様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　３ 年　 ６ 月 １４ 日現在

機関番号：１１３０１
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2018～2020
課題番号：１８Ｈ０１４４８

研究課題名（和文）渦電流磁気指紋信号の電磁解明と塑性ひずみ非破壊評価法への適用

研究課題名（英文）Elucidation of Eddy Current Magnetic Signature Method and Its Application to Residual Strain Evaluation

研究代表者
内一　哲哉（Uchimoto, Tetsuya）

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号：７０３１３０３８

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：渦電流磁気指紋法(ECMS)を炭素鋼の残留応力および塑性ひずみの非破壊評価に適用するため、X線応力測定結果とECMS信号（磁化過程におけるコイルインピーダンスの軌跡）との関係を調査した。1）残留応力が生じていない場合は直線状の軌跡を示すこと、2）機械加工した表面の局所的圧縮残留応力により反時計回りの軌跡を描くこと、3）引張試験後の試験片にはフェライト相に圧縮残留応力が生じ時計回りの軌跡を描くこと、を明らかにした。電磁場解析コードに基づいて、動的な磁場変動を考慮した磁化構成関係に基づいた数値解析を実施し、ECMS信号の応力による変化が、応力による磁区構造変化によることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義
現在、老朽化した膨大な数の社会インフラの定期検査では、簡便で信頼性のある塑性ひずみ非破壊評価の確立が求められている。本研究を通して、本手法の測定原理が明らかになるとともに、鉄鋼材料のフェライト相の残留応力を高感度に測定することが可能な手法であることが示された。また、化学組成にあまり依存せずに応力を評価することができるという特長も有する。
また磁気特性計測の観点からは、直流磁気特性の非線形性と動的応答（周波数応答）を分離して測定する新しい手法であり、磁気特性評価法としても新たな展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, to apply Eddy Current Magnetic Signature Method (ECMS) to nondestructive evaluation of residual stress and strain in carbon steels, we investigated the relationship between residual stress measured by X-ray diffraction method and ECMS signals that is coil impedance trajectories during magnetization. The followings were found; a) ECMS trajectories are linear when no residual stress is applied, b) ECMS trajectories show anti-clockwise loops by compressive residual stress localized on surface by mechanical machining, c) they show clockwise loops by compressive stress exerted to ferrite phase in carbon steels after tensile test. Electromagnetic field analysis taking consideration of constitutive relation for dynamics magnetization shows that ECMS trajectories change by residual stress is ascribed to magnetic domain structure by stress.

研究分野：電磁非破壊評価

キーワード：磁気計測　非破壊試験法　鉄鋼材料　残留応力　塑性ひずみ　渦電流磁気指紋法

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

現在、老朽化した膨大な数の社会インフラの定期検査のための簡便で信頼性のある塑性ひずみ非破壊評価の確立が求められている。橋梁などの鋼構造物の定期検査においては、目視検査の後に詳細検査を行い鋼構造物の塑性ひずみを計測する。鉄鋼材料の塑性ひずみの非破壊評価法としては、バルクハウゼンノイズ法が古くより適用されている。バルクハウゼンノイズは、磁場の印加に伴う磁気雑音であり計測が簡便であることに加え、結晶粒径、転位などの金属組織や残留応力に依存するため、様々な劣化評価、材質評価に適用されている。一方で下記の欠点が挙げられ、その応用は限定的である。

(1) 信号が微弱であり、環境ノイズの影響を受けやすい

(2) 塑性ひずみ計測に適用する場合、残留応力と塑性ひずみの影響の分離が課題である

バルクハウゼンノイズ法に代わる測定信頼性の高い塑性ひずみ計測法が求められている。

申請者らは、上記の課題を解決する画期的な塑性ひずみ非破壊評価法として、渦電流磁気指紋信号に着目した手法を提案している。試験対象を磁化させる過程において、上置コイルにより数十 kHz の磁場摂動を与え、上置コイルのインピーダンスを計測する。このインピーダンスの軌跡を複素平面で表示すると特徴的な軌跡が得られる。これを渦電流磁気指紋信号と呼ぶ。炭素鋼などの鉄鋼材料に塑性ひずみを与えると、渦電流磁気指紋信号が塑性ひずみと残留応力に応じて敏感に変化することを見いだしたが、そのメカニズムの解明が必要であった。

２．研究の目的

本研究では、研究代表者が提案する渦電流磁気指紋法を炭素鋼などの鉄鋼材料の残留応力と塑性ひずみの非破壊評価に適用することを検討する。炭素鋼の塑性ひずみと残留応力による渦電流磁気指紋信号の変化の(a)メカニズムを解明し、さらに(b)適用可能性を検討する。

目的(a)を達成するために 、炭素鋼の引張試験片に対して渦電流磁気指紋信号を取得し、残留応力と残留ひずみと渦電流磁気指紋信号との関係を整理する。磁化過程における電磁特性の変化を、磁区の動力学を考慮した磁化モデルと照らし合わせて整理し、残留応力と残留ひずみとの関係を明らかにする。目的(b) については、(a)によって明らかになる渦電流磁気指紋信号の塑性ひずみと残留応力のそれぞれの依存性に着目して、信号から塑性ひずみと残留応力の情報を分離して抽出する手法を検討する。

３．研究の方法

(1) 渦電流磁気指紋システムの構築と炭素鋼の塑性ひずみによる信号変化の分析

本研究では、ボイラ及び圧力容器用炭素鋼 SB410 の引張試験片を作製した。引張試験片の平行部の長さは 98 mm、幅は 20 mm、厚さは 8 mm である。引張試験は室温環境において変位制御により行った。最終的な残留ひずみは試験片中央部に貼り付けたひずみゲージの値を採用した。図 1 に応力ひずみ曲線の例を示す。図 2 に本研究で構築した渦電流磁気指紋法の測定システムを示す。U 字型ヨークを用いて試験片に磁場振幅 15 kA/m、周波数 0.1 Hz の低周波磁場を印加し、試験片の上に設置した ECT コイルにより 50 kHz の微小高周波磁場を更に印加する。平面上で印加した磁場はホール素子により測定する。その際のコイルインピーダンスを LCR メータにより測定する。U 字ヨークによる磁化過程においてインピンダンスが変化する様子をインピーダンス平面において図示したものが渦電流磁気指紋信号である。

様々な塑性ひずみを与えた炭素鋼などの鉄鋼材料引張り試験片について渦電流磁気指紋法を取得し、その信号の挙動をまとめた。

(2) 渦電流磁気指紋信号のメカニズム解明

項目(1) で得られた渦電流磁気指紋信号の変化の要因として、弾性域における残留応力と塑性

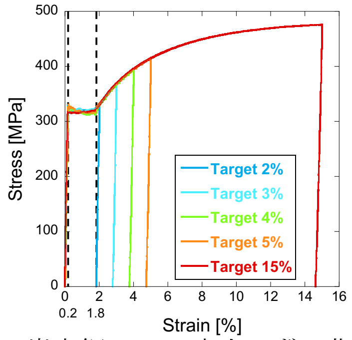


図 1 炭素鋼 SB410 応力ひずみ曲線

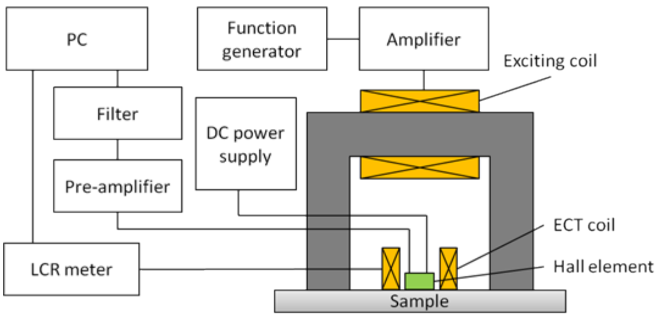


図 2 本研究で用いた渦電流磁気指紋法測定システム

変形が考えられる。これらの要因を分離するために、引張り荷重を印加した状態で渦電流磁気指紋信号を取得した。
さらに、応力・ひずみと渦電流磁気指紋信号との関係を定量的に調査するために、引張り試験片の X 線応力測定を行い、信号の分析を行った。
渦電流磁気指紋信号において表現される信号変化を、磁区の動力学を考慮した磁気ヒステリシスのモデルと照らし合わせて議論する。このために、動的磁化過程を考慮した磁化構成関係を電磁場解析に導入し、信号の分析を行った。

(3) 適用可能性の検討
様々な鉄鋼材料の応力・ひずみ評価への適用可能性を検討するために、化学組成の異なる炭素鋼、純鉄について渦電流磁気指紋信号を取得し、検証を行った。また、残留ひずみの定量的な評価方法についても示した。

4．研究成果
(1) 渦電流磁気指紋システムの構築と炭素鋼の塑性ひずみによる信号変化の分析[1]

図 1 に示す引張試験を実施した SB410 炭素鋼引張り試験片の渦電流磁気指紋信号を図 3 示す。引張り試験を行っていない受入材試験片については、インピーダンスは磁化過程において反時計回りの軌跡を示す。引張り試験を行い、残留ひずみを与えると 2.2%という低いひずみから軌跡は反転する。また、軌跡全体の位相と振幅も受入材に対して変化することがわかる。
2%程度の低いひずみ領域においては、加工硬化が十分に始まっておらず、磁気特性に変化を与えるような転位が生じているとは考えにくい。また、本研究において使用した SB410 炭素鋼の炭素量は 0.17%であり、フェライト相とパーライト相から構成される。従って、引張り試験後に相間にミクロな残留応力が生じている可能性がある。

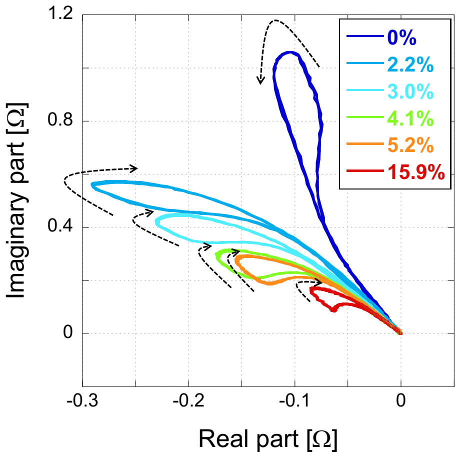
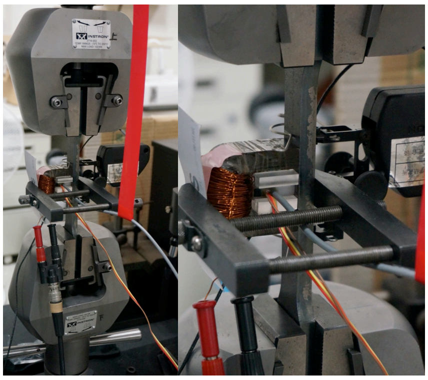


図 3 炭素鋼 SB410 引張り試験片の渦電流磁気指紋信号

(2) 渦電流磁気指紋信号のメカニズム解明

(2-1) 引張り荷重下でのひずみ試験片の渦電流磁気指紋信号の変化[1]
図 4 に示す典型的な渦電流磁気指紋信号を示す残留ひずみ試験片を選び、この試験片に対して弾性域内で引張り荷重を印加している時の渦電流磁気指紋信号を取得した。3 個の試験片は、反時計回りの軌跡を示す受入材試験片、時計回りの 1.86%ひずみ試験片、その中間で直線状の信号を示す 0.95%ひずみ試験片である。
図 5 に 3 個の試験片に対して、引張り荷重による信号の変化の様子を示す。3 個の試験片は残留ひずみの違いにより異なる軌跡の渦電流磁気指紋信号を示していたが、引張り荷重を加えることにより同様の直線状の軌跡の信号に変化していくことが確認できる。最大ひずみの 0.15%においては、3 個の試験片の信号は一致していることを別途確認している。
以上の結果は、2 点の示唆を与える。a) 渦電流磁気指紋信号の変化は、圧縮残留応力によるものであること、b) 残留ひずみが低い領域では、塑性変形の影響はほとんどないこと、である。一方、受入材に生じているはずの圧縮残留応力の要因を解明する必要がある。



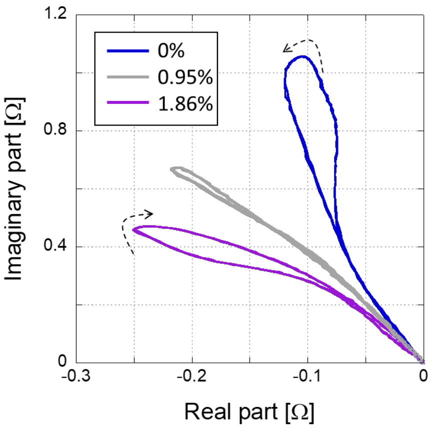


図 4 引張り試験機に取り付けたひずみ試験片と測定プローブ（左）と 3 個のひずみ試験片の渦電流磁気指紋信号（右）

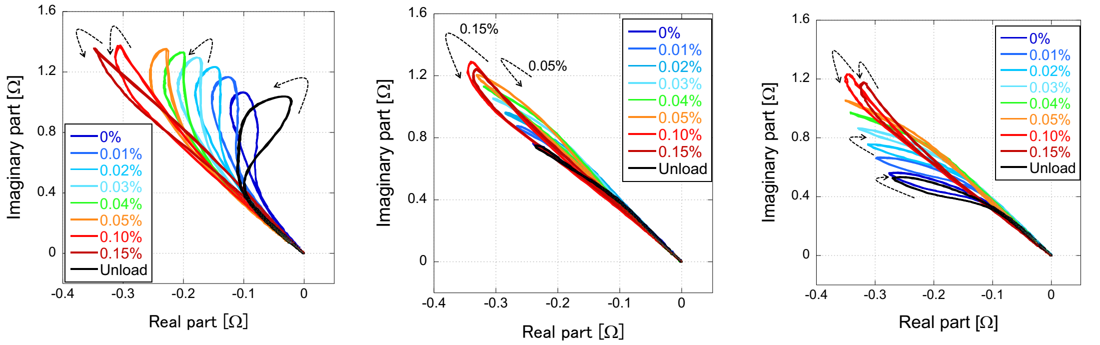


図 5　受入材試験片 (左)、0.95%ひずみ試験片(中)、1.86%ひずみ試験片(右)の引張り荷重による渦電流磁気指紋信号の変化

(2-2) 炭素鋼試験片の X 線応力測定[2]

上記の引張り試験片の準備において、黒皮を除去するために機械研磨を行っている。具体的には、#120，#240 の耐水研磨紙を用いて研磨した。この研磨により試験片表面に残留応力が生じていると考えられるため、電解研磨によって加工層を除去した。電解研磨条件は、電源電圧、研磨時間はそれぞれ 15 V，1.0 min とし、塩化アンモニウム 11.6%，グリセリン 35.1%，水 53.3%の研磨液を使用した。電解研磨を複数回実施し、その都度除去厚さをマイクロメータにより測定した。X 線応力測定は、CrK α 線を用いて、cos α 法にもとづいて実施した。引張り試験片の荷重方向を x とし、これに直交する方向を y として、2 方向の応力を測定した。

機械研磨により表面から少なくとも 100 μ m の範囲において、等方に圧縮応力が生じていることが図 6 右からわかる。また、機械研磨による圧縮応力が生じている層を除去することにより、図 6 左に示されるように反時計回りの軌跡が直線状の軌跡に変化することがわかる。

電解研磨により表面加工層を除去した試験片に対して引張試験を行い、渦電流磁気指紋法を取得した。また、同様に X 線応力測定を行った。図 7 に示されるように引張り試験により荷重方向に圧縮残留応力が生じており、これに応じて時計回りの渦電流磁気指紋信号が得られることが確認できる。X 線応力測定ではフェライト相における応力を測定している。また、磁気弾性効果の観点からもパーライト相に比べフェライト相における変化が顕著である。以上のことから、引張試験後に生じているフェライト相の圧縮応力を、渦電流磁気指紋信号は反映している。

以上から、表面に局在する圧縮残留応力により反時計回り、試験片内に一様に生じている圧縮残留応力により時計回りの渦電流磁気指紋信号が得られる。

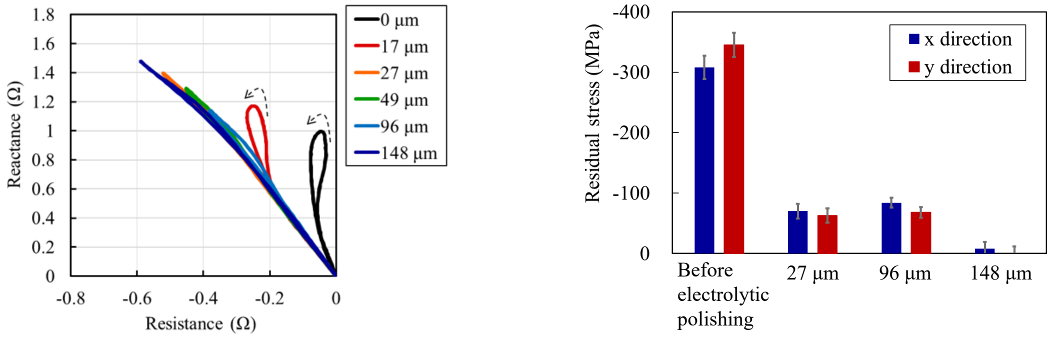


図 6　受入材試験片の機械研磨による加工層の電解研磨による除去。加工層の除去による渦電流磁気指紋信号の変化（左）と、表面における残留応力（右）

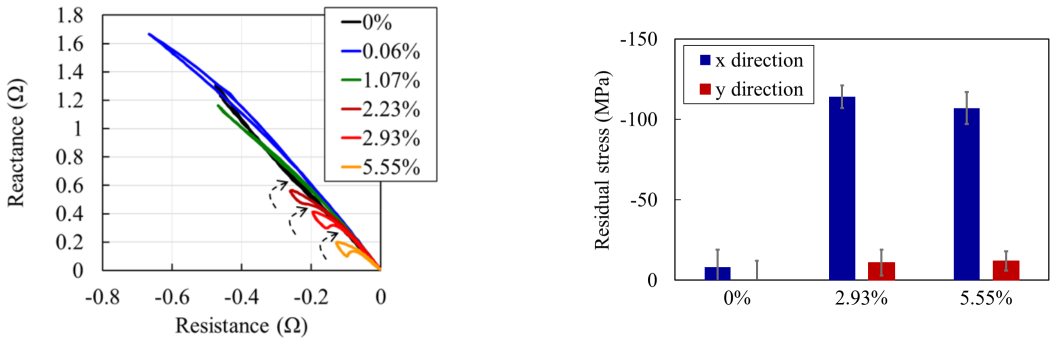


図 7　受入材試験片の機械研磨による加工層の電解研磨による除去。加工層の除去による渦電流磁気指紋信号の変化（左）と、表面における残留応力（右）

(2-3) 渦電流磁気指紋信号の電磁特性モデルからの分析

渦電流磁気指紋法では、磁化過程における上置コイルのインピーダンス変化を表現したものである。試験片上のコイルのインピーダンスは、試験片の導電率と透磁率に依存する。磁化過程においては、透磁率は変化するものの導電率は変化しない。一方、磁化過程において透磁率のみが変化すると想定した場合、本研究で得られる渦電流磁気指紋信号のようなループ状の信号は再現できない。

本研究ではインピーダンス計測は 50kHz において実施しているが、動的な過程における磁化モデルを考慮する必要がある。具体的には、移動する磁壁周辺に誘導するミクロな渦電流の効果である。電磁鋼板などの損失で考慮する異常渦電流損失は、この寄与であるとされている。ここでは、ミクロな渦電流の効果を考慮するため、Bertotti のモデル[3]を簡略化させたモデルとして、

$$\Delta H = \frac{1}{\mu}\Delta B + \beta\frac{\partial \Delta B}{\partial t} \qquad (1)$$

を考える。ここで、ΔH は上置コイルによる磁場変化、ΔB, μ, はそれぞれ磁束密度変化、透磁率である。また、第 3 項は、ミクロな渦電流を考慮するための時間依存項であり、その係数を β とする。図 8 左に、Dodd-Deeds の上置コイルのインピーダンスの解析解[4]に、式(1)のモデルを導入し、コイルインピーダンスの比透磁率 μ_r 依存性と β 依存性を解析した結果を示す。μ_r と β の等高線を示しており、併せて、受入材試験片、 0．95%ひずみ試験片、5.2%ひずみ試験片の実験による渦電流磁気指紋法を示している。実験結果とモデル解析結果を比較することにより、それぞれの試験片の磁化過程における μ_r と β の変化を示している。磁化過程において、透磁率のみならず、ミクロ渦電流の寄与も変化していることがわかる。残留応力により磁区密度、種類が変化することにより、磁壁に流れる渦電流の寄与も変化するものと考えられる。以上より、残留応力により μ_r と β が変化することにより、軌跡がするものと考えられる。

(3) 適用可能性の検討

本研究における標準の炭素鋼として用いた SB410 と比較するため、異なる炭素量(0.27%)の炭素鋼 SB450 を用いて同様に渦電流磁気指紋信号を取得した。SB450 は炭素量の違いにより、SB410 よりパーライト含有率が高いが、パーライトおよびフェライトの 2 相からなる炭素鋼である。渦電流磁気指紋信号について同様に引張り試験片を測定し、SB410 と同様の傾向を得ることが出来た。信号の軌跡の方向などに着目すれば、化学組成に依存せずに、高い感度で炭素鋼の残留応力や残留ひずみを評価できる可能性を示唆している。

また、SB410 炭素鋼の渦電流磁気指紋信号の振幅と位相に着目して、残留ひずみの定量的な評価方法についても可能であることを示した。

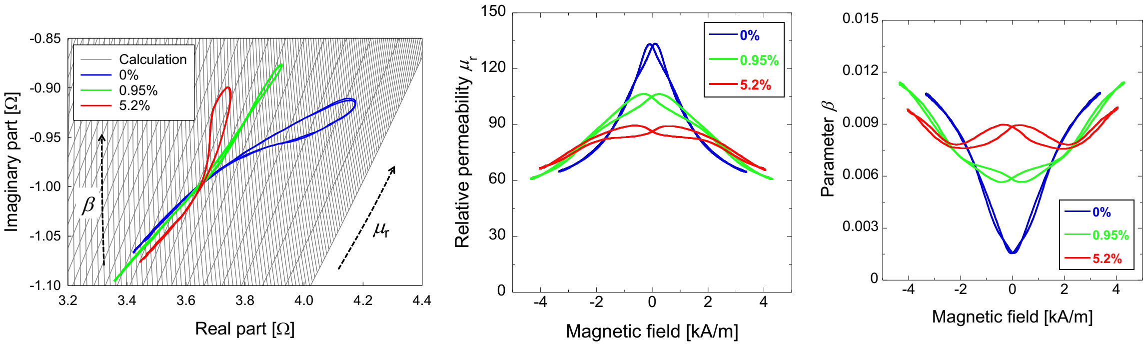


図 8　受入材試験片の機械研磨による加工層の電解研磨による除去。加工層の除去による渦電流磁気指紋信号の変化（左）と、表面における残留応力（右）

＜ 引用文献 ＞

[1] T. Matsumoto, T. Uchimoto, T. Takgai, G. Dobmann, S. Oozono, H. Yuya, Investigation of electromagnetic nondestructive evaluation of residual strain in low carbon steels using the eddy current magnetic signature (EC-MS) method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.479, (2019) 212-221.

[2] S. Takeda, T. Uchimoto, A. Kita, T. Matsumoto, T. Sasaki, Mechanism Study of the Residual Stress Evaluation of Low-carbon Steels using the Eddy Current Magnetic Signature Method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, accepted for publication.

[3] G. Bertotti, Hysteresis in Magnetism, Academic press, 1998.

[4] C.C.Cheng, C.V.Dodd, W.E.Deeds, General Analysis of Probe Coils Near Stratified Conductors, International Journal of Nondestructive Testing, Vol. 3, (1971) 109-130.

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計13件（うち査読付論文　13件／うち国際共著　13件／うちオープンアクセス　4件）

１．著者名 Bhaawan Gupta, Benjamin Ducharne, Tetsuya Uchimoto, Gael Sebald,Takamichi Miyazaki, Toshiyuki Takagi	４．巻 498
２．論文標題 Non-destructive testing on creep degraded 12% Cr-Mo-W-V ferritic test samples using Barkhausen noise	５．発行年 2020年
３．雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	６．最初と最後の頁 166102
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2019.166102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 S.Zhang, B.Ducharne, T.Uchimoto, A.Kita, Y.A.Tene Deffo	４．巻 513
２．論文標題 Simulation tool for the Eddy current magnetic signature (EC-MS) non-destructive method	５．発行年 2020年
３．雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	６．最初と最後の頁 167221
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2020.167221	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 Bhaawan Gupta, Benjamin Ducharne, Tetsuya Uchimoto, Gael Sebald, Takamichi Miyazaki, Toshiyuki Takagi	４．巻 118
２．論文標題 Comparison of electromagnetic inspection methods for creep-degraded high chromium ferritic steels	５．発行年 2021年
３．雑誌名 NDT & E International	６．最初と最後の頁 102399
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ndteint.2020.102399	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

１．著者名 Takanori Matsumoto, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takgai, Gerd Dobmann, Shinji Oozono, Hideki Yuya	４．巻 479
２．論文標題 Investigation of electromagnetic nondestructive evaluation of residual strain in low carbon steels using the eddy current magnetic signature (EC-MS) method	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	６．最初と最後の頁 212-221
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2019.01.103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1．著者名 Takanori Matsumoto, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Gerd Dobmann, Shinji Oozonoe, Hideki Yuya	4．巻 59
2．論文標題 Investigation of measurement conditions of eddy current magnetic signature method for evaluating plastic deformation in carbon steels	5．発行年 2019年
3．雑誌名 International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	6．最初と最後の頁 1213-1220
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/JAE-171046	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 T. Matsumoto, B. Ducharne, and T. Uchimoto	4．巻 9
2．論文標題 Numerical model of the eddy current magnetic signature (EC-MS) nondestructive micro-magnetic technique	5．発行年 2019年
3．雑誌名 AIP Advances	6．最初と最後の頁 35045
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5079995	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1．著者名 Bhaawan Gupta, Tetsuya Uchimoto, Benjamin Ducharne, Gael Sebald,Takamichi Miyazaki, Toshiyuki Takagi	4．巻 104
2．論文標題 Magnetic incremental permeability non-destructive evaluation of 12 Cr-Mo-W-V steel creep test samples with varied ageing levels and thermal treatments	5．発行年 2019年
3．雑誌名 NDT and E International	6．最初と最後の頁 42-50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ndteint.2019.03.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1．著者名 Bhaawan Gupta, Benjamin Ducharne, Gael Sebald, Tetsuya Uchimoto,Takamichi Miyazaki, Toshiyuki Takagi	4．巻 486
2．論文標題 Physical Interpretation of the Microstructure for aged 12 Cr-Mo-V-W SteelCreep Test Samples based on Simulation of Magnetic Incremental Permeability	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6．最初と最後の頁 165250
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2019.165250	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1．著者名 Gupta B.、Ducharne B.、Sebald G.、Uchimoto T.	4．巻 54
2．論文標題 A Space Discretized Ferromagnetic Model for Non-Destructive Eddy Current Evaluation	5．発行年 2018年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6．最初と最後の頁 1～4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2017.2773517	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Zhang B.、Gupta B.、Ducharne B.、Sebald G.、Uchimoto T.	4．巻 54
2．論文標題 Dynamic Magnetic Scalar Hysteresis Lump Model Based on Jiles?Atherton Quasi-Static Hysteresis Model Extended With Dynamic Fractional Derivative Contribution	5．発行年 2018年
3．雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6．最初と最後の頁 1～5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2018.2832242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Matsumoto Takanori、Uchimoto Tetsuya、Takagi Toshiyuki、Dobmann Gerd、Ducharne Benjamin、Oozono Shinji、Yuya Hideki	4．巻 479
2．論文標題 Investigation of electromagnetic nondestructive evaluation of residual strain in low carbon steels using the eddy current magnetic signature (EC-MS) method	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6．最初と最後の頁 212～221
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmmm.2019.01.103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Matsumoto T.、Ducharne B.、Uchimoto T.	4．巻 9
2．論文標題 Numerical model of the eddy current magnetic signature (EC-MS) non-destructive micro-magnetic technique	5．発行年 2019年
3．雑誌名 AIP Advances	6．最初と最後の頁 035045～035045
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5079995	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Matsumoto Takanori、Uchimoto Tetsuya、Takagi Toshiyuki、Dobmann Gerd、Oozono Shinji、Yuya Hideki	4．巻 59
2．論文標題 Investigation of measurement conditions of eddy current magnetic signature method for evaluating plastic deformation in carbon steels	5．発行年 2019年
3．雑誌名 International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	6．最初と最後の頁 1213～1220

掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/JAE-171046	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕　計9件（うち招待講演　0件／うち国際学会　7件）

1．発表者名 Aoba Kita, Sho Takeda, Tetsuya Uchimoto
2．発表標題 The Effect of Surface Treatment on Evaluation of Plastic Deformation of Carbon Steels by Eddy Current Magnetic Signature
3．学会等名 Seventeenth International Conference on Flow Dynamics（国際学会）
4．発表年 2020年

1．発表者名 喜多 青葉, 武田 翔, 内一 哲哉
2．発表標題 渦電流磁気指紋法による炭素鋼の残留応力評価のメカニズム
3．学会等名 日本機械学会東北支部第56期総会・講演会
4．発表年 2021年

1．発表者名 Bhaawan GUPTA, Benjamin DUCHARNE, Tetsuya UCHIMOTO, Gael SEBALD
2．発表標題 MICROMAGNETIC NON-DESTRUCTIVE TESTING ON HIGH CHROMIUM CREEP TEST SAMPLES: CHARACTERIZATION,MODELLING AND PHYSICAL INTERPRETATION
3．学会等名 The 24th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE2019)（国際学会）
4．発表年 2019年

１．発表者名 Takanori MATSUMOTO, Benjamin DUCHARNE, Bhaawan GUPTA, Gael SEBALD and Tetsuya UCHIMOTO
２．発表標題 NUMERICAL ANALYSIS AND INTERPRETATION OF EDDY CURRENT MAGNETIC SIGNATURE MICRO-MAGNETIC NONDESTRUCTIVE TESTING & EVALUATION METHOD
３．学会等名 The 24th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE2019)（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Bhaawan Gupta, Gael Sebald, Benjamin Ducharne, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi
２．発表標題 Modelling Materials Behavior for Advanced Electromagnetic Non Destructive Testing Techniques
３．学会等名 Sixteenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2019)（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 喜多　青葉、内一　哲哉、高木　敏行、武田　翔、松本　貴則、熊野　秀樹、大薗　伸司
２．発表標題 渦電流磁気指紋による様々なパーライト率を有する低炭素鋼の残留ひずみ評価
３．学会等名 日本保全学会 第16回学術講演会
４．発表年 2019年

１．発表者名 Takanori MATSUMOTO, Tetsuya UHCHIMOTO, Toshiyuki TAKAGI,Gerd DOBMANN, Shinji OOZONO,Hideki YUYA
２．発表標題 MECHANISM STUDY OF EDDY CURRENT MAGNETIC SIGNATURE OF PLASTIC STRAIN IN LOW CARBON STEELS
３．学会等名 The 23rd International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE2018)（国際学会）
４．発表年 2018年

1．発表者名 Bhaawan Gupta, Benjamin Ducharne, Tetsuya Uchimoto, Gael Sebald
2．発表標題 Modeling and Experimental Magnetic Incremental Permeability Non-Destructive Evaluation Of 12 Cr-Mo-W-V Creep Test Samples
3．学会等名 The 23rd International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE2018)（国際学会）
4．発表年 2018年

1．発表者名 Bhaawan Gupta, Benjamin Ducharne, Gael Sebald, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi
2．発表標題 Magnetic Hysteresis Models for the Interpretation of Non-Destructive Testing Techniques based on Magnetic Incremental Permeability
3．学会等名 Fifteenth International Conference on Flow Dynamics（国際学会）
4．発表年 2018年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	ＳＥＢＡＬＤ　ＧＡＥＬ (Sebald Gael) (10792161)	東北大学・高等研究機構等・客員教授 (11301)	
研究分担者	武田　翔 (Takeda Sho) (10826225)	東北大学・流体科学研究所・助教 (11301)	
研究分担者	三木　寛之 (Miki Hiroyuki) (80325943)	東北大学・流体科学研究所・准教授 (11301)	

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

８．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関