

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2018-530441  
(P2018-530441A)

(43) 公表日 平成30年10月18日(2018.10.18)

(51) Int.Cl.  
B25J 19/06 (2006.01)

F I  
B25J 19/06

テーマコード(参考)  
3C707

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 37 頁)

(21) 出願番号 特願2018-513551 (P2018-513551)  
(86) (22) 出願日 平成28年9月9日(2016.9.9)  
(85) 翻訳文提出日 平成30年5月7日(2018.5.7)  
(86) 国際出願番号 PCT/US2016/050870  
(87) 国際公開番号 W02017/044686  
(87) 国際公開日 平成29年3月16日(2017.3.16)  
(31) 優先権主張番号 62/216,328  
(32) 優先日 平成27年9月9日(2015.9.9)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 518081142  
カーボン ロボティクス, インコーポレイ  
テッド  
Carbon Robotics, Inc  
.  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94  
109, サンフランシスコ, ヴァンネスア  
ヴェニュー 2363, アpartment  
302  
(74) 代理人 110001302  
特許業務法人北青山インターナショナル

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボットアームシステム及び物体回避方法

(57) 【要約】

ロボットアームを制御する方法の一変形例は： ロボットアームを軌道に沿って移動させるステップと；ロボットアームがこの軌道に沿った第1位置を占めている第1の時間において、ロボットアームの第1アームセグメントの上に延在する第1電極を具える第1検知回路の第1容量を測定するステップと；ロボットアームがこの軌道に沿った第2位置を占めている第2の時間において、第1検知回路の第2容量を測定するステップと；第1容量と第2の容量の差に基づいて第1検知回路の第1容量変化率を計算するステップと；スレッシュホールド変化率を超える前記第1検知回路の第1容量変化率に応じて、近接アラームを発生するステップと；近接アラームに 응답して、前記軌跡を通して移動するロボットアームの速度を低減するステップと；を具える。

【選択図】 図1

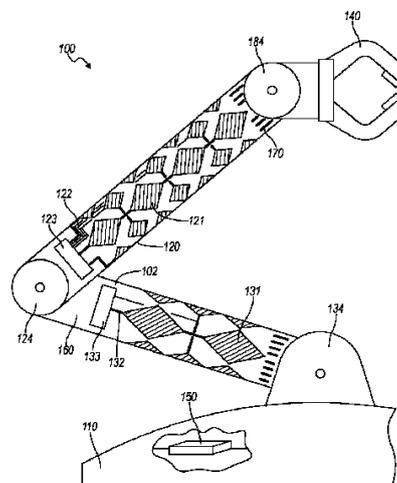


FIG. 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ロボットアームを制御する方法において：

軌道を通して前記ロボットアームを移動させるステップと；

前記ロボットアームが前記軌道に沿った第 1 位置を占めている第 1 の時間に、前記ロボットアームの第 1 アームセグメント上に延在する第 1 電極を具える第 1 検知回路の第 1 容量を測定するステップと；

前記ロボットアームが前記軌道に沿った第 2 位置を占めている第 2 の時間に、前記第 2 の時間が前記第 1 の時間に続いており、前記第 1 検知回路の第 2 容量を測定するステップと；

前記第 1 容量と前記第 2 容量の間の差に基づいて前記第 1 検知回路の第 1 容量変化率を計算するステップと；

スレッシュホールド変化率を超える前記第 1 検知回路の第 1 容量変化率に応じて、近接アラームを発するステップと；

前記近接アラーム

に応じて前記軌道を通して移動しているロボットアームの現在の速度を低減するステップと；

を具えることを特徴とする方法。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法において、前記第 1 検知回路の第 1 の容量を測定するステップが、前記第 1 の時間における前記第 1 検知回路の共振周波数を測定するステップを具え；前記第 1 検知回路の第 2 の容量を測定するステップが、前記第 2 の時間における前記第 2 検知回路の共振周波数を測定するステップを具え；前記第 1 の変化率を計算するステップが、前記第 1 共振周波数と前記第 2 共振周波数との差にもとづいて、前記第 1 検知回路の共振周波数の第 1 変化率を計算するステップを具える、ことを特徴とする方法。

20

## 【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法が更に、前記第 1 の時間に先立つ初期時間において：

容量マッピングルートを通して前記ロボットアームを移動させるステップと；

前記容量マッピングルートに沿った分散ウエイポイントにおける前記第 1 検知回路の絶対容量値セットを記録するステップと；前記絶対容量値セットと、前記容量マッピングルートに沿った前記分散ウエイポイント間の相対容量値変化に変換するステップと；

前記相対容量値変化を、前記ロボットアームが占めている物理的スペースのベースライン容量マップに集めるステップと；

前記ベースライン容量マップと、前記第 1 の位置と第 2 の位置間の前記ロボットアーム側とから、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置間のスレッシュホールド変化率を計算するステップと；

を具えることを特徴とする方法。

30

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の方法において：

軌道を通して前記ロボットアームを移動させるステップが、前記容量マッピングルートに近接している軌道を通して前記ロボットアームを移動させるステップを具え、

前記第 1 検知回路の絶対容量値セットを記録するステップが、前記容量マッピングルートに沿った分散ウエイポイントセットにおける前記第 1 検知回路の絶対容量値セットを記録するステップを具え、前記分散ウエイポイントセットが、前記第 1 位置と前記第 2 位置を具える、ステップと；

前記近接アラームを発するステップが、前記ロボットアームによって占められており、前記初期時間と前記第 2 の時間の間に、前記スレッシュホールド変化率を超える前記第 1 検知回路の第 1 容量変化率に応じて、前記物理的スペースにおける変化を検出するステップと、前記物理的スペースにおける変化に基づいて近接アラームを発するステップと、を具えることを特徴とする方法。

40

50

**【請求項 5】**

請求項 1 に記載の方法において：

前記近接アラームを発するステップが、前記第 1 検知回路の第 1 容量変化率を、外部物体に対する前記第 1 電極の速度に変換するステップと、前記第 1 位置から前記第 2 位置への前記ロボットアームの速度に近づく外部物体に対する前記第 1 電極の速度に応じて、静止物体に対する動きについての近接アラームを発するステップと、を具え；

前記ロボットアームの現在の速度を低減するステップが、静止物体に向かう動きについての近接アラームが流れている間に前記ロボットアームの最大速度の一部に低減するステップを；

具えることを特徴とする方法。

10

**【請求項 6】**

請求項 1 に記載の方法において：

前記近接アラームを発するステップが、前記第 1 検知回路の第 1 容量変化率を、外部物体に対する前記第 1 電極の速度に変換するステップと、前記第 1 位置から前記第 2 位置への前記ロボットアームの速度を超える、外部物体に対する前記第 1 電極の速度に応じて、前記ロボットアームに向けての動的物体の動きについて、近接アラームを発するステップと；

前記ロボットアームの現在の速度を低減するステップが、前記ロボットアームに向けた動的物体の移動に対する近接アラームが流れている間に、前記ロボットアームの動きを止めるステップと；

を具えることを特徴とする方法。

20

**【請求項 7】**

請求項 1 に記載の方法がさらに、前記第 1 の時間と第 2 の時間の間に第 2 検知回路の第 2 容量変化率を計算するステップであって、前記第 2 の検知回路が、前記ロボットアームの前記第 1 アームセグメント上に延在しており、前記第 1 電極の近傍で、前記第 1 電極によって規定される第 1 の面積より小さい第 2 の面積を規定する第 2 電極を具える、ステップを具え；

前記近接アラームを発するステップが：

前記スレッシュホールド変化率を超える第 1 変化率と、前記第 2 変化率を超えるスレッシュホールド変化率に応じて、前記ロボットアームの第 1 近接範囲内の外部物体の近接に対して第 1 近接アラームを発するステップであって、前記第 1 の近接範囲が、前記第 1 電極の第 1 の検知可能な範囲に対応している、ステップと；

前記第 1 変化率と、前記スレッシュホールド変化率を超える前記第 2 変化率に応じて、前記ロボットアームの第 2 近接範囲内の外部物体の近接に対して第 2 近接アラームを発するステップであって、前記第 2 近接範囲が、前記第 2 電極の第 2 検知範囲に対応する、ステップと；

を具え、

前記ロボットアームの現在の速度を低減するステップが：

前記第 1 の近接アラームに応じて、前記ロボットアームの現在の速度を、前記ロボットアームの最大速度の第 1 部分に低減するステップと；

前記第 2 近接アラームに応じて、前記ロボットアームの現在の速度を前記ロボットアームの最大速度の第 2 部分に低減するステップであって、前記第 2 部分が前記第 1 部分より小さい、ステップと；

を具える、

ことを特徴とする方法。

30

40

**【請求項 8】**

請求項 1 に記載の方法において、

前記軌道を通して前記ロボットアームを移動させるステップが、前記ロボットアームの前記第 1 アームセグメントと第 2 アームセグメント間に挿入した第 1 の作動軸を作動させ、前記第 2 のアームセグメントと前記ロボットアームのベースの間に挿入した第 2 の作動

50

軸を作動させるステップを具備、

前記方法がさらに；前記第 1 の時間と第 2 の時間との間の第 2 検知回路の第 2 容量変化率を計算するステップであって、前記第 2 検知回路が前記第 2 のアームセグメントの上に延在する第 3 電極を具備、ステップを具備；

前記近接アラームを発するステップが、スレッシュホールド変化率を超える第 1 容量変化と第 2 容量変化率のうちの一方向に応じて、前記近接アラームを発するステップを具備；

前記ロボットアームの現在の速度を低減するステップが、前記近接アラームに応じて前記第 1 の作動軸と前記第 2 の作動軸の低減した最大回転速度を設定するステップを具備；

ことを特徴とする方法。

10

【請求項 9】

請求項 1 に記載の方法がさらに；

第 3 の時間において、第 2 スレッシュホールド変化率を超える前記第 1 検知回路の第 2 容量変化率に基づいて、物体と前記第 1 電極近傍の前記第 1 アームセグメントの第 1 領域との間の第 1 の接触を検出するステップであって、前記第 2 スレッシュホールドが前記第 1 スレッシュホールドを超えているステップと；

およその前記第 3 時間において、前記第 2 スレッシュホールド変化率を超える前記第 2 回路の第 3 容量変化率に基づいて、物体と、第 2 検知回路に接続された第 2 電極近傍の前記第 1 アームセグメントの第 2 領域との間の第 2 の接触を検出するステップであって、前記第 1 アームセグメントの前記第 2 領域が、前記第 1 アームセグメントの前記第 1 領域に

20

対向している、ステップと；

前記第 1 の接触と前記第 2 の接触を手動制御ジェスチャと解釈して、前記第 1 アームセグメントに接続された第 1 の作動軸を制御するステップと；

前記手動制御ジェスチャに応じて前記第 1 の作動軸のロックを外すステップと；

を具備することを特徴とする方法。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の方法がさらに；

およその第 4 の時間において、前記第 2 スレッシュホールド変化率を超える前記第 3 検知回路の第 4 容量変化率に基づいて、物体と、第 3 検知回路に接続された第 3 電極近傍の前記第 1 アームセグメントの第 3 領域との間の第 3 接触を検出するステップであって、前記第 1 アームセグメントの前記第 3 領域が、前記第 1 アームセグメントの前記第 1 領域と前記第 2 領域との間に挿入している、と；

30

前記第 1 接触、前記第 2 接触、及び前記第 3 接触を、第 2 の手動制御ジェスチャとして解釈し、前記第 1 アームセグメントを支持する第 2 アームセグメントに接続された第 2 の作動軸とを制御するステップと；

前記第 2 の手動制御ジェスチャに応じて、前記作動可能な第 1 の軸と前記第 2 の作動軸のロックを外すステップと；

を具備することを特徴とする方法。

【請求項 11】

ベースと；

40

第 1 アームセグメントと；

前記ベースと前記第 1 アームセグメントとの間に挿入され、前記第 1 アームセグメントに第 1 の作動軸を介して接続されており、第 2 の作動軸を介して前記ベースに接続されている、第 2 アームセグメントと；

前記第 1 の作動軸に対向する第 1 アームセグメントの端部に接続されたエンドエフェクタと；

前記第 1 アームセグメントのある領域にわたって配置され、第 1 検知回路に電氣的に接続された第 1 電極と；前記第 1 の作動軸と前記第 2 の作動軸が作動する間に、前記第 1 検知回路の容量を測定するように構成されたコントローラと；

を具備することを特徴とするシステム。

50

## 【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載のシステムにおいて、前記コントローラが、前記第 1 検知回路の共振周波数を検知することによって、前記第 1 検知回路の容量を測定するように構成されていることを特徴とするシステム。

## 【請求項 1 3】

請求項 1 1 に記載のシステムにおいて：

前記コントローラが、前記第 1 検知回路の第 1 容量を第 1 の時間に測定し、前記第 1 の時間に続く第 2 の時間に、前記第 1 の検知回路の第 2 容量を測定するように構成されており；

さらに、前記前記第 1 の作動軸と前記第 2 の作動軸を作動させ、

前記第 1 の時間における物理的スペース内の第 1 位置から、前記第 2 の時間における物理的スペース内の第 2 の位置へ、前記エンドエフェクタを移動させ、

前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の間の前記第 1 検知回路の第 1 の容量変化率を計算し、

スレッシュホールド変化率を超える前記第 1 検知回路の第 1 変化率に応じて、前記第 2 の時間に近接アラームを発生し、

前記近接アラームに応じて、前記第 1 の作動軸と前記第 2 の作動軸の最大作動速度を低減する、

ように構成されたプロセッサを、具えることを特徴とするシステム。

10

## 【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載のシステムにおいて：

前記第 1 電極が、前記第 1 アームセグメントの背側にわたって配置されており；

前記プロセッサが：

前記スレッシュホールド変化率を超える前記第 1 検知回路の第 1 容量変化率に応じて、前記第 1 アームセグメントの背側に垂直な第 1 方向における動きに対して近接アラームを発生し；

前記近接アラームに応じて前記第 1 方向に前記第 1 アームセグメントを移動させる方向における、前記第 1 の作動軸の最大作動速度を低減させる；

ように構成されていることを特徴とするシステム。

20

## 【請求項 1 5】

請求項 1 3 に記載のシステムにおいて；

当該システムがさらに、前記第 1 のアームセグメントの側面にわたって配置され、第 2 検知回路に接続された第 2 の電極を具え；

前記プロセッサが：

前記スレッシュホールド変化率を超える前記第 2 検知回路の容量の変化率に応じて、前記第 1 のアームセグメントの側面に垂直な第 2 の方向における動きに対して第 2 の近接アラームを発生し；

前記近接アラームに応じて前記第 2 方向に前記第 1 アームセグメントを移動させる方向における、前記第 2 の作動軸の最大作動速度を低減させる；

ように構成されていることを特徴とするシステム。

30

40

## 【請求項 1 6】

請求項 1 1 に記載のシステムにおいて、

当該システムがさらに：

前記エンドエフェクタと前記第 1 電極の間の前記第 1 アームセグメントの第 1 側部に配置され、第 2 検知回路に電氣的に接続された第 2 電極と；

前記第 2 電極に対向して前記第 1 アームセグメントの第 2 側部に配置され、第 3 検知回路に電氣的に接続された第 3 電極と；

を具え、

前記コントローラが、前記第 2 検知回路と前記第 3 検知回路の容量を測定するように構成されており；

50

前記システムがさらに、第3の時間における、外部物体と前記第1アームセグメントとの間の接触を表す、前記第2検知回路の第1容量変化に応じて、また、およそ前記第3の時間における、外側物体と、前記第1アームセグメントの第2側部との間の接触を表す前記第3検知回路の第2の容量変化に応じて、前記第1の作動軸のロックを外して手動操作できるように構成したプロセッサを具える；  
ことを特徴とするシステム。

【請求項17】

請求項11に記載のシステムがさらに、前記第2アームセグメントと前記ベースの間に挿入され、第1の端部において前記第2の操作可能な軸に接続され、第3の操作可能な軸を介して、前記第1端部に対向する第2端部において、前記ベースに接続されている、第3アームセグメントを具えることを特徴とするシステム。

10

【請求項18】

請求項11に記載のシステムにおいて、  
前記第1アームセグメントが：

前記第1の作動軸から延在する硬質ビームと；

前記硬質ビームの上に配置され当該ビームに沿って延在するカバーと；

を具え、

前記第1電極が、前記カバーにわたって配置された導電材料を具え、前記第1アームセグメント内に配置した前記第1検知回路に電気的に接続された前記第1検知回路に接続されている；

20

ことを特徴とするシステム。

【請求項19】

請求項17に記載のシステムにおいて、前記第1アームセグメントは、さらに、前記第1電極の下で前記カバーの上に配置された接地電極を具え、前記コントローラが、前記接地電極を、基準電気接地電位に駆動する

ことを特徴とするシステム。

【請求項20】

請求項11に記載のシステムにおいて、

当該システムがさらに：

前記第1電極近傍の前記第1アームセグメント上に配置され、前記第1検知回路に接続された、第1接地電極と；

30

前記第2アームセグメントのある領域にわたって配置され、第2電極回路に電気的に接続された、第2電極と；

前記第1電極近傍の前記第1アームセグメント上に配置され、前記第1検知回路に接続された、第2の接地電極と；

を具え、

前記コントローラが、前記第1電極と、前記第2電極とを順次駆動し、前記第1電極と前記第1接地電極の間の容量を測定し、前記第1電極と、前記第1接地電極との間の容量を測定して、前記第2電極と、前記第2接地電極との間の容量を測定するように構成されている；

40

ことを特徴とするシステム。

【請求項21】

請求項11に記載のシステムにおいて、前記エンドエフェクタが、前記第2の作動軸に対向して前記第2アームの端部に一時的に接続された電動式グリッパを具える、ことを特徴とするシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願のクロスリファレンス]

50

本出願は、2015年9月9日に出願された、米国暫定出願第62/216,328号の利益を主張する。この出願は、引用によって全体が組み込まれている。

【0002】

本発明は、一般的に、ロボットアーム及び特に、新規かつ有用なロボットアームとロボットアームの分野における物体回避方向に関する。

【図面の簡単な説明】

【0003】

【図1】図1は、ロボットアームシステムを示す図である。

【図2】図2は、ロボットアームシステムの一変形例を示す図である。

【図3】図3は、ロボットアームシステムの一変形例を示す図である。

【図4】図4は、一方法のフローチャートである。

【図5】図5は、この方法の一変形例を示すフローチャートである。

【図6】図6は、この方法の一変形例を示すフローチャートである。

【図7】図7は、この方法の一変形例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0004】

本発明の実施例に関する以下の記載は、発明をこれらの実施例に限定することを意図するものではなく、むしろ、当業者が本発明を製造し使用できるようにするためのものである。ここに述べる変形、構成、実装、例示的実装、及び実施例は、選択的なものであり、これらの変形、構成、実装、例示的実装、及び実施例に限定するものではない。本明細書に述べた発明は、これらの変形、構成、実装、例示的実装、及び実施例のいずれかの及びすべての変更を含む。

【0005】

1. ロボットアームシステム

図1に示すように、ロボットアーム102システムは：ベース110と；第1の作動軸124を介してベース110に連結された第1のアームセグメント120と；第2の作動軸134を介してベース110に連結された第2のアームセグメント130と；第1のアームセグメント120と第2のアームセグメント130にわたって配置された電極セット121, 131と；第1サンプリング期間に電極セット中の電極の第1電極容量値セットを蓄積し、第1のサンプリング期間に続く第2サンプリング期間にこの電極セット内の電極の第2容量値セットを蓄積する、コントローラ123と；コントローラ123から受け取った第1容量値セットに基づいて第1のサンプリング期間のロボットアーム102への物体の第1の近接を測定し、コントローラ123から受け取った第2容量値セットに基づいて第2サンプリング期間のロボットアーム102への物体の第2の近接を測定し、第2の近接と、第1の近接と第2の近接との差とに基づいて、第2のサンプリング期間に続いて第1の作動軸124の低減した最大速度と、第2の作動軸の低減した最大速度を設定する、プロセッサ150と；を具える。

【0006】

システム100の一変形例は：ベース110と；第1のアームセグメント120と；ベース110と第1のアームセグメント120との間に配置され、第1の作動軸124を介して第1のアームセグメント120に連結され、第2の作動軸134を介してベース110に連結された第2のアームセグメントと；第1の作動軸124に対向して第1のアームセグメント120の端部に連結されたエンドエフェクタ140と；第1のアームセグメント120の一領域にわたって配置され、第1の検知回路122に電氣的に接続された第1の電極121と；第1の作動軸124と第2の作動軸134の作動中に、第1の検知回路122の容量を測定するように構成されたコントローラ123と；を具える。

【0007】

2. 方法

図4に示すように、システム100は、ロボットアーム102を制御する方法を実行することができる。この方法は：ブロックS110において軌道を通してロボットアーム1

10

20

30

40

50

02を移動させるステップと；ロボットアーム102がこの軌道に沿った第1の位置を占める第1時間に、ブロックS120においてロボットアーム102の第1アームセグメント120の上に延在する第1電極121を具える第1検知回路122の第1の容量を測定するステップと；ブロックS122においてロボットアーム102がこの軌道に沿った第2の位置を占める、第1の時間に続く第2の時間に、第1検知回路122の第2の容量を測定するステップと；ブロックS130において、第1の容量と第2の容量間の差に基づいて第1の検知回路122の第1の容量変化率を計算するステップと；ブロックS140においてスレッシュホールド変化率を超える第1の検知回路122の第1の容量変化率に応じて、近接アラームを発するステップと；ブロックS150において近接アラームに応じて軌道を通して移動しているロボットアーム102の現速度を低減するステップと；を具える。

【0008】

### 3. アプリケーション

一般的に、システム100は硬質アームセグメントセットと、硬質アームセグメントの間に散在する作動軸セットを具えるロボットアーム102を規定しており、これを駆動させて空間内でロボットアーム102を操作することができる。硬質アームセグメントと作動軸セットは、一方の端部をベースに装着することができ、他端はエンドエフェクタに連結されており、システム100は、各作動軸をあらかじめ記録されたあるいはあらかじめ生成された動作プログラム（あるいは、「軌道」又はツールパス）に従って駆動して、決められたタスクを実行できる。例えば、システム100は、ベース110の対向するロボットアーム102の端部に一時的に連結された電導グリッパーエンドエフェクタを具えている。システム100はあらかじめ計画した軌道を通してロボットアーム102を操縦し、エンドエフェクタ駆動ルーチンを実行してパーツピンから物体を選択し、アッセンブリ上にその物体を配置することができる。別の例では、システム100は、ポリマー射出エンドエフェクタを具え、ある軌道を実行してポリマ射出エンドエフェクタから放出された材料で物体を印刷することができる。更なる例では、システム100は、レーザカッターエンドエフェクタを具え、軌道を実行して、レーザカッターエンドエフェクタが機能している間に材料ストックのシートから二次元形状を切り出すことができる。

【0009】

システム100は、また、ロボットアーム102の一またはそれ以上のアームセグメント内に、又はその上に配置した電極セットと；システム100が稼動中に電極の電気容量値（あるいはこれらの電極に接続された検知回路の電気容量）を選択的に読み取るように構成した一又はそれ以上のコントローラと；を具える。例えば、コントローラ123は、ロボットアーム102上の電極に接続された検知回路セットを順次駆動して、自己容量検知技術を実装し、各検知回路を流れる漏れ電流を記録することができる。代替的に、コントローラ123は単一の接地電極チャンネルに接地して、地面とアームセグメント上にパターン化された検知電極のアレイ内の（縦）検知電極チャンネルを駆動し、次いで、相互容量検知技術を実装して、各接地/検知電極ジャンクションに関する充電/放電回数、共振周波数、あるいはその他の容量値を測定することができる。例えば、システム100は、アームセグメントにわたってパターン化された電極を具え、LCタンク検知回路内に平板コンデンサを形成することができ、コントローラ123はLCタンク検知回路の共振周波数を測定することができる。次いで、コントローラ123は、これらの容量に関連するデータをプロセッサ150に送ることができる。

【0010】

プロセッサは、これらのデータを：ロボットアーム102近傍の物体の存在に、あるいは、ロボットアーム102内のアームセグメントの特定の領域；ベース110上の基準点に対するといったシステム100に対する物体の位置；及び/又は近傍の物体がロボットアーム102に向かって移動しているかどうか、あるいは、ロボットアーム102が物体に向かって移動しているかどうか；に変換することができる。ロボットアーム102が第1位置から第2位置へ移動すると、プロセッサ150は追加あるいは代替的に、ロボッ

トアーム 102 のあるセグメント上の電極（又はこの電極に接続された検知回路）の容量変化率が、第 1 位置から第 2 位置への予想された容量変化率と異なるかどうかを決定しこれによってエンドエフェクタ 140 によって到達可能な三次元体積（以下、「作動体積」という）内の新しい物体の存在を認識できる。

#### 【0011】

次いで、プロセッサ 150 は、各作動軸の最大速度又は各作動軸の位置的（例えば、角度位置）境界、といった動作制限を設定して、このような物体との衝突を避ける、あるいは、ユーザの手がロボットアーム 102 に向けて移動しているかどうかといった物体との衝突を、実質的に最小速度に制限する。特に、システム 100 は、ロボットアーム 102 が動作している間にこの方法のブロックをリアルタイムで実行して、作動体積内の新しい静的又は動的物体の存在といった、作動体積内の変化を検知し、ロボットアーム 102 の作動についての速度制限を設定する、又は、作動体積内の変化が検出されたときにロボットアーム 102 の動き全体を停止することができる。

10

#### 【0012】

プロセッサ 150 は、容量のベースライン又は予想された変化率を超える検知回路の容量の変化率における偏差から決定するといった、ロボットアーム 102 近傍の新しい物体の存在に基づくシステム 100 による実行中に軌道を修正することができる。システム 100 は、したがって：一またはそれ以上の作動軸によって操作される一又はそれ以上の硬質アームセグメントを含むロボットアーム 102 と；このロボットアームにわたって配置された一またはそれ以上の電極；自己 - 及び / 又は相互 - 容量技術によって電極を（あるいは、電極に接続されたセンサ回路）をサンプリングできるコントローラを具えており、システム 100 は、これらの電極から受信したデータを操作して、動作中に近傍の物体との衝突を避けることができる。

20

#### 【0013】

システム 100 は、本明細書では、ロボットアーム 102 のアームセグメント上に配置された一またはそれ以上の電極の容量値を読み出すと記載されている。特に、システム 100 は、電極を有する検知回路のトータルの充電 / 放電時間、充電時間、放電時間、共振周波数、RC 時定数、及び / 又は LC 時定数、その他を読み出すことができる。システム 100 は、次いで、検知回路から読み取った容量値を、アームセグメントと近傍の物体との間の推定距離又は距離範囲に変換して、物体とロボットアーム 102 との間の推定距離が、12 インチの静的スレッシュホールド距離、あるいは、ロボットアーム 102 の現速度に基づいた動的スレッシュホールド距離といった、スレッシュホールド距離を下回ると、近接アラームを発することができる。システム 100 は、追加であるいは代替的に：あらかじめ決められた軌道に沿ったロボットアーム 102 の動きの間にロボットアーム 102 によって占められる二つの位置間における検知回路の容量値の変化率（例えば、共振周波数の変化率）を計算する；新たな物体（すなわち、予想されていない物体）がロボットアーム 102 近傍にある場合、検知回路の容量の実際の変化率が、ベースラインあるいはあらかじめ決められた軌道に沿った同じ二つの位置の間の予想変化率からずれているかどうかを決定する；および、新たな物体の存在が検出された場合に近接アラームを発生する。システム 100 は、ついで、近接アラームに応じて、各作動軸の最大速度を下げる、あるいはロボットアーム 102 のすべての動きを停止するなどによって、ロボットアーム 102 の現在の軌道に沿ってロボットアーム 102 の動きを修正することができる。

30

40

#### 【0014】

#### 4. ロボットアーム 102 とアームセグメント

システム 100 は、ロボットアーム 102 を：ベースと；エンドエフェクタ又は、エンドエフェクタを一時的に係合するように構成されたエンドエフェクタジャンクション 182 と；ベース 110 とエンドエフェクタ 140 又はエンドエフェクタジャンクション 182 の間に直列に配置された複数の硬質部分（又は「アームセグメント」）と；ベース 110 と最も近いアームセグメントとの間、及び各アームセグメント間に入れた作動軸と；を具えると規定することができる。各作動軸は、サーボモータなどの内部アクチュエータを

50

具えていてもよく；代替的に、各作動軸は、ベース 1 1 0 に配置したアクチュエータに、ケーブルセット又はリンクを介するなどして、連結されていてもよい。ベース 1 1 0 内に配置され、プロセッサ 1 5 0 によって制御されるモータドライバによるなどして、作動軸のアクチュエータが、駆動されると、作動軸の二つの端部の相対角度位置が変化し、これによって、作動軸の他端上のアームセグメントに対して（あるいは、ベース 1 1 0 に対して）作動軸の一方の側部のアームセグメントが移動する。作動軸は、また、光学エンコーダ及びリミットスイッチ対などの一またはそれ以上の位置センサを具えており、プロセッサ 1 5 0 は、これらの位置センサをサンプリングして、作動軸の各側部における二つのアームセグメントの相対位置（又は一のアームセグメントとベースの相対位置）を追跡することができる。

10

#### 【 0 0 1 5 】

プロセッサ 1 5 0 は、様々なモータドライバを制御して各作動軸を稼働させることによって、軌道を通るロボットアーム 1 0 2 の動きを記載したこの方法のブロック S 1 1 0 を実行することができる。例えば、プロセッサ 1 5 0 は：スペースを通るエンドエフェクタ 1 4 0 の横断用の目標経路に沿ったウェイポイントを規定する、三次元のあらかじめ決められた軌道を読み込んで；各ウェイポイントにおける作動軸についての目標位置を計算し；次いで、各作動軸の位置センサから読み取った位置に基づいてあらかじめ決められた軌道に沿った各ウェイポイントを順次通ってロボットアーム 1 0 2 をナビゲートするように、閉ループ制御を実装する；ことができる。

20

#### 【 0 0 1 6 】

軌道を実行する間に、プロセッサ 1 5 0 はコントローラ 1 2 3 と共働して、この方法のブロックをほぼリアルタイムで実行し、作動体積内の新しい（すなわち、未知の）静的物体、または作動体積を通して移動する動的物体（例えば、オペレータの手）といった、ロボットアーム 1 0 2 によって占められている作動体積内の変化を検出し、これによってロボットアーム 1 0 2 の動きを停止させるあるいは修正することができる。

#### 【 0 0 1 7 】

##### 5 . 検知電極

このシステムは、第 1 のアームセグメント 1 2 0 の領域にわたって配置され、第 1 の回路に電気的に接続されている第 1 の電極を具える。一般的に、システム 1 0 0 は、ロボットアーム 1 0 2 のアームセグメントにわたって配置され、電極と近傍の大きな物体との間の距離に比例して（例えば、直線的に、対数的に、逆比例して、その他）測定可能な特性を示す検知回路に接続された電極を具える。コントローラ 1 2 3 は、トータルの充電 / 放電時間、充電時間、放電時間、共振周波数、RC 時定数、又は LC 時定数（以下、「容量値」という）といった、検知回路の測定可能な特性を経時的に読み取ることができ、プロセッサ 1 5 0 はこれらの測定可能な特性を分析して、以下に述べるように、近接アラームを選択的にトリガすることができる。

30

#### 【 0 0 1 8 】

例えば、システム 1 0 0 は：アームセグメントに配置され、キャパシタを形成する検知電極と接地電極対と；検知電極と接地電極に電気的に接続されて、検知回路を形成するインダクタと；検知回路に接続された信号生成器を具える。コントローラ 1 2 3 は、次いで：検知回路がベースライン周波数（例えば、検知回路の典型的な共振周波数）で駆動するように信号生成器を設定し、検知回路に印加された電圧を読み取り、信号生成器の出力周波数を回路の最大電圧に到達するまで変化させ、次いで、この最終出力周波数を検知回路の共振周波数として保存することができる。

40

#### 【 0 0 1 9 】

##### 5 3 . 1 電極アレイ

システム 1 0 0 は、ロボットアーム 1 0 2 内の一またはそれ以上のアームセグメント上に複数電極（共通接地電極を有する又は、独自の接地電極と対になった）と、検知回路とを具えている。一の実装例では、アームセグメントが、推定自己容量アレイ（検知電極アレイ）内のアームセグメント上に配置された検知電極セットを具える。この実装例では、

50

図 2 に示すように、検知電極アレイが：アームセグメントの背面側の第 1 のリニア電極アレイと、アームセグメントの右側部の第 2 のリニア電極アレイと、アームセグメントの前面側の第 3 のリニア電極アレイと、アームセグメントの左側部の第 4 のリニア電極アレイを具える。各リニア電極アレイは、アームセグメントの軸に平行なラインに配置した 4 つの（比較的）大きな電極を具える。例えば、外径が 1 インチの円筒部分を規定する 12 インチの長いアームセグメントには、各リニア電極アレイは、アームセグメントの外側面に印刷するか、あるいは貼り付けられていてもよい。ここで、各電極は長さ 1.5 インチ（すなわち、アームセグメントの軸に沿って）であり、同じリニアアレイ中の隣接する電極から、中心から中心の距離 2 インチ分オフセットしており、アームセグメントの外側面の周りに  $\sim 80^\circ$  の半径方向距離に及び、各リニアアレイの 4 つの電極は各々、相対的に薄い（例えば幅 0.05 インチ）のトレースを介してコントローラ 123 上のチャンネルに電氣的に接続されている。この例では、各リニア電極アレイは、隣接するリニアアレイから 90 度半径方向にオフセットしている。コントローラ 123 とプロセッサ 150 は共働して、アームセグメント上の直列の各リニアアレイの各電極をスキャンし、2 またはそれ以上のサンプリング期間にわたって選択した電極の容量値（例えば、電流引き込み）の変化を検出し、これらの容量値の変化を、選択した電極への物体の近接に相関させる。

#### 【0020】

上述した実装例では、プロセッサ 150 は、このようにして物体が、アームセグメントの背面側、前面側、左側部、又は右側部に近づいているかどうか（あるいは、アームセグメントの背面側、前面側、左側部又は右側部が物体に近づいているかどうか）、及び、一のサンプリング位置又はロボットアーム 102 の位置から次への容量の最大変化（例えば、共振周波数の予想変化率からのずれ）を示す電極の既知の位置に基づいて、この物体がアームセグメントに、アームセグメントの後ろ、中心、あるいは前から近づいているかどうかを測定できる。プロセッサ 150 は、アームセグメント上で半径方向にオフセットされた電極間の容量値変化を挿入して、物体がアームセグメントの左背面側、右背面側、左前側、又は右前側に近づいているかどうかを（あるいは、アームセグメントの左背面側、右背面側、左前側、又は右前側が物体に近づいているかどうか）、あるいはその他の角度分解能を決定することもできる。プロセッサ 150 は、同様に、容量値の変化をリニア電極アレイに沿った電極のリニアオフセットに挿入して、近づいている物体に最も近いアームセグメントの地点を推定することができる。しかしながら、この実装例では、アームセグメントは、この例以外のジオメトリを持つこの例以外の数又は構成の電極を具えていてもよい。

#### 【0021】

別の実装例では、アームセグメントが、推定した相互容量アレイに配置された検知電極セットを具え、このアレイが：アームセグメントの背面側の第 1 リニア検知電極アレイと、アームセグメントの右側部の第 2 リニア検知電極アレイと、アームセグメントの前側の第 3 リニア検知電極アレイと、アームセグメントの左側の第 4 リニア検知電極アレイと；アームセグメントの右背面側の第 1 のリニア接地電極アレイと、アームセグメントの右前側の第 2 のリニア接地電極アレイと、アームセグメントの左前側の第 3 のリニア接地電極アレイと、アームセグメントの左背面側の第 4 のリニア接地電極アレイと；これらのリニア検知電極とリニア接地電極との間に介在させた非導電性誘電材料層と；を具える。

#### 【0022】

上述の実装例では、図 1 に示すように、検知電極のリニアアレイがアームセグメントの軸に平行なラインに配置された、4 つの大きなダイヤモンド形状の検知電極を具え、接地電極の各リニアアレイは、アームセグメントの軸に平行なラインに配置され、検知電極の隣接するリニアアレイ間にパターン化された、4 つの大きなダイヤモンド形状の設置電極を具える。各検知電極アレイでは、4 つの検知電極がコントローラ 123 の位置のチャンネルに、同じジオメトリのトレースを介して電氣的に接続されている。同様に、各設置電極アレイでは、3 つの設置電極が直列に電氣的に接続されており、このアレイの位置の設置電極は、同じジオメトリのトレースを介してコントローラ 123 の一のポートに電氣的に

10

20

30

40

50

接続することができる。

【 0 0 2 3 】

一例では、円筒状断面の外径 1 インチを規定する長さ 1 2 インチのアームセグメントに関して、検知電極の各リニアアレイは、アームセグメントの外側表面に印刷又は貼り付けることができ、各検知電極は、アームセグメントの軸に沿ったコーナーからコーナーへの最大長さが 1 . 5 インチであり、中心から中心への距離 2 インチだけ同じリニアアレイ内の隣接する検知電極からオフセットしており、アームセグメントの外側表面の周りに ~ 8 0 ° の半径方向距離にまたがっている。この例では、図 1 に示すように、各検知電極のリニアアレイが、隣接するリニアアレイから 9 0 °、半径方向にオフセットしている。この例では、第 1、第 2、第 3 及び第 4 のリニア接地電極アレイが、同じジオメトリの接地電極を規定しており、隣接する検知電極から 4 5 ° 半径方向にオフセットしており、リニア検知電極アレイに対して、アームセグメントに沿って 1 インチ縦方向にシフトして、隣接する検知電極アレイ間でリニア接地電極アレイを中心に配置することができる。次いで、コントローラ 1 2 3 とプロセッサ 1 5 0 は共働して：アームセグメントにわたって隣接する接地 / 検出電極対をスキャンし；2 またはそれ以上のサンプリング期間にわたって選択した電極対における容量値の変化（例えば、RC 又は LC 時定数の変化、放電 / 充電速度の変化、その他）を検出し；これらの容量値の変化を特定の電極対への近接に相関させることができる。プロセッサ 1 5 0 は、次いで、上述した方法と技術を実装して、物体がアームセグメントに近づいているかどうか（あるいは、アームセグメントが物体に近づいているかどうか）、及び物体に最も近いアームセグメントの特定の領域を決定することができる。

10

20

【 0 0 2 4 】

上述した実装例において、実質的に同様のジオメトリを有する電極を、実質的に均一なりニア及び / 又はラジアルパターンでアームセグメントに、印刷、インストール、あるいは固定して、コントローラ 1 2 3 に並列に（例えば、推定自己容量構造として）、あるいは直列に（例えば、推定相互容量構造として）接続することができる。一般的に、システム 1 0 0 は、アームセグメントにほぼ均一な密度でパターン化した電極を具備してもよい。例えば、検出電極セットは、ほぼ同じダイヤモンド型のジオメトリを持ち、アームセグメントに沿って縦方向に中心から中心への均なりニアオフセットでスペースを空けて配置された検知電極を具備してもよい。この例では、接地電極セットは、同じジオメトリを持ち、ほぼ均一な縦方向及び半径方向のオフセットでスペースを空けて配置された接地電極を具備してもよい。

30

【 0 0 2 5 】

代替的に、電極は不均一なパターン（例えば、変化する縦及び半径方向のオフセット）でアームセグメントに印刷、インストール、あるいは取り付けでもよい。特に、システム 1 0 0 は、アームセグメントの上にパターン化された、不均一な密度の電極、及び / 又は不均一なサイズ及び / 又はジオメトリの電極セットを具備してもよい。一実装例では、第 1 アームセグメント 1 2 0 の後端部が第 1 駆動軸を介してベース 1 1 0 に連結されており、第 2 アームセグメント 1 3 0 の後端部は、第 2 駆動軸を介して第 1 アームセグメント 1 2 0 の前端部に連結されている。本実装例では、第 1 電極セットが、第 1 アームセグメント 1 2 0 の後端部に近接した第 1 電極密度（半径方向及び / 又は縦方向寸法で）で、第 1 アームセグメント 1 2 0 の上にパターン化されており、第 1 アームセグメント 1 2 0 の前端部に近接した第 2 電極密度に移行してゆき、第 2 電極 1 3 1 の密度は、第 1 電極 1 2 1 の密度より高い。この実装例では、第 2 電極セットが、同様に、第 2 アームセグメント 1 3 0 の後端部に近接した第 3 電極密度で、第 2 アームセグメント 1 3 0 上にパターン化されており、第 2 アームセグメント 1 3 0 の前端部に近接した第 4 電極密度に移行してゆき、第 4 電極密度は、第 2 電極 1 3 1 の密度より高い第 3 電極密度より高い。この例では、図 2 に示すように、アームセグメントに沿って電極の密度が増えてゆき、したがって、電極のサイズ（例えば、面積）は、小さくなる。システム 1 0 0 は、したがって、ベース 1 1 0 からより遠い距離でより高い電極密度によって特徴づけられた電極パターンに配置

40

50

された複数の分散電極セットを具える。システム100は、このように、ベース110に近接する（相対的に低い位置分離能で）より大きく、より密度が低い電極をサンプリングすることによって、ベース110に近接するシステムから遠い距離で物体を検出することができ；システム100は、また、ロボットアーム102の遠位端に近接するより小さい電極の高密度クラスタをサンプリングすることによって、より高い位置的及び方向的感度でより近い物体を検出することができる。

#### 【0026】

別の実装例では、図2に示すように、電極セットが、アームセグメントの縦方向中心に近接する第1電極密度（半径方向及び/又は縦方向寸法で）でアームセグメントの上にパターン化されており、アームセグメントの前端部及び後端部に近接する第2電極密度に移行しており、第2電極131の密度は、第1電極121の密度より高い。この実装例では、システム100は、アームセグメントの縦方向中心からより離れた距離でより高い電極密度で特徴づけられる電極パターンに配置された複数の分散電極セットを具える。システム100は、したがって、アームセグメントの縦方向中心に近接する密度がより低く、より大きい電極クラスタをサンプリングすることによって、アームセグメントに近づいている遠い物体（あるいは、アームセグメントが近づいている遠い物体）を検出することができる。また、システム100は、アームセグメントの縦方向端部に近接する密度がより高く、より小さい電極クラスタをサンプリングすることによって、より高い位置的及び方向的感度で、アームセグメントに近づいているより近い物体（あるいは、アームセグメントが近づいている遠い物体）を検出することができる。

10

20

#### 【0027】

上述した実装例では、アームセグメントの一端又は両端近傍のより密度の高いパターンで配置されたより小さい電極が、近接センサ及び/又はコントロールセンサとして機能する。特に、コントローラ123とプロセッサ150は共働してサンプリングし、これらのより小さい電極からの出力を処理して、近くの物体（例えば、電極から最大1インチの範囲内）を認識し；この物体がアームセグメントに近づいて（あるいは、アームセグメントがこの物体に近づいて）より小さい電極近傍でアームセグメントに接触すると、コントローラ123及び/又はプロセッサは、物体と接触した後、これらの制御電極から読み取った容量値に基づいてアームセグメント上の物体の存在と位置を検出し続けることができる。次いで、プロセッサ150は、以下に述べる通り、アームセグメント上の物体（例えば、指）の位置又は変化を、エンドエフェクタを操作する、あるいは、二つのアームセグメント間の作動軸をロックする又は開放する、といった制御機能と相関させる。

30

#### 【0028】

代替的に、システム100はアームセグメント近傍の物体の近接を検出するように構成された第1電極セットと、アームセグメントの表面の制御入力を検出するように構成された第2電極セットを具えていてもよい。この実装例では、第1電極セットは、第1コントローラによって制御される第1電気回路を規定し、第2電極セットは、第1検知回路122から区別され、第2の個別コントローラによって制御される第2回路を規定している。一例では、長さ12インチ、直径1インチのアームセグメントは、長さ9インチ、幅80°の4つの検知電極からなるセットを具え、この電極セットは、アームセグメントの背面側、前面側、左側部及び右側部の各々に配置されて、アームセグメントの後端部から延在し（すなわち、ベース110に最も近い）、アームセグメントの前端部から3インチのところで終端している。第1のコントローラは、したがって、4つの各検知電極を順次サンプリングして、回収した容量データをプロセッサ150に送り、プロセッサ150は以下に述べるように、これらのデータを実質的にリアルタイムで操作して、物体がアームセグメントに近づいているかどうか、及び/又は、アームセグメントが物体に近づいているかどうかを判断できる。本例では、アームセグメントは、図3に示すように、アームセグメントの前端部との間でネスト化した構造でアームセグメントの遠位端近くで半径方向にパターン化した、長さ2インチ、幅0.5インチ、トレース幅1インチの、山形形状の第2電極セットを具えていてもよい。したがって、コントローラ133は、第2の制御電極セ

40

50

ットを順次サンプリングして（例えば、計画された自己容量検出技術によって）、回収した容量データをプロセッサ150に送り、プロセッサ150は、以下に述べる通りこれらのデータを実質的にリアルタイムで操作して、アームセグメントの遠位端と接触している物体が、アームセグメントの周りを時計回り方向にあるいは反時計回り方向に移動しているかどうか、及び/又は、この物体がアームセグメントの前端部に向けて、あるいは後端部に向けて移動しているかどうかを判断することができる。

#### 【0029】

上述の実装例では、アームセグメントはその近位端（すなわち、ベース110に最も近い、アームセグメントの後端部近傍）に沿って同様の制御電極セットを具えていてもよい。しかしながら、ロボットアーム102内のアームセグメントは、ジオメトリの同じ、又は異なるその他の適切なパターンに配置した検出電極と制御電極170の組み合わせを具えていてもよい。プロセッサ150は検知電極及び制御電極から受信したデータを処理して：以下に述べる通り、1) 検出したロボットアーム102への物体の近接に基づいて軌道を実行する間に、各アームセグメントの速度及び/又は方向を調整する、及び/又は、2) ロボットアーム102内で検出したアームセグメントとのゆるやかな接触に基づいて、システム100内の様々な作動軸を操作する、ことができる。

#### 【0030】

##### 5.2 単電極

代替の変形例では、アームセグメントが複数電極ロードアレイではなく、単電極を具えている。例えば、アームセグメントはアームセグメントの外周に、その長さに沿って延在する単一の検知電極を具え、この単一検知電極に接続したコントローラが、アームセグメントへの物体の近接を表す信号を出力できる。別の例では、アームセグメントは、アームセグメントの後部側に沿って延在する単一の矩形感知電極を具えており、この単独の矩形検知電極に接続されたコントローラが、アームセグメントの後部側への物体の近接を表す信号を出力できる。

#### 【0031】

##### 5.3 追加電極

一変形例では、システム100はさらに：エンドエフェクタと；このエンドエフェクタ140の上に配置した一またはそれ以上の検知及び/又は制御電極と；エンドエフェクタ140上に、その中に配置された、あるいはエンドエフェクタ140の構造に一体化された電極から容量値を読み出すように構成されたエンドエフェクタコントローラと；を具える。この変形例では、システム100はさらに、ロボットアーム102の端部（例えば、第2のアームセグメント130の遠位端）に、エンドエフェクタを一時的に係合するように構成したエンドエフェクタジャンクション182を具え；このエンドエフェクタ140ジャンクションは、エンドエフェクタ140内のセンサレセプタクル（又はセンサプラグ）と連結するように構成されており、このエンドエフェクタ140ジャンクションのレセプタクルからベース110へ延在する回路用電線（又はリボンケーブル）を介してプロセッサ150に接続されたセンサプラグ（又はレセプタクル）と；を具える。エンドエフェクタ140コントローラとプロセッサ150は、以下に述べるものと同様の方法及び技術を実装して、あらかじめ計画された軌道を実行する間などの、ロボットアーム102の動作期間に、エンドエフェクタ140に近づく物体（あるいは、エンドエフェクタ140が近づく物体）を検出し、応答する。

#### 【0032】

各作動軸は、同様に、一またはそれ以上の検知及び/又は制御電極を具える。これらの電極は、隣接するアームセグメント内のコントローラに接続され、このコントローラによって読み取ることができ、あるいは、各作動軸は、同じ作動軸内の電極の容量値を読み取ることができ、これらの容量値をプロセッサ150に通信する専用のコントローラを具えていてもよい。プロセッサ150は、以下に述べるものと同様の方法及び技術を実装して、操作中に作動軸に近づく物体（あるいは作動軸が近づく物体）を検出し、応答することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 3 】

## 6 . 接地 - 平面電極

一変形例では、システム 1 0 0 は、上述した検知、接地、及び / 又は制御電極層 1 7 0 の下に配置した接地平面電極を具える。この変形例では、接地平面電極は、検知、接地、及び / 又は制御電極層 1 7 0 の下に ( すなわち、アームセグメントの外側表面に対向して ) 設けることができる。例示的一実装例では、接地平面電極は、アームセグメントの構造 ( 又は、アームセグメントの上にとりつけた美的カバー又は非構造的ハウジング ) に一体化されている、あるいはこの構造と物理的に同延である。例えば、アームセグメントは、アームセグメント上に組み付けたコントローラの設置チャンネルに接続された、硬質複合カーボンファイバ / ーまたはそれ以上のカーボンファイバ層を持つエポキシ構造を具える。代替的に、アームセグメントは、以下に述べるように、アームセグメントに印刷した又は貼り付けた、分散導電層を具えていてもよい。

10

## 【 0 0 3 4 】

一実装例では、アームセグメントは、各端部の上で作動軸に接続した硬質ビーム上に配置した美的カバーを具えており ; この美的カバーは、美的カバーの内側表面に配置した ( 例えば、印刷、蒸着、又は貼付けた ) 接地平面電極 1 6 0 と、美的カバーの外側表面に配置した一またはそれ以上の検知、接地、及び / 又は制御電極を具える。この実装例では、コントローラ 1 2 3 は接地電極を、交流基準接地電位などの基準接地電位にすることができる。さらに、この実装例では、ベース 1 1 0 上に配置したハウジング、エンドエフェクタ 1 4 0、及びロボットアーム 1 0 2 内のその他の構成要素が、隣接する検知、設置、あるいは制御電極の下に接地平面電極 1 6 0 を具えており ; システム 1 0 0 内の一またはそれ以上のコントローラが各接地平面電極 1 6 0 を駆動して、共通の基準接地電位にすることができる。

20

## 【 0 0 3 5 】

## 7 . 電極の一体化

一変形例では、電極がアームセグメント内に一体化されている。例えば、アームセグメントは、複合繊維カーボンファイバとエポキシチューブ ( 例えば、中空シリンダ ) を具えており、チューブ内の選択されたファイバーは、チューブ内でその他のファイバーから電気的に隔離されており、コントローラ上のポートに接続されて分散電極セットを形成している。別の例では、アームセグメントの構造が、単方向及び複数方向に繊維カーボンファイバリーフをマンドレルの周囲に巻き付けることによって形成されている。本例では、2つの非導電層 ( 例えば、2枚の紙 ) に挟まれた繊維カーボンファイバパッチを、マンドレルに組み付けたカーボンファイバ片の第 1 セット上に貼り付けて、リード ( 例えば、銅線 ) を各カーボンファイバパッチに接続し、次いで、カーボンファイバパッチを第 2 のカーボンファイバ片セットで覆う。カーボンファイバラップ内のエポキシが固まると、マンドレルを取り外し、リードをコントローラ上の対応するポートに接続する。

30

## 【 0 0 3 6 】

同様の例では、電極が導電フォイルから、分散フォイルパッチ、あるいは細いトレースで接続され一枚のフォイルシートからカットされたフォイルパッチアレイなどに、カットされている ( 例えば、ダイカッティング、レーザカッティング、その他 ) 。電極は、ポリエチレンなどの非導電材料で被覆されており、マンドレルに巻き付けた繊維カーボンファイバの第 1 層 ( あるいは第 1 層セット ) に取り付けられており、次いで、繊維カーボンファイバでできた第 2 層 ( あるいは第 2 層セット ) が電極と繊維カーボン層でできた第 1 層の周りに巻き付けられている。この例では、追加の電極層を、下の層の電極からオフセットさせるなどして繊維カーボンファイバでできた第 2 層の上に取り付けることができ、次いで、繊維カーボンファイバでできた第 3 層 ( あるいは第 3 層セット ) をこの第 2 電極セットの周りに巻き付けることができる。繊維カーボンファイバ内に埋め込んだエポキシが固まってマンドレルを取り外すと、各分散電極からの一本のリード、又は、各電極アレイからの一本のリードをコントローラに接続する。コントローラは、その後、自己容量または相互容量検知技術をそれぞれ実装して、アームセグメント近傍の及び / 又は

40

50

これに接触する物体を検出することができる。別の実施例では、導電ワイヤ、導電ワイヤメッシュパネル、あるいはその他の導電素子を同様に、アームセグメントの機能性構造内に埋め込むことができる。

【0037】

別の実装例では、電極がアームセグメントの表面に張り付けられている。一例では、アームセグメント、複合材、ポリマ、及び/又は、外側表面を規定する金属製筒状（例えば、薄い円筒状）構造が、非導電性材料（例えば、エポキシ、ポリエステル樹脂、その他）でおおわれているあるいはコーティングされている。この例では、電極の第1層は、アームセグメントの外側表面上に導電性インクでスクリーン印刷されており；半田パッド、又は半田フリーのコンタクトパッド、及びこれらのパッドを電極の第1層の対応する電極に接続するリードを、アームセグメントの外側表面に同様に印刷することができる。次いで、パッドにマスクをして、非導電性材料層を電極の第1層上に、順次スプレーする、ローラで伸ばす、あるいは印刷する。相互容量検知構造では、電極の第2層、リード、及びパッドが、非導電材料層の上に導電性インクで同様にスクリーン印刷されており；次いで、電極の第1及び第2層の両方にあるパッドをマスクして、非導電性材料でできた第2層をアームセグメントの上に張り付けて、電極の第2層を封入する。接地 - 平面電極及び/又は追加の電極層（検知及び/又は制御電極）は、同様にして、アームセグメントの外側表面上に張り付けることができる。

10

【0038】

別の例では、導電材料層（例えば、厚さ0.0005インチの銅又は錫の層）を、アームセグメントの外側表面に、スパッタリング、吹き付けコーティング、溶融、めっき、あるいは貼り付けることができる。この例では、電極、トレース、半田パッド、及び/又は半田フリーのコンタクトパッド、その他は、スクリーン印刷プロセスによるなどで、導電材料層の上にマスクをかけ、次いで、露出した導電材料領域をエッチング（例えば、酸洗浄）によってアームセグメントから取り除いて、アームセグメントの外側表面上に電極の第1層、トレース、及びパッドを形成する。次いで、上述したように、非導電材料層を電極の第1層の上に印刷、蒸着、巻き付け、あるいは、張り付けることができ、一またはそれ以上の追加電極層を、非導電材料でできた第1層の上に同様にして形成することができる。

20

【0039】

上記実装例で述べたものと同じ方法及び技術を実装して、アームセグメントの外側表面に取り付けた電極層に加えて、あるいはこれに代えて、アームセグメントの内側表面に一またはそれ以上の電極を取り付けることもできる。次いで、以下に述べるように、コントローラ123及びリボンコネクタ（あるいは、同様の接続コネクタ）をアームセグメントの上又は中に取り付けることができる。

30

【0040】

別の実装例では、一またはそれ以上の電極層が、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）あるいはポリイミドフィルムなどのフレキシブル印刷回路ボード（あるいは、「PCB」）の上に形成されている。この実装例では、フレキシブルPCBを、アームセグメントの外側に巻き付けるあるいは止め付けることができる。例えば、フレキシブルPCBは、アームセグメントの外側表面に接着（例えば、糊付け）することができる。別の例では、フレキシブルPCBをアームセグメントの周りに巻き付けて、アームセグメントとフレキシブルPCBを熱収縮性チューブでできたチューブに挿入し、熱収縮性チューブをアームセグメントの周りで収縮させて（加熱により）、フレキシブルPCBをアームセグメントに取り付けるようにしている。この実装例では、アームセグメントは、その外側表面上にオス組み込み構造（例えば、エンボスディンプル、ピン）を具備しており、フレキシブルPCBがこのオス組み込み構造に整列するメス組み込み構造（例えば、ホール）を具備、フレキシブルPCBをアームセグメント上に配置することができる。

40

【0041】

同様の実装例では、一またはそれ以上の電極層がフレキシブルPCB内に形成されてお

50

り、フレキシブルPCBをアームセグメントの室内容積に挿入するようにしている。この実装例及び上述の実装例では、コントローラ123を、フレキシブルPCBをアームセグメント内又はその周りにインストールする前に、フレキシブルPCB上にインストールすることができる。リボンコネクタ（又は、同様の接続ワイヤコネクタ）も、フレキシブルPCBをアームセグメント内又はその周りにインストールする前に、フレキシブルPCB上にインストールすることができ、図3に示すように、リボンケーブルは、システム100を組み立てる間に、リボンコネクタからベース110内のプロセッサ150に経路を付けることができる。

#### 【0042】

システム100の一変形例は、アームセグメントを包む美的カバー（例えば、2つ折りのクラムシェルカバー）を具える。この変形例では、上述の方法と技術を実装して、電極、トレース、パッド、及び/又はコントローラを美的カバーの表面内又はその上に一体化又はインストールすることができる。この美的カバーは、したがって、アームセグメントの上（例えば、アームセグメントの各側部の作動軸間に延在する硬質ビームの上）にインストールすることができ：ここに記載したように、美的カバー内に配置したコントローラが電極の容量値を読み取って、これらの容量値をプロセッサ150に通信することができる。作動軸、エンドエフェクタ、及び/又はベース110、その他は、同様にして埋め込みあるいは貼り付け、共通の又は専用のコントローラとリボンケーブルを介して同様にプロセッサ150に接続した電極を伴うハウジング又はカバーを具えていてもよい。

#### 【0043】

### 8. コントローラ

コントローラ123は、ロボットアーム102の作動中に検知回路の容量値を測定し、この容量値をプロセッサ150に戻すように構成されている。以下に述べるように、一般的にコントローラ123は、方法のブロックS120（及びブロックS122）を実行して、サンプリング期間中に検知回路の容量値を読み取り、この値を分析用にプロセッサ150に戻すように機能する。例えば、コントローラ123は、トータルの充電/放電時間、放電時間、共振周波数、及び/又は、単一サンプリング期間中の相互容量システムにおける駆動した電極と隣接する接地電極についてのRC又はLC時定数、を測定することができる。

#### 【0044】

コントローラ123は、20Hzのレートといった、定期的（すなわち、静的な）サンプリングレートで検知回路の容量値を測定することができる。代替的に、コントローラ123は、ロボットアーム102が、あらかじめ決められた軌道に沿ったあらかじめ決められたウェイポイントに達した時に検知回路の容量値を測定するようにしてもよい。例えば、プロセッサ150は、各作動軸内の位置センサから読み取った位置的な値に基づいてあらかじめ決められた軌道を実行する間に、スペース内のエンドエフェクタ140の位置を追跡し、コントローラ123をトリガして検知回路の容量値を測定させ、あらかじめ決められた軌道に沿ったエンドエフェクタ140の絶対位置の各1インチの変化を追いかけることができる。この例では、コントローラ123は、ブロックS120でロボットアーム102の第1アームセグメントの上に延在する第1電極に接続された第1の検知回路の第1の容量（例えば、第1の共振周波数）を、ロボットアーム102がこの軌跡に沿って第1の位置を占めている第1の時間に測定し、次いで、ロボットアーム102がブロックS122でこの軌跡に沿って第2の位置を占めている第2の時間に第1検知回路122の第2の容量（例えば、第2の共振周波数）を測定する。

#### 【0045】

コントローラは、アームセグメントに（又は作動軸に、エンドエフェクタに、ベース110に、その他）直接的に一体化してもよい。アームセグメント上の又はその中の電極が、トレースセット又はリードセットを介するなどして、半田パッドセット又は半田フリーコンタクトパッドセットに電氣的に接続されている一実装例では、コントローラ（例えば、一またはそれ以上の集積回路、マルチプレクサ、リボンコネクタ、その他）は、コンタ

クトパッドに対応するパターン内の導電領域セットで終端するトレースセットを具える硬質コントローラPCBにインストールする（例えば、その上に半田付けする）ことができ；導電フォームを各導電領域に接着することができ、コントローラ123PCBは、コンタクトパッド上に整列して、アームセグメントに締結（例えば、ねじ付きファスナで）、接着（例えば、エポキシ又は埋め込み用材料で）、ストラップで、あるいはその他の連結をおさせることができる。この実装例では、コンパクトパッドがアームセグメントの内側又は外側の曲面（すなわち、非平面）に広がっているため、導電フォームパッドがその間のギャップを吸収して、コントローラ123PCB上の導電領域と、アームセグメント上の対応するコンタクトパッドとの間の接触を確かなものとする事ができる。

【0046】

代替的に、上述したように、コントローラは、アームセグメントの周りに巻き付けた、あるいはアームセグメント内（又は、アームセグメントの上にインストールした美的カバー内に）詰めたフレキシブルPCBに一体化することができる。更なる代替例では、アームセグメントは、その内側表面又は外側表面上にほぼ平坦な領域を規定している。この実装例では、アームセグメント上の各電極又は電極アレイは、この平坦領域内でコンタクトパッドに電氣的に接続されており、コントローラ123（例えば、一またはそれ以上の集積回路、マルチプレクサ、リボンコネクタ、その他）は、低温半田ペーストを用いて、あるいは導電性接着剤（例えば、銅粉/エポキシ接着剤）を用いるなどして、対応するコンタクトパッドに直接的にインストールすることができる。しかしながら、コントローラ123（又は、コントローラ回路）は、その他の適切な方法で、対応するアームセグメント上の分散電極又は電極アレイにインストール又は接続することができる。

【0047】

#### 8.1 予測相互容量

ロボットアーム102のアームセグメントが第1層に接地電極セット（例えば、列で）を、第1セットから誘電層によって分離されている第2層に検知電極セット（例えば、行で）を具える一変形例では、コントローラ123は電極チャネルを選択的に設置して、選択した接地電極チャネルと選択した検知電極チャネルをそれぞれ駆動して、容量値又はアームセグメントに沿った容量値の変化をとらえ；プロセッサ150は、これらの容量データをコントローラ123からほぼリアルタイムで回収し、これらのデータをアームセグメントへの物体の近接に相関させることができる。

【0048】

例えば、サンプリング期間内に、コントローラ123は：接地電極アレイチャネル内の第1接地電極チャネルの接地を維持し；残りの接地電極チャネルをフロートさせ；検知電極アレイチャネルの第1検知電極チャネルを試験し；残りの検知電極チャネルを試験し；接地電極チャネル中の第1接地電極チャネルをフロートさせて、第2接地電極チャネルを接地させ；残りの接地電極チャネルをフロートさせ続け；検知電極アレイチャネル内の第1検知電極チャネルを試験し；続いて残りの検知電極チャネルを試験し；サンプリング期間内に残りの接地電極チャネルについてこのプロセスを順次繰り返す。

【0049】

検知電極を試験するには、コントローラ123は、検知期間中に単一の検知電極チャネルを駆動して、その検知電極チャネル内の特定の検知電極に電荷をロードし、特定の検知電極近傍にあって、特定の電極が検知期間中に同時に設置される特定の接地電極に容量的に結合するようにする。この特定の検知電極と特定の接地電極は、したがって、電荷を特定の検知電極上に集め、検知期間中に特定の接地電極内へ及び/又は近接する外部物体の上にリークする「電極対」を規定する。

【0050】

一実装例では、サンプリング期間中に試験した各電極対について、コントローラ123は電極対の充電及び/又は放電時間を読み取り、この充電及び/又は放電時間をそのサンプリング期間についての容量マトリックスに保存する。この実装例では、容量マトリックスは、電流サンプリング期間に対応しており、容量マトリックス内の各位置（あるいは「

10

20

30

40

50

電極のアドレス」)が、アームセグメント上の特定の電極対から読み出した充電及び/又は放電時間に対応し、コントローラ123は、各電極対の充電/放電時間を、容量マトリックス中の対応するアドレスに書き込むことができる。次いで、コントローラ123は、この容量マトリックス(及び電流サンプリング期間のタイムスタンプ)を、シリアル通信を介する(例えば、I<sub>2</sub>Cを介して、あるいは、ツワイヤー通信プロトコルを介する)などして、プロセッサ150に送信することができる。

#### 【0051】

同様の実装例では、コントローラ123は：サンプリング期間中にアームセグメント上の各電極対の共振周波数を順次試験し；次いで、この容量マトリックスを(リアルタイムで)プロセッサ150に送信する；現サンプリング期間の容量マトリックス内の対応するアドレスに、これらの共振周波数を記録し；プロセッサ150は、以下に述べるように、このデータをほぼリアルタイムで近接した物体の認識に変換する

10

#### 【0052】

代替的に、コントローラ123は、アームセグメント上の各電極対を、プロセッサ150の入力チャンネルに選択的に接続し、接続を切ることができる。例えば、コントローラ123は：アームセグメントからベース110へルート化された第1の接続ワイヤを介してプロセッサ150のアナログセンサ入力チャンネルへ接続されたアナログセンサ出力チャンネルを具え；アームセグメントとベース110の間の同様にルート化した第2の接続ワイヤを介してプロセッサ150の制御出力チャンネルに接続された制御入力チャンネルを具え；プロセッサ150から受け取った電極対のテストアドレスに応じて、アームセグメント上の電極対をプロセッサ150のアナログ入力チャンネルへ接続できる。次いで、プロセッサ150は、コントローラ123に送られてきた電極対テストアドレスに対応する電極対の充電/放電時間又は共振周波数を記録することができる。例えば、プロセッサ150は、以下に述べるように電極対の充電時間を読み取る、あるいは、アームセグメントの電極対の共振周波数の変化を読み取って、これらの値を、静的又は動的容量モデルと比較して、アームセグメントへの物体の近接を検出することができる。

20

#### 【0053】

同様の実装例では、コントローラ123は、第1接続ワイヤを介するなどして、プロセッサ150のデジタル入力チャンネルに接続された出力を有する標準的シグマ-デルタ回路又は、等価抵抗シグマ-デルタ回路を具える。このシグマ-デルタ回路は、また、第2の接続ワイヤを介してプロセッサ150に一体化された、あるいは、プロセッサ150近傍のマザーボードに設けたクロックなど、ベース110に設けたクロックの出力チャンネルにも接続することができる。この実装例では、アームセグメントの各電極対について、コントローラ123は、標準的シグマ-デルタ回路の安定化入力電圧と接地電圧の間で、あるいは、等価抵抗シグマ-デルタ回路の安定化入力とオペアンプの非反転入力との間で、順次、選択的に電極を接続したり切り離したりすることができる。以下に述べるように、シグマ-デルタ回路に接続された各電極対に関して、シグマ-デルタ回路は密度変調ビットストリームを出力し、プロセッサ150は、各電極対についてサンプリング期間内の密度変調ビットストリームのデューティサイクルを計算して、このデューティサイクルデータをサンプリング期間中の近接物体の認識に変換することができる。この実装例では、コントローラ123は、接地状態とフロート状態の間で接地電極チャンネルを循環させ、クロックからのクロック信号、及びコントローラ123に局所的に保存された静的サンプリング手順、又は、システム100の動作中にプロセッサ150からコントローラ123へ間欠的にアップロードされた動的サンプリング手順に基づいて駆動状態とフローと状態の間で検知電極チャンネルを循環させることができる。代替的に、コントローラ123は、動作中のプロセッサ150から受信した(例えば、リアルタイムで)電極対アドレスに基づいて、接地状態とフロート状態の間で接地電極チャンネルを循環させ、駆動状態とフローと状態の間で検知電極チャンネルを循環させることができる。

30

40

#### 【0054】

### 8.2 予測自己容量

50

アームセグメントの電極が単層に設けられており、アームセグメントに近接する外部物体に容量的に結合するように構成されている別の変形例では、コントローラ 1 2 3 は、自己容量検知技術を実装して、ロボットアーム 1 0 2 のアームセグメント上の容量値又は容量値の変化を記録することができる。

#### 【 0 0 5 5 】

例えば、一サンプリング期間において、コントローラ 1 2 3 は、アームセグメントの第 1 電極の一側部を電流源に接続して、第 1 電極 1 2 1 の第 2 側部に接続する、接地する、あるいは、第 1 の検知期間中、アームセグメントの他のすべての電極へのリードをフロートさせて、第 1 の検知期間中に第 1 電極 1 2 1 を流れる総電流を記録する。次いで、一のサンプリング期間内に、コントローラ 1 2 3 は：アームセグメントの第 2 電極の一側部を電流減に接続し、第 2 の（すなわち、続いての）検知期間中に第 2 電極 1 3 1 の第 2 側部を接地させ；第 2 の検知期間中にアームセグメントとのその他のすべての電極へのリードを接地するかフロートさせて；同じ検知期間内の第 1 電極を流れる総電流を記録する。コントローラ 1 2 3 は、アームセグメントの各電極についてこのプロセスを繰り返して、このサンプリング期間内にすべての電極（又は電極サブセット）を試験することができる。コントローラ 1 2 3 は上述したように、これらのデータをアドレスによる電流値の容量マトリックスに集めて、このデータをプロセッサ 1 5 0 に通信することができる。プロセッサ 1 5 0 は、連続するサンプリング期間（又は連続するサンプリング期間セット）にわたって各電極の電流引き込み路を比較して、選択した電極の電流引き込みの変化を検出し、プロセッサ 1 5 0 は、これらの電流引き込みの変化（すなわち、電流引き込みの増加）を、対応する電極への物体の近接と関連させることができる。

10

20

#### 【 0 0 5 6 】

各アームセグメントは、自己又は相互容量検知技術を実装して、各サンプリング期間内に対応するアームセグメントの電極を試験することができる。各コントローラは、以下に述べるように、順次、あるいは、サンプリング期間ごとに一回のタイムスタンプを一回押した容量マトリックスにおいて、プロセッサ 1 5 0 に分析用に容量値を送ることができる。代替的に、システム 1 0 0 は、2 またはそれ以上のアームセグメントの上（又は中）の電極セットに電氣的に接続した一のコントローラを具えていてもよく、このコントローラ 1 2 3 は、自己又は相互容量検出技術を実装して、単一サンプリング期間内に 2 またはそれ以上のアームセグメント上の容量値又は容量値の変化を測定できる。しかしながら、コントローラ 1 2 3 は、その他の方法で、一またはそれ以上のアームセグメント上の容量値をとらえて、これらのデータをプロセッサ 1 5 0 に供給するように機能することができる。

30

#### 【 0 0 5 7 】

### 9 . プロセッサ

プロセッサ 1 5 0 は、ロボットアーム 1 0 2 の一またはそれ以上のコントローラから受け取った容量値に基づいて作動体積の変位（例えば、正常又は既知の状態から）を検出して、このような変位が検出されると近接アラームを発するとともに、近接アラームの発動中にロボットアーム 1 0 2 の動作を止めるあるいは変更するように機能する。一実装例では、プロセッサ 1 5 0 がベース 1 1 0 に配置されており、ロボットアーム 1 0 2 のアームセグメントに収納された各コントローラに接続（例えば、一またはそれ以上のリボンケーブルを介して）されて、システム 1 0 0 の動作中に、コントローラ 1 2 3 s から受け取った容量値データを受信して処理する。例えば、システム 1 0 0 は、各アームセグメント、各作動軸、ベース 1 1 0、及び / 又はエンドエフェクタ、その他に一のコントローラを具えていてもよく、プロセッサ 1 5 0 は、各サンプリング期間、あるいはあらかじめ決められた軌道に沿った各ウェイポイントでこれらのコントローラの各々から容量値データを受け取って、これらのデータを処理してロボットアーム 1 0 2 に近づく物体（又は、ロボットアーム 1 0 2 が近づいている物体）を検出し、ロボットアーム 1 0 2 近傍の新しい（すなわち、未知の）物体の検出に反応する各アームセグメントの計画された軌跡を停止あるいは変更する。上述したように、プロセッサ 1 5 0 は、各コントローラから、総充電 / 放

40

50

電時間、放電時間、共振周波数、RC又はLC時定数、あるいは各駆動電極の漏れ電流、その他の形といった、容量値を受信して、静的又は動的スレッシュホールド容量値モデル又はパラメータの容量モデルをこれらの容量値に適用して、新しい物体がロボットアームの作動体積に入ったかどうかを決定する。

#### 【0058】

##### 10．絶対距離

一実装例では、プロセッサ150は、コントローラ123(s)から受信した容量値をロボットアーム102の静的容量値モデルと比較する。この容量値モデルは、ロボットアーム102の各検知及び/又は制御電極170のスレッシュホールド容量値を規定することができる。例えば、アームセグメントは、各々が4平方インチ(例えば、検知電極)乃至0.01平方インチ(例えば、制御電極)の範囲といった、異なる容量領域を規定している複数の電極を具えており、それぞれ、検知電極については最大12インチ、制御電極170については最大0.25インチの距離といった、アームセグメントからの特定の距離における物体の近接を検出するよう調整されている。本例では、この容量値モデルは、アームセグメント上の各電極の対応するスレッシュホールド距離内の物体の存在に対応するスレッシュホールド容量値を具えており、プロセッサ150は、コントローラ123から受け取った容量値を容量値モデルのスレッシュホールド容量値と比較して、物体がアームセグメント上の特定の電極のスレッシュホールド距離内にあるかどうかを決定することができる。

10

#### 【0059】

プロセッサ150は、次いで、アームセグメント上の各電極の既知の位置に基づいて、物体とアームセグメント間の距離と、サンプリング期間中のアームセグメントに対するスペース内の物体の位置とを推定することができる。この電極の位置は、対応するスレッシュホールド容量値を超えた容量値を示す検知回路に対応し、電流サンプリング期間中の対応するスレッシュホールド容量値を超えなかった容量値を示す検知回路に対応する。この例では、プロセッサ150は、時間の経過とともに、ベース110に一体化された基準電極で読み取った容量値に基づくなどして、スレッシュホールド容量値を更新して、湿度、温度、及び/又はその他の環境の変化を補償することができる。

20

#### 【0060】

別の実装例では、プロセッサ150は、電極ごとに個別モデルを有するパラメータ容量値モデルセットを実装することができる。ここで、各モデルを調整して、対応する電極から読み取った容量値(すなわち、対応する検知回路からの)を電極から物体への推定距離に変換する。各サンプリング期間について、プロセッサ150は、サンプリング期間中に各電極から読み取った容量値を、対応する容量値モデルに適用して、容量マトリックス、容量モデル、あるいはロボットアーム102の個別表面間の推定距離と、容量に応じたスペース中の一またはそれ以上の物体を規定するその他のコンテナを生成することができる。同様に、プロセッサ150は、特定の電極の容量値、有効表面積、ジオメトリファクタ、位置、駆動電圧、駆動時間、その他を、ロボットアーム102の上の物体と特定の電極間の推定距離に変換する単一パラメータ容量値モデルを実装できる。この例では、プロセッサ150は、ルックアップテーブル、又はローカル(あるいは、リモート)メモリ内のその他のデータベースから、電極位置及び有効表面積といった、静的な電極-特定値を取り出して、これらのデータをパラメータ容量値モデルに挿入して、特定の電極への物体の近接を推測することができる。

30

40

#### 【0061】

プロセッサ150は、自動修正技術を実装して、時間の経過に応じて、センサのドリフトと環境の変化を補償するなど、パラメータ容量値モデルを調整することもできる。例えば、プロセッサ150は、システム100に一体化されている一またはそれ以上の環境センサをサンプリングして、サンプリング期間中の現湿度、温度、及び/又はその他の量的環境データを集め、サンプリング期間中のロボットアーム102を横切る物体の近接を計算する時に、これらのデータをパラメータ容量値モデルに直接挿入することができる。プ

50

ロセッサ 150 は、追加であるいは代替的に、観察した環境の変化に基づいて、対応するアームセグメント上の基準電極を駆動する基準信号を偏向するコマンドを一またはそれ以上のコントローラに送ることができる。

#### 【0062】

各サンプリング期間に、サンプリング期間中のロボットアーム 102 のジオメトリ（例えば、各作動軸の角度位置）に基づいて、パラメータ容量値モデルを変更することもできる。例えば、プロセッサ 150 は、システム 100 内の各作動軸におけるエンコーダをサンプリングして、各エンコーダから受信した角度位置データを、スペース内で各電極の位置を規定する位置容量マトリックスに変形することができる。この例では、プロセッサ 150 は、サンプリング期間中に電極を試験する際に、ロボットアーム 102 のジオメトリの作用であるロボットアーム 102 上のその他の（検知又は制御）電極との容量性結合があるため、この位置容量マトリックスを、ロボットアーム 102 上の各電極の容量値の推定変化に対応する容量性結合ファクタを含む容量性結合容量マトリックスに変形できる。プロセッサ 150 はパラメータ容量値モデルに挿入して、電極から回収した容量値に関するロボットアーム 102 のジオメトリの影響を補償することができる。この影響は、システム 100 が軌道を実行する際に変化する。プロセッサ 150 がコントローラから受け取った容量値を、ロボットアーム 102 の容量値モデルと比較する上述した実装例では、プロセッサ 150 は、同様に、サンプリング期間中のロボットアーム 102 のジオメトリに基づくサンプリング期間における容量値モデルの容量値スレッシュホールドを変更することができる。

10

20

#### 【0063】

##### 11. 相対的存在

別の変形例では、プロセッサ 150 は、図 4 に示すように、ブロック S 130 でロボットアーム 102 が空間内の第 1 の位置を占めている第 1 の時間と、ロボットアーム 102 が空間内の第 2 の位置を占めている第 2 の時間との間の検知回路の容量変化率を計算し：ブロック S 140 で、検知電極の容量変化率が、スレッシュホールド変化率を超えていたら、近接アラームをほぼリアルタイムで発生する。一般的に、この変形例では、プロセッサ 150 は、あらかじめ計画された軌道のコース上のロボットアーム 102 によって占められている二つの位置間での容量（例えば、共振周波数）の変化率を計算し、この実際の容量変化率が、あらかじめ計画された軌道の同じセグメントについてのベースライン容量変化率と異なる場合、ロボットアーム 102 の作動体積に起こりうる変化年化を認識する。例えば、検知回路は、大量のノイズと、絶対容量値（例えば、ドリフト）のバリエーションの両方を示しており、追加のデータから独立して、検知回路から読み出した絶対容量値が、検知回路内の電極と外側物体の間の絶対距離を表すものではない。しかしながら、検知回路から読み出した絶対容量値の派生物、すなわち、容量値の変化率は、単一の絶対容量値より有意にノイズが少なく、有意にドリフトが少ない。プロセッサ 150 は、したがって、あらかじめ計画した軌道に沿った二つの位置間の検知回路の実際の容量値変化率を計算し、この実際の容量値変化率における偏差が、容量値のベースライン（又は、スレッシュホールドを超える）の変化率から外れている場合に近接アラームを発生し、ロボットアーム 102 があらかじめ計画された軌道に沿って順次の位置を通過して移動するときに、このプロセスを繰り返す。

30

40

#### 【0064】

##### 11.1 容量値変化率

図 4 に示すように、プロセッサ 150 は、ロボットアーム 102 の第 1 位置において測定した検知回路の容量と、ロボットアーム 102 の第 2 の位置において測定した検知回路の第 2 の容量との差に基づいて、検知回路の容量変化率の計算を記載したブロック S 130 を実行することができる。一般的に、ブロック S 130 では、上述したように、プロセッサ 150 がコントローラ 123 から検知回路の一連の容量値を、個別の容量値の入力の形、あるいは、タイムスタンプした容量マトリックスの形で、受信できる。プロセッサ 150 は、ついで、検知回路の最終容量値から、検知回路の最後の容量値を差し引いて、こ

50

の和を最後の容量値の測定と最終容量値の測定の間時間差で除して、ブロック S 1 3 0 における検知回路の容量変化率を計算し、この実際の変化率を、あらかじめ計画された軌道に沿った同じ二つの位置のベースライン（あるいはスレッシュホールド）変化率と比較する。プロセッサ 1 5 0 は、ブロック S 1 3 0 における一連のサンプリング期間における容量値の移動平均変化率を計算して、ブロック S 1 4 0 で、この実際の変化率を、あらかじめ計画された軌道に沿った一連の位置についての平均ベースライン（あるいはスレッシュホールド）変化率と比較することができる。例えば、プロセッサ 1 5 0 は、近接する一連の 5 つのサンプリング位置、又は、あらかじめ計画された軌道に沿ったエンドエフェクタ 1 4 0 の 2 インチの変位にわたって近接する一連のサンプリング位置にわたって、ロボットアーム 1 0 2 の隣接するサンプリング位置対について検知電極の容量値の変化率を計算することができる。この例では、このプロセッサは、ブロック S 1 4 0 であらかじめ計画された軌道に沿った同じ又は同様の一連のサンプリング位置について、この実際の変化率を平均ベースライン（あるいはスレッシュホールド）変化率と比較する前に、最も最近の変化率に最も大きい重み付けをするなどして、これらの容量値変化率の平均をとることができる。

10

20

30

40

50

#### 【 0 0 6 5 】

しかしながら、プロセッサ 1 5 0 は、その他の方法又は技術を実装して、ブロック S 1 3 0 の検知回路の容量変化率を計算することもできる。プロセッサ 1 5 0 は、このプロセスを実行して、ロボットアーム 1 0 2 の一またはそれ以上のセグメントに組み込んだその他の各検知回路の容量変化率を計算することができ、プロセッサ 1 5 0 は、ブロック S 1 4 0 の一連の処理について、変化率アレイ又は変化率マトリックスに、変化率の値を保存することができる。

#### 【 0 0 6 6 】

##### 1 1 . 2 ベースライン容量マップ

図 7 に示すように、この方法の一変形例は、ロボットアーム 1 0 2 によって占められている物理的スペースのベースライン容量マップを作成する容量マッピングルーチンを実行するステップが記載されているブロック S 1 6 0 を具える。この変形例では、コントローラ 1 2 3 とプロセッサが共働して、ロボットアームの動作ボリュームの容量マップを作成する。これは、マッピング軌道を規定する容量マッピングルーチンをロードして；このマッピング軌道を通してロボットアーム 1 0 2 を移動させ；この容量マッピングルートに沿った個別ウェイポイントにおける検知回路の絶対容量値セットを記録し；この全体容量値セットを、この容量マッピングルートに沿った個別ウェイポイント間の相対容量値変化へ変形し；この相対容量値変化をロボットアーム 1 0 2 によって占められている物理的スペースのベースライン容量マップに集め；第 1 の位置と、ベースライン容量マップからの第 2 の位置との間のスレッシュホールド変化率と、第 1 の位置と第 2 の位置間のロボットアーム 1 0 2 の速度を計算する。特に、プロセッサ 1 5 0 は、セットアップの間でオペレータの監視の下など、自主的動作に先立ってロボットアーム 1 0 2 を容量マッピングルーチン内で規定されたウェイポイントセットを介してナビゲートし、次いで、これらのウェイポイントで回収した容量データに基づいて動作ボリュームの容量マップを生成することによって、容量マッピングルーチンを実行できる。

#### 【 0 0 6 7 】

一実装例では、プロセッサ 1 5 0 は、時間の経過につれてあらかじめ計画された軌道（又はあらかじめ準備されたサイクル）の繰り返し行われる工程セットを通じて回収されたデータから、動作ボリュームの容量マップを生成する。この実装例では、プロセッサ 1 5 0 は、ロボットアーム 1 0 2 をあらかじめ計画された最終的な軌道を通るようにナビゲートする閉ループコントロールを実装することができ；コントローラ 1 2 3 は、あらかじめ計画された軌道に沿った分散ウェイポイントセットの各々において、検知回路の容量値を測定することができ；プロセッサ 1 5 0 は、ついで、これらの容量値を、動作ボリュームの容量値マップにコンパイルする。一例では、システム 1 0 0 による自主的実行用のあらかじめ計画された軌道をロードすると、その軌道の第 1 ステップを低速（例えば、ロボッ

トアーム 102 内の各作動軸の最大速度の 5%、又はその軌道で送亭された速度の 5%) で実行し、コントローラ 123 から受け取った容量データを、軌道の第 1 ステップが完了するまで、あるいは、外部物体との衝突が検出される(例えば、加速度計、ロードセル、又は作動軸内に配置した力センサの信号出力を介して)まで、動作ボリュームの容量マップにコンパイルする。この例では、コントローラ 123 は、20 Hz、1 Hz、又はその他の静的サンプリングレートで検知回路をサンプリングすることができる。代替的に、コントローラ 123 は、軌道に沿って選択したウエイポイントで、作動軸の位置における各 1 度の変化、あるいは、スペース内のエンドエフェクタ 140 の絶対位置における各 1 インチの変化について、検知回路をサンプリングすることができる。プロセッサ 150 は、次いで、連続するサンプリング期間対の間、又は軌道に沿ったウエイポイントの間の容量値の差と、サンプリング期間対又はウエイポイントの遅い方における各作動軸の角度位置の形など、ロボットアーム 102 の対応する位置との各容量差対の差を計算することができる。軌道の完了時にロボットアーム 102 と外側物体の間に衝突が検出されなければ、プロセッサ 150 は、これらの容量の差と、あらかじめ計画された軌道に特定のベースライン容量マップにおけるロボットアーム 102 の位置の対を保存することができる。

10

20

30

40

50

#### 【0068】

上述した例では、プロセッサ 150 は、各作動軸の最大速度の 20%、あるいは軌道で特定された速度の 20% といった、より速い速度で軌道を繰り返すことができる。軌道のこの第 2 例を実行する間に、プロセッサ 150 は、軌道に沿った第 1 位置(例えば、第 1 のウエイポイント)にロボットアーム 102 をナビゲートして; 検知回路の容量値(例えば、共振周波数)を記録するとともに、第 1 の位置において作動軸のエンコーダを読み取り; ロボットアーム 102 を軌道に沿った第 2 の位置(例えば、第 2 のウエイポイント)に移動させ; 検知回路の容量値を記録するとともに、第 2 の位置において作動軸のエンコーダを読み取り; 軌道に沿って第 1 の位置から第 2 の位置への検知回路の実際の容量変化率と、第 1 の位置の認識と第 2 の位置の認識間に生じた時間を計算する; ことができる。プロセッサ 150 は、ベースライン容量マップに保存した容量差から、第 1 の位置から第 2 の位置への容量のベースライン変化率と、第 1 の位置の認識と第 2 の位置の認識間に生じた時間を計算するようにしてもよい。プロセッサ 150 は、次いで、第 1 の位置から第 2 の位置への容量の実際の変化率を、ベースライン変化率と比較して; この実際の及びベースライン変化率が、スレッシュホールドから 5% 以内など、ほぼ同じであれば、軌道の実行を続ける。特に、プロセッサ 150 は、ロボットアーム 102 を軌道に沿った第 3 の位置(すなわち、第 3 のウエイポイント)にナビゲートして、第 3 の位置について上述したプロセスを繰り返し、第 2 の位置と第 3 の位置の間の実際の変化率とベースラインの変化率との差が実質的に同様である、その他であれば、軌道が完了するまで、あるいはクラッシュが検出されるまで、ロボットアーム 102 を第 4 の位置に移動させる。

#### 【0069】

プロセッサ 150 は、軌道のこの第 2 例の間に回収したデータから新しいベースライン容量マップを作成する、あるいは、これらのデータを用いて既存のベースライン容量マップをアップデートすることができる。プロセッサ 150 は、アームの最大速度の 100% まで、あるいは、軌道で特定された速度の 100% まで、徐々に速いスピードで実行した軌道でこのプロセスを繰り返し続けて、軌道についてのベースライン容量マップを改良することができる。プロセッサ 150 は、したがって、徐々に速い速度で軌道を実行し、以前の軌道のより遅い例で作成したベースライン容量マップを利用して、軌道の徐々に速くなる例におけるロボットアームの作動体積を予測することによって、人の管理なくして、軌道を試験し、軌道についてのベースラインマップを構築できる。(プロセッサ 150 は、また、上述した方法及び技術を実装して、あらかじめ計画された軌道を後の全速稼動する間に、ベースライン容量マップをアップデート又は改良することもできる。)

#### 【0070】

別の例では、プロセッサ 150 は、軌道を監視して実行する間に単一ベースライン容量マップを作成することができる。例えば、オペレータからロボットアームの作動体積がは

つきりしている操作マニュアルが提供された場合、システム100は、全速で軌道を実行することができ、プロセッサ150は、コントローラ123から受け取った容量値を一のベースライン容量マップへ組み入れることができる。

#### 【0071】

図7に示す別の実装例では、プロセッサ150は、独自の容量マッピングルーチンを行う間に回収した検知回路の容量値から、ロボットアーム102の作動体積の、軌道に依存しない容量マップを作成する。例えば、プロセッサ150は、ロボットアーム102を、または、特別に、エンドエフェクタ140を)、エンドエフェクタ140が届く三次元作動体積内の分散地点にナビゲートして、各分散地点における検知回路の容量値を記録する。この例では、このプロセスで、この作動体積内の三次元オフセット位置の三次元グリッドアレイを表すベースラインウェイポイントリストにアクセスして、このリスト内の各ベースラインウェイポイントを通してロボットアーム102を順次ステップさせ、各ベースラインウェイポイントにおける検知回路の全体容量値を記録することができる。プロセッサ150は、次いで、上述した方法と技術を実装し、隣接する各ベースラインウェイポイント対に記録した容量値間の差を計算し、ついで、この容量差の値と、対応するベースラインウェイポイントにおけるロボットアーム102(又はエンドエフェクタ140)の位置を用いて、バーチャル三次元位置クラウド追加することができる。

10

#### 【0072】

しかしながら、プロセッサ150は、その他の方法又は技術を実装して、ロボットアーム102が占める空間の、絶対容量値、相対容量値、又は容量値変化率を含む、ベースライン容量マップを作ることができる。例えば、プロセッサ150は、上述した方法及び技術のいずれかを実行して、ロボットアーム102が新しい環境に置かれたときに、ロボットアーム102がある環境内で再配置されたときに、あるいは、新しいあらかじめ計画された軌道がシステム100にロードされたときに、ベースライン容量マップを作成することができる。

20

#### 【0073】

##### 11.3 スレッシュホールド変化率及び変化率窓

プロセッサ150は、ついで、ベースライン容量マップからスレッシュホールド変化率及び/又は変化率窓を抽出し、ブロックS140での続くあらかじめ計画された軌道を実行する間に、検知回路から読み出した容量値を比較することができる。

30

#### 【0074】

プロセッサ150が、三次元位置クラウドの形式など、軌道に依存しないベースライン容量マップを作成する上述した実装例では、プロセッサ150は、新しい軌道がシステム100にロードされる時であって、新しい軌道がシステム100で最初に行われる前に、新しい軌道に沿った隣接する各ウェイポイント対の間に、変化率窓を非同期させて挿入する。例えば、プロセッサ150は、あらかじめ決められたウェイポイントリストにアクセスして、スペース内のエンドエフェクタ140の位置の0.1インチあるいは1インチの変化といった、ウェイポイントセットをそれぞれ計算する。プロセッサ150は、次いで、ベースライン容量マップに保存されている。一またはそれ以上の最も近いベースラインウェイポイントについての容量値をコンパイルする(例えば、平均化、重みづけなど)ことによって、その軌道に沿った隣接する各ウェイポイント対についての検知回路の容量の目標相対変化を挿入することができる。この例では、次いで、プロセッサ150は：軌道において特定されている二つのウェイポイント間のロボットアーム102の速度に基づいたロボットアーム102による二つのウェイポイントの認識にわたる時間を推定し；ロボットアーム102による認識にわたる推定時間によって、これらの二つのウェイポイント間の容量の目標相対変化を除することで、軌道に沿ったこれらの二つのウェイポイント間の目標容量変化率を計算し；この目標変化率の105%にスレッシュホールド変化率を設定するなどによって、目標容量変化率から、これら二つのウェイポイント間の容量のスレッシュホールド変化率を計算することができる。軌道を実行する間に、上述した通り、プロセッサ150は軌道に沿ったこれらの二つのウェイポイント間の容量における実

40

50

際の変化率を計算して、この実際の変化率がスレッシュホールド変化率を超える場合に、ブロック S 1 4 0 において近接アラームを発生することができる。

【 0 0 7 5 】

代替的に、プロセッサ 1 5 0 はこれら二つのウエイポイント間の、ロボットアームの作動体積の変化を表している容量変化率にわたる、変化率窓を規定することができる。例えば、プロセッサ 1 5 0 は、二つのウエイポイントについて、目標変化率の  $\pm 5\%$  にわたる変化率窓を規定することができる；あらかじめ計画された軌道に沿った二つのウエイポイントを順次認識する間に、システム 1 0 0 は、これらの二つのウエイポイント間の容量の実際の変化率を計算して、実際の変化率が、変化率窓から外れる場合に、近接アラームを発生することができる。

10

【 0 0 7 6 】

このプロセスは、軌道に沿ったその他の各ウエイポイントに、同様の方法と技術を実装して、各ウエイポイントについてのスレッシュホールド変化率セット（又は変化率窓セット）を作ることができる。プロセッサ 1 5 0 は、軌道の順次の実行を通してこのスレッシュホールド変化率セット（又は、変化率窓セット）を参照して、エンドエフェクタ 1 4 0 が届く三次元容量に不知の物体がはいったかどうか、といった、ロボットアームの作動体積が変化したがどうかを決定することができる。

【 0 0 7 7 】

代替的に、プロセッサ 1 5 0 は、上述した方法と技術をリアルタイムで実装して、ロボットアーム 1 0 2 があらかじめ計画された軌道内の一連のウエイポイントを通して近づいた時のスレッシュホールド変化率又は変化率窓を、その軌道に沿った隣接するウエイポイント対の認識にまたがって測定した（例えば、実際の）時間に基づくなどして、計算することができる。

20

【 0 0 7 8 】

さらに、一のアームセグメント上に複数の検知電極とセンサ回路を、及び/又は、複数のアームセグメント上に電極と検知回路を具えるロボットアーム 1 0 2 については、プロセッサ 1 5 0 は、上記の方法と技術を実装して、各検知回路についての絶対容量値、相対容量値、容量値差、及び/又は、容量値の変化率を含む、ベースライン容量マップを作成することができる。プロセッサ 1 5 0 は、また、これらのデータを、あらかじめ計画された軌道に沿ったウエイポイント間の各検知回路についてのスレッシュホールド変化率（あるいは、変化率窓）に変換し；ブロック S 1 4 0 でこの軌道に沿った二つの位置間の各検知回路の実際の変化率を、対応するスレッシュホールド変化率（又は、変化率窓）と比較する。特に、プロセッサ 1 5 0 は、ロボットアーム 1 0 2 上の電極の既知の位置に基づいて作動体積内の不知の物体に近づいているロボットアーム 1 0 2 の特定のアームセグメント又は領域を認識できる。この電極の位置は、以下に述べるように軌道に沿った二つの対応するウエイポイント間のベースライン容量マップで規定された目標変化率（または、スレッシュホールド変化率、変化率窓）からの容量変化率の最大偏差を示す、。

30

【 0 0 7 9 】

1 1 . 4 新しい静止物体及び移動物体への近接の検出

あらかじめ計画された軌道を実行する間に、プロセッサ 1 5 0 は、目標又はベースライン変化率と比較した検知回路の容量変化率における偏差に基づいて、ロボットアーム 1 0 2 の近傍の新しい静止あるいは移動する物体の形などで、ロボットアーム 1 0 2 の作動体積の変化を検出できる。例えば、プロセッサ 1 5 0 は、アームセグメント上の電極に接続された検知回路の容量の変化率が、スレッシュホールド変化率を超えると、作動体積内で、アームセグメントが（相対的に）新しい物体に近づいていることを決定できる。

40

【 0 0 8 0 】

一実装例では、最後のウエイポイントと現在のウエイポイントの間（又はサンプリング期間）の検知回路の実際の変化率が、対応するスレッシュホールド変化率を超えると、プロセッサ 1 5 0 は、実際の変化率とスレッシュホールド変化率（又は対応するベースライン）との間の差を、すぐ近くの表面への対応する電極の実際の速度と、電極の目標又

50

は予測速度との間の差に変換することができる。プロセッサ150は、ついで、この速度の差と、元の目標又は予測速度を足して、最後のウエイポイントと現在のウエイポイント又はサンプリング期間の、作動体積内の新しい物体への電極が近づく相対速度を推測することができる。プロセッサ150は、また、アームセグメント上の電極の既知の位置（例えば、電極の質量中心）と、最後のウエイポイントと現在のウエイポイントとの間又はサンプリング期間の、各作動軸の位置における変化率を、電極の絶対速度に変換できる。プロセッサ150は、次いで、図6に示すように、電極の絶対速度を、新しい物体へ電極が近づく相対速度と比較して、この新しい物体が静的であるか、あるいは電極に相対的に移動しているかを定めることができる。特に、電極の絶対速度と電極が近づく相対速度が実質的に同じである（例えば、10%を超えない違い）場合、ブロックS140に示すように、プロセッサ150はこの新しい物体が静止していると決定し、不知の静的物体用の近接アラームを設定し、ブロックS150にあるように、ロボットアーム102の速度を50%低減するなどによって、ロボットアーム102の動きを調整することができる。しかしながら、電極に近づく相対速度が、絶対速度の10%以上といった、実質的に超える場合は、プロセッサ150は、新しい物体が電極に向かって移動していると判断し、ロボットアーム102に向かって移動する不知の物体用の近接アラームを設定して、ロボットアーム102の動きを完全に止める。同様に、電極の絶対速度が、電極へ近づく相対速度を実質的に超える場合は、プロセッサ150は、新しい物体が電極から離れて動いていると判断し、ロボットアーム102から離れて動く不知の物体用の近接アラームを設定するとともに、ロボットアーム102の動きを10%など、遅くすることができる。

10

20

#### 【0081】

したがって、プロセッサ150は：検知回路の容量変化率を、外の物体に対する対応する電極の速度に変換して、外の物体に対する第1の電極121の速度に応じて、ブロックS140で静的物体に対する動き用の近接アラームを発生して、第1の位置から第2の位置へのロボットアーム102の速度を概算し；ついで、ブロックS150で静的物体に向かう動き用の近接アラームが流れる間に、ロボットアーム102の現在の速度をロボットアーム102の最大速度の一部に低減する；ことができる。例えば、プロセッサ150は上述した方法と技術を実装して、ロボットアームの作動体積内にあるノートパッド、鉛筆、あるいはその他の物体の直近の位置を検出し、作動体積から外になる物体を除去するまで、ロボットアームの動きを遅くすることができる。同様に、プロセッサ150は第1の位置から第2の位置へロボットアーム102の速度を超える外側物体に対する、第1の電極121の速度に応じて、ブロックS140でロボットアーム102に向かう動的物体の動き用の近接アラームを発生し；ブロックS150で、ロボットアーム102に対する動的物体の動き用の近接アラームが流れている間、ロボットアーム102の動きを止める；ことができる。例えば、プロセッサ150は、上述の方法と技術を実装して、ロボットアーム102へのオペレータの手の動きを検出し、オペレータの手が作動体積から取り除かれるまで、ロボットアーム102全体の動きを止めることができる。プロセッサ150は、次いで、以下に説明する方法と技術を実行して、ロボットアーム102の領域をオペレータがつかんでいる場合は、ロボットアーム102の作動軸を解除して、オペレータが手動でロボットアーム102を動かすことができるようにする。

30

40

#### 【0082】

プロセッサ150は、上述の方法と技術を実装して、ブロックS140で作動体積内の不知の静的又は動的物体の近接を検出し、確認して、このような不知の静的又は動的物体が作動体積内で検出されなくなるまで、ロボットアーム102の動きに低減した速度制限を維持する及び/又は厳しくすることができる。例えば、作動体積内の静的物体が最初に検出されると、プロセッサ150は、ロボットアーム102の全体の速度を20%下げ；この静的物体が検出された電極が、静的物体の通常的位置に向けて2インチ動いた後に再び静的物体が検出されると、プロセッサ150は、ロボットアーム102の全体の速度をさらに20%下げることができる。しかしながら、電極が静止物体から離れるほうに動いたと認められる場合は、プロセッサ150は、ロボットアーム102を全速動作に戻す

50

。

## 【 0 0 8 3 】

## 1 1 . 5 複数の検知回路

上述した通り、ロボットアーム 1 0 2 は、複数のアームセグメントを具備していてもよく、各アームセグメントは、一またはそれ以上の電極と検知回路を具備していてもよい。この変形例では、プロセッサ 1 5 0 は、逸脱した容量値（例えば、スレッシュホールド共振周波数を超える実際の共振周波数）を表す検知回路に接続された電極の既知の位置に基づいて一近接アラームを発生できる。

## 【 0 0 8 4 】

一例では、ロボットアーム 1 0 2 は：第 1 の作動軸を介してベース 1 1 0 に連結された第 1 アームセグメント（又は、ベース 1 1 0 から延在する第 2 アームセグメント）と；第 1 アームセグメント 1 2 0 の背面側にわたって配置され、第 1 の検知回路に接続された第 1 電極と；を具備する。ブロック S 1 4 0 で、プロセッサ 1 5 0 は、スレッシュホールド変化率を超える第 1 検知回路の容量変化率に応じて、第 1 アームセグメント 1 2 0 の背面側に直交する第 1 方向における動きに対して近接アラームを発生できる。ブロック S 1 5 0 では、プロセッサ 1 5 0 は、近接アラームが流れる間に第 1 アームセグメント 1 2 0 を第 1 方向に移動させる方向への、第 1 の作動軸 1 2 4 の最大駆動速度を選択的に低減することができる。特に、ブロック S 1 5 0 では、プロセッサ 1 5 0 は、第 1 のアームセグメント 1 2 0 を、第 1 方向（又は両方向）における第 1 の作動軸の最大速度を 5 0 % 下げる、あるいは第 1 の駆動軸全体の動きを止めるなどによって、未知の物体に対して第 1 のアームセグメント 1 2 0 が移動する方向における、第 1 の作動軸の最大速度を下げるることができる。

10

20

## 【 0 0 8 5 】

上述した例では、ロボットアーム 1 0 2 はまた：第 1 のアームセグメント 1 2 0 の側面（例えば、左側面）に配置して、第 2 の検知回路に接続した第 2 電極を具備する。ブロック S 1 4 0 では、プロセッサ 1 5 0 は、また：スレッシュホールド変化率を超える第 2 の検知回路 1 3 2 の容量変化率に応じて、第 1 のアームセグメント 1 2 0 の側面に直交する第 2 の方向における動き用の第 2 近接アラームを選択的に発生し；この第 2 の近接アラームが流れているときに、第 2 の横方向において第 1 アームセグメント 1 2 0 が移動する方向における、第 2 の作動軸 1 3 4 の低減した最大作動速度を設定することができる。

30

## 【 0 0 8 6 】

ロボットアーム 1 0 2 は、対応する検知回路に接続した追加の指向性電極を具備する追加アームセグメントを具備していてもよく、プロセッサ 1 5 0 は、同じ方法と技術を実装して、指向性近接アラームを発生し、これらの検知電極の容量値に基づいて、選択した作動軸についての低減した作動速度を設定することができる。

## 【 0 0 8 7 】

## 1 1 . 6 新しい物体への距離の検出

一変形例では、ロボットアーム 1 0 2 は、アームセグメント上にパターン化された、異なる検知可能な範囲、すなわち、電極と外側物体間の距離の範囲を示す、検知電極に接続された複数電極を具備する。この範囲にわたって、外側物体の相対動作が、ノイズフロア情報の検知電極の容量変化率に検出可能な変化を生じさせる。この変形例では、プロセッサ 1 5 0 は、上記の方法と技術を実装して、各電極の予測したあるいは目標の容量変化率からの偏差を検出し、これらの偏差を、各検知回路の既知の（あるいは、およその）検知可能な範囲と結び付けて、外側物体とアームセグメントとの間の距離を予測する。

40

## 【 0 0 8 8 】

例えば、システム 1 0 0 は：ロボットアーム 1 0 2 の第 1 アームセグメント上に配置され、第 1 の検知可能な範囲（4 オンスのスチール球について、最大 2 0 インチ）を表す第 1 検知回路に接続された、第 1 領域（例えば、1 0 平方インチ）を規定する第 1 電極と；第 1 電極 1 2 1 近傍の第 1 アームセグメント 1 2 0 上に配置され、第 1 の検知可能な範囲より小さい第 2 の検知可能な範囲（例えば、4 オンスのスチール球について、最大 8 インチ

50

)を表す第2検知回路に接続された第1の領域より小さい第2の領域(例えば、2平方インチ)を規定する第2電極を具える。この例では、プロセッサ150は、第1の検知回路の第1の容量変化率に対応するスレッシュホールド変化率を超え、第2の検知回路の第2の容量変化率が予測した変化率に、あるいはその近傍に残っている(例えば、対応するスレッシュホールド変化率より小さいままである)場合、未知の物体がロボットアーム102の第1セグメントの第1近接範囲(例えば、8インチと12インチの間)内にあると推定できる。プロセッサ150は、ブロックS140でロボットアーム102のこの第1近接範囲内における未知の物体の近接用の第1近接アラームを発生して、ブロックS150で第1近接アラームが流れる間に、ロボットアーム102の現在の速度を、ロボットアーム102の最大速度の第1部分(例えば、50%)に下げることができる。

10

#### 【0089】

しかしながら、プロセッサ150は、第1検知回路の第1の容量変化率に対応するスレッシュホールド変化率を超え、第2検知回路の第2の容量変化率に対応するスレッシュホールド変化率を超えた場合、ロボットアーム102の第1セグメントの第1近接範囲(例えば、8インチ)より小さい第2近接範囲に未知の物体があると推測できる。プロセッサ150は、ブロックS140でロボットアーム102の第2近接範囲内の未知の物体の近接用の第2近接アラームを発生して、第2近接アラームが流れる間に、ロボットアーム102の最大速度の(第1部分より小さい)第2部分(例えば、20%又は0%)に、ロボットアームの現在の速度を低減することができる。

20

#### 【0090】

したがって、プロセッサ150は、異なる検知可能な範囲(共通の外側物体について)によって特徴づけられる様々な電極の容量変化率の偏差を比較して、ロボットアームのアームセグメントと未知の外側物体との間の距離を予測できる。

#### 【0091】

しかしながら、プロセッサ150は、サンプリング期間に、あるいはロボットアーム102があらかじめ決められたウェイポイントに届いた時点で一又それ以上のコントローラから受け取った容量値データをその他の方法で操作して、ロボットアームの操作容量内の未知の物体の存在を検出し、ロボットアーム102に対する未知の物体の位置を決定し、及び/又は、物体に接触しているロボットアーム102の領域を決定することができる。プロセッサ150は、次いで、未知の物体が検出されると、ブロックS140で近接アラームを発生することができる。プロセッサ150は、このプロセスを各サンプリング期間または軌道を実行する間のウェイポイントといった時間の経過とともに繰り返し、近接アラームをリアルタイムで発生、応答、及びクリアすることができる。

30

#### 【0092】

プロセッサ150は、また、物体の存在、位置、及び/又は距離データ(現在のサンプリング期間又は現在のウェイポイントにおいて回収された容量データ)を、現在のサンプリング期間又はウェイポイントについての近接マトリックスに保存しておくこともできる。プロセッサ150は、この現在の近接マトリックスを、以前の同様の近接マトリックスセットと比較して、未知の物体のロボットアーム102に対する、近接、位置、及び/又は距離を時間の経過とともに追跡することができる。例えば、一のサンプリング期間又はウェイポイントについて、プロセッサ150は、目標又は推定容量値(すなわち、現在の近接アラームのローカル位置)から外れている実際の容量値を表す、検知回路に接続された電極の位置にアドレスする近接マトリックス(又は、近接アレイ又はその他のコンテナ)を作り;プロセッサ150は、次いで、ブロックS150において、各指向性近接アラームを操作して、以下に述べるように、作動体積内の一またはそれ以上の未知の物体を避けることができる。

40

#### 【0093】

##### 10. 物体回避

プロセッサ150は、また、近接アラームに応じて、軌跡を通して移動するロボットアーム102の現速度の低減を記載したブロックS150を実行することもできる。一般的

50

に、プロセッサ 150 は、不知の物体がロボットアーム 102 の作動体積内で検出されると、ロボットアーム 102 の一又はそれ以上の作動軸の最大関節速度制限を設定することができる。

#### 【0094】

一例では、物体が、ロボットアーム 102 の左側に近く、スペース内でほぼ静止している一連のサンプリング期間にわたって生成した一連の物体位置マトリックスからプロセッサ 150 が決定した場合、プロセッサ 150 は：ブロック S 140 で左側近接アラームを発生し；第 1 及び第 2 のアームセグメントの後端部における作動軸の速度制限を、その最大速度の 50% に設定するが、ベース 110 のロータリィ軸の速度制限は、時計回り位置でその最大速度の 50% に、また、反時計回り位置では、その最大速度の 10% に設定し、一方で、物体はほぼ同じ絶対位置に残り、ロボットアーム 102 は、伸びたり、縮んだり、比較的迅速に物体から遠ざかるが、より遅い速度でのみ物体に向けて移動できるようにする。

10

#### 【0095】

同様に、一連のサンプリング期間にわたって生成した、物体位置マトリックスのシーケンスから、物体がエンドエフェクタ 140 の近くのロボットアーム 102 の前にあり、スペース内で実質的に静止していることを認識すると、プロセッサ 150 は、アームセグメント間の作動軸の速度制限を、ロボットアーム 102 を物体から引き離す動きについてその最大速度の 50% に設定し、ロボットアーム 102 を物体の方向に伸ばす動きについては、その最大速度の 10% に設定して、ロボットアーム 102 が物体から比較的迅速に引き離すことができるが、物体に向けては、より遅い速度でのみ移動できるようにする。この例では、プロセッサ 150 は、図 5 に示すように、ロボットアーム 102 が物体に近づくとつれて、ロボットアーム 102 の選択して作動軸の速度制限を、インストールしたエンドエフェクタが物体の 1 インチ以内にあるときに、フルストップ速度になるなど、減らし続けることができる。プロセッサ 150 は、ロボットアーム 102 が物体から遠ざかるときに、作動軸の速度制限を上げることもできる。プロセッサ 150 は、したがって、ロボットアーム 102 と外側物体間の距離と、ロボットアーム 102 に対する物体の位置の両方に基づいて、ロボットアーム 102 内の選択した作動軸の速度制限を動的に調整できる。

20

#### 【0096】

プロセッサ 150 は、また、図 6 に示すように、ロボットアーム 102 が物体に向かって動いているかどうか、あるいは、物体がロボットアーム 102 に向かって動いているかどうかに基づいて、ロボットアーム 102 の各作動軸の最大関節速度を設定できる。例えばプロセッサ 150 は、現在のサンプリング期間と最後のサンプリング期間とに発生した近接マトリックスを比較して、検出した物体と、ロボットアーム 102 の既知の位置の特定の電極（又は電極セット）との間の距離が、増えているか減っているかを決定できる。すなわち、プロセッサ 150 は、現在のサンプリング期間と最後のサンプリング期間に発生した近接マトリックスと、現在と最後のサンプリング期間の間のデュレーション（すなわち、サンプリングレート）に基づいて、現在のサンプリング期間についてロボットアーム 102 の一またはそれ以上の電極に対する物体のおよその速度を決めることができる。プロセッサ 150 は、また、各サンプリング期間について、ジャコビアン式容量マトリックスなどの、スペース内の各電極（又は、ロボットアーム 102 のその他の地点）の位置を規定するアーム位置容量マトリックスを生成できる。プロセッサ 150 は、現在と最後のサンプリング期間及びサンプリングレートについてのアーム位置マトリックス間の差に基づいて、現在のサンプリング期間についての、ベース 110 上の基準点に対するなどの、ロボットアーム 102 の各電極（又は、様々なその他の地点）の速度を計算することができる。したがって、一のサンプリング期間で、ロボットアーム 102 上の電極に対する物体の速度が負である場合、物体と電極間の距離は小さくなり；物体と電極間の距離が小さくなって、電極に対する物体の速度が、基準点に対する電極の速度より大きい場合は、物体が電極に近づいており；また、物体と電極間の距離が小さくなっており、電極に対す

30

40

50

る物体の速度が、基準点に対する電極の速度より遅い場合は、電極が物体に近づいている。プロセッサ150は、システム100の稼働中に、各サンプリング期間について、全電極又は選択した電極についてこれらの計算を行うことができる。

#### 【0097】

上述の実装例では、ロボットアーム102（例えば、特定の電極）と物体間の距離が減っており、ロボットアーム102が物体に近づいている場合は、プロセッサ150は、上述したように、ロボットアーム102と物体間の距離とは逆に、ロボットアーム102の作動軸についての速度制限を設定し、物体とロボットアーム102上の任意の地点との間の検知した距離がスレッシュホールド最小距離（例えば、1インチ）に到達すると、物体へのすべての動きを停止する。プロセッサ150は、順次のサンプリング期間におけるコントローラ123の出力をモニタし続けて、物体がロボットアーム102から外に移動した場合、物体に対するさらなる動きに関してロボットアーム102を開放する。したがって、プロセッサ150は、接触する前にロボットアーム102をストップまで遅くして、物体がロボットアーム102の経路にいなくなったら、軌道を再開することができる。

10

#### 【0098】

代替的に、プロセッサ150がアームと物体間の距離が小さくなっており、物体がロボットアーム102に近づいていることを検出したら、図6に示すように、プロセッサ150は、上述したようにロボットアーム102と物体間の距離が小さくなるにつれて、ロボットアーム102の作動軸についての速度制限を、物体に対してロボットアーム102を駆動する任意の軸についての最大速度の2%の速度制限に落とすなど、減らすことができる。プロセッサ150は、比較的ゆっくりではあるが、ロボットアーム102の表面に物体が接触する地点まで、軌道にしたがって、物体にロボットアーム102を駆動し続けることができる。プロセッサ150は、ロボットアーム102の—又はそれ以上のコントローラから受け取った容量値に基づいて、あるいは、作動軸に配置した加速度計又は力センサの出力に基づいて検出した衝突に基づくなどして、物体（例えば、手）がロボットアーム102に接触したことを検出すると、プロセッサ150は、軌道実行モードからマニュアル操作モードに、あるいは、トレーニングモードに移行することができる。マニュアル操作モード又はトレーニングモードでは、プロセッサ150は、以下に述べるように、ロボットアーム102上で検出した入力にしたがって、ロボットアーム102の作動軸を駆動することができる。特に、マニュアル操作モード又はトレーニングモードでは、プロセッサ150は、ロボットアーム102の表面に接触した物体（例えば、ユーザの手や指）で操作されるまで、現位置にロボットアーム102を保持し、プロセッサ150は、ロボットアーム102がユーザに操作される時の各作動軸における動きを記録することができる。物体がロボットアーム102から解放されると、プロセッサ150は、自動的に、あるいはロボットアーム102の表面を介した、あるいはシステム100と通信するユーザーインターフェースを介したユーザからの確認に応ずるなどして、軌道の実行に戻る。

20

30

#### 【0099】

プロセッサ150は、上述した方法及び技術を実装して、選択した作動軸、選択したアームセグメント、及び/又は、インストールしたエンドエフェクタの速度制限を設定することができる。例えば、あらかじめ計画された軌道を実行する時の作動体積内で検出された未知の物体を回避するために、プロセッサ150は、第1のアームセグメントと第2のアームセグメントとの間の第2の作動軸を駆動して、検出した物体から離し、これによって、第2の作動軸134が動いて軌道内に規定された目標経路から外れ；同時に、プロセッサ150は、ロボットアーム102のその他の作動軸を、エンドエフェクタ140が軌道によって規定されたその目標経路上に残るように、同様に逸脱した位置に駆動する。

40

#### 【0100】

プロセッサ150は、ロボットアーム102の速度（または、各作動軸の実際の速度から計算した各アームセグメントの実際の速度）に基づいてアーム内のコントローラ123のサンプリングレートを設定する。例えば、プロセッサ150は、アーム全体の速度または選択した作動軸の速度が速くなると、サンプリングレートを増やし、各検知回路の容量

50

値スレッシュホールドをアップデートし；逆も同じである。しかしながら、プロセッサ 150 は、一連のサンプリング期間にわたって一又はそれ以上のコントローラから受け取った容量値データをその他の適切な方法で回収し、操作して、近接アラームを発生し、操作するようにしてもよい。

#### 【0101】

##### 11. 軸の制御

上述したように、このプロセスは、ロボットアーム 102 の表面に物体が接触しているときに、マニュアル操作モード又はトレーニングモードに入ることができ；操作モード又はトレーニングモードでは、プロセッサ 150 は、ロボットアーム 102 の表面上のマニュアル入力にしたがって、ロボットアーム 102 内の様々な作動軸のロックを外す、及び / 又は、これらの軸を積極的に駆動することができる。

10

#### 【0102】

一例では、ベース 110 の後部端で第 1 の作動軸を介してベース 110 に接続されている第 1 アームセグメントは、上述したように、第 1 の作動軸 124 近傍の近位端の周りに半径方向にパターン化されたシェブロン形状の制御電極セットを具え、その遠位端に沿ってパターン化された検知電極セットを具える。本例では、第 2 の作動軸を介して第 1 のアームセグメント 120 に接続された第 2 のアームセグメントが、第 2 の作動軸 134 近傍の近位端に沿ってパターン化された検知電極セットを具え、第 2 のアームセグメント 130 の遠位端の周りに半径方向にパターン化されたシェブロン形式の制御電極セットを具え、グリッパー型のエンドエフェクタが、第 3 の作動（例えば、ロータリィ駆動）軸に連結され、第 4 の作動軸によって駆動される（すなわち、開閉する）ジョーセットを具える。この例では、プロセッサ 150 は、第 1 及び第 2 のアームセグメント上の検知電極から回収された容量データを操作して、ロボットアーム 102 への物体の近接を検出し、あらかじめ記録されたあるいはあらかじめ決められた軌道を実行する間に各アームセグメントの速度及び / 又は方向を調整することができる。さらに、この例では、プロセッサ 150 は、第 1 のアームセグメント 120 上の制御電極セットから回収した容量データを操作して；物体が第 1 のアームセグメント 120 の近位端と静的に接触し続けている場合に、第 1 の作動軸をロックして；アームセグメント 120 の近位端に接触しており、この近位端の周りを時計方向に半径方向に摺動する物体とほぼ同期して時計方向に第 1 の作動軸 124 を回転させ；アームセグメント 120 の近位端に接触しており、この近位端の周りを反時計方向において半径方向に摺動する物体とほぼ同期して反時計方向に第 1 の作動軸 124 を回転させ；第 1 の作動軸 120 の近位端に接触している物体が第 1 のアームセグメント 120 の前端に向けて移動するときに第 2 の作動軸 134 を開き；第 1 のアームセグメント 120 の後端に向けて第 1 のアームセグメント 120 の近位端に接触している物体が動くと、第 2 の作動軸 134 を閉じる。

20

30

#### 【0103】

同様に、プロセッサ 150 は、第 2 のアームセグメント 130 の上の制御電極セットから回収した容量データを操作して：物体が、第 2 のアームセグメント 130 の遠位端に接触し続けているときは、第 3 及び第 4 の作動軸をロックして；第 2 のアームセグメント 130 の遠位端に接触し、その遠位端の周りに時計回り方向に半径方向に摺動する物体とほぼ同期して時計回り方向に第 3 の作動軸 184 を、したがって、グリッパー型エンドエフェクタを回転させ；第 2 のアームセグメント 130 の遠位端に接触し、その遠位端の周りに反時計回り方向に半径方向に摺動する物体とほぼ同期して反時計回り方向に第 3 の作動軸 184 を回転させ；第 2 のアームセグメント 130 の遠位端に接触している物体が第 2 のアームセグメント 130 の前端に向けて移動すると、第 1 の作動軸を開き、したがって、グリッパー型エンドエフェクタのジョーを開き；第 2 のアームセグメント 130 の遠位端に接触している物体が第 2 のアームセグメント 130 の後端に向けて動くと、第 4 の作動軸を閉じる。

40

#### 【0104】

別の実装例では、ロボットアーム 102 は：ベース 110 とエンドエフェクタ 140 と

50

の間に直列に配置したアームセグメントセットと；エンドエフェクタ 140（及びエンドエフェクタジャンクション 182）近傍の最終アームセグメントの一侧部に配置した第 1 電極と；エンドエフェクタ 140 近傍の最終アームセグメントの反対側に配置した第 2 電極を具える。この実装例では、プロセッサ 150 は、上述した方法と技術を実装して、第 1 電極 121 に接続された第 1 の検知回路と、第 2 電極 131 に接続された第 2 検知回路の容量変化（あるいは、予期する容量変化率からの偏差）を分析して、外部物体と第 1 及び第 2 電極それぞれの近傍の、最終アームセグメント表面との間の接触を検出する。第 1 の検知回路 122 における第 1 の入力（すなわち、外部物体との接触）と、第 2 の検知回路 132 における、第 1 の入力と逆の第 2 の入力、同時に検出されると、プロセッサ 150 は、この入力対を、最終アームセグメント上のつかむ動作と解して、これに応じてロボットアーム 102 の一またはそれ以上の作動軸の手動制御を可能にする。

10

**【0105】**

例えば、プロセッサ 150 は、外部物体が第 1 電極 121 近傍の最終アームセグメントに接触したことを表す、接触スレッシュホールド変化率（近位スレッシュホールド変化率より大きい）を超える第 1 検知回路の容量変化率に応じて、物体と、第 1 電極 121 近傍の最終アームセグメントの第 1 領域との間の第 1 の接触を検出することができる。特に外部物体と第 1 電極 121 近傍のアームセグメントとの間の機械的接触は、その物体がアームセグメント近傍にあるが、アームセグメントと接触していないときより大きなレートで第 1 電極 121 から電流をブリードさせ、プロセッサ 150 は、第 1 検知電極の容量変化率に基づいて、外部物体との接触を検出することができる。この例では、ほぼ同時に、プロセッサ 150 は、同じ方法と技術を実装して、接触スレッシュホールド変化率を超える第 2 の検知回路 132 の容量変化率に応じて、物体と、第 2 電極近傍の最終アームセグメントの第 2 領域との間の第 2 の接触を検出できる。プロセッサ 150 は、ついで：同じ時間にわたって生じる第 1 の接触と第 2 の接触を、最終アームセグメントへ接続された作動軸を制御する手動制御動作として解釈し；この手動制御動作に応じて、第 1 の作動軸 124 のロックを外す。この例では、プロセッサ 150 は、エンドエフェクタ 140 の反対側の最終アームセグメントに接続された作動軸のロックを外し、オペレータがその他のアームセグメントとベース 110 に対して、最終アームセグメントを回動させられるようにする。

20

**【0106】**

上述の例では、システム 100 は、第 3 感知電極に接続され、第 1 領域電極と第 2 電極 131 の間の最終アームセグメント領域 131 上に配置された第 3 電極を具える。プロセッサ 150 は、上述した方法と技術を実装して、接触スレッシュホールド変化率を超える第 3 の回路の容量変化率に応じて、第 3 電極近傍の物体と最終アームセグメントの第 3 領域間の第 3 の接触を検知する。このプロセスは次いで：第 1 の接触と、第 2 の接触と、第 3 の接触を、最終アームセグメントと第 2 アームセグメント間の作動軸 124 及び第 2 アームセグメント 130 と第 3 アームセグメント 180 との間の第 2 の作動軸など、ロボットアーム 102 内の複数の作動軸を制御する拡張された手動制御ジェスチャと解釈し；この拡張された手動制御ジェスチャに応じて、これらの作動軸（例えば、第 1 の作動軸 124 と第 2 の作動軸 134）のロックを外す。

30

40

**【0107】**

しかしながら、プロセッサ 150 は、手動操作モード又はトレーニングモードを実行する間に、ロボットアーム 102 の表面上の入力に基づいてその他の適切な方法でロボットアーム 102 を操作できる。

**【0108】**

本明細書に記載したシステム 100 s と方法は、コンピュータで読み取り可能なインストラクションを保存するコンピュータで読み取り可能な媒体を受けるように構成したマシンとして、少なくとも部分的に実施及び/又は実装することができる。このインストラクションは、アプリケーション、アプレット、ホスト、サーバ、ネットワーク、ウェブサイト、通信サービス、通信インターフェース、ユーザーコンピュータ又はモバイル装置の

50

ハードウェア/ファームウェア/ソフトウェア要素、リストバンド、スマートフォン、あるいはこれらの適切な組み合わせと一体化した、コンピュータで実行可能なコンポーネントによって実行することができる。この実施例のその他のシステム及び方法は、コンピュータで読み取り可能なインストラクションを保存するコンピュータで読み取り可能な媒体を受けよう構成されたマシンとして、少なくとも部分的に実施及び/又は実装することができる。このインストラクションは、上述したタイプの装置及びネットワークに一体化されたコンピュータで読み取り可能なコンポーネントで一体化されたコンピュータで読み取り可能なコンポーネントによって実行することができる。コンピュータで読み取り可能な媒体は、RAM、ROM、フラッシュメモリ、EEPROM、光学デバイス(CD又はDVD)、ハードドライブ、フロッピードライブ、あるいはその他の適切なデバイスなど、適切なコンピュータで読み取り可能な媒体に保存することができる。コンピュータで実行できるコンポーネントは、プロセッサであるが、適切な専用ハードウェアデバイスで(代替的にあるいは追加で)このインストラクションを実行することもできる。

【0109】

当業者は、上述した詳細な説明から、及び図面と請求項から、特許請求の範囲に記載した本発明の範囲から逸脱することなく、本発明の実施例を変形及び変更できることを認識するであろう。

【図1】

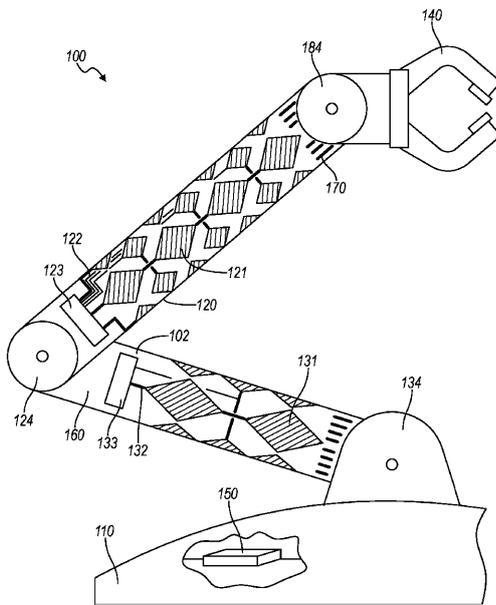


FIG. 1

【図2】

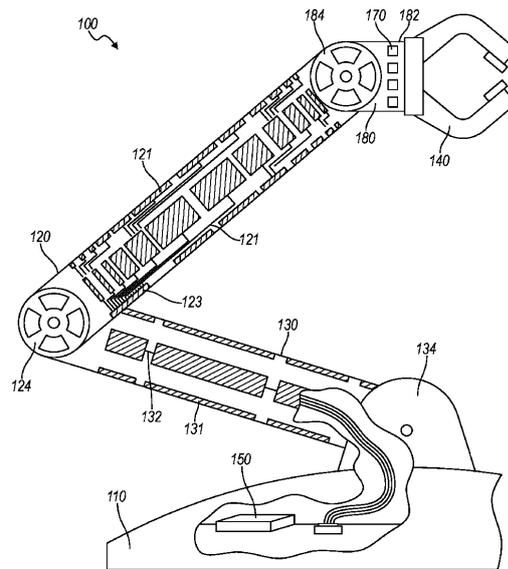


FIG. 2



## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US 16/50870																								
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(8) - G06F 19/00 (2016.01) CPC - G06N 3/008 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																										
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(8):G06F 19/00 (2016.01) CPC: G06N 3/008 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC: 700/245 or 700/255 or 700/252 or 901/3 or 324/687 or 324/658 CPC: G06N 3/008, B62D 57/032, G05D 1/0274, G05D 1/0255, G05D 1/0246 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Patbase; Google Patents; Google Scholar; Google Web Search Terms Used: Robot, arm, end, effector, capacitance, electrode, displacement, position, trajectory, movement, position, obstacles, collision, avoid, detect, sense, change, difference, delta, limb, proximity, presence, close																										
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category*</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>US 2015/0157410 A1 (KILROY et al.) 11 June 2015 (11.06.2015), para [0234]-[0235]</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2014/110682 A1 (ROBOTIQ et al.) 24 July 2014 (24.07.2014), pg 18, ln 28- pg 19, ln 29</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5,166,679 A (VRANISH et al.) 24 November 1992 (24.11.1992), col 2, ln 38- col 3, ln 14</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 6,070,109 A (MCGEE et al.) 30 May 2000 (30.05.2000), col 3, ln 51-58, Fig. 7</td> <td>11-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2012/0022689 A1 (KAPOOR) 26 January 2012 (26.01.2012), entire document</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 8,633,715 B2 (LENZ) 21 January 2014 (21.01.2014), entire document</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 7,548,075 B2 (SOMERS) 16 June 2009 (16.06.2009), entire document</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	US 2015/0157410 A1 (KILROY et al.) 11 June 2015 (11.06.2015), para [0234]-[0235]	1-10	A	WO 2014/110682 A1 (ROBOTIQ et al.) 24 July 2014 (24.07.2014), pg 18, ln 28- pg 19, ln 29	1-20	A	US 5,166,679 A (VRANISH et al.) 24 November 1992 (24.11.1992), col 2, ln 38- col 3, ln 14	1-20	A	US 6,070,109 A (MCGEE et al.) 30 May 2000 (30.05.2000), col 3, ln 51-58, Fig. 7	11-20	A	US 2012/0022689 A1 (KAPOOR) 26 January 2012 (26.01.2012), entire document	1-20	A	US 8,633,715 B2 (LENZ) 21 January 2014 (21.01.2014), entire document	1-20	A	US 7,548,075 B2 (SOMERS) 16 June 2009 (16.06.2009), entire document	1-20
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																								
A	US 2015/0157410 A1 (KILROY et al.) 11 June 2015 (11.06.2015), para [0234]-[0235]	1-10																								
A	WO 2014/110682 A1 (ROBOTIQ et al.) 24 July 2014 (24.07.2014), pg 18, ln 28- pg 19, ln 29	1-20																								
A	US 5,166,679 A (VRANISH et al.) 24 November 1992 (24.11.1992), col 2, ln 38- col 3, ln 14	1-20																								
A	US 6,070,109 A (MCGEE et al.) 30 May 2000 (30.05.2000), col 3, ln 51-58, Fig. 7	11-20																								
A	US 2012/0022689 A1 (KAPOOR) 26 January 2012 (26.01.2012), entire document	1-20																								
A	US 8,633,715 B2 (LENZ) 21 January 2014 (21.01.2014), entire document	1-20																								
A	US 7,548,075 B2 (SOMERS) 16 June 2009 (16.06.2009), entire document	1-20																								
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>																										
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																										
Date of the actual completion of the international search 29 November 2016 (29.11.2016)		Date of mailing of the international search report <div style="font-size: 24pt; font-weight: bold; text-align: center;">12 JAN 2017</div>																								
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300		Authorized officer: <div style="text-align: right;">Lee W. Young</div> PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774																								

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG

(72)発明者 コーカム, ダニエル

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94109, サンフランシスコ, ヴァンネスアヴェニュー  
2363, アpartment 302

(72)発明者 マイヤーズ, ロザンナ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94109, サンフランシスコ, ヴァンネスアヴェニュー  
2363, アpartment 302

Fターム(参考) 3C707 BS10 KS36 KV04 KX09 LU01 MS05 MS14