

研究種目：	基盤研究 (A)
研究期間：	2005～2008
課題番号：	17206074
研究課題名(和文)	複合ツールを用いたハイブリッド摩擦攪拌接合による鉄系材料の低環境負荷接合機構解明
研究課題名(英文)	Development of hybrid friction stir welding for ferrous-materials by using composite tool with low environmental influence and its joining mechanism
研究代表者	
	中田 一博 (NAKATA KAZUHIRO)
	大阪大学・接合科学研究所・教授
研究者番号：	80112069

研究成果の概要：

接合部材局所直前予熱並びに接合直後冷却システムを有するハイブリッド式摩擦攪拌接合法を開発すると共に、省エネルギーで、効率的な予熱・直後冷却を行うための摩擦発熱・予熱・冷却をハイブリッド化した熱伝導モデルとインプロセスモニタリング制御システムを構築し、さらに耐熱高耐久性複合ツール開発並びに多軸複動 FSW システムを構築するとともに、鉄鋼及び非鉄金属材料への適用性と接合部微細組織構造及び機械的・化学的性質との相関性を明らかにし、鉄系材料の省エネルギー・環境対応型接合システムの学術・技術基盤を確立した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	19,400,000	5,820,000	25,220,000
2006年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2007年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2008年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
総計	38,700,000	11,610,000	50,310,000

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： 摩擦攪拌接合、ツール、ハイブリッド、鉄、環境、接合機構、組織、非鉄材料

1. 研究開始当初の背景

摩擦攪拌接合法は、先端にピンを有する鉄鋼製の回転ツールを接合部材の突合せ線に押しつけてピンを挿入し、その摩擦発熱によりツール・ピン周囲の部材を加熱・塑性流動させることにより接合する新しい接合法である。固相接合でありながら連続した接合部を得ることができ、小入熱と攪拌効果により機械的性質に優れた微細組織が形成され、省エネルギー型の環境に優しい高効率接合法として注目されている。しかし、適用可能な材料は軟質材料である Al

合金、Mg 合金及び銅合金に限られ、鉄系材料への適用は未だ無い。強度の高い鉄系材料では塑性流動を起こすためにより高温の加熱が必要であり、必然的にツールの過熱と激しい摩耗損傷を招き、短時間で使用不能となる。また接合部組織も粗粒化して脆化する。このため現状では鉄系材料への適用は極めて困難であり、新しい摩擦攪拌接合システムの開発が強く求められている。

2. 研究の目的

鉄系材料の摩擦攪拌接合(以下 FSW と呼

ぶ)を可能とするプロセスシステム及びツール開発と、接合部の粗粒化を抑制した微細構造制御による接合部の高品質化を図り、省エネルギー・環境対応型接合システムを開発する。

3. 研究の方法

(1)接合部材予熱並びに接合部の接合直後の冷却システムを有するハイブリッド式 FSW システムを開発する。局部加熱が可能で、かつ投入エネルギーの形状や量を任意に制御可能なレーザ加熱装置(既設)を用いてツール直前の部材を局所予熱し、部材軟化によりツールへの力学的負荷を低減して鉄鋼材料への適用を図るとともに、炭酸ガス高速噴射装置(新設)を利用してツール後方の接合部の接合直後冷却を行い、熱伝導シミュレーションなどによる最適化により粗粒化を防止して、微細組織を得る。

(2)FSW 用ツールとして、セラミックス薄膜を靱性のある工具鋼に被覆した複合ツール及び高温での化学的安定性に優れた立方晶窒化ボロン (CBN) 製セラミックスツールを製作し、ハイブリッド式 FSW と組み合わせて鉄系材料への適用性と耐久性を工具鋼ツールと比較評価する。

(3)ハイブリッド式 FSW を行った接合部の微細構造と機械的・化学的性質との相関性を明らかにし、接合プロセスの最適化システムを構築するとともに、既存アーク溶接に代わる鉄系材料の省エネルギー・環境対応型接合システム基盤を確立する。

(4)当該開発接合システムの鉄系材料以外の Ni 合金、Ti 合金、Al 合金、Mg 合金などの非鉄金属材料への適用性を評価する。

4. 研究成果

当該研究で得られた代表的な研究成果を以下に示す。

(1)鉄鋼材料に適用可能なハイブリッド式 FSW 装置の開発：図 1 に示す接合部材予熱並びに接合部の接合直後の冷却システムを有するハイブリッド式 FSW システムを開発した。局部加熱が可能で、かつ投入エネルギーの形状や量を任意に制御可能な YAG レーザ加熱装置(既設)を用いてツール直前の部材を局所予熱し、部材軟化によりツールへの力学的負荷を低減して鉄鋼材料への適用を図るとともに、炭酸ガス高速噴射装置(新設)を利用してツール後方の接合部の接合直後冷却を行い、熱伝導シミュレーシ

ンなどによる最適化により接合部の結晶粒の粗粒化を防止して、微細組織を得ることを可能とした。

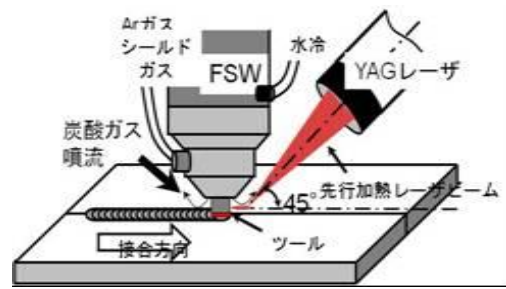


図 1 ハイブリッド式 FSW の模式図

(2)鉄鋼材料のハイブリッド式 FSW：ハイブリッド式 FSW による板厚 2mm の SS400 軟鋼板の接合部断面組織を図 2 に示す。欠陥の無い良好な接合部が得られており、母材に比して接合部中心部の攪拌(SZ)部は微細組織を呈している。また図 3 は FSW 継手強度と接合速度との関係を示す。破断は母材部であり良好な継手が得られている。特に、通常の FSW では接合速度 400mm/min 以上では超硬合金ツールが破損して接合不可能であったのに対して、ハイブリッド式 FSW では 2 倍の 800mm/min までの高速化が可能となった。

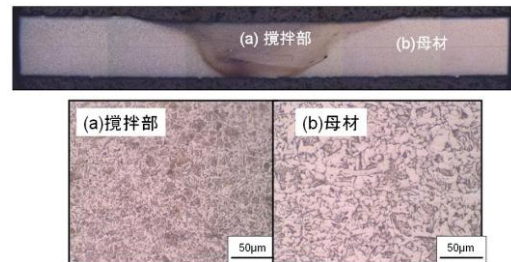


図 2 軟鋼ハイブリッド式 FSW 接合部断面組織

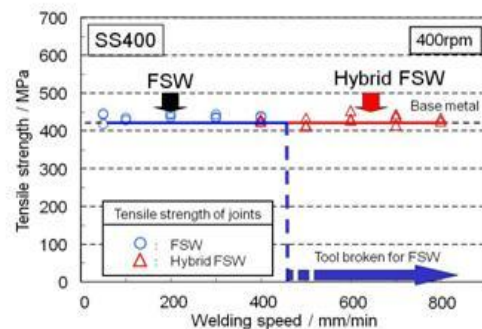


図 3 FSW 継手強度と接合速度との関係

(3) ステンレス鋼厚板の FSW: オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L は高温強度が高いために超合金ツールでは接合が困難であったが、立方晶窒化ボロン (CBN) 製セラミックツールを開発し適用した結果、図 4 に示すように板厚に相当する接合深さ 5mm を達成した。継手強度は図 5 に示す応力-ひずみ曲線から分かるように十分な伸びを示し、図中の試験後の外観写真に示すように母材部で破断した。

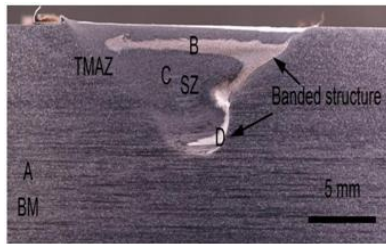


図 4 ステンレス鋼厚板 FSW 部断面組織

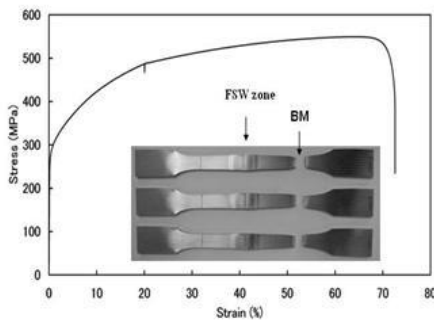


図 5 ステンレス鋼 FSW 継手の引張特性

(4) Ni 合金の FSW: FSW が困難とされて来た耐熱合金インコネル 600 薄板(2mm)の FSW を可能とした。また図 6 に EBSD 解析による結晶粒界を示すが、母材 (a) に比して SZ 部 (b)~(d) は接合速度の増加に伴い著しく微細化し、ホールペッチ効果により SZ 部は母材よりも高強度を有することを示した。

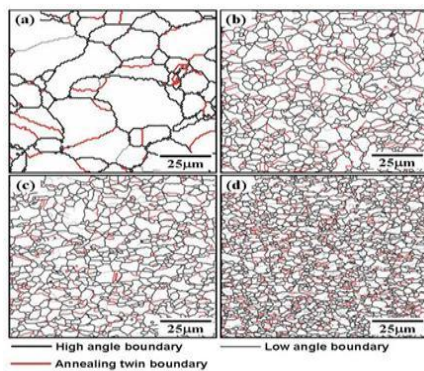


図 6 EBSD 解析による SZ 部の結晶粒界分布

(5) 難溶接加工性非鉄金属材料への FSW 適用性: 結晶構造が六方晶をとる Mg 合金や Ti 合金は塑性加工が困難であり、FSW の適用も同様に困難とされてきたが、接合温度の最適化により FSW 接合が可能であることを明らかにした。また溶融溶接が困難な Al 合金や Mg 合金の鋳物やダイキャスト材、あるいは粉末焼結材に対して固相接合である FSW が適しており、良好な接合部が得られることを明らかにした。図 7 は粉末焼結後に押し出し加工で得られた微細結晶高強度 Mg 合金の FSW 接合部断面マクロ組織 (a) と母材 (b)、境界部 TMAZ (c)、攪拌部 SZ (d) のミクロ組織を示す。攪拌部及び境界部共に母材と同等の微細結晶粒組織を維持しており、また (e) は攪拌部の透過型電子顕微鏡による微細構造写真であり、ナノサイズの金属間化合物粒子が微細に分散し、数ミクロン径の微細結晶の粒成長を抑制していることが示唆される。このような微細結晶組織により高い接合強度を維持したままの接合が達成された。

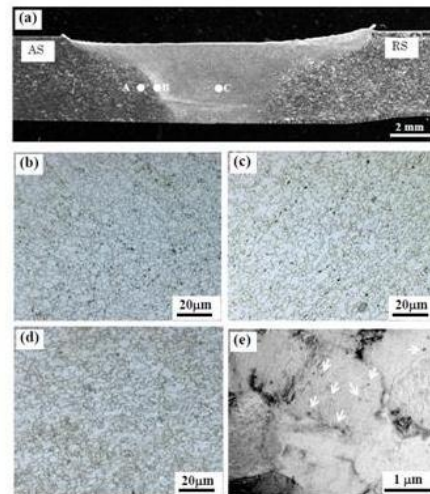


図 7 微細結晶粒を有する高強度 Mg 合金の FSW 接合部の形成組織

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 26 件)

- ① Y. C. Chen, K. Nakata, Microstructural Characterization and Mechanical Properties in Friction Stir Welding of Aluminum and Titanium Dissimilar Alloys, Mater. & Design, 30 巻、469-474、2009 年、有
- ② 山本尚嗣, 廖金孫, 渡邊修平, 中田一博, 微細結晶粒を持つ高強度 Mg 合金と Al 合

- 金との摩擦攪拌接合性、日本金属学会誌、73巻、103-109、2009年、有
- ③ 青沼 昌幸, 津村 卓也, 中田 一博、チクソモールドしたAZ91Dマグネシウム合金とチタンとの摩擦攪拌接合、*鑄造工学*、80巻、219-224、2008年、有
- ④ Y. C. Chen, T. Komazaki, Y. G. Kim, T. Tsumura, K. Nakata、Interface Microstructure Study of Friction Stir Lap Joint of AC4C Cast Aluminum Alloy and Zinc-Coated Steel、*Mater. Chem. Phys.*、111巻、375-380、2008年、有
- ⑤ H. Fujii, T. Tatsuno, T. Tsumura, M. Tanaka, K. Nakata、Hybrid Friction Stir Welding of Carbon Steel、*Mater. Sci. Forum*、580-582巻、393-396、2008年、有
- ⑥ Y. C. Chen, T. Komazaki, Y. G. Kim, T. Tsumura, K. Nakata、Friction Stir Lap Joining of AC4C Cast Aluminum Alloy and Zinc-coated Steel、*Mater. Sci. Forum*、580-582巻、371-374、2008年、有
- ⑦ H. S. Park, B. W. Lee, T. Murakami, K. Nakata, M. Ushio、Friction Stir Welding of Oxygen Free Copper and 60%Cu-40%Zn Copper Alloy、*Mater. Sci. Forum*、580-582巻、447-450、2008年、有
- ⑧ 山本 尚嗣, 廖 金孫, 中田 一博、微細結晶粒を持つ高強度 Mg-Zn-Al-Ca-La系Mg合金の摩擦攪拌接合性、*日本金属学会誌*、72巻、538-543、2008年、有
- ⑨ Y. C. Chen, K. Nakata、Effect of the Surface State of Steel on the Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar Metal Lap Joints of Aluminum and Steel by Friction Stir Welding Metall、*Mater. Trans. A*、39A巻、1985-1992、2008年、有
- ⑩ H. Fujii, L. Cui, K. Nakata, K. Nogi、Mechanical Properties of Friction Stir Welded Carbon Steel Joints -Friction Stir Welding with and without Transformation、*Welding in the World*、52巻、75-81、2008年、有
- ⑪ Y. C. Chen, T. Komazaki, T. Tsumura, K. Nakata、Role of Zinc Coat in Friction Stir Lap Welding Al and Zinc Coated Steel、*Mater. Sci. Technol.*、24巻、33-39、2008年、有
- ⑫ Y. C. Chen, K. Nakata、Friction Stir Lap Joining Aluminum and Magnesium Alloys、*Scr. Mater.*、58巻、433-436、2007年、有
- ⑬ H. Fujii, H. Kato, K. Nakata, K. Nogi、Mechanical Properties of Friction-Stir Welded Titanium Joint、Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials II: *Ceram. Trans.*、198巻、51-56、2007年、有
- ⑭ 藤井英俊, 立野高寛, 田中学, 中田一博, 野城清、炭素鋼のレーザハイブリッド摩擦攪拌接合、*レーザ加工学会講演論文集*、69巻、143-147、2007年、有
- ⑮ Ling Cui, Hidetoshi Fujii, Nobuhiro Tsuji, Kazuhiro Nakata, Kiyoshi Nogi, Rinsei Ikeda, Muneo Matsushita、Transformation in Stir Zone of Friction Stir Welded Carbon Steels with Different Carbon Contents、*ISIJ International*、47巻、299-306、2007年、有
- ⑯ Y. G. Kim, H. Fujii, T. Tsumura, T. Komazaki, K. Nakata、Effect of Welding Parameters on Microstructure in the Stir Zone of FSW Joints of Aluminum Die Casting Alloy、*Mater. Lett.*、60巻、3830-3837、2006年、有
- ⑰ 金永坤, 藤井英俊, 津村卓也, 駒崎徹, 中田一博、マルチパス摩擦攪拌プロセスによるADC12ダイカスト材の組織と機械的特性の改善、*鑄造工学*、78巻、451-456、2006年、有
- ⑱ 立野高寛, 津村卓也, 駒崎徹, 赤松勝也, 中田一博、摩擦攪拌接合によるADC12とA5052アルミニウム合金の異材継手の形成、*鑄造工学*、78巻、389-395、2006年、有
- ⑲ H. Fujii, L. Cui, N. Tsuji, M. Maeda, K. Nakata, K. Nogi、Friction Stir Welding of Carbon Steels、*Mater. Sci. Eng. A*、429巻、50-57、2006年、有
- ⑳ F. Ye, H. Fujii, T. Tsumura, K. Nakata、Friction Stir Welding of Inconel Alloy 600、*J. Mater. Sci.*、41巻、5376-5379、2006年、有
- ㉑ K. Nakata, Y. G. Kim, H. Fujii, T. Tsumura, T. Komazaki、Improvement of Mechanical Properties of Aluminum Die Casting Alloy by Multi-Pass Friction Stir Processing、*Mater. Sci. Eng. A*、437巻、274-280、2006年、有
- ㉒ Y. G. Kim, H. Fujii, T. Tsumura, T. Komazaki, K. Nakata、Three Defect Types in Friction Stir Welding of Aluminum Die Casting Alloy、*Materials Science and Engineering A*、415巻、250-254、2006年、有
- ㉓ M. Mochizuki, M. Inuzuka, H. Nishida, K. Nakata, M. Toyoda、Fracture Toughness of Structural Aluminium Alloy Thick Plate Joints by Friction Stir Welding、*Sci. Technol. Weld. Joining*、366-370、2006年、有
- ㉔ H. Fujii, R. Ueji, K. Nakata, K. Nogi、

- Friction Stir Welding of Ultrafine Grained IF and Carbon Steels, Trans. JWRI, 35 卷、47-52、2006 年、有
- ②⑤ F. Ye, T. Tsumura, T. Komazaki, K. Nakata、Structure and Mechanical Properties of ADC12 and A5083 Dissimilar Friction Stir Welded Joints, Trans. JWRI, 35 卷、53-56、2006 年、有
- ②⑥ Hidetoshi FUJII, Young Gon KIM, Takuya TSUMURA, ToruKOMAZAKI, Kazuhiro NAKATA、Estimation of Material Flow in Stir Zone during Friction Stir Welding by Distribution Measurement of Si Particles, Materials Transactions, 47 卷、224-232、2006 年、有

[学会発表] (計 28 件)

- ① Y. Ji, H. Fujii, K. Nakata, K. Nogi, H. Kimura, A. Inoue、Friction Stir Welding of Zr55Cu30Ni5Al10 Bulk Metallic Glass, The IUMRS Int. Conf. in Asia2008、2008 年 12 月 9 日-13 日、愛知
- ② K. H. Song, H. Fujii, K. Nakata、Grain Refinement and Mechanical Properties Evolution of Friction Stir Welded Ni Base Alloy, The 8th Int. Welding Symp. (8WS)、2008 年 11 月 16 日-18 日、京都
- ③ Y. Ji, H. Fujii, K. Nakata, K. Nogi, H. Kimura, A. Inoue、Friction Stir Welding of Zr Based Bulk Metallic Glass, Int. Conf. on Adv. Structural and Functional Materials Design 2008、2008 年 11 月 10 日-12 日、大阪
- ④ 井上岳, 中田一博, 陳迎春, 宋國鉉, 興石房樹, 鈴木啓一, 北川良彦、高張力鋼の摩擦攪拌接合性、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会、2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑤ 渡邊修平, 山本尚嗣, 廖金孫, 津村卓也, 中田一博、高強度 Mg 合金と Al 合金の摩擦攪拌接合による異材接合、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会 2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑥ 坂村勝, 大石郁, 竹保義博, 津村卓也, 中田一博、鋼板用摩擦攪拌点接合技術の開発、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会、2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑦ 鄭永東, 藤井英俊, 中田一博, 野城清, 木谷靖, 松下宗生、過共析鋼の無変態摩擦攪拌接合、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会、2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑧ 藤井英俊, 上路林太郎, 立野高寛, 津村卓也, 中田一博, 野城清、液体 CO2 を用いた炭素鋼摩擦攪拌接合継手の組織制御、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会、2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑨ 新郷晴紀, 陳迎春, 中田一博、マグネシウム合金と鋼板の摩擦攪拌接合による異材重ね継手形成、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会、2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑩ 池英洙, 藤井英俊, 中田一博, 野城清, 木村久道, 井上明久、Zr55Cu30Ni5Al10 金属ガラスの摩擦攪拌接合、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会 2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑪ 宋國鉉, 藤井英俊, 中田一博、Ni 基合金の摩擦攪拌接合特性、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会、2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑫ Y. Chen, K. Nakata、Liquation Phenomenon during Friction Stir Lap Welding of Al and Mg Dissimilar Alloys、(社) 溶接学会 平成 20 年度秋期全国大会、2008 年 9 月 10 日-12 日、福岡
- ⑬ H. Fujii, T. Tatsuno, T. Tsumura, K. Nakata, K. Nogi、Laser Assisted Hybrid Friction Stir Welding of Carbon Steel, Seventh Int. Symp. Friction Stir Welding、2008 年 5 月 20 日-22 日、兵庫
- ⑭ Y. C. Chen, K. Nakata、Friction Stir Reaction Diffusion Welding of AC4C Cast Aluminium Alloy and AZ31 Magnesium Alloy, Seventh Int. Symp. Friction Stir Welding、2008 年 5 月 20 日-22 日、兵庫
- ⑮ 小西佳郎, 藤井英俊, 中田一博, 野城清、レーザハイブリッド FSW 継手の機械的特性に及ぼす接合条件の影響、(社) 溶接学会 平成 20 年度春季全国大会、2008 年 4 月 8 日-10 日、大阪
- ⑯ L. Yu, K. Nakata、Weldability of Thixo-molded AS41 Alloy with FSW、(社) 溶接学会 平成 20 年度春期全国大会、2008 年 4 月 8 日-10 日、大阪
- ⑰ Y. Chen, T. Tsumura, K. Nakata、Effect of Insert Depth of Tool on Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar Metal Lap Joints of Al and Steel by Friction Stir Welding、(社) 溶接学会 平成 20 年度春期全国大会、2008 年 4 月 8 日-10 日、大阪
- ⑱ M. Aonuma, T. Tsumura, K. Nakata、Dissimilar Metal Joining of AZ31B and AZ91D Magnesium Alloys to Titanium by Friction Stir Welding, 2nd Asian Symp. on Magnesium Alloys (ASMA-II)、2007 年 10 月 1 日-3 日、福岡
- ⑲ 藤井英俊, 立野高寛, 津村卓也, 田中 学, 中田一博, 野城清、ハイブリッド FSW

- による炭素鋼の高速・高強度接合、(社)溶接学会平成19年度秋季全国大会2007年9月19日-21日、長野
- ②0 廣瀬駿, 藤井英俊, 津村卓也, 中田一博, 野城清、複動式摩擦攪拌接合における継手の機械的特性に及ぼすショルダ及びプローブの回転速度の影響、(社)溶接学会平成19年度秋季全国大会、2007年9月19日-21日、長野
- ②1 H. Fujii, T. Tatsuno, T. Tsumura, M. Tanaka, K. Nakata, K. Nogi、Development of Laser Assisted Friction Stir Welding Technology、Joint Conf. of 1st Int. Conf. on Science and Technology for Adv. Ceramics (STAC) and 2nd Int. Conf. on Joining Technology for New Metallic Glasses and Inorganic Materials (JTMC)2007年5月23日-25日、神奈川
- ②2 Y. C. Chen, T. Komazaki, Y. G. Kim, T. Tsumura, K. Nakata、Friction Stir Lap Joining of AC4C Cast Aluminum Alloy and Zinc-coated Steel、Int. Welding Joining Conf- Korea、2007年5月10日-12日、ソウル 韓国
- ②3 H. S. Park, B. W. Lee, T. Murakami, K. Nakata, M. Ushio、Friction Stir Welding of Oxygen Free Copper and 60%Cu-40%Zn Copper Alloy、Int. Welding Joining Conf. - Korea、2007年5月10日-12日、ソウル 韓国
- ②4 藤井英俊, 崔靈, 中田一博, 野城清, 池田倫正, 松下宗生、高炭素鋼の無変態摩擦攪拌接合、(社)溶接学会平成19年度春季全国大会、2007年4月18日-20日、東京
- ②5 廣瀬駿, 藤井英俊, 津村卓也, 中田一博, 野城清、複動式ツールを用いた熱制御摩擦攪拌接合、(社)溶接学会平成19年度春季全国大会、2007年4月18日-20日、東京
- ②6 H. Fujii, H. Kato, K. Nakata, K. Nogi、Friction Stir Welding of High-Temperature Materials (Mo, Ti)、Proc. 6th Int Symp. FSW、2006年10月10日-13日、ケベック CANADA
- ②7 L. Cui, H. Fujii, N. Tsuji, K. Nakata, K. Nogi、Mechanical Properties of Friction Stir Welded Carbon Steel Joints -Friction Stir Welding with Transformation、Proc. 6th Int Symp. FSW、2006年10月10日-13日、ケベック CANADA
- ②8 金永坤, 藤井英俊, 津村卓也, 駒崎徹, 中田一博、マルチパス摩擦攪拌プロセスによるADC12ダイカスト材の組織と機械的特性の改善、10th High Density Energy Research Seminar, The Korean

Welding Soc、2006年7月14日、Changwon 韓国

〔図書〕(計 1件)

- ① 中田一博、産報出版、摩擦攪拌接合-FSWのすべて-、(分担執筆)、2005年、293頁

〔その他〕(計 7件)

- ① 解説：中田一博、溶接技術 55巻、各種材料のFSWの特徴と適用、第1回アルミニウム合金のFSW、2007年
- ② 解説：中田一博、溶接技術 55巻、各種材料のFSWの特徴と適用、第2回マグネシウム合金および銅合金のFSW、2007年
- ③ 解説：中田一博、溶接技術 55巻、各種材料のFSWの特徴と適用、第3回鉄鋼、ニッケル合金および高融点金属のFSW、2007年
- ④ 解説：中田一博、溶接技術 55巻、各種材料のFSWの特徴と適用、第4回FSWによる異材接合、2007年
- ⑤ 解説：中田一博、溶接技術 55巻、各種材料へのFSWの適用性、2007年
- ⑥ 解説：藤井英俊、中田一博、プレス技術 44巻、摩擦攪拌接合装置の開発-ハイブリッド複動式摩擦攪拌接合装置の開発-、2006年
- ⑦ 解説：藤井英俊、中田一博、溶接技術 54巻、接合終端部の穴を残さずFSW-複合式摩擦攪拌接合装置の開発-、2006年

<http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/index.jsp>
<http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt3/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 一博 (NAKATA KAZUHIRO)
 大阪大学・接合科学研究所・教授
 研究者番号：80112069

(2) 研究分担者

節原 裕一 (SETSUHARA YUICHI)
 大阪大学・接合科学研究所・教授
 研究者番号：80236108

柴柳 敏哉 (SHIBAYANAGI TOSHIYA)
 大阪大学・接合科学研究所・助教授
 研究者番号：10187411

田中 学 (TANAKA MANABU)
 大阪大学・接合科学研究所・教授
 研究者番号：20243272

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

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