

(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2006-118902

(P2006-118902A)

(43) 公開日 平成18年5月11日(2006.5.11)

(51) Int. Cl.

G 0 1 N 27/90 (2006.01)

F I

G 0 1 N 27/90

テーマコード (参考)

2 G 0 5 3

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2004-305036 (P2004-305036)	(71) 出願人	000005108
(22) 出願日	平成16年10月20日 (2004.10.20)		株式会社日立製作所
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
		(74) 代理人	100075096
			弁理士 作田 康夫
		(74) 代理人	100100310
			弁理士 井上 学
		(72) 発明者	野中 善夫
			茨城県日立市幸町三丁目1番1号
			株式会社日立製作所
			日立事業所内
		(72) 発明者	佐々木 典
			茨城県日立市幸町三丁目1番1号
			株式会社日立製作所
			日立事業所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 渦電流探傷法による欠陥高さ評価法

(57) 【要約】

【課題】

浸透深さ以上の板厚を有する材料の表面に形成した欠陥の高さ評価が困難であった。

【解決手段】

同一欠陥について2種類以上の異なる周波数条件で渦電流探傷測定したときの振幅データから、欠陥のき裂面の電気伝導度の影響が欠陥寸法の影響に比べて十分小さい数値を求め、その数値から欠陥高さを評価することで、浸透深さ以上の板厚を有する材料の表面に形成した欠陥の高さ評価が可能となった。

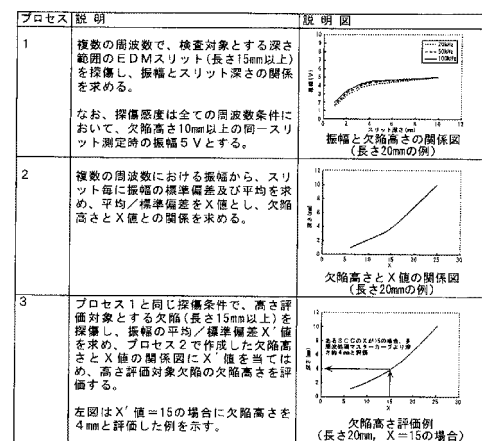
本発明によれば、渦電流探傷による欠陥高さ評価において、渦電流探傷測定結果から迅速に欠陥高さを評価でき、特殊な技量を伴わないことから、検査現場での欠陥高さ評価ツールとして効果がある。

また、欠陥評価手順が簡便であることから、評価ミスのポテンシャルが低く、検査の信頼性向上に効果がある。

。

また、一般的な渦電流探傷検査に用いられる装置以外の装置を必要としないことから、設備投資が不要であり

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

渦電流探傷法を用いた欠陥高さ評価方法において、2種類以上の異なる試験周波数条件での渦電流探傷測定により取得した複数の振幅から得られる、異なる2個の振幅1と振幅2との比、又は複数の振幅より算出される同次元で異なる2個の値1と値2との比、又は振幅3と複数の振幅より算出される振幅3と同次元で異なる値をもつ値3との比を利用し、欠陥の高さ評価を行うことを特徴とする欠陥高さ評価方法。

【請求項 2】

請求項1において、同次元で異なる2個の値1と値2との比、又は振幅3と複数の振幅より算出される振幅3と同次元で異なる値をもつ値3との比が、2種類以上の異なる周波数条件での渦電流探傷測定により取得される複数の振幅の平均値，最大値，最小値，偏差，周波数1の振幅値、周波数1とは異なる周波数2の振幅値，最大値と最小値の差，最大値と最小値の和，周波数1の振幅値と周波数1とは異なる周波数2の振幅値の差、周波数1の振幅値と周波数1とは異なる周波数2の振幅値の和による組み合わせの比であることを特徴とする欠陥高さ評価方法。 10

【請求項 3】

請求項1において、複数の異なる既知寸法の擬似欠陥を請求項1と同一周波数条件の渦電流測定により取得される、複数の振幅から得られる、異なる2個の振幅1と振幅2との比と欠陥寸法の関係、又は複数の振幅より算出される同次元で異なる2個の値1と値2との比と欠陥寸法の関係、又は振幅3と複数の振幅より算出される振幅3と同次元で異なる値をもつ値3との比と欠陥寸法の関係曲線を基に、欠陥の高さ評価を行うことを特徴とする欠陥高さ評価方法。 20

【請求項 4】

請求項2において、欠陥寸法を、欠陥高さ又は欠陥高さと同次元とする欠陥長さとする欠陥高さ評価方法。

【請求項 5】

請求項1又は2において、2種類の異なる試験周波数条件で渦電流探傷測定する際の各周波数における探傷感度を、式[1]で定義される表皮深さ以上の高さを有する同一EDMスリットを渦電流探傷測定した時の振幅値とすることを特徴とする欠陥高さ評価方法。

【数 1】

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \times f \times \mu \times \rho}} \quad \cdots \text{式}[1]$$

但し、 δ ：表皮深さ， μ ：透磁率， ρ ：導電率，
 f ：渦電流探傷測定する際の最も低い試験周波数

【請求項 6】

請求項5において、探傷感度が各周波数で異なる場合は探傷感度を規格化することで、探傷感度を同じにすることを特徴とする欠陥高さ評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は渦電流探傷による欠陥の高さ評価に関する技術である。

【背景技術】

【0002】

従来の渦電流探傷による欠陥の高さ評価は、主に加圧水型原子力発電プラントの伝熱管の検査に適用されている。

【0003】

伝熱管のように、渦電流探傷プローブから発生する磁束の表皮深さと同等又はそれ以下の板厚を有する材料では、渦電流探傷検査により欠陥の高さに応じた位相の変化が得られるため、位相の変化から欠陥高さを評価できる。ここで、表皮深さとは磁束が表面の1 / 40

e 倍に減衰する深さであり、式 [2] で表される。

【 0 0 0 4 】

ところが、表皮深さ以上の板厚を有する材料では、欠陥の高さに応じた位相の有意な変化が得られないため、位相の変化から欠陥の高さを評価するのは困難であった。

【 0 0 0 5 】

【 数 2 】

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \times f \times \mu \times \rho}} \quad \cdots \text{式}[2]$$

但し、 δ : 表皮深さ, μ : 透磁率, ρ : 導電率, f : 試験周波数

10

【 0 0 0 6 】

【 非特許文献 1 】 (社)日本非破壊検査協会 平成 1 5 年春季大会 講演概要集 4 9 ~ 5 0 頁 平成 1 5 年 5 月発行

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

渦電流探傷とは、主に表面欠陥を被検体表面に流れる渦電流の変化から検出する手法である。渦電流探傷で得られる欠陥に関する信号は位相角と振幅であり、従来技術では、位相角の変化から深さの高さ評価を行っている。ところが、浸透深さ以上の板厚を有する材料の表面に形成した欠陥に対しては、欠陥の高さに応じた位相の変化が得られないため、欠陥の高さ評価が困難であった。

20

【 0 0 0 8 】

本発明の目的は、上記従来技術の問題点に鑑み、振幅に着目して欠陥高さを評価する手法を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

上記目的を達成する本発明は、同一欠陥について 2 種類以上の異なる試験周波数条件での渦電流探傷測定により取得した複数の振幅、又はそれらより算出される同一次元で異なる 2 個の値 1 と値 2 との比を利用し、欠陥高さを評価することを特徴とする。また、渦電流探傷測定時の各試験周波数における探傷感度設定には、試験周波数のうち最も低い周波数条件における磁束の表皮深さ以上の EDM スリット又は疲労欠陥を用いる。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 1 0 】

本発明によれば、渦電流探傷による欠陥高さ評価において、渦電流探傷測定結果から迅速に欠陥高さを評価でき、特殊な技量を伴わないことから、検査現場での欠陥高さ評価ツールとして効果がある。

【 0 0 1 1 】

また、欠陥評価手順が簡便であることから、評価ミスのポテンシャルが低く、検査の信頼性向上に効果がある。

【 0 0 1 2 】

また、一般的な渦電流探傷検査に用いられる装置以外の装置を必要としないことから、設備投資が不要であり、コストの面でも効果がある。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 3 】

本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。

【 0 0 1 4 】

図 1 は欠陥長さ 2 0 mm 以上、欠陥高さ 1 0 mm 以下の欠陥の高さ評価に、本発明を適用する場合の評価手順の説明図である。ここで、測定に用いる渦電流探傷プローブは、同一高さで、長さの異なる EDM スリットを測定したときの振幅値が長さ 2 0 mm 以上で変化しないことを前提とする。

40

50

【0015】

プロセス1では、2種類以上の異なる周波数条件で、評価対象の欠陥高さ範囲の人工欠陥（例えば放電加工EDMスリット。以下、EDMスリットと呼称する。）を探傷し、振幅とEDMスリット高さの関係曲線を求める。ここで、渦電流探傷測定において、欠陥高さ評価可能範囲の最大高さ以上の欠陥高さを有するEDMスリット1を探傷した時の振幅値が、全ての周波数条件において同じになるように設定することがポイントである。但し、EDMスリット1探傷時の振幅値が全ての周波数条件において同等にならない場合は、EDMスリット1探傷時の振幅値を規格化としてもよい。通常、高さ10mm以下の欠陥の高さ評価を行う場合は、高さ10mm以下の範囲で欠陥高さに応じた振幅変化が得られる渦電流探傷プローブを用いて、探傷感度を高さ10mmのEDMスリット探傷時の振幅5Vと設定する。しかし例えば、欠陥高さに応じた明瞭な振幅変化が得られる範囲が高さ5mm以下となる渦電流探傷プローブを用いる場合には、探傷感度を高さ5mmのEDMスリット探傷時の振幅5Vと設定する。

10

また、周波数条件は、渦電流探傷プローブの適用周波数の最大、最小及びその中間とするとよい。ここで、適用周波数とは、十分な感度で探傷できる周波数範囲のことである。

【0016】

プロセス2では、プロセス1で得られた2種類以上の異なる周波数における振幅データから、EDMスリット毎に振幅の平均値と標準偏差を求め、平均・標準偏差比（以下、X値と呼称する。）と欠陥高さの関係曲線を作成する。

【0017】

プロセス3では、プロセス1と同じ探傷条件で、高さ評価対象の欠陥を探傷し、X値を求め、プロセス2で作成した欠陥高さとのX値の関係曲線に、その結果を当てはめ、欠陥高さを評価する。なお、説明図は、長さ20mm以上の欠陥を探傷したときに $X = 1.5$ が得られた時の高さ評価例であり、図に $X = 1.5$ を当てはめることで高さを約4mmと評価する。

20

【0018】

図2は、同一高さで、長さの異なるEDMスリットを測定したときの振幅が長さ20mm以上で同等となる渦電流探傷プローブを用いて、長さ20mm以上、高さ10mm以下の欠陥について高さ評価を行うための、X値と欠陥高さの関係曲線を得るための試験片の例である。試験片には、高さ10mm以下の範囲におけるX値と欠陥高さの関係曲線が求められるように高さ1～10mmのEDMスリットが付与されている。EDMスリットは渦電流探傷の出力が隣り合うEDMスリットの影響を受けない間隔を確保し、試験片の幅は渦電流探傷の出力が試験片幅の影響を受けない幅とすることが試験片設計のポイントである。また、EDMスリットの幅は、渦電流探傷の出力がEDMスリット幅の影響程度が無視できるほど小さいことが欠陥高さ評価精度向上の面で有効と考えられ、目安としてプローブのコイル内径の1/3以下とするとよい。

30

【0019】

図3は欠陥長さ20mm以下、欠陥高さ10mm以下の欠陥の高さ評価に、本発明を適用する場合の評価手順の説明図である。ここでは、同一高さで、長さの異なるEDMスリットを測定したときの振幅が長さ20mm以下で変化することを前提とする。

【0020】

プロセス1では、2種類の異なる周波数で、高さ評価対象とする高さ範囲を含むEDMスリットを探傷し、振幅とスリット深さ、EDMスリット長さの関係を求める。ここで、渦電流探傷測定において、欠陥高さ評価可能範囲の最大高さ以上の欠陥高さを有するEDMスリット1を探傷した時の振幅値が、全ての周波数条件において同じになるように設定することがポイントである。但し、EDMスリット1探傷時の振幅値が全ての周波数条件において同等にならない場合は、EDMスリット1探傷時の振幅値を規格化としてもよい。

40

【0021】

プロセス2では、2種類以上の異なる周波数における振幅から、EDMスリット毎に、X値、欠陥長さとの関係曲線を作成する。

【0022】

50

プロセス3では、プロセス1と同じ探傷条件で、高さ評価対象の欠陥を探傷し、X値を求め、プロセス2で作成したX値、欠陥長さと欠陥高さの関係曲線に、その結果を当てはめ、欠陥高さの評価する。なお、説明図は、長さ7mmの欠陥探傷によりX値=10が得られたときの高さ評価例で、長さ7mmとX値10を関係曲線に当てはめ、欠陥高さ約3mmと評価する。なお、欠陥長さは渦電流探傷法による指示長さ、浸透探傷による指示長さを用いるとよい。

【0023】

図4は、同一高さで、長さの異なるEDMスリットを測定したときの振幅が長さ20mm以上で変化しない渦電流探傷プローブで、長さ20mm以下、高さ10mm以下の欠陥について高さ評価を行うために、X値、欠陥長さと欠陥高さの関係曲線を求めるための試験片の例である。試験片には、高さ10mm以下の範囲におけるX値と高さの関係曲線が求められるように高さ1～10mmのEDMスリットが付与されている。EDMスリットは渦電流探傷の出力が隣り合うスリットの影響を受けない間隔を確保し、試験片の幅は渦電流探傷の出力が試験片幅の影響を受けない幅とすることが試験片設計のポイントである。また、EDMスリットの幅は、渦電流探傷の出力がEDMスリット幅の影響程度が無視できるほど小さいことが欠陥高さ評価精度向上の面で有効と考えられ、目安としてプローブのコイル内径の1/3以下を推奨する。

10

【0024】

図5は、渦電流探傷法によるEDMスリットの測定結果から得られたX値と欠陥高さの関係曲線を用いて応力腐食割れ(以下、SCCと呼称する。)の欠陥高さ評価結果と超音波探傷で測定した欠陥高さとの比較を示す。この結果より、本発明による欠陥高さ評価結果と超音波探傷法による欠陥高さ測定値はばらつきの範囲で一致しており、渦電流探傷法によるEDMスリットの測定結果から得られたX値と欠陥高さの関係曲線を用いて、応力腐食割れ(以下、SCCと呼称する。)の欠陥高さの評価できることがわかる。

20

【0025】

EDMスリットの測定結果から得られたX値と欠陥高さの関係曲線から、応力腐食割れの欠陥高さが評価できた理由を以下に説明する。

【0026】

EDMスリットの欠陥面は完全に開口しているため、渦電流探傷で発生する渦電流が欠陥面を通過できず、電氣的に絶縁された欠陥と見なすことができる。一方、SCCの欠陥面には部分的な連結が見られ、電氣的に導通する部分が存在する。このような欠陥面の電氣的導通性の違いにより、同一高さ、長さのEDMスリットとSCCの同一条件で渦電流探傷測定を行うと、EDMスリットの振幅がSCCの振幅と同等もしくは大きい傾向となる。しかし、EDMスリットを2種類以上の異なる周波数条件で測定した時の振幅の平均と標準偏差の比と欠陥高さの関係曲線から、SCCの欠陥高さの評価できることが経験的に分かってきた。振幅と欠陥面の電気伝導度の間には式[3]の関係が近似的に成り立ち、式[4]に示すように平均と標準偏差の比が欠陥面の電気伝導度にほとんど依存しない関数形となるため、同一高さ、長さのEDMスリットとSCCの平均と標準偏差の比が殆ど同じ値となったと推察する。また、欠陥面の電気伝導度にほとんど依存しない関数形としては、式[4]の平均と標準偏差の比の他に、振幅の平均値と最大値の比、振幅の平均値と最小値の比など、多数存在することがわかる。

30

40

【0027】

【数 3】

$$V = V(\sigma, h, l, f) \cong F(\sigma) \times G(h, l, f) \quad \cdots \text{式}[3]$$

V : 振幅

 σ : 欠陥面の電気伝導度

h : 欠陥高さ

l : 欠陥長さ

f : 試験周波数

10

【0028】

【数 4】

$$X = \langle V \rangle / S D(V) \quad \cdots \text{式}[4]$$

$$= \left\{ \left(\sum_{i=1}^N V_i / N \right) / \sqrt{\left\{ \left(\sum_{i=1}^N V_i - \langle V \rangle \right)^2 / N \right\}} \right\}$$

$$\cong \left\{ \left(\sum_{i=1}^N G_i / N \right) / \sqrt{\left\{ \left(\sum_{i=1}^N G_i - \langle G \rangle \right)^2 / N \right\}} \right\}$$

20

【0029】

以上の本実施形態では、高さの異なる EDM スリット又は疲労欠陥を用いて、板厚 10 mm 以上の厚肉材に発生した SCC の高さ評価を可能とする関係曲線を作成するので、一般的な渦電流探傷検査に用いられる装置と関係曲線作成の試験片の他に、特別な設備や装置を必要としない。従って、安価で欠陥の高さ評価ができ、しかも特殊な技量がなくても欠陥の高さ評価が可能となる。

【0030】

本発明の実施例を、以下に説明する。

30

【実施例 1】

【0031】

実施例 1 として、図 6 に本発明を用いた検査フロー図を示す。

【0032】

検査フロー図は、欠陥があっても許容寸法以下であれば検査合格とすることを前提とした場合の製品検査のフロー図である。

まず、渦電流測定により、製品の欠陥有無確認を行う。なお、測定では、微小な欠陥を検出するために、高さ 1 mm 等の浅い EDM スリットで探傷感度を設定するとよい。

この検査で、欠陥が見つかった場合、渦電流探傷法により欠陥の間隔、方向等の分布と長さを測定する。なお、欠陥分布と欠陥長さ測定は、欠陥開口長さの両端を鮮明に捉える必要があることから、高さ 1 mm 等の浅い EDM スリットで探傷感度を設定するとよい。

40

欠陥間隔は振幅ピーク間の距離から測定し、欠陥の方向は C スコープ像と呼ばれる欠陥の表面分布像から測定する。また、欠陥長さについては、被検体の健全性評価において、安全側評価を行う場合には、実際の長さよりも過大評価となる信号消失長さを、現実的評価を行う場合は実際の長さと同等の長さとなる 6 dB ダウン法又は 12 dB ダウン法による指示長さをを用いるとよい。

【0033】

次に、本発明により欠陥高さを評価する。評価対象欠陥を 2 種類以上の周波数で測定し、振幅の平均値と標準偏差を求める。それらの比を予め取得しておいた振幅の平均値と標準偏差の比と欠陥高さの関係曲線図に当てはめ、欠陥高さの評価を行う。なお、高さ評価

50

のための渦電流探傷測定では、高さ評価対象範囲で周波数に応じた大きな振幅変化が得られる必要があるため、高さ評価対象範囲を10mm以下と仮定した場合、高さ10mm以上のEDMスリットを十分なSN比で検出できる感度で測定することが重要である。

【0034】

これらの検査より得られた、欠陥の長さ、高さは全て記録し、全ての欠陥が許容寸法以下であれば製品検査合格とみなす。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】欠陥長さ20mm以上、欠陥高さ10mm以下の欠陥の高さ評価に、本発明を適用する場合の評価手順の説明図。

10

【図2】欠陥高さとX値の関係曲線を得るための試験片構造図。

【図3】欠陥長さ20mm以下、欠陥高さ10mm以下の欠陥の高さ評価に、本発明を適用する場合の評価手順図。

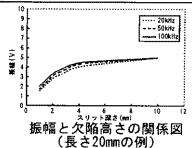
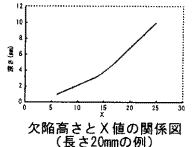
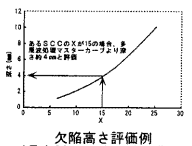
【図4】欠陥高さ、欠陥長さとのX値の関係曲線を得るための試験片構造図。

【図5】本発明による応力腐食割れの欠陥高さ評価結果と超音波探傷法による欠陥高さ測定結果との比較図。

【図6】実施例1の本発明による検査フロー図。

【図1】

図 1

プロセス	説明	説明図
1	複数の周波数で、検査対象とする深さ範囲のEDMスリット(長さ15mm以上)を探傷し、振幅とスリット深さの関係を求める。 なお、探傷感度は全ての周波数条件において、欠陥高さ10mm以上の同一スリット測定時の振幅5Vとする。	 振幅と欠陥高さの関係図 (長さ20mmの例)
2	複数の周波数における振幅から、スリット毎に振幅の標準偏差及び平均を求め、平均/標準偏差をX値とし、欠陥高さとX値との関係を求める。	 欠陥高さとX値の関係図 (長さ20mmの例)
3	プロセス1と同じ探傷条件で、高さ評価対象とする欠陥(長さ15mm以上)を探傷し、振幅の平均/標準偏差X'値を求め、プロセス2で作成した欠陥高さとX'値の関係図にX'値を当てはめ、高さ評価対象欠陥の欠陥高さを評価する。 左図はX'値=15の場合に欠陥高さを4mmと評価した例を示す。	 欠陥高さ評価例 (長さ20mm, X'=15の場合)

【図2】

図 2

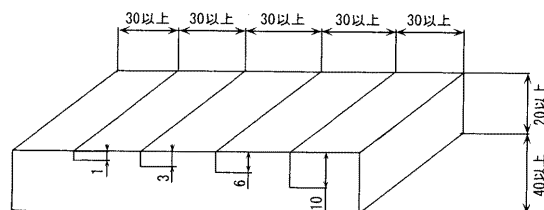


图 3

4

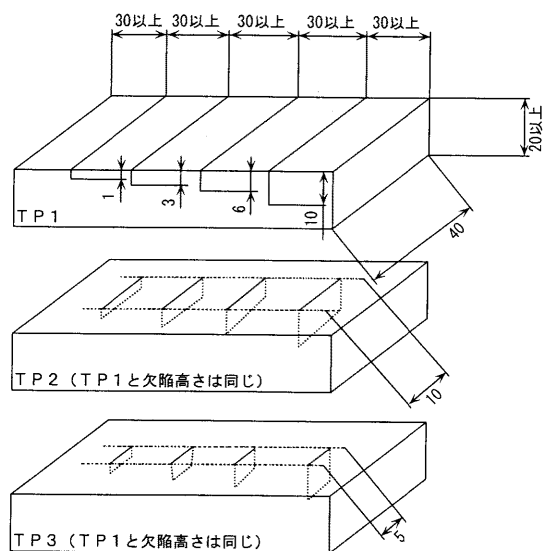


图 5

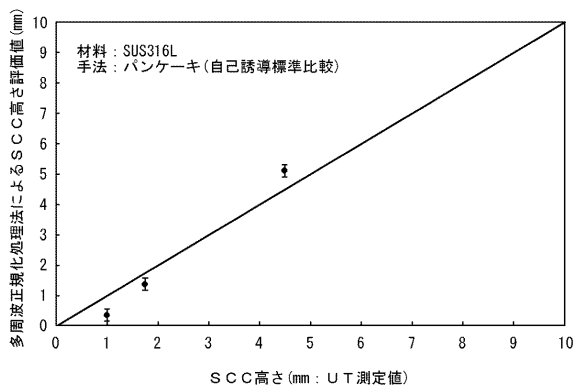
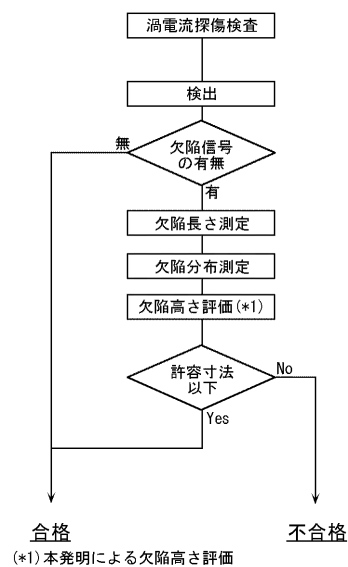


Figure 6



フロントページの続き

(72)発明者 小池 正浩
茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
発研究所内 株式会社日立製作所電力・電機開

(72)発明者 西水 亮
茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号
発研究所内 株式会社日立製作所電力・電機開

F ターム(参考) 2G053 AA11 AB21 BA10 BA12 BB11 BC02 BC07 CA18 CC07 DA01

【要約の続き】

、コストの面でも効果がある。

【選択図】図 1