量を図 5-6-1、ランニングコストを図 5-6-2 に示す。 U_A 値 $0.46\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ は図、図 5-5-1 の再掲である。 U_A 値 $0.28\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ とすることで、一次エネルギー消費量は2~3割、ランニングコストは1割程度低減した。また、 U_A 値を $0.28\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ とすることで、居間と2階ホールの暖房負荷の合計値が減少し、条件表に示す最大暖房能力 9.2kW 以下となった。そのため、エアコンの台数を1台に減らして居間だけに設ける場合について検討を行った。エアコン2台、1台の一次エネルギー消費量、ランニングコストの比較を図 5-6-3 に示す。一次エネルギー消費量は条件16で3.5%、条件25で2.5%削減された。ランニングコストも37,968円安価になった。これは、電力消費量が少なくなったことに加え、基本料金が安価になったことが寄与していると考えられる。外皮性能を $0.46\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ から $0.28\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ に上げるためのコストを要するという面もあるが、本システムの一次エネルギー消費量とランニングコストについては、低減できることが示唆された。

表 5-6-1 外皮仕様 (U_A 値 $0.28\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、床断熱)

	面積	長さ	熱貫流率	温度差係数	貫流熱損失
	m^2	m	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	—	W/K
天井	69.56	—	0.19	1.0	13.22
外壁	163.76	—	0.204	1.0	33.41
窓	24.44	—	1.00	1.0	24.44
ドア	2.00	—	1.75	1.0	3.50
床	69.56	—	0.39	0.7	18.99
基礎	—	—	—	—	0.00
合計	329.32	0.00	—	—	93.55
				U_A 値	0.28

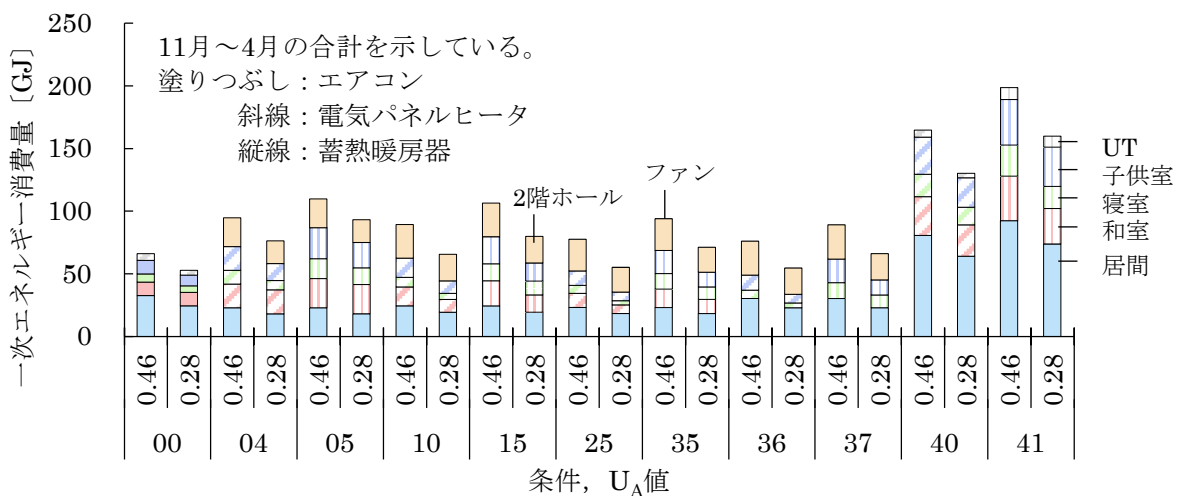


図 5-6-1 一次エネルギー消費量の比較 (U_A 値 $0.46\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ と U_A 値 $0.28\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

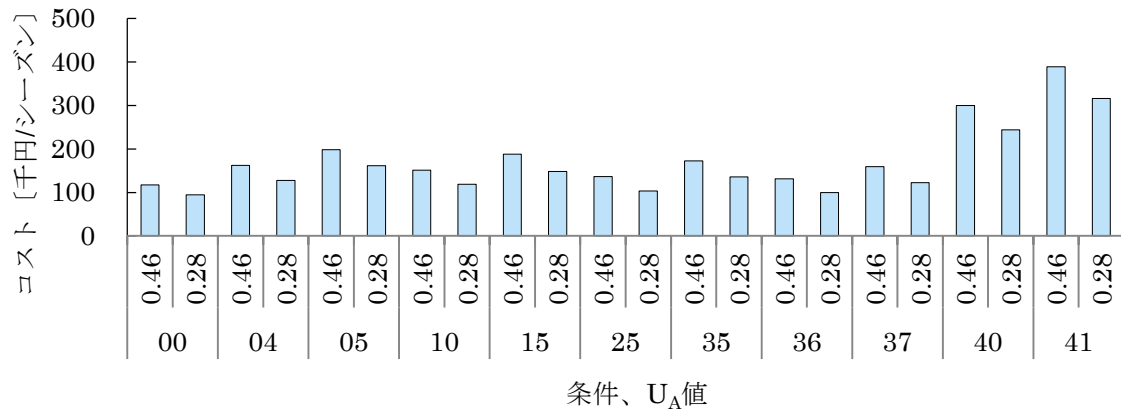


図 5-6-2 ランニングコストの比較 (U_A 値 0.46 W/(m²・K)と U_A 値 0.28 W/(m²・K))

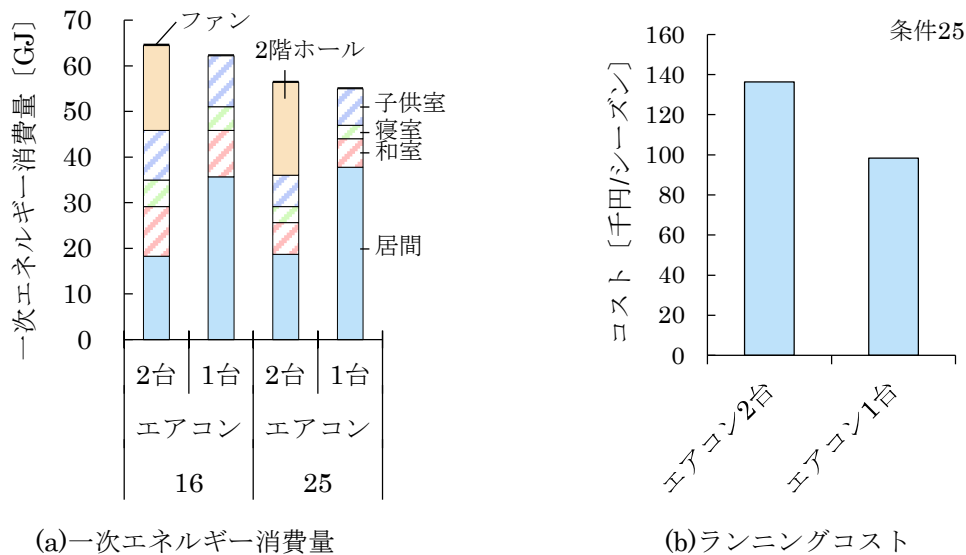


図 5-6-3 一次エネルギー消費量、ランニングコストの比較 (エアコン 1 台/2 台)

5-7. まとめ

本章では、BIS モデルを用いて、熱・換気回路網連成計算、CFD により、本システムの一次エネルギー消費量、快適性、ランニングコストを示し、従来型の各室エアコン、各室電気パネルヒータ、各室蓄熱暖房器との比較を行った。提案する本システムは一次エネルギー消費量、ランニングコスト面については各室エアコンよりも劣るが、快適性については優位性があるという結論に至った。本章で得られた知見を下記に記す。

- ・隣室への熱供給手法として壁面開口を設けた場合は、設けない場合と比べて上下各開口の開口面積が 0.03m²のとき 1.6%、0.12m²のとき 5.5%の一次エネルギー消費量が削減できた (条件 04 に対する条件 06、条件 10 の比較)。さらにファンを設置したときには、最大で 18.0%の一次エネルギー消

費量が削減できた（条件 04 に対する条件 25 の比較）。

- ・寝室に対して、壁面開口およびファンを設けない場合は 11.8℃であったが、壁面開口を設けた場合は室平均空気温度が最大で 6.0K、ファンを設置した場合にはさらに 0.6K の昇温効果があった。ファンの有無では 0.6K の昇温に留まったが、空気が攪拌され、上下温度分布の改善につながる。
- ・壁面開口が小さく、ファンの流量が大きい場合は壁面開口による対流効果がなくなり、逆流が生じる条件があった（図 5-4-9、図 5-4-11）ため、壁面開口の大きさとファンの流量の関係も考慮する必要がある。なお、120m³/h を超えるファンを設置すると、快適性が損なわれることが示唆された。
- ・本システムは各室エアコンに対して、上下風速分布、上下 EDT 分布の面で優位性がある。
- ・本システム及び比較対象である各室エアコンと各室電気ヒータの場合を対象に、消費電力量を基に一次エネルギー消費量とランニングコストを試算した。その結果、本システムの一次エネルギー消費量とランニングコストは各室エアコンよりは多いが、各室電気ヒータよりは大幅に少なかった。このことから、蓄熱暖房器を主暖房とする既存住宅において改修を行い、本システムを適用することで、大きな省エネ効果が得られると推測される。
- ・ドアを開放する生活スタイルの場合は（条件 36）、室温を損なわず一次エネルギー消費量を削減することができた。和室に補助暖房を設置せず、ドア（襖）を開放した場合に、条件 25 と比較して、一次エネルギー消費量は 1.9%、ランニングコストは 4,935 円/シーズン安くなった。

6. コンパクト電気暖房システムの設計手法の提案

以下に、設計手法を示す。また、関連する記載がある本報告書の章節番号を付記する。

(1) コンパクト電気暖房システムの基本的考え方 … 本報告書 2-1

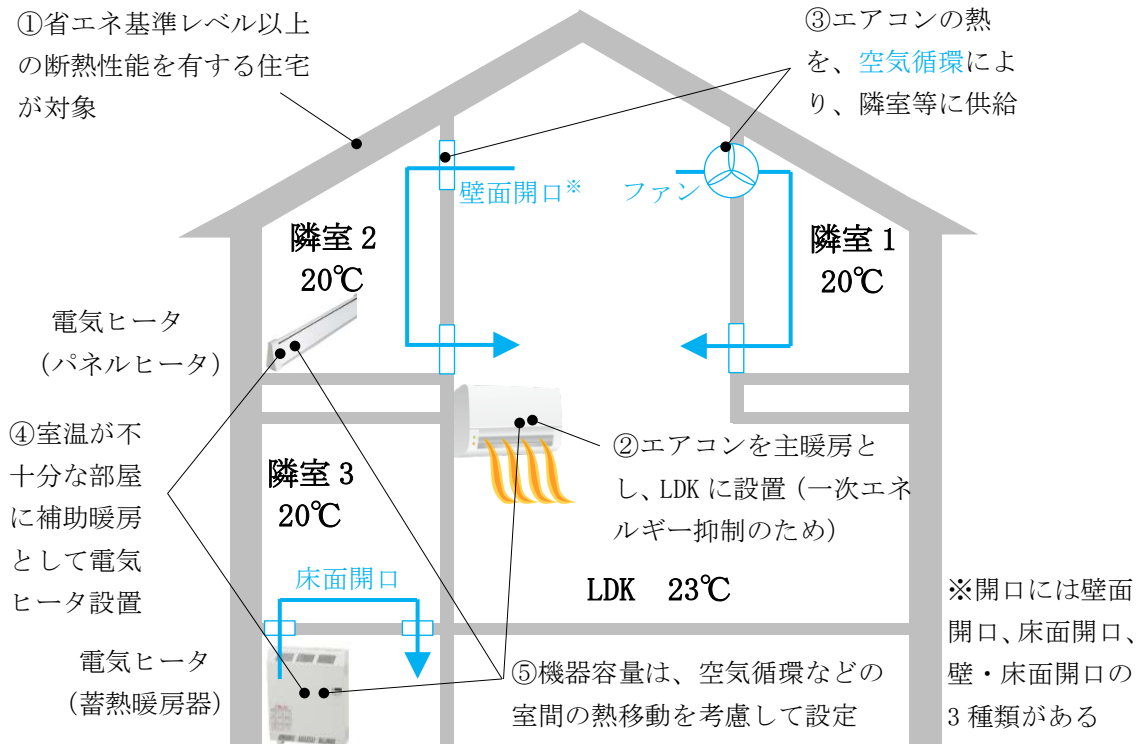


図 6-1 コンパクト電気暖房システムの基本的考え方

- ① 省エネルギー基準レベル以上の断熱性能を有する住宅を対象とする。
 - ・新築、改修の双方を対象とする。
- ② エアコンを住宅の主暖房とし、LDK に設置する。
 - ・エアコンは基本的には1台とする。
 - ・ただし、LDK と一体空間となっている吹き抜け、2階ホール、襖を開け放しの和室等を含めた暖房負荷に、エアコン1台の容量では対応できない場合など、必要な場合には2台目のエアコンを設置する。
- ③ エアコンの熱を、開口やファンを用いた空気循環により、LDK の隣室等に供給する。
 - ・扉を閉じた暮らしにも対応するため、欄間やドアのアンダーカットの利用する方法、あるいは専用の開口やファンを設けることにより、空気循環を行う。
 - ・室温確保の方法は、空気循環のみの場合と、給気循環と電気ヒータの組合せの場合がある。
 - ・ファンを低風量型とするなど、気流による不快感を防止する。
- ④ 室温が不十分な部屋に補助暖房として電気ヒータを設置する。
 - ・床下を利用する等の方法で設置スペース低減に配慮する。
- ⑤ エアコンと電気ヒータの機器容量は、空気循環や貫流等の室間の熱移動を考慮して設定する。
 - ・北海道の住宅ではLDKが他の居室よりも室温が高い傾向にあり、LDKから得られる貫流熱を利用する。

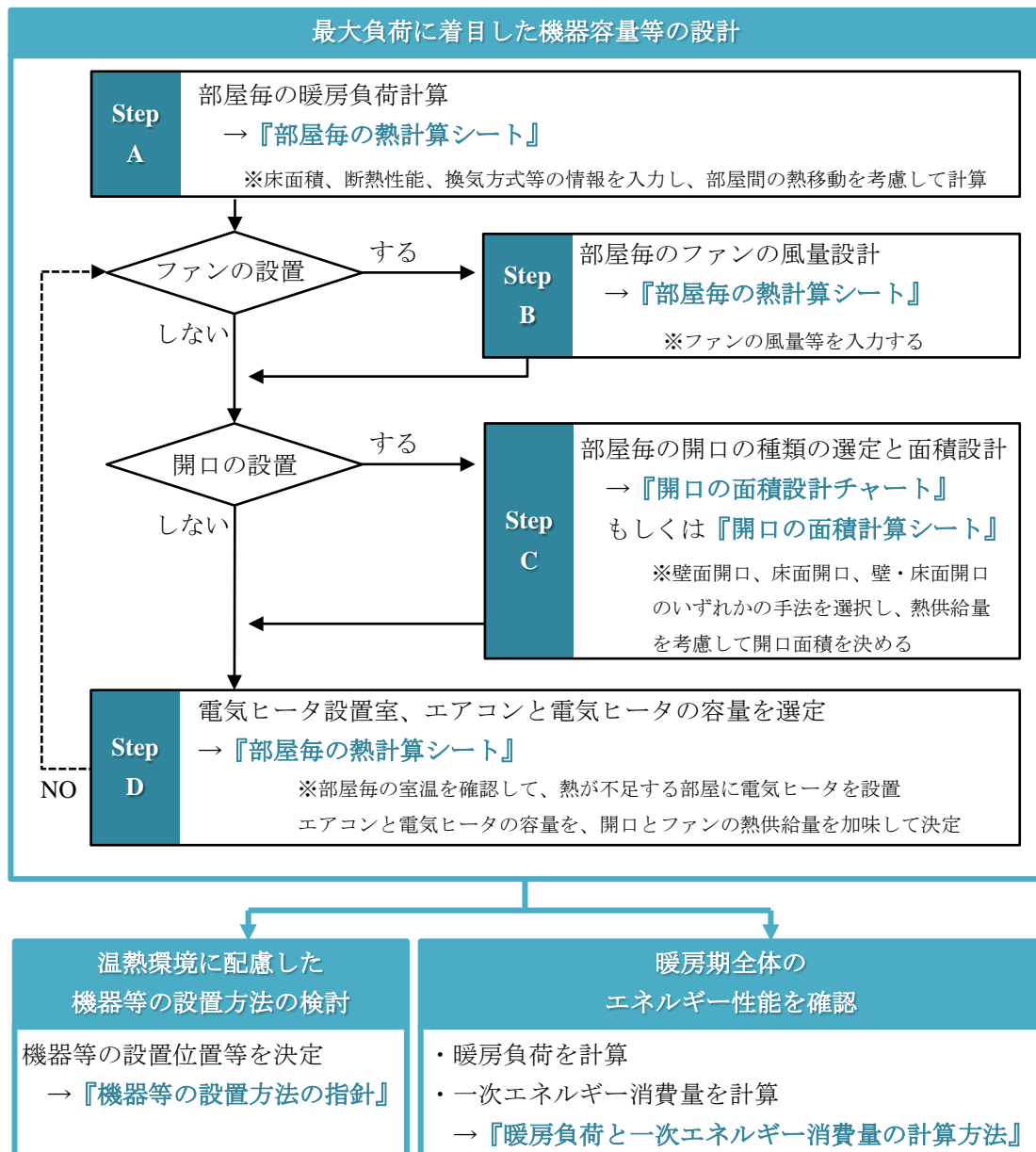


図 6-2 設計フロー

I. 最大負荷に着目した機器容量等の設計

Step-A 部屋間の熱移動を考慮した部屋毎の暖房負荷計算

『部屋毎の熱計算シート』を使用し、住宅の全ての部屋を対象に暖房負荷を計算する。

Step-B 部屋毎のファンの風量設計

『部屋毎の熱計算シート』を使用し、エアコンを設置しない暖房室を対象に、ファンの風量を設計する。

Step-C 部屋毎の開口の面積設計

①開口の種類

開口の設置方法は下図に示す方法のいずれかとする。

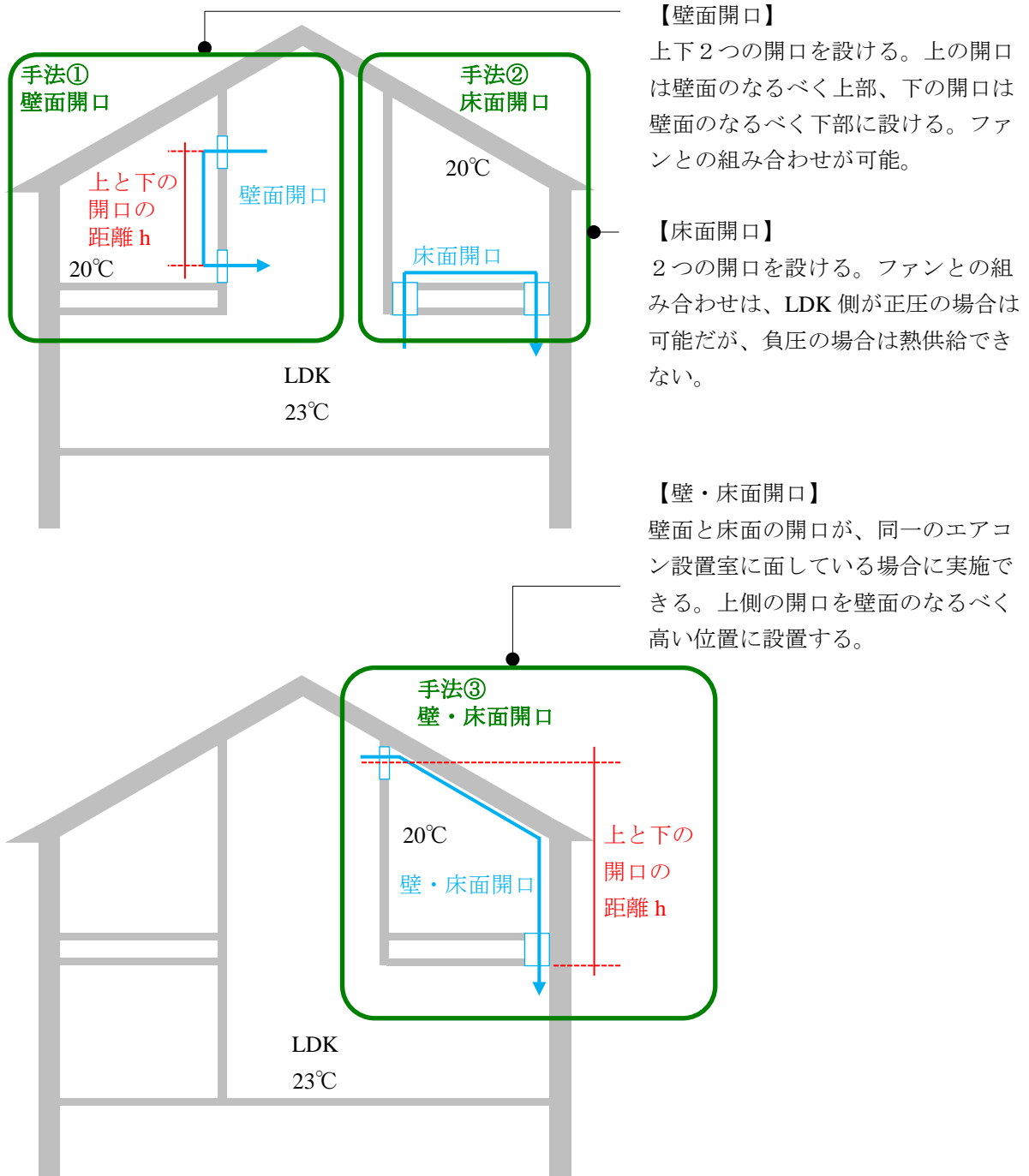


図 6-3 開口の設置方法

②壁面開口もしくは壁・床面開口を設ける場合

壁面開口の場合は、間仕切り壁の上部と下部の計 2 ヶ所の開口を設ける。壁・床面開口の場合は、間仕切り壁の上部と床面に各 1 ヶ所、計 2 ヶ所の開口を設ける。

『開口の面積設計チャート①～③』もしくは『開口の面積計算シート』を使用して開口の面積を設計する。このうち『開口の面積設計チャート』は、次の 2 条件の両方に当てはまる場合に使用する。

- ・開口の流量係数 α が 0.6 程度（比較的大きな長方形で空気抵抗となる格子やルーバー等が無い）場合
- ・エアコン設置室と熱供給先の部屋との間に、機械換気による空気移動が生じない場合、もしくは 20[m³/h]程度の空気移動が生じる場合

これらの条件に当てはまらない場合には、『開口の面積計算シート』を使用する。Step-B のファンと併用する場合には、ファンの風量を機械換気による空気移動量として入力する。

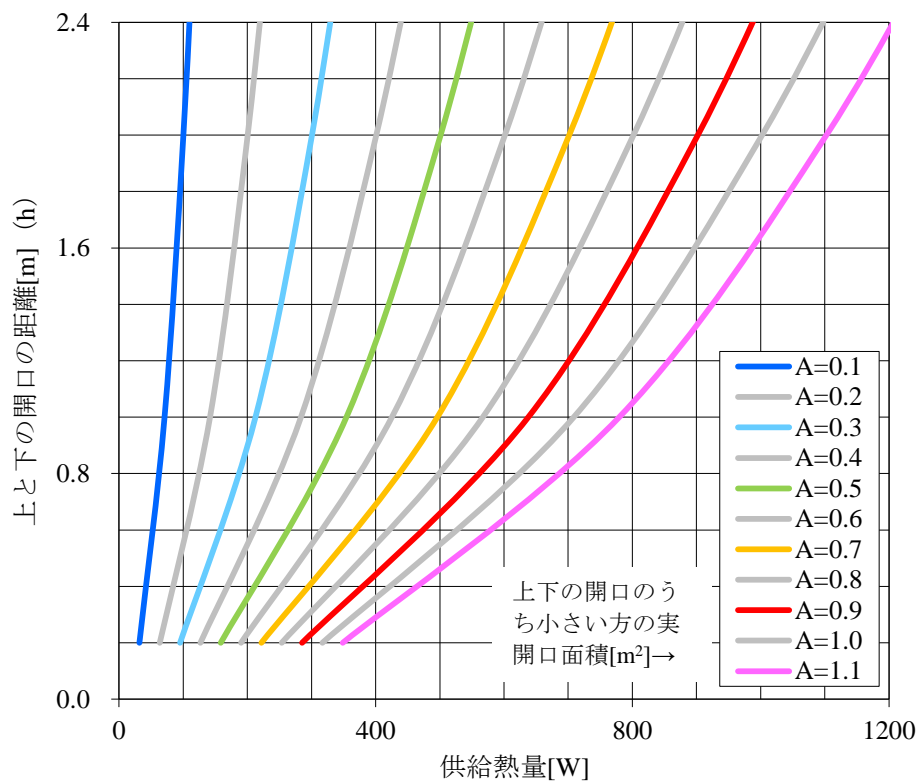


図 6-4 開口の面積設計チャート①

流量係数 $\alpha = 0.6$ 、機械換気による空気移動無し (B=0) の場合

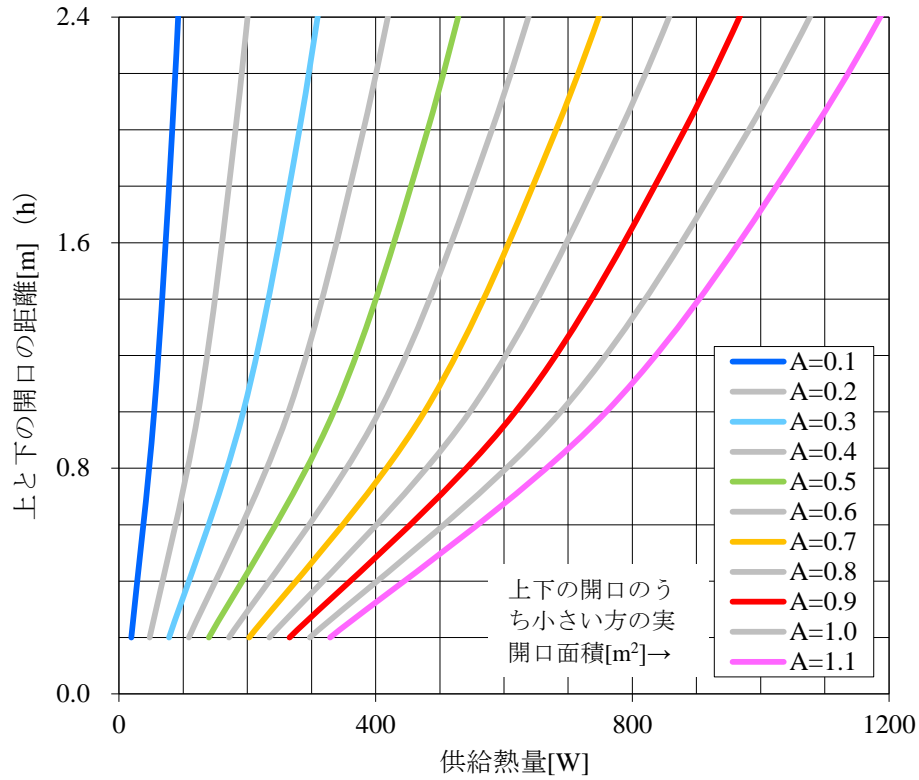


図 6-5 開口の面積設計チャート②

流量計数 $\alpha = 0.6$ 、機械換気により隣室→LDKへの空気移動 $20[\text{m}^3/\text{h}]$ ($B=20$) の場合

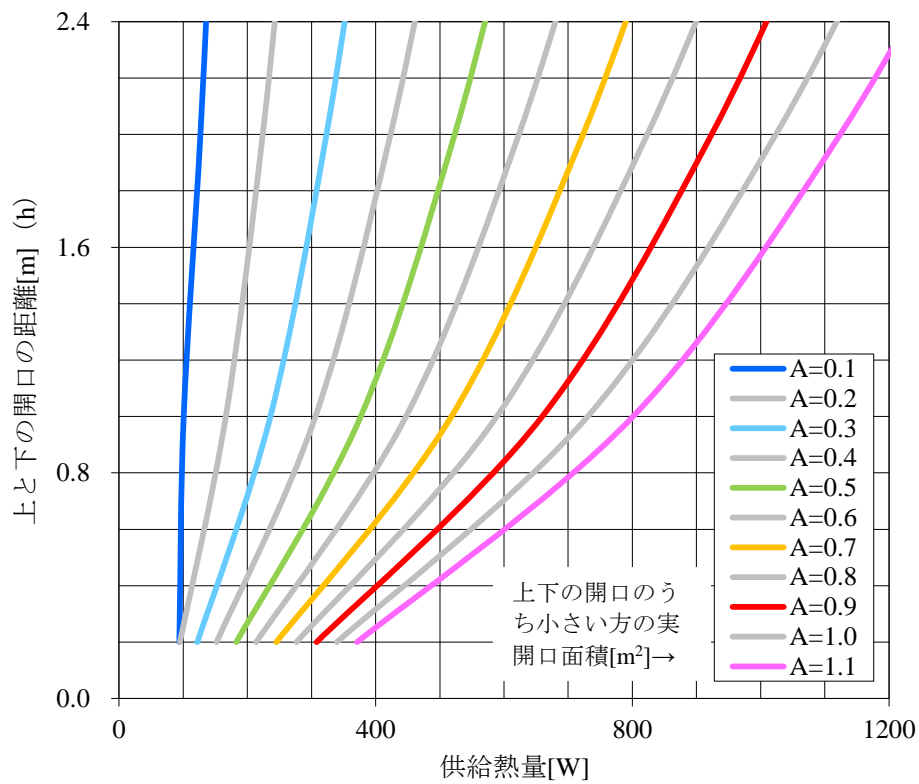


図 6-6 開口の面積設計チャート③

流量係数 $\alpha = 0.6$ 、機械換気によるLDK→隣室への空気移動 $20[\text{m}^3/\text{h}]$ ($B=-20$) の場合

③床面開口を設ける場合

… 本報告書 3-5

『開口の面積設計チャート④』を使用して開口 1 ヶ所あたりの面積を設計する。チャート中の「温度差」は開口の開け方により使用する数値が異なる。まず、1 階天井と 2 階床面を貫通するダクト状の開口を 2 か所設ける方法の場合には、2 階と 1 階 (LDK) の温度差となり、通常は 3℃とする。また、2 階の床面に 2 ヶ所と 1 階の天井面に 2 ヶ所の、計 4 か所の開口を設ける場合には、2 階と階間の温度差、及び階間と 1 階の温度差となり、通常は 1.5℃とする。

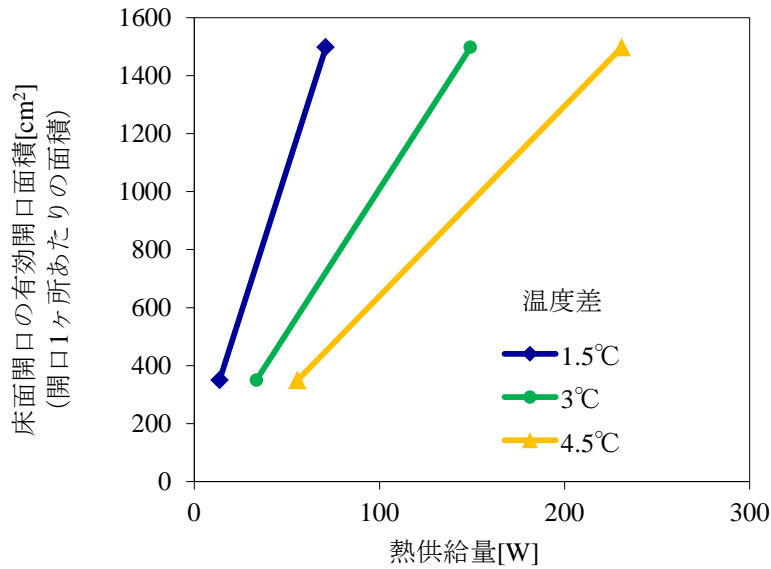


図 6-7 開口の面積計算チャート④ 床面開口の場合

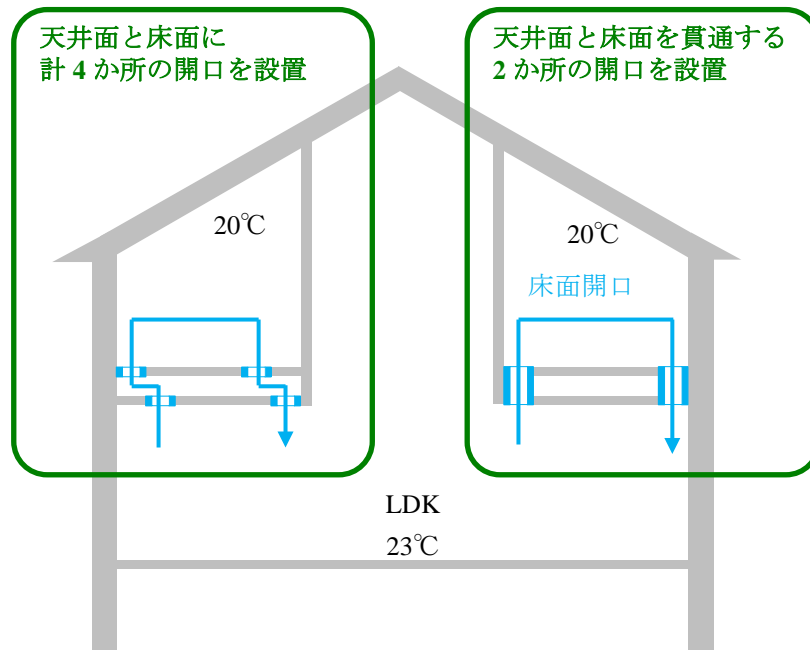


図 6-8 床面開口の設置方法

Step-D 電気ヒータを設置する部屋を決め、エアコンと電気ヒータの容量を選定

- ・『部屋毎の熱計算シート』を使用し、エアコンを設置しない暖房室で設定室温を達成するために必要な電気ヒータの容量を設計する。
- ・『部屋毎の熱計算シート』を使用し、空気循環等による隣室への熱供給を考慮し、エアコンの容量を設計する。

II. 機器等の設置方法を決定

以下に記す『機器等の設置方法の指針』を参考に決定する。その際、開口で生じる冷気流、ファンの気流、エアコンの気流による不快感を抑制するなど、温熱環境の良質化に配慮する。

<機器等の設置方法の指針>

①開口の設置方法 … 本報告書 3-2、3-8

- ・エアコン設置室からの入気が、すぐに還気してしまうショートサーキットを避けるため、2つの開口はなるべく離れた位置に設ける。
- ・壁面開口、壁・床面開口については、熱供給量を多くするため、上と下の開口の高低差がなるべく大きくなる位置とする。
- ・壁面開口、床面開口、壁・床面開口とも、エアコン設置室側において、なるべく居住者が還気の冷気流を感じないことに配慮した位置に設ける。例えば部屋の角や通路やドアの前などの移動する際にしか使用しない位置とする。
- ・床面開口の場合は、開口の直下にエアコンを設置するとエアコンが還気を吸込み、冷気流を緩和する効果と空気循環の量を増加させる効果が得られる。

②ファンの設置方法 … 本報告書 3-2、3-7、3-8

- ・熱供給の効果を得るため、ファンは壁面のなるべく上の位置（天井付近）に設ける。
- ・気流による不快感を避けつつ、空気を攪拌して上下温度むらの改善効果を得るため、適度な風量とする。なお、本研究で実施したケーススタディでは、風量を 120[m³/h]程度とし、水平方向に吹出すことが望ましいとの結果が得られた。
- ・エアコン設置室への還気用の開口は、壁面のなるべく下部に設ける。なお、前述 1) と同様に、エアコン設置室側の冷気流に配慮した設置位置とする。ファンと開口を同一の部屋で併用する場合は、下側の開口の面積を、Step-C で求められる開口面積よりも大きくする。
- ・ファンのスイッチは、基本的には電気ヒータが稼働しているときには、ファンも必ず稼働するようにする。例えば、電気ヒータを 20℃、ファンを 22℃で on-off 制御する。また、暖房負荷の小さい中間期等においては、電気ヒータを使用せずにファンだけを稼働させることも可能とする。不在時や夏期等には停止できるようにする。
- ・階間を 2 階の部屋への送風のために利用する手法は、熱供給先の部屋を暖房する時間帯に、1 階の部屋が暖房している場合に採用可能とする。

③電気ヒータの設置方法 … 本報告書 3-2、3-8、4

- ・ダウンドラフトを緩和するため、なるべく窓下に設置する。
- ・エアコン設置室からの熱供給（開口、ファン、間仕切り等で生じる貫流熱）を得るため、電気ヒータ設置室の室温は、エアコン設置室よりも 3℃程度低くする。その際、パネルヒータの内蔵センサが感知する温度は、部屋中央点温度等とは異なることを踏まえて設定する。蓄熱暖房器は蓄熱

量が過大な場合は自然放熱で室温が上昇するため、適切な蓄熱量とすることを心掛ける。

③床下暖房の設計方法 … 本報告書 3-6、3-8

- ・床下暖房は、暖房器を設置するスペースが少なく、足元を含む室温の確保が特に望まれる、脱衣室等に適している。
- ・電気ヒータを床下に設置する。
- ・脱衣室とトイレ等の床面積が小さな部屋に限り、複数の部屋を 1 台の電気ヒータで暖房することができる。この場合は、床下が連続した空間となるように、人通口を設けるなどする。ただし、床下暖房の対象以外の部屋の床下に熱が流出しないように、床下を断熱材等で区切り、人通口がある場合は必ず蓋をする。また、最も暖房負荷が大きい部屋の下に電気ヒータを設置する。
- ・床面に 1 部屋につき 2 か所の開口を設ける。
- ・開口の面積は、電気ヒータを真下に設置した部屋では『開口の面積設計チャート⑤』を使用して設計する。電気ヒータを真下に設置しない部屋では『開口の面積設計チャート④』（前掲）を使用して設計する。
- ・電気ヒータを設置した部屋では、開口のうちの 1 ヶ所は電気ヒータの真上で、かつ洗面等の水が直接かからない位置とする。

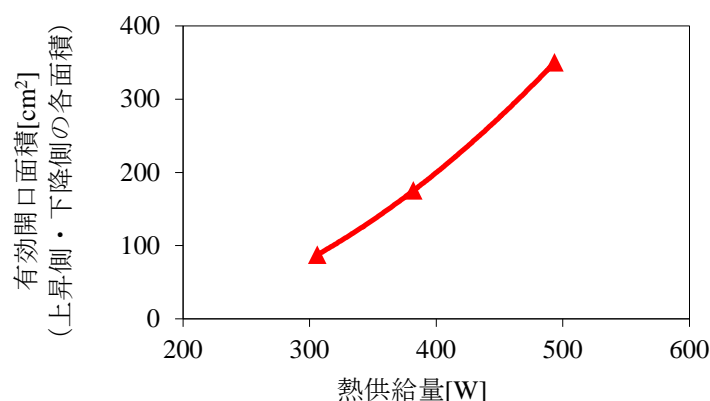


図 6-9 開口の面積計算チャート⑤ 床下暖房の場合

④住まい方の工夫 … 本報告書 5-3

- ・本システムはエアコンの無い部屋でドアを閉じて暖められることを前提としているが、ドアを開放しても支障が無い部屋や時間帯には、ドアを開けてエアコンの熱を採り入れることで、電気ヒータを使用せずに室温を確保することが考えられる。ただし、エアコンの容量設定の際に、隣室の暖房負荷を見込んでおく。

Ⅲ. 暖房期全体を対象とするエネルギー性能を確認

省エネルギーの観点から、暖房負荷と一次エネルギー消費量の評価は重要である。本システムの場合は、エアコン、電気パネルヒータ、蓄熱暖房器のそれぞれのエネルギー効率、また、開口とファンによる空気循環の効果を考慮して、暖房負荷と一次エネルギー消費量を計算する必要がある。また、国では住宅の省エネルギー基準の適合義務化を図る予定であり、一次エネルギー基準への適合が求められる。しかし、現行の WEB プログラムでは、本システムの適切な評価はできない。そのため、本研究では計算方法を検討し、本報告書の 5-2、5-3 に示した。

7. まとめ

2.において、高断熱化による暖房負荷低減がもたらす、空気循環や小容量機器による暖房の可能性を示した。そのうえで、コンパクト電気暖房システムの基本的考え方として、エアコンを主暖房とし、エアコンの熱を開口やファンを用いた空気循環により隣室等の供給し、不足する熱を補助暖房である電気ヒータ（パネルヒータ、蓄熱暖房器）で賄うことをまとめた。また、北海道の住宅における室温の既往調査より、本システムの暖房の設定温度は、LDK（エアコン設置室）で23℃、その他の暖房室で20℃として検討を進めることとした。

3.において、コンパクト電気暖房システムを個々の住宅に導入する際の設計フローの案を作成した。実験やシミュレーションによる検討を基に、設計をなるべく簡便に行うためのツールとして、最大負荷等の計算を行う『部屋毎の熱計算シート』、開口の面積等を設計するための『開口の面積設計チャート』と『開口の面積計算シート』を作成するとともに、温熱環境等に配慮するための『機器等の設置方法の指針』を作成した。

4.において、実験棟における実験から、エアコン設置室と電気ヒータ設置室との間に温度差がある場合における、開口やファンによる空気循環（熱供給）の効果を実証した。また、パネルヒータを使用する場合には、機器の内蔵センサが感知する温度と部屋中央等の室温との差に配慮した温度設定が必要であることがわかった。蓄熱暖房器を使用する場合には蓄熱量を過大とすると自然放熱により室温が過度に上昇してエアコン設置からの熱供給ができなくなることから、蓄熱量の適切な設定が重要であることがわかった。

5.において、暖房期全体における暖房負荷と一次エネルギーの計算方法を示した。その計算方法を用いたシミュレーション検討等を行い、コンパクト電気暖房システムは、各室エアコンと比べると一次エネルギー消費量とランニングコストは若干多くなるものの、温熱環境の良質化を図ることができることを示した。また、各室電気ヒータと比較すると、一次エネルギー消費量とランニングコストを大幅に低減できることから、蓄熱暖房器を主暖房とする既存のオール電化住宅の改修手法としても有効であることがわかった。

6.において、2.～5.の検討結果を踏まえ、コンパクト電気暖房システムの設計手法を提案した。