

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月4日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06742

研究課題名(和文)異種金属衝撃圧接界面における非平衡相形成機構の解明

研究課題名(英文) Formation mechanism of non-equilibrium phase layer at impact welded interface of dissimilar metal joints

研究代表者

熊井 真次 (Kumai, Shinji)

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：00178055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：衝撃圧接法の1種である爆発圧接法に着目し、その圧接過程を5つに分類した。3種類のモデルを結合した複合数値解析手法を開発し、接合界面に形成する波状界面形態、界面での中間層の形成過程を再現した。数値解析結果は実際に得られた異種金属爆発圧接材の界面形態と定量的によい一致を示した。接合界面の推定冷却速度は、界面組織や非平衡相の生成を十分説明し得るものであった。本研究で開発した数値解析モデルは、特徴的な異種金属爆発圧接界面形態や中間層形成のメカニズムを解明する上で非常に有益である。さらに本数値解析は、異種金属衝撃圧接材の界面形態、中間層や非平衡相の量の制御、それによる接合材の機械的特性の向上に役立つ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

衝撃解析手法と熱解析手法をリンクさせることにより、実験的手法では再現できない異種金属衝撃圧接材の衝突点における両金属成分の分散(混合)挙動、衝撃圧接界面における圧力上昇と温度上昇、その後の熱拡散による冷却(温度低下)挙動をシミュレーションし、これを実際に得られた衝撃圧接界面組織と突き合わせることで、世界に先駆けて非平衡相を含む中間層等、異種金属衝撃圧接界面に特有な組織の形成メカニズムを明らかにしている。よって、当該分野への学術的貢献は非常に大きい。さらに本研究によって、強度や信頼性に優れた異種金属接合材を作製するための指針が見出され、安心・安全な社会の構築に寄与するものとなっている。

研究成果の概要(英文)：In the present study, the explosive welding process, a kind of impact welding process, was divided into five processes. The welding behavior was investigated by using the coupled numerical analyses combining three models. The wavy interface morphology formed at the joint interface and the location of intermediate layer (IML) reproduced by simulation showed a good quantitative agreement with the experimental results. The estimated cooling rate at the joint interface was also reasonable to explain the microstructure and the evolution of non-equilibrium phase after welding. The newly devised simulation models in the present study were effective to reveal the formation mechanism of characteristic joint interface morphology and IML. This suggests that the control of the interface morphology, reduction of the amount of IML and non-equilibrium phase, and improvement of mechanical properties of the impact welded dissimilar metal joints can be achieved by using the simulation results.

研究分野：接合、鋳造、組織制御、力学的性質、疲労、破壊、軽金属

キーワード：接合・溶接 構造・機能材料 異種金属接合 数値解析 衝撃圧接 非平衡相

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

衝撃圧接法とは、金属同士を電磁力や爆薬の爆轟を利用して数百 m/s を超える高速度で傾斜衝突させ、数～数十マイクロ秒という極短時間で強固に接合する手法である。異種金属の衝撃圧接は、従来、爆薬の爆轟や電磁力を駆動力として実施され、通常の溶融接合や固相接合では接合できない異種金属であっても極めて強固に接合できるため、特殊な用途において一部実用化されている。衝撃圧接による異種金属接合に関し注目すべき学術的観点には、次のようなものがある。

- (1) 金属板同士の衝突速度、衝突角度と接合の可否との関係
- (2) 金属板同士の衝突速度、衝突角度と波状界面形態の関係
- (3) 接合界面ならびにその近傍の組織ならびに局所的な構造や力学的特性の変化
- (4) 金属の種類による接合界面に形成する中間層の変化
- (5) 接合界面に形成する中間層の構造解析 (成分や結晶構造の解析、相の同定)

このうち(3)～(5)に関しては、爆着により高エネルギーで衝撃圧接された異種金属接合界面ならびにその近傍について、硬さ測定や電子顕微鏡観察が行われ、接合界面には層状あるいは島状に中間層が形成されること、中間層内部には非平衡な金属間化合物相が存在すること、接合条件によって中間層が形成する領域の大きさや位置、非平衡相の種類が異なることが報告されている。さらに中間層内部には、局所的な溶融を証明する微細な凝固組織やポイドやマイクロポア等の凝固欠陥が観察されること、中間層近傍の金属母相においては転位や変形双晶の増加が確認されること等の実験的事実が報告されている。しかし、衝撃圧接界面における変形挙動や熱履歴 (温度変化) を実験的に観察することは不可能であるため、なぜ接合界面のその位置に、そのような範囲で、そのような非平衡相が形成するのか、なぜ接合界面のその位置に局部溶融が見られるのか等、異種金属衝撃圧接界面に特有な組織の形成機構については、未だ解明されていないかった。

2. 研究の目的

衝撃圧接においては衝突点からメタルジェットが放出され、これにより清浄化された金属表面同士が高圧力で圧接される。このため接合界面では金属結合が実現し、母材の温度をほとんど上昇させることなく強固な固相接合が達成される。しかし、瞬間的ではあるが高圧力となる衝突面では急激な温度上昇が起こるため接合界面には局所融解領域が生じ、これにより金属の組合せによっては接合界面に沿って脆弱な中間層が生成し、接合材の力学的、物理的、化学的特性が低下する場合がある。従って、このような中間層の生成を抑制するための接合条件の確立は重要な課題である。しかし、衝撃圧接における数～数十マイクロ秒間で起こる高速変形、急速加熱、急速冷却等の挙動を従来の実験的手法によって明らかにすることは困難である。つまり衝撃圧接の過程を明らかにするためには、数値解析によるシミュレーションを活用し、実験では可視化できないものを可視化することによって、この問題を克服する必要がある。

本研究の目的は、研究代表者が従来取り組んできた衝撃圧接機構解明に関する研究をベースに、衝撃解析手法と熱解析手法をリンクさせ、衝突点における両金属成分の分散 (混合) 挙動、衝撃圧接界面における圧力上昇と温度上昇、その後の熱拡散による冷却 (温度低下) 挙動をシミュレーションし、これを実際に得られた衝撃圧接界面組織と突き合わせることで、非平衡相を含む中間層等、異種金属衝撃圧接界面に特有な組織の形成機構を明らかにすることである。

3. 研究の方法

本研究課題に関し、実験と数値シミュレーション両面からアプローチした。実験では、中間相 (金属間化合物相) の生成が予測される異種金属同士を高速傾斜衝突させ、接合界面の波状模様や中間層の形状、組成、構造を調べた。シミュレーションでは、まず SPH 法による衝撃解析を行い、衝突点と接合界面における圧力変化、温度上昇を解析、衝突点後方で波状界面形態の発達と両金属成分の混合 (分配) 挙動を可視化した。衝撃解析で得られた温度情報を基に、引き続き熱伝導解析シミュレーションを行い、波状接合界面の各位置における温度 - 時間変化を求めた。両解析で得られた組成分布、温度分布から、接合界面における局部溶融や非平衡相形成位置を予測し、実際の衝撃圧接界面の中間層の成分や組織と比較・検討した。

ここで爆発圧接を主たる研究対象としたのは、爆薬の爆轟を駆動力とする爆発圧接には電磁力を駆動力とした圧接に比べ、(1) 衝突速度と衝突角度が一定の条件で傾斜衝突が起こる、(2) 大きな波状界面が形成する、(3) 界面での温度上昇が大きい等の特徴があり、よって、数値解析による衝撃圧接過程の再現と実験結果との比較が電磁圧接に比べて容易であるためである。

供試材には接合界面に合金化領域の形成が予測される Cu/Ni と中間層の生成が予測される Cu/Al の対照的な 2 種類の異種金属の組合せを選定した。Cu と Ni のような密度差の小さな金属の組合せは、衝撃圧接においては同種金属と同様な挙動を示すことが知られている。Cu/Ni の組合せを用いたのは、Al/Al や Cu/Cu といった同種金属の接合を模擬するためである。また、Cu と Ni は全率固溶し、金属間化合物等のような中間層を形成しない。このような異種金属の組合せを用いることによって、同種金属の接合では得られない、接合界面における両金属成分の混ざり合いや塑性流動、温度履歴に関する情報を得ることができると考えた。また、Cu と Al の組み合わせにおける接合挙動は、Fe と Al の組み合わせの場合とほぼ同じであると考えられるため、実用的な観点から重要である。

4. 研究成果

爆発圧接挙動の全体を再現し得る数値解析手法は存在しないため、まず、図1に示すように、爆発圧接を()爆轟を受けたFlyer plateとParent plateの衝突過程、()メタルジェットの放出挙動ならびに波状界面の形成過程、()接合界面の昇温過程、()接合界面の冷却過程、()中間層の生成過程という5つの過程に分類し、これら()~()の爆発圧接過程を再現するための3つの数値解析モデルを考案した。すなわち、図2に示すように、()爆薬の爆轟と板材の衝突過程を、爆薬と空気のソルバーにEuler、板材のソルバーにLagrangeを用い、それらを連成させたEuler-Lagrange coupling model (Model 1)を考案し、爆発圧接における気体、液体、固体の挙動を再現した。Model 1を用いた解析により、界面形態を決定する重要なパラメータであるFlyer plateとParent plateの衝突速度 V と衝突角度 β を求めた。次に、Model 1から得られた V と β を基に、粒子法の1種であるSPH法を用いたSPH model (Model 2)で()メタルジェットの放出挙動、波状界面形成過程、ならびに()接合界面の温度上昇過程を再現した。Model 2を用いた解析により、接合界面の温度上昇範囲、局所融解領域の生成位置、その形状ならびに組成を明らかにできることを示した。さらにModel 2で得られた接合界面の物質分布、温度分布に関する知見を基に、熱伝導解析に適した有限体積法を基本とするOpenFOAM model (Model 3)を用いて()接合界面の冷却過程と()合金化領域あるいは中間層の生成過程を再現した。Model 3を用いることで、接合界面に生成する合金化領域あるいは中間層の位置、量ならびにその形態を予測することが可能であることを示した。

Cu/Niの爆発圧接材を作製し、併せて()~()の過程について数値解析による検討を行った。Cu/Ni接合界面には正弦波状の波状界面が形成された。数値解析により、これはメタルジェットが衝突点前方のCuとNiの金属表面に交互に衝突するためであることがわかった。メタルジェットの成分は、CuとNi比がほぼ1:1であること、波の渦部ならびに界面では急激な温度上昇が生じるが、界面から数百 μm 離れた位置ではほとんど温度は上昇せず、この大きな温度差によって界面近傍の冷却速度は $10^6 \sim 10^7 \text{ K/s}$ オーダーとなることを明らかにした。Cu/Alについても爆発圧接材を作製し、同様の数値解析を行った。Cu/Alでは、放出されるメタルジェットはほぼAlで、これが衝突点前方のCu表面にのみ衝突し、その結果トリガー状の波状界面が形成された。Cu/Niと同様、接合界面近傍と母材の間に大きな温度勾配が生じ、冷却速度は $10^6 \sim 10^7 \text{ K/s}$ オーダーであった。数値解析により、接合界面に生成した局所融解領域は外側から中央部に向かって凝固し、その結果、中間層の最終凝固部は局所融解領域の中央部となることわかった。これは実際の接合界面の中間層の中央に凝固収縮孔が観察されることとよく対応していた。図3~図5は、以上の結果をCu/NiとCu/Alを対比して示したものである。

爆発圧接挙動に及ぼす衝突角度の影響に関する検討も行った。一定の衝突速度の下、異なる衝突角度の条件でCu/NiならびにCu/Alの爆発圧接材を作製し、併せて爆発圧接挙動に及ぼす衝突角度の影響について実験と数値解析の両手法を用いて検討を行った。衝突角度が小さいほど接合界面近傍での温度上昇が顕著となり、界面に沿って局所融解領域が生成しやすくなった。一方、衝突角度が大きい場合には、接合界面に沿う、より広範囲で温度上昇が起こるため、接合界面の最高到達温度は低く、渦部のような領域以外で局所融解領域は生じにくかった。よって、局所融解領域が急冷凝固されて生成するCu/Ni接合界面の合金化領域ならびにCu/Al接合界面の中間層の生成量は、いずれも衝突角度が大きいほど少なくなることがわかった。

このようにCu/Alのような異種金属接合材においては、衝突角度によって中間層の生成量を制御し、その生成を抑制すればさらなる接合強度の向上が図れる可能性があることを明らかにすることができた。また同様の実験ならびに数値解析をAl/FeやAl/Steelについても実施し、同様の結果が得られた。

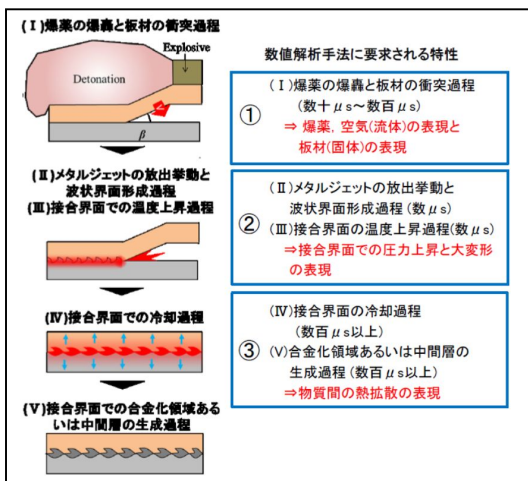


図1 爆発圧接過程

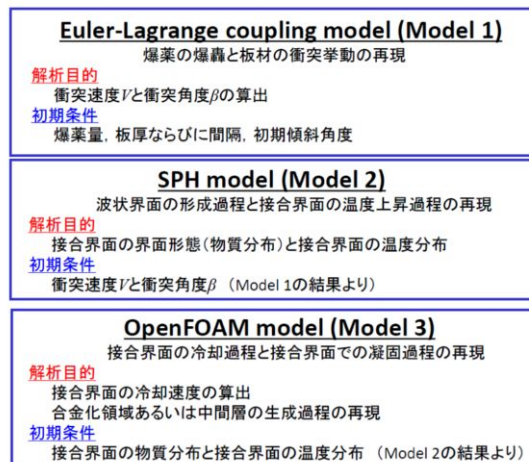


図2 爆発圧接過程の再現に用いた数値解析モデル

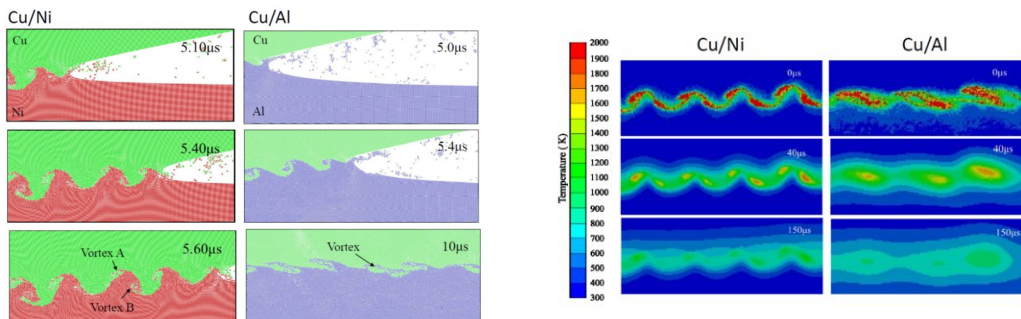


図3 Model 2 によって再現した波状界面形成過程 図4 Model 3 によって再現した接合界面冷却過程

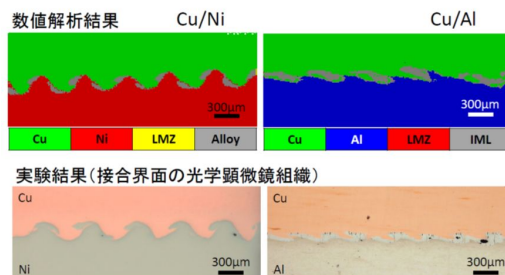


図5 数値解析によって再現した接合界面形態と実験から得られた接合界面形態の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- 1) Mitsuhiro Watanabe, Kentaro Ishiuchi, Shinji Kumai, Interfacial Microstructure and Hardness of Magnetic Pulse Welded Copper/Nickel Lap Joint, Materials Transactions, 査読有, **59**, (2018), 425-431.
- 2) 熊井真次, -1. 異材接合研究・技術 異種金属の衝撃圧接, 溶接学会誌, 査読有, **87**, (2018), 48-56. <https://doi.org/10.2207/jjws,87,48>
- 3) Mitsuhiro Watanabe, Shinji Kumai, Dissimilar Metal Joining of aluminum and Copper Plates Using Magnetic Pulse Welding and Their Joint Strength, Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM '18), 査読有, **MMME 118**, (2018), 1-5.
- 4) Shinji Kumai, Junto Nishiwaki, FORMATION MECHANISM AND CONTROL OF IMPACT WELDED INTERFACE IN DISSIMILAR METAL JOINTS, Proceedings of the 16th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA16), 査読有, (2018), ISBN:978-1-926872-41-4.
- 5) Takashi Kambe, Yasutaka Kedo, Shinji Muraishi, Shinji Kumai, NUMERICAL ANALYSIS OF MAGNETIC PULSE FORMING AND DEFORMATION STRUCTURE OF PURE Al AND Cu SHEETS, Proceedings of the 16th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA16), 査読有, (2018), ISBN:978-1-926872-41-4.
- 6) 西脇淳人, 熊井真次, Cu/Al 爆発圧接材の接合界面の冷却過程および中間層の生成過程のシミュレーション, 溶接学会論文集, 査読有, **35**, (3), (2017), 111-121. <https://doi.org/10.2207/q.j.jws.35.111>
- 7) 熊井真次, 村石信二, 原田陽平, 糸井貴臣, 前田将克, 種々の先端的高速固相接合法により作製したアルミニウム合金同種・異種接合材の組織形成ならびに接合メカニズムの解明, 軽金属, 査読有, **67**, (9), (2017), 447-459. <https://doi.org/10.2464/jilm.67.447>
- 8) Yusuke Aizawa, Junto Nishiwaki, Yohei Harada, Shinji Muraishi, Shinji Kumai, Experimental and numerical analysis of the formation behavior of intermediate layers at explosive welded Al/Fe joint interface, Journal of Manufacturing Processes, 査読有, **24**, (2016), 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016,08,002>
- 9) 西脇淳人, 熊井真次, Cu/Al 爆発圧接界面における局所融解領域生成に関するシミュレーション, 溶接学会論文集, 査読有, **34**, (2016), 274-284.
- 10) Junto Nishiwaki, Takashi Kambe, Yasutaka Kedo, Yohei Harada, Shinji Muraishi, Shinji Kumai, Numerical Analysis of Wavy Interface Formation and Successive Temperature Change in Magnetic Pulse Welded Al/Cu Joint, Materials Science Forum, 査読有, **877**, (2016), 655-661. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF,877,655>

〔学会発表〕(計 34 件)

- 1) 熊井真次, 鉄鋼/Al 合金の異材接合とその機構, 日本鉄鋼協会 第 177 回春季講演大会(三島賞受賞記念招待講演), 2019.
- 2) 熊井真次, 種々の手法を用いて作製した異種金属接合材の接合界面形態と熱履歴, 軽金属学会 第 135 回秋期講演大会(招待講演), 2018.

- 3) 神戸貴史, 村石信二, 熊井真次, 電磁圧接ならびに電磁成形したアルミニウム板の組織と変形挙動の数値解析, 軽金属学会 第 135 回秋期講演大会, 2018.
- 4) 木村慎吾, 村石信二, 熊井真次, SPH 法を用いた Al/Cu 電磁圧接界面形成挙動の解析, 軽金属学会 第 135 回秋期講演大会, 2018.
- 5) 沖原麻耶, 村石信二, 熊井真次, 調質の異なるアルミニウム板を用いた電磁圧接材の接合界面, 軽金属学会 第 135 回秋期講演大会, 2018.
- 6) 神戸貴史, 村石信二, 熊井真次, 電磁成形した純アルミニウム板の組織と変形挙動の数値解析, 軽金属学会 関東支部 第 6 回若手研究者ポスター発表会, 2018.
- 7) Jiedi Li, 神戸貴史, 山岸大起, 村石信二, 熊井真次, 数値解析を用いた Al/Fe 電磁圧接界面に生成する中間層の再現, 軽金属溶接協会 平成 30 年度年次講演大会, 2018.
- 8) Siyao Li, Yusuke Aizawa, Shinji Muraishi, Shinji Kumai, Similarities and differences in Al/Fe joint interface fabricated by EXW and MPW, 軽金属溶接協会 平成 30 年度年次講演大会, 2018.
- 9) 木村慎吾, 村石信二, 熊井真次, Al/Cu 電磁圧接材における Flyer Plate の板厚が接合界面に及ぼす影響, 軽金属溶接協会 平成 30 年度年次講演大会, 2018.
- 10) 沖原麻耶, 村石信二, 熊井真次, A1050/A1050 および A1050/A2017 電磁圧接材の接合界面, 軽金属溶接協会 平成 30 年度年次講演大会, 2018.
- 11) 神戸貴史, 毛戸康隆, 村石信二, 熊井真次, 電磁成形したアルミニウム板および銅板の組織と変形挙動の数値解析, 軽金属学会 第 134 回春期講演大会, 2018.
- 12) 毛戸康隆, 神戸貴史, 村石信二, 熊井真次, 実験およびシミュレーションによる Al/Al 電磁圧接界面形成挙動の解析, 軽金属学会 第 134 回春期講演大会, 2018.
- 13) Mitsuhiro Watanabe, Shinji Kumai, Dissimilar Metal Joining of aluminum and Copper Plates Using Magnetic Pulse Welding and Their Joint Strength, Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM '18), Madrid, Spain, 2018.
- 14) Shinji Kumai, Junto Nishiwaki, FORMATION MECHANISM AND CONTROL OF IMPACT WELDED INTERFACE IN DISSIMILAR METAL JOINTS, Proceedings of the 16th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA16), Montreal, Canada, 2018.
- 15) Takashi Kambe, Yasutaka Kedo, Shinji Muraishi, Shinji Kumai, NUMERICAL ANALYSIS OF MAGNETIC PULSE FORMING AND DEFORMATION STRUCTURE OF PURE Al AND Cu SHEETS, Proceedings of the 16th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA16), Montreal, Canada, 2018.
- 16) 熊井真次, 異種金属衝撃圧接機構の解明 - 実験と数値解析によるアプローチ -, 日本学術振興会 第 176 委員会 第 35 回研究会 (招待講演), 2018.
- 17) 毛戸康隆, 神戸貴史, 村石信二, 熊井真次, 実験ならびに数値解析による純アルミニウム板の電磁圧接と電磁成形の比較, 軽金属学会 第 133 回秋期講演大会, 2017.
- 18) 神戸貴史, 毛戸康隆, 西脇淳人, 村石信二, 熊井真次, 純銅板の電磁成形挙動の解析と高速変形組織, 日本金属学会 第 160 回春期講演大会, 2017.
- 19) 西脇淳人, 熊井真次, Cu/Al 爆発圧接挙動に及ぼす衝突角度の影響, 軽金属学会 第 132 回春期講演大会, 2017.
- 20) 山岸大起, 西脇淳人, 村石信二, 熊井真次, 純アルミニウム/SS400 爆発圧接界面の熱履歴と波状界面形成に及ぼす衝突条件の影響, 軽金属学会 第 132 回春期講演大会, 2017.
- 21) Jiedi Li, 西脇淳人, 神戸貴史, 山岸大起, 熊井真次, 実験ならびに数値解析による Al/Fe 電磁圧接挙動の検討, 軽金属学会 第 132 回春期講演大会, 2017.
- 22) 毛戸康隆, 神戸貴史, 村石信二, 熊井真次, Comparison of magnetic pulse welding and magnetic pulse forming of pure aluminum plates by experimental and numerical analysis, 大連理工大学 - 東京工業大学共同ワークショップ, 大連, 中国, 2017.
- 23) 毛戸康隆, 神戸貴史, 村石信二, 熊井真次, 実験ならびに数値解析による純アルミニウム板の電磁圧接と電磁成形の比較, 軽金属学会 平成 29 年度関東支部若手研究者育成研修会, 2017.
- 24) 熊井真次, 実験的ならびに数値解析的手法による異種金属衝撃圧接メカニズムの解明, 日本金属学会 第 161 回秋期講演大会 (学術貢献賞受賞記念招待講演), 2017.
- 25) 神戸貴史, 毛戸康隆, 村石信二, 熊井真次, 電磁圧接ならびに電磁成形した純銅板の組織と変形挙動, 日本金属学会 第 161 回秋期講演大会, 2017.
- 26) 毛戸康隆, 神戸貴史, 沖原麻耶, 村石信二, 熊井真次, 実験ならびに数値解析による Al/Al 電磁圧接界面組織の検討, 日本金属学会 第 161 回秋期講演大会, 2017.
- 27) 占部航平, 西脇淳人, 村石信二, 熊井真次, Al/Cu 異種金属接合材の電磁圧接挙動と中間層形成過程の数値解析, 日本金属学会 第 161 回秋期講演大会, 2017.
- 28) 木村慎吾, 西脇淳人, 村石信二, 熊井真次, Cu/Al 異種金属電磁圧接材の接合挙動と波状界面形成メカニズム, 日本金属学会 第 161 回秋期講演大会, 2017.
- 29) 熊井真次, 実験ならびに数値解析による同種・異種金属衝撃圧接界面の解析と接合メカニズムの解明, 軽金属奨学会統合的先端研究成果発表会, 2017.
- 30) Shinji Kumai, Experimental and Numerical Analysis on Dissimilar-Metal Joining Using

- Impact Welding, The 9th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM9), (招待講演), Kyoto, 日本, 2016.
- 31) Daiki Yamagishi, Yusuke Aizawa, Junto Nishiwaki, Yohei Harada, Shinji Muraishi, Shinji Kumai, Microstructure and Thermal History of Explosive Welded Pure Aluminum/SS400 Steel Joint, The 9th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM9), Kyoto, 日本, 2016.
- 32) 西脇淳人, 相澤祐輔, 原田陽平, 熊井真次, Cu/Al 爆発圧接材の接合プロセスと接合界面形態の数値解析, スマートプロセス学会 春期総合学術講演会, (論文賞受賞記念招待講演), 2016.
- 33) 西脇淳人, 原田陽平, 村石信二, 熊井真次, 電磁圧接した Al/Cu 接合材の接合界面の形成過程と接合界面の温度変化の数値解析, 軽金属学会 第130回春期講演大会, 2016.
- 34) 山岸大起, 西脇淳人, 原田陽平, 村石信二, 熊井真次, 数値解析ならびに実験的手法による Al/SS400 爆発圧接界面の組織変化と温度変化の解析, 軽金属学会 関東支部講演会, 2016.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：