

# 電子回路による暖房のシミュレーション

Electronic Analogue Simulation of Room Heating

沢井善三郎・川瀬 太郎・里 和武

はじめに 暖房の自動制御装置の設計のポイントは、暖房する部屋の熱的特性を明確に知って、その特性に合った装置をデザインすることである。

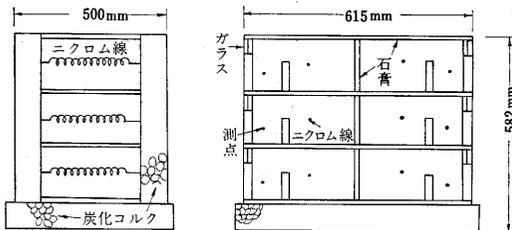
しかし、暖房する部屋の熱的定数は空間に広く分布し室温の変動は非常にゆっくりしている。また、建築物はいったんこれを建ててしまうと、その熱的定数を簡単に変えることができない。したがって、特定の建築物にマッチした暖房装置を設計し、これを自動制御して満足な動特性を得るには、相当の手間と時間がかかる。

そこで、熱と電気に対応を利用して、部屋の熱現象を電氣的に表現したモデルを作り、これによって暖房のシミュレーションをおこなえば、手軽にまた短時間に実験でき、実際の装置の設計に役立つであろうと考えてこれを実行してみた。

1. 熱と電気に対応 熱量の伝導と蓄積を支配する法則は電気量の伝導と蓄積を支配する法則と相似しているため、熱と電気に関する諸量の間には第1表の対応づけられる。

温度 $\theta$	: 電 圧 $V$
毎時供給熱量 $H$	: 電 流 $I$
熱損失係数 $W$	: 電気伝導度 $K=R^{-1}$
熱容量 $Q$	: 電気容量 $C$

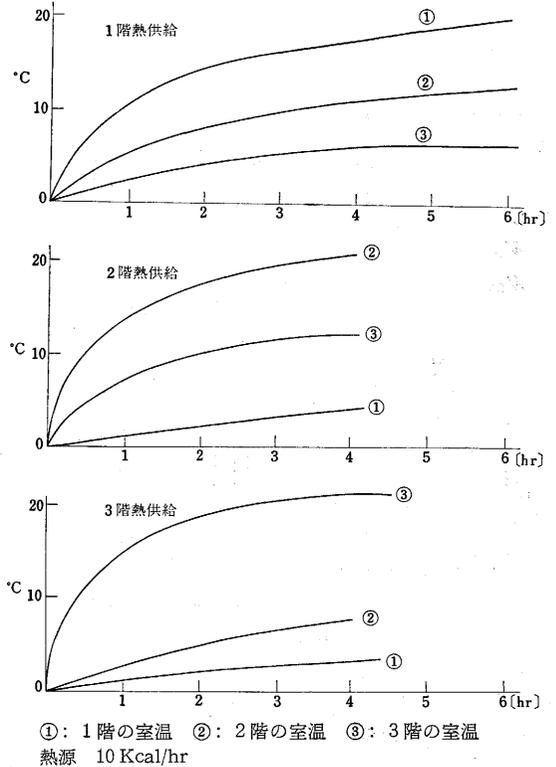
2. 石膏模型と室温上昇曲線 多数の室が上下左右にあって、それらの熱的定数と所要室温が違ふと、室温の変動が複雑になる。こういう場合、室を区切る間仕切り床・天井等の構造体のもつ熱的定数がどう影響するかを調べるために作られたのが第1図の石膏模型である。<sup>1)</sup>



第1図 石膏模型

この石膏模型は3層で、各層に2室あり、各室の中央に熱源としてニクロム線を配し、室温は熱電対により連続自動記録された。一つの階の相隣る2室のみに熱供給したときの各階の室温上昇曲線が第2図である。

3. 定数の決定と等価回路の作成 第1図の石膏模型において、つぎの式を設定した。



第2図 室温上昇曲線

1階熱供給のとき、

$$\left. \begin{aligned} Q_1 \frac{d\theta_1}{dt} + W_{10}\theta_1 + W_{12}(\theta_1 - \theta_2) &= H \\ Q_2 \frac{d\theta_2}{dt} + W_{20}\theta_2 + W_{23}(\theta_2 - \theta_3) &= W_{12}(\theta_1 - \theta_2) \\ Q_3 \frac{d\theta_3}{dt} + W_{30}\theta_3 &= W_{23}(\theta_2 - \theta_3) \end{aligned} \right\} (1)$$

2階熱供給のとき、

$$\left. \begin{aligned} Q_1 \frac{d\theta_1}{dt} + W_{10}\theta_1 &= W_{21}(\theta_2 - \theta_1) \\ Q_2 \frac{d\theta_2}{dt} + W_{20}\theta_2 + W_{23}(\theta_2 - \theta_3) + W_{21}(\theta_2 - \theta_1) &= H \\ Q_3 \frac{d\theta_3}{dt} + W_{30}\theta_3 &= W_{23}(\theta_2 - \theta_3) \end{aligned} \right\} (2)$$

3階熱供給のとき、

$$\left. \begin{aligned} Q_1 \frac{d\theta_1}{dt} + W_{10}\theta_1 &= W_{21}(\theta_2 - \theta_1) \\ Q_2 \frac{d\theta_2}{dt} + W_{20}\theta_2 + W_{21}(\theta_2 - \theta_1) &= W_{32}(\theta_3 - \theta_2) \\ Q_3 \frac{d\theta_3}{dt} + W_{30}\theta_3 + W_{32}(\theta_3 - \theta_2) &= H \end{aligned} \right\} (3)$$

研究速報

ただし、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  は 1, 2, 3 階の温度、 $H$  は熱源の毎時供給熱量、 $Q_1, Q_2, Q_3$  は各階の熱容量、 $W_{ik}$  ( $i, k=1, 2, 3, 0$ ) は各階および外気 (0) 相互間の熱損失係数である。

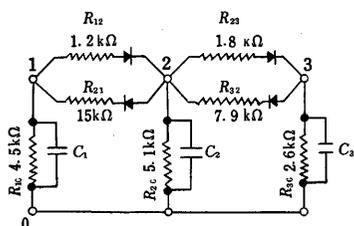
第2表 室温の定常値  
1階熱供給 2階熱供給 3階熱供給

$\theta_1$	20	5	2
$\theta_2$	13	21	7
$\theta_3$	8	12	21

第2図から、各室温の定常値(最終値)を第2表のように読み取った。これらの温度値を式(1), (2), (3)に投入し、微分項は零として解くと  $W_{ik}$  としてつぎの値をえる。

$$W_{10}=0.22 \quad W_{12}=0.82 \quad W_{20}=0.20 \quad W_{21}=0.07$$

$$W_{30}=0.39 \quad W_{23}=0.55 \quad W_{32}=0.13 \quad (\text{kcal}/^\circ\text{C}\cdot\text{hr})$$



第3図 石膏模型の等価回路

も大きい。そこで、第3図の等価回路を作った。図中の  $R_{ik}$  は  $W_{ik}$  を次式で変換した値である。

$$\frac{R}{1/W} = 10^8 \left[ \frac{\text{kcal} \cdot \Omega}{^\circ\text{C} \cdot \text{hr}} \right] \quad (4)$$

図中の整流器は熱伝達に方向性を与えるためである。点 1, 2, 3 が 1, 2, 3 階の測点に相当し、0 は外気に相当する。

つぎに、熱系の 1 時間を電気系の 1 秒に変換し、電圧と温度の間には、つぎの変換係数を定めた。

$$\frac{V}{\theta} = \frac{1}{10} \text{ [volt}/^\circ\text{C}] \quad (5)$$

熱容量と電気容量の間にはつぎの関係が定まる。

$$\frac{Q}{C} = 10^8 \text{ [kcal}/^\circ\text{C} \cdot \text{F}] \quad (6)$$

さて、第3図の電気容量  $C_1, C_2, C_3$  を調節して、点 1, 2, 3 と 0 との間に定電流を供給した場合に、第2図の曲線に最も近い電圧変化を与える容量値を求めると、

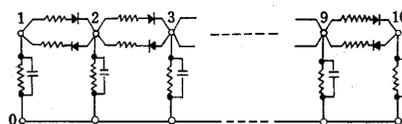
$$C_1=330, C_2=300, C_3=230 \text{ } (\mu\text{F})$$

これを(6)式にしたがって換算し、

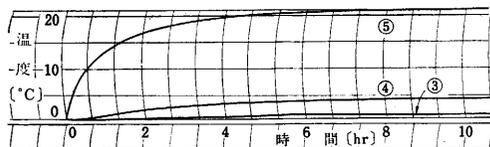
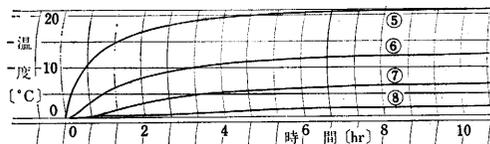
$$Q_1=0.33, Q_2=0.30, Q_3=0.23 \text{ (kcal}/^\circ\text{C})$$

の熱容量を決定した。

4. 10階モデルとフィードバック 第3図の等価回路にさらに容量と抵抗を追加して 10 階モデル(第4図)を作った。

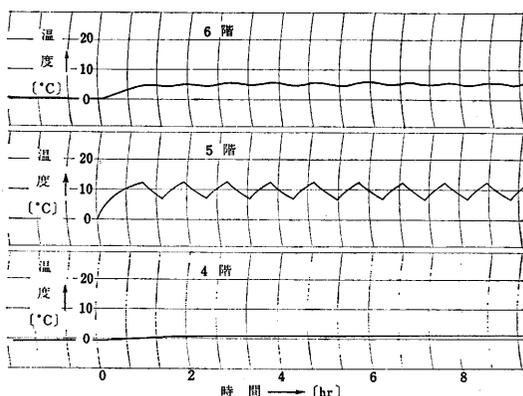


第4図 10階モデル



⑤: n 階室温 5 階熱供給 10 Kcal/hr

第5図 10階モデルの室温上昇曲線



第6図 設定値  $10 \pm 3^\circ\text{C}$  の場合の各室温変化

第5図はその5階に熱供給したときの室温上昇曲線を第4図の等価回路で純電気的に作ったものである。第6図は5階の電圧(温度)をトランジスタ回路で検出し、熱源に相当する定電流源をオン・オフして、暖房のフィードバック自動制御に相当する現象をシミュレートした結果である。5階に隣接する6階には室温の脈動が伝わるが、4階には伝わらないことがわかる。

おわりに 本研究に資料を提供して下さった東京大学生産技術研究所・勝田高司教授、早稲田大学・木村建一講師に感謝する。

(1964年4月3日受理)

文 献

- 1) 木村建一ほか3名, 3層2スパンの石膏模型による室温変動実験, 日本建築学会関東支部研究発表会梗概集, 第34回, 第2分冊, 1963