

機関番号：14401

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360334

研究課題名 (和文) 摩擦攪拌作用を利用した鉄鋼材料の強加工-無変態接合プロセスの開発

研究課題名 (英文) Development of Severe Deformation / Non-Transformation Process Utilizing Friction Stir Processing

研究代表者

藤井 英俊 (FUJII HIDETOSHI)

大阪大学・接合科学研究所・教授

研究者番号：00247230

研究成果の概要 (和文)：過共析鋼を含む炭素量の異なる種々の炭素鋼に対して、723℃の共析温度 ( $A_1$ 点) 以上および以下で摩擦攪拌接合を実施した。 $A_1$ 点以上で接合した場合には、継手の組織はマルテンサイトからなり、引張試験の結果は大きくばらついた。一方、 $A_1$ 点以下で接合した場合には、微細なフェライトと球状セメンタイトからなる組織を形成し、シャルピー衝撃試験では、 $A_1$ 点以上で接合した場合と比較して約3倍の吸収エネルギー値を示した。

研究成果の概要 (英文)：Friction stir welding was performed for carbon steel with different carbon contents including hyper eutectoid steel below and above the  $A_1$  point (eutectoid temperature 723℃). The microstructures of the above  $A_1$  joints mainly consist of martensite for higher carbon steels. Therefore, the tensile tests results are scattered. On the other hand, the microstructures of the below  $A_1$  joints consist of a ferrite with globular cementite. The absorbed energy for the small Charpy impact test is increased for the below  $A_1$  joints by three times.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2009年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：接合・溶接

## 1. 研究開始当初の背景

炭素鋼は炭素量が増加するにつれ強度が向上するが、例えば、自動車産業界では、ほとんど0.15%以下の炭素量の鋼材しか用いられていない。この理由の一つとして、炭素量が増加するとスポット溶接中の際に脆い相が生成し、割れが発生することが挙げられる。摩擦攪拌接合においても、鉄鋼材料はこれまでは1200℃程度の温度で接合されてきた。したがって、高炭素鋼においては冷却中にマルテンサイトが生成し、従来の熔融溶接と全く同様に割れが発生した。

## 2. 研究の目的

(1) 摩擦攪拌作用を利用して、炭素鋼の強加工-無変態接合プロセスを確立する。この際、プロセス温度を $A_1$ 点 (723℃) 以下とすることで、炭素量に関係なく変態を生じず、高い強度および靱性を有する極めて微細なフェライト-球状セメンタイトを基本とした組織を形成して、構造体化を行うプロセスを確立する。

(2) 摩擦攪拌プロセス中に黒鉛微粒子等の粒子を微細分散させることにより、100nm以下の結晶粒を得る手法を確立し、その際の組織の形成メカニズムを明らかにする。

### 3. 研究の方法

炭素量の異なる  $300\text{mm}^L \times 50\text{mm}^W \times 1.6\text{mm}^T$  の炭素鋼平板を突合せ接合した。ツールはシヨルダー径を  $12\text{mm}$ 、ピンの直径は  $4\text{mm}$  で長さは  $1.5\text{mm}$  とした。本研究では、 $723^\circ\text{C}$  の  $A_1$  点以下の温度で鉄鋼材料の摩擦攪拌プロセスを行うことにより、全く変態を伴わないプロセスを構築する。この場合、極めて微細なフェライト+球状セメント組織となり、強度、靱性、延性に優れた継手を得ることを目標とする。接合後に、外観検査、断面の光学顕微鏡及び SEM による組織観察、マイクロビッカース硬度計による硬さ分布測定および引張試験を行った。

### 4. 研究成果

いずれの素材の場合にも、 $A_1$  点 ( $723^\circ\text{C}$ ) 以下で接合した場合 (回転速度  $100\text{rpm}$ 、接合速度  $100\text{mm}/\text{min}$ ) も  $A_1$  点以上で接合した場合 (回転速度  $400\text{rpm}$ 、接合速度  $200\text{mm}/\text{min}$ ) も、外観上いずれも欠陥のない接合継手を得られた。最も炭素量の多い SK85 ( $0.85\%C$ ) の継手に引張試験を行った結果を図 1 に示す。

$A_1$  点以下で接合した場合はすべての試験片は母材破断し、母材と比べて 90% の伸びになったのに対し、 $A_1$  点以上で接合した場合は 10 個の試験片のうち 6 個は攪拌部で破断した。図 2(a) に  $A_1$  点以下で得られた継手の接合方向に垂直な断面の硬さ分布を、図 2(b) に  $A_1$  点以上で得られた継手の硬さ分布を示す。図 3(a) に示すように、変態を伴わない接合条件においては、攪拌部で極めて微細なフェ

イトと球状セメントの混合組織が得られた。一方、変態を伴う接合条件においては、図 3(b) に示すようにマルテンサイトからなる組織が形成され、硬度が大幅に上昇した。

これらの業績は、Science Direct Hottest Articles (Scripta Materialia) の 4 位にランクされた。

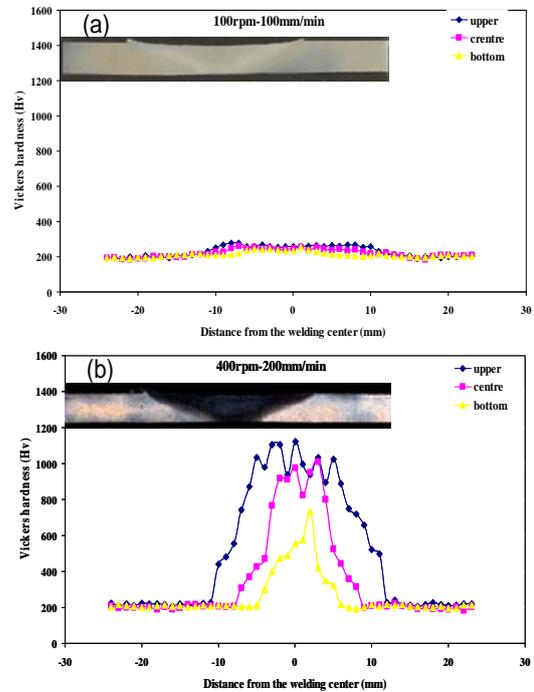


図 2 (a)  $A_1$  点以上と (b)  $A_1$  点以下で接合した SK85 継手の断面における硬度分布

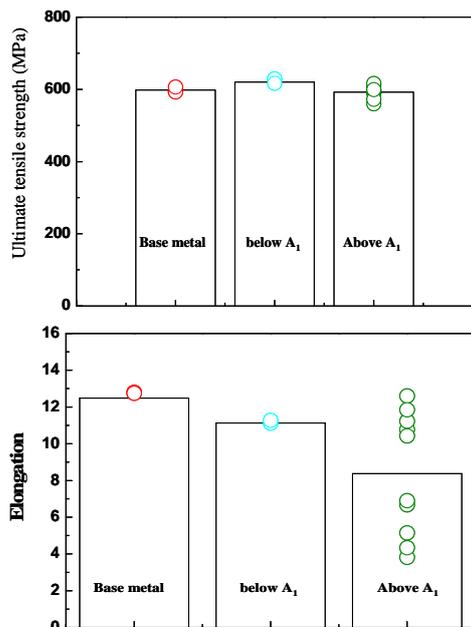


図 1 SK85 継手の引張試験結果



図 3 (a)  $A_1$  点以上と (b)  $A_1$  点以下で接合した SK85 継手の断面における組織

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 52 件)

- (1) Yoshiaki Morisada, Hidetoshi Fujii, Tadashi Mizuno, Genryu Abe, Toru Nagaoka and Masao Fukusumi, “Modification of thermally sprayed cemented carbide layer by friction stir processing”, Surface & Coating Technology 204 (2010) 2459-2464 (査読有)
- (2) 藤井英俊, 鉄系材料の FSW と FSP, 高温学会誌 36 (2010) 140-144 (査読有)
- (3) Hidetoshi Fujii, Yufeng Sun, Hideaki Kato, Kazuhiro Nakata, “Investigation of welding parameter dependent microstructure and mechanical properties in friction stir welded pure Ti joints”, Materials Science and Eng. A 527 (2010) 3386-3391 (査読有)
- (4) Y.F.Sun, Y.S.Ji, H.Fujii, K.Nakata and K.Nogi, “Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Joint of  $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$  Bulk Metallic Glass with Pure Copper”, Materials Science and Eng. A 527 (2010) 3427-3432 (査読有)
- (5) Young Dong Chung, Hidetoshi Fujii and Hiroyasu Tanigawa, “Dissimilar Friction Stir Welding of F82H Steel and Austenite Stainless Steels without Transformation”, Proc. 8th Int. FSW Symp. 8 (2010), 8B-3-1-8B-3-10 (査読無)
- (6) Yasuyuki Miyano, Hidetoshi Fujii, Yufeng Sun, Yasuyuki Katada, Shuji Kuroda and Osamu Kamiya, “Evaluation of the mechanical properties of high nitrogen-containing austenitic stainless steel friction stir welds”, Proc. 8th Int. FSW Symp. 8 (2010) 8B-4-1-8B-4-7 (査読無)
- (7) Y.Morisada, H.Fujii, T.Mizuno, G.Abe, T.Nagaoka and M.Fukusumi, “Modification of Thermally Sprayed Cemented Carbide Layer by Friction Stir Processing”, Proc. 8th Int. FSW Symp.8 (2010) 9B-1-1-9B-1-6 (査読無)
- (8) Hidetoshi Fujii, Koji Inada, Young Su Ji, Yu Feng Sun and Yoshiaki Morisada, “Development of Friction Stir Powder Processing (FSPP) for Prevention of Defect Formation and Control of Mechanical Properties”, Proc. 8th Int. FSW Symp.8 (2010) 9B-3-1 - 9B-3-9 (査読無)
- (9) Y.F.Sun, Y.S.Ji, H.Fujii and K.Nakata, “Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Joint of  $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$  Bulk Metallic Glass with Pure Copper”, Proc. 8th Int. FSW Symp.8 (2010) (査読有)
- (10) 森貞好昭, 水野雅, 阿部源隆, 藤井英俊, “摩擦攪拌プロセスによる溶射皮膜の超硬化技術”, 溶射技術 30 (2010) 47-50 (査読有)
- (11) 宮澤智明, 岩本祐一, 丸子智弘, 藤井英俊, “高温材料の接合に向けた Ir 系摩擦攪拌接合ツールの開発”, 溶接学会論文集 28 (2010) 203-207 (査読有)
- (12) Y.D. Chung, H. Fujii, R. Ueji and N. Tsuji, “Friction stir welding of high carbon steel with excellent toughness and ductility”, Scripta Materialia 63 (2010) 223-226 (査読有)
- (13) Y.F. Sun, N. Tsuji, H. Fujii and F.S. Li, “Cu/Zr nanoscaled multi-stacks fabricated by accumulative roll bonding”, Journal of Alloys and Compounds 504 (2010) 443-447 (査読有)
- (14) Y.F. Sun and H. Fujii, “Investigation of the welding parameter dependent microstructure and mechanical properties of friction stir welded pure copper”, Materials Science and Eng. A, 527 (2010) 6879-6886 (査読有)
- (15) 藤井英俊, “鉄系材料の FSW と FSP”, (社) 溶接学会溶接冶金研究委員会創設 50 周年記念シンポジウム記念誌講演論文集 (2010) 73~76 (査読有)
- (16) 今川浩一, 藤井英俊, 山口泰文, 木口昭二, “摩擦攪拌プロセスによるフェライト球状黒鉛鑄鉄の表面硬化”, 鑄造工学 82 (2010) 674~679 (査読有)
- (17) Y. Morisada, H. Fujii, T. Mizuno, G. Abe, T. Nagaoka and M. Fukusumi, “Modification of thermally sprayed cemented carbide layer by friction stir processing”, Trans. JWRI 39 (査読無)
- (18) 池英洙, 藤井英俊, 稲田孝治ら, “摩擦攪拌プロセスによる Fe 基金属ガラス分散アルミニウム基複合材料の作製”, 日本金属学会誌 75 (2010) 47~54 (査読有)
- (19) M. Matsushita, Y. Kitani, R. Ikeda, M. Ono, H. Fujii and Y. D. Chung, “Development of Friction Stir Welding of High Strength Steel Sheet”, Science and Technology of Welding and Joining 16 (2010) 181-187 (査読有)
- (20) Yoshiaki Morisada, Hidetoshi Fujii, Tadashi Mizuno, Genryu Abe, Toru Nagaoka and Masao Fukusumi, “Fabrication of Nanostructured Tool Steel Layer by Combination of Laser Cladding and Friction Stir Processing”, Surface & Coating Technology, 205 (2010) 3397-3403 (査読有)
- (21) Y.F.Sun, H. Fujii, N. Tsuji, Y. Todaka, M. Umemoto, “Fabrication of ZrAlNiCu Bulk Metallic Glass Composites Containing Pure

- Copper Particles by High-Pressure Torsion”, *J. Alloys Compounds* 492 (2010) 149-152 (査読有)
- (22) K. Inada, H. Fujii, “Design of Joint Properties by Friction Powder Processing”, *Mater. Sci. Forum* 638-642 (2010) 2058-2063 (査読有)
- (23) 藤井英俊, “炭素鋼のレーザハイブリッド摩擦攪拌接合”, *レーザ加工学会誌* 16 (2009) 171-175 (査読有)
- (24) 松下宗生, 藤井英俊, “高張力鋼板の摩擦攪拌接合 (FSW) 技術の開発”, *溶接学会論文集* 27 (2009) 360-370 (査読有)
- (25) Y.F. Sun, H. Fujii et al., “Effect of Initial Grain Size on the Joint Properties of Friction Stir Welded Aluminum”, *Mater. Sci. Eng. A* 527 (2009) 317-321 (査読有)
- (26) Y. Morisada, H. Fujii et al., “Modification of Nitride Layer on Cold-Work Tool Steel by Laser Melting and Friction Stir Processing”, *Surf. Coat. Tech* 204 (2009) 386-390 (査読有)
- (27) K.H. Song, H. Fujii et al., “Effect of Welding Speed on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Inconel 600”, *Mater. Design* 30 (2009) 3972-3978 (査読有)
- (28) Y. Morisada, H. Fujii et al., “Nanostructured Tool Steel Fabricated by Combination of Laser Melting and Friction Stir Processing”, *Mater. Sci. Eng. A* 505 (2009) 157-162 (査読有)
- (29) T. Ishikawa, H. Fujii et al., “High Speed-High Quality Friction Stir Welding of Austenitic Stainless Steel”, *ISIJ Int.* 49 (2009) 897-901 (査読有)
- (30) Y.D. Chung, H. Fujii et al., “Friction Stir Welding of Hypereutectoid Steel (SK5) below Eutectoid Temperature”, *Sci. Tech. Weld. Join.* 14 (2009) 233-238 (査読有)
- (31) Y.C. Chen, H. Fujii et al., “Friction Stir Processing of 316L Stainless Steel Plate”, *Sci. Tech. Weld. Join.* 14 (2009) 197-201 (査読有)
- (32) Y. Shinoda, H. Fujii et al., “Development of Creep-Resistant Tungsten Carbide Copper Cemented Carbide”, *Mater. Trans.* 50 (2009) 1250-1254 (査読有)
- (33) Y.S. Ji, H. Fujii et al., “Friction Stir Welding of  $Zr_{15}Cu_{30}Ni_5Al_{10}$  Bulk Metallic Glass”, *Mater. Trans.* 50 (2009) 1300-1303 (査読有)
- (34) K.H. Song, H. Fujii et al., “Evaluation of Grain Refinement and Mechanical Property on Friction Stir Welded Inconel 600”, *Mater. Trans.* 50 (2009) 832-836 (査読有)
- (35) Y. Chen, H. Fujii et al., “Effect of Tool Geometry on Tool Wear Characterization and Weld Formation in Friction Stir Welding of 316L Stainless Steel”, *Q. J. Jpn. Weld.* 27 (2009) 85s-88s (査読有)
- (36) Y.S. Ji, H. Fujii et al., “Friction Stir Welding of Zr-Based Bulk Metallic Glass”, *J. Phys. Conf. Ser.* 165 (2009) 012015-012019 (査読有)
- (37) 長岡亨, 藤井英俊ら, “無酸素銅とアルミニウムの摩擦攪拌異材接合継手の機械的性質”, *科学と工業* 83 (2009) 337-342 (査読有)
- (38) H. Fujii et al., “Surface Hardening of Two Cast Irons by Friction Stir Processing”, *J. Phys.* 165 (2009) 012013-012017 (査読有)
- (39) 藤井英俊, “非常識を可能にする一鉄鋼材料を変態させずに接合”, *生産と技術* 61 (2009) 1-6 (査読無)
- (40) 藤井英俊, “FSW”, *溶接学会誌* 78 (2009) 274-282 (査読有)
- (41) Y.D. Chung, H. Fujii et al., “Friction Stir Welding of High Carbon Tool Steel (SK85) below Eutectoid Temperature”, *Trans. JWRI* 38 (2009) 41 (査読無)
- (42) 玄地一夫, 藤井英俊ら, “オーステナイト系ステンレス鋼の摩擦攪拌接合における接合効率の改善”, *東急車輛技報* 58 (2009) 8-11 (査読無)
- (43) H. Fujii et al., “High Strength and Toughness of High Carbon Steel Joint Friction Stir Welded below Eutectoid Temperature”, *Processing and Fabrication of Advanced Materials-XVIII* 4 (2009) 1943-1952 (査読無)
- (44) Y. Miyano, H. Fujii et al., “Friction Stir Welding of High Nitrogen-containing Austenitic Stainless Steel”, *10<sup>th</sup> Int. Conf. High Nitrogen Steels* (2009) 162-167 (査読無)
- (45) H. Fujii et al., “Surface Hardening of Cast Irons by Friction Stir Processing”, *Mater. Trans.* 49 (2008) 2837-2843 (査読有)
- (46) 石川武, 藤井英俊ら, “オーステナイト系ステンレス鋼の高品質, 高速度摩擦攪拌接合”, *鉄と鋼* 94 (2008) 539-544 (査読有)
- (47) H. Fujii et al., “Mechanical Properties of Friction Stir Welded Carbon Steel Joints –Friction Stir Welding with and without Transformation”, *Welding in the World* 52 (2008) 75-81 (査読有)
- (48) H. Fujii et al., “Hybrid Friction Stir Welding of Carbon Steel”, *Mater. Sci. Forum.* 580 (2008) 393-396 (査読有)

- (49) Y. Yamaguchi, H. Fujii et al., "Surface Modification of Cast Iron by Friction Stir Processing", Proc. 10<sup>th</sup> Asian Foundry Cong. 10 (2008) 571-575 (査読無)
- (50) H. Fujii et al., "Laser Assisted Hybrid Friction Stir Welding of Carbon Steel", 7<sup>th</sup> Int. Symp. FSW (2008) 1-6 (査読無)
- (51) T. Ishikawa, H. Fujii et al., "High-Speed and High Quality Friction Stir Welding of Austenitic Stainless Steel", 7<sup>th</sup> Int. Symp. FSW (2008) 1-7 (査読無)
- (52) 藤井英俊, "鉄鋼材料の摩擦攪拌接合の展望", 金属 78 (2008) 4-9 (査読無)

〔学会発表〕 (計 8 0 件)  
詳細省略

〔図書〕 (計 1 件)

- (1) 藤井英俊 他, シーエムシー出版, チタンの基礎・加工と最新応用技術", 3 章「溶接」, 2009, p.98-107

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 4 件)

- (1) 名称: 摩擦攪拌接合用の金属材料  
発明者: 藤井英俊, 他 3 名  
権利者: 大阪大学他  
種類: 特許  
番号: 特願 2011-55409  
出願年月日: 2011 年 3 月 14 日  
国内外の別: 国内
- (2) 名称: 摩擦攪拌接合用の金属材料  
発明者: 藤井英俊, 他 3 名  
権利者: 大阪大学他  
種類: 特許  
番号: 特願 2011-55406  
出願年月日: 2011 年 3 月 14 日  
国内外の別: 国内
- (3) 名称: 回転ツール  
発明者: 藤井英俊, 他 4 名  
権利者: 大阪大学他  
種類: 特許  
番号: 特願 2010-286003  
出願年月日: 2010 年 12 月 22 日  
国内外の別: 国内
- (4) 名称: 回転ツール  
発明者: 藤井英俊, 他 4 名  
権利者: 大阪大学他  
種類: 特許  
番号: 特願 2010-285953  
出願年月日: 2010 年 12 月 22 日  
国内外の別: 国内
- (5) 名称: 回転ツール  
発明者: 藤井英俊, 他 4 名  
権利者: 大阪大学他  
種類: 特許  
番号: 特願 2010-285914

出願年月日: 2010 年 12 月 22 日

国内外の別: 国内

(6) 名称: フェライト系黒鉛鋳鉄材の表面硬化処理方法

発明者: 藤井英俊, 他 2 名

権利者: 大阪大学他

種類: 特許

番号: 特願 2010-230499

出願年月日: 2010 年 10 月 13 日

国内外の別: 国内

(7) 名称: 摩擦攪拌プロセスに用いるツール

および摩擦攪拌プロセス

発明者: 藤井英俊, 他 2 名

権利者: 大阪大学他

種類: 特許

番号: 特願 2010-213898

出願年月日: 2010 年 9 月 24 日

国内外の別: 国内

(8) 名称: 鉄系材料の接合方法

発明者: 藤井英俊, 他 2 名

権利者: 大阪大学他

種類: 特許

番号: 特願 2010-182652

出願年月日: 2010 年 8 月 17 日

国内外の別: 国内

(9) 名称: 金属材料の製造方法

発明者: 藤井英俊, 他 3 名

権利者: 大阪大学他

種類: 特許

番号: 特願 2010-182650

出願年月日: 2010 年 8 月 17 日

国内外の別: 国内

(10) 名称: 超硬合金の改質方法および該方法

によって改質された超硬合金

発明者: 藤井英俊, 他 5 名

権利者: 大阪大学他

種類: 特許

番号: PCT/JP2010/63584

出願年月日: 2010 年 8 月 10 日

国内外の別: 外国

(11) 名称: 鉄鋼材の組織微細化方法, 微細組織を有する鉄鋼材および刃物

発明者: 藤井英俊, 他 5 名

権利者: 大阪大学他

種類: 特許

番号: EP 08 833 284.6 EP 08 833 284.6

出願年月日: 2010 年 8 月 6 日

国内外の別: 外国

(12) 名称: 高耐食性表面処理方法

発明者: 藤井英俊, 他 3 名

権利者: 大阪大学他

種類: 特許

番号: 特願 2010-176660

出願年月日: 2010 年 8 月 5 日

国内外の別: 国内

(13) 名称: 鉄鋼材の組織微細化方法, 微細組織を有する鉄鋼材および刃物

発明者：藤井英俊,他 5 名  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：US 12/806 160  
出願年月日：2010 年 7 月 26 日  
国内外の別：外国  
(14) 名称：鉄鋼材の組織微細化方法, 微細組織を有する鉄鋼材および刃物  
発明者：藤井英俊,他 5 名  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：特願 2009-534445 PCT/JP2008/6756  
出願年月日：2010 年 6 月 17 日  
国内外の別：国内  
(15) 名称：金属材の加工方法, 金属材の加工方法によって加工された構造物及び回転ツール  
発明者：藤井英俊, 他 4 名  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：PCT/JP2009/071476  
出願年月日：2009 年 12 月 24 日  
国内外の別：国外  
(16) 名称：超硬合金の改質方法および該方法によって改質された超硬合金  
発明者：藤井英俊, 他 5 名  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：特願 2009-185651  
出願年月日：2009 年 8 月 10 日  
国内外の別：国内  
(17) 名称：Method for Welding Metal Materials  
発明者：H.Fujii and T.Maruko  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：EP 07805988.8 (PCT/JP2007/066359)  
出願年月日：2009 年 6 月 10 日  
国内外の別：国外  
(18) 名称：回転ツール  
発明者：藤井英俊, 他 4 名  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：特願 2009-111081  
出願年月日：2009 年 4 月 30 日  
国内外の別：国内  
(19) 名称：金属材への窒化方法  
発明者：藤井英俊他 5 名  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：特願 2009-55655  
出願年月日：2009 年 3 月 9 日  
国内外の別：国内  
(20) 名称：金属材の加工方法, 金属材の加工方法によって加工された構造物及び回転ツール  
発明者：藤井英俊他 4 名

権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：特願 2008-327592  
出願年月日：2008年12月24日  
国内外の別：国内  
(21) 名称：金属材の接合方法及び構造物  
発明者：藤井英俊他1名  
権利者：大阪大学  
種類：特許  
番号：PTC/JP2007/063481  
出願年月日：2008年12月16日  
国内外の別：国外  
(22) 名称：車両用強度部材  
発明者：藤井英俊他 2 名  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：特願 2008-310037  
出願年月日：2008 年 12 月 5 日  
国内外の別：国内  
(23) 名称：摩擦攪拌接合方法, 摩擦攪拌接合継手の製造方法, 及び, 摩擦攪拌接合継手  
発明者：藤井英俊他 2 名  
権利者：藤井英俊他  
種類：特許  
番号：特願 2008-211219  
出願年月日：2008年8月19日  
国内外の別：国内  
(24) 名称：摩擦攪拌接合装置および摩擦攪拌接合方法  
発明者：藤井英俊他 2 名  
権利者：大阪大学他  
種類：特許  
番号：特願 2008-205706  
出願年月日：2008 年 8 月 8 日  
国内外の別：国内

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt9/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤井 英俊 (FUJII HIDETOSHI)  
大阪大学・接合科学研究所・教授  
研究者番号：00247230

### (2) 研究分担者

森貞 好昭 (MORISADA YOSHIKI)  
大阪市立工業研究所・加工技術課・研究員  
研究者番号：00416356  
津村 卓也(TSUMURA TAKUYA)  
大阪大学・接合科学研究所・助教  
研究者番号：00283812  
野城 清(NOGI KIYOSHI)  
大阪大学・接合科学研究所・教授  
研究者番号：40029335  
(H20 まで分担者として参画)