

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6796578号  
(P6796578)

(45) 発行日 令和2年12月9日(2020.12.9)

(24) 登録日 令和2年11月18日(2020.11.18)

(51) Int.Cl.

F I

A O 1 G 7/00 (2006.01)

A O 1 G 7/00 6 O 1 C

請求項の数 13 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2017-503948 (P2017-503948)	(73) 特許権者	500074578
(86) (22) 出願日	平成27年7月21日 (2015.7.21)		シグニファイ ノース アメリカ コーポ
(65) 公表番号	特表2017-521087 (P2017-521087A)		レイション
(43) 公表日	平成29年8月3日 (2017.8.3)		アメリカ合衆国 ニュー ジャージー州
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/041236		08873 サマーセット フランクリン
(87) 国際公開番号	W02016/014456		スクエア ドライブ 200
(87) 国際公開日	平成28年1月28日 (2016.1.28)	(74) 代理人	100163821
審査請求日	平成30年7月19日 (2018.7.19)		弁理士 柴田 沙希子
(31) 優先権主張番号	62/027,049	(72) 発明者	グレイツァル, ブデンコ
(32) 優先日	平成26年7月21日 (2014.7.21)		アメリカ合衆国 ミネソタ州 55359
(33) 優先権主張国・地域又は機関			, オロノ, ルースラインリッジ 80
	米国 (US)	(72) 発明者	ペイン, ケビン
(31) 優先権主張番号	62/061,933		アメリカ合衆国 オハイオ州 44141
(32) 優先日	平成26年10月9日 (2014.10.9)		, ブレックスビル, オークハーストドライ
(33) 優先権主張国・地域又は機関			ヴ 7885
	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光合成電子伝達系を作動させるための光エンジンシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも1つの照明デバイスを備える、人工照明下で植物を成長させるための園芸システムにおいて、

前記少なくとも1つの照明デバイスが、前記少なくとも1つの照明デバイスによって放出される光を受け取るために、前記少なくとも1つの照明デバイスに対して離隔した関係で位置決めされる植物の色素のピーク吸収から20ナノメートル(NM)以内の波長で光を放出する第1の照明素子を有し、

前記第1の照明素子からの光が、第1、第2、第3、および第4の照明時間間隔中に放出され、第1の暗い時間間隔が、前記第1の照明時間間隔と前記第2の照明時間間隔との間に提供され、第2の暗い時間間隔が、前記第2の照明時間間隔と前記第3の照明時間間隔との間に提供され、第3の暗い時間間隔が、前記第3の照明時間間隔と前記第4の照明時間間隔との間に提供され、

前記第1の暗い時間間隔と前記第2の暗い時間間隔と前記第3の暗い時間間隔とが異なる時間量であることを特徴とする、園芸システム。

【請求項 2】

請求項1に記載の園芸システムにおいて、前記第1の照明素子が655NM~740NMの波長で光を放出することを特徴とする、園芸システム。

【請求項 3】

請求項1に記載の園芸システムにおいて、前記第1の照明素子が425NM~465N

Mの波長で光を放出することを特徴とする、園芸システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の園芸システムにおいて、植物の色素のピーク吸収から 20 nm 以内の波長で光を放出する第 2 の照明素子を有する少なくとも 1 つの照明デバイスをさらに備えることを特徴とする、園芸システム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の園芸システムにおいて、前記第 1 の照明素子が 655 nm ~ 740 nm の波長で光を放出し、前記第 2 の照明素子が 425 nm ~ 465 nm の波長で光を放出することを特徴とする、園芸システム。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の園芸システムにおいて、光合成の速度を上げるために、495 nm ~ 570 nm の範囲内の光を放出する第 2 の照明素子を有する少なくとも 1 つの照明デバイスをさらに備えることを特徴とする、園芸システム。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の園芸システムにおいて、前記第 2 の照明素子が、前記第 1 の照明素子の第 1 の暗い時間間隔または第 2 の暗い時間間隔中に光を放出することを特徴とする、園芸システム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の園芸システムにおいて、前記第 1 の照明素子が発光ダイオードであることを特徴とする、園芸システム。

【請求項 9】

請求項 5 に記載の園芸システムにおいて、光合成の速度を上げるために、495 ~ 570 nm の範囲内の光を放出する第 3 の照明素子を有する少なくとも 1 つの照明デバイスをさらに備えることを特徴とする、園芸システム。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の園芸システムにおいて、前記第 1、第 2、および第 3 の照明素子が同じ照明デバイスにおけるものであることを特徴とする、園芸システム。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の園芸システムにおいて、前記第 1、第 2、第 3、および第 4 の照明時間間隔が繰り返しサイクルであることを特徴とする、園芸システム。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の園芸システムにおいて、前記第 4 の照明時間間隔の後であって、次の第 1 の照明時間間隔の前に、第 4 の暗い時間間隔をさらに備えることを特徴とする、園芸システム。

【請求項 13】

人工照明下で植物を成長させる方法において、  
少なくとも 1 つの照明デバイスによって放出される光を受け取るために、前記少なくとも 1 つの照明デバイスに対して離隔した関係で植物を位置決めするステップであって、前記少なくとも 1 つの照明デバイスが第 1 の照明素子を有する、ステップと、

前記第 1 の照明素子が、前記植物の色素のピーク吸収から 20 ナノメートル (nm) 以内の波長で光を放出するステップと  
を含み、

前記第 1 の照明素子からの光が、第 1、第 2、第 3、および第 4 の照明時間間隔中に放出され、第 1 の暗い時間間隔が、前記第 1 の照明時間間隔と前記第 2 の照明時間間隔との間に提供され、第 2 の暗い時間間隔が、前記第 2 の照明時間間隔と前記第 3 の照明時間間隔との間に提供され、第 3 の暗い時間間隔が、前記第 3 の照明時間間隔と前記第 4 の照明時間間隔との間に提供され、

前記第 1 の暗い時間間隔と前記第 2 の暗い時間間隔と前記第 3 の暗い時間間隔とが異なる時間量であることを特徴とする、方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

## 【技術分野】

## 【0001】

## 優先権の主張

本出願は、2014年7月21日出願の「Light Sources Adapted to Spectral Sensitivity of Plants」という名称の米国仮特許出願第62/027,049号明細書、2014年10月9日出願の「Photonic Engine System for Actuating the Photosynthetic Electron Transport Chain」という名称の米国仮特許出願第62/061,933号明細書、および2015年1月13日出願の「Photonic Engine System for Actuating the Photosynthetic Electron Transport Chain」という名称の米国仮特許出願第62/102,637号明細書に対する優先権の利益を主張し、かつそれらに基づき、上記特許出願のそれぞれの優先権の利益が本明細書で主張され、それぞれの全体を参照により本明細書に援用する。

10

## 【0002】

本発明は、植物の成長に関する。より詳細には、本発明は、光合成を向上させるために植物に放射を当てる方法およびアセンブリに関する。

## 【背景技術】

## 【0003】

光合成プロセス中、植物が様々な周波数の光を吸収して光合成を生じさせることが当技術分野でよく知られている。特に、光合成有効放射（PAR）は、約400ナノメートル（nm）～700nmのスペクトル範囲内の放射である。また、最も豊富な植物色素であり、植物の代謝を司る色素であるクロロフィルが最も効率良く赤色および青色光を捕捉することが当技術分野でよく知られている。

20

## 【0004】

光合成中、植物中のクロロフィル色素は、光子を吸収して代謝プロセスを促進し、光子の他のエネルギーを放散する。同時に、赤/遠赤および青色/UV-AおよびUV-Bフォトセンサまたはフォトレセプタである他の色素が、植物の挙動および発育を調節するために化学的に反応する。したがって、赤色および青色のスペクトル光を提供することによって、植物は、より高速で成長することが示されている。

30

## 【0005】

さらに、植物が代謝回転時間または暗い時間を必要とすることも当技術分野で知られている。特に、色素が光子を受け取って代謝プロセスを受けているとき、色素は、追加の光子を受け取ることができない。それでも追加の光子が植物に衝突するとき、色素は引き続き代謝を試み、それにより、植物を緊張させて疲労させる。特に、光障害は、光によって植物の光合成能力の減少が引き起こされる、すなわち光によって光化学系II（PSII）に対するダメージが引き起こされる現象である。光化学系IIは、光強度に関係なく光によってダメージを受け、（より高等な植物の典型的な葉での）ダメージを及ぼす反応の量子収量は $10^{-8}$ ～ $10^{-7}$ の範囲内である。1つのPSII複合体が、捕捉された1000万～1億個の光子ごとにダメージを受け、したがって、すべての光強度で光障害が生じ、光障害の速度定数は、ジュール/平方メートル単位で測定される植物のフルエンスまたは放射露光量に正比例する。光電子移動の効率は、ダメージの速度がその修復の速度を超えるときにのみ顕著に減少する。修復は、PSIIタンパク質合成を必要とする。

40

## 【0006】

二次的なダメージは、光合成装置が、酸素生成またはCO<sub>2</sub>固定のプロセスで効率的に利用することができない光子を吸収するときに生じる。余剰の光子のエネルギーは、非同化光化学物質によって放散され、その大きさは、光合成複合体の能力を超えて光強度と共に線形に増加することが予想される。余剰の光子は、反応性酸素種（ROS）を生成することによって酸化ストレスをもたらす。低い光レベルでは、ROSのレベルは、ROS消毒酵素（スーパーオキシドディスムターゼ、アスコルビン酸ペルオキシダーゼ）および複

50

数の酸化防止剤（ - カロチン、 - トコフェロール）を含む酸化防止系によってサポート可能なレベルに減少させることができる。しかし、ROSの生成が加速され、高レベルのROSが大きい酸化ストレスを生じる。ROSは、PSIIへのフォトダメージを加速させず、代わりにPSIIの修復を阻害する。

#### 【発明の概要】

##### 【0007】

したがって、本発明の基本的な目的は、光源を使用して植物の成長特性を高めることである。本発明の別の目的は、植物の成長を向上させる費用対効果の高い照明を提供することである。本発明のさらに別の目的は、複数の植物に関して使用される照明アセンブリを提供することである。これらおよび他の目的、特徴、および利点は、本明細書の残りの部分から明らかになるであろう。

10

##### 【0008】

人工照明素子を有する、人工照明下で植物を成長させるための園芸システムであり、人工照明素子は、植物の色素のピーク吸収から20nm以内の波長で光を放出する。照明素子は、放出された光が光合成のために植物によって吸収されるように、植物に対して離隔した関係で配置される。さらに、照明素子がパルスされて、所定の明暗時間間隔を提供し、これらの時間間隔は同期せず、光合成電子伝達系の代謝回転時間に比例する暗い時間間隔を提供する。追加の照明素子も使用され、この照明素子も同様に、植物の色素のピーク吸収から20nm以内の波長で、やはり光合成電子伝達系の代謝回転時間に比例してパルスされた光を放出して、植物の成長に影響を及ぼす。

20

##### 【0009】

この概要は、本特許出願の主題の概要を提供することが意図されている。本発明の排他的または網羅的な説明を提供することは意図されていない。詳細な説明は、本特許出願に関するさらなる情報を提供するために含まれる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0010】

必ずしも正しい縮尺では描かれていない図面中、同様の番号は、異なる図において同様の構成要素を表すことがある。異なる添字を有する同様の番号は、同様の構成要素の異なる例を表すことがある。図面は、一般に例として、限定することなく、本明細書で論じる様々な実施形態を示す。

30

##### 【0011】

【図1】図1は、植物生命体を成長させるための制御された環境内での照明アセンブリの斜視側面図である。

【図2】図2は、植物生命体を成長させるための照明アセンブリのブロック図である。

【図3】図3は、植物生命体を成長させるための照明アセンブリのトレイの上面図である。

【図4】図4は、植物生命体を成長させるための照明アセンブリ用の回路の概略図である。

【図5】図5は、様々な波長にわたるクロロフィルA、クロロフィルB、およびカロテノイドによって吸収される光の量を示すグラフである。

40

【図6】図6は、植物生命体を成長させるための照明アセンブリ用の回路の概略図である。

【図7】図7は、図6の回路に関する電圧および入力電流に関する波形を示すグラフである。

【図8】図8は、園芸システム用の照明デバイスの回路の概略図である。

【図9】図9は、図8の様々な照明素子に関する、時間の関数として入力電圧を示すグラフである。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0012】

本発明は、光合成中に生じる化学反応に焦点を当て、光合成反応を効率的に生じ、望ま

50

しくない光障害を最小限にするためのエンジンとして光を使用する。光障害は、光合成の光化学反応を最終的には一時的に障害して遅らせることになる副光化学反応により生じる。

#### 【0013】

光合成中、2つの複合体、すなわち、光化学系Iおよび主として光化学系IIが、シトクロム  $f$  と反応するための光合成電子伝達系 (P E T C) を提供して、水の酸化、ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリッ酸 ( $N A D P^{+}$ ) の還元、およびアデノシントリフォスファート ( $A T P$ ) の生成をもたらす。アデノシントリホスファート ( $A T P$ ) は、細胞を帯電状態で保つことを司り、植物と動物との両方の生命のエネルギー通貨 (energy currency) としても知られている化学物質である。

10

#### 【0014】

科学者らは、光化学系II (P S I I) が、この光化学反応を生じるために光による反応を受ける重要な複合体であると判断している。特に、光化学系II複合体は、一次キノン  $Q_A$  および二次キノン  $Q_B$  を有する連結したD1 - ポリペプチドおよびD2 - ポリペプチドを含む。D1 - ポリペプチドは、二次キノン受容体  $Q_B$  に結合すると共に、一次電子供与体および受容体、すなわちP680およびフェオフィチンのための結合部位も有する。P680は、最適には680 nmで光を吸収する2つのクロロフィルa分子から形成される。また、D1 - ポリペプチドは、マンガン錯体  $M N_4 C a$  と  $P 6 8 0^{+} / P h e o^{+}$  ラジカル対状態との間のレドックス中間体であるチロシン残基も有する。また、D1 - ポリペプチドは、P680およびマンガン錯体と共に非ヘム鉄 (Fe) をD2 - ポリペプチドと共有する。また、光化学系II複合体を形成しているのは、シトクロム  $b_{559}$ 、集光性クロロフィルC P 43およびC P 47、 $\beta$ -カロチン、ならびに表在性タンパク質16、23、および33である。

20

#### 【0015】

光が光化学系IIに衝突すると、光がP680と反応して光活性化させ、水分子から4つの電子が取り出される。具体的には、P680は、電子をフェオフィチンに移動させる。この時点で、P680に正電荷が生成されて  $P 6 8 0^{+}$  を提供し、 $P 6 8 0^{+}$  は、マンガンに結合された水から電子を抽出する。これは、2つの水分子から4つの電子が移動されて副生成物  $O_2$  を生じるまで繰り返される。その一方で、電子は、フェオフィチンから一次キノン  $Q_A$  に移動される。次いで、電子は二次キノン  $Q_B$  に移動され、二次キノン  $Q_B$  は、葉緑体から2つのプロトンを取り上げて、プラストキノール  $P Q H_2$  を生成する。次いで、生成されたプラストキノールは、その電子を、電子伝達系を通して、シトクロム  $f$  を介して光化学系I複合体に移動させる。

30

#### 【0016】

光化学系Iは、2つの主成分p s a Aおよびp s a Bを有する。光化学系IIと同様に、光化学系Iは、光を吸収する2つのクロロフィルa分子を含むが、これらのクロロフィルa分子は、最適には680 nmではなく、最適には700 nmの光を吸収し、したがってP700である。また、P S Iは、結合されたキノン  $Q_A$ 、および4 Fe - 4 S クラスターの組を含む。

#### 【0017】

40

光子が植物に衝突するとき、P700電子は4 Fe - 4 S クラスタに移動され、したがって、電子は、葉緑体中のフェレドキシン (Fd) に移動され、その結果、P700が正電荷  $P 7 0 0^{+}$  を有する。フェレドキシンは、4つのシステイン残基に配位結合された2 Fe - 2 S クラスタを有する水溶性の可動性電子キャリアである。次いで、プラストシアニンが電子を  $P 7 0 0^{+}$  に移動させる。次いで、F A Dを含有するフラビンタンパク質がレダクターゼとしての役割を果たし、フェレドキシンから電子を受け取って  $F A D H_2$  を生成し、 $F A D H_2$  は、次いで、水素化物を  $N A D P^{+}$  に移動して  $N A D P H$  を生成し、したがって当技術分野で知られているATP合成を促進する。したがって、電子移動系により、電子は水から移動されてATPの合成を生じる。

#### 【0018】

50

この自然の奇跡が、大半の植物生命体の基礎となっている。しかし、非効率性が残っている。特に、例えばP S I I複合体中で、P 6 8 0<sup>+</sup>は非常に反応性が高く、余剰に生成されると、反応し得るクロロフィルc h l 6 7 0およびβ-カロチンなどの他の化学物質と反応して、光により引き起こされるダメージをもたらす。特に、D 1 - ポリペプチドがP 6 8 0<sup>+</sup>を生成して所要の電子移動を行うとき、D 1 - ポリペプチドのタンパク質分解が生じ、ここで、電子移動のためにP S I Iを再び使用することができるように、D 1 ポリペプチド、したがってP S I Iを修復するためにD 1 - タンパク質合成が必要となる。タンパク質分解および最終的にはD 1 - タンパク質合成のこの期間中、余剰のP 6 8 0<sup>+</sup>が、c h l 6 7 0およびβ-カロチンなどの他の化学物質と反応して、そこから電子を抽出し、その結果、P 6 8 0<sup>+</sup>が適切に機能しなくなり、植物へのダメージまたは光阻害を引き起こす。特に、植物は、P S I I系において酸化防止剤として作用する多官能性カロテノイドを合成する。このようにして、酸化防止剤は免疫システムとして機能して、酸化防止剤の生成によってP S I Iおよび植物へのダメージを防止する。このプロセスは、光合成反応を最大限にするために使用されずに浪費されるかなりの量のエネルギーを使う。したがって、P S I Iに送達されるプロトンの量を調整することによって、余剰のP 6 8 0<sup>+</sup>の生成、および余剰のc h l 6 7 0化学物質との化学反応を最小限にすることによって、光により引き起こされるダメージが最小限にされ、植物の成長が最大限にされる。この面でのエネルギー使用をなくすことによって、ほとんど成長のためにのみエネルギーを使用することができる。特定の植物において、栄養的価値から酸化防止剤が望まれる場合、より効率的な植物成長法は、成長サイクル全体にわたってこれらの酸化防止剤の生成を防止することであり、次いで、成長サイクルの最後に、植物は、一定の光を受けることができ、この光により、成長が最も理想的に阻害される時点で酸化防止剤が生じる。

#### 【 0 0 1 9 】

植物が必要とする光子の量を決定するための第1の方法は、P S I IでのS状態遷移を見ることである。光のフラッシュは、3回目、7回目、11回目のフラッシュ後に酸素の解放を引き起こすことが示されており、そこから、科学者は以下のように理論付けている：暗所にある植物はS<sub>1</sub>状態であり、光の各フラッシュにより、P S I Iによって光子が受け取られて化学反応を引き起こし、3回目のフラッシュまたは光子が副生成物O<sub>2</sub>を生じ、これは、2つの水分子から4つの電子が移動されており、電子移動が完了していることを示す。同様に、その後、P S I IはS<sub>0</sub>状態になり、4回目のフラッシュが1つの光子を提供し、5回目のフラッシュが別の光子を提供し、最終的に、全4回のフラッシュにより、4つの電子の供与が行われ、したがって、7回目および次いで11回目のフラッシュの後に副生成物O<sub>2</sub>が生じる。これは、K o kサイクルとして知られている。

#### 【 0 0 2 0 】

基本的なレベルで、最初のフラッシュ中、第1の状態S<sub>1</sub>から第2の状態S<sub>2</sub>への遷移があり、この遷移は、マンガン錯体M N<sub>4</sub> C aからチロシン残基への電子移動を含み、チロシンラジカルを生成する。第2のフラッシュまたは追加の光子が導入される時点でS<sub>2</sub>状態からS<sub>3</sub>状態への遷移が生じ、チロシンラジカルの生成後およびM N錯体の酸化前に、M N錯体からのプロトンの解放を引き起こす。第3のフラッシュまたは別の光子の導入によって、S<sub>3</sub>状態からS<sub>4</sub>状態への、およびその後、S<sub>4</sub>状態からS<sub>0</sub>状態への遷移が生じて、二酸素の解放を生じる。具体的には、M N錯体のプロトン解放後、光子は、M N錯体から再びチロシン残基への電子移動を引き起こし、その後、水酸化およびM N還元の急速な開始が続き、M N錯体によって別のプロトンが解放される。最後に、第4のフラッシュが、M N錯体の酸化およびM N錯体の脱プロトン化により、S<sub>0</sub>状態からS<sub>1</sub>状態に戻る遷移を生じる。

#### 【 0 0 2 1 】

S状態遷移および機能は依然として理論的なものであるが、遷移の重要性が以下のように認識されている：光子がP S I I複合体に衝突すると、初期化学反応が生じ、この化学反応には所定量の時間がかかり、新たな遷移状態になり、その後、追加の光子が必要となる。具体的には、化学反応がP S I I複合体をS<sub>1</sub>段階とS<sub>2</sub>段階との間で遷移させるの

10

20

30

40

50

にかかる時間量は、約  $70 \mu s$  であり、 $S_2$  段階と  $S_3$  段階との間では、約  $190 \mu s$  であり、 $S_3$  段階と  $S_4$  段階との間では約  $200 \mu s$  であり、 $S_4$  段階と  $S_0$  段階との間では約  $1.1 \sim 1.6 ms$  であり、 $S_0$  段階と  $S_1$  段階との間では、約  $30 \sim 60 \mu s$  である。同様に、光合成プロセス中、 $PSI$  複合体中のアンテナの光化学減衰は、 $15 \sim 40 ps$  および  $5 \sim 6 ns$  である。換言すると、光合成プロセス中、異なる化学反応は異なる時間間隔で光子を必要とし、生じる各化学反応はそれに関連付けられる、余剰の光子が必要とされない所定の期間を有する。余剰の光子は、 $P680$  などの  $PSI$  および  $PSII$  複合体中の反応中心に追加のポテンシャルエネルギーを提供するにすぎず、このポテンシャルエネルギーは、上述したように、 $P680$  が  $PSII$  中の他の化学物質と反応して植物に害を及ぼすメカニズムを提供する。

10

#### 【0022】

$PSII$  中での光合成電子移動は線型と考えられるが、反応が - カロチンを介して  $PSI$  に電子を伝達すると、 $PSI$  の周りで周期的な電子伝達が機能する。具体的には、プロトンおよび電子伝達は、トランスチラコイドプロトンポテンシャル ( $pmf$ ) の生成をもたらして、 $ATP$  の生成を促進する。高等植物では、これらの経路は、フェレドキシンキノンオキシドレダクターゼ ( $FQR$ ) および  $NAD(P)H$  デヒドロゲナーゼ ( $NDH$ ) に依存する経路からなる。これらの周期的な経路により、 $PSI$  の周りの電子流は、内腔のプロトン付加を向上させて電子伝達を制限し、それにより  $ROS$  の生成を制限することによって、 $PSII$  を保護する。したがって、 $PSI$  がこの機能を向上させるための照明の向上または適切な照明の提供は、 $ROS$  を引き起こすダメージを減少させる役割も果たす。したがって、 $PSI$  の  $P700$  反応中心に対して、所定の強度で所定の期間にわたって、 $700 \sim 720 nm$  の波長で適切な線量の光を提供することにより、 $PSI$  の周期的な流れの機能を最大限にし、 $PSII$  にダメージを与えて植物の光合成効率を低下させる不要な化学反応をさらに制限する。

20

#### 【0023】

したがって、植物による吸収のための光子解放の間で必要な適正な時間量を決定するためのアルゴリズムが開発される。さらに、このアルゴリズムは、植物の個々の色素およびシトクロム、ならびに所要の時間に色素およびシトクロムの化学反応を引き起こすために必要とされるエネルギーレベルを考慮に入れる。例えば、色素において、 $S_0$  状態から  $S_1$  状態への電子のジャンプを引き起こすのに必要なエネルギー量は、約  $1.84$  エレクトロンボルト ( $eV$ )、または  $676 nm$  の波長で光によって提供されるエネルギーの量である。したがって、約  $680 nm$  でエネルギーの吸収度がピークレベルを示す。光の波長が  $680 nm$  から減少するにつれて、エネルギーレベルが増加する。したがって、例えば  $550 nm$  でのみ光が提供されるとき、 $S_0$  状態から  $S_1$  状態への遷移を引き起こすのに十分なエネルギーが提供される。しかし、余剰のエネルギーが残り、これにより、植物が蛍光を発するか、または異なる波長で光を再放出するか、または余剰の熱が生成される。

30

#### 【0024】

約  $445 nm$  で約  $2.8 eV$  のエネルギーが生成され、これは、電子を  $S_0$  状態から  $S_2$  状態にジャンプさせるのに十分なエネルギーである。次いで、電子は、 $S_1$  状態に即座にクエンチングし、ここで電子移動が生じる。このクエンチングは、 $S_1$  状態への直接のジャンプを引き起こす  $676 nm$  での  $1.84 eV$  のエネルギーレベルに比べて、いくらか熱を浪費するが、しかし、第2の吸収ピークを示す。これは、他の波長、例えば  $550 nm$  のみで提供されるエネルギーに比べて、余剰のエネルギーによるエネルギーの損失を最小限にする。このようにすると、光を設計する際に、 $676 nm$  の光の生成が  $445 nm$  の光の生成よりもかなり高コストである場合、 $676 nm$  の光が好ましいものの、 $445 nm$  の光を使用して、損失されるエネルギーの影響を最小限に抑えることができる。

40

#### 【0025】

さらに、植物中のシトクロムも、光合成を生じる電子移動系に影響を及ぼす。例えば、シトクロム  $f$  は、緑色の光 (波長  $495 nm \sim 570 nm$ ) を吸収するカロチンの主要色素を有する。この吸収は、より高い勾配をもたらし、したがって電子をより速く引き出

50

して、酸化を速め、したがって光合成を速める。このようにして、緑色の光が光合成を調整し、信号を提供する。このようにして、電子移動系が赤色または青色の光から始まった後、プロセスの速度を上げるために緑色の光を提供することができる。

#### 【 0 0 2 6 】

一般に、ほとんどの植物が、クロロフィル A、クロロフィル B、もしくはカロテノイド、またはそれら 3 つの組合せを含む。特に、クロロフィル A、クロロフィル B、およびカロテノイドは、植物において光合成を担う色素である。図 5 は、曲線 1 0 5 (クロロフィル A)、曲線 1 1 0 (クロロフィル B)、および曲線 1 1 5 (カロテノイド) で示されるように、波長の関数としての、クロロフィル A、クロロフィル B、およびカロテノイドによって吸収される光の例示的なプロット 1 0 0 を示す。

10

#### 【 0 0 2 7 】

示される図において、曲線 1 0 5 は、クロロフィル A の受容性、または様々な波長の光の吸収度の例示を提供する。吸収度は、380 ~ 780 nm の波長で明らかなピークを有している。この例では、クロロフィル A の第 1 のピーク 1 2 0 は約 400 ~ 410 nm で生じ、第 2 のピーク 1 2 5 は約 430 ~ 450 nm で生じ、第 3 のピーク 1 3 0 は約 670 ~ 685 nm で生じる。これらの例は例示であり、限定ではない。

#### 【 0 0 2 8 】

クロロフィル B の吸収度曲線 1 1 0 に関して、第 1 のピーク 1 3 5 は約 430 ~ 450 nm で生じる。第 2 のピーク 1 4 0 は約 470 ~ 490 nm で生じ、最後のピーク 1 4 5 は約 665 ~ 670 nm で生じる。ここでも、これらの例は例示であり、限定ではない。

20

#### 【 0 0 2 9 】

カロテノイドの吸収度曲線 1 1 5 に関して、第 1 のピーク 1 5 0 は約 415 ~ 420 nm で生じる。第 2 のピーク 1 5 5 は約 465 ~ 470 nm で生じ、第 3 のピーク 1 6 0 は約 510 ~ 525 nm で生じる。ここでも、これらの例は例示であり、限定ではない。

#### 【 0 0 3 0 】

クロロフィル A、クロロフィル B、およびカロテノイドに加えて、P S I I の光合成、破壊、および再構成に必須の他の光合成化学物質、例えばタンパク質および - カロチンなどは、光反応性の化学反応と、これらの化学反応を引き起こすための光の特定の吸収波長とを有する。

#### 【 0 0 3 1 】

さらに、植物は、それらに関連付けられる遷移特性を自然に有する。特に、光が最初に植物に達するとき、光は略自動的に吸収されるが、光が引き続き追加のエネルギーを提供するにつれて、植物の自然の遷移特性により、光はそれほど迅速には吸収されなくなる。光がパルスされるとき、各パルス間にダウンタイムが存在し、植物の実質的なリセットを引き起こし、したがって、光に関して植物が有する遷移効果の最小化により、各光パルスが効率的に吸収される。このようにすると、所望の光化学反応を引き起こすのに必要な光および強度が小さくなる。したがって、植物での効率を最大限するために所定の時間間隔で光が提供されるだけでなく、光の所定の時間間隔中、光が均等にパルスされて、植物の遷移特性を最小限に抑え、光合成効率を高める。

30

#### 【 0 0 3 2 】

したがって、太陽によって受け取られる光の代わりとなるだけでなく、設計者によって望まれるように植物の光合成および成長を操作するためのツールとして、人工光を設計して使用することができる。

40

#### 【 0 0 3 3 】

単に例として、図 1 に園芸アセンブリ 1 0 が示されており、園芸アセンブリ 1 0 は、屋外、温室内、または屋内などを含めた任意の場所にあってよい。アセンブリ 1 0 は、典型的には横並びの関係で植えられた植物 1 4 が位置されるコンテナまたは空間 1 2 を含む。一実施形態では、保温デバイスであるコンテナ 1 2 が提供され、この保温デバイスは、一実施形態では、平行に離隔して配置された関係での頂壁 1 8 および底壁 2 0 に固定された、やはり平行に離隔して配置された関係での第 1 の側壁 1 5 および第 2 の側壁 1 6 と、後

50



部壁 22 とを有する略長方形形状であり、中空内部キャビティ 24 を形成する。前壁またはドアが側壁 15 または 16 に蝶番式に固定されて、本体 12 の内部キャビティ 24 へのアクセスを可能にする。好ましくは、ドアは、内部キャビティ 24 が見えるように透明材料から形成されるが、別の実施形態では、ドアは内部キャビティ 24 を完全に囲む。

#### 【0034】

内部キャビティ 24 の内部には、実生 31 を含む複数の土塊 30 を受け取る開口 29 を有する複数の回転可能な保持部材またはトレイ 28 が配設される。特に、土塊 30 は、トレイ 28 の開口 29 によって受け取られて保持されるようなサイズおよび形状である。トレイ 28 は、様々な角度に回転または傾斜して、土塊 30 および実生 31 を光が完全に照らすことを保証する。

10

#### 【0035】

複数の照明素子 32 が、各トレイ 28 に固定され、互いに電氣的に接続される。好ましい実施形態では、複数の照明素子 32 は、AC 入力を受け取る発光ダイオード素子である。特に、これらのアセンブリは、以下の特許出願の任意の 1 つからの AC 駆動 LED 技術を組み込む。Grajcar の米国特許出願公開第 2011/0101883 号明細書；Grajcar の米国特許出願公開第 2011/0109244 号明細書；Grajcar の米国特許出願公開第 2011/0210678 号明細書；Grajcar の米国特許出願公開第 2011/0228515 号明細書；Grajcar の米国特許出願公開第 2011/0241559 号明細書；Grajcar の米国特許出願公開第 2011/0273098 号明細書；Grajcar の米国特許出願第 13/452332 号明細書；または Grajcar の米国仮特許出願第 61/570,552 号明細書。これらすべての全体を参照により本明細書に援用する。

20

#### 【0036】

一実施形態では、各照明素子 32 は、青色波長 (450 ~ 495 nm) の光、紫外光および近紫外光 (350 ~ 450 nm)、赤色の光 (620 ~ 750 nm)、または電磁放射の放出を引き起こし、その光放出が利用される。特に、照明素子 32 は、照明素子 32a および 32b として図 3 に示される同じトレイ 28 上に組み合わせられた、電磁放射 / 紫外 / 青色波長の照明素子および赤色波長の素子を有する。そのような青色および赤色波長の照明素子 32a および 32b は、一実施形態では、異なる光持続時間を有する。したがって、一例として、第 1 の青色波長照明素子は 3 ms の光持続時間を有し、赤色波長照明素子は 2 秒の光持続時間を有する。

30

#### 【0037】

代替として、照明素子 32a および 32b は、同じ持続時間を有するが、互い違いである。この実施形態の一例として、第 1 の青色波長照明素子 32a は、3 ms の光と 3 ms の暗闇との持続時間または期間を有する。第 2 の赤色波長照明素子 32b もトレイ上に提供され、これも、3 ms の光と 3 ms の暗闇との持続時間または期間を有する。一実施形態では、第 1 および第 2 の照明素子は、同時に光を放出するか、または重畳を示す。別の実施形態では、第 2 の赤色波長照明素子は、第 1 の青色波長照明素子が光を発生している 3 ms にわたって暗い。次いで、第 2 の赤色波長照明素子は、第 1 の青色照明素子が暗いかまたは光を放出していない 3 ms にわたって光を発生している。

40

#### 【0038】

照明素子 32 は、電源 33 によって電力供給され、さらに減光デバイス 34 を有し、減光デバイス 34 は、光の強度を 3 ルーメン未満に減少させる。したがって、一定の低強度波長光がコンテナ 12 全体にわたって放出される。光は、望まれる正確な波長の光を送るために、狭い周波数または単色でよい。さらに、低強度として述べているが、より高い強度の波長の光を提供することもできる。さらに、LED 照明素子の特性により、LED 素子が利用される実施形態では、光は、長時間にわたってオンのままであり得る。

#### 【0039】

光の強度を 3 ルーメン未満に減少させることができる一方で、同様に、800 ルーメンまたは 1000 ルーメン以上を出力するように光の強度を上げることができる。同様に、

50

光の持続時間は、数日、数週、または数ヶ月など長期間でよいが、明るい期間と暗い期間との間の時間は、数時間、数分、数秒、さらには数ミリ秒に制御することもできる。

【0040】

また、加湿デバイス36が、内部キャビティ24と関連付けられ、好ましくは頂壁18と係合し、配管要素を有し、配管要素は、ドア26が閉じられるときに内部キャビティ24での湿度を増加させることができる。このようにして、内部の湿度を制御して、湿度0%~100%の任意の相対湿度を提供することができ、それにより、内部キャビティ24の湿度が予め決定される。好ましくは、湿度は、約50~80%である。また、加熱デバイス38が、電源33に電氣的に接続され、内部キャビティ24の内部に配設されて、内部キャビティ内で所定量の熱を提供する。

10

【0041】

一実施形態では、磁場源デバイス40は、保温デバイス10に関連付けられる。一実施形態では、磁場源デバイス40は、内部キャビティの内部にあり、実生31および得られる植物14を通るか、またはそれらに影響を及ぼす所定の磁束を生成する。

【0042】

さらに、別の考慮事項は、各照明素子の強度である。特に、植物14または実生31の強度またはルーメン/m<sup>2</sup>もしくはルクスが增加するにつれて、植物14または実生31に供給されるエネルギーの量が増加され、したがって、適切な照射量を提供するのに必要な時間の量、または光化学反応もしくは光合成を生じるために必要なエネルギーを減少させる。

20

【0043】

さらに、1日の持続時間中または光化学反応を生じるために光が提供される期間中、化学反応を生じるのに必要なエネルギーの照射量が増加する。特に、光合成を生じるのに必要な照射量は動的である。したがって、実際には、光化学反応または光合成を生じるのに十分なエネルギーを提供するのに必要な時間量は、1日のうちに、または時間の経過と共に増加することがあり、したがって、照明の期間の開始時には、3.5msなどの第1の所定量の時間で最適な照射量が提供され、12時間などの期間後には、14.5msなどの第2の所定量の時間の光が必要とされる。

【0044】

したがって、光周期を制御する制御装置200を使用することによって、各植物14または実生31のためのアルゴリズムを提供することができ、このアルゴリズムは、特別に適合されるか、または所定の期間、例えば12時間、24時間、もしくは48時間以上にわたって照明素子32の周波数または光周期を動的に変える。化学反応または光合成が生じるための動的に変化する要件に対応するように光周期を動的に増加することによって、光合成の効率が向上され、植物14または実生31の成長が最適化される。

30

【0045】

同様に、電圧、したがって光出力強度を増減させることによって、またはトレイアクチュエータ39に電氣的に接続された制御装置200を有することによって、光の強度を制御装置200によって動的に変化させることができ、トレイアクチュエータ39は、トレイ28を機械的に昇降させて、照明素子32を植物14または実生31に近付けるまたは遠ざける。さらに、センサ41を制御装置200に電氣的に接続することができ、植物14の高さを求め、トレイ28を植物14から離れるように自動的におよび動的に移動させて、適正な強度が植物に常に提供されることを保証する。

40

【0046】

横並びの関係で植えられているものとして説明しているが、単一の植物14、または互いに任意の関係で植えられる複数の植物14が企図され、本開示から逸脱しないものとする。一実施形態では、照明素子32が植物14に隣接して配置されるか、または取り付けられ、それにより、照明素子32によって放出される放射線を少なくとも1つの植物が受ける。

【0047】

50

照明素子 3 2 は減光可能であり、G r a j c a r の米国特許出願第 1 2 / 8 2 4 , 2 1 5 号明細書、および / または G r a j c a r の米国特許出願第 1 2 / 9 1 4 , 5 7 5 号明細書に記載されているように構成される。それら両方の特許文献を本明細書に援用する。単に一例として、1 つのそのようなアセンブリが図 4 に示されており、このアセンブリは、入力端子 5 0 の対を有し、これらの入力端子 5 0 は、周期的な励起電圧を受信するように適合され、それにより、これらの端子は、A C 電流、または等しい大きさであり、極性が逆の電流を受け取ることができ、この電流は、励起電圧に応答して流れて、A C 入力を提供する。次いで、A C 電流が駆動回路 5 2 によって調整され、駆動回路 5 2 は、任意選択で、金属酸化化物バリスタ ( M O V ) 5 4 および整流デバイス 5 5 を含み、整流デバイス 5 5 は、好ましい実施形態では、複数の発光ダイオード ( L E D ) 5 6 から形成されたブリッジ整流器である。

10

#### 【 0 0 4 8 】

発光ダイオード ( L E D ) 5 6 は、第 1 のネットワーク 5 8 内に配置され、第 1 のネットワーク 5 8 は、少なくとも第 1 のネットワーク 5 8 に関連付けられる順方向閾値電圧を超える励起電圧に応答して電流を伝導するように構成される。任意選択で、駆動回路 5 2 に応じて、抵抗器 6 0 または複数の抵抗器を使用して、第 1 のネットワーク 5 8 に達する前に電流を調整することができる。第 1 のネットワーク 5 8 の L E D 5 6 は、任意のタイプまたは色のものでよい。一実施形態では、第 1 のネットワーク 5 8 の L E D 5 6 は、約 6 0 0 ~ 7 5 0 ナノメートル ( n m ) の波長を有する光を発生する赤色 L E D である。別の実施形態では、L E D の第 1 のネットワークは、約 3 5 0 ~ 5 0 0 n m の波長を有する光を発生する青色 L E D である。代替として、本開示の範囲から逸脱することなく、赤色 L E D と青色 L E D とを一体に提供することができ、または緑色などの他の色の L E D を同様に使用することもできる。

20

#### 【 0 0 4 9 】

さらに、複数の L E D 5 6 を有する第 2 のネットワーク 6 2 が、第 1 のネットワーク 5 8 と直列の関係で提供される。第 2 のネットワーク 6 2 の L E D 5 6 は、任意のタイプまたは色でよい。一実施形態では、第 2 のネットワーク 6 2 の L E D 5 6 は、約 6 0 0 ~ 7 5 0 ナノメートル ( n m ) の波長を有する光を発生する赤色 L E D である。別の実施形態では、L E D の第 2 のネットワークは、約 3 5 0 ~ 5 0 0 n m の波長を有する光を発生する青色 L E D である。代替として、本開示の範囲から逸脱することなく、赤色 L E D と青色 L E D とを一体に提供することができ、または緑色などの他の色の L E D を同様に使用することもできる。

30

#### 【 0 0 5 0 】

バイパス経路 6 4 が照明素子 3 2 内に提供され、バイパス経路 6 4 は、第 1 のネットワーク 5 8 と直列の関係であり、第 2 のネットワーク 6 2 と並列の関係である。また、バイパス経路 6 4 の内部に、制御されたインピーダンスを提供する素子があり、この素子は、例えば単にトランジスタ 6 6 でよく、一実施形態ではディプリーション型 M O S F E T である。追加のトランジスタまたは抵抗器などをバイパス経路 6 4 内部で使用することができ、それらはすべて、電流を調整して、バイパス経路 6 4 から第 2 のネットワーク 6 2 への滑らかで連続的な移行を提供する。

40

#### 【 0 0 5 1 】

したがって、L E D グループまたはネットワーク 5 8 および 6 2 の適切な選択、ならびに選択された L E D ネットワーク 5 8 および 6 2 を通るバイパス電流を変調するための 1 つまたは複数の選択的電流偏移調整回路の構成に基づいて、入力励起波形の関数としてシフトする色温度を実現または設計することができることが本開示から理解されよう。各グループ内のダイオードの数、励起電圧、位相制御範囲、ダイオードの色、およびピーク強度パラメータの選択は、様々な照明用途に関して改良された電気および / または光出力性能をもたらすように操作されることがある。

#### 【 0 0 5 2 】

照明素子 3 2 は、D C 電源を利用せずに減光デバイス 3 4 を使用して変調することが可

50

能である。図示される一実施形態では、減光デバイス 34 は、前縁および後縁フェーズカット素子を利用する。単に一例として、トライアック減光器が、前縁でフェーズカットを示し、I G B T 減光器が、後縁でフェーズカットを示す。この実施形態では、前縁と後縁でのフェーズカットの両方を有する減光デバイスが、駆動回路構成 52 と電氣的に連通している。このようにすると、減光デバイス 34 で両方を利用することによって、電流のない所定の期間が提供される。したがって、減光デバイス 34 に関連付けられる制御デバイスを使用して、電流のない期間、したがって暗い期間を決定することができる。

#### 【0053】

別の実施形態では、減光デバイス 34 は、少なくとも 1 つの S C R (シリコン制御整流器) を含み、一実施形態では第 1 および第 2 の S C R を含み、これらは、所定の期間にわたって提供される電流をカットするために利用される。カットは、位相角 0 で、または代替として、ある角度で行うことができる。したがって、S C R を利用することによって、減光デバイス 34 は、照明素子 32 の制御可能なオン/オフスイッチとして機能する。特に、一実施形態では、制御ノブなどの制御デバイスが第 1 および第 2 の S C R と連通し、それにより、0 ~ 30 分の任意の所定の期間で所定の明暗期間を設定することができる。A C 入力提供されるため、D C ベースの明滅と異なり、提供される暗さは完全な暗闇であり、電流が提供されないため、光子が生成されない。このようにして、特定の植物の要件に合致する所定の明暗持続期間を制御することができる。

#### 【0054】

図 6 は、異なる照明素子 32 a および 32 b の千鳥配置を可能にする代替実施形態を示す。この実施形態は、A C 入力 70 を有する回路 68 を示し、A C 入力 70 は、A C 電流を駆動回路構成 69 に提供し、駆動回路構成 69 は、ブリッジ整流器 72 の半分を含んで、一実施形態では赤色スペクトル出力を提供する第 1 の複数の照明素子 32 a に入力を供給する。ここで、並列に、第 2 の複数の照明素子 32 b が、ツェナーダイオードなどのダイオード 74 を介して A C 入力から入力を受信する。また、各グループの照明素子 32 a および 32 b は、追加の電流調整素子を有し、これらの電流調整素子は、この実施形態では、制御抵抗器を有するトランジスタとして提供される。

#### 【0055】

したがって、第 1 および第 2 の照明素子 32 a および 32 b に入力される電流が、図 7 に示されるように調整される。図 7 は、回路 68 から生じる照明素子 32 a および 32 b への電圧入力 80 と電流入力 82 および 84 とを示す。第 1 の電流入力 82 は、正の電圧が回路に印加されるときには最大の電流入力 86 を提供し、電圧入力 80 がゼロ (0) 未満に下がるときには電流 88 を提供しない。一方、第 2 の電流入力 84 は、電圧が負またはゼロ未満であるときには最大電流入力 90 を提供し、電圧がゼロよりも高いまたは正であるときには電流 92 は提供されない。

#### 【0056】

したがって、単一の電圧源を用いて、各組の照明素子 32 a および 32 b への電流周波数がオフセットされ、それにより、第 1 の照明素子 32 a に電流が流れていない (第 1 照明素子 32 a に暗闇を生じる) 期間中、第 2 の照明素子 32 b には電流が流れており、それにより第 2 の照明素子 32 b によって光が提供され、その逆も成り立つ。このようにすると、ヒトは、連続的な光を知覚するが、植物は、それが吸収する光の波長の期間、次いでそれが吸収しない光の期間を受け、したがって個々の色素が明暗期間を感知する。

#### 【0057】

同様に、照明素子 32 a および 32 b は、植物への光の変化する期間を提供するように制御される。したがって、単一の照明素子 32 a が駆動されて最初に光を提供し、次いで、植物での所定の化学反応が生じるのに必要な所定の期間に基づく所定の時間量にわたって、植物が吸収することができる光を放出せず、次いで照明素子 32 によって光が再び放出され、次いで第 2 の所定の期間にわたって、植物が吸収することができる光を放出せず、第 2 の化学反応を生じさせ、ここで、第 1 および第 2 の所定の期間は、等しくても異なってもよく、それぞれが植物中で所定の生物学的効果を引き起こす。したがって、吸

10

20

30

40

50

収可能な光の放出間の様々な期間が提供され、ここで、そのような様々な期間は、限定はしないが、本開示の範囲から逸脱することなく、 $30\mu s$ 、 $70\mu s$ 、 $190\mu s$ 、 $200\mu s$ 、もしくは $1.1ms$ 、または $15\sim 40ps$ 、または $5\sim 6ns$ を含む。このようにすると、光を吸収する期間と、化学反応を生じるために吸収されない出力（暗さを含む）とのタイミングを設定するために、個々の植物の要件に基づいてアルゴリズムを開発することができる。

#### 【0058】

別の例示的实施形態では、図8および図9は、代替回路201およびその波出力のグラフをそれぞれ示す。回路201は、逆の大きさの電気励起を提供する入力202を有し、これは、整流器204によって整流され、互いに並列に提供された一連の照明素子206、208、および210に提供される。第1、第2、および第3の照明素子206、208、および210はそれぞれ単一のダイオードとして示されているが、概略的に、各照明素子が複数の一連の接続された発光ダイオードを備えることを当業者は理解されよう。各照明素子206、208、または210は、同じまたは異なる波長でよく、好ましくは、放出される光を受ける植物30の色素のピーク吸収波長から $20nm$ 以内の波長である。一実施形態では、第1の照明素子206は第1の波長であり、第2および第3の照明素子208および210は異なる波長である。

#### 【0059】

好ましい第1、第2、および第3のインピーダンス素子212、214、および216はトランジスタであり、より好ましくは、MOSFETが、抵抗器217を有する回路201内およびバイパス経路内に配置されて、図9に示される出力を提供する。特に、図示されるように、第1の照明素子206は、パワーを受け、第1の所定の時間間隔である第1の明るい時間間隔218にわたって光を放出し、その後、所定量の時間にわたって第1の暗い時間間隔219が続く。次いで第2の明るい時間間隔220が続く。同様に、第2の照明素子208は、第1および第2の明るい時間間隔218および220の所定時間量と異なる所定時間量である第3の明るい時間間隔222と、それに続く第2の暗い時間間隔223と、次いで第4の明るい時間間隔224とを提供する。第3の照明素子210は、第3の暗い時間間隔225、第5の明るい時間間隔226、および第4の暗い時間間隔227を提供する。さらに、第5の暗い時間間隔229が第1の明るい時間間隔218の前に生じ、第6の暗い時間間隔が第2の時間間隔220の後に生じる。したがって、明暗の時間間隔は、非同期のまたは変動する明暗の時間間隔を提供するように操作することができる。特に、フェーズカット減光器を利用して、第5および第6の暗い時間間隔229および231を制御し、明るい時間間隔のパルス間の時間を変えて、光合成電子伝達系の代謝回転時間に比例するオフ時間または暗い時間を提供し、光障害率を減少させる。同様に、明暗の時間間隔は、利用される最小パワーを有する光の最大の取込みを提供するために、植物の遷移特性に比例して光の期間を短縮するように変えることができる。

#### 【0060】

保温チャンバタイプの構造と共にLED照明素子32を述べてきたが、植物を成長させるために人工光が使用される任意の環境に様々な波長の光または様々な光周期の光を送達することができる任意のタイプの光源が本開示によって企図され、そのような実施形態は本開示から逸脱しない。これは、限定はしないが、植物を照光するための白熱電球、高圧ナトリウムランプ、コンパクト蛍光ランプ、AC LED、またはDC LEDなどに関連付けた制御装置の使用を含む。これはまた、限定はしないが、植物の様々な所定の生物学的応答に関連付けられる様々な所定の期間と一致する様々な出力を提供するようにドライバの周波数を変調する制御装置を有するPWMドライバの使用を含む。

#### 【0061】

特に、光の波長または色に関して、成長、収量、または根の成長など植物の特性を向上させるその植物用の光波長または色を決定する。特に、特定の植物中のクロロフィルまたはカロテノイドに応じて、ROSタイプの反応に使用されて植物に害を及ぼし得る余剰の $680nm$ および $700nm$ の光を最小限に抑えるように所定の期間に $680nm$ または

10

20

30

40

50

700nmでの光を必要とすることに加えて、植物中のクロロフィルまたはカロテノイドが吸収するのに適した光が提供されて、光合成を向上させる化学反応のための追加のエネルギーを植物に提供する。このようにすると、クロロフィルによって吸収される波長の光はまた、より効率的な光合成を向上および促進する。

#### 【0062】

動作時、特定の植物のための所定の明暗期間を、成長または収量などの植物の特性を向上させるその植物に関する所定の光波長または色と共に調べて求めることができる。一実施形態では、この波長は680nmであり、別の実施形態では700nmである。このとき、照明素子32は、所定の光波長を提供するように製造され、減光デバイス34は、成長向上のための所定の明暗期間を提供するように調節することができる。

10

#### 【0063】

照明素子の所定の波長が選択され、各照明素子に関して明暗の持続時間が決定されると、持続時間が達成される方式も選択される。この時点で、追加の色素が植物中に存在するかどうか判断するために植物が再び分析される。したがって、クロロフィルAが存在する実施形態では、植物は、クロロフィルBも存在するかどうか判断するために再分析される。クロロフィルBも存在する場合、次いで第2の照明素子または複数の照明素子を選択することができる。第1の照明素子と同様に、第2の照明素子が選択され、植物中の色素（クロロフィルA、クロロフィルB、またはカロテノイド）のピーク120、125、130、135、140、145、150、155、または160に関係する波長の狭帯域を有する。

20

#### 【0064】

次いで、第1の選択された照明素子と同様に、光合成の化学反応を完了させるのに必要な光の照射量または量のための持続時間が決定される。この時点で、上述したのと同様に、必要な明暗の持続時間を提供する方法が、第2の照明素子に関して提供される。このようにすると、第1および第2の照明素子は何れも、植物中の色素が必要とする正確な光の波長および明暗の持続時間を提供し、したがって植物の成長を向上させる。同様に、この方法は、植物中のカロテノイド色素および他の化学物質に関係付けて使用することもできる。このようにして、光合成を向上させるための照明処置に達するために、1サイクル中の異なる期間に複数の異なる波長が利用される。

#### 【0065】

したがって、所与の植物中での化学反応、ならびにこれらの反応を生じるために必要な光の波長、およびその反応を生じるために光が必要とされる光合成プロセス中の時間を分析する。したがって、所定の波長および所定の期間での光が提供されて、所定の化学反応を生じて、望まれる方式で光合成を実現する。

30

#### 【0066】

植物の化学的構成が分析されると、提供される光の波長と、特定の照明素子に関する暗い期間または非反応性期間が提供される前に特定の植物に光が提供される所定の期間とを決定するためのアルゴリズムが開発される。例えば、第1の照明素子を提供することができ、第1の照明素子は、P680活性化中心を反応させる強度、またはフルエンスおよび第1の期間もしくは持続時間で680nmの波長の光を提供し、次いで、その特定の照明素子に関する第2の期間または持続時間が提供され、その期間には、光が提供されないか、または光合成電子伝達系に沿った電子の化学反応または移動が進行している間に生じる副化学反応を光出力が最小限に抑える強度またはフルエンスで光が提供される。

40

#### 【0067】

次いで、その第2の期間または持続時間後に、680nm波長の光が、追加の化学反応を生じさせるような強度および第3の期間または持続時間で再び提供されて、光合成電子伝達系に沿って反応を促進し、次いで、第4の期間または持続時間が続き、この期間には、光が提供されないか、または強度が副化学反応を最小限に抑え、ここで、第4の期間は、光合成電子伝達系に沿って追加の化学反応が生じる時間の長さによって決定される。本開示から逸脱することなく、この第4の期間は、設計を容易にする目的で第2の期間と同

50

じ長さを有することができるが、これらの期間は、異なる時間長を有していてもよい。次いで、680 nmを提供するこの第1の照明素子は、前述したように、追加の明暗期間を提供するように制御することができる。

#### 【0068】

同時に、第1の照明素子に隣接する（同じデバイス内に提供されてもそうでなくてもよい）第2の照明素子は、第1の照明素子と異なる波長である。第2の照明素子は、光合成を向上させるための光の量を提供するような強度および第1の期間で、第2の波長を提供する。第2の照明素子に関するこの第1の期間は、第1の照明素子に関する第1の期間中でよく、その第1の期間と重なり合っているとしてもよく、または光が提供されないもしくは限られた強度のみが提供される第1の照明素子の第2の期間中でもよい。したがって、一実施形態では、第1の波長（例えば410 nmまたは500 nmのみ）で第1のより低い強度での第1の一定の背景光が、より長期間にわたって、例えば少なくとも1分のみ、または代替として、少なくとも1時間もしくは代替として24時間にわたって提供される。同時に、このより長い期間中、第2の照明素子は、別の波長（例えばパルスされた680 nmのみ）を提供し、または第2の時間にわたって、および一実施形態では、Kokサイクル中の期間に関係付けられる変動する時間未満の所定の期間にわたって、光がオンおよびオフで提供される。

#### 【0069】

一実施形態では、光子解放の間の時間は、暗い期間、または光源が光子を放出しない時間として提供されることがあるが、光子を受け取る準備ができていない期間の間の時間は、PSIIまたはPSI複合体中の反応成分によって吸収されない強度または波長で放出される光で埋めることもできる。単に例として、P680は、680 nmの波長の光を吸収して、望まれる光化学反応を生じる。しかし、450 nmの青色、さらには450 nm未満であってUV範囲100 nm ~ 400 nmに入る波長を利用して、植物中での他の化学反応を生じることができ、そのような光は、P680によって吸収されず、それにより本開示によって考えられる光ダメージを引き起こさない。したがって、吸収されてPSII複合体と反応する第1の波長と、吸収されずにPSII複合体と反応しない波長とを介在的に、または同時に提供する光源は、本開示の範囲から逸脱せずに、光合成の所望の向上をもたらす。

#### 【0070】

特に、植物を分析して、P680などの植物中の他の反応中心および他の化学物質に対して光の第2の波長が及ぼす影響を求め、有害な化学反応をやはり最小限にする。そのような有害な化学反応により、植物は、光合成ではなく、ダメージからの保護または修復にエネルギーを使用する。このようにすると、第2の波長の光は、植物に有害な強度またはフルエンスおよび期間で提供されることがある。しかし、植物へのエネルギーの提供をもたらす向上または改良は、全体的なプロセスをより効率的にし、光合成を向上させる。

#### 【0071】

同様に、植物の遺伝的または化学的構成に応じて、様々な所望の化学反応に対応する追加の期間にわたる追加の波長を提供する追加の照明素子が企図される。単に例として、同様にPSIの反応中心のピーク吸収度レベルに対応する700または720 nmの波長で光を提供する第3の照明素子が利用される。特に、個々の植物が研究され、照明デバイスの使用によって光合成を向上させるために、異なる期間および強度で異なる光波長が提供されて、植物中での有害な化学反応を最小限にし、化学物質および化学反応の性能を最大限にする。

#### 【0072】

したがって、植物の連続的な成長を刺激する所定の明暗期間が提供される。本出願に関連して使用されるとき、所定の明暗期間は、その明暗をヒトが知覚することができない場合でさえ、植物14がどのように知覚することができるかによって測定または決定され、照明素子32によって光が放出されない期間を提供する。したがって、本開示に関連して、明滅および知覚不能な明滅（存在するが、ヒトには知覚できない）が所定の明暗期間を

提供すると考えられる。光合成電子伝達系（P E T C）の代謝回転時間に比例するオフ時間に光のパルスを使用することによって、光障害率を減少させ、光合成効率を上げる。

【 0 0 7 3 】

本出願人が行った実験では、3つの異なる光処理をタバコに加えた。同じ土壌、肥料、土壌用コンテナ、セットアップ時の温度、維持される温度、セットアップ時の R h 湿度、および維持される R h で、3つの同一のチャンバを提供した。さらには、おおまかなフルエンス、光の波長、およびエネルギーをすべて一定に保ち、唯一の相違点は、光の各波長が植物に送達された期間または時間量であった。各チャンバが、ディープレッド（約 6 5 0 n m ~ 6 7 0 n m または 7 2 0 n m ~ 7 4 0 n m）、ロイヤルブルー（約 4 4 0 n m ~ 4 6 0 n m）、およびライムグリーン（約 5 6 6 n m ~ 5 6 9 n m）を使用した。第 1 のチャンバ内で、ディープレッド、ロイヤルブルー、およびライムグリーンはそれぞれ、4 つのパルス時間間隔で同時にパルスし、各パルス幅が約 3 0  $\mu$  s であり、第 1 のパルス後、光のない約 8 5  $\mu$  s を提供し、その後、3 0  $\mu$  s の第 2 のパルスを生じさせた。次いで、光がない約 2 3 0  $\mu$  s の期間を、3 0  $\mu$  s の第 3 のパルスの前に提供した。次いで、光のない約 2 4 0  $\mu$  s を提供し、その後、3 0  $\mu$  s の第 4 のパルスを生じさせた。最後に、光のない約 1 3 6 0  $\mu$  s の期間を設けた後、このサイクルを再び開始し、植物が完全に成長するまで、2 4 時間にわたってこのパターンで維持した。

【 0 0 7 4 】

第 2 のチャンバ内で、ディープレッドおよびロイヤルブルーが出力され、ここで、第 1 のチャンバと同様に、4 つのパルス時間間隔が前の段落で述べたのと同じ時点で生じる。しかし、第 2 のチャンバ内で、ライムグリーン光源は、ディープレッドおよびロイヤルブルーの光源と同じ時間間隔ではパルスしなかった。そうではなく、1 2 0 0  $\mu$  s にわたるサイクルにつき 1 回、ライムグリーン光源がパルスし、このサイクルは、ディープレッドおよびロイヤルブルー光源の第 4 の 3 0  $\mu$  s パルスの終了の 8 0  $\mu$  s 後（4 つのパルスのサイクルの終了と、4 つのパルスの新たなサイクルの開始との間の 1 3 6 0  $\mu$  s の時間間隔または期間内）に始まり、4 パルスの次のサイクルの最初の 3 0  $\mu$  s のパルスの 8 0  $\mu$  s 前に終わる。次いで、このパターンを 2 4 時間にわたって維持した。

【 0 0 7 5 】

最後のチャンバは、2 4 時間にわたってディープレッド、ロイヤルブルー、およびライムグリーンの一定の D C 光を提供する参照チャンバとした。ディープレッドと比較して、2 0 % のロイヤルブルーおよび 2 0 % のライムグリーンが存在した。第 1 および第 2 のチャンバと全く同じ量の光が参照植物に達することを保証するように電流を調節した。

【 0 0 7 6 】

この実験において測定を行い、インチ、長さ、湿潤重量、乾燥重量、および根の乾燥重量に関して、植物の芽のより大きい成長が示された。チャンバ 1 内の処理は、すべてのカテゴリーで最大値を示し、次いでチャンバ 2 が続いた。チャンバ 1 および 2 は、湿潤および乾燥重量で参照に比べて大幅な増加を有し、両方のチャンバ 1 および 2 が、参照よりも 2 ~ 3 倍大きい重量を示した。したがって、K o k サイクルに基づいて、光のない 1 3 6 0  $\mu$  s 以下の時間間隔を単に提供することによって、植物は、1 日 2 4 時間成長することが可能であり、時間間隔を提供しない照明に加えてかなりの重量利得を得る。

【 0 0 7 7 】

別の実験では、P E T C 同期パルス光が平均の光合成効率を高め、したがって植物の成長率を高めるといふ仮説を支持する最初の見解の下で、モデル植物としてトウモロコシを使用して 3 つの概念実証試験が行われた。

【 0 0 7 8 】

したがって、植物に機能的な光のみを提供するように様々な光波長および様々な光発生期間を提供することが可能な照明素子 3 2 を利用する園芸システムが提供される。したがって、特に、所定の化学反応が生じるのに必要な時間に各光子が提供されて、植物にダメージを与える化学反応で使用する余剰の光子は、なくならないにせよ最小限にされる。ダメージを最小限にすることによって、成長が向上され、より速く成長し、より青々とし

10

20

30

40

50



たより良く発育した植物生命体を得られる。

【0079】

特に、光合成電子伝達系（P E T C）の代謝回転時間に比例するオフ時間を提供するために植物の連続的な成長を刺激する所定の明暗期間を提供することによって、光阻害率を減少し、光合成効率を上げる。

【0080】

したがって、必要とされる光の波長と共に、明暗期間が植物によって必要とされるときを決定するためのアルゴリズムを開発することができるだけでなく、同様に、植物の遷移特性を最小限にするための時間間隔で光を提供することができる。

【0081】

光合成効率を最大限にすることによって、追加の炭素、したがって二酸化炭素の要件が提供される。したがって、植物光合成に利用可能なCO<sub>2</sub>を増加することによって、植物の成長、色、および栄養の最大化をさらに向上させる。したがって、より速く、より健康的な植物が提供され、現在の技術水準を改良する。

【0082】

全体として、所与の植物の様々な特性を向上させることができる。したがって、植物の重量および密度を増加し、または葉のサイズを増加し、根の構造を増減し、もしくは植物の所定の特性を操作することができ、栽培者の要求を満たすカスタマイズされた植物成長を実現する光処理が提供される。これは、限定はしないが、植物中の栄養の増加、顧客にとっての最終製品である植物の一部のより速い成長、および植物の色または見た目を含む。

【0083】

したがってまた、複数の植物14を照光するための方法およびアセンブリ10が提示される。アセンブリ10は照明素子32を含み、照明素子32は、植物のための所定量の暗い時間または代謝回転時間を含む照明サイクルまたは位相を提供する。その結果、代謝プロセスの完了時に、植物14は、必要な休憩を取り、植物ストレスおよび緊張を緩和する。この点で、植物14は、次いで、より多くの光を吸収する準備ができて、光合成プロセスでの代謝を続ける。

【0084】

一方、光合成を引き起こすために必要な複合体および化学反応に基づいて光の波長を選択することによって、代謝および光合成が最大限にされる。特に、LEDは、LEDの異なるネットワーク58および62を備えることができ、植物14に関する理想的なPARに従って、その特定の植物14が受け取る光として、不連続なUV、近UV、青色光、および/または赤色光を発生する。その結果、24時間の一定の光成長サイクルを有することができるだけでなく、さらに植物の成長が最大限にされる。その結果、植物のより速い成熟およびより大きい収量が得られる。

【0085】

さらに、アセンブリ10は、容易に製造され、植物14に隣接して取り付けまたは配置することによって、新たな園芸アセンブリおよび既存の園芸アセンブリに組み込まれる。最後に、AC入力から調整される電流が利用され、パルス幅変調がなくされるため、照明素子32に関連付けられるコストが大幅に低減される。したがって、少なくとも上記の目的がすべて達成されている。

10

20

30

40

【図 1】

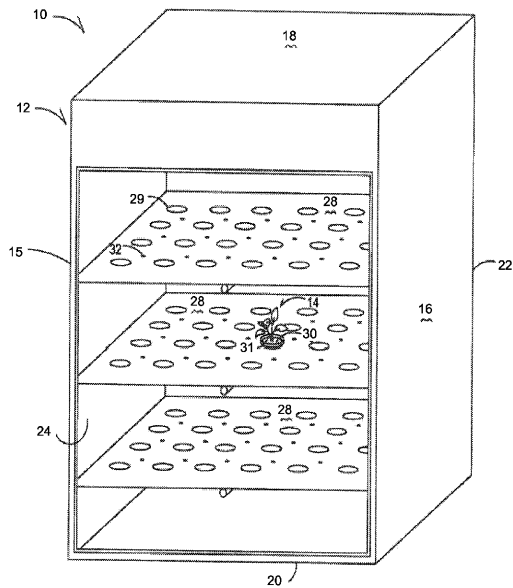


FIG. 1

【図 2】

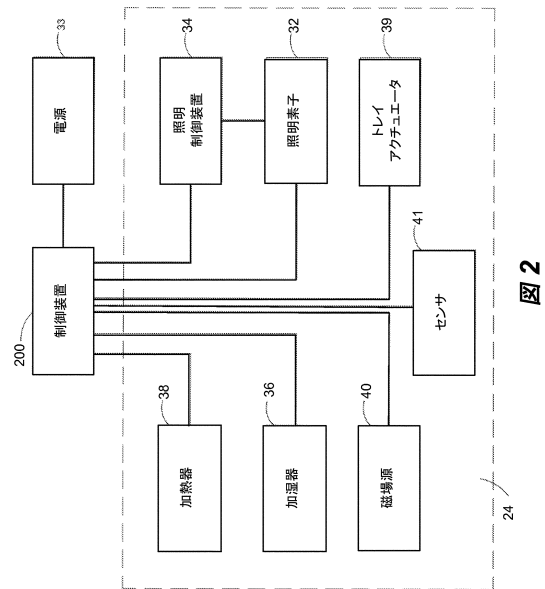


図 2

【図 3】

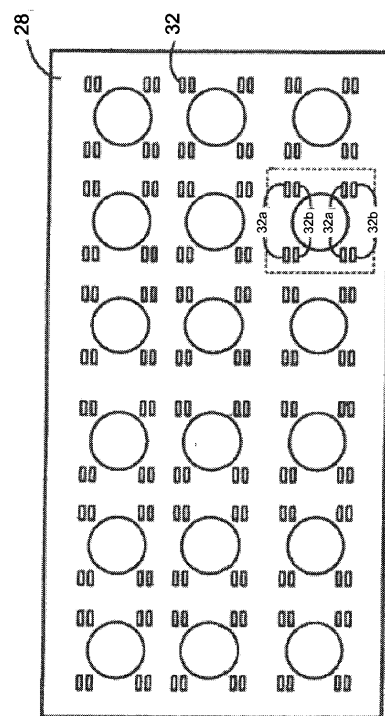


FIG. 3

【図 4】

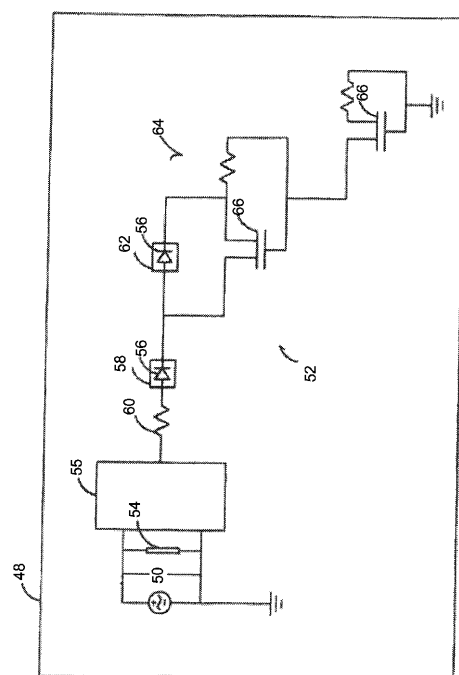


FIG. 4

【図 5】

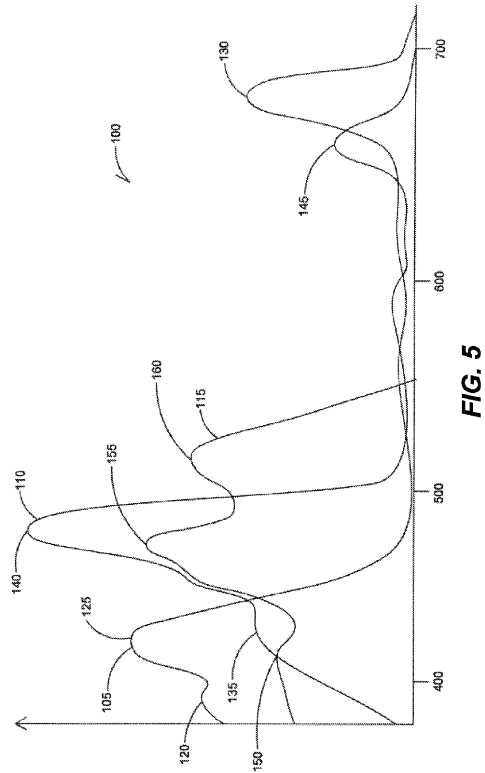


FIG. 5

【図 7】

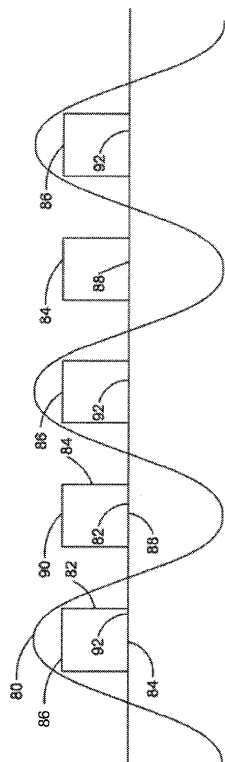


FIG. 7

【図 6】

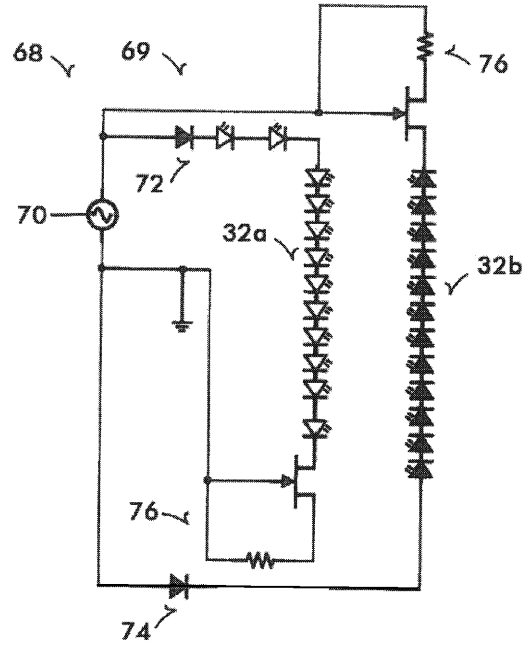


FIG. 6

【図 8】

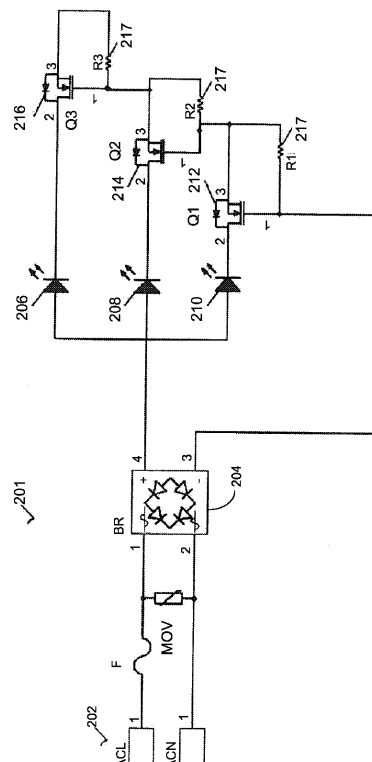


FIG. 8

【図 9】

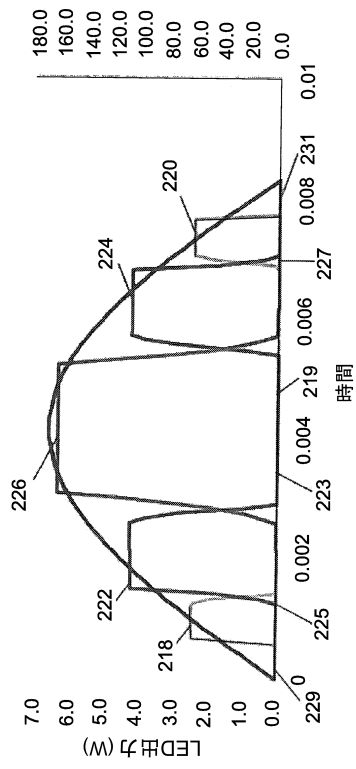


図 9

---

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 62/102,637

(32)優先日 平成27年1月13日(2015.1.13)

(33)優先権主張国・地域又は機関  
米国(US)

(72)発明者 シムコ, ピーター

アメリカ合衆国 ミネソタ州 5 5 3 6 4 , マウンド , アイランドビュードライブ 4 5 5 4

審査官 坂田 誠

(56)参考文献 特開平5 - 1 1 5 2 1 9 ( J P , A )

特開2 0 1 3 - 1 0 6 5 5 0 ( J P , A )

特開昭6 1 - 1 4 6 1 2 2 ( J P , A )

米国特許第5 0 1 2 6 0 9 ( U S , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A 0 1 G 7 / 0 0