

設計過程の階層構造を考慮した室内環境最適化手法に関する基礎的研究

－最適化手法を用いた空調制御用センサー位置の検討－

庄司 研・大黒 雅之・大野 茂・森川 泰成・加藤 信介*1・金 泰延*2

Keywords : CRI, Optimization, Sensor Arrangement, Genetic Algorithm, Layered Structure
温熱環境形成寄与率(CRI), 最適化, センサー位置, 遺伝的アルゴリズム, 階層構造

1. はじめに

1.1 目的

設計プロセスを合理化する試みは、工学分野で数々行われている。中でも航空機や自動車などの設計における最適化問題がよく知られている。本研究では、室内環境計画に関する最適化問題を検討対象とする。特に、センサーの位置決定やハイブリッド換気、大空間の成層空調など、気流や温度の空間分布が消費エネルギーやコストに大きく影響を及ぼす場合の室内環境計画が重要と考えている。

本論文では「室内均一仮定」では検討が困難な空調制御用センサーの最適設置位置と設定温度を決める方法論を示すことを目的とする。

センサーの設置位置によっては、消費エネルギーは温度分布による影響を大きく受ける可能性がある。理想的にはセンサは室温を代表する場所に設置されるべきだが、実際には、必ずしもそうならない場合があり、改善の余地が残されている。

このため室内の温度分布を考慮し、センサー位置の温度（設定温度）が室温を代表しているようなセンサーの位置と設定温度を決めることが必要となってくる。

1.2 空調設計における最適化問題の特徴

最適空調設計を行うためには室内の温熱環境や空気質環境、消費エネルギー、運転コスト、LCC、LCCO₂など多くの評価指標による評価を行い、その最適解を求めなければならない。得られた解については、単に空調的機能評価だけでなく、建物全体として整合のとれたシステムとなっているか、動線やデザインなどの建築機能や、電気設備、衛生設備など他の設備機能とのバランスは取れ

表-1 設計における可変条件の階層
Class of Variable Conditions in a Design

	(最上位階層) 設計コンセプトより定まる建築条件
階層0	・建物の用途, 規模, 方位, 形態, 基本プラン, 建物グレード ・大まかな構造, 材料仕様
階層1	通常の設計プロセスで起こりうる可変な建築条件 ・若干のプラン変更, 機械室位置, 大きさ ・窓ガラスや外壁断熱材の仕様 ・パイプシャフト, ダクトシャフトの位置や大きさ, 天井高さなど
階層2	設計コンセプトより定まる空調条件 ・空調グレード (ペリメータ処理法, 省エネルギー対応, 個別制御など) ・設計温湿度条件・運転時間・ゾーニング
階層3	建築条件や空調条件により定まる熱源, 空調システム ・システム決定 (方式)
階層4	空調機器の仕様や位置 ・空調機器の能力, 設計風量, 供給温度などの機器仕様
階層5	搬送路系仕様 ・ダクト, 配管ルート ・吹出し口, 吸込み口の種類や位置
階層6	(最下位階層) 施工中調整が可能な風量, 流量, 位置, 設定値の変更 ・風量や流量の (調整可能範囲での) 変更, 各種設定温度の設定 ・吹出し口の角度 (ベーン) 調整, センサ位置など

ているか、また都市環境、廃棄物削減、環境共生などの社会的ニーズに対応しているか、などといった総合的な判断も反映されていなければならない。

建築においては取り扱う情報量(変数)が非常に多く、それぞれの要求機能が相互に影響しあい、また例えば快適環境と省エネルギー、コストと品質など評価指標も複数、かつトレードオフの関係となる場合も多く、その最適解を求めることは容易ではない。そのため設計者の経験を生かしつつ、複雑なシステムにおける意思決定を支援するツールが必要不可欠であると考える。

空調設計においては種々の制約条件の中で、ニーズに合った設計コンセプトにもとづき、各機能レベルをバランス良く実現する計画案が、その物件の最適解となる。しかし個々の設計要素は数が多く複雑に関係しており、バランス点を見つけることは難しい。

設計プロセスは必然的に階層構造を持っており、その

*1 東京大学生産技術研究所

*2 延世大学

流れを踏襲して最適化を行うことが効率的であると考えた。設計要素の中には、人為で変更が困難な制約条件（例えば建物用途、立地、方位など）と、変更可能な可変条件がある。表-1に空調設計における可変条件を6つの階層に区分した例を示す。基本的には上位の階層から順に検討・決定され、下位の階層で調整ができない場合には上位の階層に戻って再検討される。

また、室内の温度、気流分布の評価も含めた室内環境最適条件の探索を行うにあたっては、通常、数値流体（CFD）解析を行うが、数百から数万回の繰り返し計算が必要とされる最適解探索において計算負荷の大きなCFD解析は、時間とコストの点から困難である。そこで室内の温度分布性状解析に関しては温熱環境形成寄与率第1（Contribution Ratio of Indoor Air Temperature 1 : CRI 1）という指標を用いて簡略化を試みた。この指標は室内のある点における気温が、どの熱源からどの程度の影響を受けて形成されているかを示すものである⁴⁾。

2. 階層構造を考慮した室内環境最適化

2.1 設計プロセスの階層における検討範囲

図-1に本研究で検討した設計プロセスの階層構造を示す。表-1に示した「設計における可変条件」の階層に準じており、窓ガラスの仕様（階層1）、空調ゾーン（階層2）、設計風量（階層4）、センサー位置と設定温度（階層6）を、検討項目とした。空調吹出し口（階層5）についても検討項目としてあげているが、本論文ではVHSのみの結果を示す。

できるだけ実際の設計プロセスに即した検討とするため、ペリメータ負荷を算出するための設計用ペリメータ奥行き深さも可変条件とし、FCU、VHS吹出口といった機器、器具はカタログより選定した。ペリメータ領域は窓面から奥行き3mとする場合と建物外皮のみ（奥行き0m）とする場合の2通りとした。

それぞれの階層内でどのような選択をするかは設計者が設計コンセプト（階層0）にもとづき総合的に判断して決めるものであるが、本報では選択肢がある場合には経済性を重視した最適解の探索を行うこととした。今回は選択肢が階層1、2に2つずつであるため、それぞれの組合せを考え、経済的と思われる順に4つのPHASEを検討対象とした。検討する順番を図-2に示す。最適解が最初のPHASEで見つければそこで終了し、見つからなければ次のPHASEに進む。4つのPHASEで最適解が見つからなかった場合には、上位階層（階層0）へ戻り再検討することとなる。

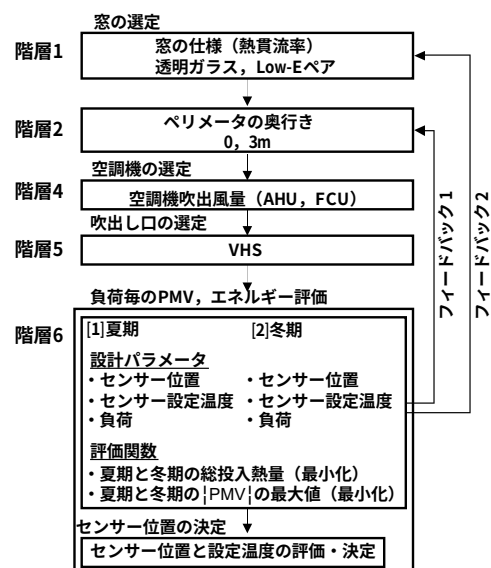


図-1 階層構造を考慮した最適化の流れ
Flow of the Optimization in Consideration of the Layered Structure

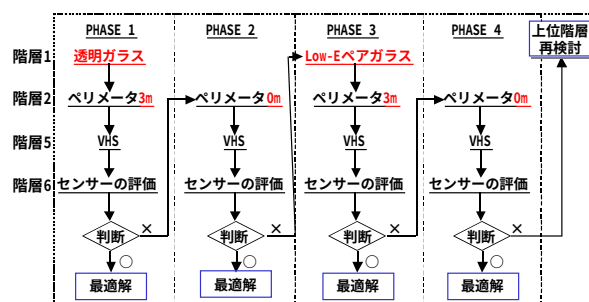


図-2 最適解探索過程
Optimal Solution Search Process

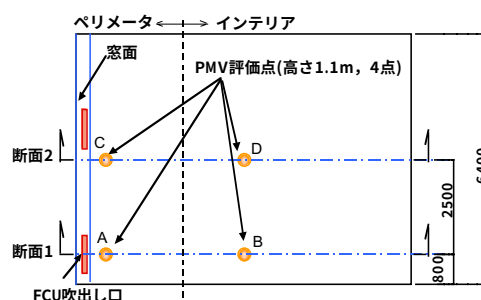


図-3 計算対象室（平面図）
The Room for Calculation (Plan)

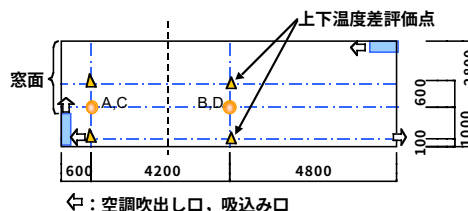


図-4 計算対象室（断面図）
The Room for Calculation (Elevation)

2.2 解析モデルの概要

本研究では事務所ビルの一部を模したモデルを対象とする。室内温度及びPMV評価点を図-3、図-4に示す。上下温度差はPMV評価点の上下で、床上100mmと1700mmの

温度差とした。

ペリメータの負荷を想定する際に使用した数値を表-2に示す。熱負荷については年間を通じた最適化を行い、又ピーク時以外の低負荷時も考慮するため、夏と冬のインテリア負荷とペリメータ負荷をそれぞれ大小2通り決め、その組合せの8通りについて、各評価値を算出した。インテリアの負荷はピーク時は12名の在室者と0A負荷を想定した負荷の合計を床面に一様に与え、小負荷時はその1/2とした。ペリメータ負荷は夏冬共ピークの負荷と、それらの1/2の値とした。また、インテリア吹出し風量はピーク負荷から決定し、FCUについてはカタログにより機器選定を行い、吹出し風量を決定した。

PMV算出に関わるMRTは窓面からの放射のみ考慮して算出した。また、ペリメータの吹出し角度は鉛直方向から窓面に向かって30°とした。

これらを踏まえて図-2の順で検討するに当たり、4つのPHASEの条件を表-3のように決めた。CFD解析は定常解析とし、乱流モデルには標準k-εモデルを使い、メッシュ分割は $50 \times 48 \times 44 = 105,600$ メッシュとした。

3. センサー位置の最適化問題

3.1 センサー位置最適化の考え方

全体の最適化は、表-3のPHASE1～4を順に検討していくが、それぞれのPHASEでは階層6のセンサー位置の最適化を行うことになる。最適なセンサー位置とは、季節の違いや負荷の違いによらず室内の快適性と相関が良く、かつ、適切な設定温度を選べば、在室者の快適性を大きく損なわずにエネルギー消費量を適正に抑えることができるような位置であると考えられる。しかし、実際にはメンテナンスを考慮して、手の届く高さの壁、照明スイッチのそばに安易に設置されたり、室内に温度分布

表-2 窓の仕様と標準日射取得

Window Type and Standard Solar Heat Gain

	熱貫流率 [W/m ² °C]	遮蔽係数
透明ガラス6mm 中間色グライツ	6.29	0.63
Low-E 複層ガラス	1.86	0.42

表-3 PHASE 毎の解析条件

Analysis Conditions of Each Phases

	PHASE1		PHASE2		PHASE3		PHASE4	
	透明ガラス6mm		透明ガラス6mm		Low-E複層ガラス		Low-E複層ガラス	
	ペリメータ奥行3m		ペリメータ奥行0m		ペリメータ奥行3m		ペリメータ奥行0m	
	夏期	冬期	夏期	冬期	夏期	冬期	夏期	冬期
VHS風量 [m ³ /h]	1000		1500		1000		1500	
FCU風量 [m ³ /h]	1940		1320		1320		920	
インテリア負荷 [W/m ²]	大 80		80		80		80	
	小 40		40		40		40	
ペリメータ負荷 [W/m ²]	大 152	-140	152	-140	88	-40	88	-40
	小 76	-70	76	-70	44	-20	44	-20

$$T_{si} = T_{osi} + (T_i - T_{io}) \times CR_{Idisi} \times Q_1 / (Q_1 + Q_2) \\ + (T_p - T_{po}) \times CR_{Idpsi} \times Q_2 / (Q_1 + Q_2) \\ + (q_i - q_{io}) \times CR_{Iqisi} \times A_f / \rho C_p (Q_1 + Q_2) \\ + (q_p - q_{po}) \times CR_{Iqpsi} \times A_w / \rho C_p (Q_1 + Q_2) \cdots (1)$$

$$T_{sp} = T_{osp} + (T_i - T_{io}) \times CR_{Idisp} \times Q_1 / (Q_1 + Q_2) \\ + (T_p - T_{po}) \times CR_{Idpsi} \times Q_2 / (Q_1 + Q_2) \\ + (q_i - q_{io}) \times CR_{Iqisi} \times A_f / \rho C_p (Q_1 + Q_2) \\ + (q_p - q_{po}) \times CR_{Iqpsi} \times A_w / \rho C_p (Q_1 + Q_2) \cdots (2)$$

ここで

TI : VHS 吹出し温度[°C]	TIo : VHS 初期吹出し温度[°C]
TP : FCU 吹出し温度[°C]	TPo : FCU 初期吹出し温度[°C]
Tsi : インテリアセンサ設定温度[°C]	Tosi : 初期インテリアセンサ設定温度[°C]
Tsp : ペリメータセンサ設定温度[°C]	Tosp : 初期ペリメータセンサ設定温度[°C]
qi : インテリア負荷[W/m ²]	qio : 初期インテリア負荷[W/m ²]
qp : ペリメータ負荷[W/m ²]	qpo : 初期ペリメータ負荷[W/m ²]
Q1 : VHS 吹出し風量[m ³ /s]	Q2 : FCU 吹出し風量合計[m ³ /s]
Af : 床面積[m ²]	Aw : 窓面積[m ²]

インテリア側センサに対するCRII	ペリメータ側センサに対するCRII
• CRIdisi : インテリア吹出し口のCRII	• CRIdisp : インテリア吹出し口のCRII
• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII	• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII
• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII	• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII
• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII	• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII
• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII	• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII
• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII	• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII
• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII	• CRIdpsi : ペリメータ吹出し口のCRII

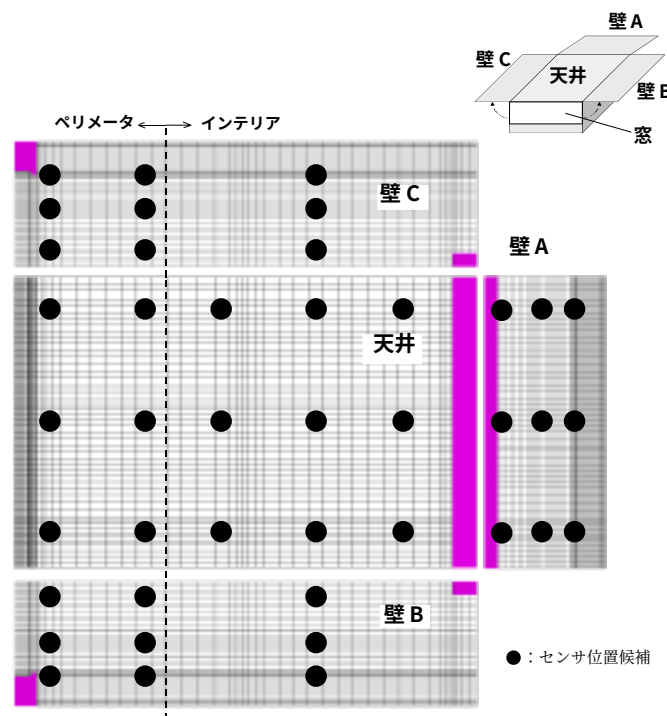


図-5 センサー設置位置候補
Candidate of a Sensor Position

表-4 DGA 設定条件

Setting Conditions of DGA

分割母集団中の個体数	25	交叉率	1
分割母集団数	10	突然変異率	0.01
世代数	40	移住率	0.5
遺伝子サイズ (ビット)	32	移住間隔	5

$$\text{Objective} = \frac{W_1 \cdot (|\text{夏期 PMV 最大値}| + |\text{冬期 PMV 最大値}|)}{N_1} \\ + \frac{W_2 \cdot \Sigma \text{投入熱量平均値}}{N_2} \cdots (3)$$

ここで W_1, W_2 : 設計目標に対する重み係数
 N_1, N_2 : 無次元化のための基準量

ができている場合、居住域の温度を代表していない位置に設置され、そのため効率良く制御できていない可能性もある。ここにセンサー位置最適化の必要性があり、本研究では2.2に示した解析モデルにおけるセンサーの設置位置とその設定温度を、在室者の快適性と省エネルギー性を評価関数として最適化する。

空調制御用のセンサーは、インテリア領域とペリメータ領域にそれぞれ1つ設置されるものとし、設置位置の候補は壁面、天井面、空調吸込み口とした。

図-5にセンサー設置位置候補として選定した点を示す。センサー位置は壁面及び天井面の第一セルから選り、そのセルの温度をセンサーの設定温度とした。(但し空調吸込み口はインテリア、ペリメータにそれぞれ2箇所ある吸込み口入口温度の平均値とした。)候補数はインテリア側に25点、ペリメータ側に19点である。PHASE2、PHASE4でのペリメータ側センサー位置は、窓面からの奥行き3mまでの範囲とした。

CRI1による室内温熱環境の計算は次の手順で進める。

- 1)CFDによる室内温熱環境の解析を行う。
- 2)1)の空気の流れを固定しておき、熱源に濃度の発生を与えて濃度解析を行う。
- 3)濃度解析結果により熱源ごとにCRI1を算出する。
- 4)CRI1を用いて室内の対象とする点の温度を予測する。この温度予測は、CFD解析により求めた温度分布を基準とし、各々の熱源からの寄与に応じた温度変化の分布を重ねあわせることにより計算される。

式(1)、式(2)にセンサー位置の温度(センサーの設定温度に相当する)を求める式を示す。これらの式はセンサー位置の温度が空調の吹出し温度や各発熱源の変動とCRI1を用いて計算されることを表している。これらを空調吹出し温度について解くことにより、センサーの設定温度からその時の空調の吹出し温度予測式が得られる。

3.2 最適化手法と結果の評価

最適化手法としては、分散遺伝的アルゴリズム(Distributed Genetic Algorithm : DGA)を用いた。表-4にDGAの計算条件を示す。DGAでは分割された母集団(島)間の個体の交換(移住)という要素が入り、解の多様性が維持されやすくなるため、良い解が得られると言われている。計算回数は個体数25×母集団数10×世代数40で10000回とした。

最適解の評価には式(3)の値を用いる。評価関数は4点の評価点の各負荷条件における夏期・冬期各々のPMVの絶対値の最大値の和と各負荷条件における投入エネルギー量の平均値の合計とした。最適解はこの評価関数を最小化することで求められる。重み係数は、PMV : 投入

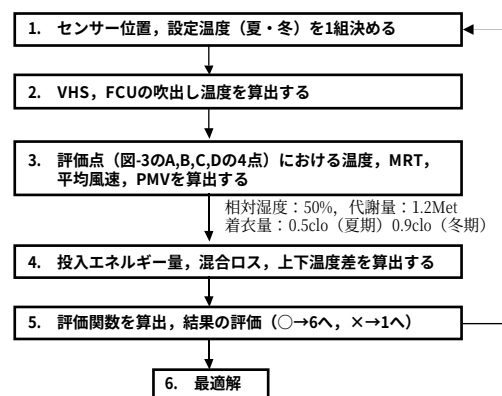


図-6 各 PHASE のセンサー位置最適化の流れ
Flow of Optimization of Each PHASE in a Sensor Position

表-5 最適化設定条件
Optimization Setting Conditions

設計パラメータ	夏期センサー温度	冬期センサー温度	センサー位置
単位	℃	℃	-
変化範囲	20～30	20～30	インテリア: 25箇所 ペリメータ: 19箇所
評価関数	夏・冬のPMV最大値		総投入熱量の平均値
単位	-		W
最適化目標	最小化		最小化

※制約条件: |各点PMV|<0.5, 上下温度差<3℃

エネルギー = 4 : 1になるように設定した。重み係数は設計者が決めるものであり、ここでは設計者がPMVを投入エネルギーの4倍重視したいと考えた場合を想定している。

また、図-6に各PHASEにおける階層6のセンサー位置最適化の具体的な流れを、表-5に最適解探索時の設定を示す。夏期と冬期のセンサーの設定温度と2つのセンサー位置の6つの要素を最適化の際の設計パラメータとした。最適化の制約条件は、各点のPMVの絶対値を0.5以下、上下温度差を3℃以内とした。

4. 階層構造を考慮した最適解探索結果

図-7にPHASE1から順に検討した結果選択されたセンサー位置を示す。また、夏期、冬期の負荷最小時と負荷最大時について、PHASE1から順に図-8～図-11に温度、PMVの結果を、図-12～図-13に投入エネルギーと混合ロスを示す。混合ロスの欄の負の値は混合利得であることを示す。

PHASE1 [透明ガラス+ペリメータ奥行き3m]

冬期の最大負荷時(インテリアの冷房負荷最大、ペリメータの暖房負荷最大)の混合利得が非常に大きくなっており(表-5)、投入エネルギーは単純にインテリアの冷房負荷とペリメータの暖房負荷を足した値よりも小さくなっている。これは、単板ガラスにFCUというシステムでも、センサー位置と設定温度を最適化することによ

り混合利得を意図的に発生させFCUの暖房エネルギーを節約できることを示している。ただし、このシステムでは、冬期の最小負荷時（インテリアの冷房負荷最小、ペリメータの暖房負荷最小）のPMVが暑い側の許容範囲（+0.5）ぎりぎりまで上昇している。これは、ペリメータのセンサー設定温度が暖房負荷が大きい場合も考慮した高めの温度（26.1℃）となっており、インテリアも混合ロスが起きないように極端に設定温度を下げられないためと思われる。また、夏期もペリメータのPMVが暑い側の許容範囲（+0.5）ぎりぎりまで上昇するとともに、インテリアのD点で-0.52となり、涼しい側の許容範囲（-0.5）をクリアできていない。これは、ペリメータ負荷に室内発熱の一部を含めて設計したために、ペリメータの風量がインテリアの2倍近くと大きくなり、ペリメータの設定温度を下げるとインテリアまで大きく影響してしまうためと思われる。結論として、このPHASEの最善案ではインテリアのD点で-0.52と許容範囲を満たさないで、次のPHASEに進むことになる。

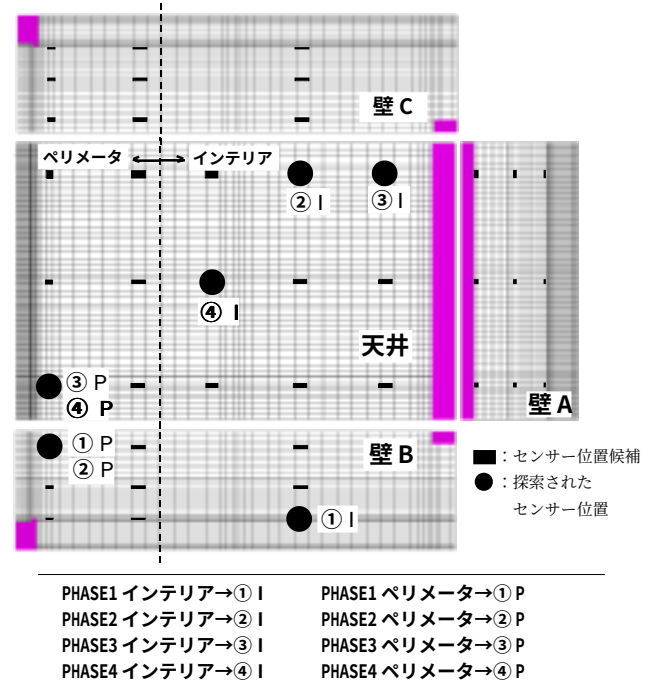


図-7 最適センサー位置探索結果
Optimal Sensor Position Search Result

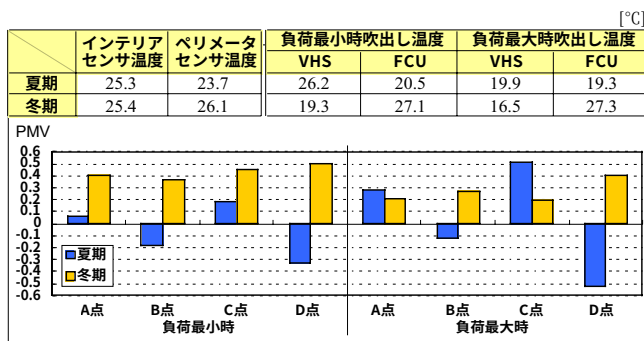


図8 PHASE1の最適解探索結果（温度、PMV）
Result of Optimal Solution of PHASE1

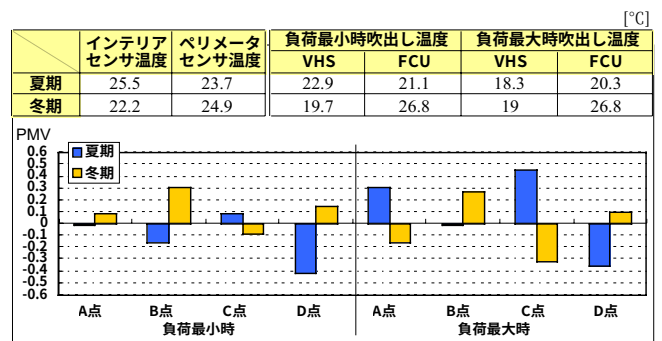


図9 PHASE2の最適解探索結果（温度、PMV）
Result of Optimal Solution of PHASE2

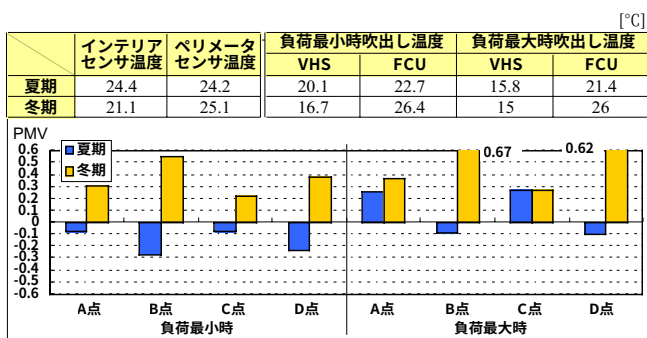


図10 PHASE3の最適解探索結果（温度、PMV）
Result of Optimal Solution of PHASE3

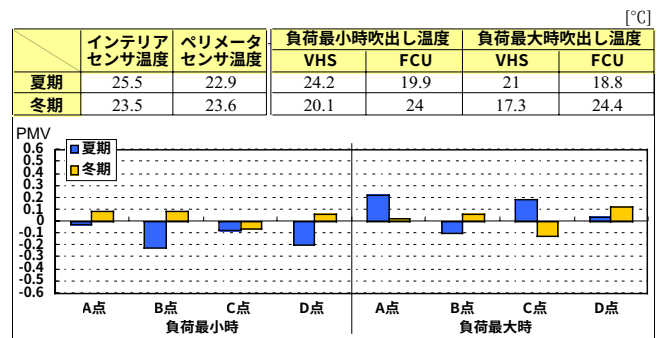


図11 PHASE4の最適解探索結果（温度、PMV）
Result of Optimal Solution of PHASE4

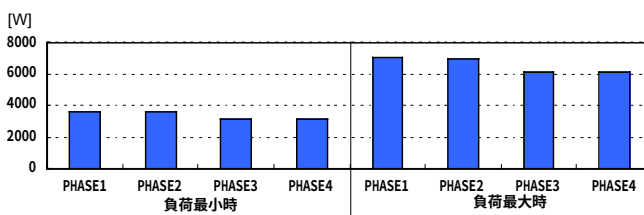


図12 夏期の投入エネルギー計算結果
Result of Energy Consumption in Summer

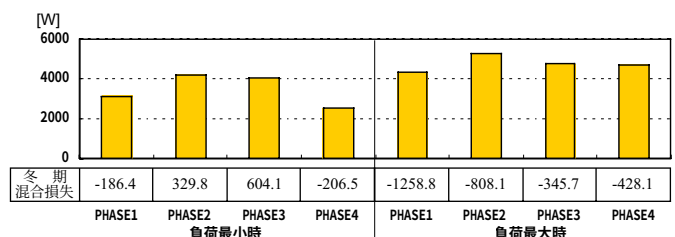


図13 冬期の投入エネルギー計算結果
Result of Energy Consumption in Winter

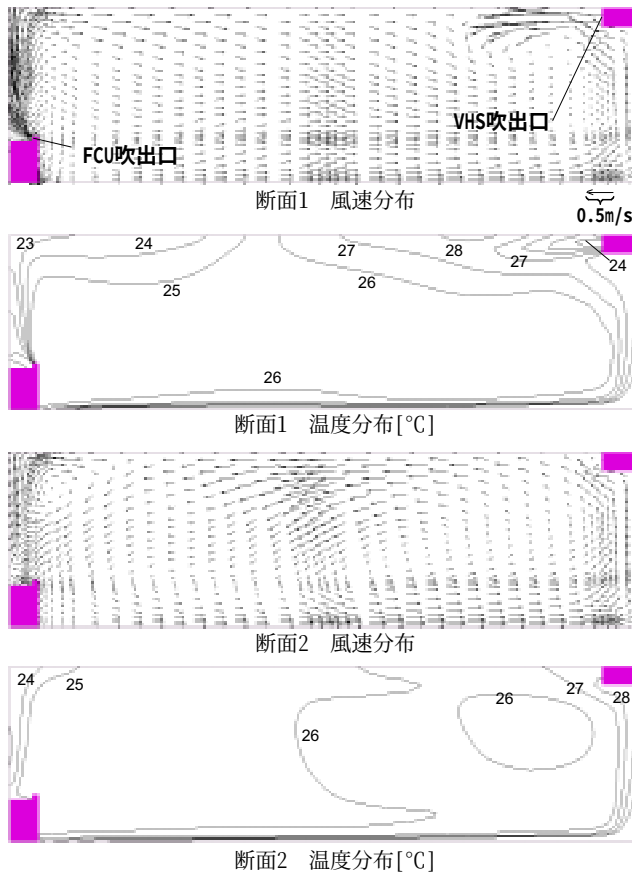


図-14 PHASE4 夏期 風速分布とCRIによる温度分布
Wind Velocity and Temperature Distribution by CRI in Summer

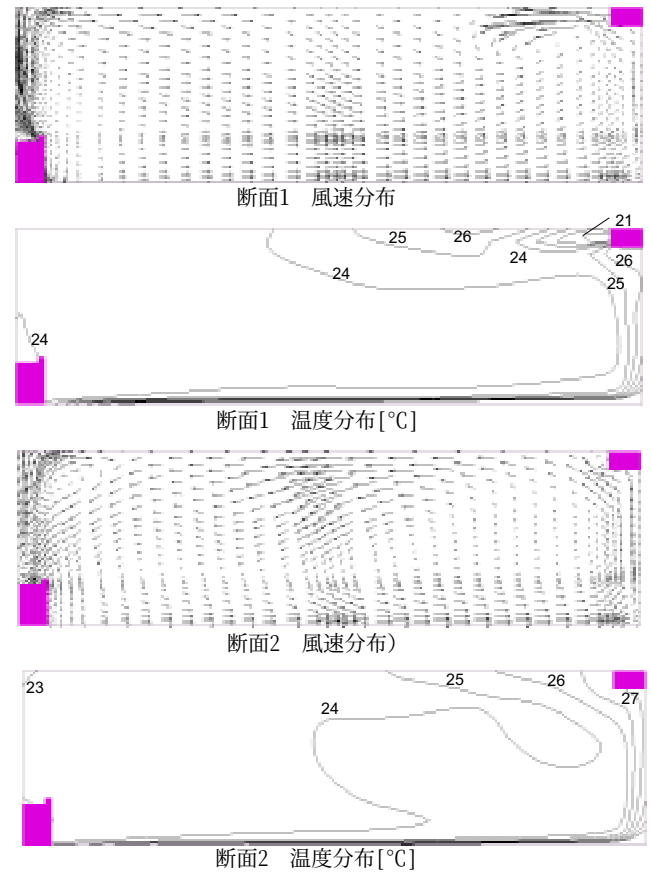


図-15 PHASE4 冬期 風速分布とCRIによる温度分布
Wind Velocity and Temperature Distribution by CRI in Winter

PHASE2 [透明ガラス+ペリメータ奥行き 0m]

冬期の最小負荷時（インテリアの冷房負荷最小、ペリメータの暖房負荷最小）の場合に混合ロスとなり、投入エネルギーはPHASE1より増えている（表-6）。しかし、PMVは夏冬とも改善される傾向にある。特に冬期の最小負荷時に大幅に改善されている。これは、ペリメータの風量がインテリアの風量以下となり、負荷の大小によって室内の温度分布が影響を受けにくくなったため、ペリメータのセンサーの設定温度が24.9℃とそれほど高めに設定する必要がなくなったためと思われる。このPHASEの最善案で、当初設定した $PMV = \pm 0.5$ の制約を満たしており、これを最適設計として採用することもできる。しかし、エネルギー的にPHASE1より悪くなっていることや、夏期のPMVが許容範囲ぎりぎりとなっていることから、さらに次のPHASEを検討することとする。

PHASE3 [Low-Eペアガラス+ペリメータ奥行き 3m]

ペリメータを3mとっているが、Low-Eガラスとしたことにより、ペリメータの設計風量はPHASE2と同じになっている。これにより、投入エネルギーは改善され（表-7）、PMVも夏期に改善がみられる。しかしながら冬期のPMVが、大幅に悪化している。これは、冬期最大負荷の時に、インテリアの吹出し温度が制約条件限度の15℃と

なり、これ以上冷房できない状況になっているためと思われる。このPHASEの結論として、冬にやや暑過ぎるのは、衣服による調整が可能で、問題ないとしてこれを最適設計として採用することも可能であるが、せっかく高価なLow-Eペアガラスを採用したにも拘わらず、冬期PMVが0.67と許容範囲から外れてしまうため、さらに次のPHASEを検討することとする。

PHASE4 [Low-Eペアガラス+ペリメータ奥行き 0m]

インテリアの風量が増え、冷房能力が上がるため、冬期のPMVは最悪でも-0.1程度となっており、大幅に改善されている。また、冬期最大負荷時でもペリメータの暖房負荷はPHASE3と比較して格段に小さいので、インテリアとペリメータの温熱環境の差は小さくなっており、非常に均一な温熱環境が実現されている。エネルギー的にも混合利得が増え、投入エネルギーはこれまでの最小の値となっている。結論として、このPHASE4の結果を最適設計として採用することとする。

得られた最適解で、負荷が最大の時の断面1、2における夏期の風速分布と温度分布を図-14に、冬期の分布を図-15に示す。この温度分布は、CRI1により計算されたもので、風速分布はそのCRI1を算出した時の分布である。PMV評価点は4点のみであったが居住域全体がほぼ

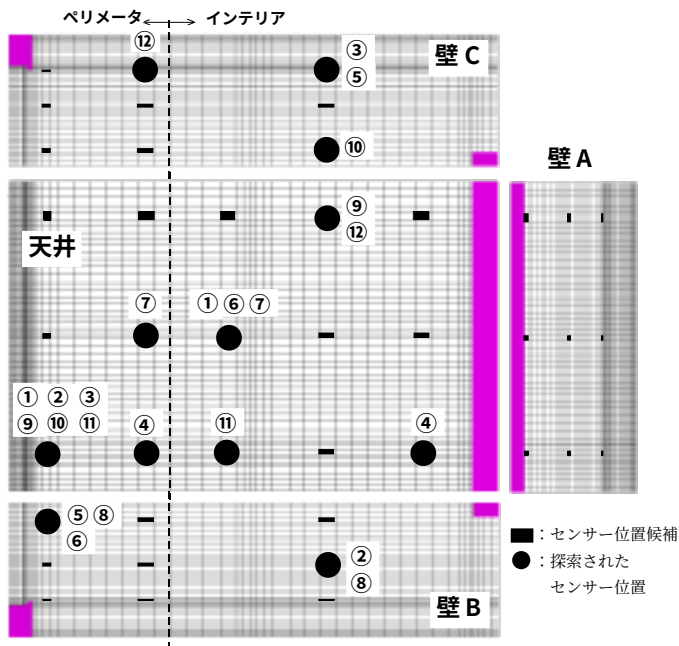


図-16 制約条件を満たしている最適センサー位置の候補
Position of the Optimal Sensor Fulfills Restrictions Conditions

均一で快適な環境になっていることがわかる。

5 近傍解の評価

5.1 センサー位置の室温代表性評価

在室者のPMVと空調エネルギー消費量の観点から最適なセンサー位置を探したが、センサー位置の温度（センサー設定温度）の室温代表性についても考慮する必要があると考えられる。そこで、センサー設定温度の室温代表性を評価するために、センサー設定温度の変化量に対する室温の変化量に関する式を式(4)、(5)のように定め評価値とした。ここではセンサーの設定温度の変化量を1℃としており、評価値はセンサー温度が1℃変化した時に、室温の値が何℃変化するかを示している。

5.2 近傍解の評価結果

最適解が得られたPHASE4で制約条件を満たしている他の解のうち、センサー位置が異なるものに対して、センサー位置の室温代表性評価を行った。該当するセンサー位置の組み合わせは12組あった。図-16に制約条件を満たしているセンサー位置の候補を示す。候補には評価関数値が良い順に①～⑫までの番号を付けた。

図-17に夏期の、図-18に冬期のセンサー位置の温度代表性評価値を示す。また、図-19に最適解探索時の評価関数におけるPMV、投入熱量の項の値を示す。1番の解が、今回得られた最適解であり、2番以降は制約条件を満たした中から評価関数の値が良い順に並べてある。

温度代表性の評価は、インテリア側とペリメータ側の

$$E_i = \frac{Tri' - Tri}{Tsi+1 - Tsi} \quad \dots (4) \quad \text{インテリア側センサー位置の温度応答性評価値}$$

$$E_p = \frac{Trp' - Trp}{Tsp+1 - Tsp} \quad \dots (5) \quad \text{ペリメータ側センサー位置の温度応答性評価値}$$

ここで

Tri' : Tsiが1℃変化した時のインテリア評価点の温度

Tri : インテリア評価点の温度

Trp' : Tspが1℃変化した時のペリメータ評価点の温度

Trp : ペリメータ評価点の温度

Tsi : インテリアセンサー設定温度

Tsp : ペリメータセンサー設定温度

※ Tri は評価点 B 点、D 点、Trp は評価点 A 点、C 点の温度。

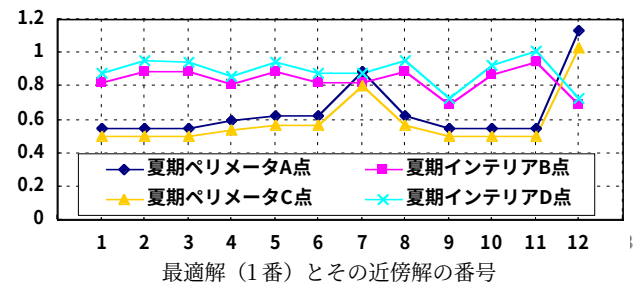


図-17 制約条件を満たしている近傍解の評価（夏期）
Near Solution Fulfills Restrictions Conditions in Summer

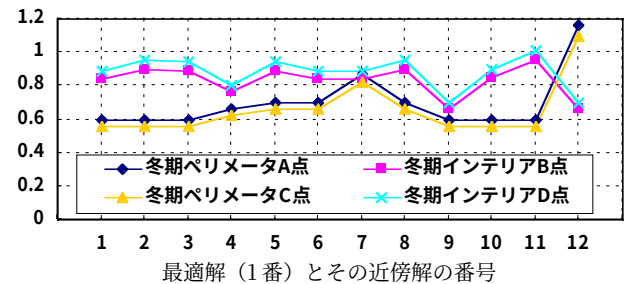


図-18 制約条件を満たしている近傍解の評価（冬期）
Near Solution Fulfills Restrictions Conditions in Winter

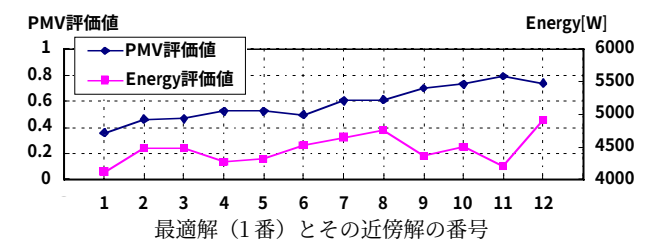


図-19 近傍解のPMV、エネルギーの評価値
Evaluation Value of PMV and Energy at Near Solution

評価値の大きさが近いほうが良いと考えられる。夏期、冬期ともに、7番の解がインテリア、ペリメータとも0.9付近にあることから、良い位置であると言える。ただし、この場合には図-19に示すように最適解の評価値が若干悪化するため、どちらをとるかの判断が必要になる。

6. まとめ

本報では、センサー配置と設定温度の最適化を例に、

参考文献

設計過程の階層構造に従って解の探索を行った結果について報告した。

この階層構造を考慮して検討すべき設計案を選択することにより、現実にはありえない検討や、必要以上に詳細な検討を行ったりせず効率的な最適化が行える。本報では提案された手法が実際の設計に有効であることを確認した。また、設計者に意思決定のための判断材料を提供することができるため、設計業務の効率化にも役立つものとする。具体的には以下のことを確認した。

- 1) ある階層での探索結果が不十分である場合、上位階層に戻るにより、より最適解の探索が可能である。
- 2) 快適性についての制約条件を厳しくした場合に、窓の仕様を熱的に有利なものにし、かつFCU風量を窓のスキムロードで決めた場合（窓面からの奥行き0m）に、センサー配置を最適化することができた。
- 3) 最適解の近傍解を見て、設定温度と室内温度の線形性の良い解を選ぶことができる。

今回最適化に用いた評価関数は、複数の目的関数値を一つの評価値にまとめて、最適化するものであり、設計者の意図は重み係数として反映される。重み係数の決め方は本報では設計者が任意の数字を決めた場合を想定したが、AHP（Analytic Hierarchy Process）を用いることで、より客観的に決めることができると考えられる。

これに対し、設計者の意志決定を後で行う方法としてMOGA（Multi-Objective Genetic Algorithm、多目的遺伝的アルゴリズム）という手法がある。MOGAではトレードオフの関係を確認した後で、解の選択を設計者が行うことができるため、重み係数の見当が付かない問題などに向いていると言われる。設計過程のどの段階でどの手法が有効か、今後、さらに検討をしていく必要がある。

- 1) 大野茂，森川泰成，大黒雅之，庄司研，加藤信介，金泰延：設計過程の階層構造を考慮した室内環境最適化手法に関する基礎的研究 第1報 - 階層構造の概要とCRIを用いた室内温熱環境最適化，空気調和・衛生工学会論文集，No.88,2003.1，pp.115～123
- 2) 大野茂，森川泰成，大黒雅之，庄司研，加藤信介，金泰延：設計プロセスの階層構造を考慮した最適空調設計支援システム（その1）-最適空調設計支援システムの概要-，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，2002，pp.509～512
- 3) 庄司研，大黒雅之，大野茂，森川泰成，加藤信介，金泰延：設計プロセスの階層構造を考慮した最適空調設計支援システム（その2）-CRIによる温熱環境予測と冬期空調条件の最適化-，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，2002，pp.513～516
- 4) 加藤信介，小林光，村上周三：不完全混合室内における換気効率・温熱環境形成効率評価指標に関する研究 第2報 - CFDに基づく局所領域の温熱環境形成寄与率評価指標の開発，空気調和・衛生工学会論文集，No.69,1998.4，pp.39～47
- 5) 菅健太郎，金泰延，加藤信介：室内温熱環境の最適設計における多目的問題に関する研究，-日照・日射を考慮した窓面最適設計における考察-，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，2002，pp.517～520
- 6) 笹本太郎，村上周三，加藤信介，菅健太郎：室内温熱環境形成寄与率（CRI）を利用した室内温熱環境制御に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集，2003，pp.671～674
- 7) 大黒雅之，斎藤正文，大山能永，張本和芳，大野茂：空調システム実験室，建築設備共通実験室，大成建設技術研究所報第30号，1997，pp.7～12
- 8) 大野茂，村上周三，森川泰成，大黒雅之：数値空調実験室の開発 - 基本性能の検証 -，日本建築学会計画系論文集，No.553，2002.3，pp.85～90
- 9) 加藤信介，金泰延，村上周三：室内温熱環境のCFD解析による最適設計手法の開発 遺伝的アルゴリズムを組み込んだ2段階型最適設計，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，2001，pp.69～72
- 10) 加藤直樹，大崎純，谷明勲：建築システム論，2002，共立出版