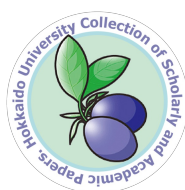




Title	平屋建てRC造外断熱建物を対象とした床暖冷房システムの設定水温の分析
Author(s)	菊田, 弘輝; 今井, 綾子; 羽山, 広文 他
Citation	日本建築学会環境系論文集, 74(646), 1321-1327 https://doi.org/10.3130/aije.74.1321
Issue Date	2009-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50458
Rights	日本建築学会
Type	journal article
File Information	AIJ.646.1321-1327.pdf



平屋建て RC 造外断熱建物を対象とした
床暖冷房システムの設定水温の分析ANALYSIS ON WATER TEMPERATURE SETTING OF FLOOR HEATING
AND COOLING SYSTEMS FOR ONE-STORY EXTERNAL INSULATED
BUILDINGS OF REINFORCED CONCRETE

菊田 弘輝*, 今井 綾子**, 羽山 広文***, 絵内 正道****

*Koki KIKUTA, Ayako IMAI, Hirofumi HAYAMA
and Masamichi ENAI*

The aim of this study is to analyze water temperature setting of floor heating and cooling systems for one-story external insulated buildings of reinforced concrete as heating and cooling systems suitable for low-load buildings. If panel heating and cooling systems like these systems are adopted, time-space temperature variation is reduced by the effects of highly insulation and heat capacity on buildings, and become possible to form comfortable indoor thermal environment for children and elderly persons. In this paper, we examine the suggestion of control method and utilization of natural energy about floor heating using low-temperature hot-water or floor cooling using high-temperature cold-water.

Keywords: *One-story building, External insulated building, Floor heating and cooling systems, Water temperature setting, Free cooling*

平屋建て, 外断熱建物, 床暖冷房システム, 設定水温, フリークーリング

1. はじめに

地球温暖化対策に向けた建築分野における環境への取り組みは必須であり, その対策の1つに建物の高断熱・高気密化が挙げられる。平成15年4月に「外断熱建物に関する性能基準」¹⁾が制定され, 北海道の公共建築を中心に, 外断熱工法の採用事例が数多く見受けられる。主に①教育施設, ②医療福祉施設, ③地区センター等で積極的に採用され, 道内を中心に大規模な地方中枢都市では中低層の外断熱建物, 小規模な地方中小都市では低層の外断熱建物が広く普及している。

低層の中でも平屋建てで言えば, 一般的に延床面積当りの外皮面積は大きくなり, 建物の高断熱・高気密化(建築側の対応)が一段と要求される。また, ①児童のための幼保施設, ②高齢者のための介護施設, ③両者のための交流施設等の建物用途にも配慮しつつ, 省エネ性・快適性・経済性の向上に繋がる暖冷房システムの提案・開発(設備側の対応)も同時に要求される。

本報では, 外断熱の熱容量並びに利用者の快適性を踏まえ, 水方式による配管埋設型の床暖冷房システムを採用する。児童や高齢者が利用する「集会所等」²⁾には, 一般的に床暖房システムの採用事例が数多く見受けられ, 建物の高断熱・高気密化に伴う低温温水による床暖房が行われている。その一方, 既存の床暖房システムを使用した高温冷水による床冷房が可能になれば, 児童や高齢者にとって快適な室内温熱環境の形成³⁾並びに低負荷建物に相応しい暖冷房システムの提案・開発に繋がると考えられる。特に排熱を利用した

低温温水による床暖房や冷却水を利用した高温冷水による床冷房が可能になれば, システム成績係数の更なる向上が期待される。また, 本システムと外気処理システムと組み合わせた温水または冷水の多段階利用(カスケード方式), 暖冷房による顕熱処理の分担と換気・調湿による潜熱処理の分担を分離した計画(分離方式)への展開が期待される。

以上のことから, 本報の目的は, 低負荷建物に相応しい暖冷房システムとして, 平屋建て RC 造外断熱建物を対象とした床暖冷房システムの設定水温について分析することである。外断熱建物の熱負荷計算法(平均負荷計算法^{4),5)}に準拠し, 低温温水による床暖房と高温冷水による床冷房に関わる制御手法の提案かつ自然エネルギーの利用について検討する。

2. 平屋建て RC 造外断熱建物の分析

2.1 PAL 基準値からの低減目標

非住宅の省エネルギー基準には, 建築物の外壁, 窓等を通しての熱損失の防止に関して, PAL²⁾(Perimeter Annual Load)を用いて判断することを要請している。平屋建ての場合, 屋内周囲空間(ペリメータゾーンに相当するもの)は全床面積になり, PAL 基準値は 550[MJ/年・㎡](集会所等)に規模補正係数の1.2を乗じた 660[MJ/年・㎡]以下でなければならない。そこで, PAL 基準値からの低減目標として, CASBEE⁶⁾の建物の熱負荷抑制の項目におけるレベル5(PAL 基準値の-25[%]: 495[MJ/年・㎡])を目指すことにする。

* 北海道大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)

** 北海道大学大学院工学研究科 修士課程

*** 北海道大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)

**** 北海道大学 名誉教授・工博

Assis. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Prof. Emeritus, Hokkaido Univ., Dr. Eng.

2.2 モデルとパラメータの設定

モデルの種類を図1に示す。平屋建ての特徴である延床面積当りの外皮面積が大きい建物では、特に開口部の断熱・遮蔽性能の影響が予想される。このことを踏まえ、外断熱+ガラス被覆を有する建物 (A=2000[m²], h=3.8[m]) を前提に、建物の外周付近にガラスを有する「片面トップライト型(南)」, 建物の中央付近にガラスを有する「中央トップライト型」の2種類のモデルについて分析する。これらの種類は著書^{7),8)}や道内の採用事例等^{9)~11)}を参考に選定されている。対象地域は札幌 (B地域), 仙台 (D地域), 東京 (G地域), 福岡 (J地域) の4地域である。

パラメータと水準を表1に示す。7つのパラメータ (ブラインド, 開口の断熱仕様, 壁体の断熱厚さ, 屋根の断熱厚さ, トップライト面積, 空調・非空調床面積比, モデル縦横比) に対して, 第2水準をベース^{注1)}にそれぞれの水準が設定されている。開口の断熱仕様は熱貫流率で与えられ, 開口以外の断熱仕様は熱伝導率で与えられ, 断熱材で使用されるスチレン発泡版 (ビーズ) は0.047[W/m・K] である。

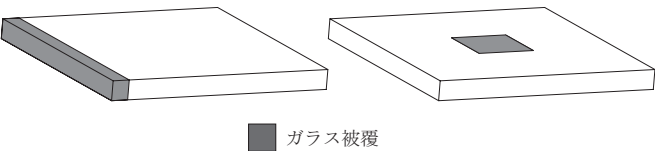
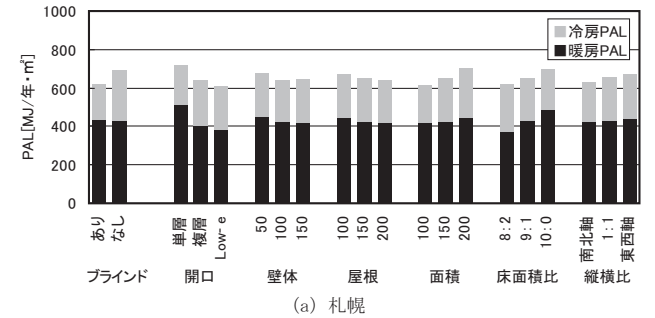


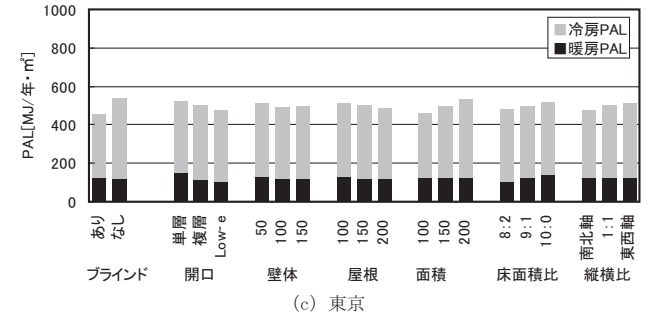
図1 モデルの種類

表1 パラメータと水準

パラメータ	水準		
	第1水準	第2水準	第3水準
ブラインド	あり	なし	
開口の断熱仕様	単層ガラス	複層ガラス	Low-e複層ガラス
壁体の断熱厚さ[mm]	50	100	150
屋根の断熱厚さ[mm]	100	150	200
トップライト面積[m ²]	100	150	200
空調・非空調床面積比	8:2	9:1	10:0
モデル縦横比	南北軸1:2	1:1	東西軸1:2



(a) 札幌



(c) 東京

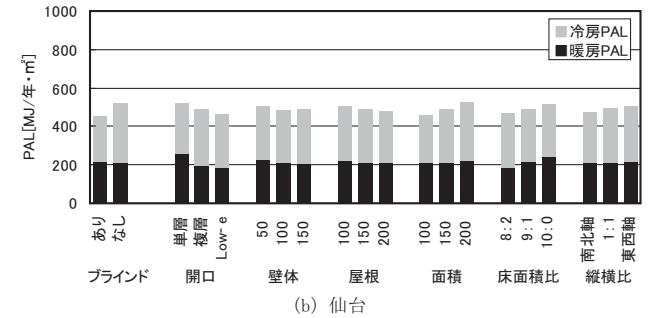
2.3 PAL 平均値

PAL に対する各パラメータの関係を効率的かつ合理的に評価する方法として, 田口玄一が構築したタグチメソッド^{12),13)}を用いた。一般的に品質工学とも呼ばれ, 値のばらつきを抑え目標値に近づける工学手法の1つである。各パラメータの水準の組合せが均等になるようにパラメータと水準をL₁₈直交表(18 ケース)に割り付け, その組合せでPALを算出し, 各パラメータの水準毎におけるPAL平均値を算出する。この値を比較すると, 各パラメータで水準を変更した際のPALの大小を把握することができる。尚, 本手法は既往の研究^{14)~16)}にも数多く使用されている。

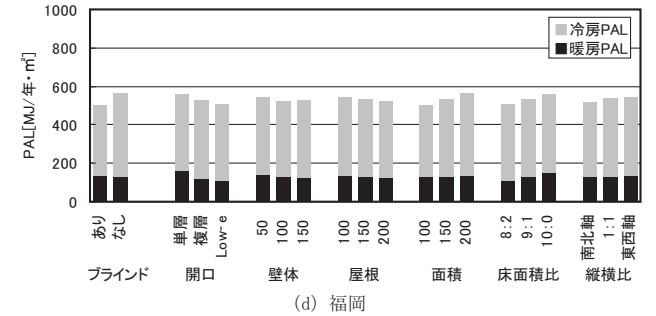
L₁₈直交表を表2, PAL平均値(片面トップライト型(南))を図2に示す。(a) 札幌ではPAL平均値が655[MJ/年・m²]前後になり, (c) 東京ではその大半が冷房PALに支配される傾向を示し, PAL基準値の-24[%]前後(500[MJ/年・m²]前後)になった。各パラメータの水準毎で比較すると, 開口の断熱仕様と空調・非空調床面積比で暖房PALの差, ブラインドとトップライト面積で冷房PALの差が顕著に表れていた。また, 屋根の断熱厚さ, トップライト面積,

表2 L₁₈直交表

ケース	パラメータ						
	ブラインド	開口	壁体	屋根	面積	床面積比	縦横比
1	あり	単層	50	100	100	8:2	南北軸
2	あり	単層	100	150	150	9:1	1:1
3	あり	単層	150	200	200	10:0	東西軸
4	あり	複層	50	100	150	9:1	東西軸
5	あり	複層	100	150	200	10:0	南北軸
6	あり	複層	150	200	100	8:2	1:1
7	あり	Low-e	50	150	100	10:0	1:1
8	あり	Low-e	100	200	150	8:2	東西軸
9	あり	Low-e	150	100	200	9:1	南北軸
10	なし	単層	50	200	200	9:1	1:1
11	なし	単層	100	100	100	10:0	東西軸
12	なし	単層	150	150	150	8:2	南北軸
13	なし	複層	50	150	200	8:2	東西軸
14	なし	複層	100	200	100	9:1	南北軸
15	なし	複層	150	100	150	10:0	1:1
16	なし	Low-e	50	200	150	10:0	南北軸
17	なし	Low-e	100	100	200	8:2	1:1
18	なし	Low-e	150	150	100	9:1	東西軸



(b) 仙台



(d) 福岡

図2 PAL平均値(片面トップライト型(南))

空調・非空調床面積比では水準を変更させると、PAL 平均値は一定の割合で変化していた。対照的に、壁体の断熱厚さでは 100[mm] から 150[mm] へ変更させても、PAL 平均値は軽微な変化に留まっていた。従って、平屋建ての場合、外皮負荷の主体となる屋根部分の高断熱化を優先することが前提であると言える。

2.4 改善仕様と最適仕様

PAL 低減に寄与する順位（片面トップライト型（南））を表 3 に示す。札幌では開口の断熱仕様（Low-e 複層ガラス）が第 1 位となり、他の 3 地域ではブラインド（あり）やトップライト面積（100[㎡]）が最高位になった。屋根の断熱厚さを十分に確保すれば、札幌では開口の高断熱化、他の 3 地域では開口の日射遮蔽が重視されるべきパラメータになり、これらを率先して対処していくことが最も効果的かつ合理的に PAL 低減効果をもたらすことになる。

改善仕様と最適仕様を表 4、各仕様による PAL 低減効果を図 3 に示す。「改善仕様」とは、標準仕様（第 2 水準）に対して、PAL 低減に寄与する上位 4 パラメータの水準が改善されたもの、「最適仕様」^{注 2)}とは、上位 7 パラメータが改善されたものと定義する。（a）片面トップライト型（南）の場合、札幌では最適仕様、他の 3 地域では

改善仕様で PAL 基準値の -25[%]（CASBEE[®] レベル 5）に達し、（b）中央トップライト型の場合、4 地域いずれも改善仕様で PAL 基準値からの低減目標に到達していた。従って、効果的なパラメータのみを抽出して水準の改善を図るだけでも、十分に高断熱・高気密の平屋建て RC 造外断熱建物の計画・設計が可能であることが確認された。

3. 床暖冷房システムの設定水温の分析

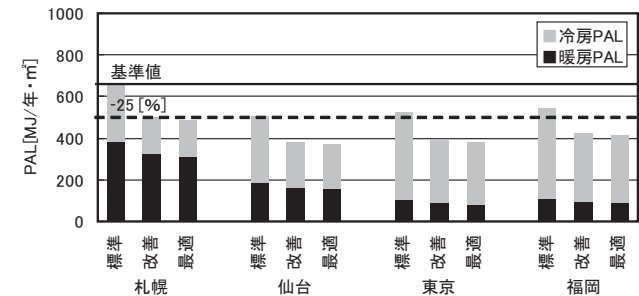
3.1 外界条件の設定

熱源機器容量を算定する際に、外界条件を使用するが、平均負荷計算法における負荷計算プログラムの中には、道内地域しか整備されていない⁴⁾。仙台・東京・福岡も対象地域であることから、最新 5 ヶ年（2002 ～ 2006 年）の気象データを使用し、かつ長波長放射の実効放射量を考慮した形で、新たに外界条件を設定した。

新たに設定した外界条件を表 5 に示す。外気温は 5 ヶ年の 1 月 1 日から 2 月最終日（暖房用）または 7 月 21 日から 8 月 20 日（冷房用）までの全日平均（0 ～ 24 時：隙間風）、日中平均（8 ～ 18 時：人用換気、外気冷房）、夜間平均（0 ～ 8 時、23 ～ 24 時：夜間換気）を計算し、それぞれ低い順（暖房用）または高い順（冷房用）に並べ替えを行い、TAC2.5[%] の値を採用した。方位別日射量は全日平均の外気温

表 3 PAL 低減に寄与する順位（片面トップライト型（南））

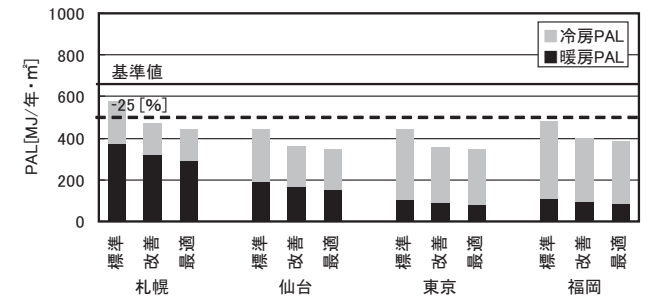
地域	第1位	第2位	第3位	第4位
札幌	開口の断熱仕様 (Low-e複層ガラス)	トップライト面積[m ²] (100)	空調・非空調 床面積比(8:2) (あり)	ブラインド (あり)
仙台	トップライト面積[m ²] (100)	ブラインド (あり)	開口の断熱仕様 (Low-e複層ガラス)	空調・非空調 床面積比(8:2)
東京	ブラインド (あり)	トップライト面積[m ²] (100)	開口の断熱仕様 (Low-e複層ガラス)	空調・非空調 床面積比(8:2)
福岡	トップライト面積[m ²] (100)	ブラインド (あり)	空調・非空調 床面積比(8:2)	開口の断熱仕様 (Low-e複層ガラス)



(a) 片面トップライト型（南）

表 4 改善仕様と最適仕様

パラメータ	標準仕様(第2水準)	改善仕様	最適仕様
ブラインド	なし	あり	あり
開口の断熱仕様	複層ガラス	Low-e複層ガラス	Low-e複層ガラス
壁体の断熱厚さ[mm]	100	100	100
屋根の断熱厚さ[mm]	150	150	200
トップライト面積[m ²]	150	100	100
空調・非空調床面積比	9:1	8:2	8:2
モデル縦横比	1:1	1:1	南北軸1:2



(b) 中央トップライト型

図 3 各仕様による PAL 低減効果

表 5 新たに設定した外界条件

地域	用途	外気温[℃]			方位別日射量[Wh/㎡・日]										相当外気温度[℃]									
		全日	日中	夜間	東	南東	南	南西	西	北西	北	北東	水平	東	南東	南	南西	西	北西	北	北東	水平		
札幌	暖房用	-8.2	-8.1	-8.1	491	905	1209	1048	593	416	416	416	1183	-11.5	-11.1	-10.9	-11.1	-11.5	-11.6	-11.6	-11.6	-10.6		
	冷房用	27.4	29.4	25.4	2007	2424	2567	3202	3054	1997	917	1296	6569	28.5	28.7	28.0	28.0	28.0	27.5	26.8	27.5	32.3		
仙台	暖房用	-1.8	-0.9	-3.0	696	848	845	666	567	542	542	542	1236	-4.7	-4.5	-4.5	-4.7	-4.8	-4.8	-4.8	-4.8	-3.7		
	冷房用	28.9	32.0	25.7	3884	3617	2331	2148	1816	1108	850	2563	6866	32.2	31.8	30.0	29.9	29.5	28.4	28.0	30.3	36.7		
東京	暖房用	2.6	3.1	1.3	298	298	298	298	298	298	298	298	596	-0.8	1.6	4.3	3.7	0.7	-1.5	-1.5	-1.5	2.9		
	冷房用	31.0	33.4	28.6	2056	2326	2399	3706	3876	2442	745	1249	7268	31.0	31.3	31.3	32.1	32.3	31.4	30.2	30.4	36.3		
福岡	暖房用	2.4	2.3	2.2	513	568	750	805	701	513	485	485	1134	-0.7	0.2	1.0	0.8	-0.3	-0.9	-1.0	-1.0	1.4		
	冷房用	30.7	33.1	27.9	2116	2177	1917	3206	3648	2548	909	1409	7146	30.9	31.1	30.7	32.8	33.6	32.0	29.4	30.0	38.1		

表 6 方位別の外皮面積（片面トップライト型（南））

部位	東 [㎡]	南 [㎡]	西 [㎡]	北 [㎡]	垂直 [㎡]	水平 [㎡]
外壁1:標準	157	0	157	170	484	1850
窓1:標準	13	170	13	0	195	150
外壁2:改善	161	0	161	170	493	1900
窓2:改善	8	170	8	0	187	100
全体	170	170	170	170	680	2000
ゾーン	151	151	151	151	604	1396

表 7 構成部位の物性値

部位	仕様	厚さ [m]	熱伝導率 [W/㎡・K]	熱貫流率 [W/㎡・K]	日射侵入率 [-]
壁体	スチレン発泡板(ビーズ)	0.100	0.047	0.41	0.01
	普通コンクリート	0.250	1.400		
窓1:標準	複層ガラス・ブラインドなし			3.50	0.73
	透明・吸熱・熱反など二重				
窓2:改善	複層ガラス・ブラインド室内側			2.30	0.43
	片面low-ε二重 クリア(銀一層)				
屋根	スチレン発泡板(ビーズ)	0.150	0.047	0.28	0.01
	普通コンクリート	0.300	1.400		

がTAC5.0[%]以内の日について、水平面日射量を基準に並べ替えを行い、少ない方の下位1/3(暖房用)または多い方の上位1/3(冷房用)の平均値を採用した。また、相当外気温度は外気温と同じ日を採用した。

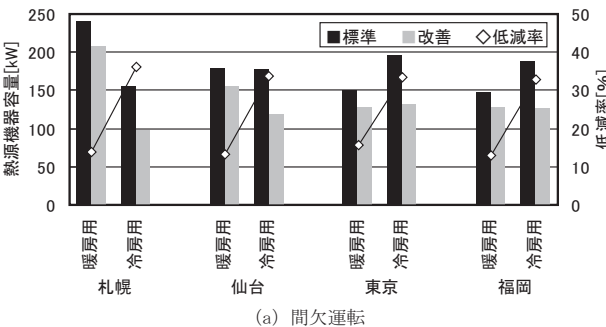
3.2 建物・室内条件の設定

方位別の外皮面積(片面トップライト型(南))を表6、構成部位の物性値を表7に示す。モデルの種類に応じてそれぞれに標準仕様と改善仕様を設定した。非空調室は水平ゾーン(1396[m²])に属するものと仮定した。設定室温は22[°C](暖房用)または26[°C](冷房用)、空調室の外気導入量は5.8[m³/m²・h]とした。PALにおける「集会所等」²⁾の空調室に対する内部発熱密度の標準値を参考に、空調室の室内発生熱量は12.1[W/m²]とした。

3.3 熱源機器容量の計画

気象条件として日平均値を用いて計算した定常熱負荷を基に、熱源機器容量を算定する方法が平均負荷計算法の基本的な考え方である⁴⁾。算定される熱源機器容量[kW]は「日積算外気負荷[kWh/day]/運転時間[h/day]」と「日積算室内負荷[kWh/day]/運転時間[h/day]」との和で表される。本報では、外気負荷の運転時間を14時間(7～21時)、室内負荷の運転時間を(a)間欠運転の14時間(20～翌10時:夜間運転)または(b)連続運転の24時間とした。

熱源機器容量の低減率(片面トップライト型(南))を図4に示す。外気負荷と室内負荷との比率は約3～4:1(暖房用)かつ約1:2～7(冷房用)となった。室内負荷が大きい冷房用では(a)間欠運転よりも(b)連続運転の方が、熱源機器容量は大幅に縮小していた。更に、4地域いずれも改善仕様が図られることで、その低減率は約13[%](暖房用)かつ約31[%](冷房用)に達していた。従って、札幌と仙台では常時暖房主体の熱源計画(暖房容量>冷房容量)になり、東京と福岡では改善仕様あるいは連続運転に伴い、冷房主体から暖房主体の熱源計画へ切り替わることが確認された。



4. 制御手法の提案と自然エネルギーの利用

4.1 簡易予測制御の提案

低温温水による床暖房と高温冷水による床冷房に関わる制御手法として、簡易予測制御¹⁷⁾を提案する。簡易予測制御とは、気象データの日平均値を用いて算定された負荷を予測負荷とし、その負荷に対応する床暖冷房システムの設定水温を求めて、その季節変動を近似化した近似設定水温が導入された制御手法のことである。当然、時間毎対応ではなく季節毎対応に準拠した制御手法であることから、1日に必要とされる熱量に対して過剰ないし不足が発生すると推測される。

この問題に対する1つの考え方として、床暖冷房システムが室内負荷の顕熱成分に大きく対応し、同時に他の空調システムが外気負荷に加えて室内負荷の一部の顕熱・潜熱成分に細かく対応することである。ただし、最終的に得られる室内温度環境として、空間的な温度むら(水平・上下温度分布)は極力無くすこと、ある程度の時間的な温度むら(室温変動)は許容することが前提である。

4.2 予測負荷の算定

予測負荷の一例(札幌, 片面トップライト型(南), 改善仕様)を図5、暖房負荷の削減率(片面トップライト型(南))を表8に示す。これらの負荷は2006年の気象データの日平均値を用いて、365日間に亘って算定されたものである。暖房負荷と冷房負荷の発生が日単位で変動する5～6月あるいは10～11月の中間期において、システム成績係数が極端に低くなる部分負荷で運転するのではなく、例えばフリークーリング^{18)～20)}や自然換気等のような自然エネルギーの利用も想定しなければならない。

更に、平均負荷計算法⁴⁾に準拠し、室内取得熱量(室内発生熱量12.1[W/m²]:50[%]+日射取得熱量:100[%])を暖房熱源として考慮すると、約11～15[%]の暖房負荷の削減率に相当した。本報では、その分だけの熱源機器容量の縮小を基に、熱源機器容量の計画を実施した。

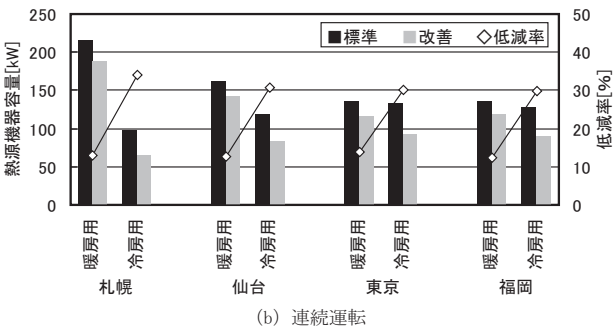


図4 熱源機器容量の低減率(片面トップライト型(南))

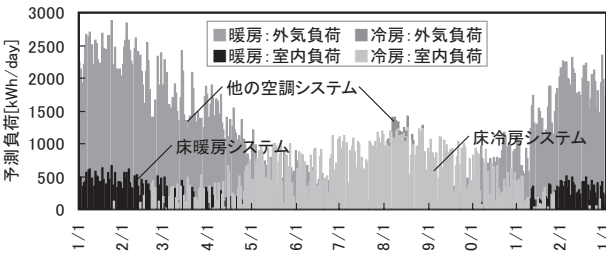


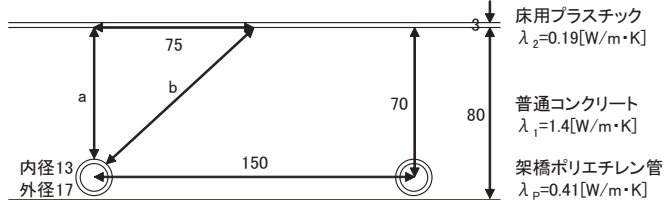
図5 予測負荷の一例(札幌, 片面トップライト型(南), 改善仕様)

表8 暖房負荷の削減率(片面トップライト型(南))

地域	仕様	最大暖房負荷 (予測負荷) [kWh/day]	最大冷房負荷 (予測負荷) [kWh/day]	暖房熱源 (室内取得熱量) [kWh/day]	削減率 [%]
札幌	標準	3383	2149	525	13.4
	改善	2872	1424	369	11.4
仙台	標準	2735	2361	459	14.4
	改善	2315	1593	334	12.6
東京	標準	2413	2539	341	12.4
	改善	1858	1562	255	12.1
福岡	標準	2087	2673	379	15.4
	改善	1759	1850	291	14.2

4.3 床暖冷房システムの設定水温

算定された予測負荷に対応する床暖冷房システムの設定水温を求めた。床下から地盤への損失負荷を極力減らすため、床スラブ下部に断熱材が十分な厚さで敷設され、その断熱材上部に架橋ポリエチレン管（配管ピッチ：150[mm]、配管埋設深さ：70[mm]）が埋設されるように計画した。通常加熱面の構造がコンクリートで温水温度が38～55[℃]の場合、最終的に求めた設定水温に対して温度降下の半分（3～4[℃]）が加えられる。しかし、本システムの設定水温は室温に近い温度域を想定しており、温度降下分は考慮しないことにした。以下に、設定水温を求める式²¹⁾を示す。



$$K_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_c + \alpha_r} + \frac{a+b}{2\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2}} \quad (1)$$

$$t_h = t_i + \frac{q_u}{K_u \cdot A_f} \quad (2)$$

$$t_w = t_h + \frac{q_u}{A_f} \cdot P \cdot \frac{1}{2\pi\lambda_p} \log_e \frac{r_2}{r_1} \quad (3)$$

K_u ：配管から室内までの熱通過率 [W/ m²·K]

$\alpha_c + \alpha_r$ ：対流+放射熱伝達率 [W/ m²·K] λ_i ：材料 i の熱伝導率 [W/m·K]

l_i ：材料 i の厚さ [m] t_h ：配管表面温度 [℃] t_i ：室内空気温度 [℃]

A_f ：加熱（冷却）床面積 [m²] q_u ：加熱（冷却）床からの放熱量 [W/K]

t_w ：設定水温 [℃] P ：配管ピッチ [m] r_1 ：配管内径 [m] r_2 ：配管外径 [m]

4.4 設定水温の近似化

近似設定水温のスイングの一例（片面トップライト型（南）、改善仕様）を図7、近似設定水温の温度特性を図8に示す。（ ）内の数値は設定水温の近似式の R^2 （上段：暖房用、下段：冷房用）の値である。近似設定水温のスイングは（a）、（c）間欠運転よりも（b）、（d）連続運転の方が緩やかになり、室温に近い温度域になった。また、東京は札幌に比べて、床暖房システムにおける暖房負荷も小さいことから、より一層滑らかなスイングになった。

温度特性を分析すると、間欠運転は連続運転に比べて、短時間で室内負荷に対応することから、片面トップライト型（南）における改善仕様が図られない場合、（a）札幌では床暖房で比較的高温（約28[℃]）、床冷房で比較的低温（約15[℃]）であった。しかし、改善仕様は標準仕様に比べて、求めた設定水温の季節変動に対する近似式のばらつき（ R^2 ）は抑制された。中央トップライト型は片面トップライト型（南）に比べて、算定された予測負荷が小さい分だけ近似設定水温にその上昇分または低下分が反映された。他の3地域でも同様の温度特性を示し、南下（高温高湿）するにつれて暖房用と冷房用の近似設定水温が徐々に近接し、特に（c）東京では22[℃]程度の同じ温度域になることが確認された。

簡易予測制御の場合、条件次第では当然過剰冷却や表面結露等の諸問題が懸念されるため、注意が必要であると言える。ただし、札幌では開口の断熱仕様（Low-e 複層ガラス）、トップライト面積（100[m²]）、空調・非空調床面積比（8:2）、ブラインド（あり）のような建築側の対応を図ることで、室温に近い温度域での低温温水による床暖房と高温冷水による床冷房が可能になる。そこで、低負荷建物に相応しい暖冷房システムの提案・開発に直結する床冷房^{22)～24)}の可能性を探るため、床冷房に関わる制御手法の提案かつ自然エネルギーの利用について検討した。

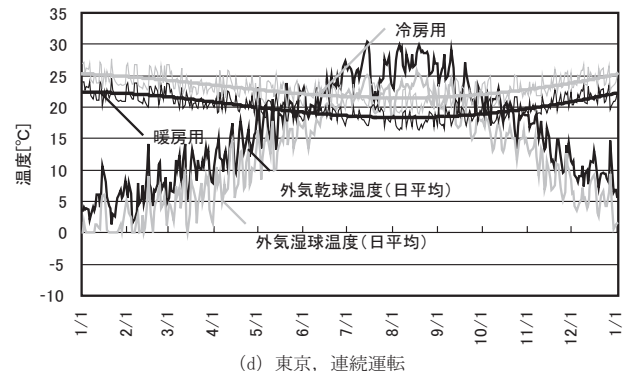
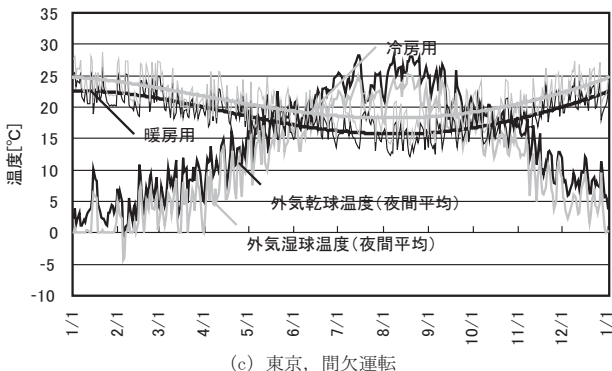
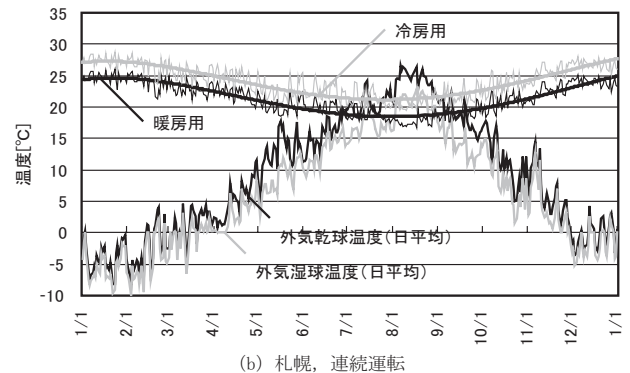
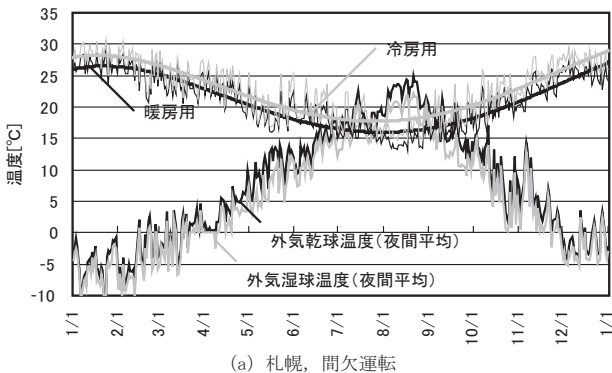


図7 近似設定水温のスイングの一例（片面トップライト型（南）、改善仕様）

4.5 フリークーリングの適用

近似設定水温で高温冷水による床冷房を制御する際に、自然エネルギーの利用の1つである冷却水を利用したフリークーリングを適用することで得られる省エネルギー効果について試算した。フリークーリングの運転条件には、外気湿球温度の制約があり、危険側になる理論値と安全側になる諸元値の2つを設定した。

フリークーリングの運転条件に満たない日数（片面トップライト型（南）、間欠運転）を図9、冷房負荷とフリークーリング寄与率（片面トップライト型（南）、間欠運転）を図10に示す。理論値に対して諸元値では、約1ヶ月程度に亘ってフリークーリングの運転条件に満たない日数が増加した。仮に間欠運転ではなく、例えば日中に高効率冷却装置（チラー）や夜間に密閉式冷却塔（フリークーリング）等のような連続運転に相当する制御手法が採用されれば、この日数自体は同じ自然エネルギーの利用の1つである自然換気の運転条件（外気エンタルピ<室内エンタルピ）に満たない日数とほぼ一致していた。フリークーリング寄与率も北上（低温低湿）するにつれて向上し、特に冷涼外気の有効利用が可能な札幌では約34[%]に到達することが確認された。9月の1ヶ月には最大で約73[%]（=8.7[MWh/月]（フリークーリング）/11.9[MWh/月]（フリークーリング+チラー））にも及ぶ省エネルギー効果が得られ、床冷房時のフリークーリングは自然エネルギーの利用としても有益であった。

5. まとめ

平屋建てRC造外断熱建物を対象とした床暖冷房システムの設定水温について分析し、低温温水による床暖房と高温冷水による床冷房に関わる制御手法の提案かつ自然エネルギーの利用について検討した。以下に、得られた成果を簡潔にまとめる。

- 1) 建物側の対応として、タグチメソッドによる検討を行い、PAL基準値からの低減目標に到達する「改善仕様」を明らかにした。
- 2) 平屋建ての場合、外皮負荷の主体となる屋根部分の高断熱化を優先し、更に札幌では開口の高断熱化、他の3地域では開口の日射遮蔽の改善を図るだけでも、高断熱・高気密の平屋建てRC造外断熱建物の計画・設計が可能であることを示した。
- 3) 設備側の対応として、平均負荷計算法に準拠し、本システムに関わる簡易予測制御を提案した。
- 4) 平均負荷計算法に対応するため、外界条件に係る対象地域の気象データを整備し、室内取得熱量に係る暖房負荷の削減率（約11～15[%]）を基に、熱源機器容量の計画を実施した。
- 5) 近似設定水温のスイングやその温度特性から判断すると、南下するに伴い、室温に近い温度域（22[℃]程度）での低温温水による床暖房と高温冷水による床冷房が可能になった。また北上するに伴い、フリークーリングによる高い省エネルギー効果（約34[%]）が得られることを示した。

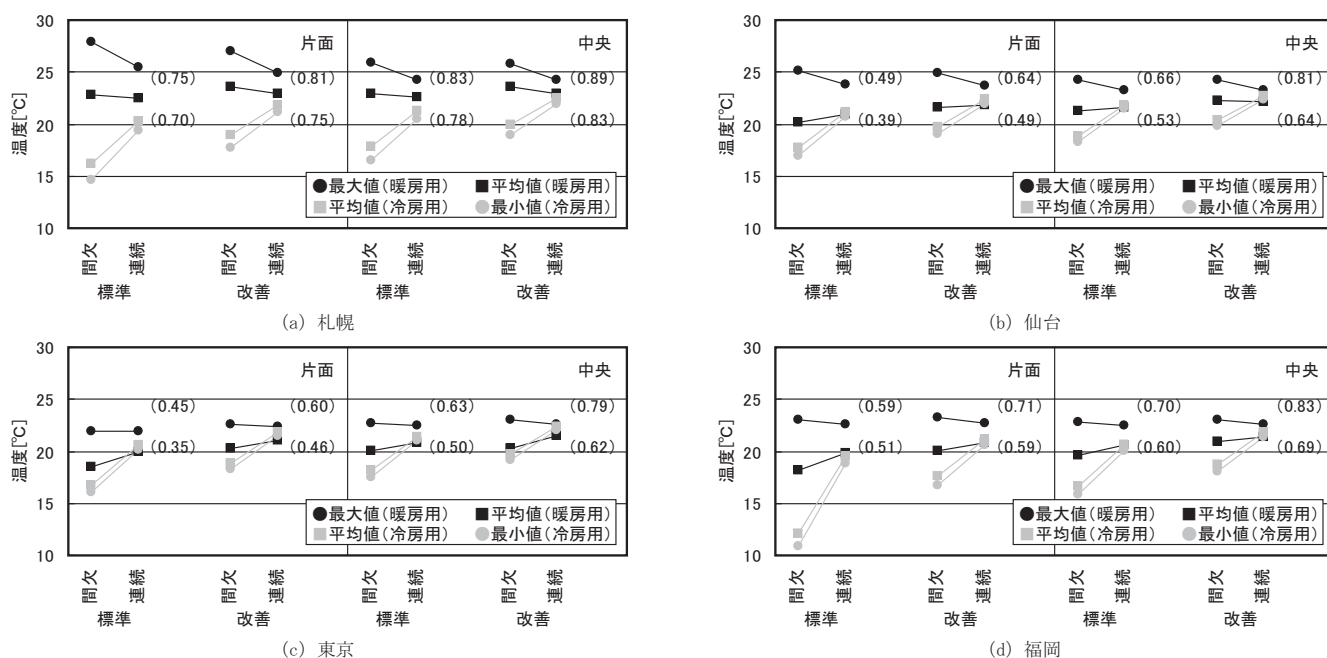


図8 近似設定水温の温度特性

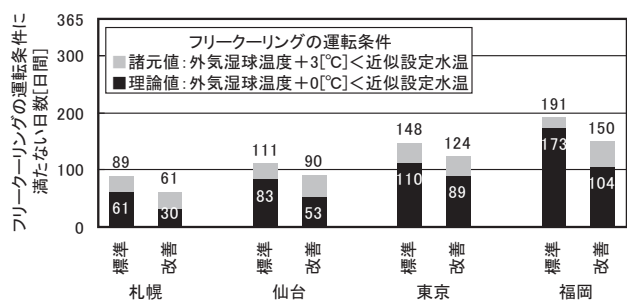


図9 フリークーリングの運転条件に満たない日数（片面トップライト型（南）、間欠運転）

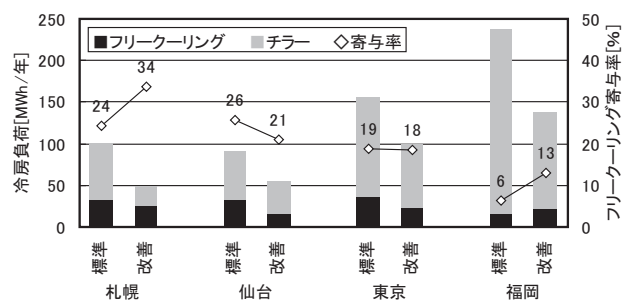


図10 冷房負荷とフリークーリング寄与率（片面トップライト型（南）、間欠運転）

注

注 1) 基本的な考え方として、標準仕様（第 2 水準）をベースにその前後（第 1 水準及び第 3 水準）を設定した。開口の断熱仕様、壁体の断熱厚さ、屋根の断熱厚さは参考文献 1)、ブラインド、トップライト面積は参考文献 7) ～ 11) を参考にした。また、空調・非空調床面積比は「全室空調」を前提に、モデル縦横比は「建物方位」を前提にした。

注 2) 「最適仕様」の「最適」とは、実験計画法における「最適組み合わせ」の「最適」と同様、あらゆる組み合わせの中での最適解（最適条件）を意味する。

本研究に関連した既発表文献

- 1) 菊田弘輝，今井綾子，絵内正道，羽山広文：平屋建て RC 造外断熱建物の外皮計画及び暖冷房計画に関する研究 その 2 床暖冷房システムにおける自然エネルギー利用の検討，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp. 389-392，2008. 8
- 2) 今井綾子，菊田弘輝，絵内正道，羽山広文：平屋建て RC 造外断熱建物の外皮計画及び暖冷房計画に関する研究 その 1 簡易外断熱モデルを用いた外皮計画の検討，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp. 385-388，2008. 8
- 3) 菊田弘輝，今井綾子，絵内正道，羽山広文：平屋建て RC 造外断熱建物の環境計画に関する研究 その 2 床暖冷房システムにおける簡易予測制御の分析，空気調和・衛生工学会北海道支部 第 42 回学術講演会論文集，pp. 115-118，2008. 3
- 4) 今井綾子，菊田弘輝，絵内正道，羽山広文：平屋建て RC 造外断熱建物の環境計画に関する研究 その 1 簡易外断熱モデルを用いた年間熱負荷の分析，空気調和・衛生工学会北海道支部 第 42 回学術講演会論文集，pp. 111-114，2008. 3

参考文献

- 1) 社団法人公共建築協会：国土交通省北海道開発局営繕部監修 外断熱建物に関する性能基準及び同解説 平成 15 年版，社団法人公共建築協会
- 2) 財団法人建築環境・省エネルギー機構：平成 18 年度省エネ基準対応 建築物の省エネルギー基準と計算の手引き 新築・増改築の性能基準（PAL/CEC），財団法人建築環境・省エネルギー機構，2006. 9
- 3) 宿谷昌則ら：高温放射冷房と低温放射暖房における快適性に関する実験研究 その 1 ～ 5，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp. 581-590，2007. 8
- 4) 空気調和・衛生工学会北海道支部・設備技術研究会「平均負荷計算法に関する研究」小委員会：外断熱建物の熱負荷計算法，2003 年度～2005 年度版
- 5) サデギアン タギ，鈴木憲三：平均負荷計算法における土日休業の扱い方，日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 78，pp. 181-184，2005. 7
- 6) 日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム（JSBC）（建築物の総合環境評価研究委員会）：建築物総合環境性能評価システム CASBEE- 新築 評価マニュアル（2006 年版），財団法人建築環境・省エネルギー機構，

2006. 7
- 7) 絵内正道：積雪寒冷型アトリウムの計画と設計，北海道大学図書刊行会，1995. 2
- 8) リチャード サクソン（古瀬敏，荒川豊彦訳）：アトリウム建築—発展とデザイン，（株）鹿島出版会，1988. 10
- 9) 大成札幌ビル：作品選集 2008 建築雑誌増刊，社団法人日本建築学会，pp. 26-27，2008. 3
- 10) 北海道立北方建築総合研究所：作品選集 2004 建築雑誌増刊，社団法人日本建築学会，pp. 32-33，2004. 3
- 11) 鈴木大隆，北谷幸恵，加藤誠：北海道における小中学校の地域建築への取り組み，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp. 523-526，2007. 8
- 12) 立林和夫：入門タグチメソッド，（株）日科技連出版社，2006. 3
- 13) 広瀬健一，上田太一郎：Excel でできるタグチメソッド解析法入門，（株）同友館，2005. 4
- 14) 清角俊之，松本博：低層アトリウムの熱負荷に及ぼす要因の効果分析，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp. 1033-1034，1995. 8
- 15) 鹿野直樹，石野久彌，中山哲士，田端康宏：地域性を考慮した実験計画法による年間熱負荷計算に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp. 1231-1232，2008. 9
- 16) 樋口作夫，羽山広文，絵内正道：学校教室の窓ガラス仕様と空調条件が年間熱負荷に与える影響，日本建築学会環境系論文集，No. 629，pp. 873-879，2008. 7
- 17) 菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，森太郎：簡易予測制御を適用した高断熱建物の躯体蓄熱システムに関する研究，日本建築学会環境系論文集，No. 599，pp. 95-102，2006. 1
- 18) 森山泰行，梶山隆史ら：寒冷地における自然エネルギー利用空調システムの省エネルギー性評価 その 1 ～ 3，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp. 1211-1216，2008. 9
- 19) 菊田弘輝，絵内正道，羽山広文：夏期・中間期におけるフリークーリングによる省エネルギー効果の検証，日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 81，pp. 197-200，2008. 6
- 20) ヤン イェンリン，狩野直樹，水野慶蔵，川津行弘，横尾昇剛，岡建雄：密閉式冷却塔によるフリークーリングの実験と計算方法に関する研究，日本建築学会環境系論文集，No. 625，pp. 343-348，2007. 8
- 21) 社団法人公共建築協会：国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修 建築設備設計基準 平成 18 年版，財団法人全国建設研修センター，2007. 5
- 22) 菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，宮坂敏一：RC 造戸建の外断熱住宅における躯体蓄熱型冷房システムに関する性能評価 床冷房の可能性と問題点，日本建築学会環境系論文集，No. 626，pp. 463-470，2008. 4
- 23) 蔵澄美仁，小林和幸：床冷房の至適温熱環境域に関する研究，空気調和・衛生工学会論文集，No. 114，pp. 39-49，2006. 9
- 24) 秋元孝之ら：工業化住宅における床冷房に関する研究 その 1 ～ 3，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ，pp. 1195-1200，2005. 9

（2009 年 4 月 23 日原稿受理，2009 年 9 月 4 日採用決定）