

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6224594号
(P6224594)

(45) 発行日 平成29年11月1日 (2017. 11. 1)

(24) 登録日 平成29年10月13日 (2017. 10. 13)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 N 29/26 (2006. 01)	GO 1 N 29/26
GO 1 N 29/04 (2006. 01)	GO 1 N 29/04
GO 1 N 29/44 (2006. 01)	GO 1 N 29/44

請求項の数 7 (全 99 頁)

(21) 出願番号	特願2014-532192 (P2014-532192)	(73) 特許権者	501017453
(86) (22) 出願日	平成24年9月26日 (2012. 9. 26)		オンタリオ パワー ジェネレーション
(65) 公表番号	特表2014-528083 (P2014-528083A)		インコーポレーテッド
(43) 公表日	平成26年10月23日 (2014. 10. 23)		カナダ、エム5ジー 1 エックス6, オン
(86) 国際出願番号	PCT/CA2012/000861		タリオ, トロント, ユニヴァーシティ ア
(87) 国際公開番号	W02013/044350		ヴェニュー 700
(87) 国際公開日	平成25年4月4日 (2013. 4. 4)	(74) 代理人	100094112
審査請求日	平成27年9月24日 (2015. 9. 24)		弁理士 岡部 譲
(31) 優先権主張番号	61/539, 208	(74) 代理人	100106183
(32) 優先日	平成23年9月26日 (2011. 9. 26)		弁理士 吉澤 弘司
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100170601
(31) 優先権主張番号	61/546, 217		弁理士 川崎 孝
(32) 優先日	平成23年10月12日 (2011. 10. 12)	(74) 代理人	100187964
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 新井 剛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波マトリックス検査

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

導管の超音波スキャンを実行する方法であって、

前記導管の縦軸に実質的に平行して配列された複数の超音波要素を有する超音波アレイを提供するステップと、

前記超音波アレイを、物体の外面の、前記導管の周縁の回りの第1の点に向けて超音波信号を照射するように位置決めするステップと、

前記超音波アレイ内の第1の超音波要素から超音波信号を送信するステップと、

前記超音波アレイ内の他の各超音波要素によって受信された超音波信号を検知し記録するステップと、

前記送信するステップ、前記検知し記録するステップを繰り返すステップであって、前記送信するステップは順に、前記超音波アレイ内の、前記第1の超音波要素以外の各超音波要素によって実行される、ステップと、
を含み、前記導管の前記周縁の回りの前記第1の点のフルマトリックス捕捉スキャンを実行するステップと、

前記導管の周縁の回りの第2の点に前記超音波アレイを再位置決めするステップと、

前記導管の周縁の回りの前記第2の点のフルマトリックス捕捉スキャンを実行するステップと、

前記再位置決めするステップ及び前記フルマトリックス捕捉スキャンを実行するステップを繰り返すステップと、

10

20

を含み、

各フルマトリックス捕捉スキャンを実行する前に、

前記超音波アレイ内の少なくとも1つの超音波要素から、少なくとも1つの超音波信号を送信するステップと、

前記超音波アレイ内の少なくとも1つの超音波要素によって受信された少なくとも1つの超音波信号を検知するステップと、

プロセッサにおいて、前記少なくとも1つの検知された信号の品質を評価するステップと、

前記評価の結果に基づいて、前記超音波アレイのスキャン角度を調整するステップと、
を更に含む、方法。

10

【請求項2】

前記超音波アレイは、前記超音波信号を調整可能なリフレクターから反射させることによって、前記物体の前記外面に向けて超音波信号を照射し、

前記超音波アレイの前記スキャン角度を調整するステップは、前記調整可能なリフレクターの前記角度を調整することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

物体の近面及び遠面を通過するスキャン平面内の前記物体の前記近面及び前記遠面をモデル化する方法であって、

請求項1又は2に記載の導管の超音波スキャンを実行するステップと、

前記スキャンエリアの第1の強度マップを構築するステップであって、前記スキャンエリアは、前記フルマトリックス捕捉超音波スキャンデータに基づいて、前記スキャン媒質を通る超音波信号の移動時間を計算することによって、該スキャンエリア内に、関連付けられた強度値を有する複数の点を含む、ステップと、

20

前記第1の強度マップをフィルタリングするステップであって、それにより、前記スキャンエリア内の前記近面の境界をモデル化する、ステップと、

前記スキャンエリア内に、関連付けられた強度値を有する複数の点を含む第2の強度マップを構築するに当たり、フェルマーの原理の適用により、レンズとして前記近面の前記モデル化された境界を用いるステップであって、それにより、前記フルマトリックス捕捉超音波スキャンデータに基づいて前記スキャン媒質及び前記物体の両方を通る超音波信号移動時間を計算する、ステップと、

30

前記第2の強度マップをフィルタリングするステップであって、それにより、前記スキャンエリア内の前記遠面の前記境界をモデル化する、ステップと、
を含む、方法。

【請求項4】

前記スキャンエリアの第1の強度マップを構築するステップは、前記スキャンエリア内の複数の点 r での強度 I を計算することを含み、 I は、全ての i 及び j についての、時間 t での超音波アレイ送信部 i から超音波アレイ受信部 j への解析時間領域信号のデータセットの振幅の和として定義され、 t は、音がスキャン媒質を通過して移動するのにかかる時間として、 i 、 j の対ごとに定義される、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

40

前記スキャンエリアの第1の強度マップを構築するステップは、前記スキャンエリア内の複数の点 r での強度 I を計算することを含み、各点の強度は、固定された複数の超音波アレイ要素によって画定される複数のアパーチャで計算され、単一のアパーチャについて計算された点 r の最高強度は、前記強度マップでの点 r の前記強度を表すのに用いられる、請求項3又は4に記載の方法。

【請求項6】

請求項3乃至5のいずれか一項に記載の物体の前記近面及び前記遠面をモデル化する方法であって、

前記方法を、前記物体の前記近面及び前記遠面を通る複数のスキャン平面に対応する、複数の組のフルマトリックス捕捉超音波スキャンデータに適用するステップと、

50

各スキャン平面内の前記モデル化された境界及び各スキャン平面の相対位置に基づいて、前記物体の前記近面及び前記遠面をモデル化するステップと、を含む、方法。

【請求項 7】

導管の超音波スキャンを実行する方法であって、

前記導管の縦軸に実質的に平行して配列された複数の超音波要素を有する超音波アレイを提供するステップと、

前記超音波アレイを、物体の外面の、前記導管の前記周縁の回りの第 1 の点に向けて超音波信号を照射するように位置決めするステップと、

前記導管の周縁の回りの前記第 1 の点のフルマトリックス捕捉スキャンを優先して実行するステップと、

前記超音波アレイ内の少なくとも 1 つの超音波要素から、少なくとも 1 つの超音波信号を送信するステップと、

前記超音波アレイ内の少なくとも 1 つの超音波要素によって受信された少なくとも 1 つの超音波信号を検知するステップと、

プロセッサにおいて、前記少なくとも 1 つの検知された信号の品質を評価するステップと、

前記評価の結果に基づいて、前記超音波アレイのスキャン角度を調整するステップと、を含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波検査及びパイプ検査を実行する方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

本願は、2011年9月26日に出願された米国仮特許出願第61/539208号及び2011年10月12日に提出された米国仮特許出願第61/546217号の利益及び優先権を主張する。

【0003】

上記特許出願の内容は、引用することにより明示的に本明細書の詳細な説明の一部をなす。

【0004】

Volkerに付与された特許文献1（以下、'444号公報）は、パイプの内径を這うように進み、パイプ内面の超音波検査を実行する「ビッグ」に関する。この参照文献は、後方散乱信号に基づいてパイプ表面を撮像するアルゴリズムを開示している。'444号公報はフェルマーの原理に関わり、最短移動時間を有する音響経路を求める。モデル化は、まず格子を構築することと、格子の各点での移動時間を求めることとを含む。'444号参照文献では、パイプを内側からスキャンする必要がある、確認される主な情報は、パイプの内面についての3D情報である。これは、外面に位置決めされたスキャン装置を使用してパイプの内面を正確にモデル化するという問題を解決しない。

【0005】

Brandstromに付与された特許文献2（以下、'878号特許）は、パイプ溶接部検査用にパイプ円周で一对の超音波トランスデューサーを回転させる装置に関する。この装置により、トランスデューサーから離れて延びるケーブル及び他の装置は、一方向のみに置いて離れて延び、静止した状態を保つことができる。'878号は、パイプへの実際のアクセスが一般に、パイプの片側からしか実行可能でないことを念頭に置き、パイプの溶接部に隣接して取り付けることができ、トランスデューサーを担持し、パイプ円周でそれらのトランスデューサーを回転させる装置を教示している。

【0006】

2つのトランスデューサーは、搭載及び駆動装置に担持される、本体を構造的にテスト

10

20

30

40

50

する円筒体の円周位置で回転し、搭載及び駆動装置は磁性取り付け具を含み、磁性取り付け具は、パイプの片側で溶接部から軸方向に離間された位置に固定して連結されるように、その側のみからパイプまで手動で持ち上げることができる。一対のトランスデューサーのカラー形支持体が、一行の別個のセグメントから形成され、これらのセグメントは、片側からパイプを包み、パイプの軸の回りを回転して、トランスデューサーを円周溶接部の周囲に運ぶ。セグメントは表面を転がるローラーを担持するとともに、磁石によってパイプに当接して保持される。トランスデューサーは、固定された角度位置であるが、パイプに対して僅かな軸方向又は半径方向の移動を許すように支持体に担持されて、トランスデューサーの位置を追跡する。

【 0 0 0 7 】

10

Johnsonに付与された特許文献3（以下、'890号特許）は、パイプ溶接部のひびを検出する方法及び装置に関し、この方法及び装置は、パイプ外面に隣接する或る容積を水で溢れさせ、次に、フェーズドアレイ超音波を用いてパイプ表面をスキャンすることを含む。この装置は矩形キャビティを有し、矩形キャビティは、パイプ表面に押し当てられる開放された底面を有し、注水される。超音波アレイはキャビティの上部に位置決めされる。フェーズドアレイデータ収集方法が用いられる。

【 0 0 0 8 】

Biczに付与された特許文献4（以下、'298号特許）は、凹面にある指紋又は他の物体の超音波スキャンを実行する装置に関する。この装置は、超音波をトランスデューサーのアレイからピンホールのアレイ（トランスデューサーごとに1つずつ）を通して、指紋が存在する凹形内面に衝突するように投射する。次に、トランスデューサーは、ピンホールによって生成される球面波形の反射及び散乱から指紋の特徴を導出する。この装置は、指紋が存在する支持体の凸凹レンズ構造体の既知の構造に依存するように思われる。

20

【 0 0 0 9 】

Den Boer他に付与された特許文献5（以下、'171号特許）は、作られたばかりのパイプ溶接部の電磁超音波（EMAT: Electro Magnetic Acoustic Transducer）スキャンを、溶接部がまだ熱い間に実行する装置に関する。この装置は、パイプの外面の回りにリング構造で位置決めされるEMAT送信コイルと受信コイルとのアレイを含むことができる。事後処理アルゴリズムの詳細は開示されていない。この装置は、溶接部の欠陥の存在を検出することが可能なものとして記載され、溶接部の欠陥のサイズについていくらかの情報を与えるが、画像、精密な位置についての情報は与えず、また、本説明において論述される欠陥の更なる詳細も一切与えない。

30

【 0 0 1 0 】

Alleyne他に付与された特許文献6（以下、'850号公報）は、ピッグ装置がパイプの内腔に挿入される、パイプを検査する方法及び装置に関する。超音波トランスデューサーは、パイプの内壁に押し当てられ、パイプ壁自体の材料内の超音波の誘導波（例えば、ラム波）を用いて、欠陥を検出する。データ収集及び処理は、様々な波モードを抽出することができるフルマトリックス捕捉技法に基づくべきであるが、フェーズドアレイデータ収集技法を用いることもできる。

【 0 0 1 1 】

40

Pasquali他に付与された特許文献7（以下、'742号公報）は、熱い流体又は冷たい流体の海底輸送に用いられるような多壁パイプを検査する方法及び装置に関する。この方法は、超音波プローブをパイプ内面に当接して配置することと、プローブがパイプ壁の内周の回りを回転する際に様々な間隔でスキャンすることとを伴う。この装置は、回転可能なアームの端部に位置決めされたプローブであり、回転可能なアームは、プローブをパイプ内に位置決めし、次に、内壁の円周の回りでプローブを回転させる。'742号公報は、パイプ表面に対して様々な角度でプローブを位置決めする方法も開示している。しかしながら、'742号公報は、パイプの軸方向において溶接部から変位し、パイプ溶接部の位置に向かって前方又は後方に傾斜したプローブの使用のみを教示しているように思われる。

50

【 0 0 1 2 】

更なる従来技術の参照文献としては、リアルタイム及びオフラインで溶接部の貫通深さを測定する超音波システム及び方法を教示している、Ume, Ifeanyi C.他に付与された特許文献 8、フェーズドアレイ超音波水ウェッジ装置を教示するMcGrath, Matthew他に付与された特許文献 9、センタリング機構を有するボイラー管検査プローブ及びその動作方法を教示している、Brignac, Jacques L.他に付与された特許文献 10、超音波を用いてパイプを検査する装置を教示している、Prause, Reinhardに付与された特許文献 11、マルチモード同期ビームトランスデューサー装置を教示している、Butler, John V.他に付与された特許文献 12、自動インラインパイプ検査システムを教示している、Pagano, Dominick A.に付与された特許文献 13、溶接されたパイプの形状を測定する方法を教示している、Furukawa T.他に付与された特許文献 14 が挙げられる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 1 3 】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 0 8 7 4 4 4 号

【特許文献 2】米国特許第 7 , 6 8 5 , 8 7 8 号

【特許文献 3】米国特許第 7 , 4 1 2 , 8 9 0 号

【特許文献 4】米国特許第 5 , 5 1 5 , 2 9 8 号

【特許文献 5】米国特許第 6 , 8 9 6 , 1 7 1 号

【特許文献 6】米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 1 5 8 8 5 0 号

20

【特許文献 7】米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 0 7 8 7 4 2 号

【特許文献 8】米国特許第 7 , 7 6 2 , 1 3 6 号

【特許文献 9】米国特許第 7 , 6 9 4 , 5 6 9 号

【特許文献 10】米国特許第 7 , 6 9 4 , 5 6 4 号

【特許文献 11】米国特許第 6 , 9 3 5 , 1 7 8 号

【特許文献 12】米国特許第 6 , 7 3 4 , 6 0 4 号

【特許文献 13】米国特許第 4 , 8 7 2 , 1 3 0 号

【特許文献 14】特開第 2 0 0 4 0 2 8 9 3 7 号

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

30

【 0 0 1 4 】

本書に記載される実施形態例は、フルマトリックスデータ捕捉技法を用いて物体の超音波検査を実行する方法及び装置に関する。

【 0 0 1 5 】

第 1 の態様において、本出願は、導管の超音波スキャンを実行する装置であって、

前記導管の周縁に嵌合可能となっているカフと、

前記カフに摺動可能に載置され、前記導管の前記周縁を横断するようになっているキャリアと、

前記キャリアに載置され、該キャリアが前記導管の前記周縁を横断する際に前記導管の前記周縁をスキャンするように位置決めされる超音波プローブと、

40

前記カフ又は前記キャリアに載置され、前記物体の前記周縁の回りでの前記キャリアの移動を駆動するのに用いられるキャリアモーターと、

前記キャリアモーター及び前記超音波プローブに制御情報を提供するとともに、前記超音波プローブからスキャンデータを受信する 1 つ又は複数のデータ接続と、
を備える、装置を対象とする。

【 0 0 1 6 】

別の態様において、前記カフは、前記導管の前記周縁の回りに液密シールを形成し、

前記装置は、液体スキャン媒質を受け取り、前記カフの前記内部と前記導管の前記外部との間に画定される前記容積に前記液体スキャン媒質を充填する液体供給源を更に備える。

50

【 0 0 1 7 】

更なる態様において、前記装置は、前記キャリアモーターへの電力を受け取る電力接続を更に備える。

【 0 0 1 8 】

更なる態様において、前記カフは、該カフを前記導管の回りに嵌合可能な開形状と、前記導管を包囲する閉形状との間で構成可能である。

【 0 0 1 9 】

更なる態様において、前記装置は、
前記キャリアに載置される調整可能なリフレクターと、
前記物体の縦軸に実質的に直交する平面において前記調整可能なリフレクターの角度を制御するリフレクターモーターと、
を更に備え、

前記超音波プローブは、前記調整可能なリフレクターからの超音波信号の反射を介して前記物体をスキャンするように位置決めされ、

前記 1 つ又は複数のデータ接続は、前記リフレクターモーターに制御情報を提供する。

【 0 0 2 0 】

更なる態様において、前記装置は、前記リフレクターモーターの電力を受け取る電力接続を更に備える。

【 0 0 2 1 】

更なる態様において、前記導管は円筒形である。

【 0 0 2 2 】

更なる態様において、前記超音波プローブは、超音波送受信機のアレイである。

【 0 0 2 3 】

更なる態様において、前記カフはナックルを備え、該ナックルは、前記カフの第 1 の半分を前記カフの第 2 の半分に解放可能に固定する。

【 0 0 2 4 】

更なる態様において、前記カフは、該カフの第 2 の半分から着脱可能な前記カフの第 1 の半分を備える。

【 0 0 2 5 】

更なる態様において、本出願は、導管の超音波スキャンを実行する方法であって、
前記導管の縦軸に実質的に平行して配列された複数の超音波要素を有する超音波アレイを提供するステップと、

前記超音波アレイを、前記物体の外面の、前記導管の前記周縁の回りの第 1 の点に向けて超音波信号を照射するように位置決めするステップと、

前記超音波アレイ内の第 1 の超音波要素から超音波信号を送信するステップと、

前記超音波アレイ内の他の各超音波要素によって受信された超音波信号を検知し記録するステップと、

前記送信するステップ、前記検知し記録するステップを繰り返すことであって、前記送信するステップは順に、前記超音波アレイ内の、前記第 1 の超音波要素以外の各超音波要素によって実行される、繰り返すステップと、

を含み、前記導管の前記周縁の回りの前記第 1 の点のフルマトリックス捕捉スキャンを実行するステップと、

前記導管の前記周縁の回りの第 2 の点に前記超音波アレイを再位置決めするステップと、

前記導管の前記周縁の回りの前記第 2 の点のフルマトリックス捕捉スキャンを実行するステップと、

前記再位置決めするステップ及び前記フルマトリックス捕捉スキャンを実行するステップを繰り返すステップと、
を含む、方法を対象とする。

【 0 0 2 6 】

別の態様において、前記方法は、各フルマトリックス捕捉スキャンを実行する前に、前記超音波アレイ内の少なくとも1つの超音波要素から、少なくとも1つの超音波信号を送信するステップと、

前記超音波アレイ内の少なくとも1つの超音波要素によって受信された少なくとも1つの超音波信号を検知するステップと、

プロセッサにおいて、前記少なくとも1つの検知された信号の前記品質を評価するステップと、

前記評価の前記結果に基づいて、前記超音波アレイのスキャン角度を調整するステップと、

を更に含む。

10

【0027】

別の態様において、前記超音波アレイは、前記超音波信号を調整可能なりフレクターから反射させることによって、前記物体の前記外面に向けて超音波信号を照射し、

前記超音波アレイの前記スキャン角度を調整するステップは、前記調整可能なりフレクターの前記角度を調整することを含む。

【0028】

別の態様では、本出願は、物体の前記近面及び前記遠面を通過するスキャン平面内の前記物体の前記近面及び前記遠面をモデル化する方法であって、

前記スキャン平面内のスキャンエリアに対応する1組のフルマトリックス捕捉超音波スキャンデータを提供するステップであって、

20

前記超音波アレイ内の第1の超音波要素から超音波信号を送信するステップと、

前記超音波アレイ内の他の各超音波要素によって超音波信号を検知し記録するステップと、

前記送信するステップ、前記検知し記録するステップを繰り返すステップであって、前記送信するステップは、前記超音波アレイ内の、前記第1の超音波要素以外の各超音波要素によって実行される、ステップと、

を実行し、前記フルマトリックス捕捉超音波スキャンデータは、前記超音波アレイと前記物体の前記近面との間に配置されるスキャン媒質を介して超音波アレイが送信する超音波信号及び超音波アレイが検知する超音波信号を用いて捕捉される、ステップと、

前記スキャンエリアの第1の強度マップを構築するステップであって、前記スキャンエリアは、前記フルマトリックス捕捉超音波スキャンデータに基づいて、前記スキャン媒質を通る超音波信号の移動時間を計算することによって、該スキャンエリア内に、関連付けられた強度値を有する複数の点を含む、ステップと、

30

前記第1の強度マップをフィルタリングするステップであって、それにより、前記スキャンエリア内の前記近面の前記境界をモデル化する、ステップと、

前記スキャンエリア内に、関連付けられた強度値を有する複数の点を含む第2の強度マップを構築するに当たり、フェルマーの原理の適用により、レンズとして前記近面の前記モデル化された境界を用いるステップであって、それにより、前記フルマトリックス捕捉超音波スキャンデータに基づいて前記スキャン媒質及び前記物体の両方を通る超音波信号移動時間を計算する、ステップと、

40

前記第2の強度マップをフィルタリングするステップであって、それにより、前記スキャンエリア内の前記遠面の前記境界をモデル化する、ステップと、

を含む、方法を対象とする。

【0029】

別の態様において、前記スキャンエリアの第1の強度マップを構築するステップは、前記スキャンエリア内の複数の点 r での強度 I を計算することを含み、 I は、全ての i 及び j についての、時間 t での超音波アレイ送信部 i から超音波アレイ受信部 j への解析時間領域信号のデータセットの振幅の和として定義され、 t は、音がスキャン媒質を通過して移動するのにかかる時間として、 i 、 j 対ごとに定義される。

【0030】

50

別の態様において、前記スキャンエリアの第 1 の強度マップを構築するステップは、式【数 1】

$$\begin{aligned}
 I(r, a) &= \left| \sum_{i,j \in a} I(r, a) \right| \\
 &= \left| \sum_{i,j \in a} I(r, a) = |\sum_{i,j \in a} g_{(i)j}(t) \right| \\
 &= (|e_{(i)} - r| + |e_j - r|/c) \left| g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right| I(r, a) = |\sum_{i,j} \\
 &\in a \equiv \left| g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right| \\
 I(r) &= \left| \sum_{i,j} g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right|
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

によって定義される前記スキャンエリア内の複数の点 r での強度 I を計算することを含み、式中、 $g_{(i)j}(t)$ は、時間 t での超音波アレイ送信部 i から超音波アレイ受信部 j への解析時間領域信号の前記データセットの前記振幅であり、 r は、座標原点に対して点 r を定義するベクトルであり、 $e_{(i)}$ は、前記座標の原点に対して超音波アレイ送信部 i の前記位置を定義するベクトルであり、 e_j は、前記座標原点に対して超音波アレイ受信部 j の前記位置を定義するベクトルであり、 c は前記スキャン媒質を通して移動する音の速度である。

【0031】

別の態様において、前記スキャンエリアの第 1 の強度マップを構築するステップは、前記スキャンエリア内の複数の点 r での強度 I を計算することを含み、各点の強度は、固定された複数の超音波アレイ要素によって画定される複数のアパーチャで計算され、単一のアパーチャについて計算された点 r の最高強度は、前記強度マップでの点 r の前記強度を表すのに用いられる。

【0032】

別の態様において、前記スキャンエリアの第 1 の強度マップを構築するステップは、式【数 2】

$$\begin{aligned}
 I(r, a) &= \left| \sum_{i,j \in a} I(r, a) \right| \\
 &= \left| \sum_{i,j \in a} I(r, a) = |\sum_{i,j \in a} g_{(i)j}(t) \right| \\
 &= (|e_{(i)} - r| + |e_j - r|/c) \left| g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right| I(r, a) = |\sum_{i,j} \\
 &\in a \equiv \left| g_{(i)j} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right|
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

$$I(r) = \max_{a \in A} \{I(r, a)\}$$

によって定義される前記スキャンエリア内の複数の点 r での強度 I を計算することを含み

$$I(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{i, j \in \mathbf{a}} g_{(i)j} \left(t = \frac{|\mathbf{e}_{(i)} - \mathbf{r}| + |\mathbf{e}_j - \mathbf{r}|}{c} \right) \right|$$

10

【数 4】

$$\mathbf{l}(\mathbf{r}, \mathbf{a}) = \left| \sum_{\mathbf{i}, \mathbf{j} \in \mathbf{a}} \mathbf{l}(\mathbf{r}, \mathbf{a}) \right| \quad (20)$$

$$= \left| \sum_{i,j \in a} I(r,a) = |\Sigma_-(i,j \in a)| \equiv [g_-(i)](t) \right. \\ = (|e_-(i)| - r| + |e_j - r|)/c \Big] \lg_{(i)} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \Big| I(r,a) = |\Sigma_-(i,j \in a)| \equiv [g_-(i)](t = (|e_-(i)| - r| + |e_j - r|)/c) \Big] \lg_{(i)} \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \Big|$$

30

$$I(r) = \max_{a \in A} \{I(r, a)\}$$

【数 5】

$$l(\mathbf{r}, a) = \left| \sum_{i,j \in a} \sum_{t \in T_{ij}^k(\mathbf{r})} g_{(i)j}(t) \right| \quad 40$$

【数 6】

$$T_{ir}^K(r) = \{t_{ir} + t_{ir} | t_{ir} \in T_{ir}^K, t_{ir} \in T_{ir}^K\}$$

50

間 t での超音波アレイ送信部 i から超音波アレイ受信部 j への解析時間領域信号の前記データセットの前記振幅であり、 r は、座標原点に対して点 r を定義するベクトルであり、 $e_{(i)}$ は、前記座標の原点に対して超音波アレイ送信部 i の前記位置を定義するベクトルであり、 e_j は、前記座標原点に対して超音波アレイ受信部 j の前記位置を定義するベクトルであり、 c は前記スキャン媒質を通して移動する音の速度であり、 a は、前記超音波アレイ内の固定の複数の隣接する超音波要素によって画定されるアパーチャであり、 A は、複数のそのようなアパーチャを含む集合である。

【0034】

別の態様において、前記方法は、第1の強度マップを構築する前に、前記フルマトリックス捕捉超音波スキャンデータをフィルタリングするステップであって、それにより、ノイズを除去する、ステップを更に含む。

10

【0035】

別の態様において、前記第1の強度マップをフィルタリングするステップは、前記強度マップをエッジ検出フィルターに通すステップと、出力を、前記スキャンエリア内の前記近面の前記境界のモデルとして用いるステップとを含み、

前記第2の強度マップをフィルタリングするステップは、前記強度マップをエッジ検出フィルターに通すステップと、出力を、前記スキャンエリア内の前記遠面の前記境界のモデルとして用いるステップとを含む。

【0036】

別の態様において、前記第1の強度マップをフィルタリングするステップ及び前記第2の強度マップをフィルタリングするステップはそれぞれ、前記エッジ検出フィルターによって生成される前記検出されたエッジの膨脹を更に含む。

20

【0037】

別の態様において、前記第1の強度マップをフィルタリングするステップ及び前記第2の強度マップをフィルタリングするステップはそれぞれ、前記膨脹したエッジの細線化を更に含む。

【0038】

別の態様において、前記第1の強度マップをフィルタリングするステップ及び前記第2の強度マップをフィルタリングするステップはそれぞれ、前記強度マップの各垂直スライスから単一の成分を選択するステップと、そのスライス内の全ての他の成分を除去するステップであって、それにより、前記残りの成分の連続性及び長さを最大化する、ステップとを更に含む。

30

【0039】

別の態様において、本出願は、物体の前記近面及び前記遠面をモデル化する方法であって、

上記の方法を、前記物体の前記近面及び前記遠面を通る複数のスキャン平面に対応する、複数の組のフルマトリックス捕捉超音波スキャンデータに適用するステップと、

各スキャン平面内の前記モデル化された境界及び各スキャン平面の前記相対位置に基づいて、前記物体の前記近面及び前記遠面をモデル化するステップと、を含む、方法を対象とする。

40

【0040】

別の態様において、前記複数のスキャン平面は互いに平行するとともに、互いに隣接する。

【0041】

別の態様において、前記物体は実質的に円筒形であり、前記複数のスキャン平面は全て、前記物体の前記縦軸を通る。

【0042】

別の態様では、本出願は、物体の超音波スキャンを実行する装置であって、

前記物体に嵌合するように構成された本体と、

前記本体に搭載され、前記本体をスキャンするように位置決めされる超音波プローブと

50

、
前記キャリアモーター及び超音波プローブに制御情報を提供し、前記超音波プローブからスキャンデータを受信する1つ又は複数のデータ接続と、

前記キャリアに搭載される調整可能なリフレクターと、

前記物体の縦軸に実質的に直交する平面での前記調整可能なリフレクターの角度を制御するリフレクターモーターと、

を備え、

前記超音波プローブは、前記調整可能なリフレクターからの超音波信号の反射を介して前記物体をスキャンするように位置決めされ、

前記1つ又は複数のデータ接続は、前記リフレクターモーターに制御情報を提供する、
装置を対象とする。

10

【0043】

別の態様において、前記本体は、前記物体の前記周縁の回りに液密シールを形成し、

前記装置は、液体スキャン媒質を受け取り、前記本体の前記内部と前記物体の前記外部との間に画定される前記容積に前記液体スキャン媒質を充填する液体供給源を更に備える。

【0044】

別の態様において、前記装置は、前記キャリアモーターの電力を受け取る電力接続を更に備える。

【0045】

20

別の態様において、前記装置は、前記リフレクターモーターの電力を受け取る電力接続を更に備える。

【0046】

別の態様において、前記超音波プローブは、超音波トランスデューサーのアレイである。

【0047】

本開示の他の実施形態例が、図面と併せた以下の詳細な説明の検討から当業者に明らかになるう。

【図面の簡単な説明】

【0048】

30

【図1】パイプに操作的に嵌められた、一実施形態例による超音波プローブマニピュレーターの斜視図である。

【図2】図1のプローブマニピュレーター例の斜視図である。

【図3】パイプに操作的に嵌められた図1のプローブマニピュレーター例の側面図である。

【図4】パイプに操作的に嵌められた図1のプローブマニピュレーター例の等角図である。

【図5】開構成でのマニピュレーターを示す、一実施形態例によるヒンジ式プローブマニピュレーターの斜視図である。

【図6】2つの半体に分解されたマニピュレーター及びヒンジで結合されるナックル継手
を示す、一実施形態例によるヒンジ式プローブマニピュレーターの等角図である。

40

【図7】線形多要素超音波プローブアレイの側面図である。

【図8】N要素超音波プローブアレイを用いてフルマトリックス捕捉技法によって生成される超音波スキャンデータの $N \times N$ マトリックスの図である。

【図9】Aスキャンごとに時間の経過に伴って記録されるM個のサンプルの第3次元を示す、図8と同様のAスキャンデータの $N \times N \times M$ マトリックスの等角表現である。

【図10】中間媒質を通して或る容積をスキャンする線形超音波プローブアレイの側面図である。

【図11】スキャンされている物体の表面上の点 u_1 から u_2 までの曲線 $T_{ir}(K)$ のグラフである。

50

- 【図 1 2】パイプ壁の外面のスキャン平面での強度マップである。
- 【図 1 3】パイプ壁の内面のスキャン平面での強度マップである。
- 【図 1 4】スキャン平面での強度マップから導出されるパイプ壁の外面及び内面のグラフである。
- 【図 1 5】波束正規化前の A スキャン信号の実数部及び包絡線のグラフである。
- 【図 1 6】波束正規化後の A スキャン信号の実数部及び包絡線のグラフである。
- 【図 1 7】一実施形態例によりスキャンされた物体の外表面及び内面のモデル化で実行されるステップを示すフローチャートである。
- 【図 1 8】一実施形態例による、捕捉された超音波データの事前処理に関わるステップを示すフローチャートである。
- 【図 1 9】一実施形態例において強度マップがいかに構築されるかを示す、パイプ壁を通る X - Z スキャン平面の断面図である。
- 【図 2 0】一実施形態例による、アパーチャフォーカスシフト法を用いての強度マップの構築に関わるステップを示すフローチャートである。
- 【図 2 1】一実施形態例による強度マップの境界認識に関わるステップを示すフローチャートである。
- 【図 2 2】収縮演算及び膨張演算の効果を示す、図 2 3 ~ 図 2 5 と併せて用いられる白黒画像例である。
- 【図 2 3】収縮演算及び膨張演算の効果を示す、図 2 2、図 2 4、及び図 2 5 と併せて構造化要素として用いられる、原点でセンタリングされた 5×5 マトリックスの一例である。
- 【図 2 4】図 2 3 の構造化要素を用いる図 2 2 での収縮演算の効果を示す白黒画像である。
- 【図 2 5】図 2 3 の構造化要素を用いる図 2 2 での膨張演算の効果を示す白黒画像である。
- 【図 2 6 a】キャニーエッジ検出の効果を示す図 2 6 b と併せて用いられる白黒画像例である。
- 【図 2 6 b】図 2 6 a でのキャニーエッジ検出の効果を示す白黒画像である。
- 【図 2 7 a】細線化アルゴリズムの効果を示すために図 2 7 b と併せて用いられる白黒画像例である。
- 【図 2 7 b】図 2 7 a への細線化アルゴリズムの効果を示す白黒画像である。
- 【図 2 8 a】接合部を示す白黒画像例である。
- 【図 2 8 b】接合部検出の明暗サイクルをカウントするために接合部の周囲でトレースされた矩形経路を示す、図 2 8 a の接合部の拡大図である。
- 【図 2 9】送信機励起から受信波束の立ち上がりエッジまでの移動時間を示す A スキャン時間領域信号例のグラフである。
- 【図 3 0】スキャンされたエリアの強度マップ例である。
- 【図 3 1】垂直方向での最大強度ピクセルをプロットする図 3 0 の強度マップのエッジのプロットである。
- 【図 3 2】図 3 1 の高強度ピクセルの近傍又は上方の境界エッジのプロットである。
- 【図 3 3】誤差修正を用いない境界検出アルゴリズムの出力例のプロットである。
- 【図 3 4】膨張演算が矩形構造化要素を用いて実行された後の図 3 3 の境界のプロットである。
- 【図 3 5】細線化アルゴリズムが適用された図 3 4 の境界のプロットである。
- 【図 3 6】誤ったピクセルが除去された図 3 5 の境界のプロットである。
- 【図 3 7】パイプ内面 (ID) の強度マップ画像である。
- 【図 3 8】境界の接合エリアに丸が付けられた、エッジ検出アルゴリズム、膨張アルゴリズム、及び細線化アルゴリズムが適用された後の図 3 7 の強度マップである。
- 【図 3 9】図 3 8 の丸の付いた接合エリアの拡大図である。
- 【図 4 0】接合部が除去された図 3 9 の拡大図である。

10

20

30

40

50

- 【図 4 1】連結成分の下部が除去された図 4 0 の拡大図である。
- 【図 4 2】小さな連結成分が除去された図 4 1 の拡大図である。
- 【図 4 3】キャニーエッジ検出器から出力されたエッジと、平板として真の境界の形状を近似する最大強度ピクセルのグラフとを示すパイプ表面強度マップである。
- 【図 4 4】エッジ検出プロセスから抽出された 2 つの境界セグメント間のエリアが直線で結ばれる、境界の補間を示すパイプ表面強度マップである。
- 【図 4 5】境界を認識し画定するアルゴリズム例の順次演算のフローチャートである。
- 【図 4 6】図 1 ~ 図 6 のマニピュレーター例と併用される調整可能なリフレクターを示す超音波プローブキャリアの側面図である。
- 【図 4 7】逆側から見た図 4 6 の超音波プローブキャリアの側面図である。 10
- 【図 4 8】不均一な細線化を示すパイプ壁の側方断面図である。
- 【図 4 9】厚さが検査されたゾーンを示す、継手から継手への溶接部でのパイプ壁の側方断面図である。
- 【図 5 0】厚さが検査されたゾーンを示す、Gray loc (登録商標) 継手から継手への溶接部でのパイプ壁の側方断面図である。
- 【図 5 1】一実施形態例によるリモートデータ取得及び解析コンピューターを示すネットワーク図である。
- 【図 5 2】一実施形態例による、検査サイトで用いられるローカルハードウェア構成要素の関係を示すネットワーク図である。
- 【図 5 3】一実施形態例によるリモート取得サイトでの機器構成の図である。 20
- 【図 5 4】距離振幅曲線 (DAC : Distance Amplitude Curve) 例である。
- 【図 5 5】一実施形態例による 2' ' マニピュレーターの較正に用いられる 2' ' 参照ブロック標本である。
- 【図 5 6】一実施形態例による 6 度構成での 2' ' マニピュレーターの較正に用いられる 2' ' 参照ブロック標本である。
- 【図 5 7】一実施形態による 2 . 5' ' マニピュレーターの較正に用いられる 2 . 5' ' 参照ブロック標本である。
- 【図 5 8】較正前の開構成でのマニピュレーター例を示す較正ブロックセットアップの斜視図である。
- 【図 5 9】一実施形態例による、較正ブロック例を用いるマニピュレーター例の較正中に実行されるステップを示すフローチャートである。 30
- 【図 6 0】一実施形態例によるパイプ径の検査中に実行されるステップを示すフローチャートである。
- 【図 6 1】一実施形態例による検査データ解析プロセスにおいてデータ解析者によって実行されるステップのフローチャートである。
- 【図 6 2】一実施形態例による、検査データ解析プロセスにおいてデータ解析者によって実行されるステップと、ゲートウェイサーバー、ブレードサーバー、及びローカル解析 PC 上の解析アルゴリズムによって適用される様々なステップとのフローチャートである。
- 【図 6 3】幾つかの実施形態においてデータ解析者によって用いられる NEOVISION (登録商標) アプリケーションでのメイン結果ウィンドウ例である。 40
- 【図 6 4】幾つかの実施形態においてデータ解析者によって用いられる NEOVISION (登録商標) アプリケーションでの 3 D ウィンドウ例である。
- 【図 6 5】幾つかの実施形態においてデータ解析者によって用いられる NEOVISION (登録商標) アプリケーションでの 3 D 概要ウィンドウ例である。
- 【図 6 6】幾つかの実施形態においてデータ解析者によって用いられる NEOVISION (登録商標) アプリケーションでの 3 D ポップアップウィンドウ例である。
- 【図 6 7】IFM OD 境界準備のデータフロー例である。
- 【図 6 8】一実施形態例によるデータサンプルを保持すべき時間を示す、時間領域超音波信号での対象サンプルの詳細図である。
- 【図 6 9】一実施形態例による境界認識データフローの全体を示すフローチャートである 50

。

【図 7 0】境界画定のデータフロー例である。

【図 7 1】内部フォーカス法プロセスのデータフローチャートである。

【図 7 2】厚さの画定例を示すパイプ溶接部例を通る側方断面図である。

【図 7 3】長さ L を有する線形超音波アレイ例にマッピングされたデカルト座標系及び球面座標系の関係を示す図である。

【図 7 4】 $a = 0.23 \text{ mm}$ 、 $f = 7.5 \text{ MHz}$ 、及び $c = 1480 \text{ m/秒}$ を有する一実施形態例での垂直軸に 0 から 1 に増大する振幅を示すとともに、水平軸に -90 度から 90 度までの角度を示す超音波ビーム指向性のグラフである。

【図 7 5】垂直軸に 90 度から -90 度に低減する角度及び水平軸に 0 mm から 0.3 m に増大する超音波トランスデューサー要素サイズを示すとともに、図の右側に振幅 0 ~ 振幅 1 の範囲の色値の凡例を有する要素指向性のスペクトルグラフである。

【図 7 6 a】垂直軸に沿って 90 度から -90 度に低減する角度 及び水平軸に沿って 0 mm から 0.28 mm に増大する要素サイズを示すとともに、図の右側に振幅 0 ~ 振幅 1 の範囲の色値の凡例を有する操舵角 θ_s が 0 度に等しいアレイ指向性のグラフである。

【図 7 6 b】垂直軸に沿って 90 度から -90 度に低減する角度 及び水平軸に沿って 0 mm から 0.28 mm に増大する要素サイズを示すとともに、図の右側に振幅 0 ~ 振幅 1 の範囲の色値の凡例を有する操舵角 θ_s が 30 度に等しいアレイ指向性のグラフである。

【図 7 7 a】垂直軸に沿って 0 m から 0.015 m に増大する Z 軸距離、垂直軸に沿って 0 m から 0.005 m に増大する Y 軸距離を示すとともに、図の右側に強度 $-0.06 \sim$ 強度 0.06 の範囲の色値の凡例を有する、平坦な空間例 P_1 に交差する 7.5 MHz 連続正弦波を放射する、幅 0.25 mm 、高さ 5 mm のトランスデューサーからの圧力場図である。

【図 7 7 b】垂直軸に沿って 0 m から 0.015 m に増大する Z 軸距離、垂直軸に沿って 0 m から 0.005 m に増大する Y 軸距離を示すとともに、図の右側に強度 $-0.06 \sim$ 強度 0.06 の範囲の色値の凡例を有する、平坦な空間例 P_2 に交差する 7.5 MHz 連続正弦波を放射する、幅 0.25 mm 、高さ 5 mm のトランスデューサーからの圧力場の図である。

【図 7 8】実際品質指標の生成に用いられる強度マップのエリアを示す強度マップ例である。

【図 7 9】温度センサーを有するプローブマニピュレーター例の側面図である。

【図 8 0】図 7 9 のプローブマニピュレーター例の等角部分図である。

【発明を実施するための形態】

【0049】

概説

本発明の実施形態例は、超音波検査データを捕捉し、事後処理する超音波撮像装置及び方法に関する。特に、説明される実施形態例は、機械的カフを用いてパイプ溶接部を検査する装置及び方法に関し、機械的カフは、溶接部領域でパイプの回りに嵌まり、超音波送受信機アレイがフルマトリックス捕捉データ取得技法を介してパイプ容積の複数の送受信サイクルを実行する際に、パイプの円周で超音波送受信機アレイを回転させる。送受信サイ

【0050】

機械的カフは、パイプ表面に当接してシールする水密シールをいずれかの端部に有する円筒形外部構造を有する。機械的カフは、管を介して水流を受け、超音波スキャンを促進するために、動作中、構造体とパイプ表面との間の容積に水を充填する。

【 0 0 5 1 】

カフはまた内部回転リングも有し、このリングは内面に、超音波送受信機結晶の線形アレイを有し、アレイの縦軸は、パイプの円周の回りの内部リングの回転方向に直交する円筒体構造の長さに沿って位置合わせされる。動作に際して、カフの外部構造体が静止した状態のままである間、内部リングはパイプ表面の回りを自動的に回転する。

【 0 0 5 2 】

データは、フレームごとに超音波アレイを用いて複数の送受信サイクルを実行する間、パイプの円周の回りで内部リングを回転させることによって取得される。各フレームはフルマトリックス捕捉技法を用いる：１つの要素がパルス化され、アレイ内の各要素が、その位置での応答を測定し、その結果生成される時間領域信号（Ａスキャン）を記憶する。次に、このプロセスが繰り返され、各要素を順にパルス化して、各要素での応答を記録し、 N 個の要素を有するアレイで（ $N \times N$ ）Ａスキャンの総データコーパスを生成する。本発明では、各Ａスキャンの記憶される期間は、設定閾値を超える（時間 t での）信号スパイクを監視し、次に遡及的に、（時間 $t - C$ での）スパイクの前の設定間隔で開始される全ての信号データを記録することによって決まる。

10

【 0 0 5 3 】

カフがパイプ表面に円周の全てのポイントで完全には直交しない状況では、パイプ表面へのアレイの角度を変更することが好ましいことがある。このために、内部リング構造体は、超音波を送受信機アレイとパイプ表面との間で様々な角度で反射する調整可能なリフレクター又はミラーを組み込む。ミラーは、ローカル若しくはリモートのプロセッサモジュール又はコントローラモジュールによって自動的に調整することができ、このモジュールは、プローブデータを受信し、ミラー角度を調整することによって信号品質を自動的に最適化する。

20

【 0 0 5 4 】

事後処理アルゴリズムは、上述した概説からの幾つかの改良を備えることができる。複数の波モードを用いて、各プローブの到達範囲及び解像度を改善することができる。外面を複数の表面としてモデル化して、外面がかなり凸凹している内面の解像度を更に改善することができる。加えて、パイプ若しくは他の容積の複数の隣接する「スライス」からのデータを結合して重ね、表面モデルの連続性を改善することができるか、又は異なる時間で取られた同じエリアの２つのスライスからのデータを重ねて、表面の経時変化を検出することができる。

30

【 0 0 5 5 】

本発明について、パイプ検査器具及び技法として説明したが、一般的な原理及びアルゴリズムは、幾つかの異なる状況及び用途での超音波撮像に適用可能である。

【 0 0 5 6 】

超音波プローブマニピュレーター装置

図面を参照すると、図１は、超音波プローブマニピュレーター１００を備える一実施形態例を示す。マニピュレーター１００はカフ１０６を備え、カフ１０６は、スキャンプロセス中、パイプ２の円周の回りに嵌められる。カフ１０６の中心は、パイプ２の縦軸４に位置合わせされる。マニピュレーター１００は、モーター１２８によってカフ１０６の円周を横断するキャリア（図示せず）に取り付けられた超音波プローブ要素の線形アレイを用いて、カフ１０６に包囲されるパイプのスライスをスキャンする。

40

【 0 0 5 7 】

動作に際して、カフ１０６はパイプ２の回りに嵌められ、水密シール１０４がカフ１０６からパイプ表面に延びる。カフ１０６の内面、シール１０４、及びパイプ外面によって画定される内部容積は次に、水又は超音波スキャン媒質として機能するのに適する別の流体で充填される。幾つかの実施形態では、水は、マニピュレーター１００内に組み込まれたホース１１０（図６に示される）によって内部容積に注入される。ホース１１０は、外部水源及び／又はポンプに接続され、ホース吸入口１３２（図２に示される）を介してカフ１０６の内部容積に供給する。

50

【 0 0 5 8 】

1つ又は複数のデータ接続が、マニピュレーター 1 0 0 を1つ又は複数の外部データ処理システム及び/又はコントローラーに接続する。これらの外部システムは、マニピュレーター 1 0 0 の動作を制御し、及び/又はマニピュレーター 1 0 0 のスキャン動作によって生成されたデータを収集し処理することができる。図 1 は、カフ 1 0 6 の回りでキャリア 1 0 2 を駆動するように動作可能なモーター 1 2 8 に電力及び制御データを供給するのに用いられるモーターコネクタ 1 3 0 を示す。プローブデータコネクタ 1 0 8 は、超音波プローブ制御データ及びプローブによって収集されるデータを、プローブアレイと外部データ処理システム及び/又はコントローラーとの間で通信するように機能する。他の実施形態では、これらの機能のうちの幾つか又は全ては、例えば、埋め込まれたコントローラー及び/又はデータ記憶及び処理ユニットによってマニピュレーター 1 0 0 自体内で行うことができる。幾つかの実施形態では、マニピュレーター 1 0 0 によって用いられるモーターは、各自の電源を含むことができる。

10

【 0 0 5 9 】

図 2 は、パイプに嵌められる代わりに分離された図 1 と同様の実施形態を示す。カフ 1 0 6 の内面 1 1 2 は、外面 1 1 4 と同様に示されている。ホース吸入口 1 3 2 もこの図では示されている。

【 0 0 6 0 】

図 3 は、湾曲したパイプに嵌められたマニピュレーター 1 0 0 の側面図であり、スキャンされているパイプ部分の縦軸 4 を示す。図 4 は、直線パイプに嵌められたマニピュレーター 1 0 0 の等角図であり、パイプの縦軸 4 を示す。

20

【 0 0 6 1 】

マニピュレーター 1 0 0 は、幾つかの実施形態では、カフ 1 0 6 を開くことができるヒンジ設計によってパイプ又は他のスキャン被験物に嵌めるか、又は取り外すことができる。図 5 はヒンジ式マニピュレーターを備える一実施形態例を示し、ヒンジ部分 1 1 6 は、カフを開かせることができ、結合部分 1 1 8 は、ラッチ等の結合手段によってカフの両端部と一緒に結合して、閉動作位置にすることができる。図 6 はヒンジ部分 1 1 6 の構造を示し、ヒンジ部分 1 1 6 は、ヒンジで連結されたナックル継手 1 2 0 を用いて、単純な単一ヒンジ式クラムシェル設計ではなく、カフ 1 0 6 の2つの半体間に二重ヒンジを生み出す。ヒンジで連結されたナックル継手 1 2 0 は、第 1 の接続点 1 2 2 においてカフ 1 0 6 の第 1 の半体に取り付けられ、第 2 の接続点 1 2 4 においてカフ 1 0 6 の第 2 の半体に取り付けられる。二重ヒンジの使用により、提供される自由度が大きくなることに起因して、マニピュレーター 1 0 0 をパイプ円周により容易に配置することができる。結合部分 1 1 8 は、図 6 の実施形態例ではラッチ 1 2 8 として示されている。

30

【 0 0 6 2 】

動作に際して、マニピュレーター 1 0 0 は、共振器結晶等の超音波プローブ要素の線形アレイを用いて、カフ 1 0 6 によって包囲される容積をスキャンする。図 7 は、例として、n 個の要素 2 0 2 を有する線形超音波プローブアレイ 2 0 0 を示す。動作に際して、キャリア 1 0 2 に取り付けられた線形アレイ 2 0 0 は、スキャン中のパイプ 2 の縦軸 4 に平行して位置合わせされる。パイプ 2 は、後述するフルマトリックス捕捉技法を用いて全アレイ 2 0 0 によってスキャンされ、次に、キャリアは、マニピュレーター 1 0 0 に含まれるモーターによってパイプ 2 の円周を移動し、その後、スキャンプロセスが、キャリアの新しい位置の新しい円周座標に対して繰り返される。カフ 1 0 6 によって包囲されるパイプスライスの円周で幾つかのそのようなスキャンを一定間隔で実行することにより、スキャンデータを用いてパイプ全周のモデルを構築することができる。

40

【 0 0 6 3 】

フルマトリックス捕捉 (F M C : Full Matrix Capture) データ収集

幾つかの実施形態において用いられるフルマトリックス捕捉 (F M C) 技法は、超音波スキャンに広く用いられるフェーズドアレイデータ捕捉技法の既知の改良である。 F M C では一般に、同等なフェーズドアレイスキャンよりも多量のデータを捕捉する必要がある

50

が、1回のスキャンからより多くの情報を抽出することができる。フルマトリックス捕捉では、超音波アレイ200のうちの1つの要素202がパルス化され、超音波エネルギーを、スキャン中の媒質に伝える。アレイ200の各要素202は、このエネルギーの受信機として用いられ、このパルスに続く期間にわたるその座標での超音波振動を検出する。検出されたこの振動は、事後処理のために記録され記憶される。データがn個全ての要素202で記録されると、第2の要素202がパルス化され、記録プロセスが全ての受信要素202に対して繰り返される。次に、このプロセスは再び繰り返され、n個の各要素202は順にパルス化され、各受信要素202でデータが記録され、記録データの $n \times n$ マトリックスを生成し、各受信要素202は、各送信要素202からのパルスからのスキャンデータを記録する。このマトリックスは図8に示され、図8は、n個の送信要素206 \times n個の受信要素204のマトリックスを示す。

10

【0064】

幾つかの実施形態では、各受信要素202からのデータは、時間の経過に伴って取られた一連のデジタルサンプルとして記録される。図9は、上述した1回の送受信サイクルからのそのようなスキャンデータの3次元マトリックスを示す。受信機j212によって捕捉された送信機i210のパルスから生成されるデータ信号214は、時間次元208にわたって取られた一連のm個のサンプルとして示され、 $n \times n \times m$ サイズのサンプルの総合3次元マトリックスを生成する。

【0065】

図1～図6のマニピュレーター100を用いる実施形態例では、キャリア102の移動及び超音波アレイ200の動作は、データ接続108によってマニピュレーター100に接続された外部コントローラーによって制御される。アレイ200によって記録されたデータは、データ接続108を介して外部データレコーダ及びプロセッサに送信され、そこで、更に後述するように記憶され処理される。コントローラー及びデータプロセッサはまた、互いに通信することもでき、コントローラーは記録されたデータを用いて、スキャン中のキャリア102及び/又はアレイ200の動作を校正するか、又は最適化することができる。

20

【0066】

上述した1回の送受信サイクルは、 $n \times n$ のAスキャン（すなわち、受信要素202において受信される時間領域信号）を生成する。1回のAスキャンは一般に、設定閾値を超える振動をこの閾値を超えた後の設定期間にわたり監視して、次に、検知された振動を記録することによって受信要素において作成される。幾つかの実施形態では、バッファを用いて、記録前に検知されたデータを記憶し、記録期間は、閾値を超える前の所定期間にわたりバッファリングされたデータを含むように設定され、それにより、閾値を超える少し前に開始され、設定期間にわたって続く期間を捕捉する。図68はこのプロセスの図を示す。検知されたデータ6800は、所定の閾値6806を超えるピーク6804が検出されるまでサンプリングされ、それにより、信号の対象期間の開始をシグナリングする。しかしながら、ポイント6802で開始する信号6800の初期振動等の、ピーク6804前に対象データが存在することがある。ピーク6804に先行するこれらの初期データ点を捕捉するために、任意の対象初期信号振動を捕捉するのに十分に早い早期点6808まで戻る等、ピーク6804前の所定期間にわたって後ろに延びるバッファリングされたデータ点が保持される。

30

40

【0067】

FMCデータの処理

捕捉されたデータの処理は、スキャンと同時に、又はスキャン後に行うことができる。捕捉されたデータを処理する技法を、実施形態例により以下に説明する。これらの技法は、アパーチャフォーカスシフト法（SFM：Shifting Aperture Focusing Method）、内部フォーカス法（IFM：Interior Focus Method）、並びに境界の検出及び認識を適用して、パイプ壁の内面及び外面の輪郭等のスキャンされた物体の構造を特定することを含むことができる。これらの技法により、パイプ厚の僅かなばらつき、パイプ壁の欠陥、並

50

びにパイプの任意の内面及び外面の他の構造的詳細を検出することを可能にすることができる。様々な実施形態によって適用される数学的原理の幾つかについて、数学的原理の動作をより十分に説明するために本明細書に説明する。

【 0 0 6 8 】

図 1 7 は、一実施形態例によるパイプ壁又は他の物体のスキャン部分の外径 (O D : Outer Diameter) 及び内径 (I D : Inner Diameter) の表面をモデル化する際に関わる演算を示すフローチャートである。プローブアレイ 2 0 0 の送受信サイクルからのフルマトリックス捕捉 (F M C) データが、ステップ 1 7 0 2 において収集される。ステップ 1 7 0 4 において、未処理 F M C データが事前処理される。ステップ 1 7 0 6 ~ 1 7 1 0 において、O D 境界がモデル化され、次に、この O D 境界定義 1 7 1 2 を用いて、ステップ 1 7 1 6 ~ 1 7 2 2 において、未処理 F M C と併せて I D 境界 1 7 2 4 を特定する。これらのステップについてより十分に後述する。幾つかの実施形態では、用いられる未処理 F M C データは、複数の送受信サイクルからのデータを含み、パイプ壁の隣接する半径方向位置のモデル化の改善に用いられる。

【 0 0 6 9 】

図 1 0 は、A スキャンデータの処理を説明するに当たり用いられるベクトル表記を示す。この図は、線形超音波アレイ 2 0 0 と、スキャン中のパイプ 2 の縦軸 4 とによって規定される平面を示す。この例では、スキャン中の平面のエリアは画像エリア 1 4 によって示される。

【 0 0 7 0 】

k は、 $k(u) = \langle x, y \rangle = \langle f(u), g(u) \rangle$ が 2 空間 R_2 でのベクトルであるようなベクトル値関数である。但し、 $u = [u_1, u_2]$ である。点 $k(u)$ は、 $k(u) = (x, y) = (f(u), g(u))$ として定義される。ベクトル $k(u)$ は、太字で表され、点 $k(u)$ とは別個に参照される。本説明全体を通して、任意のベクトル $v = \langle x, y \rangle$ について、点 (x, y) は太字ではなく斜体の v で示される。

【 0 0 7 1 】

K 1 0 は、全ての点 $k(u)$ 、 $u = [u_1, u_2]$ の集合によって定義される曲線である。 K は区分的に滑らかであり、自身に交差しない。 K の終点は $k(u_1)$ 及び $k(u_2)$ であり、 k_1 2 2 及び k_2 2 4 とそれぞれ示される。

【 0 0 7 2 】

K は、第 1 の媒質 6 を第 2 の媒質 8 から分け、超音波プローブ要素 i 2 1 0 は第 1 の媒質 6 内にあり、ベクトル r 1 6 の終点は第 2 の媒質 8 内にある。例えば、パイプ円周をスキャンする場合、第 1 の媒質 6 は、カフ 1 0 6 とパイプ 2 の外面との間の内部容積に注入された水で構成され、一方、第 2 の媒質 8 はパイプ壁自体の金属で構成される。第 1 の媒質 6 及び第 2 の媒質 8 での音速は c_1 及び c_2 としてそれぞれ示される。

【 0 0 7 3 】

再び図 1 0 を参照すると、図は、 $k_0 = k(u_0) = \langle f(u_0), g(u_0) \rangle$ によって定義されるベクトル k_0 を示す。但し、点 k_0 K (点 k_0 は符号 1 8 で示され、面 K は符号 1 0 で示される)。また、超音波要素 i 2 1 0 は、座標原点 2 0 から位置ベクトル $e_{(i)}$ を用いて示される。 $t_{ir}^{k_0}$ で示される k_0 1 8 を通る超音波要素 i 2 1 0 から r 1 6 への移動時間は、以下の式によって与えられる。

【 数 7 】

$$t_{ir}^{k_0} = \frac{|k_0 - e_{(i)}|}{c_1} + \frac{|r - k_0|}{c_2} \quad (\text{式 1})$$

【 0 0 7 4 】

k_0 1 8 を通る r 1 6 から i 2 1 0 への移動時間 ($t_{ri}^{k_0}$ で示される) は $t_{ir}^{k_0}$ に等しい。全ての k K を通る i 2 1 0 から r 1 6 までの時間は、図 1 1 に示される曲

線 $T_{ir}(K)$ 26 によって与えられ、 k は k_1 から k_2 にパラメトリックに変化する。

【0075】

物理学的考察

音速変動 - 材料の物理学的考察

超音波の応用形態では、絶対距離測定値は、音響パルスの移動時間から直接計算することができ、したがって、研究中の材料での超音波の速度の影響を受けやすいことがある。パイプ溶接部検査に関する後述する幾つかの実施形態では、厚さは、外面の点から内面への最短距離として定義される。図72は、壁厚のこの定義を示す。 L_1 及び L_2 は、フィーダー溶接部の外面の2つの異なる位置での厚さである。内面プロファイル及び外面プロファイルは、外面又は内面の任意の位置での壁厚の特定に用いられる必須情報である。

10

【0076】

超音波距離測定値は、材料の音速と、音波が開始点と終了点との間を移動するのにかかる時間によって求められる。距離測定値 L は

【数8】

$$L = \bar{V}_r$$

として書くことができる。但し、 \bar{V}_r は、波が開始点から終了点まで移動するのにかかる時間である。

【数9】

$$\bar{V}$$

20

は、経路に沿った平均音速である。外面プロファイルは浸漬技法を用いて測定することができ、幾つかの実施形態では、水を伝達媒質として用いることができるため、水の音速が距離測定の精度に影響することから、水の音速を考慮する必要がある。

【0077】

水音速の温度依存性

温度の関数としての水の音速は、 $V_{fw}(T) = 1405.03 + 4.624T - 0.0383T^2$ である。但し、 V_{fw} は、秒単位当たりのm単位での真水の音速を示し、 T は摂氏温度単位での温度を示す。

【0078】

30

要素指向性（ビーム拡散 - ラテラル及びトランスバース）

要素指向性は、プローブアレイの設計において潜在的に重要な係数である。一般的に言えば、要素指向性は、検査容積上の異なる点にわたる振幅圧力場の分散として考えることができる。指向性を論述する場合、デカルト座標 ($x - y - z$) 及び球面座標 ($\theta - \phi$) は両方とも標準である（図73参照）。便宜上、近距離場要素の指向性を論述する場合にはデカルト座標が役立ち、一方、遠距離場の指向性を論述する場合には球面座標が役立つ。遠距離場では、 a よりもはるかに長い L を有する矩形要素及び所与の距離 r の場合、 $x - z$ 平面での指向性は、 k 、励起周波数 f 、及び a のみの関数を介して良好に近似される。

【0079】

40

要素指向性は最終的に、以下によって与えられる波の式から導出される。

【数10】

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

但し、 p は圧力であり、 t は時間である。

【0080】

検査容積内の所与の点での圧力場は数値的に導出することができる。トランスデューサーは、水中で音波を放射しているピストンとして扱うことができ、トランスデューサーは

50

、無限数の平面波を生成し、平面波は全て、正 z 方向に移動するが、異なる x 成分方向及び y 成分方向に移動する。したがって、点 $q = (x; y; z)$ での圧力場は、以下によって与えられる 2D 積分の形態で表される。

【数 1 1】

$$p(q, \omega) = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(k_x, k_y) e^{i(k_x x + k_y y + k_z z)} dk_x dk_y$$

但し、

【数 1 2】

$$\bar{k} = (k_x, k_y, k_z)$$

は大きさ $k = 2\pi / \lambda$ を有する波ベクトルである。

【0081】

幾らかの微分後、 x 方向において長さ l_x を有するとともに、 y 方向に長さ l_y を有する矩形要素の上記式への解を導出することができる。

【数 1 3】

$$p(q, \omega) = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2 \iint_{k_x^2 + k_y^2 \leq k^2} \frac{i\omega\rho V(k_x, k_y)}{ik_z} e^{i(k_x x + k_y y + k_z z)} dk_x dk_y$$

但し、 $V(k_x, k_y)$ は、トランスデューサーの場の速度の 2D 空間フーリエ変換である。

【数 1 4】

$$V(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} v_x(x, y, z=0, \omega) e^{-i(k_x x + k_y y)} dx dy$$

【0082】

遠距離場指向性

要素の遠距離場（超音波トランスデューサー要素の寸法が、検査距離と比較して非常に小さい場合）では、 $x-z$ 平面での所与の半径 r の場合、トランスデューサーの長さ L がトランスデューサーの幅 a よりもはるかに長いとき、指向性は、 L/a 、要素幅 a 、及び周波数 f のみで変化する関数によって良好に近似することができる。遠距離場指向性は、溶接部検査に関わる幾つかの実施形態では、関連があることがある。その理由は、溶接部は多くの場合、超音波アレイトランスデューサー要素の遠距離場（軸方向、 $x-z$ 平面）にあるためである。 $x-z$ 平面での要素の遠距離場指向性の公式は以下に与えられる。

【数 1 5】

$$D_F(f, \theta) = \sin c \left(\frac{\pi a f \sin \theta}{c} \right)$$

a 及び f が両方とも、所与の角度 θ で指向性を増大させることに留意する価値がある。図 7 4 は、 $\theta = -90^\circ \sim 90^\circ$ 、 $a = 0.23 \text{ mm}$ 、 $f = 7.5 \text{ MHz}$ 、及び $c = 1480 \text{ m/s}$ を有する一実施形態例での指向性を示す。

【0083】

要素幅

要素幅 a は、上記式に示されるように、要素の指向性を左右する。要素幅が小さいほど、音を全方向（全ての方向）に放射する。要素幅が大きいほど、音は表面法線の方に集束する。これは図 7 5 に示され、図 7 5 は、要素サイズ a の関数としての要素指向性を示

10

20

30

40

50

す。

【 0 0 8 4 】

同様に、フォーカスアレイに関して、より大きな要素幅を有するアレイほど一般に、アレイ法線の方向においてより小さな幅を有するアレイよりも良好にフォーカスする。アレイ法線の方向は、操舵角ゼロに対応する。他方、より小さな要素幅を有するアレイは一般に、アレイ表面法線から離れる方向において（より大きな要素幅を有するアレイよりも）よりよくフォーカスする。

【 0 0 8 5 】

両主張は、図 7 6 a 及び図 7 6 b の例によって確認することができる。両図は、

- ・要素数 = 1 0、
- ・周波数 = 7 . 5 M H z、
- ・ピッチ（要素の中心間隔） = 0 . 2 8 m m

を有する同じアレイをシミュレートする。

【 0 0 8 6 】

要素幅 a は 0 ~ ピッチ (0 . 2 8 m m) で変更されるが、図 7 6 a は、操舵角 θ_s が 0 度に等しいアレイ指向性をシミュレートし、一方、図 7 6 b は、操舵角 θ_s が 3 0 度に等しいアレイ指向性をシミュレートする。異なる要素幅での主ローブの強度は、両図の線 $\theta_s =$ を調べることによって見ることができ、一方、他方の水平線は、回折の望ましくない影響を表す。 $\theta_s = 0$ (図 7 6 a) である場合、要素幅が大きいほど、望ましい主ローブ強度を保ちながら、回折の影響を減衰させる。逆に、 $\theta_s = 3 0$ (図 7 6 b) である場合、要素幅が小さいほど、回折ローブ強度が要素サイズによって変わらない間、主ローブ強度を保持する。

【 0 0 8 7 】

要素の高さ

要素の高さは、図 7 3 では L として表される。遠距離場では、(a と比較して) 大きな L は、表面に直交する方向 (z 方向) においてエネルギーをフォーカスし、一方、 L の値が小さくなるほど、 y においてより大きな成分を有するエネルギーを放射する。しかしながら、検査が L と同等の距離で実行される場合に一般に対象となる近距離場では、トランスデューサーから放射されるエネルギーは、 z 方向においてトランスデューサーの表面から均一に投射される。これらの検査距離では、検査点がトランスデューサーの高さ焦点距離と同様であるため、これは予想に一致する。

【 0 0 8 8 】

図 7 3 の座標系を想起されたい。図 7 7 a 及び図 7 7 b は、2 つの平坦な空間 $P_1 = \{ x = 0, 0 \leq y \leq 5, 0 \leq z \leq 20 \}$ 及び $P_2 = \{ x = 1, 0 \leq y \leq 5, 0 \leq z \leq 20 \}$ (全ての寸法は mm 単位である) に交差する 7 . 5 M H z 連続正弦波を放射する、0 . 2 5 m m 幅、5 m m 高さのトランスデューサーからの圧力場を明らかにする。第 1 の空間 P_1 は、 y 方向及び z 方向においてベクトルによって広がり、 $y = 0 . 5$ 及び $z = 0 . 2 0$ において区切られる平面である。空間 P_2 は、 P_1 と同様に広がり、制限されるが、 P_1 から 1 m m 離間される。両空間は図 7 5 に示される。図 7 7 a 及び図 7 7 b は、トランスデューサーによって放射される圧力場の強度が、シミュレートされる両事例で $y < 2 . 5$ m m エリアに集中することを示す。放射された場の対称性が、与えられるシミュレーションで利用される。仮に放射された圧力場が、 $z - x$ 平面を中心とした平坦な空間 P_1 及び P_2 の反射である平坦な空間 $P_1' = \{ x = 0, -5 \leq y \leq 0, -20 \leq z \leq 0 \}$ 及び $P_2' = \{ x = 1, -5 \leq y \leq 0, -20 \leq z \leq 0 \}$ でシミュレートされる場合、これらの空間でシミュレートされる強度場は、 $z - x$ 平面を中心とした P_1 及び P_2 での強度場の反射である。

【 0 0 8 9 】

ノイズ量子化

アナログ / デジタル変換では、各データサンプルの大きさは、有限精度で近似値に変換される。量子化は非線形プロセスである。最小量子化レベルは解像度である。解像度は、

アナログ／デジタル（A／D）コンバーターのフルスケール入力振幅と、通常均等に離間される量子化レベルの総数とによって決まる。解像度は多くの場合、量子化レベル数で表される。10ビットA／Dコンバーターは1024の量子化レベルを有する。12ビットA／Dコンバーターは4096の量子化レベルを有する。12ビットA／Dコンバーターの解像度は、10ビットA／Dコンバーターの解像度より4倍小さい。量子化誤差は、最小量子化レベルよりも小さいと予想されるため、一般に解像度のより高いA／Dコンバーターが好まれる。

【0090】

量子化プロセスが、入力データ値を最近傍の量子化レベルに丸め、誤差が、量子化間隔にわたって均等な統計学的分布に従う場合、量子化誤差の平均値は明らかにゼロである。量子化誤差の分散は

【数16】

$$\sigma_e^2 = \frac{\Delta^2}{12}$$

によって与えられる。但し、 Δ は量子化間隔である。

【0091】

量子化誤差の二乗平均平方根（rms）値は標準偏差である。

【数17】

$$\sigma_e = \frac{\Delta}{\sqrt{12}} \approx 0.29\Delta$$

【0092】

SNRをノイズ分散に対する信号分散の比率と定義する場合、B+1ビットA／DコンバーターのSNRは、幾つかの実施形態では、

【数18】

$$SNR = 6.02B + 10.8 - 20 \log_{10} \left(\frac{X_m}{\sigma_x} \right)$$

として表すことができる。但し、 X_m はA／Dコンバーターのフルスケールレベルであり、 σ_x は信号の標準偏差である。

【0093】

この実施形態例での8ビット、10ビット、及び12ビットのSNR限界はそれぞれ50dB、62dB、及び74dBである。最適なSNRが一般に、入力信号がA／Dコンバーターのフルスケール振幅に入念に調整される場合のみ達成可能なことに留意する価値がある。

【0094】

事前処理

幾つかの実施形態では、事前処理は、SFMサブルーチン及びIFMサブルーチンを介して解析に向けて未処理データを整える幾つかの演算からなる。図18に示される一実施形態例では、これらの演算は以下である：フルマトリックス捕捉未処理データをサンプリング周波数100MHzにアップサンプリングし（1804）、フルマトリックス捕捉未処理データからDCオフセットを減算し（1806）、デジタルソフトウェアフィルター係数1810を用いて、フルマトリックス捕捉データセットをフィルタリングし、不要なノイズを除去し（1808）、取得されたRFフルマトリックス捕捉データセット1802から解析時間領域フルマトリックス捕捉データセット1814を計算する（1812）。

【0095】

この実施形態例では、フルマトリックス捕捉（FMC）未処理データ1802は、サン

10

20

30

40

50

プリング周波数 50 MHz で取得システムによって収集される。この周波数で収集される未処理データの解析は、不十分な精度の結果をもたらすことがある。このため、未処理データは、ステップ 1804 において 100 MHz にアップサンプリングされる。この実施形態では、取得システムは、25 MHz 未満の周波数の影響を受けやすく、データはこのレートの 2 倍で収集されるため、ナイキストサンプリング理論により、好ましくは、未処理データは 50 MHz を超える任意のサンプリングレートで再構築することができる。FMC 未処理データは 50 MHz から 100 MHz にアップサンプリングされる。

【0096】

取得システムは、12 ビット量子化方式を介して未処理データを記憶し、正の値のみが記憶される。この実施形態では、FMC 波形は、 $2^{12} / 2 = 2048$ でセンタリングされる。解析アルゴリズムでは、波形を 0 にセンタリングする必要がある。幾つかの実施形態では、理論的な DC オフセット値 2048 は、厳密に正確ではないことがあり、超音波プローブアレイを制御するハードウェアに固有の DC オフセットが存在するおそれがある。実験により、現実可能な限り近いゼロ値を得るために用いられる正しい DC オフセット値を示すことができ、特定のハードウェアを用いる幾つかの実施形態では、値は 2058 である。したがって、DC オフセット 2058 が各 FMC 波形から減算される。DC オフセットの厳密な値は、理論値からの他のずれを計上するように変更することができるユーザー構成可能なパラメーターとすることができる。ステップ 1806 において、DC オフセットが減算される。

【0097】

フルマトリックス捕捉データ内の不要周波数内容が時に、様々なノイズ寄与に起因して存在することがある。これらの周波数は、ステップ 1808 において、デジタルソフトウェアフィルターの利用を通して減衰させることができる。ステップ 1810 において、Matlab (登録商標) ソフトウェアアプリケーションでのフィルタービルダー (Filter builder) プログラムから導出されるパラメーター等のソフトウェアフィルタリング係数をフィルタリングプロセスで指定することができる。

【0098】

強度を検査媒質内のポイントに割り当てるには、解析時間領域信号のフルマトリックスデータセットが必要である。取得システム 1802 のフルマトリックスデータセット出力は、RF データセット (解析時間領域信号の実数部) を含む。ステップ 1812 において RF データセットから解析時間領域信号 1814 を計算するには、RF データセットのヒルベルト変換が計算され、虚数 i で乗算され、RF データセットに追加される。

【0099】

システムの一実施形態例で用いられる関数の詳細な説明は、説明の末尾の表 A1 に記載される。

【0100】

アパーチャフォーカスシフト法 (SFM)

事前処理 1704 が行われると、アパーチャフォーカスシフト法 (SFM) が、ステップ 1706 において、事前処理されたデータに適用される。アパーチャフォーカスシフト法は、フルマトリックス捕捉未処理データを所与として、強度マップを出力することを目的とするアルゴリズムである。OD 強度マップを求める SFM の演算は図 20 のフローチャートに示される。事前処理された FMC データ 2004 は、実施形態又は処理のユーザー定義のパラメーターに応じて、最初に正規化されてもよく、又はされなくてもよい。正規化する決定は、ステップ 2010 において下される。データ 2004 を正規化すべき場合、ステップ 2012 において、更に後述するように、予め定義されるか、又はユーザーによって設定される OD 正規化パラメーター 2006 に基づいて正規化が行われる。次に、正規化されたデータ又は正規化されないデータを用いて、ステップ 2014 において、更に後述するように検査座標移動時間を計算し、OD 撮像パラメーター 2002 に基づいて、ステップ 2016 において計算される強度座標を考慮に入れることができるプロセス。ステップ 2018 において、現在の検査座標での強度が計算される。ステップ 2020

において、検査座標及び各強度は記憶される。ステップ2022において、アルゴリズムは、高強度座標周囲を更にフォーカスすることができ、そうする場合、ステップ2016において強度座標が計算され、ステップ2014～2022の反復ループが作られる。アルゴリズムは、このプロセスを通して1回又は複数回反復されると、再フォーカスを停止し、OD強度マップ2008を出力する。これらの様々なステップについて後述する。

【0101】

アパーチャフォーカスシフト法は、トータルフォーカス法(TFM: Total Focusing Method)の一変形である。トータルフォーカス法は、音が速度cで移動する単一の媒質内で撮像する既知の技法である。

【0102】

アパーチャフォーカスシフト法では、まず、アレイ内の設定された数の近傍要素に広がる固定幅アパーチャa内の各送信要素i及び各受信要素jの関数 $g(i, j)(t)$ を合算することにより、強度関数が、スキャンエリア内の各点rについて計算される。(幾つかの実施形態では、画定されるアパーチャの幅はユーザー構成可能とすることができる)。超音波要素i210及びj212はアパーチャaに属する。 $g(i, j)(t)$ は、時間tにおいて送信機i210から受信機j212への解析時間領域信号のデータセットの振幅である(超音波送受信アレイデータのフルマトリックスが取得されるため、 $g(i, j)(t)$ があらゆるi及びjについて定義されることに留意する)。i210は、括弧で囲まれて、それ自体を送信機として表し、一方、j212は括弧がないまま残されて、それ自体を受信機として表す。rでの強度は、

【数19】

$$I(r, a) = \left| \sum_{i, j \in a} g(i, j) \left(t = \frac{|e_{(i)} - r| + |e_j - r|}{c} \right) \right| \quad (\text{式2})$$

として定義される。但し、rは座標原点に対する点rを定義するベクトルであり、 $e_{(i)}$ は、座標原点に対して送信機iの位置を定義するベクトルであり、 e_j は座標原点に対して受信機jの位置を定義するベクトルであり、cは光速である。

【0103】

トータルフォーカスは、画像エリア14内のあらゆるポイントについて上記を計算することによって達成される(rは変更される)。I(r, a)がrの近傍値間であまり変わらないように、互いに十分に近い1組の点にわたりrを変更することにより、位置rでの強度I(r, a)の画像ピクセルを用いて、検査媒質の画像を形成することができる。この画像は強度マップと呼ばれる。

【0104】

アパーチャフォーカスシフト法での次のステップは、アパーチャaをアレイに沿ってシフトさせ、新しいアパーチャで同じ計算を再び実行することである。各アパーチャの強度が計算された後、最高のそのような強度値を用いて、強度マップでの点rの強度を表す。したがって、TFMは、強度値をrに割り当てる際に異なるアパーチャからの強度をいかに関連付けるかという問題に対処する。多くの場合、表面は、どのアパーチャに最もよく音を反射するかを変更するリフレクターを含む。例えば、或るリフレクターは、アパーチャ $a_1 \sim a_6$ に音をよく返すことができ、一方、別のリフレクターは、アパーチャ a_3 のみに音をよく返すことができる。しかしながら、表面を撮像するに当たり、リフレクターは、個々のリフレクターが音をいくつかのアパーチャに向けてよく返すかに関係なく、等しい強度で撮像されるべきである。これは、表面を撮像する際の強度の均等性の増大に繋がる。このために、I(r)は、アパーチャaAに関してrで計算された1組の強度のrでの最大強度として定義される。I(r)は、

【数 20】

$$I(r) = \max_{a \in A} \{I'(r, a)\} \quad (\text{式 3})$$

として定義される。

【0105】

S F Mルーチンの実施は、対応する強度が評価される多くの座標がある場合、非常に計算集約的になることがある。検査仕様を満たす適切な密度でフォーカスしながら、考慮される座標数を制限するには、フォーカス戦略の入念な実施が必要であることがある。幾つかの実施形態で利用される戦略は、まず、検査エリアにあるコース格子上の座標の強度を計算することである。

10

【0106】

システムの一実施形態例で用いられるOD撮像パラメーターの詳細な説明は、説明の末尾の表A2に記載される。システムの一実施形態例で用いられるS F M関数の詳細な説明は、説明の末尾の表A3に記載される。

【0107】

F M Cデータ正規化

トータルフォーカス法及びアパーチャフォーカスシフト法（並びに後述する、更なる変形である内部フォーカス法）は、ビーム正規化を用いることができる。アレイに直交する方向から離れる角度でのビーム操舵は、個々の要素が全方向性である場合に最適化することができる。ビーム拡散全方向性をエミュレートするために、撮像に補正係数を導入することができる。この方法に伴う潜在的な問題は、値を $I(r, a)$ に割り振る場合、 $g(i)_j(t)$ で見つけられる信号が r の方向に配置されると仮定することである。これは、小さな物体を撮像しようとする場合には大きな関心の問題ではないことがあるが、表面を撮像する場合、これは格子の増幅に繋がることがある。増幅した格子は、真の表面と格子とが重なる画像のエリアでの信号対雑音比を低減させる。ビーム拡散を正規化する、本明細書に提示される方法は、 $g(i)_j(t)$ 、 $|g(i)_j(t)|$ の包絡線が任意の定数に等しいピーク（複数の場合もある）を有するように、 $g(i)_j(t)$ の実数部及び虚数部で見つけられる波束を正規化することである。簡単にするために、この例では、この定数は1に等しい。したがって、 $g(i)_j(t)$ が波束 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ を含み、 $|g(i)_j(t)|$ がピーク $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ を有する場合、 $|g(i)_j(t)|$ のピークを1に正規化するために、波束 W は $\{P_1^{-1}, P_2^{-1}, \dots, P_n^{-1}\}$ によってスケールされる。 $g'(i)_j(t)$ は、正規化された波束を有する $g(i)_j(t)$ を示すものとする。図15及び図16は、解析時間領域信号正規化のこの概念を示す。図15でのAスキャンデータ1500は、第1のピーク1506及び第2のピーク1508を示す実数部1502を有する。信号の包絡線1504は、第2のピーク1508よりも第1のピーク1506のものが高い。上述したように波束正規化を適用した後、正規化されたAスキャン1600を図16に示す。Aスキャンの実数部1602は、同じ定数値に正規化された第1のピーク1606及び第2のピーク1608の包絡線1604を有した。

20

30

40

【0108】

S F M再フォーカス

ステップ2022において、予め設定されるか又はユーザー定義されるパラメーターに応じて、S F Mサブルーチンは終了して、強度マップ2008を境界検出サブルーチンに出力するか、又はステップ2016において、対応する強度を計算する新しい座標を定義することに進む。新しい座標の定義に進む場合、新たに定義される座標が、高強度が既に割り当てられた座標の周囲に位置決めされる。新たに定義される座標が周囲でフォーカスされる座標の遮断強度は、予め定義されるベクトルによって定義することができる。新しい座標が定義されると、潜在的にユーザー定義のパラメーターに応じて、S F Mサブルーチンは、終了するか、又は高強度の座標周囲への更なるフォーカスに進む。高強度座標を

50

識別し、次に、高強度座標周囲に再フォーカスするプロセスは、任意の回数分実行することができ、幾つかの実施形態では、回数はユーザーによって指定することができる。

【0109】

再フォーカスプロセスの1サイクル(ステップ2014~2022)を図19に示す。粗く離間された座標は、白い円1902又は黒い円1904のいずれかとして表される。白い円1902は、各強度が、新しい座標が定義される遮断強度未満の座標を表す。逆に、黒い円1904は、各強度が、新しい座標が定義される遮断強度を超える座標を表す。グレーの円1906は、高強度座標の周囲に新たに定義された座標を表す。グレーの円1906が座標定義及び強度割り当てプロセスの $i+1$ 回の反復で定義される場合、 x 軸1908及び z 軸1910を有する図19で示される例では、 $d_x(i)/d_x(i+1) = d_z(i)/d_z(i+1) = 4$ である。

10

【0110】

強度マップ

パイプ2のOD(外面)の強度マップ例を図12に示す。OD強度マップ50は、図11と同じ平面内でマッピングされ、スキャンの深さ28を垂直軸として有し、縦軸4に沿った軸方向位置30を水平軸として有する。OD強度マップ50での高強度OD領域32は、現在の送受信サイクル中のプローブアレイ200の半径方向位置での軸方向でのパイプ外面の形状を示す。

【0111】

境界の認識及び画定

20

OD強度マップ50は、それ自体で、又は別個の送受信サイクルからの近傍強度マップと併せて更に処理して、パイプ外面のモデルを構築することができる。図17に示される実施形態例では、ステップ1708において、境界認識が実行され、次に、ステップ1710における境界の画定が続く。

【0112】

境界の認識は以下のように実行される。OD座標の強度マップ(幾つかの実施形態では、疎な座標に記憶される)又は対応する境界認識パラメーターとともにID座標の強度マップを所与として、境界認識アルゴリズムは表面境界を出力する。

【0113】

境界の認識及び画定は、OD/IDの真の境界(画像での収差のエッジではない)を画定するとともに、1組の座標の形態で境界を抽出することを目的とする。このタスクの達成に用いられるアルゴリズム及びツールは、コンピュータービジョンの分野で共通する問題であり、強度マップを所与として、任意の数のアルゴリズムを利用し、表面の境界を認識し画定することができる。

30

【0114】

幾つかの実施形態では、これらのタスクに用いられるツールは、ロバストエッジ検出アルゴリズム、様々な形態演算、及び強度マップの高強度領域の潜在的な境界への関連付けである。これらのツールについて詳細に後述する。

【0115】

一般に、画像は $A = f(m, n)$ によって与えられる。但し、ピクセル (m, n) は画像の m 行目及び n 列目に配置される。 m 及び n は両方とも整数の集合 Z の要素である。 f は、 $f: Z^2 \rightarrow R$ であるように実数(集合 R の要素)を出力する関数である。 $f(m, n)$ を0又は1のいずれかの値に制限する場合、画像 $f(m, n)$ は2値画像と呼ばれる。

40

【0116】

境界の認識及び画定に用いられるアルゴリズム例

本明細書の以下の部分は、続くサブセクションにおいて定義されるより高レベルの演算についての基礎をなす、画像に対する幾つかの基本的な集合演算を定義する。まず、並進演算及び反射演算を紹介する。画像 A では、 $x = (p, q)$ による A の並進は A で表され、

【数 2 1】

$$A_x = \{f(m+p, n+q) \mid f(m, n) \in A\} \quad (\text{式 4})$$

として定義される。

【数 2 2】

$$\hat{A}$$

で示される反射演算は、

【数 2 3】

$$A = \{f(-p, -q) \mid f(p, q) \in A\} \quad (\text{式 5})$$

として与えられる。

【0 1 1 7】

さらに、及びによってそれぞれ表される基本的な和集合演算子及び共通集合演算子が紹介される。2つの画像 $A = f(m, n)$ 及び $B = g(m, n)$ の和集合は、

【数 2 4】

$$A \cup B = \{\max(f(m, n), g(m, n)) \mid f(m, n) \in A, g(m, n) \in B\} \quad (\text{式 6})$$

として定義される。但し、2つの画像 A 及び B の共通集合は、

【数 2 5】

$$A \cap B = \{\min(f(m, n), g(m, n)) \mid f(m, n) \in A, g(m, n) \in B\} \quad (\text{式 7})$$

として定義される。

【0 1 1 8】

同じ値を共有する隣接画像の領域は、連結成分として識別される。接続性の異なる手段があるが、ここで説明される実施形態例は、8接続のピクセルを考慮する。任意の2つのピクセルが互いに隣接する（対角線上での隣接を含む）場合、それらの2つのピクセルは8接続であると見なされる。

【0 1 1 9】

膨脹及び収縮

画像の連結成分をラベル付けする異なるアルゴリズムが存在する。一般に、画像 A を所与として、新しい画像 B は、そのピクセルの値が画像 A において連結成分のラベルであるように定義することができる。所与の対象画像 A の場合、「構造化要素」と呼ばれる構造化集合 B は、膨脹演算又は収縮演算のいずれかとともに用いられて、対象画像を変更する画像である。

膨脹演算は、

【数 2 6】

$$A \oplus B = \{x \mid \hat{B}_x \cap A \neq \emptyset, x = (m, n), m, n \in Z\} \quad (\text{式 8})$$

効率的には、膨脹演算は、原点を中心として B を反射させ、次に x だけシフトすることによって画像 A を拡大する。一方、収縮は、

【数 2 7】

$$A \ominus B = \{x \mid B_x \cap A = B, x = (m, n), m, n \in Z\} \quad (\text{式 9})$$

として定義される。

【0 1 2 0】

収縮は、 B が x だけ並進し、 A との共通集合がとられる場合、 B に等しい A での1を保存する。収縮は、原点でセンタリングされた画像 B を所与として、画像から境界1をトリミングする効果を有する。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 1 】

図 2 4 及び図 2 5 は、図 2 2 に与えられる画像に対してそれぞれ実行される膨脹演算及び収縮演算を示す。膨脹演算及び収縮演算で用いられる構造化要素は、図 2 3 に与えられる、原点でセンタリングされた 5×5 マトリックスである。

【 0 1 2 2 】

エッジ検出

エッジ検出は、当該技術分野で既知のエッジ検出アルゴリズムを用いて実行することができる。最も普及しており、ロバストで、多様性のある、用いられるエッジ検出器の 1 つは、キャニーエッジ検出器である。この検出器について詳細に後述する。

【 0 1 2 3 】

キャニーエッジ検出での第 1 のステップは、入力画像を平滑化することである。この平滑化の目的は、ノイズと、不要な細部及びテクスチャを低減することである。平滑化プロセスは、2 次元ガウス関数を用いる画像の重畳を介して実行される。画像が $f(m, n)$ によって与えられ、ガウス関数が $G(m, n)$ によって与えられる場合、重畳は、

【 数 2 8 】

$$g(m, n) = f(m, n) * G(m, n) \quad (\text{式 1 0})$$

によって与えられる。

【 0 1 2 4 】

ここで用いられる特定の 2 次元ガウス関数は、

【 数 2 9 】

$$G(m, n) = A e^{-\left(\frac{m^2}{2\sigma_m^2} + \frac{n^2}{2\sigma_n^2}\right)} \quad (\text{式 1 1})$$

の形態である。式中、 σ_m 及び σ_n は、垂直方向及び水平方向それぞれのガウス関数の分散である。キャニーエッジ検出の従来の実施では、 $\sigma_m = \sigma_n$ であり、式 1 1 のより単純な形態をもたらす。しかしながら、ここで説明される実施形態例では、垂直ピクセルの間隔と水平ピクセルの間隔とは必ずしも同じであるわけではない。例えば、垂直方向において互いに隣接するピクセルは、 0.01 mm 離れた位置を表すことがあり、一方、水平方向において互いに隣接するピクセルは、 0.015 mm 離れた位置を表すことがある。したがって、ガウス関数が、ピクセルの実際の位置に対して楕円形状とは対照的に円形（垂直方向又は水平方向のいずれか一方に伸びていない）である重畳プロセスで用いられる場合、垂直ピクセルの間隔と水平ピクセルの間隔とが異なるとき、 σ_m は σ_n に等しくない。垂直方向でのピクセルの間隔が、水平方向でのピクセルの間隔の c 倍である係数である場合、 $\sigma_m = \sigma_n / c$ である。

【 0 1 2 5 】

エッジ検出プロセスでの第 2 のステップは、重畳画像 $g(m, n)$ の勾配を計算することである。 $g(m, n)$ は離散関数であり、一般に非解析的であるため、 $g(m, n)$ の勾配を近似する演算子 $\nabla g(m, n)$ が開発された。これらの演算子の詳細については本明細書では説明しない。上述した演算子のうちの任意の演算子を利用することにより、 $g_m(m, n)$ 及び $g_n(m, n)$ が生成され、これらの画像は垂直勾配近似及び水平勾配近似を含む 2 つの画像である。したがって、 $\nabla g(m, n)$ の大きさ及び方向は $M(m, n)$ 及び $\theta(m, n)$ として表すことができる。但し、

【 数 3 0 】

$$M(m, n) = \sqrt{g_m(m, n)^2 + g_n(m, n)^2} \quad (\text{式 1 2})$$

10

20

30

40

【数 3 1】

$$\theta(m, n) = \arctan\left(\frac{g_m(m, n)}{g_n(m, n)}\right) \quad \text{式 (13)}$$

ステップ3は、極大となる $M(m, n)$ でのピクセルを計算することである。これを行うために、ピクセル (m, n) ごとに、方向 (m, n) に直交する2つの最近傍のピクセルが考慮される。これらのピクセルでの M の値が両方とも、 $M(m, n)$ の値よりも低い場合、 (m, n) は極大であると見なされる。 $M(m, n)$ での全ての極大の集合は、

【数 3 2】

$$\tilde{M}(m, n)$$

10

として示される。

【0 1 2 6】

ステップ4は、2つの実数 τ_1 及び τ_2 のそれぞれの関数として2つの2値画像を定義することであり、但し、 $0 < \tau_1 < \tau_2 < \max M(m, n)$ である。 $\max M(m, n)$ は $M(m, n)$ の最大値に等しい。

【数 3 3】

$$\tilde{M}\tau^1(m, n)$$

及び

20

【数 3 4】

$$\tilde{M}\tau^2(m, n)$$

は、 τ_1 及び τ_2 のそれぞれよりも大きい

【数 3 5】

$$\tilde{M}(m, n)$$

の値を含む画像として定義される。したがって、

【数 3 6】

$$\tilde{M}\tau^i(m, n) = \begin{cases} 1 & \text{if } \tilde{M}(m, n) > \tau_i \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}, i = 1, 2$$

30

である。

【0 1 2 7】

最後のステップ(ステップ5)は反復プロセスである。 E_j は、プロセスの j 回の反復で出力される、エッジを含むブール画像である。 F_j は、 E_j において値1を有するピクセル及び

【数 3 7】

$$\tilde{M}\tau^1(m, n)$$

40

において値1を有するピクセルに(8接続様式で)隣接するピクセルの共通集合である。

【0 1 2 8】

$j = 1$ E_1 を

【数 3 8】

$$\tilde{M}\tau^2(m, n)$$

として設定する。反復計算を開始する。 E_j と F_j との和集合が E_j に等しい場合、アルゴリズムは終了し、 E_j をキャニー検出エッジとして出力する。等しくない場合、 E_j は E_j と F_j との和集合として定義され、 j は増分される。次に、アルゴリズムはループし

50

、 E_j と $E_j \cup F_j$ とが等しくなるまで、 E_j と $E_j \cup F_j$ とが等しいかテストする。アルゴリズムは、 E_j が $E_j \cup F_j$ の和集合と等しくなると E_j を出力する。

【0129】

これは、以下のように疑似コードで表すことができる。

【数39】

$j = 1$

$E_j := \tilde{M}\tau^2(m, n);$

While $E_j \cup F_j \neq E_j$ do

$E_j := E_j \cup F_j;$

$j = j + 1$

end

output E_j

10

【0130】

図26aは1組の硬貨の画像を示し、一方、図26bは、キャニーエッジ検出を用いて処理されたこの画像を示す。

【0131】

細線化

20

細線化アルゴリズムを境界検出に用いることもできる。画像内の連結成分を各自の細線表現に低減することは、データ圧縮、単純な構造解析、及び輪郭歪みの除去等の幾つかの有用な用途を有する。一実施形態例で用いられる1つの反復的細線化が本明細書において提示される。 、 、 及び - の記号は論理積演算、論理和演算、及び否定演算をそれぞれ表す。

【0132】

画像 $A = f(m, n)$ を所与として、細線化アルゴリズムでの第1のステップは、画像を碁盤目状に2つのサブフィールドに分けることである。次に、アルゴリズムは並列手法を用い、並列手法では、画像に対する効果がなくなるまで、以下の2つの部分反復が並列して繰り返し実行される。

30

【0133】

第1の部分反復は、条件 G_1 、 G_2 、及び G_3 が全て満たされる場合のみ、碁盤目状にピクセル p を削除することである。

【0134】

第2の部分反復は、条件 G_1 、 G_2 、及び G_3' が全て満たされる場合のみ、碁盤目状にピクセル p を削除することである。条件 G_1 、 G_2 、及び G_3' は以下のように列挙される。

条件 G_1 は以下である。

【数40】

$X_H(p) = 1$

但し

$X_H(p) = \sum_{i=1}^4 b_i$

かつ

$b_i = [(1 \text{ if } x_{2i-1} = 0 \wedge (x_{2i-1} = 1 \vee x_{2i+1} = 1), (\text{その他の場合} 0))]$

40

x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_8 は、それぞれが東側の近傍から開始され、東南側の近傍に達するまで逆時計回りに付番された、 p の8つの隣接の値である。

条件 G_2 は以下である。

50

【数 4 1】

$$2 \leq \min\{n_1(p), n_2(p)\} \leq 3$$

但し

$$n_1(p) = \sum_{i=1}^4 x_{2k-1} \vee x_{2k}$$

$$n_2(p) = \sum_{i=1}^4 x_{2k} \vee x_{2k+1}$$

条件 G_3 は以下である。

【数 4 2】

$$(x_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_3) \wedge x_1 = 0$$

条件 G_3' は以下である。

【数 4 3】

$$(x_6 \vee x_7 \vee \bar{x}_4) \wedge x_5 = 0$$

【0 1 3 5】

図 2 7 a は細線化なしの 2 値画像を示す。図 2 7 b は、細線化アルゴリズムが適用された後の同じ画像を示す。

【0 1 3 6】

接合部の識別

ピクセルが 2 値画像での線の接合点であるか否かをテストするアルゴリズムを適用することもできる。ピクセル p の 3×3 近傍を所与として、 p は、 p の周縁を移動する際、0 と 1 との間の遷移数が 6 又は 8 である場合のみ、線の接合部である。図 2 8 a は線の接合部を与え、図 2 8 b はこの接合部をズームインし、その 3×3 近傍を示す。図 2 8 a から、接合部が 0 と 1 との間の 6 回の遷移を有することが明らかである。したがって、接合部識別の基準が満たされる。

【0 1 3 7】

OD 境界及び ID 境界の認識及び画定の実施態様

実施形態例において OD 強度マップ又は ID 強度マップから OD 境界又は ID 境界を抽出するのに利用されるアルゴリズムは、前サブセクションにおいて紹介された多くのツールを利用することができ、ツールの使用を超音波スキャンの特定の領域に向けて適合させることができる。

【0 1 3 8】

OD / ID 強度マップから真の OD / ID 境界を抽出する第 1 のステップは、強度マップの垂直方向において (アレイ 2 0 0 に近い側で) 最大強度ピクセルの近傍及び最大強度ピクセルの上にある、キャニーエッジ検出によって検出された境界を識別することを含む。強度マップを所与として、真の境界を抽出することができる。生じる第 1 の問題は、強度マップにおいて高強度ピクセルの近傍ピクセル及び周囲のピクセルを所与として、境界の厳密な座標がどこにあるかである。所与の強度マップ (図 3 0 等) から、真の境界が存在する可能性がある比較的広い領域の高強度ピクセレーションがあることを観測することができる。この問題に答えるために、A スキャンから距離を計算する方法を強度マップに拡張する。A スキャンから超音波が媒質内を移動した距離を計算するには、送信機励起から、受信した波束の立ち上がりエッジまでの時間を、媒質内の音速で乗算する。送信機励起から、受信した波束の立ち上がりエッジまでの移動時間 (特定のデジタル化周波数でのサンプル数単位) は、図 2 9 において符号 2 9 0 2 で示される。強度マップの形成は、式 2 に従って、解析時間領域信号の値 (A スキャンとともに、そのヒルベルト変換) を強度マップの点にマッピングすることを含む。A スキャンの波束の立ち上がりエッジは強度マップ境界の立ち上がりエッジにマッピングされ、ここで、強度マップ境界の立ち上がりエッジは、プローブアレイ 2 0 0 の近傍側でのエッジとして定義される。したがって、OD

10

20

30

40

50

/ I D境界は、強度マップ境界の立ち上がりエッジから導出される。

【 0 1 3 9 】

生じる第2の問題は、強度マップに存在する撮像収差（回折ローブ又は複数の後壁反射等のメカニズムに起因して現れる特徴）の潜在性がある状態で、真のOD / I D境界をプログラマ的にいかに識別するかである。画像内のエッジの図30では、真の境界は、回折又は後壁反射に起因する収差のエッジとは対照的に、高強度領域に最も近いエッジの境界である。画像の任意の垂直スライスを取る場合、真の境界は、そのスライスでの最大強度ピクセルに交差する真上で、この垂直スライスに交差する。これらの観測は、垂直方向において最高強度ピクセルの近傍及び最高強度ピクセルの上にあるエッジの識別を通して真の境界エッジを分離する、境界検出アルゴリズムの第1のステップを動機付ける。図30 10
に与えられるような所与の強度マップの場合での、強度マップのエッジ及び垂直方向での最大強度ピクセルを図31にプロットする。真の境界エッジは、高強度ピクセルの近傍又は高強度ピクセルの上にある境界エッジであり、それらは図32にプロットされる。

【 0 1 4 0 】

利用される上述した方法のみを通してのOD / I D境界の識別は、改善が可能な結果をもたらすことがある。幾つかの実施形態では、追加の技法を用いて、上述した方法を介して画定される境界での誤差をなくすることができる。

【 0 1 4 1 】

収差は、真の境界よりも高強度の内容を有することがあり、真のOD / I D境界の誤った識別に繋がるおそれがある。しかしながら、これらの収差のサイズが小さい場合、膨脹及び細線化の演算を、連結成分のサイズの比較とともに利用して、上述したアルゴリズムから抽出された境界画定から誤ったエッジを除去することができる。境界検出アルゴリズムでのこの段階での誤ったエッジの除去は、3つのステップ、すなわち、境界候補の膨脹、膨脹した境界の細線化、及び小さな連結成分のトリミングを介して実行することができる。 20

【 0 1 4 2 】

誤ったエッジの除去

図33～図36は、誤ったエッジを除去するアルゴリズム例の実行における様々な段階での境界を与える。上に与えられたアルゴリズムから出力される元の境界を図33に示す。真の境界よりも下にある収差での高強度内容に起因して、出力境界は誤りを含む。これは、出力された境界の小さな領域が収差の上に現れるという点で明らかである。図34は、膨脹演算が、矩形構造化要素を用いて実行された後の境界を示す。境界があるべき位置（図33）の小さなギャップが除去されている。境界の細線化は、境界を所望の幅に再び低減する。細線化された境界を図35に示す。最後に、境界ピクセルの比較が実行される。強度マップの任意の垂直スライスに交差する2つ以上の境界ピクセルがある場合、（考慮中のピクセルの）最大サイズの連結成分に属するピクセルのみが保存される。残りは除去される。これは、誤った境界ピクセルを除去するように機能する。図36は、誤ったピクセルが除去された境界を与える。 30

【 0 1 4 3 】

エッジ接合部の除去

膨脹演算及び細線化演算は、上記で定義されたような線接合部を導入するおそれがある。境界検出アルゴリズムのこの時点において、画定された境界に接合部がなくなるまで、上述したように接合部を除去することができる。これは、後述するアルゴリズムを介して実行される、より多くの誤ったエッジを除去するために境界を準備する目的に適う。 40

【 0 1 4 4 】

図37はI D強度マップ画像を与える。エッジ検出アルゴリズム、膨脹アルゴリズム、及び細線化アルゴリズムは、図38に与えられる境界を与える。図38において丸が付けられた境界の接合エリア3802は、誤りとして除去される境界上及び境界の周囲を明らかにする。この接合エリア3802は、図39では拡大して示される。図40は、接合部が除去された境界の接合エリア3802を示す。 50

【 0 1 4 5 】

連結成分の下部の除去

エッジ検出プロセスの次のフェーズは、連結成分の下部の除去である。連結成分の下部の除去は、連結成分の下部ピクセルの除去からなる。連結成分の下部ピクセルは、同じ連結成分内の或る他のピクセル（複数の場合もある）と同じx成分を有するが、より大きなz成分値を有する（大きなz成分値を有するピクセルほど強度マップのより下に現れることを想起する）、或る連結成分内のピクセルとして本明細書では定義される。図41は、連結成分の下部が除去された図40の境界を示す。

【 0 1 4 6 】

小さな連結成分の除去

誤ったエッジの小さな連結成分がなお、強度マップに残っていることがある。これらのエッジの除去は、画定される境界の精度を増大させる。強度マップの垂直ストリップごとに、2つ以上の連結成分がこのスライスに交差する場合、最大の成分のみが強度マップに保存される。図42は、小さな連結成分が除去されたエッジ境界を示す。この画像は、図37に示される強度マップの真のエッジ境界の識別においてこれまでの中で最も正確である。

【 0 1 4 7 】

連結成分の水平端部の近似

強度マップは、超音波未処理データから形成される。境界の両端部近くの使用可能な超音波未処理データの低減は、高強度内容の細線化に繋がる。キャニーエッジ検出プロセスを用いて、これらのエリアでの真の境界を特定することは、実際には真の境界が平坦であるのに、エッジが高強度内容周囲に曲線で出力されることがあるため、真のOD/ID境界の不良な特定に繋がる。図43は、キャニーエッジ検出器4302からのエッジ出力を赤で示す。実際に、強度が先細りするエリア4304において規定される曲率は非常に大きく、真の境界を画定するよい働きをしない。強度内容が先細りするエリアにおいて境界を画定するよりよい方法は、（垂直寸法における）最大強度ピクセルの曲率を用いて、真の境界の曲率を近似することである。図43は、最大強度ピクセル4306（黒）が、真の境界の形状を近似するよい例を提供する。この場合での真の境界は平板である。

【 0 1 4 8 】

したがって、検出されたエッジの端部近くの境界の曲率は、検出されたエッジと、最大強度のピクセルとを両方とも含む強度マップの垂直ストリップでの最大強度ピクセルの曲率によって近似される。この近似は、膨脹した場合、最大強度のピクセルが全て互いに接続される（すなわち、最大強度のピクセルが、同じ連結成分に属する）ときにのみ実行される。次に、最大強度ピクセルの座標を、検出されたエッジの側に近い最大強度のピクセルが、検出されたエッジに水平に隣接して接続されるように垂直に並進させる。

【 0 1 4 9 】

境界補間

真の境界エッジが画定されない真の境界の画定間のエリアでは、真の境界エッジと一緒に接続されるように、真の境界を補間することができる。これは、境界画定プロセスの最後のステップである。図44は、境界をいかに補間することができるかを示す。エッジ検出プロセスから抽出された境界セグメント4402間のエリアは、直線4404で接続される。

【 0 1 5 0 】

境界を認識し画定するアルゴリズム例の順次演算を図45のフローチャートに示す。強度マップ4502は、エッジ検出4504、エッジの膨脹4506、膨脹したエッジの細線化4508、誤ったピクセルのトリミング4510、エッジ接合部除去4512、連結成分の下部の除去4514、小さな連結成分の除去4516、及び水平端部近似4518を含む一連の画像処理アルゴリズムを受け、最後に、計算され補間された以前の演算の結果を含む総合境界4520を出力する。

【 0 1 5 1 】

境界認識データフロー全体を示す包括的なフローチャートを図 6 9 に与える。システムの実施形態例で用いられる境界認識パラメータの詳細な説明は、説明の末尾の表 A 4 に記載される。システムの実施形態例で用いられる境界認識関数の詳細な説明は、説明の末尾の表 A 5 に記載される。

【 0 1 5 2 】

内部フォーカス法 (I F M)

アパーチャフォーカスシフト法 (S F M) のような内部フォーカス法 (I F M) は、フルマトリックス捕捉未処理データ及び O D 境界表面の平滑化近似を所与として、強度マップ (強度が対象検査座標に割り当てられた画像) を出力することを目的とするアルゴリズムである。

10

【 0 1 5 3 】

O D 強度マップが特定され、O D 表面モデルが高強度 O D 領域 3 2 から特定されると、フェルマーの原理をパイプ内面のモデル詳細にも同様に適用することができる。フェルマーの原理は、トータルフォーカスを、媒質界面 (例えば、図 1 0 の曲線 K 1 0) を超えて拡張させるツールの 1 つであり、内部フォーカス法 (I F M) と呼ばれる技法である。

【 0 1 5 4 】

理論 1 (フェルマーの原理の近代版) は、音が、点 p での点源エミッタから別の点 q までにとる経路が、経路の移動にかかる時間が静止値 (すなわち、最小点、最大点、又は屈折点) であるようなものであることを述べる。

【 0 1 5 5 】

20

上記 (式 2) で示される強度式を、媒質界面を超えるエリアに拡張することは、式中の時間 t を、経路が媒質界面で屈折を受ける同等の移動経路時間で置換することを含む。フェルマーの原理 (理論 1) は、これらの時間を解くに当たり適用することができる。

【 0 1 5 6 】

K は区分的な平滑であるため、 T_{ir}^K (K) は、有限数の静止値を有する。これらの静止値は $t_{ir}^{K'}$ 、 $t_{ir}^{K''}$ 、 $t_{ir}^{K'''}$ 、 $t_{ir}^{K^{(4)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(5)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(6)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(7)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(8)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(9)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(10)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(11)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(12)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(13)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(14)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(15)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(16)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(17)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(18)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(19)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(20)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(21)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(22)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(23)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(24)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(25)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(26)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(27)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(28)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(29)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(30)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(31)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(32)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(33)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(34)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(35)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(36)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(37)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(38)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(39)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(40)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(41)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(42)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(43)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(44)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(45)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(46)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(47)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(48)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(49)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(50)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(51)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(52)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(53)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(54)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(55)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(56)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(57)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(58)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(59)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(60)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(61)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(62)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(63)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(64)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(65)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(66)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(67)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(68)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(69)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(70)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(71)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(72)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(73)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(74)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(75)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(76)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(77)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(78)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(79)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(80)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(81)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(82)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(83)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(84)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(85)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(86)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(87)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(88)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(89)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(90)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(91)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(92)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(93)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(94)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(95)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(96)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(97)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(98)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(99)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(100)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(101)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(102)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(103)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(104)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(105)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(106)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(107)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(108)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(109)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(110)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(111)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(112)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(113)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(114)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(115)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(116)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(117)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(118)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(119)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(120)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(121)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(122)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(123)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(124)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(125)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(126)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(127)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(128)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(129)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(130)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(131)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(132)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(133)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(134)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(135)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(136)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(137)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(138)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(139)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(140)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(141)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(142)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(143)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(144)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(145)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(146)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(147)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(148)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(149)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(150)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(151)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(152)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(153)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(154)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(155)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(156)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(157)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(158)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(159)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(160)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(161)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(162)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(163)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(164)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(165)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(166)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(167)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(168)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(169)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(170)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(171)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(172)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(173)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(174)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(175)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(176)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(177)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(178)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(179)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(180)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(181)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(182)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(183)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(184)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(185)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(186)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(187)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(188)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(189)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(190)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(191)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(192)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(193)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(194)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(195)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(196)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(197)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(198)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(199)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(200)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(201)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(202)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(203)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(204)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(205)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(206)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(207)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(208)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(209)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(210)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(211)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(212)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(213)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(214)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(215)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(216)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(217)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(218)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(219)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(220)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(221)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(222)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(223)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(224)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(225)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(226)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(227)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(228)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(229)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(230)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(231)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(232)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(233)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(234)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(235)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(236)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(237)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(238)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(239)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(240)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(241)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(242)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(243)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(244)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(245)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(246)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(247)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(248)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(249)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(250)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(251)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(252)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(253)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(254)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(255)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(256)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(257)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(258)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(259)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(260)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(261)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(262)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(263)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(264)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(265)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(266)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(267)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(268)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(269)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(270)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(271)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(272)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(273)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(274)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(275)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(276)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(277)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(278)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(279)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(280)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(281)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(282)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(283)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(284)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(285)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(286)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(287)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(288)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(289)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(290)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(291)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(292)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(293)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(294)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(295)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(296)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(297)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(298)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(299)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(300)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(301)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(302)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(303)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(304)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(305)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(306)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(307)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(308)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(309)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(310)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(311)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(312)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(313)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(314)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(315)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(316)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(317)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(318)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(319)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(320)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(321)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(322)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(323)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(324)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(325)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(326)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(327)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(328)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(329)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(330)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(331)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(332)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(333)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(334)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(335)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(336)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(337)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(338)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(339)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(340)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(341)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(342)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(343)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(344)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(345)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(346)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(347)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(348)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(349)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(350)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(351)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(352)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(353)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(354)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(355)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(356)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(357)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(358)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(359)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(360)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(361)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(362)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(363)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(364)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(365)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(366)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(367)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(368)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(369)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(370)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(371)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(372)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(373)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(374)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(375)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(376)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(377)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(378)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(379)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(380)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(381)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(382)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(383)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(384)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(385)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(386)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(387)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(388)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(389)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(390)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(391)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(392)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(393)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(394)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(395)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(396)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(397)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(398)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(399)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(400)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(401)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(402)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(403)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(404)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(405)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(406)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(407)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(408)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(409)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(410)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(411)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(412)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(413)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(414)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(415)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(416)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(417)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(418)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(419)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(420)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(421)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(422)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(423)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(424)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(425)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(426)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(427)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(428)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(429)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(430)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(431)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(432)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(433)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(434)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(435)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(436)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(437)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(438)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(439)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(440)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(441)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(442)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(443)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(444)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(445)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(446)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(447)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(448)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(449)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(450)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(451)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(452)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(453)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(454)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(455)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(456)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(457)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(458)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(459)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(460)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(461)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(462)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(463)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(464)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(465)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(466)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(467)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(468)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(469)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(470)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(471)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(472)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(473)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(474)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(475)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(476)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(477)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(478)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(479)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(480)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(481)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(482)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(483)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(484)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(485)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(486)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(487)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(488)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(489)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(490)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(491)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(492)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(493)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(494)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(495)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(496)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(497)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(498)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(499)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(500)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(501)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(502)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(503)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(504)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(505)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(506)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(507)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(508)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(509)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(510)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(511)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(512)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(513)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(514)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(515)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(516)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(517)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(518)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(519)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(520)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(521)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(522)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(523)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(524)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(525)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(526)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(527)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(528)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(529)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(530)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(531)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(532)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(533)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(534)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(535)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(536)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(537)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(538)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(539)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(540)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(541)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(542)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(543)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(544)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(545)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(546)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(547)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(548)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(549)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(550)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(551)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(552)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(553)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(554)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(555)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(556)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(557)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(558)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(559)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(560)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(561)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(562)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(563)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(564)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(565)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(566)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(567)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(568)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(569)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(570)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(571)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(572)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(573)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(574)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(575)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(576)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(577)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(578)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(579)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(580)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(581)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(582)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(583)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(584)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(585)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(586)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(587)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(588)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(589)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(590)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(591)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(592)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(593)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(594)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(595)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(596)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(597)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(598)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(599)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(600)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(601)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(602)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(603)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(604)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(605)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(606)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(607)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(608)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(609)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(610)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(611)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(612)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(613)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(614)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(615)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(616)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(617)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(618)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(619)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(620)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(621)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(622)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(623)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(624)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(625)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(626)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(627)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(628)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(629)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(630)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(631)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(632)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(633)}}$ 、 $t_{ir}^{K^{(63$

【数 4 6】

$$I(r, a) = \left| \sum_{i, j \in a} \sum_{t' \in T_{ij}^K(r)} g(i) j(t') \right| \quad (\text{式 6})$$

【0159】

フェルマーの原理は3次元でも有効であるため、これらの結果は3次元界面に拡張することができる。さらに、結果は、複数の媒質界面を通してフォーカスするように拡張することができ、 n 個の媒質界面は、 $n + 1$ 個の媒質を横断する音響経路を暗示する。この場合でも、フェルマーの原理を利用して、真の移動経路を解くことができる。幾つかの実施形態は、これらの技法を利用して、3つ以上の媒質を含む容積のスキャン、又は一度での平面ではない3次元スキャン等のより複雑な解析を実行することができる。

10

【0160】

IFMを適用して、図13に示されるID強度マップ等のIDスキャン平面の強度マップを作成する。ID強度マップ52が作成された後、境界認識ステップ1720及び境界画定ステップ1722が、ID境界画定1724を作成するために上述されたものと同じアルゴリズムを用いて適用される。

【0161】

IFMサブルーチンの実施は、対応する強度が評価される多くの座標がある場合、非常に計算集約的になることがある。これは、SFMサブルーチンを実施する場合と同様であり、違いは、IFMルーチンが、エリー層計算的負担が大きいことである。IFMで必要な計算の数を低減するのに用いられる手法は、SFMルーチンで利用される戦略と同一であることができる。検査仕様を満たすのに適切な密度でフォーカスしながら、考慮される座標数を制限することは、以下のフォーカス戦略を課す。まず、コース格子上の座標の強度を計算することができる。利用することができる戦略は、まず、コース格子上の座標の強度を計算することである。

20

【0162】

この時点で、ユーザー定義のパラメーターに応じて、IFMサブルーチンは終了し、強度マップを境界検出サブルーチンに出力することができるか、又は強度を割り当てる新しい座標の定義に進むことができる。新しい座標の定義に進む場合、新たに定義される座標は、高強度が既に割り当てられた座標の周囲に位置する。新たに定義される座標が周囲にフォーカスされる座標の遮断強度は、幾つかの実施形態では、ベクトル $zoomPercentage$ (表A10参照) によって定義される。新しい座標が定義されると、ここでもユーザー定義のパラメーターに応じて、SFMサブルーチンは終了することができるか、又は高強度座標の周囲を更にフォーカスすることに進むことができる。高強度座標を識別し、次に、それらの座標の周囲を再フォーカスするプロセスは、任意の回数実行することができ、ユーザーによって指定することができる。

30

【0163】

再フォーカスプロセスの1サイクルを図19に示す。粗く離間された座標は、白い円又は黒い円のいずれかとして表される。白い円は、各強度が、新しい座標が定義される遮断強度を下回る座標を表す。逆に、黒い円は、各強度が、新しい座標が定義される遮断強度を超える座標を表す。グレーの円は、高強度座標の周囲に新たに定義された座標を表す。グレーの円が座標定義及び強度割り当てプロセスの $i + 1$ 回の反復で定義される場合、図19で示される例では、 $dx(i) / dx(i + 1) = dz(i) / dz(i + 1) = 4$ である。

40

【0164】

図71は、IFMプロセスの完全なデータフローを提供する。システムの実施形態例で用いられるID撮像パラメーターの詳細な説明は、説明の末尾の表A10に記載される。システムの実施形態例で用いられるID撮像関数の詳細な説明は、説明の末尾の表A11

50

に記載される。

【 0 1 6 5 】

境界の画定及び平滑化

上述した境界認識手順から出力される境界は、ノイズの影響を受けやすいことがある。2つの主要因子がこのノイズの原因となる。第1の因子は、SFMを介して計算される強度マップでの回折等の収差の撮像に起因する。第2の因子は、強度マップ格子の量子化に起因する。誤差（ノイズ）は、状態空間の量子化により数量を定義する際に生じるおそれがある。

【 0 1 6 6 】

真の境界（OD又はID）座標の特定に際してノイズの影響を最小限に抑えるために、標準的なフィルタリング技法を利用することができる。境界認識アルゴリズムから出力された境界は、幾つかの実施形態では、2つの連続したプロセスを介してフィルタリングすることができる。入力データからノイズをなくすのに用いられる第1のフィルタは、可変ウィンドウサイズのメジアンフィルタとすることができる。これには、入力座標から高周波ノイズを除去する効果がある。用いられる次のフィルタは、サビツキーゴーレイフィルタとすることができる。このフィルタは、所与の次数の多項式を用いる非加重線形最小二乗当てはめにより入力座標を近似することによって、量子化ノイズを低減する。高い次数の多項式を利用するほど、対象となるデータ特徴を残しながら、高い平滑化が可能である。

【 0 1 6 7 】

まず、計算された境界からノイズをなくすために、メジアンフィルタを利用することができる。メジアンフィルタは、スライディングウィンドウを順次データシーケンスに対して実施し、ウィンドウの中央値を、ウィンドウ内の全ての点の中央値で置換する。そのようなメジアンフィルタは、エッジ保存特徴と結合された良好なノイズ除去の組合せについて選ぶことができる。ODアルゴリズム及びIDアルゴリズムの両方で、アルゴリズムのウィンドウ幅は、幾つかの実施形態では、ユーザーによって構成することができる。幾つかの実施形態では、ウィンドウ幅はデフォルトによって5mmに設定することができる。

【 0 1 6 8 】

パイブ溶接部キャップの下の腐食した領域は、潜在的に鮮鋭なエッジを有することがわかるため、周波数範囲（ノイズなし）が大きいノイズの多い信号を平滑化する優れた性能に起因して、サビツキーゴーレイ平滑化フィルタを用いることもできる。サビツキーゴーレイフィルタは、多項式への連続データ点のウィンドウで区切られた集合の最小二乗当てはめを実行し、当てはめられた多項式曲線の計算された中央点を新しい平滑化データ点としてとる。重畳整数の集合を導出し、計算的に効率のいいプロセスである平滑化演算の加重係数として用いることができる。この方法論は、データを指定された多項式に当てはめると全く同等である。サビツキーゴーレイアルゴリズムによる平滑化データ点（ y_k ）_sは、以下である。

【 数 4 7 】

$$(y_k)_s = \frac{\sum_{i=-n}^n A_i y_{k+i}}{\sum_{i=-n}^n A_i}$$

但し、 A_i は重畳整数であり、データウィンドウは $-n \sim n$ である。

【 0 1 6 9 】

幾つかの実施形態では、OD/ID平滑化に用いられるサビツキーゴーレイフィルタのユーザー調整可能なパラメータは以下である。

1. 平滑化幅：mm単位で表される平滑化ウィンドウ幅。アルゴリズムは、適切な「X間隔」パラメータを用いて、要素でのウィンドウ幅を決定する。

【数 4 8】

$$\text{数要素} = \frac{\text{平滑化幅}}{\text{X間隔}}$$

2. 平滑化次数：サビツキーゴーレイアルゴリズムで用いられる多項式次数。これは一般に、要素の平滑化ウィンドウ数よりも小さい。平滑化次数に典型的な値は4である。

【0170】

上記プロセスによる境界画定のデータフロー例を図70に示す。システムの一実施形態例で用いられる境界画定パラメータの詳細な説明は、説明の末尾の表A6に記載される。システムの一実施形態例で用いられる境界画定関数の詳細な説明は、説明の末尾の表A7に記載される。

10

【0171】

IFM外径(OD)境界準備

内部フォーカス法(IFM)は、フェルマーの原理を介して、プローブアレイ要素から外径下の点までの移動時間を計算する。ODでの屈折率の変化に起因して、超音波の屈折がこの界面で生じる。OD表面の画定での非常に小さな高周波変動は、画定されたOD表面での小さな領域に交差する、プローブアレイ要素とOD下の検査点との間に多数の移動経路解をもたらす。これらの移動経路解は、OD表面での真の高周波変動、OD画定に導入された高周波ノイズ、又は両方の組合せに起因する。後述する信号処理技法が、入力OD境界での高周波ノイズ内容によって生じる誤った移動時間解をなくすとともに、IFM計算時間を短縮するように機能する。

20

【0172】

画定されたOD表面の平滑化は、高周波ノイズに起因する偽の移動経路解をなくすことができるが、これが、OD表面の真の高周波変動によって誘導された移動経路解にどう影響するかは明らかではない。画定されたOD表面の高周波内容の除去は、互いに非常に近い解を有する移動経路数を低減することができるが、一般に、実質上別個の解を保存する。例えば、一連の移動経路解4.52μs、4.55μs、4.48μs、6.21μs、6.18μs、6.23μsを都合よく、4.53μs及び6.22μsに低減することができる。対象の移動時間が保持されるため、プログラムの、後者の移動時間解を利用することにより、IFMサブルーチンから、前者の移動時間解を利用して生成することができるものと同様の強度マップ出力を生成することができる。強度マップの対象となる特徴は保存され、実行される、移動時間解に関わる計算の数の低減に起因して、IFMサブルーチンの計算時間の短縮という利点が追加される。

30

【0173】

したがって、平滑化演算は、ノイズの影響をなくすように機能することができ、有益な副次的効果を有する。OD境界の平滑化は、移動時間解の数を実質上別個の移動時間解の数の低減しながら、まず、高周波ノイズに起因する誤った移動時間解をなくすように機能する。ODの境界で利用される平滑化方法は、メジアンフィルター後にサビツキーゴーレイフィルターを含むことができる。これらのフィルターは、境界画定のために用いられるフィルターと同じフィルターとすることができる。これらのフィルターには、対象となるデータ特徴を保存しながら、高周波内容をなくす効果がある。OD境界の準備のためにこれらのフィルターをIFMへの入力として利用することは、境界画定のための利用とは異なる目的を有するため、用いられるフィルタリングパラメータは異なることがある。OD境界の高周波内容の保存は望まれないため、OD境界準備で用いられるよりも大きなウィンドウサイズを、IFM OD境界準備でのサビツキーゴーレイフィルターに用いることができる。

40

【0174】

最後に、平滑化データをダウンサンプリングすることができる。これには主に、対象となる移動時間解を保持しながら、IFMサブルーチンを介して移動時間を計算する必要がある計算時間を短縮する効果がある。

50

【 0 1 7 5 】

上記プロセスによる I F M O D 境界準備のデータフロー例を図 6 7 に示す。システムの一実施形態例で用いられる I F M O D 境界準備パラメーターの詳細な説明は、説明の末尾の表 A 8 に記載される。システムの一実施形態例で用いられる I F M O D 境界準備関数の詳細な説明は、説明の末尾の表 A 9 に記載される。

【 0 1 7 6 】

調整可能なミラー

幾つかの実施形態例は、スキャン中の表面に対して超音波プローブアレイ 2 0 0 の投射角度を調整することが可能である場合がある。例えば、パイプ壁をスキャンしている場合、マニピュレーター 1 0 0 の幾つかの実施形態は調整可能なミラー 1 5 4 を利用することができ、このミラーは、プローブアレイ 2 0 0 から投射された超音波及び反射された超音波を反射する。図 4 6 及び図 4 7 は、調整可能なミラー 1 5 4 を有するキャリア 1 0 2 の一実施形態例を示す。超音波プローブアレイ 2 0 0 は、能動面 1 5 2 に配置された要素の線形アレイから超音波を投射する。超音波はミラー 1 5 4 に向けて投射され、ミラー 1 5 4 の角度は、モーターを含むミラー調整組立体 1 5 6 によって調整することができる。超音波を 1 つ又は複数の要素から投射し、異なる反射角での 1 つ又は複数の要素を用いて検知することにより、ミラーの角度を最適化して、超音波がパイプ表面に直交して投射されていることを保証することが可能である。幾つかの実施形態では、この最適化手順は、F M C データ収集の各フレームの前に実行することができる。ミラー調整組立体 1 5 6 は、プローブデータコネクタ 1 0 8 を介して外部コントローラーによって制御することができ

10

20

【 0 1 7 7 】

ミラー 1 5 4 を有する実施形態では、トランスデューサーは、検査表面に半径方向ではなく接線方向に発射するように位置決めされる。ミラーの配置は、検査表面への U T ビーム移動距離の追加を最低限に抑えながら、位置合わせの適応範囲を最適化するように設計される。

【 0 1 7 8 】

マニピュレーター 1 0 0 は、ミラー角度の可能な変更を所与として、検査段差サイズの変化に適応するように、ソフトウェアによって制御することもできる。ミラーの制御は、そのような幾つかの実施形態では、要素 2 0 2 のグループをパルス化し、それらの応答を合算することによって達成することができる。一連の予め定義された段差増分後に、応答の振幅が監視される。万が一応答レベルがユーザー定義の閾値よりも低下した場合、マニピュレーター 1 0 0 を制御するモジュールは、定義された段差サイズで定義された角度範囲を通してミラー 1 5 4 を駆動しながら、ユーザー定義の制御アパーチャをパルス化する。システムは、各段差において応答を合算し、次に、ピーク振幅に対応する角度にミラーを駆動する。

30

【 0 1 7 9 】

そのような実施形態で用いられるユーザーインターフェースは、全ての関連する制御変数が入力される G U I を有することができる。ユーザーは、検査表面に最適な制御領域をもたらすように、データ取得スキャン中に追跡パラメーターを変更する能力を有することが

40

【 0 1 8 0 】

調整可能なミラーを用いてスキャン角度を最適化することについての更なる詳細は、パイプ溶接部検査に適用されるデータ取得手順の説明において以下に提供される。

【 0 1 8 1 】

パイプ溶接部検査への適用

O D 表面プロファイル及び I D 表面プロファイルは、モデル化されると、パイプ壁又は他のスキャンされた物体の構造的特徴を特定するのに用いることができる。例えば、単一の送受信サイクルの O D プロファイル 3 6 及び I D プロファイル 3 8 は、図 1 4 に示されるグラフにおいて結合される。これらの 2 つのプロファイルを並置することにより、パイ

50

ブ壁のスキャンされた部分での最も薄いポイント 40 についての情報を評価し、ユーザーに見せることができる。

【0182】

溶接エリアに隣接する供給パイプ材料及び溶接エリア内の供給パイプ材料の薄化は、発電所及び他の産業にとって問題である。薄化は、溶接部キャップの真下の幾つかの高度に局所化されたエリアとともに、接合部の全周にわたって見られることがある。これらのエリアの位置は、溶接部ルートの状況との関連に起因して、予測可能ではないことがある。図 48 は、薄化を示すパイプ壁の一例を示す。

【0183】

Micropulse (登録商標) 超音波検査及びデータ取得システムを用いて、原子力発電所での熱伝達供給配管溶接部に対して厚さ測定を実行する方法及び要件を提供する手順について後述する。この実施形態例は例示であり、記載される方法及び装置は、様々な実施形態において実施することができ、様々な状況で適用することができる。

10

【0184】

後述する検査手順は、フィーダー配管の円周溶接接合部に隣接する領域での局所化された壁薄化及び広範囲にわたる壁薄化の検出を目的とする。

【0185】

図 49 に示されるように、検査の領域は、溶接部中心線の両側 20 mm である。しかしながら、幾何学的形状の制限が、このカバレッジを達成する能力を制約することがある。この検査は、各要素から全ての可能な受信要素に送信される全ての超音波信号を記録する。アレイ内の各要素は順次発射される。したがって、128 個の要素の線形アレイの場合、発射した 128 個の要素のそれぞれが、128 個の受信要素を有し、合計で 16384 の別個の A スキャンになる。このプロセスは、検査シーケンスに指定されるように各位置で繰り返される。

20

【0186】

次に、記録されたデータは、解析のために提出される。データ解析ソフトウェアは、各検査データセットの OD プロファイル及び ID プロファイルを生成する。データセットは、離散した円周位置で取得される。フィーダー周囲の一連のプロファイルと一緒に、検査の結果を構成する。別個のテーブルが、各円周位置での OD プロファイルと ID プロファイルとの最小距離と、スライス内の最小距離の軸方向位置と、スライスの円周位置とを記録する。

30

【0187】

手順への特別な円周及び例外が存在することがある。例えば、ホットスポット又は高局所電場は、オペレーターが作業エリアにアクセスすることができない状況を生み出すことがある。加えて、パイプ溶接部への Grayloc (登録商標) 継手の場合、検査カバレッジは、図 50 に示されるように、溶接部中心線の Grayloc (登録商標) 側 10 mm から溶接部中心線の継手側 20 mm に広がるゾーンを収集するように変更することができる。(この実施形態の状況では、Grayloc (登録商標) 継手は、直線パイプ部の直径に一致する狭い端部を有する円錐形パイプ継手を指す)。

【0188】

40

定義

以下の定義は、後述するパイプ溶接部検査の文脈内で用いられる。

FMC: フルマトリックス捕捉。トランスデューサー内の各要素が個々にパルス化される間、全ての要素が受信する超音波データ収集戦略。これは、全ての要素が発射されるまで、トランスデューサー内の各要素に対して繰り返される。この戦略は、 $n \times n$ のデータアレイを生成する。但し、 n はトランスデューサー内の要素数である。その結果、FMC 検査のデータファイルは、同じ解像度での同等の従来の (例えば、フェーズドアレイ) 技法よりもはるかに多い。

ホーム位置: マニピュレーターを閉位置から安全にアンロックすることができるような、内部回転リングの円周位置。ホーム位置は、マニピュレーターのホールセンサーによって

50

識別されるように、VIM及びソフトウェアの両方で示される。

主対角線：各送信要素が各自の受信機である、FMCを用いて収集されたデータ内の送受信要素のグループ。FMCデータセットの主対角線ビューは、従来の線形電子Bスキャンと同一である。主対角線ビューは、FMCデータBスキャンのデフォルトビューである。マトリックス：FMCデータ収集戦略を用いる場合に作成されるデータ構造。マトリックスの列が、送信要素の識別に割り当てられる場合、マトリックスの行は受信要素に対応する。そして、アレイの各要素は、その送信機受信機対に関連するAスキャンに対応する。例えば、要素17での送信、要素32での受信の組合せは、FMCデータマトリックスの17列目及び32行目に配置されるAスキャンを生成する。

開始位置：スキャンが開始される、マニピュレーターに対する円周位置。開始位置は、ホーム位置に対応することができるか、又はホーム位置からオフセットすることができる。TFM：トータルフォーカス法。FMC法を介して作成されたデータを用いる様々な自動データ解析戦略の総称。TFMは、様々な送信機と受信機との組合せからのAスキャンでの時間指標範囲内の振幅値の合算に依る。有効な表面が存在する場合、振幅は建設的に干渉し、表面を撮像する。そのような表面が存在しない場合、振幅は相殺的に干渉し、画像を形成しない。TFMはまた、検査容積全体を通してフォーカスされるフェーズドアレイと同等であるものとして説明される。

【0189】

略語及び頭字語

以下の略語及び頭字語を、後述するパイプ溶接部検査の文脈内で用いることができる。

【0190】

【表1】

Aスキャン	特定のTx-Rx対の時間-振幅プロット
Bスキャン	この場合、溶接部を横断する、検査アレイにわたるAスキャンの集まりであり、振幅はグレースケール又はカラースケールで表される
DP	デジタル化点-Aスキャンの時間軸に沿った点
フィーダー	個々の燃料チャネルに、又は個々の燃料チャネルから重い水冷却剤を搬送するパイプ
FMC	フルマトリックス捕捉
検査アレイ	FMCデータ収集に用いられるマルチ要素トランスデューサー
ID	内径
NEOVISION	FMCデータセットのカスタムUTデータ取得及び解析アプリケーション
NPS	公称パイプサイズ
OD	外径
Tmin	最小壁圧
TFM	トータルフォーカス法
TSSA	技術規格及び安全機関
UT	超音波テスト
WPIT	溶接部プロファイル検査ツール

【0191】

データ取得

FMC検査は、円筒形幾何学的形状のプロブ軌跡を溶接部構成に重ね合わせる。接合部の性質及び接合部上のマニピュレーターの配置に応じて、OD信号及びID信号のいくらかの歪みが生じることがある。これが生じるおそれがあるエリアは、直線からの湾曲幾何学的形状又はGrayloc（登録商標）からの湾曲幾何学的形状への側面（cheek）エリアである。このために可能な救済策は、歪みを受ける領域での信号の最適化を目的として、接合部上へのマニピュレーターの再位置決めを図ることである。

【 0 1 9 2 】

溶接部の検査を制限する2つのタイプの障害物がある。第1のタイプは、所望の検査エリアへの器具の設置を妨げる隣接する構造物である。この場合、検査エリアにアクセス不可能であることがある。第2のタイプの障害物は、マニピュレーター経路への隣接する構造物による侵入に起因して、マニピュレーターが完全な回転を達成することができない場合に存在する。データ取得ソフトウェアはオプションを有することができ、このオプションでは、万が一障害物が検出される場合、マニピュレーターがスキャン原点まで駆動し、次に、フルカバレッジが得られるか、又はマニピュレーターが再び障害物に接触するまで、逆方向にデータを取得する。逆方向にデータを取得する場合、データが取得されない円周の部分は、アクセス制限として記すことができる。

10

【 0 1 9 3 】

図51は、検査データの収集及び処理に用いられる様々なデータシステムの構成例を示す。全体としての検査システムは2つの別個の領域、すなわち、データ取得側面及びデータ解析側面に分けられる。保管室5002でのデータ収集中に生成されるUT（超音波テスト）データは、取得サイト5004において収集され、検討され、記録される。記録プロセス後、データは、解析ブレードシステム5008がある解析サイト5006にエクスポートされる。エクスポートプロセスは、ファイルサイズ及びネットワーク速度に起因して数分（2～3）かかる。

【 0 1 9 4 】

解析者は、データを解析機5010に転送する必要があるように、解析サイト5006にリモートにアクセスすることが可能である。ジョブを提出する前、解析者はスキャンデータを評価して、処理パラメーターを適切な値に設定する。ジョブが処理されると、解析オペレーターは、プロファイル及び関連付けられた強度マップを検討することが可能である。

20

【 0 1 9 5 】

保管室5002での機器構成の簡略図を図52に与える。

【 0 1 9 6 】

トレーラー／リモート取得サイト5004での機器構成の図を図53に与える。12ファイバーMTが、取得サイト5004と保管室5002内の取得ハードウェアとの間に設置されていない場合、このファイバーを取得サイト5004から貫通管まで延設することができる。

30

【 0 1 9 7 】

以下は、この例でのデータ取得に用いられる機器のリストである。

【 0 1 9 8 】

【表 2】

数量	物品	説明
3	Micropulse (登録商標)5PA	データ取得機器ーギガビットイーサネット インターフェースを有する128チャンネル、 ファームウェアバージョンP1 4. 5. 1. 29及び P2 4. 5. 0. 10又は最新の適格なリリース
3	保管室インターフェース モジュール	マニピュレーター、Micropulse(登録商標)、 及び周辺機器のインターフェースユニット
2	取得コンピューター	4ギガバイトメモリ、Core2 Duo23GHz以上、 32ビットWindows XP、500ギガバイト HDD、 ギガビットイーサネットインターフェース、デュアル19"モニター
3	Neovision(登録商標) ソフトウェア	データ取得ソフトウェア1. 0 R0又は最新の適格なリリース
3	マニピュレーター2"	
3	マニピュレーター2. 5"	
3組	0度用の搭載ブラケット	
3組	6度用の搭載ブラケット	Kinectrics(登録商標)によって提供される
3	アレイトランスデューサー	8mケーブル及びHypertronix(登録商標) 接続を有するカスタム128要素、7. 5MHz、0. 27mmピッチ
3	温度センサー	
2	参照標本2"0度構成	
2	参照標本2. 5"	
2	参照標本2"6度構成	
4	参照ブロックスタンド 光ファイバーケーブル	ステーション側及び保管室側にMT接続を有する 12本のファイバー(必要な長さは構成に応じて変わる)
2	ネットワークスイッチ	ギガビット規格をサポートすべきである
3	CAT5e又はCAT6 イーサネットケーブル	CAT5ケーブルの使用は一般に推奨されない
1	イーサネットアドレス 指定可能な電力バー	
必要に応じて	プログラマブルヘッドセット	専用のチャンネルに設定される通信セット
1	カップラントポンプ	管を有する浸水可能なタイプ
1	水コンテナ	大容量ー60リットルが推奨される
1	フロー制御モジュール	
必要に応じて	トレーラー/リモート 保管室カメラモニター	慣行に従う
必要に応じて	保管室カメラ制御ユニット	慣行に従う
必要に応じて	格納容器側カメラ コントローラーユニット	慣行に従う
必要に応じて	PTZカメラ	慣行に従う
1	貫通管インサート	普遍的な貫通管又はSG貫通管 (MTPファイバーをサポートすべきである)
1	スティックライト	
2	GFCI	U接地への15Ampのフューズ可能なリンク
必要に応じて	アダプター	U接地へのツイストロック

【0199】

カップラントとして用いる脱塩水は一般に、使用前に最低でも48時間、好ましくは60時間、不動とすることができる。これは、水中に溶解したガスを凝縮して排出するためである。水を摂氏50度まで加熱し、次に、冷ますことにより、このプロセスは加速する。水に、脱気する期間が与えられない場合、泡がフィーダー表面及びトランスデューサー表面の両方で核生成するおそれが非常に高い。泡は成長し続け、スキャンデータの品質を損なうおそれがある。薄い層のゲルカップラントをプローブ面に塗ることにより、泡が形成される傾向を低減することができるが、カップラントはそのうち、水にさらされることにより水に溶解する。

【0200】

水を長い持続時間にわたって動かさないことの代替として、別の方法が利用可能である。一般的な園芸ノズルを用いて、水を適するコンテナに噴霧することによって、効率的な脱気を実行することができる。ノズルは微細パターンに設定されるべきである。ノズルでの圧力降下は、空気を水から分離させる。適切に行われる場合、水は、即時使用可能であるはずである。

【0201】

10

20

30

40

50

呼吸空気ホース（複数の場合もある）と、120VAC電力と、通信ファイバーとを含むカテナリーケーブルを準備し、このカテナリーケーブルをプラットフォームに結び付け、他端部は、保管室フロアの適するポイントに結び付けることができる。ファイバーは、貫通管、専用呼吸空気ヘッダーへの空気ホース（複数の場合もある）、及びGFI及び指定のレセプタクルへの120VACに接続することができる。

【0202】

プラットフォームでは、ファイバーは、スイッチ及びアドレス指定可能な電力バーでの電力において終端することができる。プラットフォーム機器は、適するカート又は共通の機器ラックに搭載することができる。

【0203】

機器校正

従来のUTデータ収集機器は、検出、区別、及びサイズ表示の手段として信号振幅を利用する技法を利用する場合、定期的な校正から恩恵を受けることができる。フィーダー厚測定で適用される従来の通常のビーム技法は、機器時間基準の正確性及び安定性に依る。デジタル機器の時間基準は、システムクロックに依存し、システムクロックは長期間の安定性で知られている装置である。したがって、信号振幅は係数ではないため、機器の年ごとの校正の実行だけでよいことがある。本願において論述される実施形態も同様に、測定を信号振幅に依らないため、定期的な機器校正は必須ではない。

【0204】

校正は、同じセットアップパラメーターを所与として、トランスデューサーを2つの別の機器に接続する場合に大きな違いが認められるときに妥当であることがある。データ収集機器は、構成要素を交換するとき、ハードウェアを更新するとき、又は機器の修理が必要なとき等に校正することができる。

【0205】

トランスデューサー特徴付け（保守）

トランスデューサーは、製造業者から受け取った際又は最初に業務を開始する際に特徴付けることができる。次に、トランスデューサーは、業務についてから年に1回特徴付けることができる。特徴付けの作業は、適任の保守技師によって行うことができる。特徴付けタスクは、システム保守作業の一環として見なされ、検査中の校正作業の一環ではない。トランスデューサーについての製造業者のリポートを、特徴付け中に参照することができる。検査データの修正処理は、プローブパラメーターの正確な測定に依存する。これらのパラメーターは以下を含む。

（1）要素機能チェック

NEOVISION（登録商標）アプリケーションは、見たところ、鋸刃パターンのように見える一連の線形変化遅延を各チャンネルに導入する機能を有する。この機能はプローブ要素テストであり、UT校正タブ下で見つけられる。主対角線上Bスキャン応答の高速チェックは、任意の欠落要素を強調表示する。オペレーターは、カーソルを用いて、欠落要素（複数の場合もある）のチャンネル番号を識別することができる。任意の欠落要素（複数の場合もある）のチャンネル番号は、保守記録に記録することができる。

（2）トランスデューサー遅延

トランスデューサーは、参照ブロックで評価することができる。しかしながら、僅かな位置合わせずれが誤差を遅延測定値に導入することができる。マニピュレーターの様々な構成要素での隙間寸法を所与として、参照ブロック表面に対するプローブの精密な位置を保証することは難しい。この検査のために、トランスデューサー遅延は、計測学的治具で別個に測定される。トランスデューサーがマニピュレーターに搭載され、参照ブロックで測定されると、この値は記録され、続けて許容可能な範囲内にあることが確認される。

（3）要素遅延

全体のトランスデューサー遅延に加えて、各要素の遅延を評価することもできる。トランスデューサー要素は、トランスデューサーの面にわたり遅延が大きく変動すること、幾つかの場合では最高で1/2サイクル変動することがわかった。大きな変動は、誤差を検

10

20

30

40

50

査データの後続処理に導入する。

(4) 周波数スペクトルテスト

周波数スペクトルテストは、定義されたターゲットからの要素の個々の応答を取得し、次に、A スキャンのセグメントにフーリエ変換を実行する。その結果生成される周波数スペクトルは、製造業者レポートで提供される本来の周波数スペクトルと比較される。トランスデューサーがマニピュレーター 100 に搭載され、保守中、参照ブロックで測定されると、この値は記録され、続けて許容可能な範囲内にあることが確認される。

(5) パルス持続時間テスト

パルス持続時間テストは、周波数スペクトルテストに関連付けられる。この特定のテストは、6 dB 及び 20 dB の降下点の両方での反射波形の持続時間を測定することを含む。トランスデューサーがマニピュレーター 100 に搭載され、ゴムエリアの保守中、参照ブロックで測定されると、この値は記録され、続けて許容可能な範囲内にあることが確認される。

(6) ビームの向き

このテストは、トランスデューサーの受動平面及び能動平面に対する、発せられたビームの方向（角度）を検証する。ビームは一般に、トランスデューサー表面に直交するベクトルの 0.5 度以内にあるべきである。この仕様外にあることがわかったトランスデューサーは、FMC 検査に適さないことがある。

【0206】

追加のテスト（保守）

この一連のテスト及びステップは、トランスデューサーのみに関連するのではなく、続くデータ解析プロセスに影響する。これらのチェックは、保守設備で実行されるか、又は適宜装備されたゴムエリアで実行されることが意図される。

【0207】

(1) 水距離振幅曲線（DAC : Distance Amplitude Curve）

水 DAC 曲線は、DAC 曲線が非アクティブである間、参照管の水中段差にわたってスキャンすることによって作成される。利得は、界面エコーが、段差のアレイで 80 % フルスクリーン高さ（FSH : Full Screen Height）を超えないように調整される。データファイルは保存され、次に解析される。

【0208】

A スキャンにカーソルを用いる保守技師は、界面信号の到着時間及びピーク振幅を記録する。段差は、最近傍の段差から最も離れた段差への順に段差が測定される。界面信号を 80 % FSH まで上昇させるために必要な利得量が計算され、ピークの到着時間とともに DAC テーブルに入力される。

【0209】

データシリーズを通して一連の点が作成され、最適近似曲線がプロットされる。曲線への任意の大きな外れ値は、異常（潜在的な気泡）について調べることができる。DAC 曲線の一例については図 54 を参照のこと。次に、水 DAC がアクティブ化され、参照管の最終スキャンを行い、水柱距離に関係なく全ての界面信号が 80 % FSH であることを保証する。1.25 dB (+/- 5 % FSH) を超える任意の偏差がある場合、曲線は一般に、再計算されるべきである。

【0210】

全ての他の取得コンピューターでの水 DAC 曲線は、最新の曲線を用いて更新することができる。なお、水 DAC 曲線は各トランスデューサーに固有であるが、他のトランスデューサーに適切な応答を提供することが示される任意の DAC 曲線を適用可能である。

【0211】

(2) トランスデューサー利得トリミング

トランスデューサー内の要素の感度は、互いから +/- 4 dB 以上変動することがある。機器、ケーブル、及びコネクタのばらつきも、要素間の感度変動を悪化させることがある。TFM 結果の一貫性は、これらのばらつきが補正される場合に改善することができる

10

20

30

40

50

。

【0212】

以下のテストは、校正スキャンの一環としてではなく静止位置で実行することができる。取得オペレーターは、NEOVISION（登録商標）アプリケーションの校正機能を用いて、全体的な利得及び個々のチャンネルの利得を調整し確認することができる。校正機能は、セットアップモードにおいてUT校正タブ下で見つけられる。

（a）次に、取得オペレーターは、界面信号を包含するように校正ゲートを設定することによって利得トリミング校正を準備する。取得オペレーターは、トランスデューサー面又は参照管のいずれかに泡がないことを保証する。その理由は、これらが利得トリミング調整を無効化するためである。

10

（b）取得オペレーターは校正を開始する。NEOVISION（登録商標）は、利得を自動的に調整し、それから短時間後（約5秒～10秒）、個々の要素を調整する必要がある利得の範囲を示すメッセージを返す。幾つかの場合、要素が公称利得トリミング範囲外にあるとき、利得トリミングユーティリティはエラー（複数の場合もある）を報告する。これは、欠落／故障した要素及び／又は気泡がトランスデューサー／ミラー又は参照管表面のいずれかに存在する状況の場合であることがある。取得オペレーターは、エラーメッセージを調べ、期待される結果を超える一切の状況を修正することができる。

（c）取得オペレーターは、報告された範囲を評価し、それを前の利得トリミング調整と比較することができる。

（d）取得オペレーターは一般に、前の調整からの個々の要素応答の任意の違いに気付くはずである。利得トリミング調整は、幾つかの実施形態では、同じトランスデューサーについての前の評価の2.0 dB内にあることができる。違いは、非常に小さな気泡の存在又はトランスデューサーの経年劣化に起因することがある。違いは、処理前に解消することができる。利得トリミングが許容可能な限度内である場合、取得オペレーターは、プローブファイルを更新し、利得トリミング設定を現在の検査に適用することができる。トランスデューサーがマニピュレーターに搭載され、参照ブロックで測定されると、この値は記録され、続けて許容可能範囲内にあることが確認される。

20

【0213】

（3）金属DAC曲線

金属DACは、水DACを用いるが、二次DACを用いない間、金属経路段差にわたってスキャンすることによって作成される。利得は、第1の後壁エコーが40% FSHを超えないように、水DACのベースライン利得から調整される。水DACベースライン利得と、第1の後壁反射が40%になるために必要な利得とのこの差は、金属DACの利得オフセットである。次に、ファイルは保存され、解析される。

30

【0214】

Aスキャンにカーソルを用いる保守技師は一般に、第1の後壁信号の到着時間及びピーク振幅を記録する。段差は、最も薄い段差から最も厚い段差の順に測定される。後壁信号を40% FSHまで上昇させるために必要な利得量が計算され、ピークの到着時間とともにDACテーブルに入力される。

【0215】

データシリーズを通して一連の点が作成され、最適近似曲線がプロットされる。曲線への任意の大きな外れ値は、異常について調べることができる。次に、金属DACがアクティブ化され、参照管の最終スキャンを行い、金属厚に関係なく全ての界面信号が40% FSHであることを保証する。幾つかの実施形態では、1.25 dB（+/- 5% FSH）を超える任意の偏差がある場合、曲線は一般に、再計算されるべきである。

40

【0216】

金属DAC曲線は保存される。全ての他の取得コンピューターでの金属DAC曲線は、最新の曲線を用いて更新することができる。なお、金属DAC曲線は各トランスデューサーに固有であるが、他のトランスデューサーに適切な応答を提供することが示される任意のDAC曲線を適用可能である。

50

【 0 2 1 7 】

(4) 温度トランスデューサーチェック

温度トランスデューサーは機能についてチェックされ、これはトランスデューサー特徴付けの一環ではない。これは、氷水浴及び沸騰する湯での温度を測定することによって行うことができる。代替的には、熱量計算装置を用いて、温度トランスデューサーをテストし較正することができる。温度トランスデューサーは、限られた範囲にわたって較正されるが、範囲の反復可能な実証により、トランスデューサーが正常動作中であることが示される。

【 0 2 1 8 】

前の複数の段落で定義された較正が実行された後、その結果生成される更新されたトランスデューサーファイルは、取得コンピューターに転送することができる。プローブを含む器具（例えば、マニピュレーター 1 0 0 ）が適用される場合、新しいファイルを用いることができる。

10

【 0 2 1 9 】

システム較正

システム較正は、運転変数の値の検証及び F M C データ取得システム全体の連続実行の確認として定義される。U T データを最終的な結果に変換するプロセスは時間がかかり、したがって、解析は較正手順の一環ではない。その代わりに、このプロセスは一般に、関連する U T パラメーターが、検査過程中に推奨値から逸脱しないことを実証するのに十分である。

20

【 0 2 2 0 】

システム較正は、以下のチェックを包含する。

- 1 . エンコーダー検証
- 2 . 要素機能チェック
- 3 . トランスデューサー - マニピュレーター位置合わせ / プローブ軸機能チェック
- 4 . 金属経路測定検証
- 5 . トランスデューサー遅延テスト
- 6 . 水路減衰チェック
- 7 . 温度センサー検証
- 8 . 水路測定チェック

30

【 0 2 2 1 】

万が一較正值が規定された値又は前の適切な値外になる場合、較正が失敗した可能性がある。解析オペレーターは、考えられ得る原因に対処することができるが、パラメーターを変更することはできず（例えば、気泡をなくすことができるが、速度を変更することができない）、較正スキャンを再試行することはできない。較正結果が許容可能な場合、検査を進めることができる。較正が失敗した場合、最新の有効較正後に得られる全ての検査ファイルは一般に破棄される。問題となっているフィーダー溶接部を再スキャンすることができる。

【 0 2 2 2 】

較正機器

較正機器は以下の物品からなる。

- 1 . 2 ' ' 参照ブロック標本（図 5 5 参照）
- 2 . 6 度構成の 2 ' ' 参照ブロック標本（図 5 6 参照）
- 3 . 2 . 5 ' ' 参照ブロック標本（図 5 7 参照）
- 4 . 参照ブロックスタンド
- 5 . U T 機器に接続されたトランスデューサー / マニピュレーター組合せ

40

【 0 2 2 3 】

較正機器には、図 5 8 に示されるように参照ブロックに設置されたマニピュレーター 1 0 0 が構成され、参照ブロック標本は、較正されるマニピュレーターサイズに依存する。図 5 8 での矢印 5 8 0 2 は、スキャンの大凡の開始点を示す。

50

【0224】

較正方法

プラットフォームオペレーターは、適切なサイズの参照管にマニピュレーターをしっかりと留め、マニピュレーターの外部リングがスタンドロケータピンに係合することを保証する。幾つかの実施形態では、従来のマニピュレーター構成及び6度マニピュレーター構成に別個の参照管がある。各マニピュレーター構成の較正は、適切な参照管で行われる。

【0225】

次に、安定化アームをマニピュレーター上にラッチする。プラットフォームオペレーターは、システムの較正検証準備ができたときを取得オペレーターに示す。較正ステップシーケンスのフローチャートを図59に与える。

10

【0226】

取得オペレーターはカップラントポンプを開始し、NEOVISION（登録商標）のセットアップウィンドウ下でスキャンを開始する。取得オペレーターは、Aスキャンウィンドウ及びBスキャンウィンドウの両方の信号を観測し、マニピュレーターがカップラントで満ちていることを確認する。万が一マニピュレーターがカップラントで満たされていない場合、又は較正練習中に水柱を維持できなかった場合、検査を続ける前に、原因を特定し、修正することができる。

【0227】

1. エンコーダー検証

20

適切な拳動及びエンコーダーの値の検証は、マニピュレーターを駆動して、ホーム位置から完全に1回転させて再びホーム位置に到達させることによって最も容易に実行される。これらの位置は、内部リング半体の分割線を、静止したリング半体の分割線と並べることによって容易に観測される。値は一般に、円周の $+/-0.3\text{ mm}$ 以内で一致すべきである。2' マニピュレーター及び2.5' マニピュレーターを用いる実施形態例では、距離は、2' マニピュレーターの場合では195 mmであり、2 1/2' マニピュレーターの場合では245 mmである。

【0228】

オペレーターは以下のステップを用いることができる。

(a) 正方向に駆動することによって負の側からホーム位置に接近する。

30

(b) 内部リングの分割部が、外部リングの分割部に位置合わせされる場合、位置を「モーター/リレー」下の0.0に設定する。この位置を通り越す場合、マニピュレーターを負の方向に駆動してはならない。その理由は、そうすることで、マニピュレーターの振れが較正に組み込まれるおそれがあるためである。この位置を通り越す場合、負の側からの接近を繰り返す。

(c) このゼロ位置から、順方向にマニピュレーターを、2' マニピュレーターの場合では195 mm、2.5' マニピュレーターの場合では245 mm駆動する。

(d) マニピュレーターは一般に、360度回転を実行し、内部回転リングの分割部が外部リングの分割部と位置合わせされるように停止すべきである。この位置からのいかなるオフセットも、マニピュレーターの較正誤差又は機械的動作の誤差を呈するおそれがある。

40

(e) テストは、マニピュレーターをホーム位置に戻すことによって逆方向で行われる。幾つかの実施形態では、最終値は0 mmから $+/-0.3\text{ mm}$ 以内であるべきである。

【0229】

いずれかの方向でこれらの要件を満たすことができないことは、幾つかの考えられる原因によるものであることがある：不正確な設定、電気的な問題、又は機械的な問題。エンコーダーがいずれかの方向でこれらの値を超える場合、更に評価するために、マニピュレーターの使用を停止することができる。

【0230】

エンコーダー正確性の測定値は、マニピュレーター駆動トレーンでのバックラッシュに

50

よる影響を受けることがある。バックラッシュはマニピュレーターごとに異なり、ギア列及びマニピュレーター担持表面の摩耗に起因してその時間が長くなることがある。

【 0 2 3 1 】

2. 要素機能チェック

NEOVISION（登録商標）アプリケーションは、見たところ、鋸刃パターンのように見える一連の線形変化遅延を各チャンネルに導入する機能を有する。このテストは、参照サンプルでのセットアップモードである間、静止位置で行うことができる。代替的には、このテストは、参照サンプルでの較正機能中の要素応答の有／無に気付くことによって較正記録の一環として行うこともできる。

【 0 2 3 2 】

主対角線Bスキャン応答の高速チェックは、任意の欠落要素を強調表示する。オペレーターは、カーソルを用いて、欠落要素（複数の場合もある）のチャンネル番号を識別することができる。任意の欠落要素（複数の場合もある）のチャンネル番号は、保守記録に記録することができる。

【 0 2 3 3 】

トランスデューサー及び機器の組合せが、以下の表3に記載される「要素機能」係数で識別される要件を満たすことができない場合、修理のために、トランスデューサー及び／又は機器の使用を停止する業務から外すことができる。

【 0 2 3 4 】

次に、取得オペレーターは、検証スキャンのUT及びスキャン設定をロードする。以下の表1及び表2参照。プラットフォームオペレーターは、較正スキャンに適切なケーブル配線を保証することができる。準備ができた場合、取得オペレーターは較正スキャンを開始する。

【 0 2 3 5 】

【表3】

表1－0度較正でのUTパラメーター例

パラメーター	値	コメント
平均化	1	
アクティブアパーチャ	128	
パルサーモード	エコートリガー	
デジタル化周波数	100MHz	正確性の測定に用いられる
ゼロオフセット	プローブに固有－ 公称では32DP	
範囲	1250	
ゲート開始	245DP	
ゲート長	2500DP	17mm水柱及び角度を取得するため
利得	約32－35dB	プローブ及びシステムの機能
閾値	約13%FSH	初期パルスでのトリガーを除外するように、 必要に応じて調整される

【 0 2 3 6 】

【表 4】

表2－6度校正でのUTパラメーター例

パラメーター	値	コメント
平均化	1	
アクティブアパーチャ	128	
パルサーモード	エコートリガー	
デジタル化周波数	100MHz	正確性の測定に用いられる
ゼロオフセット	プローブに固有－ 公称では32DP	
範囲	1500	
ゲート開始	350DP	
ゲート長	3000DP	17mm水柱及び角度を取得するため
利得	約32－35dB	プローブ及びシステムの機能
閾値	約13%FSH	初期パルスでのトリガーを除外するように、 必要に応じて調整される

10

【 0 2 3 7 】

取得オペレーターは、以下の表に列挙された項目により完了すると、校正スキャンを評価することができる。

【 0 2 3 8 】

3．トランスデューサー - マニピュレーター位置合わせチェック

トランスデューサー - マニピュレーター位置合わせは、参照ブロック（図 5 5 ～図 5 7 に示されるブロック例等）の 5 つの平坦領域にわたってスキャンすることによって評価することができる。幾つかの実施形態では、これらの領域は、参照ブロック軸から傾斜する。正確に設定される場合、信号振幅は 2 度表面から 1 度表面に上昇し、トランスデューサー面に平行する表面でピークになり、次に 1 度表面に下降し、再び 2 度表面になる。取得オペレーターは、マニピュレーターをホーム位置から順方向にブロックの周囲を、例えば 2 ' ' マニピュレーターの場合では 1 4 5 mm の距離、例えば 2 . 5 ' ' マニピュレーターの場合では 1 8 5 mm の距離、駆動することができる。次に、取得オペレーターは、移動増分を 0 . 1 mm に設定し、界面信号を観測しながら現在の位置から増分することができる。オペレーターは、信号がピークになり、それから降下するのを観測するまで、位置を増分し続けることができる。この時点では、オペレーターは、マニピュレーターの現在位置を、2 ' ' マニピュレーターの場合には 1 4 9 . 1 mm、2 . 5 ' ' マニピュレーターの場合には 1 8 9 . 6 mm に設定することができる。逆方向に駆動すると、マニピュレーターバックラッシュを設定に組み込むことができる。

20

30

【 0 2 3 9 】

ピークが他の表面で生じることがわかった場合、トランスデューサー及びマニピュレーターは位置合わせされていない可能性があり、調整すべきである。マニピュレーターの使用を停止して、この問題に対処することができる。

【 0 2 4 0 】

ピークが識別され、マニピュレーターサイズに従ってマニピュレーター円周位置が設定されると、取得オペレーターはマニピュレーターを、ゼロを超えるポイントまで駆動することができ、- 3 mm が推奨される。これは、マニピュレーター駆動トレーンからの振りを除去するために必要なことがある。取得オペレーターは、マニピュレーターを再び 0 位置（必ずしもホーム位置である必要はない）に駆動することができる。取得オペレーターは次に、校正の残りのステップを実行する準備ができている。

40

【 0 2 4 1 】

取得オペレーターは一般に、W P I T 校正スキャンではなく W P I T 検証スキャンを選択すべきである。検証スキャンは D A C 曲線の機能を確認し、一方、校正スキャンは D A C 曲線を構築する。

【 0 2 4 2 】

検証スキャンは、参照ブロック周囲の一連の位置、連続する金属経路、その後に連続す

50

る水柱、その後に角度検証及び傾斜面に及ぶ。

【0243】

このチェックは、トランスデューサーのスキャン角度を動的に変更するリフレクター又はミラー154を組み込んだ実施形態では変更又は省略することができる。例えば、ミラー154を有する幾つかの実施形態では、トランスデューサーとマニピュレーターとの位置合わせは、参照ブロックの連続可変領域にわたってスキャンすることによって評価される。この領域は効率的には、或る範囲の角度を通るカム表面である。制御システムは、ミラーを、界面信号を最適化する角度まで駆動する。報告される角度は、チェックされる様々なポイントでの表面の角度に対応すべきである。

【0244】

この機能を手動で実行するために、取得オペレーターは、連続表面の広がりに沿った様々な位置でインターフェース振幅がピークになるようにプローブ軸を駆動することができる。プローブ軸の角度は報告され、期待される角度と比較される。報告される角度と期待される角度との差は、幾つかの実施形態では、+/-1度を超えるべきではない。

【0245】

4. 金属経路測定検証

金属経路測定の正確性は、参照ブロックでの様々な段差をチェックすることによって検証することができる。幾つかの実施形態では、2mm、8mm、及び14mmの段差がチェックされる。図55～図57に示される各参照ブロック例に固有の測定が、本説明の末尾の表A12～表A15に見られる。

(a) この測定は、選択された、線形電子Bスキャンに対応するマトリックス主対角線チャンネルのAスキャンウィンドウに対して行われる。Bスキャンからの任意のチャンネルをこの測定に選択することができる。

(b) この測定では、時間軸は半路に設定され、速度は、表示オプションタブ下の炭素鋼に設定される。

(c) 測定は、個々のデータサンプルを区別することができるように、Aスキャンでの最初の2つの後壁エコーの領域にズームインすることによって行われる。

(d) 両対のカーソルを用いて、測定は、一方のカーソルを第1のエコーの第1の立ち上がり零交差に配置し、他方のカーソルを第2のエコーの対応する零交差に配置することによって行われる。測定は、これらの2つのカーソルの金属経路値間の差である。この値は、AスキャンウィンドウマージンでのINFOボタンから直接得られる。

(e) これらのステップの値は、校正記録に記録される。

【0246】

値(複数の場合もある)が許容可能な範囲外になる場合、検査を続ける前に、値のずれ(discrepancy)の原因を識別し、修復すべきである。値のずれの識別前に得られた全てのデータはもはや有効であると見なすことができない。

【0247】

5. トランスデューサー遅延チェック

マニピュレーターを参照サンプルに精密に配置することの難しさに起因して、トランスデューサー遅延は、単に位置の不正確性に起因して変化することがある。したがって、トランスデューサー遅延は一般に、単なる目安として実行される。

【0248】

このテストでは、界面信号及び第2の界面倍数がスキャンデータに存在すべきである。これは、2mm水柱段差又は5mm水柱段差のいずれかで達成することができる。

【0249】

トランスデューサー遅延は、実測水柱距離をその段差の設計水柱距離から減算することによって評価される。差(delta)は、現在の設定からのプローブ遅延の変化である。最も正確な測定値は、各信号の最初の極小から得られる。その理由は、続く歪みが測定値の誤差を増大させるためである。この距離は一般に、水速度に基づく半路ではなく、デジタル化点において評価される。

10

20

30

40

50

【 0 2 5 0 】

取得オペレーターは、他のステップ又はチャネルを用いて、期待される限度外にあるように見える読み取り値を確認することができる。

【 0 2 5 1 】

6．水路減衰チェック

水路減衰曲線は、界面信号の振幅をチェックすることによって検証することができる。

【 0 2 5 2 】

幾つかの実施形態で用いられる較正ソフトウェア（フィーダー溶接部エリア厚測定ツール（W P I T : Feeder Weld Area Thickness Measurement Tool）検証）は、様々な水柱段差での所与の要素の振幅高さ変動範囲を報告する機能を有する。界面信号の振幅は一般に、参照ブロックの全ての段差で任意の主対角線チャネルで 5 0 % F S H ~ 9 9 % F S H 内に留まるべきである。他の考えられる要因（気泡）がない場合でのこの量からの逸脱は、水路減衰曲線が正確ではないことを示唆する。

10

【 0 2 5 3 】

報告されたレベルが個々の要素の範囲外である場合、取得オペレーターは、別のトランスデューサー要素応答を用いて手動評価を実行することができる。取得オペレーターは、A スキャンウィンドウでのカーソルレベルを 8 0 % F S H に設定することができる。取得オペレーターは、所望のチャネルを選択し、水柱段差の範囲からの振幅応答を調べることができる。応答が 5 0 % F S H ~ 9 9 % F S H 内にある場合、減衰チェックは一般に許容可能である。トランスデューサーの幾つかの要素に逸脱の存在が見つかる場合、又は逸脱の範囲が過度であることが見つかる場合、問題を解決する。

20

【 0 2 5 4 】

7．温度センサー検証

これらのタイプの装置のロバスト性を所与とすれば、通常、温度読み取り値が安定しており、かつ期待される範囲内にあることを検証するのに十分である。検査に予想される公称範囲は一般に摂氏 1 5 度 ~ 摂氏 4 5 度である。

【 0 2 5 5 】

取得オペレーターは、較正スキャンを保存し、較正の結果を F M C フィーダー較正記録に記録することができる。補足スキャンの準備において、マニピュレーターがまだホーム位置にない場合には、マニピュレーターをホーム位置まで駆動する。

30

【 0 2 5 6 】

任意の外れ値は、適切なステップ（例えば、構成要素の交換、気泡の除去）によって解決し、検査を進める前に再較正することができる。

【 0 2 5 7 】

8．水路測定チェック

水路測定チェックの実行に、補足スキャンが必要なことがある。スキャンは一般に、0 . 5 m m の段差で参照ブロックの 6 0 m m ~ 1 0 0 m m に及ぶ。このスキャンは、0 度構成及び 6 度構成の両方で行うことができるが、0 度の結果のみをこのときに評価することができる。

【 0 2 5 8 】

40

幾つかの実施形態では、水路測定は、参照ブロックの 2 m m 、 5 m m 、 8 m m 、 1 1 m m 、 1 4 m m 、及び 1 7 m m の水柱段差間の測定差をチェックすることによって確認される。この測定は、線形電子 B スキャンに対応する選択されたマトリックス主対角線チャネルの A スキャンウィンドウに対して行われる。B スキャンからの任意のチャネルをこの測定に選択することができる。各参照ブロックに固有の測定値は、記録に保持し、較正プロセスで参照として用いることができる。

【 0 2 5 9 】

この測定では、時間軸は半路に設定される場合があり、速度は、表示オプションタブ下の水に設定される場合がある。

【 0 2 6 0 】

50

測定は、個々のデータサンプルを区別することができるように、A スキャンでの界面エコーの領域にズームインすることによって行われる。両対のカーソルを用いて、測定は、一方のカーソルを界面エコーの第1の立ち上がり零交差に配置してから、次の段差の画像にインデックスを付け、他方のカーソルを界面エコーの対応する零交差に配置することによって行われる。測定は、これらの2つのカーソルの水路値間の差である。

【0261】

この値は、A スキャンウィンドウマージンでのINFO ボタンから直接得られる。次に、続く水柱段差測定が同じように行われる。

【0262】

較正のパラメーター及び値

以下の表3は、測定されるパラメーター及び得られる適切な目標値を識別する。

【0263】

【表5】

表3—較正基準例及び較正值例のリスト

係数	値	範囲	コメント
要素機能	該当なし	欠落13以下、隣接欠落3以下	14以上又は4つ以上の隣接要素の場合、トランスデューサーを拒絶する
プローブ遅延	32DP	2DP	備考—100MHzサンプリングレートの場合
水柱DAC	80%FSH	99%—50%FSH	
金属経路測定	ブロック固有、表A12～表A15参照	+／-0.03mm	
トランスデューサー—マニピュレーター位置合わせ	0	+／-1	
温度センサー機能	該当なし	15—45°C	機能しており、合理的であることが観測される
エンコーダーチェック	0から195(2")又は245(2.5")	+／-0.03mm	バックラッシュ又は過度の遊びのチェック—必要な場合にはマニピュレーターを交換
水柱測定	ブロック固有、表A12～表A15参照	+／-0.01mm	参照ブロックの段差間の差を測定する

【0264】

較正記録の内容

FMCフィーダー較正記録は一般に、以下の情報を含むことができる。

- ・較正ファイルの日時
- ・較正ファイルの名称
- ・トランスデューサーシリアル番号、マニピュレーターシリアル番号
- ・Micropulseシリアル番号、保管室インターフェースモジュールシリアル番号
- ・参照管シリアル番号
- ・較正を実行する取得オペレーターの氏名
- ・較正を実行するプラットフォームオペレーターの氏名
- ・較正の結果を記録するデータ表

【0265】

間隔

参照ブロックの較正スキャンは、以下の間隔で行うことができる。

- ・シフトの開始
- ・4時間間隔
- ・取得オペレーターの変更

【0266】

上記に加えて、較正スキャンは、トランスデューサー、マニピュレーター、又は機器が変更されるときは常に実行することができる。較正チェックは、検査システムが較正状態

10

20

30

40

50

のままであり、完全に動作可能なことの確認である。較正チェックファイルに、検査データを記録することができる。

【 0 2 6 7 】

超音波機器の設定

超音波機器設定は、予め定義される較正（セットアップファイル）において利用可能なことがある。検査キャンペーンへの機器の初期セットアップを担当する検査監督者は、全てのセットアップファイルの最新版がNEOVISION（登録商標）ソフトウェアにロードされることを保証することができる。

【 0 2 6 8 】

設定の公称値を以下の表 4 に与える。

10

【 0 2 6 9 】

【表 6】

表4ー超音波テストの公称値

パラメーター	必須	値	コメント
プローブ要素間隔	Yes	0. 195mm	プローブ仕様に従って固定
プローブ要素ピッチ	Yes	0. 27mm	プローブ仕様に従って固定
プローブ要素高さ	Yes	5. 0mm	プローブ仕様に従って固定
プローブ要素カウント	Yes	128要素 ー応答しない要素は13以下、 隣接要素は3以下	プローブ仕様に従って固定
プローブ中心周波数	Yes	測定したように、 公称の+/-10%以内	プローブ仕様に従って固定
トランスデューサー 要素利得トリミング	Yes	要素は前の+/-2. 0dB以内で あるべきである	手順を介して決定される
ゼロオフセット	Yes	既知の遅延の+/-2DP以内で あるべきであるが、 現在の設計は100MHzでは 約32DP又は 50MHzでは約16DPである	プローブ特徴付けを 介して測定される
パルス幅	Yes	40nsから60ns	トランスデューサーに対して 最適化される
パルス電圧	Yes	70V	100V超えは トランスデューサーの 経年劣化を加速させる
遅延	Yes	約30DPであるが、20DP以上	変数ーフィーダー及び 溶接部カップの 幾何学的形状が、 この変数の範囲に影響する
範囲	Yes	約500DPから850DP	厚さ範囲及び 水柱範囲の関数
デジタル化レート	Yes	50MHz	データ送信速度に向けて 最適化される
デジタル化解像度	Yes	12ビット	
平均化	Yes	1	
データ収集モード	Yes	FMC	
アクティブアパーチャ	Yes	128	
利得	Yes	変数ー40dBから47dBの 範囲内の公称値	詳細については 手順を参照
フィルター	Yes	なし	フィルターの使用は 後続処理に影響する
水DAC	Yes	オンー手順で決定される	
金属DAC	No	オフ	Neovision(登録商標) 1. 0解析ソフトウェアに従う
界面ゲート	Yes	オン	
界面をゼロに設定	Yes	オフ(チェックされない)	
界面ゲート開始	Yes	約225ー350DPであるが、 200DP以上	スキャンタイプの関数、すなわち、 2"の場合0度、6度
界面ゲート範囲	Yes	約1000DP	フィーダーの幾何学的形状の関数
界面ゲート振幅	Yes	約11%FSH	
トリガー前取得	Yes	オンー30DP	
ゲート1	No	オフ	データ品質インジケータの入力
ゲート1開始	No		データ品質インジケータの入力
ゲート1長さ	No		データ品質インジケータの入力
ゲート1振幅	No	5%FSH	データ品質インジケータの入力
外径アパーチャ	No	18	データ品質インジケータの入力
最小割合	No	50%	データ品質インジケータの入力
好ましい割合	No	80%	データ品質インジケータの入力
内径アパーチャ	No	32	データ品質インジケータの入力
最小割合	No	50%	データ品質インジケータの入力
好ましい割合	No	80%	データ品質インジケータの入力

【 0 2 7 0 】

超音波テストのセットアップ

上記の表 4 は、この検査に一般に用いられる公称超音波パラメーターを識別する。取得

10

20

30

40

50

オペレーターは、較正実行後に、適切なパラメーターがロードされたことを確認することができる。

【 0 2 7 1 】

取得中のカップラントの温度は、かなりのマージンで変化する可能性があり、典型的な範囲は 18 度 ~ 40 度であり、幾つかの場合ではこの範囲を超える。カップラント内の音速の対応する変化がある。他の検査方法とは異なり、カップラントの速度変化は結果に大きな影響を有する可能性がある。したがって、検査が行われる温度を一般に監視すべきである。幾つかの実施形態では、検査に許容可能な温度範囲は摂氏 15 度 ~ 摂氏 45 度である。温度がこの範囲外になる場合、温度を指定範囲内にする取り組みがなされる場合がある。

10

【 0 2 7 2 】

幾つかの実施形態では、温度センサーをハードウェアに含むことができる。図 79 及び図 80 は、温度センサー取り付けクリップ 7904 によってマニピュレーター 100 に連結された例である温度センサー 7902 を示す。Neovision (登録商標) アプリケーションは、各取得位置の温度を記録することができる。

【 0 2 7 3 】

データ検証インジケーター

幾つかの実施形態は、データセット評価の際に、取得オペレーターへの支援としてデータ有効性インジケーターソフトウェア機能を含むことができる。インジケーターは、OD 表面及び ID 表面のそれぞれの界面ゲート及びゲート 1 での信号の存在を表示する。

20

【 0 2 7 4 】

入力パラメーターは以下である。

- ・ 界面ゲート
- ・ 界面ゲート振幅
- ・ ゲート 1
- ・ ゲート 1 振幅
- ・ OD アパーチャサイズ、最小割合、好ましい割合
- ・ ID アパーチャサイズ、最小割合、好ましい割合

入力パラメーターは、セットアップモードで調整することができる。

【 0 2 7 5 】

検査シーケンスの定義

2' ' マニピュレーター及び 2.5' ' マニピュレーターに別個の検査シーケンスを定義することができる。マニピュレーターの設定を以下の表 5 及び表 6 に与える。

【 0 2 7 6 】

【表 7】

表5ー検査シーケンスパラメーターー2.5"マニピュレーター

パラメーター	値	コメント
開始	0	開始位置はホーム位置と異なることがある
終了	245	パイプ直径に基づく
スキャン間隔	0.5	手順要件
速度	10	
カウント/mm	91.8	計算値
マニピュレーター半径	47.45	設計値
低減比率	3748.6	計算値
最大電流	500	最大サージ電流に関連する一超えない
失速電流	450	最大連続電流に関連する
比例利得	2000	テストを介して決定される
積分利得	80	テストを介して決定される
微分利得	1000	テストを介して決定される

40

【 0 2 7 7 】

50

【表 8】

表6ー検査シーケンスパラメーターー2”マニピュレーター

パラメーター	値	コメント
開始	0	開始位置はホーム位置と異なることがある
終了	195	パイプ直径に基づく
スキャン間隔	0.5	手順要件
速度	10	
カウント/mm	65.64	計算値
マニピュレーター半径	39.3	設計値
低減比率	2133.3	計算値
最大電流	500	最大サージ電流に関連するー超えない
失速電流	450	最大連続電流に関連する
比例利得	2000	テストを介して決定される
積分利得	80	テストを介して決定される
微分利得	1000	テストを介して決定される

10

【0278】

スキャンゾーン及び検査ゾーン

フィーダーとマニピュレーターとのオフセット及びフィーダーの表面のばらつきに起因して、幾つかの実施形態例では、マニピュレーターは、特定の向きでしかUT信号を取得することができない。マニピュレーターが、0度モードで内輪エリア及び外輪エリアを取得し、6度順方向構成で左側面を取得し、6度逆方向で右側面を取得するように構成される妥協を行うことができる。マニピュレーターが意図される領域以外のエリアにわたってスキャンされる場合、UT信号は劣化するおそれがある。

20

【0279】

幾つかの実施形態では、0度スキャンの開始位置は、トランスデューサーが右側面の真上にある位置として定義される。マニピュレーターは、ケーブルが(G r a y l o c (登録商標)から離れて)ヘッダーに面する状態で向けられ、スキャンは、左側面への湾曲の内輪を通して正方向に進み、次に、右側面で終端する湾曲の外輪に進む。

【0280】

幾つかの実施形態では、6度順方向スキャンの開始位置は、トランスデューサーが、継手内輪の僅かに右側の位置として定義される。ケーブルの向きは0度構成と同じであり、ヘッダーに面し、G r a y l o c (登録商標)に面しない。スキャンは、内輪から左側面上を進み、そして外輪中心線を過ぎたばかりの箇所まで進む。スキャンは一般に、内輪及び外輪の両方を取得するべきであり、長さ100mm以上である。

30

【0281】

幾つかの実施形態では、6度逆方向スキャンの開始位置は、トランスデューサーが、継手内輪の僅かに左側の位置として定義される。ケーブルの向きは0度構成の逆であり、ヘッダーに面さず、G r a y l o c (登録商標)に面する。スキャンは、内輪から右側面上を進み、そして外輪中心線を過ぎたばかりの箇所まで進む。スキャンは内輪及び外輪の両方を取得しなければならず、長さ100mm以上である。

40

【0282】

取得オペレーターは、検査記録においてスキャンのタイプ、開始、及び長さを識別することができる。

【0283】

調整可能なリフレクター又はミラー154を有する幾つかの実施形態では、二重軸構成により、システムの性能を改善することができる。ミラー154を介してUTビームを間接的に繋ぐことにより、ツールは、大半の構成で1回のスキャンに必要なデータを収集することが可能であることができる。複合接合部の場合では、第1の継手を追跡するスキャンと、第2の継手を追跡する第2のスキャンとの、2回のスキャンが必要なことがある。

【0284】

50

検査サンプルへのマニピュレーターのセットアップ

以下のステップは一般に、全てのスキャンタイプで実行することができる。

(1) プラットフォームオペレーターは、マニピュレーターをフィーダーに設置し、マニピュレーターの両半体が接触し、しっかりと固定されることを保証することができる。検査エリアの直接アクセスが可能ではない場合、プラットフォームオペレーターは、マニピュレーターをフィーダーのアクセス可能なエリアに設置し、検査されるエリア上にマニピュレーターを再位置決めすることができる。マニピュレーターの駆動エンクロージャは一般に、水平フィーダーが延びる場合、フィーダーの上部にあるべきであり、垂直に延びる場合は下部にギア列とともにあるべきである。プラットフォームオペレーターは、マニピュレーターのシールをチェックして、シールが曲がる方向が均一であることを保証することもできる。

10

(2) プラットフォームオペレーターは、ケーブルを隣接する端部継手にループさせ、マニピュレーターへの緊張を緩め、意図される方向でのマニピュレーターの回転を可能にするのに十分なトランスデューサーケーブル緩みが利用可能なことを保証することができる。

(3) プラットフォームオペレーター及び取得オペレーターは、マニピュレーターをフィーダーに設置した後、検査されるフィーダーの識別情報を再確認することができる。

(4) マニピュレーターの配置が確認されると、取得オペレーターは、カップラントポンプを開始して、マニピュレーターを充填することができる。プラットフォームオペレーターは、過度の漏出についてマニピュレーターシールをチェックすることができる。シールの調整は、漏出を低減するために必要なことがある。プラットフォームオペレーターは、カップラントフローソレノイド組立体の弁を介して、カップラントの消費を最適化するように流量を調整することが求められることがある。

20

(5) シールのチェックと同時に、プラットフォームオペレーターは、マニピュレーターの両半体がしっかりとラッチされていることをチェックし確認することもできる。半体同士が完全には係合していない場合、過度の漏出及び不良な移動制御に直面するおそれがある。

【0285】

検査プロセス

検査プロセスのフローチャートを図60に与える。取得オペレーターは、直面する状況に応じて、異なるマニピュレータースキャンモードを使用するオプションを有する。以下のステップは一般に、全てのスキャンタイプで実行することができる。

30

(1) カップラントポンプが開始され、カップラントがマニピュレーターから漏出していると確認されると、取得オペレーターは、静的スキャンを開始することができる。Bスキャンウィンドウには、線形Bスキャン画像が埋められるべきであり、Aスキャンウィンドウには、BスキャンウィンドウからのAスキャンが埋められるべきである。Bスキャンが存在し、Aスキャンがない場合、取得オペレーターは、Bスキャンウィンドウへの選択されたAスキャンリンクを再確立することができる。いずれのウィンドウも埋められていない場合、取得オペレーター及び検査監督者は、処理前に原因を調べて修理することができる。Aスキャン及びBスキャンが確立されると、取得オペレーターは、スキャン品質のカーソル評価を行い、任意の明らかな欠陥を識別して修正すべきである。

40

(2) 取得オペレーターは、ホーム位置が開始位置として用いられない場合、トランスデューサーを所望の開始位置にそっと動かすことができる。代替では、プラットフォームオペレーターは、VIMへの局所的制御を用いてこのタスクを実行することができる。トランスデューサーがスキャン開始位置に位置決めされると、取得オペレーターは、開始位置をゼロに設定することができる。ここでも、プラットフォームオペレーターは、意図される移動方向での十分なケーブルの緩み及び適切なケーブル供給を保証することができる。

(3) 任意の時間に、プラットフォームオペレーターは、検査への干渉又はアクセス制限の可能性に気付く場合、取得オペレーターに通知することができる。取得オペレーターは、隙間が問題である場合、より有利な位置でのスキャンの開始を選ぶことができる。

50

(4) 取得オペレーターは、任意選択的なテストランの実行を選ぶことができる。テストランの目的は、溶接部の位置、溶接部カップにわたる信号振幅、マニピュレーター位置合わせ、気泡若しくはポケットの存在、又は他の状況 / アーチファクトをチェックするためである。幾つかの実施形態では、円周解像度の推奨値は 10 mm ~ 15 mm である。テストランで気付かれた任意の悪条件は、スキャンが行われる前に修正することができる。

(5) 取得オペレーターは、開始位置からスキャンを開始することができる。プラットフォームオペレーターは、マニピュレーターの進行を監視し、適切なケーブル供給に細心の注意を払うことができる。取得オペレーターは、データ品質に関して主対角線 B スキャン及び対応する A スキャンを監視することができる。隙間が低減する領域では、トランスデューサーは隣接する障害物に接触するおそれがある。通常、トランスデューサーがマニピュレーターを脇に押しやるよりも、マニピュレーターが失速することが好ましい。トランスデューサーがマニピュレーターを脇に押しやる場合、誤ったデータが記録されるおそれがある。

10

(6) マニピュレーター制御装置は、失速状況が検出されない場合、スキャン完了時にマニピュレーターを開始位置に戻すことができる。失速状況が検出された場合、マニピュレーターの挙動は、取得オペレーターによって選ばれたスキャンオプションに従うことができる。

(7) 取得オペレーターは、スキャンの許容可能性に影響する係数について、完成されたファイルを検討することができる。取得オペレーターは、ファイルを検討している間、カップラントポンプをシャットオフすることができる。スキャンが許容可能ではない場合、取得オペレーター及びプラットフォームオペレーターは、欠陥の修正及び溶接部の再スキャンを試みることができる。許容可能なデータの取得での試行回数には指定される限度はない。取得オペレーターは、幾つかのスキャン試行が行われた場合、1 組の品質基準を満たさないデータを保存することができる。制限を説明する注記を検査記録に作成することができる。

20

(8) 取得オペレーターは、ファイルを許容可能と見なす場合、ファイル及び検査記録を保存することができる。

(9) 取得オペレーターは、マニピュレーターがまだホーム位置にない場合、マニピュレーターをホーム位置に駆動することができる。

(10) 取得オペレーターは、プラットフォームオペレーターに、マニピュレーターを取り外すか、又は同じフィーダー上である場合には次の位置に移動させるように指示することができる。

30

(11) 取得オペレーター及びプラットフォームオペレーターは、上述したように指定された間隔で較正を実行することができる。最新の有効較正スキャンに続いて得られたデータは破棄することができ、影響された溶接部を再検査することができる。

【0286】

検査の範囲

検査の範囲は、上記及び図 49 及び図 50 に定義される範囲に従うことができる。これらの幾何学的形状に定義される検査ゾーンは、溶接部中心線の既知の位置に基づくことに留意する。マニピュレーターは、幾つかの実施形態では、円筒形プロファイルを追跡するように構築することができ、必ずしも複雑な幾何学的形状の溶接部中心線を追跡する必要はないことがある。これらの幾何学的形状では、溶接部中心線は、スキャンデータでの正弦軌跡を辿ることができる。ユーザーは、フィーダーの他のエリアからデータを取得する必要があると考えられる場合、マニピュレーターを第 2 の経路に再位置決めすることを選ぶことができる。

40

【0287】

記録基準

NEOVISION (登録商標) アプリケーションに関して、界面信号後の全ての信号を記録することができる。

【0288】

50

評価基準及び許容基準

アプリケーションオペレーターは、以下の基準に関してデータファイルを検討し、スキャン許容可能性を判断することができる。信号品質に寄与する係数の数を所与として、取得オペレーターは、データが取得される際にデータを監視し、取得後、選択されたエリアの任意の詳細検討の実行に時間を費やすことができる。

【0289】

以下の基準は、上述した実施形態例により、問題となっているスキャンの対象エリア、すなわち、0度構成の場合には外輪/内輪、6度順方向スキャンでは左側面、6度逆方向スキャンでは右側面に適用される。スキャンに関連しないエリアで直面する悪条件は一般に、データ品質評価では考慮されない。

【0290】

信号品質

(1) スキュー及びオフセット：スキュー状況は、トランスデューサーが軸方向において検査表面と位置合わせされていない場合に生じることがある。オフセットも同様の状況であるが、代わりに、トランスデューサーが、パイプ軸に平行しながら、パイプ軸から片側の側方距離にある場合に生じることがある。これらの状況は両方とも、OD信号振幅の大幅な低下及びOD信号の分割をもたらすおそれがある。これらの状況下では、ID信号は完全に失われることがある。これらの状況は、或る程度まで、きつい曲がり管又は接合部から接合部への構成体を検査する場合には固有であり得るが、一般に、全周の40%を超えるべきではない。マニピュレーターをパイプ表面に対して軸方向位置及び/又は半径方向位置に再位置決めすることにより、スキャンでの歪みを低減することができる。

(2) 気泡：気泡は、3つの場所で発生するおそれがある：検査表面、トランスデューサー表面、又は水柱内の振動。気泡は一般に、データ品質にマイナスの影響を有する。3つの状況のうち、パイプ表面の気泡は、その局所的な性質及びサイズが小さい傾向に起因して最小の影響を有する。これらの泡のうち大きい泡ほど、取得を時期尚早に行わせる応答をもたらすことがある。OD信号振幅又はID信号振幅の観測可能な低減に繋がる場合、表面気泡は過剰である。パイプ上の気泡は、パイプ表面の適切な清掃と、清掃プロセス中の界面活性剤の使用との組合せによって低減することができる。代替的には、シールが表面をこすって洗うように、マニピュレーターをパイプに沿って軸方向に動かすことにより、泡の大部分を除去することができる。トランスデューサー/ミラー面に位置する気泡は、検査の持続時間全体にわたり、特定の要素からのパルスを常に弱める限りにおいてより重大である。このタイプの気泡は、特に少数の要素へのOD/ID信号の異常な永続的低下によって検出される。この挙動は参照ブロックで確認することができる。このタイプの気泡は、幾つかの実施形態では、スキャン長にわたってOD/ID信号の2dB以上の低下を生じさせる場合、許容不可能なことがある。トランスデューサー/ミラー面上の気泡は、トランスデューサーの表面を、承認されたUTゲルカップラントで優しく拭くことによって軽減することができる。

水柱内の気泡は、データ取得インターフェースの誤ったトリガーとして表れる。このタイプの気泡の最も一般的な原因は、カップラント供給源に同伴された空気である。データ取得の不適切なトリガーは、データ解析ルーチンに問題を生じさせるおそれがあり、幾つかの条件下では、誤った結果を生成するおそれがある。水柱のサイズを所与として、水柱内の気泡は一般に、幾つかの実施形態では、データファイル全体の少数の個々のスキャン線よりも多くを占有すべきではない。水柱内の気泡が、任意のかなりの量(幾つかの実施形態では、スキャン位置の5%を超える)見つかった場合、気泡源を識別してなくすべきである。影響を受けた溶接部の再スキャンを行い、検査記録に記すことができる。

(3) エアポケット：エアポケットは、マニピュレーターの上限部に生じることがあり、漏出率がカップラント供給率を超える場合に生じることがある。連続したスキャン線上のトランスデューサーにわたるUT信号の部分的損失、又は完全な損失がある場合、エアポケットが観察される。信号の損失が数チャンネルに分離されるか、又は持続時間が短い(約5フレーム)場合、取得オペレーターはスキャンファイルを許容することができる。その

10

20

30

40

50

他の場合、過度の漏出率の原因に対処し、及び／又はマニピュレーターへの流れを増大させ、フィーダー溶接部を再スキャンすることが賢明なことがある。

(4) 信号範囲限度：フィーダー表面上のマニピュレーターの位置、溶接部カップの高さ、及びフィーダーの幾何学的形状等の要因は、スキャンでの水路距離の範囲に著しい影響を有することがある。水路長の過度のばらつきは、スキャン品質に悪影響を有するおそれがある。最も問題となる状況は、トランスデューサーが検査表面に近すぎる（幾つかの実施形態では、200DP未満）場合に生じることがある。この場合、界面信号はマージし、送信要素の初期パルスからのランダウン（run down）に、潜在的に偽のトリガーを生じさせることがある。さらに、この時点での界面信号は、要素の近傍ゾーンに隣接することがあり、その場合、信号の振幅はかなり変動する。これらの両状況は、解析プロセスに誤りをもたらすおそれがある。しかしながら、最も大きな影響は、第2の水柱界面がデータに捕捉されることであり得る。振幅は真のID信号よりも大きくなることがあるため、この特徴は後壁として誤って識別されることがある。溶接ビード高さが過度である等の極端な場合、トランスデューサーと検査表面との間に十分な隙間がないことがあり、トランスデューサー自体の破損が生じる。

潜在的にあまり問題のない状況は、トランスデューサーと検査表面との間に過度の距離がある場合である。これは、上記段落で見出された状況から、フィーダーの逆側で生じることがある。トランスデューサーが検査表面から遠いほど、任意の所与の特徴への閲覧角度は制限されるため、データ解析への影響はより僅かである。

範囲制限に関連する問題を修正する一方法は、マニピュレーターを短い水柱側ではパイプから離れて動かしながら、長い水柱側ではマニピュレーターをパイプに近付けることを目的として、マニピュレーターを再位置決めすることである。溶接部は、マニピュレーターを再位置決めした後、再スキャンすることができる。なお、過度の溶接部カップ高さによって導入される問題は、マニピュレーターの再位置決めによって対処されないことがある。

(5) 電気ノイズ：スキャンの電気ノイズは、1つ又は複数のAスキャントレースにおいてランダム（反復することは殆どない）信号として識別されることがある。ノイズが相関付けられない、すなわち、反復信号を形成しないとの前提の下、ノイズはデータ解析において効率的に平均化してなくすことができる。ノイズの振幅がID信号の振幅よりも高くなる（幾つかの実施形態では、IDの-6dB以内）場合、問題が生じることがある。電気ノイズの原因は、トランスデューサーに関連する幾つかのエリア、ケーブル若しくはコネクタの破損からであることがあり、又は幾つかの場合では、Micropulse（登録商標）ユニット自体に関連することがある。

電気ノイズがスキャンデータにおいて識別される場合、その問題に対処する一手段は、トランスデューサー又はMicropulse（登録商標）機器を配置し直し、溶接部を再スキャンすることである。

(6) 温度範囲：データの温度範囲は、幾つかの実施形態では、摂氏15度～摂氏45度であることができる。この範囲外の温度は、不正確な結果を生じさせるおそれがある。取得オペレーターは、温度がこれらの限度内にあるように再スキャンすることができる。

(7) 欠落／故障要素：欠落するか、又は故障した要素が、トランスデューサーの自然な経年劣化、ケーブル若しくはコネクタに対して破損、又はMicropulse（登録商標）機器の故障から生じることがある。13個以下の故障／欠落要素しか識別されない場合、それらの13個の要素のうち、3個以下しか互いに直に隣接していないことを条件として、スキャンは一般に許容可能である。故障の原因がMicropulse（登録商標）であり得る場合、Micropulse（登録商標）を取り外して修理し、溶接部を再スキャンすることが一般に推奨される。

(8) 界面振幅：利得は、公称条件下で、界面振幅が6dBで飽和するレベルに設定することができる。この設定の目的は、溶接部カップ界面信号が、データ取得をトリガーするのに十分高いレベルに留まることを保証することである。過度の利得設定は、続くデータ解析にとって問題であることがある。溶接部カップ信号が、データ取得をトリガーするの

10

20

30

40

50

に不十分である場合、幾つかの実施形態では、界面ゲート信号を増大させるとともに、好ましくは 6 dB 以下だけ利得を上昇させることができる。不要な信号がここで、誤った取得を生じさせることがあるため、ゲート振幅を低減する場合には注意する。

(9) ID 信号振幅：トランスデューサーは表面に直交し、水柱は安定し、検査表面は中間範囲にあるという公称条件下で、パイプ ID 信号は、幾つかの実施形態では、約 10 % の F S H の振幅を取得するはずである。パイプ ID 信号が、この値から + / - 6 dB を超えて逸脱する場合、原因 (気泡、遊離した表面の汚れ) を調べ、可能な場合には修正することができる。

(10) 検査カバレッジ：所望のカバレッジに対する不適切な検査エリアカバーでは、マニピュレーターの再位置決め及び再スキャンが必要なことがある。幾つかの場合では、検査ジオメトリは一経路カバレッジを制限し、所望のカバレッジの達成に 2 つの経路を必要とすることがある。これが当てはまる場合、2 つのファイルを検査に用いることができ、適切な注記が検査記録に作成される。障害物により、必要なカバレッジを達成するのに、マニピュレーターを位置決めする能力が制限される場合、適切な注記を検査記録に作成することができる。

(11) 開始 / 終了対応性：全周スキャンの開始フレーム及び最終フレームは、幾つかの実施形態では、同じ位置の同じ UT 特徴を、軸方向では + / - 2 . 0 mm 以内、半径方向では + / - 5 . 0 D P 以内で表示することができる。開始フレーム及び終了フレームがこれらの限度内に対応しない場合、マニピュレーターはスキャン中に変位された可能性がある。その場合、スキャンを繰り返すことができる。

【 0 2 9 1 】

データファイル

取得オペレーターは、データファイルを解析サイトにエクスポートすることができる。解析サイトは、データファイルを保持する複数の冗長記憶装置を有することができる。データの解析は、データ取得フェーズの完了時に行うことができる。

【 0 2 9 2 】

検査記録の内容

幾つかの実施形態では、検査記録は、行われた検査のパラメーターを記録する文書である。検査された各フィーダーに別個の検査記録があることができる。なお、任意の所与のフィーダーに関連付けられた複数の溶接部が存在することができる。

【 0 2 9 3 】

以下の情報を検査記録に含むことができる：ステーション、ユニット、日付、時刻、面、フィーダー、溶接部、ファイル名、トランスデューサー、マニピュレーター、Micro pulse シリアル、保管室インターフェース、ID、シリアル番号、番号、モジュールシリアル番号、取得、プラットフォーム、参照管 ID、較正ファイル、オペレーター、オペレーター、解像度、データ品質、スキャン開始、スキャン長、スキャンタイプ、制限、任意のスキャン制限の位置及び性質を識別する実際のフィーダーのスケッチ、及び検査についての任意の他の関連情報。

【 0 2 9 4 】

データ解析

説明される本例でのフィーダー溶接部プロファイルを検査するデータ取得方法は、フルマトリックス捕捉 (F M C) 検査技法の適用である。この方法は、複数の独立した要素を用いて、音を送受信し、したがって、非常に大きなデータアレイを取得する。このアレイは、データの手動解析を効率的に除外するには大きすぎる。

【 0 2 9 5 】

この解析方法の基本は、ソース A スキャンでの時間指標の順次逆伝播である。この技法は総称的に、トータルフォーカス法 (T F M) と呼ばれることがある。解析方法の結果は、計算超音波トモグラフィ (C U T : Computed Ultrasonic Tomography) である。

【 0 2 9 6 】

以下のセクションでは、一実施形態例において、NEOVISION (登録商標) ソフ

10

20

30

40

50

トウェアアプリケーションを用いてFMCデータを解析することができる手順を定義する。以下のセクションは、NEOVISION（登録商標）ソフトウェアアプリケーションを、フィーダー溶接部エリアの検査での解析ツールとして用いる手順を提供する。解析されるデータは、フィーダー溶接部の接合部の検査から得られる。この手順は、パイプからパイプへの溶接部、パイプから継手への溶接部、継手から継手への溶接部、及び継手からGrayloc（登録商標）への溶接部から得られるFMCデータセットに適用可能である。継手から継手への溶接部セクションの一例として、図49を参照されたい。意図されるカバレッジは溶接部中心線の両側20mmである。しかしながら、幾何学的形状による制限はアクセス領域を制限することがある。

【0297】

この実施形態例は、上記の取得手順例に記載のように、0度オフセット及び6度オフセットの両方を用いて得られるデータファイルの解析を達成する。

【0298】

解析前に、検査キャンペーンからのFMC UTデータが提供される。マルチプロセッサブレードサーバーシステムを用いて、Neovision（登録商標）解析ソフトウェアアプリケーションをサポートすることができる。幾つかの実施形態では、このシステムは、適切なネットワークによって取得サイト及び解析サイトの両方にリンクされる。ネットワーク接続は、データ転送速度1Gビット/秒をサポート可能であるべきである。

【0299】

機器及び器具

以下の表7は、一実施形態例でのこの手順下で用いられる機器例を列挙する。

【0300】

【表9】

表7ーデータ解析に必要なハードウェア及びソフトウェア

数量	物品	説明
ユーザーごとに1つ	デスクトップPC(リモート)	4Gバイトメモリ、 Core2 Duo 2.3GHz以上、 32ビットWindows XP(登録商標)、 500Gバイト HDD、 1Gビットイーサネットインターフェース、 デュアル19インチモニター
1	クライアントPC	デスクトップPCをサポートするように、 必要に応じて構成される
1	記憶装置	検査データ及び処理された 結果を記憶するネットワークベースの ローカル装置。推奨最小サイズ5TB
1	解析ブレードサーバー	2つのサーバーと、 28のデュアルプロセッサ クワッドコアブレードと からなる解析システム
1	Linux(登録商標)OS	SUSE
1	Matlab(登録商標)	バージョン2008b
1	Windows(登録商標) 64ビットXPサーバー	SP3
1	NEOVISION(登録商標)	バージョン1.0又は 最新の適格なリリース

【0301】

検証

データ解析

解析結果の検証は、第2の適格な解析者に、同じデータセットに対して独立して解析を実行させることによって達成される。この戦略では、最初の作業は一次解析と呼ばれ、一

10

20

30

40

50

方、後続作業は二次解析と呼ばれる。

【0302】

任意の適格な解析者は、任意のデータセットに対して一次解析又は二次解析を実行することができる。一般に、同じ解析者は、同じデータセットへの一次解析及び二次解析の両方を実行しない。

【0303】

一次解析及び二次解析の双方の最小厚の値及び位置が比較される。幾つかの実施形態では、結果が同じ位置で0.06mm以内である場合、2つのうちの小さいほうの結果が報告される。結果がこれらの限度内で一致しない場合、第3の解析者である主任解析者が、データの独立した評価を実行することができる。

10

【0304】

手順

結果コーディネーターが、解析がこの手順に従って行われることの保証を担当することができる。

【0305】

FMCデータセットの解析 - 手順

FMCデータセットの解析は、処理ステップの連鎖であり、任意の所与のステップの結果が、前のステップの結果の上に構築される。したがって、データの任意の不正確性又は損失は、全ての後続ステップを大きく損なうおそれがある。結果の信頼性は、入力されるデータの品質に応じる。

20

【0306】

以下の2つのセクションでは、解析ワークフロー及び解析データフローについて論述する。ワークフローは、最終結果を生成するために解析者によって行われるステップを説明する。図61に提示されるフローチャートを参照のこと。データフローは、ソフトウェアによって実行される処理を説明する。データフローは、ここでは、処理パラメーターを決定する際に背景情報を提供するように要約されている。データ解析アルゴリズムについては、上記の先行セクションにおいて論述している。

【0307】

解析ワークフロー概説

ワークフローでの最初のステップは、データ取得フェーズにおいて開始される。取得オペレーターは、許容可能性基準を満たす完成されたスキャンファイルをゲートウェイサーバーにアップロードする。完成された検査記録は一般に、データファイルも伴う。

30

【0308】

次に、解析者は、UTデータファイル及び対応する検査記録フォームを索出し、ジョブの解析記録フォームを開始する。次に、解析者は、UTデータファイルをロードし、許容基準に従ってデータ品質を検討することができる。許容基準からのいかなる逸脱又は例外も一般に、ファイルの検査記録において既に識別されているはずである。その場合、例外は解析記録に注記することができる。検査記録に反映されていないデータ品質への例外が、UTデータにおいて識別される場合、解析者は、溶接部の再スキャン要求を開始することができる。

40

【0309】

次に、解析者は、解析設定に影響するUTパラメーターを記録したファイルを検討することができる。処理パラメーターは、上述した指針に従って調整することができる。処理パラメーターは、解析記録に記録することができる。次に、ジョブは処理のために提出される。

【0310】

処理が完了すると、解析者は結果ファイルを索出することができる。解析者は結果記録フォームを開始することができる。解析者は、全体の有効性について幾つかの基準と突き合わせて結果を評価することができる。データは、異なる一連のパラメーターを用いて再処理して、有効性基準を満たさないエリアに対処することができる。

50

【 0 3 1 1 】

解析者が評価を完了し、結果での更なる利益が得られない場合、解析者は最小厚情報を結果記録に記録することができる。解析者は、以下に指定する傾向ファイル（複数の場合もある）を生成することもできる。

【 0 3 1 2 】

解析データフロー概説

解析者データフローを図 6 2 に示す。現在説明される実施形態例では、プロセスは、データを取得サイトからゲートウェイサーバーに転送することで開始される。ゲートウェイがデータを受信し、データの事前処理が即座に開始されると、ジョブリストは更新される。事前処理は、データファイル変換及びデジタルフィルタリングのようなステップを含む。

10

【 0 3 1 3 】

個々のスキャンフレームのファイルが、ブレードサーバーに配置された利用可能なプロセッサにダウンロードされる。以下のステップは順次実行される。

- ・ 1 0 0 M H z サンプルングレート相当にデータセットをアップサンプリング。
- ・ D C オフセットの補償及び U T データのデジタルフィルタリング。
- ・ O D 強度マップ形成。O D 強度マップは、パラメーターセットに従って各要素の検査容積内の定義される各点への時間指標を評価することによって形成される。時間指標は、各送信機 - 受信機対で合算され、その時間指標での A スキャンの振幅が合算されて、強度マップが生成される。合算プロセスは、検査容積内の指定された点で有効な全ての送信機 - 受信機対に対して繰り返される。

20

- ・ O D 表面認識。O D 表面は、提供されるパラメーターを用いて画定される。X、Z 座標対が、アルゴリズムによって生成される。強度マップの低レベル部分又は欠落部分に対して補間を行うことができる。O D 表面は、次の処理ステップへの入力として平滑化される。別個の平滑化値が、出力のために適用される。なお、O D 表面 X、Z 対は結果出力の一部をなす。

- ・ I D 強度マップ形成。I D 強度マップは、変更されたパラメーターを適用して計算される。I D 強度マップは、O D 強度マップと同様に計算されるが、O D 表面の X、Z 座標を用いて、様々な送信機 - 受信機対に適切な時間指標を特定する。O D 信号抑制及び信号正規化等のオプションが、I D 強度マップを形成する前のこの段階で実施される。

30

- ・ I D 表面認識。I D 表面は、提供されるパラメーターを用いて画定される。X、Z 座標対が、アルゴリズムによって生成される。強度マップの低レベル部分又は欠落部分に対して補間を行うことができる。X、Z 座標対は、出力のために平滑化される。なお、I D 表面 X、Z 座標対は結果出力の一部をなす。

【 0 3 1 4 】

処理された O D 座標及び I D 座標は、結果ファイルの一部として、元のゲートウェイサーバーに転送される。このプロセスは、ゲートウェイキュー内の全ての個々のフレームファイルに対して繰り返される。利用可能な全ての F M C フレームファイルが処理されると、ゲートウェイサーバーでのジョブステータスは「事後処理」に更新される。短い間隔の後、ジョブステータスは「完了」に更新される。

40

【 0 3 1 5 】

結果検討 - 画面レイアウト

メイン結果ウィンドウ

メイン結果ウィンドウを図 6 3 に示す。解析者はこのウィンドウを用いて、フレームのそれぞれ 1 つの結果をステップスルーすることができる。メイン結果ウィンドウの内容を以下に列挙する。

- (1) O D 強度マップが、結果ウィンドウの左上にプロットされる。
- (2) I D 強度マップが、結果ウィンドウの左側中央にプロットされる。
- (3) O D / I D 結合プロファイル (X、Z 座標) が、結果ウィンドウの左下にプロットされる。

50

- (4) 取得情報、解析情報、及びファイル情報が、結果ウィンドウの右下に列挙される。
- (5) 全てのTMIN値及び各フレームの位置のリストが、結果ウィンドウの右側中央に配置される。
- (6) 大域的TMINが、結果ビューの右上側に見出される。
- (7) 結果データのスクロール及びソートを行う制御機構が、右上に見出される。
- (8) 様々な3Dビューを生成するオプションが、結果ビューの右上に配置される。

【0316】

3D生成ウィンドウ

3D生成ウィンドウは、検査された容積の3D再構築を提供するグループである。再構築は、ODプロファイル及びIDプロファイルを線形空間又は半径方向フォーマットでプロットすることによって達成される。これらのビューは、OD表面若しくはID表面に関連する特徴を評価する場合、又は細線化傾向を評価する場合に特に有用である。しかしながら、この有用性は、適切な数のスキャンプロファイルが大きな補間を有するか、又は強度マップアーチファクトを不正確に識別する場合には損なわれる。

【0317】

3Dウィンドウ

3Dウィンドウは、基本の3D展開及び3D半径方向ビューを提供する。このウィンドウの一例を図64に与える。ウィンドウの右側に配置された表示オプションにより、解析者は、ビュー内の詳細の程度、ビューの内容、適用される表面フィルタリング、パン、回転、ズーム、及びカラースケールを変更することができる。

【0318】

概観ウィンドウ

概観ウィンドウは、検査容積の3D半径方向再構築を解析者に提供する。加えて、このビューは、検査容積に対してプロットされた軸方向プロファイル及び半径方向プロファイルも解析者に提供する。これは、いずれかの表面での細線化傾向を評価する際に有用である。ここでも、プロットに、異なる表面及び詳細レベルを提示しながらパン、回転、ズームを行うことができる。図65を概説ウィンドウの一例として参照のこと。

【0319】

ポップアップウィンドウ

ポップアップウィンドウは、任意の選択されたビュータイプの専用ウィンドウを解析者に提供する。このウィンドウの目的は、評価又は報告のためにビューを最適化することである。ポップアップウィンドウの一例として、図66を参照のこと。

【0320】

NEOVISION(登録商標)を用いるデータ解析の更なる詳細 解析方法

以下は、図62による解析方法の手短な大要である。各ステップの更なる詳細が、そのステップに対して識別される段落において提供される。

【0321】

データ解析は、ファイルが「事前処理中のジョブ」から「処理可能なジョブ」に変更されたステータスを有する旨の通知で開始することができる。解析者には、所与のファイルに対して一次解析又は二次解析の役割を割り当てることができる。ただし、これは、解析者が同じファイルへの代替の役割を実行しないことを条件とする。解析者は、解析されるファイルの解析記録フォームを開始することができる。

【0322】

ステップ1：校正検証

解析者は、現在のセッションの校正スキャン及び校正記録をまだ検証していない場合、校正データファイル及び校正記録の両方を索出することができる。これらの記録は両方とも、以下の表8に概説されるメトリックについてチェックすることができる。校正が有効ではない場合、解析者は、主任解析者に、作業パッケージ所有者及び取得FLMを用いて問題を解決するように通知することができる。

【 0 3 2 3 】

【表 1 0】

表8－較正変数及び較正基準のリスト

係数	値	範囲	コメント
取得セットアップへの関係	該当なし	該当なし	データ取得に用いられるものと同じ トランスデューサー、機器、 及び人員でなければならない
有効性間隔		較正作業の4時間内に 取得されたデータ	
要素機能	該当なし	欠落が13個以下、 隣接欠落が3個以下	仕様外の場合、 トランスデューサーを拒絶する
プローブ遅延	32DP	+／－2DP	備考－100MHzの サンプリングレートの場合
水柱DAC	80%FSH	50%FSHから 99%FSH	
水柱測定値	ブロックに従う、 添付B参照	+／－0. 01mm	備考－100MHzの サンプリングレートの場合
金属経路測定値	ブロックに従う、 添付B参照	+／－0. 03mm	備考－100MHzの サンプリングレートの場合
トランスデューサー －マニピュレーター 位置合わせ	該当なし	+／－1度	0度平坦でピークが生じる
温度センサー機能	該当なし	15－45℃	機能しており、 合理的であることが観測される
エンコーダーチェック	0, 195／245	+／－0. 3mm	値は使用中の マニピュレーターに依存する

10

20

【 0 3 2 4 】

ステップ 2：検査データ品質及び記録の検証

解析者は、提供される基準に従ってUTデータファイル及び対応する検査記録を検討することができる。データ品質への任意の例外は、検査記録に注記することができる。例外が検査記録で識別されていない場合、解析者は再スキャンを要求することができる。

【 0 3 2 5 】

【表 1 1】

表9—スキャンデータ品質係数の概要

番号	問題	状況	基準
1	トランスデューサー —フィーダー位置合わせずれ	スキュー	累積合計で 40%以下のスキャン欠落
1	トランスデューサー —フィーダー位置合わせずれ	オフセット	累積合計で 40%以下のスキャン欠落
2	気泡	パイプ表面	界面信号又は ID信号の振幅に目立った低減なし
2	気泡	トランスデューサー ／ミラー表面	許容不可能
2	気泡	水柱	ミストリガーが5本スキャン線以下
3	エアポケット	水平	5連続スキャン線未満のエアポケット
3	エアポケット	垂直	10個未満の要素かつ40本以下のスキャン線
4	信号範囲限度	近い	界面信号が200DPよりも近くない
4	信号範囲限度	遠い	界面ゲートをトリガーするのに十分に近い、 900DPを超えるべきではない
5	電気ノイズ		相関付けられない場合、5%FSHを超えず、 相関付けられている場合、2%FSHを超えない
6	温度読み取り		摂氏15度から摂氏45度の範囲内であり、合理的である
7	欠落—故障要素		合計で13以下かつ隣接して3以下
8	界面振幅		直線パイプセクションでは 100%FSHを約6dB超えるか、 又は溶接部カップでの界面ゲートを確実に トリガーするのに十分である
9	ID信号振幅	パイプ材料による	線形電子Bスキャンで観測可能
10	検査カバレッジ	軸方向	トランスデューサーが 溶接部にセンタリングされる —幾何学的形状及び 障害物の影響を受ける
10	検査カバレッジ	円周	全周スキャン— 障害物の影響を受ける
11	開始／終了対応性	軸方向	同じ軸方向位置＋ ／－1.0mmでの開始UT特徴及び終了UT特徴
11	開始／終了対応性	半径方向	同じ軸方向位置＋ ／－50DPでの開始UT特徴及び終了UT特徴

10

20

【0326】

ステップ3：検査データ特徴測定

解析者は、フィーダーのUTデータ測定固有の特徴の検討を繰り返すことができる。次に、これらの特徴を、必要に応じて解析パラメーターを変更する基本として用いる。測定可能な幾つかの特定の特徴を以下の表10に記載する。

30

【0327】

【表 1 2】

表10ー処理パラメーターに関連するUTデータ特徴

状況		処理パラメーター	コメント	
界面への水路	最大	XMin、 XMax アパーチャ高さ	水柱を増大すると、 トランスデューサーの 有効アパーチャが低減する。 過度の高さは、 第2の界面が UTデータに記録される場合、 IDアーチファクトを 導入するおそれがある。 不十分な高さ及びXMaxは、 厚い断面のエリアにおいて ID強度マップ画像を狭める	10
界面への水路	最小	XMin、 XMax指向性遮断高さ	水柱高さを低減することで、 より広いアパーチャにわたって 信号を観測することが可能になるが、 第2の水柱界面は、 撮像可能な最大厚を制限する。 より広いアパーチャは、 指向性遮断が、 用いられるチャネル数を 制限するポイントまでしか 効果的ではない	20
界面信号振幅		正規化 OD抑制	低界面信号振幅は、 正規化を用いることによって 補償することができる アーチファクト導入の潜在性あり OD抑制は、 ODの最小／正確な補間が 達成される場合のみ、 IDでのS/N比を改善する	20
線形電子Bスキャンで の ID信号振幅	溶接部カップによる	正規化	正規化に用いられる 閾値レベルの低減により、 ID強度マップを 強化することができる	
線形電子Bスキャンで の ID信号振幅	母材による	指向性遮断 最大送信機－受信機差	指向性遮断及び 最大Tx－Rx差の両方を 変更することにより、 ID強度マップの形成を 支援することができる	30
溶接部カップ幅		最大送信機－受信機差 正規化	アスペクト比(幅対高さ)は、 溶接部カップ下で 何を観測することができるかの 表示であり、 比が高いほど、 IDの再構築は良好である	
溶接部カップ高さ		該当なし	溶接部カップに対してのみ関係する。 上記参照	
溶接部カップ界面		正規化	リップルの表示、 高変調は1つ又は でのID再構築を 無にするおそれがある	40

【0328】

ステップ4：パラメーターの変更及び処理

デフォルトパラメーターを、解析プロセスでの第1のパスに適用することができる。特定の検査データ特徴は、幾つかの処理パラメーターの変更を必要なこととする場合がある。各パスに用いられるパラメーターは、結果ファイルに関連付けられた固有のファイルに保存することができる。

【0329】

ステップ5：結果の検討及び検証

解析者は、結果を索出し検討することができる。結果検討で発見されたものに応じて、解析者は、ファイル全体又はファイルのサブセットでの1回又は複数回のデータの再処理を選ぶことができる。解析者は、処理パラメーターの各セットを各処理ラウンドの別個のファイル名の下に保存することができる。

【0330】

ステップ6：結果の報告及び文書化

解析者は、特定の結果情報を結果記録に記録することができる。解析者は傾向ファイルを作成することもできる。補足出力も同様に含めることができる。

【0331】

取得されたUTデータ品質の特定に用いられる指標

10

幾つかの実施形態では、ソフトウェアは、取得されたUTデータの品質を特定するにあたり解析者を支援する追加情報をユーザーに提供する。幾つかの実施形態では、この解析はステップ5：結果の検討及び検証中に行うことができる。

【0332】

一実施形態例では、2つの指標が解析者に提供され、解析を支援する。第1の指標は「理論品質指標」と呼ばれる。これは、検出されたOD表面の幾何学的形状に基づき、ID

UTに対して達成可能な理論上で可能な最良の品質レベルを示す。第2の指標は「実際品質指標」と呼ばれる。これは、収集されるUTデータからのID強度マップに基づく。

【0333】

実際品質指標は、収集されるUTデータを用いて生成される。まず、ソフトウェアは、検出された表面に基づいて、幾つかの小さなエリアを無視して、強度マップ全体の平均をとる。特に、無視されるエリアは、強度マップで、検出された表面からY軸において下方に延びるエリアである。平均を計算する際にこれらのエリアを無視することによって、計算は、検出された表面に寄与する強度マップの部分全てを除去する。強度マップの残りの部分の平均強度が低いほど、「実際品質指標」の値は良好になる。実際品質指標値に辿り着くために、この計算された平均は2つの数のうちの一方又は両方と比較される。

20

1) 強度マップの任意の場所で見つけられた最大強度(平均化によって無視されたエリアのうちの1つで見つかる可能性が高い)及び/又は、

2) ODの幾何学的形状に基づいて達成可能な理論上でのUT値に基づく、可能な最大強度。

30

【0334】

図78は、強度マップから実際品質指標を生成する一実施態様例を示す。検出された境界7802を用いて、境界7802からY軸上で下方に延びるエリア7804を識別する。これらのエリア7804は無視され、残りのエリア7806のみが平均強度値の生成に用いられる。この平均強度が低いほど、実際品質指標は良好である。

【0335】

パイプ溶接部検査の処理ソフトウェア

様々な手順の実行に用いられるソフトウェアについて、一実施形態例の一環として以下に詳述する。本説明の末尾の表A1～表A10は、この実施形態例の文脈の中で用いられる関数及びパラメーターの例を提供する。この実施形態例で用いられるソフトウェアを説明する以下のセクションは、上記のより一般的な用語で説明されたシステムの可能な一実施態様として、単に例示であることを目的とする。

40

【0336】

ソフトウェアアーキテクチャ

フィーダー溶接部エリア厚測定ツール(WPIT)は、フィーダー溶接部エリアプロファイルの取得、解析、及び表示を行い、流れによって助長される腐食によって生じる最小フィーダー厚を特定するソフトウェアスイートを含む。

【0337】

Neovision(登録商標)は、超音波データの取得、プローブマニピュレーターの制御、解析パラメーターのセットアップ、解析ジョブを提出し、結合結果を索出するた

50

めのゲートウェイモードでのそれ自体とグリッドミドルウェアプログラムとの通信、及び解析された結果を表示するための結果表示プログラムの開始を担当する主要ユーザーインターフェースソフトウェアである。このソフトウェアは、Windows（登録商標）オペレーティングシステム下でのみ実行することができる。

【0338】

グリッドミドルウェアプログラムはjava（登録商標）プログラムであり、2つのモードを有する：ゲートウェイモード及びエージェントモード。

【0339】

ゲートウェイモードでは、このプログラムはNeovision（登録商標）と通信し、Neovision（登録商標）から解析ジョブ要求を受信する。エクスポートプログラムを呼び出すことによって、Neovision（登録商標）超音波データファイルを個々のFMCデータファイルに分割する。FMCデータを送出し、FMC結果ファイルを受信することによって、グリッドミドルウェアエージェントへのデータフローを制御する。次に、統合プログラムを呼び出すことによって、全てのFMC結果ファイルを1つの結合結果ファイルに統合する。次に、結合結果ファイルは、ユーザー要求に基づいて元のNeovision（登録商標）に送信される。

【0340】

エージェントモードでは、ゲートウェイからFMCデータファイルを受信し、データを解析することができるように、1組の解析プログラムを開始する。このプログラムは、元のゲートウェイに、自身のステータス及び解析プログラムのステータスを報告する。FMC結果ファイルが解析プログラムによって作成されると、このプログラムは結果ファイルを元のゲートウェイに送信する。各サーバーがエージェント及びエージェントコントロールの1つのインスタンスを必要とし、構成設定によって定義され制限される1組の解析プログラムを呼び出すように設計される。

【0341】

グリッドミドルウェアプログラムはJava（登録商標）で書かれ、Windows（登録商標）オペレーティングシステム又はLinux（登録商標）オペレーティングシステムで実行することができる。ゲートウェイモードでは、このプログラムは、Windows（登録商標）OSでのみ機能するエクスポートプログラムを呼び出す必要があるため、Windows（登録商標）オペレーティングシステムで実行されなければならない。典型的な展開は、グリッドミドルウェアをゲートウェイモードで実行する64ビットWindows（登録商標）サーバーと、グリッドミドルウェアをエージェントモードで実行する64ビットLinux（登録商標）サーバーのファームとを含む。小規模展開の場合、グリッドミドルウェアは、Neovision（登録商標）プログラムと同じ機械で実行され、ゲートウェイモードで実行中のグリッドミドルウェアの1つのインスタンスと、エージェントモードで実行中のグリッドミドルウェアの1つのインスタンスとを含む。

【0342】

エクスポートプログラムは、Neovision（登録商標）データファイルを解析プログラムの1組のFMCデータファイルにエクスポートする。FMCデータファイルは、1組のみのFMC信号を含み、MATLAB（登録商標）データファイルとして保存される。これらのFMCデータファイルは、解析プログラムの入力ファイルとして用いられる。このプログラムは、Windows（登録商標）OS下でのみ実行可能である。このプログラムは、ゲートウェイモードのグリッドミドルウェアプログラムによって呼び出される。

【0343】

解析プログラムは、Windows（登録商標）オペレーティングシステム又はLinux（登録商標）オペレーティングシステムで実行可能なMATLAB（登録商標）スタンドアロン実行可能プログラムである。1組のFMCデータを用いる場合、解析プログラムは、ODの2D強度マップを計算し、OD境界画定を特定する。OD境界が画定されると、解析プログラムは、IDの2D強度マップを計算し、ID境界画定を特定する。OD

10

20

30

40

50

境界画定及びID境界特定を用いて、解析プログラムは、このOD境界とID境界との対の最小厚(TMin)を計算する。解析プログラムは次に、報告可能な結果を標準化フォーマットに変換して保存する。解析プログラムは、全ての報告可能な結果を含む単一の結果ファイルを出力する。これは高度にメモリ集約的であり、かつCPU集約的なプログラムである。このプログラムは、エージェントモードのグリッドミドルウェアプログラムによって実行される。

【0344】

統合プログラムは、解析プログラムから出力された解析結果ファイルを取り、全ての報告可能な結果を結合して、単一の結合結果出力ファイルを作成する。各プロファイルからのOD境界及びID境界を結合することによって、統合プログラムは、スキャンの3D表現を再構築し、OD表面及びID表面を再作成することができる。統合プログラムはMATLAB(登録商標)で書かれ、MATLAB(登録商標)スタンドアロン実行可能プログラムである。このプログラムは、ミドルウェアによってゲートウェイモードで実行される。

【0345】

結果表示プログラムは、ユーザーが結果を検査し取り調べるできるように、結合結果出力ファイルを表示する。このプログラムは、2D強度マップ、OD境界及びID境界、各プロファイルのTMin及びデータファイル全体の絶対TMinを表示する。結果表示プログラムは、スキャンの3D表現も表示し、ユーザーにデータのよりよい理解を与える。結果表示プログラムは、ユーザーが合理的ではないTMin値及びプロファイルをフィルタリングして除去することができるような単純なユーザーインターフェースを提供する。ユーザーは、厚さ傾向データファイルを作成し、応力解析等の更なる検査のために、フィルタリングされたデータを他のCAD(コンピューター支援設計)プログラムにエクスポートすることができる。このプログラムは、Neovision(登録商標)を実行する機械と同じ機械で実行される。このプログラムは、MATLABスタンドアロン実行可能プログラムであり、Neovision(登録商標)から呼び出される。

【0346】

データ経路

これは、Neovisionデータファイルを解析する際のデータフローステップである。

(1) Neovision(登録商標)データファイルが取得された後、取得オペレーター又は解析者のいずれかは、有効データファイルをNeovision(登録商標)に提出することができ、Neovision(登録商標)はデータファイルをグリッドミドルウェアゲートウェイモードに送信し、このデータファイルのジョブを作成する。

(2) 解析者はジョブを選択し、データファイルを検査する。解析者は、データファイルを検討した後、解析パラメーターを入力し、ジョブを開始する。Neovision(登録商標)は、要求をグリッドミドルウェアに送信し、グリッドミドルウェアエージェントは、エクスポータープログラムを呼び出すことによって解析を開始する。

(3) エクスポータープログラムは、Neovision(登録商標)データファイルを、MATLAB(登録商標)フォーマットの個々のFMCデータファイルに変換した後、ゲートウェイに送り返す。

(4) ゲートウェイは、利用可能なエージェント機械を見つける場合、FMC.MATファイルをグリッドミドルウェアエージェントに送信する。

(5) エージェントはノードを作成し、FMC.MATファイルを入力パラメーターのうちの1つとして用いる解析プログラムを呼び出す。

(6) 解析プログラムは、計算を完了した後、結果FMC.MATファイルをエージェントに送り返す。

(7) エージェントは、結果FMC.MATファイルをゲートウェイに送信し、より多くの解析計算に利用可能なノードを有することをゲートウェイに通知する。

(8) ゲートウェイは、Neovision(登録商標)データファイルの全ての結果F

10

20

30

40

50

M C . M A T ファイルを受信すると、統合プログラムを呼び出し、全ての結果 F M C . M A T ファイルを統合プログラムに送信する。

(9) 統合プログラムは、報告可能なデータを抽出し、個々の結果を意味がある順序に統合し、結合結果ファイルを元のゲートウェイに出力する。

(10) ゲートウェイは、結果の準備ができたことを Ne o v i s i o n (登録商標) に通知する。次に、ユーザーは、Ne o v i s i o n (登録商標) を介して結合結果ファイルをゲートウェイから索出し、結合結果ファイルのローカルコピーを保存する。

(11) Ne o v i s i o n (登録商標) は、結合結果ファイルを受信した後、結果表示プログラムを呼び出して、データを表示する。ユーザーは、結果表示プログラムにおいてデータの検討、検査、変更、及びエクスポートを行うことができる。

10

【 0 3 4 7 】

グリッドミドルウェア構成要素

グリッドミドルウェア構成要素は、非常に異なるように挙動する 2 つのモードで実行することが可能である。一方はゲートウェイであり、他方はエージェントである。機能解析システムは、Ne o v i s i o n (登録商標) の 1 つのインスタンス、1 つのゲートウェイ、及び 1 つ又は複数のエージェントを有する。ゲートウェイは、解析中、メッセージを Ne o v i s i o n (登録商標) 及びエージェント (複数の場合もある) の両方から受信する。一般に、ゲートウェイは通信を開始しないが、これには例外がある。

【 0 3 4 8 】

F M C データセット解析

F M C データの解析は、上述したように実施される。

20

【 0 3 4 9 】

取得ソフトウェアが、複数の F M C データセットを解析ソフトウェアに送る場合、解析ソフトウェアは、受信した各 F M C データセットを独立して慣例に従って解析する。したがって、単一の F M C データセットの解析の説明が、全てのデータセットの解析プロセスが同一であるという点で、全ての F M C データセットの解析を説明するのに十分である。F M C データセットの解析が完了すると、出力 (O D 境界座標及び I D 境界座標) はグラフィカル出力プロセスに入力される。

【 0 3 5 0 】

グラフィカル出力プロセス

プロファイルベースの結果を作成

プロファイルベースの結果は解析結果に基づく。データは再マッピングされ、軸値は必要に応じて変更される。各プロファイルの厚さ値が作成される。スキャン位置及び他のプロファイルに基づく情報が、このセクションで作成される。

30

【 0 3 5 1 】

各プロファイルがプロファイルに基づく結果を作成するには少量の時間 (最大解像度で約 3 秒) がかかる。しかしながら、460 のプロファイルと一緒に作成するには、M A T L A B (登録商標) ベクトル化技法を用いる場合であっても、プロセス全体で大量の時間がまだかかる。合計実行時間を短縮するために、プロファイルに基づく結果は、解析プログラムの終了時に作成される。したがって、プロファイルに基づく結果は、実行時間に大きな遅延が一切ない状態で、並列に作成される。

40

【 0 3 5 2 】

統合結果

統合結果はスタンドアロン M A T L A B (登録商標) 実行可能ファイルである。統合結果により、スキャンでの個々のプロファイルに基づく結果を統合し、結果ファイルを作成する。結果ファイルが既に存在する場合には、統合結果により、プロファイルに基づく結果のうちの指定されたプロファイルを結果ファイルに統合する。

【 0 3 5 3 】

統合結果の主要タスクのうちの 1 つは、O D 及び I D の 3 D 表現を再構築することである。M A T L A B (登録商標) は 2 D マトリックスを用いて、任意の表面を表し、マトリ

50

ックスの行インデックス及び列インデックスを用いて、データ点間の論理的な相対位置を維持するため、統合結果は、まず、大域的な間隔解像度及び限度を決定することによって、それぞれの相対的な位置に基づいてOD及びIDを統合する。次に、各プロファイルからの結果は再マッピングされ、データ点の有効な集合が最終的なODマトリックス及びIDマトリックスに挿入される。

【0354】

OD及びIDの最終的なプロファイルは、プロファイル順に基づいてマトリックスに保存される。ソートベクトルが、プロファイルの位置及び相対位置に基づいて計算され、それにより、3DビューでOD及びIDを表示する際に用いることができる。

【0355】

全てのプロファイルに基づく結果は、異なる構造として結果ファイルに保存される。全ての有用な情報が統合結果ファイルに記憶され、したがって、解析コマンドラインプログラムからの出力ファイルを保持する必要がない。無効プロファイル、部分的なプロファイル(ODのみ)、及び空のプロファイルは、必要とされるデータが存在しない場合、ヌル値として結果に統合される。

【0356】

統合結果は、各プロファイルの最小厚を寄せ集め、それらをマトリックスに保存し、それにより、表示プログラムは情報により容易にアクセスする。

【0357】

統合結果の制限のうちの1つは、異なるプロファイルからのプロファイルに基づく結果が同じ間隔解像度を有さなければならないことである。統合結果は、間隔設定が同じではない場合、プロファイルをスキップする。

【0358】

また、大域的な間隔解像度及び限度は、情報を有する最初の有効プロファイルが見つかるまで、プロファイルを反復することによって結果ファイルが作成されている場合に決定される。より大きな範囲を有するより新しいプロファイルに基づく結果が統合される場合であっても、統合結果は、前に定義された限度に基づいてのみ統合する。ユーザーが、異なる間隔解像度及び異なる範囲限度のデータを再作成したい場合、結果ファイルをまず除去しなければならず、それにより、大域的な間隔解像度及び限度を再決定することができる。FP6解析ステップ内で、これでは、ユーザーは、既存の結果ファイルが一切ないよう

【0359】

表示結果メインウィンドウ

これは、表示結果プログラムのメインGUIである。全ての他の表示ウィンドウは、このウィンドウに基づいて作成される。ユーザーは、このウィンドウから残りの表示ウィンドウを呼び出すことができ、ユーザーはまた、TMinを変更し、このウィンドウからデータをエクスポートすることができる。

【0360】

表示結果メインウィンドウは、結果ファイルを読み出し、データをメモリにキャッシュすることによってデータをセットアップする初期化機能(初期化)を有する。このウィンドウにより、設定ファイルから大域的設定をロードし、この設定は、表示属性及び傾向出力属性の大半を定義する。このウィンドウにより、解析パラメーターマッピングファイルをロードし、それにより、プログラムが内部解析パラメーターを表示する際、パラメーター名は、NeoVision(登録商標)において解析パラメーターウィンドウに用いられるものと同じ又は同様とすることができる。

【0361】

このウィンドウは、結果ファイルに保存された各プロファイルの個々の構造にアクセスすることによってプロファイルに基づく結果を表示する。プロファイルに基づく結果は、OD強度マップ、ID強度マップ、ODプロファイル、及びIDプロファイルである。このウィンドウは、スキャン設定のTMin情報及びパラメーター値、解析設定、並びにブ

10

20

30

40

50

ロファイル情報も表示する。

【0362】

ユーザーがポップアップ、概要、又は3D等のサブ表示ウィンドウを起動すると、プログラムは、それらの図からのハンドル(handlePopup、handleOverview、及びhandle3D)を記憶し、それにより、このウィンドウ終了時に、全てのサブウィンドウを閉じることができる。このウィンドウはまた、ハンドルのこのリストを用いて、変更されたTMin情報をサブウィンドウに送信する。

【0363】

カスタムデータカーソルがプログラムに追加される。全てのウィンドウは同じカスタム関数であるCursorUpdateTextを用いて、データカーソルを表示する。

10

【0364】

MATLAB(登録商標)ではソート可能な「適する」制御機構がないため、ソフトウェアは、TMinリストの特徴を手動で再作成しなければならない。ユーザーがクリックするボタンに基づいて、異なるソートパラメーター値が設定され、sortUpdateListGUI及びDisplayTMinが呼び出されて、ソート及び表示を実行する。

【0365】

表示ポップアップウィンドウ

ポップアップウィンドウは、メインウィンドウに基づき、これは、解析表示プログラム内に2つ以上のインスタンスを有することができる唯一のウィンドウである。

20

【0366】

このウィンドウの主な用途は、単一の図のみを表示することによって最大画面解像度を可能にすることである。ユーザーは、他の表示ウィンドウに示される任意の図のより大きなバージョンを閲覧することができる。

【0367】

他のサブウィンドウと同様に、ポップアップウィンドウは直接呼び出すことができ、スタンドアロン実行可能プログラムを作成することができる。

【0368】

表示概観ウィンドウ

概観ウィンドウはメインウィンドウに基づき、シングルトンウィンドウである。

30

【0369】

このウィンドウの主な用途は、スキャンの高レベルの概観を提供することである。スキャンの3Dビューとともに、概観ウィンドウは、スキャンの断面ビュー及び軸方向ビューを提供し、それにより、ユーザーは結果を検査することができる。3Dビューの更なる詳細及び説明について3Dウィンドウを参照する。

【0370】

ポップアップウィンドウ及び3Dウィンドウと同様に、メジアンフィルターを周方向において表示データに適用することができる。これはノイズ及びデータエラーを低減するはずであり、それにより、ユーザーはデータを効率的に検討することができる。

【0371】

ポップアップウィンドウ及び3Dウィンドウと同様に、4つのレベルのデータサンプリングが定義される。デフォルトレベルは中間であり、最良の細部と性能との組合せを有すべきである。

40

【0372】

断面ビュー及び軸方向ビューの閲覧平面も3Dビューで描画されて、データの視覚的表現を強化する。

【0373】

他のサブウィンドウと同様に、概観ウィンドウは直接呼び出すことができ、スタンドアロン実行可能プログラムを作成することができる。

【0374】

50

3Dウィンドウの表示

3Dウィンドウはメインウィンドウに基づき、シングルトンウィンドウである。このウィンドウの主な用途は、スキャンの3D表現を提供することである。3Dウィンドウは、展開ビュー及び3Dビューを含む。展開ビューは、プロファイル順に基づいてデータの全てのプロファイルを表示し、かつそれらを並べて表示する。3Dビューは、スキャンの3D再構築である。

【0375】

両ビューとも、MATLAB（登録商標）描画で「サーフ」オブジェクト又は「メッシュ」オブジェクトとして表示することができる。「サーフ」の場合、色を用いて、フィーダーの厚さを表すことができるか、又は表面をモノトーンで描画して、表面の細部を検討することができる。

10

【0376】

ポップアップウィンドウ及び概観ウィンドウと同様に、メジアンフィルターを周方向において表示データに適用することができる。これはノイズ及びデータエラーを低減するはずであり、それにより、ユーザーはデータを効率的に検討することができる。

【0377】

ポップアップウィンドウ及び概観ウィンドウと同様に、4つのレベルのデータサンプリングが定義される。デフォルトレベルは中間であり、最良の細部と性能との組合せを有すべきである。

【0378】

20

他のサブウィンドウと同様に、概観ウィンドウは直接呼び出すことができ、スタンドアロン実行可能プログラムを作成することができる。

【0379】

TMinの変更

TMinを変更する機能は、LoadModifiedTMin関数、SaveModifiedTMin関数、DisplayTMin関数、TMinUITableCellEditCallback関数、及びmenuui__ExportToFigures__Callback関数によって処理される。

【0380】

LoadModifiedTMinは、MATLAB（登録商標）データファイルを読み出し、変更されたTMin情報をプログラムにロードする。

30

【0381】

SaveModifiedTMinは、変更されたTMin情報をデータファイルに書き込む。

【0382】

DisplayTMinは、ソートモード及び無視リストに基づいてTMinリストを再作成し、TMinリストをメインウィンドウに表示する。

【0383】

TMinUITableCellEditCallbackは、ユーザーが、無視チェックボックスを選択して、リストからTMinを削除するか、又はTMinを再追加することによってローカルTMinリストを変更する場合に呼び出される。この関数は、TMinリストの内部定義を更新する。なお、ユーザーがTMinをリストから除去する場合、この関数は、TMin定義のみならず、スキャンのそのプロファイルも表示から除去する。プロファイル除去は、それらのプロファイルが省かれるため、表示及びエクスポート結果に影響する。

40

【0384】

menuui__ExportToFigures__Callbackは、ユーザーがメニューから「変更されたTMinを他のウィンドウにエクスポート(Export Modified TMin To Other Windows(s))」オプションを選択する場合に呼び出される。変更されたTMinリストは、全てのサブウィンドウに送信され、それらのウィンドウ上のデータは更

50

新される。これは、ユーザーが個々のサブウィンドウをリフレッシュして、更新された T M i n 情報を表示させる必要がある 2 部分プロセスである。

【 0 3 8 5 】

3 D ポイントクラウドのエクスポート

エクスポート 3 D ポイントクラウドは、O D 表面及び I D 表面をポイントクラウド値としてエクスポートする。

【 0 3 8 6 】

出力ファイル名は、ユーザーによって選択され、O D 表面及び I D 表面は、ファイル拡張子 . x y z を有する別個の出力ファイルに保存され、この拡張子は、S o l i d W o r k s (登録商標) に定義されるポイントクラウドファイル拡張子である。

10

【 0 3 8 7 】

出力ファイルフォーマットは、ラインごとに単純な点定義を含み、点は「 x y z 」として定義される。ただし、x、y、z は点の座標である。

【 0 3 8 8 】

傾向結果のエクスポート

エクスポート傾向結果は、スキヤンの傾向情報を E x c e l (登録商標) ファイルにエクスポートする。

【 0 3 8 9 】

任意の既存のエクスポートファイルは削除される。

【 0 3 9 0 】

20

傾向情報は、チャンネル名、大域的 T M i n リスト、及び T M i n 傾向を含む。

【 0 3 9 1 】

大域的 T M i n リストは以下のフィールドを含む。

- 1 . プロファイル番号
- 2 . T M i n
- 3 . 周位置 (m m)
- 4 . O D 軸方向位置 (m m 単位の X)
- 5 . O D 深さ (m m 単位の Z)
- 6 . I F 軸方向位置 (m m 単位の X)
- 7 . I D 深さ (m m 単位の z)

30

【 0 3 9 2 】

T M i n 傾向は、スキヤンからの等間隔の厚さ値を含む。各ラインは、以下のフィールドを用いてスキヤンプロファイルを表す。

- 1 . プロファイル番号
- 2 . 周位置 (m m)
- 3 . 軸方向位置 (m m)

【 0 3 9 3 】

軸方向位置は、プロファイル全体を通して等間隔で離間される。特定のサンプリング点で厚さが利用可能ではない場合、「 N a N 」と記される。特定のサンプリング点の厚さが、補間値を用いてのみ利用可能である場合、「 I V 」と記される。特定のサンプリング点が、変更された T M i n 選択に基づいて無視される場合、「 I g n 」と記される。現在、無視される選択はプロファイルのみに適用され、したがって、全行が「 I g n 」と記される。全ての傾向情報は、E x c e l (登録商標) ファイルの新しいタブに保存され、タグ名はチャンネル名である。

40

【 0 3 9 4 】

【表 1 3】

表A1ー処理関数

filfiltld	1. 3次元代数 マトリックス(リアル) 2. デジタル ソフトウェアフィルタ	1. Single 2. フィルタ オブジェクト	1. フルマトリックス 参照データセット 2. デジタルフィルタの 周波数減衰特性を 定義する フィルタオブジェクト	3次元 マトリックス	Single	フィルタリングされ た フルマトリックス 参照データセット
ndimhilbert	3次元マトリックス	Single	フルマトリックス 参照データセット	3次元 マトリックス	Single (complex)	フルマトリックス 解析時間領域 データセット

10

【 0 3 9 5 】

【表 1 4】

表A2ーOD撮像パラメータ

blockSize	Single	SFM撮像に用いられる物理的なアパーチャのサイズを定義するスカラー。このスカラーは1〜アレイのサイズの範囲を有することができる
directivity Cutoff	Single	僅々のアレイ要素へ/から超音波を反射すると見なされる(SFMアルゴリズムに関して)強度マップ座標の特定に用いられる0〜1(0及び1を含む)の実数。 要素から強度マップの座標への計算される指向性が、directivityCutoffよりも低い場合、その要素はプログラムの、問題となっている座標へ/から音を反射するものと見なされない。指定された位置への要素の指向性を計算するには、指向性を近似する公式が用いられる (短輪マニアル、R-2、参照)。
xMin	Single	強度マップ座標のx成分の下限を定義する実数(m単位)。xMinはxMax未満である。強度マップ座標のx成分は、xMin〜xMaxの範囲を有する
xMax	Single	強度マップ座標のx成分の上限を定義する実数(m単位)。xMaxはxMinよりも大きい。xMinはxMax未満である。 強度マップ座標のx成分は、xMin〜xMaxの範囲を有する
xSpacing	Single	強度マップ座標での強度の計算を反復実行するx間隔を指定する長さnのベクトル。合計でn回反復の強度計算が実行される(強度計算が、メモリ要件を減らすために更に分割される必要がないことを前提とする)。粗い間隔ほど、より劣ったインデックスのベクトルに向けて指定され、 $dx(i+1)/dx(i)$ は正の整数である
zMin	Single	強度マップ座標のz成分の下限を定義する実数(m単位)。zMinは0以上である。強度マップ座標のz成分は、 $x \sim x + 高さ$ の範囲を有する。 但し、xはzMinの最大であり、ルックアップテーブルでの最小遅延に対応する遅延である。オフセット= minDistanceBuffer
zSpacing	Single	強度マップ座標での強度の計算を反復実行するz間隔を指定する長さnのベクトル。合計でn回反復の強度計算が実行される (強度計算が、メモリ要件を減らすために更に分割される必要がないことを前提とする)。粗い間隔ほど、より劣ったインデックスのベクトルに向けて指定され、一方、細かい間隔ほど、より良好なインデックスのベクトルに向けて指定される。さらに、1とn-1との間でのあらゆるについて、 $dz(i+1)/dz(i)$ は正の整数である
高さ	Single	遅延を表す実数(m単位)
minDistance Buffer	Single	遅延を表す実数(m単位)強度マップ座標のz成分は、 $x \sim x + 高さ$ の範囲を有する。但し、xはzMinの最大であり、ルックアップテーブルでの最小遅延に対応する遅延である。 オフセット= minDistanceBuffer
zoom Percentage	Single	座標強度の反復計算時に周囲にフォーカスする強度マップでの座標を暗黙的に指定する長さn-1のベクトル。1〜n-1の1について、 zoomPercentage(i)は、0〜1(0及び1を含む)の実数を含む。Imaxが、強度マップで計算される最大強度である座標強度計算のi+1回目の反復では、 周囲にフォーカスする座標は、zoomPercentage(i) * Imaxよりも大きな強度の座標である
runNorm	Boolean	これは、正規化を入力データに対して実行するか否かを決定する。この値が偽の場合、normThresh、normWidth、及びnormRunUpの値は、 用いられないため重要ではない
normThresh	Single	0よりも大きく、かつ100以下の実数。この数は、Aスキャンデータで正規化される波束の遮断包絡線高さを指定する。 「y」を全てのFMCデータの最大包絡線値とする場合、閾値 * y / 100以上のピーク高さを有する波束情報が正規化される。 Aスキャンでの全ての他の情報は0に設定される。ヒルベルト変換されたデータの包絡線が単にその大きさであることを想起する
normWidth	Single	1よりも大きく、FMCデータに含まれるAスキャンの任意の非ゼロ長以下である正のスカラー。この数は、Aスキャンでの別個の波束間の遅延 (デジタル化ポイント数単位)を指定する。閾値変数よりも大きな包絡線ピーク間の遅延が変数幅を超える場合、包絡線ピークは別個の波束に 属すると見なされる。その他の場合、包絡線ピークは同じ波束に属すると見なされる
normRunUp	Single	1よりも大きく、FMCデータに含まれるAスキャンの任意の非ゼロ長以下である正のスカラー。この数は、包絡線ピーク自体とともに正規化する。 閾値変数よりも大きい値を有する包絡線ピークに先立つAスキャン値の数(デジタル化ポイント数単位)を指定する
grating Threshold	Single	0以上かつ100以下の実数。この値は、最終強度マップに存在する回折の低減を助けるために用いられる。この値は、各アパーチャから 低強度寄与分を除去することによって機能する。各アパーチャにおいて、この閾値は以下のように適用される。その閾値での最高強度位置が、 100%測定される標準である。強度マップの他のあらゆる位置は、最終合算に含まれるためには、この値の少なくとも回折閾値割合でなければならず、 その割合未満の場合にはゼロ化される
totalMemory	Single	この値は、バイト単位での、このノードが利用可能なメモリ量である。必要であれば、或る特定の値の計算の断片化に用いられる。 これにより、プログラムはメモリ制約内に収まることが可能になる。空き容量が、断片化なしで計算を行えるようなものである場合、 計算の断片化は行われない
tempOverride	Boolean	この値は、ユーザー入力温度値が、スライスデータファイルに記憶された値をオーバーライドするか否かを決定する。この値が偽の場合、tempValueの値はいらないため、重要ではない
tempValue	Single	これは、温度のユーザー入力値である。この値は、tempOverride値が真である場合、計算において温度に用いられる。その他の場合、この値は 無視される

20

30

40

【 0 3 9 6 】

【表 15】

表A3-SFM関数

関数名	入力データ/ 入力データクラス	入力データ説明	出力データ/出力データクラス	出力説明
normalize FMClocal3	<ul style="list-style-type: none"> 1 2Dマトリックス/ single(complex) 2 スケール/scale 3 正の整数/scale 4 正の整数/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 フィルタリングされヒルベルト変換されたFMCデータセット 2 正規化に用いられる遮断周波数 3 遮断が有効であるときのみ、遮断周波数を越えるデータ間の最小距離(サンプル数単位) 4 遮断周波数を越えるデータ間の遅延情報を正規化する距離(サンプル数単位) 	<ul style="list-style-type: none"> 1 2Dマトリックス/ single(complex) 	<ul style="list-style-type: none"> 1 正規化されたピークを有するFMCデータセット、全ての非正規化データはゼロに設定される
prepare wdataorod	<ul style="list-style-type: none"> 1 2Dマトリックス/ single(complex) 2 正の整数/scale 3 正の整数/scale 4 2Dマトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 フィルタリングされ、場合によってはユーザーが解析をFMCデータセット正規化実行に設定した場合、正規化されたFMCデータセット 2 プローブアレイ要素数 3 アパーチャのサイズ 4 エントリが、送信機/受信機ごとにアスキーが記憶されるFMCデータセット内の列を示す2Dマトリックス、送信機及び受信機は、マトリックスの行及び列にそれぞれ対応する 	<ul style="list-style-type: none"> 1 2Dマトリックス/ single(complex) 	<ul style="list-style-type: none"> 1 s'mzoom2アルゴリズムにおいて正確に帰還されるように並べられたFMCデータセット、特定の送信機/受信機に属するアスキーは、FMCデータセット内の特定の列にあると予測される
pre_ computearrayscoords	該当なし	該当なし	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス内のエントリは、プロローブアレイ要素xの成分位置である
o__computeinitcoords3	2Dマトリックス/double	送信機/受信機対の超音波データの送信と記録との間の遅延(サンプル数単位)にエントリが対応する2Dマトリックス、各エントリの行及び列は、その送信機及び受信機対にそれぞれ対応する	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス/scale 2 列マトリックス/scale 2 列マトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 速度マップ計算の第1のパスのx座標、 2 速度マップ計算の第2のパスのx座標、 3 速度マップ計算の第3のパスのx座標、 (x, z)対毎に、プロファイル番号は、この対がどのFMCに属するかを示す。 備考: この変換アレイは、異なるデータセットに属するOD速度マップの並列処理に用いられる。 1度: 1つのみのデータセットが処理されている場合、プロファイル内のあらゆるエントリは、1に設定される
o__computearraycoords4	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス/scale 2 列マトリックス/scale 3 列マトリックス/scale 4 スケール/double 	<ul style="list-style-type: none"> 1 計算された速度マップ座標のx座標 2 計算された速度マップ座標のx座標 3 計算された速度マップ座標のx座標 4 ループ反復 	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス/scale 2 列マトリックス/scale 3 列マトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 指定の速度遮断を越える、速度マップ座標の近傍のx座標 2 指定の速度遮断を越える、速度マップ座標の近傍のx座標 3 指定の速度遮断を越える、速度マップ座標の近傍のx座標
o__computearraycoordsan divisibility	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス/scale 2 列マトリックス/scale 3 列マトリックス/scale 4 列マトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 プローブアレイx座標 2 差出人速度マップ計算に用いられるx座標 3 差出人速度マップ計算に用いられるx座標 4 差出人速度マップ計算に用いられるx座標 	<ul style="list-style-type: none"> 1 2Dマトリックス/scale 2 2Dマトリックス/論理 	<ul style="list-style-type: none"> 1 マトリックスのエントリは、系与のプローブアレイ要素の移動時間(サンプル数単位)及び速度マップ座標をもたらす。マトリックスの行は(x, z)座標インデックスに対応し、マトリックスの列はプローブアレイ要素インデックスに対応する。 2 マトリックスのエントリは、速度マップ座標が指定されたユーザー定義の要素拒否性内にある場合には「真」をもたらす、その他の場合は「偽」をもたらす。 マトリックスの行は、(x, z)座標インデックスに対応し、マトリックスの列はプローブアレイ要素インデックスに対応する。
s'mzoom2	<ul style="list-style-type: none"> 1 3Dマトリックス/ single(complex) 6 スケール/scale 6 3Dマトリックス/scale 4 2Dマトリックス/論理 2 2Dマトリックス/scale 2 2Dマトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 フィルタリングされヒルベルト変換されたFMCデータ 2 列マトリックスは、入力項目2及び3での各行インデックスのプロファイル番号を示す 3 マトリックスのエントリは、系与のプローブアレイ要素の移動時間(サンプル数単位)及び速度マップ座標をもたらす。マトリックスの行は(x, z)座標インデックスに対応し、マトリックスの列はプローブアレイ要素インデックスに対応する 4 マトリックスのエントリは、速度マップ座標が指定されたユーザー定義の要素拒否性内にある場合には「真」をもたらす、その他の場合は「偽」をもたらす。 マトリックスの行は、(x, z)座標インデックスに対応し、マトリックスの列はプローブアレイ要素インデックスに対応する。 5 マトリックスのエントリは、系与のプローブアレイ要素の移動時間(サンプル数単位)及び速度マップ座標をもたらす。マトリックスの行は(x, z)座標インデックスに対応し、マトリックスの列はプローブアレイ要素インデックスに対応する。 6 メイン速度マップに追加される前に、各アパーチャからの値がバスすべき区間周波数 	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 入力項目2のインデックスと系与のインデックスに記憶された座標の計算された速度
o__computecoordinatesaboveauto	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス/scale 2 列マトリックス/scale 3 列マトリックス/scale 4 列マトリックス/scale 5 列マトリックス/scale 6 列マトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 速度マップ計算に用いられるx座標 2 速度マップ計算に用いられるx座標 3 差出人速度マップ計算に用いられる座標プロファイル 4 各座標プロファイルの組合せの計算された速度 5 列マトリックスのエントリは、エントリの速度を越える速度を有する座標周囲の新しい座標が、計算された、対応する速度を有する座標プロファイルの速度遮断を与える 	<ul style="list-style-type: none"> 1 列マトリックス/scale 2 列マトリックス/scale 3 列マトリックス/scale 	<ul style="list-style-type: none"> 1 新たに定義されたx座標 2 新たに定義されたx座標 3 系与の新たに定義された座標の座標プロファイル

【表 1 6】

表A4ー境界認識パラメーター

変数	クラス	説明
sigmaMeters	Double	キャニーエッジ検出で実施される 重畳ウィンドウのサイズを定義するスカラー
thresholdParams	Double	thresholdParams(1)は低遮断閾値を定義し、 thresholdParams(2)は高遮断閾値を定義する、 キャニーエッジ検出における2要素のベクトル
SEDimsZX	Double	エッジ検出された境界を膨張させるために 用いられる矩形構造化要素パラメーターを 定義する2要素ベクトル(正の整数のみを含む)。 SEDimsZX(1)は矩形構造化要素の高さ(z方向)を含み、 一方、SEDimsZX(2)は矩形構造化要素の幅(x方向)を含む
maxSEDims	Double	入力強度マップの垂直スライスで見つかった 最大強度のピクセルを膨張させるために用いられる 矩形構造化要素パラメーターを定義する2要素ベクトル (正の整数のみを含む)。 maxSEDims(1)は矩形構造化要素の高さ(z方向)を含み、 一方、maxSEDims(2)は矩形構造化要素の幅(x方向)を含む
edgeMaxDistance	Double	強度マップでのキャニーエッジ検出点と (z方向における)最大強度の点の点との許容可能な 最大距離(z方向における)を定義するスカラー
lengthTrim	Double	トリミングされ、トリミングされた端部と同じ垂直スライスで見つけられた、 並進した最大強度座標で置換される、 エッジ検出された連結成分端部の長さ(x方向における)を 定義するスカラー
minAcceptableLength	Double	計算される境界の許容可能な 最小長さ(x方向において)を定義するスカラー。 計算される境界の長さが、 許容可能な最小長さ未満の場合、 境界は返されない
maxDisjointPieces	Double	計算された境界で許容される 水平連結成分の最大数を定義するスカラー。 水平に連結された成分の数が maxDisjointPiecesを超える場合、 境界は返されない

10

20

【 0 3 9 8 】

30

【表 17】

表A6ー境界画定関数	変数	クラス	説明	出力データ/出力データクラス	出力説明
makematrixoutofspare	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/single 3. 行マトリックス/single 4. スカラー変数/single 5. スカラー変数/single	2次元マトリックス/double	項目1及び2は熱度マップのx-z座標である。 項目3は、x、y、z座標ごとに記憶される熱度である。 したがって、項目1～3は等しい値を有する。 項目4及び5は、x座標とy座標との間の それぞれの最小間隔である	2次元マトリックス/double	熱度値を含むマトリックス。 熱度値及びそれらの位置は項目1～3に記憶される。 熱度をマトリックスエントリに マッピングする必要がある場合、 hashがそのエントリに記憶される
filnan	2次元マトリックス/double	2次元マトリックス/double	マッピングされた 疎な座標三つ組み (x、y、z)の熱度値を含むマトリックス	2次元マトリックス/double	出力マトリックスは入力マトリックスと同一であり、 疎なhashエントリには、 空のエントリ/熱度の熱度値が入れられる。 hashエントリの大きなブロックには、 値が0で置換される
leading_edge	1. 2次元マトリックス/double 2. スカラー変数/double 3. スカラー変数/double 4. スカラー変数/double 5. スカラー変数/double	2次元マトリックス/double	項目1及び2は、2Dマトリックスフォーマットの 熱度マップを含む。 項目3及び4は、 キャーエッジ抽出の閾値値及び 距離値のそれぞれを含む。 項目5及び6は、 キャーエッジ抽出の水平シフト値及び 距離シフト値のそれぞれを含む	1. 2次元マトリックス/double 2. 2次元マトリックス/double	1. 入力項目1の抽出された 2. 入力項目1を平滑化したもの エッジを含む2次元画像
computepointsbelowedgewithindistance	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/single 3. 行マトリックス/single 4. 行マトリックス/single 5. スカラー変数/double	2次元マトリックス/double	項目1及び2はそれぞれ、 leading edge関数から出力される 平滑化マップの垂直スライスの 最大熱度ピクセルの座標及び座標をそれぞれ含む。 項目3及び4は、 leading edge関数から出力される エッジのx座標及びy座標をそれぞれ含む	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/double	項目1及び2はそれぞれ、 関数leading edgeから出力される エッジの真下にある同一のx座標を有するが、 より小さなy座標を有する。最大熱度ピクセルの x座標及びy座標を含む
computepointsabovemaxline	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/single 3. 行マトリックス/single 4. 行マトリックス/double	2次元マトリックス/double	項目1及び2はそれぞれ、 leading edge関数から 出力されるマップのx座標及びy座標を含む。 項目3及び4はそれぞれ、 関数computepointsbelowedgewithindistanceから 出力された最大熱度ピクセルの x座標及びy座標を含む	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/double	項目1及び2はそれぞれ、 入力項目1及び2の関数leading edgeから出力されるエッジの x座標及びy座標である。 同一のx座標を有するが、より小さなy座標を有する。
computepointswithindistance	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/single 3. 行マトリックス/single 4. 行マトリックス/double 5. スカラー変数/double	2次元マトリックス/double	項目1及び2はそれぞれ、 関数computepointsabovemaxlineから 出力されるエッジ座標及びエッジ座標を含む。 項目3及び4はそれぞれ、 関数computepointsbelowedgewithindistanceから 出力される最大熱度ピクセルの x座標及びy座標を含む。 項目5は、入力座標、1及び2と 入力座標、3及び4との間の 最大距離を指定する距離、x単位である	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/double	項目1及び2はそれぞれ、 関数computepointsbelowedgewithindistanceから 出力される最大熱度ピクセルの垂直距離内のエッジの x座標及びy座標を含む
coords2matrix	1. 2次元ベクトル/double 2. 2次元ベクトル/single 3. 2次元ベクトル/single 4. 行マトリックス/single 5. 行マトリックス/double	2次元マトリックス/double	項目1は、関数makematrixoutofspareから 出力される熱度マップマトリックスの高さ、第1の要素 及び第2の要素を含む。 項目2はそれぞれ、 第1及び第2の要素の熱度マップの x軸下段及びx軸上段、x軸もそれぞれを含む。 項目3はそれぞれ、 関数から出力されるエッジ座標の x軸、y軸もそれぞれを含む	2次元マトリックス/double	入力項目4及び5のエッジ位置から マッピングされるエントリに高さを 2次元画像、高さは他の全てのエントリに占められる。
imdilute	1. 2次元マトリックス/論理 2. 2次元マトリックス/論理	2次元マトリックス/論理	1. 関数coord2matrixから 出力される2次元画像 2. 入力項目1の形態学的減縮演算に 用いられる2次元画像	2次元マトリックス/論理	入力2次元2次元マトリックスの減縮後画像
bwlabeln	2次元マトリックス/論理	2次元マトリックス/double	関数imdiluteから出力される2次元画像	2次元マトリックス/double	各のエントリを有する入力マトリックスは0に設定され、 種々の連結成分は、 正の整数1、2、3、...で数えられる
bwmorph	1. 2次元マトリックス/論理 2. 2次元マトリックス/論理 3. スカラー変数/double	2次元マトリックス/論理	1. 関数imdiluteから出力される2次元画像 2. 文字列は、形態学的演算を定義する。 文字列は定数thinに設定される。 3. 入力2次元画像、入力項目1に対して実行される 相対に演算の数を定義するスカラー。 その値は、相対に演算が、 もはや有効でなくなるまで 適用に成功し続けるように0に設定される	2次元マトリックス/論理	入力2次元画像が明確化される
trimcomponentsrel	2次元マトリックス/論理	2次元マトリックス/論理	2次元画像がbwmorphから出力される	2次元マトリックス/論理	入力2次元画像の連結成分は、 より大きな連結成分と共に垂直スライスに ピクセルを有するより小さな連結成分が、 これらのピクセルを他に指定するようにマッピングされる
removeallconnectionsbetweenlines	2次元マトリックス/論理	2次元マトリックス/論理	trimcomponentsrelから出力される2次元画像	2次元マトリックス/論理	境界に全ての接合点を有する入力2次元画像が除去される
removebottomcomponent	2次元マトリックス/論理	2次元マトリックス/論理	2次元画像が removeallconnectionsbetweenlinesから出力される	2次元マトリックス/論理	マトリックスの任意の列に関して 上段、最右の列に対応する列のみが 保持されるようにマッピングされる
removecomponentsvertline	2次元マトリックス/論理	2次元マトリックス/論理	removebottomcomponentから出力される2次元画像	2次元マトリックス/論理	より大きな連結成分と 同じ垂直スライスにピクセルを有するより 小さな連結成分が完全に除去されるように、 入力2次元画像の連結成分を完全に除去する
replaceoigartips	1. 2次元マトリックス/論理 2. 2次元マトリックス/論理 3. スカラー/double 4. 2次元マトリックス/論理	2次元マトリックス/論理	1. 特定のラベルに属する 関数bwlabelnから出力された エッジを含む関数removecomponentsvertlineから 出力された2次元画像 2. 関数computepointsbelowedgewithindistanceから 出力された最大熱度座標を有する2次元画像 3. 入力項目1の水平座標をマッピングする、計算されたピクセル数 と、入力項目2の形態学的減縮演算で用いられる2次元画像	2次元マトリックス/論理	水平連結成分の端部が、 入力項目2の垂直に並進移動した点で置換された。 入力項目1を含む2次元画像
matrix2coordswithin	1. 2次元マトリックス/論理 2. 2次元ベクトル/Single 3. 2次元ベクトル/Single	2次元マトリックス/Single	項目1は関数replaceoigartipsから出力される2次元画像を含む。 項目2、3もそれぞれ、第1及び第2の要素の熱度マップの x軸下段及びx軸上段、x軸もそれぞれを含む	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/single	項目1及び2はそれぞれ、 関数replaceoigartipsから出力される 計算されたエッジの2次元画像の x座標及びy座標を含む
Matrix2coordsinterponly	1. 2次元マトリックス/論理 2. 2次元ベクトル/Single 3. 2次元ベクトル/Single	2次元マトリックス/Single	項目1は関数replaceoigartipsから出力される2次元画像を含む。 項目2、3もそれぞれ、第1及び第2の要素の熱度マップの x軸下段及びx軸上段、x軸もそれぞれを含む	1. 行マトリックス/single 2. 行マトリックス/single	項目1及び2はそれぞれ、 関数replaceoigartipsから出力される 計算されたエッジの2次元画像の x座標及びy座標を含む

10

20

30

【0399】

【表 18】

表A6ー境界画定パラメーター

変数	クラス	説明
幅	Single	これは、MedianFilter関数で用いられる メジアンフィルターの幅を決める。 幅は、所与のデータ点を置き換える 中央値を選ぶ際に用いられるデータ点の数を決める
smoothWidth	Single	これは、PerformSmoothing関数で 適用されるサビツキーゴーレイフィルターの幅を決める
smoothOrder	Single	これは、PerformSmoothing関数で適用される サビツキーゴーレイフィルターにおいて 表面を近似するのに用いられる多項式の次数を決める。

40

【0400】

【表 19】

表A7ー境界画定関数

関数名	入力データ／ 入力データクラス	入力データ説明	出力データ／ 出力データクラス	出力説明
MedianFilter	1. 1D列マトリックス ／single 2. 1D列マトリックス ／single 3. 正の整数 ／single	1. フィルタリングされる表面のx成分 2. フィルタリングされる表面のy/z成分 3. 用いられるメジアンフィルターの幅	1. 1D列マトリックス／single 2. 1D列マトリックス／single	1. フィルタリングされた 表面のx成分 2. フィルタリングされた 表面のy/z成分
PerformSmoothing	1. 1D列マトリックス ／single 2. 1D列マトリックス ／single 3. 正の整数 ／single 4. 正の整数／single	1. フィルタリングされる表面のx成分 2. フィルタリングされる表面のy/z成分 3. 用いられる平滑化ウィンドウの幅 4. 平滑化近似で用いられる多項式の 次数	1. 1D列マトリックス／single 2. 1D列マトリックス／single	1. 平滑化された 表面のx成分 2. 平滑化された 表面のy/z成分

10

【 0 4 0 1 】

【表 20】

表A8ーIFM OD境界準備パラメーター

変数	クラス	説明
width	Single	これは、MedianFilter関数で用いられる メジアンフィルターの幅を決める。 幅は、所与のデータ点を置き 換える中央値を選ぶときに用いられる データ点の数を決める
smoothWidth	Single	これは、PerformSmoothing関数で 適用されるサビツキーゴーレイフィルターの幅を決める
smoothOrder	Single	これは、PerformSmoothing関数で適用される サビツキーゴーレイフィルターにおいて 表面を近似するのに用いられる 多項式の次数を決める
surfaceSamplingInterval	Single	この数は正の整数である。 数1は、所与のOD表面のあらゆる点を用いるべきことを示 す。 数2は1つおきの点を用いることを示し、 数3は2つおきの点を用いることを示し、

20

30

【 0 4 0 2 】

【表 21】

表A9ーIFM OD境界準備関数

関数名	入力データ／入力データクラス	入力データ説明	出力データ／出力データクラス	出力説明
MedianFilter	1. 1D列マトリックス ／single 2. 1D列マトリックス ／single 3. 正の整数 ／single	1. フィルタリングされる 表面のx成分 2. フィルタリングされる 表面のy/z成分 3. 用いられる メジアンフィルターの幅	1. 1D列マトリックス ／single 2. 1D列マトリックス ／single	1. フィルタリングされた 表面のx成分 2. フィルタリングされた 表面のy/z成分
PerformSmoothing	1. 1D列マトリックス ／single 2. 1D列マトリックス ／single 3. 正の整数 ／single 4. 正の整数／single	1. フィルタリングされる 表面のx成分 2. フィルタリングされる 表面のy/z成分 3. 用いられる 平滑化ウィンドウの幅 4. 平滑化近似で用いられる 多項式の次数	1. 1D列マトリックス ／single 2. 1D列マトリックス ／single	1. 平滑化された 表面のx成分 2. 平滑化された 表面のy/z成分

40

【 0 4 0 3 】

【表 2 2】

表A10-ID撮像パラメータ

変数	クラス	説明
directivityCutoff	Single	個々のアレイ要素から超音波を屈折させると見なされる(SFMアルゴリズムに関して) OD境界座標の特定に用いられる0~1(0及び1を含む)の実数。 要素からOD境界座標への計算される指向性が、directivityCutoffよりも低い場合、そのOD境界座標はプログラムの、要素から音を屈折させるものと見なされない。 指定された位置への要素の指向性を計算するには、指向性を近似する公式が用いられる(理論マニュアル[R-1]参照)
speedOfMedium2	Single	OD表面とD表面との間で見つけれられる第2の検査材料内を音が移動する速度を定義する実数
xMin	Single	強度マップ座標のx成分の絶対下限を定義する実数(m単位)。xMinはxMax未満であるyがOD境界の最小x成分である場合、強度マップ座標のx成分の実際の下限は、以下の2つのスカラー、xMin及び $y - \text{horzBuffer}$ のうちの最大値である
xMax	Single	強度マップ座標のx成分の絶対上限を定義する実数(m単位)。xMinはxMax未満である。 yがOD境界の最大x成分である場合、強度マップ座標のx成分の実際の上限は、以下の2つのスカラー、xMax及び $y + \text{horzBuffer}$ のうちの最小値である
horzBuffer	Single	IFM強度マップのx成分座標を境界付ける実数。yがOD境界の最小x成分である場合、強度マップ座標のx成分の実際の下限は、以下の2つのスカラー、xMin及び $y - \text{horzBuffer}$ のうちの最大値である yがOD境界の最大x成分である場合、強度マップ座標のx成分の実際の上限は、以下の2つのスカラー、xMax及び $y + \text{horzBuffer}$ のうちの最小値である
xSpacing	Single	強度マップ座標での強度の計算を反復実行するx間隔を指定する長さnのベクトル。 合計でn回反復の強度計算が実行される(強度計算が、メモリ要件を減らすために更に分割する必要がないことを前提とする)。 粗い間隔ほど、より劣ったインデックスのベクトルに向けて指定され、一方、細かい間隔ほど、より良好なインデックスのベクトルに向けて指定される。 さらに、 $1 \leq n-1$ の間でのあらゆるiについて、 $dx(i+1) / dx(i)$ は正の整数である
zSpacing	Single	強度マップ座標での強度の計算を反復実行するz間隔を指定する長さnのベクトル。 合計でn回反復の強度計算が実行される(強度計算が、メモリ要件を減らすために更に分割する必要がないことを前提とする)。 粗い間隔ほど、より劣ったインデックスのベクトルに向けて指定され、一方、細かい間隔ほど、より良好なインデックスのベクトルに向けて指定される。 さらに、 $1 \leq n-1$ の間でのあらゆるiについて、 $dz(i+1) / dz(i)$ は正の整数である
firstDiagIndex	Single	0よりも大きく、かつlastDiagIndex未満の正のスカラー。この数は、IFM強度マップ計算に用いられるべきプローブアレイの最初の要素を示す
lastDiagIndex	Single	firstDiagIndexよりも大きく、かつプローブアレイ内の要素数未満の正のスカラー。 この数は、IFM強度マップ計算に用いられるべきプローブアレイ内の最後の要素を示す
zoomPercentages	Single	座標座標の反復計算時に周囲にフォーカスする強度マップでの座標座標を暗黙的に指定する長さn-1のベクトル。 $1 \sim n-1$ のiについて、zoomPercentage(i)は、0~1(0及び1を含む)の実数を含む。 Imaxが、強度マップで計算される最大強度である座標座標計算のi+1回目の反復では、周囲をフォーカスする座標座標は、zoomPercentage(i) * Imaxよりも大きな強度の座標座標である
maxTransmitterReceiverDifference	Single	IFM強度マップ計算に組み合わせて用いられる送信機と受信機との間の最大絶対差を定義する正のスカラー
criticalPoints	Char	3つの文字列「mins」、「maxes」、又は「minsandmaxes」のうちの1つ。criticalPointsが「mins」(「maxes」もそれぞれ)に等しい場合、移動経路時間の極小のみ(極大もそれぞれ)が、屈折した超音波の真の移動経路と見なされる。 criticalPointsが「minsandmaxes」に等しい場合、移動経路時間の極小及び極大の両方が、屈折した超音波の真の移動経路と見なされる
doNormalization	論理	doNormalizationが真に設定される場合、IFM計算の全てのAスキャンの正規化が実行される。 その他の場合、doNormalizationは偽に設定され、正規化は計算されない
threshold	Single	0よりも大きく、かつ100以下の実数。この数は、Aスキャンデータで正規化される波束の遮断包絡線高さを指定する。 「y」を全てのFMCデータの最大包絡線値とする場合、閾値 * y / 100以上のピーク高さを有する波束情報が正規化される。 Aスキャンでの全ての他の情報は0に設定される。ヒルベルト変換されたデータの包絡線が単にその大きさであることを想起する
width	Single	1よりも大きく、FMCデータに含まれるAスキャンの任意の非ゼロ長以下である正のスカラー。 この数は、Aスキャンでの別個の波束間の距離(デジタル化ポイント数単位)を指定する。 閾値変数よりも大きな包絡線ピーク間の距離が変数幅を超える場合、包絡線ピークは別個の波束に属すると見なされる。 その他の場合、包絡線ピークは同じ波束に属すると見なされる
Runup	Single	1よりも大きく、FMCデータに含まれるAスキャンの任意の非ゼロ長以下である正のスカラー。 この数は、包絡線ピーク自体とともに正規化される閾値変数よりも大きい値を有する包絡線ピークに先立つAスキャン値の数(デジタル化ポイント数単位)を指定する

10

20

30

【 0 4 0 4 】

【表 2 3】

表A11-ID遷移関数

関数名	入力データ/入力データクラス	入力データ説明	出力データ/出力データクラス	出力説明
O__computeSurfaceRectVtyfactor	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed 3. 1D列マトリックス/signed 4. スカラー/signed	1. フローブレイ要素のx座標 2. 表面のx座標 3. 表面のz座標 4. 水中での励起パルスの波長	1. 2Dマトリックス/論理	エントリ(. < >)は、要素からインデックス<を有する表面座標への指向性が大域的に定義される「surfaceD_rectVtyCutoff」以上である場合「真」を含む。その他の場合、「偽」を含む。
O__computeFaceCoordinates	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed 3. 1D列マトリックス/signed 4. スカラー/signed	1. 表面のx座標 2. 表面のz座標 3. フローブレイ要素のx座標 4. 水中での音速	2Dマトリックス/signed	エントリ(. < >)は、音響パルスがフローブレイ内の要素<から、インデックスを有する表面座標まで移動するのに必要な時間を含む。
O__computeCoordinates	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed	1. 表面座標のx成分 2. 表面座標のz成分	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed	1. 初期強度計算の座標のx成分 2. 初期強度計算の座標のz成分
O__computeCurvCoordinates4_d	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed 3. 1D列マトリックス/signed 4. 1D列マトリックス/signed 5. 正の整数/does	1. 前のループ反復の強度計算の座標のx成分 2. 前のループ反復の強度計算の座標のz成分 3. 表面座標のx成分 4. 表面座標のz成分 5. 強度計算ループの反復	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed	1. 指定の強度遅延を超える強度マップ座標の近傍のx座標 2. 指定の強度遅延を超える強度マップ座標の近傍のz座標
O__removeCoordinatesBounds3	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed 3. 1D列マトリックス/signed 4. 1D列マトリックス/signed	1. 現在のループ反復の強度計算の座標候補のx成分 2. 現在のループ反復の強度計算の座標候補のz成分 3. 表面座標のx成分 4. 表面座標のz成分	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed	1. 定義された強度マップ境界内の現在のループ反復の強度計算の座標のx成分 2. 定義された強度マップ境界内の現在のループ反復の強度計算の座標のz成分
O__computeCoordinatesFromFace10	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed 3. 1D列マトリックス/signed 4. 1D列マトリックス/signed	1. 現在のループ反復の強度計算の座標のx成分 2. 現在のループ反復の強度計算の座標のz成分 3. 表面座標のx成分 4. 表面座標のz成分	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed 3. 2Dマトリックス/論理	1. 現在のループ反復の強度計算の座標のソートされたx成分 2. 現在のループ反復の強度計算の座標のソートされたz成分 3. エントリ(. < >)は、表面座標<と、入力表面と交差しない(座標、での交差を除き)強度マップ座標まで直線がある場合、「真」である。その他の場合、エントリ(. < >)は「偽」である。
O__computeFaceCoordinates	1. 1D列マトリックス/signed 2. 1D列マトリックス/signed 3. 1D列マトリックス/signed 4. 1D列マトリックス/signed	1. 現在のループ反復の強度計算の座標のx成分 2. 現在のループ反復の強度計算の座標のz成分 3. 表面座標のx成分 4. 表面座標のz成分	1. 2Dマトリックス/signed	1. エントリ(. < >)は、要素<から、インデックスを有する表面座標までの水中での音の移動時間である。
O__computeTravelTime4	1. 2Dマトリックス/signed 2. 2Dマトリックス/signed 3. 2Dマトリックス/論理 4. 2Dマトリックス/論理	1. エントリ(. < >)は、要素<から、インデックスを有する表面座標までの水中での音の移動時間である。 2. エントリ(. < >)は、音響パルスが、フローブレイ内の要素<から、インデックスを有する表面座標に移動するために必要な時間を含む。 3. エントリ(. < >)は、要素<から、インデックスを有する表面座標への指向性が、大域的に定義される「surfaceD_rectVtyCutoff」以上である場合、「真」を含む。「偽」を含む。 4. エントリ(. < >)は、表面座標<と、入力表面と交差しない(座標、での交差を除き)強度マップ座標まで直線がある場合、「真」である。その他の場合、エントリ(. < >)は「偽」である。	1. フィールドを有する構造 a) 列マトリックス/符号なし整数(16ビット) b) 列マトリックス/signed c) 列マトリックス/符号なし整数(8ビット) d) 列マトリックス/符号なし整数(8ビット) e) スカラー/符号なし整数(8ビット) f) フィールドd)の長さを含む。	構造のインデックス(線形フローブレイの要素に対応する)に関して、 a) エントリは座標のインデックスを含む b) エントリは、要素から、フィールドa)においてインデックスを有する座標までの移動時間(サンプル数単位)を含む c) エントリは、要素から、フィールドa)においてインデックスを有する座標までの移動時間解数を含む d) 要素から全ての検査座標までの解数の集合を含む e) フィールドd)の長さを含む。
O__fmzoom8	1. 2x1要素マトリックス/does d) 列マトリックス/符号なし整数(8ビット) 2. 2Dマトリックス/complex signed 3. 2Dマトリックス/signed 4. 2Dマトリックス/signed 5. 以下のフィールドを有する構造 a) 列マトリックス/符号なし整数(16ビット) b) 列マトリックス/signed c) 列マトリックス/符号なし整数(8ビット) e) スカラー/符号なし整数(8ビット)	1. 座標マトリックスのサイズ 2. Aスキヤンが垂直寸法に含まれるFMCデータセット 3. エントリ(. < >)は、送信機及び受信機に属するAスキヤンの列インデックスを含む 4. エントリ(. < >)は、要素からの超音波の送信と、受信機からのAスキヤンデータの記録との間のオフセット(サンプル数単位)を含む 5. 構造のインデックス(線形フローブレイの要素に対応する)に関して、 a) エントリは座標のインデックスを含む b) エントリは、要素から、フィールドa)においてインデックスを有する座標までの移動時間(サンプル数単位)を含む c) エントリは、要素から、フィールドa)においてインデックスを有する座標までの移動時間解数を含む d) 要素から全ての検査座標までの解数の集合を含む e) フィールドd)の長さを含む。	1. 列マトリックス/signed	1. 計算強度に一致するインデックスを有する座標の計算強度
O__computeCoordinatesAboveCutoff_d	1. 列マトリックス/signed 2. 列マトリックス/signed 3. 列マトリックス/signed 4. スカラー/signed	1. 座標x成分 2. 座標z成分 3. 座標強度 4. 遅延強度値	1. 列マトリックス/signed 2. 列マトリックス/signed	1. 遅延強度値(入力項目4)を超える強度値を有する座標x成分 2. 遅延強度値(入力項目4)を超える強度値を有する座標z成分

【表 2 4】

表A12-2"参照ブロック(シリアル番号001)寸法

位置		英単位系から 変換された測定値	丸められた測定値	段差デルタ
スキャン	ブロック			
	1	2.032	2.03	
	2	5.0038	5	
	3	8.00608	8.01	
	4	10.9982	11	
	5	13.9827	13.98	
	6	16.99006	16.99	
	7	23.89632	23.90	3.00
	8	20.89912	20.90	3.00
	9	17.89684	17.90	3.00
	10	14.89964	14.90	3.00
	11	11.89736	11.90	2.97
	12	8.9281	8.93	

10

【 0 4 0 6】

【表 2 5】

表A13-2"参照ブロック(シリアル番号002)寸法

位置		英単位系から変換された測定値	丸められた測定値	段差デルタ
スキャン	ブロック			
	1.00	2.03	2.03	
	2.00	5.01	5.01	
	3.00	8.03	8.03	
	4.00	11.01	11.01	
	5.00	13.99	13.99	
	6.00	17.00	17.00	
	7.00	23.89	23.89	2.99
	8.00	20.90	20.90	3.01
	9.00	17.89	17.89	3.00
	10.00	14.90	14.90	3.00
	11.00	11.90	11.90	2.98
	12.00	8.92	8.92	

20

30

【 0 4 0 7】

【表 2 6】

表A14-2. 5"参照ブロック(シリアル番号001)寸法

位置		英単位系から変換された測定値	丸められた測定値	段差デルタ
スキャン	ブロック			
	1.00	2.00	2.00	
	2.00	5.00	5.00	
	3.00	8.00	8.00	
	4.00	11.00	11.00	
	5.00	14.00	14.00	
	6.00	17.00	17.00	
	7.00	24.09	24.09	3.00
	8.00	21.09	21.10	3.01
	9.00	18.08	18.09	2.99
	10.00	15.10	15.10	3.00
	11.00	12.10	12.10	3.01
	12.00	9.09	9.09	

40

【 0 4 0 8】

【表 2 7】

表A15-2. 5"参照ブロック(シリアル番号002)寸法

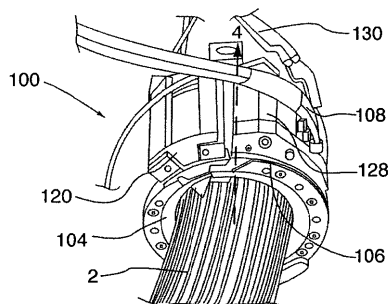
位置		英単位系から変換された測定値	丸められた測定値	段差デルタ
スキャン	ブロック			
	1.00	2.00	2.00	
	2.00	4.99	4.99	
	3.00	8.00	8.00	
	4.00	11.00	11.00	
	5.00	14.00	14.00	
	6.00	16.99	16.99	
	7.00	24.10	24.10	3.00
	8.00	21.10	21.10	3.01
	9.00	18.10	18.10	2.99
	10.00	15.11	15.11	3.01
	11.00	12.09	12.09	3.00
	12.00	9.09	9.09	

10

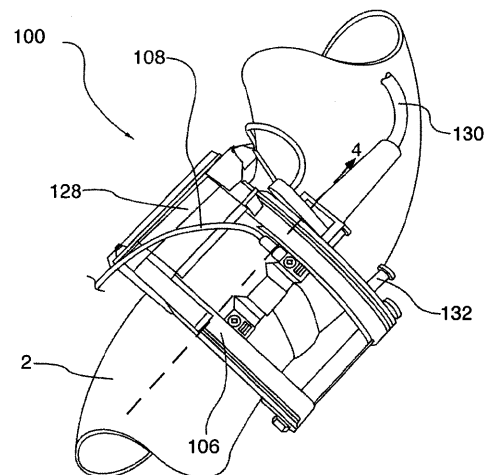
【 0 4 0 9 】

本開示は、本開示の趣旨又は基本的特徴から逸脱せずに、他の特定の形態で具現することができる。説明された実施形態は、全ての点で、限定ではなく単なる例示として見なされるべきである。本開示は、技術の適する変更を全て包含し包括することを意図する。

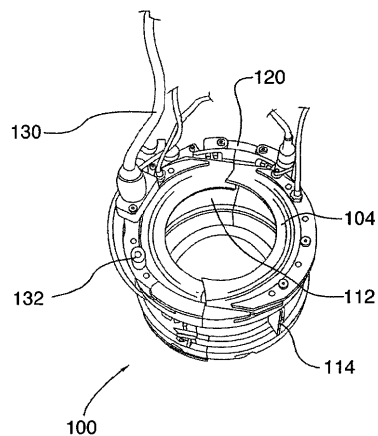
【 図 1 】



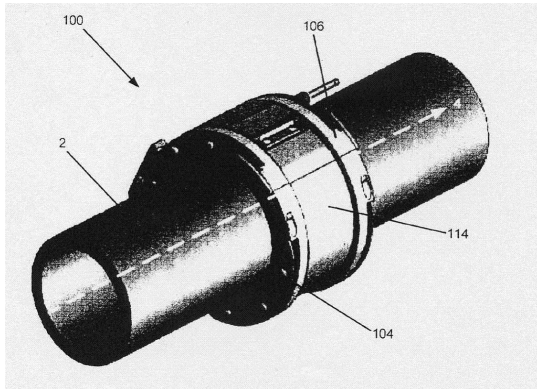
【 図 3 】



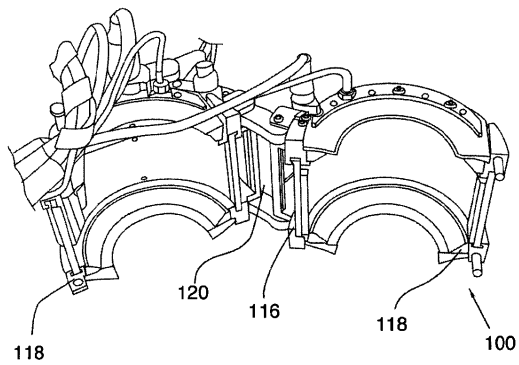
【 図 2 】



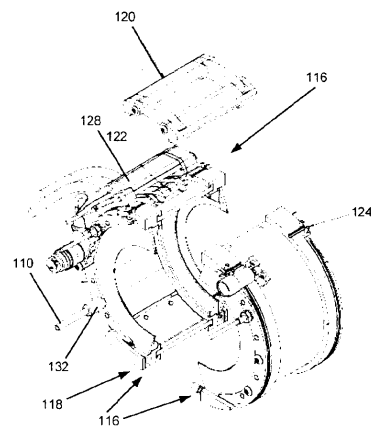
【図 4】



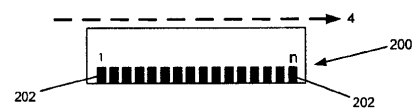
【図 5】



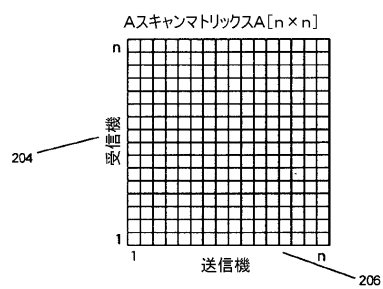
【図 6】



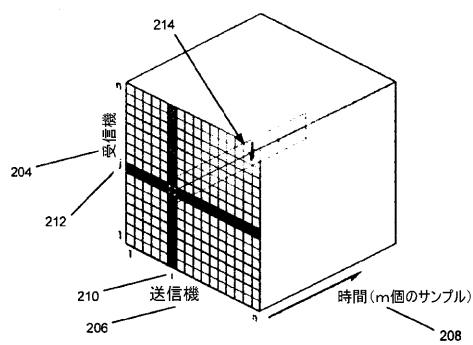
【図 7】



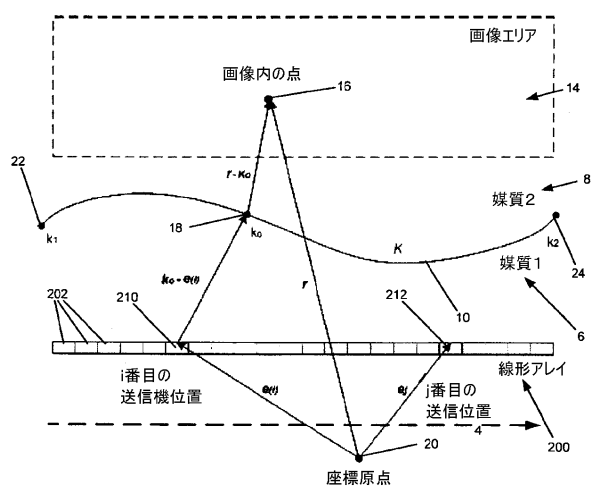
【図 8】



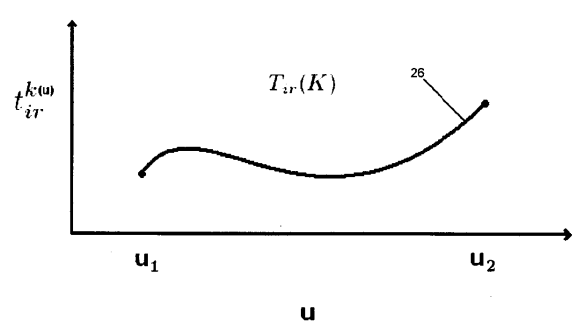
【図 9】



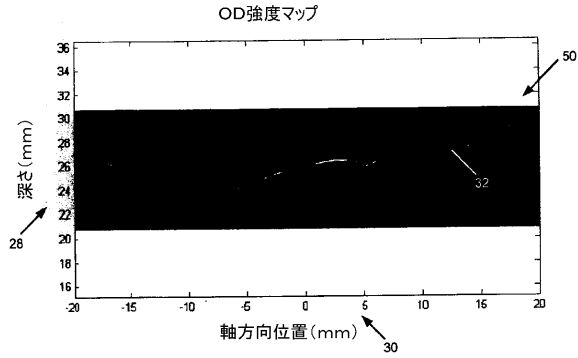
【図 10】



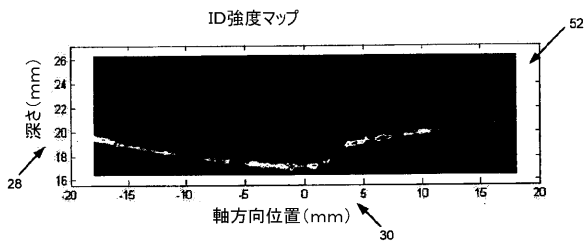
【図 11】



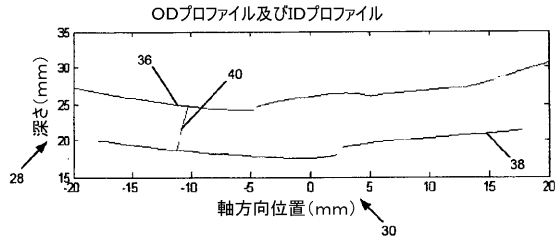
【図 12】



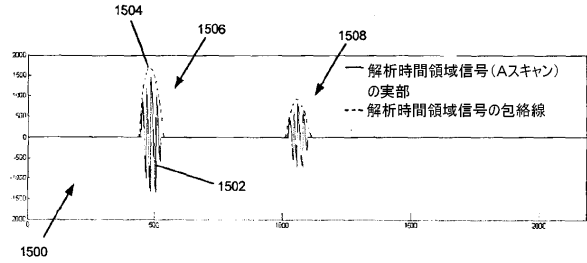
【図 13】



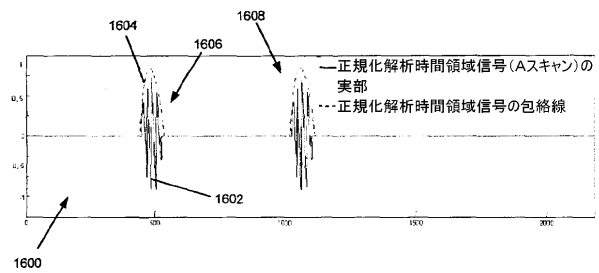
【図 14】



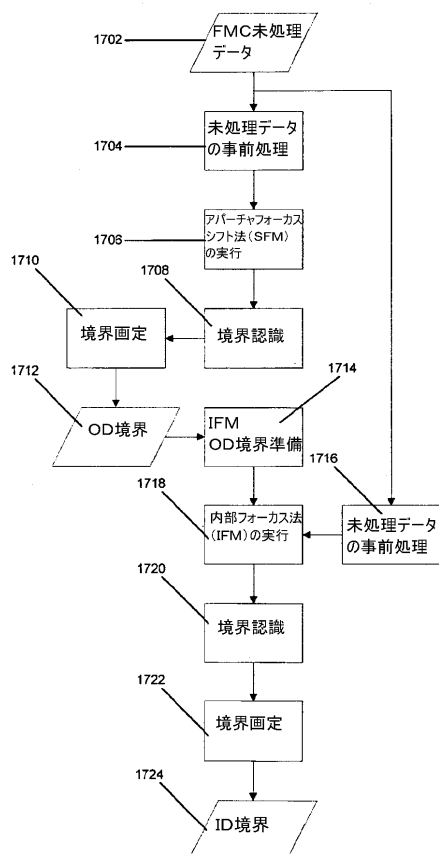
【図 15】



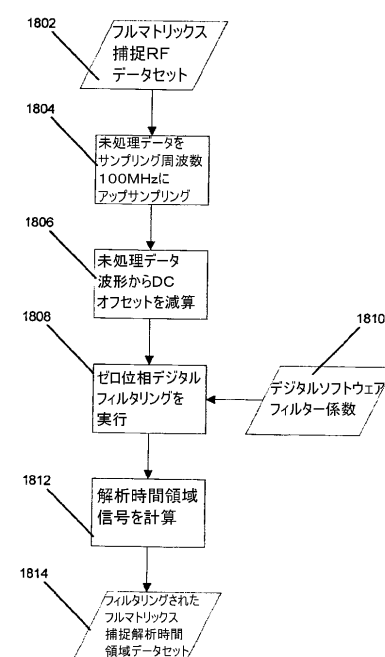
【図 16】



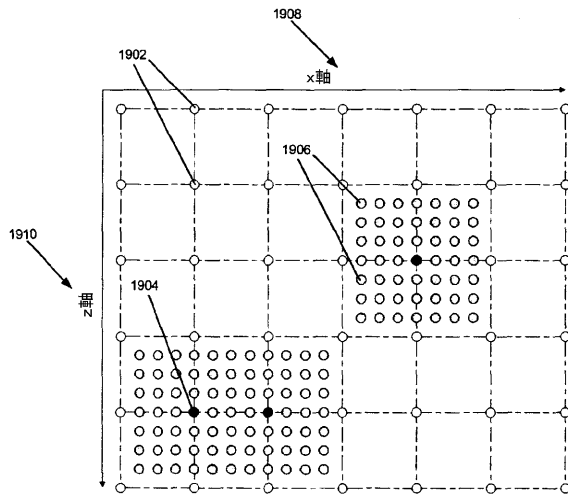
【図 17】



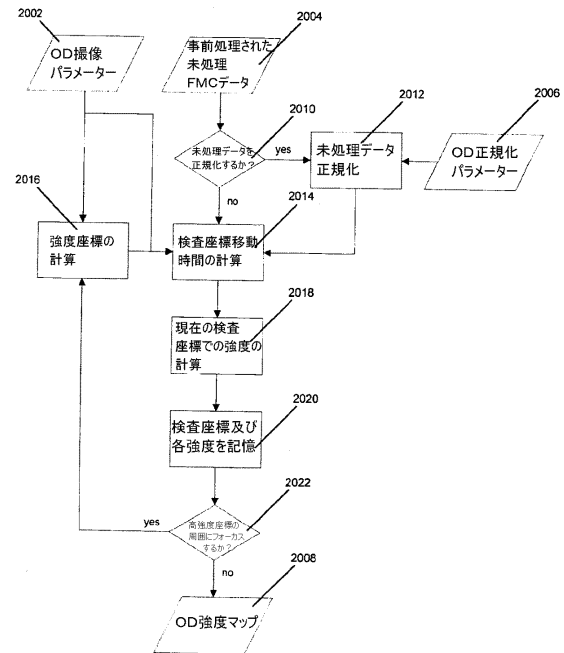
【図 18】



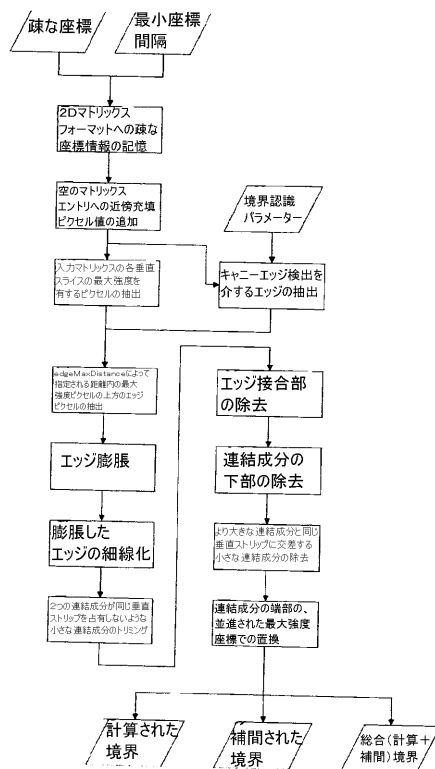
【図 19】



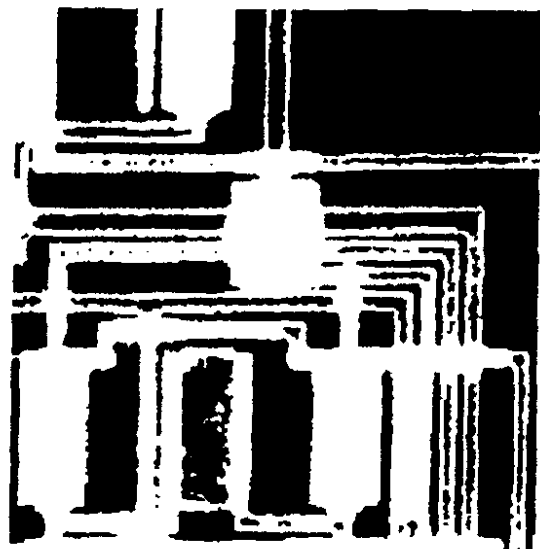
【図 20】



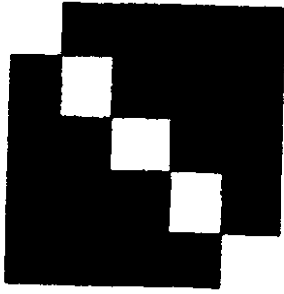
【図 21】



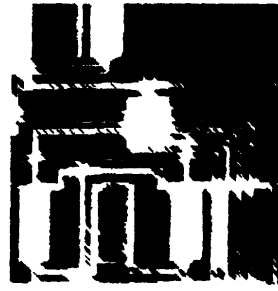
【図 22】



【図 23】



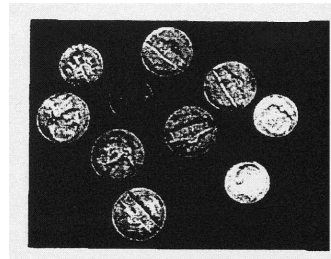
【図 25】



【図 24】



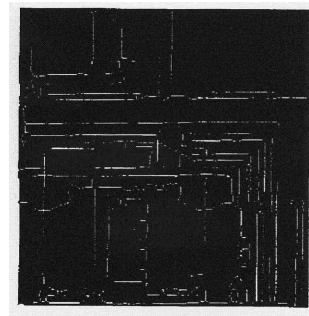
【図 26 a】



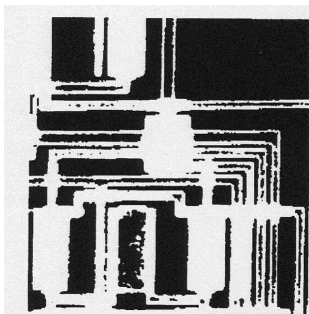
【図 26 b】



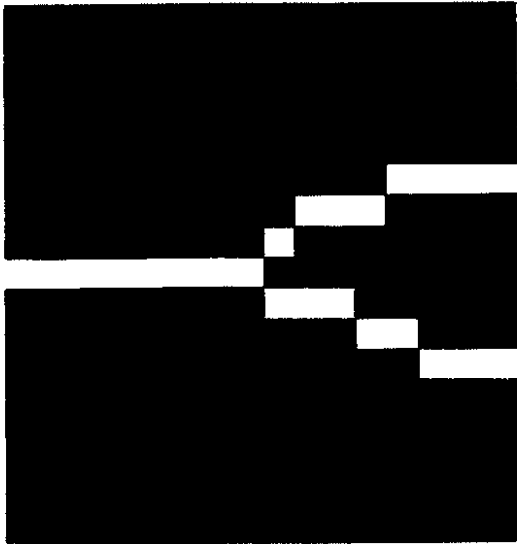
【図 27 b】



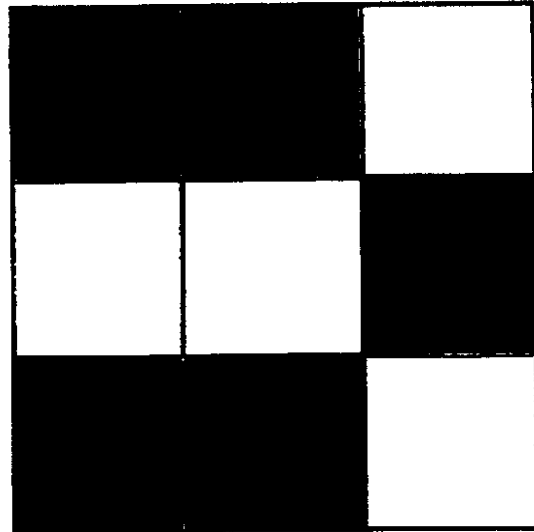
【図 27 a】



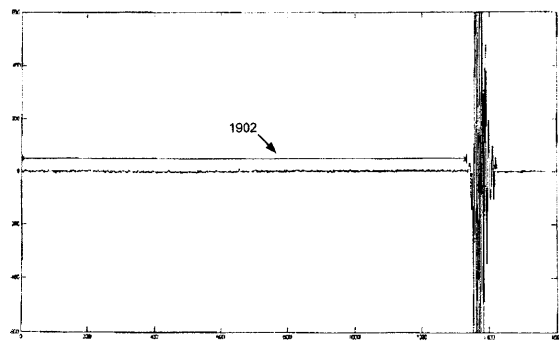
【図 28 a】



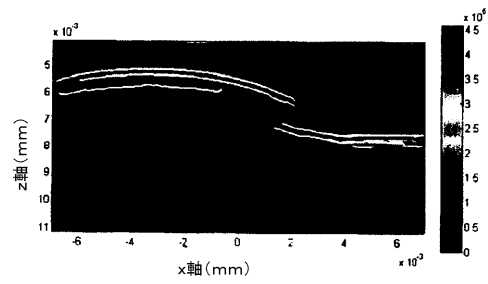
【図 28 b】



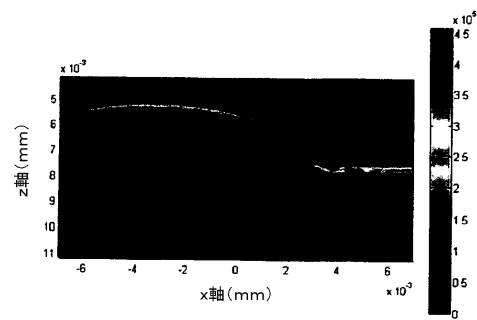
【図 29】



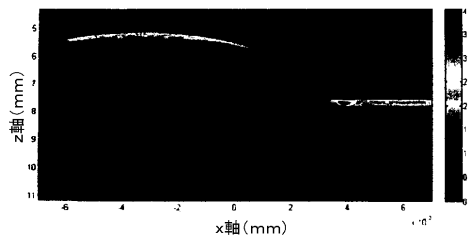
【図 31】



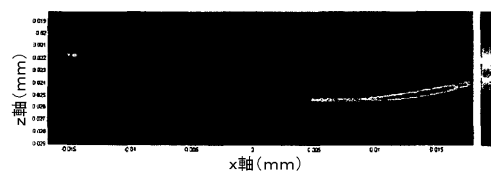
【図 32】



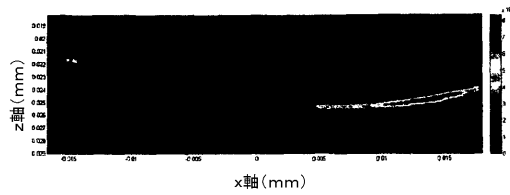
【図 30】



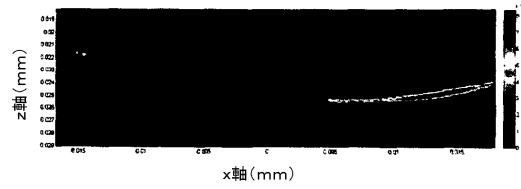
【図 33】



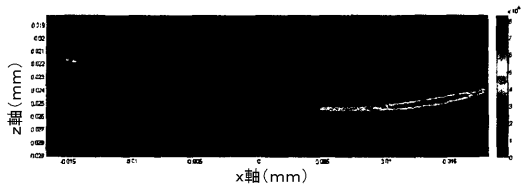
【図 3 4】



【図 3 5】



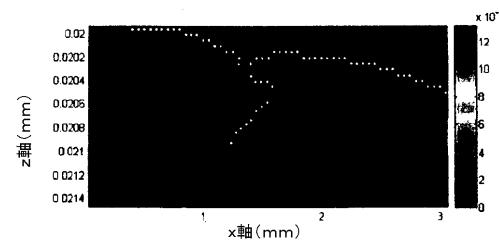
【図 3 6】



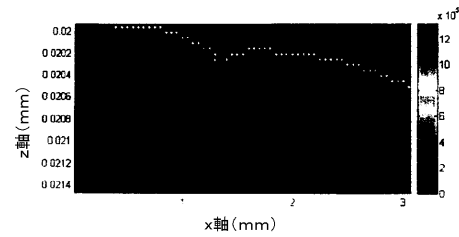
【図 3 7】



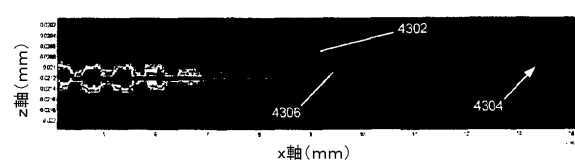
【図 4 1】



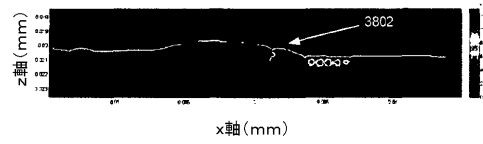
【図 4 2】



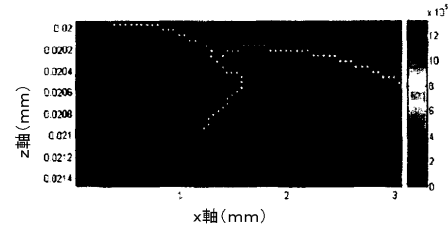
【図 4 3】



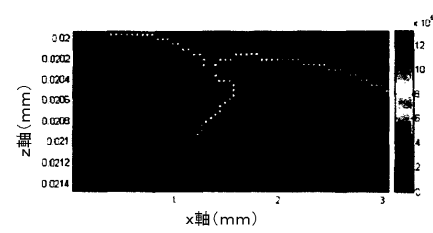
【図 3 8】



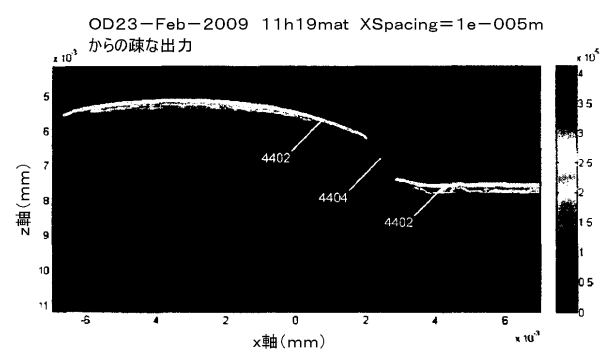
【図 3 9】



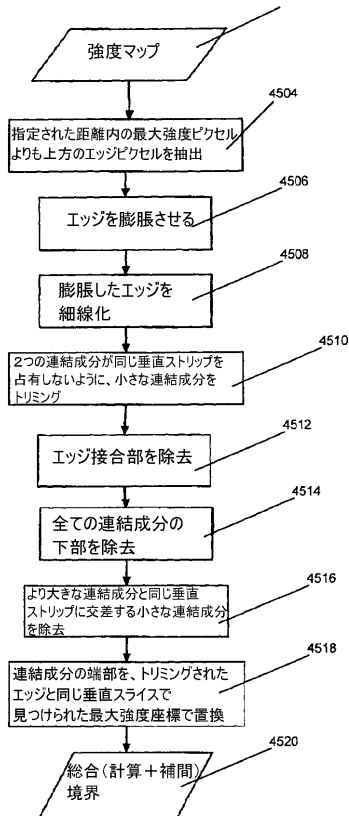
【図 4 0】



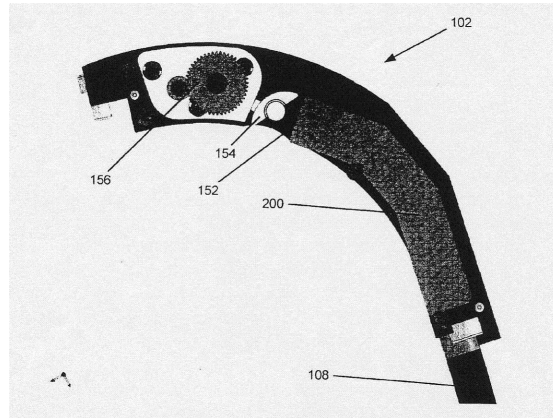
【図 4 4】



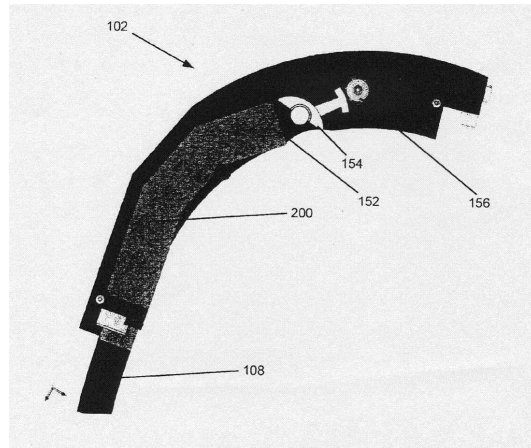
【 図 4 5 】



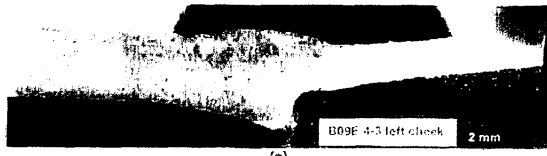
【 図 4 6 】



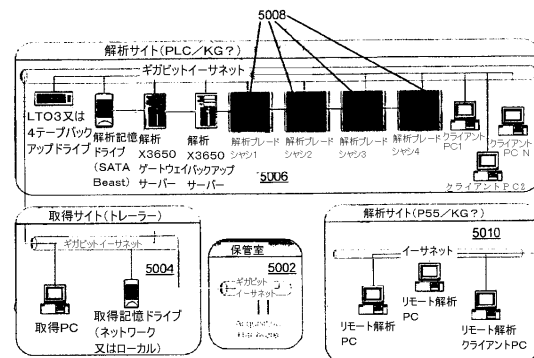
【 図 4 7 】



【 図 4 8 】

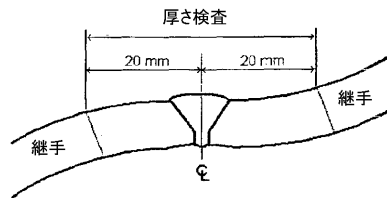


【 図 5 1 】



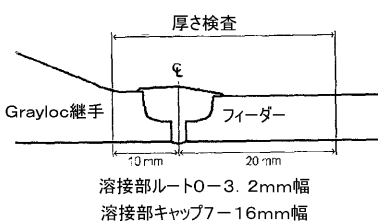
【 図 4 9 】

継手から継手への溶接部の 検査ゾーン

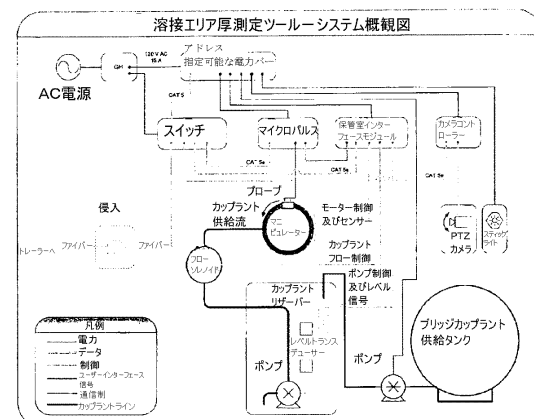


【 図 5 0 】

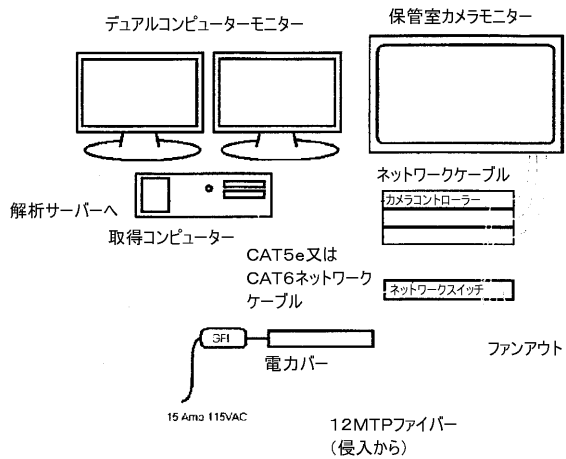
Grayloc溶接部検査ゾーン



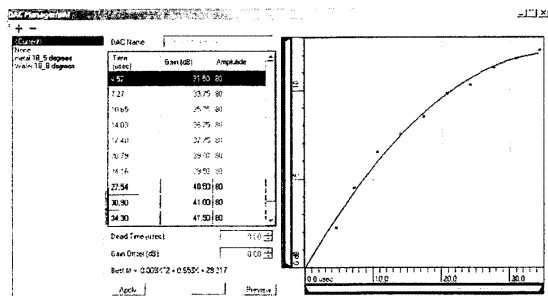
【 図 5 2 】



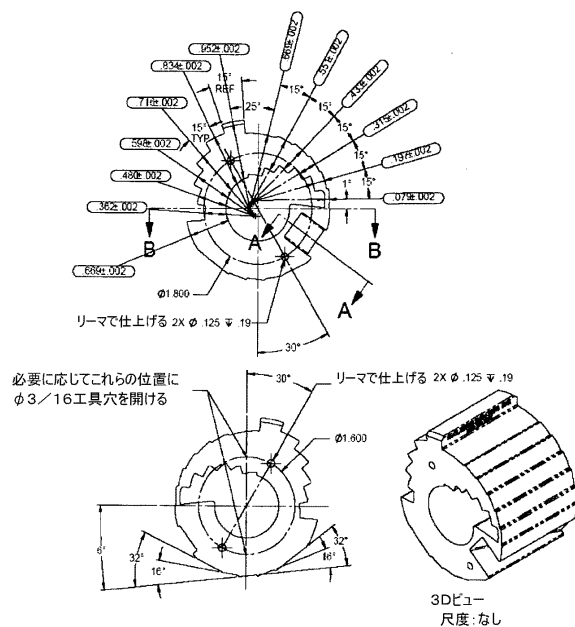
【図 5 3】



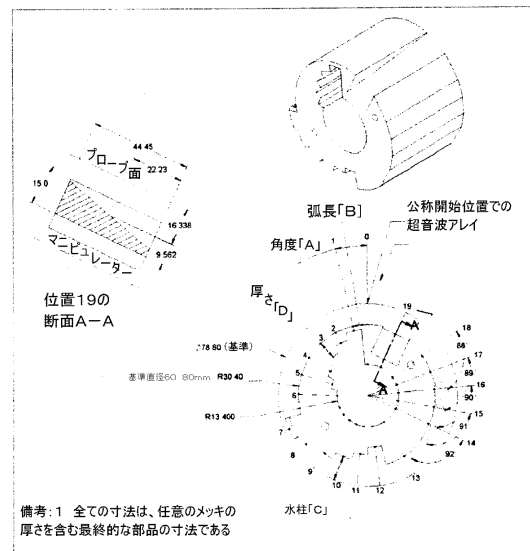
【図 5 4】



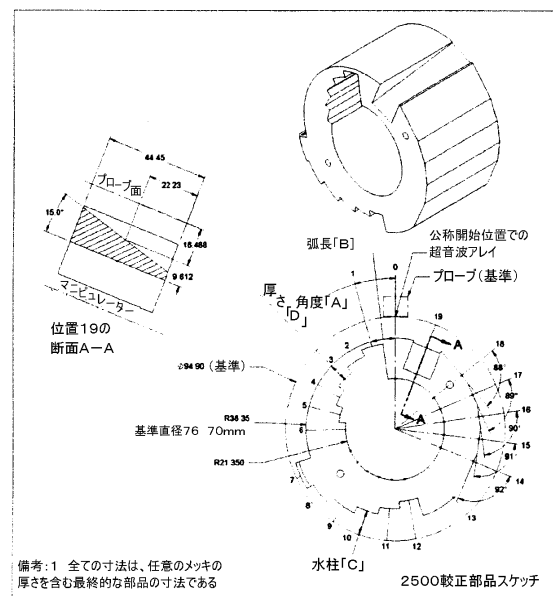
【図 5 6】



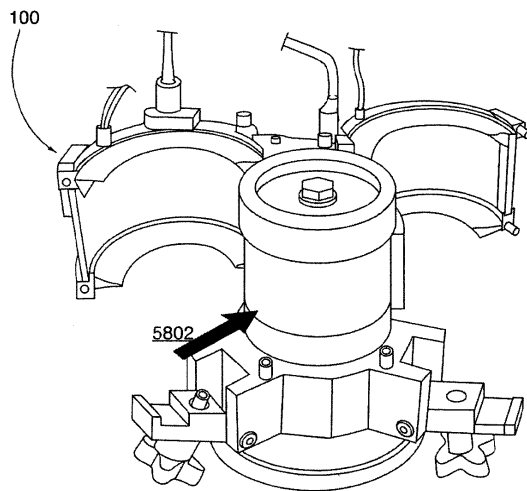
【図 5 5】



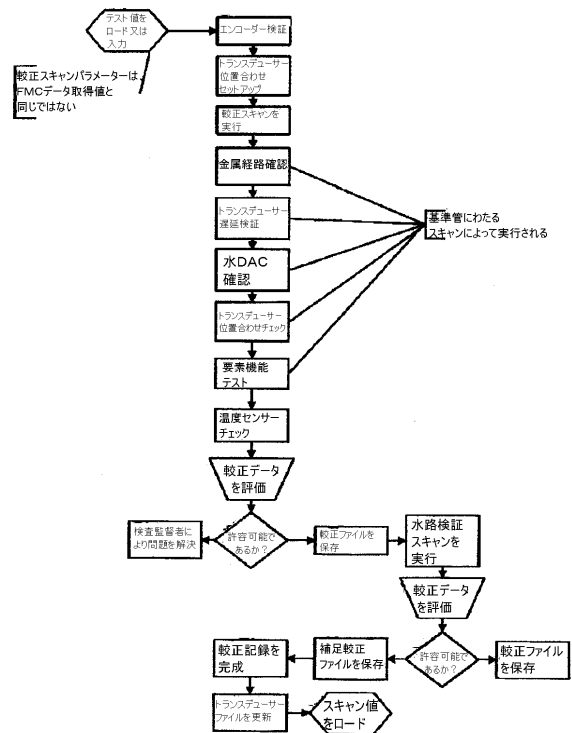
【図 5 7】



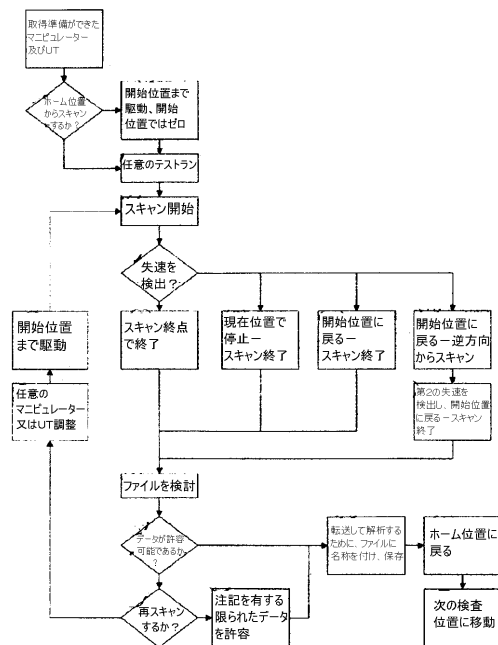
【図 58】



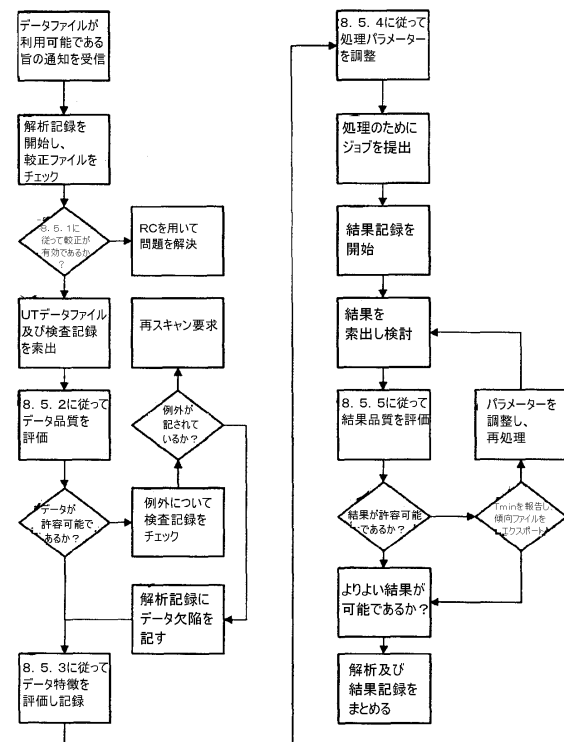
【図 59】



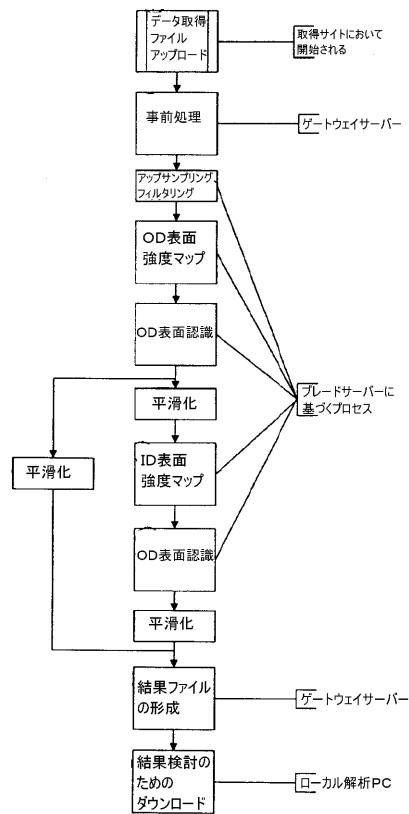
【図 60】



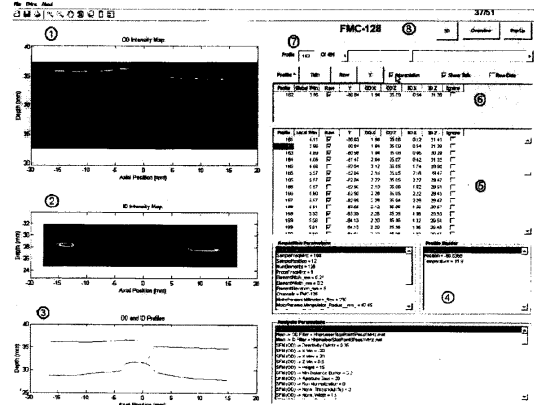
【図 61】



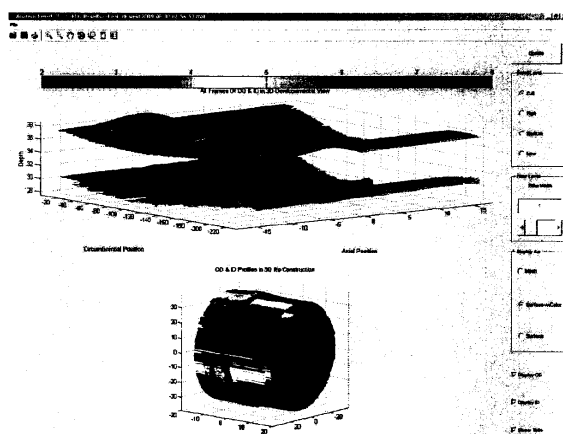
【図 6 2】



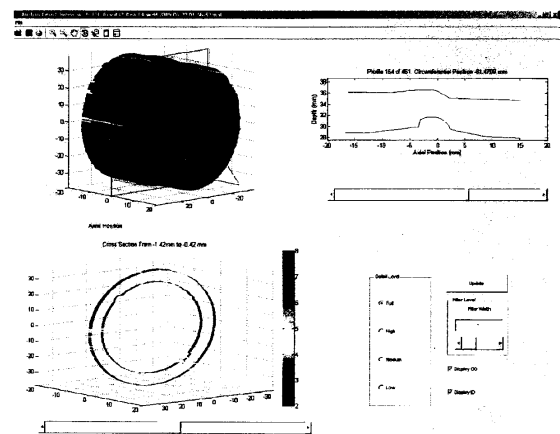
【図 6 3】



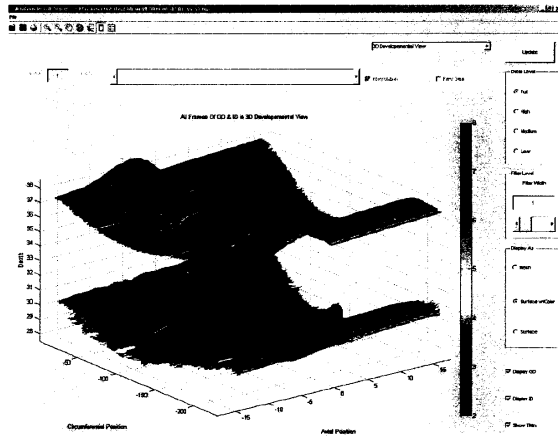
【図 6 4】



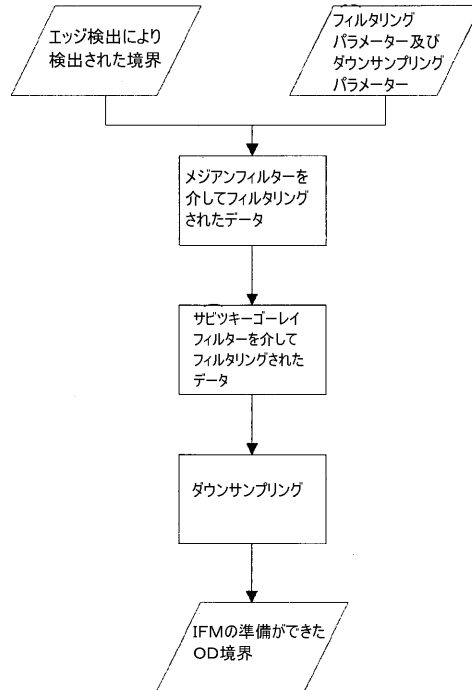
【図 6 5】



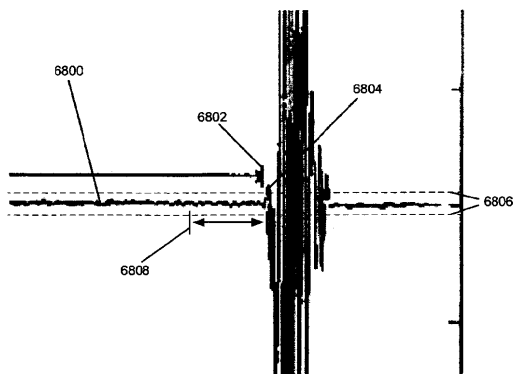
【図 66】



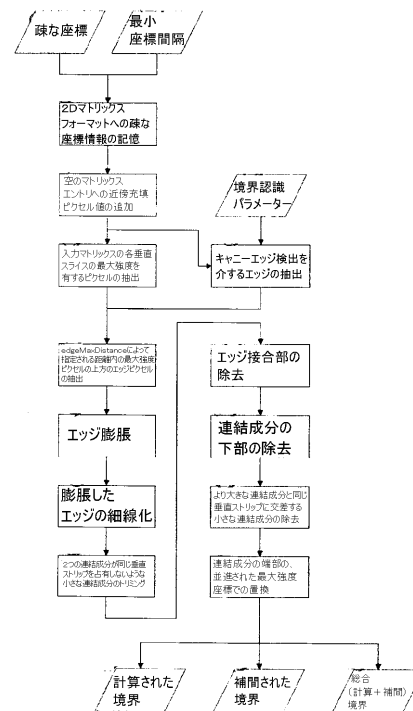
【図 67】



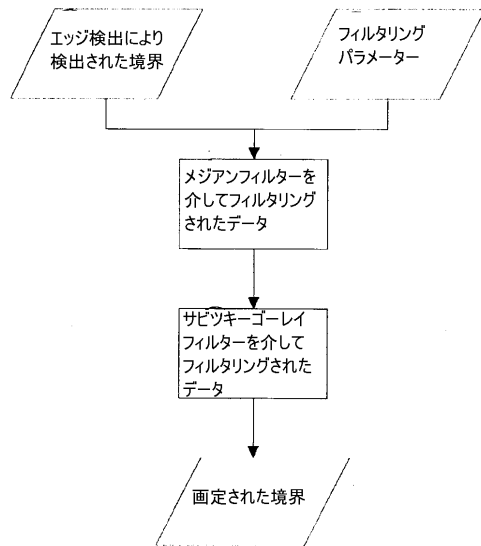
【図 68】



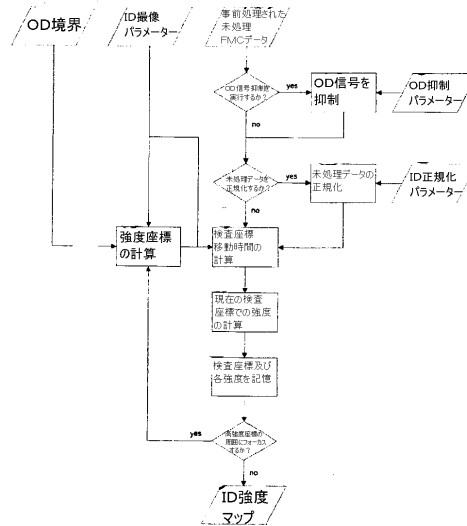
【図 69】



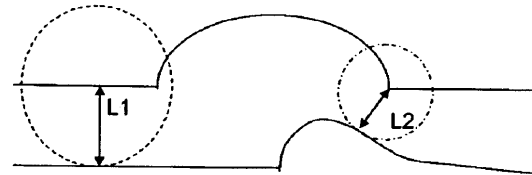
【図 70】



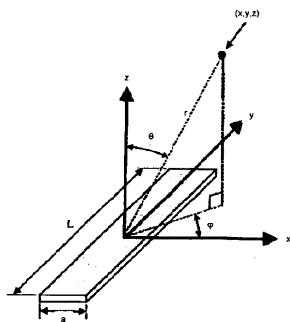
【図 71】



【図 72】

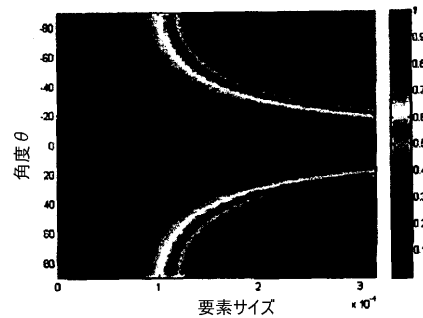


【図 73】

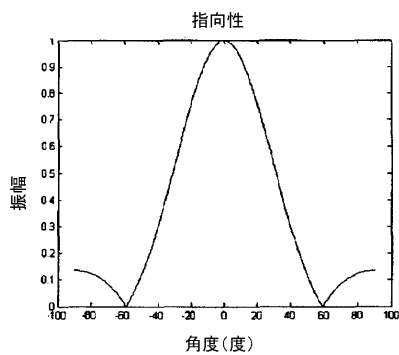


【図 75】

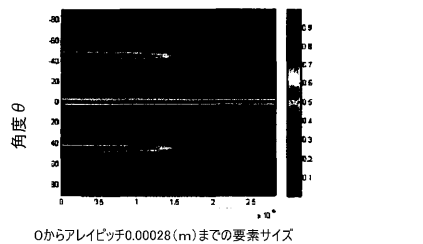
要素指向性一遠距離場近似



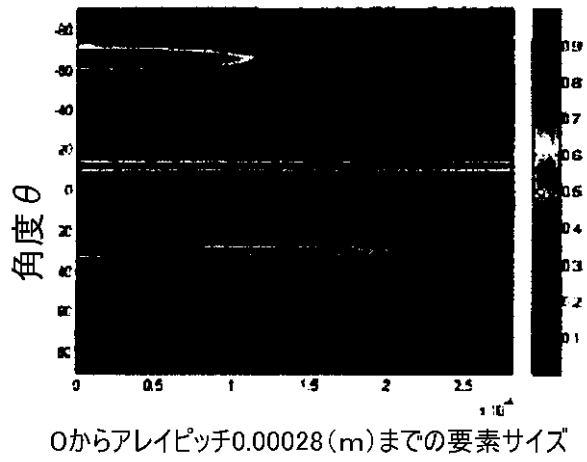
【図 74】



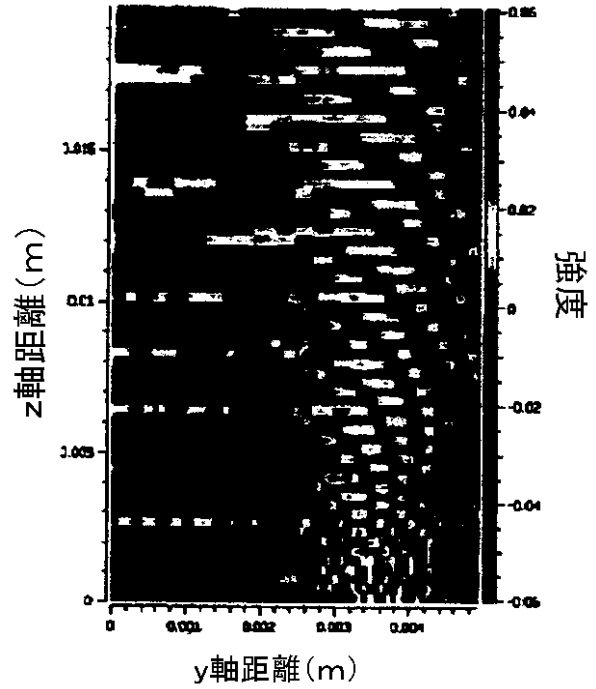
【図 76 a】



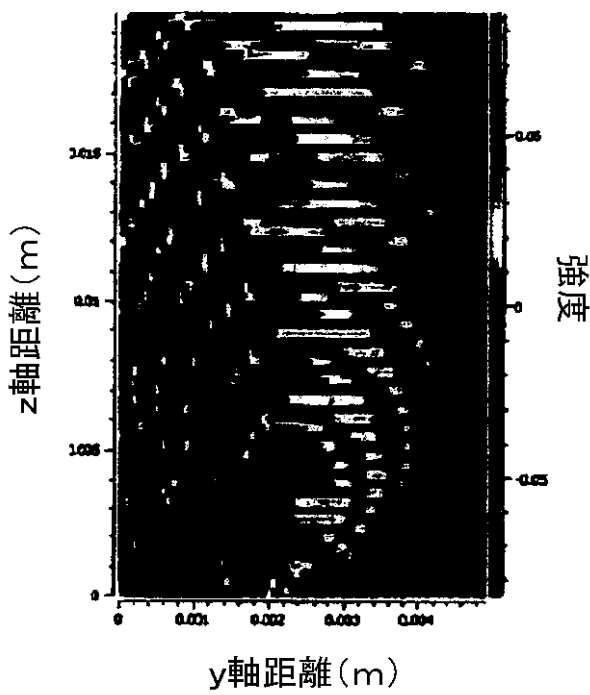
【図 7 6 b】



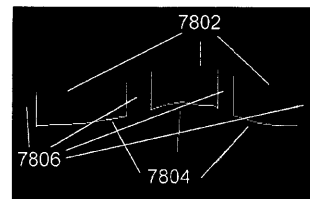
【図 7 7 a】



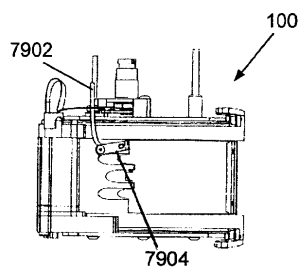
【図 7 7 b】



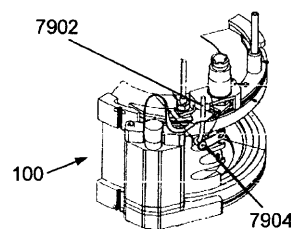
【図 7 8】



【図 7 9】



【図 8 0】



フロントページの続き

- (72)発明者 テン グロテンハイス, レイモンド
カナダ. エム 6 エス 3 エックス 5, オンタリオ, トロント, アーマデイル アヴェニュー 28
3
- (72)発明者 ホン, アンドリュー
カナダ. エム 1 シー 1 ティー 8, オンタリオ, トロント, クライド ロード 31
- (72)発明者 チェン, ツェンシャン
カナダ. エル 4 エル 6 エッチ 6, オンタリオ, ウッドブリッジ, キャピネ クレッセント 54
- (72)発明者 マディル, マット
カナダ. エム 9 ダブリュ 2 エッチ 6, オンタリオ, エトピコーク, ゴルフダウン ドライヴ 3
8
- (72)発明者 ショクララ, シャディ
カナダ. エム 1 ピー 5 イー 4, オンタリオ, トロント, ボロー ドライヴ 83, ユニット 9
04
- (72)発明者 ウオン, チェン, チュエン, ベネディクト
カナダ. エル 4 ビー 4 エッチ 2, オンタリオ, リッチモンド ヒル, アイアン ホース アヴェ
ニュー 23
- (72)発明者 プレストン, スコット
カナダ. エム 6 ケー 3 エス 2, オンタリオ, トロント, ウェスターン バッテリー ロード 1
607-100
- (72)発明者 サクタ, アレクサンダー
カナダ. エム 8 ゼット 3 ヴィ 8, オンタリオ, トロント, ファーナルロイ プールヴァード 1
8

審査官 横尾 雅一

- (56)参考文献 特開平 02 - 208554 (JP, A)
特開 2009 - 281805 (JP, A)
特開 2008 - 209356 (JP, A)
米国特許第 06409669 (US, B1)
特開 2009 - 276319 (JP, A)
実開昭 59 - 027455 (JP, U)
米国特許出願公開第 2010 / 0107725 (US, A1)
国際公開第 2008 / 105109 (WO, A1)
欧州特許出願公開第 02116847 (EP, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52