

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 (II)¹⁾

温度制御系の動特性からみた設計について

船田 周*・橋本 康*・大政謙次*

愛媛大学農学部*

アナログシミュレーションにより、ファイトトロンの温度制御系の動特性の定量化を行なった。その結果を用いて、動特性の評価から、ファイトトロンの温度制御系の設計法を提案した。すなわち、静的な固定バイアスの熱交換器と、外乱に追従する動的な熱交換器の二系統運転によるシステムの採用である。この方式で動特性は著しく改善されることを明確にした。

昭和 47 年 10 月 2 日受付

1. ま え が き

ファイトトロンの制御系、特に空気調和による温度、湿度の制御系は、設定値、外乱、負荷と、制御対象の特性パラメータと称する L/T (制御対象のむだ時間 (L), および時定数, (T) の比) の値, および制御動作の定数値などにより複雑な現象を呈する。それゆえ、系の解明には実測だけでなくシミュレーションとの両面から検討をすすめることが必要である。すでに、シミュレーションについては、温度変数に注目した動特性を一部報告したり²⁾、その後、多くの条件設定に基づいたシミュレーションから、ファイトトロンの温度制御系の諸変量間の相対的関連、すなわち定量的特性が一層明確になった。他方、現在のファイトトロンの設計基準は、空気調和工学におけると同様、熱負荷の静特性に基づいて熱交換器の容量などを定めている³⁾。もっとも、最近では熱負荷を時系列とみた動的負荷計算がコンピュータにより可能になり³⁾、熱交換器の容量決定に一層の進展がみられてきた。しかし、制御面での評価からみた熱交換器や制御動作の諸量の設計あるいは操作の基準についてはほとんどみあたらない。それゆえ本論文では、アナログシミュ

レーションでえられた定量的特性をもとに、動特性を評価の基準にした温度制御系の設計について検討を行なう。

2. システムの概要とシミュレーションにおける条件設定

温度制御系のブロック線図を Fig. 1 に示す。ここで点線枠内の調節部 (controlling means), 操作部 (final control element), および検出部 (detecting means) は一組で制御装置と考える。そして、制御対象 (controlled system) および外乱 (disturbance) とこの制御装置で系が構成される。制御装置は、近似的に Fig. 2 で示すことができる。ここで、厳密には調節部になるが、加温は PI 動作、冷却は 2 段オンオフによる 3 位置リレー動作のモデルに限定する。その理由は、実測を行なったファイトトロンに一致させるため、ファイトトロンの一般性は失われぬ。一般に、PI 動作は比例感度を K_P , 積分時間を T_I , 偏差を e とすると次式

$$K_P \left(e + \frac{1}{T_I} \int e dt \right)$$

で表わされる。アナログシミュレーションでは、次の P, I をそれぞれ比例および積分動作の特性値とした。P=

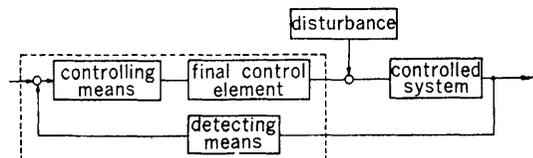


Fig. 1 Block diagram of temperatur econtrol system.

¹⁾ Shu FUNADA, Yasushi HASHIMOTO and Kenji OMASA*: On the Analog Simulation of Control System of Phytotron. (II)

Design of Temperature Control System from Dynamic Characteristic.

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

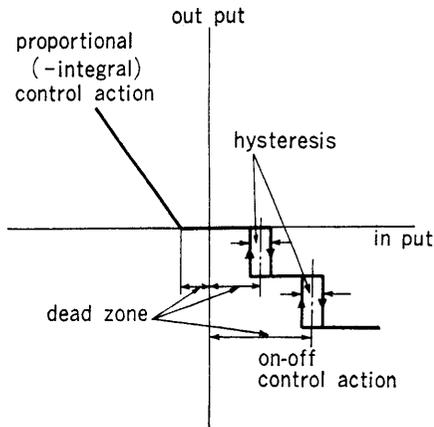


Fig. 2 Input-output characteristic of temperature control system.

$$\frac{1}{K_P} \times 100 (\%), I = T_I (\text{min}), \text{すなわち}, P = 20\% \text{ と}$$

は $K_P = 5$ を意味し, $I = 6$ は $T_I = 6 \text{ min}$ を意味する. なお, $I = T_I = \infty$ は積分動作が作用しない場合を意味する. P は 10%, 20%, 40% を, I は 3, 6, ∞ を条件設定とした. 次に冷却は, 実測したファイトトロンでは 1 段 0.5°C , 2 段 1.1°C の不感帯で, ヒステリシス幅は 0.5°C で固定してあるが, 第 5 節の検討のため 1 段目の不感帯では 0°C , 0.30°C , 0.50°C , 0.80°C , -0.16°C , -0.30°C , -0.50°C , 2 段目の不感帯では 0.60°C , 1.10°C , 1.60°C , -0.32°C , -0.60°C , -1.10°C , ヒステリシス幅では, 0.18°C , 0.36°C , 0.72°C , 1.08°C , 1.44°C などを条件設定とした. 操作部の能力は, 加温については $P = 20\%$ で偏差 1°C の入力に対して 5°C アップとし, したがって $P = 40\%$ ではその半分, $P = 10\%$ ではその倍の能力とした. 冷却については実測ファイトトロンより 1 段オンで 9°C ダウンとしたが, 第 6 節の検討のため, 1 段あたり 4.5°C , 9°C , 13.5°C ダウンの条件設定を行なった. 外乱については, そのパワーを外気温と設定室温との差と考え, 室温変化すなわち $^\circ\text{C}$ 単位に換算して条件設定を行なった.

制御対象については, その時定数 T , およびむだ時間 L を実測よりそれぞれ $L = 1 (\text{min})$, $T = 5, 10, 20 (\text{min})$ と条件設定した. 評価は, 単位時間あたりの偏差の絶対値積分 $\text{I. A. E.}/\text{min}$ とした. すなわち, 評価の単位は $^\circ\text{C}$ である.

以上より, アナコンでのプログラムを行なうと, Fig. 3 のようになる. ここで, 時間スケールは, 実際の現象での 1 分をアナコンでの 1 秒に, スケールファクタは $1^\circ\text{C} = 1 \text{ V}$ とした. なお, ポテンショメータ a, b, \dots, j については, 条件設定によりその都度変えることとした.

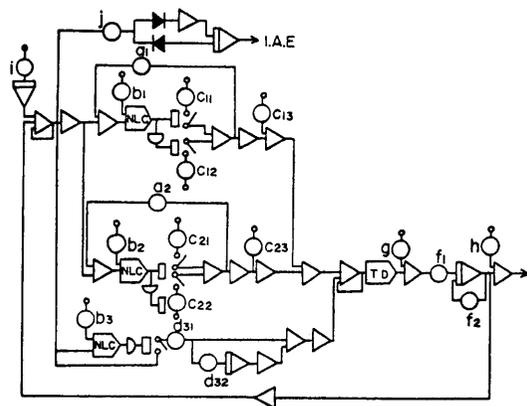


Fig. 3 Computer setup for temperature control system. Setup-potentiometer:

- | | |
|--------------------------|---|
| a_1, a_2 | hysteresis of cooling |
| b_1, b_2 | dead zone of cooling |
| b_3 | dead zone of heating |
| C_{11}, C_{12}, C_{13} | power of cooling on-off controller |
| C_{21}, C_{22}, C_{23} | |
| d_{31} | |
| d_{32} | integral time of heating P. I. controller |
| f_1, f_2 | time constant of system |
| g | disturbance |
| h | initial condition of system |
| i | input |
| j | coefficient of I. A. E. |

3. 定常特性

定常特性のシミュレーションは, 温度設定値と外乱を種々与えておき, この系を $\pm 5^\circ\text{C}/10 \text{ min}$ で温度目標値を変え, 目標値に達した後定常におちついたところでの 20min 間の I. A. E. 評価をとった. 条件設定は $\pm 5^\circ\text{C}/10 \text{ min}$, 時定数 T (5, 10, 20 min), むだ時間 L (1 min), P 動作 (10%, 20%, 40%), I 動作 (3, 6, $\infty \text{ min}$), 外乱と設定温度の差 (0, ± 5 , $\pm 10^\circ\text{C}$) とし, したがって $2 \times 3 \times 1 \times 3 \times 3 \times 5 = 270$ 通りのシミュレーションを行なった. 270 通りのシミュレーションを整理したグラフを, Fig. 4 および Fig. 5 に示す. たて軸は, $\text{I. A. E.}/\text{min}$ ($^\circ\text{C}$) がとっており, 横軸は外乱 ($^\circ\text{C}$) がとっている. 外乱は, 設定値との差 $\pm 10^\circ\text{C}$ まで設定したが, 目標値が $+5^\circ\text{C}/10 \text{ min}$ の場合は差引き $-15^\circ\text{C} \sim +5^\circ\text{C}$ となり, 目標値が $-5^\circ\text{C}/10 \text{ min}$ の場合は差引き $-5^\circ\text{C} \sim +15^\circ\text{C}$ となる. 外乱がプラスは冷却負荷, マイナスは加温負荷を表わすものとする.

Fig. 4 は, 加温 P 動作のみの場合で, $+5^\circ\text{C}/10 \text{ min}$ で定常になった場合は加温の特性が, $-5^\circ\text{C}/10 \text{ min}$ で

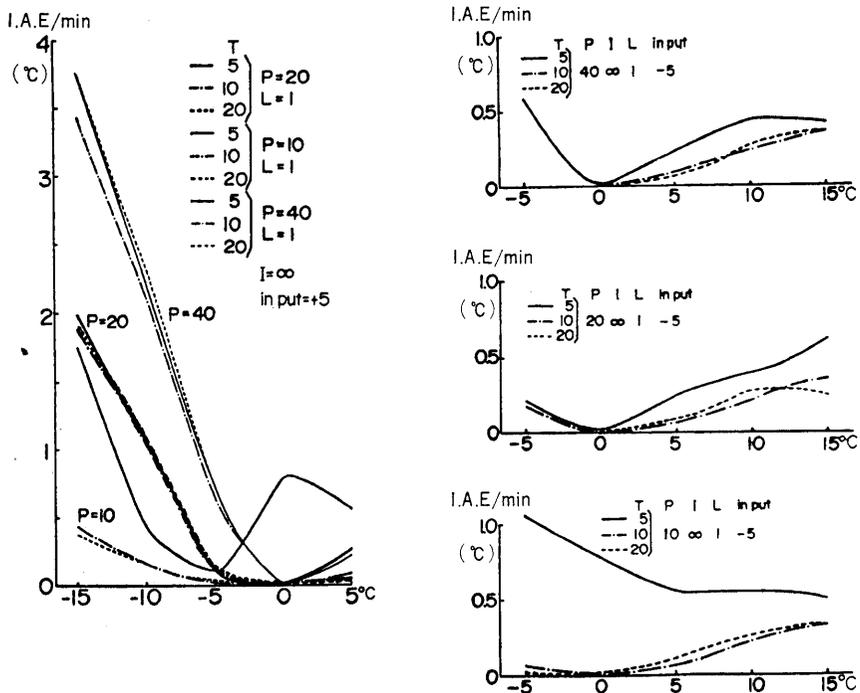


Fig. 4 Steady-state characteristic of temperature control system with P-action.

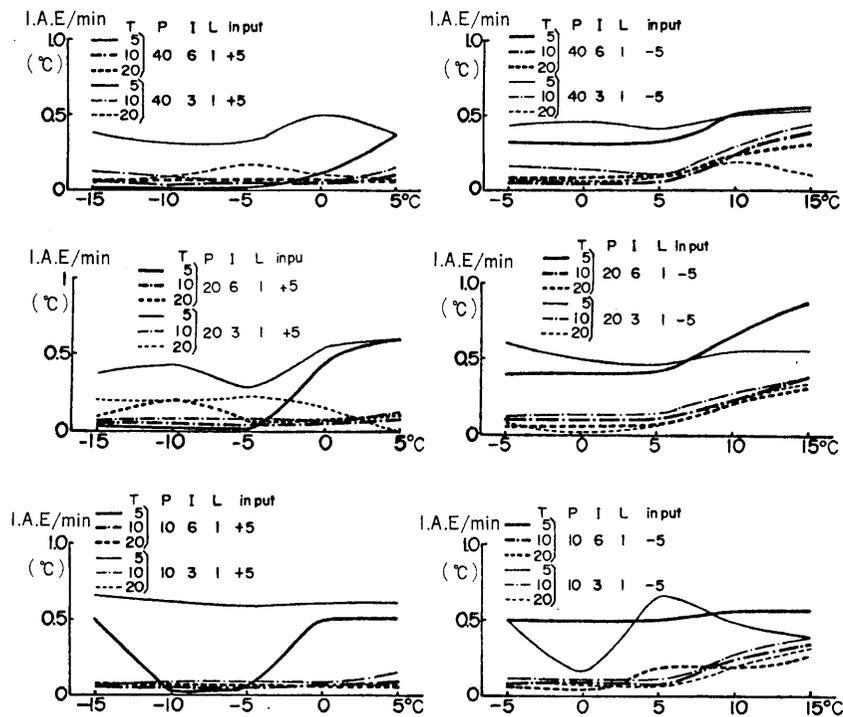


Fig. 5 Steady-state characteristic of temperature control system with PI-action.

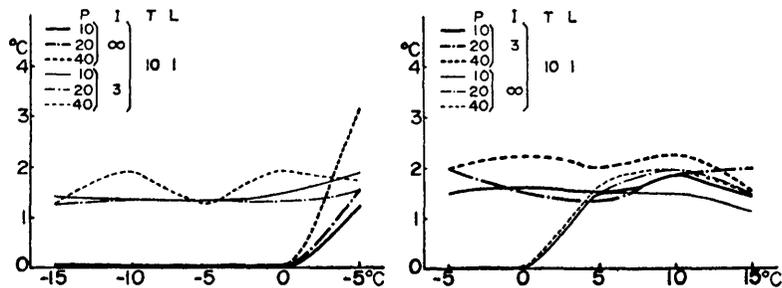


Fig. 6 Amplitude characteristic of temperature hunting.

定常になった場合は、冷却の特性がはっきりとあらわれる。加温の特性としては、 $P=10\%$ 、 20% 、 40% と比例感度をおとすに従って負の外乱の増大とともに、評価は悪くなる。負の外乱では、 $P=10\%$ では $T=5(\text{min})$ のみが他と異なり、正の外乱では、 P のどの値でも $T=5(\text{min})$ は $T=10, 20(\text{min})$ と異なる傾向を示す。全体として、 $T=10(\text{min})$ と $T=20(\text{min})$ は良く似た傾向を示す。いずれにしろ加温 P 動作のみでは、加温に対するオフセットのため、評価は悪い。Fig. 5 は、加温を PI 動作とした場合である。加温操作に I 動作が加わったためオフセットは消え、負の外乱での評価が著しく改善される。しかし、正の外乱では、冷却が 3 位置オンオフ動作のため、 $T=5(\text{min})$ を除いては Fig. 4 と似ている。 $T=5(\text{min})$ については、応答が速いため、ハンチングがその振幅は大きく周期は速くなるため、いずれの場合も評価は悪い。なお、Fig. 5 でみるかぎり $T=10, 20(\text{min})$ における $I=3(\text{min})$ と $I=6(\text{min})$ については、明確な差はみられない。なお、 I 動作が加わるとオフセットは消えるが、ハンチングは激しくなることが実測より確かめられている。Fig. 6 に、 $I=\infty$ (I 動作なし) と $I=3(\text{min})$ の場合の比較を示す。たて軸はハンチングの振幅 ($^{\circ}\text{C}$)、横軸は外乱 ($^{\circ}\text{C}$) である。 $I=3(\text{min})$ を記したが、 $I=6(\text{min})$ もほぼ同じ傾向を示すので省略した。このグラフから、 P 動作のみでは、加温負荷ではオフセットは生じるが、ハンチングは少ないこと、冷却負荷ではオンオフのためハンチング幅がある値に落ち着くこと、および、 PI 動作では、加温負荷ではオフセットは消えるが、ハンチング幅が冷却負荷の場合と同じ程度に落ち着くことなどがわかる。

4. 過渡特性

過渡特性のシミュレーションは、定常と同じ条件設定で $\pm 5^{\circ}\text{C}/10 \text{ min}$ の入力を与えて目標値に達し定常になる前まで、すなわち、入力を与えるスタートからその後 20 min 間の $I. A. E.$ 評価をとった。シミュレーション

は 270 通りであり、それを整理したグラフを Fig. 7 および Fig. 8 に示す。たて軸は、 $I. A. E./\text{min}(^{\circ}\text{C})$ である。横軸は外乱 ($^{\circ}\text{C}$) であるが定常と異なり、過渡のため外乱の目盛りは $\pm 10^{\circ}\text{C}$ としてある。Fig. 7 から、加温負荷における加温の過渡現象では、 $P=10\%$ 、 20% 、 40% の能力差の他に、 $T=5, 10, 20(\text{min})$ の時定数の差も $P=10\%$ における $T=5(\text{min})$ を除き、 $I. A. E.$ では明らかな傾向をみることができる。しかし、冷却負荷における冷却の過渡現象では、 $T=5(\text{min})$ と、 $T=10, 20(\text{min})$ とに分かれ、 $T=5(\text{min})$ を除き、 P すなわち加温の能力差の傾向はほとんどみられない。 $T=5(\text{min})$ については、前節と同様応答が速すぎ特異な現象となる。Fig. 8 は、 $P. I$ 動作の場合の同様の特性である。加温負荷での加温の過渡現象では I 動作の付加で、Fig. 7 の同条件のグラフに比較すると評価は著しく改善されている。しかも、 P の能力が良いほど、また、 T の速いほど評価は良い。しかし、 $T=5(\text{min})$ については、前述と同様特異である。冷却負荷における冷却の過渡現象では、Fig. 7 におけると同様、加温の能力や動作については明確な影響はみとめられない。

5. 冷却器における非線形要素の特性

冷却器の非線形要素は、ファイトロンによって固有の値に固定されており、加温の $P. I$ のように可変ではない。それゆえ、一般には前節までの検討で充分といえるが、より良いファイトロンの設計のためには、非線形要素の不感帯およびヒステリシス幅についての特性をシミュレーションで求めておく必要がある。本節のシミュレーションは、このヒステリシス幅、不感帯を Fig. 3 のプログラムの a ポテンショ、 b ポテンショによって変え、冷却入力を $5^{\circ}\text{C}/10 \text{ min}$ 、 $10^{\circ}\text{C}/20 \text{ min}$ のランプ波形とし、定常になってからその特性をみた。すなわち 5°C 入力では 30 min 後、 10°C 入力では 40 min 後までをとった。条件設定は、第 1 段目の不感帯 0.50°C 、第 2 段目の不感帯 1.10°C を $(0.50, 1.10)$ のように表わ

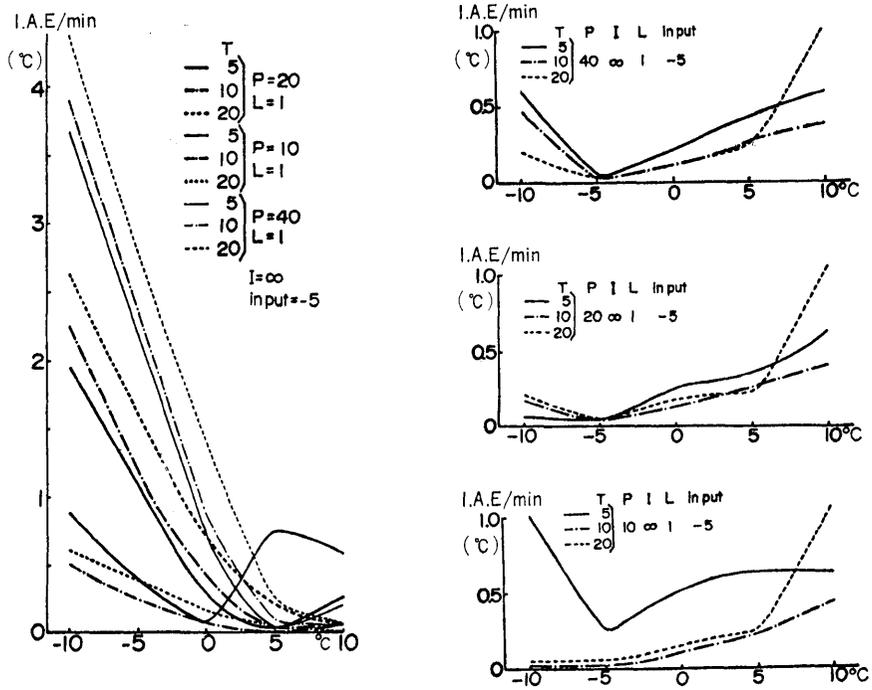


Fig. 7 Transient characteristic of temperature control system with P-action.

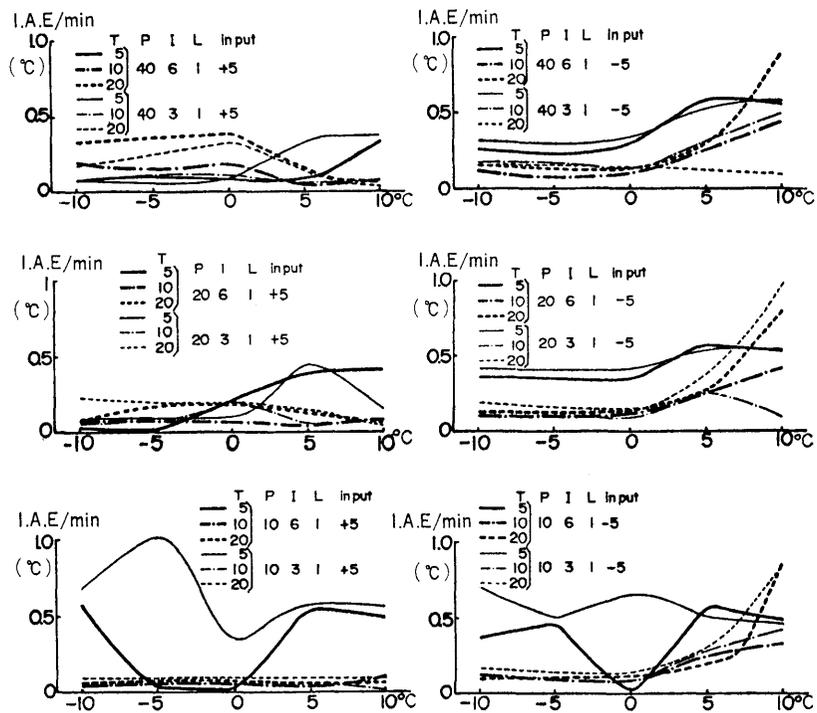


Fig. 8 Transient characteristic of temperature control system with PI-action.

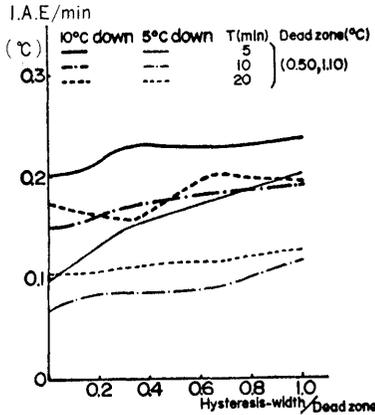


Fig. 9 Nonlinear characteristic of on-off controller with several constants of T (time-constant).

すと、(0, 0) (0.30, 0.60) (0.50, 1.10) (0.80, 1.60) (-0.32, -0.16) (-0.60, -0.30) (-1.10, -0.50) の 7 種類、また、ヒステリシス幅は (ヒステリシス幅 / 不感帯) が意味を持つことから、0, 0.18, 0.36, 0.72, 1.08, 1.44°C などのうち 5 種とし、2 段目の不感帯の値で割るのでその値によってはそのつどヒステリシス幅を適するように変えた。その他、時定数は、実測ファイトロンに相当する (0.5, 1.10) については T=5, 10, 20(min) とし、他の不感帯については、冷却特性は T=5 (min) は特異のためさけ T=20 (min) とした。他方、加熱器は冷却特性をみることにポイントがあるため、P=20%, I=∞ のみとした。もちろんむだ時間 L=1 min である。

以上より、

3 (T=5, 10, 20 (min)) × 1 {(0.5, 1.10)} × 5 (ヒステリシス幅) × 2 (入力) × 1 (P=20%)

および

1 (T=20 min) × 6 (不感帯 6 種) × 5 (ヒステリシス幅) × 2 (入力) × 1 (P=20%)

の合計で 90 通りのシミュレーションを行なった。これを整理したグラフを Fig. 9~12 に示す。たて軸は I.A.E./min(°C)、横軸はヒステリシス幅 / 不感帯である。Fig. 9 は、実測したファイトロンの不感帯 (0.50, 1.10) につきヒステリシス幅を変え特性をみた。T=5 (min) の特性は T=10, 20(min) とかけはなれている。各々の T については、10°C/20 min の方が 5°C/10 min に比較して評価が悪い。これは、目標が大きく長くつづくためで当然である。5°C/10 min 入力に対する T=10, 20 (min) は、ほぼ同じ傾向とみることが出来る。これらは、単調増大を示しており、ヒステリシス幅が小さい方が評価が良いことが判明する。

Fig. 10 は、不感帯を変えた場合である。この図からは、正の不感帯は小さい方が評価が良い。負の不感帯、すなわち冷却先行性の場合であるが、これも目標値が -5°C, -10°C であり、これは外乱が +5°C, +10°C とみることが出来ることを考えると、冷却先行させる方が評価が良くなり、しかも不感帯を小さくした方が評価が良い。

Fig. 11 は、不感帯がゼロの場合のヒステリシス幅による特性である。Fig. 12 は、Fig. 10 の振幅特性である。

6. 冷却器の能力による特性

前節までのシミュレーションにおいては、冷却器の能力は 9°C / 1 台とした。これは実測のファイトロンでは、冷却器の能力が固定されていることによる。しかし、冷却器の能力を固定したシミュレーションでは、当該ファイトロンの特性解明にはなりえても、広い意味のファイトロンの工学面すなわち設計資料とするには不充

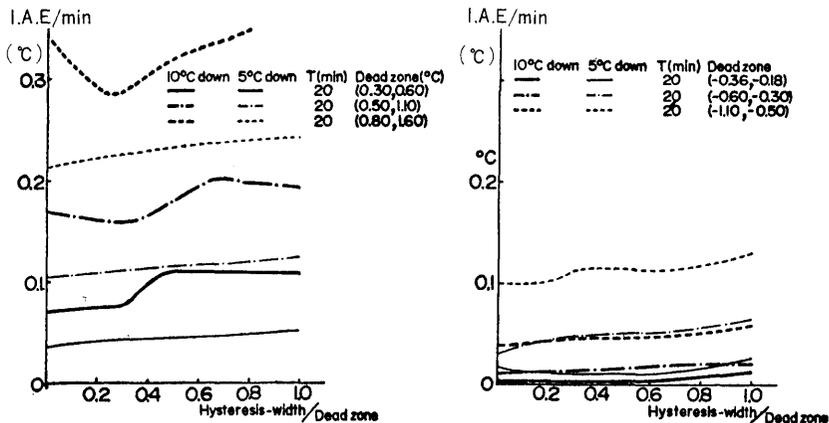


Fig. 10 Non-linear characteristic of on-off controller with several constants of dead zone.

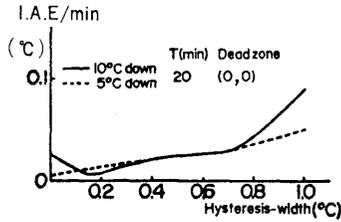


Fig. 11 Non-linear characteristic of on-off controller without dead zone.

分である。それゆえ、次の条件設定でシミュレーションを行なった。冷却能力を1段階 9°C, 2段階 9°Cの場合 [9, 9] と表わすと, [4.5, 4.5] [4.5, 9] [4.5, 13.5] [9, 9] [13.5, 13.5] の5種をえらんだ。入力は $\pm 5^\circ\text{C}/10$ min, 外乱は主として 0, $\pm 5^\circ\text{C}$, $\pm 10^\circ\text{C}$, 加温器は P; 10%, 20%, 40%, I; ∞ , 3 (min), 6 (min) とし T=10 min, L=1 min とした。すなわち

2 (入力) \times 5 (外乱) \times 3 (P) \times 3 (I) \times 5 (冷却能力) \times 1 (T, L) = 450 通りのシミュレーションを行なった。

以上を整理したグラフを、Fig. 13~15 に示す。Fig. 13 は、冷却能力差別にみた定常特性であり、Fig. 14 は同様の過渡特性である。定常、過渡のとりきめは 3, 4 節に従う。これらは、たて軸は I. A. E./min(°C), 横軸は

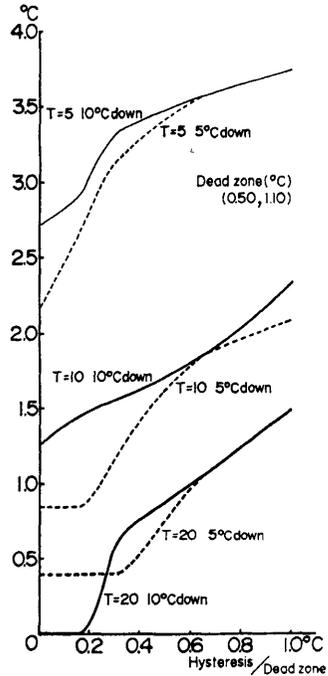


Fig. 12 Amplitude characteristic of temperature hunting.

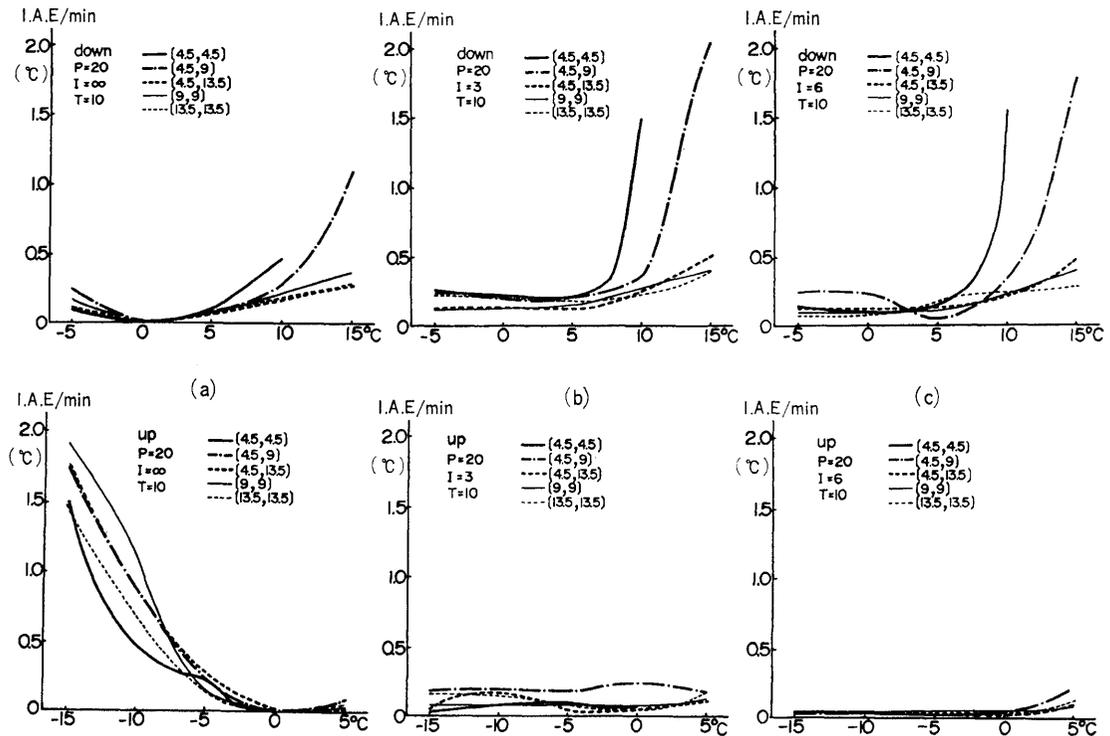


Fig. 13 Steady-state characteristic of temperature control system with cooling capacity.

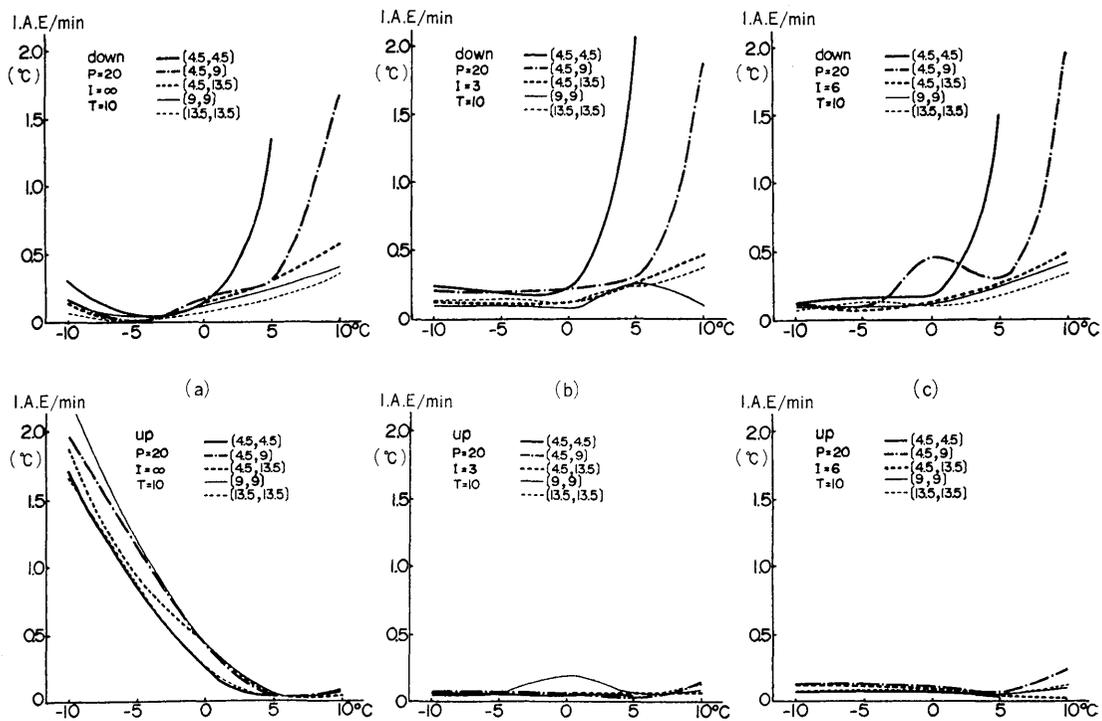


Fig. 14 Transient characteristic of temperature control system with cooling capacity.

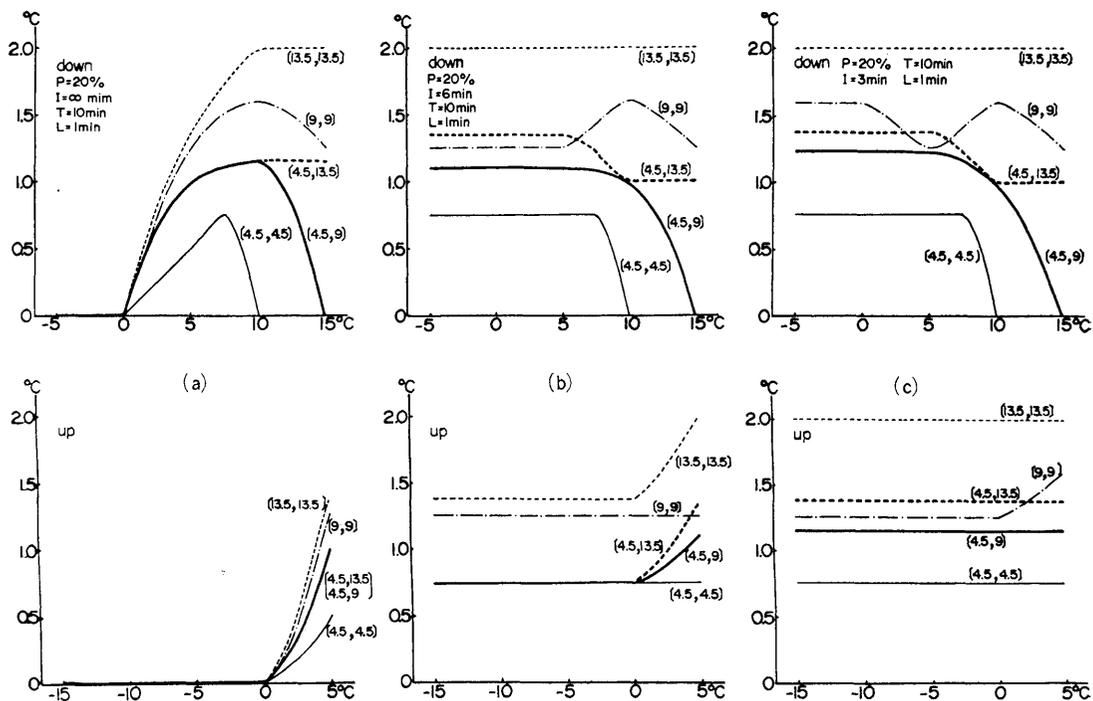


Fig. 15 Amplitude characteristic of temperature hunting.

外乱 (°C) である。Fig. 15 は、定常におけるハンチングの振幅特性である。たて軸は振幅 (°C)、横軸は外乱 (°C) である。Fig. 13 から、正の外乱すなわち冷却負荷の増大においては、冷却能力の強い順に評価が良い。加温器の P, I の影響は、主として負の外乱すなわち加温負荷の増大につれてはっきり現われる。P のみより P, I の方が評価が良い。I については、I=3(min) より I=6(min) の方が評価が良い。Fig. 15 で定常のハンチング振幅をみると、同様に I=6(min) の方が振幅が小さく良好である。Fig. 14 は過渡であるが、定常と同様正の外乱の増大では冷却能力の強い順に良い。

7. 動特性からみた温度制御系の設計

ファイトトロン温度制御系においては、現在までのところ動特性を資料にした設計はなされてない。それは、動特性に関するデータが従来ほとんどなかったためともいえる。3 節 (270 通)、4 節 (270 通)、5 節 (90 通)、6 節 (450 通) と、実測に基づいた多くのシミュレーションより動特性の定量関係がえられたので、今節では、すでに求めた 1080 個の動特性をもとに、これらを用いてファイトトロン温度制御系を設計する方法を提案する。設計の規準としては、(1) 定常特性、(2) 過渡特性の両者に満足できるものが前提になる。そして付随する条件としては、設置の場所による年間の気象条件、および設定温度を何度にするか、また、誤差はどうかという使用条件を常に考慮して設計をすすめねばならない。

設計例-1 設計条件: 設定場所松山, 設定温度 25°C, 温度誤差 I. A. E. 0.5°C/min. 振幅 1°C (±0.5°C).

松山地方の月別ならびに最高, 平均, 最低気温は, 理科年表によると Fig. 16 に示すような特性になっている。それゆえ, 12 月~3 月までを①, 3 月~5 月中旬, およ

び 9 月中旬~12 月までを②, 5 月中旬~9 月中旬までを③とわける。

①: 1 月初旬の最高気温に動作点をおく。すなわち, 動作点を 25°C になるようにするとこの期間では, Fig. 16 の図から読みとると, 外乱が -8°C~+4°C となる。それゆえ, まず -8°C~+4°C で I. A. E. 0.5°C/min の条件を調べる。定常では, Fig. 13 (b), (c) すなわち I=3, I=6 のすべてが条件の許容範囲に入る。つづいて過渡では, Fig. 14 をみると, [4.5, 9] [4.5, 13.5] [9, 9] [13.5, 13.5] が条件の許容範囲に入る。他方, 振幅 1°C の条件を調べるため, Fig. 15 をみる。Fig. 15 (b) では, [4.5, 4.5] [4.5, 9] がほぼ条件の許容範囲に入る。

次に非線形を考慮するときは, Fig. 13~Fig. 15 では (0.50, 1.10) であったことを考えると, Fig. 12 により, これは down プロセスの場合であるが, T=10, 5°C down からヒステリシス幅は, $\leq 0.2 \times 1.10 = 0.22(°C)$ が推定される。一般に, ヒステリシス幅が小さくなるとスイッチング回数が多くなり, 機械的機能の低下により信頼性も低下することから max. 0.22(°C) がよい。

以上より,	加温	冷却	非線形
	P=20%	[4.5, 4.5]	(0.50, 1.10)
	I=6 min	[4.5, 9]	ヒステリシス幅 0.22°C

②: 4 月中旬ないし 10 月中旬の平均気温に動作点をおくと同様にこの期間では, 外乱が -12°C~+9°C. ①と同様にして I. A. E. についてみると, Fig. 13 より I=3, 6(min) で [4.5, 13.5] [9, 9] [13.5, 13.5] が条件の許容範囲に入る。つづいて過渡では, Fig. 14 により上記と同一の条件が求まる。他方, 振幅については Fig. 15 (b) より up については, [4.5, 4.5] [4.5, 9]

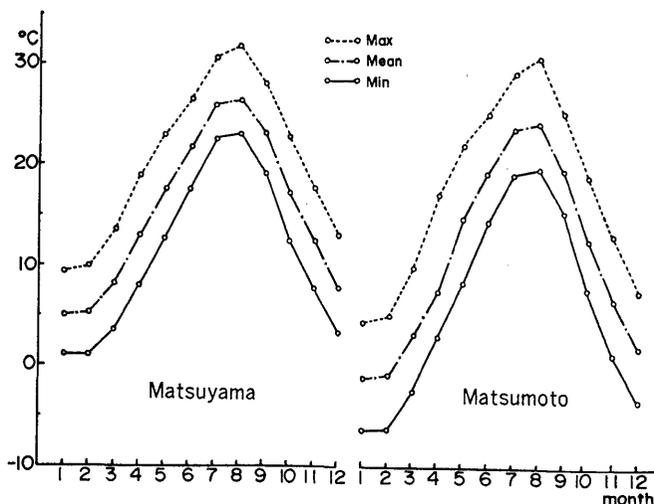


Fig. 16 Atmospheric temperature.

が条件の許容範囲に入るが、down については [4.5, 4.5] のみである。しかし、Fig. 13 と反する。それゆえ [4.5, 13.5] をとらざるをえない。非線形については、①と同様である。

以上より	加温	冷却	非線形
	P=20%	[4.5, 13.5]	(0.50, 1.10)
	I=6 min		ヒステリシス幅 0.22°C

③; 6月下旬ないし8月中旬の平均気温に動作点をよくと同様にしてこの期間では、外乱が $-10^{\circ}\text{C}\sim+7^{\circ}\text{C}$ 、①、②と同様にして I. A. E. についてみると Fig. 13 より I=3, 6 (min) で、[4.5, 9] [4.5, 13.5] [9, 9] [13.5, 13.5] が条件の許容範囲に入る。つづいて過渡では、Fig. 14 より上記と同一の条件が求まる。振幅については Fig. 15 (b) より、[4.5, 4.5] と [4.5, 9] が条件の許容限界に近い。非線形は同様である。

以上より	加温	冷却	非線形
	P=20%	[4.5, 9]	(0.50, 1.10)
	I=6 min		ヒステリシス幅 0.22°C

設計例-2 設計条件; 設定場所, 松本, 設定温度 25°C , 温度誤差 I. A. E. $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 振幅 1°C .

松本地方の気温を Fig. 16 に示す。例-1 と同様にして①, ②, ③にわたる。

①; 1月上旬の最高気温に動作点をよく。すなわち $4^{\circ}\text{C}\Rightarrow 25^{\circ}\text{C}$ に高めてやるので、外乱は $-10^{\circ}\text{C}\sim+6^{\circ}\text{C}$ となる。Fig. 13 により、I=3, I=6 で [4.5, 9] [4.5, 13.5] [9, 9] [13.5, 13.5] Fig. 14 より同様、Fig. 15 より [4.5, 4.5] [4.5, 9], したがって条件の許容範囲に入るものは [4.5, 9] となる。

加温	冷却	非線形
P=20%	[4.5, 9]	(0.50, 1.10)
I=6		ヒステリシス幅 0.22°C

②; 4月中旬ないし10月上旬の平均気温に動作点をよくと同様にして外乱は $-14^{\circ}\text{C}\sim+11^{\circ}\text{C}$ 。Fig. 13 により [4.5, 13.5] [9, 9] [13.5, 13.5], Fig. 14 より同様、Fig. 15 により I=6 (min) [4.5, 4.5] [4.5, 9], 各図から共通の冷却器の能力はないが、許容限界に最も近いものとして [4.5, 13.5] をとらざるをえない。

加温	冷却	非線形
P=20%	[4.5, 13.5]	(0.50, 1.10)
I=6 min		ヒステリシス幅 0.22°C

③; 8月上旬の平均気温に動作点をよくと同様にして、 $-14^{\circ}\text{C}\sim+7^{\circ}\text{C}$ 。Fig. 13 により [4.5, 9] [4.5, 13.5] [9, 9] [13.5, 13.5], Fig. 14 により同様、Fig. 15 によ

り I=6 (min) [4.5, 4.5] [4.5, 9] が条件の許容限界に入る。したがって

加温	冷却	非線形
P=20%	[4.5, 9]	(0.50, 1.10)
I=6 min		ヒステリシス幅 0.22°C

以上、松山および松本と気象条件の異なるタイプにつき、動特性評価からの温度制御系の設計を行なった。

結果としては、動特性からみると同程度の P. I および冷却器容量となった。しかし、動作点を設定値にバイアスさせるバイアス量は両者で大分異なる。このバイアス量は松山、松本にかぎらず南北、内陸、沿岸などの条件で異なるが、従来は、静特性からこのバイアス量を熱交換器の設計規準としているため、Fig. 15 から明瞭であるが、動特性は熱交換器の容量に左右され、したがって地区により、季節により変わる。しかし、動作点をバイアスさせることにより、時々刻々の外乱による制御の動特性は、それに有効な熱交換器を上記のように設計し制御することにより、著しく改善されることが判明した。しかし、この設計法には今後検討を要する問題点が二つある。すなわち、バイアス量の決定および外乱の定量化である。前者については、この設計では、バイアスは年4回更新の固定バイアスとしてシーズンごとに熱負荷を実測し、常時運転するバイアス用の熱交換器の容量を定めて設計すればよい。もちろん、設計段階においてバイアス量を見込むには電算機で動的負荷の計算をすることになる。この点に関しては、今後常時変動を加味するため電算機制御を採用する場合について実験的に検討する必要がある。他方、外乱の定量化については、日射、風速、昼夜など多くの要因について実験的にそれぞれ求められねばならない。その際でも外乱につき、定量的に条件設定を行なった本シミュレーションはすべて利用できる。

8. 結 論

アナログシミュレーションによるファイトロンの温度制御系の動特性の定量化を行ないその関係を用い、動特性からみた設計を試みた。次の 1)~8) を結論とする。

1) 従来の静特性による熱交換器の設計では、動特性は種々の評価をとり、動特性からみた規準が必要である。

2) そのため、多くのシミュレーションでえた加温器の容量、P. I および冷却器の容量、不感帯、ヒステリシス幅、および制御対象の T. L. および外乱との間に生ずる定量的特性を用いた設計法が必要である。

3) 2) の結果、熱交換器の容量の大小と、定常のハンチング振幅や I. A. E. 評価の優劣には、望ましい関係は

ない。

4) したがって、地域、季節により、固定した熱バイアスをかけ、日々や時々刻々の外乱に追従する制御系とにわけて考える必要がある。

5) 設定温度をたとえば 25°C とすると、北国での加温バイアスは南国のそれより大きくなるので、常時運転するバイアス用加熱器は大きくなるが、外乱に対する制御用の加熱器は、両者ともあまり変わらない。

6) 冷却器は2段オンオフであるが、1段目は小さく、2段目は大きい方が動特性は良い。すなわち [4.5, 4.5] [4.5, 9] [4.5, 13.5] のような方式が良い。それゆえ、 $4.5^{\circ}\text{C}/1$ 台を数台並列にしておき、2段目はシーズンにより結線を変えると、上記の2段オンオフがえられる。

7) T. L については、風量制御によっても変えられる。熱交換器と T. L との調整により、所望の動特性に系の改善をはかることができる。

8) 以上、動特性の評価からファイトトロン温度制御系を設計すると、定常、過渡特性の良い系が実現できる。

文 献

- 1) 船田周 他 1972 ファイト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) 寺島貞二郎 他 1972 Design of Phytotron. 生物環境調節 **10** (4): 投稿中
- 3) 木村建一 他 1972 電算機による動的空調負荷計算法. 空気調和・衛生工学 **46** (3): 215-245.

Summary

By analog-simulation, dynamic-characteristic of temperature control system in Phytotron is obtained in many points of several parameters.

Design of temperature control system by means of dynamic-characteristic from these simulations is discussed.

As a result, it is concluded that two way system of temperature control element is necessary for good dynamic-characteristic: one for good dynamic-characteristic; one for static bias, another for dynamic disturbance.

(Received October 2, 1972)