

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-315892

(P2005-315892A)

(43) 公開日 平成17年11月10日(2005.11.10)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 01 B 17/00

F 1

G 01 B 17/00

テーマコード(参考)

B

2 F 0 6 8

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2005-131320 (P2005-131320)  
 (22) 出願日 平成17年4月28日 (2005.4.28)  
 (31) 優先権主張番号 10/834,854  
 (32) 優先日 平成16年4月30日 (2004.4.30)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 390041542  
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ  
 G E N E R A L E L E C T R I C C O  
 M P A N Y  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
 クタディ、リバーロード、1番  
 100093908  
 (74) 代理人 弁理士 松本 研一  
 100105588  
 (74) 代理人 弁理士 小倉 博  
 100106541  
 (74) 代理人 弁理士 伊藤 信和  
 100129779  
 (74) 代理人 弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

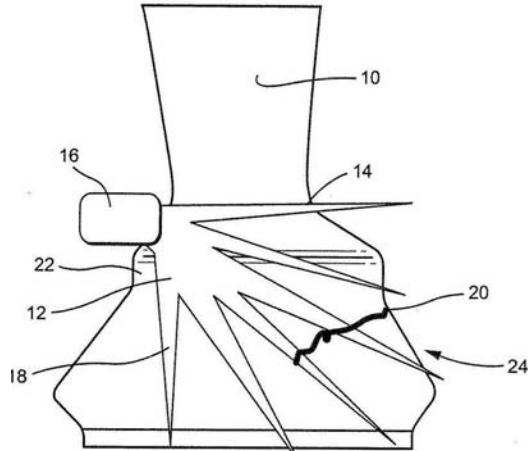
(54) 【発明の名称】エーロフォイルを超音波検査する方法

## (57) 【要約】

【課題】 エーロフォイルを部品として含むタービン機械からエーロフォイルを取り外すことなく、エーロフォイルの欠陥の有無を非破壊検査する方法を開示する。

【解決手段】 フェイズドアレイ超音波の使用により、エーロフォイル内部の関心領域に向けて超音波ビームを操作することができる。フェイズドアレイの使用により、検査担当者は、多数の角度を一度に監視できる。走査角度が校正範囲を超えない限り、超音波ビームの表面入射角がどのような角度であっても、検査担当者は、関心領域を監視することができる。超音波ビームは、1回の走査で様々な異なる向きを検査するように操作される。一連の変換器から構成されるリニアアレイプローブであるフェイズドアレイ変換器を使用する。変換器は、所定の時間間隔でトリガすると共に、所定の時間間隔で受信するようにプログラムされる。その後、各変換器により収集された信号は、コンピュータにより処理され、欠陥標識を観測することができるよう、試験領域に対する複合視界を形成する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

フェイズドアレイ超音波ビーム(12)を使用して、機械構成要素(10)の欠陥の有無を非破壊検査する方法において、

少なくとも1つの欠陥(20)が位置すると予測される前記構成要素(10)中の関心領域(24)を識別する過程と；

前記関心領域(24)へ前記フェイズドアレイ超音波ビーム(12)を操作し、それにより、前記構成要素(10)の表面のうちで、前記超音波ビーム(12)が入射される場所であるセクタに沿った前記超音波ビーム(12)の走査に対して、前記関心領域(24)を視野の中に保持するための角度の範囲を判定する過程と；

フェイズドアレイ超音波ビーム信号が前記構成要素(10)に入射され、その後、再び収集され、処理され、前記関心領域(24)に対する複合視界を形成し、それにより、欠陥標識(26)を観測することが可能になるように、セクタ走査を実行する過程とから成り、前記関心領域(24)の全体は、走査を中断することなく監視される方法。

**【請求項 2】**

前記フェイズドアレイ超音波ビーム(12)は、前記構成要素(10)の表面のセクタに沿って走査する変換器(16)によって、前記構成要素(10)に入射される請求項1記載の方法。

**【請求項 3】**

前記変換器(16)は、一連の変換器から構成されるリニアアレイプローブである請求項2記載の方法。

**【請求項 4】**

前記変換器(16)の各々は、第1の所定の時間間隔でトリガされ、第2の所定の時間間隔で受信する請求項2記載の方法。

**【請求項 5】**

前記超音波ビーム信号は、各々の変換器(16)により再び収集され、その後、コンピュータにより処理され、累積されて、欠陥を観測することが可能になるように前記関心領域(24)に対する複合視界を形成する請求項4記載の方法。

**【請求項 6】**

前記フェイズドアレイ超音波ビーム(12)を操作するための角度の範囲は、前記構成要素(10)の図面と、前記超音波ビーム(12)が前記構成要素(10)に入射される前記構成要素(10)の表面及び欠陥(20)が位置すると予測される前記構成要素(10)中の前記関心領域(24)からの屈折角を測定するための分度器とを使用して判定される請求項1記載の方法。

**【請求項 7】**

前記超音波ビーム(12)が前記構成要素(10)に入射した後の前記超音波ビーム(12)の屈折角は、前記構成要素(10)の表面に入射する前記超音波ビーム(12)の入射角が変化するのに伴って変化する請求項6記載の方法。

**【請求項 8】**

前記フェイズドアレイ超音波ビーム(12)を操作するための角度の範囲は、ビーム入射角の約±10°である請求項7記載の方法。

**【請求項 9】**

前記構成要素(10)における試験欠陥の大きさを判定するために、試験欠陥リフレクタを、大きさがわかっている欠陥(20)が形成された少なくとも1つの記録されたリフレクタと比較する過程を更に含む請求項1記載の方法。

**【請求項 10】**

前記構成要素(10)における欠陥(20)の大きさは、試験リフレクタの角度と記録されたリフレクタとの比の二乗から判定される請求項9記載の方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】**

**【 0 0 0 1 】**

本発明は、エーロフォイルなどの機械構成要素の欠陥の有無を非破壊検査する方法に関し、特に、フェイズドアレイ超音波技術を使用して、そのような構成要素の欠陥の有無を非破壊検査する方法に関する。

**【 背景技術 】****【 0 0 0 2 】**

より複雑な最新空力発電機械の開発に伴って、そのような機械の構成要素の欠陥の有無を非侵入的方法で検査する方法を開発するために、機械構成要素の検査の研究が更に重ねられてきた。機械の最も重大な構成要素のうちのいくつかは、アクセスが限られた場所にある。今日までの研究の大半は、非破壊検査方法の手段として、目視、X線、液体浸透及び渦電流を使用してきた。目視試験、液体浸透試験及び渦電流試験を実施するためには、試験されるべき機械構成要素の全ての面にアクセスできることが必要である。多くの機械構成要素においては、機械の少なくとも一部を分解しない限り、全面にアクセスすることは不可能である。

**【 0 0 0 3 】**

X線検査を実施するときには、放射線源を使用して検査されるべき機械構成要素の反対側に、X線写真フィルムを配置しなければならない。また、放射線源と、試験されるべき構成要素との間に介在する材料の量を最小限に抑えなければならない。完全に組み立てられた機械においては、多くの場合、それらの目標を共に達成することは不可能である。

**【 0 0 0 4 】**

従来、機械エーロフォイルの欠陥を試験するための超音波の使用は限られていた。それは、一般に、エーロフォイルが薄く、複雑な幾何学的形状を有するためである。エーロフォイルを試験する際に超音波を使用することに伴う最大の問題は、試験を実行できるエーロフォイルの面において、エーロフォイル中の関心領域に関する角度が絶えず変化することである。超音波を使用して、変化する面を検査するためには、様々な角度で、多数の別個の変換器を使用することが必要とされる。そのため、単一の変換器を使用することは、実用的ではなく、信頼性にも欠ける。

**【 0 0 0 5 】**

特許文献1は、検査されるべき領域に対して一定の角度にある面から欠陥の有無を検査するために、フェイズドアレイ超音波を使用することを開示する。開示される方法は、ハブから欠陥を検査し、常に対称アクセスに基づいている。他の構成要素により妨害されるビーム入射面に対してアクセスする必要があるため、機械の内部に含まれる部品に、この方法を適用することは不可能である。

**【 0 0 0 6 】**

エーロフォイルは、空力機械の中で、非常に大きな応力を受ける構成要素である。そのように大きな応力を受けるため、エーロフォイルの欠陥の有無を定期的に検査すべきである。エーロフォイルに対して非破壊試験を実行するときには、エーロフォイル全体に対するアクセスを得るために、それらの部品を含む機械を、ある程度、分解しなければならない。この分解に費用がかかり、長い時間を要する。機械の分解に関連する時間を短縮し且つコストダウンを図るため、エーロフォイル面全体にわたる幾何学的形状の連続変化による影響を受けない非破壊技法が必要とされる。

**【 特許文献1】米国特許第6,082,198号****【 発明の開示 】****【 課題を解決するための手段 】****【 0 0 0 7 】**

本発明の一実施形態においては、フェイズドアレイ超音波ビームを使用して、機械構成要素の欠陥の有無を非破壊検査する方法は、少なくとも1つの欠陥が位置すると予測される構成要素中の関心領域を識別する過程と、関心領域へフェイズドアレイ超音波ビームを操作し、それにより、構成要素の表面のうちで、超音波ビームが構成要素に入射される場所であるセクタに沿った超音波ビームの走査に対して、関心領域を視野の中に保持するた

10

20

30

40

50

めの角度の範囲を判定する過程と、フェイズドアレイ超音波ビーム信号が構成要素に入射され、その後、再び収集され、処理されて、関心領域に対する複合視界を形成し、それにより、欠陥標識を観測できるように、セクタ走査を実行する過程とを含み、関心領域の全体は、走査を中断することなく監視される。

【0008】

本発明の別の実施形態においては、エーロフォイルの欠陥の有無を非破壊検査する方法は、少なくとも1つの欠陥が位置すると予測される構成要素中の関心領域を識別する過程と、関心領域へフェイズドアレイ超音波ビームを操作し、それにより、構成要素の表面のうちで、超音波ビームが構成要素に入射される場所であるセクタに沿った超音波ビームの走査に対して、関心領域を視野の中に保持するための角度の範囲を判定する過程と、フェイズドアレイ超音波ビーム信号が構成要素に入射され、その後、再び収集され、処理されて、関心領域に対する複合視界を形成し、それにより、欠陥標識を観測することができるよう、セクタ走査を実行する過程とを含み、関心領域の全体は、走査を中断することなく監視される。

10

【0009】

本発明の更に別の実施形態においては、フェイズドアレイ超音波ビームを放出する変換器プローブを使用して、エーロフォイルの欠陥の有無を非破壊検査する方法は、少なくとも1つの欠陥が位置すると予測されるエーロフォイル中の関心領域を識別する過程と、予測される欠陥の大きさ及びエーロフォイルの中で関心領域が位置すると予測される場所に従って、変換器プローブを選択する過程と、ビーム入射角、並びに関心領域へフェイズドアレイ超音波ビームを操作し、それにより、エーロフォイルの表面のうちで、超音波ビームがエーロフォイルに入射される場所であるセクタに沿った変換器プローブの掃引に対して、関心領域を視野の中に保持するための角度の範囲を判定する過程と、フェイズドアレイ超音波ビーム信号がエーロフォイルに入射するように変換器プローブから放出され、その後、変換器プローブにより再び収集されるように、エーロフォイル表面のセクタに沿った変換器プローブの掃引を実行する過程と、コンピュータを使用して、再び収集された超音波ビーム信号を処理し、信号を累積して、欠陥が位置すると予測されるエーロフォイル中の関心領域に対する複合視界を形成する過程とを含む。

20

【0010】

本発明の利点は、添付の図面に関連させて、本発明の現時点で好ましい実施形態の以下の更に詳細な説明を慎重に検討することにより、更に完璧に理解されるであろう。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

本発明は、エーロフォイルなどの機械構成要素を部品として含む機械から、それらの構成要素を取り外すことなく、構成要素の欠陥の有無を非破壊検査する方法に関する。本発明の方法は、構成要素の欠陥の有無を非破壊検査するために、周知のフェイズドアレイ超音波技術を使用する。欠陥の有無が検査される構成要素の部分に関して変化するあらゆる幾何学的形状に対して、超音波ビームが入射する構成要素の表面の角度が、それら形状を試験するために本発明を使用できるという意味で、本発明は、あらゆる種類の構成要素に適用可能である。

40

【0012】

本発明の方法は、構成要素を含む機械から構成要素を取り外すことなく、構成要素を試験するために使用される縦波技法及びせん断波技法の双方に適用可能である。検査されるべき構成要素に超音波ビームが入射するときの角度は、超音波ビームを放出する変換器プローブにより変化する。フェイズドアレイ超音波の使用により、検査担当者は、欠陥が発見されると思われる構成要素中の関心領域に向けて超音波ビームを操作することができる。また、フェイズドアレイ超音波の使用により、検査担当者は、多数の角度を一度に監視できる。角度が校正範囲を超えない限り、検査担当者は、超音波ビームの表面入射角がどのような角度であっても、関心領域を監視することができる。

【0013】

50

図1を参照すると、本発明は、図1に示されるエーロフォイル10のような機械構成要素の複雑な幾何学的構造体を非破壊試験するという問題を、様々に異なる向きを使用して、1回の走査で、エーロフォイル10の欠陥の有無を検査するために、超音波ビーム12(フェイズドアレイ超音波)を「操作」又は「整相」することにより、解決する。図1からわかるように、超音波ビーム12の水平線14は、変換器プローブ16に対して垂直である音波経路又は変換器プローブ16のすぐ下方にある音波経路を表す。超音波ビーム12の垂直線18は、90°のビーム操作又はビーム「整相」を表す。エーロフォイル10の中に示される亀裂線20は、エーロフォイルの欠陥を示す。図1からわかるように、変換器プローブ16を使用する検査担当者が垂直ビーム14に対して45°から50°のビーム角度を使用する場合に限り、この欠陥20を見てとることができる。変換器プローブ16がエーロフォイル10と接触している面22は向きを変えるため、超音波ビーム12がエーロフォイル10に入射する角度も変化する。従って、エーロフォイル10中の関心領域24を走査するための超音波ビーム12の角度も、それに応じて変化する。

10

#### 【0014】

本発明の方法で使用されるフェイズドアレイ変換器プローブ16は、一連の変換器から構成されるリニアアレイプローブである。それらの変換器の各々は、所定の時間間隔でトリガされ、所定の時間間隔で反射されて来る超音波信号を受信する。この所定のトリガと受信は、ビーム12の操作を可能にする整相である。各変換器により収集された超音波信号は、その後、コンピュータにより処理され、検査されるべき関心領域24に対する複合視界を形成する。

20

#### 【0015】

エーロフォイル10を、そのブレード面22から検査するためには、まず、関心領域24を視野の中に保持するために必要とされる角度の範囲が判定されなければならない。次に、関心領域の検査のために要求される角度から構成されるセクタ走査又はセクタ掃引がセットアップされる。検査中、試験を中断せずに、関心領域24の全体を監視することができる。また、超音波フェイズドアレイセクタ走査を使用することにより、エーロフォイルのように、機械の中で限られた範囲内でしかアクセスできないような部品であっても、エーロフォイルを含む機械を分解せずに、容易に検査できる。これは、本発明の検査方法が、物理的手段による全ての関心領域へのアクセスを要求しないからである。フェイズドアレイビームを使用することにより、検査担当者は、1回の走査で全ての関心ビーム角度を見ることができる。これにより、検査領域24を更に包括的に観測でき、試験のばらつきも減少する。図2は、本発明の検査方法を使用して、フェイズドアレイ技術によって観察された欠陥標識26の図を示す。「Y」軸は、超音波ビーム角度を表し、「X」軸は、超音波ビームの進行を表す。

30

#### 【0016】

本発明の検査方法においては、ブレード面又はペーン面22をビーム入射面として使用することにより、エーロフォイル10の検査を実行できる。走査中に関心領域を視野の中に保持するために必要とされる角度の範囲は、検査されるべき部品10の図面を使用して判定されるのが好ましい。エーロフォイル10のブレード面又はペーン面22の特定の場所で、超音波ビームがエーロフォイル10に入射すると仮定すると、欠陥が存在すると予測される場所に関するビーム角度及び走査中に関心領域24を視野の中に保持するように超音波ビーム12を操作するために必要とされる角度の範囲を判定するために、エーロフォイルの図面と共に、分度器を使用することができる。分度器を使用することにより、欠陥が位置すると思われる場所に対する角度、すなわち、ビームが屈折されるべき角度を、エーロフォイルの入射面に対して判定することができる。スネルの法則を使用して、検査されるべき部品に超音波ビームが入射するときの入射角から、部品に入射する超音波信号の屈折角を判定できる。すなわち、超音波の入射角の正弦と、超音波の屈折角の正弦との比は一定である。検査されるべき部品の幾何学的形状と、欠陥を含むと思われる領域に対する角度とがわかっていれば、走査角度を容易に判定することができる。試験角度を判定するための更に別の方針は、それぞれ異なる角度に設定された一連の変換器を使用する。

40

50

試験面の各々の領域で、どの角度が最適な試験を実行するかを知ることにより、試験領域のマップを作成できる。

#### 【0017】

検査されるべき部品10の図面を使用して、検査されるべき領域24に対する角度を容易に判定することができる。例えば、検査されるべきエーロフォイルの入射面に対する垂線から15°の位置に欠陥が存在する場合、部品10を検査する担当者の視野の中に常に関心領域24が入るように、10°～40°の走査角度を使用できる。欠陥が30°の角度に位置している場合には、20°～40°の走査角度を使用できる。

#### 【0018】

検査されるべき部品10を形成する材料が異なれば、走査角度も異なる。鋼から製造された部品の走査角度は、アルミニウムから製造された同じ部品の走査角度とは異なる。それは、それら2種類の材料の中を進む超音波の速度が異なるためである。速度は、走査角度を計算する際の1つの要素であり、検査されるべきエーロフォイルを製造するために使用された材料に応じて異なる。スネルの法則を使用して、検査されるべき部品に超音波が入射するときの入射角から、部品に入射する超音波信号の屈折角を判定できる。すなわち、超音波の入射角の正弦と、超音波の屈折角の正弦との比は、入射する材料における超音波の速度を、屈折するときの材料における超音波の速度で除算した値に等しい。従つて、材料の密度に応じて、走査角度又は掃引角度は変化する。

#### 【0019】

走査角度又は掃引角度はウィンドウであると考えることができる。走査角度又は掃引角度は一定であるが、ウィンドウの角度は必ず一定になるとは限らない。超音波ビームが部品に入射するときに通過する面は、角度を変えているため、本発明において、フェイズドアレイ超音波ビームを使用することにより、1回の走査又は掃引を使用できる。フェイズドアレイ超音波ビームを使用しないと、変換器プローブ16を使用して掃引が実行される入射面の角度の変化の量によっては、検査されるべき同じ部品に対して、20回又は30回の検査が必要になる場合もある。

#### 【0020】

本発明の検査方法においては、その後の検査の結果を、高い信頼性で互いに比較できるように、検査中に収集される、欠陥20に関連するデータをデジタル化し、保管することができる。これにより、検査担当者ごとのばらつきを大幅に減少できる。きずの特性を定義する能力は、本発明の検査方法のもう1つの利点である。超音波ビームの入射面22が向きを変えると、きずの大きさを直接測定することは困難になる。この問題に対処するために、大きさがわかっている欠陥（又はリフレクタ）を含むサンプルを作成することができる。入射角が±3°変化するような各々の場所で、それらのリフレクタに対して測定を実行する。更に、基準として、リフレクタの大きさが記録される。検査中、ある超音波経路面入射角で、リフレクタと考えられるものが発見されれば、それを基準リフレクタと比較する。既知のリフレクタの大きさから欠陥の大きさを導き出すために、試験リフレクタと基準リフレクタとの比の二乗が使用される。また、1回のフェイズドアレイ超音波走査によって、欠陥の全長に対して欠陥標識を見てとることができるために、欠陥の長さも判定できる。

#### 【0021】

本発明の検査方法と共に使用されるのが好ましいプローブは、1列に配列された複数の変換器を含む。それらの変換器には、1番から16番までの番号が付される。変換器16が配置されている場所に向かってビームが上向きになるように、変換器が1番、2番、3番と順に16番までトリガされる間に、超音波ビームの正の操作が起こる。変換器1が配置されている場所に向かってビームが下向きになるように、変換器が16番、15番、14番と順に1番までトリガされる間に、超音波ビームの負の操作が起こる。また、放出された各々の波面がそれに先立つ放出波面と干渉しあう結果としても、超音波ビームの操作は起こる。

#### 【0022】

10

20

30

40

50

本発明の検査方法の一部として、変換器プローブの大きさと周波数とを判定しなければならない。フェイズドアレイプローブは、多様な大きさと周波数で製造できる。ほぼどのような用途に対しても、プローブを設計することが可能であり、大半のスペースに嵌合するように、十分に小さなプローブを製造することができる。超音波ビームを適用するために、本発明の方法と共に使用されるプローブに含まれる変換器チップの数は、プローブの大きさによって異なる。通常、プローブの大きさは、存在すると予測される欠陥の大きさと、検査されるべき部品の中で、欠陥が位置すると予測される場所に従って選択される。

#### 【0023】

エーロフォイル10などの機械構成要素と組み合わせてフェイズドアレイ超音波を使用することにより、エーロフォイルが配置されている機械をできる限り分解せずに、エーロフォイルを検査できる。他の検査手段では、機械を何らかの形で分解せずにアクセスできないような検査領域に対して、アクセスを獲得するために、操作装置に変換器プローブ16を装着することができる。完全に組み立てられた機械においては、アクセス不可能である機械構成要素の領域に形成された欠陥の多くを、本発明の非破壊検査方法を使用して検出することができる。

#### 【0024】

フェイズドアレイ超音波を使用する検査の信頼性は、図3及び図4に示されるデータにより立証される。部品を検査するときのフェイズドアレイ超音波の能力を実証するために、切り欠き及び亀裂のあるエーロフォイルブレードからのフェイズドアレイ超音波応答を、従来の超音波を使用した場合の応答と比較した。図3は、従来の超音波を使用した場合の応答面を示す。図4は、フェイズドアレイ超音波を使用した場合の応答面を示す。図3及び図4の応答面は、エーロフォイルの様々な向きで観測された信号を表す。「X」軸は、角度が変化している超音波ビーム入射面に沿った距離である。「Y」軸は、超音波入射面と関心領域とが成す角度である。陰影を付けられたマップ28及び30は、信号対雑音比を表す。図3及び図4から、欠陥20を表す超音波信号の検出の確率を見てとることができる。図3の陰影を付けられたマップ28及び図4の陰影を付けられたマップ30は、従来の超音波(図3)と比較して、フェイズドアレイ超音波(図4)を使用するほうが、欠陥の信号をはるかに容易に認識できることを示す。尚、図3に示される各ビーム角度は、異なる変換器により得られる。その結果、走査が中断される。図4に示される、フェイズドアレイ超音波の場合のビーム角度は、1回の変換器プローブ走査によって得られる。

#### 【0025】

現時点でも最も実用的で、好ましい実施形態であると考えられるものに関連して本発明を説明したが、本発明は、開示された実施形態に限定されることなく、添付の特許請求の範囲の趣旨の範囲内に含まれる様々な変形及び等価の構成を含むことが意図されていると理解すべきである。なお、特許請求の範囲に記載された符号は、理解容易のためであってなんら発明の技術的範囲を実施例に限縮するものではない。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0026】

【図1】フェイズドアレイ超音波を使用してエーロフォイルの欠陥の有無を非破壊検査する本発明の方法を示す概略図。

【図2】フェイズドアレイ超音波を使用してエーロフォイルを非破壊検査する本発明の方法を使用して、エーロフォイルにおいて示された欠陥のビューを示すグラフ。

【図3】切り欠き及び亀裂のあるブレードを検査するために、従来の超音波を使用した場合の応答面を示すグラフ。

【図4】切り欠き及び亀裂のあるブレードを検査するために、フェイズドアレイ超音波を使用した場合の応答面を示すグラフ。

#### 【符号の説明】

#### 【0027】

10...エーロフォイル、12...超音波ビーム、16...変換器プローブ、20...欠陥、24...関心領域、26...欠陥標識

10

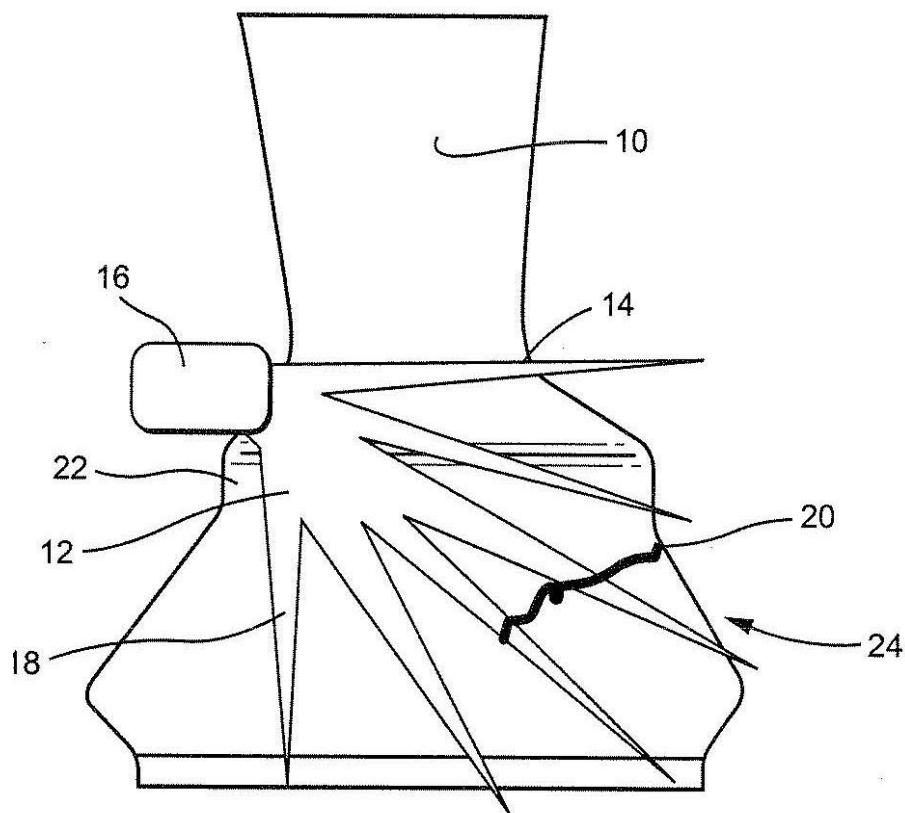
20

30

40

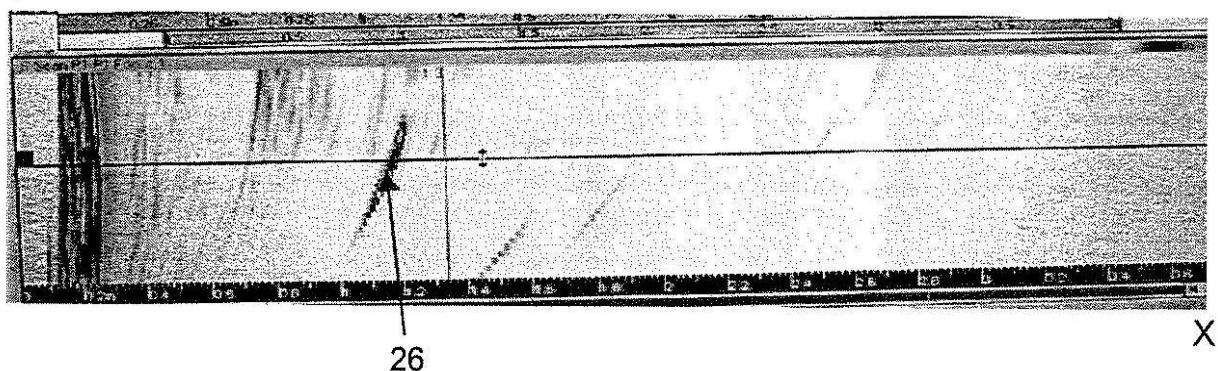
50

【図1】

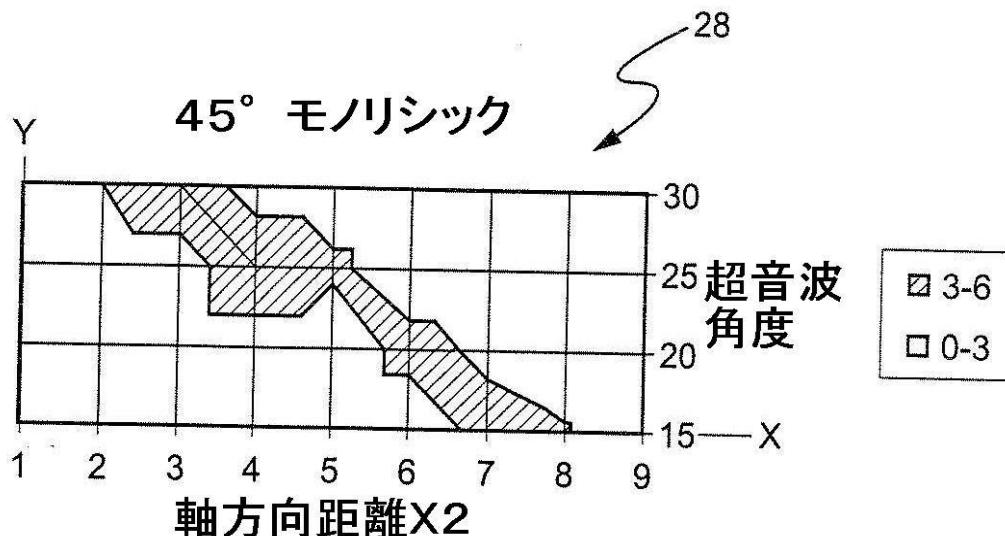


【図2】

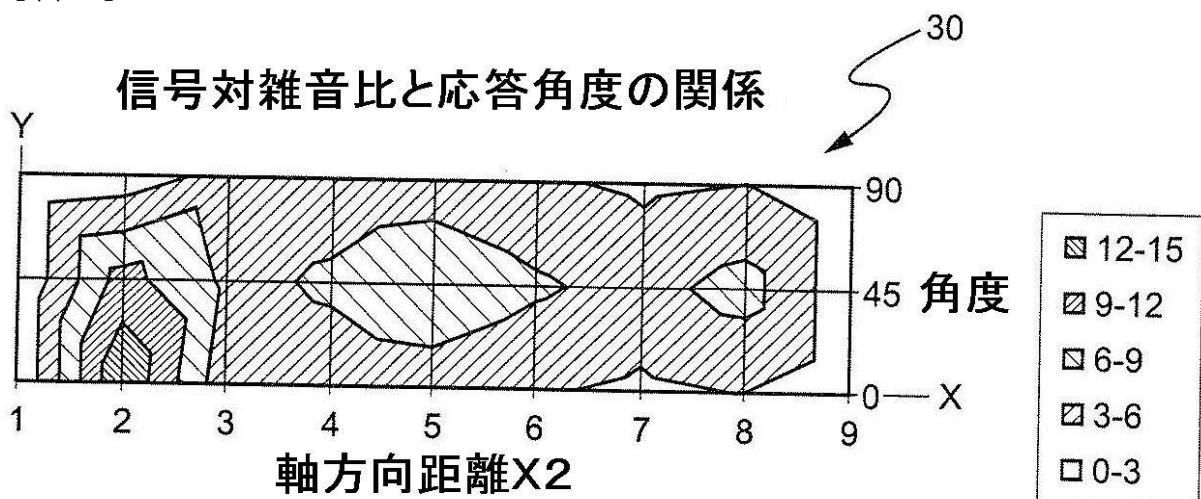
Y



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ロバート・ウィリアム・バーグマン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スコッティア、サラトガ・ドライブ、5番

F ターム(参考) 2F068 AA49 CC00 EE07 FF03 FF15 HH01 HH02 JJ02 JJ04 KK12

LL04 QQ05 QQ14 QQ42 RR13