

光閉じ込め型太陽電池モジュールの高性能化

An improved design of light-trapping type concentrator module

土屋 剛*¹
Go Tsuchiya吉岡 一也*²
Kazuya Yoshioka齊藤 忠*²
Tadashi Saitoh

Abstract

A light-trapping type concentrator (LTC)PV module is proposed to realize low-cost PV modules. The LTC module has a space between adjacent cells with a V-groove reflective surface on the rear surface. Yearly optical properties are simulated at various cell widths, space width and V-groove angles by using meteorological data for Tokyo. Based on these results, the module design to realize high performance is determined by introducing a performance index. As a result of the simulation, the best V-groove angle is determined to be 30°. The optimum performance index is obtained when the ratio between module thicknesses, cell width and cell interval is 1.3:9: 2.1. Using the light-trapping module designed at the above condition, cell occupation area can be reduced to 75% although the module area increased by 16% compared to a conventional flat-plate module.

Key Words : Light-trapping, Low-cost PV modules, performance index

1. はじめに

太陽光発電は、化石燃料の代替エネルギーとして期待され、その普及にも拍車がかかりつつある。しかし、初期導入コストが高いことおよび大量普及時に危惧されるSi原料の供給不足等の問題を解決せねばならない。著者らの研究グループでは、集光モジュール構造に着目してきたが、これはモジュール中のSiウェハの量を減らし結果として上記の問題を解決するという考え方である。過去に固定集光レンズを用いたモジュール構造について研究をかさね^{(1)~(3)}、集光レンズを用いることでモジュール中の太陽電池セルを4割ほど削減できることを明らかにしたが、集光レンズ自体が比較的肉厚にならざるをえない点が問題として残った。

そこで、集光モジュールの考え方をさらに発展させる目的で、既存の平板型太陽電池モジュールに近い薄型構造で太陽電池セルの使用量を削減できる光閉じ込め型(LTC: Light Trapping type Concentrator)モジュール構造を提案する。この種の構造については最近、文献(4)、(5)でも提案されている。この構造は、通常の平板型太

陽電池モジュールの裏面にV溝等の凹凸形状を有した反射面を採用したのとなっている。このLTCモジュールの設計パラメータを様々に変化させ、それぞれに対して気象データを用いることで実使用条件を想定した年間での集光特性について計算する。この計算結果から、LTCの高性能化を行う。

2. 光閉じ込め型モジュールの設計

図1にLTCモジュールについての詳細な構造を示す。LTCは太陽電池セルを隙間なく配置させるのではなく、隣接する太陽電池セルとの間に一定の隙間ができるように配置させている。これは、太陽電池モジュールにおいてコスト高である太陽電池セルの使用量を減らしたためである。そして、そのセル間の隙間部分の裏面に鏡面反射処理を施し、光を反射させるようにする。鏡面処理を施しただけでは、太陽電池セルに到達する裏面反射光の到達率は十分ではないと考えられるので、さらに裏面形状をV溝にする。図1に示すように、V溝形状をとることによって、裏面反射光を太陽電池セルの在る方

*1 会員, 東京農工大学大学院
*2 会員, 東京農工大学 工学部
(〒184-8588 小金井市中町2-24-16)
(原稿受理 平成12年4月14日)

Student at Dept. Elec. & Electorronics Eng.
Dept. Elec. & Electorronics Eng., Tokyo Univ. Agri & Tech.

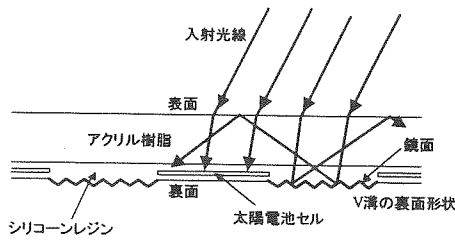


図1 光閉じ込め型モジュールの構造

向に導きやすくすると同時に、モジュール表面において裏面反射光とモジュール表面の法線とのなす角を大きくすることができ、内部全反射の割合を増やすことが期待できる。

次に、今回仮定したモジュール材およびモジュール寸法について述べる。図1、2に示すように、モジュールカバーにはアクリル樹脂（屈折率1.48）を採用し、カバー厚さは、実際に使用されているカバーガラスの厚さに合わせて3mmとした。アクリル樹脂と太陽電池セルとの接着、また、裏面材料と太陽電池セルとの接着にはシリコンレジン（屈折率1.44）を用いた。尚、太陽電池セルの厚さは0.3mm、シリコンレジン厚さはそれぞれ0.2mmの厚さをもって接着され、さらに裏面材料全体の厚さは0.3mmで0.2mmの深さのV溝加工が施されていると仮定した。モジュール表面から裏面までの寸法をモジュール厚さと定義すると、モジュール厚さは4mmである。シミュレーションにおいては、モジュール厚さを固定して、セル幅、セル隙間幅などの寸法をいろいろと変化させた。また、裏面のV溝形状を決定する裏面傾斜角についても同様に様々な設計値を取るとした。

最後に、本研究で用いたLTCの設置方向を図3に示す。図のように、V溝の断面が東西方向に向くように設置する。さらに、LTCモジュールの法線方向が春秋分時の太陽南中時の方向になるように設置する。これは、日中の太陽の動きは南中時が中心となり、年間の太陽の動きは春秋分時が中心となるからである。

先に述べたように、セル幅、セル間距離、裏面傾斜角を様々に変化させ、LTCの光学的特性、とくにLTCが収

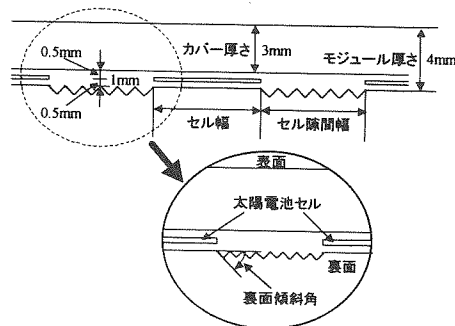


図2 LTCモジュールの寸法

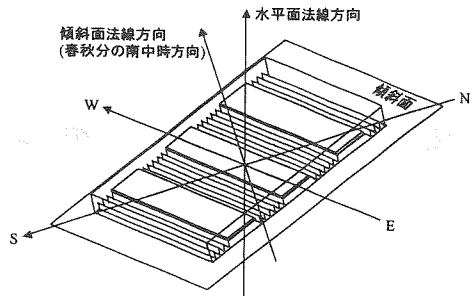


図3 LTCモジュールの設置方向

集する年間積算日射量の観点から評価を行った。

3. LTCモジュール特性の定義

まず、以降の説明で頻出するモジュールの受光部と集光部について定義を行う。モジュール表面で太陽光を受ける部分を受光部、光が集められる部分すなわち太陽電池セルのおかれている部分を集光部とする。LTCではセルとセル間隙間が1ユニットの集光系としてみなせるため、セル幅とセル隙間幅の和が受光部、セル幅が集光部に相当する。一方、本論文で述べる平板型（従来型）についてはセル間に隙間がないことを仮定するため、受光部と集光部面積が等しいという扱いをする。

LTCにおいて、セル幅を W_a 、セル隙間幅を W_b とすると幾何学的集光比 C_g は、

$$C_g = (W_a + W_b) / W_a \quad (1)$$

と表される。モジュール表面へ入射した光エネルギーのセル到達効率を光学的効率として、LTC、平板型に対する光学的効率をそれぞれ E_L 、 E_P とすると、光学的効率比 E_0 は、

$$E_0 = E_L / E_P \quad (2)$$

として表すことができる。上の2つを用いることで、実質的な集光倍率である光学的集光比が以下のように表せる。

$$C_o = C_g \cdot E_0 \quad (3)$$

幾何学的集光比は一定値をとるが、光学的効率比および光学的集光比は光入射角度毎に異なる。日射データを用いてLTCおよび平板型の集光部に収集される年間積算日射量を計算すれば、年間光学的集光比および年間光学的効率比が決定できる。年間光学的効率比を A とすると(2)式同様、 A はLTCと平板型における年間光学的効率の比となる。年間光学的集光比を B とすると、(3)式にならって、

$$B = C_g \cdot A \quad (4)$$

となる。

一般に同一モジュール面積の平板型とLTCでは、集光部に収集する年間積算日射量が異なる。そこで平板型と同じ積算日射量を収集するのに要するLTCのモジュール面積比を受光面積比Cとし、さらにこのときのLTCモジュール内のセルと平板型モジュール内のセルとの面積比を太陽電池占有面積比Dとして定義すると、

$$C = 1 / A \quad (5)$$

$$D = 1 / (A \cdot C_g) \quad (6)$$

と表すことができ、基本的に幾何学的集光比と年間光学的効率比の2つの因子によってモジュールの性能が決定される。

4. 裏面傾斜角と光学特性の関係

LTCのセル幅を5、10、15、20、25、30、40、50mmの8種とし、それぞれのセル幅に対し幾何学的集光比を1.1、1.2、1.3、1.5、1.7、2.0、2.2の7種に設定した。さらには、LTCの裏面に形成されているV溝の裏面傾斜角を0°から50°まで5°ずつ11通り変化させた。モジュール厚さに関しては4mm(カバー厚さ3mm)で一定とする。そのように設定した計616(=8×7×11)種のLTCそれぞれに対して、様々な角度の入射光に対する光学的集光比の計算をまず行い、その結果を基に年間積算日射量の計算を行った。

年間積算日射量の計算にあたって、標準気象データであるMETPV (Meteorological Test data for PhotoVoltaic system) データ⁽⁶⁾を用いた。このデータは、水平面全天日射量、水平面直達日射量、水平面散乱日射量、斜面日射量、日照時間、気温、風向、風速、降水量、積雪深の10種類の項目からなり、日本全国150地点分が整備されている。本研究においては、東京における水平面直達日射量と水平面散乱日射量を用いて計算を行った。

計算モデルとしては、LTC、平板型の双方を東京における春秋分時の南中時の太陽の方向に向けて設置することを仮定する。LTCの直達日射量成分は、METPVデータが示す個々の日時(すなわち高度と方位角)に対応する光学的集光比と直達日射量成分との積を計算することで得られる。また、散乱日射量成分については天空上のあらゆる方向の微小領域から直達光があたかもくるかのように想定し、個々の微小領域の方向(すなわちそれらから得られる光入射角度)に対応する光学的集光比と日射量とを天空上で積分することで計算した。なお、天空上の散乱光分布はPerezモデル⁽⁷⁾に従った重み付けを施した。また、天空上からの散乱光のうち、LTC、平板型を設置した傾斜面の背後からのものは遮られるのでそれを除外した。また、地面反射光成分も考慮に入れてシ

ミュレーションを行うため、地面アルベドを0.2とした。

図4に、セル幅が15mmとしたときの年間光学的集光比と裏面傾斜角の関係について計算した結果を示す。年間光学的集光比については、前章(4)式で定義したとおりであるが、集光部面積が等しい(同じセル面積を有する)LTCと平板型の年間積算日射量の比として計算できる。

図からわかるように、LTCの形状において、それぞれの幾何学的集光比の違いに関わらず、年間光学的集光比が最大となる裏面傾斜角は30°のときである。

ここで、図1を参考に太陽光線がモジュールへ垂直入射する場合を考えると、裏面傾斜角が小さい時には裏面からの反射光線がアクリル樹脂表面に対して垂直に近い角度となり、モジュール内での光閉じ込め効果が起こりにくい。一方、裏面傾斜角が大きい時は反射光線が裏面V溝内に閉じ込められ損失が起こる。裏面傾斜角が30°の時には裏面反射光線が同一V溝内の対向する反射面に平行に進むことになるので、溝内の閉じ込め損失もない上に、アクリル表面での全反射を起こすには十分な進入角度となる。本計算は年間日射分布を用いて計算を行ったが、実際の日射分布においてもモジュールへの垂直入射に近い角度に直達日射量が多く分布していることから、裏面傾斜角30°において光学的集光比のピークが現れたものと考えられる。

上記においてはセル幅が15mmのときの結果のみ示したが、15mm以外のセル幅においても裏面傾斜角30°のときに年間光学的集光比がピークを持つという同様の傾向が得られた。これらの結果から、裏面のV溝形状は裏面傾斜角30°が最適な形状であることが分かった。

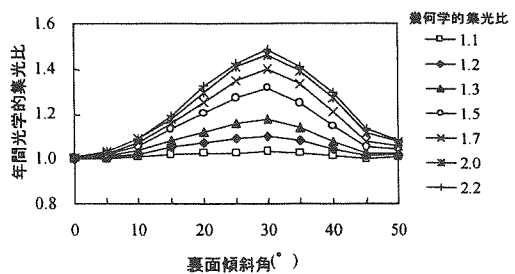


図4 セル幅が15mmのときの年間光学的集光比と裏面傾斜角との関係

5. セル幅およびセル隙間幅と光学特性の関係

5-1. 年間日射データによるモジュール特性

前節において、LTCのセル幅、セル隙間幅に関係なく裏面傾斜角30°が最適な形状であることが分かった。そこで、裏面のV溝形状について裏面傾斜角30°のみに着目し、LTCにおけるセル幅、セル隙間幅の最適化を試み

た。

図5は集光部面積が等しい平板型に対するLTCの年間光学的集光比を示す。セル幅を一定にして見た場合、幾何学的集光比を大きくすることにより、光学的集光比は大きくなることが分かる。ただし、セル幅が30mmより大きくかつ幾何学的集光比も1.7より大きいところでは、幾何学的集光比を大きくしても光学的集光比の増加はほとんど見られない。セル幅を大きくしていったときの傾向は、幾何学的集光比が1.1のときを除いてそれぞれの幾何学的集光比において、あるセル幅においてピーク値をとる。このピーク値をとるセル幅は幾何学的集光比の増加とともに、小さい値へシフトしてゆく。よって、幾何学的集光比が1.1のときもセル幅が50mmより大きいところで光学的集光比の計算を行っていけば、その値は減少していくと思われる。また、幾何学的集光比が大きいほど、セル幅を変化させていったときの光学的集光比の変動が大きい。

図6にLTCの平板型に対する年間光学的効率比を示

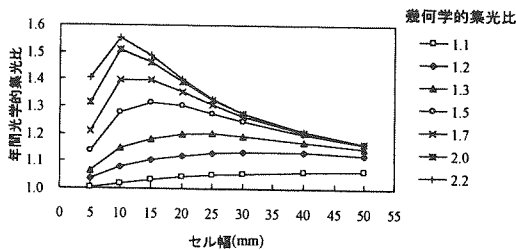


図5 集光部面積が等しい平板型に対するLTCの年間光学的集光比

す。年間光学的効率比の定義は前章で述べたとおりであるが、受光部面積（モジュール面積）が等しいLTCと平板型の年間積算日射量の比としても計算できる。

まず、幾何学的集光比ごとに着目してみる。セル幅を大きくしていったときの年間光学効率比の傾向は年間光学的集光比のときと同様に、はじめは増加していくが、あるセル幅でピークを迎え、その後は減少していく。幾何学的集光比が同一にも関わらずセル幅を変化させることにより光学的集光比が増加したというのは、日射の損失が減少し光学的効率比が大きくなったからであり、光

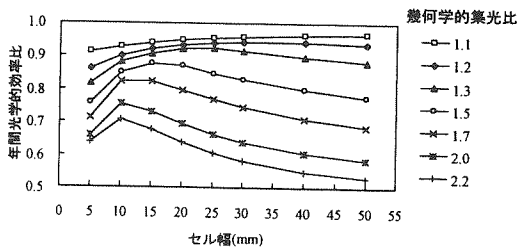


図6 平板型に対するLTCの年間光学的効率比

学的集光比が減少したというのは、逆に日射の損失が増加し年間光学的効率比が小さくなったからである。

次にセル幅ごとに着目してみる。いかなるセル幅においても幾何学的集光比が小さいほど、光学的効率比は大きくなることがわかる。つまり、基本的にはセル隙間幅を狭くすることにより、光学的効率比の値は増加する。これは、年間光学的集光比とは逆の傾向である。逆に幾何学的集光比を大きくし、セル隙間幅を広げると光学的効率比は小さくなる、とくに年間光学的集光比のときも同様の傾向があったが、セル幅も大きいと、光学的効率比の減少は激しくかなり小さい値となってしまう。

図7は平板型と等しい日射量を得るためのLTCの平板型に対する受光面積比を示す。受光面積を大きくすることによってLTCの構造による日射の損失を補うため、年間光学的効率比が大きいほど受光面積比の増大も抑制できる。3章でも述べたように受光面積比の傾向は、年間光学的効率比の傾向を上下反転したものとなっている。

図8に平板型と等しい日射量を得ることのできるLTC

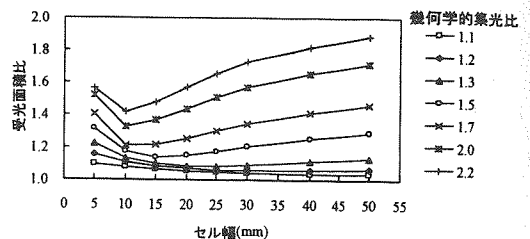


図7 平板型と等しい日射量を得るためのLTCと平板型の受光部面積比

の平板型に対する太陽電池占有面積比を示す。傾向としては、年間光学的集光比の傾向を上下反転したものと一致する。つまり、年間光学的集光比を大きくすることが太陽電池占有面積の減少、すなわち太陽電池セルの削減量の増加につながる。

太陽電池占有面積比と受光面積比の関係について考えてみる。セル幅ごとに着目してみると、図8から太陽電池占有面積比は幾何学的集光比を大きくすると値は減少していくが、図7から受光面積比も同時に増大していくことがわかる。逆に、幾何学的集光比を小さくし太陽電

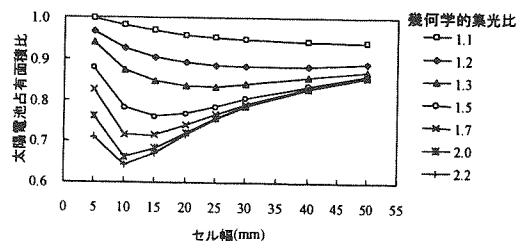


図8 平板型と等しい日射量を得たときのLTCと平板型の太陽電池占有面積比

池占有面積比を大きくすると、受光面積比は減少していく。例えば、太陽電池占有面積比が最小となるセル幅10mm、幾何学的集光比2.2のLTCにおいては、最小値0.64をとり36%の太陽電池セルの削減ができるが、このときの受光面積比は1.42であり、LTCのモジュール面積をかなり大きくする必要がある。また、年間光学的効率比が最大であり、受光面積比が1.03と最小であるセル幅50mm、幾何学的集光比1.1のLTCでは、太陽電池占有面積比は0.94となる。つまり、この形状では十分に太陽電池セルを削減したとはいえない。

5-2. 高性能指数

5-1で述べたように、太陽電池セルの使用量を削減しようとする受光面積もそれなりに増大させなくては行けなく、受光面積の増大を抑制しようとする太陽電池セルの使用量をほとんど削減できなくなってしまう。したがってコスト低減の観点からバランスよく太陽電池セルの使用量を減らし、なおかつ受光面積の増大を抑制できる形状を採用したLTCが最も性能のよいLTCモジュールの1つだと考えられる。

そこで、コスト低減の指標となる高性能指数Pをここで導入する。受光面積比をC、太陽電池占有面積比をDとし、さらに太陽電池セルに対するセルを除くモジュールに要する単位面積当たりのコストの比率をkとすると、高性能指数Pは

$$P = \frac{1}{1+k} D + \frac{k}{1+k} C \quad (7)$$

と定義することができる。厳密にシステムコストを見積もる場合はモジュールの面積に依存する架台コストや土地代なども考慮する必要があるがここでは簡単化のためそれらは無視するものとする。(7)式は、平板型に対して同じ出力を有するLTCモジュールのコストの比率を表している。高性能指数の値が小さいほど、よりコストの低減が可能となる。計算に先立ってまずkの値を決定しなければならない。一般的に既存の平板モジュールにおいては太陽電池セル作製コストとモジュール化コストの比率が7:3になると言われている。この場合kは0.43となる。しかしLTCモジュールにおいては裏面シートの採用によりkの値としてもう少し大きい値をとるのが現実的である。ここでは、kを0.6に選んで試算することに

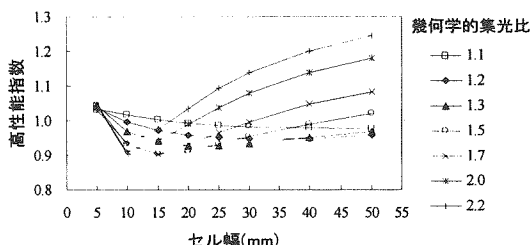


図9 高性能指数

する。図9は高性能指数の計算結果を示す。セル幅が10から15mm、幾何学的集光比が1.5から1.7で設計されたLTCが、高性能指数が小さく性能のよいモジュールだということがわかった。そこでさらに、最も高性能となるLTCモジュールの設計値を明らかにするために、セル幅とセル隙間幅を細かく変化させ、再計算し求めた高性能指数の結果を図10に示す。この図から、高性能指数が最小となるLTCの形状を探していくと、あるセル幅、あるセル隙間幅の設計値の範囲内において、高性能指数が同じ値をとり続けるため設計値の組み合わせとして何通りか考えられる。ここで本研究においては、図10より高性能指数が最小となる設計値の中からさらに、受光面積比が最も小さくなる設計値を選択した。その結果、セル幅14.5mm、セル隙間幅8mmで設計されたLTCを最も高性能なモジュールとした。ここで受光面積比がより小さいモジュールを選択した理由として、通常太陽電池モジュールを設置するスペースというのは無限に大きいわけではなく、屋根上設置を考えてみてもわかるように設置するスペースは限られている。したがって、なるべく

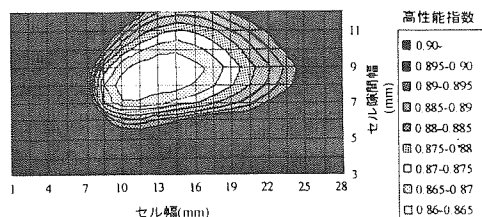


図10 セル幅とセル隙間幅とで再計算した高性能指数

モジュール面積は大きくならない方がより良いと考えられるからである。

セル幅14.5mm、セル幅8mmで設計されたLTCモジュールにおいて、受光面積比は1.16、太陽電池占有面積比は0.75となった。また、高性能指数は0.90と計算された。よって、このLTCモジュールを用いることで、モジュール面積を1.16倍とやや大きくする必要があるが、使用する太陽電池セルの量を25%削減でき、その結果平板型と比較し10%程度のコスト低減が可能であることがわかった。

6. 高性能化へのさらなる検討

6-1. モジュール厚さの違いによる光学特性

前節までは、モジュール厚さを4mmで一定としLTCの光学特性の高性能化を図った。この節ではモジュール厚さ5、6、7、9、11mm(カバー厚さ4、5、6、8、10mm)のLTCについても高性能化を図り、厚さの違いによる光学特性について検討した。

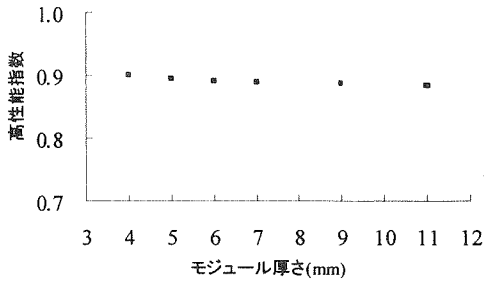


図11 高性能LTCにおけるモジュール厚さの違いによる高性能指数

前節と同様の手法をとり、それぞれのモジュール厚さごとに高性能化を図った。図11にモジュール厚さごとの最も高性能なLTCにおける高性能指数を示す。モジュール厚さ4mmのときも一緒に示す。図からわかるように、高性能指数はモジュール厚さを大きくしていくと、上下動は全くせずに確実に少しずつ減少していくという傾向がある。ここには示していないが、受光面積比、太陽電池占有面積比も共に減少傾向にあったので、高性能指数も減少傾向となった。また、高性能指数が減少していくということから、モジュール厚さが小さいLTCよりも大きいLTCの方がより高性能なモジュールであるといえる。したがって、高性能指数の見地からは、なるべくモジュール厚さは厚いほうが良いが、厚さが増すとコストがかかってしまう可能性もあるので、詳細なコスト分析をした上で最適な厚さも決定できるであろう。

次に、LTCが高性能となる設計値について考える。図12に高性能LTCにおけるモジュール厚さに対するセル幅比とセル隙間幅比を示す。縦軸には、モジュール厚さに対するセル幅、セル隙間幅の大きさの比をとっている。よって、セル幅比、セル隙間幅比にモジュール厚さをかけたものが、それぞれのモジュール厚さにおける最も高性能となるLTCのセル幅、セル隙間幅の設計値となる。図からセル幅比に関しては、モジュール厚さを変化させても4.0前後で一定であることがわかる。そこで平均値を

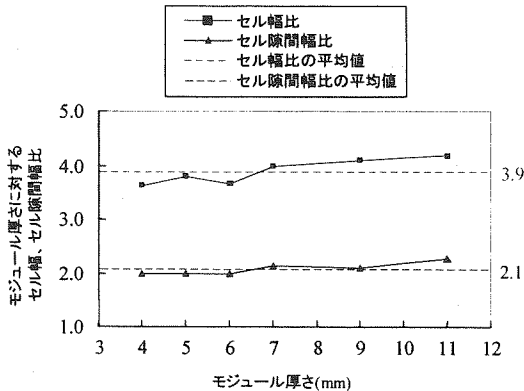


図12 高性能LTCにおけるモジュール厚さに対するセル幅比とセル隙間幅比

計算したところ、平均値約3.9を得ることができた。また、同様にセル隙間幅比についても平均値を計算した結果、平均値約2.1が得られた。これらの結果から、LTCのモジュール厚さを変化させたとしても、モジュール厚さに対しセル幅、セル隙間幅がそれぞれ3.9倍、2.1倍の大きさになるようにLTCモジュールを設計すれば、そのLTCがそれぞれのモジュール厚さにおいて最も高性能なモジュールとなることが分かった。ただし、先ほど述べたようにモジュール厚さが厚い方がより性能の良いLTCモジュールとなる。

6-2. 様々な裏面形状における光学特性

今までは、LTCモジュールの裏面に関してV溝形状のみ仮定し高性能化を図ってきた。しかし、更なる高性能化のためにはV溝以外の形状についても考慮する必要があると考えられる。そこでここでは、まだ予備検討程度ではあるが、裏面形状を様々に変化させ、その形状がLTCの光学特性にどのように影響していくかを調べた。

図13にこの節で考慮した様々な裏面反射面形状の2次元幾何学モデルを示す。図を見れば分るように、南北方向と交差する方向、すなわち東西方向に沿った①対象断面V溝型モデル (V型)、北側に傾斜を持たせた②N溝型

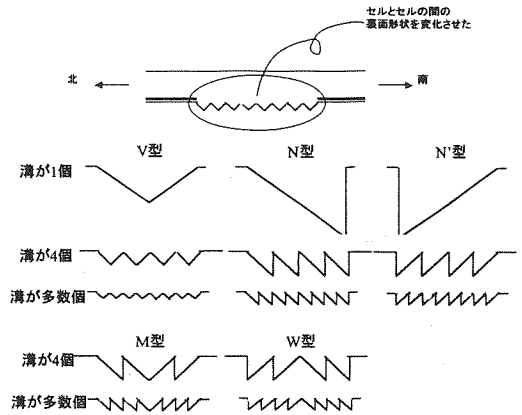


図13 様々な裏面反射構造の2次元幾何学モデル

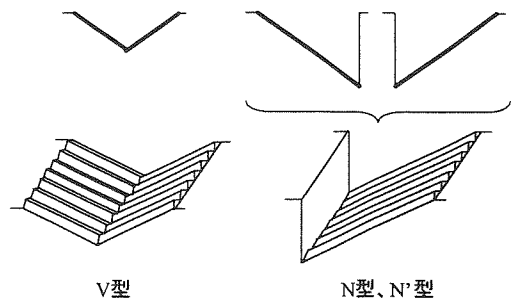


図14 様々な裏面反射面形状の3次元幾何学モデル

モデル (N 型)、南側に傾斜を持たせた③N'溝型モデル (N'型)、また①、②、③を複合させた④W溝型モデル (W 型)、そして⑤M溝型モデル (M 型) の計 5 モデルについて光学特性の計算を行った。さらに、図 14 に示すように 3 次元の裏面反射面形状についても同様に光学特性の計算を行った。図から明らかなように、先ず東西方向に大きな V もしくは N、N' 型の溝を形成し、その後、この溝上にさらに交差する方向、すなわち南北方向にそった V 溝を多数形成するといった形状である。つまり、この節で考慮した裏面形状は、図 13 に示した 2 次元幾何学モデル 5 種類と図 14 に示した 3 次元幾何学モデル 3 種類、計 8 モデルについて、気象データを使って各モジュールの年間の光学特性について計算し評価を行った。ここで、LTC モジュールの寸法は、前節において最も高性能な

における LTC モジュールの設計値が異なる可能性を示唆するものである。

7. LTC モデルの試作と評価

前章までの設計概念とシミュレーション結果に基づき LTC モデルを試作し、擬似太陽光下での測定を行うことでシミュレーション結果の妥当性を調べるとともに、製作時における問題点などについて考えることとする。

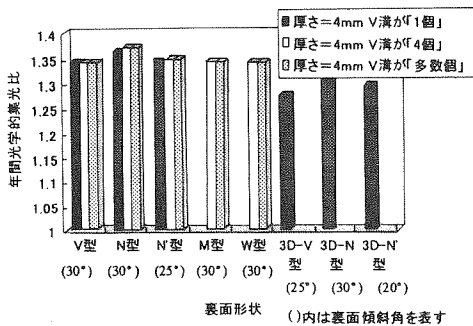


図 15 様々な裏面形状における年間光学的集光比 (モジュール厚さ=4mm、セル幅=14.5mm、セル隙間幅=8mm)

LTC モジュールであったモジュール厚さ 4mm、セル幅 14.5mm、セル隙間幅 8mm を仮定した。

図 15 に計算して得られた様々な裏面形状における年間光学的集光比を示す。() 内の数字はそれぞれの裏面形状において年間光学的集光比が最大となった裏面傾斜角である。2次元幾何学モデルに対しては、溝の個数を変えて計算したが、各溝形状内においては溝の個数の違いによる光学特性への影響はほとんどないことがわかった。次に 2次元幾何学モデルと 3次元幾何学モデルを比較すると、計算前は 3次元幾何学モデルの方が溝が 2重についている分、光トラッピング効果が高いと期待したが、結果的にはシンプルな 2次元幾何学モデルの方が光トラッピング効果が高いことがわかった。

最後に、2次元幾何学モデルの 5 モデルを比較した結果、V、M、W 型についてはほとんど光学特性の違いが見られなかった。しかし、N、N' 型については先の 3 者に比べて高い値になった。とくに、N 型については 1.36 から 1.37 というかなり高い年間光学的集光比が得られた。これは、LTC モジュールを緯度に等しい傾斜角に設置したとしても、天空上における日射分布が春秋分時を中心とし対称な分布になっていないことが原因であると考えられる。このことは、さらに日射条件の異なる地域

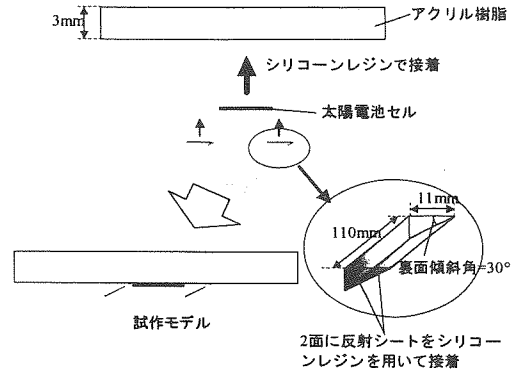


図 16 LTC モジュールモデルの製作概念図

試作モデルは前節でとりあげた N 型裏面反射モデルとし、また、製作の都合上、隙間間に 1 個の N 型反射面をおくこととする。図 16 は試作モデルの製作イメージを示す。実際の平板モジュールの構造とはやや違うが、太陽電池セルをそのまま直接 110mm 角で 3mm 厚の亚克力平板にシリコン樹脂で接着し、裏面から丁度 3cm x 2cm の太陽電池セルを両側から挟む形で、亚克力樹脂で予め製作しておいた三角柱形状の反射器を取り付けた構造とした。

また、光学的集光比を調べるために、平板型モデルも作製した。平板型モデルは、図 16 に示した光閉じ込め型モデルの鏡面反射器を取り付けない点を除いて、同じ条件で作製した。この両モデルに対して、ソーラシミュレータを用いて光入射角度を変えながら I-V 特性の測定をおこなった。短絡電流は入射光子に比例するが故に、実験値としての光学的集光比は、光閉じ込め型の短絡電流を平板型モデルの短絡電流で割ったものとして得た。図 17 は、光閉じ込め型の平板型に対する光学的集光比の光入射角度依存性について、南方向および東西方向別に計算値と実測値を比較したものである。垂直入射の際の光学的集光比が計算値 1.49 に対し、実験値 1.30 の違いが生じたのは、計算値では裏面反射率 100% で計算したのに対して、実際は裏面反射の際に若干の損失を伴うことによる。図 17 (a) は南方向に入射角度を変えていった場合であるが、計算値として裏面反射面の傾斜角

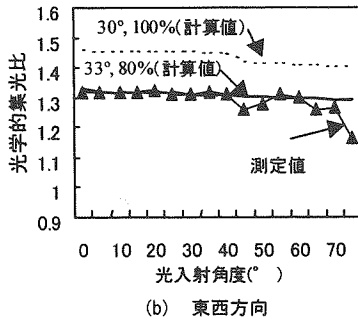
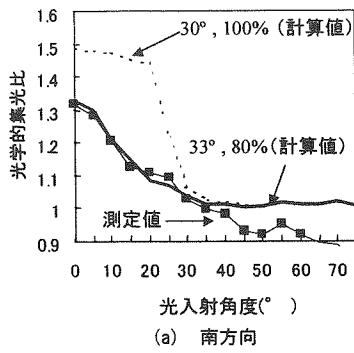


図17 試作モデルに対する光学的集光比の光入射角度依存性

度を 30° 以外そして反射率も100%以下で計算したところ、 33° と80%で計算したものと測定値がもっともフィットした形となった。鏡面反射面はアクリル製の三角柱に反射シートをシリコンで接着したため、接着ムラの理由で設計値との間に若干の誤差を生じたものと思われる。東西方向についても同図(b)見れば分かるように、裏面傾斜角 33° 、反射面80%で計算値と測定値はほぼフィットした。ところで、図17(a)において、 40° を越えた角度で測定値の値が1を下回っているのは、110mm角のアクリル板に2cm×3cmのセルを接着しているが故に入射角度が大きくなることにより、平板型においてもアクリル板内での多重光反射がおき、この角度域では光閉じ込め型よりもむしろ効率よく光閉じ込めしている可能性がある。シミュレーションではこの効果は考慮していない。今後、シミュレーションに示したような理想的な光閉じ込め型モジュールを作製するためには、高反射率材料の選択と反射面を蒸着などによって、設計誤差を生じないようにするなどの必要性がある。

8. まとめ

本研究では、太陽電池モジュールの低コスト化を目的として、新たに光トラッピング型モジュールを提案し、レイトレーシング法と東京の日射データを用いて、セル

幅、幾何学的集光比(セル隙間幅)、裏面傾斜角そしてモジュール厚さを設計パラメータとして様々な光閉じ込め型モジュール対し年間の積算日射量を計算し、そこから以下のことが分かった。

- (1) 裏面傾斜角は 30° のときに最も効率よく太陽光を集光することができ、年間光学的集光比が最大になる。
- (2) 高性能化指数を導入し高性能化を図った結果、モジュール厚さセル幅、セル隙間幅の設計値の大きさには、1 : 3.9 : 2.1の関係があることが分かった。

また、シミュレーション結果に基づいて、光閉じ込め型モデルの試作と評価を行った。光学的集光比の実測値は、計算値と比べると若干小さい値となった。今後、シミュレーションに示したような理想的な光閉じ込め型モデルを作製するためには、高反射率材料の選択と反射面を表面蒸着などにより、設計誤差を生じないようにするなどの必要性がある。

謝辞

本研究は、東京電力(株)による太陽光発電の実用性に関する研究助成金によって実施されたものであり、関係各位に深く感謝いたします。

<参考文献>

- (1) K. Yoshioka, M. Kobayashi, A. Suzuki, K. Endoh and T. Saitoh, "Design and Properties of a Refractive Static Concentrator Module", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **34**, 125-131(1994).
- (2) 吉岡一也、遠藤清志、鈴木研夫、大江信之、齊藤忠、「非追尾型集光太陽電池モジュール用三次元レンズに関する研究」、*太陽エネルギー*、Vol. 21, No. 4, 43-50 (1995)。
- (3) K. Yoshioka, S. Goma, K. Kurokawa and T. Saitoh, "Improved Design of a Three-dimensional, Static Concentrator Lens Using Meteorological Data", *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS*, **7**, 61-69(1999).
- (4) G. Tsuchiya, K. Yoshioka and T. Saitoh, "Performance Simulation of Light-trapping Type Concentrator PV Module", *Technical Digest of 11th Photovoltaic Science and Engineering Conference*, 487-488(1999).
- (5) T. Uematsu, Y. Yazawa, T. Joge and S. Kokunai, "Flat-Plate Static concentrator Photovoltaic Module", *Technical Digest of 11th Photovoltaic Science and Engineering Conference*, 489-490(1999).
- (6) 日本気象協会編、「最適設計のための気象データの調査研究」、平成7年度NEDO委託業務成果報告書、(1996)。
- (7) R. Perez, R. Seals, P. Ineichen, R. Stewart and D. Menicucci, "A New Simplified Version of the Perez Diffuse Irradiance Model for Tilted Surfaces", *Solar Energy*, **39**, No.3, 221-231(1987)。