

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4532501号  
(P4532501)

(45) 発行日 平成22年8月25日 (2010.8.25)

(24) 登録日 平成22年6月18日 (2010.6.18)

|               |       |           |                     |
|---------------|-------|-----------|---------------------|
| (51) Int. Cl. |       | F I       |                     |
| GO 1 N        | 3/24  | (2006.01) | GO 1 N 3/24         |
| GO 1 N        | 23/20 | (2006.01) | GO 1 N 23/20        |
| GO 1 N        | 25/00 | (2006.01) | GO 1 N 25/00 A      |
| GO 1 D        | 7/00  | (2006.01) | GO 1 D 7/00 3 O 1 M |

請求項の数 35 (全 33 頁)

|               |                               |           |                           |
|---------------|-------------------------------|-----------|---------------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2006-539628 (P2006-539628)  | (73) 特許権者 | 501385651                 |
| (86) (22) 出願日 | 平成16年11月3日 (2004.11.3)        |           | プロト マニユファクチャリング リミテッド     |
| (65) 公表番号     | 特表2007-519893 (P2007-519893A) |           | カナダ エヌOアール 1エルO オンタリオ     |
| (43) 公表日      | 平成19年7月19日 (2007.7.19)        |           | ールドキャッスル ソーラー クレセント 2175  |
| (86) 国際出願番号   | PCT/US2004/036609             | (74) 代理人  | 100077481                 |
| (87) 国際公開番号   | W02005/050568                 |           | 弁理士 谷 義一                  |
| (87) 国際公開日    | 平成17年6月2日 (2005.6.2)          | (74) 代理人  | 100088915                 |
| 審査請求日         | 平成19年8月21日 (2007.8.21)        |           | 弁理士 阿部 和夫                 |
| (31) 優先権主張番号  | 10/706,385                    | (72) 発明者  | マイケル ブラウス                 |
| (32) 優先日      | 平成15年11月12日 (2003.11.12)      |           | カナダ エヌ9ワイ 2ワイ8 オンタリオ      |
| (33) 優先権主張国   | 米国 (US)                       |           | アマーツバーグ コンセッション 3サウス 3391 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 材料特性情報を表示するシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被測定部品の一部分について複数の材料特性を示すグラフィカル情報を表示する方法であって、

前記被測定部品の前記一部分にX線エネルギーを向けることと、

X線エネルギーが前記被測定部品と相互作用することにより形成される回折エネルギーの単一ストリームであって、前記被測定部品の複数の一次材料特性を示す前記回折エネルギーの単一ストリームを前記被測定部品の前記一部分から検出することと、

前記回折X線エネルギーの単一ストリームを分析することと、

前記回折X線エネルギーの単一ストリームに基づいて、前記被測定部品の同一の前記一部分に関する第1および第2の材料特性を判定することと、

前記第1の材料特性に関する第1のグラフと、前記第2の材料特性に関する第2のグラフと、を前記回折X線エネルギーの単一のストリームに基づいて形成することと、

前記被測定部品の状態に関して測定される前記被測定部品の前記一部分において前記第1および前記第2の材料特性の間に関係があるか否かをオペレータが判断できるように、前記第1および前記第2のグラフを視覚的に比較可能な方法で表示することと

を備えることを特徴とする方法。

【請求項2】

前記第1および前記第2のグラフを表示する前記ステップは、単一の画面に前記第1および前記第2のグラフを表示することを含む

10

20

ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 1 および前記第 2 のグラフを表示することは、共通の分解能を使用して前記第 1 および前記第 2 のグラフのそれぞれを表示することを含み、前記複数の材料特性の簡単に正確な評価および比較を容易にするために共通軸に沿って前記第 1 および前記第 2 のグラフを位置合せすることを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 および前記第 2 のグラフを表示することは、色強度の変動が前記第 1 および前記第 2 のグラフ内の選択された情報に基づくように前記選択された情報を前記色強度に係付けること、および、前記第 1 および前記第 2 の材料特性の変動および相違を強調表示するために前記色強度を使用して前記選択された情報を表示することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 5】

前記第 1 および前記第 2 のグラフを表示することは、3次元グラフを表示すること、および、前記グラフの x 軸または y 軸に沿った位置の関数としての前記材料特性の評価を容易にするために前記 3次元グラフの 2次元部分を選択することを含めること、を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 および前記第 2 のグラフを表示することは、前記グラフに含まれる前記情報の相違および変動を示し、強調表示する等圧線グラフを表示することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 7】

前記第 1 および前記第 2 のグラフを表示することは、部品テストが行われる際にオペレータによるデータの効率的でタイムリーな評価を可能にするために、それについてデータが得られる際にリアルタイムで前記第 1 および前記第 2 のグラフのうちの選択されたものを表示することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記回折エネルギーの単一のストリームを検出することは、異なる時点での前記第 1 および前記第 2 のグラフのそれぞれについて回折エネルギーを入手することを含み、および、前記第 1 および第 2 の材料特性を判定することは、異なる時点に入手された前記データに計算動作および評価手順を適用することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 9】

センサの正確な位置決めを助けるために前記被測定部品の表面プロファイルを指示するデータを入力することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

被測定デバイスの材料特性の評価でオペレータを助けるために前記第 1 および前記第 2 のグラフのうちの選択されたグラフを回転すること、またはこれらに焦点を合わせることを備えることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記回折エネルギーの単一のストリームを検出する前記ステップは、前記向けられたエネルギーの回折または減衰を検出することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 12】

前記第 1 および前記第 2 のグラフの選択された 1つのグラフの 1つの点を選択すること、前記点の前記材料特性のレポートを生成すること、および、前記点での前記材料特性の評価を容易にするために前記グラフと一緒に前記レポートを表示することを備えることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

応力、応力誤差、強度比、平均ピーク幅、平均半値幅 ( F W H M )、せん断応力、応力

50

テンソル、誤差テンソル、x方向応力、y方向応力、最大せん断、相当応力、硬度、粒子サイズ、転位密度、塑性歪み、塑性歪みパーセント、冷間加工パーセント、位相、残留オーステナイトパーセント、歪み、歪み誤差、せん断歪み、歪みテンソル、x方向歪み、y方向歪み、最大歪みからなる群から特性を選択することを備えることを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項14】

エネルギーを向けることは、前記材料特性の正確な測定を得るために異なる方向から前記被測定部品の前記選択された部分をスキャンすることを含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項15】

被測定部品の一部分について複数の材料特性を示すグラフィカル情報を表示するシステムであって、

被測定部品の選択された部分にX線エネルギーを向けるエネルギーエミッタと、

X線エネルギーが前記被測定部品の選択された部分と相互作用することにより形成される回折エネルギーの単一ストリームであって、前記被測定部品の複数の一次材料特性を示す回折エネルギーの単一ストリームと、

前記回折X線エネルギーの単一のストリームを検出するエネルギー検出器と、

前記回折X線エネルギーの単一のストリームを分析することと、同一の前記回折X線エネルギーの単一のストリームから、前記被測定部品の同一の前記一部分について第1および第2の材料特性を判定することとを実行するように構成され、さらに前記第1の材料特性に関する第1のグラフと、前記第2の材料特性に関する第2のグラフとを形成するようにプログラムされたコントローラと、

前記被測定部品の表示、および前記グラフのそれぞれに含まれる情報間の視覚的な比較を容易にするために生成される前記グラフが表示されるディスプレイと

を備えることを特徴とするシステム。

【請求項16】

前記ディスプレイは、見る人が前記材料特性の前記グラフ間で容易に分析し、比較および評価を行うことを可能にするためにその上で前記第1および前記第2のグラフが生成される単一の画面を備えることを特徴とする請求項15に記載のシステム。

【請求項17】

前記エネルギー検出器は、前記被測定部品の前記選択された部分からの回折されたエネルギーまたは減衰されたエネルギーを検出することを特徴とする請求項15に記載のシステム。

【請求項18】

前記第1および前記第2の材料特性は、応力、応力誤差、強度比、平均ピーク幅、平均FWHM、せん断応力、応力テンソル、誤差テンソル、主応力、最大せん断、相当応力、硬度、粒子サイズ、転位密度、塑性歪み、塑性歪みパーセント、冷間加工パーセント、位相、残留オーステナイトパーセント、歪み、歪み誤差、せん断歪み、歪みテンソル、x方向歪み、y方向歪み、および最大歪みを含む群から選択されることを特徴とする請求項15に記載のシステム。

【請求項19】

前記第1および前記第2のグラフのうちの少なくとも1つは、そこから測定が行われる前記部品の前記一部分の2次元表現およびその部分の前記測定の変動を示す3次元グラフを含むことを特徴とする請求項15に記載のシステム。

【請求項20】

前記コントローラは、メモリから前記第1および前記第2のグラフに前記データを変換するコントローラ手段を含むことを特徴とする請求項15に記載のシステム。

【請求項21】

前記第1および前記第2のグラフのうちの少なくとも1つは、等圧線グラフであることを特徴とする請求項20に記載のシステム。

10

20

30

40

50

## 【請求項 2 2】

前記回折エネルギーの単一のストリームを検出することは、単一の周波数を有する未加工の回折エネルギーの単一のストリームを検出することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 2 3】

前記視覚的な比較に基づいて、前記被測定部品の潜在的な欠陥部分を判定することをさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 2 4】

前記第 1 の材料特性は応力であり、前記第 2 の材料特性はせん断応力であり、前記被測定部品の潜在的な欠陥部分を判定することは、前記第 1 および前記第 2 のグラフの前記視覚的な比較によって判別されることにより、前記被測定部品の同一の前記一部分において前記応力および前記せん断応力が一様に高い場合に、前記部品は潜在的に欠陥を有すると判定することを含むことを特徴とする請求項 2 3 に記載の方法。

10

## 【請求項 2 5】

前記第 1 の材料特性は応力であり、前記第 2 の材料特性は誤差であり、前記回折エネルギーの単一のストリームから強度比およびピーク幅を判別することと、第 3 のグラフに前記強度比を表示し、第 4 のグラフに前記ピーク幅を表示することとをさらに備え、前記被測定部品の潜在的な欠陥部分を判定することは、前記第 1、前記第 2、前記第 3、および前記第 4 のグラフの前記視覚的な比較によって判別されることにより、前記被測定部品の一部分において前記応力が高く、かつ、前記誤差、前記強度比、および前記ピーク幅が前記被測定部品の同一の前記一部分において実質的に変化している場合に、前記部品は潜在的に欠陥を有すると判定することを含むことを特徴とする請求項 2 3 に記載の方法。

20

## 【請求項 2 6】

前記第 1 の材料特性は応力であり、前記第 2 の材料特性は誤差であり、前記回折エネルギーの単一のストリームから強度比およびピーク幅を判別することと、第 3 のグラフに前記強度比を表示し、第 4 のグラフに前記ピーク幅を表示することとをさらに備え、前記被測定部品の潜在的な欠陥部分を判定することは、前記第 1、前記第 2、前記第 3、および前記第 4 のグラフの前記視覚的な比較によって判別されることにより、前記被測定部品の一部分において前記応力が高く、かつ、前記誤差、前記強度比、および前記ピーク幅が前記被測定部品の同一の前記一部分において低い場合に、前記部品は許容範囲にあると判定することを含むことを特徴とする請求項 2 3 に記載の方法。

30

## 【請求項 2 7】

前記第 1 の材料特性は第 1 のセンサで測定される応力であり、前記第 2 の材料特性は第 2 のセンサで測定される応力であり、前記被測定部品の潜在的な欠陥部分を判定することは、前記第 1 および前記第 2 のグラフの前記視覚的な比較によって判別されることにより、前記第 1 のセンサで測定された前記応力が、前記第 2 のセンサで測定された前記応力と実質的に異なる場合に、前記部品は潜在的に欠陥を有すると判定することを含むことを特徴とする請求項 2 3 に記載の方法。

## 【請求項 2 8】

前記第 1 および前記第 2 のグラフの間で実施される数学演算に基づいて、第 3 のグラフを形成することをさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

40

## 【請求項 2 9】

前記第 3 のグラフを形成することは、減算の数学演算から前記第 3 のグラフを形成することを備えることを特徴とする請求項 2 8 に記載の方法。

## 【請求項 3 0】

前記回折エネルギーの単一のストリームを検出することは、単一の周波数を有する未加工の回折エネルギーの単一のストリームを検出することを含むことを特徴とする請求項 1 5 に記載のシステム。

## 【請求項 3 1】

前記第 1 の材料特性は応力であり、前記第 2 の材料特性はせん断応力であることを特徴

50

とする請求項 15 に記載のシステム。

【請求項 32】

前記第 1 の材料特性は応力であり、前記第 2 の材料特性は誤差であり、前記コントローラは、前記回折エネルギーの単一のストリームから強度比およびピーク幅を判定し、かつ、第 3 のグラフに前記強度比を表示し、第 4 のグラフに前記ピーク幅を表示するように構成されることを特徴とする請求項 15 に記載のシステム。

【請求項 33】

前記エネルギー検出器は第 1 のセンサおよび第 2 のセンサを備え、前記第 1 の材料特性は前記第 1 のセンサで測定される応力であり、前記第 2 の材料特性は前記第 2 のセンサで測定される応力であることを特徴とする請求項 15 に記載のシステム。

10

【請求項 34】

前記コントローラは、前記第 1 および前記第 2 のグラフの間で実施される数学演算に基づいて第 3 のグラフを形成するように構成されることを特徴とする請求項 15 に記載のシステム。

【請求項 35】

前記数学演算は、減算を含むことを特徴とする請求項 34 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特性間の比較を容易にするフォーマットで複数の材料特性を表示するシステムおよび方法に関する。

20

【背景技術】

【0002】

さまざまなタイプのシステムでの疲労限度のある構成要素の故障は、しばしば、望ましくない結果または悲惨な結果になる。例えば、ジェットエンジンの動作中のエンジンのクリティカル構成要素の故障は、人命の喪失または他の悲惨な結果をもたらす場合がある。指向性エネルギー (directed energy) 測定技法が、これらのクリティカル構成要素をテストし、欠陥のある構成要素を検出し、望ましくない状況が発生するのを防ぐために開発されてきた。

【0003】

30

通常、指向性エネルギー測定技法は、エネルギーを被測定部品に向け、結果の回折エネルギーおよび/または減衰エネルギーを感知することを伴う。回折技法が使用される場合、結果の感知された回折ピークが、材料特性の測定に達するものと解釈される。エネルギー減衰技法を用いると、材料によって吸収されたエネルギーの量が判定され、この量が、同一タイプまたは追加タイプの材料特性の判定に使用される。

【0004】

被測定部品の材料特性は、しばしば、応力に関係する。例えば、応力は、被測定部品の表面に沿ってまたはその下で判定することができる。さらに、応力測定に存在する誤差 (応力誤差) を計算することができる。複数のセンサが、回折エネルギーを検出するのに使用される場合、2 つの異なるセンサで判定された 2 つの応力測定値の比 (強度比) を判定

40

【0005】

判定できるもう 1 つの特性が、応力測定の平均ピーク幅である。これは、通常、センサで測定された応力のガウス分布の幅として定義される。平均半値幅 (full width half magnitude, FWHM) (センサで測定された応力のガウス関数の最大値の半分での平均全幅) も判定することができる。

【0006】

せん断応力も判定することができる。さらに、応力の複数の測定を行い、被測定部品の応力の大きさおよび向きを判定することによって、応力テンソルを判定することができる。応力テンソルの誤差の大きさおよび向きに関係する誤差テンソルを計算することもでき

50

る。応力を、 $x$ 方向の位置の関数として、または $y$ 方向の位置の関数として判定することもできる。すべての方向での最大応力(相当応力)を得ることもできる。他の特性を判定することもできる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

材料特性を判定した後に、しばしば、測定機器のオペレータにこの情報を表示することが望ましい。例えば、これらの特性の値を、2次元または3次元のグラフにマッピングし、ビデオ端末を使用してオペレータに表示することができる。しかし、現在のシステムおよび方法は、被測定部品の単一の材料特性に関するグラフだけを表示する。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明によれば、部品の複数の異なる測定された特性に基づく最適化された部品分析を可能にする方法およびシステムが提供される。これに関して、部品テストが、生データを生成するのに使用され、この生データから、部品材料の異なる特性に関する測定値が生成され、各特性の測定値が、グラフにされ、グラフに含まれる情報間での即座の比較を容易にする形で表示される。したがって、同一の生データが、実質的に同時に表示されるための、それぞれが異なる材料特性を対象とする複数のグラフを生成するのに使用される。フォーマット済み出力またはフォーマットされたグラフのすべてが、単一の画面に表示されることが好ましい。これによって、テストされた部品材料の異なる特性のグラフに表示された情報間での視覚的比較が容易になる。

20

【0009】

したがって、本発明の方法およびシステムでは、複数の異なるグラフが、1つの画面に表示され、各グラフに、そのグラフが見る人のためにマッピングする材料特性の測定値の変動が表示される。例えば、応力グラフを、残留オーステナイトのグラフのとなり示して、これらの材料特性がお互いに関してどのように変動するかを示す。グラフは、測定された特性の大きさに対応する軸に沿って、またはテストされた部品に沿った領域に対応する軸(または3Dグラフの複数の軸)に沿ってなど、互いに位置合せすることができる。これによって、オペレータが、測定された特性間の視覚的比較を簡単に行って、例えば、部品のテストされた領域に潜在的なまたは実際の問題スポットが存在するかどうかを判定

30

【0010】

もう1つの態様で、部品材料特性のグラフで提供される情報を使用して、品質制御または部品メンテナンスのためなど、その部品に対して行われるアクションを知らせるために測定値を互いに関して調整しまたは相関させる1つまたは複数の評価ガイドを展開することができる。評価ガイド自体が、異なる測定された部品特性の相関物である時に、グラフにして、オペレータが、相関性のある測定値がアクションの閾値にどれほど近いまたは遠いかを知ることができるようにすることができる。この形で、オペレータは、主に、閾値に達するまでガイドを参照することができる。閾値に達した時に、正しい通知があれば、オペレータは、評価ガイドに基づく特性を表す材料特性グラフを検査することができる。これは、オペレータに、ガイドに関する閾値に何故達しつつあるかを示すことができ、オペレータに、テストされる部品材料の状態に関する情報を得る有用な評価ツールを提供する。

40

【0011】

上述のように、本発明およびシステムによれば、複数の材料特性を示すグラフィカル情報が、被測定部品の一部分について表示される。エネルギーが、被測定部品の選択された部分に向けられる。結果のエネルギーが、被測定部品の選択された部分から検出され、被測定部品の一部分について複数の異なる材料特性のそれぞれを表すデータが、検出されたエネルギーに少なくとも部分的に基づいて得られる。異なるグラフを、得られたデータに基づいて同時に形成することができる。グラフのそれぞれに、材料特性の別々の1つを示

50

す情報が含まれる。グラフは、グラフのそれぞれに含まれる情報間での実質的に同時の視覚的比較を容易にする形で互いに別個に表示される。このために、グラフのすべてが、z軸に沿って位置合せされるなどで、単一の画面に示されることが好ましく、このz軸は、テストされる特性、例えば部品材料内の応力または残留オーステナイトレベルなどの大きさを測定するのに使用される軸である。

#### 【0012】

所与の被測定部品の現在の状態は、必ずしも、上で注記したものなどの単一の特性だけを検査する現在のシステムによって適当に判定することができない。その代わりに、テストオペレータは、通常、所与の被測定部品に関する複数の異なる特性へのアクセスを望むか、そうする必要を有する。現在のシステムでは、応力値を示す3次元グラフを表示することができる。しかし、複数の特性を見ることを望むオペレータは、異なる特性の異なるグラフを生成し、表示することを交互に行わなければならない。言い換えると、オペレータは、1つのグラフを表示する画面を見て、その後、そのグラフを、生成の後に画面に表示される別のグラフに置換しなければならない。これによって、前に表示されていたものを思い出す必要が生じる。この表示および比較の技法は、面倒であり、達成に時間がかかり、異なる特性間の比較が、しばしば、行うことがむずかしいか不可能である。

10

#### 【0013】

したがって、被測定部品の複数の材料特性の複数のグラフを、異なる材料特性間の比較を容易にする形で表示することができる。グラフは、好ましくは単一の画面に表示され、共通の軸に沿って位置合せされる。共通の軸、例えばz軸に沿って位置合せすることによって、見る人が、複数の材料特性の特性を簡単に比較できるようになる。例えば、テストされる領域内で、見る人は、材料特性のうちの一つが疑わしい値を有するかどうかを簡単に判定でき、他の材料特性の値もテストされた領域内で疑わしい値を有するかどうかを調べるために他の特性に関するグラフとそのグラフを簡単に比較することができる。

20

#### 【0014】

比較をさらに容易にするために、見る人は、3次元グラフのz軸のスケールを変更することができる。これによって、表示される特性の分解能をカスタマイズすることができる。他のグラフと独立にグラフのそれぞれの分解能を微調整することは、ある特性を適度に表示するスケールが別の特性の表示に不適切である場合があるので、有利である。したがって、見る人は、簡単にスケールをプログラムして、特性の区別を明らかに見ることができ、グラフのどれについても、単一の事前にプログラムされたスケールに制限されない。

30

#### 【0015】

見る人は、グラフ間の視覚的比較を助ける他の技法を使用することができる。例えば、見る人は、グラフの色を変更し、グラフをオーバーラップさせ、グラフの塗潰し特性をカスタマイズすることができる。これらのパラメータのすべてを変更することができ、その結果、視覚的表示が、被測定部品の区別および/または潜在的な問題区域を強調するようになる。

#### 【0016】

見る人は、部品のバイアビリティを判定するのをさらに助ける必要がある場合、被測定部品の特定の位置に関するレポートを生成することができる。一例では、レポートは、被測定部品のある位置の正確な測定値を示す。好都合なことに、このレポートは、見る人がレポートの生成を望む部品位置に対応する画面上の点をユーザにクリックさせることによって生成することができる。レポートは、場合によっては、見る人が、グラフ上の値を視覚的に区別できない場合があり、あるいは、簡単に可視であるものより正確な値を判定する必要がある場合があるので、有用である。

40

#### 【0017】

前述のように、本発明の一態様によれば、1つまたは複数の評価ガイドが判定される。評価ガイドは、被測定部品の複数の材料特性間、例えば応力と歪みの間の関係を定義する。ガイド値の組(例えば、(G S T R E S S 1 , G S T R A I N 1) ; (G S T R E S S 2 , G S T R A I N 2) など)が、第1材料特性値のガイド値がガイドに適用される時に

50

形成され、評価ガイドが、他の材料特性に関連する残りのガイド値を判定するのに使用される。特定の例では、ガイドが、応力と歪みの間の線形関係を指定する（例えば、歪み = 応力）場合、 $(1, 1)$  ;  $(2, 2)$  などのガイド値を判定することができる。

【0018】

上述のように、生データを、X線回折情報としてセンサから受け取ることができる。所与の回折角での強度の読みを含むこの生データを使用して、測定値を計算し、この測定値によって、被測定部品の特定の点での特定の材料特性の大きさが指定される。複数の特性の測定値が、同時にまたは実質的に同時に形成されることが好ましい。現在の例では、生データが、受け取られ、応力および歪みの測定値に変換される。

【0019】

ガイドに関連するガイド値と、ガイドの材料特性に関連する実際の測定値との間で比較を行うことができる。具体的には、評価ガイドおよびガイド値を判定した後に、テスト測定結果が、評価ガイドに関連する同一の材料特性の測定値の組から形成される。各テスト測定結果に、被測定部品の特定の点での評価ガイドの材料特性に関係する複数の測定値が含まれる。テスト測定結果を形成した後に、テスト測定結果を、ガイド値と比較する。現在の例では、応力（例えば、 $STRESS1$  ,  $STRESS2$  など）および歪み（ $STRAIN1$  ,  $STRAIN2$  など）の測定値が、テスト測定結果（ $TSTRESS1$  ,  $TSTRAIN1$ ）, ( $TRSTRESS2$  ,  $TSTRAIN2$ ) などに形成される。

【0020】

ガイド値とテスト測定結果の異なるタイプの比較を行うことができる。1つの手法で、ガイド値をグラフにプロットすることができ、テスト測定結果も、同一のグラフにプロットされる。次に、ゾーンを、テスト測定結果が含まれると期待される、ガイド値の周囲の区域として定義することができる。テスト測定結果が、ゾーンの外に含まれる場合、見る人が、アクションを行うことができる。ガイド値およびテスト測定結果をプロットすることによって、オペレータが、部品が潜在的に欠陥品であることの判断を行う好都合で簡単な形が提供される。

【0021】

現在の例では、歪みに応力を関係付ける評価ガイドおよびガイド値が判定され、グラフ上の線としてプロットされた後に、ゾーンをその線の周囲で定義することができる。次に、テスト測定結果（( $TSTRESS1$  ,  $TSTRAIN1$ ) ; ( $TRSTRESS2$  ,  $TSTRAIN2$ ) など）を、同一のグラフにプロットすることができる。比較を行って、テスト測定結果がゾーンの中またはゾーンの外のどちらに含まれるかを調べる。テスト測定結果がゾーンの外に含まれる場合、オペレータは、さらなるアクションを行わなければならないと決定することができる。

【0022】

評価ガイドを使用する比較の他の例では、ガイド値が閾値を定義することができ、この閾値を、テスト測定結果と比較することができる。ガイド値は、すべてのテスト測定結果がそれを下回らなければならないシーリング、またはすべてのテスト測定結果がそれを上回らなければならないフロアを表すことができる。ガイド値をグラフにすることができ、テスト測定結果を、同一のグラフでガイド値に対してプロットすることができる。ガイド値に対するテスト測定結果の位置の間の簡単な比較を行うことができる。現在の例では、テスト測定結果（例えば、( $TSTRESS1$  ,  $TSTRAIN1$ ) ; ( $TSTRESS2$  ,  $TSTRAIN2$ ) など）を、ガイド値（例えば、( $GSTRESS1$  ,  $GSTRAIN1$ ) ; ( $GSTRESS2$  ,  $GSTRAIN2$  など））に対してプロットし、比較することができる。

【0023】

もう1つの手法では、材料特性の第1閾値を定義することができる。例えば、 $10ksi$  ( $68950000Pa$ ) の閾値を、応力について決定することができる。この閾値に基づいて、第2材料特性に関する第2閾値を、関係、例えば材料特性に関連付ける式または式の組に基づいて決定することができる。例えば、応力および歪みが、線形関係によっ

10

20

30

40

50

て関連する（例えば、歪み = 応力）場合、歪みの第2閾値も10 k s i ( 6 8 9 5 0 0 0 0 P a ) になる。

【0024】

閾値を決定した後に、選択された特性（例えば、応力および歪み）の選択された測定値が、測定値が生データから計算される際にリアルタイムで監視される。これらを、被測定部品の1つまたは複数の特定の点で監視することができる。一例では、測定値が1つまたは複数の閾値を超える場合、オペレータに警報を発することができ、オペレータがアクションを行うことができる。もう1つの例では、測定値が監視され、これらの値が閾値のいずれかまたはすべてのある限度以内に達する時に、オペレータに警報を発し、オペレータがアクションを行うことができる。この手法は、オペレータが閾値および限度をセットし、欠陥部品を検出する好都合で自動的な形を提供する。有利なことに、オペレータは、閾値を超えたかどうかを判定するためにグラフを継続的に調べる必要がなく、複数の閾値を手動で計算する必要がない。

10

【0025】

もう1つの好ましい実施形態では、被測定部品の一部分の異なる材料特性を示すグラフィカル情報を表示するシステムが提供される。このシステムには、エネルギーエミッタ ( e n e r g y e m i t t e r ) が含まれる。エミッタは、被測定部品の選択された部分にエネルギーを向ける。このシステムには、被測定部品の選択された部分から結果のエネルギーを検出するエネルギー検出器も含まれる。検出されたエネルギーは、既に測定データに処理された、またはテストされる異なる材料特性に関するデータに処理されるためのいずれかで、コントローラに送られる。データを、メモリに格納することができる。コントローラは、メモリに結合され、部品のテストされた材料特性のそれぞれの測定値のグラフを生成するためにディスプレイに結合された出力を含む。

20

【0026】

コントローラが、測定された材料特性間の視覚的比較を容易にするために、単一の画面にグラフを生成することが好ましい。例えば、視覚的比較によって、測定値が、部品材料の特性に関する他の測定値と比較して相対的に高いか低い場所を判定することができる。この判定が行われた場合、ユーザは、必要と思われるさらなる適当なアクションを行う。別の形で、コントローラは、少なくとも2つの測定された材料特性間の所定の関係に基づいて評価ガイドを生成することができる。前述のように、コントローラは、ガイド値をグラフにし、ガイドに対してテスト測定結果をプロットすることができる。次に、ガイドの周囲でゾーンを識別して、テスト測定結果が含まれ、許容可能と思われる、ガイドの周囲の領域を定義することができる。見る人は、テスト測定結果がゾーンに含まれる、評価ガイドを超える、または評価ガイド未満であるかどうかを視覚的に判定することができる。言い換えると、見る人は、テスト測定結果がゾーンの中または外のどちらに含まれるかに基づいて、テスト測定結果で表される測定値の評価ガイドからの逸脱が、許容可能であるかどうかを視覚的に判定することができる。

30

【0027】

グラフの視覚的レビューに基づいて、オペレータは、アクションを行うことができる。材料特性のグラフを単一の画面に表示することによって、例えば、部品が故障する前に、被測定部品の潜在的問題を簡単に検出し、訂正アクションを行うことができる。これは、故障が悲劇的結果を引き起こす可能性がある航空機エンジンなどの応用例で非常に重要になり得る。オペレータは、テストされる部品を抜き取り、その部品に対してさらなるテストを実行し、その部品が疑わしいことを他者に警告し、将来の参照のためにその部品の識別を記録することができる。

40

【0028】

評価ガイドは、見る人がテスト測定結果を評価ガイドとどのように比較するかを簡単に決定できるので、有益でもある。やはり、この判定は、簡単に行うことができ、訂正アクションを、被測定部品が故障する前にすばやく行うことができる。これに関して、上述のように、オペレータは、グラフの形で評価ガイドを見ることができ、測定値がとられる時

50

にガイドをテスト測定結果と比較することができる。ガイドと値の間の比較から、不一致が示される場合、オペレータは、適当なアクションを行うことができる。

【0029】

これらの実施形態は、本明細書で注記したさまざまな懸念および問題の少なくとも一部に対する、さまざまな経済的で信頼性があり、比較的直観的で比較的スケーラブルな解決策をもたらすのに有用である。

【0030】

図面の要素は、単純に、また明瞭にするために例示されており、必ずしも原寸に比例して描かれていないことを当業者なら理解されよう。例えば、図面の要素の一部の寸法が、本発明のさまざまな実施形態の理解を高めるのを助けるために、他の要素に対して誇張されている場合がある。また、商業的に実施可能な実施形態に有用または必要な、一般的だが良く理解されている要素は、通常、本発明のこれらのさまざまな実施形態があまり遮られることなく見えるように、図示されていない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

まず図1を参照すると、被測定部品110のエネルギー測定情報をグラフィカルに表示するシステム100は、コントローラ102、メモリ104、測定システム106、および表示システム108を含むことが好ましい。コントローラ102は、メモリ104、測定システム106、および表示システム108に対して通信可能に結合される。測定システム106は、エネルギーエミッタ122、エネルギー検出器120aおよび120b、ならびに制御モジュール124を含むことが好ましい。下で詳細に説明するように、エミッタ122は、制御モジュール124の制御の下で、エネルギーを被測定部品110に向け、エネルギー検出器120aおよび120bは、被測定部品110から結果のエネルギーを検出する。向けられるエネルギーは、すべての形のエネルギー、例えばX線または熱エネルギーを含むことができる。エネルギー検出器120aおよび120bによって検出される結果のエネルギーは、回折されたエネルギーまたは減衰されたエネルギーとすることができる。他の形の向けられるエネルギーおよび結果のエネルギーが可能である。本発明の好ましい形によれば、下で詳細に説明するように、生データが、検出されたエネルギーから得られ、次に、この生エネルギーが、部品の異なる材料特性、例えば、応力、残留オーステナイト、粒子サイズなどのそれぞれの複数の測定値を生成するための共通データとして使用される。

【0032】

被測定部品110は、しばしば、その部品の故障が悲惨な結果を生じる場合がある高性能システムの構成要素である。例えば、被測定部品110は、その構成要素の故障がエンジンおよび航空機の喪失をもたらす場合がある航空機エンジン構成要素とすることができる。したがって、システム内の部品の信頼性を判定できること、具体的には部品が実際に故障する前に部品の信頼性のなさを判定できることが重要である。

【0033】

ほとんどの場合、被測定部品110の信頼性の判定は、被測定部品110の複数の材料特性の測定に基づいて行われる。例えば、特定の点の応力ならびにその点の残留オーステナイト値を測定することができる。残留オーステナイトの特定の値と一緒に応力の特定の値が、被測定部品110の信頼性のなさを示すことができる。しかし、現在のシステムでは、1つの特定の部品材料特性に関する情報だけが、一時に生成され、画面に表示される。言い換えると、オペレータは、被測定部品110の複数の材料特性を比較する必要がある場合、その情報を別々のビデオ端末で見る必要がある。代替案では、オペレータが、2つの材料特性間の比較を行うことを試みて、第1材料特性に関する情報を記憶し、その後、第2材料特性に関する情報を画面での表示のために生成しなければならず、この表示は、第2材料特性に関する情報だけを表示する。明らかに、両方の手法が、面倒であり、オペレータに不便である。

【0034】

本システムでは、被測定部品 110 の複数のテストされる材料特性に関する情報を、表示システム 108 の同一の画面 108 a に表示することができる。具体的には、オペレータは、画面 108 a を見ることができ、それと同時に、被測定部品 110 の複数の異なる材料特性に関する測定情報を生成させ、表示させることができる。単一の画面 108 a での情報の同時表示は、オペレータが、このために、さらなる介入を行う必要なしに、別の画面または類似物などの追加のコンピュータハードウェアの必要もなしに、異なる材料特性の測定を即座に検査することを可能にする。さらに、同一のデータを使用して、表示されるグラフを展開することができ、その結果、追加テストを、比較のために行う必要がなくなる。グラフ内の情報が、下でさらに説明するように z 軸に沿ってグラフを位置合せするなどによって、情報間での簡単な比較をオペレータが行えるようにする形で配置されることが好ましい。

10

**【0035】**

特性を一緒に見ることに基づいて、オペレータは、いくつかの値が他の値と比べて大きいことおよびいくつかの値が他の値と比べて小さいことを視覚的に判定することができる。大きい値および小さい値が、材料特性の許容可能な限度を超える場合がある。グラフと一緒に表示されるので、オペレータは、表示される特性のすべてまたは一部に基づいて、判定される材料特性の、すばやく簡単な比較を行うことができ、被測定部品 110 に関してアクションを行う必要があるかどうかを判定することができる。

**【0036】**

一例では、図 11 を参照すると、応力、誤差、強度比、およびピーク幅を示すグラフ 1101、1103、1104、および 1105 が、単一の画面 108 a 上で z 軸に沿って互いの上に表示される。応力グラフ 1101 の検査によって、応力が区域 1102 で最大値に達することが示される。図からわかるように、他の材料特性の値は、被測定部品 110 のテストされた区域にわたって変化し、そのグラフの対応する区域 1102 内でも変化する。これは、被測定部品 110 が、欠陥を有し、被測定部品 110 に関するさらなるアクションを行わなければならないことを必要とすることを示す可能性がある。

20

**【0037】**

オペレータは、画面 108 a でグラフを見た後に、見たことの結果としてアクションを行うことができる。例えば、オペレータが、グラフを見て、表示された特性の組合せが、部品の問題のある位置を表すことを認識した場合、その部品を引き抜くことができる。もう一つの例では、見ることから、部品が問題を有する可能性があることが示される場合、さらなるテストをその部品に対して実行することができる。明らかのように、オペレータは、単一の画面でグラフを見た後に、この判定を好都合に行うことができる。図 11 の例では、見る人は、応力がグラフ 1101 の区域 1102 で極端に高い値に達することに気付き、さらなるテストのためにこの部品を引き抜くことができる。その一方で、グラフ 1103 ~ 1105 のいずれもが、高い値の類似する集中を示さないという事実が、この点がまだテストされたさまざまな特性に関する安全で許容可能なレベルに含まれることを示す場合がある。

30

**【0038】**

グラフの他に、レポートおよび他のタイプの情報を単一の画面 108 a に表示することができる。具体的には、被測定部品の 1 つの点または位置に関する追加情報を示すレポートを、生成し、グラフのそばに表示することができる。このレポートは、特定の点の正確な値の測定値を示す。例えば、ある点のレポートが、問題の点の応力、せん断応力、および残留オーステナイト値を示すことができる。レポートの表示は、多くの状況で有用である。というのは、ユーザが、グラフの視覚フォーマットのそばで離散フォーマットでの測定された点に関する正確な測定値または他の情報を見ることを望むからである。場合によっては、グラフが、読むことがむずかしい場合があり、他の場合、見る人が、例えば、対応するグラフの測定値が許容不能の境界にあるように思える場合など、正確な値を知る必要がある場合がある。

40

**【0039】**

50

図10を参照すると、レポート1002が、グラフ1004のそばに示されている。レポート1004は、2つの検出器から測定された被測定部品110の特定の点の、測定された応力、強度比、平均ピーク幅、および平均ピークFWHMを示す。また、選択された点の応力は、 $-81.336 \text{ ksi}$  ( $-560811720 \text{ Pa}$ )である。このレポートの使用の1つの例では、オペレータは、 $-81 \text{ ksi}$  ( $-558495000 \text{ Pa}$ )未満の応力の値が、部品が引き抜かれる必要があることを示すことを、知っている場合がある。しかし、グラフ1004を見ることによって、この閾値を超えているかどうかを判定することはむずかしい。しかし、コンピュータマウスを使用して、検査すべき点をクリックすることによって、レポート1002が生成され、オペレータは、応力値をすぐに見ることができ、その値が閾値を超えると判定し、さらなるテストのためにその被測定部品110を引き抜くことができる。

10

#### 【0040】

本システムのもう1つの利益は、1つまたは複数の評価ガイドを判定できることである。評価ガイドは、オペレータが、複数の材料特性間の関係を示すために判定することができる。評価ガイドに基づいて、ガイド値を計算し、単一の画面108aに表示することができる。さらに、テスト測定結果を判定することができる。テスト測定結果に、ガイドで定義された同一の材料特性に関する被測定部品の特定の点の複数の測定値が含まれる。例えば、ガイドが、応力を歪みに関係付ける場合、被測定部品の1つの点に関する各テスト測定により、テスト測定結果が、応力および歪みの測定値から形成される。

#### 【0041】

20

テスト測定結果に、ガイドの同一の材料特性に関連する測定値が含まれるので、テスト測定結果を、ガイド値と同一のグラフにプロットし、ガイド値と比較することができる。さらに、ガイド値およびテスト測定結果を、単独で単一の画面108aに表示ことができ、あるいは、被測定部品110の材料特性のグラフと一緒に表示することができる。

#### 【0042】

評価ガイドの使用の1つの例では、図14も参照すると、評価ガイドのガイド値が、ガイド線1402としてプロットされる。図からわかるように、ガイド線1402のガイド値によって示される関係は、線形である。この場合、ガイド線1402によって定義される関係は、2つの材料特性が理想的にどのように比較されるかを関係付けるターゲット値である。ガイド線1402からの許容可能な逸脱範囲を定義するゾーン1404も、線1402の周囲で識別される。

30

#### 【0043】

テスト測定結果1406a~d、1408a~b、および1410a~bは、評価ガイドの特定の材料特性に関する測定値から形成され、プロットされる。オペレータは、グラフを見ることができ、プロットされたテスト測定結果1406a~dのグループがゾーン1404に含まれ、これらのテスト測定結果1406a~dによって表される測定値が許容可能であることが示されることを知ることができる。しかし、テスト測定結果1408a~bおよび1410a~bは、ゾーン1404に含まれず、被測定部品110のいくつかの点について、測定値が許容不能であることを示す。オペレータは、テスト測定結果がゾーン1401の外に含まれることを知ったならば、アクションを行うことができ、例えば、どの材料特性が疑わしいかをさらにテストまたは調査するために被測定部品を取り外すことができる。したがって、評価ガイドは、測定値が許容可能限度内に収まるかどうかを判定する代替の好都合な手段を提供する。

40

#### 【0044】

代替案では、評価ガイドを、閾値として使用することができる。図14に示された評価ガイドの場合、ガイド線1402が、閾値を表すことができる。この閾値は、すべての測定値がそれを超えてはならないシーリング、または測定値がそれを下回ってはならないフロアとすることができる。ガイド線1402が、上限である場合、テスト測定結果1408a~b a、1406a、1406c、および1406dが、閾値の上にあることがわかる。逆に、ガイド線1402が、フロアを表す場合、テスト測定結果1410a~bお

50

よび1406bの測定値が、ガイド線1402の下にあることがわかる。どちらの場合でも、見る人は、閾値を超えているかどうかを簡単に判定でき、閾値を超えることによって、ある測定値が不適合であることが示されるので、アクションを行う必要があるかどうかを判定することができる。

【0045】

もう1つの手法で、見る人は、閾値を超えるテスト測定結果が、まだガイド線1402に十分に近く、アクションを行う必要がないと判定することができる。これに関して、ゾーン1404を、この判定を行うための視覚的補助として使用することができる。具体的には、閾値を超えるがこのゾーンに含まれるテスト測定結果は、まだ許容可能と考えられる。その代わりに、見る人が、閾値を超えるすべてのテスト測定結果がアクションの実行を必要とすると判定することができる。したがって、ユーザは、テスト測定結果に関連する測定値が閾値を満足するかどうかを容易に判定でき、その結果、適切なアクションを行うことができるようになる。

10

【0046】

このシステムは、テスト測定結果が評価ガイドにどのように関係するかも記録することができる。1つの例では、このシステムは、テスト測定結果が評価ガイドからある距離以内に達した時に、これを警告するために、これを判定することができる。もう1つの例では、このシステムは、テスト測定結果がゾーン1404から出る時を判定し、これが発生した時にオペレータに警告することができる。

20

【0047】

コントローラ102は、メモリに格納されたコンピュータ命令を実行できる任意のプロセッサとすることができる。例えば、コントローラ102を、マイクロプロセッサまたは類似物とすることができる。図1に示されているように、コントローラ102および測定システム106内の制御モジュール124を、別々のデバイスとすることができる。しかし、コントローラ102および制御モジュール124を、同一のデバイス内、例えば同一のマイクロプロセッサ内に含めることもできる。さらに、コントローラ102、メモリ104、および表示システム108を、同一のシステム構成要素内または同一のハウジング内、例えば、パーソナルコンピュータ内に含めるか、同一の制御ボード上に含めることができる。

30

【0048】

コントローラ102は、測定システム106から生データを受け取り、そのデータをメモリ104に格納することができる。このデータは、適切なフォーマットで、またデータを識別し、コントローラ102によってメモリ104から情報を取り出せるようにするのに十分な他の情報、例えばヘッダと共に格納することができる。コントローラ102は、評価ガイドを取り出し、メモリ104に格納することもできる。

【0049】

コントローラ102は、受け取った回折データから材料特性を同時に判定する。具体的には、コントローラ102は、さまざまな回折角に関する受け取ったエネルギーの強度を示すデータを受け取る。コントローラ102は、さまざまな数学演算または計算動作を使用してこのデータを処理して、材料特性の測定値を得る。これらの演算は、ユーザの観点からはコントローラ102のプログラムされたソフトウェアによって実質的に同時に実行することができるが、システムリソースが、アルゴリズムの並列処理ではなく順次処理の発生を指示する場合がある。コントローラ102が実行する動作の一例では、コントローラ102は、受け取ったエネルギーの強度を対応する回折角に関係付け、この関係から、ピーク幅を判定する。次に、コントローラ102は、このピーク幅を使用して、密度、硬度、および粒子サイズを計算する。もう1つの例では、コントローラ102は、受け取ったエネルギーの強度の絶対ピーク値を判定し、このピーク値を使用して歪みを計算する。

40

【0050】

コントローラ102は、例えば、表示システム108でのオペレータによる要求に従ってメモリ104から以前に処理された情報を抽出し、この情報を、表示システム108を

50

介してオペレータに表示できるフォーマットに処理することもできる。例えば、オペレータが、表示システム108で、既存のグラフをメモリ104から取り出し、表示システム108で表示することを要求することができる。

【0051】

コントローラ102は、データが測定システム106から受け取られる時に、リアルタイムで表示システムにデータを表示することもできる。オペレータは、表示システム空間で、さらに、特定のタイプの測定を被測定部品110について行うことを要求することができる。オペレータは、ある個数、タイプ、およびグラフィカルフォーマットの情報を表示することを要求することもできる。コントローラ102は、測定システムからも、他のタイプの要求を受け取り、処理することができる。

10

【0052】

メモリ104は、情報を格納できるすべてのタイプのデバイスとすることができる。例えば、メモリ104を、すべてのタイプのデータが格納されるデータベースとすることができる。メモリの他の例が可能である。

【0053】

メモリ104は、測定システム106から得られたデータを格納することができる。ストレージフォーマットは、任意の個数の構造に従うものとするすることができる。例えば、特定の被測定部品の特定の特性に関する情報を、単一の文書または単一のファイルに格納することができる。この文書またはファイルには、コントローラ102が1つの特定の文書またはファイルを識別し取り出すのに十分な情報が含まれる。

20

【0054】

測定システム106は、エネルギーを被測定部品110に向け、被測定部品110から結果のエネルギーを検出できるすべてのタイプのシステムとすることができる。図1に示されているように、測定システム106に、エネルギーエミッタ122、エネルギー検出器120aおよび120b、ならびに制御モジュール124が含まれることが好ましい。エネルギーエミッタ122は、エネルギー、例えばX線または熱エネルギーを被測定部品110に向けることができる。結果のエネルギー、例えば回折したX線または減衰エネルギーを、センサ120aおよび120bによって検出することができる。

【0055】

単一のエミッタおよび2つのセンサが図示されているが、当業者は、任意の個数のエミッタおよびセンサを使用できることを理解されよう。また、測定システム106を、固定とすることができ、あるいはモバイルとすることができることを理解されたい。1つの例では、測定システムを、参照によってその全体が本明細書に組み込まれている、米国特許仮出願第09/539346号明細書(「X線回折装置および方法」)に記載のタイプとすることができる。もう1つの例では、測定システムを、参照によってその全体が本明細書に組み込まれている、米国特許仮出願第10/390479号明細書(「X線回折システムおよび方法」)に記載のタイプとすることができる。

30

【0056】

測定システム106内の制御モジュール124は、センサ120aおよび120bならびにエミッタ122の移動および動作を制御することができる。具体的には、制御モジュールは、測定を行うために被測定部品110にまたがって測定システム106を移動することができる。1つの例では、この移動を、円弧の経路に沿ったものとするすることができる。制御モジュール124は、センサで得られた情報を受け取り、その情報をコントローラ102またはメモリ104に転送することもできる。

40

【0057】

前述のように、表示システム108は、単一のビデオ画面108aからなるビデオ表示システムである。表示システム108は、オペレータが、メモリ104に格納された情報を要求し、表示することを可能にし、あるいは、測定システム106を使用する情報の測定および表示を開始することを可能にする。

【0058】

50

図1のシステムの動作の一例では、エネルギー、例えばX線を、測定システム106のエミッタ122から被測定部品110の一部に向けて行うことができる。オペレータは、被測定部品110の、エネルギーが向けられる部分を選択することができる。測定システム106は、被測定部品110にまたがって、例えば円弧で、移動して、その経路内のさまざまな点で測定を行うことができる。測定システム106のセンサ120aおよび120bは、被測定部品110から結果のエネルギー、例えば回折されたX線または減衰されたエネルギーを検出し、これをコントローラ124による使用に適するフォーマットおよび形のデータに変換する。このデータが、コントローラ124に転送され、その後、コントローラ124が、これをコントローラ102に送る。コントローラ102は、生データをフォーマットし、メモリ104に置く。例えば、データは、そのソース、被測定部品の識別、またはエネルギーにより衝撃を与えられた部品の領域の位置によって、メモリ104内で識別することができる。

10

**【0059】**

前に説明したように、コントローラ102によって受け取られた生の回折データを、さまざまな数学演算または計算動作に従って分析して、材料特性を同時に判定することができる。この分析は、受け取られたエネルギーの強度と受け取られたエネルギーの回折角の関係の諸態様を分析することによって行われる。この情報を、オペレータに表示することもできる。例えば、図10のグラフ1006および1007は、2つのセンサで受け取られた際の、受け取られたエネルギーの強度対受け取られたエネルギーの回折角を表示するものである。オペレータは、これらのグラフを使用して、受け取られた情報が両方のセンサで同一または類似するかどうかを視覚的に判定することができる。グラフが根本的に異なる場合、これは、被測定部品またはセンサに問題が存在することを示す場合がある。

20

**【0060】**

表示システム108は、単一の画面108aにグラフを表示する。グラフを、例えば図11に示されているように、共通のz軸に沿って位置合わせすることができる。共通のz軸に沿ったグラフの位置合わせは、オペレータが被測定部品110の特定の区域に関する測定値の簡単な視覚的比較を行えるようになるので有益である。さらに、オペレータは、異なる材料特性のグラフを見る合間に前後に切り替える必要がなく、複数のグラフを同時に見るために2つのビデオ端末を入手する必要がない。その代わりに、見る人は、単に、画面108aに同時に表示されるグラフを調べる必要がある。したがって、見る人は、即座に比較を行うことができ、被測定部品に関してさらなるアクションを行う必要があるかどうかおよびその時を判定することができる。

30

**【0061】**

さらに、表示システム108は、例えば図14に示されているように、評価ガイドおよびこれらのガイドに対する測定値のグラフセットをグラフィカルに示すことができる。評価ガイドがターゲット値を表す場合、見る人は、測定値がガイドの許容可能範囲に含まれるかどうかを判定することができる。評価ガイドが閾値を表す場合、見る人は、測定値が閾値の上または下のどちらであるかを判定することができる。この判定が行われたならば、見る人は、さらなるアクションを行うか否かを判断することができる。

40

**【0062】**

好都合なことに、オペレータは、画面108a上のグラフの表示のパラメータを変更して、グラフを見ることをより簡単にすることができる。例えば、材料特性を表示して測定値の区別および相違を示すために、分解能(グラフのz軸に影響する)を変更することができる。

**【0063】**

もう1つの例では、グラフの色を変更し、その結果、あるグラフまたはグラフの一部を顕著にすることができる。これは、一部の材料特性が他の材料特性より重要である状況で有用である。オペレータは、各グラフの分解能および寸法をカスタマイズすることもできる。グラフの特定の点の特性に関する詳細なレポートを、例えば、オペレータがコンピュ

50

ーマウスまたは他のカーソル制御デバイスを使用することによってグラフ上の点を選択し、クリックすることによって、生成することができる。

【0064】

グラフ内の変動を区別し、一般に視覚的に満足なフォーマットでグラフを表すのを助けるために、さまざまな異なる表示技法を使用することができる。例えば、特定の測定範囲が指定された色を有するようにすることによって、3次元グラフをカラーコーディングすることができる。これらの色は、オペレータによって、グラフごとにカスタマイズすることができる。3次元グラフを、任意のタイプのグラフィカル塗潰し、例えば、ワイヤフレーム、塗り潰された表面、または点を用いて塗り潰すこともできる。さらに、各グラフの等圧線投影を作成し、表示することができる。2次元断面を作成し、3次元グラフ内に位置決めすることもできる。2次元平面を、2次元グラフとして別々に表示することができる。さらに、オペレータは、任意の断面をクリックし、ドラッグして、その断面に対応する2次元グラフを動的に更新することができる。さらに、グラフを、異なる色を有する異なるグラフと、互いにオーバーラップさせることができる。

10

【0065】

測定を行い、被測定部品110の表面の特性のグラフを導出することができる。その代わりに、測定を行い、被測定部品110の表面の下の点または区域の特性のグラフを導出することができる。この場合、オペレータは、点または区域の位置を選択することができる。さらに、測定を行い、複数の点および/または位置のグラフを導出することができる。表示システム108で、特性を示すグラフを、特定の深さまたはさまざまな深さでの特性を示すグラフと一緒に示すことができる。

20

【0066】

好都合なことに、オペレータは、リアルタイムでグラフの一部またはすべてを表示し、かつ/または監視することを選択することができる。グラフで閾値に達した時に適当なアクションを行うことができる。さらに、表示システムは、評価ガイドをグラフにし、測定値が評価ガイドからある距離以内にあるかどうかを判定することができる。例えば、図14を参照すると、表示システムは、テスト測定結果1406a~d、1408a~b、および1410a~bが線1402からどれほど遠いか、またはこれらの結果がゾーン1404に含まれるかどうかを判定することができる。これらの判定に基づいて、このシステムは、適当なアクションを行うようにオペレータに警告することができる。

30

【0067】

図2を参照して、対応する方法の1つの例を説明する。ステップ202で、既にメモリに格納されている既存グラフを開くことが望まれるかどうかを判定することができる。例えば、以前に生成されたグラフをメモリに格納することができ、オペレータが、そのグラフに示された材料特性をレビューするためにそのグラフを見ることを望む場合がある。当技術分野で既知のように、グラフを、コンピュータファイルまたは類似する装置に格納することができる。ステップ202の回答が否定の場合、実行はステップ204で継続される。ステップ202の回答が肯定の場合、実行はステップ212で継続される。

【0068】

ステップ204で、オペレータは、そのオペレータが表示を望むグラフのパラメータを選択することができる。図3に関して詳細に説明するように、この選択に、表示されるグラフのタイプ、グラフのサイズ、およびグラフの分解能を含めることができる。

40

【0069】

このステップに、被測定部品の一部分に関する表面輪郭線(被測定部品の一部分のz位置)に関するデータの収集を含めることができる。言い換えると、被測定部品の表面の領域または部分の形状または構成を描くグラフまたはマッピングを行うことができる。被測定部品の表面のz位置座標を示すデータの入手は、望ましい場合があり、その結果、例えば、エネルギーエミッタおよび/またはセンサを、被測定部品の上の正確な位置に移動して、測定が行われる時に被測定部品に指向性エネルギーの焦点を正確に合わせるようにすることができるようになる。このマッピングを達成するのに使用される方法の一例が、参照によって

50

その全体が本明細書に組み込まれている、米国特許仮出願第09/539346号明細書（「X線回折装置および方法」）に記載されている。

【0070】

ステップ206で、例えば図1の測定システム106を介して、データを収集することができる。図1の例のシステムでは、データを、測定システム106から送り、コントローラ102によってメモリ104に格納することができる。

【0071】

ステップ208で、オペレータは、表示のパラメータを選択することができる。図4に関してより十分に述べるように、これに、表示されるグラフの個数、グラフのレイアウト、グラフの塗潰し、および見られるグラフ内の関心を持たれている特定の区域の選択を決定することを含めることができる。

10

【0072】

ステップ210で、グラフを表示することができる。例えば、ステップ204で選択されたグラフパラメータに従い、ステップ208で選択された表示パラメータに従ってグラフを表示することができる。グラフを、ビデオ端末または類似物に表示することができる。グラフを、他の表示媒体を使用して表示することもできる。

【0073】

単一入射法（Single Exposure Technique、SET）、線形技法、楕円技法、または3軸技法などの適当な処理技法を使用して、グラフの各点のデータを中間形式に処理することができる。その後、中間形式を、画面での表示用のグラフに変換することができる。ソフトウェアは、使用によって画面に表示されるレポートおよび他のタイプの情報を確立することもできる。例えば、図10を参照すると、2つの検出器から測定された被測定部品110の特定の点の測定された応力、強度比、平均ピーク幅、および平均ピークFWHMを示すレポート1002を生成することができ、この情報のすべてが、同一の生データから得られる。

20

【0074】

グラフは、メモリに格納された既存のグラフとすることもできる。この状況では、オペレータが、グラフの識別をコントローラに指定することができ、この情報を使用して、コントローラが、メモリ内でグラフを突き止め、グラフを取り出し、グラフを表示システムに表示することができる。その代わりに、グラフが、リアルタイムで表示される場合、コントローラが、データをグラフィカルフォーマットに処理し、そのグラフを、まずグラフをメモリに格納させることなく、画面上で直接にオペレータに表示することができる。グラフの周期的更新を行うこともできる（例えば、自動的な基礎で、またはオペレータによって開始された時に）。

30

【0075】

ステップ212で、オペレータが、例えば表示パラメータをセットする必要なしに、既存グラフをすばやく見ることを望むかどうかを判定することができる。回答が肯定の場合、実行は、ステップ210で継続される。回答が否定の場合、実行はステップ208で継続される。

【0076】

図3を参照して、上述のステップを達成する対応する方法の一例を説明する。ステップ302で、オペレータによって座標系が選択される。オペレータは、情報を表示するために任意の個数の座標系を選択することができる。例えば、オペレータは、グラフを表示するのに円座標系（circular coordinate system）を選択することができる。この場合、座標は、半径および角度に従ってマッピングされる。オペレータは、極マップ座標系（polar map coordinate system）、3次元座標系（座標が、x位置、y位置、およびz位置によって与えられる）、または環状座標系（annular coordinate system）（データが輪にグラフ化される）を選択することもできる。オペレータは、被測定部品の一部の物理的輪郭をマップすることを選択することもできる。このモードの動作は、参照によってその全体が

40

50

本明細書に組み込まれている、米国特許仮出願第09/539346号明細書(「X線回折装置および方法」)に記載されている。

【0077】

ステップ304で、オペレータが、グラフの表示に関するパラメータをセットすることができる。例えば、使用される座標系が、3次元座標系である場合、オペレータは、グラフのx寸法およびy寸法ならびにグラフのx分解能およびy分解能を入力することができる。オペレータは、データをリアルタイムでこのグラフに表示させることを選択することもできる。言い換えると、オペレータは、データが測定システムによって収集される時にそのデータをユーザに表示させることができる。もう1つの例では、オペレータは、データの分析に使用される分析方法、例えば、単一入射法、線形技法、楕円分析法、または3軸分析法を決定することができる。

10

【0078】

ステップ306で、被測定部品のz軸プロファイルをマッピングしなければならないかどうかを決定することができる。回答が肯定の場合、ステップ308で、システムが、z位置座標のデータを収集する。z座標の値が、マッピングされ、その結果、例えば、エネルギーエミッタが、被測定部品にエネルギーの焦点を正しく合わせられるようになる。回答が否定の場合は、実行が終了する。

【0079】

図4を参照して、上述のアクションを達成する対応する方法の一例を説明する。ステップ402で、オペレータが、単一の画面に何個のグラフを同時に表示するかを選択することができる。グラフをオペレータが視覚的に区別でき、認識できるように、任意の個数のグラフを表示することができる。一例では、オペレータは、4つのグラフを表示することを選択することができる。表示された時に、グラフは、共通の軸に沿って、例えば垂直軸に沿って向きを決めることができ、その結果、グラフが、互いに「積み重ねられる」ようになる。

20

【0080】

前述のように、単一画面上でグラフをお互いの上に積み重ねて、オペレータが視覚的比較を容易に行う能力を高めることが有利である。例えば、オペレータは、グラフを調べ、被測定部品の特定の領域の値を比較することができる。前述のように、この手法を使用することによって、異なるコンピュータ画面の間で前後に切り替える必要がなくなり、視覚的比較を行うために2つの端末を維持する必要がなくなる。

30

【0081】

その代わりに、グラフをオーバーラップさせることができる。言い換えると、グラフを互いに上に積み重ねるのではなく、グラフを、同一のx軸およびy軸と一緒に表示することができる。この場合、複数のグラフを、異なる色を使用して表示することができる。もう1つの例では、グラフが、それぞれのx軸に沿って水平に位置合せされるように、グラフを表示することができる。

【0082】

ステップ404で、オペレータは、分析モードを選択することができる。一例では、オペレータは、収集された実際のデータを分析することを選択することができる。もう1つの例では、オペレータは、マップ代数を使用して、以前に収集されたデータを分析することを選択することができる。例えば、第2マップに含まれる値を、第1マップに含まれる値から減算して、第3の「差分」マップを作成することができる。分析モードの他の選択肢が可能である。

40

【0083】

もう1つの手法で、ユーザは、特定の材料特性に関するグラフをメモリから取り出すことができる。測定値の現在のセットまたは第2の時間期間中に生成されたセットのいずれかに関連する同一の材料特性を示す第2のグラフを表示することもできる。第1のおよび第2のグラフは、同一のまたは異なる被測定部品に関するものとすることができる。ユーザは、第1のグラフをドラッグし、第2のグラフの上にドロップし、その後、コンピュー

50

タマウスをクリックして第3のグラフを生成することができ、この第3のグラフには、第1のグラフと第2のグラフ間の差が示される。この手法を使用することによって、見る人は、特定の材料特性が部品の間または同一部品で経時的にどのように変化したかを容易に判定することができる。

#### 【0084】

ステップ406で、オペレータは、グラフィカルフォーマットで表示される材料特性を選択することができる。オペレータに表示される特性は、グループとして（すなわち、セットとして）または個別に選択することができる。一例では、オペレータは、測定方法（例えば、線形、楕円、3軸）に基づいてソースデータタイプを選択することができる。もう1つの例では、オペレータは、特性を個別に選択することができる。特性の例に、例えば、応力、応力誤差、強度比、平均ピーク幅、平均半値幅（FWHM）、せん断応力、応力テンソル、誤差テンソル、x方向応力、y方向応力、最大せん断、相当応力、硬度、粒子サイズ、転位密度、塑性歪み、塑性歪みパーセント（percent plastic strain）、冷間加工パーセント（percent cold work）、位相、残留オーステナイトパーセント（percent retained austenite）、歪み、歪み誤差、せん断歪み、歪みテンソル、x方向歪み、y方向歪み、および最大歪みが含まれるが、これに制限はされない。特性を、被測定部品の表面で、または被測定部品の表面の下の特定の深さで判定することができる。さらに、特性を、検出された回折されたエネルギーまたは減衰されたエネルギーから導出することができる。前述から明白なように、広範囲の特性および選択方法が、本システムおよび方法を用いて可能である。

10

20

#### 【0085】

ステップ408で、オペレータは、表示のレイアウトを選択することができる。オペレータは、グラフおよび他の情報が表示される画面上の位置を決定することができる。例えば、オペレータは、各グラフが画面に表示される正確な画面座標を示すことができる。これは、コンピュータマウスまたは他の選択方法を用いてグラフをクリックし、ドラッグすることによって達成することができる。カスタム設定が有利なのは、これによって、オペレータが実際の測定値に基づいて所定の設定から表示を変更できるようになるからである。さらに、これによって、オペレータが被測定部品の評価に真に有用であるグラフの表示および位置を決定できるようになる。

30

#### 【0086】

オペレータは、所定の位置決めパターンに従ってグラフを表示することを選択することもできる。例えば、オペレータは、共通の垂直軸に沿って画面の左側に3次元グラフを表示し、画面の右側に2次元グラフを表示すると決定することができる。これは、オペレータが、各グラフ位置をカスタムプログラムする時間をかける必要なしにグラフをすばやく表示する必要がある時に、必ず有利である。

#### 【0087】

オペレータは、さらに、グラフに含まれる情報の比較を容易にする好都合なレイアウト方法を選択することができる。例えば、オペレータは、複数のグラフを共通の垂直軸に沿って位置合せすることによって、グラフを「積み重ねる」ことができる。もう1つの例では、グラフを、共通の水平軸に沿って水平に位置合せすることができる。オペレータは、共通の軸を判定し、この共通の軸に沿ってグラフを移動するプログラミングツールを使用してこれを行うことができる。例えば、オペレータは、コンピュータマウスを使用して、軸に沿ってグラフをドラッグアンドドロップするか、その代わりに、グラフを位置合せするためのx y座標を指定することができる。他の位置合わせおよび位置決めパターンが可能である。前述のように、位置合わせパターンは、見る人が材料特性のグラフを評価するのを助ける。

40

#### 【0088】

オペレータは、グラフの単一の点に関する分析レポートを表示することもできる。例えば、オペレータは、カーソルをグラフ上の点または区域に移動し、その点をクリックして

50

、その点に関するレポートを生成させ、表示させることができる。一例では、このレポートに、2つのセンサでの回折されたエネルギーから得られた応力関連情報が含まれる。レポートの他の例が可能である。

【0089】

グラフを表示したならば、オペレータは、ディスプレイ上でグラフを移動することもできる。例えば、オペレータは、カーソルコントロールを使用して、グラフを新しい位置に移動して、グラフ間の追加の比較を容易にすることができる。画面のレイアウトを決定し、調整する他の例および方法が可能である。

【0090】

好都合なことに、グラフのそれぞれの分解能およびスケールが、同一または類似するものであり、グラフが位置合せされる場合、被測定部品の一部分の異なる材料特性間で簡単な比較を行うことができる。これは、同一サイズの区域がグラフのそれぞれについてユーザに提示されるので、見るのを助ける。言い換えると、ユーザは、x軸とy軸に同一のスケールが選択された場合、小さい区域を見て、その区域を他の材料特性に関する他のより大きい区域と比較するために苦労する必要がない。

【0091】

さらに、z軸のスケールおよび分解能を、グラフのそれぞれについて調整することもできる。材料特性のそれぞれのグラフは、特性の測定値に関する異なる範囲を有する場合があります。範囲が、オペレータによって調整でき、その結果、オペレータが、特性の測定値の変動を簡単に区別できるようになる。例えば、図7も参照すると、応力を示すグラフのスケールが、約27ksi(186165000Pa)から-90ksi(-620550000Pa)まで変動し、せん断応力を示すグラフが、約17ksi(117215000Pa)から-10ksi(-68950000Pa)まで変動し、強度比を示すグラフが、1.8ksi(12411000Pa)から1.0ksi(6895000Pa)まで変動し、平均ピークFWHMが、3.8ksi(26201000Pa)から2.1ksi(14479500Pa)まで変動することがわかる。分解能を変更することによって、オペレータは、測定値の変動を簡単に、グラフ間の意味のある比較を行うことができる。

【0092】

ステップ410で、オペレータは、回転、平行移動、ズーム、x軸、y軸、およびz軸の分解能、引張圧縮、スペクトル(色勾配)などのビューイングパラメータを選択することができる。ステップ412で、オペレータは、3次元マップのマップ表面塗潰しを選択することができる。例えば、当技術分野で既知のように、オペレータは、表面塗潰しタイプとして、点塗潰し、ワイヤフレーム、または表面塗潰しを選択することができる。明らかに、ビューイングパラメータおよび表面塗潰しタイプの他の例が可能である。

【0093】

ステップ414で、オペレータは、次元座標の関数として特性値を検査することができる。例えば、オペレータは、特性を、新しいグラフとして、x軸、y軸、またはz軸に沿った位置の関数として表示することができる。もう1つの例では、オペレータは、表示のためにグラフの等圧線投影を作成することもできる。

【0094】

ステップ416で、オペレータは、フィルタを選択することができ、このフィルタは、ディスプレイ上のグラフの内容および/またはレイアウトを調整する。例えば、オペレータは、グラフのある領域からのデータが疑わしいまたは信頼性がないので、表示されているグラフからその領域を除去することができる。本明細書の他所で詳細に説明するように、オペレータは、閾値に達した時に事前定義のアクションが行われる測定閾値をセットすることもできる。さらに、本明細書で詳細に説明するように、オペレータは、システムには、ある評価ガイドに関してグラフを監視させることができ、システムには、これらのガイドが検出された時にあるアクションを実行させることができる。評価ガイド1402自体は、異なる測定される材料特性およびそのようなガイドによって決定されるアクション

10

20

30

40

50

の閾値の値の間に相関がある時など、グラフの対象（図14を参照されたい）とすることができる。

【0095】

図5を参照して、上述のアクションに対応する方法の一例を説明する。ステップ502で、監視モードの監視オプションを、オペレータによってグラフについて選択することができる。この選択によって、データが測定され、収集される時に、データをリアルタイムでグラフに表示できるようになる。周期的更新も行うことができる。

【0096】

ステップ504で、オペレータが、監視されるグラフ内の座標を決定することができる。一例では、グラフの区域（複数の点）が監視される。もう1つの例では、グラフ内の単一の座標が選択される。次に、オペレータは、ある材料特性について選択された点について監視される所定の閾値をセットすることができる。この閾値は、例えば、数学的関係によって関係するものとして行うことができる。

10

【0097】

ステップ506で、システムが、グラフの区域または点を監視することができる。当技術分野で既知のように、電子ハードウェアまたはコンピュータソフトウェアの任意の組合せを使用して、この結果を達成することができる。

【0098】

ステップ508で、システムが、閾値に達したかどうかを判定することができる。回答が肯定の場合、実行はステップ512で継続される。回答が否定の場合、実行はステップ510で継続される。システムは、選択された点で閾値の一部またはすべてに達したかどうかを判定することができる。

20

【0099】

ステップ510で、システムは、オペレータが監視を取り消すことを望むかどうかを判定することができる。回答が肯定の場合、実行が終了する。回答が否定の場合、制御がステップ506に返される。

【0100】

ステップ512で、アクションを行うことができる。例えば、システムが、ビデオ画面にフラグまたはアラームを挙げることによってオペレータに警告することができる。もう1つの例では、システムが、通信、例えば電子メールまたは無線メッセージをオペレータまたは他者に送ることができる。通信の内容を使用して、疑わしい特性を有する部品が検出されたことをオペレータに警告することができる。これは、オペレータによるさらなるアクションを必要とする場合がある。例えば、これが、部品の除去または異なる材料特性に関する部品の再テストを意味する場合がある。他のアクションが可能である。

30

【0101】

図6を参照して、評価ガイドに関してグラフを監視する、対応する方法の一例を説明する。ステップ602で、監視モードの監視オプションを、オペレータによってグラフについて選択することができる。この選択によって、データが測定され、収集される時に、グラフをリアルタイムでオペレータに表示できるようになる。

【0102】

ステップ604で、オペレータが、グラフ内の監視される座標を決定することができる。もう1つの例では、グラフの区域が、監視のために選択される。

40

【0103】

ステップ606で、オペレータが、評価ガイドを決定することができる。評価ガイドに、少なくとも1つの材料特性に関するガイド値の任意のセットを含めることができる。複数の評価ガイド間として、ガイド値を、既知の関係によって関係付ける、関係付けない、またはテストによって判定することができる。さらに、評価ガイド内に含まれるガイド値を、事前に決定するか、必要に応じてオペレータによって決定することができる。さらに、評価ガイドに関連するガイド値を、固定することができ、あるいは、オペレータが、本明細書に記載のテストシステムを介して部品に対して収集された経験的データに基づくな

50

ど、経時的にガイド内の値を変更することができる。

【0104】

一例では、S1の応力値およびA1の残留オーステナイト値を有する評価ガイドを選択することができる。オペレータは、これらのガイド値が検出された場合、第1アクションを行わなければならないことを示すことができる。もう1つの例では、オペレータは、S2の応力およびA1の残留オーステナイトというガイド値を決定することができる。オペレータは、この評価ガイドの値が検出された時に第2アクションを行わなければならないことを示すこともできる。

【0105】

ステップ608で、システムは、ガイド値との一致を得ることを試みて、グラフの区域を監視することができる。当技術分野で既知のように、電子ハードウェアまたはコンピュータソフトウェアの組合せを使用して、この結果を達成することができる。

【0106】

ステップ610で、システムは、ガイド値が検出されたかどうかを判定することができる。回答が肯定の場合、実行はステップ614で継続される。回答が否定の場合、実行はステップ612で継続される。

【0107】

ステップ612で、システムは、オペレータが監視を取り消すことを望むかどうかを判定することができる。回答が肯定の場合、実行が終了する。回答が否定の場合、制御がステップ608に返される。

【0108】

ステップ614で、アクションを行うことができる。アクションは、ステップ606に関して上で説明したように、オペレータが定義することができる。例えば、システムが、画面にフラグまたはアラームを挙げることによってオペレータに警告することができる。もう1つの例では、システムが、通信、例えば電子メールをオペレータまたは他者に送ることができる。そのような通信の内容を使用して、疑わしい特性を有する部品が検出されたことをオペレータに警告することができる。これは、オペレータによるさらなるアクション、例えば、部品の除去または新しい特性に関する部品の再テストを必要とする場合がある。他のアクションが可能である。

【0109】

図7~12を参照すると、上述のステップによって作成された表示の例が示されている。これらの表示は、前に説明したように異なるグラフ間の比較を容易にするためにビデオモニタの単一の画面108a上で行われることが好ましい。本明細書で説明するグラフが、例にすぎないことを理解されたい。言い換えると、内容、グラフのタイプ、特徴、グラフ間の関係、表示される情報、レポートのタイプ、レポートの内容、分析、チャート、または表は、変化する場合がある。さらに、位置、色、グラフ塗潰し、陰影付け、または他のフォントもしくは様式的特徴が変更される場合がある。最後に、グラフは、3次元(x, y, z)座標系内として示される。しかし、グラフを、他の座標系にマッピングすることができ、異なる座標系のグラフを一緒に表示できることを理解されたい。

【0110】

図7を参照して、単一の画面108aでの表示の一例を説明する。表示に、単一の画面上で互いの上に積み重ねられた4つのグラフ702、704、706、および708が含まれる。比較を容易にするために、4つのグラフが、同一の分解能を有する同一の座標系にマッピングされ、共通の垂直軸に沿って位置合せされている。これによって、見る人が、画面108aに沿って単純に実質的に垂直に上下にスキャンすることによって、テストされた部品の同一位置でグラフ化された測定された材料特性のそれぞれの大きさを見ることができるようになる。この例では、オペレータは、応力、せん断応力、強度比、および平均ピークFWHMを含む4つの材料特性を表示する(4つのグラフ702、704、706、および708を使用して)ことを選択している。グラフ702、704、706、および708は、カラーコーディングすることができ、この場合、異なる色が異なる測定

10

20

30

40

50

値範囲を示す。一例では、赤の特定の陰影が、 $16.8 \text{ ksi}$  ( $115836000 \text{ Pa}$ )と $14.4 \text{ ksi}$  ( $99288000 \text{ Pa}$ )の間のせん断応力を示すことができ、赤の別の陰影が、 $14.4 \text{ ksi}$  ( $99288000 \text{ Pa}$ )と $11.5 \text{ ksi}$  ( $79292500 \text{ Pa}$ )の間の応力を示すことができる。グラフのそれぞれの隣の色勾配チャートが、色と測定値の間の関係を示す。

#### 【0111】

グラフ702、704、706、および708を共通の軸に沿って位置合せすることによって、簡単な視覚的比較を、表示された材料特性に関して行えることがわかる。この場合、応力が、部品の1部分について比較的一定であり、被測定部品の他の部分で均一に高い値になることがわかる。また、せん断応力が、部品の1つの区域のピークを除いて部品にわたって比較的一定であることがわかる。強度比は、大きく変化し、被測定部品の異なる区域で異なるピークに達することがわかる。平均ピーク幅FWHMは、比較的一定であるが、被測定部品のある区域で下がっていることがわかる。アクションが必要になる前に、応力とせん断応力の両方が、特定の領域について高いことが要件である場合、見る人は、この要件が満たされず、さらなるアクションを行う必要がないことを容易に判定することができる。

10

#### 【0112】

図8を参照して、表示のもう1つの例を説明する。この表示に、4つのグラフ802、804、806、および808とレポート810が含まれる。図7の表示と同様に、この表示に、互いの上に積み重ねられた4つのグラフが含まれる。比較を容易にするために、4つのグラフ802、804、806、および808が、同一の座標系に同一の分解能を使用してマッピングされ、共通の垂直軸に沿って位置合せされている。オペレータは、応力、せん断応力、強度比、および平均ピークFWHMを含む4つの材料特性を表示することを選択している。グラフの隣の色勾配チャートが、色と測定値の関係を示す。グラフは、図7に示されたものと同一である。

20

#### 【0113】

レポート810は、オペレータがグラフ内の特定の点をクリックした時に作成することができる。レポート810は、オペレータによって選択された点または点の組に関する値の任意の系列とすることができる。この例では、レポート810は、被測定部品から2つのセンサで受け取られた回折情報に関する異なる値を示す。これらの値の一部を、図8の中央のグラフに2次元でマッピングすることができる。

30

#### 【0114】

層間距離 ( $d - \text{spacing}$ ) は、格子パラメータであり、材料の結晶面の間隔に関係し、 $\sin^2 \psi$  は、感知された回折エネルギーの回折角に関係する。 $d - \text{spacing}$  対  $\sin^2 \psi$  のプロットの傾きは、部品の歪みである。さらに、2つの別々の検出器からの  $\sin^2 \psi$  および  $d - \text{spacing}$  が単一のグラフにプロットされる時に、この2つのプロットの間分離は、せん断応力がその部品に存在することを示す。

#### 【0115】

好都合なことに、このタイプの情報を、見る人に表示することができる。具体的には、2次元グラフ812に、レポート810からの  $\sin^2 \psi$  対  $D \text{spacing}$  のマッピングが含まれる。グラフ812は、第1検出器での値の第1プロット811と第2検出器での値の第2プロット813を示す。したがって、この例では、ユーザは、線811および813を調べ、これらの線が一致しないと判定し、せん断応力が存在すると判定することができる。

40

#### 【0116】

レポート810を見る人が使用して、レポートに関連する特定の点の応力の正確な値を判定することができる。これは、見る人が、値が閾値を超えるかどうかを判定するために正確な値を知る必要がある状況で有利である。図8の場合、オペレータが、ある点の応力が  $12 \text{ ksi}$  ( $82740000 \text{ Pa}$ ) を超えるかどうかを判定する必要がある場合があ

50

り、応力グラフ 802 を検査し、部品のその点での応力の正確な値を確かめることができなかった。しかし、オペレータは、レポート 810 を生成でき、応力値が  $12.469 \text{ ksi}$  ( $85973755 \text{ Pa}$ ) であることを見ることができる。したがって、オペレータは、このレポートを見たことに基づいて適当なアクションを行うことができる。

#### 【0117】

図 9 を参照すると、表示のもう 1 つの例が示されている。図 9 に示された表示に、3次元グラフ 902 が含まれる。2つの平面 904 および 906 が、3次元グラフ 902 を通過する。平面 904 は、x 方向および y 方向にあり、平面 906 は、y 方向および z 方向にある。2つの平面 904 および 906 に含まれる情報は、表示の右下部分に示された 2つのチャート 908 および 910 に転置されている。第 1 のチャート 908 に、x 位置の関数としての 3次元グラフからの値が示され、第 2 のチャート 910 に、y 位置の関数としての 3次元グラフからの値が示されている。

#### 【0118】

さらに、この表示に、3次元グラフ 902 から導出された等圧線マップ 912 が含まれる。この等圧線マップ 912 は、3次元マップ 902 の右にあるが、3次元グラフ 902 の 2次元投影を示し、ある範囲に含まれる測定値に同一の色が与えられている。この等圧線マップは、カラーコーディングされ、その結果、オペレータが、材料特性の変動を簡単に判定できるようになっている。例えば、複数の領域が、過度に高い値および過度に低い値を有することがわかる。この表示の最上部に、第 1 検出器および第 2 検出器で測定された X 線回折情報を与える 2つのグラフ 914 および 916 も含まれる。図からわかるように、回折の強度は、検出器のそれぞれについてほぼ同一の角度でピークになる。

#### 【0119】

図 10 を参照すると、表示のもう 1 つの例が示されている。この表示には、応力の 3次元グラフ 1004、回折ピーク測定グラフ 1006 および 1007、応力レポート 1002、ならびに  $D - \text{spacing}$  対サイン二乗  $\text{psi}$  のグラフ 1003 が含まれる。

#### 【0120】

2つの回折ピークグラフは、回折ピーク強度が両方の検出器で特定の角度で最大になることを示す。グラフ 1004 は、応力が特定の点で最大になることを示す。このグラフの残りの区域は、応力が、被測定部品の示された区域について低いことを示す。グラフ 1004 は、被測定部品が、高い応力の点で特定の問題を有することを反映する場合がある。そういう状況である場合、オペレータは、あるアクションを行うことができ、例えば部品を引き抜くか、さらなるテストを実行することができる。レポート 1002 は、2つの検出器で測定されたさまざまな値を示す。これらの値の一部は、グラフ 1003 でグラフ化され ( $D - \text{spacing}$  対  $\sin^2 \text{psi}$ )、その結果、オペレータが、歪みおよびせん断応力が存在するかどうかに関する判定を行えるようになっている。

#### 【0121】

図 11 を参照すると、表示のもう 1 つの例が示されている。この表示には、簡単な比較を行うのを容易にするために共通の z 軸に沿って位置合せされた 3次元グラフが示されている。応力グラフ 1102 は、応力が区域 1102 で最大になることを示す。これは、被測定部品が、その区域で問題を示していること、さらなるアクションが必要であることをオペレータに示す場合がある。グラフ 1103 は、被測定部品の区域にまたがる応力誤差を示す。誤差が、点によってかなり変動するが、特定の点で最大になることがわかる。グラフ 1104 は、被測定部品の区域の強度比を示す。やはり、簡単にわかるように、強度比は、被測定部品の区域にまたがってかなり変化し、複数の点で最大値に達する。最後に、グラフ 1105 は、被測定部品の区域の平均ピーク幅を示す。やはり、これは、被測定部品にまたがって大きく変化し、単一の最大区域または最小区域はない。

#### 【0122】

グラフ 1101、1103、1104、および 1105 のそれぞれのスケールは、ユーザによってカスタムセットされている。したがって、グラフ 1101 のスケールは、 $874.6 \text{ psi}$  ( $6030150 \text{ Pa}$ ) から  $-271.1 \text{ psi}$  ( $-1869170 \text{ Pa}$ )

までであり、グラフ 1 1 0 3 のスケールは、1 0 . 5 から 0 . 0 までであり、グラフ 1 1 0 4 のスケールは、1 . 1 から 1 . 0 までであり、グラフ 1 1 0 5 のスケールは、3 . 3 から 3 . 0 までである。スケールを均一の範囲にセットすることは、見るために許容可能または好都合でないはずである。というのは、応力の別個の変動を示すスケールが、強度比の変動をあまり良くは示さないからである。

【 0 1 2 3 】

特性の視覚的比較を容易にするお互いの上でのグラフの表示。例えば、オペレータが、グラフのうちで応力が高い特定の区域を探している場合、オペレータは、高い応力の区域としてグラフ 1 1 0 1 の区域 1 1 0 2 をすぐに識別する。オペレータが、誤差、強度比、および平均ピーク幅が均一ではなく、かなり変化する区域も探している場合、オペレータは、他のグラフ 1 1 0 3、1 1 0 4、および 1 1 0 5 がその判断基準に合うことをすぐに識別することもできる。したがって、オペレータは、グラフ 1 1 0 1、1 1 0 3、1 1 0 4、および 1 1 0 5 の視覚評価を行う際にさらなるアクションを簡単に行うことができる。

10

【 0 1 2 4 】

図 1 2 を参照して、表示のもう 1 つの例を説明する。この表示には、垂直 z 軸に沿って位置合せされた 4 つのグラフ 1 2 0 2、1 2 0 6、1 2 0 8、および 1 2 1 0 が示されている。具体的には、グラフ 1 2 0 2 は、応力を示す。図からわかるように、応力は、テストされる被測定部品の区域にわたってかなり変化する。平面 1 2 0 3 および 1 2 0 4 は、応力が 2 次元でどのように変化するかを示すのに使用されている。グラフ 1 2 2 0 は、応力が x 位置の関数としてグラフ化された断面 1 2 0 4 を示す。同様に、グラフ 1 2 2 2 は、応力が y 方向でグラフ化された断面 1 2 0 3 を示す。グラフ 1 2 2 0 および 1 2 2 2 で、応力が変化するが、y 方向でその最大値に達することがわかる。

20

【 0 1 2 5 】

グラフ 1 2 1 2 は、応力の等圧線グラフである。応力が、グラフ 1 2 1 2 の右下部分でピーク値に達することがわかる。見る人が、等圧線グラフ 1 2 1 2 を調べ、応力の最大値および最小値の位置を簡単に判定できることは明白である。

【 0 1 2 6 】

グラフ 1 2 0 6 は、応力誤差を示す。図からわかるように、応力誤差は、テストされている被測定部品の区域にまたがってかなり変化する。同一の平面 1 2 0 3 および 1 2 0 4 が、2 次元で応力誤差がどのように変化するかを示すのに使用されている。グラフ 1 2 2 4 は、応力誤差が x 位置の関数としてグラフ化された断面 1 2 0 4 を示す。同様に、グラフ 1 2 2 6 は、応力誤差が y 方向でグラフ化された断面 1 2 0 3 を示す。グラフ 1 2 2 4 および 1 2 2 6 で、応力誤差が変化するが、x 方向でその最大値に達することがわかる。

30

【 0 1 2 7 】

グラフ 1 2 1 4 は、応力誤差の等圧線グラフである。応力誤差のピークが、グラフ 1 2 1 4 の上部で暗い色として簡単に区別できることがわかる。応力と同様に、見る人が、等圧線グラフ 1 2 1 2 を調べ、応力誤差の最大値および最小値の位置を簡単に判定できることは明白である。

【 0 1 2 8 】

グラフ 1 2 0 8 は、強度比を示す。図からわかるように、強度比は、テストされている被測定部品の区域にまたがってかなり変化する。同一の平面 1 2 0 3 および 1 2 0 4 が、2 次元で強度比がどのように変化するかを示すのに使用されている。グラフ 1 2 2 8 は、強度比が x 位置の関数としてグラフ化された断面 1 2 0 4 を示す。同様に、グラフ 1 2 3 0 は、強度比が y 方向でグラフ化された断面 1 2 0 3 を示す。グラフ 1 2 2 8 および 1 2 3 0 で、強度比が変化するが、応力および応力誤差に関するグラフのようには総合的なピークに達しないことがわかる。

40

【 0 1 2 9 】

グラフ 1 2 1 8 は、強度比の等圧線グラフである。強度比が、カバーエリアにわたってより均一であり、他の等圧線グラフに存在する強い高い値および強い低い値が欠けている

50

ことがわかる。

【0130】

グラフ1210は、平均ピークFWHMを示す。図からわかるように、平均ピークFWHMは、テストされている被測定部品の区域にまたがってかなり変化する。同一の平面1203および1204が、2次元で平均ピークFWHMがどのように変化するかを示すのに使用されている。グラフ1234は、強度比がx位置の関数としてグラフ化された断面1204を示す。同様に、グラフ1236は、強度比がy方向でグラフ化された断面1203を示す。グラフ1234および1236で、強度比が両方向で大きく変化することがわかる。

【0131】

グラフ1216は、強度比の等圧線グラフである。このグラフの上部に、見る人が簡単に検出できる複数のピークがあることがわかる。応力および応力誤差と同様に、見る人が、等圧線グラフ1212を調べ、平均ピークFWHMの最大値および最小値の位置を簡単に判定できることは明白である。

【0132】

図12の表示を複数の形で使用して、被測定部品の信頼性を判定する際にオペレータを助けることができることがわかる。一例では、見る人は、グラフ1202、1206、1208、および1210を調べて、材料特性の測定された値を簡単に比較することができる。次に、見る人は、平面1203および1204内の特性だけを見ることに興味があると判定することができる。平面1203および1204を、ユーザによって定義し、グラフのそれぞれに適用し、複数のxy断面グラフを生成することができる。次に、ユーザは、比較、例えば、応力のx断面1220を応力誤差のx断面1224との比較を促進するために、断面グラフを互いに比較することができる。最後に、ユーザは、等圧線グラフを簡単に調べて、相対ピークがどこにあるかを判定して、さらなる調査を必要とする関心を持たれた区域があるかどうかを判定することができる。

【0133】

図13を参照して、次に、2003年3月1日に出願された、係属中の米国特許出願10/390479号明細書に開示された、測定値を得るのに使用されるエネルギー測定システムの一例を説明する。この例では、エネルギー測定システムが、X線回折装置1310であり、モジュール式X線ゴニオメータヘッド1312を含み、モジュール式X線ゴニオメータヘッド1312は、下のフィクスチャリング(fixturing)1317によってしっかり保持される図示の歯車1316などのさまざまな部品からのX線回折測定を行うために基部ユニット1314に取り外し可能に接続される。X線ヘッドは、図示の垂直z軸方向ならびに横y軸方向など、複数の異なる直線方向でシフトすることができる。X軸前後方向シフトならびに異なるピボット軸回りのヘッド1312の回転シフトまたはピボットシフトも提供することができる。共通のドライブアセンブリ1318が、X線管ヘッドアセンブリ1312、具体的には順方向端部分で管ハウジング1312aに依存するエミッタまたはコリメータ1320を円弧経路1322でシフトし、その結果、管が、その円弧経路1322で前後に振動する時に、X線がさまざまな異なる角度から部品1316の領域に向けられて、測定情報をそこから得ることのできる複数の異なるデータ点をもたらすようになっている。基部ユニット1314のフレーム1319は、そのフィクスチャリングと一緒に部品1316とドライブアセンブリ1318の両方を支持することができる。

【0134】

また、さまざまなサイズの特別に専用のX線ヘッドを使用することができる。一例では、特定の部品材料から測定を行うためのX線を生成するのにより高い出力要件が必要な場合、X線ヘッド1312を使用することができ、出力がさほどクリティカルでなく、むずかしい部品形状へのアクセスが必要な場合、より小さいヘッドを使用することができる。具体的には、より小さいヘッドを、内面からX線測定を行うために円筒形の部品の内側に見つかる閉ざされた空間の中に導くことができる。ヘッドアセンブリは、航空機ロータデ

10

20

30

40

50

イスクに見られる図示されたねじ穴などの比較的浅い深さの小さい貫通穴から測定を行うことに特に適合される。

【0135】

サイズの他に、モジュール式ヘッドを、複数の他の態様でも調整することができる。例えば、X線について生成される波長を、格子構造により良く一致するように、測定される材料に合わせて調整することができる。さまざまなX線ヘッドに異なるコリメータ1320を設けることによって、ビーム形状を、測定される片に合わせて調整することができる。例えば、測定が望まれる細長い間隙または穴内の、表面を有する部分について、コリメータ1320を、測定誤差を避けるためにより細いX線ビームを生成するように構成することができる。

10

【0136】

コリメータの他に、X線検出器アセンブリが、X線ヘッドのそれぞれによって担持されるものとして設けられ、このX線ヘッドは、円弧のX線マウント1342を介してコリメータ1320の両側に通常取り付けられるX線検出器またはセンサ1338および1340を含む。検出器は、X線検出に使用されるすべてのタイプのセンサ、例えば光ファイバセンサとすることができる。X線ヘッドは、マウント1342に沿って変更されるまたはヘッドごとに異なるサイズのマウント1342上のコリメータ1320に対するこれらの検出器1338の位置を有することができる。その結果、これらの検出器が、ヘッドによって生成されるX線波長およびX線ヘッドがX線回折測定に使用される材料の応答に一致するようになる。マウント1342自体をシフトして、異なる測定技法を実現するか、アセンブリヘッド内などの異なる回折角に対処することができる。明白なように、モジュール式X線ヘッドの提供によって、この目的に複数の異なるX線回折ユニットを必要とすることなく、行われるX線回折動作の特定の必要に合わせて装置を調整する際のより高い柔軟性が可能になる。

20

【0137】

マウント1342上のセンサ1338および1340を制御システム1343に相互接続できる電子制御システム1343を使用することができる。電子制御システム1343とマウント1342上のセンサの間のリンクは、任意の電子リンク、例えば電気ケーブルまたは光ファイバケーブルとすることができる。電子制御システム1343は、センサ1338および1340ならびにエミッタ1320の移動および動作を制御することができる。電子制御システム1343を、さらに、表示処理システム、例えば図1のコントローラ102に結合することができる。この接続は、電気ケーブルまたは光ファイバケーブルによるものとするともできる。

30

【0138】

図14を参照すると、評価ガイドの特性を示すグラフの一例が示されている。図14からわかるように、線1402は、応力とせん断応力の間をグラフィカルに表示するのに使用されている。図からわかるように、線1402は、応力が増えるにつれてせん断応力も増える線形関係を定義する。線1402は、期待される関係または閾値を表すことができる。言い換えると、線1402は、測定値がそこにまたはその周囲に含まれなければならないターゲットを示すことができ、あるいはその代わりに、値が線1402の上または下に含まれる場合、適当なアクションが必要になる場合がある閾値を示すことができる。

40

【0139】

線1402によって表される評価ガイドは、x y平面でグラフ化され、その結果、材料特性の測定値を表すテスト測定結果を、ガイド値に対してプロットすることができる。例えば、S1の応力測定値およびSS1の歪み測定値を有する被測定部品の点について、(S1, SS1)というテスト測定結果を形成することができる。好都合なことに、このテスト測定結果を、S1がx軸上の値を表し、SS1がy軸上の値を表すグラフ上の点(すなわち(S1, SS1))としてプロットすることができる。点(S1, SS1)の位置を線1402と比較することができる。本明細書で説明したようにアクションを行うことが

50

できる。

【0140】

本発明の特定の実施形態を図示し、説明してきたが、当業者が多数の変更および修正を思いつくであろうことは理解されよう。また請求項において、本発明の精神および範囲に含まれるすべてのこれらの変更および修正を含むことが意図されている。

【図面の簡単な説明】

【0141】

【図1】本発明の好ましい実施形態による、被測定部品にX線を向けることによってグラフィカル情報を表示するシステムを示すブロック図である。

【図2】本発明のもう一つの好ましい実施形態による、ユーザにグラフィカル情報を表示する方法を示す流れ図である。

【図3】図2の方法に従ってグラフィカル表示パラメータを選択する方法を示す流れ図である。

【図4】図2の方法に従う追加表示パラメータの選択を示す流れ図である。

【図5】図2～4の方法に従う座標の閾値の監視およびアクション実行を示す流れ図である。

【図6】本発明のもう一つの好ましい方法による評価ガイドによって定義された値のパターンの監視を示す流れ図である。

【図7】共通の軸に沿って位置合せされた応力、せん断応力強度比、および平均ピークFWHMを示す、図1のシステムの単一の画面ディスプレイを示す図である。

【図8】被測定部品のある点での特性のレポートと共に共通の軸に沿って位置合せされた応力、せん断応力、強度比、および平均ピークFWHMを示すもう一つの単一の画面ディスプレイを示す図である。

【図9】テストされる材料特性の2次元および3次元のグラフを示す単一の画面ディスプレイを示す図である。

【図10】テストされる材料特性の2次元および3次元のグラフおよびそれに基づくレポートを示す単一の画面ディスプレイを示す図である。

【図11】共通の軸に沿って位置合せされた応力、誤差、強度比、および平均ピーク幅を示すグラフの単一の画面ディスプレイを示す図である。

【図12】共通の軸に沿った異なる材料特性、等圧線グラフ、および2次元グラフを示すグラフの単一の画面ディスプレイを示す図である。

【図13】部品のX線回折テスト用のエネルギー回折装置を示す透視図である。

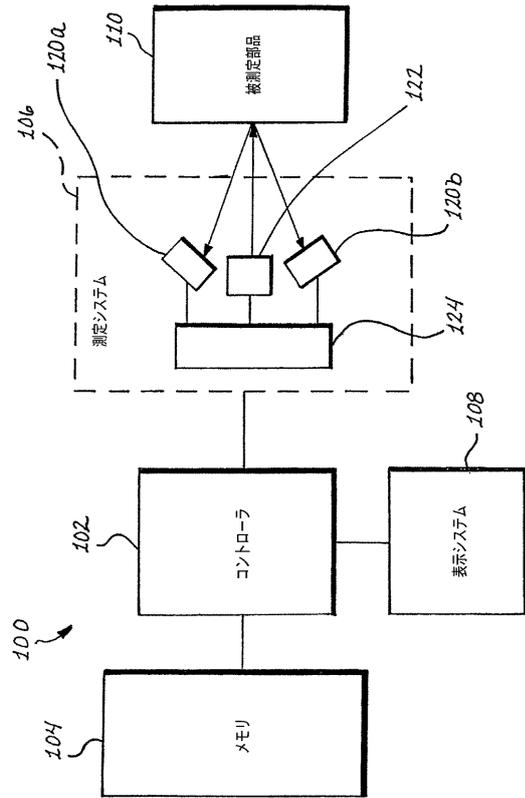
【図14】評価ガイドのグラフおよびプロットされた測定値を示す図である。

10

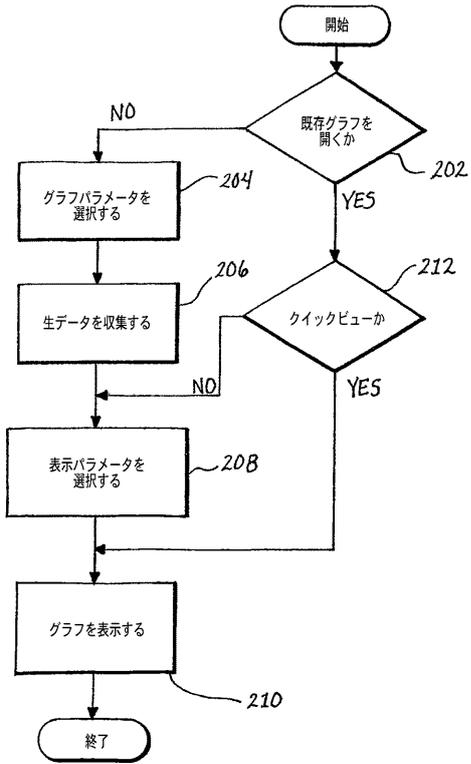
20

30

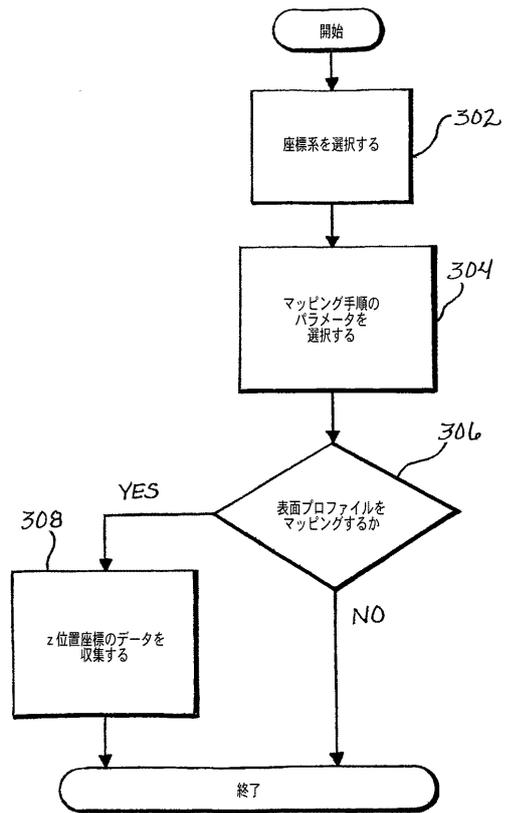
【図1】



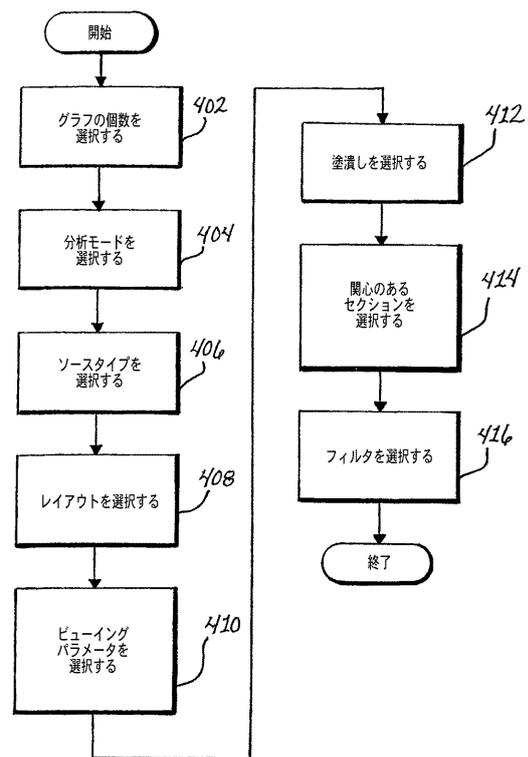
【図2】



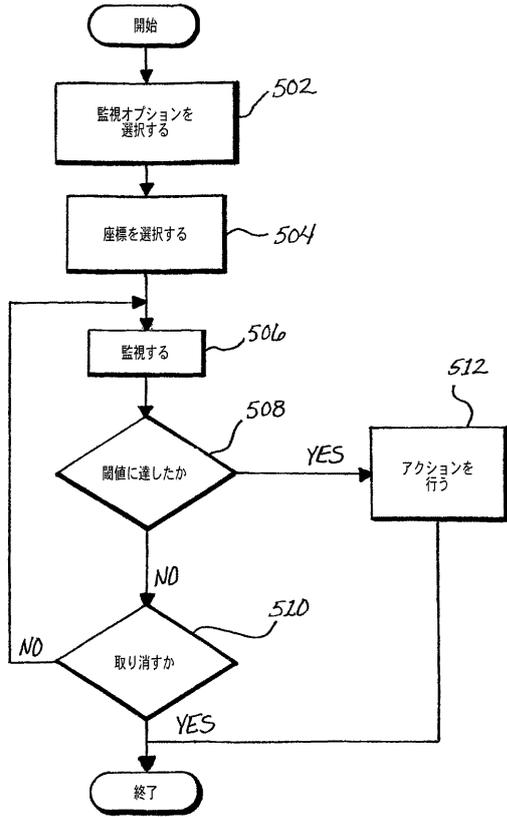
【図3】



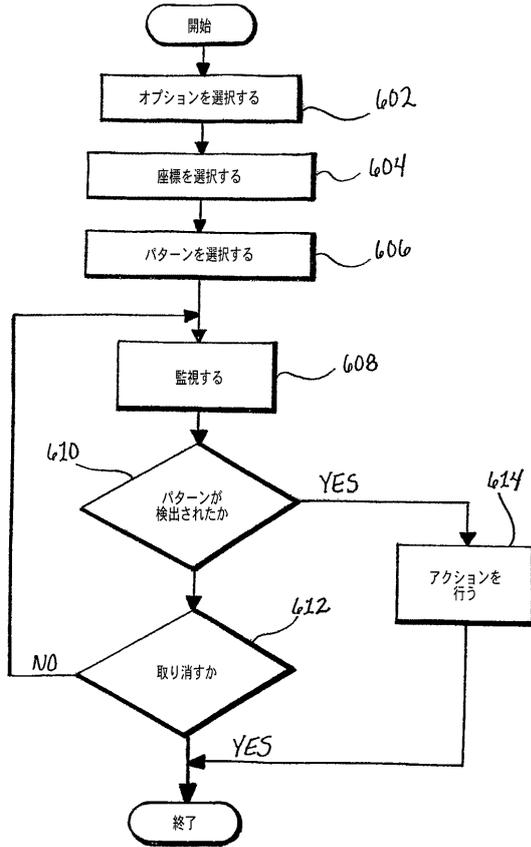
【図4】



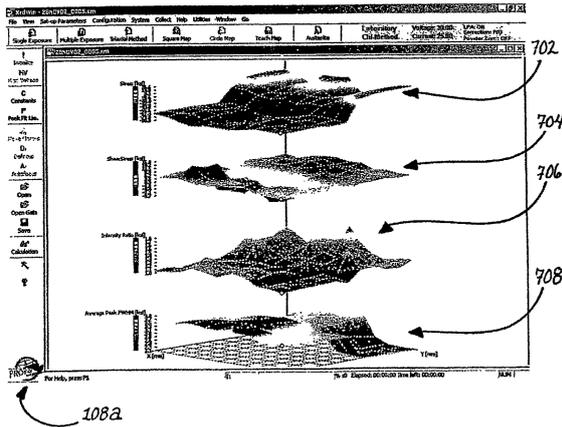
【図5】



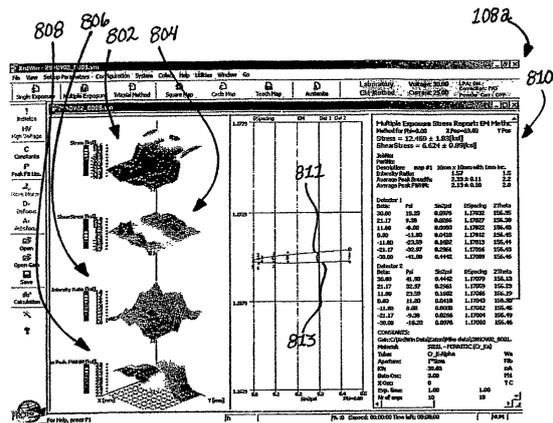
【図6】



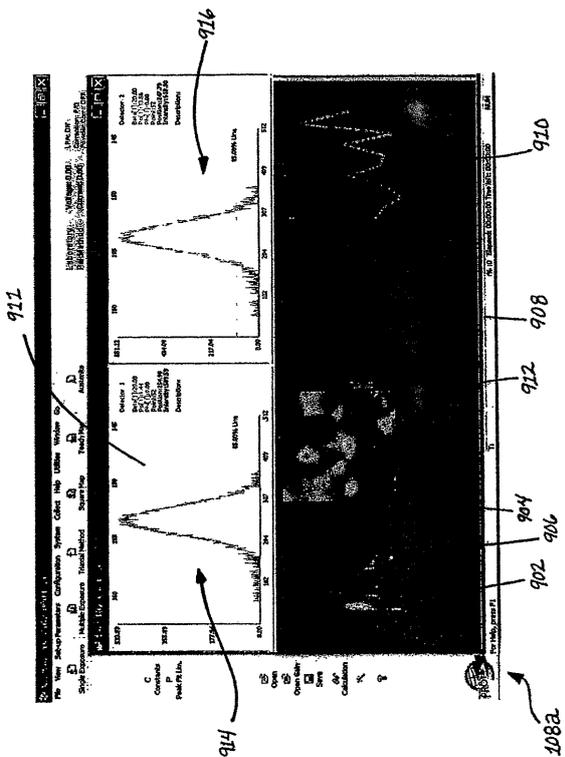
【図7】



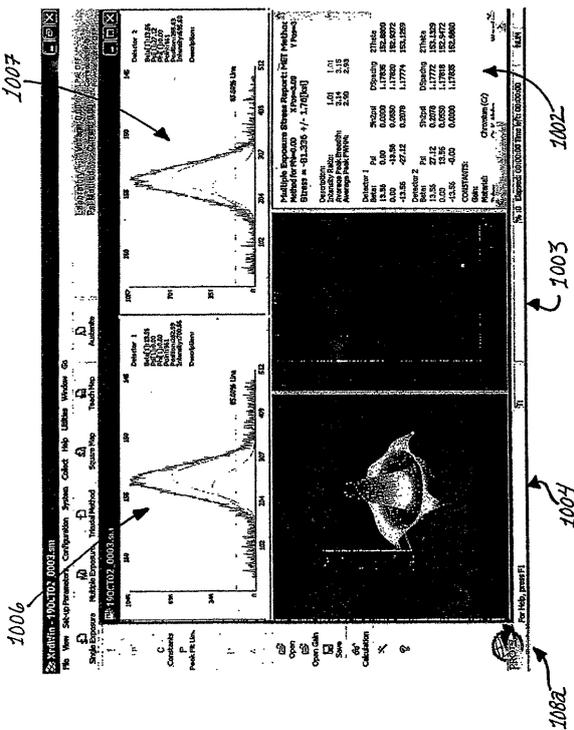
【図8】



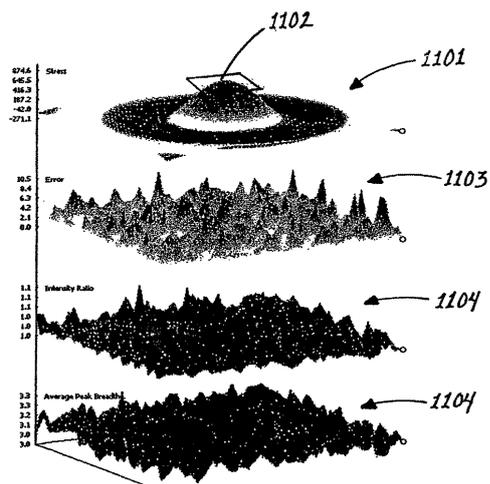
【 9 】



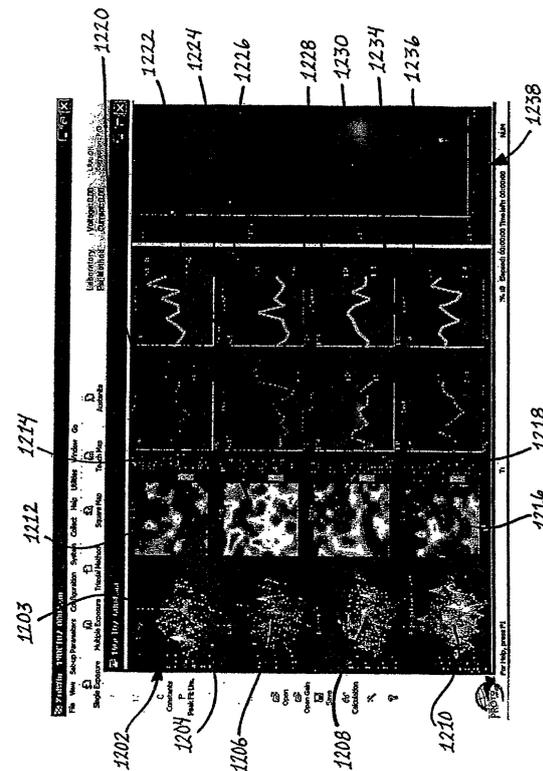
【 10 】



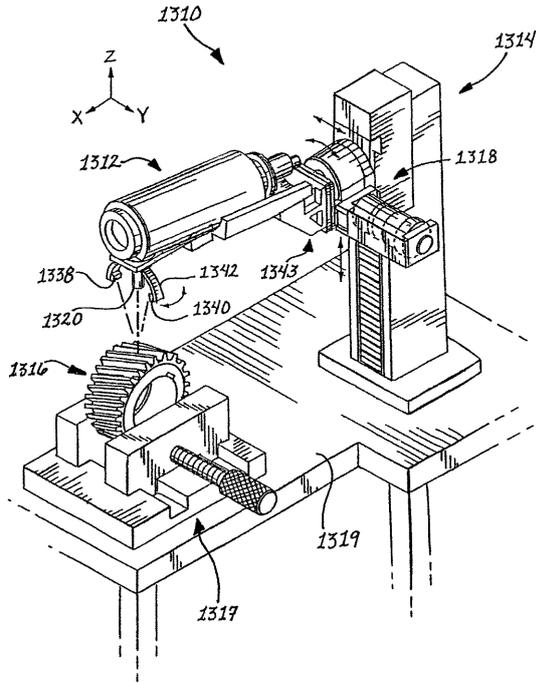
【 11 】



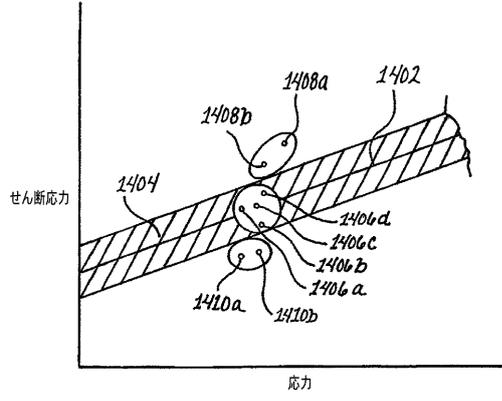
【 12 】



【図13】



【図14】



---

フロントページの続き

審査官 高橋 亨

- (56)参考文献 特開2001-056303(JP,A)  
特開2002-058672(JP,A)  
特開平07-151710(JP,A)  
特開2003-177108(JP,A)  
特開2001-183273(JP,A)  
特開平09-200965(JP,A)  
特開平04-219862(JP,A)  
特表2006-509537(JP,A)  
特表2003-504709(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 3/24  
G01N 23/20  
G01N 25/00