室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

反射シートによる太陽光の集熱，採取に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 媚山, 政良, 松本，尚雄, 谷藤，耕二, 山本，司, 諸橋，聡 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/776

反射シートによる太陽光の集熱，採取に関する研究

媚山政良，松本尚雄，谷藤耕二，山本　司，諸橋　聡

The Condensation and Collection of Solar Energy by a Reflection Sheet

Masayoshi KOBIYAMA, Hisao MATUMOTO*1, Kohji TANIFUZI*2,
Tukasa YAMAMOTO*3 and Satoshi MOROHASHI*4

Abstract

The utility of natural energy, such as solar energy, has been looked over again to secure the energy resources and to keep environment clean. As the solar energy has a defect of the energy density being low, in this paper, the authors tried to improve this defect by the application of reflection sheet with free configuration.

Two systems with simple constructions for actual use are discussed here, that is, in the one system, the solar energy is reflected and condensed by the sheet installed on the side wall of building which should be insulated from solar radiation, in the other system, a reflection sheet is set in a green house and the solar radiation in the early spring is reflected by this sheet and absorbed by the soil in this green house.

The characteristics of solar energy of both systems are investigated by the theoretical analysis and is resumed by experimental test in the case of latter system. It is cleared that those systems are useful.

1. 緒　言

エネルギー資源の確保あるいは環境の保全から化石あるいは核燃料の消費を極力抑制せざるを得ない情勢にある。このような背景のもと，改めてエネルギー源の多用化が図られ，また，自然エネルギーの利用が見直されている。

一般に自然エネルギーはエネルギー密度が低いなどの欠点があり，本研究で取り上げる太陽光に関しても例外ではない。したがって，自然エネルギーの利用では，他の目的との併用によりエネルギーの採取コストを下げる，あるいは，簡便な方法によりエネルギー密度の増加を図るといった方策を施す必要があり，その各々の目的に対し形状に自在性のある反射シートによる反射系を用い対処する方法を考案し，検討を行ったので報告する。

まず，前者に関しては，冷凍倉庫のように太陽光を嫌う施設の外壁に反射シートを張り付け，入射した太陽光を反射させ施設への侵入熱の低減を図るとともに，地上に設置したソーラー・コ

*1南北海道ディーゼル工業　*2谷藤工業　*3日鉄ライフ　*4大学院工学研究科（産業機械工学専攻）

レクターへの入射光を増加させる太陽光反射除去－採取系を提案し，その性能予測を行った。また，後者に関しては太陽高度の低い早春期，ビニール・ハウスを横断する太陽光をハウス内に設置した反射シートにより反射後，ハウス内土壌に入射，吸収させ，ハウス内でより多くの太陽光を採取する装置を提案し，その性能予測と実用上の問題点の検討を行った。

2. 低温施設の太陽光遮蔽と反射太陽光の採取

冷凍倉庫など太陽光を嫌う低温施設の断熱構造を考えるとき，大気と接する外壁表面の反射率を上げ太陽光による冷凍負荷を減ずることは重要である。また，低温施設の断熱という観点からすると，体積に比較し表面積の小さな大型の施設が望ましく，大型倉庫の広い側壁は太陽光に対する集熱面あるいは反射面として利用できる。

このような外壁を集熱面あるいは反射面として利用する場合には，外壁に集光パネルあるいは反射材を固定する上での強度も十分にもたせることができ，さらに，集熱面あるいは反射面の設置による日影を生ずる問題もなく，広い面積を確保することができる。しかし，本来，壁は固定し移動を考えないため，集熱面とするならば太陽の移動を追跡することはできず必ずしも望ましい利用形態ではなかった。このため，ここでは太陽光の採取を行う集熱面（ソーラー・パネル）を壁とは離れた位置に置き，壁には形状の自在性を持つ合成樹脂をベースとした反射シート膜を立て掛け，このシートにより太陽光を反射，集光させ集熱面への入射光の増加を図ることとする。

2.1 反射集光モデルおよび太陽熱の反射系の計算式

低温施設など建屋の外壁に太陽光反射シートを使用し，太陽光の遮光とともに太陽光の反射，集光を行う。この場合，反射シートのもっとも簡便で基本的な設置方法は図1に示す垂れ幕型に引き立てた自然な曲率を反射面とするものである。また，集熱面をこの反射シートの南側に置く。このように，低温施設の外壁にある程度柔軟性のある幅 z_0 [m] の太陽光反射シートを取り付け，低温施設の遮光を行う事を想定する。シートの上部（位置 y_0）は図1に示すように，低温施設の外壁に固定し，地上の下部は水平方向（x）に移動できる構造とし，四季など大きな時間単位でシートの作る面を変化させる自由度を持たせておく。ここでは反射面の曲面を次式により表すものとする。

$$y = a \cdot (x - x_0)^2 \tag{1}$$

ここで，x_0 はy_0 をもとに次式により計算し，シートの形状は(1)の係数 a を変化させることにより決める。

$$x_0 = (y_0 / a)^{0.5} \tag{2}$$

また，外壁から南方向 x^* の位置に高さ y^*，長さが遮光シートと同じ z_0 の集熱器を設置する。なお，この集熱器は北側（内側）および南側（外側）集熱面の両方を利用するものとし，集熱器は鉛直に立っているものとする。また，集熱器とシートの間の地上にも反射シートを敷く。この

受光，受熱集熱器は用途により種々の要素を取り付けることも，また，種々の形状を採ることも可能であり，その各々については別途検討を行うこととし，ここでは，このような太陽熱採取系の能力，特性の限界を知るため，全てのシートの反射を鏡面反射と考え，また，ソーラー・パネルの入射面を黒体とし，さらに，太陽光は直達成分を考える。

太陽光の集熱器表面への直接到達量および反射到達量は太陽の日時による軌道の変化を考慮し，また，全天日射量を日の出から日の入りまで正弦関数により分配し，複数の放射熱流束に離散化した後，各放射熱流束の軌跡を追跡し算出する。

2.2 計算例とその検討

計算の対象とする装置の寸法を図1に示す。シートへ入射し反射した後，集熱器へ到達する太陽光の量はシートの作る面により決まる（ここでは，式(1)の係数aにより決まる）。太陽高度の低い冬期間においては，シートの形状は垂直に近い（aの値が大）ものが反射による内側集熱面への伝達量が多く，これに対し，夏期においてのa値が小さい方が伝達量が多い。シートおよび集熱器の寸法，シートと集熱器の位置関係，あるいは，設置する場所の緯度，さらに，どのような熱利用を行うかなどから最も適切なaの値，すなわち，シートの形状は決定される。

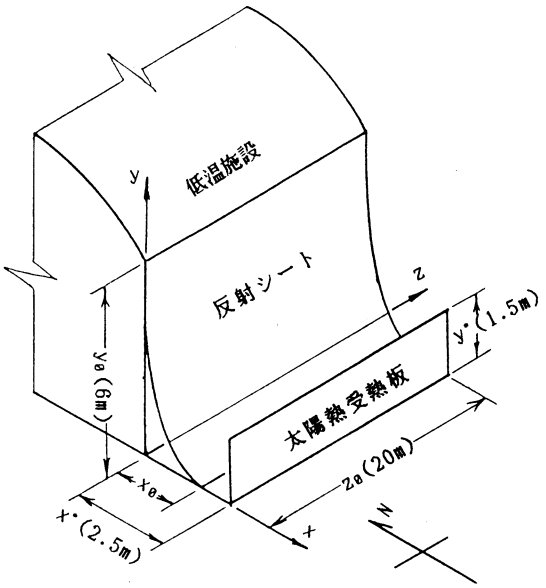


図1 低温施設南側外壁に取り付けた反射シートおよび太陽熱受熱板の配置

なお，屋根のひさしを用いシートの上部をせり出し特に冬期間あるいは早朝など太陽高度の低い場合での集熱効率を高めること，あるいは，シートの自在性を利用し東西方向（z-方向）に適当な曲率を持たせることも可能である。

午前10時に入射した太陽光の軌跡を図2に示す。いずれも右側の図は左図最上部に入射した太陽光のx–z面上での軌跡（与えられた集熱器に対し限界を示す）を示している。

月別入射太陽光とその成分を図3に示す。太陽高度の高すぎる6～7月での全入射熱量は減少しているが，集熱器の外側面（南側）に傾斜を持たせることにより熱量の増加を図ることもできるが，傾斜角の選定などは利用者の判断を待つところである。

シートおよび集熱器に入射した太陽光のうち集熱器（内側面（北側）および外側面（南側））に到達した太陽光の割合を図4に示す。6月での早い時刻での値は他の月よりも小さいが，これ

は，太陽の方位角が小さく，南を向いたシートおよび集熱器に太陽光の入射が少ないためである。

6月1日を例にとり，集熱器に到達した太陽光のうち，内側の集熱面により集熱された量と外側での量を分離して図5に示す。また，内側受熱面への到達量を外側での到達量を外側での到達量で除した値（内外到達比と呼ぶ）を図6に示してある。太陽高度の低い早朝では外側集熱面での太陽光の到達量が多く，昼に近くなるにつれ減少している。内側集熱面では逆の傾向を示し，このような時刻に対し相反する性質の集熱面を併用することは受熱量を増加させるとともに若干ながら平担化にも役立っている。

受熱器への到達熱量および内外到達比は反射シートの高さ y_0，受熱板の高さ y^*，両者の間隔 x^* および太陽高度，すなわち，設置地域の違いにより影響を受け，本装置の実用時にはその最適化に関する検討を行う必要がある。なお，一枚のソーラーパネルの前後を集熱板として利用できる特徴を実用上役立てることもできる。

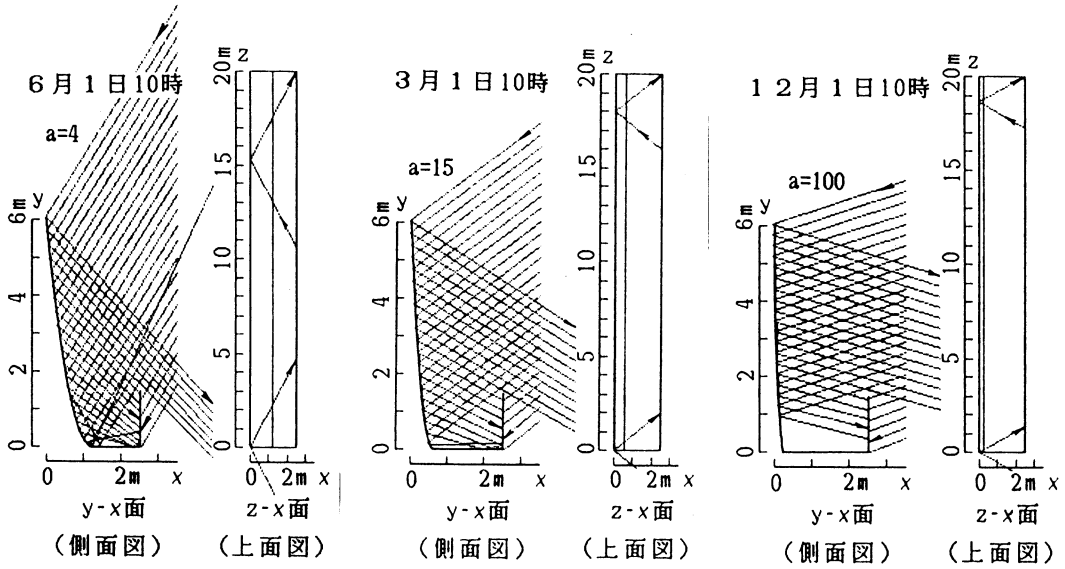


図2　入射太陽光の軌跡

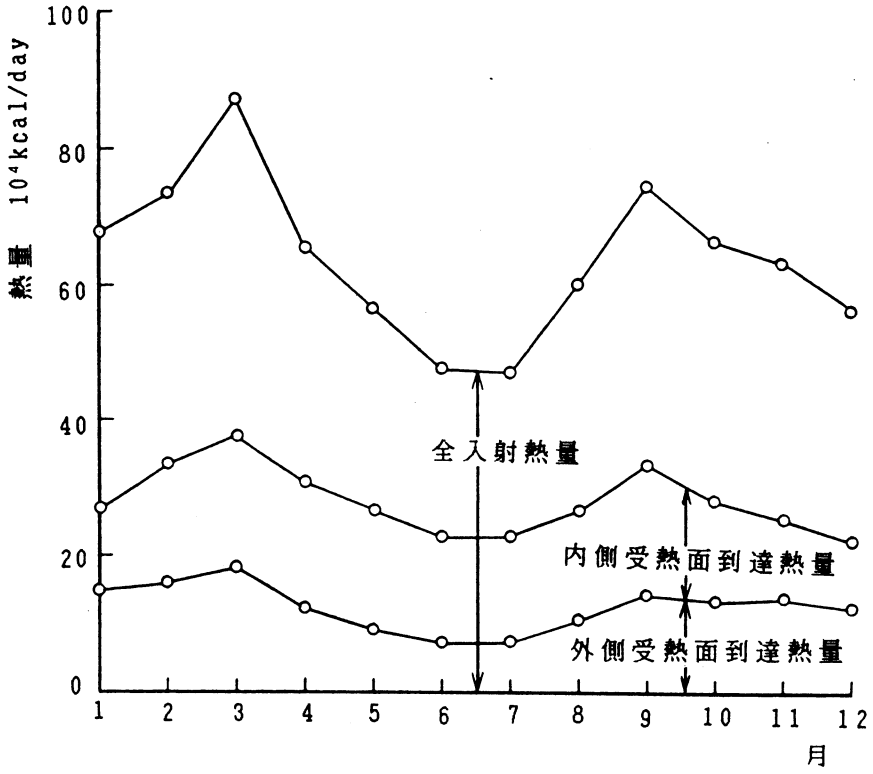


図3　月別入射太陽光とその成分

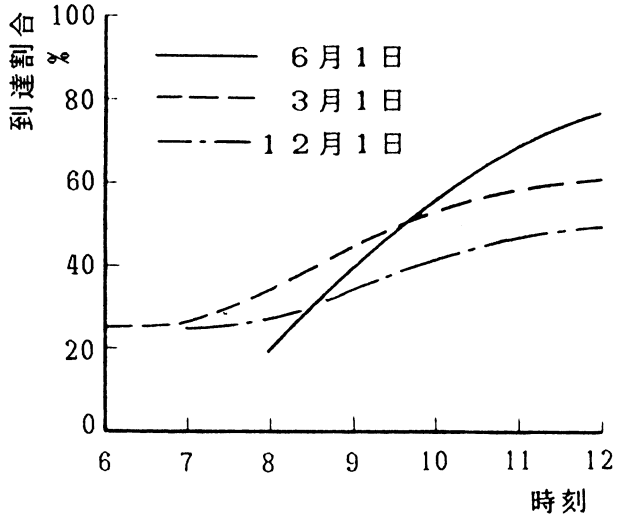


図4　入射太陽光のうち受熱板へ到達する割合

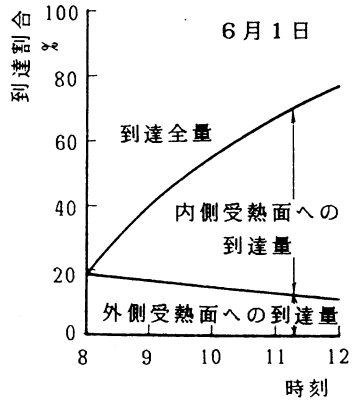


図5　受熱板到達太陽光の成分

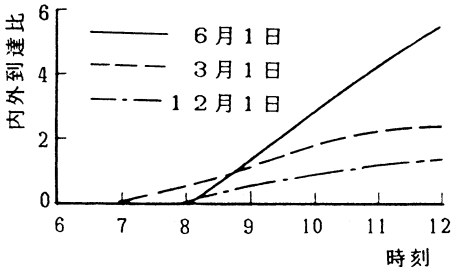


図6　内外到達比
[＝(内側面到達量)／(外側面到達量)]

3.　早春期における反射シートによるビニール・ハウス内への採光

早春期，寒冷地域においてもビニール・ハウスによる温室を利用したい要求が多くある。しかし，この時期，太陽高度が低いため日射量は少なく，また，とくに夜間の大気温度の低下は厳しく，ハウス内温度の維持のため容量の大きな暖房設備を設置せざるを得ない状況にある。このような背景のもと，温室内に反射シートを設置し，太陽光の反射採光を積極的に行うとともに，太陽熱を地中に蓄熱し，さらに，夜間の放熱を反射シートを利用し防ぎ温室の暖房熱負荷を軽減する簡便な装置の開発を試みた。また，本装置の実用時での問題点などを明かとするため厳寒期に実際のハウスを設置し実験を行った。

従来の温室では太陽光の取得のほとんどを直接床に到達する日射に頼っており，図７に示すような壁を通して温室内を通過していく日射は利用していなかった。本温室装置では，温室内を通過していく日射を温室内に採光するため，図８ａに示すように，温室北側に反射シートを設置する。また，夜間の温度の低下を防ぐため，図８ｂに示すように地表面側を反射シートとした保温カバーを設ける。なお，反射系を利用する観点からすると，温室の南側地表面に反射シートを設置しシートから反射する太陽光，あ

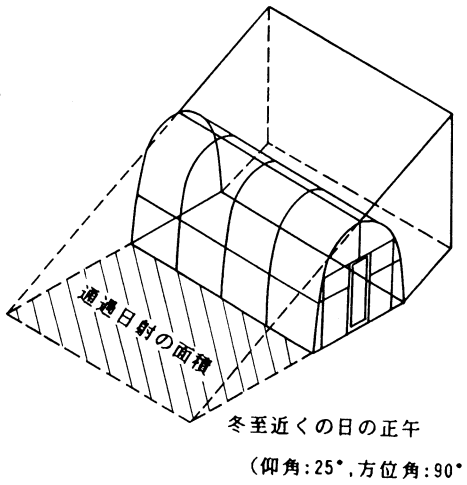
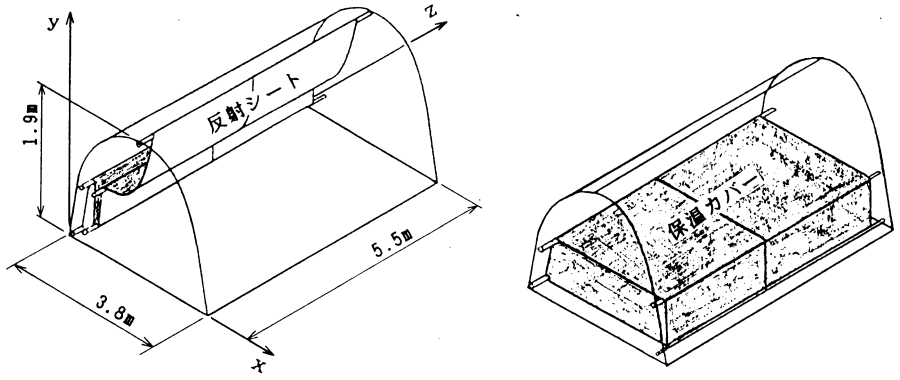


図7　ビニール・ハウスを通過する太陽光

るいは雪面を反射する太陽光の採光もできる。



a　反射採光時（昼間）　　b　保温カバー時（夜間）

図8　太陽光取得反射シートと夜間保温カバー取付け時の形状

3.1　採光量の推定計算式

上部反射シート面の形状を図9に示し，また，次式により近似する。

$$y = b\,(x - x_E)^n + y_B \qquad (3)$$

なお，形状を変えるためにはnを変化させる。ここで，図9に示す幾何学形状からbの値は次式で与えられる。

$$b = \frac{Y_A - Y_B}{(X_A - X_E)^n} \qquad (4)$$

下部反射面は直線として，X軸との傾きを変えることによって変えるものとする。

なお，太陽光の温室地表面への直接到達量および反射到達量は第2章での計算と同様の方法により算出する。また，計算の簡素化と本装置の能力の限界を把握するためビニールの透過率および反射シートの反射率をともに1する。

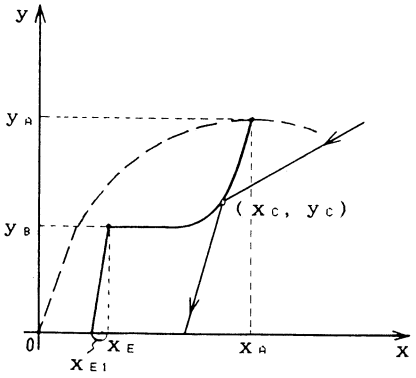


図9　反射シートの座標

3.2　計算結果とその検討

計算に用いた装置の寸法を図8に示す。また，2月1日10時での太陽光の軸跡を図10aに，また，その時の地面での到到達点の分布を同図bに示す。なお，上部反射面の形状はn＝5の曲面，下部反射面の形状は

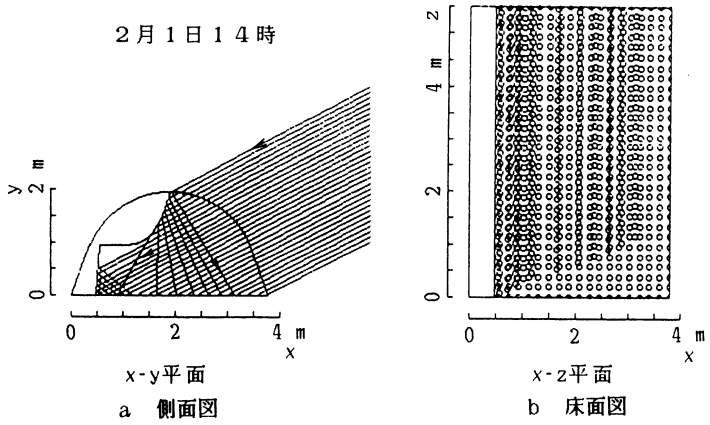


図10 太陽光の入・反射軌跡（計算値）

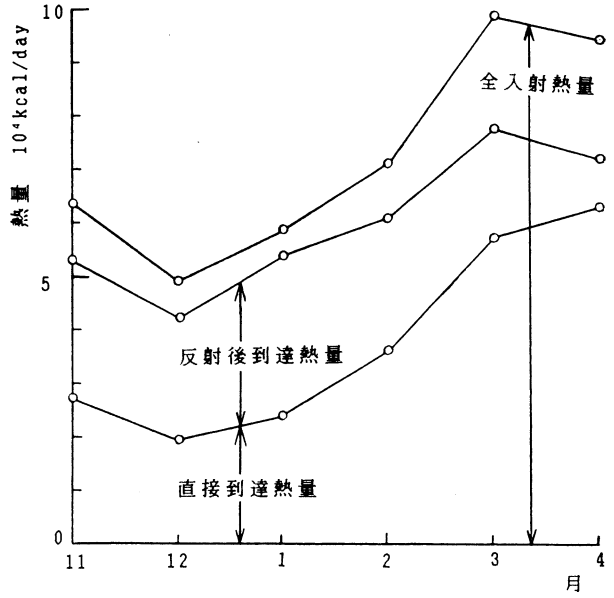


図11 月別入射太陽光とその成分（計算値）

軸との角度が85°の平面である。

月別の全入射太陽光の熱量および温室内に到達した直接到達熱量と反射後到達熱量を図11に示す。反射後の到達熱量は1月において最大であり，直接到達熱量と同程度である。また，太陽高度の低い3月までは反射シートにより太陽光の採取量はかなり増加している。この自然太陽光の増加はハウスの昇温のみならず植物の光合成の促進にも大きな寄与を与えることは注目しておく

べき点である。なお，冬期間実際にハウスを利用している農業家に聞く所によると，冬期間のハウス内の温度維持よりも太陽光の増加策の開発の方が重要な課題となっている由であり，本装置の有用性がわかる。

3.3 実験および実験結果とその検討

本実験では比較検討を行うため室蘭工業大学のグランドに二棟のハウスを設置し，厳冬期に実験を行った。東側に市販のものをそのまま設置したハウス（温室A）と，西側に温室Aと規模は同じで内側に図9に示すような垂れ幕型の自然な曲率の反射シートと下部に適当な角度をもった反射シートを反射面を南側に向けて設置してあるハウス（温室B）である。温室Bの反射シートは，夜間，図8 bに示すように保温カバー（午後3：30～午前9：00）に変形できる構造としてある。

温室A，B内中央の地上50cmでの温室内温度および外気温を図12に示す。同図に示す12日間の試験期間中1月30日は終日晴天であったが，22，23，24，29，31日は降雪あるいは曇天であり，他は晴れ時々曇りであった。なお，1月25日には終日保温カバーを設置した。図13には晴天であった1月30日の測定諸量を示す。また，温室A，B内の中央の地中10cmの地温とハウス間中央の地中10cmの地温を図14に示す。

たとえば，本装置の効果が顕著に表れている晴天であった1月30日の結果を見ると，反射シートの設置に伴うハウス内空気の温度上昇は土壌の温度上昇の半分程度である。この結果から，太陽光は直接あるいは反射シートにより反射されたのち地中に吸収され，地表面温度の上昇によりハウス内空気を加熱する機構が推測される。図13に示す晴天日での温室B内の気温は，雪面からの反射光の採光もあったが，温室A内よりも正午近くで約5℃高く，また，外気温よりも，約15℃高い結果を得ており，冬期間日射量の多い地方で反射シート取り付けによる高い集光の効果を期待できることがわかる。また，夜間の保温カバーによる保温の効果はハウス内の空気温度に表れている。しかし，深夜の地温の低下防止は保温カバーによるだけでは不十分であり断熱材の地下埋設，あるいは，雪による断熱などによる保温機構を装置に組み込む必要がある。

なお，実験では保温カバーあるいは外壁ビニールシート上での結露，結氷が認められ，太陽光の透過，反射の阻害要素となっており，外壁ビニールシートの多層化なども実用上必要である。

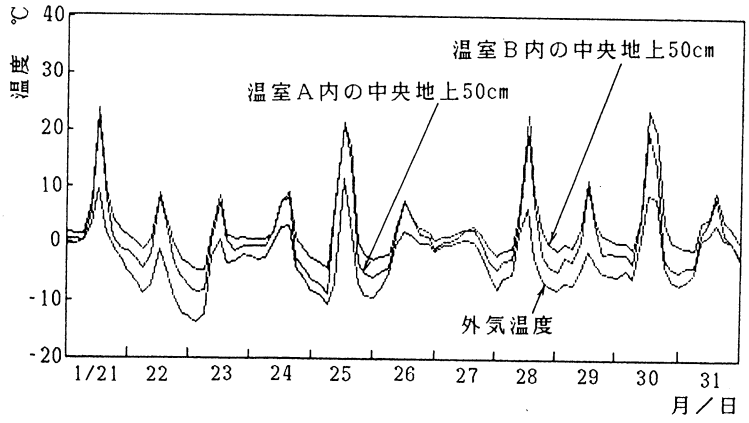


図12　ハウス内温度および外気温

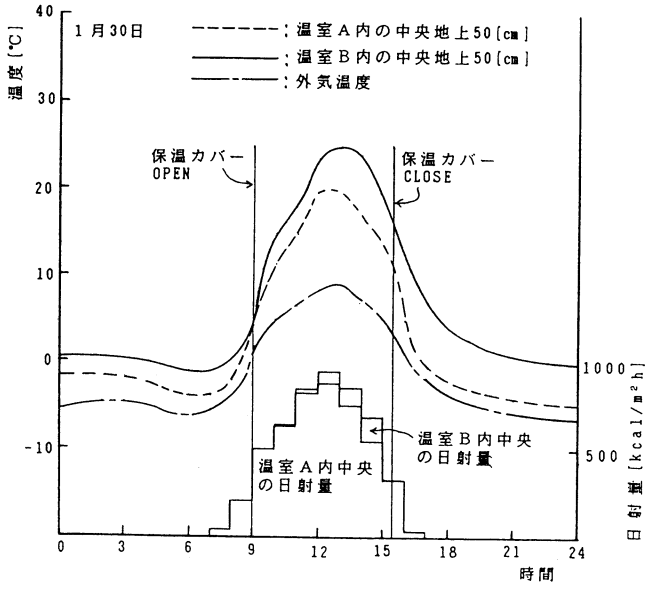


図13　晴天であった１月30日の温度，日射量

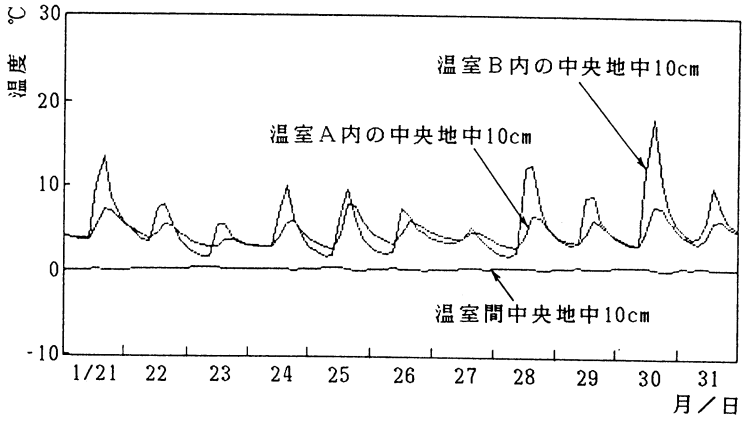


図14 ハウス内中央およびハウス間中央の地温

4. 結　　言

エネルギー資源の確保あるいは環境の保全から自然エネルギーの利用が見直されている。一般に太陽エネルギーはエネルギー密度が低いことなどの欠点があるが，本研究では自在性のある反射シートによる反射系を用いこの欠点を克服することを試み，代表的な例として低温施設などの太陽光遮蔽と同時に反射太陽光の採取を併せ行う方法，および，反射シートによりビニール・ハウス内への採光を増加させる方法の二通りについて検討を行った。

反射シートを保冷と太陽光採取の両目的に利用することにより装置全体の経済性の向上に役立つとともに，低温施設，ソーラ施設の占有面積の減少にも役立つ。また，反射シートによるビニール・ハウス内への採光を増加させる方法はとくに太陽高度の低い冬期間に有用である。なお，両方法とも簡便で安価な装置であり，とくに，本装置が寒冷，積雪に苦しんで来た雪国の人達に役立つものであれば幸いである。

本研究は「氷室計画」の一環としてなされたものであり室蘭ヒートパイプ研究会の研究員をはじめとした多くの関係諸兄のご協力，ご援助を賜った。なお，反射シートの製作には㈱三晃化学殿のご協力を得た。付記し謝意を表す次第である。