

## ビニールハウスにおける換気扇による強制換気に関する研究(第2報)

## 低温期の均一換気について

ト部昇治・内藤 潔・藤本幸平

**Studies on the Mechanical Ventilation System  
by a Ventilation Fan in a Vinyl House  
(Report. No. 2)**

Equalized ventilation during the seasons of low temperature

Shoji URABE, Kiyoshi NAITO and Kohei FUJIMOTO

## 緒 言

前報<sup>1)</sup>で筆者らは、換気扇の設置基準の設定とその効果について報告した。これによると、筆者らが改良した風量型換気扇の能力は、静圧 1.0mmH<sub>2</sub>O 以下で最大となり、315.8m<sup>3</sup>/min に達する。しかし、静圧の増加にしたがって能力の低下する程度は、風圧型にくらべて大きい。また、170m<sup>3</sup>のハウスの妻面に本換気扇1基を取りつけ、反対側の妻面から吸気するときに、吸気口面積 1.6m<sup>2</sup> 以上で換気効率がよく、このときの換気回数は 1.85rpm で、夏期のハウス内温度は、外気温との差を 7℃ 以下の範囲に制御され、熱収支の理論値にほぼ一致した。

一方、秋期から春期の比較的低温時の強制換気は、室内温度調節のほか、除湿、ハウス内環境の均一化、さらに、空気の流動が作物の生育を順調にする効果も期待される。しかし、低温期に直接冷気を導入したときは、吸気口付近で冷害を起しやすく、また、ハウス内の気温分布は不均一になるので、ダクトを設置してこれらを改善する必要がある。

ダクトの使用について、岡田<sup>2)</sup>は、換気扇の径以上のダクトを設置すると有効で、風圧型換気扇を用いるときは、静圧 3.4mmH<sub>2</sub>O に吸気口の大きさ、および、吐出口を調節し、換気率60程度が望ましいと述べている。また、欧米では、すでにファン・ジェットを用いて炭酸ガス給与、換気および空気攪拌にダクトの使用が実用化している。

以上のことから、低温期の少量均一換気の手段として、ダクトの使用法を検討すべく、第1段階でダクトを設置するときの吸気口面積と吐出口面積との関係を、第

2段階では、ハウス内の均一換気のため：吐出口の調節法について実験を行なった。

## I. ダクトを設置するときの吸気口面積とダクトの吐出口面積との関係について

換気必要量は、その時期の日射量によつて異なるが、吸気量と吸気口の大きさとの関係は、前報<sup>1)</sup>にて詳述した。この吸気口面積に対して、それに取り付けられるべきダクトの大きさはほぼ決定される。ただ、ダクトに設けられる吐出口の全面積と吸気口面積との関係については、明らかにされていない。これについて以下の実験により検知せんとした。

## 実験材料および方法

1×b×h=27×4×2m で内容積 170m<sup>3</sup> のトンネル型ハウスを供用し、その南側妻面に、風量 314.5m<sup>3</sup>/min の風量型換気扇1台を設置した。また、両妻面に正方形の吸気口を設け、この吸気口をポリエチレンチューブで連結してダクトとした。このダクトはいづれの場合も、ハウス中央の天井下に針金をとおして吊した。

吸気口の面積は、0.2m<sup>2</sup> (45×45cm) および 0.09m<sup>2</sup> (30×30cm) の2種とし、ダクトは、0.2m<sup>2</sup>の吸気口には折幅90cm、厚さ0.1mmのポリエチレンチューブを、0.09m<sup>2</sup>の吸気口には折幅60cm、厚さ0.1mmのポリエチレンチューブを用いてダクトとした。

実験は、両端にある2個の吸気口を、(1)換気扇のある側の吸気口を開いた場合、(2)換気扇の反対側の吸気口を開いた場合、(3)両方の吸気口を開いた場合、の3つの場合におけるダクトの吐出口からの噴射風速および吸排気量を測定した。

この場合、吐出口面積は、0.2m<sup>2</sup>の吸気口を結ぶ折幅90cmのダクトの場合は総面積で0.26, 0.52, 0.78, 1.3

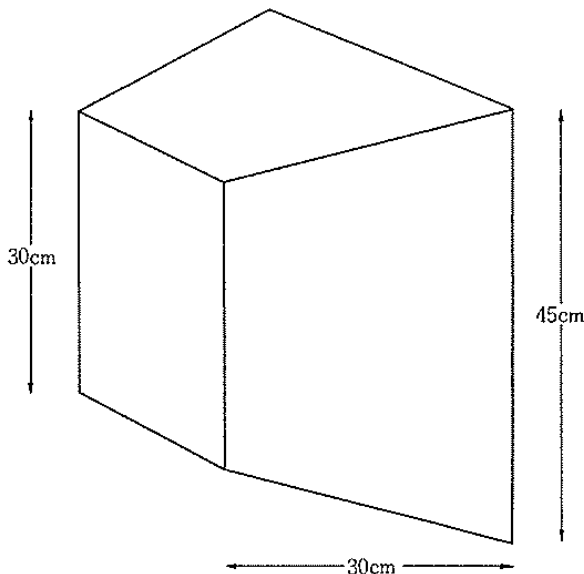
m<sup>2</sup>の4種類とし、一方、0.09m<sup>2</sup>の吸気口を結ぶ折幅60cmのダクトの場合には総面積で0.26、0.52m<sup>2</sup>の2種類とし、いずれも1m間隔に同一面積のものとした。また、0.09m<sup>2</sup>の吸気口の前に、第1図に示すような前面の空気取入口の面積が0.2m<sup>2</sup>の空気案内板を設置して、ダクトに対して、吸気口を拡大した場合の効果を検討した。

なお、風速の測定には、アネモマスター AM-B11/11-2111型を用いた。また、ハウス全体の吸排気量は、吸排気口の位置における風速から算出し、換気回数の測定には前報<sup>1)</sup>と同様にCO<sub>2</sub>の経時変化から算出した。

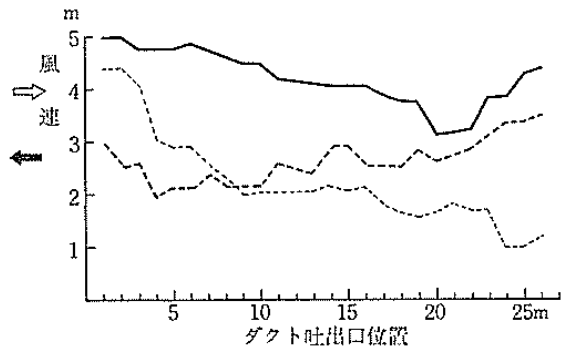
実験結果

0.2m<sup>2</sup>の吸気口に折幅90cmのポリエチレンチューブで連結したダクトについて、換気扇側の吸気口のみから吸気したときの各吐出口からの噴射風速は第2図に示す通りであり、また、換気扇の反対側表面から吸気したときの状況は第3図に示した通りである。いずれの場合もダクトの吐出口面積が吸気口面積に対して、1.3倍と比較的小さいときは、吐出口からの噴射風速は強く、また、吐出口の位置による不均一性はみられない。しかし、吐出口面積が吸気口面積に対して、4~6倍と比較的大きくなるにしたがって、吸気口附近の吐出口では噴射風速は強いが、吸気口から離れるにしたがって弱くなり、全般として吐出口の位置による不均一性がみられた。

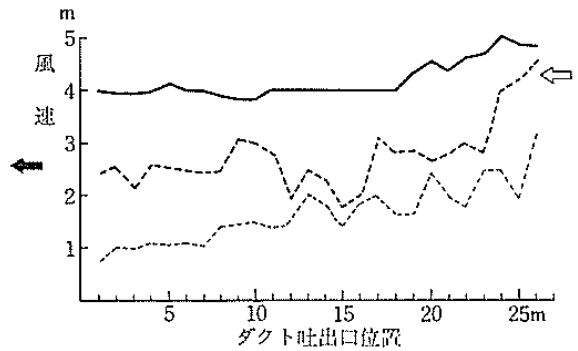
つぎに、両側の吸気口から吸気するときは、吸気口面積が0.2m<sup>2</sup> × 2となり、第4図に示すとおり吐出口の総面積が、0.26および0.53m<sup>2</sup>の場合には、すなわち、



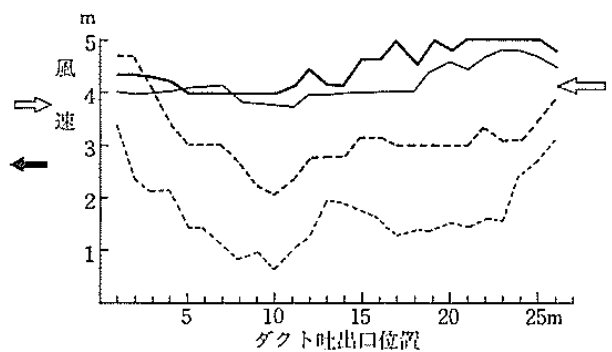
第1図 空気案内板の形状



第2図 吐出口面積を異にしたときの噴射風速(1)  
吸気口は換気扇側に0.2m<sup>2</sup>の場合、  
吐出口面積 — 0.26m<sup>2</sup>,  
..... 0.78m<sup>2</sup>,  
--- 1.30m<sup>2</sup>



第3図 吐出口面積を異にしたときの噴射風速(2)  
吸気口は換気扇の反対側に0.2m<sup>2</sup>の場合、  
吐出口面積 — 0.26m<sup>2</sup>,  
..... 0.78m<sup>2</sup>,  
--- 1.30m<sup>2</sup>

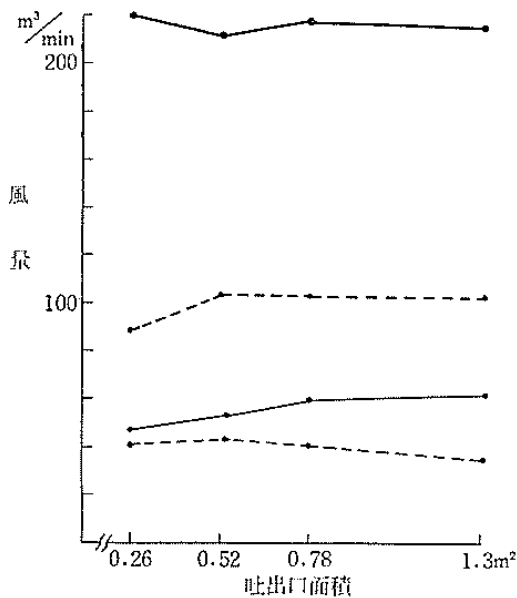


第4図 吐出口面積を異にしたときの噴射風速(3)  
吸気口は両側に各0.2m<sup>2</sup>の場合  
吐出口面積 — 0.26m<sup>2</sup>,  
- - - 0.52m<sup>2</sup>,  
..... 0.78m<sup>2</sup>,  
--- 1.30m<sup>2</sup>

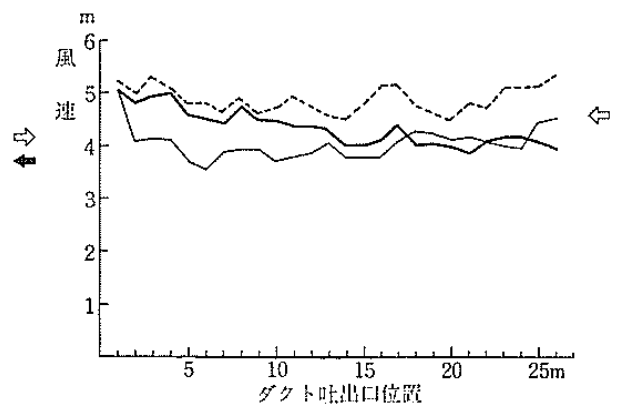
吸気口面積に対して1.3倍以内の吐出口のときは、各吐出口の噴射風速は吸気口からの遠近に関係なく、いづれも、4~5m/sでほぼ均一であつた。しかし、吐出口面積が、0.78m<sup>2</sup>、1.3m<sup>2</sup>と吸気口面積の2~3倍に大きくなるにしたがい、中央部の吐出口での噴射風速が弱く、不均一になった。

このときの吸排気量は、第5図のとおりであつて、吸気量は、吐出口の総面積が0.26m<sup>2</sup>のときは88m<sup>3</sup>/minであり、0.2m<sup>2</sup>のときは109m<sup>3</sup>/minと増加するが、さらに、吸気口面積を拡大しても吸気量の増加は認められなかつた。また、換気扇側の吸気口からの吸気量がつねに反対側の吸気口より多かつた。排気量は、吐出口面積に関係なく220m<sup>3</sup>/min前後であつた。

一方、0.09m<sup>2</sup>の吸気口に折幅60cmのポリエチレンチューブで連結してダクトとし、吸気口の前に前面面積0.2m<sup>2</sup>の空気案内板をとりつけた場合は、第6図に示すとおり、吐出口総面積が0.26m<sup>2</sup>のときの噴射風速は、空気案内板の無い場合に比べて、換気扇付近からハウス中央部にかけての吐出口で風速が強くなつた。その噴射風速は、0.2m<sup>2</sup>の吸気口に折幅90cmのポリエチレンチューブのダクトを設置し、吐出口総面積を0.26m<sup>2</sup>としたときのそれに近かつた。しかし、中央部以遠では、案内板のない場合と大差はみられなかつた。吐出口面積を



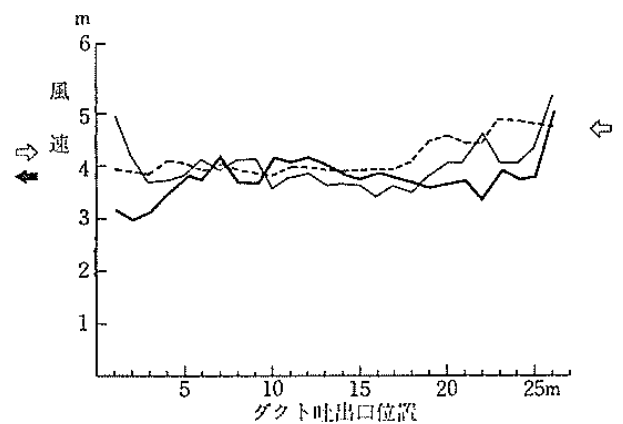
第5図 吐出口面積を異にしたときの吸排気量、吸気口は両妻に各0.2m<sup>2</sup>の場合  
 — 排気量、  
 ..... 吸気全量、  
 — 換気扇側吸気量、  
 --- 反対側吸気量



第6図 空気案内板と吐出口の噴射風速の関係(1)  
 吐出口面積0.26m<sup>2</sup>の場合  
 吸気口面積 — 0.18m<sup>2</sup>,ダクト折径60cm  
 — 〃 〃 空気案内板付き,  
 ..... 0.4m<sup>2</sup>,ダクト折径90cm

0.52m<sup>2</sup>としたときの結果を第7図に示した。この場合各吐出口の噴射風速には、空気案内板の有無にかかわらず大差がみられなかつたのみでなく、0.2m<sup>2</sup>の吸気口に折幅90cmのポリエチレンチューブを連結してダクトとし、吐出口総面積を0.52m<sup>2</sup>とした場合とも相似た噴射風速を示し、また、全般に均一であつた。この場合の吸気口と吐出口の面積比は約3倍であつた。

つぎに、これらの場合の吸気量を示すと第1表の通りである。すなわち、吐出口総面積が0.26m<sup>2</sup>のときの吸



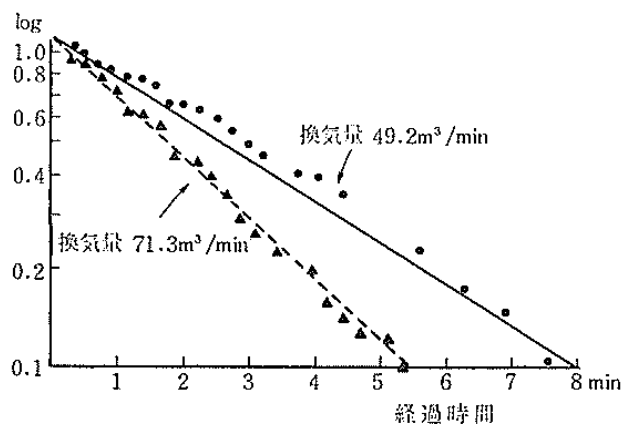
第7図 空気案内板と吐出口の噴射風速の関係(2)  
 吐出口面積0.52m<sup>2</sup>の場合、  
 吸気口面積 — 0.18m<sup>2</sup>,ダクト折径60cm  
 — 〃 〃 空気案内板付き,  
 ..... 0.4m<sup>2</sup>,ダクト折径90cm

第1表 空気案内板取付けによる吸気量の変化

吐出口面積 $m^2$	吸気口面積 $m^2$	ダクトの折径 $cm$	案内板の有無	吸気量 $m^3/min$			
				換気扇側	同反対側	計	比率
0.26	0.18	60	有	41.4	33.1	74.5	126
	0.18	60	無	28.5	30.5	59.0	100
	0.40	90	無	42.8	38.4	81.2	137
0.52	0.18	60	有	41.6	38.9	80.5	108
	0.18	60	無	39.3	35.5	74.8	100
	0.40	90	無	58.6	50.5	109.1	135

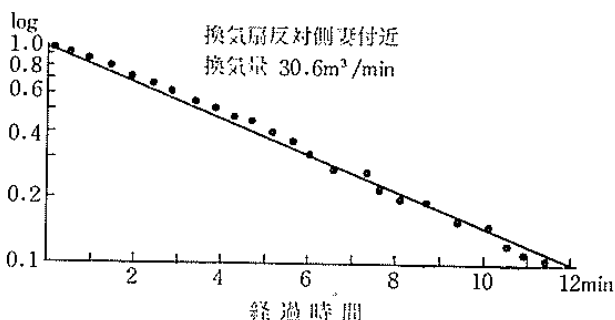
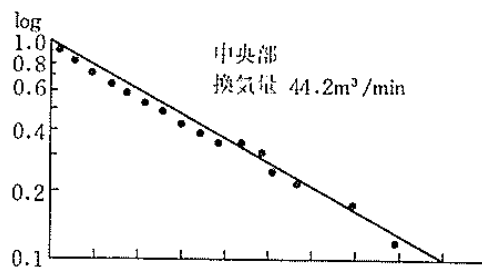
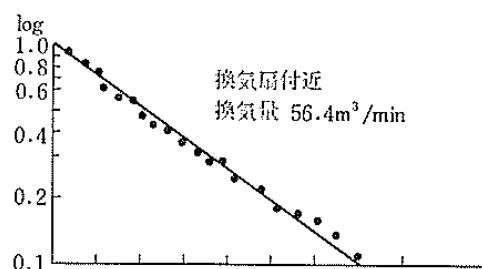
気量は、吸気口面積を  $0.18m^2$  から  $0.4m^2$  に拡大すると約26%増加した。これは、 $0.2m^2$  の吸気口に折幅90cmのポリエチレンチューブで連結してダクトとし、吐出口総面積は同様に  $0.26m^2$  とした場合の吸気量の92%に相当する。吐出口総面積を  $0.52m^2$  にすると、 $0.26m^2$  の場合よりいづれも吸気量は増加するが、空気案内板の設置による吸気量増加の効果は8%に止まり、 $0.2m^2$  の吸気口に折幅90cmのポリエチレンチューブを連結してダクトとした場合の吸気量の74%であった。排気量は、ダクトの大きさ、吐出口総面積、空気案内板の有無などに関係なく、 $220\sim 230m^3/min$  であった。

一方、吸気口から直接外気を吸入した場合と、上述のダクト方式によつて吸気した場合の換気量の差異を、炭酸ガスの経時変化から測定した結果を示すと第8、9図のとおりである。すなわち、第8図は吸気口を換気扇の反対側に  $0.09m^2$  のものを設け、ダクトを用いない場合であるが、吸気口附近の換気量は多いが換気扇附近では著しく低かつた。



第8図 ダクトを用いないときの換気量およびCO<sub>2</sub>濃度

- 換気扇付近
- ▲ 反対側付近



第9図 ハウスの位置別CO<sub>2</sub>の消長  
ダクトの吐出口面積が均一の場合

これに対し、吸気口を両妻にそれぞれ  $0.09m^2$  のものを設け、これに折幅60cmのダクトを連結し、同一面積の吐出口を1m間隔に設け総計  $0.52m^2$  とした場合は、第9図に示すように換気量は換気扇附近で多く、その反対側では著しく少なかつた。このときの換気量の比率はほぼ2:1であつた。このことは吸気口から直接吸気することによつて生ずる環境むらを解消するためにダクト方

式を採用しても、吐出口の大きさを調節しなければ均一換気が出来ないことを示している。

II. ハウス内の均一換気のためのダクトの吐出口の調節について

前項実験において、吸気口面積とダクトの吐出口総面積との比率関係は、ほぼ明確にされた。同時に、ダクトに均一な吐出口を設けたのでは、場所別に換気量が著しく不均一であることも明らかになった。しかもその不均性が吸気口から直接外気を吸入する場合とくらべて、全く相反する比率であることが明らかになった。このため、ハウス内の換気が均一に行なわれるための条件、すなわち、ダクトの吐出口の調節法について検討を加えた。

実験材料および方法

使用したハウスは前項の実験と同一である。吸気口は両妻にそれぞれ0.09m<sup>2</sup>のものを設け、これに折幅60cmのポリエチレンチューブを連結してダクトとした。

ダクトの吐出口は、前項実験の第9図に示されるように、換気扇附近の換気量はその反対側の2倍となった結果にもとずき、次の方法で各吐出口の面積を調節した。すなわち、吐出口総面積を0.52m<sup>2</sup>とし、1m間隔に吐出口を設け、それぞれの吐出口面積を換気扇側末端が反対側末端の1/2になるよう順次等差級列状に面積を調節した。各吐出口の面積は次のようにして算出した。

吐出口面積の平均値  $M$  をダクトの中央の吐出口面積として、両端の吐出口面積が2:1となるようにするためには、項差  $d$  は

$$d = M \times \frac{2}{n-1} \times \frac{1}{3}$$

である。それで、次のように、中央吐出口面積  $M$  から換気扇側に向つて  $d$  を順次減じ、反対側には順次  $d$  を加えた。

……,  $M-2d$ ,  $M-d$ ,  $M$ ,  $M+d$ ,  $M+2d$ , ……

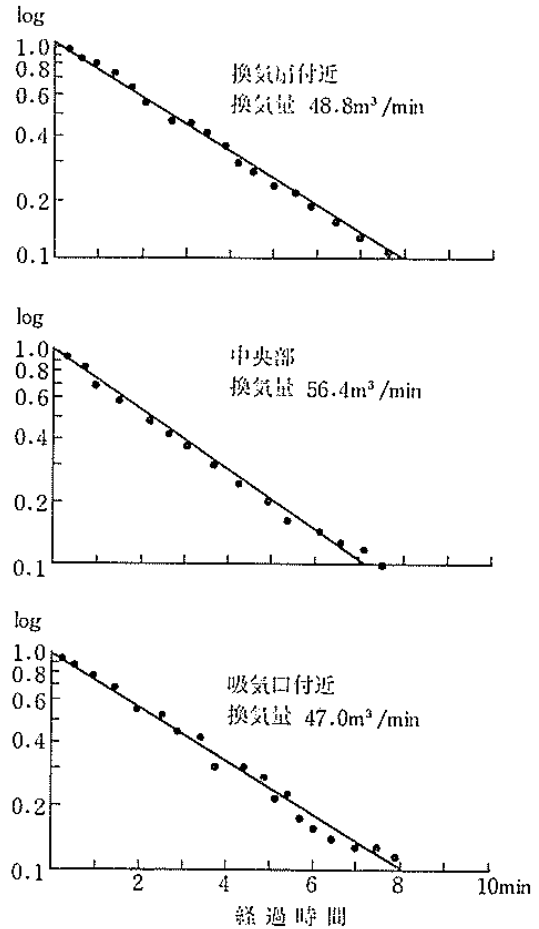
ハウス内の換気量は、理研ガス検定器17型を用いて炭

酸ガスの経時変化から測定し、気温は、島津製電気抵抗式自記温度記録計を用いて測定した。

実験結果

それぞれの吐出口面積を調節したダクトを用いたときのハウス内の各場所の換気量は、第10図に示すように極めて均一であつた。

また、ハウス内の温度分布について、均一の吐出口を



第10図 ハウスの位置別 CO<sub>2</sub> の消長  
ダクトの各吐出口面積を換気量から調節した場合

第2表 ダクトの吐出口の調節とハウスの室温

	室 温 °C		
	換気扇付近	中央部	吸気口付近
気温29°Cの場合			
吐出口調節	42.5	42.5	43.0
〃 均一	40.0	41.0	46.0
気温30.9°Cの場合			
吐出口調節	41.5	41.5	43.0
〃 均一	41.5	42.0	47.5

設けたダクトと比較してみると第2表の通りであつて、ハウス内の各場所の温度分布も均一であることが認められた。すなわち、均一の吐出口のダクトを用いた場合は、場所による温度差が6 deg C に達したが、吐出口面積を調節したダクトを用いたときは、その温度差はわずかに1.5deg Cにとどまつた。

### 考 察

#### (1) 吸気口面積とダクトの吐出口の総面積との関係

吸気口面積は、換気扇作動時の換気必要量から決定されねばならない。吸気口面積と静圧および吸・排気量の関係を、風量型換気扇の場合について、前報<sup>1)</sup>に詳しく記述した。その報告にもとづき、吸気口面積が小さく制限される場合、換言すれば、低温期で吸気口が小さくてよい場合に、吸気量が少ないためにハウス内の空気の流れ、温度分布が均一でないことがおこる。これを解消するためにダクトの使用が考えられるが、この場合に吸気口面積に対してダクトの吐出口面積の比率を決定することに関しては、岡田<sup>2)</sup>は、吐出口の調節により換気率60程度がよいと報告している程度である。

換気率を如何程に決定するとしても、それは吸気口の大きさを決定することになるわけであるから、その吸気口面積に対するダクトの吐出口の総面積比率が決定されなければならない。この場合、各吐出口からの噴射風速が均一であつて、かつ、吸気口からの吸気能力最大限の風量が、各吐出口の風量の総計で得られなければならない。第5図に示したように、吸気口面積が、 $0.2\text{m}^2$ ものを両妻に設けた場合（吸気口面積は $0.4\text{m}^2$ ）、総吐出口面積は $0.52\text{m}^2$ 、つまり、吸気口全面積の1.3倍程度が限度であると考えられる。また、この程度の比率で吐出口を設けるときは、第4図に示されるように、各吐出口の噴射風速もほぼ均一となりうる事が考えられる。

吸気口面積に対して吐出口総面積の大きい場合は、第4図のように、吐出口の噴射風速、すなわち風量が不均一となる。第2、3図に示すとおり、両妻に設置した吸気口を、片側のみ開放して吸気する場合も、結局は吸気口を縮小したことと同じであつて、吐出口の噴射風速を均一にするためには、吐出口面積を吸気口面積に見合つて縮小することが必要である。もちろん、この場合は、吸気口の縮小分に応じハウス内静圧が高まり、面積の縮小以上に吸気量が減少するから、その吸気量に見合つた吐出口の面積を決定せねばならない。

吸気口面積が $0.09\text{m}^2$ のものを両妻に設置し、折幅60 cm のチューブでダクトとしたときには、第7図に示したとおり、吸気口全面積 $0.18\text{m}^2$ の3倍、 $0.54\text{m}^2$ の吐出

口面積までゆるされる。結局、換気必要量と吸気口面積の関係は、前報第1図から求められ、吸気口面積の1.3~3.0倍の吐出口面積が決定される。

ただ、設定された吸気口およびダクトに対して、吸気量を増大させたい場合は、吸気口の前に空気案内板を取り付けることによりその目的は達成される。しかし、今回の実験に於ては、空気案内板の大きさの限度を究明するまでにはいたらなかつた。ただ、空気案内板を設置して見掛け上の吸気口を拡大しても、第6、7図に示したように、吸気口を拡大して、その吸気口に見合うダクトを設置したものの能力には及ばない。

#### (2) 換気の均一性について

吸気口を縮小すると、つまり換気量を減ずるにしたがいハウス内の空気の流れ、温度分布が不均一になりやすいことを前報<sup>1)</sup>で報告した。その換気量の制限による環境の不均一性を解消するためにダクトによる吸気法と考えたが、第9図に示すように、各吐出口の風速、したがつて風量を均一にしても、ハウス内の換気が斉一でないことが判明した。

#### (3) 均一換気のための吐出口の調節

ダクトによる吸気方式で各吐出口面積を均一にしたときは、ダクトの両端附近の換気量は2:1を示したことから、吐出口の総面積を吸気口面積の3倍としたうえで、ダクトの吐出口面積の平均値を中央の吐出口面積とし、換気量の比の逆比になるよう吐出口の風量を考へて各吐出口の面積を算出した。すなわち、換気量の差は風量の差とみなし、換気量の少ないところには、それだけ多くの風量を与え、換気量の多いところには、それだけ風量を減ずるといつた考え方に立つたものである。

その結果は、第10図および第2表に示したように、均一な換気が得られた。このことから、吐出口の総面積は吸気口の大きさに応じて、その面積の1.3~3倍とし、吐出口の数（任意でよいと考えられるが、一応1m間隔が妥当でないかと思へたい）から平均面積がきまり、これをダクトの中央の吐出口面積とする。これから換気扇およびその反対側に向つて等差数列状に吐出口面積を調節し、換気扇側とその反対側が換気量の逆数になるよう設定すればよいことになる。本実験の両端の面積比は2:1が適当であつた。

### 摘 要

換気扇によるハウスの強制換気を行なうにあたり、低温期の少量換気の場合にも、均一な換気を実施出来るよう、ダクトにより吸気方法の検討を行ない、次のような

結果を得た。

1. 風量型換気扇の場合、吸気口面積に対して、ダクトに設ける吐出口の総面積は、吸気口の大きさに応じて、その1.3~3.0倍が適当である。

2. 吸気口面積に対して、吐出口総面積の割合が大きくなると、各吐出口の噴射風速、すなわち、風量が不均一になる。吐出口総面積を拡大しても、全吸気量は増大しない。

3. 吸気口の前面に空気案内板を設置すると吸気量は増大した。しかし、吸気口それ自体を拡大する場合にくらべて、風量は少ない。

4. 吸気口(0.18m<sup>2</sup>)がハウスの両端にあつて、ダクトの吐出口総面積が0.52m<sup>2</sup>の場合の換気量は、換気扇側とその反対側との比率は2:1であつた。

5. ダクトによる吸気法で、ハウス内の換気を均一にするために、次のように吐出口面積を調節した。すなわち、吐出口総面積を吸気口面積の3倍とし、換気扇側とその反対側が1:2となるような等差級列に設定することにより全体の換気を均一にすることが出来た。

#### 引用文献

1. 藤木幸平・内藤潔・ト部昇治 1968. ビニールハウスにおける換気扇による強制換気に関する研究(第1報). 換気扇の設置基準の設定および効果について. 奈良農試研報 2:32—38.
2. 岡田脩 1966. ビニールハウスへの換気扇の利用について. 昭和41年度園芸学会(秋)要旨:167—168.

#### Summary

Under the mechanical ventilation system by a ventilation fan in a vinyl house, studies on the absorptive means by duct were made in order to equalize the ventilation even for small volume thereof, during the seasons of low temperature, and the results were as follows:

1. In the case of low-speed axial-flow fan, it is most advisable that the total dimensions of the exhaust mouth pieces made on the duct are 1.3 to 3.0 fold the dimensions of the absorptive mouth pieces, according to the size of the latter.

2. When the proportion of the total dimensions of the exhaust mouth pieces becomes larger against the dimensions of the absorptive mouth pieces, the wind speed of the each exhaust mouth piece, namely the volume of wind, becomes uneven. The total absorptive wind volume does not become large, even when the total dimensions of the exhaust mouth pieces are enlarged.

3. When a wind guide plate was equipped in front of the absorptive mouth piece, the wind volume absorbed became larger, but was still less than when the absorptive mouth piece was enlarged itself.

4. When the absorptive mouth pieces (0.18 m<sup>2</sup>) were made at the both ends of the vinyl house and when the total dimensions of the exhaust mouth pieces on the duct were 0.52 m<sup>2</sup>, the ratio of the ventilated wind volume on the side of the ventilation fan was 2:1 of the wind volume on the opposite side.

5. In order to equalize the ventilation in a vinyl house under the absorptive method by duct, the dimensions of the exhaust mouth pieces were adjusted as follows:- namely, so as to make the total dimensions of the exhaust mouth pieces thrice as large as the absorptive mouth pieces and then to make the ratio of 1:2 between the dimensions of the exhaust mouth pieces on the side of the fan and the dimensions on the opposite side, on the base of equally differential order. Thus, the ventilation in the whole of the vinyl house became equalized.