

## 溶射皮膜のブラストエロージョン特性

高橋 幾久雄\*、桑嶋 孝幸\*

鋳鉄基材にプラスチック3種類、金属及びサーメット5種類、セラミックス3種類を溶射して、荒田式溶射皮膜評価試験機を用いたブラストエロージョン試験で溶射皮膜を評価した。

プラスチックはアクリル皮膜の摩耗減量が少ないのに対して、ポリエステル皮膜は簡単に皮膜が剥離する。金属及びサーメットはSUS316皮膜の摩耗量が少なく、Fe-Cr-C合金やNi合金の摩耗量が多くなっている。セラミックスはTiO<sub>2</sub>皮膜の摩耗量が少ないが、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜の摩耗量が多くなっている。ブラストエロージョン試験は皮膜の硬さが低いほど摩耗量が少なくなる傾向を示し、皮膜の変形能や皮膜内粒子間結合度が耐摩耗性に影響することを明らかにした。

キーワード：溶射皮膜、プラスチック、金属、セラミックス、ブラストエロージョン

## Blast Erosion Resistance for the Thermal Spraying Coatings

TAKAHASHI Ikuo and KUWASHIMA Takayuki

Three kind of plastics, five kind of metals and cermets and three kind of ceramics are sprayed on cast iron and the coatings of blast erosion resistance are evaluated using Arata Coating Tester.

In plastics coating tests, a weight loss of acryl coating is small, but polyester coating peels easily. In metals and cermet coating test, a weight loss of SUS316 coating is small, but Fe-Cr-C alloy and Ni base alloy is large. In ceramics coating test, weight loss of TiO<sub>2</sub> coating is small, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating is large. In blast erosion test, the weight loss of the coatings have a tendency to be small with the decrease of coating hardness, the characteristic of blast erosion resistance is affected by modify ability and degree of cohesion between particles of the coatings.

key words : sprayed coating, plastics, metals, ceramics, blast erosion

### 1 緒言

溶射皮膜は溶射材料溶融粒子の積層で形成されるが、未溶融粒子の存在や成膜の積層機構から多孔質になり易い。このため、基材と皮膜の密着力が低く、皮膜の粒子間結合力と靱性が低下する。特に硬い粒子を衝撃的に受けた場合は簡単に皮膜が剥離し、溶射の効果を存分に発揮できないことになる。

本研究は鋳鉄基材に3種類のプラスチック、5種類の金属やサーメット、3種類のセラミックスの溶射皮膜を形成して、ブラストエロージョン試験を行い、溶射皮膜の耐摩耗性を比較検討することを目的とした。

### 2 実験方法

#### 2-1 基材・溶射材料と溶射

供試鋳鉄基材の材質はFC200で、その形状寸法は厚さ4mm、幅75mm、長さ100mmの板で、溶射する面

を平滑に機械加工し、アセトン洗浄及び#20のアルミナグリッドでブラスト処理を行い、溶射に供した。

用いたプラスチック溶射材料を表1に示すが、ポリエステルとアクリルはセラミックスを混合(重量比)したものも用いた。セラミックスはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>にTiO<sub>2</sub>を2%含有したグレイアルミナである。ポリエステルはプラズマ溶射装置で、皮膜厚さ0.3mmに、アクリルとナイロンはプロパンを燃料とするガス溶射装置で、皮膜の厚さ

表1 プラスチック溶射材料の種類

ポリエステル	ポリエステル100% ポリエステル-20%セラミックス
アクリル	アクリル100% アクリル-20%セラミックス アクリル-40%セラミックス
ナイロン	ナイロン100%

0.4mm を目標にした。

金属およびサーメット溶射材料は5種類で、その種類と組成を表2示す。溶射はプロピレンを燃料とする高速フレイム溶射(HVOF: High Velocity Oxy-Fuel)で、溶射皮膜の厚さが0.3mmになるようパス数を調節した。

セラミックス溶射材料はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>の3種類で、その下地溶射(アンダーコート)として、Ni-Crを用いた。セラミックス溶射材料の組成を表3に示す。Ni-Cr溶射は高速フレイム溶射装置で、セラミックス溶射はプラズマ溶射装置で行った。溶射皮膜の厚さは金属で約0.1mm、セラミックスで約0.25mmにした。以上の溶射は全てロボットを用いて自動で行った。

表2 金属及びサーメット溶射材料の組成

溶射材料	組成 (wt%)
SUS316	17Cr-12Ni-2.5Mo-1Si-0.1C-Fe
Ni基超合金	19Cr-18Fe-3Mo-1Co-1Ti-Ni
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> サーメット	20(80Ni-20Cr)-Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
Ni基合金	20Cr-10W-9Mo-4Cu-1C-1B-1Fe-Ni
Fe-Cr-C合金	64Cr-7C-Fe

表3 セラミックス溶射材料の組成

溶射材料	組成 (wt%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -2.5TiO <sub>2</sub> -2SiO <sub>2</sub> -1Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TiO <sub>2</sub>	99TiO <sub>2</sub>

## 2-2 溶射皮膜の評価法

溶射皮膜の評価方法は荒田式溶射皮膜評価試験機を用いて、表4に示す試験条件でプラストエロージョン試験を行った。噴射角度は溶射皮膜に対して、30度、60度、90度の3水準で、1回の噴射量70gであるが、摩耗量が多い皮膜は皮膜粒子が剥離して早く基材が露出するので、すべての皮膜が同じ回数の試験はできなかった。また、プラスチック、金属、セラミックスそれぞれ密度が異なるために耐摩耗性の絶対比較はできないが、摩耗減量を精密天秤で重量測定して評価した。

表4 プラストエロージョン試験条件

プラスチック	#30モランダム
設定圧力 (kPa)	490
噴射圧力 (kPa)	304
噴射加速流量 (l/min)	340
噴射量 (g/回)	70
噴射角度 (度)	30、60、90

## 1 実験結果及び考察

### 3-1 プラスチック溶射皮膜

図1はプラスチック溶射皮膜のプラストエロージョン

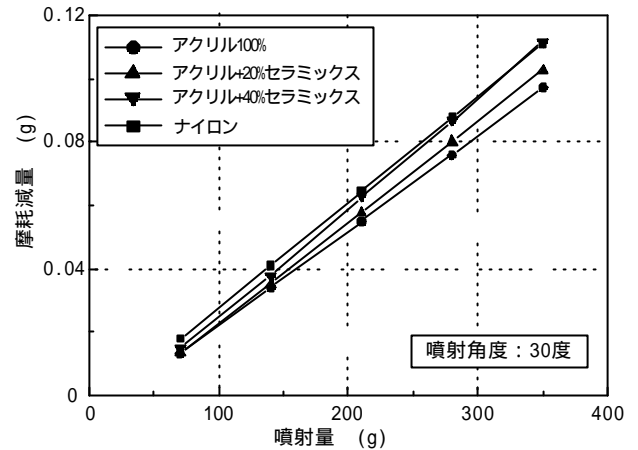


図1 溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果

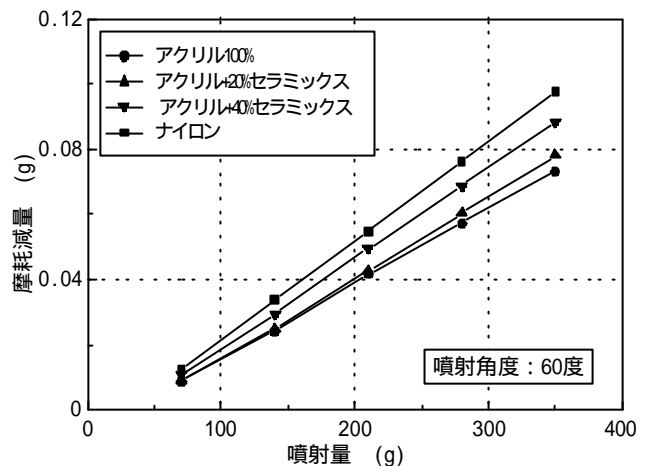


図2 溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果

試験で噴射角度30度の結果を示す。ポリエステル皮膜はプラスチックを70g噴射する前に簡単に皮膜が削り取られ、粒子間結合度がかなり劣っていると考えられる。この原因は供試ポリエステルの示差熱分析(DTA)及び熱天秤分析(TG)結果が示すように、融点は約760K、重量減少開始温度が約720Kであることから、溶射中に気化したガスが皮膜に巻き込まれたため、皮膜断面のSEM像観察で皮膜内気孔が多く認められる<sup>1)</sup>ことが支持している。

アクリル皮膜にセラミックスを混合すると耐摩耗性が劣るように見えるが、セラミックスの密度がアクリルの密度の数倍の値であることと、基地のアクリル粒子の剥離に伴い、セラミックスも剥離するので重量減少が多くなり、このような結果になったと思われる。

図2は噴射角度60度の結果であるが、溶射材料の種類による傾向は変わらず、全体の摩耗量は30度比べて少なくなっている。この原因は不明である。ナイロン皮膜はアクリル皮膜に比べて両角度共に摩耗減量が多くなっている。溶射皮膜のヌーブ硬さを測定すると、アクリル皮膜はHk1.5、ナイロン皮膜はHk8.7とナイロン皮膜がかなり高いが、アクリル皮膜はナイロン皮膜に比べて弾性が高く、プラスチックの衝撃エネルギーを吸収す

[ 研究報告 ]

るためと考えられる。噴射角度 90 度の図示は省略するが、噴射角度 60 度とほぼ同じであった。

3 - 2 金属及びサーメット溶射皮膜

金属及びサーメット溶射皮膜の噴射角度 30 度のプラストエロージョン試験結果を図 3 に示す。Fe-Cr-C 合金皮膜の摩耗量が多く、Ni 基合金皮膜、Ni 基超合金皮膜、Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni-Cr サーメット皮膜と続いていて、SUS316 皮膜の摩耗量が少なくなっている。溶射皮膜の断面を研磨して、マイクロピッカース硬さを測定すると図 4 のように、Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni-Cr サーメット皮膜や Fe-Cr-C 合金皮膜が硬く、SUS316 皮膜や Ni 基超合金皮膜の硬さが低くなっている。以前研究したスガ式摩耗試験は硬さの高いほど摩耗量が少なくなっていた<sup>2)</sup>が、この摩耗試験ではサーメットを除いて硬さと逆比例の関係が認められる。この試験はプラスト材の衝撃的圧力が作用することから硬さよりも皮膜の変形能や皮膜内の溶射材料粒子間の結合力が影響しているものと考えている。

同試験の噴射角度 60 度の結果を図 5 に、噴射角度 90 度の結果を図 6 に示す。噴射角度が大きくなると、SUS316 皮膜の摩耗量は少なく、Fe-Cr-C 合金皮膜の摩耗量が多くなり、両者の差が大きくなる。これは噴射角度が大きくなると、皮膜にプラスト材が直角に当たるた

め皮膜の変形能が高い、言い換えると硬さの低い皮膜が塑性変形して、衝撃力を緩和するためと考えている。

図 7 は溶射皮膜断面の SEM 像から画像解析装置で測定した面積気孔率を示す。SUS316 皮膜の気孔率が少なく、Ni 基合金皮膜や Fe-Cr-C 合金皮膜の気孔率が高く、

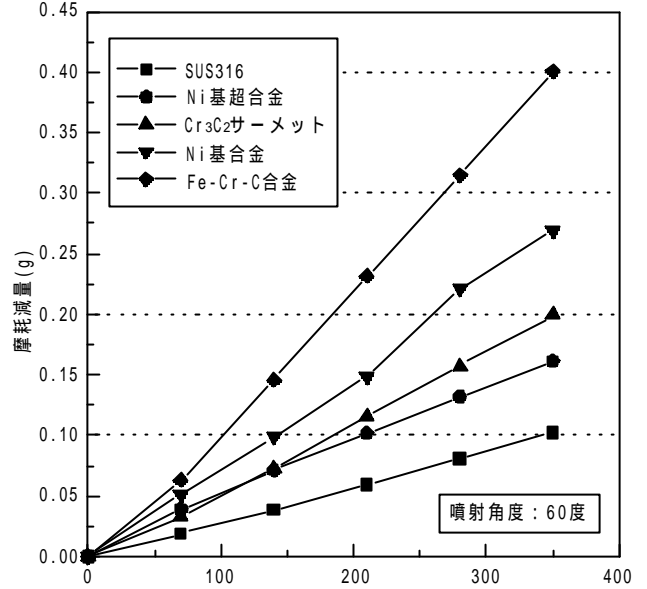


図 5 溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果

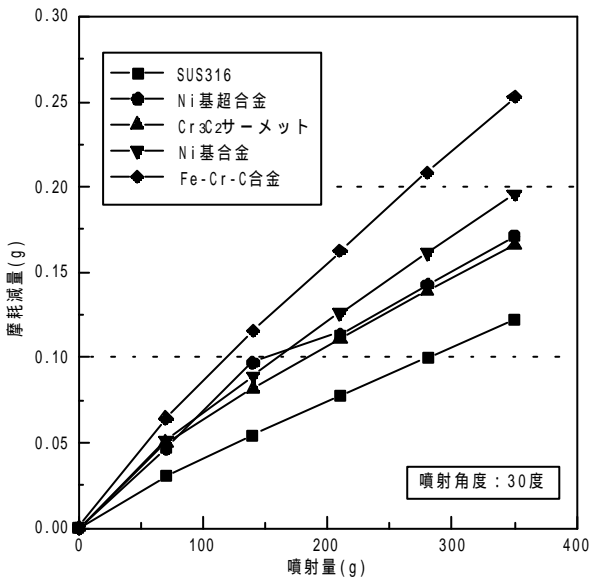


図 3 溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果

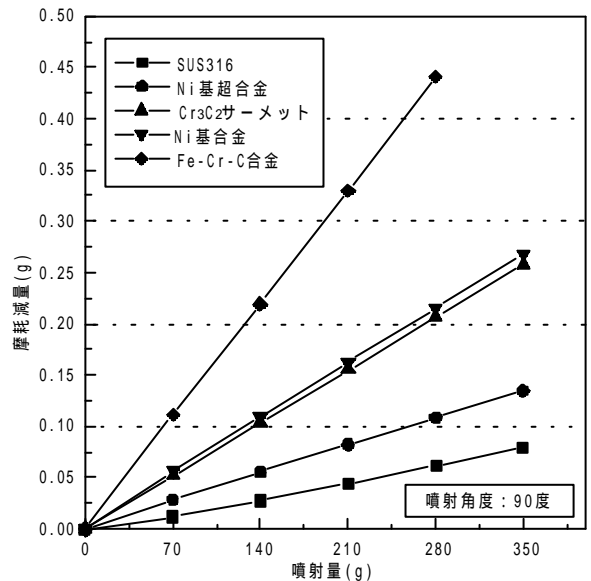


図 6 溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果

溶射材料	硬さ (HNV200g)				
	0	200	400	600	800
SUS316	[Bar chart showing low hardness]				
Ni 基超合金	[Bar chart showing low to medium hardness]				
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> サーメット	[Bar chart showing high hardness]				
Ni 基合金	[Bar chart showing medium to high hardness]				
Fe-Cr-C 合金	[Bar chart showing high hardness]				

図 4 金属及びサーメット溶射皮膜の硬さ

溶射材料	気孔率 (%)		
	0	1	2
SUS316	[Bar chart showing low porosity]		
Ni 基超合金	[Bar chart showing medium porosity]		
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> サーメット	[Bar chart showing low porosity]		
Ni 基合金	[Bar chart showing high porosity]		
Fe-Cr-C 合金	[Bar chart showing medium porosity]		

図 7 金属及びサーメット溶射皮膜の気孔率

プラストエロージョン試験結果と関連している。

### 3-3 セラミックス溶射皮膜

セラミックス溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果を図8から図10に示す。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜の摩耗量が多く、TiO<sub>2</sub>皮膜の摩耗量が少なくなっている。噴射角度を変えても溶射材料の順位は変わりなく、噴射角度が大きくなるとCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜の摩耗減量が大きくなる傾向を示した。

図11にセラミックス溶射皮膜のマイクロピッカース硬さ測定結果を示しているが、硬さの高いCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜の摩耗量が多くなっているが、硬さよりも皮膜の粒子間結合度が耐摩耗性に影響しているものと思われる。

図12に溶射皮膜断面のSEM像から画像解析装置を用いて、面積気孔率を測定した結果を示しているが、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜の気孔率が高くなっている。また、基材と皮膜の密着力測定時にセラミックス皮膜内で破断して、これがセラミックス溶射皮膜の強さ、言い換えると皮膜内粒子間結合度を示していると考えられる。この結果Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜の強さに比べてTiO<sub>2</sub>皮膜、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜の強さが高くなっている。<sup>3)</sup>プラストエロージョン試験は気孔率と皮膜内粒子間結合度が影響していることが明らかになった。

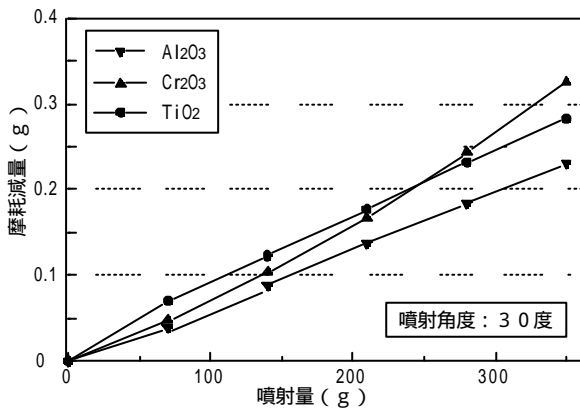


図8 溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果

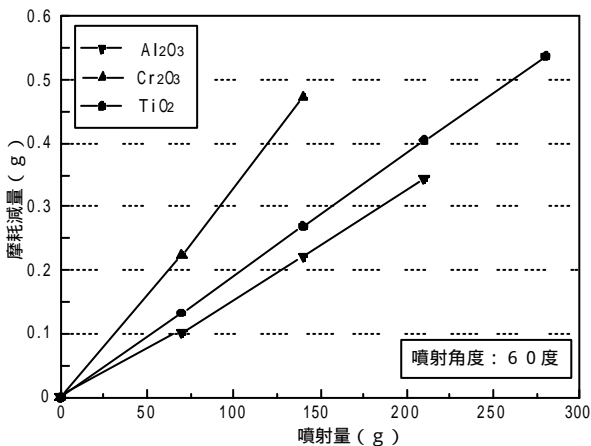


図9 溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果

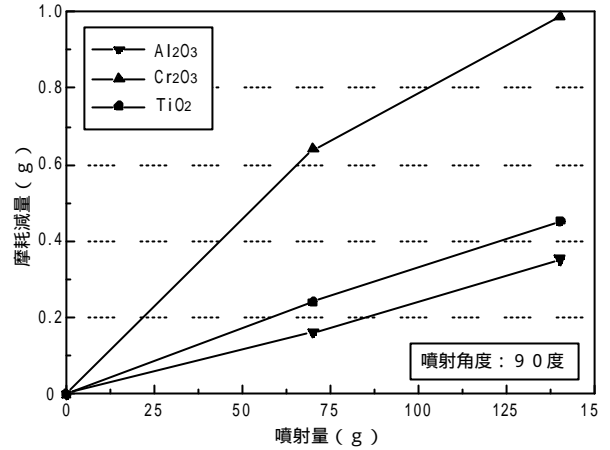


図10 溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果

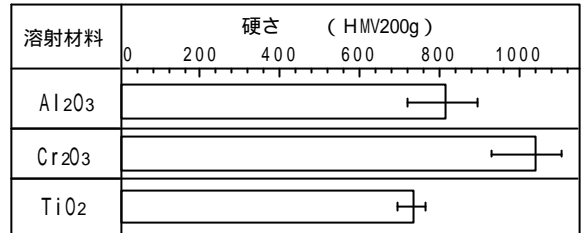


図11 セラミックス溶射皮膜の硬さ

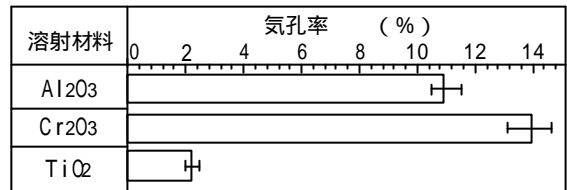


図12 セラミックス溶射皮膜の気孔率

## 4 結 言

溶射皮膜のプラストエロージョン試験結果を総括して、以下の結論を得た。

- (1) プラスチック溶射皮膜はポリエステル皮膜が簡単に皮膜の剥離が生じるのに対して、アクリル皮膜は弾性が高いために摩耗減量が少ない。
- (2) 金属及びサーメット皮膜は Fe-Cr-C 合金皮膜や Ni 基合金皮膜の摩耗減量が多く、SUS316 皮膜の摩耗減量は少ない。
- (3) セラミックス皮膜は Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 皮膜の摩耗減量が多く、TiO<sub>2</sub> 皮膜の摩耗減量が少ない。
- (4) プラスチック、金属、セラミックス共に硬さが低く、気孔率の小さい皮膜ほど摩耗減量が少なくなる。

## 文 献

- 1) 高橋幾久雄, 米倉勇雄, 桑嶋孝幸, 次世代高機能鋳鉄の創製と複合化に関する基礎的研究報告書, 116, (1997)
- 2) 高橋幾久雄, 米倉勇雄, 桑嶋孝幸, 岩手県工業技術センター報告, 5, 45, (1998)
- 3) 高橋幾久雄, 米倉勇雄, 桑嶋孝幸, 岩手県工業技術センター報告, 6, 35, (1999)

[ 研究報告 ]

