

温室の光線透過に関する模型実験 (第2報)

被覆材と構造材について

黒住 徹・川島 信彦

Model Experiments on the Light Transmission in the Greenhouse. 2.

The influences of covering-materials and structural elements.

Tooru KUROZUMI and Nobuhiko KAWASHIMA

緒 言

温室は太陽エネルギーの利用を前提にした施設であり、特に、日射量の不足する冬期には、太陽光線を効率的に取り入れることのできる構造が望まれる。筆者らは、温室における光環境を調査する為に、地球上の任意の地点の太陽に対する位置関係を設定できる模型実験装置を開発した。そして、前報¹⁰⁾において装置の概要を明らかにし、温室を透明平板で被覆した場合について、棟方位・屋根勾配と季節・時刻が光線透過に及ぼす影響を単棟と連棟について調査した結果を報告した。

しかし、温室に被覆する資材は近年ガラスや透明ビニール以外に、FRP波板や散光性の強いFRA波板などの普及も進んでいる。そして、これらの被覆材の持つ波型や散光性などの性質は、温室の光線透過率や光量分布に当然影響を及ぼすことになる。欧米においては、散光性ガラスを被覆した温室での実測³⁾や理論的解析⁴⁾さらに模型実験¹¹⁾などの報告がある。しかし、これらの実験結果は資材の種類や日射条件の異なる我が国には、直接適用することはできない。さらに、FRPなどのプラスチック波板の使用は温室の構造材にも変化を与え、ガラス室に比べ垂木を不要にし、また、新しい展張方法⁵⁾が開発されるなど、フレーム率の低下をもたらしている。

本報では、我が国で実際に使用されている資材について、被覆材の持つ散光性と波型が温室の光環境に及ぼす影響を明らかにし、併せて被覆材と構造材が温室の減光に占める比率を調査した。

I. 被覆資材の光学的特性

1. 散光性

材料および方法

調査した材料は、第1表にあげた被覆材のうち、PVC透明、PVC梨地、FRA透明平板、FRA散光平板の4種である。

散光性の測定は、前報¹⁰⁾で使用した模型実験装置を用い、第1図に示したとおり、光検出器の前方305mmの位置に長さ650mm、幅10mmのスリットをおき、そこを通過した光線が被覆資材によって拡散される状態を、光検出器を走行させて調査した。光検出器は5×210mmのシリコンフォトダイオード(シャープSPD580)で、光源は1kwのプロジェクターを用い、被覆資材への入射角は0°とした。

ただし、この実験装置は連棟の谷間の弱光帯などのように、温室の長辺方向の影を解消する性質を調査することを主眼としたため、拡散した光の、スリットに対する直角方向の成分についてのみ検出される。

また、スリット、光検出器とも幅があるために、光線の屈折角が約1.5°実際より大きく記録された。

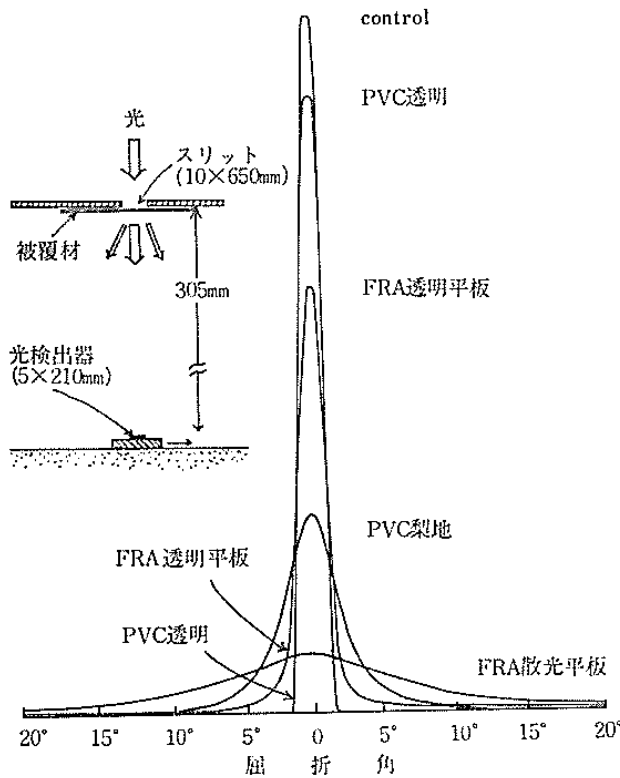
第1表 実験に用いた被覆材の種類

| 資 材 名 | 略 称 | 厚さ(mm) | 商 品 名 | メ ー カ ー | 購 入 年 度 |
|----------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| 塩化ビニール透明板 | PVC透明 | 1.0 | サンプレート | 三協化成 | 1976 |
| 塩化ビニール梨地フィルム | PVC梨地 | 0.1 | ノービエース梨地 | 三菱モンサント | 1977 |
| ガラス繊維強化アクリル 平板 | FRA透明平板 | 0.7 | ファイロンA・サンコール | 日 東 紡 績 | 1977 |
| 〃 | 波板 | FRA透明波板 | 〃 | 〃 | 1977 |
| 〃 | 平板 | FRA散光平板 | タキロンアクリルヒライタ | タ キ ロ ン | 1977 |
| 〃 | 波板 | FRA散光波板 | タキロンアクリルナミイタ | 〃 | 1977 |

実験結果

第1図に示したように、PVC透明は Control とほぼ一致したが、他の資材にはいずれも散光性が認められた。ここで第1図の透過光の分布を示す曲線で囲まれた面積のうち、Control と重ならない部分の占める割合を散光率として求め第2表に示した。各資材の散光率はPVC透明が0%、PVC梨地が60%、FRA透明平板が28%、FRA散光平板が82%であった。また、全透過光量の90%が分布する範囲はFRA透明平板とPVC梨地がそれぞれ4°および5°だったのに対して、FRA散光平板は20°と際立って大きかった。

以上のように、散光性はFRA散光平板で最も強く現われ、FRA透明平板は透明PVCにかなり近く、PVC梨地はその中間の性質を示した。



第1図 スリットを通した光の分布

2. 入射角別光線透過率

材料および方法

調査した材料は、散光性の試験に用いた4種にさらにFRA透明波板およびFRA散光波板を加えた6種で、大きさは90×90cmとした。

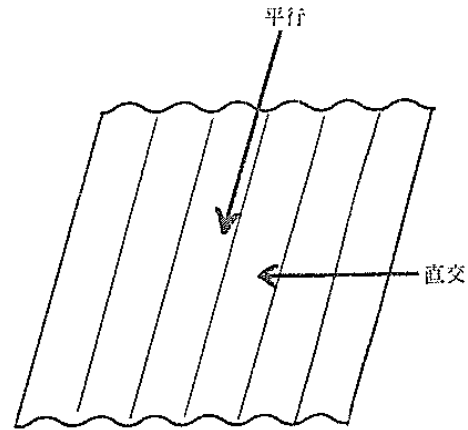
光線透過率の測定は、散光性の試験と同じく模型実験装置を用いて行った。光線の入射角は、被覆材を取

第2表 被覆材の散光性

| | 散光率(%) | 90%光量範囲 |
|---------|--------|-------------------|
| PVC透明 | 0 | 1.5° [#] |
| PVC梨地 | 60 | 5° |
| FRA透明平板 | 28 | 4° |
| FRA散光平板 | 82 | 20° |

※検出器とスリットの幅による。

り付けたまま、実験装置を7.5°づつ回転させ入射角を調整した。すなわち、被覆材と光検出器を常に平行状態にして光線の入射角のみを変えた。波板については入射光線の向きを第2図に示したように、波の溝の方向に平行および直交の2方向について調査した。光検出器と被覆材との距離は85mmとし、透過光量の測定は検出器の長さ(210mm)×移動距離(650mm)の範囲について行った。



第2図 波板における光線の入射方向

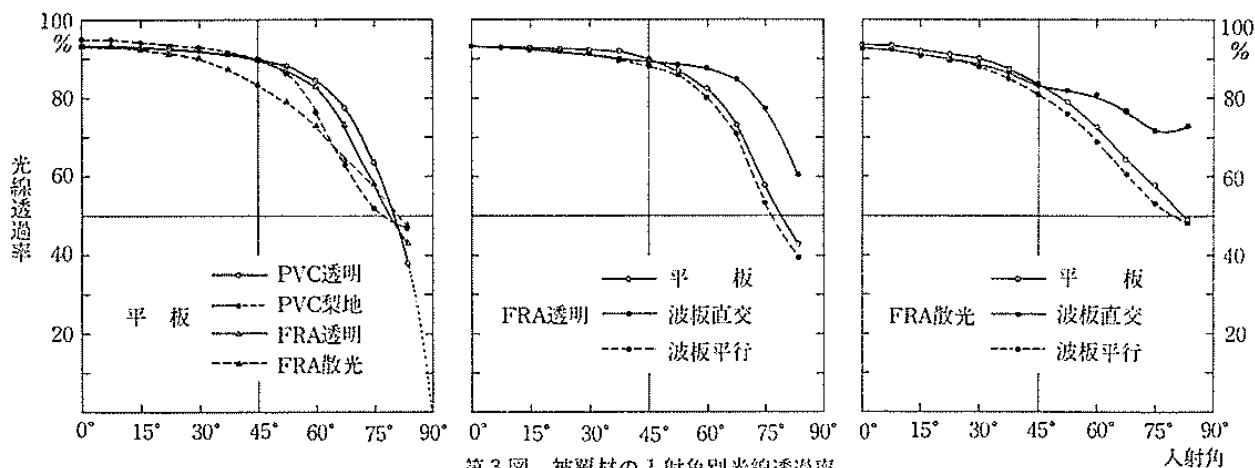
実験結果

第3図に示したように、入射角0°近くではどの資材も90%以上の透過率を示し、差はあまりなかったが、入射角が大きくなるにつれて、各資材の特徴が現われた。透明資材と散光性資材を平板で比較すると、PVC透明が入射角60°近くまで高い透過率を維持し、入射角がそれ以上になると急に低下したのに対して、散光性の最も強いFRA散光は入射角7.5°からすぐに、なだらかな透過率の低下を示し、PVC透明より低くなり、入射角60°から72.5°にかけてその差が最も大きく12~13%あった。PVC梨地は入射角45°まではPVC透明と同じくらいの透過率を示したが、52.5°以上では透明PVCより透過率が低く、入射角60°から75°にかけて10%以上の差があった。FRA透明は入射角

52.5°から75°にかけてPVC透明より少し透過率が低かったが、その差は最大でも6%程度で、PVC透明に最も近い性質を示した。

FRA透明とFRA散光について、平板と波板を比較すると、波板直交は平板に比べ入射角45°までは透

過率が1%程度低いですが、45°以上になると入射角を増すごとに、透過率が平板より高くなり75°ではFRA透明で約20%、FRA散光で約15%の差があった。一方、波板平行はすべての入射角で、平板よりやや透過率が低かったが、その差は1~5%であった。



第3図 被覆材の入射角別光線透過率

II. 被覆資材と温室の光線透過

材料および方法

模型実験装置は前報¹⁰⁾と同じものを用い、緯度は奈良盆地を想定して北緯34度30分に設定した。模型温室も、前報と同じ、間口10m、奥行24m、軒高2mの温室を縮尺7/100で製作したものを用い、屋根勾配15.°と30.°の単棟を中心として調査し、光の分布および構成材による減光については連棟も調査した。光量測定は妻面の影響のない温室中央部について行ない、3連棟の場合、光線透過率の算出には、多連棟を想定して、中央の屋根から光線が入射した部分の測定値を用いた。なお、3連棟はフレーム率を単棟とそろえるために、連棟化による構造材の太さの変化や谷との取付けは考慮していない。

被覆資材はPVC透明、PVC梨地、FRA透明波板、FRA散光平板、FRA散光波板の5種を用いた。ただし、PVC透明については前報のデータを使用した。

実験結果

1. 散光性資材と光線透過

散光性の最も高いFRA散光平板とPVC透明を被覆した単棟温室の時刻別光線透過率を第4図および第5図で比較すると、冬至・立春とも棟方位、屋根勾配

にかかわらず、8時ではFRA散光平板の方が光線透過率が高いが、9時または10時以降ではPVC透明の方が高かった。日積算光線透過率は第3表に示したように、いずれもPVC透明被覆の方が高く、その差はほとんどの場合10%近くあった。*

FRA散光波板をFRA透明波板と比較した場合も同じ傾向を示し、9時または10時以降ではFRA透明波板の方が光線透過率が高く、日積算光線透過率でもFRA透明の方が4~9%高かった。

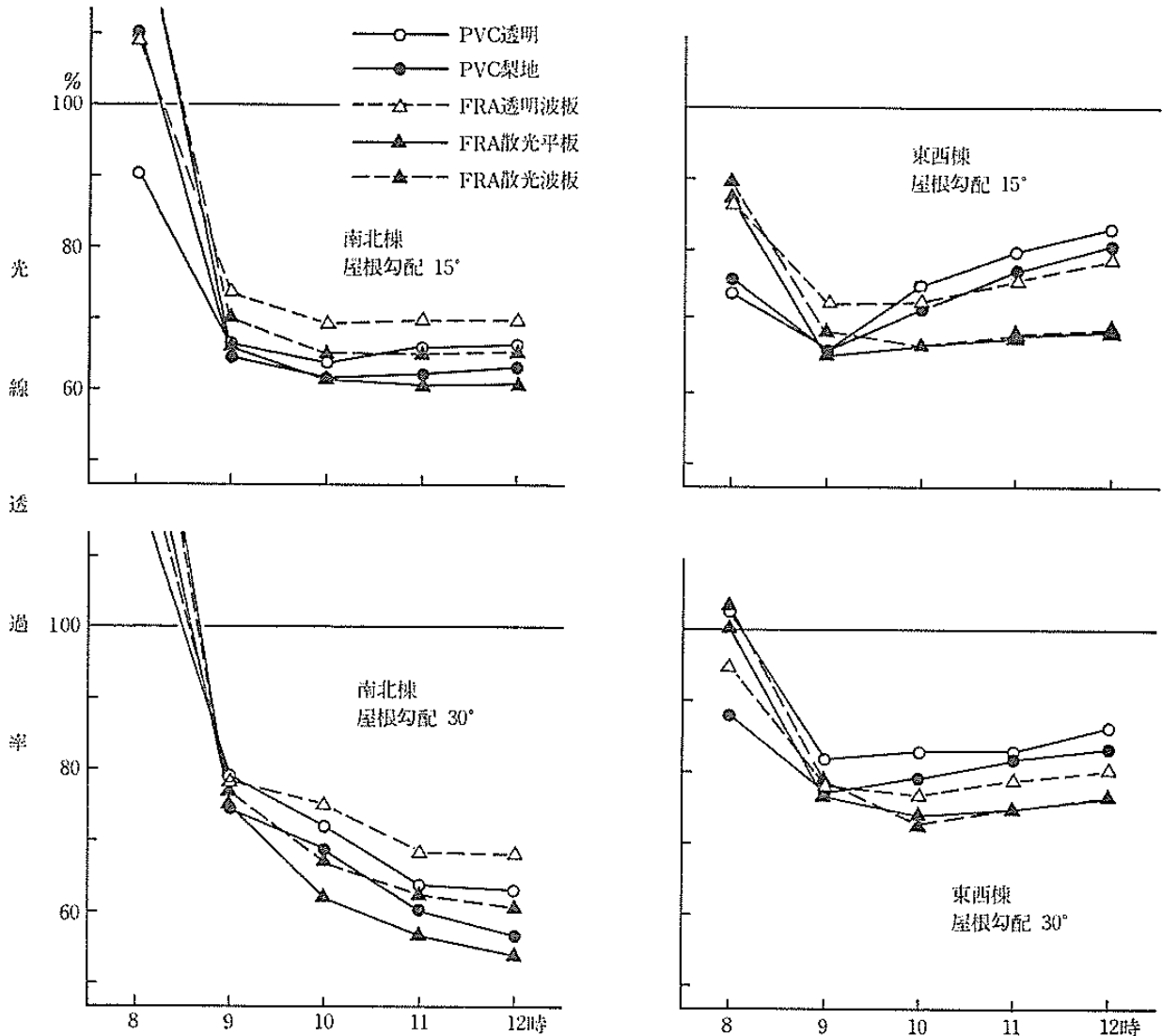
PVC梨地はPVC透明との比較において、FRA散光平板と同様の傾向を示したが、その差は小さく、FRA散光平板の場合の半分以下であった。日積算光線透過率はPVC透明よりやや低かったが、その差は4%以下であった。

2. 波板と光線透過

FRA透明波板をPVC透明と、また、FRA散光の波板を平板と、それぞれ比較した結果、次のような波板の特徴が明らかとなった。

南北棟では、冬至において、時刻別光線透過率は第4図にみられるように、9時から12時にかけて波板の透過率が高く、日積算光線透過率も第3表で示したとおり、6~11%高かった。しかし、立春では波板と平

* 前報¹⁰⁾同様、光線透過率の比較は、透過率の高い値を低い値で除して行なった。



第4図 被覆材と単棟温室の時刻別光線透過率 - 冬至 -

板との差は小さくなり、特に、FRA透明波板とPVC透明の間には時刻別光線透過率、日積算光線透過率ともに、ほとんど差がなかった。

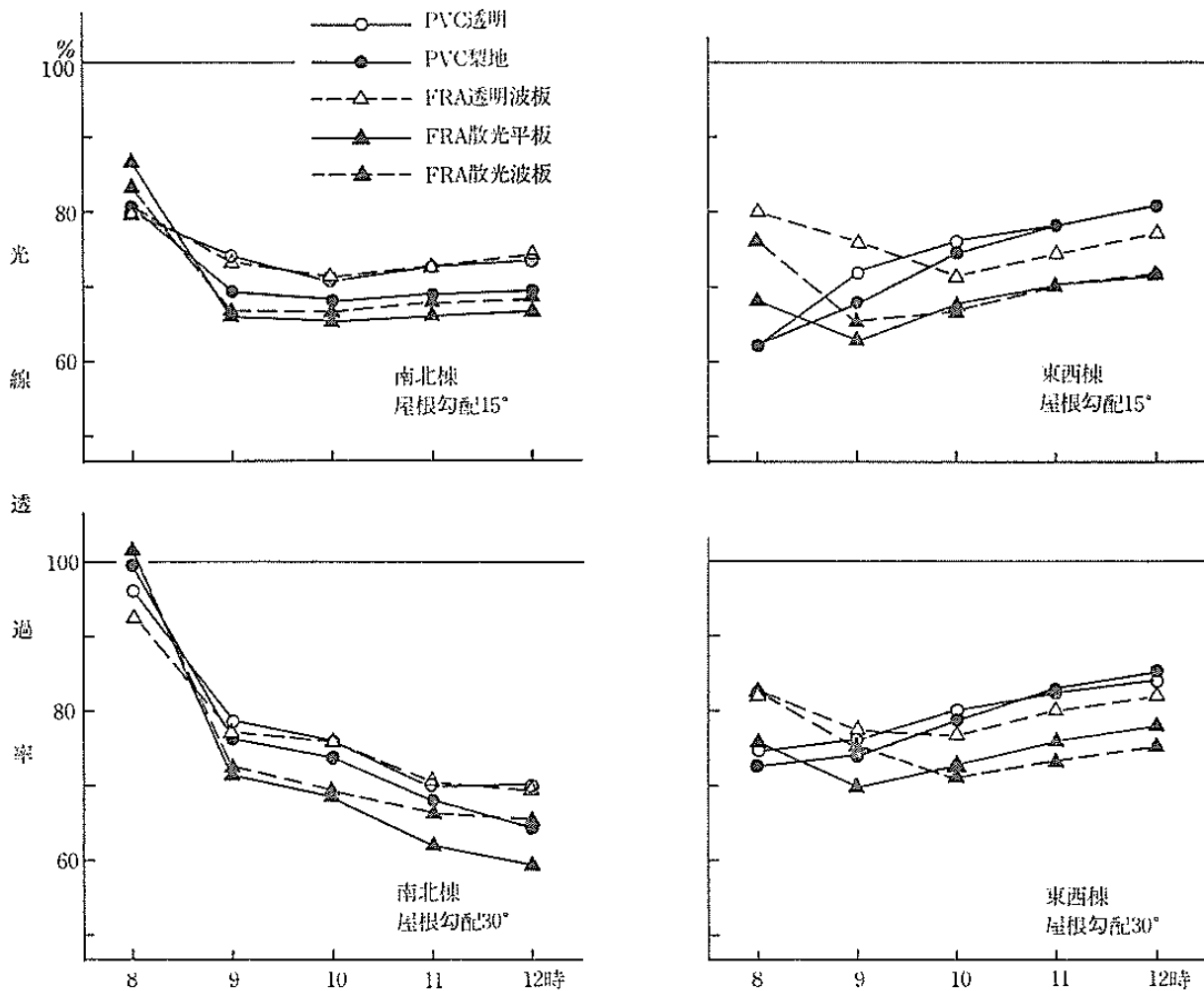
一方、東西棟では波板は平板に比べ朝方の透過率が高いが、昼間は逆に平板の透過率の方が高かった。日積算光線透過率は、冬至で屋根勾配30°の場合、FRA透明波板がPVC透明より6%低かったのを除いて、波板と平板との差は1%以下であった。

3. 散光性資材と光量分布

立春における、東西棟の連棟温室の光量分布におよぼす被覆資材の影響を調査した。第6図に12時における光量分布を示した。無被覆で構造材だけの温室についてみると、母屋の影が明瞭に現われ、2か所ある北向き屋根面から入射した部分は3本の母屋の影が密に

なった。PVC透明を被覆した場合も、母屋の影は全く同様に現われ、北向き屋根面の部分は、入射角が約81°と大きくなり、光線透過率が低下した為に、母屋の影以外にも光量が低下した。PVC梨地を被覆した場合には、母屋の影はほとんど解消したが、北向き屋根面の部分は大きな弱光帯となり、その程度はPVC透明の場合とあまり変わらなかった。FRA散光平板を被覆した場合には、母屋の影は全く解消し、弱光帯は幅が少し広がったが、その程度はPVC透明の場合の半分以下になった。

位置別の日積算光線透過率を第7図で比較してみると、無被覆の場合にも透過率が50%以下の弱光帯が現われた。PVC透明とPVC梨地はほぼ同じ分布となり、無被覆の場合よりさらに北側に幅の広い弱光帯ができた。FRA散光を被覆した場合には、全体の透過



第5図 被覆材と単棟温室の時刻別光線透過率—立春—

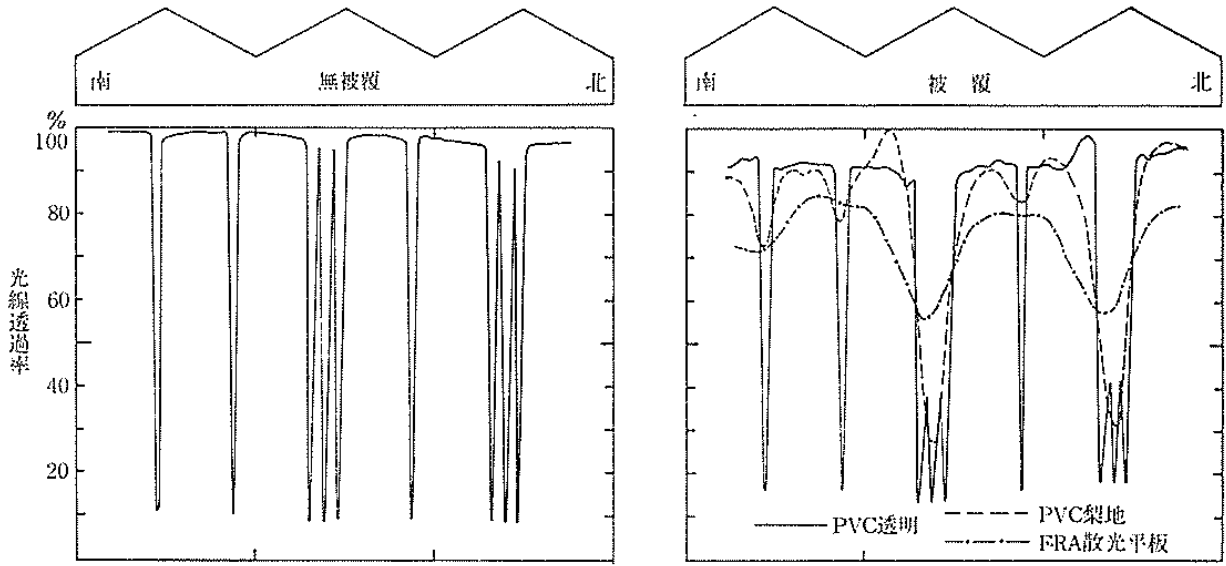
第3表 被覆材と温室の日積算光線透過率(%)—単棟—

| | | 無被覆 | PVC 透 明 | PVC 梨 地 | FRA透明 波 板 | FRA散光 平 板 | FRA散光 波 板 |
|----|-----------|-----|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| 冬至 | 南北棟 { 15° | 79 | 67 | 65 | 73 | 66 | 70 |
| | { 30° | 80 | 71 | 68 | 75 | 66 | 71 |
| | 東西棟 { 15° | 85 | 77 | 75 | 76 | 69 | 70 |
| | { 30° | 87 | 84 | 81 | 80 | 77 | 77 |
| 立春 | 南北棟 { 15° | 82 | 74 | 70 | 74 | 68 | 69 |
| | { 30° | 84 | 76 | 73 | 75 | 69 | 72 |
| | 東西棟 { 15° | 84 | 75 | 75 | 75 | 68 | 69 |
| | { 30° | 88 | 80 | 80 | 79 | 75 | 75 |

率が少し低くなったが、弱光帯の程度は他の場合より小さく、透過率は60%近くあった。また、弱光帯の位置は南側に少しずれた。

4. 温室の構成材による減光

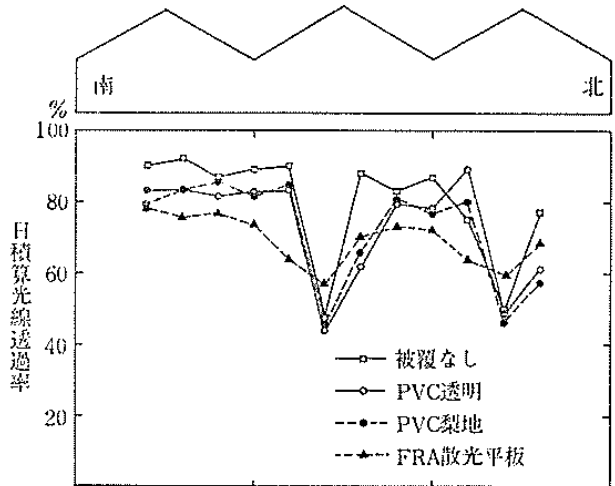
温室の光線透過に構造材や被覆材などの構成材がどのように関与しているかを、合掌と母屋から成る構造



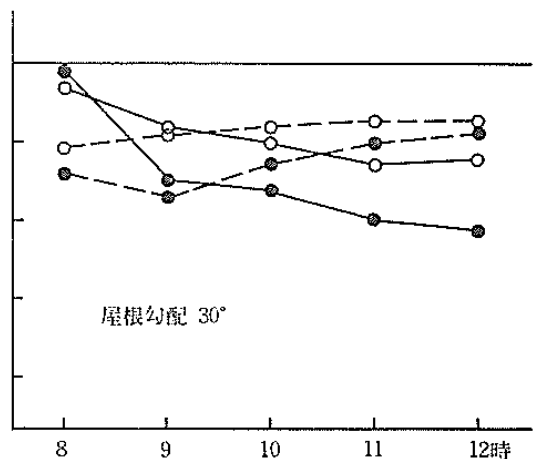
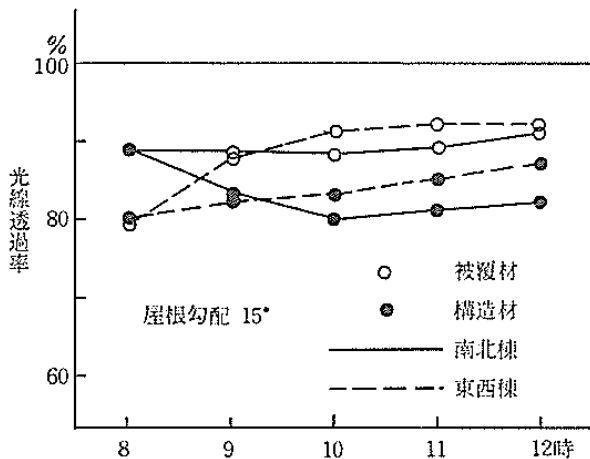
第6図 連棟温室の光量分布 —東西棟、屋根勾配 30° 立春・12時—

材、さらに垂木を含んだ構造材、被覆材のみ、構造材
 プラス被覆材の4つの場合の光線透過率を実験で求め
 ることによって調査した。それぞれの場合の立春にお
 ける日積算の減光率を第4表に示した。ここで、垂木
 の減光率は垂木を含む構造材の光線透過率を垂木を
 含まない構造材の光線透過率で除して求めた。

構造材と被覆材を比較すると、いずれの場合にも構
 造材による減光率が被覆材によるものを上まわり温室
 の減光のおよそ60%が構造材によることが明らかにな
 った。垂木による減光率は5~7%で光線透過率の低
 い連棟でも単棟とはほぼ同じ値を示した。単棟の時刻別
 光線透過率は第8図のようになり、棟方位や屋根勾配
 の影響は、構造材と被覆材とも同様に現われた。



第7図 連棟温室の位置別日積算光線透過率 —立春・東西棟—



第8図 被覆材 (PVC透明) と構造材の時刻別光線透過率 —立春、単棟—

第4表 温室の構成材と減光率(日積算%)—立春—

| | 温室 全体 | 構 造 材 | | | 被 覆 材 (PVC透明) | | |
|-----|----------|-------|-------|-----|------------------|---|----|
| | | 全 体 | 合掌+母屋 | 垂 木 | | | |
| 単 棟 | 南北棟 | 15° | 26 | 18 | 12 | 7 | 11 |
| | | 30° | 24 | 17 | 10 | 7 | 10 |
| | 東西棟 | 15° | 25 | 16 | 11 | 6 | 10 |
| | | 30° | 20 | 13 | 7 | 5 | 8 |
| 連 棟 | 南北棟 | 15° | 30 | 19 | 14 | 6 | 14 |
| | | 30° | 29 | 19 | 14 | 7 | 10 |
| | 東西棟 | 15° | 33 | 22 | 16 | 6 | 16 |
| | | 30° | 26 | 22 | 18 | 5 | 10 |

考 察

1. 散光性資材と光線透過

FRA散光やPVC梨地などの散光性資材を被覆した温室の光線透過率が、8時を除き、PVC透明を被覆した場合より低かったのは、これらの資材の入射角特性から容易に理解できる。すなわち、入射角がPVC梨地で45°、FRA散光平板では7.5°を超えると、75°までは光線透過率がPVC透明より低く、一方、温室屋根面の太陽光線の入射角が、冬季では、ほとんどがこの範囲になるためと考えられる。古在⁹⁾によると、散光性ガラスの入射角別の光線透過特性も、FRA散光平板やPVC梨地と同様の傾向を持っているので、今回の実験結果は、散光性ガラスを被覆した温室にもあてはまるだろう。また、南北棟の8時における光線透過率が、特にFRA散光を被覆した場合非常に高く、150%以上になったのは主に次の理由が考えられる。冬期では、8時の太陽高度は10°前後と極めて低いので、透明資材を被覆した場合には、屋根面に入射した光線はほとんど温室外に出て行くが、FRA散光を被覆した場合には、屋根面に入射した光線のかなりの部分が屈折し、温室床面に到達するためであろう。また、この時刻では、透明資材を被覆した場合でも、他の時刻より光線透過率が高いのは、床面の光量が少ないため、構造材や屋根面からの反射光線が相対的に強く、しかも主に光が入射する側面の入射角が小さく、光線透過率が高いからと考えられる。

Nisen¹¹⁾は片面が縞状の凹凸のついた散光性ガラスを被覆した温室の光線透過率を、模型実験によって求めている。それによると、南北棟の朝方に相当する太陽方向では、太陽高度が15°以下になると、透過率

が普通の透明ガラス被覆より高くなり、太陽高度が10°では200%程度にもなる。逆に太陽高度が30°以上になると、太陽の方向にかかわらず、普通ガラス被覆の方が高くなっている。また、Basiauxら¹⁾が散光性資材を被覆した温室の光線透過率を数値計算によって求めた結果によれば、やはり、太陽高度が15°の場合透過率が高く、太陽高度が高くなるにつれ透過率が低くなっており、この傾向は散光性の程度が大きいほど強くなっている。そして、これらの実験結果は今回の実験結果とよく符合している。我が国では北日本を除けば、太陽高度は比較的高く、散光性資材の特長が現われるのは朝夕のごく短い時間帯に限られ、しかも太陽高度の低い時は、直達光の比率はかなり低いので、日積算光線透過率に関しては、散光性資材は不利と言える。

2. 波板と光線透過

冬至には、波板を被覆した温室は南北棟で平板被覆より日積算光線透過率が高かったが、これは光線の入射条件が波板の特長をうまく引き出したためだろう。南北棟温室では被覆材の波の溝方向は東西となり、冬至では日射量の大半を占める10~14時の太陽方位は真南から±30°の範囲にあるので、光線は波の溝方向に直交に近く入射する。一方、南北棟のこの時間帯における屋根面の入射角は、屋根勾配15°・30°ともに60°前後で、この場合、第3図から判断すると、波板の光線透過率は平板より高くなっている。

東西棟の場合は、朝方の光線透過率は波板被覆の方が高いが、昼間には光線は波の溝に平行に近く入射するために透過率が平板被覆より少し低くなり、日積算光線透過率の差は小さかったものと考えられる。

3. 被覆資材と光量分布

PVC梨地を被覆した温室では、骨材の影はほとんど解消したが、連棟における弱光帯がほぼそのまま残ったのは、第1図および第2表で示したように、梨地の散光性の程度が小さく、受光条件の良い太陽側の屋根面からの光線がほとんど弱光帯に到達しなかったためだろう。FRA散光被覆の場合には、連棟における弱光帯の程度は軽減されたが、全体の光量が少なくなった。したがって、南北棟に比べ光線透過率が高いという東西棟の特長を生かして、しかも、弱光帯をなくすことは、散光性資材を使用しても我が国では達成できないと考えられる。

4. 温室の構成材による減光

Edwardsら^{2, 3)}によると、構成材による減光率は14~17%で今回の実験結果とだいたい一致している。しかし、被覆資材による減光率は20%前後で、今回の実験結果8~16%よりかなり大きな値となっている。これはガラスの日射透過率が3mm厚の場合約87%で今回の実験におけるPVC透明の透過率約93%より低いことと、実際の温室では、よごれや経年変化によって、被覆材による減光率が増大するためと考えられる。

フレーム率を低くして、構成材による減光率を少なくすることは、温室に一定の強度を持たせる必要があるのでむづかしいことだが、古在^{7, 8)}が指摘しているように構成材の断面の形状や配列については検討の余地がある。また、プラスチック波板を被覆することによって垂木が不要になり、この場合5~7%の光線透過率の向上が期待できる。

5. 実際の温室への適用

実際の温室では、被覆材に関してさらに他に考えるべき問題がある。特に表面の汚れ、経年変化は資材の種類によって大きく異なり、展張1年以内に、光線透過率が10%以上低下することもめずらしくない。さらに、温室内部の結露の状態によっては、透明資材を散光性資材に近いものにしてしまうことも考えられる。岸田ら⁹⁾によって報告された、細かい結露を伴ったPVCフィルムの入射角別の光線透過率は、散光性資材の特徴を示している。したがって、模型実験の結果を実際の温室へ適用する場合には、これらの要因や、さらに内部装置による光のしゃへい、作目・畦方向など

の栽培要因、日射条件なども考慮に入れる必要があるだろう。

筆者らは、実際の温室内の光の分布を測定できる走行式の光検出器を開発し、現在調査を継続中である。

摘 要

模型実験装置を用いて、冬期における温室の光環境に及ぼす被覆資材の散光性と波型および構造材の影響について調査した。

1. 供試した被覆材の散光性はFRA散光が最も高く、PVC梨地がそれに次いだ。その程度は低くかった。FRA透明の散光性は小さく、透明資材に近かった。PVC透明には散光性が認められなかった。

2. 入射角別光線透過率は入射角が小さい場合、資材による差は小さかったが、入射角が大きくなると散光性資材の透過率が低くなり、また波板は溝に直角方向から入射した場合平板より透過率が高かった。

3. FRA散光で被覆した温室の光線透過率は、朝夕を除き、透明資材で被覆した場合より低く、日積算光線透過率もおおよそ10%低くかった。

4. 波板を被覆した温室は、南北棟では、平板被覆に比べ、屋間の光線透過率が高く、日積算光線透過率も冬至で6~11%高かった。東西棟では、波板被覆の有利性はなかった。

5. FRA散光で被覆した場合、温室内の骨材の影が解消し、連棟における弱光帯の程度も少し軽減されたが、全体の光量が少なくなった。散光性の低いPVC梨地を被覆した場合、骨材の影はほとんど解消したが、連棟における弱光帯の程度はPVC透明の場合と変わらなかった。

6. 温室の構成材による減光率は単棟の場合13~18%、連棟の場合19~22%で、これらは被覆資材による減光率より大きく、減光要因のおおよそ60%を占めた。

引用文献

1. BASIAUX, P., J. DELTOUR and A. NISEN 1973. Effect of diffusion properties of greenhouse covers on light balance in the shelters. *Agr. Meteorol.* 11: 357-372.
2. EDWARDS, R. I. and J. V. LAKE 1964. Transmission of solar radiation in a large-span east-west glasshouse. *J. Agric. Engng. Res.* 9: 245-249.
3. ——— and ——— 1965. The transmission of solar radiation in a small east-west glasshouse

- glazed with diffusing glass. J. Agric. Engng. Res. 10: 197-201.
4. DELTOUR, J. and A. NISEN 1970. Les verres diffusants en couverture des serres (1). Aspect qualitatif de la diffusion par les verres striés. Bull. Rech. Agron. Gembloux. N. S., T. V, 1-2: 232-255.
 5. 川島信彦 1978 奈良農試1型ハウスの開発. 昭和53年度農業施設学会講演要旨 25-26.
 6. 岸田恭允・園山康正 1977. ほろ型プラスチックハウスにおける日射量解析. 農業気象 32: 177-184.
 7. 古在豊樹 1973. 温室の光透過に関する数値実験1). 農業気象 29: 179-187.
 8. ———1974. 温室の光透過に関する数値実験2). 農業気象 29: 239-247.
 9. ——— 1974. 単棟温室の構造と日射透過について. 農林水産分野における環境工学 杉二郎教授還暦記念事業会 91-134.
 10. 黒住 徹・川島信彦 1977. 温室の光線透過に関する模型実験1). 棟方位と屋根形状について. 奈良農試研報 8: 9-18.
 11. NISEN, A. 1971. Les verres diffusants en couverture des serres (2). Essai sur modeles reduits. Bull. Rech. Agron. Gembloux. N. S., T. VI, 1-2: 151-181.

Summary

It was researched by model experiments how the light diffusibility and the wavy shape of covering-materials, and the structural elements might influence the light transmission in the greenhouse.

1. The diffusing glassfiber reinforced acrylic sheet (FRA) had the highest light diffusibility of the covering-materials tested in this experiments. The light diffusibility of the frosted polyvinyl chloride (PVC) film was lower than that of the diffusing FRA. The transparent FRA had small light diffusibility, so it was similar to the transparent PVC sheet.

2. There was little difference in the light transmissivity of all tested materials when the incident angle was small. With widening of the incident angle, the light transmissivity of diffusing materials was lower than that of transparent materials and the light transmissivity of corrugated sheets was higher than that of flat sheets when the light was across the dich of the sheet at the right angle.

3. The light transmissivity in the house covered with the diffusing FRA was lower than that in the house covered with transparent materials except earlier morning and the daily integrated transmission was about 10% lower.

4. In the N-S house the light transmissivity was about 10% higher by covering the corrugated sheet than by covering the flat type except earlier morning.

In the E-W house the advantage of corrugated sheet covering could not be taken.

5. The inequality of light intensity in the multispan house was reduced by the use of the diffusing FRA, and shadows of the structural frame disappeared. In this house, however, the mean light intensity was lower than that in the transparent PVC house.

6. The light loss caused by structural frame was 13-18% in the single span house while in the multispan it was 19-22% and both of the losses were about 60% of the total light loss.