

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6564231号
(P6564231)

(45) 発行日 令和1年8月21日(2019.8.21)

(24) 登録日 令和1年8月2日(2019.8.2)

(51) Int.Cl. F 1
GO 1 M 99/00 (2011.01) GO 1 M 99/00 Z

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2015-88534 (P2015-88534)	(73) 特許権者	507250427
(22) 出願日	平成27年4月23日 (2015.4.23)		日立GEニュークリア・エナジー株式会社
(65) 公開番号	特開2016-206030 (P2016-206030A)		茨城県日立市幸町三丁目1番1号
(43) 公開日	平成28年12月8日 (2016.12.8)	(74) 代理人	110001807
審査請求日	平成30年2月6日 (2018.2.6)		特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	鶴来 昌樹
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	長谷川 満
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	石田 公一
			茨城県日立市幸町三丁目1番1号 日立G
			Eニュークリア・エナジー株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 部材の損傷評価方法、クリープ損傷評価方法および損傷評価システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

評価部位の部材の物理量の変化を、非破壊測定装置を用いて測定し、予め求めた前記物理量の変化と部材の損傷との関係から、部材の損傷を推定する第1の工程と、

実機に取り付けられたセンサの測定値から評価部位近傍の負荷履歴を推定する第2の工程と、

前記負荷履歴を用いて前記第1の工程で推定した損傷となる材料特性を推定する第3の工程と、

前記材料特性から物理量の変化と部材の損傷との関係を推定する第4の工程と、

前記第4の工程で推定された物理量の変化と部材の損傷との関係から、非破壊の物理量の変化を用いて損傷を再推定する第5の工程と、

前記第5の工程で求めた損傷が、前記第1の工程で求めた損傷に対し所定の基準値を満たすか否かを判定する第6の工程とを有し、

前記第6の工程で、前記第5の工程で求めた損傷が前記所定の基準値を満たさない場合、前記第5の工程で求めた損傷を前記第1の工程で求めた損傷と置き換えて、前記第3の工程から前記第6の工程を繰り返して前記部材の損傷を評価する

ことを特徴とする部材の損傷評価方法。

【請求項2】

評価部位の部材の物理量の変化を、非破壊測定装置を用いて測定し、予め求めた前記物理量の変化と部材の損傷との関係から、部材のクリープ損傷を推定する第1の工程と、

10

20

実機に取り付けられたセンサの測定値から評価部位近傍の負荷履歴を推定する第2の工程と、

前記負荷履歴を用いて前記第1の工程で推定した損傷となるクリープ特性を推定する第3の工程と、

前記クリープ特性から物理量の変化と部材の損傷との関係を推定する第4の工程と、

前記第4の工程で推定された物理量の変化と部材の損傷との関係から、非破壊の物理量の変化を用いて損傷を再推定する第5の工程と、

前記第5の工程で求めた損傷が、前記第1の工程で求めた損傷に対し所定の基準値を満たすか否かを判定する第6の工程とを有し、

前記第6の工程で、前記第5の工程で求めた損傷が前記所定の基準値を満たさない場合、前記第5の工程で求めた損傷を前記第1の工程で求めた損傷と置き換えて、前記第3の工程から前記第6の工程を繰り返して前記部材のクリープ損傷を評価する

ことを特徴とするクリープ損傷評価方法。

【請求項3】

請求項2に記載のクリープ損傷評価方法であって、

前記非破壊測定装置は、電磁超音波共鳴装置であり、

前記物理量は、共鳴次数ごとの共鳴周波数、音速、減衰係数、音弾性、音響非線形量のうち少なくともいずれかである

ことを特徴とするクリープ損傷評価方法。

【請求項4】

請求項2に記載のクリープ損傷評価方法であって、

前記第2の工程は、前記センサの測定値の履歴から、逆問題解析により評価部位近傍の負荷履歴を推定する

ことを特徴とするクリープ損傷評価方法。

【請求項5】

請求項2に記載のクリープ損傷評価方法であって、

前記第3の工程は、FEM解析によりクリープ損傷を推定し、前記FEM解析でのクリープ損傷と前記第1の工程で得られたクリープ損傷との差が所定の範囲内にある場合に、前記部材のクリープ特性であるとする

ことを特徴とするクリープ損傷評価方法。

【請求項6】

評価部位の部材の予め求めた損傷量と非破壊測定装置で測定される前記部材の物理量との関係である評価線図データおよびFEM解析に用いる材料特性データを格納する材料評価データベースと、

実機の状態を監視する監視装置で測定した実機の運転条件履歴、評価部位近傍のセンサによる測定値の履歴を格納する運転状態データベースと、

前記非破壊測定装置で測定した物理量と前記材料評価データベースに格納されている評価線図データとに基づいて部材のクリープ損傷を1次評価し、前記運転状態データベースに格納されているセンサの測定値から評価部位近傍の負荷履歴を推定し、前記負荷履歴を用いて前記材料評価データベースに格納されている材料特性データに基づきFEM解析により前記1次評価した損傷となるクリープ特性を推定し、前記クリープ特性から前記評価線図データを推定し、前記推定された評価線図データから、前記非破壊測定装置で測定した物理量を用いて損傷を2次評価し、前記2次評価した損傷が、前記1次評価した損傷に対し所定の基準値を満たすか否かを判定し、

前記2次評価した損傷が前記所定の基準値を満たさない場合、前記2次評価した損傷を前記1次評価した損傷と置き換えて、再度前記クリープ特性を推定し、前記クリープ特性から前記評価線図データを推定し、前記推定された評価線図データから、非破壊測定装置で測定した物理量を用いて損傷を再度2次評価し、再度2次評価した損傷が、1次評価した損傷に対し所定の基準値を満たすか否かを判定することを繰り返す損傷評価装置と、を有する

10

20

30

40

50

ことを特徴とする損傷評価システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高温で使用される機器の損傷評価方法に係わり、機器の部材に係る損傷の変化を評価する損傷評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に発電プラント・化学プラントでは、高温で長時間使用する機器が多数存在する。それらの機器の健全性評価には、温度変化、その際の部材内の温度分布による熱応力が繰返し加わるため、クリープやクリープ疲労などの高温で特徴的な損傷モードに対する評価が重要となる。これらの高温機器を構成する部材に対し、起動停止、負荷変動などの非常運転により繰返し負荷がかかる場合には、結晶粒内の転位すなわち微視的レベルでのすべりが発生、増加してすべり帯を形成する。さらに、すべり帯が発達して結晶粒程度の微小き裂となる。

10

【0003】

一方、定常運転では、クリープによりボイド・微小き裂といった微視的な損傷の発生、成長し、これらが結合して粒界程度のき裂に成長する。例えば、ステンレス鋼などの場合、600以上の高温ではクリープにより結晶粒内の転位が発生、成長する転位クリープが支配的であるが、600以下では析出物やクリープボイドが発生、成長する拡散クリープが支配的となる。

20

【0004】

さらに損傷が蓄積すると、これらのき裂がさらに成長して最終的に致命的な破損に至ると考えられている。従って、ボイド、微小き裂といった微視的な損傷の発生、成長が機器の健全性を支配すると考えられる。

【0005】

例えば、高速増殖炉では冷却材として500以上の液体ナトリウムを用いること、および起動停止に伴う熱応力が発生するためクリープ損傷やクリープ疲労損傷を評価することは重要である。高速増殖炉の1次系配管、中間熱交換器、1次主ポンプ、蒸気発生器などの主要高温機器は設計寿命が10万時間を超える長期運転機器である。

30

【0006】

しかし、長期運転する高温機器の損傷は逐次変化する運転条件や負荷条件による損傷の累積となるため、その損傷をあらかじめ予測することは容易ではない。また、クリープ特性などの材料特性のばらつきの影響も初期には小さな差が長期間に累積することで大きな差となることも、損傷予測を困難にしている一因である。従って、クリープ特性などの材料特性のばらつきの影響なども考慮して、運用中の機器の部材の現在の損傷状態を評価する技術が求められている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

40

【特許文献1】特開昭60-67838号公報

【特許文献2】特開平9-257760号公報

【特許文献3】特開平4-252933号公報

【特許文献4】特開2014-52211号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

高温機器の健全性評価として、補修、交換の時期を予測するために予寿命を評価することが良く用いられる。例えば、特許文献1には、部材の硬さを測定してクリープ損傷およびクリープ疲労損傷を評価して寿命を予測する技術について記載されている。また、非破

50

壊検査の方法としては、特許文献2には、電磁超音波共鳴法を用いて金属の疲労寿命を推定する方法が記載されている。

【0009】

いずれにも材料特性のばらつきは考慮されていないが、安全側の評価をするにはそれぞれの評価線図（マスターカーブ）は、材料特性のばらつきの下限を用いることになる。しかし、そのような運用をした場合には、個々には過大に損傷を評価することになる場合がある。

【0010】

一方、材料特性のばらつきに関しては、特許文献3では、材料強度特性のばらつきを確率論的に評価する方法が記載されている。確率論的に評価することによりばらつきを定量的に考慮することは可能になるが、安全側に評価しようとする、やはりばらつきが大きくなればなるほど個々には過大に安全側評価になる割合が大きくなることは避けられない。

【0011】

また、特許文献4では、溶接部の損傷評価として、応力解析で求めた損傷分布と非破壊検査等で求めた損傷分布が一致するように解析条件、主に溶接部形状を見直す方法が記載されているが、解析に用いる材料特性のばらつきについては考慮されていない。

【0012】

一般に、長期間使用する機器では材料特性などの差が累積して、最終的には大きな損傷あるいは寿命の差となる。従って、損傷を過大あるいは過小評価にならずに適正な損傷評価を実現するには評価対象個々の部材の実際の材料特性で評価することが望ましい。

【0013】

しかし、評価対象個々の部材のあらゆる材料特性を取得することは技術的にも時間的にもコスト的にも現実的ではない。従って、効率的に評価対象個々の材料特性を考慮しながら損傷評価する技術が求められている。

【0014】

本発明は、前記の課題を解決するための発明であって、長期に運転する高温機器において、材料特性を考慮した部材の損傷評価方法、クリープ損傷評価方法および損傷評価システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

前記目的を達成するため、本発明の部材の損傷評価方法は、評価部位の部材の物理量の変化を、非破壊測定装置を用いて測定し、予め求めた物理量の変化と部材の損傷との関係から、部材の損傷を推定する第1の工程（例えば、ステップS2）と、実機に取り付けられたセンサの測定値から評価部位近傍の負荷履歴を推定する第2の工程（例えば、ステップS3）と、負荷履歴を用いて第1の工程で推定した損傷となる材料特性を推定する第3の工程（例えば、ステップS4）と、材料特性から物理量の変化と部材の損傷との関係を推定する第4の工程（例えば、ステップS5）と、第4の工程で推定された物理量の変化と部材の損傷との関係から、非破壊の物理量の変化を用いて損傷を再推定する第5の工程（例えば、ステップS6）と、第5の工程で求めた損傷が、第1の工程で求めた損傷に対し所定の基準値を満たすか否かを判定する第6の工程（例えば、ステップS7）とを有し、第6の工程で、第5の工程で求めた損傷が所定の基準値を満たさない場合、第5の工程で求めた損傷を第1の工程で求めた損傷と置き換えて、第3の工程から第6の工程を繰り返して部材の損傷を評価することを特徴とする。本発明のその他の態様については、後記する実施形態において説明する。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、長期に運転する高温機器において、評価対象の材料特性のばらつきの影響を小さくし、損傷を過大評価や過小評価にならない適正な損傷の評価が実現できる。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

【図 1】実施形態に係る構造部材の損傷評価方法を示すフローチャートである。

【図 2】減衰係数とクリープ損傷の関係の 1 例を示す模式図である。

【図 3】クリープひずみと損傷時間の関係の 1 例を示す模式図である。

【図 4】ステップ S 4 におけるクリープ特性を求める処理を示すフローチャートである。

【図 5】損傷評価システムを示す構成図である。

【図 6】損傷評価装置を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

本発明を実施するための実施形態について、適宜図面を参照しながら詳細に説明する。

図 1 は、実施形態に係る構造部材の損傷評価方法を示すフローチャートである。構造部材の損傷評価方法は、非破壊検査と F E M (Finite Element Method) 解析の独立した 2 つの方法によりクリープ損傷を評価し、反復法を用いて両者の評価結果が一致するように材料特性 (クリープ特性) を推定することにより、高温機器のクリープ損傷を評価する。以下、その詳細について説明する。

【 0 0 1 9 】

ステップ S 1 では、非破壊検査装置により測定を行う。非破壊検査装置は、公知の非破壊による内部損傷測定装置であり、例えば、電磁超音波共鳴装置、超音波探傷装置、漏えい磁束密度測定装置などがある。ステップ S 1 では、それぞれの測定手法に依存して測定した信号を評価して測定手法に固有の物理量を算出する。例えば、電磁超音波共鳴装置では、共鳴次数ごとの共鳴周波数、音速、減衰係数、音弾性あるいは音響非線形量などがある。超音波探傷装置では、底面反射波の振幅強度比、音速あるいは後方散乱波のスペクトル強度などがある。また、漏えい磁束密度測定装置では、漏えい磁束密度がある。

【 0 0 2 0 】

ステップ S 2 では、ステップ S 1 で測定した物理量と、予め求めておいた損傷量と当該物理量との関係 (評価線図) に基づいて、機器・部材の損傷を評価する。例えば、測定装置に電磁超音波共鳴装置を用いて、減衰係数を測定した場合を例に説明する。

【 0 0 2 1 】

図 2 は、減衰係数とクリープ損傷の関係の 1 例を示す模式図である。図 2 に評価線図を模式的に示す。評価線図は、予め実験等により電磁超音波共鳴装置を用いて測定した減衰係数とクリープ損傷の関係を求める。例えばある荷重および温度条件の単軸クリープ試験において保持時間つまりクリープ損傷時間をパラメータとして、電磁超音波共鳴装置を用いて減衰係数を測定する。また、クリープ破断時間も求める。クリープ損傷をクリープ損傷時間 / クリープ破断時間と定義する。この試験を荷重および温度条件を変えて実施する。評価線図は、すべての荷重および温度条件の測定結果を減衰係数とクリープ損傷の関係で整理し作成する。ただし、クリープの挙動はばらつきが大きいので、安全側の評価をするには下限を評価線図として用いることが多い。

【 0 0 2 2 】

一方、後記するステップ S 4 2 における F E M 解析に用いる材料特性、例えばクリープひずみと損傷時間の関係を図 3 に模式的に示す。図 3 は、クリープひずみと損傷時間の関係の 1 例を示す模式図である。この特性もばらつきが大きいので、図 2 と同様に安全側の評価とする場合には上限を用いることが多い。

【 0 0 2 3 】

予め、個々の試験体でばらつく図 2 の減衰係数とクリープ損傷の関数と、図 3 のクリープひずみと損傷時間の関係との対応づけを行う。例えば、ひずみゲージ等でひずみを測定しながら、クリープ試験を実施することにより、クリープひずみと損傷時間の関係を測定できる。この際、所定の時間ごとに試験を中断して、電磁超音波共鳴装置を用いて減衰係数を測定することにより、1 対の減衰係数とクリープ損傷の関数と、クリープひずみと損傷時間の関係との対応関係を得ることができる。これを多数の試験体で試験することにより、ばらつきを考慮した減衰係数とクリープ損傷の関数と、クリープひずみと損傷時間の

10

20

30

40

50

関係との対応づけができる。表 1 に対応づけを模式的に示す。

【 0 0 2 4 】

【表 1】

NO	減衰係数とクリープ損傷の関係	クリープひずみと損傷時間の関係
1	評価線図A	評価線図(1)
2	評価線図B	評価線図(2)
3	評価線図C	評価線図(3)
4	評価線図D	評価線図(4)
5	評価線図E	評価線図(5)

10

【 0 0 2 5 】

表 1 における減衰係数とクリープ損傷の関係と、クリープひずみと損傷時間の関係について定性的に説明する。非破壊検査装置で測定された減衰係数から図 2 の評価線図を用いて、クリープ損傷を推定する場合を考える。評価線図 A は、その他の評価線図 B ~ E に比べ、同じ減衰係数に対して少ないクリープ損傷になる。つまり、評価線図 A は他の評価線図と比べ、相対的にクリープ損傷が出にくい特性、言い換えるとクリープが進みにくい特性を示している。

20

【 0 0 2 6 】

一方、図 3 では、評価線図(1)は、他の評価線図(2)~(5)に比べて、同じ保持時間に対してクリープひずみが小さくなる。つまり、評価線図(1)は、他の評価線図(2)~(5)に比べ、クリープが進みにくい特性を示している。すなわち、評価線図 A も評価線図(1)も材料特性のバラツキの中で、最もクリープが進みにくい場合の材料特性を示している。

【 0 0 2 7 】

図 1 に戻り、ステップ S 2 では、反復法の初期値としての減衰係数とクリープ損傷の関係である評価線図(マスターカーブ)を定め、ステップ S 1 で測定した減衰係数から評価線図を用いて、クリープ損傷を求める。

【 0 0 2 8 】

ステップ S 3 では、実機の運転条件履歴や評価部位近傍の各種センサによる測定値(温度、流量、内圧、ひずみなど)の履歴から、逆問題解析により評価部位の負荷条件履歴を推定する。

30

【 0 0 2 9 】

ステップ S 4 では、推定した負荷条件履歴からクリープ損傷を評価し、ステップ S 2 で推定したクリープ損傷と等しくなるクリープ特性を求める。詳細な方法として図 4 を参照して説明する。

【 0 0 3 0 】

図 4 は、ステップ S 4 におけるクリープ特性を求める処理を示すフローチャートである。基準となるクリープひずみと損傷時間の関係(クリープひずみ特性)を表 1 から求める(ステップ S 4 1)。具体的には、クリープひずみと損傷時間の関係は、ステップ S 2 で設定した反復法の初期値である減衰係数とクリープ損傷の関係から、表 1 で対応づけられたクリープひずみと損傷時間の関係を用いる。

40

【 0 0 3 1 】

次に、ステップ S 3 で推定した負荷条件履歴を用いて、F E M 解析によりクリープ損傷を求める(ステップ S 4 2)。

【 0 0 3 2 】

ステップ S 4 2 で F E M 解析により求めたクリープ損傷と、ステップ S 2 で求めたクリープ損傷が一致した(あるいは差が所定の範囲内にある)場合は(ステップ S 4 3, Yes)、ステップ S 5 に進む。一致しない場合には(ステップ S 4 3, No)、クリープひ

50

ずみと損傷時間の関係を見直す。すなわち、クリープ特性を変更する（ステップS44）。例えば、ステップS2で求めたクリープ損傷よりもステップS42で求めたクリープ損傷が小さい場合はクリープひずみと損傷時間の関係をクリープ損傷が大きくなる方向（表1の上限の方向）に1つ変更し、新しいクリープひずみと損傷時間の関係を用いて再度FEM解析により、クリープ損傷を求める（ステップS42）。新しいクリープ損傷がまだステップS2で求めたクリープ損傷を越えない場合は、さらにクリープひずみと損傷時間の関係をクリープ損傷が大きくなる方向（表1の上限の方向）に1つ変更し、再度FEM解析により、クリープ損傷を求める（ステップS42）。求めたクリープ損傷がステップS2で求めたクリープ損傷と一致するまで繰り返す。

【0033】

10

一致する前にクリープ損傷がステップS2で求めたクリープ損傷を越えた場合には、1つ前のクリープひずみと損傷時間の関係との中間値を線形補間により求めて、新しいクリープひずみと損傷時間の関係とし、再度FEM解析を実施してクリープ損傷を求める（ステップS42）。その際、表1で対応する減衰係数とクリープ損傷の関係も線形補間により求める。

【0034】

また、逆の場合はクリープ損傷が小さくなる方向（表1の下限の方向）に変更し、同様に求めたクリープ損傷がステップS2のクリープ損傷と一致するクリープひずみと損傷時間の関係を求める。以上がステップS4の詳細な処理である。

【0035】

20

図1に戻り、ステップS5では、ステップS4で求めたクリープ特性から、非破壊検査のマスタカーブを推定する。具体的には、ステップS4で求めたクリープひずみと損傷時間の関係（クリープ特性）と対応する減衰係数とクリープ損傷の関係（評価線図、マスタカーブ）の関係を用意する。

【0036】

ステップS6では、推定したマスタカーブと非破壊測定値である減衰係数からクリープ損傷を推定する。推定したクリープ損傷が、ステップS2で求めたクリープ損傷と一致した（あるいは差が所定の範囲内にある）場合は（ステップS7, Yes）、処理を終了する。一致しない場合は（ステップS7, No）、ステップS6で求めたクリープ損傷をステップS2で求めたクリープ損傷と置き換えて、ステップS4から繰り返すことにより、材料特性のばらつきを考慮したクリープ特性とクリープ損傷を求めることができる。

30

【0037】

なお、表1の減衰係数とクリープ損傷の関係とクリープひずみと損傷時間の関係との対応づけを、実験を行わずに簡易的に推定する方法として、それぞれの上限および下限の間を所定の数に等分割して線形補間により求めて対応づける方法を用いてもよい。

【0038】

次に、構造部材の損傷評価方法を適用した損傷評価システム100について説明する。

図5は、損傷評価システムを示す構成図である。損傷評価システム100は、非破壊測定装置11と、評価対象機器16の実機の状態を監視し実機の運転条件履歴や評価部位近傍の各種センサ（温度、流量、内圧、ひずみなど）により測定を行う実機状態監視装置14と、予め求めた損傷量と非破壊測定装置11で測定される物理量との関係である評価線図データ131およびFEM解析に用いる材料特性データ132を格納する材料評価データベース13と、実機状態監視装置14で測定した実機の運転条件履歴151および評価部位近傍の各種センサによる測定値（温度、流量、内圧、ひずみなど）履歴152を格納する運転状態データベース15と、非破壊測定装置11の測定値、材料評価データベース13、運転状態データベース15に基づき部材の損傷評価をする損傷評価装置12と、および評価結果を出力する出力装置17とで構成される。

40

【0039】

非破壊測定装置11では、それぞれの測定手法に依存して測定した信号を評価して測定手法に固有の物理量を算出する。例えば、前記したように、電磁超音波共鳴装置では、共

50

鳴次数ごとの共鳴周波数、音速、減衰係数、音弾性あるいは音響非線形量などがある。超音波探傷装置では、底面反射波の振幅強度比や音速あるいは後方散乱波のスペクトル強度などがある。また、漏えい磁束密度測定装置では、漏えい磁束密度がある。

【0040】

図6は、損傷評価装置を示すブロック図である。損傷評価装置12は、各部の動作を制御し、最終評価を実施する制御部121と、非破壊測定結果の評価を行う非破壊測定評価部122と、実機の運転条件履歴151および評価部位近傍の各種センサによる測定値（温度、流量、内圧、ひずみなど）履歴152から、FEM解析によりクリープ損傷を求める実機状態解析部123と、各部の出力を格納する記憶部124と、および他の装置との入出力を行う入出力部125から構成される。

10

【0041】

非破壊測定評価部122は、まず非破壊測定装置11で測定した物理量と、材料評価データベース13に格納された当該物理量と損傷量の関係である評価線図データ131に基づいて、機器・部材の損傷を評価する。例えば、図2に示した、初期値としての減衰係数とクリープ損傷の関係である評価線図を定め、非破壊測定装置11で測定した減衰係数から評価線図を用いて、クリープ損傷を求める。

【0042】

実機状態解析部123は、運転状態データベース15を参照して、実機の運転条件履歴151、評価部位近傍の各種センサによる測定値（温度、流量、内圧、ひずみなど）履歴152から、逆問題解析により評価部位の負荷条件履歴を推定する。

20

【0043】

さらに、実機状態解析部123は、推定した負荷条件履歴と材料評価データベース13に格納された材料特性データ132を用いて、FEM解析によりクリープ損傷を求める。FEM解析に用いる材料特性は、例えば、図3に示したクリープ特性であるクリープひずみと損傷時間の関係である。クリープひずみと損傷時間の関係は、非破壊測定評価部122で求めた減衰係数とクリープ損傷の関係と、表1で対応づけられたクリープひずみと損傷時間の関係を用いる。

【0044】

実機状態解析部123では、FEM解析により求めたクリープ損傷と、非破壊測定評価部122で求めたクリープ損傷が一致した（あるいは差が所定の範囲内にある）場合は処理を終了し、クリープ損傷を求めるのに用いたクリープひずみと損傷時間の関係を制御部121に送る（図4のステップS43，Yesに対応）。一致しない場合には、クリープひずみと損傷時間の関係を見直す（図4のステップS43，Noに対応）。例えば、非破壊測定評価部122で求めたクリープ損傷よりも実機状態解析部123で求めたクリープ損傷が小さい場合は、クリープひずみと損傷時間の関係をクリープ損傷が大きくなる方向（表1の上限の方向）に1つ変更し、新しいクリープひずみと損傷時間の関係を用いて再度FEM解析によりクリープ損傷を求める。新しいクリープ損傷がまだ非破壊測定評価部122で求めたクリープ損傷を越えない場合は、さらにクリープひずみと損傷時間の関係をクリープ損傷が大きくなる方向（表1の上限の方向）に1つ変更し、再度FEM解析により、クリープ損傷を求める。これを求めたクリープ損傷が非破壊測定評価部122で求めたクリープ損傷と一致するまで繰り返す。

30

40

【0045】

一致する前にクリープ損傷が非破壊測定評価部122で求めたクリープ損傷を越えた場合には、1つ前のクリープひずみと損傷時間の関係との中間値を線形補間により求めて、新しいクリープひずみと損傷時間の関係とし、再度FEM解析を実施してクリープ損傷を求める。その際、表1で対応する減衰係数とクリープ損傷の関係も線形補間により求める。また、逆の場合はクリープ損傷が小さくなる方向（表1の下限の方向）に変更し、同様に求めたクリープ損傷が非破壊測定評価部122のクリープ損傷と一致するクリープひずみと損傷時間の関係を求める。

【0046】

50

制御部 121 では、実機状態解析部 123 で求めたクリープひずみと損傷時間の関係と対応する減衰係数とクリープ損傷の関係（評価線図）を表 1 の対応表を用いて求め、非破壊測定評価部 122 に送る。非破壊測定評価部 122 は、制御部 121 から送られた減衰係数とクリープ損傷の関係を用いて、測定した減衰係数からクリープ損傷を求め、制御部 121 に送る。

【0047】

制御部 121 では、非破壊測定評価部 122 から送られたクリープ損傷が前回、非破壊測定評価部 122 で求めたクリープ損傷と一致した（あるいは差が所定の範囲内にある）場合は、そのクリープ損傷を出力して処理を終了する。一致しない場合は、新たに求めたクリープ損傷を、実機状態解析部 123 に送り、再びクリープひずみと損傷時間の関係を求める。以降、前記の処理を繰り返すことにより、材料特性のばらつきを考慮したクリープ特性とクリープ損傷を求めることができる。

【0048】

本実施形態の損傷評価システム 100 は、評価部位の部材の予め求めた損傷量と非破壊測定装置 11 で測定される部材の物理量との関係である評価線図データ 131 および FEM 解析に用いる材料特性データ 132 を格納する材料評価データベース 13 と、実機の状態を監視する監視装置（例えば、実機状態監視装置 14）で測定した実機の運転条件履歴、評価部位近傍のセンサによる測定値の履歴を格納する運転状態データベース 15 と、非破壊測定装置 11 で測定した物理量と材料評価データベース 13 に格納されている評価線図データ 131 とに基づいて部材のクリープ損傷を 1 次評価し（例えば、ステップ S2）、運転状態データベース 15 に格納されているセンサの測定値から評価部位近傍の負荷履歴を推定し（例えば、ステップ S3）、負荷履歴を用いて材料評価データベース 13 に格納されている材料特性データ 132 に基づき FEM 解析により 1 次評価した損傷となるクリープ特性を推定し（例えば、ステップ S4）、クリープ特性から評価線図データを推定し（例えば、ステップ S5）、推定された評価線図データ 131 から、非破壊測定装置 11 で測定した物理量を用いて損傷を 2 次評価し（例えば、ステップ S6）、2 次評価した損傷が、1 次評価した損傷に対し所定の基準値を満たすか否かを判定し（例えば、ステップ S7）、2 次評価した損傷が所定の基準値を満たさない場合、2 次評価した損傷を 1 次評価した損傷と置き換えて、再度クリープ特性を推定し（例えば、ステップ S4）、クリープ特性から評価線図データを推定し（例えば、ステップ S5）、推定された評価線図データ 131 から、非破壊測定装置 11 で測定した物理量を用いて損傷を再度 2 次評価し（例えば、ステップ S6）、再度 2 次評価した損傷が、1 次評価した損傷に対し所定の基準値を満たすか否かを判定する（例えば、ステップ S7）ことを繰り返す損傷評価装置 12 と、を有する。なお、材料評価データベース 13、運転状態データベース 15 は、損傷評価装置 12 が有していてもよい。

【0049】

本実施形態の損傷評価システム 100 によれば、長期に運転する高温機器の部材について、非破壊検査と FEM 解析の独立した 2 つの方法により部材の損傷を評価し、反復法を用いて両者の評価結果が一致するように材料特性（例えば、クリープ特性）を推定することにより、高温機器の損傷を評価することができる。

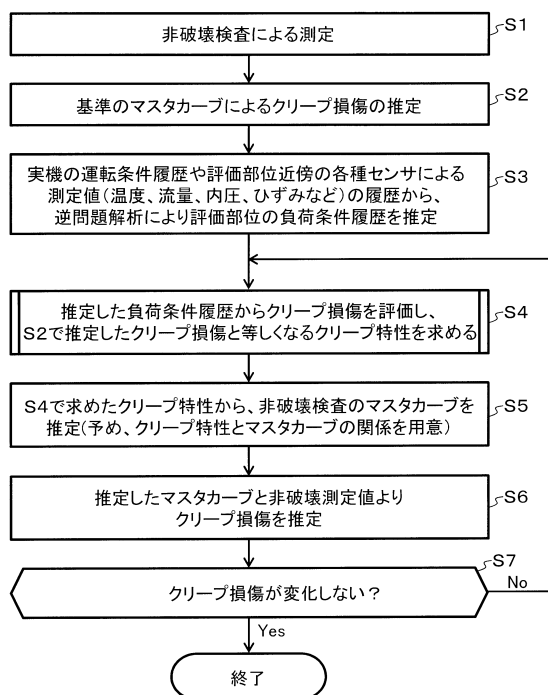
【符号の説明】

【0050】

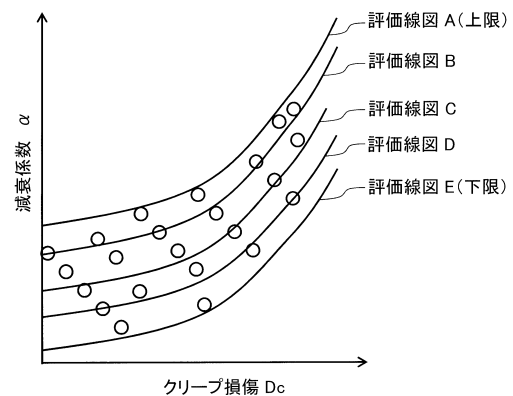
- 11 非破壊測定装置
- 12 損傷評価装置
- 13 材料評価データベース
- 14 実機状態監視装置
- 15 運転状態データベース
- 16 評価対象機器
- 17 出力装置
- 100 損傷評価システム

- 1 3 1 評価線図データ
- 1 3 2 材料特性データ
- 1 5 1 運転条件履歴
- 1 5 2 各種センサからの測定値履歴

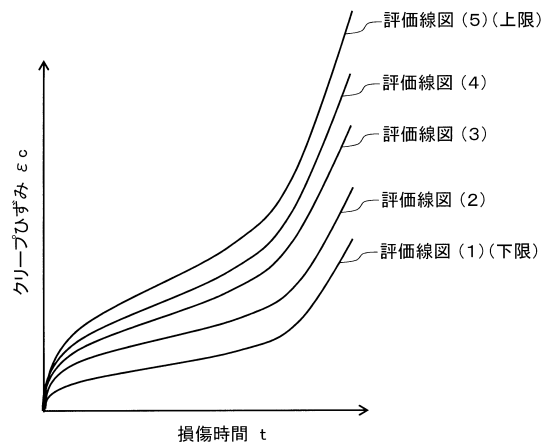
【図 1】



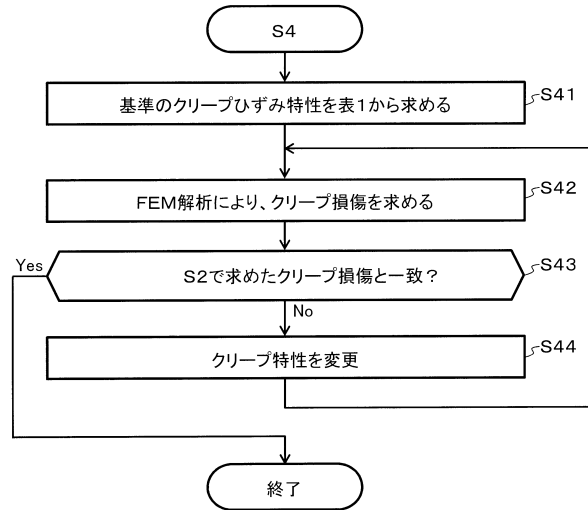
【図 2】



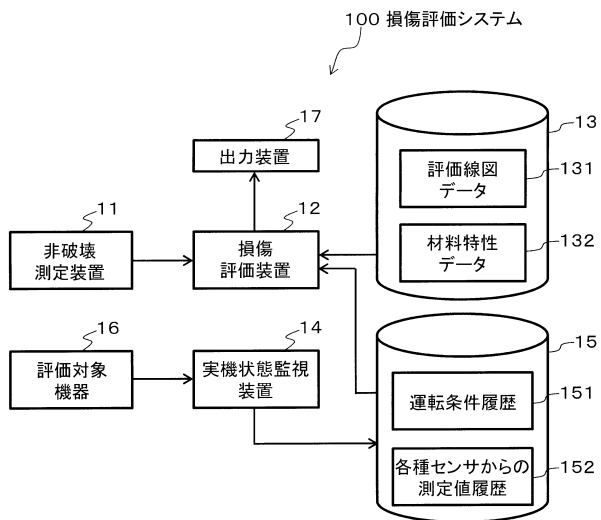
【図 3】



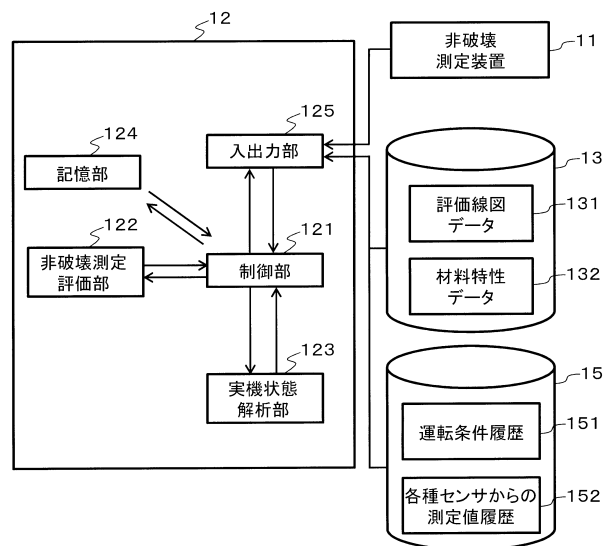
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

審査官 萩田 裕介

(56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 0 3 9 6 4 9 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 0 6 9 4 7 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 2 2 5 3 3 3 (J P , A)
特許第 4 4 6 4 0 4 3 (J P , B 2)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 1 M 1 3 / 0 0 - 1 3 / 0 4 5
G 0 1 M 9 9 / 0 0
G 0 1 N 3 / 0 0 - 3 / 6 2