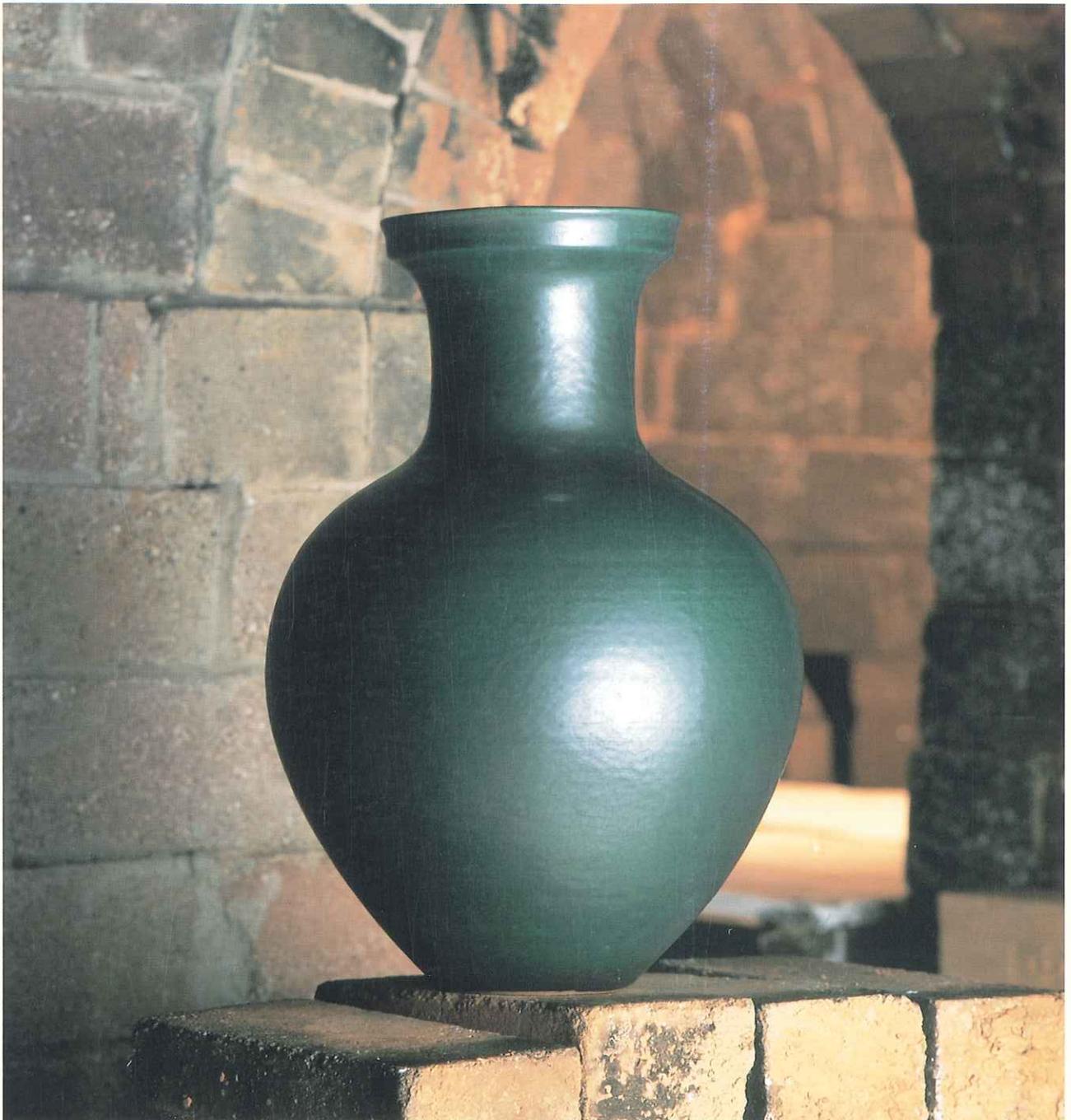


t s u k u r u

[創る]

No.7

Fujico Technical Report 1999



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、細川・小笠原両藩主の御庭焼であった^{あがの}上野焼の分窯「^{きく}企救焼」陶芸家／二代熊谷光峰氏の「緑釉花瓶」。上野焼は、文禄元年、太閤秀吉の朝鮮出兵の凱旋時に、加藤清正公が釜山から伴った尊益の子尊階を、小倉城主細川忠興公が招き入れ、陶芸に専念させたのが起源。その後の小笠原忠真公も引き続き御用窯とした。昭和31年上野焼十四代龍峰の子初代光峰氏は、時の市長並びに文化人の誘致によって、小倉に上野分窯を設け、「企救焼」と命名した。

参考資料／企救焼の由来より

作者紹介

熊谷光峰 Koho KUMAGAE [陶芸家] 1947年生まれ。

'70年九州産業大学彫刻科卒業後、父初代光峰に師事、作陶を始める。独特の深い緑色に釉薬と土味の新しい境地を見い出しながら、伝統の企救焼を現代に伝える。日本伝統工芸展、西部工芸展等に出品、受賞多数。日本工芸会正会員。窯元／北九州市小倉北区篠崎2-34-12

目 次

巻 頭 言	・ 極限にトライ	日本鋼管(株) 代表取締役副社長 半明 正之	1
随 想	・ 企業の研究と産学官連携	(株)北九州テクノセンター 代表取締役社長 迎 静雄	4
	・ 生産技術の革新 ― 新しい競争力の創造へ向けて ―	東京大学 生産技術研究所 教授 木内 学	7
技術解説	・ リーンバーンとパルスジェット点火	九州大学 教授 村瀬 英一	10
	・ 鉄道用レールの現地溶融溶接技術の開発	新日本製鐵(株) 主幹研究員 内野 耕一	18
技術論文	・ 多合金系ロール材の特性に及ぼすC、V、Coの影響	李 平、齊藤 弘道	24
	・ J R 接着絶縁レールの損傷調査	佐々木 満太郎、大野 京一郎、宮崎 裕之、 吉村 武憲、奥村 幹夫、沼倉 明夫	31
	・ 矯正ロールの理論解析	沼 和宏、尾崎 健一、齊藤 弘道、木内 学	37
技術報告	・ HVOF溶射機を使用した発電ボイラー現地溶射	林 慶治	43
海外営業報告	・ FUJICOの海外事情	津田 篤信	49
商品紹介	・ 異業種分野での成功事例紹介	山本 静雄	51
新製品・新技術	・ CPC鍛造ロール		54
	・ 高耐衝撃性耐摩耗ライナー		57
トピックス	・ 事業所の動き	植田 勝裕、藤野 勲、野口 勝弘、佐藤 勝郎、 山下 雅英、大石 好則、田崎 浩一、池田 博利	59
全社組織			64
工場、事業所 所在地			65

tsukuru

Fujico Technical Report 1999

No.7

1999.10.1

CONTENTS

Foreword	• Try to the Ultimate	Masayuki Hanmyo	1
Memoir	• Research Activities in Business Sector, and Collaboration of Business, Academic and Government Sectors	Shizuo Mukae	4
	• Innovation of Production Technology — toward creation of new competitive business —	Manabu Kiuchi	7
Commentary	• Lean Burn and Pulsed Flame Jet Ignition	Eiichi Murase	10
	• Development of Field Welding Technology for Rails	Koichi Uchino	18
Technical Paper	• Effect of C, V, Co Contents on Characteristics of Multi-component Roll Materials		24
	• Investigation of Damages to Glued Insulated Rails over JR Railway Lines		31
	• Theoretical Analyses of Straightening Roll		37
Technical Report	• Thermal Spraying of Boilers at Power Plants, using HVOF Systems		43
Business Report	• FUJICO Overseas Operations		49
Product Introduction	• Success Cases in Another Business Development Initiatives		51
New Products, New Technology	• CPC-forged roll		54
	• Wear resisting liner with high impact resistance		57
Topics	• Up-to-date Reports on FUJICO Factories		59
Organization			64
Address			65

極限にトライ

日本鋼管(株)
代表取締役副社長
半明 正之
Masayuki Hanmyo



私とフジコーさんとの出会いは30年以上も前になる。私は入社以来一貫して製鉄所の製鋼のエンジニアだったし、フジコーさんは製鋼工場で鑄型の修理作業を行っていたので非常に身近な存在ではあったが入社1～2年目の見習い期間中は特に仕事上の関係はなかった。昭和42年頃だったと思うが、私の仕事のテーマが低炭素アルミキルド鋼の品質改善であった時のことである。当時の非時効性深絞り用冷延鋼板は低炭素アルミキルド鋼のインゴットより製造されていた。薄板用素材が連続鑄造機で製造されるようになる以前の話である。

低炭素アルミキルド鋼塊より製造された冷延鋼板の最大の長所はその優れたプレス加工性であったが、一方最大の欠点は鋼板の表面品質が劣る点であった。すなわち、スリバー疵と称されるアルミナクラスタの介在物欠陥が冷延鋼板表面に現れ、自動車や家電製品用の鋼板としては表面検査の段階で相当歩留りを落していた。品質改善研究の第一ステップはアルミ脱酸時に生成されるアルミナ酸化物の量を少なくする方策の検討であった。すなわち脱酸前の鋼中[O]量を抑制することや、レードル内でのアルミの歩留りを高くするためのアルミの添加方法等を研究した。今にして思えば当然のことながら決定的な対策は見つからず判ったことはレードル内でのアルミ脱酸時に生成する大量のアルミナのほとんどが脱酸終了後3～4分の間に浮上分離しているということであった。この事は冷延鋼板表面のアルミナクラスタ介在物は脱酸生成物のアルミナではなく、鑄型に鑄造するまでの過程で、溶鋼中の[Al]が二次酸化されて生成したアルミナである可能性を示すもの

であった。そこで二次酸化源の犯人として狙いをつけたのが鑄型に注入中の空気の巻込みであり、もう一つは鑄型の内面に附着しているスラグや酸化スケールであった。前者は種々テストを行ったがエアシール対策が不完全なものであったため明確な結果は得られなかった。後者に関しては先ず古い鑄型の内面附着物をフジコーさんに徹底的に落してもらった。驚いたことに鑄型一本当り数キログラムの附着物が回収された。新鑄型と旧鑄型を並列で鑄造し品質比較を行ったところ、決定的とは言えないがそれまでに調査したどの因子よりもはっきりした相関関係が得られ、以来低炭素アルミキルド鋼の鑄造は鑄型内面をグラインダー手入れをする方法が標準作業となり、フジコーさんの仕事を一つ増やす結果となった。

その後、薄板用スラブが連続鑄造で製造されるようになり、低炭素アルミキルド鋼のアルミナ介在物に関して徹底的な研究が行われ、その起源が明確になるがすべて溶鋼中[Al]の二次酸化によるものであった。酸化源はレードル内スラグ、レードル耐火物、タンディッシュ耐火物及び注入流への空気の巻込み等で、現在の製鋼技術はそれ等を全て解決し、すばらしいアルミキルド冷延鋼板が製造できるようになった。世界をリードしている日本の製鋼技術はフジコーさんの鑄型の内面グラインダー手入れから始ったといっても過言ではないと思っている。

さて真理を探究する場合、私は常に極限にトライすることを勧めている。低炭素アルミキルド鋼の連続鑄造は溶鋼中[Al]の二次酸化防止の極限対策によって成功を取めた。レードルスラグ中のFeOによる

二次酸化はレードル内に流出するスラグを極小に抑え、かつ流出したスラグは溶鋼と同時に脱酸することにより抑制された。注入流の空気酸化は不完全なエアージでは効果は認められなかったが、O₂分圧を0.1%以下までパージすれば明瞭な効果があった。現在はエアースीलパイプにより完全に空気と遮断された状態で注入されている。レードルやタンディッシュの耐火物は以前はSiO₂を含有した耐火物を使うのが通常であった。SiO₂が溶鋼中[Al]を酸化することが判っていてもレードル耐火物がSiO₂を含有しないアルミナスピネル系レンガになったり、タンディッシュ内面コーティングにマグネシア耐火物を使用されるようになったのは、かなり遅れてからであった。30年前にフジコーさんと一緒にトライした鑄型のグラインダー手入れが効果的であったことと、注入流のエアージにArガスを吹きつけたが効果不明瞭のため実際のアクションに結びつけることができなかつた差は、極限にトライしているか否かの違いであった。

連続鑄造の話ばかりで恐縮ではあるが“極限にトライ”の例をもう一つ紹介しよう。私が現場の部長をしていた時の話であるが、小断面鑄片の連続鑄造は鑄造時間が長くなるため鑄造末期の温度低下が大きくノズル詰りや品質上のトラブルが発生していた。私は部下に次のような意地悪な質問をした。「レードル内溶鋼の上下の温度分布はどうなっていると思う。対流によって上層部の方が高温だと思うが間違いないか?」「間違いありません。」「それでは温度の高い上層部の溶鋼が排出される鑄造末期に溶鋼温度が下

がるのは何故か?」「時間の経過と共に放熱によって熱が逃げるからです。」「それでは放熱を防止したらどうなるのか?」試験的にレードル内表面を大量の保温材でカバーし、かつレードルに蓋をして徹底的に放熱遮断対策を実施して鑄造したところ、担当者がビックリして報告に来た。従来は鑄造末期には20℃程度温度低下していたのが逆に15℃上昇したというのだ。私は担当者に「そんなことは中学校の理科を勉強していれば判るはず。」と得意気に言った。

低次元の昔話を書いてしまったが製造現場での改善開発はやさしい原理、原則に基づいて極限にトライすることによって解決できる場合が多いということを感じているし、部下にも指導してきた次第である。

さて私とフジコーさんとの出会いは30年以上も前であるが、山本厚生社長との出会いは氏が社長に就任されてからである。以来年に2～3度は必ずお会いしているいろいろ話を伺っているが、常に感じることは技術を愛し、尊重し、優秀な技術者、技能者を育成し高く処遇しようと懸命な努力をしていることが会話の中にしばしば出てくることである。もの造りの創業者は技術、技能からスタートし、優れた技術、技能を持ち続けることが成功の必須条件である。フジコー技報が創刊されて今回がNo.7の発行となったが、山本社長の技術、技能に対する思いがこの技報であることは容易に推察される。t u k u r uが技術のフジコーのシンボルとして大きく発展することを期待するしだいである。

【略 歴 書】

半 明 正 之

昭和15年11月8日生

出身地 香川県

【学歴】

昭和38年3月 東京大学工学部冶金学科卒業

【職歴】

昭和38年4月 日本鋼管株式会社入社

昭和53年7月 福山製鉄所製鋼部第三製鋼工場長

昭和56年4月 同 技術室長

昭和60年10月 京浜製鉄所製鋼部長

同 製鋼運転室長（事務取扱）

昭和63年7月 同 管理部長

平成3年7月 技術統括部長

平成4年6月 取締役就任

同 7月 鉄鋼事業部技術総括部長委嘱

平成5年7月 鉄鋼事業部一鉄鋼技術総括部、環境エネルギー部、溶融還元プロジェクトチーム、各技術開発部、品質保証部、および 富山製造所担当

平成6年4月 鉄鋼事業部 鉄鋼技術センター（除く 需要部門担当）および 富山製造所 担当

平成8年6月 常務取締役就任

同 7月 鉄鋼事業部福山製鉄所長委嘱

平成11年4月 代表取締役副社長就任

技術分野全般につき社長を補佐、鉄鋼事業部副事業部長および 技術開発本部、新規事業センター、情報システム部管掌

企業の研究と産学官連携

(株)北九州テクノセンター
代表取締役社長
迎 静雄
Shizuo Mukae



長く低迷を続けてきている経済を立ち直らせるために、いろいろな施策が打ち出されている。その一つに新しい技術の開発、そして新製品の創出による起業の促進がある。即ち、ベンチャービジネスの育成である。このベンチャー企業の成功率を高めるために、人、もの、金など、ないないづくしの経営資本をバックアップするシステムづくりが必要であるが、その前提として重要なことは世のニーズに応えられる確たる技術があるということは当然である。このことは何もベンチャー企業に限らず地域企業の再活性化についても同様で、早い時期から産学官の連携が言われてきた所以である。

1 産学官連携が進まない理由

産学官連携、人、もの、金の相互利用あるいは交流によって互いに活性化しようという制度であるが、一般の認識は学・官（ここでいう官とは公的研究機関を指す）による企業の新技術開発のための研究の支援である。学も国立大学であればこの支援は至極、当然と思われるが、いまだに各地で開催される関連のシンポで、パネラーから産学官連携の必要性がいわれ、また報道関係の論壇に書かれるのは何故か。世の期待するようにこの連携がうまく進んでいないことであろう。ここで重要なことは、進んでいないことの原因はどこにあるのかの突っ込んだ議論がないことである。長く大学に在籍し、引き続き企業務めをしてきた経験から、この原因として(1)産学官連携について学に誤った価値観があり(2)官には地域貢献の意識が稀薄であり、そして(3)産に自立心の不足が挙げられると思っている。

2 学・官に積極的な地域貢献を期待する

学には研究テーマについて、本来何ものからも左右されず純粋中正であるべきで、ましてや一私企業のために選ぶことはもってのほかだという観念がいまだに強くある。個々の教員には国から毎年、一定額の研究費が配分されるので、基礎研究に偏するのは止むを得ない面もある。教員が企業あるいは軍関係施設に直接赴いて研究費を稼いでくる米国の大学とは、ここが大きく異なっている。米国並みの産学官連携を推進するため、科学技術会議は国立大学の研究の在り方について平成8年に明確な見解を表明した。すなわち、大学は学問の府を守ることは勿論であるが、地方にあっては公設の研究機関と協力して民間企業の活性化に寄与する役割もあると、科学技術基本法の中に官と連携して地域貢献を積極的に行うことを謳っている。文部省はこれに基づいて、学に対して産学官連携を積極的に推進できる環境づくりのために大幅に規制を解く10の改革を行った。あとは各大学が教員の業績評価の項目に地域貢献度を設定することが残された重要事項であるが、九州地区の2、3の大学にはすでにその動きがあることは地域にとって喜ばしいことである。

3 産学官連携コーディネーターの必要性

官庁の縦割り行政が批判される。部局間のもとより、同じ部局内の課間においてすら話し合われなことも多い。しかし、よく考えてみると、われわれの住む社会もまた縦割り社会を形成している。学は学外のことに無関心で校門から出ようとする姿勢は弱いし、また産は学の情報を得る努力が稀薄な上、

彼我の研究レベルの差などから学を敷居が高いとい
って訪れることに消極的である。公設研は上部官庁
の工技院の行政を意識して地域に顔を向けようとし
ない。

このように三者三様、それぞれ固有の意識のまま
各々研究をして互いに交流することは稀れであった。
このような状況下で、この三者の連携を図り、その
機能を十分に発揮するようにするためには三者の間
をうまくとりもつコーディネータの存在が必要であ
る。座学官連携を推進するためにはこのコーディネ
ータの役割を誰が果たすか、その確保が最優先課題
である。テクノセンターは微力ながらそれを果たし
てきたつもりである。

4 旺盛な自立心と素早い行動力

これまで述べてきたように、産学官それぞれの意
識のちがいはとも角、三者間の共同研究の環境は大
きく変わってきている。したがって個々の企業にお
ける研究の在り方についても見直す必要がありはし
ないか。国は新技術開発、新製品創出を促進するた
めの種々の研究事業を計画して大型の研究費を予算
化するとともに、学・官に対して積極的に企業支援
を可能にする法の整備をした。企業においては、不
況になると真っ先に削るのが研究関連の経費と人員
である。ボーダーレス、グローバル化の時代に独自
の技術、製品を持たずしてサバイバルゲームに果た
して勝ち残れるか、甚だ疑問である。自前の頭脳が
不足しているとか、研究費も乏しいので仕方ないで
は済まされまい。いま必要なのは旺盛な自立心であ
る。早速にも学の門を叩いて協力を求め、国および
地方行政の研究事業に積極的に応募してはどうだろ
う。その取っ掛かりが掴めぬときは、いまコーデ
ィネータ役を果たしている第3セクターの知恵を借り
る手がある。素早く行動する力が企業には弱いもの
を感じる。いまだに親企業や行政に依存する待ちの
姿勢や他との競争意識の稀薄さが散見されるのは残
念なことである。

5 宝は足許にもある

いまこそ自前の技術をもつよう開発研究をしなけ
ればならないことは理解できるが、何を研究したら
よいかわからないという声をよく聞く。研究といえ
ば、大きな組織と予算を必要とするように錯覚して
いるのではないか。俗な言葉ではあるが、必要は発
明の母、という。日常、それぞれの現場で抱えてい
る問題が存在するのではないか。そしてそれらを解
決することによって利益を上げられることもあろう。
もっと足許を凝視よう、といいたい。宝は足許にも
ある。この宝物を探しあてるには常に問題意識をも
っているかが鍵である。

成功例を1～2示そう。

(1)D社は機械部品を取扱う小規模の商社である。
この会社が注目したのが、鉄管の継手のガスケット、
長時間使用していると劣化して、パイプ内部を流れ
る流体が漏れて事故発生の原因となる。したがって
一定期間毎に検査して、必要ならばガスケットを交
換しなければならない。当然のことながら、この間、
操業自体を止めるため損害は大きい。そこで、この
D社はガスケットを使用しないフランジ継手の開発
を思いつき、テクノセンターの紹介による大学の先
生の協力を得て見事に開発に成功し、いま、世の大
きな注目を浴びて製品化の過程にある。パイプの継
手は大小無数に存在している。これまで誰もこん
なもんだと、ごく当たり前に受け入れてきたことに
疑問を感じ、改良しようとtryする行動力と情熱
がD社にあった。これが今回の成功の原動力といえ
よう。

(2)もう一つの例は、卒業生が大学の研究室に来て
TiとPbの複合材料を、他社でやっている方法を真似
て造ってみたいので教えてくれという。そんな非能
率的、非効率的な方法は必要ない。ある温度以上に
加熱したTi板の上に、予め溶かしたPbの湯を張って
凝固させればそれで十分。出来れば非酸化性の雰囲気
中であればなおよい。Pbが凝固してしまった時には
既に両者は金属学的にみて立派に接合されている
ことを、大学の簡単な装置を使って実験してみせた。
卒業生は会社へ帰り、これを工場内で実用化するた

めに何度もbrush-upして、遂には会社の独自技術として確立してしまった。この方法で得られたTi-Pb複合材は電極材として、従来技術—Ti上へPbを溶接肉盛して造られたものよりもはるかに低コストで長寿命、この企業の主力製品となった。この例は、必要を感じた卒業生が大学の門を叩いたこと、そしてこの研究を上司が理解して積極的に支援したことが成功につながったといえよう。それに企業での研究の成否は上司の理解が大きく関わる。研究の中身にもよろうが、上司の激励により、若き研究員は研究意欲を奮いたたせて、よい結果を生むことが多い。

6 技術移転も研究の対象

企業の研究テーマに他からの技術移転も対象になろう。前述のTi-Pb系複合材料のケースは大学の頭脳の企業への移転による技術開発の一例であるが、大学にはこれまでに多くの研究成果もある。かつては、大学の研究情報は学外のものにとって取得するのに困難であったが、今ではどこの大学でも年報など多くの情報を発信しているので、各教員の専門や研究成果を容易に知ることが出来るようになった。これらの情報の中から、必要と思われる大学の研究シー

ズを企業に移転して、自社の独自技術開発の糧とすることを検討することも企業においては立派な研究といえるのではないか。大学に限らず各企業とも多かれ少なかれ特許なり独自技術を所有している。これらを自社へ移転することが出来れば、自社の技術との複合化、融合化により技術の高度化、新技術・新製品の創出へつなげられることも十分に考えられる。

情報化時代に入り、各種の情報は溢れるように在る。情報は取ってくるもの、そしてそれを生かす知恵があるかないかが勝負を決める。

大企業と違って、研究員も予算も小規模である中小企業における技術開発に関する研究の在り方について、日頃、考えていることを思いつくままに羅列してきたが、最後にまとめのかわりに、かのノーベル賞受賞者、江崎博士の言葉を挙げたい。創造力の発揮には(1)いままでのしがらみに捉われない。(2)戦うことを避けてはいけない。(3)いつも初々しい感性を失わないよう努めること etc。そして私はこれに、先ず立ち上げられ、そしてtryしようという言葉をつけ加えたい。

生産技術の革新 —新しい競争力の創造へ向けて—

東京大学 生産技術研究所
教授
木内 学
Manabu Kiuchi



1 技術を取り巻く環境の変化

20世紀も終末を迎え、技術を取巻く環境の変化は激しい。経済システムと産業構造の国際化が急速に進展し、企業活動のボーダレス化が予想を越えて拡大している。航空機・自動車・家電製品にみられる世界的分業や技術・労働力・部品・素材等に関する相互依存は、多元化と複層化の度を高めている。情報システムの巨大化・広域化・多重ネットワーク化、膨大な知識・情報の統管理化も進行し、知的資源の共有化、情報獲得のリアルタイム化も急速に進んでいる。

一方、国家間の技術競争も年を追って激しくなっている。新技術や先端技術の囲い込み、デファクトスタンダードの独占、知的財産の奪い合い、などにみられるテクノナショナリズムは年を追って強まっている。優れた技術とそれを駆使した生産活動こそが、より多くの価値を生み出し、より豊かな生活を可能にするものであるが故に、技術力の強化と確保による発展への欲求が、新たな紛争を生み出している。

更に、資源・エネルギー問題も深刻化しつつある。地球環境の保全体制の確立は焦眉の急を呈している。限りある地球資源を守るために、国家規模での新しい生産形態の導入を図り、資源・環境・生産・消費の調和的発展を模索することが緊急の課題となっている。技術に負わされた責務は極めて大きく重いと云わざるを得ない。

21世紀の生産技術は、国際的な社会環境並びに経済環境の変化に従来以上に強く影響され、制約を受け、好むと好まざるとにかかわらず、その発展の方

向が左右されると考えなくてはならない。

2 技術革新が先導する社会活力

世界的な社会・経済の激変の中で、新しい世紀へ向けて我国の生産技術が目指すべき目標は、単に技術面での革新に留まらず、それらを通しての社会貢献をも視野に入れたものでなくてはならない。具体的には以下の如き目標が構想されるべきであろう。

第1に、激しい国際競争を勝ち抜くために、極限的な高生産性と製品の高付加価値化並びに高品質化の追求は必須であり、これ無くしては我国の生産技術の存立基盤を維持することはできない。同時に、それらを通して「良質の製品を広く安価に」提供することにより、世界の人々の生活向上に大きく貢献することもできる。更に、生産性の高度化と製品の高品質化を実現する技術・知識は、省資源・省エネルギーを達成し、ひいては地球環境の保全を図る上で必要不可欠である。そのような知識と技術を蓄積することは我国の生産技術が世界に対して為し得る最も重要な貢献の一つである。

第2に、生産活動を通じてより多くの価値を生み出し、社会の繁栄を維持していくことが求められる。独創技術・差別化技術の開発と応用による製品の高付加価値化の推進は、我国の生産技術に課せられた最重要課題の一つである。その際には、技術並びにプロセスの柔軟化・多機能化をはじめ、隣接分野・異分野との技術融合の促進なども積極的に図らなくてはならない。特に、ハード技術と知識・情報・サービス等との融合化、一体化、システム化が不可欠であり、付加価値創造のための基本的方策となろう。

第3に、我国の特殊事情、即ち、人口構成の老齢化と若年労働人口の急激な減少に対処するために、省人化・無人化関連技術の開発と利用システムの拡大は、安定した社会を維持し、持続可能な発展を促進するために、急を要する課題である。各種知識ベースやデータベースの整備拡充、生産システムの知能化並びにネットワーク化、あるいは遠隔操作技術・広域監視技術・インライン診断技術などの拡充も不可欠である。更に技術の信頼性向上や作業条件・運転環境の劣化に対する強靱化あるいは緊急時の安全化の促進も、社会基盤を支える技術の責務を全うするために強力に推進しなくてはならない。

3 21世紀を目指す技術戦略

今後予想される生産技術の発展は以下の特徴を備えたものとなるであろう。

第1に、急速に発展しつつあるシミュレーション技術に支援され、生産形態・設備機械および製品の構造・質・機能の拡大と高度化が大幅に加速されるとともに、その開発の効率化が促進されるであろう。コンピューター利用技術の予想を超える発達は、各種・各様の数値シミュレーションを組織的・系統的に実行し、それらを通して生産の場における多様な物理現象を適確に予測し、高度な知見やデータを容易に入手し、最善な生産活動を推進することを可能としつつある。

更に、多次元データ解析技術の利用環境の整備、大規模なデータベース・知識ベースの構築と利用システムの世界的ネットワーク化、思考支援システムや人工知能の普及、などが実現し、それらの利用機会の拡大が予想される。これらを活用した生産技術・システム・機械は、従前的な技術に比してその形態・機能を大きく異にし、各種目標を達成する上で高い能力と可能性を有するものとなるであろう。

第2に、およそあらゆる知識・データ・情報のデジタル化とその分析・加工・伝達技術が猛烈に進展するであろう。知識・データ・情報のデジタル化は、各個生産技術の運用への強いインパクトとなるばかりでなく、それらの組織的・体系的な高度化を促進し支援す

る力を発揮する。故に、これらの技術・手段を欠くかまたはそれらの活用能力を持たない企業・機関は、予想される厳しい技術競争における敗者となり、その存在も危ういものとなるだろう。

第3に、生産手段と情報との統合化・融合化が進展し、あらゆる生産活動の場や局面において、広範な情報資源を駆使できる環境が整ってくる。情報資源の活用により最善の手法・条件・手順を探索しつつ物情融合型生産が行われ、得られた成果の検証を繰り返しつつ学習を深め更なる進歩が実現されるようになる。既に情報ネットワークを駆使した統合生産(CIM)が始まっているが、このような動きは今後更に拡大し加速され、質的にも高度なものとなっていくであろう。

第4に、上述の情報・データ・知識の統合化・ネットワーク化は、AI駆動型の設計システムや知能化生産システムの発達を促し、それらは更に知識創成システム(Knowledge Creation System)や知識獲得システム(Knowledge Acquisition System)の実用化へと続いていく。統合された情報・知識は、企業や各種機関における人材の教育訓練や能力開発のための有用な資源となり、それらを活用した計算機援用教育・訓練システムの発達も当然予想される場所である。更にその先には、人機能支援工学の展開がある。

第5に、今後の技術開発競争は材料技術を競う側面が強くなるであろう。すなわち、新技術・新製品の開発に際しては、新しい機能を具備する材料の開発が求められる場合が多くなっており、高機能材料無くしては、優位性を有する技術や製品を生み出すことが困難になりつつある。高強度・高靱性・高延性金属材料、電磁機能性高分子材料、超高強度金属間化合物、高延性非晶質金属材料、FRM、PRM、FRP、C/Cコンポジット、単結晶材料、多孔質材料、超高純度金属材料、超微粉、超薄膜、超平滑箔帯、傾斜機能材料、等々の製造および利用技術の拡張および深化が求められている。多様な材料の形態・組成・純度・内部構造・外部寸法形状、電磁気的特性、光学的特性、あるいは力学的特性、などを所要の目的に適するようにつくり込む技術は、超高集積回路や人工

衛星の開発、高温超電導技術や原子力利用技術の開発等いわゆる先端技術にかかわる分野ばかりでなく、新エネルギーシステム、極低燃費自動車、高機能移動体通信システム等、身近な社会生活を支える分野においても重要であり、その発展を左右する基本的な要因の一つである。

第6に、各種の基盤技術の高度化の相乗効果により、従来不可能とされてきた様々な生産機械あるいは生産システムの開発と活用も進展するであろう。例えば、多次元遠隔監視システムの下で無人で操業を続ける広域分散型生産システム、劣悪な環境下でも安定的な生産活動が可能な耐極限環境生産機械並びに生産システム、超微細な製品を生産し検査し組立てることが可能な超高精細生産システム、高度な省エネルギー機能を有し、騒音・排出物等を極力抑制した高クリーン生産システム、などがそれである。

4 新しい創造力の育成

21世紀に予想される生産技術体系の急激且つ広範な変化を先導し、社会的・経済的要求に応え、併せて我国生産技術の優位性を維持し、且つ知識・技術の両面から国際社会に貢献していくためには、我国の研究開発環境および人材育成体制の抜本的な見直しと思い切った投資が必要である。

我国の研究開発環境については、既に様々な角度から多くの問題が指摘されている。ここではそれらを逐一挙げる余裕は無いが、およそ全ての問題は次の一点に集約され得る。即ち、「研究開発分野における公的投資の著しい不足」である。国の研究開発の中核を担う国立大学・国立研究機関の老朽化や研究環境の劣悪化が指摘されて久しいが、およそあらゆる分野で技術開発課題が高度化し、国際的な技術競争が先鋭化している現在、このような状況を放置することは許されない。

政府は、先進的な研究・教育施設の整備、研究・教

育環境の抜本的な改善に直ちに着手すべきである。その過程においては、人的交流を促進するシステムの整備や大型教育設備の共同利用化、あるいは学協会等の学術団体支援制度の拡充なども行われなくてはならない。国際的な人的交流の促進も必要であり、それは、人材育成の面での国際貢献へと直結している。国内における公的研究開発体制並びに公的人材育成体制の拡充・整備は、国外への技術移転の促進のためにも極めて有力な方策であり、ODAの枠組の中でも強力に進めるべき政策である。

技術の質的变化や課題の先鋭化、研究開発環境の激変等、人材育成問題を取巻く状況は急を告げている。理工系教育の衰弱と理工系人材の能力低下が年を追って深刻化しているが、このような状況は、我国の生産技術の体力を低下させ、やがては技術体系の崩壊を招く結果になる。既に一部にその徴候が見受けられ、猶予ならない状況にさしかかりつつある。高校・大学・大学院を含む理工系教育の枠組と質を大幅に拡充し、人材の育成体制の建て直しを急ぐ必要がある。

高度な人材の育成には高度な教育施設が必要であり、学生や若者達に先進的な科学技術とその成果に直接接触れる機会を与えることが何よりも大切である。この意味から、現在の老朽化した大学・大学院における教育施設は、極めて劣悪な状況にあり、大幅な改善が必要である。ここでもやはり、公的投資の思い切った増額が求められる。またそれを実現していく過程では、産・学間の協力の強化や人的交流の促進が同じく検討されなくてはならないであろう。

新しい創造力の育成のために、新しい視点と知識と行動とが求められる。21世紀へ向けて、我々は、意識の改革、知識の改革、行動の改革、を急がなくてはならない。

技術解説

九州大学大学院工学研究科
機械科学専攻 教授

村瀬 英一

Eiichi Murase



リーンバーンとパルスジェット点火

Lean Burn and Pulsed Flame Jet Ignition

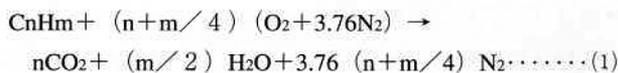
1 緒言

現在の自動車用ガソリンエンジンの最大の課題は、エネルギー問題と環境問題を同時に解決することである。エネルギー問題とは、有限なエネルギー資源である石油から、如何に効率よく仕事を取り出すかである。このことは、地球温暖化の原因と言われている二酸化炭素の排出抑制にもつながる。一方環境問題とは、主に一酸化炭素 (CO)、炭化水素 (HC)、窒素酸化物 (NO_x) の排出抑制である。COは体内組織への酸素運搬機能の阻害 (一酸化炭素中毒) を引き起こす。HCは、未燃あるいは一部酸化した燃料であるが、NO_xと共存すると、太陽光により光化学反応を起こし、オキシダント (主にオゾン) を生成して、いわゆる光化学スモッグの原因となる。さらにNO_xは、肺に対する直接的な毒性を示し (肺水腫)、また雨滴に溶解して酸性雨の原因ともなる。

そこで、これらのエネルギー問題と環境問題を同時に解決する一つの有望な手法として、希薄混合気の使用がある。すなわち「リーンバーン」である。ここで紹介するパルスジェット点火は、リーンバーンにおける希薄混合気の実的な点火と燃焼促進に有効と考えられる新しい点火方式である。

2 リーンバーン

石油系の燃料 (炭化水素系燃料) は、炭素原子Cと水素原子Hから成っており、一般にC_nH_mで表される。その空気中における燃焼 (酸化反応) は次の化学式で示される。



式(1)は、燃料を構成している炭素と水素が完全に酸化される際の物質の関係を表している式であり、この時の物質の関係性を化学量論 (Stoichiometry) という。ガソリンの場合、m/nの値はおよそ1.87であり、式(1)から化学量論における燃料に対する空気の質量の比を求めると、約14.6となる。すなわち、ガソリン1kgと空気14.6kgを混合させて燃焼させると、お互いに過不足無く酸化反応が起きるとい

うことである。この量論関係より空気が多い混合気を希薄混合気といい、希薄混合気による燃焼をリーンバーン (希薄燃焼) という。ここで混合気の濃度を表すパラメータとして、当量比φがある。これは、(化学量論における燃料に対する空気の質量比) / (実際の混合気における燃料に対する空気の質量比) で定義される。よって、化学量論の混合気の当量比は1になり、希薄混合気では1より小さくなる。また、燃料が化学量論より多い場合を過濃混合気といい、当量比は1より大きくなる。

2.1 リーンバーンと熱効率

希薄混合気による燃焼、リーンバーンがなぜ効率よく燃料が持つ熱エネルギーから仕事を取り出すことができるかを考える。

ガソリンエンジンは、熱力学のサイクル論では、オットーサイクル (等容サイクル) で表現される¹⁾。これは、断熱圧縮—等容受熱—断熱膨脹—等容放熱で構成されるもので、これから次の関係式が導かれる。

$$\eta = 1 - (1/\epsilon)^{\gamma-1} \dots \dots \dots (2)$$

ここでηは熱効率で、燃料が持つ熱エネルギーのどれだけが仕事に変換されたかを表わすパラメータであり、この値が大きいく程、熱エネルギーの利用度が高いことを表す。εは圧縮比、γは比熱比 (定容比熱に対する定圧比熱の比) である。式(2)は、オットーサイクルの熱効率が、圧縮比と比熱比のみの関数であり、どれだけの熱エネルギーが加わったか、温度が何度まで上がったか、などには無関係であるという重要で興味深い関係性を示している。そして、圧縮比と比熱比が大きいくほど熱効率が高くなるのがわかる。

しかし、一般の自動車用ガソリンエンジンの圧縮比は、ノッキングという現象のため、高くても10前後どまりである。ノッキングとは、異常燃焼のひとつである¹⁾。正常な燃焼の場合、スパークプラグのギャップ間への火花放電により火炎核が形成され、その後燃焼室壁面に向かって、火炎面と呼ばれる燃焼反応帯が伝ばして行き、燃焼室内の全混合気を燃焼させる。その際、火炎面の伝ばとともに、そ

の前方にある未燃の混合気は断熱圧縮を受け、温度と圧力が高くなる。そのような断熱圧縮を受けた燃焼室端部にある未燃の混合気が、勝手に燃焼を始めることがある。これを自着火というが、温度と圧力が高い場で自着火を起こすので、残りの混合気は爆発的に燃焼して急激な圧力上昇を起こし、燃焼室内に大きな振幅の圧力波が往復することになる。この圧力振動の結果、エンジンから「カラカラ」という金属音が聞こえてくる。これがノッキングである。ノッキングが強くなると、最後にはピストン等の焼損に至ることもあり、避けなければならない現象である。これに対しては、自着火が起きにくい燃料（オクタン価が高い燃料）の使用などで対処しているが、ガソリンを使用する限り、現状では圧縮比を上げることには限度がある。

次に比熱比の問題であるが、酸素や窒素などの2原子分子の比熱比は1.40と大きく、原子数が多い多原子分子ではそれより小さくなる²⁾。よって、主に窒素と酸素から成る空気の比熱比も1.40となる。すなわち、混合気が希薄になるほど空気の割合が大きくなり、それに伴い比熱比も大きくなる（1.40に近づく）。このことが、リーンバーンの熱効率が高くなる大きな理由である。また、同じ燃料量に対して空気量が多くなるということは、吸気管にある絞り（スロットル）の開度が大きくなり、空気をエンジンシリンダに吸入する際のポンプ損失が低減することになる。更にリーンバーンは燃焼温度が低いので、壁面への熱損失も小さくなる。これらの理由により、リーンバーンは燃料が持つ熱エネルギーから、効率よく仕事を取り出す一つの有力な手法となる。

2.2 リーンバーンと窒素酸化物

COとHCは、共に燃料を完全に燃焼させることにより排出を低減させることができる。ところが窒素酸化物NO_x（ガソリンエンジンでは主として一酸化窒素NO）は、空気中の窒素と酸素、それに燃焼による高温によって主として生じる（サーマルNO）¹⁾。よって化学量論付近の混合気を用いると、COとHCの排出は抑えられるが、火炎の温度が高いので多量の窒素酸化物を排出することになる。一方、リーンバーンは燃焼温度が低いので、窒素酸化物の排出を抑えることができる。すなわち、希薄混合気を完全に燃焼させると、CO、HC、NO_xの排出を同時に低減できることになる。

以上より、リーンバーンはエネルギー問題と環境問題を一挙に解決する有望な手法であることがわかる。しかし希薄混合気は点火が難しく、かつ燃焼速度が遅いため、安定して燃焼させることが難しい。ここで紹介するパルスジェット点火は、希薄混合気の確実な点火と燃焼促進に有効と考えられる新しい点火方式である。

3 パルスジェット点火による燃焼促進

3.1 定容燃焼容器による燃焼実験

ここでは、大気圧・室温状態の混合気を定容燃焼容器に充てんした場合の燃焼実験結果から、パルスジェット点火の燃焼促進効果を示す^{3)~8)}。実験に用いた定容燃焼容器は内径100mm、幅30mmの偏平円筒状で、両側面に観測窓を配置している（図-1）。燃焼室上部にイグナイタを取り付け、また下部には混合気の導入口が設けられている。点火のタイミングなどは、コンピュータからのパルスにより制御し、また圧力変換器からの信号はAD変換を行い、直接コンピュータのメモリに書き込んだ。実験には、大気圧、室温状態、当量比 $\phi = 0.8$ のメタン-空気の希薄混合気を用いた。

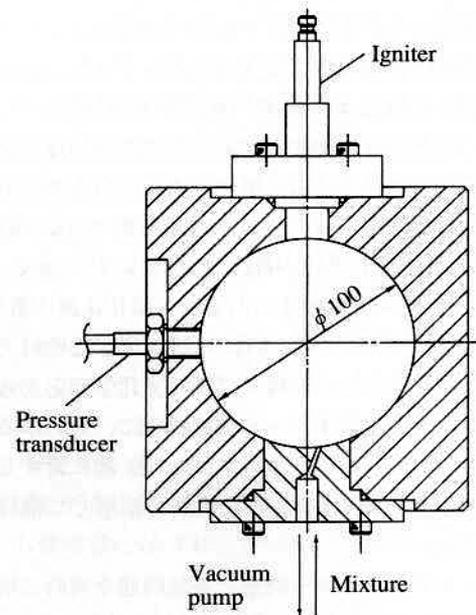


図-1 定容燃焼容器

3.1.1 パルスジェットイグナイタ

パルスジェットイグナイタの概要とキャビティ部の詳細を図-2に示す。イグナイタは一般のスパークプラグと同程度の大きさで、小さなキャビティとオリフィスを有する。キャビティ内にはのみ過濃混合気を導入し、キャビティ内で通常の火花放電を行わせて、キャビティ内の過濃混合気を燃焼させる。その結果、オリフィスから化学的に活性な不完全燃焼生成物を含むジェットが燃焼室内に噴出し、燃焼室内の希薄混合気を点火する。キャビティへの過濃混合気の導入は、ガソリンエンジン用の燃料噴射弁を用いた。噴射された過濃混合気は、燃焼室からの逆流を防ぐためのチェックバルブ、テフロン製の絶縁体、中空の中心電極（外径2mm、内径1.5mm）を通してキャビティ内へ噴出する。（なお、中心電極のキャビティ側の先端は閉じられており、図-2に示すように、側面に設けられた噴出口（直径1mm×

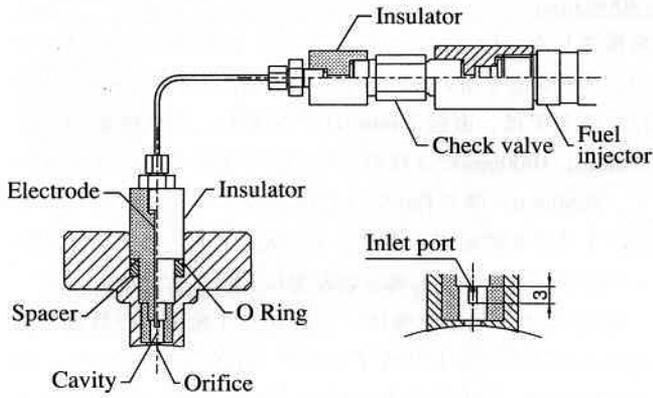


図-2 パルスジェットイグナイタとキャビティ部詳細

2個) から過濃混合気がキャビティ内へ噴出するようにした。

キャビティはテフロン製で、容積は37~500mm³、オリフィス直径は2.5~4.0mmである。またキャビティ内へは、当量比 $\phi_c=1.5$ のメタン-空気の過濃混合気を0.1MPa (ゲージ圧) で噴射し、燃料噴射弁作動用パルスの幅を50ms、点火時期 (燃料噴射弁作動用パルスの立上りから火花放電開始までの時間で定義した⁴⁾) を50msとした。すなわち、燃料噴射終了と同時に火花放電が開始するようにした。

3.1.2 燃焼圧力とシュリーレン写真

図-3に火花放電からの燃焼室内の圧力変化 (ゲージ圧) を示す。図中、Spark ignitionは市販のスパークプラグによる点火であり、以後これを「通常点火」と称する。図-3はオリフィス直径を2.5mmと一定とし、キャビティ容積を37、170、500mm³と変化させた場合の結果である。図-3より、パルスジェット点火は通常点火に比べて圧力の立上りが早く、かつ高い圧力上昇率を示しており、燃焼促進効果が確認される。図-4に燃焼の高速度シュリーレン写真を示す。シュリーレン写真とは、密度変化の情報が得られる撮影法

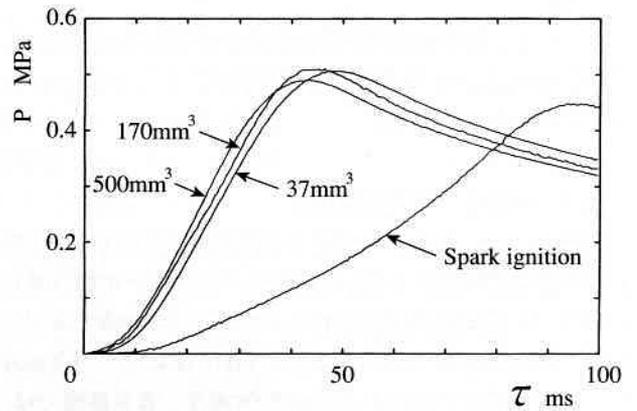
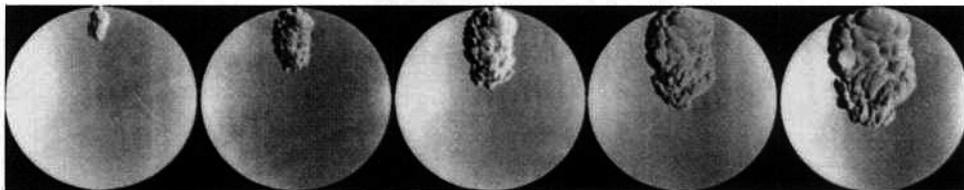


図-3 火花放電からの燃焼室内の圧力変化

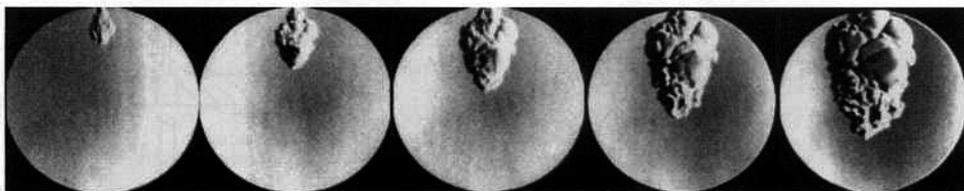


通常点火



キャビティ容積: 37mm³

オリフィス直径: 2.5mm



キャビティ容積: 170mm³

オリフィス直径: 2.5mm

図-4 通常点火とパルスジェット点火による火花放電後1, 3, 5, 7, 9msにおける燃焼の高速度シュリーレン写真

の一つで、火炎のような急激な密度変化を伴う現象の観測に用いられる⁹⁾。図-4より、通常点火では火炎がほぼ球状に層流で伝ばしているが、パルスジェット点火では、オリフィスから噴出したジェットにより、燃焼が乱流状態で進行しており、燃焼が促進されている様子が観察される。

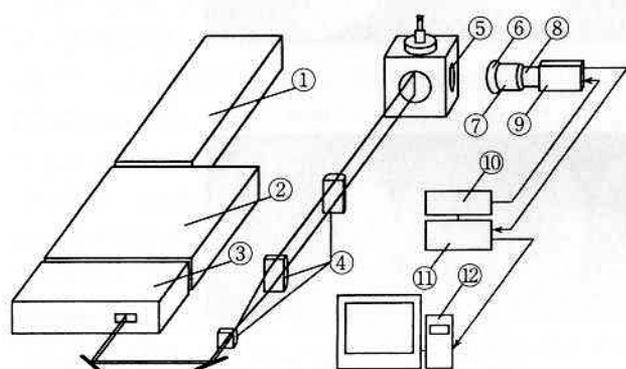
以上、パルスジェットは希薄混合気の点火と燃焼促進に有効であることが確認されたが、次にその点火機構を調べる目的で、ジェット内のラジカル（活性化学種）の計測を行う。

3.2 ラジカル蛍光計測によるパルスジェットの点火機構

ここでは、炭化水素系燃料の燃焼で重要な役割を果たしているOHラジカルの蛍光計測を行い^{10)~12)}、パルスジェットの点火機構を調べる。

3.2.1 平面レーザー誘起蛍光法

一般に、レーザーにより分子を電子励起準位の特定の振動・回転準位に遷移させると、低いエネルギー準位へ遷移する際に特定波長の蛍光を放つ。その蛍光を計測するのがレーザー誘起蛍光法（LIF）である。LIFではレーザーの励起波長の選定が重要であるが、ここでのOHラジカル計測では、 $X^2\Pi - A^2\Sigma$ 遷移における（1，0）バンド、波長283nmを吸収線とし、（0，0）バンド、波長310nm付近の蛍光を計測対象とした¹¹⁾。またOHラジカルの2次元分布を得るために、レーザー光をシート状にして計測する、平面レーザー誘起蛍光法（PLIF）による計測を行った。実験装置の概略を図-5に示す。計測では、YAGレーザー①の第二高調波



- | | |
|--------------------------|---------------------|
| ① Nd:YAG laser | ② Dye laser |
| ③ UVX harmonic generator | ④ Cylindrical lens |
| ⑤ Combustion chamber | ⑥ Band-pass filter |
| ⑦ U-V lens | ⑧ Image intensifier |
| ⑨ CCD camera | ⑩ Gate controller |
| ⑪ Frame memory | ⑫ Personal computer |

図-5 平面レーザー誘起蛍光計測における実験装置

(400mJ/pulse @532nm) を励起光源として色素レーザー②を共振させた。色素レーザーから発せられた可視光からU-Vパッケージ③を用いてU-V光（12mJ/pulse @283nm）を得た。ここでは、直径7mmのU-V光を、焦点距離70mm、500mm、1000mmの3枚のシリンダリカルレンズ④を用いて、幅60mm、厚さ約0.5mmの平行なシート状にして、オリフィスから噴出するジェットに入射した。なおレーザーシートはジェットの中心軸を含む面に一致させた。

OHラジカルの蛍光像は、入射レーザー光からの散乱を除去するためにバンドパスフィルタ（中心波長307.8nm、半値幅14.1nm、最大透過率20.5%）⑥と、ゲート機能付きイメージンシファイヤ⑧を介しCCDカメラ⑨に取り込んだ。CCDカメラからの信号は画像メモリ⑪に保存され、コンピュータ⑫で画像処理を行い解析した。なおイメージンシファイヤのゲート時間はゲートコントローラ⑩で制御し、コンピュータで点火時期との同期を取った。イメージンシファイヤのゲート時間は、OHラジカルの自発光の影響を除くため、100nsとした。

3.2.2 燃焼容器

OHラジカルの蛍光計測に用いた定容燃焼容器を図-6に示す。PLIFによりラジカルの蛍光を計測するには、レーザー光入射用の窓とそれに垂直方向に蛍光観測用の窓が必要となる。よって、燃焼室は直径60mmの相貫体に近い形状で、向かい合う4面に直径60mmの観測窓を設けた。観測窓は、U-V光を透過させるために石英製とした。燃焼容器上部にはイグナイタ、下部には混合気の導入口が備わっている。なお燃焼室には当量比 $\phi = 0.8$ のメタン-空気の希薄混合

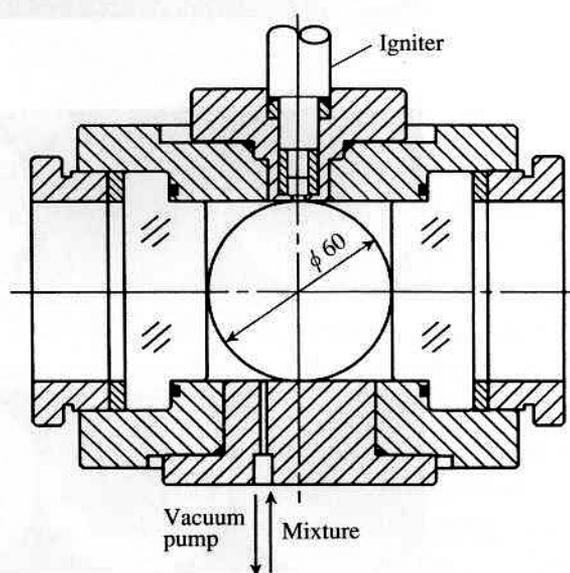


図-6 OHラジカルの蛍光計測に用いた定容燃焼容器

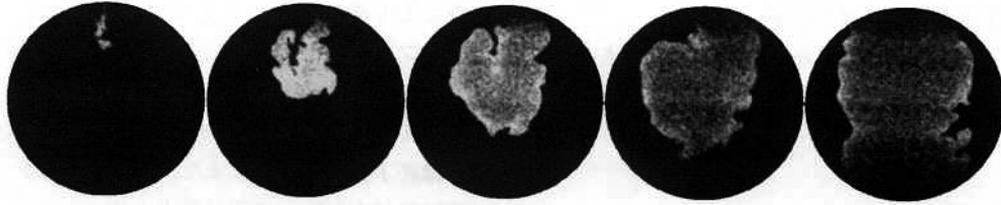


図-7 火花放電後1, 3, 5, 7, 10msにおけるOHラジカル蛍光像
観測領域：直径60mm



図-8 火花放電後0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5msにおけるOHラジカル蛍光像
観測領域：25×30mm

気を充てんした。また、パルスジェットイグナイタは、キャビティ容積170mm³、オリフィス直径2.5mmのものを用い、キャビティへは、当量比 $\phi_c=1.5$ の過濃混合気を噴射した。

3.2.3 OHラジカルの蛍光像

図-7, 8にOHラジカルの蛍光像を示す。図-7は、火花放電後10msまでの観測窓全体からの像であり、図-8は、更に詳細に観測するために、火花放電後1.5msまでを拡大した像である。図-7より、火花放電後3msで、ジェット内部のほぼ全域において蛍光が強くなっていることがわかる。また火花放電後5msでは未燃域と既燃域の境界において蛍光が強く、火花放電後7ms以降では既燃域での蛍光が弱くなっている。図-9にOHラジカル蛍光面積の火花放電からの時間変化を、また図-10に、面積平均したOHラジカル蛍光強度の火花放電からの時間変化を示す。図-9の縦軸は、蛍光面積を観測領域の全面積で割って正規化してある。また比較のために、キャビティ内へ燃焼室内と同じ当量比 $\phi_c=0.8$ の希薄混合気を噴射した際のデータも載せている。図-9より、 $\phi_c=1.5$ の方が $\phi_c=0.8$ に比べOHラジカルの蛍光領域が広く、過濃混合気の使用により、より多くのOHラジカルが生成されていることがわかる。図-10より $\phi_c=1.5$ では火花放電後3msで平均発光強度が最も強く、その後時間の経過とともに弱くなっている。一方 $\phi_c=0.8$ では、火花放電後5ms付近で平均発光強度が最も強く、その後は弱くなり、火花放電後10msでは $\phi_c=1.5$ との差はほとんどなくなっている。これは、オリフィスから噴出したジェットが燃焼室内の希薄混合気を巻き込み、燃焼が進むが、 $\phi_c=1.5$ では火花放電後3ms付近、 $\phi_c=0.8$ では火花放電後5ms付近までジェットの活性度が持続した後、通常の火炎伝ばに推

移したためと考えられる。また、通常の火炎伝ばに推移するまでは、 $\phi_c=1.5$ の方が $\phi_c=0.8$ に比べ平均発光強度が強いことがわかる。

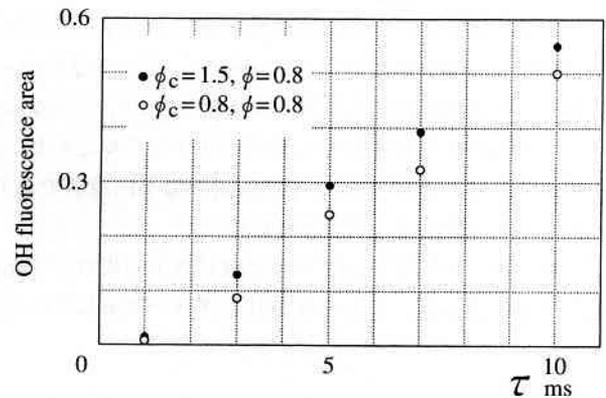


図-9 火花放電からのOHラジカル蛍光面積の変化

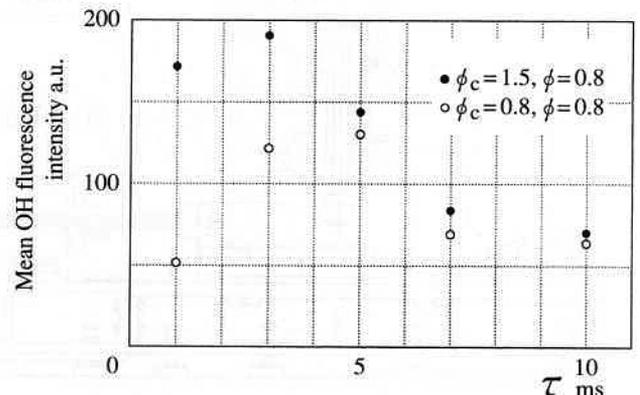


図-10 火花放電からの面積平均OHラジカル蛍光強度の変化

3.3 高温・高圧下における燃焼実験

ここでは、エンジン内の燃焼に近い状態、すなわち、混合気をピストンで圧縮して、高温・高圧にした燃焼実験¹³⁾~¹⁵⁾について述べる。

3.3.1 急速圧縮装置

実際のエンジンの燃焼場にできるだけ近く、かつ各種因子の影響を基礎的に把握するための実験装置として急速圧縮装置がある。急速圧縮装置とは文字どおり、ピストンで混合気を急速に圧縮し、圧縮終了後はピストンをその位置に固定し、燃焼実験を行うものである。また、燃焼することにより更に燃焼圧がピストンに働くので、それらに打ち勝つだけのピストン固定力が必要となる。ここでは、カムを利用したコンパクトな急速圧縮装置を試作した¹⁶⁾。装置本体は図-11の右から、蓄圧部、カム駆動ピストン部、カム部、圧縮ピストン部、燃焼室より成る。また混合気を作り、装置に供給するための予混合容器を備えている。

急速圧縮装置の動作原理は次の通りである。空気ポンペ⑬に圧縮空気を蓄えておき、隔膜⑭をDCソレノイド⑯で駆動される針⑮によって破碎することにより噴出した圧縮空気、カムに連結した直径160mmのカム駆動ピストン⑪を駆動する。カム⑦はリニアローラウェイ⑧上に乗っており、カム駆動ピストンよりロッド⑨を介して駆動される。圧縮ピストン③は直径115mmで、ローラフォロア⑥およびロッド④を介して、カム曲線に沿って上方へ押し上げられ圧縮を行う。カム部の長さは220mmで、リフト量は95mmであり、カム曲線は最大躍動と最大加速度が小さくなるように、滑らかな特性を持つ5次のポリノミアルとした。また燃焼室①は、直径70mm、幅23mmの偏平円筒状であり、イグナイタは燃焼室上部に取り付けた。

圧縮比は、ローラフォロアと圧縮ピストン用ロッド結合部のネジによって、もしくはシリンダベース部にシムを挟

むことで調整でき、ここでは10.6とした。また隔膜には、セロファン(厚さ35 μ m)を3枚重ねて使用し、空気ポンペ内の圧力は、0.37MPa(ゲージ圧)とした。装置の動作タイミングはコンピュータで制御し、点火のタイミングは圧縮終了直後とした。また、燃料はメタン-空気混合気で、圧縮前は大気圧・室温状態とした。

図-12に市販のスパークプラグを使用した場合の隔膜破碎パルス発生時からの燃焼室内の圧力変化(ゲージ圧)を示す。燃料は、当量比 $\phi=0.65$ のメタン-空気の希薄混合気である。隔膜破碎用のパルス発生から、針が駆動して隔膜が破碎するまでに、数十ミリ秒を要するため、約60ms後から圧縮が始まり、その後約35msで圧縮が終了し、その直後に点火、燃焼していることがわかる。

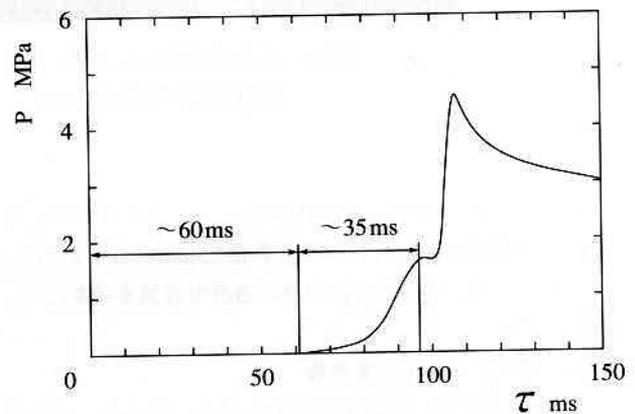


図-12 隔膜破碎パルス発生時からの燃焼室内の圧力変化

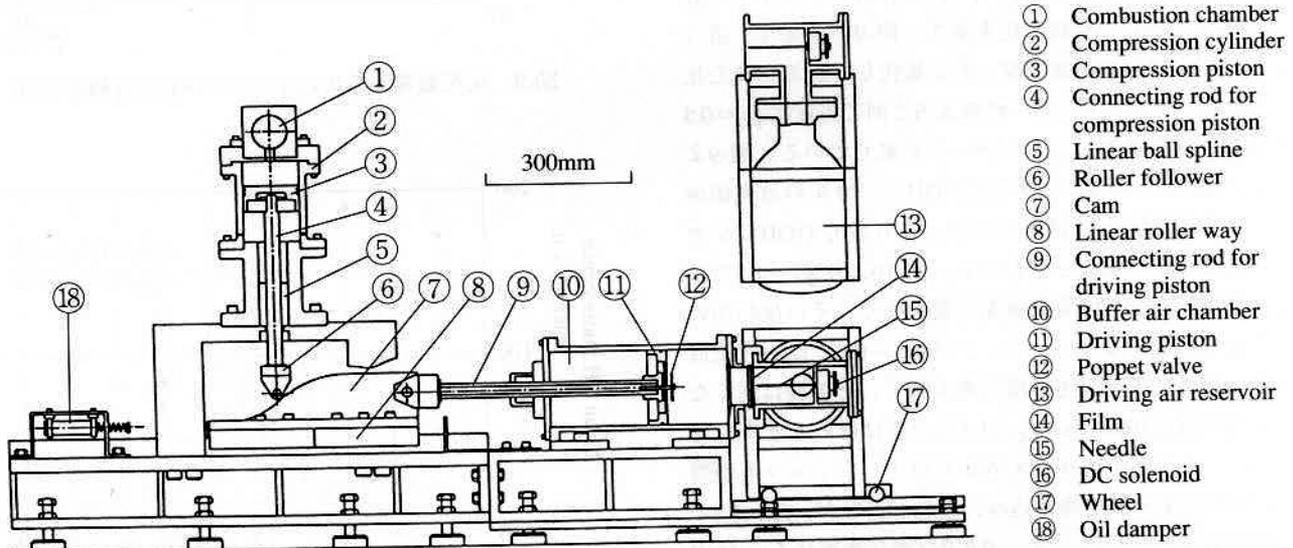


図-11 カムを利用した急速圧縮装置

3.3.2 パルスジェットイグナイタ

実験に用いたパルスジェットイグナイタの概要とキャビティ部の詳細を図-13に示す。これは、大気圧・室温での実験で用いたもの(図-2)を、よりコンパクトにして、且つキャビティをセラミックス製としたものである。キャビティ容積を500と250mm³、オリフィス直径を4.0と2.5mmとした。また高圧下での火花放電を可能にするため、接地電極は図-13に示すように、直径1.0mmの針状電極をキャビティ側壁に設け、火花放電間隙を1.0mmとした。

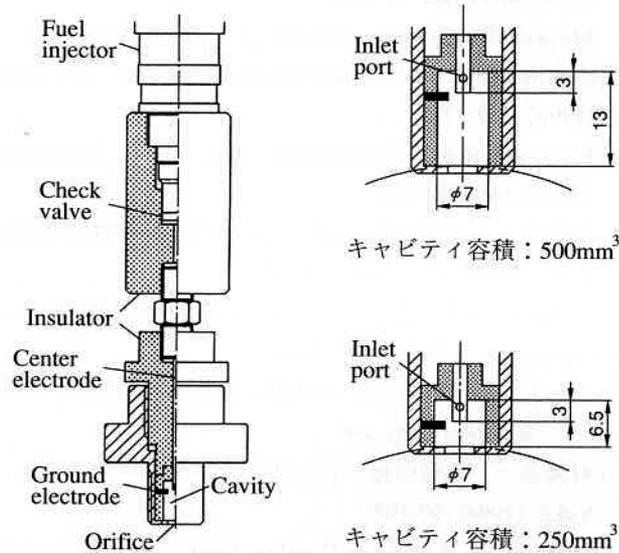


図-13 高温・高圧用のパルスジェットイグナイタとキャビティ部詳細

3.3.3 燃焼圧力とシュリーレン写真

まず希薄可燃限界について、パルスジェット点火と市販のスパークプラグによる点火(通常点火)との比較を行った。希薄可燃限界は、混合気が点火して、その後燃焼が持

続的に起こる、一番希薄な混合気の濃度を表す。通常点火では、当量比 $\phi=0.62$ 付近から点火、燃焼しない確率が高くなり $\phi=0.60$ では点火しなくなった。一方パルスジェット点火は、 $\phi=0.60$ では確実に点火、燃焼し、その圧力波形にも大きなばらつきは見られなかった。さらに $\phi=0.57$ 付近まで当量比を下げると、点火の確率が50%程度まで落ち、圧力波形のばらつきも大きくなった。そして $\phi=0.55$ 付近でほとんど点火しなくなった。このように、高温・高圧場において、パルスジェット点火による希薄可燃域拡大の効果があることが確認された。

次にパルスジェット点火と通常点火が、ともに確実に点火できる当量比 $\phi=0.65$ において、両者の比較を行った。パルスジェット点火は、キャビティへの噴射圧を2.06MPa(ゲージ圧)、噴射期間を5msとし、火花放電は圧縮終了直後に行った。図-14に火花放電からの圧力変化(ゲージ圧)を示す。どの条件においても点火後、若干圧力が減少している。これは圧縮で燃焼室内の混合気の温度が上がっているため、燃焼室壁面への熱損失が大きく、その量が燃焼による発熱を上回るためである。図-14よりオリフィス直径

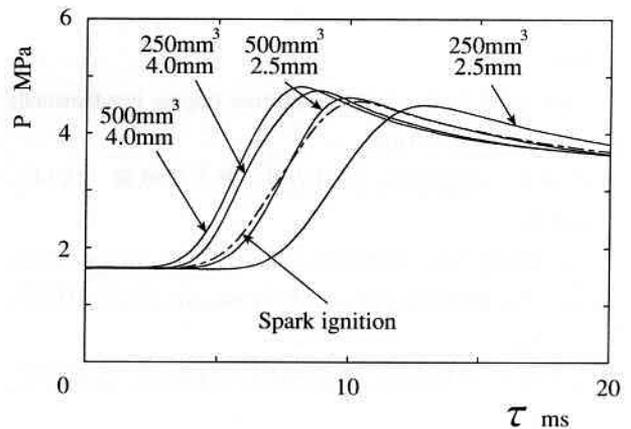
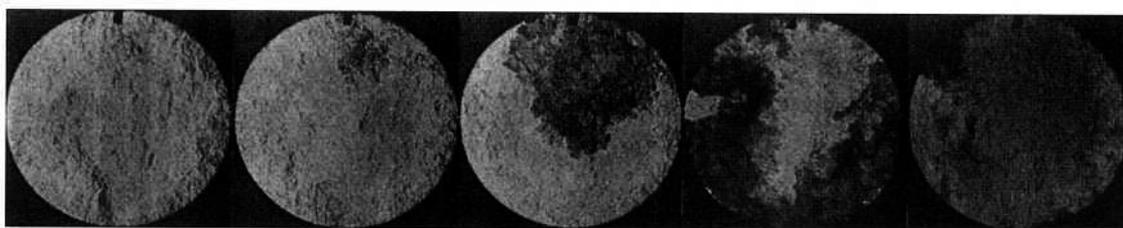
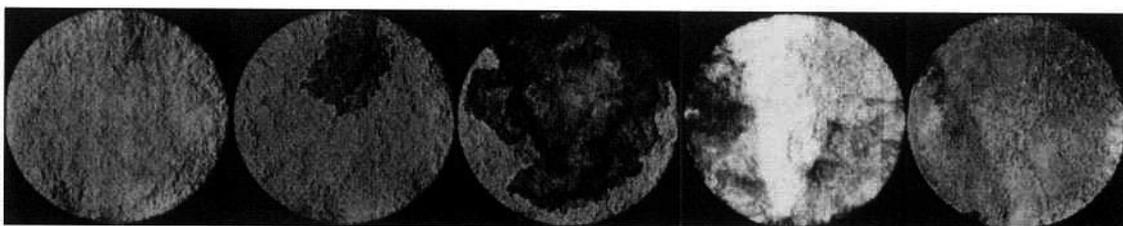


図-14 火花放電からの燃焼室内の圧力変化



通常点火



キャビティ容積：500mm³

オリフィス直径：4.0mm

図-15 通常点火とパルスジェット点火による燃焼の高速度シュリーレン写真
コマ間隔：2.0ms

が4.0mmの場合、パルスジェット点火は通常点火より圧力の立上りが早く、かつ高い圧力上昇率を示していることがわかる。しかし、オリフィス直径が2.5mmになると圧力の立上りが遅れる結果となった。これは、オリフィス部での熱損失が大きかったためと考えられる。またその影響の度合いもキャビティ容積の大きさで異なることなどから、キャビティ容積とオリフィス直径の選択の重要性が明らかになった。また図-15に当量比 $\phi=0.65$ での、通常点火とパルスジェット点火の高速度シェリーレン写真を示す。ここでキャビティ容積は500mm³、オリフィス直径は4.0mmである。図-15より、パルスジェット点火による初期燃焼領域の拡大効果と燃焼促進効果が確認できる。

4 結言

リーンバーンにおけるパルスジェットの点火および燃焼の促進効果を定容燃焼容器、並びに急速圧縮装置を利用した燃焼実験により明らかにした。今後平面レーザ誘起蛍光法におけるレーザの波長を変えることによりCHなど、他のラジカルの挙動を調べ、さらに詳細な点火機構を明らかにしていきたい。

参考文献

- (1) Heywood, J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals* (1988), McGraw-Hill.
- (2) 森康夫, 一色尚次, 河田治男, *熱力学概論* (1974), 養賢堂.
- (3) Oppenheim, A.K., Beltramo, J., Faris, D.W., Maxson, J.A., Hom, K., Stewart, H.E., *SAE Trans.*, 98, Sec.3 (1990), 175-182.
- (4) 村瀬英一, 小野信輔, 花田邦彦, 仲原彰治, 遠藤浩之,

Oppenheim, A.K., *機械学会論文集*, 58-546, B (1992), 561-567.

- (5) 村瀬英一, 小野信輔, 花田邦彦, 多良文宏, Oppenheim, A.K., *機械学会論文集*, 58-556, B (1992), 3795-3801.
- (6) 村瀬英一, 小野信輔, 花田邦彦, 松本正和, Oppenheim, A.K., *機械学会論文集*, 59-568, B (1993), 3994-4000.
- (7) Murase, E., Ono, S., Hanada, K., Oppenheim, A.K., *SAE Paper*, No.942048 (1994).
- (8) Murase, E., Ono, S., Hanada, K., Oppenheim, A.K., *Combustion Science and Technology Vols.113-114* (1996), 167-177
- (9) Fristrom, R.M., Westenberg, A.A., *Flame Structure* (1965), McGraw-Hill.
- (10) 村瀬英一, 小野信輔, 花田邦彦, 尹正虎, *機械学会論文集*, 64-617, B (1998), 312-319.
- (11) Hanson, R.K., *21th, International Symposium on Combustion* (1986), 1677-1691.
- (12) 村瀬英一, 花田邦彦, 尹正虎, *機械学会論文集*, 65-630, B (1999), 451-456.
- (13) 村瀬英一, 小野信輔, 花田邦彦, *燃焼の科学と技術*, Vol.2 (1994), 97-103.
- (14) Murase, E., *Archivum Combustionis*, Vol.15, No.3-4 (1995), 173-185.
- (15) 村瀬英一, 小野信輔, 花田邦彦, 尹正虎, Oppenheim, A.K., *機械学会論文集*, 62-594, B (1996), 801-807.
- (16) 村瀬英一, 小野信輔, 花田邦彦, *内燃機関*, Vol.31, No.395 (1992), 9-13.



技術解説

新日本製鐵(株)
主幹研究員
内野 耕一
Koichi Uchino



鉄道用レールの現地溶融溶接技術の開発

Development of Field Welding Technology for Rails

1 はじめに

鉄道の使命として、安全性を前提により効率的な輸送体系をつくるのが重要である。具体的には、より速くより大量に人や貨物を輸送するため、列車の高速化および重載化（高軸重化）が図られている。こうした状況はレールにとって極めて過酷な使用環境となる。特に車輪と接触するレール頭部には大きな輪重、横圧、接線力が作用し、複雑な応力場が形成される。また、レール底部では大きな繰返し曲げ応力が働く。その結果、レール鋼には耐摩耗性に加え、耐塑性フロー、耐疲労損傷および曲げ疲労強度の向上などが要求される。これに応えるため、圧延後直後熱処理（In Line Slack Quench）を用いた微細パーライト組織を呈する高強度レール¹⁾、過共析鋼レール²⁾、耐転がり損傷性を向上させたベイナイト鋼レール³⁾などが開発されている。

一方、鉄道レールはその保守点検の簡素化、騒音や振動の抑制、乗り心地の向上、高速走行安定化などの観点から、溶接によるロングレール化が進められている。このロングレール化に用いられる溶接法には圧接法に属するフラッシュユバット溶接とガス圧接、および溶融溶接法に属するエンクローズアーク溶接とテルミット溶接がある⁴⁾。前者は主に工場溶接や基地溶接に、後者は現地溶接に用いられる。

圧接法に比較し、溶融溶接法は溶接部の性能が溶接材料や溶接プロセスに左右されるため、レール鋼に適切な溶接技術の開発が必要である。そこで、本論では既存技術ではいくつかの問題を含むエンクローズアーク溶接法の改善および将来の脱溶接技能を見据えたレール自動溶接法の開発について述べる。

2 新エンクローズアーク溶接（EAW）技術の開発

2.1 既存EAW法における問題点

EAW法は開先間隔17mm程度のI開先突き合せ継ぎ手内部を被覆アーク溶接棒を用い、底部を下向き多層溶接した後、レール腹部と頭部をレール形状に合わせた水冷銅当金で囲い、溶融スラグを排除しながら連続的に棒継ぎ溶接を行う方法である⁵⁾。この既存法の問題点は用いる溶接棒が

引張強さ780MPa級の低C-低合金系であることに起因して、溶接金属部の耐摩耗性がレール母材のそれに劣り、生じた局部摩耗が振動や騒音の一因となること⁶⁾、および溶接熱影響部（HAZ）に高温液化割れが発生し易く、疲労損傷発生の原因となること⁷⁾であった。

2.2 溶接金属の高C化による改善

溶接部を一部含む円筒状の試験片を用い、同形状の車輪材を相手材として、荷重490N、すべり9%の転がり接触する西原式摩耗試験を行った。図-1は試験方法と40万回繰返し回転後の試験片表面形状を測定した結果を示す。既存の低C-低合金系溶接棒の場合、溶接部に明瞭な凹部が形成されるが、試作した高C系溶接棒の場合、凹部が全く見られない。これらの試験片の溶接部金属組織は高C系の場合、パーライトを、低C系の場合、ベイナイトを呈し、硬さは両者との同程度である。したがって、図-1の局部摩耗の差は溶接金属部の金属組織の差で生じたと考えられ、溶接金属部の高C化は局部摩耗防止に大きな効果を示すことが確認された⁸⁾。

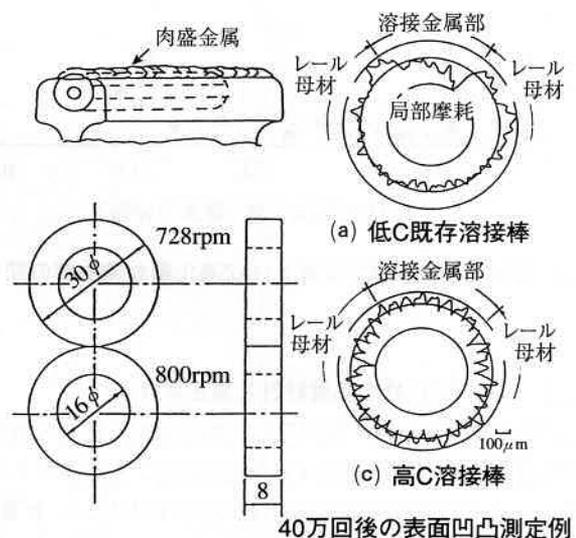


図-1 西原式摩耗試験結果⁸⁾

また、HAZの高温液化割れに関しては割れの性状からその原因が従来言われている低融点の硫化物の液化ではなく、凝固収縮が生ずる中で溶接金属とレール鋼の凝固の時間的なずれ、言い換えれば凝固温度の差にあると予測し、溶接金属とレール鋼のC量の差が主因であるとの仮説のもと以下の実証を行った。表-1に現用レール鋼の化学成分の一例を示す。Si、Mnなどの成分はレール鋼のそれと同等とし、C量のみを変化させた溶接棒を試作した。そして、レール腹部から頭部へかけてEAWを行い、融合境界に沿ってHAZの液化割れ発生を調べた。図-2にその結果をレール母材と溶接金属のC量の差および割れ発生率の関係で示した。割れ発生率は溶接線長さに対する割れ長さの比である。図よりレール母材と溶接金属のC量の差が割れ発生率に大きく影響し、C量の差を0.2mass%以下にする、すなわち、溶接金属のC量をレールと同等にすると液化割れが防止できることを確認した⁹⁾。

表-1 レール母材の化学成分例 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr
普通Cレール	0.68	0.20	0.88	0.020	0.007	—
高強度レール	0.79	0.23	0.97	0.025	0.009	0.16

以上の結果により、既存のEAW法の問題点の解決に溶接金属の高C化が有効なことを見出し、以下、レールのEAW法への高C系被覆アーク溶接棒の適用を検討した。

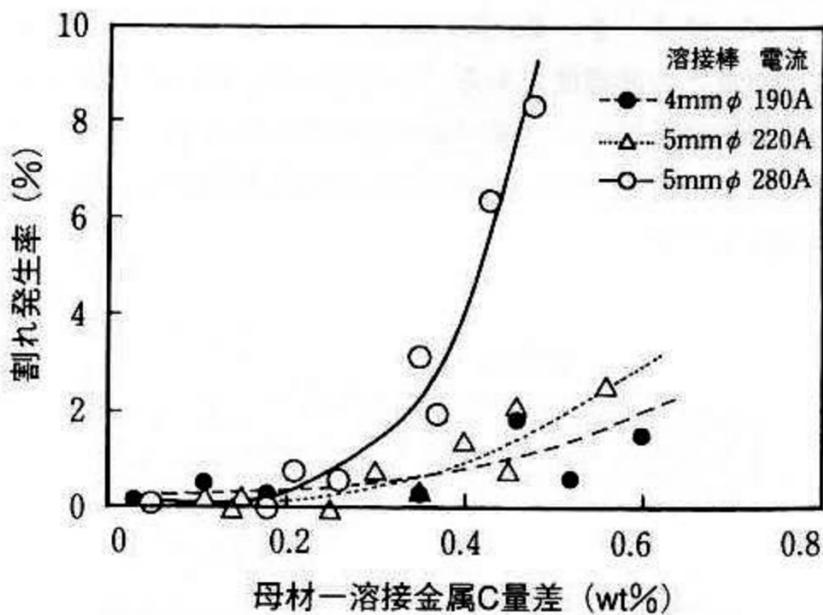


図-2 母材—溶接金属C量差とHAZ液化割れ発生率の関係

2.3 高C系溶接棒の品質設計と適正溶接条件^{10),11)}

高C系溶接棒を開発するに際し、耐低温割れ性を考慮し、被覆組成は低水素系 (CaO-CaF₂が主成分) を基本とした。しかし、この既存の被覆組成で低C系心線を用い、被覆材への黒鉛添加で溶着金属の高C化を図ると、熔融スラグのアーク柱への干渉 (まとわりつき) に伴うアークの不安

定化現象が認められた。図-3にこのアークの不安定化現象を定量的に把握するため、レーザーシュリーレンを用いた観察により検討した結果を示す。この検討結果から被覆剤への黒鉛添加を抑え、心線を高C線材にすることでアークの不安定化の改善を可能とした。なお、被覆組成もスラグ発生量の低減をはじめ、凝固スラグの再溶解性とスラグ流動性の観点からCaO/CaF₂比率およびTiO₂量の適性化により従来にない高C系溶接棒を開発することができた。

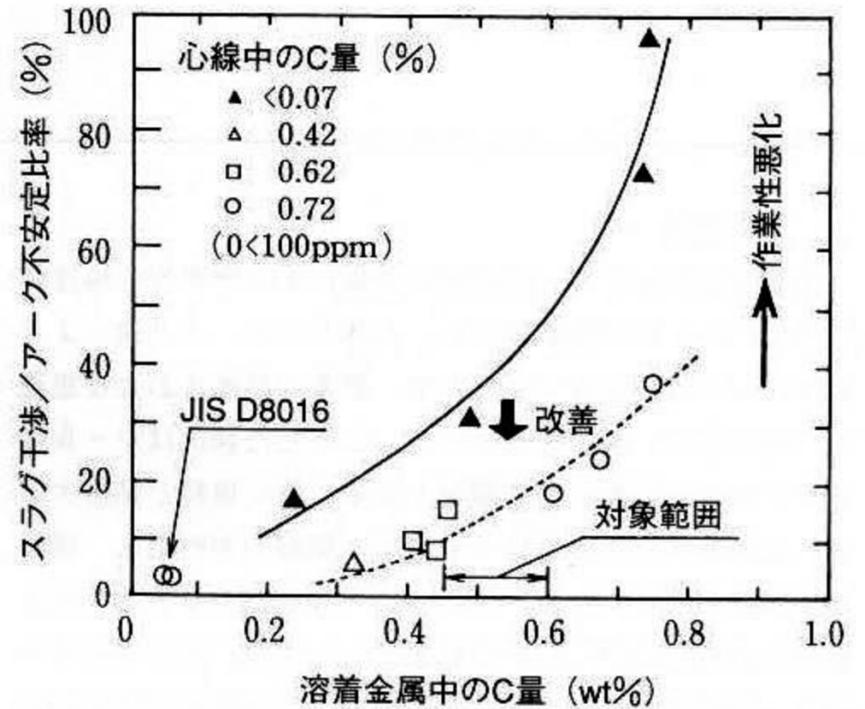


図-3 溶接棒心線C量とアーク安定性

一方、溶接金属の高C化 (C \geq 0.5mass%) はPやSの固溶限の小さいオーステナイト単相凝固であることに加え、固液共存領域が大きく、樹枝状晶間のP、Sの偏析が助長される。この結果、凝固割れ感受性が增大する欠点を有する。したがって、PおよびSの低減に加え、樹枝状晶間の偏析低減が必要である。図-4はその結果の一例として、凝固割れ発生比率におよぼすMoの影響を示す。0.1mass%程度のMoの添加が凝固割れ発生の抑制に効果が大きいことがわかる。この効果は樹枝状晶間近傍にPと共偏析したMoのトラップ効果によりPの偏析が抑制されたこと¹²⁾ によると考えられる。

高C系溶接金属の凝固割れを防止する上で先に述べた材料面の配慮だけでは完全に凝固割れを防止することはできない。図-5は凝固割れにおよぼす溶接条件の影響を示す。図中○印に示すように適性電流値のもと直流、棒プラス (逆極性) でウィーピング運棒を行い、加えて熔融池形状を楕円形に制御できる溶接速度 (1パスあたりの溶接棒消費量が2/3) にすることで凝固割れを完全に防止できることを確認した。この時の凝固組織はセル樹枝状晶ないし柱状晶が交錯した細粒の組織を呈しており、これが割れ感受性を低減する要因と考えられる。

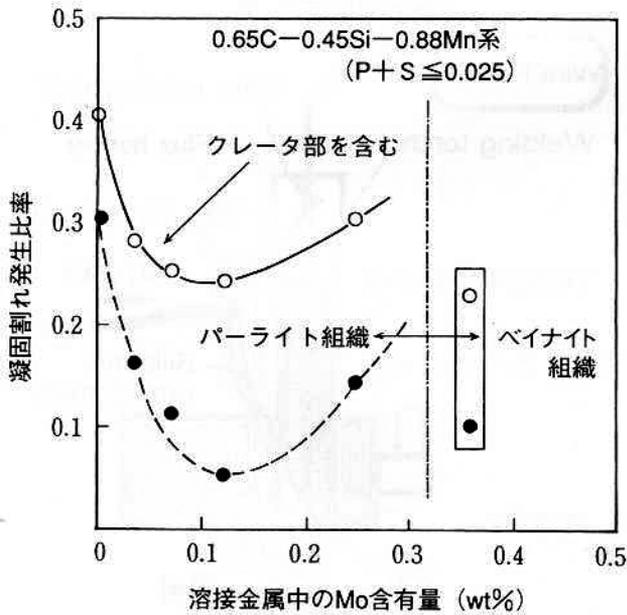


図-4 高温割れに及ぼすMoの影響

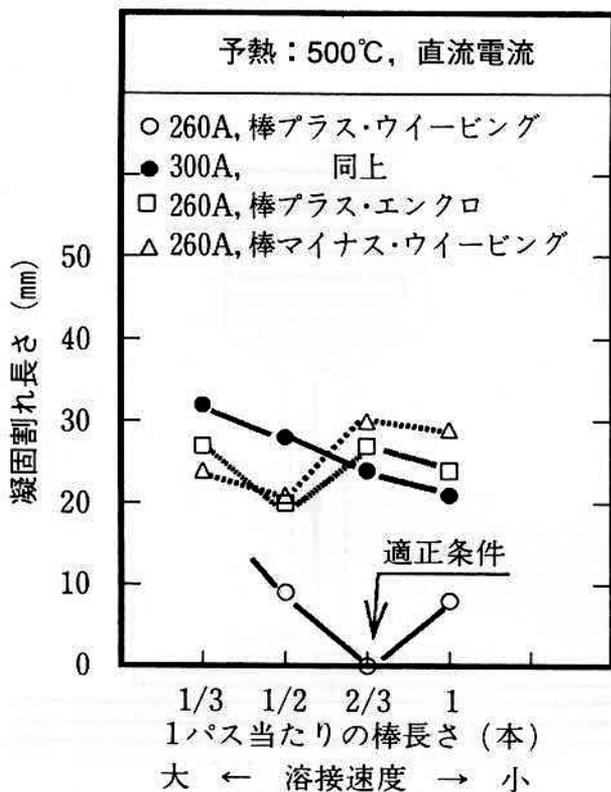


図-5 凝固割れと溶接施工条件

2.4 新EAW施工技術の確立

2.4.1 高強度レールへの適用¹¹⁾

レール溶接部は母材レールと同様に、その部位により要求される特性が異なる。すなわち、頭部は耐摩耗性が高いこと、腹部、底部は強度および延性が高いこと、さらに腹部ではEAW特有の溶接作業性の良好なことが要求される。

そこで、上記の要求をそれぞれ満足し得る溶接金属中の適性C量を考慮し、頭部は後述するように後熱処理でレールと同等の硬さを確保するため、合金の0.8mass%に、また、腹部、底部は0.6%massCを基本とした。また、前項で述べた高C系溶接棒に適した溶接条件を基本とした新しい溶接施工法を確立した。既存の方法はHAZの液化割れ対策のため、レール頭部は開先面に小電流多層のバタリング溶接を施し、さらに溶接残留応力除去のため、腹部と底部を炉冷焼きなまし処理を行い、全施工時間2時間を要する⁵⁾。これに対し、新EAW法では、腹部、頭部の多層溶接においても電流を極端に低下させず、1層1パスのウィービング積層法を採用し、さらに後熱処理は全断面急速加熱後、頭部はレール母材と同様な衝風冷却 (Slack Quenching) を施し、金属組織を硬さHB370の微細パーライトとし、腹部、底部は放冷 (焼きならし) により全施工時間を75分と大幅な短縮を達成した。

図-6に実軌道での溶接部の評価の一例を示す¹³⁾。評価は溶接頭頂面の凹凸の変化の差を新EAW法と既存法とで比較して行った。既存法では列車の通過トン数が増加すると溶接部に局部摩耗が発生するが、新EAW法では初期状態と変わらないことがわかる。

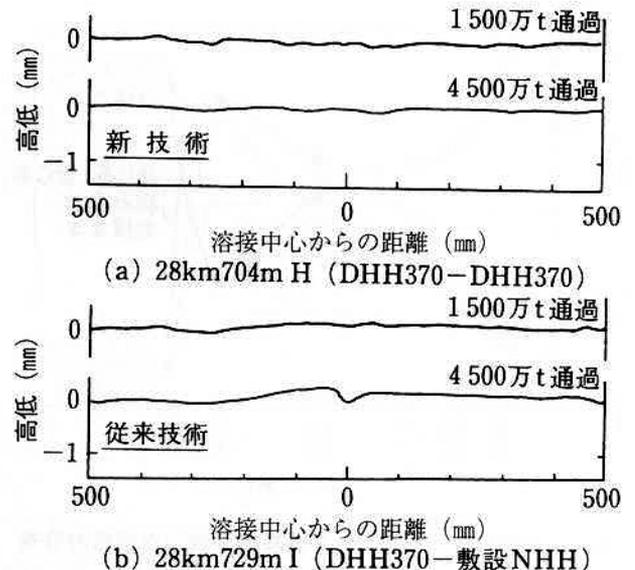


図-6 溶接部の頭頂面凹凸状況の変化¹³⁾

2.4.2 普通レールへの適用¹⁴⁾

前項で述べた高強度レールでの適用では後熱処理を施したが、普通レールの場合、汎用の意味も含め、施工時間の更なる短縮が必要となる。したがって、溶接ままでの施工方法の開発と継手性能の確保が課題である。

溶接金属のC量は高強度レールの場合、衝風冷却を前提に母材と同等の0.8mass%としたが、普通レールの場合、硬さはHB240で、C量は約0.7mass%であるが、溶接ままの溶

接金属では0.6mass%Cでレールと同等の硬さが得られるため、全部位を0.6mass%Cの溶接棒を基本とした。

一方、溶接ままでは溶接残留応力の溶接継手性能への影響を考慮する必要がある。図-7に高C系溶接と既存の低C-低合金系溶接の溶接ままのレール各部位の残留応力を示す。高C系の場合、頭部は圧縮、底部が引張の残留応力を呈するが、低C系の場合、全く逆の分布を呈し、溶接金属の種類により残留応力の発生形態が異なることを見出した。これらの違いは高C系の場合、パーライト変態に起因する熱応力型の残留応力発生、低C系の場合、ベイナイト変態に起因する熱応力-変態応力重畳型の残留応力発生によると考えられる。

レール溶接継手では頭部の耐ころがり疲労、底部の曲げ疲労性の確保から両者ともに圧縮残留応力とすることが好ましい。図-7において高C系は底部が引張残留応力となっている。そこで、底部も圧縮残留応力とするため、底部多層溶接部に低C系溶接棒を、腹部と頭部はHAZ液化割れの防止と耐摩耗性の確保から高C系の溶接棒を用いる組み合わせの積層法を確立した。図-7の中にその残留応力分布を示すが、頭部と底部両者ともに圧縮残留応力を呈することがわかる。

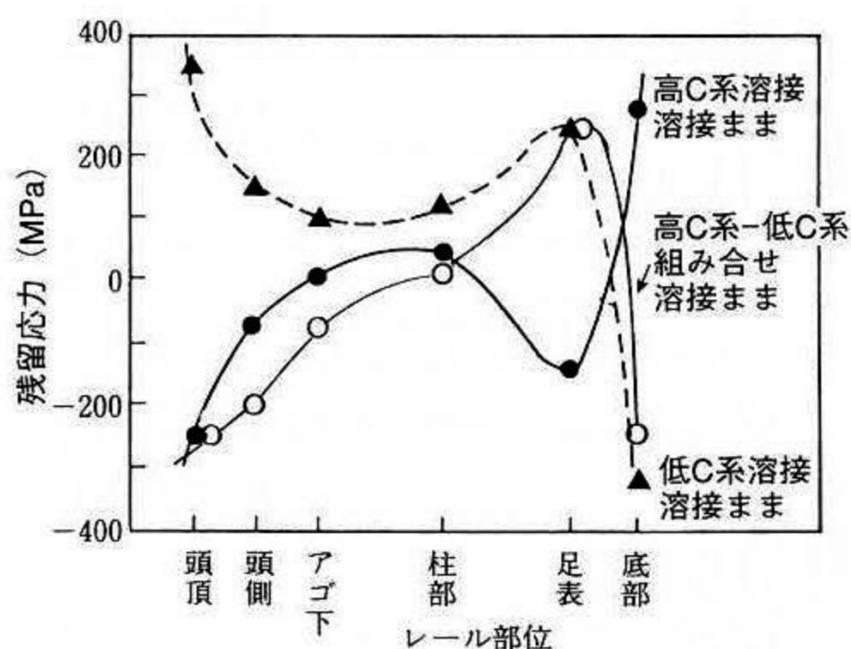


図-7 エンクローズドアーク溶接中心部の残留応力分布

3 次世代レール自動溶融溶接技術の開発

3.1 開発要素技術の概要^{15),16)}

前述したEAW法はその導入以来、改良を加え、その特徴を生かし、長い間の実績を積んできている。しかしながら、今後、熟練溶接技能者の確保が困難となることは必然である。そこで、次世代技術として、溶接継手の信頼性が高く、作業者の技能的習熟をそれほど必要としない溶融溶接の自動化に着手し、狭開先エレクトロスラグ溶接 (ESW) 法をベースにレール底部の溶接にガスシールドアーク溶接 (GMAW) 法を併用する自動溶融溶接法を開発した。

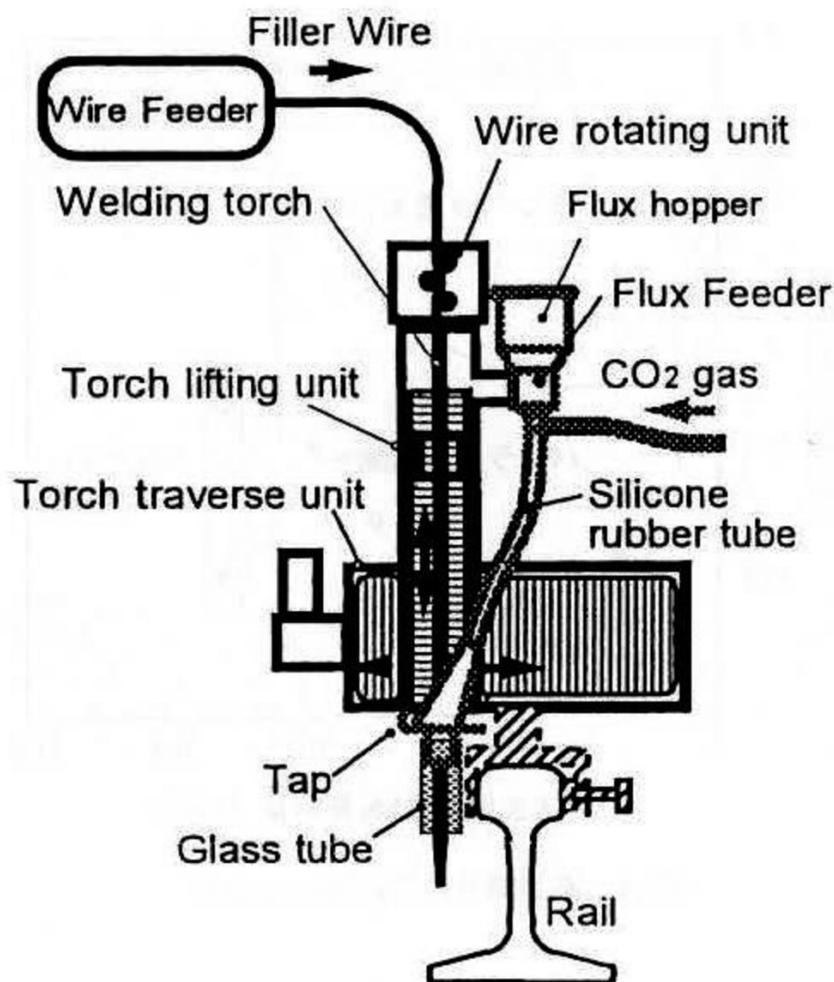


図-8 溶接ヘッド

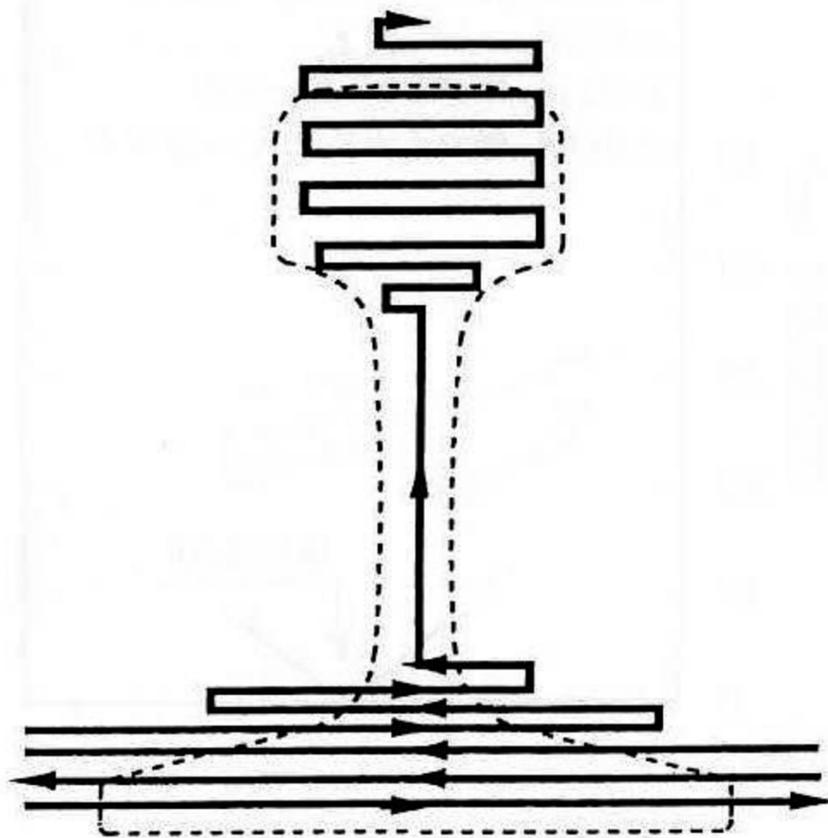


図-9 トーチ軌跡

図-8に溶接ヘッドの正面図を示す。本プロセスは溶接ワイヤを供給する非消耗電極ノズルの動きを水平方向および垂直方向の位置検出機構と連動させ制御する方式を基本としている。特に垂直方向、すなわち電極ノズルの自動上昇制御は給電チップ先端と溶融金属表面との間隔 (ワイヤ突き出し長さ) が短くなると抵抗が減じ、溶接電流が増加する特性を利用して、溶接電流をしきい値以下に保持するように電極ノズル高さを調整する方式を採用した。図-9にレ

ール断面内における電極ノズルの軌道を模式的に示す。底部は下向き多層のGMAW法、腹部、頭部はESW法である。軌道を十数区域に分け、それぞれの区域で、電流しきい値、電圧、電極横行速度、溶接ワイヤ送給速度、フラックス供給量、溶接ワイヤ回転速度をあらかじめ確定し、プリセットできる。これらの作動位置作動時間は、シールドガスの開閉、さらにクレータ処理などの特殊処理も含め、全てサークエンス制御プログラムに変数として組み込んで制御している。なお、実際の溶接では、これまで述べた溶接ヘッドに加え、水冷式の銅鑄型を用いる。当初、底部GMAW法から腹部ESW法への移行時に必要な腹部鑄型のセットを油圧、圧縮空気などを用い、自動制御としていたが、配管などの煩雑さの回避、重量軽減から、実用法では手動式とした。

また、この溶接の自動化により純溶接時間は先に述べたエンクローズアーク溶接法の40~60分に比較し、20分と大幅な短縮が可能となった。

一方、溶接材料については本自動溶接法においても、前章で述べた高C系を用いた。表-2に示すように新開発の溶接ワイヤをはじめ、補助溶加材は全て高C系であることが特徴である。

逆の意味において、すなわち、凝固割れ感受性の高い高C系溶接金属を用いるが故に、その凝固が溶融金属の沈殿式であるESW法の特徴が生かされる。さらにESW法に用いる溶接フラックスも、高C系溶接金属に適合した新開発の低融点フラックスである。

3.2 溶接継手性能¹⁷⁾

本自動溶接法においては、先に示した表-1のレール鋼において、表-2に示すような溶接材料を用い、溶接後、全断面再加熱後、高強度熱処理レールでは頭部を母材レールと同様の衝風冷却を施し、普通レールでは冷却速度を抑制するため断熱カバー放冷としてそれぞれの硬さレベルに調整した。図-10にそれらの硬さ分布を示す。再加熱によるHAZの硬さの低下は見られるが溶接部はほぼ母材レールの硬さと同等の値が得られている。表3には溶接継手の実物静的曲げの結果を示す。破断面に欠陥を示す異常は認められず、破断荷重およびたわみともに十分な値が得られた。

表-2 適用溶接材料の化学成分 (wt%)

溶接材料	C	Si	Mn	P	S
溶接ワイヤ	0.75/0.81	0.3/0.4	1.1/1.6	<0.005	<0.005
溶加材鋼片	0.70/0.80	0.1/0.3	0.7/1.0	<0.015	<0.010
フラックス	CaO-SiO ₂ -TiO ₂ ；低融点メルトフラックス				

表-3 4点曲げ試験結果

(AREA規格1321bレール, Head up)

レール鋼種	破断荷重 ton (kip)	たわみ mm (inch)	破面 検査
BHN300 SCレール	181 (400)	30.5 (1.20)	良 々
	181 (400)	29.0 (1.14)	
DHH370 高強度レール	203 (449)	20.0 (0.79)	良 々
	201 (445)	20.0 (0.79)	

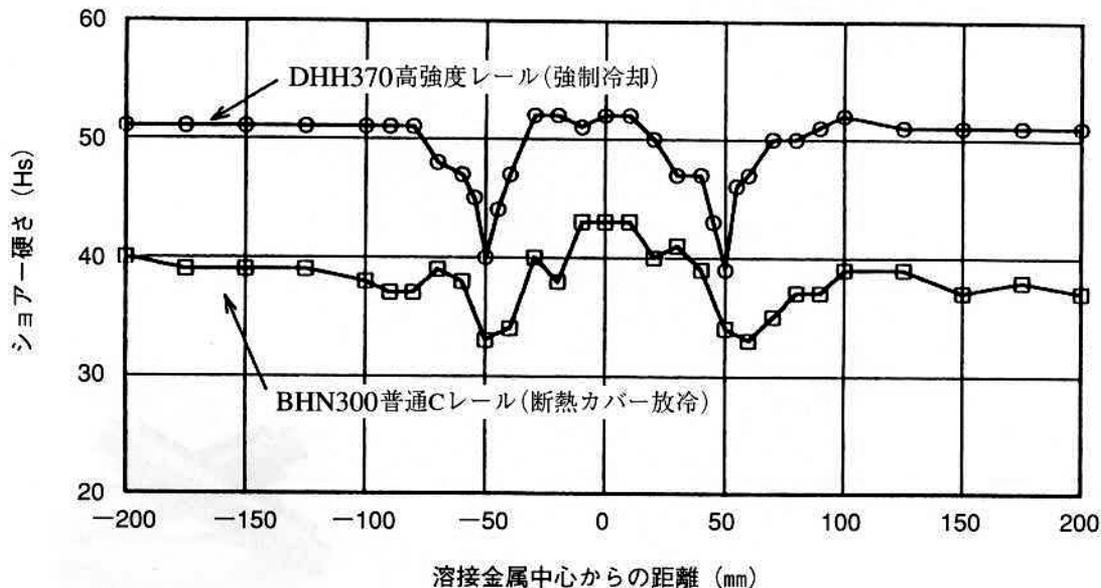


図-10 レール自動溶融溶接の頭頂面硬さ分布

4 おわりに

本論で紹介した従来にない高C系溶接金属を基本としたレール溶融溶接法としての新しい技術は現在、実用に供されるか、実用化の途中である。

近年、鉄道は環境に優しく、安全な輸送手段の一つとしてその効果が見直されつつある。したがって、それを支えるレールの役割も大きな意味をもつ。冒頭、述べたようにますます過酷化するレールの使用環境において、それに応えられる新しいレールの開発に加え、そのレールの特性を十分に生かすためのレール溶接技術の開発にも今後ますます、力を注いでいきたい。

参考文献

- 1) 影山英明 他：製鉄研究, No329 (1988), 7
- 2) K. Uchino et al. : The 39th Mechanical Working and Steel Processing Conference, Indianapolis, Oct. 20-21, 1997
- 3) M.Ueda et al. : International Heavy Haul Association Conference, Moscow, June 14-17, 1999
- 4) 上山 且芳 他：RRR, 48 (6) (1991), 15
- 5) 滝本 正：鉄と鋼, 70 (10) (1984), 1350
- 6) 辰巳 光正：JREA, 36 (6) (1989), 34
- 7) 栗原利喜雄：鉄道技術研究所報告, No1188, 1981
- 8) H. Shitara et al. : The 39th Mechanical Working and Steel Processing Conference, Montreal, Oct. 26-27, 1992
- 9) 狩峰 健一 他：溶接学会論文集, 14 (3) (1996), 578
- 10) 内野 耕一 他：溶接学会論文集, 10 (1) (1992), 65
- 11) 内野 耕一 他：溶接学会論文集, 10 (1) (1992), 74
- 12) 上島 良之 他：鉄と鋼, 73 (11) (1987), 1551
- 13) 上山 且芳 他：鉄道総研報告, 6 (11) (1992), 39
- 14) 内野 耕一 他：溶接学会論文集, 13 (4) (1995), 613
- 15) K. Karimine et al. : Int. Conf. Advances in Joining and Cutting Process, Harrogate, Oct. 1989
- 16) K. Uchino et al. : The 39th Mechanical Working and Steel Processing Conference, Montreal, Oct. 26-27, 1992
- 17) 奥村 誠 他：新日鉄技報, No355 (1995), 33



技術論文

多合金系ロール材の特性に及ぼすC、V、Coの影響

Effect of C, V, Co Contents on Characteristics of Multi-component Roll Materials



CPC技術開発室

李平

hei ri

技術開発部付部長

斉藤 弘道

Hiramichi Saito

要旨

0.8~2.0%C、9%Cr、4%Mo、5%W、1~5%Vおよび1~10%Coを含有する多合金系ロール材の組織および特性について調査した。本合金組織はMC、M₂Cカーバイドおよびマトリックスから構成されている。硬さ、耐摩耗性は、C量、Co量の増加およびV量の減少につれて高くなるが、一方耐食性については、先の例とは逆に、C量、Co量を低くし、V量を増加させた方が良いことがわかった。これらの材質特性は、CバランスおよびCo量が組織形態に影響を与えていることを示唆している。

Synopsis:

We studied the structure and characteristics of a multi-component roll material containing 0.8~2.0%C, 9%Cr, 4%Mo, 5%W, 1~5%V and 1~10%Co. The study showed that this alloy is composed of MC and M₂C carbides and matrix, that the more C and Co and the less V, the higher its hardness and wear resistance become, and that to the contrary, to improve its corrosion resistance, C and Co should be reduced and V increased. These characteristics suggest that C balance as well as Co content influences the structure of the alloy.

1 緒言

近年の圧延ラインにおいては、高圧下、高速連続圧延化、ステンレス鋼や珪素鋼のような難圧延材の増加、あるいは製品の薄物化が進み、ロール、ローラの使用条件が苛酷の一途をたどっており、より高性能なロール、ローラが要求されるようになった。当社は、圧延用ロール、ローラ材の耐用を向上するため、合金元素を適量に加えることによって、MC、M₂Cカーバイドを晶出させ、M₇C₃カーバイドの粗大化を抑制すると同時に、カーバイドの量、分布、形状、サイズの改善およびマトリックスの強化を図った多合金系ロール材、すなわち多種類の合金元素を含有するロール材を開発してきた^{1) 2)}。

圧延用ロール、ローラは当社の主要なCPC製品の一つであり、また、国内外の製鉄所において広く採用されていることから、多合金系ロール材の成分および特性をより深く追求することによって、更に使用特性の向上を図りたいと考えている。そこで本研究では、ロール、ローラの寿命を

大きく左右するロール材の硬さ、耐摩耗性および耐食性を最重視し、C、V、Co含有量を変化させることによって、多合金系ロール材の特性を総合的かつ系統的に研究し、多合金系ロール材の特性に及ぼすC、V、Coの影響を把握するとともに、使用特性に合った材質を選定、適用することを目的とした。

2 実験方法

2.1 供試材

銑鉄、軟鋼、フェロマンガン、フェロシリコン、フェロクロム、フェロバナジウム、フェロモリブデン、フェロタングステン、金属コバルトなどを原料として、高周波誘導炉で溶解し、CPC法（連続注入クラッド法）を用いて多合金系の複合ロールを製造した。複合ロールの外層から供試材のサンプルを切り出した。サンプルの化学組成はTable 1に示す。供試材の焼準温度は1050℃とし、その後の焼戻し温度を520℃、550℃および580℃の3水準とした。

Table 1 Chemical compositions of specimens (mass%)

Specimen	C	Cr	Mo	W	V	Co	Remarks
①	0.85	9.13	4.17	5.06	0.95	1.07	1V
②	0.84	9.04	4.09	4.95	2.04	0.94	2V
③	0.79	8.92	3.99	5.17	4.97	1.11	5V/1Co
④	0.83	9.09	4.12	4.88	5.08	4.86	5Co
⑤	0.82	9.16	4.16	5.09	4.90	9.91	10Co/0.8C
⑥	1.24	9.02	4.11	5.12	5.04	10.04	1.2C
⑦	1.57	8.87	4.19	5.03	4.89	9.85	1.6C
⑧	2.04	8.91	4.14	4.87	5.02	10.08	2.0C

2.2 実験方法

光学顕微鏡によって、供試材の組織を観察した。また供試材のカーバイドを同定するためにX線回析 (Co-K α) を行った。

摩耗試験は、150rpmで回転する#220のサンドペーパーに、9 kgfの荷重で、形状10×10×20mmのサンプルを押し付け(中心より60mm)、10分後の摩耗減量を測定し、摩耗減量を試験面の面積で除した値を求め、耐摩耗性を評価した。

腐食試験は、コンデンサーを有する三角フラスコの中に、熱間圧延設備用冷却水を入れて、60℃に保持し、形状30×15×3 mm (孔 ϕ 3 mm)のサンプルを浸漬することによって、サンプル表面を腐食させ、150時間経過した後、表面の腐食生成物を除去し、腐食減量を試験片表面積で除した値を求め、耐腐食性を評価した。水質は次の通りである。

pH=8.2 電気伝導度=1577 μ S/cm Cl^- =368.6mg/l
 SO_4^{2-} =86.2mg/l Mアルカリ=92.2mg/l

3 実験結果および考察

3.1 ミクロ組織

サンプルのミクロ組織写真は、Fig.1に示すように、基本的には板状カーバイド、粒状カーバイドおよびマトリックスから構成されている。①、②、⑤～⑧材質はマルテンサイト相のマトリックスが認められるが、③、④材質については未変態組織であることがわかる。ここでのカーバイドは、X線回析パターン (Co-K α) によって、供試材の8材質ともに、MCおよびM₂Cカーバイドから構成されていることがわかった。

C量、V量の晶出カーバイド量に及ぼす影響は、C量が多いほど、晶出カーバイド量が多く、同一のC量の場合、高VのほうがMCカーバイド量が多くなる傾向が認められる。また、Co量の影響については、高Co材のほうがマルテンサイト相を得やすいことが認められる。

3.2 硬さ

供試材焼準後の硬さおよび焼戻し温度による硬さの変

化をFig.2に示す。供試材の8材質ともに、550℃までの焼戻し温度で、硬さがわずかに上昇し、二次硬化が見られ、550℃以上の焼戻し温度では、硬さが低下する傾向が認められる。硬さに及ぼすC量、V量、Co量の影響をFig.3に示し、C量、Co量が多いほど、供試材の硬さが高く (Fig.3(a)、(c))、同一C量の場合、低Vのほうが硬さが高くなる傾向が認められる (Fig.3(b))。

3.3 耐摩耗性

供試材の耐摩耗性を比べるため、1050℃焼準・550℃焼戻し後のサンプルを用いて、摩耗試験を行った。その結果をFig.4に示す。耐摩耗性は③、②、①、④、⑤、⑥、⑦、⑧材の順に高くなることが認められる。耐摩耗性に及ぼすC量、V量、Co量の影響はC量、Co量が多いほど、供試材の耐摩耗性が高く (Fig.5(a)、(c))、同一C量の場合、低Vのほうが耐摩耗性が高くなる傾向が認められる (Fig.5 (b))。この傾向は硬さに及ぼすC量、V量、Co量の影響と同様である。

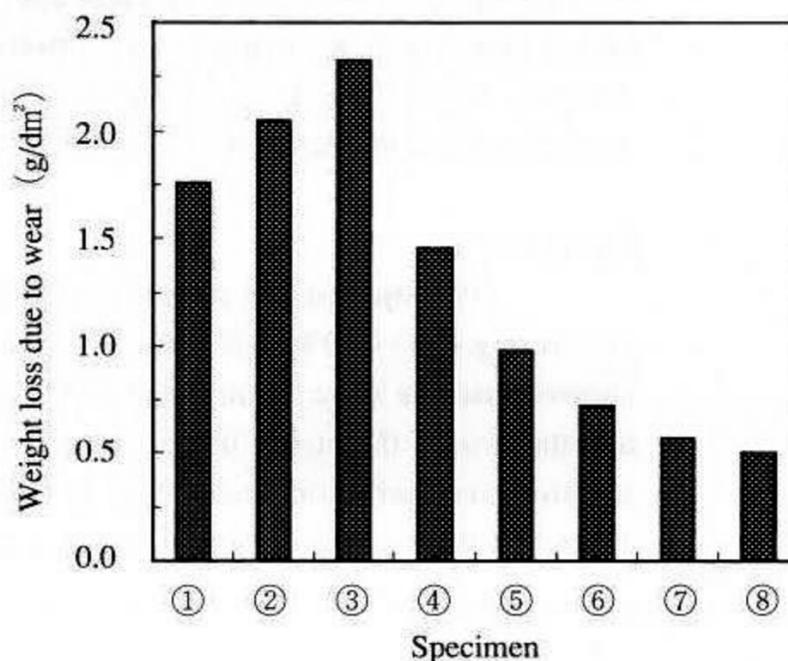


Fig.4 Results of the wear test for the materials tempered at 550℃

3.4 耐食性

ロール、ローラは腐食を主体とした磨耗が発生する場合があるので、供試材の耐食性を比べるため、1050℃焼準・550℃焼戻し後のサンプルを用いて、腐食試験を行った。腐食サンプルを60℃の実ミル冷却水中に浸漬し、150時間までの腐食減重量を測定した。その結果をFig.6に示す。腐食時間が長くなると、減重量が増加するのは当然であるが、150時間の結果を見ると、耐食性は①、②、⑧、⑦、⑥、⑤、④、③材の順に高くなることがわかる。耐食性に及ぼすC量、V量、Co量の影響をFig.7に示し、C量、Co量が少ないほど、供試材の耐食性が高い (Fig.7(a)、(c))。同一C量の場合、高Vのほうが耐食性が高くなる傾向が認められる (Fig.7(b))。耐食性に及ぼすC量、V量の影響は上記耐摩耗性の場合と逆の傾向となっていることがわかった。

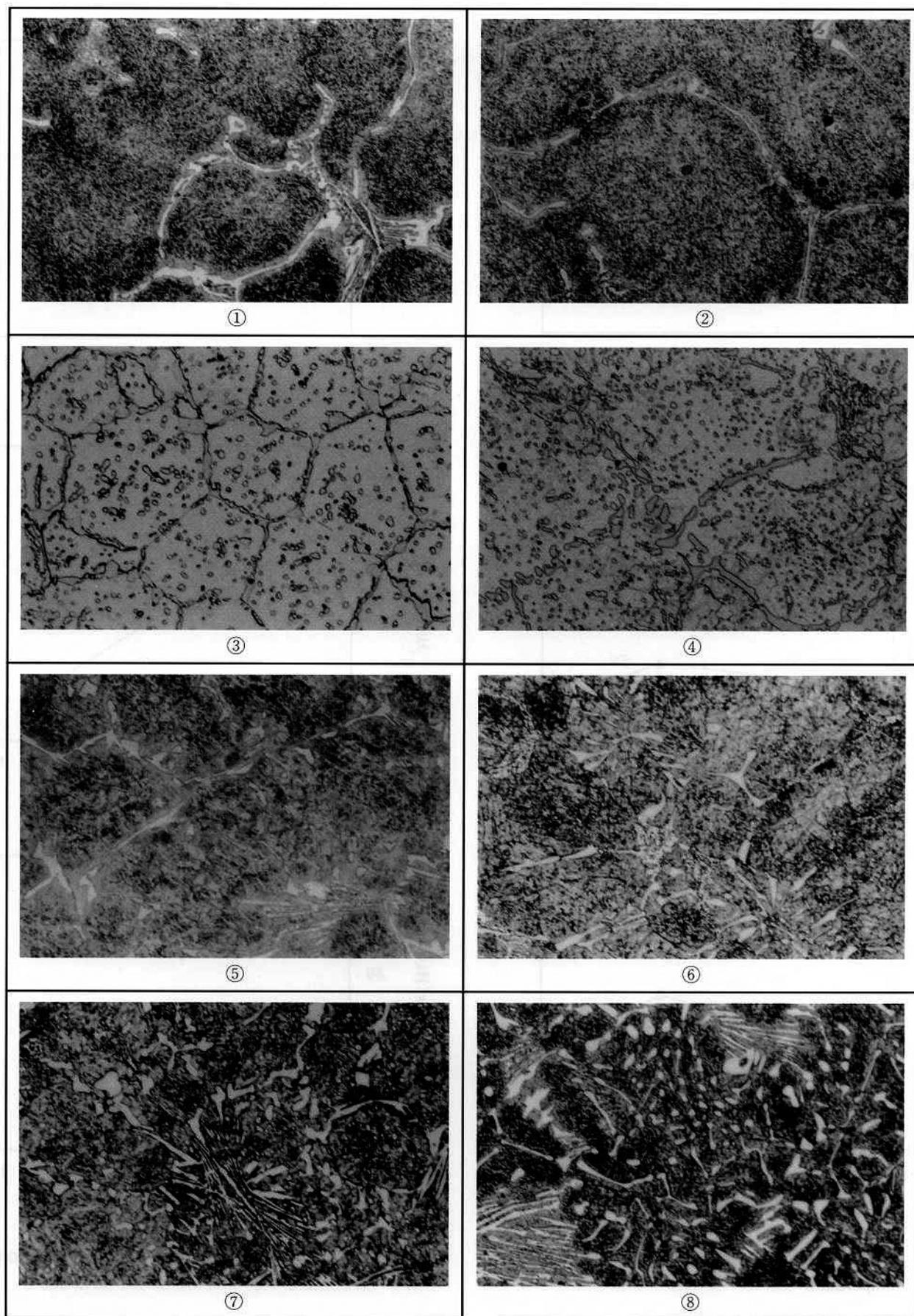


Fig.1 Optical micrographs of the specimens tempered at 550°C

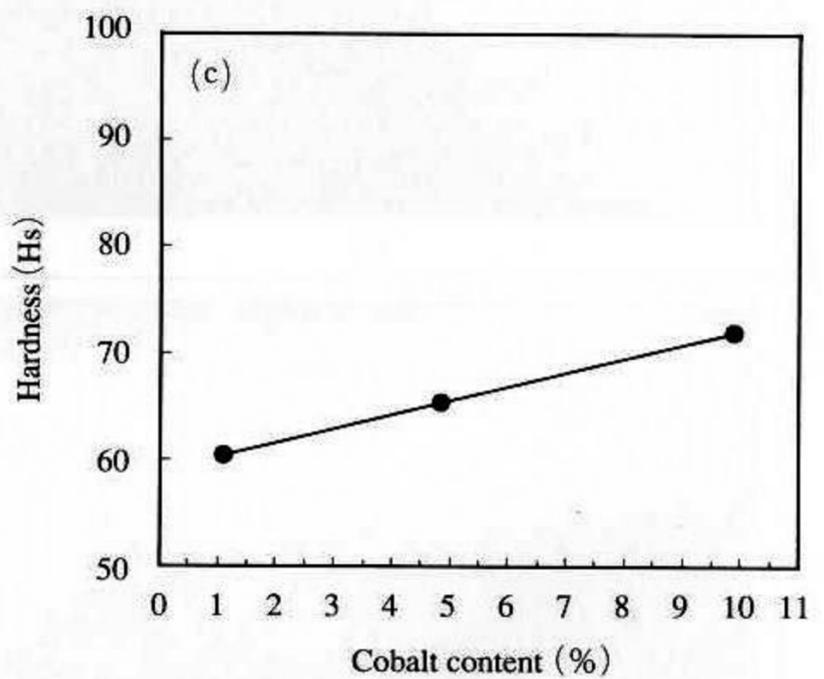
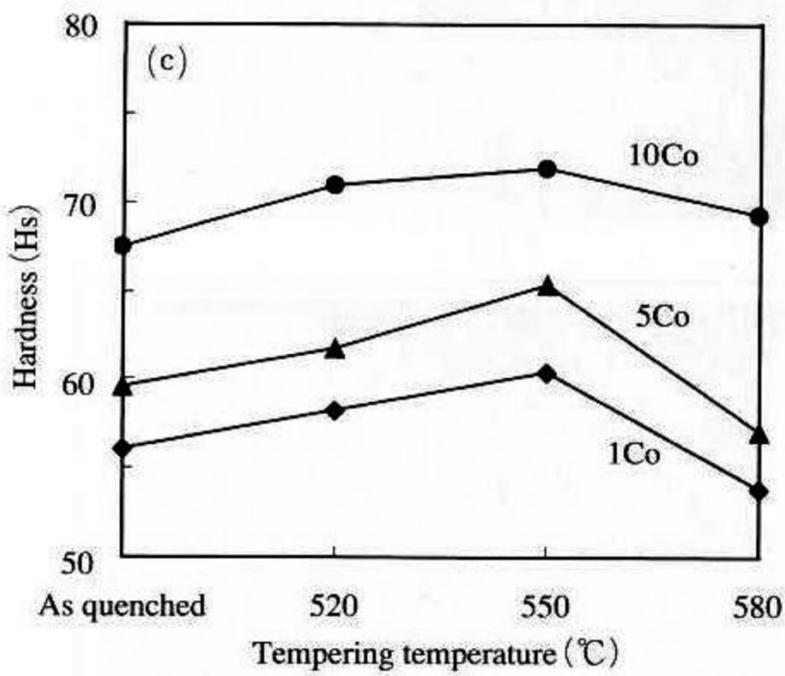
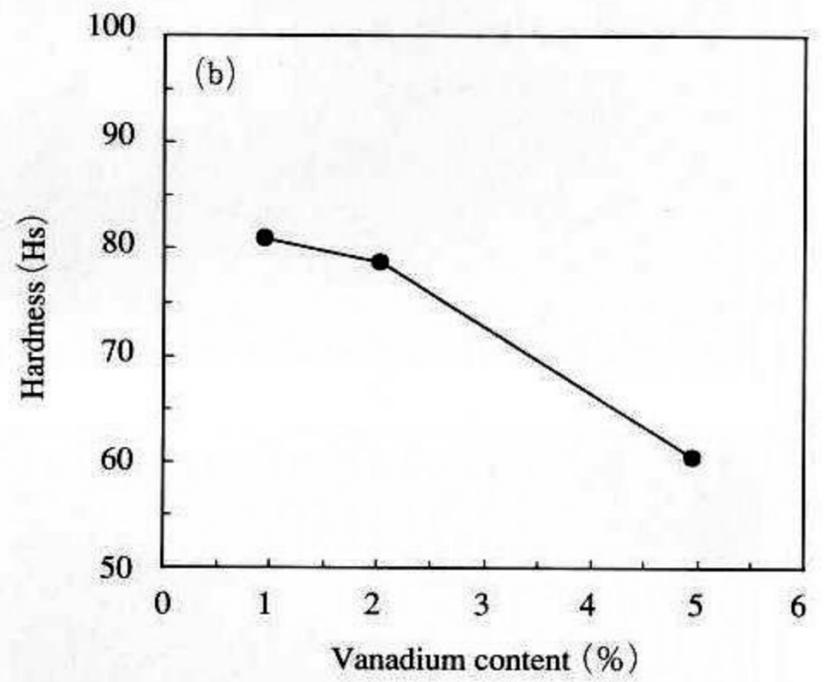
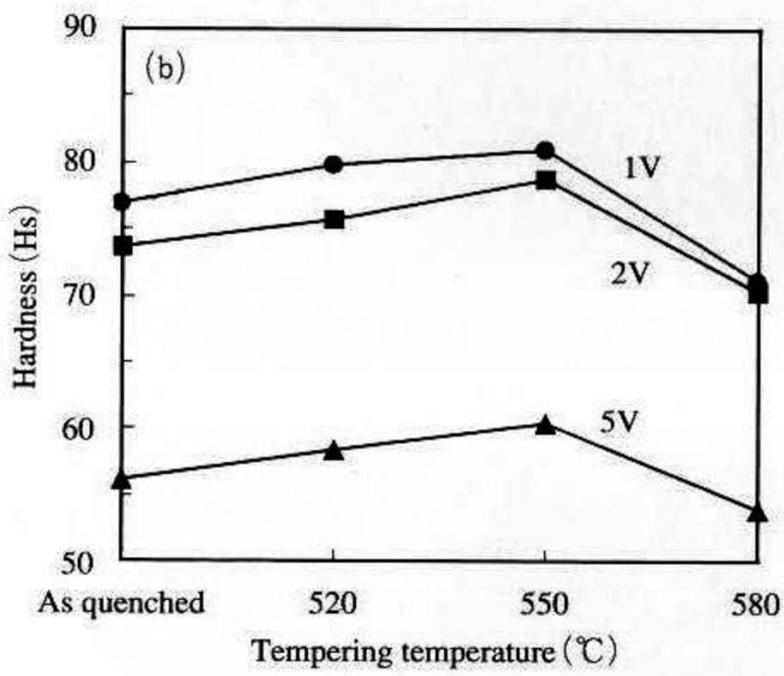
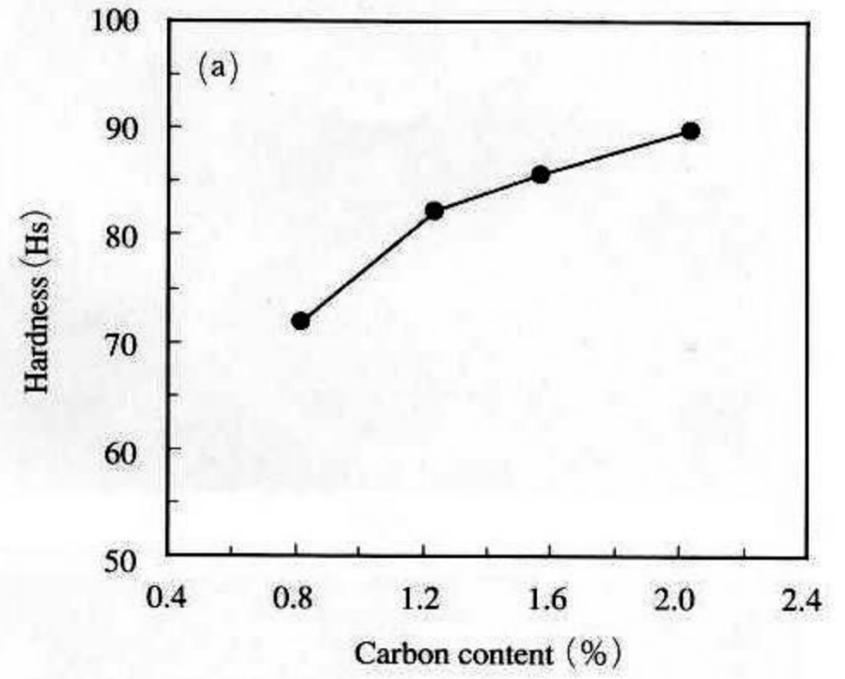
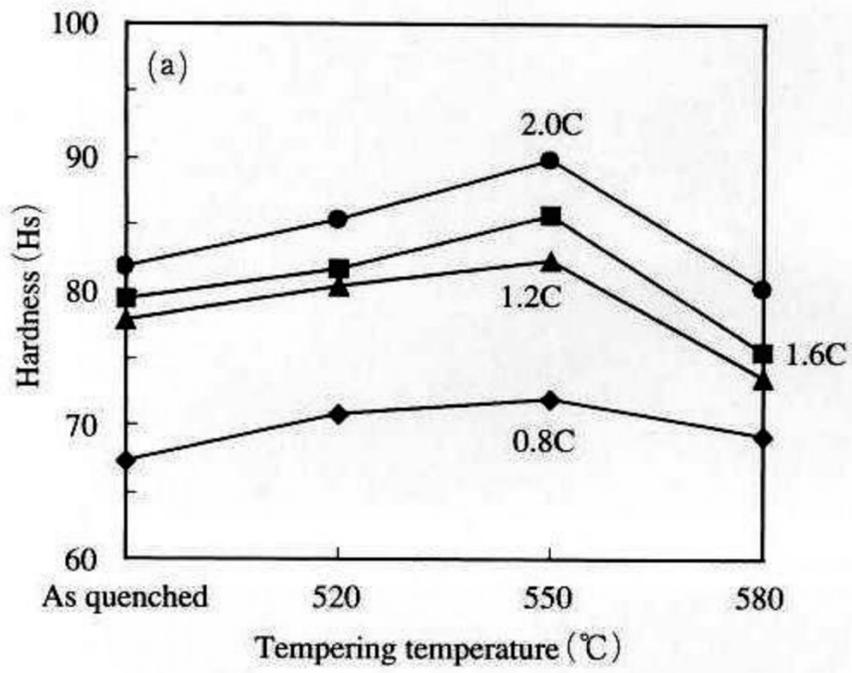


Fig.2 Change in hardness as a function of heat treatment temperature

Fig.3 Effect of Carbon, Vanadium, Cobalt content on the hardness of the materials tempered at 550°C

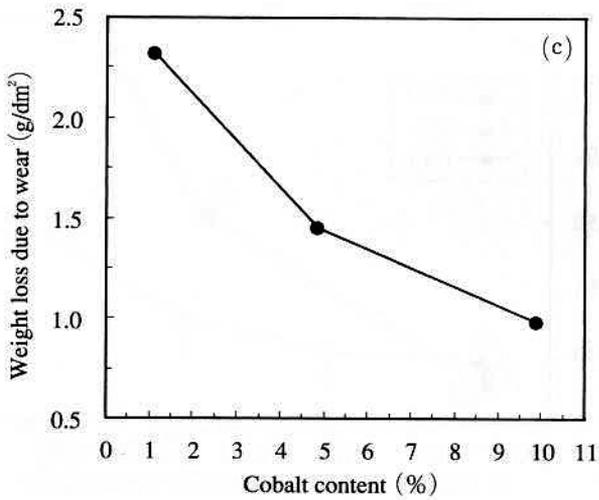
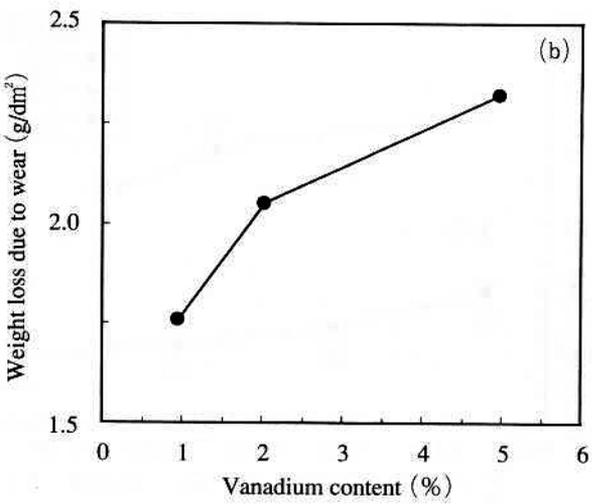
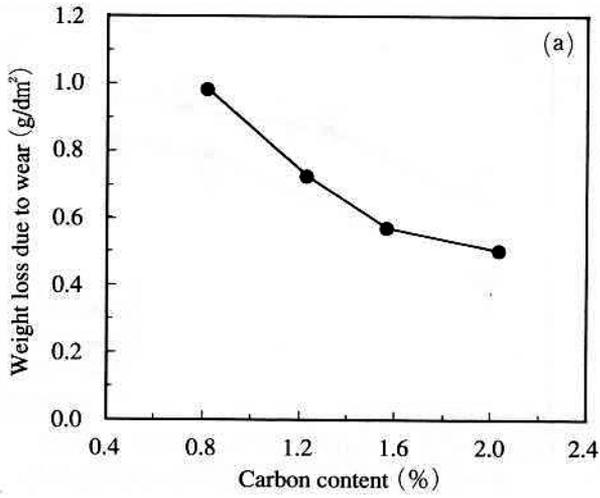


Fig.5 Effect of Carbon, Vanadium, Cobalt content on the wear resistance of the materials tempered at 550°C

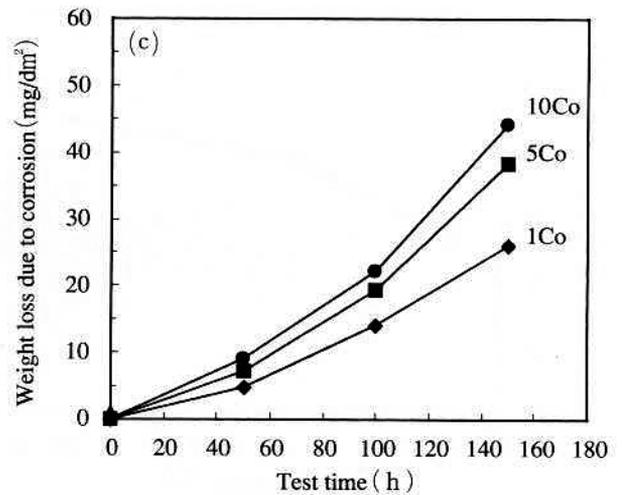
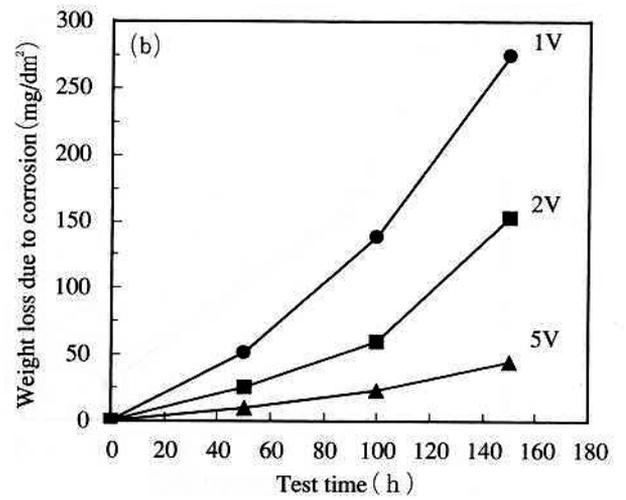
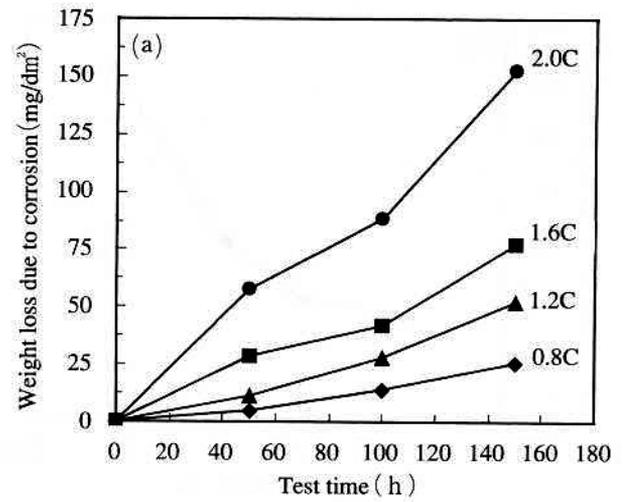


Fig.6 Results of the corrosion test for the materials tempered at 550°C

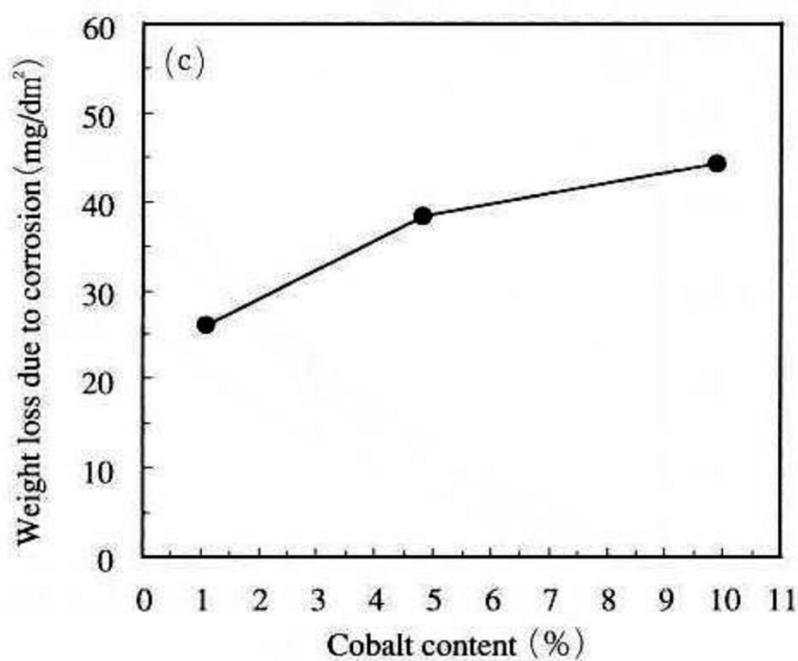
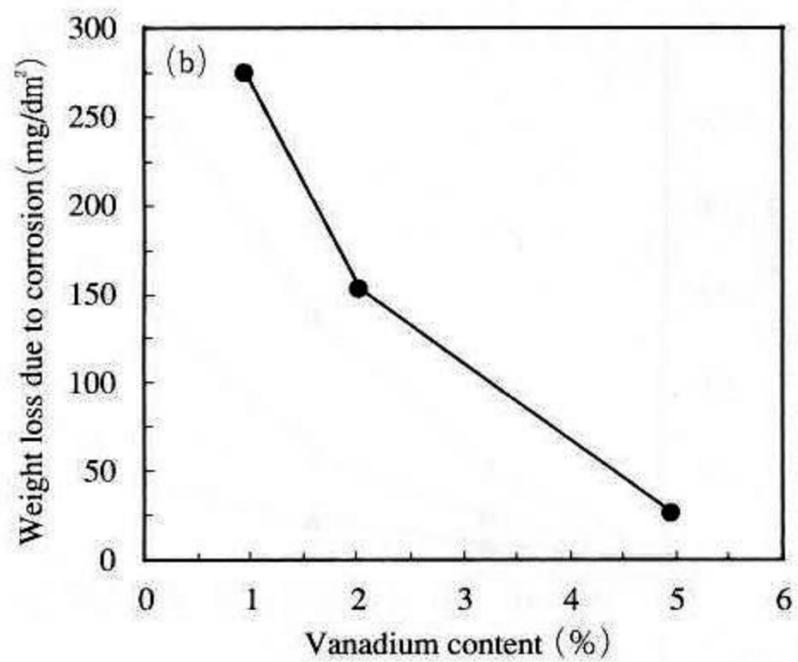
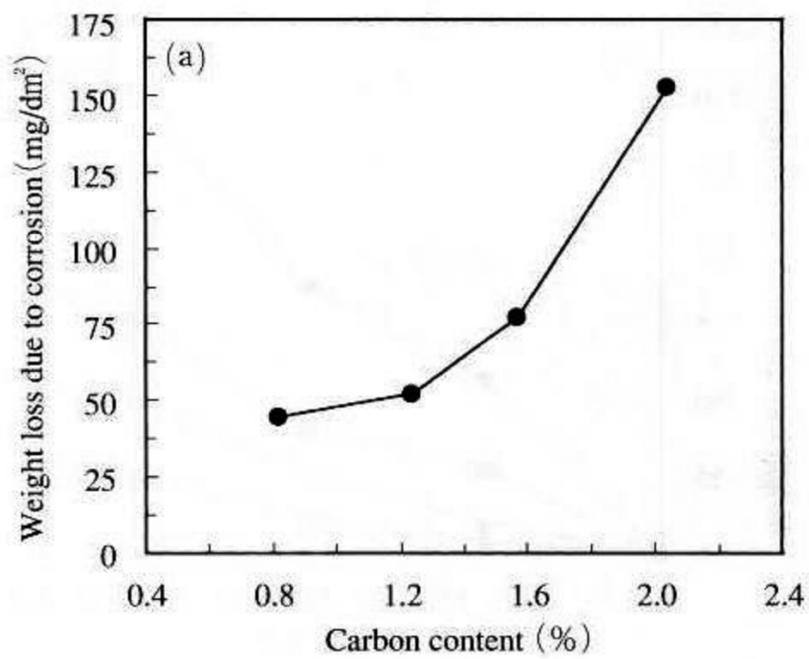


Fig.7 Effect of Carbon, Vanadium, Cobalt content on the corrosion resistance of the materials tempered at 550°C

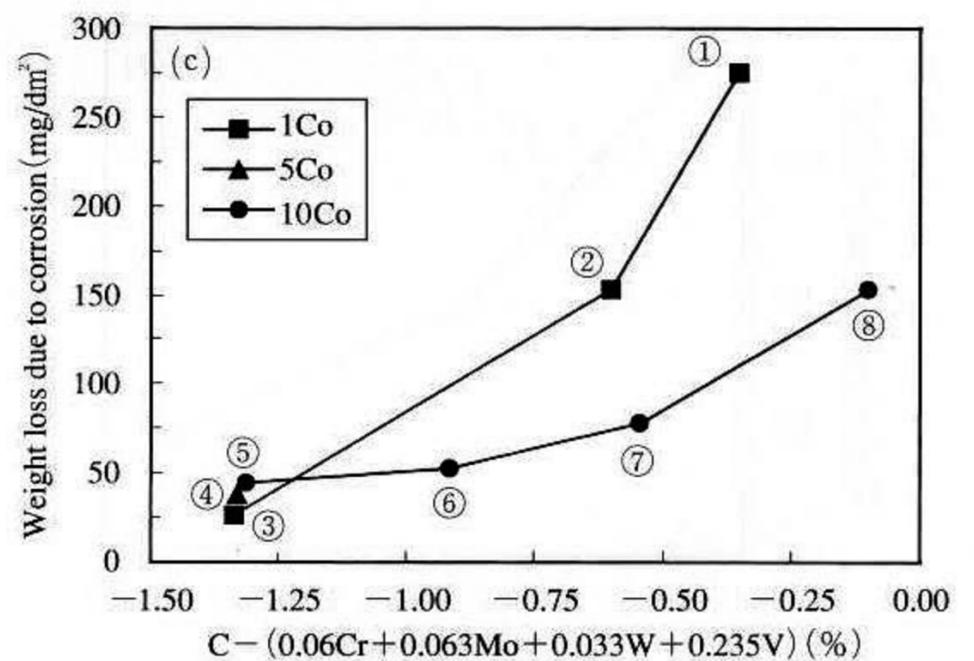
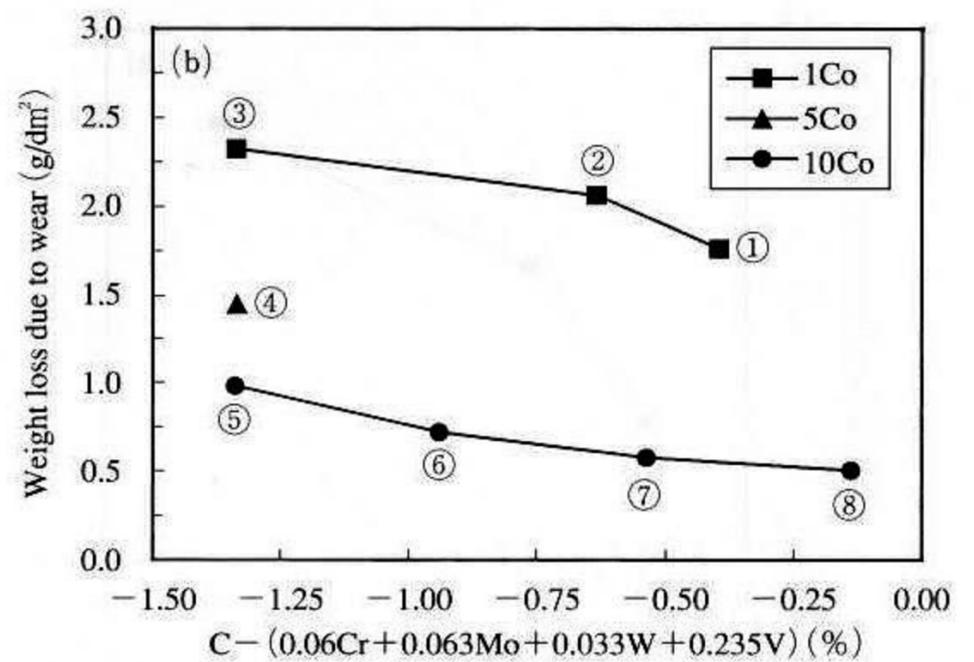
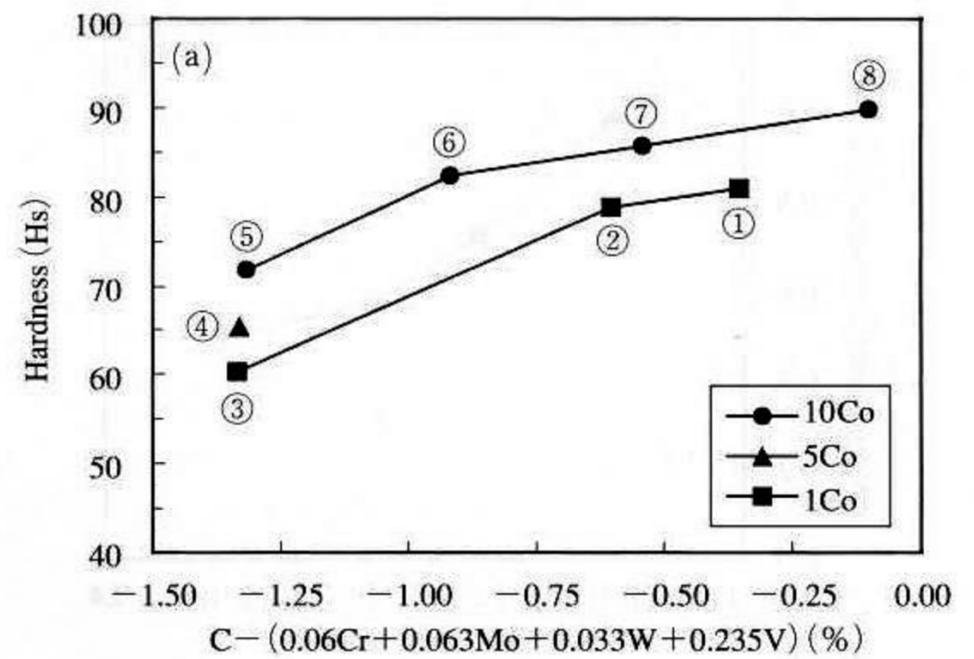


Fig.8 Effect of {C - (0.06C + 0.063Mo + 0.033W + 0.235V)} on hardness, wear resistance and corrosion resistance of the materials tempered at 550°C

3.5 考察

以上の結果より、0.8C-1~5V-1Co材について、硬さ、耐摩耗性は③、②、①材の順、耐食性は①、②、③材の順に高くなり、0.8~2.0C-5V-10Co材については、硬さ、耐摩耗性は⑤、⑥、⑦、⑧材の順、耐食性は⑧、⑦、⑥、⑤材の順に高くなることが認められる。

材質特性は材質の化学組成、特にマトリックス中のC比率に大きく左右されるので、供試材マトリックス中に固溶C比率の程度および順序を知ることが必要と考えられる。マトリックス中のC比率の正確な測定は困難であるので、次式^{3) 4)}のCバランス (C_{bal}) によりマトリックス中の比率の大小を推定する。

$$C_{bal} = \text{試料のC\%} - C_{stoich}$$

$$= C\% - (0.060Cr\% + 0.063Mo\% + 0.033W\% + 0.235V\%)$$

ここで C_{stoich} は試料に含有する合金元素に対する化学量論的 (Stoichiometric) バランスである。各サンプルの C_{stoich} を求め、Cバランス (C_{bal}) を計算すると、Cバランスは次の順に高くなることが認められる。

0.8C-1~5V-1Co材

$$\text{③材}(C_{bal} = -1.335) < \text{②材}(-0.603) < \text{①材}(-0.351)$$

0.8~2.0C-5V-10Co材

$$\text{⑤材}(C_{bal} = -1.311) < \text{⑥材}(-0.913) < \text{⑦材}(-0.541) < \text{⑧材}(-0.096)$$

Cは合金元素の中のカーバイド形成元素と結合した残りがマトリックス中に分配するので、Cバランスが高いほど、マトリックス中に固溶するC比率は高いと考えられ、マトリックス中のC比率は上の順序で高くなると推測される。

1050℃焼準・550℃焼戻し後のサンプルの硬さ、耐摩耗性、耐食性とCバランス (C_{bal}) との関係を整理し、その結果をFig.8に示す。Cバランス (C_{bal}) が低くなると、硬さ、耐摩耗性は低下し (Fig.8(a), (b))、耐食性は顕著に向上する傾向が認められる (Fig.8(c))。Cバランス (C_{bal}) が同じ値の場合、Co量が多いほど、硬さ、耐摩耗性が高く、耐食性が低い。このことはCoの増加に伴う、マトリックス中へのC固溶比率の増加によるものと考えられる。

4 まとめ

Cr、Mo、W量を一定とし、C、V、Co量をそれぞれ0.8~2.0%、1~5%、1~10%の範囲に変化させた多合金系ロール材の組織および特性を調べた。その結果を要約すると、次の通りである。

(1) 組織はMC、 M_2C カーバイドおよびマトリックスから構成されている。C、V量が多いほど、晶出カーバイド量が多い。Coはマトリックスに対する影響が大きい。

(2) 硬さ、耐摩耗性は、C量、Co量の増加およびV量の減少につれて高くなる。

(3) 耐食性は、低C、低Coおよび高Vのほうが高くなる。

(4) 材質特性は各元素の含有量に左右され、総合的に、Cバランスによって決定される。Cバランスが低いほど、耐食性が高くなり、耐摩耗性、硬さが低くなる。また、Cバランスの影響を与える元素の他に、Coも材質の特性を向上する効果が顕著に認められる。

参考文献

- 1) 坂本真一、玉川進、斉藤弘道、津田篤信、山本厚生：フジコー技報，No.3 (1995)，p.10
- 2) 坂本真一、斉藤弘道、山本圭太郎、山本厚生：フジコー技報，No.4 (1996)，p.20
- 3) G.Steven, A.E.Nehrenberg and T.V.Philip: Trans.ASM, 57 (1964), p.925
- 4) 松原安宏、笹栗信也、本田義興、武宏強、橋本光生：鋳物，66(1994)，11, p815

JR接着絶縁レールの損傷調査

Investigation of Damages to Glued Insulated Rails over JR Railway Lines



溶接溶射技術開発室

CPC技術開発室

北九州工場長

技術開発部長

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

佐々木 満太郎
Mantaro Sasaki

大野 京一郎
Kyoichiro Oono

宮崎 裕之
Hiroyuki Miyazaki

吉村 武憲
Takenori Yoshimura

奥村 幹夫
Mikio Okumura

沼倉 明夫
Akio Numakura

要旨

ロングレール区間に敷設されている接着絶縁レールは、損傷によりその前後のレールの交換周期より短い周期で交換されているものがあり、多大な交換経費（材料費、交換費、溶接費等）を要している。そこで、交換経費の削減を目的として、交換周期の延伸が可能な接着絶縁レールの開発を進めているが、その損傷原因を調査し、有効な対策を講じる必要がある。

今回は実レールの調査を行い、その損傷原因が車輪・レール間のアーク放電現象によるものであることが分かった。

Synopsis:

There are cases of glued-insulated rails laid in long-rail sections that are susceptible to earlier damage and have to be replaced at a shorter cycle than ordinary rails connected fore and aft. It is costing JR companies a huge amount of replacement expenses, including costs for materials and replacing and welding works.

Aiming at cutting the replacement expenses, while the development of glued insulated rails with a lengthened replacement cycle is underway, it is necessary to track down the cause for the damage and deploy effective measures.

We examined damaged glued-insulated rails, and found that the culprit is are discharge between the wheel and the rail.

1 緒言

ロングレール区間に敷設されている接着絶縁レールは、損傷によりその前後のレールの交換周期より短い周期で交換されているものがあり、多大な交換経費（材料費、交換費、溶接費等）を要している。

そこで、接着絶縁レールの交換周期を延伸し交換経費を削減することを目的として、東日本旅客鉄道株式会社 総合技術開発推進部殿より研究を委託され当社においてその損傷原因の調査を実施した。その結果を以下に報告する。

2 調査項目

接着絶縁レールの損傷発生環境およびその状況等の調査に加え、損傷の発生した接着絶縁レールについて、次に示

す4項目の調査を実施した。

- (1) 接着絶縁レールの凹凸状況の測定
- (2) 外観調査および染色浸透探傷試験
- (3) 断面硬さ試験
- (4) 金属組織のマイクロ組織観察および走査形電子顕微鏡によるレール損傷部表面の観察

3 調査方法

3.1 接着絶縁レールの損傷発生環境およびその状況等の調査

接着絶縁レールの損傷発生箇所について、発生環境およびその状況等の写真およびVTR撮影による調査をJR社員設立会いのもと行った。

Table 1 Outline of rail

Rail No.	Track maintenance section	Line Name	Line	Distance	Position	Kind of Rail	Topics
1	Shinbashi	Yamanote Line	Up	1k888m (Akihabara-sta start signal)	Left	60	Investigated on 8 th Dec
2	Nakano	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown	60	HH340
3	Nakano	Chu-o Line	Up	7k981m	Right	60	Rail No.3,4 are pair rail
4	Nakano	Chu-o Line	Up	7k981m	Left	60	Rail No.3,4 are pair rail

3.2 接着絶縁レールの凹凸状況の測定

(1) 供試材

損傷の発生した接着絶縁レール（以下、損傷レールと記す）4組を供試材とした。Table 1に損傷レールの概要を示す。

(2) 測定方法

平面研削盤上に損傷レールをセットし、凹凸をマイクロメーターにて測定する。測定の際、基準点として上流側レール絶縁物側端面を0とした。

3.3 外観調査および染色浸透探傷試験

(1) 供試材

3-2の(1)項に同じ

(2) 調査方法

損傷レールの外観調査および染色浸透探傷試験（以下、P.T.と記す）を行った。P.T.についてはJISZ2343の試験方法分類のVC-Sに基づいて行った。

3.4 断面硬さ試験

(1) 試験片

試験片は損傷レール4組からFig.1のように切り出し採取した。

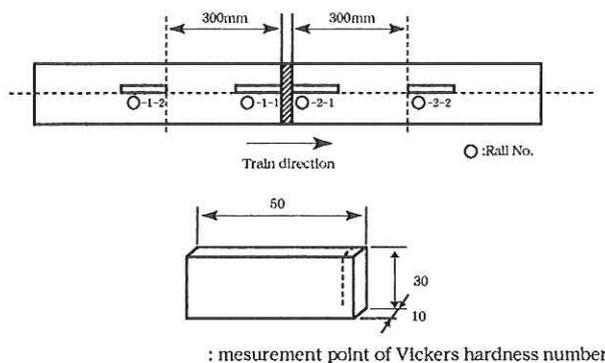


Fig.1 Working Diagram of Section hardness test piece

(2) 試験方法

レール損傷部の頭頂表面から深さ方向への硬度変化を調査するために、JISZ2244に基づいたピッカース硬さ試験を行った。なお、この試験については健全な箇所（損

傷部から250mm以上離れた箇所）についても試験を行い、比較を行った。

測定は、表面および表面から深さ方向に0.5mmピッチで11点行った。表面の硬度については3点測定を行い、その平均値を測定値とした。

3.5 金属組織の内部観察（マイクロ組織、断面マクロ）および走査形電子顕微鏡によるレール損傷部表面の観察

(1) 試験片

マクロ観察およびマイクロ観察は、断面硬さ試験で用いた試験片にて行った。レール損傷部表面のSEM観察に用いる試験片は、損傷レールからFig.2のように切り出し採取した。

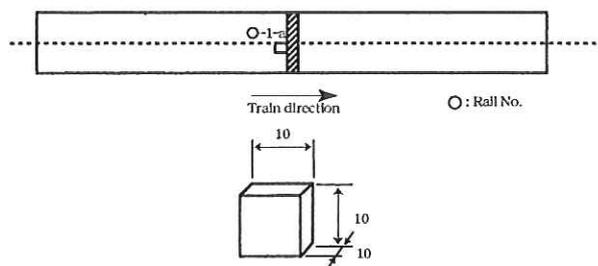


Fig.2 Working diagram of structure observation test piece

(2) 試験方法

試験片の断面を腐食液（ピクリン酸-塩酸溶液）にて腐食後、断面のマクロ観察を行った。また、レール損傷部近傍および健全部のマイクロ観察を行った。

また、表面観察は走査形電子顕微鏡（以下、SEM）×150にて行った。比較材として、レール表面をTigアークにより溶融させた試料を製作した。

4 調査結果

4.1 接着絶縁レールの損傷発生環境およびその状況等の調査

実際に電車が絶縁物近傍を通過する際の状況をVTRに収め画像処理を行った結果、車輪・レール間にアーク放電現象が観察された。Fig.3にアーク放電現象の様子を示す。また、Fig.4にアーク放電現象発生位置と頻度の関係を示す。Fig.4より、この現象の大半が上流側レール^{*}の絶縁物側端面から50mmの範囲で発生していることが分かった。

さらに、アーク放電現象はレール継ぎ目上を通過した総

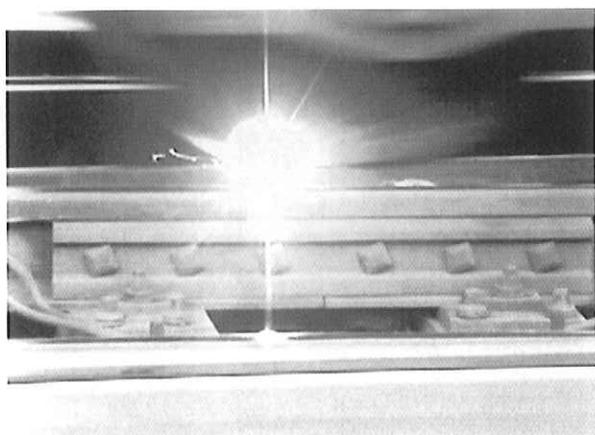


Fig.3 Arc discharge

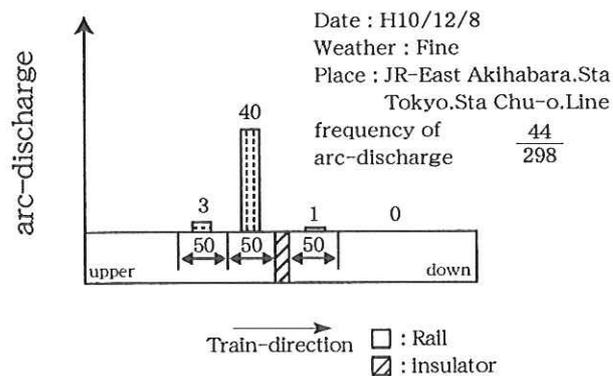


Fig.4 Position and frequency of Arc-discharge

車輪数296個に対し44個の車輪において起こっていることが分かった。

*) レールの上流側、下流側は河川に例え下記のように定義した。

上流側…列車進行方向に対し後方のレール

下流側…列車進行方向に対し前方のレール

4.2 接着絶縁レールの凹凸状況の測定

測定結果をTable 2、Fig.5に示す。これより、レール損傷部が摩耗していることが分かった。また、上流側レール絶縁物側端部が下流側レール絶縁物側端部に比べ0.1mm前後多く摩耗しており、段差が生じていることが分かった。

Table 2 Longitudinal Rail-profile

Distance from insulator	500	250	100	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	100	250	500	Note	
Rail No.	1-1	1.79	1.90	1.90	1.86	1.77	1.43	0.93	0.42	0									
	1-2									-4.13	-3.76	-1.73	0.05	0.45	0.87	1.86	1.35	1.78	Peeling off
	2-1	0.83	0.73	0.67	0.64	0.62	0.56	0.38	0.10	0									
	2-2									0.14	0.3	0.6	0.66	0.68	0.68	0.67	0.63	0.67	
	3-1	1.96	1.82	1.68	1.39	1.15	0.87	0.52	0.22	0									
	3-2									0.08	0.13	0.31	0.49	0.69	0.85	1.27	1.44	1.44	
	4-1	1.84	1.78	1.70	1.40	1.18	0.88	0.57	0.25	0									
	4-2									0.16	0.25	0.35	0.53	0.72	0.84	1.28	1.44	1.41	

* Rail unevenness is standardized by insulator side of upper stream rail.

* Sub-number 1 means upper stream, Sub-number 2 means down stream

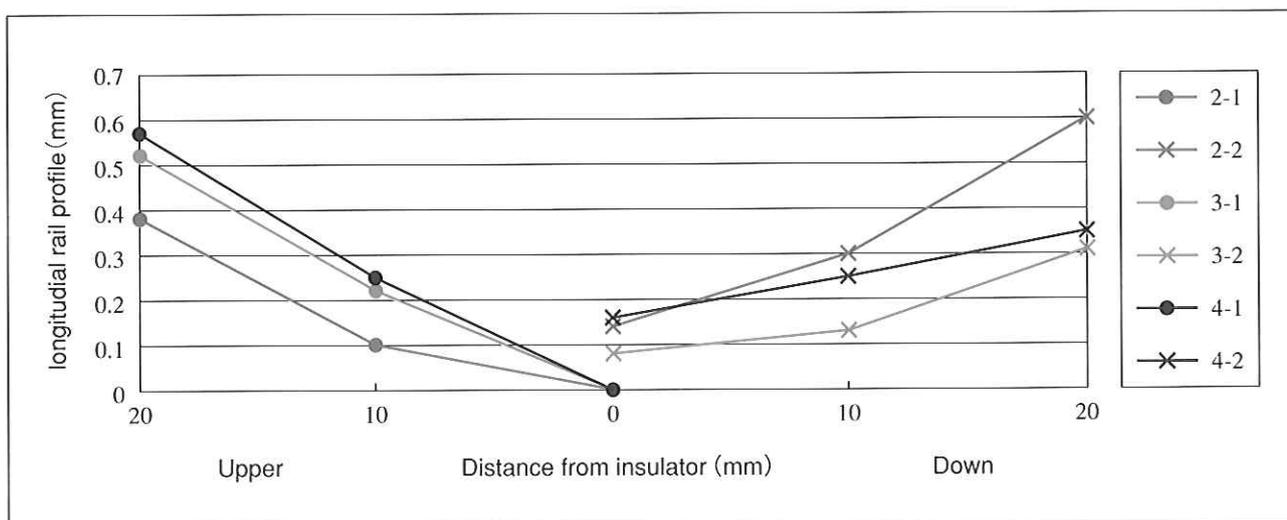
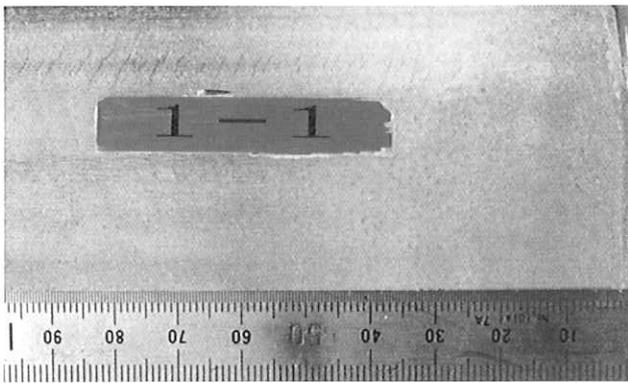
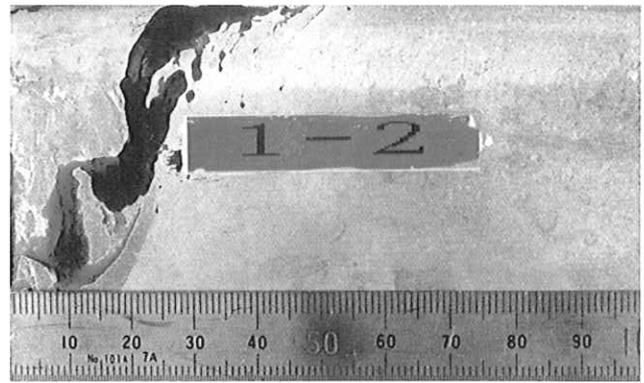


Fig.5 Longitudinal rail profile



(1) Upper



(2) Down

Fig.6 Appearance of damaged rail

4.3 外観調査および染色浸透探傷試験

供試材P.T.後の外観をFig.6に示す。外観写真より、上流側レール損傷部にアーク痕のような跡が観察された。また、

レールNo1-2についてはレール絶縁物側端面から25mmの範囲でレール表面が剥離していた。

さらに、染色浸透探傷試験後の外観写真よりレールNo1-2

Table 3 Hardness change From Rail surface to depth direction

Test piece No	Hardness change (Hv) From Rail surface depth direction (mm)										
	Surface	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
1-1-1	464	254	260	254	256	256	264	260	268	262	264
1-1-2	295	287	285	279	270	268	262	264	262	276	266
1-2-1	341	297	276	279	274	270	264	272	247	270	268
1-2-2	310	297	312	299	285	281	274	268	272	272	266
2-1-1	492	370	390	380	376	370	387	387	387	380	370
2-1-2	383	366	380	376	380	373	373	373	376	383	376
2-2-1	419	366	387	387	376	370	380	380	376	373	373
2-2-2	379	366	376	370	370	366	383	376	370	370	373
3-1-1	476	270	289	294	299	299	289	285	292	283	285
3-1-2	315	297	314	322	314	304	294	297	297	294	294
3-2-1	353	302	304	304	299	294	289	287	294	289	283
3-2-2	318	294	306	299	297	297	287	287	287	285	287
4-1-1	486	287	297	297	297	294	294	299	299	302	297
4-1-2	321	287	302	294	292	292	297	299	304	304	304
4-2-1	361	292	312	314	312	309	322	314	317	304	299
4-2-2	316	297	306	306	306	297	394	289	297	283	294

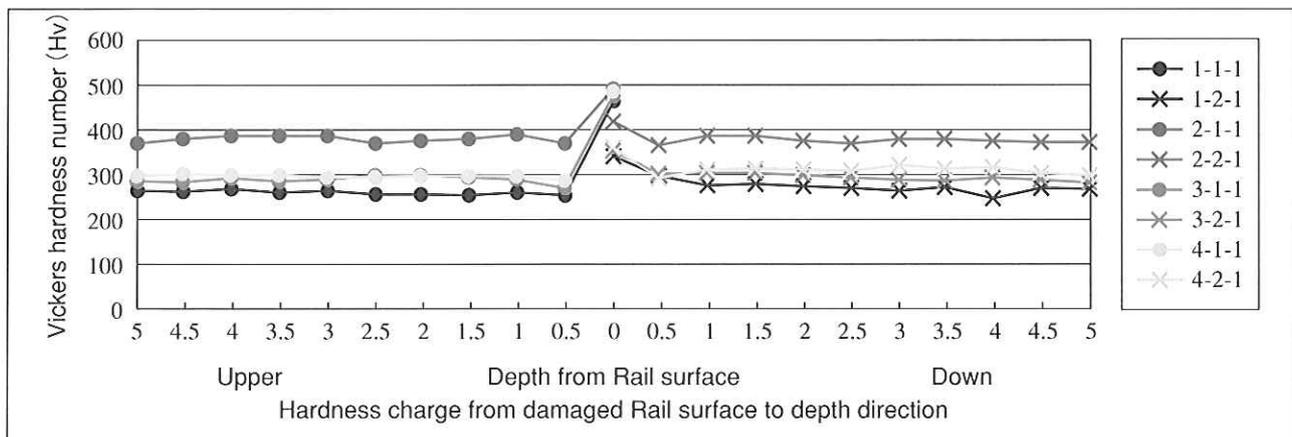


Fig.7 Hardness change from damaged rail surface to depth direction

のレール絶縁物側端面近傍でクラックが観察された。

これ以外のレールについては、外観および染色浸透探傷試験の結果、異常は認められなかった。

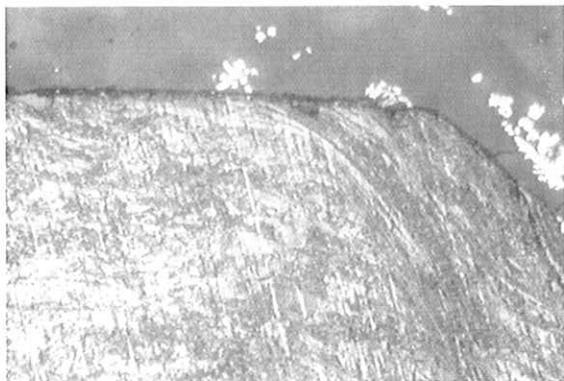
4.4 断面硬さ試験

硬度の測定結果をTable 3、Fig.7に示す。これより、上流側レール損傷部の表面の硬度がレール本来の硬度に比べビッカース硬度で100~200、下流側レール損傷部表面の硬度がビッカース硬度で約50高くなっていることが分かった。

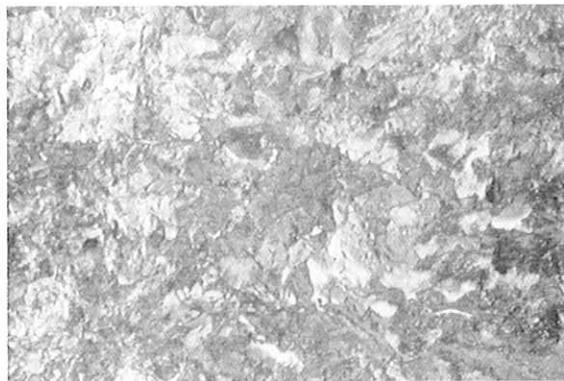
また、レール表面から深さ方向の硬度については、ほとんど変化はなく表面のみ硬度が高くなっていた。



(1) Upper



(2) Down



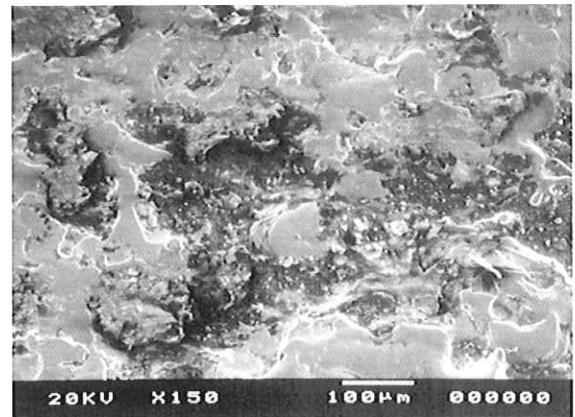
(3) Undamaged rail

Fig.8 Micro-structure of rail

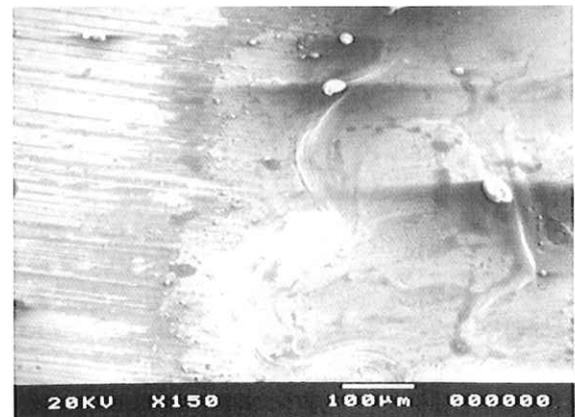
4.5 金属組織のマイクロ組織観察および走査形電子顕微鏡によるレール損傷部表面の観察

断面のマイクロ組織をFig.8に、レール損傷部表面のSEM写真をFig.9に示す。通常レールのマイクロ組織はパーライト組織を呈しているが、上流側レール損傷部のレール表面は溶融しており、溶融部およびその周辺部に熱影響による組織変化（マルテンサイト+ベイナイト組織）が見られた。下流側レール損傷部では、レール端面から頭頂部にかけてパーライト粒が押しつぶされたような組織（メタルフロー）が観察された。

また、表面のSEM観察では、上流側レールの損傷部頭頂表面はTigアークにてレール表面を溶融させた組織と同様な組織を示していた。



(1) Upper



(2) Melting condition by TIG

Fig.9 Surface to damaged rail

5 結論

(1)現場調査より、車輪とレール間のアーク放電現象が確認された。この現象は、上流側レール絶縁物側端面から50mmの範囲でその大半が発生していた。

(2)レール損傷部で、レールの摩耗が確認された。ま

た、上流側レール端部が下流側レール端部よりも0.1mm前後低くなっていた。

(3)上流側レール損傷部表面の硬度はレール本来の硬度よりもピッカース硬度で100～200高くなっていた。

(4)下流側レール損傷部表面の硬度はレール本来の硬度よりもピッカース硬度で50前後高くなっていた。

(5)マイクロ観察により、上流側レール損傷部表層近傍は部分的に溶融しており溶融部およびその近傍の組織に熱影響による組織変化が見られた。

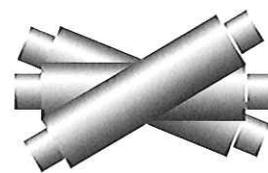
(6)マイクロ観察により、下流側レール損傷部ではレール端面から頭頂部にかけてパーライト粒が押しつぶされたような組織（メタルフロー）が観察された。

(7)レール表面のSEM観察により、上流側レールの損傷部表面が溶融されている様子が観察された。

6 おわりに

以上の結果から、上流側レール損傷は車輪・レール間のアーク放電現象による金属の蒸発、飛散、酸化等の損耗が原因と推定される。

また、下流側レールの損傷は上流側レール端部がアーク放電現象による損耗により、下流側レール端部との間に段差を生じるため、車輪が下流側レール端部と接触する際の衝撃荷重が大きくなることが原因であると推定される。



矯正ロールの理論解析

Theoretical Analyses of Straightening Roll



CPC技術開発室
沼 和宏
Kazuhiro Numa

CPC技術開発室長
尾崎 健一
Ken-ichi Ozaki

技術開発部部長
斉藤 弘道
Hiromichi Saito

東京大学生産技術研究所教授
木内 学
Manabu Kiuchi

要 旨

棒鋼の安定した矯正作業を行う上で、重要な役割を担っている矯正ロールに関して、矯正時の棒鋼との位置関係（ロールギャップ）を明確にするための計算方法を構築した。この方法は、被矯正材である棒鋼の中心線を基準軸とし、その線上からロール表面までの距離を三次元幾何的に求め、ロール周方向の位置に対してこの距離の最小値を求めるものである。この方法を、実機矯正時の条件に適用して、ロール軸方向のロールギャップの推移を数値的に表した。

Synopsis:

The straightening roll plays an important role in stable steel bar straightening work. We have established a method to calculate and determine the geometric relation (roll gap) between the steel bar and straightening roll during a straightening operation.

In this method, with the axis of the steel bar being straightened made a reference axis, the distance from the axis to the roll surface is obtained three-dimensionally, and the minimum value of this distance against the circumferential direction of the roll is obtained. By applying the method to the actual straightening condition, we expressed numerically the transitive change of roll gap in the roll axial direction.

1 緒言

現在、当社では、独自に創出した連続注入クラッド法(CPC法)¹⁾によって、棒鋼矯正機用ハイスロールを製造しており、製鉄所において適用拡大中である。

近年、棒鋼の製造技術への要求が高まりつつあり、棒鋼の断面寸法の高精度化、真円度の高度化、表面の高品質化などが強く求められている。それらの要求を満足するためには、棒鋼の圧延加工技術の高度化のみならず、矯正加工機の機械精度やロールの形状、設定位置および動作精度、耐久性などの補佐的な技術について、十分検討していく必要がある²⁾。

棒鋼矯正機としては、一般的につづみ形ローラ式が用いられている。この矯正方式において、矯正ロールは、安定した矯正作業を行う上で、重要な役割を担っており、矯正ロールの性能（形状、強度、耐摩耗性など）によっては、

矯正機の性能を著しく低下させ、製品精度、表面性状の不具合を発生させてしまう場合がある。しかしながら、これまでに矯正ロールの性能、特に矯正時の性能についての十分な検討はなされていない。

今後、様々な矯正条件に対して適正なロール性能を的確に確保していくためには、矯正ロールと材料（棒鋼）の接触状況、接触面の状態を定量的に把握する必要がある。そこで、その第一歩として、矯正時の棒鋼と矯正ロールとの位置関係（ロールギャップ）を求める方法について検討した。本稿では、そのロールギャップの基本的な計算方法、また、それをもとに得られた計算結果について報告する。

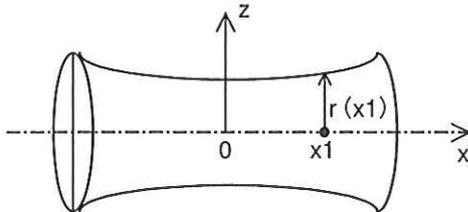
2 矯正加工時の問題点

棒鋼の矯正方法として、現在最も広く用いられている方法は、回転繰り返し曲げ矯正法である。Fig.1に、この方法

で使用される上・下矯正ロールのロールプロフィールを、Fig.2に、矯正時のロールと棒鋼との関係およびロールに働く軸力を示す。

回転繰り返し曲げ矯正法は、被矯正材すなわち棒鋼をロール表面に沿って長手方向に曲げると同時に、長手方向軸周りに回転させることで、棒鋼に加える曲げ作用面を規則的に変化させ、変形（矯正）する方法である。

(a) Top straightening roll



(b) Bottom straightening roll

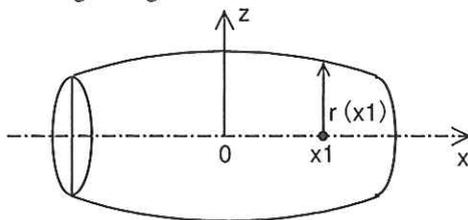


Fig.1 Profiles of straightening rolls

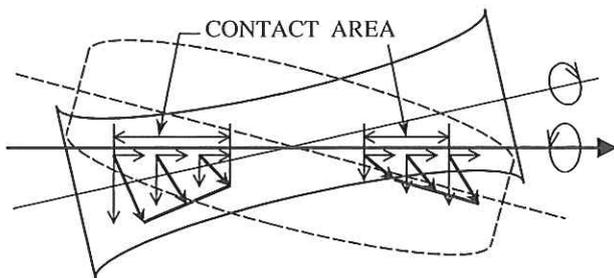


Fig.2 Geometrical relationship between top straightening roll and steel bar in straightening process

Fig.1からも判るように、矯正ロールの回転径は、軸方向の各位置で異なっている。すなわち、Fig.2に示すように、ロール・被矯正材間で発生する接触面圧、摩擦力、相対滑り速度およびそれらより定まる軸力は、ロール表面上で一様ではない。

矯正ロールの性能、例えば、剛性、形状などに変化が生じると、安定した矯正時に得られる軸力のバランスが崩れ、有効な矯正が出来ない状況に陥る結果となる。

したがって、回転繰り返し曲げ矯正法を有効に実行して行くためには、ロールと被矯正材との幾何学的な位置関係が被矯正材に与える影響のシミュレーションを実施し、ロールによって被矯正材に加えられる曲がりの程度、曲がり

の順序、経路を正確に把握した上で、状況に適したロール設計、ロール設置を行うことが必要不可欠である。

3 ロールギャップの計算

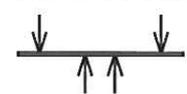
回転繰り返し曲げ矯正法で使用される上・下矯正ロールは、所定の隙間と棒鋼に対して所定の交差角度を付けた状態で設置される。棒鋼は、この上・下矯正ロール間の隙間を通過する過程で、各々のロールと接触し、繰り返し曲げを受ける。矯正時の変形としては、主に3点曲げが加わるが、その概略図を、圧延時の条件と併せてFig.3に示す。矯正時間の経過により、ロールは少なからず摩耗するが、その摩耗が増大すると、3点曲げができない状態、例えば2点曲げ（圧延条件）へ変化してしまい、矯正条件を十分満足出来ないことになる。

① Straightening

(3-point bending)



(4-point bending)



② Rolling

(2-point bending)



Fig.3 Straightening conditions

3点曲げの状態で矯正が実施されている場合、当然、棒鋼は、矯正ロール表面の3カ所で接触していることになるが、その時、接触点は棒鋼と上・下矯正ロール表面各々との距離が最も近い位置になると考えられる。

この最短距離を呈する位置、すなわち接触位置が明確になれば、矯正時の棒鋼と矯正ロールとの位置関係を把握することができ、棒鋼に加わる曲げ変形について知り、任意の矯正環境（隙間、交差角度といったロール設置条件）に適した矯正ロールを製造、適用する事も可能となる。

以上の考え方にに基づき、棒鋼とロール表面間の最短距離を呈する位置を算出するための基本的な計算方法を構築した。なお、以下、棒鋼が矯正ロール間の隙間をまっすぐ通過する場合を想定して説明しているが、これは上に述べた上・下矯正ロールのロールギャップそのものを計算していることに相当する。

3.1 矯正ロールと棒鋼との幾何学的関係

3.1.1 ロール横断面上でのロール表面から棒鋼の軸心までの距離

ロール表面から棒鋼軸心までの最短距離を算出するに当

たり、まず、ロール軸心に垂直な横断面上のロール表面から棒鋼軸心までの距離の計算方法を検討した。Fig.4に、ロール軸心に垂直な任意の面におけるロール横断面と棒鋼軸心との位置関係を示す。ここで、ロール表面上の点から棒鋼軸心までの距離（図中L）は、線分QrQの長さで表すことが出来る。この時の点Qr、点Qの座標は、Table 1に示す通りである。したがって、距離Lは、右式で与えられる。なお、図中の α は矯正ロールと棒鋼との交差角度、hは矯正ロールと棒鋼の軸間距離である。(1)式のと看、 L^2 すなわちLは最小値をとる。なお、(1)式が成立する場合、点Pr、Qr、Qが、Fig.5に示すように、一直線上に並んだ場合に相当する。

Table 1 Coordinates

	Y	Z
Qr	$r(x) \cdot \sin \theta$	$h - r(x) \cdot \cos \theta$
Q	$x \cdot \tan \alpha$	0

$$\begin{aligned}
 L^2 &= \left\{ h - r(x) \cdot \cos \theta \right\}^2 + \left\{ r(x) \cdot \sin \theta - x \cdot \tan \alpha \right\}^2 \\
 &= h^2 - 2h \cdot r(x) \cdot \cos \theta + r(x)^2 \cdot \cos^2 \theta + r(x)^2 \cdot \sin^2 \theta - \\
 &\quad 2x \cdot \tan \alpha \cdot r(x) \cdot \sin \theta - x^2 \cdot \tan^2 \alpha \\
 &= h^2 + r(x)^2 + x^2 \tan^2 \alpha - 2h \cdot r(x) \cdot \cos \theta - 2x \cdot \tan \alpha \cdot \\
 &\quad r(x) \cdot \sin \theta
 \end{aligned}$$

最小条件より

$$\frac{\partial(L^2)}{\partial \theta} = 0$$

$$2h \cdot r(x) \cdot \sin \theta - 2x \cdot r(x) \cdot \tan \alpha \cdot \cos \theta = 0$$

故に

$$\tan \theta = \frac{2x \cdot \tan \alpha \cdot r(x)}{2h \cdot r(x)} = \frac{x \cdot \tan \alpha}{h} \dots \dots \dots (1)$$

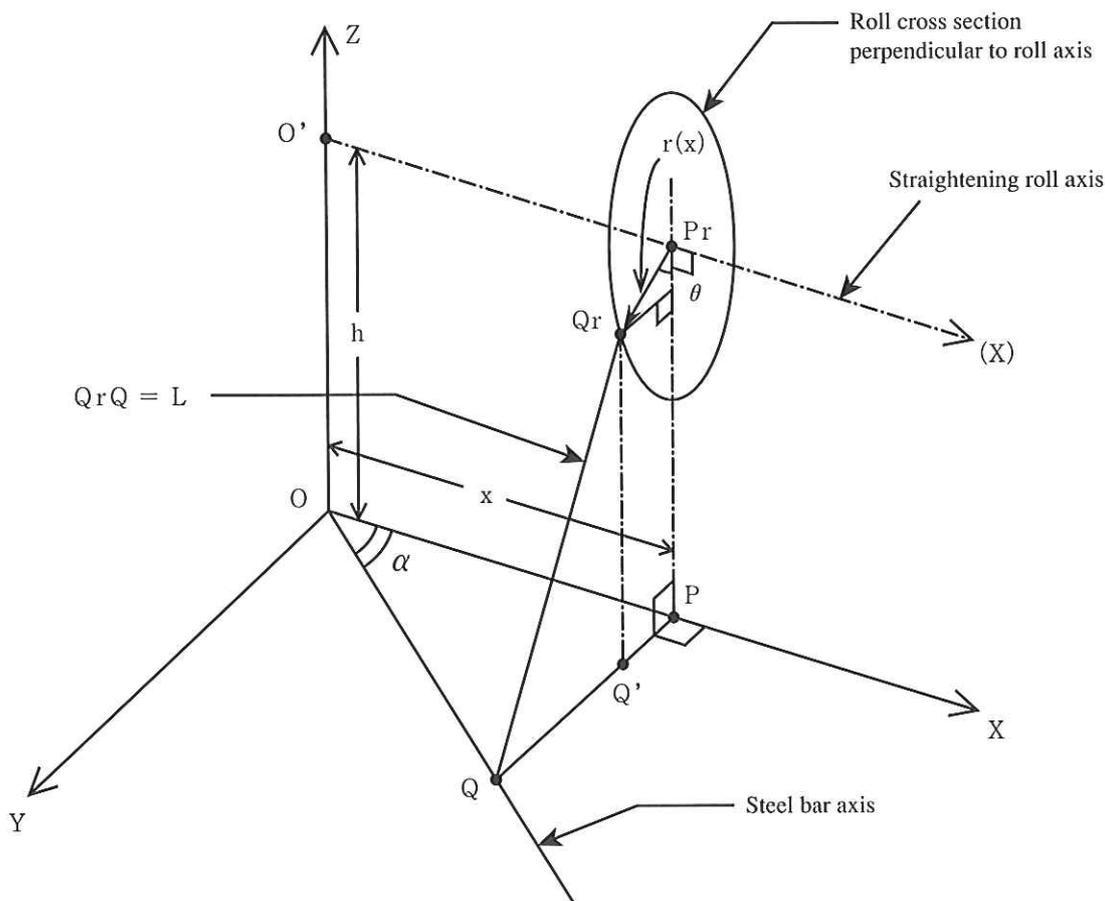


Fig.4 Geometry of roll cross section and steel bar axis

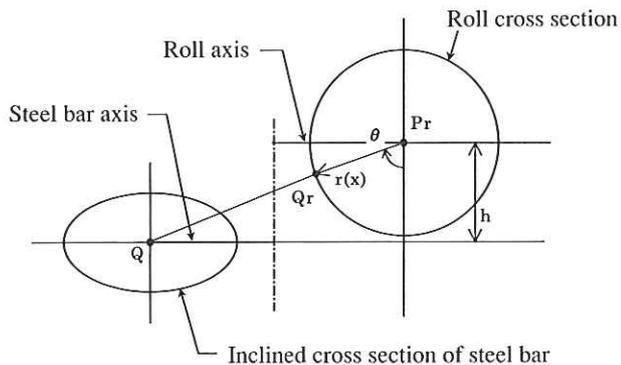


Fig.5 Cross sections perpendicular to roll axis

3.1.2 ロール表面から棒鋼の軸心までの最短距離の計算
 先にも述べたように、実機における矯正ロールは、棒鋼に対して、ある交差角度を付けて設置されている。つまり、ロール表面と棒鋼軸心は、Fig.6に示すような位置関係となる。Fig.6から、ロール表面上の任意の点 Q_r から棒鋼軸心へ垂直に降ろした時の距離 L_0 （線分 Q_rQ_0 ）が、ロール表面から棒鋼軸心までの最短距離となる。ここで、点 Q_0 の座標および各線分の長さを求めると、次式のように表すことができる。

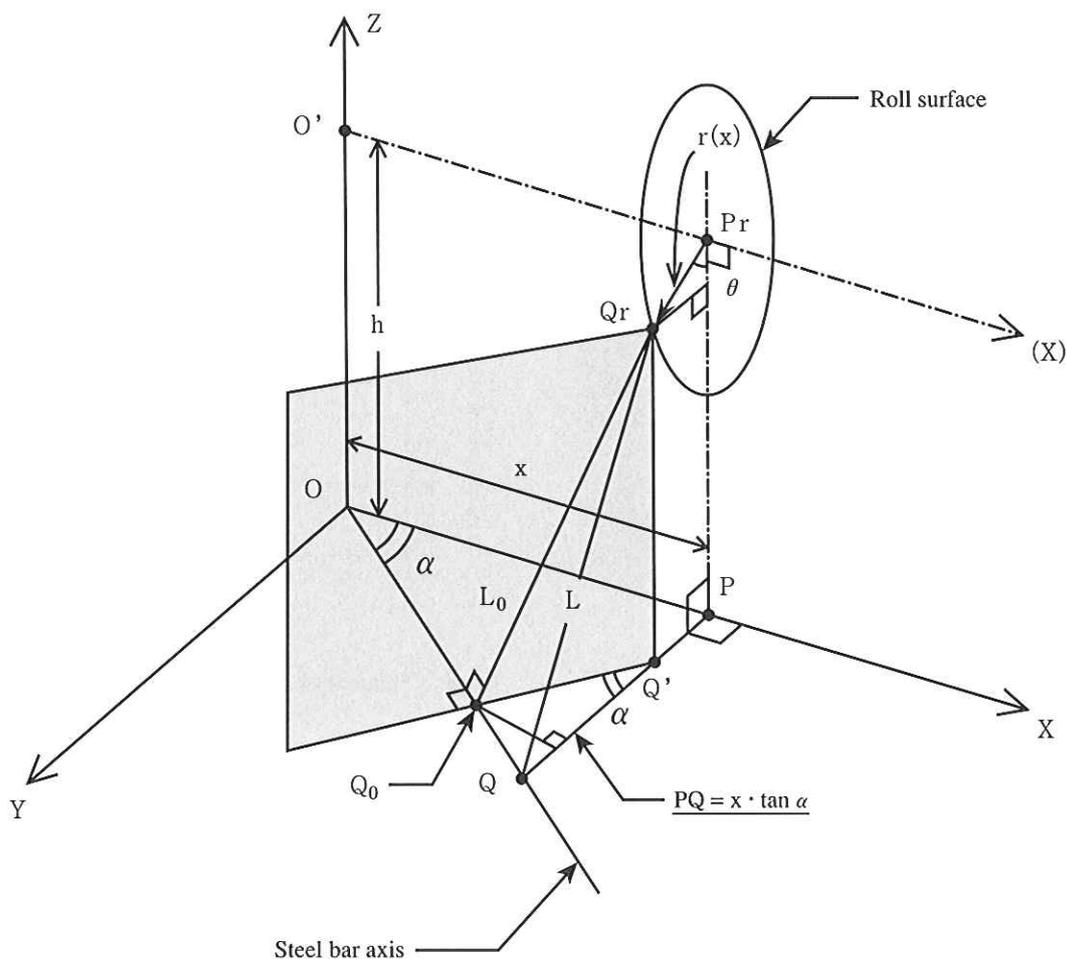


Fig.6 The shortest distance from roll surface to steel bar axis

$$\overline{OQ} = \sqrt{x^2 + (x \cdot \tan \alpha)^2} = x \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$\overline{OQ} = \overline{PQ} - \overline{PQ'} = x \tan \alpha - r(x) \cdot \sin \theta$$

$$\overline{Q_0Q'} = \overline{OQ'} \cdot \cos \alpha = (x \cdot \tan \alpha - r(x) \cdot \sin \theta) \cdot \cos \alpha$$

点 Q_0 のx座標 $= x - \overline{Q_0Q'} \cdot \sin \alpha$

点 Q_0 のy座標 $= \overline{PQ'} + \overline{Q_0Q'} \cdot \cos \alpha$

上式および3.1.1で求めた点 Q_r の座標から、距離 L_0 の2乗は次式で得られる。

$$(L_0)^2 = \left\{ x - (x - \overline{Q_0Q'} \cdot \sin \alpha) \right\}^2 + \left\{ \overline{PQ'} + \overline{Q_0Q'} \cdot \cos \alpha - \overline{PQ} \right\}^2 + \left\{ h - r(x) \cdot \cos \theta \right\}^2$$

$$= (\overline{Q_0Q'})^2 + \left\{ h - r(x) \cdot \cos \theta \right\}^2$$

すなわち

$$(L_0)^2 = \left\{ x \cdot \tan \alpha - r(x) \cdot \sin \theta \right\}^2 \cdot \cos^2 \alpha + \left\{ h - r(x) \cdot \cos \theta \right\}^2$$

$$= x^2 \cdot \tan^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha - 2x \cdot \tan \alpha \cdot \cos^2 \alpha \cdot r(x) \cdot \sin \theta + x^2(x) \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \theta + h^2 - 2h \cdot r(x) \cdot \cos \theta + r^2(x) \cdot \cos^2 \theta$$

$$= x^2 \cdot \sin^2 \alpha + h^2 + r^2(x) - x \cdot \sin 2\alpha \cdot r(x) \cdot \sin \theta - r^2(x) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \theta - 2h \cdot r(x) \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (2)$$

最小条件より

$$\frac{\partial L_0^2}{\partial \theta} = 0 \dots \dots \dots (3)$$

(2)(3)より

$$-x \cdot r(x) \cdot \sin 2\alpha \cdot \cos \theta - 2r^2(x) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + 2h \cdot r(x) \cdot \sin \theta = 0$$

$$\therefore [2h \cdot r(x)] \cdot \sin \theta = [x \cdot r(x) \cdot \sin 2\alpha] \cdot \cos \theta + [r(x)^2 \cdot \sin 2\alpha] \cdot \cos \theta + [r(x)^2 \cdot \sin^2 \alpha] \cdot \sin 2\theta \dots \dots \dots (4)$$

上式(4)を満足する角度 θ を $\theta = \theta^*$ とすると、この時、ロール軸方向 X における距離 L_0 は最小となる。この(4)式に、矯正ロールの形状、棒鋼の形状、交差角度、軸間距離といった矯正条件(数値)を代入し、ロール軸方向の任意の位置 X について計算をすることにより、ロール軸方向のロールと棒鋼との最短距離、すなわち接触位置を判断することが可能となる。

4 ロールギャップの計算結果

(4)式により、実機で使用されている上・下矯正ロールを想定して、棒鋼軸心とロール表面との最短距離の計算を行った。Fig.7は、本計算で適用した上・下矯正ロールのロールプロフィール(モデル)である。また、Table 2は矯正時

の条件であるが、これは、現在某製鉄所における実機の矯正条件である。なお、計算は、ロール中心から380Lの範囲(ロールの半胴長)について実施した。

Fig.8、Fig.9に、それぞれ棒鋼軸心から上矯正ロールおよび下矯正ロールまでの距離の計算結果を示す。上矯正ロールについてはロール中心から350mm、下矯正ロールについてはロール中心が最短距離であった。

この結果は、棒鋼軸心との距離を示したものであるが、更に棒鋼の径を考慮に入れば、矯正ロールとの接触位置を明確にする事が可能である。

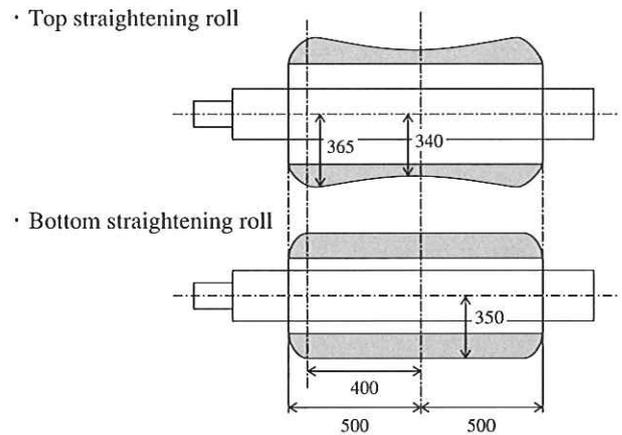


Fig.7 Straightening rolls for calculation

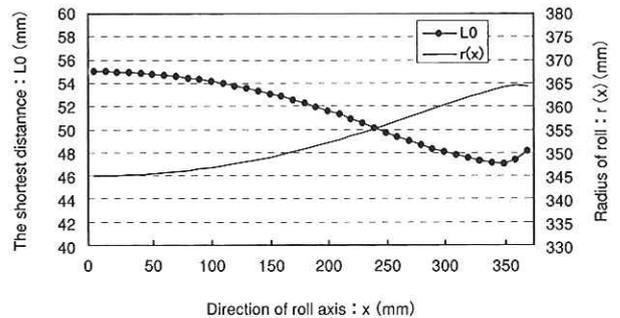


Fig.8 Distance from top straightening roll to steel bar axis

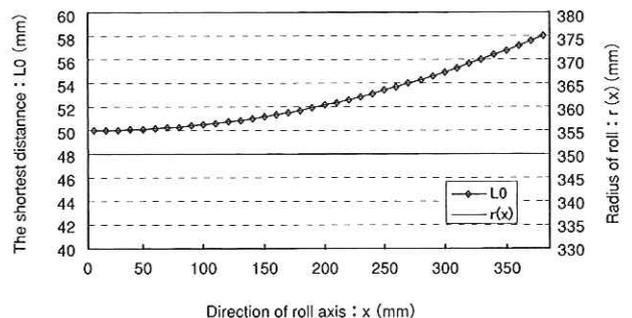


Fig.9 Distance from bottom straightening roll to steel bar axis

Table 2 Calculation condition

	Top roll	Bottom roll
Crossing angle : (α)	15.3°	12.3°
Distance from roll axis to steel bar axis : (h)	400mm	400mm

5 結言

矯正ロールの理論解析と題して、矯正時の棒鋼と矯正ロールとの位置関係の把握を目的に、ロールと棒鋼軸心間の距離（ロールギャップ）の基本的な計算方法について構築した。さらに、実機矯正加工時の条件に適用することによって、矯正時のロールギャップの推移を数値的に表すことが出来た。

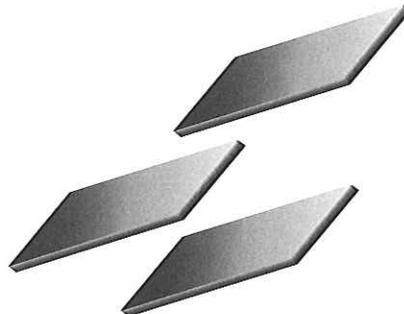
本報告では、上・下矯正ロール間を棒鋼がまっすぐ通過

することを想定しているが、実質はあくまでロールギャップの計算について示したものであり、ロールギャップが適確に把握できれば、矯正時の棒鋼に加えられる曲がりや、その経路について検討できる。

したがって、今後は、その棒鋼の曲がりについての計算を加えながら、計算結果の信頼性を高めていくとともに、矯正ロールまたは矯正機の設計に利用していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 坂本 眞一、斉藤 弘道：フジコー技報，No 1 (1993)，p16
- 2) 木内 学：棒・線材の矯正技術，生産研究，48. No 4 (1996.4)，p226



HVOF溶射機を使用した発電 ボイラー現地溶射

1 緒言

1960年代我が国の発電エネルギー源は、水力発電から化石燃料である石炭火力に移行し、さらに石炭から石油及び天然ガスに移行したが、1970年代に入りオイルショックの影響を受け埋蔵量の多い石炭が主流となった。近年ではエネルギーの安定を図るため、石炭、石油及び天然ガスをバランス良く併用する措置が取られている。¹⁾

一方、欧米では発電エネルギー源として都市ごみを利用する「ごみ発電」が盛んに行われており、我が国でも近年都市ごみの増加に伴いごみ発電が脚光を浴びている。

このような燃料を熱源とするボイラーでは図-1¹⁾に示す如く燃焼ガスや燃焼灰による腐食やエロージョンによる各部の損傷がボイラー事故の原因となることが全体の40%以上にも達しており、この対策として溶接肉盛、溶射等の表面コーティングが行われている。

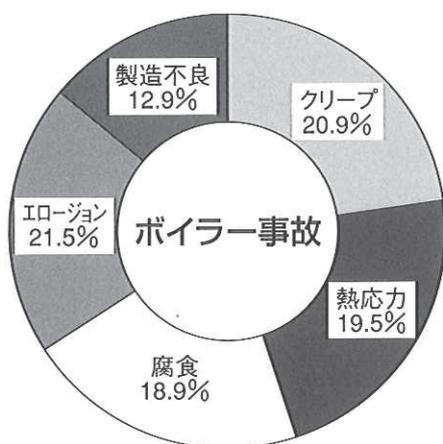


図-1 ボイラー事故原因

当社でも、ボイラーチューブの腐食、エロージョン対策としてHVOF溶射（High Velocity Oxygen Fuel Thermal Spraying）を適用しており、この技術的取り組みや実績を概説する。

2 ボイラーチューブの損傷形態

石炭炊きボイラーでは主に燃焼灰によるエロージョンが問題となる。特に節炭器チューブでは電熱効率を向上させるためガス流速が高くなる傾向にありエロージョンが問題

となる。また、火炉壁管や過熱器管に付着した燃焼灰を除去するため蒸気ブローを行う場合もスリーブブロー廻りに激しいエロージョンを受けることが多い。

エロージョン現象における基材材質と粒子衝突角、エロージョン速度の関係は図-2¹⁾の様な関係となり、脆性材料（高硬度材料）では衝突角度が鋭角である場合エロージョンに良く耐え、直角に近いほどその靱性が災いしエロージョン速度は速くなる。延性材料では、反対に直角に近い場合塑性変形を起こしエロージョン摩耗速度は鈍化していく。

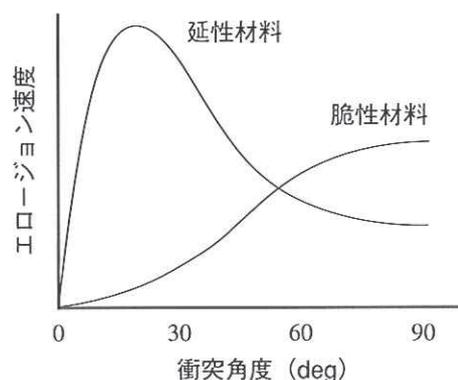


図-2 エロージョン速度に及ぼす粒子衝突角度の影響

また、実験式では

$$W = KV^{\alpha} \sin^{\beta} \theta$$

W：減肉速度

K：定数（粒子の直径、密度、硬度に依存）

V：粒子衝突速度

θ ：粒子衝突角度

α 及び β ：実験決定値

が知られており、粒子の衝突角度に対して指数関数的にエロージョン速度は増大する。¹⁾

低純度重油や都市ごみを燃料とするボイラーでは主に燃焼高温ガスに含まれるS、V、Cl等の腐食性元素による高温腐食が問題となる。重油炊きボイラーの場合、特に最も高温となる過熱器管やバーナー周りに付着した燃焼灰が熔融状態となりV₂O₅、Na₂SO₄等の低融点酸化物を生成、熔融塩腐食反応を起こしボイラーチューブに損傷を与える。

また、都市ごみ焼却ボイラーでは都市ごみ中に含まれる

食塩、塩化ビニール系樹脂の燃焼により腐食成分であるHClが1000ppm以上発生した例がある。
発生したHClは次式の反応を起こし融点677℃のFeCl₂及び融点300℃のFeCl₃を生成しボイラーチューブに損傷を与える。



3 溶射の種類

溶射には溶射熱源および溶射材料形状による分類方法がよく使用され、何れの溶射方法もボイラーチューブ溶射に適用されている。図-3に溶射分類を、表-1にそれぞれのボイラーに適用されている溶射方法、溶射材料、特徴を示す。
また、代表マイクロ組織例を図-4に示す。

図-4のマイクロ写真から溶射方法、溶射材質によって溶射皮膜に大きな差があることが解る。即ち、溶射時の粉末スピードが遅いガス及びアークワイヤー溶射では皮膜内に気孔が多く観察され、溶射皮膜の特徴であるラメラ構造が明確に観察できる。

プラズマ溶射とHVOF溶射では、プラズマ出力が200kWと高出力であるためか、目視では顕著な差は無いが、気孔率を画像解析し測定すればプラズマ溶射がHVOF溶射に比べ気孔率が多い。また、同じHVOF溶射機でも機種により差異が認められる。

皮膜内硬度やプラストエロージョンテストにおいてもそれぞれに差異が計測できる。気孔率と皮膜断面硬度、荒田式プラストエロージョンテスト結果を表-2に示す。

表-1 ボイラーに適用されている溶射

	主な摩耗形態	溶射方法	溶射材料
重油	S、V腐食	プラズマ、ワイヤー、HVOF	50Ni-Cr 自溶合金
微粉炭	S腐食、エロージョン	プラズマ、ワイヤー、HVOF	Cr ₃ C ₂ 系 自溶合金
流動床石炭	エロージョン	ワイヤー、プラズマ、HVOF	Cr ₃ C ₂ 系 自溶合金
産廃・都市ごみ	cl腐食	ガス粉末、ワイヤー、HVOF	50Ni-Cr 自溶合金
CDQ・OG	エロージョン	ガス粉末、ワイヤー、プラズマ	SUS420系・自溶合金 50Ni-Cr

表-2 荒田式プラストエロージョンテスト結果

(Cr₃C₂系サーメット皮膜)

	気孔率	HV ₃₀₀ 硬度	減摩摩耗量 (mg)
高出力プラズマ	5%	511～ 934	160
HVOF A	1.20%	815～1028	126
HVOF B	2.80%	707～ 886	145
HVOF C	2.20%	772～ 970	144

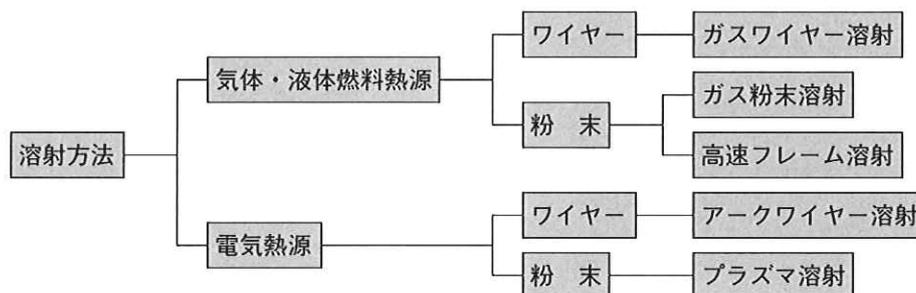
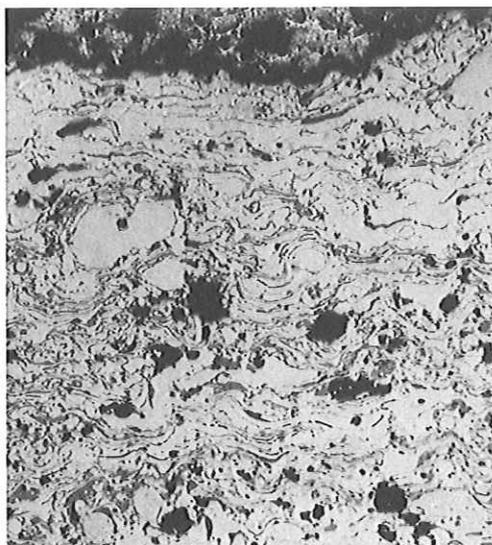


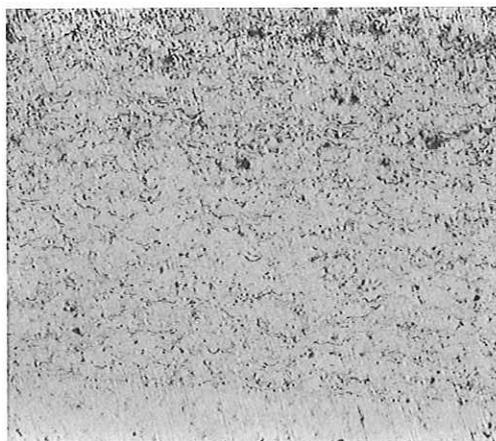
図-3 溶射の種類



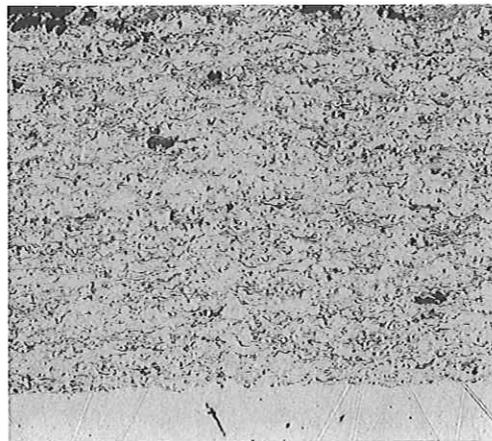
(1) アークワイヤー溶射
SUS420J2 100 μ m



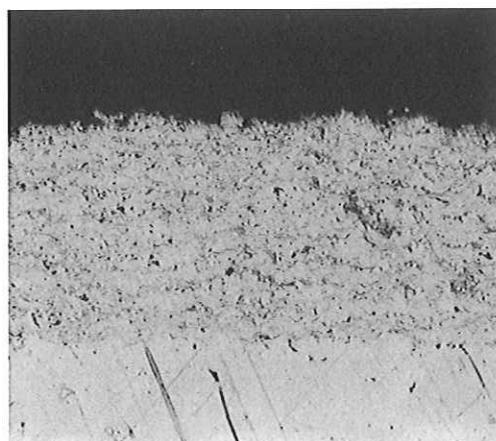
(2) ガスワイヤー溶射
SUS420J2 100 μ m



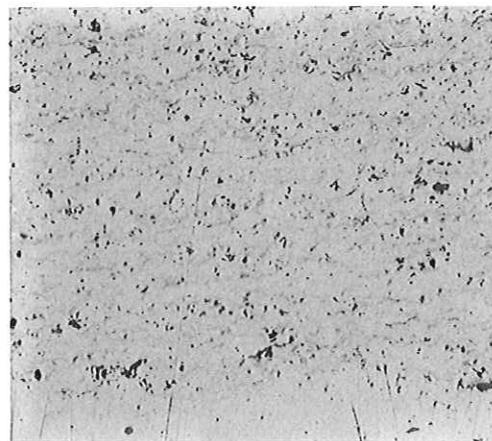
(3) HVOF溶射A
Cr₃C₂-NiCr 50 μ m



(4) HVOF溶射C
Cr₃C₂-NiCr 50 μ m



(5) HVOF溶射B
Cr₃C₂-NiCr 50 μ m



(6) 高出力プラズマ溶射
Cr₃C₂-NiCr 50 μ m

図-4 各種溶射方法の代表マイクロ組織

4 HVOF溶射の分類と性能

HVOF溶射ガンは爆発溶射の代替え溶射方法として考案、開発され爆発溶射皮膜の性能と同水準の皮膜特性を実現すると同時に大幅な溶射処理速度の向上をも可能とする長所が明らかになり、現在では、炭化物系サーメット溶射に最適な優れた溶射方法として広く認められている。

この溶射機は一般的に、燃焼室とそれに連なるバレルノズルから構成され、多量の燃料及び助燃材を燃焼室に供給して混合、燃焼させその燃焼排ガスをバレルノズルより超高速フラームとして噴出させる構造となっている。溶射材料は粉末を使用し、キャリアーガスにより溶射ガンに供給され燃焼排ガスフラームに乗ってバレルノズル内を加速、飛行する。この間、溶射材料粒子は加速、加熱、溶融あるいは軟化、酸化、分解等の物理現象を起こしつつ、基材へ到達し、衝突、扁平、凝固、堆積、積層を繰り返し溶射皮膜となって行く。

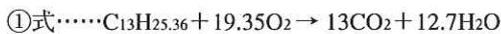
従って、燃焼排ガス高速フラームの流れと溶射材料粒子の間わりは溶射皮膜性能に大きく影響する極めて重要な因子であることは明白である。²⁾

HVOF溶射も機種により、その構造には違いがある。高速フラーム溶射にて総称されるHVOF及びHVAF溶射機(High Velocity Arc Fuel Thermal Spraying)を燃料、助燃剤、バレルノズルの有無にて分類すれば図-5のようになる。

現状市販されているHVOF、HVAF溶射機は図-5に示す何れかに属しており、それぞれに工夫され特徴があるものの、その燃焼フラーム速度はバレルノズル、燃焼室が同形状・同構造であれば燃焼排ガス量に依存すると考えられフラームの高速化は、皮膜の緻密化、密着性の向上を図る上でも重要な因子となる。

表-2にて示したHVOF Aは燃料に液体燃料である灯油を使用している。また、HVOF B及びCは気体燃料であるプロピレンを使用する場合が多い。

灯油を完全燃焼すれば以下の式が得られる。



また、プロピレンを理論完全燃焼すれば以下の式が得られる。



ここで、発生したCO₂ガス及びH₂Oは排ガスとなって高

速な燃焼フラームを作る。①式と②式の燃焼排ガス量は灯油燃料がプロピレン燃料の2倍強の排ガス量と断定できる。このため、HVOF Aの溶射粉末飛行速度が最も速いものと推測出来、成膜された溶射皮膜はHVOF溶射の中でも気孔が少なく、緻密な最も優れたものとなる。

また、HVOF BとHVOF Cの差はバレルノズルの有無にある。HVOF Cの溶射機は、A溶射機と同型の構造であり燃料が気体であるの対し、このHVOF Bタイプの溶射機は、高圧にてプロピレンを溶射ガン内部に導入しガン先端外部にて燃焼させる構造であり、燃焼室やバレルノズルを保有していないため溶射粉末の加速域が短い、粉末の軟化、溶融に寄与する熱量が少ない、等の欠点はある。しかし、溶射粉末粒径を小さくする等の対策を取り欠点を補うと共に、バレルノズル、燃焼チャンバーが無い、空冷構造となっている等、溶射ガンの軽量化がなされており現地でのHVOF溶射施工が要求されるボイラーチューブ溶射では最も作業性に富んだ溶射機である。しかしながら、被膜性能については前記の如くHVOF Aには及ばない。

HVOF Aの優れた溶射皮膜特性の1つの指標として被膜残留応力が圧縮となることが挙げられる。一般的に溶射は図-6に示すように溶融した溶射粉末が基材に衝突し凝固するため被膜には引っ張りの残留応力の発生は避けられない、しかし、HVOF AやHVAF溶射では溶射粉末は殆ど溶融されず軟化の状態で行き基材に衝突するため基材が塑性変形する。このプラスト効果のため被膜内部や基材は圧縮の応力が発生することになる。これは、燃焼エネルギーの殆どが溶射粉末粒子に運動エネルギーとして作用したためと考えられる。このため、溶射皮膜特性として密着力の優れた気孔の少ない溶射皮膜となっている。

HVAF溶射機はHVOF A溶射に比べ助燃剤に空気を使用するため空気中の主成分であるN₂がO₂のみを助燃剤として使用するHVOF Aよりも過剰となるため、より排ガスの量が多くなる。このため、溶射粉末に寄与する運動エネルギーは更に増大し、密着力や気孔率等溶射皮膜特性はよりいっそう優れたものとなる。しかしながら、燃焼排ガスが余りにも多く、バレルノズルより超音速にて噴射される排ガスの反動は人力では制御できず現地溶射には不向きな溶射機である。

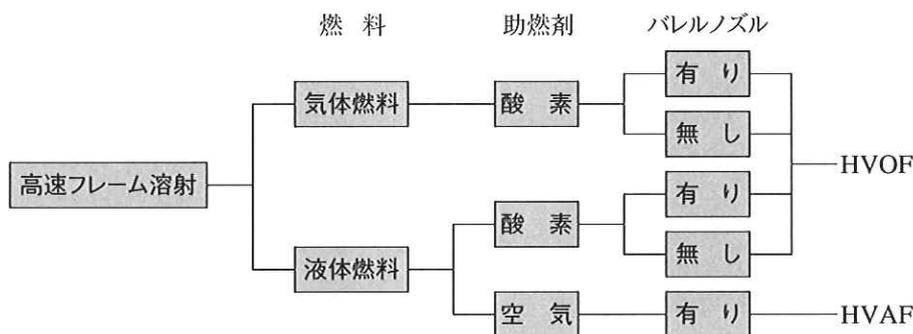


図-5 高速フラーム溶射の分類

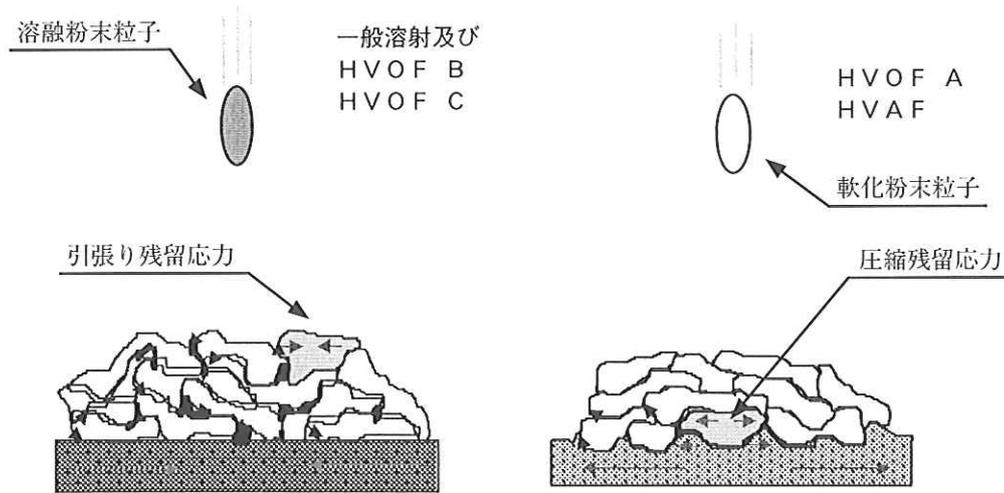


図-6 溶射皮膜の形成模式図

5 フジコーのボイラーチューブ現地溶射

当社ではボイラーチューブの溶射方法として図-3に示した溶射方法全ての実績を有しており、ボイラーの使用環境、希望耐用年数、コストに合わせた溶射機・溶射材料を選定し施工を行っている。

図-3に示した溶射材料の内、自溶合金はガス粉末溶射機にて溶射された後フュージングを行い使用する場合と、プラズマ溶射やHVOF溶射にて溶射ままの状態にて使用する場合があります。フュージングを行う場合、皮膜は実質的に無気孔でありボイラーチューブ基材と拡散するため密着力も20kg/mm²以上と最も優れたものになる。反面、既設ボイラーの現地溶射や補修溶射は困難であり、近年当社では既設

ボイラーの損傷防止や繰り返し補修が要求される場合、気孔率が小さく密着力に優れた表-2に示すHVOF溶射Aタイプを使用することが多くなっている。また、Cr₃C₂系、Ni-Cr合金等の溶射材料についてもプラズマ溶射法やワイヤー溶射法に比べ低気孔、高密着力であるためHVOFでの施工が増えている。

図-7にHVOF Aの使用例を示す。また、図-8に微粉炭炊きボイラー、スーツプロアー廻り火炉壁に適用され5年を経過しても健全な皮膜が確認できるHVOF AタイプのCr₃C₂系溶射皮膜外観を示す。

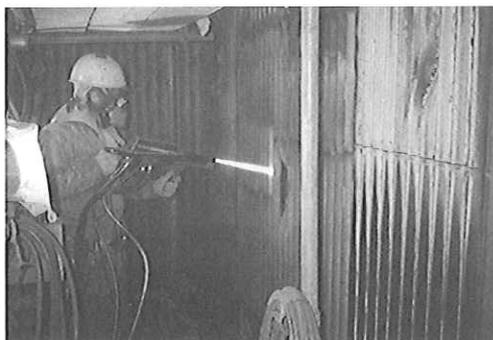
また、プラズマ溶射、ワイヤー溶射及び、HVOF B溶射の実績例を図-9に示す。



(1) 新設微粉炭炊きボイラー火炉壁へのHVOF A溶射



(3) 既設微粉炭炊きボイラー過熱器へのHVOF A溶射



(2) 既設微粉炭炊きボイラー火炉壁へのHVOF A溶射

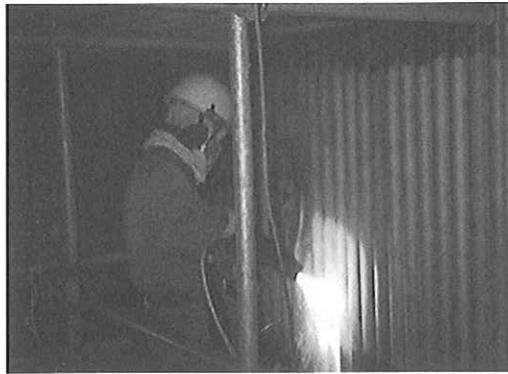


(4) 既設流動床ボイラー火炉壁へのHVOF A溶射

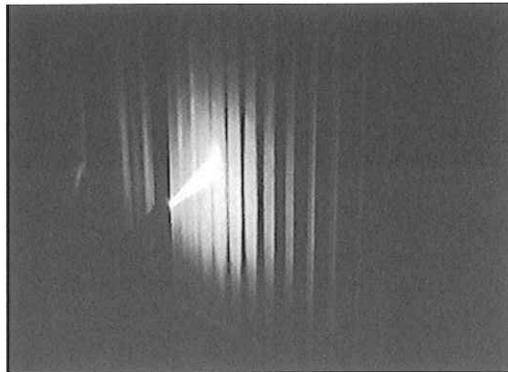
図-7 HVOF A溶射実施例



図-8 5年経過後のHVOF A溶射皮膜



(1) 既設微粉炭炊きボイラーへのアークワイヤー溶射



(2) 既設CDQボイラー火炉壁へのプラズマ溶射



(3) 既設重油炊きボイラー火炉壁へのHVOF B溶射

図-9 各種溶射機での実績例

6 結言

環境とエネルギーの問題は、全世界における最も重要な課題と位置付けられている。特にエネルギー資源に乏しく産業の発展が著しい我が国においてはクリーンなエネルギーである電力を効率良く安定的に供給できることが不可欠であり、各種ボイラーの事故原因の40%以上を占める、腐食やエロージョンをいかに防止できるかが問題となる。また、我が国のごみ発電も1990年代に入りボイラーの高温、高圧化による高能率発電やダイオキシン対策にて高温燃焼化が進んでおり、益々過酷な環境に耐える溶射皮膜が要求されている。

フジコーは、我が国で唯一HVOF Aタイプの溶射機を発電ボイラーチューブ現地溶射に適用した実績を有しているばかりでなく、各種溶射機を駆使し、環境、摩耗形態、コストに合わせた溶射皮膜を提供している。

参考文献

- 1) 納富：溶射技術13 (1993) No 3, 36
- 2) 原田：溶射技術17 (1998) No 4, 35



FUJICOの海外事情

1 FUJICOの海外展開の経緯

当社の海外展開を紐解けば、丁度40年前の1959年に製鉄エンジニアリング会社のPLANT品として間接輸出～「焼結設備の鬼歯受歯が皮切り」されたのが始まりで、その後は当社を代表するオリジナル商品としてCPCホットランテーブルローラーが主となり、韓国、台湾、インドネシアの東南アジアを主体に北米、南米、南アフリカと全世界的に今日まで続けてきています。

一方、特許技術をベースとし、技術指向の強いベンチャー企業として自他共に認めていたフジコーは、海外市場開拓として技術供与、技術指導、合弁企業設立、海外支店開設とグローバルな展開を行なってきました。

思い起こせば

'78.11：フィリピン／川鉄フィリピン社 焼結鋳掛の技術供与

'82.4：米国／MMS I社 J/V CPC組立

'83.12：韓国／大新工業社 J/V 溶接、鋳掛、CPC組立2工場

'84.3：米国／バレーモールド社 J/V 鋳型補修

'85.1：中国／宝山製鉄 S/V 派遣 新日鐵：製鋼鋳型補修

'90.9：台湾／高雄に支店開設 CSC社と直取引開始

'97.11：インドネシア／KFB社 J/V 日、イ4社合意も為替危機で解消

'99.3：台湾／天泰 Gr、漢泰熔研社溶接、鋳掛、CPC 技供

'99.8：韓国／第一機械社 PTA、HTS材の特殊溶接技供

等が挙げられます。

この間には変動相場制へ移行した円高化～150円台から80円台に至る極端かつ大幅な円高、あるいは東南アジアの投機筋による為替大暴落があり、臨機応変に、あるいは深く撤退したプロジェクトもあるのは勿論の事であります。

特筆すべきは韓国の合弁事業を15年間継続してきている事であり、世界一の製鉄会社に成長したPOSCO社を支えて浦項、光陽の2工場を有し、30億ウオンの資本金を有する中堅企業に育つて来ている事です。

2 海外営業部の業務内容

以上の海外展開はその時期時期にプロジェクト的に対応

されてきたものです。

私自身、山陽工場3年勤務後の'90に本社に転勤後、製品開発部、兼務技術開発部事務局、あるいは本部営業部、本社営業部、と担当して来ましたが、本業を兼務しつつ韓国の合弁会社や台湾支店の日方キャッチャー役として、技術営業業務をこなし、一貫して海外情報や知見に携われた事は幸いな事でした。'97.1に海外営業部が発足して、専任体制が確立した訳であります。

海外営業部の業務内容としては次の4点と心得ています。

- ①フジコーのオリジナル商品の拡販：CPC複合ローラー、ローラ、鋳掛商品、等々
- ②合弁事業の対応、ノウハウ技術にもとづく施工指導、資材品の供給、管理
- ③新たな技術供与、合弁事業の探索、対応
- ④海外直輸入部品の販売、OEM業務

3 受注フォーメーション—直受注の確立—

ここで特筆すべきは上記①項の受注フォーメーションにあります。一般論としては当社も御多分にもれず、商社が介入し商社から受注する事になります。

その場合、介入する商社の関所の数も、相手国の現地商社、現地の日本支店、日本の商社本店と増える事になります。各関所で口銭が乗り、乙波価格がはね上がり逸注するケースや受注できても低価格で呑まざるを得なくなるケースが起ります。

又、国によつては悪しき習慣として、アンダーテーブル～裏口銭が堂々とまかり通る事も有り、最低でも現地エージェント1社を介入せざるを得なくなります。

当社は、場合によっては直受注によりこのような状況を抜本的に解決する手段を確立しました。'94.8台湾／高雄のCSC（中国鋼鉄）の第二次合理化設備拡張工事で第二熱延工場の仕上ランナウトテーブルローラーを独国／MDS社から予備を含む“全量413本をCPCで”直受注した事が発端です。

当時、日本国内でも当プロジェクトが複数の商社を経由して～しかも溶射の仕様で引合があり、自溶性合金の溶射層2mmtを胴長2mLを越すサイズに均一なフェーシング処理する危険性～安全係数？を懸念しつつ対応した事を思

い出します。

しかし、台湾支店を有する当社は本プロジェクトの調達
が台湾ポーションである点を生かし、エンドユーザーとM
D S 両社にC P C ローラーのサンプルを提示、説得し、材
質、製造法の仕様を変更させたものです。

この快挙があつてからは関連する貿易業務、L / C (信
用状で代金回収)の買取り検収業務まで自己完結型でやり、
業務の対応幅がぐんと広まったのも事実です。

よって翌年には

- ①韓国 S A M S U N G / P O S C O 光陽：T S M P 熱
延プラントC P C ローラー220本口や
- ②96.8 韓国 C、M Y U N G / P O S C O 浦項P 1 H
改造品111本口、
- ③最近ではインドネシアP S B / K R A K A T A U 熱延
消耗補充ランナウトテーブルローラー35本口

と直受注案件をこなして来ております。

我国の総合商社の機能が云々され、商社無用論も新聞紙
上をにぎわせていますが、業務の効率化から見ればあなが
ち商社を否定するわけにはまいりません。

半年前には独 / T H Y S S E N K R U P P ~ D U I S B
U R G 製鉄所から焼結設備の鬼歯T I P のテスト初受注
や、南米伯 / C S N 社から10年ぶりに焼結水冷鬼歯、受
歯、先端水冷金物一式を商社と開拓した例があります。

4 今後の海外展開

当社では総合職の年俸制が導入され、間接職の効率化が
求められると、業務の取組み意識も変わらざるを得なくな
りました。誠に喜ばしい事です。

従来は当社のオリジナル完成品を拡販する事に目が向い
ていましたが、労務費コストの面で限界が有り、ブーメラ
ン現象を来さない範疇での技術協力や、ノウハウを活用し
た最小限かつ心臓部の部品供給による合弁事業化の企画推
進が新たな分野となります。ノウハウに裏打ちされた原材
料や半製品も商品の一部となります。

近年、欧州、米国、中国、印度、伯国と訪問の機会をみ
ましたが、「断る」のに苦勞した例はC P C - S O L I D
ワークロールの再生です。

殊に中国からは国营エンジ会社から設備導入、外資導入
合作の御誘いを数多くうけました。韓国、印度からもです。

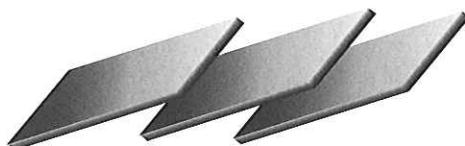
「廃棄鑄鉄ロールを母材として熱間圧延ロールに再生し
たい」「軸材の限定あらば鑄鋼材、鍛造材で冷延ワーク
ロールに」という提案です。

技術習得もさることながら、C P C は設備費が膨大で減
価償却もままならない点を伝えると共に、山陽工場の年間
生産量とその確保のため、私がこうして海外拡販に奔走し
てい事を話し、なんとか断念して貰うのは大変でした。

勿論、社の方針として、「ブーメラン現象による当社の
技術の空洞化」を防ぐことが本音です。

一方、ハードフェイシングはいずれも高々5mm t の交叉
状の表層盛りが施工の限界で、殊に「白銑鑄掛技術」によ
る商品は他社には皆無で、粗鋼3000万吨 / 年産の地域では
現地補修のニーズもあり、事業化も可能性が高いとみられ
ます。勿論、特許は切れていますが、ノウハウは立派に生
き続けています。結論的には差別化された技術が必要で、
これがいつの時代でも物をいいます。

将来にわたってフジコーを支えてゆくのは特徴ある技術
開発力であり、若い皆さんに大いに期待したいものです。
そしてどんどん海外に飛躍してほしいですね。



異業種分野での成功事例紹介

1 はじめに

当社は鋼塊鋳型の補修技術の確立をその創業の出発点としており、その後も多様な表面改質技術の開発・応用へと進化してきました。

その生い立ちから鉄鋼関係との繋がりが深く、これまでの開発技術の異業種・他分野への応用展開がこれからの重要テーマの一つと考えています。

そのなかで最近好評を得ています事例をここで紹介させていただきます。

2 SHH-300によるカウンターロール（封筒セロ窓抜用受ロール）

カウンターロール（封筒セロ窓抜用受ロール）はカッターロール（刃物取付けロール）と上下セットで市販用の窓付封筒の窓枠の部分を打抜く受ロールの役目を果たすもので、従来から様々な材質及び表面処理方法が適用されてきました。

当社はこのロールに各製鉄所で高い評価を得ていますSHH-300（粉末ハイス）をPTA法により応用し良好な耐用実績を残し、ユーザー様から好評をいただいています。

今後さらなる需要並びに用途拡大が見込まれここにその特性をご紹介します。まず最初にカウンターロールの使用状況を図-1に示します。

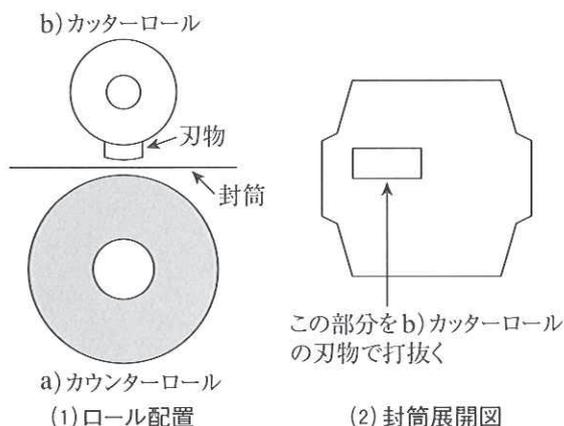


図-1 使用状況

枠形の刃物が装着されている）を高速で回転させながらそれらの間に封筒を送り込み、封筒の窓枠（封筒の表を部分的に打抜き送付先の客先名・住所等を表示する箇所）を連続的に打抜く仕組みになっています。

(2) カウンターロールの耐用特性

この窓枠形の刃物は超硬できており、これが高速で繰り返し下のカウンターロールと接触する事でカウンターロールに刃物痕がつき切れ味が低下したり、切り口がギザギザになったりして交換する必要がでてきます。

従来このロールにはSKD-11やSKHが使用されていましたが、長寿命化と経済性の要求に応じSHH-300を硬化肉盛したカウンターロールの製作に着手しました。

(3) SHH-300の特徴

SHH-300のマイクロ組織は非常に硬いMC炭化物（HV：2000以上）が微細且つ均一に分散しているのが最大の特徴であります。（図-2マイクロ組織）SHH-300のPTA肉盛組織は粉末ハイスHIP材と同様に炭化物の多量晶出を実現したフジコーの新しい材料です。この事がカッターロールの刃物の連続接触に対しカウンターロールの耐摩耗性向上に極めて効果的に作用し大幅な寿命延長を達成しました。更に粉末ハイスHIP法と異なり製造対象品のサイズに制約がなく経済性にも優れています。

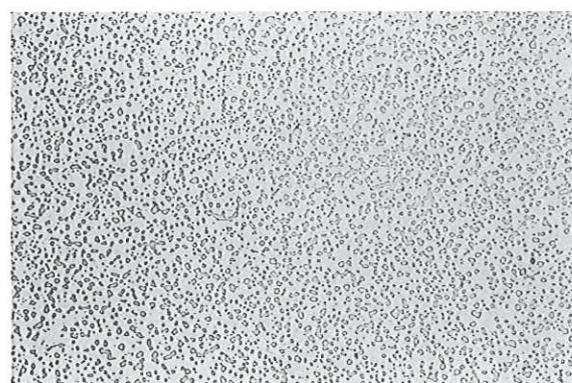


図-2 SHH-300マイクロ組織

(1) カウンターロールの使用状況

図-1 a)のカウンターロールとb)のカッターロール（窓

(4) 製造工程

カウンターロールの製造工程を図-3に示します。

これまでSHH-300を硬化肉盛り好成績を残した実績は製鉄所の熱延精整から冷延酸洗前にかけての比較的低い温度域で使用されるロールの耐金属間摩耗においてでありました。このロールの評価で鉄鋼以外の同様のニーズに対しても極めて有効である事が実証されたと考えており、今後の新たな市場開拓と適用拡大が期待されます。

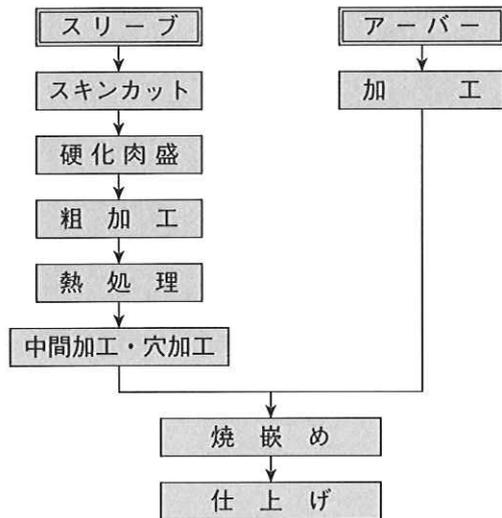


図-3 カウンターロールの製造工程

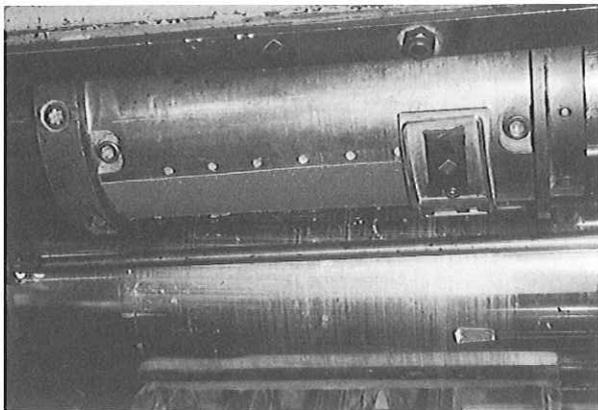


図-4 ロール組込み写真

3 石炭粉碎型ミル用肉盛りロール

近年の増大するエネルギー需要に対応するため様々な資源が活用されているが、現在その主力は石炭焚き火力発電であります。その原料炭を微細に粉碎する型ミル内で使用されるロールの長寿命化と経済性に対するニーズが高まっています。

従来はこの型ミル用ロールは高クロム鋳鉄鋳造品が多く使用されていますが、その機械的性質による耐摩耗性に限界があり、硬化肉盛り技術を駆使した寿命延長を実現しました。

FT-CPM-1は耐摩耗性・厚肉盛り・経済性といったこのロールに求められる特性を十分満足させる材料であります。

(1) 特徴

1) 優れた耐摩耗性

高炭素・高クロムをベースにその他の特殊元素をバランス良く組合せ、高硬度の炭化物が高密度且つ均一に分散し、極めて良好な耐摩耗性を発揮します。

また肉盛り部に発生する微細な亀甲状の割れを積極的に利用し、残留応力を軽減させる事で厚肉盛りが可能となり長寿命化を実現しました。

2) 再生補修による経済性の実現

従来の高クロム鋳鉄一体品と異なり、SC材を母材として利用しその上に硬化肉盛りを行うため肉盛り部摩耗後も母材を生かし再生補修肉盛りが可能となり経済性にも優れています。

3) 完全自動肉盛り

硬化肉盛り表面の平滑性を維持すると同時に、高い溶着速度と溶着効率を可能とした本ロール専用の自動肉盛り装置を独自に開発しました。サブマージーク溶接の多電極化によりタイヤ型・円錐型の大径厚肉の肉盛りを極めてスピーディ且つ能率的に行う事ができます。(図-6参照)

(2) 確性試験

1) 化学成分及び硬度

FT-CPM-1の化学成分及び硬度を表-1に示します。従来の高クロム鋳鉄鋳造品に比べ高炭素でクロム及びその他の炭化物形成元素を多量に添加しており、耐摩耗性に極めて優れます。

表-1 化学成分及び硬度

	C (%)	Cr (%)	その他元素 (%)	ビッカース硬度 (Hv)
FT-CPM-1	5~6	24~27	5~7	750~850
高クロム鋳鉄鋳造品	2.5	25	—	750

2) ミクロ組織

FT-CPM-1のミクロ組織を図-5に示します。

初晶のクロム炭化物及び複合炭化物が多く微細な組織になっています。

3) 摩耗試験

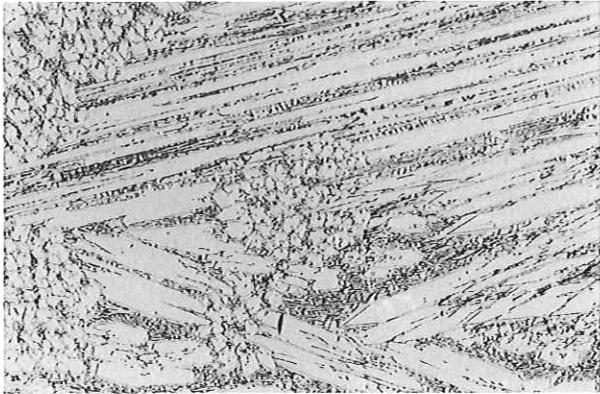
エンドレスエメリー摩耗試験結果を表-2に示します。FT-CPM-1は高クロム鋳鉄鋳造品に比べ約2倍の耐摩耗性を表しています。

以上石炭粉碎型ミル用ロールの硬化肉盛り法を紹介しました。

この粉碎設備は高炉PCIは勿論、事業所用発電所、セメント、化学、繊維といった様々な業種で稼働しており新たな得意先拡大が期待されています。

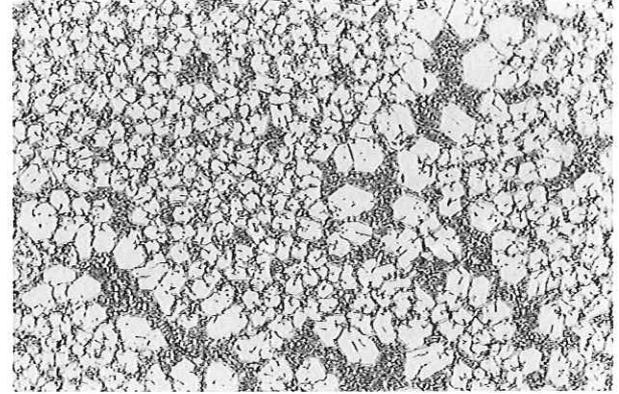
表-2 エンドレスエメリー摩耗試験結果

	平均摩耗減量(g)	耐用比
FT-CPM-1	0.280	2.0
高クロム鑄鉄鑄造品	0.564	1.0



(1) 表面

50 μ m



(2) 断面

50 μ m

図-5 ミクロ組織

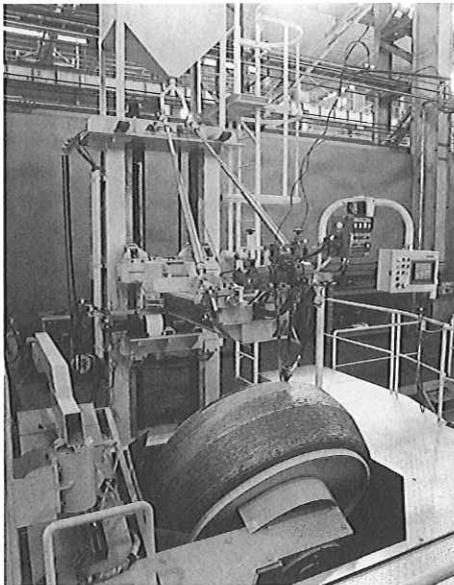


図-6 自動肉盛装置外観



図-7 ロール実物写真

100 μ m

C P C 鍛造ロール

1 緒言

連続注入クラッド法（C P Cプロセス）を世界で初めて開発、実用化した当社は、これまで熱延・冷延帯鋼、平鋼、棒鋼・線材等の圧延用ロールにこのプロセスを適用し、非常に良好な耐用をおさめてきた。

これらのロールは、従来、複合一体ロールや複合スリーブロールとして使用されてきたが、いずれも材質上、十分な熱処理を施しているものの、基本的には铸造組織のままであった。

C P Cプロセスによって得られる凝固組織は、肉盛される溶湯が凝固する際、モールド、芯材、既肉盛り凝固層の3方向から冷却されるため、比較的微細である。しかし、とくに多元系合金である高炭素ハイス鋼では板状や針状の炭化物が生じ、熱処理によっても改善できない場合がほとんどである。これらの炭化物は耐摩耗性には寄与するものの、ヒートクラックの起点や伝播経路になること等で耐クラック性を著しく阻害することが多いと考えられている。

そこで、当社はこの度、難鍛造性材料の鍛造においては世界最先端の技術を有する大平洋製鋼(株)富山製造所殿との共同開発のもと、C P C素材に熱間鍛造を加えることによって上記炭化物を分断し、微細・均一化したC P C鍛造ハイスロールを開発した。以下に、その製造法の概要、材質上の特長、適用例を紹介する。

2 製造法の概要

2.1 製造工程

図-1にC P C鍛造ロールの製造工程を示す。通常のC P Cロールに比し、焼鈍熱処理した素材を荒加工・検査した後、鍛造処理を行なうことが特徴である。

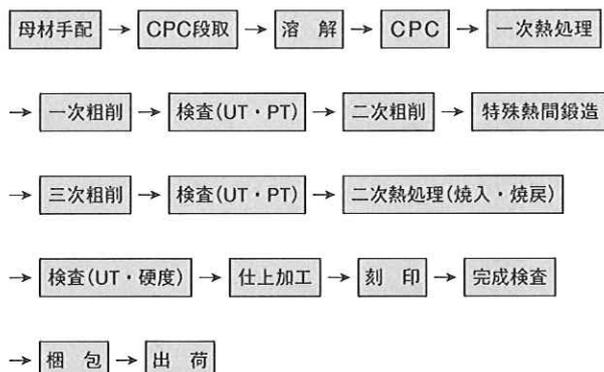


図-1 C P C 鍛造ロールの製造工程

2.2 C P C素材

C P Cにおける肉盛材と芯材の組合せは従来と同様の材質、製造法であるが、熱間鍛造性と鍛造効果を大きくすることについての配慮が必要になる。

- (1) C量が増すと炭化物量が増大し、熱間変形抵抗が大きくなって熱間鍛造性を阻害する。その点を考慮した成分系（C、合金元素量）を設定する。
- (2) C P Cでは肉盛材に凝固偏析が生じないため、多元系の合金を所要量添加できることを特長としている。とくにM o . Wを添加した場合、これらが板状、針状のM 6 C炭化物として晶出する。
熱間鍛造はこの板状、針状炭化物の分断、微細化・均一化に極めて有効であることが判明しつつある。即ち、熱間鍛造を加えることを前提とした場合、M o . WをC P C铸造組織の悪影響を懸念せずに添加することができる。
- (3) C P C素材の内部性状について、肉盛層と芯材の境界、および肉盛層内の凝固組織は従来以上の高度な健全性が要求される。

2.3 熱間鍛造

C P C素材において高炭素ハイス鋼を肉盛層とした場合、著しく変形抵抗が大きく、かつ割れが発生し易いC P C肉盛層部に十分な熱間鍛造成形を加える必要がある。そのため、

- (1) 特殊形状の金敷を用い、肉盛表層部に重点を置いた鍛練効果を与える。
- (2) 高炭素ハイス鋼は熱間鍛造性が非常に悪いいため、鍛造中の割れが発生し易い。そのため鍛造条件の厳密な管理が要求される。

C P C素材の鍛造状況を図-2に示す。

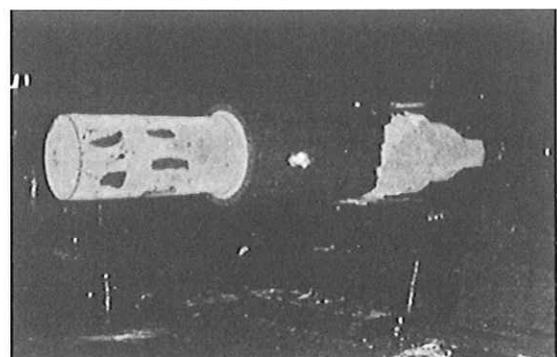
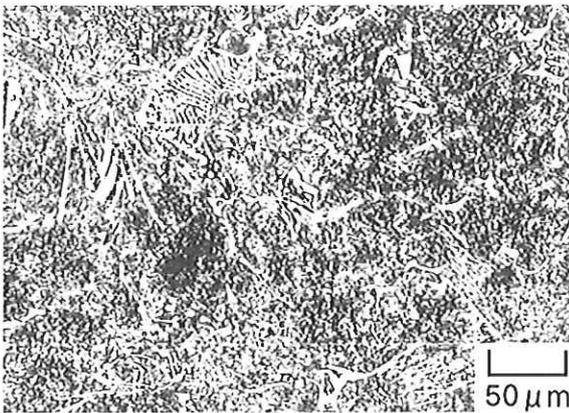


図-2 C P Cハイスロールの铸造状況

3 CPC鍛造ロールの特長

CPC素材に熱間鍛造を加えることによって材質および使用特性が向上する。この開発ロールは次のような特長を有する。

- (1) CPC素材の炭化物を鍛造によって微細化、均一分散化することが出来る。また、熱処理のみでは均質化が困難な凝固時の基地のマイクロ偏析（初晶部と共晶部特に炭化物の周辺）が鍛造効果により完全に消失し、基地全体



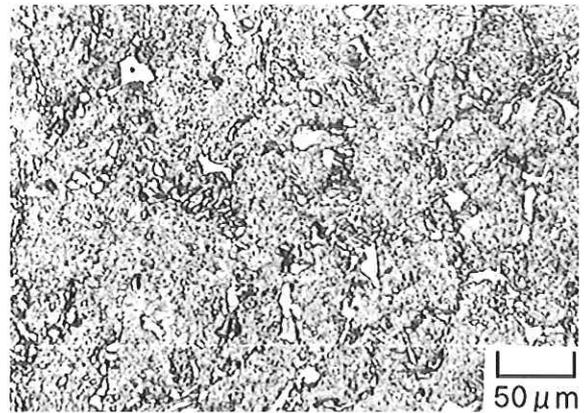
铸造材

が均質化する。

高炭素ハイス鋼の鍛造前、後のマイクロ組織例を図-3に示す。

- (2) 組織改善によって機械的性質が著しく向上する。高炭素ハイス鋼の機械的性質に及ぼす鍛造効果を図-4に示す。

CPC素材を鍛造した場合、比較的小さな鍛練成形比で材質特性が飛躍的に向上する傾向を確認している。熱間工具鋼における例を図-5に示す。¹⁾



铸造後

図-3 ミクロ組織

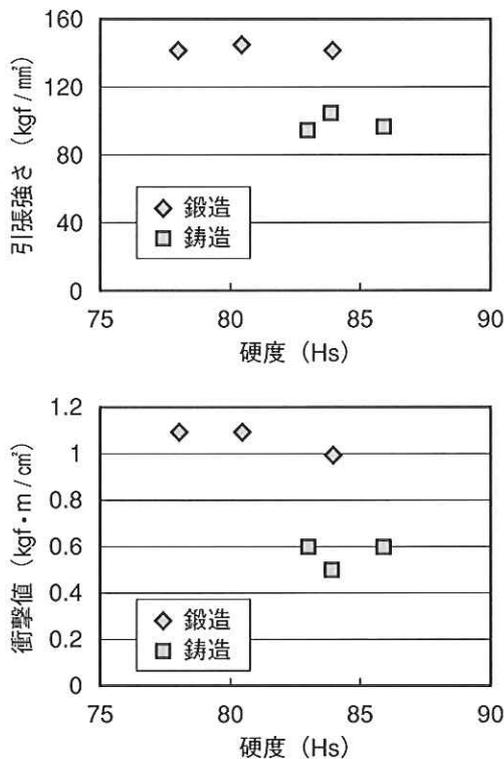


図-4 機械的性質に及ぼす铸造の効果

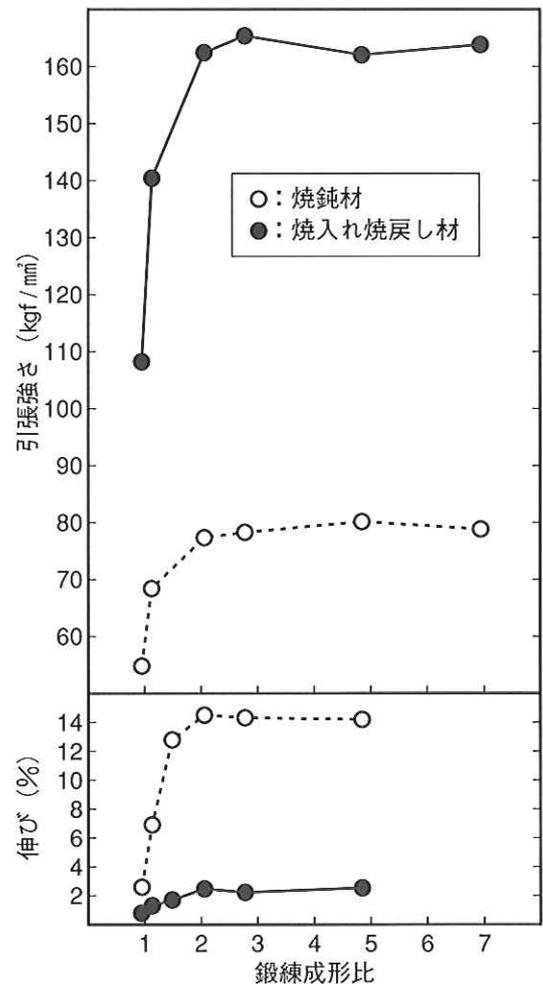
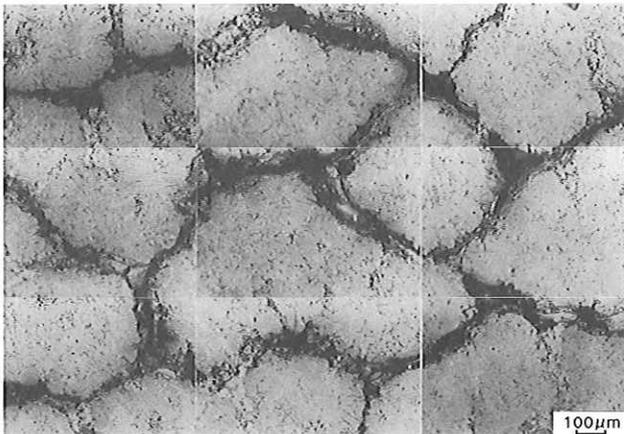
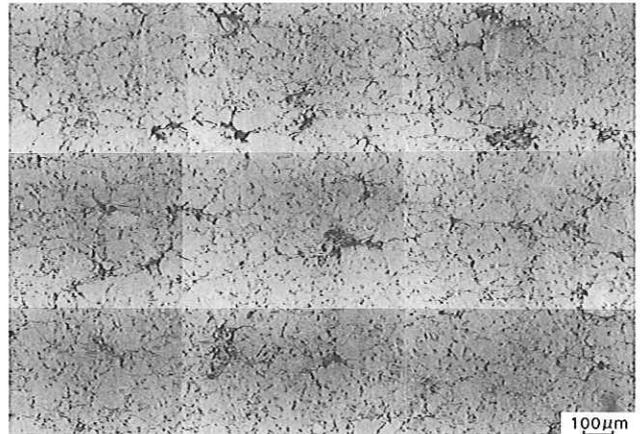


図-5 鍛練成形比と機械的性質の関係



鑄造ハイス



鍛造ハイス

図-6 鑄造ハイスロールと鍛造ハイスロールのヒートクラック比較

(3) 組織が微細均質化することによって、耐摩耗性、耐ヒートクラック性、耐食性等のロール使用特性が大幅に改善される。

図-6にラウンドカリバーの形鋼ロールのカリバー底に発生するヒートクラックを、鑄造ハイスロール、鍛造ハイスロール間で比較して示す。鍛造による効果が非常に大きいことが明らかになった。

(4) C P C鍛造技術は低・高合金鋼、高クロム鑄鉄、多合金系鑄鉄（高炭素ハイス鋼）等広範囲の材質に適用できる。

4 C P C鍛造ロールの適用例

C P C鍛造ロールは、これまで形鋼ロール、熱延・冷延鋼板ロールに適用例がある。ロールにおいては一般的に、炭化物量の増加によってロールの耐摩耗性を改善する場合、耐ヒートクラック性、耐事故性が低下する傾向があるため、このC P C鍛造ロールは、特にヒートクラックや圧延時の高負荷によるクラック・事故が問題のロールに有効であると考えている。

5 結言

この度、大太平洋製鋼(株)殿と共同開発したC P C鍛造ロールについて紹介した。

開発ロールはC P C鑄造ロールの特長を更に改善した特性を有しており、同一の成分系でありながら鑄造ままでは実現できない材質特性と耐久性を有することが明らかになった。今後更に、使用実績を継続把握すると共に、鍛造効果が生かせる用途へ適用を拡大していきたい。

参考文献

- 1) 木下 他：材料とプロセス、5 (1992)2079

[問い合わせ先]

本社 技術開発部

Tel. 093(871)3724 齊藤 弘道

高耐衝撃性耐摩耗ライナー

1 緒言

製鉄、セメント、炉材メーカーなどにおける多量の鉬石原料、セラミックス原料を処理する設備において、高クロム鑄鉄の一体鑄造品および溶接肉盛品などの各種ライナー材が使用されている。一体鑄造品については、割れが発生し易く、化学組成や硬さに限界がある。一方、溶接肉盛品については、硬化層を厚く出来ない問題がある。特に最近では、メンテナンスフリーが強く望まれており、耐久性に優れた厚肉高硬度ライナーのニーズは大きい。

当社では、このようなニーズにより、高クロム鑄鉄と鋼材とを特殊鑄造法により溶融接合させた、画期的な「EST-1/2ライナー」を開発した¹⁾²⁾。この度、EST-1/2ライナーよりさらに耐久性を向上するため、ライナー肉盛材の耐衝撃摩耗性に着目し、高耐衝撃性耐摩耗ライナーEST- α を開発した。以下にその結果を報告する。

2 製造方法概略

「ESTライナー」の製造工程を図-1に示す。鑄造方案として、当社では新たに考案した特殊鑄造方式（クイックスプレッド方式）を採用し、大型サイズ（900mm×1800mm×25/30mm）の複合ライナーを製造している。製品構造の特長は、16/18mmの厚の高クロム鑄鉄層と9/12mm厚の鋼板（SS400）を溶融させた2重構造である。

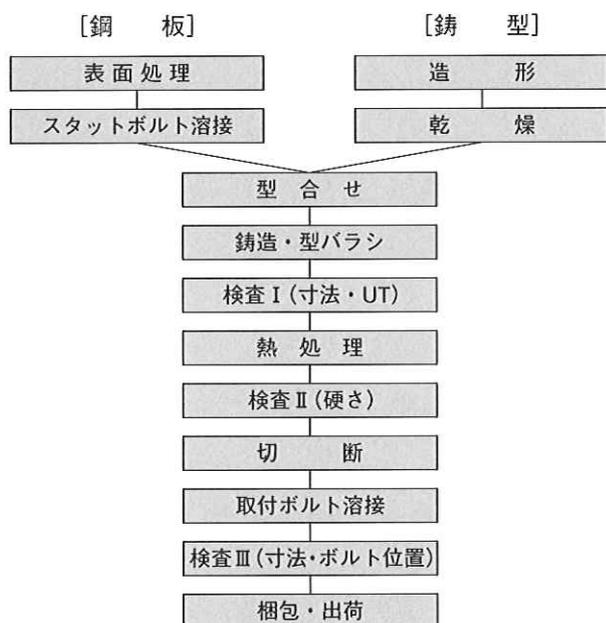


図-1 「ESTライナー」製造工程

3 硬化層材質特性

3.1 成分

FKC-450新開発材化学成分を従来FKC-431材と比較して表-1に示す。FKC-450新開発材は高炭素ハイス系（多合金系）鑄鉄であることが大きな特徴である。

表-1 ライナー硬化層材の化学成分

(重量%)

材 料	C	Cr	Ni	特殊元素		
				X	Y	Z
EST-2 〔FKC-431 比較材〕	4.5~5.5	25.0~ 30.0	—	0.5~2.0	3.0~7.0	3.0~7.0
EST- α 〔FKC-450 新開発材〕	3.0~4.0	15.0~ 25.0	0.5~3.0	2.0~6.0	3.0~7.0	3.0~7.0

3.2 ミクロ組織

EST- α ライナー硬化層材（FKC-450）のミクロ組織を図-2に示す。組織はMC、M₂C、M₇C₃炭化物および基地から構成され、多量のMC炭化物が観察される。また基地中に微量な残留オーステナイト相も見られる。

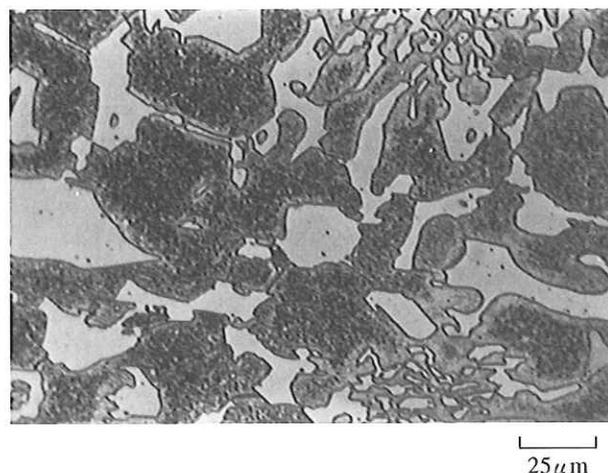


図-2 EST- α ライナー硬化層材(FKC-450)のミクロ組織

3.3 硬さ

EST- α 、EST-2ライナー硬化層材および13Mn比較材の硬さを図-3に示し、EST- α ライナー硬化層材（FKC-450）はEST-2ライナー硬化層材（FKC-431）と同等の硬さを有していることが認められる。

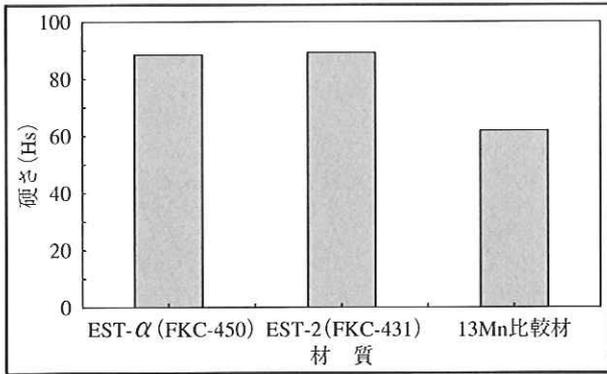


図-3 EST-α、EST-2 ライナー硬化層材および13Mn 比較材の硬さ

3.4 耐衝撃摩耗性

使用中のライナーは衝撃を受ける時、炭化物の割れや欠落が発生したことがある。ライナー材の耐衝撃摩耗性を評価するため、インペラー回転式ショットブラスト試験機を用いて衝撃摩耗試験を行い、その結果を図-4に示す。ESTライナー、特にEST-αライナーの硬化層材は衝撃摩耗が少なく、極めて優れた耐衝撃摩耗性を有していることが認められる。FKC-450材の優れた耐衝撃摩耗性は材質炭化物の種類、量、形状、サイズの改善および基地の硬さ、強度、靱性の改善によるものと考えられる。

試験条件

試験機：インペラー回転式ショットブラスト試験機
 投射速度：63m/s (227km/h)
 投射材：#170スチールグリッド
 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

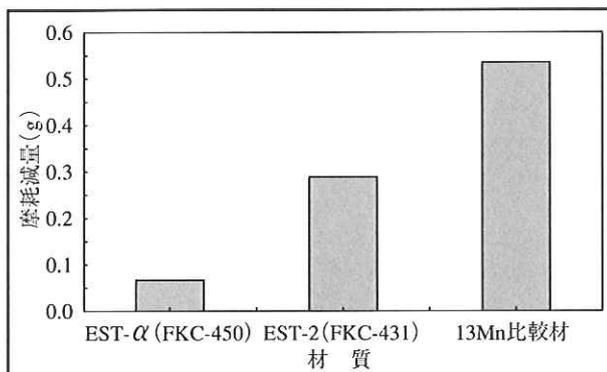


図-4 EST-α、EST-2 ライナー硬化層材および13Mn 比較材の衝撃摩耗減量

3.5 耐滑り摩耗性

ライナー材の耐滑り摩耗性を評価するため、エンドレス

試験条件

試験機：エンドレスベルト摩耗試験機
 周速：4 m/s (14km/h)
 荷重：3100g
 ベルト粗さ：#40
 サンプル形状：50mm×50mm×10mm
 試験時間：2時間

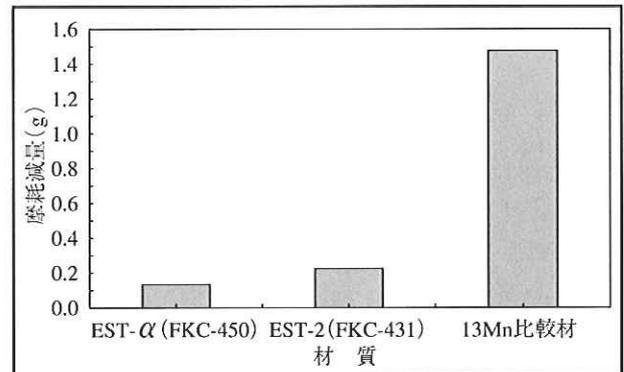


図-5 EST-α、EST-2 ライナー硬化層材および13Mn 比較材の滑り摩耗減量

ベルト摩耗試験機を用いて、滑り摩耗試験を行い、その結果を図-5に示す。EST-αライナー硬化層材 (FKC-450) は、滑り摩耗減量が少なく、EST-2 ライナー以上の耐滑り摩耗性が示されている。耐滑り摩耗性は、炭化物量だけでなく、炭化物形状・分布・サイズにも依存していると考えている。

4 まとめ

FKC-450新開発材 (EST-αライナー) は、従来FKC-431材 (EST-2) の炭化物の量、形状、サイズを大幅に改善した。またNiを適量に添加することによって、基地の硬さ、強度、靱性を改善し、炭化物を強く保持し、炭化物の割れ、剥離を防止した。その結果、EST-αライナーは、特に衝撃が大きい使用環境においてライナーの耐摩耗性が著しく向上した。

参考文献

- 1) 木下利哉、戸川孝司：フジコー技報, No.2 (1994), p.42
- 2) 木下利哉、立花 隆：フジコー技報, No.3 (1995), p.39

[問い合わせ先]

本社 営業調整室
 Tel. 093(871)3724 山本 静男



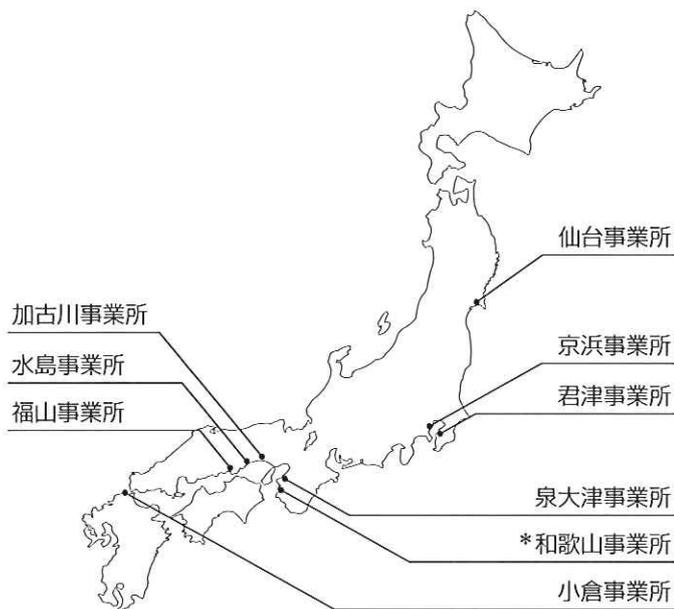
事業所の動き

小倉事業所	所長	植田勝裕
福山事業所	所長	藤野勲
水島事業所	所長	野口勝弘
加古川事業所	所長	佐藤勝郎
泉大津事業所	所長	山下雅英
京浜事業所	所長	大石好則
君津事業所	所長	田崎浩一
仙台事業所	所長	池田博利

はじめに

当社は、創業当初から全国の主要製鉄所で、鉄づくりの第一線を担う製鉄関連事業を行ってきました。その間、高度な技術と豊富な経験そして誠意により、各製鉄所のベスト・パートナーとして大きな役割を果たしてきました。今後も幅広い高度技術やノウハウを駆使して、製鉄所の一翼を担うような、仕事の本質を捉えた技術集約型の「信頼できる提案型企业」として、コスト低減と質の高い作業を提供していきます。

現在、当社には9事業所があり、それぞれ特徴のある事業活動を行っています。ここでは、各事業所の沿革・事業内容・最近のトピックスをご紹介します。



* H11年10月事業所発足のため次回掲載

小倉事業所	
沿革	<ul style="list-style-type: none"> ・ S28住友金属小倉製鉄所の発足時に誕生。 ・ 最初は「鑄型・注入管・定盤・鍋」等の修理からスタート。 ・ S31「銅塊スクーフ作業」を開始 ・ その後「ビレット」疵取り作業に変わる。 ・ この間特殊溶接技術を駆使、パレット亀裂修理を皮切りに焼結鬼歯・チルドロールネック・スラグバケット・カムワルツ・スピンドル・カップリング等で実績蓄積。 ・ 特殊溶接技術は突発非常事態の際力を発揮、S45頃保全部門の基盤出来。S49から保全本格展開→鑄型修理に替る基盤として保全作業が全社に拡大。 ・ H5小倉製鉄所/外注体制整備計画により永年の疵取作業から撤退。新たに製鋼作業主体となり矢継ぎ早に業務移管受け。
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 製鋼作業 <ul style="list-style-type: none"> ・ 溶銑処理 ・ 主原料、副原料管理 ・ 製鋼迅速分析 ・ 定盤整備 ・ 鑄型、ノロ鍋修理 ・ R & S ノズル整備 ・ 製造治具製作 ・ タンディッシュカバー整備 ・ スラグダーツ製作 2. 保全、工事 <ul style="list-style-type: none"> ・ 保全工事 (構内、構外) ・ 設計製作据付 (PMS) 工事 ・ 2 & 3 CC 整備 ・ 資材肉盛作業 3. 試験片加工 4. 鑄片マクロ試験作業 5. ステンレス加工
最近のトピックス	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鑄片マクロ試験作業のスタートからの立上げ 2. ステンレス加工業務移管 (H11) <ul style="list-style-type: none"> ・ S63当社オリジナル設計の「センターレス切削機」による「ステンレス太丸鋼の切削加工」受注がベースとなった。 3. スラグダーツの共同開発と他製鉄所への供給

福 山 事 業 所	水 島 事 業 所
<ul style="list-style-type: none"> ・ S41.6N K K 福山製鉄所第一高炉火入れとはほぼ同時期に構内に開設。 ・ 製鋼工場・造塊工程の鋳型修理作業を主な柱として発展。 ・ S48のオイルショック後製鋼プロセスの大きな技術革新（造塊一分塊方式→連続鋳造方式）により事業内容転換。 ・ 当社保有の溶接技術をベースに製鉄所内の鉄工作业、補修作業や設備工事などの一翼を担って現在に至る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ S42.4川崎製鉄・水島製鉄所の第一製鋼工場の稼動と同時期に開設。 ・ 当初は製鋼造塊鋳型の修理作業をメインとする。 ・ 現在、製鋼操業請負作業をメインとし製鉄・製鋼・圧延分野にわたる保全作業、製鉄所構内外の有力企業との取引等、多彩な事業所活動展開。
<ol style="list-style-type: none"> 1. 製鋼部門 <ul style="list-style-type: none"> ・ 製鋼工場の諸々の鍋の鉄皮補修、操業消耗品の製作、部品の整備、付着地金等の切断、設備の補修・改造 ・ 転炉ランスの整備、ノズル取替、ランス交換（H6から） 2. 設備部門 <ul style="list-style-type: none"> ・ ロール、チョックなど特殊溶接の多い溶接肉盛を主とした補修作業 ・ 製鉄関連設備装置の据付 ・ ダクト製缶製作据付 ・ 一般配管や油圧配管工事 3. その他事業 <ul style="list-style-type: none"> ・ 条鋼製品の切断やシートパイル加工などの2次加工 ・ チタン厚板の加工 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 製鋼部門 <ol style="list-style-type: none"> ①製鋼操業補助作業 <ul style="list-style-type: none"> 1・2製鋼工場にて3交替勤務、操業で使う消耗品の製作、部品の整備、製鋼設備の改善と改造を含む各種操業補助作業を主とする。代表例として ・ 2次精錬及び連鋳消耗品製作 ・ 2次精錬操業補助作業 ・ 転炉炉口金物補修及び取替作業 ・ 転炉ランス取替及びチップ取替作業 ・ 造塊下注段取作業及び大型鋼塊段取作業 ・ 鋳型修理作業及びノロ鍋補修作業 ②電炉操業補助作業 <ul style="list-style-type: none"> ダイワスチール電炉工場にて、電炉消耗品製作と電炉操業補助作業を行なっている。代表例として ・ 電炉各種消耗品製作とポンプサンプル補修 ・ 電炉炉内地金切り作業と電炉ノロ鍋補修 2. 設備部門 <ul style="list-style-type: none"> 水島製鉄所内保全工事 ・ 製鉄・製鋼・圧延部門の保全工事、各種設備点検と定期修理 ・ 水島製鉄所構内有力企業との取引による製作及び請負保全工事 ・ 硬化肉盛作業及び一般製缶、製作、配管工事 ・ 大型機械部品（歯車・減速機）オーバーホール工事
<ul style="list-style-type: none"> ・ 土木・建築向け建材（N T コラムネジールイーグル）の製作（H10より担当） 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大型歯車の肉盛再生によるコスト減 <ul style="list-style-type: none"> N社向け直径φ3024歯巾240mmロッドミル用大型歯車を肉盛歯形加工して再生した。新品購入より大巾なコストダウンにて客先より好評をうけている。この再生技術の確立により大型減速機のオーバーホールも兼ねた一括請負いが出来る。 2. 硬化肉盛補修による超長寿命化 <ul style="list-style-type: none"> K社向けジョークラッシュの硬化肉盛により従来品の2倍の超長寿命化を達成して好評をうけている。各種硬化肉盛による超長寿命化を狙うユーザーに好評。 3. 耐摩耗、耐食性部品の溶射加工

	加古川事業所	泉大津事業所
沿革	<ul style="list-style-type: none"> ・神戸製鋼・加古川製鉄所はS43厚板工場稼働、S45に1高炉火入れ、続く各工場完成により一貫製鉄所となる。 ・S45.4事業所開設、初代所長は山本厚生現社長。 ・S46鋳型修理作業を開始。 ・製鉄所は昭和から平成に時代が変遷するのと同じくして、3、4CC工場完成。 ・当事業所も脱鋳型を目指し鋳型修理で培った溶接技術を生かした肉盛補修、保全作業に進出、現在に至る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・淀川製鋼所泉大津工場はS48年にグレーチング部門を開設。それまでの製鋼部門に加え、ヨドグレーチングという名称で工場の主力商品となり現在に至る。 ・S48年のグレーチング部門開設と同時に大阪事業所の出張所としてスタート。表面処理・受枠を除くグレーチングラインの全生産行程を請け負う。 ・生産量の増加に伴い、メインの工程である圧接機も3基に増え、圧接工程を専門に担当することになり、出張所から独立した事業所として現在に至る。
事業内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鋳型・資材部門 <ol style="list-style-type: none"> ①鋳型修理作業 <ul style="list-style-type: none"> ・(主として)厚板工場向け鋼塊鋳型の修理作業(内面研磨作業、スカーフ作業、外面亀裂部銕埋込み作業、内面溶接作業) ②資材作業 <ul style="list-style-type: none"> ・構内各工場の各種予備品の溶接肉盛補修・製作代表的なもの：鬼歯、受歯、クラッシングガイド、炉口金物、廃滓鍋亀裂補修、ダミーバーヘッド亀裂補修、合金鉄モールドロールチョック、トンゴポンチ、線材バイト、連鑄のロングノズル・スライディングノズル等 ・溶射作業―出張作業にも出かける。 ・機動力を生かした現地作業対応 クレーンのガーター亀裂補修や改造工事定修時の溶接補修等 2. 保全部門 <ol style="list-style-type: none"> ①構内各工場の定修に対応する仕上保全グループ ②3、4CCロールスタンドの取替と3連鑄スタンドのフル装備、2CCモールド整備の仕上グループ ③原鉄地区を主体に老朽化したデッキ・手摺の取替、修理等の安全対策を行うグループ <ul style="list-style-type: none"> …基本的に保全作業は毎日環境が変わり技術もさる事ながら環境との戦い。 …大修理等ではグループ間の壁を取り払ってのチーム編成を行い、肉盛や仕上作業がフジコー1社で出来るという特色を発揮、客先から重宝がられている。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ライン部門 <ol style="list-style-type: none"> ①グレーチング製造 <ul style="list-style-type: none"> ・道路脇などに主として使用されるグレーチング(鋼製溝蓋)の製造。 ②主要設備 <ul style="list-style-type: none"> ・圧接機…2台 メインとなる平鋼・I型鋼等と棒材を電気抵抗と鍛圧力により溶接する設備 ・巾切断機…5台 約6mで圧接されたシートを製品寸法に切断する設備。
最近のトピックス	<ol style="list-style-type: none"> 1. 製鋼は、溶鋼をすべて前処理するために今年4月から、新設備を稼働。 2. H8年11月、構内保全業者は神鋼メックス(株)に一元化された。 3. 永年の夢であった加古川事業所・事務所が今年の春先に完成。 	

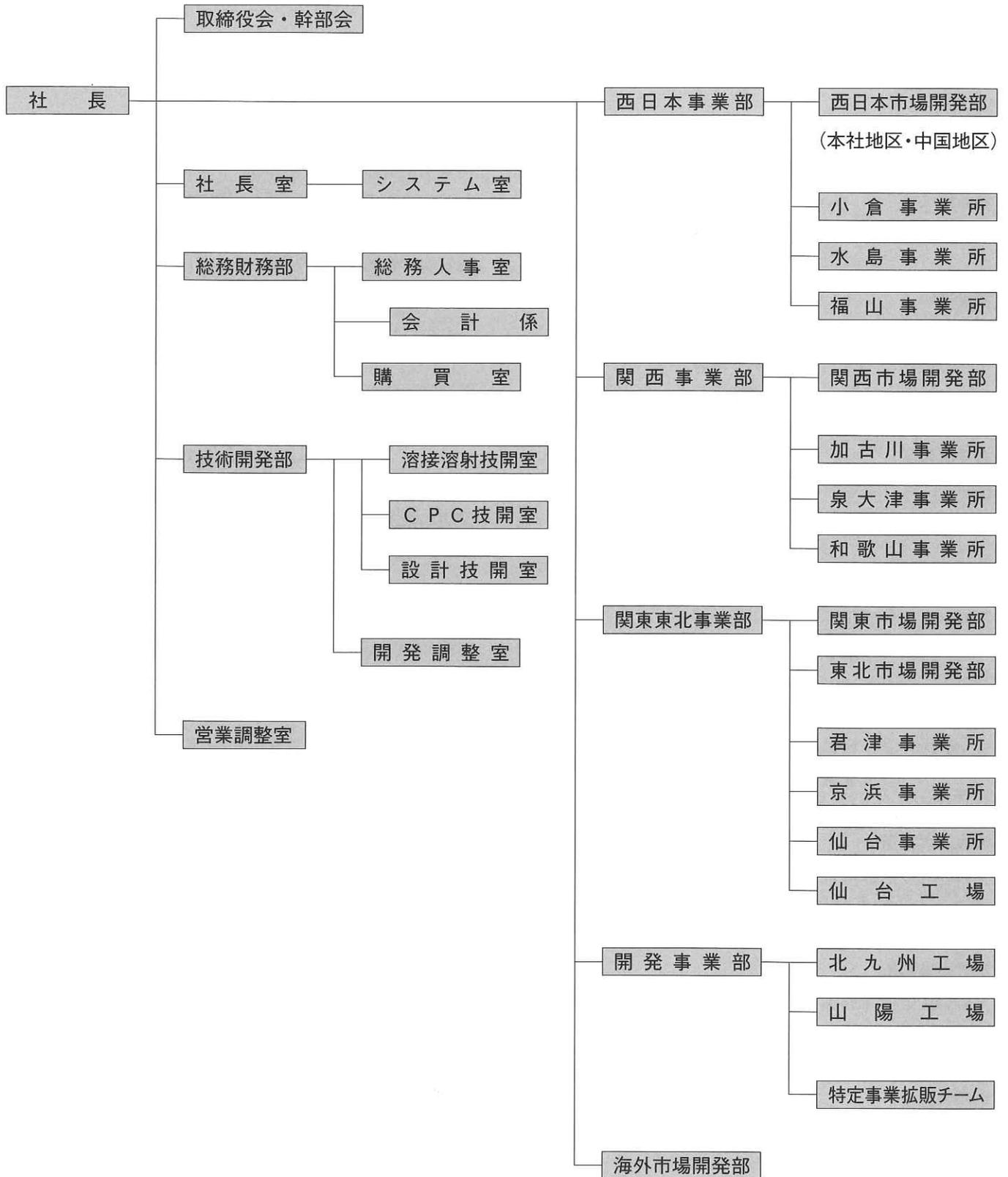
京 浜 事 業 所	君 津 事 業 所
<ul style="list-style-type: none"> ・ S37.4NK K鶴見・川崎・水江の3製鉄所の内、川崎製鉄所でスポット的に鑄型修理を開始して、S38.1に正式契約となる。 ・ 以後、S38.2水江製鉄所、S39.7鶴見製鉄所に進出。 ・ S40.10に一般資材関係に進出。 ・ S51.11扇島第一高炉火入れ後、保全班（5～6名）で鑄型設備の保全を開始。 ・ 転炉稼働後（3基）、炉修を当社主体で施工（30名）。同時に小規模で設備工事也开始して現在に至る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ S43.12の君津製鉄所銑鋼一貫スタートにともない「1業種1社」の製鉄所方針のもと鑄型修理作業に進出。 ・ S44に40トン鋼塊鑄型を処理できる自工場を建設、46年同増設をもって現在の工場建屋にいたる。 ・ この間S45年、1号連続鑄造、55年2号、57年3号、62年4号機の一連の稼働段階で鑄型修理作業は消滅した。 ・ この過程で昭和56年以降挿入鉄板等の製鋼資材類の製作、スラブ・ブルーム研磨等も含め次項に示すような営業品目へと転進してきた。
<p>4部門実施、日常の作業の中から技術改善・開発に力を入れて作業の効率化・合理化を目指している。</p> <p>1. 製鋼部門</p> <p>製鋼工場造塊作業（注入・冷却・型抜き）終了後の鑄型（7～50T/個）を引取り、型据え可能な鑄型に整備して次工程に渡す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①鑄型整備：鑄型冷却（自然冷却・散水冷却）、内面清掃・点検・押湯枠取付、調整剤吊下げ ②鑄型修理：内面剥離・亀裂部のガウジング・ボルト植込み・溶接肉盛、外面亀裂部の機械加工・楔植込み、内面グラインダー仕上（研磨） ③鋼塊研磨：鋼塊・スラブの全面研磨作業 ④その他：造塊用注入管・定盤の溶損亀裂部の肉盛修理 <p>2. 資材部門</p> <p>転炉操業に欠かせない各部品の取替修理および連続鑄造作業に使用する部品の納入を行っている。また、転炉・電気炉滓用の鍋修理を担当している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①製鋼関係：転炉ランス取替、転炉出鋼口穿孔機用コアチューブ修理および出鋼口金物溶接、連鑄用仕切板・熊手製作、電気炉用サンプラー製作・修理 ②鍋修理：転炉・電気炉滓鍋の地金除去および亀裂肉盛 <p>3. 保全部門</p> <ul style="list-style-type: none"> ①製銑工場：焼結大修理工事（床敷Fロール取替、シュートライナー更新）、定修（鬼歯肉盛修理、4次スクリーン網取替工事）、ロッドミル（ロッド取替、ミル内のゴムライニング取替＝当社の専門作業） ②製鋼工場：転炉炉修時の付帯設備修理、受鋼台車・転滓台車整備一式、炉外精錬設備補修（毎日の固定工事） ③その他：熱延・厚板・薄板・シームレス・溶接管の各工場の定期修理 <p>4. 工事部門</p> <p>製銑・製鋼工場の設備改造、新設を担当。当社専門分野として高炉滓、転炉滓の破碎篩分設備、および磁選設備の設計製作。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 肉盛ライナーでライニングした設備部品製作 <ul style="list-style-type: none"> ・ 部品形状にあわせて長寿命で好評の各種溶接材料（当社製）を内張り、外張り施工 ・ 商品例：エルボ管、各種シューター、高炉用篩、スクリュウ等 2. 破碎部品の製作 <ul style="list-style-type: none"> ・ 長寿命で好評の白銑（当社製）を鑄掛けることによって製作 ・ 商品例：焼結設備の受歯、先端金物等 3. ロールの現地肉盛 <ul style="list-style-type: none"> ・ 仕上り程度がハンドグラインダー程度の搬送ロールについてはオンラインの状態に損傷部を肉盛補修 ・ 補修例：大形・条鋼ラインの搬送ロール 4. その他の肉盛・鑄掛け補修 <ul style="list-style-type: none"> ・ 鑄鋼品の割れ、損耗の再生：炉口金物損耗補修、各種鍋亀裂補修等 ・ 各種搬送ロール損耗肉盛再生：熱延、鋼管等搬送ロール ・ 各種機械部品の肉盛再生：チョック、ガイド等 5. 耐摩耗、耐食性部品の溶射加工 <ul style="list-style-type: none"> ・ 溶射材料、溶射法を選択し、現地あるいは工場持込みで加工 ・ 加工例：ダクト内部（電炉）、水管（転炉OG、焼却炉）、スクリュウ（汚泥処理）等
<ol style="list-style-type: none"> 1. 転炉ダーツ式スラグカット装置据付（H9） <p>H8.3にメーカー（イントキャストジャパン）と第一回目の検討会をもった後、NKK製鋼工場・設備部に効果をPRした結果、採用された。</p> 2. 焼結ロッドミル自動ロッド入替装置据付（H9） <p>ロッド交換は製鉄所の中でも最も過酷な3K作業であったが、H7、NKK技研と当社で装置を開発。小型テスト機を製作してテストを重ねた後、本装置を据付。</p> 3. 鑄型整備ヤード移設工事（H9） <p>NKKの合理化でピレットセンターを鑄型ヤードに移設するため、S51扇島建設以来稼働してきた鑄型整備施設を自社で移設。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 焼却炉の保全の実績拡充 <p>耐火物メーカー殿が施工される炉修に際し、その製銑分野の下請けとして4年目。この間、各部の腐食摩耗に対する対処案の考案とその効果について知見が得られつつある。</p>

仙 台 事 業 所	
治 革	<ul style="list-style-type: none"> ・ S47.11.13吾嬭製鋼仙台製造所起工式 ・ S48.11仙台事業所操業開始。(初代所長：舟田四郎氏) 関連部門を一業種一社に絞り、選ばれた協力会社が責任を持って業務に当るという方針の下、機械の整備、修理、ビレットの精整、および鋳型修理は当社が担当した。 ・ その後、職場の統廃合を経て、ライン課・設計保全課体制に至る。
事 業 内 容	<ol style="list-style-type: none"> 1. ライン課 <ul style="list-style-type: none"> ①棒鋼圧延、線材圧延向けビレットの表面疵取作業 ②外販材のU S T、手入、切断作業 (角鋼、丸鋼) 2. 設計保全課 <ul style="list-style-type: none"> ①保全作業 (NKBS、伊藤製鐵所、NKK物流) ②スポット保全作業 (TOYOタイヤ、キリンビール、日鉄建材) ③電気炉炉蓋整備作業 ④ロール及びチョック整備作業 ⑤各種機械の設計、製作、据え付け修理改造
最 近 の ト ピ ッ ク ス	<ol style="list-style-type: none"> 1. (株)伊藤製鐵所・メンテナンスを主とした取引開始 (H9.10) 2. キリンビール(株)・メンテナンスを主とした取引開始 (H11.1) 3. 親会社がトーア・スチール(株)から新会社エヌケーケー条鋼(株)へ 4. エヌケーケー条鋼(株)仙台製造所の保安全管理業務の一部をフジコーに移管 (H11.12.1 予定)



FUJICO 運営組織図

平成11年10月1日現在



■本社

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

■工場**仙台工場**

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

山陽工場

〒719-0253 岡山県浅口郡鴨方町鳩ヶ丘1丁目1298番地
TEL08654-4-5151・FAX08654-4-5154

北九州工場

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

■事業所**仙台事業所**

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

君津事業所

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

京浜事業所

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

和歌山事業所

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

泉大津事業所

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

加古川事業所

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

水島事業所

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

福山事業所

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

小倉事業所

〒803-0803 福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地
住友金属工業株式会社小倉製鐵所構内
TEL093-561-2081・FAX093-561-2083

■営業部・出張所**海外市場開発部****西日本市場開発部・本社地区**

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

西日本市場開発部・中国地区

〒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

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
エヌケーケー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 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
TEL093-871-1109・FAX093-871-1139

株式会社フジテクノ

〒719-0253 岡山県浅口郡鴨方町鳩ヶ丘1丁目1298番地
TEL08654-5-8001・FAX08654-5-8003

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.7 平成11年10月1日発行

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



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