

補助事業番号 2023M-288

補助事業名 2023年度 コールドスプレーによるセラミック基板と

アルミニウム皮膜の異材固相接合機構の解明 補助事業

補助事業者名 信州大学 学術研究院（工学系）工学部 機械システム工学科  
材料加工学研究室 榊和彦

## 1 研究の概要

コーティング技術のコールドスプレーは、主に金属粒子をその融点よりも低温の超音速流れの中に投入して、高速で基材に高い運動エネルギーをもって衝突して、固体のままの粒子と基材が局所的な塑性変形を伴って付着・成膜する。アルミニウム粒子は他の金属と異なりセラミックやガラスなどの硬脆材料にも成膜するが、その密着機構は明らかになっておらず、そのための基礎データ取得の以下を行う。

- 1)アルミニウム皮膜とセラミック基板における基板予熱の密着せん断強度の測定
- 2)アルミニウム以外の金属とセラミックス基板との密着

合わせて、3)アルミニウムとセラミックの複合皮膜をコールドスプレーと燃焼火炎の超音速流を使用する高速フレイム溶射で作製し、機械的な特性の向上を目指す。

## 2 研究の目的と背景

### 2.1 研究の目的

コールドスプレーによる金属粒子の成膜のメカニズムは、金属基材上に対しては、明らかになりつつあるが、ガラスやセラミック基板上にはアルミニウムのみが成膜することは知られているが、まだそのメカニズムは明らかになっていない。そこで、

- 1) 接着剤を使用しないせん断強度試験において、アルミニウム皮膜とセラミック基板の密着力を測定することを目的とする。
- 2) アルミニウム以外の金属、とくに酸化しやすい低いマグネシウム、チタン、クロムの金属皮膜と各種セラミック基板も検討して、基板予熱の効果も含め、金属皮膜とセラミックス基板の密着力を測定して密着機構を検討する。
- 3) あわせて、アルミニウムとセラミックの複合皮膜をコールドスプレーと燃焼火炎の超音速流を使用する高速フレイム溶射で作製し、機械的な特性の向上を目指す。

### 2.1 研究の背景

金属粒子を溶かして噴霧するコーティング技術である溶射法は、100余年の歴史があり、成膜のメカニズムも比較的理解されつつある。一方、金属粒子を溶かさないう運動エネルギーで成膜するコールドスプレーは、30余年の歴史で、金属基材上への成膜メカニズムは明らかになりつつあるが、セラミック基材上への成膜は、現状アルミニウムに限定され、そのメカニズムも基板とア

ルミニウム皮膜の中間層に酸化物を介した化学的な結合が提案されているが、未解明な部分が多い。最近、自動車や航空機などの産業分野で注目されている異なる材料間の接合(異材接合)の一つとしても、学術的な観点からも興味深い。また、パワー半導体などの電気電子部品への応用も期待されている。

### 3 研究内容

(1)アルミニウム皮膜とセラミック基板における基板予熱の密着せん断強度の測定に関する研究  
(<https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/department/mech/laboratories/e/test2/fy2023jka/2023jka.html>)

セラミック基板上にアルミニウム皮膜をコールドスプレーで成膜し(図1)、その時に基板を予熱すると密着力が高くなる。そのため、接着剤を使用するの引張り試験では、高い密着力が測れないので接着剤を使用しないせん断試験(図2)により密着強度を測定する。



図1 低圧コールドスプレーガンによるアルミニウム皮膜の成膜の様子

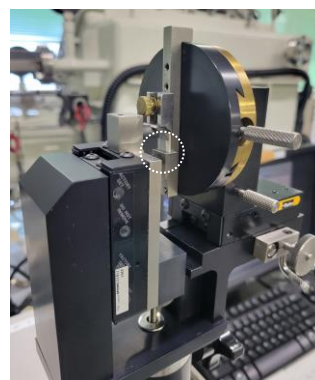


図2 窒化アルミニウム基板上のアルミニウム皮膜(白い点線内)とせん断試験の様子

(2)アルミニウム以外の金属とセラミックス基板との密着

(<https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/department/mech/laboratories/e/test2/fy2023jka/2023jka.html>)

アルミニウム皮膜以外の酸化しやすい低いマグネシウム、チタン、クロムの金属皮膜と各種セラミック基板も検討して、金属皮膜とセラミックス基板の密着力は、成膜はするものの、基板予熱をしてもアルミニウム皮膜ほど高い密着力は得られなかった。

(3)アルミニウムとセラミックの複合皮膜の作製

(<https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/department/mech/laboratories/e/test2/fy2023jka/2023jka.html>)

アルミニウムとセラミックの複合皮膜をコールドスプレーと燃焼火炎の超音速流を使用する高速フレーム溶射で作製し、機械的な特性(皮膜硬さと耐摩耗性)の向上を目指す。

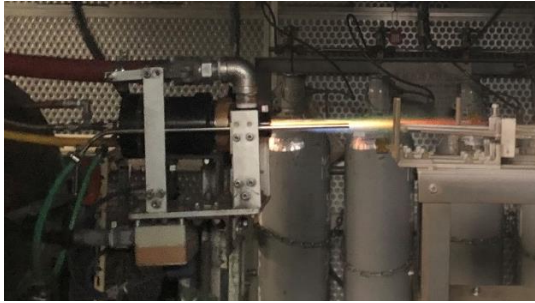


図3 高速フレイム溶射による成膜の様子

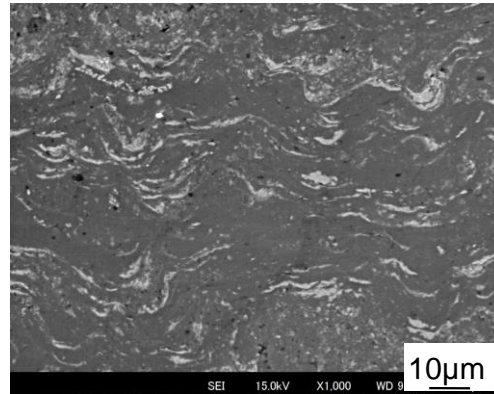


図4 高速フレイム溶射によるアルミニウム合金と二硫化モリブデンの複合皮膜の断面組織

#### (4) コールドスプレーによる銅造形体の作製と評価

(<https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/department/mech/laboratories/e/test2/fy2023jka/2023jka.html>)

高い造形速度のコールドスプレーによる銅の造形体を矩形断面ノズルを用いて、幅が広く平坦なパターンノズル形状を検討した。

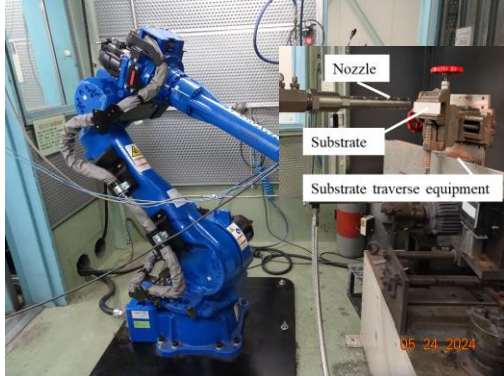


図5 コールドスプレーによる造形の様子

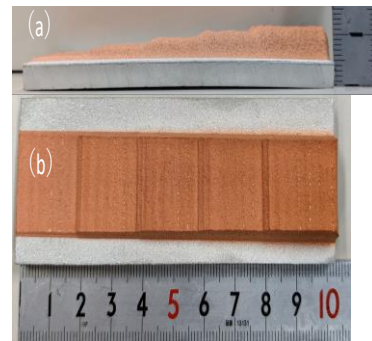


図6 各階層の回数の影響を見銅の造形体

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

パワー半導体などの電気電子部品へのセラミック基板の銅の回路パターンの製造法として応用が期待されている。さらには、自動車や航空機の部品への応用も期待できる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

1999年に日本国内で初めてコールドスプレー装置を試作し、ノズルなどの構成要素の基礎的な研究から企業との共同研究で種々の適用の検討を行ってきた。セラミック基板へのアルミニウム

皮膜という異種の材料間での運動エネルギーのみによる接合は、学術的にも工業的にも重要な科学的な意味がある。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- 1) 芦田 健, 傳田 直史, 榊 和彦, 低圧コールドスプレー法による窒化アルミニウム基板上のアルミニウム皮膜の密着力に及ぼす膜厚の影響, 日本機械学会 2023 年度年次大会, S042p-02, (2023 年 9 月 6 日, 都立大学)
- 2) 笹木 要, 山本 歩夢, 金海 裕洋, 榊 和彦, コールドスプレー・アディティブマニュファクチャリングによる銅造形物の造形パターンおよび積層プロセスに及ぼす矩形断面ノズル末広部・平行部長さ比の影響, 日本溶射学会第 118 回 (2023 年度秋季) 全国講演大会講演論文集, 106, p. 13-14, (2023 年 11 月 21 日, 日石横浜ホール (神奈川))
- 3) 間仁田 和樹, 鈴木 雄翔, 榊 和彦, 高速フレーム溶射法による Al-30Si 合金への MoS<sub>2</sub> 添加混合粉末による皮膜の機械的性質改善の試み, 日本溶射学会第 118 回 (2023 年度秋季) 全国講演大会講演論文集, 205, p. 51-52, (2023 年 11 月 22 日, 日石横浜ホール (神奈川))
- 4) 津浦 真美, 芦田 健, 傳田 直史, 榊 和彦, 低圧コールドスプレー法による窒化アルミニウム基板上のアルミニウム皮膜の密着力に及ぼす後熱処理の影響, 日本機械学会北陸信越支部 2024 年合同講演会 講演予稿集, U097, (2024 年 3 月 8 日, 富山県立大学 射水キャンパス)

#### 7 補助事業に係る成果物

##### (1) 補助事業により作成したもの

該当なし

##### (2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 信州大学工学部(シンシュウダイガクコウガクブ)

住 所: 〒380-8553

長野県長野市若里4-17-1

担 当 者: 教授 榊 和彦(サカキ カズヒコ)

担 当 部 署: 機械システム工学科(キカイシステムコウガクカ)

E - m a i l: ksakaki@shinshu-u.ac.jp

U R L:

<https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/department/mech/laboratories/e/>