

B-58 家庭用エネルギー消費削減技術の開発および普及促進に関する研究

(2) 主要住宅設備及び機器類の特性に関する実験

① 主要住宅設備及び機器類に関する既存情報の収集物理的的特性の把握

国土交通省国土技術政策総合研究所

建築研究部

環境・設備基準研究室長

桑澤保夫

住宅研究部

主任研究官

三木保弘

独立行政法人建築研究所

環境研究グループ

客員研究員

堀 祐治

平成15～17年度合計予算額 11,017千円
(うち、平成17年度予算額 3,640千円)

[要旨]

冷暖房器具と冷蔵庫は、住宅内に設置される家電、設備機器の中で相対的に消費電力量が多く、かつ複数の要因によって消費量が決定される。本サブテーマでは特にこの2種類の家電、設備機器を対象に電力消費および動作特性を把握するための実験を行い、住宅のエネルギー消費予測に資することを目的としている。

平成16年度までの実験から、ルームエアコンについては実使用状態における運転効率は定格の効率よりも悪く、定格と実使用状態との差は夏期よりも冬期のほうが大きかった。また、実使用時の負荷率は夏期よりも冬期の方が低く、運転効率を悪化させる主たる要因と推察された。従って実質的な省エネルギーを達成するためには、建物の熱負荷に見合った能力のルームエアコンを選定する事が不可欠であることがわかった。冷蔵庫については、冷蔵庫周囲温度、内容物量、周壁との距離、扉の開閉頻度と電力消費量との関係を実測した。その結果、機種別の制御特性によっても異なるが、周囲温度、内容物量と電力消費量はほぼ比例関係にあること、壁体との距離の影響はほとんど見られないこと、扉の開閉時間よりも開閉回数の方が電力消費量に大きな影響を及ぼすことなどが明らかになった。

平成17年度には、エアコンの冷暖房能力とエネルギー効率の変化を実験によって明らかにし、定格値から実使用時のCOP算出の予測式を作成した。また暖房環境で快適性の高いとされる床暖房について、熱源におけるエネルギー効率から発熱面までの熱搬送経路における熱損失を実験より明らかにした。

[キーワード] 住宅、省エネルギー、実証実験、CO₂排出削減、家電機器

1. はじめに

家庭におけるエネルギー消費量の多寡には人間の使用行動とともに、設備機器自体の特性が深くかわることは言うまでもない。本研究は、設備機器の性能検証や改良開発を目的とするものではなく、人間行動がエネルギー消費に及ぼす影響に関する理解を深めることにあるが、そのためには設備機器の特性を把握することが不可欠である。

住宅内に設置される家電のうち、冷暖房器具と冷蔵庫は、他の家電、設備機器と比べ消費電力量が多く、かつ複数の要因によって消費量が決定される。

現在、家庭用エアコンディショナー（以下エアコン）が住宅の冷暖房設備として広く普及している。近年では従来の製品に比べて運転効率が改善され、多機能化が進んでいる。製品のカタログなどに表示されるエアコンの運転効率の測定方法は、JIS（日本工業規格）で規定されている。しかし、実生活における運用では、部分負荷運転や間欠運転が多く発生するため、公表されている運転効率のみからエアコンの省エネルギー性を評価することは難しい。また、家電のうち最もエネルギー消費の大きい冷蔵庫についても、運転効率の測定方法がJIS（日本工業規格）にて規定されているが、実際の使用状況によってその消費量は異なることが考えられる。すなわち、家庭内のエネルギー消費削減の検討において、これら冷暖房機器および冷蔵庫が、様々な使用状況下でどのようなエネルギー消費を行うかを明らかにする必要がある。

2. 研究目的

本サブテーマでは、家庭内のエネルギー消費において、大きな割合を占める暖冷房設備および冷蔵庫を対象に電力消費および動作特性を把握するための実験を行い、住宅のエネルギー消費予測に資することを目的としている。

特にエアコンについては、エアコンの運転開始時から過渡期、定常状態に至る過程でのエネルギー消費と効率の測定、さらにはJISの規定から示されているエネルギー消費効率の定格値から、実使用時の効率を推定する方法についても検討する。また、冷蔵庫については、内容物や扉の開閉、周囲の壁面との設置状況がエネルギー消費に与える影響を明らかにする。

3 研究方法・測定方法

本サブテーマでは、エアコンと冷蔵庫のエネルギー消費に関する研究、およびエアコンと床暖房の使用時のエネルギー効率に関する研究の4テーマを課題としてあげている。以下、それぞれのテーマについて、研究方法を記す。

3. 1 ルームエアコンの実大実験住宅における電力消費量、運転効率測定法

実測対象は、実証実験住宅の「居間」および「洋室1」に設置されたエアコンである。測定エアコンの位置を図2-1-1に示す。「居間」のエアコンは平日、休日のスケジュール共に日中は断続的に使用され、夜間はほぼ連続的に運転する。「洋室1」は「長女」の居住を想定した子供部屋であり、平日のスケジュールでは日中に不在となり、エアコンは停止している。

それぞれのエアコンの温度、湿度の計測点を図2-1-2に示す。図に示すように、吹き出し口において温度を3点、湿度を1点、吸込み口において温度、湿度を1点計測し、各々の平均温度、湿度および吹き出し風量から室内への全熱供給量を算出した。吹き出し風量を計測する場合、吹き出し口に整流用のダクトを設け、その末端で風速分布を計測する方法が考えられる。しかし、本実証実

験では室内の風速，温度分布に与える影響を考慮し，風量を固定（リモコンの設定で3目盛り）し，予備実測でその状態の風量を計測した。

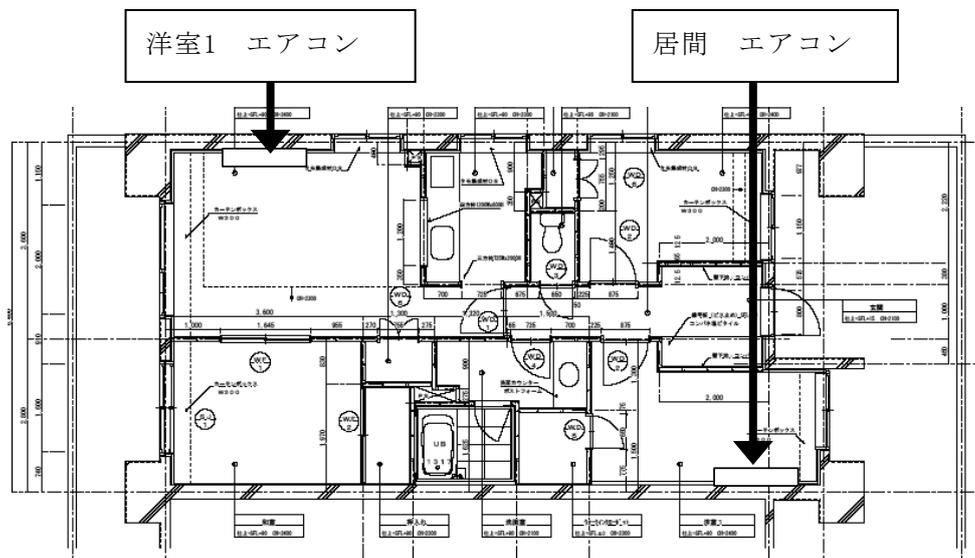
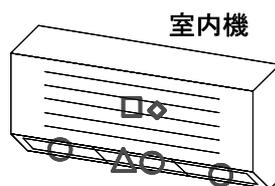


図2-1-1測定エアコン位置



- ◇:リターン空気温度(熱電対)
- :リターン空気湿度(静電容量式)
- :サプライ空気温度(熱電対)
- △:サプライ空気湿度(静電容量式)

図2-1-2 エアコン温湿度測定点

エアコンの運転効率（S-COP）の算出方法を以下に示す。

$$S_COP = \frac{Lr}{Es} \quad Lr = G_E \times (h_D - h_s) \times 3600$$

- | | | |
|----------------|---------------|--------|
| Lr | : 室内への供給熱量 | [Wh] |
| Es | : エアコン電力消費量 | [Wh] |
| G _E | : エアコン送風量 | [kg/s] |
| h _D | : 吹き出し部エンタルピー | [J/kg] |
| h _s | : 吸い込み部エンタルピー | [J/kg] |

表2-1-1～表2-1-4に計測対象となったエアコンの仕様を示す。

表2-1-1 従来住戸居間エアコン仕様

設置場所		従来住戸 居間
種類		冷暖房用兼用セパレート型(インバーター)
電源		単相 200V 50/60Hz両用
能力(kw)		3.2(0.9～3.7)
運転電流(A)		6.7
消費電力(W)		1200(190～1500)
質量(kg)		7.5
冷房面積目安(m ²)	鉄筋コンクリート	15
	木造	7.5
大きさ		室内ユニット 240×770×179 室外ユニット 540×540×274

表2-1-2 従来住戸洋室1エアコン仕様

設置場所		従来住戸 洋室1
種類		冷暖房用兼用セパレート型(インバーター)
電源		単相 100V 50/60Hz両用
能力(kw)		2.2(1.2～2.6)
運転電流(A)		9.8
消費電力(W)		890(430～1060)
質量(kg)		7.5
冷房面積目安(m ²)	鉄筋コンクリート	15
	木造	10
大きさ		室内ユニット 240×770×179 室外ユニット 530×543×253

表2-1-3 省エネ住戸居間エアコン仕様

設置場所		省エネ住戸 洋室1
種類		冷暖房用兼用セパレート型(インバーター)
電源		単相 200V 50/60Hz両用
能力(kw)		2.2(0.6～3.3)
運転電流(A)		4.1
消費電力(W)		370(75～690)
質量(kg)		11.5
冷房面積目安(m ²)	鉄筋コンクリート	15
	木造	10
大きさ		室内ユニット 298×799×250 室外ユニット 540×780×289

表2-1-4 省エネ住戸洋室1エアコン仕様

設置場所		省エネ住戸 居間
種類		冷暖房用兼用セパレート型(インバーター)
電源		単相 200V 50/60Hz両用
能力(kw)		2.8(0.6～3.7)
運転電流(A)		2.6
消費電力(W)		485(75～900)
質量(kg)		11.5
冷房面積目安(m ²)	鉄筋コンクリート	19
	木造	13
大きさ		室内ユニット 298×799×250 室外ユニット 540×780×289

3. 2 冷蔵庫の電力消費特性の計測方法

(1) 試験室および冷蔵庫の仕様

独立行政法人 建築研究所，環境実験室，試験チャンバー内に，2つのメーカー(T, N)の冷蔵庫を設置した。試験チャンバーは温湿度を自由にコントロールできる。チャンバー内に図2-1-3，図2-1-4に示すスタイロフォーム製の仕切りを設け，2台の冷蔵庫を設置した。

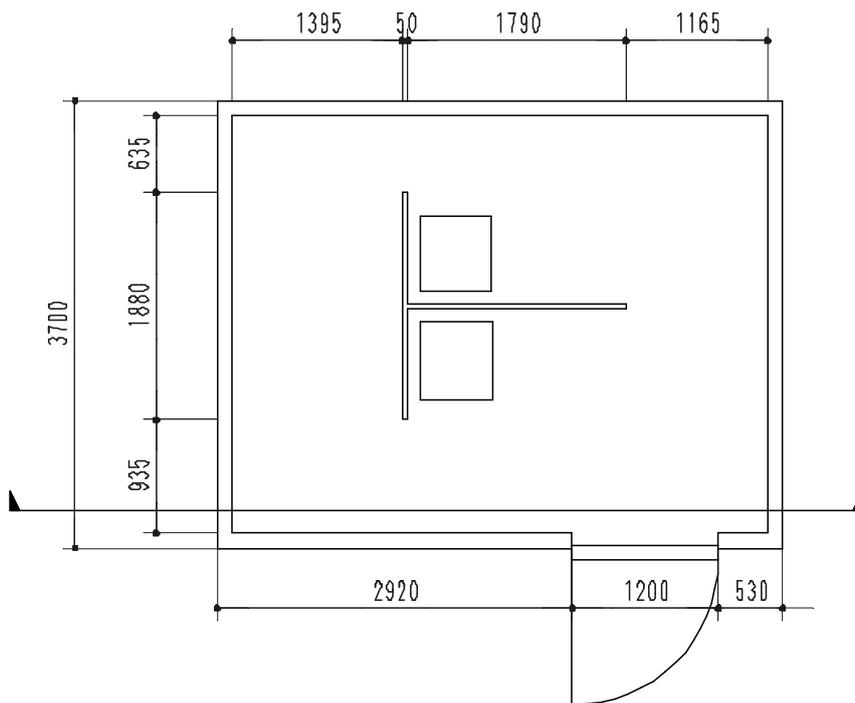


図2-1-3 冷蔵庫試験チャンバー平面図

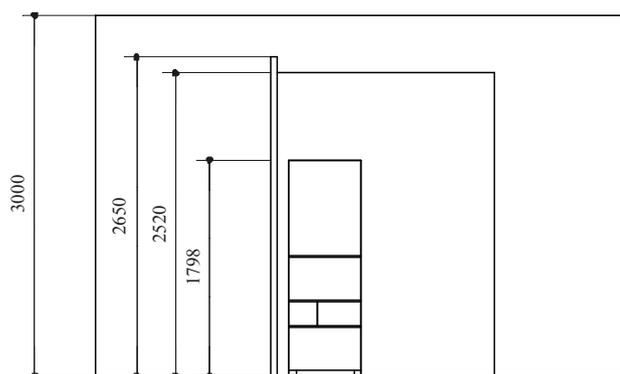


図2-1-4 冷蔵庫試験チャンバー断面図

実験に使用した冷蔵庫の仕様を表2-1-5，表2-1-6に示す。

表2-2-5 N冷蔵庫の仕様

種類	冷凍冷蔵庫(インバーター)					
品番	NR-E402U		品番	NR-E402U		
定格内容積	全定格内容積	404L	定格電圧		100V	
	冷蔵室	206L	定格周波数		50/60Hz共用	
	野菜室	98L	電動機の	50Hz	104W	
	製氷室	12L		60Hz	104W	
	パーシャル&切替室	26L	電熱装置の	50Hz	128W	
	冷凍室	62L		60Hz	128W	
外部寸法	幅	590mm	消費電力量	パーシャル&切替室を「冷蔵」に切り替えた場合	50Hz	180kWh/年
	奥行	677mm		60Hz	180kWh/年	
	高さ	1798mm		※パーシャル&切替室を「冷凍」に切り替えた場合	50Hz	180kWh/年
質量	88kg			60Hz	180kWh/年	

表2-1-6 T冷蔵庫の仕様

仕様/形名	GR-NF465G	
全定格内容積	407L	
冷蔵室	201L	
野菜室	108L< 62L>	
アイスルーム	13L< 6L>	
切替室	22L< 16L>	
冷凍室	63L< 35L>	
外形寸法	幅	600mm
	奥行	694mm
	高さ	1798mm
定格電力	100V	
定格周波数	50/60Hz共用	
電動機の定格消費電力	150/150W	
電熱装置の定格消費電力(霜取り時)	150/150W	
消費電力量		
製品質量	86kg	

各々の冷蔵庫の消費電力，および冷蔵庫の5面表面温度(6面の内，下面を除く5面)，冷蔵庫の5面近傍温度，冷蔵庫内温度，冷凍庫内温度を測定した。温度計測には熱電対を使用した。電力消費量の計測にはクランプ式電力計を使用した。図2-1-5に冷蔵庫の測定点の位置を，表2-1-7，表2-1-8に測定項目を示す。

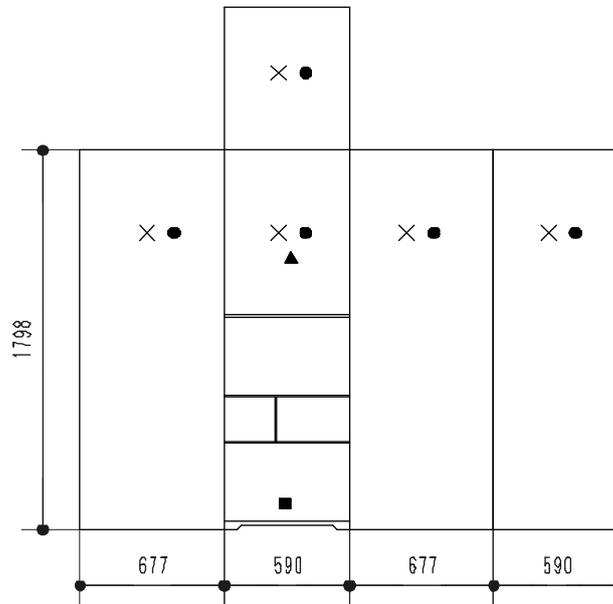


図2-1-5 冷蔵庫測定点 (T, N共通)

表2-1-7 冷蔵庫測定点一覧

×	近傍温度
•	表面温度
▲	冷蔵庫内温度
■	冷凍庫内温度

表2-1-8 冷蔵庫測定項目一覧

測定方法	測定項目(3.2.3 測定項目参照)	測定間隔
温度 (熱電対+ロガー)	冷蔵庫5面表面温度 冷蔵庫5面近傍温度 冷蔵庫内温度 冷凍庫内温度	1分
電力消費量 (クランプ式電力計)	T, N個別計測	1分

(2) 測定モード

測定モードを表2-1-9に示す。表のように、冷蔵庫の周囲温度、投入内容物、壁との距離、扉の開閉に関する実測を行った。本実測では冷蔵庫の標準状態を表2-1-10のように設定し、それぞれのパラメーターの変化に対するエネルギー消費量の差を比較した。

表2-1-9 冷蔵庫の計測モード

	モード	内容
周囲温度	10℃モード 20℃モード 30℃モード	周囲温度を10℃, 20℃, 30℃と変化させる。各モードは最低24時間連続させる。
内容物の量	冷蔵庫4Lモード 冷蔵庫8Lモード 冷蔵庫16Lモード 冷凍庫10Lモード 冷凍庫6Lモード 冷凍庫2Lモード	内容物量の変化を水で再現し、冷蔵庫は4L～16L, 冷凍庫は2L～10L変化させる。周囲温度と同様各モードは最低24時間維持する。
周壁距離	1cmモード 10cmモード 30cmモード	周壁距離を1cm, 10cm, 30cmと変化させる。冷蔵庫を2方囲みとする場合と、3方囲みとする場合を測定する。各モードは最低24時間維持する。
扉開閉	3分モード 1回モード 3回モード 3分平均モード	冷蔵庫の扉開閉の影響を測定する。扉を開いた状態は、冷蔵庫の場合は90度、冷凍庫場合は最大まで引き出した状態とする。 【3分モード】 合計開放時間3分。1時間に開閉回数1回, 3回, 10回(1時間間隔, 20分間隔, 6分間隔) 【1回モード】 1時間に開閉回数1回。合計開放時間180秒, 720秒 【3回モード】 1時間に開閉回数3回(20分に1回)。合計開放時間30秒, 90秒, 180秒, 270秒, 720秒(1回に10秒, 30秒, 60秒, 90秒, 240秒) 【3分平均モード】 合計開放時間3分。1時間に開閉回数1回, 10回(1時間間隔, 20分間隔, 6分間隔)を各6回行い平均する。

表2-1-10 冷蔵庫の標準状態の設定値

標準状態	
冷蔵庫温度設定	3℃
冷凍庫温度設定	-18℃
周壁距離	10cm
雰囲気温度	20℃
冷蔵庫内の内容物 図参照	2L×2本
冷凍庫内の内容物 図参照	空
※その他製氷モードはOFF等、機器デフォルト状態を標準とする	

3. 3 冷暖房設備機器のエネルギー効率の算定

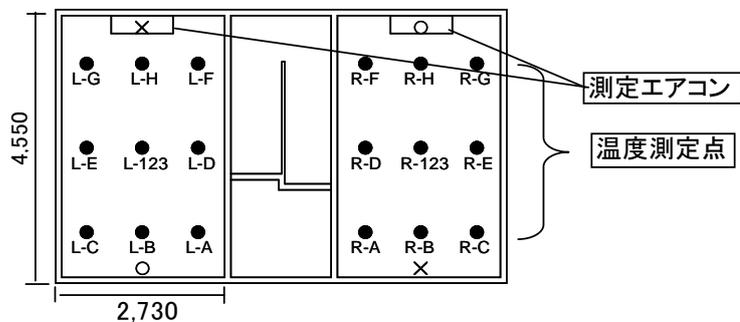
(1) ルームエアコンディショナーの外気温度と負荷率に応じた効率に関する実験

(1) -1 実験室の概要

本試験は、(独)建築研究所、人工気候室内に設置された実大実験住宅1)の2階(以下単に実験住宅)にて行った。実験住宅の2階平面図を図2-1-6に、仕様を表2-1-11に示す。2室(各々12.4㎡)には異なる2機種種のルームエアコンディショナーを図2-1-6の位置に配置し、室外機は2 F.Lレベルに設けた作業足場に設置した。人工気候室内を外部と想定し、(1) -2-4に示す温度、湿度に設定した。実験室の外壁3面にはそれぞれ開閉可能な開口部(900H×450W)が4枚あり、その開閉枚数により実験室内の負荷を調節した。

表2-1-11 実験住宅の仕様

構造	木造外断熱張り工法
階数	2階
Q値	2.64(2階部分)
断熱材	押出法ポリスチレンフォーム100mm
窓	樹脂サッシ Low-E複層ガラス
漏気量	外壁シリンダーにより可変 測定時はシリンダー全閉。漏気なし



※L室; 2.2Kw機種 R室; 4.0Kw機種

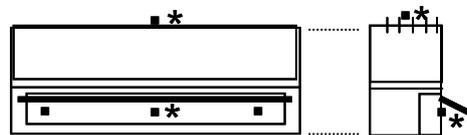
図2-1-6 実験住宅平面図

(1) -2 実験対象ルームエアコンディショナーの仕様

対象となったルームエアコンディショナーの仕様を表2-1-12に示す。当該機種には換気機能や空気清浄機能があるが、これは全て停止した状態で測定を行った。

表2-1-12 ルームエアコンの仕様

		冷房	暖房
2.2kW機種	定格能力	2.2kW	2.8kW
	定格COP	6.53	6.67
	定格消費電力	0.345kW	0.42kW
4.0kW機種	定格能力	4.0kW	6.0kW
	定格COP	4.49	4.96
	定格消費電力	0.89kW	1.21kW



- 熱電対
- * 静電容量式湿度センサー

図2-1-7 ルームエアコン測定位置

表2-1-13 測定項目

		項目	測定点数	センサー	計測間隔	備考
エアコン	室内機	吹出し温度	3	熱電対	1min	
		吸込み温度	1	熱電対	1min	
		吹出し湿度	1	静電容量式	1min	
		吸込み湿度	1	静電容量式	1min	
		吹出し風量	1	フォトマイクロセンサー	連続	
	室外機	吹出し温度	1	熱電対	1min	
	消費電力	1	クランプメーター	1min	室内機, 室外機共	
実験室内		吸込み温度	1	熱電対	1min	
実験室内		空気温度	11	熱電対	1min	
		相対湿度	1	抵抗変化型	1min	
人工気候室		空気温度	1	熱電対	1min	室外機近傍に設置
		相対湿度	1	抵抗変化型	1min	

表2-1-14 実験室内と人工気候室の設定条件

		人工気候室(外部)		実験室内	
		温度[°C]	相対湿度[%]	温度[°C]	相対湿度[%]
冷房	条件1	25	40	27	47
	条件2	30	40	27	47
	条件3	35	40	27	47
暖房	条件4	-3	87	20	59
	条件5	2	87	20	59
	条件6	7	87	20	59
	条件7	12	87	20	59

※四角囲みはJIS B 8615-1 に準ずる試験条件

(1) -3 測定概要

・実験室内測定項目，位置

実験室内の測定項目を表2-1-13に，位置を図2-1-6に示す。本実験における室温とは，11点の温度計測点の平均値を言う。外部の温湿度は，室外機近傍かつ，室外機からの気流，温度の影響を受けない位置にて計測した。

・ルームエアコンディショナー測定項目，位置

ルームエアコンディショナーの測定項目を表2-1-13に，位置を図2-1-7に示す。吹出し風量については，予備計測によりラインファンの回転数と風量の関係を導き，計測時は回転数のみを計測して風量に換算した。予備計測における風量は，吹出し口にL=600mmの風道を設けて風道断面（150×800）を16等分割し，各分割領域の風速を熱線風速計で計測した値の平均値に断面積を乗じて算出した。ルームエアコンディショナーの処理熱量は，吹出し空気と吸込み空気のエンタルピー差に風量を乗じて算出した。その際に湿度センサーの精度，応答速度が重要となるが，本計測で用いた湿度センサーには撥水加工が施され，90%応答速度15秒，精度±2%RHの製品を用いた。吹出し空気の温度は図2-1-7の3点の平均値を用いた。

(1) -4 測定方法

外部（人工気候室内）と実験室内の設定条件を表2-1-14に示す。四角囲みはJIS B 8615-1の冷房/暖房能力試験に準ずる測定条件（以下単にJIS条件）を示す。各条件は最低2回繰り返し，JISに既定される条件は3回繰り返した。測定は，実験室の開口部を全て閉鎖し，温湿度条件が冷房と暖房のJIS外部条件に一致した状態から開始した。電力計の指示値の推移がほぼ一定になった時点で開口部を全開した。その後，同様に電力消費量の推移が安定した段階で開口部を1枚ずつ閉鎖して徐々に負荷を減じた。開口部の閉鎖間隔は測定条件により異なるが，30～60分であり，一回の測定に3～5時間を要した。ただし，条件1については，外部温度が室内設定温度よりも低いため，開口部は全て閉鎖して電気ヒーター（1kW×2台）により室内に負荷を与えた。この場合，測定開始時に2kWの負荷を与え，その後500W刻みで負荷を減じた。なお，測定中実験室内の空気は扇風機で攪拌し，なるべく温度分布が生じないように留意した。

JISに規定された測定法では，1時間以上の安定時間を取り，ルームエアコンディショナーの運転状態が定常に達した状態で計測を行う。一方，本計測では幅広い負荷条件の測定値を得ることを重視し，負荷が徐々に変動する非定常な状態で計測を行っている。従って仮にJIS規定の計測と本測定で，室内外の温湿度や処理熱量の条件が一致していたとしても，両計測値を単純に比較することはできない。

3. 4 温水床暖房のエネルギー消費量の推定法

床暖房運転時のエネルギー消費量を削減するには、熱源機の選定、温水配管の配置や断熱の設計、パネル下面の断熱設計などを適切に行う必要がある。これらの手法を組み合わせた時の省エネ効果を把握し、暖房システムの適切な設計を行うためにも、床暖房運転時のエネルギー消費量の推定法を構築することが重要であるといえる。本研究は人工気候室内に建つ実大住宅に温水床暖房を設置し、暖房システムと暖房負荷を変化させた実験を行い、測定結果からエネルギー消費量の推定法を構築した。

実験は、人工気候室内の木造2階建て住宅（以下、実験住宅）1階部に、温水床暖房パネルを設置して行った。

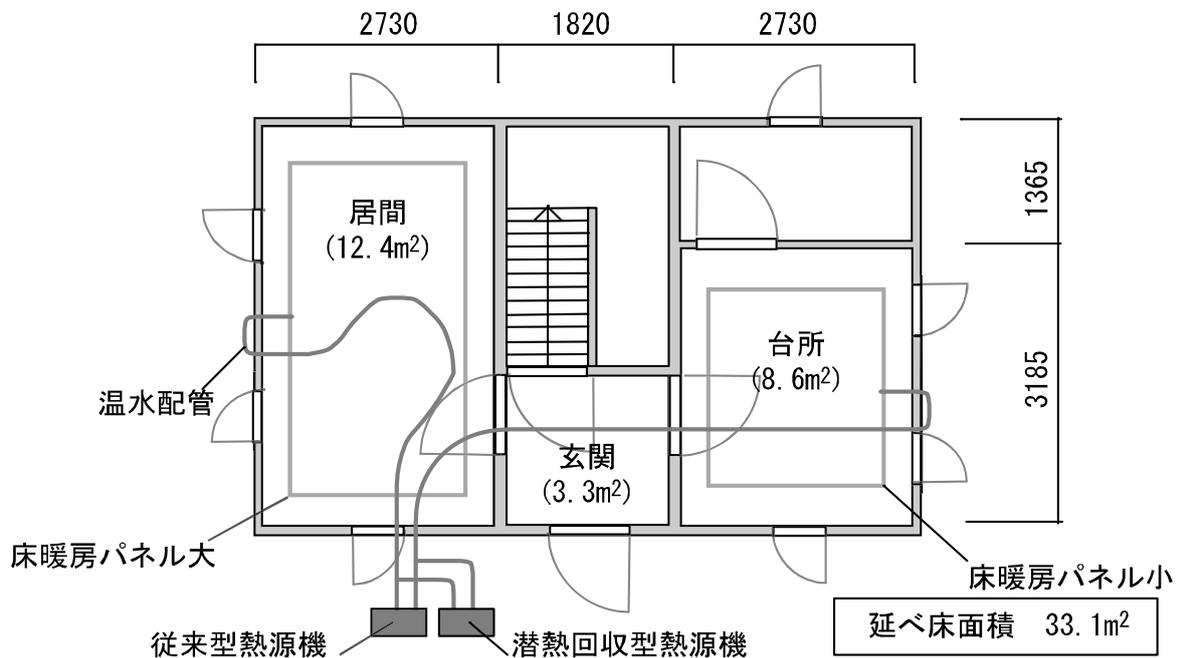


図2-1-8 実験住宅1階の平面図

1) 床暖房システムの概要

- ①熱源機：給湯暖房併用ガス熱源機を従来型と潜熱回収型の2種類用意した。暖房用供給温水温度は60℃前後で、潜熱回収型のみ低負荷時に40℃前後に切替可能である。暖房能力は両熱源機ともに2.56～14 [kW]である。
- ②床放熱パネル：居間と台所の2部屋に、根太上設置タイプを施工した。断熱材は押出法発泡ポリスチレンフォームを用い、厚さ40mmと90mmの2パターンで実験した。
- ③温水配管：ペアチューブを用い、ポリエチレン塩化ビニル製のサヤ管、および厚さ約8mmの断熱材を巻いたもの（以下、断熱管）の2種類を用意した。断熱性能（公称値）はそれぞれ0.15 (W/mK)、0.21 (W/mK) である。

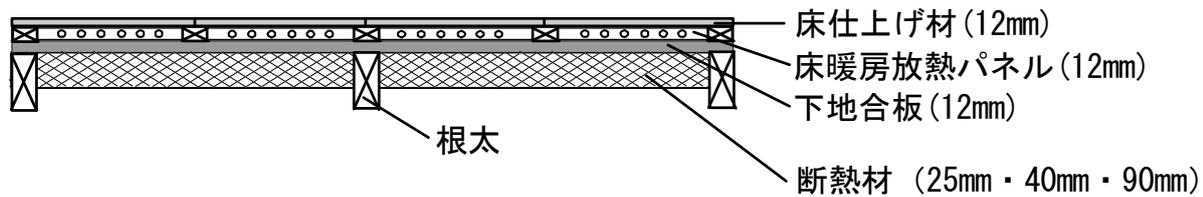


図2-1-9 放熱パネル断面図

2) 実験パラメータ

①熱源機の種類、②温水配管の種類、③人工気候室内の温度設定、④実験住宅の断熱性能の4つのパラメータを組み合わせ、計43パターンで実験した。④断熱性能は2条件（「断熱レベル高」と「断熱レベル低」）を設定し、「断熱レベル高」を建築省エネルギー基準における次世代省エネルギー相当、「断熱レベル低」を新省エネルギー相当と位置づけた。床断熱材の厚さは、それぞれ90 mmと40 mmに設定した。壁の断熱材は両パターンとも簡単のため50 mm一定とし、両パターンの断熱レベルの違いは換気量（第3種）を変えることで実現させた。壁、天井および床の貫流熱損失を勘案した結果、換気風量を「断熱レベル高」で63m³/h、「断熱レベル低」で17.5 m³/hと定めた。

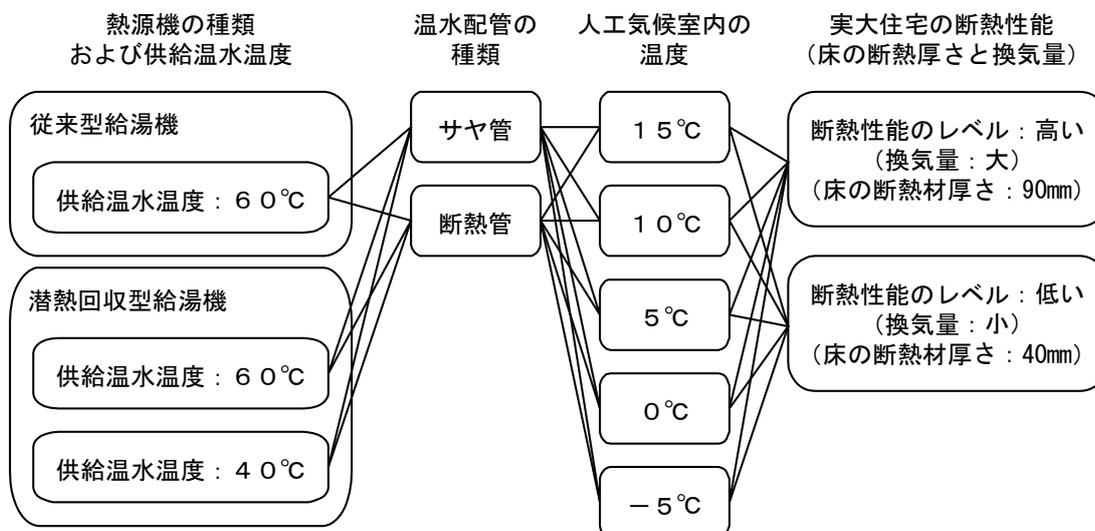


図2-1-10 実験パラメータ

4. 結果・考察

4. 1 ルームエアコンの運転効率

[ルームエアコンの夏期の運転効率]

図2-1-11に夏期における，居間のエアコンの外気温度と運転効率の関係を示す。省エネ型のエアコンは従来型よりも2～4程度効率が良い。その差は外気温度が低い時に大きくなる傾向がある。両住戸のエアコン共に外気温度が高い領域で効率が落ちる傾向が確認できる。

図2-1-7に外気温度と電力消費量の関係を示す。外気温度の上昇に伴い電力消費量は増加する傾向にあり，従来型のエアコンではより顕著である。省エネ型のエアコンでは，100W以下で運転する場合（低負荷運転）と，400W以上で運転する場合の2つの領域が確認できる。従来型のエアコンでは200W～600Wで運転する領域と，1400W程度で運転する領域があり，後者は立ち上がり運転に相当すると考えられる。

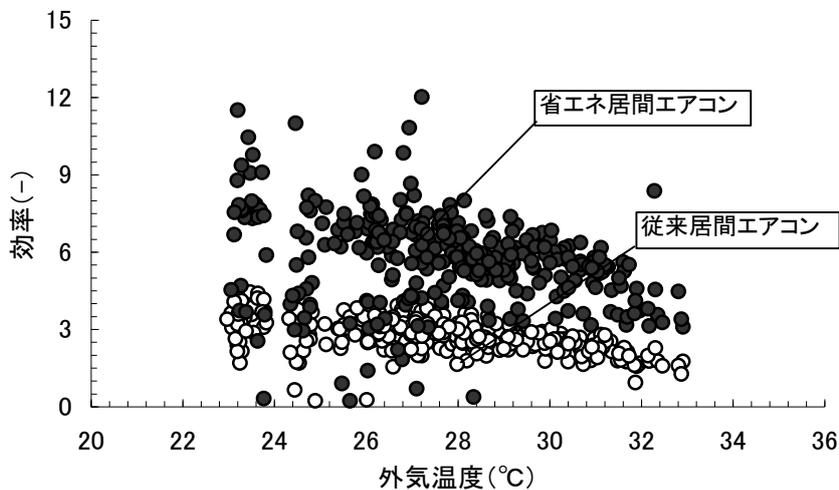


図2-1-11 夏期 居間エアコンの運転効率の比較

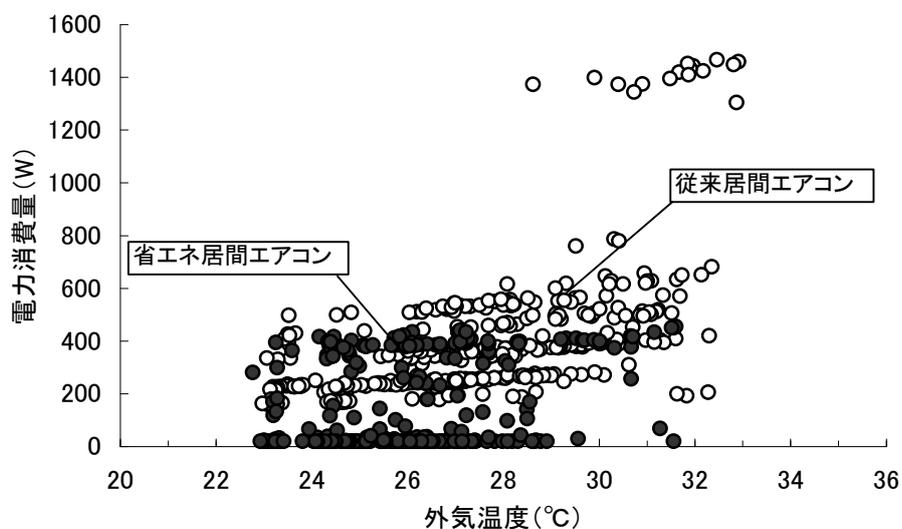


図2-1-12 夏期 居間エアコンの電力消費量の比較

図2-1-13に夏期における洋室1のエアコンの外気温度と運転効率の関係を示す。省エネ型と、従来型の効率の差は居間ほど大きく無い。また、外気温度と効率の相関も明確ではない。

図2-1-14に外気温度と電力消費量の関係を示す。居間のエアコンと同様に、外気温度と電力消費量には正の相関がある。省エネ型のエアコンでは約100W以下の領域と100W以上の領域、従来型では約600W以下と600W以上のそれぞれ2つの領域が確認できる。

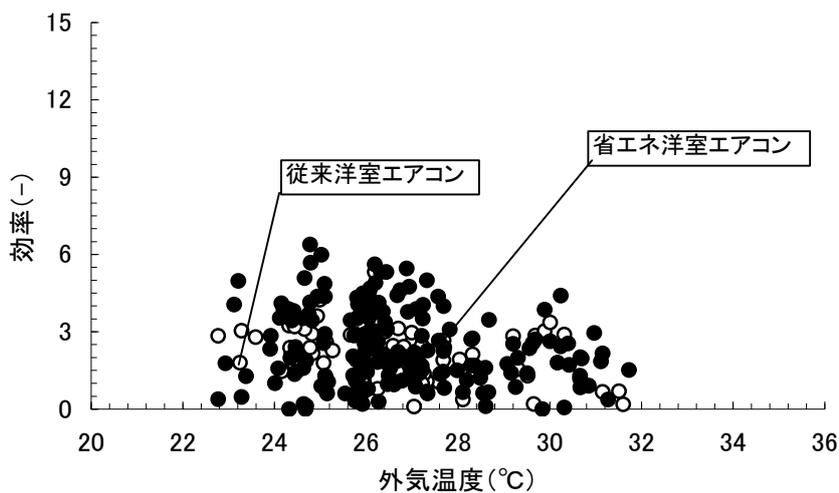


図2-1-13 夏期 洋室1エアコンの運転効率の比較

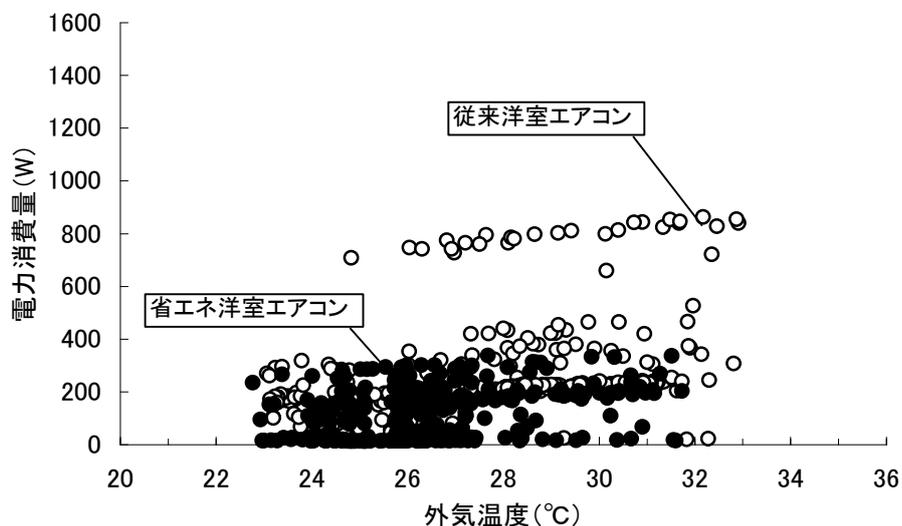


図2-1-14 夏期 洋室1エアコンの電力消費量の比較

[ルームエアコンの冬季の運転効率]

図2-1-15に冬期における居間のエアコンの外気温度と運転効率の関係を示す。外気温度の上昇と共に効率が若干改善される傾向があるが、ほとんど変化がない。省エネ型の効率は従来型に比べ1.0程度良い。

図2-1-16に外気温度と電力消費量の関係を示す。夏期とは異なり、200W～500Wの領域にほとんど分布している。暖房時の電力消費量は外気温度と負の相関があることが予想されるが、その傾向は弱い。

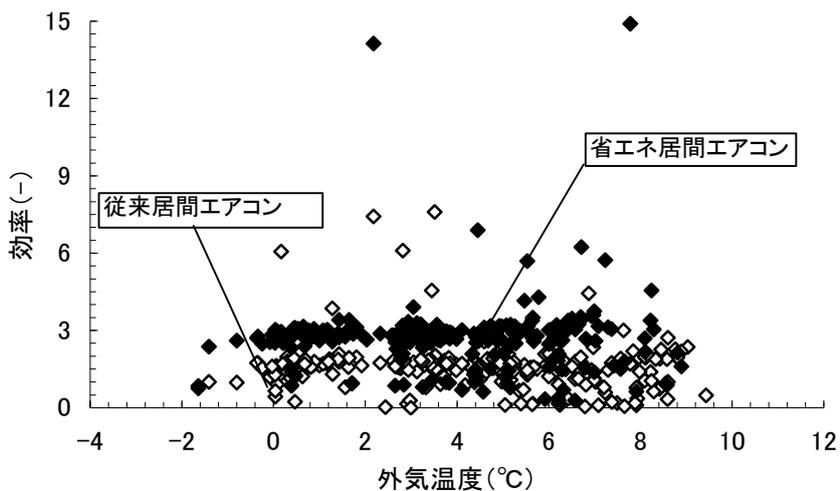


図2-1-15 冬期 居間エアコン運転効率の比較

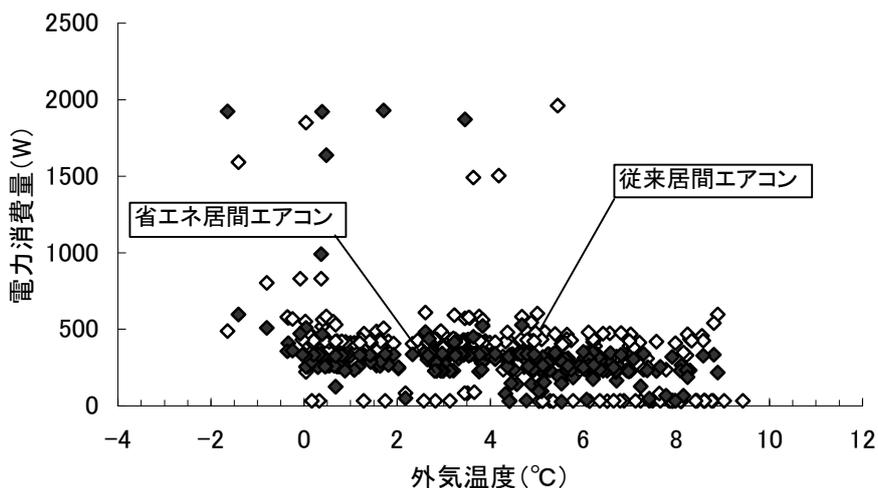


図2-1-16 冬期 居間エアコンの電力消費量の比較

冬期と夏期を比較した場合、冬期は外気温度と運転効率および電力消費量の相関関係が弱い。また運転効率も悪い結果となった。一般にエアコンの能力や運転効率は冷房時に比べ暖房時のほうが優れていることが知られている。実証実験においては、これとは逆の結果が得られたが、その原因の一つは実証実験住宅の冷房負荷と暖房負荷の大きさ（期間負荷量ではなく、パワー）の違いにあると推察される。

図2-1-17は「負荷率」を「定格能力」に対する「供給全熱量」の比として定義し、従来住戸の居間における発生頻度を暖房時と冷房時で比較したものである。暖房時の負荷率は0.2を中心に分布し、大部分が0.3以下である。冷房時は0.3を中心に暖房時より広い領域に分布し、大部分が0.7以下である。すなわち、冷房時の負荷率のほうが大きい。エアコンの特性として低負荷時に効率が悪くなることが知られているが、暖房時は低負荷運転間が長い。低負荷時にエアコンはコンプレッサーの発停を繰り返し、送風のみで運転する時間も長くなる。その結果冬期の効率が夏期より悪化したと考えられる。また、実証実験住戸は断熱、気密性に優れ、熱容量も大きいため、冬期に外気温度が多少変動しても暖房負荷は大きく変動しない。従って外気温度とエアコンの電力消費量の相関が夏期ほど明確ではなくなったと考えられる。

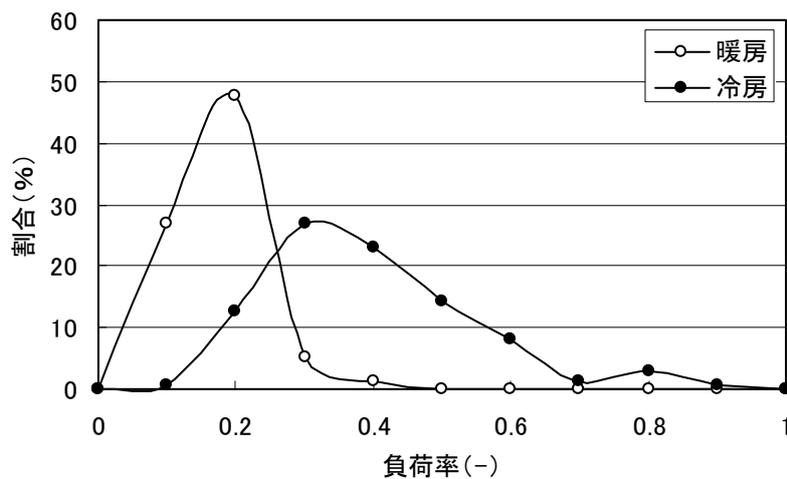


図2-1-17 従来住戸居間エアコンの負荷率の分布

図2-1-18に冬期における洋室1の運転効率と外気温度の関係を示す。省エネ型の効率が外気温度の低い領域で若干良い場合があるが大きな差は認められない。外気温度と効率の相関は低く、居間と同様の傾向である。

図2-1-19は電力消費量の比較である。省エネ型のアコンは約200Wの領域に集中している。従来型は約500Wを中心に分布している。両住戸とも外気温度と電力消費量の相関は弱く、居間と同じ傾向を示す。

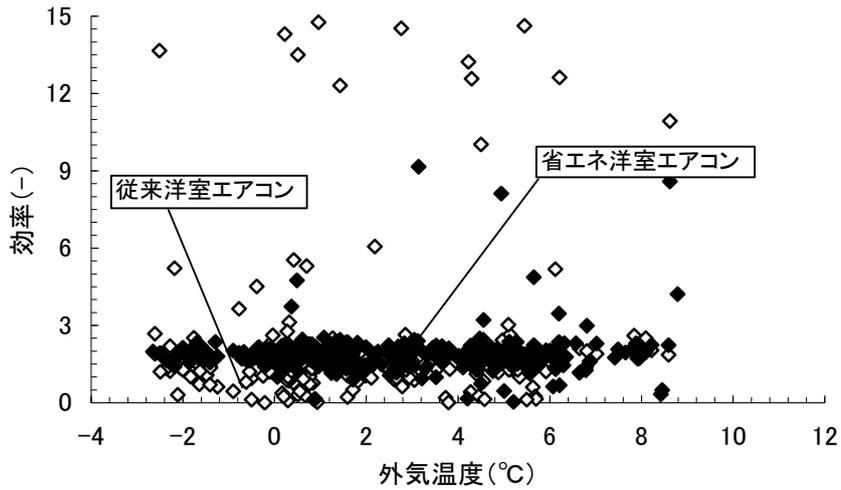


図2-1-18 冬期 洋室1エアコン運転効率の比較

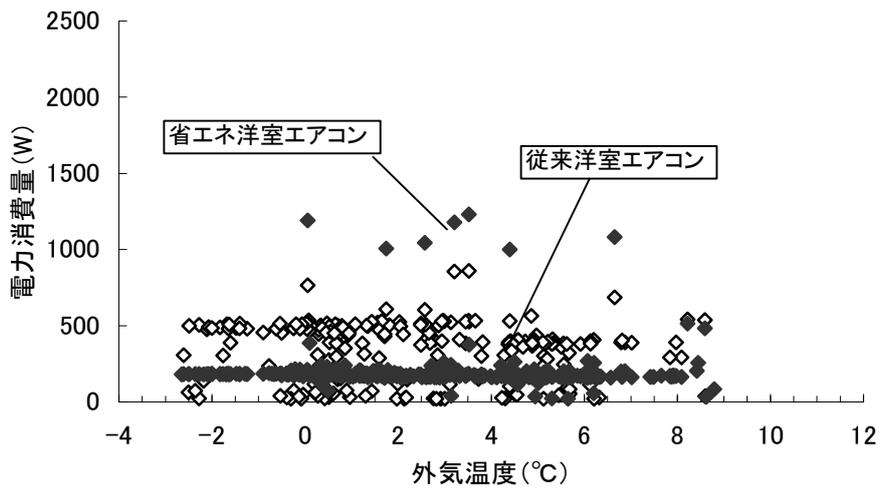


図2-1-19 冬期 洋室1エアコンの電力消費量の比較

4. 2 冷蔵庫の電力消費特性

(1) 冷蔵庫の周囲温度が電力消費量に与える影響

図2-1-20に周囲温度10℃の場合の冷蔵庫，冷凍庫温度変動を，図2-1-21に電力消費の変動を示す。温度変動に着目すると，Tの冷蔵庫は0℃～5℃の間で周期的に変動するのに対し，Nはほとんど変動がない。冷凍庫はT,N共に15℃～-20℃の範囲を30分～40分の周期で変動している。Nでは19時および10時前後に温度の振幅が大きくなる場合があり，デフロスト運転時の変動と推定される。その影響は冷蔵庫の温度変動にも若干現れている。

電力消費の推移に着目すると，温度変動と同様に約30分の周期が確認できる。Nでは，デフロスト運転と推定される時刻に多くの電力を消費している。一方Tでは，デフロスト運転の有無は確認できない。また，冷凍庫の温度と電力の変動周期が同一になるのに対し，冷蔵庫の温度変動周期は2時間以上とかなり長くなっている。

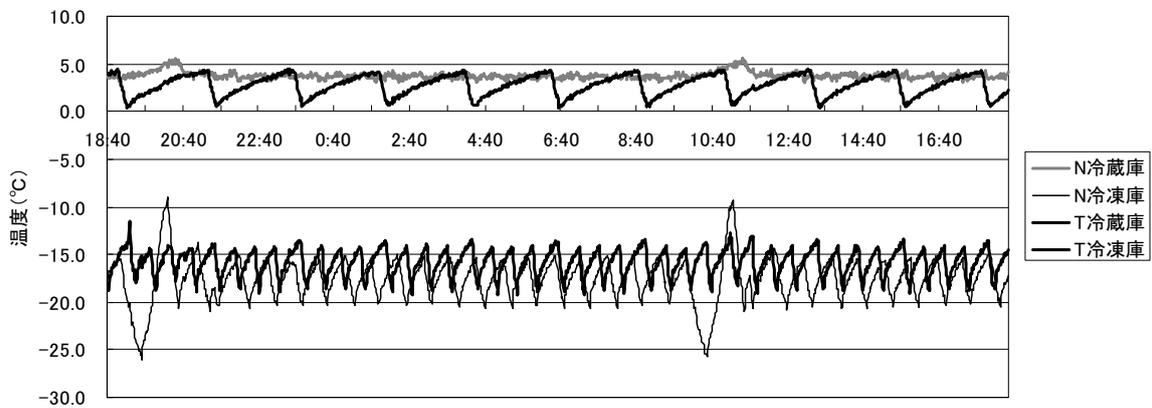


図2-1-20 周囲温度10℃の場合の冷蔵庫，冷凍庫温度変動

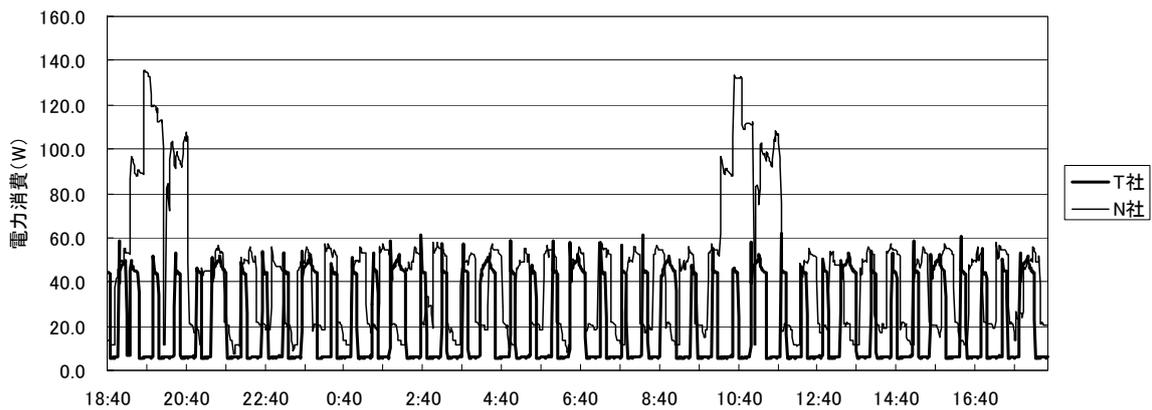


図2-1-21 周囲温度10℃の場合の電力消費の推移

図2-1-22に周囲温度20℃の場合の冷凍庫、冷蔵庫温度変動を、図2-1-23に電力消費の推移を示す。10℃の場合から変化した点としては、Tの冷蔵庫温度の変動周期が約1時間になり、10℃の約半分になっている。冷蔵庫と冷凍庫の変動周期もほぼ一致している。また、冷凍庫の温度変動の上限が-12℃程度まで上昇している。

電力消費の推移については、変動の上限が約50Wであることには変化が無いが、その状態を維持する時間が明らかに長くなっている。Tでは0時付近でデフロスト運転と推察される変動が確認できる。

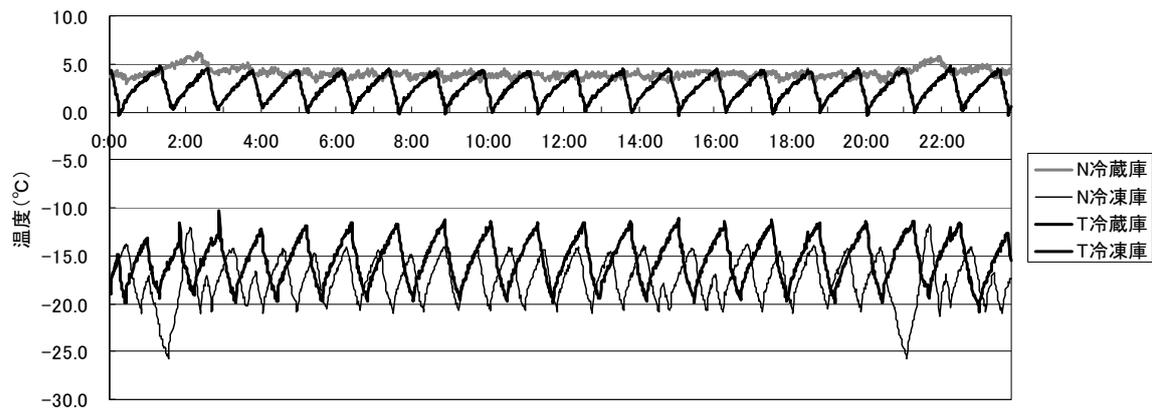


図2-1-22 周囲温度20℃の場合の冷蔵庫、冷凍庫温度変動

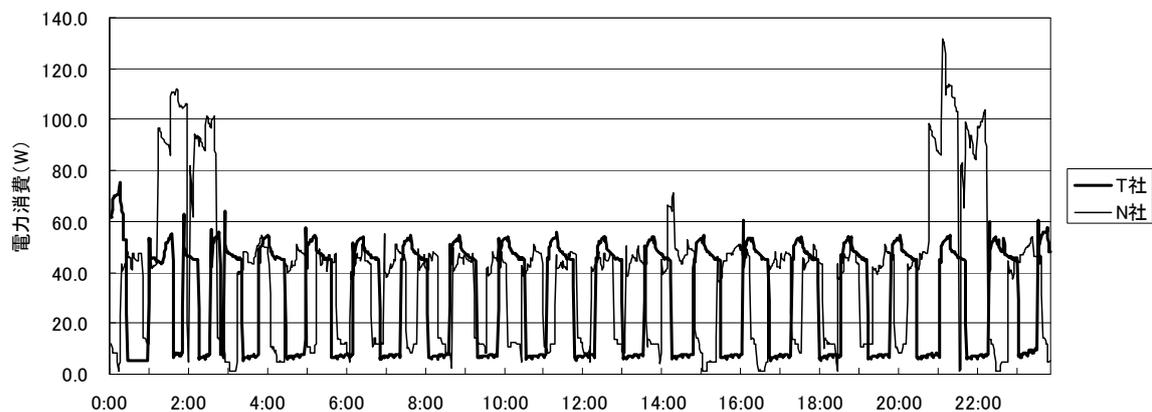


図2-1-23 周囲温度20℃の場合の電力消費の推移

図2-1-24に周囲温度30℃の場合の冷蔵庫、冷凍庫温度変動を、図2-1-25に電力消費の推移を示す。Tでは20℃と比較して冷凍庫の温度変動の上限が-10℃程度まで上昇した。変動周期にはあまり変化が無いが、冷蔵庫の変動波形の形状が、より三角波に近くなる。一方でNの場合は10℃、20℃と比較しても明確な変化は認められない。

電力消費の推移については、T、N共に変動の上限が約60Wに上昇し、ほぼ連続運転に近い状況となっている事が確認できる。また、Tのデフロスト運転と推定される変動が最も明確になった

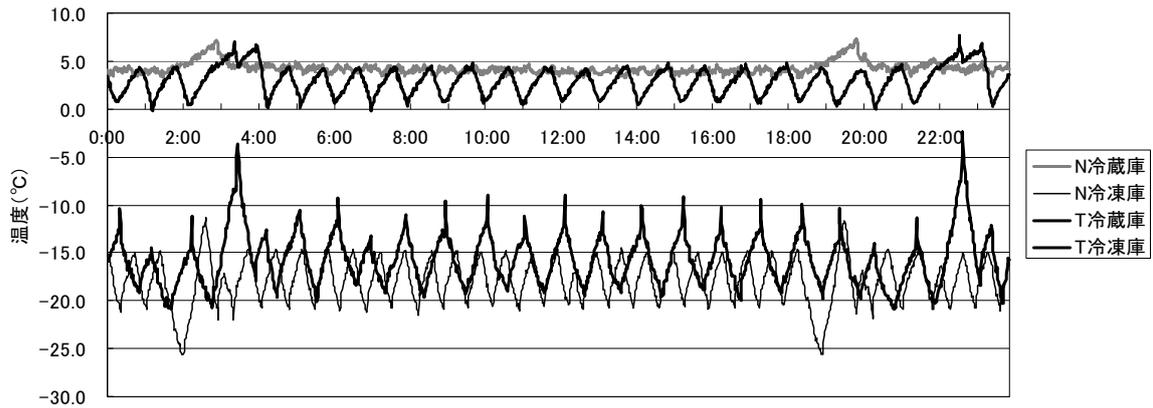


図2-1-24 周囲温度20℃の場合の冷蔵庫、冷凍庫温度変動

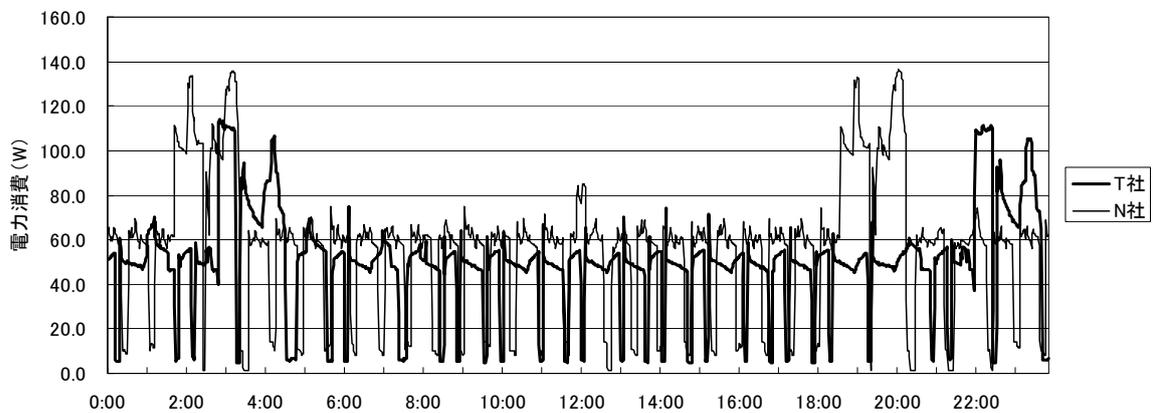


図2-1-25 周囲温度20℃の場合の電力消費の推移

図2-1-26に3つのモードの冷蔵庫、冷凍庫の平均温度を、図2-1-27に24時間の電力消費量の積算値を比較した結果を示す。冷蔵庫平均温度は、Tでは変動が大きかったが、平均値としてはNよりもやや低かった。冷凍庫はNの方が1.5℃程度低かった。電力消費量の積算値に着目すると、Tでは周囲温度の上昇に比例して消費量が増加するのに対し、Nでは10℃と20℃の場合で消費量があまり変わらない、もしくは20℃の方が少ないと言え、周囲温度に比例しない。庫内温度の変動状況からも機種によって制御ロジックが異なっている事が分かるが、電力消費量と周囲温度の関係に対しても機種による違いが認められる。

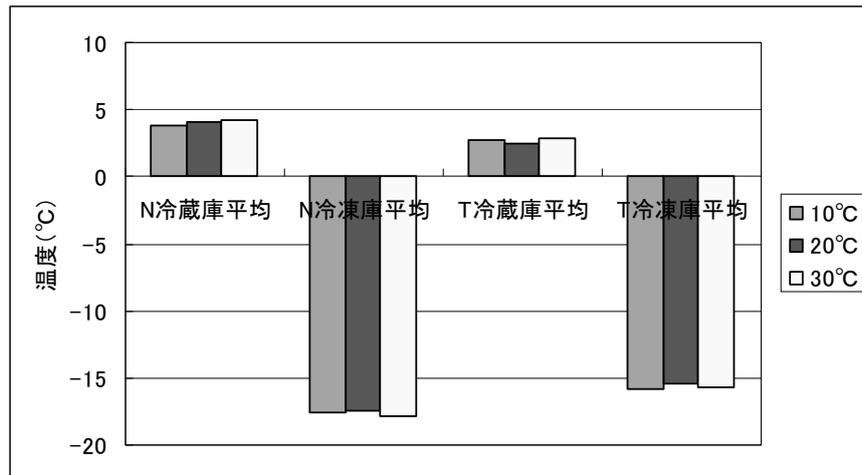


図2-1-26 各モードの庫内温度の比較

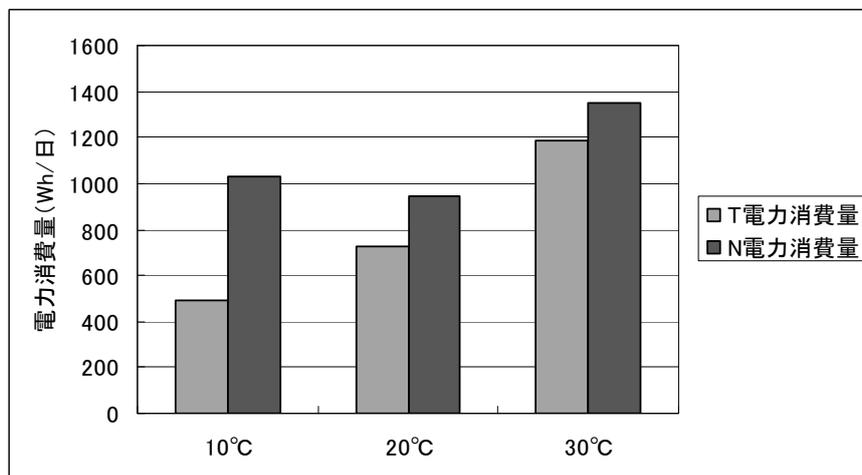


図2-1-27 各モードの日積算電力消費量の比較

(2) 内容物の量が電力消費量に与える影響

図2-1-28に庫内温度変動の例として冷蔵庫に4Lの水を投入した場合を示す。図2-1-29は同ケースの電力消費の推移である。内容物の投入直後はT、Nともに約7.5℃の状態になり、徐々に温度が低下する。冷蔵庫内温度が安定するまでは、温度変動周期が短く、やや乱れている。庫内温度が安定するまでの時間は約8時間である。

電力消費の推移に着目すると、内容物投入直後は連続運転に近い状態になる事が確認できる。庫内温度が安定するに従い、一定周期の間欠運転状態に移行する。

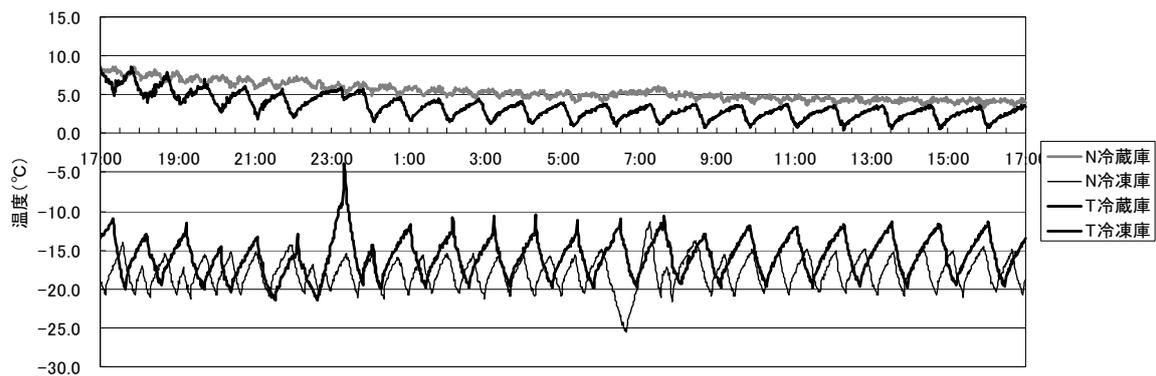


図2-1-28 冷蔵庫4Lモードの庫内温度の変動

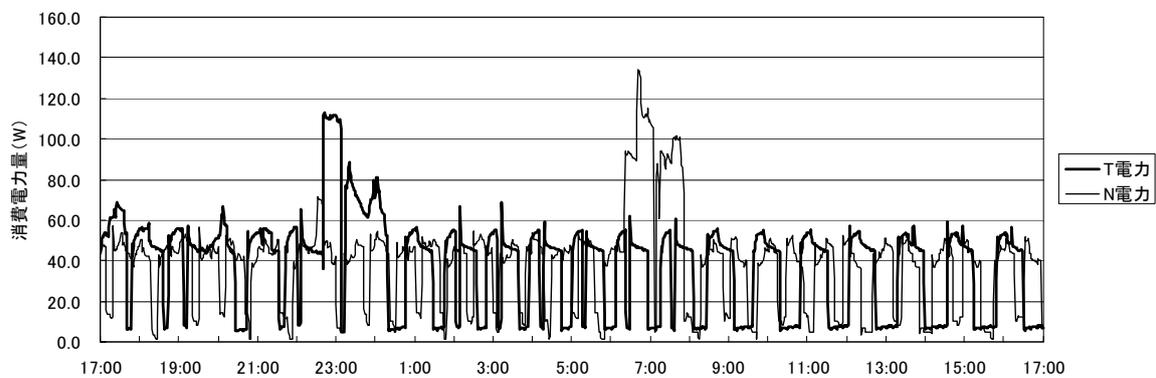


図2-1-29 冷蔵庫4Lモードの電力消費の変動

図2-1-30は冷蔵庫，18Lモードの庫内温度の変動，図2-1-31は同電力消費の変動である。内容物投入直後，冷蔵庫内温度は約13℃であるが，その後約90分の間20℃まで上昇する。投入する水の水温が20℃であり，大量の内容物を一度に投入すると一時的に庫内温度が高い状態になる可能性があることがわかる。90分後から温度は徐々に下降し，変動周期は長く，変動形状はなだらかになる。完全に庫内温度が定常状態になるまで約12時間を費やし，4Lの場合と比べると約4時間増加する。

電力消費に着目すると，特にTで内容物投入直後に電力消費量が増大する傾向が明らかであり，最大消費は140Wを超える。その後2時間程度経過した後，徐々に電力消費は減衰する。

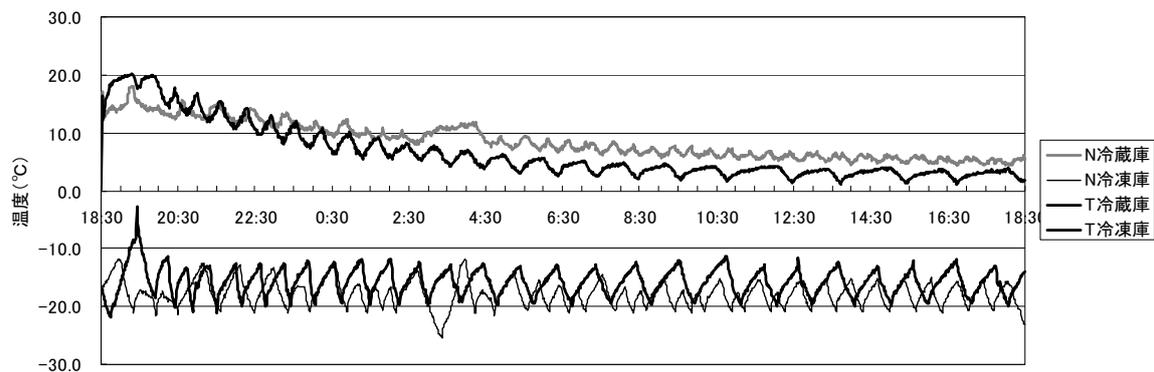


図2-1-30 冷蔵庫16Lモードの庫内温度の変動

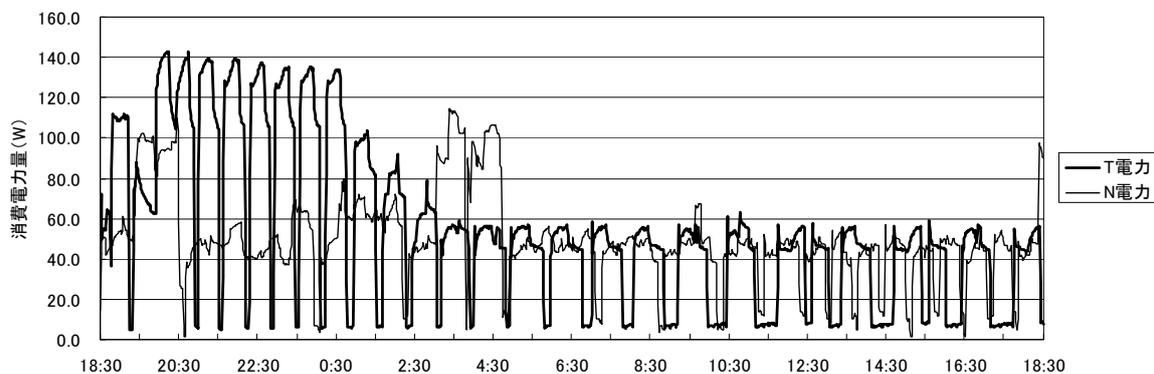


図2-1-31 冷蔵庫16Lモードの電力消費の変動

図2-1-32，図2-1-33に各モードの冷凍庫，冷蔵庫の平均温度を示す。図2-1-34および図2-1-35に各モードの電力消費量の比較を示す。冷蔵庫の温度は16Lモードの場合に相対的に高くなるが，これは投入直後の高温の状態が影響している。Tの温度変動が大きくて，平均温度が低い傾向は周囲温度変更実験と同様である。

電力消費量に着目すると，冷蔵庫の場合はT,Nともに4Lと8Lで大差は無く，16Lの場合に増加する傾向がある。一方で冷凍庫については，T，Nともに内容物の量と電力消費量が比例する。冷蔵庫

4L→8Lと冷凍庫2L→6Lではともに4Lの差であるが、冷却温度差が異なり、冷凍庫の場合は冷蔵庫の約2.5倍の熱量（例えばNの場合、 $(20-5) / (20+18) \approx 2.5$ ）を必要とする。このように、冷凍庫は投入物量の変化が電力消費量に強く反映され、冷蔵庫の場合は電力消費量に影響する投入物量の変化量に閾値があるように見受けられる。

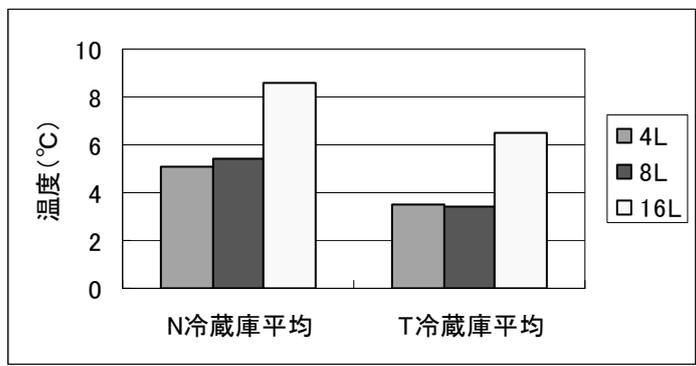


図2-1-32 各モードの冷蔵庫の平均温度

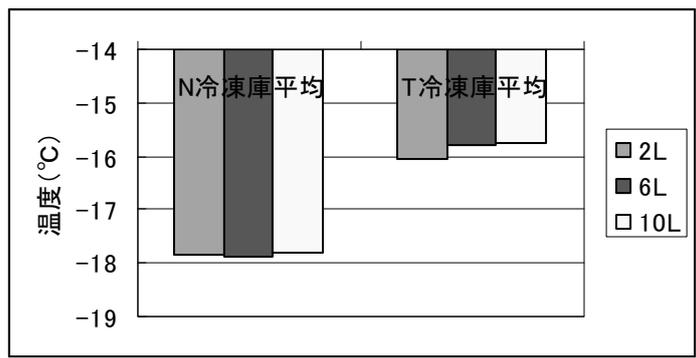


図2-1-33 各モードの冷凍庫の平均温度

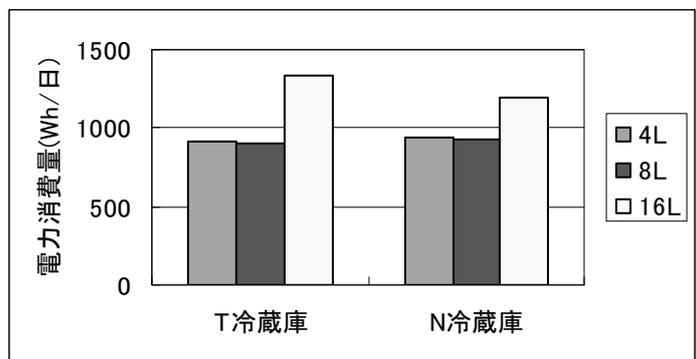


図2-1-34 各モードの電力消費量の比較 (1)

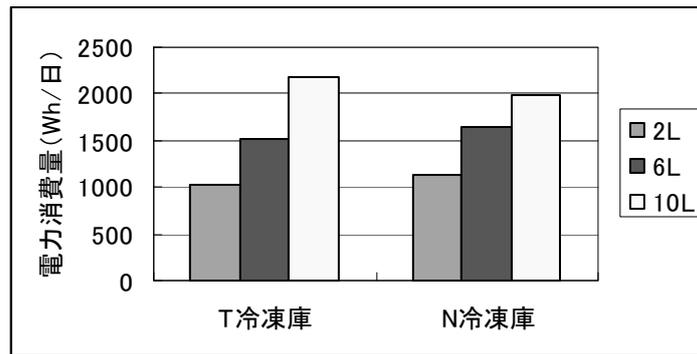


図2-1-35 各モードの電力消費量の比較 (2)

一方、表2-1-15は、投入する内容物（水）の比熱および、投入前水温（20℃）と投入後庫内温度との差から算出した理論的な冷却負荷増過量と、実測の結果得られた電力消費量の増加量を比較した結果である。TとNでは庫内温度が異なるので、水量の変化量が同じでも、計算上の冷却負荷増過量は異なる。コンプレッサーの効率が不明なので両者の絶対量の比較はできないが、実測による電力消費の増加量は理論値を大幅に超えている。このような差異は冷蔵庫個別の機器特有の庫内温度制御方法が深く関連しているものと推察される。

表2-1-15 冷却負荷の増加量と実測電力消費増加量の比較

冷蔵庫	T(実測)	N(実測)	T(理論)	N(理論)
8L→16L電力増加量(kJ/day)	1538.6	954.5	344.7	274.3
4L→8L電力増加量(kJ/day)	-14.1	-18.2	281.2	489.4

冷蔵庫	T(実測)	N(実測)	T(理論)	N(理論)
6L→10L電力増加量(kJ/day)	2359.3	1201.0	594.6	583.5
2L→6L電力増加量(kJ/day)	1725.4	1820.9	594.9	625.7

(3) 冷蔵庫と周壁との距離が電力消費量に与える影響

図2-1-36に冷蔵庫の2方を囲んだ場合の電力消費量の比較を示す。図2-1-37には3方を囲んだ場合の結果を示す。図のように壁との距離が変化しても電力消費量への影響は少ない。図2-1-38は3方囲みの場合の冷蔵庫背面温度の比較である。Nでは、1cmの場合に温度が約4℃上昇するが、その他の場合はほとんど変化が無い。特にTでは壁面距離の減少に応じて背面温度が上昇する事は無い。この結果、壁面距離は電力消費量にほとんど影響しなかったと考えられる。

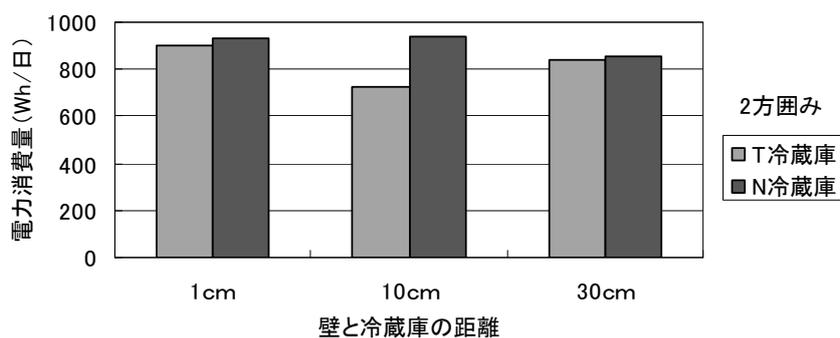


図2-1-36 壁との距離と電力消費量の関係 (2方囲み)

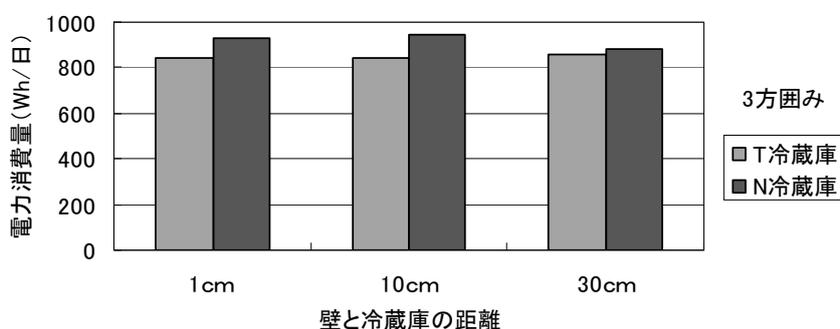


図2-1-37 壁との距離と電力消費量の関係 (3方囲み)

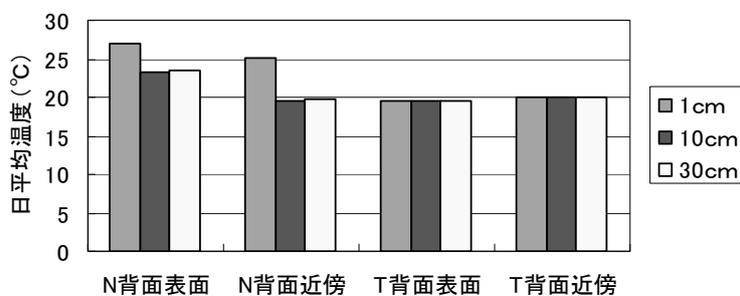


図2-1-38 3方囲みの場合の冷蔵庫背面温度

(4) 冷蔵庫の扉の開閉が電力消費量に与える影響

【3分モード】

3分モードは、1時間の合計扉開放時間を3分に固定し、開閉回数を1回、3回、10回に変化させた場合の電力消費量を比較するモードである。冷蔵庫の扉のみ開閉する場合、冷凍庫の扉のみ開閉する場合、および両方の扉を開閉する場合の3パターンを計測した。ただし、両方の扉の開閉については1回と3回のみ計測した。図2-1-39に開閉回数ごとの1時間の電力消費量の比較を示す。図2-1-40には標準状態との電力消費量の差および比を示す。N冷蔵庫の場合、冷蔵庫10回と冷凍庫3回の場合の電力消費量が極端に多くなっているが、これは計測時間中にデフロスト運転が重なっ

たためと推察される。また、標準状態との比較に着目すると、両方の扉を開閉する場合の差は、冷蔵庫のみと、冷凍庫のみの差を合計した値に近いことが分かる。冷凍庫の開閉において3回の場合に最も電力消費量が多くなる以外、開閉回数の増加と共に電力消費量が増加する傾向がある。これは、合計開放時間が同じであっても、扉の開閉回数が多い場合の方が冷蔵庫内の空気の換気量が多くなるためと考えられる。このことを実生活における冷蔵庫の使用に置き換えて考えると、こまめに扉を開閉（なるべく一回の開放時間を短く）して数回に分けて内容物を出し入れするよりも、長時間扉を開放しても一度に出し入れした方が省エネルギー上有利になると言える。

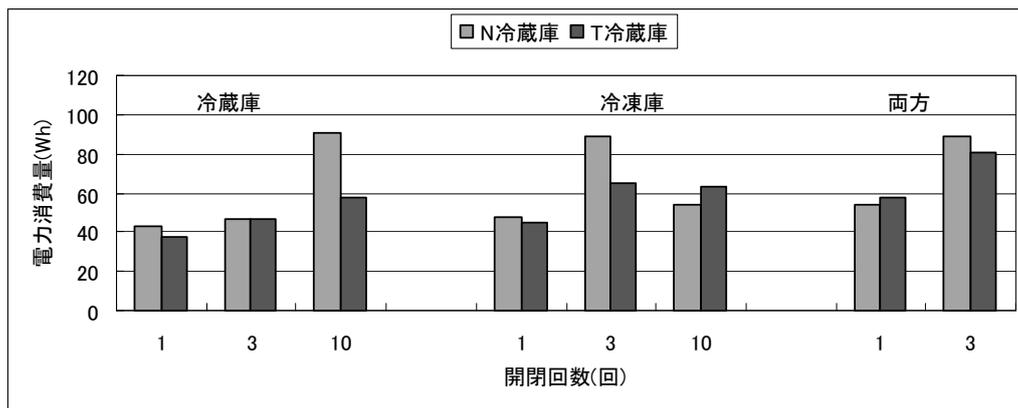


図2-1-39 3分モード 扉開閉回数と電力消費量の比較

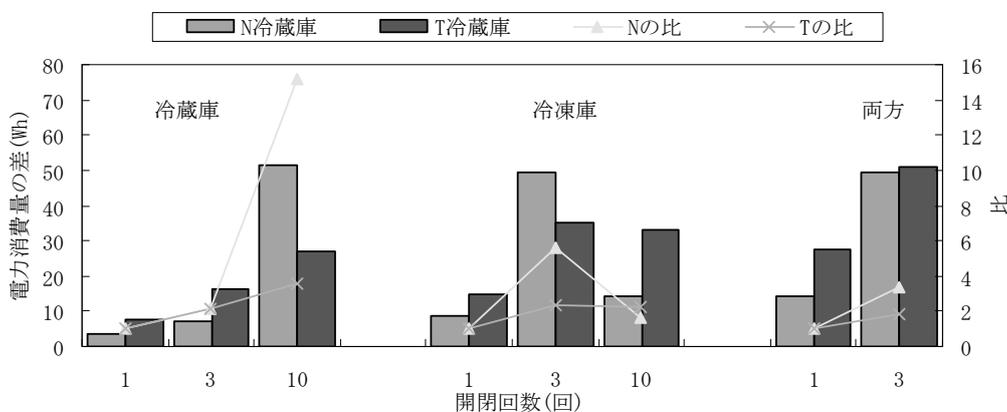


図2-1-40 3分モード 標準状態との比較

【1回モード】

一回モードは、開放回数を1時間に一回に固定し、開放時間を180秒と720秒のとした場合の電力消費量の差を計測するモードである。3分モードと同様に冷蔵庫のみ、冷凍庫のみ、および両方の扉を開閉するパターンを設定した。図2-1-41に開放時間と1時間の電力消費量の比較を、図2-1-42に標準状態との比較を示す。どのケースにおいても開放時間が長いほど電力消費量が多い。また、標準状態との比較に着目すると、3分モードと同様に両方の扉を開閉する場合の差は、ほぼ冷蔵庫のみと、冷凍庫のみの差を合計した値になることが分かる。同じ時間開放で比較する場合、冷蔵

庫より，冷凍庫の電力消費量が多くなる。これは双方の冷却温度差を考慮すれば当然の結果である。

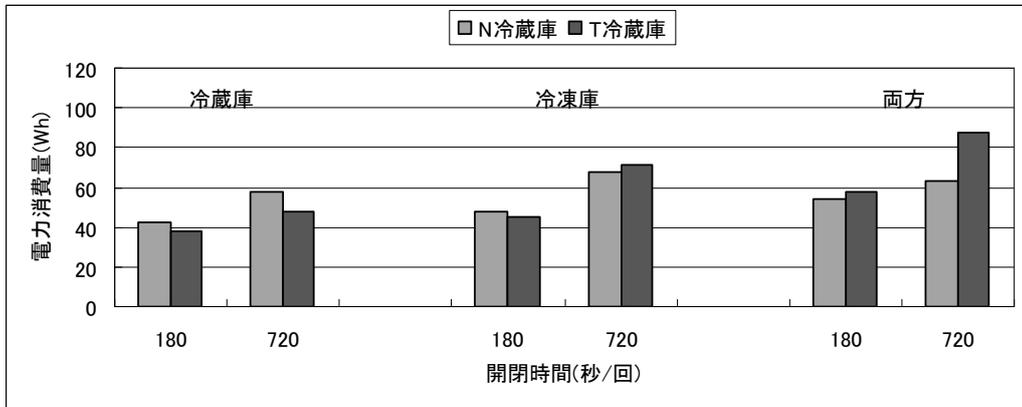


図2-1-41 1回モード 扉開閉時間と電力消費量の比較

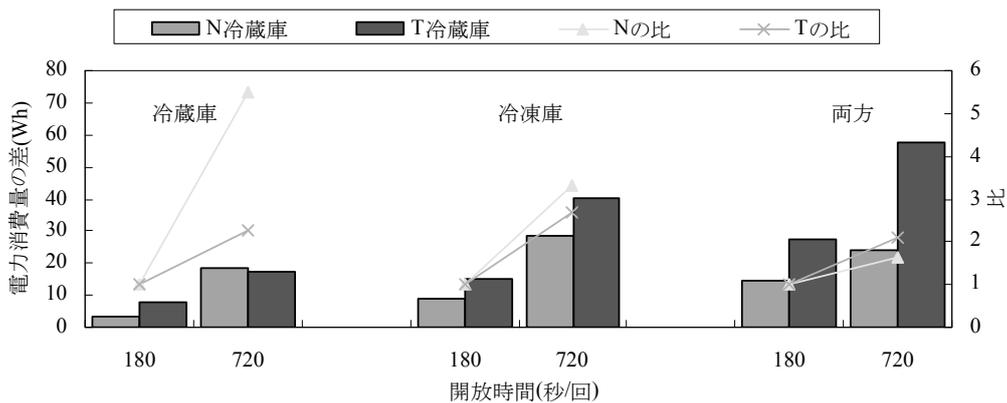


図2-1-42 1回モード 標準状態との比較

【3回モード】

3回モードは，1時間の開放回数を3回に固定し，一回の開放時間を10秒～240秒まで5段階に変化させるモードである。図2-1-43に開放時間と1時間の電力消費量の関係を示す。冷凍庫のみ開閉する場合は，Nの60秒を除いて電力消費量と開放時間が比例関係にある。一方，冷蔵庫の場合は開放時間と電力消費量の間には明確な関係が無い。Nの10秒と30秒はデフロストの影響を受けていると考えられ，この2ケースを除外しても両者に有為関連は無い。これは1回モードで180秒より720秒の電力消費量が明確に増加した結果と対照的である。図2-1-39に標準状態との電力消費量の差および各ケースの冷蔵庫，冷凍庫温度の比較を示す。冷凍庫温度は開放時間の増加にともない上昇し，庫内空気入れ替えによる負荷が増大している事が確認できる。冷蔵庫内温度は，Nの場合は240秒を除いてほぼ一定の温度を維持しているように思われる。Tの場合は，開放時間と庫内温度がほぼ比例しているが，電力消費量の差とは対応していない。1回モードでは実験ケース間の時間（実験間隔）を十分にとる事ができた。しかし，3回モードの実験では，各開放時間のケースを連続して

実施したので、前のケースの影響が排除できなかった事がこのような結果となった一因と考えられる。

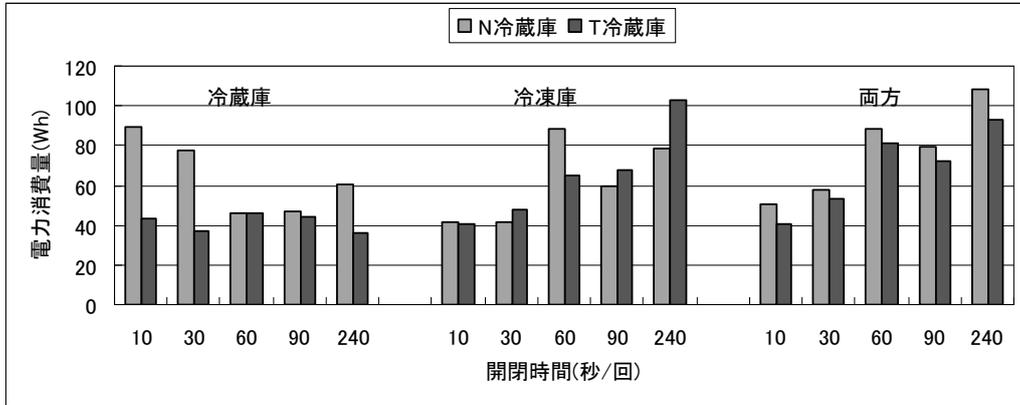


図2-1-43 3回モード 開閉時間と電力消費量の比較

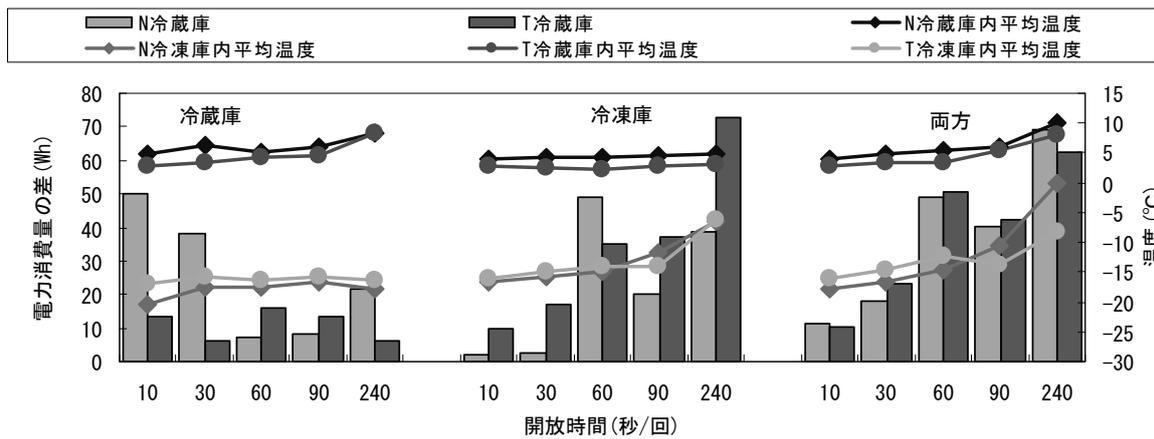
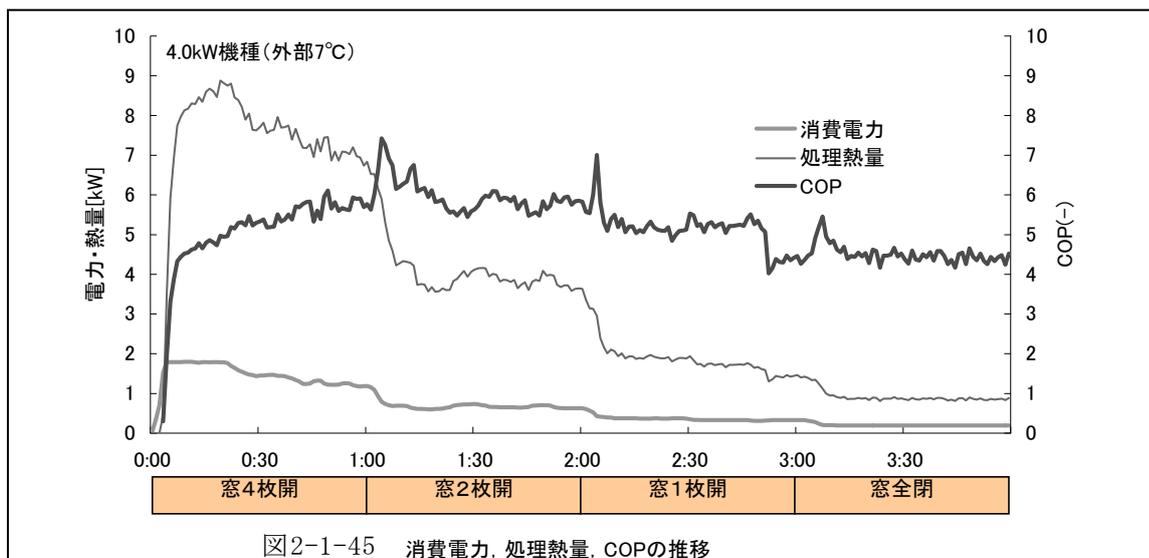


図2-1-44 3回モード 標準状態との電力消費量の比較および庫内温度の比較

4. 3 実験室におけるエアコンの運転効率実証実験結果

図2-1-45, 図2-1-46は, 4.0kW機種種の暖房モード, JIS条件(外部温度7°C)における, 典型的な吸い込み, 吹き出し空気温度, 消費電力および処理熱量の系時変動である。測定開始後は約20分間, 最大負荷運転が持続し, 吹き出し温度は最高45°Cに達する。吸い込み空気との温度差は最大約25°Cとなり, その間の処理熱量は8.5kW程度となる。その後窓を閉鎖するに従い消費電力は階段状に減少し, 約0.7kWで安定した状態においてCOPが最高値, 5.5~7.0を示す。最終的に窓を前閉した状態では, 消費電力は0.19kWまで低下し, 吹き出し空気温度は約28.5°C, 吸い込み空気との温度差も5°C程度まで減少する。

図2-1-47, 図2-1-48は, 2.2kW機種種の冷房モード, JIS条件(外部温度35°C)における, 吹き出し空気温度, 消費電力および処理熱量の系時変動の例である。冷房モードでは, 暖房モードに比べて同一の消費電力における処理熱量の変動量が大きい。これは冷房時の除湿量が一定でないこと, および湿度センサーの計測誤差に起因する。立ち上がりの最大負荷運転時に, 吹き出し温度は約14°Cまで低下し, 低負荷時には約18°Cとなる。吹き出しと吸い込みの温度差は最大負荷時に約13°C, 低負荷時では約10°Cであり, 暖房ほど変動は大きくない。図2-1-45~図2-1-48の系時変動において, 定格~中間能力の領域でCOPが最大となる点は暖房, 冷房両モードで共通している。また, 本実験において幅広い負荷, 消費電力に対するCOPが得られていることが確認できた。



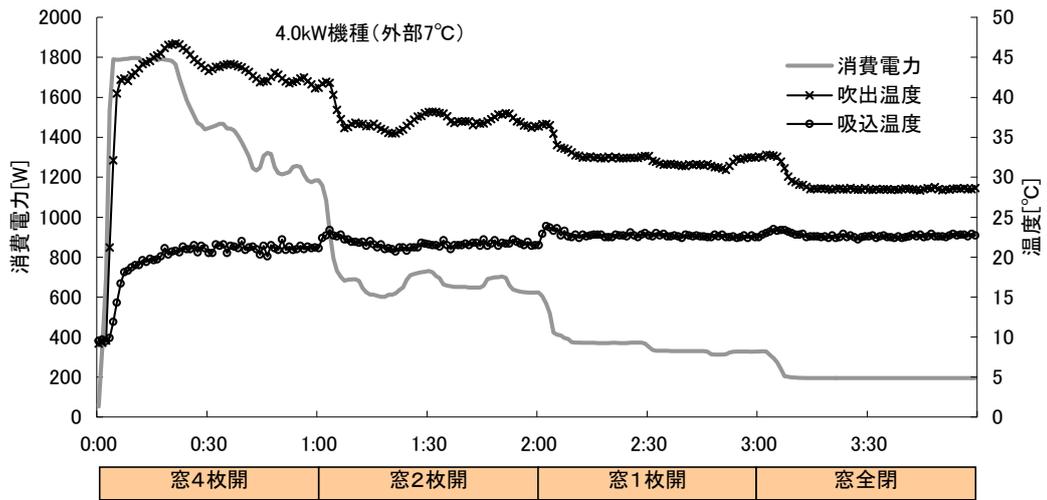


図2-1-46 吹き出し温度, 吸い込み温度の推移

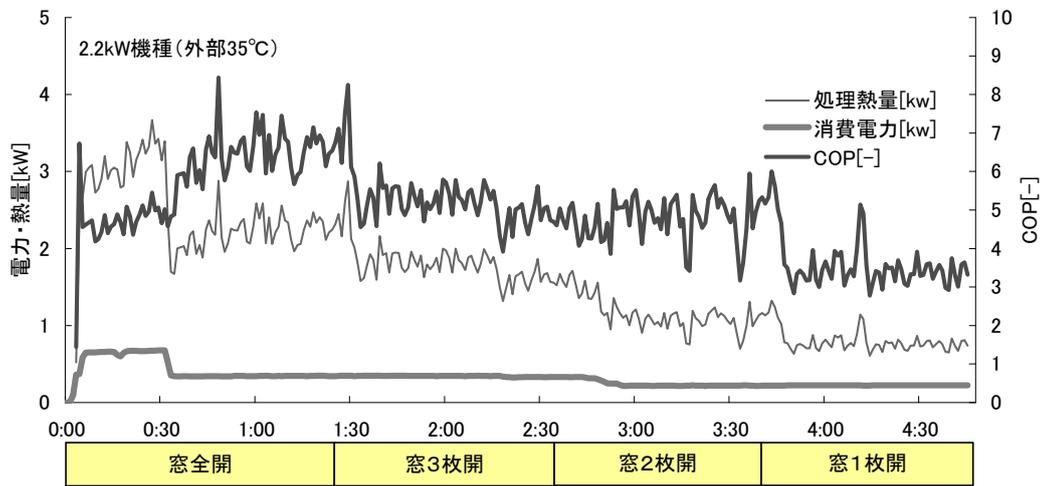


図2-1-47 消費電力, 処理熱量, COPの推移

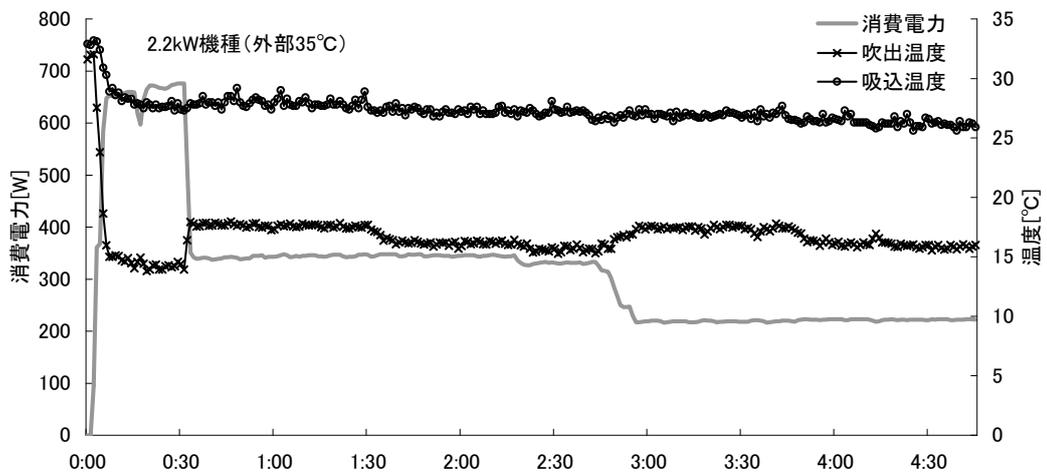


図2-1-48 吹き出し温度, 吸い込み温度の推移

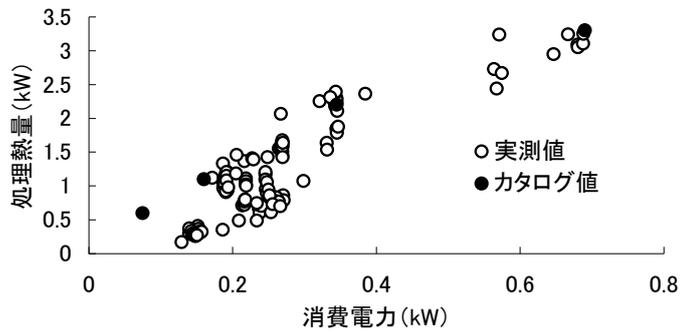


図2-1-49 冷房モード 入一能力

次に、2.2kW機種における処理熱量と消費電力の10分平均値を散布図とし、冷房の場合（外部温度35℃）を図2-1-49に、暖房の場合（外部温度7℃）を図2-1-50に示す。図には測定対象機の最小、中間、定格、最大能力と、それぞれに対応する消費電力（カタログ値）のプロット点を併記する。消費電力と処理熱量は定格能力近傍までは正比例し、それ以上の領域においては処理熱量の相対的な増加量が減少する傾向は実測とカタログ値で共通している。また、定格能力以上の場合には両プロット点はほぼ一致するが、中間能力および最小能力では実測値の能力が小さくなる。

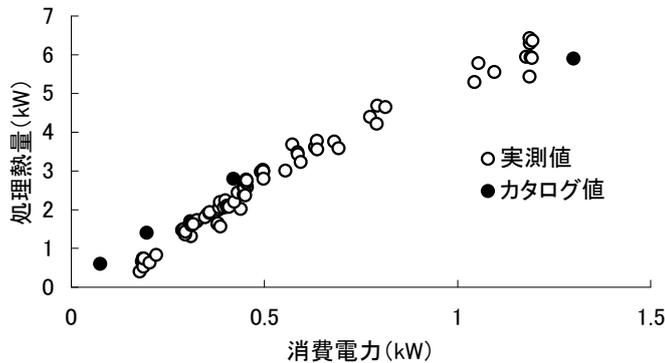


図2-1-50 暖房モード 入一能力

図2-1-51、図2-1-52には、冷房モードにおける、処理熱量の定格能力に対する比を負荷率とし、エネルギー消費効率との関係を外部温度別に示した。図2-1-53、図2-1-54は暖房モードの結果である。図には近似曲線を併記するが、その作成方法を以下に示す。

まず、図2-1-49、図2-1-50に示した処理熱量と消費電力のプロット点の近似式を $f(E)$ とする。このとき、処理熱量を L_a [kW]，消費電力を E_a [kW]，定格能力を L_c [kW]，とすると、任意の E_a に対する負荷率 R_L [%] は、

$$R_L = \frac{100 \cdot L_a}{L_c} = \frac{f(E_a)}{L_c} \quad (1)$$

さらに、本方法によるエネルギー消費効率 COP' は、

$$COP' = \frac{L_a}{E_a} = \frac{f(E_a)}{E_a} \quad (2)$$

である。このように算出した外部温度別の R_L , COP' を、曲線で滑らかに結んだ結果が、図2-1-51～図2-1-54に示す近似線である。

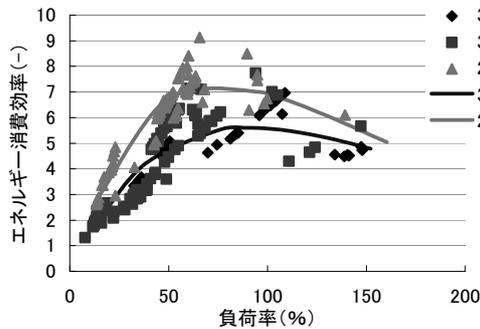


図2-1-51 冷房モード 負荷率-COP(2.2kW機種)

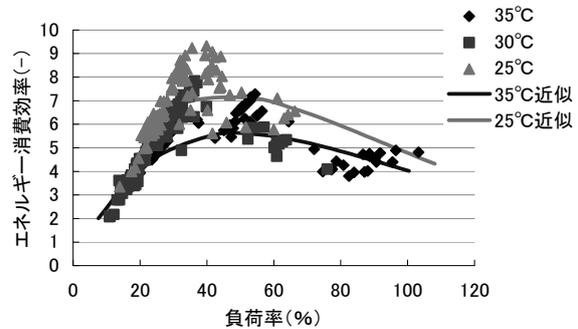


図2-1-52 冷房モード 負荷率-COP(4.0kW機種)

図2-1-51～図2-1-54に示す負荷率とCOPの関係を見ると、冷房の場合は負荷率50%以下、暖房の場合は負荷率25%以下の領域でCOPは原点に向かって直線的に低下、負荷率50%～100%の領域で最大、以降の領域では緩やかに低下する傾向がある。COPが最大となる負荷率に関しては、2.2kW機種では100%近傍、4.0kW機種では50%近傍と異なるが、両機種共に最大能力の約半分であることは共通する。つまり、負荷率にともなうCOPの変化を概説すると、最大負荷の約半分の領域でCOPは最大となる。最大負荷近傍では最大COPから20%程度減少する。最大COPを与える負荷から、その約半分以下の領域までCOPはほぼ一定となり、それ以下の領域では、急激にCOPが低下する。

また、外部温度毎の傾向では、例えば暖房時には外部温度が12℃と-3℃の場合を比較すると、同負荷率に対してCOPは最大1.6程度異なる。負荷率によって外部温度によるCOPの差も変化するが、最大負荷近傍では差が小さくなる傾向がある。

本実測では、低負荷率の場合にCOPが悪化している。一方、図2-1-45～図2-1-48で述べたように、処理熱量が小さいほど吸込み-吹出し温度差は小さくなり、例えば冷房モードであれば蒸発温度が高くなる。従って冷媒の理論COPは処理熱量が小さい場合に大きくなる。しかし、実際にはルームエアコンディショナーの運転時には一定の電力を要し、その割合が低負荷時に大きくなるので、COPは低下する傾向が得られたと考えられる。

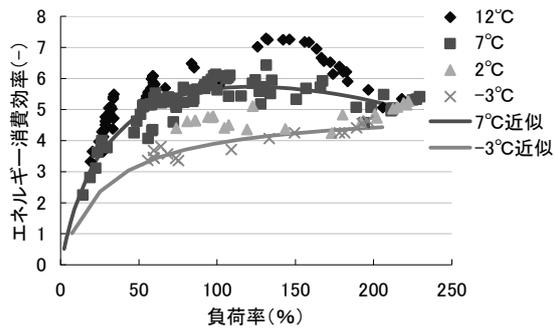


図2-1-53 暖房モード 負荷率-COP(2.2kW機種)

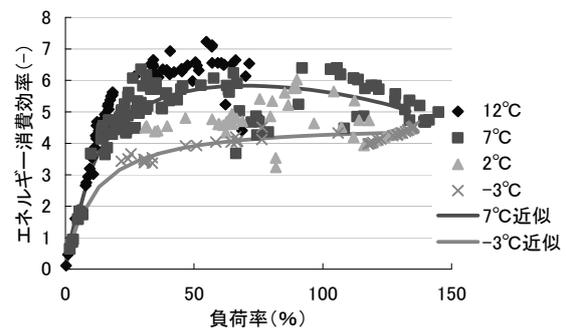


図2-1-54 暖房モード 負荷率-COP(4.0kW機種)

4. 4 温水床暖房のエネルギー消費量の測定結果

1) 各部の温度と流量の推移

43パターン行った実験のうち、「断熱レベル高」、サヤ管、外気温度5℃の例を示す。運転開始から60分間、熱源機往きの温水は約75℃で供給された後、約60℃で断続的に供給されている。バーナーの燃焼と温水供給の発停は同時に行われ、15分稼働し5分停止する20分サイクルである。室温が20℃に達した170分ごろから徐々に稼働時間が短くなり、例えば600分あたりでは10分稼働し10分停止するサイクルを繰り返している。床表面温度は概ね31℃で一定している。

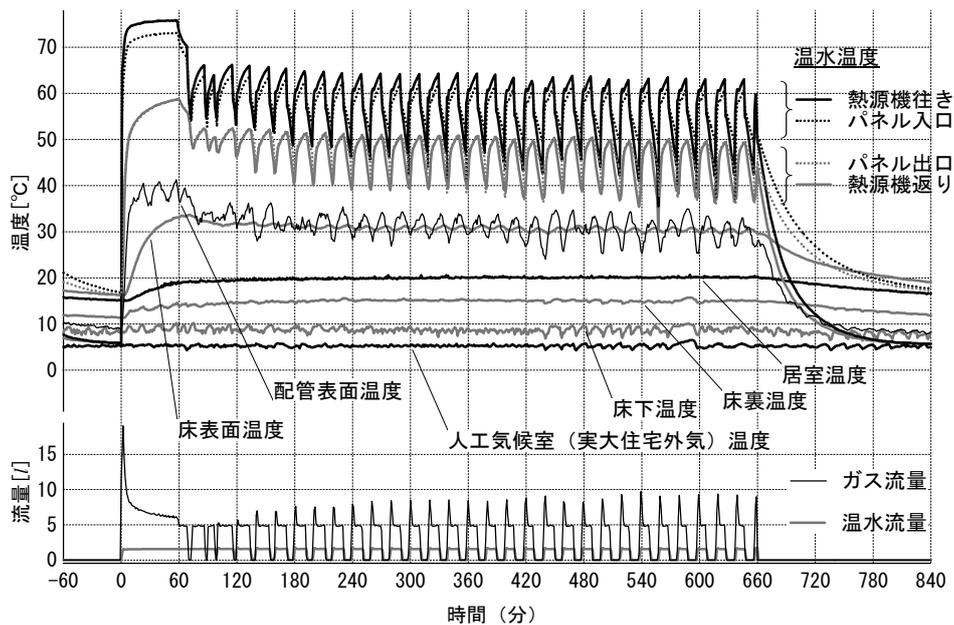


図2-1-55 各部の温度と流量の推移

2) 床パネル放熱量および熱損失

外気温度が低くなるにつれて、必要供給熱量（暖房負荷）、配管熱損失は大きくなる。一方、ボイラーの熱損失は外気温度や供給熱量に依存しておらず、500～750[W]となっている。

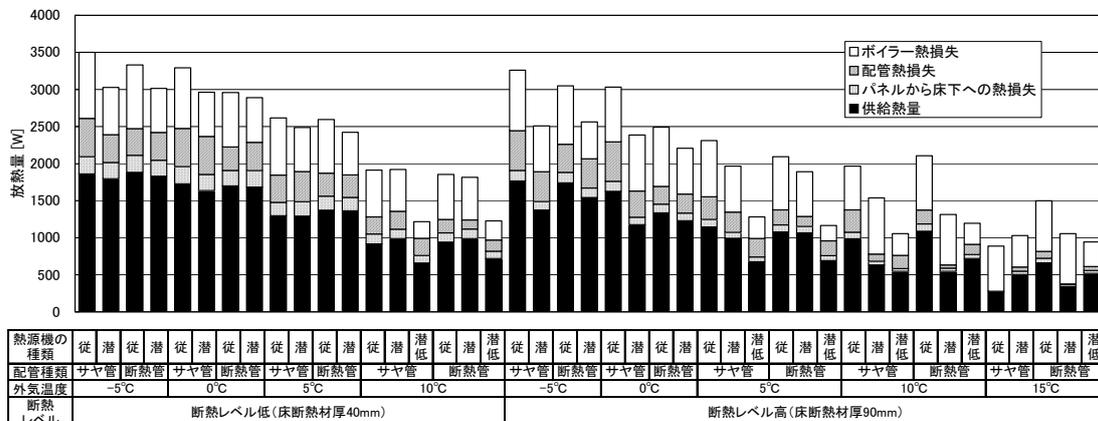


図2-1-56 供給熱量（≒暖房負荷）および熱損失

5. 本研究により得られた成果

家庭内のエネルギー消費に大きく影響する暖冷房設備及び冷蔵庫のエネルギー消費に関する本研究より、周囲の環境や使い方がそれぞれの設備機器のエネルギー効率に与える影響を明らかにした。以下、各実験から得られた設備機器に対する知見をまとめる。

5. 1 ルームエアコンの電力消費量および運転効率

実使用状態を模擬した状態でエアコンを運転し、省エネ型と従来型あるいは夏期と冬期で運転効率や電力消費量を比較した。夏期は外気温度と運転効率の正の相関が明確で、明らかに省エネ型の運転効率が優れていた。これに対して冬期は外気温度との負の相関が不明確で、省エネ型と従来型の差も小さかった。このような差の要因は、実証住戸の暖房負荷と冷房負荷の大きさの違いであると考えられた。すなわち、省エネ機器の利点を最大限に発揮させるためには、室内の負荷に見合った容量の機器を選定することが重要と言える。

本実験においては夏期の負荷率は30%を中心に10%～60%、冬期は20%を中心に0%～40%の領域に分布していた。夏期と冬期の冷暖房負荷の大小は建物の熱的構造と深い関係がある。実証に用いた集合住宅は断熱性と気密性に優れるため、冬期は家電機器類、人体の内部発熱により室温が上昇し、暖房負荷（期間負荷量ではなくパワー）は小さい。一方で一般的なルームエアコンは暖房のほうが能力、効率ともに高い。従ってルームエアコンの機器特性と建物冷暖房負荷の整合性が悪く、実使用状態の運転効率も悪化し、実質的な省エネルギーの達成が難しい結果となった。

5. 2 冷蔵庫の電力消費特性

【周囲温度の影響】

- ・ 周囲温度と冷蔵庫の電力消費量がほぼ比例する機種と、比例しない機種があった。
- ・ 周囲温度と電力消費量がほぼ比例する機種においては冷凍庫と雰囲気温度の差が電力消費量に大きく影響することがわかった。

【冷蔵庫内容物量の影響】

- ・ 両機種に共通して、4L→8Lに増加した場合に電力消費量は殆ど変化しなかった。冷蔵庫の平均温度も殆ど変化しなかった。
- ・ 8L→16Lに増加した場合に電力消費量が増加した。冷蔵庫の内容物量と冷蔵庫の電力消費量には、変化の閾値があると推測された。
- ・ 投入内容物の熱容量と電力消費量の関係を試算した結果、両者に対応関係は無く、8L→16Lに増加した場合の電力消費量は理論値を大きく超えた。

【冷凍庫内容物量の影響】

- ・ 両機種共に冷凍庫の内容物量の増加と共に電力消費量は増加し、比例関係が認められた。
- ・ 冷蔵庫の場合は4L→8Lでは変化が無いのに対し、冷凍庫では2L→4Lの変化でも電力消費量が明らかに増加した。この結果は冷却温度差から考えて妥当な結果である。
- ・ 投入内容物の熱容量と電力消費量の関係を試算した結果、両者に対応関係は無く、実測による電力消費量の増加量は理論値を大きく超えた。

【壁面との距離の影響】

- ・ 2方囲み, 3方囲み, いずれのパターンにおいても, 実験結果から壁面距離と電力消費量との明確な関係を見出すことはできなかった。

【扉の開閉の影響】

(開閉時間一定の場合)

- ・ 開閉回数が多いほど電力消費量が増加する傾向がある。ただし, 機種によっては開閉回数と電力消費量は完全に比例しない。

(開閉時間一定の場合)

- ・ 開閉時間が長いほど電力消費量が増加する傾向がある。

また, 実験の解析全体を通して, デフロスト運転の電力消費量への影響の排除, および機種固有の制御方法の影響を分離することが困難であった。

5. 3 エアコンのエネルギー効率の予測

(1) -4 外気温度と負荷率に応じた定格COPの補正

<負荷に応じた補正係数 c_l >

補正係数は, (1) -3に示した図2-1-51~図2-1-54の負荷率とCOPの関係において,

- ① 冷房の場合, 中間能力以下の領域では, COP は原点に向かって直線的に減少する傾向がある。
- ② 暖房の場合, 中間能力の約半分以下の領域では, COP は原点に向かって直線的に減少する傾向がある。
- ③ 暖房の場合, 中間能力の約半分の能力の COP は, 最大 COP の約 20% 減となる。
- ④ 最大能力の約半分の能力において COP は最大となり, 定格能力と最大能力が近接している場合を除き, 定格能力から中間能力の間の COP はほぼ同じ値と見なせる。
- ⑤ 最大能力の COP は最大 COP に比べて約 20% 減少する傾向がある。

ことを反映している。すなわち, 冷房の場合,

$L_b < L_h$ の時

$$c_l = \frac{L_b}{L_h}$$

(中間能力以下の領域では中間能力点のCOPと原点を直線で結ぶ (①に対応))

$L_h \leq L_b \leq L_d$ の時

$$c_l = 1$$

(中間能力と定格能力のCOPを平衡に直線で結ぶ (④に対応))

$L_b > L_d$ の時

$$c_l = 1 - 0.2 \times \frac{L_b - L_d}{L_m - L_d}$$

(最大能力のCOPは定格能力の20%減とする (⑤に対応))

暖房の場合は中間能力以下を2分割し、

$L_b < 0.5 \times L_h$ の時

$$c_l = \frac{0.8 \times L_b}{0.5 \times L_h}$$

(25%能力以下の領域では25%能力のCOPと原点を直線で結ぶ (②に対応))

$0.5 \times L_h \leq L_b < L_h$ の時

$$c_l = 1 - 0.2 \times \frac{L_h - L_b}{0.5 \times L_h}$$

(25%能力点のCOPは、最大COPの約20%減とする。(③に対応))

4.0kW機種の冷房モードの場合、定格能力に比べて中間能力のCOPが明らかに大きい。これは最大能力(4.3kW)と定格能力(4.0kW)がほぼ同一であるためであり、このような場合、本補正係数は中間能力から定格能力の領域のCOPを厳しく見積もることになる。

<外気温度に応じた補正係数 c_t >

外気温度に応じた補正係数は、補正係数表に四角囲みで示す負荷において、図2-1-51～図2-1-54の外部温度JIS条件(夏期35℃、冬期7℃)のCOPに対する、各外部温度のCOPの比率として定義した。冷媒理論COPを基に考えると、外気温度の変動に対するCOPの変動量は低負荷の場合の方が大きいので、厳密には L_h 、 L_d 、 L_m 点における全ての係数は異なることになる。しかし、図2-1-51～図2-1-54の実測結果では、COPが最大となる中間から定格能力の領域における係数はほぼ同じとみなせる(定格能力と最大能力が近接する場合を除く)ので、COP曲線の形状が他の外気温度の場合と大きく異なる暖房モード2℃以下を除き、 L_h 、 L_d の係数は統一した。 L_m では、最大負荷近傍で外気温度によるCOPの差が小さくなる傾向を反映している。

(1) -5 適用範囲

本方法によるルームエアコンディショナーのエネルギー消費量算出方法は、分離型、もしくは一体型の家庭用冷暖房ルームエアコンディショナーで、能力可変型の機種に適用する。なお、個別の機種において、妥当と認められる方法にて、表に示した温度区分ごとの負荷率とCOPの関係が測定された場合には、当該方法により得たCOPを本方法による COP_h と置き換えて良いものとする。妥当とみなせる測定方法およびCOP算出方法の要件を以下に示す。

- ・ JIS B 8615-1 冷房/暖房能力試験に規定される試験条件、試験装置、試験方法により、表

に示した全ての温度条件に対し、ルームエアコンディショナーの最低能力、中間能力、定格能力、最大能力と、それぞれの能力における消費電力（JIS B 8615-1における総合消費電力）を測定する。

- ・ 温度条件ごとに得られた 4 組の能力と消費電力を、縦軸を能力、横軸を消費電力とする平面上にプロットし、最小二乗法により 2 次の多項近似式を得る。
- ・ 前述の (1) , (2) 式において、得られた近似式を $f(E)$ とし、 E_a を連続的に変化させて任意の負荷率に対する COP を導出する。

5. 4 温水床暖房のエネルギー消費量の推定

1) 予測式のモデル化

居室に供給される熱量は式(1)で表され、式(1)を変形して一次エネルギー消費で表すと式(2)となる。供給熱量 $q_{pnl, spy}$ より一次エネルギー消費 E を求めるには、 l_{pipe} を除く、係数 e_{pnl} , c_{pipe} , e_{hs} を適切に定めることが必要である。

$$q_{pnl, spy} = (E \times e_{hs} - C_{pipe} \times l_{pipe}) \times e_{pnl} \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{e_{hs}} \times \left(\frac{q_{pnl, spy}}{e_{pnl}} + C_{pipe} \times l_{pipe} \right) \quad (2)$$

2) 各係数の定め方について

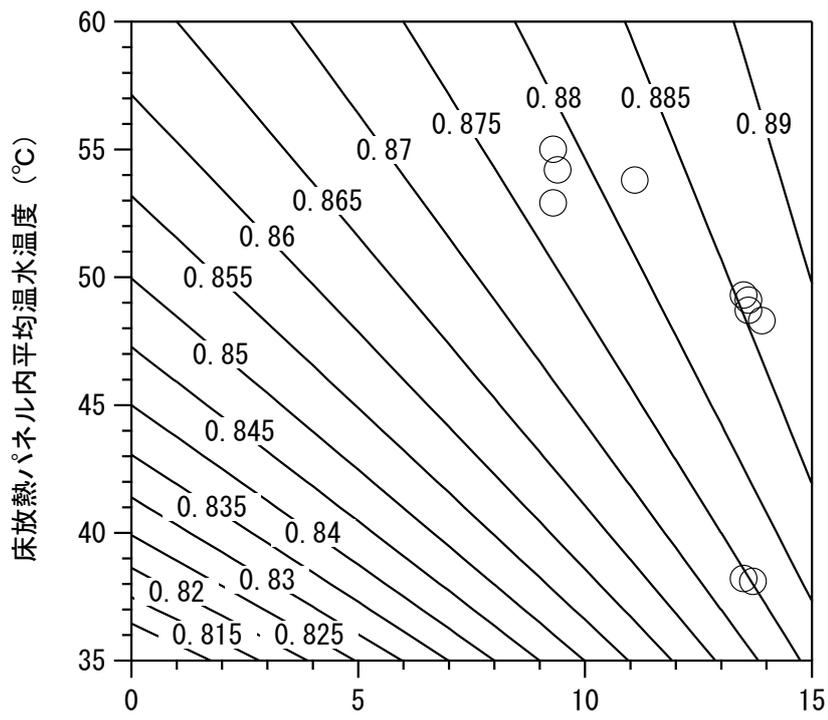
①パネル床上側放熱率 e_{panel} : パネル上下放熱率は居室温度、床下温度、パネル内平均温水温度に依存する。一方、床下温度が高い場合には暖房負荷は小さく床放熱パネル内の平均温水温度が低くなるため、実測結果で示すように、床上側放熱率はほぼ一定と定めてよいといえる。

②配管放熱係数 c_{pipe} : 配管放熱係数は式(3)で表される。ここで温度低下係数 d とは、温水供給停止時に配管内温水温度が低下し放熱量が少なくなる影響を表した係数であり、温水供給の時間と停止時間により、式(4)で計算される（実測結果は概ね一致）。次に配管の熱損失係数を一定として熱損失を計算した結果と実験値を比較した。床下温度と温水温度の差が小さい場合、断熱管において実験値と計算値はあまり一致しない。これについては今後より詳細な検討が必要と思われる。

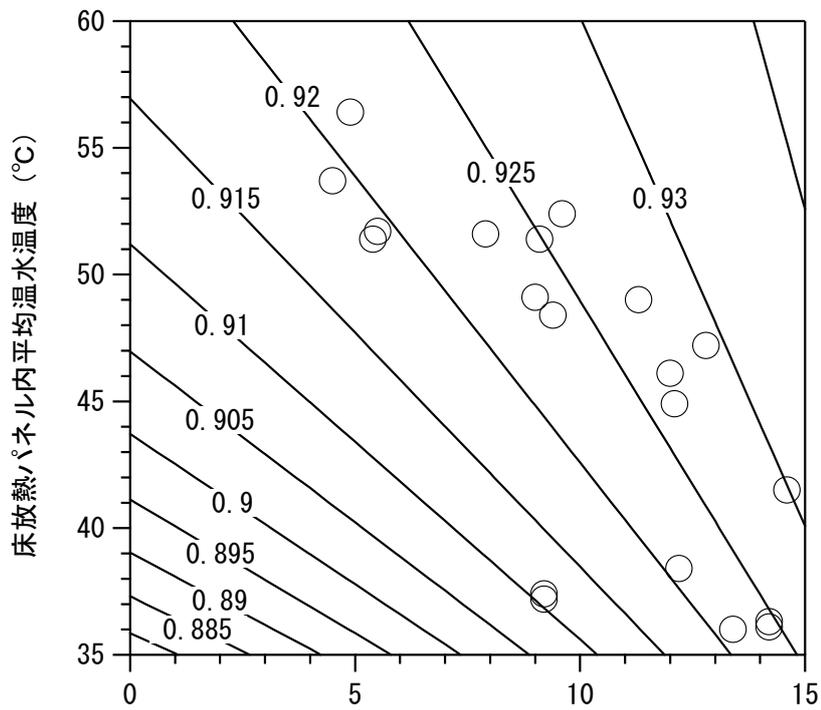
$$C_{pipe} = K_{pipe} \times (T_{w, spy} - T_{crawl}) \times d \quad (3)$$

$$d = r + \left(1 - e^{-\frac{K_{pipe} h (1-r)}{c_{pipe}}} \right) / \left(\frac{K_{pipe} h}{c_{pipe}} \right) \quad (4)$$

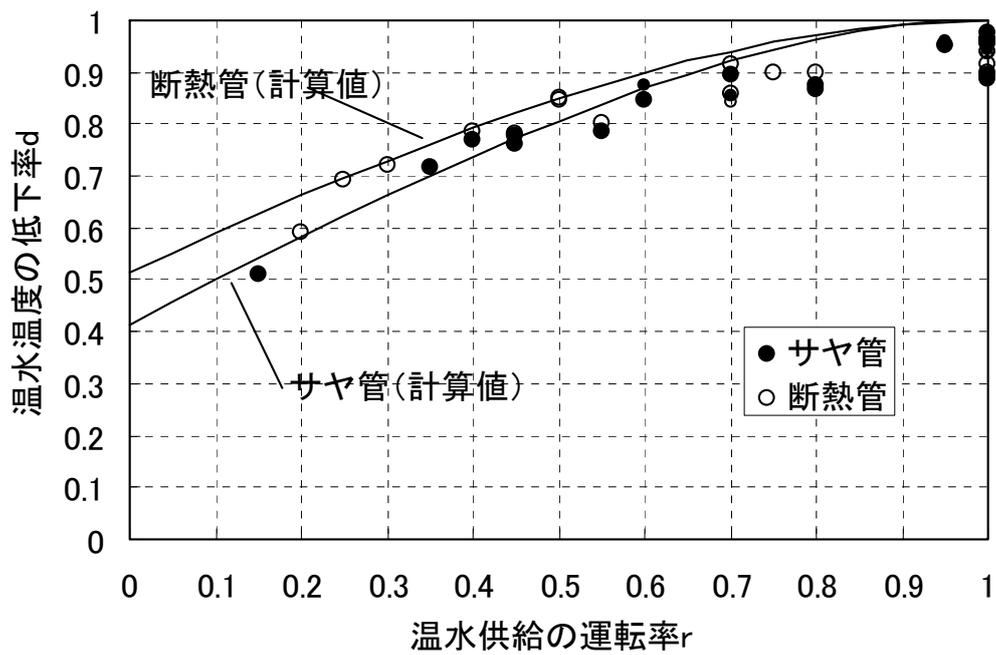
③熱源機効率 e_{hs} : 熱源機の最低出力以上では効率はほとんど低下しない。一方、最低出力以下のバーナーの発停が行われる出力帯では熱源機効率が低下する。熱源機効率 e_{hs} は、下記図中に示す近似式で与えた。



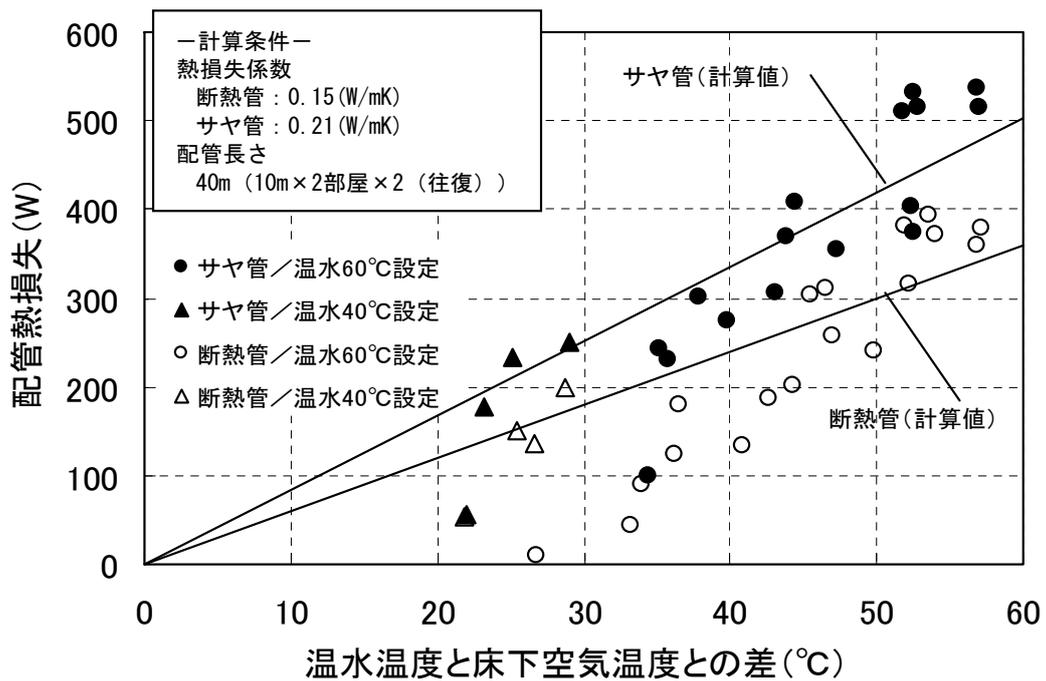
a) 床断熱材厚40mmの場合



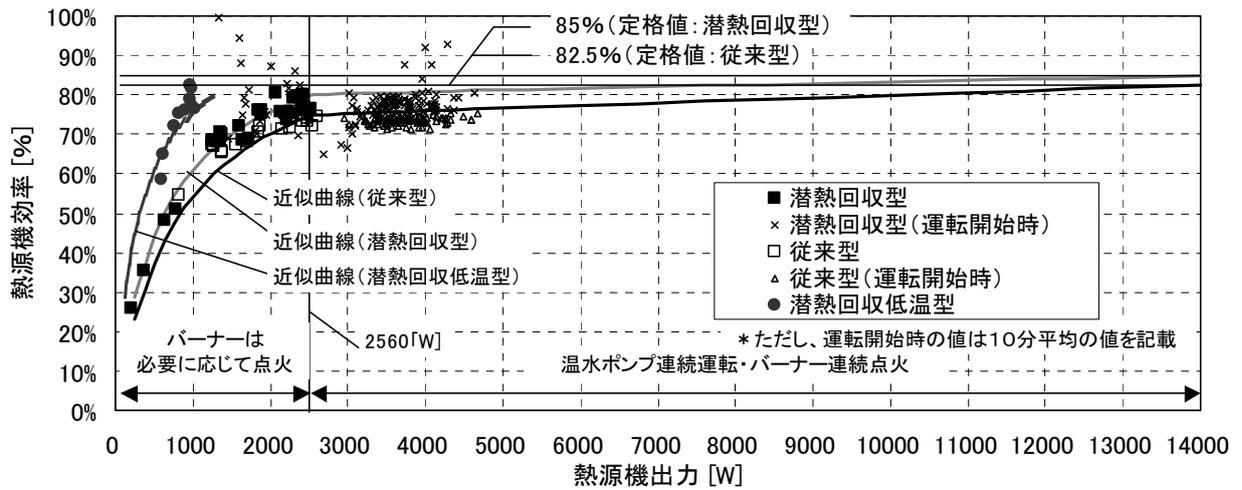
b) 床断熱材厚90mmの場合
パネル上下放熱率



温水温度低下率



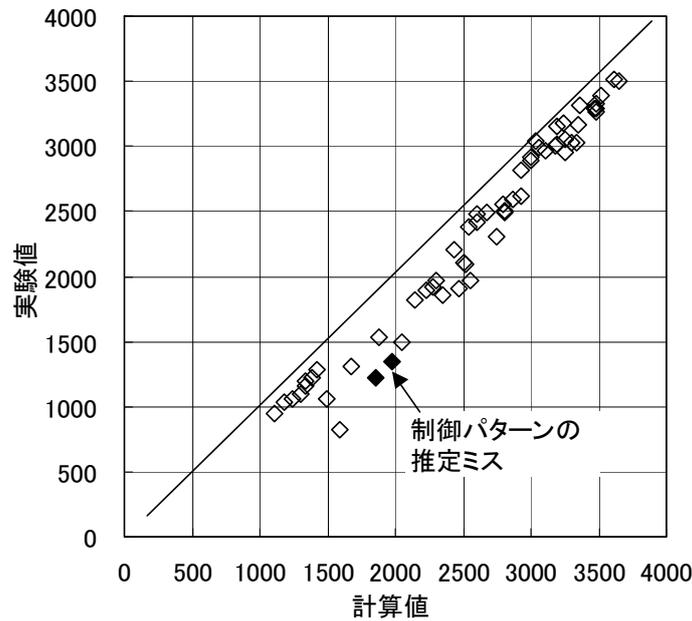
配管熱損失



ボイラー効率

3) 実験結果との比較

前節で推定法を示した式(2)の各パラメータを用いてエネルギー消費量を計算し、実験値と比較した。両結果は概ね一致しており、本推定方法によりエネルギー消費量を十分に予測することができると言える。



実験結果との比較

【記号】

E	: 一次エネルギー消費 [W]	$q_{pn1, spy}$: 居室に供給される熱量 [W]
e_{hs}	: 熱源機効率	C_{pipe}	: 配管放熱係数 [W/m]
l_{pipe}	: 配管の長さ [m]	e_{pn1}	: パネル床上側放熱率
K_{pipe}	: 配管の熱損失係数 [W/mK]	d	: 温水低下係数
$T_{w, spy}$: 温水供給の設定温度 [°C]	T_{crawl}	: 床下温度 [°C]
r	: 温水供給の運転率	h	: 温水供給発停サイクル [s]
c_{pipe}	: 配管の熱容量 [J/mK]		

6. 引用文献

- 1)NHK放送文化研究所 編:データブック,国民生活時間調査2000<全国>
- 2)自立循環型住宅開発委員会:エネルギー・資源の自立循環型住宅・都市基盤整備支援システムの開発,平成14年度報告書,pp. 87-90
- 3)<http://www.videor.co.jp/index.htm>(株式会社ビデオリサーチ)
- 4)都市型集合住宅における給湯・給水の消費構造分析と評価方法に関する研究(その1)湯・水消費の季節変動要因についての分析 前真之 布野裕子 市川憲良 石渡博 鎌田元康 日本建築学会環境系論文集,第566号,2003年4月

7. 国際共同研究等の状況

Annex 44 Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings
Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme(ECBCS)
International Energy Agency

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表(学術誌・書籍)

<学術誌(査読あり)>

- ① 細井昭憲、他:9th International Conference on ROOM VENT(2004)
"Experimental study on humidity distribution in multiple rooms based on simulated occupancy and water vapor emission"
- ② 前真之、他:CIB w62 Water Supply and Drainage for Buildings(2004 Paris)
"Survey on residential hot water consumption in Japan."

<学術誌(査読なし)>

- ① 宇梶正明、澤地孝男、堀祐治、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之、前真之:日本建築学会(2004)大会梗概集
「自立循環型住宅システムに関する実証的研究(第六報)生活行動に伴うエネルギー消費検証用基本スケジュール」
- ② 堀祐治、宇梶正明、澤地孝男、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之、前真之:日本建築学会(2004)大会梗概集
「自立循環型住宅システムに関する実証的研究(第七報)冬季実証実験結果」
- ③ 細井昭憲、堀祐治、宇梶正明、澤地孝男、桑澤保夫、秋元孝之、前真之:日本建築学会(2004)大会梗概集
「自立循環型住宅システムに関する実証的研究(第八報)ルームエアコンの電力消費量の推定」
- ④ 前真之、細井昭憲、堀祐治、宇梶正明、澤地孝男、桑澤保夫、秋元孝之:日本建築学会(2004)大会梗概集
「自立循環型住宅システムに関する実証的研究(第九報)冬期における給湯機器の効率実験」

- ⑤ 宇梶正明、澤地孝男、秋元孝之、堀祐治、桑澤保夫、前真之、細井昭憲：空気調和・衛生工学会(2004)学術大会梗概集
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究（第六報）生活行動に伴うエネルギー消費検証用基本スケジュール」
- ⑥ 堀祐治、澤地孝男、前真之、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之、宇梶正明：空気調和・衛生工学会(2004)学術大会梗概集
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究（第七報）生活行動再現状況および冬季実験結果」
- ⑦ 前真之、澤地孝男、秋元孝之、堀祐治、桑澤保夫、細井昭憲、宇梶正明：空気調和・衛生工学会(2004)学術大会梗概集
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究（第八報）冬期における給湯機器効率」
- ⑧ 堀祐治、澤地孝男、宇梶正明、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之：日本建築学会(2005)大会梗概集 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 第十報 エネルギー・資源削減量の
実証実験結果」
- ⑨ 宇梶正明、澤地孝男、堀祐治、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之：日本建築学会(2005)大会梗概集 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 第十一報 用途別エネルギー・資源削減結果」
- ⑩ 青木正論、澤地孝男、堀祐治、宇梶正明、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之：日本建築学会(2005)大会梗概集 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究（第十二報）太陽熱給湯器の省エネルギー効果」
- ⑪ 細井昭憲、澤地孝男、堀祐治、宇梶正明、桑澤保夫、秋元孝之：日本建築学会(2005)大会梗概集 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究（第十三報）通風利用時間のモデル化と省エネルギー効果の推定」
- ⑫ 澤地孝男、秋元孝之、堀祐治、桑澤保夫、細井昭憲、宇梶正明：空気調和・衛生工学会(2005)学術大会梗概集
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究（第九報）エネルギー消費等に係る生活行動の機械的再現による省エネルギー効果の実証実験手法及び通年結果の概要」
- ⑬ 堀祐治、澤地孝男、宇梶正明、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之：空気調和・衛生工学会(2005)学術大会梗概集
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究（第十報）給湯用各種熱源のエネルギー消費量実験結果比較」

(3) 口頭発表

- ① 宇梶正明、澤地孝男、堀祐治、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之、前真之：日本建築学会(2004)
「自立循環型住宅システムに関する実証的研究（第六報）生活行動に伴うエネルギー消費検証用基本スケジュール」
- ② 堀祐治、宇梶正明、澤地孝男、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之、前真之：日本建築学会(2004)

- 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 (第七報) 冬季実証実験結果」
- ③ 細井昭憲、堀祐治、宇梶正明、澤地孝男、桑澤保夫、秋元孝之、前真之：日本建築学会(2004)
「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 (第八報) ルームエアコンの電力消費量の推定」
- ④ 前真之、細井昭憲、堀祐治、宇梶正明、澤地孝男、桑澤保夫、秋元孝之：日本建築学会(2004)
「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 (第九報) 冬期における給湯機器の効率実験」
- ⑤ 宇梶正明、澤地孝男、秋元孝之、堀祐治、桑澤保夫、前真之、細井昭憲：空気調和・衛生工学会(2004)
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究 (第六報) 生活行動に伴うエネルギー消費検証用基本スケジュール」
- ⑥ 堀祐治、澤地孝男、前真之、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之、宇梶正明：空気調和・衛生工学会(2004)
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究 (第七報) 生活行動再現状況および冬季実験結果」
- ⑦ 前真之、澤地孝男、秋元孝之、堀祐治、桑澤保夫、細井昭憲、宇梶正明：空気調和・衛生工学会(2004)
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究 (第八報) 冬期における給湯機器効率」
- ⑧ 細井昭憲、他：9th International Conference on ROOM VENT (5-8 Sep. 2004)
"Experimental study on humidity distribution in multiple rooms based on simulated occupancy and water vapor emission"
- ⑨ 前真之、他：CIB w62 Water Supply and Drainage for Buildings
"Survey on residential hot water consumption in Japan."
- ⑩ 堀祐治、澤地孝男、宇梶正明、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之：日本建築学会(2005)大会梗概集 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 第十報 エネルギー・資源削減量の実証実験結果」
- ⑪ 宇梶正明、澤地孝男、堀祐治、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之：日本建築学会(2005)大会梗概集 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 第十一報 用途別エネルギー・資源削減結果」
- ⑫ 青木正諭、澤地孝男、堀祐治、宇梶正明、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之：日本建築学会(2005)大会梗概集 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 (第十二報) 太陽熱給湯器の省エネルギー効果」
- ⑬ 細井昭憲、澤地孝男、堀祐治、宇梶正明、桑澤保夫、秋元孝之：日本建築学会(2005)大会梗概集 「自立循環型住宅システムに関する実証的研究 (第十三報) 通風利用時間のモデル化と省エネルギー効果の推定」
- ⑭ 澤地孝男、秋元孝之、堀祐治、桑澤保夫、細井昭憲、宇梶正明：空気調和・衛生工学会(2005)学術大会梗概集
「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究 (第九報) エネルギー消費等に係

る生活行動の機械的再現による省エネルギー効果の実証実験手法及び通年結果の概要」

- ⑮ 堀祐治、澤地孝男、宇梶正明、桑澤保夫、細井昭憲、秋元孝之：空気調和・衛生工学会（2005）
学術大会梗概集

「自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究（第十報）給湯用各種熱源のエネルギー消費量実験結果比較」

（3）出願特許

なし

（4）受賞等

なし

（5）一般への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

政府は平成14年2月に公表した「京都議定書の締結に向けた今後の方針」の中で、「国民一人ひとりの生活を見直してゆく取組」を重視した基本方針を提示している。また、新たに改正された平成14年3月の「地球温暖化対策推進大綱」においては、「国民の生活様式（ライフスタイル）の見直し及びその支援」「地球環境にやさしい生活のあり方について、国民的議論を提起する」「製品等に関する環境情報提供の推進」「国民参加型の普及啓発の充実」など、ライフスタイルの変革にかかわる項目が目白押しである。このような国としての方針の下では、2010年までの10年弱の期間において、国民に対して、省エネルギー機器や建築的技術の導入を含め、ライフスタイルのどのような工夫がどの程度のエネルギー消費削減に貢献できるのか、生活時間や住宅における空間の使い方・住宅設備機器類の使い方がエネルギー消費とどのような関連を持っているか、などの点について具体的で定量的な情報提供を行うことが不可欠である。環境にやさしい行動を喚起するためにムードや機運を高めるのみでなく、具体的な方法に関する情報提供を行うことが実質的なライフスタイルの変革に結びつくのではないかと考えられる。

本研究の成果は単に省エネルギーの効果を予測するだけでなく、生活者に対し機器導入や技術向上のみでは地球温暖化対策の達成が困難であり、生活行動の抑制が余儀なくされる現状を明示することで、二酸化炭素排出量削減目標への達成意欲を起因するものと考えられる。

地球温暖化対策の推進は、国家的な目標であり、2010年頃の最初の具体目標の達成（二酸化炭素6%減）のための正攻法として、全エネルギー消費の一定の割合を占める家庭用エネルギーの削減又は抑制方を考える切り口としてのライフスタイルの理解と、新しい知見の蓄積が重要不可欠であると言える。

「国民の生活様式（ライフスタイル）の見直し及びその支援」は、地球温暖化対策推進大綱に明記されたテーマであり、2004年、および2007年に対策の進捗状況について評価・見直しを行い、段階的に必要な対策が講じられる。「見直し」と意識ある人への「支援」を効果的に行うために

は、客観的事実をより多く把握しておくことが肝要である。

本研究の成果は、家庭内のエネルギー消費のうち、特に消費の多くの割合を占める暖冷房機器で、その代表的エアコンディショナーと床暖房システムのエネルギー効率、さらに家電機器の中で最もエネルギー消費の大きい冷蔵庫の使用状況との影響を明らかにしており、今後の家庭内エネルギー消費の削減対策において重要な役割を果たす物と考える。引いては、温暖化対策の見直し、および指針、さらには最終的な目標達成に寄与するものとする。