



Title	高断熱事務所建物における室温変動の許容を前提とした簡易予測制御の提案と検証
Author(s)	菊田, 弘輝; Kikuta, Koki; 絵内, 正道 他
Citation	大会学術講演梗概集. D-2, 環境工学II, 熱, 湿気, 温熱感, 自然エネルギー, 気流・換気・排煙, 数値流体, 空気清浄, 暖冷房・空調, 熱源設備, 設備応用, 2006, 1057-1060
Issue Date	2006-07-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50678
Rights	日本建築学会. 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである.
Type	journal article
File Information	GKKD-2_1057-1060.pdf



高断熱事務所建物における室温変動の許容を前提とした簡易予測制御の提案と検証

正会員 ○菊田 弘輝*1 同 絵内 正道*2
同 羽山 広文*3 同 森 太郎*4

高断熱建物 躯体蓄熱暖冷房システム 簡易予測制御
運転方法 数値シミュレーション

1. はじめに

寒冷地の高断熱事務所建物を対象とした場合、暖房期の室内発生熱は暖房用熱源として生きてくることから、低温度差の暖房システムを計画・設計することが可能となる。対照的に、冷房期の室内発生熱は当然暖房期と性格が異なるものの、室温が安定化すると考えられるため、室温変動の許容を前提とした冷房システムを計画・設計することが可能となる。

更に、暖冷房の運転方法も自由度を増してくるから、連続運転の場合、機器稼働時間は増加するが、熱源機器容量の縮小に繋がる¹⁾。その一方で、夜間運転の場合、昼間電力が夜間にシフトすることによって、電力負荷平準化に繋がる可能性がある²⁾。そのため、建築設備のイニシャルコストやランニングコストの削減が期待できる。しか

し、現状を鑑みると、RC造外断熱事務所建物であっても、土日の運転停止の問題や日中の室温上昇の問題等が必ずしも解決された訳ではない³⁾。

本報の目的は、高断熱事務所建物+躯体蓄熱暖冷房システムにおいて、室温変動の許容を前提とした簡易予測制御の提案と検証を行うことである。具体的には、執務者にとって快適範囲内の室温変動であるか否かを判断し、本システムの連続運転と夜間運転の有用性について検討する。最終的に、季節毎対応に準拠した簡易予測制御を夜間運転に適用しても、快適な室内温熱環境の入手が可能なることを明らかにする。

2. 簡易予測制御の特性

2.1 熱源機器容量の算定

建物モデルの基本形を図1に示す。3000[m²]標準庁舎モデルを参考にし、4階建ての延べ床面積3168[m²] (東西方向:45.0[m], 南北方向:17.6[m])のRC造外断熱事務所建物(札幌, PAL201[MJ/m²・year], 平日の執務時間帯9:00~17:00)+躯体蓄熱暖冷房システム(13A架橋ポリエチレン管, 配管ピッチ150[mm], 配管埋設深さ70[mm])を解析対象とした。

平均負荷計算法^{4),5)}で算定した熱源機器容量を表1に示す。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。熱源機器容量は(日必要室内負荷/運転時間)と(日必要外気負荷/執務時間)との和で表される。暖房期の室内負荷と外気負荷の比率は約1:4, 冷房期の室内負荷と外気負荷の比率は約6:1となった。つまり、外気温が低いことによる暖房期の外気負荷の増加, 室内発生熱が大きいことによる冷房期の室内負荷の増加という、言わば地域性や建物用途が関係したものと考えられる。

表1 平均負荷計算法で算定した熱源機器容量

設計室温[°C]		22.0	26.0		
熱源機器容量[kW]	10時間間欠運転	156.5	151.5		
	24時間連続運転	140.9	77.7		
暖冷房負荷[Wh/day]	室内負荷	268162	1265159		
	外気負荷	1037482	199913		
室内負荷と外気負荷の比率		約1:4		約6:1	
単位床面積当りの熱負荷の内訳[W/m ²] ※延べ床面積の2/3	貫流	14.4	3.6	2.0	16.6
	日射	-1.6		5.4	
	室内	-9.2		9.2	
	換気	13.6	13.6	2.6	2.6

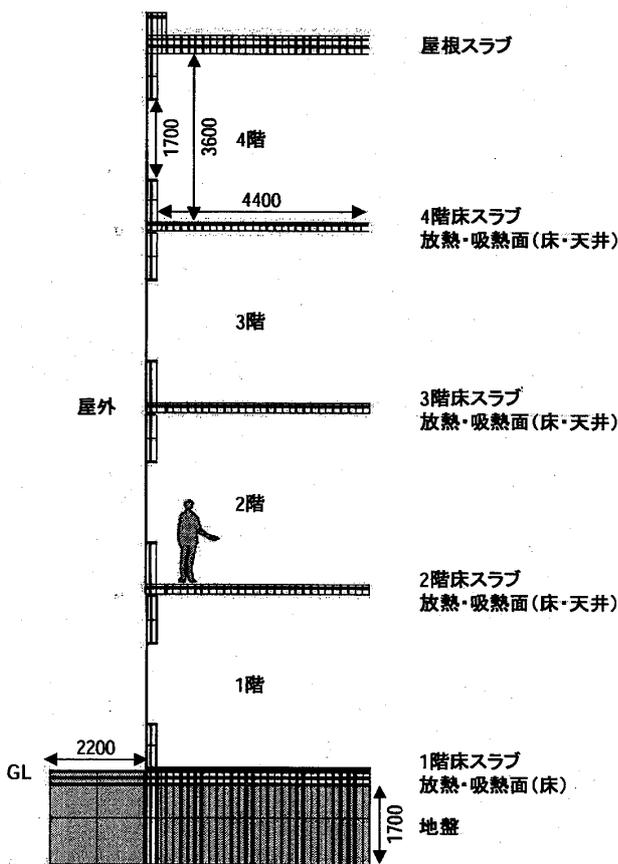


図1 建物モデルの基本形(奥行き方向の距離:4.4[m])

Proposal and Verification of Simplified Predictive Control as Precondition for Permissible Range of Room Temperature Fluctuation for Highly Insulated Office Buildings

KIKUTA Koki, ENAI Masamichi, HAYAMA Hirofumi and MORI Taro

2.2 簡易予測制御の手順

新たに提案する簡易予測制御とは、HASP気象データの日平均値を用いて算定した負荷を予測負荷とし、その負荷に基づいた設定水温の季節変動を近似化し、その補完した水温(以下、近似設定水温)を予め躯体蓄熱暖冷房システムの設定水温として用いる制御手法のことである。躯体蓄熱暖冷房システムは定流量制御であるため、近似設定水温を用いた場合、1日の必要熱量に過剰・適合・不足が生じる。ただし、執務者にとって快適範囲内の室温変動に納まれば、高断熱事務所建物における室温変動の許容を前提とした簡易的な予測制御として位置付けられる。

年間の予測負荷を図-2、必要な熱源機器容量と設定水温を図-3に示す。簡易予測制御の手順は、①予測負荷の算定(図-2)、②熱源機器容量の算定(図-3)、平均負荷計算法との整合(表-1、図-3)、③設定水温の算定(図-3)、設定水温の補完(図-3)であるため、固有の近似設定水温が得られる。尚、自然温度が22~26℃の範囲内に収まった期間を中間期と定めた。

その結果、平均負荷計算法で算定した熱源機器容量とほぼ同容量であったことから、予測負荷で算定した熱源機器容量であっても、平均負荷計算法との整合に問題がないことが確認された。更に、近似設定水温(温水、冷水)のピーク値を比較したところ、間欠運転の場合、暖房期の温水の方が冷房期の冷水よりも高くなった。しかし、連続運転の場合、暖房期の温水の方が冷房期の冷水よりも低くなったように、基本的には設計室温(暖房期:22℃、冷房期:26℃)の関係から近似設定水温(温水)は低目、近似設定水温(冷水)は高目の傾向となることが明らかになった。

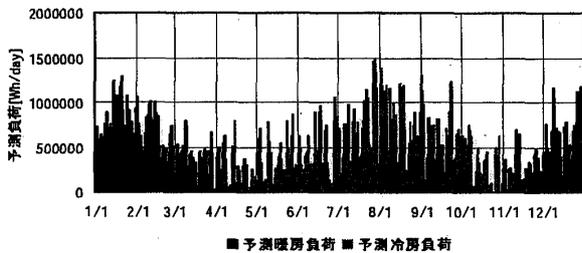
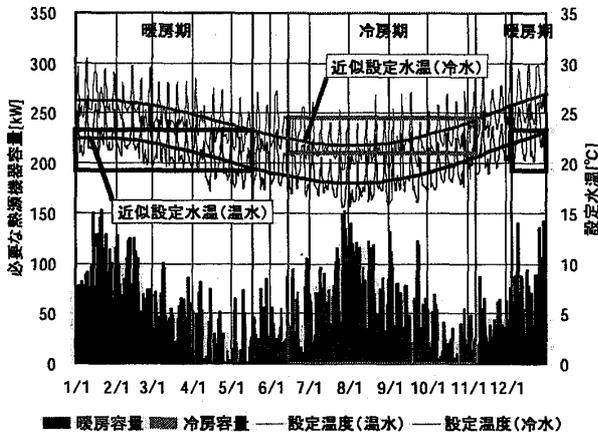


図2 年間の予測負荷



3. 解析結果

3.1 解析 CASE

解析CASEを表2に示す。本数値シミュレーションでは、簡易予測制御を適用した間欠運転(CASE1)、連続運転(CASE2)、夜間運転(CASE3)を解析CASEとした。計算開始時の影響を抑える目的で、年間の非定常計算の前に、半年間の助走期間を設けた。

3.2 暖冷房エネルギー消費量の特性

暖房エネルギー消費量と2次側温水温度を図4に示す。暖房期のCASE1では、躯体蓄熱時(室内負荷)と外気導入時(外気負荷)が重なったことから、熱源機器容量の不足で近似設定水温に達しなかった。常に執務時間帯(9:00~17:00)にはピーク運転状況であったため、室温保持に多少影響すると推測される。CASE2では、1/17(月)0:00~9:00の室内負荷が他の曜日よりも非常に大きく、土日の運転停止+平日の連続運転の不合理性が確認された。従って、平日の連続運転による運用が可能であるならば、土日も連続運転であることが望ましく、熱源機器容量の縮小に対しても効果的な暖房の運転方法と成り得る可能性がある。CASE3では、0:00~10:00の夜間に運転をシフトしたため、近似設定水温による適切な簡易予測制御であった。ただし、9:00~10:00の1時間は、躯体蓄熱時と外気導入時が重なったことから、一時的にピーク運転状況であった。

続いて、冷房エネルギー消費量と2次側冷水温度を図5に示す。冷房期のCASE1では、外気負荷は予測負荷と対応し、室内負荷は下回ったため、冷房容量の2/3程度(80~100[kW])の運転方法となり、十分に余力を残した状況であった。CASE2では、常に室温に近い近似設定水温であったことから、急激な日中の室温上昇に幾分対応し難い運転

表2 解析CASE

解析CASE	運転方法	1日の運転時間	運転時刻		熱源機器容量[kW]	
			開始	終了	暖房期	冷房期
CASE1	間欠運転	10時間	7:00	17:00	156.5	151.5
					暖房期	冷房期
CASE2	連続運転	24時間	0:00	翌0:00	140.9	77.7
					暖房期	冷房期
CASE3	夜間運転	10時間	0:00	10:00	156.5	151.5
					暖房期	冷房期

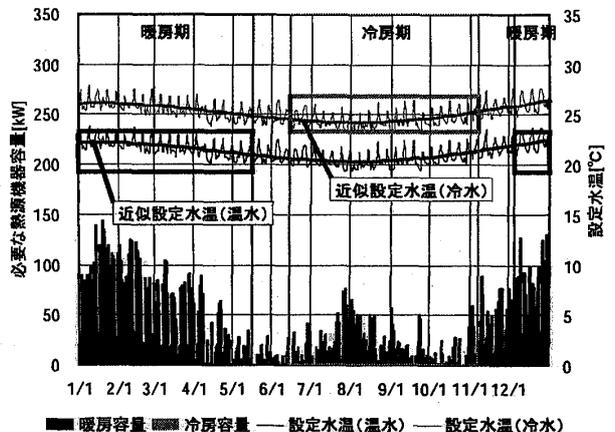


図3 必要な熱源機器容量と設定水温(左:間欠運転,右:連続運転)

方法となった。逆にCASE3では、CASE1と同様に往還温度差があったことから、ある程度の躯体蓄冷は為されていたと判断できる。そのため、急激な日中の室温上昇に幾分対応し易い運転方法となった。

年間の暖冷房エネルギー消費量を図6に示す。年積算値で比較したところ、暖冷房の運転方法に左右されることなく、暖冷房エネルギー消費量は5%程度の差に留まった。尚、24時間連続運転(CASE2)の方が10時間間欠運転(CASE1・3)よりもエネルギー消費は多少大きかったが、熱源機器容量の縮小に繋がることも考慮しなければならない。従って、水方式による躯体蓄熱暖冷房システムを導入した高断熱事務所建物の平日夜間や土日の運用次第では、間欠運転以外にも連続運転や夜間運転のように、暖冷房の運転方法の選択に対する自由度が増すと考えられる。

3.3 室内の温度特性

室温変動を図7に示す。執務時間帯で比較したところ、暖房期のCASE1のみ約1.0℃低く、冷房期のCASE2のみ約2.0℃高かった。その際に、時間毎対応に準拠した一定制御ではないため、約1.0℃の温度スイングが生じていた。このスイング幅は土日の運転停止の問題(1/17(月)8:00:約18.5℃)や日中の室温上昇の問題(7/27(水)16:00:約28.0℃)に直結することから、室内の快適性を評価する必要がある。

3.4 室内の快適性評価

PMVの6要素を表3、執務時間帯の室温とPPDの散布図を図8に示す。図8に示した点群は執務時間帯を1時間単位

でプロットしたものである。ISO-7730では、 $-0.5 < PMV < +0.5$ と $PPD < 10\%$ を推奨している。表3に示した①～⑥の6要素からPMVを算出し、PPDを推定した。因みに、中間期の24℃付近を境に着衣量の調整が行われていた。

CASE1では、中間期と冷房期共に $PPD < 10\%$ を満たし、暖房期のみ土日の運転停止の問題が影響して $PPD > 10\%$ ($PMV < -0.5$)となった。逆にCASE2では、中間期・暖房期共に $PPD < 10\%$ をほぼ満たし、冷房期のみ日中の室温上昇の問題が影響して $PPD > 10\%$ ($PMV > +0.5$)となった。26.5℃以上になると急激にPPDが増加し、PPD最大値は20%以上に達した。CASE3では、年間を通じて室温変動を許容しても推奨値以下のPPDとなり、躯体蓄熱暖冷房システムにとって非常に効果的な暖冷房の運転方法となった。

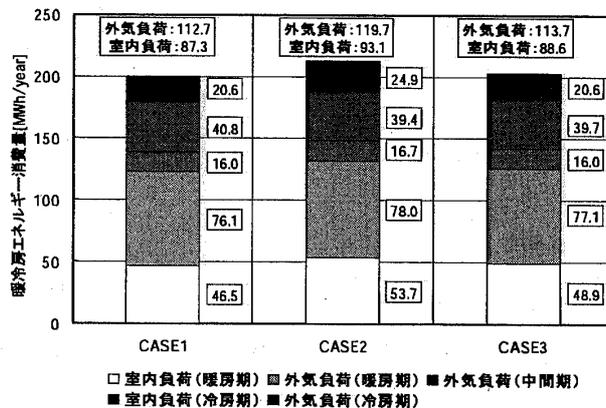


図6 年間の暖冷房エネルギー消費量

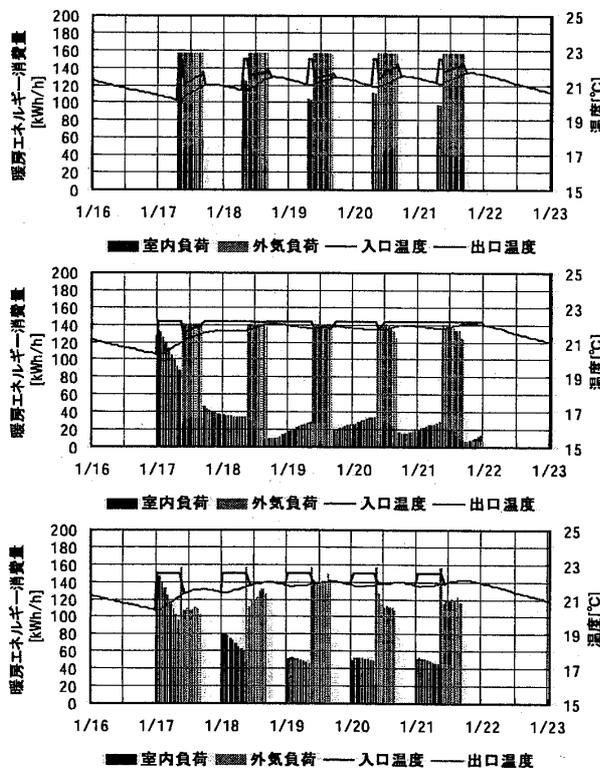


図4 暖房エネルギー消費量と2次側温水温度 (上: CASE1, 中: CASE2, 下: CASE3)

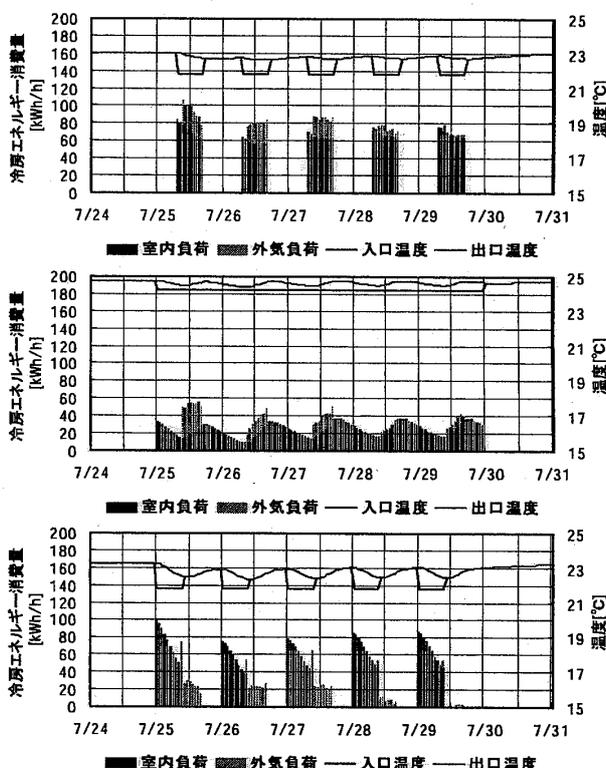


図5 冷房エネルギー消費量と2次側冷水温度 (上: CASE1, 中: CASE2, 下: CASE3)

従って、季節毎対応に準拠した簡易予測制御を適用した場合、同じ夜間運転でも季節毎に内部取得熱の扱いが異なることから、暖房期においては、連続運転(夜間：躯体蓄熱，日中：躯体蓄熱+内部取得熱)や夜間運転(夜間：躯体蓄熱，日中：内部取得熱)のような連続相当の運転方法，対照的に冷房期においては、間欠運転(夜間：なし，日中：躯体蓄冷)や夜間運転(夜間：躯体蓄冷，日中：なし)のような間欠相当の運転方法が効果的であると考えられる。

4. まとめ

高断熱事務所建物+躯体蓄熱暖冷房システムにおいて、本システムの連続運転と夜間運転の有用性について検討した。その結果、連続運転では、土日の運転停止+平日の連続運転の不合理性を確認し、夜間運転では、近似設定水温による適切な簡易予測制御であった。更に、室内の快適性評価の検証を通じて、暖房期においては、連続運転や夜間運転のような連続相当の運転方法，対照的に冷房期においては、間欠運転や夜間運転のような間欠相当の運転方法が効果的であることを示した。

【参考文献】

1) サデギアン タギ，荒谷登，絵内正道，鈴木憲三：外断熱建物の冷房負荷計算法と低負荷冷房，日本建築学会計画系論文集，No. 557，

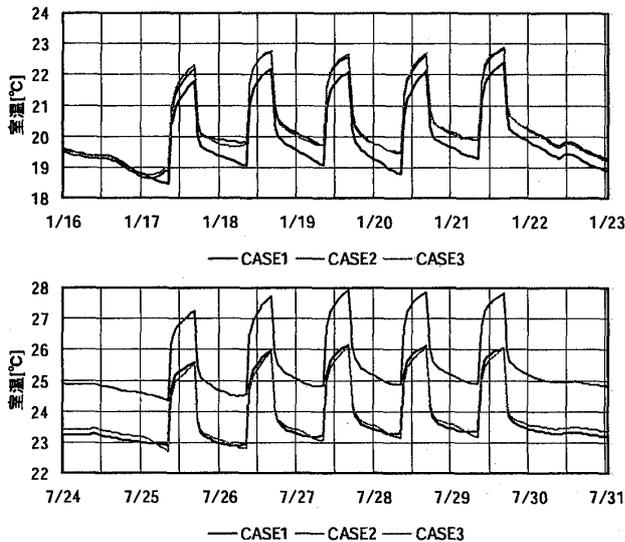


図7 室温変動(上：暖房期，下：冷房期)

表3 PMVの6要素

②相対湿度	③着衣量	④着衣組合せの一例
暖房期	40%	1.0[clo]
中間期	45%	0.9[clo]~0.7[clo]
冷房期	50%	0.6[clo]

①代謝量:1.2[met], ④平均風速:0.1[m/s], ⑤空気温度:逐次算定℃, ⑥平均輻射温度:逐次算定℃

- *1 北海道大学大学院工学研究科 助手・博士(工学)
- *2 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博
- *3 北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)
- *4 国立釧路工業高等専門学校 助教授・博士(工学)

pp.25-31, 2002.7

- 2) 三浦寿幸，小池浄一，荒谷登：外断熱の熱特性を生かした躯体蓄熱空調システムに関する研究 天井チャンバーを利用した躯体蓄熱方式，日本建築学会計画系論文集，No.526，pp.25-30，1999.12
- 3) 菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，森太郎：寒冷地における高断熱建物の室内温熱環境と暖房エネルギー消費量の特性に関する実態調査研究，日本建築学会環境系論文集，No.599，pp.39-46，2006.1
- 4) 社団法人 公共建築協会 編：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
- 5) 絵内ら：実用レベルの外断熱建物の熱負荷計算法 1998年度~1999年度版，空気調和・衛生工学会北海道支部・設備技術研究会「実用レベルの外断熱建物の熱負荷計算法の策定」小委員会
- 6) 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
- 7) 絵内正道，菊田弘輝，羽山広文，森太郎：高断熱事務所建物における土日明け月曜日の予熱負荷及び熱源機器容量の合理的算定，空気調和・衛生工学会北海道支部 第40回学術講演会論文集，pp.191-194，2006.3
- 8) 菊田弘輝，絵内正道，羽山広文，森太郎：高断熱事務所建物における室温変動の許容を前提とした簡易予測制御の提案と検証，空気調和・衛生工学会北海道支部 第40回学術講演会論文集，pp.195-198，2006.3

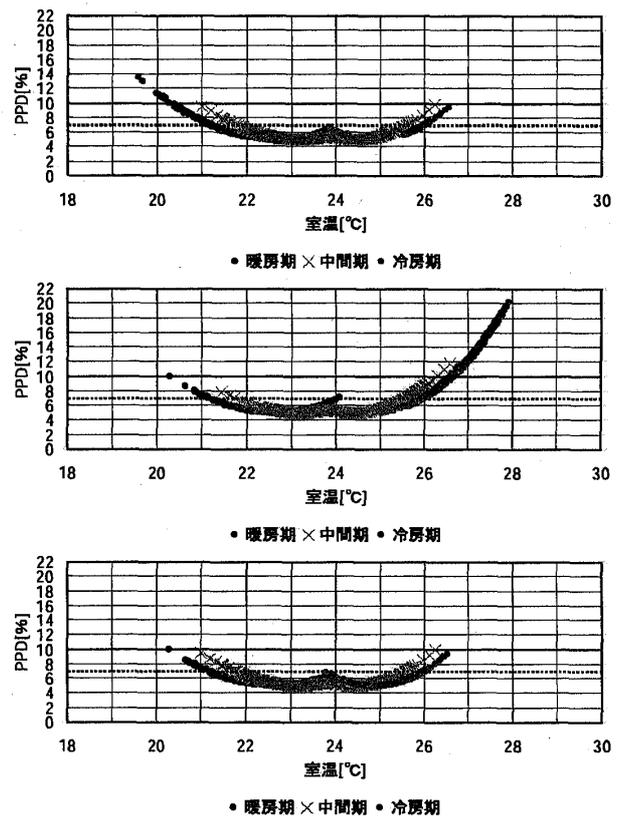


図8 執務時間帯の室温とPPDの散布図 (上：CASE1，中：CASE2，下：CASE3)

- Instructor, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
- Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
- Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
- Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology, Dr. Eng.