

## 自然環境シミュレータにおける風速分布の自動制御システム

今 齋・大政 謙次\*

日本大学生産工学部電気工学科・\*国立環境研究所

### An Automatic Control System of Wind Velocity Profile in a Simulator for Analyzing the Plant-Environment System

Hitoshi KON and Kenji OMASA\*

*Department of Electrical Engineering, Nihon University College of Industrial Technology,  
Narashino, Chiba 275, Japan*

*\*The National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan*

There is a simulator for analyzing the plant-environment system in the National Institute for Environmental Studies. This simulator is a wind tunnel with air conditioner, solar simulator and control unit of soil environment. Profile of air temperature and humidity are controlled automatically in the simulator but that of wind velocity was not. Wind tunnels in other research fields have also been in a similar situation. We have therefore developed an automatic control system of wind velocity profiles in the simulator, and then examined the performance of the system and its application.

(Received March 25, 1997)

1997年3月25日受付

#### 緒 言

近年、地球を取り巻く環境の問題が様々な観点から議論されている。特に、化石燃料の大量消費や森林の大規模な伐採に伴う、CO<sub>2</sub>の濃度上昇と地球温暖化の問題は、環境政策上、最重要な課題(Houghton *et al.*, 1990; Tergart *et al.*, 1990; Houghton *et al.*, 1996; Omasa *et al.*, 1996; Watson *et al.*, 1996) のひとつとして取り上げられている。また、自動車の増加に伴う大都市での大気汚染の問題も、先進国だけでなく、開発途上国においても深刻な問題になってきている。植物群落は、温暖化に関係するCO<sub>2</sub>や汚染ガスの主要な成分であるNO<sub>2</sub>をよく吸収し、光合成や窒素代謝等により自らの生育に利用(Omasa, 1979; Aiga *et al.*, 1982)している。また、植物にとって有害なSO<sub>2</sub>やO<sub>3</sub>等の汚染ガスも植物自身が障害を受けながら吸収し、大気を浄化するのに寄与(Omasa, 1979)している。最近、植物が室内汚染物質であるホルムアルデヒド等も

吸収し、代謝する機能が明らか(Kondo *et al.*, 1995)になってきた。気温や湿度、風速といった大気環境や土壌環境、光環境等の植物を取り巻く環境は、気孔を介しての大気と植物のガス交換や、根からの水や養分の吸収、その他の生体内の生理反応等に密接に関係(Omasa, 1979; Jones, 1983)している。これらの関係の解明には、野外での観測に加えて、生物環境調節施設を用いた模擬実験による、より厳密で再現性のある解析が必要である。

生物環境施設での実験では、植物個体を対象とした研究の他に、群落を対象とした研究も行われている。しかし、従来の研究では、群落を特徴づける群落内外の微気象、特に、風速、気温、湿度およびガス濃度等の空間分布にはほとんど注意が払われていなかった。この原因は、従来の装置が、実験室内の環境を一定に調節するように設計されていたからである。しかし、群落環境の再現のためには上記の環境要因の空間分布、特に、高さ方向の分布の制御が必要不可欠である。

国立環境研究所には、群落環境の模擬実験のために、

風速や気温、湿度およびガス濃度等の大気環境や土壌環境、光環境などが制御できる風洞型の自然環境シミュレータが設備 (Aiga *et al.*, 1982) されている。この装置には、特に、群落内外の微気象を再現するために、気温や湿度、風速等の高さ方向の分布を制御できる成層装置が付加されている。しかし、従来、気温と湿度の分布については自動化されてきたが、風速分布については手動制御であり、その自動化が望まれていた。また、航空機や環境の研究の分野の大型風洞実験でも、風速分布 (速度成層) の自動制御は行われて

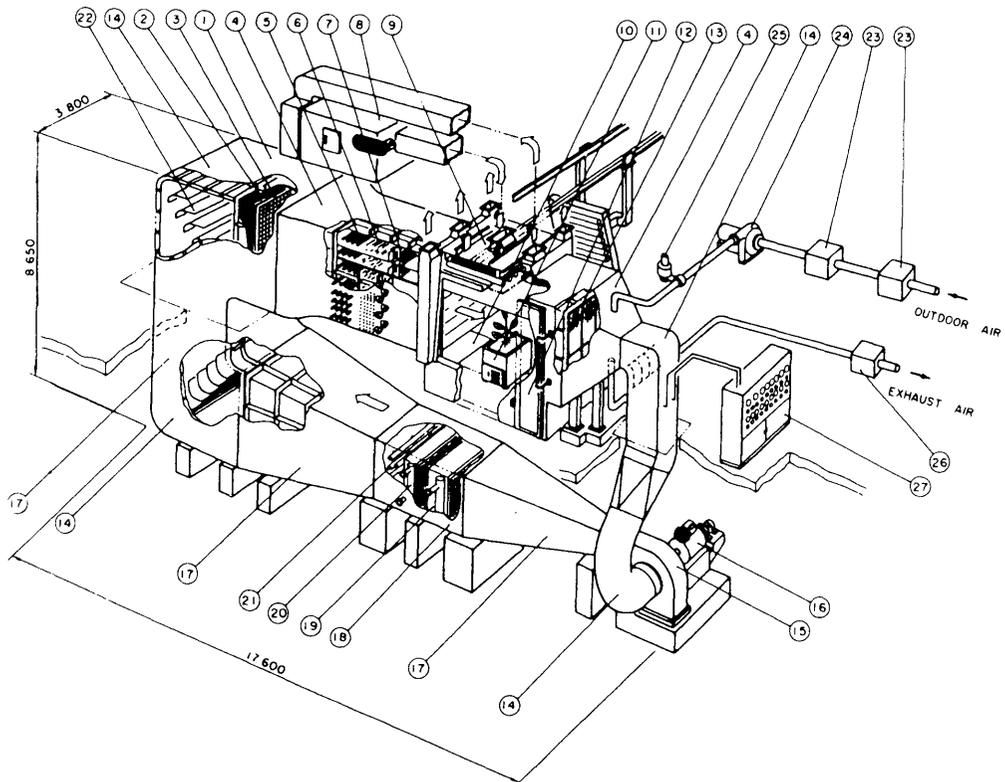
いないのが現状である。

そこで、筆者らは、風速分布の自動制御化について検討を行った結果、風速分布の風速値精度および自動制御系の応答時間に満足できる自動制御システムの構築が可能となったので報告する。

### 自然環境シミュレータの速度成層装置の 自動制御システムの構築

#### 1. 自然環境シミュレータの概要

自然環境シミュレータは、特殊な風洞実験装置とみ



- |                                    |                                |
|------------------------------------|--------------------------------|
| 1 : settling chamber               | 15 : main blower               |
| 2 : screen                         | 16 : electric motor            |
| 3 : honeycomb                      | 17 : diffuser                  |
| 4 : contraction cone               | 18 : main air conditioner      |
| 5 : humidity profile unit          | 19 : cooling coil              |
| 6 : temperature profile unit       | 20 : heating coil              |
| 7* : velocity profile unit         | 21 : humidifier                |
| 8 : lamp house air conditioner     | 22 : cover vane                |
| 9 : solar simulator                | 23 : fresh air filter          |
| 10 : growth room                   | 24 : ventilation blower        |
| 11 : soil environment control unit | 25 : ventilation control valve |
| 12 : door                          | 26 : exhaust air filter        |
| 13 : dust filter                   | 27 : gases supply system       |
| 14 : corner                        |                                |

Fig. 1 Configuration of the simulator for analyzing the plant-environment system.

なすことができる。この装置は、一般的な風洞実験装置に、群落微気象を模擬するための速度成層装置、温度成層装置および湿度成層装置を付加し、さらに、光量制御装置、ガス濃度制御装置および土壌制御装置等を組み込んだ還流式の生物環境調節装置である (Fig. 1)。実験部は 18.5 m<sup>3</sup>(縦 2.4 m, 横 2.4 m, 高さ 3.2 m) である。シミュレータ内の空気の流れをみると、主送風機から送られた空気は主空調機で適切な温湿度状態に調整された後、各種成層装置を通り実験室内に至る。その後、実験室内の空気は縮流胴を通して主送風機に還流する。成層装置は 10 段構成 (各段 20 cm) になっており、温度が電気ヒータ、湿度が蒸気加湿、風速が速度成層格子により、高さ方向に任意の温湿度および風速の分布を作ることができる。主送風機は実験室内の風速を 0.1~2.7 m/s (精度は送風機回転数で 0.1% FS) の範囲で自動制御する機能があるが、速度成層格子の調節は従来手動で行ってきた。そこで、今回、各段速度成層格子の調節軸にパルスモータを取り付け、コンピュータ制御が可能なように改良した (Fig. 2)。便宜的に、以後、主送風機による風量制御を主自動制御系、速度成層装置による速度成層制御を副自動制御系と呼ぶことにする。なお、主空調機と温湿度成層装置は、10~35°C (精度 0.1°C)、30~80% RH (露点精度 0.1%) の範囲で自動制御可能である。また、各種ガス (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) の濃度や光量 (4~60 klx) についても自動制御する機能を有している。

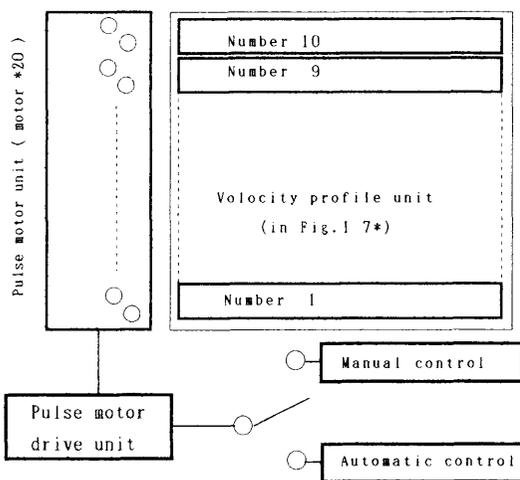


Fig. 2 Velocity profile unit with automatic control system.

## 2. 自動制御システムのフローチャート

筆者らの予備実験によれば副自動制御系の収束が望めない場合が生じた。これは副自動制御系と主自動制御系との間には何ら相互に制御する方法がとれていないことに起因する。マイクロコンピュータで構成されている副自動制御系とミニコンピュータで構成されている主自動制御系との総合的な自動制御システムを構築するためには、前者のマイクロコンピュータと後者のミニコンピュータとの回線を何らかの方法で結合すると同時に両自動制御系のシステムをも融合する必要がある。しかし、現状ではこれら相互の自動制御システムの融合は繁雑であり容易な方法ではない。そこで、主自動制御系と副自動制御系とを独立して考えることにした。従って、両自動制御系の初期設定が非常に重要となる。この両自動制御系の初期設定の状態によっては自動制御系の収束は望めない場合が生ずる。そこで、この問題を回避するために、次のような初期設定および自動制御方式を考える。

最初に、主自動制御系と副自動制御系の初期値を以下のように設定する。

### (1) 主自動制御系の初期設定

主送風機による自然環境シミュレータの総合流量の調整。これは目標とする風速分布の平均風速値を目安として設定する。

### (2) 副自動制御系の初期設定

各段速度成層格子の基準位置へ移動する。これを換言すれば、各段速度成層の一定風速値の設定である。次に、副自動制御系による速度成層の制御を行うが、最初に開ループ制御による大まかな設定を行った後、閉ループ制御による高精度の制御を行う。

### (3) 副自動制御系の制御方式

#### a. 開ループ制御

制御基本式の数値成層格子の移動時間と風速との関係式を適用し、目標風速分布の平均風速値と各段速度成層の目標値との偏差から速度成層格子の移動時間の導出を行う。その後、各段速度成層格子の移動を行う (Fig. 3)。

#### b. 閉ループ制御

開ループ制御のみでは外乱に対し応答できない。そこで、この外乱および風速分布の微調整もかねて、風速分布を測定しながらのプロセス制御 (Fig. 4) を行う。その方法は、各段速度成層格子の風速値を順次読み、まず、その風速値と目標値との偏差の極性の判断を行う。次に、後述する制御基本式の(10)式

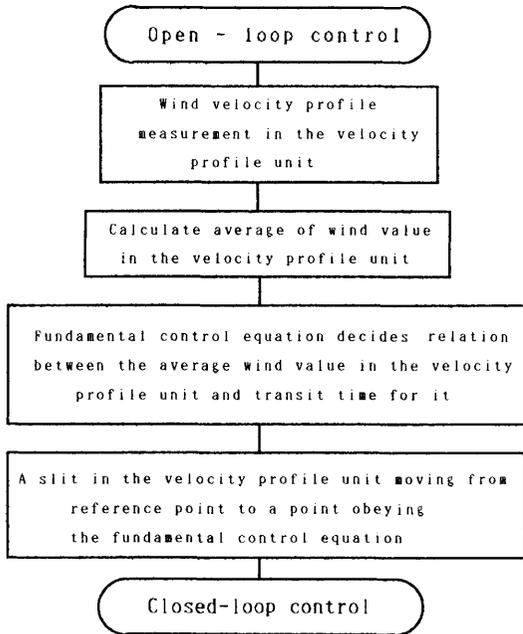


Fig. 3 Block diagram of the open-loop control.

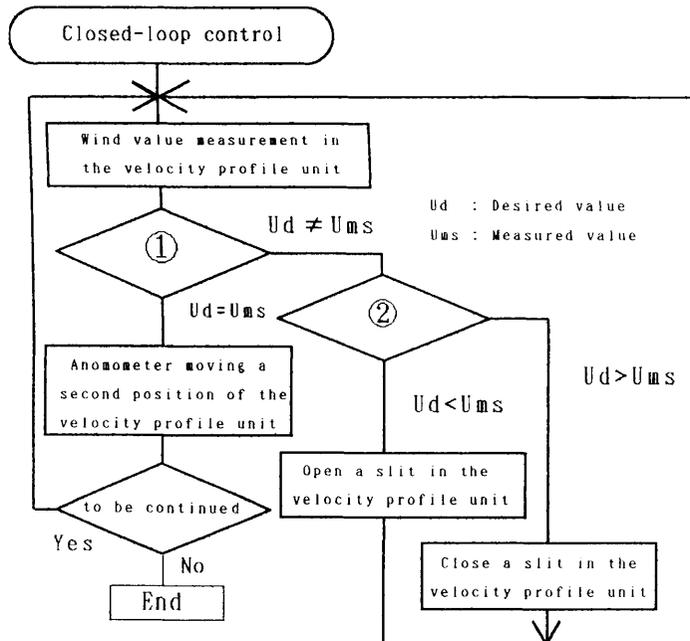
により算定された値に従って速度成層格子の移動を行う。その後、この次段の風速値を読み、この風速値を目標の最大風速値 (2.7 m/s) に対する誤差率 3% の半分の誤差 1.5% になるまで、このプロセスを続行する。以上のような自動制御システムを構築することにより、これらの制御系は収束するものと考えられる。

### 3. 速度成層格子の移動時間と風速比 (風速/平均風速) との関係式の導出

副自動制御系における制御基本式の数値成層格子の移動時間と一定風速に対する風速比 (風速/平均風速) との関係式の導出は開ループ制御方式では非常に重要である。これらの説明図を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。

制御基本式の導出は、次のように行う。初期設定状態である一定風速値を  $U_c$  [m/s] とし、この状態から速度成層格子を  $sl$  [s] 間移動したときの風速値を  $U$  [m/s] とする。ここで、この風速値  $U$  と一定風速値  $U_c$  との比を  $U_r (U/U_c)$  とし、次のように表現する。

$$U_r = \frac{U}{U_c} \quad (1)$$



- ①: Wind value of the velocity profile unit attains the desired value of wind velocity profile.
- ②: Compare  $U_d$  with  $U_{ms}$ .

Fig. 4 Block diagram of the Closed-loop control.

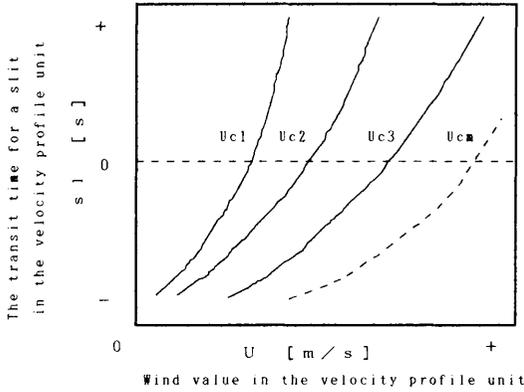


Fig. 5 Relation between the wind value in the velocity profile unit and transit time for a slit.

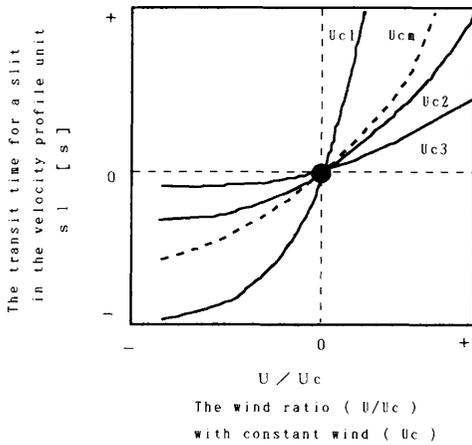


Fig. 6 Relation between the wind ratio ( $U/U_c$ ) and transit time for a slit in the profile unit.

次に、副自動制御系の速度成層格子の初期設定時における一定風速をパラメータとし、速度成層格子の移動時間  $sl$  とそのときの風速値  $U$  との関連に対し実験を  $n$  回行う。この実験結果より速度成層格子の移動時間  $sl$  と一定風速値に対する風速比  $U_r$  との関係に従って関数化する。その関数化は最小二乗法による  $n$  次の関係式に帰する方法をとった。本来、この制御基本式は速度成層格子の移動時間と一定風速値  $U_c$  に対する風速比の実験結果から導出する関係式である。しかし、実際の自動制御システムでは検出部である熱線風速計から検出された風速値によりその目標値との偏差に従って速度成層格子の移動時間を決定する必要がある。従って、これら速度成層格子の移動時間と一定風速  $U_c$  に対する風速比の関係式を変形して表現するこ

とにした。これらの関係式は、

$$sl = a_0 + a_1 \times U_r + a_2 \times U_r^2 + \dots + a_n \times U_r^n \quad (2)$$

と表すことができる。ただし、 $a_0$  から  $a_n$  は各次数の係数である。この(2)式に示した各次数の係数  $a_0$  から  $a_n$  は最小二乗法により既知となる。速度成層格子の初期状態では風速比  $U/U_c$  は1であり、速度成層格子の移動時間  $sl$  は零である。従って、(2)式は一定風速値のいかんに関わらず  $U_r=1$  の解をもつことになる。従って、(2)式は、

$$sl = (U_r - 1) \times \{ b_0 + b_1 \times U_r + b_2 \times U_r^2 + \dots + b_{(n-1)} \times U_r^{(n-1)} \} \quad (3)$$

と変形することができる。ただし、 $b_0$  から  $b_{(n-1)}$  は各次数の係数である。この式を展開し(2)式と等しいと置くことにより、各次数の係数  $b_0$  から  $b_{(n-1)}$  が求められる。これにより(2)式の  $n$  次の関係式の次数を1次下げることができる。ここで、(3)式において、右辺の第2項、 $(n-1)$ 次の展開式に着目し、これを  $d$  とすると、

$$d = b_0 + b_1 \times U_r + b_2 \times U_r^2 + \dots + b_{(n-1)} \times U_r^{(n-1)} \quad (4)$$

となる。このときの実験データから風速比  $U_r$  と  $d$  との関係式が  $k$  連あるとすると、一定風速値  $U_{c_k}$  における(4)式の左辺  $d$  を行列  $[d_k]$  ( $d_1 \sim d_k$ )、右辺の係数行列  $[b]$  (係数  $b_0 \sim b_{(n-1)}$ ) および風速比  $U_r$  の行列  $[U_r]$  ( $U_{r0} \sim U_{rk}$ ) とし、

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= b_{01} + b_{11} \times U_{r1} + b_{21} \times U_{r1}^2 + \dots \\ &\quad + b_{(n-1)1} \times U_{r1}^{(n-1)} \\ d_2 &= b_{02} + b_{12} \times U_{r2} + b_{22} \times U_{r2}^2 + \dots \\ &\quad + b_{(n-1)2} \times U_{r2}^{(n-1)} \\ d_3 &= b_{03} + b_{13} \times U_{r3} + b_{23} \times U_{r3}^2 + \dots \\ &\quad + b_{(n-1)3} \times U_{r3}^{(n-1)} \\ &\quad \vdots \\ d_k &= b_{0k} + b_{1k} \times U_{rk} + b_{2k} \times U_{rk}^2 + \dots \\ &\quad + b_{(n-1)k} \times U_{rk}^{(n-1)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

の一連の式を行列で、

$$[d_{1-k}] = [b_{0-n-1,1-k}] [U_{r(1-k)}^{0 \sim n-1}] \quad (6)$$

と表現できる。ただし、添字は行、列および累乗を表すものとする。以後、添字は同様の意味である。この  $k$  連の関係式から任意の一定風速値  $U_{c_m}$  における(4)式で表現した  $(n-1)$  次の関係式の各次数の係数を求めるためには(4)式が  $n$  個の係数をもつことから  $n$  連の関係式が必要であることが解る。従って、 $k=n$  でなければならない。これは  $n$  個の一連の速度成層格子の移動時間と一定風速に対する風速比との実験データが必要であることを意味する。この関係を最小二乗法に

より  $n$  次の関係式で回帰して、 $U_t=1$  の解により、次数を 1 次下げればよいことが解る。そこで、任意の一定風速値  $U_{cm}$  の行列  $[U_{cm}]$  (各次数の係数  $b_{01} \sim b_{(n-1)m}$ ) を導出するために、実験結果より既知となった行列  $[b]$  (各次数の係数  $b_{01} \sim b_{(n-1)1}$  から  $b_{0k} \sim b_{(n-1)k}$ ) と一定風速値の行列  $[U_c]$  ( $U_{ck} \sim U_{c1}$ ) より、

$$[b_{0 \sim n-1, k \sim 1}] = [G_{1 \sim k, 1 \sim k}] [U_{c(k-1)}]^{0 \sim n-1} \quad (7)$$

と表現できる。ただし、行列  $[G]$  (各次数の係数  $G_{11} \sim G_{kk}$ ) は未知である。また、この行列  $[G]$  は、 $n \times n$  の正方行列となる。さらに、この行列  $[G]$  は Fig. 5 および Fig. 6 に示すように一定風速値  $U_{c1}$  から  $U_{cm}$  の一連の実験データから行列  $[b]$  (各次数の係数  $b_{01} \sim b_{(n-1)1}$  から  $b_{0k} \sim b_{(n-1)k}$ ) と任意の一定風速値  $U_{cm}$  とを関連づける係数行列とみなすことができる。そこで、この係数行列  $[G]$  を導出するために (7) 式を転置し、

$$[b_{0 \sim n-1, k \sim 1}]^t = [G_{1 \sim k, 1 \sim k}]^t [U_{c(k-1)}]^{0 \sim n-1}{}^t \quad (8)$$

となる。次に、(8) 式から係数行列  $[G_{1 \sim k, 1 \sim k}]^t$  は、

$$[G_{1 \sim k, 1 \sim k}]^t = ([U_{c(k-1)}]^{0 \sim n-1}{}^t)^{-1} [b_{0 \sim n-1, k \sim 1}]^t \quad (9)$$

となる。既知である一定風速値の行列  $[U_{c(k-1)}]^{0 \sim n-1}{}^t$  と係数行列  $[b_{0 \sim n-1, k \sim 1}]^t$  より、係数行列  $[G_{1 \sim k, 1 \sim k}]^t$  を導出することができる。この導出された  $[G_{1 \sim k, 1 \sim k}]^t$  を転置して係数行列  $[G_{1 \sim k, 1 \sim k}]$  とし、この導出された係数行列  $[G_{1 \sim k, 1 \sim k}]$  を  $[G_{kk}]$  とすれば、任意の一定風速値行列  $[U_{cm}]$  から

$$[b_m] = [G_{kk}] [U_{cm}] \quad (10)$$

の関係式に従って係数行列  $[b_m]$  (各次数の係数  $b_{(n-1)m} \sim b_{0m}$ ) を導出することができる。従って、任意

の一定風速値  $U_{cm}$  における (4) 式と同様の任意の  $(n-1)$  次関数の各係数が求められる。この (4) 式と同様の任意関数に対し、(3) 式の右辺第一項 ( $U_t-1$ ) を乗算することにより速度成層格子の移動時間と任意の一定風速値  $U_{cm}$  における風速との関係を表す  $n$  次の関係式が求められる。この関係式を用いて目標値と熱線風速計から検出された風速値との偏差に従って速度成層格子を開閉させればよいことが解る。

### 実験方法および実験結果

副自動制御系における制御基本式の導出や制御アルゴリズムの確認および両自動制御系の制御適応範囲の検討を行うため、次の実験を行った。

- (1) 速度成層格子の移動時間と一定風速に対する風速比との関係を求める実験は、以下の方法で行った。
  - a. 各段速度成層が一定風速の状態になるように初期設定を行う。
  - b. 速度成層の上層部の 6 段目から上段になるに従って速度成層格子の移動時間を 5 s または 15 s の倍数ずつ増加させ速度成層格子を開口方向 ( $sl > 0$ ) へ移動させる。これと同時に速度成層の下層部の 5 段目から下段になるに従ってその倍数ずつ速度成層格子を開口方向 ( $sl < 0$ ) へ移動させる。これらの速度成層格子の移動方法により、速度成層格子の開閉による開口面積の総和は零となり、速度成層を通過する総合流量が一

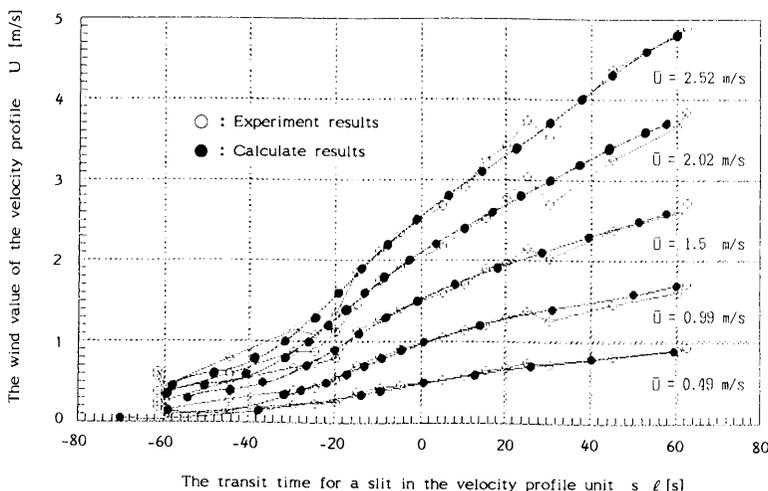


Fig. 7 Relation between the transit time for a slit of the velocity profile unit and the wind value of it with constant wind ( $U_c$ ).

定に保たれる状態での実験となる。この実験における初期設定（平均風速値）は、平均風速値  $\bar{U}$  の 0.49 m/s, 0.99 m/s, 1.50 m/s, 2.02 m/s および 2.52 m/s の 5 種類とした。これらの実験結果を Fig. 7 に示す。これらの実験結果より、係数行列  $[G]$  の算定は  $k=n=5$  として求めた結果を併せて Fig. 7 に示す。

(2) 両自動制御系の制御適応範囲の検討を行う実験は、以下の方法で行った。

- a. 主自動制御系の主送風機の初期設定は、平均風速値を 0.5 m/s, 1.1 m/s および 1.7 m/s の 3 種類とした。
- b. 副自動制御系の目標風速分布をトウモロコシ

畑での風速の実験値  $U_0$  (Horie, 1974)

$$U_0 = 0.33 \times \ln(z) + 1.06 \quad (11)$$

から、この(11)式に従った場合、また、この(11)式の各段速度成層から風速値 0.6 m/s 減算した場合、さらに、(11)式に 0.6 m/s 加算した場合の 3 種類の風速分布について実験を行った。ただし、(11)式の  $z$  は地表面からの高さである。

c. 副自動制御系の初期設定の後、開ループ制御および閉ループ制御を行った。

これらの実験結果を Fig. 8 に示す。ただし、ここに示した誤差率  $\epsilon$  は前述のように自然環境シミュレータの最大風速である 2.7 m/s に対する誤差率で表現した。

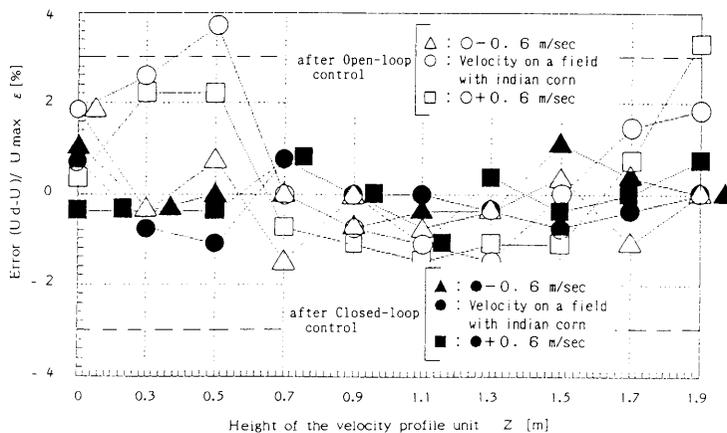


Fig. 8 Examining of controllable area on the velocity profile unit with main blower.

$U_d$ : desired value,  $U$ : measured value,  $U_{max}$ : 2.7 m/s.

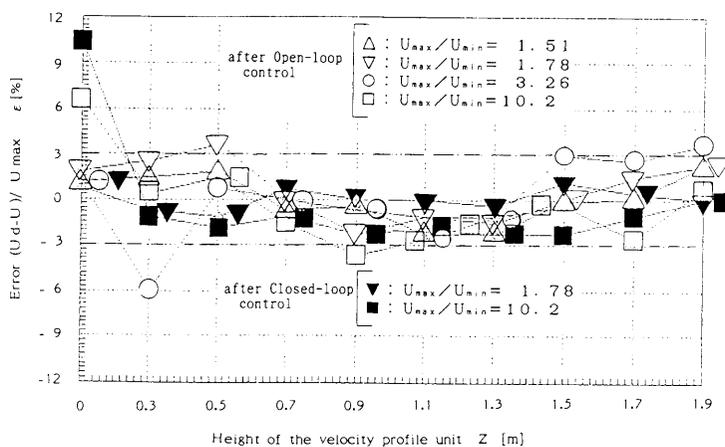


Fig. 9 Examining of controllable area on the velocity profile unit with desired value of the velocity profile ratio ( $U_{max}/U_{min}$ ).

$U_d$ : desired value,  $U$ : measured value.

(3) 副自動制御系の制御適応範囲の検討を行う実験は、以下の方法で行った。

- a. 主自動制御系の主送風機の初期設定は平均風速値を 1.1 m/s とした。
- b. 副自動制御系の目標風速分布比  $U_{rp}$  (最大風速値/最小風速値、この装置の基本性能では 8 である) を 1.51 から 10.2 (無論、初期設定時には一定風速なので 1 である) とした。ただし、その平均風速値はすべて 1.1 m/s である。
- c. 副自動制御系の初期設定の後、開ループ制御および閉ループ制御を行った。

これらの実験結果を Fig. 9 に示す。ただし、ここに示した誤差率は前と同様である。

### 考 察

副自動制御系における制御基本式の導出や制御アルゴリズムの確認および両自動制御系の制御適応範囲の検討を行った実験結果より、以下のことが判明した。

- (1) 副自動制御系における制御基本式の導出を行った結果 (Fig. 7)、基本式と実験結果はよい一致をみている。速度成層格子の移動時間、閉口方向 -25 s と開口方向 30 s のところで変曲点が認められる。これは、本方式の初期設定で平均風速値の設定を行う際のばらつきがそのまま平均風速値を上昇したときに強調され現れたものと考えられる。これらより、係数行列  $G$  の妥当性および基本的なアルゴリズムの妥当性がこれらの結果より判明した。
- (2) 両自動制御系の制御適応範囲について行った実験 (Fig. 9) では、

- a. 最大誤差率および収束時間について方式の違いによる比較検討をすると以下のとおりである。

従来の閉ループ制御のみでの方式 (Kon *et al.*, 1988) では最初の最大誤差率 40% 程度、また、3 次式近似の制御基本式 (Kon *et al.*, 1988) による開ループ制御後の最大誤差率は約 9% であった。しかし、5 次式近似の本方式における最大誤差率は約 4% であり、前者の最大誤差率の約 1/2 以下に軽減することが可能となった。この効果が現れた原因は、従来の制御基本式が 3 次式近似 (Kon *et al.*, 1989) であったのに対し、本方式では制御基本式を 5 次式で求めた結果より多くの関連データから情報を得たので的確な

関連式となったためと思われる。

次に、これらの誤差率に到達する制御の収束時間について検討する前に、先に行った実験の閉ループ制御のみでの方式 (Kon *et al.*, 1988) の収束時間について述べる。本システムの風速値の検出はひとつの熱線風速計で行っているので各段速度成層への 20 cm の移動に必要な時間が大であるがこれらの時間を含め制御の収束時間 90 分程度、そのうち熱線風速計の移動に要する時間が約 1/3 程度であった。ここで、本方式におけるこれらの誤差率に到達する制御の収束時間は、3 次式近似 (Kon *et al.*, 1989) および 5 次式近似ともども、開ループ制御の場合、先の方式 (Kon *et al.*, 1988) の 1/3 程度であり、3 次式近似の制御基本式と 5 次式近似とは同程度の収束時間であった。

- b. 開ループ制御後の最大誤差率は 1, 2 点を除き当初の目標であった誤差率  $\pm 3\%$  以内に全段速度成層が既に入っていることが解る。
  - c. 閉ループ制御後はさらに誤差率が軽減され、約 2/3 軽減することが可能となった。
  - d. 本方式は十分に両自動制御系に対し広範囲にわたり適応可能な制御方式であることが判明した。
- (3) 副自動制御系における目標風速分布比  $U_{rp}$  (最大風速値/最小風速値) の違いによる制御適応範囲について行った実験 (Fig. 9) では、制御基本式は以下のことから妥当性のあることが判明した。
    - a. 開ループ制御後の最大誤差率は 2, 3 点を除き当初の目標であった誤差率  $\pm 3\%$  以内に全段速度成層が既に入っていることが解る。
    - b. 閉ループ制御後ではさらに誤差率が軽減され、約 1/2 軽減することが可能となった。
    - c. 先述のとおり自然環境シミュレータの基本性能は最大目標風速分布比  $U_{rp}=8$  である。しかし、Fig. 9 にあるように  $U_{rp}=10.2$  の場合においても多少の問題はあるものの本方式は十分適応していることが解る。この  $U_{rp}=10.2$  の場合、特に速度成層の最下段近傍に隣接する速度成層間では極端な風速値の変化があるので、風速設定が困難である。例えば、Fig. 9 に示したように速度成層の最下段である高さが 0.1 m の開ループ制御後の□点と閉ループ制御後の■点で

は、閉ループ制御後の誤差の方が大きくなる現象が見られる。これは、従来(Kon *et al.*, 1988)の制御方式にもあった現象で速度成層格子の移動方向と逆の風速変化の現象が発生するためである。この現象が発生する場合には主制御系の主送風機の制御を適正に行う必要がある。

- d. 本方式は副自動制御系の目標風速分布比(最大風速値/最小風速値)は1から10.2まで制御可能であることが判明した。

本論文に示した制御基本式は任意の一定速度にも適応でき、目標風速と一定風速を知るだけで速度成層格子の移動時間を推測することが可能である。また、本自動制御システムの頭脳的な役割を果たす重要な制御基本式であることが判明した。

### 結 言

本報告では、制御基本式の速度成層格子の移動時間と一定風速に対する風速比との関係式を求めた。この制御基本式に従い各段の速度成層の開ループ制御を行った。この初期設定を行った後に、閉ループ制御方式である各段の速度成層を個々に制御を行い目標風速分布に収束させた。これにより、極めて精度の高い風速設定が可能となった。さらに、主自動制御系の主送風機による総合流量の変化に対しても適応可能な制御方式であることが判明した。また、副自動制御系の目標風速分布比(最大風速値/最小風速値)が1から10.2まで適応可能な制御方式であることが判明した。

今後、これらの自動制御システムを使い自然環境と同等の条件下での植物群落の生育動態やガス交換機能等との関連について実験を行う予定である。

本研究を進めるにあたり貴重なご意見をいただいた

元本学教授山田博章氏に感謝申し上げます。また、本実験を遂行するにあたり、実験にご協力いただいた元本学学部生の吉田博行君、上野和博君に感謝申し上げます。

### 文 献

- Aiga, I., Omasa, K., Matsumoto, S. 1982. Phytotron of the National Institute for Environmental Studies and its Energy Supply System. The Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, **56**: 741-751.
- Horie, T. 1974. Handbook of Agricultural Weather. Yokendo Company, Tokyo, pp 106.
- Houghton, J. T., Jenkins, G. J., Ephraums, J. J. (eds.). 1990. Climate Change the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, pp 365.
- Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (eds.). 1996. Climate Change 1995, The Science of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 572.
- Jones, H. G. 1983. Plants and Microclimate. Cambridge University Press, Cambridge, pp 323.
- Kon, H., Yamada, H., Omasa, K. 1988. Automatic control system of wind velocity in plant environment simulator. Autumn National Convention Record I.E.I.C.E., A-143, p 1-143.
- Kon, H., Yoshida, H., Omasa, K., Yamada, H. 1989. National Convention Record I.E.E. of Japan, No. 1620, p 12-83.
- Kondo, T., Hasegawa, K., Uchida, R., Onishi, M., Mizukami, A., Omasa, K. 1995. Absorption of formaldehyde by oleader. Environ. Sci. Technol. **29**: 2901-2903.
- Omasa, K. 1979. Sorption of air pollutants by plant communities - Analysis and modeling of phenomena-. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud., No. 10, p 367-385.
- Omasa, K., Masuda, K., Taoda, H., Uchijima, Z., Yoshino, M. (eds.). 1996. Climate Change and Plants in East Asia. Springer-Verlag, p 215.
- Tergart, W. J. McG., Sheldon, G. W., Griffiths, D. C. (eds.). 1990. Climate Change, the IPCC Impact Assessment. Australian Government Publishing Service, Canberra, pp 278.
- Watson, R. T., Zinyowera, M. C., Moss, R. H., Dokken, D. J. (eds.). 1996. Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific-Technical Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, pp 879.