

機関番号：10106

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560204

研究課題名（和文） 植物のシュート形態を模擬した多方位ソーラー発電システムのコンパクト化に関する研究

研究課題名（英文） Study on miniaturization of a multiple-directions solar-power-generation system with a plant shot configuration

研究代表者

小原 伸哉 (OBARA SHINYA)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：10342437

研究成果の概要（和文）：植物のシュートモデルを模擬して、太陽電池モジュールの配向と分散配置を工夫することで、設置スペースのコンパクト化を試みた。そこで、多種の植物シュート形態を、一日での日射受光量の最大化目的の下で最適化して、太陽電池モジュールの配置を計画した。数値実験の結果から、分裂葉を持つ植物シュートの受光面は、平板タイプの太陽電池モジュールに比べて設置スペースは大きく削減できることを明らかとした。

研究成果の概要（英文）：Miniaturization of the installation space was tried with thinking out the aspect and distribution of a solar cell module with a plant shot model. Consequently, various plant shoot configurations were optimized under the purpose of maximizing the received quantity of the solar radiation in a day, and arrangement of the solar cell module was planned. It showed clearly for the acceptance surface of a plant shoot with a division leaf to be able to reduce installation spaces largely from the results of numerical simulation compared with a flat plate type solar cell module.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：太陽電池，太陽光発電，植物シュート，集光装置，ふく射，再生可能エネルギー

1. 研究開始当初の背景

これまでに普及している太陽光発電システムでは屋根や建材に設置するタイプが多く、大きな発電量を得るには広い設置面積を要していた。さらに、時間とともに移動する太陽を追尾することが難しく、また、単結晶・多結晶の太陽電池モジュールの発電効率は、モジュールの温度上昇に伴って低下する。例えば結晶系では、1℃上昇すると0.4～0.5%の効率低下が確認されている（三洋電機株式

会社ホームページ：
http://www.sanyo.co.jp/clean/solar/hit_j/module.html）。したがって、電力消費の多い夏期の発電効率は年間で最も低くなる（ただし、日照時間と日照量が多いので発電量が多い）。上で述べた各課題を解決するために、国内外では超薄型シリコン太陽電池の開発、CIS系薄膜太陽電池の開発、薄膜シリコン太陽電池の開発、色素増感太陽電池の開発、有機薄膜太陽電池の研究を実施して、発電シス

テムの効率改善が試みられている（例えば、B. Dimmler and R. Wächter, Manufacturing and application of CIS solar modules, Thin Solid Films, 515(15), 2007, 5973-5978 など）

2. 研究の目的

生存競争を勝ち抜いてきた多様な植物形態の受光特性を模範にして、太陽光利用技術の高効率化を試みる。多くの植物は、すべてのエネルギーを光合成で得られる炭水化物に依存している。したがって、競争相手の多い森林では、多くの植物シュート（1本の茎の構成：通常は茎、葉枝、葉で構成される）の形態（葉の形、配置、配向など）は、光合成速度を最大にするようにデザインされていると考えられる。さらに、光が過剰で光化学系の損傷と葉での水分蒸発が過剰になる場合は、光合成速度の低下を避けるために、「主脈の折り曲げ」や「葉密度の偏分布」などにより採光量を調節している。そこで本研究では、植物シュートの形態と受光量の関係を数値解析および実験で調査して、植物シュートを模擬する太陽電池モジュールの分散配置を計画する。これにより、変化する太陽位置の全方向からの日射に有効（指向性が弱い）で、設置スペースが小さく、太陽電池モジュールの温度上昇を抑えることが可能な、特色のあるソーラー発電システムを提案する。

3. 研究の方法

(1) 植物シュートの受光量解析アルゴリズム (LAPS) の修正

これまでに開発した解析アルゴリズム (Shin'ya OBARA and Itaru TANNO Arrangement Analysis of Leaves Optimized on Photon Flux Density or Photosynthetic Rate, Journal of Computational Science and Technology) について、

- ① 任意の日の太陽軌道を入力できるようにした。
- ② 計算機内で植物のシュートモデルに放射する日射量を、実際の全天日射の大きさに従うように修正した。
- ③ モンテカルロ法の考え方(谷口博, 他4名, 放射伝熱解析, 1994年, コロナ社)を導入して、葉での日射の透過量の影響を考慮できるように改良した。

(2) 多様な植物シュートモデルの作成

自然界に見られる植物シュートの多様性は、受光量と強い関係にあると予想される(酒井聡樹, 植物のかたち, 2002年, 京都大学学術出版会)。そこで、特徴のある植物種のシュートを取り上げて、葉での受光量とシュート形態(葉の形, 大きさ, 配置, 配向など)について LAPS を用いて調査する。これ

までに不分裂葉(ハナミズキ)と分裂葉(イチョウ)の代表的な種を、解析プログラムで使用できるようにモデル化した。平成20年度は、掌状複葉と羽状複葉を中心にモデル化し、さらに三出複葉、二回三出複葉、二回羽状複葉、鳥足状複葉の代表的な種についてもモデル化を行った。

(3) 数値解析

遺伝的アルゴリズム(伊庭 斉志, 遺伝的アルゴリズムの基礎, 1994年オーム社)で使用する染色体モデルは、解析精度を考慮すると、1変数あたり10ビットで6変数以上を要する。また、これまでの試行錯誤から、個体数は5,000以上で世代数は50以上の計算を要する。さらに解析プログラムでは、モンテカルロ法を用いて太陽光線を多くの粒子(1回の演算に100,000粒子程度)を模擬した。

(4) 植物シュートを模擬した受光面の受光量試験
夏季の太陽の位置は、仰角・方位角共に移動範囲が広い。一方、冬季では仰角・方位角の移動範囲が狭いことから、植物シュートで日射を最大に受ける最適形態は、受光面(葉)の仰角が小さくなるように配置される。ただし受光面が複数ある場合、重なりを避けるために方位角を広くとるように配置される結果も予想される。このような特徴を持つシュート形態の受光量を、光学的な実験から見積もった。この試験では、前年度に数値実験で調査した多様な植物のシュート形態と、受光量及び指向性の関係を、受光面の照度を測定して明らかにした。

(5) 設置スペースのコンパクト化に関する評価

数値実験で得た、植物シュート形態の最適解に基づいて、受光面を分散配置したときのソーラー発電システムについて、設置スペースを評価した。また、従来の平板タイプの太陽電池モジュールの設置スペースと比較して優劣を明らかにした。

(6) 受光面の温度抑制効果に関する実験

数値実験で確認した、「主脈の折り曲げ」や「葉密度の偏分布」による受光面の温度上昇の抑制効果を、受光面の表面温度と照度の測定実験で確認した。この結果から、既製の結晶型太陽電池モジュールを分散配置する場合の、発電効率の低下量を見積もった。

4. 研究成果

太陽電池モジュールの配向を、植物のシュートモデルを模擬して分散配置することで、ソーラー発電システムの効率改善と設置スペースのコンパクト化を試みた。そこで、多種の植物シュート形態を数値解析により最適化して、任意時刻での日射の受光に有効である太陽電池モジュールの分散配置について計画した。数値実験の結果から、分裂葉を

持つ植物シュートの受光面は、平板タイプの太陽電池モジュールに比べて設置スペースは大きく削減できることを明らかとした。この大きな理由は、太陽位置に影響を受けにくい、指向性の小さな受光面の配置を計画できたからであると考えられる。さらに、上で述べた研究成果により、分散電源、分散電源網（マイクログリッド）、水電解槽を用いた水素生成を伴う燃料電池住宅の考察を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 28 件)

- ① Shin'ya OBARA, Power Generation Efficiency of an SOFC-PEFC Combined System with Time Shift utilization of SOFC Exhaust Heat, International Journal of Hydrogen Energy, 査読有, 35(2), 2010, 757-767
- ② Abeer Galal El-Sayed, Shin'ya OBARA, Power Generation Efficiency of Photovoltaics and a SOFC-PEFC Combined Micro-grid with Time Shift Utilization of the SOFC Exhaust Heat, Journal of Power and Energy Systems, 査読有, 4(2), 2010, 274-289.
- ③ Shin'ya OBARA, Abeer Galal El-Sayed, Analysis of the Overall Efficiency of a PEFC with a Bioethanol Solar Reforming System for Individual Houses, Simulation modeling Practice and Theory, 査読有, 19, 2010, 1175-1184.
- ④ Shin'ya OBARA, Development of an Operation Control System of Photovoltaics and Electric Storage Heater for Houses Based on Information in Weather Forecasts, Journal of Power and Energy Systems, 査読有, 4(2), 2010, 301-314.
- ⑤ Shin'ya OBARA, Development of a Hybrid Compressed Gas Engine/PEFC Power System Using the Dissociation Expansion Characteristics of Gas Hydrate, International Journal of Hydrogen Energy, 査読有, 35(19), 2010, 10604-10612.
- ⑥ Shin'ya OBARA, Study of the Light Received Characteristics of a Plant-Shoot-Condensing System with Simple Leaves or Lobed Leaves, Journal of Thermal Science and Technology, 査読有, 4(1), 2009, 41-52.
- ⑦ Shin'ya OBARA, Study of a Water Electrolysis System using a Compact Solar Cell Module with a Plant Shoot Configuration, International Journal of Hydrogen Energy, 査読有, 35(1), 2009, 26-36.
- ⑧ Shin'ya OBARA, Efficiency Analysis of a combined PEFC and Bioethanol-Solar-Reforming System for Individual Houses, International Journal of Energy Research, 査読有, 34, 2009, 594-608
- ⑨ 小原伸哉, 数値気象情報による発電量予測を伴う太陽光発電-燃料電池複合マイクログリッドの運用計画, 空気調和・衛生工学会論文集, 査読有, 154, 2009, 31-41
- ⑩ Abeer Galal El-Sayed, Shin'ya OBARA, Energy Supply Characteristic of the Solar Cell and Diesel Engine Combined System with a Prediction Algorithm of Solar Power Generation, Journal of Power and Energy Systems, 査読有, 4(1), 2009, 27-38
- ⑪ Shin'ya OBARA, Abeer Galal El-Sayed, Compound Microgrid Installation Operation Planning of a PEFC and Photovoltaics with Prediction of Electricity Production Using GA and Numerical Weather Information, International Journal of Hydrogen Energy, 査読有, 34(19), 2009, 8213-8222
- ⑫ Shin'ya OBARA, Influence of Diffused Solar Radiation on the Solar Concentrating System of a Plant Shoot Configuration, of Thermal Science and Technology, 査読有, 4(2), 2009, 272-283
- ⑬ Shin'ya OBARA, Hydrogen Production Characteristics of a Bioethanol Solar Reforming System with Solar Insolation Fluctuations, International Journal of Hydrogen Energy, 査読有, 34(13), 2009, 5347-5356
- ⑭ Shin'ya OBARA, Study on the Light Receiving Characteristics of a Compact Solar Power Generation System with a Plant Shoot Shape, Journal of Mechanical Science and Technology, 査読有, 23(7), 2009, 1801-1807
- ⑮ Shin'ya OBARA, Study of the Light Received Characteristics of a Plant-Shoot-Condensing System with Simple Leaves or Lobed Leaves, Journal of Thermal Science and Technology, 査読有, 4(1), 2009, 41-52
- ⑯ Shin'ya OBARA, Itaru TANNO, Taichiro SHIRATORI, Light - Receiving Characteristics of a Distributed Solar

Module with a Plant Shoot Configuration, Renewable Energy, 査読有, 34(5), 2009, 1210-1226

[学会発表] (計 25 件)

- ① Shin'ya Obara, Abeer Galal El-Sayed, Developments of Residential-Energy Supply System Using a Plant Shoot Solar Cell and Water Electrolyzer, Sustainable Energy and Environmental Protection (SEEP 2010), 2010 年 7 月 1 日, Bari, Italy.
- ② Shin'ya Obara Developments of a Fuel Cell Micro-Grid Technology, 9th International Symposium on Advances in Electrochemical Science and Technology (ISAEST-9), 2010 年 12 月 3 日, Chennai, India
- ③ Shin'ya Obara, Abeer Galal El-Sayed, Power Generation Efficiency of Photovoltaics and a SOFC-PEFC Combined Micro-grid with Time Shift Utilization of the SOFC Exhaust Heat, Going Green Care Innovation conference, 2010 年 11 月 10 日, Vienna, Austria
- ④ Abeer Galal El-Sayed, Shin'ya Obara, Power Generation Efficiency of Photovoltaics and a SOFC-PEFC Combined Micro-grid with Time Shift Utilization of the SOFC Exhaust Heat, International Power Electronics Conference, 2010 年 6 月 22 日, Sapporo, Japan
- ⑤ Shin'ya Obara, Development of a Nature Grid for Cold and Snowy Areas, IEEE AP-S Japan Chapter Special Talk, 2010 年 7 月 22 日, Kitami, Japan
- ⑥ 松山亮, 小原伸哉, 太陽光発電を設置したオール電化住宅の気象予測を用いた室温制御に関する研究, 空調衛生学会第 45 回北海道支部講演会, 2011 年 3 月 17 日,

札幌市

- ⑦ 今野孝哉, 仲村宏一, 小原伸哉, 住宅用太陽光発電の電気二重層キャパシタによる負荷平準化, 2010 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2010 年 10 月 24 日, 札幌市
- ⑧ 松山亮, 小原伸哉, 仲村宏一 太陽光発電を伴う気象予測情報に基づく住宅用電気蓄熱ヒーターの運用制御に関する研究, 2010 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会 2010 年 10 月 24 日, 札幌市
- ⑨ 小原伸哉, 気象予測情報を用いた自然エネルギー利用システムの運用最適化, 特定非営利活動法人 環境・エネルギー技術開発協会, 第 2 回研究会, 2010 年 6 月 25 日, 札幌市
- ⑩ Abeer Galal El-Sayed, Shin'ya OBARA, Operation Plan of the Microgrid Linked to a Photovoltaic with the Power Prediction Method by a Neural Network Using the Numerical Information, The 7th International Symposium on Environmentally Conscious Design & Inverse Manufacturing, 2009 年 12 月 7 日, Sapporo.

[図書] (計 2 件)

Shin'ya OBARA, Arif Hepbasli, Royal Society of Chemistry, RSC Publishing, Cambridge, UK., Compound Energy Systems: Optimal Operation Methods (RSC Energy Series), 2010, 268.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小原 伸哉 (OBARA SHINYA)
北見工業大学・工学部・教授
研究者番号: 10342437