

# 試作したビニール・チューブハウスの耐雪性および保温性について

誌名	農業気象
ISSN	00218588
巻/号	263
掲載ページ	p. 131-135
発行年月	1970年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 試作したビニール・チューブハウスの耐雪性 および保温性について\*

ト 蔵 建 治

(弘前大学農学部農業工学科)

A Study of Structural Resistance to Snow and Heat Insulation Problem  
of a Newly Designed Vinyl-Tube House.

Takeharu BOKURA

(Faculty of Agriculture, Hirosaki University)

## 1. はじめに

過去2年間にわたり積雪地帯における温室内の気象特性を把握することに努め、この地方における温室のもつ問題点について二、三指摘してきた<sup>1,2)</sup>。今回は、これまでの測定結果を十分に考慮したハウスとして、光線透過性、保温性および積雪、強風による不均等荷重に対する抗性にも優れ、かつ、施工が極めて簡単なビニールチューブ・ハウスを考案、試作し、種々の特性について検討した結果、上記の目的が達成されたと考えるので、ここに報告する。なお、本試験は弘前大学農学部の学内圃場において、昭和44年12月下旬から昭和45年2月上旬までおこなったものであり、この地方における冬期間の苛酷な気象条件に対し、ビニールチューブ・ハウスはその特性をよく発揮した。

## 2. ビニールチューブ・ハウスの概要

Fig. 1 に示すように、ビニールチューブ・ハウスとは、ビニール製のアーチ状のチューブを多数個連結させたものであり、チューブは1個毎に独立しており、このチューブに空気孔より空気を入れ剛性をもたせたハウス状の構造物である。

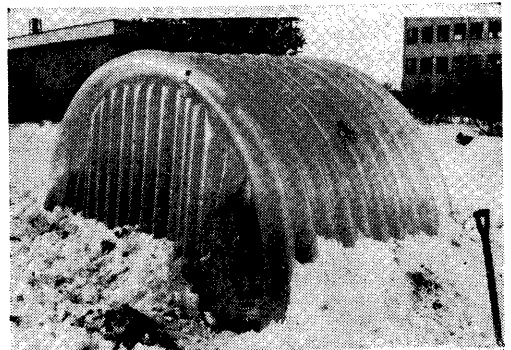
この場合、問題になるのはビニール・フィルムでアーチ状のチューブを作ることである。チューブに内圧を十分に与えた棒状の剛体を曲げてアーチ状の構造物を作るには、チューブの外側には引つ張り方向、内側には圧縮方向の力が同時に作用するため、ゴムのように歪度の非常に大きい材料でないかぎり不可能と考えられる。そこで、ビニール・フィルム程度の歪度の材料でアーチ状のチューブを作るには、フィルムをアーチ状に立体裁断

し、アーチ状のチューブを形成すれば、それに十分な内圧をかけることが可能になり、積雪、風圧による不均等荷重をチューブ内に均一に分散し、さらに、これらの荷重に対し、極めて大きい復元力を示すものと考えられる。

今回、試作したものは、アーチの半径180cm、チューブの半径10cmで、アーチの最外側および最内側に接合



pumping up a line of tubes



complete view of a vinyl-tube house

Fig. 1. The newly designed vinyl-tube house used for the present study of structural resistance to snow and heat insulation problem.

\* 昭和45年4月4日全国大会にて発表

面をもたせたチューブを10個連いたものであり、ビニール・フィルムの厚さは0.3 mm のもので加工した。チューブ内の空気圧は約1.02気圧で使用したが最大1.05気圧まで耐えられるものである。

### 3. チューブの力学的強度

チューブが積雪、風圧などにより内圧を受けたとき、その膜応力  $N_x$ ,  $y$  は、

$$N_x = Pr \text{ (円周方向膜力 kg/cm)} \quad (1)$$

$$N_y = 1/2 Pr \text{ (軸方向膜力 kg/cm)} \quad (2)$$

ここで  $P$ .....内圧 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $r$ .....チューブの半径 (cm)

であたえられる<sup>3)</sup>。材料がビニール・フィルムであるため、膜力は負になりえないので膜力が正から負に変る瞬間に膜力=0 になり、チューブはその部分がしわになり、構造的には座屈することになるが実際に局部的に座屈で起こつたとしても、外部荷重の再配分が行なわれるため、全体としては荷重負担能力は持続する。

この点、本試験期間中、チューブに対する最大荷重は積雪の最大値22 cm/1晩 (平地38 cm/1晩で、ハウスの上の積雪深と差が大きい) であり、風については瞬間最

大風速が20 m/sec 以上、1時間平均風速が14 m/sec を記録したが、チューブが座屈することはなかつた。

チューブが座屈を起さないで耐える最大モーメント ( $M$ ) は、(1), (2) 式より

$$M = 1/2 Pr^3 \quad (3)$$

であたえられる<sup>3)</sup>。したがって、チューブがしわにならないための最大モーメントは、チューブの内圧に比例し、半径の3乗に比例する。構造上チューブの半径が等しいものならチューブの力学的強度はチューブ内の空気圧 ( $P$ ) に比例する。

このように、チューブの力学的特性を決定する1要因としてあげられるチューブ内の空気圧 ( $P$ ) に制約を加えるものとしては、チューブを構成する材料の強度、および、チューブを形成する上での加工技術が考えられる。また、空気圧 ( $P$ ) に関係する気象的要因としてチューブ内の温度変化があり、理想気体として近似的に次式を用いる。

$$PV = \frac{P_0 V_0}{273.16} T \quad (4)$$

ここで、 $V$ ,  $V_0$  は  $T^\circ\text{K}$  と  $0^\circ\text{C}$  でのチューブ内容積、 $P_0$  は  $0^\circ\text{C}$  でのチューブ内気圧とする。いまビニールフィルムの温度による膨脹係数は  $\alpha = 7 \sim 25 \times 10^{-5}$  と空気のそれに比べかなり小さいので、温度によるチューブの体積変化を考えないとしても、気温の変化によるチューブ内の圧力変化は小さく、力学的に影響する程度は小さい。

さらに、ビニール・フィルムを一般のハウスに使用した場合、風によりフィルムに震動を生じ引裂かれる現象があるが、チューブ構造で内圧が十分あれば風による震動を生じることなく、強風によりフィルムが引裂かれる可能性はない。

以上のような観点からチューブに最適な内圧については検討されるべきだと考えられるが、チューブの最適半径についての検討は、単に、力学的な強度の面で3乗に比例するというだけでなく、光線透過率および保温効果の面にも関係があり、ハウス全体の熱力学的特性を決定する上で重要な要因となるものと考えられる。

なお、構造物全体の強度としては、チューブを構成するアーチの曲率半径についても十分な検討が必要と考えるが、現段階ではこの問題に関する構造力学的な解析はなされておらず、今後の重要な課題と言える。

### 4. ビニールチューブ・ハウスの保温性

一般的な夜間の温度降下に対する保温特性については、資材、構造などにより決定されるものであり、この

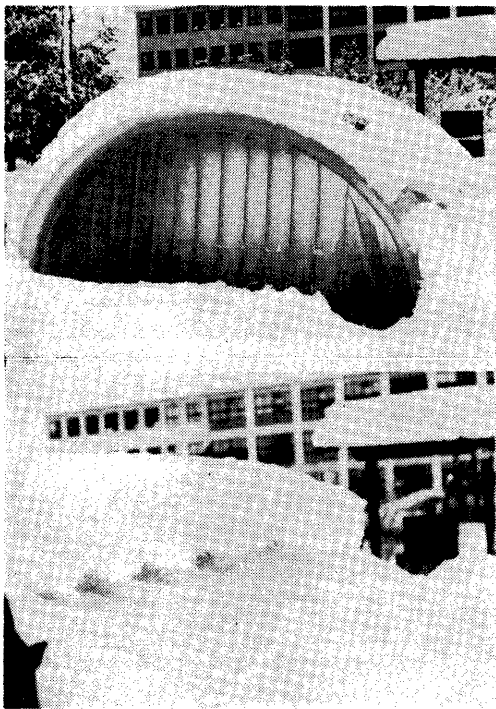


Fig. 2. The snow-covered vinyl-tube house with the maximum snow depth of 22 cm, at this time 38 cm on the ground.

点でもビニールチューブ・ハウスは既成のハウスよりかなり異なつた優れた面があることを記す以前に、ハウス内温度を決定すけ、床の熱源に大きく影響するハウス内の日射量について検討をおこなつた。

従来、温室の透光率 ( $R$ ) は、ガラスの光透過率だけで決定されるものでなく、建築学で一般的なように次式で近似すると理解しやすい<sup>5)</sup>。

$$R = Rf \times Rg \times Rd \quad (5)$$

$Rf$ .....フレーム減光率

$Rg$ .....ガラス透光率

$Rd$ .....汚れ減光率

ここで、 $Rg$  はガラスと限定することなくハウスを被覆しているフィルムなどの資材の透光率、 $Rf$  とはこれら被覆材を力学的に支持する金属、木材、硬質プラスチックパイプなどのハウス構成上の不透明部分による遮光率とすればガラス室だけでなく一般プラスチックハウスの透光率を求める場合にも適用されるものと考えられる。

ビニールチューブ・ハウスは前記したように、ハウス全体の構成がビニール・フィルムだけであり、金属、木材などの不透明な部分 ( $Rf$ ) はまったく含まないため、このハウスの透光率 ( $R$ ) は  $Rg$  と  $Rd$  だけで決定され、一般のハウスの  $R$  より大きい値となる。降雪期におけるビニールチューブ・ハウスの透光率とガラス室お

よびガラスとビニール・フィルムの二重温室における透光率の値<sup>1)2)</sup> を Fig. 3 に示した。寒冷地帯では、ハウスの暖房経済の点から二重ハウスが一般に使用されており、この点からするとビニールチューブ・ハウスはまさに寒冷積雪地帯むききの二重ハウスであるが、透光率は一般の二重ハウスの2倍以上あり、一重のハウスより  $Rf$  の値だけ大きいことが明らかである。

このようにビニールチューブ・ハウスの日平均透光率は72%であつたが、南北に設置されているこのハウスの透光率の日変化について検討すると、一般に太陽高度が大きいほど透光率は良く、高度が小さくなると急激に小さくなることが認められた。これはチューブに対する入射角によるものであり Fig. 4 にその関係を示す。

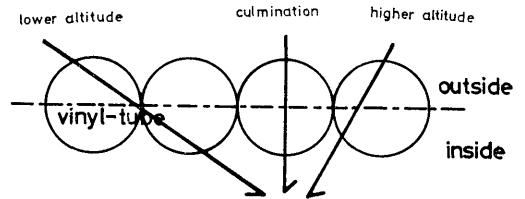


Fig. 4. Diagrams showing relation between sun altitude and light path through a line of tubes.

Fig. 4 のように直達光だけについて考えると、太陽光の方位により入射径路での透過するフィルム数が異なることが日変化の原因と考えられる。チューブ・ハウス全体の透光率 ( $R'$ ) は、フィルムの透光率  $Rg$ 、入射径路におけるフィルムの枚数を  $n$  とすると近似的には

$$R' = (Rg \times Rd)^n \quad (6)$$

となる。南中時付近で  $n=2$  となり、この値がビニールチューブ・ハウスの透光率 ( $R'$ ) の最大になる時点であり、方位により  $n$  は異なり、チューブ半径  $r$  により影響されることが考えられる。このようにして昼間のハウス内の日射量は決定されるが、この内、床面に吸収された熱量が夜間に放熱源となり温度降下に関与する<sup>6)</sup>。

夜間に温室が放熱状態にあるとき、 $R > R_i$  ( $R$ : 屋根上水平面の純放射、 $R_i$ : 屋根下の室内の水平面純放射) であり、その差は壁体からの放射損失熱 ( $\epsilon R$ ) であり、壁面温度 ( $T_w$ ) の関数として示され、プラスチックフィルムでは資材の内・外面温度差は  $0.1^\circ\text{C}$  を越えることはなく、 $T_i > T_0$  ( $T_i$ : 室内気温、 $T_0$ : 外気温) の時は  $T_w$  は常に  $T_0$  に近いとされている<sup>4)</sup>。しかし、ビニールチューブ・ハウスにおける  $T_w$  は、チューブ外面の温度を  $T_{w0}$ 、内面を  $T_{wi}$  とするとき、

$$h_i(T_i - T_{wi}) = \frac{k}{2r}(T_{wi} - T_{w0}) \quad (7)$$

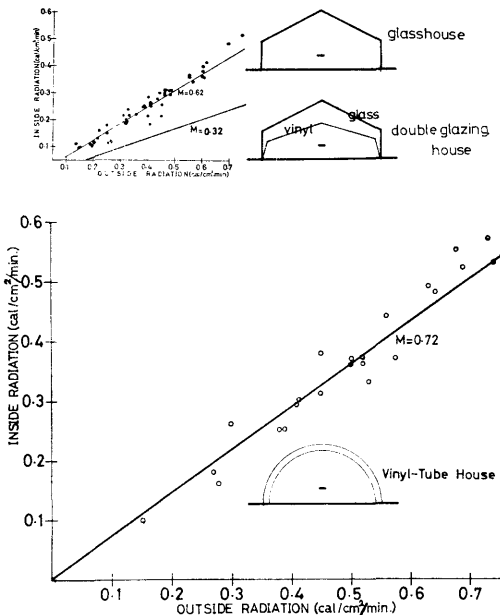


Fig. 3. Relationship between solar radiation inside and outside. M refers to over-all transmission coefficient of greenhouses.

が成立する。ここで、 $h_i$  はチューブの室内側における熱伝達率（顕熱，潜熱を含む）、 $k$  はチューブの全体の熱伝導率であり、チューブ内の空気層と内外2層のビニールフィルムの熱伝導率を含むものである。 $2r$  はチューブの直径であるが、実際には空気層の厚さである。また、チューブ内の対流を考慮に入れると、 $T_{w0} - T_{wi}$  も  $r$  の関数になるものと考えられる。

空気層を保温材と考えるとき、この層の厚さ ( $2r$ ) を増すということは単に熱伝達により失なわれる熱をすくなくするばかりでなく、チューブ外面の有効放射の  $T_i$  への影響をやわらげ、床からの地中熱フラックスの効果的利用を促進すると考えられるので、前記の様に、昼間に他の温室より効果的に蓄積された床面貯熱量はハウスの保温にさらに効果的に利用されるため、一般温室よりこのビニールチューブ・ハウスは  $T_i$  が高く保たれる筈である。

以上の事を実証するためビニールチューブ・ハウス内の2, 3の気象要素を測定した例を Fig. 5 に示す。

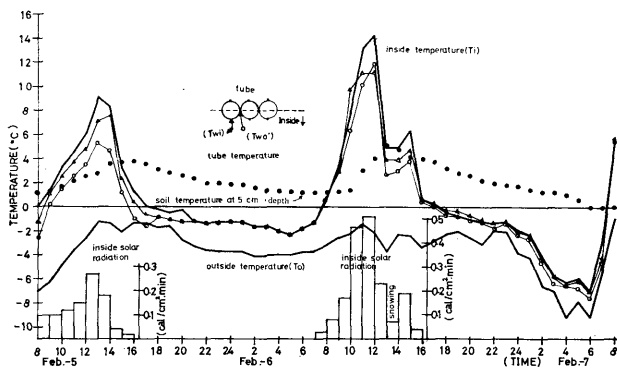


Fig. 5. Temperature variations in a vinyl-tube house.

$T_{wi}$  の測定は可能であったが、 $T_{w0}$  の測定は雪が屋根に積るので実測することが困難であったため、比較的  $T_{w0}$  に近いものとして  $T_{w0}'$  を測定した。一部、日射の強い時をのぞいては  $T_{wi} > T_{w0}'$  であり、2月5日の夜間から6日の明け方にかけて外気温 ( $T_0$ ) の変化が小さい時には  $T_{wi} = T_{w0}' = T_i$  となつたが、2月6日の夜間から7日の明け方にかけてのように  $T_0$  の降下が急であり、 $T_i$  もそれに平行している場合には  $T_{wi} > T_{w0}'$  であり、その差は0.4~0.6°C であつたが、実際には  $T_{w0} \equiv T_0$  と考えれば、 $T_{wi} - T_{w0}$  は2~3°C となる。 $T_{w0}'$  を測定した範囲ではむしろ  $T_{w0}' \equiv T_i$  であり、ビニールチューブ・ハウスの保温特性を示すうえで十分な測定点とは考え難く、今後、 $T_{w0}$  の測定について十分な技術を検討する必要がある。

なお、保温効果の面から室内・外温度差 ( $T_i - T_0$ ) について検討すると  $T_i$  の値が最も小さくなる早朝において  $T_i - T_0$  は1.6~2.0°C で、 $T_i > T_0$  であり、無加温で小型の温室であるが、今日、問題にされている  $T_i < T_0$  の現象は測定期間中を通じて認められなかつた。このことは、 $T_i$  の夜間降下に温室の構造、特に、保温比  $\beta$  (床面積/全壁面積) の影響があげられているので、この点から、供試したビニールチューブ・ハウスの  $\beta$  と一般温室のそれとを比較・検討する必要がある。今回、試作したビニールチューブ・ハウスは間口:奥行の比がほぼ1:0.6で  $\beta$  は0.2以下であるのに対し、一般温室の  $\beta$  は0.45~0.74としてあつかわれており<sup>7)</sup>、測定に使用したハウスの  $\beta$  は非常に小さく夜間の保温の面で構造的に不利であつた。にもかかわらず、 $T_i > T_0$  であるということは、チューブに封入された空気層の保温効果によるものと考えられる。

今回の試験では、作物の栽培は行なわれておらず、考案したビニールチューブ・ハウスが寒冷・積雪地帯で越冬できるか否かに最大の注意が払われたものであり、その点では、十分に目的を達成し、かつ、チューブの保温効果に関してかなりのデータを集めることができた。

次回は、このハウスを大型にし、間口:奥行の比を一般のハウスなみにし、冬期間に作物の栽培試験を行ない、ビニールチューブ・ハウスでの栽培・管理上の問題点について検討を進めるつもりである。

論文の作成にあたり御校閲を賜つた弘前大学農学部・大塚嘉一郎教授、千葉大学園芸学部・高倉直助教授に深甚の謝意を表します。なお、本実験を行うにあたり、ビニールチューブ・ハウスの試作に対し絶大なる御助力をよせられた三菱・モンサント化成、名古屋研究所の滝口啓自所長、鷺見瑞夫研究員に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 卜藏建治 (1969) 降雪期におけるガラス室の気象条件について、農業気象, **25**, 9-12.
- 2) 卜藏建治 (1969) 降雪期における温室の気象条件、農業技術, **24**, 572-573.
- 3) 石井一夫 (1969) 建築膜構造の設計、工業調査会.
- 4) 三原義秋 (1969) 無加温小温室の夜間温度について、農業気象, **25**, 1-11.
- 5) 小倉祐幸 (1967) 空気調和ガラス室の透光率について、生物環境調節, **5**, 24-29.
- 6) TAKAKURA, T. (1967) Predicting air tempera-

tures in the glasshouse (1), J. Met. Soc. Japan. **45**, 40-52.

7) 内島善兵衛 (1967) Growth Chamber 内の微気象, 農業気象, **23**, 55-63.

### Summary

In snowy district, structural resistance to snow may be the main factor to be considered in greenhouse design.

More suitable plastic house than conventional type was designed and constructed.

The new house is made of a line of pneumatic vinyl tubes whose inside pressure is from 15 mmHg to 40 mmHg.

The mechanical strength of a line of pneumatic tubes is proportional to inside pressure and tube radius.

This is a kind of double glazing house and the layer of the air in tubes may limit heat transfer through these tubes.

Over-all light transmission coefficient is much higher than expected as double glazing house.