

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05684

研究課題名(和文) 立体形状部全面における全方向傷の高感度な探傷システムの確立と傷の高精度サイジング

研究課題名(英文) Establishment of high sensitivity flaw detection system for omnidirectional crack in all surfaces of 3D shape test object and high-precision crack shape sizing

研究代表者

福岡 克弘 (Fukuoka, Katsuhiko)

滋賀県立大学・工学部・准教授

研究者番号：40512778

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)： 機械部品や各種構造物における複雑形状部ではその形状から探傷が困難となる。さらに、応力集中により傷の発生率も高く、現状の非破壊検査において早急に解決すべき課題である。また、高感度に傷を検出できることに加えて、その傷が破壊に与える影響の程度を判定するため、傷形状を正確にサイジングする技術の確立も、重要な課題の一つになっている。

本研究では、運輸機械などで使用される複雑で立体的な形状をした機械部品(強磁性体)を具体的な検査対象材とし、立体形状部に存在する全方向傷の高感度探傷システムの開発を検討した。さらに、探傷結果から傷の形状を正確に定量的評価する手法の確立も検討した。

研究成果の概要(英文)： The flaw detection in complex configuration portions of mechanical parts and various structures etc. is difficult and the incidence rate of the crack is high because of the stress concentration. It is necessary to establish the high-sensitivity flaw detection technique in complex portions. Additionally, in non-destructive inspection, the ability to quantitatively evaluate the crack profile is necessary for determining influence of detected cracks on the structural strength.

In this research, mechanical parts (ferromagnetic steels) of the complex 3D shape were targeted. We developed the high-sensitivity flaw detection system for the omnidirectional crack in all surfaces of 3D shape test object. Moreover, we investigated a technique for quantitatively evaluating crack shape using detection results.

研究分野：電磁非破壊検査

キーワード：非破壊検査 渦電流探傷試験 磁粉探傷試験 定量的評価 微小傷

1. 研究開始当初の背景

機械部品や各種構造物は、立体的で複雑な形状をしていることが一般的であり、その非破壊検査は難しい。一方、複雑形状部では応力集中により傷の発生率が高く、危険な因子を抱えた箇所を十分な精度で探傷できない可能性があり、現状の非破壊検査において早急に解決すべき課題である。また、高感度に傷を検出できることに加えて、その傷が破壊に与える影響の程度を判定するため、傷形状を正確にサイジングする技術の確立も、重要な課題の一つになっている。

2. 研究の目的

立体形状部を有する鉄鋼材の高感度探傷システムの開発を検討した。さらに、探傷結果から傷の形状を正確に定量的評価する手法の確立も検討した。具体的には、以下の3項目の研究内容に取り組んだ。

a) 広範囲に3次元回転磁界を発生する磁化システムの開発

磁粉探傷試験における探傷精度の向上のため、均一な回転磁界を発生でき、立体形状の被検査体全面かつ全方向に均一に磁化することが可能な磁化システムの開発に取り組んだ。

b) 磁粉探傷試験による極微小傷の定量的評価手法の開発

傷に付着する磁粉模様を観測し、付着磁粉量(磁粉の高さおよび幅)と傷形状(傷深さ)との関係を明らかにした。さらに、その試験結果を基にした傷形状の推定評価手法の確立を検討した。

c) 渦電流探傷試験による傷の定量的評価手法の開発

微小傷を高感度に検出することに主眼を置き、検出コイルに小形パンケーキコイルの適用を検討した。傷との相対方向が異なる2方向の渦電流を発生する渦電流プローブを開発した。さらに、探傷信号から傷形状を定量的評価する手法の開発も検討した。

3. 研究の方法

a) 広範囲に3次元回転磁界を発生する磁化システムの開発

磁極の数を6極としたマルチコイル型磁化器を検討し、広範囲に均一な回転磁界を効率的に発生できる磁化器の開発を試みた。有限要素法を用いた数値解析を行い、3極コイル、分割コイルおよびマルチコイルにおける磁化器内側領域の回転磁束密度分布の均一度を比較評価した。また、磁粉探傷試験に用いることのできる探傷有効範囲を評価した。さらに、解析結果を基に磁化器を試作し、その特性を実証実験により評価した。

3次元立体形状をした試験体を探傷するため、磁化器を2台対向して配置することによ

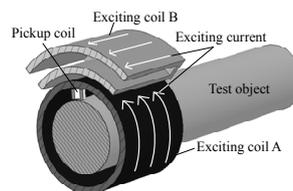


図1 回転コイルプローブ

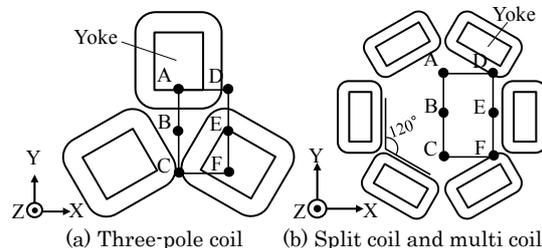


図2 磁化器と磁束密度分布の評価箇所

り、両磁化器間に3次元回転磁界を発生させることを検討した。有限要素法による数値解析を実施し、両磁化器間に設置した試験体の各面における磁束密度分布を評価した。

b) 磁粉探傷試験による極微小傷の定量的評価手法の開発

傷の形状と付着磁粉量の関係を明らかにするため、高速度ビデオカメラを用いた傷への磁粉付着過程の動画像計測を行った。傷に付着する磁粉を上面と側面からそれぞれ観察し、磁粉の幅と高さを計測することで、付着磁粉量を評価した。傷深さおよび傷幅をそれぞれ変化させた試験体を用意し、傷に付着する磁粉量から傷形状(深さおよび幅)を定量的に評価する手法を検討した。

c) 渦電流探傷試験による傷の定量的評価手法の開発

渦電流探傷プローブは図1に示すように、2種類の励磁コイルとパンケーキ型検出コイルにより構成される相互誘導型の回転コイルプローブとした。この2種類の励磁コイルを使い分けることで、傷の長手方向に対して直交と平行方向の渦電流をそれぞれ発生できる。検出コイルは小形パンケーキコイルを用いて、鋼材の径方向にコイル軸を配置した。これにより、各励磁コイルと検出コイルの軸は直交するため、励磁コイルにより発生する磁束は、検出コイルに直接鎖交しない構造となり、これによる検出感度の向上を試みた。

4. 研究成果

a) 広範囲に3次元回転磁界を発生する磁化システムの開発

図2に、各磁化器の形状および磁束密度分布の評価位置(PointA~F)を示す。磁化器中央のPointBを原点とし、評価位置を図中に示す。(a)は3極コイル、(b)は分極コイルおよびマルチコイルである。鋼板表面におけるX方向の磁束密度 B_x を横軸、Y方向の磁束密度 B_y を縦軸としたリサージュ曲線により評価する。本報告ではPointBとEにおける

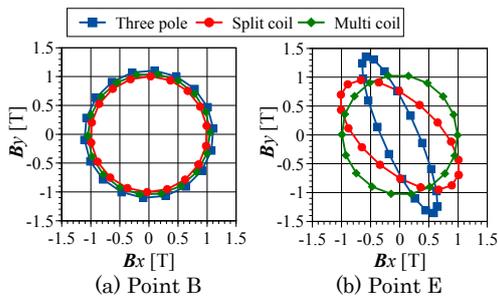
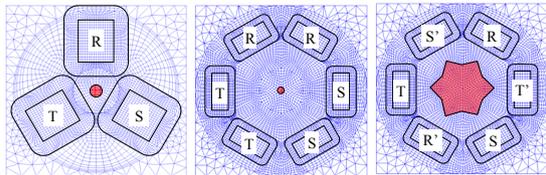
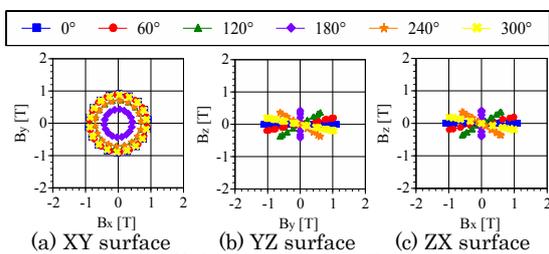


図3 回転磁束密度分布



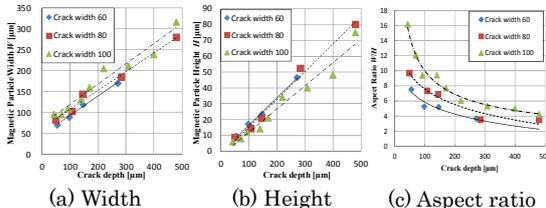
(a) Three-pole coil (b) Split coil (c) Multi coil

図4 探傷有効範囲



(a) XY surface (b) YZ surface (c) ZX surface

図5 立体形状試験体各面の磁束密度分布



(a) Width (b) Height (c) Aspect ratio

図6 磁粉の幅と高さおよびアスペクト比

結果のみを図3に示す。PointBにおいては、すべての磁化器におけるリサージュ曲線が真円となり、X、Yの全方向に均一な磁束密度が得られ、均一な回転磁束密度分布であることが確認できる。ここで、分割コイルでは3極コイルに比べて磁極ヨークの断面積が小さい。ここでは、3種類の磁化器の特性を単純比較するため、同じ励磁電流値のもとで比較評価した。そのため、分割コイルの磁束密度の強度は、3極コイルに比べて約1割小さくなる。しかし、マルチコイルの磁束密度は分割コイルよりも大きくなり、小さい磁極で3極コイルと同程度の磁束密度強度を得られることが確認される。

PointEに着目すると、3極コイルおよび分割コイルでは、リサージュ曲線は円形から楕円形に変化する。つまり、特定の方向の磁束密度が強くなり、各方向における回転磁束密度強度に偏りが生じる。分割コイルでは、3極コイルと比較して幅を持つリサージュ曲線となり、回転磁束密度分布は均一となるが、磁化器の中央から離れた磁極に近いPointEでは、十分に均一な回転磁束密度分布が得ら

れないことが判る。一方、マルチコイルに着目すると、リサージュ曲線はほぼ真円となり、各方向の磁束密度強度は等しく、広範囲に均一な回転磁束密度となることが判る。

次に、各磁化器において、試験鋼板のXY平面の全方向に1T以上の磁束密度が得られる探傷有効範囲の面積を評価した。図4の網掛けした領域が探傷有効範囲である。従来型の3極コイルでは、磁化器中央から約10mmの範囲で、全方向に1T以上の磁束密度が得られ、探傷有効範囲は磁化器中央を中心とした直径20mmの円形となることが判る。前述のように、分割コイルでは磁極ヨークの断面積が小さいため、同じ励磁電流値での磁化器中央における磁束密度は3極コイルより小さい。そのため、分割コイルの探傷有効範囲は、磁化器の中央付近の狭い範囲となる。一方、マルチコイルでは、1Tを越える領域は広くなり、分割コイルと同サイズの磁極で、且つ励磁電流の等しい条件においても、従来の3極コイルに比べ十分広い探傷有効範囲を確保できることが確認された。

マルチコイル型磁化器を2台対向して配置することにより、立方体形状の試験体の全面で全方向に均一な磁化を検討した。XY、YZ、ZX各面の中心における回転磁束密度分布を図5に示す。対向する両磁化器の相対的な電流位相（以下、位相差）を変化させて評価した。磁化器と対面するXY面では、全ての位相差においてリサージュ曲線は真円となる。つまり、回転磁束密度はXYの全方向で均一な分布となる。しかし、磁束密度の強度は位相差により異なり、位相差 0° で最大、位相差 180° で最小となることが確認できる。YZ、ZX面では、各位相差において、一方向のみ磁束密度が大きい、直線状のリサージュ曲線となる。また、リサージュ曲線の角度は位相差により変化し、位相差が 360° 変化すると、大きな磁束密度が得られる角度も 360° 回転する。つまり、対向する磁極の位相差を変化させることで、YZ、ZX面においても、全方向の磁束密度を得られることが確認される。以上のことから、各試験面に平行な全方向の磁束密度が得られ、一度の探傷試験で試験体全面の全方向傷を探傷できる見通しを得た。

b) 磁粉探傷試験による極微小傷の定量的評価手法の開発

傷幅をパラメータにして、付着磁粉形状（幅と高さ）と傷深さとの関係を図6(a)、(b)に示す。(a)は付着磁粉幅 W 、(b)は付着磁粉高さ H である。深い傷ほど、磁粉の幅と高さは共に比例関係で増加することが判る。しかし、傷幅と付着磁粉の関係に着目すると、傷の幅が狭いほど、付着磁粉の幅は狭くなるが、付着磁粉の高さは高くなることが確認される。そこで、付着磁粉の幅と高さの割合 W/H （以下、アスペクト比）を求め図6(c)に示す。傷の深さや幅によりアスペクト比は変化し、浅い傷では磁粉は低く付着し、深い傷ほど高

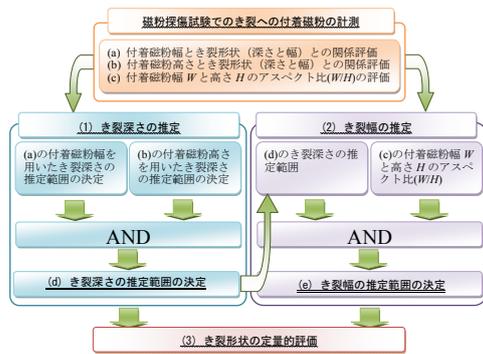


図7 き裂形状の推定手順

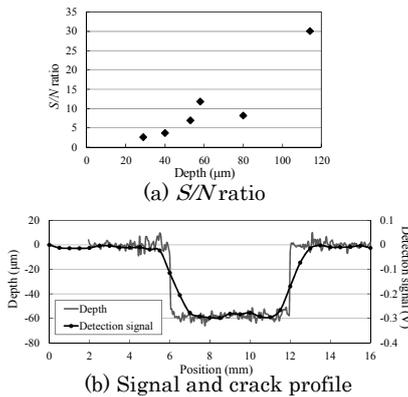


図8 探傷信号および傷形状との関係評価

さ方向に付着する磁粉の割合が大きくなることが確認できる。この関係を用いて、傷形状の定量的評価を試みた。傷形状の推定手順を図7に示す。付着磁粉幅が $160\mu\text{m}$ 、付着磁粉高さが $35\mu\text{m}$ の磁粉探傷試験の結果が得られた場合を仮定して、傷形状を推定した結果、傷深さ $206\mu\text{m}\sim 258\mu\text{m}$ 、傷幅 $65\mu\text{m}\sim 75\mu\text{m}$ の範囲であると評価された。これにより、これまで確立されていない、磁粉探傷試験における定量的評価手法を提案できた。

c) 渦電流探傷試験による傷の定量的評価手法の開発

図1の励磁コイルAを用いて探傷した結果から S/N 比を評価し、図8(a)に示す。傷が深くなると、 S/N 比はほぼ比例して増加する。深さ $40\mu\text{m}$ の傷では S/N 比が3.7、 $29\mu\text{m}$ では2.6であるため、傷深さ $30\sim 40\mu\text{m}$ が本プローブの検出性能の限界であると判断される。これは、実現場における性能要求である $70\mu\text{m}$ に対して、2倍の検出性能を有している。次に、傷に対して平行に渦電流が流れる励磁コイルBを用いて、傷形状の定量的評価を試みた。この探傷信号をレーザ変位計により測定した傷プロファイルと比較して図8(b)に示す。この探傷信号の形状は傷プロファイルとよく一致しており、傷と平行に渦電流を流した探傷結果により、傷の深さ方向の形状を推定できることが確認された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計19件)

① 福岡克弘、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「立体形状試験体の全面で全方向傷の磁粉探傷試験が可能なマルチコイル型磁化システムの検討」、電気学会論文誌A分冊、査読有、Vol. 138-A, No. 4, pp. 141-146 (2018)

DOI:10.1541/ieejfms.138.141

② 福岡克弘、長谷川諒、「ばね鋼中における微小傷の高感度検出と傷形状を推定するのに有利なECTプローブの開発」、電気学会論文誌A分冊、査読有、Vol. 137-A, No. 5, pp. 304-310 (2017)

DOI:10.1541/ieejfms.137.304

③ K. Fukuoka and R. Hasegawa, "Flaw Detection for Microcrack in Spring Steel and Estimation of Crack Shape with Eddy Current Testing", The 18th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (proc. of ISEM2017), 査読有、SP_148 (2017)

④ T. Chikami and K. Fukuoka, "Consideration of Magnetic Saturation ECT using AC Magnetization", The 18th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (proc. of ISEM2017), 査読有、SP_152 (2017)

⑤ 福岡克弘、「立体形状試験体の磁粉探傷試験のための3D回転磁界の発生」、非破壊検査、査読有、Vol. 66, No. 11, pp. 512-517 (2017)

⑥ 福岡克弘、長谷川諒、「渦電流試験によるばね鋼中の微小き裂の高感度検出とき裂形状の推定」、電気学会、マグネティックス研究会、査読無、資料番号(MAG-17-11)、pp. 61-64 (2017)

⑦ 福岡克弘、野間翔太、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「立体形状試験体における全方向傷の磁粉探傷試験を目的とした磁化装置の検討」、日本AEM学会誌、査読有、Vol. 24, No. 3, pp. 155-160 (2016)

DOI:10.14243/jsaem.24.155

⑧ K. Fukuoka and S. Horiike, "Measurement of magnetic particle for quantitative evaluation in magnetic particle testing", *Int. J. of Appl. Electromagn. Mech.*, 査読有、Vol. 52, No. 3-4, pp. 1545-1551 (2016)

DOI:10.3233/JAE-162211

⑨ K. Fukuoka, S. Noma, M. Kobayashi, T. Ozaki and Y. Oikawa, "Consideration of multi-coil type magnetizer for detection of omnidirectional crack in magnetic particle testing", *Int. J. of Appl. Electromagn. Mech.*, 査読有、Vol. 52, No. 3-4, pp. 1537-1543 (2016)

DOI:10.3233/JAE-162174

⑩ K. Fukuoka, "Development of ECT probe for flaw detection of microcrack in spring steel material", *Int. J. of Appl. Electromagn. Mech.*, 査読有、

Vol. 52, No. 3-4, pp. 1177-1183 (2016)
DOI:10.3233/JAE-162108

- ⑬ 福岡克弘、「磁粉探傷試験における磁粉模様からのき裂形状定量的評価への試み」、非破壊検査、査読有、Vol. 65, No. 11, pp. 551-555 (2016)
- ⑭ 長谷川諒、福岡克弘、「渦電流探傷試験によるばね鋼微小欠陥の検出と欠陥形状の推定」、電気学会、マグネティックス研究会、査読無、資料番号 (MAG-16-32)、pp. 21-26 (2016)
- ⑮ 千頭龍哉、福岡克弘、「マルチ様および回転渦電流探傷による強磁性体の微小き裂検出」、電気学会、マグネティックス研究会、査読無、資料番号 (MAG-16-33)、pp. 27-30 (2016)
- ⑯ 福岡克弘、「立体形状試験体における均一な全方向磁化の検討」、電気学会、マグネティックス研究会、査読無、資料番号 (MAG-16-138)、pp. 17-22 (2016)
- ⑰ 福岡克弘、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「全方向き裂を探傷可能な磁粉探傷試験用マルチコイル型磁化器の開発」、電気学会論文誌 A 分冊、査読有、Vol. 135-A, No. 12, pp. 786-791 (2015)
DOI:10.1541/ieejfms.135.786
- ⑱ K. Fukuoka, “Development of ECT Probe for Flaw Detection of Microcrack in Spring Steel Material”, The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (proc. of ISEM2015), 査読無、PS2-31 (2015)
- ⑲ K. Fukuoka, S. Horiike and K. Sakuta, “Measurement of Magnetic Particle for Quantitative Evaluation in Magnetic Particle Testing”, The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (proc. of ISEM2015), 査読無、PS1-45 (2015)
- ⑳ K. Fukuoka, S. Noma, M. Kobayashi, T. Ozaki and Y. Oikawa, “Consideration of Multi Coil Type Magnetizer for Detection of Omnidirectional Crack in Magnetic Particle Testing”, The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (proc. of ISEM2015), 査読無、PS1-44 (2015)
- ㉑ 福岡克弘、「磁粉探傷試験の探傷結果によるき裂の定量的評価」、電気学会、マグネティックス研究会、査読無、資料番号 (MAG-15-125)、pp. 13-17 (2015)

[学会発表] (計 3 4 件)

- ① 福岡克弘、長谷川諒、「2 方向励磁 ECT プローブによる鉄鋼材における微小傷の探傷と傷形状の推定評価」、電気学会、平成 30 年電気学会全国大会 (2018)
- ② 千頭龍哉、福岡克弘、「交流を用いた磁気飽和 ECT における磁化と探傷信号の関係性の検討」、日本非破壊検査協会、第 21

回表面探傷シンポジウム (2018)

- ③ 福岡克弘、長谷川諒、「2 方向一様渦電流プローブを用いた丸棒鋼材の高感度探傷とき裂形状の推定」、第 30 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム (2018)
- ④ K. Fukuoka and R. Hasegawa, “Flaw Detection for Microcrack in Spring Steel and Estimation of Crack Shape with Eddy Current Testing”, ISEM2017 (2017)
- ⑤ T. Chikami and K. Fukuoka, “Consideration of Magnetic Saturation ECT using AC Magnetization”, ISEM2017 (2017)
- ⑥ 福岡克弘、長谷川諒、「渦電流試験によるばね鋼中の微小き裂の高感度検出とき裂形状の推定」、電気学会、マグネティックス研究会 (2017)
- ⑦ 三輪登芳、福岡克弘、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「立体形状試験体における回転磁界を用いた MT の実施と検証」、日本非破壊検査協会、第 20 回表面探傷シンポジウム (2017)
- ⑧ 千頭龍哉、福岡克弘、「交流磁気飽和 ECT による鉄鋼材中の微小傷の探傷と探傷信号の評価」、日本非破壊検査協会、第 20 回表面探傷シンポジウム (2017)
- ⑨ 福岡克弘、三輪登芳、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「立体形状試験体の全面を全方向に磁化する磁化装置の開発」、電気学会、平成 29 年電気学会全国大会 (2017)
- ⑩ 三輪登芳、福岡克弘、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「立体形状試験体を磁粉探傷試験するための全方向磁化の検討」、第 29 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム (2017)
- ⑪ 千頭龍哉、福岡克弘、「交流磁気飽和 ECT による鉄鋼材中の微小傷の探傷と探傷信号の評価」、日本非破壊検査協会、平成 29 年度 非破壊検査総合シンポジウム (2017)
- ⑫ 千頭龍哉、福岡克弘、「鉄鋼材を渦電流探傷する際の磁化条件の検討」、日本保全学会、第 14 回学術講演会 (2017)
- ⑬ 福岡克弘、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「立体形状試験体の全面で全方向傷の磁粉探傷試験が可能なマルチコイル型磁化システムの検討」、電気学会、平成 29 年基礎・材料・共通部門大会 (2017)
- ⑭ 三輪登芳、福岡克弘、平松広希、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「回転磁界による立体形状試験体の磁化分布評価と磁粉探傷試験の実施」、日本非破壊検査協会、平成 29 年度秋季講演大会 (2017)
- ⑮ 千頭龍哉、福岡克弘、「交流磁気飽和 ECT での探傷と磁化の同期条件における探傷信号の評価」、日本非破壊検査協会、平成 29 年度秋季講演大会 (2017)
- ⑯ 福岡克弘、「磁粉探傷試験におけるき裂の定量化の検討」、電気学会、平成 28 年電

- 気学会全国大会 (2016)
- ①⑦ 長谷川諒、福岡克弘、「渦電流探傷試験によるばね鋼微小欠陥の検出と欠陥形状の推定」、電気学会、マグネティックス研究会 (2016)
- ①⑧ 千頭龍哉、福岡克弘、「マルチ様および回転渦電流探傷による強磁性体の微小き裂検出」、電気学会、マグネティックス研究会 (2016)
- ①⑨ 千頭龍哉、福岡克弘、「マルチコイル回転渦電流プローブによる鉄鋼材中の微小き裂の探傷」、第 28 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム (2016)
- ②⑩ 福岡克弘、「磁粉探傷試験の探傷結果を用いた傷形状の定量化」、第 28 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム (2016)
- ②⑪ 千頭龍哉、福岡克弘、「鋼材中の微小傷の探傷を目的とした一様渦電流および回転渦電流マルチプローブの検討」、電気学会、平成 28 年基礎・材料・共通部門大会 (2016)
- ②⑫ 福岡克弘、「立体形状試験体における均一な全方向磁化の検討」、電気学会、マグネティックス研究会 (2016)
- ②⑬ 福岡克弘、「三次元回転磁界による立体形状試験体の磁粉探傷試験」、日本非破壊検査協会、平成 28 年度秋季講演大会 (2016)
- ②⑭ 千頭龍哉、福岡克弘、「磁気飽和 ECT における磁化の違いによる検出信号の評価」、日本非破壊検査協会、平成 28 年度表面 3 部門合同研究集会 (2016)
- ②⑮ 千頭龍哉、福岡克弘、「鉄鋼材を渦電流探傷する際の磁化条件の検討」、日本 AEM 学会、第 25 回 MAGDA コンファレンス (2016)
- ②⑯ K. Fukuoka, “Development of ECT Probe for Flaw Detection of Microcrack in Spring Steel Material”, ISEM2015 (2015)
- ②⑰ K. Fukuoka and S. Horiike, “Measurement of Magnetic Particle for Quantitative Evaluation in Magnetic Particle Testing”, ISEM2015 (2015)
- ②⑱ K. Fukuoka, S. Noma, M. Kobayashi, T. Ozaki and Y. Oikawa, “Consideration of Multi Coil Type Magnetizer for Detection of Omnidirectional Crack in Magnetic Particle Testing”, ISEM2015 (2015)
- ③⑰ 福岡克弘、「ばね鋼材の ECT と一様渦電流プローブによる立体形状部の探傷」、日本非破壊検査協会、平成 27 年中部支部講演会、招待講演 (2015)
- ③⑱ 福岡克弘、川越一平、野間翔太、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「立体形状試験体の全面で全方向傷の磁粉探傷試験が可能な磁化システムの開発」、第 27 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム (2015)
- ③⑳ 堀池翔、福岡克弘、「磁束の鋼板表面への

- 拡がりと裏面への回り込み評価」、日本非破壊検査協会、平成 27 年度 非破壊検査総合シンポジウム (2015)
- ③⑲ 福岡克弘、「き裂の定量的評価に向けたき裂形状と付着磁粉量の関係評価」、日本非破壊検査協会、平成 27 年度秋季講演大会 (2015)
- ③⑳ 福岡克弘、「磁粉探傷試験の探傷結果によるき裂の定量的評価」、電気学会、マグネティックス研究会 (2015)
- ④⑰ 福岡克弘、野間翔太、小林正樹、尾崎智裕、及川芳朗、「立体形状試験体における全方向傷の磁粉探傷試験を目的とした磁化装置の検討」、日本 AEM 学会、第 24 回 MAGDA コンファレンス (2015)

[図書] (計 1 件)

- ① 福岡克弘 (他 13 名)、「現在講座・磁気工学 5 パワーマグネティックスのための応用電磁気学 (日本磁気学会編)」、共立出版、全 341 頁 (263-332 頁) (2015)

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 被検査体の磁化方法、被検査体の磁化装置、磁粉探傷装置
 発明者: 福岡克弘、及川芳朗、桑田昌彦、岩田成弘、尾崎智裕
 権利者: 電子磁気工業㈱
 種類: 特許権
 番号: 6289857
 取得年月日: 2018 年 2 月 16 日
 国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等
http://db.spins.usp.ac.jp/html/233_ja.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福岡 克弘 (FUKUOKA Katsuhiko)
 滋賀県立大学・工学部・准教授
 研究者番号: 40512778

(2) 連携研究者

高木 敏行 (TAKAGI Toshiyuki)
 東北大学・流体科学研究所・教授
 研究者番号: 20197065

小島 史男 (KOJIMA Fumio)
 神戸大学・システム情報科学研究科・教授
 研究者番号: 70234763

橋本 光男 (HASHIMOTO Mitsuo)
 独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校・総合課程・教授
 研究者番号: 90198698