

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 9 月 25 日(25.09.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/147830 A1

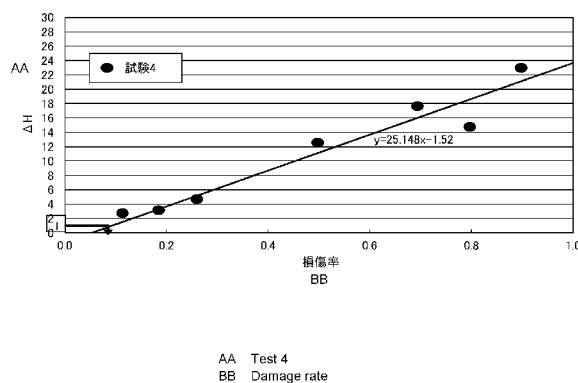
- (51) 国際特許分類:
G01N 17/00 (2006.01) G01N 3/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/058372
- (22) 国際出願日: 2013 年 3 月 22 日(22.03.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 中国電力株式会社 (THE CHUGOKU ELECTRIC POWER CO., INC.) [JP/JP]; 〒7308701 広島県広島市中区小町 4 番 3 3 号 Hiroshima (JP).
- (72) 発明者: 西田 秀高 (NISHIDA, Hidetaka); 〒7308701 広島県広島市中区小町 4 番 3 3 号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP).
- (74) 代理人: 一色国際特許業務法人 (ISSHIKI & CO.); 〒1050004 東京都港区新橋 2 丁目 1 2 番 7 号 労金新橋ビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR PREDICTING REMAINING CREEP LIFE EXPECTANCY OF PRODUCT WITH BAINITE STRUCTURE AND METHOD FOR PRODUCING STANDARD CURVE USED IN THIS PREDICTION METHOD

(54) 発明の名称: バイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線の作成方法

[図3]



(57) Abstract: The present invention provides a method for predicting the remaining creep life expectancy of a product with a bainite structure. More specifically, the method for predicting remaining creep life expectancy includes a step for determining a first relationship between the hardness and Larson-Miller parameter of a first product that has a bainite structure and has deteriorated as a result of heating, a step for determining a second relationship between the hardness and Larson-Miller parameter of a second product that has a bainite structure and has deteriorated as a result of heating and pressure, a step for using the first relationship and the second relationship to determine the difference between the hardness of the first product and the second product for a given Larson-Miller parameter and thereby determine a third relationship between the hardness of the second product and said difference, a step for determining a fourth relationship between the hardness and damage rate of the second product, a step for using the third relationship and the fourth relationship to determine a fifth relationship between said difference and the damage rate of the second product, a step for using the third relationship to obtain the difference corresponding to the hardness of a product for which remaining creep life expectancy is to be predicted, and a step for using the fifth relationship to determine the product damage rate corresponding to the obtained difference.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/147830 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

【課題】本発明は、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法を提供する。すなわち、ベイナイト組織を有し加熱により劣化した第1製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの第1の関係を求める工程と、ベイナイト組織を有し加熱及び加圧により劣化した第2製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第2の関係を求める工程と、第1の関係と第2の関係をj用いて、所定のラーソンミラーパラメータにおける、第1製品の硬さと第2製品の硬さとの差を求めることによって、第2製品の硬さと差との第3の関係を求める工程と、第2の製品の硬さと損傷率との間の第4の関係を求める工程と、第3の関係と第4の関係をj用いて、差と、第2製品の損傷率との第5の関係を求める工程と、第3の関係をj用いて、クリープ余寿命を予測する製品の硬さから、対応する差を得る工程と、第5の関係をj用いて、得られた差から、対応する製品の損傷率を求める工程とを含む、クリープ余寿命の予測方法とする。

明 細 書

発明の名称：

ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線の作成方法

技術分野

[0001] 本発明は、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線の作成方法に関する。

背景技術

[0002] 火力発電設備や原子力発電設備等において用いられる機械部品は、長期間に渡って高温・高圧条件におかれることから、徐々に塑性変形を起こし、クリープ寿命に達すると破断してしまう。従って、火力発電設備や原子力発電設備を安全かつ経済的に運転するためには、用いられている機械部品のクリープ余寿命を的確に予測することによって、最適な時期に機械部品の交換を行うことが求められる。

[0003] このような機械部品に使用されている耐熱鋼のクリープ余寿命を予測する方法としては、例えば、目視検査、磁粉探傷検査、超音波探傷検査及び放射線探傷検査等の寿命末期に発生する亀裂を検出する方法、並びに、レプリカ法によるボイドや微視亀裂を検出する方法が知られているが、これらの方法では、亀裂が生じる前の余寿命を予測することができない。

亀裂が生じる前に余寿命を予測する方法として、特開昭63-235861号公報に開示されているように、実際に稼動している火力発電設備や原子力発電設備の機械部品の耐熱鋼から試験片を切り出して、クリープ破断試験を行い、その破断時間から余寿命を予測する方法が知られているが、この方法では、実際に稼動している設備から試験片を切り出して長時間に渡って試験をする必要があり、煩雑である。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明は、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線の作成方法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

[0005] 本発明に係るベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法に用いる検量線の作製方法は、ベイナイト組織を有し加熱により劣化した第1製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの第1の関係を求める工程と、ベイナイト組織を有し加熱及び加圧により劣化した第2製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第2の関係を求める工程と、第1の関係と第2の関係をを用いて、所定のラーソンミラーパラメータにおける、第1製品の硬さと第2製品の硬さとの差を求めることによって、第2製品の硬さと前記差との第3の関係を表す検量線を作成する工程と、第2の製品の硬さと損傷率との間の第4の関係を求める工程と、第3の関係と第4の関係をを用いて、前記差と、第2製品の損傷率との第5の関係を表す検量線を作成する工程と、を含む。

[0006] 本発明に係るベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法は、このようにして作成された検量線を用いても良い。

[0007] 本発明に係るベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法は、ベイナイト組織を有し加熱により劣化した第1製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの第1の関係を求める工程と、ベイナイト組織を有し加熱及び加圧により劣化した第2製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第2の関係を求める工程と、第1の関係と第2の関係をを用いて、所定のラーソンミラーパラメータにおける、第1製品の硬さと第2製品の硬さとの差を求めることによって、第2製品の硬さと前記差との第3の関係を求める工程と、第2の製品の硬さと損傷率との間の第4の関係を求める工程と、第3の関係と第4の関係をを用いて、前記差と、第2製品の損傷率との第5の関係を求める工程と、第3の関係をを用いて、クリープ余寿命を予測する製品の硬さから、対応する前記差を得る工程と、第5の関係をを用いて、前記得られた差から、対応する当該製品の損傷率を求める工程とを含む。

- [0008] クリープ余寿命を予測する製品の硬さに対応する差を求めるために、第3の関係のうち、実質的に比例関係である硬さの範囲を用いることが好ましい。また、クリープ余寿命を予測する製品の損傷率を求めるために、第5の関係のうち、実質的に比例関係である差の範囲を用いることが好ましい。
- [0009] クリープ余寿命を予測する製品、第1製品及び第2製品が中空管であることが好ましく、例えば、曲がり部分を有するボイラ用配管であっても良い。これらの場合に、加圧は内圧を加えることによって行うことが好ましい。
- [0010] また、硬さが、ビッカース硬さであることが好ましい。
- [0011] 第1製品に加えられた温度と、第2製品に加えられた温度とが、同じであることが好ましい。

発明の効果

- [0012] 本発明によって、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線の作成方法を提供することが可能となった。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]一実施形態における、ビッカース硬さとラーソンミラーパラメータとの関係を示すグラフである。
- [図2]一実施形態における、 ΔH と、内圧クリープによる劣化時の硬さとの関係を示すグラフである。
- [図3]一実施形態における、 ΔH と、内圧クリープによる劣化時の損傷率との関係を示すグラフである。
- [図4]一実施形態における、損傷率が0の時の、透過電子顕微鏡による組織検査の結果を示す図である。
- [図5]一実施形態における、熱時効により劣化した場合であって、損傷率が約0.5の時の、透過電子顕微鏡による組織検査の結果を示す図である。
- [図6]一実施形態における、熱時効により劣化した場合であって、損傷率が約0.9の時の、透過電子顕微鏡による組織検査の結果を示す図である。
- [図7]一実施形態における、内圧クリープにより劣化した場合であって、損傷

率が約0.5の時の、透過電子顕微鏡による組織検査の結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、上記知見に基づき完成した本発明の実施の形態を詳細に説明する。
なお、本発明の目的、特徴、利点、および、そのアイデアは、本明細書の記載により、当業者には明らかであり、本明細書の記載から、当業者であれば容易に本発明を再現できる。以下に記載された発明の実施の形態及び具体的な実施例などは、本発明の好ましい実施態様を示すものであり、例示又は説明のために示されているのであって、本発明をそれらに限定するものではない。本明細書で開示されている本発明の意図並びに範囲内で、本明細書の記載に基づき、様々な改変並びに修飾ができることは、当業者にとって明らかである。

[0015] 従来、フェライト組織またはパーライト組織を有する製品のクリープ余寿命を予測する場合には、この製品を高温及び高圧条件においた場合の塑性変形の量と、この製品の損傷率との関係から、クリープ余寿命を求める方法が一般的に用いられてきた。

しかしながら、ベイナイト組織を有する製品について、フェライト組織またはパーライト組織を有する製品と同様に、塑性変形の量と製品の損傷率との関係から、クリープ余寿命を予測しようと試みたところ、以下の問題が生じた。

(1) ベイナイト組織を有する製品は、フェライト組織またはパーライト組織を有する製品と比べると堅固であるために、損傷率が小さい段階では変形量が非常に小さく、損傷率が小さい段階の余寿命を正確に予測することが困難である。

(2) ベイナイト組織を有する製品は、損傷率が大きい段階になって初めて大きい変形が生じるが、一度変形が生じると急激に破断に至るため、損傷率が大きい段階の余寿命を予測するためには、小まめに測定を行う必要があり煩雑である。

(3) ベイナイト組織を有する製品は、フェライト組織またはパーライト組織を有する製品と比較すると、塑性変形の量が小さいことから、いずれの組織を有するか不明である製品の余寿命を、フェライト組織またはパーライト組織を有する製品の変形量と損傷率との関係を用いて求めると、実際よりも低く損傷率が求まる可能性があり、結果として予期しない破断を招く危険性がある。

[0016] 本発明者は、ベイナイト組織を有する製品の硬さに着目することによって、本発明に係るベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法を完成するに至った。

本発明に係るクリープ余寿命の予測方法は、製品の損傷率が小さい段階でも、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を予測することができる。また、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法は、製品の損傷率が大きい段階でも、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を予測することができる。加えて、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法は、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を適切に予測することができる。

具体的には、以下の通りである。

[0017] 本発明に係るベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法は、ベイナイト組織を有し加熱により劣化した第1製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの第1の関係を求める工程と、ベイナイト組織を有し加熱及び加圧により劣化した第2製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第2の関係を求める工程と、第1の関係と第2の関係をを用いて、所定のラーソンミラーパラメータにおける、第1製品の硬さと第2製品の硬さとの差を求めることによって、第2製品の硬さと前記差との第3の関係を求める工程と、第2の製品の硬さと損傷率との間の第4の関係を求める工程と、第3の関係と第4の関係をを用いて、前記差と、第2製品の損傷率との第5の関係を求める工程と、第3の関係をを用いて、クリープ余寿命を予測する製品の硬さから、対応する前記差を求める工程と、第5の関係をを用いて、前記得られた差から、対応する当該製品の損傷率を求める工程とを含む。

[0018] 加熱により劣化した第1製品とは、常圧及び一定の高温の条件下に置くことにより劣化した、ベイナイト組織を有する製品をいう。温度の範囲は、第1製品がベイナイト組織を有する限り特に限定されないが、例えば、210℃～550℃の範囲であっても良く、350℃～550℃の範囲であることが好ましい。

[0019] また、加熱及び加圧により劣化した第2製品とは、一定の高温、及び、常圧よりも高い一定の圧力の条件下に置くことにより劣化した、ベイナイト組織を有する製品をいう。

温度の範囲は、第2製品がベイナイト組織を有する限り特に限定されないが、例えば、210℃～550℃の範囲であっても良く、350℃～550℃の範囲であることが好ましい。第1製品に加えられた温度と、第2製品に加えられた温度とは、同じであっても異なっても良いが、同じであることが好ましい。

圧力の範囲は、常圧（0.1MPa）よりも高ければ特に限定されないが、例えば、0.2MPa～1000MPaであっても良く、0.3MPa～500MPaであることが好ましく、0.5MPa～300MPaであることがより好ましい。

圧力を加える方法は、特に限定されず、例えば、単軸クリープ試験、または、内圧クリープ試験により行っても良いが、第2製品の構造が中空管である場合には、内圧クリープ試験により行うことが好ましい。内圧クリープ試験は、高温炉中で中空管に内圧を加え、必要に応じて中空管をクリープ破断させることによって、中空管の余寿命または寿命を予測または測定する方法である。内圧クリープ試験は、中空管を試験対象とできるため、例えば中空管をボイラの配管として実際に用いた場合に生じる、中空管の外表面および内表面の酸化物など変質層の影響を含めて試験できる点で優れている。さらに、ボイラで実際に用いられる場合と同様に、内圧による応力を中空管に加えることから、精度よく余寿命または寿命を予測または測定することが可能である。

[0020] 第1製品及び第2製品の構造、並びに、クリープ余寿命の予測対象となるベイナイト組織を有する製品の構造は、特に限定されず、例えば、中空管、板、または、棒であることができるが、中空管であることが好ましい。中空管の断面は、どのような形であっても良く、例えば、円形、楕円形、または、多角形であることができるが、中空管の強度を考慮すれば、角を有さない円形または楕円形であることが好ましく、円形であることがより好ましい。

このような中空管として、例えば、曲がり部分を有するボイラ用配管が挙げられる。ボイラ用配管は、従来は、フェライト組織またはパーライト組織を有すると考えられていたため、フェライト組織またはパーライト組織を有する製品のクリープ余寿命を予測する方法に従って、そのクリープ余寿命が予測されてきた。しかし、本発明者は、ボイラ用配管の曲がり部分を作成する際のゆっくりとした加熱に伴い、この曲がり部分がベイナイト組織へと変化することを発見した。従って、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法を用いて、曲がり部分を有するボイラ用配管のクリープ余寿命を予測すれば、このボイラ用配管のクリープ余寿命を精度良く予測することが可能となる。

なお、第1製品の構造と、第2製品の構造と、クリープ余寿命の予測対象となるベイナイト組織を有する製品の構造とは、ベイナイト組織を有する同じ材料から構成されてさえいれば、同じであっても異なっても良いが、同じであることが好ましい。

[0021] 各製品の硬さを測定する方法は、特に限定されず、公知の方法を用いることができるが、ビッカース硬さ、または、マイクロビッカース硬さを測定することが好ましく、ビッカース硬さを測定することがより好ましい。なお、ビッカース硬さを測定する際には、1 kg以上の荷重を用い、マイクロビッカース硬さを測定する際には、1 kg未満の荷重を用いる。

硬さの測定は、製品の1箇所のみについて行っても良いが、精度を向上させることを考慮に入れれば、複数個所について行い、得られた測定値の平均値を製品の硬さとして採用することが好ましい。

製品の硬さは、その製品の異なる複数の損傷率において、測定することが

好ましい。

[0022] なお、製品の損傷率とは、その製品の寿命に対して、どれだけの時間が経過したのかを表す割合である。製品の寿命とは、加熱及び／又は加圧によって、その製品が破断するのに要する時間である。例えば、ある製品の寿命が10000時間であり、経過時間が8000時間である場合には、損傷率は、 $8000 \div 10000 = 0.80$ と求めることができる。逆に、ある製品の寿命が10000であり、損傷率が0.80の場合には、その製品の余寿命は、 $10000 \times 0.80 = 2000$ 時間と求めることができる。

製品の寿命は、公知の方法で求めることができ、例えば、その製品と同じ材料から作られた同一構造の製品を、実際に壊れるまで加熱及び／又は加圧することによって測定することができる。

[0023] 第1製品及び第2製品の加熱温度、加熱時間及び硬さから、ラーソンミラーパラメータLMPを算出する。ラーソンミラーパラメータLMPは、 $LMP = T(C + \log t_r)$ 、[式中、Tは絶対温度(K)で表した加熱温度であり、 t_r は加熱時間(h)であり、Cは定数である]、を用いて求めることができる。ベイナイト組織を有する製品においては、Cとして20を用いることが好ましい。

[0024] このようにして得た、第1製品の硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第1の関係を求める。この関係を例えばグラフにすると、曲線となる。

第1製品の硬さとラーソンミラーパラメータとの関係を求めるにあたっては、加熱により劣化した製品として、ある温度で加熱した製品Aのみを用いて、製品Aの硬さとラーソンミラーパラメータとの関係を求めても良い。または、ある温度で加熱した製品A及びある温度とは異なる温度で加熱した製品Bの2種類、もしくは、それぞれ異なる温度で加熱した3種類以上の製品を用いて、これら各製品における硬さとラーソンミラーパラメータとの関係を求め、これら各製品に共通する関係を求めても良い。例えば、本願の実施例1では、525℃で加熱した製品と550℃で加熱した製品との2種類の製品を用いて、これら製品に共通する関係として、図1に示す近似曲線を求

めた。

[0025] 同様に、第2製品の硬さを測定し、さらに、第2製品の加熱温度、加熱時間及び硬さから、ラーソンミラーパラメータLMPを算出する。

このようにして得られた第2製品の硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第2の関係を求める。この関係を例えばグラフにすると、曲線となる。

第2製品の硬さとラーソンミラーパラメータとの関係を求めるにあたっては、加熱及び加圧により劣化した製品として、ある温度で加熱し、かつ、ある圧力で加圧した製品aのみを用い、製品aの硬さとラーソンミラーパラメータとの関係を求めても良い。または、ある温度で加熱し、かつ、ある圧力で加圧した製品a及びある温度とは異なる温度で加熱し、かつ、ある圧力とは異なる圧力で加圧した製品bの2種類、もしくは、それぞれ異なる温度で加熱し、かつ、それぞれ異なる圧力で加圧した3種類以上の製品を用いて、各製品における硬さとラーソンミラーパラメータとの関係を求め、これらに共通する関係を求めても良い。例えば、本願の実施例1では、525℃で加熱し、240MPaで加圧した製品と、550℃で加熱し、145MPaで加圧した製品との2種類の製品を用いて、これら製品に共通する関係として、図1に示す近似曲線を求めた。

なお、第2の製品として、2種類以上の製品を用いてこれらに共通する関係を求める場合には、これら2種類以上の製品の寿命が、同程度であることが好ましい。同程度とは、2種類以上の製品の寿命が、例えば互いに2割以内の差であることが好ましく、1割以内の差であることがより好ましい。当業者であれば、2種類以上の製品の寿命が同程度となるように、各製品に加える温度と圧力とを適切に設定することができる。

[0026] このようにして得られた、第1製品の硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第1の関係と、第2製品の硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第2の関係をj用いて、所定のラーソンミラーパラメータにおける、加熱により劣化した第1製品の硬さと、加熱及び加圧により劣化した第2製品の硬さとの差を求める。例えば、ラーソンミラーパラメータが19.0の時に、第

1 製品の硬さが 191 HV であり、第 2 製品の硬さが 190 HV である場合には、このラーソンミラーパラメータにおける、第 1 製品の硬さと第 2 製品の硬さとの差は 1 となる。

[0027] 次いで、この作業を、複数のラーソンミラーパラメータで行うことにより、両製品間の硬さの差と、第 2 製品の硬さとの第 3 の関係を求める。求めた関係は、少なくとも一部分、望ましくは全体において実質的に比例関係になることが好ましい。即ち、この関係を表す検量線を作成すると、少なくとも一部分、望ましくは全体において実質的に直線となる。

[0028] 両製品間の硬さの差と、第 2 製品の硬さとの第 3 の関係が、比例関係にあるか否かで、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法の精度を評価することができる。例えば、測定した全領域において、両製品間の硬さの差と、第 2 製品の硬さとの関係が比例関係にあるならば、この全領域において、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法を用いることによって、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を精度良く測定することができる。

一方で、例えば、第 2 製品の硬さが 150 以上の領域では、両製品間の硬さの差と、第 2 製品の硬さとの関係が比例関係にあるが、第 2 製品の硬さが 150 未満の領域では、この関係が指数関数などとなり比例関係にない場合には、予測対象となる製品の硬さが 150 以上の場合に、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法を用いることによって、その製品のクリープ余寿命を精度良く予測できると分かる。なお、この場合、予測対象となる製品の硬さが 150 未満の領域では、精度は下がるものの、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法を用いて、その製品のクリープ余寿命を予測しても良く、または、公知の別法を用いて、その製品のクリープ余寿命を予測しても良い。

[0029] このように、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法は、第 1 製品及び第 2 製品間の硬さの差と、第 2 製品の硬さとの第 3 の関係が、比例関係になるか否かで、対象となるベイナイト組織を有する製品において、どの程度の精度でクリープ余寿命を予測できるのかを評価することができる。このため、

対象製品が予測に反して早期に破損するなどの事故を防ぐことができる。

[0030] さらに、第2製品の硬さを、この硬さを与えた時の第2製品の損傷率に変換することによって、第2の製品の硬さと損傷率との間の第4の関係を求める。

[0031] そして、第3の関係と第4の関係をを用いて、両製品間の硬さの差と、第2製品の損傷率との第5の関係を求める。求めた関係は、少なくとも一部分、望ましくは全体において実質的に比例関係になることが好ましい。即ち、この関係を表す検量線を作成すると、少なくとも一部分、望ましくは全体において実質的に直線となる。

[0032] 両製品間の硬さの差と第2製品の硬さとの第3の関係と同様に、両製品間の硬さの差と、第2製品の損傷率との第5の関係が、比例関係にあるか否かで、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法の精度を評価することができる。例えば、全損傷率において、両製品間の硬さの差と、第2製品の損傷率との関係が比例関係にあるならば、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法を用いることによって、予測対象となる製品の損傷率がどのような値であっても、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を精度良く測定することができる。

一方で、例えば、第2製品の損傷率が0.8以下の領域では、両製品間の硬さの差と、第2製品の損傷率との関係が比例関係にあるが、第2製品の損傷率が0.8より大きい領域では、この関係が指数関数などとなり比例関係にない場合には、予測対象となる製品の損傷率が0.8以下の場合に、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法を用いることによって、その製品のクリープ余寿命を精度良く予測できると分かる。なお、この場合、予測対象となる製品の損傷率が0.8より大きい時には、精度は下がるものの、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法を用いて、その製品のクリープ余寿命を予測しても良く、または、公知の別法を用いて、その製品のクリープ余寿命を予測しても良い。

[0033] このように、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法は、第1製品及び第

2製品間の硬さの差と、第2製品の損傷率とが、比例関係になるか否かで、対象となるベイナイト組織を有する製品において、どの程度の精度でクリープ余寿命を予測できるのかを評価することができる。このため、対象製品が予測に反して早期に破損するなどの事故を防ぐことができる。

[0034] 本発明に係るクリープ余寿命の予測方法は、このようにして求めた、第1製品及び第2製品間の硬さの差と第2製品の硬さとの第3の関係、並びに、両製品の硬さの差と第2製品の損傷率との第5の関係を用いて、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を予測することができる。すなわち、第3の関係を用いて、クリープ余寿命を予測する製品の硬さから、製品間の硬さの差を求め、第5の関係を用いて、得られた硬さの差から、対応する製品の損傷率を求めることによって、クリープ余寿命を予測する製品の損傷率を求めることができる。

[0035] また、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法に用いる検量線の作成方法は、このようにして求めた、第1製品及び第2製品間の硬さの差と第2製品の硬さとの第3の関係、並びに、両製品の硬さの差と第2製品の損傷率との第5の関係を用いて、第3の関係を表す検量線、及び、第5の関係を表す検量線を作成することができる。

[0036] 以下、ボイラの配管として使用されることにより加熱及び加圧された、ベイナイト組織を有する製品を予測対象とする場合を例にして、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法を用いて、クリープ余寿命を予測する方法を説明する。

まず、このボイラの配管の硬さを測定する。次に、「第1製品及び第2製品の硬さの差と、第2製品の硬さとの第3の関係」における第2製品の硬さに、測定された硬さの値を代入することによって、測定値に対応する硬さの差を求める。「両製品の硬さの差と、第2製品の損傷率との第5の関係」における両製品の硬さの差に、測定値に対応する硬さの差の値を代入することによって、測定値に対応する損傷率を求めることができる。求めた損傷率から、予測対象であるボイラの配管の余寿命を、予測することができる。

[0037] 本発明に係るクリープ余寿命の予測方法は、「第1製品及び第2製品の硬さの差と、第2製品の硬さとの第3の関係」、並びに、「両製品の硬さの差と、第2製品の損傷率との第5の関係」に基づいて、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を予測する。基づく両関係のいずれにも、温度及び圧力のパラメータが用いられていないことから明らかなように、本発明に係るクリープ余寿命の予測方法は、第1製品及び第2製品に加えられた温度及び圧力とは異なる温度及び圧力の条件下で使用された製品であっても、これらの関係を用いて、クリープ余寿命を精度良く予測することができる。

実施例

[0038] [実施例1]

クロムモリブデン鉄鋼鋼材から作られたベイナイト組織を有する円筒管（外径 ϕ 56.5mm、内径47.5mm、長さ35.0mm）を試料として、熱時効による劣化試験と内圧クリープ試験とを行った。熱時効による劣化試験は、温度が525℃（試験1）または550℃（試験2）の条件下で行い、内圧クリープ試験は、温度が525℃の場合には240MPaの内圧を加え（試験3）、また、温度が550℃の場合には145MPaの内圧を加えて行った（試験4）。なお、試験3における試料の寿命と、試験4における試料の寿命とは、互いに1割以内の誤差であり、ほぼ同じであった。

[0039] 各試験について、損傷率が0.19、0.26、0.50、0.70、0.80および0.90の時に、試料の10箇所についてビッカース硬さを測定し、その平均を求めた。得られた平均硬さとラーソンミラーパラメータとの関係を、図1に示す。なお、ラーソンミラーパラメータLMPは、 $LMP = T(C + \log t_r)$ 、[式中、Tは絶対温度（K）で表した加熱温度であり、 t_r は加熱時間（h）であり、Cは定数20である]、を用いて求めた。

図1が示すように、熱時効による劣化（試験1および2）の測定結果から求めた近似曲線と、内圧クリープによる劣化（試験3および4）の測定結果から求めた近似曲線との間で、同一のLMPに対する硬さに差が生じた。この硬さの差を ΔH として算出し、算出された ΔH と、その ΔH を与える場合

の内圧クリープによる劣化時の硬さとの関係を求めた。結果を図2に示す。図2から明らかなように、 ΔH と内圧クリープによる劣化時の硬さとは、比例関係にあることが示された。

さらに、図2の内圧クリープによる劣化時の硬さを、その硬さを与えた場合の損傷率に変換した結果を図3に示す。図3は、 ΔH と損傷率との関係を示している。図3から明らかなように、 ΔH と損傷率との関係も、比例関係にあることが示された。

[0040] [実施例2]

実施例2では、実施例1で作成した図2及び図3を用いて、ベイナイト組織を有する中空管のクリープ余寿命を予測した。

クロムモリブデン鉄鋼鋼材で作られた配管（STPA22、JIS規格G 3457「配管用アーク溶接炭素鋼鋼管」）を、火力発電所のボイラでできるように、加熱しながらゆっくりと曲げ加工した。加工した配管の曲がり部分の組織を透過型電子顕微鏡（TEM）で検査したところ、ベイナイト組織が生成していた。このようにして加工した配管に対し、550℃の温度下で、145MPaの内圧を加えた。

ある時間経過したところで、配管の曲がり部分のビッカース硬さを測定したところ190HVであった。図2より、190HVの時の ΔH は1.0であると求まり、そして、図3より、 ΔH が1.0の時の損傷率は0.10と求まることから、配管の曲がり部分の損傷率は0.10であると予測することができた。即ち、この配管の曲がり部分の余寿命は、現在までの使用時間の約9倍であると予測することができた。

[0041] なお、本実施例では、図1～図3を作成する場合と、実際に余寿命を予測する際とで、同じ温度及び圧力を適用したが、図2及び図3において温度及び圧力のパラメータが用いられていないことから明らかなように、異なる温度及び圧力の条件下で使用された配管であっても、同一材料で構成されてさえいれば、図2及び図3を用いて、その余寿命を予測することができる。

[0042] [実施例3]

実施例 1 において、損傷率が 0 の時、試験 2 で損傷率が約 0.5 及び約 0.9 の時、並びに、試験 4 で損傷率が約 0.5 の時に、TEM による試料の組織検査を行った。具体的には、各試料について 2 箇所を、結晶粒内を中心として、10000 倍及び 40000 万倍の倍率で組織検査した。

損傷率が 0 の時の結果を図 4 に、試験 2 における損傷率が 0.5 の時の結果を図 5 に、試験 2 における損傷率が 0.9 の時に結果を図 6 に、そして、試験 4 における損傷率が 0.5 の時の結果を図 7 に示す。

[0043] 図 4 が示すように、損傷率が 0 の時は、結晶粒内に黒線として見える転位が数多く入っており、試料全体が堅固であることが分かる。これに対し、図 5 及び図 6 が示すように、熱時効により劣化した試料は、加熱時間が多くなるに従って、転位が減少していき、試料が柔らかくなったことが分かる。さらに、図 5 及び図 7 が示すように、損傷率は約 0.5 でほぼ同じであるが、熱時効により劣化した試料と内圧クリープにより劣化した試料とを比較すると、内圧クリープにより劣化した試料の方が転位が少なく、組織がより柔らかくなったことが分かる。

このように、熱時効により劣化した試料と内圧クリープにより劣化した試料との間では、同一の材料からできた試料を、同一の損傷率で比較した場合であっても、両者の固さには差があることが、組織検査によっても示された。

請求の範囲

[請求項1] ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法に用いる検量線の作成方法であって、

 ベイナイト組織を有し加熱により劣化した第1製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの第1の関係を求める工程と、

 ベイナイト組織を有し加熱及び加圧により劣化した第2製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第2の関係を求める工程と、

 第1の関係と第2の関係をを用いて、所定のラーソンミラーパラメータにおける、第1製品の硬さと第2製品の硬さとの差を求めることによって、第2製品の硬さと前記差との第3の関係を表す検量線を作成する工程と、

 第2の製品の硬さと損傷率との間の第4の関係を求める工程と、

 第3の関係と第4の関係をを用いて、前記差と、第2製品の損傷率との第5の関係を表す検量線を作成する工程と、を含む方法。

[請求項2] ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法であって、請求項1に記載の作成方法によって作成された検量線を用いることを特徴とする、クリープ余寿命の予測方法。

[請求項3] ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命の予測方法であって、

 ベイナイト組織を有し加熱により劣化した第1製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの第1の関係を求める工程と、

 ベイナイト組織を有し加熱及び加圧により劣化した第2製品の、硬さとラーソンミラーパラメータとの間の第2の関係を求める工程と、

 第1の関係と第2の関係をを用いて、所定のラーソンミラーパラメータにおける、第1製品の硬さと第2製品の硬さとの差を求めることによって、第2製品の硬さと前記差との第3の関係を求める工程と

、

第2の製品の硬さと損傷率との間の第4の関係を求める工程と、
第3の関係と第4の関係をを用いて、前記差と、第2製品の損傷率との第5の関係を求める工程と、

第3の関係をを用いて、クリープ余寿命を予測する製品の硬さから、対応する前記差を得る工程と、

第5の関係をを用いて、前記得られた差から、対応する当該製品の損傷率を求める工程とを含む、クリープ余寿命の予測方法。

[請求項4] 前記クリープ余寿命を予測する製品の硬さに対応する差を求めるために、第3の関係のうち、実質的に比例関係である硬さの範囲を用いることを特徴とする、請求項2に記載のクリープ余寿命の予測方法。

[請求項5] 前記クリープ余寿命を予測する製品の損傷率を求めるために、第5の関係のうち、実質的に比例関係である差の範囲を用いることを特徴とする、請求項3または4に記載のクリープ余寿命の予測方法。

[請求項6] 前記クリープ余寿命を予測する製品、第1製品及び第2製品が、中空管であることを特徴とする、請求項3～5のいずれか1項に記載のクリープ余寿命の予測方法。

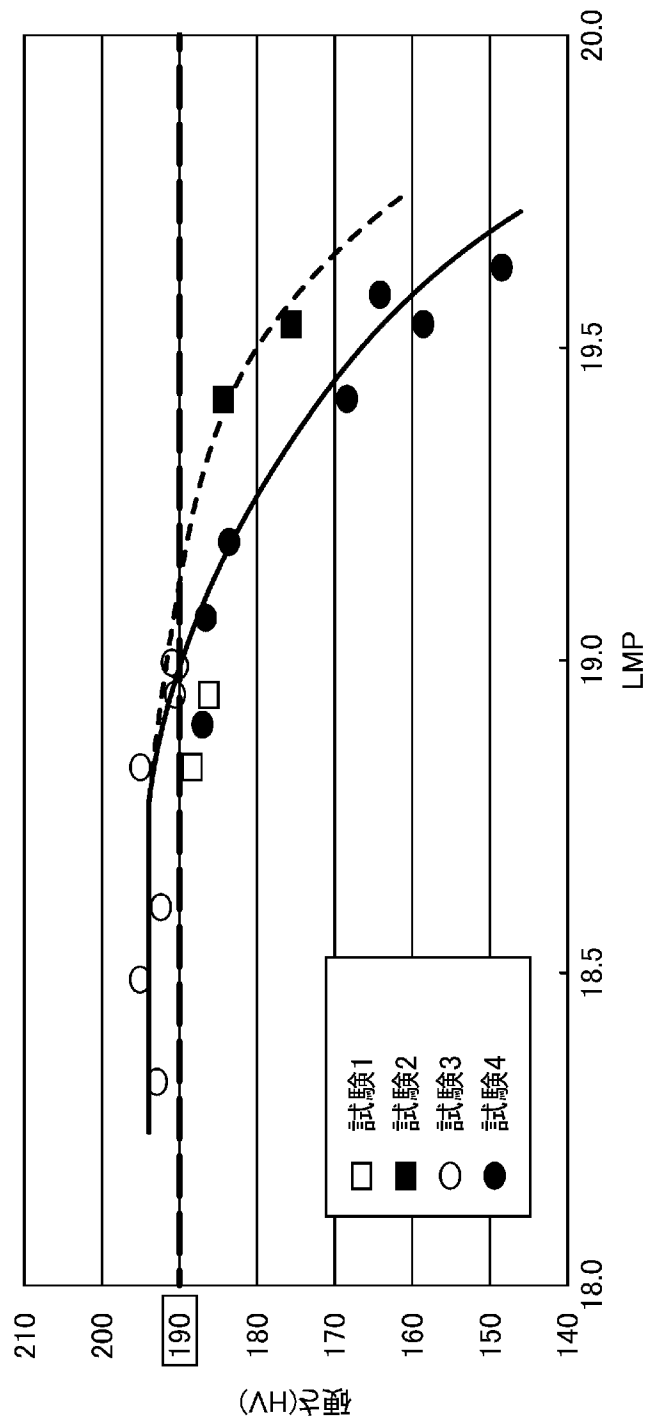
[請求項7] 前記クリープ余寿命を予測する製品が曲がり部分を有するボイラ用配管であることを特徴とする、請求項5に記載のクリープ余寿命の予測方法。

[請求項8] 前記加圧が内圧を加えることにより行われることを特徴とする、請求項6または7に記載のクリープ余寿命の予測方法。

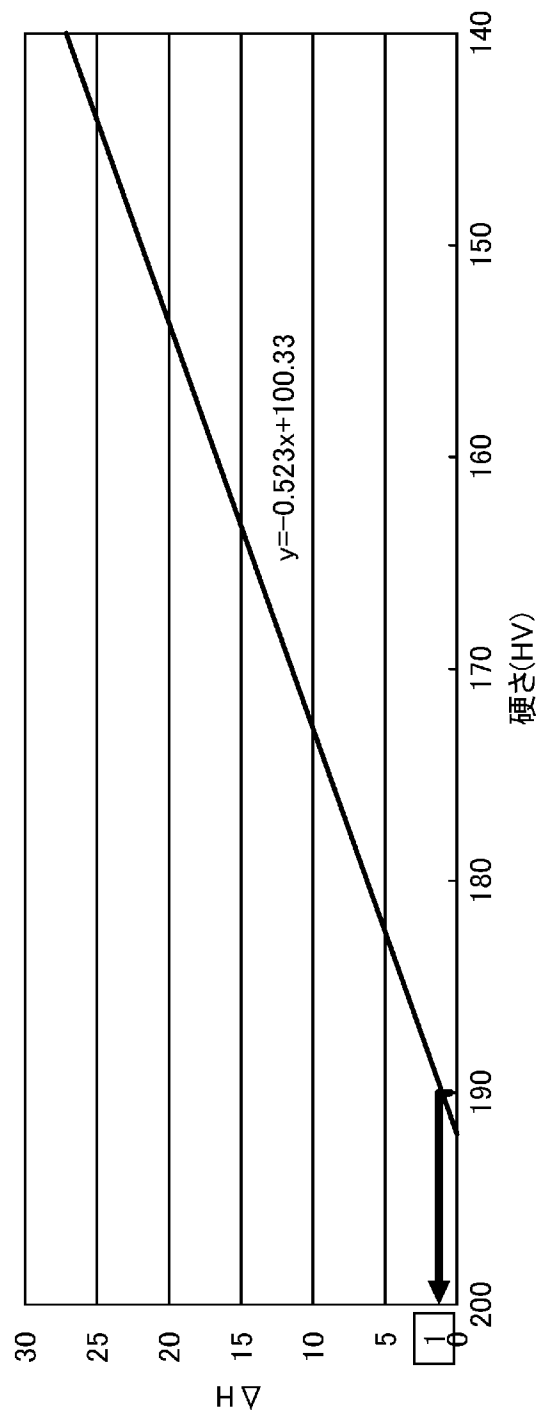
[請求項9] 前記硬さがビッカース硬さであることを特徴とする、請求項3～8のいずれか1項に記載のクリープ余寿命の予測方法。

[請求項10] 第1製品に加えられた温度と、第2製品に加えられた温度とが、同じであることを特徴とする、請求項3～9のいずれか1項に記載のクリープ余寿命の予測方法。

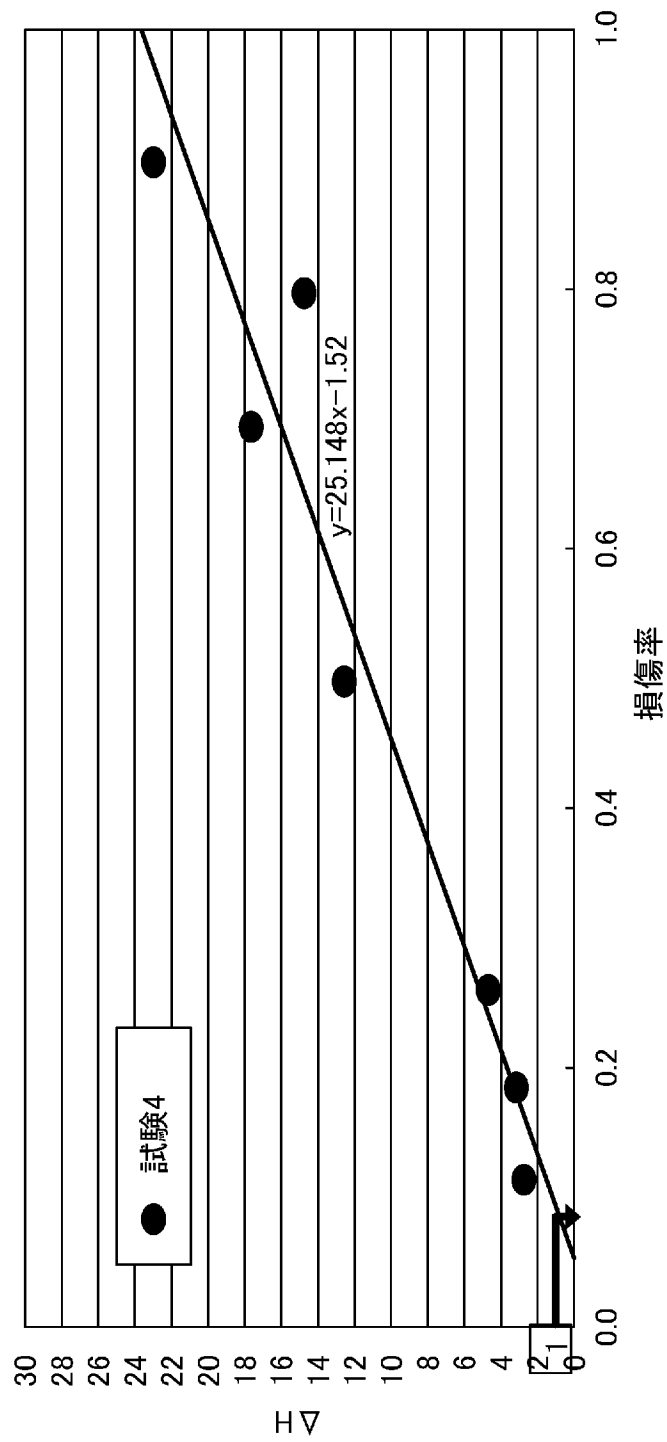
[図1]



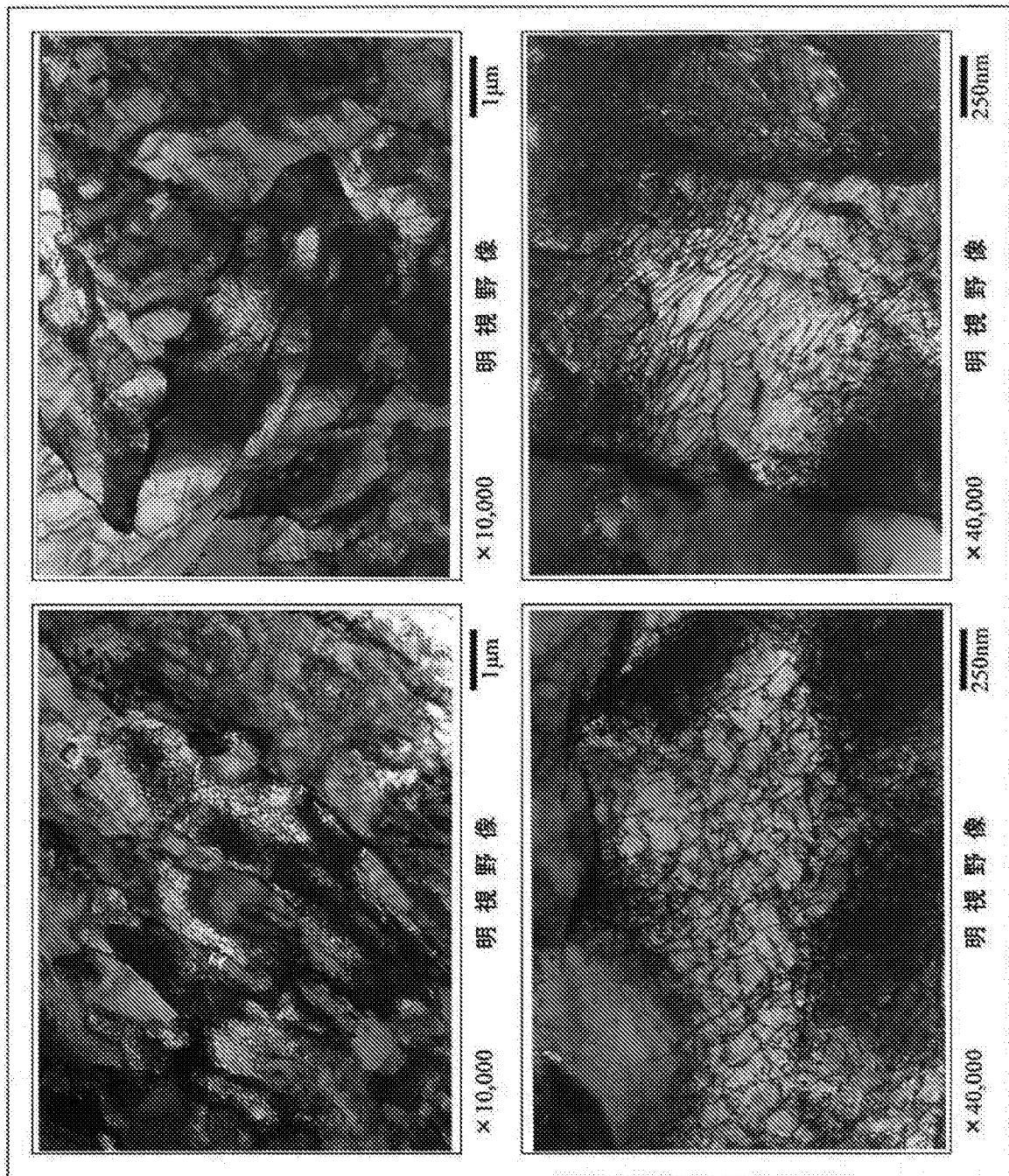
[図2]



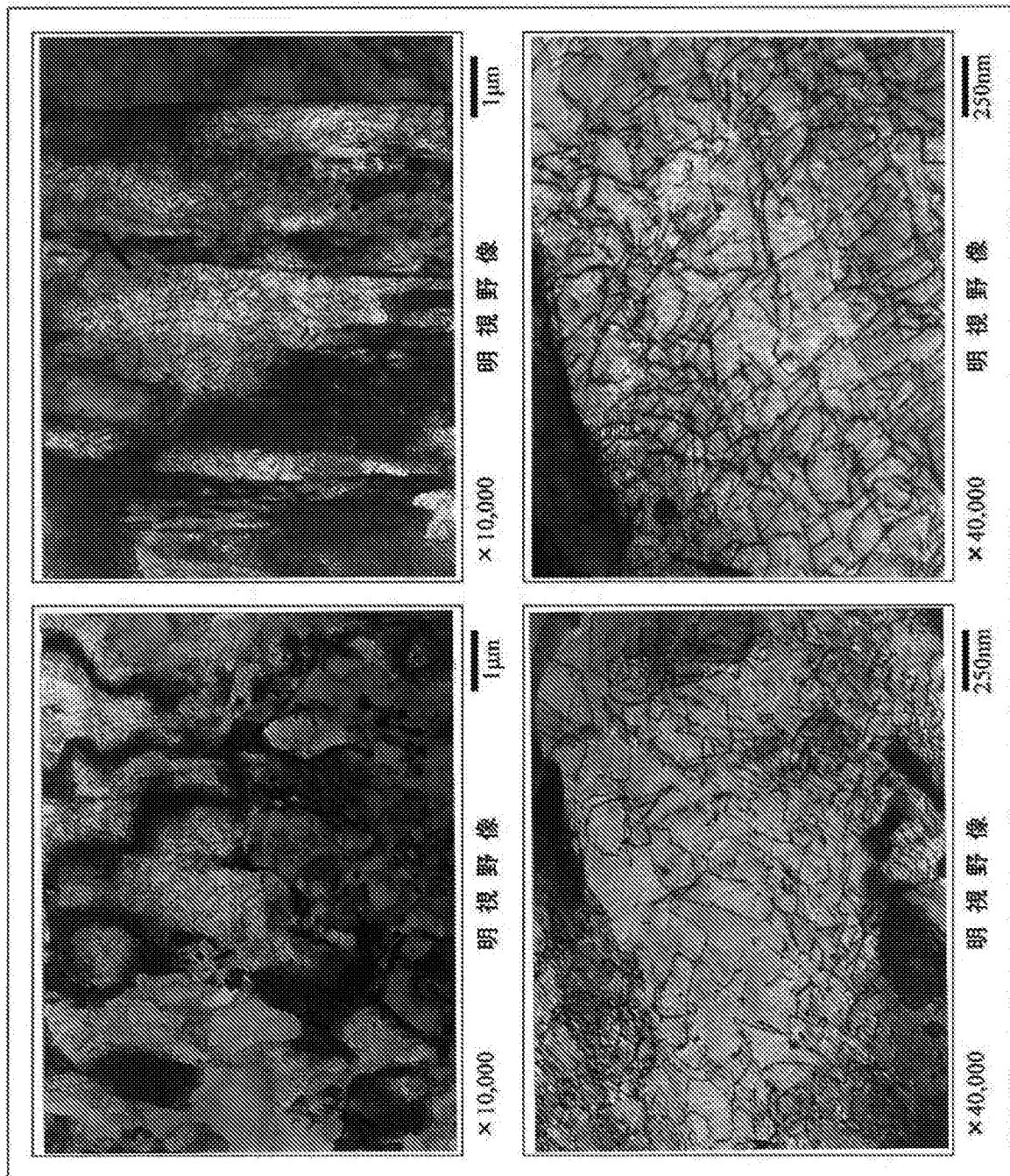
[図3]



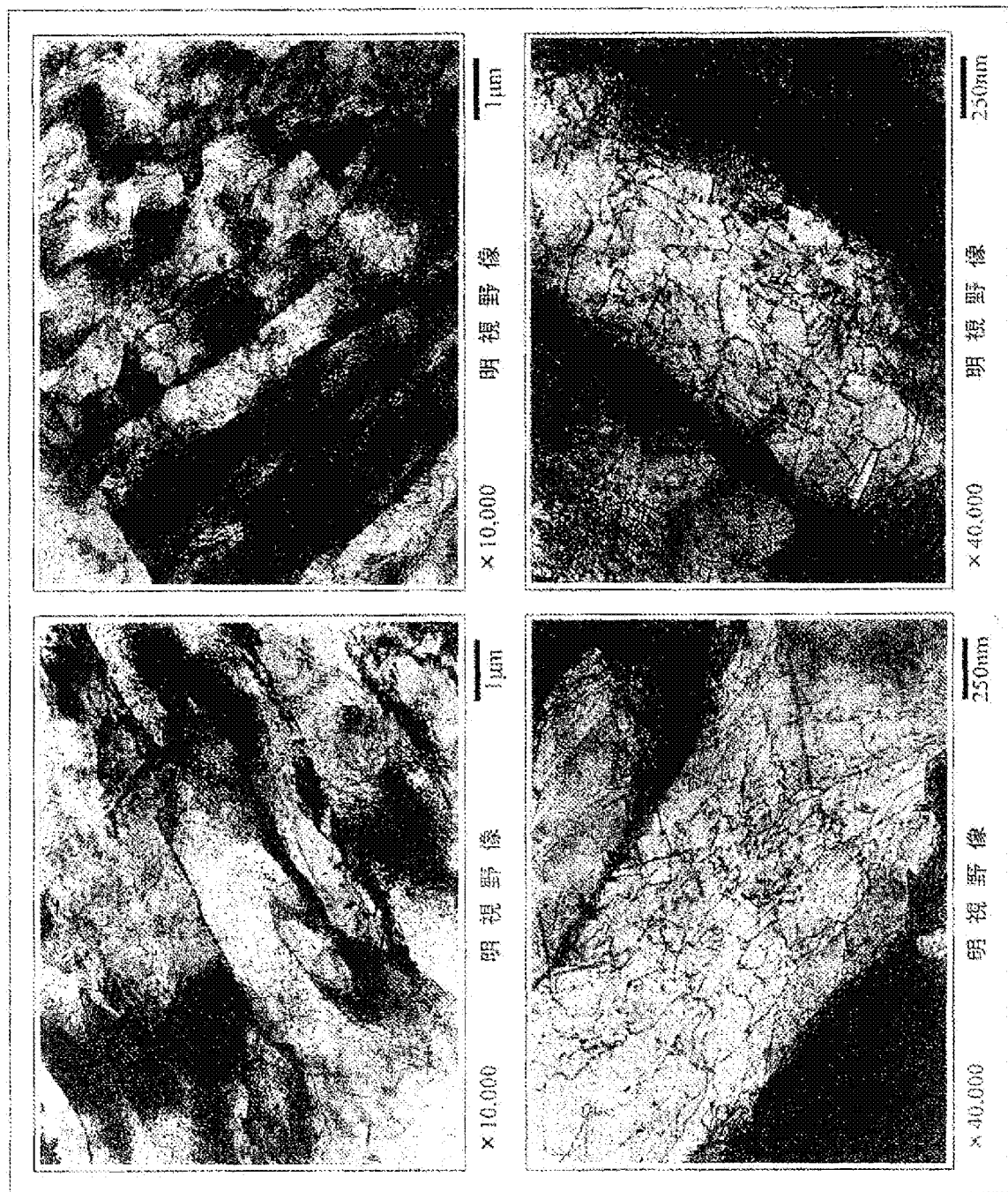
[図4]



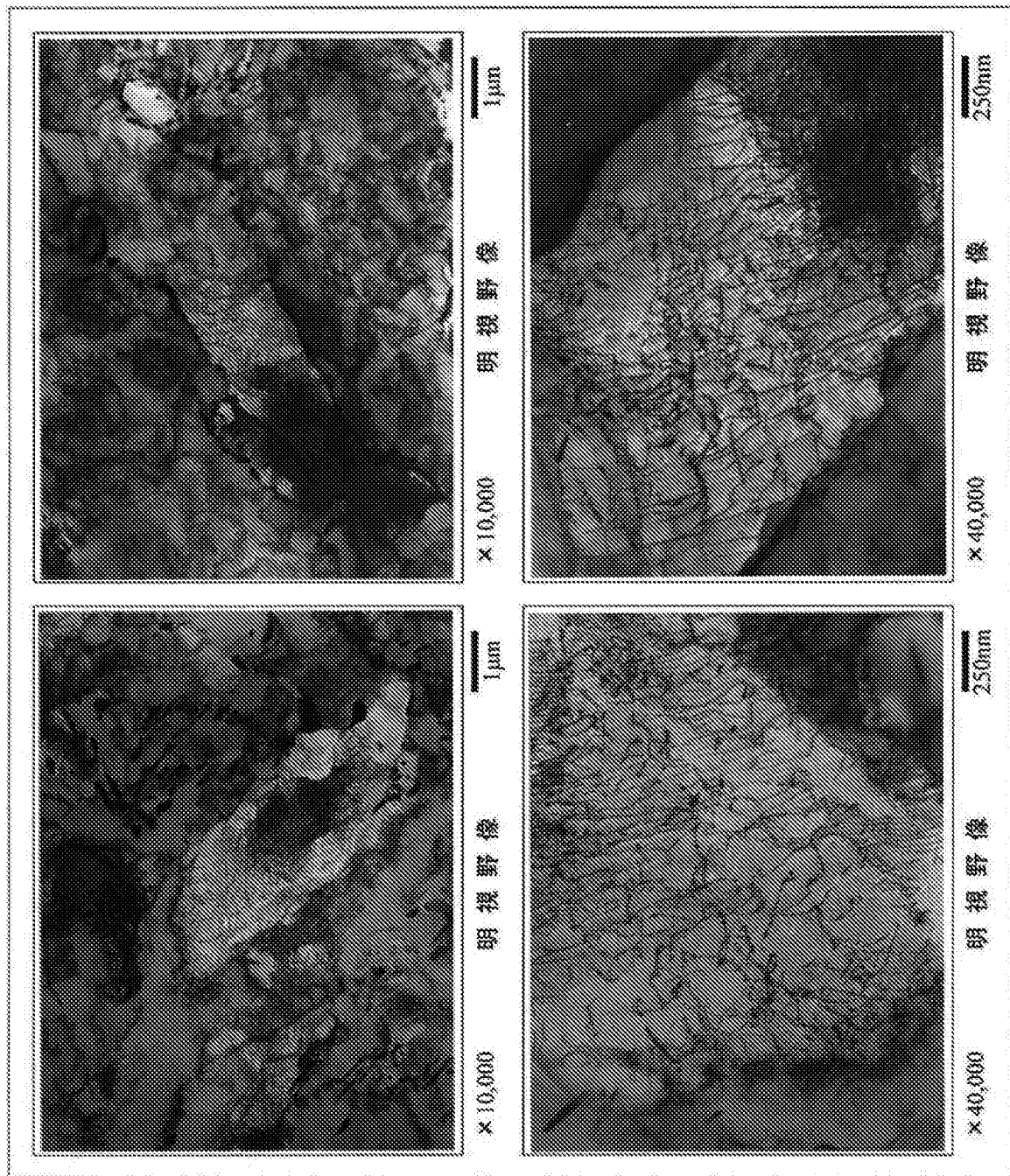
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/058372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N17/00 (2006.01) i, G01N3/32 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N17/00, G01N19/00-19/10, G01N3/00-3/62, G01N33/00-33/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 4-240552 A (Nippon Steel Corp.), 27 August 1992 (27.08.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 9-257788 A (The Japan Steel Works, Ltd.), 03 October 1997 (03.10.1997), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2001-305067 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 31 October 2001 (31.10.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 April, 2013 (03.04.13)

Date of mailing of the international search report

16 April, 2013 (16.04.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N17/00(2006.01)i, G01N3/32(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N17/00, G01N19/00-19/10, G01N3/00-3/62, G01N33/00-33/46

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 4-240552 A (新日本製鐵株式会社) 1992. 08. 27, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 9-257788 A (株式会社日本製鋼所) 1997. 10. 03, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2001-305067 A (三菱重工業株式会社) 2001. 10. 31, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-10

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 6 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

阿部 知

2 J

4 6 3 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2