

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6621580号
(P6621580)

(45) 発行日 令和1年12月18日(2019.12.18)

(24) 登録日 令和1年11月29日(2019.11.29)

(51) Int.Cl.

G01B 11/02 (2006.01)

F 1

G01B 11/02

Z

請求項の数 8 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2015-5034 (P2015-5034)
 (22) 出願日 平成27年1月14日 (2015.1.14)
 (65) 公開番号 特開2015-135327 (P2015-135327A)
 (43) 公開日 平成27年7月27日 (2015.7.27)
 審査請求日 平成30年1月12日 (2018.1.12)
 (31) 優先権主張番号 14/156,789
 (32) 優先日 平成26年1月16日 (2014.1.16)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 500520743
 ザ・ボーイング・カンパニー
 The Boeing Company
 アメリカ合衆国、60606-2016
 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
 (74) 代理人 110002077
 園田・小林特許業務法人
 (72) 発明者 サン・クレア、ジョナサン・エム.
 アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース・リバーサイド・プラザ 100, メール・コード 19-エイチピー

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レーザー計測システムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

変調された測定ビーム(26)と、
 前記測定ビームを局部発振器ビーム(44)および透過ビーム(46)に分割するためのビーム分割器(42)と、
 前記透過ビーム(46)を対象構造(38)の表面(36)の測定エリア(34)を覆うように拡大し、かつ投射するための透過ビーム光学系(58)、および、前記測定エリア(34)からの複数の反射ビーム(52)を受け取り、かつフォーカスするための、前記透過ビーム光学系(58)とは異なる反射ビーム光学系(60)を有する光アセンブリ(50)であって、前記複数の反射ビーム(52)は、前記測定エリア(34)内の前記対象構造(38)の前記表面(36)の複数の測定点(92)からの前記透過ビームの単一の投射の戻りである光アセンブリ(50)と、

前記複数の反射ビーム(52)および前記局部発振器ビーム(44)を検出ビーム(68)に結合するためのビーム結合器(24)と、

前記検出ビーム(68)を処理するための検出器(48)と、を備えるレーザー計測システムであって、前記検出器(48)は、

マイクロレンズアレイ(74)を形成する複数のマイクロレンズ(72)と、光検出器アレイ(78)を形成する複数の光検出器(76)と、前記光検出器アレイ(78)の前記複数の光検出器(76)と通信する検出器エレクトロニクス(84)と、を備え、

前記マイクロレンズアレイ(74)の前記複数のマイクロレンズの各々は、前記測定エリ

10

20

ア(34)内の前記複数の測定点(92)のそれぞれを表す検出ビーム(68)の一部分(80)を、前記光検出器アレイ(78)の前記複数の光検出器(76)のうち関連付けられた1つの光検出器に同時に投射し、前記光検出器アレイ(78)の前記複数の光検出器(76)の各々は、前記検出ビーム(68)の前記一部分(80)の各々のコヒーレント検出を実行し、

前記検出器エレクトロニクス(84)は、前記複数の測定点(92)について前記検出ビーム(68)の一部分(80)から情報データを生成し、

前記レーザー計測システム(10)はさらに、前記検出器エレクトロニクス(84)と通信するレンジプロセッサ(86)を備え、前記レンジプロセッサ(86)は、

前記透過ビーム(46)の前記单一の投射と、前記対象構造(38)の前記表面における前記測定エリア(34)からの前記複数の反射ビーム(52)の反射とに基づいて、前記測定エリア(34)内の前記複数の測定点(92)についての寸法データを前記情報データから計算し、前記複数の測定点(92)の各々について範囲値(102)を計算し、かつ表示用のコントローラー(40)へ前記複数の測定点(92)の各々に対する範囲値(102)を報告し、

前記複数の測定点(92)に対する複数の範囲値(102)は前記対象構造(38)の2次元表示として示される、レーザー計測システム(10)。

【請求項2】

信号ビーム(18)を透過するためのレーザー(16、20)を備える信号ビーム投射器(12)、

ガイドビーム(22)を透過するためのレーザー(16、20)を備えるガイドビーム投射器(14)、ならびに

前記信号ビーム(18)および前記ガイドビーム(22)を前記測定ビーム(26)に結合するためのビーム結合器(24)

をさらに備える、請求項1に記載のシステム。

【請求項3】

前記信号ビーム投射器(12)は、前記信号ビーム(18)を変調するためのレーザー変調器(30)を備える、請求項2に記載のシステム。

【請求項4】

前記検出器エレクトロニクス(84)は、

前記複数の光検出器(76)からの電気信号をデジタル信号に変換するための複数のアナログ-デジタル変換器(82)、

前記デジタル信号を一時的に記憶するための複数のバッファ(86、88)、および前記デジタル信号から前記情報データのスペクトルを計算するための複数の高速フーリエ変換プロセッサ(90)

を備える、請求項1に記載のシステム。

【請求項5】

少なくとも1つの前記アナログ-デジタル変換器(82)、少なくとも1つの前記バッファ(86、88)及び少なくとも1つの前記高速フーリエ変換プロセッサ(90)は、前記光検出器アレイ(78)の前記複数の光検出器(76)の各々と関連付けられる、請求項4に記載のシステム。

【請求項6】

前記対象構造(38)の画像(66)を提供するための撮像システム(62)をさらに備え、前記コントローラー(40)は、特定の時間に前記レンジプロセッサ(86)によって前記検出器エレクトロニクス(84)から供給されるデジタル信号を処理し、前記範囲値(102)を同一時点で前記対象構造(38)の前記画像(66)と関連付ける、請求項1に記載のシステム。

【請求項7】

ディスプレイ(64)をさらに備え、前記対象構造(38)の2次元表示として示される前記範囲値(102)および前記画像(66)は、前記コントローラー(40)によつ

10

20

30

40

50

て統合され、前記ディスプレイ（64）に表示される、請求項6に記載のシステム。

【請求項 8】

変調された信号ビーム（18）を透過するためのレーザー（16、20）を備える信号ビーム投射器（12）と、

ガイドビーム（22）を透過するためのレーザー（16、20）を備えるガイドビーム投射器（14）と、

前記信号ビーム（18）および前記ガイドビーム（22）を変調された測定ビーム（26）に結合するためのビーム結合器（42）と、

前記測定ビーム（26）を局部発振器ビーム（44）および透過ビーム（46）に分割するためのビーム分割器（42）と、

前記透過ビーム（46）を対象構造（38）の表面（36）の測定エリア（34）を覆うように拡大するための透過ビーム光学系（58）と、

複数の反射ビーム（52）を収集するための、前記透過ビーム光学系（58）とは異なる反射ビーム光学系（60）であって、前記複数の反射ビーム（52）は、前記測定エリア（34）内の前記対象構造（38）の前記表面（36）の複数の測定点（92）からの前記透過ビームの単一の投射の戻りである、反射ビーム光学系（60）と、

前記局部発振器ビーム（44）の光の量を制御するための局部発振器ビーム（44）光学系と、

前記複数の反射ビーム（52）および前記局部発振器ビーム（44）を検出ビーム（68）に結合するためのビーム結合器（42）と、

前記検出ビーム（68）を処理するための検出器（48）と、を備えるレーザー計測システム（10）であって、前記検出器（48）は、

マイクロレンズアレイ（74）を形成する複数のマイクロレンズ（72）と、光検出器アレイ（78）を形成する複数の光検出器（76）と、前記光検出器アレイ（78）の前記複数の光検出器（76）と通信する検出器エレクトロニクス（84）と、を備え、

前記マイクロレンズアレイ（74）の前記複数のマイクロレンズの各々は、前記測定エリア（34）内の前記複数の測定点（92）のそれぞれを表す検出ビーム（68）の一部分（80）を、前記光検出器アレイ（78）の前記複数の光検出器（76）のうち関連付けられた光検出器に同時に投射し、前記光検出器アレイ（78）の前記複数の光検出器（76）の各々は、前記検出ビーム（68）の前記一部分（80）の各々のコヒーレント検出を実行し、

前記検出器エレクトロニクス（84）は、前記検出ビーム（68）の一部分から情報データを生成し、

前記レーザー計測システム（10）はさらに、前記検出器エレクトロニクス（84）と通信するレンジプロセッサ（86）を備え、前記レンジプロセッサ（86）は、

前記透過ビーム（46）の前記単一の投射と、前記対象構造（38）の前記表面における前記測定エリア（34）からの前記複数の反射ビーム（52）の反射とに基づいて、前記測定エリア内の前記複数の測定点についての寸法データを前記情報データから計算し、前記複数の測定点（92）の各々の範囲値（102）を計算し、かつ表示用のコントローラー（40）へ前記複数の測定点（92）の各々に対する範囲値（102）を報告し、

前記複数の測定点（92）に対する複数の範囲値（102）は前記対象構造（38）の2次元表示として示され、

前記レーザー計測システム（10）はさらに、前記対象構造（38）の前記表面（36）の画像（66）を提供するための撮像システム（62）を備える、レーザー計測システム（10）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、計測システムに関し、より具体的には、対象構造の表面の測定エリアのコヒーレントビデオ測定のためのレーザー計測システムおよび方法に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】**【0002】**

製造および組立て中の部品の位置および配向には、厳しい公差が要求される。製造、試験および評価の際の、部品の表面についての情報などの、部品についての情報は、航空宇宙産業のような高性能製品に対する高まる需要を満たすために、非常に正確でなければならない。必要とされる公差は、利用可能な測定コンポーネントおよびシステムの能力を疑問視する場合もある。

【0003】

現在のコヒーレントレーザー計測システムは、様々な位置決めおよび測定機能を実行するためには光波（例えば、レーザービーム）を利用する。レーザー計測は、高分解能で測定を実行し、一部分についての正確な幾何学的寸法データを提供することができる。残念ながら、システムが一度に部品の表面の一点だけしか測定しないので、高い生産速度は、既存のレーザー計測システムを満足させることが難しいこともある。したがって、これらのシステムは、高精度を達成するためにかなりの時間を必要とする。

10

【0004】

既存の解決方法は、一点測定により限定されるため高い生産速度をサポートするよう設計されていないので、生産速度は制限される。この制限に対する1つの解決方法は、追加の作業セルを構築することである。しかしながら、このようにより高い生産流動率を達成するには、莫大な費用がかかる。

【0005】

20

したがって、当業者は、レーザー計測の分野における研究開発を続けている。

【発明の概要】**【課題を解決するための手段】****【0006】**

1つの実施形態では、開示されたレーザー計測システムは、変調測定ビーム、前記測定ビームを局部発振器ビームおよび透過ビームに分割するためのビーム分割器、前記透過ビームを対象構造の表面の測定エリアに投射するための、および前記測定エリアから反射ビームを受け取るための光センブリ、前記反射ビームおよび前記局部発振器ビームを検出ビームに結合するためのビーム結合器、前記検出ビームを処理するための検出器であって、前記検出ビームを投射するためのマイクロレンズ、前記検出ビームのコヒーレント検出を実行するための光検出器、および前記検出ビームから情報データを生成するための、前記光検出器と通信する検出器エレクトロニクスを備える検出器、ならびに前記情報データから前記測定エリアについての寸法データを計算するためのレンジプロセッサを備えることができる。

30

【0007】

好ましくは、前記検出器エレクトロニクス84は、前記複数の光検出器76からの電気信号をデジタル信号に変換するためのアナログ-デジタル変換器82、前記デジタル信号を一時的に記憶するための複数のバッファ86、88、および前記デジタル信号から前記情報データを計算するための複数の高速フーリエ変換プロセッサ90を備える。さらに好ましくは、少なくとも1つのアナログ-デジタル変換器82、少なくとも1つのバッファ86、88、および少なくとも1つの高速フーリエ変換プロセッサ90は、前記光検出器アレイ78の各光検出器76と関連付けられる。前記検出器エレクトロニクス84は、前記光検出器アレイ78全体からのデジタル信号を同時に処理することができ、または前記検出器エレクトロニクス84は、前記光検出器アレイ78の各光検出器76からのデジタル信号を別個に処理することができ、前記検出器エレクトロニクス84は、前記光検出器アレイ78の各光検出器76からのデジタル信号を連続して処理する。前記システムは、好ましくは、レーザー追跡装置104、レーザーレーダー106、ビデオグラメトリシステム108、およびフォトグラメトリシステム110のうちの少なくとも1つを備える。

40

【0008】

50

別の態様によれば、開示されるレーザー計測システム10は、変調信号ビーム18を透過するためのレーザー16、20を備える信号ビーム投射器12、ガイドビーム22を透過するためのレーザー16、20を備えるガイドビーム投射器14、前記信号ビーム18および前記ガイドビーム22を変調測定ビーム26に結合するためのビーム結合器42、ならびに前記測定ビームを局部発振器ビーム44および透過ビーム46に分割するためのビーム分割器42を備える。前記レーザー計測システムは、前記透過ビーム46を対象構造38の表面36の測定エリア34に整形するための透過ビーム光学系58、前記測定エリア34内で前記表面36の複数の測定点92から戻る反射ビーム52を収集するための反射ビーム光学系60、前記局部発振器ビーム44の光の量を制御するための局部発振器ビーム44光学系、前記反射ビーム52および前記局部発振器ビーム44を検出ビーム68に結合するためのビーム結合器42をさらに備える。前記検出ビーム68を処理するための検出器48であって、前記検出ビーム68の少なくとも一部分80を投射するためのマイクロレンズアレイ74を形成する複数のマイクロレンズ72、前記検出ビーム68の前記一部分80のコヒーレント検出を実行するための光検出アレイ78を形成する複数の光検出器76、および前記検出ビーム68の前記一部分80から情報データを生成するための、前記光検出器76と通信する検出器エレクトロニクス84を備える検出器48が含まれる。前記システムは、前記情報データから前記複数の測定点92についての寸法データを計算するためのレンジプロセッサ86、ならびに前記対象構造38の前記表面36の画像66を提供するための撮像システム36をさらに備える。好ましくは、前記検出器エレクトロニクス84は、前記複数の光検出器76からの電気信号をデジタル信号に変換するための複数のアナログ-デジタル変換器82、前記デジタル信号を一時的に記憶するための複数のバッファー86、88、および前記デジタル信号から前記情報データを計算するための複数の高速フーリエ変換プロセッサ90を備え、少なくとも1つのアナログ-デジタル変換器82、少なくとも1つのバッファー86、88、および少なくとも1つの高速フーリエ変換プロセッサ90は、前記光検出器アレイ78の各光検出器76と関連付けられる。

〔 0 0 0 9 〕

別の実施形態では、開示されるレーザー計測システムは、変調信号ビームを透過するためのレーザーを含む信号ビーム投射器、ガイドビームを透過するためのレーザーを含むガイドビーム投射器、前記信号ビームおよび前記ガイドビームを変調測定ビームに結合するためのビーム結合器、前記測定ビームを局部発振器ビームおよび透過ビームに分割するためのビーム分割器、前記透過ビームを対象構造の表面の測定エリアに整形するための透過ビーム光学系、前記測定エリア内で前記表面の複数の測定点から戻る反射ビームを収集するための反射ビーム光学系、前記局部発振器ビームの光の量を制御するための局部発振器ビーム光学系、前記反射ビームおよび前記局部発振器ビームを検出ビームに結合するためのビーム結合器、前記検出ビームを処理するための検出器であって、前記検出ビームの少なくとも一部分を投射するためのマイクロレンズアレイを形成する複数のマイクロレンズ、前記検出ビームの前記一部分のコヒーレント検出を実行するための光検出アレイを形成する複数の光検出器、および前記検出ビームの前記一部分から情報データを生成するための、前記光検出器と通信する検出器エレクトロニクスを備える検出器、前記情報データから前記複数の測定点についての寸法データを計算するためのレンジプロセッサ、ならびに前記対象構造の前記表面の画像を提供するための撮像システムを備えることができる。

【 0 0 1 0 】

8) 前記反射ビームおよび前記局部発振器ビームを検出ビームに結合するステップ、(9) 前記検出ビームを前記検出器に投射するステップであって、前記検出器は、複数のマイクロレンズ、複数の光検出器および検出器エレクトロニクスを含む、投射するステップ、(10) 前記検出ビームを処理するステップであって、前記処理するステップは、前記検出ビームのコヒーレント検出を実行するステップ、および前記検出ビームから情報データを生成するステップを含む、処理するステップ、ならびに(11) 前記測定点に対する前記情報データから範囲値を計算するステップを含むことができる。

【 0 0 1 1 】

開示されるレーザー計測システムおよび方法の他の実施形態は、以下の詳細な説明、添付の図面および添付の特許請求の範囲から明らかになるだろう。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】開示されるレーザー計測システムの 1 つの実施形態を示すブロック図である。

【図 2】開示されるレーザー計測システムの分割器 / 結合器および光アセンブリの構成のブロック図である。

【図 3】開示されるレーザー計測システムの検出器の構成のブロック図である。

【図 4】開示されるレーザー計測システムの別の実施形態のブロック図である。

【図 5】開示されるレーザー計測のための方法の 1 つの実施形態のフロー図である。

【図 6】航空機の製造および保守方法のフロー図である。

【図 7】航空機のブロック図である。

20

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

以下の詳細な説明は、本開示の特定の実施形態を示す添付の図面を参照する。異なる構造および動作を有する他の実施形態は、本開示の範囲を逸脱しない。類似の参照番号は、異なる図面の同一の要素またはコンポーネントを指すことがある。

【 0 0 1 4 】

図 1 を参照すると、概して 1 0 で示される、コヒーレントビデオ測定のための開示されるレーザー計測システムの 1 つの実施形態は、信号ビーム投射器 1 2 およびガイドビーム投射器 1 4 を含むことができる。信号ビーム投射器 1 2 は、少なくとも 1 つのレーザー 1 6 を含むことができる。レーザー 1 6 は、單一周波数連続レーザービームを透過する連続波(「CW」)レーザー、または單一周波数パルスレーザービームを透過するパルスレーザーとすることができます。例えば、レーザー 1 6 は、ダイオード励起固体レーザーを含むことができる。レーザー 1 6 は、出力として、信号ビーム 1 8 (例えば、レーザービーム) を投射することができる。信号ビーム 1 8 は、様々な特徴を含むことができる。例えば、信号ビーム 1 8 は、非可視スペクトルの波長を含むことができる。

30

【 0 0 1 5 】

電源 3 2 は、電流を信号ビーム投射器 1 2 (例えば、1 または複数のレーザー 1 6) に供給するように構成することができる。レーザー変調器 3 0 は、レーザー 1 6 と電源 3 2 との間に配置され、それらに接続される。例示的実施形態では、レーザー変調器 3 0 は、電源 3 2 を制御することによって、レーザー 1 6 の信号ビーム 1 8 (例えば、レーザー出力) を変調することができる。別の例示的実施形態では、多数のレーザー 1 6 から透過される多数の信号ビーム 1 8 の周波数は、信号ビーム 1 8 毎にわずかな周波数の差を伴って、変調することができる。

40

【 0 0 1 6 】

レーザー変調器 3 0 は、例えば、振幅、周波数、位相および / または極性を含む任意の所望の電力出力またはパラメーターにしたがって、信号ビーム 1 8 を変調するように構成することができる。例えば、信号ビーム 1 8 は、特定の計測適用に対する最善の範囲の精度に到達するよう変調することができる。必要とされる変調度は、例えば、対象構造 3 8 の表面 3 6 で走査される測定エリア 3 4 (図 2) など、任意の適する変数に基づくことができる。例えば、参照表は、所与のレーザー出力において、対象構造 3 8 の表面 3 6 の所

50

との組の座標でのレーザービームの測定エリア 3 4 および対応する電力密度を含むことができる。

【 0 0 1 7 】

ガイドビーム投射器 1 4 は、少なくとも 1 つのレーザー 2 0 を含むことができる。レーザー 2 0 は、單一周波数連續レーザービームを透過する連續波（「 C W 」）レーザー、または單一周波数パルスレーザービームを透過するパルスレーザーとすることができます。例えば、レーザー 2 0 は、ダイオード励起固体レーザーを含むことができる。レーザー 2 0 は、出力として、ガイドビーム 2 2 （例えば、レーザービーム）を投射することができる。ガイドビーム 1 8 は、様々な特徴を含むことができる。例えば、ガイドビーム 2 2 は、可視スペクトルの波長を有するレーザービームとすることができます。また、ガイドビーム 2 2 は、連續的にではなく、パルス状に放射させることができるパルス周波数を含むことができる。電源 9 4 は、電流をガイドビーム投射器 1 4 （例えば、1 または複数のレーザー 2 0 ）に供給するように構成することができる。

10

【 0 0 1 8 】

コントローラー 4 0 は、信号ビーム投射器 1 2 およびガイドビーム投射器 1 4 に接続することができる。コントローラー 4 0 は、所望の電流信号を、電源 3 2 から信号ビーム投射器 1 2 （例えば、1 または複数のレーザー 1 6 ）まで、および電源 9 4 からガイドビーム投射器 1 4 （例えば、1 または複数のレーザー 2 0 ）まで方向付けるように構成することができます。たとえば、コントローラー 4 0 は、電源 3 2 および / または電源 9 4 が供給できる電流の量を指示するように構成することができ、電流出力を中断するようにさらに構成することができる。コントローラー 4 0 は、変調シーケンスを開始するように構成することができ、レーザー変調器 3 0 が電源 3 2 からの電流をどのように変調するかを決定することができる。例えば、コントローラー 4 0 は、信号ビーム 1 8 の所望の電力に対して記憶された値に基づき適切な変調を決定するように構成することができる。

20

【 0 0 1 9 】

コントローラー 4 0 は、中央処理装置（「 C P U 」） 9 6 （例えば、マイクロプロセッサ、コンピュータ、コンピュータネットワーク、または中央サーバー）を含むことができる。コントローラー 4 0 は、ユーザが、例えば、電源 3 2 および電源 9 4 による電流出力の値および持続時間、ならびに信号ビーム 1 8 に対する変調の持続時間および種類を含む、開示されるシステム 1 0 の様々な態様を指示できるようにするユーザインターフェース 9 8 を含むことができる。コントローラー 4 0 は、電気的に接続された電源（図示されず）を含むことができる。

30

【 0 0 2 0 】

信号ビーム 1 8 およびガイドビーム 2 2 は、ビーム結合器 2 4 を通して投射する（例えば、方向付ける）ことができる。ビーム結合器 2 4 は、信号ビーム 1 8 およびガイドビーム 2 2 を測定ビーム 2 6 に位置合わせして結合するのに適した任意の光ビーム結合器とすることができる。図 1 および図 2 を参照すると、測定ビーム 2 6 は、ビーム分割器 / 結合器 4 2 を通して投射することができる。ビーム分割器 / 結合器 4 2 は、測定ビーム 2 6 を局部発振器ビーム 4 4 および透過ビーム 4 6 （図 2 ）に分離してそれらの方向を変えるのに適した任意の光ビーム分割器 5 4 を含むことができる。

40

【 0 0 2 1 】

当業者は、局部発振器ビーム 4 4 がコヒーレント検出に必要であることを認識するだろう。局部発振器ビーム 4 4 は、器具を放置せず（例えば、対象構造 3 8 に方向付けられない）、対象構造 3 8 の測定エリア 3 4 から受信機検出器（例えば、検出器 4 8 ）に反射レーザーエネルギー（例えば、反射ビーム 5 2 ）を最適に重ねるように方向付けられるレーザー出力の部分（例えば、測定ビーム 2 6 ）を含むことができる。例えば、ビーム分割器 5 4 は、レーザー出力（例えば、測定ビーム 2 6 ）を分割し、レーザーエネルギーの大部分（例えば、透過ビーム 4 6 ）を対象とする測定エリア（例えば、対象構造 3 8 の測定エリア 3 4 ）に送り、レーザーエネルギーのわずかな部分（例えば、局部発振器ビーム 4 4 ）を検出器（例えば、検出器 4 8 ）に送ることができる。

50

【0022】

透過ビーム46は、光アセンブリ50を通してビーム分割器54から投射することができる。透過ビーム46は、測定エリア34を画定するために、対象構造38の表面36の光アセンブリ50から投射することができる。対象構造38は、開示されるシステム10によって測定されるランダムに粗い表面36を有する製品など、任意の物体とすることができます。光は、少なくとも1つの反射ビーム52の形態で対象構造38の表面36から反射して戻されることができる。反射ビーム52は、光アセンブリ50を通して戻る（例えば、方向付けられる）ことができる。

【0023】

反射ビーム52は、ビーム分割器／結合器42を通して投射することができ、局部発振器ビーム44とともに検出ビーム68に結合することができる。局部発振器ビーム44は、検出ビーム68の測定に高感度を提供することができる。ビーム分割器／結合器42は、局部発振器ビーム44および反射ビーム52を検出ビーム68（図2）に結合するのに適した任意の光ビーム結合器56を含むことができる。検出ビーム68は、ビーム結合器56から処理用の検出器48まで投射することができる。

10

【0024】

当業者は、ビーム分割器54およびビーム結合器56が一体型アセンブリ（例えば、ビーム分割器／結合器42）であってもよく、別個のコンポーネントであってもよいことを認識するだろう。ビーム分割器54は、レーザービーム（例えば、入力光）を2つの別個の部分に分割するために使用される光コンポーネントを含むことができる。例えば、ビーム分割器54は、プレート状の、立方体型の、薄膜状の、水玉模様の、または特殊プリズムのビーム分割器を含むことができる。任意で、ビーム分割器54は、多様な反射防止コーティングまたは基板を含むことができる。具体的、非限定的な例として、標準ビーム分割器は、波長または偏光状態と無関係である特定の割合によって、入射光を分割することができる。別の具体的、非限定的な例として、二色性ビーム分割器は、波長によって光を分割することができる。別の具体的、非限定的な例として、非偏光ビーム分割器は、全体の強度によって光を分割することができる。さらに別の具体的、非限定的な例として、偏光ビーム分割器は、偏光状態によって光を分割することができる。

20

【0025】

ビーム結合器24、56は、例えば、ある入射角（例えば、45度）で、多数のレーザービームを結合するために使用される光コンポーネントを含むことができる。例えば、ビーム結合器24、56は、プレート状の、立方体型の、薄膜状の、水玉模様の、または特殊プリズムのビーム分割器を含むことができる。

30

【0026】

光アセンブリ50は、1または複数の従来の光レンズおよびビーム整形レンズなど、1または複数のビーム整形要素を含むことができる。光アセンブリ50は、光レンズ間およびビーム整形レンズとレーザー出力（例えば、透過ビーム46）との間に、調節可能な間隔を提供することができる。光アセンブリ50は、結合すると、間隔の変更が、出力ビーム（例えば、透過ビーム）を、特定の適用により必要に応じて、収束または発散させることができるように選択される光機能パラメーター（例えば、焦点距離）を含むことができる。

40

【0027】

例えば、光アセンブリ50は、対象構造38の表面36の測定エリア34の最適な測定に対する透過ビーム46の整形を調整することができる。透過ビーム46は、対象構造38の表面36の単一の測定点92から、または対象構造38の表面36の測定エリア34の複数の測定点92からの反射ビーム52（例えば、反射光）の戻りを最適化するために整形され電力供給される。

【0028】

例示的実施形態では、光アセンブリ50は、透過ビーム46を対象構造38に透過するための、1または複数の透過ビーム光学系58を含むことができる。例えば、透過ビーム

50

光学系 5 8 は、透過ビーム 4 6 を配置し（例えば、拡大し）、対象構造 3 8 の表面 3 6 に投射される光の量を制御するように（例えば、対象構造 3 8 の表面 3 6 の測定エリア 3 4 を覆うのに十分な分布を有するように）構成することができる。透過ビーム光学系 5 8 は、任意の適する方法で透過ビーム 4 6 をフォーカスする、拡大する、視準する、方向付ける、方向を変える、反射する、フィルタリングする、またはそうでなければ透過ビーム 4 6 を変形することができる、1 または複数のレンズ、鏡、プリズムおよび／または任意の適する組み合わせの光ファイバーを含むことができる。

【 0 0 2 9 】

光アセンブリ 5 0 は、対象構造 3 8 の表面 3 6 から反射される光を受け取ることができる。対象構造 3 8 から戻る反射ビーム 5 2（例えば、散乱反射光）は、透過ビーム 4 6 の光路に類似する光路に沿っておよび光アセンブリ 5 0 を通って、反対方向に進むことができる。例示的実施形態では、光アセンブリ 5 0 は、対象構造 3 8 の表面 3 6 の（例えば、測定エリア 3 4 内に）1 または複数の測定点 9 2 から反射ビーム 5 2 を受け取るための 1 または複数の反射ビーム光学系 6 0 を含むことができる。例えば、反射ビーム光学系 6 0 は、反射ビーム 5 2 をフォーカスし、反射ビーム 5 2（例えば、反射光）を最適に集めて（gather）収集する（collect）ように構成することができる。反射ビーム光学系 6 0 は、任意の適する方法で反射ビーム 5 2 をフォーカスする、拡大する、視準する、方向付ける、方向を変える、反射する、フィルタリングする、またはそうでなければ反射ビーム 5 2 を変形することができる、1 または複数のレンズ、鏡、プリズムおよび／または任意の適する組み合わせの光ファイバーを含むことができる。

10

【 0 0 3 0 】

光アセンブリ 5 0 は、対象構造 3 8 の画像 6 6 を、例えば、ディスプレイ 6 4（図 1）に提供するための撮像システム 6 2 を含むことができる。画像 6 6 は、測定される対象構造 3 8 、ならびに測定される点 9 2 および／またはエリア 3 4 の状態を視覚的に表示することができる。例えば、撮像システム 6 2 は、例えば、ビデオカメラ（例えば、電荷結合素子（「CCD」）カメラなどの電気光学系システム）とすることができます。撮像システム 6 2 は、オートフォーカス 1 1 4 を含むことができ、様々な距離で（例えば、対象構造に対して）動作することができる。撮像システム 6 2 は、中心に置かれ、透過ビーム 4 6 の可視部分（例えば、ガイドビーム 2 2）をフォーカスすることができる。ディスプレイ 6 4 はまた、計測動作、測定要求、ならびに／もしくはユーザ（例えば、オペレーター）への通知または警告と関連付けられる他の情報を含むことができる。撮像システム 6 2 を含む光アセンブリ 5 0 は、電気的に接続された電源（図示されず）を含むことができる。

20

【 0 0 3 1 】

例示的な実施形態では、ビーム結合器 5 6 を通過する前に、局部発振器ビーム 4 4 は、局部発振器ビーム 4 4 は、局部発振器ビーム 4 4 を検出器 4 8 に投射するための 1 または複数の局部発振器ビーム光学系 7 0 を通って投射することができる。例えば、局部発振器ビーム光学系 7 0 は、局部発振器ビーム 4 4 を調整し、検出器 4 8 に投射される光の量を制御するように構成することができる。局部発振器ビーム光学系 7 0 は、任意の適する方法で局部発振器ビーム 4 4 をフォーカスする、拡大する、視準する、方向付ける、方向を変える、反射する、フィルタリングする、またはそうでなければ局部発振器ビーム 4 4 を変形することができる、1 または複数のレンズ、鏡、プリズムおよび／または任意の適する組み合わせの光ファイバーを含むことができる。

30

【 0 0 3 2 】

この時点で、局部発振器ビーム光学系 7 0 、透過ビーム光学系 5 8 および／または反射ビーム光学系 6 0 は、ビーム分割器／結合器 4 2 内で完全に統合することができ、光アセンブリ 5 0 内で完全に統合することができ、ビーム分割器／結合器 4 2 内で部分的および光アセンブリ 5 0 内で部分的に統合することができ、もしくは開示されるシステム 1 0 の別個のコンポーネントとすることを、当業者は認識するだろう。

40

【 0 0 3 3 】

信号ビーム 1 8 、ガイドビーム 2 2 、測定ビーム 2 6 、反射ビーム 5 2 および／または

50

検出ビーム 6 8 は、任意の適する光チャネル 2 8 (図 1) を通して方向付けることができる。光チャネル 2 8 は、空きスペース、光ファイバーならびに / もしくは任意の適する組み合わせおよび構成のファイバーアレイを含むことができる。

【 0 0 3 4 】

図 1 を参照すると、検出器 4 8 は、検出ビーム 6 8 を受け取り、光子を処理用の電子に変換することができる。検出器 4 8 は、少なくとも 1 つのマイクロレンズ 7 2 を含むことができる。マイクロレンズ 7 2 は、対象構造 3 8 の表面 3 6 の特定の領域 (例えば、測定エリア 3 4) に対する検出ビーム 6 8 (例えば、光) を集める (例えば、収集する) ように構成することができる。マイクロレンズ 7 2 は、検出ビーム 6 8 を光検出器 7 6 に投射することができ、したがって、光検出器 7 6 によって光エネルギー収集を増加させることができる。

10

【 0 0 3 5 】

光検出器 7 6 は、マイクロレンズ 7 2 から投射される検出ビーム 6 8 (例えば、光出力) を検出し、電気信号を生成することができる。したがって、光検出器 7 6 は、検出ビーム 6 8 のコヒーレント検出 (例えば、光ヘテロダイン検出) を実行することができる。光検出器アレイ 7 8 は、入射光エネルギー (例えば、検出ビーム 6 8 の光出力から) を検出器エレクトロニクス 8 4 で収集され処理される電子に変換することができる。

図 3 を参照すると、検出器エレクトロニクス 8 4 は、光検出器 7 6 からの電気信号をサンプリングすることができ、データをレンジプロセッサ 8 6 に提供することができる。検出器エレクトロニクス 8 4 は、少なくとも 1 つのアナログ - デジタル (「 A / D 」) 変換器 8 2 、少なくとも 1 つのバッファ 8 6 、および少なくとも 1 つの高速フーリエ変換プロセッサ (「 FFTP 」) 9 0 を含むことができる。検出器エレクトロニクス 8 4 は、電気的に接続された電源 (図示されず) を含むことができる。

20

【 0 0 3 6 】

光検出器 7 6 によって検出され生成される電気信号は、A / D 変換器 8 2 に送信することができる。A / D 変換器 8 2 は、電気信号をデジタル信号に変換することができる。バッファ 8 8 は、デジタル信号が A / D 変換器 8 2 から FFTP 9 0 まで送信されている間に、デジタル信号を一時的に記憶するために使用される一時的な記憶場所 (例えば、物理的メモリ記憶装置) とすることができる。FFTP 9 0 は、バッファ 8 8 から抽出されるデジタル信号からの情報データのスペクトルを計算することができる。FFTP 9 0 によって生成されるデータは、レンジプロセッサ 8 6 に送信することができる。

30

【 0 0 3 7 】

図 3 に示されるように、例示的な実施形態では、複数のマイクロレンズ 7 2 は、マイクロレンズアレイ 7 4 を形成することができ、複数の光検出器 7 6 は、光検出器アレイ 7 8 を形成することができる。マイクロレンズアレイ 7 8 は、光検出器アレイ 7 8 によって光エネルギー収集を増加させることができる。各マイクロレンズ 7 2 は、対象構造 3 8 の表面 3 6 の一部分 (例えば、少なくとも 1 つの測定点 9 2) を表す光を投射することができる。各光検出器 7 6 は、対象構造 3 8 の表面 3 6 の一部分を表すピクセルのアレイを画定することができる。例えば、各マイクロレンズ 7 2 は、検出ビーム 6 8 の一部分 8 0 を関連する (例えば、光結合された) 光検出器 7 6 に投射することができる。マイクロレンズアレイ 7 4 を形成する複数のマイクロレンズ 7 2 は、検出ビーム 6 8 (例えば、検出ビーム 6 8 の一部分 8 0) の光検出器アレイ 7 8 への分布の仕方を制御することができ、したがって、対象構造 3 8 (図 2) の表面 3 6 のマッピングを制御することができる。

40

【 0 0 3 8 】

各光検出器 7 6 は、関連するマイクロレンズ 7 2 から受け取られる検出ビーム 6 8 の一部分 8 0 に応じて、電気信号を生成することができる。検出器エレクトロニクス 8 4 は、光検出器 7 6 からの電気信号をサンプリングすることができ、サンプリングされたデータをレンジプロセッサ 8 6 に提供することができる。検出器エレクトロニクス 8 4 は、複数のアナログ - デジタル (「 A / D 」) 変換器 8 2 、複数のバッファ 8 6 、および複数の高速フーリエ変換プロセッサ (「 FFTP 」) 9 0 を含むことができる。

50

【0039】

図2に示されるように、透過ビーム46は、対象構造38の表面36の（例えば、測定エリア34内に）1または複数の測定点92が反射ビーム52に表されるように、測定エリア34を照射するよう構成することができる。図3に示されるように、検出ビーム68（例えば、結合された反射ビーム52および局部発振器ビーム44）は、1または複数の異なる測定点92が異なる光検出器76に映し出されるように、光検出器アレイ78を照射するために、マイクロレンズアレイ74によって構成することができる。

【0040】

例示的な実施において、検出器エレクトロニクス84は、光検出器アレイ78の別個の光検出器76の各々を（例えば、別個に）処理することができる。別の例示的な実施において、検出器エレクトロニクス84は、光検出器アレイ78のすべての光検出器76を連続的に（例えば、順に）処理することができる。別の例示的な実施において、検出器エレクトロニクス84は、光検出器アレイ78のすべての光検出器76を同時に（例えば、並行して）処理することができる。

10

【0041】

例えば、A/D変換器82は、光検出器アレイ78によって（例えば、複数の光検出器76の各々から）生成されるすべてのピクセルを測定するように制御することができる。別の例として、A/D変換器82は、光検出器アレイ78によって（例えば、光検出器76のサブセットから）生成されるピクセルのサブセットを測定するように制御することができる。さらに別の例として、関連するA/D変換器82は、光検出器アレイ78の各光検出器76によって生成されるピクセルのサブセットを測定するように制御することができる。

20

【0042】

例示的実施形態では、単一のA/D変換器82は、光検出器アレイ78の複数の光検出器76全体に電気的に接続することができる。別の例示的実施形態では、光検出器アレイ78の光検出器76の各サブセット（例えば、2つ以上の光検出器76）は、関連するA/D変換器82に電気的に接続することができる。さらに別の例示的実施形態では、光検出器アレイ78の各光検出器76は、関連するA/D変換器82に電気的に接続することができる。同様に、別の例示的実施形態では、単一のバッファー88は、複数のA/D変換器82全体に電気的に接続することができる。さらに別の例示的実施形態では、複数のA/D変換器82の各サブセット（例えば、2つ以上のA/D変換器82）は、単一のバッファー88に電気的に接続することができる。さらに別の例示的実施形態では、各A/D変換器82は、関連するバッファー88に電気的に接続することができる。

30

【0043】

同様に、別の例示的実施形態では、単一のFFT90は、複数のバッファー88全体に電気的に接続することができる。別の例示的実施形態では、複数のバッファー88の各サブセット（例えば、2つ以上のバッファー88）は、単一のFFT90に電気的に接続することができる。さらに別の例示的実施形態では、各バッファー88は、関連するFFT90に電気的に接続することができる。

40

【0044】

マイクロレンズアレイ74は、多数の（例えば、数百の）マイクロレンズ72を含むことができる。光検出器アレイ78は、多数の（例えば、数百の）光検出器76を含むことができる。検出器エレクトロニクス84は、先述の例示的実施形態による多数のA/D変換器82、バッファー88およびFFT90を含むことができる。

【0045】

レンジプロセッサ86は、検出器エレクトロニクス84から提供されるデジタル信号から、対象構造38の表面36の寸法情報を計算することができる。例えば、レンジプロセッサ86は、別個の光検出器76の各々によって映し出される対象構造38の表面36に対する範囲を計算することができる。レンジプロセッサ86は、1または複数の測定点92および/または測定エリア34に対する範囲値102を、表示のためにコントローラー

50

40(図1)に報告することができる。範囲値102は、例えば、ディスプレイ64に、対象構造38の2次元または3次元表示として示すことができる。

【0046】

コントローラー40は、例えば、任意の適する有線、無線および/または配線接続による通信を含む任意の適する電気接続を使用して、信号ビーム投射器12、ガイドビーム投射器14、検出器48、光アセンブリ50、レンジプロセッサ86および/またはディスプレイ64に接続することができる。例えば、コントローラー40は、開示されるシステム10の様々なコンポーネント間で、電力信号、制御信号、データ信号およびステータ信号を伝達することができる。

【0047】

コントローラー40は、例えば、ユーザインターフェース98を介して、様々なコマンドを実行することができ、システム10のすべてのコンポーネントの動作を制御することができる。例えば、コントローラー40は、特定の時間にレンジプロセッサ86によって検出器エレクトロニクス84から提供されるデジタル信号の処理を実行する(例えば、始動させる)ことができ、計算された範囲値102を同一時点で取得される対象構造38の画像66に関連付けることができる。図4を参照すると、開示されるシステム10は、他の独立した外部の計測システム112と統合することができる。例えば、システム10は、レーザー追跡装置104、レーザーレーダー106、ビデオグラメトリシステム108、および/またはフォトグラメトリシステム110のうちの1または複数と相互接続することができる、ならびに/もしくはそれらの1または複数とともに使用することができる。コントローラー40(図1)は、外部の計測システム112と通信することができ、外部の計測システム112間で寸法データ(例えば、範囲値102)を統合することができる。

10

【0048】

図5を参照すると、概して200で示される、レーザー計測のための開示される方法の1つの実施形態は、対象構造を提供することによってプロック202で開始することができる。対象構造は、少なくとも表面を含むことができる。

20

【0049】

プロック204で示されるように、変調信号ビームを透過することができる。例えば、信号ビームは、レーザーから透過することができ、レーザー変調器によって変調される。信号ビームの変調は、振幅、周波数、位相および/または極性の変調を含むことができる。プロック206で示されるように、ガイドビームを透過することができる。例えば、ガイドビームは、レーザーによって透過することができる。

30

【0050】

プロック208で示されるように、変調信号ビームおよびガイドビームは、変調測定ビームに結合することができる。プロック210で示されるように、測定ビームは、局部発振器ビームおよび透過ビームを含む2つの部分に分割することができる。局部発振器ビームおよび透過ビームの両方が、変調信号ビームおよびガイドビームを含む。

【0051】

プロック212で示されるように、透過ビームは、光アセンブリを通して投射することができる。プロック214で示されるように、透過ビームは、対象構造の表面の測定エリアの最適な測定に対する透過ビーム光学系によって調整することができる。

40

【0052】

プロック216で示されるように、透過ビームは、表面の測定エリアを画定する対象構造の表面に投射することができる。

【0053】

プロック218で示されるように、局部発振器ビームは、局部発振器ビームの光の量を制御するために、局部発振器光学系によって調整することができる。

【0054】

プロック220で示されるように、反射ビームは、対象構造の表面の少なくとも1つの

50

測定点から戻り、透過ビームの光アセンブリと類似の光アセンブリによって収集することができる。ブロック222で示されるように、反射ビームは、反射ビームをフォーカスするための反射ビーム光学系によって調整することができる。

【0055】

ブロック224で示されるように、反射ビームおよび局部発振器ビームは、検出ビームに結合することができる。

【0056】

ブロック226で示されるように、検出ビームは、検出器に投射することができる。検出器は、光子を電子に変換することができ、電子から生成されるデジタル信号を処理することができる。検出器は、マイクロレンズアレイを形成する複数のマイクロレンズ、光検出器アレイを形成する複数の光検出器および検出器エレクトロニクスを含むことができる。例えば、検出ビームは、マイクロレンズアレイに投射することができる。マイクロレンズアレイの各マイクロレンズは、検出ビームの一部分を光検出アレイの関連する光検出器に投射することができる。各光検出器は、対象構造の表面の測定エリア内に少なくとも1つの測定点を画定することができる。

10

【0057】

ブロック228で示されるように、検出ビーム（例えば、検出ビームの各部分）は、検出ビームのコヒーレント検出を実行し、検出ビームから情報データを生成することによって、処理することができる。

【0058】

20

ブロック230で示されるように、測定点に対する範囲値は、情報データから計算することができる。ブロック232で示されるように、範囲値は、報告することができる。例えば、範囲値は、オペレーターおよび／またはユーザに表示することができる。

【0059】

ブロック234で示されるように、撮像システムは、対象物体の表面の画像を取得することができる。例えば、画像は、検出ビームのコヒーレント検出と同一の時点で撮影することができる。

【0060】

ブロック236で示されるように、範囲値および画像は、構造の表面の2次元または3次元表示として統合することができる。

30

【0061】

ブロック238で示されるように、範囲値を、例えば、レーザー追跡装置、レーザーレーダー、ビデオグラメトリシステムおよびフォトグラメトリシステムなど、外部の計測システムと交換することができる。

【0062】

ブロック240で示されるように、範囲値、画像ならびに／もしくは範囲値および画像の統合は、対象構造の製造中におよび／または対象構造の検査中に品質管理のために使用することができる。

【0063】

したがって、開示されるシステムおよび方法は、多数の光検出器を使用して投射される変調レーザー光のコヒーレント検出によって、構造の高精度寸法データを生成することができる。測定に高感度を提供するために、透過光（例えば、透過ビーム）は、構造の表面のエリアを照射することができ、反射光（例えば、反射ビーム）は、局部発振器（例えば、局部発振器ビーム）を使用して光検出器のアレイによって受け取られることができる。可視光（例えば、ガイドビーム）は、ユーザが測定される構造エリアにシステムを方向付けることを促進できる。別個の撮像システム（例えば、ビデオカメラ）は、コヒーレント画像の解釈を容易にする特性の参照を提供することができる。したがって、開示されるシステムおよび方法は、広域調査のための測定時間を劇的に短縮することができる。さらに、開示されるシステムおよび方法は、一点測定システムを広域測定で補完することができる。

40

50

【0064】

本発明の実施形態は、図6に示される航空機の製造および保守方法300、ならびに図7に示される航空機302に照らして説明することができる。製造前の段階で、航空機の製造および保守方法300は、航空機302の仕様および設計304ならびに材料の調達306を含むことができる。製造段階で、航空機302のコンポーネントおよびサブアセンブリの製造308、ならびにシステム統合310が行われる。その後、航空機302は、認可および納品312を経て、運航314に供される。顧客により運航される間に、航空機302は、改造、再構成、改修なども含む定期的な整備および保守316を受ける。

【0065】

方法300の各プロセスは、システムインテグレーター、第三者、および/またはオペレーター(例えば顧客)によって実施または実行することができる。本明細書の目的のために、システムインテグレーターは、限定しないが、任意の数の航空機製造者、および主要システムの下請業者を含むことができ、第三者は、限定しないが、任意の数のベンダー、下請業者、および供給業者を含むことができ、オペレーターは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス機関などでありうる。

10

【0066】

図7に示されるように、例示的な方法300によって製造された航空機302は、複数のシステム320および内装322を有する機体318を含むことができる。複数のシステム320の例には、推進システム324、電気システム326、油圧システム328、および環境システム330のうちの1または複数が含まれる。任意の数の他のシステムが含まれることもある。航空宇宙産業の例を示したが、開示されるシステム10および方法100の原理は、自動車産業などの他の産業にも適用することができる。

20

【0067】

本明細書に具現化された装置および方法は、製造および保守方法300の任意の1つ以上の段階で採用することができる。例えば、コンポーネント/サブアセンブリの製造308、システム統合310、および/または整備および保守316に対応するコンポーネントもしくはサブアセンブリは、開示されたシステム10(図1)および方法(図5)を使用して、製作もしくは製造することができる。また、1または複数の装置の実施例、方法の実施例、もしくはこれらの組み合わせは、例えば、機体318および/または内装322など、航空機302の組立てを実質的に効率化する、または航空機302のコストを削減することにより、コンポーネントおよびサブアセンブリの製造308ならびにシステム統合310の段階で利用することができる。同様に、装置の実施例、方法の実施例、またはそれらの組み合わせのうちの1または複数を、航空機302の運航中に、例えば限定しないが、整備および保守316に利用することができる。開示されたレーザー計測システムおよび方法の様々な実施形態を図示し説明してきたが、本明細書を読めば、当業者には変更が想起されよう。本出願は、そのような変更を含み、特許請求の範囲によってのみ限定される。

30

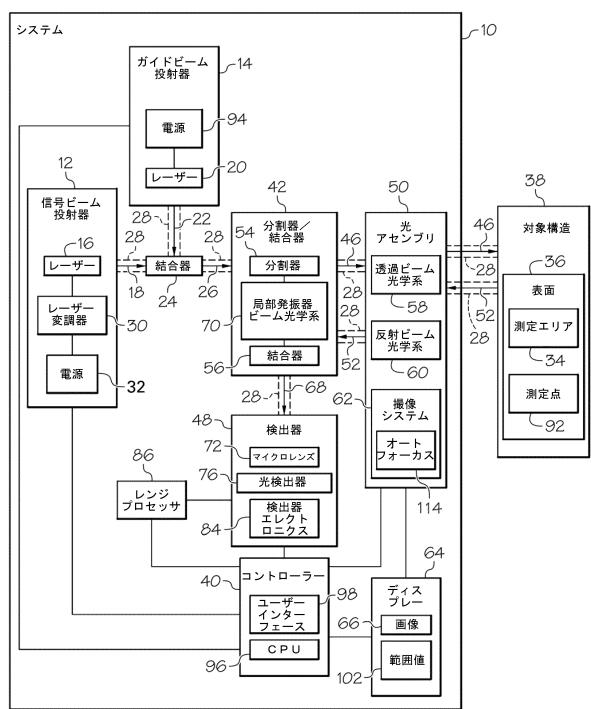
【符号の説明】

【0068】

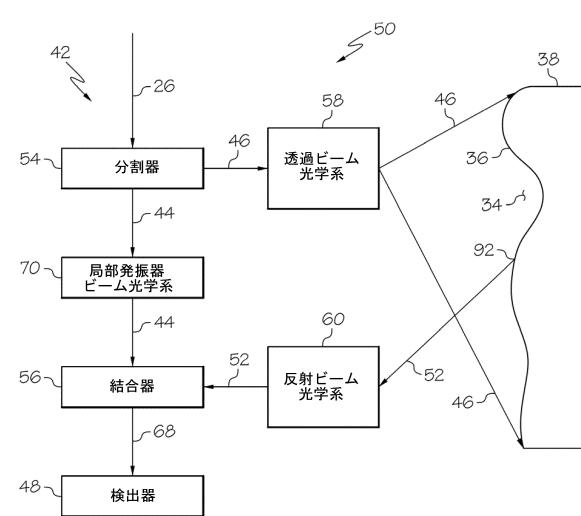
- | | | |
|-----|------------|----|
| 1 8 | 信号ビーム | 40 |
| 2 2 | ガイドビーム | |
| 2 6 | 測定ビーム | |
| 2 8 | 光チャネル | |
| 3 4 | 測定エリア | |
| 3 6 | 表面 | |
| 3 8 | 対象構造 | |
| 4 2 | ビーム分割器/結合器 | |
| 4 4 | 局部発振器ビーム | |
| 4 6 | 透過ビーム | |
| 5 2 | 反射ビーム | 50 |

- 6 8 検出ビーム
 7 4 マイクロレンズアレイ
 7 8 光検出器アレイ
 8 4 検出器エレクトロニクス 8
 1 1 2 外部の計測システム
 2 0 0 レーザー計測のための方法
 3 0 0 航空機の製造および保守方法
 3 0 2 航空機

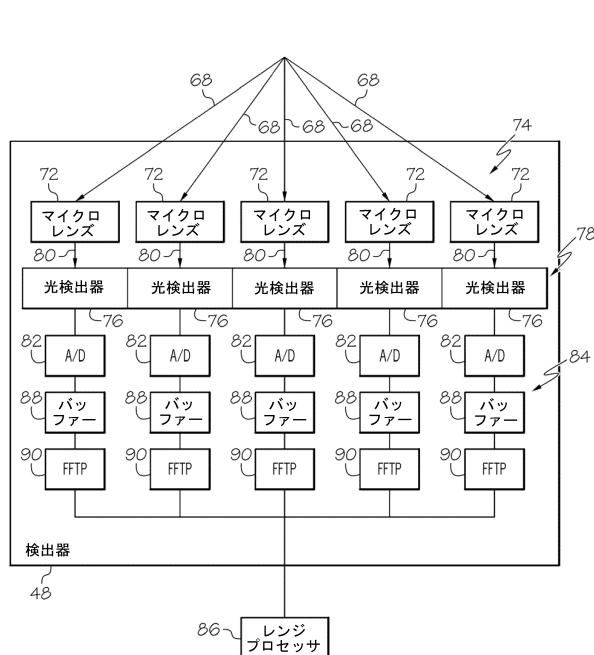
【図1】



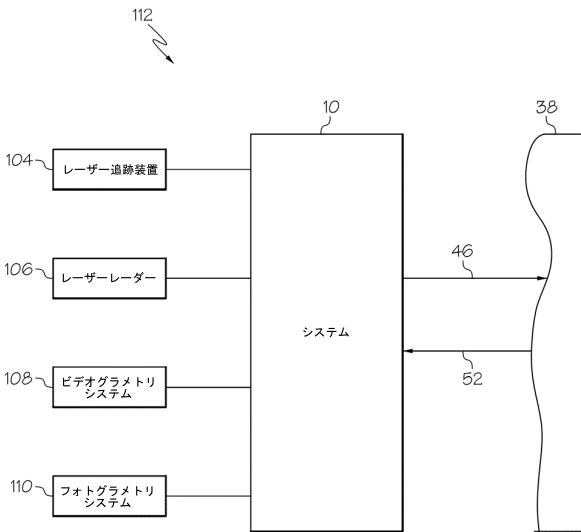
【図2】



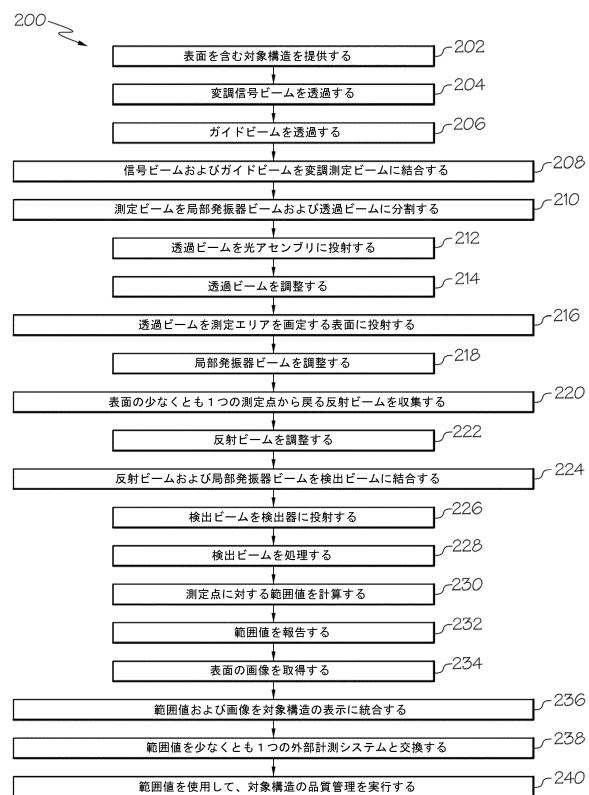
【図3】



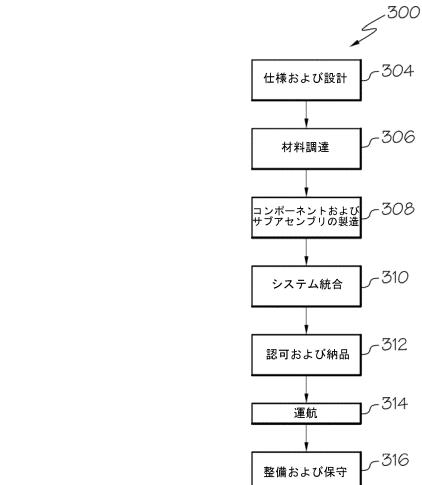
【図4】



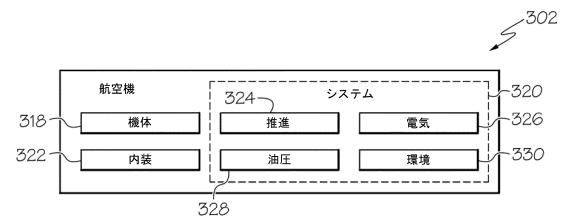
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 ヴォス, ミッシェル ディー.

アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド ブラザ
100, メール コード 19-エイチピー

(72)発明者 シャーマン, ウィリアム ディー.

アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド ブラザ
100, メール コード 19-エイチピー

(72)発明者 ソライデ, デーヴィッド シー.

アメリカ合衆国 イリノイ 60606-2016, シカゴ, ノース リバーサイド ブラザ
100, メール コード 19-エイチピー

審査官 斎藤 卓司

(56)参考文献 特開2013-092402(JP, A)

特開2001-330558(JP, A)

特開平05-005610(JP, A)

米国特許出願公開第2003/0137669(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/02