

機関番号：82113

研究種目：若手研究（研究活動スタート支援）

研究期間：2009～2010

課題番号：21860092

研究課題名（和文） 建築と設備の相互作用を考慮した動的計画法による空調システムの運転最適化

研究課題名（英文） Optimal Operational Method for HVAC Systems in Consideration of Interaction between HVAC System and Building

研究代表者

宮田 征門（MIYATA MASATO）

独立行政法人建築研究所環境研究グループ・研究員

研究者番号：40554986

研究成果の概要（和文）：

多大なエネルギーを消費する空調システムの省エネルギーを達成するためには、運用段階においてシステムの運転設定値を最適化することが重要である。しかし、既往研究による最適化は、建物や空調二次側システムの応答を考慮していない部分最適化である場合が多く、システム全体でみると厳密な最適解ではない。そこで、建築と空調設備システムの相互作用を考慮した動的な最適化問題として運転設定値を見出す新たな手法を開発した。建物と設備の相互作用を解くことができるシステムシミュレーションを開発して省エネ効果を検証したところ、本手法による動的最適化により、従来の最適化手法に比べて更に約 3～13%エネルギー消費量を削減できることが判った。

研究成果の概要（英文）：

In order to reduce the energy consumption of the air-conditioning system in commercial buildings, it is important to optimize the operation method of the system in the operation phase. Because the optimization method in the past researches is often a sub-optimization not to consider the heat response between the building and the air-conditioning system, the optimum solution may not be proper from the view point of the entire system. This research developed the method to optimize the entire system considering the interaction between the building and the air-conditioning system as a dynamic optimization problem. The calculation results by the system simulation which this research developed to solve the interaction show that the proposed optimization method can reduce energy consumption about 3 to 13 % more than the existing optimization method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,080,000	324,000	1,404,000
平成 22 年度	980,000	294,000	1,274,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：建築環境工学

科研費の分科・細目：工学，建築環境・設備

キーワード：建築設備，空調システム，エネルギー効率化，省エネルギー，動的最適化

## 1. 研究開始当初の背景

渇枯しつつある資源やエネルギーを無駄なく有効に利用することは持続型社会を実現するための重要課題であり、温室効果ガスの排出量削減のためにも重要である。これを達成するためには、社会全体の総エネルギー消費量の約4割を担う建築分野における取組みが必須であり、その中でも特に多大なエネルギーを消費する空調システムの省エネルギー化は火急の課題である。

空調システムの実効ある省エネルギーを達成するためには、空調機器の高効率化や新しい設計技術の開発だけではなく、建物が竣工し運用される段階においてシステムの機能や性能を検証し、必要に応じて運転方法を最適化するプロセスが重要である。このプロセスはコミショニングと呼ばれ、近年世界的に注目されている新しい分野である。現状では、このような検証プロセスは実施されておらず、多くのシステムで機器の故障や設定ミスなどによる不具合が発生したまま運用されており、多大なエネルギーを浪費している。また、設計時に想定されたシステムの運用条件と実際の運用条件とが大きく異なるために、非効率な運転がなされている建物も多い。IEA (International Energy Agency) の研究報告書によれば、コミショニングの実施により約20~30%のエネルギー消費量を節減できると報告されている。

コミショニングの重要性は認識され始めているが、空調システムは複数の機器が相互に関係し合う複雑なシステムであり、その実施には多くの時間、コスト、専門的知識が必要となる。この問題を解消するためにシステムシミュレーションを利用した性能検証手法・最適化手法の開発が注目されている。しかし、システムの運転最適化手法については未だ十分に議論されておらず、特にシステム内に複数個存在する運転設定値（例えば、給気温度設定値や熱源出口冷水温度設定値など）をエネルギー消費量の観点から合理的に最適化する手法はまだ確立されていない。近年の複雑化した空調システムに対して最適な設定値を人間の思考や経験から見出すことは難しいため、前述の性能検証手法と同様に、システムシミュレーションを利用した最適化手法の開発が求められている。

シミュレーションを利用した運転制御の最適化については幾つか先行研究があるが、真に省エネルギーを達成するためには、さらに次の検討を行う必要がある。

### (1) 省エネルギーという観点からの運転制御の最適化

運転制御ロジックの最適化に関する先行研究の多くは、制御性能（制御目標値への追従性）の向上を目的とした最適化である。エネルギー消費量の観点から最適化された制

御について分析を行う必要がある。

### (2) システム全体のエネルギー消費量を目的関数とした全体制御による最適化

現状ではシステムの運転設定値は個別に自動制御されていることが多い。しかし、幾つかの運転設定値はエネルギー消費量の観点から見てトレードオフの関係にあるため（例えば、給気温度と給気風量、熱源出口冷水温度と熱源冷水流量など）、従来型の個別制御ではなく、システム全体のエネルギー消費量を目的関数とした全体制御による最適化を実施すべきである。

### (3) 建築と設備のインタラクションを考慮した最適化

先行研究の多くは、空調システムの一部のみを対象とした最適化や、建築や空調二次側の応答を考慮しない空調一次側システムのみを対象とした最適化を扱っている。このような部分最適化による解は、システム全体としては最適解ではない可能性がある。真に最適化をするためには、建築と設備のインタラクションを考慮したシステム全体で解く必要がある。

### (4) 動的な最適化

先行研究の多くは静的な最適化問題として解いているが、建築を含め空調システムはダイナミックなシステムである。厳密に最適化するためには、動的最適化問題として解くべきである。

## 2. 研究の目的

本研究では、建物とのインタラクションを考慮した運転最適化手法の開発を目的として、まずは建物と設備システムとの相互作用が解けるシステムシミュレーションを開発する。次に、システムシミュレーションを用いて一次側のみを対象とした従来の最適化と二次側まで含めた動的最適化で最適解やエネルギー消費量、室内温熱環境にどの程度の違いが生じるかを明らかにする。この際の境界条件のデータには実建物の運転データを利用し、実条件下での効果を求める。

## 3. 研究の方法

室熱収支モデル、空調機器モデル、制御ロジックモデルを組み合わせるシステムシミュレーションを開発した。想定したシステムを図1に、シミュレーションの計算フローを図2に、シミュレーションのインターフェイスを図3に示す。室熱収支モデルには、HASP/ACLD8501の計算時間間隔を1分に変更したモデルを使用する。シミュレーションの入力は、外気温湿度、基準温湿度における熱負荷、給気温度設定値、冷凍機出口冷水温度設定値、冷却塔出口冷却水温度設定値、冷却塔出入口冷却水温度差設定値であり、出力は各機器の消費電力である。シミュレーションの計算時

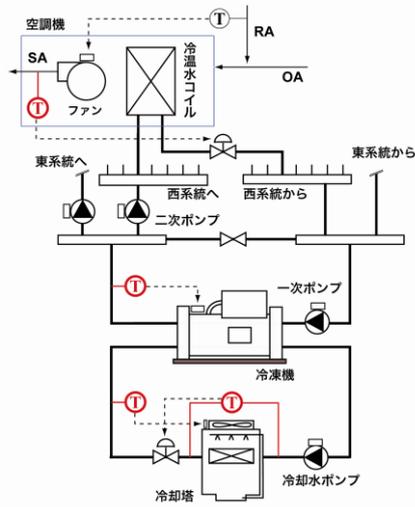


図1 想定した空調システムの概要

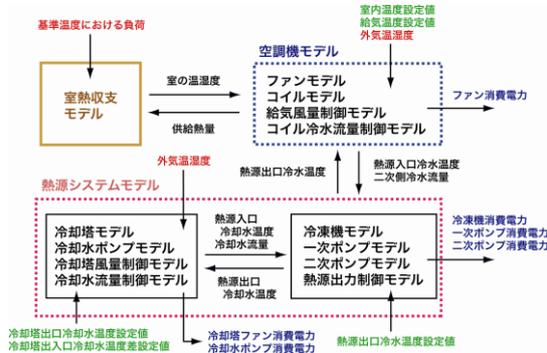


図2 動的シミュレーションのフロー

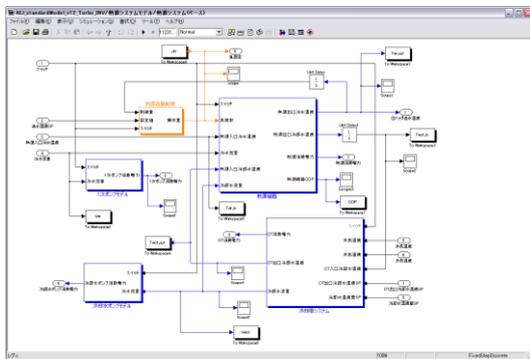


図3 シミュレーションのインターフェイス

間隔は1分とした。冷凍機については固定速ターボ冷凍機が導入されたシステム(システム A)と、可変速ターボ冷凍機が導入されたシステム(システム B)を想定し、それぞれについて検討を行う。

#### 4. 研究成果

次の4つの最適化手法に関して比較検討を行った。

Case 0: 最適化なし

最適化を行わず、給気温度は 17℃、熱源送水温度は 7℃、冷却水温度は 32℃、冷却水温度差は 5℃で一定とする。

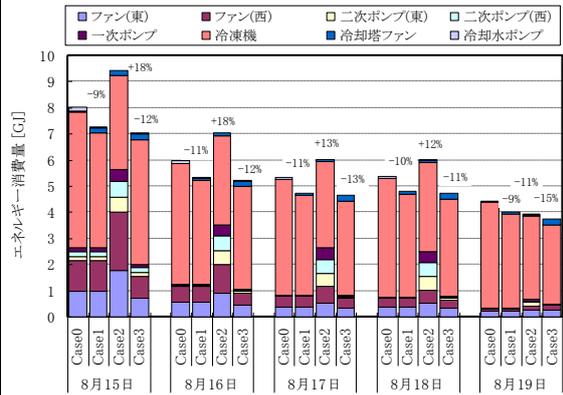


図4 最適化効果検証結果 (システム A)

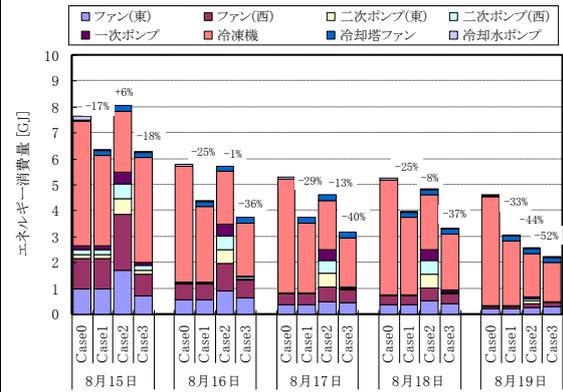


図5 最適化効果検証結果 (システム B)

Case 1: 冷却塔システムのみ最適化

冷却水温度と冷却水温度差を最適化する。建物と空調二次側システムの計算は行わず、境界条件として二次側負荷を与える。給気温度は 17℃、熱源送水温度は 7℃とし、二次側流量はコイル出入口温度差が 5℃となるように決める。目的関数はファン以外のエネルギー消費量とする。

Case 2: 一次側システムのみ最適化

熱源送水温度、冷却水温度、冷却水温度差を最適化する。ケース 1 と同様に二次側負荷を境界条件として与える。目的関数もケース 1 と同じとする。給気温度は 17℃とする。

Case 3: 二次側を含めシステム全体で最適化

給気温度、熱源送水温度、冷却水温度、冷却水温度差を最適化する。建物側まで含めたシミュレーションを行い、最適解を求める。目的関数はシステム全体のエネルギー消費量とする。

結果の一例として、8月15日(月)~19日(金)の5日間を対象とし、一日毎に最適な設定値を1組求めた結果を示す。シミュレーションの気象条件には東京の標準気象データを用い、空調時間は平日 8:00~19:00、室内温度設定値は 26℃とした。

各ケースのシステム全体の日積算エネルギー消費量を図 4, 5 に、各日の最適解を図 6 に示す。また、空調稼働時間における室内温

表 1 空調稼働時間における室内温湿度の平均値

検討システム / ケース	東系統		西系統		
	室温 [°C]	湿度 [%]	室温 [°C]	湿度 [%]	
固定速	Case0	25.9	48.9%	26.0	48.3%
	Case1	25.9	48.9%	26.0	48.3%
	Case2	26.1	51.8%	26.1	51.7%
	Case3	25.9	47.1%	26.0	46.9%
INV	Case0	25.9	48.9%	26.0	48.3%
	Case1	25.9	48.9%	26.0	48.3%
	Case2	26.0	51.4%	26.1	51.3%
	Case3	26.0	50.1%	26.0	49.6%

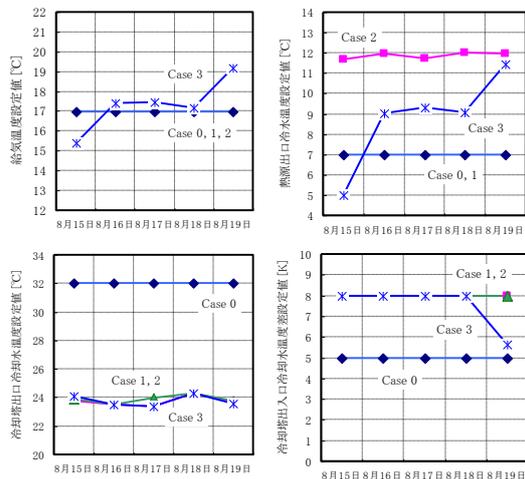


図 6 システム B の最適解

湿度の平均値を表 1 に示す。表 1 より、全てのケースで室内温熱環境に大きな悪影響は出ていないことが確認できる。

Case1 では、冷却水温度を下げて冷凍機消費電力を減らし、冷却水温度差を上げて冷却水ポンプの消費電力を減らす運転が最適解として得られた。Case0 と比較して、システム A のエネルギー消費量は約 10%、システム B は約 25% 小さい。

Case2 では、冷却水温度と冷却水温度差は Case1 と同様とし、熱源送水温度を上げて冷凍機消費電力を減らす運転が最適解として得られた。しかし、この運転法では冷凍機出口冷水温度が高くなるため二次ポンプと給気ファンの消費電力が増え、Case0 よりもエネルギー消費量が増える場合がある。5 日間の積算エネルギー消費量を Case0 と比較すると、システム B では約 10% 小さいが、システム A では約 11% 大きい。従って、一次側システムのみでの最適化はエネルギー消費量を増加させる可能性があると言える。

Case3 では、二次側負荷が小さいときは給気温度と熱源送水温度を下げ、負荷が大きいときは上げる運転が最適解として得られた。Case1 とエネルギー消費量を比較すると、Case2 の方がシステム A では約 3%、システム B では約 13% 小さい。

空調一次側システムのみを対象とした従来の最適化と二次側システムまで含めた動的最適化にどの程度の差があるのかを比較

検討した結果、本手法による動的最適化により、従来の最適化手法に比べて更に約 3~13% エネルギー消費量を削減できることが判った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 姜信愛, 赤司泰義, 宮田征門, 他 2 名: 建物空調システム設計が運用時のエネルギー消費量に与える影響, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 査読有, No.17, pp.55-62, 2010. 1
- ② 松下直幹, 李霽憲, 吉田健一, 赤司泰義, 宮田征門, 他 2 名: 空調用熱源システムの部分負荷運転制御法の開発と導入効果の検証, 空気調和衛生工学会論文集, 査読有, No.164, pp.39-48, 2010. 11

[学会発表] (計 9 件)

- ① 藤村昌弘, 吉田健一, 李霽憲, 松下直幹, 田中誠, 宮田征門, 他 2 名: 空調用熱源システム運用におけるコミショニングツールの開発, (第 3 報) リアルタイム運用最適化および 0 台運転制御の効果検証, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, p2195-2198, 2010. 9
- ② 宮田征門, 赤司泰義, 末吉祥平: 建物とのインタラクションを考慮した空調システムの最適運転制御法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1083-1084, 2009. 8
- ③ 吉田健一, 李霽憲, 松下直幹, 赤司泰義, 宮田征門: 空調用熱源システム運用におけるコミショニングツールの開発, (第 1 報) リアルタイム運用最適化ツールの概要とシミュレーションによる省エネ効果の推定, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, p1367-1370, 2009. 9
- ④ 福崎達也, 赤司泰義, 宮田征門: 産業用熱源システムにおける高効率化技術の省エネルギー効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1217-1220, 2009. 8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮田 征門 (MIYATA MASATO)

独立行政法人建築研究所環境研究グループ・研究員

研究者番号: 40554986

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: