

t s u k u r u

「創る」

No.9

Fujico Technical Report 2001



---

## 表紙のことば

# tsukuru [創る]

創意工夫による複合技術でトータルエンジニアリングを目指す弊社の理念を「創る」という、物づくりの原点で表現しました。表紙タイトルバックをギャラリーとして位置づけし、北九州市の産業基盤や文化的側面を反映するような創作活動を行っている人たちの「創る」行為をとりあげて“創造的な技術開発”という弊社からのメッセージにかえるものです。

表紙の作品は、紙すき造形作家／池崎義男氏の「The Earth Breathes」。池崎氏は、日・米両国で自作の手漉き和紙を主体とした様々な造形作品を創作。ヒロ・ヤマガタとのコラボレーションで数百キロもある巨大な紙を漉き上げたことでも話題になりました。紙の可能性を追求し、コンサートやパフォーマンスのための舞台美術も手がけ、常に新しい試みにチャレンジし続けています。

---

## 作者紹介

**池崎義男** Yoshio IKEZAKI [紙すき造形作家]

1953年北九州市門司生まれ。

'78年米国・フロリダ州立大学芸術学部卒業。'80年同大学院修了。  
'80～'86年八女手漉和紙、松尾茂美・茂幸氏に師事。日本各地にて自作和紙による作品展を開催。'86年再渡米、ロサンゼルスに居を移しACCDを始め米国内4大学にて教鞭をとるかたわら各地で個展・グループ展を開催。'93年からは日・米双方に活動の拠点を構え、紙の可能性を追求した作品展を世界各地にて開催。現在、アート・センター・カレッジ・オブ・デザイン (ACCD) 教授、南カリフォルニア建築大学 (SCI-ARC) ビジュアル・スタディ科教授、多摩美術大学、九州造形短期大学、武蔵野美術大学講師。北九州市在住。

---



## 目 次

巻頭言	・フジコー技報によせて	川崎製鉄株式会社 社長 敷土 文夫	1
随 想	・21世紀の未来予測	近畿大学大学院総合理工学研究科 教授 生田 稔郎	4
	・材料研究の展望	産業技術総合研究所 基礎素材研究部門 グループリーダー 工学博士 坂本 満	7
技術解説	・摩擦現象を利用した表面改質法の現状	名古屋大学工学研究科 助教授 篠田 剛	9
	・製造技術の革新を支える塑性加工の新しい課題	東京大学 名誉教授 木内 学	17
	・我が国における熱エネルギー技術開発の動向	岡山大学大学院自然科学研究科 教授 稲葉 英男	22
技術論文	・連続鋳造ロール用溶接肉盛材の実機テストによる評価	古田 博昭、宮崎 裕之	26
	・廃棄物発電ボイラの高温耐食表面処理技術	坂田 太志、永吉 英昭	33
	・CPCプロセスの凝固伝熱解析（第2報）	大野 京一郎、尾崎 健一	38
	・溶射装置と溶射皮膜特性の研究	古田 博昭、木下 利哉	43
新製品・新技術	・現地肉盛溶接装置		49
	・軸接合 ハイスロール（タフレックス）		52
	・棒鋼矯正機用CPCハイスロール		54
ホームページ紹介			57
全社組織			59
工場、事業所 所在地			60

# tsukuru

Fujico Technical Report 2001

# No.9

2001.10.1

## CONTENTS

<b>Foreword</b>		<b>Fumio Sudo</b>	<b>1</b>
<b>Memoir</b>		<b>Toshio Ikuta</b>	<b>4</b>
		<b>Mitsuru Sakamoto</b>	<b>7</b>
<b>Commentary</b>	• Surface Modification Process applying Friction Phenomenon	<b>Takeshi Shinoda</b>	<b>9</b>
	• New Technologies of Plasticity	<b>Manabu Kiuchi</b>	<b>17</b>
	• A Trend of Thermal Energy Technology Development	<b>Hideo Inaba</b>	<b>22</b>
<b>Technical Paper</b>	• Field Testing and Evaluation of Cladding Materials of Rolls Used in Continuous Casting Process		<b>26</b>
	• High Temperature Corrosion-resistive Cladding Technology for Boilers for Municipal Waste-fired Power Plants		<b>33</b>
	• Analysis of Solidification Heat Transfer in CPC Process (Report 2)		<b>38</b>
	• Study on Thermal Spraying Guns and Characteristics of Films Formed by Thermal Spraying		<b>43</b>
<b>New Products, New Technology</b>	• Development of on-site Cladding System		<b>49</b>
	• Rolls with CPC-processed High Speed Steel-clad Barrel and Welded Shaft		<b>52</b>
	• CPC-processed High Speed Steel-clad Roll for Bar Straightening		<b>54</b>
<b>Web site</b>			<b>57</b>
<b>Organization</b>			<b>59</b>
<b>Address</b>			<b>60</b>



## 「フジコー技報によせて」

川崎製鉄(株) 社長  
數土 文夫  
Fumio Sudo



山本厚生社長と初めてお会いした時のことは、非常に印象深い思い出として、私の心に焼き付いています。当時、山本さんはお父様の意志を継いで社長に就任されたばかり。私も千葉製鉄所第三製鋼工場のQ-BOP担当課長に着任した頃の頃でした。

山本さんと私は同じ年ということですぐに打ち解け、いろいろな話をしました。四十歳にも達しない年齢で社長の任に就かれ、真剣にご自分の会社の経営思想を語られるその姿に感動し、私自身も大いに啓発されたことを記憶しています。山本さんのお話から、「経営の中心を技術開発に置くこと」、「社員を家族同様に思っていること」、「堅実な経営を貫く決意であること」、が切々と伝わってきました。

山本さんとはその後も交流が続き、気がつけば、初対面の日から既に二十年以上が経過しています。しかしながら、私の山本さんに対する印象は、熱く経営思想を語られたあの日のままで些かも変わることなく、今日に至っている次第です。

振り返ってみますと、フジコーさんのお付き合いは、私の入社当時にまでさかのぼります。まだ平炉の造塊全盛時代、鑄型は急熱・急冷の熱パターンを受けるためその痛みは激しく、いかに鑄型修理の原単位を下げるかが、重要なコスト削減項目でした。この課題に対して、フジコーさん(当時、富士工業所)には一方ならぬご尽力をいただき、我々は大幅なコストダウンを成し遂げることが出来ました。

また少し時代は飛びますが、昭和63年、我が社は「鑄込み圧延クラッド鋼製造技術の開発」で大河内記念生産賞を受賞いたしました。当時、クラッド鋼の

生産方法は、組み立て法と呼ばれるものが主流であり、あらかじめ表面メッキを施した厚板を数枚重ねて、周囲を完全に溶接してから圧延していました。このため大変なコストと手間がかかり、お客様からのニーズは高いものの、残念ながらクラッド鋼は、価格・生産性から、発展性に欠ける材料であったのです。そこで、私たちは何とか、普通一般の造塊プロセスを用いて、大量に安価なクラッド鋼が製造できないかと、新たな目標に挑戦することとなりました。

この時に、お力を貸してくださったのがフジコーさんでした。鑄込みクラッド鋼は、鑄型の中に芯材スラブを吊り下げて置き、その廻りを下注ぎで溶鋼を注入して製造します。その際のポイントは、芯材スラブと鑄込んだ鋼層の間にいかに不純物をトラップさせないか、ということです。この点に関して、フジコーさんは、鑄型内面の研磨技術・芯材スラブ表面の加工技術で大きく貢献してくださいました。鑄型内という系全体の清浄性が見事に保たれ、芯材スラブと鑄込んだ溶鋼との接着性が非常に優れた製品が完成し、私たちの目標は首尾よく達成されました。

開発当時は文字通り、寝食を忘れてがむしゃらに取り組んだと記憶しています。思い出すほどに、ともに汗を流してくださったフジコーさんへの感謝の気持ちがこみ上げてまいります。

フジコーさんと仕事をする中で、私が一番感じたことは、エンジニアの皆さんが技術開発に大変熱心で、不撓不屈の精神で邁進されている、ということでした。平炉時代に鑄型修理をお願いした時も、また鑄込み圧延クラッド鋼の開発にご協力いただいた

時も、フジコーの方々は創造と変革の意欲をもって、技術開発に惜しみない努力を重ねてくださいました。この技術開発志向は、山本社長が初対面の時に語ってくださった理念そのものであるのです。

それを何よりも象徴しているのが、この「フジコー技報」の存在ではないかと思います。1993年に発行され、着実に号数を重ねられているこの技報には、フジコーさんの貴重な技術開発の成果が収められています。我が社の場合もそうですが、技報は研究者・エンジニアにインセンティブを与え、彼らの育成を促し、技術開発を活性化する役割を果たしています。多忙な毎日の中でも、このような論文発表の場を社員の皆さんに与えているのは、山本社長の技術に対する情熱、同時に社員の皆さんに対する愛情からに他ならないでしょう。

山本社長が社員思いでいらっしゃる、ということは、彼と接する中でいつも感じるのですが、特に私がその思いを強くしたのは、大分県湯布院にある「秀江苑」にお招きいただいた時でした。

「秀江苑」は、もともと山本家の別荘で、山本さんのお父様でいらっしゃる山本秀祐さん（フジコー前身の富士工業所の創業者）がこよなく愛した土地であるということで、風光明媚な湯布院に建設されたとうかがいました。また、「秀江苑」という名前は、山本さんのご両親のお名前から一字づつとり命名されたとのことでした。

お話を聞いて、山本さんがいかに愛情溢れるご家庭に育ち、ご両親を大切に思っているかが伝わってきました。また、ご自分達の別荘を、保養所として社員の皆さんに提供したと聞き、山本さんは社員の皆さんに、ご家族と同様の愛情を注いでいらっしゃる感じ、深い感銘を覚えました。

創業者の山本秀祐さんは、終戦復員の頃から、「日本には資源がない。リサイクルして資源を再利用すべきだ」と考え、この理念で富士工業所を興し、インゴットケースの亀裂・溶損の溶接補修に着手されたとうかがっています。この「リサイクル」という

コンセプトこそ、まさに今この時代、全世界的にその必要性が叫ばれているものであり、先見の明がありだったと感服せざるを得ません。

また、フジコーさんの手掛ける事業分野は、出発点の鋳型修理に始まり、溶射技術、溶接材料の製品技術、表面処理技術、さらにはCPCに代表される特殊鋳造技術と、時代とともに広がりを見せていますが、その根底には「物や資源を大切にする」という思想が見事に貫かれています。

加えて、「技術最重点」という理念にきちんと軸足を置き、少しもブレることなく、鉄鋼業の目まぐるしい変化にしなやかに対応されているという堅実経営こそ、フジコーさんの強さの原点であると、私は確信しています。

余談ですが、フジコー技報（第6号）に随想を寄せられ、「CPCハイス素材の鍛造」等でフジコーさんと共同研究されている佐藤祐一郎博士は、私の最も尊敬する先輩の一人であります。富山県で大平洋製鋼(株)の社長としてご活躍され、私とは同郷ということから、始終教えをいただいております。

またうかがうところによれば、佐藤博士は、山本さんのお父様とも面識があり、当時は「白銑鍛造」の佐藤社長、「白銑肉盛」の山本社長」で有名でいらっしゃるということです。

佐藤祐一郎博士という素晴らしい先輩を共に持っていること、これもフジコーさんとのご縁ということかもしれません。

冒頭で記しましたように、私が初めて山本厚生さんとお目にかかったのは彼が社長に就任した直後の頃。また、私が川崎製鉄の社長に就いた今年、フジコー技報に巻頭言を寄せることになったのも、何かのご縁という気が致します。今後とも末長いお付き合いをいただきますよう、お願い申し上げます。

また、僭越ながら、技術開発最重点という理念を貫かれ、今後とも時代のニーズに対応した素晴らしい技術・事業を展開されることを祈念し、巻頭言を結ばせていただきます。



【略 歴 書】

數 土 文 夫

昭和16年3月3日生

【学歴】

昭和39年3月 北海道大学 工学部冶金工学科 卒業

【職歴】

昭和39年4月 川崎製鉄株式会社 入社

昭和54年7月 千葉製鉄所 第三製鋼課長

昭和61年7月 同社水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主査兼同企画部企画室主査（部長補）

昭和62年7月 ♪ 水島製鉄所製鋼部次長（部長補）

昭和63年7月 ♪ 水島製鉄所製鋼部長

平成4年4月 ♪ 水島製鉄所企画部長

平成4年7月 ♪ 理事 水島製鉄所企画部長

平成6年6月 ♪ 取締役 鉄鋼開発・生産本部千葉製鉄所副所長

平成7年6月 ♪ 取締役 鉄鋼開発・生産本部千葉製鉄所副所長、同製鋼部長

平成8年7月 ♪ 取締役 鉄鋼企画部長

平成9年6月 ♪ 常務取締役

平成10年7月 ♪ 常務取締役 経営企画部長

平成11年7月 ♪ 常務取締役

平成12年6月 ♪ 代表取締役副社長

平成13年6月 ♪ 代表取締役社長就任（現在に至る）

## 随 想

## 21世紀の未来予測

近畿大学大学院総合理工学研究科  
メカニクス系工学専攻 教授  
日本溶射協会会長  
生田 稔郎  
Toshiro Ikuta



20世紀の世界は激動の100年であったと言うべきだろう。また日本にとっても凄まじい激動の時代であったと言える。20世紀の日本は近代国家を目指したが、軍国主義で暴走し世界から孤立して世界を相手に戦争、そして敗戦の破局を向かえ、何もかも無くしてしまった。その後、奇跡の復興を成し遂げ、経済大国、そして技術大国を実現したかに見えたが、これは21世紀中期頃から見るとき、日本人の錯覚であったことに気が付くかも知れない。87年頃に始まったバブル経済に浮かれ、91年頃になってバブル崩壊が始まり、政府の政策・対策が遅れゴテゴテで大きな後遺症を残す結果となってしまった。米国が日本より一足先にバブル景気に浮かれ、バブル崩壊を起こしていたが、対岸の火事と見たのだろうか、その教訓を学ばず生かす事ができなかった。その結果、大きな後遺症を残し10年以上も苦しみが続き、不況にさらされている。膨大な不良債権を抱えた国家となってしまった。現在我が国の借金は660兆円にまで膨らんでしまった。日本国はどうなるのだろうかと心配する人々が多い。国民一人当たりの借金に換算すると約550万円の借金にもなる。企業だったらとうに倒産だと評論家は言う。この借金を解消するために近い将来、政府はいろいろな理由付けをして消費税を10%程度に上げて来るだろうと見る人が多い。

明るい見方をすれば、現政権の構造改革が実施された場合、一時的に今より一層の不況があるだろうが、やがて暗い苦難のトンネルから抜け出し、21世紀は科学技術が人間生活に深く融合したきつと素晴らしい個人の幸福な社会になるだろう。

21世紀の世界予測を考えると、理工系ではなく文工系、あるいは文理工系の存在が不可欠であって、文理工系の発想と働きが技術の姿と内容を変えて行くだろう<sup>1)</sup>。

MITの研究グループによる将来無策・無変更とした仮定のもとで、標準計算によって求められた21世紀の世界予測シミュレーション結果を図-1に示す。図中の上の横棒グラフの中でヒトの長寿命化が実現するが、オゾン層の影響が今後100年間続くと言う驚くべき予測がされている。また、下の曲線で特徴なことは、21世紀には資源の使い過ぎ、枯渇を意識して減少が続くのだろうが、一方、工業生産と食糧は2020年頃に最大値を示した後減少し続ける。この二者に遅れて人口は2030年頃、汚染は2040年頃に最大値を示した後減少し続けると予測している。21世紀末頃には一抹のバランス関係に落ち着くのだろう。

技術の予測では技術の内側だけを見てはいけない。技術の可能性は必要条件に過ぎない。技術は社会的につくられるものであり、新しい技術が社会の中で定着して発展するかどうかはその技術を受け入れる人々や社会の動向に関係すると三輪<sup>3)</sup>は分析している。

一方、技術未来予測のデルファイ法による情報、交通、環境、生産、通信、資源、エレクトロニクス、ライフサイエンスの各分野における調査結果の一部を紹介すると、次のようである<sup>4)</sup>。

2003年(情報) 手帳サイズのコンピュータを使って世界中のどこからでもマルチメディア通信ができるシステムが実用化される。



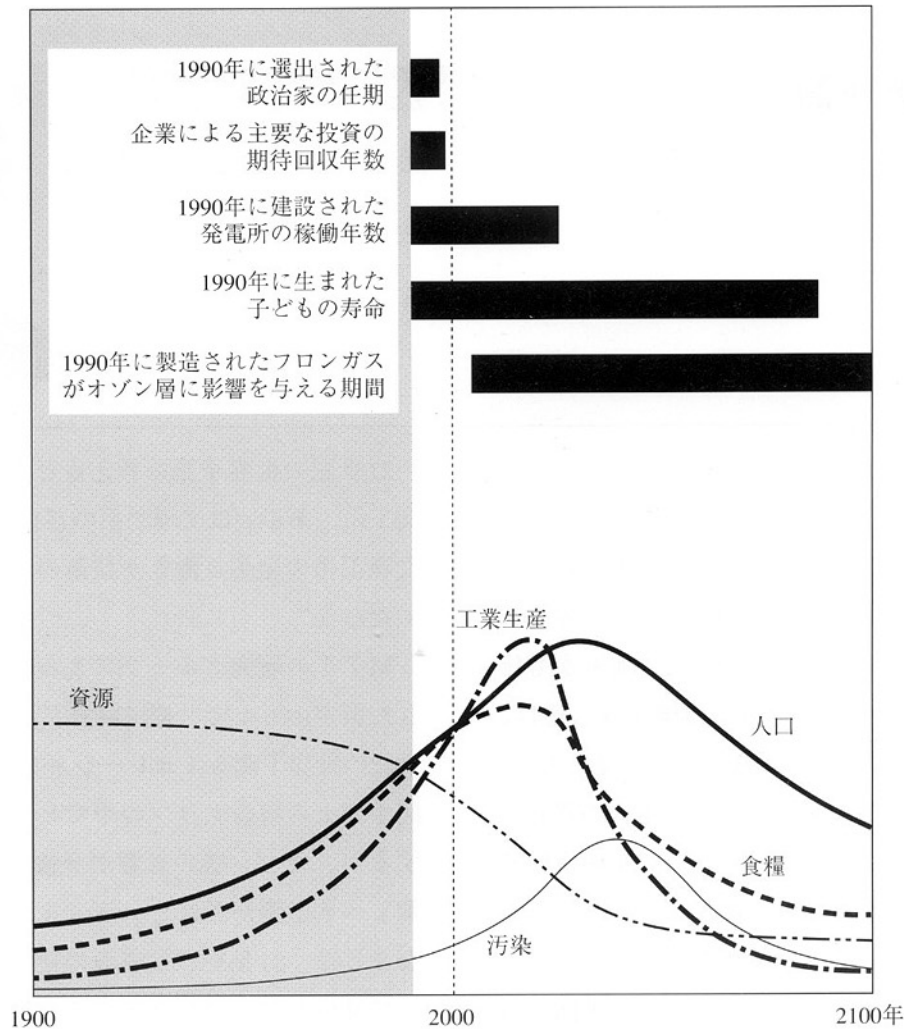


図-1 20世紀から21世紀への世界予測シミュレーション<sup>2)</sup>

2007年(交通) 走行中の自動車の種類、速度、密度等を把握して都市内交通流を最適制御する道路交通システムが普及する。

2009年(交通) 自動車(廃車)の部品や材料の90%がリサイクル可能となる。

2011年(環境) 低騒音エンジン、低騒音タイヤや吸音建築資材の開発により日本の都市住居専用地域での騒音が環境基準内になる。

2012年(生産) 不要製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料のほとんどが再利用できる設計・生産・回収・再利用システムが普及する。

(通信) 同時通訳並の日英自動翻訳電話が開発される。

2014年(ライフ) 大部分の癌関連遺伝子が固定され、癌化との関連が解明される。

(資源) 化石燃料消費量が現在の50%以下の製鉄技術が開発される。

2015年(情報) 災害時に人間の識別、探索、救助ができるロボットが実用化される。

(ライフ) ヒトの細胞、組織等を組み込んだ人工臓器、人工腎臓、人工肝臓等の人工臓器が実用化される。

(ライフ) 微生物や藻類によるアルコール等の燃料油生産が普及し、全世界の燃料油生産量の10%を占める。

2016年(生産) 電力をそのまま貯蔵(超伝導、フラ

イホイール、コンデンサー) する技術が実用化される。

2018年(生産) CO<sub>2</sub>の回収、廃棄物の無害化等の技術開発が進み全世界的に地球環境保全対策が普及する。

2020年(宇宙) 巨大な太陽電池板を持つ宇宙空間太陽光発電所が建設され、電力がマイクロ波で地上まで伝送されるようになる。

2024年(エレクトロニクス) 人間の感情を理解・共有できる人工知能チップが開発される。

2025年(資源) 超伝導ケーブルを用いた電力ネットワークが実用化される。

2026年以降(情報) 電気磁気情報を使って人間の脳に記憶されている情報をコンピュータが読むことができるようになる。

さらに、今後重要視される技術分野は次のように見られている。

重要度の高い技術順位は「環境、エレクトロニクス、ライフサイエンス」の順である。今回の特徴では、①環境関連技術：リサイクルしやすい製品設計、プラスチックのリサイクル技術等の取り組み、②情報関連技術：セキュリティの高い次世代インターネットの実用化、③生命関連技術：癌の転移を防ぐことおよびアルツハイマー型痴呆症関連等が重要視されている。また、期待される効果の大きい技術とし

ては、①社会経済発展に寄与するもの「革新的製品の開発、新産業の創出、社会経済基盤の整備等」。②地球規模の諸問題の解決に関するもの「地球環境、食糧、エネルギー、資源関連等」。③生活者ニーズへの対応に関するもの「疾病の予防と克服、生活環境の向上、高齢者・身障者の支援、防災・安全の確保等」。④人類の知的資源の拡大に関するもの「新法則・新原理の発見、独創的理論の構築等」。などが挙げられている。

技術課題に対する世界の高評価比率では、アメリカは、宇宙、ライフサイエンス、情報通信、保険・医療・福祉分野である。EUでは、環境、交通分野である。旧ソ連・東ヨーロッパ諸国では、宇宙分野である。以上に対し日本では、資源、エネルギー、都市・建築・土木・交通分野である。

#### 参考文献

- 1) 高辻正基：文理シナジーの発想、丸善ライブラリ、(1998)
- 2) メドウズ、D.H.他（大来佐武郎監訳）：成長の限界、ダイヤモンド社、(1992)
- 3) 三輪修三：叶った夢、叶わなかった夢－100年前の技術予測－精密工学会誌、Vol. 103, No.983, p.662(2000)
- 4) 堀内勝夫：我が国の技術発展の方向性、精密工学会誌、Vol. 103, No.983, p.658(2000)

## 材料研究の展望

産業技術総合研究所  
基礎素材研究部門  
金属系複合材料研究グループ  
グループリーダー  
工学博士  
坂本 満  
Mitsuru Sakamoto



私の所属する研究所は今年、独立行政法人化というこれまでにない大きな変革を行いました。この中で主として材料の研究に携わってきた私どもの研究所の現況をご紹介するとともに、その中で金属系材料の研究グループに属する者として今後の材料研究の方向について考えていることを述べたいと思います。

今から10年前に九工試から九工研となった私の研究所は、今年4月から旧工業技術院傘下の15研究所の統合による産業技術総合研究所の地域センターの一つとなりました。構造材料分野は全国各地に展開する研究グループが基礎素材研究部門に大括りされ、ここでは当面、循環型社会の構築に貢献する環境適合性基礎素材及び機能融合型基礎素材の開発やプロセス技術の確立を目指すことになりました。この部門の中であって、私ども金属系複合材料研究グループでは、材料の複合化技術を駆使して単相材料では容易に得られない新しい機能を材料に付与し、高温の摩耗や腐食等の苛酷な環境に耐える材料の開発と評価に関する耐環境性材料技術を中心に研究を進めていくことを目標にしています。基礎的な複合化プロセス技術や評価技術の面から貢献をしていきたいと考えています。

材料に求められる特性は最近ますます苛酷になり、また同時に様々な機能を備えていることが求められています。金属やセラミックスなどの素材は長い研究の歴史と技術の蓄積があり、その特性を高めてゆくことは容易ではありませんが、複合化については依然として大きな可能性を秘めていると考えられます。複合化の概念は新しくはありませんが、その意

味する内容は我々を取り巻く技術の進展につれて急速に変容し続けています。例えばサイズにしてもミクロから原子オーダーまで広がり、それを自由に制御できるのがあたりまえになりつつあり、また、機能にしても最近の生体機能や情報技術の進展で見られるように急激に変化しています。すなわち、複合化の概念を狭めているのは常識に囚われている研究者自身であると言えるかも知れません。

複合材料は単相材料では得られないような特性を想定して作られるテーラードマテリアルであるところに特徴があります。ところが現実には、特にMMC（金属基複合材）の世界ではあまり芳しい結果が得られておらず、その研究量に比べて実用化につながった例は少ないのが実状です。これはおそらく、人間の一方的な都合による素材の組合せでは優れた複合化効果が発現する幸運にはなかなか巡り会えないことを物語っているのだと思います。特性をテラーできるということは、逆に考えれば、例えどんなに小さなニーズであってもそれに対応して一つ一つ丹念に特性をテラーして行かなければならないということでもあります。この点が意外にこれまで十分に意識されてこなかった点ではないかと思います。一つの軸に沿って優れた特性を示す材料を開発し、これを素材として広い用途に使うという試みはおそらくうまく行かず、少なくともコストの面からは無理だと考えられます。あえて手間暇をかけて作るからには、目標とする特性がどれだけ明確であるかということがまず第一に重要になります。このような観点から考えると、複合材料の研究はそもそも現場ニーズを理解している企業にしかできないことか



も知れません。

ところで、私達はこれまで様々な複合組織が示す性質をすべて知っているわけではないので、複合材料を設計することや特性を正確に予測することができずにいます。どのような素材の組合せでどのような組織ができ、それがどんな性質を示すのか。複合組織からどのような未知の特性や機能を汲み出すことができるのかについての体系的な取り組みが期待されるところです。このような視点からの取り組みは基礎研究として興味深いだけでなく、材料に関する新しいパラダイムを提案できる可能性があります。私達の研究グループでは、例え小さくても一つ一つ成功事例を積み重ねて行きたいと考えています。

理想的な循環型社会では、設計・製造から消費・回収の現場まで一貫したリユースやリサイクルの基礎的な技術革新が必要であり、最後の最後には避けることができない廃棄物をできる限り資源化する処理技術の確立と、できる限りのマテリアルリカバリーやサーマルリカバリーを行うことが必須となります。エネルギー・環境プラントの高効率化が望まれる所以であり、これらの技術を社会的に洗練させていくとともに産業として育成して行くことが必要です。一般ごみや産業廃棄物、セメント産業等の焼却・発電プラントでは、環境負荷低減のためにでき

る限り高効率で、それ自体はクリーンな運転が望まれています。これはプラント自体にとっては高温運転につながり、構成部材は激しい高温腐食やアブレーション摩耗等が作用する苛酷な環境に晒されることとなります。その使用環境は苛酷化の一途をたどっていることから、ステンレス鋼のような単相材料では対応が困難になっています。私達は、具体的には高クロム鉄系やNi基複相合金をベースとして複合化によって特性を高めた材料開発を進め、当面はバルク材料及びコーティング材料の開発と、実環境を模擬した評価技術を含めた耐環境性材料技術の研究開発に取り組んでいきたいと思っています。ただ、本来ここに掲げるような目標は、材料技術を含めてプラント設計技術全体にわたる総合的な技術革新が必要であり、これを現実的なコストで達成しなければなりません。残念なことにこれまではあまりこのような前提に立って研究してきたとは言えませんが、民間企業では当たり前の厳しいコスト／効率感覚と明確なニーズを持って研究を進める必要があると考えています。従って、この分野におけるフジコーの持つ豊富な技術の蓄積と技術開発は、私どもの研究にとって貴重な指針であると思っています。これは今後、各方面から益々期待され、かつ社会的に重要となって行くものと思います。





## 摩擦現象を利用した表面改質法の現状

Recent Development of Surface Modification Process applying  
Frictional Phenomenon

### 1 はじめに

摩擦圧接法は、摩擦熱を利用して、部材の接合を行う固相接合法のひとつである。1891年には、イギリスで摩擦圧接法として最初の特許が申請されており、レーザ溶接法や電子ビーム溶接法のような溶接法に比べると、古典的な印象を与えている。しかしながら、摩擦圧接法には他の溶接法にはない優れた特性があるので、新素材の開発に伴って生じる接合性の問題の解決法のひとつとして摩擦圧接法が適用される場合も多い。最近では、摩擦圧接の応用分野として派生型の摩擦圧接ならびに表面改質と称される肉盛なども試みられるようになり、将来の普及に向けての動きも見られるようになってきている。

図-1に最近20年間の摩擦圧接とレーザ溶接の論文数の推移を示す<sup>1)</sup>。この論文数は、溶接学会誌の「日本における溶接の展望」より、それぞれの接合法の論文数を数えたものである。レーザ溶接は1986年頃より発表論文数の増加が見られるが、摩擦圧接法は1990年代に入り、論文数が増加している。レーザ溶接は比較的新しい接合法と考えられるが、注目され始めた時期を考えると、摩擦圧接はさらに新

しい技術であるともいえるかもしれない。特に、最近のFriction Stir Welding (FSW,あるいは摩擦攪拌接合)に代表される新しい概念の摩擦現象を用いた方法なども例として挙げられる。最近では、材料の高機能化の趨勢により、溶融溶接が非常に困難な組み合わせの異種材接合の重要性が高まっており、固相接合を用いることにより解決できる場合も多くある。また、FSW関連の論文が発表されるようになってきた1996～97年以降の伸びは急速なものがあり、摩擦関連の20%を占めるまでになっている。

ここでは、この摩擦現象を用いた2, 3の表面改質の現状を紹介してみる。この分野で示される方法として、

- 1 摩擦肉盛法
- 2 円筒内面肉盛法
- 3 FTMP法

などがある。ただし、2と3は著者自身の開発によるもので十分認知されているわけではない。

### 2 摩擦肉盛法

摩擦肉盛法 (Friction Surfacing) は、基材を溶融させず、希釈がほとんどなく、高速成膜が可能な固相表面改質技術であり、かつ肉盛層の金属組織の微細化、基材への熱影響部を最小限にできるというすぐれた特徴を有する。

摩擦肉盛法の発想は、摩擦圧接法の原理が発表されると同時にその可能性が示唆されている古いものであるが<sup>2)</sup>、実用化に向けての研究開発は行われていなかった。この十年間、産業界で材料の高機能化が要求されるようになり、種々の表面改質法の検討が行われるようになってきた。その一つとして、摩擦肉盛法についても研究が活発になってきている<sup>3)4)</sup>。これまで、摩擦肉盛法についての研究は、プロセスに関する基礎研究と応用を目的とする実用化研究に分かれている。

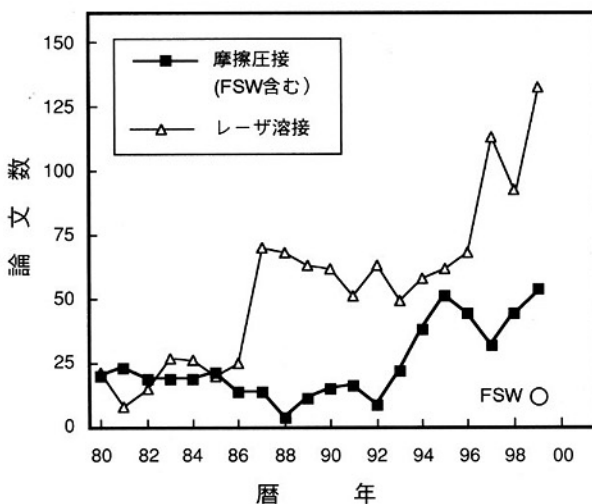


図-1 レーザ溶接および摩擦関連の接合法の推移 (溶接学会誌、展望記事のプロセス関連より)

## 2.1 摩擦肉盛法の原理

摩擦肉盛法は、図-2に示すように、回転する肉盛材（丸棒）が所定の回転速度に達すると、軸方向に圧力をかけて、基材に接触させ、十分に棒材を加熱させた時点で基材を移動させる。その後、回転している母材と基材との界面に発生する定常的な摩擦熱によって棒材を塑性的に圧着させ、基材上に安定した肉盛層を得る方法である。

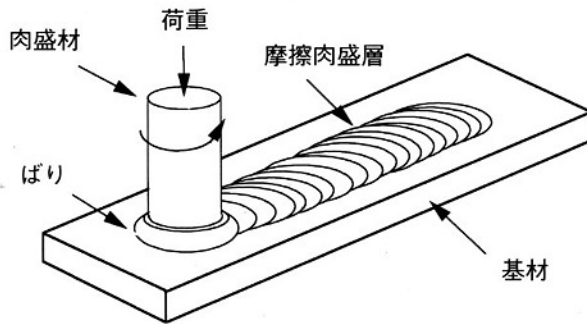


図-2 摩擦肉盛法の原理図

## 2.2 回転面移動現象

摩擦肉盛の機構についての基礎研究は、十分に検討されるべきものであるが、この領域に関する論文数は応用論文の分野で発表されているものより少ない。

摩擦肉盛の機構についての体系的なものとしては、一連の深草の研究があるにすぎない<sup>5,6)</sup>。

摩擦肉盛の機構の基本は、図-3に示すように、回転する肉盛材を基材に加圧、接触させると、回転接触面の両方の金属が摩擦熱により軟化する。開始直後は、両者の界面における最高温度は等しいが、材料の熱的性質の差により、次第に肉盛材の方が温度の高くなる現象を生じ、その結果、

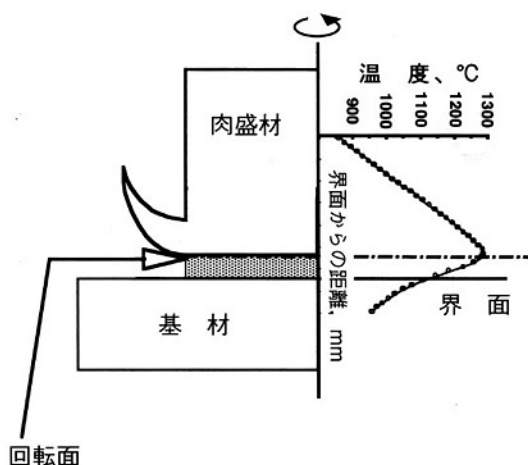


図-3 摩擦肉盛中の回転面移動現象の説明図  
(最初接合界面にあった最高温度点が、肉盛材中に移動する現象)

回転面に対する非対称な温度分布が生ずる。従って時間が経過するとともに、最高到達温度域は摩擦界面より、肉盛材側に移動し、回転面が肉盛材側に移動するようになる。その結果、安定な肉盛金属が基材に塑性的に圧着される。そして、基材を横に移動させれば、溶接ビードのような摩擦肉盛層が形成される。この最高温度域の非対称性を回転面移動現象と呼び、定性的に摩擦肉盛現象を説明できる。この回転面移動現象は、異種材料の摩擦圧接においてもしばしば表れることが報告されている<sup>7)</sup>。

したがって、摩擦肉盛においては基材と肉盛材の間の熱容量差、あるいは熱伝導度差が必要である。また、摩擦圧力に耐えうる基材の高温強度が要求される。

## 2.3 摩擦肉盛層の寸法に与える影響について

摩擦肉盛プロセスの基本的なパラメータとして、肉盛材の回転数、摩擦圧力及び基材の横移動速度の肉盛層の寸法に及ぼす影響が実験的に明らかにされている<sup>8)</sup>。実験は、肉盛材に1C17Crマルテンサイト系ステンレス鋼を用い、低合金高張力鋼に肉盛を行っている。この結果を図-4に示すが、回転数は低いほど、肉盛層の幅が広がり、安定した肉盛層が得られ、さらに、肉盛層の厚さが厚くなる傾向が認められた。しかし、いずれのパラメータによっても肉盛層の厚さ1mm前後の比較的厚い、硬化層が得られている。

この場合の肉盛形成速度が1~2kg/h程度であるが、機器

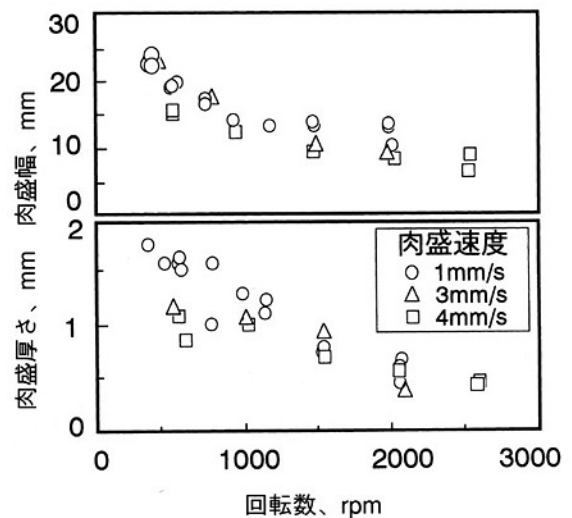


図-4 摩擦肉盛層の幅および厚さにおよぼすパラメータの影響  
(肉盛材：SUS440C、直径：20mm)

の高剛性化をはかることにより、10kg/h程度の形成速度が得られることが示唆されている<sup>4)</sup>。基材の移動速度の与える影響については、移動速度が速くなると、肉盛層の幅及び厚さが小さくなる傾向も認められた。特に4mm/sと高速に移動すると、激しい不整箇所が見られ、肉盛層の両端に

コールドラップ状の未接合部が生じるようになる。これは横移動速度が速すぎることにより、基材への熱量不足が生じた結果と思われる。

#### 2.4 摩擦肉盛過程中的熱伝導及び肉盛パラメータとの関係

摩擦肉盛過程中的熱伝導の挙動は摩擦肉盛プロセスを把握するために、最も重要なものである。篠田らは、肉盛材にSUS440C、基材に低合金高張力鋼を用い、カロリメータで摩擦肉盛中の熱量を測定した。肉盛材及び基材への熱量配分を実験的に明らかにした。その測定結果を図-5に示す<sup>9)</sup>。行った実験条件範囲では、回転数によらず、全熱量はほとんど一定である。しかし、回転数が増加するに従い基材側への入熱速度は次第に減少していく傾向が認められる。ここで、入熱速度は単位時間、単位肉盛材断面面積当たりの熱量と定義したものである。一方、回転数の増加とともに、肉盛材への入熱速度は増加していることが明らかとなった。その結果、摩擦肉盛においては、肉盛材の回転数を変化させることにより、基材側と肉盛材側への熱量配分を制御できることになる。このことは、図-4で示した肉盛層の形状が回転数に依存していることの別の表現でもある。

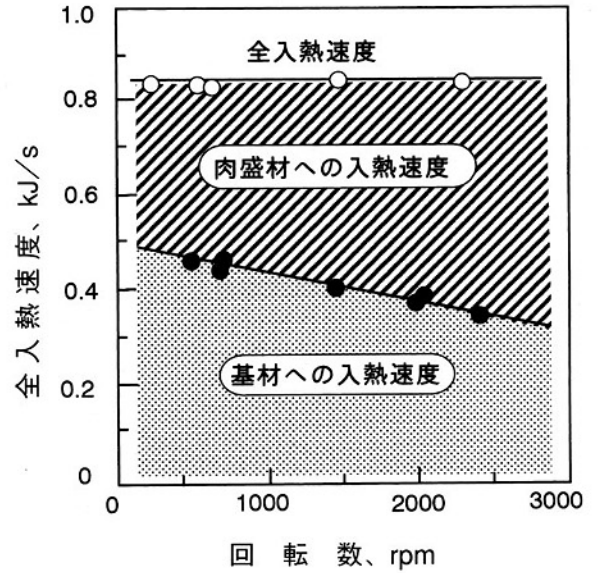


図-5 摩擦肉盛過程の基材側と肉盛材側への熱量配分  
(基材：軟鋼、肉盛材SUS440C)

#### 2.5 摩擦肉盛法による応用例

摩擦肉盛法での最も基本的応用として、基材の耐摩耗性・耐食性・耐高温性の向上のための保護皮膜形成である。その適用例の概念を図-6に示した<sup>10)</sup>。

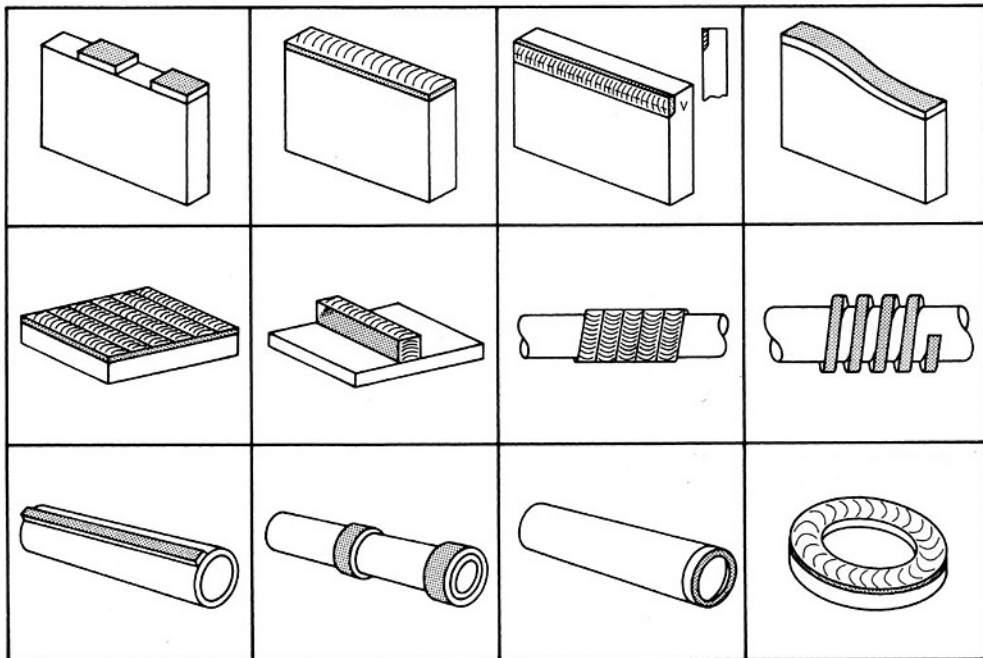


図-6 摩擦肉盛の可能性のある適用例



名古屋大学で行われた一連の摩擦肉盛の例として、工具刃を試作した写真を示す。図-7(A)は、マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS440C を軟鋼に肉盛した状態のもので、図-7(B)はこれから刃付け加工した例である。組織は炭化物も微細化し、切れ味テストの結果も溶製材よりも良好な結果を得た。

摩擦肉盛可能な肉盛材と基材との組み合わせは今後も拡大していくと思われるが、文献<sup>10)</sup>に現れたものを表-1にまとめて示す。一般的に、回転数は数百回転で、圧力も10

～100MPaと低い。得られた膜厚も、アルミニウムの3mmを除けば、1～2mm程度である。この膜厚範囲は、今後工業的利用の拡大が望まれている領域でもある。

新素材が開発されてくるにつれて、摩擦肉盛法の適用は拡大すると考えられる。特に、優れた耐高温性及び耐摩耗性を持つ粒子強化型金属基複合材 (M.M.C.) の肉盛層を創製する時には、摩擦肉盛法が適している。この例を、表-1の下段に示す。この方法では、市販MMC材料を使用せず、肉盛過程に機械的に攪拌、混練MMC化するものである。

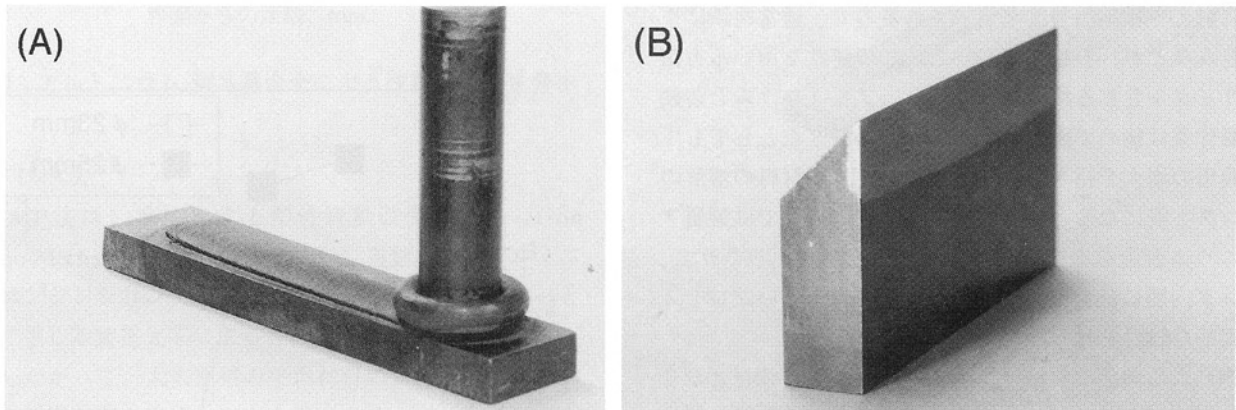


図-7 摩擦肉盛法により作製された刃物の例

(A) 肉盛後の外観

(B) 刃物の例

表-1 摩擦肉盛材料の組合わせと条件例<sup>14)</sup>

材 料		条 件			基材移動速度, mm/s	予熱時間, s	肉盛り層厚さ (mm)	肉盛層評価結果 <sup>(a)</sup>		平均硬さ (HV5)
肉盛材	基材	肉盛材直径, mm	回転数, rpm	圧力, MPa				曲げ角度 deg.	引張り強さ MPa	
軟 鋼	軟 鋼	25	975	57	4	3	1.9	170(S) 170(L)	510	191
軟 鋼	低合金鋼	25	975	57	4	3	2.10	90(L)	—	217
オーステナイト ステンレス鋼	軟 鋼	25	550	102	5.3	3	1.30	170(S) 170(L)	570	225
オーステナイト ステンレス鋼	SUS 316	25	550	102	4	4	1.50	170(S) 180(L)	537	200
ニッケル基合金 (Alloy 625)	軟 鋼	20	410	143	4	1.5	1.30	170(S) 90(L)	470	343
ハステロイ CW-12M-1	SUS 316	20	330	178	4	2.0	1.30	170(S) 150(L)	433	429
ステライト#6	SUS 316	20	330	124	5	5.0	0.70	170(S) 160(L)	620	575
アルミニウム合金 A2011	アルミニウム合 金 A2014	25	778	35	4.2	3.0	3.10	170(S) 90(L)	237	77
SUS 440C <sup>8)</sup>	軟 鋼	25	800	49	1-4	10	1.1		N.A.** (Bend Test)	600
SUS 403 <sup>5)</sup>	軟 鋼	10	1720	75	7.5	3-10	1.8	N.A.**	N.A.** (Shear Test)	600 <sup>11)</sup>
MMC / Matrix: H13 Powder: ZrO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>13)</sup>	軟 鋼	25					1.1			860 <sup>12)</sup>

(a) T - 横方向曲げ; L - 縦方向曲げ; S - 側曲げ

\* Z方向引張り試験 \*\* 評価値なし

表中の引用文献は巻末の文献番号参照

すなわち、肉盛材の中に穴をあけておき、適用するセラミックス粉末を充填し、肉盛を行う。この方法はThomasらにより、はじめて報告された<sup>15)</sup>。英国溶接研究所 (TWI) でZrO<sub>2</sub>及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末が強化粒子とし、熱間工具鋼H13 (BS 4659) マトリックスとして炭素鋼の基材に肉盛り、MMC化している<sup>16)</sup>。

### 3 円筒内面肉盛法

近年、自動車の軽量化に伴いエンジンブロックのアルミ化が進められている。しかし、シリンダ内はピストンとの摩擦に耐えうる高温強度が要求されるので、通常鋳鉄による鋳込みなどが行われる。しかし、この鋳鉄を用いる方法はリサイクルされる場合を考えると、アルミニウムと鋳鉄の分離作業は極めて困難であり、たとえできたとしても工数と費用の増大を招き、リサイクルせずに新材料の溶解の方がコスト安になるという問題がある。本研究では硬質アルミニウム合金を摩擦熱により、塑性流動を生じさせて、シリンダ内面に接合し、表面改質を行なう新しいプロセスの基礎的な検討を行った<sup>17)</sup>。

摩擦による内面改質法は、回転している鋼製棒材とシリンダとの間にある改質材を摩擦熱によって可塑化し、塑性流動しながらシリンダに圧着し、改質層を得る方法である。このプロセスでは基材を溶融させることなく、熱影響を最小限に押さえることが可能である。

本研究では、供試材としてシリンダは直径60mm×高さ60mmの中心に直径23mm及び25mmの穴のあるA5056を用いた。改質材にはAl-Si13%共晶合金とAl-Cu35%共晶合金、棒材に高速度鋼(φ20mm)を用いた。

改質条件は、回転数を1500rpm、2000rpm、2500rpmの3水準で、摩擦時間は31～421sの範囲内で、シリンダ内径は23mm、25mmの2水準で行った。

この結果得られた硬質層をシリンダに圧着した例を図-8に示す。表面も滑らかであり、また接合界面での欠陥あるいは硬質層内での気孔などの欠陥も認められない。

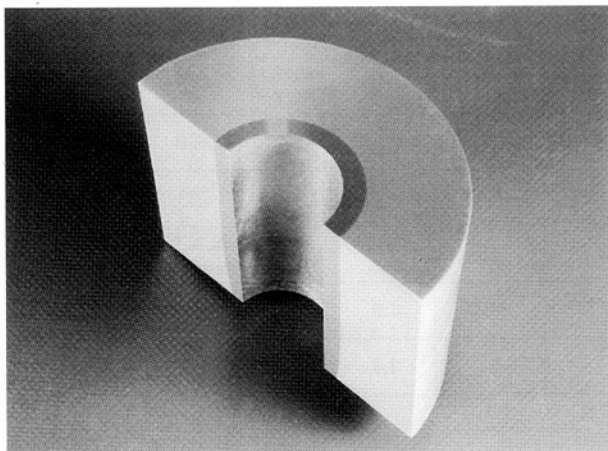


図-8 円筒内面肉盛法により改質したアルミニウム

Al-Si13%共晶合金を用いた改質層の組織はSiが均一に微細化されており、改質前の共晶Siと比較しても長さ方向に1/4から1/5程度にまで微細化されている。図-9に平均共晶Si長さとの関係を示す。組織の微細化には回転数の影響が大きいことが分かる。1500rpmと2000rpmではあまり違いがないが、2500rpmではかなり微細化されている。また、シリンダ内径が小さいと圧接条件によらず、微細化される傾向があり、内径23mmでは平均5.2μm、25mmでは6.5μmであった(鋳造Al-Si13% 平均長さ25μm)。硬さ試験では改質層で50～70HVとなった。

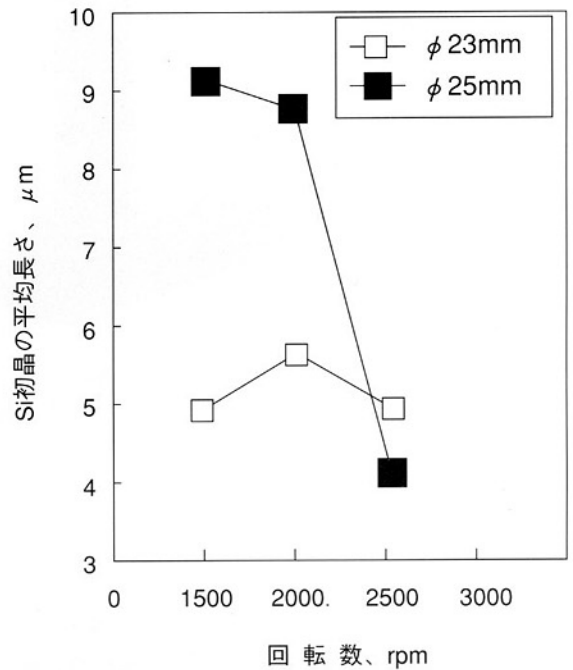


図-9 硬質層内の平均初晶シリコン長さにおよぼすパラメータの影響  
(処理前の初晶シリコン長さは25μm)

Al-Cu35%共晶合金ではどの実験条件でも接合不良などの欠陥が観察されず、接合界面はスムーズな形状であった。改質層の平均硬さは約180HVであり、回転数が大きいほど大きな硬さが得られた。組織の微細化は回転数の増加に依存する結果と考えられる。また、平均の最高硬さは内径23mm、回転数2500rpmで195HVが得られた。図-10に代表的な硬さ分布を示す。改質層の硬さは均一で、基材側に軟化域は見られず、熱影響をほとんど受けなかったことが分かる。また、熱サイクル測定の結果から、最高到達温度(℃)は400～485℃であり融点である548℃に達していないため、固相表面改質であった。

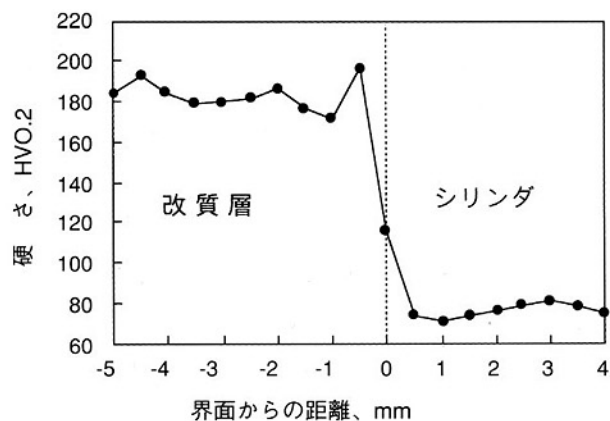


図-10 アルミニウム-銅共晶合金による改質層の硬さ分布

#### 4 FTMP法

FTMP法は、摩擦による塑性流動改質法、Friction Thermo-Mechanical Process の意味で、自動車用のアルミニウムエンジンシリンダの表面で、シリンダヘッドカバーとの間で生じる铸造欠陥によるガス漏洩対策を目的としている。したがって、大表面積の平坦材料における表面欠陥の消失と組織改善を目標としたものである。プロセスは、非消耗摩擦棒と基材の間に生じた摩擦熱と塑性流動により、動的再結晶を生じさせ、表層組織の微細化と性質の向上を図る新しいプロセスである。このプロセスの概略図を図-11に示す。摩擦肉盛りのように、摩擦圧力、摩擦棒の回転数および基材の横移動速度が基本的な制御因子となる。定性的には改質層の厚さは、摩擦圧力に比例し、回転数および横移動速度に反比例する。FTMPにおいては、改質層の組織と性質は摩擦熱量に依存することになる。この方法では、消耗材料は一切なく、自己発熱と塑性流動現象のみによって改質が行われる極めて環境負荷の小さい方法といえる<sup>18)</sup>。

摩擦熱量の多少及び塑性変形の大きさによって、改質層の組織を概ね粒状域、帯状域、展伸した結晶粒域及びポロシティ消失域と四つに分かれる。

図-12に実際の組織を観察してFTMP法による改質層の組織をモデル化して示す。

##### A：粒状域 (Equiaxed grains zone)

この領域は、非消耗型丸棒に一番近い域であるため、摩擦熱の量が最も多く温度が一番高い箇所である。さらに、丸棒の端面との摩擦力によって、その端面に当たる基材の粗大化結晶粒が丸棒の回転方向に伸び変形され、動的再結晶の現象が生じた。そのため、結晶粒が微細化し、かつ粒状の形になっている。

##### B：帯状域 (Banded grains zone)

この領域は、熱伝導現象によって摩擦熱がA域から伝導してきた。従って、A域より温度も低くなった。また、この域の結晶粒は、A域の結晶粒が変形するとともに変形し、部分的に再結晶の現象が生じた。この域の結晶粒は、再結

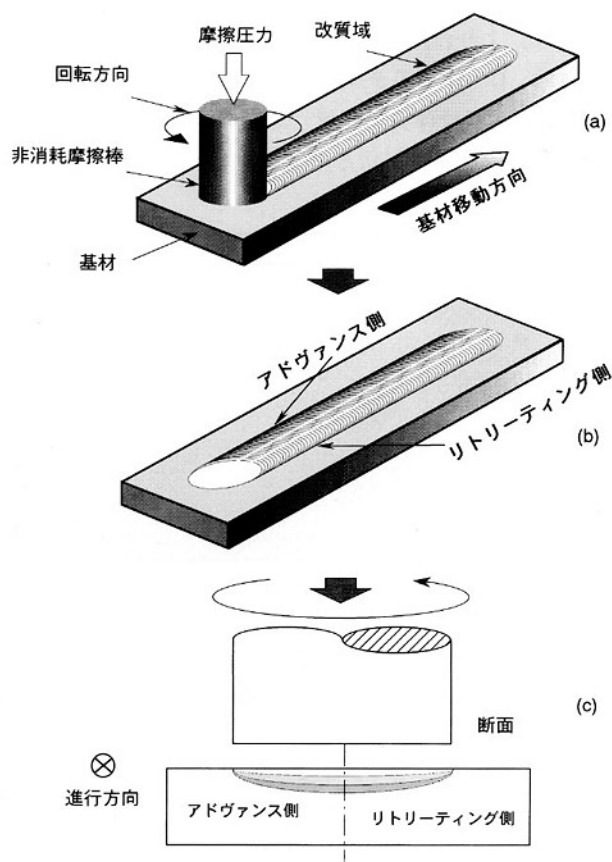


図-11 FTMP法の原理図

晶の粒状の部分と変形され、展伸した部分の混合組織となっている。

##### C：展伸した結晶粒域 (Elongated grains zone)

B域より、この域の塑性変形は次第に低くなり、温度もさらに低下する。その結果、結晶粒が伸ばされたまま動的再結晶現象が発生しない。

##### D：ポロシティ消失域 (Porosity eliminated zone)

この領域はC域に近い部分で母材原質部との間に存在する。この領域のマイクロ組織と母材原質部のマイクロ組織の違いがほとんど観察されない。ポロシティ消失域は、摩擦加熱したうえ垂直にかけた摩擦圧力によって母材に存在したポロシティが圧着接合し、消失したものと考えられる。なお、上記のA～Cの領域でもポロシティは完全に消失している。

図-13に前の図で示した領域に対応して表層部（写真の上段から）より、A：粒状域、B：帯状域、C：展伸した結晶粒域、D：ポロシティ消失域の組織を示す。鑄造組織の初晶は、Aでは伸長、分断して極めて微細化し、ほとんど球状あるいは四角形状となっている。BでもほとんどA

域と同様であるが、局部的に展伸した初晶も存在しているが、その割合は小さい。このように本処理により初晶あるいは偏析域を分断、微細化させ、均一に分布させることが可能である。

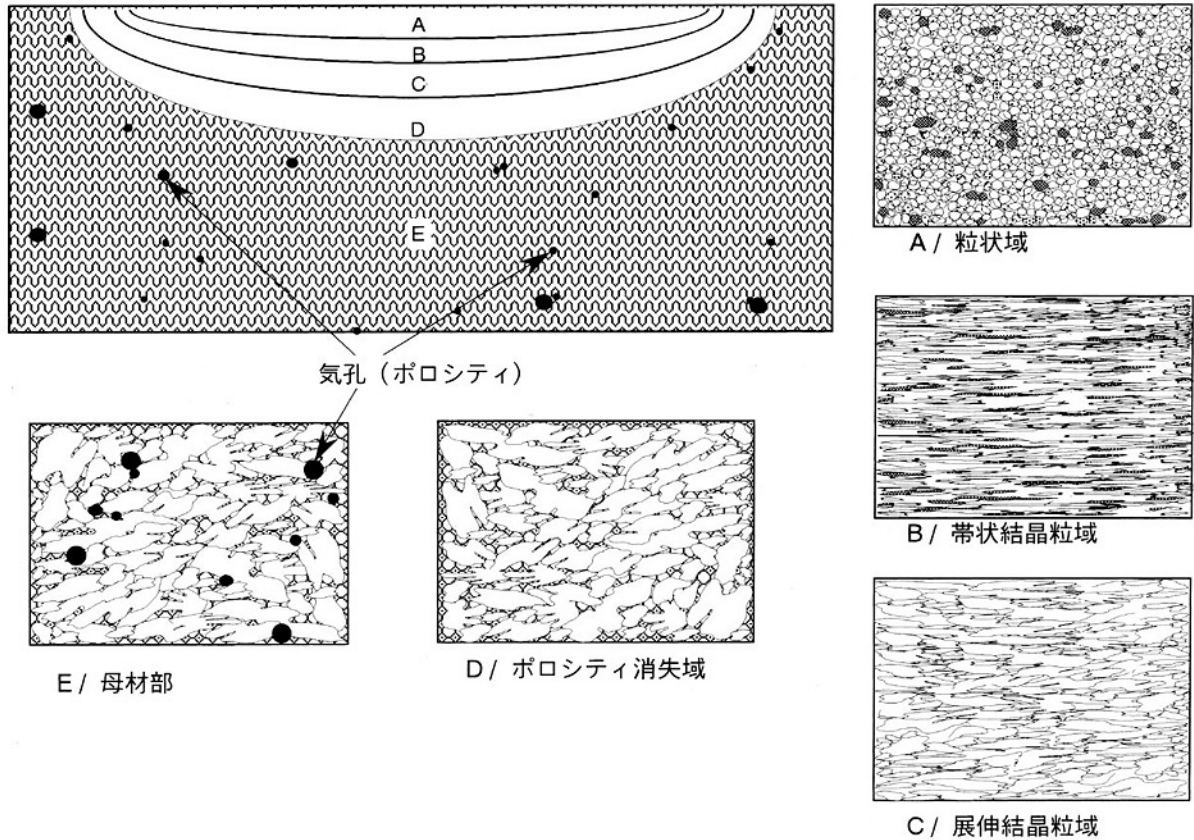
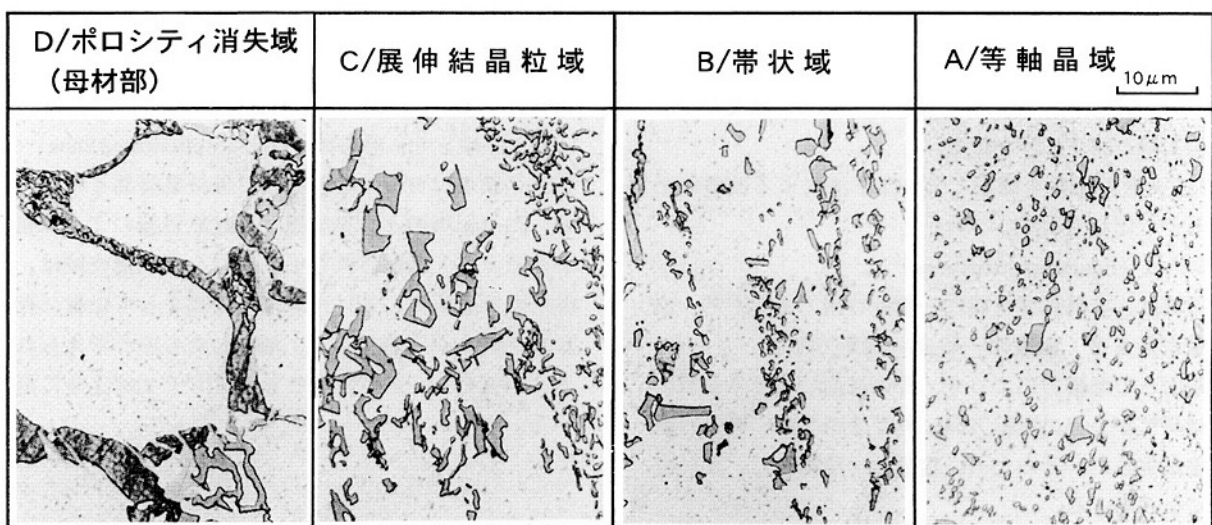


図-12 FTMP改質層の組織分類



母材側 ←
→ 表面層  
 基材深さ方向

図-13 FTMPによる改質層のマイクロ組織写真



## 5 おわりに

摩擦肉盛法を始めとして、本報告で示したプロセスは基本的に摩擦熱により軟化した基材あるいは改質材料を基材に定着させる固相プロセスである。それぞれの特徴を示せば次のようなものである。

(1) 摩擦肉盛層は母材からの希釈を受けず、毎時1～10kg程度の肉盛層を得ることができる、比較的高能率の作業が実現できる。従来型素材を用いた肉盛でも、種々の応用分野の開発が活発になる機運がある。さらに、最近では、新素材に適用するなど領域も広がりつつある。

(2) シリンダ内面の摩擦熱を利用した表面改質法によって均一に微細化された改質層が得られ、接合界面やシリンダ内面はスムーズな形状である。この方法は、従来の方法では不可能であった狭隘シリンダ内面の改質ができる方法であり、アルミニウム製エンジンのリサイクル時の鉄除去を考慮する必要のない新しいプロセスである。

(3) 摩擦現象を利用したFTMP法では、従来の方法で困難なアルミニウム合金の鋳物表面改質を広範囲にわたって安価かつ簡単なプロセスで実現できる。FTMP法による改質層には、結晶粒の微細化によって母材の著しい偏析を改善できる。また、母材に存在するポロシティを消失できる。

摩擦現象を利用した一寸変わった表面改質法の紹介を行った。摩擦現象の金属加工への応用はこれまでもあったが、本稿で示したように積極的に利用するアイデアは十分でなかったと思われる。今後この摩擦現象の金属加工への応用に対して一層の発展を期待するとともに、幅広く実用化されることを心から願うものである。

本稿を作成するにあたり、引用させて頂いた論文の著者各位に感謝するとともに、原著者の意に反した表現があれば、著者の責任である。また、名古屋大学における一連の研究を推進した学生諸君に深甚なる謝意を表します。

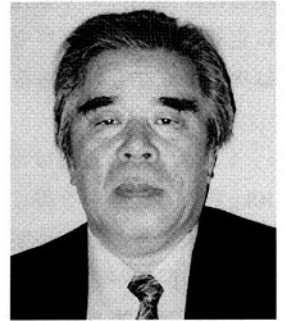
### 参考文献

- 1) 篠田剛、竹上弘彰：摩擦圧接の新しい展開、溶接技術、48(2000) No.2, p.123-128.
- 2) American Welding Society: Recommended Practice for Friction Welding, American Welding Society, New York, (1989).
- 3) W.M. Thomas: An introduction to friction surfacing, Surface Engineering Conf. '85., Vol.3, Paper 49, (1985), p.261.
- 4) G.M. Bedford et al: On the absence of dilution in friction surfacing and lateral friction welding, Surface Engineering Conf. '85., Vol.3, Paper 50, (1985), p.279.
- 5) 深草 邦夫, "真の回転接触面の特性について", 溶接学会論文集, Vol.14 (1996), No.1, p.33.
- 6) 深草 邦夫, "摩擦肉盛溶接部の温度分布について", 溶接学会全国大会概要集, 第43集, 1988.9, p.108.
- 7) 加藤 数良: 5052アルミニウム合金の摩擦圧接における回転面の移動現象、第76回軽金属学会講演概要集, 1989.5, p.105.
- 8) 篠田剛ら: 摩擦肉盛法による表面硬化層の形成に関する研究、溶接学会論文集, Vol.13 (1995), No.3, p.432.
- 9) Shinoda et al: Development of heavy thickness coating process by friction, Pro. of the 6th int. symp. JWS, (1996), Nagoya. p.719.
- 10) E.D. Nicholas et al: Metal deposition by friction welding, Welding Journal, Vol.65(8), (1986) p.17.
- 11) K.Fukakusa: Travelling phenomena of rotational plane during friction welding, Research report of fukui national college of technology (1986), p.99.
- 12) G. M. Bedford: Friction surfacing for wear applications, Metal and Materials, Vol.6(11), (1990), p.702.
- 13) P.L. Threadgill and W.M. Thomas: Manufacture of metal matrix composites clad layers during friction surfacing: preliminary studies, A seminar for members of TWI joining and micro joining technology for advanced materials, Tokyo, Oct.(1992), p.1.
- 14) 篠田剛、李錦旗: 摩擦肉盛法による表面改質研究の現状、溶接学会誌, Vol.66(1997), No.6, p.441.
- 15) W.M. Thomas and E.D. Nicholas: European Patent Application - 'Surfacing Method', date of filing April 11, 1988, ref. 0337 691.
- 16) M.B.D.Ellis, M.F.Gittos and P.L.Threadgill: Joining of aluminium based metal matrix composites - initial studies, The TWI Journal, 6(1997), No.4 p.545.
- 17) T.Shinoda and Y.Mizuno: Development of a Hard Surfacing Process for the Inner Bores of Aluminum Engines, SAE Technical Papers (2000-01-0063), SAE International, March 2000, Detroit
- 18) 篠田剛、李錦旗、吉沢亮: 摩擦現象を応用したAC2Bアルミニウム合金鋳物の表面改質、軽金属学会誌, Vol.49(1999), No.12, p.607.

## 製造技術の革新を支える 塑性加工の新しい課題

New Technologies of Plasticity for Evolution of Manufacturing

東京大学名誉教授  
木内研究室 代表  
木内 学  
Manabu Kiuchi



### 1 緒言

「技術創造立国」が叫ばれ、「キャッチアップ型」から「先導型」への研究開発の転換が求められている。しかしながら、「創造的且つ先導的な研究開発」の構想から具体化そして成果の獲得に至る道は容易ではない。そもそも、独創性が高く、未踏の分野を開拓していく先導的研究開発とは如何なる考え方や方法により実現できるのであろうか。多くの人々が、独創性や先導性の重要性を説いているが、そのための具体的方策や方向について語っている例は少ない。実際、この問いかけに具体的に答え得る人は限られている。云えることは、技術の全体的動向を視野に入れ、目標を広く且つ柔軟に設定し、採り得る方法や手順と予想される結果についてあらゆる可能性を探り、それらを追求し続けることが必要不可欠であって、そのような努力の累積が突破口を探り出すきっかけを与えてくれるという事実であろう。

さて、塑性加工分野において、創造性や先導性を強く求めながらも、様々な局面で見られるある種の閉塞状況は、他の技術分野で見られる状況と基本的に同様であり、この閉塞状況を打破し、将来へ向けての展望を開くためには、既存技術の限界を乗り越え得る新しいコンセプトや方法が必要である。既存技術の役割とその重要性は当面大きく変わることはないと考えられるものの、それらの改良・改善により新たに得られる成果にはおのずと限界がある。またその様な改良・改善を目指す取組みのみによって、激しく変化し続ける産業社会が求める多様な素材や製品を提供していくことは困難であろう。今こそ、塑性加工の新しいフロンティアを拓く技術やプロセスを構想し具現化できる力が求められているのである。

本稿では、塑性加工の分野において、今後検討されるべき新技術や新プロセスについて幾つかの例を紹介する。紙面の制約もあって、採りあげる事例は限られているが、いずれも今後の塑性加工の発展に対し、大きな影響を与えられようと思われるものである。但し、以下に述べる加工方法・加工機械あるいは製造プロセスは、筆者の着想をそのまま

示したものであり、必ずしも開発が具体化しているものばかりではない。

### 2 産業基盤たる材料技術の進歩を支える塑性加工技術

鉄鋼をはじめとする鉄・非鉄・その他の材料は、およそあらゆる産業の骨格を支える役割を果たしており、材料技術の進歩無くして産業技術の発展無しと云うことができる。

塑性加工技術は、産業用材料を作り出す一次素材産業と、それらを加工して所要の部品・部材を作り出す二次加工産業の双方に深くかかわっており、それらの中核技術として、現在にいたる産業技術の発展に大きく貢献してきた。例えば、我国の自動車産業の発展が、鉄鋼メーカーをはじめとする素材メーカーの高度な圧延技術その他の塑性加工技術に裏打ちされた緊密な協力の下に成し遂げられた成果であること、また、このようにして得られた高品質素材に支えられた冷間鍛造技術の発達も、その競争力の強化に大いに貢献してきたことなど、広く知られているところである。

高品質素材の安定した供給は、一国の高度産業システムの維持・発展には不可欠であり、高度な材料技術の発達が高度な産業技術を誘導する。故に、高度化を続ける産業技術が要求する新しい特性や品質を有する素材を開発し提供していくことも、今後の塑性加工技術に課せられた大きな任務である。かかる視点から、材料技術の更なる発展を目指す先導的な塑性加工技術の幾つかを次に示す。

### 3 超微細粒鋼その他の新材料開発と大変形付加技術

21世紀の産業技術を先導する材料として、超高強度構造材料（STX21）やスーパーメタル（超微細粒金属材料）の開発プロジェクトが推進されている。在来品の2倍の強度と優れた靱性並びに変形能を発現し得る構造材料の獲得を目指し、その製造技術を樹立しようとするものである。この目標を達成する手法として、以下の取組みが強力に推進されている。

(1) 材料設計技術および強度特性シミュレーション技術

を駆使して、広範な材料組成の中から最も有望な組合せを選び出し、目指す強度を有する合金、あるいは炭化物をはじめとする析出物や金属間化合物による分散強化特性をもつ金属を実現する。

- (2) 材料組成と製造過程における変形付加プロセスおよび加熱・冷却プロセスを、金属学的に最も望ましく選択し制御することにより、内部に超微細結晶構造を発現せしめ、目標とする強度や特性を獲得する。

以上の手法を実現していく上で、その核となる幾つかの技術が必要となる。高速大変形付加技術は、急加熱-急冷却技術と並んで、超微細粒組織の作り込みをはじめとする金属材料の内部構造制御のために必須の技術である。云うまでもなく、一工程での大変形付加は、塑性加工が常に目指す重要な技術的課題であるが、現状ではアルミニウムの熱間押しや一部の鍛造などにそれが見られる程度であり、他の塑性加工において大変形付加を実現することは容易ではない。

このような状況の下で、生産性や生産量の面から期待される高速大変形付加技術の一つが、図-1に示す遊星クラスタ圧延機 (New Planetary Cluster Mill) による高圧下圧延である。その特徴は、各ワークロールによって表層に加えらる変形量が極めて大きく、他の如何なる圧延法によるよりも大きなひずみを一挙に付加することができることにある。この圧延方式および圧延機の構造上の問題および機能発現上の障害については、未だ必ずしも検討し尽くされていないが、現在の我国の機械技術を以てすれば、実現の可能性は十分ある。また、この圧延法および圧延機は、上記の超微細粒材料の開発に大きな効果を発揮するばかりでなく、他の素材開発および製造の多くの面での活用も可能であり、その意味で、本技術の波及効果は非常に大きい

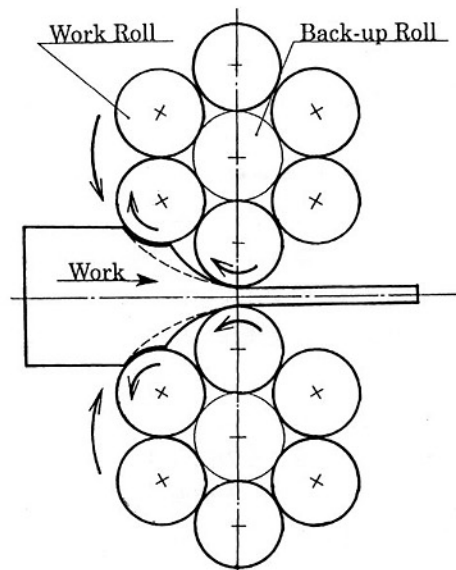


図-1 遊星クラスタ圧延機(HSPC Mill)の基本概念図

と云える。

#### 4 素材製造のエミッションフリー化：連続鋳造厚スラブの直接大圧下圧延技術

連続鋳造により得られる厚スラブを、凝固終了前あるいは直後に大圧下して、粗圧延機又はホットストリップミルに直接送り込み、圧延効率を著しく高めるのと同時に、中心欠陥の無い板材の製造を実現し、併せて使用エネルギーを極限的に削減することは、圧延技術の大きな目標である。これが実現できれば、前節で述べた高機能構造材料への道を拓くばかりでなく、高い生産性を獲得し、同時に環境への負荷を大幅に削減し、我国の鉄鋼産業あるいは素材産業の更なる競争力の強化に貢献できる。

この連続鋳造厚スラブの大圧下圧延がこれまで実現しなかった理由としては、(1)圧下に伴う凝固シェル割れ、溶湯の偏在、その結果としての組織の乱れ、その他の被圧延材内部の不均一構造あるいはマクロ偏析の発生を防止できない、(2)効率よく大圧下を加える方法がない、(3)大圧下により搾り出された濃化溶湯が溜まり、行き場がなくなる、などが挙げられている。

上述の(1)の問題については、従来、極く軽度の圧下を加える場合のみが議論され、圧下の害のみが強調されてきたきらいがある。実際、凝固シェル内面の粗大化した組織を完全に破碎する水準の大圧を加える場合の内部組織の挙動については、殆ど知られていないのが実状である。

これらの限界を打破し、大圧を加えて凝固シェル内面を完全に破碎し、且つ、未凝固ザク層を一気に凝固圧延する方法として期待されるのが、上述の新形式遊星クラスタ圧延機による大圧下圧延である (図-2参照)。この圧延方式を導入することにより、上述の問題を逆に将来への可能性へと転換し、(1)大圧下による内部組織の改質、(2)同じく大圧下による内部未凝固層の凝固促進、(3)粗圧延あるいは熱間連続圧延との直結化による生産効率の飛躍的向上、などが期待できる。

併せて、上述の如き素材の製造過程におけるエネルギーおよび環境負荷の大幅な削減は、エミッションフリーなプロセスによるクリーンな素材の製造を意味するが、クリー

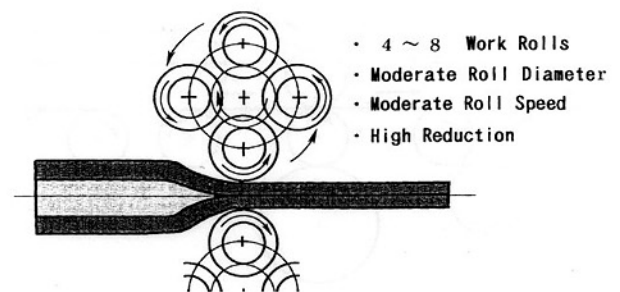


図-2 遊星クラスタミルによる未凝固原スラブの大圧下圧延概念図

んな素材の広範な供給は、これからの地球環境問題に大きく貢献することになり、これにより我国の素材産業の競争力を更に高めることができる。

### 5 積層型高機能材料の開発を目指す高張力付加圧延技術

現行の冷間圧延においては、被圧延材の降伏応力の30～40%の張力を付加して圧延を行うのが普通である。張力を付加する理由はいろいろあるが、圧延加重の低減、ロール摩耗の低減、プロセスの安定化、被圧延材の形状制御の容易化、などが主たるものである。

被圧延材に、降伏応力の70～80%以上の張力を加えて圧延する高張力付加圧延技術は、被圧延材のくびれや破断その他の不安定変形、あるいはプロセスの動的挙動の安定化制御の困難さの故に、長い間、不可能と考えられてきた。しかしながら、近年の計測技術、シミュレーション技術および制御技術の急速な進歩により、あながち不可能とばかり云えなくなってきた。高張力圧延機および圧延プロセスの概念図を図-3に示す。

高張力付加圧延技術が望まれる理由は、この技術により、大圧下圧延が可能になるばかりでなく、従前の圧延によっては実現できない薄板の圧着圧延や、結晶方位の効率的制御が実現できる可能性があることにある。

例えば、大圧下に伴う新生面の増大により薄板の圧着圧延が容易となり、積層型の新機能材料の製造が可能となる。また、高張力下の大圧下により、圧延による被圧延材の内部組織の変化、特に集合組織の発生の度合いや形態が、従来とは大きく変わることが予想される。即ち、被圧延材の変形が、ロールによる板厚方向への圧下型の変形から、高張力による長手方向の伸びの誘発が主体となる変形へと変わり、内部の結晶の挙動が変化し、形成される方位や集合組織が変わって、従来とは質的に異なる材料特性が得られると考えられる。そして、それらを適切に制御することにより、成形性に優れた板材、あるいは強度や変形限界に優れた板材を開発できる可能性がある。

かかる視点から判断して、高張力圧延技術は、現行の限

界突破を目指す近未来の圧延技術の最重要な課題の一つである。

### 6 塑性加工にかかわる技術融合に期待される効果

現下、塑性加工技術を取巻く経済的・社会的環境は激変しつつある。製品に対する要求の多様化と高度化は絶え間無く進んでおり、品質や機能の面ばかりでなく、変種変量生産、オンデマンドマニュファクチャリング、リサイクリング、省エネルギー等々に対する要求も日増しに高まっている。さらにまた、我が国を支える産業技術の確保を目指す視点からみれば、製造業の将来展望が不透明になるがゆえに、その基盤たる金属加工技術の競争力の再構築が求められている。

塑性加工の技術的飽和が指摘されている現在、閉塞の状況を打破するためには、これまで蓄積してきた知識・能力を最大限に活用して、可能性を探索する以外に道はない。その探索に際して、最も有用な手段は、“技術融合の推進”である。

現状を注意深く見れば、各個技術が発展限界に近づきつつある一方、複数技術の融合による技術革新の可能性はむしろ増大していることが分かる。何故なら、技術融合を支援するエレクトロニクス技術をはじめとする制御技術、計測技術、材料技術、計算技術、等が急速に進歩しており、十年前はおろか数年前とも大きく異なる技術環境が生まれているからである。

以下、技術融合の可能性とその期待される効果について理解するために、一例として、“鑄造加工”と“鍛造加工”との融合について考えてみよう。

“鑄造加工”と“鍛造加工”は、それぞれ従前技術の改良・改善を通して生産性の向上や製品品質の高度化を図り、新製品の開発を進めようとする取組みを、今なお進めてはいる。しかしながら、その多くは発展の限界に直面し、成果の獲得に苦しんでいる。

例えば、“鑄造加工”は、(1)取り扱い得る被加工材質に関する限界、(2)製品の形状・寸法精度に関する限界、(3)製品の表面品質に関する限界、(4)製品強度に関する限界、(5)生産性に関する限界、(6)生産環境や生産立地に関する限界、などに直面している。同様に、“鍛造加工”も、(1)製品の形状や大きさに関する限界、(2)金型の強度・寿命に関する限界、(3)加工機能力に関する限界、(4)加工可能な被加工材質に関する限界、(5)作業環境に関する限界、などに苦しめられている。

しかしながらそれぞれが直面している問題は、一見すると、同じように見えても、その内容は質的にも量的にも異なる。例えば、“鑄造加工”が直面している形状・寸法精度に関する限界と“鍛造加工”が直面している形状・寸法にかかわる問題とは大きく異なる。この事実は、一方が限界と感じている問題も、他方から見れば限界ではなく、容

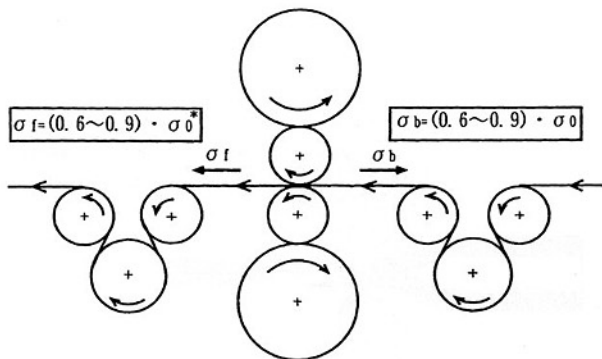


図-3 高張力付加圧延の概念図



易にクリアできる課題に過ぎない場合があることを意味している。技術融合の狙いは、この技術的特質の相違を利用することにある。

鑄造加工と鍛造加工との融合を通して、各々の技術の加工機能や加工限界を大きく前進させることができる。“塑性加工”側から見れば、(1)工程の削減、(2)金型数の削減、(3)金型寿命の向上、(4)製品形状および品質の多様化、(5)コスト競争力の向上、等について、大幅な改革を実現できる。

## 7 大幅なコストダウンを可能にする融合技術：スプレー鍛造・スプレー押出し

スプレーフォーミング法により製造されたプリフォーム、ピレット等を直ちに金型、押出しコンテナ、その他の加工工具内へ移し、金型鍛造や押出しを施し、機械部品、板材、管材、棒材へと加工するプロセスは、非常に効率的且つ即応的なプロセスである。

金型スプレー鍛造の場合、プリフォーム製造用金型の中へ所要量の溶湯を直接スプレーし、半凝固または凝固後のプリフォームを成形金型へ移し鍛造加工を行う（図-4参照）。その際、スプレー条件を制御することにより、得られるプリフォームやピレットの形状・寸法並びに内部組織などを広範囲に変えることができる。同時に、プリフォームやピレットの製造工程が著しく短縮され、大幅なコストダウンが実現できる。

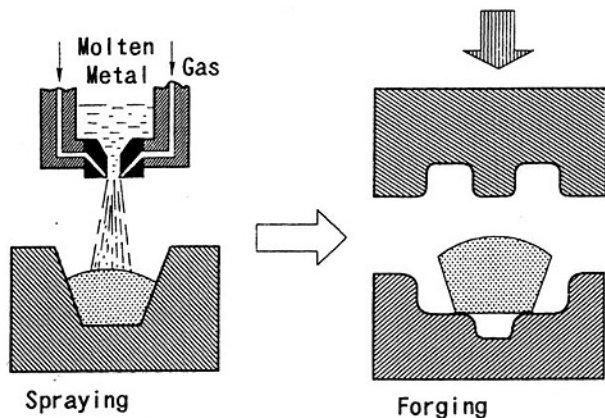


図-4 スプレー鍛造プロセス説明図

一般的には、従来プロセスで得られるピレットやプリフォームに比して、格段に細かい結晶粒や、一様に分散する炭化物等の微細な析出物を有するピレットあるいはプリフォームを安価に製造することが可能となり、その結果として、優れた特性と競争力をもつ製品を作り出すことができる。

このように、スプレーフォーミングと半凝固加工あるいは熱間加工との融合により、微細な内部組織と望ましい外形形状を有する凝固直後の素材からの直接的な成形加工が可

能になり、製品品質を高めることばかりでなく、加工工程を大幅に短縮し、生産効率の高い素形材や部品の製造が可能となる。その意味で、これらの技術は素形材製造分野での強い競争力の獲得へ向けて、有力な手段となる。

## 8 即応の多種少量生産のためのディップ鍛造、ディップ押出し

ディップフォーミングは連続鑄造法の一つであり、線材用素線の製造に利用されてきたが、このプロセスはきわめて応用範囲が広く、特に、半凝固あるいは熱間の押出し、引抜き、鍛造、圧延などとの融合を図ることにより、機能性が高くかつ生産性に優れた加工技術となる（図-5参照）。

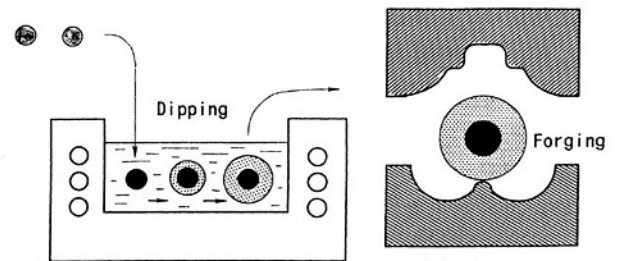


図-5 ディップ鍛造プロセス説明図

ディップ鍛造、ディップ押出し、ディップ圧延は、核あるいは芯となる素材を溶湯中に浸漬しそれらの表面に凝固層を発達させた後、あるいは必要に応じてこのような浸漬を繰り返して凝固層の更なる発達をうながした後に、取出し、金型鍛造や押出し、平圧延、孔形圧延を施し、素材化あるいは製品化しようとするものである。さらに、目的に応じて半凝固状態下でも、鍛造、圧延などを行い、凝固と変形の適切な組合せにより、製品の内部組織の制御も行うことを目指している。

通常、ディッピングのみでは、いわゆる凝固組織の発達が顕著であり、強度特性等について満足できない場合が多々あるが、その直後に加える上記加工により、動的あるいは静的再結晶が促進され、内部組織の面で改善されるばかりでなく、寸法精度、表面品質についても大きく改善される結果となる。

又、このプロセスは、内部に複層構造を有する鍛造品や圧延品を作る方法として優れており、核又は芯の部分は、軟らかく韌性に優れた材質より成り、外皮表層部は硬く耐摩耗性に優れた材質あるいは構造を有する製品などを作り出すことも出来る。

更に、このプロセスは、必要な製品を必要な量だけ、即応的に作る手法としても優れており、いわゆるオンデマンド生産など、柔軟な生産体制の構築にも有効である。

## 9 製品機能の高度化に適応する半熔融粉末成形

金属粉末を素材とする成形加工および焼結加工は、既に、各種機械部品の製造に広く利用されており、金属加工の重要な一翼を担っている。しかしながら、粉末材質や表面の酸化膜の影響により、成形および焼結の各過程において様々な問題が発生している。その多くは、成形加工時の圧密の不均一性、および焼結時の粉粒間の接合不足、さらに、それらに起因する製品内部の空隙の発生にかかわるものである。

金属粉粒体を半熔融状態に過熱すると、酸化被膜が溶融せずに残存したまま、粉粒体の内部が部分的に溶融し、熟したほおずきのように、薄い被膜の内部に固相・液相が共存する状態となる。これに鍛造、押出し、圧延等の加工を加えると、酸化被膜は細かく碎け、分散し、その後は通常の半熔融加工に広く見られるように、流動性のよい被加工材が小さな加工力の下で大きく変形して、所要の製品形状が容易に得られる。併せて被加工材内部の各固相粒間の結合が液相成分を介して促進され、同時に空隙は完全に埋め尽くされて、内部的に十分に密でありかつ結合力の強い組織が得られる。

粉粒体の半熔融押出し、鍛造、圧延は、(1)粉粒体素材の酸化被膜除去を含む表面処理が不要であること、(2)比較的粗い粒度を有する素材を用いても、半熔融加熱と金型・工具による急冷加工を組み合わせることにより、製品内部組織の微細粒化を比較的容易に達成できること、(3)粉粒体素材自体が安価に入手できる環境が整ってきたこと、あるいはまた、(4)溶製材では得られない材質組成が可能であり、機能的な製品を得やすいこと、などの理由により、今後、広く利用されるものと考えられる。

## 10 結言

本稿では、産業技術の高度化や経済的・社会的環境の変化に伴って、各種の新しい加工プロセス・加工技術の開発が必要となり、それが契機となって、塑性加工の新しい技術分野が広がっていくことを示した。この過程で異種技術の融合を通して生まれてくる新しい技術・プロセスは、異なる特質を有機的に結びつけ、相互に補い合うことにより、従前的な枠組みでは困難とされた課題を解決し、従来難しいとされた目標を達成できることを示した。

塑性加工技術全般について飽和感や閉塞感が強まる中、新しい技術のフロンティアを切り開くことが急がれている。問題解決のためには、いたずらに従来技術に拘泥することなく、思い切った新しいコンセプトや構想を掲げ、将来へ向けて挑戦する決意と行動が必要である。そのような意識で見ると、塑性加工技術には、飽和どころか、未知の大きな可能性が包含されていると云うことができる。

## 参考文献

- 1) 木内 学：金属素形材の製造技術の可能性；生産研究，49-9（1997.9）377～383
- 2) 木内 学：鋳造加工と塑性加工，技術融合への道；鋳造工学，68-1（1996.1）91～14

岡山大学大学院自然科学研究科  
教授

稲葉 英男

Hideo Inaba



## 我が国における熱エネルギー技術開発の 動向

A Trend of Thermal Energy Technology Development in Japan

### 1 最近のエネルギー・環境問題の動向

我が国のエネルギー源の大部分は、輸入を主体とした石油・天然ガス等の化石燃料そして原子力に依存している。特に、石油に関しては1999年当初1バレル9ドルであった原油価格が中東産油国の減産政策で30ドル程度まで、約3倍もの上昇となり、我が国の石油依存体質の脱却に向けての新たな展開の必要に迫られている。この反動で米国では、昨年、ガソリンの値上げが80%にも達しており、我が国においても石油製品の値上げが続いている。さらに、東海村のウラン加工施設において発生した臨界事故は、将来原子力エネルギー依存度を増大しようとする我が国のエネルギー政策に大きな打撃を及ぼすものとなっている。これら二つの象徴的な出来事や1997年の地球温暖化防止京都会議(COP3)における炭酸ガスなどの地球温暖化ガスの削減量の国際的取り決め(我が国は1990年の温暖化ガス排出量に対して6%の排出削減)等で、新たなエネルギー源の探索や効果的な環境負荷低減法の展開に向けての、革新的な技術開発やその方法論の構築が急務となっている。このようなエネルギーや環境対策に向けて様々な規制緩和策や責任義務の強化策そして市民意識の向上などから、閉塞感のあったエネルギー関連分野の技術開発やサービスなどで、ダイナミックな動きが見られ始めた。例えば、コンピュータシステム技術の飛躍的進歩によるコンピュータのダウンサイジング化(小型高速化)や有線型固定式電話からデジタル型の携帯電話への移行など、小回りの利かないタイプのものから、需要側がその利用に対して大きな自由度を持てる、高性能小型化且つ移動型へあらゆるものが変革しつつある。

エネルギー分野では、石油、ガスや電力の規制緩和策から、外国供給者の参入など自由化競争時代に入り、それらの価格・料金の値下げと需要者側のエネルギーに対する選択枝の拡大が可能と成りそうである。現在、環境対策車として燃料電池車への取り組みが、固体高分子型燃料電池の出現により一気に加速し、車メーカーはその開発に鏑を削っている現状にある。当初、ガス供給会社が主体となり

200kW程度のリン酸型燃料電池の普及促進に力を入れているが、その導入速度は停滞気味である。ここにきて、米国などから小型分散電源として、数十キロワットから数百キロワットのマイクロ、ミニガスタービンコジェネシステム(熱電併給発電)の業務用などへ向けての売り込みが活発化し、国内メーカーもこの分野への参入せざるを得ない状況になっている。さらに、固体高分子燃料電池を用いた数キロワットの一般家庭向けのコジェネシステム開発に向けての取り組みも家電メーカーやガス会社等より行われ始めた。特に、従来の電力供給やガス供給という縦割りのエネルギー供給から、ガス供給産業が電力を販売するなどの総合エネルギー供給産業の出現が外資系資本の参入などで我が国でも起こりつつある。また、最近に至り、縦横25ミリ、厚さ2.5ミリのノート型パソコン等用ミニチュア燃料電池(燃料:メタノール、従来型充電式電池の十倍の能力)の開発もなされ、小型充電式電池に替わるものとして注目されている。このようなエネルギー関連産業の動向から、電力供給会社も分散型コジェネシステム分野へ進出する動きもあり、我が国の電力を中心としたエネルギー供給体制や形態が大幅に変化する時代へと移りつつある。また、21世紀におけるエネルギービジョンに関する環境・エネルギー関連のキーパーソン等に対する調査によると、現在の電力供給を含む大規模集中型から分散型エネルギーシステムへの変革を推進すべきであるとの回答が90%以上にも上るとの報告もある。さらに、改正省エネルギー法によるエネルギー使用の合理化の強化、長期エネルギー需給見通しにおける各種の分野での省エネルギーや新エネルギーの活用など政策的にもエネルギー資源の多様化やその利用の効率化が叫ばれている状況にある。すなわち、2000年からは、エネルギー、環境問題と経済の持続的発展(3E、トリレンマ)さらに、環境・エネルギー教育(4E)を含めた大きな4つの課題の克服に向けて大きく動き出す時期にある。

一方、物質の大量生産・消費・廃棄の時代から、4R(Reuse, Repair, Remanufacture (Reduce), Recycle)の時代へと環境を全面に出した資源保全型の社会システムの構築に

関する様々な試みが起こっている。例えば、一部のメジャー石油会社は、大量の地球温暖化ガス排出の元凶となる石油製品販売が将来の訴訟対象となることを見越して、太陽や風力エネルギー等の再生可能エネルギー供給への転換を計画している。さらに、自動車製造メーカーでは、エネルギー利用効率の悪い自動車の製造から、電気自動車などの脱化石燃料を用いた交通システムへの転換を模索し、燃料電池自動車の開発技術を家庭向け分散コジェネシステムへ利用することを考えている。環境ISOと言われるISO14000シリーズ取得数は我が国で2641件（1999年10月迄）となり、その数は世界第1位となる。さらに、割高でも環境配慮を優先した商品の購入を希望するグリーンコンシューマ化が進んでいる。環境関連の社会的動きとしては、環境税、税のグリーン化、炭素税等が政策として検討が進められており、さらに環境負荷の少ない製品やサービスを優先するグリーン購入、環境関連を志向する会社の株を売るエコファンド、再生可能なエネルギーを利用したグリーン電力購入、企業における環境コスト会計の公表などが企業を中心として進行している。

## 2 我が国のエネルギー需給における熱エネルギーの果たす役割

エネルギー供給の大部分を海外に依存する我が国は、エネルギー資源の有限性と産地の偏在や政治的要因により絶えずその供給の不安定な状態に置かれ、エネルギー購入価格も他の先進国に比べて割高な構造となっている。さらに、我が国の全般的なエネルギー多消費構造がエネルギー需要の増加を導き、結果的には様々な環境問題やエネルギー需給の不均衡を引き起こしている現状にある。この需給の不均衡を解消するには、単純に考えても、新エネルギーなどの供給の増大や安定化、そしてエネルギーの有効利用と使用量の絶対的縮小による需要の抑制を図ることである。21世紀の後半のエネルギーシステムは、太陽エネルギーと原子力エネルギーを基幹エネルギー源に配置し、その他の自然エネルギーや小規模化石燃料などを補助エネルギー源として、また中間媒体には電力や燃料電池によるコジェネシステムに必要となる水素などの気体を利用するシステムとなることが予想される。21世紀前半のエネルギーシステムとしては、環境保全とエネルギーの安定供給を考慮したエネルギー源の多様化（ベストミックス）及びエネルギーの有効利用や省エネルギーなどを中心としたものと成らざるを得ない。すなわち、エネルギー供給源の多様化の観点からは、天然ガス（メタンハイドレードを含む）、再生可能な自然エネルギー、リサイクル型エネルギー、排熱を含む未利用エネルギーなど、所謂新エネルギー依存率を大幅に増大する必要がある。しかしながら、現在のエネルギーシステムは、文明の発達と共に自然発生的にできあがったもので、最適性を満足するように構築されたものではない。

すなわち、そのシステムの要素は他とは独立に設計されており、エクセルギー効率の観点からは、極めて無駄の多いシステム構造となっている。

鉄鋼業などある特殊な産業内ではシステム化が行われているが、産業間や産業民生間のエネルギー連携はほとんど進んでいない。各プロセスで熱の温度は広い範囲に涉っていることを考えると、これらの熱利用を連携する熱のカスケード利用（Heat Cascading）の拡大が今後の大きな課題である。例えば、現在のエネルギーシステムを理想的に改編し、一プロセスの排熱を他プロセスへの入熱とするようにうまく組み合わせた場合、現行のヒートポンプその他の技術を利用することにより、我が国でもエネルギー需要のほぼ1/3に低減できるとの試算例もある。このように排熱を動かすには、その間に熱を売買する産業が必要で、地域エネルギーセンターや地域エネルギーネットワークの構築が必要である。すなわち、積算エネルギー消費増加傾向の抑制を目指して、エネルギーの総合利用効率の向上を図るには、地域冷暖房、工業団地規模のエネルギー連携、産業間のエネルギー連携すなわち地域エネルギーネットワークの段階的普及を着実に押し進める必要がある。

狭い範囲でのエネルギーネットワークとしては地域熱供給事業がある。平成11年10月まで我が国において、熱供給21GJ以上の熱供給事業が1347件あるが、この5年間は、その事業数が年平均数件程度と不況の影響もあるが減少傾向にある。このように熱供給事業もその普及には規模を小さくした分散型でも採算のとれるようなエネルギーシステムへの方向性を模索している状況にある。

今後は、エネルギー源の多様化すなわち複合エネルギー時代になるものと思われ、エネルギーの発生から最終利用に至るエネルギーの流れの中に新たな要素技術やシステム化技術を組み込むことにより、新たなエネルギーシステムの提案が可能となる。魅力的なエネルギーシステムの獲得は世界的な趨勢にある。

## 3 熱エネルギー源の開発とその利用促進（熱のカスケード利用）

### 3.1 熱源としての排熱の現状

将来の化石燃料や原子力などのフロー型資源の枯渇を考えると極力再生可能な新エネルギーへの依存度を将来にわたって増大すべきである。また、太陽光発電などの再生可能エネルギー利用機器のコストが高い現状にあり、化石燃料を効率的に使う技術開発も重要となる。各種のエネルギーは、変換しながら利用され最終的に排熱の形で大気や海水のヒートシンクへ散逸する。我が国の1次エネルギー供給は、1975年から約20年間に30%の増加となり、エネルギー利用機器の効率の向上にも関わらず、その損失は63%から66%へと3%も増加している。すなわち、この20年間に1次エネルギーの電化率は27.5%から40%へと増加



し、発電に伴う温排水損失が1次エネルギー利用に伴う全体損失を支配するようになった。

ここで、我が国の利用可能な排熱を100とした場合に、太陽光発電可能量は38、風力発電量5、廃棄物発電量5、バイオマス（木材など）17となり、リサイクル型エネルギーである排熱がエネルギー資源として有望であることがわかる。また、ヒートシンクとしての低温自然エネルギーである大気、下水、河川水なども膨大なヒートポンプ熱源として、エクセルギー回収に寄与しており、今後も革新的省エネルギー型ヒートポンプの開発が望まれる。

### 3.2 排熱の種類

(a)産業排熱：電力業、鉄鋼業、化学産業などから排ガス（250 Tkal/年）、温排水（40 Tcal/年）、高温固体（10 Tcal/年）排蒸気、温風、高温固体等の形で様々な温度水準の排熱が放出され、その産業内で有効利用が図られている。排熱の他部門での利用は、熱エネルギーの輸送の困難さからあまりなされていない。

(b)業務ビル排熱：主に冷暖房機器や給湯機器、情報機器などからの排熱で、一部蓄熱されて利用されているがその利用率は低い現状にある。

(c)一般住宅排熱：給湯機器や冷暖房機器などからの排熱で、その排熱量が少ないことから利用が遅れている。

### 3.3 排熱のカスケード利用（環境親和型熱利用技術；グリーンサーモテクノロジー）

(a)100℃以上の高温水や低圧蒸気（100℃～150℃；2～5 kgf/cm<sup>2</sup>）、中圧蒸気（150℃～170℃；5～9 kgf/cm<sup>2</sup>）、高圧蒸気（180℃以上；10 kgf/cm<sup>2</sup>以上）：一般に高品質廃熱として、電力や動力、給湯、暖房、乾燥、冷房、冷凍などへの利用そして産業プロセス熱源として活用されている。しかしながら、排熱源の発生源は、発電所、工場そして焼却施設など限定されており、また一般に需要地域と離れていることから、その利用が問題となる場合が多い。

(b)30℃以下の大気そして温水、低温水や低温ガス排熱：電動やエンジン駆動ヒートポンプの熱源としての利用が可能であり、大気、下水、河川水や海水など大容量の熱源水として活用されている。さらに、熱サイクルのヒートシンクとしての利用もなされている。

(c)50℃～100℃程度の中温水や排ガスなどの排熱：現在、直接熱交換器を介して給湯、暖房や乾燥にその一部が利用されているに過ぎず、その大部分は排熱の形で捨てられている現状にある。この領域の排熱は、工場の製造過程でのプロセス排熱、ごみ焼却施設の排ガス蒸気ボイラー後の低温排ガス、ゴミ・汚泥焼却施設でのダイオキシン対策などでの排ガスクレパー冷却水、コージェネシステムガスエンジン冷却水や排ガスボイラー後の低温排ガス、今後発展が期待される固体高分子型燃料電池の排熱など多岐にわたる。

40℃から100℃の産業排熱量は、395Tkal/年であり、そ

のうち40℃～80℃の排熱が80%を占める。この中温度領域である40～80℃の排熱の利用は、従来より適当な熱源機器や低温排熱の貯蔵や輸送技術が確立されていないことと小温度差で効率良く機能する熱交換器の開発が遅れていたことによる。

こうした排熱利用の進まない理由としては、エネルギーが豊富で安価であったため、省エネルギー或いは地球環境問題に対する関心が比較的lowであったことが挙げられる。これまであまり取り上げられなかった中小事業所や一般家庭等を対象とした比較的小規模な高度排熱利用技術の展開が必要である。すなわち、熱ばかりでなく、電力、ガス等も含めたトータルなエネルギー供給システムを対象とすべきである。トータルシステムには、熱輸送・貯蔵だけでなく、ガスタービン・コージェネシステム、燃料電池等の熱供給型分散電源を組み込んだものとすべきである。

## 4 蓄熱技術の展開

### 4.1 蓄熱技術

蓄熱の意味は熱の供給側と利用側にある時間的、空間的、質的（温度、熱量）なミスマッチを埋める技術である。また、熱のリサイクルとして蓄熱技術が位置づけられる。蓄熱技術は、アクティブな省エネルギー技術で環境負荷低減に寄与する。蓄熱は、目的でなく（蓄熱＝電力負荷平準は問題である）、適切な用途や使い方といった面からの効用をもたらす技術との認識が必要である。すなわち、蓄熱は熱の生産から運用までをインテグレートした要素技術である。

○蓄熱の用語の分類：氷蓄熱などの冷熱貯蔵は、常温以上の熱エネルギーの貯蔵である蓄熱とは区別して「蓄冷」と呼ぶべきである。

○蓄熱の普及程度：ビル・事業所での氷蓄熱の普及は、1996年度500件程度、1997年度900件程度、1998年度1600件程度とその採用は著しく増加している。我が国の業務用ビルは、床面積約20億m<sup>2</sup>の5～6%への蓄熱が普及しており、今後さらなる蓄熱システムの展開が期待されている。民生部門で全て蓄熱を採用すると年間160万トンの炭酸ガス削減効果がある（2010年全炭酸ガス削減目標である5600万トンの3%に相当する）。深夜電力利用蓄熱で、2～3%の電力年間負荷率の向上が電力会社で検討されている。

○蓄熱槽の多目的化：

・大規模水蓄熱：消防用利水、災害時の生活用水などの利用

・小規模中温蓄熱：住宅の暖房、給湯、乾燥熱源として利用

○電力負荷平準化への蓄熱システムの利用メリット：改正省エネルギー法で夜間電力使用へのシフトは企業の省エネルギー活動と評価される。夜間電力利用は、昼間電力の



炭酸ガス排出の19%減となる。夜間電力の1次エネルギー換算値は、9620 kJ/kWhとし、昼間電力に比較して6%投入エネルギーの少ない電気として扱う。

○高密度蓄熱槽による余剰床面積の活用：高密度蓄熱槽設置による余剰床面積の評価が必要である。

#### 4.2 蓄熱技術開発の動向

現在、蓄熱システムに要求されるものは、高密度・小型化、長周期化、温度領域の拡大などである。

○大規模蓄熱：公園や道路などの下の地盤（深さ50メートル程度）の大きな熱容量や地下水などの滞留水を利用して排熱、自然エネルギーや深夜電力エネルギーを大規模且つ長期間に亘り蓄熱する。

○化学蓄熱：対象温度：-100℃～200℃程度；排熱などの熱源を用いて化学物質の熱分解反応を行わせ、熱が必要な時に分解反応生成物から再合成反応を行わせ、その時の反応熱を利用する。60種類位の組み合わせ有り。反応系としては、水素吸蔵合金/水素、無機水和塩/水又はアンモニア、クラスレートなどがあり、実質的反應条件として反応が100%進み、副反応が見られないことなどクリアすべき課題も多いようである。

○躯体蓄熱：熱容量の大きい鉄筋コンクリート建物の床や天井の顕熱を利用し、深夜電力駆動型熱源機器により蓄熱・蓄冷する。また、壁などに室温と外気温度の平均温度の融点を有する潜熱蓄熱材で、凝固・融解の際の熱の出入れを利用した、断熱材フリー防熱潜熱蓄熱壁が可能である。

○土壌蓄熱：床下の改質、大きな熱容量土壌による蓄熱、蓄冷技術であり、ヒートポンプの熱源ともなる。15℃前後の融点を持つ安価な潜熱蓄熱材の開発が鍵となる。

○小型高密度蓄熱槽：一般住宅などへの深夜電力利用潜熱又は顕熱高密度中温度コンパクト蓄熱槽の開発が志向されている。100℃～200℃程度の潜熱蓄熱材（高分子材料や溶融塩）の開発（給湯、暖房、乾燥熱源）や500℃～600℃の顕熱煉瓦・セラミックへの蓄熱などが考えられる。

○潜熱蓄熱機能を有する機能性熱流体による蓄熱材の管搬送：潜熱蓄熱材が熱媒体に分散混合し、管輸送が可能でダイナミック蓄熱システムである。例えば、氷水スラリー、潜熱マイクロカプセル、潜熱エマルジョン、クラスレートなどが提案されており、配管径の減少や搬送動力当たりの輸送熱量増大が見込める。

○空気による潜熱蓄熱材の高速搬送：潜熱蓄熱材で融解状態でもその形状を保持しているもので、遠洋量の小さな空気などで潜熱蓄熱材そのものを高速輸送する。例えば、形状安定処理パラフィンや表面架橋処理ポリエチレンの高速配管搬送、角水の空気搬送などがある。

○10℃前後の環境に優しい安価な潜熱蓄熱材の開発：露点の回避した冷房空調用向け潜熱蓄熱材で冷凍機の成績係数向上等のメリットがある。

○100℃前後の環境に優しい安価な潜熱蓄熱材の開発：高密度蓄熱による小型蓄熱槽の開発と給湯。暖房以外に乾燥など利用目的の拡大に寄与する。

○人工合成型の新蓄熱材の開発：利用温度帯の拡大や蓄熱量の増大などを意図して、環境負荷の小さな且つ安価な複合潜熱蓄熱材の開発を化学合成物質で製造する。

○オフラインによる熱エネルギーの輸送（カセット型蓄熱技術）：現状の我が国における配管敷設費が高価で、中・長距離の熱エネルギー型の蓄熱材の輸送は不可能である。配管に代わって、タンクローリー、はしけや鉄道により、各種の蓄熱材を輸送する技術開発が望まれる。

#### 5 まとめ

ここでは、エネルギー利用効率向上の立場から我が国のエネルギー需給の現状の分析と環境保全を意識した排熱や再生可能なエネルギーの活用に関する見解を述べさせて戴いた。この種の変動性に富む熱エネルギーの有効利用には、蓄熱システムが必要不可欠であり、相変化に伴う潜熱貯蔵、分離膜や吸着系熱交換器などに関する現状の紹介と将来展望を述べた。結論的には、低温度排熱回収利用する諸技術の展開が重要な意味を持つことと機能性熱流体利用が熱エネルギーの供給側と利用側の中間に位置することにより、排熱等の熱エネルギー利用システムを組む上で効果的であることを提案した。排熱や自然エネルギー等熱の形で存在するエネルギーの多段的、多面的利用に際しての経済性は、熱エネルギー輸送、貯蔵そして熱交換などの全体的システムでの高効率化を図る技術的展開と熱輸送配管設備などを国や自治体のインフラ設備の一貫として整備する政策が必要と思える。

# 技術論文

## 連続铸造ロール用溶接肉盛材の実機テストによる評価

Field Testing and Evaluation of Cladding Materials of Rolls Used in Continuous Casting Process



溶接溶射技術開発室

古田 博昭

Hiroaki Furuta

溶接溶射技術開発室室長

宮崎 裕之

Hiroyuki Miyazaki

### 要旨

連続铸造ロールの長寿命化を目的とした肉盛溶接材料開発は古くから多くの研究がなされてきた。しかし、連続の操業技術及びその設備は急速かつ高度な進歩をとげ連続铸造ロールの使用環境は益々苛酷になり、従来の肉盛材では十分な耐用が得られていない。

弊社では、連続铸造ロールの損傷機構を解明し、独自の開発技術を駆使してNi系特殊材料、16Cr-3Ni-Mo系ステンレス材を開発した。また、その開発材を肉盛溶接した連続铸造ロールは実機テストで高い評価を得た。

### Synopsis:

Many reports have been presented since older days on research efforts to develop cladding materials capable of lengthening the service lives of rolls used in continuous casting machines. As the operation technology in continuous casting process progresses rapidly and is becoming ever sophisticated forcing rolls into more and more rigorous service environment, those cladding materials so far developed are finding themselves short of providing rolls with a service life satisfactory to customers.

We have successfully identified the mechanism rolls are damaged in continuous casting process and developed special nickel-based and 16Cr-3Ni-Mo stainless steel cladding materials. This report presents the results of the test we conducted to evaluate the durability of the newly developed cladding materials by placing rolls clad with the materials on a continuous casting machine, which have been highly appraised by customers.

### 1 緒言

近年の連続铸造設備は、連続機稼働率向上や少人化を実現するために、多連铸化や直接圧延等の対策が徹底されている。一方、この様な連続技術のオンライン化によるロール熱負荷の増加からロール表面はヒートクラック、高温酸化、高温腐食、高温摩耗による損傷が著しく、耐用の向上が望まれている。この対策としてロール形状の改善や表面改質について多くの研究が行われ実用化されている。

弊社では、モールド直下のフートロールとバンド部からストレート部のガイドロール及びピンチロールの表面改質技術として肉盛溶接法、CPC法による研究開発を進め多くの成果を得ている。

モールド直下のフートロールは、特に肌荒れ、摩耗が激しく、短期間でロールが交換されている。フートロールの短寿命化の要因として、次の3つの過酷な腐食環境化にあることが推察される。①ロール表面が凝固過程の赤熱スラブと冷却水および水蒸気にさらされていること、②スラブ表面はモールド潤滑剤（溶融ガラス）が付着し、ロール表面にも付着すること、③モールド潤滑剤は冷却水中に溶出、またはフェームとなって揮散し、その冷却水およびフェームにロール表面がさらされていること。ここで、使用後のロール表面は特に肌荒れ摩耗が激しいことから、溶融ガラスに対する腐食に着目し、Ni系特殊材料の開発を進め、耐用の向上を図り実用化を行ってきた。

ガイドロール材およびピンチロール材には、耐ヒートクラック性、耐高温腐食性、耐高温摩耗性の良好な材料が求められ、各種評価試験を行った結果、16%Cr-3%Ni-Mo系ステンレス材は、優れた高温特性を示すことが明確になり、実機ロール試験でも13%Cr系ステンレス材より耐ヒートクラック性、耐高温腐食性、耐高温摩耗性に優れていることが判った。本報告書は、肉盛溶接法による連続铸造ロール長寿命化の研究成果について報告する。

## 2 連続铸造設備の概略図

Fig.1にわん曲形連铸機の概略図を示す。わん曲形連铸機ロールはフートロール、サポートロール、ガイドロール、ピンチロールに区分され損傷形態もそれぞれ異なる。Fig.2に部位別ロールの交換原因の模式図を示す<sup>1)</sup>。

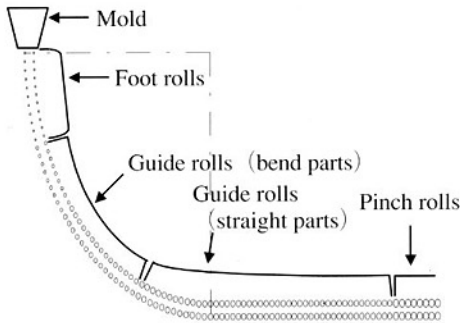


Fig.1 Profile of continuous casting machine

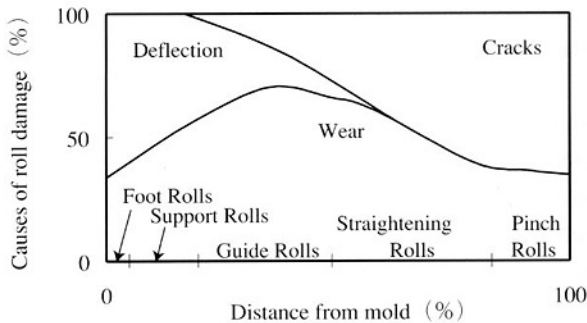


Fig.2 Relationship between damage cause and roll position

## 3 連続铸造フートロール材開発の経緯

### 3.1 廃棄ロールの調査

昭和61年(1986年)に使用された13%Cr-4%Niバンド肉盛溶接ロールの損傷機構の調査を行った。外観写真をFig.3に、表面拡大写真および寸法変化をFig.4に、表層部写真および表層断面の顕微鏡写真をFig.5に示す。

### 3.2 使用済みロール調査結果および考察

ロール表面の肌荒れは、巨視的にはバンド溶接肉盛におけるフープの重なり部が凸となっている。これは、フープ

の幅と凸起のピッチが一致していることから確認できる。微視的には、実体顕微鏡で観察されるようなクラックを伴った凸部とあばた状の凹部とが混在しており、クラックを伴った凸部が塊状にかけ落ちて凹となって、肌荒れや摩耗を起こしている。10倍の断面写真の表層状況から、腐食が粒界に沿って進んでいることが分かる。Fig.6に10倍の断面写真の表層部における性状を模式的に示す。

この結果、粒界に沿った選択的な腐食により凸部が発生していると考えられる。また、表層は熔融状態を経過した痕跡があり、熔融ガラスに対する耐食性を向上させることにより、フートロールの耐用向上が図れると考えられる。

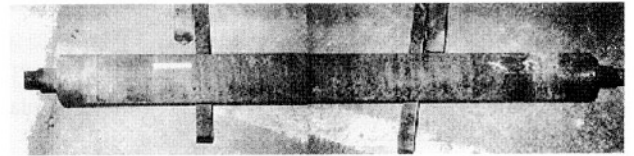


Fig.3 Appearance of a used 13%Cr-4%Ni-clad roll

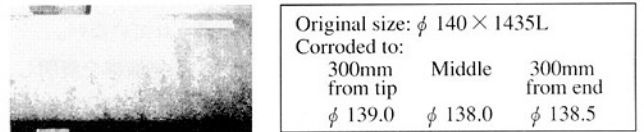


Fig.4 Used 13%Cr-4%Ni-clad roll-surface and dimensional changes

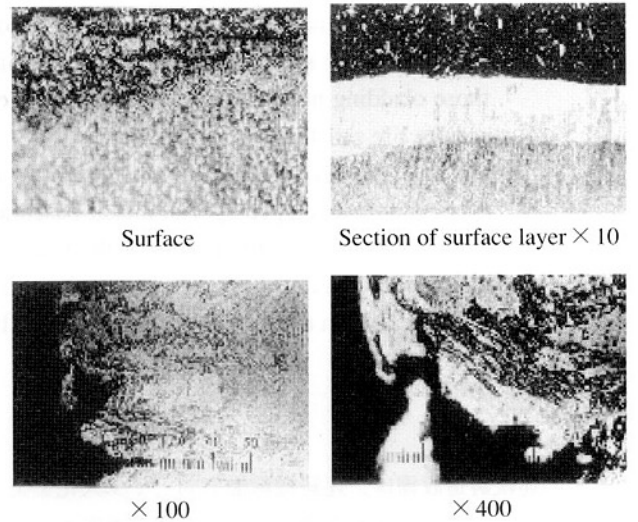


Fig.5 Surface appearance and magnified section of surface layer

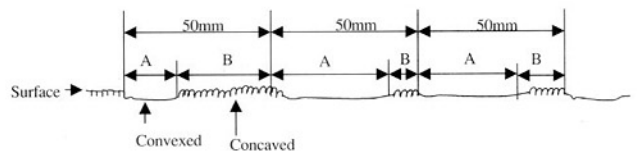


Fig.6 Graphical representation of ( $\times 10$ ) sectional view of surface layer



### 3.3 溶融ガラスに対する耐食性に優れた材料開発

腐食の主要因と考えられる溶融ガラスに対する耐食性について、13%Cr-4%Niバンド溶接肉盛と紛体プラズマ溶接によるステライト#6、自溶性合金-メテコ16C、高Ni特殊材FUHN-Hについて比較評価試験を行った。

### 3.4 供試材の作成と溶融ガラス浸漬試験方法

Table 1に示す代表化学組成の溶接金属から取り出した25×7×3tの供試材を、800℃の溶融ガラス中に浸漬し、2時間毎に新しいガラスに交換し合計12時間の浸漬試験を行い供試材表面の性状を観察した。Table 2に溶融ガラスの組成を示す。

### 3.5 溶融ガラス浸漬試験結果および考察

浸漬腐食試験結果をFig.7～10に示す。

また、Table 3に腐食による減少厚み、腐食深さと腐食形態および耐食性ランクを示す。

13%Cr-4%Niバンド溶接肉盛材の腐食の形態も粒界腐食を呈している。使用済ロールの顕微鏡組織とは異なるが、同じ腐食の形態であると推察される。

今回のテストの場合は静的なものであり、顕微鏡組織で測定した腐食深さとの対比はできないが、溶融ガラスに対する耐食性は、弊社材(FUHN-H)が最も優れていることが分かった。この結果は、溶融ガラスに対する耐食性での弊社材が優れているという一般的傾向ともよく一致している。

ステライト#6は、メニスカスおよびその上部の腐食が著しく、これは溶融ガラスからのヒューム(フッ化物含有)による腐食が激しいことを示している。

溶融ガラスによる腐食は、ガラスを介して大気中の酸素が金属表面に達し、金属表面を酸化させる。その酸化物はガラス中に溶け込み拡散し、この化学的メカニズムにより腐食が進み、金属の凝固の際には不純物が粒界に集まる性質があり、その部分を選択的に腐食が進むことが分かった。

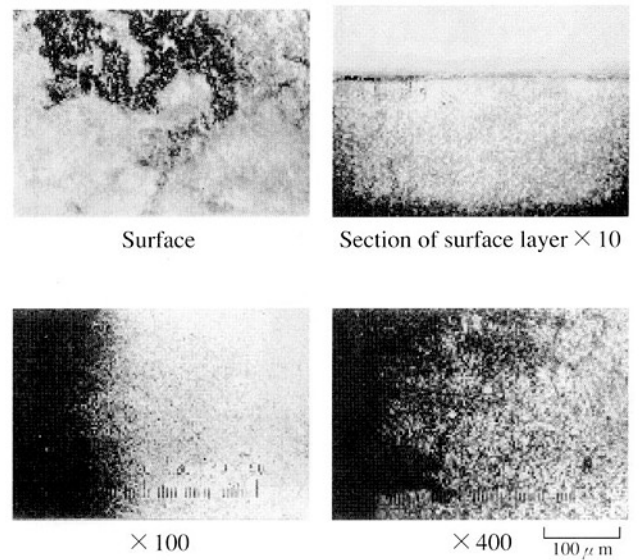


Fig.7 Immersion test-13%Cr-4% Ni

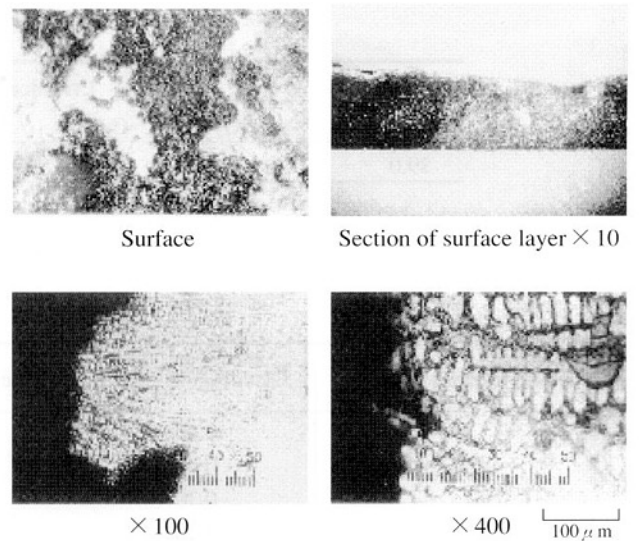
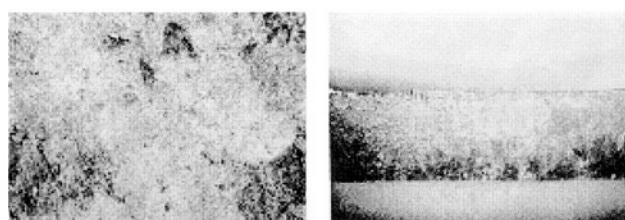


Fig.8 Immersion test-Stellite #6

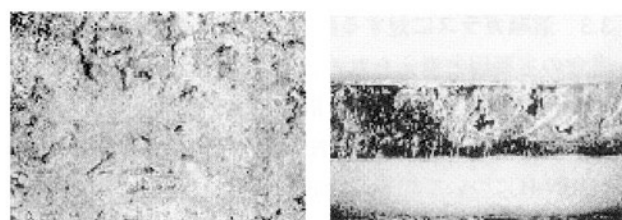
Table 1 Chemical compositions of specimens

Kind	Chemical compositions (wt%)									
	Ni	Co	Cr	Mo	W	Fe	Si	Mn	B	C
13%Cr-4%Ni	4.23	-	12.80	0.26	-	Bal	0.37	0.45	-	0.065
Stellite#6	<3	Bal.	28	-	4	<3	1	-	-	1.1
Metco12C	Bal.	-	10	-	-	2.5	2.5	-	2.5	0.15
FUHN-H	Bal.	Special elements								

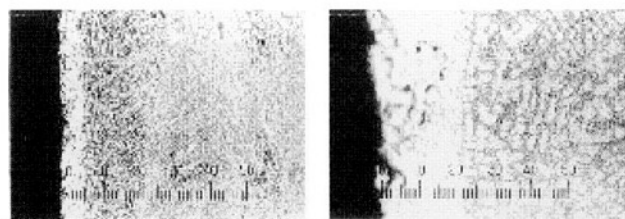




Surface Section of surface layer × 10

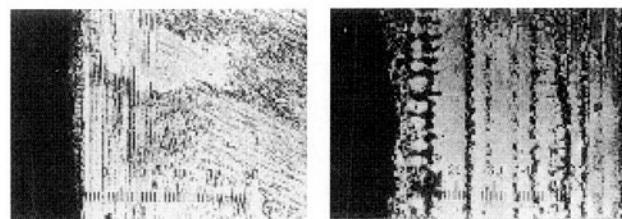


Surface Section of surface layer × 10



× 100 × 400 100 μm

Fig.9 Immersion test-Metco 12C



× 100 × 400 100 μm

Fig.10 Immersion test-FUHN-H

Table 2 Chemical composition of molten glass for immersion test

Chemical compositions (wt%)						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>
39.0	7.2	3.7	22.7	13.5	7.4	6.2

Table 3 Thickness loss due to corrosion, depth and type corrosion and ranking

Metal symbol	Cladding material	Thickness loss	Type of corrosion	Ranking
13%Cr-4%Ni	0.40	0.06	Selective Corrosion	3
	0.30			
Stellite#6	0.20	0.03	Selective Corrosion	4
	0.20			
	1.50			
Metco 12C	0.00	0.05	Selective Corrosion	2
	0.10			
FUHN-H	0.01	0.02	Selective Corrosion	1
	0.00			
	0.00			
Used 13%Cr-4%Ni clad roll	-	0.20	Selective Corrosion	

#### 4 連続鋳造ピンチロール、ガイドロール材の開発

##### 4.1 開発材料の金属組織および機械的性質

Table 4に代表的化学組成の常温での機械的性質を、温度と熱膨張の変化をFig.11に示す。それぞれの組成のSR後の硬度変化および高温硬さ変化をFig.12およびFig.13に示す。13%Cr系に比べ16%Cr-3%Ni材は引張強さ、耐力、衝撃特性が優れ、熱膨張係数が小さく高温域でも安定していることが分かる。また、SR後の硬さおよび高温硬さは共

に最も高い硬度推移を示している。

Fig.14にそれぞれの組成の組織写真をTable 5に諸性質を示す。13%Cr系の場合は、Ni量の増加と共にオーステナイト量が増加し、A1変態点が下がっている。16%Cr-3%Ni材はマルテンサイトを主体として、フェライトおよび粒界にオーステナイトを分散させた組織でCr量が高いためA1変態点が高くなっている。

Table 4 Mechanical properties of cladding materials

Code	Composition	TS N/mm <sup>2</sup>	YS N/mm <sup>2</sup>	EI %	RA %	vE J/cm <sup>2</sup>
FB-410-10H	13Cr-1Ni	692	591	19.0	54.3	22.6
FB-410-40H	13Cr-4Ni	835	692	17.5	49.8	23.5
FB-410-61H	13Cr-6Ni-Mo	885	749	26.5	54.3	20.6
FB-430-30H	16Cr-3Ni-Mo	927	758	20.0	41.0	35.5

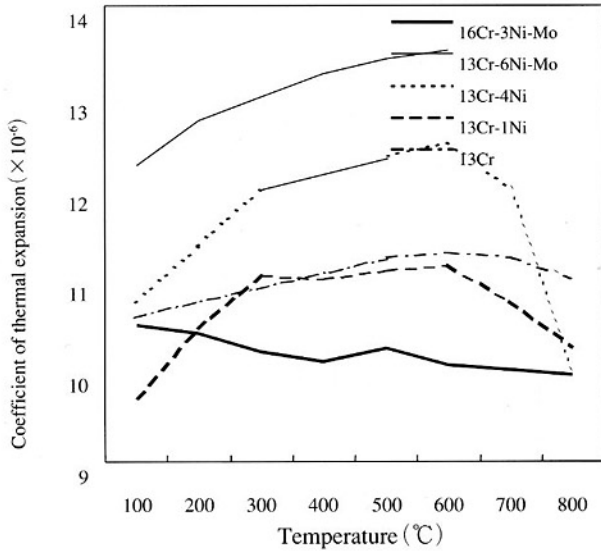


Fig.11 Relationship between expansion and temperature

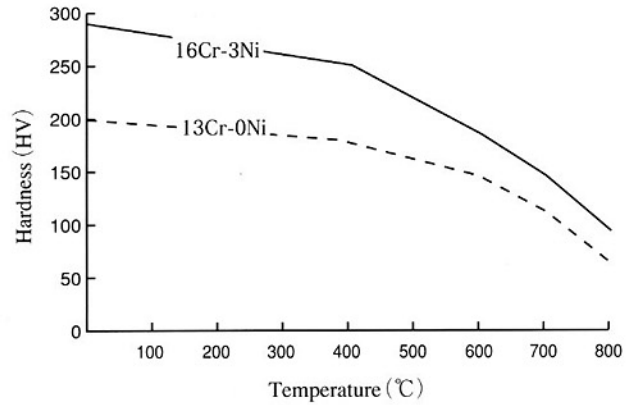


Fig.13 Relationship between hardness (HV) and temperature after SR

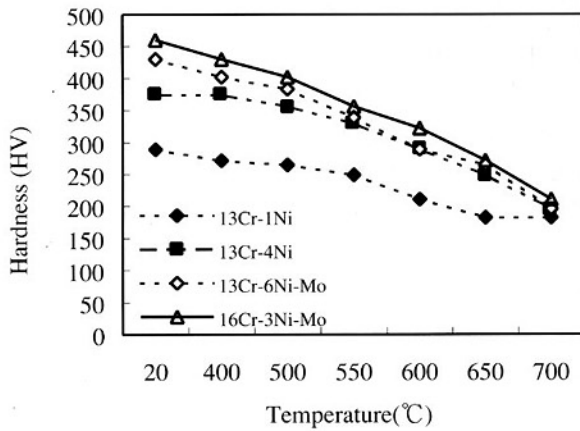


Fig.12 Relationship between hardness (HV) and temperature after SR

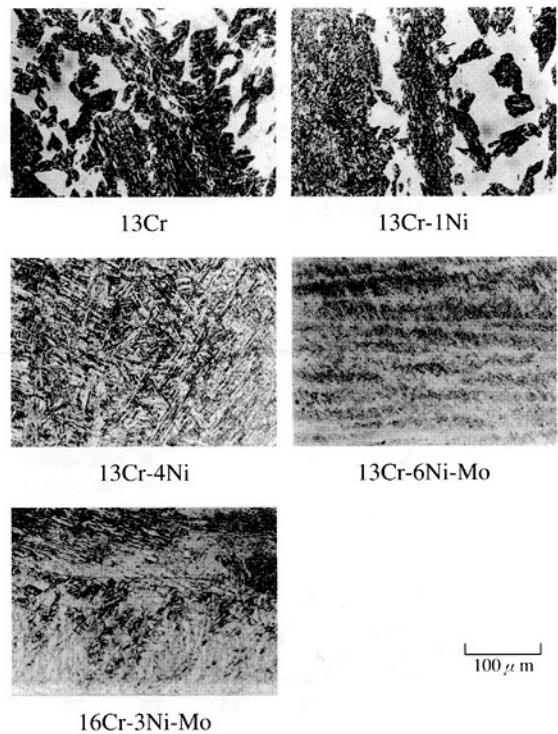


Fig.14 Microstructures of cladding materials

Table 5 Austenite contents and transformation points A1 of cladding materials

Material	Contents			A1 point (°C)
	M	F	A	
13Cr	60	40	-	810
13Cr-1Ni	70	30	-	750
13Cr-4Ni	90	-	10	560
13Cr-6Ni-Mo	70	-	30	540
16Cr-3Ni-Mo	82	11.5	6.5	710

4.2 耐高温酸化性および耐高温腐食性

連続鋳造ロールの耐摩耗性を考える場合、摩耗の原因として高温酸化および高温水・水蒸気による腐食が考えられる。酸化摩耗を考える場合、欠陥の少ないスケールの生成とスケール/金属界面でのスケールの密着性が重要になる。酸素活性元素は緻密なスケールを生成しこの酸化物は非常に安定なためスケール/合金界面下で内部酸化されスケールの密着性を向上させる。この効果はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>およびCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の酸化物に特に見られ酸素活性元素の固溶度が多いほど効果が大きいことが知られている。Fig.15にCr量と酸化減量の関係を示す。

また、Crは耐酸化性のみでなくその他の腐食に対しても最も高い抵抗性を示し、高温での酸化・腐食摩耗速度はスケールの安定性に左右され亀裂および欠落のないものほど減少する。スケールの高温安定性は複雑な諸因子に影響されるが、熱伝達率および熱膨張係数について各材料を比較すると熱サイクルを受ける環境下において熱伝達率変化や熱膨張係数の小さい16%Cr-3%Ni材は良好な傾向を示すようである。Cr量が多くスケールの高温安定性が高い16%Cr-3%Ni材は、高温酸化および高温腐食に対して高い性能を示すことが推察される。

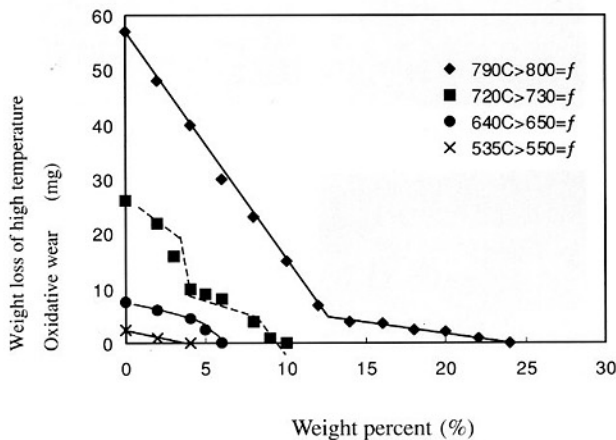


Fig.15 Relationship between hot corrosion loss and chromium contents (wt%)

4.3. 耐ヒートクラック性

熱膨張係数の小さいことおよび熱伝導率のよいことは、初期クラックの発生時期に大きく影響する。

16%Cr-3%Ni材の熱膨張係数は各材質の中で最も小さい値を示している。また、熱伝導率は17%Cr材がステンレス系の中では良好で低温から高温まで安定していることが知られており、これらのことから赤熱スラブからの熱応力が最も小さいこととスケールの安定性に優位に働くことが分かる。

Fig.16は13%Cr系ステンレスの衝撃値に及ぼす500~1200°Cの1重熱サイクルの影響を示したもので、ピーク温度がAc1付近では衝撃値はそれぞれ最も高い値を示す。操業時のロール表面温度は赤熱スラブと冷却水による熱応力、ロールの偏熱曲げ、高温酸化によるスケール生成等の複合作用によって発生または進行するヒートクラックには、Cr量およびA1変態点が高く、高温域の熱サイクルに対して安定な16%Cr-3%Ni材が高い性能を示すことが推察される。

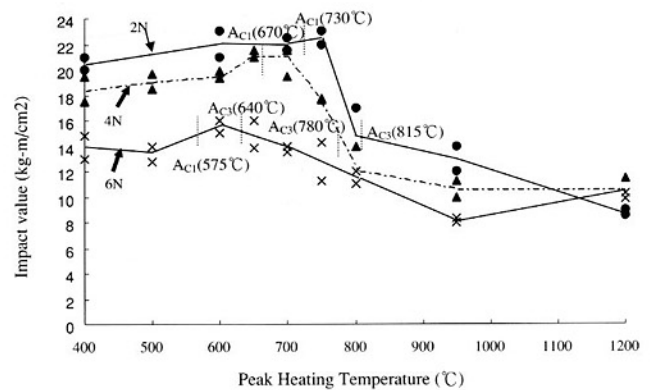


Fig.16 Influence of single heat cycle on impact value

4.4 耐高温摩耗性

赤熱スラブとの接触による機械的摩耗は圧延ロールなどの主な摩耗機構とは異なっており、スラブの圧下力そのものが低くスラブの塑性流動に伴うロールとスラブ間の相対スベリがほとんどないことから摩擦による摩耗は問題にならないと考えられる。連鋳ロールの摩耗速度を支配する現象は高温酸化でありそのメカニズムはフットロールと同様な酸化・欠落を繰り返し進行するものと考えられる。また、耐高温酸化に優れている16%Cr-3%Ni材は高温摩耗にも適していることが分かる。

4.5 実機ロール試験結果

16%Cr-3%Ni材の実使用後の組織変化と硬度変化をFig.17に示す。そのマイクロ組織には変化がなく、焼き戻し軟化抵抗が高く耐熱疲労に優れていることが分かった。E製鉄所での実機ロール試験データをTable 6に示す。クラックの進展速度は13%Cr-4%Ni材の1.7倍の耐用を示し、体積摩耗量は1.5倍の耐用を示した。

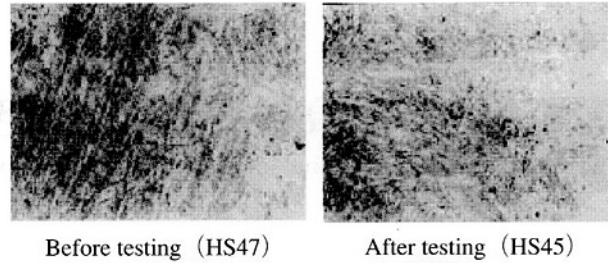


Fig.17 Microstructures and hardness values before and after testing

Table 6 Results of practical roll testing at Steel Plant E

Kind	St	Seg	Ch ...X	Depth of Maximum Crack(mm)...Y	Average 1 (Y/X mm)	Maximum Wear (mm)...Z	Average 2 (Z/X mm)
16Cr-3Ni	3	10	9,308	11	9.5/8,480	0.37	0.26/8,480
			9,308	13		0.32	
	4	12	7,652	8		0.21	
			7,652	6		0.13	
13Cr-4Ni	3	10	9,308	17	18.5/9,308	0.82	0.45/9,308
			9,308	20		0.07	
	3	10	7,042	22		0.30	
			7,042	27		0.64	
4	12	5,386	11	18.0/6,214	0.24	0.39/6,214	
		5,386	12		0.39		

## 5 結言

### (1) フートロール・サポートロール

- ① フートロールの肌荒れ・摩耗の要因が溶融ガラスにあることを明らかにし、溶融ガラスに対する耐食性を向上させることにより、耐用向上が図れることが分かった。
- ② 溶融ガラスの耐食性評価は、弊社開発材料の高Ni特殊材FUHN-Hが最も良好な結果が得られた。

### (2) ガイドロール・ピンチロール

- ① 弊社開発材料の16%Cr-3%Ni材は、従来材(13%Cr

系)よりヒートクラック、高温腐食、高温摩耗に優れていることが分かった。

- ② 実機ロールの評価では、16%Cr-3%Ni材は従来材(13%Cr系)の1.5倍の耐用を示した。

### 参考文献

- 1) 大田定雄, 豊田裕至, 林 泰代, 仁賀博一: 神戸製鋼技報 Vol.29 No.3, p.42



## 廃棄物発電ボイラの高温耐食表面処理技術

High Temperature Hot Corrosion-resistant Cladding Technology for Boilers at Municipal Waste-fired Power Plants



特定テーマ技術開発室

坂田 太志

Futoshi Sakata

特定テーマ技術開発室長

永吉 英昭

Hideaki Nagayoshi

### 要旨

廃棄物燃焼プラントにおいて、人体に有害なダイオキシン類は、低温度での燃焼時に発生する事が確認され、近年各プラントとも燃焼温度の高温化に踏み切った。また、熱エネルギーの有効な回収を目的とし、廃棄物発電プラントでは、高温高圧蒸気にまで蒸気条件を上げている。このような状況下で、プラント内の金属部では、高温域の著しい腐食摩耗が大きな問題となっている。この問題点に対し、金属部に耐食性の高い材料を溶接法により肉盛る表面処理方法を開発し、高品質で低希釈率な溶着金属を得る事に成功したのでここに報告する。

### Synopsis:

The discovery of harmful dioxins, which waste incineration plants generate while burning waste materials at low temperatures below 800 °C, has been prompting the plants to switch to higher temperature incineration process. Also, municipal waste-fired power plants have raised the temperature and pressure of steam to higher levels aiming at the efficient recovery of thermal energy. These initiatives however have been accompanying a serious problem that metallic parts of their facilities are easily corroded and worn out under high-temperature environment.

As this report presents, we have successfully developed a method of cladding those metallic parts with highly corrosion-resistant materials by welding as well as high-quality weld cladding metals with low dilution rate.

### 1 緒言

国内の一般廃棄物の総排出量は約5,000万トン/年(1991年～)で、この内約78%は焼却処理が行われている。近年、人体にも有害なダイオキシン類は、800℃以下の低温度で燃焼時に発生する事が確認され、ダイオキシン類全発生量の約90%が廃棄物焼却プラントから発生すると言われている。

そのため1997年には国内のごみや廃棄物焼却施設の構造基準として、燃焼温度800℃以上で2秒間の炉内滞留時間が法律で義務づけられた。(新ガイドラインでは850℃以上)

国内のごみ焼却プラントは約1800施設となっているが、この内ほとんどは既存設備での燃焼を行う必要があり、高

温域での焼却プラント金属部は特に、ごみを焼却した燃焼ガス中には多くのダストとともに金属を腐食させる原因となる塩素(Cl)や亜鉛(Zn)、鉛(Pb)等が含まれている事から、腐食や摩耗が大きな問題となっている。

また、産業廃棄物である自動車や家電製品は粉碎(シュレッダーダスト)化して埋め立て処理を行っていたが、土壤汚染の問題から今後は埋め立て処分が出来なくなり、焼却処理をせざるを得ない状況になってきている。シュレッダーダストは一般ごみと異なり、塩素や低融点金属が非常に多く含まれており、特に高温域での水冷壁などの金属部の腐食摩耗は激しく、設備の維持管理に多大なコストをかけざるを得ない状況となっている。

一方、廃棄物燃焼熱を発電に利用するために、燃焼熱でボイラ管内の水を気化し、その蒸気圧によってタービンを回転させ発電する方法が急速に進められている。現在は、廃棄物焼却プラントの内約160基が一般でいわれているごみ発電設備を有している。この熱エネルギー回収設備であるボイラの水冷壁や過熱器管も腐食や摩耗で大きな問題点となっている。

これを回避するためには低圧力・低温度を必要とし、熱エネルギーの有効な回収と言うにはほど遠い状況となる。しかしながら近年は省エネルギー及び環境問題から熱エネルギーとして回収し有効に利用する方向に変化しており、最新のプラントでは高圧・高温蒸気(約4 Mpa-400℃)にまで蒸気条件を改める事によって効率の向上を図っている。

このように廃棄物燃焼プラントやごみ発電用ボイラ設備関連での金属部の高温化に対応した表面処理技術は非常に重要であり、弊社でも溶接や溶射による施工を行っている。

本報告では、現状の溶射・溶接処理の概要を述べ、特に高温耐食性・耐摩耗性の表面処理として取り組んでいる溶接肉盛りについて述べる。

## 2 溶射・溶接の適用状況

Table 1に文献等により公表されている国内の廃棄物発電ボイラへの各種溶射法の試験、適用例を示す。溶射については1990年代に入り、まず腐食条件が比較的穏やかな低温低圧蒸気条件の蒸気管からフレーム溶射を中心に実用が始まり、高耐久性の超音速フレイム溶射(HVOF)へ発展してきた。現在、国内における溶射の適用は一般ごみ、産業廃棄物処理プラントを合わせて50プラント以上にも及んでいる。腐食環境の厳しさ、要求寿命、コストなどプラントの諸事情に応じて最適な溶射法・材料が選択されるが、現在はNiベース合金の中でもNiCrSiB合金のHVOFによる溶射が主流となっている。<sup>1)</sup>

Table 1 Cases of thermal spraying and welding methods tested or in use to protect boiler surfaces at power plants in Japan

Yr. / Mon	Method	Cladding material	Position	Metal Temp. (°C)	Durability (year)
'91/3	Flame	Al/80Ni20Cr	WW	503	>3
'94	HVOF (DJ-1000)	NiCrSiB Alloy	WW,SH	503-603	>3
'98/2	D-Gun DJ-1000	50%TiO <sub>2</sub> -50%625	SH	703-733	>2
-	Plasma	fused (15CrSiBFe-75Ni)	WW	503	4
	D-Gun	Cr+(50Cr50Ni)			>2
'99/12	HP/HVOF (JP-5000)	NiCrSiB Alloy			>1

溶接については、近年になって各プラントメーカーが独自でテスト・実機で使用した例はあるが、溶接施工メーカーが実機品を施工した例はほとんど報告されておらず、今回当社が熊本県のシュレッダダスト焼却プラントの蒸気

管としてインコネル625溶接肉盛り品を納めたのが国内では第一号とも言える。

近年の発電効率向上を図る動きにともない、特にボイラ後方の過熱器管では、蒸気温度に応じて300~510℃の高いメタル温度となる。そのためNaCl、KCl、Na<sub>2</sub>O<sub>4</sub>などの低融点共晶塩を含む灰が付着し、部分的に溶融して厳しい腐食環境となるため減肉速度は数mm/年におよぶことがある。また、焼却する廃棄物の種類によっては、水冷壁においても、減肉速度が数mm/年と言う事例もある。このような減肉速度が早い環境下においては、溶射では一般に肉厚が最大約1mmに制限されるため、耐用寿命が短くなる事が予想される。そこで、このような厳しい腐食環境にも対応すべく、肉厚に制限が無い溶接による高温耐食表面処理の開発を進めた。

## 3 廃棄物発電ボイラ内の腐食

廃棄物焼却プラント環境における炭素鋼管の腐食速度と管壁温度の関係は一般にFig.1のように表せる。<sup>2)</sup> 管壁温度が約350℃以上になると管壁への飛灰成分の付着堆積に起因した溶融塩腐食が温度上昇に伴って急激に深刻化する。廃棄物焼却プラントにおける溶融塩腐食は、ガスタービン環境におけるhot corrosion<sup>3)</sup>と同様、釣り鐘型の温度依存性を示すが、腐食が激化するしきい温度は廃棄物プラントの方が300℃程度低い。これは、廃棄物プラント環境では低融点の塩化物共晶系化合物が当該温度域から腐食に強く関与するためである。一方、飛来する燃焼ガス成分自体も500~1000ppm程度の高濃度HClを含むために腐食性が相当強く、それゆえ高温化ボイラ過熱器管では溶融塩と流動燃焼ガスとの競合による複合腐食が深刻な問題となり、これに耐え得る高耐食性材料の導入が不可欠な状況にある。

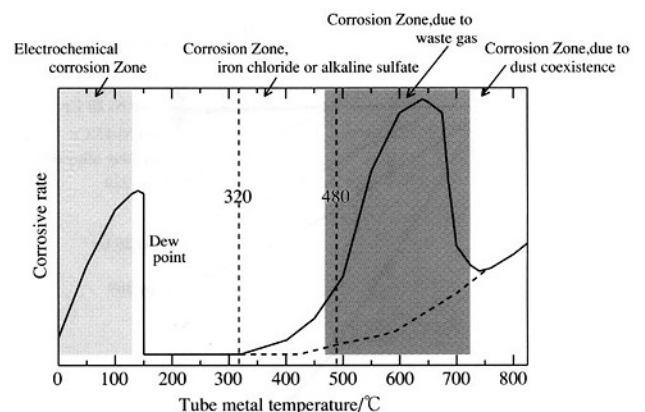


Fig.1 Relationship between tube metal temperature and corrosive rate

## 4 溶接肉盛りにおける開発主旨

廃棄物発電ボイラ内炭素鋼管の耐食性向上を溶接による表面改質で進めるにあたり、以下のような事項を念頭に置き、それぞれの方法を選定した。

- ①溶接部の満足すべき条件 →  
溶接材料・希釈率（溶け込み）
- ②溶接方法として満足すべき条件 →  
品質・生産性
- ③溶接施工に当たって念頭に置くべき条件 →  
無欠陥・溶接応力による変形

#### 4.1 溶接材料の選定

高温・苛酷な腐食環境下での水冷壁・過熱器管の耐食性は合金中の[Cr+Ni]量の増加にともない向上する事が確認されている<sup>4)5)</sup>。さらにNi基合金のAlloy625, AlloyC22の場合のようにMoの適量添加も有効であり、Fig.2に示すように[Cr+Ni+Mo]総量の増加に伴い耐食性が大幅に向上する事が見出されている<sup>4)6)</sup>。

以上から、高温での耐食性に優れ、塩素による腐食にも強く、さらに市場性が高い(比較的安価)インコネル625を溶接材料に選定した。Fig.3に、Ni-Cr-Fe合金のスケールの

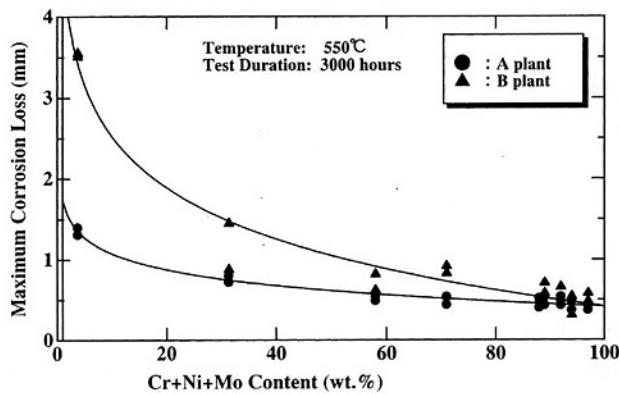


Fig.2 Relationship between [Cr+Ni+Mo]content and corrosion loss

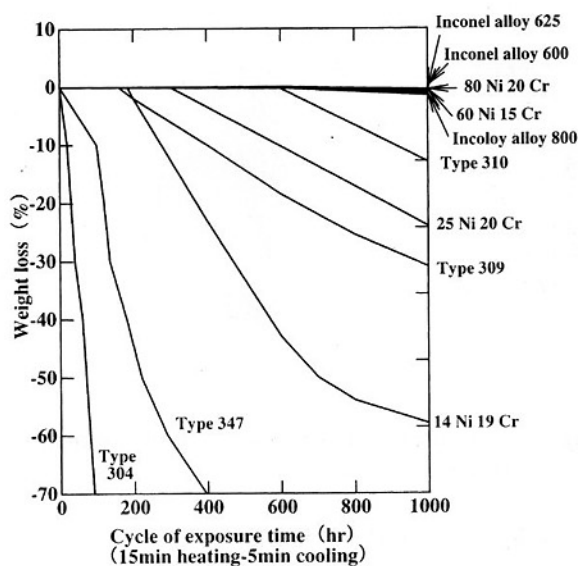


Fig.3 Oxidation resistance of Ni-Cr-Fe alloy (982°C)

抵抗性を示すが、この図からもインコネル625の耐食性の高さが確認出来る。

#### 4.2 希釈率の目標

廃棄物発電ボイラ内の水冷壁・過熱器管の材料としては一般的にSTB管(ボイラ・熱交換器用炭素鋼管)が用いられている。溶接材料として、高温での耐食性に優れた材料を用いたとしても、溶接時の母材への溶け込みが多くなれば、もともとの溶接材料の成分が薄まり、その特質を十分に発揮する事が出来ない。そこで、如何に母材への希釈を少なく抑えることが、実際の溶接施工における重要な項目となる。

国内での水冷壁・過熱器管へのインコネル625溶接において、今までに最も希釈を少なくおさめられた例では、その希釈率は5~6%と知られている。<sup>7)</sup>

インコネル625の特質を失わず、その特徴を十分に発揮させるため、希釈率の目標を10%に設定し、開発を進めた。

#### 4.3 溶接法の選定

インコネル625の施工方法としては、TIG溶接、MIG溶接、PTA等が考えられる。それぞれの特徴をTable 2に示す。Table 2より、これら3方法の特徴を簡単に述べると以下のように言える。

- ①TIG溶接・PTAはビード外観が美しく高品質であるが、その生産性が問題となる場合がある
- ②MIG溶接はスパッタ発生など、施工時に品質面で注意を要するが、その生産性が大であるため、コストダウンが期待できる

Table 2 Comparison of welding process

Factor		TIG welding	MIG welding	Plasma welding
Welding process	① Automatic & continuous	○	△:many spatter	◎
	② Weld metal	○	○	○
	③ Bead	○	△:unevenness	○
	④ Productivity	2~3kg/hr	4~6kg/hr	1~2kg/hr
	⑤ Control of condition	○	○	○
	⑥ Spatter & noise	○	△	○
Welding equipment	① control of instrument	○	○	○
	② torch	○	◎:simple	△:complicated
	③ durability	△:overheating around the torch	○	○
	④ supply of parts	○	○	△
	⑤ Frequency of part replacement	○	◎	○

一方、弊社には今までに、MIG溶接により多種にわたる材料、製品に肉盛溶接を施してきた実績がある。そこで、弊社の施工実績を念頭に置き、このMIG溶接の長所を生かし、短所を改善した施工方法の開発を行うとともに、あわせて溶接部の特性について確認した。



## 5 供試材料

溶接を実施した被溶接物の形状をFig.4に示す。以下に示すように被溶接物は、パイプと鉄板から構成されたボイラ水冷壁パネルである。

材質 : STB340S (管)、炭素鋼 (フィン)  
寸法 :  $\phi 60.3 \times 5.0\text{mm}$  (管)、 $6.0\text{mm} \times \text{約} W28$  (フィン)

パネルサイズ : 管5～6本で構成されたパネル  
(端フィン有り)、約  $W600 \times L2100$

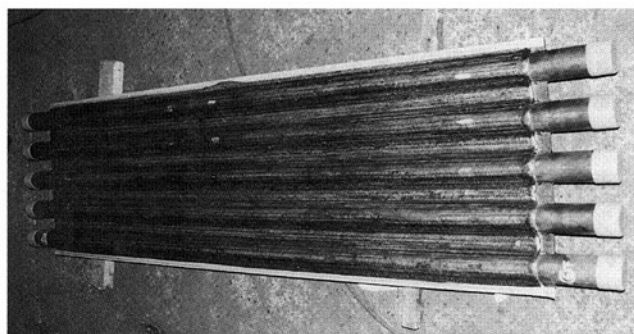


Fig.5 Appearance of weld water panel

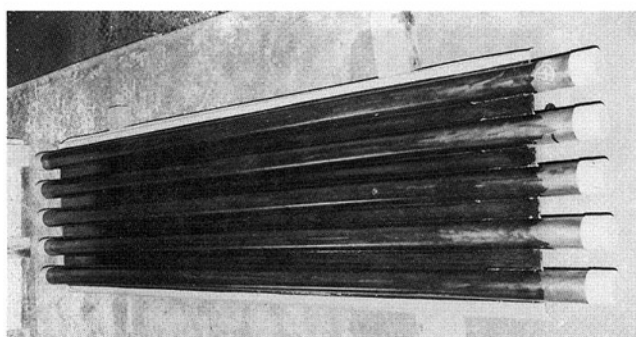


Fig.4 Appearance of water panel



Fig.6 Part of weld water panel

## 6 溶接条件

上記の供試材料を使用し、スパッタの抑制およびビード外観の改善を念頭に置き、あわせて溶着速度が大となるような条件を選定した。以下に示す溶接条件で供試材料の片面のみに2mm以上の厚さの溶接を施した。

溶接姿勢 : 下向き溶接  
溶接材料 : インコネル625 ( $\phi 1.2$ )  
電流 : 100～200A  
電圧 : 20～30V  
溶接速度 : 200～300mm/min  
ウィービング幅 : 10～20mm

## 7 肉盛溶接結果および考察

### 7.1 溶接状況

6項で選定した溶接条件により、実物大のパネルに長さ方向は約1700mm、幅方向にはほぼ全幅にわたり肉盛溶接を行った。溶接部の外観をFig.5・6に示す。外観から分るように溶接はウィービングをかけながらパイプの長さ方向に平行に重ねて施工した。溶接時にはスパッタの発生は極めて少なく、ビード外観も良好である。

### 7.2 溶接部の品質

溶接施工後、肉盛部を切断し、以下の項目で調査を行いその品質を確認した。

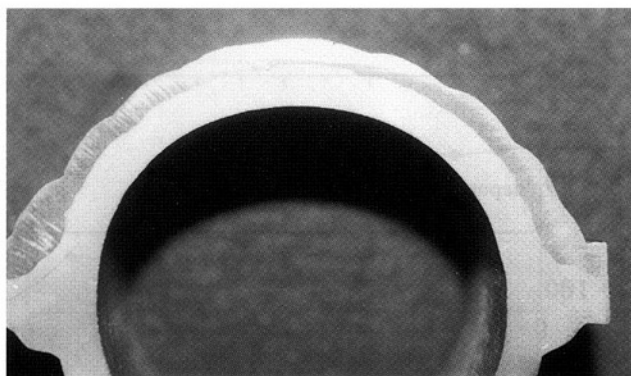


Fig.7 Microstructure of weld section

#### (1)溶接部断面のマクロ組織

断面のマクロ組織の一例をFig.7に示す。肉厚制御のため、ビードの重ね具合を調節した結果、写真のようにパイプ表面に均一にビード形成ができています。溶接部には融合不良、ポロシティ等の欠陥はなく、また溶け込みについても溶接条件の選定により、MIG溶接特有のフィンガ状の溶け込みが回避できた。肉盛り厚さは2.0～2.5mm程度の範囲である。



### (2) 希釈率

溶接部の希釈率の結果を Table 3 に示す。希釈率は、溶接部の成分分析結果と溶接材料のミルシート値をもとに、主要成分の変化値から計算した。

主要成分の希釈率の平均は7.0%となり、目標である10%以下を達成した。またこの値は、母材からのFeの拡散の割合とほぼ一致する。(Table 4参照)

したがって、今回のMIG溶接による肉盛りにおいてはその希釈率は7.0%程度であると言える。

Table 3 Result of dilution rate

Main ingredient	Ni	Cr	Mo	
Deposited metal(%)	60.50	20.07	8.29	
Weld metal(%)	64.58	21.79	8.89	Mean dilution rate
Dilution rate(%)	6.3	7.9	6.8	7.0

Table 4 Diffusion of Fe from base metal

	Fe
Deposited metal	7.46
Weld metal	0.59
Ratio of diffusion(%)	6.9

### (3) 溶接部の硬度分布

溶接部の硬度測定結果（ピッカース硬度、荷重：10kg）の一例を Fig.8 に示す。この結果から、溶着金属の硬度は平均HV228程度、母材はHV130程度であり、熱影響部にも著しい硬度の変化は見られないことが確認できた。

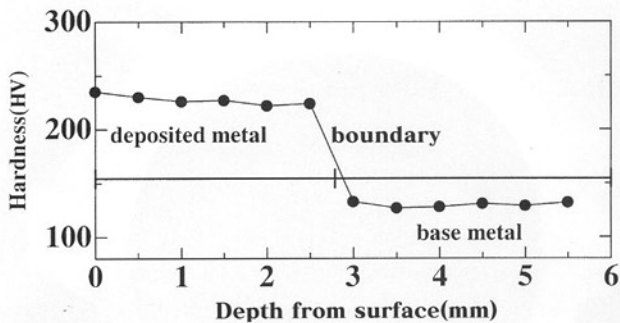


Fig.8 Hardness of weld

### (4) 溶接部のマイクロ組織

溶接部のマイクロ組織観察結果の一例を Fig.9、Fig.10 に示す。組織観察より、溶接部はインコネル625の溶着金属として一般的なものである。また、マイクロ割れ、融合不良等の欠陥は存在せず、健全な組織を呈している。

## 8 結言

廃棄物燃焼プラントやごみ発電用ボイラ設備関連での金属部の高温化に対応した表面処理技術として、インコネル

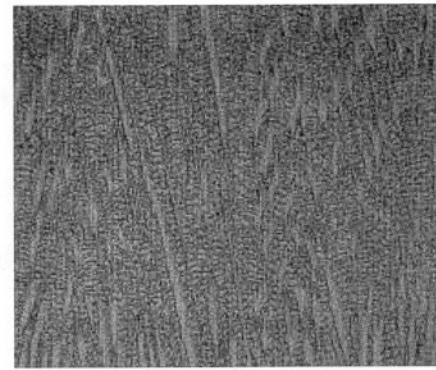


Fig.9 Microstructure of weld 1 (deposited metal ×200)

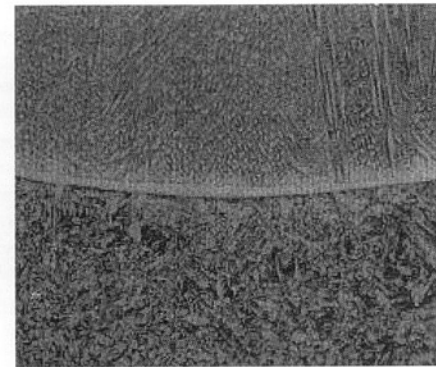


Fig.10 Microstructure of weld 2 (border ×200)

625の溶接肉盛りによる研究を行い、生産性の高いMIG溶接法にて高品質で低希釈率の溶着金属を得る事ができ、実際の使用での耐用向上が期待できる。

今回の施工は、工場内での溶接施工について研究を進めたが、今後は現地での溶接施工の体制確立を図る。溶接材料としては、インコネル625に拘らず、実際に使われる環境に適した材質選定、開発を行っていく。

## 9 参考文献

- 1) 川原雄三, “廃棄物発電ボイラにおける高温腐食コーティングの適用と耐久性評価の現状”, 日本溶射協会誌 溶射 Vol.38 No.2, 2001年4月
- 2) V.K.Fassler, H.Leib and H.Spahn, Mitteilungen er VGB, 48(1968), 126.
- 3) 吉葉正行, 日本ガスタービン学会誌, 25(1997), No.97, 57.
- 4) NEDO, 高効率廃棄物発電技術開発 平成7年度報告書, (1996), 120, 121.
- 5) G.A.Whitlow, P.J.Gallagher and S.Y.Lee, Corrosion/89, Paper No.204, NACE, (1989).
- 6) Y.Kawahara, M.Nakamra, H.Tuboi and K.Yukawa, Corrosion/97, Paper No.165, NACE, (1997).
- 7) 愛知産業(株) 技術資料 “逆極性プラズマ溶接による耐腐食/耐摩耗ボイラチューブ”, 2001年3月

# 技術論文

## CPCプロセスの凝固伝熱解析 (第2報)

Analysis of Solidification Heat Transmission in CPC Process (Reports2)



CPC技術開発室  
大野 京一郎  
Kyo\_ichiro Oono

CPC技術開発室長  
尾崎 健一  
Ken\_ichi Ozaki

### 要旨

本報で取り扱う、CPCプロセス (Continuous Pouring process for Cladding) は、クラッド厚を問わず1層肉盛が可能で、さまざまなメリットを有し、すでに各種ローラ類の実績からその効果は明らかである。

しかし、一方では芯材予熱温度や注湯温度などの操業要因が凝固界面に与える影響が大きく、その基本的な凝固界面制御方法についてはいまだ確立されていない。

前報は中空の芯材を適用し、解析を行った。本報はその続報として、中実の芯材を適用して、凝固界面形状に及ぼす操業要因の影響を解析した。

その結果、凝固界面形状は操業要因中、CPC保持時間が大きく影響することが推察できた。

### Synopsis

This report discusses the CPC process. One of the advantages it offers is the possibility of single-layer cladding irrespective of thickness, whose usefulness has been confirmed by a variety of CPC-processed rolls in use at various industrial steel making plants.

On the other hand, it had a disadvantage that operational factors such as core preheating temperature and pouring temperature affect largely solidifying surfaces. At the moment, no fundamental approach to control surface solidification process has been established.

Our preceding report analyzed the effects of using hollow cores as a solution to the problem. This report as a sequel discusses the influence of operating factors on solidifying surfaces when solid cores are used. As a result, we have come to an assumption that CPC holding time among other operational factors should influence surface solidifying process.

### 1 緒言

CPCプロセスとは Continuous Pouring process for Cladding の略称である。概要は Fig.1 に示す様に、中実または中空の芯材をモールド中心にセットし、黒鉛モールドと芯材との間にクラッドしようとする溶融金属を鑄込み、高周波誘導加熱により予熱された芯材に融接させながら断続的に、下方に引き抜き複合材を成形するプロセスである。

本プロセスの特徴は、一層肉盛法であるため、熱の集中度が極めて小さく、従来の溶接肉盛法では不可能であった材質、例えば過共晶材等のクラッドを可能にした。また、溶接肉盛法に見られるビードマーク発生は皆無である。

しかし、その基本的な凝固界面制御方法については、クラッド膜厚サイズ、芯材形状、CPCの引き抜き条件 (降下時の降下速度、1回当たりの降下幅、保持時間) などの操業要因が凝固界面に大きく影響を与え、いまだ確立されていない。

特に、鉄鋼の熱間圧延および矯正ロールの製造においては、肉盛材の凝固制御が困難であり、製造歩留は多種のローラ・ローラ類と比較しても低い。

そこで本報では、前報1)同様に、肉盛材の凝固過程のシミュレーションを伝熱解析によって行い、凝固界面の形状に及ぼす操業要因の影響について定量的な検討を行った。

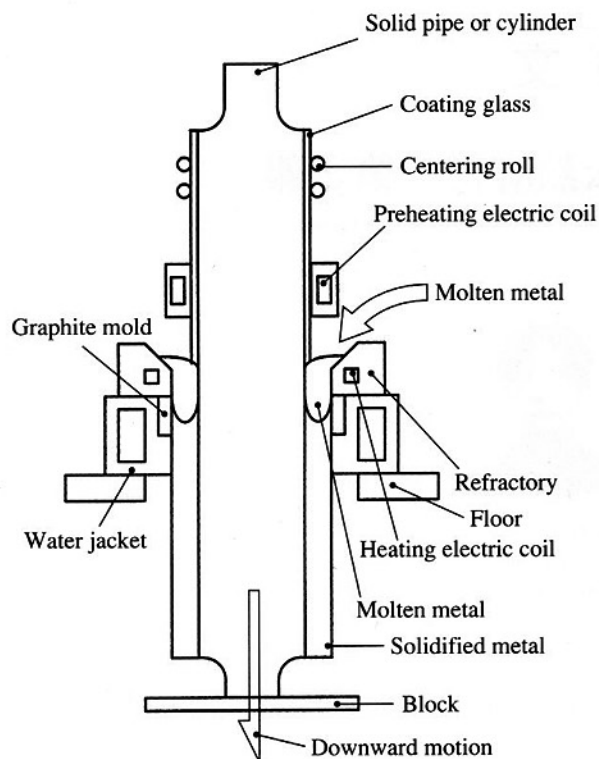


Fig.1 Schematic view of Continuous Pouring process for Cladding (CPC)

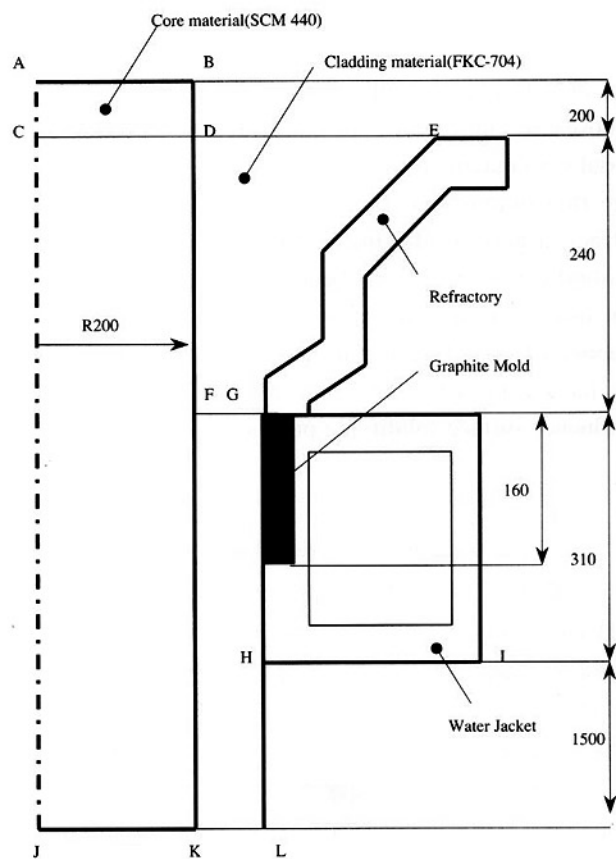


Fig.2 Simulation model of solidification

## 2 解析方法

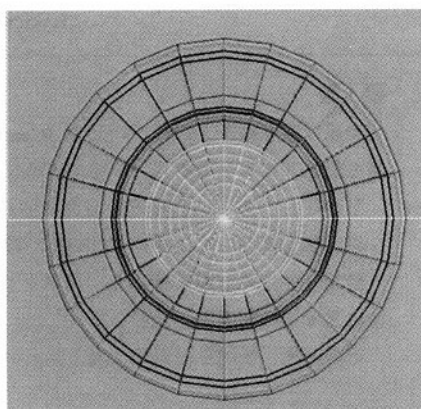
今回は従来から圧延ロールの製造で採用している複合一体ロールを想定した。なお、芯材は外径  $\phi 400$  の中実を適用した。

解析は各材料とも指定した初期温度から実施したため、湯流れ解析からの初期温度データは取り込んでいない。また、重力や対流などは考慮していない。

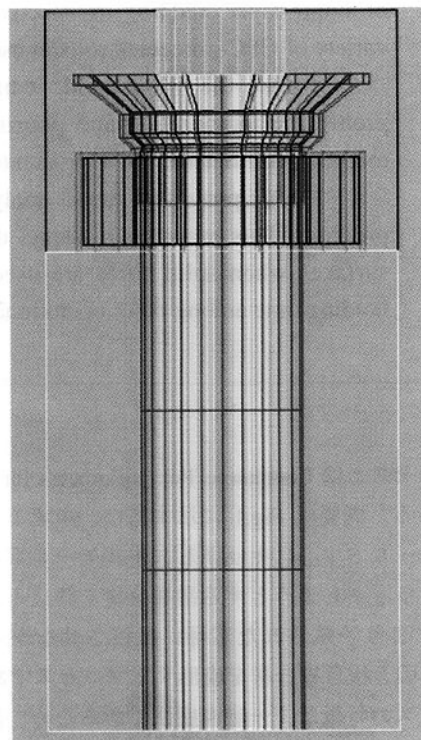
### (1) 解析モデル

解析モデルはFig.2に示す軸対象の1/2を作成した。領域ABKJは芯材、領域DEGLKは肉盛材である。

その後、Fig.3に示すように、ワイヤーフレームにて3次元化した。



a) x-z plane



b) x-y plane

Fig.3 Wire flamed pattern of 3D model



(2) 解析に用いる物性値

今回使用した物性値および各種温度は以下の通りに設定した。

- ① 芯材、肉盛材、黒鉛の各物性値はTable 1に示す値を使用した。ここで、液相線温度LLおよび固相線温度SLはThermo-Calcの計算結果を代用した。
- ② 外気温度はFig.2に示す金属モールドの下端部GHを境として、上側は30℃、下側は800℃に固定した。
- ③ 芯材BD部は断熱とし、領域CDKJの温度はTable 2およびFig.4に示すように、細分化した。
- ④ 肉盛材の領域DEGFは、常時溶湯状態とし、溶湯温度Tmは後述する解析ケースの数値に保持した。また、金型モールド内の水温Twも溶湯温度と同様な作業を行った。

Table 1 Physical properties

	Liquidus line LL(℃)	Solidus line SL(℃)	Specific gravity ρ (g/cm <sup>3</sup> )	Specific heat c(cal/g ·℃)	Thermal conductivity λ (cal/cm ·sec ·℃)
Cladding Material (FKC-704)	1299	1192	8.10	0.14	0.05
Core Material (SCM-440)	1489	1404	7.80	0.14	0.05
Graphite	-	-	2.01	0.28	0.05

Table 2 Vertical temperature distribution

Distance from center of core material (mm)	0	90	115	140	165	190
	~	~	~	~	~	~
Institution temperature (℃)	900	1000	1100	1200	1300	1400

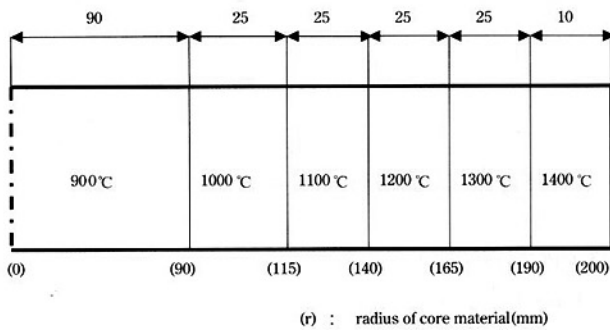


Fig.4 Vertical temperature distribution

(3) 解析ケース

Table 3に解析ケースの条件を示す。Case1は実操業の施工条件であり、その他のCase2~Case4は肉盛材の溶湯温度Tm (℃)、Case5,6は金属モールド内の水温Tw (℃)、Case7,8はCPC保持時間 t (sec)、Case9,10は黒鉛の熱伝導率 λ (cal/cm · sec ·℃) の各影響を調べるために解析を行った。

尚、解析は直交差分法を適用した。

Table 3 Analytical parameter

Case	Temperature of molten metal Tm(℃)	Water temperature Tw(℃)	Holding time t(sec)	Thermal conductivity λ (cal/cm · sec ·℃)
1	1450	50	30	0.05
2	1400	50	30	0.05
3	1425	50	30	0.05
4	1475	50	30	0.05
5	1450	10	30	0.05
6	1450	25	30	0.05
7	1450	50	60	0.05
8	1450	50	90	0.05
9	1450	50	30	0.5
10	1450	50	30	0.025

3 解析結果

(1) 温度分布

解析はFig.5に示すように、3次元にて行った後、2次元の表示を行う。各ケースの解析後、2次元表示した結果をFig.6に示す。温度は、液相線温度LL以上1300℃~1450℃を50本の等高線にて表示した。

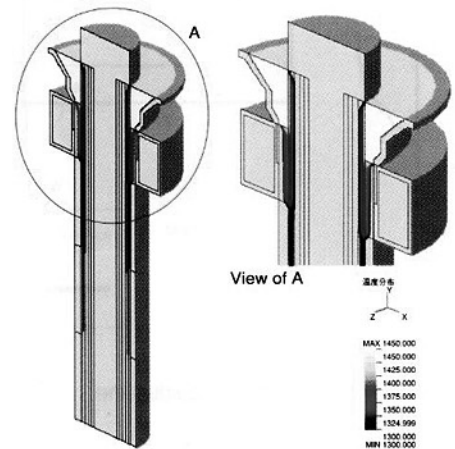


Fig.5 Temperature distribution in cladding materials(3D-model)

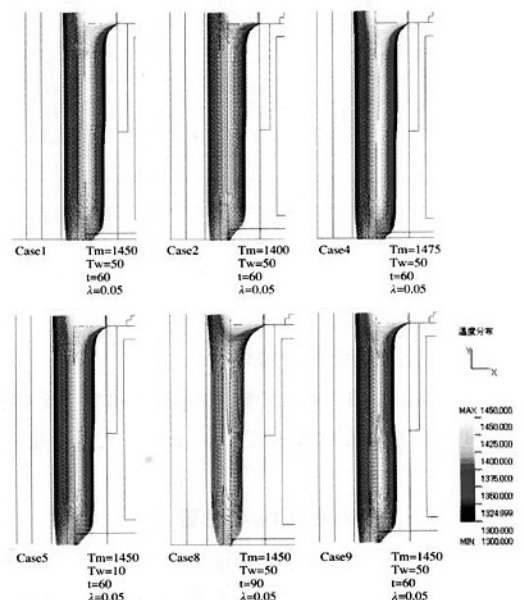


Fig.6 Temperature distribution in cladding materials (x-y plane)



(2) 凝固界面の形状に及ぼす操業要因の影響

凝固界面特性に関連の深い液相線の形状はFig.7に示し、各ケースによるd、eをTable 4に示す。ここで、d、eは以下の通りである。

d：領域FGを基準とした、1400℃の位置

e：点Mでの、芯材の外径FKからの等高線末端までの幅

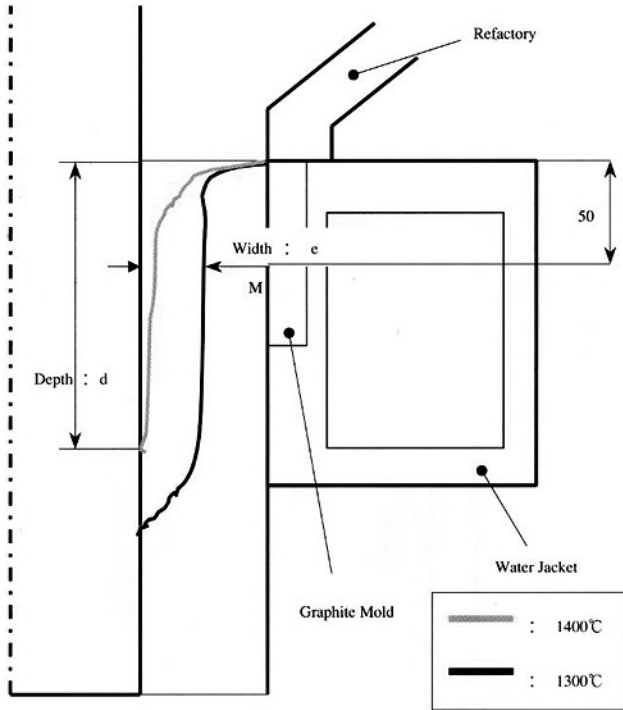


Fig.7 Profile of liquidus line

Table 4 Depth and width of liquidus line

Case	Liquidus lines	
	Depth:d	Width:e
1	264	30.4
2	255	27.5
3	259	26.6
4	282	32.0
5	260	29.8
6	262	30.4
7	176	25.0
8	158	19.6
9	32	25.5
10	263	33.3

① 肉盛材の溶湯温度Tmの影響

Case1とCase2、3、4の比較をFig.8に示す。その結果、溶湯温度が高くなるに従って、d、e共に大きくなった。

② 金属モールド内の水温Twの影響

Case1とCase5、6の比較をFig.9に示す。その結果、d、eは近似しており、水温による影響は少ないと判断する。

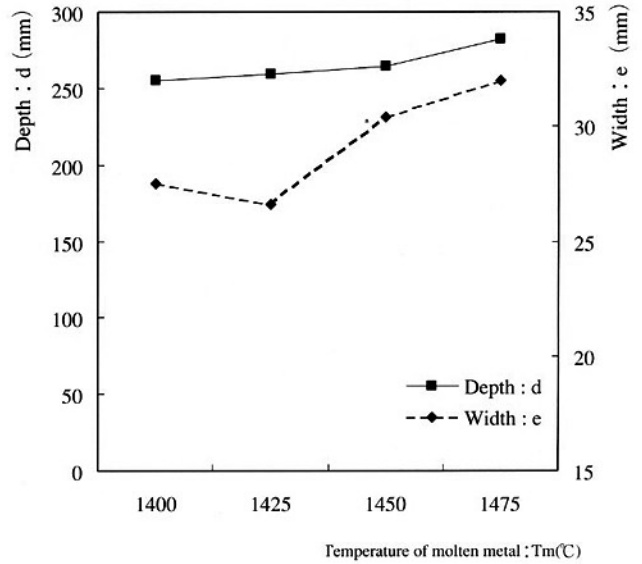


Fig.8 Depth,width vs. temperature of molten steel

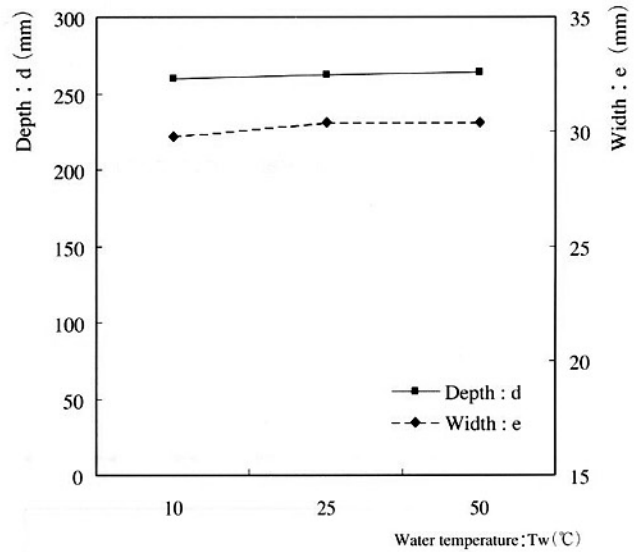


Fig.9 Depth,width vs. water temperature

③ CPC保持時間tの影響

Case1とCase7、8の比較をFig.10に示す。これから分かるように、保持時間が長くなるに従って、d、e共に小さくなった。

④ 黒鉛の熱伝導率λの影響

Case1とCase9、10の比較をFig.11に示す。Case10はCase1と近似していたが、Case9は凝固下部において、副熱と推定される曲線（閉ループ）が表示されている。これは、黒鉛の熱伝導率を現状(=0.05)の10倍(=0.5)に設定した影響と推測する。

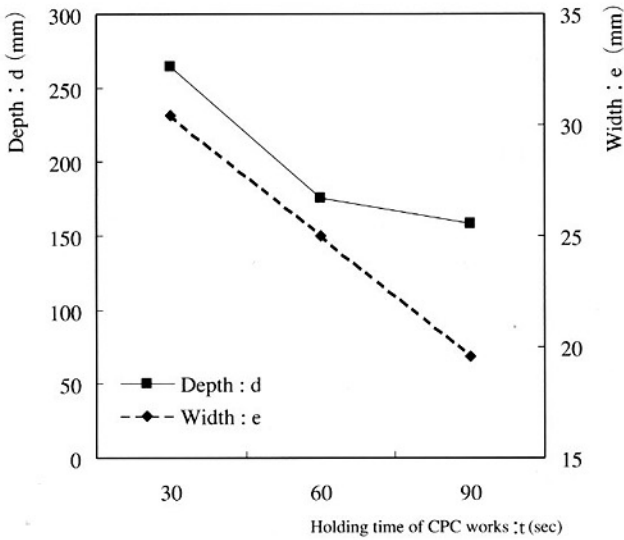


Fig.10 Depth,width vs. Holding time of CPC

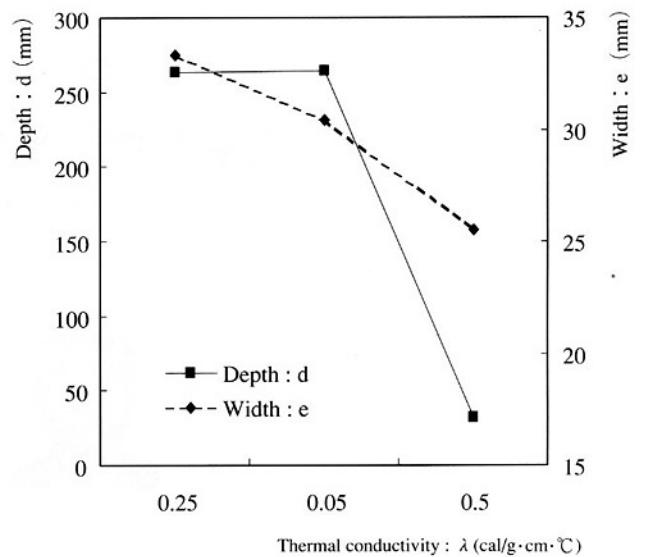


Fig.11 Depth,width vs. thermal conductivity

#### 4 考察

##### (1) 黒鉛モールド内壁部での凝固開始点

溶湯は黒鉛モールドの内壁で凝固し、断続的に下方に引き抜かれる。そのため、凝固した肉盛材の強度が黒鉛モールド強度よりも高くなると、黒鉛モールドの内面も肉盛材と共に下方に移動させられ黒鉛モールドの損耗が生じることになる。

解析結果では、肉盛材の表層部は、既に黒鉛モールドの上端で凝固している。実際、作業後の黒鉛モールドを観察すると、損耗は上端から既に認められている。

これより、解析結果は作業と対応しており、肉盛材の表層部は黒鉛の上端で凝固終了している事が推察できる。

##### (2) ブリッジ、引け巣やポロシティ欠陥へ及ぼす作業条件の影響

ブリッジや引け巣、ポロシティなどの铸造欠陥は、一般に、凝固ブリッジが深くなるほど発生しやすい傾向にある。

凝固ブリッジの深さは、液相域および固相・液相共存域と密接に関連している。今回、各ケースによる液相域の形状を比較した結果、液相域は作業条件により変化した。

特に、CPC保持時間はFig.10に示すとおり、凝固制御を大きく左右する因子であると推定できる。

#### 5 結言

肉盛材の凝固過程を伝熱解析にて行い、凝固界面の形状に及ぼす作業要因の影響について定量的な検討を行った結果、以下のことが推察できた。

- (1) 肉盛表層部の凝固は、黒鉛の上端で終了している。
- (2) 凝固ブリッジはCPC作業条件に影響する。中でも、CPC保持時間を長くすることで、凝固ブリッジは比較的容易に浅くなり、铸造欠陥の抑制が可能と考えられる。

#### 6 謝辞

本研究の遂行に際し、凝固伝熱解析にあたり、プログラムのご指導、ご協力して頂いたコマツソフト(株)に深く感謝いたします。

また、Thermo-Calcによる液相線・固相線温度の算出にあたり、ご指導して頂いた九州工業大学工学部長谷部教授ならびに福岡県工業技術センター機械電子研究所徳永主任技師に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 大野、尾崎、吉原、田中：フジコー技報、No.8(2000)
- 2) 菅野五郎、鈴木章：連続铸造法、(1969)、日刊工業新聞
- 3) 中江秀雄：铸造工学、(1995)産業図書
- 4) 齊藤彬夫、岡田昌志、一宮浩市：(1985)、産業図書

## 溶射装置と溶射皮膜特性の研究

Study on Thermal Spraying Guns and Characteristics of Films Formed by Thermal Spraying



溶接溶射技術開発室

古田 博昭

Hiroaki Furuta

溶接拡販プロジェクト係長

木下 利哉

Toshiya Kinoshita

### 要旨

溶射法は近年急速に製鉄プロセスロールや発電ボイラ等に幅広く適用されており、特にボイラ関連の溶射については高速フレイム溶射法が主流である。またボイラの溶射では現地施工が多いため、安定した皮膜を安全に低コストで施工する技術が求められている。

そこで当社は高品質で低コストの施工が可能とされる空気使用の高速フレイム溶射について、他の酸素使用の高速フレイム溶射機との皮膜強度および歩留りを比較調査し、合理的な結果を確認した。

### Synopsis:

Thermal spraying has been finding its rapidly increasing use as a process to strengthen processing rolls at steel plants and boilers at power plants and in other applications. While the high-speed flame spraying has been proving the mainstream in boiler-related thermal spraying, the development of a technology to form stable clad films at lower costs is sought for.

We conducted a comparative study of high-velocity air fuel spraying gun, which promises a high-quality and low-cost film formation, and high-velocity oxy-fuel spraying gun in terms of film strength and yield, and have reached convincing conclusions.

### 1 緒言

近年では地球温暖化やダイオキシンの発生など特に身近な問題として感じられている。

地球温暖化はCO<sub>2</sub>発生などの抑制が要求されており、ダイオキシン類の抑制としては、1997年に国内でもゴミ焼却等の燃焼温度を800℃以上で行うことが義務付けられた。また製鋼メーカーでは国際競争力激化のためロール、ローラ等の寿命延長による大幅なコストダウンの必要性が増大している。これらの項目はいずれもプロセスの中で使用される設備関連で高温耐摩耗、耐食性、耐熱性が必要となる部分があり、これらを満足させるために設備や高級な材料を使用すると大幅なコストアップとなるため一般には汎用鋼材の表面処理が行われている。

この表面処理方法として溶接、溶射が挙げられるが本報告では溶射法の中でも、現状でのプラント設備への展開状

況において純酸素を使用する高速フレイム溶射（HVOF）と空気を使用する高速フレイム溶射（HVOF）の違いについて述べる。

### 2 高速フレイム溶射機について

高速フレイム溶射法<sup>1)</sup>は燃焼室の燃焼圧力を高める事により連続燃焼炎を高速にし、溶射材料を基材に衝突させ皮膜を形成する溶射法である。燃料と酸素を組み合わせた方法はHVOF(High Velocity Oxygen Fuel spraying)、また燃料と空気を組み合わせた方法はHVOF(High Velocity Air Fuel spraying)と呼ばれている。どちらの装置でも燃焼はガンの内部で起こり、発生した燃焼ガスは細いノズルで絞られ、さらにバレル(銃筒)を通るうちに高速のジェット噴流となる。粉末はこの高速ガス流に乗り、加熱されると同時に高速でガンから噴出され皮膜が形成される。これらの方法で

形成された皮膜は緻密で且つ基材との密着性がありサーメットや炭化物等の溶射皮膜を形成する場合に主に使用される。この結果、現在広く使用されている。

溶射装置の物性値を比較してまとめたものをTable 1に示す。

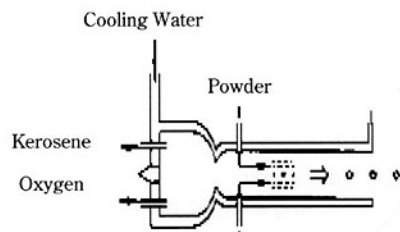
Table 1 Characteristics of spraying gun

Thermal spraying gun	HVAF(SB)	HVOF(JP-5000)
Fuel and Gas	Propane + Air	Kerosene + Oxygen
Combustion temperature (°C)	1750	3090
Combustion pressure (kgf/mm <sup>2</sup> )	5	5.6~10.5
Gas velocity (m/s)	2700~3500	2000~2200
Particle temperature (°C)	1400	1700
Particle velocity (m/s)	600~800	550~650

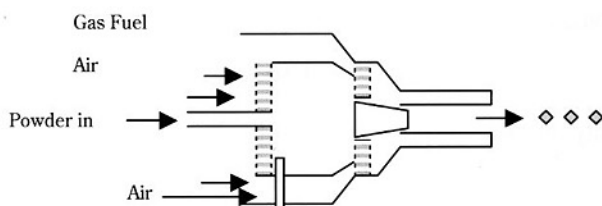
HVAF(SB)は、熱源にプロパン+空気を使用しており他の溶射機と比較して燃焼温度、粒子温度共に低く、燃焼室の冷却機構は空冷方式となっている。HVOF(JP-5000)は灯油+酸素を使用しており燃焼温度、粒子温度が高いため冷却機構は水冷方式である。また空気を使用した場合と酸素を使用した場合とでは、燃焼室内のガスの絶対量が空気を使用した方が大きくなるため流速が速くなる。しかし、空気を燃焼させた場合は空气中に窒素が79%含有しているのでこの窒素が冷却効果の役割をすることから燃焼温度は低下する。

## 2.1 溶射GUNの内部構造

Fig.1に本報告で使用比較したHVOF(JP-5000)とHVAF(SB)溶射ガンの内部構造の概略図を示す。



(a) HVOF (JP-5000)



(b) HVAF (SB)

Fig.1 Comparison between HVOF(JP-5000) and HVAF(SB) gun

HVOF(JP-5000)<sup>2)</sup>は先に述べた様に燃料と酸素が加圧状態でガン本体の燃焼室に供給され、点火プラグにて着火し燃焼される。ここで燃焼したガスは細いバレルを通り超音速のジェット流となって外部へ放出される。一方、溶射材料は粉末状態でガン本体の先端部から不活性ガスによって導入され燃焼ガスの流れに乗って高温・高速の飛行粒子となって噴射される。

HVAF(SB)<sup>3)</sup>では燃焼工程は他のHVAFと同様であるが燃焼室とは別に加熱装置が備わっており2段階で燃焼することにより粉末に高い熱量を与えることが可能である。

このSB装置は、燃焼内圧がHVOF(JP-5000)と比較し低く、またクロッキングの発生が少ないのでガン後方から溶射粉末を大量に投入することが可能であるのも特徴の一つであると言われている。

また、このHVAF(SB)溶射機は、溶射材料によってガスを変えておりメタル系は空気+プロピレンで燃焼し、またサーメット材料では空気+MAPP(メチルアセチレン・プロパジエン)混合ガスを使用している。

## 2.2 溶射能力について

HVAF(SB)は前項に述べた様に溶射ガン後方から溶射粉末を大量に投入することが可能であるが、バレル(銃筒)内に噴射時に粉末が凝集し、付着するスピitting現象の懸念がある。粉体供給能力をTable 2に示す通り、HVOF(JP-5000)と比較すると約3~4倍である。

Table 2 Spraying capacities

	Spray rate (kg/hr)
HVOF(JP-5000)	3~7
HVAF(SB)	20~30

溶射歩留りを比較するために実際にNi基自溶性合金およびCr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr材料で溶射したデータをTable 3に示す。これらの溶射歩留り結果からHVAF(SB)は他の高速フレーム溶射機よりも高い数値を示しており、コストメリットがでるものと思われる。

Table 3 Deposite efficiency

	Self-fluxing alloy (%)	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -NiCr (%)
HVOF(JP-5000)	45	35
HVAF(SB)	60	40

## 3 溶射皮膜特性の調査

HVAF(SB)の溶射ガンは、燃焼室が2重構造であり燃焼室後部から粉末を投入することから、粉末の加熱が早く、スピitting現象が起きやすい。そこで、融点の低いNi基自溶性合金材料を実際に溶射して、HVOF(JP-5000)の溶



射皮膜特性との比較を行った。

### 3.1 溶射条件

Table 4に溶射施工条件を示す。この条件の中で最も異なるのは、バレル先端からの溶射面距離である。これは、HVOF(SB)が、バレル付け根部(チョーク部)がストレート形状をしており、HVOF(JP-5000)の方がチョーク部での絞りによる差と考えられる。

Table 4 Thermal spray condition

	HVOF(SB)	HVOF(JP-5000)
Spray speed (m/min)	36	30
Spray Pitch (mm)	4	5
Spray pattern (mm)	φ6	φ10
Spray distance (mm)	140	380
Shock diamond	5~6	7~8

Ni基自溶性合金をHVOF(SB)で溶射する場合のガス圧力、燃焼温度を三種類に変動させた。HVOF(JP-5000)は、既に

種々試験が行われていることから通常条件とした。

Table 5に主な溶射条件を示す。

Table 5 Spraying condition of self-fluxing alloy(Ni-base)

Test piece No	HVOF(SB)			HVOF(JP-5000)
	High Temp	Average Temp	Low Temp	Normal
Powder size (μm)	16-45			20-45
Base gas pressure 1 (psi)	83	82	74	—
Final gas pressure 2 (psi)	57	53	53	—
Support gas pressure (psi)	85	83	83	
Film thickness per 1 pass	60	50	50	42
Total film thickness (μm)	230	230	230	170

Fig.2に溶射粉末の粒子温度と粒子速度の関係を示す。HVOF(SB)の高温・高速条件は、HVOF(JP-5000)の通常条件の領域に近いと推察できる。

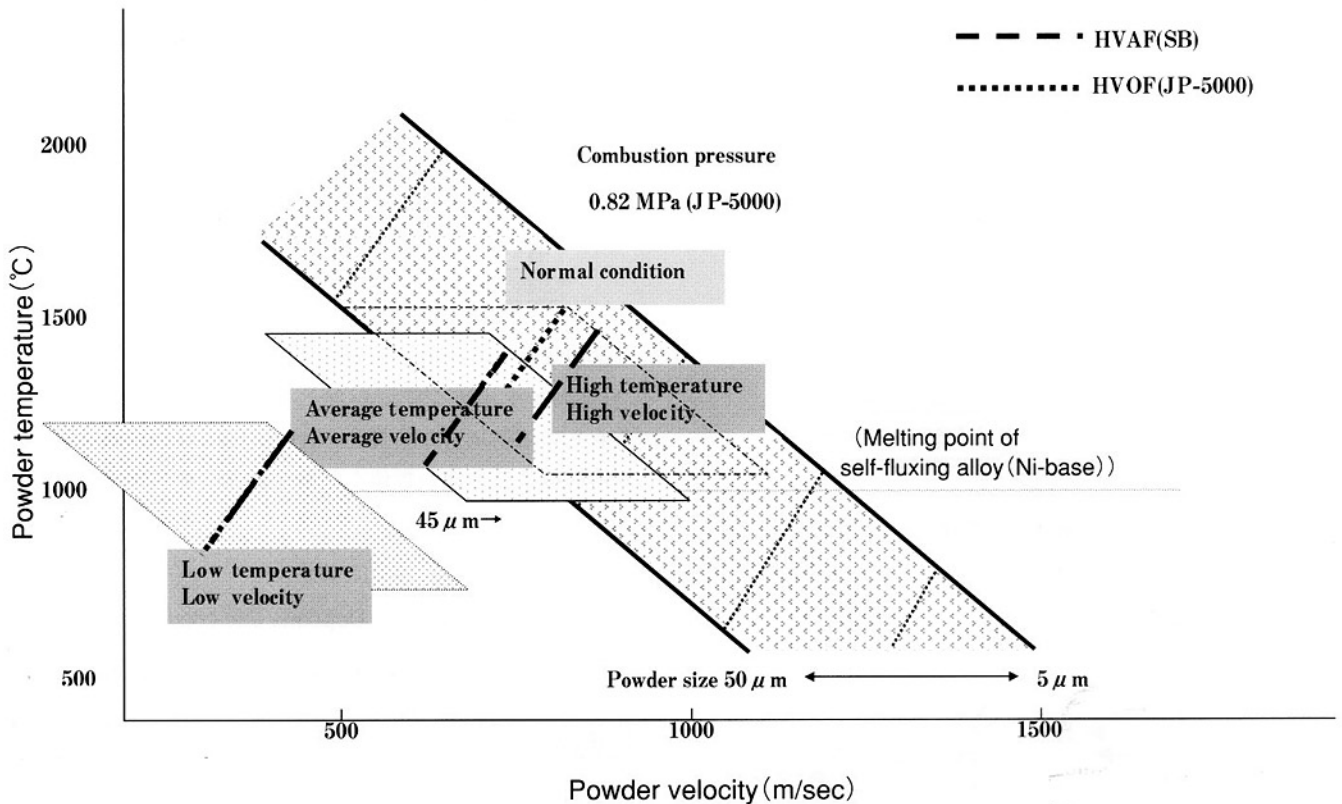


Fig.2 Relationship between powder temperature and powder velocity of self-fluxing alloy(Ni-base)

### 3.2 溶射皮膜特性調査結果

#### 3.2.1 表面粗さ

溶射皮膜表面の粗さ測定結果をFig.3に示す。HVAF(SB)の溶射皮膜粗さは、粉体の高温・高速および低温・低速の場合Ra 4.5~5.0  $\mu\text{m}$ 、平均温度・平均速度の場合3.2  $\mu\text{m}$ であった。HVOF(JP-5000)は、使用粉末が粗めであることからHVAF(SB)による溶射皮膜粗さよりも粗いRa 約5.7  $\mu\text{m}$ を示した。

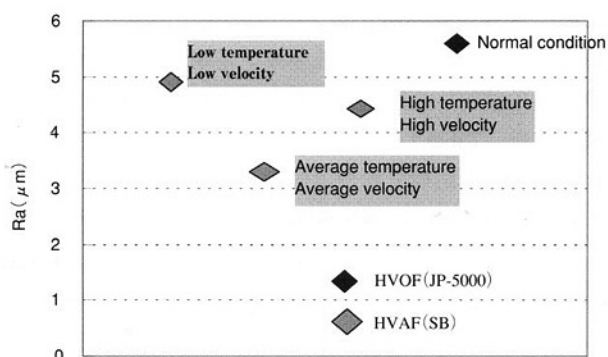


Fig.3 Surface roughness of film

#### 3.2.2 断面ミクロ観察

Fig.4に溶射皮膜断面のSEM・EDS結果を示す。低温・低速では粉末が円形から楕円状に加熱変形した状態で積み重なった形態を表している。高温・高速では粉末の積み重ね部の粒界が見えない状態で粉末が溶融していることが確認できた。この結果から、高温・高速結果が、HVOF(JP-5000)の通常条件での溶射皮膜に近いことが分かった。

Fig.5にEPMA観察結果を示す。上段がNi元素の濃度分布、下段がMo元素の濃度分布である。低温・低速条件では、Ni元素が全体に均一に分布しており、粉末自体の溶融は見られない。Mo元素分布は、濃度がNiに比べても小さいことから全体に分布しているが偏析傾向は見られなかった。平均温度・平均速度条件では、Ni元素とMo元素いずれも濃度の高い部分が明確に分かり、溶融部と未溶融部が混在している。高温・高速では、Ni元素およびMo元素いずれも均一分布の傾向を示しており、粉末が溶融状態で混ざり合っていることを示している。

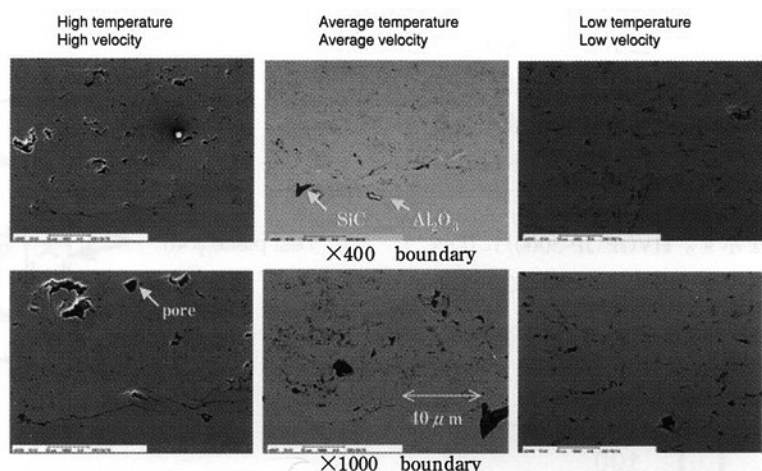


Fig.4 SEM・EDS analysis of film (HVAF(SB))

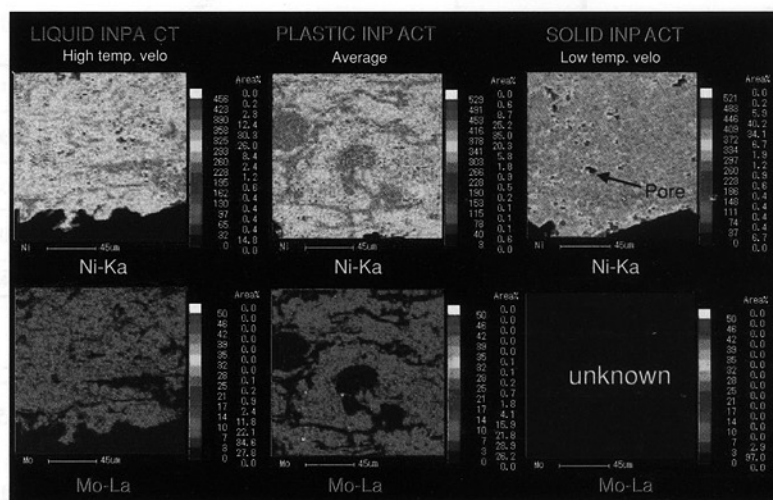


Fig.5 EPMA analysis of film (HVAF(SB))

### 3.2.3 マイクロビッカース硬さ

Fig.6にマイクロビッカース硬さ結果を示す。HVOF(SB)による高温・高速条件と低温・低速条件がビッカース硬さが平均温度・平均速度に比べて高い結果を示している。これは、高温・高速では溶融による急冷組織と低温・低速では未溶融粉末自体の硬さであることが推定できる。

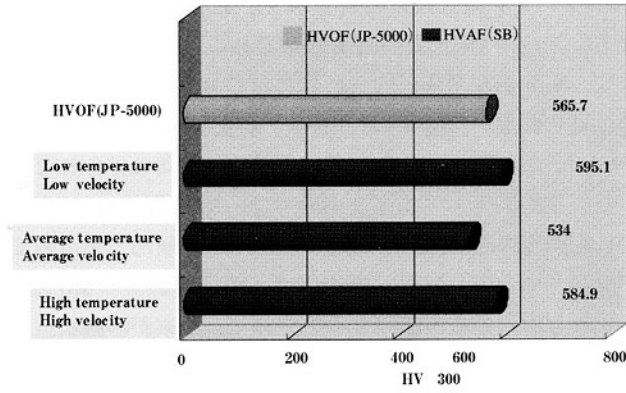


Fig.6 Vickers hardness of self-fluxing alloy (Ni-base)

### 3.2.4 摩耗試験結果

Fig.7に摩耗試験方法の概略図を示す。30度の角度がついたホルダーに溶射皮膜試験片をセットして、上部からプラスト材を叩きつけることによって、溶射皮膜試験片の減量重量変化を測定した。Table 6に使用したプラスト材料の仕様を示す。

Fig.8にこの摩耗試験結果を示す。HVOF(JP-5000)に比べてHVOF(SB)による溶射皮膜の摩耗は大きい傾向であったが、有意差は殆どないと考えられる。

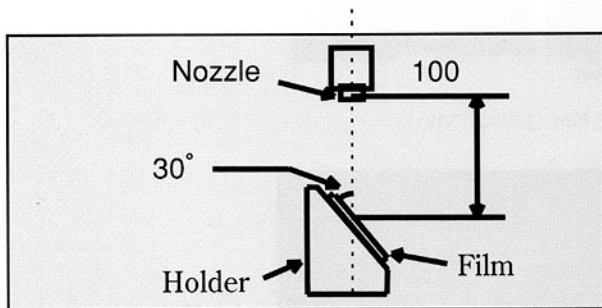


Fig.7 Abrasion test equipment

Table 6 Chemical composition and particle size of blast material

Element	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO
wt%	96.59	0.60	0.11	2.58	0.12

Mesh	35	45	50	60	70
%	0	5-15	58-68	78-97	0

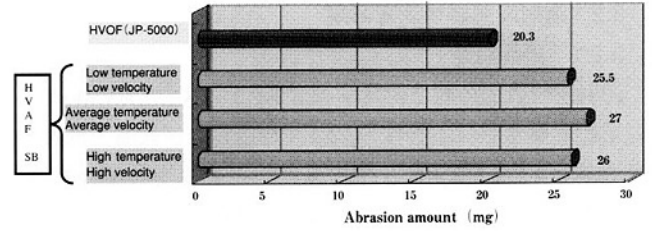


Fig.8 Abrasion test of HVOF(SB) and HVOF(JP-5000)

### 3.2.5 引張試験結果

Fig.9に引張試験機概略図を示す。溶射皮膜面を有するφ40mmの試験片を樹脂で接着して溶射皮膜面の引張強度を確認した。Table 7に引張試験結果を示す。

HVOF(SB)の溶射皮膜が溶融状態での高温・高速条件では、HVOF(JP-5000)の通常使用条件とほぼ同じ強度を示した。これらの強度は、樹脂材料強度を表している。HVOF(SB)の平均温度・平均速度と低温・低速条件での引張強度は低めであるが、いずれも引張強度面での剥離であることから、強度としては高温・高速条件との有意差は無いと考えられる。しかし、引張強度値はばらつきが大きい。

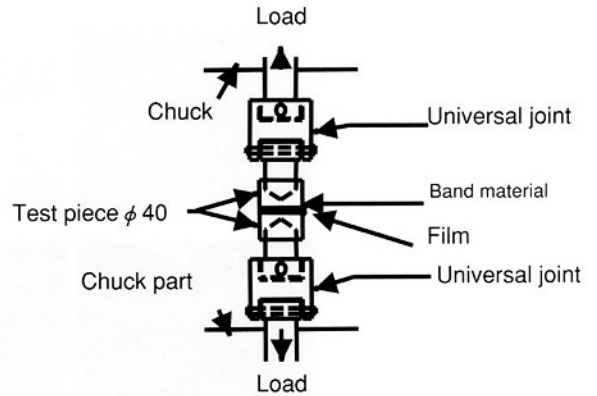


Fig.9 Schematic drawing of tensile test

Table 7 Results of tensile test

	Test number	1	2	3	Average
H V A F (SB)	High temperature / High velocity	8700N	8950N	8750N	8800N
	Average temperature / Average velocity	6100N	8957N	3790N	6282N
	Low temperature / Low velocity	7100N	7325N	8005N	7476N
HVOF(JP-5000)	Normal condition	8552N	9350N	8355N	8752N

### 4 HVOF(SB)溶射機の現地施工適用について

HVOF(SB)溶射機はHVOF(JP-5000)と比較してガン重量は3kgと軽く水冷ケーブルも無く現地運用性は優位であると言われているが溶射時の反力は他のこれまでに使用されているHVOFと同等であり、HVOF(JP-5000)よりも大きい。

この事から現地での手動溶射は不可能であるため自動化が必要である。

また、連続操業での使用では、バレル部の冷却が空冷であるためバレル部内温度の上昇に比例してスピitting傾向が大きくなることが確認できた。

## 5 総合評価

Table 8にHVAF(SB)とHVOF(JP-5000)の弊社から見た評価をまとめてみた。これらの結果は、今後改善され、ますますコストパフォーマンスの高い、省エネルギー型への溶射方法として発展していくことは間違いないと考える。

Table 8 Total evaluation of HVAF(SB) and HVOF(JP-5000)

		HVAF (SB)	HVOF (JP-5000)
SEM EPMA analysis	Melting point 1050°C	○	○
	Melting point 1550°C	○	○
Hardness (Hv300)		○	◎
Abrasion test		○	◎
Tensile test		○	○
Surface roughness		◎	○
Cost		◎	△
Handling		×	△
Spitting		×	○
Safety		△	△
Total evaluation		Normal	Good

## 6 結言

現状で、主流になりつつあるHVOF(JP-5000)溶射装置は、本報告でもあるように溶射皮膜特性がいずれも優れていることが確認できた。しかし、純酸素に替わり空気を使用できるHVAF(SB)は省エネルギーやコストパフォーマンスとしても効果が大きいことから、HVAF(SB)のマイナス面である

(1) 溶射時の反発が大きい。

(2) スピitting傾向が大きい。

等の点を改善しながら、より安定した溶射方法を開発していく。

## 参考文献

- 1) 日刊工業新聞社：金属材料技術用語辞典、P154
- 2) 山田、黒田、福島、湯元：日本溶射協会、第73回全国講演大会、P67
- 3) 溶射技研(株)：TECHNICAL DATA SHEET、HVAF 物理的性質の調査



## 現地肉盛溶接装置

### 1 はじめに

製造業界においては、製品の搬送形態として車両・コンベア・ローラテーブル・起重機等種々の搬送設備が用いられているが、製鉄業では搬送製品が重量物のため、ローラテーブルが主体となっている。ローラテーブルのローラは、使用とともに摩耗していき、ローラ自体の強度・製品品質へ影響を及ぼすため、摩耗量の管理のもとに交換されている。ローラには単体で数トンの重量を有するものが数多くあり、毎回新品に交換するにはコスト的にも大きな損害になるため、摩耗したローラを肉盛溶接補修して再使用している。今まで、ローラを肉盛溶接補修するにはローラをローラテーブルより取外し、オフラインにて肉盛溶接・仕上機械加工を行ない、次の交換ローラの予備品とするのが通常であった。

そこで、現地にて肉盛溶接補修できれば予備ローラの在庫は最小限ですみ、ローラを取外し・取付費用が不要となることからコストメリットがある。また、ローラの摩耗量管理を微細に行ない、現地肉盛溶接補修する事により製品

品質の向上が図れる等の利点もある。ただし、現地での肉盛溶接補修は、ライン停止時でないと施行できない為、時間的制約・クレーン等の運搬機の使用制約があり、実導入するためにはこの問題を解決しなければならなかった。

上記利点を生かし、制約条件をクリアできないかと検討を重ねた結果、現地肉盛溶接装置の開発に成功した。

下記にその概要を紹介する。

### 2 装置の概要と性能

装置は、ローラ回転装置・溶接装置・研削装置により構成され、各装置はローラ間に渡された移動ビームに懸架されている。溶接装置・研削装置は、ローラの軸方向に移動する必要がある為、移動ビームと直交する走行梁に取り付けられている。また、各装置およびパーツは、クレーン等の運搬機の使用制約を解消するために、30Kg以内の重量におさえられ、現地でカセット式に組立てられるようになっている。

図-1に全体図を示す。

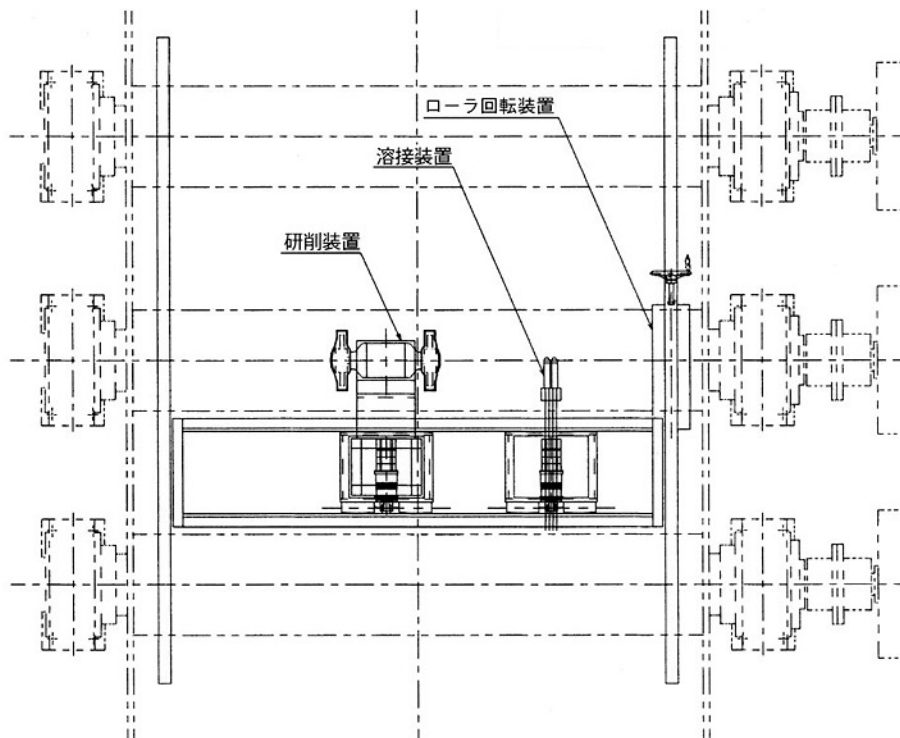


図-1 現地肉盛溶接装置全体図

## (A) ローラ回転装置

ローラ間に渡された移動ビームに車輪をもって懸架され、2対の回転ゴム車輪を肉盛溶接対象ローラに押付・挟み込んで回転動力を伝達することにより、対象ローラを回転させる機構としている。

図-2にローラ回転装置の構造を示す。

また、自動肉盛溶接ができるように、回転ゴム車輪は速度変更設定だけでなく、回転の位置データを取らせるようにしている。

回転ゴム車輪	Φ100ウレタンゴム車輪
車輪駆動モータ	サーボモータ
ローラ周速	110～2700mm/min

## (B) 溶接装置

移動ビームと直交する走行梁にスライドレールとラック・ピニオンを介してキャリッジが取り付けられている。キャリッジ上にはウィーピング装置があり、ウィーピング装置に溶接トーチが取り付けられており、ウィーピング動作を行ないながらの肉盛溶接が行なえる。また、ウィーピング装置に取付ける溶接トーチは、2本取付けることが可能で、2電極による肉盛溶接を可能にしている。

図-3に溶接装置の構造を示す。

溶接装置

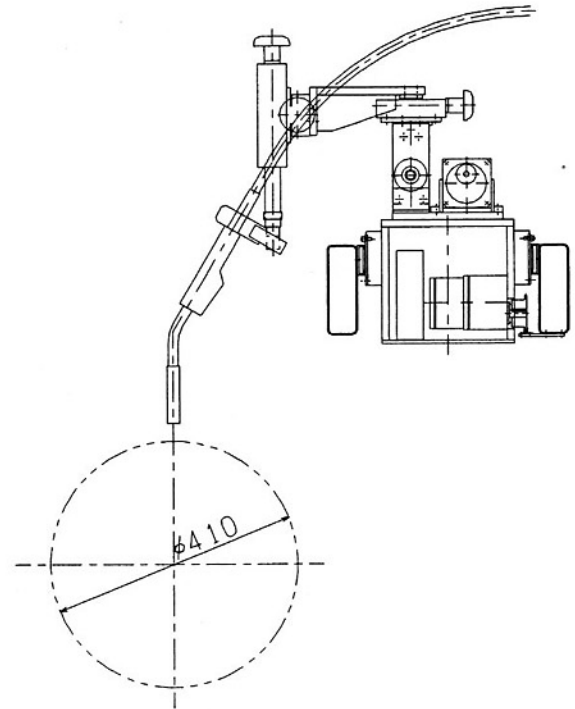


図-3 溶接装置の構造図

回転装置

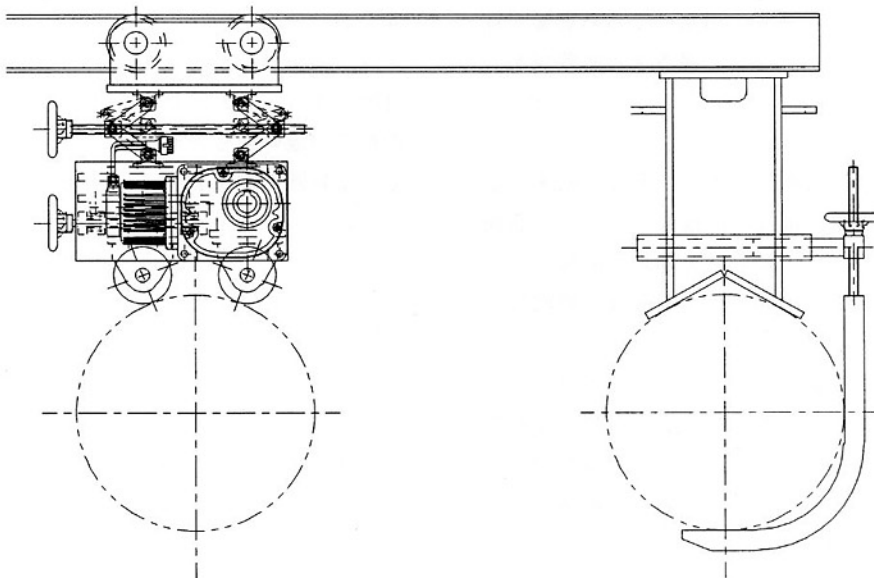


図-2 ローラ回転装置の構造図

さらに、キャリッジの駆動はローラ回転装置の回転の位置データを受けて走行動作する制御であることから、ピッチ送り・スパイラル送りのいずれでも自動運転できる構造となっている。

キャリッジ駆動モータ	ステッピングモータ
ラック・ピニオン	アタッチメント付チェーン
ウィーピング装置	機械式トラバース機構
キャリッジ走行速度	1.3～5700mm/min

### (C) 研削装置

研削装置は、溶接装置のキャリッジを共有の物とし、ウィーピング装置に換えて研削装置を取付ける事により、ローラの軸方向を走行しながら研削して行く事ができる構造としている。研削装置には昇降装置が備えられており、昇降装置にグラインダを取付けることにより肉盛溶接後のビード面の研削作業を行なう。

図-4に研削装置の構造を示す。

また、昇降装置は設定研削高さに対して、砥石の摩耗量を補正する制御を組み込んでおり、一定の研削高さを得る事ができる。

昇降機構	ボールネジ・LMガイド
昇降モータ	サーボモータ
昇降速度	0～1800mm/min

研削装置

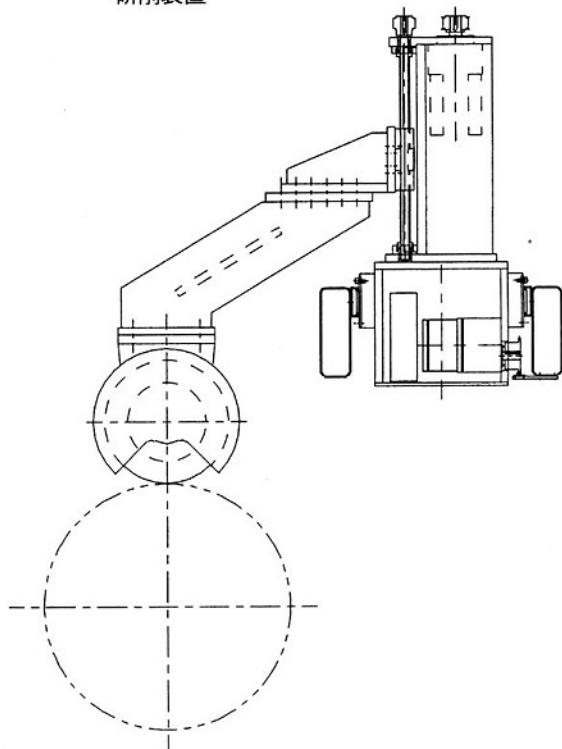


図-4 研削装置の構造図

### 3 装置の特徴

現地肉盛溶接補修は、前にも記したように時間的制約・運搬機の使用制約があり、いかに短時間で肉盛溶接・研削仕上をする事ができ、装置を人力で運搬できる軽量化が図れるかがポイントとなった。また、溶接による熱影響が軸受部等に悪影響を及ぼさないか事前に調査する必要があった。

#### (A) 短時間での肉盛溶接補修

溶接においては数電極でのテストをした結果、2電極が操作性・連続溶接性・溶接後のビード品質面で安定しており、ウィーピングを加えた溶接がさらに溶接後のビード品質が向上し、溶接後の研削仕上時間を短縮できる結果を得た。また、テストではピッチ送り溶接での確認であったが、スパイラル送り溶接の方が良好ビードを得られることが想定されたため、本機ではピッチ送りとスパイラル送り両方の溶接形態が選択できるようにし、両方の溶接形態で自動運転が可能な装置とした。

#### (B) 装置の軽量化

本装置は懸架・走行機構であり、また人力で運搬できる重量を主眼に置いたため、強度と軽量化の両特性をクリアするために、異種材質の選択とカセット式装置の組み合わせをもって解決することができた。ローラ間に渡された移動ビーム・キャリッジ走行梁

は角形鋼管を用い、乗架されるキャリッジ・溶接装置・研削装置はアルミニウムを主体とした材質の選定となった。

### 4 おわりに

以上説明してきましたように、現地での肉盛溶接補修が可能とする装置を開発する事ができ、この装置は、ローラの長さの違いにもキャリッジ走行梁を継ぎ足す事により対応できる装置であります。

[問い合わせ先]

仙台産機 設計室  
Tel. 0223(24)2450 寺村 敏一  
Fax. 0223(29)2084

## 軸接合 ハイスロール (タフレックス)

### 1 緒言

当社が独自に開発した、連続注入クラッド法(Continuous Pouring process for Cladding = CPC)で被覆したハイスロールは、これまで、熱延・冷延帯鋼、棒鋼、線材、平鋼等の圧延ロール、棒鋼矯正ロール等で良好な耐用を収めてきた。

しかし、これらのロールは、主に複合一体ロールとして製造しており、長軸を有するものにおいては、1チャージ複数本採りが困難であった。

そこで、CPCプロセスに軸溶接接合技術を新たに導入し、従来の品質を維持したまま、ロール胴部材の複数本採りを可能とした経済的なロール製作方法を開発した。以下に、その製法および溶接部位の特長を紹介する。

### 2 軸溶接接合製法の特長

図-1・図-2にCPC軸接合ハイスロールの製造工程および製造概要図を示す。通常のCPCロールと比して、開先加工を施したロール胴部と軸部を、狭開先自動肉盛装置を用いて溶接することが、本製法の特徴である。

この製造法を用いる事で、ロール素材を1チャージ複数採取でき、かつ、在庫生産および納期の短縮が可能になった。

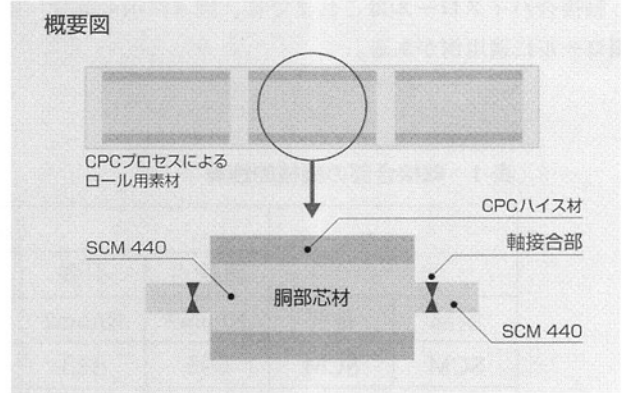


図-2 軸接合溶接法概要図

#### 特長1

従来の1チャージ1本の製造法に対し、長軸のCPCプロセスロールを複数本の胴部として切断。それらに、軸部を溶接接合することにより、在庫生産が可能となり納期の大幅な短縮を実現した。

#### 特長2

肉盛層は、一体複合ロール同様の優れた耐久性を確保でき、CPCプロセスの特徴である、使用特性に合わせた合金設計も従来通り可能である。

### 3 軸接合部位の特長

#### (1) 溶接部断面

溶接部位の断面を図-3に示す。結果、開先側壁部への均一な溶け込みが確保出来る。

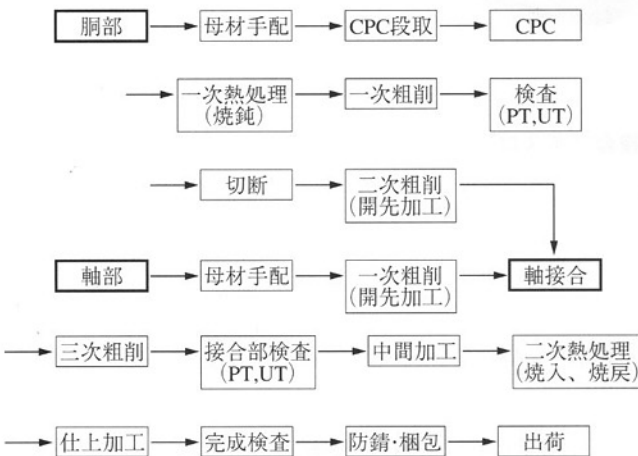


図-1 CPC軸接合ハイスロールの製造工程

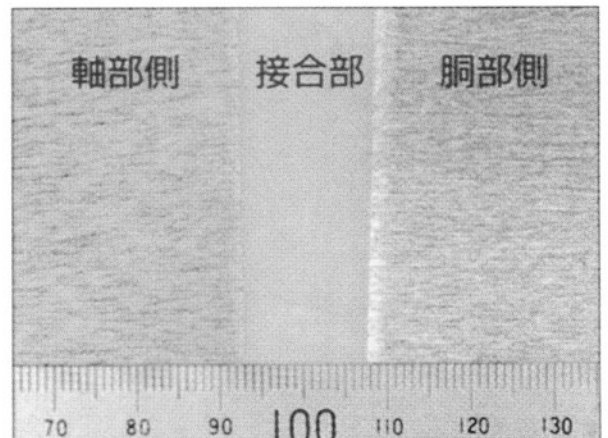


図-3 接合部位切断写真



(2) 機械的性質

引張試験後の破断状況を図-4に示す。破断は接合部以外で発生している。この結果、接合部の強度は十分かつ、接合部から割損する心配はないと判断する。また、軸接合部位の機械的強度結果を表-1に示す。

4 適用例

軸接合ハイスロールはこれまでに、図-5に示す線材、棒鋼ロールに適用例がある。

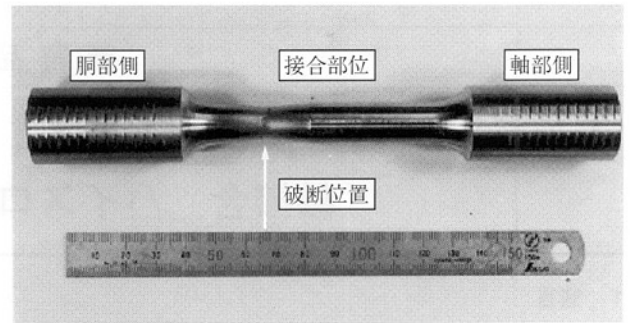


図-4 引張試験結果

表-1 軸接合部の機械的性質

		引張試験結果					衝撃試験結果
		降伏点	引張	伸び	絞り	破断	吸収エネルギー
胴部	軸部	N/mm2	N/mm2	%	%	—	J/cm2
SCM	SCM	695	845	16.5	47.7	胴部側	96
ダクタイル		440	600	0.2-5	—	—	0.35



図-5 線材・棒鋼ミル用複合ハイスロール

[問い合わせ先]

技術開発部 CPC技術開発室  
 Tel. 0865(44)5151 尾崎 健一  
 Fax. 0865(44)5154

## 棒鋼矯正機用CPCハイスロール

### 1 緒言

連続注入クラッド法（CPCプロセス）を世界で初めて開発、実用化した当社は、これまで熱・冷延、平鋼、棒鋼・線材、形鋼等の圧延用ロールにこのプロセスを適用し、非常に良好な結果を得てきた。

これらの用途に加え、このたび新たに棒鋼矯正機用ロールを試作適用し、良好な耐摩耗性とロール表面特性が得られている。対象矯正機は2ロールおよび多ロールタイプのロータリ・ストレートナである。

また、棒鋼矯正機用ロールを製作・使用する傍ら、その使用特性を把握し、より適正なロールを開発・製造することを最終目標として、被矯正材とロールの接触についての理論的な解析に着手した。解析は、第一段階として、棒鋼表面と上下ロールの接触点を求める方法までであるが今後更に発展させて行きたい。

以下、上記2項の開発結果の概要を紹介する。

### 2 棒鋼矯正機とロールについて<sup>1)2)</sup>

棒鋼に発生する曲がり量は、一般には1m当り3mm以内まで許容されるが、加工用途上この限度を越える真直度を要求されるものについては、矯正機を用いて曲がり量を修正する。最近では一般的に曲がりに対する仕様は厳しくなっている。

矯正機としては、油圧プレス式のものもあるが、一般に

は連続式で高性能のロータリ・ストレートナ（ローラ矯正機）が使用される。図-1に各種のロータリ・ストレートナを示す。

ロールの材質はチルド系鋳鉄から、耐摩耗や耐衝撃性を有する高級な合金工具鋼（JIS・SKD11等）が使用されロール寿命が延長された。今回、更なる改善を図る目的で矯正機用CPCハイスロールの開発を行った。

### 3 CPCハイスロールの開発

#### 3.1 ロール構造

矯正機用CPCハイスロールはこれまで2ロールタイプと多ロールタイプの使用実績がある。一例として2ロールタイプ矯正機の凹ロールをCPCハイスロールにした場合の構造を図-2に示す。ロール構造には中実式とスリーブ式がある（客先図面指定）。多ロール矯正機ロールは小径ロールが多いため中実ロールとして製作するが、2ロール矯正機ロールでは特に大径ロールの場合、スリーブロールが適用される場合が多い。

#### 3.2 矯正機用CPCハイスロールの特長

現在、矯正機用ロール材としては一般に表面焼入れした冷間工具鋼SKD11が使用されている。SKD11の単一材で中実ロールまたはスリーブを製作した場合下記の問題がある。

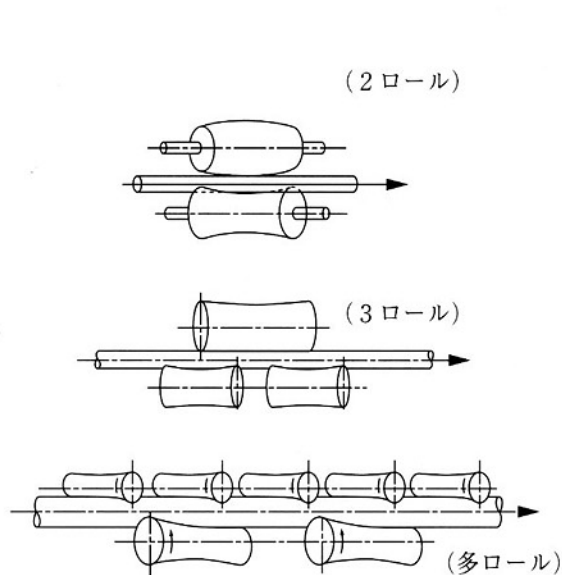


図-1 ロータリ・ストレートナ

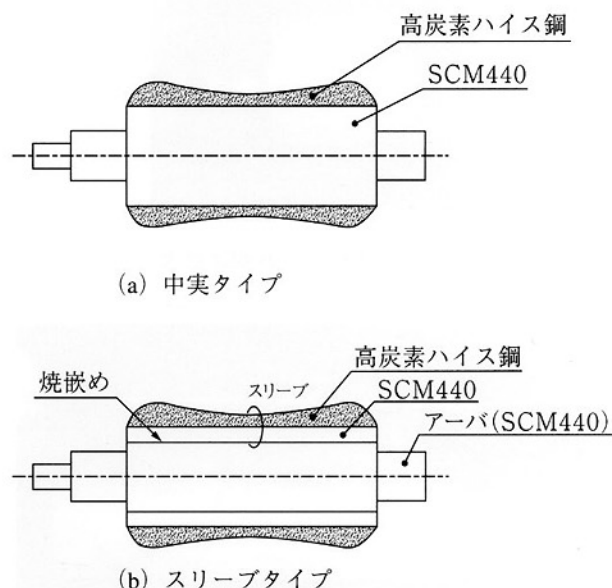


図-2 CPCハイスロールの構造

①中実ロールでは、軸部も靱性に乏しいSKD材のため、クラックの発生、折損の懸念がある。

②スリーブロールでは、軸材として他材質を選定できるので、上記の懸念はないが、スリーブがSKD単体のため、表面焼入れ時や焼嵌め・使用中に割れが発生しやすいという問題点がある。

CPCロールは中実でもスリーブでも高強度・高靱性をもつ合金鋼との複合材であるため、SKD単体ロールの問題点を回避できる。

また、CPCロールではロール表面材質も自由に選定できるため、耐久性の大幅な改善が図れる可能性がある。今回は、高炭素ハイス鋼（Hs80～90）によって高耐久性を図ることが出来た。

### 3.3 使用状況

2ロール矯正機用CPCハイスロールは現在国内数基で使用されている。使用の結果、耐摩耗性は従来のSKD11に比し1.5～2倍が得られている。また、ハイスロール特有の高硬度炭化物が多量に存在するため、打ち疵に強く、ロール表面が平滑である点が評価されている。ロールの組み込み状況を図-3、使用後のロール表面状況を図-4に示す。

ロール材は更に改善できる可能性があり、今後も耐久性の向上を図っていく予定である。

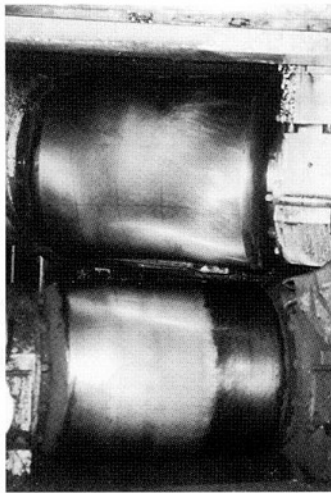


図-3 矯正機ロール組込状況

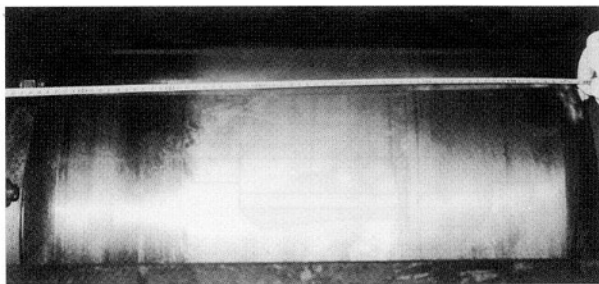


図-4 ロール表面状況

### 4 矯正ロールの理論解析

矯正機ロールの耐久性を向上する傍ら、被矯正材である棒鋼とロールの接触についての理論解析を進めている。

解析対象は2ロールタイプの矯正機ロールである。

ここでは、上下ロールが異なるプロフィールを有し、かつ両ロールの軸心が交叉角度を持つため、ロールと被矯正材である棒鋼の接触が複雑となり、ロール表面には大きさ・分布が不均一の負荷が加わる。この負荷の大きさ・分布により、摩耗、肌荒れ、クラック等のロール表面現象が左右されると考えられる。これらの解析の第一段階として、ロールプロフィール（摩耗も考慮）と上下ロールの交叉角を設定した時、棒鋼軸心から上下ロールの表面までの距離、その最短部を求めることにより、棒鋼とロールの接触点を把握する方法を開発した。<sup>3)</sup>

一例として、表-1および図-5の計算条件、ロール形状の場合の、棒鋼軸心から上下矯正ロールまでの距離の計算結果を図-6に示す。この結果は、上ロールがロールセンタから350mm、下ロールがロールセンタが最短距離部であることを示しているが、これに棒鋼の径を加味することによって矯正ロールと棒鋼の接触位置を求めることが可能である。

表-1 計算条件

	上ロール	下ロール
ロール交差角	15.3°	12.3°
ロール軸心から棒鋼軸心までの距離	400mm	400mm

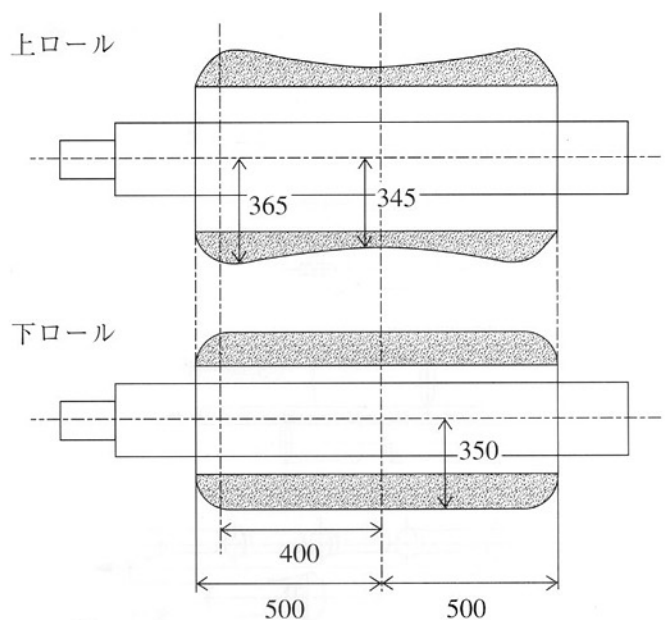


図-5 計算用ロール形状

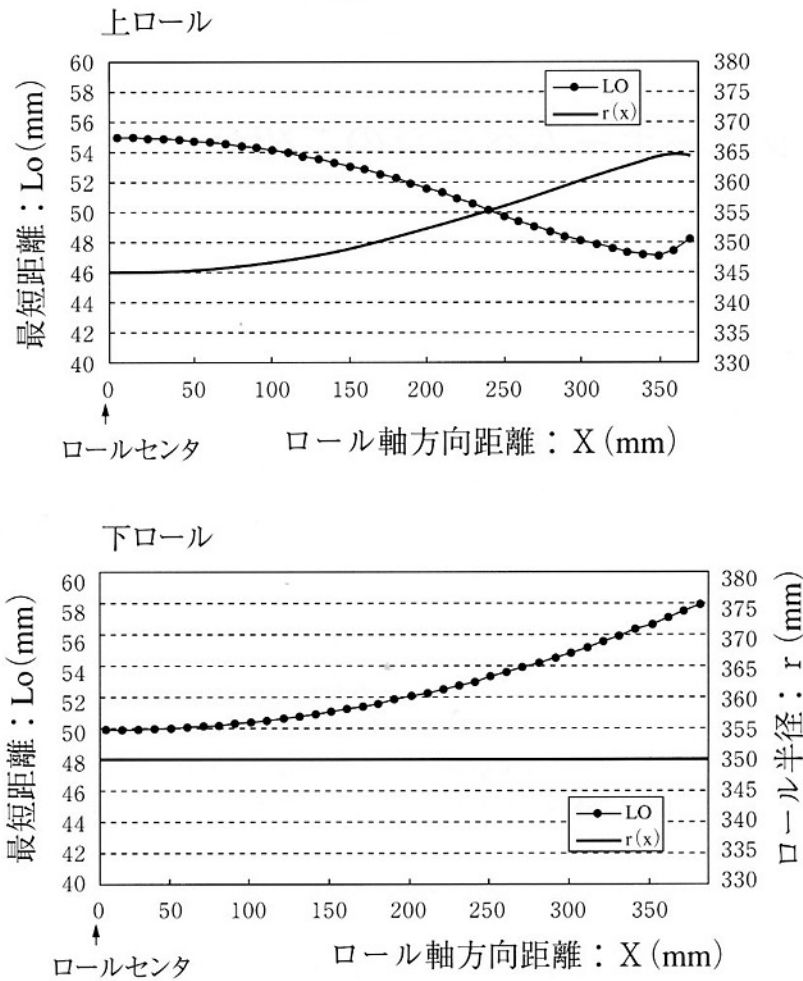


図-6 矯正ロールと棒鋼軸心の距離

今後、棒鋼に加わる曲げやその経路の検討、ロールの摩擦や交叉角の変更による接触位置のズレの検討等に利用し、ロールおよび矯正機の設計に役立てたい。

5 結言

以上、棒鋼矯正機ロールの開発と棒鋼・ロール間の理論解析法の一部を紹介した。今後も矯正機ロール用CPCハイスロールの特性を改善し、適用範囲を拡大したい。また、ロールとその使用条件の解析を進めることによって、新ロールと矯正機の開発を目指したい。

[問い合わせ先]

本社 販売促進部 (山陽工場駐在)  
 Tel. 0865(44)5151 齊藤 弘道  
 Fax. 0865(44)5154

参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会編:鉄鋼便覧Ⅲ(2) (丸善、1980)885
- 2) 木内 学:棒・線材の矯正技術、生産研究、48, No.4 (1996.4)226
- 3) 沼 和宏、尾崎 健一、齊藤 弘道、木内 学:フジコー技報、No.7(1999),37



## フジコーホームページのご紹介

### <緒言>

当社は全国に展開する事業拠点間の円滑な情報交換と共有化、迅速な意思決定、業務の効率化等をねらいとして、平成9年に独自の社内ネットワークシステム“FINES”を構築し運用してきました。(詳細は技報“創る”No.6で紹介済)

さらに平成11年秋、全国・全世界のお客様への情報発信と交流をはかるべく、当社独自のインターネットサーバを設置しホームページを公開いたしました。

高速で大容量の回線を独自に持ち、快適なアクセスを保証しています。

これに伴い、従来印刷物主体で行っていましたが企業紹介や製品案内はもとより、企業動向や新製品の案内を刻々とNET上で発信しています。

### <設計上の留意点>

コンテンツの構成は階層ツリー(図-1)のようになっています。

多種多様なウェブサイトが企業・個人を問わずNET上に掲載されているなかで、より大勢の方にどれだけアクセスしていただけるか、またできるだけ多くのリンクページを開いていただけるか設計及びデザイン上から以下の点を重点的に考慮いたしました。

- 1) トップページのデザインが個性的でインパクトがあります。図-2、図-3をご参照下さい。
- 2) 掲載する情報をできるだけ整然としてまとめるようにし、わかりやすく、また読みやすくしています。
- 3) リンクに統一性があり、見たいページへの操作性を良くしています。
- 4) 画面の構成を工夫し、スピーディな表示を心がけました。

### <コンテンツの特長>

- 1) 主要ページに問い合わせボタンを設定し、お客様とのコミュニケーションを重視しました。

問い合わせ先は掲載内容に関わるそれぞれの部署(技術、営業、管理)に対応しています。

- 2) 事業分野のなかの主要技術項目ではQ & Aを設け、基礎的な技術説明を行なっています。
- 3) 最新情報では本技報“創る”のNo.1から最新号までの

目次が一覧でき、当社の開発系譜がわかります。またバックナンバーを希望される方の利便性も考慮してあります。

- 4) 同じく最新情報で当社商品の詳細を紹介するページを設け、写真やデータを用いて現場での使用状況がわかるようにしてあります。
- 5) 主要ページについては海外向に英文ページを併設しています。

### <ねらい>

- 1) 情報提供エリアが時間的・空間的に拡大し、タイムリーな情報を低コストで発信できる。
- 2) 定期的にページを更新することで、最新情報を迅速にお客様に提供できる。
- 3) E-mailによるお客様との情報交換が迅速化し、企業イメージの向上が図れる。
- 4) 情報交換エリアが飛躍的に拡大し、従来とは異なる事業分野のお客様との交流が図れ、新たなニーズ・シーズの手掛かりが掴める。

### <今後の展開>

社内ネットワークシステム“FINES”を更に充実させ、営業、工場、財務、購買各セクションの機能的な連携を基に、業務の効率を推進して行きます。

また、対外的には全社員がE-mailアドレスを保持し、お客様とのコミュニケーションを一層深め、きめ細かい、質の高いサービスを提供して行きたいと考えています。

株式会社 フジコーのホームページアドレス

URL <http://www.kfjc.co.jp>

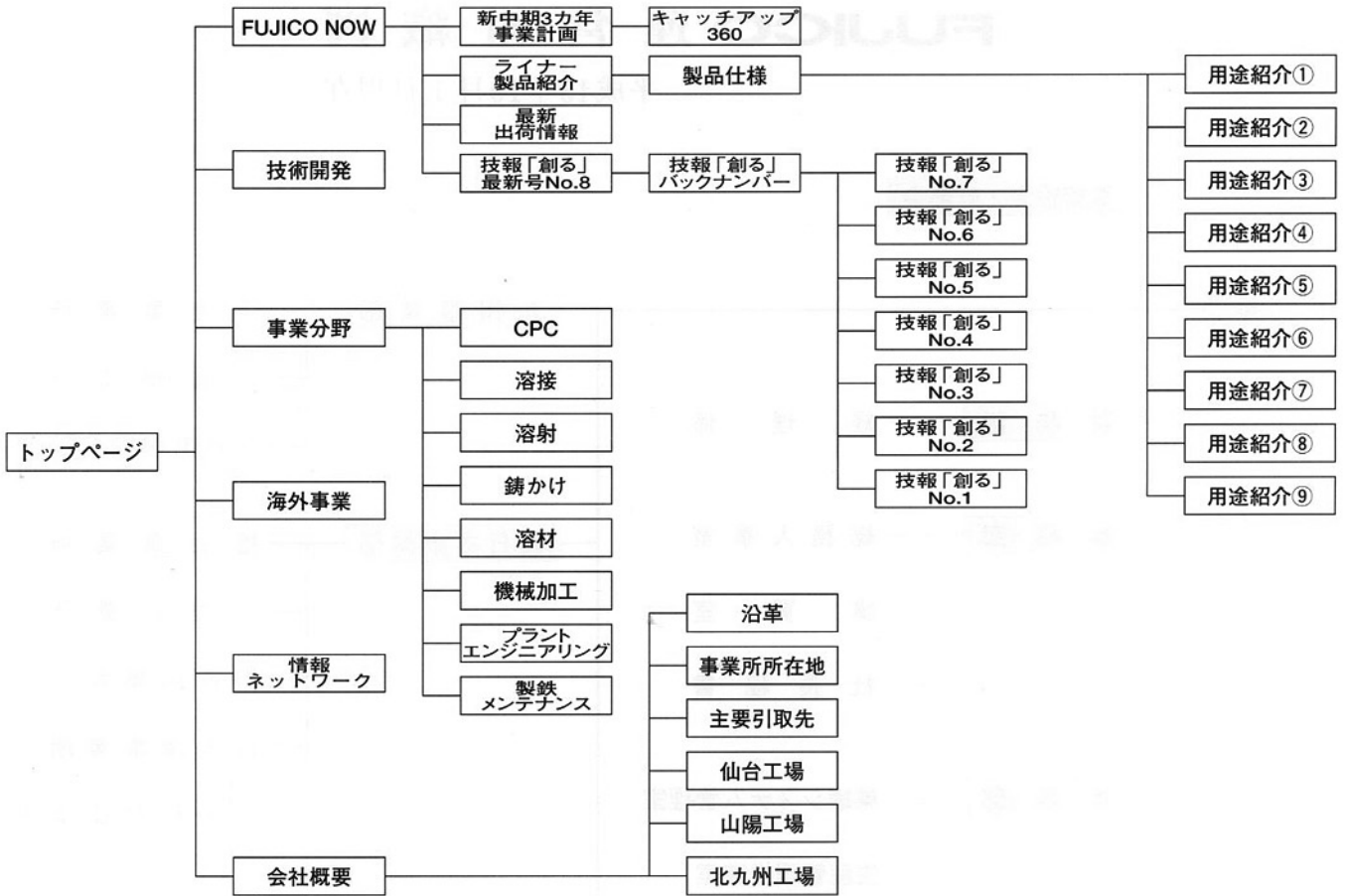


図-1 階層ツリー

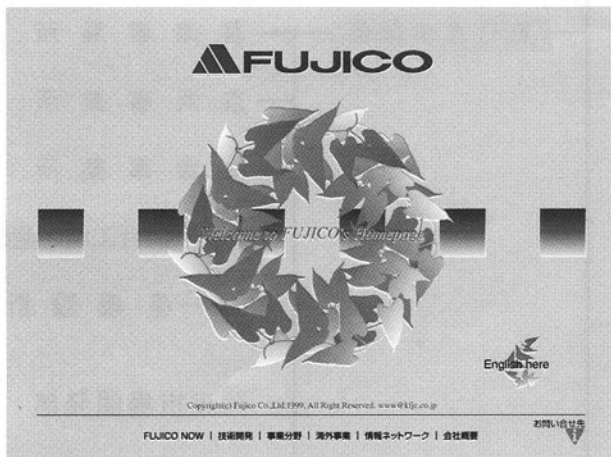


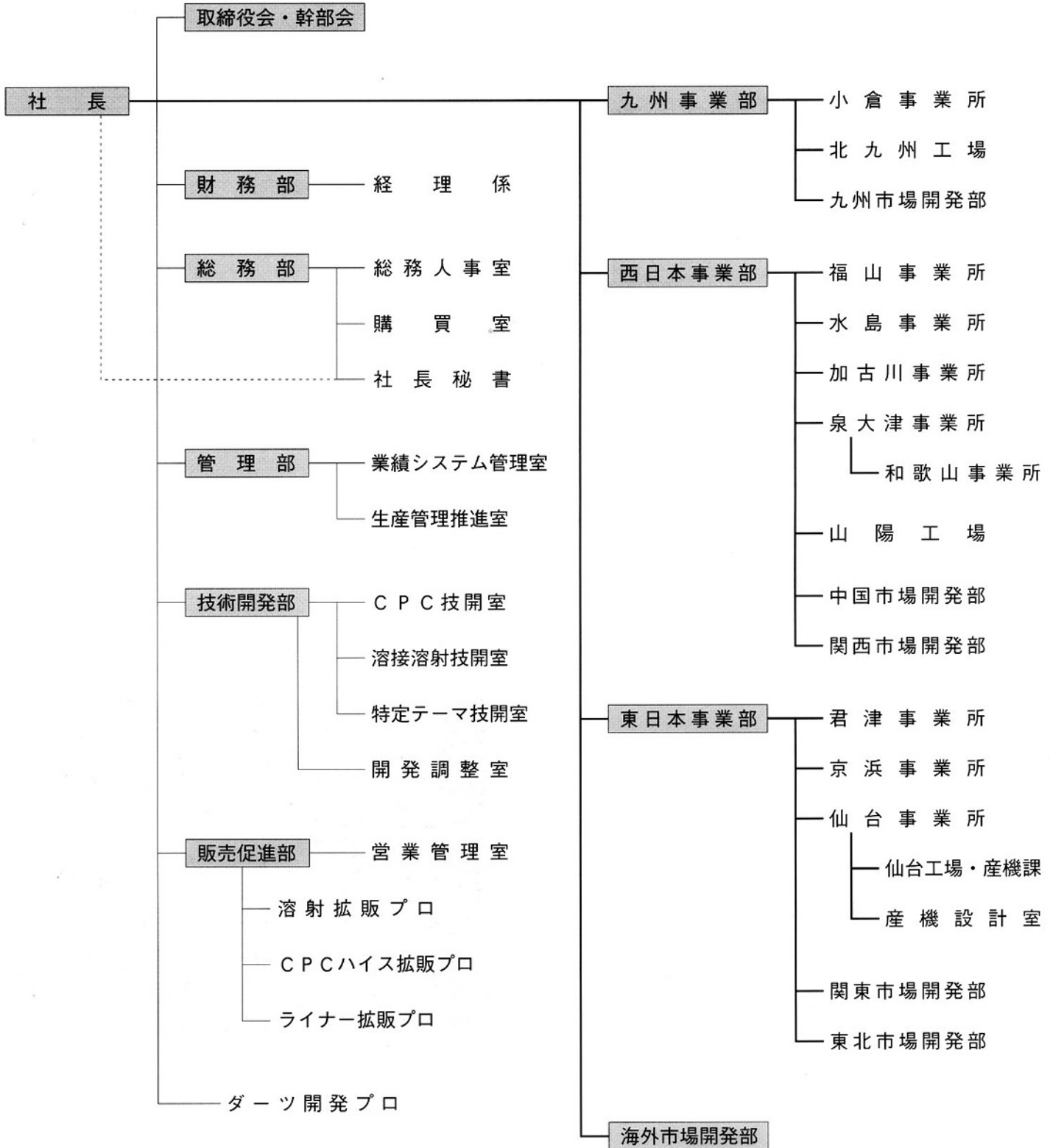
図-2 開設当時のトップページ



図-3 現在のトップページ

# FUJICO 運営組織図

平成13年10月1日現在



## ■本社

〒804-0011 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12  
TEL093-871-3724・FAX093-884-0009  
FAX093-884-0048

## ■工場

## 仙台工場

〒989-2421 宮城県岩沼市下野郷字新南長沼87-1  
TEL0223-24-2450・FAX0223-29-2084

## 山陽工場

〒719-0253 岡山県浅口郡鴨方町鳩ヶ丘1丁目1298番地  
TEL0865-44-5151・FAX0865-44-5154

## 北九州工場

〒804-0054 福岡県北九州市戸畑区牧山新町4-31  
TEL093-871-0761・FAX093-882-0522

## ■事業所

## 仙台事業所

〒983-0001 宮城県仙台市宮城野区港1丁目6-1  
エヌケーケー条鋼株式会社仙台製造所構内  
TEL022-258-4182・FAX022-258-4183

## 仙台事業所産機課

〒989-2421 宮城県岩沼市下野郷字新南長沼87番1号  
TEL0223-24-2450・FAX0223-29-2084

## 君津事業所

〒299-1141 千葉県君津市君津1番地  
新日本製鐵株式会社君津製鐵所構内  
TEL0439-52-0497・FAX0439-52-0498

## 京浜事業所

〒210-0868 神奈川県川崎市川崎区扇島1-1  
NKK京浜製鐵所構内  
TEL044-288-5565・FAX044-288-5563

## 和歌山事業所

〒640-8404 和歌山県和歌山市湊1850  
住友金属工業株式会社和歌山製鐵所構内  
TEL0734-51-7076・FAX0734-51-7076

## 泉大津事業所

〒595-0052 大阪府泉大津市西港町18-14  
株式会社淀川製鋼所泉大津工場内  
TEL0725-21-9182・FAX0725-21-9151

## 加古川事業所

〒675-0137 兵庫県加古川市金沢町1番地  
株式会社神戸製鋼所加古川製鐵所構内  
TEL0794-35-0393・FAX0794-35-9641

## 水島事業所

〒712-8074 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目  
川崎製鐵株式会社水島製鐵所構内  
TEL086-448-3035・FAX086-448-3037

## 福山事業所

〒721-0931 広島県福山市鋼管町1番地  
NKK福山製鐵所構内  
TEL0849-41-0924・FAX0849-41-0937

## 小倉事業所

〒803-0803 福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地  
株式会社住友金属小倉構内  
TEL093-561-2081・FAX093-561-2083

## ■営業部・出張所

## 海外市場開発部

## 九州市場開発部

〒804-0011 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12  
TEL093-871-3724・FAX093-884-0009

## 中国市場開発部

〒675-0131 兵庫県加古川市金沢町1番地  
株式会社神戸製鋼所加古川製鐵所構内  
TEL0794-35-0393・FAX0794-35-9641

## 関西市場開発部

〒532-0004 大阪市淀川区西宮原1丁目8番38号  
ハイマート第2新大阪403号  
TEL06-6393-0031・FAX06-6393-0068

## 関東市場開発部

〒299-1141 千葉県君津市君津1番地  
新日本製鐵株式会社君津製鐵所構内  
TEL04395-2-0497・FAX04395-2-0498

## 東北市場開発部

〒983-0001 宮城県仙台市宮城野区港1丁目6-1  
エヌケーケー条鋼株式会社仙台製造所構内  
TEL022-258-4182・FAX022-258-4183

## 大分出張所

〒870-0913 大分県大分市松原町3-1-11 鉄鋼ビル5F  
TEL0975-58-1257・FAX0975-56-0794

## ■関連会社

## 株式会社サンフジ

〒804-0011 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12  
TEL093-871-1109・FAX093-871-1139

## 株式会社フジテクノ

〒719-0253 岡山県浅口郡鴨方町鳩ヶ丘1丁目1298番地  
TEL0865-45-8001・FAX0865-45-8003

## 株式会社アソート フジ

〒804-0011 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12  
TEL093-873-8770・FAX093-873-8771

## 大新工業株式会社

大韓民国慶尚北道浦項市長興洞140-5 (本社工場)  
TEL001-82-562-285-7024・FAX001-82-562-285-5275  
大韓民国全羅南道光陽市太仁洞1657-6 (光陽工場)  
TEL001-82-667-792-0933・FAX001-82-667-792-2417



フジコー技報—tsukuru No.9 平成13年10月1日発行

---

発行人 吉村 武憲  
発行所 株式会社 フジコー  
技術開発部 開発調整室  
〒804-0011 北九州市戸畑区中原西2丁目18-12  
Tel.093(871)3724 Fax.093(884)0009  
印刷所 株式会社 スピナ印刷事業部  
〒804-0071 北九州市戸畑区川代1丁目2-1

---



シンボルマークは、富士山の形とフジコーのFをデザイン化したものです。小ブロックが右上がりにHOP、STEP、JUMPと飛躍、拡大していく状態を表現しております。