

## コンサートホールにおける立ち上がり時の最適空調制御の検討

建築都市デザイン学科 2280040006-0 飯田 洋平  
(指導教員 近本智行)

### 1. はじめに

コンサートホールのような大空間では空調運転開始から設定温度に到達するまでの時間を、経験則から判断している場合が多く必要以上のエネルギーを消費している可能性がある。本研究ではコンサート・オペラ開催可能な大ホールにおいて空調運転実測データの分析を行い、空調給気温度と室内温度変動との応答性能を明らかにすることで立ち上がり時の最適空調制御を検討する。

### 2. 概要

#### 2.1 解析対象

コンサート・オペラ開催可能な大ホール<sup>文1)</sup>を対象とする。この施設は床吹き出し空調を行うことで居住域の高効率空調制御が可能である。また、図1に示す、地下のコンクリートチャンバーが大きな蓄熱成分として働くため、投入熱量に対する室温の応答遅れがあると考えられる。対象施設の概要は表2。データ解析期間は冷房運転期間である夏季(2006年8月1日~2006年8月31日)の大ホール施設利用日とした。

#### 2.2 解析手法

##### ①温度影響係数の導出

本研究では、給気温度が任意の質点<sup>註1)</sup>に影響を及ぼす際の係数を温度影響係数と定義する。また、給気温度を想定した質点と、その温度影響を受ける居住域温度を表現する質点を一次元上に80点想定(図3参照)する<sup>註2)</sup>。

対象施設は図4のような室温の変化を示す。空調運転開始時刻から室温変化のない時間を $t_s \sim t_1$ 間、室温が変動し設定温度に到達するまでの時間を $t_1 \sim t_e$ 間とする。

・  $t_s \sim t_1$ 間

室温変化が始まる $t_1$ までに各質点に給気温度の影響による温度分布が生じるものとする。

・  $t_1 \sim t_e$ 間

$t_s \sim t_1$ 間に生じた温度状態を初期条件として温度影響係数を変動させた各検証ケース(表3)において各質点との温度影響計算を行い、給気温度を想定した質点からの温度影響による各質点の温度を一分間隔の各時刻 $t$ で算出することで室温が変化し始める $t_1$ から設定温度に到達する $t_e$ までの温度変化を質点上で近似させ、その相関関係の強弱を解析し対象施設特有の温

表1 大ホール概要

収容数 (オペラ時)	2001席
(コンサート時)	2141席
客席最大幅	31.4m
客席天井高さ	22.3m(最高部)
舞台総面積	2070.0 m <sup>2</sup>



図1 大ホール

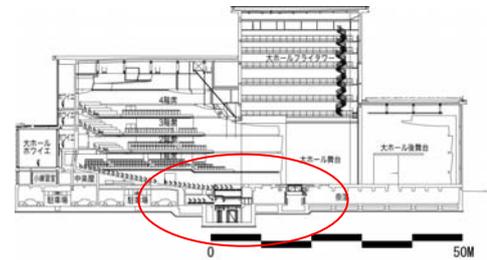


図2 床吹き出し空調と床下チャンバー

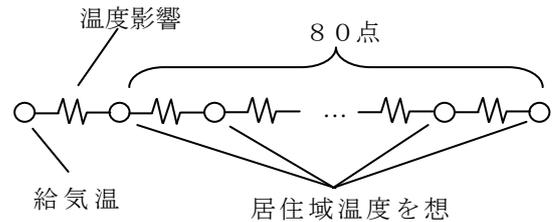


図3 質点概念図

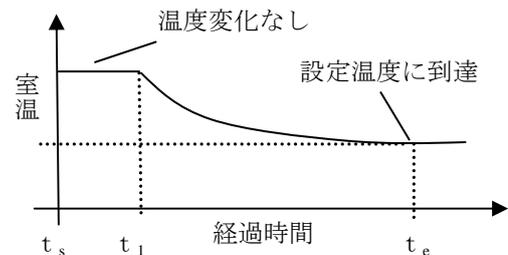


図4 経過時間と室内変動

表2 計算式

給気温度を想定質点の温度 $\theta_0$
$\theta_0 = \theta_i - \theta_s$
$\theta_i$ : 初期室温 $\theta_s$ : 給気温度
$t$ 時刻の質点 $n$ の温度 $\theta_n$
$\theta_n = \alpha (\theta_{N-1} - \theta_n) + \theta_n - \alpha (\theta_n - \theta_{N+1})$
$\alpha$ : 温度影響係数
$\theta_n$ : $t$ 時刻の質点 $n$ の温度
$\theta_N$ : $t-1$ 時刻の質点 $n$ の温度

度影響係数を導出する。空調運転中の任意の時刻  $t$  の質点  $n$  の温度算出に用いる計算式を表 2 に示す。

②室温再現シミュレート精度検証

前述の検証から得た相関関係から質点温度から室温を導く関係式を導出し、空調運転中の任意の時刻の室温を算出するシミュレーションを実際空調運転給気温度データ上で実行した。その結果を実際室温データと比較し、計算結果精度を検証した。また室温再現シミュレートを利用して任意の初期温度から設定温度 22℃ に到達するまでの時間を初期室温 23℃ から 28℃ まで 0.5℃ 間隔で算出したものを表 4 に示す。

③最適空調制御シミュレート

2006 年 8 月 1 日～8 月 31 日における大ホールイベント開催日を対象として、実際の給気パターンを再現した給気温度設定で施設利用時刻 60 分前に設定温度に到達する仮想運転と実際運転の投入熱量日積算値を比較する。その際の給気温度設定は表 4 に示す。

3. 結果

①温度影響係数の導出

検証したケースのうちの相関を強く示した代表的なケースを表 5 に示す。Case 2.5 (質点 5、温度影響係数 0.2) での相関関係がもっとも強く、 $R^2=0.975$  を示した。また、熱影響係数が小さいほど給気温度を想定した質点に近い質点が強い相関を示した。

②室温再現シミュレーション精度検証

算出した室温と実際室温との温度差から確認する。全体で実際室温との誤差  $-0.41℃ \sim 0.40℃$  の精度で室温を再現できている。空調運転開始から設定温度到達時までの各時刻の誤差幅は図 5 に示す。ここから空調運転開始直後においては実室温よりやや低くシミュレート結果がでることがわかる。

③最適空調制御シミュレート

空調運転時間を大幅に短縮できることが確認でき、日積算投入熱量は全体で約 13.78% の投入熱量の削減ができ、図 6 に示すように約 2.3GJ の投入熱量の削減ができることを明らかにした。

4. まとめ

質点を用いることで、解析対象施設で観測される温度応答遅れを考慮した解析を行うことができた。また、温度影響係数を明らかにすることで室温が初期室温からの設定温度に到達する時間を導出することができ、運転時間を短縮する空調運転が可能となった。今後は人体発熱などの室内負荷や外気温などの外乱の影響を考慮する、また、温度影響を三次元的に考察することにより立ち上がり時だけでなく運転時間全体の空調制御手法の検討することで更なる省エネルギー効果を生み出す可能性がある。

表 3 温度影響係数検証ケース

case	温度影響係数	質点
1.1~80	0.1	1~80
2.1~80	0.2	1~80
3.1~80	0.3	1~80
4.1~80	0.4	1~80
5.1~80	0.5	1~80

表 4 シミュレーション給気温度設定

t 時の給気温度	t + 1 時の給気温度
$\theta_s > 17℃$	$\theta_s = \theta_s - 0.3℃/分$
$\theta_s \leq 17℃$	$\theta_s = 17℃$

$\theta_s$  = 給気温度  
 $\theta_i$  = 室内温度

表 5 温度影響係数検証結果

case	温度影響係数	質点	相関
1.3	0.1	3	0.9747
2.5	0.2	5	0.9751
3.5	0.3	5	0.9737
4.7	0.4	7	0.9748
5.8	0.5	8	0.9746

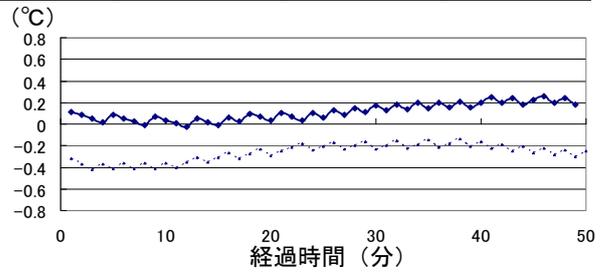


図 5 シミュレート精度

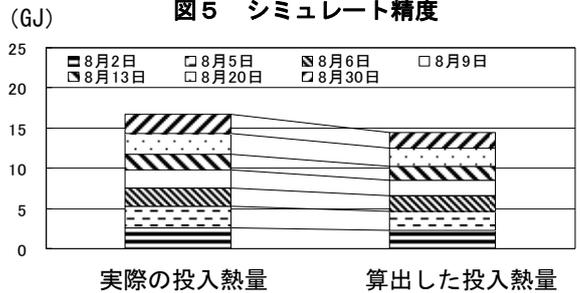


図 6 積算投入熱量比較

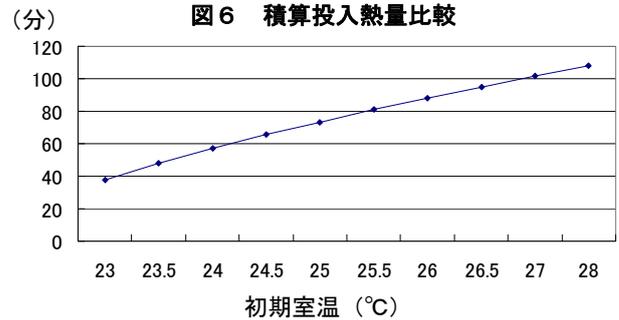


図 7 初期室温と設定温度到達時間の関係

文 1) 橋本直樹 他 劇場建築の空調性能と室内環境の検討  
注 1) 質点とは質量のみを有すほかの属性をもたない力学上の概念であるがここでは温度影響を受けるものとする  
注 2) 本研究において質点は無限に想定するものであるが 80 項に注目して解析した。