

(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
2023年5月4日(04.05.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/073751 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 17/00 (2006.01) G01N 27/26 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/039232
- (22) 国際出願日: 2021年10月25日(25.10.2021)
- (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: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大木 翔太 (OKI, Shota); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 峯田 真悟 (MINETA, Shingo); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産

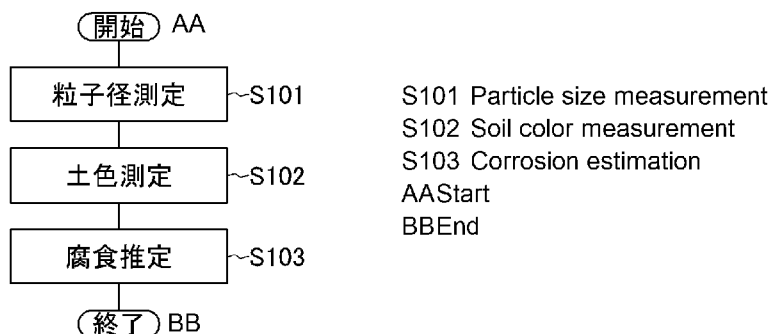
センタ内 Tokyo (JP). 水沼 守 (MIZUNUMA, Mamoru); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 津田 昌幸 (TSUDA, Masayuki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山川 茂樹, 外 (YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー4階 山川国際特許事務所内 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: CORROSION ESTIMATION METHOD AND DEVICE

(54) 発明の名称: 腐食推定方法および装置



(57) Abstract: In Step S101, the particle size of soil is measured (particle size measurement step). In Step S102, a color measurement value related to the color of the soil is measured (color measurement step). In Step S103, corrosion of steel buried in the soil is estimated from the particle size and the color measurement value that have been measured (estimation step). In the measuring the color measurement value, a color value is measured as the color measurement value. In the estimating corrosion, a corrosion rate is determined from the measured particle size, a corrosion rate multiplier is determined from the measured color measurement value, the corrosion rate is multiplied by the corrosion rate multiplier to obtain a corrected corrosion rate, and the corrosion of the steel is estimated using the corrected corrosion rate obtained.

(57) 要約: ステップ S 1 0 1 で、土壌の粒子径を測定し (粒径測定ステップ)、ステップ S 1 0 2 で、土壌の色に関する色測定値を測定し (色測定ステップ)、ステップ S 1 0 3 で、測定された粒子径および色測定値から、土壌に埋設される鋼材の腐食を推定する (推定ステップ)。色測定値の測定では、色測定値として色値を測定する。腐食の推定では、測定された粒子径から腐食速度を求め、測定された色測定値から腐食速度倍率を求め、腐食速度に腐食速度倍率を乗じて補正腐食速度を求め、求めた補正腐食速度により鋼材の腐食を推定する。

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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：腐食推定方法および装置

技術分野

[0001] 本発明は、土中に埋設されている構造体の腐食を推定する腐食推定方法および装置に関する。

背景技術

[0002] 老朽化したインフラ設備の故障を防ぐため、従来、定期点検による保守運用が実施されてきた。しかしながら、設備の設置場所によっては目視点検が困難であり、さらに、代替となる他の適切な点検手段が確立されていない場合も多い。このため、これら点検が困難あるいは不可能な設備については、ある一定の年数が経過したものを一律に更新する運用、すなわちタイムベースメンテナンスの形態を取らざるを得ない現状にある。

[0003] 目視点検が困難な設備の安全性および効率性を両立するため、設備の劣化状態を予測・推定することでコンディションベースメンテナンスを実現する技術の研究開発が、近年盛んに実施されている。コンディションベースメンテナンスが実現できれば、劣化進行の速い対象を見逃すことなく更新することで安全性が担保され、劣化進行の遅い対象はより長く使用することでコスト面の効率化が期待される。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Y. Wan et al., "Corrosion Behaviors of Q235 Steel in Indoor Soil", International Journal of Electrochemical Science, vol. 8, pp. 12531-12542, 2013.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 目視点検が困難な設備の代表として、地中設備が挙げられる。地中に埋設された金属材料の劣化主要因である土壌腐食を予測するためには、支配的な

環境因子の抽出、およびその影響度を把握する必要がある。土壌腐食は、水溶液腐食と同様に、水と酸素による酸化還元反応に基づき進行することが知られている。しかしながら、水溶液腐食とは異なり、土壌は、固相・気相・液相の三相が共存する特殊環境であり、土壌腐食の進展に関連する環境因子は複数存在するため、土壌腐食は特に複雑な系であると言われている（非特許文献1）。このように、地中埋設された金属材料の腐食を推定することが、容易ではないという問題があった。

[0006] 本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、地中埋設された金属材料の腐食が、容易に推定できるようにすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明に係る腐食推定方法は、土壌の粒子径を測定する粒径測定ステップと、土壌の色に関する色測定値を測定する色測定ステップと、粒子径および色測定値から、土壌に埋設される鋼材の腐食を推定する推定ステップとを備える。

[0008] また、本発明に係る腐食推定装置は、土壌の粒子径を測定する粒径測定器と、土壌の色に関する色測定値を測定する色測定器と、粒子径および色測定値から、土壌に埋設される鋼材の腐食を推定する推定回路とを備える。

発明の効果

[0009] 以上説明したように、本発明によれば、測定した粒子径および色測定値から、土壌に埋設される鋼材の腐食を推定するので、地中埋設された金属材料の腐食が、容易に推定できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、本発明の実施の形態に係る腐食推定方法を説明するフローチャートである。

[図2]図2は、本発明の実施の形態に係る腐食推定装置の構成を示す構成図である。

[図3]図3は、本発明の実施の形態に係る腐食推定装置の一部構成を示す構成

図である。

[図4]図4は、本発明の実施の形態に係る腐食推定装置の一部構成を示す構成図である。

[図5]図5は、土壌の粒径から推定した腐食速度の時間変化を示す特性図である。

[図6]図6は、C I E L A BのL*値と腐食速度倍率の関係を示す特性図である。

[図7]図7は、C I E L A Bのa*値と腐食速度倍率の関係を示す特性図である。

[図8]図8は、C I E L A Bのb*値と腐食速度倍率の関係を示す特性図である。

[図9]図9は、土壌の粒径と色とから推定した腐食速度の時間変化を示す特性図である。

[図10]図10は、本発明の実施の形態に係る腐食推定方法をより詳細に説明するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明の実施の形態に係る腐食推定方法について図1を参照して説明する。この方法は、まず、ステップS101で、土壌の粒子径を測定する（粒径測定ステップ）。粒子径を測定は、例えば、J I S A 1204 : 2009「土の粒度試験方法」を用いることができる。また、J I S Z 8825 : 2013「粒子径解析ーレーザー回折・散乱法」に準拠した方法を用いることができる。

[0012] 次に、ステップS102で、土壌の色に関する色測定値を測定する（色測定ステップ）。色測定値の測定では、色測定値として色値を測定することができる。色測定値の測定では、例えば、標準土色をマンセル系統分類方式で土色を配列した標準土色帖を用いることができる。また、色測定値の測定は、分光測色計を用いることができる。

[0013] 次に、ステップS103で、測定された粒子径および色測定値から、土壌

に埋設される鋼材の腐食を推定する（推定ステップ）。腐食の推定では、測定された粒子径から腐食速度を求め、測定された色測定値から腐食速度倍率を求め、腐食速度に腐食速度倍率を乗じて補正腐食速度を求め、求めた補正腐食速度により鋼材の腐食を推定する。

[0014] 次に、上述した腐食推定方法を実施するための腐食推定装置について、図2を参照して説明する。この腐食推定装置は、土壌の粒子径を測定する粒径測定器101と、土壌の色に関する色測定値を測定する色測定器102と、測定された粒子径および測定された色測定値から、土壌に埋設される鋼材の腐食を推定する推定回路103とを備える。色測定器102は、例えば、色測定値として色値を測定する。

[0015] 推定回路103は、粒子径から腐食速度を求め、色測定値から腐食速度倍率を求め、腐食速度に腐食速度倍率を乗じて補正腐食速度を求め、求めた補正腐食速度により鋼材の腐食を推定する。推定回路103は、CPU（Central Processing Unit；中央演算処理装置）、メモリなどを備えたコンピュータ機器である。メモリに展開されたプログラムによりCPUが動作する（プログラムを実行する）ことで、上述した機能（推定ステップ）が実現される。また、推定回路103は、FPGA（field-programmable gate array）などのプログラマブルロジックデバイス（PLD：Programmable Logic Device）により構成することも可能である。推定ステップの動作を実現するためのプログラムは、所定の書き込み装置を接続してFPGAに書き込むことができる。

[0016] 前述したように、土壌腐食は複雑な系であるため、土壌環境に特有である固相から腐食に関連する支配因子を、如何にして抽出して分析するかが、土壌腐食を推定するための鍵である。

[0017] 重要な固相の情報の一つとして、まず土壌粒子径が挙げられる。土壌は、粒子径の大小および粒子径分布の違いによって粒子間隙の構造や粒子の充填率が変わり、土壌表層からの酸素の供給し易さや、毛細管現象によって捕捉された水による金属表面の濡れ面積に大きく影響する。土壌粒子径は、土壌

腐食にとって腐食発生の有無を支配する液相と気相の情報を推測するために最も有効な環境因子である。

[0018] 上述したように、土壌の粒子径により土壌腐食発生の有無に関わる情報を得ることができるが、土壌の粒子径のみでは、土壌腐食を推定するには不十分である。設備が設置されている場所の温度や湿度などの気候条件が同様であったとしても、例えば、沿岸部や温泉地では、一般的に腐食進行速度が速いと言われている。従って、腐食発生条件を満たしたうえで、腐食進行を加速する環境中の化学成分の有無を考慮する必要がある。

[0019] 土壌中の化学成分を推定するうえで最も重要となるのは、土壌の色（土色）である。例えば、農耕地土壌分類基準で分類される「土壌群」は、農業を実施するうえで重要となる土壌の化学成分に基づき土の色で分類している。例えば、黒ボク土は名の通り黒色であり、腐植に由来する有機酸を含む。また、褐色土、黄色土、赤土は、土壌中の酸化鉄の割合で分類されており、青色を呈するグライ土も還元鉄に由来している。これらのことより、土の色に基づいて、土壌中の化学成分から腐食の加速度を推定することが可能である。

[0020] 土壌に埋設された金属材料の表面近傍の固相および液相の情報から腐食発生有無を推定する因子として土壌の粒子径を測定し、腐食発生条件下で腐食を加速する化学成分を推定する因子として土の色を測定し、これらの測定された2の因子から、地中埋設された金属材料の腐食量を推定することが可能となる。

[0021] 次に、腐食推定装置について、より詳細に説明する。まず、粒径測定器101について、図3を参照して説明する。粒径測定器101は、第1収容容器111、乾燥機112、攪拌機113、粒子径計測部114、および粒子径算出回路115を備える。粒径測定器101では、土壌の粒子径を測定する試験を実施する。

[0022] 粒径測定器101においては、まず、腐食量を推定したい鋼材が埋設されている土壌を第1収容容器111に収容する。第1収容容器111に収容す

べき土壌の量は、後述する粒子径測定方法によって異なるが、最大量500 mL程度とすることができる。第1収容容器111は、測定に必要な量の土壌を収容可能な大きさであれば形状は限定されない。

[0023] 第1収容容器111を構成する材質は使用者が任意に決定することができる。しかしながら、第1収容容器111が金属材料から構成されている場合、湿潤土壌を収容すると、金属によっては湿潤土壌と腐食反応が発生して容器が劣化し、さらに、腐食生成物が湿潤土壌に混入し、後述の土色測定に影響する可能性がある。従って、第1収容容器111を構成する材料選定においては、金属材料は避けることが好ましい。

[0024] また、第1収容容器111内の土壌の乾燥機112による乾燥を、加熱により実施する場合、熱に弱い材料は避けた方が好ましい。例えば、第1収容容器111は、耐熱性高分子樹脂、ガラスなどから構成することが可能である。

[0025] 第1収容容器111に格納した土壌が湿潤状態であった場合、粒子間隙中に補足された水の毛細管現象によって土粒子塊が形成されていることがある。土粒子塊の存在下で粒子径測定を実施すると、本来の粒子径と比べて大きい粒子の割合が多く検出され、真の粒子径を得ることが困難となる。これを防ぐため、土粒子塊の原因である粒子間隙中の水を除去が重要であり、乾燥機112より第1収容容器111内の土壌の乾燥を実施する。

[0026] 乾燥機112は、例えば、熱を加えて第1収容容器111の温度を上昇させることで、収容している土壌を乾燥させる。また、乾燥機112は、第1収容容器111内を減圧し真空乾燥させることができる。ここで、熱を加える場合、使用者が設定する温度まで第1収容容器111が耐え得る材質を選定しなければならない。

[0027] また、第1収容容器111に収容している土壌が腐植を含み黒色を呈している場合、有機物由来の化学成分が熱で変性し、黒色土壌が本来有する性質を失うだけでなく、色測定器102で得られる結果にも影響する恐れが生じる。従って、第1収容容器111内の温度上昇は上限50℃までにとどめる

ことが好ましい。

[0028] また、減圧により第1收容容器111に收容している土壌を乾燥する場合、第1收容容器111が、減圧に耐え得る材料から構成されていることが重要となる。例えば、減圧により土壌を乾燥する場合、第1收容容器111は、ガラスから構成されていることが好ましい。

[0029] 乾燥機112における乾操作業は、第1收容容器111に收容している土壌の含水率が0%に到達した時点で終了する。例えば、第1收容容器111に土壌含水率センサーを設置することで第1收容容器111の土壌含水率を検知することが可能である。乾燥機112は、第1收容容器111内の土壌含水率を0%にすることが可能な方法を実現する機構であれば、上述した乾燥方法に限定されない。

[0030] 攪拌機113は、乾燥機112の乾燥により土壌含水率が0%になった第1收容容器111内の土壌に対し、土粒子塊を解すため攪拌作業を実施する。攪拌機113は、土粒子塊をすべて解消できる機構であれば、限定されるものではない。例えば、二本の棒状の攪拌子を円形にかき回す機構から構成することができる。また、食品工場などで採用される自動攪拌機と同様の機構を採用することができる。

[0031] 粒子径計測部114は、乾燥機112および攪拌機113による土壌の前処理を実施した第1收容容器111内の土壌に対して、粒子径測定を実施する。粒子径を測定する方法として、JIS A 1204:2009「土の粒度試験方法」を用いることができる。また、粒子径の測定は、JIS Z 8825:2013「粒子径解析—レーザー回折・散乱法」に準拠して実施することができる。

[0032] 例えば、土の粒度試験方法を実施する場合、JIS Z 8801-1に規定する金属製網ふるいを用い、目開き75mm、53mm、37.5mm、26.5mm、19mm、9.5mm、4.75mm、2mm、850 μ m、425 μ m、250 μ m、106 μ m、および75 μ mのものを用意する。金属製網ふるいに土壌を投入しふるいがけを実施し、各ふるい上に残置さ

れた土粒子の割合から粒子径分布を算出する。

[0033] また、 $75\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子径に関しては、浮ひょうを用いた土粒子沈降法を用いて粒子径を算出する。 $75\text{ }\mu\text{m}$ 以上の土粒子に対するふるい法と $75\text{ }\mu\text{m}$ 未満の土粒子に対する沈降法の結果を合わせ、粒子径分布を算出することが可能である。なお、土の粒度試験方法を実施するためには、第1収容容器111に収容する土壌が 500 mL 程度必要である。

[0034] 粒子径測定が可能なもう一つの計測技術として挙げた粒子径解析ーレーザー回折・散乱法は、土粒子にレーザー光を照射し、粒子の大小によって異なる強度の回折・散乱光が生じ、生じた回折・散乱光から形成される光強度分布パターンを分析することで粒子径分布を算出する。

[0035] レーザー回折・散乱法による粒子径測定は、市販の分析機器を用いて実施することができる。なお、粒子径解析ーレーザー回折・散乱法を実施するためには、第1収容容器111に収容する土壌は 50 mL 程度とすることができる。粒子径計測部114の計測に使用した土壌は、そのまま破棄することができる。また、色測定器102にて再利用することもできる。破棄する場合、色測定器102での測定が可能となる量の土壌を追加で準備する必要がある。また、色測定器102にて再利用する場合、追加量の土壌を用意する必要はないが、粒子径計測部114での測定を実施した土壌は湿润状態となるため、乾燥機112での乾操作業、および攪拌機113での土壌塊の除去を再度実施する必要がある。

[0036] 粒子径計測部114で計測した粒子径測定結果は、粒子径算出回路115に送られ、測定結果を基に粒子径分布が導かれる。粒子径算出回路115で求められる粒子径分布は、例えば、横軸に粒子径、縦軸に各粒子径の頻度%や頻度の累積%としたグラフである。

[0037] 次に、色測定器102について、図4を参照して説明する。色測定器102では、土壌の色を測定する試験を実施する。まず、粒径測定器101の第1収容容器111から第2収容容器121へ土壌が移送される。第2収容容器121は、土色測定が可能であれば形状や材質などは特に限定されない。

ただし、土色測定手段として、測定機器を用いる場合、もしくは計測者の目視で確認する場合のどちらを選択したとしても、第1收容容器111の外部から土色判別が可能であることが必須のため、シャーレなどのように容器の上部が大きく開放された形状であるか、もしくは容器全面が透明な材質であることが好ましい。

[0038] 土色計測部122では、第2收容容器121内の土の色を計測し、土色判定回路123では、計測した土の色を判定する。土色計測部122における土色の計測として、例えば、標準土色をマンセル系統分類方式で土色を配列した標準土色帖を用いることができる。また、土色計測部122における土色の計測として、分光測色計を用いることができる。

[0039] 標準土色帖を使用して土色の計測を実施する場合、複数の土壌に対して土色を計測する際に計測誤差を極力減らすため、計測を実施する計測者は常に人に人物であることが好ましい。標準土色帖を使用して土色の計測を実施する計測者は、標準土色帖に記載の色相・明度・彩度の色値を記録することで、計測の実施を完了する。土色計測に標準土色帖を使用する場合、目視で土色を判定するため、第2收容容器121内の土壌は、最低でも20mL程度用意することが好ましい。

[0040] 次に、土色計測部122における土色の計測として、分光測色計を用いる場合について説明する。分光測色計は、光度計の一種であり、色ごとの波長強度を測定することで色に関する情報を得ることができる。土色計測部122として分光測色計を使用する場合、第2收容容器121は計測が可能となる透明な分光セルとする必要がある。

[0041] 前述したように、計測を実施して記憶された色情報は、土色判定回路123へ送られ、何らかの色値として変換される。色値として、例えば国際照明委員会(CIE)が策定した、CIE1976($L^*a^*b^*$)色空間(CIELAB)を使用することができる。CIELABでは、色の明度を表す L^* 、赤色と緑色の位置を表す a^* 、黄色と青色の位置を表す b^* の3つの座標として色値を記述する。 L^* 、 a^* 、 b^* の値を、土色判定回路123で算出して土色測定

結果とすることができる。

- [0042] 次に、推定回路 103 について、詳細に説明する。推定回路 103 では、粒径測定器 101 および色測定器 102 で得た結果に基づき、測定土壤に埋設された鋼材の腐食量を推定する。まず、粒子径算出回路 115 で得た粒子径測定結果（粒子径分布）、および土色判定回路 123 で得た土色測定結果（土色判定結果）は、推定回路 103 のメモリへ送られる。推定回路 103 は、メモリに格納された各測定結果を用いて腐食量推定結果を算出して出力する。粒径測定器 101 における粒子径算出回路 115 で得た粒子径測定結果（粒子径分布）から、土壤腐食による腐食速度に関する情報を取得する。
- [0043] 前述したように、腐食反応の進展は、土壤埋設された金属表面の濡れ面積、および酸素分圧によって決定される。濡れ面積は、粒子間隙に補足された水の毛管力に依存し、これは粒子間隙径、すなわち粒子径分布から求めることができる。
- [0044] また、酸素分圧も同様、粒子間隙が雨等の水で満たされた後、重力水として水が地下深くに浸透して拡散するとともに、表層から酸素が地中へ拡散し金属表面へ酸素が供給される。供給された酸素は、水に溶解し溶存酸素として金属表面まで到達することが可能であるが、溶存酸素の拡散速度は気体酸素の拡散速度と比べ 10^4 倍遅いため、気体として土壤中を拡散する距離が長いほど、腐食反応に必要な酸素が供給され易い。すなわち、気体酸素が拡散可能となる距離を長くするため、土壤中の水が、浸透拡散する速度と連動しており、透水拡散速度も粒子径分布で決まる。
- [0045] これらのことにより、粒子径分布から腐食速度の時間変化に関する情報を得ることができる。腐食速度の時間変化に関する情報の一例として、様々な状態の土壤における粒径を測定した結果から推定した腐食速度の時間変化を図 5 に示す。
- [0046] 図 5 に示すグラフにおいて、横軸の経過時間 0 の時点は、土粒子間隙すべてが水で満たされた湿潤状態であり、時間経過とともに水の透水拡散に伴い土壤の乾燥が進む。乾燥が進むに連れて腐食速度は増加し、ある時点で、最

大腐食速度を迎える。これは、乾燥に伴い金属表面近傍への酸素供給が可能となり、腐食反応の進展に必要な水と酸素の均衡が保たれたためである。また、最大腐食速度を迎えた後、腐食速度は減少している。これは、乾燥がさらに進み腐食反応に必要な酸素は十分量供給されているが、金属表面の濡れ面積が減少したためである。

[0047] 地中埋設された鋼材の腐食速度は図5示すような時間変化挙動を示し、腐食速度が増加するタイミングや最大腐食速度の値は粒子径分布に依存して変化する。従って、粒子径分布と腐食速度の時間変化挙動の関係を予め調べておき、この結果を推定回路103のメモリに格納し、粒径測定器101で得られた結果と照らし合わせることで、腐食速度の時間変化挙動を容易に求めること（取り出すこと）ができる。

[0048] なお、腐食速度は、電気化学的な測定方法を用いて定量的に測定することが可能である。電気化学的測定方法による測定を湿潤土壌が乾燥するに至るまで繰り返し実施し、各粒子径分布に応じて、図5のグラフを予め求めておくことができる。また、腐食速度の時間変化挙動を取得する手間を省きたいと希望する場合、最大腐食速度のみを推定回路103のメモリに記憶しておくだけとすることもできる。

[0049] 続いて、推定回路103は、色測定器102で得た結果から腐食速度倍率を算出する。図6は、CIE L A Bの L^* 値と腐食速度倍率の関係を表すグラフ例である。CIE L A Bの L^* 値は色の明度を表しており、 $L^*=0$ は黒、 $L^*=100$ は白の拡散色を示す。従って、 $L^*=0$ に近いほど土壌内には腐植に由来する有機酸を多く含むことになる。

[0050] 酸は腐食を加速する要因であるため、 L^* の値によって腐食速度倍率を決定し、図5の腐食速度値に腐食速度倍率を掛ける（乗じる）ことで、各土壌における真の腐食速度を得ることができる。なお、 L^* と腐食速度倍率の関係性として、 L^* が0に近いほど倍率を高く設定するグラフを設定することができ、また、予め L^* と腐食速度倍率の関係性を調べておくことができる。

[0051] 図7は、CIE L A Bの a^* 値と腐食速度倍率の関係を表すグラフ例である

。a*値は赤と緑の位置を示しており、a*値が負で緑色、a*値が正で赤色を呈することを表す。赤色を示す土壌中には、酸化鉄が多く含まれている。腐食生成物として生じる酸化鉄が環境中に多い場合、化学平衡論の観点から腐食反応は遅くなり、腐食速度倍率は低くなることが考えられる。従って、a*値が正の値を取る場合に腐食速度倍率が低くなるように図7を設定することができ、また、予めa*値と腐食速度倍率の関係性を調べておくことができる。

[0052] 図8は、C I E L A Bのb*値と腐食速度倍率の関係を表すグラフ例である。b*値は黄色と青色の位置を示しており、b*値が負で青色、b*値が正で黄色を呈することを表す。青色を示す土壌中には還元鉄が多く含まれており、腐食反応の進行に必要な電子の受け取り手が豊富であることから、腐食速度が顕著に速くなる特徴を有する。従って、b*値が負の値を取る場合に腐食速度倍率が高くなるように図8を設定することができ、また、予めb*値と腐食速度倍率の関係性を調べておくことができる。

[0053] 推定回路103は、粒径測定器101で得た結果から取得した腐食速度の時間変化、もしくは最大腐食速度に、色測定器102で得た結果から取得した腐食速度倍率を掛け合わせ、補正腐食速度を算出する。この算出により、腐食速度に関するすべての情報取得が完了する。続いて、推定回路103は、腐食速度の情報から腐食量の推定計算を実施する。

[0054] 粒径測定器101で得た結果から腐食速度の時間変化を抽出した場合、これは雨が降ってから次の雨が降るまでの腐食速度の時間変化を示すことから、抽出した時間変化を積分することで1回の雨で進展する腐食量を計算することが可能である。従って、使用した土壌が埋設されていた地域の降雨情報を取得し、雨の回数分だけ、1回の雨で進展する腐食量を足し合わせ、1年で進展する腐食量Rを求めておく。

[0055] また、粒径測定器101で最大腐食速度を抽出した場合、最大腐食速度から1年で進展する腐食量Rを同様に求めておく。求められている腐食量Rから、腐食進展を予測する経験モデルとして知られるべき乗則「 $D = R T^n \cdots (1)$ 」を使用しても良い。Dは腐食量[mm]、Tは埋設金属材料の経

年 [year]、 n は材料の腐食性評価値を示す。ただし、 n の値については経験的に 0.4 ~ 0.6 と言われているため、この中間値である 0.5 を採用することができる。腐食量の推定を希望する埋設金属材料が埋められてから何年経過したか記述する経年値を式 (1) の T に導入することで、埋設金属材料の腐食量を推定することが可能である。

[0056] 図 9 は、図 5、図 6、図 7、図 8 の結果から推定された腐食量と経過年を表すグラフ例であり、腐食進展を予測する経験モデルである式 (1) を模式的に表すグラフ例である。

[0057] 以下、より詳細な腐食推定方法について、図 10 のフローチャートを用いて説明する。まず、ステップ S201 で、腐食推定装置に土壌を導入し、粒径測定器 101 における第 1 収容容器 111 に土壌を収容する。次に、ステップ S202 で、第 1 収容容器 111 に収容した土壌に対して、乾燥機 112 を動作させ、土壌の乾燥処理を実施する。次に、ステップ S203 で、乾燥処理を実施した土壌に対して、攪拌機 113 を動作させて、土壌塊を除去するための攪拌処理を実施する。

[0058] 次に、ステップ S204 で、粒子径計測部 114 を動作させて粒子径測定を実施する。次に、ステップ S205 で、測定された粒子径を基に、粒子径算出回路 115 により、粒子径分布を求める。次に、ステップ S206 で、土色計測部 122 により、第 2 収容容器 121 内の土の色を計測する。次に、ステップ S207 で、土色判定回路 123 により、計測した土の色を判定する。

[0059] 次に、ステップ S208 で、推定回路 103 において、粒径測定器 101 で得た結果に基づき、測定土壌に埋設された鋼材の腐食速度を算出する。次に、ステップ S209 で、推定回路 103 は、色測定器 102 で得た結果から腐食速度倍率を算出する。次に、ステップ S210 で、推定回路 103 は、腐食速度値に腐食速度倍率を掛けて腐食速度（補正腐食速度）を求める。この後、ステップ S211 で、推定回路 103 は、求めた腐食速度から、地中埋設された金属材料の腐食（腐食曲線）を推定する。

[0060] 以上に説明したように、本発明によれば、測定した粒子径および色測定値から、土壌に埋設される鋼材の腐食を推定するので、地中埋設された金属材料の腐食が、容易に推定できるようになる。

[0061] 本発明によれば、複雑な腐食系である土壌腐食において固相の情報のみから少ない試験数かつ短時間で土壌腐食を推定することで、腐食推定を低コストかつ簡便に実施することが可能となり、地中埋設された金属製構造物のコンディションベースメンテナンスが実現可能となり、高効率化に伴う経済性および安全性の担保が実現される。

[0062] なお、本発明は以上に説明した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で、当分野において通常の知識を有する者により、多くの変形および組み合わせが実施可能であることは明白である。

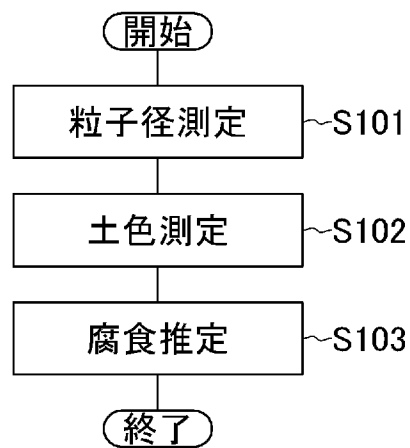
符号の説明

[0063] 101…粒径測定器、102…色測定器、103…推定回路。

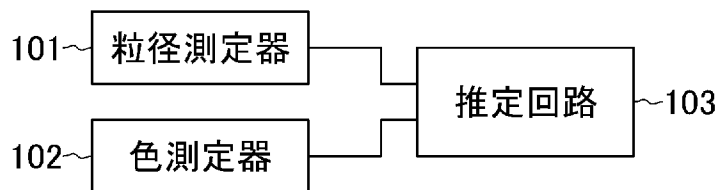
請求の範囲

- [請求項1] 土壌の粒子径を測定する粒径測定ステップと、
前記土壌の色に関する色測定値を測定する色測定ステップと、
前記粒子径および前記色測定値から、前記土壌に埋設される鋼材の腐食を推定する推定ステップと
を備える腐食推定方法。
- [請求項2] 請求項1記載の腐食推定方法において、
前記推定ステップは、前記粒子径から腐食速度を求め、前記色測定値から腐食速度倍率を求め、前記腐食速度に前記腐食速度倍率を乗じて補正腐食速度を求め、求めた補正腐食速度により前記鋼材の腐食を推定することを特徴とする腐食推定方法。
- [請求項3] 請求項1または2記載の腐食推定方法において、
前記色測定ステップは、前記色測定値として色値を測定することを特徴とする腐食推定方法。
- [請求項4] 土壌の粒子径を測定する粒径測定器と、
前記土壌の色に関する色測定値を測定する色測定器と、
前記粒子径および前記色測定値から、前記土壌に埋設される鋼材の腐食を推定する推定回路と
を備える腐食推定装置。
- [請求項5] 請求項4記載の腐食推定装置において、
前記推定回路は、前記粒子径から腐食速度を求め、前記色測定値から腐食速度倍率を求め、前記腐食速度に前記腐食速度倍率を乗じて補正腐食速度を求め、求めた補正腐食速度により前記鋼材の腐食を推定することを特徴とする腐食推定装置。
- [請求項6] 請求項4または5記載の腐食推定装置において、
前記色測定器は、前記色測定値として色値を測定することを特徴とする腐食推定装置。

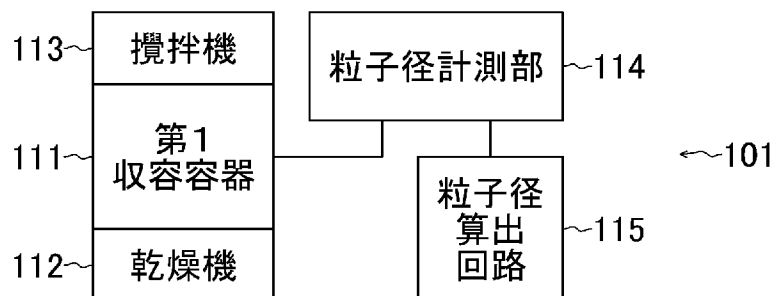
[図1]



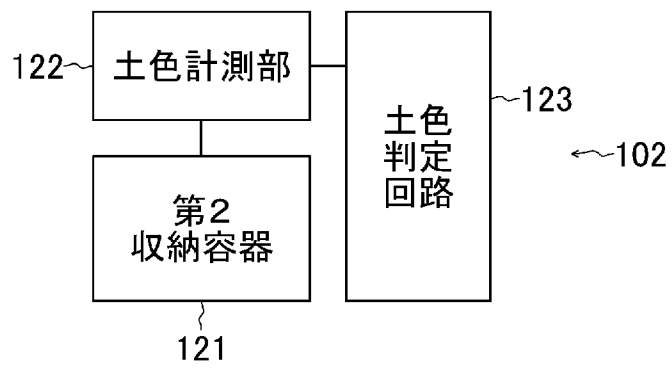
[図2]



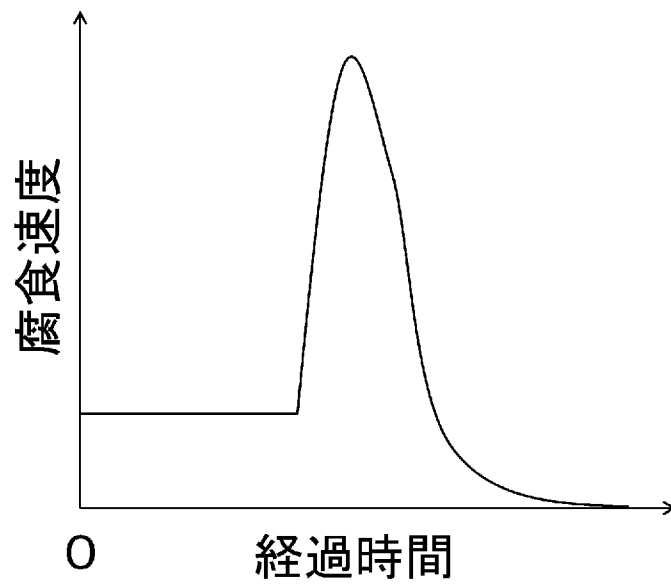
[図3]



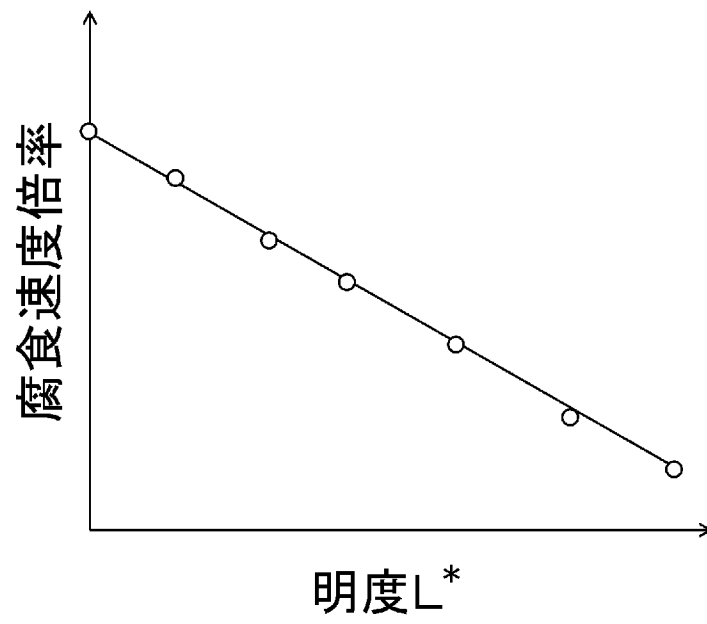
[図4]



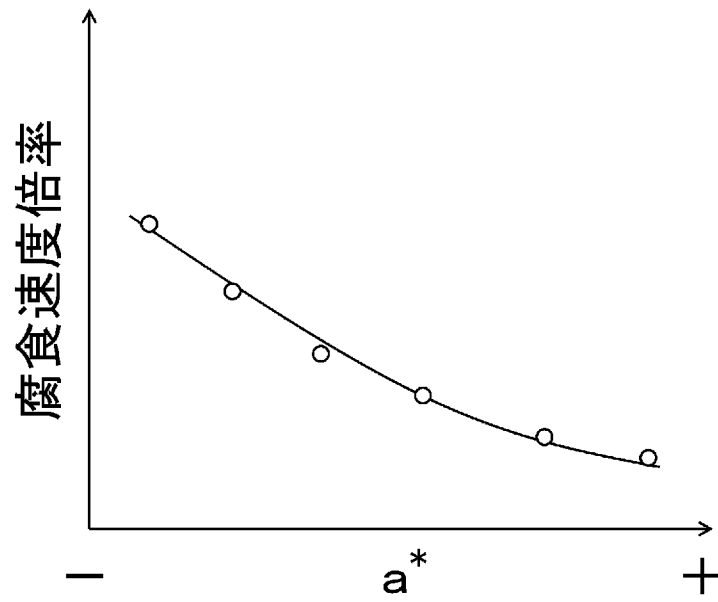
[図5]



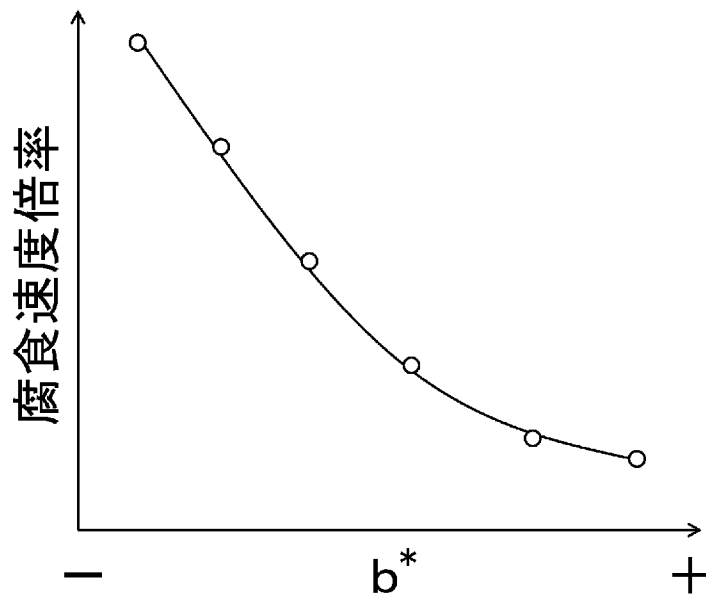
[図6]



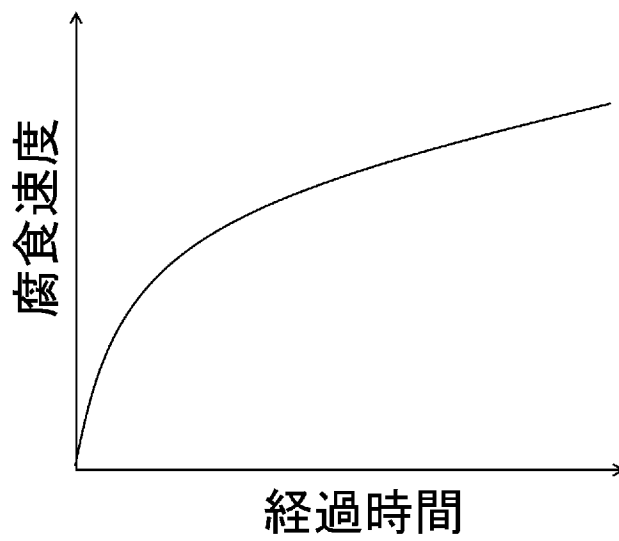
[図7]



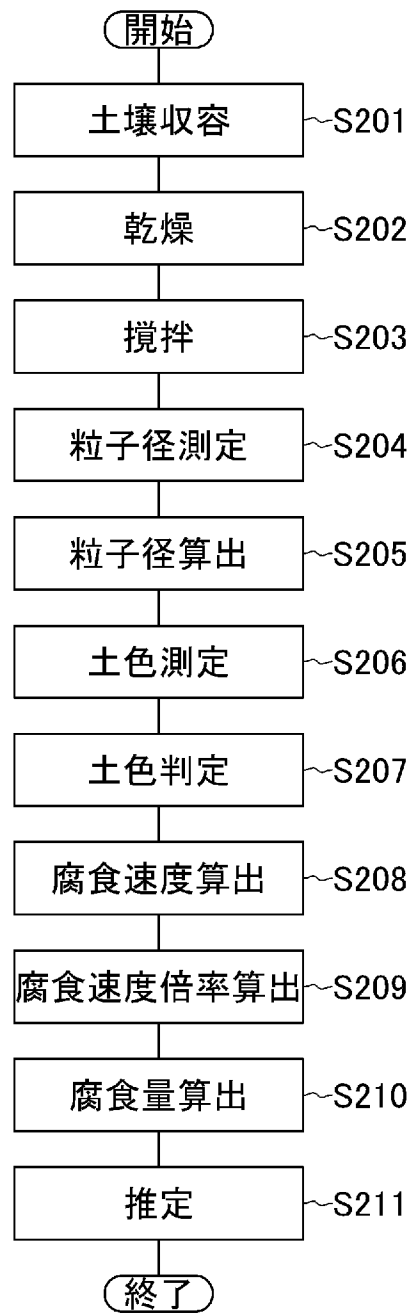
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/039232

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01N 17/00**(2006.01)i; **G01N 27/26**(2006.01)i

FI: G01N17/00; G01N27/26 351P

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; G01N27/26

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2021/100196 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 27 May 2021 (2021-05-27) paragraphs [0013], [0038]-[0050]	1, 3-4, 6
A	paragraphs [0013], [0038]-[0050]	2, 5
A	WO 2021/100117 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 27 May 2021 (2021-05-27) paragraphs [0050]-[0057], fig. 2	2, 5
A	WO 2020/066715 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 02 April 2020 (2020-04-02) paragraphs [0015]-[0071]	2, 5
A	WO 2021/100193 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 27 May 2021 (2021-05-27) paragraphs [0011]-[0048]	2, 5

☐ 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

10 November 2021

Date of mailing of the international search report

22 November 2021

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/039232

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2021/100196	A1	27 May 2021	(Family: none)	
WO	2021/100117	A1	27 May 2021	(Family: none)	
WO	2020/066715	A1	02 April 2020	(Family: none)	
WO	2021/100193	A1	27 May 2021	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 17/00(2006.01)i; G01N 27/26(2006.01)i FI: G01N17/00; G01N27/26 351P		
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（IPC）） G01N17/00; G01N27/26		
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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）		
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
X	WO 2021/100196 A1（日本電信電話株式会社）27.05.2021（2021-05-27） 段落[0013], [0038]-[0050]	1,3-4,6
A	段落[0013], [0038]-[0050]	2,5
A	WO 2021/100117 A1（日本電信電話株式会社）27.05.2021（2021-05-27） 段落[0050]-[0057], 図2	2,5
A	WO 2020/066715 A1（日本電信電話株式会社）02.04.2020（2020-04-02） 段落[0015]-[0071]	2,5
A	WO 2021/100193 A1（日本電信電話株式会社）27.05.2021（2021-05-27） 段落[0011]-[0048]	2,5
☐ 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抵触するものではなく、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 10.11.2021		国際調査報告の発送日 22.11.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 福田 裕司 2J 2578 電話番号 03-3581-1101 内線 3252

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/039232

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2021/100196	A1	27.05.2021	(ファミリーなし)	
WO	2021/100117	A1	27.05.2021	(ファミリーなし)	
WO	2020/066715	A1	02.04.2020	(ファミリーなし)	
WO	2021/100193	A1	27.05.2021	(ファミリーなし)	