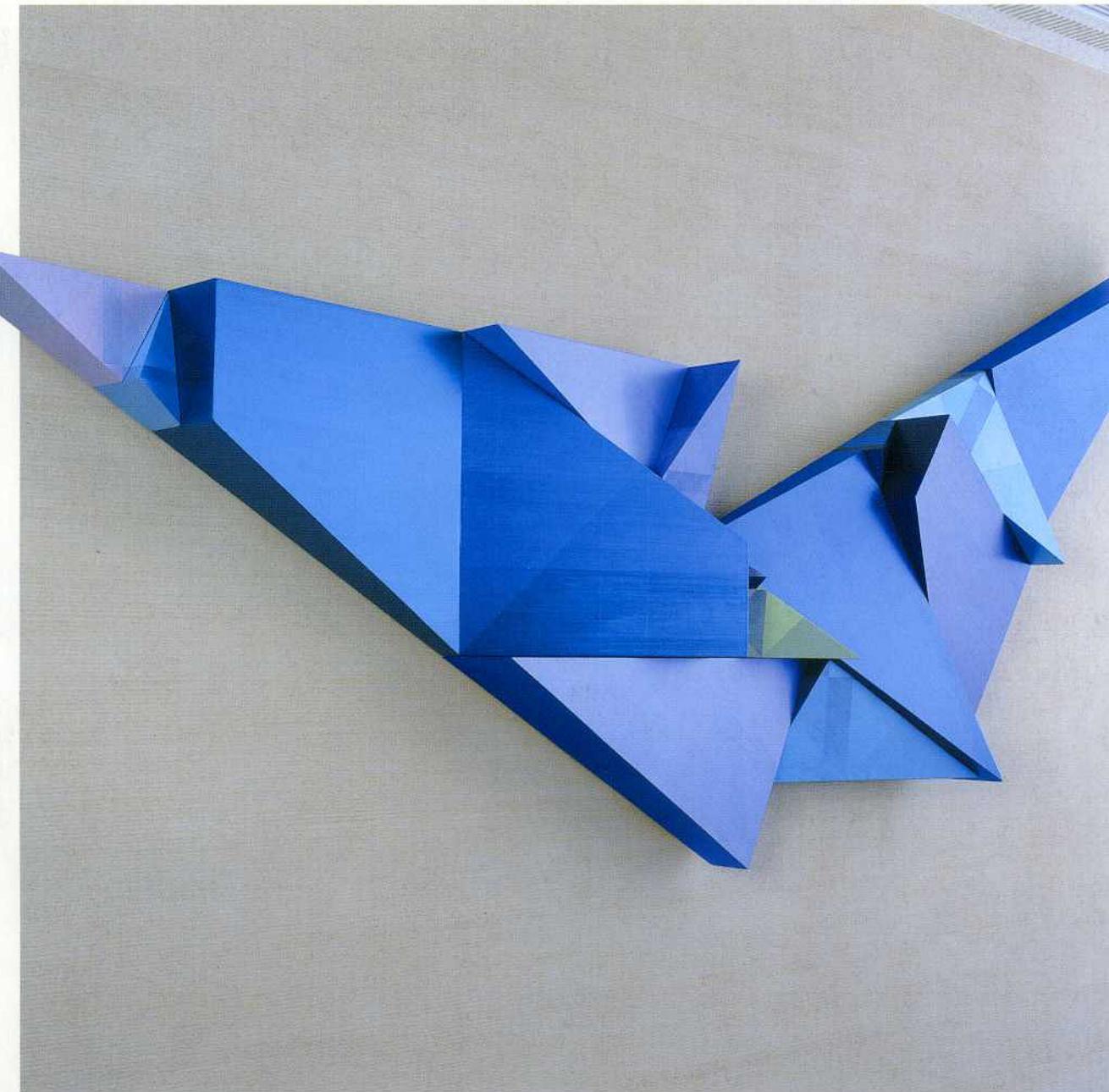


t s u k u r u
「創る」

No.8

Fujico Technical Report 2000



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、現代美術作家／江上計太氏の「Magic Ship」。江上氏は、フレーズの繰り返しを成立の重要な要素としているミニマル・ミュージックをモデルに“繰り返しと連続性の美学”による独自の空間構造作品を制作しています。作品は、幾何学様式にのっとった構成主義で、平面的なペインティングやレリーフ、空間的な彫刻といった様々なジャンルの組み合わせでもあります。

参考資料／ガスコーニュ・ジャパンーズ・アート・スカラーシップ資料より

作者紹介

江上計太 Keita EGAMI [現代美術作家] 1951年福岡生まれ。
'77年東京芸術大学美術学部芸術学科卒業。九州地区における現代美術の動向をリードしてきた現代美術作家。バングラデッシュ・ビエンナーレ最高賞受賞、“ガスコーニュ・ジャパンーズ・アート・スカラーシップ”選抜によるフランス滞在制作展示など、国際的な評価も築きつつあります。また、第5回北九州ビエンナーレでの発表においても大きな注目を集め、「99年には福岡県文化賞を受賞。福岡市在住。

目 次

卷頭言	・21世紀への飛躍を祈念して	新日本製鐵株式會社 八幡製鐵所長 萬谷 興亞	1
隨想	・雨の思い出	三菱重工業株式會社 九州支社長 高木 正浩	4
	・技術戦略雜感	東京大学名誉教授 チュラロンコン大学客員教授 梅田 高照	6
	・老教師の反省と願い	九州大学 名誉教授 松田 公扶	8
技術解説	・溶射技術に関する二三の研究	日本溶射協会 前会長 慶應義塾大学 名誉教授 蓮井 淳	10
	・パルスパワーとその応用	九州大学 大学院 システム情報科学研究院 原 雅則	19
技術論文	・溶射皮膜のキャビテーション試験結果（その1）	洲崎 真二、宮崎 裕之	24
	・JR斜め切り接着絶縁レールのアーク抑制効果	古田 博明、江川 太郎、宮崎 裕之、奥村 幹夫、 沼倉 明夫	31
	・CPCプロセスの凝固伝熱解析	大野 京一郎、尾崎 健一、吉原 直武、田中 紀子	38
商品紹介	・フジコーのライナー	宮崎 裕之	43
新製品・新技術	・取鍋内壁の付着物切斷装置		52
	・フラックス入り溶接ワイヤー用造管機		56
	・アニロックスロール		59
	・転炉出鋼口用スラグダーツ		60
全社組織			62
工場、事業所 所在地			63

t s u k u r u

Fujico Technical Report 2000

No.8

2000.10.1

CONTENTS

Foreword	Okitsugu Mantani	1
Memoir	Masahiro Takagi	4
	Takateru Umeda	6
	Kimio Matsuda	8
Commentary	Atsushi Hasui	10
	Masanori Hara	19
Technical Paper		24
	• Results of cavitation test on a coating film by thermal spraying	24
	• On the reduction of arc-discharge phenomenon with the improved rail joint	31
	• Thermal analysis on solidification in Continuous Pouring process for Cladding	38
Products Review		43
New Products, New Technology		52
	• Development of flame cutter for steel ladle skull	52
	• Development of role forming machine for welding wire with flux	56
	• Information of an anilox role	59
	• Information of Slag stopper "Darts"	60
Organization		62
Address		63

「21世紀への飛躍を祈念して」

新日本製鐵株式會社
八幡製鐵所長
萬谷 興亞
Okitsugu Mantani



FUJICOと云う会社は、技術を大切にし、技術を売り物に発展し、今日の地位を築いてきた会社であること。この地で長く一緒に仕事をしてきた全員が良く知っていることであるし、尊敬してきたことである。これからもこの方針を堅持し、発展し続けられる事を祈念しています。

20世紀最後の「創る」への寄稿の機会を与えていただきましたので、同じく技術を機軸にしてきた一人として日頃考えていること、悩んでいることを書いてみることにします。「21世紀と共に発展していく方途を見つけ出したい。」との願いを込めて。

いまから約10年以上前、〔ルートC〕作戦に乗り出そう。と所員に呼びかけました。何故呼びかけたのかを先ず説明します。

欧米の鉄鋼業は昭和40年代の初め、安くて良質な鉄鋼製品の大量輸入に苦しめられました。輸入鋼材に量を奪われ価格が低落し、経営が急速に悪化しました。輸出国は日本です。

米国は基本は自由貿易主義の国なので輸入を許容し、あおりを受けた米国の鉄鋼業は経費を削り、修繕費を削り、研究開発を縮小し、目先の収支バランスをとることに腐心し、当面の経営の辻褄はとれましたが時間と共に衰退していきました。輸入比率が15%を越えた頃から相手国に輸出自主規制を求め、20%を越えるとアンチダンピング方案を作り、国内の保護主義に乗り出しました。並行して国内鉄鋼業の再生に乗り出しましたが技術も賃金も日本に頼りました。これを〔ルートA〕とします。

同じように苦しんだ欧州の鉄鋼業は、政府から当時の金額でトン当たり1万円近い補助金を貰い経営補

填をしましたが、補助金を貰うと云うことは民間としての自主性を失うことで、政府主導で後には欧州委員会主導で会社間の合從連衡が進められ、いまや一国一會社以下にまで統合されています。これを〔ルートB〕とします。

日本も昭和60年前後の円高の時、輸入鋼材に脅かされました。ルートAもBもとりたくない。そんな思いで〔ルートC〕作戦をと呼びかけた次第です。

〔ルートC〕それは保護主義で守るのではなく国際価格競争力を付けて正面から戦う。まして補助金で生き延びることはしない。

ここ10年、生産構造の調整を実行しリストラも断行し、世界最強のコスト競争力を持っているポスコに追いつくことに努めてきました。結果、輸入鋼材の急増は避けられました。しかし、その過程で失った物も多く、どちらかと云うと〔ルートA〕に近い道を歩んで来たのかもしれません。輸出競争力は極一部の品種を除いて充分とは言えません。

我が所でのその極一部の品種は軌条です。世界でだれもまねの出来ない高級レールが作れること相手が追いついて来たら次のステップの製品を市場に出せる為です。

当たり前の事ですが、ケチケチ作戦でのコスト競争力ではない、技術に裏打ちされたそれを持ち、また時代の要請に応えうる世界一の商品を持たなければ本当に勝つ、まして勝ち続ける事は出来ません。

詰まるところ、強いメーカーか否かを決めるのは「技術」です。日本の高コスト構造高労賃を前提にして、それでも世界で勝つためには高度な技術が必要になります。

どうしたらその様な技術を手中にすることが出来るか、私の体験から得た三つのキーワードは、強烈な目的意識、優秀な見い出し親、「もとしか」の論理です。

優れた高度な技術を生み出すためには、研究費用も優れた研究施設も優れた研究者も必要で、その人達が必死に勉強し、柔軟な発想で取り組む事、全て必要ですが、これらのどれにもまして大切なことは、強烈な目的意識です。世界中で同じ様に優れた技術を追い求めています。また、多くの事例が示すように、不思議と複数の人が同時にアイディアを思いつきます。ギリギリの差でAさんの特許が間に合い、Bさんは間に合わなかったと云うことが枚挙にいとま無いほどあります。

アイディアを思いつく力も、また幾多の挫折を味わいながらもそれをものにしていく力も、その源は「強烈な目的意識」です。

世の中には、生みの親、育ての親、と言う言葉があります。研究、新技術も基本を考え出した人が、工業として完成させるまで一貫してやり遂げることの方が稀で、二人の親が連携して完成させる場合がほとんどです。

この二人の親に加えるに、見い出し親の存在がキーを握っていると思っていますし、私の経験では、良い見い出し親に恵まれるか否かで成功の可否、特に開発スピードは決定的に支配されます。良い見い出し親の条件は、マーケットや現場の実態を良く理解し、洞察し、「強烈な目的意識」をもって、研究の萌芽に接し、鋭く直感的に見抜く力と日の目を見れるようにプロモート（関係者の説得）をしていく力を持っている事です。ベンチャー企業が育つか否かも詰まるところは、本当のプロの見い出し親に巡りあえるか否かによっているのではと思います。

「もとしか」の論理。新技術のアイディアが出て工業化できるまでには多くの段階があります。多くの場合三段階があると思っています。基礎研究、実証研究、工業化の各段階です。

最初の基礎研究の段階で、工業化の立場から評価、批判をすればいたらぬ所だらけで、容易なことでは

納得を得られませんし、折角良いアイディアを出した人を腐らせてしまいます。グズグズしている間に時期を失するか、競争相手に先を越されます。また多くの場合、基礎研究に優れた人が実証、工業化に強いとは言えません。そこで各ステージに強い人に巧くバトンタッチしていくことが大切です。

その場合の受け渡しの時の態度を「もとしか」で表現する、その様に考える事が必要です。

基礎研究した人は、10回の内3回「も」成功した、これは本物だと自信を持って実証研究グループに渡す。基礎研究した人を3回「も」成功する良い仕事をしたと誉める。決して、まだ3回「しか」成功していないではないかとけなさない。

実証グループは10回の内3回「しか」成功していないと思って引き受ける。自分の新しいアイディアを加え、10回の内7回成功するように育て、7回「も」成功するようにした。と胸を張って工業化グループに渡す。工業化グループは、まだ7回「しか」出来ていない。これを10回成功するようにするのが俺らの仕事。と引き受る。

各ステージの人が、それぞれの得意技を積み重ね、工業化と言うゴールにいたる。どの人も偉い、全ての段階の人が誉められるべきで、誰か一人の人が栄誉を独り占めしていてはいけない。

最近、T L Oという制度ができました。大学、国立研究所の技術を民間に移転して、新しい産業を興そうとする制度です。1980年代に米国が産業構造転換、新産業創造のとき採った手法で、今日の繁栄の源となりました。

当然の事ですが、T L Oという制度が成功したのではなく、移転して活用出来る技術があったから成功したので、この制度は移転がスムーズに出来るようになただけです。日本の大学、国立研究機関にどれほど活用できる種があるか、いささか疑問です。

大学の数と研究者の数が日本は不足している訳ではない。先程も述べた強烈な目的意識が欠如していることに原因があるのではと思います。

しかし中にはきっと良い種があるはずで我々が強力な見い出し親になって見つけ出す。一つでも二つ

でも成功体験が出来れば、大学側も強烈な目的意識が芽生えてくると信じています。いずれにしても世界に通用する強い技術を持たなければ勝ち残っていけない時代です。

技術には決して終わりはない。やる気のある人は無限の価値を産む。を信じて21世紀も発展し続けられますよう祈念しています。

【略歴書】

萬 谷 興 亞

昭和14年1月14日生

【学歴】

昭和38年3月 大阪大学 工学部冶金学科 卒業

【職歴】

昭和38年4月 八幡製鐵株式會社 入社

昭和45年2月 八幡製鐵所 八幡製造所特殊鋼技術部特殊鋼技術課技術掛長

昭和45年3月 社名変更により 新日本製鐵株式會社となる

昭和52年2月 八幡製鐵所 厚板部厚板工場長

昭和53年9月 八幡製鐵所 技術部厚板・条鋼管理課長

昭和58年6月 技術本部 厚板技術部厚板管理室長

昭和62年6月 技術本部 生産技術部次長

平成1年6月 八幡製鐵所 生産技術部長

平成4年7月 八幡製鐵所 副所長

平成5年6月 取締役 生産技術部長

平成7年6月 取締役 技術総括部長

平成9年4月 常務取締役 八幡製鐵所長（現在に至る）

隨 想

雨の思い出

三菱重工業株式會社
九州支社長
高木 正浩
Masahiro Takagi



「雨の思い出」と書くと何となくロマンチックな響きがあるが、私には大雨の中、ズブ濡れになりながらゴルフをしたとか、台風襲来の折、工場の屋根が吹き飛ばぬよう暴風雨の中をパトロールしたとか、無粋なことばかりである。

その中でたった一つだけ忘れられない雨の思い出がある。

今から20年前、私は南米にあるコロンビアに滞在しすでに3年が経過しようとしていた。この国は中南米と南米をつなぐちょうど徳利のくびれた部分に位置し、赤道直下にあるため1～3月の乾期以外気温は40度近くにもなり、年中暑く、毎日決まってバケツの水をひっくりかえすほどのシャワーが降り注ぐ典型的な高温多湿の熱帯気候域である。従い、人が文化的な生活ができる所は涼しい高地が主体となり、首都ボゴタ（現在はサンタフェデボゴタと呼ばれている）は赤道近辺にありながら海拔2600mの高地であった。

私はこの首都ボゴタより800km離れたカリブ海側の熱帯地域に三菱重工がコロンビア電力庁から受注したセレフォン火力発電所建設のため建設技術者として滞在していたのである。現地はコロンビア人ですらこの地を“グアヒラ”（古いスペイン語で若干蔑みの意味を込めた“田舎”という意味）と呼び、最も嫌がる陸の孤島であった。当時若かったせいもあり、どんな所か知らぬままカリブ海の美しい夕日や、世界的に有名なコロンビア美人を勝手に頭に描きながら数人のメンバーと日本から27時間飛行機を乗り継ぎながら意氣揚々と現地に赴いたものである。

時差14時間、日本の裏側に位置するこの地は平和な日本からは想像を超えた場所で、広大なマリワナ栽培が行なわれている隣接地にあり、コロンビア政府軍とマリワナの権益を握るマフィアが年中抗争を続けている危険地帯であった。

当然発電所建設現地近辺の治安は驚くほど悪く、現地乗り込み後、半年で完成した粗末な日本人キャンプハウスには24時間銃を装備させたガードマンを配置せざるを得ず、発電所が完成するその後の3年間、ずっと高い金を払いながら日本人の安全を確保してきた。

勿論発電所建設中は常に種々の危険はつきまとい、ピーク時現地にいた1000人を超えるコロンビア作業員同士の喧嘩、サボタージュ、恐喝は日常茶飯事で、その上熱帯特有の気象や環境の違いに悩まされ続け、日本人の健康問題、大雨による道路の決壊、保管機材の水没、盗難と今思い出しても胃がキリキリ痛むほどトラブルは続いた。

しかし工事は遅れながらも日本人指導員の懸命な努力で3年後にはやっと発電所は完成しコロンビア電力庁の立合で連続一週間、168時間の公試に合格すれば発電プラントを引渡しできる状態までこぎつけた。

ただこのプラントは日本では考えられぬことであるが、当時客先の資金不足もあり、蒸気を冷却するために使う海水の取水は海岸から突き出した200mの仮設キャナルを作り、ここから沈砂地を経由して海水をプラント内に取込むようになっていた。

（勿論数年後本設は海岸から500m先の深海部まで大

型パイプを敷設しここから取込むようにしたが）発電所を稼働するために、大型の取水ポンプを動かすと海底の砂や堆積した枯葉がこのキャナルを埋め尽くす現象が発生し海水は満足に取れず必然的にプラントの運転が出来なくなるという危ういものであった。

従い当然のことながら「本設の取水ラインが完成するまでは公試は中断すべし」という意見が社内・客先関係者にも多くあったが、これを延期すると本設ラインがいつ完成するかわからず、プラントの引渡しができるのは何年先かわからぬという不安と（事実このパイプラインはさらに4年後に完成した）日本人指導員は今まで3年間の厳しい作業環境から早く逃れ、一時も早く日本に帰りたいという切羽詰った気持からあえて公試の開始を電力庁に宣言した。

我々にも公試に対し全く成算がなかったわけではなく、今まで3年の滞在経験から雨期に入り雨が降り出すと、乾期に吹く強い北風がピタリと止みキャナルに流入する砂や枯葉は極端に減少する現象があるため運転は可能と見込んでいた。

当時現地にいた日本人は皆、神様に雨乞いするほどの気持で雨が降ることを願っていた。

しかしざ運転を開始すると、切ない思惑は見事に外れ雨期に入ったのに願った雨はいっこうに降らず、我々の気持を逆なでするかのように今まで以上に北風が吹き始め、幅6m水深4m以上あったキャナルは見る見る内に砂で埋まり3日後即ち72時間後には水深3mとなった。プラント運転続行するか否かハムレットの心境で悩みに悩んだ。当然のことではあるが続行してプラント機器にトラブルを発生させた場合、この修復の時間と費用を考えると止めるべきと思うし、逆に今公試を止めると数ヶ月以上かかる不眠不休で調整してきた準備作業は全て振り出しに戻ることになる。あれこれ悩む内にも砂は増え続け、5日目にはとうとう水深2mを切るように

なり水量不足が徐々に発生し、プラント機器保護のためにも中止やむなしと考えたが、それでも公試を中止する合図の連絡はどうしても出せなかつた。

悶々と悩んでいる内に全く天の恵みとしか思えないことに5日目の夕方より急激にコロンビア国内の電力需要量が低下し始め、フル操業時の35%で運転せよとの指令が出されたため取水量も急に少なくなり危うく168時間のプラント公試を完了することが出来た。

完了の瞬間、日本人指導員全員が口がきけぬほどの放心状態となり、その場にヘナヘナと崩れ座りこんだ。3年間汗と涙で頑張ってきた出来事が走馬灯のように頭の中に駆け巡ったことを昨日のことのように思い出す。その内、公試に立会った客先副総裁が真っ先に訪れ『おめでとう！日本人のプラント建設に対するエネルギーには敬服する。コロンビア国民を代表してお礼を言いたい』と握手を求められた時には、それまで耐えてきた涙が目から吹き出し、何も見えぬほどであった。

3年間何かと論争を続け親しく出来なかった人だけにこの言葉ですべての苦労が吹っ飛んだ気がした。顔中を涙に濡らし公試完了の祝宴会場に向おうと外に出た途端、全く皮肉にもあれほど待ち望んでいた雨が我々の気持をあざ笑うかのごとく滝のように降り出した。

私は涙を人に見られたくなかったため、顔を天にむけこの雨の中をズブ濡れになりながら一人でフワフワ、まるで雲の上を行くような気持で歩いた。一生忘れられぬ雨中散歩であった。この時ほどものを【創る】喜びを感じたことはない。

(株)フジコーさんの技報、tsukuru【創る】を拝見し20年前を思い出しながら筆をとった次第です。

隨 想

技術戦略雑感 —開発途上国からみての鋳物を例に—

東京大学名誉教授
チュラロンコン大学客員教授
梅田 高照
Takateru Umeda



日本の製造業の将来を心配する声を昨今よく耳に致します。物造りに対する世間の関心が薄れ、特に若者が製造業離れしていると言われています。このような趨勢から、資源のない日本では製造することこそ日本を担保するものであって、製造業だけでなく日本の将来が危ないと憂慮されています。私共の世代では、戦後の何も無い時代と、今から見れば信じられないくらい成長につぐ成長を遂げた高度成長時代を、経験しました。したがって、これを支えた製造業の役割をよくわかっています。ものをつくりらず（造らず、創らず）して、価値が生まれません。原料や製品を輸入する代金を、ものをつくり・加工して輸出することで、収支を合わせることは、今後も変わらぬ基本であります。

一方、日本がいつのまにか社会の構成が高度・複雑化され、第三次産業のウェートが西欧社会と同じか更に大きくなってきております。国民生産GDPの70~75%に達しています。サービス化社会とか脱工業化社会の段階に日本はすでに達しております。

1973年に起きた石油危機のときオイルの値段が数倍に高騰し、その衝撃は非常なもので、物価が2倍になったり社会不安さえ生じました。過剰反応であった面がありますが、その当時原油購入代金は全輸入代金の約5%を占めており、單一でこれだけのシアーを占める最大品目の価格急上昇が大きな影響を及ぼしたことと現在では理解できます。ところで、現在の原油価格は史上最高で約二年前と比べ2倍くらい高騰しているのですが、日本ではありません。今年7月はじめボストンに一週間ほどおりましたが、CNNや新聞では連日トップで大きく

取りあげ、ガソリン価格の値上がりぶりを報じ、夏休みのドライブ旅行を縮小したり止めたりする例を報道しておりました。日本では、約二年前と比べると20から30%の円高と原油・ガソリン輸入の規制緩和が幸運にも重なり、最低価格の時と比べると上昇しておりますが、ガソリン価格の上昇が押さえられ、数年前と比べると安くなっています。現在日本における原油購入代金は全輸入代金の最大の品目であることは変わりませんが、全輸入代金の0.1%程度と27年前の石油危機と様変わりです。その間円が3倍くらい高くなったこと、原料ばかりでなく製品更に広義のソフトウェアの輸入が格段に増えたこと、によって原油価格高騰の影響が他に影響し難くなっている構造に変わってきたことが挙げられます。そして日本経済全体で見ると、量的拡大を遂げたなかでサービス化が著しく進展し、第二次産業すなわち製造業の役割が半減したことで、原油価格最高値更新に拘わらず、知らずのうちにそれを吸収していることが窺われます。オイルショックを知る者にとって日本経済の奥行きが深くなっていることに感慨深いものがあります。

私は現在タイ国のバンコクにあるチュラロンコン大学に勤めております。今年の5月末の赴任ですので滞在期間が短く、軽々しく結論じみたことは言えませんが、これまでの10年の交流の経験から、少なくとも自動車関係の輸出が大きく発展してきたことがあげられます。最近の国策として、自動車ならびにその部品工業を積極的に育成してきたこと、日本の自動車関係会社がアジア危機中あるいはその後も積極的に投資して、タイ国内のみならず東南アジア

を始めとして日本や世界の供給基地としての役割を担わせて、自動車ならびに部品工業の東南アジアの国々のなかで、勝ち組となっております。

ここでの見聞は、人件費の安さと、既存の技術を導入して比較的新しい設備を有していることと相まって、安い製品を作りうることにあります。技術の発展途上国は、技術の蓄積のなさ・幼さを、最新の設備と人件費の安さでしのぎながら、技術の経験と蓄積を積み重ねております。一物一価が世界中に浸透していく現在、量産品の付加価値が低いものから、徐々に付加価値が高いものにシフトしてきており、高度の技術が必要とされる量産部品にも、優位を取ろうとしております。

鉄鋼業においても、一国の生産量で中国に抜かれ、一社の生産量でPOSCOが世界最大となり、ヨーロッパ、米国、日本へと最強の鉄鋼生産国が移動していくことを想起させます。現在は総合力として日本の比較優位を疑うものはありませんが、後に続くものの勢いと有利さを感じます。鉄鋼業は莫大な資本が必要とされる装置産業であり、運転には高度なシステム化が要求される基本産業であります。このような分野でも30年のスパンで見ると大きな変化がダイナミックに生じていることがわかります。

それでは、このまま我々は、開発途上国に負けていくのか。一部はイエスであり、一部はあり得ない、ことあります。タイのワーカーの人件費が日本に比べ、バンコク郊外の一例では1／25程度であり、この様な安さでは、かなりの製品がタイに移行していくのは、自然の流れであります。鋳物の例では、トラックのエンジン関係の鋳物がすでに量産されてタイの国内のみならず日本に逆輸出されています。品質が確保され価格が安く、タイへの自動車部品の移転が今以上になると思われます。

アメリカにおいては、付加価値の低い労働集約的な製造業は早くから他国に任せて輸入し、自国の得意な航空機、情報産業などの製造業を死守していることがわかります。日本も労働集約的な産業は開発途上国に任せていくことは、今まで述べてきましたように当然であります。高度な技術集約な分野

に活路を開き、新規な分野を形成していくことが望まれましょう。しかしアメリカのような資源大国と違って、ほぼあらゆる原料を輸入に頼り、しかも日本のような人口の大きい国は、量の大きな製品は付加価値が低くても簡単に捨てきれないことも明らかです。この10年日本では、土建業が100万人程度の新規雇用を果たした、と言われています。批判の多い公共投資を通じ、労働集約的な土建業が最大の新規雇用先となったことは（IT産業の育成など長期に至る政策のなさが悔やまれます）、いかに雇用の確保が重要であるかの証拠であるわけです。端的に表現すれば、雇用人口が大きい量産品は安物であっても、生産現場を発展途上国に移転しても（現地資本がやる前に日本資本を関与させる）、生産技術・設備・運用技術などの面で、リードを保ち続ける覚悟と努力が必要と思います。この様な分野こそ高度な技術が集約されているわけです。全く新しい分野だけが高度ではないわけです。すなわち、どこで造ろうとも（経済的に最適な製造現場が日本でなくても）、主要量産技術を磨いていくことが、技術が残り現場作業者が減少しても、どこかでその製造業の雇用が確保されることになると思われます。いったん技術が放棄されると、修復は困難ですし、雇用は担保されません。また、日本国内ならば、極度の自動化による人件費の削減・究極的には無人化を目指した作業時間の延長、製造法のノウハウの知的財産化、製造法のシステム化、製造機械の知的財産化などを図っていく必要があります。中小企業においては、独自技術の開発が今以上に望されます。これらは、折に触れすでに提案されているものであります。基本に返り、彼我との比較で戦略を練るしかありません。ここで、負けると決まつたら、ずるずる負けて行くしかありません。やれると思われる分野は、守勢でなく、粘り強く、やって行くしかありません。

IT技術の導入を積極的に図り、製品図から方案図・加工図への自動的展開、生産の工程内管理の徹底化、無駄のない生産システム、無駄のない物流システムの構築などが当面の課題であります。

隨 想

老教師の反省と願い

九州大学
名誉教授
松田 公扶
Kimio Matsuda



昨今、M2ロケットの打上げ失敗、東海村の臨界事故、雪印乳業の牛乳汚染などの事件が続発し、我国の「モノづくり」の将来に対する不安が増大した。確かに「モノづくり」を自負してきた我国の製造技術に何か綻びが生じているのではないかと極めて不安である。

戦後官民の必死の努力により我国の「モノづくり」を担う製造業は世界に類を見ない速度で発展し我国経済の繁栄に貢献し、国民所得も80年代半には名目上ではあるが米国を抜くまでになった。

しかし、85年のプラザ合意に伴う急激な円高により、製造業は安い労働力を求めて海外生産に走り、生産設備や人員過剰の問題を起したが、高い生産技術に基づく高品質な「モノづくり」によって得られた富は不動産や株式投資に流れた。

89年ベルリンの壁の崩壊に続いて、核兵器を背景とした米ソ二大国による冷戦構造は崩れ、政治経済も新しい秩序を模索することになった。

我国においては90年代に入り土地神話の崩壊に伴うバブル経済の破綻、オウム真理教によるサリン事件、阪神大震災など社会をゆるがす出来事が続発した。

我国は国土が狭く山が多いので耕地面積が少なく、食料の自給率も40%と低い。さらに地下資源にも恵まれないので、国民の生活を支えるには高い生産技術に基づく「モノづくり」の製造業の育成以外生きる道はなかった。幸にして我国のもつ唯一の資源である日本国民は、その英知と努力によって今日までの繁栄を築いてきた。

しかし、近年我国の生産技術が疑われるような事

件が続発すると共に21世紀を左右するといわれている、情報通信ならびにバイオ技術は、欧米とくに米国に完全に水をあけられ、日本は凋落の道を歩み始めているのではないかと危惧されるようになった。

永年、教育の場に身をおき、いささか我国の科学技術の振興にたずさわってきた者として、反省をこめて2、3希望を述べたい。

戦後の教育を受け、戦後に工業教育と研究の場に身をおいた者にとって、教育研究の主な使命は欧米先進国の進んだ科学技術をいち早く吸収し、これを学生教育に生かすことであった。今日いわれる独創的な基礎研究は、基礎科学を分担する理学部に任せなければよいと誤解していた。研究によって得られた成果も学会に発表することによって広く公表し、特許を取得しようとは考えないのが普通であった。産業界においても国外技術を導入し、これを改良改善することによって品質の向上、生産の増強を図る道がとられていた。

しかし、今日の我国科学技術の現状を考えると、次世代の若い技術者の養成を使命とする大学の教官としてこのような態度は誤りであったと深く反省している。

次に、我国の大学教育に極めて大きな影響を及ぼしたと考えられる事件は、60年代末に発生した大学紛争の嵐であった。大学附置の研究所に勤務する教官にはその影響が少なかったが、直接学生の教育に当る学部教官にとっては日々の学生との対話集会ばかりでなく、従来から行われてきた大学教官と産業界の接触ならびに产学研協同研究は「悪」との風潮が広がり、一時期大学教官と産業界の糸が切れた時期

があった。产学連携により最新の産業技術や問題点に接することにより大学教官自身の資質の向上を図りこれを自からの研究や次の時代を背負う若い学生の教育に資することは極めて重要である。かゝる観点からしても大学紛争は我国の科学技術教育の発展に極めて不幸な事件であった。

無資源国家日本は科学技術で付加価値を付けることで今日まで国民生活を支えて來たし、これからも支えてゆかなくてはならない。これには我国唯一の資源である国民の資質の向上が極めて重要であることは論をまたない。

戦後我国の教育制度は占領軍の勧奨により6・3・3・4制が導入され、その内容も大きく変わり民主教育が強力に進められ、国民全体の教育水準は向上し、経済の発展にも大きく寄与したことは疑いない事実である。

他方、我国の工場では生産を急ぐあまり環境への配慮に欠け、水俣病に象徴される公害問題を起し、工場は悪のイメージを強めた。その上工場作業は3K（キツイ、キタナイ、キケン）な仕事とマスコミに過大に報道され、これが国民の意識にも深く滲透し、汗を流して眞面目に働くことを馬鹿にする風潮さえつくり出された。

一方社会が豊かになり高学歴化の指向が強まり、若者の多くは苛烈な受験戦争の中で「数学」「理科」を苦手として敬遠し、入学後アルバイトがし易く卒業後も3Kのない職場に就職できる文科系に進学し、理工系離れが加速した。大学では受験生を集めるために試験科目を大巾に減らしたため、入学者のうちには理工系学生に必修な「物理」、医学系学生で「生物」を高校時代に十分履修していない学生さえ入学する事態になった。

高校段階でも偏差値教育の中で工業高校が不當に蔑まれ、工業高校に配分された生徒は希望を失い卒業後も定職につかず、アルバイトやパートで生活

費の一部を稼ぐ、いわゆる「フリーター」となるものの比率が急増し、99年新卒学生のうち高卒で3割、大卒でも2割に達したといわれている。

我国では政権が変わるたびに、重要施策の一つとして必ず教育振興又は改革が取り入れられるのが常である。85年のプラザ合意を受けて、それまで我国の経済を支えて來た鉄鋼・造船を中心とする重厚長大産業から、電子・情報を中心とする軽薄短小産業へ転換する必要があるといわれるようになった。

これを受けた当時の中曾根政権は臨時教育審議会を設置し、官学民の有識者により社会人教育を含めて今後の国民教育の在り方を諮問した。数年に亘る審議の結果、有益な答申も出されたが、その後の政治経済の混乱により、その主旨は十分生かされないうちに、97年末に東南アジアの金融危機が起り、我国経済も大きな影響をうけ、経済の運営をも変えざるを得ない情勢となった。

21世紀にも繁栄を続けるには次の世代を担う若者の教育の重要性が増大した。

21世紀はIT（情報技術）を中心とした時代になるといわれており、従来の感覚の単なる情報化・OA化とは異り、コンピューターやインターネット、情報通信関連の技術全体を指す技術である。更にこれを有効利用するには個々のハード技術は勿論のことソフト創出能力のある人材が多数必要となる。

このため、従来のつめ込み型の教育から、自からものを考える時間を与える「ゆとり教育」が近年小・中・高校において大胆に導入された。しかし、これには必然的に教科の削減を伴うため、大学入学生の学力低下は避けられず、特に理工系大学生の理数学科の学力低下が著しくIT時代に対応し得る人材を養成し得るか危惧される。

教育の効果はその成果が現われるには長年月を要し、施策の良否は速断し難く誤りなきことを切に願うものである。

技術解説

溶射技術に関する二三の研究

Some Study of Thermal Spraying Process

日本溶射協会 前会長
慶應義塾大学 名誉教授
蓮井 淳

Atsushi Hasui



1 緒言

溶射は、溶融あるいはそれに近い状態にまで加熱した微粒子を基材表面に高速度で衝突・堆積させて皮膜を形成する技術で、表面被覆による材料の表面改質法の一つである。溶射は、スイスのM.U.Schoop博士によって発明された技術である。この技術が導入されたのは1919年であるから、わが国における溶射は80年余の歴史をもっている。この技術導入の目的は美術工芸品、建築装飾品などに鍍金をすることであったので、当初は、その分野の用途に利用されていた。その後、数年経つと、一部で防食用に亜鉛や亜鉛・すずの溶射が行われるようになった。戦時中には、一部で生産設備への耐熱・耐食溶射、自動車、戦車などの部品への肉盛溶射、その他特殊な補修溶射が行われた記録がある。戦後、溶射の主なる用途は、各種容器類、土木建造物などへの防錆、防食溶射であった。昭和30年代に入ってからは、それまでのフレーム溶射、アーク溶射に加えて、プラズマ溶射、爆発溶射など新しい技術が導入され、一方、人工衛星の本体、ロケットノズルなどへのセラミック溶射の応用が紹介され、この技術への関心が高まり始めた。

高度成長期の1960年代後半に入ると、各種産業の活動が活発になり、各種の機械、装置の部品、部材は次第に過酷な使用条件に対応することが求められるようになり、広い産業分野において表面改質技術に対する関心が急激に高まった。それに応じて、溶射技術においても、溶射法と装置の開発と高性能化、各種溶射材料の改良と開発、また溶射施工法の進歩と管理などが着実に進んで、皮膜の種類が増加し、かつ、その品質が著しく向上した。その結果、現在、この技術は広く諸産業において有効に利用され、極めて重要な加工技術になっている。

2 現在の溶射法¹⁾

現在、一般に実用されている溶射法は、溶射材料を加熱する熱源の種類によってガス式溶射と電気式溶射とに大別されている。

2.1 ガス式溶射

2.1.1 フレーム溶射

通常、フレーム溶射といわれているのは、酸素と可燃性ガスの燃焼炎のエネルギーを用いるもので、溶射材料の形態によって溶線式、溶棒式および粉末式に分類される。燃焼炎は安定な熱源であるが、その温度の最高は3300～3400K程度である。従って、ほとんどの実用金属の溶射が可能であるが、一般に、その皮膜には気孔が多く存在し、また、セラミックスの溶射では融点の関係からその種類が限定される。

(1) 溶線式(図-1)では、各種の金属と合金の線材を溶射材料とするもので、燃焼炎の中に溶射材料を送給して、その溶融粒子を空気ジェットで基材に吹付けて、皮膜を形成する。

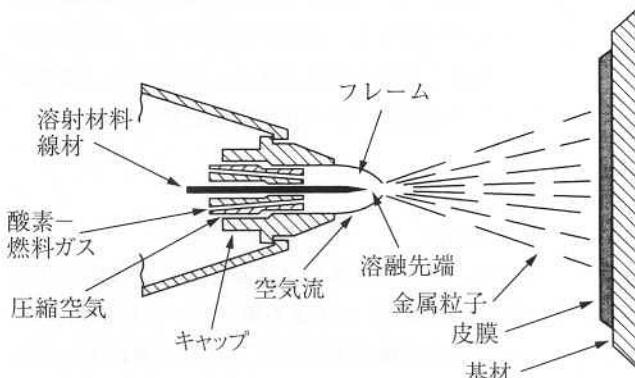


図-1 溶線式フレーム溶射の原理

- (2) 溶棒式は、原理は、溶線式と同じで、低融点のセラミックスの焼結棒を溶射材料とする方式である。
- (3) 粉末式は、2形式に分類される。一つは従来からのもので、大気圧下での燃焼炎を用い、線材にできない合金、低融点のセラミックスあるいはプラスチックの粉末を燃焼炎の中に送給して溶射する。この方式で用いる自溶合金(JISH8303-1997)は、Ni基およびCo基の超合金で、2～

5%程度のSiとBを含有させたもので、溶射後、フュージングを行って、無気孔で基材表面に完全に融着した皮膜として用いる。この合金には、さらに耐摩耗性を高めるためにWC粉末を混入したものもある。

粉末式のもう一つの形式は、近年急速に発展した高速フレーム溶射（HVOF溶射、図-2）である。この溶射ガンでは、酸素と燃料の混合ガスを燃焼室で高圧下で燃焼を開始させ、超音速の燃焼炎をバレル出口から噴出させる。溶射材料は粉末で、図に示すガンではバレル入口の中心に送給される。高速フレーム溶射の特色として、粉末粒子の飛行速度が高く、高速度で基材に衝突するので、緻密で密着性の高い皮膜が得られることがあげられる。

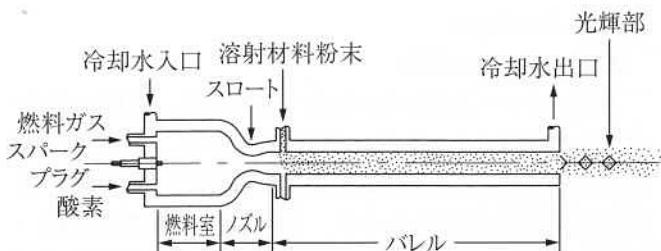


図-2 高速フレーム溶射の原理

2.1.2 爆発溶射

基材に向かって水冷のガンの燃焼部へ酸素と燃料ガスを厳密に定量して送り込んで、そこへ溶射材料粉末を送給し、それが浮遊している間に点火、爆発させる。爆発による熱と圧力波によって加熱し、加速した粉末を数百～1000m/sの速度で基材に衝突させて、皮膜を形成する。このサイクルを数回/s繰返して行う方法である。本法では、密度が高くて、基材への密着性にすぐれた皮膜が得られる。

2.2 電気式溶射

2.2.1 アーク溶射

アーク溶射は、ガンの2つのノズルを通して送給される溶射材料（導電性の線材）の先端の間にアークを発生させ、それによって生じた溶融部を空気ジェットで微粒子として基材に吹付けて、皮膜を形成する方法である。本法の利点は、アークは極めて効率の高い加熱源であるので、溶射速度（単位時間における溶射量）が非常に高く、皮膜の基材への密着性がかなりすぐれていることである。

2.2.2 プラズマ溶射（図-3）

溶射ガンの陰極と陽極ノズルの間の極めて高い電流密度の直流アークによって加熱した作動ガスをノズルから超高温、超高速のプラズマジェットとして噴出させ、その中へ送給する溶射材料の粉末を加熱、加速して基材に衝突させ皮膜を形成する方法である。この方法では、粉末状で入手

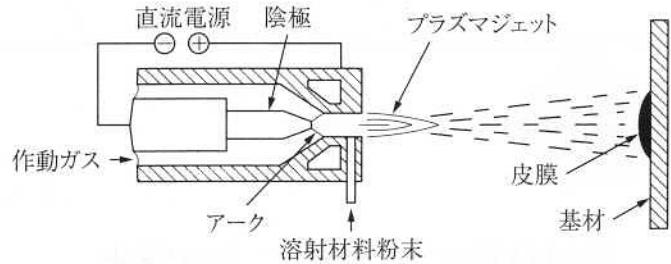


図-3 プラズマ溶射の原理

さえできれば、金属、セラミックス、サーメット、プラスチックなどほとんどの材料の良好な皮膜を作製することができる。減圧（制御雰囲気）プラズマ溶射（LPPS）は、通常2.7～27.7kPa程度の雰囲気（成分は作動ガスと同一）で行われる。この方法は、皮膜に気孔がほとんどなく、基材を適切に予熱した場合には、皮膜の基材への密着性が格段に向上すること。溶射前後における溶射材料の化学的あるいは金属的变化が少ないとなどの利点もっている。

2.2.3 線爆溶射

コンデンサーに充電した電気を導電性の溶射材料の線に衝撃的に通電して爆発的溶融を行わせ、高速度に飛散する溶融粒子を基材（円筒内面が有利）に受けて皮膜とする方法である。

これらの溶射法を比較すると、それぞれに長所と短所をもっている。従って、溶射を計画するときには、皮膜に期待する性能あるいは機能、経済性、施工場所（工場あるいは現場など）などを勘案して溶射法を選択しなければならない。

3 溶射現象と皮膜の性質

溶射の過程を追跡すると、いずれの方法を用いるにしても、溶射材料が種々の熱源によって溶融あるいはそれに近い状態にまで加熱された微粒子となって飛行し、基材面に衝突して皮膜となる。従って、皮膜の性質は、その間における粒子の温度と飛行速度の変化、また飛行空間における雰囲気との反応、さらに、基材面への衝突時における粒子の変形と密着の状態と冷却速度および基材との化学的・金属的反応と密着部の構造、そして次々と堆積していく粒子間の結合の状態などに大きく影響される。

ここでは、筆者のこれまでの溶射現象に関する研究における知見を基に、溶射過程の一端について解説することにする。実験に用いたのはプラズマ溶射であるが、他の溶射法においても共通する問題である。

3.1 溶射雰囲気と飛行粒子

3.1.1 ジェットの温度と粒子の飛行速度

溶射材料の加熱源であるプラズマジェットの温度とその

分布の状態は、作動ガスの種類によって甚だしく異なる。作動ガスに用いるアルゴンやヘリウムは単原子ガスであるが、窒素、酸素は2原子ガスである。これらのガスにエネルギーを投入していくと、前者は直接に電離してプラズマになっていくが、後者は先ず解離して単原子になってから電離しプラズマになる。従って、同一の電気入力で運転する場合、後者では電離するまでに解離エネルギーを要するので、そのプラズマジェットの温度は前者のそれよりも低くなる。また、ジェットのノズルからの噴出速度もそれに対応する。しかし、噴出後のジェットの温度が低下していくとき、後者では原子が再結合して2原子ガスに戻るときに、可逆的にエネルギーを放出するので温度低下が緩められることになる。

その一例として、4種類の作動ガス（括弧内は混合率を示す）を全流量40ℓ/minとして、40kWの電気入力で発生したプラズマジェットについての検討結果²⁾について述べる。表-1は、ノズル出口における平均の温度と流速を、作動ガスへの正味の電気入力を測定し、ガスの物性値を用いて、推測したもので、アルゴンによるジェットの温度と流速が

ともに最も高くなっている。しかし、ノズルから遠ざかった位置の中心軸に沿って、極細のPt-PtRh熱電対を挿入して測定した結果を示す図-4によると、2原子ガスを混合したガスによるジェットがアルゴンによるものに対して逆転して、高温となり、その領域も延長している。

また、この条件下における溶射粒子（粒径10~44μmのニクロム合金）の飛行速度を測定した結果は、図-5に見られるように、アルゴンによるジェットにおける粒子の速度が最も高くなっている。従って、作動ガスの違いによって、溶射粒子はノズルへ送給されてから急激に変化する温度分布の雰囲気の中を、また変化する速度で飛行していくので、それぞれの温度における滞留時間を異にして通過するのである。さらに、各作動ガスによるプラズマジェットから、その中におかれた物体への熱伝達効果もかなり異なる。しかも、以上に述べてきたことはジェットの中心軸に沿っての事象であり、溶射粒子は、それに沿ってはいるが、ノズル出口から円錐状に広がって、それぞれに異なった経路をとって基材へ向かった飛行をする。

表-1 各種作動ガスによるプラズマジェットのノズル出口における平均の温度と流速

作動ガス	温度(K)	流速(m/s)
Ar(100)	13700	1620
Ar(75)-H ₂ (25)	11800	1240
Ar(50)-H ₂ (50)	10500	1010
Ar(75)-N ₂ (25)	11500	1230
Ar(50)-N ₂ (50)	10100	1170

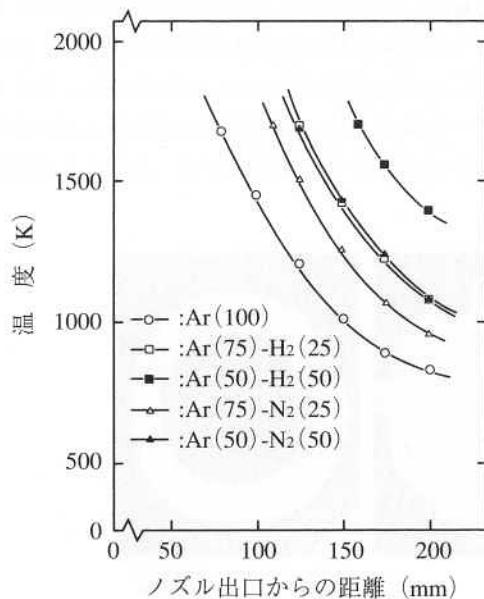


図-4 各種作動ガスによるプラズマジェットの温度分布

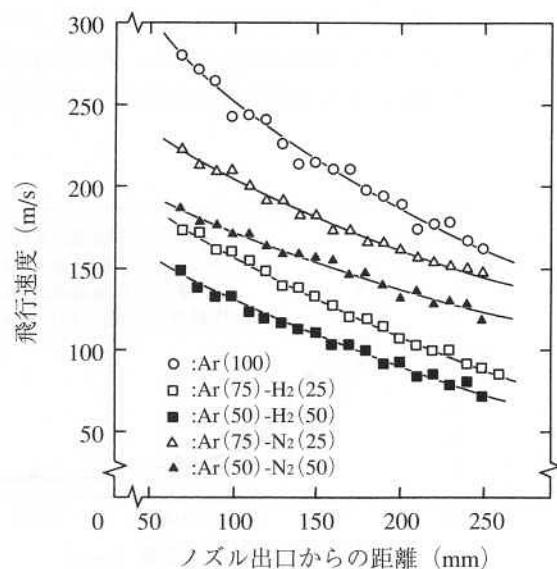


図-5 各種作動ガスによるプラズマジェット溶射における溶射粒子の飛行速度

以上のことから、作動ガスを変えるだけで、溶射粒子の加熱履歴は大きく異なり、その表面から中心までの温度分布は、それがプラズマジェットの中へ送給されてから基材に衝突する瞬間まで極めて複雑に変化することがわかる。

3.1.2 溶射雰囲気の成分

一方、プラズマ溶射法の導入の頃、その特徴の一つは作動ガスに不活性ガスを用いるので、そのプラズマジェットによって加熱される溶射材料は溶射雰囲気の成分による変

質が少ないといわれた。しかし、一般に、溶射は大気中ににおいて行なわれる所以、プラズマジェットはノズルから噴出した瞬間から大気を巻き込むことになり、その雰囲気の中を溶射材料の粒子が飛行することになる。

そこで、水冷の細いガス捕集管（捕集口の直径：1mm）を試作し、それをプラズマジェットの中へ挿入し、種々の位置で捕集したガスの酸素量を測定した³⁾。図-6は、プラズマジェットのノズル出口から種々の距離における空気混入量を示したもので、ジェットはノズル出口を噴出した後、急激に大気を巻込んでいるのがわかる。これはジェットの中心軸上でのデータであるので、それを外れた部分ではさらに多くの大気の混入がある筈で、粒子はノズルを出ると、作動ガス、窒素、酸素の混合ガスの中を飛行しており、それが基材に衝突する領域での雰囲気はほとんど大気である。従って、通常の溶射皮膜では、雰囲気の成分との反応生成物を介在している。

3.1.3 溶射雰囲気と飛行粒子

上記の溶射雰囲気へ大気の巻込みを直接観察できるのはモリブデンのプラズマ溶射のときで、ジェット中を飛行している粒子から激しく白煙を発生する。これは、モリブデンは1000K程度以上では非常に活性となり、飛行粒子の表面は雰囲気中の酸素によって酸化物を生じるが、その蒸気

圧は甚だしく高いので、酸化と同時にそれが急速に昇華する所以が見られるのである。その皮膜をX線回折および電子線回折によって解析したところ、酸化物（MoO₃）の層が介在するが、その厚さは極めて薄く小さくなっていることがわかった⁴⁾。

溶射では、溶射材料の加熱が始まってから基材に衝突するまでの時間は極く短く、1ms程度であるが、溶射粒子と雰囲気ガスとの反応は極めて激しい。このことを次に述べる実験⁵⁾が示している。

図-7(a)、(b)、(c)は、プラズマジェット（作動ガス：アルゴン）のノズル出口に細いニッケル線を送給して、溶融させ、大気、アルゴンおよび減圧アルゴンの3種類の雰囲気中に吹込んで捕集した粒子の断面を示したものである。全く同じ条件で溶融したものであるが、大気中に吹込まれた粒子には多くの気孔が存在し、その表面および気孔の内面は酸化物で覆われている。アルゴン中へ吹込まれた粒子は、大きさは大気中における粒子と同等であるが、気孔の発生は認められない。また、減圧アルゴン雰囲気に吹込まれた粒子は大粒になる傾向があり、その外周部に気孔が僅かに存在するが、全体的には発生していない。さらに、作動ガスとしてアルゴンに水素を10%加えたものを用い、アルゴン雰囲気中に吹込んだ粒子(d)では、その内部に水素の拡散によって大きな空洞が発生しているのが認められた。これらの事実は、溶射粒子は極く短時間の溶融と飛行中に雰囲気の成分と活発に反応し、またガスは溶融粒子中を速やかに拡散することを示している。

例えば、作動ガスにアルゴン、アルゴン-窒素およびアルゴン-水素の混合ガスを用いて、プラズマ溶射によって作製したニクロム合金の皮膜においても、堆積粒子の間にクロムの酸化物を多く介在している。図-8は、アルゴン-水素（50%）による皮膜を示したものであるが、薄黒い中間色の組織として観察される層状の相は酸化物である²⁾。

このような溶射材料の溶射雰囲気との反応は、程度の差はあるが、いずれの溶射法においても生じる。例えば、炭素鋼のアーク溶射では、溶射粒子の炭素量とけい素量が甚だしく減少する⁶⁾ので、実作業では、このことを勘定に入

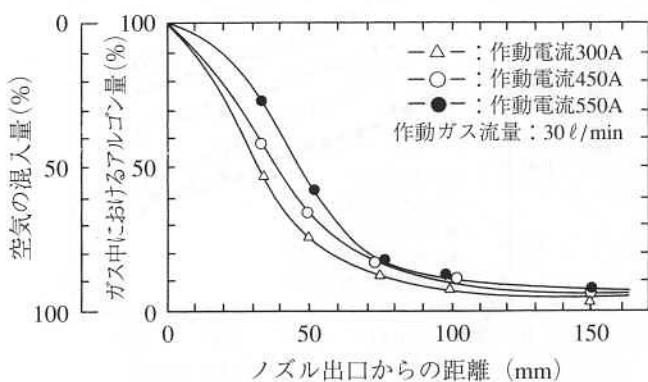


図-6 プラズマジェットへの大気の混入

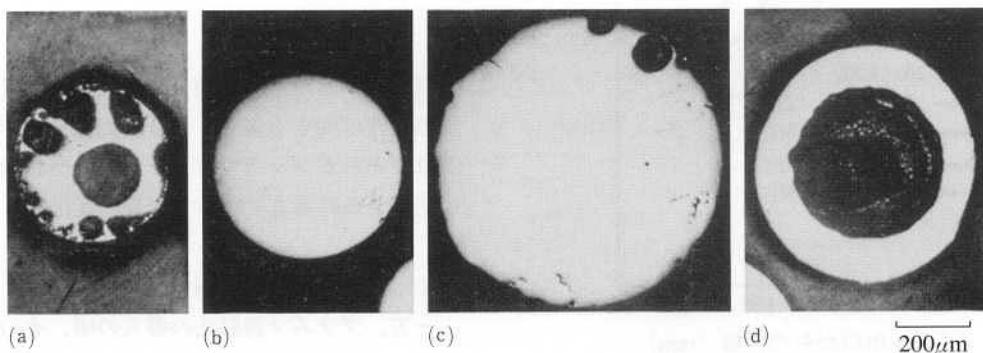


図-7 種々の条件で作られた粒子の断面

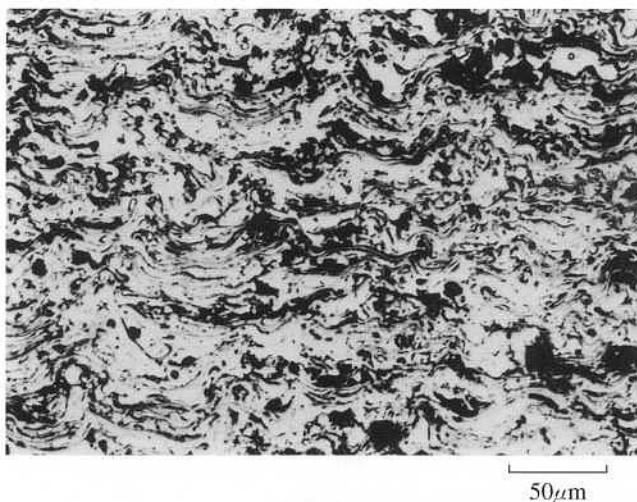


図-8 ニクロム合金のプラズマ溶射皮膜断面の組織

れて、溶射材料を選定している。

セラミックスの溶射でも皮膜の組成は溶射材料のそれとは異なる場合が多い。例えば、アルミナおよびアルミナ・チタニアのプラズマ溶射において原材料とそれによる皮膜の組成を比較すると、溶射では、溶融状態から急冷されるので、 Al_2O_3 でない準安定型の Al_2O_3 や Al_2O_3 が生成される⁷⁾。

また、多く利用されている金属炭化物は、大気中で溶射すると、溶射中に分解と酸化を生じる。例えば、WCの溶射では、WCは3000K程度で W_2C とCに分解し、次いでCはOと反応してCOあるいは CO_2 を生じて、粒子から脱出する。また、 W_2C はOと反応して、オキシ炭化物 $\text{W}_2(\text{C}, \text{O})$ を生じ、さらにこれはWとCOに分解する⁸⁾。さらに、サーメットWC-Coの溶射では、Coが炭化物相の中へ拡散して、Coを含む次炭化物 $\text{Co}_{x} \text{W}_{y} \text{C}$ を生じて脱炭する。そして、この反応速度は、CoとWCが溶融すると、甚だしく高くなるといわれる⁹⁾。これらの材料の溶射では、必然的に上記の反応を伴うことになるので、溶射中、粉末粒子を過熱しないように注意することが肝要である。この点、高速フレーム溶射では、熱源の最高温度が3000K程度であり、通常基材が置かれる位置におけるフレームへの大気の混入率は約70%と比較的少なく⁹⁾、しかも粒子の飛行速度が高いので、フレーム中での滞留時間が短くなり、このため粒子が過熱されないので、溶射材料の変質が少ない皮膜が得られる。また、プラズマ溶射を用いる場合には、減圧溶射によると、この問題を軽減できる。

一般には、溶射によって材料の化学的組成に多少の変化があっても、その皮膜の性能は所期のものであるから、多くの場合、このことは問題にならない。

3.1.4 水中プラズマ溶射

溶射材料の雰囲気成分との反応に起因する問題の打開法

の一つとして、大気を完全に遮断する水中プラズマ溶射を開発した¹⁰⁾。水中鉄鋼構造物の防食を目的としてアルミニウムの水中プラズマ溶射を試みたところ、意外にも、良質の皮膜が得られたので、その利用対象を機械、器具類の部品に切り替えて、行った研究である。

まず、大気中で用いているガンのノズル出口を水深150mmに位置させ横向き溶射を行った。溶射材料にはニクロム合金を用いた（この材料は、溶射中に酸化すると、皮膜に介在する酸化物を薄黒い相として顕微鏡で簡単に観察できる²⁾ので、この種の開発実験を行う場合に便利である）。溶射距離は20mmとしたが、基材との間にはプラズマジェットによる空洞が形成され、その空間で作製された皮膜は大気中で作製されたものより緻密であり、しかも酸化物が全く認められない（皮膜内に酸化物がないので、硬さは低くなっている）。このとき、溶射空間は作動ガスのアルゴンから成り、水の分解による酸素は全く存在しなかった。しかし、この溶射では溶射効率が低いという難点があった。

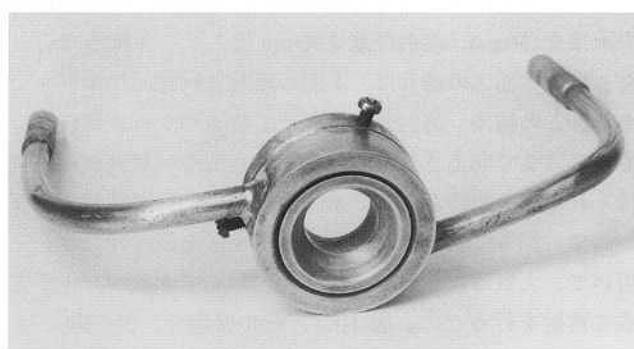


図-9 シールドキャップの外観

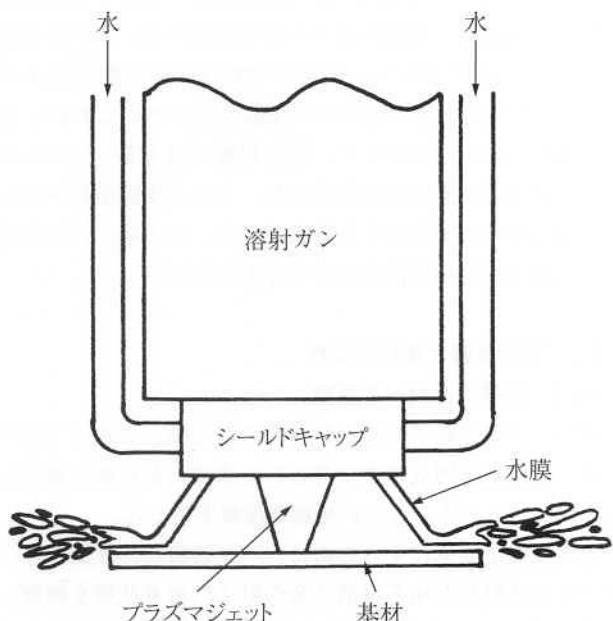
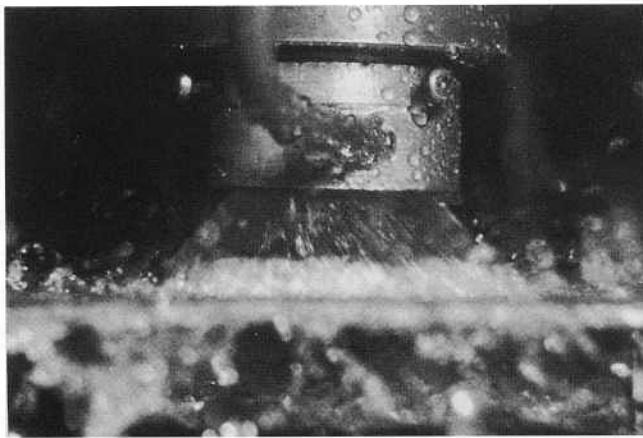
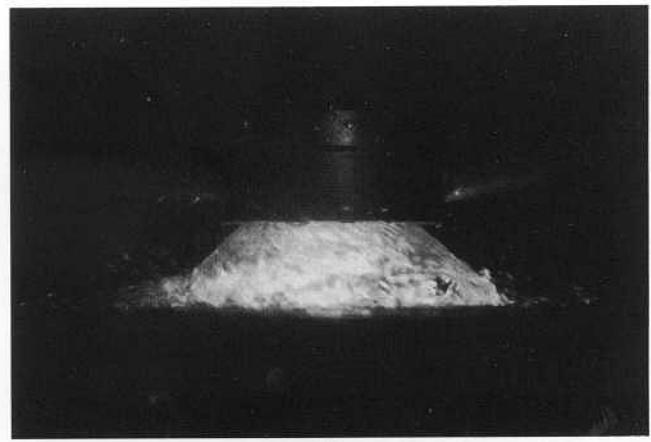


図-10 水シールドプラズマ溶射の原理



(a)



(b)

図-11 水膜シールド(a)とその中でプラズマジェットを発生している状態(b)

そこで、溶射ガンの前面に円錐状のスリットをもつシールドキャップ(図-9)を取り付け、スリットからアルゴンガスあるいは水を噴出させてガンと基材の間に形成される円錐状空間を安定にする方式を試みた¹¹⁾。実験は、ガンの前面の水深を150mm、溶射距離を30mmとして、下向きで行った。溶射雰囲気の成分は、上記の場合と同様、アルゴンである。この結果、溶射効率は、とくに水のシールドによって75%にまで向上され、酸化物を介在しない緻密な皮膜が得られた。上記の2方式の水中溶射では、作業性がよくないので、図-9に示したシールドキャップを取り付けたガンを用いて、大気中において基材平面に対して水膜シールド方式の溶射を行った¹²⁾。図-10は、その原理を、図-11(a)、(b)はそれぞれ、円錐状水膜シールドを行っている状態とその中にプラズマジェットを発生させた状態を示したものである。この方式では、溶射点領域の雰囲気の酸素濃度は溶射距離45mmにおいてほぼ0%、60mmにおいても5%未満であり、大気混入の問題はほとんど解消された。これによるWC-Coの溶射において、前述のWCの分解と酸化およびWCとCoの反応を殆ど伴わない皮膜が得られたこれは、溶射雰囲気に酸素が含まれず、溶射距離が短くなっているので溶射粒子の加熱時間が短縮され、その上皮膜が効果的に水冷されるためであろうと考えている。さらに、この方式では溶射効率が80%程度にまで改善された。

3.2 溶射皮膜と基材の境界

3.2.1 皮膜の基材への密着

溶射ガンに送給された溶射材料の粒子は、これまで述べたような溶射雰囲気の中を飛行してきて、基材面に衝突して皮膜となるとき、さらに複雑な現象を生じる。

衝突現象を簡単にするために、バフ研磨した軟鋼基材にプラズマ溶射したNi系自溶合金の粒子の密着状態を観察した¹³⁾。図-12(a)は室温の基材に衝突し、密着した粒子を示したもので、粒子の中心部は小さな円形に基材面にぬれて

いるが、周辺部は飛散して密着している。(b)は基材を573Kに予熱した場合で、粒子は大きく円形に広がり、基材面によくぬれて、全面的に密着している。(c)は673Kの予熱を行った場合で、粒子は基材面に複雑に散らばった状態で密着し、粒子の基材面へのぬれ性がかなり低下していることを示している。さらに(d)は基材を一旦673Kに加熱した後、その温度が573Kに低下した瞬間に溶射した粒子であるが、(b)と同じ温度であるのに拘らず、基材面へのぬれ性は回復しないで、その密着状態は(c)の場合に似ている。これらの予熱状態で作製した4種類の皮膜の引張密着強さの中、573Kの予熱による皮膜が最高であった。このように溶射粒子の基材への密着は微妙な状態の違いに大きく影響を受けるのである。この研究では、この密着状態の違ひの原因の一つは基材面における鉄酸化物の性状によると簡単に結論したが、これは複雑な問題で、さらに多くの深い研究を要するものと思われる。

また、化学研磨したアルミニウムおよび軟鋼の基材に融点のかなり異なる材料、すなわちニッケル、クロム、モリブデン、タンタルおよびタンクステンをプラズマ溶射して、皮膜と基材の境界の構造について研究した¹⁴⁾。

基材がアルミニウムの場合、いずれの皮膜においても、皮膜と基材の境界には、結合層が形成されている部分、さらに粒子が基材に衝突した際に基材を溶融して細かく侵入している部分が観察された。軟鋼基材の場合には、ニッケルおよびクロム皮膜と基材の境界には部分的に結合層が認められるが、大部分は機械的噛付きによって密着していた。一方、高融点をもつモリブデン、タンタルおよびタンクステン皮膜では基材が溶融して形成されたとみられる結合層が多く生じていた。これらの結合層には、表-2に示すように、皮膜と基材の主要元素からなる金属間化合物の生成が認められた。それら化合物の二三の融点を註に示してあるが、いずれも基材のそれ以上となっている。従って、このことは溶射材料と基材の融点の関係も皮膜の密着性に影響

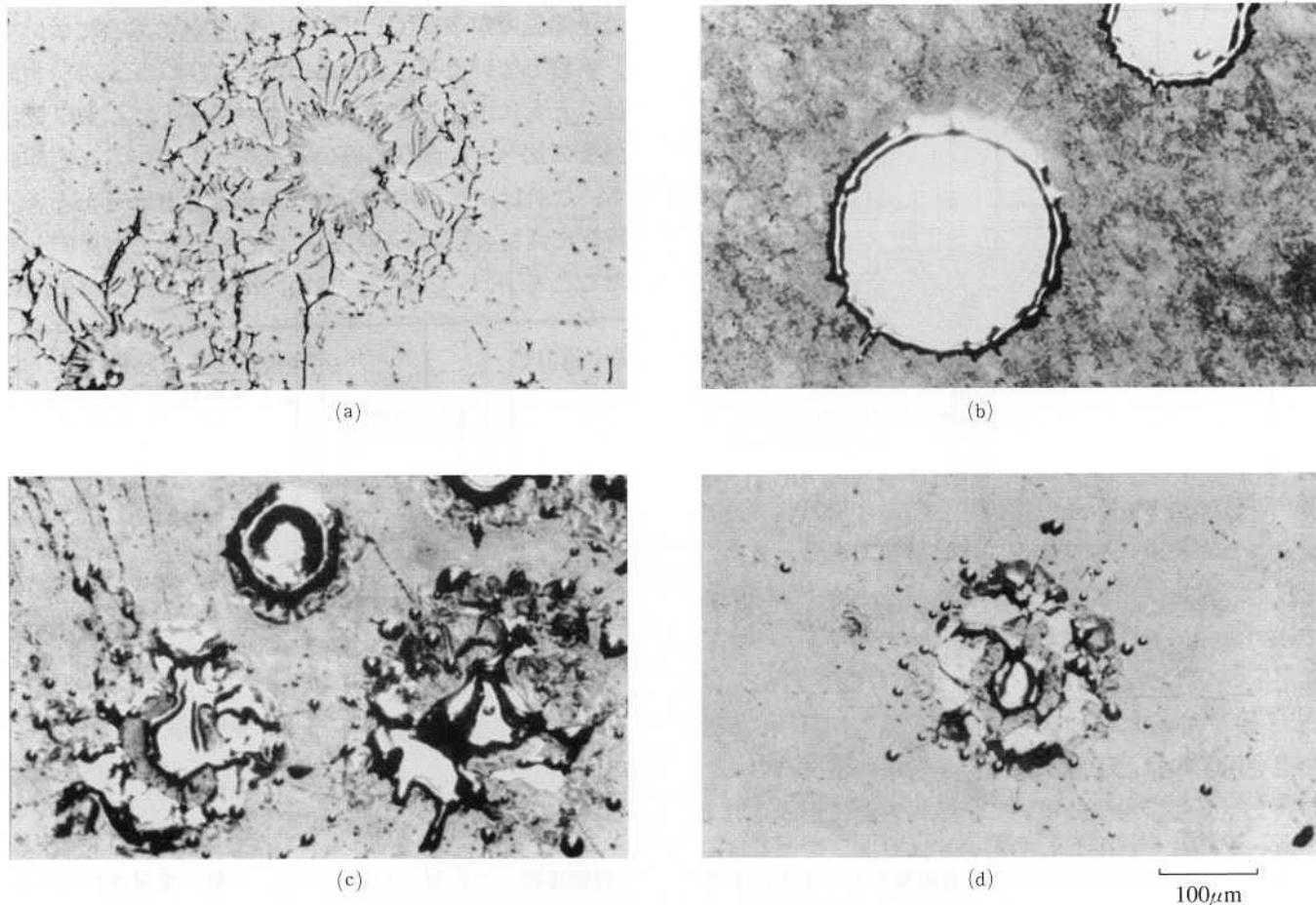


図-12 Ni基自溶合金粒子の軟鋼基材面への密着

表-2 皮膜と基材の境界部に生成された金属間化合物

基材 \ 皮膜	ニッケル	クロム	モリブデン	タンタル	タンクス
アルミニウム	Al ₃ Ni*	Al ₅ Cr	Al ₃ Mo	Al ₃ Ta	WAl ₁₂
軟 鋼	—	—	σ-FeMo** Fe ₂ Mo	Fe ₇ Ta ₃	Fe ₂ W Fe ₇ W ₆ ***

〈註〉 *Al₃Ni生成温度：1115K, 1127K

**σ-FeMo生成温度：1813K

***Fe₇W₆生成温度：1913K

(Hansen : Constitution of Binary Alloys)

することを示している。

なお、このような金属間化合物の熱膨脹率などの物理的性質、化学的性質および力学的性質は、基材および皮膜のそれらと本質的に異なるので、この化合物の皮膜の諸性質、とくに密着性への影響などは重要な研究課題である。

3.2.2 プラズマ肉盛溶接

一般に、皮膜の基材への密着は、主として粗面化した基材表面への粒子の機械的噛付き（投錨効果）によっており、これに加えて、皮膜と基材間の融着層、相互拡散層の部分

的生成およびファン・デル・ワールス力によっているとされ、このため、皮膜の基材への密着強さが低い。また、皮膜には多くの気孔が存在するという欠点をもっている。

このことについて、自溶合金の溶射では、前述のように、通常の溶射を行った後、その皮膜をフュージングして、基材と完全に融合させ、しかも酸化物などを含まない無気孔のすぐれた皮膜を作製している。

プラズマ溶射の研究を始めて、暫くすると、筆者にはこの問題が気にかかった。初期に行ったプラズマジェットの基本的性質についての研究¹⁵⁾によって、プラズマジェットに比較してプラズマアークは加工材料への加熱効果が格段に大きいというデータを得ていたので、これらの熱源を併用して、低電力によるプラズマアークで基材表面を極く浅く必要最小限だけ溶融し、そこへ溶射材料粉末をプラズマジェットで軽く吹付ける方法（半移送アーク型プラズマジェットによる肉盛溶接法、図-13）を開発した¹⁶⁾。この方法は、現在、プラズマ粉体肉盛溶接と呼ばれているものである。実験は、基材に軟鋼板、溶接材料にCo基自溶合金ならびに50%WC混合のNi基自溶合金を用いて行い、通常のアーク溶接によるよりも希釈率の遙かに小さな良好な肉盛金属を得ることができた。

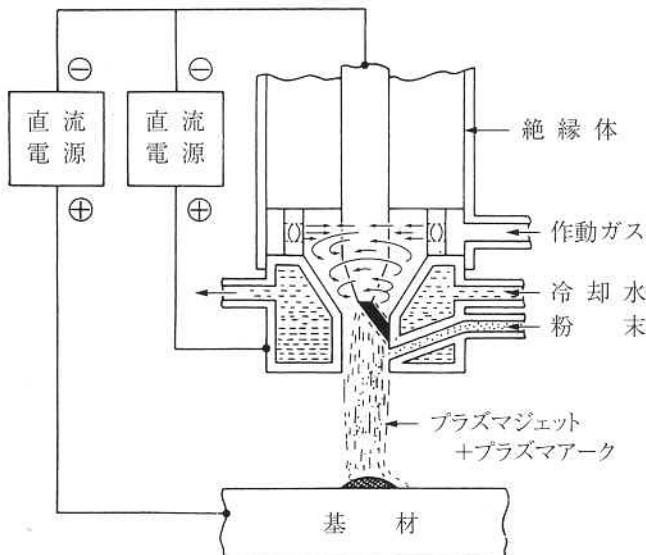


図-13 半移送アーケ型プラズマ肉盛溶接（プラズマ粉体肉盛溶接）の原理

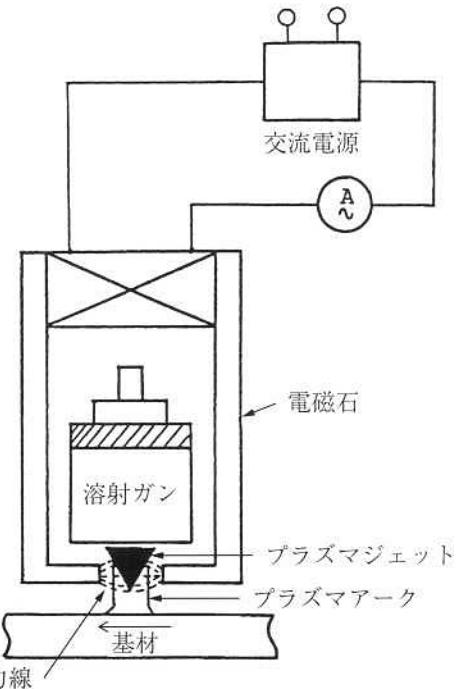


図-14 交番磁場を用いるプラズマ粉末肉盛溶接

さらに、用途によっては、通常の方法によるよりも1パスで幅の大きい肉盛金属が要求される場合が想定される。このため、図-14に示すように、半移送型プラズマジェット基材の進行方向と平行になる交番磁場を与える方法を考案した¹⁷⁾。すなわち、このジェットでは、電流の通っているプラズマアークを併発させてあるので、これは交番磁場において左右に電磁力（ローレンツ力）を受けて、その基材面の陽極点（加熱点）を基材の進行方向に垂直に振動させて、基材面の溶融幅を拡大し、そこへ溶融粉末を吹付て、幅の広い溶接金属を得ることができた。

4 応用

溶射は、他の表面改質法と比較して、多くの利点をもつていてるので、各種産業において極めて重要な技術となっている。

従来からのアルミニウム、亜鉛あるいはアルミニウム-亜鉛合金による鉄鋼構造物の防錆、防食溶射は、依然として溶射の重要な用途で、橋梁、各種建造物、プラント、船舶や輸送機械、交通や通信設備など多方面で用いられている¹⁸⁾。

また、各種産業の発展と共に、溶射は航空、自動車、鉄道、鉄鋼、電力、化学などの諸工業、各種の産業機械（製紙、印刷、繊維など）から電気、電子機器、家電製品に至るまで広範な産業に拡大している。この場合、溶射は、部材、部品基材よりも高度の性能、すなわち耐食性、耐摩耗性、耐熱性、断熱性など、高温、高圧そして化学的に過酷な雰囲気を含めて、稼働条件において要求される性能をもつ皮膜（保護皮膜）の作製と基材表面に導電性、電気絶縁性、高い熱放射性、イオン導電性、触媒作用あるいは特殊

な生体機能など、基材のもっていない機能を付与する皮膜（機能皮膜）の作製に利用される。一般に実用されているほとんどの金属、合金が溶射材料として用いられ、それぞれの特製をもつ皮膜が利用されている。例えば、軽量化を目的としてアルミニウム合金化した自動車エンジンのバルブリフタへの炭素鋼溶射、またアルミニウム合金エンジンのシリンダ内面への鋳鉄系材料の溶射などは非常に効果的利用である。

セラミックスの皮膜は耐摩耗性、耐熱性、断熱性、耐食性、熱放射性などに対して用いられるが、その性能は次第に向上している。皮膜には、必然的に気孔が内在するという性質があり、この性質を活用している例も見られるが、それを浸透する使用雰囲気のガスや液体から基材を保護する必要のある場合には、封孔処理を行ったり、緻密で耐食性をもつアンダーコートを用いる。例えば、ガスタービンの部品の断熱には、NiCrAlY合金、CoCrAlY合金などのアンダーコートとZrO₂-MgOなどの皮膜が利用されている。また、セラミックス皮膜は機能付与に活用されている。自動車用、製鋼用の酸素センサ、燃料電池などへの固体電解質としてのジルコニア皮膜、多孔質で表面積が大きいという適性を利用しての医用インプラント（人工歯根、金属義歯など）へのハイドロキシアパタイト皮膜などである。さらに、チタニアは、環境浄化のためのNO_xなどの分解における光触媒作用をもつもので、それを目的とした皮膜、また、大腸菌などに対する抗菌効果もあるといわれ、このような機能をもつ皮膜の利用が期待される。

サーメット皮膜の利用は盛んであり、各種の炭化物サー

メットは種々の厳しい環境下における耐摩耗用には独特の利用価値を有し、これが不可欠の技術となっている。

参考文献

- 1) 蓮井：新版溶射工学（平成8），産報出版
- 2) 蓮井、菅、小鳥井：日本溶射協会誌，27(1990)，1, 1
- 3) 蓮井、北原、福島：溶接学会誌，36(1967)，5, 571
- 4) 蓮井、北原：金材研報告，7(1964), 2, 117
- 5) S.Kitahara, V.A.Petrunichev and A.Hasui : Trans.NRIM,14 (1972), 6, 261
- 6) 日本溶射協会：溶射便覧(昭和39)，日刊工業新聞社
- 7) 岩本：溶射技術，9(1990), 3, 43
- 8) M.E.Vinayo, F.Kassabji, J.Guyonnet and P.Fauchais : J.Vac.Scj.Tech., A3(6), Nov/Dec(1985), 2483
- 9) J.R.Fincke, W.D.Swank and D.C.Haggard : Proc. 7th NTSC(1994), 325
- 10) 蓮井、河本他：日本溶射協会誌，30(1993), 1, 1
- 11) 蓮井、渡部：日本溶射協会誌，32(1995), 4, 227
- 12) 蓮井、池田、横田、横田、渡辺：未発表
- 13) 蓮井、小宮：日本溶射協会誌，15(1978), 2, 508
- 14) 北原、蓮井：溶接学会誌，42(1973), 2, 91
- 15) 蓮井、笠原、江森、飯吉：金材研研究報告，8(1965), 1, 54
- 16) 蓮井：金材研研究報告，7(1964), 3, 208
- 17) 蓮井、菅、森：日本溶射協会誌，28(1991) 2, 70
- 18) 日本溶射工業会：溶射－防錆防食(1995)

パルスパワーとその応用

Pulse power and its application

九州大学 大学院
システム情報科学研究院
原 雅則
Masanori Hara



1 まえがき

パルスパワーは、電磁エネルギーを時間的空間的に圧縮した状態を言う。雷では、上昇気流によって雷雲と大地の間の大きな空間に長時間かけて静電エネルギーを蓄積し、そのエネルギーが1瞬のうちに細い雷道に時空的に圧縮された形で放出されるので、雷撃は自然界に存在する典型的なパルスパワーである。そのエネルギーは1回の雷撃当たり 3×10^8 J程度で、100kWhに満たないが、1回の雷撃の持続時間は $30\mu s$ 程度で、パワー（電力）にすれば 10^7 MWとなり、我が国の真夏の全電力の50倍以上に達する。このエネルギーが3kmの雷道に一様に分布すると仮定すると、1m当たりのエネルギーで薬缶一杯の水を温めると温度上昇は30度にも達しないが、立ち木に落ちればそのパワーは幹を引き裂く能力を持っている。

パルスパワー技術の原点は、雷の研究や電力システムの雷防御に関連した人口雷発生技術に求めることが出来る。すなわち、1923年にドイツ・ブランシュバイク大学のMarxは、多数のキャパシターを並列に充電した後にギャップを使って直列に接続して高電圧パルスを発生している（マルクス回路）。その後1975年頃までは、パルスパワーのハイパワーをSDI（Strategic Defence Initiative）¹⁾に象徴される軍事面に応用する観点から秘密裏に研究され、パルスパワー技術は著しく発展し、1975年の高出力ビーム会議、1976年のIEEEによるパルスパワー国際会議を境にしてパルスパワー技術の民生への応用が促進されるようになった²⁾。

したがって、一般に入手出来るパルスパワー技術情報は、最初は国際会議論文集からが主であったが、1980年代になって著書も見られるようになり、我が国でも1990年代になって「パルスパワー」を中心に取り扱った著書^{3)・5)}が出るとともに、今度の電気工学ハンドブック改訂版でもパルスパワー技術が章として取り上げられることになっていく。

本稿では、パルスパワー技術の基礎とその応用分野の概略を紹介することとした。

2 パルスパワーシステム

パルスパワーは、通常マイクロ秒からナノ秒領域の短いパルスの高電圧（kV～MV級）、大電流（kA～MA級）をダイオードや放電回路の負荷に供給することによって作られ、負荷での幾度かのエネルギー変換を通して、最終的に種々の分野で応用される。

大出力電子ビーム発生装置を例にとって、図-1にパルスパワーシステムの構成を示す。エネルギーは左から右に向けて流れ、システムはエネルギー蓄積、パルス成形、パルス伝送・制御、負荷でのエネルギー変換のカテゴリーとなる。

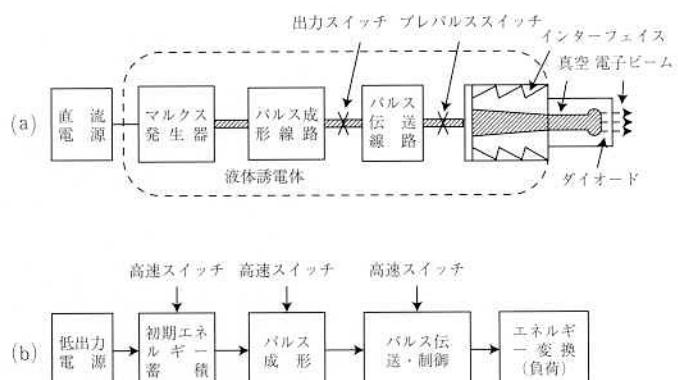


図-1 パルス電子ビーム発生システムの例(a)とパルスパワーシステムの構成(b)

図-1の負荷は、真空中に置かれた正負の電極系（ダイオード）である。電極間に瞬時に高電圧を印加すると、陰極表面の微小な突起から電子が飛び出し、これが引き金となって大量の電子がほぼ同じエネルギーを持って陽極に向かって運動し、所謂電子ビームが得られる。

一般に、パルスパワー発生部と負荷とは周囲媒質が異なるので、それらの領域を分割する高耐電圧のインターフェイスが必要である。

パルスパワーシステムでは短時間ではあるが巨大な電力が流れ、各カテゴリー内及びカテゴリー間ではエネルギーの高速転送が行われる。この電力輸送は絶縁媒体中のポインチングベクトル（電界と磁界のベクトル積）でなされ、絶縁媒体は電界に対して著しい非線形性を持つので、電気絶縁技術と高速転送のためのスイッチ技術がパルスパワー発生におけるキーテクノロジーになる。

2.1 初期エネルギー蓄積

パルスパワー発生に用いられる代表的エネルギー蓄積法は、キャパシターを用いる静電エネルギー蓄積法、インダクターを用いる誘導エネルギー蓄積法、回転体の慣性を利用して運動エネルギー蓄積法、高性能火薬による化学エネルギー蓄積法に分けられ、表-1のようにそれぞれには得失があり、目的によって使い分けられる。

表-1 初期エネルギー蓄積法の主な特性値

項目	蓄積法	静電エネルギー $\left(\frac{1}{2} CV^2\right)$	誘導エネルギー $\left(\frac{1}{2} Li^2\right)$	運動エネルギー $\left(\frac{1}{2} I\omega^2\right)$	化学エネルギー (火薬)
	最大蓄積エネルギー密度 (J/m ³)	常温コイル	超伝導コイル		
最大蓄積エネルギー密度 (J/m ³)	$\sim 10^5$	$\sim 10^7$	$\sim 10^7$	$\sim 10^9$	$\sim 10^{10}$
蓄積時間 (オーダ)	min. ~ hour	sec.	min. ~ hour	min.	year
放出時間	0.1 ~ 10μs	0.1 ~ 10ms	sec. ~ hour	ms ~ min	~ 0.1ms
蓄積エネルギー	< 60MJ	< 100MJ	< 1GJ	< 100MJ	< 100MJ

静電エネルギー蓄積法は、高電圧大電流電源用として広く使用されており、蓄積エネルギーの転送に短絡スイッチを必要とする。

誘導エネルギー蓄積法は、蓄積エネルギー密度をキャパシターの場合より2桁程度大きくできるが、蓄積時間が短い。パルスパワー発生は、図-2のスイッチS₁（開放スイッチ）を開放してv=Ldi/dtを発生させると同時にスイッチS₂を閉じて負荷に電流を転送することによって行う。低電圧大電流源によって長時間かけてエネルギー蓄積する超伝導パルスパワーシステムの開発も検討されている。

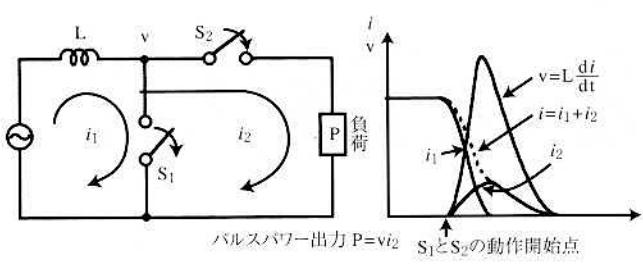


図-2 誘導エネルギーの放出回路

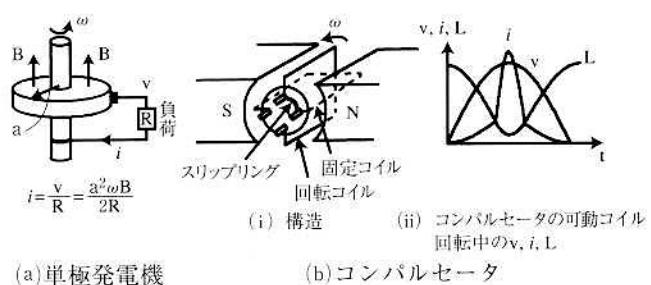


図-3 単極発電機とコンパルセータの原理

運動エネルギー蓄積法は、図-3のように発電機の内部インダクタンスを小さくする工夫をした単極発電機とコンパルセータがあり、エネルギーは回転子自体または直結のフライホイールに蓄積される。コンパルセータは、同図(b)のように回転コイルと固定コイルを直列につなぎ、(c)に示すように最大電圧発生時にインダクタンスが最小になるようにしてパルス電流を発生する。大容量発電機は、各種の核融合実験装置及びフラッシュランプ用に開発されている。

化学エネルギー蓄積法では、火薬類を爆発させて得られる運動エネルギーを電磁エネルギーに変換してパルスパワー発生に応用する。これには、励磁された閉ループの面積を爆発力で減少させることにより高磁界大電流を発生させる方法と爆発による導電性の高速ガス流を磁界中で運動させてEHD作用で大電流を発生させる方法があり、図-4は前者の例である。図で、爆発前後の閉回路電流とインダクタンスをそれぞれL₀, L, I₀, Iとすると、I = I₀ L₀/Lであり、火薬の爆発によって閉回路の断面積が縮小されるのでL₀ > Lになり、電流が増幅される。火薬の単位重量当たりのエネルギーは、他のエネルギー蓄積法に比べて桁違いに大きく、パルスパワーシステムを小型出来るが、单発動作である。

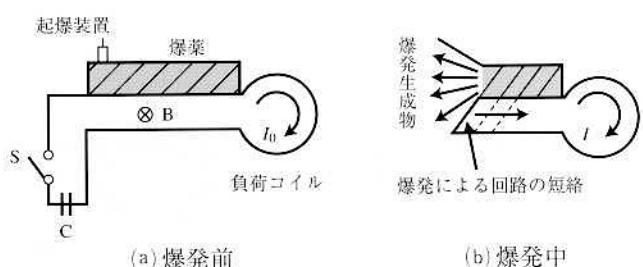


図-4 爆薬発電機の原理図

2.2 パルス成形

負荷が要求するパルスパワーは、高電圧・大電流の矩形波である場合が多い。このために、初期蓄積エネルギーを高速転送することによって得られるパルスパワーを必要な

振幅と幅の矩形波に近づけるために、パルス成形、圧縮、昇圧を行う。

パルス成形

パルス成形は、スイッチを使って負荷に適した立ち上がり時間、パルス幅、波高値等を形成することで、矩形波成形にはパルスフォーミング線路（PFL）としての単一線路（シングルライン、図-5(a)）とブルームライン線路（図-5(b)）、並びにパルスフォーミング回路（PFN）が、三角波の発生にはスパイラル線路が使用される。一般に、PFLはパルス幅がnsから μ s領域の成形に、PFNはより長いパルス幅の成形に使用される。図-5(a)、(b)で $Z_o = Z$ と整合を取った場合、出力電圧波の振幅と幅はそれぞれ $V_o / 2$ 、 V_o 及び $2l/v$ 、 $2l/v$ となる。ただし、vは線路内におけるサージの伝播速度である。電源は直流又は $2l/v$ より十分に長いパルス幅のパルス電源であればよく、高い矩形波電圧を得たい場合にはマルクス回路が使用される。

キャパシタに蓄えたエネルギーを誘導性負荷に転送する場合、電流は減衰性振動になるが、極性変化のない長いパルス幅の電流を負荷に流すためにはクローバ回路が使用される。

エネルギー圧縮とパルス圧縮

パルスパワー圧縮には、エネルギーの時間的圧縮と空間的圧縮があり、空間的圧縮はテープ線路のようにエネル

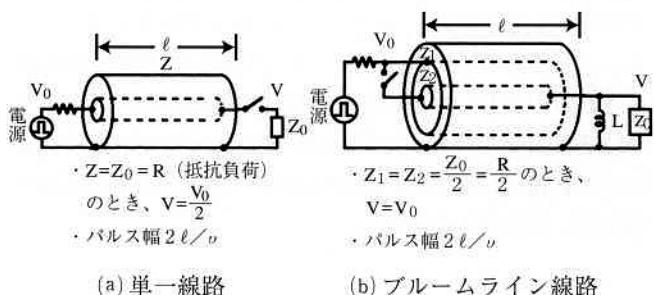
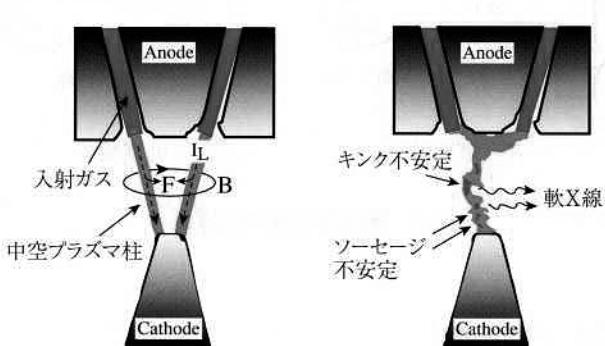


図-5 矩形波発生用パルス形成線路 (v : サージ伝播速度)



(a) ガスパフ Z ピンチの原理

ギー伝送過程で行う場合とレンズによる集光やプラズマの自己ピンチ等のように負荷領域で行う場合がある。図-6は、真空中にアルゴンガスを円柱状に噴出させ、そこにパルス電圧を印加して円筒状プラズマを作り、放電電流とその自己磁界によるローレンツ力でプラズマをピンチさせたときにX線が発生する過程で、空間的圧縮過程を示す例である。

時間的圧縮は、基本的には図-7のC-L共振回路で行う。

(a)図はパルス圧縮の原理図で、最初にCの蓄積エネルギーをSを閉じてLを経由してC₁に転送し、つぎにSを開くと同時にS₁を閉じてC₁のエネルギーをC₂に転送する。このとき、C_{i+1}-L_{i+1}-C_{i+2}よりなる閉路の共振周波数がC_i-L_i-C_{i+1}の回路より高い場合パルスは圧縮される。上記のプロセスを繰り返してエネルギーをC₃、C₄に転送すると次第にパルス幅が短くなる。図(b)では、C_iのエネルギーがC_{i+1}に転送される段階でインダクタL_iを未飽和から飽和に変化するように設計しておくと、インダクタが(a)図のインダクタンス及びS_iを開設してS_{i+1}を閉じる動作の機能を持ち、パルス圧縮が行われる。このような可飽和リアクトルを磁気スイッチとよぶ。

バルス昇圧

パルス成形や圧縮は電圧が低いほど容易なので、比較的低い電圧でこれらを行った後に昇圧を行うのが得策である。パルス昇圧には、1) パルストラ ns 法、2) 線路積み重ね(ラインスタック)法、3) LC 反転回路法、4) 誘導電圧重畠法、5) インピーダンス変換線路法、6) 開放スイッチ

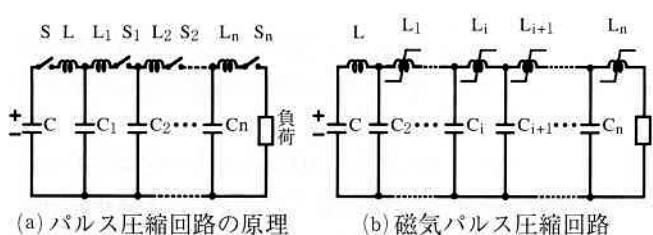
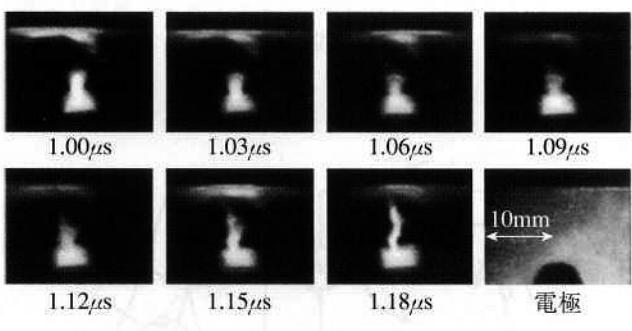


図-7 磁気パルス圧縮回路



(b) ピンチ過程

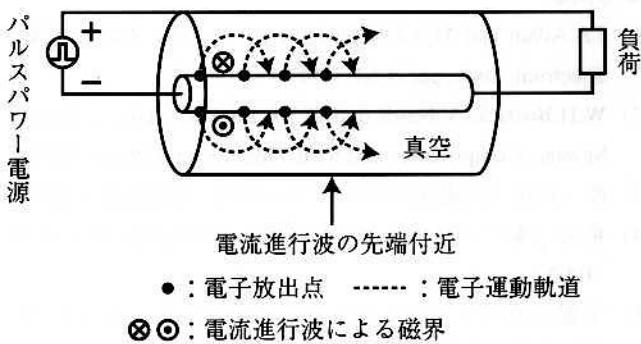
図-6 ガスバフエピンチの原理とピンチプラズマ形成過程

法等がある。誘導電圧重畠法は、変圧器作用による電界を空間で重畠する方法で、線形誘導加速器（インダクションライナック）に使用される。開放スイッチ法は、負荷を含む誘導性回路を後述のプラズマエロージョンスイッチで高速開放する方法で、パルス圧縮法の一種でもある。

2.3 パルスパワー伝送・制御

線路とインタフェイス

巨大なパルスパワーを負荷に伝送する線路は、機能から見るとパルスパワーの波形を変えることなく伝送する線路、電圧・電流を増幅する変成機能を持つ線路（インピーダンス変換線路；テーパ線路）、極性を反転する線路があり、絶縁媒質から見るとガス絶縁線路、液体（含む水）絶縁線路、真空絶縁線路がある。負荷がダイオードの場合は、真空へのパルスパワー伝送になるので、パルス発生部と負荷部との間には図-1のように真空インタフェイスを設ける。負荷へのパルスパワー伝送の限界は、線路並びに真空インタフェイスの絶縁耐力によって左右されることが多い。真空絶縁線路では、パルスパワー進行に伴って線路導体表面の微小突起がプラズマ化してもパルスによる自己磁界でプラズマ中の電子を元の導体に引き戻すことにより高い絶縁耐力を保持する方法が取られる。これを磁気絶縁線路（図-8）という。また真空インタフェイスでは、導体表面や絶縁物表面で発生した電子が絶縁物表面に衝突しないように電子の軌道を磁界又は適切なインタフェイス表面形状にすることにより制御して、耐電圧を高くする。



スイッチ

パルスパワーシステムでは、エネルギーの高速転送制御のためのスイッチが不可欠で、これには開放スイッチと短絡スイッチがある。スイッチの電流容量はMAにも及び、具備すべき特性も厳しいので、目的によって種々のスイッチが使用されている。

開放スイッチには、真空遮断器、プラズマエロージョンスイッチ、プラズマフォーカス、拡散放電制御形スイッチ、金属拡散プラズマアークスイッチ、クロスフィルドチュー

ブ、ヒューズ、爆薬スイッチがある。

また、短絡スイッチには、スパークギャップスイッチ（媒質により真空、気中、液体、固体、沿面放電の各スイッチがあり、気中には自爆形、トリガトロン形、電界歪み形、レーザトリガ形等がある）、サイラトロン／イグナイトロン、半導体スイッチ、磁気スイッチなどがある。

スイッチ技術の詳細は、専門書があるので参考にすると良い。^{6), 7)}

3 パルスパワー計測

パルスパワー技術で使用される電圧・電流のパルス波形は、大きな振幅Aで狭い幅Tの矩形波が好ましい場合が多いが、この矩形波をフーリエ変換すると図-9のようになる。図から明らかなように、Tが極めて小さいので、パルス電圧・電流には高い周波数成分を持つ連続スペクトルが含まれており、その測定には極めて高い周波数応答の測定器を必要とする。また、パルスパワー分野では電圧・電流の他に、負荷側においては荷電粒子ビーム、X線、プラズマ、レーザ等の計測が必要になる。さらに、高速高電圧・大電流を取り扱うために誘導ノイズ対策が不可欠である。

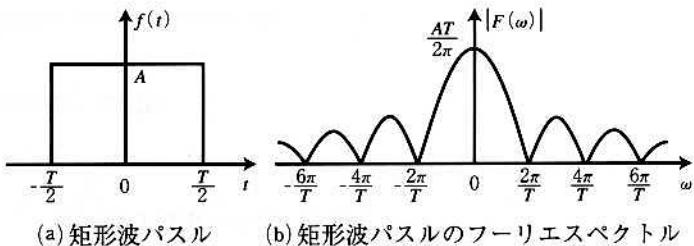


図-9 矩形波パルス中の振幅密度スペクトル

4 パルスパワー応用

電磁エネルギーは絶縁体内に存在するときにエクセルギーとして利用できるが、その絶縁体は先にも述べたように電界に対して著しい非線形性を示す。ハイパワーの輸送と利用には高電界を伴うので、それが長い時間続く場合は絶縁体が完全破壊する。パルスパワーは継続時間が極めて短いので、過渡的ではあるが絶縁空間を完全破壊させることなく高電界場を作ることが出来、これによって比較的容易に高エネルギー粒子ビーム、高密度励起粒子、高密度高温プラズマ、超高密度磁気エネルギーを空間に創出できる。したがって、パルスパワー応用では、先ずパルスパワーを高エネルギー高密度プラズマ、荷電粒子ビーム、電磁化速度、放電（励起粒子）、超高磁界等に一次変換され、更に必要があればそれらを二次、三次変換してレーザー、マイクロ波、X線、高エネルギー荷電粒子の発生、核融合、物体加速、新物質の創成、物質加工等に応用される。物質加

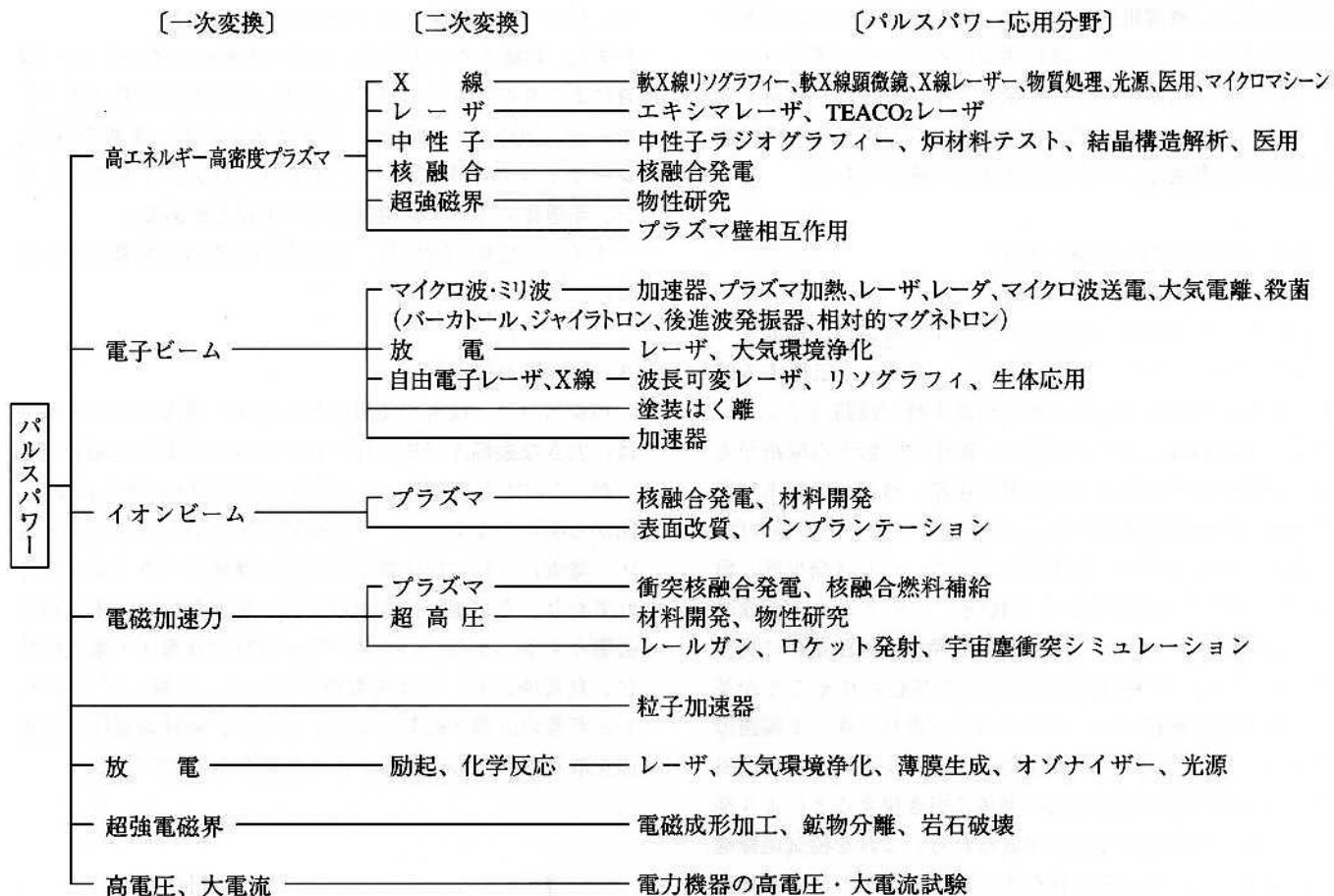


図-10 パルスパワー応用分野

工の一例を挙げると、パルスパワーでレーザやイオンビームを発生させ、これでアブレーションしたりスパッタリングすることにより、熱融解過程を経ずに高品質の機能性薄膜の作製、石英などの誘電体の微細加工、高硬度薄膜生成、超微粒子作製などが可能である。

パルスパワー応用分野をまとめると図-10になる。パルスパワー技術は、先にも述べたように古くは電力機器開発において利用されてきたが、最近はレーザ、粒子ビーム、粒子加速、X線の分野で応用され、さらに物質処理、食品加工殺菌、バイオ、環境保全などに関連する分野への応用も模索されている。

5 むすび

パルスパワー分野の基礎は、電気工学、レーザ工学、プラズマ理工学、材料工学などに関係する学際領域にあり、その応用はたとえば上記のアブレーションやスパッタリング技術に見られるように物質の熱溶解過程なしに物質加工、機能膜生成が出来き、従来技術では不可能であったことを可能にしつつある。

参考文献

- 1) J.A.Adam and M.A.Fischetti (ed.) : "Star Wars" ,IEEE Spectrum, Sept., pp.34-64 (1985)
- 2) W.H.Bostick, V.Nardi and O.S.F.Zucker (ed.) : Energy Storage, Compression, and Switching, Plenum Press (1976)
- 3) 原・秋山：高電圧パルスパワー工学、森北出版 (1991)
- 4) 柳父（編）：パルスパワー技術とその応用、オーム社 (1992)
- 5) 京都ハイパワーテクノロジー（編）：パルスパワー工学の基礎と応用、近代科学社 (1992)
- 6) A.Guenther, M.Kristiansen and T.Martin (ed.) , Opning Switches, Plenum Press (1987)
- 7) I.M.Vitkovitsky, High Power Switching, Van Nostrand Reinhold Co., (1987)

技術論文

溶射皮膜のキャビテーション試験結果（その1）

Results of cavitation test on a coating film by thermal spraying



溶接溶射技術開発室

洲崎 真二

Shinji Suzuki

溶接溶射技術開発室長

宮崎 裕之

Hiroyuki Miyazaki

要旨

水力発電部品はキャビテーション・エロージョンに曝される部品が多い。さらに特定の位置に部分的に発生する傾向にある。従来この部分には耐キャビテーション・エロージョンに優れたSUS300系のステンレスを溶接法で現地肉盛りする対策が取られてきたが、コストや現地施工に難点があり課題となっていた。この問題点に対し施工法として溶射法を、また溶射材料には自溶合金、ステライト等を選定しキャビテーション・エロージョンの確性試験を行ったところSUS304に比して、3倍以上の耐久性を有することが確認された。

Synopsis:

Many of the parts of equipment and machinery at a hydroelectric power station are exposed to cavitation and erosion, which tends to occur partly on the specific positions.

The mass cladding method using the stainless steel in series of SUS300, which is exceedingly resistant to cavitation and erosion, has been adopted on the sites as a conventional measure.

However, this method has some problems such as high cost and the difficulty of working operation on the sites.

To solve these problems described as above, thermal spraying of self-fluxing alloy, stellite etc. has been selected. It was verified that this spraying method improves more than three-times durability against cavitation and erosion compared with that of SUS304 (previous method).

1 緒言

水力機器に用いられる材料の特性としては、高強度、高靭性、高耐食性と共に、耐土砂摩耗性、耐キャビテーション性等が要求されている。この要求が満たされない場合、水力機器の性能を低下させるだけでなく、補修による著しい稼働率の低下を招いており、その対策に苦慮しているのが実情である。

最も耐キャビテーション・エロージョンを受ける水力機器の1つに水車ランナーがあり、従来から耐キャビテーション性が優れていると考えられているSUS304を肉盛溶接することにより耐久性の改善を行っている。しかし、溶接法はコスト面と現地施工面に問題があるため溶接法に替わる施工方法の確立が求められている。

現地作業性や信頼性に優れた施工法として溶射法があり耐食、耐摩耗コーティングプロセスとして注目されている。

しかしながら、溶射皮膜は水力機器への適用にあたって重要な特性である耐キャビテーション性については殆ど明らかにされていないのが現状である。

本報では水車ランナーへの溶射法の適用性を検討するため、4種類の溶射皮膜（ステライト、Ni基自溶合金、Fe基自溶合金、SUS316）とポリウレタン樹脂コーティングについて、耐キャビテーション性の評価試験を行い、その調査結果を報告する。

2 キャビテーションについて

キャビテーション・エロージョン¹⁾は急速に流動する流体中での金属表面に接した一部に圧力の突然変化により空洞部が発生し、この空洞部において流水圧がその温度での蒸気圧以下に達したとき、流体の常温化での煮沸現象が生じ空洞内に蒸気泡が発生し、この発生した蒸気泡は静圧の

高い部分で急激に圧縮され破壊する。キャビテーションは、この蒸気泡の発生、破壊の繰り返しの結果、金属表面に発生する損傷である。一般的には空洞発生部よりもやや離れた部位で蒸気泡の圧縮・破壊が発生しエロージョンに至る。またこの蒸気泡は著しく衝撃圧が高く、その値は 35kg/mm^2 に達する場合もある。

2.1 耐キャビテーション材料の条件

耐キャビテーションの尺度を左右する因子として1) 硬度 2) 結晶粒度 3) 強度 4) 表面粗さ 5) 弹性 等が考えられている。特に硬度は最も重要な因子であり、耐キャビテーション・エロージョン性は材料が破壊するまでに吸収される歪みエネルギーに相当する Hv2/E (Hv :ビッカース硬度 E :綫弾性係数) で整理されていることが良く知られている。耐キャビテーション・エロージョン材料にて最も多く利用されている材料にSUS304およびSUS410ステンレスがあるがキャビテーション・エロージョン試験前後の硬度を比較した場合Table 1のようになる。

下表の如く、一般的に硬度が低いSUS304がSUS410と耐キャ

Table 1 Result of cavitation test

material	unit: Vickers hardness	
	normal value	after test
SUS304	160	220
SUS410	200	210

Table 2 Evaluation of materials in water power generating plant

durability	kind of materials
1	WC (sintered)
2	stellite
3	17-7 stainless steel
4	18-8 stainless steel
5	25-20 stainless steel
6	18-8 stainless cast steel
7	Ni-Al cast bronze
8	13%Cr cast steel
9	Mn cast bronze
10	SUS304 (thermal spraying)
11	cast steel
12	bronze
13	rubber
14	cast iron
15	Al plate

Table 3 Characteristics of coating film in respective processes of thermal spraying

	adhesive force	porosity	adhesive force among particles	non-fused powder	amount of oxide
wire thermal spraying (gas flame)	△	△	△	◎	△
powder thermal spraying	×	×	×	×	×
wire thermal spraying (arc)	○	△	○	○	×
gas plasma thermal spraying	○	△	○	×	○
HVOF	○	○	○	△	○

◎ best ○ better △ good × no good

ビテーションにおいて同等以上である。理由としてキャビテーションの蒸気泡崩壊に伴う衝撃圧により材料表面が加工硬化するためと考えられている。また、蒸気タービン翼のキャビテーション・エロージョン対策として使用されるステライト合金もまた加工硬化を起こしやすい合金であることが良く知られている。

各材料の耐キャビテーション・エロージョンの順位をまとめたものをTable 2に示す。²⁾

2.2 溶射皮膜の特性

溶射は溶接肉盛り・鋳造材料に比べ以下の欠点を有する。

- 1) 皮膜内には気孔、酸化物を多く含有している。
- 2) 溶射粒子の体積したラメラ構造の組織を示す。
- 3) 他の製法と比べ粒子の脱落を伴う摩耗が発生する。
- 4) 複合皮膜であるため剥離の危険性がある。
- 5) 粉末ガスフレーム、プラズマ溶射では未溶融粒子の巻き込み体積が発生する。

溶射を耐キャビテーション・エロージョン材料に適用する場合上記欠点を考慮して溶射方法を選定することが必要となり、溶射方法として以下の条件が必要である。

- 1) 粒子内に気孔および酸化物が少ない。
- 2) 基材との界面、粒子間の密着力が強い。
- 3) 未溶融粒子等の皮膜内の欠陥が少ない。

2.3 溶射法の種類

一般的溶射方法は溶射装置により特徴がそれぞれ異なる。溶射装置による特徴の違いについてまとめたものをTable 3に示す。

以上から溶射方法はアークワイヤー溶射または高速フレーム溶射が適正である。

2.4 溶射方法および溶射材料選定について

耐キャビテーション・エロージョン材料の選定理由として、高硬度で且つ加工硬化性のある材料が耐キャビテーション・エロージョンには必要条件である。そこでこれらの条件を満たすための溶射材料および溶射方法等についてまとめたものをTable 4に示す。

SUS304を肉盛りした物を供試材とし、比較試料としてSUS系および一般的に市販されている溶射材料について(硬度、加工硬化性)のあるものを主に選定し、耐キャビ

Table 4 Characteristics of coating film in respective materials

material	process	hardness (Hv)	durability
SUS304	HVOF	160	base material
stellite#6	HVOF	410	○
WC-12Co	HVOF	1300	◎
WC-17Co	HVOF	1200	◎
Cr ₃ C ₂ 25NiCr	HVOF	950	○
WC ₁₂ Co+ self-fluxing alloy (Ni-base)	HVOF	900	○
self-fluxing alloy (Ni-base)	HVOF	828	○
SUS316	HVOF	379	×
self-fluxing alloy (Fe-base)	wire thermal spraying (arc)	595	△
SUS316	wire thermal spraying (arc)	360	×

○ best ○ better △ good × no good

テーション・エロージョン試験片を製作した。

3 キャビテーション・エロージョン供試材について
実験に供したサンプルはFig.1に示す様な形状で、表面に

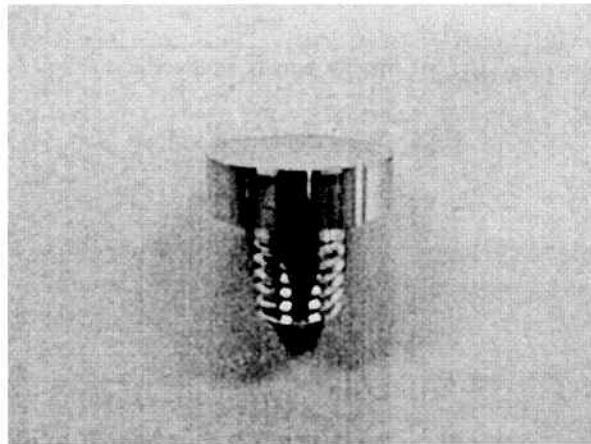


Fig.1 Cavitation erosion test sample

は300 μm (Fe基自溶合金500 μm、ポリウレタン樹脂800 μm) の厚さの皮膜を溶射している。

供試体は、アーカワイヤー溶射とプリウレタン樹脂を除き HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) 装置を用いて溶射距離 200~250mm、粉末供給速度 6~10kgの条件にて燃焼ガスにケロシンと酸素を用い溶射した。各皮膜の溶射仕様を Table 5に示す。

Table 5 Thermal spraying condition

material	process	film thickness(μm)
stellite#6	HVOF	300
SUS316	HVOF	300
self-fluxing alloy (Ni-base)	HVOF	300
self-fluxing alloy (Fe-base)	powder thermal spraying	500
resin	—	800

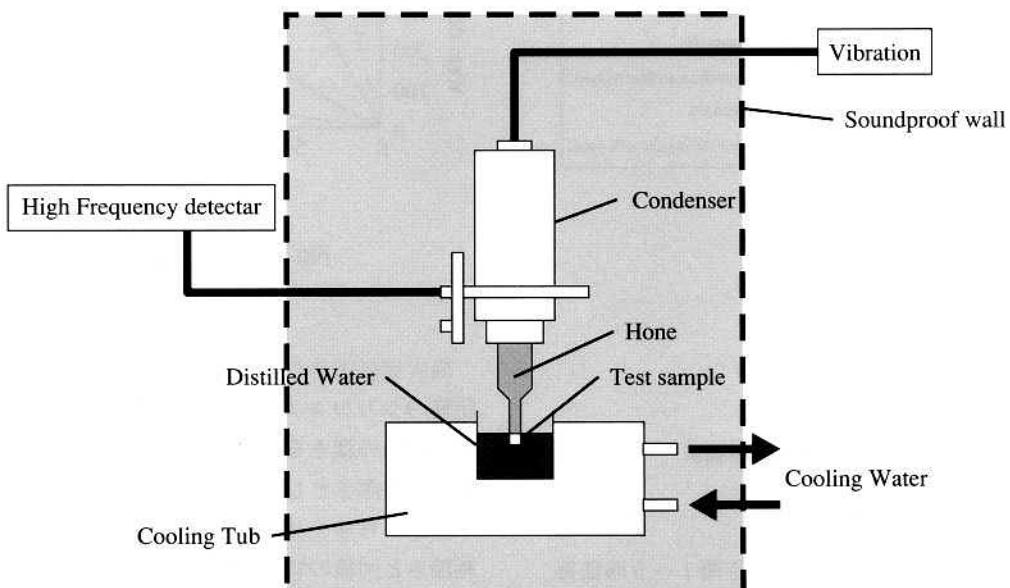


Fig.2 Schematic drawing of test apparatus

4 試験方法および試験条件

キャビテーション・エロージョン試験装置の概略図をFig.2に示す。装置は試験片を高周波で振動させる発信機部と試験温度を一定に保つための冷却槽から構成されており、試験条件は前準備としてダイヤモンドペーストで表面を研磨後アセトンにて超音波洗浄し、初期重量の測定を行った。試験片のホーンへの取り付けは、試験中のネジ部での破損を防止するためトルクレンチを使用し、締め付けトルク250kg/cm²で行った。試験条件をまとめたものをTable 6に示す。

Table 6 Test condition

temperature	22°C ± 1°C
frequency	19.0kHz
amplitude	30 μm
couplant	distilled water

5 評価方法および試験結果

評価方法はキャビテーション試験における溶射皮膜の平均摩耗深さおよび最大摩耗深さ、減重量にて評価した。

また、キャビテーション試験後の溶射皮膜の表面壊食状況を知るため、実体顕微鏡を用いて観察した。

Fig.3にキャビテーション試験における溶射皮膜の減重量
Fig.4にキャビテーション試験における溶射皮膜の平均摩耗深さ

Fig.5キャビテーション試験における溶射皮膜の最大摩耗深さを示す。

またそれぞれの溶射皮膜壊食状況をFig.6～Fig.10で示す。

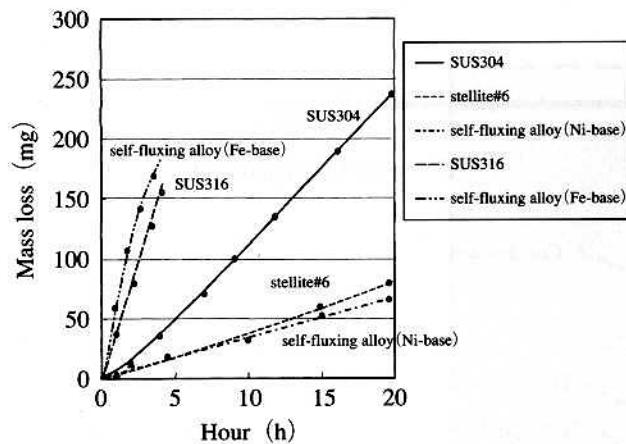


Fig.3 Mass loss in cavitational test

減重量測定方法は、各サンプルを試験時間1～5時間毎に精密電子天秤を用いて重量変化の測定を行った。結果か

ら供試材SUS304と比較し高速フレーム溶射機(HVOF)で溶射したFe基自溶合金、アーク溶射機で溶射したSUS316は加工硬化性が良い材料にもかかわらず、供試材SUS304の約4倍の減重量である。これに対し、高速フレーム溶射機(HVOF)で溶射したステライトおよびNi基自溶合金は約3倍の耐用を示している。

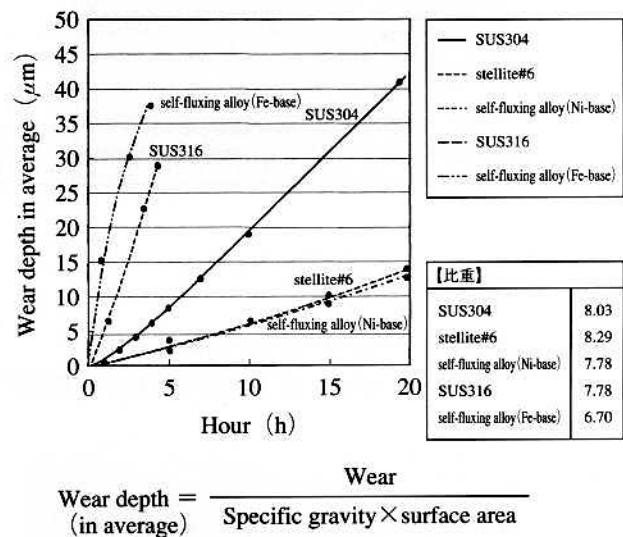


Fig.4 Wear depth in average

平均摩耗深さ測定方法は、減重量と溶射皮膜の比重から平均摩耗深さを算出した。

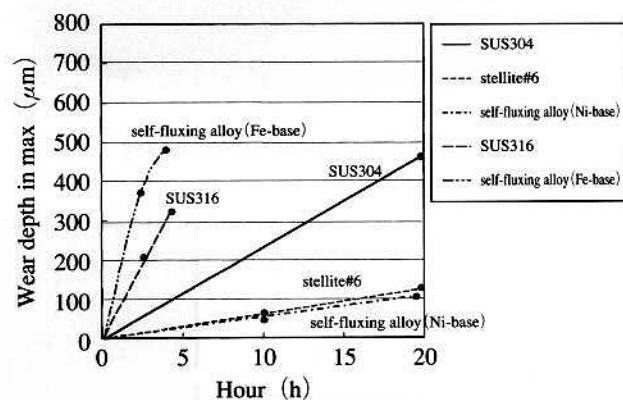


Fig.5 Wear depth in maximum

最大摩耗深さの測定方法は試験後のサンプル表面に速硬化性のシリコンゴムを流し込み、表面の凹凸を転写させ、この凹凸の深さをレーザー変位計で測定し、その最大値を最大摩耗深さとした。

結果からキャビテーション試験における減重量、平均摩耗深さと同様の順位結果である。

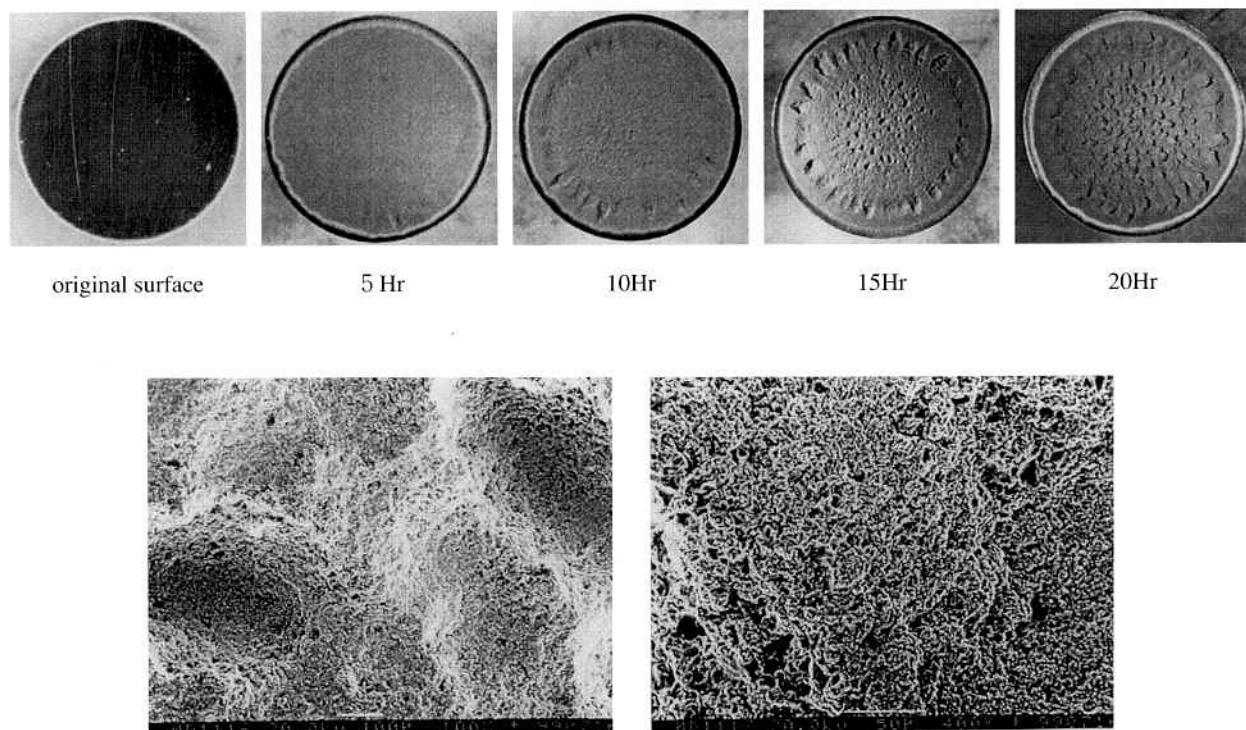


Fig.6 Result of macro surface condition, and micro structure. (material : SUS304)

観察結果から試験10Hrを超えたあたりから、壊食が目立つ様になり外周部から少し内側部分の壊食が顕著に現れている。

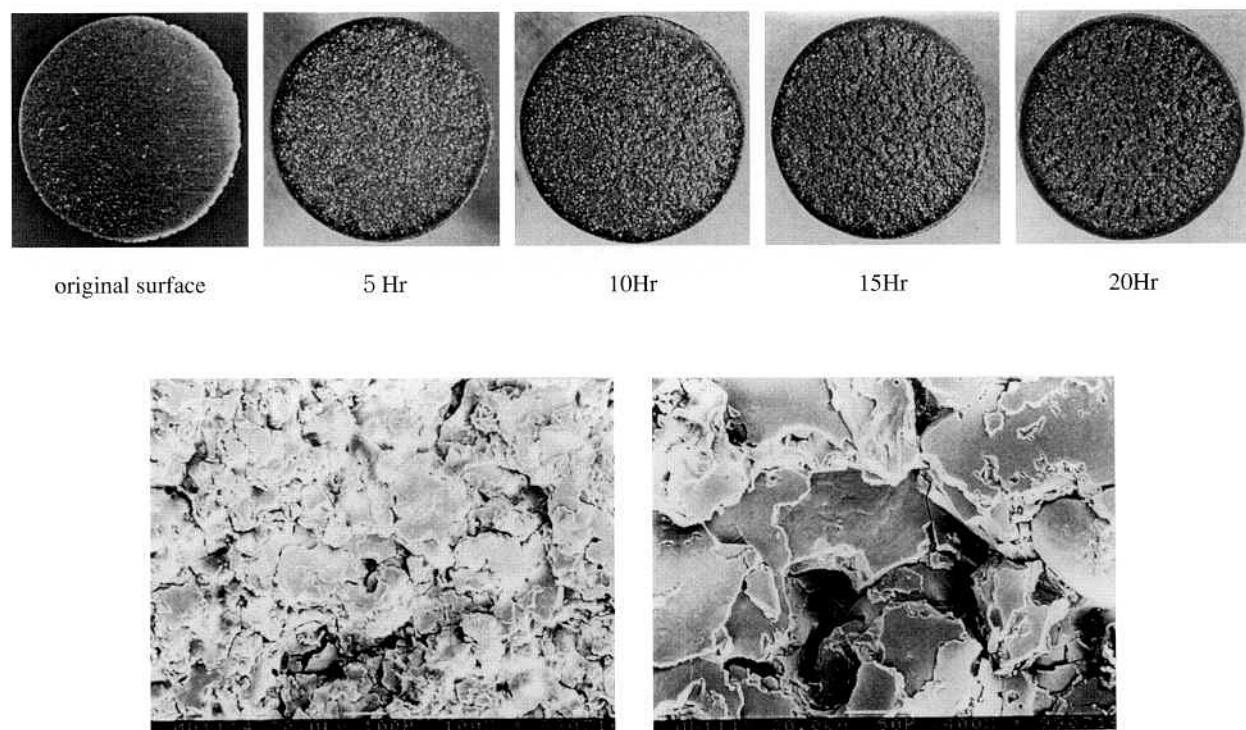


Fig.7 Result of macro surface condition, and micro structure. (material : self-fluxing alloy Ni-base)

アーク溶射機で溶射したFe基自溶合金の溶射皮膜は試験5 Hrで壊食が進行し、部分的に基材露出に至っている。また観察結果から層状の皮膜が認められ、壊食を受けた部分は脆性破壊を起こした様に見られる。

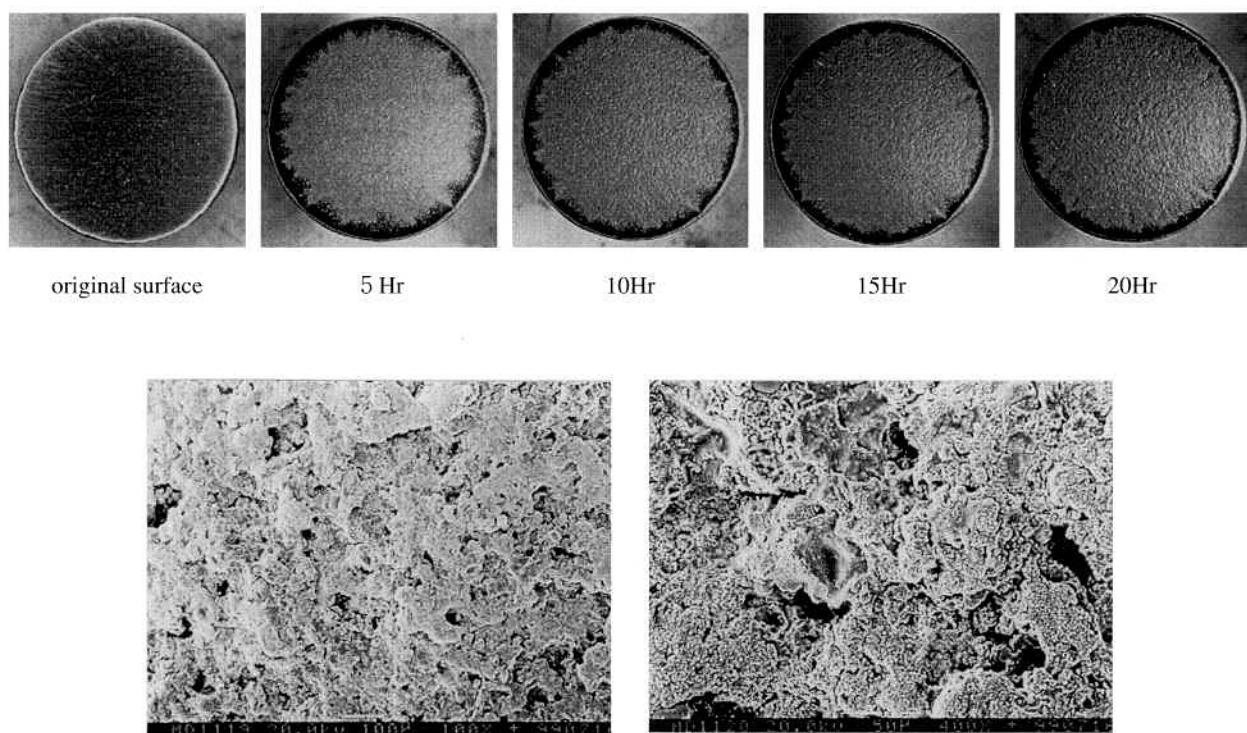


Fig.8 Result of macro surface condition, and micro structure. (material : self-fluxing alloy Ni-base)

表面壊食状況結果から20Hr経過した時に、端部から壊食が進行している。また表面壊食状況ミクロ組織から皮膜内に粒子は認められず、空孔が少ない。この結果、空洞部を起点に発生する壊食現象が抑制されたものと思われる。

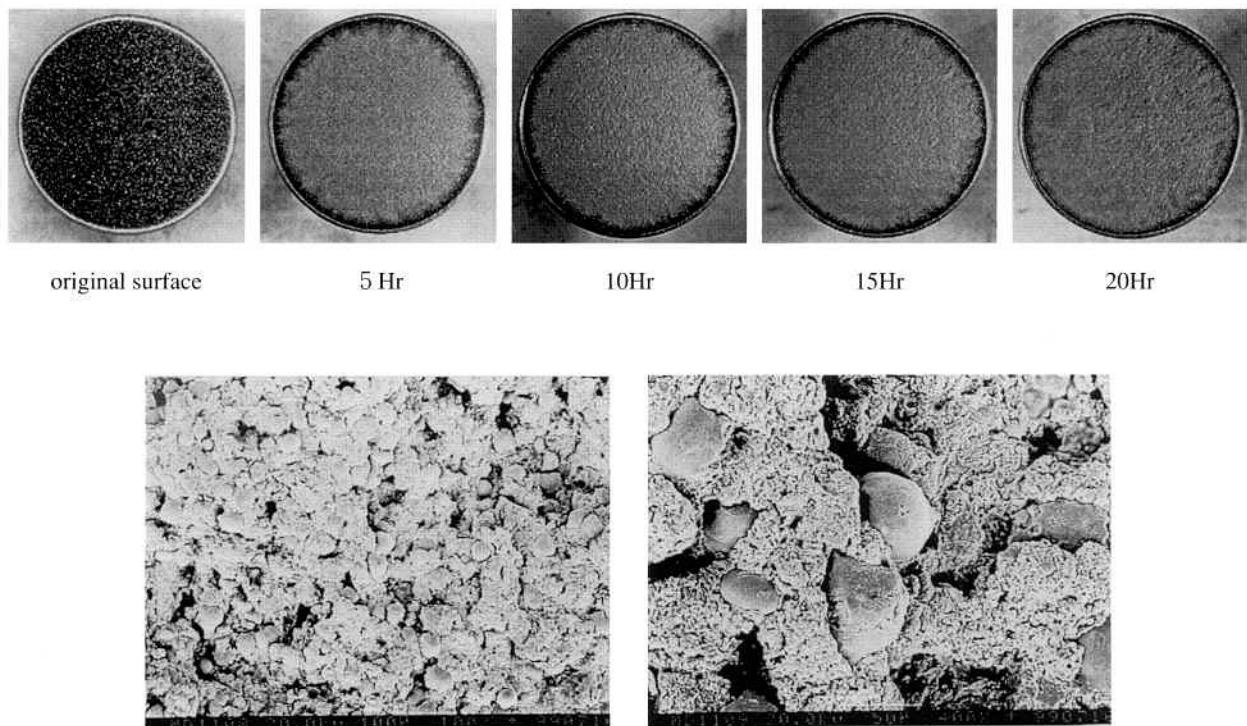


Fig.9 Result of macro surface condition, and micro structure. (material : stellite#6)

高速フレーム溶射機で溶射した材料の中では最も加工硬化性の高い材料であるステライトは、Ni基自溶合金と同等の壊食速度であるが、皮膜組織を比較すると空孔が多数存在している。

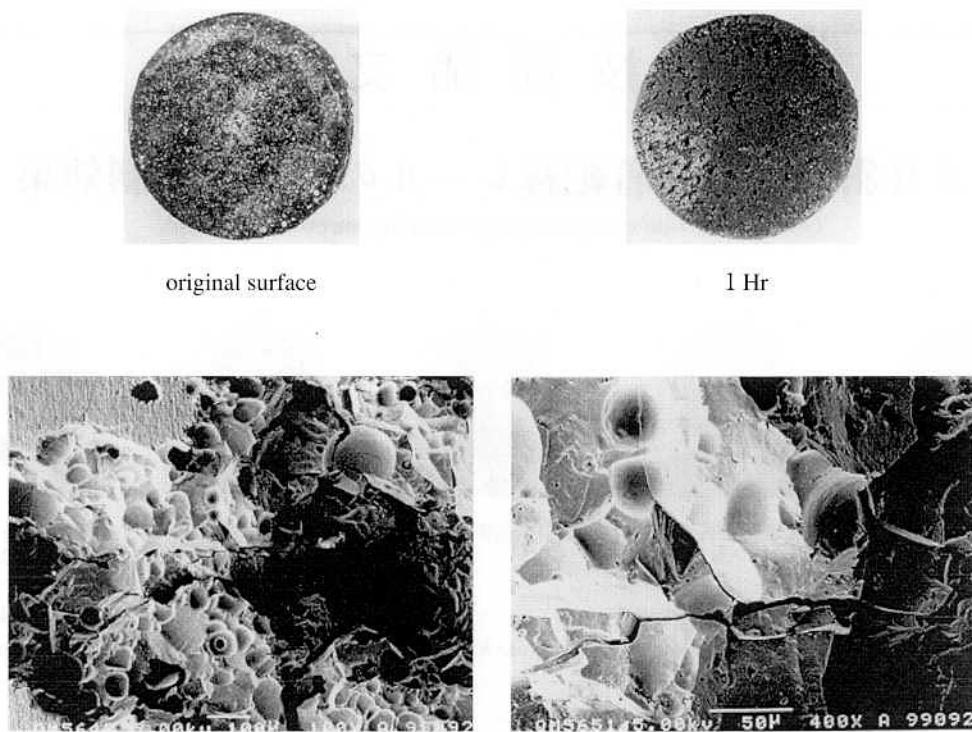


Fig.10 Result of macro surface condition, and micro structure. (material : polyurethane resin)

静電塗装を施したポリウレタン樹脂は僅か1Hrで壊食を受けており、表面壊食状況の皮膜組織から非常にポーラスである。また表面加工精度が劣るため耐キャビテーション皮膜としては期待できない。

6 試験結果および考察

摩耗減重量、平均摩耗深さ、最大摩耗深さ測定結果からSUS304、SUS316およびFe基自溶合金、ポリウレタン樹脂はキャビテーション試験において良い結果が得られていない。原因としてこれら材料の皮膜組織観察から粒子形状および空孔が多数確認される。この事からキャビテーション試験時の高速振動で空孔を起点に、粒子間の欠落が発生したと推測される。

また表面壊食状況からSUS系およびポリウレタン樹脂、Fe基自溶合金皮膜は短時間で壊食が発生していることが確認できる。壊食は試験片の外周部から少し内側に入った部分で強くなる傾向にあり、この事から試験片の外周部付近で蒸気泡が多く発生し内側で蒸気泡の崩壊が起きていると推測される。

これらの材料に対しNi基自溶合金およびステライトの溶射皮膜は粒子が認められず緻密であるため、金属破壊現象の1つであるキャビテーションにおいて粒子間の欠落が少なく良好な結果が得られていたと思われる。

Ni基自溶合金皮膜は硬度、強度、靭性が高く、また皮膜組織から空洞部の存在が少ない事からキャビテーション試験において非常に良好な結果であった。

7 結言

HVOF装置によるNi基自溶合金皮膜は、従来から使用している材料であるSUS304と比して摩耗減量等の結果から約3倍の耐久性を示しており耐キャビテーション皮膜として期待される。

溶射法は現地施工に適しているので今後安定した皮膜が得られるよう溶射条件の確立を図る。溶射材料としては高硬度材料、緻密な組織（Table 4参照WC系サーメット³⁾、炭化クロム）等による耐キャビテーション性について調査を行う。

8 謝辞

本研究の遂行に際し、キャビテーション試験の実施に協力して頂いた富士電機株式会社に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 鬼頭：防食技術 4 (1955) P.192
- 2) 防食技術便覧 5章キャビテーション・エロージョン (P138~P155)
- 3) 溶接学会全国大会 (1999) P418

J R斜め切り接着絶縁レールのアーク抑制効果

On the reduction of arc-discharge with the improved rail joint



溶接溶射技術開発室

生産管理推進室

溶接溶射技術開発室長

東日本旅客鉄道(株)
総合技術開発推進部
軌道技術グループ課員

東日本旅客鉄道(株)
総合技術開発推進部
軌道技術グループ副課長

古田 博明
Hiroaki Furuta

江川 太郎
Taro Egawa

宮崎 裕之
Hiroyuki Miyazaki

奥村 幹夫
Mikio Okumura

沼倉 明夫
Akio Numakura

要旨

前報では、接着絶縁レールの絶縁継ぎ目近傍で観察されたレール踏面の激しい損傷は、車輪・レール間で発生したアーク放電現象による損傷摩耗であると報告されている。

接合部を斜め形状に改良した開発レール（斜め切り接着絶縁レール）を配した模擬軌道回路を用いて、アーク抑制効果の検証を行った。本試験（低速域）では、開発レールのアーク放電現象の抑制傾向が認められるが、車輪・レール間のアーク放電現象は、車輪とレールの接触面積及び接触時間に左右されると考えられ、高速域でのアーク抑制効果は減少すると推定される。

Synopsis

It was explained in the previous report paper that the arc-discharge phenomenon gave rise to the damages to the area of the rails around insulated joint. To control the phenomenon of the arc-discharge between wheels and rails the improved joint cut obliquely was manufactured and tested.

On the examination at a low speed, a tendency for controlling the arc-discharge on the developed insulated joint has been recognized. On the other hand, the phenomenon of the arc-discharge has been affected on the contact areas and time of the rails with wheels. Finally the damages caused by the arc-discharge has been presumed to be more reduced on the high speed condition rather than on the low speed conditions.

1 緒言

直流電化区間に敷設された接着絶縁レールでは、レール踏面の損傷によるレールの短寿命化が問題となっている。前報では、レール損傷の律速段階となる現象は、車輪・レール間のアーク放電現象による金属の蒸発、飛散、酸化等の摩耗によるものであると報告されている。

このアーク放電現象は、回路が上流側レールから下流側レールに切り替わるときに生じる電位差によるもので、絶縁継ぎ目の影響が大きいと考えられている。そこで、アーク放電現象の抑制を目的とした斜め切り接着絶縁レールが開発され実機テストが行われている。この斜め切り接着絶縁レールは、接合部を斜め形状に改良したもので、車輪が絶縁継ぎ目を通過する際の急激な通電遮断を緩和する効果

が期待できる。そのアーク抑制効果について定量的な検証を試みた。

以下、従来型接着絶縁レールを従来型レール、斜め切り接着絶縁レールを開発レールと称す。

2 実施概要

開発レール・従来型レール（Fig.1）を配した模擬軌道回路を用いてアーク放電現象を再現し、アーク放電に伴う電流・電圧変化の測定、レールに生じたアーク痕の観察、及び高速度ビデオカメラによるアーク放電現象の観察により開発レールの抑制効果を確認する。

3 検証方法

3.1 模擬軌道回路を用いた開発レールのアーク抑制効果確認試験

アーク抑制効果確認試験は、Fig.2に示す模擬軌道回路図を作成し、レールに勾配を設けて試験速度の調整を行い、Table.1に示す試験条件で行った。Fig.2に示す測定個所に検出器を設け電流・電圧の変化を測定し、高速度カメラにより車輪・レール間でのアーク放電現象の観察を行った。

3.2 試験データの解析

従来型・開発レールに於ける、電流と電圧の変化を測定、高速度ビデオカメラによるアーク放電現象の観察及びレー

ル上に発生したアーク痕の観察により、開発レールのアーク制御効果の解析を行った。

試験データの解析にあたって、アーク抑制効果確認試験で得られた測定データだけでは、電流・電圧の変化にアーク放電現象が明確に反映されないことに加え、レールが上下左右、4要素を持つこと、車輪のバウンドによりレールとの接触が切れるによるアーク発生の可能性、インピーダンスボンドの影響など、多数の複雑な要素が絡み合い試験データの解析を困難なものとした。そこで、車輪・レール間でのアーク放電現象を明確なものとする為に、片側レールのみの模擬軌道回路（Fig.3）を製作し、Table.2に示す予備試験を行った。

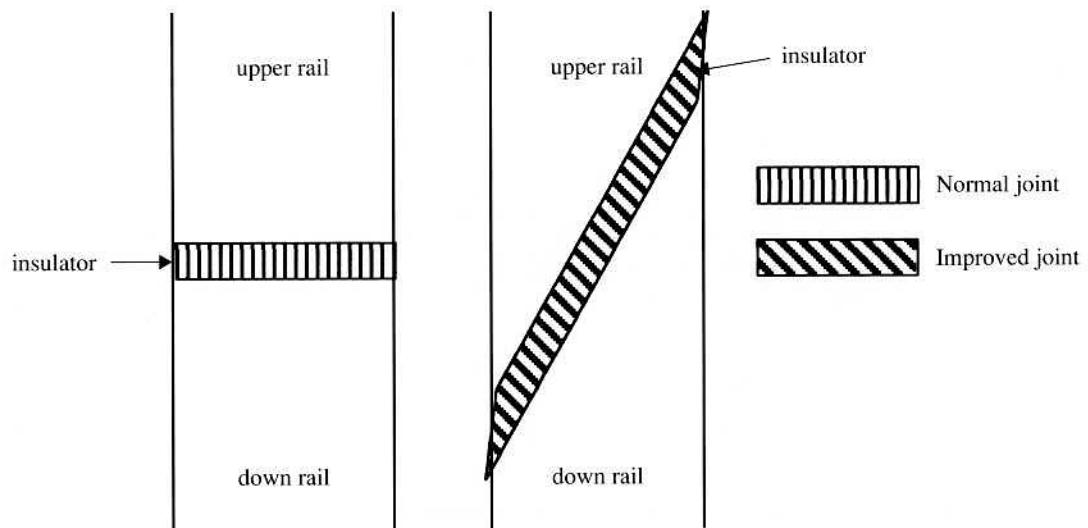


Fig.1 Glued Insulated Rails

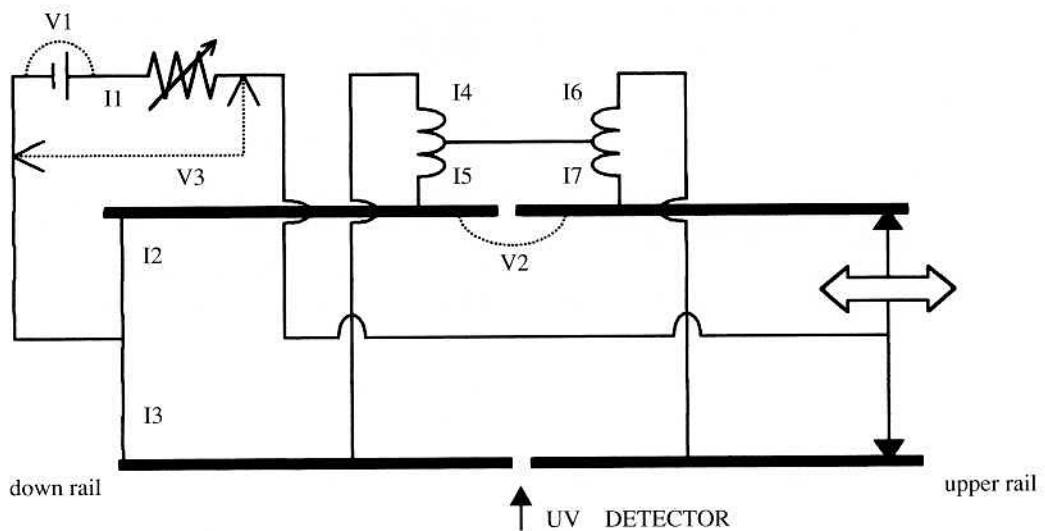


Fig.2 The model of rails circuit

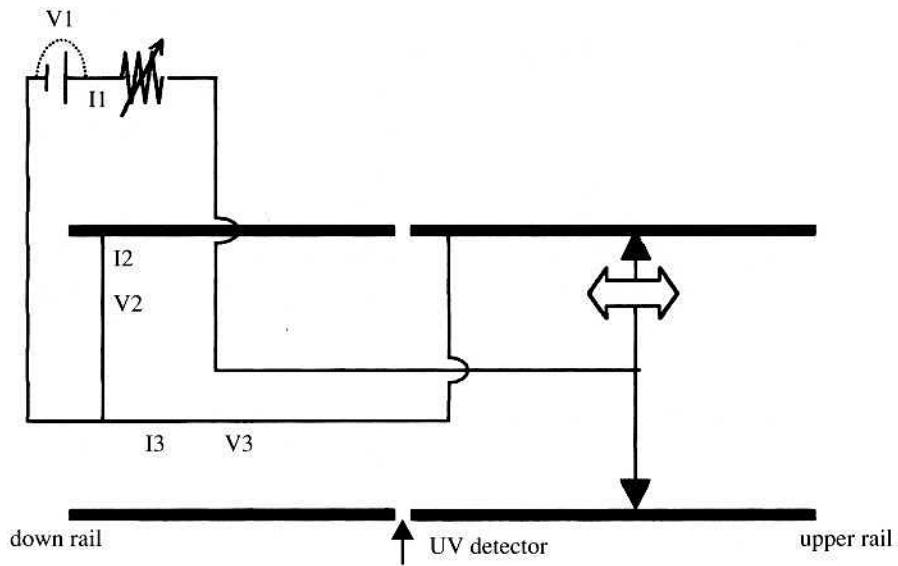


Fig.3 The model of rails circuit

Table 1 Experimental conditions

Type	Electric current (A)	0.5m/s (1.8km/h)	1.0m/s (3.6km/h)	1.5m/s (5.4km/h)
Normal joint	500	50	50	50
	750	50	50	50
	1000	50	50	50
Improved joint	500	50	50	50
	750	50	50	50
	1000	50	50	50

(unit: times)

Table 2 Preliminary test

Title	Content
Test-1	アーク放電現象の観察と解析（インピーダンスボンド無し）
Test-2	インピーダンスボンドの影響によるアーク放電現象の解析
Test-3	車輪を上流レール及び下流レールに短絡させた状態から車輪を転がした場合のアーク放電現象の解析
Test-4	車輪の速度を小さくし、徐々に増加させたときのアーク放電現象の解析

4 試験結果

4.1 アーク発生頻度

従来型・開発両レールでの各試験条件に於けるアーク発生頻度をFig.4に示す。

アーク放電現象は、片側レールのみ又は両側レールで観察され、電流及び速度の上昇に伴い、両側レールでの発生頻度が上昇した。従来型・開発両レール共に、速度1.0m/s以上、電流750A以上では、ほぼ全ての実験にてアークが発

生し両レールの違いは確認出来なかったが、それ以下の条件では、開発レールでのアーク発生頻度は減少し、アーク抑制効果を確認した。

4.2 アーク発生状況

50回後のアーク痕の観察より、斜め切り接着絶縁レールで発生したアーク痕の方が小さい事が判明した。アーク発生頻度がほぼ同等となった速度1.5m/s、電流1000Aの条件下

でも同様な結果が得られた。アーク痕の様子をFig.5に示す。

高速度カメラによる撮影より、アーク放電現象は、従来型・斜め切り接着絶縁両レール共に車輪と上流側レールの間で確認され、持続時間は4~6 msであった。

4.3 予備試験結果

4.3.1 Test-1

従来型レールでは、全ての試験条件でアーク発生音を確認した。開発レールでは、500Aでアーク発生頻度が急激

に減少した。

4.3.2 Test-2

Test-1と比較すると、インピーダンスボンドを接続した事によって、アーク放電現象によるレール損傷が大きくなつた。

4.3.3 Test-3

上流・下流側レール共に、同じ電流値（電源電流の半分の値）である事を確認し車輪を転がした結果、電流500A

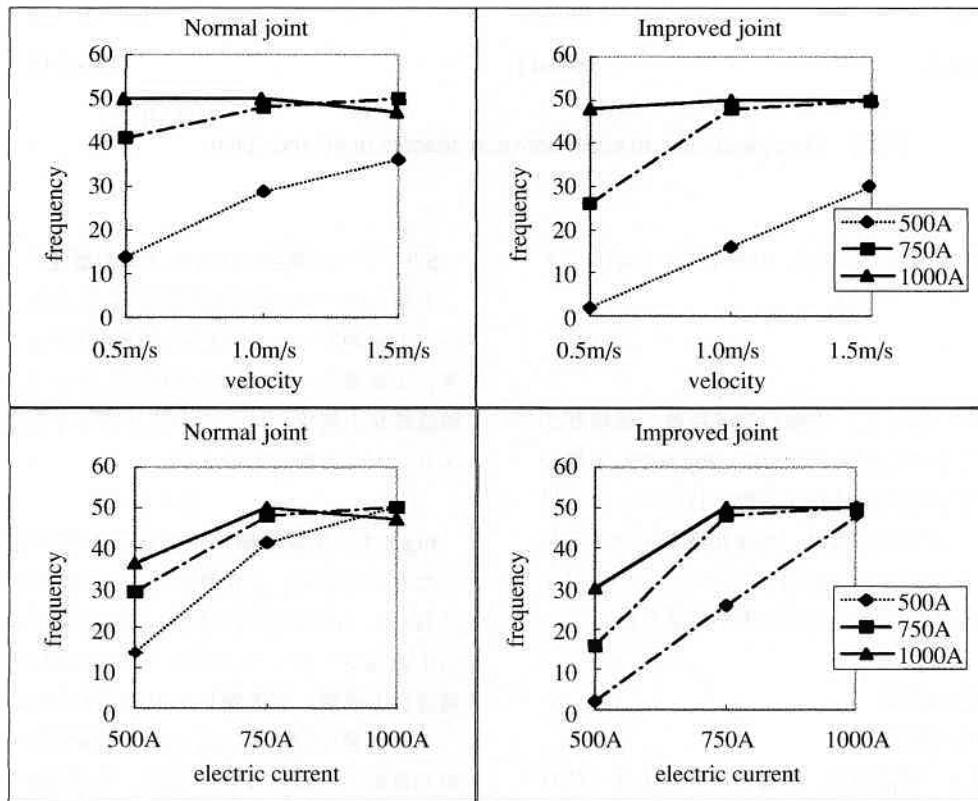


Fig.4 Frequency of Arc-discharge



Fig.5 Arc-mark around the rails joint

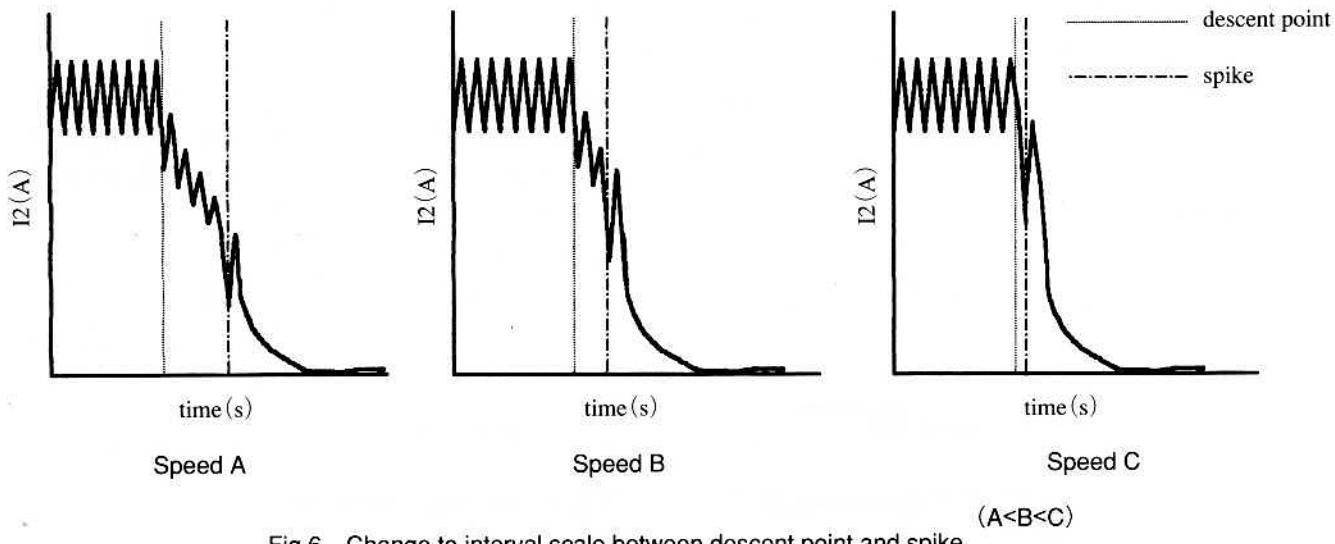


Fig.6 Change to interval scale between descent point and spike

(A<B<C)

ではアーケは確認出来なかったが、1000A以上ではアーケが発生した。

4.4.4 Test-4

電流条件を1000A一定とし、車輪の加速距離を絶縁部から30mmおきに変化させた結果、 I_2 では、Fig.6に示す様な傾向が得られた。電流の減少地点から髪の様なピーク（以後スパイクと称す）までの間隔は、加速距離が増加する毎に狭くなりスパイクの電流値は増加している。このスパイクは、アーケ放電現象に伴い発生する事を確認した。

5 アーケ放電現象の解析

5.1.1 試験データの解析

アーケ放電現象は、電源電流、車輪の速度に大きく依存し、電源電流、車輪速度の増加に伴いアーケ発生頻度、レール踏面の損傷は増大する。また、開発レールの形状効果は低電流、低速域で大きく、電源電流、車輪速度の増加に伴い減少している。

高速度ビデオカメラでの観察より、アーケ発生直前の車輪は、既に下流レールと接触し回路を形成している。本試験で確認したアーケの持続時間は、従来型レール、開発レール共に4～6 msである。

5.1.2 予備試験データの解析

アーケ放電現象によるレール踏面の損傷はインピーダンスボンドの接続により大きくなり、インピーダンスボンドが何らかの抵抗となって影響を及ぼしている。

アーケ放電は、電源電流の増加に伴い、車輪速度に関係なく発生する。また、低速域では I_2 での電流減少位置からスパイクまでの間隔が広くなり、スパイクの電流値は減少している（Fig.6）。この傾向は、開発レールに大きく、アーケ抑制効果を示唆している。

5.2 アーケ発生のメカニズムの想定

車輪とレールの接触面積をSとすると、Fig.7に示すように、上流側レールでは時間の経過に伴ってSが減少していく、下流側レールではSが増加していく。接触面積Sと接触抵抗Rの関係には下式が成立ると仮定しアーケ発生のメカニズムの想定を行った。

$$R \propto 1/S$$

Fig.8は、片側模擬軌道回路での I_2 の推移を模式的に示したものである。上流側レール (I_2) での電流値の推移と、時間 $t_1 \sim t_4$ での接触面積 $S_1 \sim S_4$ の関係より、接触面積 S の上流側レール、下流側レールでの減少、増加に伴って、電流は上流側、下流側レールに分配される。

アーケ発生のメカニズムは、上流側レールの接触面積Sが t_4 直前にゼロとなり、上流、下流側レールに分配されていた電流が下流側レールに流れようとする。しかし、下流

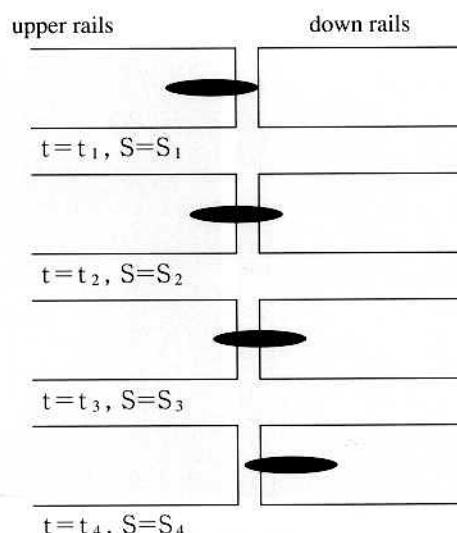


Fig.7 Change over to the contact area

側レールでは接触面積 S が十分に得られていない為抵抗が過大となり、放電現象となって過剰な電流が上流側レールに流れる。

これがアーク放電現象と考えられる。この時波形図では電流の急激な減少 (I_3 では増加) が観察される(スパイク)。

このスパイク直前がアーク放電現象と特定できる。

5.3 斜め切り接着絶縁レールのアーク抑制効果と接触時間について

接触時間及び最大アーク電流値は、上流レールでの電流値の推移より決定した。Fig.9に示す様に、車輪が上流レールのみで回路を形成しているとき、電流値 I_2 は一定のパルスで振動している。 t_1 以降では電流値の減衰が観測されたことから、上下レールと車輪が同時に接触した時点を t_1 とした。 t_4 以降ではパルスが消失しており、上流レールとの回路が切断された時点とした。

t_1 ~ t_4 間では上下レールと車輪が同時に回路を形成しており、この間を接触時間 δt とした。回路が切断された時点

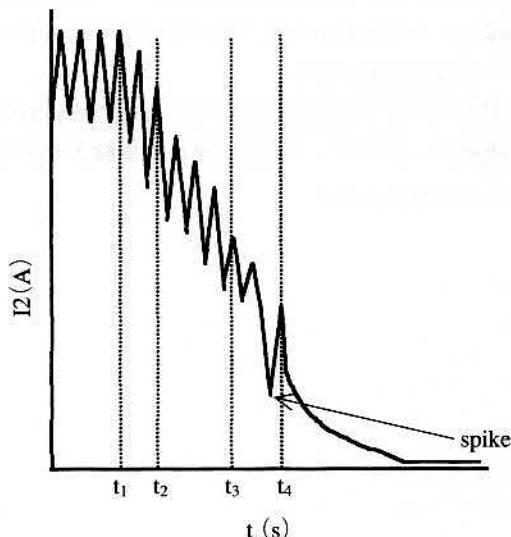


Fig.8 Change to electric current through the upper rails

t_4 での電流値 i_4 をアーク電流の最大値と推定し(スパイクの直前)、最大アーク電流値 I_{max} とした。

上流レールと下流レールに車輪が同時に接触している時間 δt と電流、速度の関係は Fig.10、Fig.11 の様になる。Fig.10 に示すように斜め切り接着絶縁レールに δt の増加傾向が認められる。Fig.11 では、最大アーク電流 I_{max} は接触時間 δt の逆数に比例する。斜め切り接着絶縁レールではアーク発生時の I_{max} の減少傾向が認められる。

アークのエネルギー E は次式と考えられる。

$$E = I \cdot V \cdot t \quad (I \text{ は電流}, V \text{ は電圧}, t \text{ はアーク持続時間})$$

このとき、実機では、車両の位置により電圧変動の影響が考えられるが、特定の位置で従来型、開発レールを比較する場合には V は一定と考えられる。また、従来型、開発レール共にアーク持続時間は 4 ~ 6 ms であることから、 t を一定とすれば $E = K \cdot I_{max}$ となり、 I_{max} の比較によりアークによるレール損傷が推察できる。

しかしながら、実際の車両のスピードは本実験の10倍以

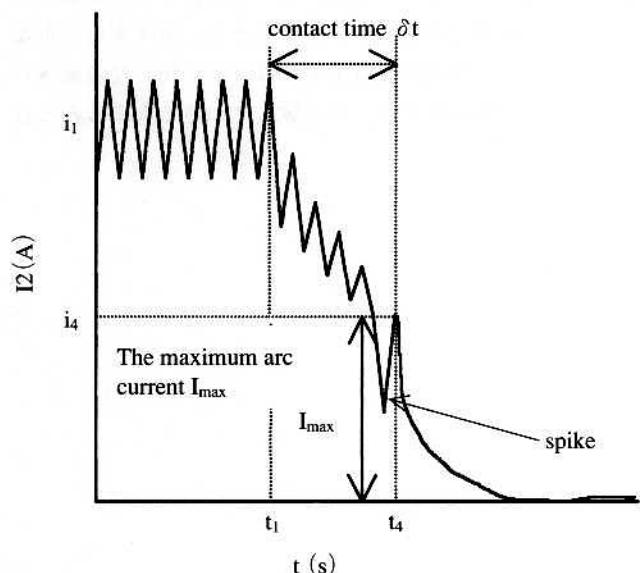


Fig.9 Change to electric current through the upper rails

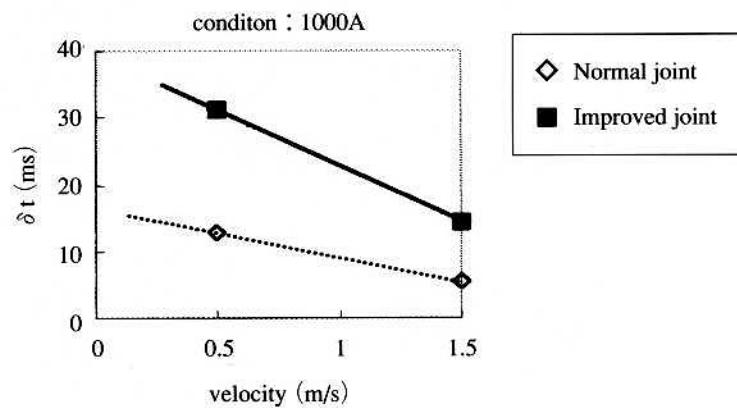
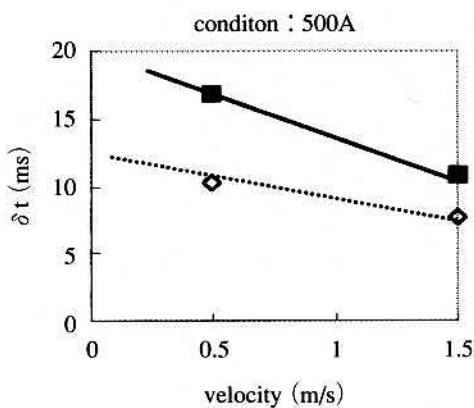


Fig.10 Relation velocity to δt

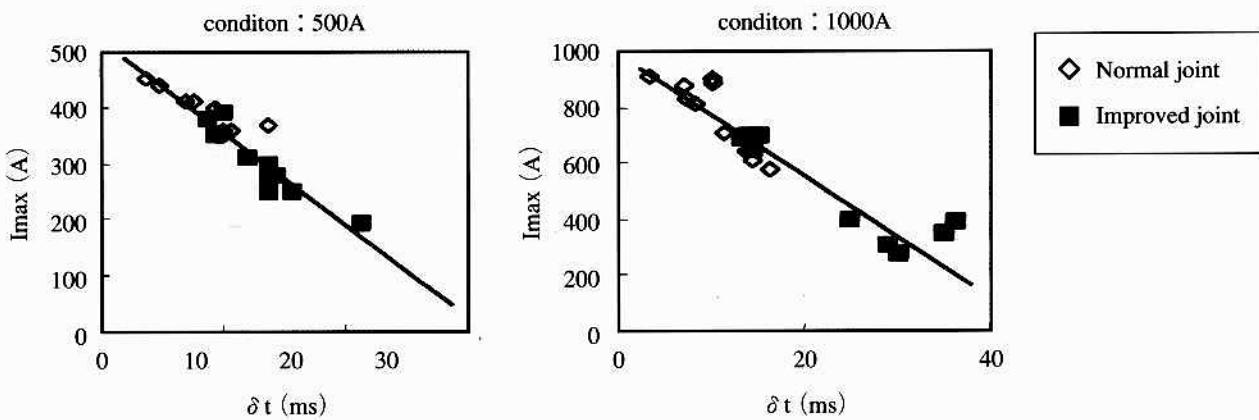


Fig.11 Relation δt to I_{\max}

上あると考えられ、Fig.10において速度軸が右に大きく移動した場合、 δt は減少していく。また、Fig.11の I_{\max} は電源電流 I_s に近づくこととなる。実際の車両では、レールに掛かる圧力（接触面積、車両重量）が大きく異なるため、本実験でFig.10、Fig.11 (I_{\max} , δt) の関係をそのまま適用することは危険ではあるが、少なくとも、車両重量や車輪のバウンド等の他条件を無視すれば、斜め切り接着絶縁レールのアーカ抑制効果は、本実験より小さくなるものと考えられる。

6 結論

- ① 電源電流が大きいほどアーカは大きく発生する。
- ② 車輪の速度が大きいほどアーカは大きく発生する。
- ③ インピーダンスボンドの接続によりアーカは大きく発生する。
- ④ 本試験では、斜め切り接着絶縁レールと従来型接着絶縁レールを比較すれば、斜め切り接着絶縁レールはアーカ抑制効果がある。
- ⑤ 実際の車両では接触時間が短くなるため斜め切り接着絶縁レールのアーカ抑制効果は本実験より小さくなることが考えられる。

技術論文

CPCプロセスの凝固伝熱解析

Thermal analysis on solidification in Continuous Pouring process for Cladding



CPC技術開発室

大野 京一郎
Kyo_ichi Oono

CPC技術開発室長

尾崎 健一
Ken_ichi Ozaki

钢管計測株式会社
計測・診断事業部次長

吉原 直武
Naotake Yoshihara

钢管計測株式会社
計測・診断事業部

田中 紀子
Noriko Tanaka

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に一層肉盛が可能なメリットを有し、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、その基礎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。

そこで、汎用有限要素プログラムANSYSを用いて、凝固界面の形状に及ぼす操業要因の影響を解析したところ、固相線深さが操業要因の影響を受けやすく、また、鋳造欠陥の発生は固相線深さと対応していた。

Synopsis

CPC Process (Continuous Pouring Process for Cladding) mentioned in this paper has the advantage of being able to make one layer cladding independent of cladding thickness.

This process has proven its effectiveness in the track record of manufacturing various actual cladded rollers, yet the fundamental method of controlling solidification front is not established so far because operating factors such as preheating temperature of mother materials and pouring temperature affect a solidification surface significantly.

So, the influence of operating factors on the shape of solidification front was analyzed with a general-purpose finite-element program, ANSYS. The result showed that the depth of solidus line was sensitive to operating factors, and the occurrence of casting defect corresponded to the depth of solidus line.

1 緒言

CPCプロセスとはContinuous Pouring process for Claddingの略称である。概要是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鋳込み、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、一方では、クラッド膜厚サイズや芯材形状などの操業要因が凝固界面に与える影響は大きく、その基礎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。

そこで、肉盛り材の凝固過程を伝熱解析によって、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うこととした。

2 解析方法

本解析ではCPCプロセスと同様、芯材と肉盛り材は一定の速度で下方へ移動するものとし、一定の速度で移動する物体の定常熱伝導解析機能を有する有限要素法プログラム

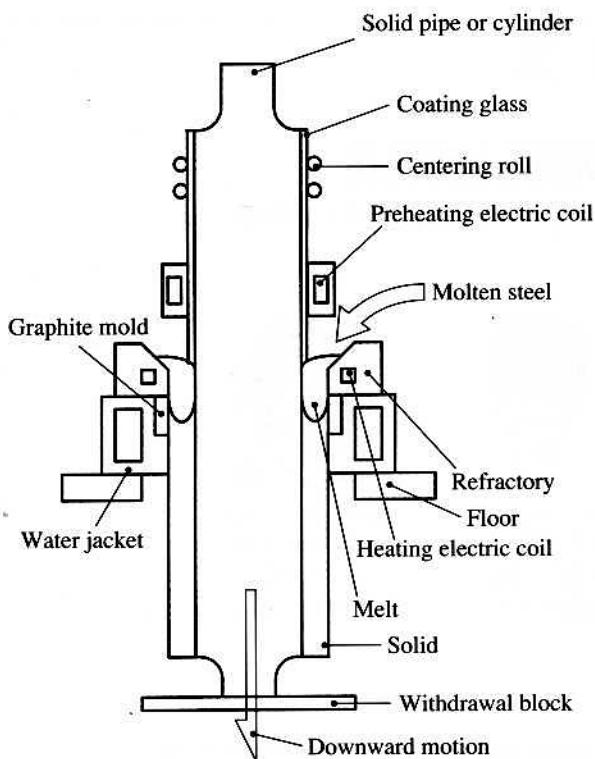


Fig.1 Schematic view of Continuous Pouring process for Cladding (CPC)

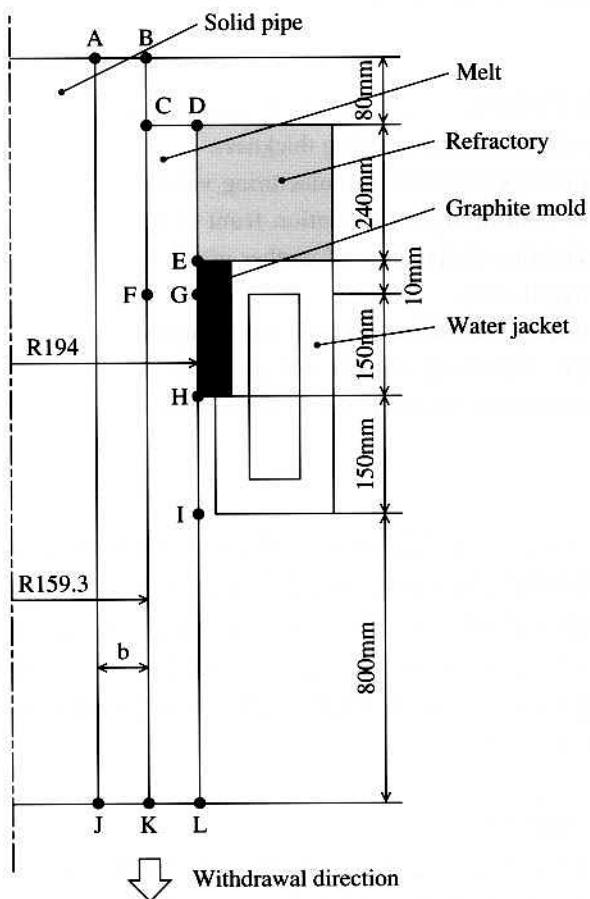


Fig.2 Model for thermal analysis of CPC

ANSYS ver.5.6を用いて解析した。

(1) 解析モデル

解析モデルはFig.2に示すような軸対称モデルとした。解析領域全体ABCDLJAは一定の速度 1.11mm/s で下方に移動している。領域ABKJは芯材、領域CDLKは肉盛り材である。Fig.1に示すようにモールドの上に置かれている耐火枠内面形状は上方に開いたラッパ状をしているが、これに対応する溶融状態の肉盛り材外面DE部分は解析を容易にするため凝固部GHILと同一直線状にあるとした。

次に、伝熱解析の境界条件を述べる。芯材ABの温度は T_p 、溶湯の上面CD及びDEは注湯温度 T_m とした。芯材AJ部、BC部とJL部は断熱とした。黒鉛モールド部EG（長さ10mm）は断熱、GH部では次式で示す抜熱 q を与えた。

$$q = 2 \times 10^6 - 1.26 \times 10^7 y \quad (0 \leq y \leq 0.15)$$

ここで、 y は点Gからの距離（m）である。

このように仮定した理由は、水冷ジャケット下端から約300mm下方のクラッド材表面温度が放射温度計にて計測した結果（=900°C）に一致するように定めた。

また、水冷ジャケット下部HIでは

(1) 放射率0.8で外部温度125°Cとの放射冷却の条件を与え、凝固した肉盛り材の表面ILでは、

(1) 热伝達係数 $11.6\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ 、外部温度40°Cの自然対流冷却条件

(2) 放射率0.8で外部温度40°Cとの放射冷却の条件を与えた。

解析領域の要素分割をFig.3に示す。本解析の精度を確保するため、熱伝導による熱伝播流量と物質移動による熱伝播流量との比であるペクレ数を1未満にする必要がある。そこで、移動方向のペクレ数が1未満にするため、引き抜き方向の要素長さを1.4mm以下とした。一方、引き抜き方向に直交する方向（芯材厚方向）の要素分割は芯材部8等分、肉盛り部8等分とした。総要素数は約15000である。

なお、解析はANSYSで従来使用している4節点要素を行った。

(2) 解析に用いる材料特性値

芯材および肉盛り材の熱物性値はTable 1に示す値を使用した。液相から固相への相変態温度領域（1476.5°C ~ 1412.5°C）における比熱は、肉盛り材の凝固潜熱343kJ/kgを考慮するため、凝固潜熱に相当する分、見かけ上高い値とした。

Fig.4に比熱、熱伝導率と温度の関係を示す。密度は 7800kg/m^3 一定とした。

(3) 解析ケース

Table 2に4つの解析ケースの条件を示す。Case 1は最も代表的な条件であり、その他のCase 2~Case 4は、芯材の

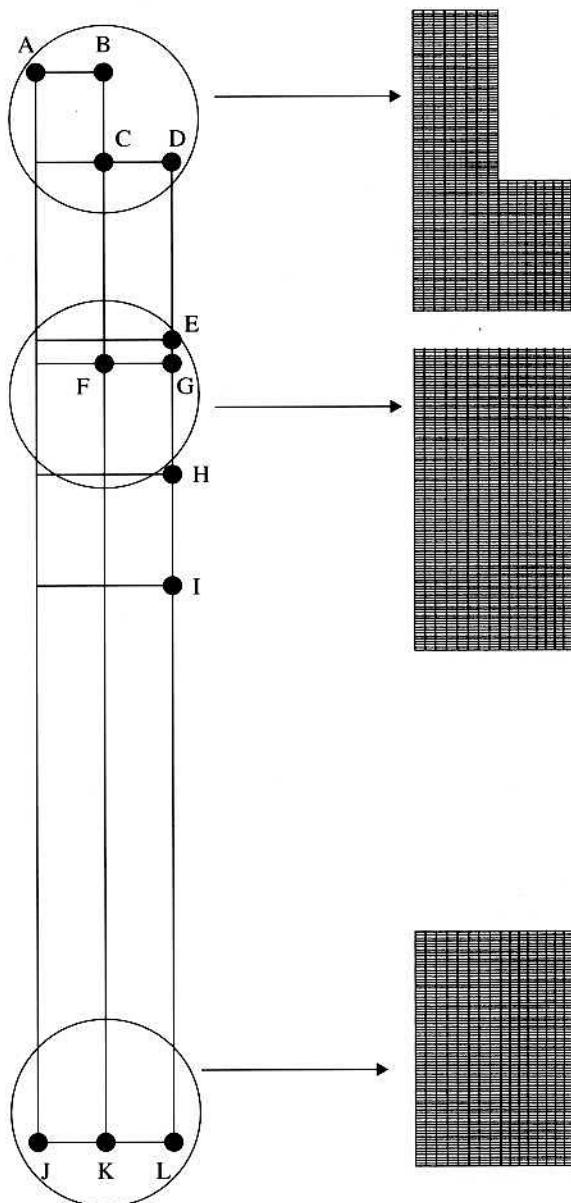


Fig.3 Mesh divisions in FEM analysis

Table 1 Thermal properties of material

Temperature (°C)	Specific Heat (J/kg K)	Thermal Conductivity (W/mK)
25	468.92	51.70
375	586.15	43.15
625	728.50	33.09
675	770.37	31.17
725	1582.61	29.67
825	510.79	24.66
875	544.28	25.12
1411.5	700.00	33.00
1412.5	5346.54	33.00
1476.5	5346.54	35.00
1477.5	745.25	35.00
1500	753.62	35.36

予熱温度Tp、肉盛り材の注湯温度Tmと芯材鋼管厚さの影響を調べるために解析を行った。

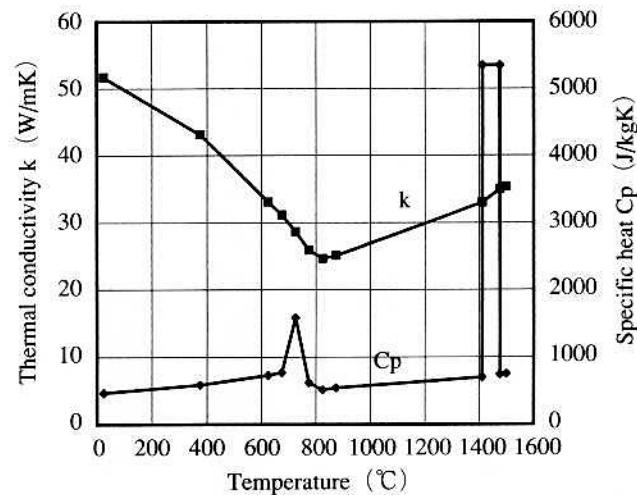


Fig.4 Thermal properties of material

Table 2 Analysis conditions

Case	Temperature of HF heated pipe Tp (°C)	Temperature of Molten steel Tm (°C)	Thickness of Inner pipe B (mm)
1	880	1500	40
2	780	1500	40
3	880	1550	40
4	880	1500	80

3 解析結果

(1) 温度分布

Case 1～Case 4に対する温度分布をFig.5に示す。等温線1476.5°Cと1412.5°C間の黄色の部分が、半溶融状態の固液共存領域である。4つのケースの固液共存領域の大きさはいずれも異なっている。すなわち、芯材の予熱温度Tp、肉盛り材の注湯温度Tmと芯材钢管厚さ b が固液共存領域の大きさに影響を及ぼすことがわかる。

(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固相線の形状をFig.6に示し、各ケースによる固相線形状の距離 c と固相線深さ d をTable 3に示す。

Case 1とCase 2の比較から、芯材の予熱温度Tpを100°C下げると d は浅くなることがわかる。Case 1とCase 3の比較から、肉盛り材の注湯温度Tmを50°C上げると d はかなり深くなることがわかる。Case 1とCase 4の比較から、芯材钢管厚さを2倍の80mmにすると d は浅くなることがわかる。

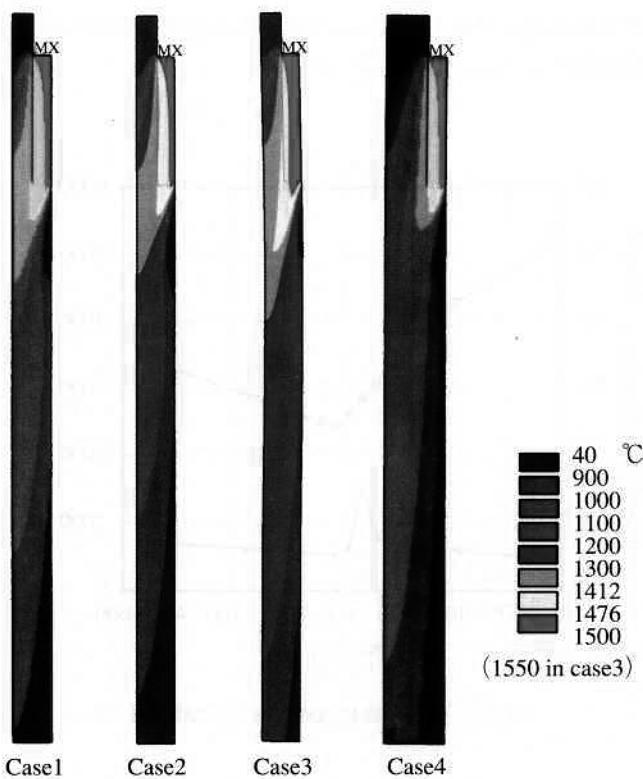


Fig.5 Temperature distribution in cladded materials

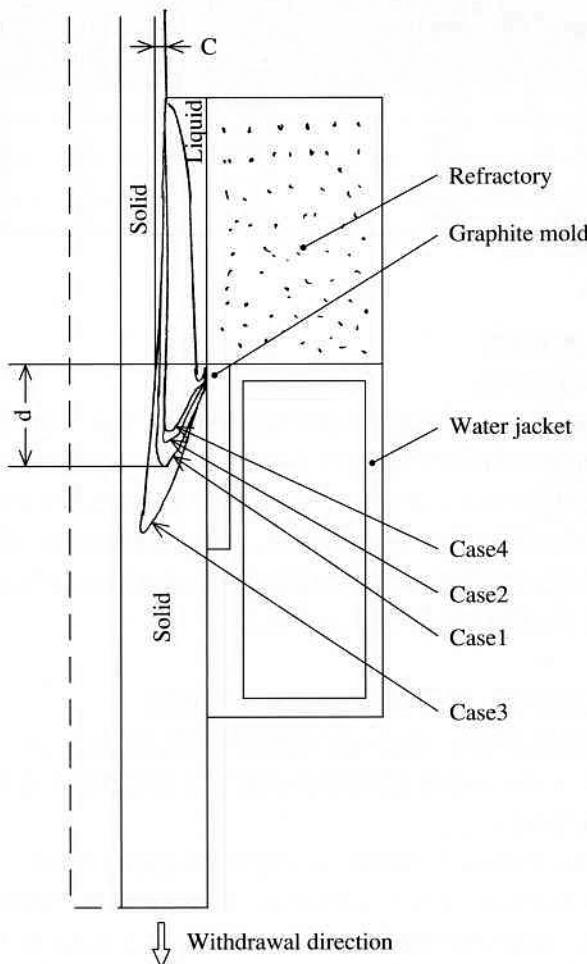


Fig.6 Comparison among the shape of solidus lines for various conditions shown in Table 2

固相線形状の距離 c は固相線深さ d と相関があり、 d が大きいほど c は大きくなっている。

Table 3 Results of solidus lines c, d

Case	Solidus lines	
	Interval : c	Depth : d
1	6	95
2	1	72
3	26	157
4	-2	59

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黒鉛モールドに固着し、実際には断続的に下方に引き抜かれる。そのため、凝固した肉盛り材の強度が黒鉛モールド強度よりも高くなると、黒鉛モールド内面一部も肉盛り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。操業経験によると黒鉛モールドの上端から距離約30mmよりも下方において損耗が認められる。この位置（黒鉛モールド上端から30mm）はちょうどFig.5に示す等高線温度900°C（強度が著しく低下を始める温度）の黒鉛モールド内面位置に対応しており、少なくとも黒鉛モールド内面における凝固に関しては本解析モデルが適切であることを示している。

(2) 肉盛り材の融着

完全に凝固した肉盛り材の縦断面組織の肉厚方向分布を観察から、CPCプロセスにおける芯材外表面の溶融深さ c を求めることができる。Case 1の場合、解析結果は $c=6\text{mm}$ であり、実操業の結果の約 5 mm にはば等しくなっている。

(3) ブリッジ、引け巣やポロシティ欠陥へ及ぼす操業条件の影響

ブリッジや引け巣、ポロシティなどの鋳造欠陥は、一般に凝固界面プロフィール深さが深くなるほど発生しやすい傾向がある。固相線深さ d はFig.6に示す通り、凝固界面プロフィール深さとは密接な相関がある。操業経験による鋳造欠陥発生率は、この d の値と良い対応を示している。

以上(1)、(2)、(3)から、本解析モデルの妥当性が推測される。

5 結言および今後の課題

CPCプロセスにおける凝固過程を、有限要素法解析プログラムANSYSで調査した。解析から得られた温度分布か

ら推測される黒鉛モールド部損耗開始位置および芯材の溶融深さは実測結果と近似していた。

また、解析結果の固相線プロフィール深さは、芯材予熱温度、溶湯温度、芯材パイプ肉厚によって影響を受け、その傾向は操業経験と一致した。

以上のことから、本解析モデルを用いて今後、各操業条件による影響度の検討、予測に活用していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 菅野五郎、鈴木章：連続铸造法、(1969)，日刊工業新聞
- 2) 中江秀雄：铸造工学、(1995)，産業図書
- 3) 斎藤彬夫、岡田昌志、一宮浩市、(1985)，産業図書
- 4) 巨東英、井上達雄、吉原直武：日本機械学会論文集，56-513, A(1989), 1236-1242

商品紹介

フジコーのライナー

1 緒言

フジコーのライナー製造の歴史は古く、昭和30年代に開発された、「鋳掛け肉盛法」にさかのぼります。本法は、多量肉盛に理想的な方法です。10mm以上の極厚のクラッド層を構成する目的で開発された高能率、かつ低コストな当社独自の複合技術です。あらかじめ母材を鋼板にて小ブロックに分割しておき、その一つ一つに所要の成分を有する溶融金属または粒状の溶接材料を注入し、炭素電極のアーク熱により母材に融接させる複合法です。クラッド材は5%炭素・29%クロムをベースとした白銅鉄が主体で、特に高温雰囲気で土砂摩耗を受けるような部品に、極めて優れた耐用度を示します。対象商品は高炉のウェアリング・プロテクターと呼ばれるアーマープレート、焼結鉱を粉碎するクラッシングブレード・プレートなどです。特に、クラッシングブレード・プレートなどは国内外ともに独占的な実績を誇っております。

このような独創的な材料開発や施工技術を背景に、開発された商品が「ESTライナー」です。厚物で耐摩耗性に優れた、他に類を見ないライナーです。一般に厚物のライナーは鋳造一体品で製造されています。つまり、脆化を恐れて耐摩耗性を左右する炭素量は3%未満に限定されますので、耐摩耗性にはおのずと限界が生じます。これに比べESTライナーは独創的な技術開発により軟鋼材とのクラッド化を実現したため、硬化層も10mm以上と厚く、しかも5%以上の炭素量や合金成分も思いのままに添加できるので、優れた耐摩耗性が実現可能となりました。例えば、

1. 過去に鋳造一体品のライナーで破損事故を起こした。
2. 取付けボルト穴より偏摩耗を起こした経験がある。
3. 取替えにくい個所なので頻繁に工事をしたくない。
4. 取替えに長時間を要するので、この部分だけ耐用を延ばしたい。
5. 特に摩耗の激しい個所である。

このような所には、「ESTライナー」が最適です。

近年、溶接ライナーの「PLA-Tect」、溶射ライナーの「シールプレート」を相次ぎ開発し、複合ライナーの総合メーカーを目指す当社は商品のラインナップを取り揃えております。

溶接ライナーPLA-Tectは軟鋼ベース板の上に溶接により特殊硬化肉盛を施したライナーです。当社は長年に亘り、溶材の開発から製造までを行って来ております。その背景

のもとに「PLA-Tect」に使用する特殊溶接材料も開発しましたので、アブレーション、エロージョン摩耗に優れた効果を発揮します。また厚みを15mm以下にすることで大幅な軽量化が図れ、持ち運びや取替作業に大変便利です。また曲げ加工も可能で必要に応じたサイズが自由に選択できるので、製缶品への適用も可能です。

溶射ライナーのシールプレートは厚さ4.5mmの軟鋼板上に硬化層2mmをクラッドした極薄のライナーです。成分系は前述したライナーとは違いNi-Cr系であるため、より高いレベルの耐熱性とSUS316を凌ぐ耐食性を兼ね備えた耐摩耗複合ライナーとなっています。

一つの設備を考えた時、設備の全体が均一に摩耗することはありません。よって、同一寸法・同一材質のライナーを全面に使用するのではなく、摩耗の程度に応じたグレードのライナーを選定することが、取替え頻度を少なくし、効果的なメンテナンスが実現でき、更に、使用者の大幅な経費節減を可能にします。当社は、このようなニーズに耐えうる、あらゆるライナーを提供することができます。またライナーの提供のみではなく、当社の特徴は、全国の製鉄所に事業所を持ちメンテナンス業務を展開しているため、定修前の取替え部のチェックから始まり、ライナーの選定、準備そして定修日当日の取り替えまで一貫した責任施工が出来ます。また本年10月からは、全国3ヶ所の供給基地に在庫を置き、短納期対応が可能になります。このようなことは、当社のみが出来ることと自負しております。

当社ライナーの、歴史と商品の概要について述べましたが、以下に、各ライナー毎に行った摩耗試験結果、使用実績など詳細に紹介致します。

2 商品構成

製鉄、セメント、石炭火力、鉱山、土木などにおける多量の鉱石原料、セラミック原料を処理する設備において、高クロム鋳鉄などの鋳造品、肉盛溶接品などの各種ライナーが使用されています。複合ライナーの総合メーカーである当社は、長年にわたる各種クラッド技術を駆使してあらゆるニーズに対応出来る複合ライナーを取り揃えております。以下に示すような基本コンセプトで対応を図っております。

- ① 大判サイズのライナーなので各種要望に応じたサイズを提供出来ます。
- ② 全国3ヶ所の供給基地に在庫を持ち短納期対応が可能

表-1 ライナー商品構成

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

であります。

- ③ 全てのライナーは軟鋼材とのクラッドのため、設備への取付けが簡単で必要に応じてボルト取付けや溶接止めが選択可能であります。
 - ④ 硬化層も厚み18mm~2mmまで幅広い範囲の中から選択出来ます。
- 商品構成一覧を表-1に示します。また各々のライナーの詳細については各項目で述べます。

3 耐摩耗性の評価試験

各種ライナーの耐摩耗性はエンドレスエメリーモリーカッタ試験により評価しました。同一条件の試験結果なので、色々な材質との比較ができ、ライナー選定時の参考になります。

表-2 エンドレスエメリーモリーカッタ試験条件

試験機	エンドレスエメリーモリーカッタ試験機
荷重	3,100 g
速度	240m/min
ベルト粗さ	#40 (SiC)
試験時間	2時間
試験片サイズ	50mm×50mm

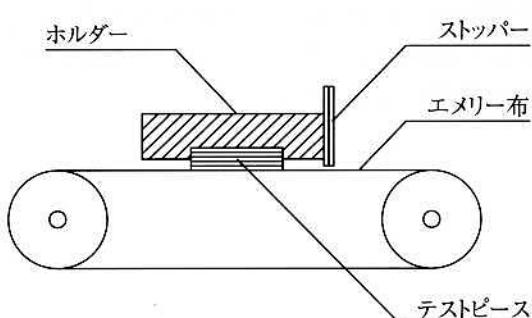


図-1 エンドレスエメリーモリーカッタ試験機概略図

4 ESTライナー

ESTライナーは当社が開発した特殊鋳造方式（クイックスプレッド方式）による大型サイズ（900mm×1800mm）の高Cr鋳鉄と軟鋼材との複合鋳造ライナーです。厚みは表-3に示すようにトータル厚さとして30mm（高Cr鋳鉄層：18mm、鋼板：12mm）及び25mm（高Cr鋳鉄層：16mm、鋼板9mm）の2種類で、その構造から耐摩耗性と耐衝撃性を兼備した高耐久性を有しています。

表-3 ESTライナーの厚み (mm)

ライナー総厚さ	30	25
高Cr鋳鉄層	18	16
鋼板 (SS400)	12	9

特徴

① 銘柄と材質特性

ESTライナーは耐摩耗性を追求したEST-1、EST-2と高耐衝撃耐摩耗性を有するEST- α の3種類があります。表-4に組成と硬さを示します。

② ミクロ組織

ESTライナーのミクロ組織を図-2~図-4に示します。

図-2 (EST-1) 図-3 (EST-2) はマルテンサイト基地組織中に多量のクロム及びその他高硬度炭化物を晶析させた材質であります。また熱処理（焼入れ・焼戻し）を施すことによって炭化物を支える基地組織の強化が図られ炭化物が欠落しにくくとも特徴の一つになっています。図-4 (EST- α) はマルテンサイトの基地中に微量な残留オーステナイト相が見られ、多量のMC炭化物が観察されます。

表-4 化学成分と硬さ

銘柄	化 学 成 分						硬さ (HS)
	C	Cr	Ni	特殊元素X	特殊元素Y	特殊元素Z	
EST-1	4.0~5.0	25~30	—	0.5~2.0	0.5~2.0	—	85±5
EST-2	4.5~5.5	25~30	—	0.5~2.0	3.0~7.0	3.0~7.0	90±5
EST- α	3.0~4.0	15~25	0.5~3.0	2.0~6.0	3.0~7.0	3.0~7.0	90±5



図-2 EST-1のミクロ組織



図-3 EST-2のミクロ組織

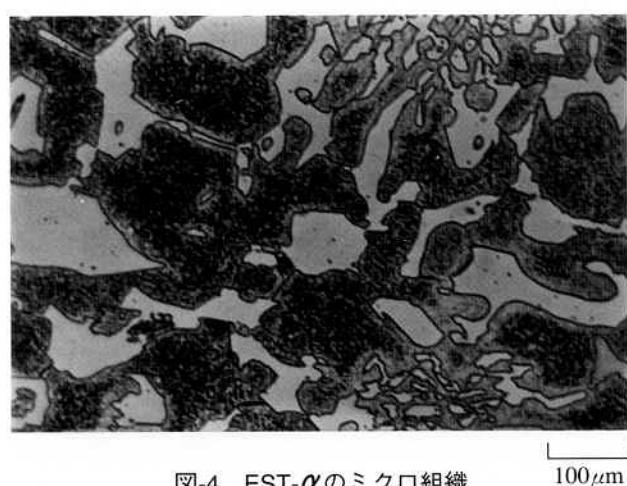


図-4 EST- α のミクロ組織

③ 耐摩耗性

表-5 エンドレスエメリー摩耗試験結果

試験材	摩耗減量 (g)
EST-1	0.27
EST-2	0.22
EST- α	0.17
SCMnH-11	0.97
高Cr鉄錆材 (2.9C-18Cr)	0.55
他社高Cr鉄錆材A	0.50
他社高Cr鉄錆材B	0.38

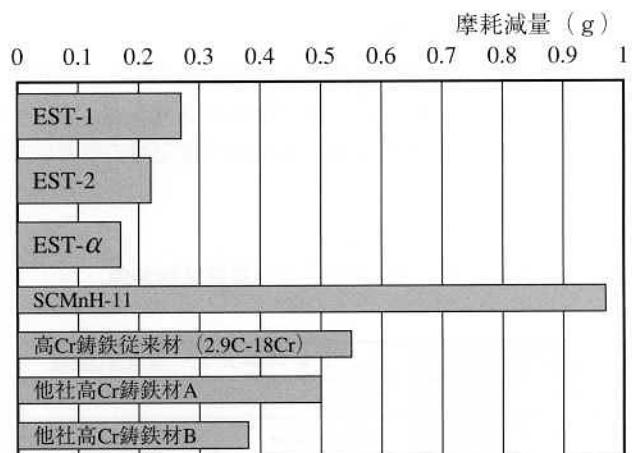


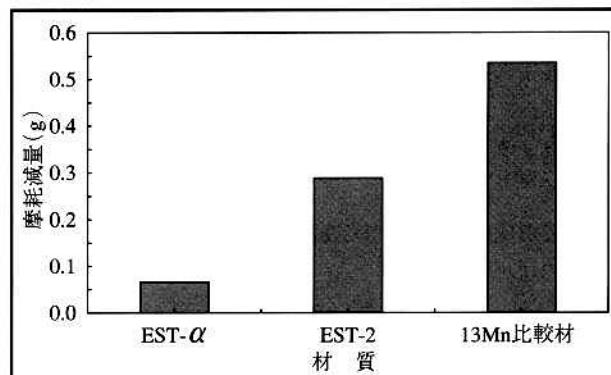
図-5 エンドレスエメリー摩耗試験結果

④ 耐衝撃摩耗性

耐衝撃摩耗用に開発されたEST- α を評価するためにEST-2、13Mn材との比較をインペラ回転式ショットブロスト試験機にて行いました。

表-6 試験条件

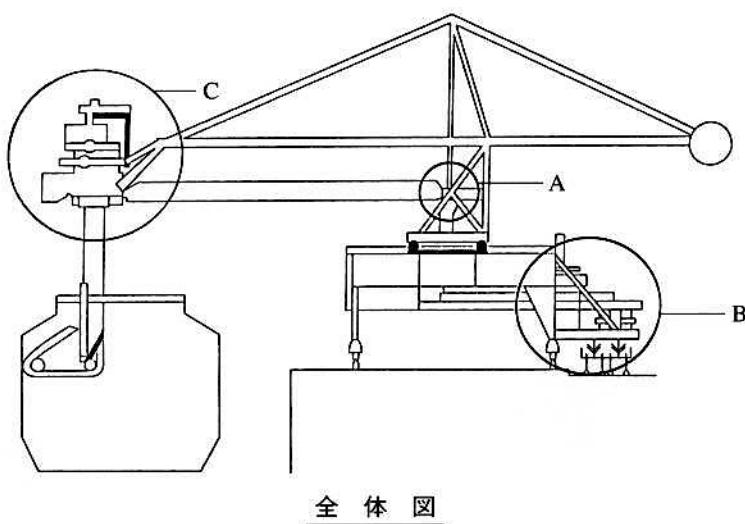
試験機	インペラ回転式ショットblast試験機
投射速度	63m/s (227km/h)
投射材	#170スチールグリット
サンプル形状	90mm×90mm×30mm
試験角度	40°(サンプル表面と投射方向の角度)
試験時間	30分



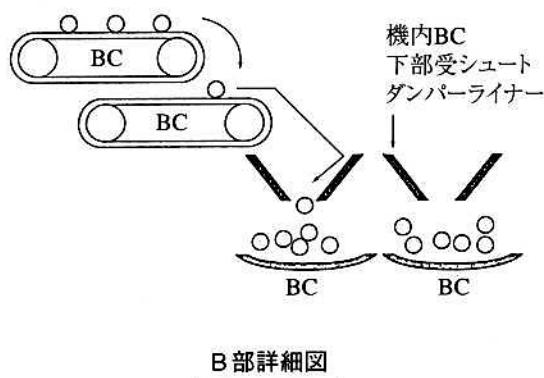
使用例

① 原料荷揚げ用連続式アンローダー

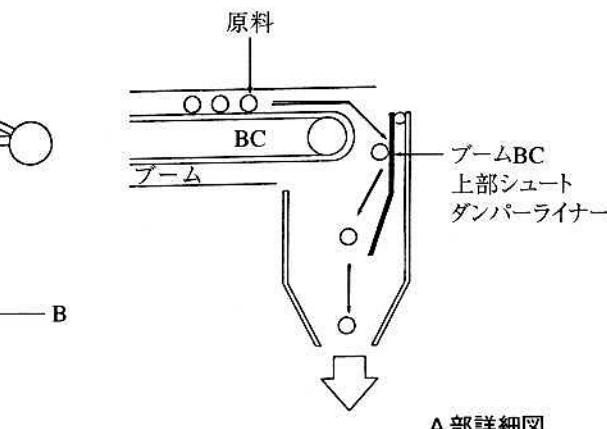
連続式アンローダー用ライナーは重量とバランスの観点より12mm～15mmの高Cr鉄系の溶接ライナーを主体とした設計になっています。しかし常時原料が当る個所は溶接ライナーでは十分な耐久性を確保することが出来ないためESTライナーが採用されています。



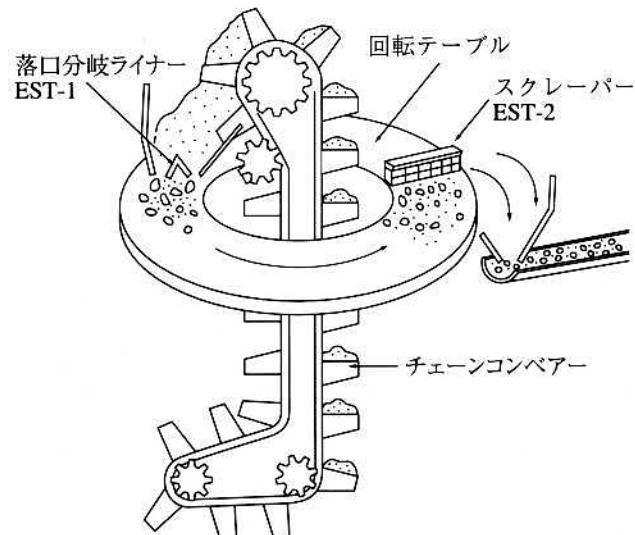
全 体 図



B 部 詳細図



A 部 詳細図



C 部 詳細図

図-7 連続式アンローダーにおけるESTライナー取付け位置

- (1) ブームBC上部シートダンパーライナー
使用環境：鉱石が1～2m落下する苛酷な衝撃摩耗
環境
ライナーサイズ：300×400×25mm
材質：EST-2
使用成績：下記の使用成績となっています

表-7 使用成績

種類	耐用期間
他社製溶接ライナー	2ヶ月
EST-2	17ヶ月

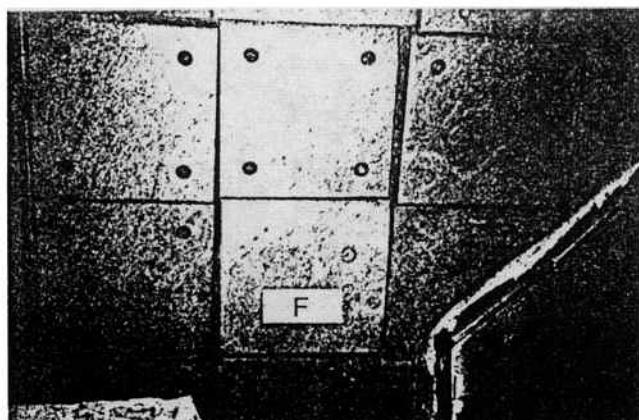
- (2) 機内BC下部受けシートダンパーライナー
使用環境：上部から逆ハの字型で5～6m落下して
くる鉱石を受け止める部分のライナー
ライナーサイズ：300×376×25mm他
材質：EST-2
使用成績：下記の使用成績となっています

表-8 使用成績

種類	耐用期間
他社製溶接ライナー	2ヶ月
EST-2	12ヶ月

- (3) その他
落口の分岐ライナー（EST-1）、回転テーブル上にあるスクレーパーで好成績を挙げています。

- (2) 焼結機排鉱部ケーシングライナー
一次クラッシャーによって粉碎された鉄鉱石（約800°C）で激しい土砂摩耗を受ける個所です。取付け後260日で1.5mmの摩耗量で従来品と比較し格段の耐用UPとなっています。



F : ESTライナー

図-8 ケーシングライナー使用状況

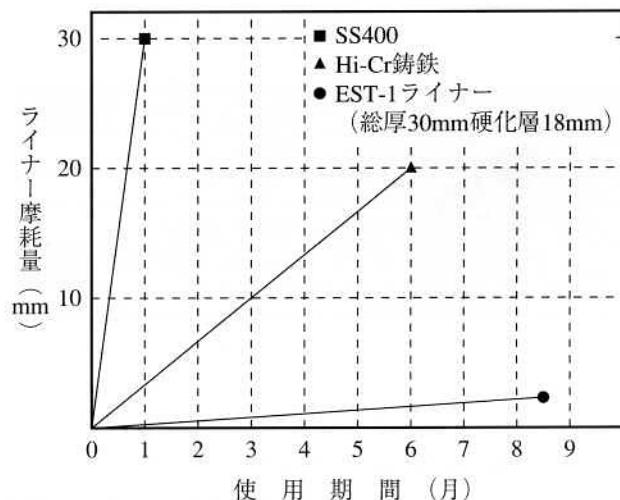


図-9 耐用状況の経過

- (3) クリンカーカーラーグリズリーバー
グリズリーバーは約150°C程度のクリンカー塊を粉碎するハンマークラッシャー前方の位置に設置されたセメント原料の選別シートライナーです。ライナーはクリンカー塊の衝突による激しい衝撃や原料通過時のアブレージョン摩耗を受けます。

耐用はS25C（丸鋼）の18倍、SUS304の約6倍です。また歪などによる施工上の問題のある肉盛溶接品と比較した場合でも製作コスト、耐用面で非常に良好です。

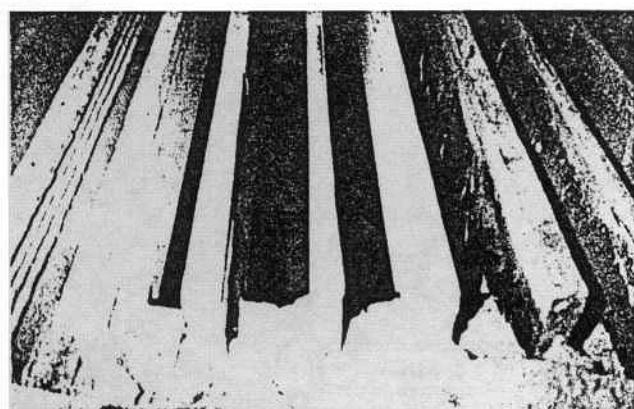


図-10 グリズリーバーの使用状況

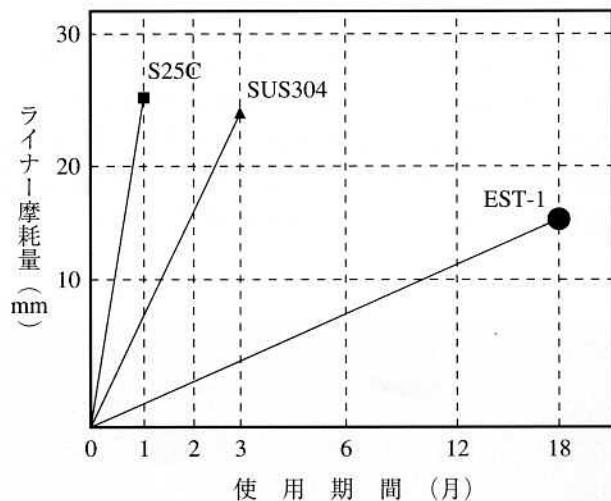


図-11 耐用状況の経過

② 高温硬さ

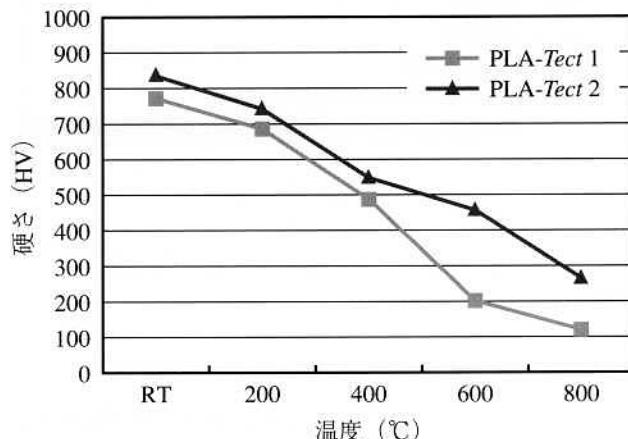


図-12 高温硬さ (HV)

5 PLA-Tect

PLA-Tectは軟鋼ベース板の上に溶接により特殊硬化肉盛を施したクラッドライナーです。

特 徴

- * 硬化肉盛層は高炭素、高Cr鉄系をベースに複合炭化物を多量に晶出させているのでアブレージョン、エロージョン摩耗に優れた効果を発揮します。
- * 厚みを15mm以下にすることで鋳造一体品と比べ大幅な軽量化が図れ持ち運びや取替作業に大変便利です。
- * ライナーの表面性状は凹凸が少なくなめらかで、原料の付着などありません。
- * 鋳造品と異なり金型の必要はなく任意のサイズが自由に選べます。
- * 最小半径150mmまでの内曲げ加工が可能で製缶品への適用も出来ます。

(ベース板 9 mm + 硬化層 6 mmの場合)

③ ミクロ組織

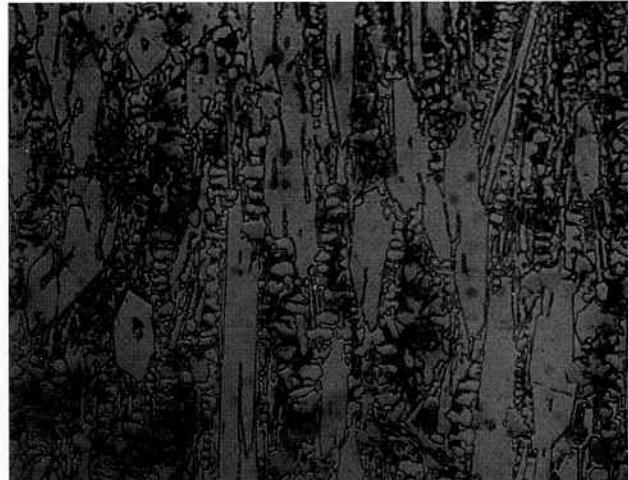


図-13 PLA-Tect 2のミクロ組織 (×400)

① 種 類

表-9 PLA-Tectの種類

銘 柄	成 分 系	硬 さ (HV)	厚 み	
			ベ 基 板	硬 化 層
PLA-Tect 1	高Cr鉄系	772	9	6
			6	6
PLA-Tect 2	高Cr鉄系+複合炭化物	835	4.5	3

④ 耐摩耗性

表-10 エンドレスエメリー試験結果

試 験 材	摩耗減量(g)
SS400	16.971
S55C焼入れ	1.226
他社1	0.460
他社2	0.299
他社3	0.267
PLA-Tect 1	0.309
PLA-Tect 2	0.171

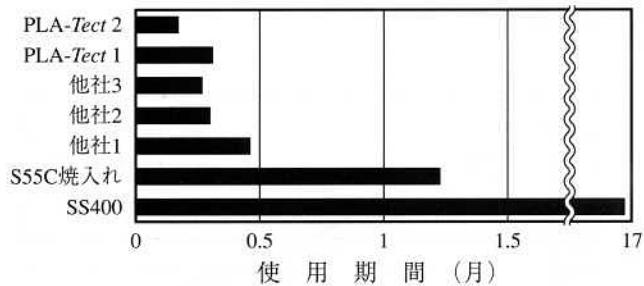


図-14 エンドレスエメリ摩耗試験結果

使用例

① 製銘地区焼結ウインドレッグ内面ライナー

高温になった焼結鉱をパレットに乗せて粉碎機へと送る過程で下部より吸引するためウインドレッグ内面は熱風とパレットの隙間から落ちてくる高温になった焼結鉱により摩耗します。そこでウインドレッグを製缶構造体で製作し、摩耗を受ける内面半分に溶接ライナーを採用し大幅な寿命延長が図られています。

PLA-Tect 2で軟鋼材 9 mm硬化層 6 mmで製作。



図-15 ウインドレッグの製品外観

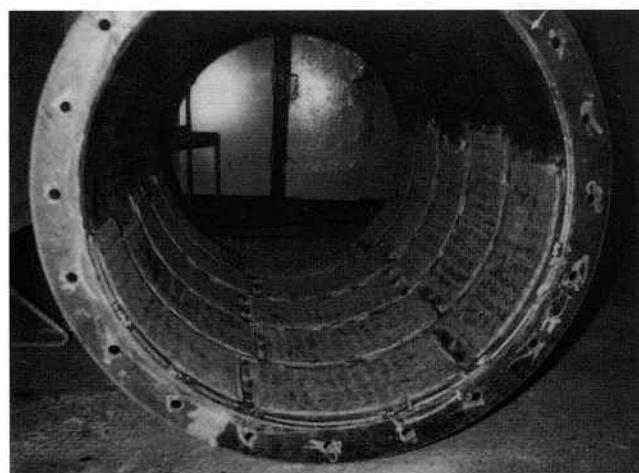


図-16 ウインドレッグの製品内面

② 高炉篩用グリズリーバー

高炉に装入前の焼結鉱やコークスはグリズリーバーによって粒度調整します。このため激しいアブレーション摩耗をうけます。従来マルテンサイト系の硬化肉盛(HS70)で処理量45万トンのものが、PLA-Tect 2(硬化層 6 mm)で100万トン以上の耐用が得られました。



図-17 グリズリーバーの使用状況

③ 高炉水碎バンド管内面ライナー

水と粉碎された高炉碎で配管中のバンド管は激しい摩耗にさらされます。また配管の内面であるので点検しにくいため水漏れを起こすトラブルもありました。400Aのバンド管と前後の配管内面にPLA-Tect 1(硬化層 3 mm)を取り付け、従来(硬化層なし)半年の耐用が1.5年に延長しました。



図-18 水碎バンド管の製品外観



図-19 水碎ベンド管の製品内面

④ 原料ホッパーライナー

サイズ：400×400（母材9mm+硬化層6mm）

材質：PLA-Tect 2

従来材：高張力鋼

耐用：従来4～6ヶ月が2～3年に延長

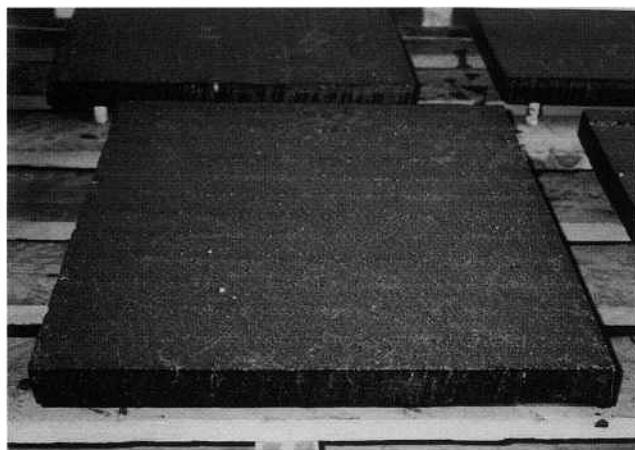


図-20 ホッパーライナーの製品外観

6 シュールプレート（溶射ライナー）

極薄タイプの溶射ライナー「シュールプレート」は韌性の高いSS400鋼板、厚さ4.5mm母材上に厚さ約2mmの耐熱、耐摩耗、耐腐食に優れた溶射硬化層をクラッドしたライナーです。

特徴

① 極薄・軽量

6.5mm 100×1000mm 重さ約5kg

② 銘柄

シュールプレートA Ni-Cr系

シュールプレートB Ni-Cr-WC系

③ 耐摩耗性

下記の使用成績となっています

表-11 エンドレスエメリーモールド試験結果

試験材	摩耗減量(g)
シュールプレートA	0.38
シュールプレートB	0.06
高Cr鉄2.9C-18C	0.55
SUS-304	11.96
硬質クロムメッキ	1.04
SS400	16.97

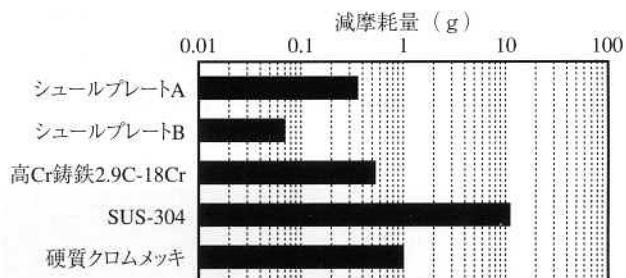


図-21 エンドレスエメリーモールド試験結果

④ 耐腐食性

SUS316を凌ぐ耐腐食性を有しています。

⑤ 加工性

ガス、プラズマ、高速カッターによる切断可能

溶接取付け、つなぎ溶接可能

最小径φ100までの内曲げ可能

⑥ 商品サイズ

下記の規格サイズ(mm)を準備しています。

表-12 シュールプレートの商品サイズ

幅	長さ	厚み
100	1000	6.5
200	1000	6.5
300	1000	6.5

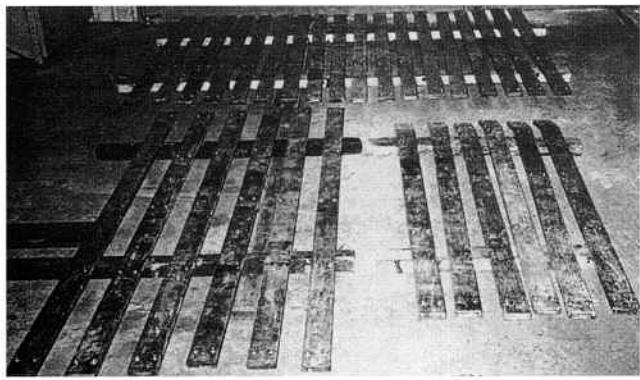


図-22 搬送用チェーンガイドライナー製品外観

使用例

① 搬送用チェーンガイドライナー

ビレット、大形鋼、棒鋼などをチェーンにて搬送するラインにおいてチェーンと接触するチェーンガイドライナーはチェーンの摺動により摩耗します。ガイドライナーの摩耗によりチェーンに負荷がかかりチェーンの切断、モーターの過負荷などが発生し、トラブルの原因となります。

このライナーにシールプレートAを用いることにより、これらのトラブルを未然に防止し、ガイドライナーの寿命延長を可能にしました。更に摩擦係数が小さいため（滑りやすい）チェーンそのものも摩耗しにくくなりました。

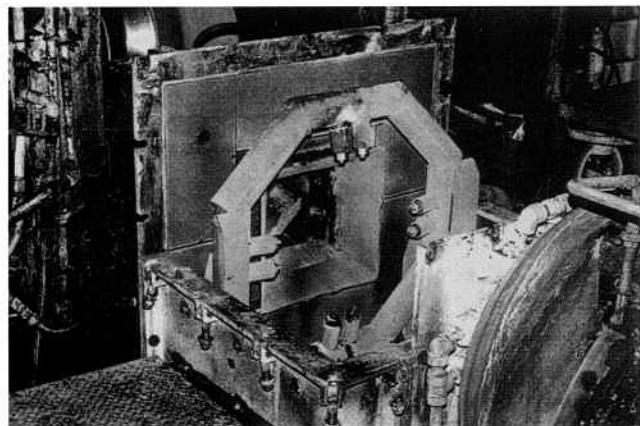


図-23 使用状況

② 棒鋼デスケーリング装置カバー

熱延鋼板、大形鋼、棒鋼などのデスケーリング装置はノズルより高圧水を噴射させ製品表面の酸化スケールを除去する装置であり、その水圧は数100kg/cm²と高圧であり、高速、高圧にて飛散する水及び酸化スケールを防御するために設けられた鋼板製カバーはこれらにより激しいエロージョンを受け、水による腐食と相俟って加速的に摩耗します。

この鋼板製飛散防止カバー内壁にシールプレートAを取り付けて大幅な寿命延長が可能になりました。

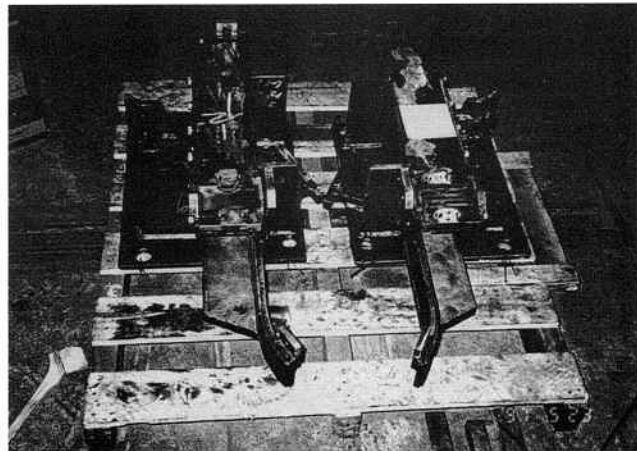


図-24 サイドトリマーシュート製品外観

③ サイドトリマーシュートライナー

冷延などのラインで各板材の幅寸法の調整のためにサイドトリマー（板材の耳切り落とし）が設備されています。本設備では切り落とされた各鋼種の廃棄端材がシュートを通して、巻き取られて廃棄されます。

シュートは桶状の製缶構造体で製作されるため、直接的な製缶シュートへの溶接や溶射施工が寸法精度確保の上から非常に難題です。また耐摩耗を重視した材料でも割れがあれば極小、鋭角的な廃棄端材が差し込んでシュート内に堆積されトラブルとなります。そこでシールプレートBと特殊溶射を用いて割れやプレート間に隙間のない耐摩耗シュートを作成し、好評を得ています。

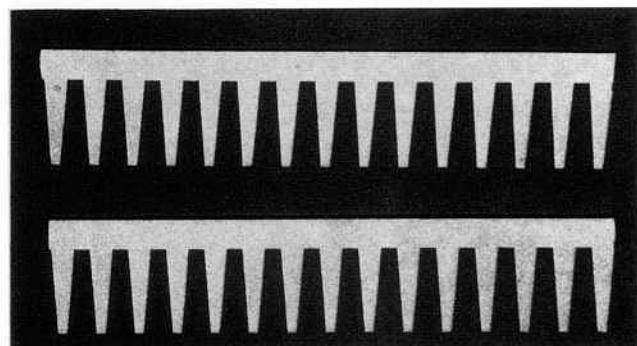


図-25 焼結原料用櫛歯製品外観

④ 焼結原料用櫛歯

製鉄の製錬原料地区（焼結）では、多量の鉱石原料を粉碎・成形・造粒し高炉地区へ供給しています。高炉操業での安定操業かつ効率化のために供給される原料は各種篩を通して粒度調整された均一形状の鉱石原料として高炉で溶融還元されます。

当社では焼結地区にて使用される櫛歯をシールプレートAを写真のように加工して供給しています。また原料粒度調整や配合・混練などに用いられる篩、スクリーンなども製作しています。

新 製 品

新 技 術

取鍋内壁の付着物切断装置

1 はじめに

鉄鋼業で鋼や合金鋼を製造する過程において、溶鋼を受け入れ運搬移動する容器として取鍋等の鋼構造容器が使用されている。取鍋は、外壁が鋼構造で出来ており、内側には数層の耐火物が張られた構造となっている。

溶鋼の受入れ・排出を繰り返して行くと、取鍋内壁には、地金・スラグ・合金鉄や耐火物等の混合物からなる付着物が生成し、積層してくる。付着物は、その成分が不均一である上に不定形であり、さらに高融点であるので、通常のガス溶断作業では切断・除去できなかった。

そこで、これらの付着物の除去方法として、カルライジングパイプを用いた酸素と鉄粉によるパウダー切断法、またはジェットransによる酸素切断法等が用いられている。

これらの方法を用いる付着物の切断・除去においては、付着物が不均一かつ不定形であるため、作業者の直接的な目視判断（近傍作業）と切断トーチの手動運棒によって行っている。これは、主として作業者の経験・判断能力及び運棒技能に依存する性格を持っており、バーナー本体の機能向上・能力向上には作業性・重量制限の理由から限界があった。また、作業者が被切断物の近傍にて作業するため、作業場の温度環境は常温近くに下げる必要があり、被切断物の冷却のために時間を要し、更に、切断時にはその熱源供給と輻射熱によって、高温と塵埃の発生が避けられない劣悪環境下の作業となっていた。

そこで、切断性能が飛躍的に向上したバーナーを保持した遠隔操作の機械を開発することに成功し、切断時間の短縮・被切断物の冷却時間の省略・劣悪環境下の作業を排除することができたので、その装置を紹介する。

2 装置の概要と性能

装置本体は、旋回アーム構造となっており、並置された2つの取鍋に対し、交互に取鍋内壁の付着物切断作業ができる様に配慮している。

切断操作は、取鍋位置側に設置された操作室内の操作盤にて、切断モニター監視のもとに行われ、切断開始位置及びバーナー位置の設定及び切断速度の設定等が遠隔で行えるようになっている。図-1に装置全体の平面図を示す。

切断機構部としては、旋回アーム先端部にマスト昇降装置・マスト旋回装置が備えられ、マスト旋回軸下部にバーナー横行装置・バーナー傾動装置・バーナー旋回装置が懸架されており、取鍋内壁付着物の垂直切断・水平円周切

断・下向き切断が行える様になっている。図-2に装置の断面図を示す。

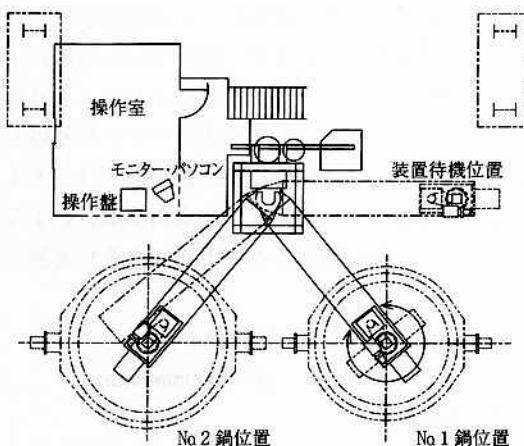


図-1

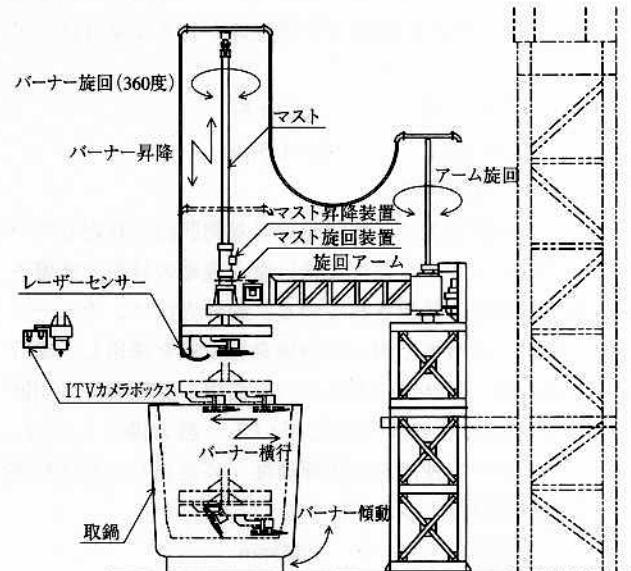


図-2

垂直切断・水平円周切断に関しての切断動作は、予めレーザーセンサーにより取鍋内壁付着物の凹凸寸法を測定しておき、パソコンに取り込みプロフィールを表示した後、測定データによる倣い切断動作とモニター監視による手

動介入の速度調整による切断動作としている。

(A) アーム旋回装置

旋回アームは、タワー上に搭載され、切断バーナーが取鍋上部をかわして旋回できる高さに位置決めされている。また、旋回アームは取鍋の2位置中心に対して自動的に旋回停止できる制御となっている。タワー及び旋回アームは型鋼構造としており、旋回方法は、チェーンによる回転機構を採用した。

旋回角度	140°
旋回速度	0.026rpm

(B) マスト昇降装置

マスト昇降装置は、垂直切断とアーム旋回時の上昇限位置決めのための目的で装備され、旋回アーム先端に搭載されている。動作方法は、ラック・ピニオンによる昇降機構を採用し、動力源としては、サーボモーターを使用して切断速度・高速送りの速度制御及び位置制御が行えるようにしている。また、マスト本体は、2重角型鋼管による水冷構造としており、熱い取鍋に対する切断作業も可能としている。

昇降ストローク	4500mm
昇降速度	0~4000mm/min

(C) マスト旋回装置

マスト旋回装置は、水平円周切断と切断個所の位置決め及び旋回原点復帰の目的で装備され、旋回アーム先端に搭載されている。動作方法は、チェーンによる回転機構を採用し、動力源としては、サーボモーターを使用して切断速度・高速送りの速度制御及び位置制御が行えるようにしている。

旋回角度	360° +5°
旋回速度	0~0.5rpm

(D) バーナー横行装置

バーナー横行装置は、切断時の付着物凹凸に対応してバーナーを出・入させる動作と横行原点復帰の目的で装備され、マスト下部に懸架されている。動作方法は、チェーンによる回転牽引機構を用いた台車走行方式を採用し、横行台車の部品は、耐熱性の有るものを使用して熱間での切断作業にも対応できるようにしている。動力源としては、サーボモーターを使用して切断速度・高速送りの速度制御及び位置制御が行えるようにしている。

横行ストローク	1900mm
横行速度	0~4900mm/min

(E) バーナー傾動装置

バーナー傾動装置は、鍋底付着物の切断を目的で装備され、バーナー横行台車アーム先端に搭載されている。熱間での切断作業にも対応できるように水冷構造箱内に設置され、傾動方法はエアローターによる振動機構を採用した。

傾動角度	60°
傾動速度	エアー圧力設定による

(F) バーナー旋回装置

バーナー旋回装置は、垂直切断・水平円周切断・鍋底切断に対するバーナーの方向を決める目的で装備され、バーナー横行台車アーム先端にバーナー傾動装置と共に水冷構造箱内に設置されている。旋回方法は、エアローターによる振動機構を採用した。

旋回角度	90°
旋回速度	エアー圧力設定による

3 装置の特徴

(A) 高能率バーナー

本装置に装備されているバーナーは、鉄粉を噴射して切断作業を行う溶融切断バーナーであり、先行ノズルと後行ノズルとの2本のノズルより構成されていることを特徴としている。先行ノズルは、被切断部を加熱し酸素による切断条件の形成を行い、後行ノズルは、溶融切断部の実際の切断を行って、切断能率を格段に高める事のできるバーナーである。

先行ノズルは、中央部にガス輸送された鉄粉を噴射する粉体吐出口を持ち、その周囲に燃料ガスを噴射する環状燃料吐出口を持ち、さらにその周囲に酸素を噴射する環状酸素吐出口を持った構造としている。

後行ノズルは、ガス輸送された鉄粉を噴射する粉体吐出口と、粉体吐出口から噴射された粉体に酸素を混合噴射する酸素吐出口を備えた構造としている。

(B) 個別切断動作

取鍋内壁に付着した付着物の形状は、生成過程と場所による付着量の違いを生じて成長して行き、大きな凹凸形状を呈するようになる。この凹凸形状付着物に対して垂直切断・水平円周切断等を行なうには、バーナーと被切断物との距離の違いによって生じる切断性能の問題・バーナーの衝突問題等が発生し、これらの問題を解決せずに円滑かつ高能率な切断作業が為し得ない。図-3に取鍋内壁の付着物形状及び切断形態の図を示す。

本装置には、バーナーの噴射口の反対側に距離センサーが装備されている。この距離センサーにより、切断作業前に切断個所を予め測定すると、操作室内に設置されているパソコンにデータ入力され、パソコン画面上には取鍋の鋼製外壁・耐火物層・計測した付着物プロフィールが図示及び数値表示される制御となっている。実切断時において、バーナーは測定データのもとに動作を行ない。被切断物とバーナー噴射口との距離を一定に保ちながら切断動作を行なう事ができる。この個別動作により、切断性能を一定に保持する事及び付着物へのバーナー衝突も回避する事ができ、円滑かつ高能率な切断作業を得る事ができた。

(C) 遠隔操作

本装置には、バーナー横行装置側にITVカメラが装備されており、操作室内に設置されているモニターテレビ画

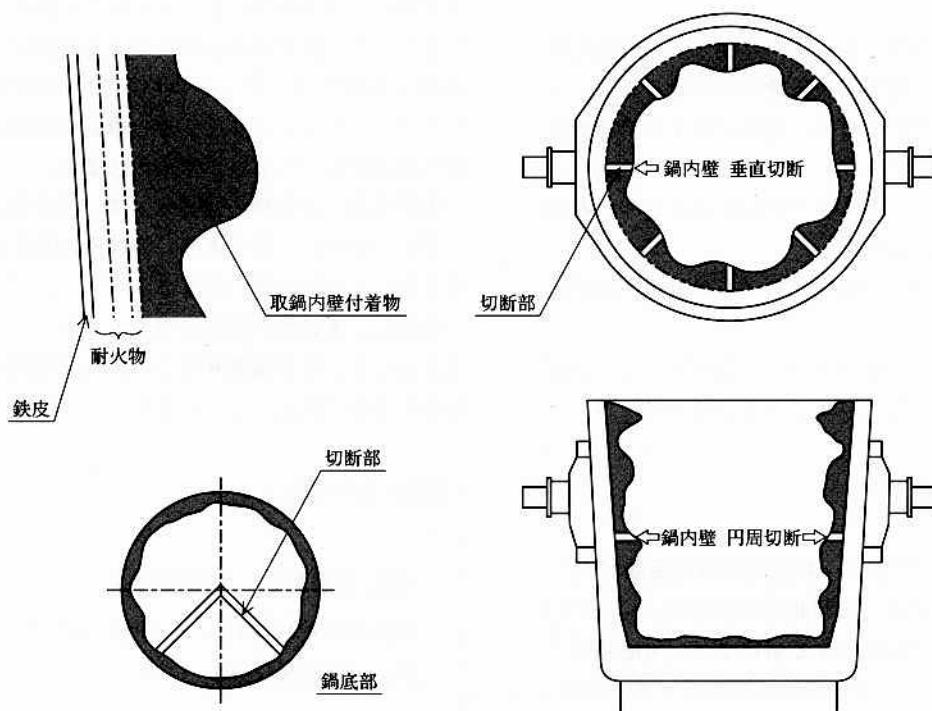


図-3 取鍋内壁付着物切断形態

面を監視しての切断作業となり、高温と塵埃の劣悪環境下での作業から開放する事に成功した。モニターテレビ画面には溶融切断部が拡大映写され、付着物の厚さ・不均質性及びバーナーの噴射状況による切断状況の変化に応じて切断速度を手動介入調整し、切断深さを目視確認しながら目的的深さまで切断して行くことができる。

図-4にITVカメラの配置図を示す。

(D) ウイーピング切断機能

本装置で切断作業を行なうに当たって、切断機能として

連続切断動作の他にウイーピング切断動作を選択できる制御を持っている。ウイーピング切断動作とは、切断方向に對して前進・後退を繰り返しながら前進して行く動作であり、前進量・後退量は切断速度及びバーナーの燃焼能力とあいまって各々最適値に設定することができる。ウイーピング切断は、一度切斷した場所を切斷直後に再加熱溶融切斷するので、切断深さを大きく取る事ができ、付着物の厚い被切斷物に対しては、非常に高能率な切断方法である。

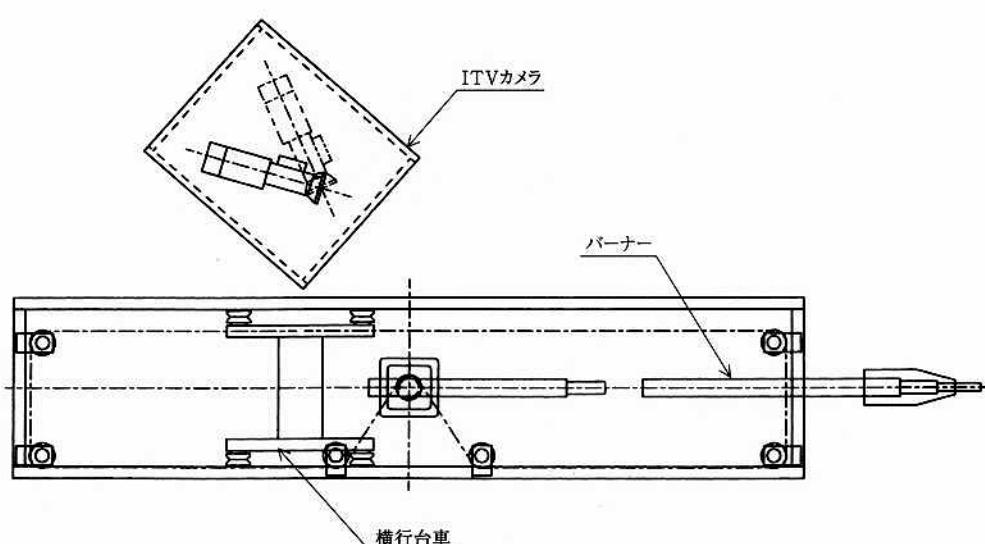


図-4

(E) 安全装置

本装置は燃焼装置であるため、随所に逆火・延焼防止策を設けて、火災に対する安全対策を講じている。また、本装置は容器内での燃焼であるため、爆発に対する予防処置として下記の対策を取っている。

- ① 取鍋底よりプロワーにてエアーを常時送り込み、取鍋内の空気を置換している。
- ② 取鍋上部からは、排気プロワーにて常時取鍋内の空気を吸い込み吐き出している。
- ③ 上記、置換プロワー・排気プロワーは各プロワーが運転状態でないと切断装置が運転できないインターロックを設けてある。

4 おわりに

以上説明してきました様に、本装置は難切斷物に対して高能率のバーナーを開発して切断速度を速め、そのバーナーを機械に搭載して遠隔操作する事により、劣悪環境下での人力作業から開放する事に成功した装置です。現在、日本钢管(株)福山製鉄所で、その性能を充分に發揮して稼働

中であり、日本钢管(株)と共同特許出願しております。

また、この装置は遠隔操作ができる面で、難切斷物だけでなく人力では作業できない場所への応用や、距離センサーとパソコンによるデーター取込の面で、容器物の管理等へと多方面への応用が考えられます。

本装置は、お客様の設備サイズ、機能等の御要望に応じた設計・製作が可能であり、興味をお持ちの方は是非ご一報下さい様お願い致します。

最後に、本装置の開発に当たりまして、多大なる協力を頂きました、日本钢管(株)及び大成電機(株)には、本誌上をかりて厚く御礼申し上げます。

[問い合わせ先]

東日本事業部 産機設計室

Tel. 0223(24)2450 寺村 敏一

Fax. 0223(29)2084

新 製 品	新 技 術
-------	-------

フラックス入り溶接ワイヤー用造管機

1 はじめに

製鉄・鉱山・建設・土木などの各分野において、激しい摩耗を受ける部品などの寿命向上を目的として、硬化肉盛溶接が行なわれている。硬化肉盛には、金属間摩耗用・土砂摩耗用・エロージョン摩耗用・耐高温摩耗用・耐衝撃摩耗用・耐蝕摩耗用等いろいろあり、その用途に応じた溶接材料が各種ある。

当社の北九州工場では、アーク用棒・ボンドフラックス・フラックス入りワイヤー等の溶接材料を製造しており、特に硬化肉盛用溶接材料では、他社にはない特殊な溶接材料まで製造している。その中で、サブマージアーク溶接に用いられるフラックス入り溶接ワイヤー製造設備は、需要に応じるべく稼働率が高い状況で有り、また、特殊な硬化肉盛溶接ワイヤーまで製造しているので、フラックスの充填率が一般の硬化肉盛溶接ワイヤーに較べて非常に高く、過酷な運転状態にある。

サブマージアーク溶接ワイヤー製造工程はフープ（ワイヤーの外層を形成する薄板）を管形状に成形しながら内にフラックスを充填する原線工程と、熱処理工程と、規定ワイヤー外径まで引き伸ばす伸線工程と、製品ボビンに巻き取るスプール巻工程とに大別される。サブマージアーク溶

接ワイヤーの品質・性能を左右するのは、特に原線工程の造管・フラックス充填工程である。造管成形加工の最も重要な要素は、タンデムに並べられた各ロールの形状とそのシーケンス（ロールフラー）及びその空間的配置すなわちバスラインである。また、前にも記した様に、当社の高充填率フラックス入りワイヤーに対応するためには、成形スタンドの剛性が重要な要素となる。

最近、当社のサブマージアーク溶接ワイヤー製造設備の中で、原線工程の内にある造管機（フラックス充填装置含）の老朽化が激しく更新が計画され、これを機会に当社の特殊溶接ワイヤーに適合した、高能率・高品質な造管機を自社開発したので、その装置を紹介する。

2 装置の概要と仕様

本装置は、従来装置に比べて造管スタンド数が約半数のコンパクトな装置となり、造管速度は従来装置に比べて約倍のスピードが得られ、造管スタンド剛性は従来装置に比べて約倍の強度を持っている。

装置は、巻出し部・造管部・給粉部・伸線部・巻取り部より構成される。その平面図を図-1に、上面図を図-2、概略構成図を図-3に示す。

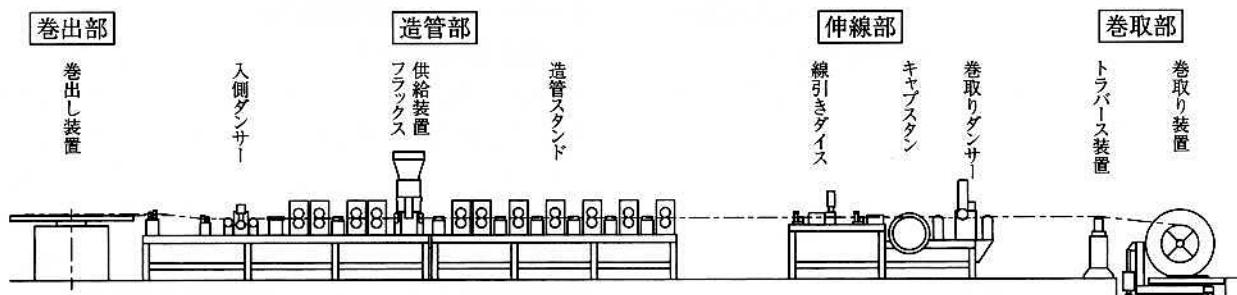


図-1

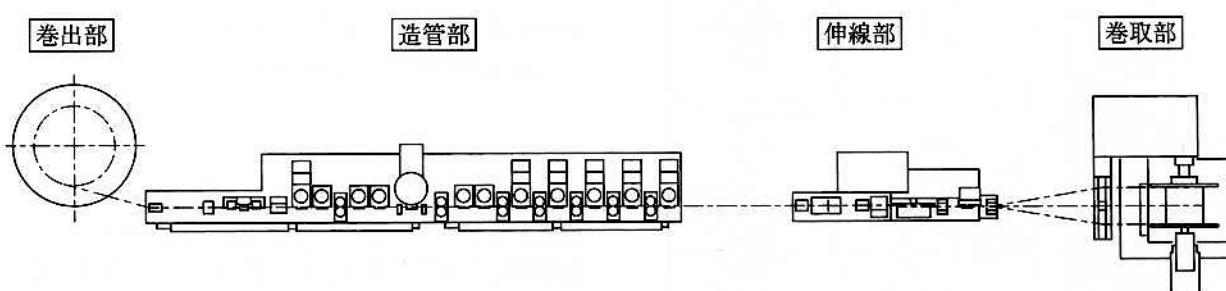


図-2

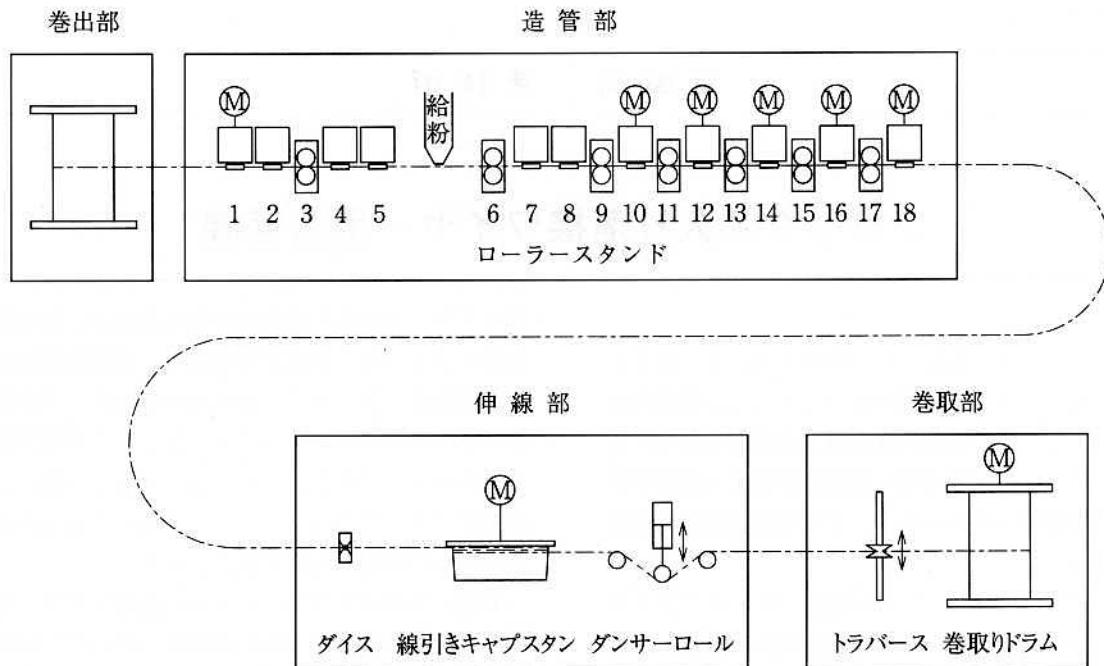


図-3

卷出部：テーブル形巻出し機とドラム形巻出し機の二種類があり、フープ弛みをなくす為の一定の張力をかけるブレーキを設けてある。さらに巻出し機から造管スタンドまでの間には、エアシリンダテンショナーがあり、精密減圧弁にて調整し、フープの弛みが吸収される機構となっている。

造管部：ワイヤーに成形する堅スタンド、横スタンド、捻れを継り戻すツイストロールおよびフラックスを投入する給粉機からなる。

伸線部：ワイヤーを真円に成形する引き抜きダイス、成形されたワイヤーを引張るキャップスタンおよび巻取りたるみを制御するダンサーロールからなる。

巻取部：ドラムに整列巻取りさせるトラバースとボビン巻取機からなる。

各部詳細仕様を表-1に示す

表-1

造管スタンド	ロール径	φ 120mm
	ロール回転周速	Max100m/min
	堅スタンド	11台
	横スタンド	7台
フラックス供給装置	給粉能力	Max160kg/Hr
継引きダイス	ダイス回転数	10rpm
	ダイス冷却方法	水冷式
キャップスタン	ドラム回転周速	Max100m/min
巻取りダンサー	昇降ストローク	200mm
トラバース	最大ストローク	520mm
	送りピッチ設定範囲	1~10mm
巻取り機	巻取り回転数	Max85rpm
巻取りボビン	最大巻取り量	500kg

ワイヤー成形の工程

巻出しドラムより送出されたフープは18段のローラースタンドによりワイヤー状に成形される。その途中造管スピードに追従して、オートフィーダーよりフラックスが投入される。成形されたワイヤーは引き抜きダイスにより真円に矯正され、巻取りドラムに巻き取られる。

3 装置の特徴

(A) スタンドの構造

前述した様に、当社で製造しているサブマージアーク溶接ワイヤーは、一般の硬化肉盛ワイヤーに比べてフラックスの充填率が非常に高いため、造管時における成形力は大きな力を必要とする。この大きな力によって生ずる機械歪みは、製品品質に直接悪影響を与える。本装置では、従来装置に比べて、スタンドフレーム強度を2.3倍に上げ、成形ロール軸断面性能を1.8倍に上げて、成形力による機械歪みを微少に押さえている。また、成形ロール昇降部の摆動隙間を押さえるため、山型の案内ガイドを採用し、テーパーライナーによって調整できる様にしてある。

上記方策により、機械系より生じる歪みや、機械系の隙間から発生する製品品質への悪影響は、格段に小さくなつた。図-4にスタンドの断面図を示す。

(B) ツイストロール

サブマージアーク溶接ワイヤーの断面は、図-5のような形状をしている。図より分かるように、外層のフープは左右非対称な曲げ成形をしている。従って、左右の曲げ応力は異なり、非対称な力が発生してワイヤーの捻じれが生じる。

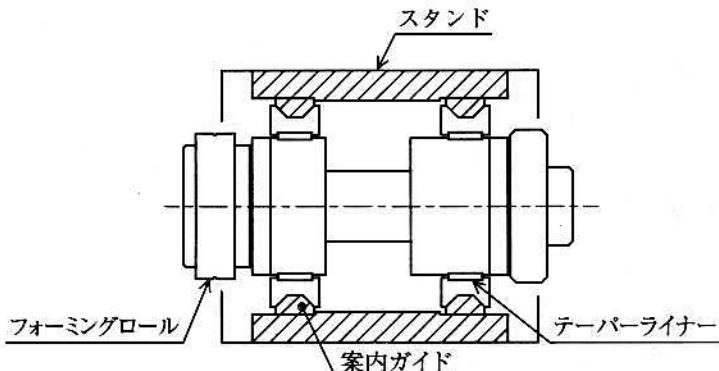


図-4

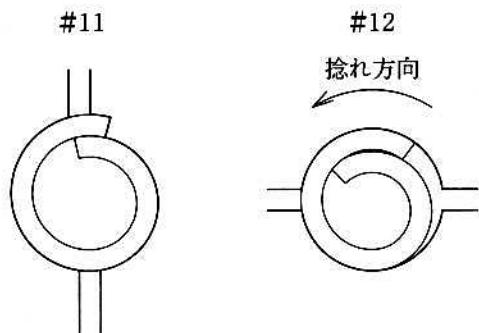


図-5

ワイヤーの捻じれは製品品質に悪影響を及ぼすので、捻じれを繰り戻す必要がある。そこで、図-6に示すような、ワイヤーの捻じれ方向とは逆方向に回転力を与えるツイストロールを設けてある。ツイストロールは鼓形状をしたロールであり、ロールの交叉角を変える事により、ワイヤーへ与える回転力を設定できる構造となっている。

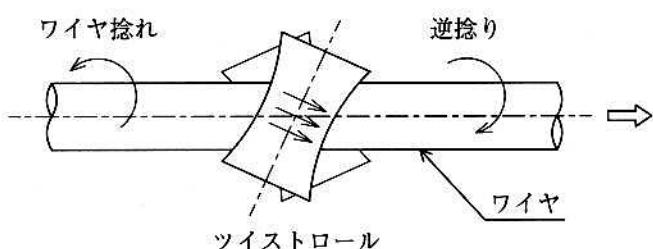


図-6

(C) 給粉機の運動

硬化肉盛用サブマージアーク溶接ワイヤーの品質を左右する大きな要因として、フラックスの充填率がある。

本装置では、給粉機の給粉量を給粉機直前スタンドの造管速度と連動されており、給粉量と造管速度との比率は任意に設定できるようになっている。また、給粉する際に生じるフラックスの断片的滑り給粉を防止するため、給粉口に櫛状堰を設けている。

上記方策により、ワイヤー内のフラックスの充填率は、連続安定的なものとなり、品質性能の高い装置となっている。

(D) 卷取りダンサー

本装置には、巻取り部にエアシリンダーと変位センサーによるダンサー機構を設けてある。ワイヤーの張力変化をエアシリンダーによって吸収し、さらに変位センサーの数値によってワイヤーの巻取り速度を調整する事により、ワイヤーの断線を防止し、張力一定の巻取り動作が得られる。

(E) 銘柄によるパターン選択

サブマージアーク溶接ワイヤーの造管形態は、その種類によって造管速度・フラックス充填率・各スタンドロール回転数等が異なる。

本装置では、その最適運転状態が確立されたならば、各銘柄毎に最適運転データーを登録する事ができ、常に一定状態の安定した製品を製造する事ができる。また、微妙な調整も、手動介入調整により隨時調整可能である。

4 おわりに

今回紹介する事のできた造管機は、当社北九州工場における造管機の老朽化に伴う更新を機会に、より高能率・高品質な機械への技術改善を取り入れた結果できた物である。上記説明の他、造管スタンドの成形ロールとロール軸とのセット方法も改善し、ロール替え時間の短縮・通り芯調整時間の短縮へも貢献している。現在、本装置は、当社北九州工場にてその性能を充分に発揮し、サブマージアーク溶接ワイヤーを製造している。

最後に、本装置の開発に当たって数多くの御指導を頂きました、東京大学 木内学教授には、厚く御礼申し上げます。

—[問い合わせ先]—

技術開発部 設計技術開発室

Tel. 0223(24)2450 岩名 信幸

Fax. 0223(29)2084

アニロックスロール

1 緒言

フレキソ印刷におけるアニロックスロールの役割は、刷版にインキを定量的に確実に供給させるとした、印刷機構の中において重要な役割を担い、アニロックスロール材質の開発はフレキソ印刷自体の進歩につながっている。

アニロックスロールには、ピラミッド型の幾何学的セルが機械彫刻され、セル容積、彫刻線数、深度を任意に設定することで希望仕様にそくした印刷品質を可能としている。ロール表面には耐摩耗性、耐腐食性を目的に広くクロムメッキが施されていた。

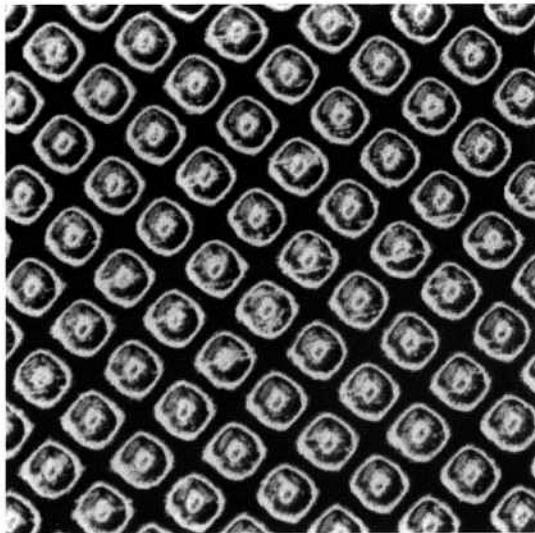


図-1 幾何学的セル

こうした仕様のアニロックスロールが長く採用されてきたが、印刷再現性に対する要求が高まり、印刷機機構にドクターブレードが組み込まれた事から、アニロックスロールの早期摩耗による印刷濃度変化や品質不安定が問題となっている。

ブレードメーカや印刷機器メーカから各種提案がなされ効果がもたらされているが、フレキソ印刷の機構上、アニロックスロールの微妙な摩耗が、印刷品質、濃度変化に影響を及ぼすため、摩耗しないロール材質開発が求められている。

そこで弊社は、この問題解決に以下に述べるセラミック溶射のアニロックスロールへの応用について検討している。

2 レーザー彫刻セラミックロール

アニロックスロールの早期摩耗対策として早くからセラ

ミックの応用が提案され、種々の加工法が試みられてきた。弊社では、ロール表面に $300\mu\text{m}$ のセラミック層を溶射コーティングし、研磨加工後にレーザー彫刻機を用いセラミック層にセル彫刻を行う「レーザー彫刻セラミック法」を採用している。

「レーザー彫刻セラミック法」とは、セラミック溶射により絶対的な耐摩耗性を寄与し、さらにセル彫刻にレーザーを用いる事により、セル線数、深度、パターン角度等の印刷性に大きく影響する諸条件を確実にかつ均一に加工できる事であり、高品質フレキソ印刷には最適の加工プロセスである。

3 加工プロセス

以下に「レーザー彫刻セラミックロール」の加工プロセスを工程に従い説明する。

- (1) ロール素材をセラミック膜厚を見込み下地研磨を行う
- (2) 溶射前処理であるプラストを行う
- (3) 溶射皮膜の密着性と耐腐食性を向上さすためにアンダーコーティングを行う
- (4) セラミック（例えばクロミア）を $300\sim500\mu\text{m}$ 溶射コーティングする
- (5) セラミック層を外径精度に鏡面研磨する
- (6) レーザー彫刻機にて、所定のセル線数、深度、パターン角度に加工する
- (7) セル部のセラミック層はレーザー熱源にて再溶融するので、さらに高密度、高硬度のセラミック層に改質し、印刷性をより高める。
- (8) ポリッシング仕上げを行い、セル容積を整える

4 応用例

本プロセスを用いた応用例は一般印刷用では、従来のロールクロムメッキ品に比して約3倍以上の寿命延長を可能とした。また、用途拡大として情報端末部品印刷への適用を試みている。

[問い合わせ先]

技術開発部 C P C 技術開発室

Tel. 08654(4)5151 尾崎 健一

Fax. 08654(4)5154

新 製 品

新 技 術

転炉出鋼口用スラグダーツ

1 はじめに

「はがね」を作る際の一工程である精錬工程において、この工程での主設備である転炉では、高炉から運ばれて来た銑鉄を吹練し鋼に変えるのですが、その際溶鋼の上には溶鋼よりも比重の軽いスラグが浮遊しています。この浮遊するスラグが出鋼末期に出鋼口から取鍋に流出すると、鋼の品質が低下します。このため、スラグが転炉から流出する前に出鋼口を閉鎖し、溶鋼だけを出鋼する必要があります。転炉出鋼時のスラグ流出を防止する作業は、一般にスラグカットと呼ばれ、このスラグカットは製造コストの低減及び品質改善策として重要な措置です。

2 スラグカット方式と採用箇所

表-1に、現在のスラグカット方式の採用状況を示します。状況として、スラグボール方式からダーツ方式へ変更する傾向が多くの製鉄所で見られます。

表-1

スラグカット方式	機能概要
ダーツ方式	「ダーツ」と呼ぶキャスタブル製の矢で閉塞する
スラグボール方式	比重調整したキャスタブル製ボールで閉塞する
フェースト方式	高压空気を出鋼口の外側より吹き込む
サイフォン方式	比重のある液体の分離効果を利用
石灰投射方式	生石灰などをスラグ上に投入し、スラグ固化させる
スライディングゲート方式	出鋼口の外側に設置した耐火物ゲートで遮断する

3 スラグダーツとは

スラグダーツの一般的な形状を図-1に示します。図-1に示すように、スラグダーツは紡錘状の頭部と、円柱状の足部からなります。使用にあたっては、足部が転炉の出鋼口に嵌入するとともに、頭部が出鋼口を閉塞し、出鋼流を絞り込みます。

スラグダーツを転炉に挿入する方法を図-2に示します。図-2に見られるように、出鋼末期に投入機のアームにスラグダーツを持ち、転炉内に挿入します。

スラグダーツは従来クロム鉱石を圧縮成型し、製造されておりました。しかしクロム鉱石は高価であり、圧縮成型もコスト高であるため近年キャスタブル耐火物による鋳込み成形がおこなわれています。

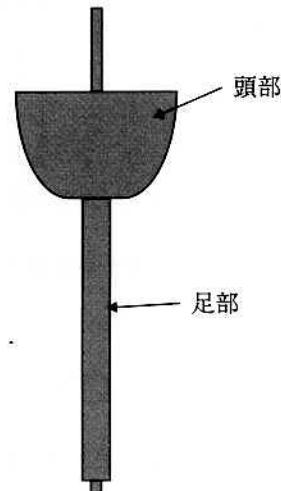


図-1 スラグダーツ形状

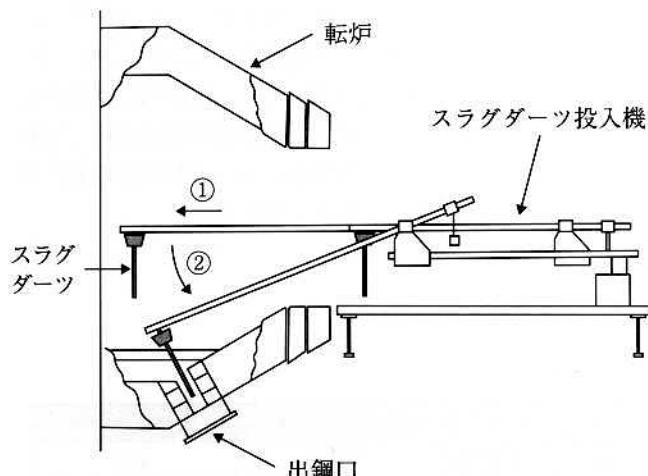


図-2 転炉への挿入動作順序

4 スラグダーツによる効果

スラグカット方式は上述したように多種にわたりますが、その中でも多くの製鉄所で用いられているスラグボール方式、ダーツ方式について、その差異を記述します。

まず、形状の違いを図-3により説明します。

形状の決定的な違いは、スラグダーツには出鋼口に嵌入するための足部が存在する事です。この違いにより、次に示すような効果の差が生じます。また、転炉へ挿入する際の把持する箇所が、ボールでは図に示す吊り具を用います

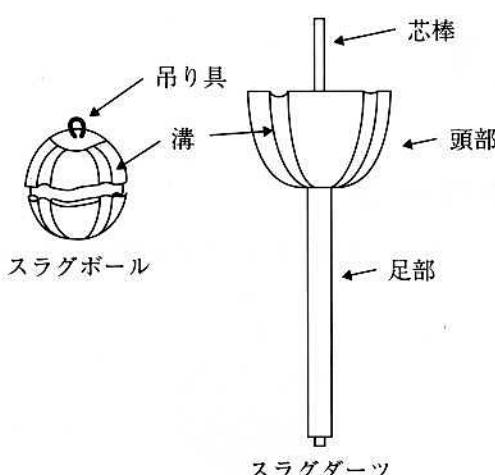


図-3 スラグボールとダーツの比較

が、ダーツでは芯棒を用います。これにより、投入機の仕様が異なります。

図-3に示した形状の違いにより、表-2に示すようなスラグカット効果の差異が生じます。

まず、足部の存在によりダーツ方式の方が出鋼口への的中率が高くなり、また嵌入方向も一定となります。そのおかげで湯の絞り込みが充分となり、流出スラグ量は少量で安定し、取鍋のスラグ厚みは薄くなります。その結果、スラグから溶鋼への復〔P〕が抑制され、合金鉄（Mn, Si, Al, 加炭）歩留りが向上します。また、転炉内には清浄なスラグを多量に確保できるので、転炉吹練用副原料（生石灰、萤石）を低減することができ、さらに転炉滓低減によりノロ処理関連のメリットも出て来ます。

表-2

	スラグボール	スラグダーツ
出鋼口への的中率	不安定	安定
嵌入方向	定まらず	一定
湯の絞り具合	ばらつき	充分な絞り込み
流出スラグ量	ばらつき・多い	少量安定
取鍋スラグ厚み	厚い	薄い
転炉残湯量	多い	少ない→歩留り向上

5 当社のダーツ開発及び納品状況

ダーツは転炉で使い捨てで用いられているので、近年低価格化が進んでいます。そんな中で当社は、安価で、化学的に安定した添加物を利用したダーツを国内数社に納品しております。

当社のダーツの特徴としては、頭部はキャスタブル耐火物と比重調整用の混合物、または丸鋼・角鋼等を埋設しその回りにキャスタブル耐火物を鋳込んだもので構成され、他メーカーが頭部・足部を成形後に接合するのに対して、当社は頭部・足部を一体的に鋳込んで大量に、成形製造しております。

また、スラグカット成功率を100%とする新しい概念のダーツ開発も同時に進めております。

現在のダーツ納品状況を表-3に示します。

表-3

納品先会社名	事業所
新日本製鉄	八幡製鉄所
	君津製鉄所
N K K	京浜製鉄所
住友金属工業	小倉製鉄所
	鹿島製鉄所

6 まとめ

現在、ダーツ方式はスラグカットの方法の中でもポピュラーであり、今後、使用する製鉄所も増加する傾向あります。そんな中で、当社では、製品の低価格化および成功率を高めるダーツ開発を進めております。また、それぞれの製鉄所から、要望される多様なニーズに対して、充分なデータと共に、迅速に応えられる様に体制を整えております。製品開発メーカーとしての位置付けを確立するとともに、満足して戴ける品質の製品を供給致します。

[問い合わせ先]

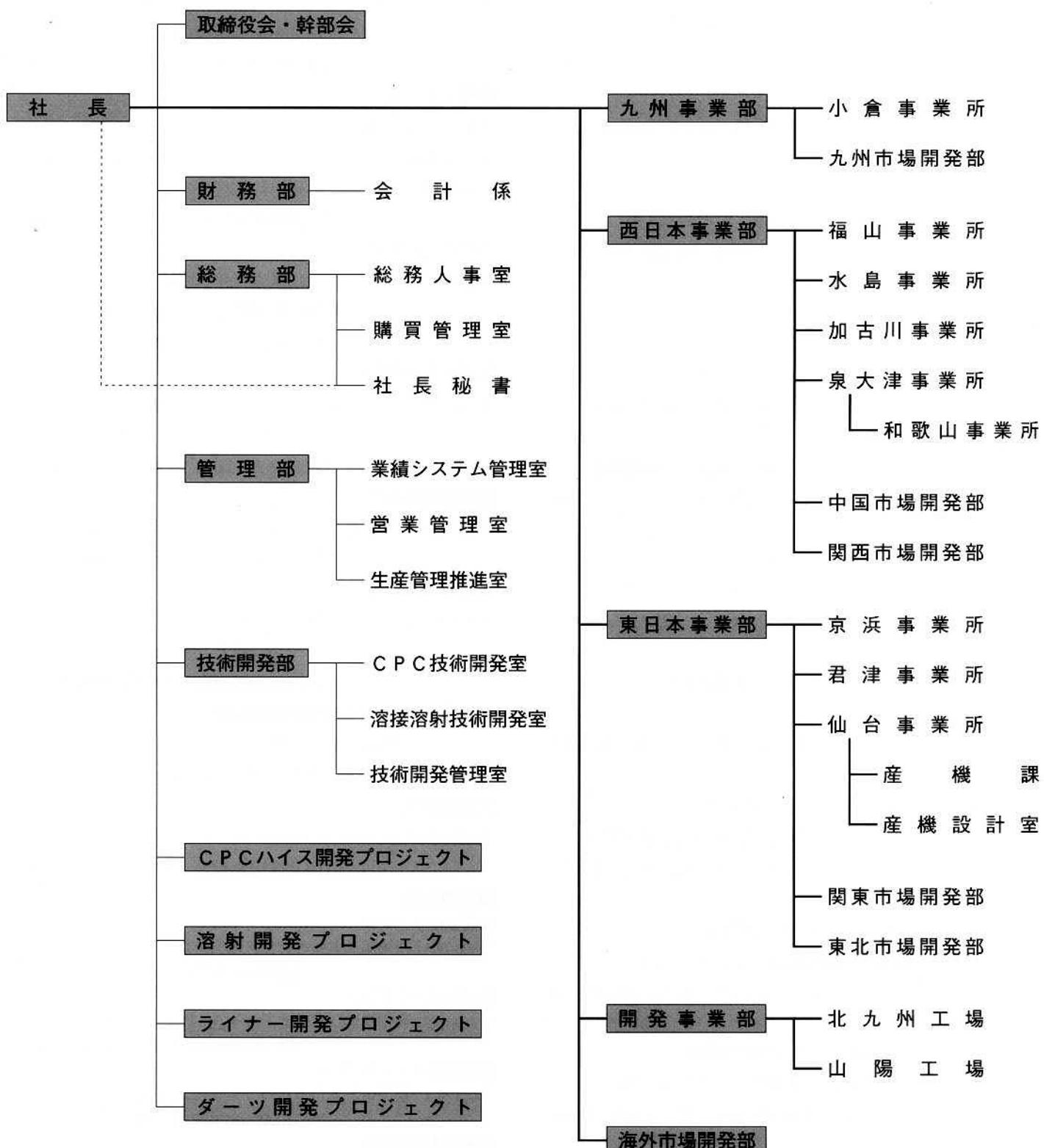
技術開発部 溶接溶射技術開発部

Tel. 093(871)0761 坂田 太志

Fax. 093(882)0522

FUJICO 運 営 組 織 図

平成12年10月1日現在



■本社

〒804-0011 福岡県北九州市戸畠区中原西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
TEL08654-4-5151 · FAX08654-4-5154

北九州工場

〒804-0054 福岡県北九州市戸畠区牧山新町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
エヌケーベー一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
NNK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
NNK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

海外市场開発部
九州市場開発部
〒804-0011 福岡県北九州市戸畠区中原西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

〒105-0003 東京都港区西新橋3丁目23-7 司ビル2F
TEL03-3434-4155 · FAX03-3434-4170

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
エヌケーベー一条鋼株式会社仙台製造所構内
TEL022-258-4182 · FAX022-258-4183

台湾支店(日商富士工股份有限公司)

高雄市苓雅区輔仁路155號7F-1
TEL001-886-7-725-9548 · FAX001-886-7-725-9549

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 福岡県北九州市戸畠区中原西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
TEL 08654-5-8001 · FAX08654-5-8003

株式会社アソート フジ

〒804-0011 福岡県北九州市戸畠区中原西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.8 平成12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 北九州市戸畠区中原西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 北九州市戸畠区川代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。小プ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。