

平成21年 3月31日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007～2008

課題番号：19860007

研究課題名（和文）新生面生成機構に着目したコールドスプレー成膜メカニズム解明

研究課題名（英文）Elucidation of cold spray coating mechanism focused on nascent surface generation

研究代表者

市川 裕士（ICHIKAWA YUJI）

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80451540

研究成果の概要：

コールドスプレー法は圧縮気体により、数十  $\mu\text{m}$  オーダーの金属微粒子を加速し固相状態のまま基材に衝突させることにより皮膜を形成させる新しい技術である従来の研究により粒子が変形し付着する際の自然酸化皮膜の破壊、すなわち新生面の生成が重要な現象であると考え、新生面生成の重要な因子である基材表面酸化皮膜が付着挙動に及ぼす影響を調査した結果、表面酸化皮膜の存在は付着臨界速度を高くすることを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,360,000	0	1,360,000
2008年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,710,000	405,000	3,115,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械材料・材料力学

キーワード：コールドスプレー，溶射，成膜

## 1. 研究開始当初の背景

近年コールドスプレー（以下CS）法と呼ばれる新しい成膜方法が脚光を集めている。これは圧縮気体により、数十  $\mu\text{m}$  オーダーの金属微粒子を亜音速から超音速レベルにまで加速し、固相状態のまま基材に衝突させることにより皮膜を形成させる技術である。CS法には、従来の溶射法よりも緻密で熱影響の少ない皮膜を高い成膜速度で作製できるという利点があり、溶射法に替わる技術として期待されている。

CS法が新しい技術であるために、実用的なアプリケーションに関する研究例はまだ少

ない。今後、多方面での実用化を進めるためには、成膜メカニズムの科学的な理解、そして、この知見に基づき、施工可能材料種の拡大を計ることが必要である。

## 2. 研究の目的

従来の研究により粒子が変形し付着する際の自然酸化皮膜の破壊、すなわち新生面の生成が重要な現象であることが明らかとなった。また、付着粒子の形状の分析およびFEA解析結果との比較により、付着粒子が一定量以上の塑性変形量が生じたときに付着が生じることを見出した。本研究では新生面の生

成に着目しこれらの2つの実験事実を結びつけ CS 成膜メカニズムの解明することを目的とする。

### 3. 研究の方法

基材表面の酸化皮膜厚さの異なる基材を準備し、これらの基材上に CS 施工を行った試験片を作製した。施工後の試験片を走査型電子顕微鏡(SEM)にて観察し、付着した粒子数および粒子が付着せずに跳ね返った跡であるクレータの数を測定した。これらの数から付着効率を算出し、酸化皮膜厚さが付着効率に及ぼす影響を詳細に調査した。

使用した CS 装置は CGT 社製 KINETICS3000 であり、施工には圧力 3MPa の窒素ガスを用いた。施工に際して図 1 に示すように CS ノズルおよび基材を固定し、これらに間に高速で移動させるスリットを通過させる事で、衝突粒子数を限定できるように工夫をした。この装置系を用いる事によって図 2 に示すような試験片の作成が可能となった。その際に、CS 施工時の粒子衝突速度は衝突位置に依存した分布を持つと考えられる。そのため、衝突位置と付着効率の関係を詳細に調査した。

実験には代表的な MCrAlY 材料の一つである CoNiCrAlY 粉末および Ni 基超合金 IN625 基材を用いた。IN625 基材は鏡面研磨を施した AR(As-received)材および研磨後に熱処理を行い約 1 $\mu$ m 以下の厚さの酸化皮膜で被覆した HT(Heat-treated)材の2種類を用意した。

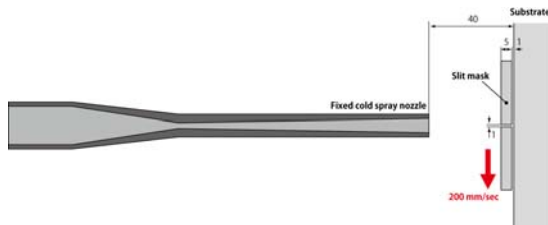


図 1 装置セットアップ

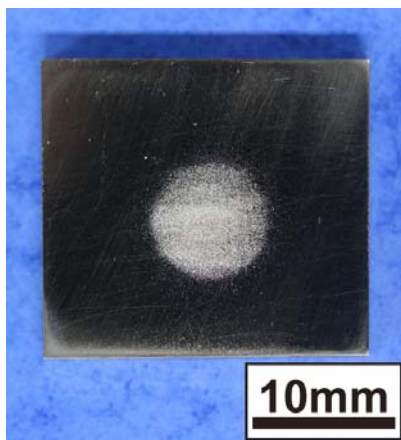
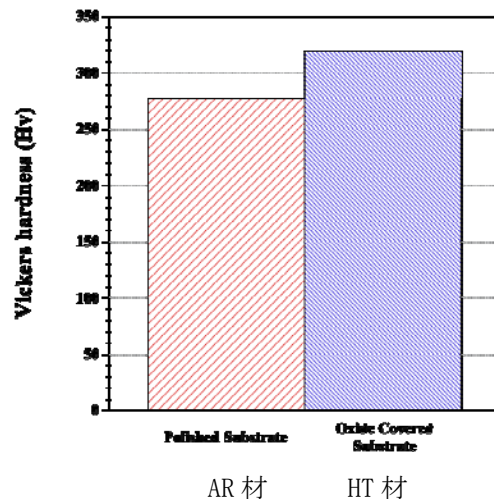


図 2 施工後の試験片

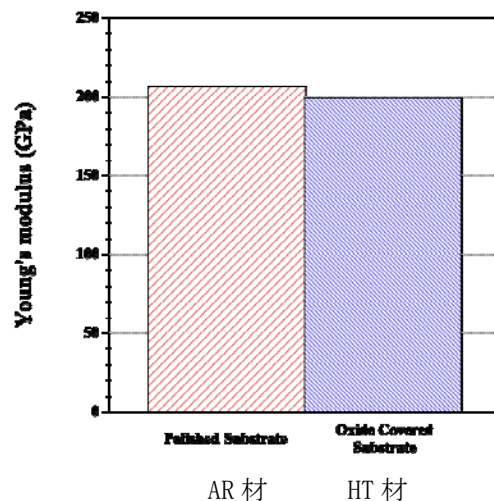
### 4. 研究成果

(1) 施工前の基材の硬さおよびヤング率をインデンテーション試験によって計測した。これらの結果を図 3 および 4 に示す。これらの結果から基材の機械的特性には大きな違いは確認されなかった。このことから、基材の前処理による付着効率の違いは酸化皮膜厚さの違いのみによって議論が可能である事が確認された。

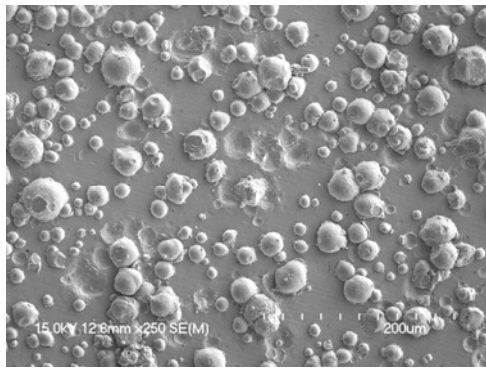
(2) 施工した試験片中央部の SEM 観察結果を図 5 に示す。この図から、AR 材ではほとんどの粒子が付着しているのに対して酸化皮膜で被覆した HT 材では粒子が衝突した跡が確認できるが粒子はほとんど付着していない事がわかる。また、図 6 に施工領域全体で測定した付着効率を示す。この図からも酸化皮膜の影響で付着効率が著しく低下する事がわかる。



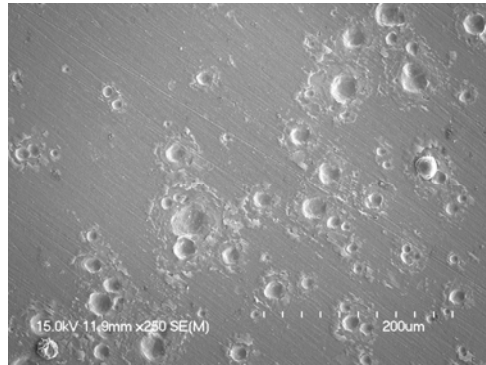
AR 材 HT 材  
図 3 施工前基材の硬さ



AR 材 HT 材  
図 4 施工前基材のヤング率

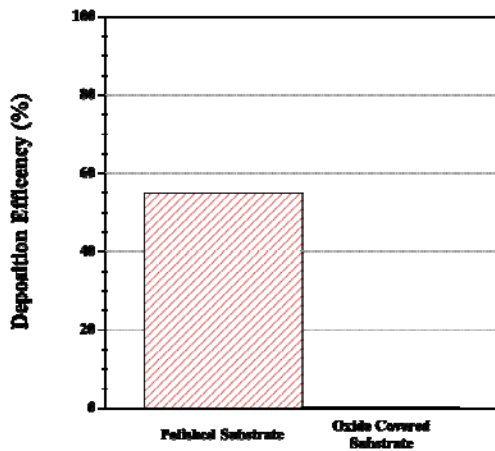


(a) AR 材



(b) HT 材

図 5 施工後の SEM 観察結果



AR 材 HT 材

図 6 施工領域全体での付着効率

(3) 図 7 に付着効率の位置依存性をまとめたものを示す。この結果からいずれの条件でも付着効率は中央部分で高くなり、正規分布に近い分布を持つ事がわかる。一般に粒子の衝突速度は施工中心部を最大とする正規分布に従う事が知られている。また、図 7 において付着効率がゼロとなった位置を付着臨界位置として衝突速度と付着効率の関係は図 8 のように模式的に示すことができる。図 8 での付着が容易であった条件 1 は本研究での AR 材の結果に対応し、条件 2 は HT 材に対

応させることができる。このことから、付着が容易に起きる場合は、付着臨界領域が広くなる。これは同時に付着臨界速度が低くなる事を意味しており、付着挙動から付着臨界速度が推測できる事を示している。以上の結論より、酸化皮膜が存在する事で新生面の生成が困難になり付着効率が低下する事が明らかとなった。これらの結果は施工条件の最適化を検討する際に使う事ができ、高温酸化特性に優れた皮膜の作製に役立てる事が可能となった。

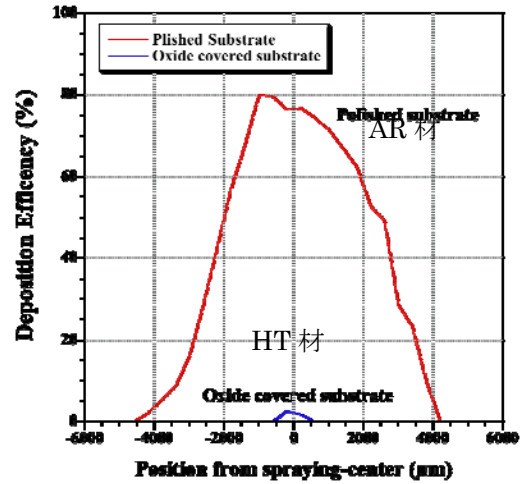


図 7 付着効率と衝突位置の関係

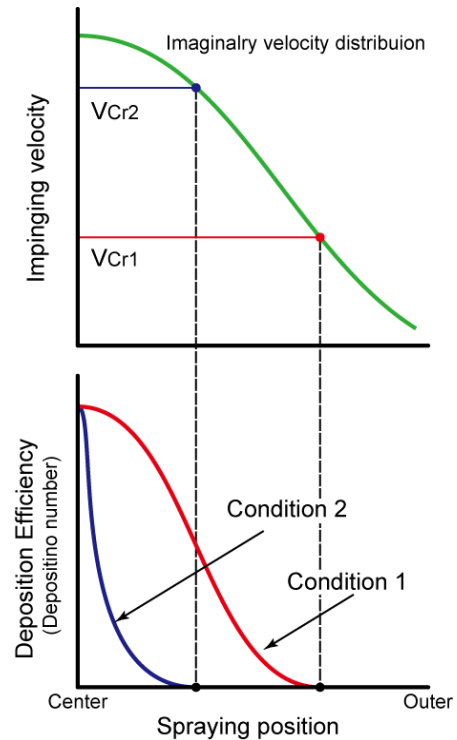


図 8 付着領域と付着臨界速度の関係

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 2 件)

- ① 市川裕土, コールドスプレーにより成膜したMCrAlYコーティングの付着メカニズムの検討, 溶射技術, Vol. 27, No. 4 pp. 83 - 86, 2008. (査読なし)
- ② Yuji ICHIKAWA, Kazuhiro OGAWA, Tetsuo SHOJI, DIFFERENCE IN HIGH-TEMPERATURE OXIDATION BEHAVIOR BETWEEN COLD-SPRAYED AND LOW-PRESSURE PLASMA-SPRAYED MCrAlY COATING, Proceedings of the 3rd International Conference on Material and Processing, CD-ROM, 2008 (査読あり)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 市川裕土, 小川和洋, 庄子哲雄, ナノ組織に着目した高速ガススプレー皮膜の付着メカニズム解明, 第 51 回日本学会材料工学連合講演会, (京都, 2007 年 11 月 29 日)
- ② 市川裕土, 小川和洋, 庄子哲雄, コールドスプレーMCrAlYコーティングの成膜メカニズムの検討, 日本溶射協会第 86 回 (2007 年度秋季) 全国講演大会, (神戸, 2007 年 11 月 19 - 20 日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市川 裕土 (ICHIKAWA YUJI)  
東北大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 80451540

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: