居住者の温冷感を考慮した空調負荷計算法に関する研究

－ 間欠空調における予熱予冷負荷の発生性状および過大な予熱予冷負荷への対策－

A STUDY ON AIR-CONDITIONING LOAD CALCULATION METHOD
CONSIDERING THERMAL SENSATION OF THE RESIDENT－ Properties of the warming-up load and pull-down load in intermittent air conditioning
and the measures to the excessive warming-up load and pull-down load －

崔 軍*, 渡辺 俊行**

Jun CUI and Toshiyuki WATANABE

Currently, the air-conditioning load is calculated for transmission thermal energy from the wall surfaces to indoor air because the air-conditioning load is defined for the thermal energy that it should supply indoor air with to keep a fixed room temperature. The air-conditioning load calculated in this way becomes the function of the room temperature set point and is unrelated to thermal sensation of the resident. This paper suggested a new load calculation method which considered thermal sensation of the resident based on a point of view of comfort air conditioning. By this new load calculation method, the load is calculated for thermal energy to remove by the room to keep PMV of the indoor specific place a set point. However, in intermittent air-conditioning system, the load occurs greatly to control PMV in a set point in a short time. This paper is aimed at examining the effectiveness of the new load calculation method in intermittent air-conditioning system.

Keywords: Load calculation, Thermal sensation, Predicted mean vote, Intermittent air conditioning, Warming-up load, Pull-down load

負荷計算, 温冷感, 予想平均温冷感申告 (PMV), 間欠空調, 予熱負荷, 予冷負荷

1. はじめに

現在、空調負荷は、室温を一定に保つために室内空気に供給すべき熱量として定義されているため、一定の室温が維持されたときに壁体などから室内空気への伝達熱量として計算されている。このような空調負荷計算法（以下、「現行法」）で求めた負荷は、室温設定値の関数となる。それに基づいて設計された空調システムでは、負荷計算の段階で十分に考慮されていない居住者の温冷感は竣工後の運用段階で制御系などを援用して、快適性などの不明部分を調整しているのが現状である。

筆者らは、快適空調の観点から、室内のある検討点の温熱指標 PMV（予想平均温冷感申告）を設定値に確保するために室内（空気や壁面など）から除去すべき熱量を空調負荷（冷房負荷は正值、暖房負荷は負値）と定義し、居住者の温冷感を考慮した空調負荷計算法（以下、「温冷感法」）を提案した¹⁾。

「温冷感法」は、居住者の温冷感に着目して負荷計算の段階で居住者の温冷感と空調負荷との関係を把握することを目的としている。「現行法」と「温冷感法」の最大の違いは、負荷は室温を維持するためのものとして求めるか、居住者の温冷感を維持するためのものとして求めるかにある。「現行法」による負荷は、室温を設定値に維

持するためのものと考えられる。それに対し、「温冷感法」による負荷は、室内のある検討点での居住者の快適性を設定値に保つためのものと定義されている。「現行法」で求めた負荷が過不足なく処理されていても居住者の快適性は外界気象条件に追従して変動する恐れがあるが、「温冷感法」では、居住者の快適性を保つために室内空気や壁面から除去すべき熱量が空調負荷として定義されているため、空調負荷が処理されていれば、室温が気象条件に追従して変動しても、検討点での快適性は担保されるはずである。ただし、他の点も検討点と同じように快適性が保たれる訳ではない。

「温冷感法」の有効性は、これまで、連続空調を対象に検討を行い明らかにされた²⁾。しかしながら、間欠空調では翌日の空調開始前に検討点の PMV が設定値から大きく外れた場合は短時間で PMV を設定値に制御するには大きな予熱予冷負荷が生じる。このような問題は「現行法」でも起きるが、「温冷感法」では、計算モデルの性格上、翌日の空調開始後に予熱予冷負荷が大きく発生するのではないかと推測される。とくに壁面から熱を除去する（たとえば、放射冷暖房の場合、検討点の PMV が設定値から大きく外れたとき、壁体の熱容量の影響で壁面の温度を短時間に変化させるには莫大な除去熱量（負荷）が発生し、現実には負荷を処理しきれない恐

* 近畿大学工学部建築学科 准教授・博士(工学)

** 西部ガス(株)総合研究所 顧問
九州大学 名誉教授・工博Assoc. Prof., Dept. of Architecture, School of Engineering, Kinki Univ., Dr. Eng.
Adviser, Research and Development Institute, Saibu Gas Co., Ltd.
Prof. Emeritus, Kyushu Univ., Dr. Eng.

図1 建物寸法（単位：m）と壁面番号

れがある。このような問題に対し、運転管理の現場では予熱予冷時間を長く取る方法で対処することが考えられるが、予熱予冷時間に限度があり、過大な予熱予冷負荷は空調機器や熱源機器容量の増大に繋がる。

本文は、「温冷感法」で求めた間欠空調の予熱予冷負荷（検討点のPMV 設定値を 0 とした場合）に着目し、その発生性状および過大な予熱予冷負荷への対策について検討して間欠空調における「温冷感法」の有効性を明らかにすることを目的とする。

表2 検討点の位置

検討点	室の奥	窓付近
x,y,z	1.0,3.2,0.85	6.2,3.2,0.85

注：座標 x,y,z は図1に準じる。

2. 対象建物の概要と計算条件

建物は、東京にあるものとする（図1）。計算対象室は基準階に位置する基準室である。外壁6と窓7以外はすべて内壁として扱われる。内壁の反対側の表面温度は図1に示すように、たとえば、壁1の反対側の表面温度は壁3、床4の反対側の表面温度は天井5の温度に等しいと仮定している。また、今回使用する基準室モデルはインテリアゾーンとペリメーターゾーンを分けずに1室としたものである。壁体構成を表1に示す。検討点は、室の奥と窓付近の二箇所（床上0.85m）に配置され、その位置の詳細は表2に示す通りである。

計算は、東京の標準気象データを利用して行う。12月1日から12月31日までの1ヵ月間を助走計算期間とする。助走計算期間中にも本計算と同様に間欠運転とする。本計算は1月1日から12月31日まで行う。空調時間帯は8:00~18:00とし、隙間風、内部発熱、内部水蒸気発生はないものとする。本来、空調時間帯は、外気導入と内部発熱のない予熱予冷時間帯と、外気導入と内部発熱のある執務時間帯で構成されると考えるべきであるが、本文では、空調開始（8:00）から停止（18:00）までの間に内部発熱等がないものとしたため、空調時間帯と執務時間帯を区別せずに計算を行っている。計算時間間隔は10分とする。また、土日や休日の設定は行っていない。なお、内表面对流熱伝達率は一律4.4 W/(m²・K)とする³⁾。

室内条件は、「現行法」の場合、設定室温を25℃とし、「温冷感法」の場合は、検討点のPMV 設定値を0とする。居住者の温冷感、環境側の4要素－空気温度、湿度、気流速度、平均放射温度および人体側の2要素－着衣量、代謝量の影響を受ける。居住者の温冷感と空調負荷の関係を如実に把握するには環境側の4要素の空間分布を考慮しなければならない。しかしながら、そのような計算モデルは、計算時間が長く、通常の最大負荷計算や空調システムのシミュ

表1 壁体構成

部位	構成 (室内側から)	厚さ mm	部位	構成 (室内側から)	厚さ mm
外壁 (6)	石膏ボード	12	天井 (5)	ロックウール吸音板	12
	半密閉空気層	—		石膏ボード	9
内壁 (1, 2 3, 8)	ポリスチレン	25	床 (4)	半密閉空気層	—
	コンクリート	120		コンクリート	120
	モルタル	20		プラスチックタイル	3
	タイル	8		プラスチックタイル	3
窓(7)	透明ガラス	6		コンクリート	120
				半密閉空気層	—
				石膏ボード	9
				ロックウール吸音板	12

表3 処理熱量と検討点のPMV（「現行法」）

現行法	冬期 1,2,11,12月		中間期 3,4,5,10月		夏期 6,7,8,9月		年間 1~12月	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
処理熱量 [MJ]	776	2,652	1,121	1,423	3,750	101	5,647	4,176
計 [MJ]	3,428		2,544		3,851		9,823	
PMV (室の奥)	0.134	-0.090	0.103	-0.066	0.158	-0.016	0.137	-0.075
PMV (窓付近)	0.132	-0.116	0.108	-0.083	0.170	-0.028	0.145	-0.097

レーションには向かない。そこで、本文では、「温冷感法」の実用性を考慮し、現行の負荷計算法と同様に室内空気温湿度を一様分布とした。計算モデル上では、空気湿度や潜熱負荷の計算も行えるが、本文は、簡単な条件設定の下で（隙間風、内部発熱、内部水蒸気発生はないものとして）顕熱負荷を中心に検討するものであるため、計算期間中における空气の絶対湿度は初期値のままで変わらないが、室温変動による相対湿度の変化は計算される。PMVを算出する際、居住者の代謝量1.1 met、同じく着衣量0.8 clo、気流速度0.1 m/sとする。

3. 「現行法」による計算結果

ここでは、検討点「窓付近」と「室の奥」について計算を行う。夏期・冬期の代表週の気象条件を図2と図3に示す。検討点「窓付近」についての代表週の計算結果を図4と図5に示す。

図4と図5より、「現行法」では、空調時間帯の室温は設定値25℃で安定するが、「窓付近」の快適性（PMV）は外界気象条件の影響を受け変動していることがわかる。また、夏期では、空調開始後に特に大きな予冷負荷が生じていないが、冬期では、予熱負荷が大きく発生している。これは、夏期に比べ、冬期では翌日の空調開始前の室温が設定室温からのズレが大きいからである。

計算期間（1月1日～12月31日）中の処理熱量の積算値と期間中のPMV 平均値を表3に示す。設定室温と気象条件が与えられれば、「現行法」で求めた負荷は、検討点の位置と関係なく一定であるが、PMVは検討点によって異なる（表3）。

上記の結果から、「現行法」で求めた負荷が完全に処理されていても検討点のPMVは気象条件の影響を受け変動し、躯体等の熱容量により空調開始後に大きな予熱負荷が発生する可能性があることがわかる。

4. 「温冷感法」による計算結果

「温冷感法」では、検討点のPMVを設定値に保つために室内か

図2 夏期代表週の外界気象条件

図3 冬期代表週の外界気象条件

図4 「現行法」の結果 (夏期、窓付近)

図5 「現行法」の結果 (冬期、窓付近)

ら除去すべき熱量を空調負荷 (冷房負荷は正值、暖房負荷は負値) と定義している。検討点の PMV を設定値に保つために、室内空気や床、天井、壁、放射パネルからの熱除去が考えられる。本文では、室内空気や床、天井、壁、放射パネルを「熱除去部位」と称し、室内空気以外の「熱除去部位」を「壁面」とも称する。ただし、特定の壁面については、床、天井または壁 8 のように示す。

空気から熱を除去することによって検討点の PMV を保つ場合の例として、通常のエアコンや AHU、FCU による空調方式が考えられる。この場合、「温冷感法」は、「現行法」と違って室温を設定値に制御するためのものではなく、空気温度を操作して検討点の PMV を設定値に安定させることを目的としている。計算上、室温の変動に付随する壁面 (床、天井、壁) の温度変化も考慮

図6 壁 8 の寸法 (単位: m)

されている。壁面 (床、天井、壁、パネル) から熱を除去することによって検討点の PMV を保つ場合の例としては、床・天井・壁放射冷暖房が考えられる。この場合は、床や天井または壁の温度を操作して検討点の PMV を設定値に安定させることを目的としている。床・天井・壁の温度変動に付随する空気温度の変化も計算される。

本文は、間欠空調における「温冷感法」の予熱予冷負荷の発生性状およびその対策について検討するものである。予熱予冷負荷に影響を及ぼす要素としては、「熱除去部位」、検討点の位置および季節などが考えられる。本文では、「熱除去部位」として室内空気と壁 8 (図 1、図 6)、検討点として「窓付近」と「室の奥」、季節として夏期と冬期を選び比較検討を行う。

4.1 室内空気から熱を除去する場合

ここでは、検討点の PMV を設定値に維持するため、室内空気から除去すべき熱量を空調負荷とする。計算上、室内空気温度を一様分布とする

4.1.1 検討点「窓付近」について (夏期)

図 7 より、最大負荷に制限を設けない場合、「窓付近」の PMV が

すべての空調時間帯において設定値 0 に維持されているが、外気温度が高く、日射量の多い日には大きな予冷負荷が生じることがわかる。予冷負荷は最大、21 日 2.2kW、26 日 2.8kW、27 日 3.5kW に達している。予冷負荷出現後のピーク負荷 (以下、日中ピーク負荷) は、21 日 1.9kW、26 日 2.5kW、27 日 2.7kW になっている。予冷負荷と日中ピーク負荷との比は、21 日 1.16、26 日 1.12、27 日 1.30 となる。空調時間帯の床・天井・壁 8 の表面温度は外界気象条件などの影響を受け 25℃～27.2℃の範囲内で推移しているが、室温は概ね 23℃～24℃を変動している。

負荷の最大値を 2kW として負荷を制限する場合 (以下、「負荷制限有り」) の計算結果を図 8 に示す。図 8 より、冷房負荷が 2kW に達すると空気からの除去熱量がそれ以上増えないため、負荷の大きい立上がり時や日中に室温が上昇し、床・天井・壁 8 の表面温度も上がることがわかる。2kW の負荷制限有りの場合、「窓付近」の PMV は、設定値 0 を上回り、26 日の空調立上がり時に 0.15、日中に 0.22、27 日の空調立上がり時に 0.31、日中に 0.35 まで上昇しているが、いずれも 0.5 以下に抑えられている。この結果は、適切な負荷制限を行えば、検討点の快適性を許容範囲内に確保しながら、通常空調機器で処理できる空調負荷を求められることを示唆している。

4.1.2 検討点「室の奥」について (夏期)

検討点「室の奥」についての計算結果を、図 9 と図 10 に示す。図 9 より、「負荷制限無し」の場合、「室の奥」の PMV はすべての空調時間帯において設定値 0 に確保されているが、外気温度が高く、日射量の多い日には大きな予冷負荷が生じる。予冷負荷は最大、21 日 2.2kW、26 日 2.8kW、27 日 3.5kW に達している。また、日中ピーク負荷は、21 日 1.9kW、26 日 2.4kW、27 日 2.6kW となっている。予冷負荷と日中ピーク負荷との比は、21 日 1.16、26 日 1.17、27 日 1.35 となる。検討点「窓付近」に比べ、「室の奥」のほうは、予冷負荷が変わらないが日中ピーク負荷がやや小さい傾向にあることがわかる。空調時間帯の床・天井・壁 8 の表面温度は、ほぼ 25℃～27.2℃の範囲内で推移し、室温は概ね 23℃～24℃になっている。

図 10 は、「負荷制限有り」の場合の「室の奥」の計算結果である。最大負荷を 2kW 以下に制限すると、「室の奥」の PMV は、設定値 0 を上回り、26 日の立上がり時に 0.14、日中に 0.18、27 日の立上

図 7 計算結果（空気から熱を除去、負荷制限無し、窓付近、夏期）

図 8 計算結果（空気から熱を除去、負荷制限有り、窓付近、夏期）

図 9 計算結果（空気から熱を除去、負荷制限無し、室の奥、夏期）

図 10 計算結果（空気から熱を除去、負荷制限有り、室の奥、夏期）

がり時に 0.30、日中に 0.32 まで上昇しているが、いずれも 0.5 以下に抑えられている。また、検討点「窓付近」に比べ、「室の奥」のほうは負荷制限による PMV の上昇がやや小さい。これは、「窓付近」より「室の奥」のほうは外乱からの影響を受けにくいからである。

4.1.3 検討点「窓付近」について（冬期）

冬期 1 週間（12 月 22 日～28 日）の計算結果を図 11 と図 12 に示す。

図 7 と図 11 から、冬期の予熱負荷は、夏期の予冷負荷に比べ大きく発生することがわかる。

図 11 より、「負荷制限無し」の場合、「窓付近」の PMV はすべての空調時間帯において設定値 0 に確保されているが、翌日の空調開始後に大きな予熱負荷が生じる。12 月 22 日～28 日の予熱負荷は、日にもよるが 4.7kW～5.8kW に達し、立ち上がり直後の室温は 27°C を越えている。

「負荷制限有り」の場合（図 12）は、空調時間帯の室温が下がり、立ち上がり時の PMV は設定値 0 を下回り -0.72 まで低下した日（28 日）があった。しかしながら、PMV の低下は立ち上がり直後の比較的短時間内に発生しており、PMV が -0.5 を下回る時間は立ち上がり直後の 10 分～20 分の間に集中している。

上記の結果から、負荷制限によって予熱負荷を抑えるには、夏期

図 11 計算結果（空気から熱を除去、負荷制限無し、窓付近、冬期）

図 12 計算結果（空気から熱を除去、負荷制限有り、窓付近、冬期）

図 13 計算結果（空気から熱を除去、負荷制限無し、室の奥、冬期）

図 14 計算結果（空気から熱を除去、負荷制限有り、室の奥、冬期）

より冬期の負荷制限値を大きくする必要があることがわかる。

4.1.4 検討点「室の奥」について（冬期）

検討点「室の奥」についての計算結果を図 13 と図 14 に示す。「負荷制限無し」の場合、「室の奥」の PMV はすべての空調時間帯において設定値 0 に確保されているが、翌日の空調開始後に大きな予熱負荷が生じる（図 13）。12 月 22 日～28 日の予熱負荷は、日にもよるが 4.5kW～5.7kW に達し、空調立上がり時の室温は 27°C を越えている。

「負荷制限有り」の場合（図 14）は、空調時間帯の室温が下がり、翌日の空調開始後の PMV は設定値 0 を下回り -0.68 まで低下した日（28 日）があった。PMV の低下は空調開始後の比較的短時間内に発生しており、PMV が -0.5 を下回る時間は空調開始後の 10 分～20 分の間に集中している。

4.1.5 一定期間の処理熱量と PMV

上述したように、「負荷制限無し」の場合は、翌日の空調開始後に短時間で大きな予熱予冷負荷が発生し、それらを対象建物の最大冷暖房負荷として空調機器を選定すると空調機器の容量が過大になりがちである。適切な負荷制限を行えば、検討点の PMV を許容範囲内に抑えながら通常の空調機器で処理できる負荷が求められる。空

図 15 計算結果（壁 8 から熱を除去、負荷制限無し、窓付近、夏期）

図 16 計算結果（壁 8 から熱を除去、負荷制限有り、窓付近、夏期）

図 17 計算結果（壁 8 から熱を除去、負荷制限無し、室の奥、夏期）

図 18 計算結果（壁 8 から熱を除去、負荷制限有り、室の奥、夏期）

表 4 検討点の PMV と処理熱量（空気から熱を除去）

負荷制限無し	冬期 1,2,11,12 月		中間期 3,4,5,10 月		夏期 6,7,8,9 月		年間 1~12 月	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
室の奥	PMV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	処理熱量[MJ]	1,167	3,135	1,438	1,711	4,149	150	6,755
	計 [MJ]	4,303		3,150		4,299		11,751
窓付近	PMV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	処理熱量[MJ]	1,192	3,204	1,473	1,756	4,185	159	6,851
	計 [MJ]	4,396		3,229		4,344		11,969

表 5 検討点の PMV と処理熱量（空気から熱を除去）

負荷制限有り	冬期 1,2,11,12 月		中間期 3,4,5,10 月		夏期 6,7,8,9 月		年間 1~12 月	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
室の奥	PMV	0.003	-0.072	0.000	-0.012	0.009	0.000	0.005
	処理熱量[MJ]	1,120	2,996	1,429	1,692	4,131	150	6,679
	計 [MJ]	4,116		3,121		4,281		11,518
窓付近	PMV	0.003	-0.078	0.000	-0.014	0.011	0.000	0.006
	処理熱量[MJ]	1,138	3,049	1,461	1,734	4,164	159	6,764
	計 [MJ]	4,187		3,195		4,323		11,705

気から熱を除去する場合の「負荷制限無し」と「負荷制限あり」の期間処理熱量と PMV を表 4 と表 5 に示す。処理熱量は計算期間中の積算値で、PMV は計算期間中の平均値である。

図 19 計算結果（壁 8 から熱を除去、負荷制限無し、窓付近、冬期）

図 20 計算結果（壁 8 から熱を除去、負荷制限有り、窓付近、冬期）

図 21 計算結果（壁 8 から熱を除去、負荷制限無し、室の奥、冬期）

図 22 計算結果（壁 8 から熱を除去、負荷制限有り、室の奥、冬期）

表 6 検討点の PMV と処理熱量（壁 8 から熱を除去）

負荷制限無し	冬期 1,2,11,12 月		中間期 3,4,5,10 月		夏期 6,7,8,9 月		年間 1~12 月	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
室の奥	PMV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	処理熱量[MJ]	1,949	4,003	1,988	2,254	4,448	273	8,385
	計 [MJ]	5,952		4,242		4,721		14,914
窓付近	PMV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	処理熱量[MJ]	2,592	4,779	2,477	2,760	4,760	410	9,830
	計 [MJ]	7,371		5,237		5,170		17,778

表 7 検討点の PMV と処理熱量（壁 8 から熱を除去）

負荷制限有り	冬期 1,2,11,12 月		中間期 3,4,5,10 月		夏期 6,7,8,9 月		年間 1~12 月	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
室の奥	PMV	0.020	-0.132	0.004	-0.035	0.029	-0.002	0.020
	処理熱量[MJ]	1,696	3,604	1,913	2,156	4,395	269	8,005
	計 [MJ]	5,300		4,070		4,665		14,035
窓付近	PMV	0.046	-0.182	0.013	-0.061	0.051	-0.006	0.039
	処理熱量[MJ]	2,029	4,021	2,267	2,512	4,654	391	8,949
	計 [MJ]	6,049		4,779		5,044		15,873

表 4 と表 5 から、「負荷制限無し」の場合、どの検討点の PMV も年間を通して 0 になっているが、冷暖房負荷の最大値を 2kW として負荷を制限した場合は、PMV が設定値 0 から外れ、冬期暖房時

に「窓付近」の PMV がやや低下し-0.078 になることがわかる。

表 4 と表 5 を比較すると、どの検討点でも負荷制限により処理熱量が下がることがわかる。検討点「室の奥」において、「負荷制限無し」の場合より、「負荷制限有り」の場合の処理熱量は、冬期が約 4.3%、夏期が約 0.4%、年間が約 2.0%減少している。検討点「窓付近」も同様に、「負荷制限無し」の場合より、「負荷制限有り」の場合の処理熱量は、冬期が約 4.8%、夏期が約 0.5%、年間が約 2.2%減少している。負荷制限による処理熱量の減少幅は夏期冷房時より冬期暖房時のほうが大きくなるのは、冬期暖房時の予熱負荷が夏期冷房時の予冷負荷より発生しやすく、その値も大きいからである。

上記の結果から、最大負荷に制限を設ける場合、冷房負荷と暖房負荷に一律の制限値を設けるのではなく、建物の仕様、検討点の位置および気象条件等を考慮して冷房負荷と暖房負荷の制限値を個別に決める必要がある。今回の計算条件では、冷房負荷の制限値より、暖房負荷の制限値を大きくする必要がある。

負荷制限の有無にかかわらず、検討点「室の奥」より「窓付近」の処理熱量がやや高い（表 4、表 5）。これは、「窓付近」が外界の影響を受けやすいからである。

4.2 壁から熱を除去する場合

壁パネルを利用した放射冷暖房システムを念頭に、壁 8 を熱除去部位として、検討点「窓付近」と「室の奥」について計算を行った。ここでは、検討点の PMV を設定値に保つため、壁 8 から除去すべき熱量を空調負荷とする。

4.2.1 検討点「窓付近」について（夏期）

検討点「窓付近」についての計算結果を、図 15 と図 16 に示す。「負荷制限無し」の場合、「窓付近」の PMV はすべての空調時間帯において設定値 0 に維持されているが、外気温度が高く、日射量の多い日には大きな予冷負荷が生じている（図 15）。予冷負荷は最大、21 日 4.1kW、26 日 6.8kW、27 日 5.8kW に達している。また、日中ピーク負荷は、21 日 2.7kW、26 日 3.7kW、27 日 3.6kW になっている。予冷負荷と日中ピーク負荷との比は、21 日 1.52、26 日 1.84、27 日 1.61 となる。これらの結果から、壁 8 から熱を除去する場合の予冷負荷、日中ピーク負荷、および両者の比はいずれも空気から熱を除去する場合より大きいことがわかる。

壁 8 のみから熱を除去して検討点「窓付近」の PMV を設定値に保つにはかなり低い壁面温度が要求される。26 日と 27 日の壁 8 の表面温度が 0℃を下回る時間帯があった。「温冷感法」では、このような場合でも理論上負荷を求めることはできるが、求めた負荷は現実に処理できない恐れがある。

「負荷制限有り」の場合の計算結果を図 16 に示す。冷房負荷が 2kW に達すると壁 8 からの除去熱量がこれ以上増えないため、室温、床・天井表面温度が上がり、「窓付近」の PMV は、設定値 0 を維持できなくなって、26 日の空調時間帯に入った直後に 0.24、日中に 0.46、27 日の空調時間帯に入った直後に 0.39、日中に 0.58 まで上昇している。27 日に PMV が 0.5 を超える時間が約 3 時間半に及ぶ。「負荷制限無し」の場合に比べると、壁 8 の最低温度が上昇し、約 8℃になった。

空気から熱を除去する場合と同様に、適切な負荷制限を行えば、

壁から熱を除去する場合でも、検討点の快適性を許容範囲内に確保しながら、通常の空調機器で処理できる空調負荷を計算することができる。

4.2.2 検討点「室の奥」について（夏期）

「室の奥」についての計算結果を図 17 と図 18 に示す。「負荷制限無し」の場合、「室の奥」の PMV がすべての空調時間帯において設定値 0 に維持されているが、外気温度が高く、日射量の多い日には大きな予冷負荷が生じる（図 17）。予冷負荷は最大、21 日 3.3kW、26 日 5.0kW、27 日 5.1kW に達している。また、日中ピーク負荷は、21 日 2.4kW、26 日 3.2kW、27 日 3.2kW になっている。予冷負荷と日中ピーク負荷との比は、21 日 1.38、26 日 1.56、27 日 1.59 となる。検討点が「窓付近」より、「室の奥」の場合は予冷負荷と日中ピーク負荷がやや小さい傾向にある。

図 18 は、「負荷制限有り」の場合の「室の奥」の計算結果である。「室の奥」の PMV は、設定値 0 を上回り、26 日の空調開始後に 0.22、日中に 0.35、27 日の空調開始後に 0.36、日中に 0.47 まで上昇しているが、いずれも 0.5 以下に抑えられている。また、検討点「窓付近」の場合に比べると、「室の奥」の場合の負荷制限による PMV の上昇はやや小さいことがわかる。

4.2.3 検討点「窓付近」について（冬期）

冬期の計算結果を図 19 と図 20 に示す。冬期空調時間帯に入った直後の予熱負荷は、夏期に比べ大きく発生することが、図 15 と図 19 からわかる。

「負荷制限無し」の場合、「窓付近」の PMV はすべての空調時間帯において設定値 0 に維持されているが、空調開始後に大きな予熱負荷が生じる（図 19）。12 月 22 日～28 日の予熱負荷は最大、13.6kW～18.3kW になり、空調開始後に壁 8 の最高温度は 85℃に達している（22 日）。

「負荷制限有り」の場合（図 20）は、空調時間帯における壁 8 の表面温度は「負荷制限無し」の場合より下がり、その最高温度が約 40℃程度になった。空調開始後の PMV は設定値 0 を下回り、-0.77 まで低下した日（22 日）もあった。PMV の低下は暖房立ち上がりから比較的長時間にわたって発生している。PMV が-0.5 を下回る時間は立ち上がり後の 1 時間以内に集中している。

空気から熱を除去する場合（図 12）に比べ、壁 8 から熱を除去する場合（図 20）は、負荷制限による快適性の低下が大きい。

4.2.4 検討点「室の奥」について（冬期）

検討点「室の奥」についての計算結果を図 21 と図 22 に示す。「負荷制限無し」の場合、「室の奥」の PMV はすべての空調時間帯において設定値 0 に維持されているが、空調開始後に大きな予熱負荷が生じている（図 21）。12 月 22 日～28 日の予熱負荷は最大、8.6kW～10.3kW になり、空調開始後に壁 8 の最高温度は 58℃に達した（22 日、28 日、図 21）。放射面（壁 8）から検討点「室の奥」までの距離が近いので、「窓付近」の場合に比べ予熱負荷や壁 8 の表面温度は下がっている。

「負荷制限有り」の場合（図 22）は、空調時間帯における壁 8 の最高温度は約 39℃となり、最大負荷が制限されない場合（図 21）

の 58℃より大きく下がっている。空調開始後の PMV は設定値 0 を下回り、-0.71 まで低下した日（28 日、図 22）もあったが、PMV の低下は空調開始後の比較的短時間内に発生しており、PMV が-0.5 を下回る時間は空調開始後の 40 分の間に集中している。検討点が「窓付近」に比べ、「室の奥」の場合は負荷制限による PMV の低下が小さい。これは、壁 8 と「室の奥」の距離が近いためである。

4.2.5 一定期間の処理熱量と PMV

「負荷制限無し」の場合は、どの検討点でも年間を通して PMV が設定値 0 に安定しているが（表 6）、冷暖房負荷の最大値を 2kW として負荷を制限した場合は、PMV が設定値 0 から外れ、冬期暖房時に「窓付近」の PMV が-0.182 まで低下している（表 7）。

表 6 と表 7 を比較すると、最大 2kW までの冷暖房負荷制限により各検討点の期間処理熱量が下がることがわかる。検討点「室の奥」において、「負荷制限無し」の場合より、「負荷制限有り」の場合の処理熱量は、冬期が約 11.0%、夏期が約 1.2%、年間が約 5.9%減少している。「窓付近」も同様に、「負荷制限無し」の場合より、「負荷制限有り」の場合の処理熱量は、冬期が約 17.9%、夏期が約 2.4%、年間が約 10.7%減少している。

負荷制限による処理熱量の減少幅は、夏期冷房時より冬期暖房時のほうが大きい（表 6、表 7）。

壁面から熱を除去する場合も、空気から熱を除去する場合と同様に、最大負荷に制限を設ける際、冷房負荷と暖房負荷に一律の制限値を設けるのではなく、建物の仕様、検討点の位置および気象条件等を考慮して冷房負荷と暖房負荷の制限値を個別に決める必要がある。今回の計算条件では、冷房負荷の制限値より、暖房負荷の制限値を大きくする必要がある。

空気から熱を除去する場合（表 4、表 5）に比べ、壁から熱を除去する場合（表 6、表 7）の処理熱量が大きく、負荷制限による期間処理熱量の減少幅も大きい。

負荷制限の有無にかかわらず、検討点「室の奥」より「窓付近」の処理熱量が高い（表 6、表 7）。その差は、空気から熱を除去する場合より、壁から熱を除去する場合のほうが大きい。

5. おわりに

本文では、「温冷感法」について、間欠空調の空調開始後の負荷に着目し、室内空気と壁面を熱除去部位としてケーススタディーを行い、以下の知見を得た。

- 1) 「温冷感法」では、大きな予熱予冷負荷が発生する場合がある。特に壁面から熱を除去する場合は、壁面と検討点の距離が長ければ大きな予熱予冷負荷が発生しやすい。
- 2) 空気から熱を除去する場合より、壁面から熱を除去する場合の予熱予冷負荷が大きい。
- 3) 冬期は、夏期より予熱負荷が発生しやすい。
- 4) 大きな予熱予冷負荷が発生すると、現実にそれを処理するための空調機器の容量が大きくなる問題が生じる。この問題に対処するため、負荷計算のときに適切な負荷制限を行うことが有効である。適切な負荷制限によって、検討点の快適性が許容範囲内に確保され、通常空調機器で処理できる空調負荷が求められる。
- 5) 最大負荷に制限を設ける場合、冷房負荷と暖房負荷に一律の制限値を設けるのではなく、建物の仕様、検討点の位置および気象条件等を考慮して冷房負荷と暖房負荷の制限値を個別に決める必要がある。今回の計算条件では、冷房負荷の制限値より、暖房負荷の制限値を大きくする必要がある。
- 6) 空気から熱を除去する場合に比べ、壁から熱を除去する場合の期間処理熱量が大きく、負荷制限による期間処理熱量の減少幅も大きい。
- 7) 「窓付近」より「室の奥」の方が、外乱の影響を受けにくいという予熱予冷負荷がやや小さく、負荷制限による PMV の設定値からのズレもやや小さい。
- 8) 負荷制限の有無にかかわらず、検討点「室の奥」より「窓付近」の処理熱量が高い。

参考文献

- 1) 崔軍、渡辺俊行：居住者の温冷感を考慮した空調負荷計算法に関する研究 その 1 単室モデルの概要、日本建築学会中国支部研究報告集、第 31 巻、環境工学 416、2008.3(CD-ROM)
- 2) 崔軍、渡辺俊行：居住者の温冷感を考慮した空調負荷計算法に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.638、pp.449-456、2009.4
- 3) 田中俊六、武田仁、岩田利枝、土屋喬雄、寺尾道仁：最新建築環境工学改定 3 版、井上書院、p.194、2009

（2010年3月17日原稿受理，2010年8月6日採用決定）