

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 19日現在

機関番号：10106

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651059

研究課題名（和文）植物進化の環境適応形態を模擬したコンパクト受光システムの開発

研究課題名（英文）Development of a compact light received system with the adaptation-to-environment configuration of plant development

研究代表者

小原 伸哉 (OBARA SHIN'YA)

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）：環境に適した植物の多様な形態と受光密度の関係を数値実験で調査して、これを模擬した受光システムの分散配置を計画した。また、環境条件（全天日射量、直達光と拡散光の割合、外気温度、風や降雨量、積雪量、他の物体による影など）を考慮した、受光密度の最大化目的下での最適な受光体の分散配置の計画、すなわちコンパクトな受光システムを達成した。

研究成果の概要（英文）：The relation between the various configurations of a plant suitable for environment and euphotic density was investigated by numerical simulation, and distribution of the euphotic system which simulated this was planned. Moreover, the plan of distribution of the optimal light received object under the purpose of maximizing euphotic density attained the compact light received system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境技術・環境材料

キーワード：環境負荷低減技術

1. 研究開始当初の背景

葉の形態と光合成速度の関係を調査するために、モンテカルロ法および遺伝的アルゴリズム (GA) を導入した、「植物シュートの受光量解析アルゴリズム (LAPS)」を開発している (Shin'ya OBARA and Itaru TANNO, Arrangement Analysis of Leaves Optimized on Photon Flux Density or Photosynthetic Rate, Journal of Computational Science and Technology, JSME, Vol. 2, No. 1, 2008, pp. 118-129.)。様々な植物の葉の形と受光量の関係について調査を行ったが、分裂葉で受光密度が大きいなどの、これまでに良くわかっていない情報が多く得られた。これらの研究から、植物形態と受光量の間には密接な関係があることを確認しており、本研究に至った。

2. 研究の目的

現在普及している太陽電池モジュールなどの受光体は、大きな受光量を得るのに広い設置面積を要する。そこで本研究では、環境に適した植物の多様な形態と受光密度の関係を数値実験で調査して、これを模擬した受光システムの分散配置を計画する。応募者は、葉の形態と光合成速度の関係を調査するために、モンテカルロ法および遺伝的アルゴリズムを用いた、植物シュートの受光量解析アルゴリズムを過去に開発した。本研究では、さらに現実に近い高等な植物の形態を模擬するために、複雑な分岐構造を記述できる L-System の考え方を導入する。これにより、環境条件（全天日射量、直達光と拡散光の割合、外気温度、風や降雨量、積雪量、他の物

体による影など)を考慮した、受光密度の最大化目的下での最適な受光体の分散配置の計画、すなわちコンパクトな受光システムを達成する。

3. 研究の方法

①年間を通じた気象条件(全天日射量, 直達光と拡散光の割合, 外気温度, 風や降雨量, 積雪量など)と, その他の条件(他の物体による影など)の影響と, ②L-Systemによる植物の成長を模擬する枝の分岐計算の考え方を取り入れた, 設置場所の環境に最適な形態の調査, を解析できるように修正を加えた。また, これまでに単葉と分裂葉について調査したので, この年度はさらに③三出複葉, 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植物シュートモデルを作成した。

4. 研究成果

太陽光電池などの一般に普及している受光システムでは, 大きな受光量を得るには広い設置面積を要する。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, モジュールの温度上昇に伴って効率は低下する。本研究では, 太陽電池に代表される受光システムの配向を, 植物形態を模擬して分散配置することでコンパクト化を試みた。植物シュートの受光量と光合成速度の関係は, これまでもいくつかの研究報告がある(例えば, H. Muraoka, et. al., Flexible leaf orientations of *Arisaema heterophyllum* maximize light capture in a forest understorey and avoid excess irradiance at a deforested site, *Annals of Botany*, 82, 1998, 297-307.)。しかしながら, 環境に適した形態に進化した植物の特徴を模擬した, 受光システムの開発は著者らが一部を実施しているだけであった。

そこで応募者らはこれまでに, 葉の形態と光合成速度の関係を調査するために, モンテカルロ法および遺伝的アルゴリズム(GA)を導入した, 「植物シュートの受光量解析アルゴリズム(LAPS)」を開発している(Shin'ya OBARA and Itaru TANNO, Arrangement Analysis of Leaves Optimized on Photon Flux Density or Photosynthetic Rate, *Journal of Computational Science and Technology*, JSME, Vol. 2, No. 1, 2008, pp. 118-129.)。様々な植物の葉の形と受光量の関係について調査を行ったが, 分裂葉で受光密度が大きいなどの, これまでに良くわかっていない情報が多く得られた。これらの研究から, 植物形態と受光量の間には密接な関係があることを確認しており, 本研究課題の着想に至っている。

本研究の事前研究では, 前に述べた LAPS

を大幅に進めて, モンテカルロ法による光源の放射位置の決定と遺伝的アルゴリズムによる植物シュート(葉, 葉枝, 茎の構成)の最適配置の探索方法の開発ほかに, 光線追跡法による分散配置された各葉での光の吸収量・透過量・散乱反射量の解析, それらの波長バンド毎による計算, 光合成色素の組み合わせを考慮した波長依存性の吸収率の導入, 直達光と拡散光の割合と受光量の影響などを解明した(Influence of Diffused Solar Radiation on the Solar Concentrating System of a Plant Shoot Configuration, Shin'ya OBARA, *Journal of Thermal Science and Technology*, JSME, Vol. 4, No.2, 2009, pp. 272-283.)。これにより, 例えばケナフモデルの, 他にはない成長の早さ(バイオマスの製造速度が速い)と受光密度の関係を明らかにすることができた。

さらに本提案課題では, ①システムを設置する環境依存性を考慮した解析方法を開発すること, および, ②現実に近い高等な植物の形態を模擬するために, 複雑な分岐構造を記述できる L-System を導入することで, 応募者の開発した原理を発展させた。このうちの L-System については, そのままでは受光量の影響は一切考慮されていないものの, 解析事例(Takashi Ijiri, Shigeru Owada, Takeo Igarashi "Sketch L-System: Global Control of Tree Modeling Using Free-form Stroke", 6th International Symposium SmartGraphics 2006, Vancouver, Canada, July 23-25, 2006, pp. 138-146.)のように, 応募者が研究している植物形態モデルをより複雑で現実的にすることができる。L-Systemに多くの解析条件を与えて, 植物形態を最適化することで, 環境条件(全天日射量, 直達光と拡散光の割合, 外気温度, 風や降雨量, 積雪量, 他の物体による影など)を考慮した, 受光密度の最大化目的の下で, 受光システムの最適な分散配置を得ることができるようになった。

また, これまでに開発した解析アルゴリズム(LAPS)について, ①年間を通じた気象条件(全天日射量, 直達光と拡散光の割合, 外気温度, 風や降雨量, 積雪量など)と, その他の条件(他の物体による影など)の影響と, ②L-Systemによる植物の成長を模擬する枝の分岐計算の考え方を取り入れた, 設置場所の環境に最適な形態の調査, を解析できるように修正を加えた。さらに, これまでに単葉と分裂葉について調査したので, この年度はさらに③三出複葉, 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植物シュートモデルの作成を行った。これらのモデルに対して, ①植物シュートを模擬した受光面の受光量試験, ②設置スペースのコンパクト化に関する評価, ③受光面の温度抑制効

果に関する実験を行い、研究成果を学術講演会、国際会議、論文、などの媒体を通して広く公表した。

平成 23 年度には、①モデル化を効率良く実施するために、3D-CAD ソフトおよびモデリング用ソフトを導入して、多様な植物シュートモデルを作成した。さらに、②高スペック（並列処理）の計算用コンピュータにより、受光量解析アルゴリズムの開発と数値解析に関して、解析精度を維持したままサンプルの処理回数を増やすことに成功した。また、植物シュートを模擬した受光面の受光量試験の準備を行い、国内の学術講演を 1 件発表した。

平成 24 年度には、①簡単な光源、デジタルカメラ、データ収集用データロガー、照度測定器、受光量試験装置の材料を準備して、植物シュートを模擬した受光面の受光量試験を実施した。さらに、②温度センサ、温度記録用データロガーを準備して、設置スペースのコンパクト化、および受光面の温度抑制効果に関する実験を実施した。本研究の成果を学術講演会、国際会議、論文等で発表した。以下に、本研究の成果についてまとめる。

(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 (Light-receiving Characteristics of a Distributed Solar Module with a Plant Shoot Configuration, Shin'ya OBARA, Itaru TANNO and Taichiro SHIRATORI, Renewable Energy, Vol. 34, No. 5, 2009, pp. 1210-1226.) では、単葉と分裂葉を 4~10 枚用いた受光システムの特性を調査した。さらに、このアルゴリズムを発展させることで、ケナフの個体の受光特性を調査できるに至った (Characteristics of the Light Reception Systems Concerning a Kenaf Individual Model, Shin'ya OBARA, 2008, Journal of Thermal Science and Technology, JSME, Vol. 3, No. 3, 2008, pp. 511-522.)。本研究では、新たに以下のアルゴリズムを加えることで、より複雑で現実的な、多様な植物形態の受光特性を調査できるように試みた。この結果、以下の成果を得た。

①年間を通じた気象条件（全天日射量、直達光と拡散光の割合、外気温度、風や降雨量、積雪量など）と、その他の条件（他の物体による影など）の影響を解析できるように修正した。

②L-System により、植物の成長を模擬する枝の分岐計算の考え方を参考にして、与えられた環境条件の下で、最適な植物形態を解析できるように修正した。

(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。これまでに単葉と分裂葉の代表的な種を、解析プログラムで使用できるようにモデル化した。さらに、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えるようにした。

(3) 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葉の最適分散配置と、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。

(4) 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。

(5) 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。

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 2 件)

(1) Shin'ya Obara, Osamu Kawae, Masahito Kawai, Yuta Morizane, The Facility Planning and Electric Power Quality of the Saroma Lake Green Microgrid by the Interconnection of Tidal Power Generation,

PV and SOFC, Journal of Power and Energy Systems, JSME, Vol. 7, No. 1, 2013, 1-17.
査読あり

〔学会発表〕(計8件)

(1) Eiichi Tanaka, Shin'ya Obara, Osamu Kawae, Shingo Nakai, Daisuke Konno, Proceedings of the 2nd International Conference on Energy Systems and Technologies (ICEST 2013), Development of a Plant Configuration Photoreceptor Optimized for the Objective of Maximizing Light-Received Quantity, Cairo, Egypt, (2013年2月20日)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kit-power-engineering-lab.jp/paper.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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