

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 (V)

温湿度制御系の時定数を変えた場合の動特性, ならびに 各種動特性を考慮した設計について¹⁾

船田 周*・橋本 康*・大政謙次*
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アナログシミュレーションで詳細に把握される。

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、すでに求めた各要素の組合せのうえに時定数を変え、温湿度制御系の動特性の評価を行なった。結論として定常状態においては、外乱に対して適切な操作能力をえらぶと、時定数の値が大きい方が動特性の評価がよい傾向をえた。つづいて、これまでのアナログシミュレーションからえた動特性を、ファイトトロンの温湿度制御系を設計する場合にとり入れることを検討した。結論として、高性能グロースチャンパーと異なり、ファイトトロンの温湿度制御系では、温湿度の相互干渉など一般の二変数制御系と考えるには、シミュレーションの基になる実測データが不足し、設計条件をシャープにしぼることはできなかったが、必要条件はえられた。

昭和47年12月18日受付

1. ま え が き

前報¹⁾につづき、ファイトトロンの温湿度二変数制御系の設計資料を得る目的でアナログシミュレーションを行なった。既報で検討されてない時定数を変えることによる温湿度制御系の動特性を求めた。つづいて、シミュレーションによって現在までえられた動特性を考慮して、ファイトトロンの温湿度制御系を設計する方法について提案する。

2. 定常状態において時定数を変えた場合の動特性について

制御装置および制御対象は、基本的には前報¹⁾の Table 1 の設定条件に準じた組合せとするが、本論文で扱うシ

ミュレーションでは、外乱を温湿度とも零とし、操作能力については $(t_{op} \text{ } ^\circ\text{C}, h_{ap} (h_{hp}) 10^{-3} \text{ kg/kg})$ 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種とし、時定数については $T (T_{i \min}, T_{h \min})$ を $T (5, 5), T (5, 10), T (5, 20), T (10, 5), T (10, 10), T (10, 20), T (20, 5), T (20, 10), T (20, 20)$ の9種とし、初期値については $f (t_i \text{ } ^\circ\text{C}, h_i \text{ } \%)$ を $f (15, 60), f (25, 60), f (35, 60)$ の3種とし、これらを組合せて各状態における操作能力と時定数の関連で定常状態における動特性を調べる。このとき、目標値には、零を与えるので、初期値による状態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 $9 \times 9 \times 3 = 243$ 通りのデータを得る。

Fig. 1 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、Fig. 2 および Fig. 3 である。Fig. 2 では湿度時定数を固定し、温度時定数をパラメータとして操作能力別による動特性の評価を、また、Fig. 3 では温度時定数を固定し、湿度時定数をパラメータとし同様の評価

¹⁾ Shu FUNADA, Yasushi HASHIMOTO, and Kenji OMASA: On the Analog Simulation of Control System of Phytotron (V). Dynamic Characteristic of Temperature and Humidity Control System with Several Time Constants of Controlled Object, and Examination of Design in Consideration of Dynamic Characteristic.

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

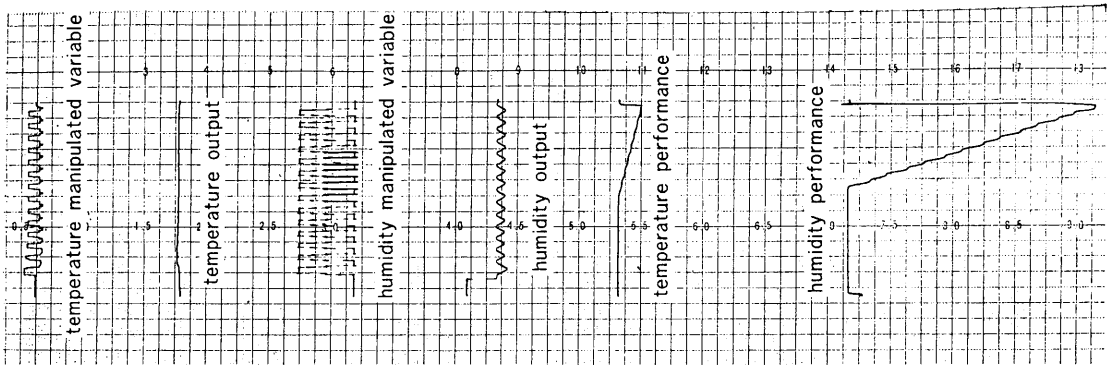


Fig 1. Analog simulation-chart of temperature and humidity control system.

を表わした。ここで、横軸には時定数、縦軸には a が温度、 b が湿度評価をとってある。これらのグラフから、次の結果を導きうる。

すなわち、温度あるいは湿度評価からみた時定数と操作能力の関係は、制御対象のおかれている状態によって大きく変わってくる。たとえば、Fig. 2-1b, Fig. 3-3bに現われているように、 $f(15, 60)$, $f(35, 60)$ の状態における湿度評価に強く作用する時定数は、前者が湿度、後者が温度である。これは、絶対湿度、相対湿度変換係数の違いによって生じるものであり、 $f(15, 60)$ においては、温度変化よりも絶対湿度の変化の方が相対湿度に与える影響は大きく、また、 $f(35, 60)$ においては、その逆がいえることから理解される。これより、 $f(25, 60)$ では、温湿度両時定数の影響をうけることが予測され、Fig. 2-2b, Fig. 3-2b によって実証される。

以下具体的に各状態について述べる。 $f(15, 60)$, $f(25, 60)$ の場合における温度評価は、温度時定数によって強く影響を受け、時定数が大きいほどよい。また操作量の変化に伴う評価のばらつきは、時定数が小さい場合顕著であり、逆に大きい場合、たとえば 20 min ではほとんどないといってもよい。これに対して $f(35, 60)$ の場合は、時定数による影響は余り見られず、評価の違いは、そのまま操作量の違いによるものである。概して評価がよいのは、 $T(20, 5)$, $T(20, 10)$, $T(20, 20)$, $T(10, 20)$ の場合である。他方、湿度評価に対する要因は、先に述べたように各状態において大きく変わってくる。すなわち、 $f(15, 60)$ においては、湿度時定数が大きいほどその評価はよく、温度評価の場合と同様、操作量による評価のばらつきは、時定数が小さい場合顕著であり、温度時定数との関連によってその値を定める。 $f(25, 60)$ においては、温湿度いずれかの時定数が小さければ、評価は悪く、操作量によるばらつきもまた大き

くなる。逆に時定数が大きければ、評価もばらつきもまた小さい。 $f(35, 60)$ においては、温度時定数が小さいほど評価は悪く、操作量に対するばらつきもまた、大きいという結果を得る。これより次の時定数、すなわち $f(15, 60)$ では、 $T(20, 20)$, $T(10, 20)$, $T(10, 10)$; $f(25, 60)$ では、 $T(20, 20)$, $T(20, 10)$, $T(10, 20)$; $f(35, 60)$ では、 $T(20, 5)$, $T(20, 10)$, $T(20, 20)$; などの評価が比較的良好であることがわかる。

以上より、概して時定数の大きい、比較的応答の遅いシステムの方が有効であることが示されるが、これは、定常過程そのものが定常状態であり、操作の動作が直ちに制御対象の変化をもたらさないシステムの方が有効であることから容易に理解される。しかし、時定数そのものは、過渡との対応によって決定されるべきものであり、先に報告^{2,3)} した過渡状態での時定数を考慮し、温湿度とも時定数 10~20 min とすれば、定常および過渡に対して有効適切な制御が可能である。

3. 温湿度制御系の設計について

ファイトロンの温湿度制御系において、現在までのところその定常および過渡の動特性を資料にした設計はみあたらない。そこで、本節ではシミュレーションによって得た結果をもとにして、制御の動特性からみた設計方法を提案する。

設計の規準としては、(1) 定常および過渡特性、(2) 温度および湿度特性、を満足するものを前提とする。そして付随する条件として、温湿度設定値やその制御幅をどのようにするか、それに伴う外乱がどの程度の範囲で変化するかなどを考慮して設計をすすめなければならない。この場合、外乱は新鮮空気取入れ、壁面からの熱伝導、日射の輻射熱、植物の蒸発散などによって与えられる。

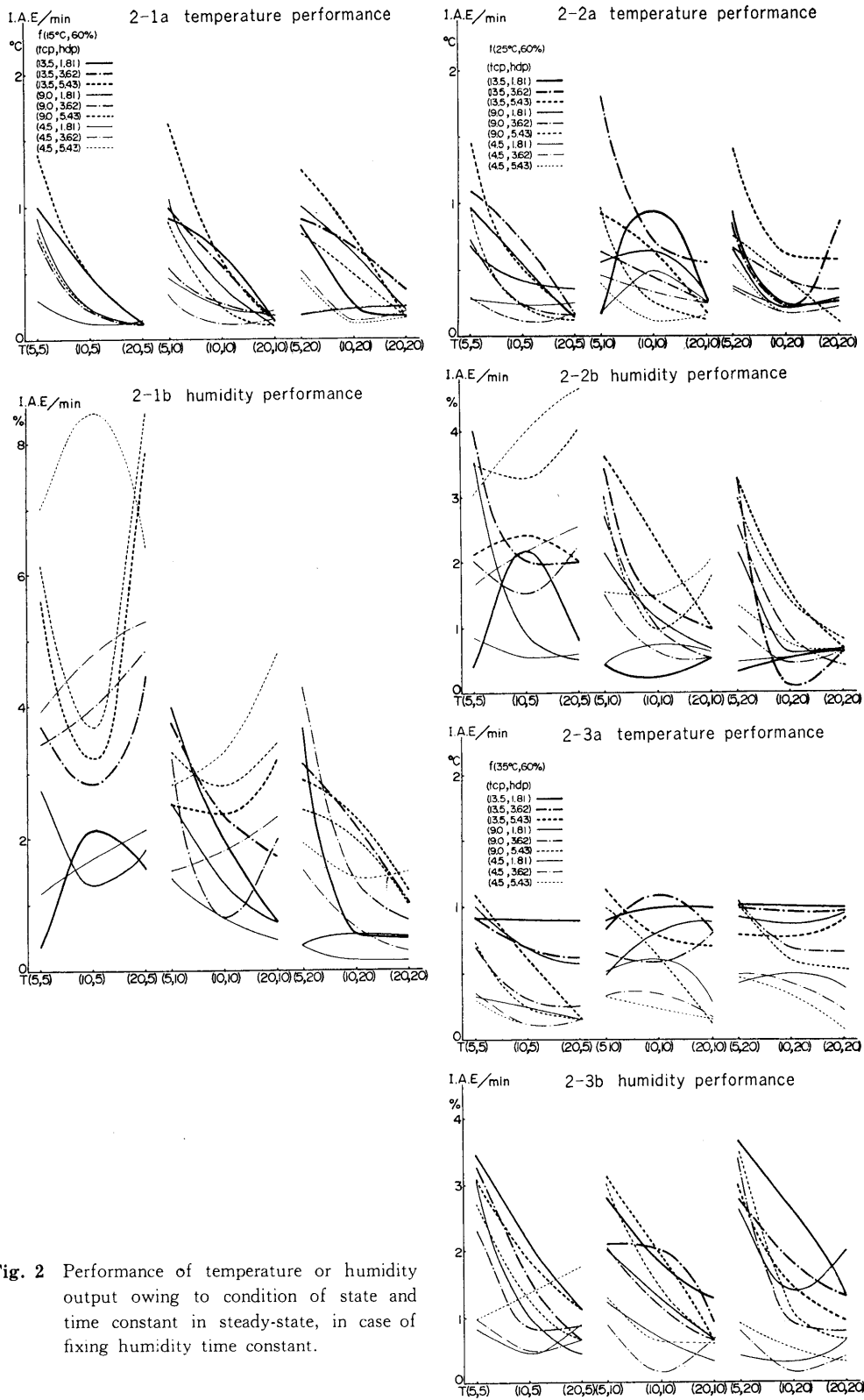


Fig. 2 Performance of temperature or humidity output owing to condition of state and time constant in steady-state, in case of fixing humidity time constant.

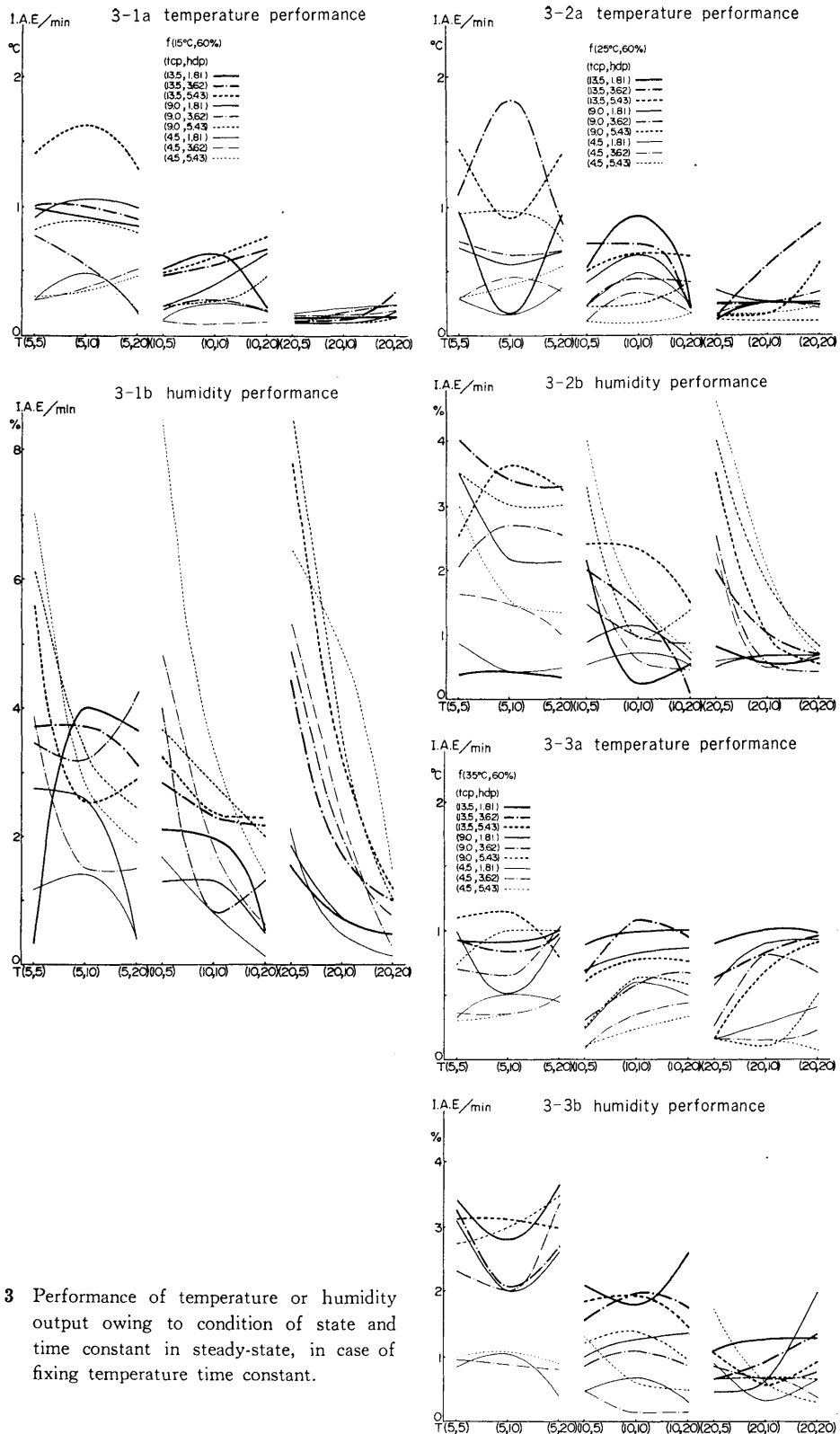


Fig. 3 Performance of temperature or humidity output owing to condition of state and time constant in steady-state, in case of fixing temperature time constant.

設計例—1〔温湿度外乱が比較的小さく、過渡特性よりも定常特性に重きをおく場合〕

これは、バイアス等によって、外乱を補正した場合も含まれ、従来の多くのファイトトロンの条件が、これに相当する。

設計条件：設定温湿度，25°C，60%
制御範囲，±5°C，±10%
温湿度外乱，±1.286×10⁴ kcal/hr，
±21.11 kg/hr 以内

(ただし、送風量は 10,500 kg/hr で計算してある)

時定数は、定常および過渡の両面からみて、温湿度とも 10 min を与える。そして、このときの送風量は、一般には決定できないが、実測における時定数が 10 min 付近であることより、このときの量 10,500 kg/hr をそのまま使用する。むだ時間は、実測よりの温湿度とも 1 min をとって一般性が失われない。定常特性を満たす制御能力は、前報¹⁾ Fig. 3-2, Fig. 4-2 より、冷却除湿 1 台当り、1.158×10⁴ kcal/hr, 38.01 または 57.02 kg/hr がよい。また過渡特性は 38.01 kg/hr の方がよく、評価の絶対値も余り悪くないのでこれを使用する。

以上より、

	加湿	冷却除湿	加湿
P=20%	1 台	1.158×10 ⁴ kcal/hr	76.02 kg/hr
I=6 min		38.01 kg/hr	

を得る。

設計例—2〔温湿度外乱が比較的大きく定常、過渡特性とも同様の精度を必要とする場合〕

設計条件：設定温湿度，25°C，60%
制御範囲，±5°C，±10%
温湿度外乱，±2.573×10⁴ kcal/hr，
±42.21 kg/hr 以内

時定数は、設計例—1 の場合と同じく、温湿度とも 10 min としむだ時間は 1 min としてすすめる。定常特性を満たす制御能力は、前報¹⁾ Table 5 より、冷却除湿 1 台当り [1.158×10⁴ kcal/hr, 38.01 kg/hr] [2.315×10⁴ kcal/hr, 57.02 kg/hr] がよく、また過渡特性は、Table 6 より 1 台当り [2.315~3.473×10⁴ kcal/hr, 38.01~57.02 kg/hr] がよい。これより [2.315×10⁴ kcal/hr, 57.02 kg/hr] を使用する。

以上より、

	加湿	冷却除湿	加湿
P=20%	1 台	2.315×10 ⁴ kcal/hr	114.03 kg/hr
I=6 min		57.02 kg/hr	

を得る。ただし設計例 1, 2 とも不感帯幅は、加湿 0.5°C, 冷却除湿 1 台目 (0.5°C, 0.201×10⁻³ kg/kg), 2

台目 (1.0°C, 0.402×10⁻³ kg/kg), 加湿 0.201×10⁻³ kg/kg に設定する。

4. 結 び

本論文では、温湿度二変数制御系の設計資料を得る目的で、すでに求めてきた各種パラメータによる動特性評価につき唯一つ残された時定数をパラメータとした動特性を検討した。さらに、すでに求めてきた温湿度二変数制御系の動特性の諸結果をもとに、動特性を考慮した設計について例をとり提案した。しかし、温湿度二変数系は、温度制御系に比較し複雑で問題が多い。温度制御系については、ファイトトロンの多くの実測結果をもとに、そのシミュレーションによる動特性の定量特性を明確にし、すでにその結果を利用しての設計法を提案した²⁾。

しかるに温湿度制御系については、現状のファイトロンが高性能グロースチャンパーのように、湿度制御系にも P.I.D. 調節計を使ったものがほとんどない。というのは、そこまでの二変数制御へのウェイトが、ファイトトロンの目的と経済的にみても多少ずれるからである。

それ故、本論文の方法では、いくつかの仮定をしばり、設計の十分条件を明確にするに必要な実測値の裏付けが得られなかった。それ故、温湿度二変数系の相互干渉を含めた制御系のシャープな動特性の把握には、対象をファイトロンから高性能グロースチャンパーに変えて、多くの方法による運転で実測データを得、それをもとにシミュレーションを行なうというプロセスを経なければならぬ。したがって本論文では温湿度二変数制御系の動特性について、必要条件ともいえる幅広い条件の把握にとどまらざるを得なかった。しかし、ファイトロンを対象とした一連のシミュレーションによる検討は、従来とかくウェイトが置かれてなかった動特性に関する多くの問題を解明し、かつ問題提起もし、ある程度満足すべき結果をもたらした。

上述の理由により、本論文をもって一連のファイトロンに関する動特性のシミュレーションスタディをひとまず結ぶ。この一連の研究で提起された問題のいくつかは、対象を高性能グロースチャンパーに変え、さらに各種アプローチでの追求を期したい。

最後にこれまでの研究におけるシミュレーションの対象としたファイトロンは、九州大学生物環境調節センターファイトロン G-5 を中心にし、各種実測値を活用した。実測の機会を与えて下さり種々御援助していた

だいた同センター松井健博士をはじめ関係各位に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 船田周 他. 1973. 温湿度制御系の操作能力を変えた場合の動特性. 生物環境調節 **11**(1): 11-22.
- 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.

Summary

Dynamic characteristic of temperature and humidity control system in Phytotron is adequately investigated from the simulation of analog computer.

In this paper, to analyze and design the control system of Phytotron, estimations of dynamic characteristic upon several time constants of the controlled object with the relation of examined manipulated means are carried out. As a result, in case of optimal capacity of manipulated means against disturbance, large time constant causes better estimation of steady-state characteristic.

Another examination of design in consideration of dynamic characteristic from analog simulation is carried out. As a result, temperature and humidity control system in Phytotron is not equivalent to general two-variable control system with mutual interference, and can not give us sufficient data for analog simulation, so gained condition for design is not sharp; this is not sufficient but necessary condition for design.

(Received December 18, 1972)