



## 最近のフジコーにおける ハードフェーシング技術の紹介

Introduction of Recent Hardfacing Technology  
in FUJICO Co., Ltd.

### 1. はじめに

弊社（株式会社フジコー）は、昭和27年に鋼塊の鑄型補修技術を中心とした創業を開始してから、今年で55周年を迎える。これまでも独自技術を開発し、鉄鋼メーカーを中心に事業の展開が行われている。事業内容はCPC・溶接・溶射・鑄かけ等の技術を駆使した各種機械部品の製造、耐熱耐摩耗用溶接材料の製造販売、産業機械の設計・製作・据付け、機械の保全整備作業、生産工程の請負作業、機械加工・熱処理などの他、多岐にわたっている。

本技報の報告内容であるハードフェーシング技術は、施工技術や設備設計などのプラント技術との組合せが重要であり、図1に示す弊社の事業内容のように、複合製品の製造部門と表面処理の材料部門および機械加工部門などの連携によって、安定した施工を行っている。

年1回発行の弊社技報「創る(tsukuru)」のNo.10に「株式会社フジコーのハードフェーシング技術の紹介」を記載してから5年経過の間に、内容が更に大きく変化してきた。

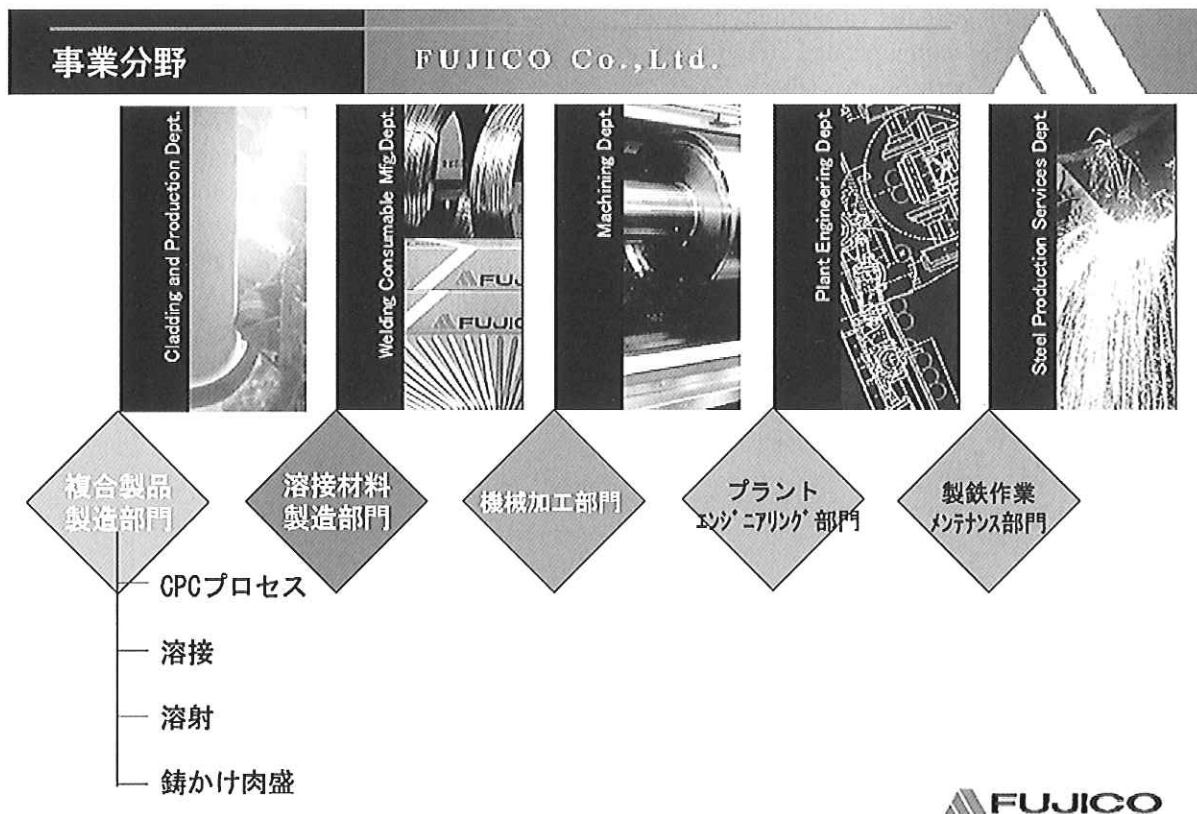


図1. (株)フジコーの事業内容

その中で、「近年、地球環境やリサイクル資源関係の重要性が叫ばれ、しかもこれらの項目が身近に感じられることが多い。その中でも図2に示すように、ダイオキシン類が人体に悪影響を及ぼすことから、国内では1997年にごみや廃棄物などの焼却温度800℃以上が義務付けられた。また、地球温暖化の主要因とされているCO<sub>2</sub>の抑制のためには、自動車エンジンなどの燃焼条件の高温化や鉄鋼メーカーを中心とした国際競争力の激化に対応したロールなどの高寿命化のための高耐熱性・耐食性・耐摩耗性などの必要性がますます増加している。この対応として設備などの金属表面に表面処理するハードフェーシング技術が大変重要になっている。…」との文章があるが、ここ数年でこれまで以上に身近な問題となっているような感じを受ける。

例えば、

- (1) 環境問題で、規定値の数倍のダイオキシン類が化学薬品の工場跡地で検出される。
  - (2) 今年度(平成19年度)の夏季における最高気温の記録更新。
  - (3) 南極の氷の面積が非常に早い速度で縮小している。
  - (4) 地球温暖化への取組みの必要性。京都議定書への取組み。
  - (5) 南極のオゾンホールが過去2番目の大きさになる。
- …などの様々な情報が入ってくる。

このような地球規模の環境問題や日本の製造メーカーにおける国際競争力の確保などに、少しでも弊社の表面処理であるハードフェーシング技術を駆使して協力・参加できれば、との思いを強くしている。そこで本技報では、弊社が取り組んでいる代表的なハードフェーシング技術の現状を改めて紹介させていただき、ご閲覧していただいた方々から今回も、ご意見やご指導などいただければ幸いである。

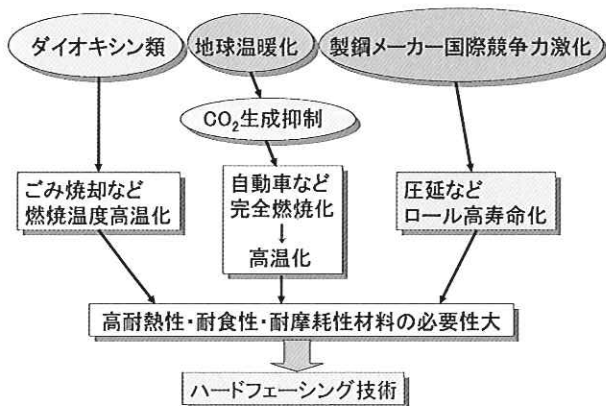


図2. ハードフェーシング技術の必要性

## 2. フジコーにおけるハードフェーシング技術の代表的な施工方法

弊社におけるハードフェーシング技術の代表的な施工方法は、大きく分けて

- (1) 鋼材などの外層にハイス材などの様々な種類の連続鑄かけ肉盛技術、CPC(Continuous Pouring process for Cladding)
- (2) 鋼材と高クロム鑄鉄などを鑄かけする技術
- (3) 溶接肉盛技術
- (4) 溶射技術

の4種類であることを技報No.10に紹介させていただいたが、本技報にも図3にその概要を示す。

これらの主な特徴を改めて紹介させていただくと、項(1)のCPCは、ロールの使用目的に応じて高靱性の芯材にハイス材やダクタイル鑄鉄材など様々な材料を鑄かけにより表面処理を行っている。項(2)の鑄かけ技術は代表例として、複合鑄造技術で製造される弊社のEST材がある。項(3)の溶接技術は、一般的な溶接ワイヤやフープによる溶接と、アトマイズ処理によって製造された粉末を約4,000℃以上の温度で、プラズマによって直接肉盛するPTAがこの数年間に展開されるようになり、高合金材料の施工が可能となった。その結果、MC炭化物の生成の制御が大きく改善でき、より機能性の高いハードフェーシングが行えるようになった。項(4)の溶射技術について、図3に示している溶射ガンは、HVOFの高速フラーム溶射装置であり、ごみ焼却プラントをはじめ、色々な設備への施工に用いられている。

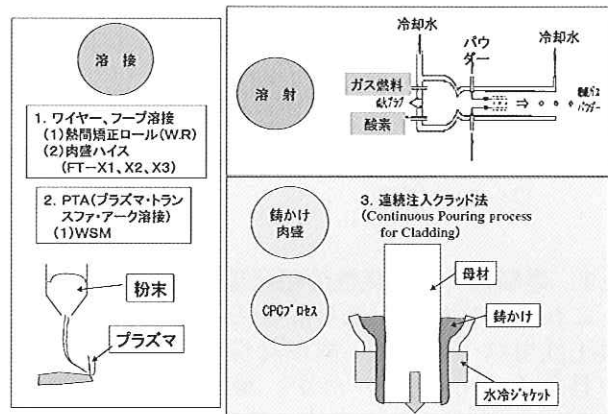


図3. ハードフェーシング技術の代表例

## 3. CPCプロセスの更なる発展

このCPCは、弊社が独自技術を開発して数10年になる丸鋼材の外層に、数センチメートルの材料を鑄かけする技術である。溶接や溶射技術とは異なり、ハードフェーシング層の厚さが厚く、8m近い長さを数10分から数時間で鑄かけによる表面処理を行う特徴がある。

図4にCPC稼動状況を示す。平成13年11月にはこのCPC製品に鍛造や圧延などの塑性加工を加える特許が成立し、より高性能の製品作りを行っている。図5にCPC技術のメリットと最近開発したCPCロールの概要を示す。

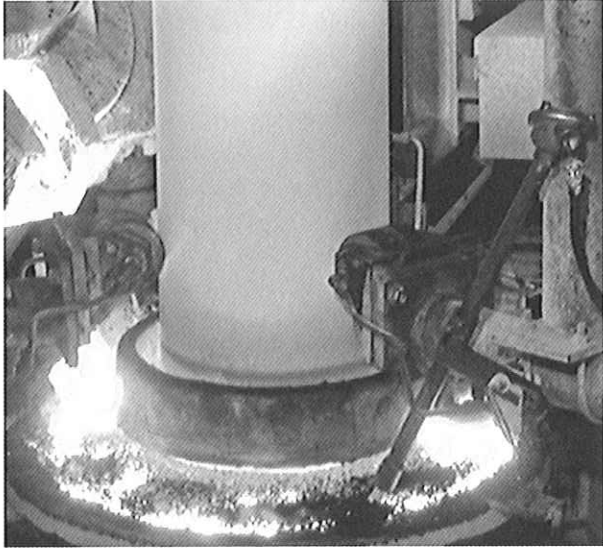


図4. CPC稼動状況

CPC技術のメリット	最新開発CPCロール
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 他の製造法では不可能な特殊な材料のクラッドができる</li> <li>● クラッド・スピードが速く、一層肉厚のため、肉厚クラッドに優れる</li> <li>● 母材との接合は肉厚溶接と同様に拡散接合であり接合強度は極めて高い</li> <li>● 遠心鋳造法に比べ傷折のない高・多合金化した特殊鋼ロールの製造が可能</li> <li>● 圧延規制を逐期的に解消し、高品質製品の経済的生産を実現可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高靱性・耐疲労性・耐摩耗性を兼ね備えた棒鋼・棒材粗圧延用特殊合金ロール</li> <li>● 超帯給熱熱延鋼板製造用熱延仕上げハイスロール(大圧化仕上げロール)</li> <li>● 耐熱電気性及び耐摩耗性を兼ね備えた連続鋳造用スリット付き特殊鋼ロール</li> <li>● 熱延母板ホットレベラー用特殊鋼ロール(既存溶接部とは耐用2倍以上優れる)</li> <li>● 熱延コイラー周り用特殊合金ロール(Fe-Cr系、Ni-Cr系、CPC+溶射複合品)</li> </ul>

図5. CPC技術のメリット及び最近開発したCPCロールの概要

### 3.1. 高靱性・耐摩耗性の粗圧延用ロール

これまでに棒鋼・線材などの高温で使用される粗圧延用ロールには、耐摩耗性の優れたハイス系の材料を使用していたが、破壊靱性値( $K_{IC}$ )が $30\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 以下であるため、ロール自体の破断の危険性から摩耗は早い。破壊靱性値が約 $40\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ レベルと高いダクタイルやアダマイトが主に使用されていた。そこで、特殊な材質を連続鋳造で铸かけするCPC技術を駆使して、材質の緻密性や均質性などの更なる改良を進めた結果、耐摩耗性は従来のハイス系材質の特性を維持して、破壊靱性値がダクタイルやアダマイトのレベルを有する材料を開発することができた。

その結果、粗圧延用ロールなどの高寿命化の可能性が高くなり、電炉メーカーを中心に使用が広まりつつある。

図6に棒鋼・線材用圧延ロール材の亀裂伝播特性

性を示す。新CPC材質は従来ハイス材に比べても、初期クラックの生成およびクラックの発生後の伝播速度も遅くなっている。

図7に棒鋼・線材用ロールの耐用特性を示すが、従来材のアダマイトやセミハイスに比べても、本開発CPC材質の方が数倍も耐用特性の向上していることが分かる。

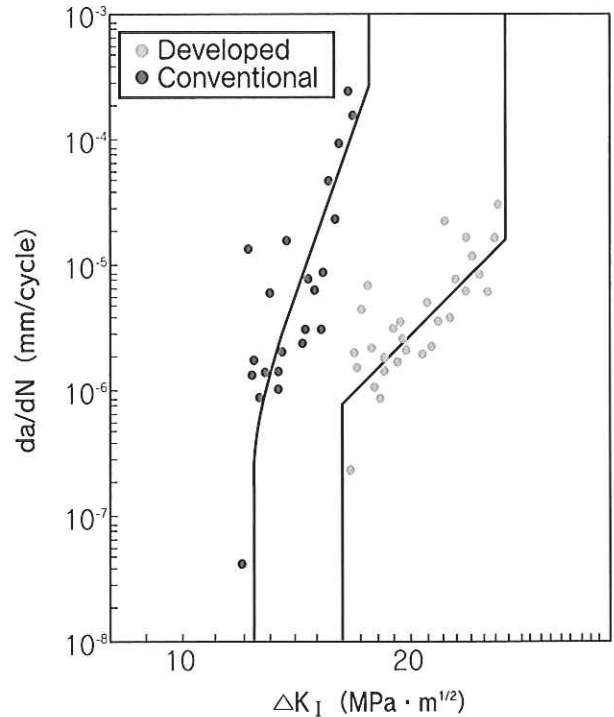


図6. 棒鋼・線材用圧延ロール材の亀裂伝播特性

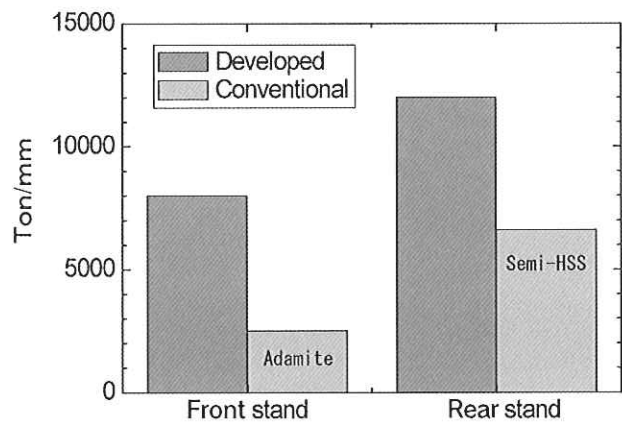


図7. 棒鋼・線材用粗圧延ロールの耐用特性

### 3.2. 最近における高性能CPCロールの材質例

近年開発された材質記号は、下記に示すように、それぞれ従来に比し、特性の向上が期待され、一部すでに使用されている。

対象使用箇所 ; 材質記号  
 粗圧延用ロール用 ; KTシリーズ  
 熱延用ロール用 ; KCシリーズ  
 ホットランテーブルロール用 ; KHシリーズ  
 ホット・コールドレベラーロール用 ; KRシリーズ

図8に、CPCロールの製品における代表例を示す。

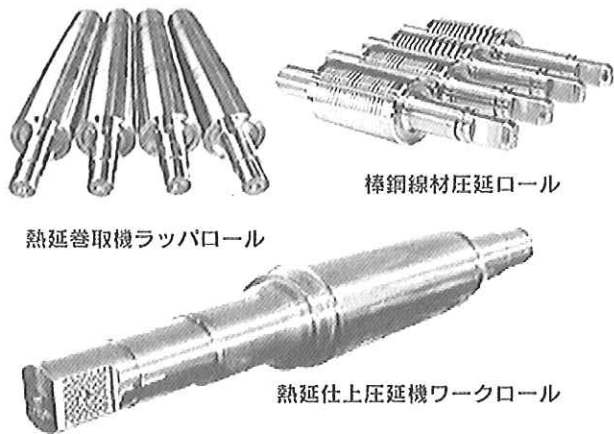


図8. CPCロール製品の代表例

#### 4 鑄かけ技術

図9に鑄かけ関連のホームページ画面を示す。極厚クラッド層を作ることの出来る鑄かけ肉盛技術は、高性能・低コストを実現したフジコー独自の複合技術で、クラッド材は高炭素・高クロム系であり、製鉄所における焼結鉾の粉碎設備など国内外で独占的な実績を誇っている。また、大型耐摩耗性ライナー(EST)を開発し、設備保守のコスト低減に大きく貢献している。



図9. 鑄かけ技術

##### 4.1. ライナー製品

ハードフェーシングの実例として、最初にライナー製品を紹介する。図10に連続式アンローダー内に使用されているライナーを示す。このように耐摩耗性や耐衝撃性が必要とされる部分には、弊社の鑄かけライナー(EST)や溶接ライナーが使用されている。

#### 高性能耐摩耗ライナーの取組み

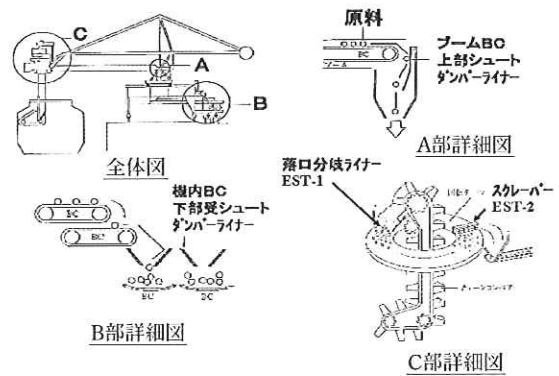


図10. 連続式アンローダー内ライナー使用例

表1に弊社のライナー製品の構成例を示す。鑄かけ技術によって、鋼材に高クロム高カーボン鑄鉄を接合させる複合鑄造材のESTは、10 mm以上の肉盛厚さが確保でき、寿命特性が大幅に要求される場所を中心に使用されている弊社独自の開発製品である。

図11にクイックスプレッド方式によって製造するEST製品のコンセプトを紹介する。

表1. 現状ライナー製品構成例

区分	名称	サイズ	厚み (母材+硬化層)	成分系	特長
複合鑄造	EST-1	900×1800	25 (9+16)	高C	耐熱耐摩耗 厚い硬化層
	EST-2		30	高Cr	
	EST-α		(12+18)		
溶接	PLA-Tect1	400×1000	7.5 (4.5+3)	高C	耐熱耐摩耗 軽量
	PLA-Tect2	~	12 (6+6) 15 (9+6)	高Cr	
溶射	シュールプレートA	100×1000	6.5 (4.5+2)	Ni-Cr系	耐熱耐摩耗 耐食・極薄
	シュールプレートB	300×1000		Ni-Cr-WC系	

#### 厚肉ライナー(EST)→SS鋼材+高C・高Cr材料の接合

ライナー  
製鉄 ①高炉スラグ水砕ライナー  
②コンベアシュートライナー  
③ホッパーライナー  
④コークスガイド車ライナー 等

10mm以上の厚肉ライナー  
従来：3%C以上→低衝撃性

↓  
3%以下高Cr鑄鉄の鑄造一体品  
耐摩耗性の劣化

クイックスプレッド方式による  
耐摩耗性・耐衝撃性厚肉ライナー開発

図11. EST製品の開発経緯

これまで耐摩耗性は優れているが、耐衝撃性は悪いことから高クロム・高カーボン铸铁材料のカーボン(C)重量は3%に抑えられていた。そこで、鋼材との接合によって耐衝撃性を改善し、5%レベルのカーボン重量にすることを可能とした。

図12にこのESTの製造工程を、図13にライナー材の温度と硬さの関係を示す。ESTライナー材は溶接ライナー材に比較して、高い硬さ分布を示す。

弊社は更に図14のように高温での硬さ低下を抑制した材質の開発を行っている。

EST製品は図15に示すように、鋼板部にボルトをスタッド方式で接合させることができることから、接合強度が安定した施工が可能である。図16にESTライナー(クイクスプレッド方式による厚肉ライナー)の特長を示す。

このようにライナー製品は使用条件や用途に合わせて溶接ライナーやESTライナーなど耐摩耗性が必要とされている様々な箇所に使用されている。

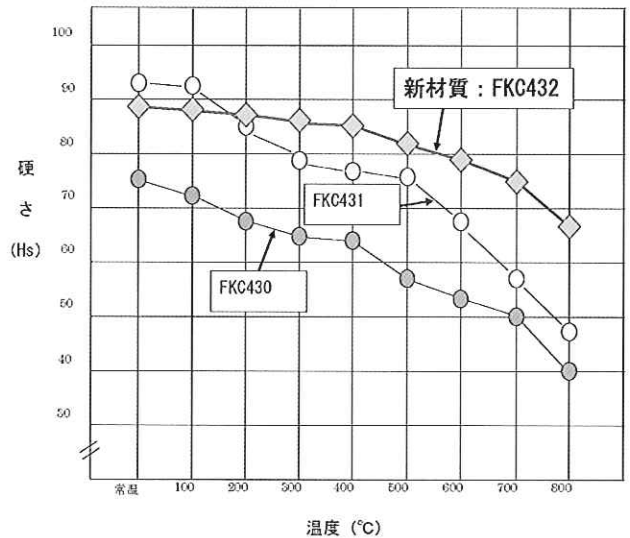


図14. 新材質開発状況

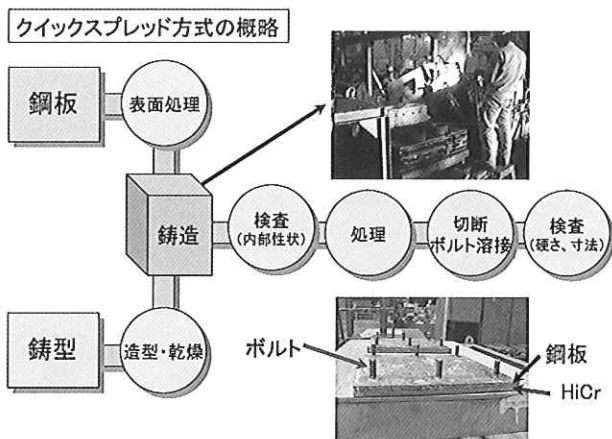


図12. EST製造工程

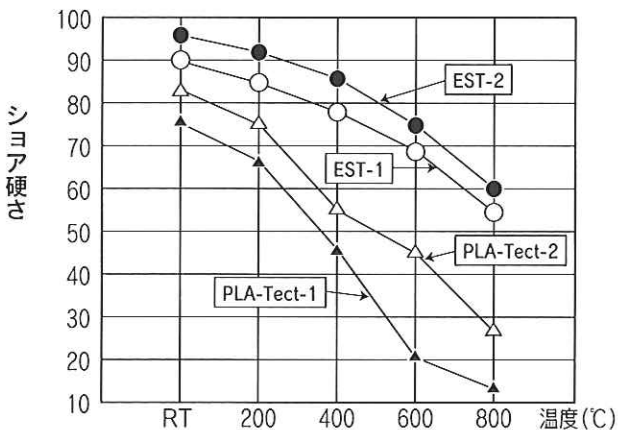


図13. 高温硬さ特性

表 引張試験結果

ボルト形状 (φmm)	破断荷重 (N)	抗張力 (N/mm <sup>2</sup> )	破断箇所
16	88181	562.9	ネジ部

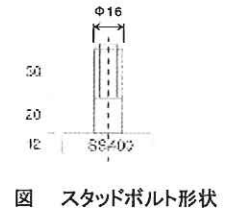


図 スタッドボルト形状

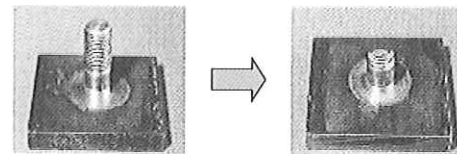


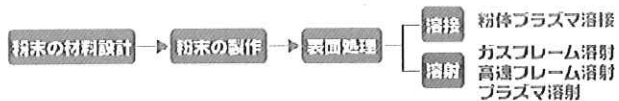
図15. アークスタッド溶接部の強度

- (1)優れた耐摩耗性と耐衝撃性  
ベース板(鋼板)・・・ライナーへの衝撃緩和  
「耐摩耗性」高C-高合金の複合素材化が可能  
「耐衝撃性」境界部のせん断強度(JISG0601)  
・・・37kgf/mm<sup>2</sup>レベル
- (2)溶接ボルトの耐強度特性  
鋼板へのアークスタッド溶接・・・安定したボルト溶接強度
- (3)ダイレクト製罐などの多用途対応  
鋼板をライナー外部製罐構造へ利用
- (4)量産・ローコスト・短納期対応  
大型サイズ(1800mm×900mm)を鋳造方式で生産  
ニーズに応じたサイズで短納期対応が可能

図16. EST (厚肉ライナー) の特徴

## 5. 独自性の高い溶接・溶射用表面処理粉末材料

弊社は様々な用途に応じて下記に示すように、主に溶接や溶射に使用される表面処理用の粉末材料の製作からその粉末を使用した表面処理まで取り組んでいる。



表面処理用粉末の粒径サイズは、下記に示すように1桁のナノ(nm)サイズから、数100ミクロン( $\mu\text{m}$ )のサイズまで、目的に応じた粉末を準備して溶接や溶射などの粉末材料として使用している。



### 5.1. 溶接粉末

熔融溶接の中でもPTA法により4,000 $^{\circ}\text{C}$ 以上の温度で表面処理を行う場合の粉体は、Nb、WおよびVなどの特殊元素を多く含有する傾向にあり、材料自体の融点が1,800 $^{\circ}\text{C}$ 以上になるため溶解炉で金属材料を溶解して製造するアトマイズ自体が困難な場合も多い。

そこで弊社で製作し、所有しているブレンドした粉末を帯状の鋼材で包む溶接用ワイヤの造管装置により、0.8~3.2 mm  $\phi$ のワイヤを製造し、そのワイヤ自体をレーザーで溶融することによって、独自のアトマイズ粉体を製作することが可能となった。

図17にワイヤ造管機の概要、図18にこの方法によって製造したアトマイズ粉体の外観写真、及び図19に作成した粉末断面の合金組成をSEMにより解析した結果を示す。

これらの図から合金組成には偏析がなく、均一な状態であることが分かる。



図17. アトマイズ用ワイヤの概要

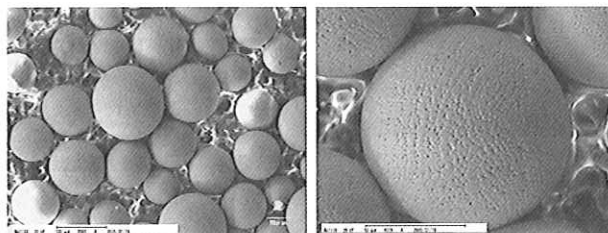


図18. (株)フジコーが自社製作したアトマイズ粉体

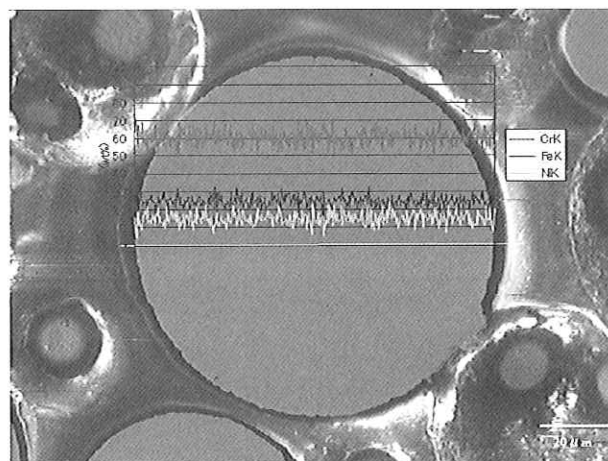


図19. アトマイズ粉体の断面SEM結果

### 5.2. 溶射粉末

溶射に使用される粉末は約10 $\mu\text{m}$ ~約100 $\mu\text{m}$ の図20の造粒焼結と図21の焼結粉砕粒が主に使用されている。

また最近では、粉末を図22に示す数 $\mu\text{m}$ ~約10 $\mu\text{m}$ の微粉末化や図23にある数nm~数100nmの超微粉末化することで新たな特性が生まれている。

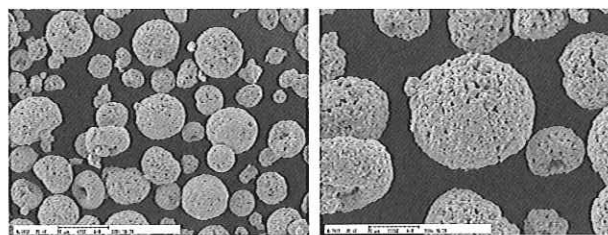


図20. 造粒焼結による溶射粉末

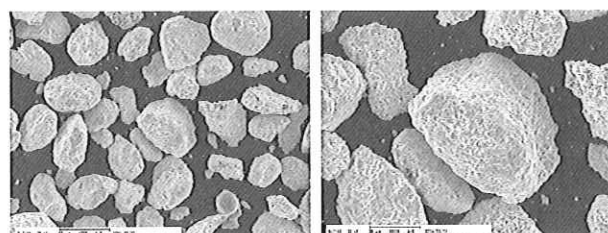


図21. 焼結粉砕による溶射粉末

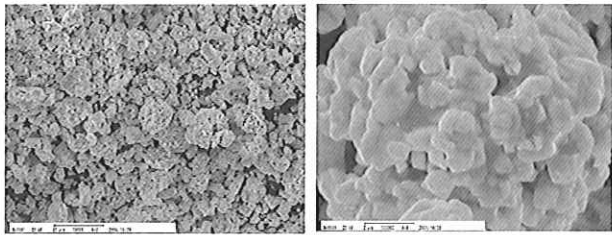


図22. 微粉溶射粉末

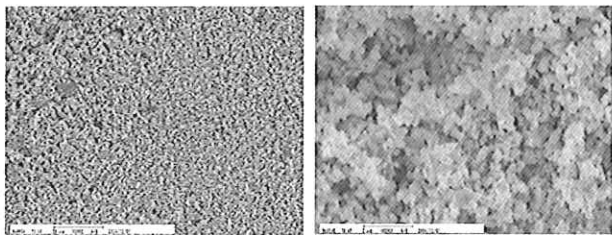


図23. 超微粉溶射粉末

## 6. 微粉末溶射技術

当社は微粉末や超微粉末を駆使しての表面処理を行っているが、その関連で微粉末の溶射技術について紹介したい。微粉末や超微粉末の溶射によりこれまでにない様々なメリットを生み出すことが可能となったが、技術課題も存在する。図24にその例を示す。このようにメリットは、ナノテク技術の必要性が叫ばれる中では重要であることから、このメリットを生かすための課題を解決してきた。

まず、微粉末化になるほど溶射ガンへの送給時の静電気による凝集や溶射ガン内の通過時の溶融による付着などそれ以外に溶射皮膜の酸化や分解などの問題があった。

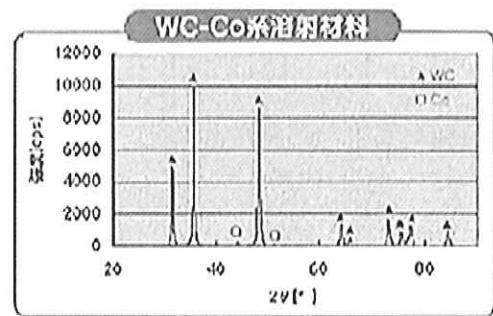
それらの問題を種々解決することが可能となった主な内容について述べる。図25に汎用性の高いWC-Co系溶射でのXRDによる測定結果を示す。この粉末材料のXRDによる測定結果では、左図のWCとCoの純粋なピークのみが確認できる。この粉末を従来の溶射技術で表面処理を実施した場合、中央図にあるように $W_2C$ や $Co_3W_3C$ などの粉末材料の酸化や分解が発生している。

しかし、弊社が開発した溶射技術による表面処理では、右図に示すXRDによる測定結果のように、溶射施工において溶射材料の酸化や分解の抑制効果が確認できる。

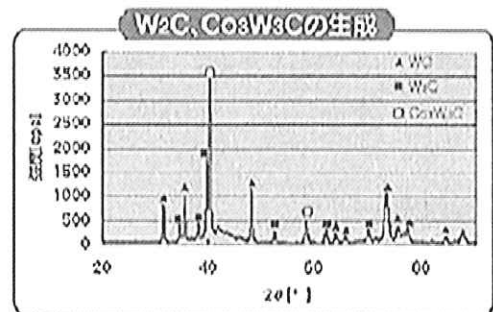
微粉末溶射材料のメリット	溶射技術課題
<ul style="list-style-type: none"> <li>低気孔率の緻密な皮膜が形成可能</li> <li>積層加工仕上げが可能</li> <li>表面活性の高い皮膜が形成可能</li> <li>成膜後の表面粗さを制御できるので、仕上げ加工時間を短縮可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料の流動性が悪く、供給が困難</li> <li>材料の微粉末化により、皮膜の酸化、分解が顕著になるため、フレーム温度、粉末形状、粉末粒度の制御が必要</li> </ul>

図24. 微粉末溶射材料のメリットと溶射技術課題

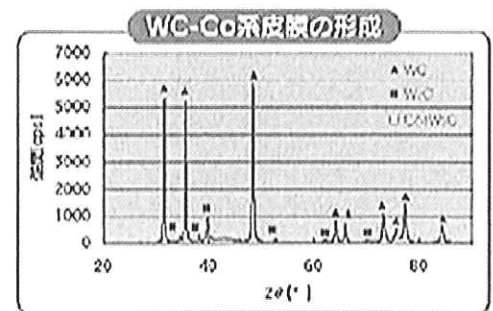
材料供給性の改善！溶射皮膜の酸化、分解を抑制！



溶射材料



従来溶射技術

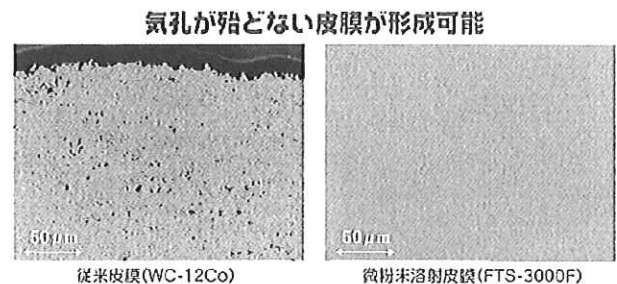


微粉末溶射技術

図25. WC-Co系粉末溶射の比較

### 6.1. 緻密性と耐食性

図26にWC-Co系サーメット皮膜の断面組織を示す。従来の溶射皮膜（材料粒度 $10\sim 50\mu m$ ）は皮膜中に $0.2\sim 1\%$ 程度の気孔を介在しているが、弊社による微粉末の溶射技術で成膜した皮膜では大きな気孔が観察されない。



従来皮膜(WC-12Co)

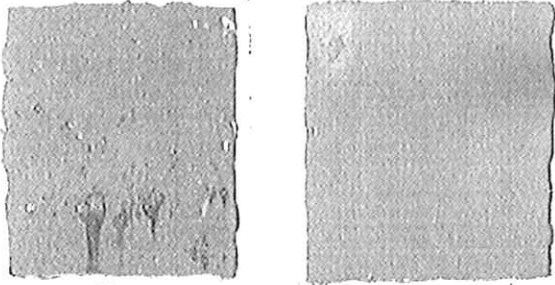
微粉末溶射皮膜(FTS-3000F)

図26. WC-Co系サーメット皮膜の断面組織

また、図27に複合サイクル試験で評価した貫通気孔の耐食性への影響を示す。この結果でも明らかのように、耐食性の大幅な改善効果が確認できた。

**複合サイクル試験** (Combined Cyclic Corrosion Test)

従来溶射技術 336hrs    微粉末溶射技術 1000hrs



貫通気孔により、錆びが発生    1000hrs達成

**試験条件**

	1サイクル (hrs)	温度(°C)	NaCl濃度 (g/L)	湿度 (%RH)
塩水噴霧条件	2	35±1	50±5	
乾燥条件	4	60±1		20~30
湿潤条件	2	50±1		95以上

図27. 複合サイクル試験による耐食性への影響

**6.2. 鏡面加工性**

微粉末の溶射技術により硬質クロムメッキレベルの鏡面加工性を実現した。図28に鏡面加工ロールの外観写真を示す。

また、図29に示すように、面粗度Ra:0.004を実現することが可能となり、この微粉末の溶射技術により表面処理後における表面粗さのコントロールが精密で、かつ容易に行うことができ、加工時間の短縮にも役立っている。図30に表面粗さのコントロールについて示す。

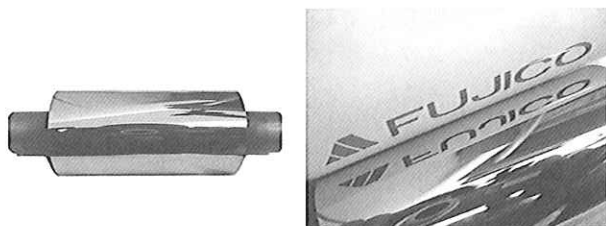


図28. 鏡面加工ロールの外観写真

粗さ測定 (JIS 94)

評価長さ = 0.400mm  
 測定速度 = 0.3mm/s  
 カットオフ値 = 0.08mm  
 フィルタ特性 = ガウシアン  
 測定レンジ = ±40.0µm  
 測定モード = 直線  
 カットオフ比 = SO

Ra = 0.004µm  
 Ry = 0.028µm  
 Rz = 0.037µm  
 S = 5.405µm

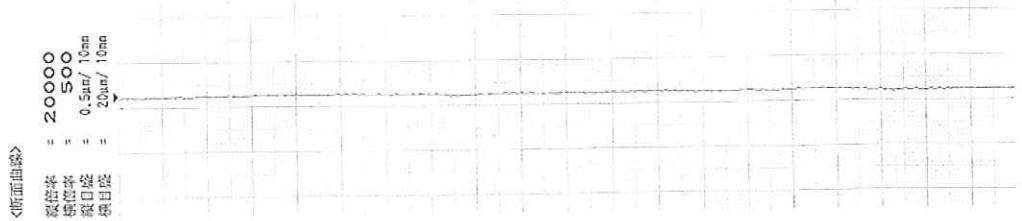


図29. 鏡面加工したロールの表面粗さ

**表面粗さのコントロール**

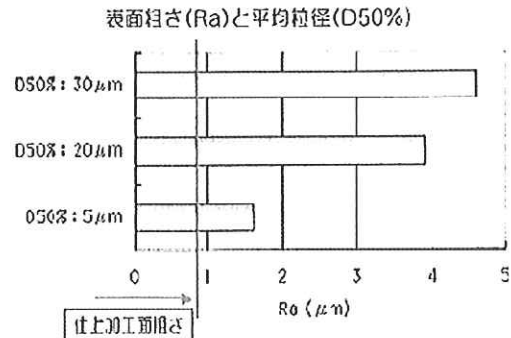


図30. 表面粗さのコントロール例

**7. 低温高速溶射技術の応用**

前述した微粉末の溶射技術は、さらに低温高速溶射技術などの融合により様々な製品へと進化している。その中からこれらの技術を応用した光触媒皮膜について述べる。

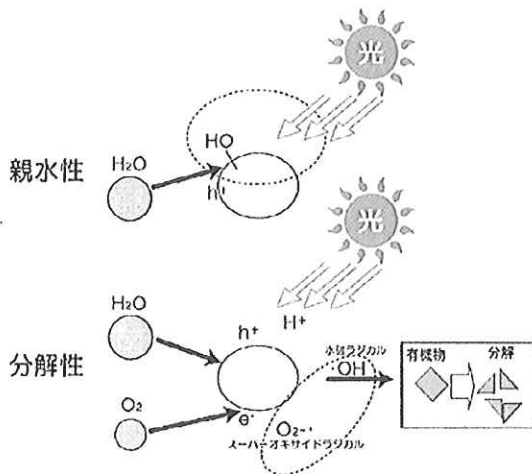
**7.1. 低温高速溶射技術を利用した光触媒皮膜の作製**

(1) 光触媒材料のメカニズム

図31に光触媒材料のメカニズムと代表的な機能を示す。酸化チタンに太陽光などの紫外線があたると、水酸化ラジカルやスーパーオキシドラジカルが発生し、これらが有機物などの有害物質を分解する機能を有している。図32に溶射のイメージ図と溶射風景を示す。この方法による表面処理によって下記の特徴を有することができる。

- ① 低温溶射によりアナターゼ型の結晶系を持つ皮膜の作製が可能。
- ② 高純度のTiO<sub>2</sub>皮膜が形成出来る。
- ③ 真空雰囲気不要。
- ④ 多孔質(ポーラス)で、かつ表面積が大きい皮膜が出来る。
- ⑤ 金属材料や樹脂系材料およびガラスへのコーティングが可能。





- 光触媒の機能**
- ①光分解 有機物等を酸化分解する効果  
 使用用途: 生活用品(抗菌、防カビ)  
 水質浄化用機器(フィルター)  
 外壁、内壁材(汚れの防止)
  - ②超親水性 水との親水性を著しく高める効果  
 使用用途: 外壁、内壁材(気化熱による室温冷却)

図31. 光触媒のメカニズムと機能

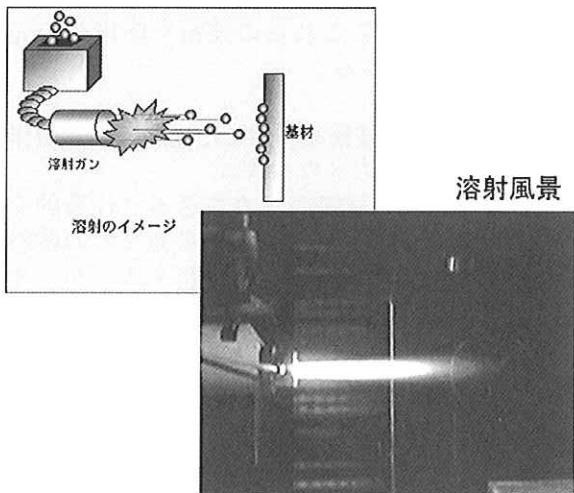


図32. 溶射のイメージ図と溶射風景

(2) 特性の評価

弊社の行っている光触媒の特性については、本技報にも技術論文として掲載しているが、ここでは水の浄化作用を示す例としてメチレンブルー溶液での分解性能の試験結果について記す。図33に時間に対するメチレンブルーの濃度変化を示す。これまでも市販されている表面処理材料に比べても、弊社の溶射技術によって表面処理した酸化チタン皮膜の特性の高いことが分かる。また図34に紫外線照射の30hrs後におけるメチレンブルー溶液の濃度変化を光触媒の分解性能を示す例として掲げる。この例から市販品でのタイルに比べても弊社の光触媒皮膜はメチレンブルー溶液の透明化に優れていることが確認できる。

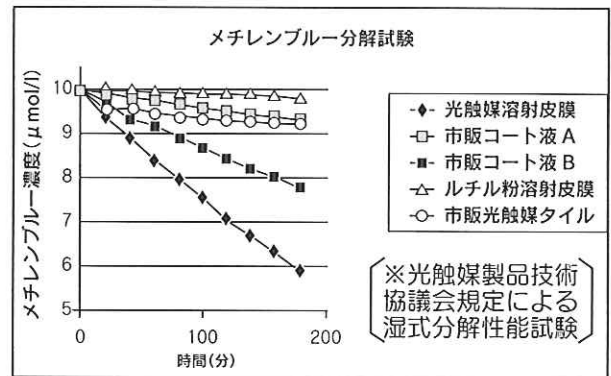


図33. 時間に対するメチレンブルー濃度変化

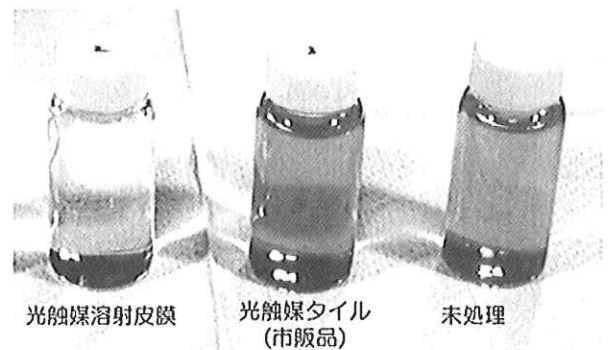


図34. 試験経過後のメチレンブルー溶液 (紫外線照射30hrs)

8. 溶接技術の現状と将来

図35に溶接関連のホームページを示す。鋳鉄の特殊溶接からスタートしたフジコーは、数多くの経験を通じて多彩なノウハウを蓄積している。また溶接材料の開発・製造から、製品の設計・製造まで一貫した体制で、信頼性の高いバラエティーに富んだ製品を幅広い産業分野に提供している。


図36に示すホームページの画面は、弊社が耐摩耗性・耐腐食性・耐熱性など高度な機能を持つ溶接材料を直接製造していることを示しており、ハードフェーシング技術は溶接施工技術のみではなく、材料面との組合せも行っている。

図35. 溶接技術 (その1)

高い付加価値をもつ新規材料の開発は、技術開発や事業拡張に強いインパクトとなる。  
 また、被覆アーク溶接棒、溶接ワイヤ・溶接フラックスなど全般にわたり迅速で、かつ的確に対応している。

溶接材料製造部門 FUJICO Co., Ltd.

Welding Consumables



蓄積した技術とノウハウから生まれた多彩なニーズに応えるオリジナル溶材


耐摩耗性・耐腐食性・耐熱性など高度な機能を持つ溶接材料を製造しています。高付加価値の新規材料の開発は、技術開発や事業拡張に強いインパクトになります。被覆アーク溶接棒、溶接ワイヤ・溶接フラックスなど、全般にわたり迅速且つ的確に対応しています。

《バラエティに富んだ製品》

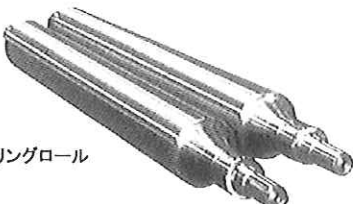
FUJICO

図36. 溶接技術（その2）

施工例



酸洗プレッシャーロール



酸洗レベリングロール

- ・酸洗プレッシャーロール
- ・冷延ブライドルロール
- ・酸洗ピンチロール
- ・冷延マッシャーサポートロール
- ・酸洗レベリングロール
- ・冷延サードロール
- ・酸洗デフレクターロール
- ・熱延スキンパスミルブライドルロール
- ・酸洗テンションメーターロール
- ・中板シャワーラインブライドルピンチロール

図38. FT-Xシリーズの製品例

### 8.1. 特徴ある溶接肉盛製品

ハードフェーシング層の硬さと摩耗は、比例係にあり、HS(ショア硬さ)が90以上と、高い硬度を溶接肉盛する材料として、弊社のFT-Xシリーズ(図37参考)があり、図38に示すような製品に展開されている。

この材料は表2に示すように、MoやV元素を含有する高速度鋼系で、耐熱性・耐摩耗性・耐溶接性などご好評をいただいている材料である。

表3にFT-Xシリーズの化学組成を示す。特殊元素としてNb、W、Vなどの元素を含有している。

表4にFT-Xシリーズの機械的性質を示す。特にFT-X3材はHS100の硬さを示すと同時に、115 kgf/mm<sup>2</sup>の高い引張強度特性を有している。溶接肉盛の施工方法は溶接ワイヤまたはPTA (Plasma Transfer Arc) 溶接で行われている。

表2. 肉盛ハイス材との比較

	主成分	金属間摩耗	土砂摩耗	衝撃摩耗	耐熱	耐食	硬度(HS)	耐溶接割れ性
FT-X	C Cr-Mo-W 0.2-1.1 1-10	◎	◎	△	◎	△	90~100	○
Coベース ステンレス系	Coベース	◎	◎	△	◎	◎	50~80	△
タングステン カーバイド系	WC 20-90	◎	◎	×	○	◎	50~80	×
高クロム鋼	C Cr 1.5-2.0 20-30	◎	◎	×	◎	◎	70~80	×
高炭素鋼 マルテンサイト系	C Cr Mo 0.7-1.5 9-14 <2	○	◎	◎	○	◎	70~80	△
高炭素 マルテンサイト系	C Cr Mo 0.2-0.8 <5 <1	○	○	△	○	△	60~70	○

表3. FT-Xシリーズの化学組成

溶接材料	元素 wt%	C	Si	Mn	Cr	特殊元素		
						①	②	③
FT-X1		0.9 ~1.0	0.2 ~0.4	1.0 ~1.2	3.5 ~4.5	1.5 ~2.0	5.0 ~8.0	6.0 ~8.0
FT-X2		1.0 ~1.5	0.2 ~0.4	1.0 ~1.2	3.5 ~4.5	1.5 ~2.0	6.0 ~10.0	7.0 ~10.0
FT-X3		0.75 ~1.25	0.2 ~0.4	1.0 ~1.2	6.5 ~7.5	1.5 ~2.0	6.0 ~10.0	6.0 ~8.0

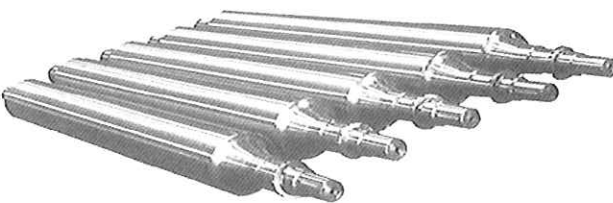
表4. FT-Xシリーズの機械的性質

溶接材料	硬度	引張強さ	抗折力
FT-X1	HS 90	102 kgf/mm <sup>2</sup>	5.9 kgf/mm <sup>2</sup>
FT-X2	HS100	105 kgf/mm <sup>2</sup>	6.2 kgf/mm <sup>2</sup>
FT-X3	HS100	115 kgf/mm <sup>2</sup>	7.1 kgf/mm <sup>2</sup>

肉盛ハイス材

FT-X1  
**HS-90!**

FT-X2/FT-X3  
**HS-100!**



FUJICO  
株式会社フジコー

図37. FT-Xシリーズ

図39に示すSUS420J21の3%Cr系材料と比較しても、優れた特性を目的に開発した矯正ロール用の溶接材料の概要を示す。その思想の基に開発したこの材料の特性を図40に示す。500℃での高温硬さの高い材料であることが分かる。

厚板工場  
熱間矯正ロール(W,R)の筋肉盛材料  
FUW-4002MV

ホットレベラーロールへの負荷変化  
1) 通板材の変化  
2) 矯正反力の増加  
3) 通板材温度の高、低

↓ 従来材: SUS420J21 3Cr対比

1) 焼戻し温度...高い  
2) 高温硬度...高い  
3) 耐焼付き性...同等以上  
4) 耐腐食性...同等以上  
5) 耐チャタマーク...生成なし

図39. 矯正ロール用溶接材料

SUS420J2との比較

1) 成分系

材料名	成分系	硬度
FUW-4002MV	13Cr-Mo-V	Hs70±4
SUS-420J2	13Cr	Hs68±4

Mo: 耐熱性の向上(熱間強度、高温硬度、焼戻し抵抗UP)  
V: 結晶粒界の微細化(熱間強度、靱性UP)

2) 焼戻し硬さ

材料名	400℃	500℃
FUW-4002MV	HV550	HV570
SUS-420J2	HV460	HV490

3) 高温硬さ

材料名	400℃	500℃
FUW-4002MV	HV480	HV440
SUS-420J2	HV420	HV280

図40. 矯正ロール用材料特性

さらに、高温での高硬度や耐腐食性が要求されているラッパーロールやピンチロールなどのロール表面処理としてMC炭化物を微細に分散させたWSM材の開発に取り組んでいる。

図41にWSMの代表的なマイクロ組織の写真を示し、MC炭化物が微細に分散しているのが確認できる。

また、図42に摩耗試験結果の比較例を示す。この結果から弊社のCPCによるFKS407材と比較した場合、WSM材が優れ、他社のSFW9材とほぼ同等であることが確認できる。

図43に塩水噴霧試験の結果を示す。摩耗試験の結果と同様、弊社材のFKS407材よりも腐食が少ない。

図44に転動疲労試験結果を示す。WSM材はSFW9に比べ、性能が格段に優れていることが分かる。いずれもWSM材が好結果を示している。

新材質【WSM】について

新材質 WSMはステンレス系のマトリックスにMC炭化物を微細均一に晶出させた耐食・耐熱・耐摩耗性及び耐焼付き性に優れた材料です。

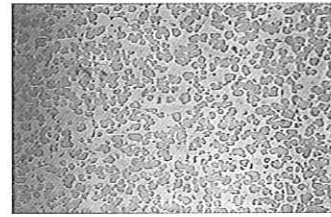


図41. WSMのマイクロ組織写真

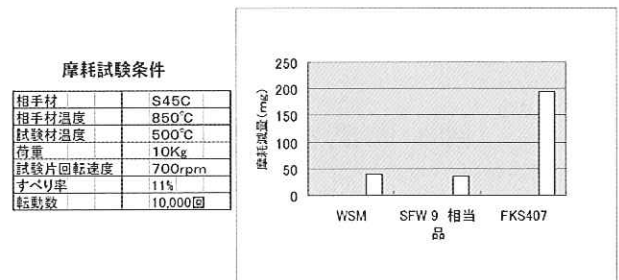


図42. WSM材の高温摩耗試験結果

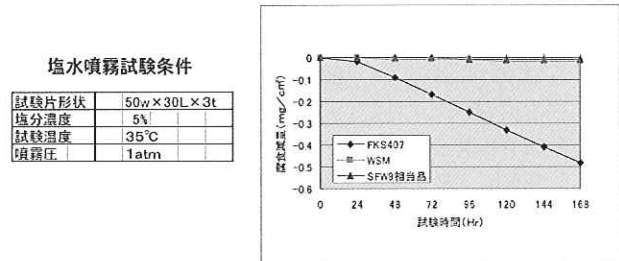


図43. WSM材の塩水噴霧試験結果

転動疲労試験条件

試験片形状	φ80
ヘルツの最大接触応力	250kgf/mm <sup>2</sup>
回転速度	3000rpm
相手材	材質 SUJ-2
	形状 φ80mm(R5ケツク付き)
潤滑	無し(冷却水のみ)
すべり速度	0(すべり無し)

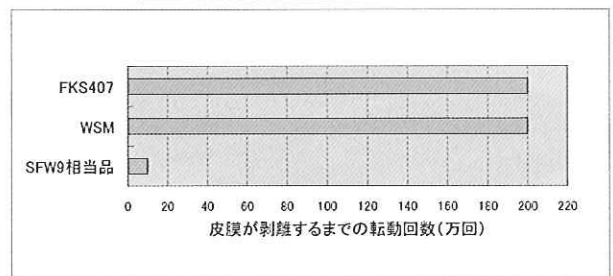


図44. WSM材の転動疲労試験結果

### 9. 摩擦肉盛技術の紹介

前項で溶接技術における弊社の特長について述べたが、熔融溶接では表面処理する基材が熔融するため、基材側の成分（鉄基では鉄分）が表面処理の材料に混合（希釈）し、その結果、本来所有する表面処理の材料特性を大きく損なうことが多い。

そこで弊社では、これまでも希釈が無く、密着性が高い摩擦肉盛の技術開発を手がけてきた。この方法による表面処理は近い将来、広く使用される可能性が高いと考えている。

摩擦肉盛とは棒状の表面処理材を回転させながら荷重下で基材と接触させることにより、一定の肉厚で表面処理を行う方法である。この原理は発生する摩擦熱を利用した拡散接合である。図45に摩擦肉盛の特徴と概要を示す。

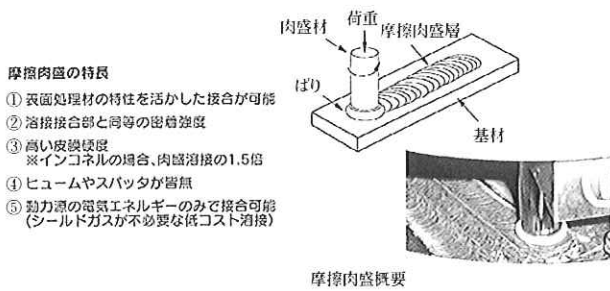
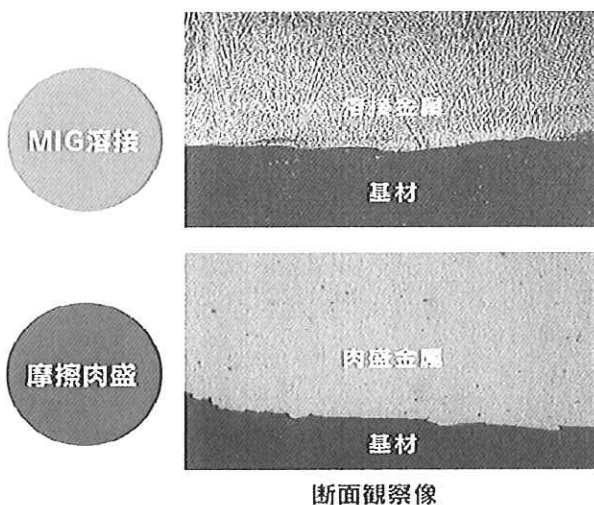


図45. 摩擦肉盛の特徴と概要

- 摩擦肉盛の特徴
- ① 表面処理材の特性を活かした接合が可能
  - ② 溶接接合部と同等の密着強度
  - ③ 高い皮膜硬度  
※インコネルの場合、肉盛溶接の1.5倍
  - ④ ヒュームやスパッタが皆無
  - ⑤ 動力源の電気エネルギーのみで接合可能  
(シールドガスが不要な低コスト溶接)

#### 9.1. 接合断面の観察

図46にMIG溶接による肉盛溶接と、摩擦肉盛での肉盛後における試料断面の比較例を示す。MIG溶接で行った方は、基材を熔融するために溶接金属側に基材側の成分が希釈され、また溶接部も熔融状態から凝固するために、デンドライト凝固組織と腐食が明確に確認できるのに対し、摩擦肉盛では肉盛金属が熔融しないために、微細な結晶粒で構成された組織であることが分かる。



断面観察像

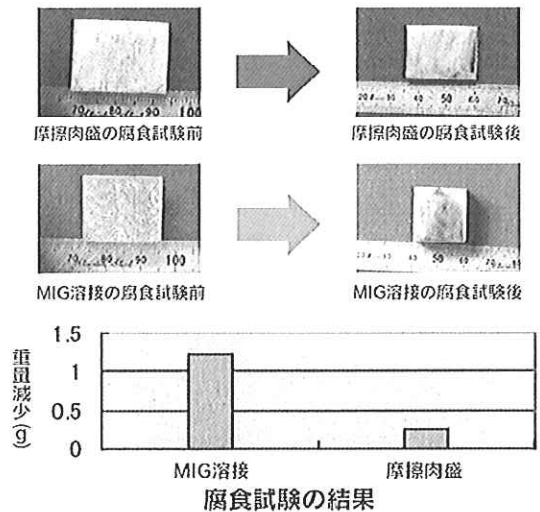
摩擦肉盛の組織は微細な結晶粒で構成

図46. MIG溶接と摩擦肉盛の断面写真

#### 9.2. 腐食試験の結果

図47で王水に120分間浸漬したMIG溶接による肉盛金属と、摩擦肉盛による肉盛金属との腐食比較を示す。MIG溶接は溶接ビードとハズ部の腐食差が大きいのに対し摩擦肉盛では腐食が全体的に均一な状態であることが分かる。

また腐食による重量の減少では摩擦肉盛の方がMIGによる熔融溶接に比べて5倍以上の耐食性があることも確認できた。



摩擦肉盛の減耗量は、MIG溶接の1/5

図47. 王水による腐食試験結果

#### 9.3. EPMAによる分析結果

図48にMIG溶接による肉盛金属と摩擦肉盛によるそれとの試料断面におけるEPMAの分析結果を示す。MIG溶接では溶接金属層のNi成分の不均一とFe成分の基材側からの希釈傾向が大きいのに対し、摩擦肉盛溶接では溶接金属内のNi成分が均一であることと、Fe成分がほとんど希釈していないことが分かる。

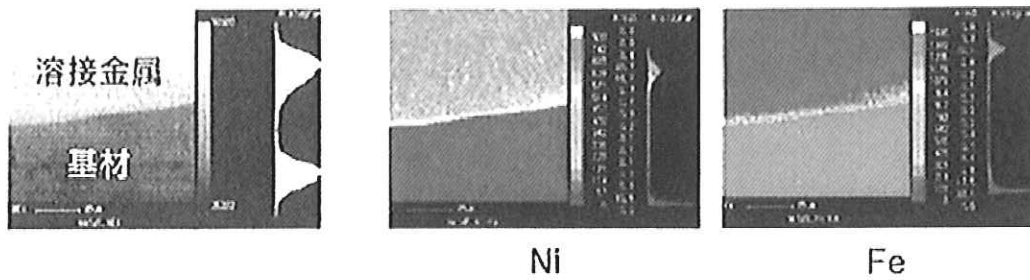
このことからMIG溶接のような熔融溶接法に比べて摩擦肉盛は表面処理の材料特性を損なわない特徴を有していることが確認できる。

### 10. おわりに

本技報に弊社の最近におけるハードフェーシング技術の動向を記載した。弊社は鋼塊の鑄型修理を可能とした技術開発の創業スタートから、技術立社として取組み、社訓の第一条である「常に夢と計画性を持ち、人生意気に感ずべし」を念じ、何事にも挑戦の気持ちを持って、これからも進んで行くものと確信している。

これまで弊社の技報に技術解説として掲載させて頂いたり、広く技術動向を述べて頂いた諸先生や諸先輩の方々の意思を、我々が将来に向かって橋渡しができれば...と思いながら記載させて頂いた。

## MIG溶接



## 摩擦肉盛

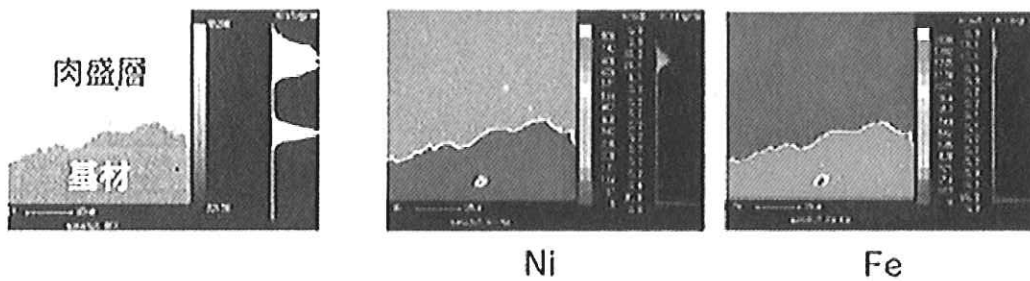


図48. EPMA分析によるマッピング結果

CPC技術、溶接技術および溶射技術などに新しい息吹が加わり、これまで以上にますます表面処理の分野への応用が進められることは確実である。

今後も産学官の連携を強化し、環境や社会に少しでも協力できるよう努力していく所存ですので、これからもご指導・ご支援をいただければ幸いです。