

平成 21 年 5 月 30 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760622

研究課題名 (和文) 微細構造と光機能性コーティングによる太陽光制御

研究課題名 (英文) Control of solar radiation using micro structures and optical functional coatings

研究代表者

山田 昇 (NOBORU YAMADA)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：90321976

研究成果の概要：太陽光に対して透明な材料の表面に、微細な凹凸構造体、あるいは微細凹凸構造体に光反射作用のあるコーティングを組み合わせた構造体を付与することによって、従来は困難であった太陽光の透過・反射作用を実現するメカニズムを明らかにした。これにより、従来よりも薄型でありながら、高い太陽光利用効率で光を集光できる光学形態とこれを各種条件に応じて最適設計する手法を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	0	2,400,000
2008年度	1,000,000	30,000	1,300,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
年度			
総計	3,400,000	300,000	3,700,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：エネルギー節約・効率利用、太陽エネルギー利用

1. 研究開始当初の背景

近年、太陽光の状況に応じた機能的な制御技術が求められている。以下に代表例を挙げる。

(1) 太陽光発電 低コスト化のために、集光によって太陽電池セル面積を低減する要求がある。最近ではマイクロオーダーの細長セルが開発されており、これとマッチする微細集光技術が必要である。

(2) 太陽熱利用 配管構造の複雑化およびマイクロ化による伝熱性能向上が研究されており、これとマッチする微細集光技術が必要である。

(3) 放射冷却 外部からの日射、大気放射を

選択反射し、放射冷却を促進する薄型部材が必要である。

(4) 住居・車内空間 季節・時刻に応じた日射の選択透過・反射制御が必要である。

(5) 都市熱環境 建築部材の日射反射制御によるヒートアイランド（都市温暖化）抑制部材が必要である。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、太陽光の新たな制御技術の開発である。微細構造ならびに微細構造と選択反射コーティングの組み合わせにより、新たな光機能性（微細集光、微細選択透

過・反射など)を発生させる手法を明らかにする。

(2)より具体的な適用例として、前記1.(1)で挙げた太陽光発電に着目し、集光型太陽電池モジュールを取り上げ、光機能性シートとしてのプリズムアレイシートと導光板状のプリズム集光器を組み合わせた新規光学系を提案し、その太陽光利用効率を最大にする形態を明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

(1) 光学解析 太陽光の反射・吸収・透過作用を物理現象に即して模擬する光線追跡(レイトレース)を用いて光学系のモデリングと解析を行った。また、最適設計には生物の進化過程を模擬して最適解を得る進化的計算アルゴリズムを導入した。

(2) 検証実験 解析結果の妥当性を検証するため、擬似太陽光照射ランプを用いた室内検証実験を行った。また、試作サンプルの個々の光学特性を検証するために入射角度を任意に変えられる反射率・透過率測定装置を用いた。

4. 研究成果

(1) 本研究で採用した太陽光集光器(ソーラーコンцентрータ)を図1に示す。薄型のプリズム導光板であり、受光面ABに入射した太陽光の大部分がプリズムの全反射作用によりAC面にある太陽電池セル(PVセル)に入射する。本研究では図2(b)に示すように受光面上にプリズムアレイシートと呼ぶ微細凹凸構造の透明樹脂シートを貼り付けることで、入射角度特性を制御する方法を新たに提案した。

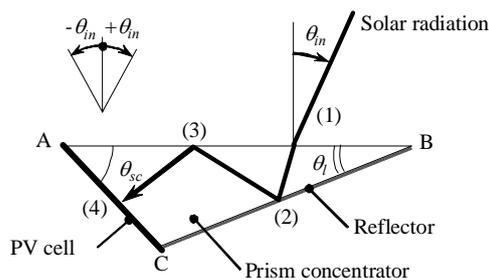
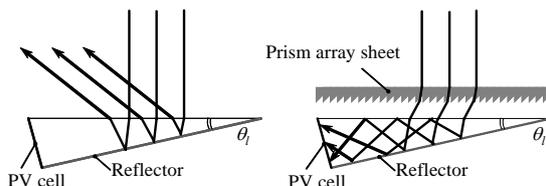


図1 プリズム集光器の断面(2次元モデル)



(a)プリズムアレイシート無 (b)プリズムアレイシート有
図2 プリズムアレイシートによる集光特性の変化

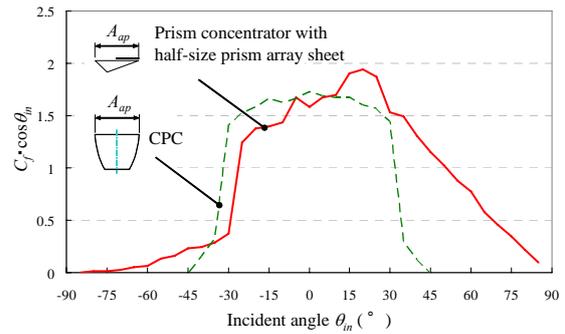


図3 プリズム集光器とCPCの比較

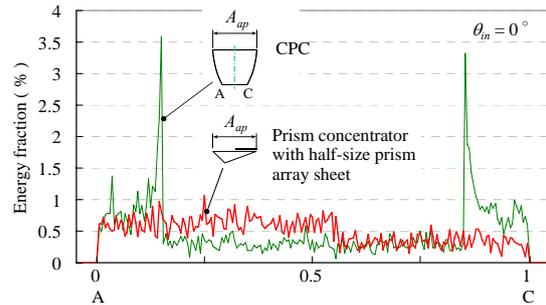


図4 プリズム集光器およびCPCにおける集光面(PVセル面)上の入射エネルギー強度分布

この手法の有効性を光学解析により確認できた。図3はプリズムアレイシートを貼り付けたプリズム集光器の入射角度特性をCPC(複合放物面集光)集光器の特性に近づけることができたことを表すグラフである。CPCの特性は太陽光の利用効率を高める上で好ましいものであるが、集光器の高さが高いためコンパクト化が困難であったが、本手法ではCPCの4割の集光器高さで7割のPVセル面積で同等の光利用性能が得られることが示された。

また、図4はこの手法を用いた方がPVセル面上における光エネルギーの不均一性が少ないことを表す図である。セル面上での光エネルギー不均一性は太陽電池の効率低下を招くため、本手法の有効性が示された。



(a) $C_g = 2.5$

(b) $C_g = 4.13$

図5 試作プリズム集光太陽電池の概観

図5は光学解析結果の妥当性を検証するために試作したプリズム集光太陽電池である。ここでは図5(a), (b)に示すように集光の倍率が異なる2つのタイプを試作した。

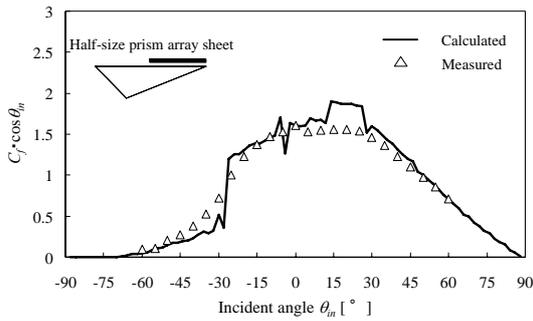


図6 プリズム集光太陽電池 ($C_g=2.5$, 全シート) の試験結果と解析結果との比較

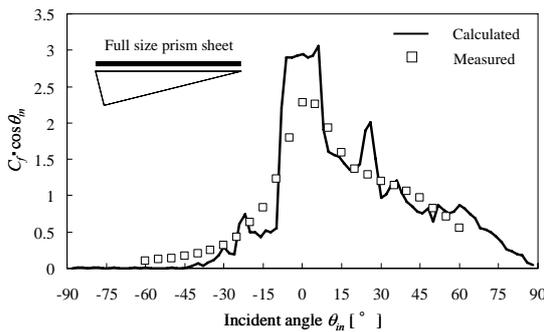


図7 プリズム集光太陽電池 ($C_g=4.13$, 全シート) の試験結果と解析結果との比較

図6および図7はこれら試作プリズム集光太陽電池の入射角度依存性の実験検証結果を解析結果と比較プロットしたグラフである。解析とほぼ同等の結果が得られた。なお、これらは多くのモデリングと解析を繰り返した中で光利用効率が優れた形態である。

(2) 上述のような光学形態の最適化をモデリングと解析の試行錯誤解析を繰り返すことで行うと、膨大な時間と労力を要する。そこで、生物の進化過程を模擬することでこの最適化を自動的に行うアルゴリズムを導入し、より効率的に最適設計を行える手法を開発した。

図8が本研究で開発した最適化アルゴリズムのフローチャートである。遺伝的アルゴリズム (GA) と免疫アルゴリズム (IA) の長所をハイブリッドしたアルゴリズムとなっている。基本的なフローは遺伝的アルゴリズムに従っており、下記ようになる。

- ① あらかじめ M 個の個体が入る集合を 2 つ用意し、それぞれを「現世代」、「次世代」と呼ぶ。現世代に M 個の個体(解の候補)をランダムに生成する。
- ② あらかじめ定義した評価指標により、現世代の各個体の適応度をそれぞれ計算する。
- ③ ある確率で次の 3 つの動作のいずれかを行い、その結果を次世代に保存する。個

体を 2 つ選択して交叉を行う。個体を 1 つ選択して突然変異を行う。個体を 1 つ選択してそのまま複製する。

- ④ 次世代の個体数が M 個になるまで(3)を繰り返す。
- ⑤ 次世代の個体数が M 個になったとき、次世代の各個体の情報を全て現世代に更新する(世代交代)。
- ⑥ 以上の動作をあらかじめ設定した最大世代数まで繰り返し、最終的に最も適応度(評価指標値)の高い個体を「解」として出力する。

以上の進化過程が機能すれば、世代数が増すごとに個体の評価が向上し、最適解に近づく。図8のフローチャートにおいてGA操作は①~④および⑧である。また、IA操作は⑤~⑦である。

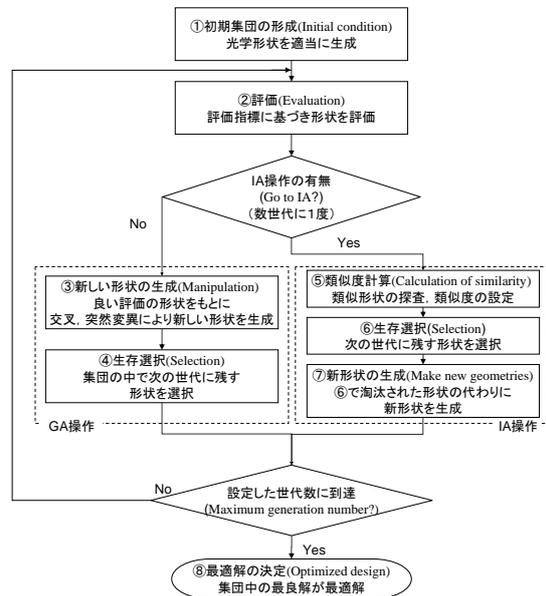


図8 集光系の最適化フローチャート

この最適化手法を前述のプリズムアレイシートの形状最適化に適用した。図9はその際の3つの進化過程を示している。(a)交叉では2つのアレイシート形状の頂点座標をランダムに組み合わせて新形状を生成する。(b)突然変異では任意の1形状をランダムに変化して生成する。

実際にこの最適化計算を実行した結果を図10に示す。4つの折れ線はそれぞれ評価指標と計算条件が異なる条件の結果を表しているが、100世代までの計算において、すべての条件において世代毎にグラフ縦軸の集光性能が向上していることが確認できる。

図10の結果のうち、100世代目のプリズムアレイシート形状を図11に示す。プリズムの凹凸はやや不規則性を有しており、さらに凹凸構造の片面に選択反射コーティングを施すことで最良の集光性能が得られることが明らかとなった。

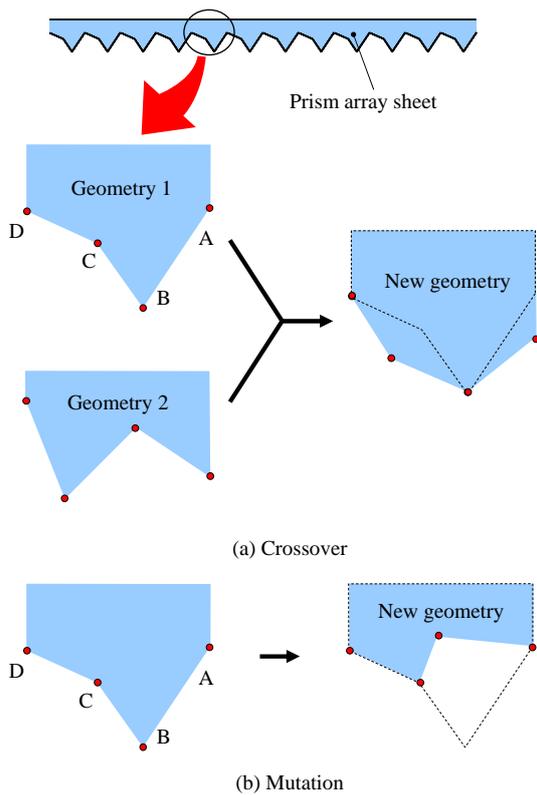


図9 プリズムアレイシートの進化過程

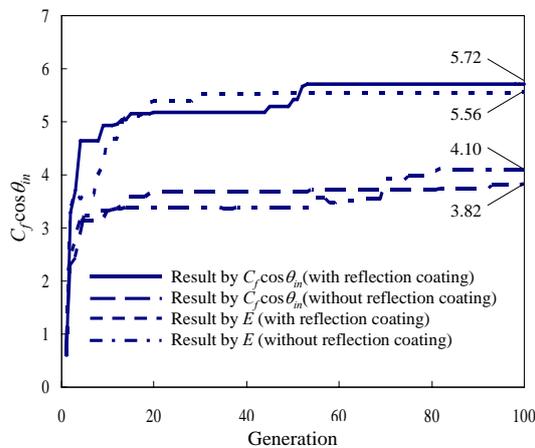


図10 最適化アルゴリズムによる集光比の進化過程

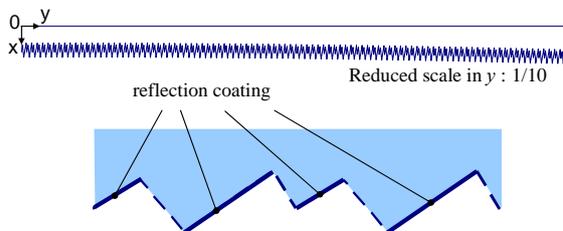


図11 100世代目のプリズムアレイシート形状(上:全体図(y方向のみ1/10に短縮), 下:一部拡大図)

以上のように、本研究では太陽光に対して透明な材料の表面に、微細な凹凸構造体、あるいは微細凹凸構造体に光反射作用のあるコーティングを組み合わせた構造体を付与することによって、従来は困難であった太陽光の透過・反射作用を実現するメカニズムを明らかにした。これにより、従来よりも薄型でありながら、高い太陽光利用効率で光を集光できる光学形態とこれを各種条件に応じて最適設計する手法を開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① 山田昇, 中村慎吾, 佐藤裕也, プリズムアレイシートを組み合わせたプリズム集光器の集光特性, 太陽エネルギー, Vol.35, No.1, pp.57-64, 2009年, 査読有
- ② 山田昇, 小川敬久, 進化的アルゴリズムによる集光PV用プリズムアレイシートの最適設計, 太陽エネルギー, Vol.35, No.2, pp.53-60, 2009年, 査読有

〔学会発表〕(計1件)

- ①小川敬久, 山田昇, 遺伝的アルゴリズムによる集光系の最適設計, 平成20年度日本太陽エネルギー学会・風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, pp.373-376 (2008).

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 昇 (NOBORU YAMADA)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号: 90321976