

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6230976号
(P6230976)

(45) 発行日 平成29年11月15日 (2017.11.15)

(24) 登録日 平成29年10月27日 (2017.10.27)

(51) Int. Cl.	F I
AO 1 M 21/04 (2006.01)	A O 1 M 21/04 Z
GO 6 T 1/00 (2006.01)	G O 6 T 1/00 2 8 0

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2014-178174 (P2014-178174)	(73) 特許権者	502096543
(22) 出願日	平成26年9月2日 (2014.9.2)		パロ・アルト・リサーチ・センター・イン
(65) 公開番号	特開2015-53941 (P2015-53941A)		コーポレーテッド
(43) 公開日	平成27年3月23日 (2015.3.23)		P a l o A l t o R e s e a r c h
審査請求日	平成29年9月4日 (2017.9.4)		C e n t e r I n c o r p o r a t e d
(31) 優先権主張番号	14/027, 117		アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94
(32) 優先日	平成25年9月13日 (2013.9.13)		304、パロ・アルト、コヨーテ・ヒル・
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ロード 3333
早期審査対象出願		(74) 代理人	100079049
			弁理士 中島 淳
		(74) 代理人	100084995
			弁理士 加藤 和詳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変光学系を有する不要植物の除去システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

不要な植物を除去する方法であって、
 三次元イメージャを用いて植物画像を捕捉することと、
 植物画像を捕捉した後に、必要な植物と不要な植物とを区別することと、
 前記不要な植物上に標的を位置決めすることと、
円筒形のMEMSミラー適応光学エレメントに結合されている非機械的位相アレイ・ビーム・ステアリング・モジュールによって、少なくとも1つのレーザビームを放射するように構成される少なくとも1つのレーザデバイスを前記不要な植物の前記標的へ誘導することと、
前記少なくとも1つのレーザビームの位相を変調することと、
位相が変調された前記少なくとも1つのレーザビームを、位相格子を利用して前記不要な植物に配向し直すことと、
前記少なくとも1つのレーザビームの被写界深度、被写界幅または焦点距離のうちの少なくとも1つを調整することと、
前記調整された少なくとも1つのレーザビームを、前記不要な植物上の前記標的へ方向づけることと、
 前記不要な植物上の前記標的を前記少なくとも1つのレーザビームで損傷することを含む方法。

【請求項 2】

前記三次元イメージャおよび前記少なくとも1つのレーザデバイスをシャーシ上に搭載することを更に含む、請求項1に記載の不要な植物を除去する方法。

【請求項3】

農圃または芝地に渡って前記シャーシを移動させることを更に含む、請求項2に記載の不要な植物を除去する方法。

【請求項4】

前記農圃または芝地に渡って前記シャーシが移動するにつれて、草を刈って前記不要な植物を枯らせることを更に含む、請求項3に記載の不要な植物を除去する方法。

【請求項5】

前記草を刈ることは、前記農圃または芝地に渡って前記シャーシが移動するにつれて、電気光学的に前記草を刈って前記不要な植物を枯らせることを含む、請求項4に記載の不要な植物を除去する方法。

10

【請求項6】

前記少なくとも1つのレーザビームの被写界深度、被写界幅または焦点距離のうちの少なくとも1つを調整することは、前記少なくとも1つのレーザビームの前記被写界深度、前記被写界幅または前記焦点距離の各々を調整することを含む、請求項1に記載の不要な植物を除去する方法。

【請求項7】

前記レーザビームの波長を調整することを更に含む、請求項1に記載の不要な植物を除去する方法。

20

【請求項8】

前記レーザビームの前記波長は、約430nmから約475nmまで、または約650nmから約675nmまでである、請求項7に記載の不要な植物を除去する方法。

【請求項9】

前記レーザビームの前記波長を調整することは、前記不要な植物のタイプを識別することに基づいて前記波長を調整することを含む、請求項8に記載の不要な植物を除去する方法。

【請求項10】

位相曲がりを生成することによって前記少なくとも1つのレーザビームの焦点を動的に調整することを更に含む、請求項1に記載の不要な植物を除去する方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

不要な、または望ましくない植物を取り除くための、イメージャ、画像プロセッサ、レーザデバイスおよび誘導システムを含むシステムを具現する。

【背景技術】

【0002】

不要な植物または雑草の除去は、農業および園芸を長い間苦しめている課題である。典型的には、不要な植物または草木は、物理的に例えば鋤または耕運機によって、化学的に例えば除草剤を使って、または生物学的に例えば不要な草木に狙いを定めることができる昆虫または菌類等の生物学的作用物質の導入によって除去されることが可能である。不要な植物または草木を物理的に除去する場合は人手を要し、よって高価となる、または時間がかかる可能性がある。不要な植物または草木を化学的に除去する場合は、飲用水を汚染する可能性があって長く環境に影響を与えかつそうでなくとも環境に優しくないのであり得る化学薬剤を使用しなければならない可能性がある。不要な植物または草木を生物学的に除去する場合は、制御が困難である可能性があり、また必ずしも有効かつ効き目があるとは限らない。

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0003】

50

ある態様において、実施形態は、植物の画像を捕捉しかつ植物を位置決めするように構成される三次元イメージャと、捕捉される植物画像を基礎として、必要な植物と不要な植物とを区別するように構成される画像プロセッサと、標的を損傷するに足るパワーを有するレーザビームを不要な植物上へ放射するように構成されるレーザデバイスと、レーザビームを標的である不要な植物へと方向づけるように構成される誘導システムとを含む。レーザデバイスは、可変被写界深度、可変被写界幅、可変焦点距離またはこれらの組合せを有することが可能である。また、具現される装置は、三次元イメージャ、少なくとも1つのレーザデバイスおよび場合により誘導システムを支持するように構成されるシャーシも含む。シャーシは、ある領域に渡って移動されるように構成される。

【0004】

10

別の態様において、芝刈りシステムの実施形態は、切削手段および不要植物除去装置を含む芝刈り機を含む。切削手段は、機械刃およびフレームを含むこと、または電気光学式であることが可能であって、例えば、レーザ・カット・システムを含むことが可能である。実施形態によっては、芝刈り機は、三次元イメージャ、画像プロセッサ、少なくとも1つのレーザデバイスおよび誘導システムのうちの少なくとも1つを駆動するパワーを発生することができる。

【0005】

さらに別の態様において、実施形態は、三次元イメージャを用いて植物画像を捕捉することと、植物画像を捕捉した後に必要な植物と不要な植物とを区別することと、不要な植物に標的を位置決めすることを含む、不要な植物を除去するための方法を含む。また本方法は、レーザビームを放射するように構成される少なくとも1つのレーザデバイスを標的である不要な植物へ誘導することと、レーザビームの被写界深度、被写界幅または焦点距離を調整することと、調整されたレーザビームを標的である不要な植物へ方向づけることと、標的である不要な植物をレーザビームで損傷することも含む。また具現される方法は、指定された領域に渡ってシャーシを動かすことも含む可能性がある。

20

【0006】

上述の概要は、開示する個々の実施形態、または本開示の実装を悉く記述しようとするものではない。以下、諸図面および詳細な説明によって、具体的な実施形態を例示として示す。

【0007】

30

明細書を通じた添付の図面の参照において、類似の参照数字は類似のエレメントを示す。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、発芽中の実生を示す略図である。

【図2】図2は、発芽中の実生の分裂組織に焦点が合わされたレーザを示す略図である。

【図3】図3は、葉緑素A、葉緑素Bおよびカロチノイドの吸収と波長(nm)との関係を示すグラフである。

【図4】図4は、2つのカメラを含む装置の一実施形態において有用である立体三次元画像形成システムを示す略図である。

40

【図5】図5は、マルチビーム・レーザ・スキャナおよび1つのカメラを含む装置の一実施形態において有用である三次元画像形成システムを示す略図である。

【図6】図6は、レーザスキャナおよびステレオカメラを含む装置の一実施形態において有用である立体三次元画像形成システムを示す略図である。

【図7】図7は、ある装置の一実施形態において有用である飛行時間三次元イメージャを示す略図である。

【図8A】図8Aは、光検出および測距(LIDAR)を示す略図である。

【図8B】図8Bは、光検出および測距(LIDAR)を示す略図である。

【図9A】図9Aは、ある装置の一実施形態において有用である飛行時間三次元イメージャを示す略図である。

50

【図 9 B】図 9 B は、ある装置の一実施形態において有用である飛行時間三次元イメージャを示す略図である。

【図 1 0】図 1 0 は、ある装置の一実施形態において有用であるレーザダイオードのアレイを示す略図である。

【図 1 1】図 1 1 は、ある装置の一実施形態において有用である、三次元カメラアレイと組み合わされたレーザダイオードのアレイを示す側面図である。

【図 1 2】図 1 2 は、レーザダイオードのアレイおよび三次元カメラアレイを示す平面図である。

【図 1 3】図 1 3 は、ダイオード・バー・アレイの非機械的位相アレイ・ビーム・ステアリングを示す。

【図 1 4】図 1 4 は、レーザ除草装置に取り付けられたシャーシの一実施形態を示す略図である。

【図 1 5】図 1 5 は、ある方法の一実施形態のフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本開示において、

「ダイオードバー」は、広域エミッタの一次元アレイを含むハイパワー半導体レーザ（レーザダイオード）、あるいは 10 ~ 50 本の狭ストライプを含むサブアレイを指し、

「高速」軸は、（楕円形断面の出力を有する）レーザダイオードからの、最も大きい発散角および最も低い有効屈折率を有する楕円軸に沿った放射を指し、他の楕円軸を正常軸または「遅速」軸と呼び、

「加速度計」、「ガルボミラー」または「ガルボスキャナ」は電子信号に応答するデバイスを指し、加速度計は、力（例えば、重力）を検知してこれを電子信号に変換することができ、ミラーは、電子信号を基礎として反射角を変更することができ、かつスキャナは、レーザビームによる掃引を大きい角度に渡って方向づけることができ、

「マイクロ加速器」、「マイクロミラー」または「マイクロスキャナ」は、「ガルボ加速度計」、「ガルボミラー」または「ガルボスキャナ」と交換可能式に使用される MEMS 集積センサまたはアクチュエータデバイスであって、典型的には、遙かに小さいフォームファクタおよびより高いレベルの集積化を有し、

「レイリーレンジ」は、ビームの伝搬方向に沿った、そのくびれまたは最も狭いビーム断面からこの断面積が倍増する場所までの距離を指す。

【0010】

諸図は、必ずしも一定の縮尺ではない。諸図を通じて使用される類似の数字は、類似のコンポーネントを指す。しかしながら、ある所定の図において、あるコンポーネントを指して数字が使用される場合でも、別の図における同じ数字を付されたコンポーネントを限定する意図のないことは理解されるであろう。

【0011】

以下の説明では、明細書の一部を形成しかつ幾つかの具体的な実施形態が例示されている添付の図面セットを参照する。本開示の範囲を逸脱することなく他の実施形態が企図され、かつ作成され得ることは理解されるべきである。したがって、以下の詳細な説明は、限定的に理解されるべきではない。

【0012】

別段の指摘のない限り、明細書およびクレームにおいて、特徴のサイズ、量および物理的特性を表して使用される全ての数字は、何れの場合も「約」という用語により修正されるものとして理解されるべきである。したがって、反対の指摘のない限り、前述の明細書および添付のクレームに記載されている数値パラメータは、当業者が本明細書に開示される教示内容を用いて達成しようとする所望される特性に依存して変わり得る近似値である。端点による数値範囲の使用は、その範囲内の全ての数字（例えば、1 から 5 は、1、1.5、2、2.75、3、3.80、4 および 5）およびその範囲内の任意の範囲を含む。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 3 】

典型的には、ある植物が芽生えるときは、地中からまず二葉が現れる。子葉と呼ばれるこれらの葉は、芽生えが成長を開始できるように、エネルギーを蓄積エネルギーおよび光合成開始という形で提供する。図 1 は、発芽中の実生 1 0 0 の一部を示す略図である。実生 1 0 0 は、分裂組織 1 0 5 によって互いに、かつ現れてくる茎に付着される 2 つの子葉 1 0 3 を有する。図 2 は、発芽中の実生の分裂組織に焦点が合わされたレーザを示す略図である。図 2 は、スタンド 2 1 5 上に取り付けられた、レーザビーム 2 2 0 の焦点を不要な植物 2 0 3 の分裂組織領域 2 0 5 に合わせているレーザ 2 1 0 を示す。

【 0 0 1 4 】

雑草または不要な植物のレーザ破壊の標的として最も効果的なポジションは、小さい分裂組織領域である。分裂組織領域は、雑草または不要な植物のさらなる成長を促進することができる幹細胞を含む。典型的な不要植物または雑草は、成長を止めるためのレーザ破壊に利用可能な約 1 mm 以下の標的分裂組織領域を有する。不要な植物が大きく成長するにつれて、これを有効に枯らすには、より多くのエネルギーを要する。不要な植物をその発芽直後に枯らせば、根の力強い形成を排除して植物を成長しないようにすることができる。CO₂ レーザ放射は、植物のカーボンハイドロ振動帯域において高い光吸収性を有する。早期成長段階では、CO₂ レーザ（波長 10 . 6 μm）は、実効線量 0 . 1 J / mm で発芽中の実生を枯らすことができる。しかしながら、長い波長に起因して、広視野システムにおいて達成され得る最小スポットサイズには限界がある。したがって、CO₂ レーザを用いて不要な植物を破壊する実際的なレーザシステムを作製するためには、1 mm スポットにおいて植物を枯らすに足る暴露を生成するためのハイパワー（および、これに伴う電力供給）が必要とされる。したがって、CO₂ レーザの波長は、市販の装置においてこのレーザが不要な植物に損傷を与える有効性を制限している。

【 0 0 1 5 】

図 3 は、典型的に植物内に存在する植物色素である、葉緑素 A 3 0 1、葉緑素 B 3 0 2 およびカロチノイド 3 0 3 の吸収と波長（nm）との関係を示すグラフである。図 3 から分かるように、植物色素に関する、可視波長範囲におけるエネルギー吸収の最適波長は、430 nm ~ 475 nm の範囲内、または 650 nm ~ 675 nm の範囲内である可能性がある。赤色および青色のハイパワー・ダイオード・バー、およびシングルモードの半導体ソースは、これらの波長範囲の各々において 1 ワットを超える出力を有し得るものが商品化されている。本明細書に開示するアプリケーションの場合、例えば、青色の範囲（430 nm ~ 475 nm）において約 300 mW より大きい、または約 5 ワット（またはこれ以上）までの出力、および赤色の範囲（650 nm ~ 675 nm）において約 20 ワットまでの出力に達することができる半導体レーザダイオードまたはダイオードバーが適切である。

【 0 0 1 6 】

本明細書に開示するデバイスおよび方法は、不要な植物を位置決めして識別するための三次元イメージャと、不要な植物に損傷を与えて枯らす上で有用なレーザデバイスと、レーザデバイスからビームを不要な植物へと方向づけるための誘導システムとを用いる。三次元イメージャ、レーザデバイスおよび誘導システムは、農圃または芝生等のエリアに渡って移動されるように構成され得るシャシーによって支持されることが可能である。高度な画像形成システムを含む不要な植物の除去システムは、本出願と同日に提出された同時出願および共同所有たる米国特許出願第 1 4 / 0 2 7 , 1 1 6 号に開示されている。安定化システムを含む不要な植物の除去システムは、本出願と同日に提出された、代理人整理番号第 2 0 1 3 0 1 4 3 U S 0 3 号により識別される同時出願および共同所有たる米国特許出願第 1 4 / 0 2 7 , 1 2 0 号に開示されている。これらの 2 出願は、本参照により全体が開示に含まれる。

【 0 0 1 7 】

幾つかの実施形態による装置は、植物の画像を捕捉しかつ植物を位置決めするように構成される三次元イメージャと、捕捉される植物画像を基礎として、必要な植物と不要な植

10

20

30

40

50

物とを区別するように構成される画像プロセッサと、不要な植物を損傷するに足るパワーを有するレーザービームを放射するように構成されるレーザーデバイスと、レーザービームを不要な植物へと方向づけるように構成される誘導システムとを含む。レーザーデバイスは、可変被写界深度、可変被写界幅、可変焦点距離またはこれらの組合せのうちの少なくとも１つを有する。本装置の実施形態は、三次元イメージャおよびレーザーサブシステムを支持するように構成されるシャーシも含む。シャーシは、ある領域に渡って移動されるようにも構成される。

【 0 0 1 8 】

実施形態によっては、装置は、約 10 cm から 1 m までの間の焦点距離で作動するように構成され得る、かつ装置が植物画像を捕捉しかつ不要な植物の特性を有する植物を位置決めすることを可能にする三次元イメージャを利用する。事例によっては、例えば三次元イメージャであるイメージャは、色情報を利用して植物を識別することができる。さらに、実施形態によっては、三次元イメージャおよび誘導システムは、不要な植物の分裂組織の三次元位置を捕捉することができ、かつこのデータを用いて、レーザービームを、不要な植物の分裂組織によるレーザー吸収の標的精度を高めるべく方向づけることができる。実施形態によっては、三次元イメージャは、低い光安定化のための安定化レンズを含むことが可能である。

【 0 0 1 9 】

実施形態によっては、三次元イメージャは、幾何学的システム（三角測量）または電子システム（飛行時間（TOF）測定値を利用）を用いて、不要な植物等のオブジェクトのポジショニング（ロケーション）、および不要な植物上の標的のロケーションを提供することができる。実施形態によっては、三角測量ベースのイメージャは、既知の距離またはベースラインで分離される２つのカメラを含む三次元ステレオカメラシステムを含むことが可能である。実施形態によっては、この三角測量ベースのイメージャは、既知の距離またはベースラインで分離される１つまたは複数のビーム・レーザー・スキャナと１つのカメラとを含むことが可能である。実施形態によっては、この三角測量ベースのイメージャは、１つまたは複数のビーム・レーザー・スキャナと１つのステレオカメラとを含むことが可能であり、ステレオカメラは、既知の距離またはベースラインで分離される２つのカメラを含む。実施形態によっては、この三角測量ベースのイメージャは、既知の距離またはベースラインで分離される構造化された光照射器とカメラとを含むことが可能である。幾つかの実施形態は、光を投射するように構成される、三次元画像形成と共に使用され得るデジタル光プロジェクタ（DLP）を含む。これらの実施形態の全てにおいて、三次元イメージャの深さ（z 方向）精度は、ベースライン距離が増大するにつれて高まる。

【 0 0 2 0 】

図 4 は、既知の距離またはベースラインにより分離される２つのカメラを含む開示された装置の一実施形態において有用である立体三次元画像形成システムを示す略図である。図 4 では、立体三次元画像形成システム 400 の平坦な断面が、x、z 平面沿いに、x 方向に沿って距離 b で離隔された２つのステレオカメラと共に示されている。第 1 のカメラは、x、y 平面に存在する二次元センサアレイ 414 から離れて焦点距離「f」のレンズを有するカメラアパーチャ 412 によって示されている。二次元センサアレイ 414 は、例えば、x、y 平面に存在する電荷結合デバイスアレイ（CCD）であることが可能である。同様に、第 2 のカメラは、x、y 平面に存在する二次元センサアレイ 424 から離れた焦点距離「f」のレンズを有するカメラアパーチャ 421 によって示されている。座標（x, y, z）を有する点または体積画素（ボクセル）401 は、図 4 ではその x、z 平面スライスが示されている円錐形三次元視野 430 の内部空間に位置決めされる。点またはボクセル 401 は、二次元センサアレイ 414 上のロケーション 416、および二次元センサアレイ 424 上のロケーション 426 へマッピングされる。この情報から、三次元位置（x, y, z）を次式により決定することができる。

$$x = b (x_1 + x_2) / 2 \cdot (x_1 - x_2)$$

$$y = b (y_1 + y_2) / 2 \cdot (x_1 - x_2)$$

$$z = b \cdot f / (x_1 - x_2)$$

【 0 0 2 1 】

図 5 は、マルチビーム・レーザ・スキャナおよび 1 つのカメラを含む装置の一実施形態において有用である三次元画像形成システムを示す略図である。三次元画像形成システム 5 0 0 は、レーザスキャナ 5 2 0 と、 x 、 y 平面に存在する二次元センサアレイ 5 1 4 から離れた焦点距離「 f 」のレンズを有するカメラアパーチャ 5 1 2 によって示されるカメラとを含む。レーザスキャナ 5 2 0 は、2 つのボクセル 5 0 1 および 5 0 2 の三次元位置を照射することができる。図 5 における例図では、レーザスキャナ 5 2 0 は、レーザスキャナとボクセルとの間の入射角に依存して、各ボクセル 5 0 1 および 5 0 2 を二次元センサアレイ 5 1 4 上の異なる 2 つのロケーションへマッピングする。この情報から、ボクセルの位置および大きさを決定することができる。

10

【 0 0 2 2 】

図 6 は、レーザスキャナおよびステレオカメラを含む装置の一実施形態において有用である立体三次元画像形成システムを示す略図である。三次元画像形成システム 6 0 0 は、図示されているような範囲の立体角を走査することができるレーザスキャナ 6 2 0 を含む。したがって、点またはボクセル 6 0 1 および 6 0 2 は、2 つのカメラ、即ちアパーチャ 6 1 2 および二次元センサアレイ 6 1 4 により描かれている第 1 のカメラおよびアパーチャ 6 2 1 および二次元センサアレイ 6 2 4 により描かれている第 2 のカメラ、によって光学的にマッピングされる。レーザスキャナ 6 2 0 により照射される二次元センサアレイ 6 1 4 および 6 2 4 上のボクセル 6 0 1 の画像の相対位置を使用すれば、このボクセルの三次元座標を決定することができる。同様に、レーザスキャナ 6 2 0 により照射される二次元センサアレイ 6 1 4 および 6 2 4 上のボクセル 6 0 2 の画像の相対位置を使用すれば、このボクセルの三次元座標を決定することができる。ボクセル 6 0 1 および 6 0 2 が、例えば不要な植物の基部および高さ等の同じオブジェクト上の異なる点であれば、この植物のロケーションおよび高さを決定することができる。この方法では、三次元オブジェクト上の複数の点をマッピングして、このオブジェクトの三次元空間における数学的ロケーションを求めることができる。

20

【 0 0 2 3 】

図示されている実施形態の各々におけるカメラは、アレイ状に置かれることが可能であり、これらは次に、画像形成システムの一回通過によって、例えば農圃内の農作物の列全体を画像化すべく使用されることが可能である。レーザ走査（ラスト走査）は、1 つまたは複数の走査ビームを有する光源と、集光光学系および 1 つまたは複数の検出器との組合せによっても達成されることが可能である。

30

【 0 0 2 4 】

三次元画像形成には、飛行時間（TOF）方法論を用いる電子システムも使用されることが可能である。TOF 三次元画像形成は、送信信号と受信信号との間の位相シフトを測定することによる到着時間の間接的推定を基礎とする。TOF 三次元画像形成システムは、変調された、またはコード化された照射を発することができる光源と、放射される光と画像フィールド内のオブジェクトから後方散乱された後に検出器または検出器アレイにより捕捉される光との間の位相差または時間差を測定することができる検出器または検出器アレイ（二次元センサアレイ）とを含む。典型的な TOF センサは、非コヒーレントな近赤外線振幅変調式連続波光を用いる。信号の位相シフトまたは時間差（および延ては、オブジェクト距離）は、視野内のオブジェクトの三次元マップまたは三次元点クラウドを生成するために使用されることが可能である。実施形態によっては、この情報を生成するためにレーザを使用可能であって、コヒーレントな近赤外線振幅変調式パルス光が使用される。TOF 画像形成に使用される光は、周囲光または背景光から弁別されることが可能である。これに起因して、TOF 画像形成システムは、例えば遮光、掩蔽、表面のきめおよび色等の照明状態の変動、および望ましくない鏡面反射に対して非感受性である可能性がある。

40

【 0 0 2 5 】

50

図 7 は、装置の一実施形態において有用である T O F 三次元イメージャを示す略図である。T O F 三次元イメージャ 7 0 0 は、フォトニッック・ミキサ・デバイス (P M D) ベースの距離画像カメラを含む。P M D カメラは、図示されているように、I R 光源 7 0 3 を変調して三次元オブジェクト 7 0 1 の各ボクセルへ送信されることが可能な変調 I R ビームを生成する変調器 7 0 5 を含む。三次元オブジェクト 7 0 1 の各ボクセルは、変調 I R ビームがその表面から反射されるにつれて位相シフトを生成することができる。位相シフトされた I R ビームは、次に、C C D アレイ 7 0 7 によって捕捉される。位相シフトは、各ボクセル毎に位相シフト信号 7 0 9 との比較によって測定されてデータ 7 1 0 を生成することができ、このデータは次に、オブジェクト 7 0 1 の三次元マップの生成に使用されることが可能である。最近では、コンピュータゲーム用にハンズフリーのジェスチャ認識システムが一般的となり始めるにつれて、T O F カメラのコストが劇的に低減している。このような一例が、ドイツ所在の P M D テクノロジー社により作製された T O F カメラを搭載する C a m b o a r d p i c o 3 D である。このようなカメラは、背景光を減じることができ、かつ接近距離 1 5 c m でオブジェクトを検出する能力によって近被写界深度の検出精度を向上させている。

【 0 0 2 6 】

別の飛行時間三次元測定システムは、レーザ光でオブジェクトを照射し次に後方散乱光を分析することによって標的オブジェクトまでの距離または標的オブジェクトの他の特性を測定できるリモート光検出テクノロジーである光検出および測距 (L I D A R) を基礎とする。三次元オブジェクトの形状およびポジションに関する三次元情報は、走査レーザからのパルスの直接的測定、または走査レーザからの位相差の測定から取得されることが可能である。

【 0 0 2 7 】

図 8 A および図 8 B は、L I D A R の一実施形態を示す略図である。図 8 A は、L I D A R スキャナ 8 0 0 A を示す略図である。L I D A R スキャナ 8 0 0 A は、図 8 A における矢印が示す方向に空間を掃引しながら、変調された走査スポットまたはレーザスキャナ 8 1 0 からの走査線 8 0 5 を生成する。走査スポットまたは走査線 8 0 5 のうちの幾つかは、反射矢印が示すように、ピクセル (例えば、ピクセル 8 0 1 または 8 0 2) に当たると反射戻りパルス 8 0 6 として反射し返される。

【 0 0 2 8 】

図 8 B は、T O F によりオブジェクトの形状およびポジションを決定するために使用されることが可能な反射戻りパルスを測定できる検出システムの一実施形態を示す。検出システム 8 0 0 B は、走査エリアに渡って走査線 8 0 5 を放射するレーザスキャナ (レーザ源 8 1 2 および走査ミラー 8 1 5) を含む。走査線 8 0 5 からの光がピクセル (ピクセル 8 0 1 または 8 0 2 等) に当たれば、反射戻りパルス 8 0 6 が走査ミラー 8 1 5 からオプションである集束エレメント 8 2 0 を介して検出器 8 3 0 上へ反射し返される可能性がある。信号処理は、ピクセル 8 0 1 またはピクセル 8 0 2 の形状およびポジション (例えば、あるオブジェクトの一部、または動きのあるオブジェクトの一時点) を決定することができる。

【 0 0 2 9 】

図 9 A および図 9 B は、装置の一実施形態において有用である、L I D A R を基礎とする T O F 三次元イメージャを示す略図である。図 9 A は、送信モードにおける T O F イメージャ 9 0 0 のオペレーションを描いている。図 9 B は、送信からの後方散乱光を受けたときの T O F イメージャ 9 0 0 のオペレーションを描いている。L I D A R コンポーネント (ボックス 9 2 0 内に示されている) は、図 9 A に示されているように、オブジェクト 9 1 0 を照明すべく光をビームスプレッドまたはコリメータ 9 0 9 を介して投影することができるレーザ 9 0 7 を含む。後方散乱光は、次に、光を受信機 9 0 3 のアレイへ方向づけるレンズコンポーネント 9 0 5 を通り、次に、前記アレイからデジタル画像プロセッサ 9 0 1 へデータが供給される。オブジェクトの三次元マップまたは点クラウドは、データ 9 0 2 から生成されることが可能である。

【 0 0 3 0 】

不要な植物のみならず発芽中の実生の分裂組織の三次元ポジションを位置決めするための追加的手法は、ライトフィールドカメラまたはプレノプティックカメラの使用であってもよい。プレノプティックカメラは、低コストのマイクロレンズアレイを典型的な低コストCCDデジタルカメラの焦点近くに置くことにより光路情報を包含する。このようなカメラは、方位分解能を限定するが、拡大された被写界深度を有する。プレノプティックカメラは、例えば画像プロセッサにおけるコンピュータ処理を用いて視野内の各ポジション毎に最適な焦点を見出すことにより、三次元画像を生成することができる。プレノプティックカメラの解像度は、視野方向が塞がれていないことを条件として、発芽中の不要な実生の分裂組織を画像化しかつ精確に位置決めするに足るものである。プレノプティックカメラのマイクロレンズアレイにおける符号化された情報から深度（z方向）を抽出することができる画像プロセッサにおけるコンピュータによる画像化計算から、z被写界深度を改良することができ、かつ不要な実生およびその分裂組織のロケーションを推定することができる。

10

【 0 0 3 1 】

三次元イメージャの実施形態は、短い捕捉時間の間にフルフレーム画像を収集することができ、または、ラスタ走査を利用することができる。フルフレーム画像の収集は、先に論じたように、撮像レンズおよび二次元センサアレイの使用を必要とする。ラスタ走査は、1つまたは複数の走査ビームを有する光源と、集光光学系および1つまたは複数の検出器との組合せによって達成されることが可能である。ラスタ走査が視野全体をカバーするには、フルフレーム画像収集より多くの時間を要する。

20

【 0 0 3 2 】

実施形態によっては、装置は、三次元イメージャからの捕捉された植物画像を基礎として必要な植物と不要な植物とを区別するように構成される画像プロセッサを含む。画像プロセッサは、三次元イメージャによって集められるデータ（例えば、植物画像および植物のロケーション）を入手し、かつこのデータを用いて不要な植物と必要な植物とを区別することができる。画像プロセッサは、不要な植物上の標的のロケーションをアシストすることもできる。画像プロセッサは、収集されるデジタル植物画像情報と格納された画像情報とのデジタル比較を用いることができる。

30

【 0 0 3 3 】

作物列内で成長する雑草の場合、雑草の弁別は、農作物からの枝葉と雑草が重なって互いに遮り合うにつれてさらに困難になる。画像形成アルゴリズムは、土壌から枝葉を弁別するためにRGBカメラ信号を活用することができ、かつ画像処理アルゴリズムは、葉の形状および表面組織等の植物の特徴を抽出するために使用される。さらに、マルチスペクトル画像またはハイパースペクトル画像も、異なるタイプの植物がこれらのRGBおよび近赤外（NIR）カメラチャネル信号から、これらの様々なスペクトルチャネルの割合を比較することにより区別されることを可能にする。ハイパースペクトル画像およびマルチスペクトル画像は共に、電磁スペクトル全体からの情報を収集して処理する。雑草および農作物のサイズおよび種類を基礎として、画像特徴アルゴリズムと、イメージャのマルチスペクトルまたはハイパースペクトルアルゴリズム、例えば三次元画像形成、との様々な組合せが使用されてもよい。

40

【 0 0 3 4 】

雑草種は、典型的には、主流たる農作物のそれとは異なる成長特性を有する。これらの相違には、成長速度の差、および実生が土壌上層から発育する際の季節的変動が含まれる。したがって、立体光および構造光手法を用いて土壌レベルより上の植物高度特性を測定する三次元画像形成は、葉の形状および他の植物形態学特性に関係なく雑草を農作物から識別するために使用されることが可能である。

【 0 0 3 5 】

実施形態によっては、雑草は、画像形成形態学とマルチスペクトル解像度との組合せを用いて識別されることが可能である。マルチスペクトル画像は、異なる植物は異なる可視

50

吸収率および近赤外線吸収率を有すると思われることから、追加情報を提供する。また、雑草は異なる速度で成長する傾向があることから、三次元カメラで測定される植物高度は弁別の優れた手掛かりとなる。雑草のロケーションも、その識別に使用されることが可能である。

【0036】

装置の実施形態の中には、不要な植物を除去する、または不要な植物に損傷を与えるための除去デバイスを含むものがある。除去デバイスは、除草剤散布機、火炎除草用トーチヘッドまたはレーザーデバイスを含むことが可能である。ある実施形態では、除去デバイスは、不要な植物に損傷を与えるに足るパワーを有するレーザービームを放射するように構成されるレーザーデバイスを含むことが可能である。不要な植物に致命的な損傷を与えるに足るパワーの量は、衝突する放射線の波長、不要な植物へ送達されるこの放射線の分量、不要な植物の成長段階および衝突する放射線へ暴露される不要な植物の部分（標的または標的に近い部位）に依存する。

10

【0037】

実施形態によっては、少なくとも1つのレーザーデバイスは、葉緑素A、葉緑素Bおよび/またはカロチノイド等の植物色素によって吸収され得る光を放射することができるレーザーダイオードを含むことが可能である。典型的には、約430nmから約475nmまで、または約650nmから約675nmまでの波長を有するレーザービームを放射するように構成され得ることから、青色放射または赤色放射半導体レーザーダイオードを用いることができる。実施形態によっては、除去デバイスは、画像プロセッサからの情報を基礎として、調整可能な波長を有することが可能である。

20

【0038】

レーザーデバイスは、レーザー・ダイオード・バー内等のアレイ内に個々のレーザーダイオードを含むことが可能である。レーザー・ダイオード・バーは、インスタンスによっては、19個の個々のマルチモード・レーザー・エミッタを用いて20ワットもの放射を生成しているソースを生成すべく、FAST軸レンズおよび市販のビームコンバイナと組み合わせることが可能である。FAST軸方向には、単一モードのビーム品質を達成することができる。横側のSLOW軸方向には、回折品質が達成されなくてもよい。複数のレーザーダイオードからのレーザービームを結合する場合、レンズレット（マルチレンズ）アレイを用いて各ビームを個々にコリメートすることができる。レーザーダイオード・アレイからのこのような結合されたビームからは、結果的に1~2mm×100μmのスポットサイズを得ることができる。幾つかの異なるレーザー位置およびレーザー角を選択できる限り、このタイプのビーム形状は、不要な植物の分裂組織の近くに切れ目を接続するために有益である可能性がある。レーザー・ダイオード・バーまたはレーザー・ダイオード・アレイを複数のカメラシステムと共に使用すれば、レーザー・ダイオード・バー上に利用可能な多くの異なるレーザーダイオードから、特定の不要な植物上へレーザーを衝突させるための最良の角度を選ぶことができる。青色および赤色のハイパワーレーザーまたはレーザーダイオードを使用する場合、コリメートされた光のレイリーレンジは、高いビーム品質を有する、FAST軸沿いの数メートルであることが可能である。ビーム直径が僅か1mmである場合、本明細書に開示する実装には、単軸大角度ガルボスキャナに対する微小電気機械システム（MEMS）手法が適切である。

30

40

【0039】

装置の実施形態は、レーザービームを不要な植物の標的へと方向づけるように構成される誘導システムを含む。誘導システムは、画像プロセッサから情報を入手し、かつ例えばガルボミラー等のビーム方向変更デバイスを用いてレーザービームを配向し直し、かつ実施形態によっては、これを不要な植物の標的上へ集束させることができる。実施形態によっては、レーザービームは、植物の特定の一部、例えば植物の分裂組織等へ方向づけられることが可能である。ある実施形態では、誘導システムは、図9に示されているもの等のハイパワー・レーザー・アクチュエータ・アレイを含むことが可能である。実施形態によっては、レーザー・ビーム・コントローラは、二軸MEMSガルボミラーを含むことが可能である。

50

【 0 0 4 0 】

図 1 0 は、開示する装置のためのレーザ誘導システムの一実施形態において有用であるレーザダイオードのアレイを示す略図である。アレイ 1 0 0 0 は、レーザ・ダイオード・バーの一部であることが可能なレーザダイオード 1 0 0 1 A ~ 1 0 0 1 C のアレイを含むレーザデバイスである。図示されているアレイ 1 0 0 0 は、3 つのレーザダイオードを含んでいるが、これは単に例示のためであって、典型的なレーザ・ダイオード・バーまたはアレイは、図示されているものより遙かに多いレーザダイオードを有することが可能である。アレイ 1 0 0 0 は、コリメーション光学系 1 0 0 3 A ~ 1 0 0 3 C のコレクションを含む。一連の M E M S 静電ミラー 1 0 0 5 A ~ 1 0 0 5 C は、画像プロセッサから情報を入手し、1 つまたは複数のビームを標的たる不要な植物へ方向づける。ミラー 1 0 0 5 A ~ 1 0 0 5 C のポジションを変更することにより、図 1 0 に示されているように、複数のビームを不要な各植物へ方向づけること、かつ / または少なくとも 1 つのビームを 2 つ以上の不要な植物へ方向づけることが可能である。実施形態によっては、誘導システムは、レーザビームの焦点深度範囲を拡大するために使用されることが可能な M E M S 適応光学ミラー等の 1 つまたは複数の適応光学エレメントを含む。ミラーは、使用されるレーザ、例えば青色または赤色半導体レーザに適合する反射コーティングを有することが可能である。例えば、レーザは、ある具体的な標的ロケーションへ方向づけられた後に、指定された衝突角度および / または指定された焦点深度で起動されてもよい。

10

【 0 0 4 1 】

実施形態によっては、レーザ・ダイオード・アレイは、レーザビームの精確なポインティングおよび最適な角度ポジションを見込むべく三次元イメージャ（カメラ）のアレイと結合されることが可能である。構成によっては、レーザアレイおよび三次元イメージャは、幅スケラブルな一回通過除草を提供するように適合化されることが可能である。図 1 1 には、レーザアレイおよびイメージャの一実施形態が示されている。アレイ 1 1 0 0 は、三次元カメラ 1 1 1 0 A ~ 1 1 1 0 D のアレイと、レーザダイオード 1 1 2 0 A ~ 1 1 2 0 C のアレイとを含む。カメラ 1 1 1 0 A ~ 1 1 1 0 D は、図示されているように、重なり合う立体視野をカバーする。これらは、レーザビームを位置決めしかつこれを必要な植物および不要な植物のアレイにおける不要な植物上の標的へ方向づけるべく、レーザダイオードのアレイ（図 1 0 に描かれているもの等）を視野 1 1 3 0 に渡って方向づけるために使用されることが可能である。

20

30

【 0 0 4 2 】

装置の実施形態の中には、少なくとも 1 つのレーザビームを不要な植物上の標的へと方向づけるように構成される誘導システムを含むものがある。さらに、誘導システムは、少なくとも 1 つのレーザデバイスの光学系を、不要な植物を除去するために具現される装置コンポーネントの精確かつ効率的な使用をもたらすべく適合化するように構成されることが可能である。実施形態によっては、誘導システムは、被写界深度、被写界幅または焦点距離のうちの少なくとも 1 つを変更するように、三次元画像形成システムへフィールドバックを提供することができる。レーザ 1 1 2 0 A ~ 1 1 2 0 C の各々は、互いに関係なく方向づけられ、かつ / または、ポジション、角度、スポットサイズおよび / または焦点距離、他を制御されることが可能である。実装によっては、各レーザのパワー、波長および / またはビームタイプ（連続波（C W）またはパルス式）は、標的植物のタイプを基礎として独立制御されることが可能である。実施形態によっては、レーザビームのスポットサイズは約 1 0 0 μ m 未満である可能性があり、かつビームのコリメーション直径は約 1 mm 未満である可能性がある。

40

【 0 0 4 3 】

大きい動眼視野のレーザ走査（例えば、x および y 両方向に + / - 3 0 度）は、M E M S ベースのミラースキャナおよび / または適応光学エレメントによって、可変長焦点制御と共に達成されることが可能である。実装の中には、異なる高さの雑草をオンザフライで標的にするために、焦点位置をオンザフライで可変式にリプログラムすることを含むものがある。

50

【 0 0 4 4 】

レーザサブシステムの動作中の安定性を高めるために、レーザサブシステムおよび／またはそのコンポーネントは、約 5 0 0 H z 未満の周波数では機械的に共振しないように設計されてもよい。例えば、レーザサブシステムおよび／またはそのコンポーネントの最下位の共振機械周波数は、5 0 0 H z を上回るものであってもよく、または 1 k H z を上回るものであってもよい。

【 0 0 4 5 】

本装置の幾つかの実施形態は、三次元イメージャ、レーザデバイスおよび誘導システムを支持するように構成されるシャーシも含む。シャーシは、必要な植物および不要な植物を含む農地または芝地等のエリアに渡って動くように構成されることが可能である。シャーシは、その上に三次元イメージャ、少なくとも 1 つのレーザデバイスおよび誘導システムが搭載される任意のフレームであることが可能である。実施形態によっては、シャーシにより支持される三次元イメージャ、少なくとも 1 つのレーザデバイスおよび誘導システムは、検出能力を有し、かつ誘導システムを利用して少なくとも 1 つのレーザデバイスの適応可能な光学系を、垂直を含む全三次元式に調整することができる。実施形態によっては、シャーシは、電動トラクタまたは電動車両の一部であることが可能である。実施形態によっては、シャーシは、電動トラクタまたは車両から分離したものであってもよく、例えば、電動車両へ取り付けることができるトレーラのフレームであってもよい。実施形態によっては、シャーシは、必要な植物および不要な植物を含むエリア上を飛行するように設計される航空機の一部であってもよい。実施形態によっては、シャーシ上に画像プロセッサも搭載されることが可能である。他の実施形態では、画像プロセッサは遠隔的に位置決めされることが可能であり、誘導システムと配線を介して、または例えば W i - F i 接続を介して遠隔的に通信することができる。

【 0 0 4 6 】

装置の幾つかの実施形態は、農場または芝地等の広範囲エリアを走査することができ、かつ誘導システムを用いて、必要な植物と不要な植物とを区別し、不要な植物を位置決めし、不要な植物上の標的を位置決めし、少なくとも 1 つのレーザデバイスから放射されるレーザビームを選択し、レーザビームの光学特性を調整し、特性が調整されたレーザビームを不要な植物の標的へ方向づけ、かつ不要な植物の標的をレーザビームで損傷することができる。レーザデバイスが複数のレーザダイオードを含んでいれば、誘導システムは、植物に致命的損傷を与えるに足る精度およびエネルギーで不要な植物上の標的に当たるレーザビームの能力を高めるように、複数のレーザダイオードのうちの 1 つまたは複数のレーザダイオードを選択することができる。

【 0 0 4 7 】

誘導システムは、装置が受け得る環境振動を矯正することができるようにする高い帯域幅を有することが可能である。さらに、誘導システムは、レーザスポット強度を危うくすることなく広いエリアに渡ってスケールする能力を有することが可能である。例えば、レーザデバイスは、不要な植物の標的上に様々な異なる角度で独立して方向づけられかつ集束されることが可能な多くの直接変調式半導体レーザを含んでもよい。誘導システムは、装置があるエリアに渡って移動されるにつれて複数の不要な植物の標的に損傷を与えるために、複数のレーザを有するレーザデバイスのうちのどのレーザが選択され、集束されかつ駆動され得るかを制御することができる。誘導システムは、エリアにおける装置のポジションを基礎として、装置がエリアに渡って移動されるにつれてその操縦により発生する振動、エリアの深さまたは z 方向のむら、および画像プロセッサにより決定される不要な各植物の標的の三次元位置を調整することができる。

【 0 0 4 8 】

図 1 2 は、半導体レーザダイオードのアレイを調整することができる誘導システムを含む装置の一実施形態を示す略図である。装置 1 2 0 0 は、図示されている装置では 3 つの三次元イメージャ 1 2 0 3 A、1 2 0 3 B および 1 2 0 3 C を含んでいるレーザ・ダイオード・バーを含む。三次元イメージャ 1 2 0 3 A は、図示されているような（被写界深度

、被写界幅および焦点距離によって画定された)視野1201Aを有する。同様に、三次元イメージャ1203Bおよび1203Cも、各々視野1201Bおよび1201Cを有する。視野1201A、1201Bおよび1201Cは、図12に示されているように重なっている。三次元イメージャ1203A~Cは、必要な植物と不要な植物とを区別するように構成される。2つの不要な植物1210Aおよび1210Bは、例示のために示されている。装置1200は、必要な植物および不要な植物を含むフィールドを矢印1220が示す方向に移動される。装置1200は、z方向にむらのあるフィールドにより生じるもの等の機械的振動を検出することができる三軸ジャイロ加速度計センサ1215も含む。実施形態によっては、三軸加速度計センサは、約500Hz未満の周波数を有する低周波数機械振動を検出するように構成されることが可能である。装置1200は、視野1201A~Cから(画像プロセッサを介して)、および加速度計センサ1215から情報を入手することができる誘導システムを有する。これは、不要な植物1210Aおよび1210Bを検出することができ、かつ、装置1201があるエリアに渡って移動されるにつれてレーザビームが不要な植物1210Aおよび1210Bに方向づけられるように、レーザダイオード1207Aおよび1207Bから各々放射されるレーザビームの方向、被写界深度、被写界幅および焦点距離を制御する適応光学系1205Aおよび1205Bの変更を指示することができる。図12に示されている実施形態では、レーザダイオード1207Aからの2つのレーザビームが不要な植物1210Aおよび1210Bの双方に方向づけられているが、レーザおよび適応光学系の組合せは、装置1200が通り抜けるエリア全体をカバーすべく様々に用いることができる。

【0049】

図13は、ダイオード・バー・アレイの非機械的位相アレイ・ビーム・ステアリングを含む装置の一実施形態を示す。非機械的位相アレイ・ステアリング・モジュール1300は、コリメート光学系1303により一次元光学位相変調器1305にまずコリメートされる単モード半導体レーザ1301の1つまたは複数のアレイを含む。各位相変調器1305は、個々の位相変調エレメントの位相をリプログラムすることにより、出力光の方向および焦点を一軸に沿って変更するパワーを有する。さらに、一次元位相変調器は、ハイパワーパルスレーザ光が変調器内に熱的加熱問題を引き起こさない程度の低強度を有するように、大きい四角のオーバーチャを有する。位相変調器は、位相曲がり生成することによって光の焦点を動的に調整するために使用されることが可能である。軸に沿った走査角に依存して、位相変調器は、一軸に沿ったフィールド湾曲を矯正することができ、これにより、適応光学系1307を用いて平面上へより広い走査角を再度集束させることができるようになる。位相格子1309は、約600Hzで動作することができ、かつレーザを瞬間自動露出式に配向し直すことができ、連続的な角度走査を要しない。ビームは、トラクタによりy軸沿いに移動されるにつれてx軸1311沿いに配向し直されることが可能であり、かつ異なるzポジション1313へ集束し直されることが可能である。応答時間は、液晶エレメント自体によって制限され、何らかの調整は、速度を約500Hzのリフレッシュ速度まで高めることができる。

【0050】

典型的には一次回折モードにおける約75%パワーの高効率ステアリングで僅か約10度である位相格子ビームステアリングの範囲を拡大するためには、レーザ光が偏向されれば、離散的な大型オーバーチャ透過型偏光格子スイッチを用いてレーザを離散的な大角度を介して瞬間的に切換することができる。これにより、レーザを一次元または二次元沿いに広いフィールドに渡って高精度で操縦できるようになる。位相格子変調器と組み合わせれば、走査角に渡る精度制御を伴う大きい動眼視野を達成することができる。

【0051】

非機械的ステアリングモジュール1300は、トラクタの一部であるシャーシ上に搭載されるとy方向に移動されることが可能である。本開示において、トラクタは、ステアリングモジュール1300をy軸方向へ動かすことができる任意の車両である。トラクタシステムは、典型的には、速度1.5m/秒から2.5m/秒で走行する。レーザ射撃イベ

10

20

30

40

50

ント間の再プログラミング時間を2ミリ秒であるとする、トラクタが移動する直線距離は僅か3mmから5mmとなる。この時間中に、レーザは、不要な植物を複数のレーザ発射で激しく損傷することができる。不要な植物の密度が約1植物/cm²未満である限り、レーザ・ステアリング・システムは、次の不要な植物の標的へと発射すべく再構成されるに足る時間を有する。このような非機械的位相アレイ・ビーム・ステアリング・モジュールがトラクタ耕運機の長さに沿って存在することにより、広い作物列を一回通過で「除草」することができる。

【0052】

一次元変調器は、一次元に沿った焦点変動しか補償することができない。非機械的ステアリングモジュールの有効性を高めるためには、円筒形適応光学系MEMSミラーエレメント(図13において1307で示されている)を使用可能である。このようなMEMS適応ミラーは、曲率を僅かに変更すべく静電作動される珪素-窒化物金スパッタ膜を用いて作製されることが可能である。このようなMEMS構造体は、その小型サイズに起因して、著しく振動非感受性である可能性があり、1kHzを優に超える共振周波数を有する。

10

【0053】

本明細書に記述する芝刈りシステムは、先に述べたような装置の一実施形態を含む。芝刈りシステムは、芝刈り機も含んでもよい。芝刈り機は、手動式またはトラクタ推進式芝刈り機であること、または自走式電動芝刈り機(ガソリン、ディーゼル、電気、ソーラ、電気式)であることが可能である。芝刈り機が手動式であれば、これは、三次元イメージャ、画像プロセッサ、少なくとも1つのレーザデバイスおよび誘導システムに給電するための電源を含んでもよい。芝刈り機がトラクタ推進式であれば、これは、実施形態によっては、三次元イメージャ、画像プロセッサ、少なくとも1つのレーザデバイスおよび誘導システムのうちの少なくとも1つを駆動するパワーを発生することができる。

20

【0054】

実施形態によっては、芝刈り機は、切削手段を含むことが可能である。切削手段は、例えば、回転する横刃リール、回転する単刃またはレーザカッタ(電気光学式)を含むことが可能である。実施形態によっては、切削手段は、複数の回転レーザビームを利用して例えば芝生内で成長する草等の草木を刈ることができるレーザ切削装置等の電気光学式切削手段を含む。実施形態によっては、不要な植物を損傷するに足るパワーを有するレーザビームを放射するように構成される少なくとも1つのレーザデバイスは、芝生における草等の草木を刈るためにも使用され得ることが企図されている。このような一実施形態では、レーザデバイスは、不要な植物(雑草)と必要な植物(芝草)とを区別することができ、かつ不要な植物の損傷および必要な植物の切削(芝刈り)の双方を行うことができる。この実施形態では、電気光学式切削手段およびレーザビームは、不要な植物の損傷および草木刈りの双方を行ない得る十分なパワーを有することが可能である。

30

【0055】

図14は、レーザ除草モジュールを含む装置の一実施形態を示す略図である。装置1400は、トレーラ1403が取り付けられるトラクタ1401を含む。トレーラ1403は、三次元イメージャと、レーザデバイスのアレイと、レーザビームコントローラとを含む。また装置1400は、必要な植物と不要な植物とを区別するように構成される画像プロセッサも含むことが可能である。装置1400は、農圃または芝地に渡って移動されることが可能であり、かつ不要な植物を識別して位置決めすることができる。トレーラ1403上のレーザデバイスアレイは、1つまたは複数の不要な植物へ方向づけられることが可能な複数のレーザビーム1405を生成することができる。

40

【0056】

別の態様において、不要な植物を除去するための方法の幾つかの実施形態は、三次元イメージャを用いて植物画像を捕捉することを含む。このようなプロセスおよび装置については、先に論じた。本方法の実施形態は、植物画像を捕捉した後に必要な植物と不要な植物とを区別することも含む。本方法の実施形態は、少なくとも1つのレーザデバイスから

50

のレーザービームを不要な植物へ方向づけることと、不要な植物をレーザービームで損傷することを含む。本方法の幾つかの実施形態は、少なくとも1つのレーザービームを不要な植物へと方向づけるように構成される誘導システムも含む。別の実施形態では、農圃または芝地に渡ってシャースを移動させることができる。

【0057】

開示する方法の一実施形態を、図15におけるフロー図様式に示す。プロセス1500は、ステップ1501に示されているように、三次元イメージャを用いて植物画像を捕捉することを含む。捕捉された植物画像は、ステップ1510に示されているように、必要な植物と不要な植物とを区別するために使用される。植物が必要な植物1505であれば、三次元イメージャは、ステップ1503に示されているように、さらなる植物を探索するように構成される。植物が不要な植物であれば、ステップ1520に示されているように、不要な植物上に標的を位置決めすることができる。所望されれば、または必要であれば、ステップ1504に示されているように、三次元イメージャの光学特性を、必要な植物と不要な植物との区別化を手助けすべく調整することができる。植物が所望される植物または必要な植物であれば、装置はこれ以上のアクションを行わない。植物が、損傷され、破壊され、または除去される必要のある不要な植物であれば、ステップ1520に示されているように、その位置決めが行われる。誘導システムは、ステップ1530に示されているように、少なくとも1つのレーザービームを選択しかつこれを不要な植物上に集束させるために使用される。少なくとも1つのレーザービームに関連づけられる光学系は調整されることが可能であり(ステップ1540)、調整されたレーザービームは、ステップ1550に示されているように、不要な植物の標的へ方向づけられることが可能である。最後に、ステップ1560に示されているように、不要な植物は損傷されることが可能であって、望ましくは枯れて壊変する。

【0058】

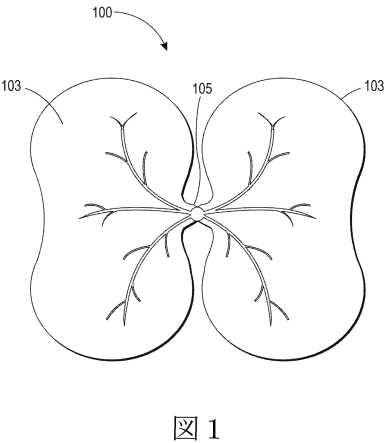
本明細書において具体的な実施形態を例示しかつ説明したが、当業者には、例示しかつ説明した具体的な実施形態が、本開示の範囲を逸脱することなく、様々な代替的かつ/または均等な実装により置換され得ることが認識されるであろう。本明細書は、本明細書において論じている具体的な実施形態の任意の適応または変形を包含することを意図するものである。したがって、本開示は、請求の範囲およびその均等物によってのみ限定されるべきものである。

10

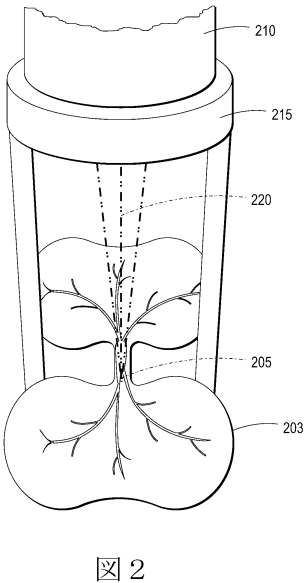
20

30

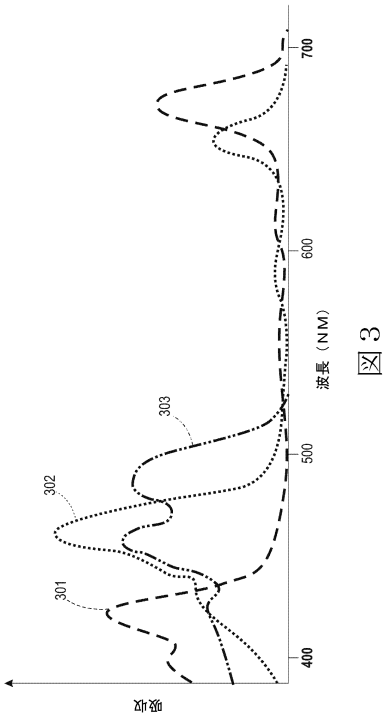
【 図 1 】



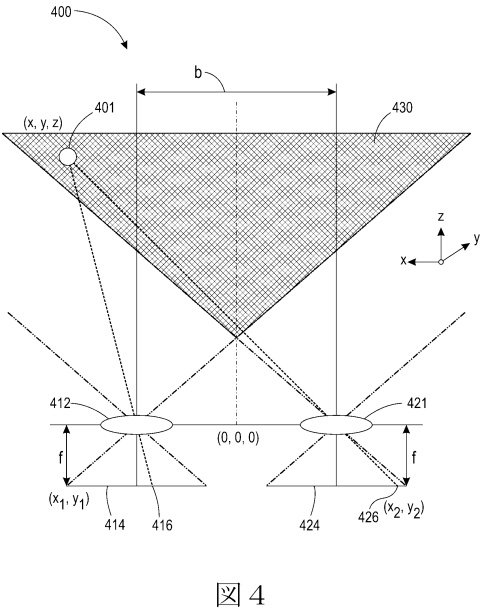
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



【図 5】

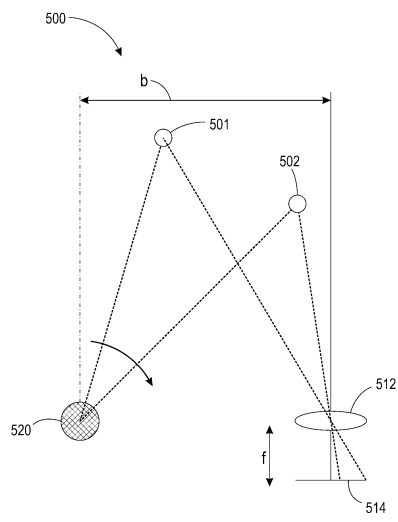


図 5

【図 6】

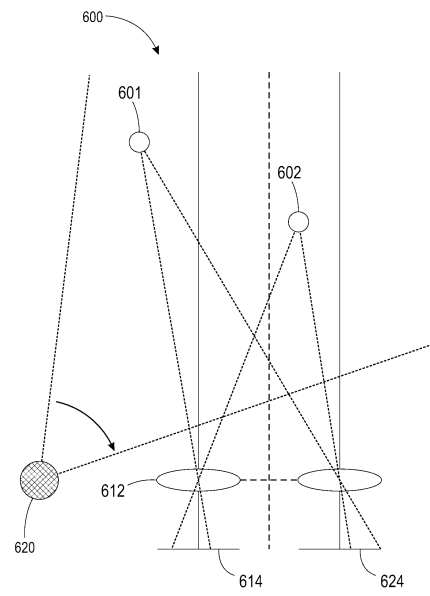


図 6

【図 7】

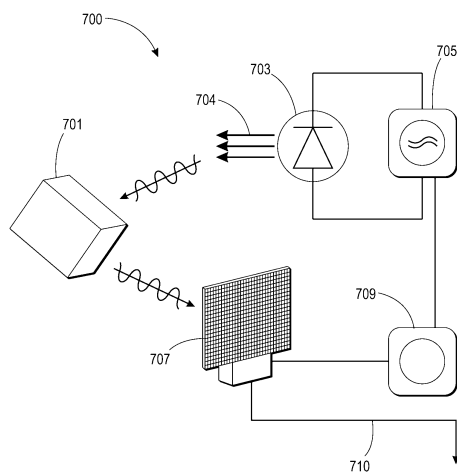


図 7

【図 8 A】

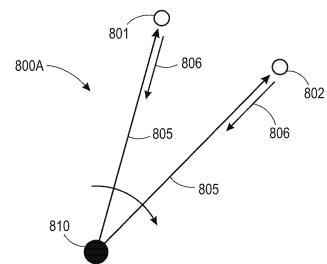


図 8 A

【図 8 B】

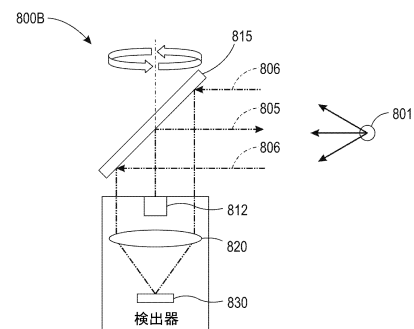


図 8 B

【図 9 A】

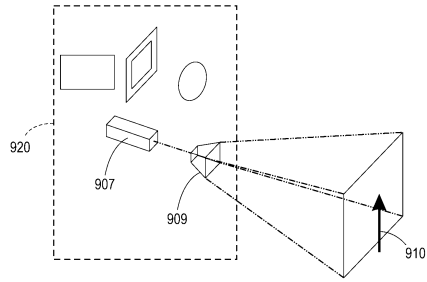


図 9 A

【図 9 B】

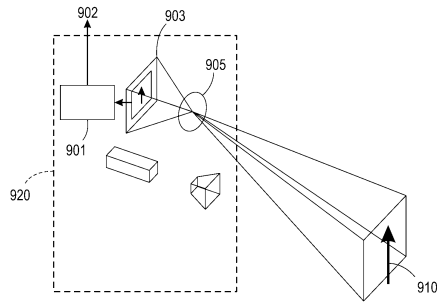


図 9 B

【図 10】

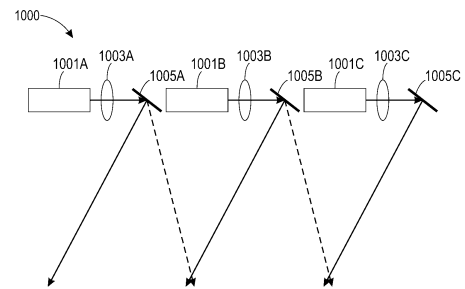


図 10

【図 11】

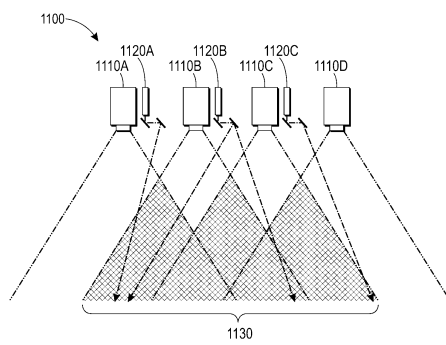


図 11

【図 12】

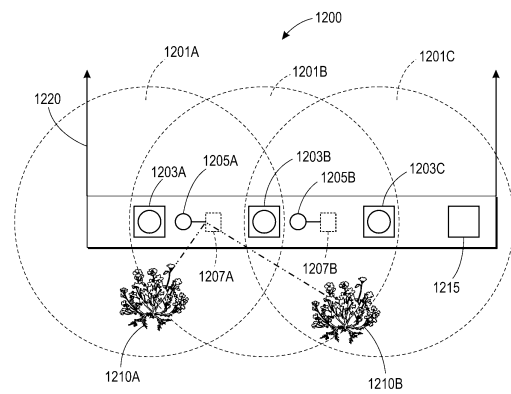


図 12

【図 13】

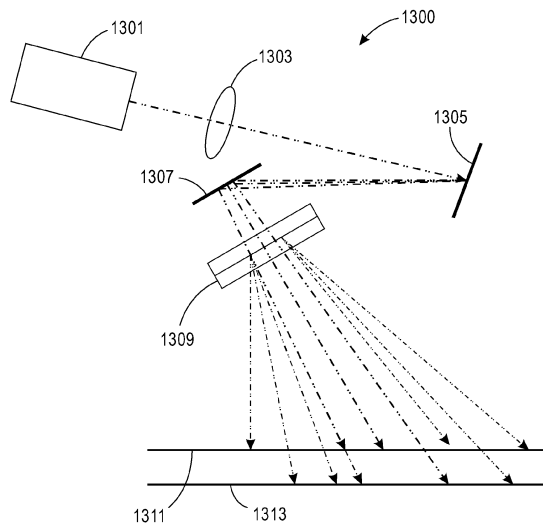


図 13

【図 14】

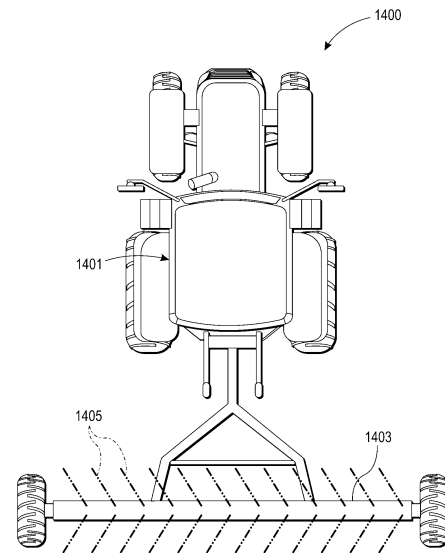


図 14

【図 15】

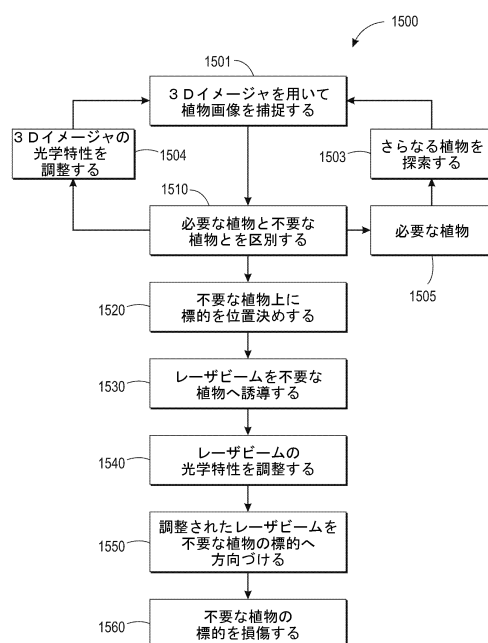


図 15

フロントページの続き

- (72)発明者 ティモシー・デイヴィット・ストウ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 0 1 アラミーダ サンノゼ・アベニュー 3 2 0 8
- (72)発明者 パトリック・ヤスオ・マエダ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 4 サンノゼ チャーマラン・アベニュー 1 5 0
7 5
- (72)発明者 ティム・カーリー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 7 0 サン・カルロス フェアバンクス・アベニュー
1 7 5

審査官 門 良成

- (56)参考文献 特表平8 - 5 0 1 3 8 5 (J P , A)
国際公開第2 0 0 8 / 0 1 4 5 5 3 (W O , A 1)
国際公開第2 0 1 2 / 1 7 5 8 0 9 (W O , A 2)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)
- | | |
|---------|-----------|
| A 0 1 M | 2 1 / 0 4 |
| G 0 6 T | 1 / 0 0 |
| G 0 1 J | 3 / 5 0 |
| G 0 1 N | 2 1 / 0 0 |