

熱・湿気回路網モデルを用いた状態とエネルギー供給の
最適化理論による事例研究

正会員 ○ 奥山 博康*

熱回路網 最適化理論 事例研究

1. はじめに

本論の最適化とは、熱的快適性、省エネ性と省エクセルギ性の3つを考慮し、各々に任意の重みをつけて構成されている最適制御の評価関数に基づいて、熱と湿気の流れとポテンシャルの複数の操作量による最適妥協点を数学的に算出するものである。この理論[1]の特徴の一つはモデルの一般性にある。全ての伝熱形態を一種類の一般化コンダクタンスと呼ぶパラメータで表し、熱容量の節点系として離散化されたモデルにおいて、完全連結システムの節点方程式と呼ぶ方程式を定義したこと等によって、どのような対象物であっても、その都度熱流バランスの式を立てる必要が無く、汎用的に適用できる計算プログラムを実現している。

ここでは本理論の機能的な可能性を示すことを主目的として、高・低断熱の違い、強制対流式、床暖房とラジエータ方式の違い、さらに複数人体と位置による違いなどを検討した事例研究について述べる。

2. 建築・設備・人体の暖房システム

計算対象としたのは図1に示す建物で、寸法[m]が幅3.665、天井高さ2.45、奥行き4.55、床面積は16.68[m²]の室容積40.86[m³]である。窓は縦1.5と横2.55で、パネルヒータは縦0.35と横1.61である。断熱厚さ[mm]は壁140、屋根190、天井210、床235の吹き込みグラスウール35K[6]である。比較の低断熱モデルではこれらが全て50とした。防湿層は室内側に設けている。強制対流式の温水流量は2.5[l/m]で風量は275.4[m³/h]であり、全熱交換器[2]の熱交換率は0.69、エンタルピー交換率は0.6で換気量は90[m³/h]とした。床暖房とパネルヒータ[3]は共に温水流量2.5[l/m]である。なお外気温度は0℃とした。人体は、室幅を6等分して窓近くから1/6、3/6と5/6の位置に各々人体1から人体3まで3体あり、代謝量は少し高めだが1.5metで、着衣は0.8cloとした。人体周囲は水蒸気圧11.2[mmHg]で気流速0.1[m/s]とした。

3. モデル化

図2には熱回路網のモデルを示し、湿気回路網の図は割愛する。建築物に関する離散化は既報[1]同様に検査体積法で一般化コンダクタンスを得た。設備関連のモデル化はカタログ値から逆算する方法によった。床暖房はカタログ[3]に断面での温度や表面からの放熱流の値があり、これらから一般化熱コンダクタンスを算出した。強制対流方式の温水コイルは、カタログの出入口温度から対数平均温度差の式を利用して熱貫流係数KAを計算[4]した後に分割して一般化熱コンダクタンスを得た。

熱回収器については熱交換率とNTUに関する計算式[4]から逆算した。同様に一般化湿気コンダクタンスはエンタルピーに関するカタログ値から逆算した。配管の熱損失は、25Aでロックウール20[mm]の断熱を持ち、往復10[m]としてモデル化している。放射伝熱に関する面対面や、人体を微小立方体とみなした形態係数は既成の方法[5]によった。人体伝熱モデルはPMVとの検証を行ったものである。なお人体表面の対流伝達の温度依存性と、全ての放射伝熱の温度依存の非線形性は収束計算によって考慮したモデルになっている。

4. 最適化と計算結果

本最適化理論は一種の最適制御法である。制御量は3人体の体中心温度で、制御目標値は36.85℃とし、操作量は各種暖房方式の温水への投入熱流である。湿気に関しては室温度が制御量で操作量は室空気への加湿量である。最適制御の評価関数[1]において、各項への重み付けは、投入熱流には10²を、加湿量には10を、体温の偏差には10⁹を、そして湿度の偏差には10⁹を与えた。比較のために検討した暖房方式は、床暖房、空気強制対流方式、パネルヒータと、さらにこれら3つの併用方式の合計4種類である。最適化の計算結果を投入熱流、温水入口温度、気温やMRT等について、高断熱と低断熱に分けて、各々表1と表2に示す。

投入熱流が少ない順に床暖房、パネルヒータ、強制対流式となっており、これは高・低断熱とも同じである。また併用方式は順位の中程である。最適な温水温度は高断熱の床暖房であれば、29.96℃と非常に低い温度で間に合うことが分かる。従ってこの暖房方式は、太陽熱等の質の悪い自然エネルギー利用には適していると言えよう。この温度は低断熱になれば10℃程高くなる。人体の位置による違いは、実現された体温によって判断されるが、窓面やパネルヒータの熱放射によるものである。従ってパネルヒータ使用時以外は窓面近くの人体が寒く感じていることが表れている。既報で述べたように、もし人体への操作熱流を大きな重みを付けてかければ、この熱流の大きさを温冷感申告として利用できるだろう。

5. まとめ

本理論によれば、建築・設備・人体の全体系にわたる総合的なシステムにおいて、熱的快適性、省エネ性と省エクセルギ性を同時に考慮した最適な設計を行うことが可能である。従って省エクセルギ的な最適な熱媒温度を設計できる他、従来のような空気温度偏重ではなく、熱放射環境を同等に考慮して評価できる。また本理論は多

変数入力システムでの最適化であるから、複合冷暖房などで複数の操作量があるときでも最適なエネルギー配分を決定でき、また複数の人体や制御量があっても最適化可能である。なお事例研究では、高断熱、床暖房と自然エネルギー利用の組み合わせが、省エネ的にも省エケルギ的にも有利である可能性が示された。

【参考文献】

- [1]奥山博康,熱・湿気回路網モデルを用いた状態とエネルギー供給の最適化理論と数値実験,空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集,'94年10月,137-140
- [2]松下電器産業,テクニカルマニュアル TM-21,高断熱高気密住宅向熱交換気暖房システム,FY-45ZSW+FY-150 ZDLKのシステム設計値等,pp.6-7
- [3]サンボット温水暖房システム,技術マニュアル94A,平成6年4月,p.14,p.81,p.83,pp.44-52
- [4]宇田川光弘,パソコンによる空気調和計算法,オーム社,'86年, pp.16-17
- [5]宿谷昌則,数値計算で学ぶ光と熱の建築環境学,丸善,'93年, pp.63-71,pp.194-199
- [6]日本ツープイフォー協会:R-2000住宅

<謝辞>当研究は一部通産省生活価値創造住宅開発プロジェクトと北海道電力総合研究所から援助を受けた。

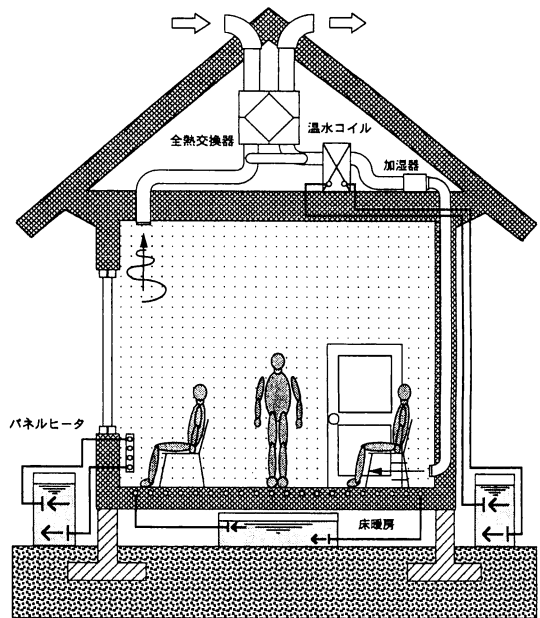


図1 計算機実験暖房換気システム

表1 高断熱の場合の最適化結果

	床暖房	強制対流	パネルヒータ	併用	
投入熱流 kW	0.7071	0.8261	0.7991	0.7777	
温水入口温度℃	29.96	43.11	48.38	省略	
気温℃	17.24	17.95	17.65	17.60	
MRT ℃	人体1	17.79	16.34	17.62	17.38
	人体2	18.33	17.03	17.25	17.52
	人体3	18.57	17.10	17.19	17.58
実現した体温℃	人体1	36.73	36.72	36.94	36.81
	人体2	36.86	36.89	36.80	36.84
	人体3	36.95	36.93	36.80	36.87

表2 低断熱の場合の最適化結果

	床暖房	強制対流	パネルヒータ	併用	
投入熱流 kW	1.459	1.566	1.502	1.509	
温水入口温度℃	41.06	76.76	77.02	省略	
気温℃	17.18	18.55	17.90	17.89	
MRT ℃	人体1	17.42	14.70	17.09	16.58
	人体2	18.38	15.93	16.34	16.84
	人体3	18.90	16.12	16.28	17.02
実現した体温℃	人体1	36.65	36.63	37.08	36.81
	人体2	36.86	36.92	36.73	36.82
	人体3	37.02	36.73	36.71	36.88

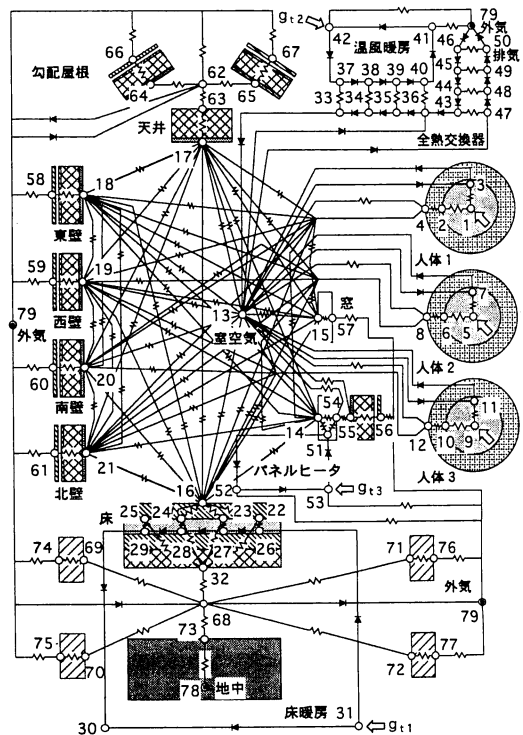


図2 熱回路網モデル

* 清水建設(株) 技術研究所・主任研究員・工博

Senior Researcher, Dr.Eng.
Institute of Technology
Shimizu Corporation