

平成 22 年 5 月 11 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18380147

研究課題名（和文）分光エネルギー分布制御型発光ダイオード擬似太陽光光源の開発

研究課題名（英文）Design and development of an LED-artificial sunlight source system capable of controlling spectral power distribution

研究代表者

富士原 和宏 (FUJIWARA KAZUHIRO)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：30211535

研究成果の概要：地表面における太陽光の分光エネルギー分布（光のスペクトル）に近い光を基準光として照射可能であり，かつピーク波長の異なる複数種の発光ダイオードへの印加電圧をそれぞれ調節することにより，光生物学研究において重要な波長範囲について分光エネルギー分布を任意にかつ動的に制御できるような世界初の光源システムを開発した。本光源システムは，照射面積に制限はあるものの，従来作出不可能であった多様な光環境を高い再現性を担保しながら作出できることから，光生物学研究の発展に貢献しうるものである。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2007年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：発光ダイオード，分光分布，太陽光，人工光源，光生物学研究

1. 研究開始当初の背景

現在普遍的とさえ考えられている光に対する生物の応答（以後，光応答）の多くは，厳密な分光エネルギー分布（以後，分光分布）制御が行われていない実験によって得られたものが多い。少なくとも 1990 年以前の研究論文では，光源として白熱電球，蛍光灯，メタルハライドランプなどの広波長範囲の光を放射する光源を，着色フィルムや光学フィルター（バンドカット/バンドパスフィル

ター）などと組み合わせて用いている。その結果，青色光照射区と称する試験区にも若干の赤色光が混合されていたり，各試験区の分光分布の再現自体が困難であったりするもの（例えば，Karlsson (1986) *Physiol. Plant.* 66(2)）がほとんどである。またこれまでは，一定の分光分布下における生物の応答を調べる研究がほとんどであり，明期における分光分布を時間とともに任意に変化させて生物の応答を調べたような研究は見あたらな

い。これは単に、これまで分光分布を動的に制御可能な研究用の光源が存在しなかったからである。そのような光応答研究を実施可能とするには、分光分布を自由に設定した照射光を作出可能で、またその照射光の分光分布を自由に時間変化させることが可能であり、なおかつ作出された照射光の分光分布の再現性を保証しうるような光源システムを用いる以外にはない。

2. 研究の目的

これまで、作出することが不可能あるいは困難であった分光分布を作出して、従来検討されることのなかった分光分布に対する生物の応答を調べることを可能とする光源、すなわち分光分布制御型の擬似太陽光光源システム（以後、単に光源システム）を開発する。そのような光源システムを開発することができれば、光応答研究を高い再現性を保証して厳密に行える。なお、太陽光の分光分布に近い光を照射可能とするのは、生物の光応答に関する研究成果を実用的な生物生産に役立てようとする、太陽光の分光分布を基準として、それに何らかの波長範囲の光を加えた、あるいは減じた場合の応答が重要な知見になると考えたからである。

3. 研究の方法

本研究は、平成 15～16 年度に実施した科学研究費補助金萌芽研究「波長組成可変制御型の発光ダイオード擬似太陽光光源システムの開発」の成果として製作されたプロトタイプをベースとして、光生物学研究用として必要十分な機能・使い勝手を有する擬似太陽光光源システムを開発しようとするものであった。その開発の中心的な内容は以下の通りである。

(1) 地表面太陽光の 1/2 強度の分光放射照度を作出するための光源ユニット開発

第一に、使用する 32 種類のピーク波長 LED について市販の LED の中から最も高輝度な LED を選定し直した。このとき、LED の最短のピーク波長は 385 nm、最長のピーク波長は 910 nm とした。その他の LED については、両波長間を可能な限り等間隔に補えるようなピーク波長のものを選定した。これにより、可視光線全体と近赤外線の一部までにあたる 380 nm から 940 nm 程度の波長範囲をカバーできるようになった。

第二に、LED 設置基板の発光部側表面を高反射率の非電導性資材で被覆することで、基板背面側への透過光を大幅に低減し、作出された光が最終的に得られる照射口への到達量増大を行った。

第三に、内面を銀メッキした集光・混光用円錐筒（円錐の先端を切り取った形状；以後、

集光混光筒）を改良し、各ピーク波長 LED からの照射光の照射口への到達率を高めた。これを LED モジュール（太陽光に近い波長組成を作出するよう決定された各ピーク波長 LED の設置個数比に従って、基板に LED が設置されたもの）に装着して、光源ユニットとした。

なお、太陽光に大略近い波長組成を照射する LED モジュールは、次のようにして製作した。まず、各ピーク波長 LED 1 個にそれぞれ定格電圧を印加して分光エネルギー分布を計測し、次に、その LED の分光エネルギー分布計測値を基に、一枚の基板に設置すべき各ピーク波長の LED 個数の設置個数比を決定した。最後に、この設置個数比に従って基板上に各ピーク波長 LED を最外周の LED の描く形状が六角形になるよう設置し、LED モジュールとした。その設置においては光度の小さい LED を中心に近い位置に配置した。完成した LED モジュールの LED 設置部の六角形の一边は 66 mm であり、計 547 個の LED を設置した。また、作出された光が得られる照射口の直径は 30 mm とした。

(2) LED モジュールの基板のプリント複層板化

32 種類の LED を合計で 547 個用いているため、配線が基板の片側のみでは製作困難となったことに加えて、(3) で述べる冷却装置を基板背面に装着する必要があったため、LED モジュールの基板をプリント複層板とした。

(3) 発熱による分光エネルギー分布の変動を抑制するためのペルチェ冷却装置の装着

LED モジュールの基板背面に能動的に放熱を行うためペルチェ冷却装置を装着した。また、基板とペルチェ冷却装置の間には 2 枚の熱伝導シートを挟み、またその 2 枚の熱伝導シートの間には熱電対を挟み込んだ。熱電対、温調器、ペルチェ冷却装置、ペルチェ冷却装置への電源供給用電源で、基板背面の温度を自動制御するシステムを構築することで、発熱による分光エネルギー分布の変動を抑制した。

(4) 電源システムの構成

各ピーク波長 LED へ電力供給する電源システムは、32 のピーク波長 LED にそれぞれ電力供給する 32 台の直流電源装置、4 台の直流電源制御装置、およびそれらの支持構造材であるラックからなる一式とした。

(5) 照射口おける分光放射照度の制御

照射口おける分光放射照度（以後、光源照射光 SI）の制御は、予め決定しておいた各ピーク波長 LED への印加電圧の値をノート型コンピュータのシリアルポート経由で直流電源制御装置に送り、それを介して直流電源装置により所定の電圧を各ピーク波長 LED に印加することで行うことにした。同じ

ピーク波長の LED には 1 台の直流電源装置で電圧を印加し、各ピーク波長 LED に独立して電圧制御する構成とした。

4. 研究成果

地表面における太陽光の分光分布に近い光を基準光として照射可能であり、かつ光生物学研究において重要な波長範囲について分光分布を任意にかつ動的に制御できるような世界初の光源システムを開発した。作出できる光の分光放射照度の最大値は、快晴日の地表面における太陽光の 3/4 ~ 1/2 程度であり、また照射面積も約 7 cm² と制限はあるものの、従来作出不可能であった多様な光環境を高い再現性を担保しながら作出できることから、光生物学研究の発展に貢献しうる光源システムといえる。

(1) 光源システムのハードウェア構成

光源システムのハードウェアは、プリント複層板上に LED を設置した LED モジュール (図 1) に、集光・混光筒を取り付けたものである光源ユニット (図 2)、および LED モジュールの各ピーク波長 LED への印加電圧を制御して光源照射光の分光放射束 [W nm⁻¹] (結果的に光照射口における分光放射照度 [W m⁻² nm⁻¹]) を制御する分光分布制御システム (直流電源装置、直流電源制御装置およびノート型コンピュータ) から成る (図 3)。

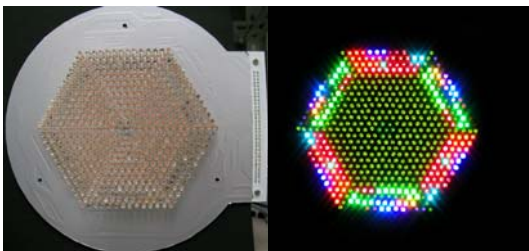


図 1 分光分布制御 LED 擬似太陽光光源システムの LED モジュール (左、未点灯) および点灯時の LED モジュール

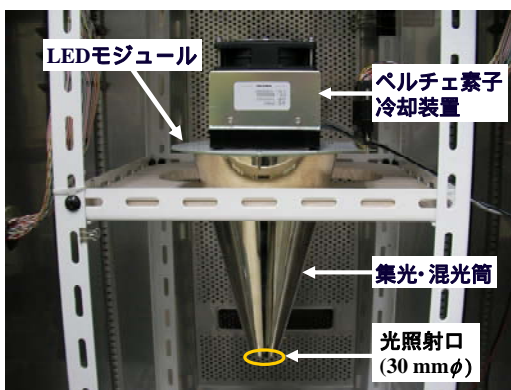


図 2 分光分布制御 LED 擬似太陽光光源システム光源ユニット (LED モジュールに集光・混光筒を取り付けたもの) にペルチェ素子冷却装置を設置した様子

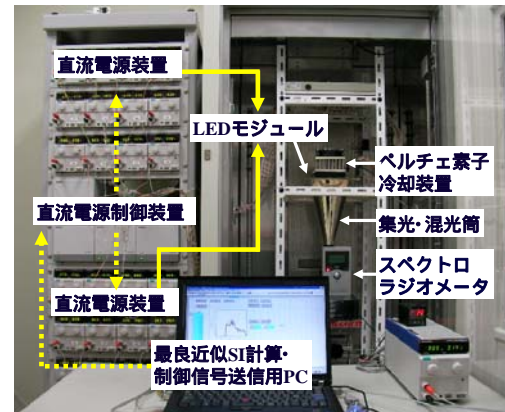


図 3 分光分布制御 LED 擬似太陽光光源システムの全景
黄色の点線は制御信号の流れを示し、黄色の実線は電力供給を示している

(2) 光源システムの動作試験

動作試験として、放射照度が東京都文京区の快晴日 (2009 年 9 月 24 日) の 8 時、10 時、12 時、14 時および 16 時における太陽光の約 1/3 である SI を作出するとともに、それらの時刻の SI をその順序で 3 秒間隔で連続して作出した。それぞれの時刻の光照射口 SI はそれぞれ目標 SI に近似していた (図 4)。この結果から、本光源システムは研究開始当初に設定した目標をほぼ達成しているといえる。

(3) 可搬型光源システムの開発

本光源システムの機能および有用性を広く社会にアピールするための一方策として、科学機器の展示会あるいは学会大会の展示会等において、実演・紹介用の可搬型光源システム (図 5) を開発した。この可搬型光源システムは、上述の光源システムの電源システムを簡素化するとともに、分光分布制御用のノート型コンピュータ (最良推定近似 SI 計算・制御信号送信用 PC) を省略した構成となっている。作出する光の分光分布の制御は、32 種類のピーク波長 LED に対応する 32 個の変抵抗器のボリュームを手動で設定することで行う。

(4) 第 2 世代光源システムの開発方向

本光源システムの実用システムと呼ぶべき第 2 世代光源システムでは、光照射口における分光放射照度は本光源システムの倍程度、光照射口面積も 5 倍程度以上となることが期待される。そのための中心的改良は、数種のピーク波長 LED の高出力 LED への入れ替えおよび光源ユニットの大型化および複数化となる。この第 2 世代光源システムが完成すれば、生物・植物個体を研究対象とする光生物学研究に広く適用可能となり、従来調査することのできなかった光環境における生物・植物個体の応答に関する新たな知見が数多く発見されるようになるものと考えられる。

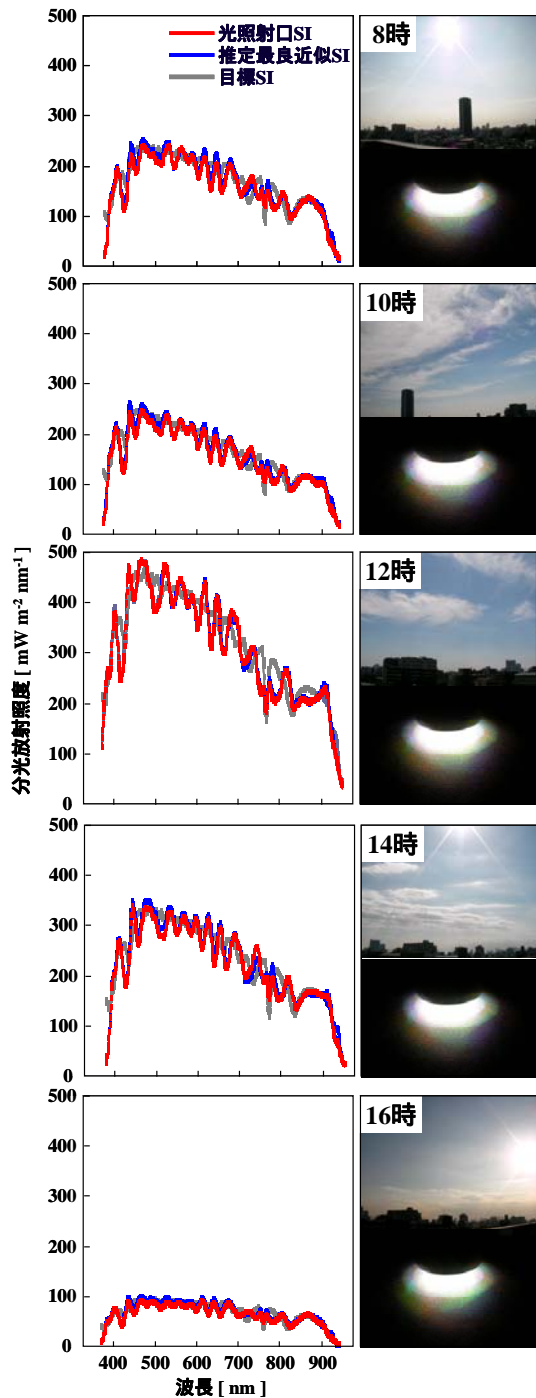


図4 東京都文京区の快晴日(2009年9月24日)8時, 10時, 12時, 14時および16時の地表面における太陽光の1/3である分光放射照度(目標SI; 灰色線), 日照射口におけるSIが目標SIに最も近似すると推定したSI(推定最良近似SI; 青線), および推定最良近似SIを与える電圧を各LEDに印加して作出した日照射口におけるSI(日照射口SI; 赤線) 各図の右の写真は, それぞれ, 上がその時刻の空の写真, 下が本光源システムにより作出された光の日照射口における写真

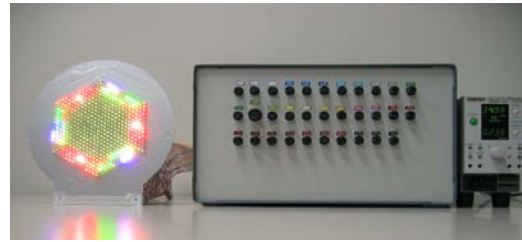


図5 展示会等での実演・紹介用可搬型光源システム 電源システムを簡素化するとともに, 最良推定近似分光放射照度計算・制御信号送信用のノート型コンピュータを省略した構成とし, 作出する光の分光分布の制御は, 32種類のピーク波長LEDに対応する32個の変抵抗器を手動で設定することにより行う

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)

Fujiwara, K., T. Sawada, S. Goda, Y. Ando and A. Yano, An LED-artificial sunlight source system available for light effects research in flower science. *Acta Hortic.* 755: 373-380. (2007) 査読有り

Fujiwara, K. and T. Sawada, Design and development of an LED-artificial sunlight source system prototype capable of controlling relative spectral power distribution. *J. Light & Visual Environ.* 30(3): 170-176. (2006) 査読有り

[学会発表](計 8 件)

Fujiwara, K., T. Asada, T. Sawada, A. Yano, Fourth Prototype of an LED- Artificial Sunlight Source System Capable of Controlling Spectral Power Distribution, 6th International Symposium on Light in Horticulture (Tsukuba; Oral) (2009)

Yano, A. and K. Fujiwara, Controllable Spectrum Portable Lighting System using LEDs with 32 Different Peak Wavelengths, 6th International Symposium on Light in Horticulture (Tsukuba; Poster) (2009)

Fujiwara, K., T. Sawada, S. Goda, Y. Ando and A. Yano, An LED-artificial sunlight source system available for light effects research in flower science. International symposium on quality management in supply chains of ornamentals (Bangkok, Thailand; Oral) (2007)

Fujiwara, K., T. Sawada, Development of an LED-artificial sunlight source system capable of controlling relative spectral power distribution. 27th International Horticultural

Congress & Exhibition (Seoul, Korea; Oral)
(2006)

〔図書〕(計 1 件)

富士原和宏(分担執筆), 光生物学研究に
利用可能な分光分布制御型 LED 擬似太陽
光光源システム, p.228-236. アグリフォト
ニクス, シーエムシー出版.(2008)

〔その他〕

(招待講演等 8 件)

Fujiwara, K., Recent research on the
utilization of LEDs for plant production,
storage and photobiological studies. The 2nd
Urban-type Plant Factory Symposium
(organized by the Reseach Society for
Urban-type Plant Factory), Suwon, Korea.
(2009)

富士原和宏, 光生物学研究用の分光分布
制御型 LED 擬似太陽光光源システム, 「グ
リーン・フォトニクス 2009」特別セミナー,
(株)オプトロニクス社主催 (2009)

富士原和宏, 分光分布制御型 LED 擬似太陽
光光源システム -第 4 号試作機の紹介-,
「平成 21 年度第 2 回フォトニックデバイ
ス・応用技術研究会」, (財)光産業技
術振興協会主催 (2009)

(商業誌・業界紙等 3 件)

富士原和宏, 分光分布を制御可能な発光
ダイオード擬似太陽光光源システム.
Zenis 日本の学問と研究. 創刊号. p.68-69.
(2009)

富士原和宏, 相対分光分布制御型 LED 擬
似太陽光光源システム. オプトニュース
154: p.21-23. (2009)

富士原和宏, 波長組成制御型発光ダイオ
ード擬似太陽光光源システム. バイオイ
ンダストリー 23(3): p.56-60. (2006)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

富士原 和宏 (FUJIWARA KAZUHIRO)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・
准教授
研究者番号: 30211535

(2) 研究分担者

谷野 章 (YANO AKIRA)
島根大学・生物資源科学部・准教授
研究者番号: 70292670

(3) 連携研究者

なし