

平成23年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

(平成23年度補正予算事業)

「溶射プロセスに適応した合金設計とレーザ重畳ハイブリッド化  
による環境適合型高耐久性コーティングの開発」

研究開発成果等報告書

平成24年12月

委託者 中国経済産業局

委託先 公益財団法人岡山県産業振興財団

# 目 次

第1章 研究開発の概要	
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	4
1-3 成果概要	9
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	
2-1 溶射プロセスに適合した合金設計による耐食溶射技術の開発	11
2-1-1 溶射用高耐食材料の開発	11
2-1-2 溶射皮膜組織と耐食性の評価	13
2-2 レーザ重畳ハイブリッド化による耐摩耗溶射技術の開発	15
2-2-1 析出組織制御による耐摩耗皮膜の形成	15
2-2-2 レーザ同時照射による冷却速度と析出硬化相の制御	17
2-3 実用化に向けたレーザ重畳溶射成膜装置の開発	19
第3章 今後の課題と事業化展開	20

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### (背景)

「特定ものづくり基盤技術高度化指針」における「溶射に係る技術において達成すべき高度化目標」から明らかなように、エネルギー、化学プラント、印刷機械などの産業機器や自動車、航空機などの輸送機器では、環境問題の社会的認識の高まり（RoHS 指令、REACH など）と共に、環境に配慮した製品作りが求められている。機械装置の製造段階では、構成部品の高機能化（耐食性や耐摩耗性付与）を目的に施工されるめっき処理の廃止、使用段階では印刷機械等に使用される有機溶剤の使用廃止などが挙げられる。これらの環境配慮措置は機械部品の寿命（特に耐食性）を大きく低下させるものであり、耐食性、耐摩耗性に優れる代替改良技術の確立が強く求められている。

石油・化学プラントおよび発電所等の大型プラントでは、構成する各種機器、配管には経済性や加工性の面から主に鉄鋼材料が使用され、各生産プロセスにおいて鉄鋼を腐食させる冷却水や水蒸気はその配管内外を流れている。鉄鋼は安価であるが腐食しやすい金属であると言え、腐食劣化によるプロセス液の漏洩や破裂事故は大問題である。これら問題を解決するために耐食性のある部品が求められており、現在チタン、高ニッケル合金などの高級材料や表面処理（クロムめっき・ニッケルめっき）が使用され、腐食劣化の低減が図られている。また、印刷機器（図 1-1）では、シリンダーと呼ばれるロールを介して印刷が行われるが、ロール表面に耐食性と耐摩耗性を付与するために、表面処理（硬質クロムめっき）が施されている。

しかし、近年の環境配慮措置により、めっき処理に替わる耐食性、耐摩耗性を有する表面処理技術の確立が強く求められている。このような産業界の環境配慮に向けた動きは化学プラントや印刷業界等に限られるものではなく、自動車や航空宇宙産業においても進められており、特に航空機産業では、硬質クロムめっき代替としてサーメット溶射皮膜の開発研究が欧米を中心に進められ、既に WC-CoCr 等の材料が航空機のランディングギア等に採用されつつある。

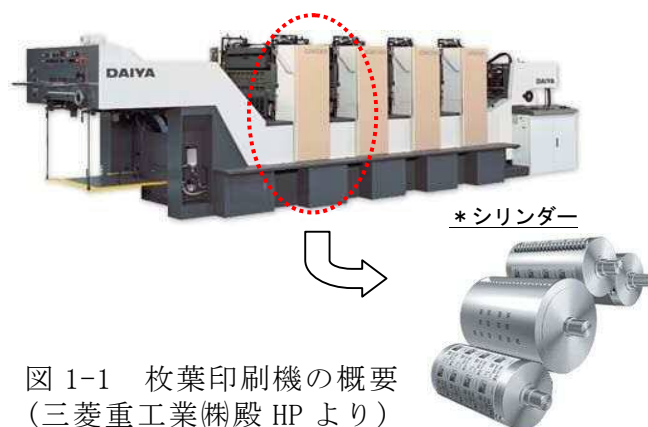


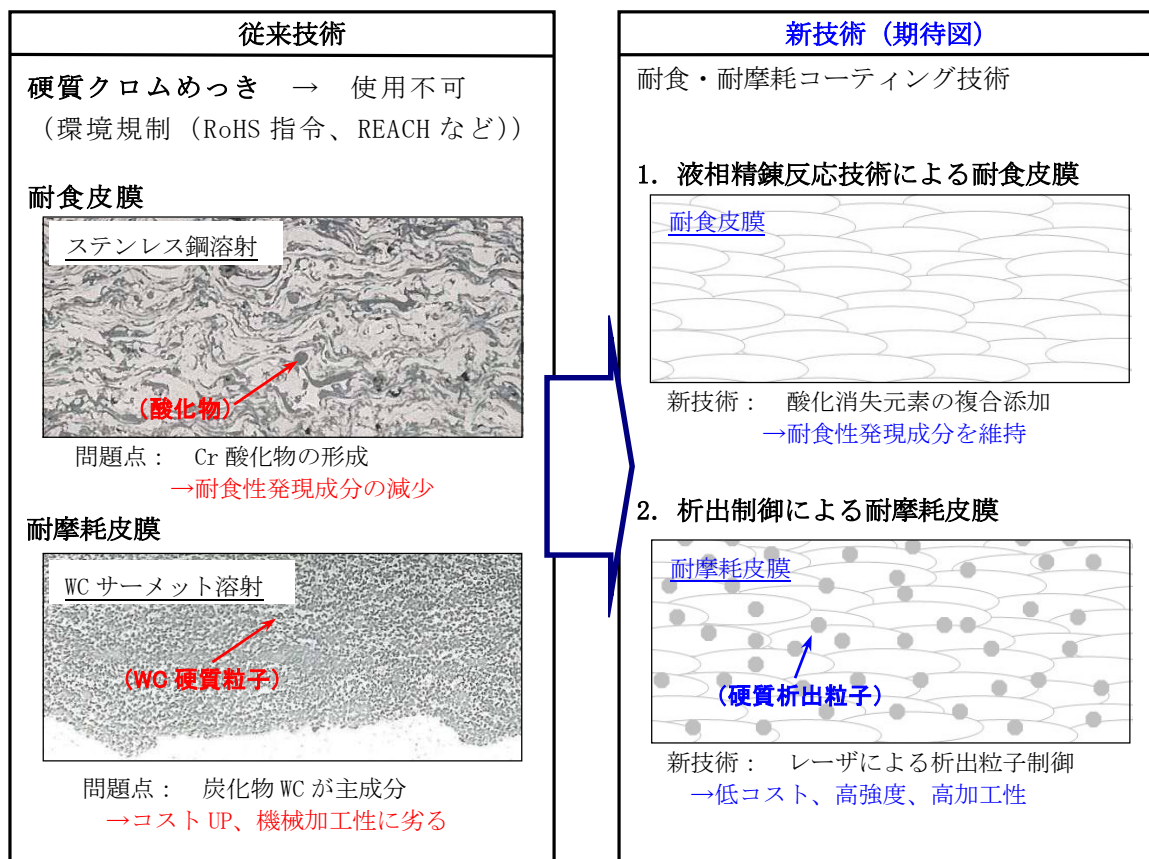
図 1-1 枚葉印刷機の概要  
(三菱重工業(株) 殿 HP より)

ステンレス鋼は耐食性がある溶射材料として有望であるが、ステンレス鋼溶射では、溶射過程での高温酸化反応により皮膜組織が不均質となり、過酷化が進む産業分野における耐食性能が十分発揮出来ず、産業分野への適用は、めっき処理が適用できない鋳物分野に限られているのが現状である。このため、広範な産業分野への適用が見込めるステンレス鋼溶射の耐食性能向上の研究開発が課題となっている。

また、耐摩耗性については、従来硬質クロムめっきの代替技術としてサーメット溶射皮膜が適用されてきたが、レアメタルであるタングステン W やコバルト Co (結合材として) を使用するためコストアップとなり、かつ脆性高硬度材料であるため、仕上げなどの機械加工性に問題があり、めっき処理の得意とした複雑形状へは適用できないなど、その適用は限定的であった。

### (研究目的)

硬質クロムめっきを代替・凌駕する高耐久性を有し、環境・資源的負荷も少ない溶射コーティング技術を開発する。鉄基耐食合金に活性元素 (C、B、Si 等) を添加すると酸素と優先的に反応し蒸発する現象を利用して『大気中で清浄な耐食合金皮膜を形成する技術』と、レーザを重畳して基材上での溶射皮膜の冷却速度を変化させ『析出硬化相の制御で耐摩耗皮膜を形成する技術』により、高耐久性コーティングを開発する。



### (高度化指針において定める高度化目標)

#### (2) 自動車に関する事項

オ. 皮膜の耐摩耗性の向上 カ. 耐食性の向上 ク. 低環境負荷溶射技術の開発

#### (3) 航空宇宙に関する事項

ア. 皮膜の耐食性、耐熱性、耐摩耗性等の向上 カ. 低環境負荷溶射技術の開発

#### (5) 製紙機械・印刷機械に関する事項

ア. 皮膜の耐摩耗性、耐衝撃密着性等の向上 イ. 皮膜の耐腐食性、基材環境遮断性の向上

#### (6) 産業機械（エネルギー、化学プラント、焼却炉等）に関する事項

ア. 皮膜の耐熱性、耐高温腐食特性、耐エロージョン特性の向上

### (本事業提案における高度化目標)

#### I：従来技術を凌駕する高耐食性を有し、かつ低コストを実現する Fe 基高耐食溶射皮膜の開発

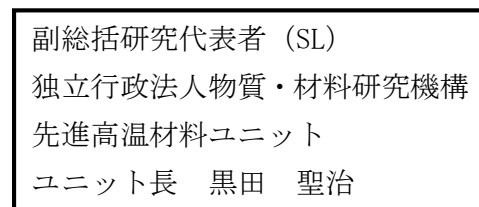
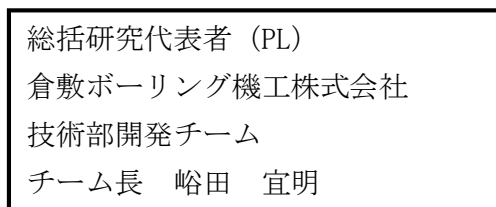
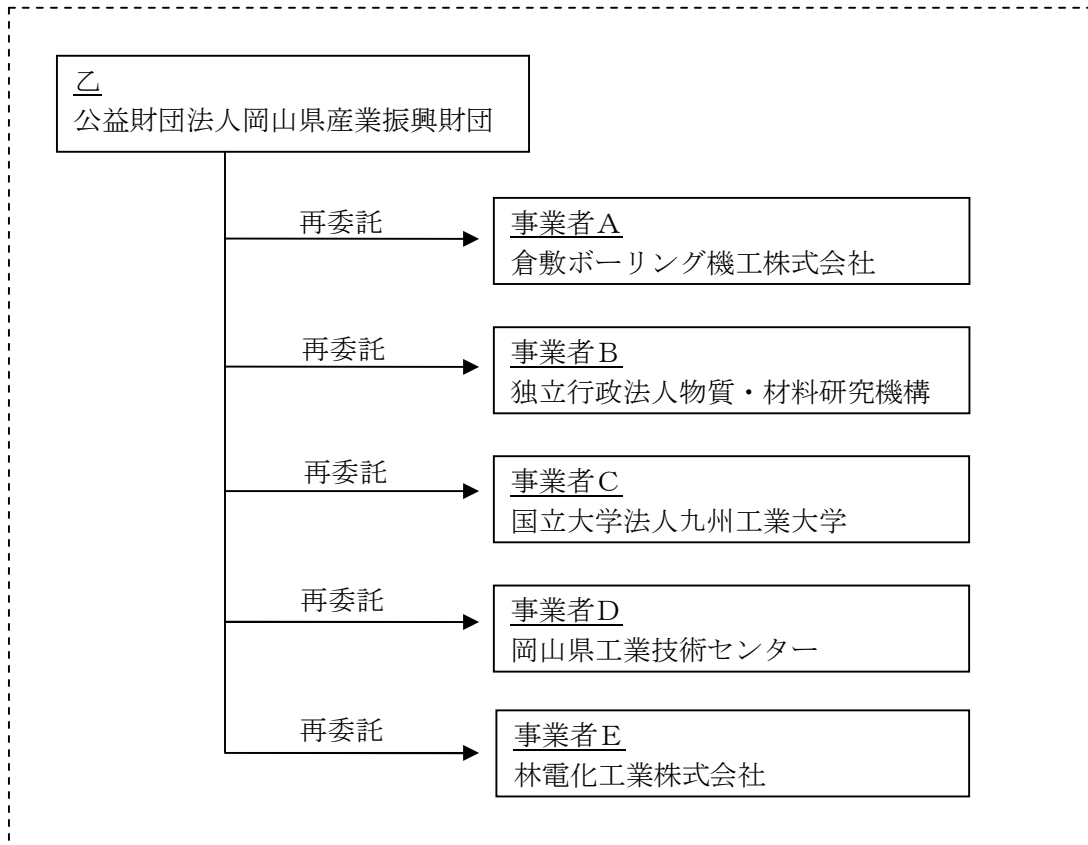
産業機械に広く適用されている鉄鋼材料に対して、従来のニッケルやクロムめっき、ステンレス鋼溶射皮膜に比べ、湿式環境下での耐腐食性に優れる溶射皮膜を開発する。また、トータルコストでも既存品より安価な溶射部品の開発を行う。

#### II：低コストかつ機械加工性に優れる Fe 基耐摩耗溶射皮膜の開発

硬質クロムめっきなどの耐摩耗性皮膜の代替技術として、従来の溶射皮膜にある高硬度サーメット溶射皮膜ではなく、コストパフォーマンスに優れ、かつ各種の複雑形状機械部品への適用を可能とする機械加工性に優れる金属系の耐摩耗性溶射皮膜を確立する。

## 1-2 研究体制

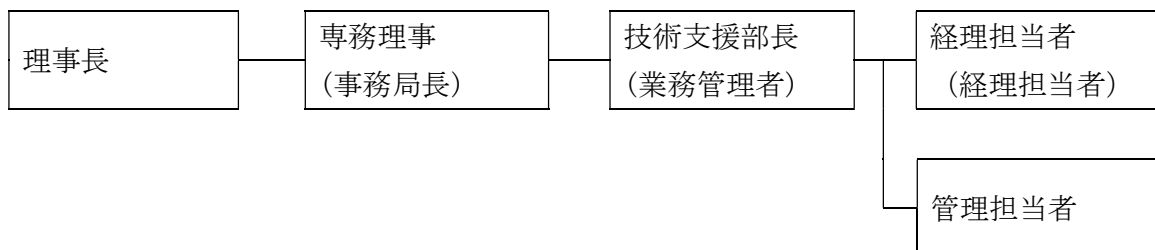
(研究組織 (全体))



### (管理体制)

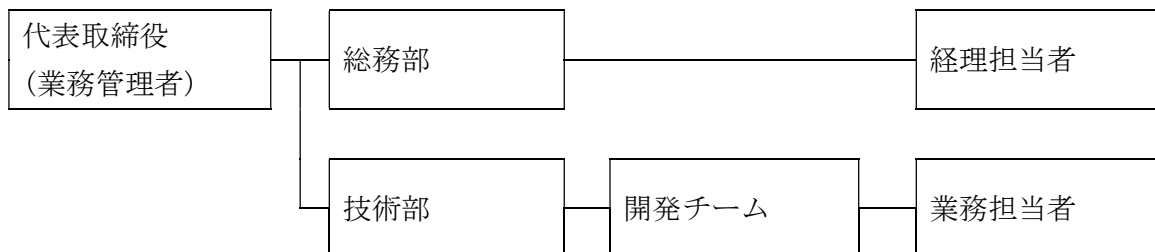
#### ①事業管理機関

[公益財団法人岡山県産業振興財団]

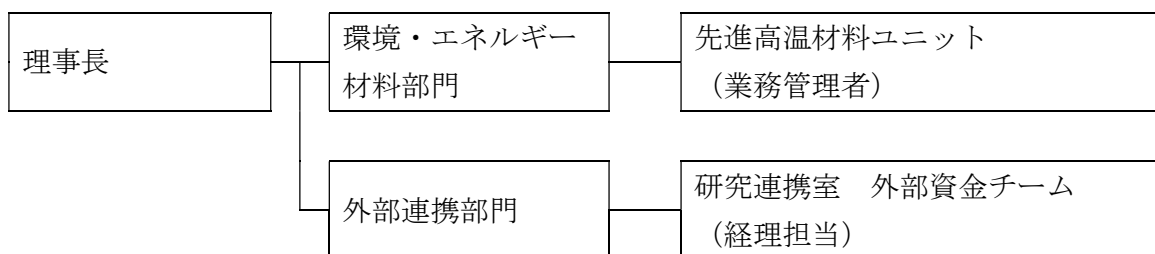


② (再委託先)

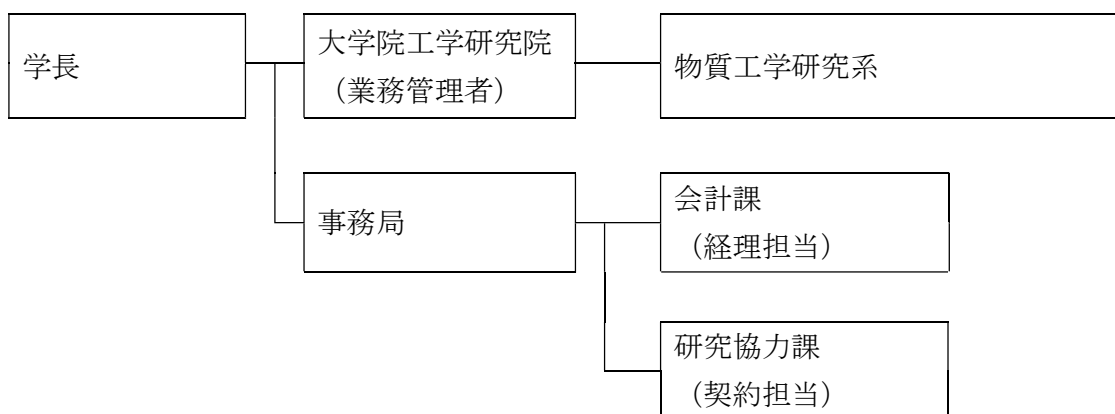
[倉敷ボーリング機工株式会社]



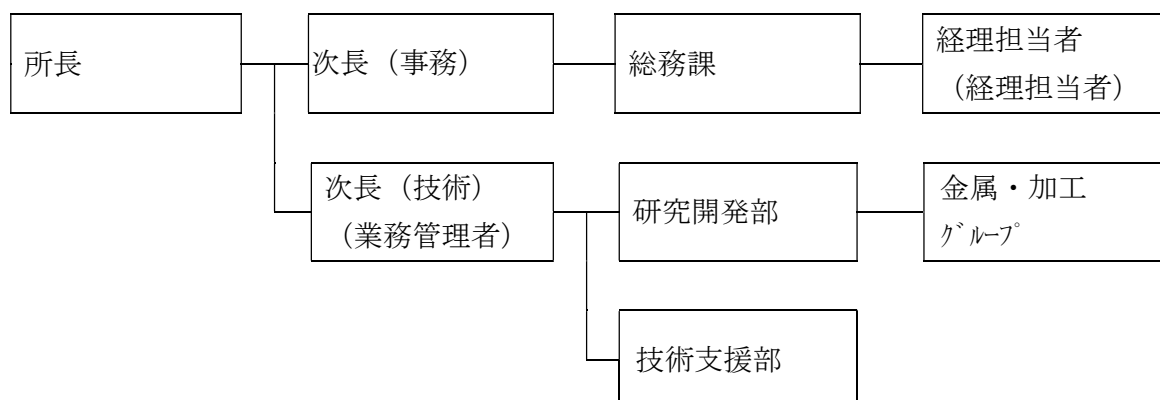
[独立行政法人物質・材料研究機構]



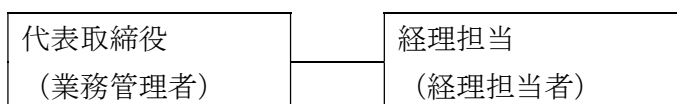
[国立大学法人九州工業大学]



[岡山県工業技術センター]



[林電化工業株式会社]



(管理員及び研究員)

【事業管理機関】 公益財団法人岡山県産業振興財団

①管理員

氏名	役職・所属	実施内容 (番号)
深井 康光	技術支援部 部長	④
横田 尚之	技術支援部 研究開発支援課 課長	④
三竿 真紀	技術支援部 研究開発支援課 主事	④
喜井 敏恵	技術支援部 研究開発支援課 主事	④

【再委託先】 ※研究員のみ

倉敷ボーリング機工株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
峪田 宜明	技術部開発チーム チーム長	②-1、②-2、③
曾 珍素	技術部開発チーム 研究員	②-1、②-2、③
楨野 行修	技術部開発チーム 研究員	②-1、②-2、③



独立行政法人物質・材料研究機構

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
黒田 聖治	先進高温材料ユニット長	②-1、②-2
荒木 弘	先進高温材料ユニット 主幹エンジニア	②-1、②-2
大橋 修	先進高温材料ユニット 研究業務員	②-1、②-2

国立大学法人九州工業大学

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
恵良 秀則	大学院工学研究院物質工学研究系 教授	②-1、②-2
篠崎 信也	大学院工学研究院物質工学研究系 准教授	②-1、②-2
大坪 文隆	大学院工学研究院物質工学研究系 助教	②-1、②-2

岡山県工業技術センター

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
日野 実	技術支援部 部長	②-1、②-2
村岡 賢	研究開発部 研究員	②-1、②-2
村上 浩二	研究開発部 研究員	②-1、②-2
余田 裕之	研究開発部 技師	②-1、②-2
中西 亮太	研究開発部 技師	②-1、②-2

林電化工業株式会社

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
林 泰弘	代表取締役	③
尾関 祐司	品質保証・システム担当	③

(経理担当者及び業務管理者の所属、氏名)

(事業管理機関)

公益財団法人岡山県産業振興財団

(経理担当者) 技術支援部 研究開発支援課 主事 田辺 健太郎  
 (業務管理者) 技術支援部 部長 深井 康光

(再委託先)

倉敷ボーリング機工株式会社

(経理担当者) 代表取締役 田尻さや香  
 (業務管理者) 技術部開発チーム チーム長 峪田 宜明

独立行政法人物質・材料研究機構

(経理担当者) 外部連携部門研究連携室 外部資金チーム長 青木 芳夫  
 (業務管理者) 先進高温材料ユニット長 黒田 聖治

国立大学法人九州工業大学

(経理担当者) 会計課 課長補佐  
(業務管理者) 大学院工学研究院長

白木 智行  
石川 聖二

岡山県工業技術センター

(経理担当者) 総務課 主任  
(業務管理者) 次長

赤木 広美  
光石 一太

林電化工業株式会社

(経理担当者) 経理  
(業務管理者) 代表取締役

林 久子  
林 泰弘

(他からの指導・協力者)

氏名	所属・役職	備考
吉田 豊信	国立大学法人東京大学 工学部マテリアル工学科 教授	推進委員会アドバイザー
上野 和夫	一般社団法人日本溶射学会 理事・事務局長	推進委員会アドバイザー
池田 裕樹	山陽特殊製鋼株式会社粉末事業部 粉末技術部技術グループ長	推進委員会アドバイザー
小林 公平	三菱重工印刷紙工機械株式会社 製造本部 生産管理部 次長	推進委員会アドバイザー
花口 正典	旭化成ケミカルズ株式会社水島製造所 設備管理部 企画安全課 担当課長	推進委員会アドバイザー

## 1-3 成果概要

### [1] 溶射プロセスに適合した合金設計による耐食溶射技術の開発

#### [1-1] 溶射用高耐食材料の開発

高耐食性溶射材料の合金設計における、Cr の酸化抑制効果について熱力学的検討を行った。Si、B を添加した合金の場合、これら軽元素の存在は雰囲気酸素分圧を低く保つ可能性があり、Si、B の優先酸化により Cr の酸化は抑制され、さらに、Si、B の相互作用を考慮すると、Cr の酸化抑制効果は Si よりも B の方が期待できる。

オーステナイト系ステンレス鋼に Si、B を添加した溶射材を用い皮膜を作製し、皮膜特性および耐食性評価を行った。Si、B を添加することで溶射粒子表面の酸化物の生成を抑制し、皮膜の酸化物を低減することができ、また、酸化物の低減に伴うぬれ性の向上により緻密な皮膜を作製することができる。さらに、Si、B を添加することで耐食性の向上が確認された。

#### [1-2] 溶射皮膜組織と耐食性の評価

活性元素を添加した新設計鉄基合金溶射皮膜の断面での元素分布について EPMA を用いて調べた結果、酸素は工程および液滴に由来する界面に多く検出され、また他の合金元素については、酸素の分布領域以外で濃度の濃淡分布が確認できた

また、新規設計合金皮膜の耐食性評価を行い、耐食性と合金組成との関連性を調べた結果、No. 8合金皮膜は、耐食性の目標値である塩水噴霧1000hを達成した。No. 8合金は、皮膜自身の耐食性は他の高Ni合金皮膜より低い、皮膜組織の均一性や耐隙間腐食性に強い特徴を持つと考えられる。

### [2] レーザ重畳ハイブリッド化による耐摩耗溶射技術の開発

#### [2-1] 析出組織制御による耐摩耗皮膜の形成

耐食・耐摩耗合金皮膜について、耐食性を重視した第一グループ (G1)、硬さを重視した第二グループ、両者の結果を反映させた第三グループに分けて新材料の設計を行った。優れた耐食性を示した G1 合金の主成分に添加元素を増やすことにより耐食性は低下したが、Cu を添加することにより耐食性の維持ができた。皮膜の硬さは、熱処理皮膜により HV800 を超えることが確認され、レーザー重畳技術により硬度の向上が予想できる。

また、耐食・耐摩耗性溶射皮膜の元素分析および耐摩耗性試験を行った結果、溶射皮膜中に Cr-Fe-B からなるホウ化物の析出が確認できた。この析出物は、硬さの向上に寄与すると考えられる。また、耐摩耗性では、往復摺動摩耗試験において、SUS 溶射皮膜よりも摩耗減量の少ない皮膜の形成が確認できた。さらにこれらの皮膜は、電気化学測定の結果より高い耐食性が確認された。

## [2-2] レーザ同時照射による冷却速度と析出硬化相の制御

レーザー装置の最大出力 1kw で、集光ビーム径、移動速度を変化させ、皮膜の溶融や割れ状態を確認した結果、レーザー集光ビーム径  $\phi$  10mm では皮膜の溶融に必要な熱エネルギーが得られないが、 $\phi$  5mm の場合、皮膜の溶融状態が確認された。

また、溶射とレーザーの同時照射を行い、試験片の回転速度、ガンの移動速度などの条件を最適化することで、皮膜硬さ HV0.3 > 800 の目標値を達成することが出来た。耐食性についても、塩水噴霧試験 750hr まで、皮膜表面に発錆の無い皮膜を開発できた。

## [3] 実用化に向けたレーザー重畳溶射成膜装置の開発

開発された耐食合金の実機製品への溶射を実施し、皮膜の耐食性を評価した結果、塩水噴霧試験 1000 時間後も表面に赤錆の発生が見られず、優れた耐食性を持つ皮膜が開発された。今後、印刷機製品だけでなく、湿食環境での耐食性を求める製品への幅広い応用開発を展開する。

また、成膜装置についても、溶射ガンロボット用レーザー取付治具を改良することにより、溶射とレーザーを同時に焦点を一致させて行うことが可能となった。

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

(事業管理機関)

公益財団法人岡山県産業振興財団  
技術支援部 研究開発支援課長 横田尚之  
Tel:086-286-9651、Fax:086-286-9676  
E-mail:nyokota@optic.or.jp

(再委託先) PL

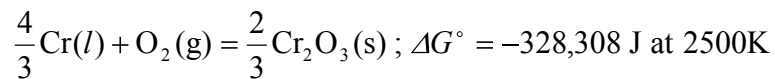
倉敷ボーリング機工株式会社  
技術部開発チーム チーム長 峪田宜明  
Tel : 0865-44-6312、Fax : 0865-44-6316  
E-mail : [sakoda@kbknet.co.jp](mailto:sakoda@kbknet.co.jp)

## 第2章 本論

### 2-1 溶射プロセスに適合した合金設計による耐食溶射技術の開発

#### 2-1-1 溶射用高耐食材料の開発

緻密で酸化物のない高耐食性皮膜を基材上に形成させるには、溶射材料が基材表面に到達する前の高温での飛行時に合金成分である Cr 等の元素の酸化をできるだけ抑制することが重要である。ここでまず単純化して、クロム単独の酸化反応について、すなわち 2500K の高温で飛行中の溶融クロムの酸化反応について熱力学的に検討してみる。Cr の酸化反応は、例えば次式であらわされ、



$\Delta G^\circ$  は上記反応の標準自由エネルギー変化である。この値をもとにして、2500K の大気中(酸素分圧 0.21atm)に純液体クロムおよび純酸化クロムが存在するとして、自由エネルギー変化 $\Delta G$ は

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}^{\frac{2}{3}}}{a_{\text{Cr}}^{\frac{4}{3}} \cdot p_{\text{O}_2}} = -328,308 + 8.314 \times 2500 \ln \frac{1^{\frac{2}{3}}}{1^{\frac{4}{3}} \times 0.21} = -295,870 \text{ J}$$

となる。式中  $R$  は気体定数、 $T$  は絶対温度、 $a$  は活量(成分の反応性を表す、純物質の場合 1)、 $p$  は分圧(ここでは酸素分圧、0.21)である。得られた $\Delta G$ の値が負であるということは、高温の大気中では純クロムは存在できずに酸化してしまうことを示している。純クロムではなくたとえ鉄中合金成分であり、その反応性が純物質の 100 分の 1、つまり活量  $a=0.01$  であったとしても $\Delta G=-168,560\text{J}$ であり、鉄中クロムが酸化して酸化クロムが生成することには変わりはない。溶射皮膜の耐食性を向上させるために加えられたクロムが飛行中に酸化してしまえば溶射材料へのクロム添加の意味はなくなってしまうことになる。

そこで次に、Cr 以外にも Si および B を添加した Fe-Cr-Si-B 合金について検討してみた。仮に、2500K において Fe-10at%Cr-1at%Si-1at%B 合金が溶融しており、それぞれの成分の酸化反応が活発に起こっているとした時の平衡酸素分圧を求めたのが表 2-1 である。例えば最下段の反応に着目して説明する。 $2\text{Si}(l) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{SiO}(\text{g})$  反応が活発に起こっており、合金の表面はほぼ 1atm の SiO ガスで覆われているとすると

$$\Delta G^\circ (= -558,456) = -RT \ln \frac{p_{\text{SiO}}^2}{a_{\text{Si}}^2 \cdot p_{\text{O}_2}} = -8.314 \times 2500 \times \ln \frac{1}{0.01^2 \times 0.21}$$

より、界面近傍の酸素分圧は  $2.1 \times 10^{-8}$  気圧まで低下することになる。同じく  $\text{Si}(l) + \text{O}_2(g) = \text{SiO}_2(g)$  反応が活発に起こっているとしたら、合金の表面の酸素分圧は  $3.0 \times 10^{-8}$  気圧まで低下することになる。なお、ここでは鉄中に含まれている Si の活量(表中左から第3項目)は純物質を1とした場合に比例するとして計算した。

もしこのように Si の酸化反応が活発に起こっているとすると、飛行中の液体粒子の近傍は酸素分圧が  $2.1 \times 10^{-8}$  気圧という低い圧力に保たれているということであり、鉄中に 10at%含まれている Cr の平行酸素分圧に比べて十分に低い値であることから、Cr の酸化は生じないことになる。B の存在も Si と同様に雰囲気酸素分圧を低く保つ可能性のあることがわかる。すなわち、Si や B の優先酸化により、Cr の酸化は抑制されることになる。

ここまでは、鉄中の Si や B の反応性が鉄中濃度で代用できるとして計算した。しかしながらこのようなことは稀であり、合金成分として含まれる元素の反応性(活量)は図 2-1 で表される。鉄に対して理想溶液である場合のみ、その元素の反応性を鉄中濃度で代用できる。図 2-2 に示すように、鉄に対してほぼ理想溶液である Cr は鉄中での活量を鉄中濃度で代用できるが、Si および B は鉄中で活量が低下する。さらに鉄中の成分間にはお互いに活量を増大させあったり、低下させあったりする性質がある。例えば、鉄中で Cr と Si 間にはそのような作用はほとんどないが、Si と B とはお互いに相手の活量を増大させあう性質がある。

これらのような様々な作用を考慮して表 2-1 の再計算を行うと、表 2-2 が得られる。この表は Fe-10mass%Cr-1mass%Si-1mass%B 合金について計算したものであり、雰囲気酸素分圧を低下させる効果、つまり Cr の酸化抑制効果は Si よりも B の方が期待できることがわかる。

表 2-1 平衡酸素分圧の計算

反 応	計算の条件		計算結果	
	$DG^\circ$ /J at 2500K	$a_{\text{Cr}}$ or $a_{\text{Si}}$ or $a_{\text{B}}$	$a_{\text{oxide}}$ or $p_{\text{oxide}}$	$p_{\text{O}_2, \text{平衡}}$
$2/3\text{Cr}(l) + \text{O}_2(g) = 2/3\text{CrO}_3(g)$	-69,351	0.1	1	1.7E-01
$4/3\text{Cr}(l) + \text{O}_2(g) = 2/3\text{Cr}_2\text{O}_3(s)$	-328,308	0.1	1	3.0E-06
$4/3\text{B}(l) + \text{O}_2(g) = 2/3\text{B}_2\text{O}_3(l)$	-467,389	0.01	1	8.0E-08
$4/3\text{B}(l) + \text{O}_2(g) = 2/3\text{B}_2\text{O}_3(g)$	-483,866	0.01	1	3.6E-08
$\text{Si}(l) + \text{O}_2(g) = \text{SiO}_2(l)$	-455,997	0.01	1	3.0E-08
$2\text{Si}(l) + \text{O}_2(g) = 2\text{SiO}(g)$	-558,456	0.01	1	2.1E-08

表 2-2 合金中成分の反応性を考慮した平衡酸素分圧の計算

反 応	$P_{O_2, 平衡}$
$4/3Cr(\text{in alloy}) + O_2(g) = 2/3Cr_2O_3(s)$	2.78E-06
$Si(\text{in alloy}) + O_2(g) = SiO_2(l)$	6.60E-07
$2Si(\text{in alloy}) + O_2(g) = 2SiO(g)$	1.06E-05
$4/3B(\text{in alloy}) + O_2(g) = 2/3B_2O_3(l)$	1.88E-07
$4/3B(\text{in alloy}) + O_2(g) = 2/3B_2O_3(g)$	8.52E-08

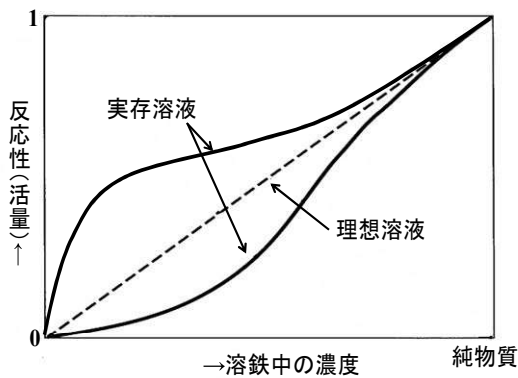


図 2-1 溶鉄中合金成分の反応性  
(一般例)

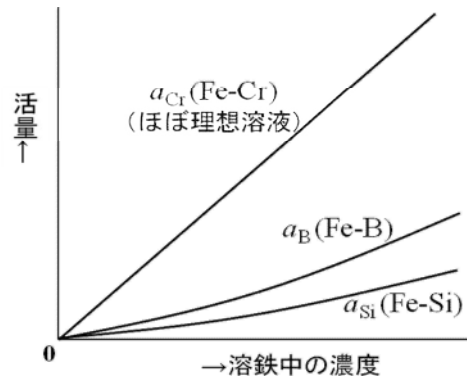


図 2-2 Cr、Si、B の溶鉄中での反応性

## 2-1-2 溶射皮膜組織と耐食性の評価

新規設計高耐食皮膜の断面組織を図 2-3 に示す。合金 No. 1 と No. 2 については、皮膜中にグレーのコントラストで観察される酸化物が多く確認できるが、No. 3~No. 8 については、SUS 皮膜に比べ酸化物が減少していることが分かる。

塩水噴霧試験 700hr と 1000hr 後の封孔処理した皮膜の表面状態を図 2-4 に示す。試験経過 700hr 後、No. 8 の皮膜表面には錆が観察されず、皮膜は健全であった。No. 3 皮膜はマスキング付近に錆が観察された。他の皮膜表面には発錆が確認された。試験は 1000hr まで継続した後、No. 8 皮膜表面にマスキングと皮膜間の一か所に隙間腐食が見られたが、全面的に健全であったため、この皮膜の耐食性は塩水噴霧試験 1000hr までという目標を達成した。

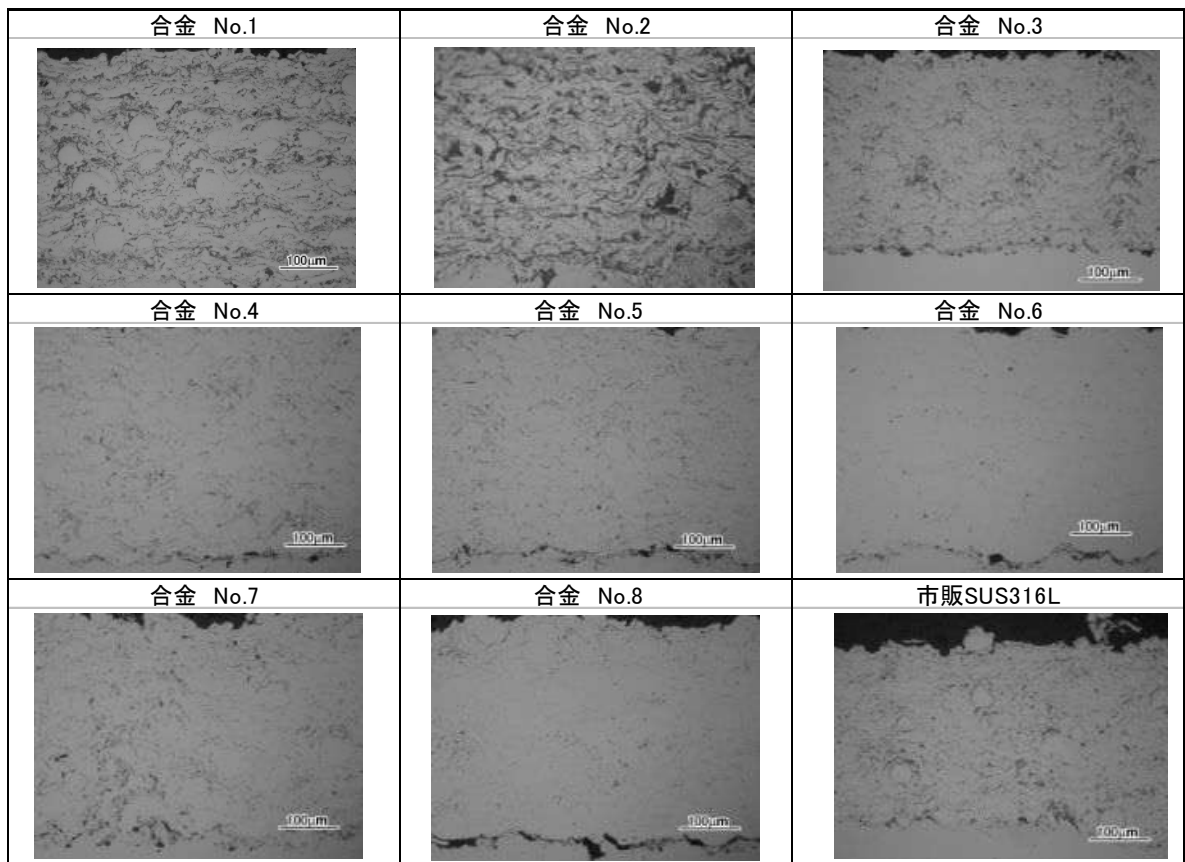


図 2-3 設計耐食合金皮膜の断面組織

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	SUS316L
700 hr									
1000 hr									
	x	xx	x	xx	xx	xx	xx	◎	x

図 2-4 設計耐食合金皮膜 塩水噴霧試験結果



## 2-2 レーザ重畳ハイブリッド化による耐摩耗溶射技術の開発

### 2-2-1 析出組織制御による耐摩耗皮膜の形成

合金 No. 2-7~No. 2-10 皮膜の断面組織を図 2-5 に示す。皮膜の組織からグレーコントラストの酸化物は非常に少なく、均一な組織であることが分かる。これらは合金組成中に Si、B、C を多く含むため、溶射中の酸化を抑制したと考えられる。

また、アズスプレー皮膜及び熱処理後の皮膜断面硬さを図 2-6 に示す。アズスプレーのままの皮膜断面硬さは HV560~730 範囲、熱処理後、硬さは HV715~890 の範囲まで上昇した。熱処理後の硬さ上昇により、溶射とレーザー重畳処理により目標値の HV800 を達成する可能性を確認できた。

塩水噴霧試験の経過による皮膜表面の発錆状態を図 2-7 に示す。合金 No. 2-7 皮膜は、試験 100hr 後、No. 2-8 は試験 400hr 後、表面に赤錆の発生が確認された。No. 2-10 皮膜は試験 400hr 後表面に薄錆の発生が観察され、Ni を含まない合金でも良好な耐食性を示す。No. 2-9 皮膜は目標値の試験 1000hr まで表面に赤錆が観察されず、優れた耐食性が確認された。

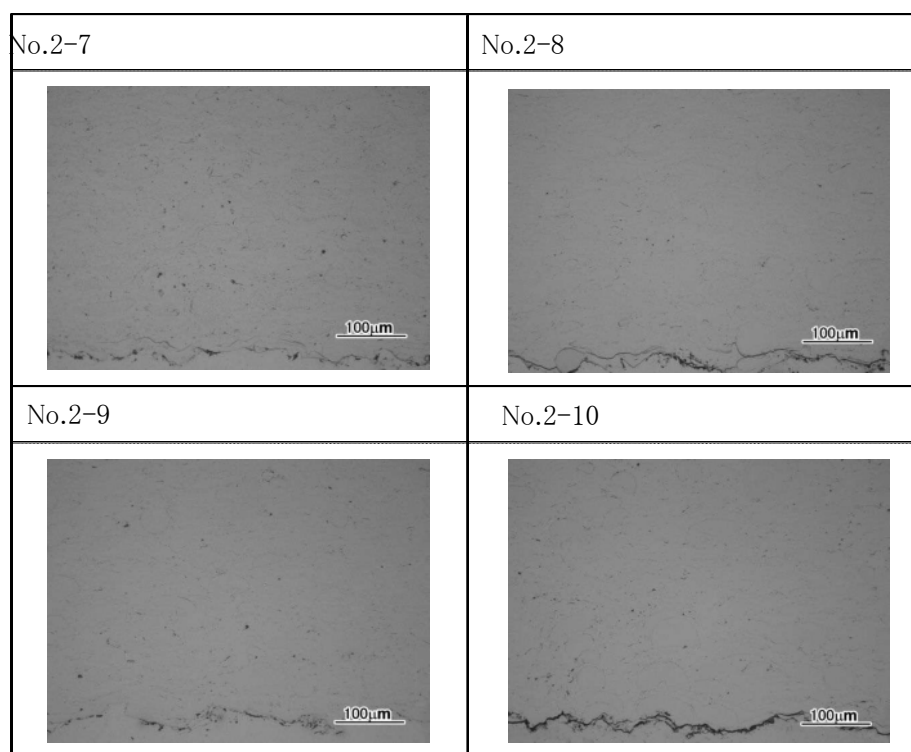


図 2-5 皮膜の断面組織

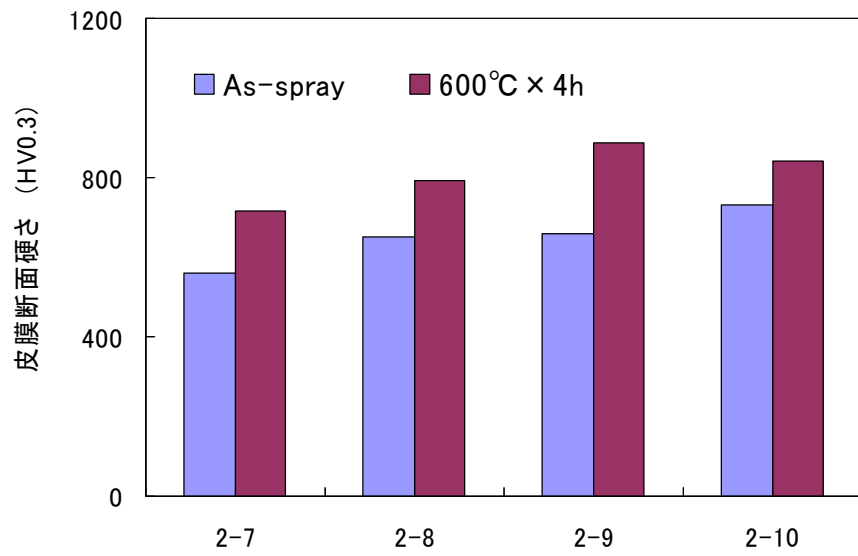


図 2-6 アズスプレー及び熱処理後の皮膜断面硬さ

	No.2-7	No.2-8	No.2-9	No.2-10
100hr				
400 hr				
1000 hr				

図 2-7 塩水噴霧試験結果

## 2-2-2 レーザ同時照射による冷却速度と析出硬化相の制御

溶射とレーザー同時処理技術を用い、形成皮膜の冷却速度を制御することにより必要な化合物を析出させることと共に結晶粒の微細化を図り、皮膜の硬度を向上しながら、耐食性を維持する皮膜の開発を目的とする。

プラズマ溶射ガンと半導体レーザー装置を用い、目標値である皮膜硬さ HV=800、また塩水噴霧試験 1000hr まで皮膜の表面に無錆を達成するため同時照射条件を検討した。

溶射とレーザーの焦点一致条件で、同時照射を行った合金 No. 2-2 と No. 2-9 皮膜の硬さを図 2-8、9 に示す。合金 No. 2-2 皮膜の硬さから、HV0.3>800 の照射条件は、回転周速 50m/min と 25m/min 共に装置の送り速度 1mm/s であり、回転速度より装置の送り速度の影響は大きい。合金 No. 2-9 の結果から、HV0.3>800 の照射条件は、回転速度は 25mm/s で、装置の送り速度は 1mm/s と 3mm/s の条件であり、回転速度の影響は大きい。合金材料により硬さに影響する因子が異なる。これは析出物の形成条件の違いがあると考えられる。

溶射とレーザー同時照射の No. 2-9 皮膜について塩水噴霧試験を行った (図 2-10)。試験 30hr 後は、すべての皮膜表面で発錆は無い。試験 750hr 後、回転 25m/min、送り 1mm/s の皮膜は、一箇所に隙間腐食が観察され、試験 850hr 後、腐食の拡大が見られた。送り 3mm/s の皮膜は、試験 750hr 後に腐食の発生が確認された。無照射皮膜は、試験 750hr まで一箇所の隙間腐食が見られたが、試験 850hr までも変化がなかった。

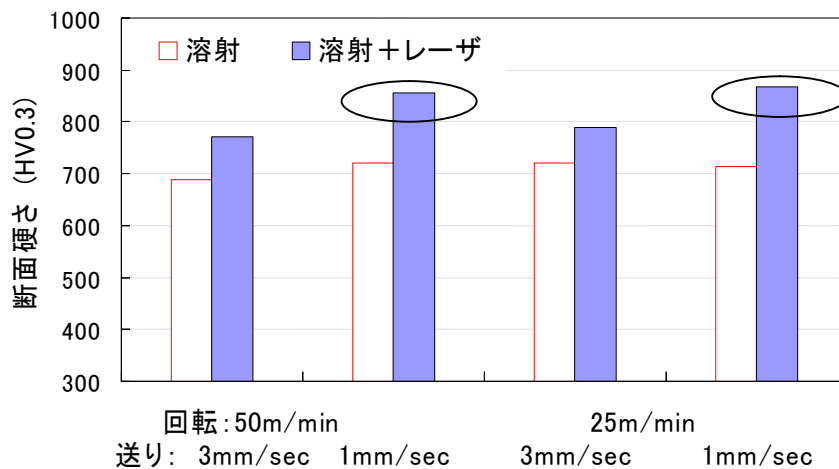


図 2-8 試験片回転速度及び装置の送りによる合金 No. 2-2 皮膜の断面硬さ

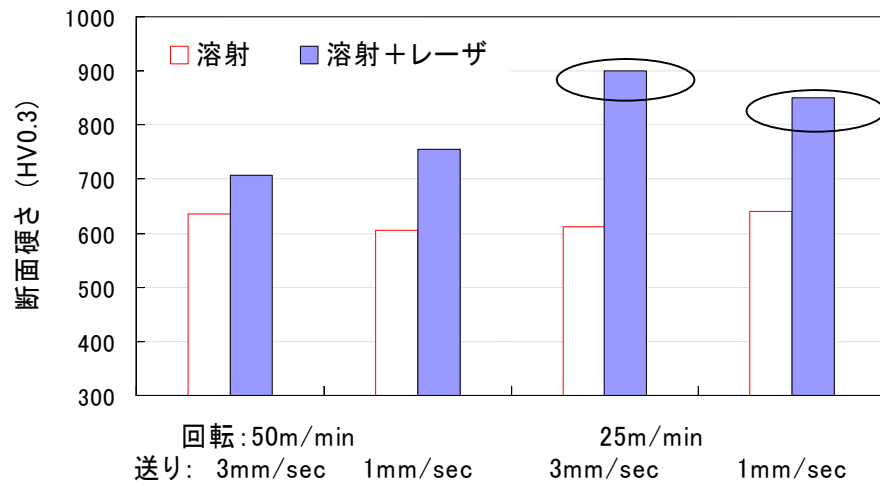


図 2-9 試験片回転速度及び装置の送りによる合金 No. 2-9 皮膜の断面硬さ

回転	25m/min		
送り	1mm/s	3mm/s	3mm/s (無照射)
硬さ	HV0.3=850	HV0.3=920	H0.3=600
塩水噴霧 30hr			
塩水噴霧 750hr			
塩水噴霧 850hrs			

図 2-10 塩水噴霧試験経過時間による同時照射合金 No. 2-9 皮膜の表面状況

### 2-3 実用化に向けたレーザー重畳溶射成膜装置の開発

平成 23 年度に「溶射サンプル製作用横回転装置」を製作し、平成 24 年度に溶射と同時にレーザーを照射するための「溶射ガンロボット用レーザー取付治具」を開発した。図 2-11 は、テストピースや製品を回転させながら、溶射を行う「溶射サンプル製作用横回転装置」、図 2-12 は「レーザー重畳装置」である。



図 2-11 横回転装置



図 2-12 レーザ重畳装置

### 第3章 今後の課題と事業化展開

#### <耐食溶射技術の開発>

- 今後の課題： ①No. 1-8 皮膜の高耐食メカニズムの解明  
 ②実機試作品での品質安定性（材料、皮膜）の評価

#### ○事業化展開

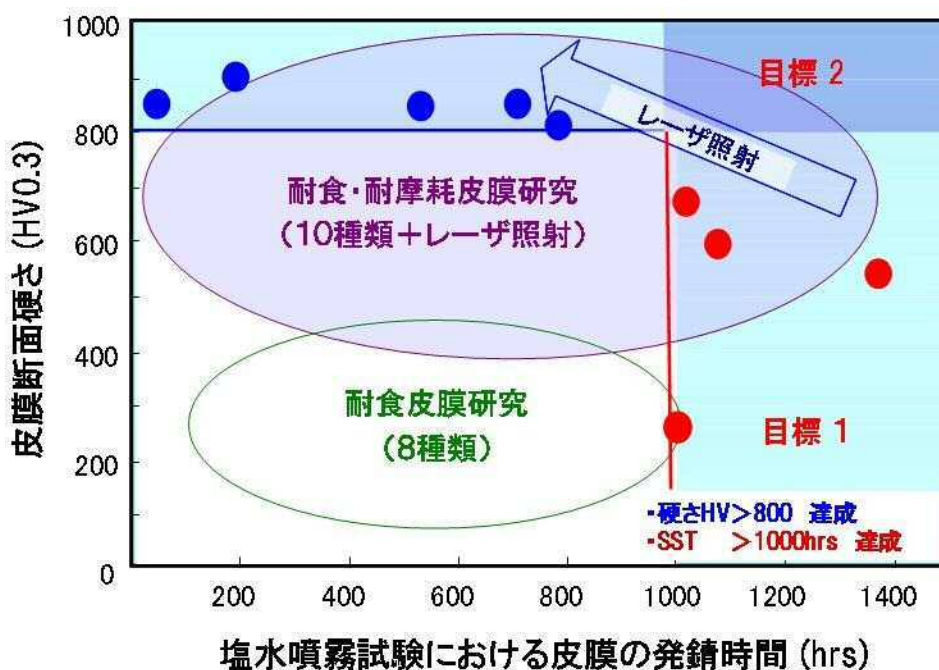
	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
①メカニズム	→	→		
②品質安定性		→	→	(事業化)

#### <耐摩耗溶射技術の開発>

- 今後の課題： ①耐食性の改善（成膜条件の最適化）  
 ②実機試作品での性能評価

#### ○事業化展開

	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
①耐食性改善	→		→	
②実機試作品			→	(事業化)



—以上—