

# ファイトトロンにおける制御系のアナログシミュレーション (IV)

## 温湿度制御系の操作能力を変えた場合の動特性<sup>1)</sup>

船田 周\*・橋本 康\*・大政謙次\*・今村真逸\*

愛媛大学農学部\*

ファイトトロンの空気調和プロセスによる温湿度制御系の動特性は、実測による制御対象の  $T$ ,  $L$  の値や操作部の容量などに基づくアナログシミュレーションで、より詳細に把握される。

本論文では、ファイトトロンの制御のよりよい設計資料をうるため、操作部の容量、すなわち熱交換器や調湿器の能力につき既存のファイトトロンの仕様でない組合せまで拡張し、動特性の評価を行なった。ファイトトロンの空気調和プロセスでは、高性能グロースチャンパーの温湿度制御系と異なり、過渡特性については従来あまり重視した設計はされていない。それ故、実測とシミュレーションのフィードバックにも限界があり、過渡については多くの未解明の問題をかかえている。したがって定常特性を中心に検討し、一部過渡特性にも触れた。結論として定常状態では外乱が少ない場合には、操作能力は小さい方がよいことなどが (Table 5) 導かれ、過渡状態では Table 6 が導かれた。

昭和47年12月18日受付

### 1. ま え が き

ファイトトロンの制御系を実測をもとにアナログシミュレーションで検討し、すでに温度制御系についてはその定性的解明<sup>1)</sup>を、ついで定量的な条件設定による動特性を考慮した温度制御系の設計法<sup>2)</sup>を、他方、湿度については、加湿、減湿の定性的特性<sup>3)</sup>、ならびに温湿度二変数制御系の定性特性<sup>3)</sup>を報告した。本論文では、温湿度二変数制御系につき温度、湿度の各操作能力を変え、温湿度の定量的な動特性をえたので以下報告する。

### 2. システムの概要と条件設定

今回のシミュレーションで用いたパッチプログラムを Fig. 1 に示す。操作部の各要素は不感帯を持ち、加温は P.I. 動作、冷却除湿は 3 位置オンオフ動作、加湿は 2 位置動作で制御される。温湿度時定数は、それぞれ独立に、

<sup>1)</sup> Shu FUNADA, Yasushi HASHIMOTO, Kenji OMASA and Shin-itsu IMAMURA: On the Analog Simulation of Control System of Phytotron. (IV) Dynamic Characteristic of Temperature and Humidity Control System with Several Capacities of Manipulated Means.

\* Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama.

むだ時間を持った一次遅れで近似するが、これは調節操作部と制御対象との特性が複合されたものとして示される。外乱は、温湿度それぞれ Pot. 12, 13 によって任意に設定できるようになっており、また、初期値は Pot. 18, 19 によって与えるが、そのみでは制御対象の初期値としては作用しないので、Pot. 22 で相对湿度に換算したバイアスをかける。Pot. 23 は、制御対象での信号と操作段階での信号とを変換する係数を与える。評価は、単位時間当りの偏差の絶対値積分量 (I.A.E./min) で行なう。

以上がシステムの概要であるが、具体的には、Table 1 に示す条件を任意に組合せてセットする。ただし、冷却、除湿とも No. 1, No. 2 は同じ能力とし、加湿は除湿の 2 倍の能力を有する組合せとする。Pot. 23 は、25°C、50% の状態を基準にとり、相对湿度と絶対湿度との変換係数  $k_{hx}=0.201$ 、温度と絶対湿度との対比係数  $k_{xt}=4.98$  との積すなわち、 $k_{ht}=k_{hx}\cdot k_{xt}=1.00$  で与える。具体的な組合せについては、その都度記すが、その際使用する記号は、冷却能力:  $l_{cp}$ 、除湿能力:  $h_{ap}$ 、加湿能力:  $h_{hp}$ 、加温の比例感度:  $P$ 、積分時間:  $I$ 、温度時定数:  $T_i$ 、湿度時定数:  $T_h$ 、温度むだ時間:  $L_i$ 、湿度むだ時間:  $L_h$ 、温度外乱:  $D_i$ 、湿度外乱:  $D_h$ 、温度初期値:  $t_i$ 、湿度初期値:  $h_i$  とする。操作能力は、温湿度それぞれ °C (kcal/kg),  $10^{-3}$  kg/kg 単位で与えてある

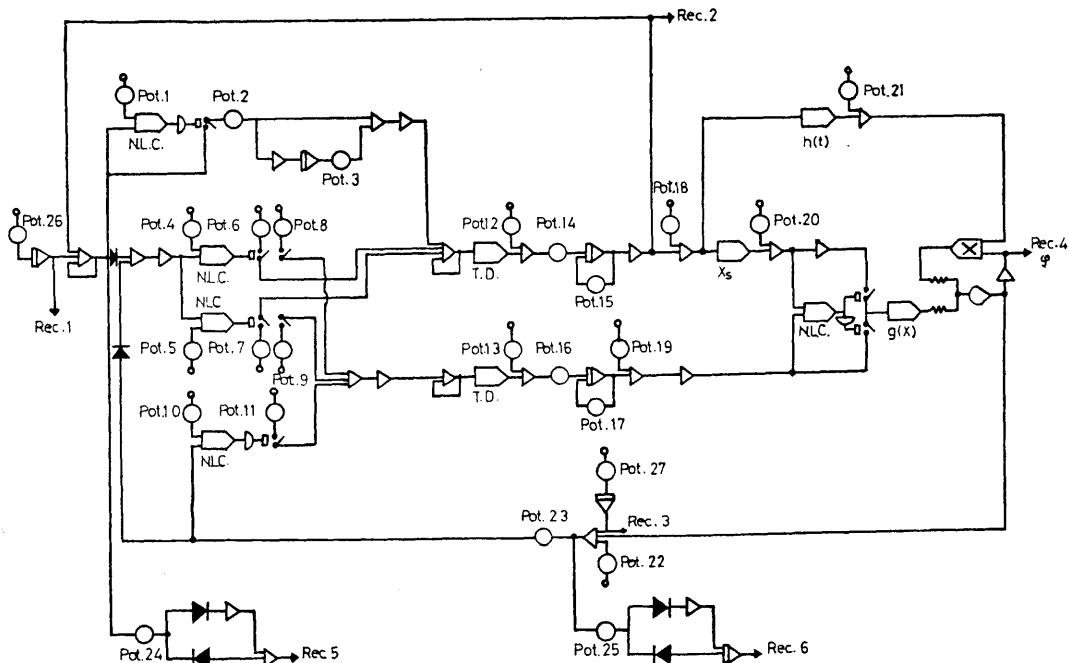


Fig. 1 Computer setup for temperature and humidity control system.

No.	Setup-potentiometer
Pot. 1	dead zone of heating
2	proportional sensitivity of heating P.I. controller
3	integral time of heating P.I. controller
4, 5	dead zone of cooling and dehumidifying
6, 7	power of cooling on-off controller
8, 9	power of dehumidifying on-off controller
10	dead zone of humidifying
11	power of humidifying on-off controller
12	temperature disturbance
13	humidity disturbance
14, 15	time constant of temperature system (first order lag)
16, 17	time constant of humidity system (first order lag)
18	initial condition of temperature system
19	initial condition of humidity system
20, 21	bias of $t-x$ chart
22	bias which sets initial condition of humidity system
23	coefficient of relative to absolute humidity converter
24	coefficient of I.A.E.
26	input of temperature
27	input of humidity

が、風量を規定することにより、時間の概念を導入することができる。すなわち、操作が“オン”とは、初期値プラス設定した操作能力の状態、また“オフ”とは、初期状態のままの湿り空気を制御対象に送っている状態のことであり、風量 (kg/hr) を設定した操作能力に掛けて

やれば、一般に使用されている能力と比較することができる。

次に、温度操作能力の目安となる湿り空気のエンタルピ  $i$  (kcal/kg) について記す。これは次式で示すことができる。

$$\begin{aligned}
 i &= i_a + x \cdot i_v \\
 &= C_p t + x(r + C_d t) \\
 &= 0.240t + x(597.3 + 0.44t) \quad (i)
 \end{aligned}$$

ただし,  $i_a$ : 1 kg の乾き空気のエンタルピ (kcal/kg)

$i_v$ :  $t$  (°C) の水蒸気のエンタルピ (kcal/kg)

$x$ : 水蒸気の重さ (kg/kg)

$C_p$ : 乾き空気の比熱 0.240 (kcal/kg°C)

$C_d$ : 水蒸気の定圧比熱 0.44 (kcal/kg°C)

$r$ : 0°C における水蒸気の蒸発潜熱 597.3 (kcal/kg)

これより, 温度  $dt$  (°C), 湿度  $dx$  (kg/kg) の変化に伴うエンタルピの変化量  $di$  は,

$$di = 0.240dt + 597.3dx + 0.44d(tx) \quad (ii)$$

となり, ここで  $dx=0$ , すなわち  $x=const.$  の状態を考えると (ii) 式は

$$\begin{aligned}
 di_{dx=0} &= (0.240 + 0.44x)dt \\
 &= C_{dx=0} \cdot dt \quad (iii)
 \end{aligned}$$

となる。ここで  $x$  のオーダーが  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  kg/kg であることより  $C_{dx=0} = const.$  と考えて, 25°C, 60% の状態を基準にとり  $C_{dx=0} = 0.245$  とすると,  $di_{dx=0}$  は  $dt$  のみを変数とする一次式で表わされる。また, 温度操作部での能力を室温変化 (°C) で規定したことによる能力絶対量の変動は, 定常状態においても, ハンチング, オフセット過程において生じるが, 評価との関連により, ある範囲におさめることができ, それ故, 定常状態での温度操作能力は, 先の  $C_{dx=0} = const.$  の概念を用いた1種の期待値能力として使用することができる。外乱も同様な意味で定常状態の能力と同一に扱うことができる。

上述のことを前提として, 定常過程における単位時間当りの操作能力 (容量) を与えることにする。一般に, 風量は, 温湿度時定数に対するの独立性を保障しないので, 一概には決定できないが, 実際のファイトロンとの比較のため, 送風量:  $Q=10,500$  kg/hr<sup>4</sup>) を使用する。

例 1) 4.5°C の冷却能力を持つ場合

**Table 1** Set conditions for temperature and humidity control system.

	Heating	Cooling		Dehumidifying		Humidifying (10 <sup>-3</sup> kg/kg)	*
		No. 1 (°C)	No. 2 (°C)	No. 1 (10 <sup>-3</sup> kg/kg)	No. 2 (10 <sup>-3</sup> kg/kg)		
Dead zone	0.5 (°C)	0.5	1.0	0.201	0.402	0.201	@
Power (manipulated variable)	—	$t_{op}$ 4.5 9.0 13.5	$t_{op}$ 4.5 9.0 13.5	$h_{ap}$ 1.81 3.62 5.43	$h_{ap}$ 1.81 3.62 5.43	$h_{hp}$ 3.62 7.24 10.86	
Proportional sensitivity	$P$ (%) 20	—	—	—	—	—	@
Integral time	$I$ (min) 6	—	—	—	—	—	@

	Temperature		Humidity		*
Time constant	$T_i$	5 (min) 10 20	$T_h$	5 (min) 10 20	
Disturbance	$D_t$	0 (°C) ±5 ±10	$D_h$	0 (10 <sup>-3</sup> kg/kg) ±2.01 ±4.02	
Desired value		0 (°C) ±5/10 min		0 (%) ±10/10 min	
Initial constant	$t_i$	15 (°C) 25 35	$h_i$	40 (%) 60 80	
dead time	$L_t$	1 (min)	$L_h$	1 (min)	@

\* @ is fixing

**Table 2** Manipulated capacity and load in steady-state.

Controller	Cooling		Dehumidifying		Humidifying	
	°C	10 <sup>4</sup> kcal/hr	10 <sup>-3</sup> kg/kg	kg/hr	10 <sup>-3</sup> kg/kg	kg/hr
Power (manipulated variable)	4.5	1.158	1.81	19.01	3.62	38.01
	9.0	2.315	3.62	38.01	7.24	76.02
	13.5	3.473	5.43	57.02	10.86	114.03

	Temperature		Humidity	
	°C	10 <sup>4</sup> kcal/hr	10 <sup>-3</sup> kg/kg	kg/hr
Disturbance	0	0	0	0
	±5	±1.286	±2.01	±21.11
	±10	±2.573	±4.02	±42.21

$$\begin{aligned}
 \Delta i_{\Delta x=0} &= C_{\Delta x=0} \cdot \Delta t \\
 &= 0.245 \times 4.5 \\
 &= 1.1025 \text{ (kcal/kg)}
 \end{aligned}$$

故に、1時間当りの冷却容量  $q$  は、

$$\begin{aligned}
 q &= \Delta i \times Q \\
 &= 1.1025 \times 10,500 \\
 &= 1.1576 \times 10^4 \text{ (kcal/hr)} \text{ となる.}
 \end{aligned}$$

これを、先にと与えた温湿度の操作能力および外乱について計算したのが Table 2 である。

次に過渡状態の場合の温度操作能力の与え方について述べる。この場合のエンタルピーの変化量は (ii) 式で与えられるが、(iii) 式と比較したとき任意の  $\Delta t$ ,  $\Delta x$  に対して

$$\left| \frac{\Delta i}{\Delta i_{\Delta x=0}} \right| \geq 1$$

が成り立つ。それ故、能力を °C 単位で与えるこのシステムにおいては、kcal/hr への換算のために各状態に応じた能力を設定してやらなければならない。ある状態から、他の状態へ移る過程には種々な経路が考えられ、それらすべてを満たす能力設定は非線形となり、現実には不可能である。このため、経路に一定の条件を与える。すなわち、

$$\text{grad } i = \left( \frac{\partial i}{\partial t} \right) = \text{const.}$$

また時間の変化を  $du$  で表わすと

$$\dot{X} = \frac{d}{du} \left( \frac{t}{x} \right) = \text{const.}$$

を満たす経路をとるものとする、±5°C, ±10% の目

**Table 3** Revised power and disturbance for transient condition.

Initial const.	Desired value	Power									
		4.5°C		9°C		13.5°C					
60%	15°C	-5°C	$t_{cp}'$	2.44	°C	$t_{cp}'$	4.88	°C	$t_{cp}'$	7.32	°C
		+5		2.02			4.04			6.06	
	25	-5		1.72			3.45			5.17	
35	25	+5		1.47			2.95			4.43	
		-5		1.20			2.40			3.60	

Initial const.	Desired value	Disturbance
15°C	60%	$t_d'$
	60%	-1.82 °C
25	60	+1.71
	60	-3.48
35	60	+3.32
	60	+6.10

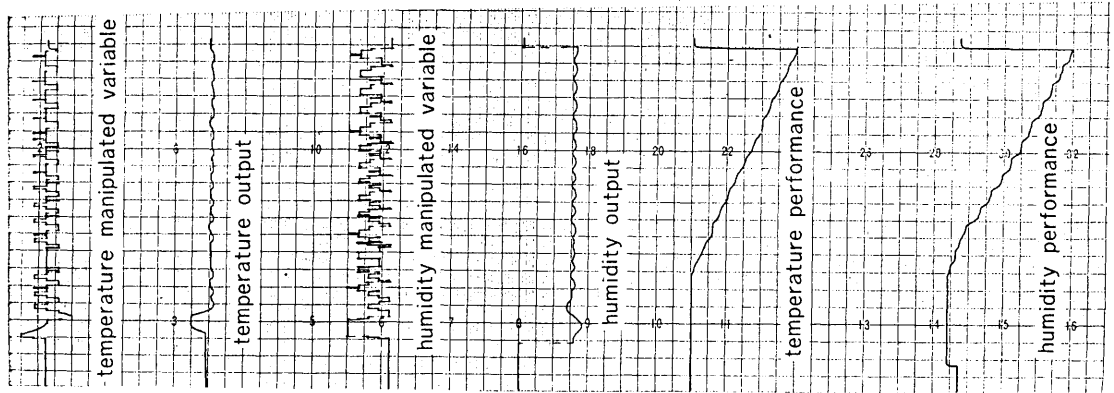


Fig. 2 Analog simulation-chart in steady-state.

標値に対しては、Table 3 に示すような値を設定すればよいことになる。そして評価との関連により、上記の経路条件を満たす範囲におさめることができ、期待値能力として使用する。Table 3 は、温度目標値においては温度操作能力そのものを換えてやることにより、また、湿度目標値においては、温度外乱を与えてやることにより、実際のシステムに近似させた。ここに修正温度操作能力：

$$t_{cp}' = |di_{dx=0}/di| \cdot t_{cp}, \quad \text{修正温度外乱: } \frac{2}{3}(di_{dx=0} - di) / C_{dx=0}$$

### 3. 操作能力を変えた場合の定常特性

制御装置および制御対象は、Table 1 の設定条件に準じた組合せを考えるが、この場合、時定数： $T(T_{lmin}, T_{hmin})$  を  $T(10, 10)$  に固定し、操作量： $(t_{cp}^{\circ}C, h_{ap}(h_{hp}) 10^{-3} \text{ kg/kg})$  を  $(4.5, 1.81(3.62))$ ,  $(4.5, 3.62(7.24))$ ,  $(4.5, 5.43(10.86))$ ,  $(9.0, 1.81(3.62))$ ,  $(9.0, 3.62(7.24))$ ,  $(9.0, 5.43(10.86))$ ,  $(13.5, 1.81(3.62))$ ,  $(13.5, 3.62(7.24))$ ,  $(13.5, 5.43(10.86))$  の 9 種、外乱： $(D_i^{\circ}C, D_h 10^{-3} \text{ kg/kg})$  を  $(0, 0)$ ,  $(\pm 5, 0)$ ,  $(\pm 10, 0)$ ,  $(0, \pm 2.01)$ ,  $(0, \pm 4.02)$  の 9 種、初期値： $f(t_i^{\circ}C, h_i \%)$  を  $f(15, 40)$ ,  $f(15, 60)$ ,  $f(15, 80)$ ,  $f(25, 40)$ ,  $f(25, 60)$ ,  $f(25, 80)$ ,  $f(35, 40)$ ,  $f(35, 60)$  の 8 種の組合せとして、各状態の操作能力と動特性との関係を求めた。このとき、目標値には、零を与えるので、初期値がそのまま各々の定常特性を与える状態ということになる。したがって、計  $9 \times 9 \times 8 = 648$  通りのデータを得る。

Fig. 2 に、アナコンのチャートの一例を示す。上から温度操作力、温度出力、湿度操作力、相対湿度出力、温度評価、湿度評価を表わす。これらを系統的にまとめた

のが Table 4 である。ここで、温湿度評価とも上段が温度外乱（5 種類）、下段が湿度外乱（5 種類）を与えたときの I.A.E./min の平均値である。また Fig. 3, 4 に、外乱および操作量の変化に伴って各状態での I.A.E./min 評価のようすが示される。すなわち、Fig. 3 は、温度外乱がある場合、Fig. 4 は、湿度外乱がある場合のもので、横軸には外乱（温度は、(iii)式を使って kcal/kg 単位を使用）、縦軸には、 $a$  が温度評価 ( $^{\circ}C/min$ )、 $b$  が湿度評価 ( $\%/min$ ) をとってある。ここで、 $t_{cp} = 4.5^{\circ}C$ 、 $h_{ap} = 1.81 \times 10^{-3} \text{ kg/kg}$  等の比較的操作能力が小さい場合、大きい外乱に対して急激に評価が悪くなるのは、冷却除湿の干渉等によって能力不足によるオフセットが生じるためであり、また操作能力が大きい場合は、ハンチングが評価に直接響いてくる。15 $^{\circ}C$  の湿度評価が他の状態に比べて悪いのは、相対湿度と絶対湿度との変換係数が小、すなわち絶対湿度の小さな変化が、相対湿度では大きく表われるためである。

これらの結果を利用して、定常状態における動特性の良好な操作能力を知ることができる。すなわち、①湿度評価は少々悪くてもよいが、温度評価の精度を上げたい場合、およびその逆の場合、②温度外乱は比較的变化らないが、それに比して湿度外乱が広範囲に変わる場合、およびその逆の場合、③温湿度とも比較的広範囲に変わり、しかも、両評価ともある程度の精度が必要である場合、などが考えられる。そして、最も一般性を持つ③の条件を満たす操作能力を与えるのが Table 5 である。この場合、比較的小さい操作能力は外乱が少ない場合有効である。概して、評価が良いのは、冷却操作能力 1 台当り 4.5~9.0 $^{\circ}C$ 、除湿操作能力 1 台当り 3.62~5.43  $\times 10^{-3} \text{ kg/kg}$  である。これは、風量を 10,500 kg/hr とすれば、Table 2 より 1 台 1.158~2.315  $\times 10^4 \text{ kcal/hr}$ ,

**Table 4** Performance of temperature or humidity output owing to manipulated variable and condition in steady-state. (1)

Condition °C % $f(t_i, h_i)$	Power $(t_{cp}, h_{ap})$	Performance I.A.E./min		Condition °C % $f(t_i, h_i)$	Power $(t_{cp}, h_{ap})$	Performance I.A.E./min	
		Temperature °C	Humidity %			Temperature °C	Humidity %
$f(15, 40)$	(4.5, 1.81)	0.412 0.145	1.428 1.975	$f(15, 80)$	(4.5, 1.81)	0.515 0.314	2.081 1.969
	(4.5, 3.62)	0.383 0.130	2.116 1.941		(4.5, 3.62)	0.383 0.166	2.275 1.369
	(4.5, 5.43)	0.290 0.116	3.694 4.247		(4.5, 5.43)	0.333 0.106	3.178 3.250
	(9.0, 1.81)	0.353 0.358	0.847 2.081		(9.0, 1.81)	0.702 0.469	2.434 1.840
	(9.0, 3.62)	0.310 0.303	1.733 1.688		(9.0, 3.62)	0.443 0.409	1.560 1.630
	(9.0, 5.43)	0.291 0.263	3.119 3.300		(9.0, 5.43)	0.331 0.261	2.447 2.604
	(13.5, 1.81)	0.353 0.461	0.847 2.397		(13.5, 1.81)	0.702 0.566	2.434 2.581
	(13.5, 3.62)	0.667 0.542	1.691 1.653		(13.5, 3.62)	0.787 0.628	3.056 2.575
	(13.5, 5.43)	0.548 0.566	2.584 2.741		(13.5, 5.43)	0.677 0.667	3.272 3.094
$f(15, 60)$	(4.5, 1.81)	0.420 0.269	1.750 2.012	$f(25, 40)$	(4.5, 1.81)	0.453 0.175	1.047 1.356
	(4.5, 3.62)	0.874 0.120	1.850 1.709		(4.5, 3.62)	0.380 0.166	1.141 0.944
	(4.5, 5.43)	0.308 0.105	3.416 3.575		(4.5, 5.43)	0.305 0.122	1.931 1.716
	(9.0, 1.81)	0.433 0.384	1.381 2.562		(9.0, 1.81)	0.503 0.398	0.887 1.284
	(9.0, 3.62)	0.336 0.299	1.440 1.556		(9.0, 3.62)	0.379 0.399	0.873 1.019
	(9.0, 5.43)	0.314 0.246	2.766 3.025		(9.0, 5.43)	0.287 0.243	1.522 1.443
	(13.5, 1.81)	0.433 0.519	1.381 1.575		(13.5, 1.81)	0.503 0.525	0.887 1.519
	(13.5, 3.62)	0.598 0.531	2.350 2.041		(13.5, 3.62)	0.480 0.455	1.550 1.334
	(13.5, 5.43)	0.617 0.595	2.381 2.400		(13.5, 5.43)	0.567 0.581	1.078 1.434

$t_{cp}$ : °C

$h_{ap}$ :  $10^{-3}$  kg/kg

**Table 4** Performance of temperature or humidity output owing to manipulated variable and condition in steady-state. (2)

Condition °C % $f(t_i, h_i)$	Power $(t_{ep}, h_{ap})$	Performance I.A.E./min		Condition °C % $f(t_i, h_i)$	Power $(t_{ep}, h_{ap})$	Performance I.A.E./min	
		Temperature °C	Humidity %			Temperature °C	Humidity %
$f(25, 60)$	(4.5, 1.81)	0.511 0.261	1.159 1.287	$f(35, 40)$	(4.5, 1.81)	0.555 0.392	0.903 1.166
	(4.5, 3.62)	0.434 0.191	0.887 0.850		(4.5, 3.62)	0.556 0.258	0.487 0.553
	(4.5, 5.43)	0.369 0.125	1.619 1.369		(4.5, 5.43)	0.420 0.169	0.603 0.638
	(9.0, 1.81)	0.511 0.395	1.194 1.419		(9.0, 1.81)	0.600 0.509	0.781 0.897
	(9.0, 3.62)	0.638 0.434	1.288 1.388		(9.0, 3.62)	0.655 0.566	0.833 0.806
	(9.0, 5.43)	0.298 0.269	1.009 1.068		(9.0, 5.43)	0.473 0.455	0.856 1.016
	(13.5, 1.81)	0.511 0.563	1.194 1.528		(13.5, 1.81)	0.600 0.553	0.781 1.131
	(13.5, 3.62)	0.759 0.614	1.581 1.703		(13.5, 3.62)	0.659 0.533	1.278 1.106
	(13.5, 5.43)	0.656 0.569	2.262 2.081		(13.5, 5.43)	0.700 0.678	0.997 1.134
$f(25, 80)$	(4.5, 1.81)	0.625 0.387	1.534 1.400	$f(35, 60)$	(4.5, 1.81)	0.653 0.387	1.031 1.137
	(4.5, 3.62)	0.441 0.353	1.259 0.659		(4.5, 3.62)	0.580 0.341	0.606 0.287
	(4.5, 5.43)	0.373 0.141	1.413 1.094		(4.5, 5.43)	0.344 0.225	0.628 0.563
	(9.0, 1.81)	0.623 0.400	1.472 1.625		(9.0, 1.81)	0.764 0.575	1.094 1.891
	(9.0, 3.62)	0.571 0.518	1.495 1.580		(9.0, 3.62)	0.608 0.748	1.081 1.346
	(9.0, 5.43)	0.445 0.407	1.322 1.366		(9.0, 5.43)	0.597 0.456	1.281 1.244
	(13.5, 1.81)	0.623 0.531	1.472 1.972		(13.5, 1.81)	0.764 0.528	1.094 1.419
	(13.5, 3.62)	0.895 0.742	2.675 2.525		(13.5, 3.62)	1.039 0.633	2.003 1.022
	(13.5, 5.43)	0.736 0.674	2.426 2.788		(13.5, 5.43)	0.812 0.726	1.869 1.591

$t_{ep}$ : °C

$h_{ap}$ :  $10^{-3}$  kg/kg

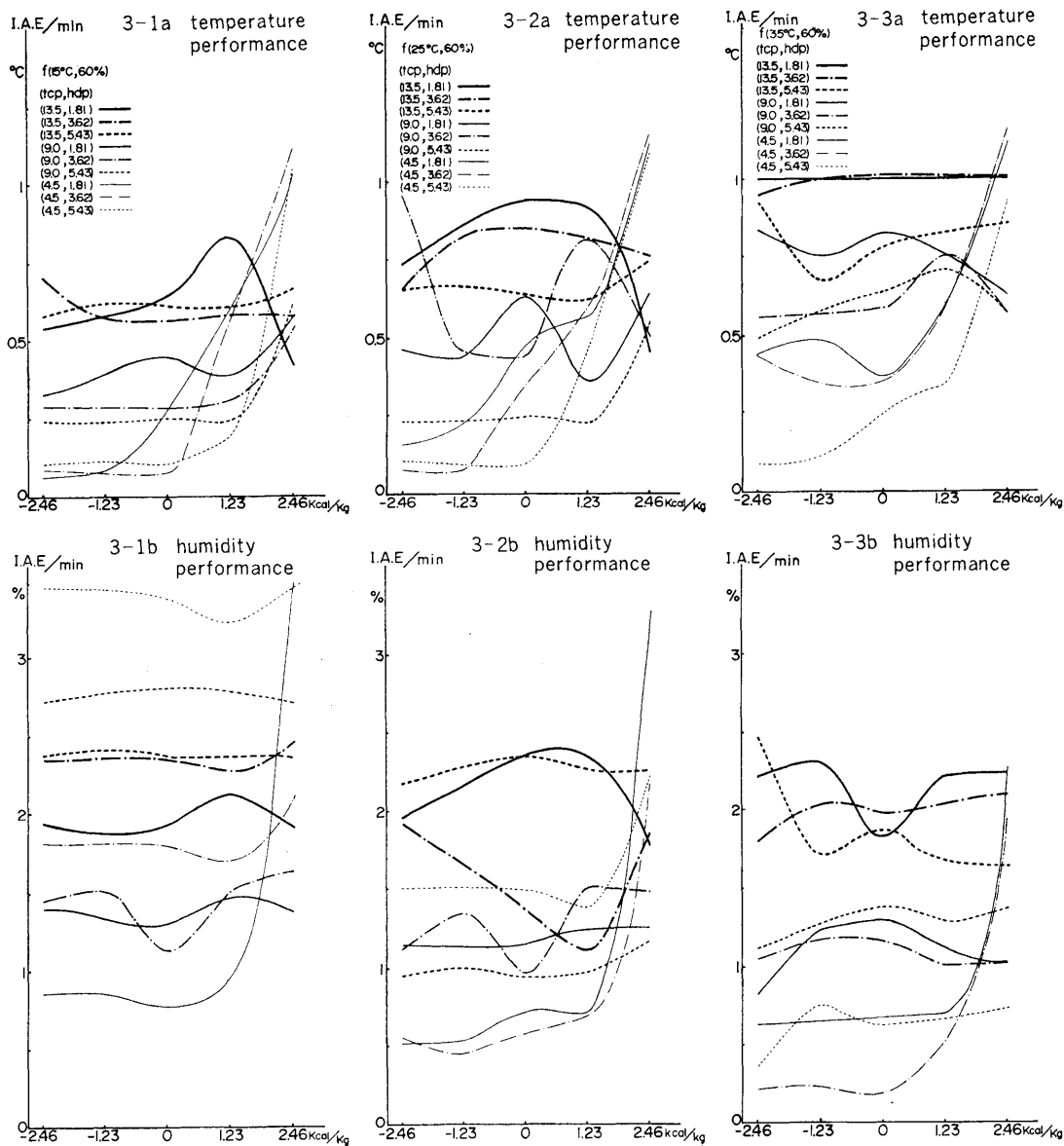


Fig. 3 Performance of temperature or humidity output owing to manipulated variable, condition of state and temperature disturbance in steady-state.



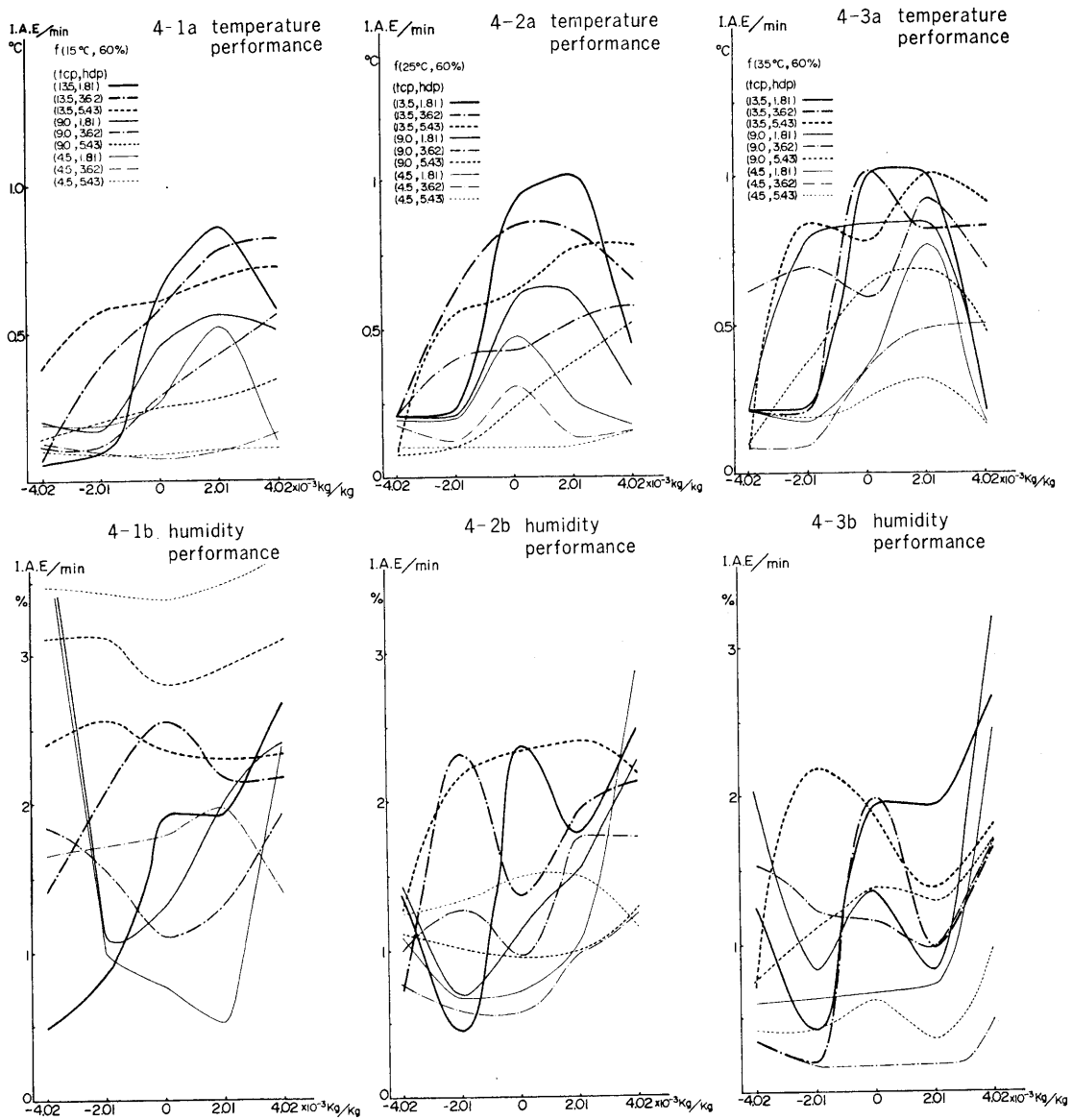


Fig. 4 Performance of temperature or humidity output owing to manipulated variable, condition of state and humidity disturbance in steady-state.

**Table 5** Optimal manipulated variable in steady-state.

Condition °C % $f(t_i, h_i)$	Power (manipulated variable) °C $10^{-3}$ kg/kg ( $t_{op}, h_{ap}$ )		
$f(15, 40)$	(4.5, 1.81)	(9.0, 3.62)	(13.5, 3.62)
$f(15, 60)$	(9.0, 3.62)	(13.5, 1.81)	
$f(15, 80)$	(9.0, 3.62)		
$f(25, 40)$	(4.5, 1.81)	(4.5, 3.62)	(9.0, 3.62)
$f(25, 60)$	(4.5, 3.62)	(9.0, 5.43)	
$f(25, 80)$	(4.5, 3.62)	(4.5, 5.43)	(9.0, 5.43)
$f(35, 40)$	(4.5, 3.62)	(4.5, 5.43)	(9.0, 5.43)
$f(35, 60)$	(4.5, 3.62)	(4.5, 5.43)	(9.0, 5.43)

19.01~38.01 kg/hr の冷却除湿機と、38.01~76.02 kg/hr の加湿スプレーを与える。

**4. 操作能力を変えた場合の過渡特性**

この場合も設定は Table 1 の条件に準じて行なうが、過渡固有の特性から先に 2 で述べたような仮定を必要とし、温度操作能力は Table 3 で示した修正値を与える。具体的には、時定数を  $T(10, 10)$  に固定し、外乱は温湿度とも零の場合を考え、初期値は、 $f(15, 60)$ ,  $f(25, 60)$ ,  $f(35, 60)$  の 3 種を与える。また、温度操作能力における °C 単位を kcal/kg で与えると、操作能力 ( $t_{op}$  kcal/kg,  $h_{ap}$   $10^{-3}$  kg/kg) は、(1.10, 1.81), (1.10, 3.62), (1.10, 5.43), (2.21, 1.81), (2.21, 3.62),

(2.21, 5.43), (3.31, 1.81), (3.31, 3.62), (3.31, 5.43) の 9 種である。これに目標値として、温度  $\pm 5^\circ\text{C}/10$  min, 湿度  $\pm 10\%/10$  min を与える。ただし、 $f(30, 60)$  の場合は温湿度とも負の目標値のみとする。したがって、計  $2 \times 9 \times 4 + 1 \times 9 \times 2 = 90$  通りのデータを得る。

Fig. 5 には、アナコンのチャートの一例を示す。上から温度あるいは湿度目標値、温度操作力、温度出力、相对湿度出力、温度評価、湿度評価を表わす。

これらをまとめたのが、Table 6 である。この表は、各操作量ごとに整理されており、さらにその中で 1 行目が正、2 行目が負の温度目標値、3 行目が正、4 行目が負の湿度目標値に対する評価である。ただし  $f(35, 60)$  については、上段が温度、下段が湿度目標値に対するも



**Fig. 5** Analog simulation-chart in transient condition.

**Table 6** Performance of temperature or humidity output owing to manipulated variable and initial constant in transient condition.

Initial const. °C % $f(t_i, h_i)$	Power $(t_{cp}, h_{ap})$	Performance I.A.E./min		Initial const. °C % $f(t_i, h_i)$	Power $(t_{cp}, h_{ap})$	Performance I.A.E./min		
		Temperature °C	Humidity %			Temperature °C	Humidity %	
$f(15, 60)$	(1.10, 1.81)	1	0.350	1.975	$f(25, 60)$	(1.10, 1.81)	0.325	4.400
		2	1.063	0.525			1.188	0.125
		3	0.125	0.625			0.250	0.500
		4	0.188	0.750			0.400	0.850
	(1.10, 3.62)	0.300	0.825	(1.10, 3.62)		0.325	0.750	
		1.525	2.050			1.675	1.100	
		0.063	1.500			0.163	0.350	
		0.063	1.500			0.550	0.250	
	(1.10, 5.43)	0.350	2.400	(1.10, 5.43)		0.300	0.875	
		1.500	3.450			1.725	1.800	
0.063		3.150	0.163		0.825			
0.063		3.000	0.400		1.000			
(2.21, 1.81)	0.338	1.975	(2.21, 1.81)	0.350	4.750			
	0.663	0.375		0.425	0.875			
	0.350	1.500		0.475	3.900			
	0.425	1.275		0.788	2.525			
(2.21, 3.62)	0.275	1.300	(2.21, 3.62)	0.325	0.750			
	0.750	1.750		1.000	0.625			
	0.250	1.000		0.438	1.000			
	0.313	1.050		0.588	1.150			
(2.21, 5.43)	0.350	1.750	(2.21, 5.43)	0.313	0.725			
	0.825	3.125		1.000	1.400			
	0.250	2.250		0.250	0.750			
	0.225	2.250		0.375	0.750			
(3.31, 1.81)	0.225	1.150	(3.31, 1.81)	0.350	4.750			
	0.750	0.525		0.250	3.125			
	0.463	3.000		0.650	5.675			
	0.838	2.000		0.863	2.925			
(3.31, 3.62)	0.300	1.125	(3.31, 3.62)	0.313	0.625			
	0.650	1.900		0.850	0.450			
	0.513	2.300		0.500	2.000			
	0.713	2.000		0.763	1.250			
(3.31, 5.43)	0.313	1.500	(3.31, 5.43)	0.338	1.025			
	0.725	3.250		0.750	1.075			
	0.538	2.450		0.513	2.000			
	0.500	1.875		0.750	1.800			
$f(35, 60)$	(1.10, 1.81)	1.538	0.300	$f(35, 60)$	(2.21, 5.43)	0.950	0.275	
		1.563	0.750			0.538	0.950	
	(1.10, 3.62)	1.750	0.300		(3.31, 1.81)	0.563	5.250	
		1.813	1.050			0.688	6.125	
	(1.10, 5.43)	1.875	0.625		(3.31, 3.62)	1.250	0.125	
1.750		1.275	1.063	3.500				
(2.21, 1.81)	1.213	1.375	(3.31, 5.43)	0.638	0.250			
	0.375	4.625		0.850	1.750			
(2.21, 3.62)	0.838	0.175						
	0.563	1.250						

$t_{cp}$ : kcal/kg,  $h_{ap}$ :  $10^{-3}$  kg/kg

のである。これを利用して過渡状態におけるそれぞれの目標値に対する適切な操作能力を知ることができる。ここでは、定常特性の場合と同様、評価に一般性を持たせるために、どの目標値に対しても追従性の良い操作能力を求める。すなわち、各目標値に対して温度評価が  $1.00^{\circ}\text{C}$ 、湿度評価が  $2.00\%$  以下である操作能力を求めると、 $f(15, 60)$  では  $(2.21, 1.81)$ ,  $(2.21, 3.62)$ ,  $f(25, 60)$  では  $(2.21, 3.62)$ ,  $(2.21, 5.43)$ ,  $(3.31, 3.62)$ ,  $(3.31, 5.43)$ ,  $f(35, 60)$  では  $(2.21, 3.62)$ ,  $(2.21, 5.43)$ ,  $(3.31, 5.43)$  が得られる。ここに、風量を  $10,500\text{ kg/hr}$  とすれば Table 2 より、 $f(15, 60)$  では 1 台あたりの能力  $2.315\sim 3.473\times 10^4\text{ kcal/hr}$ ,  $19.01\sim 38.01\text{ kg/hr}$ ,  $f(25, 60)$ ,  $f(35, 60)$  では  $2.315\sim 3.473\times 10^4\text{ kcal/hr}$ ,  $38.01\sim 57.02\text{ kg/hr}$  の冷却除湿機を与えればよいことがわかる。なお、加湿スプレーは、除湿機 2 台分の容量である。

上記において、過渡過程における適切操作量を求めたが、先の仮定に基づく近似であるため誤差は免れえない。しかし概略の把握には充分といえる。

## 5. 結 び

ファイトトロンの温湿度制御系の設計資料を得るため、本論文では、操作能力を既存の仕様のない組合せまで拡張してアナログシミュレーションによって、その動特性を定量的に検討した。定常状態を主にし、過渡も仮定のもとに一部加えた。定常特性については、ファイトトロンの実測を考慮しつつ、アナログコンピュータでのシミュレーションによる検討の十分な妥当性を保証するが、過渡については、現在のファイトロンが高性能グロースチャンバーと異なり、これについては重点的な設計がなされていないため、実測例にも限界があり、仮定のみが多くなり、これ以上のアナコンによるシミュレーションはあまり意味をもたなくなる恐れがある。

温湿度二変数系の詳細な過渡特性の解明については、対象を高性能グロースチャンバーに変え、実測とシミュ

レーションとのフィードバックのもとに、仮定を少なくして検討をすすめることが必要と思われる。この点について今後の課題としたい。

## 文 献

- 1) 船田周 他. 1972. ファイトロンにおける温度制御系のアナログシミュレーション. 生物環境調節 **10**(2): 43-53.
- 2) 船田周 他. 1972. 温度制御系の動特性からみた設計について. 生物環境調節 **10**(4): 160-170.
- 3) 船田周 他. 1972. 温湿度制御系の動特性について. 生物環境調節 **10**(4): 171-178.
- 4) TERASHIMA, T. *et al.* 1973. Design of phytotron. 生物環境調節 **11**(1): 投稿予定.

## Summary

Dynamic characteristic of temperature and humidity control system in Phytotron by means of air-condition, is adequately investigated from the simulation of analog computer on the condition of measured  $T$ ,  $L$  of the controlled object and capacity of manipulated means.

In this paper, to analyze and design the control system of Phytotron, estimations of dynamic characteristic upon probable combinations of capacities of manipulated means are carried out. In air-condition process of Phytotron, transient characteristic of control system is worse than in that of high performance-growth chamber. So, detailed data for the simulation can scarcely be gained from instrumentation of transient characteristic in Phytotron.

For this reason, main examinations are carried out upon steady-state characteristic and a few upon transient characteristic. As a result, the following (1), (2) are concluded.

(1) In steady-state characteristic, on the condition of small disturbance, small capacity of manipulated causes better estimation (Table 5).

(2) In transient characteristic, relations of Table 6 are gained and useful for better design of Phytotron.

(Received December 18, 1972)