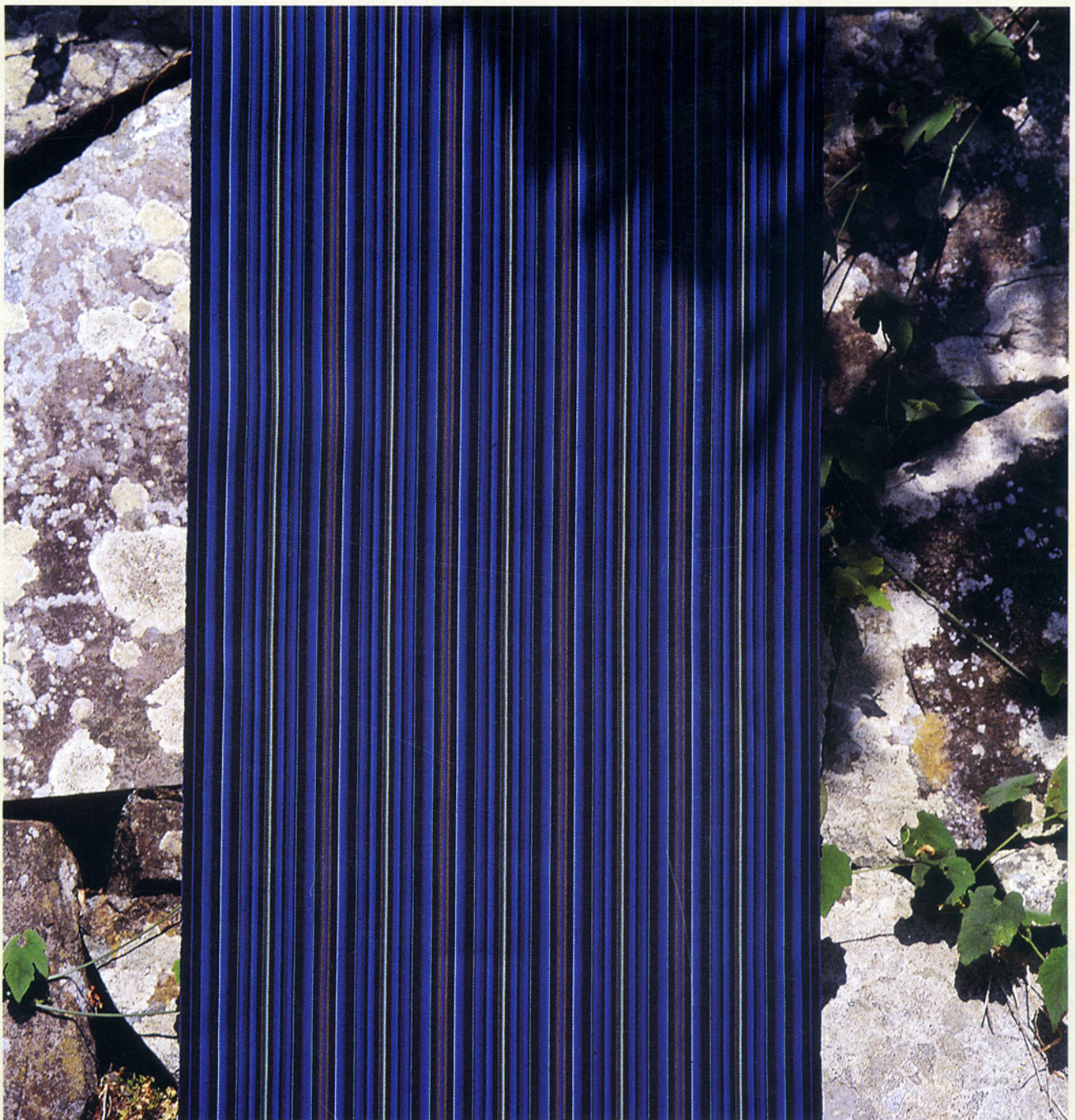


t s u k u r u

[ 創る ]

No.6

Fujico Technical Report 1998





---

## 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、小倉織を現代に復元、独自のデザインで創作している染織家/築城則子氏の「宙(小倉縞木綿帯)」。小倉織とは、徳川家康も愛用したと伝えられる江戸初期からの豊前小倉を代表する綿織物で、多くの文学作品にも登場し、日本各地で愛用されていた生地でした。その後、幕末の城下の混乱、日清戦争後の金融恐慌の波などに阻まれ、織家が途絶えていました。それから数十年、ひとりの人間と北九州市の風土が、伝統の技と現代の感性でその姿を蘇らせました。

参考資料/築城則子作品抄より

---

## 作者紹介

築城 則子 Noriko TSUIKI [染織家] 1952年生まれ。  
'74年染織研究所を経て、久米島、信州などで草木染について学ぶ。その後、紬織着物を中心に制作。'84年小倉織を復元。'94年小倉縮復元。'96年重要無形文化財保持者/北村武資氏による「羅」伝承者養成研修生に選出される。日本伝統工芸展、日本染織展、西部工芸展等に出品、受賞多数。'96年北九州市立美術館にて個展。  
八幡東区在住

---



フジコー技報—tsukuru No.6 平成10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 事務局  
〒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。



# フジコー技報 創 る

## 目 次

巻頭言	・技術のフジコーに期待する	新日本製鐵(株) 副社長 浅村 峻	1
随 想	・研究所雑感	九州工業大学 教授 向井 楠宏	4
	・(株)フジコーさんとの出会い	大平洋製鋼(株) 社長 佐藤 祐一郎	6
寄稿論文	・ゴム巻きロールの多角形現象	九州大学 教授 末岡 淳男	8
	・疲労破壊は、なぜ起こり易いのか	佐賀大学 教授 西田 新一	14
技術論文	・鉄道分岐器内レールの肉盛溶接技術の開発	三原 泰司、粕谷 恵介、宮崎 裕之、 佐々木 満太郎、吉村 武憲	20
	・熱間焼き付き・摩耗試験機の開発と各種材質の耐摩耗性の評価	沼 和宏、坂本 眞一、植田 勝裕、斉藤 弘道	25
	・革新的超硬系サーメット溶射技術の開発 第2報	洲崎 真二、尾崎 健一、吉村 武憲	32
	・CPC法における鋳肌の性状におよぼす引き抜き条件の影響	後藤 英行、坂本 眞一、斉藤 弘道	37
調査報告	・光輝焼鈍炉炉壁の窒化防止技術の開発	林 慶治、伊藤 昌広	44
新製品、新技術	・SHH-400によるコイルレベラロールについて		47
	・縦型ミルロール用自動溶接装置		49
	・MARC有限要素法構造解析システムの導入		51
トピックス	・FINES (Fujico Information Network System) の構築	武田 勝義	55
全社組織			59
工場、事業所 所在地			60



**tsukuru****Fujico Technical Report 1998****No.6**

1998.10.1

**CONTENTS**

<b>Foreword</b>	<b>Takashi Asamura</b>	<b>1</b>
<b>Memoir</b>	<b>Kusuhiro Mukai</b>	<b>4</b>
	<b>Yuichirou Satou</b>	<b>6</b>
<b>Commentary</b>	• Polygonal Deformation of Roll-Covering Rubber	<b>8</b>
	• An Outline on Some Outbreaks of Fatigue Fracture	<b>14</b>
<b>Technical Paper</b>	• Development of Overlay Welding Technology for Rails in Turnouts	<b>20</b>
	• Development of The Hot Wearing-sticking Simulator and Evaluation of Wear Resistance for CPC Materials	<b>25</b>
	• Development of Innovative Thermal Spraying Technology Tungsten Carbide Cermet-Second report	<b>32</b>
	• Effect of CPC Drawing Pattern on Casting Surface Condition	<b>37</b>
<b>Technical Report</b>	• Development on Prevention of Nitric Reaction for Bright-Annealing F'ce Wall	<b>44</b>
<b>New Products, New Technology</b>	• Application of SHH-400 Material for Coil Leveler	<b>47</b>
	• Automatic Welding Machine With 3D-Controller for Crusher Roll	<b>49</b>
	• Introduction of Stress & Thermal Analysis by MARC-system	<b>51</b>
<b>Topics</b>	• Introduction of FINES (Fujico Information Network System)	<b>55</b>
<b>Organization</b>		<b>59</b>
<b>Address</b>		<b>60</b>



## 「技術のフジコーに期待する」

新日本製鐵(株) 副社長

浅村 峻

Takashi Asamura



たしか五年程前、山本社長がいつもの魅力的な笑みをうかべながら「今度、創業40周年を記念して『フジコー技報』を年一回刊行する決意をしました。」と創刊号を持って来て下さった時のことを今でもはっきりと覚えている。当時まだ「製鉄研究」と言う名称で出していた新日鐵の技報が、その内容を保ちつつ発行を続けるのに関係者が非常に努力をし、苦勞していた事を知っていたので、その決断に敬意を覚えつつも正直言って本当に年一回の発行を続ける事が出来るだろうか等と失礼な事を考えた事も又、はっきりと覚えている。

従って、以来『フジコー技報』には他の同種の技報類にも増して関心を覚え、届けて頂くのを楽しみに読ませて頂いて来た。内容も多岐にわたり、レベルも非常に高いことに感銘を受ける事が多い。しかし、何にも増して『フジコー技報』に特徴的なことは、その報告論文の多くに社長自らが、執筆者の一人として加わって居られると言うことである。フジコーと言う会社が極めて技術開発指向の強い、又溶射・溶接技術を中心にいわゆるコア・コンピテンスを持った会社である事はフジコーを知る者の皆が認める所であるが、技術開発によって常に新しい製品・技術を生み出し、ついに世界に冠たるCPCハイスロールの開発を世界に先がけ成功される迄になられた秘密は、ここにあるのではないかと考えている。

技術開発をドライブし、成功させる秘訣はいろいろ理屈をこねればきりはないが、私はこの山本社長の態度とその研究者との関係につきるのではないかと考えている。研究者は常に自分のやっていること

の先に正解があるのか、自分は間違いを犯していないかと言った不安と直面しながら日々を送っている。

その時、研究開発に携わる現場第一線の人達と同じ場所で考え、皆の意見を聞き、開発の壁に突き当たった時には皆と一緒に苦しみ、そしてブレークスルーの喜びを共に喜ぶ事の出来るリーダーを持つと言うことが研究者、技術者にとって最も大きな力となり励ましとなる。又彼等にとって最大のインセンティブは、自分の発想、自分の研究の成果が、自分の属する集団又は会社によって取り上げられ、事業に育て上げられ、世の中に持ち出され、それによって世の中に貢献出来たと言う事を実感する事である。

そのいずれもが、社長と言うトップをリーダーに戴く時、最高の形で具現化される事は言う迄もない。フジコーの人達は幸せであると思つづくと思う。

ところで話は少し変わるが、入社以来どちらかと言うと現場で走り廻って毎日の問題のパチ当た的な解決の仕事に追われて来た自分にとって、最初に技術開発と言うこと、その進め方について「オヤッ」と思う思いをさせられ、以来ずっと考え続けている事がある。それは20年以上も前に私が欧州事務所に居た時、新日鐵と当時のフランス鉄鋼業の中央研究所であるIRSIDとの技術交流が行われる事となり、最初の会合がフランスで行われる事となったため、通訳兼出張者のお世話役として参加した時の事であった。第一回目のテーマは確か当時俄然技術的脚光をあびていた連続鑄造技術についてであった。それまで全く関わりのなかった私にとっては、技術的にチンプンカンプンの議論であり、唯ひたすら言葉の通訳に徹していた。それが多分原因であったと



思うけれども、技術の内容はともかく、両者の仕事の進め方に極めて大きな差のあることに気がついた。

簡単に言ってしまうえば新日鐵の技術者、研究者はまず自分の解決すべき問題はこういう範囲の要因を含んでいると考えられるので、それ等を全て取り込んでこういう巾の広い条件と水準を組み込んだ実験をやってみた。そうすると $A_1 \times B_2 \times C_3 \dots$ の条件で良い結果が得られた。それは多分こういう事が起こっているからで、こう解釈すると説明がつく。従ってこう言う歯止めのための条件を決めて、問題は解決した。終わり。

と言うのに対し、フランスの技術者、研究者は、自分に与えられた課題は、これこれ、こう言う解釈出来る技術課題であり、仮定としてそこではこう言う事が起こっているのではないかと考えた。その仮定が正しいとすれば、それはこう言う結果を生み、こうなっていくはずだと言う具合に論理を発展させ、その自分が発展させた論理のチェーンが正しいかどうかを知るためには、この条件で実験すれば確かめられるのでやってみたら見事に自分の考えが正しい事が証明された。そうであれば次にはこう言う事が起こっているはずであると考えて……、と言う具合に理屈を発展させ、最後にこう言う解決案を提案し、現場でやってみるとうまく行ったので、自分の考えに全てのことは正しいと言うことが証明された（アーなんと自分はすばらしい考えを思いついたのだろうか）。終わり。

と言う具合であった。当然正しい答えにたどりつくのに時間はかかるが、殆どのプロセスは研究者の頭の中で進展し、チェックのための実験も絞られた極

少数の条件でしか行わないので金は少なくてすむ。と当時はいとも単純にその差の意味を理解していた。

しかしその後、この差を繰り返し何度も思い出している内に話はそれ程単純でもなければ小さい事でもないと思う様になった。彼等の論理に対する信頼感は長い歴史的、宗教的バックグラウンドと訓練に基づくものと思うけれど、この事が他人にない自分の論理、考えを生もうと言う意欲につながり、逆に正しいと分かれば（その課程では相手とのいわゆるディベートと称する日本人には苦手の面と向かった勝負の議論があるが）、他人の考えを尊重すると言う西欧の個人主義を生んだのであろう。そして、真のブレークスルーは自分の課題を出来るだけ基本的な論理、技術要素に分解して理解し、その上で、その解決策を対応する基礎科学、要素技術を使って自分独自の論理によって組み立てようとする態度によって生まれるのではないだろうか、と考えている。

この様なプロセスは本来周りの家々が総出で手伝いながら田植えをした農耕民族である日本人には不得手なのだろうが、しかし現下のグローバルコンペティションを生き抜いて行くためには他人に出来ない商品を、他人にはやれない方法で抜群の効率を以て創り出すしかない。その方法を生み出す手法として彼等には彼等の長い時間かけて磨いて来た手法があろうが、我々には我々独自のこれに対抗すべき手法を持たねばならない。フジコーさんが山本社長を中心として、既に極めて大きな成果をあげている今のやり方に一層の磨きをかけて今後益々すばらしい技術、すばらしい製品を世の中に提供し続けて頂きたいと切に願っている。



【略 歴 書】

浅 村 峻  
あきむら たかし

昭和11年 7月22日生

出身地 福岡県

【学 歴】

昭和34年 3月 九州大学工学部機械工学科卒業

【職 歴】

昭和34年 4月 八幡製鐵(株)入社

昭和45年 3月 社名変更により新日本製鐵(株)となる

昭和46年10月 八幡製鐵所薄板部第二ストリップ工場長

昭和50年 6月 欧州事務所課長

昭和54年 4月 八幡製鐵所薄板部課長

昭和55年 2月 同 薄板部副部長

昭和55年11月 同 技術部専門副部長

昭和57年 4月 同 薄板部副部長

昭和57年10月 同 薄板部長

昭和62年 6月 技術本部薄板技術部長

平成元年 6月 取締役 (技術本部薄板技術部長委嘱)

平成元年10月 同 (技術本部薄板技術部長、アイ・エヌ・コートプロジェクト技術班長委嘱)

平成2年 7月 同 (技術本部薄板技術部長委嘱)

平成5年 6月 常務取締役 (アイ・エヌプロジェクト技術管掌)

(エンジニアリング事業本部副本部長委嘱、機械・プラント事業管掌)

平成7年 3月 同 (アイ・エヌプロジェクト技術管掌)

(エンジニアリング事業本部副本部長委嘱、技術協力事業、中国協力事業、機械・プラント事業管掌)

平成7年 6月 同 (技術開発本部長委嘱、アイ・エヌプロジェクト技術、エンジニアリング事業本部機械・プラント事業管掌)

平成9年 4月 代表取締役副社長 (技術総括、知的財産、アイ・エヌプロジェクト技術担当)

平成10年 4月 同 (技術総括、環境、知的財産、アイ・エヌプロジェクト技術担当)

平成10年 6月 同 (エンジニアリング事業本部長委嘱、都市開発事業担当)



## 随 想

## 研究所雑感

九州工業大学 工学部物質工学科  
教授向井 楠宏  
Kusuhiro Mukai

一口に研究所といっても、Bell研究所のようにノーベル賞受賞者を輩出するような理学的な基礎分野の研究を含む研究所から、生産現場の管理維持やクレーム処理を主な仕事とする研究所、地域への技術の普及、啓蒙に力を注ぐ研究所あるいは大学の研究所のように、研究をとおしての教育を重要な役割の一つとする研究所など様々である。最近ではさらに、起業家精神に富む若手研究者、技術者の育成を主目的の一つとするベンチャー・ビジネス・ラボラトリー（VBL）なるものも大学に設置されるようになった。九州工大にも1995年にVBLが開設され、私とその世話を仰せつかっている。

研究所はそれゆえどのような研究所にするのか、設立の目的、主旨をしっかりと見極めつつ、それを達成するために必要な人材を集め、組織を整え、設備、研究資金等の研究環境を充実していくことが必要であろう。スタート時点でこの点があいまいであったり誤っていたりすると、長い時間にわたって人的にも物的にも、壮大な無駄使いをすることになる。スタートが順調にいった後も、研究所の運営に心をくばって、研究環境を整備充実させ、活発な討論と研究所の内外との交流をとおして研究者間に適度の緊張関係が持続されるようにして、組織が沈滞しないよう不断の努力をしていくことが要求される。人材の交流が非常に少ないというか、困難の多い日本の社会では、時の経過とともに研究所に垢のようなものが溜まって沈滞することが多くなる。

私は主として研究をする側に属する者であるが、それでは研究者の研究環境を整備充実するとは具体的にどのようなことを意味するのか、あるいはどの

ようなものであってほしいのか、私見を述べてみたい。

研究者、技術者の大きな目標の一つは、自分の研究分野で優れた研究業績、技術開発の成果を後世に残すことであろう。私自身は自分の研究分野で、後に続く人が避けては通ることのできないような論文を残すことにとりあえずの目標をおいている。しかし世間や世間体に起因する障害や雑念などを乗り越えて、目標を失うことなく研究を成し遂げるには、研究者個人に強さ、自立性が要求されるのはいうまでもないが、外的には研究者をとりまく研究環境が重要な意味を持つことになる。

研究者、技術者個人にとって、自分の研究成果が適正に評価されることは、大きな励みである。具体的には、顕彰とか、組織内での地位の向上（別に管理職にこだわる必要はない）、生活面での待遇の改善などであろう。ただここで心しなければならないのは賞とか評価は、それが適正であれば本人をより向上させる特効薬になるが、ひとつ間違えると毒にもなりうる危険な側面を持っていることである。

社会的環境としては、研究者、技術者が創造した知的財産が大切に取り扱われる、すなわち高く売り買いされるような世の中をつくり出すことである。特許の潰しあいをするとか、他人や他社等の技術を盗むあるいは、それに類する行為をすることは、研究者が自らの立場をおとしめることに貴重な研究の時間と精力を費やしていることになる。研究者、技術者の知的財産が大切にされるような社会環境を整えることは、研究者、技術者にとって住みやすい社会をつくることにつながる。このような社会環境は

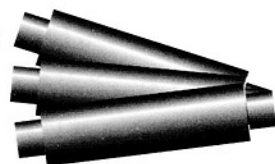
理工系を志す若者にとっても魅力あるものとなるであろうし、昨今問題になっている若者の理系離れの風潮（本当にあるかどうかは別にして）を、根本から解消させ得る大きな力になるように思われる。大学の偉い先生が小学生たちを集めて、講義をするのも確かにアイデアの一つであろうが、それでことが解決すると考えているのであれば、問題の根本を見誤ることになる。若者が理工系の職業に、自分の生涯の仕事として夢や希望、誇りを持つことができ、現実の生活においても、自分の属する組織や社会から尊敬され充実した生活が送れるような世の中にしていくことが肝要であろう。引き合いに出すまでもなく、典型例に医者の世界がある。

研究の物的環境は、設備と研究費である。自分の狭い経験ではあるが、必要なときに最低限必要な研究費を使えることが、研究費の使い方としては非常に効果的な方法のように思われる。研究費は多すぎても、土壌の力のない畑に肥料をやりすぎると同じで逆効果を生み、研究者を腐らせてしまう恐れがある。研究にはまた、それに必要な道具すなわち実験装置とか分析機器などが必須のものであるが、できあいの高価な装置を整えて良しとすることには大きな疑問がある。新しい研究は基本的には、新しい装置を創ること、あるいは既存の装置を改良し、その使い方を工夫することによってはじめて可能になることが多い。時には木の切端や金属片の一つが使い次第で貴重な研究の道具になりうるし、また必要になることもしばしば経験する。

最後に、研究所が目指すべき目標の一つに独創的

研究成果の創造、技術の開発を加えたい。独創の意味は研究所の特性に応じて、ノーベル賞級のものから、ある分野の技術的な工夫のようなものであってもよい。どのような類のものであれ、独創とは世界で未だ誰一人として創り出したことのないものを創るのであるから、まず思いつくかどうかわからないし、できるかどうかわからない。当然創り方もわからないし、リスクも大きい。そのような困難と危険を冒してはじめて得られるものであるから、独創的成果は尊敬に値するものであり、経済的には高い値段で売り買いするのがモラルというものであろう。このようなモラルが大切にされ、独創の成果が適正に評価される環境、そしてその成果が基本的には人々の幸せのために使用されそのことによって人々の尊敬を勝得ることができる環境、広くは社会、このような社会環境を造っていくことが、独創的研究・技術を産み出すための社会的な土壌を培うことになるものと思われる。

しかし、独創的な成果を生み出せるような研究者に誰もがなれるものでないことも一つの現実である。優れた資質を持つ研究者がいても、環境がそれを潰すこともある。研究所とはそのような優れた研究者、技術者を育てあげる大切な土壌の一部でもある。当然この土壌には、研究所の研究者も含まれるから、独創的研究が生み出せない研究者でも心がけ次第でその土壌には、なれるのであり、このことによって間接的にはあるが、独創的成果の創造に貴重な貢献をすることになる。





## 随 想

## (株)フジコーさんとの出会い

大平洋製鋼(株) 取締役社長  
富山大学 客員教授佐藤 祐一郎  
Yuichirou Sato

1993年(平成5年)11月のフジコー技報創刊号を読んで、内容豊富な技術論文、魅力溢れる新製品・新技術の紹介等に接し、いつしか次号の公開を楽しみに心待ちするようになりました。そのフジコー技報「tsukuru」も回を重ねてNo.6号の発刊となります。私は創造性豊かな技報の内容ならびにフジコーさんのもつユニークな技術の蓄積の多さに、改めて驚嘆しております。技報編集に携わる関係者の皆様のなみなみならぬご労苦と、たゆみないご努力に対し、深く敬意を表しますとともに、心より賞賛申し上げます。

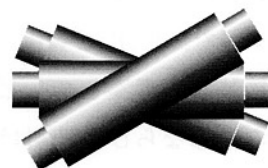
私とフジコーさんとの出会いは、顧みますと30数年以前のことになります。1966年(昭和41年)に白鑄鉄の鍛練技術について、わが社と当時の八幡製鉄(株)のライセンス契約が成立して、私は北陸・富山と北九州・八幡の間を頻繁に往復するようになりました。創業者の山本秀祐社長とお会いするようになったのはその頃のことでした。ちなみに、それ以来新日鉄(株)さんとは32年間の長期にわたり、親密な研究活動を現在も続けております。白鑄鉄は硬くて脆いものであるというのが一般常識で、当時は白鑄鉄が熱間プレス、熱間圧延などの塑性加工が可能であると考えた人は、誰れもいませんでした。山本社長は白銑肉盛がご専門で、C.P.C装置の原型である縦式鑄掛け肉盛溶接装置を考案して、ピンチロールやテーブルローラの補修ならびに鑄掛けによる溶着・肉盛技術の開発に取り組んでおられました。そして特に理想的な完全溶着法の完成のため、執念を燃やして研究を進められているところでした。同じ白鑄鉄を扱う者同士のご縁とでも申すのでしょうか、初対

面なのに旧知の仲で先輩・後輩(我輩になります)のような感覚で意気投合したことを、つい昨日のことのように鮮明に覚えております。小倉のとある料理屋で一緒したときのことです。呑むほどに酔うほどに肝胆相照らす話となり、先輩の次から次へ飛び出す奇抜なアイデアや白銑鑄掛け失敗談義の数かずに、つい私も膝を乗りだして興味津津と聞き惚れたことを思い出します。当時、わが社では高炭素系白鑄鉄の鍛造新製品を開発するため、ESR(Electro Slag Remelting)装置の導入を考え試行錯誤を繰り返しておりました。浅学の身も省みずに、たしかVAR(Vacuum Arc Remelting)との違いや、特にESR鑄塊のスキン・スラグ生成の形態や効能について、先輩にご進講申し上げたことがございました。豊富な失敗例をもつことは、技術屋にとって何物にも優る貴重な財産であると思います。その頃は今流のコンピュータによる確かな解析能力などなく、トライ・アンド・エラーが新製品や新技術開発の重要な要素を占めた古きよき時代でした。これは後日談ですが、先日先輩から伺ったお話は大変面白く勉強になりましたが、貴重なノウ・ハウがオープンになり、誰かに真似される心配はありませんかとお尋ねしたところ、「誰かが真似すれば、私は次の手を考えるから一向にかまいません。」とあっけらかんと言われたのには驚くやら、感心するやら。しかし誰にも追従を許さないぞという、自信に満ちた起業家魂とでも言うのか、創業者のもっている気概の片鱗を垣間みる思いでした。

時は廻り、先代山本社長はこの世を去られました。折にふれ在りし日のお姿を思いだして人生の無常を

痛感しております。しかし先代の創業者精神は見事に山本厚生現社長に受け継がれ、フジコーさんはますます発展を遂げておられます。優秀なスタッフの方達や従業員の皆様とベクトルを合せ、受け継いだ貴重な伝統に磨きをかけて、創造開発を一心不乱に指向しているお姿には頭が下がります。当然のこととはいえ、革新的な着想から生まれたC.P.C法は、特性の優れたクラッド材の製造法として、その後見事に開花し、今日では熱延ワークロールを始め、各種のロールやローラとして広く賞用され、国内外の注目を集めるようになりました。過日のことですが、ヨーロッパ諸国の中では5指の内に数えられている、ロールメーカーの社長の話によりますと、ヨーロッパにおけるロール製造技術は、日本に追い付け、追い越せで努力した結果、今では日本のC.P.Cハイスロールと、白鉄の鍛造ロール以外では、引けをとらないレベルに到達しているとのことでした。フジコーさんのオリジナルであるC.P.C技術の優秀性を、改めて実感する思いがいたします。

さて、世紀末という準備期を経て、いよいよ21世紀という新時代が到来します。これまでの日本の産業は「いかに作るか」の製造技術では世界を席卷し、今日では文明世界に影響を及ぼすほどの立派な工業社会を作りあげることができました。しかし「何を作るか」の製品技術では世界の先進科学技術に勉ぶことが、まだまだ沢山あるように思えてなりません。これからは自分で基本原理を考えだし、それを製品化してゆく科学技術を身につけ、国際競争力のある差別化商品を生み出すことが必要な時代になると思います。フジコーさんはこれまでに、幾多の困難を乗り越えて得た高い評価に安住することなく、更なる研鑽を積みあげて、長期的視野に立ち、革新的な新製品・新技術の開発に邁進されますものと期待しております。縁は異なるものと申します。私もフジコーさんとの出会いを大切に生かし、切磋琢磨を忘れずに、わが社の活性化に少しでも努力したいと願っております。





## 寄稿論文

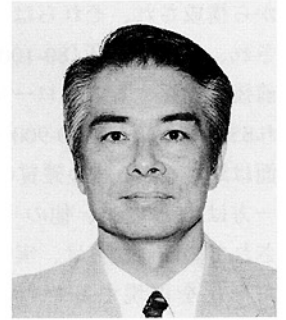
## ゴム巻きロールの多角形現象

Polygonal Deformation of Roll-Covering Rubber

九州大学工学部機械工学科  
教授

末岡 淳男

Atsuo Sueoka



## 1 緒言

機械工学の分野では、数多くの接触回転系が用いられている。この接触回転系の運転中に、回転体であるロール外周に周期的な多角形化パターンが形成されるとともに、大きな振動が発生し継続的な機械の運転が不可能になったり、製品表面にマークが生じ欠陥品となることが多い<sup>1)</sup>。ここでは、このような現象を「パターン形成現象」と呼ぶ。

このような現象が発生する対象系には一対のロールまたは複数の接触ロール系でロールに変形が蓄積するものとして、抄紙機のプレスロール、スムーザロール、ゲートロールサイズのゴム部やフェルトの変形およびカレンダーロールのバーリング、繊維機械のワインダー系における糸玉の多角形化、インク連続供給型印刷機の受け渡しロールの周期的なインクのむらおよび工作機械の心なし研削における工作物の多角形化などがある。一方、接触系がロール以外のものでロールの場合で、ロール側に変形を生じる系には、鉄道車両の弾性車輪タイヤの多角形化、研削における再生びり、自動車タイヤの多角形摩耗、研削砥石の多角形化、圧延ロールの多角形化などがあり、同じく接触系のロールでない側に変形を伴うものとして、製鉄機械の熱延/冷延ストリップのチャタマークおよびチャタリング、ブラシロールによるブラシマーク、レールのコルゲーション、フライス加工の再生びり、ドリル切削時の奇数多角形状穴および身近な生活環境では、アスファルト道路の波状摩耗、非舗装道路のうねりがある。このように、工業界や生活空間に接触回転系におけるパターン形成現象の回避すべき問題は極めて多く見受けられる。

このうち接触回転するロール側の変形では、その回転数に応じて円周方向に周期的な特定パターンの形成である多角形化現象が見られる。これらのパターン形成の変形形態には、大別して塑性変形、切削・研削・摩耗による変形および粘弾性変形などが関与しているが、振動数とパターン形成の観点からみると、次のような簡単な関係が成立している。

(1) ロールなどの周期的(周期  $2\pi$ )な構造物にパターン形

成が発生する場合ロールの回転数を  $f$ (Hz)、ロールに発生するパターン形成である多角形化現象の角形数を  $n$  (整数; 1, 2, 3, ...)、および対象とする系の第  $i$  次固有振動数を  $f_i$  (Hz) とすると、

$$f_i = f \cdot n \dots\dots\dots(1)$$

が成り立つ。一般に、 $f_i$  が  $f \cdot n$  よりもわずかに大きい場合が多い。このパターン形成のメカニズムの特徴は時間遅れ系となることである。

たとえば、抄紙機のロールの角形数  $n$  は 6-9、繊維機械のワインダーの糸玉の角形数は 2-3、芯なし研削では、3-5 の奇数角形や 10-20 の偶数角形の発生、自動車タイヤの多角形摩耗では 10-20 角形、および圧延ロールの多角形化現象における角形数が 35-60 と対象系によってその角形数もいろいろである。最近ドイツで発生した高速鉄道の脱線事故で使用されていたゴム巻き弾性車輪はタイヤ部の多角形化を防止するために効果があるとの報告もあるが、日本では名古屋の地下鉄で弾性車輪の多角形化を経験している。

(2) 接触回転系のロール以外の接触系にパターン形成が発生する場合ロールの走行速度を  $V$ (m/s)、接触系に発生するパターン形成の波長を  $\lambda$  (m) および接触回転系の関連固有振動数を  $f_i$  (Hz) とすると、

$$f_i = V/\lambda \dots\dots\dots(2)$$

が成り立つ。このパターン形成のメカニズムは繰り返し系となることである。

たとえば、JR 長崎本線や福岡地下鉄で発生しているレールの波状摩耗は 3 ヶ月程度で成長してしまう。最も多いケースはカーブ軌道の内軌側レールの波状摩耗である。

ここでは、上記(1)を対象とし、工業用ゴムを使用した接触回転系に生じる代表的なパターン形成現象の発生メカニズムを紹介する。

## 2 ゴム巻きロールの多角形化現象

プレスロールの 1 つであるスムーザロールの多角形化現象<sup>2)</sup> について述べる。スムーザロールは抄紙機プレスパートの最終段に位置し、紙の平坦さを出す役目を担う。スム

一ザロールはトップロール(以後、TRと呼ぶ)とボトムロール(以後、BRと呼ぶ)と呼ばれる一対のゴム巻きロールから構成され、それらはともに軸端の軸受けを介して支持され、一定の線圧(80-100N/mm)がかけられた状態で10Hz前後で回転する。両ロールは外径およびロール長がそれぞれ850mmおよび3500-9000mmの同形である。両ロールの表面は厚さ約25mmの硬質のゴムで覆われており、ロールの一方はJIS硬度85、他の一方はJIS硬度95程度のものが使用されている。図-1は、実機で発生するゴム巻きロールの多角形化を再現するために、ロールの外径750mm、長さ500mmの実験機において多角形化が発生したときの振動波形例を示したもので、上段からTR、BRの上下方向加速度振動波形、TRのゴム部表面の変形量およびロール回転マークを表す。図は相対的に柔らかいTRのゴム部表面に1回転当たりほぼ6周期の正弦的変形が生じている場合であり、ここでは、このような変形を六角形のロールの多角形化と呼ぶ。この変形は時間の経過と共に成長し、TRのゴム部表面の凹凸が両振幅で約0.2mmの変形を伴ってロール系に大きな振動を引き起こす。

### 2.1 多角形化現象の特徴

実機および実験機における多角形化現象の特徴を要約する。

(1)比較的長時間回転させた後、多角形化はBRに比べ軟質のTRのゴム部表面に顕著に生じる。その角形数はロール回転数に依存し、回転数が高いほど角形数は小さい。

(2)多角形化現象の成長過程における振動モードは上下ロールが逆位相であり、その振動数はロール全体系の固有振動数よりもやや低い。

(3)多角形化現象が発生した後、徐動すると、その多角形は15分程度で消滅する。したがって、ゴム部の変形は粘弾性変形である。

(4)BRの支持が柔であるほど、ロールの線圧が高いほど、また、ロール回転数が高く角形数が小さいほど多角形化現象は発生しやすい。

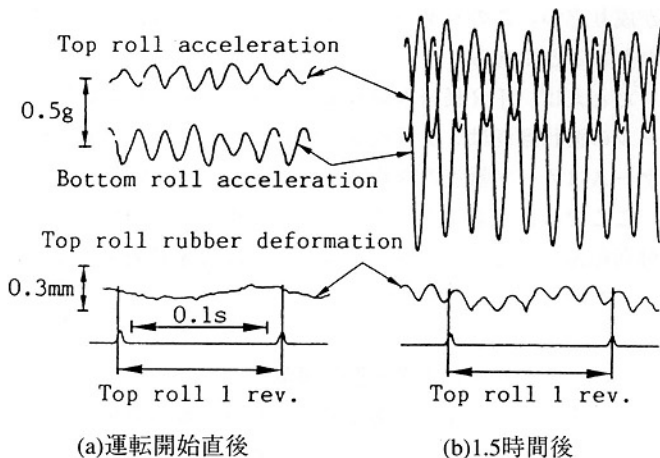


図-1 振動波形とゴム部変形量

(5)発生した多角形状はロールに固定するのではなく、非常にゆっくりとした速度で回転移動する。

### 2.2 モデル化および理論解析

このようなロール系の多角形化現象を説明するための解析モデルを図-2に示す。多角形化現象は逆位相で発生していることを考慮して、系を最も簡単な2質量系でモデル化する。TRおよびBRをそれぞれ質量が $m_1$ および $m_2$ の剛体とし、ロール長手方向の影響は無視する。TRおよびBRはおのほね定数 $k_1$ および $k_2$ 、粘性減衰係数 $c_1$ および $c_2$ なるばねおよびダッシュポットで基礎支持されている。ロールの変形はTRのゴム部表面のみに発生するものとし、BRのゴムは変形しないと仮定する。TRのロール接触部(ニップ部)のゴムはばね定数 $k_3$ の瞬時弾性変形部とばね定数 $k_4$ と粘性減衰係数 $c_4$ からなる遅延弾性変形部とから構成される最も簡単な三要素モデルでモデル化する。多角形化現象の成長過程では、この遅延弾性変形部にその変形が蓄積していくことになる。ニップ部は点接触と仮定し、ニップ部通過直後のゴムの変形量の大部分はロール回転周期後までに回復するが、その残留変形量が次回ニップ部再突入時にフィードバックされる。以上の仮定の下で図-2のように $x_1, x_2, z$ の変位をとると、ロール系の上下方向の振動の運動方程式は、

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 + k_1 x_1 + k_3(x_1 - z) &= 0 \\ k_3(z - x_1) + c_4 \dot{z} + k_4 z &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 + k_2 x_2 - c_4 \dot{z} - k_4 z = 0$$

となる。ここに、 $T$ をロール回転周期として、

$$\begin{aligned} w &= u(t) - \exp(-\alpha T) u(t - T) \\ u(t) &= z(t) - x_2(t) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$u(t)$ はニップ部通過直後のゴムの変形量、 $\alpha = k_4/c_4$ はゴム変形回復部の回復特性指数を表す。

式(3)はニップ部通過直後のゴムの遅延弾性変形量が時間 $T$ 後に $\exp(-\alpha T)$ 倍だけ残留し、その残留変形量が改めてニップ部にフィードバックされる時間遅れ系の運動方程式を表す。また、式(4)の第二式第二項がニップ部に再突入する際のゴムの残留変形量を表す。 $\alpha$ や $T$ が小さくなること

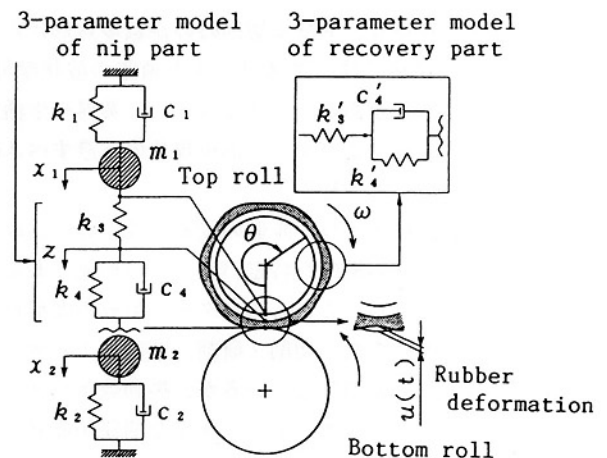


図-2 ロール系のモデル化



は残留変形量が増加することなので、ニップ部で生じたゴムの遅延弾性変形が塑性的になることを意味する。

実機および実験機のロール上のある一点について考えると、ニップ部に入って出るまでの時間は1ms程度である。そのような極めて短時間にニップ部への出入りが繰り返されるロール上下方向のゴムの振動特性値は常に衝撃的な効果を伴う。

一方、変形させられた部分はニップ部通過直後にロールの一回転周期の0.1s程度の短時間後にニップ部に再突入する。このような短時間でのゴムの変形回復特性を式(4)に示すように指数関数で表したとき、回復特性指数 $\alpha$ はロール回転周期に大きく依存し、後述の数値計算においてそれが系の安定性に及ぼす影響が極めて大きいことが明らかとなった。そこで、ゴムの動的な回復特性指数 $\alpha$ の同定実験を行い、その実験結果から得られた $\alpha$ の値を用いて数値計算を行った。

まず、ロール回転周期 $2\pi$ となるように式(3)に対して次式のような変数変換を行う。

$$\tau = \omega t, \omega = 2\pi/T \dots\dots\dots(5)$$

そのような変換を行った式(3)はむだ時間 $2\pi$ をもつ線形時間遅れ系となるので、その安定性が重要な問題となる。初期値をすべて零として式(3)に対してLaplace変換を行い、さらに若干の変形を施すと次式を得る。

$$AX=0 \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 $X=(X_1, Z-X_2, X_2), 0=(0,0,0)$ であり、

$$A = \begin{bmatrix} g_1 - k_3 - k_3 & & \\ -k_3 & g_2 & k_3 \\ -k_3 & k_3 & g_3 \end{bmatrix},$$

$$g_1 = m_1\omega^2s^2 + c_1\omega s + k_1 + k_3$$

$$g_2 = k_3 + (c_4\omega s + k_4)\{1 - \exp(-\alpha T - 2\pi s)\}$$

$$g_3 = m_2\omega^2s^2 + c_2\omega s + k_2 + k_3$$

および左肩号「 $l$ 」は転置記号、 $X_1, X_2, Z$ はそれぞれ $x_1, x_2, z$ のLaplace変換、 $s$ はLaplace変換変数である。

式(6)から特性方程式は次式となる。

$$\det A = 0 \dots\dots\dots(7)$$

むだ時間が存在するため、式(7)の特性根 $s = \sigma + jN$  ( $j = \sqrt{-1}$ )は無数存在する。そのすべての実部が負 ( $\sigma < 0$ )であれば系は安定、一つでも正 ( $\sigma > 0$ )のもがあれば不安定、すなわち、多角形化現象が発生する。式(6)から実時間 $t$ に換算した場合、系は角振動数 $\omega N$ 、つまり、回転角速度の $N$ 倍で振動することから、 $N$ はロール変形の角形数に相当する。

2.3 数値計算結果

計算に用いた基準パラメータは、 $m_1, m_2 = 1400\text{kg}$ 、 $k_1, k_2 = 43\text{MN/m}$ 、 $k_3 = 34\text{MN/m}$ 、 $k_4 = 190\text{MN/m}$ 、 $c_4 = 0.37\text{MNs/m}$ および $\alpha = 2.0\text{s}^{-1}$ である。

図-3は基準パラメータ、 $c_1 = c_2 = 10\text{kNs/m}$ としたときの式(5)の比較的小さな虚部を有する特性根の虚部 $N$ とTRの回転

数 $f = \omega/2\pi$ の関係を示す。 $\Omega_1$ および $\Omega_2$ はそれぞれ1次および2次の固有振動数と回転数の比を表し、図中実細線で示す。また、点線および実線の太線部はそれぞれ安定 ( $\sigma < 0$ )および不安定 ( $\sigma > 0$ )の領域を表す。なお、 $\Omega_1$ に関する実細線は点線とほぼ同一の曲線となるため省略している。図から、2次の固有振動数付近で、しかも $N$ が整数の付近でのみ不安定特性根が存在すること、すなわち、TRおよびBR支持部が上下対称の特性を有するとき、TRおよびBRが逆位相の2次モードのみに不安定振動が発生し、同位相の1次モードでは発生しないことがわかる。また、 $N$ が大きいくほど不安定領域が狭くなる。図中のマスコットはゴム部の変形形状の概略である。

図-4は基準パラメータ、 $\sigma = 0, 0.1, 0.2\text{rad}^{-1}$ の場合の解の軌跡を示す。横軸はTRの回転数 $f$ 、縦軸はTRおよびBR支持部の粘性減衰係数 $c_1$ および $c_2$ を表す。 $\sigma = 0$ の曲線は安定・不安定境界を示し、釣り鐘状の内部が不安定領域である。図中、 $n=3, 4, \dots$ の数字は $N$ に最も近い整数を表しており、これを便宜上ロールゴム部変形の角形数と呼ぶ。図から、粘性減衰係数 $c_1, c_2$ が大きいくほど不安定領域が小さくなり系は安定化する。また、ロール回転数が高く角形数が小さいほど多角形化現象は発生しやすいこと、角形数が大きくなると不安定領域が減衰の小さい側に移動しかつ小さくなり、多角形化現象が発生しにくくなる。これは実機ならびに実験機における結果と一致している。したがって、多角形化防止対策として、ロール支持部の減衰を大きくすること、できるだけ低いロール回転数範囲内で運転するこ

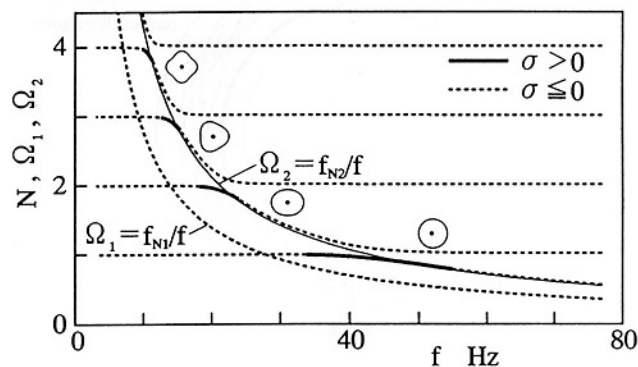


図-3  $f$ と $N$ の関係

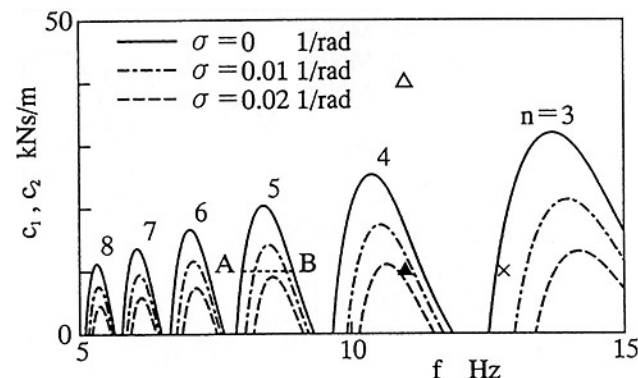


図-4 不安定領域

と、および隣接する不安定領域間に存在する安定領域で運転することなどが考えられる。

不安定特性根の実部の値は最大でも $10^{-2}$ オーダであり、一般的な回転体の不安定振動計に比較して非常に小さいという特徴がある<sup>2)</sup>。とくに、実機および実験機の結果では、ロール系の多角形化現象は非常にゆっくりとした速度(TRの振動加速度が1Gを越えるのに30分から1時間30分を要する)で成長する。この傾向は数値計算結果と定性的に一致するが、実験では両ロールの回転に荷分担制御方式が採用されているので、不安定振動の成長速度が解析結果から推定されるものよりもさらに遅くなっていると考えられる。

図-5に、図-4の×印に対するTR外周上のゴム部の変形の時刻歴を示す。3角形の変形パターンがロール回転方向とは逆にゆっくりと移動している。

図-6はニップ部ゴムの瞬時弾性変形部の剛性係数 $k_3$ を変化させた場合の計算結果である。円筒と円筒の接触をヘルツ接触と見なすと、線圧が増大してニップ部の接触幅が広くなるにつれて $k_3$ が増大する。 $k_3$ が大きいほど不安定領域は高回転数領域に移りながら広がっている。したがって、ロール間の線圧が上がれば多角形化現象が発生しやすいという実機および実験機での結果と一致している。

図-7はTRとBRの支持剛性のパターン形成への影響を見たものである。ロール支持ばねの剛性係数を小さくするほど2次モードの不安定振動が発生し易くなり、固有振動数

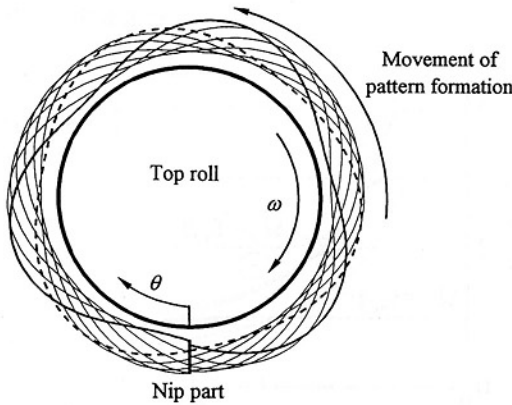


図-5 TRゴム部の変形量の時間経過

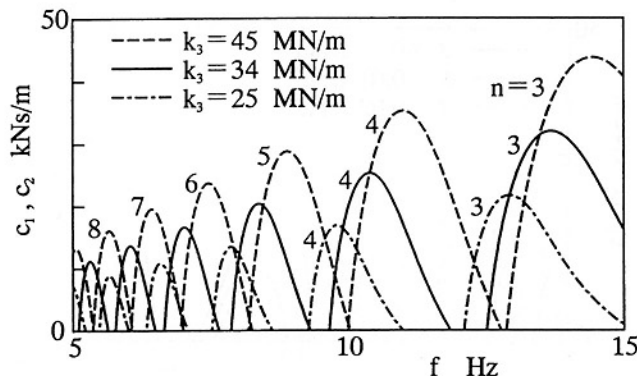


図-6 剛性係数 $k_3$ の影響

の変化に応じて不安定領域がロール回転数の上下方向に移動する。

図-8は実験機を用いた2次モードの不安定振動の実験結果からパラメータの同定を行った結果である。横軸はロール回転数、縦軸はゴム瞬時弾性係数(ロール線圧に相当)である。図中、×、△、○はそれぞれ激しい振動の発生、わずかな振動の発生、振動の発生がない場合を示す。線圧39.2、63.7および98.0kN/mで実験を行い、39.2kN/mでは不安定振動は生じなかったが、63.7および98.0kN/mでは不安定振動は生じた。あるロール回転数では、線圧の大小により異なった角形数の多角形化現象が発生している。

ゴムの回復特性がパターン形成現象に大きく関わっていることが判明した。その回復特性の測定結果を図-9に示す。

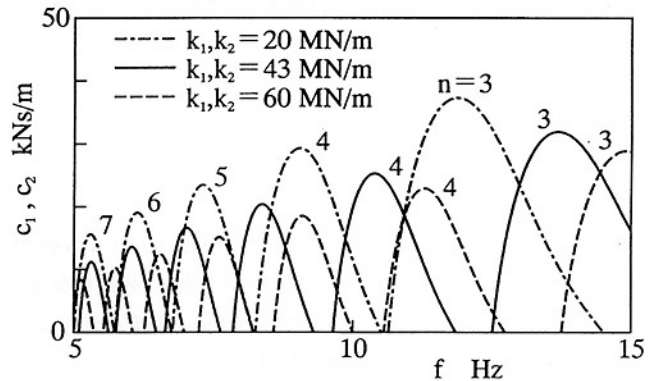


図-7 支持剛性 $k_1, k_2$ の影響

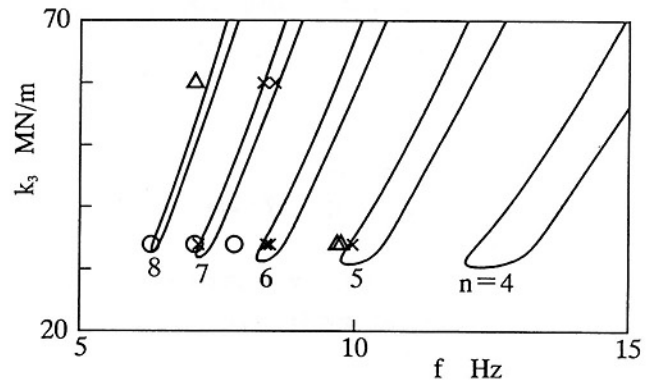


図-8 実験結果の同定

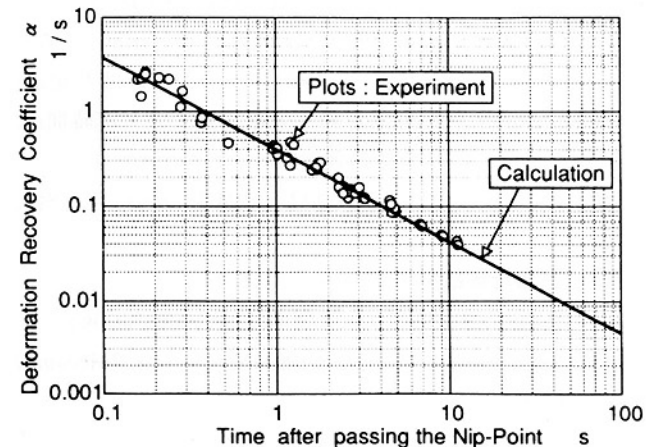


図-9 動的回復特性指数測定結果



横軸はニップ部通過後の時間、縦軸は回復特性指数  $\alpha$  である。図から、回復特性指数は時間（ロール回転数）依存性を有することが明らかになった<sup>2),3)</sup>。この時間依存性を非線形フォークト(2要素;  $k, c$ ) モデルで同定すると、絶対剛性  $K^*$  のひずみおよびひずみ速度依存性は小さいが、損失係数  $\tan \delta$  のひずみ速度依存性が大きいことが実験から明らかになった。ゴム力学モデル各要素と粘弾性特性との関係を用いて、上記の粘弾性特性の結果をゴム力学モデル要素のばね定数  $k$  および粘性係数  $c$  とひずみおよびひずみ速度依存性を求めることができる。その結果、ばね定数  $k$  のひずみおよびひずみ速度依存性は小さいが、粘性係数  $c$  のひずみ速度依存性が大きく、ひずみ速度が大きくなるに従い、指数関数的に減衰係数が小さくなることが明らかになった。この  $k$  と  $c$  を用いて、一定荷重をかけた後、ステップ状に除荷するときの過渡応答を数値計算することにより、除荷後の時間経過とゴムの  $\alpha$  の関係を求めると、図-9の実線のようになる。

### 3 自動車タイヤの多角形摩耗

粘弾性変形をとまなう接触回転系におけるパターン形成現象を抄紙機スーマザロールを例にとって紹介した。次に、自動車タイヤの多角形摩耗について簡単に触れる<sup>4)</sup>。これは摩耗が原因でタイヤ外周上に周期的なパターン形成が生じる例であるが、抄紙機のゴム巻きロールの多角形化と同様のメカニズムによる。

近年、高速道路の普及に伴い、高速かつ定速での長時間

運転が普通になりつつある。それにとまない、自動車タイヤに自励的な多角形摩耗が多発している。図-10にトラック用タイヤの多角形摩耗の例を示す。図-10(a)はタイヤのトレッド形状とは無関係に周方向にはほぼ18角形を呈している多角形摩耗であり、パターンはタイヤ軸方向に対してわずかに傾斜しているように見える。図-10(b)はラグ形トラックタイヤのトレッド形状の一つおきに摩耗が発生した23角形の多角形摩耗である。この種の多角形摩耗は横溝が大きなトレッド形状に発生し易く、自励的摩耗とラグ形状による強制または係数励振的な要素を含むパターン形成の例と考えられる。ここでは、車が一般道路や高速道路を通常走行しているときに発生する多角形摩耗の特徴<sup>1)</sup>を以下にまとめる。

(1) 駆動軸ではなく、従動軸に発生する。とくに、FF車の後輪での発生例が多い。

(2) ホイールアラインメントのうち、トーインが大きすぎると発生し易い。

(3) 多角形摩耗を引き起こす原因の一つは、タイヤ自身の振動と考えられ、その固有振動数がタイヤの多角形パターンの角形数に直接関係する。すなわち、(タイヤ系の固有振動数)  $\cong$  (タイヤの角形数)  $\times$  (タイヤ回転数) の関係が認められる。

(4) 多角形摩耗は外側ショルダ部からタイヤ軸方向に対して斜めに成長することがある。そのときには、自動車の後ろから見て左右タイヤでV形の鏡像関係にある。その軸方向からの傾斜角をトーインによるタイヤのすべり角とは対応関係がない。

(5) 角形数は乗用車とトラック・バスでは異なるが、全体的には、10~20角形が多い。

(6) 2.5万km~4万km走行程度で発生する。

(7) 多角形摩耗の発生例に高速道路走行車両の占める割合が極めて高い。

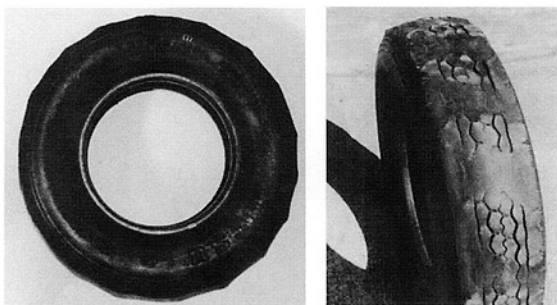
(8) 路面状況、温度、タイヤ材質によって発生する度合いが異なる。アスファルト道路、高温時(夏場)および低内圧タイヤに生じ易い。

(9) 多角形摩耗は60Hz以上の振動数をもつ現象であるため、運転手には振動トラブルとしてよりも異音として感知される。

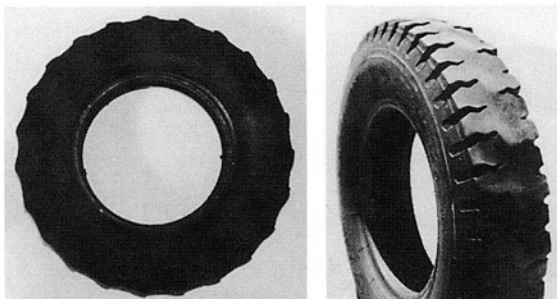
結局、このタイヤの多角形摩耗の発生メカニズムも、タイヤ自身の上下方向の固有モードの振動とホイールアラインメントによってタイヤと路面間の横(車軸)方向のすべりによるタイヤ摩耗とが連成した時間遅れ系の不安定振動である。

### 4 結言

ゴム巻き回転ロールのロール表面に生じる多角形化現象のメカニズムを実験と解析で明らかにした。このような現象は製鉄機械の鋼製ロールにも多く発生しており、その機



(a) 自励的多角形摩耗の例



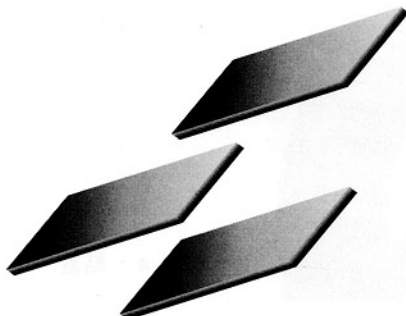
(b) 強制自励的多角形摩耗の例

図-10 トラックタイヤの多角形摩耗

構解明と対策が急務となっている。今後のこの方面の研究を期待したい。

#### 参考文献

- (1) 末岡淳男, ロータダイナミクスの先端技術, 機習教 No.930-23, (1993),9-19.
- (2) 末岡淳男・ほか7名, 機論,59-563,C (1993), 2078-2085.
- (3) 山口正博・広岡秀樹・高崎勝明・片山圭一・末岡淳男・劉孝宏, 機論,59-566,C(1993),2932-2937.
- (4) 日本自動車タイヤ協会, 乗用車用タイヤの異常摩耗について,(1990),2.



## 寄稿論文

## 疲労破壊は、なぜ起こり易いのか

An Outline of Some Outbreaks of Fatigue Fracture

佐賀大学工学部  
機械システム工学科教授

西田 新一

Shin-ichi Nishida



## 1 設計の基盤

近年、工業技術の発達とともに、設備機器においては高効率・高生産性を追求する一方、省力化・工程省略等低コストの諸条件を満たすべく方向に突き進んでいる。さらに、新分野への進出等時代の変革に従って、とくに鋼構造物を中心にますます大型化・高性能化し、その使用環境はより一層過酷化の傾向になっている。他方、社会科学の進歩により、各人の自意識が向上し、設備の安全性・信頼性は最優先事項に挙げられるようになってきている。一般に、高性能化や信頼性の向上を計ろうとした場合、設備の値段が高くなるし、逆に設備の値段を低く設定しようとするとき性能や信頼性を確保するのが困難となる。それゆえ、設計者は「高性能化」と「低コスト化」および「信頼性の向上」との相反する狭間に立って設計せざるを得ない状態に追い込まれている。

さて、実際の「設計の基盤」を破損の観点から大別した結果を、表-1に示す。これは、「Safe life design」と「Fail safe design」との二つに大別できる。前者の「Safe life design」は、「破損を許容しない設計」の意味で、設備もしくは部材は永久に破損しない考え方に基づいている。これ

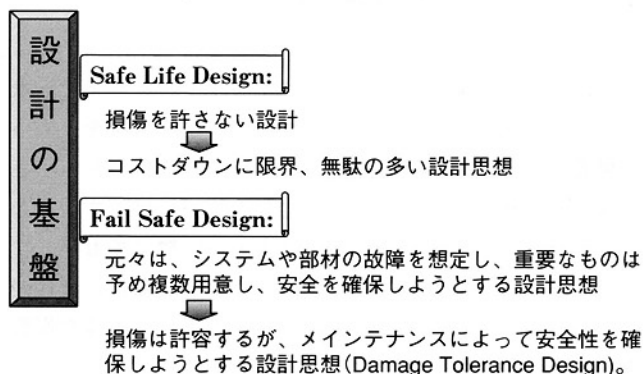
は、従来から長く設計の基本的考え方として採用されてきており、今なおこの考え方は根強く残っている。しかし、この考え方に基づいて設計する限り、コストダウンには限界があり、設備の寿命は有限であるのにそれが廃棄される時期がきてもお、そこに使用されている部材の多くは健全であるという矛盾が起きることになる。

そこで、この矛盾点やコストダウンの限界を打破するために、「Fail safe design」の考え方が採用されるようになった。元来、「Fail safe design」は、安全性を確保するために複数の設備や方法を予め具備しておくという考え方であった。たとえば、飛行機をA空港からB空港に向けて飛行させる場合、天候異常等により万が一B空港が使えなくなってもその代替空港としてC空港を使用できるようにしておくシステムである。空港だけでなく飛行機そのものの重要部分にも、複数系統の制御装置が装備されていることは周知の通りである。このように元々は、設備というのは不具合を生じて本来の機能を発揮しない場合があるので、複数系統の設備を予め備えておくことで安全性を確保する考え方であったが、現在では「破損は許容するが、メンテナンスによって安全性を確保する考え方」に変化していった。すなわち、部材を有限寿命とみなし、壊滅的な破壊が発生する前にその部材を交換することにより安全性および本来の機能を確保しようとする考え方である。これはまた、「Damage tolerance design」ともいわれている。

この「Fail safe design」と類似の言葉に、LBF (Leak before failure) やLBB (Leak before break) がある。これらは、たとえば液体や気体が入っているタンクを想定した場合、き裂が板厚を貫通すると内部の液体や気体が洩れだしてくるので、壊滅的な破壊の前に予知することができるという意味である。技術の進歩に伴い、ほとんどすべての設備は有限寿命であるので、その間を不具合なく稼働すれば良いという考え方は極めて合理的であり、この考え方がかなり広がりつつあると思われる。

ところで、安全率を見込み少なくとも所定の期間は破壊しないように設計されたはずの構造物が、意外と低い荷重

表-1 設計の基盤



## 類似語

LBF; Leak Before Failure  
LBB; Leak Before Break



で破損に至る例がしばしば報告されている<sup>1)-4)</sup>。具体的には後に述べるが、鋼構造物の場合、その破損事例の80～95%以上は、直接または間接的に「疲労」に起因しているといわれている。そのため、わが国では疲労研究者はかなりの多いし、疲労現象を重要視する人達もけっして少なくはない。また、一般に「金属疲労」という言葉は、そのメカニズムについては必ずしも理解されていなくとも、現象的にはかなり広く知れ渡っているといえよう。しかし、これまではどちらかといえば、かかる分野における研究の力点は基礎現象の解明に置かれており、とくに疲労破損に関与する因子が極めて多く、かつ費用と時間がかかる割には研究論文になりにくい等の理由から実用的な研究が遅れているのが現状である。

## 2 破損の定義

破損に関連した用語を挙げると以下のごとくなる。破損、破壊、破断、切断、切損、折損、損耗、横裂、損傷、欠損、座屈、破潰、破裂、断線、圧潰、摩耗、など。このうち、頻繁に使用されている言葉として、破損、損傷、破壊、破断、などがある。その他のものは、使用する対象が限定されていたり、あるいは現場的用語として限定された範囲内でのみ使用されていると考えられる。以上の言葉はいずれも類似のものであるが、その言葉の定義は必ずしも明解とは言えない。そこで、頻繁に使用されている技術用語に限定して、その定義を引張試験の応力-ひずみ線図を例に示す。

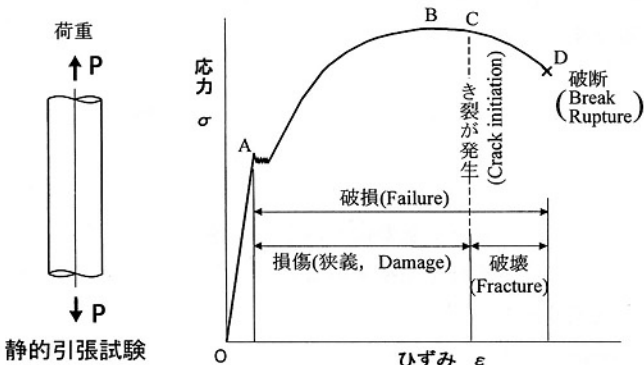


図-1 応力ひずみ線図と破損

図-1において、縦軸は応力、横軸はひずみである<sup>2)</sup>。A点は降伏点を、B点は引張強さを、そしてD点は最終破壊を示す。試験片に引張応力を加えて、それを増加させていった場合、まず塑性変形を起こしはじめ、やがてき裂が発生し、ついには二つ以上に完全に分離するに至る。この塑性変形開始からき裂発生までの過程を①「損傷(狭義, Damage)」といい、新品に比較して何らかの塑性変形が蓄積された状態を指すが、部材としてはまだ使用に耐える状

態と考えてよい。そして、き裂発生から二つ以上に分離するまでの過程を②「破壊 (Fracture)」といい、破壊には、き裂を必然的に伴うので、Fracture mechanicsは、「き裂」を工学的に取り扱う学問を意味することになる。③「破断 (Break, Rupture)」は、部材が完全に二つ以上に分離した状態を意味する。Ruptureは、破断の特別な場合で、大きな塑性ひきりを伴った破断である。いずれも、部材として使用に耐えないか、それに近い状態にある。「破損 (Failure)」は、部材が塑性変形を開始する状態から完全に二つ以上に分離するまでの広い領域を意味する総称であり、上記のすべてを含む。また、広義の損傷は、破損と同意義に使用されている場合もある。

さらに、より広義の破損には、静的な場合も含めて「疲労」「腐食」「摩耗」などが含まれる。その発生頻度は、疲労、腐食、摩耗の順となっており、そのマクロ的な現象として、とくに疲労の場合応力集中部に発生し易く、そこは通常目に見えないか、あるいは目にみえにくい箇所のため、外観的には突然破断に至るという印象が強いのにに対し、腐食や摩耗は目に見え、しかも徐々に進行するので、使用途中部分的手入れまたは部品の交換によって復元でき、それほど危険な印象を受けにくい。

## 3 破損事故の発生条件とその内訳

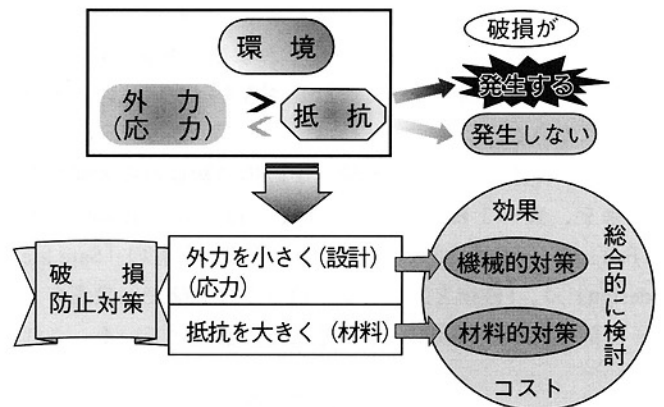


図-2 破損の発生と対策

図-2に、破損事故の発生条件を示す<sup>2)</sup>。言うまでもなく破損が発生するのは、外力が材料の有する抵抗を上回った場合である。逆に、外力が材料の有する抵抗よりも小さければ、破損は発生しない。外力は、応力に換算することができるので、外力の代わりに応力と言い換えても同じことである。この「外力」と「抵抗」との力関係に、環境が加わってくる。とりわけ、環境は材料の抵抗に大きな影響を与える。いずれにしても、上記の不等式は、破損防止対策を考える場合に極めて重要となってくる。というのも、鋼構造物の設計者は、機械系もしくはそれに近い学科の卒業生が大半であり、彼等は力学的センスには長けているが、

材料に関する知識が乏しい場合が多い。従って、破損が生じてそれへの対策を考える場合、必ずと言ってよい程「外力（もしくは応力）が大きい過ぎた」と結論づける。そして、外力（応力）を低下させることに全精力を注ぎ込もうとする。これを「機械的対策」と称することにする。一方、少ないかも知れないが、設計者が材料系学科出身者の場合、破損の発生対策として、「これは材料が悪い」ときめつける場合が多い。そして、より高級な材料の採用を検討しようとする傾向にある。これを「材料的対策」と称することにする。

もちろん、それぞれの意見が正しい場合も少なくないが、そこから得られる結論はかならずしもベストのものとは限らない。かかる実用問題に対しては、答えはいくつも有るのが普通である。一番大事なのは、破損事故の発生条件が「外力」と「抵抗」との力関係によって決定されるということである。それゆえ、その対策として、機械的対策のみならず材料的対策の双方について、種々検討し、それらの中から効果が最大で、しかもコスト的に最低となるものを案出することが肝要である。機械的対策、もしくは材料的対策のどちらか一方の側からしか判断できないような場合は、より理想的な対策に結びつけることは困難である。

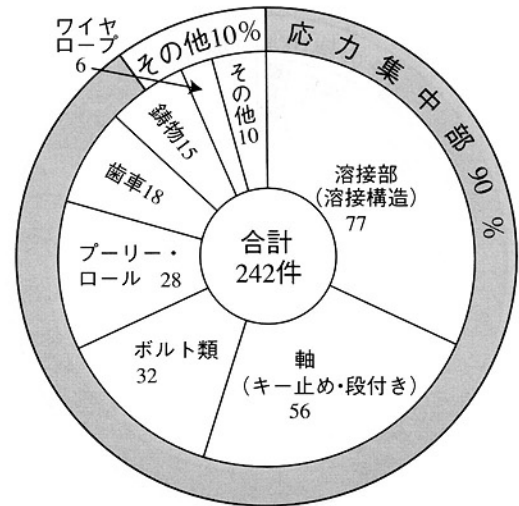


図-4 破損の部材別内訳

う。この図から分かるように、溶接部、軸、ボルト類、プーリー、ロール、歯車、ワイヤロープ等の順になっている。組立て部材はほとんど溶接構造となっているために、絶対件数が多いのと、一般に溶接部は母材に比べて疲労強度が低いために、破損件数が多く計上されていると考えられる。次に、軸は動力を伝達する点で重要部材であり、しかも代替部品がすぐには入手できにくい場合が多いため、破損件数として第2番目に位置して来ているのであろう。ボルト類は第3番目となっているが、実際のところ、あらゆる機械部品の中で破損の絶対件数が最も多いのはこのボルト類であると推定される。しかし、ボルト類は、特殊品を除いて、破損してもすぐに購入できる、あるいは自分のところで製作できるので、大部分は現場にて適当に交換して済まされていると判断できる。以下、プーリー、ロール、歯車、ワイヤロープと続いているが、いずれも軸などと同様に荷重伝達上不可欠の部品ばかりで、それぞれ単体で代表的な機械部品である。いずれにしても、応力集中部からの破損が90%となっており、破損の大多数は応力集中部から発生していると言える。また、その他（10%）にしても、マクロ的には平滑部から破損が発生しているかもしれないが、ミクロ的に観察すれば、例えば介在物等の応力集中部からの場合もかなり含まれているものと想定できる。

これを原因別に分類し、図-5に示す<sup>2)-4)</sup>。上述のように、これらのうち、約80%近くが疲労（純粋疲労、腐食疲労、熱疲労などを含む）に起因し、以下、静的破壊（13%）、応力腐食割れ/遅れ破壊（5%）、腐食/破裂等（3%）の順となっている。ところで、静的破壊の割合が異常に高いことに気づく。設計や製作技術が格段に進歩した現状では、このように高い割合で静的に破壊することは考えにくい。たとえば、10本のボルトで締結されたフランジ継手を考える。これに繰返し荷重が加わっていて、まず最初3本のボルトが破断した。これらは疲労に起因する。続いて、4本のボルトが破断した。これも疲労に起因する。この4

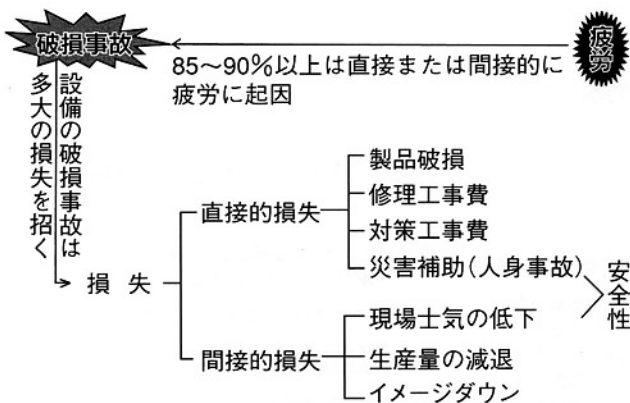


図-3 破損事故と損失の種類

図-3に、破損事故による損失を示す。破損事故による損失は、直接的損失と間接的損失に分けられる。前者には、製品破損、修理工事費、対策工事費および災害保証などが含まれる。後者には、現場士気の低下、生産量の減退およびイメージダウンなどが含まれる。従来は、直接的損失の防止に重点が置かれていたが、最近では間接的損失のうち、優秀な人材の確保の妨げとなったり、企業の信頼性を損ないかねない「イメージダウン」等にかかなり考慮されるようになってきている。

図-4に、著者等が関係した機械・機器部材の破損の内訳を示す<sup>2)-4)</sup>。破損解析を行おうとした場合、通常1件あたり3か月～2年間程度を要するので、母数241件は、かなり膨大な数字であることが理解していただけるであら

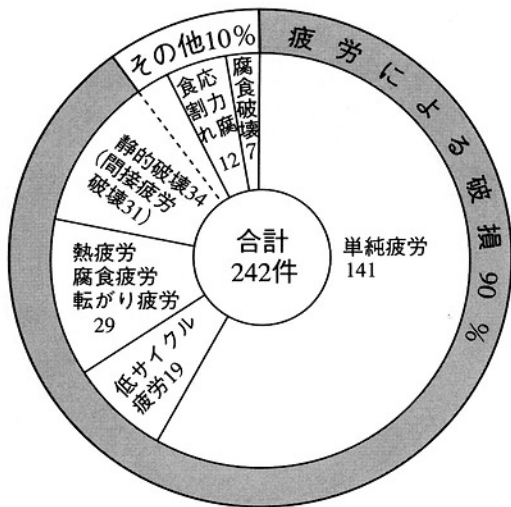


図-5 破損の原因別内訳

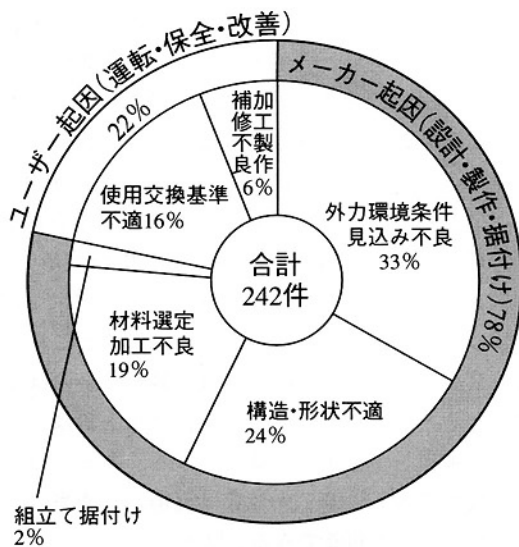


図-6 破損の要因別内訳

本のボルトが破断するか否かの間に、残りのすべてのボルトも破断した。これは、最後の3本のボルトだけでは最初の荷重を支えることができなくて「静的に破壊した」と判断された。最後の3本のボルトの破面を詳細に観察すれば、ねじ谷底近傍に微小な疲労き裂が確認されたかもしれないが、あるいは最初からゆるんでいたために、繰返し荷重を分担することなく、破断に至ることも考えられる。ところが、もしこのフランジ継手において、最初の計7本のボルトが「疲労破壊」していなければ、残りの3本のボルトも「静的に破壊」しなかったはずである。すなわち、残りの3本のボルトは、間接的には疲労破壊したと判断できる。「静的破壊」から、かかる割合を考慮すれば約10%が間接疲労となり、合計87%が疲労に起因すると考えられる。すなわち、鋼構造物の破損の85~90%以上は「疲労」に起因するという表現は決して過言ではないといえよう。

さらに、これらをその発生要因別に分類すると、図-6

のごとくなる<sup>2)-4)</sup>。すなわち、外力条件の見込み不良(35%)、加工製作(22%)および使用交換基準(16%)の不適正、材料選択不良(10%)などとなっている。すなわち、事前に十分に解析し、材料に対する知識を持ち、加工製作後の検査に注意を払っておけば、防ぐことのできる人為的要因による場合がほとんどである事実注目すべきである。また、外力・環境条件見込み不良、構造・形状不適、材料選定・加工不良および組立・据付けは、メーカー起因になり、これらの合計割合は78%に上る。一方、使用交換基準不適および加工製作・補修不良の合計は、22%となり、ユーザー起因と考えられる。すなわち、メーカー起因とユーザー起因の割合は、4:1となっており、破損原因のほとんどはメーカー責任に帰せられることがわかる。

#### 4 強度に関する要因と強度評価

表-2に、強度に関する要因と強度評価を示す<sup>5)</sup>。この表から分かるように、実際の設計においては、実機部材の強度を算出する必要がある。しかし、実機部材の強度は通常実験では得られないので、試験片の強度をベースに経験則等を加味しながら、実機部材の強度を算出する方法がとられている。一番単純な方法は、安全率(Safety factor)をとって、基準応力を安全率で割った値を設計応力とするやり方である。この方法は簡単ではあるが、物理的根拠に乏しいために、コスト低下を計る場合に限界があるという問題点があった。

表-2 疲労強度に関する要因と強度評価

試験片の強度:	(例) #600エメリー研磨、φ10mm 平滑材、大気中、等方性、均質、均一
低下	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面性状</li> <li>寸法</li> <li>切欠き効果</li> <li>残留応力</li> <li>環境効果</li> <li>異方性</li> <li>不均質(材質)</li> <li>不均一(応力)等</li> </ul>
	<p>(関与する工学分野(一部重複するものも含む))</p> <p>応力: 材料力学、弾性力学、塑性力学、材料強度学、金属疲労、破壊力学、フラクトグラフィ、設計学、FEM等</p> <p>材料: 材料工学、金属材料、物理冶金、転位論、物性科学、金属間化合物、溶接工学、接着接合、新素材等</p> <p>環境: 界面物性、表面工学、腐食工学、高温酸化等</p>
実機部材の強度:	(例) 荒仕上げ、φ500mm、切欠き材、ネジ穴付き 腐食環境、異方性、不均質、不均一

ところで、試験片の強度に比較して、実機部材の強度の方が低下するのが普通である。

その低下の原因として、両者の間に種々の相違点が存在することに起因する。それらの相違点には、以下のようなものがある；表面性状、寸法効果、切欠き効果、残留応力、環境効果、異方性、不均質(材質)、不均一(応力)等。そこで、試験片の強度から実機部材の強度を推定するのに、できるだけ論理的に行う必要がある。そのためには、種々の工学的手法をうまく活用しなければならないが、材料強度に関する工学的手法ははなはだ分野が広範に渡っている。



5 疲労き裂の発生および伝ば

すでに図-4に示したように、通常、疲労き裂は、材料の欠陥または切欠きなどの応力集中の著しい部分から発生する。これらの部分もミクロ的に観察すれば、平面に近いと考えられる。その部分からの疲労き裂の発生をモデル図で説明する(図-7参照<sup>2)-4)</sup>。応力をゼロから徐々に上げていくと、結晶が塑性変形(すべり)を起こし始める。

その現象はあたかも積木を重ねて斜めにずらしたように変形すると考えてよい。すなわち、静的引張りの場合、ステップが生ずるのみである。一方、疲労の場合は、逆方向の応力が加えられることと、一度すべった面はすべりにくくなる現象のために、表面から観察すると応力繰返しとともに、だんだんと凹凸が著しくなる。さらに繰返し数が多くなると、これが「微視的き裂」となる。静的引張りと疲

勞との相違のために、微視的組織を観察した場合、前者では「すべり線」が認められるのに対し、後者では「すべり帯」となり、工学顕微鏡観察では黒っぽく見える。(図-8参照)

次に、この微視的き裂の発生の応力レベルについて議論する。静的降伏強さとは、ほぼ試験片の断面全体が(マクロ的)塑性変形を開始する応力であるのに対し、上記のミクロ的塑性変形は、極端な場合降伏強さの1/3程度の応力レベルでも一部の結晶粒で塑性変形し始めると言われている<sup>6)</sup>。それは、試験片全体から見れば、極く一部にしか過ぎないので、マクロ的には塑性変形が認められないと判断される。それゆえ、通常の疲労破面には、最終破面を除いて塑性変形が認められず、平滑な破面を呈している場合が多い。従って、疲労破壊を防止するためには、原則として疲労き裂を発生させないことで、そのためにはマクロ的にもミクロ的にも応力集中部を設けないことである。

微視的き裂が発生した後は、繰返しによる被害はもっぱらき裂の両端部に集中し、き裂の伝ば→最終破壊への過程をたどることになる。俗に言う「蟻の穴から堤が壊れる」の格言のごとく徐々にき裂は伝ばしていく。

上記のモデルで疲労き裂が発生した後、き裂の両端にはひずみが集中する。応力振幅がある限度以上であれば、き裂は伝ばを開始する。すなわち、繰返し数の増加とともにき裂は長くなっていく。

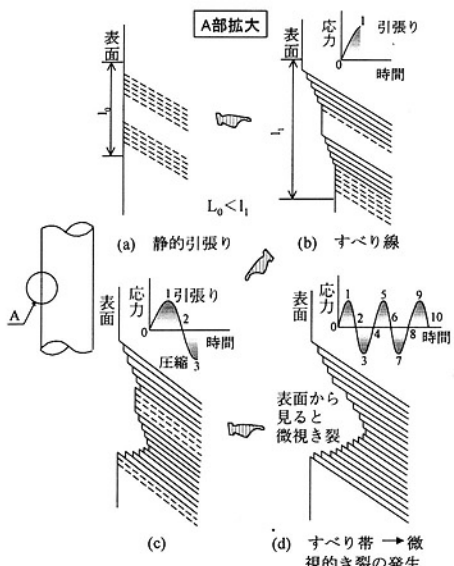


図-7 静的引張りと疲労の機構の相違 (モデル)

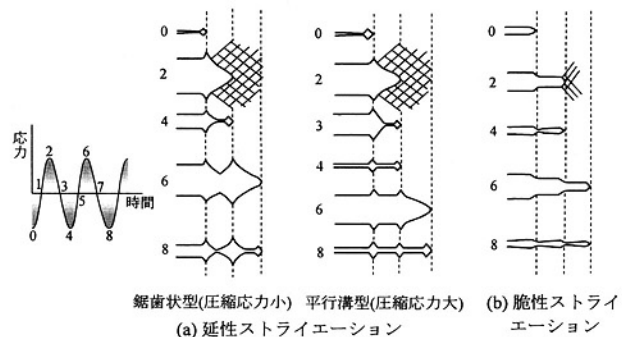


図-9 ストライエーションの形成機構(疲労き裂の伝ばモデル)

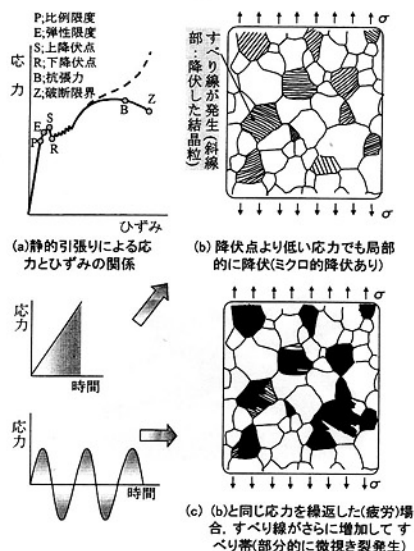


図-8 静的引張りと疲労の場合の微視的組織変化の相違 (モデル)

図-9に、疲労き裂伝ばのモデルを示す<sup>7)</sup>。これは、もともと疲労特有のストライエーション形成機構を示すものであるが、疲労き裂伝ば機構の説明にも活用できる。応力の繰返しとともに、疲労き裂の先端部に塑性変形領域が形成され、引張応力の増加過程でその長さが延びる。また、圧縮応力負荷過程では、き裂先端部に形成された塑性変形領域のために、き裂は必ずしも完全には閉じず、そこは「溝」状となる。溝でないところは山となるので、山と谷のベヤが形成される。このき裂を破面観察すれば、山と谷はき裂発生起点を中心として鈍い円弧状となっており、疲労特有のストライエーションと呼ばれている。

## 6 まとめ

以上、述べてきたことを要約すると以下のごとく示すことができる。

(1) 破損事例の統計的解析結果から、破損の90%以上は応力集中部から発生し、破損の90%程度は、直接または間接的に疲労に起因する。

(2) 疲労き裂は、最も塑性変形し易い結晶粒に繰返し応力（負荷と除荷との組合せ）が加えられることにより発生する。この現象は、引張強さはもちろんのこと、降伏強さよりも低い応力においても起こり得る。疲労き裂の発生後は、原則としてき裂は伝ば過程をたどり、最終破壊に至る。従って、部材の表面になんらかの欠陥や切欠きが存在すると、予想よりもはるかに低い応力がかかる現象が起こり得るので、上記(1)が説明できる。

(3) 疲労に関与する因子や学問領域が広範囲に渡るために、疲労破壊を防止することは極めて困難であるという印象を抱かれているが、要因を一つずつ抑えていくことによって疲労破壊の防止も不可能ではない。

## 参考文献

- 1) 西田新一, 浦島, 榎本, 第26回国内破壊シンポジウム論文集, (1981), P.91
- 2) 西田新一, 機械機器破損の原因と対策, (昭和61), 日刊工業新聞社
- 3) S.Nishida, Failure Analysis in Engineering Analysis, (1992), Butterworth Heinemann Co. Ltd.
- 4) 西田新一, 機械・構造物の破損解析と対策, (1995), 金華堂
- 5) 西田新一, 日本機械学会RC130高サイクル疲労に関する調査研究分科会, (1996), P.57
- 6) 西田新一, 新日鐵八幡技研報告, (昭和51-9), P.76
- 7) P. Neumann, Z. Metallkde, 58 (1967), P.780 および Acta. Meta. 17, (1969), P.1219



## 技術論文

## 鉄道分岐器内レールの肉盛溶接技術の開発

Development of Overlay Welding Technology for Rails in Turnouts

東日本旅客鉄道株式会社  
総合技術開発推進部

三原 泰司

Yasushi Mihara

東日本旅客鉄道株式会社  
千葉支社新小岩保線区長

粕谷 恵介

Keisuke Kasuya

溶接溶射技術開発室

宮崎 裕之

Hiroyuki Miyazaki

溶接溶射技術開発室

佐々木 満太郎

Mantarou Sasaki

技術開発部長

吉村 武憲

Takenori Yoshimura

## 要旨

大都市圏輸送線区内における課題の一つとして、摩耗および損傷によるガードレールおよびトングレール等の分岐器材料の交換頻度が高いということがある。そこでレールの車輪接触面に硬化肉盛溶接を施すことにより分岐器材料の交換周期の延伸を図ることを目的にレール硬化肉盛溶接材料比較性能試験を実施した。

今回は室内試験で摩耗、静的曲げ、繰り返し曲げ疲労試験等を実施し、良好な結果が得られた。

## Synopsis:

A theme of urban transport authorities is the high frequency replacement frequency of turnouts such as guard rails and tongue rails due to wear and damage. It aims at extending the replacement interval of the turnouts by giving overlaying to the wheel contact surfaces of the rails. Performance comparison tests of welding materials were conducted. Presented here are the results of wear test, slow bend test and bend fatigue test.

## 1 緒言

大都市圏輸送線区内における課題の一つとして、摩耗および損傷によるガードレールおよびトングレール等の分岐器材料の交換頻度が高いということがある。そこで、分岐器材料に耐摩耗材を硬化肉盛溶接することにより同材料の交換周期の延伸を図り、コストダウンを実現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 殿より研究開発を委託され当社において実施した。

ガードレール等において車輪接触面に肉盛溶接を施し試験敷設を行い性能を確認していくが、その前段階として今回室内試験で肉盛溶接材料選定のための比較性能試験を実施したので以下に報告する。

## 2 材料の選定

現在、耐摩耗性を目的として使用されているレールにはビッカース硬さ400程度のペーナイト組織のものやDHHレールのように熱処理を施したものがある。

今回、耐摩耗性向上のためマルテンサイト組織を有する

領域の材料を検索した。しかしレールを考えた場合、耐摩耗性向上の前提条件として繰り返し曲げ疲労等の靱性面を重視すべきである。そこで、組織中にオーステナイトと炭化物を含むA材と、マルテンサイト組織の中でも比較的硬さの低いB材を選定し、比較性能試験を実施した。

## 3 性能比較試験

2種類の材料（A材・B材）について、次に示す5項目の性能比較試験を実施した。

- [1] 硬さ測定試験
- [2] 耐摩耗性測定試験
- [3] 耐衝撃性測定試験
- [4] 静的曲げ測定試験
- [5] 繰り返し曲げ疲労測定試験

## 4 試験方法

## 4.1 硬さ測定試験

試験方法はJIS Z 3114に示すビッカース硬さ試験にて行



った。また溶接金属の化学成分の分析も合わせて行った。

#### 4.2 耐摩耗性測定試験

##### (1) 試験方法

耐摩耗性測定試験は西原式摩耗試験機を用い、レールと車輪のすべり、ころがり摩耗試験を行った。

##### \* 試験条件

Fig.1に示す試験装置により以下の条件で行った。

- ・荷重 : 490 N
- ・すべり率 : 9 %
- ・回転数 : 供試材 (レール) 800 rpm  
相手材 (車輪) 728 rpm
- ・総回転数 :  $5 \times 10^5$  回

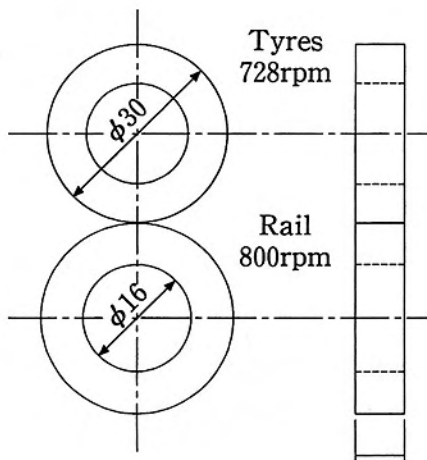


Fig.1 Wear examination device

##### (2) 供試材

レール材に4層、5パス、ビード長300mmで肉盛溶接した。なお実施した溶接方法および溶接条件をTable 1に示す。レール材の化学成分一例をTable 2に示す。

Table 1 Welding method and welding conditions

Overlay material	A	B
Welding method	PTA	MAG
Welding current(Amp)	170~190	180~220
Welding voltage(V)	20~22	20~22
Welding speed(mm/min)	200	400
Shield gas	Ar	Ar+15%CO <sub>2</sub>
Flow rate(l/min)	30	25
Preheating temp(°C)	400~500	400~500

Table 2 An example of chemical composition of rails

C	Si	Mn	P	S
0.68	0.26	0.90	0.020	0.013

##### (3) 相手材

JIS E 5402に示す車輪タイヤ材から試験材を採取した。Table 3に化学成分一例を示す。なお、ピッカース硬さは350とした。

Table 3 An example of chemical composition of tyres

C	Si	Mn
0.69	0.25	0.89

#### 4.3 耐衝撃性測定試験

##### (1) 試験方法

試験方法はJIS Z 3111に示すシャルピー衝撃試験とした。

##### (2) 供試材

供試材はJIS Z 3111により製作したが、試験片の形状および寸法はJIS Z 2202の4号試験片とし、レール材についても試験片を製作した。

#### 4.4 静的曲げ測定試験

##### (1) 試験方法

スパン1mで中心部载荷の実物3点曲げにより静的曲げ試験を行った。試験は頭部引張様式 (HD: Head Down)、底部引張様式 (HU: Head Up) とし、曲げ破断強度およびたわみ量を測定した。Fig.2に試験方法を示す。

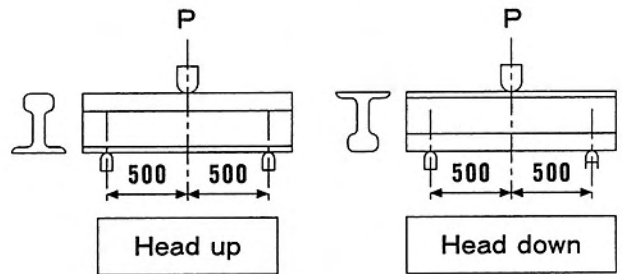


Fig.2 3 point bending test condition

##### (2) 供試材

普通レールの60Kgレールを使用し、レール材頭部全長(1.5m)に渡り、有効厚み8mm肉盛溶接し、規定のレール形状に加工した。なお実施した溶接方法および溶接条件はTable 1と同様である。

#### 4.5 繰り返し曲げ疲労測定試験

##### (1) 試験方法

レール頭部を試験部としたスパン1mの実物3点曲げにより、最小応力30MPa一定の部分片振りで行った。繰り返し速度は360cpmとし、繰り返し数 $2 \times 10^6$ 回の時間強度で評価した。

##### (2) 供試材

静的曲げ測定試験の供試材と同様とした。

## 5 試験結果

### 5.1 硬さ測定試験結果

Table 4に硬さ試験結果を示す。また表中に普通レールと熱処理レールの硬さも示す。また、A・B材の溶接金属の化学成分の一例をTable 5に示す。

Table 4 Hardness test results

Sample	Number	Vickers hardness(HV)	
		Average	Total average
A	1	472	479
	2	483	
	3	483	
B	1	568	573
	2	570	
	3	579	
Normal rail : HV260 DHH340 : HV340 (Heat hardened rails) DHH370 : HV385 (Heat hardened rails)			

Table 5 An example of chemical composition of welding metal

Sample	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
A	1.94	0.16	0.90	0.012	0.006	12.83	3.42	0.79	11.2
B	0.33	0.47	0.58	0.015	0.011	13.37	—	0.95	0.29

## 5.2 耐摩耗性測定試験結果

50万回試験後の摩耗減量をTable 6に示す。A材が0.587g B材が0.080gの摩耗減量となり、B材の方が摩耗量が少なかった。考察の項で詳細は述べるが<sup>1)</sup>同条件下による普通レールの摩耗減量は1.2g、またDHH370レールでは0.3gでありB材はこれらを上回る結果であった。

Table 6 Wear test results

Sample	Number	Wear loss ( $5 \times 10^5$ Cycle)	
		Measurement value	Average
A	1	0.5155	0.587
	2	0.6422	
	3	0.6043	
B	1	0.1058	0.080
	2	0.0691	
	3	0.0637	
Normal rail : 1.2g DHH370 : 0.3g (Heat hardened rails)			

## 5.3 耐衝撃性測定試験結果

耐衝撃性測定試験結果をTable 7に示す。

シャルピー衝撃試験により普通レールが16.5J、A材が3.1J、B材が4.07Jの測定結果が得られた。肉盛材料のA・B材は耐摩耗性を重視しているため、硬くて反面脆い材質であるので、測定された吸収エネルギーの値も低くなっている。溶接母材となる普通レール鋼はA・B材と比較し、4～5倍の測定値であった。

Table 7 Charpy impact test results (Joule)

Sample	1	2	3	Average
Normal rail	16.5	17.4	15.6	16.5
A	3.1	3.1	3.1	3.10
B	4.0	4.0	4.2	4.07

## 5.4 静的曲げ測定試験結果

Table 8に静的曲げ測定試験結果を示す。

Head Up (底部引張) については、約200トンの荷重にもかかわらず6本全数(A材3本、B材3本)破断に至らなかった。これは底部引張(レール側)のため、レールの曲げ強度が高いためと想定される。

Head Down (頭部引張) については、肉盛材料側が引張になり6本全数が(A材3本、B材3本)破断した。A・B材の比較ではB材の破断荷重の方が約10トン高い値を示している。DHHとの比較では破断荷重はB材が約20トン低い値を示した。B材のたわみ量はDHHとほぼ変わらない値であった。なお、表中の[ ]内数値はDHHの基準値を示す。

Table 8 Slow bend test results

Sample	Examination direction	Number	Fracture load (Ton)	Deflection (mm)
A	Head UP	1	193 No fracture	80.5
		2	190 No fracture	82.5
		3	190 No fracture	78.0
		Average	191 [140]	80.3 [10]
	Head Down	4	92.0	7.0
		5	93.5	7.5
6		101.0	8.5	
	Average	95.5 [125]	7.7 [9]	
B	Head UP	1	194 No fracture	96.0
		2	198 No fracture	90.0
		3	192 No fracture	88.5
		Average	195 [140]	91.5 [10]
	Head Down	4	108	9.5
		5	104	11.0
6		102	9.5	
	Average	105 [125]	10.0 [9]	

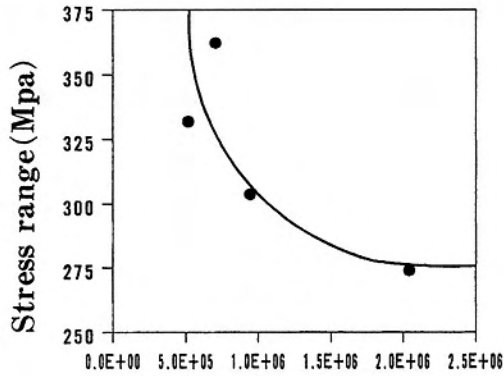
## 5.5 繰り返し曲げ疲労測定試験結果

Table 9に繰り返し曲げ疲労測定試験結果を示す。Fig.3にS-N曲線を示す。

A材・B材とも目標値であった曲げ応力274MPaで繰り返し数200万回の時間強度を満足した。この数値は各種溶接継手部の目標疲労強度からもたらされたものであり、これら溶接継手部と同程度の疲労強度を有することが確認できたと考えられる。詳細については参考資料とともに後項で述べる。

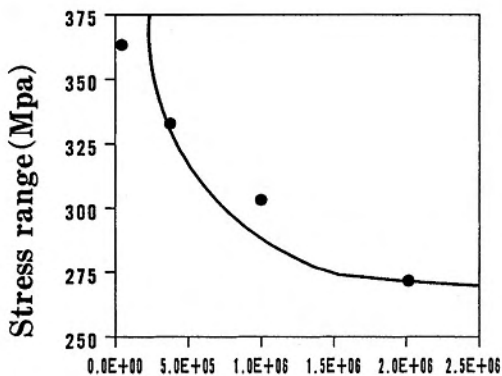
Table 9 Bend fatigue test results

Setting up rail	Sample			A				B			
	Bending stress (MPa)			Cycle to failure ( $\times 10^3$ )				Cycle to failure ( $\times 10^3$ )			
	Min	Max	Range	1	2	3	Average	1	2	3	Average
Head down	30	304	274	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000
	30	333	304	1019	781	—	900	868	1120	—	994
	30	363	333	523	451	—	487	54	639	—	347
	30	393	363	667	—	—	667	29	—	—	29
*Goal value : $2000 \times 10^3$ Cycle · 274MPa											



Number of Cycles N

Sample A



Number of Cycles N

Sample B

Fig.3 S-N Curve of A and B

### 5.6 試験結果のまとめ

Table 10にA材・B材の各試験結果の比較一覧を示す。

Table 10 Comparison of test results between A and B

Examination item	A		Evaluation	B	
Vickers hardness	Vickers hardness 479		<	Vickers hardness 573	
Wear	Wear loss : 0.5789g		<	Wear loss : 0.0875g	
Charpy impact	3.10J		≤	4.07J	
Slow bend	H	Fracture load	<	Fracture load	195 ton
		Deflection		80.3mm	Deflection
	D	Fracture load	<	Fracture load	105 ton
		Deflection		7.7mm	Deflection
Bend fatigue	Bending stress 274MPa >2000×10 <sup>3</sup> Cycle		=	Bending stress 274MPa >2000×10 <sup>3</sup> Cycle	

## 6 考察

### 6.1 性能比較試験結果について

今回はA・Bの2材料について性能比較試験を実施し

た。その結果繰り返し曲げ疲労試験結果は同等の評価で、それ以外の試験結果はB材が数値的には良好な結果を呈しており、B材を選定した。以下に各試験結果に対する考察を示す。

#### a) 硬さ・耐摩耗性測定試験結果について

硬さ試験の結果B材の方がピッカース硬さで約100程度高い値を示しており、また西原式摩耗試験でもその硬さを反映して、B材がA材より約5～7倍の耐摩耗性を呈した。

次にB材について実際使用されている普通レール、DHH370レールの同条件下での比較を行った。Table 11およびFig.4から普通レールの摩耗減量が1.2g、DHH370レールが0.3gとなっている。今回のB材は0.1gであり、従来レール材を上回る試験結果となっている。<sup>1)</sup>

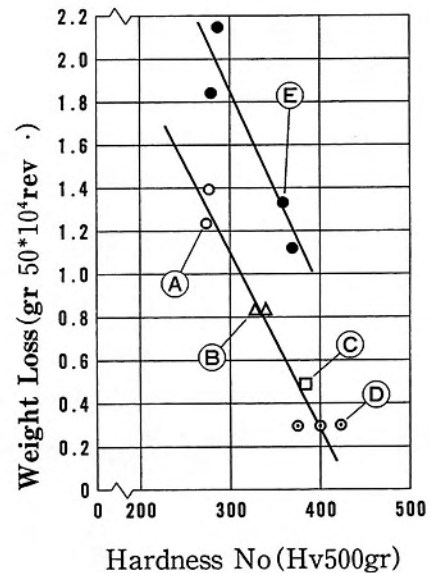


Fig.4 Relation between hardness before test and wear<sup>1)</sup>

金属の摩耗については、その使用される環境や条件下によっては試験結果と実際とは異なった結果になる場合があるため、実際にレールを敷設してこれらの結果をフォローしていく必要がある。

Table 11 Chemical composition and Vickers hardness of rails<sup>1)</sup>

	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	HV
A Normal rail	0.65	0.20	0.80	0.019	0.009	-	-	254
B High Si rail	0.70	0.88	1.31	0.023	0.010	-	-	305
C Cr-V alloy rail	0.74	0.32	1.32	0.020	0.012	0.78	0.13	347
D DHH370 rail	0.80	0.23	0.97	0.016	0.028	-	-	385
E Tyres(Quench Temper)	0.59	0.25	0.71	-	-	-	-	350

#### b) 耐衝撃性測定試験結果について

数値的にみれば1Joule程B材がA材を上回っているが、このレベルでは同等の性能であると思われる。

本来、ハードフェーシングとは靱性のある母材に靱性は低い耐摩耗性のある材料を硬化肉盛して互いの欠点を補



い合うという考え方であるので、今回同時に測定した普通レール材は16.5Jouleであり、上記の考え方に通じるものがあると考えられる。

#### c) 静的曲げ測定試験結果について

Head Up (底部引張) については、約200トンの荷重でも破断しなかった。実際に肉盛溶接したガードレールを考えた場合、肉盛溶接表面は車輪より圧縮応力を受ける事になり、今回の試験と同方向の荷重の掛かり方となる。

Head Down (頭部引張) については、破断荷重でB材が105トンの測定値であるが、DHHの基準値には届いていない。たわみ量では同じくB材が10mmでDHHレールの基準値を満足している。破断した後の試験片では、塑性変形した跡は見られなかった。

#### d) 繰り返し曲げ疲労測定試験について

A・B材ともに当初の目標であった曲げ応力274MPaで200万回を満足した。

ここで溶接レールの実物曲げ疲労試験データについて参考資料 (Fig.5<sup>2)</sup>) を用いて説明する。実物曲げ疲労試験において目標値274MPaで200万回以上の繰り返し数が設定されている。この数値は各種溶接継手部の目標疲労強度からもたらされたものだが、バックデータはFig.5に示した新幹線新関門トンネル内に5年間敷設されていた合金鋼レールから求められた実働応力約108MPaがその根拠となってい

る。すなわち腐食の激しいトンネル内に敷設されていたレールの疲労強度は、約108MPaであり、これ以上の疲労限を有していれば実用的には破損は生じないと思われる。

一方、溶接レールの目標疲労限は274MPaに設定されており、溶接レールの実測疲労限の下限値から求められた一種の品質管理目標値であり、前記新幹線の実働応力よりも倍以上の値になっており、十分安全サイドの数値と考えることが出来る。

## 7 結 言

ガードレール等の分岐器材料の交換周期の延伸を図ることを目的として、室内試験で肉盛溶接材料選定のための比較性能試験を実施した結果と従来レールとの比較においてB材を選定した。以下にその内容を要約する。

(1)レール材の耐摩耗性の評価に用いられていた西原式摩耗試験で、B材が従来レールやA材よりも優れた結果が得られた。

(2)靱性面の評価で重要である実物曲げ疲労試験において、目標とした274MPaで200万回を満足した。この数値は腐食の激しいトンネル内レールの疲労強度約108MPaを上回るものであり、また溶接レールの一種の品質管理目標値を満足するものである。

## 謝 辞

本研究開発の論文掲載を許可戴いた東日本旅客鉄道株式会社総合技術開発推進部殿に感謝致します。

また、レール材に関する資料の御提供や御助言を戴きました新日本製鐵株式会社八幡技術研究部 内野耕一主管研究員殿、株式会社九州テクノリサーチ影山英明部長殿に感謝致します。

## 参考文献

- 1) 鉄鋼協会講演 '78-S905 高炭素鋼レールの摩耗特性  
新日本製鐵株式会社 八幡技術研究室 影山英明, 杉野和男, 榎本弘毅
- 2) 第35回腐食防食討論会講演集 1988.10 (P.225~228)  
浦島親行, 溝口茂

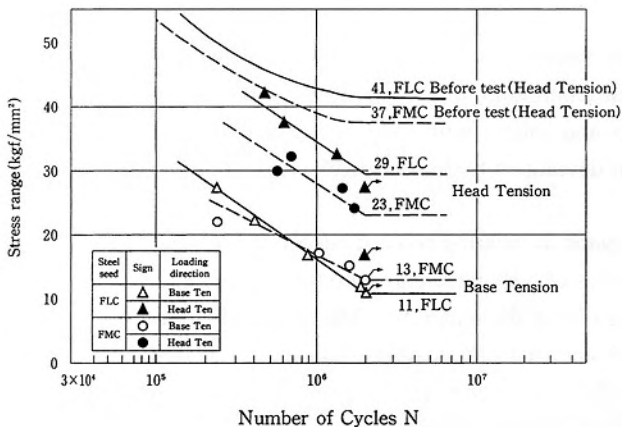


Fig.5 Bend fatigue test results of the rail laid for five years in Shinkanmon tunnel of the Shinkansen Line

## 熱間焼き付き・摩耗試験機の開発と各種材質の耐摩耗性の評価

Development of the hot wearing-sticking simulator and evaluation of wear resistance for CPC materials



CPC技術開発室  
沼 和宏  
Kazuhiro Numa

CPC技術開発室  
坂本 眞一  
Shin-ichi Sakamoto

仙台工場 工場長  
植田 勝裕  
Katsuhiro Ueta

CPC技術開発室長  
斉藤 弘道  
Hiromichi Saito

### 要 旨

近年の製鉄業界における技術改善は、製品品質の向上、生産性の向上および製造コスト低減を目的としている。これに伴い、長寿命、高い信頼性を有したロール・ローラ材へのニーズが増大しており、当社では、そのニーズに対応した材質の開発に用いる熱間焼き付き・摩耗試験機を開発した。

今回、本試験機での摩耗試験評価技術の適正化を図るため、機械的諸因子が材料の摩耗特性へ及ぼす影響について調査し、合理的な結果が得られた。また、当社規格材の耐摩耗性の評価を実施し、実機使用されている材質間の耐摩耗性の比較に適用できる見通しが得られ、新たな知見を得ることが出来た。

### Synopsis

Improvement of productus quality, improvement of productivity and reduction of production cost are the targets of steel makers in their technology improvement efforts in recent years. This has led to increasing demands for rolls and rollers with long durability and high reliability. A hot wearing-sticking simulator has been developed to do a research work about the above roll materials.

In order to verify the usefulness of the simulator in wearing tests of such materials and to establish proper evaluation techniques thereof, a series of tests were carried out to examine the effects of mechanical elements on the wear characteristics of the materials. The obtained results are convincing and legitimate. The wear resistance of standard CPC material was also evaluated. To our fresh knowledge, the results explain the possibility of using the simulator in comparing the wear resistance of verious types of rollers and rolls installed at rolling mills.

### 1 緒言

製鉄業界における技術改善は、製品品質の向上、生産性の向上および製造コスト低減を目的として行われている。それに伴い、例えば熱延ラインでは、従来よりも格段に性能を向上したロール、長寿命のロールが求められている。

そういった状況におけるロール・ローラメーカーの使命として、様々なニーズに対応できる製品（ロール・ローラ材）を研究、開発していくこと、さらには、ロール・ローラ材と熱延搬送材料との界面現象等について十分に究明、把握しておくことが必要不可欠である。

以上のようなことから、当社では、その使命を達成すべ

く、主に熱延ラインで使用されるロール・ローラ材の耐摩耗性および耐焼き付き性を定量評価するため、熱間焼き付き・摩耗試験機を開発し<sup>1)</sup>、現在、その試験機による評価技術の適正化を図っている。

本稿では、まず熱間焼き付き・摩耗試験機の開発結果、その特徴について概要を説明する。次に、材料の耐摩耗性を評価するために実施した機械的諸因子が摩耗特性へ及ぼす影響の調査結果、および当社規格材の耐摩耗性を相対的に比較するため、所定の条件で実施した試験結果について報告する。

## 2 試験機開発における試験機能の検討

本試験機は、実機を再現し、材料の相対的な比較の可能な設備として開発したが、実際に熱延ラインで使用されているロール・ローラ材の主な使用特性としては、どのような特性が要求されているか、ランナウトテーブルローラとコイラーロールを例に考えてみる。

### 2.1 ランナウトテーブルローラ

Fig. 1 にランナウトテーブルローラの概要を示す。ランナウトテーブルローラは、最終仕上げスタンドと巻取機との間に位置しており、鋼板を安定した速度で搬送するという役割を持っている。鋼板を安定に搬送するために、ローラは鋼板速度の1.1~1.2倍の速さで回転しているが、その際、ローラと鋼板との間で滑りが発生する。この滑りが焼き付きなどの大きな原因となる。したがって、鋼板の表面性状に影響を及ぼしてはならないことから、Fig. 1 に示すような耐焼き付き性を始めとした諸特性が要求される。

また、ローラの耐用に及ぼす特性として、冷却水を使用することから腐食雰囲気となるため耐食性が要求され、鋼板と接触することから機械的な耐摩耗性が要求されている。

### 2.2 コイラーロール

次に、コイラーロールの使用特性について、その概要をFig. 2 に示す。コイラーロールは、熱延ラインの最終端に位置しており、ピンチロール、ラッパーロール、マンドレル等からなる設備である。その役割としては、仕上げ圧延

された鋼板を良好な状態で巻き取ることであるが、この場合も鋼板との間で滑りが発生するため、耐焼き付き性が要求される。さらに、コイラーロールは、鋼板の衝突による衝撃や押し付けた状態で滑りを伴って使用されることから、肌荒れの発生する可能性がある。肌荒れは、鋼板を巻き取る際に鋼板へ転写してしまうため、もたらす影響は大きい。したがって、重要な特性の一つとして、耐肌荒れ性も要求される。また、鋼板との衝突による衝撃に対して耐打ちキズ性、そして、その衝撃と滑りにより発生するチャターマーク、これは多角形摩耗の要因となることから、耐チャターマーク性が要求される。

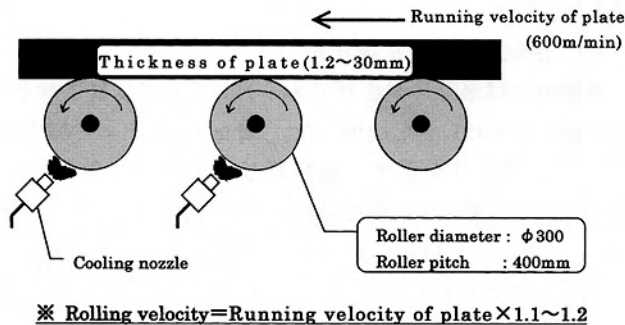
ロールの耐用に及ぼす特性としては、鋼板との接触に対して耐摩耗性、冷却水の使用に対して耐食性、ロールの過熱に対して耐酸化性、過熱・冷却の繰り返しに対して耐ヒートクラック性が要求される。

## 3 熱間焼き付き・摩耗試験機の開発

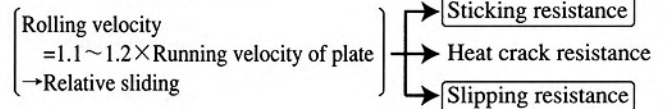
以上のように、各種ロール・ローラ材には、様々な特性が要求され、開発した試験機ではロール・ローラ材の必要特性の中で、枠で囲んでいる特性が評価可能になるように設計した。

### 3.1 試験機の概要

本試験機の外観写真をFig. 3 に、概略図をFig. 4 に示す。本試験機は、本体、高周波加熱装置、制御盤（シーケンサ、コンピュータ）より構成され、任意の設定による自動運転



#### (1)Steadily delaying of plate



#### (2)Durability of roller

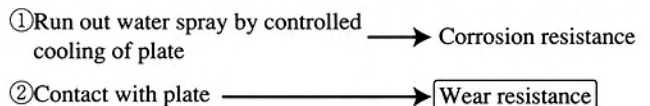
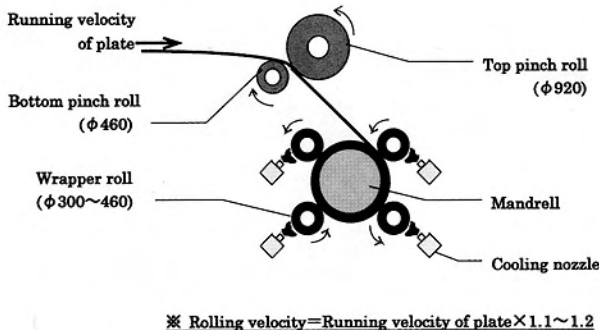
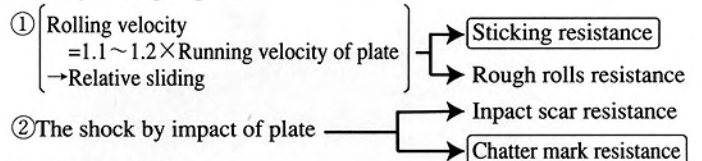


Fig.1 Necessary properties of run-out table roller



#### (1)Steadily coiling of plate



#### (2)Durability of roll

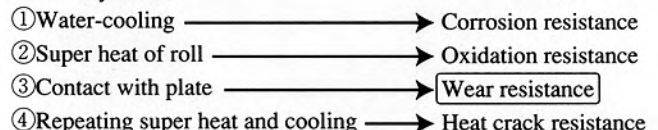


Fig.2 Necessary properties of coiler roll



方式を採用している。主な機構の概要については、次に記す通りである。

### 3.1.1 押し付け機構

押し付けは、油圧シリンダにより試験材側を駆動させて(エアースライド機構の導入)、所定の負荷荷重が掛けられるようにした。負荷荷重は、ロードセルで検出し、一定時間ごとにコンピュータでサンプリング出来るようになっている。

### 3.1.2 相手材の加熱

相手材の加熱は、高周波加熱装置(50kHz,30kw)で行い、温度は放射温度計で検出する。高周波加熱装置と放射温度計とを連結することで、試験温度を一定に保持できるようにした。

### 3.1.3 滑り率

試験材、相手材の各々にサーボモータを連結し、回転速度を制御することで、実機と同様の滑り率を再現できるようになっている。例えば、試験材および相手材の回転速度をそれぞれV1、V2(V2はV1と滑り率により自動算出)に設定して、2円筒間で滑りが発生するようにした。

### 3.1.4 冷却機構

冷却水は、冷却タンクにより循環して使用するようになっており、常に一定温度、一定流量に保持できる。

## 3.2 試験機の特徴

Table 1は、本試験機の設備仕様である。本試験機の大きな特徴として次の点が挙げられる。

Table 1 Apparatus specifications

The methods of test	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wearing test : double cylinder</li> <li>Sticking test : ① cylinder-block ② double cylinder</li> </ul>
Temperature	400~900℃
Sizes of test piece	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cylinder : <math>\phi 100 \sim 300 \times 10\text{mm}</math></li> <li>Block : <math>10 \times 10 \times 20\text{mm}</math></li> </ul>
Size of mated piece	$\phi 100 \times 15\text{mm}$
Cooling conditions	<ul style="list-style-type: none"> <li>Water</li> <li>Oil suspension</li> </ul>
Rolling velocity	100~1000rpm
Load	1~50 kg
Sliding ratio	0~±100%

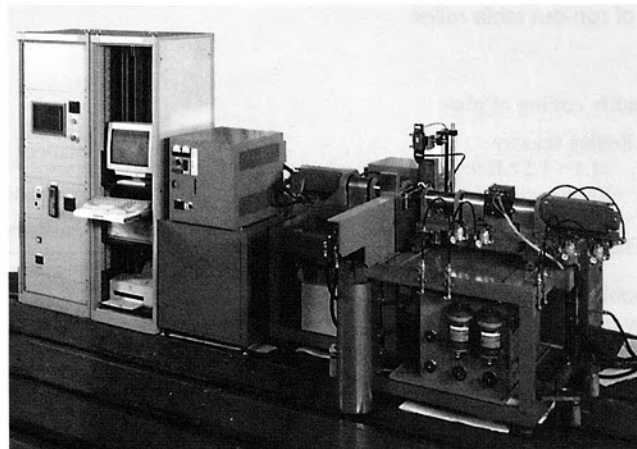


Fig.3 View of the hot wearing-sticking simulator

- (1) 押し付け機能に、エアースライド機構と油圧定加圧機構を導入したことにより、低負荷域からの荷重設定が可能である。
- (2) より実機に近い試験材サイズ(Max  $\phi 300\text{mm}$ )での試験実施が可能である。
- (3) 工業用水および油懸濁水など、実機に近い冷却水の選定が可能である。

## 4 摩耗に影響を及ぼす因子について

機械(金属)設備の寿命の約75%は、摩擦面における摩耗に起因すると考えられている。摩耗は、摩擦とその繰り返しにより、固体表面あるいはその表面下に亀裂が発生し、それが表面層の一部を除去せしめる程度に伝播する一種の疲労破壊であり、一般には、疲労摩耗と呼ばれることもある。この疲労摩耗に影響を及ぼすと考えられる諸因子として、接触圧力、表面粗さ、摩擦方向、回転速度、潤滑油の有無といったものが挙げられる<sup>2)</sup>。ロール・ローラ材の場合、前述の使用環境からも判るように、摩耗に影響を及ぼす因子として、荷重(接触圧力)、回転速度、滑り率(摩擦の方向)、表面温度、冷却水の有無などが挙げられる<sup>3)</sup>。つまり、ロール・ローラ材の耐摩耗性を評価するには、上記諸因子の変化に対して、どの様な摩耗挙動を呈するのか調査する必要がある。

今回、本試験機により評価可能な諸特性のうち、耐摩耗性についての評価技術を確認するため、まず、摩耗に影響を及ぼす因子と材料の摩耗特性との関係について調査を実施した。

### 4.1 供試材および試験方法

試験材には当社の規格材であるFKC-303THT材を、相手材にはS45C材を適用した。Table 2にFKC-303THT材の化学成分を示す。試験材は、溶解炉で溶解(約1630℃)した溶湯を円筒型の砂型に鑄込み、熱処理(焼鈍680℃、炉冷)を施した後に採取した。なお、試験材および相手材の形状は、それぞれ $\phi 100 \times \phi 35 \times 10\text{mm t}$ 、 $\phi 100 \times \phi 35 \times 15\text{mm t}$ (端面R100)である。

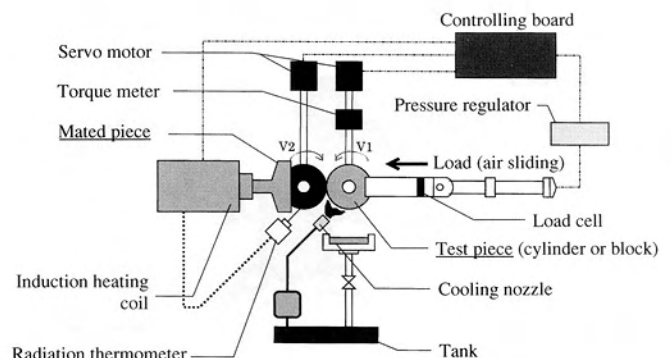


Fig.4 Schematic diagram of precise hot wearing-sticking simulator and parameter to be controlled

Table 2 Chemical compositions of FKC-303THT (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	V	Mo
THT	0.91	1.30	0.76	13.2	3.35	0.47

試験は2円筒転動方式で実施した。相手材側の加熱は高周波加熱装置 (30kw) で行い、その表面温度を放射温度計により測定し、一定温度に保持した。また、試験材および相手材の回転速度をそれぞれV1、V2に設定して、2円筒間で滑りを発生させた。試験材の冷却は、冷却ノズルにより行った。

4.2 試験条件

Table 3 に、試験の基準とした試験条件を示す。今回の調査試験では、本試験機の設備上の信頼性を確認することも目的としているため、Table 3 の様に基準となる条件を任意に設定した。したがって、各因子の影響について調査する場合、その因子のみを数水準変化させ、その他の因子については、この基準条件に固定して試験を実施した。試験時間はいずれの試験についても3時間 (回転速度の影響調査時のみ2時間) とし、1時間ごとに摩耗減量を測定した。

Table 3 Referential conditions

Load	10 kg
Rolling velocity	500 rpm
Sliding ratio	5 %
Temperature	600℃
Cooling condition	Water cooling
Test time	3 h

4.3 試験調査結果

4.3.1 回転速度の影響

回転速度を200rpm~700rpmまで100rpmピッチで変化させ、他の条件は基準条件として試験を実施した。Fig. 5 は、試験終了2時間での総摩耗量である。一定時間、一定荷重において回転速度を速くした場合、試験材と相手材との接触距離が増し、それに伴って摩耗量も増加するようであり<sup>2)</sup>、試験結果からもその傾向がうかがえる。

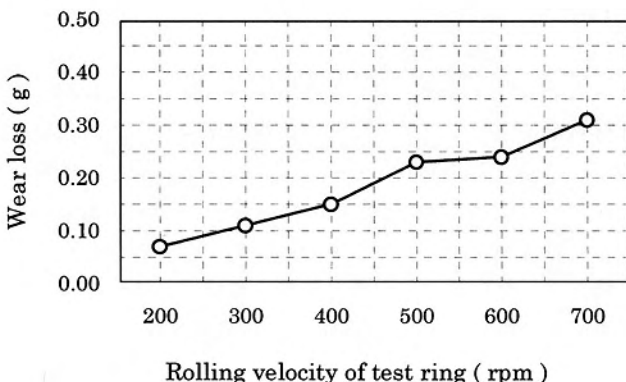


Fig.5 Relation between rolling velocity and wear weight loss

4.3.2 荷重の影響

次に、同様の方法で、荷重条件のみを5、10、20、30kgの4水準に設定して試験を実施した。Fig. 6 に各荷重条件で得られた1時間毎の摩耗量の結果を示す。時間の経過と共に、各水準ともほぼリニアに摩耗量が増加している。また、水準ごとに見た場合、荷重が大きくなるほど摩耗量も増えている。

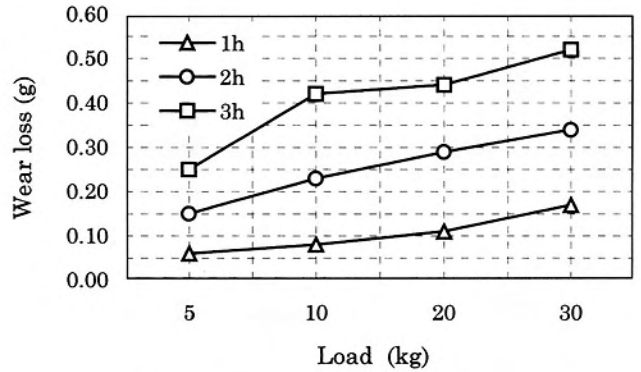


Fig.6 Relation between load and wear weight loss

金属材料の摩耗は、摩擦力との関係を例に挙げられる場合が多い。摩擦の環境にもよるが、一般的に摩擦力が大きければその時の摩耗量は増加すると考えられる<sup>2),3)</sup>。Fig. 6 の結果から、荷重の増加に伴い摩擦力も増大し、したがって摩耗量も増加したものと考えられる。

4.3.3 温度の影響

試験は、相手材側の加熱温度を、常温 (25℃)、500℃、600℃、700℃に設定して行った。Fig. 7 に、相手材の加熱温度が試験材の摩耗量に及ぼす影響について調査した結果を示す。各温度について、1時間毎の摩耗量を示している。明らかに温度が高くなるにしたがって、摩耗量が増加している。試験材側は直接加熱していないが、相手材との接触により、その表面温度は上昇すると考えられる (摩擦熱も発生)。また冷却も行っていることから、試験材表面は急熱、急冷を繰り返している状態と同様である。つまり熱疲労の進行により、摩耗量が増加したのではないかと考えられる。

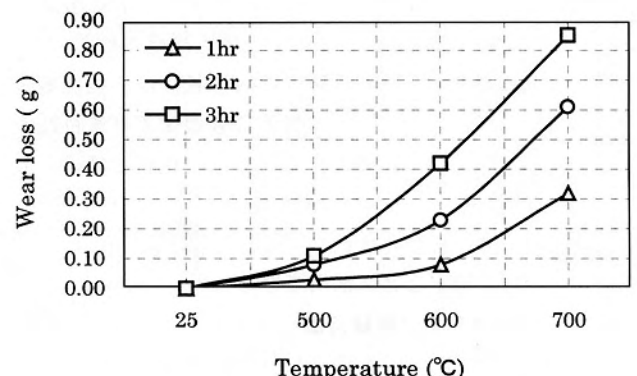


Fig.7 Relation between temperature and wear weight loss

また、相手材表面に生成する酸化スケールは、高温になるほど、より強固な状態になり、試験材の摩耗に影響を及ぼすことも、その要因として想定される。

#### 4.3.4 滑り率の影響

滑り率の設定条件により、ロール・ローラ材と鋼板との間で生じる摩擦速度は変化する。摩擦速度を変化させた場合、金属材料には、ある摩擦速度（臨界速度）に達すると、摩耗量が最大になる特性があり、また臨界速度も、荷重の大小により変化すると考えられている<sup>4)</sup>。ここでは、荷重5、10、20kg各々について、滑り率を5、10、20%変化させた試験を実施した。Fig. 8は、各水準における3時間の試験終了後の総摩耗量である。

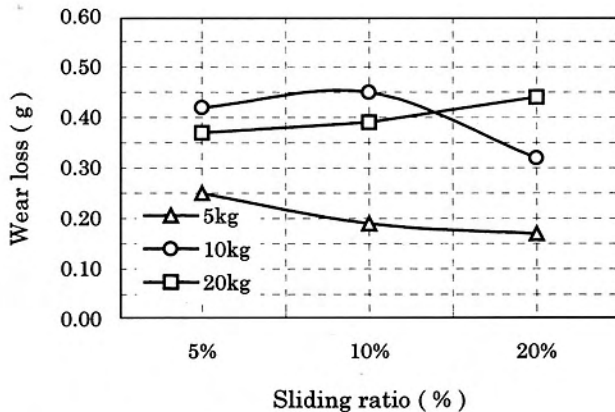


Fig.8 Relation between sliding ratio and wear weight loss

荷重ごとに異なった摩耗挙動を示している。荷重の変化に伴い、摩耗量が最大となる滑り率も変化しており、特徴のある結果が得られている。今後、摩耗に及ぼす滑り率の影響については、さらに高い滑り率について調査をすると共に接触界面に生じている現象を解析していく必要がある。

## 5 当社規格材の耐摩耗性の評価

次に、本試験機により、現在実機ロール・ローラとして適用されている材質について耐摩耗性の比較を行った。

### 5.1 ホットランテーブルローラ適用材

ホットランテーブルローラは当社の主要なCPC製品の一つであり、国内外の製鉄所において広く採用されている。その材質であるFKC-303系材（高Cr-V材）は、熱延搬送ローラ材として、必要なライン特性に合わせて材質特性の強化を図った結果、多岐に派生しており、現在までに、その代表的な特性については明確に把握されている。今回、FKC-303系材の耐摩耗性についての知見を得ることにより、今後の材質選定などに活用できると考えている。

#### 5.1.1 供試材および試験方法

供試材は、FKC-303系の4材質とし、ホットランテーブルローラに適用している熱処理（焼鈍680℃、炉冷）を施した。Table 4に4材質の化学成分を示す。また、相手

材はS45C材とし、形状は、試験材および相手材それぞれφ100×φ35×10mm t、φ100×φ35×15mm t（端面R100）である。摩耗試験は、Table 5に示す条件で実施し、3時間の試験終了後に摩耗減量の測定を行った。

Table 4 Chemical compositions of FKC-303 series materials (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Ni
303	1.75	1.25	0.75	13.0	5.50	-	-
4T	1.60	1.35	0.85	15.0	5.80	0.90	0.70
HT	1.25	1.25	0.75	13.0	4.00	0.50	-
THT	0.91	1.30	0.76	13.2	3.35	0.47	-

Table 5 Experimental conditions

Test material	303 4T HT THT
Mated material	S45C
Load	10 kg
Rolling velocity	500 rpm
Sliding ratio	5 %
Temperature	750℃
Cooling condition	Water cooling
Test time	3 h

### 5.1.2 試験結果および考察

FKC-303系4材質のマイクロ組織をFig. 9に、摩耗試験の結果をFig.10に示す。摩耗試験の結果から、摩耗量は303<4T<HT<THTの順に多くなっている。化学成分の一つであるVは、カーボン（C）と結合してMC炭化物を形成する元素である<sup>5)</sup>。FKC-303系材は、このMC炭化物の生成により耐摩耗性を出現させた材質であるが、マイクロ組織からも解るように、その分布量の多い材質ほど高い耐摩耗性を有していることがわかる。

### 5.2 熱延粗テーブルローラ適用材

熱延粗テーブルローラとして適用されている材質についても耐摩耗性の評価を行った。

#### 5.2.1 供試材および試験方法

Table 6に試験条件を示す。供試材として、当社CPC製品の一つであるFKC-305材（ダクタイル鋳鉄）、FKS-401材（13Cr鋳鋼）およびFKS-402材（6Cr鋳鋼）の3材質を使用した。ここでは、実機使用条件に近づけるために、荷重を軽負荷の3.3kg（試験面10mmあたりに換算した線圧）、試験材の回転数を380rpm、滑り率を20%に設定して摩耗試験を実施した。また、冷却を行う場合と行わない場合で、摩耗量にどのような影響を及ぼすかについての調査も実施した。なお、試験材の化学成分は、Table 7に示す通りである。



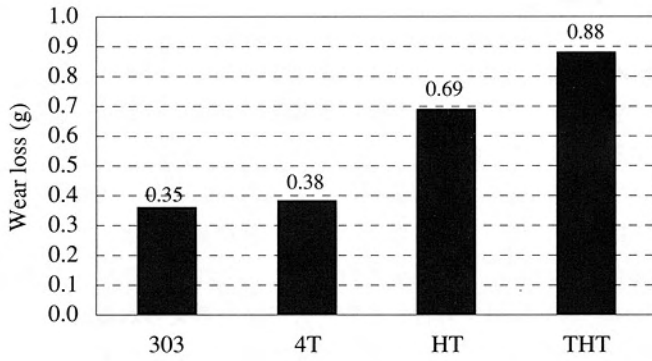


Fig.10 Results of wearing test for FK3-303 series materials

Table 6 Experimental conditions

Test materials	FKC-305 (Ductile cast iron) FKS-401 (13Cr cast steel) FKS-402 (6Cr cast steel)
Mated material	S45C
Load	3.3 kg
Rolling velocity	380rpm
Sliding ratio	20%
Temperature	750°C
Cooling conditions	Water cooling Air cooling
Test time	2 h

Table7 Chemical compositions of test materials (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	Cu	Mo	Ni
FKC-305	3.50	2.60	0.35	<0.30	0.80	-	1.00
FKS-401	0.50	0.55	1.00	13.0	-	1.00	-
FKS-402	0.35	0.75	0.75	6.00	-	<0.50	-

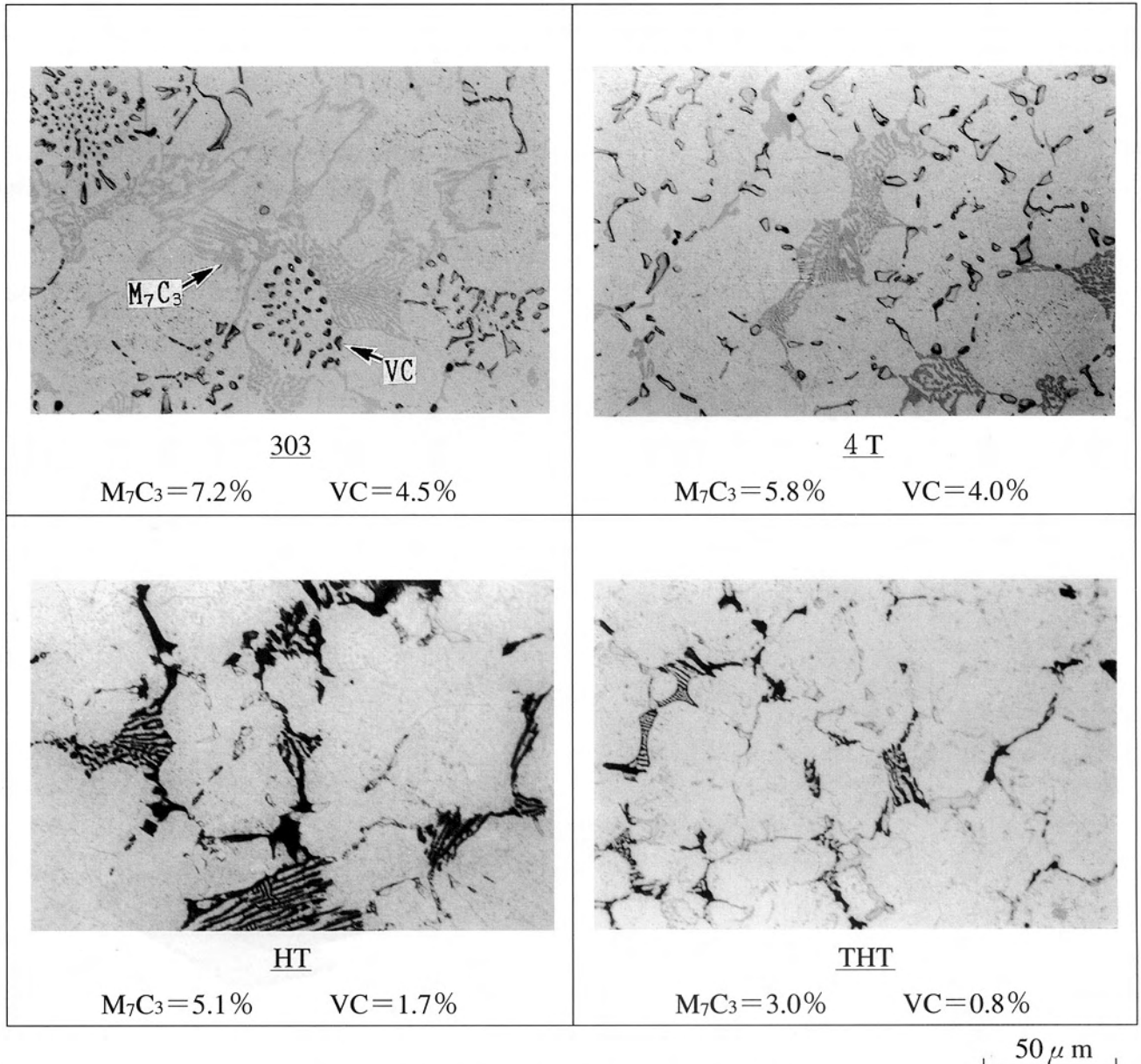


Fig.9 Optical micrographs of FK3-303 series materials

### 5.2.2 試験結果および考察

試験材冷却の有・無、それぞれの場合について3材質の摩耗試験の結果を、Fig.11に示す。3材質ともに、冷却を行った場合の摩耗量が、冷却を行わない場合よりも多くなっている。今回、冷却に使用した冷却水は水道水であるが、明らかに摩耗量に影響を及ぼしていることが解る。また、材質間の摩耗量を比較すると、いずれの場合においても、摩耗量はFKC-305<FKS-401<FKS-402の順で増加しており、FKC-305材が最も耐摩耗性に優れているという結果であった。この要因の一つとして、マイクロ組織中に晶出した黒鉛による摩耗量の軽減が考えられる。つまり、ダクタイル鑄鉄の組織中の球状化黒鉛が、試験面上で潤滑材の作用を有したため、他の2材質よりも摩耗量が少なかったのではないかと推定される。

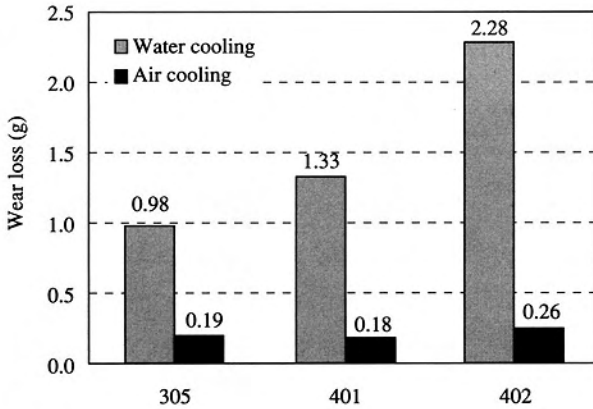


Fig.11 Results of the wearing test for materials of rough mill table roller

## 6 結論

今回、主に熱延ラインで使用されるロール・ローラ材の耐摩耗性および耐焼き付き性を定量評価することを目的に開発した熱間焼き付き・摩耗試験機の評価技術の適正化を図るため、機械的因子が材料の摩耗特性へ及ぼす影響について調査した。また、当社の代表的な材質として実機ローラに適用されている材質について、各材質の耐摩耗性の評価を行った。その結果を要約すると、次の通りである。

- (1) 材料の耐摩耗性に影響を及ぼすと考えられる諸因子（回転速度、荷重、加熱温度、滑り率）の変化に対して、再現性のある合理的な結果が得られた。
- (2) 各材質の特性、例えばマイクロ組織中に占める炭化物やマトリックスの割合などを反映した耐摩耗性は十分に再現でき、実機使用されている材質間の耐摩耗性の比較に適用できる見通しが得られた。

### 参考文献

- 1) フジコー技報, No 5 (1997), P.39
- 2) 岡本純三, 中山影次, 佐藤昌夫: トライボロジー入門 (摩擦・摩耗・潤滑の基礎), 幸書房, (1996)
- 3) 鉄鋼基礎共同研究会・鉄鋼材料の摩耗部会: 鉄鋼材料の摩耗 (1984.2)
- 4) 岡林邦夫: 鉄鋼の摩耗, 解説資料 (1980)
- 5) 李平, 坂本眞一, 齊藤弘道: フジコー技報, No 3 (1995), P.26



## 技術論文

## 革新的超硬系サーメット溶射技術の開発 第2報

Development of Innovative Thermal Spraying Technology Tungsten Carbide Cermet-Second report



溶接溶射技術開発室

洲崎 真二

Shinji Suzuki

溶接溶射技術開発室

尾崎 健一

Ken-ichi Ozaki

技術開発部長

吉村 武憲

Takenori Yoshimura

## 要旨

製鉄プロセスロール等に広く普及が進行している溶射皮膜は剥離しやすいという欠点があるために、適用範囲が制限されることが多かった。中でも比較的密着度が高いとされる超硬 (WC-Co) 系サーメット皮膜ですらクロムメッキのように圧延ロールにまで適用されることはなかった。

そこで筆者らは、既に冷延ロールに用いられている超硬クロムメッキ膜の密着性を目指し、溶射機改造による密着性向上について検討した。新設計溶射機によるWC-Co皮膜は、ころがり疲れ方式により剥離寿命をもとめたところ、既存溶射機による皮膜に比して、約5倍の密着力があることが判明した。

## Synopsis:

Due to the defect that thermal sprayed coatings are easily peeled off, which are now being used in the processing rolls of steelmaking, its applicability has frequently restricted so far. Above all, even coating of tungsten carbide cermet, which is said to have a relatively high adherence, has not yet been applied to rolling rolls such as chromium plating.

Presented here are the results of the improvement of the reliability by remodeling of the thermal spraying gun with the aim of the reliability of the chromium plating skin membrane which has been already used in the cold rolling. It was confirmed that the newly-designed thermal sprayed gun with WC-Co sprayed coating had the reliability of about five times life time in comparison with the normal thermal spraying gun.

## 1 緒言

表面改質方法のひとつである溶射は、工業的に適用範囲が極めて広く、とりわけ、高速フラーム溶射機によるタンゲステン炭化物-コバルト (以下WC-Co) 溶射は製鉄プロセスロール用などに、従来の硬質クロムメッキに代わって普及しつつあるコーティング技術である。

その背景には高速フラーム溶射機が出現し、その膜質、特に密着性が向上して皮膜の剥離事故が減少し、溶射皮膜に対する認識、信頼性が増したことにあって考えられる。しかしながら、技術開発の進んだ現在においても皮膜剥離事故は皆無ではなく、比較的密着度が高いとされる超硬 (WC-Co) 系サーメット皮膜ですら使用環境如何ではトラブルを起こしているのが現状である。たとえ表面に優れた耐摩耗性などの機能を持たせても、皮膜が使用中に剥離し

ないように、まずその密着性を確保せねばならないのは至極当然のことである。

従来こうした密着性の向上あるいは信頼性の向上を目的に、溶射距離、給粉量、あるいは使用する溶射粉末等のソフト的な溶射条件の検討が繰り返されてきたが、筆者らはこうしたソフト的な検討にとどまらず、本質的な溶射方法すなわち溶射機基本設計について検討を行った。

## 2 現在の溶射法の問題点

現在、上述したように超硬 (WC-Co) 系サーメット溶射は、高速フラーム溶射法により皮膜密着性、耐摩耗性などの諸元を高めている。高速フラーム溶射法とはガス炎を熱源とし、燃焼室の圧力を高めることにより、連続燃焼炎でありながら爆発溶射に匹敵する溶射法である。市販化され



ている高速フレーム溶射機は高压の酸素とプロピレンもしくは水素を用いるHVOF(High Velocity Oxy-Fuel)と、高压酸素に代わり圧縮空気を用いるHVAF(High Velocity Air Fuel)に2分される。燃焼室での火炎温度は熱源の違いにより、高压酸素を用いるHVOFでは約3,200Kに達するのに対し、一方HVAFは約2,400Kと低く、また、溶射粒子速度はHVAFが圧縮空気を用いるのに対し、酸素のみの燃焼であるHVOFは溶射粒子を加速するための運動量に劣る。このように温度と速度のどちらを優先するか、二者択一的な選定を余儀なくされている。

これまでに、これら燃焼温度および粒子速度を供給ガス量、燃焼量、溶射距離等の溶射条件、あるいは形状、粒度、材質等の溶射材料で制御することが広く検討されている。しかしながらこうした検討範囲では、“温度”と“速度”を個別に制御することはできず、温度と速度を溶射機の構造から制御しようとした試みはなされていない。

そこで、本研究では皮膜諸元に深く影響する、“温度”と“速度”を以下に述べる、燃焼状態解析および圧縮性流体力学に基づき個別に制御できるようにした溶射機を開発することにした。

### 3 圧縮性流体

流れの速度の変化にともなう圧力、密度および温度の状態量の変化は、状態方程式、連続の式、運動方程式およびエネルギー式の、4つの基礎方程式から求められる。

非圧縮性流体であれば密度 $\rho$ が一定で $\rho = \text{const.}$ が状態方程式に相当する。さらに断熱流れであれば、熱力学の第一法則から内部エネルギーは一定で温度も一定に保たれる。また速度は管路の断面積が与えられれば連続の式から決まり、圧力は運動方程式から求める事ができる。しかし、現実の気体を取扱う場合、圧縮性を無視することはできない。このような圧縮性流体では密度が変化し、上記の4つの式は互いに関連をもつこととなる。

溶射機内部の流れを取扱う際、ここでは問題を簡単にするために、外部からエネルギーの授受がない断熱で定常な状態を仮定した。このような流れでは式(1)に示したように、エンタルピー $h$ と運動エネルギー $(1/2)u^2$ の和は保存される。

$$h + \frac{1}{2}u^2 = \text{const.} \quad (1)$$

さらに、溶射機内部での流れを1次元定常流れとして考える。この場合には速度、温度、圧力および密度などは管軸に垂直な任意の断面における分布が一樣で管軸に沿う距離のみの関数となる。実際の管内流れでは壁面の影響で速度分布などは一樣でないが、適当な平均流れを仮定することによって十分よい精度で流れを取り扱うことができる。また、断熱で可逆的な流れ、すなわち等エントロピー流れでは、全温度 $T_0$ と全圧 $p_0$ は流れのすべての点で一定とする

ことができ基礎方程式は以下の様に表される。

$$\text{状態方程式} \quad ; \quad \frac{dp}{p} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dT}{T} \quad (2)$$

$$\text{連続の式} \quad ; \quad \frac{d\rho}{\rho} + \frac{du}{u} + \frac{dA}{A} = 0 \quad (3)$$

$$\text{運動方程式} \quad ; \quad udu + \frac{1}{\rho}dp = 0 \quad (4)$$

$$\text{等エントロピーの式} \quad ; \quad \frac{dp}{p} - \kappa \frac{d\rho}{\rho} = 0 \quad (5)$$

ここで、 $p$ は圧力、 $T$ は温度、 $A$ は管路断面積、 $\kappa$ は比熱比である。

ところで、よどみ点における音速 $a_0$ は式(6)で与えられ、マッハ数 $M$  ( $M = u/a$ )とは式(7)を用いて関係付けられる。すなわち、マッハ数が大きいほど温度 $T$ および音速 $a$ は小さくなる事を留意頂きたい。ちなみに等エントロピー流れにおけるマッハ数と圧力比と密度比との関係は式(8)、(9)で与えられる。

$$\text{音速} \quad ; \quad a_0 = \sqrt{\kappa RT_0} \quad (R = \text{ガス定数}) \quad (6)$$

$$\left(\frac{a_0}{a}\right)^2 = \frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\kappa-1}{2}M^2 \quad (7)$$

$$\frac{p_0}{p} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = \left(1 + \frac{\kappa-1}{2}M^2\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (8)$$

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} = \left(1 + \frac{\kappa-1}{2}M^2\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} \quad (9)$$

#### 3.1 溶射機設計について

溶射機をFig.1に示したように燃焼室、ノズル、スロート、ダクト部の4つに区分し、前述したマッハ数を関数として各部位での諸状態量を計算した。以下にその概要を述べる。

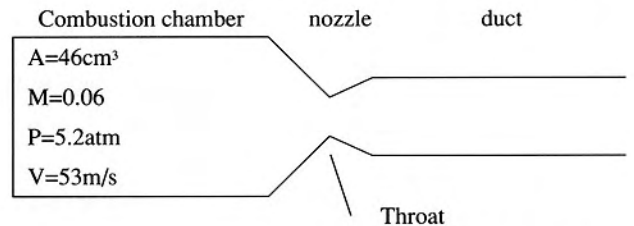


Fig.1 Schematic of the normal thermal spraying gun.

##### 3.1.1 燃焼室

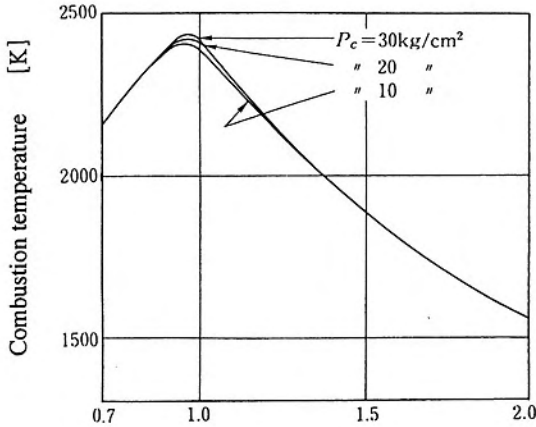
前述したように、HVAFのように圧縮空気を燃焼に用いた場合の燃焼温度はFig.2に示したように、空気過剰係数 $\alpha$ により変化するが、溶射で使用可能な $\alpha \leq 1$ の範囲では、大きな変化を期待する事はできない。そこでTable 1に酸素濃度と燃焼温度との関係についての化学平衡計算結果の一例を示したように、空気中の酸素濃度を変化させる事で幅

広い燃焼温度を可能とする。

ここでの温度計算は  $\alpha = 1$  におけるものである。

Table 1 Relation between the oxygen concentration and combustion temperature

oxygen concentration(%)	21	30	40	50	100
combustion temperature(K)	2420	2730	2930	3060	3360



The coefficient that air is excessive  $\alpha$

Fig. 2 Combustion temperature

3.1.2 スロート形状

Fig. 3 は、等エントロピー流れにおける管路の断面積比とマッハ数の関係を示したものであり式(10)で求める事ができる。入側（燃焼室）のマッハ数  $M_1$  と断面積  $A$  が与えられた場合、その流量を流すための最小断面積が存在する事を示すと同時に、出側断面積  $A_2$ （ここではダクトの断面積）を適切に設定すれば超音速流れを得るとを示している。また、最小断面積において  $M=1$ 、すなわち音速となり、これをチョーキングという。

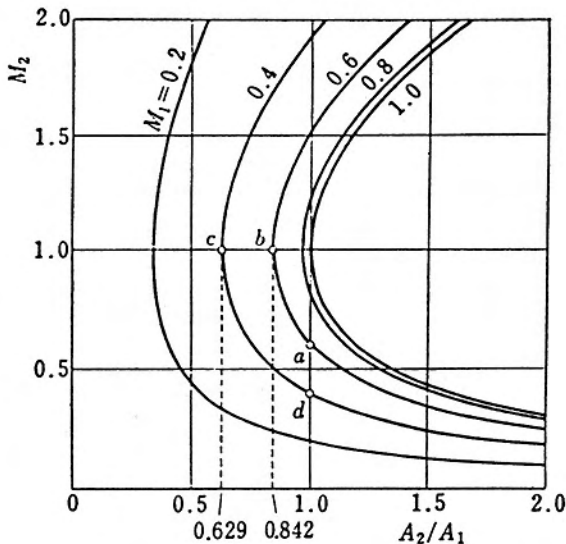


Fig.3 Relation between duct area ratios and mach number in Isentropic flow.

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{M_1}{M_2} \left[ \frac{(\kappa-1)M_2^2 + 2}{(\kappa-1)M_1^2 + 2} \right]^{\frac{\kappa+1}{2(\kappa-1)}} \quad (10)$$

ちなみに、チョーキングした臨界状態における温度比、圧力比、密度比は  $\kappa = 1.4$  とした場合、式(7)~(9)で  $M=1$  とおく事により次式で与えられる。

$$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{\kappa+1} = 0.833 \quad (11-a)$$

$$\frac{p^*}{p_0} = \left( \frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 0.528 \quad (11-b)$$

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left( \frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{1}{\kappa-1}} = 0.634 \quad (11-c)$$

3.1.3 ノズル形状

スロートの断面積  $A^*$  とマッハ数  $M$  の関係は式(12)により与えられる。ここでスロート部では流れはチョーキングしている。Fig.4は等エントロピー流れによるマッハ数と諸状態との関係を整理した結果を示している。

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left[ \frac{(\kappa-1)M^2 + 2}{\kappa+1} \right]^{\frac{\kappa+1}{2(\kappa-1)}} \quad (12)$$

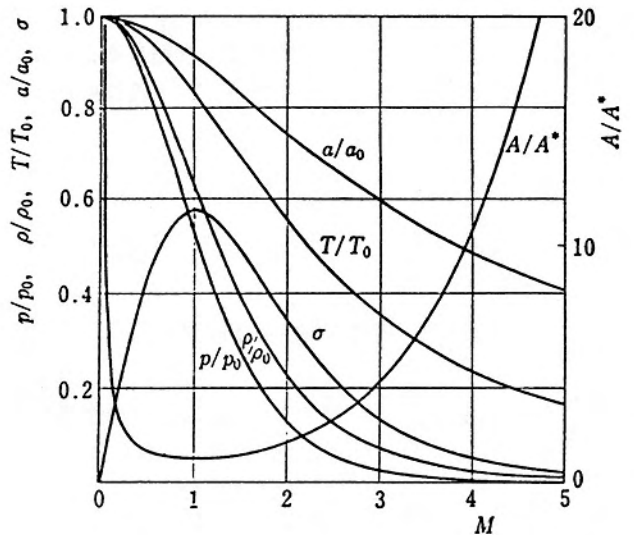


Fig.4 The various relations in Isentropic flow

### 3.1.4 ダクト形状

断面積が一定の管路で長さが比較的短い場合は、一般的に断熱流れとして考えて良い場合が多い、しかし実在気体では粘性があるから等エントロピ流れではない。こうした摩擦のある断面積一定の管内の断熱流れをファノ流れといい、この考えをダクト設計に用いた。

ファノ流れでは、亜音速流れでも超音速流れでもマッハ数は1に近づきFig.5に示したように管路が十分に長い場合はチョーキングの状態に達する。

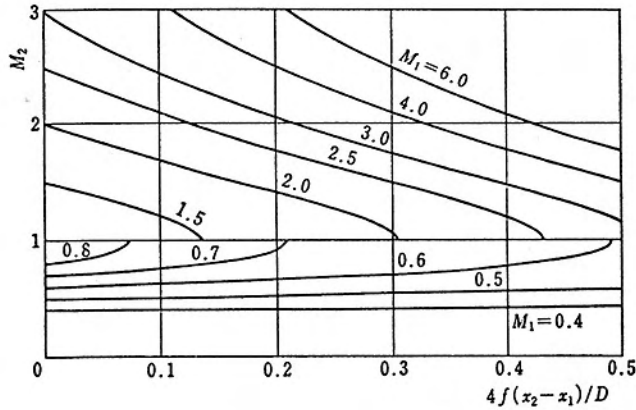


Fig.5 A change in the Mach number of the pipe shaft direction in Fanno Flow ( $\kappa=1.4$ )

式(13)に示した $L_{max}$ はマッハ数 $M$ の流れがチョークするまでの最大管路長さである。この長さを越えた超音速流れは管摩擦によってチョーキング状態に達する。こうした場合、その後、管の途中ではマッハ数は1を超えることはできず、管内に衝撃波が形成され衝撃波より下流は亜音速となるが流量は変化しない。

$$\frac{4fL_{max}}{D} = \frac{1-M^2}{\kappa M^2} + \frac{\kappa+1}{2\kappa} \ln \left[ \frac{(\kappa+1)M^2}{(\kappa-1)M^2+2} \right] \quad (13)$$

## 4 転がり疲れによる皮膜密着性評価結果

### 4.1 供試材

供試材はTable 2に示す2種類である。No1は標準機での溶射皮膜で、No2は今回検討した改造機によるものであり、皮膜材質は、No1, No2同様にWC-17Coである。

基材はいずれも調質した軸受鋼SUJ2を用い、溶射膜厚 $150\mu\text{m}$ になるように、研磨による表面仕上げ(粗さ $0.3\mu\text{m}$ )を行った。

Table 2 Test materials

No	Type of thermal spraying	Sprayed powder	Substrate
1	HVAF	WC-17Co	Quenched and tempered SUJ2(Hv900)
2	HVIF	WC-17Co	

### 4.2 実験方法

試験機はFig.5に示す2円筒ころがり方式であり、油圧により所定のヘルツ応力 $P_{max}$ が得られるように保持し、一定回転速度 $V$ で溶射皮膜は剥離するまでの回転数を求める方法である、皮膜剥離は目視観察によって判定した。

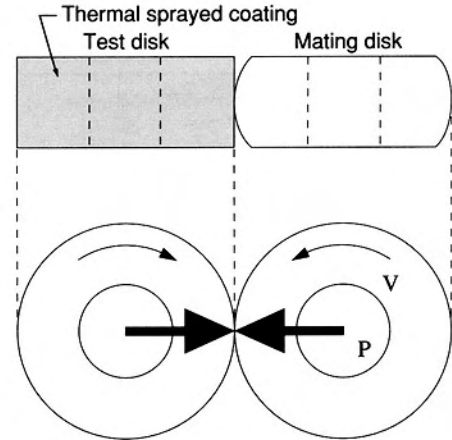


Fig.6 Experimental method

試験片と相手片寸法はいずれも外径 $\phi 2000\text{mm}$ 、巾 $50\text{mm}$ であるが、相手片には500Rのクラウンを与え、所定位置に所定応力が加わるようにした。接触面は楕円となり、中心に最大応力 $P_{max}$ が加わる。また試験片を駆動側、相手片を従動側としてみかえけ上のスベリはゼロとし、発熱防止の為に両片ともに水冷を施し長時間の実験を可能とした。

### 4.3 実験条件

今回採用した実験条件はTable3に示した通りである。従来、接触応力 $P_{max}$ は圧延ロールを想定し $P_{max}=1078\text{MPa}$ に設定していたが、今回は作業時の噛み込み、戻抜け時の衝撃を考慮し $P_{max}=2450\text{MPa}$ に設定した。

Table 3 Experimental conditions

Contact stress	$P_{max}$ (MPa)	2450
Revolution speed	Rpm	1000
Lubricant		Water

### 4.4 実験結果

ころがり疲れ方式により剥離寿命をもとめたところ、新溶射機による皮膜はFig.7に示したように、既存溶射機による皮膜に比して、約5倍の密着力があることが判明した。



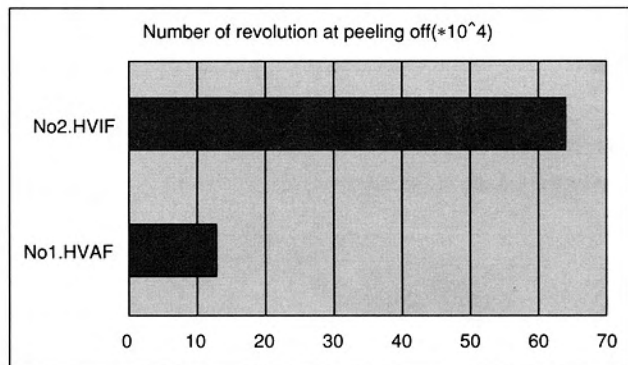


Fig.7 Results of peeling test by rolling contact fatigue

### 5 結言および今後の課題

圧縮性流体力学を活用して革新的な超硬 (WC-Co) 系溶射機を開発した。新溶射機による皮膜は既存溶射機による皮膜に比して、約5倍の密着力があることが判明し、これらは粒子温度と速度を最適に制御することにより得られたものである。

今後は、この実験室で得られた結果を実機で確認するとともに実用上の問題点把握と改善を図り、ロールの耐久性向上に伴う省力化とコスト削減に貢献していきたい。

### 謝 辞

本報告で述べた燃焼解析および圧縮性流体解析に際し、九州大学工学部 機械工学科 村瀬助教授にご協力ご助言いただいた事を記し、謝意の意を表します。

### 参考文献

- 1) 生井武文,松尾一泰：圧縮性流体の力学,理工学社
- 2) 島田壮平：フレームジェット-エンジニアリング入門,産業図書
- 3) 長尾不二夫：内燃機関講義,養賢堂
- 4) 蓮井 淳：新版 溶射工学,産報告出版
- 5) フジコー技報,No3 (1995) P6
- 6) フジコー技報,No4 (1996) P15



## CPC法における鑄肌の性状におよぼす引き抜き条件の影響

Effect of CPC Drawing Pattern on Casting Surface Condition



CPC技術開発室  
後藤 英行  
Hideyuki Goto

CPC技術開発室  
坂本 眞一  
Shin-ichi Sakamoto

CPC技術開発室長  
齊藤 弘道  
Hiromichi Saito

### 要旨

当社のCPC法において、良好な鑄肌を得るために引抜きパターンは断続引抜きを採用している。鑄肌性状の改善のためには、引抜き条件について検討することが必要であり、引抜き時の引抜き速度を800mm/min（高速）、400mm/min（低速）の2水準で試験した。両条件で、特徴のある結果が得られ、鑄肌改善の方向づけができた。

### Synopsis:

A step drawing pattern has been employed in our CPC process to improve surface conditions of cast products. It is necessary that drawing speeds are discussed to develop better surface conditions. Drawing tests were carried out at two different speeds of 800mm/min (high) and 400mm/min (low). The both speeds presented their respective distinctive results, suggesting an approach we should take in improving the casting surface conditions by the CPC process.

## 1 緒言

当社開発のCPC法においては、安定な凝固シェルを形成するために引抜きのパターンは断続引抜き法を採用している。しかしそれによってCPC法における代表的鑄肌不良の一つである、湯切れが発生する。湯切れは、凝固シェルにある程度の強度が発生した状態で、モールドと凝固シェル間の引抜き時の摺動抵抗によって発生する欠陥である。鑄肌性状はシェル強度と摺動抵抗のバランスによって変化することが想定される。シェル強度および摺動抵抗に影響をおよぼす因子として、モールド材質、厚みなどによる冷却速度や、CPCの引抜き条件（降下時の降下速度、1回当たりの降下幅、引抜きサイクルタイム）があげられる。これら因子の適正化は鑄肌性状の健全化を図る上で非常に重要である。

今回の実験では、CPC引抜き条件の中で、降下時の降下速度（引抜き速度）が鑄肌性状におよぼす影響の調査を行った。上記因子の中でも引抜き速度は、シェル形成および摺動抵抗と深く関連性があり、鑄肌性状を決定する重要な因子の一つであると考えられる。そこで、引抜き速度を高速、

低速引抜きの2つの条件でCPCテストを行い、鑄肌性状の違いを調査し、CPC法の凝固についての考察を行ったので以下に報告する。

## 2 実験方法

### 2.1 CPC条件

Table 1 に示すCPC条件で、高速、低速引抜きの2つのCPCテストを行った。引抜き速度以外は、同様の条件である。なお肉盛金属は、熱延ラインにおけるランナウトテーブルローラに広く採用されているFKC-303材を使用した。Fig. 1 に断続引抜きの引抜きパターンを図で示す。

Table 1 CPC condition

Cladding Material	FKC-303(1.75C-13Cr-5.5V)
Core Material and Size	STKM-13A( $\phi$ 273×15t×79501)
Mold Material and Size	$\phi$ 325(Graphite Series)
Drawing Velocity	High Velocity 800mm/min(1.88sec/25mm/Turn)
	Low Velocity 400mm/min(3.75sec/25mm/Turn)

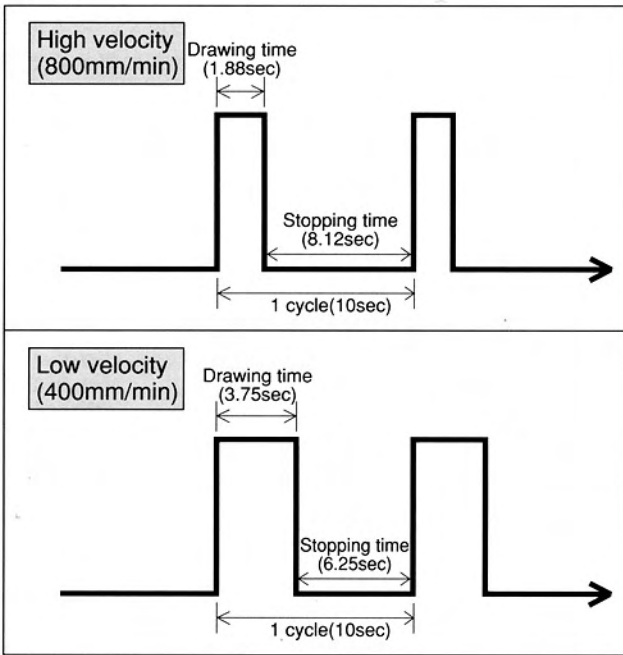


Fig.1 Drawing pattern

2.2 鑄肌性状調査項目

鑄込み後の鑄肌性状を、以下に示す6項目で調査し高速、低速引抜きと比較を行った。調査位置はFig.2に示すCPCスタートから2623～5313mmの間の2690mmとし、縦断面サンプルはそのTop側より200mm長の部分を切出した。また、黒鉛モールド損耗の状況と鑄肌性状との関連性もあわせて調査した。

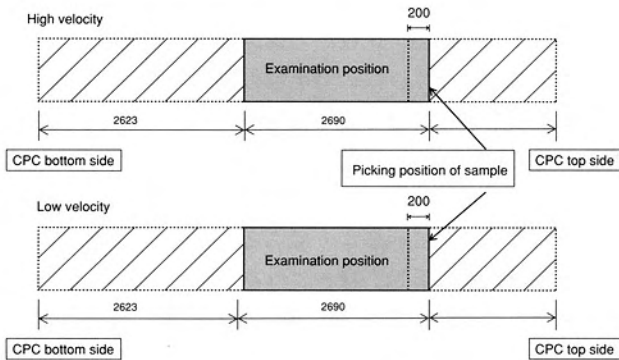


Fig.2 Picking position of sample

(1) 鑄込み後の鑄肌性状観察

鑄肌の外観の性状を調査した。

(2) 黒鉛モールドの消耗の測定

任意の直交する4方向について消耗していない黒鉛モールドの上端を0として、一定のピッチで測定した。

(3) スキンカット後のカラーチェック

Top側の200mmを除いてφ305にスキンカットを施し、全体のカラーチェックにより湯切れ発生状況の調査を行った。湯切れ深さについてはスキンカット径から、さらに掘り込んで測定した。

(4) 縦断面サンプルによるカラーチェック

前述した位置より縦断面サンプルを直交2方向より切出し、カラーチェックを行い湯切れ発生状況の調査を行った。

(5) 縦断面サンプルによるマクロ組織観察

同縦断面サンプルを研磨し、ピクリン酸-塩酸アルコール溶液でエッチングすることでマクロ組織観察を行った。

(6) 縦断面サンプルによるミクロ組織観察

縦断面サンプルで鑄肌近傍のミクロ組織観察を行った。

3 調査結果および考察

3.1 鑄込み後の鑄肌性状観察

高速引抜きの鑄肌写真をFig.3に示す。写真からわかるように、鑄肌性状は良好である。断続引抜きのオシレーションマークは全体的に同一円周上で平行なものが観察された。これは、黒鉛モールド内で凝固の始点が一定していることを示している。湯切れなどの異常な鑄肌もほとんど見

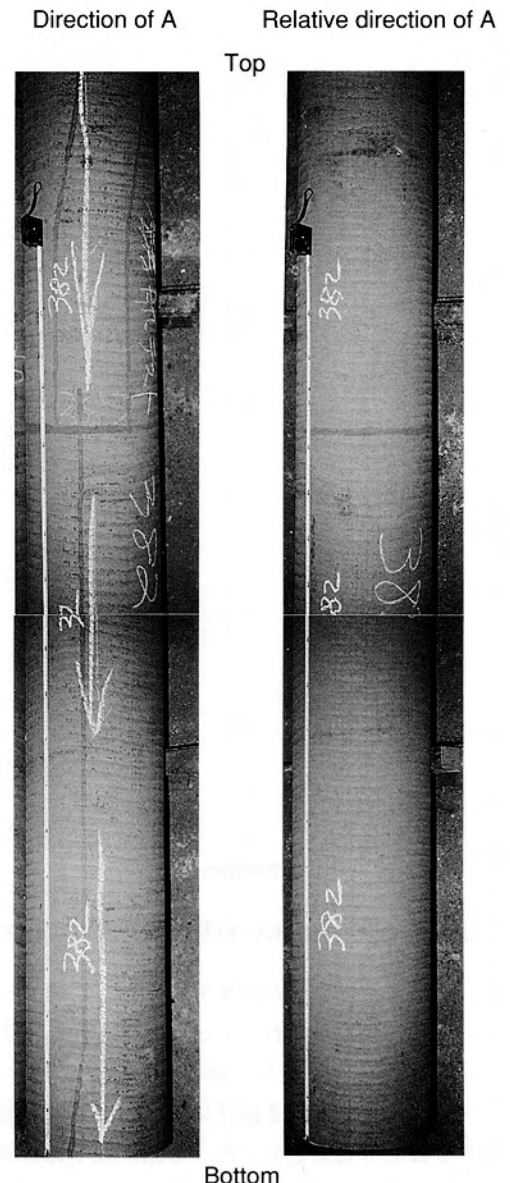


Fig.3 Casting surface on high velocity condition



られなかった。オシレーションマークがはっきりと観察されたのは、Fig. 1に示すように、低速引き抜きに比べ停止時間が長い場合、シェルが強固なものとなったため1回の引抜き毎に確実に引抜かれたと考えられる。

低速引き抜きの場合の鋳肌写真をFig. 4に示す。オシレーションマークに乱れがあり、同一円周上で平行に並んでいないことが観察される。これは、モールド内における凝固の始点が同一円周上でないことを示している。また、ステ

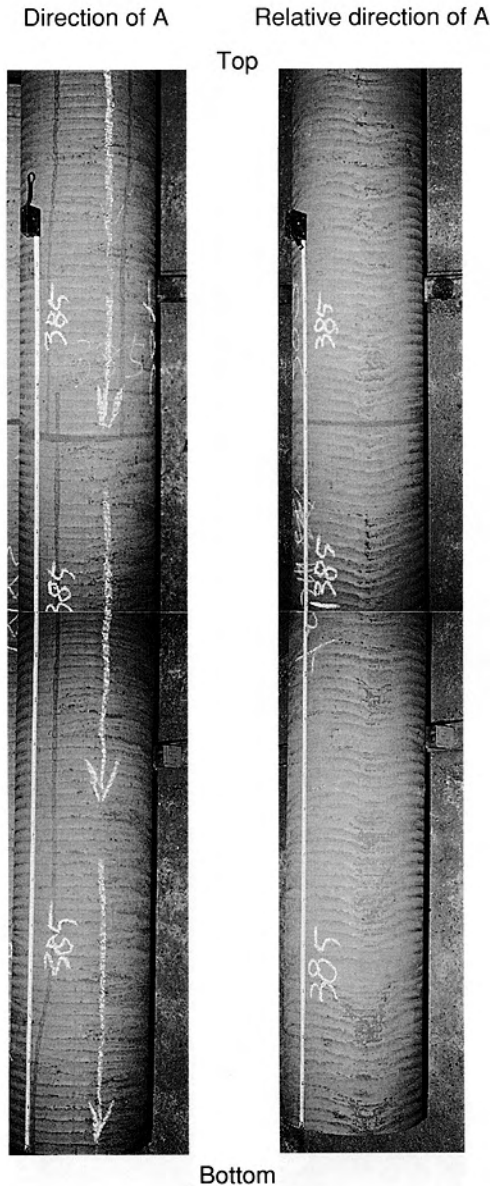


Fig. 4 Casting surface on low velocity condition

ィッキングシェルの発生が顕著であった。このスティッキングシェルは、取り残されたシェルと下方から増大してきたシェルが強固につながり、初めて降下するのであるが、オシレーションマークが2回分以上(50mm以上)観察されない箇所も数箇所発生していた。1回の降下毎に確実にシェルが降下しておらず、降下中に頻りにシェルの破断が発生していることが想定される。この現象はFig. 1に示すよ

うにシェル形成のための停止時間が比較的短く、シェル厚および強度が十分ではないことおよび、降下に要する時間が長いことによって降下中に凝固シェル厚が増大することが要因としてあげられる。

### 3.2 黒鉛モールドの消耗の調査

黒鉛モールドの消耗の状況を調査した。その結果をFig.5,6に示す。

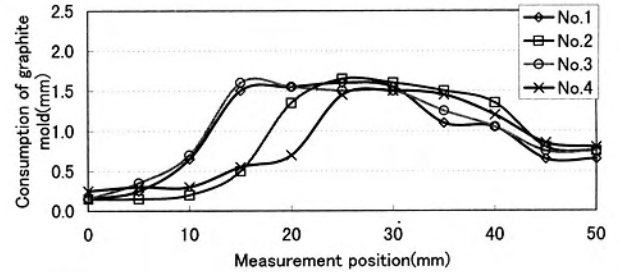


Fig. 5 Consumption condition of graphite mold (High velocity)

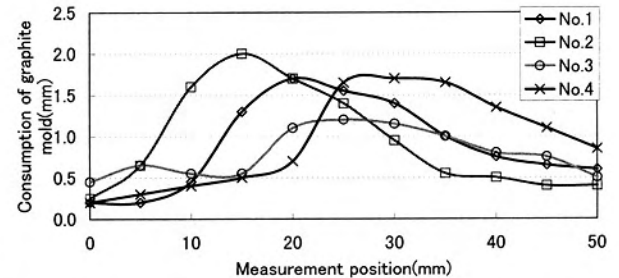


Fig. 6 Consumption condition of graphite mold (Low velocity)

最大消費量は、高速引き抜きで1.65mm、低速引き抜きで2mmである。またFig.5,6を比較して低速引き抜きの場合は、消耗が大きだけでなく、最大消費部の箇所のバラツキが大きく、不規則な消耗になっている傾向が認められる。消耗の大きい位置近傍が凝固の始点であることからオシレーションマークのみだれの傾向、つまりスティッキングシェルの発生傾向と一致しているようである。一方高速引き抜きの場合、最大消費量は低速引き抜きより小さいが、広範囲にまでおよんでいる傾向が認められる。これらのことから低速の場合、高速と比較して引き抜き中にシェル厚が顕著に増大することによって、引き抜き中に湯切れが発生しているのではないかと想定される。一方高速の場合、引き抜き中には、シェル厚の増大は小さく、1回の引き抜き毎に確実に引抜かれる。この傾向とモールドの消耗のパターンとは関連性があると考えられる。

### 3.3 スキンカット後のカラーチェック

スキンカット後のカラーチェックにより、湯切れの発生状況を調査した。

高速引き抜きと低速引き抜きの湯切れ発生状況をFig.7,8に示す。両者を比較してみると、明らかに高速引き抜きの方に、多くの深い湯切れが発生していることがうかがえる。高速引き抜きの場合、ひとたび湯切れが発生すれば、その程度が

鑄肌から深部にまでおよぶが、低速の場合にはそのような現象が発生しにくい傾向がある。

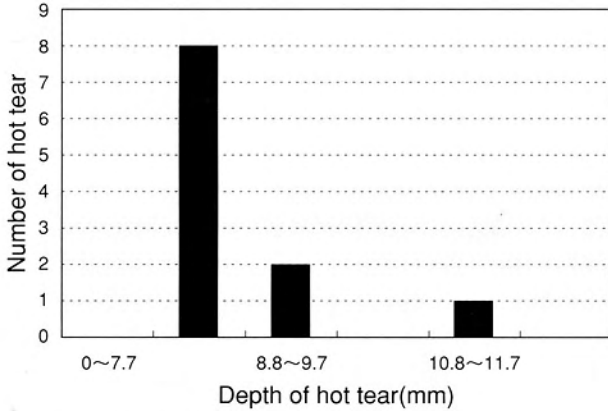


Fig.7 Distribution of hot tear(High velocity)

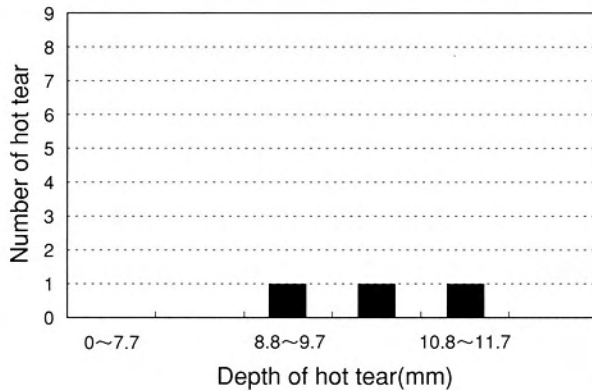


Fig.8 Distribution of hot tear(Low velocity)

### 3.4 縦断面サンプルによるカラーチェック

高速、低速引抜きについて相対2方向の200mm長さの縦断面サンプルを切出し、カラーチェックによって湯切れ発生状況を調査した結果を、Fig.9,10に示す。湯切れ深さは、鑄肌表面からの測定値である。

高速引抜きの場合、湯切れの発生は観察されなかった。

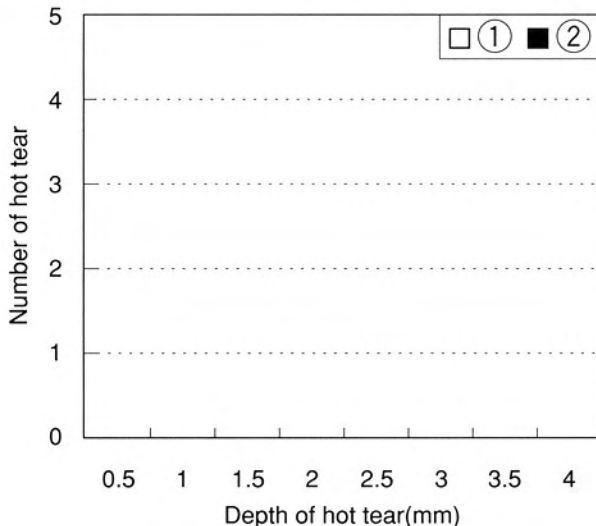


Fig.9 Distribution of hot tear on length section (High velocity)

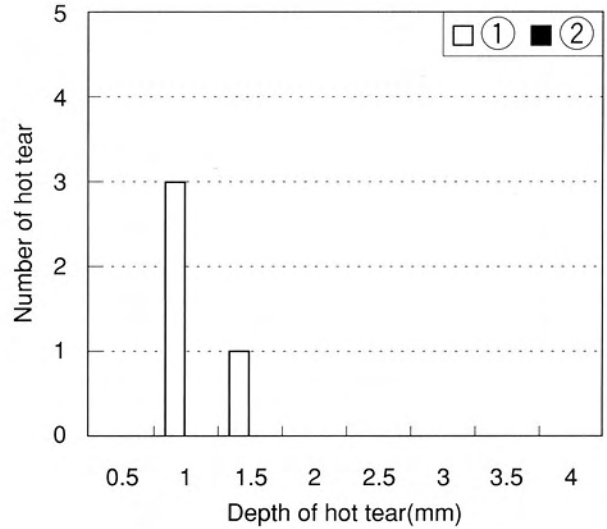


Fig.10 Distribution of hot tear on length section (Low velocity)

低速引抜きの場合、鑄肌表面付近の浅い湯切れが比較的多数発生する傾向があることが認められる。

### 3.5 縦断面サンプルによるマクロ組織観察

同上の縦断面サンプルをエッチングし、マクロ組織の観察を行った。Fig.11,12に高速、低速引抜きのマクロ組織写真を示す。写真より、鑄肌に直交方向の偏析の存在が確認できた。これはカーボンリッチな組織であることが、Fig.13に示すマイクロ組織写真より判明した。この偏析発生のメカニズムは、湯切れ発生後に内部の未凝固部から、初晶オーステナイトの晶出に伴ってカーボンリッチもしくは合金元素を多量に含む比較的低融点の湯が流れ込み凝固したものと考えられる<sup>1)</sup>。

高速、低速引抜きの偏析発生状況をFig.14,15に示す。両者共に偏析発生の個数に顕著な違いはない。高速引抜きの場合、前述したように縦断面サンプルでのカラーチェックからは湯切れの発生が認められなかった。しかし、偏析は観察されることから発生した湯切れが溶鋼によって埋められて偏析となったために湯切れとして観察されなかったのである。また、高速引抜きの偏析は低速引抜きと比較して、深部におよぶ傾向が観察された。低速引抜きの場合、鑄肌から比較的浅い偏析の発生が認められる。これは、前述したように高速引抜きと比べシェル厚が小さく、浅い湯切れのほとんどが内部の溶鋼によって埋められていることを示している。また、偏析発生は必ずしも25mmピッチではない傾向もあり、スティッキングシェルの発生傾向と一致している。

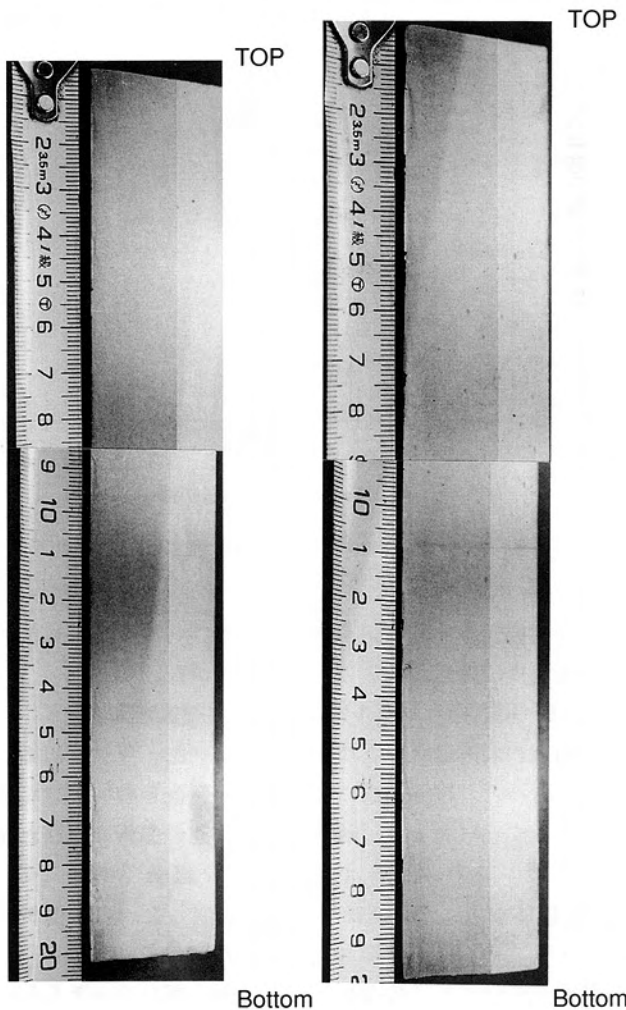


Fig. 11 Macrostructure of length section (High velocity)

Fig. 12 Macrostructure of length section (Low velocity)

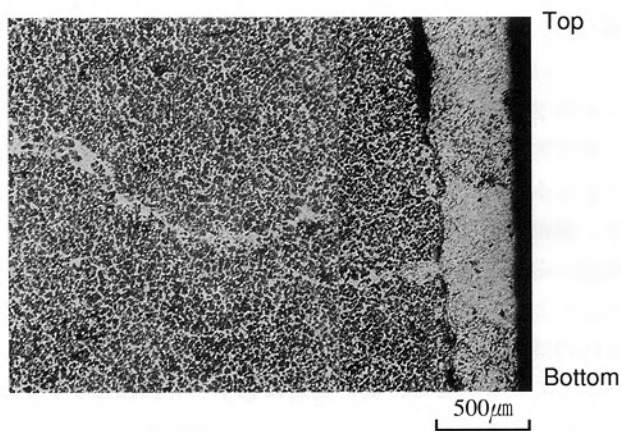


Fig. 13 Microstructure in segregation position

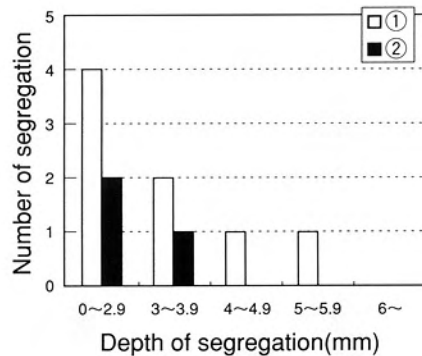


Fig. 14 Distribution of segregation on length section (High velocity)

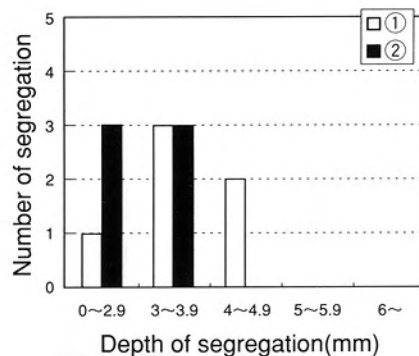


Fig. 15 Distribution of segregation on length section (Low velocity)

### 3.6 縦断面サンプルによるマイクロ組織観察

縦断面サンプルの鑄肌近傍のマイクロ組織観察を行った。高速、低速引抜ききのマイクロ組織写真をそれぞれFig.16,17に示す。鑄肌近傍の凝固組織を比較してみると、高速引抜ききはデンドライトの方向性に規則性がみられるが、低速引抜ききでは規則性がみられない。これは、凝固シェルの強度が関係していると想定される。高速引抜ききはシェル強度が大きいいため、引抜き時の抵抗の影響を受けにくい。一方、低速引抜ききはシェル強度が小さいため引抜き時の抵抗によりシェルが歪み、デンドライトの方向性が不規則になっている傾向がある。

### 3.7 CPC凝固についての現象

以上の調査結果から想定される、高速引抜ききおよび低速引抜ききについての凝固の現象図をFig.18に示す。

高速引抜ききの特徴は、凝固の始点が一定であり、湯切れおよび偏析が深部にまで進行する傾向があるということであった。一方、低速引抜ききの特徴は、凝固の始点が不規則であり、湯切れおよび偏析は浅いものになるということであった。このように両者に差が生じる要因としては、以下に示す①、②があげられる。

#### ① 凝固シェル強度

凝固シェルの厚みおよび強度は熱抽出により決定され



る。高速、低速引抜きを比較すると、両者のサイクルタイムにおける停止時間が、8.12sec、6.25secで約2 secほど高速引抜きの方が長いため、熱抽出が大きく凝固シェル厚が厚く、強度が増大していると考えられる。

## ② 引抜き時におけるシェルとモールド間の摺動抵抗及び外力

凝固シェルとモールド間の摺動抵抗は、黒鉛モールドが酸化と摩耗による消耗にもなって増大する。不規則な消耗が認められた低速引抜きの方が抵抗は大であると推定される。また、前述したように低速引抜きの場合、引抜きに要する時間が高速と比較して長いことから、引抜き中に凝固シェル厚の増大がより顕著であり抵抗を大きくしている要因になっているようである。

引抜き時に与えられる外力は、引抜き速度が高速、低速において2：1の関係で、モールドが消耗して摺動抵抗がある状態での引抜き速度は両者共にほぼ等速であることから、2：1の関係にあると推定される。

①、②より想定される高速、低速引抜きの凝固の現象を以下に示す。

## ●高速引抜きのCPC凝固の現象

高速引抜きの場合、凝固シェルは厚く強固になっている。しかし、シェル破断の原因となる摺動抵抗が増大しており、引抜き時の外力も大きい。これら破断の原因となる3つの要因の関係によって、凝固シェル強度を上回る外力が発生した場合にシェルの破断は発生する。

次にシェル破断の深さについて、シェルの破断は、ある程度の強度が存在する凝固シェルでないと発生しない。Fig.18に示すように高速引抜きの場合、その凝固シェルの絶対的な厚みが大きいため、深部までシェル破断がおよぶと考えられる。

また、偏析も湯切れと同様にシェルの破断により発生したものであることから、深部にまでおよぶ傾向がある。

## ●低速引抜きのCPC凝固の現象

低速引抜きの場合、シェル厚が小さく比較的脆弱である。また、引抜き時の外力は高速引抜きより小さいが、凝固シェルとモールド間の摺動抵抗が増大している。これら3つの要因の関係で、同様にシェル強度を外力为上回った場合に破断は発生する。破断の深さについては、Fig.18に示す

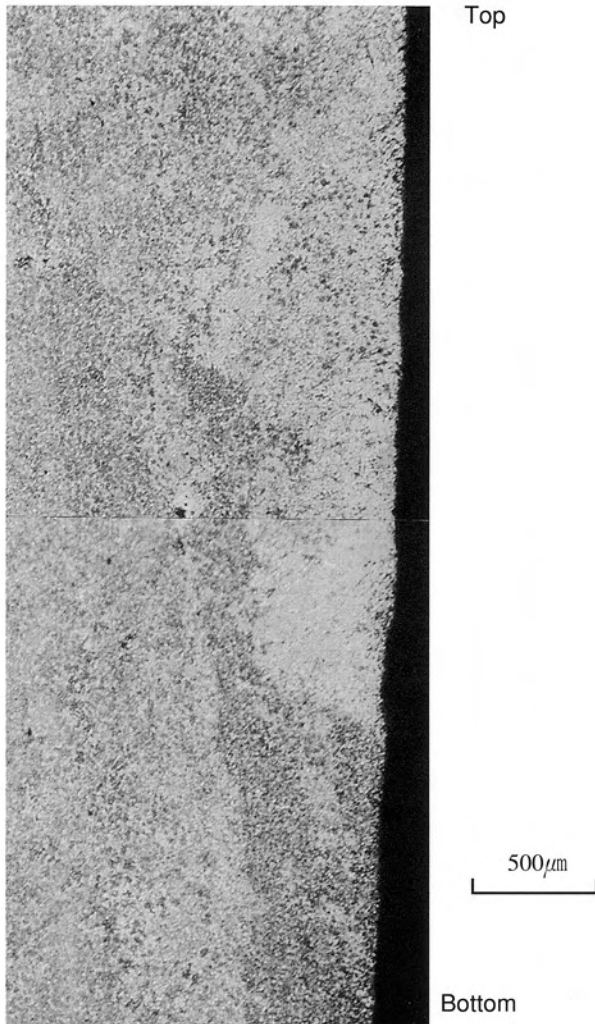


Fig.16 Microstructure on high velocity condition

Fig.17 Microstructure on low velocity condition

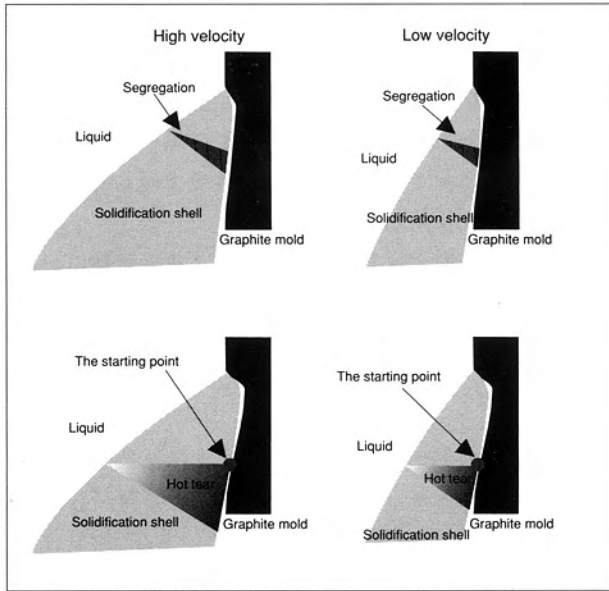


Fig.18 Schematic diagram of solidification phenomenon by CPC process

湯切れのように凝固シェルの絶対的な厚みが薄いため、高速引抜きのような深い湯切れにならず、偏析についても同様である。

#### 4 結論

高Cr-V鋳鉄のCPCにおいて、降下時の降下速度を800、400mm/minの2段階に変化させ性状と凝固組織の比較検討を行った。その結果、以下の各項が明らかになった。

(1) 高速引抜きの場合、凝固シェルは厚く強固でそれ以上の外力によって湯切れとなり、深部にまで及ぶ傾向がある。

(2) 低速引抜きの場合、凝固シェルの厚さおよび強度が小さく、高速引抜きと比較して小さい外力で容易に湯切れとなる傾向があるが、その深さは小さい。また引抜き中にシェル厚の増大があることも湯切れ発生の要因となっている。

(3) CPCにおいては凝固シェル厚の生成と摺動抵抗の関係で鑄肌性状が決定される。

#### 参考文献

- 1) 沢本 章, 大城桂作, 松田公扶: 鑄物, 54 (1982), 11, P.728

## 調査報告

## 光輝焼鈍炉炉壁の窒化防止技術の開発

溶接溶射技術開発室

新日本製鐵株式会社 光製鐵所  
設備部設備技術グループ林 慶治  
Keiji Hayashi伊藤 昌広  
Masahiro Ito

## 1 はじめに

鉄鋼の酸化を防ぎ金属光沢を失わぬために使用される窒素含有ガス雰囲気焼鈍炉、すなわち光輝焼鈍炉の炉壁は、高クロム高ニッケルステンレス鋼、例えばSUS310Sによる溶接構造物として製作される。ところが、雰囲気ガスとして窒素を使用するため炉壁内面より窒化が進行し、特に溶接接合部分で窒素脆化によりクラックが発生することがある。そのクラックを補修することは、母材が脆化しているために困難である。

最近、耐窒化材料としてニッケル基の材質が使用されるようになってきたが、製鉄工業で使用される光輝焼鈍炉のような大規模構造物ではニッケル基は高価であり、実用的ではない。

従来一般的に、窒化防止にはニッケル、錫、銅などの窒化物をつくり難い金属をメッキする方法が行われている。しかし、鉄鋼、特にステンレス鋼の焼鈍に使用されている光輝焼鈍炉の雰囲気温度は1000~1200℃と高く、錫メッキ、銅メッキでは溶融点が高いので使用できない。また、高融点耐窒化金属のメッキ、例えばニッケルメッキも大規模構造物全体が対象となると、施工が困難であり実用的ではない。

一方、成膜方法の一つである溶射は大規模構造物表面の被膜に適したプロセスと位置付けられている。しかしながら、溶射被膜には通常、気孔が多く介在しており、耐窒化金属を溶射しても気孔を介して窒素ガスが侵入するので効果が期待できない。しかし、溶射方法の一つとして、自溶合金を溶射した後再溶融処理を施すことにより、実質的に気孔の無い被膜を成膜できることが知られている。また、自溶合金はニッケル基であるため、耐窒化性が良い材料であると推測される。ところが、自溶合金の融点は1050℃付近にあるので、このまま光輝焼鈍炉に使用すれば溶射被膜は溶融し、溶け落ちることになる。

当社は新日本製鐵株式会社 光製鐵所殿との共同により、この自溶合金の溶け落ちを防止する方法を見出し、実機ステンレス鋼板用連続光輝焼鈍炉に適用したところ、予測通りの良い結果が得られたので、以下に報告する<sup>1)</sup>。

## 2 自溶合金の耐窒化性に関する実験結果

耐窒化性に対するNi含有量の影響についてはNiが多いほど優れており、Moranらは長期間の試験により図-1

を得ている<sup>2)</sup>。

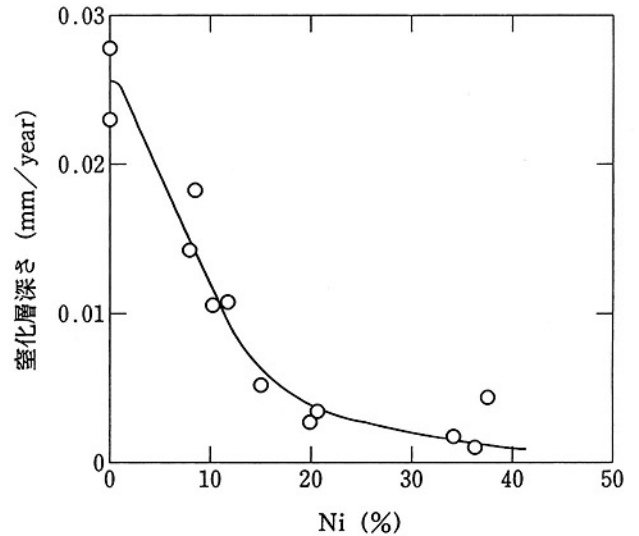


図-1 Fe-Ni-Cr合金の窒化とNi量の関係<sup>1)</sup>  
(アンモニア転化器、約520℃)

Ni基の自溶合金は表-1のごとく、JISにより5種類が規定されており、いずれもNi含有量が50%を越えている。そこで著者は光輝焼鈍炉内壁用の溶射被膜として、自溶合金とNi-Cr合金を積層した構造を考案し、その性能を調べるために実験を行った。このような構造を選定した理由は次章で述べる。作成した試験片を実機の光輝焼鈍炉と同じ雰囲気(1170℃・水素75%+窒素25%)にて100時間保持後、表層の窒化層深さを測定したところ、表-2の結果を得た。同表中のCoNiCrAlYは耐高温酸化用として最も優れた材料の一つとして知られているが、これを大気プラズマ溶射にて成膜し、比較材として加えたものである。なお、母材は溶接部を含んだSUS310Sである。この結果から、自溶合金+NiCr合金には窒化物は検出されず、優れた耐窒化性を有していることがわかった。

## 3 自溶合金の溶け落ち防止方法

一般的に、自溶合金の液相線は1040~1100℃にあるため、これを越える雰囲気温度で使用すれば、自溶合金溶射被膜は液体となり溶け落ちる。また、固相線は940~1000℃にあり、固相線と液相線の間にて再溶融処理が施される。再溶融処理を施した自溶合金溶射被膜は気孔が実質的に存在



表-1 JIS H8303溶射材料の化学成分

種類	化学成分%									
	Ni	Cr	B	Si	C	Fe	Co	Mo	Cu	W
SFNi1	残部	0~10	1.0~2.5	1.5~3.5	0.25以下	4以下	1以下	—	4以下	—
SFNi2	残部	9~11	1.5~2.5	2.0~3.5	0.5以下	4以下	1以下	—	—	—
SFNi3	残部	10~15	2.0~3.0	3.0~4.5	0.4~0.7	5以下	1以下	—	—	—
SFNi4	残部	12~17	2.5~4.0	3.5~5.0	0.4~0.9	5以下	1以下	4以下	4以下	—
SFNi5	残部	15~20	3.0~4.5	2.0~5.0	0.5~1.1	5以下	1以下	—	—	—
SFCo1	10~30	16~21	1.5~4.0	2.0~4.5	1.5以下	5以下	残部	7以下	—	10以下
SFCo2	0~15	19~24	2.0~3.0	1.5~3.0	1.5以下	5以下	残部	—	—	4~15

表-2 溶射被膜の窒化試験結果

	窒化物検出最大深さ (μm)	
	溶接部	母材部
溶射なし	620	620
CoNiCrAlY	700	350
自溶合金+NiCr合金	0	0

せず、また、被加工物との界面には自溶合金成分と母材成分とが相互拡散して強い密着力が得られる。

前述のように、自溶合金被膜のままでは光輝焼鈍炉内壁に使用した場合溶け落ちるので、次のような皮膜構造を考案した。すなわち、自溶合金皮膜上に同じく耐窒化性Ni-Cr合金を溶射し、さらに自溶合金を溶射して3層構造とした後、再溶融処理を施せば上層の自溶合金はNi-Cr合金中に浸透するとともに拡散し、単一な実質的に気孔の無い、しかも高融点の耐窒化性溶射皮膜となる。また、下層の自溶合金は母材とNi-Cr合金両方に拡散し、強い密着力が得られる。

図-2と図-3に、第1層目と第3層目に自溶合金を厚さ50μm、中央部の第2層にNi-Crを200μm溶射した溶射ままと、溶射後水素雰囲気170℃にて1時間保持した皮膜断面の光学顕微鏡写真を示す。

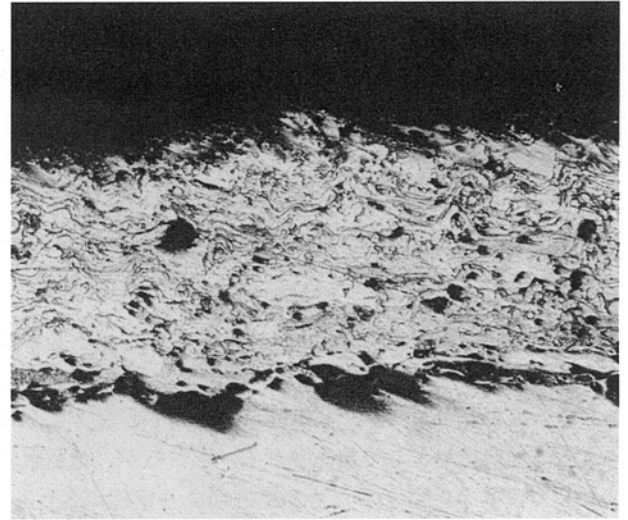
同写真より、1時間と短い保持時間にもかかわらず、自溶合金はすべてNi-Cr合金中に浸透あるいは拡散し、溶射皮膜の特長であるラメラ構造が消失するとともに、母材のSUS310Sにも拡散し、強固な溶射皮膜となっていることがわかる。

また、試験片を立てての再溶融処理にもかかわらず皮膜の溶け落ちや膨れなどの過溶融は認められない。

#### 4 実機テスト結果

新日本製鐵株式会社 光製鐵所殿で使用されている光輝焼鈍炉はSUS310Sの溶接構造物であり、その寿命は従来は5000時間前後であった。寿命の原因は溶接部の窒化による亀裂の発生が主であった。

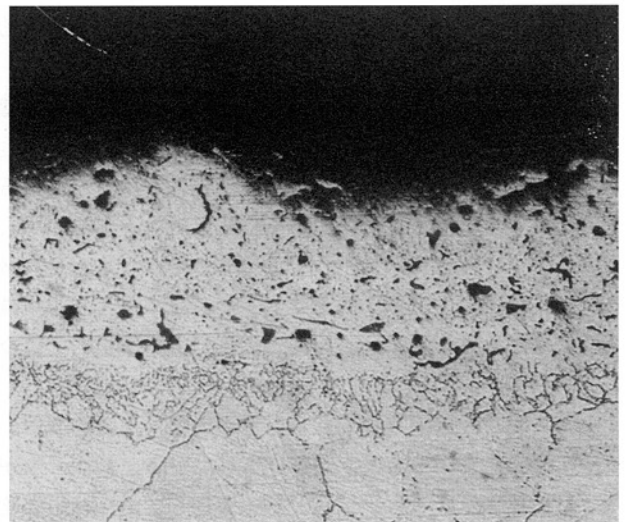
前章で述べた結果をもとに、この光輝焼鈍炉にて実機テストを実施した。すなわち、溶射法は大気ガスプラズマと



100μm

×100

図-2 溶射ままの皮膜



100μm

×100

図-3 再溶融処理後の皮膜

し、皮膜は前記のごとき3層構造とした。図-4、図-5および図-6にそれぞれ、光輝焼鈍炉の外観、溶射施工状況および溶射後の内壁の写真を示す。

テストの結果、稼働時間は10400時間となり、寿命が2倍に延長した。この時の寿命原因はクリープ伸びが許容値(クリープ破断)に近づいたためであった。また、5569時間稼働後の中間でのX線および超音波による検査でも、亀裂や溶射皮膜の剥離は確認されなかった。

#### 5 まとめ

新日本製鐵株式会社 光製鐵所殿の御協力を得、ステンレス鋼板光輝焼鈍炉内壁に耐窒化性の優れた高融点の溶射

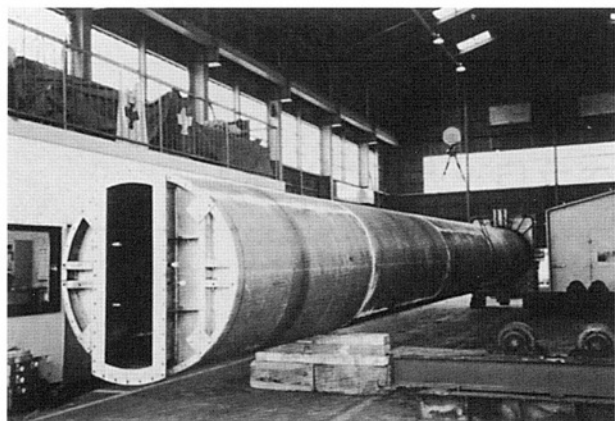


図-4 光輝焼鈍炉外観

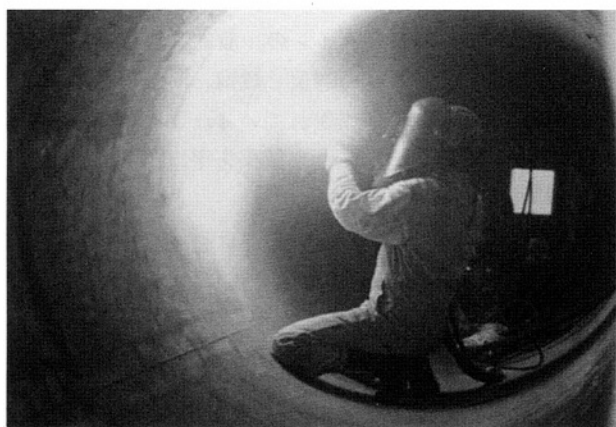


図-5 内壁溶射施工状況

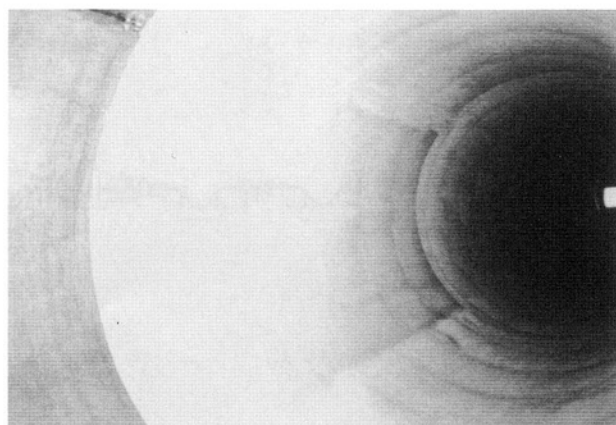


図-6 溶射後の光輝焼鈍炉内壁

を施すことにより、その寿命を約2倍に延長することができた。

同様な光輝焼鈍炉においても窒化防止を必要としたり、あるいは高価なNi基の耐窒化性材料を使用している例が多いと思われるので、今後は本技術の適用拡大を図ってきたい。本技術によれば、溶射を内壁に施すことにより安価な母材を使用できるため、寿命延長だけでなく設備費低減というメリットも期待できる。また、対象も光輝焼鈍炉ばかりでなく、窒化による脆化が問題となる機械部品などにも本技術は応用が可能である。

#### 参考文献

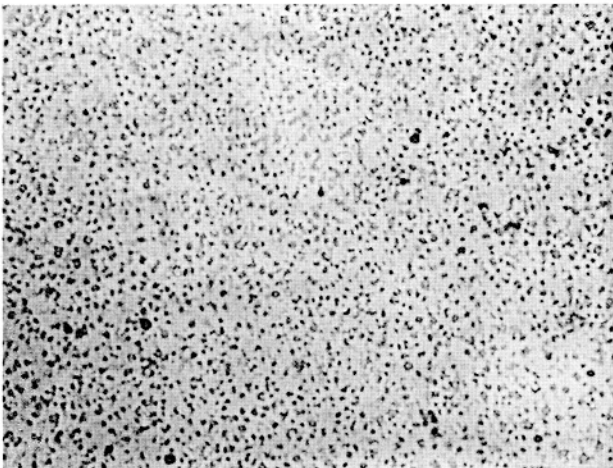
- 1) 特許出願中
- 2) 長谷川正義 監修：ステンレス鋼便覧、日刊工業新聞社（1973）

## SHH-400によるコイルレベラロールについて

## 1 はじめに

粉末ハイス系耐摩耗材SHH-400は非常に硬いMC炭化物(ピッカース硬さ2000以上)が微細、均一に数多く分散しているのが特徴である。先に報告されているSHH-300<sup>1)</sup>(図-1)と比べMC炭化物の粒径および面積率を増加させることにより、より優れた耐摩耗性、耐焼き付き性また、特殊な施工法により表面硬化被膜の母材からの剥離の恐れがないという大きな利点を持っている。

以下に、このSHH-400のコイルレベラロールへの適用事例について他材質と比較しながらここに紹介する。



SHH300マイクロ組織写真



SHH400マイクロ組織写真

図-1 SHH-300および400のマイクロ組織写真

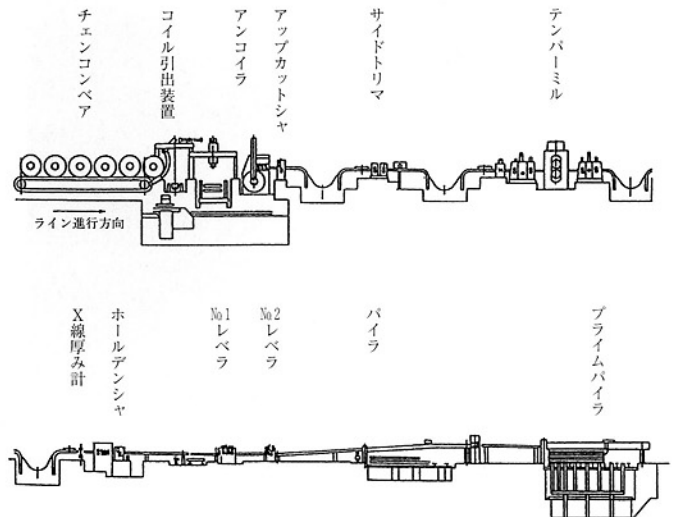
## 2 コイルレベラロールについて

熱延精整ラインには、スキンパス、シャ、スリッタ、酸洗のラインがあり、この中でシャラインはホットコイルから切板を製造するラインである。一般にホットコイルから直接連続加工ラインで巻きもどして製品を作る以外は、一度切板にし取り扱いやすい形にしてから再加工し製品にするという作業行程が取られている。<sup>2)</sup>

図-2に示すようにシャラインの一般的な設備配置としては、入側装入設備、コイル巻戻し設備、サイドトリマ、シャ、レベラ、パイラで構成されている。この中でコイルレベラロールは多数ロールにより鋼板を平坦形状に矯正することを目的としたロールである。<sup>3)</sup>

そのため、コイルレベラロールには高い荷重がかかっており、しかも鋼板の表面に付着している硬い酸化スケールによりロールに早期に剥離、焼き付きといったものが発生し、また同様の理由からロールが早期に摩耗する。

よって、コイルレベラロールには耐摩耗性、耐焼き付き性および被膜の密着性が求められる。そこで、今回新たに開発されたSHH-400の適用を試みた。

図-2 シャラインレイアウト図<sup>3)</sup>

## 3 コイルレベラロールの仕様

前述したように、コイルレベラロールには高い荷重がかかっており、鋼板との接触面圧はかなり大きくなっている。そのため、従来このロールにはCrメッキ、WC-Co溶射などのロールが使用されてきたが、被膜剥離によりいまだに満

足りく仕様のロールが供給されていない。

当社のロールの構成は安価な炭素鋼の母材表面にSHH-400という被膜剥離の恐れがなく耐摩耗性、耐焼き付き性の優れた粉末ハイス系の材料を2mm程度の厚さにハードフェーシングを施している。コイルレベラロールの仕様を表-1に示した。

表-1 コイルレベラロール仕様

外径	φ 90.0mm
全長	2,930mm
胴長	1,930mm
表面硬化厚み	2mm

#### 4 使用実績

表-2にSHH-400の従来品との使用実績の比較を示した。SHH-400のロールは従来品と比べると約3倍の耐用を示し、剥離、また焼き付きは発生していない。

表-2 使用結果一覧

材質	使用期間	状況
Crメッキ	1ヶ月	剥離発生
WC-Co溶射	1日	剥離発生
SHH-400	3ヶ月	—

#### 5 まとめ

SHH-400のコイルレベラロールへの適用状況について紹介した。比較対象材としてCrメッキロール、WC-Co溶射ロールなどを挙げたが、これらのロールと比較して3倍以上の寿命延長を可能としメンテナンスフリーという客先のニーズにあったものとなっている。

#### 参考文献

- 1) フジコー技報、No.5 (1997)、P.31
- 2) 日本鉄鋼協会：第3版 鉄鋼便覧Ⅲ(1)圧延基礎・鋼板、P.436
- 3) 日本鉄鋼協会：第2版 わが国における最近のホットストリップ製造技術、P.79

#### [問い合わせ先]

本社 溶接溶射技術開発室 (北九州工場駐在)  
Tel. 093(871)0761 宮崎 裕之  
佐々木 満太郎



## 豎型ミルロール用自動溶接装置

### 1 緒言

石炭・砂等を粉砕する代表的な装置としては、ロッドミル・コークラッシャーミル・ロールクラッシャーミル等があり、中でもロッドミルが最も多く使用されてきた。しかし

- (1) 省エネルギー
- (2) ロールの低い摩耗率
- (3) 低振動・低騒音
- (4) 小さな設置面積
- (5) 容易なメンテナンス

等の優位性より、次第にロッドミルから豎型ミルに置換わって来ている。ロッドミルとの比較では、電力容量で45%以上、ランニングコストで約1/4と節約できる。また設置面積は約1/3ですみ、メンテナンス性についても消耗品の取り替えが簡単・粒度調整が容易である等の利点がある。

当社の山陽工場では、これまでに培って来た溶接技術を活用し、豎型ミルのロールの硬化肉盛溶接を施行している。今後、施行数量の増大・コストの低減を考え、サブマージ・アーク溶接の自動溶接装置開発を手がけ、開発に成功したので以下にその装置の概要を紹介する。

### 2 装置概要と性能

装置は、ポジショナー・マニプレーターの本体設備と、フラックス供給装置・スラグ回収装置の付帯設備とから構成される。ポジショナーはロールを乗架回転させながら傾動する機能を有し、マニプレーターは溶接位置を一定にするため上下移動・前後移動の機能を有すると共に溶接オフセット量を位置決めする横移動機能も有している。

図-1に本装置の概要図、表-1に各機械の性能を示す。

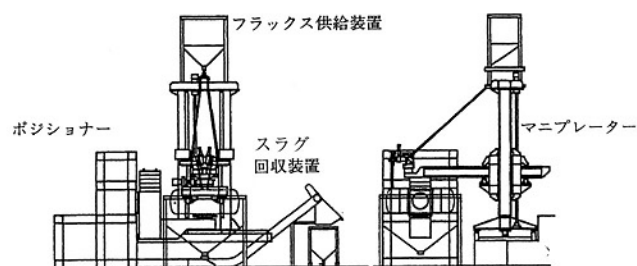


図-1

表-1

ポジショナー面板	ポジショナー傾動
回転数；Max4rpm サーボモーター 搭載最大径；Φ1900	傾転速度；Max1rpm サーボモーター 最大積載重量；5t
マニプレーター上下	マニプレーター前後
昇降速度；Max1100mm/min サーボモーター ストローク；1000mm	移動速度；Max1800mm/min サーボモーター ストローク；1475mm
マニプレーター横行	作業対象ロールサイズ 外径：Φ800～Φ1800 重量：Max5000kg
横行速度；4000mm/min サーボモーター ストローク；1000mm	

### 3 装置の特徴

サブマージ・アーク溶接である為、ロールの如何なる角度に対しても溶接トーチとロールの溶接点接線は垂直に維持されると共に、溶接条件（ロール径・溶接ワイヤーの種類・電極数）にあわせて設定条件を変えることにより自動運転ができる様にしている。

(1) ポジショナーの傾動モーターに取り付けられたエンコーダーにより、溶接希望点での垂直位置角度へ自動傾転することが出来る。（溶接希望点での垂直位置角度は、ロールの原形形状と仕上形状との幾何学演算により自動的に算出され、指令として出される。）

(2) 溶接スタート点から対称位置までの連続溶接における各溶接点も、同様幾何学演算により算出され、ポジショナー傾動モーター・マニプレーター昇降モーター・マニプレーター前後モーターへ指令を出し、位置決め制御される。

(3) ポジショナーに取り付けられた距離センサーは肉盛量の変化を読み取り、ロール駆動モーターへ指令を出し溶接速度を自動的に設定速度へ制御する。

(4) ロール中央部と端部との径の違いによる速度補正は、距離センサーと幾何学演算とによって自動制御される。

(5) 溶接パス位置が前の層と同じパス位置を通らない様に、各溶接層毎のトータルパス数は奇数・偶数の交互配列となる様に制御される。

(6) サブマージ・アーク溶接である為、溶接トーチの前後動・上下動に合わせたフラックスの供給は、スイベルと伸縮管の組み合わせ機器を製作する事により追従供給する

様にした。

(7) 本装置では位置決め制御・速度制御のためサーボモーターが必要となるが、大型ロールでの溶接ではその重量と端部コーナーRにおける溶接パス移動とがポジションナー傾動動力に大きな負担を掛ける事となる。本装置では、カウンターウエイトと減速機の組み合わせにより市販サーボモーターで対応する事が出来るようにした。

#### 4 結言

以上、当社で開発した縦型ミルロール用自動溶接装置についてご紹介いたしましたが、ここでご紹介しました装置は

(1) サブマージ・アークの自動溶接は勿論のこと、他のあらゆる溶接法にも応用する事ができます。

(2) 円柱形・円錐形・円弧と直線の複合形状や球形の物にまで肉盛溶接する事が出来ます。

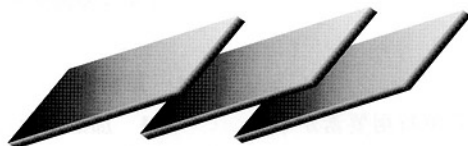
(3) このプログラムは、新品ロールだけでなく補修ロールの肉盛溶接にも幅広く対応する事ができます。

上記のように幅広い用途が考えられ、それぞれのニーズに応じた設計も可能であります

[問い合わせ先]

仙台工場 設計課

Tel. 0223(24)2450 寺村 敏一



## MARC有限要素法構造解析システムの導入

### 1 緒言

当社のメイン製品の一つは圧延ラインに用いられる複合のロール、ローラである。稼動中のロール、ローラは熱的負荷（接触伝熱、輻射熱、摩擦熱など）および機械的負荷を受け、ロール表面近傍の温度、応力の変化によって、ヒートクラックや表層剥離などが発生する場合がある。また、異常な熱応力などによる破損例もあり、圧延ラインにおけるロール、ローラの温度および応力解析は重要な課題となっている。

このような課題に対し、種々の使用条件に対する複合ロールの構造、材質、シェル厚などについて、事前検討による適正化、また、使用中のロール、ローラに発生することがある割れなどの異常について、温度、応力解析による定量的な原因の解明、把握の必要性から、MARC有限要素法構造解析システムを導入した。以下に、MARCシステムについて紹介する。

### 2 MARCシステムの概要

MARCシステムは、ロンドン大学とブラウン大学で長年研究教育に携わったペドロ・V・マサール（Marcal）教授をはじめ、ウェールズ大学ツイエンキーヴィッツ教授などによって開発され、有限要素法分野の多くの優秀な研究者、技術者の参加により整備、拡張が行われ、現在のMARCへと発展してきた経緯がある。MARCシステムは、世界で最初の有限要素法による構造解析汎用プログラムとして、世界各地の鉄鋼金属、航空宇宙、電気電子、原子力、自動車、造船、プラント、建築土木などの産業分野で採用されている。有限要素法によるMARCシステムは以下の解析が可能である。

- 線形解析
- 弾塑性解析
- 剛塑性解析
- 大変形解析
- 動的非線形解析
- 境界非線形解析
- 破壊解析
- 熱伝導解析
- 電場解析
- 熱と応力の連成解析
- 流体と固体の連成解析など

### 3 MARCシステムの特長・機能

#### 3.1 要素テクノロジー

MARCシステムには、130種を超える解析用要素が準備され、これらの要素は最新のもので、精度が高く、かつ強力で、あらゆるMARCの解析機能で用いることができる。要素には、2次元解析については低次および高次の三角形と四辺形、3次元解析については低次および高次の四

面体と六面体などがある。従来の積分法及び低次積分法の両方ともに利用できる構成になっている。多くの要素は想定ひずみ、または要素内体積ひずみ一定の定式化を用いて強化されている。

#### 3.2 金属材料

MARCシステムでは、弾性的な挙動と塑性的な挙動を区別する降伏応力を超えた後の材料の挙動を表現することができる。これらの複雑なモデルをスチール・アルミ・銅などの昔からある材料および粉末または「超塑性材」のような新素材の両方に対応できる。材料モデルは全て任意の有限要素と併せて用いられるので、ユーザーにとって最大限の適用性が提供される。材料パラメーターについて、温度依存性挙動、時間依存性挙動および異方性挙動などをモデル化することができる。

#### 3.3 自動接触解析

自動接触解析機能は、変形体と剛体壁間、または多重の変形体相互に接触が発生する問題の解析を可能にする。他のFEAコードと違って、MARCではこれらのボディー間に挿入する特別の「インターフェース」あるいは「ギャップ」要素を必要としない。接触するボディーの数には制限はない。この機能は、大変形解析でも使用される。また、自己接触や衝突解析においても有効な機能である。なお、接触機能を静的または動的のいずれにおいても、すべてのMARC要素を用いることができる。

#### 3.4 アダプティブメッシュ分割

MARCシステムでは、アダプティブ実行手順を組み合わせることで、使い易さの向上と併せて解析の精度も同時に高められる。アダプティブ荷重機能オプションは荷重をむらがないように分配して計算の収束性と安定性を保証する。この機能は、構造・動的・クリープ・熱など様々な解析タイプにおいて用いられ、また、線形解析と非線形解析の両方ともに対応する。接触問題においては、接触領域における精度を向上させるためにアダプティブメッシュ分割機能がメッシュを自動的に細分化する。

### 4 解析例

#### 4.1 加熱鋼板との接触によるロール2次元解析例

稼動中の中空タイプロールの2次元解析例を図1に示す。図1. 1～1. 3はロール横断面での温度分布であり、図1. 4は半径方向応力の半径上の分布である。ロールは鋼板との接触で、表面近傍の温度上昇が見られる（図1.

1)。また、ロールの回転に伴って、ロール横断面での温度推移もわかる(図1. 2～1. 3)。ロール表面近傍の昇温範囲では圧縮応力が発生し、最大圧縮応力はロールの最表面に生じる(図1. 4)。

#### 4.2 加熱鋼板との接触によるロール3次元解析例

稼動中の中実タイプロールの3次元解析例を図2に示す。図2. 1～2. 2、図2. 3および図2. 4はそれぞれロール表面での温度分布、横断面での温度分布およびロール表面温度の等高線分布である。図2には図1と同様に、鋼板との接触によるロール表面近傍の温度分布、温度推移が定量的、visual的に示されている。

#### 4.3 ロール焼ばめ応力の解析例

対称性を考慮して、図3. 1にロールスリーブとアーバーの1/2縦断面の形状、境界を示す。図3. 2、3. 3

はそれぞれ焼ばめによる半径方向応力、円周方向応力の分布であり、図3. 4は半径方向応力、円周方向応力の半径上の分布である。円周方向応力はアーバーで圧縮応力、スリーブで引張応力となっており、最大引張応力はスリーブの内面に生じることがわかる。半径方向応力について、スリーブとアーバーはともに圧縮応力を示しており、最大圧縮応力は焼ばめ面に見られる。

#### 4.4 圧縮解析例

複雑な形状の例として、MARCシステムに付随しているボルトヘッドの成形例を図4に示す<sup>(1)</sup>。ブロック形状の素材はボルトヘッド型の上におかれて(図4. 1)、型壁面の圧縮によって変形され、最後ボルトヘッド形状になる形状およびひずみの推移が見られ(図4. 2～4. 4)、ひずみはつぶされた部分に集中していることがわかる。

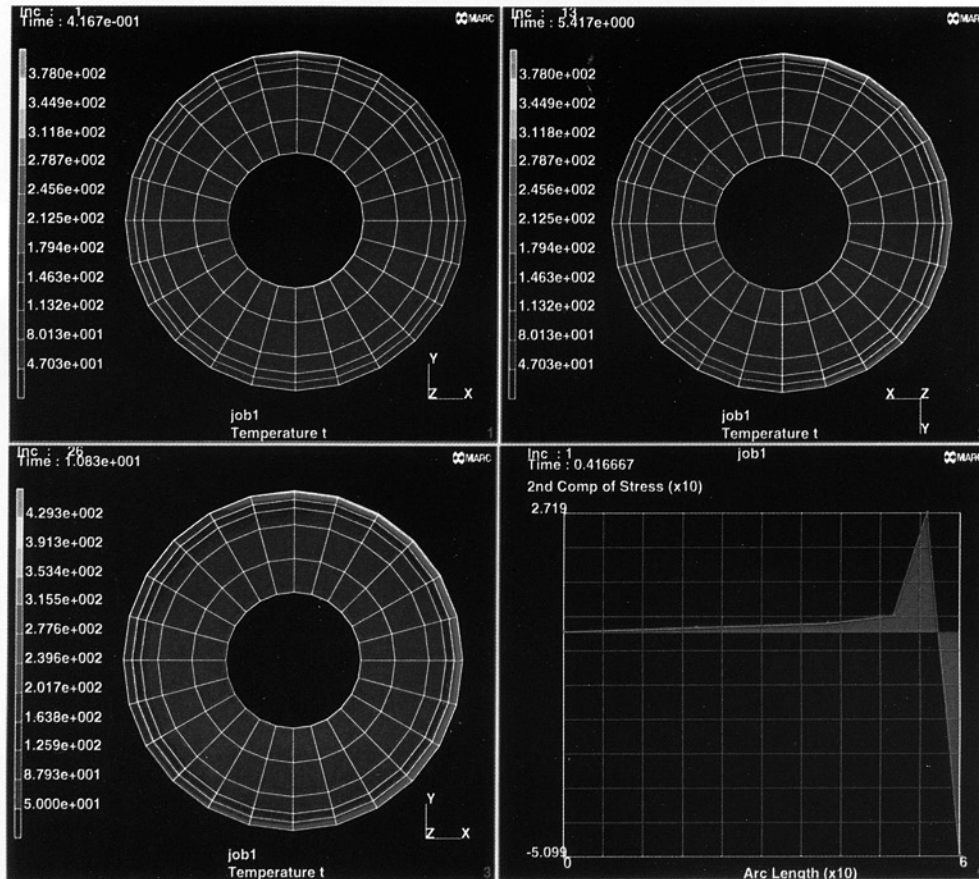


図1 加熱鋼板との接触によるロール2次元解析例



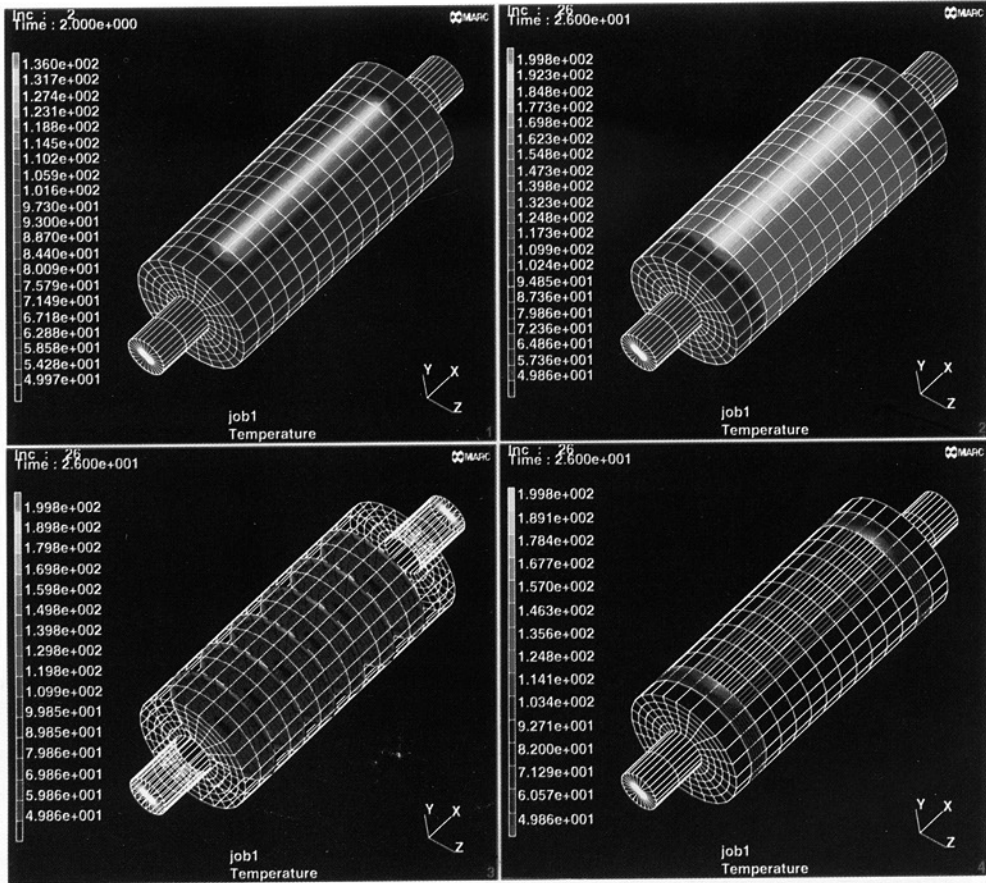


図2 加熱鋼板との接触によるロール3次元解析例

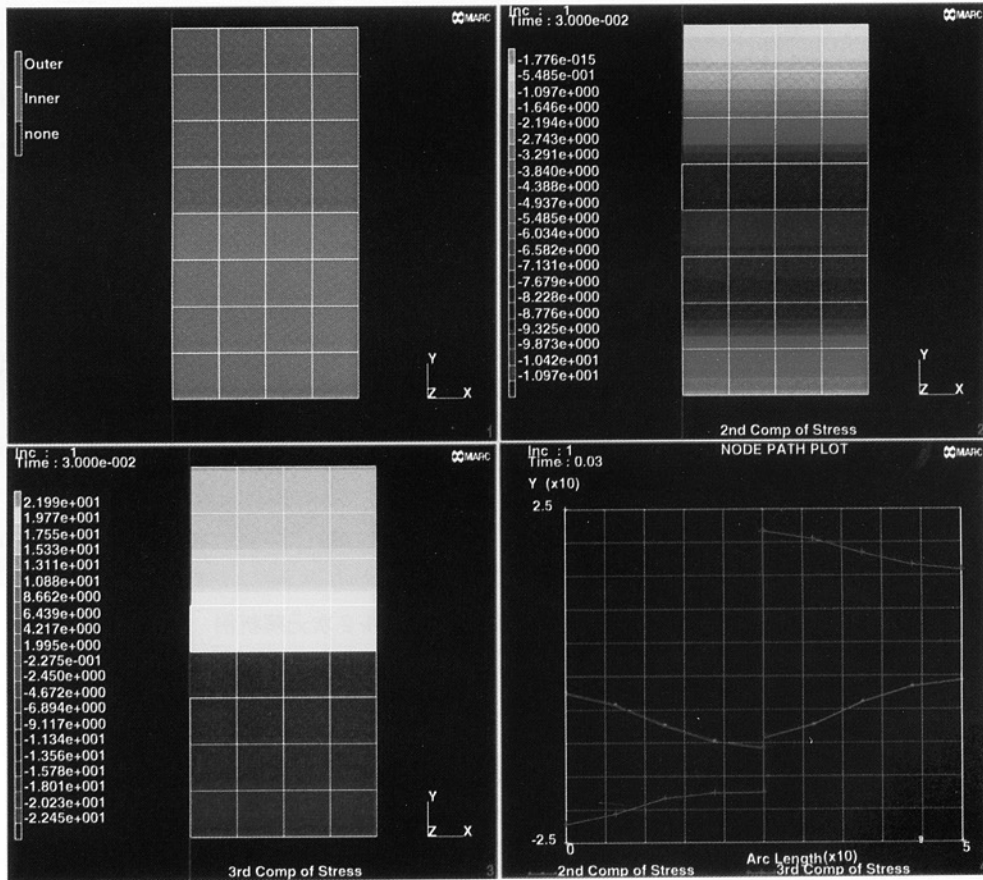


図3 ロール焼ばめ応力解析例

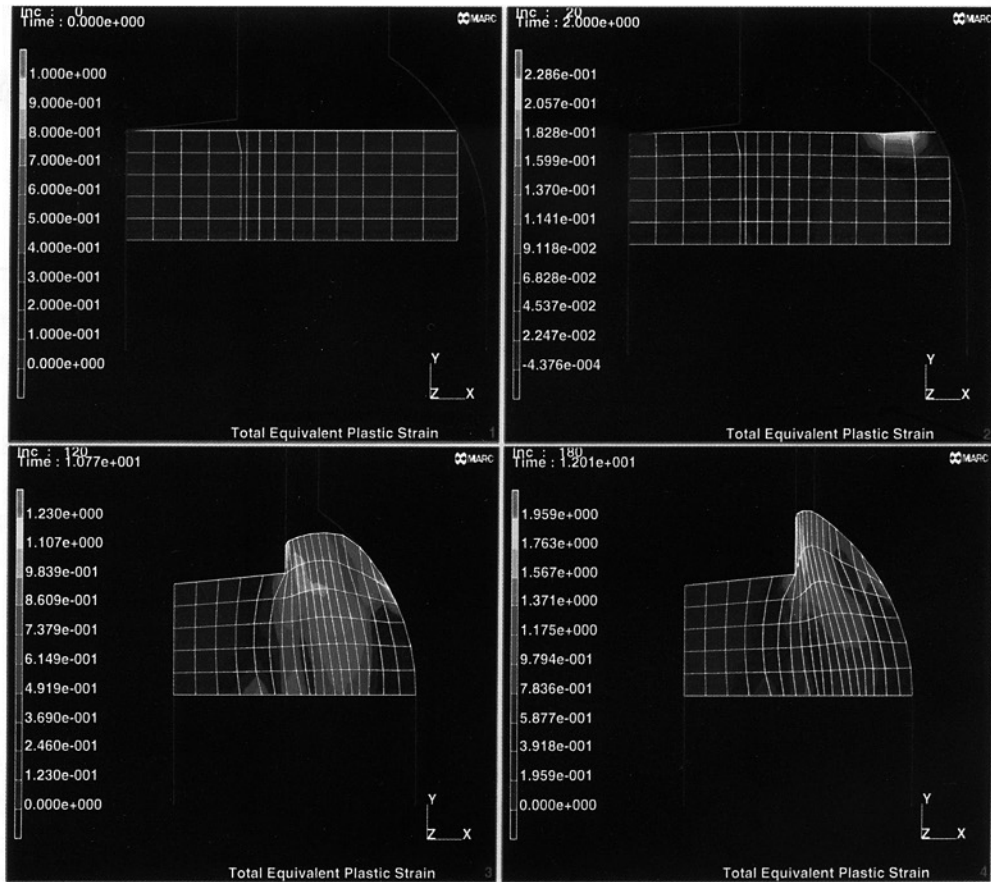


図4 ボルトヘッド<sup>3</sup>圧縮解析例<sup>(1)</sup>

## 5 まとめ

以上、当社が導入したMARC有限要素法構造解析システムの特長および機能について紹介した。解析例は単純なモデルによるものであり、今後はロール温度、応力解析技術を確立すると共に、実機ロールの解析や当社創生のCPCプロセスの解析などを実施する予定である。

## 参考文献

1) 日本マーク株式会社編：MARC日本語マニュアル

[問い合わせ先]

本社 CPC技術開発室 (山陽工場駐在)  
Tel. 08654(4)5151 李平



# FINES (Fujico Information Network System) の構築 基盤整備の完成、そして高度化への展開

システム化推進室  
武田 勝義  
Katuyoshi Takeda

## 1 緒言

弊社では、業務効率化、省力化を始め、さまざまな社内外情報の迅速な収集かつ共有化を目的として、FINES (フジコー情報ネットワークシステム) の構築を強力に推進してきた。平成8年度から企画検討を開始し、平成9年2月からの、給与システム運用をスタートとして、広範囲な業務にわたり全社的な展開が行われ、確実に成果を挙げてきた。さらに、生産管理情報と営業販売情報の一体化を実現し、平成10年10月からの運用開始に向けて、営業支援システムのレベルアップを推進している。ここに、その概要を紹介する。

## 2 経緯

コンピュータ情報社会が、ここ数年大きく変化し始めた。従来の大型のホストコンピュータ/ワークステーションを活用したシステムから、ダウンサイジング/オープン化という言葉に表現されるクライアント・サーバ方式を、各企業は積極的に導入開始した。また、インターネットの急激な普及とともにその技術を企業内情報システムに取り入れたイントラネットシステムも盛んに採用されるようになった。

弊社も、従来はホストコンピュータによる基幹業務処理システムであったが、業務効率化や省力化を目的としたコンピュータシステムの再構築の気運が高まってきた。

これらのニーズを受け、業務効率化推進室では、平成8年度より新システムの構築を開始した。第一ステップとして、仙台から北九州までの広範囲に及ぶ全社のネットワーク網の整備および財務給与システム導入を目標とし、関係部署の協力を得て、具体的な検討作業に入った。

システム開発にあたっては、システム設計・製作・維持を、すべてアウト・ソーシングとし、システムの高品質化、要員効率化、安定運用をめざした。

## 3 システム構築上の問題点

弊社の場合、8事業所、3工場、5営業部、3出張所が、北九州地区から仙台地区までに点在しており、情報が局地化しやすく、情報伝達の遅れによる、意思決定の遅れを招きやすい状況にあった。システムの構築に当たっては、社内の各業務機能をLANで結び、遠隔地にある事業所や営業部間を、いかに効率的なネットワークにするかが、重要であった。

また各事業所・工場や各営業部では、情報の共有化意識も低かったので、教育啓蒙を同時に進める必要もあった。

## 4 システムの構築と導入

これらの状況を勘案し、次の2ステップに分け、状況を確認しながら、進める事にした。第1ステップでは、会社幹部と本社管理部門に、財務情報を直結させ、状況把握を迅

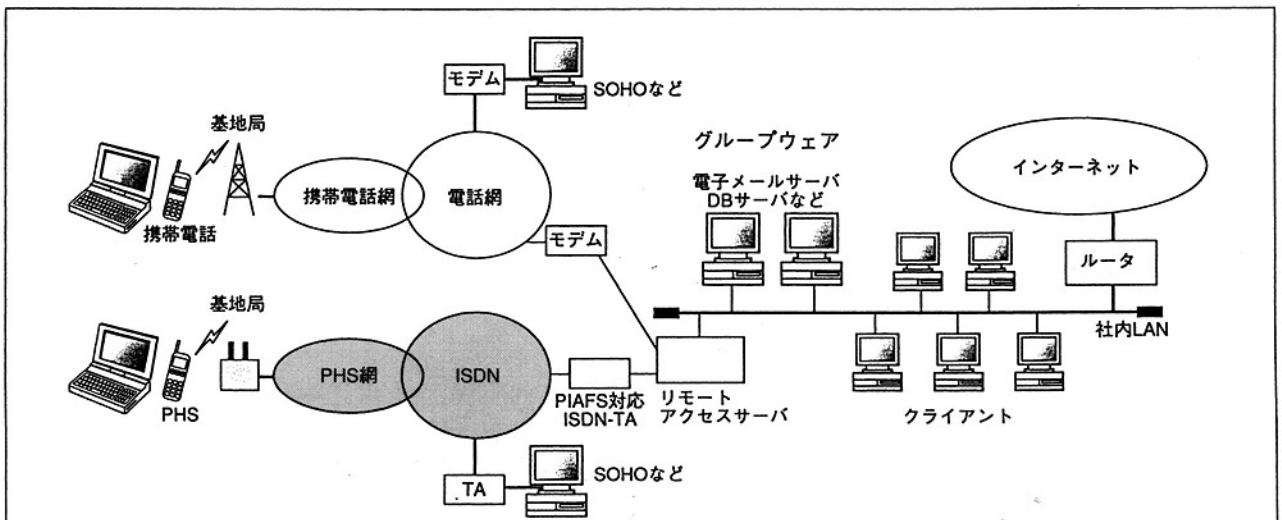


図-1 モバイル・コンピューティングシステム概念

速に行える体制を造る事に主眼を置いた。第2ステップでは各営業マンの臨場感のある情報収集と、機動性を確保するための、モバイルコンピューティングを実施し、情報共有化を全社管理職にまで広げた。

第一ステップでの、具体的な導入状況は下記の通りである。

- ①サーバ2台、端末機10台をつなぐ本社内LANを設置し、高速な情報共有環境を構築した。各端末機は、社長はじめ本社室長以上の幹部と財務給与担当者・システム管理者に各1台づつ配置した。
- ②各事業所・工場及び関東営業部に端末機とレーザープリンタを設置し、NTT・高速デジタル回線（ISDN）を利用してWAN（ワイド・エリア・ネットワーク）環境を構築した。
- ③財務給与システムを稼働させ、業務効率化を図った。

第1ステップの効果としては、財務給与システム稼働による業務の迅速化が挙げられる。各事業所や工場での伝票起票→本社送付→本社データ入力という、従来の業務スタイルを刷新し、各事業所や工場で、直接データ入力→本社サーバデータ処理とする事により、迅速で効率的な処理が可能となった。

また、財務・給与に関するデータは、本社内および各事業所や工場で、各自のセキュリティレベルに合せて、独自に照会や出力が可能となった。

第2ステップでは、各営業担当者に、携帯パソコンと携帯電話を使用したモバイルコンピューティング環境を整備し、機動性を確保した。全社での情報共有化ツールとしてグループウェア「ノーツ」を利用し、構築されたデータベースを通して、営業担当者との迅速な情報交換を推進した。

このステップの効果としては、グループウェア「ノーツ」による情報共有化が推進された事が挙げられる。従来の紙ベースで配布されていた情報は、「ノーツ」が持っている多くの機能を、有機的に、かつ積極的に活用する事により、全社で迅速に、情報を共有化する事が可能となった。

- a. 営業情報システムによる迅速な情報の収集・共有化  
従来、FAX・電話に依存していた営業情報伝達を、弊社独自で開発したアプリケーションソフトを使用し、「ノーツ」上での運用を開始した。営業担当者は携帯パソコンを使用し、出張先等の場所を選ばず、ユーザー動向・マーケット・品質・営業活動などの情報受発信が可能となった。

この結果、お客様のさまざまな要望に迅速に応える事が出来るようになり、高い評価が得られている。

- b. 電子メールの活用

社内の業務連絡には電子メールを導入し、電話による

時間拘束や、FAXによる文書品質劣化などから開放する事で、間接業務の効率化を図った。

- c. スケジュール管理

各個人のスケジュール入力により、会議日程・出張日程等の調整・確認は、相互参照で容易に可能となった。

- d. 電子会議の活用

各プロジェクトメンバー間で、意見やアイデアを交換するときに活用している。また、技術開発部においては、開発テーマごとに研究の進捗状況や研究内容について、社内各部との幅広い意見交換により、開発の早期推進を図っている。

- e. 電子掲示板の活用

庶務・人事などの情報発信部門では、社内規定・公的機関提出書類マニュアル・助成金申請要領などを掲示板に登録しており、全社員からの自由なアクセスを可能とし、効率化を図っている。

#### 4 ネットワーク基盤の整備

第一ステップとして、本社サーバと事業所・工場および営業部間を、NTT高速デジタル回線（ISDN）を使用してWAN（ワイドエリアネットワーク）を構築し、さらに本社内はLAN（ローカルエリアネットワーク）を構築することにより全社ネットワークのインフラを整備した。

「ノーツ」の全社的な活用により、情報の全社共有化が順調に推進されたのに合せて、端末機の利用頻度が急速に高くなり、本社集中方式によるサーバの負荷が、予想以上に高くなった。これを低減するため第二ステップとしての、ネットワークの再構築が必要となった。具体的には、仙台から北九州にわたる全社ネットワークを地域毎に、4ブロックに分割し、ブロック内の拠点事業所・工場と本社間をNTTのフレームリレーで接続した。各拠点には、それぞれサーバを設置し、本社サーバの負荷低減を図った。各拠点とブロック内の各事業所・工場は従来のISDN回線を使用することとした。

#### 5 FINE S導入による効果

FINE Sの基盤整備完成に伴う効果は、下記に示す内容である。

- ①基幹業務のオープンシステム化による本社間接要員の削減、および事業所・工場実務担当者の業務負荷低減
- ②社内業務に関する情報連絡、通知、指示、報告の迅速化及び共有化
- ③運送費、通信費、電話代の削減
- ④実績データの共有および営業情報の迅速な伝達による、的確な経営判断支援の実現
- ⑤必要書類の共有化およびペーパーレス業務遂行
- ⑥事務、管理レベルの全社均一化および高度化



## 6 今後の展開

FINESの将来は、全社情報ネットワークをさらに拡充するとともに、より一層の高度化を図り、各部門システムの構築なども企画推進する事である。具体的には、下記の項目に関して各部門のニーズに合わせてステップ・バイ・ステップで実現させていく予定である。

### ①山陽工場生産管理システムの構築

弊社の主力工場のひとつである、山陽工場に生産管理システムの構築を、推進している。第一ステップとしての「作業実績収集システム」構築は、原価システムや種々の関連システムで使用する、実績基本データベースを整備するものである。内容としては、工程計画システムから、作業別・設備別・プロセス別に提示された作業指示の、作業実績が収集される。この実績は、データベース化され、さまざまな切り口での分析が可能となる。期待される効果として、作業標準の精度向上や設備稼働率・工程負荷状況などの情報をリアルタイムで把握可能となる。

この実績収集システムの特徴は、ハンディターミナル・バーコードを使用した無線データ処理システムの採用である。工場内にデータ処理端末を、特定場所に固定的に設置した場合には、さまざまな問題が発生する。たとえば、データ処理時の人の動き・設置場所変更・新設時のケーブル敷設工事などである。無線デー

タ送受信システムを採用することにより、これらの問題は、解消する事が出来る。

- ・ 作業者は、場所に拘束されることなく、データ処理ができる。
- ・ バーコードを使用するので作業者の入力操作負荷を、少なくすることができる。
- ・ ハンディターミナル機器の追加により、システムの拡張が容易である。

現在、システム構築の最終段階であり、平成10年秋の円滑な稼働に向けて、大きな期待が持たれている。

### ②SFA（セールスフォースオートメーション）システムの構築

基盤整備期での、「ノート」を利用した営業情報システムを、さらにステップ・アップした営業支援システムの構築を実現する。

#### a. 営業活動状況のビジュアル化

「ノート」上で各営業担当者から、発信される日々の営業活動データを有効活用するため、実績データのビジュアル化（グラフ化・表化）を実現する。これにより各担当者・営業部長・営業本部は、活動状況の分析が可能となり、問題点抽出や営業戦略立案などが迅速となる。

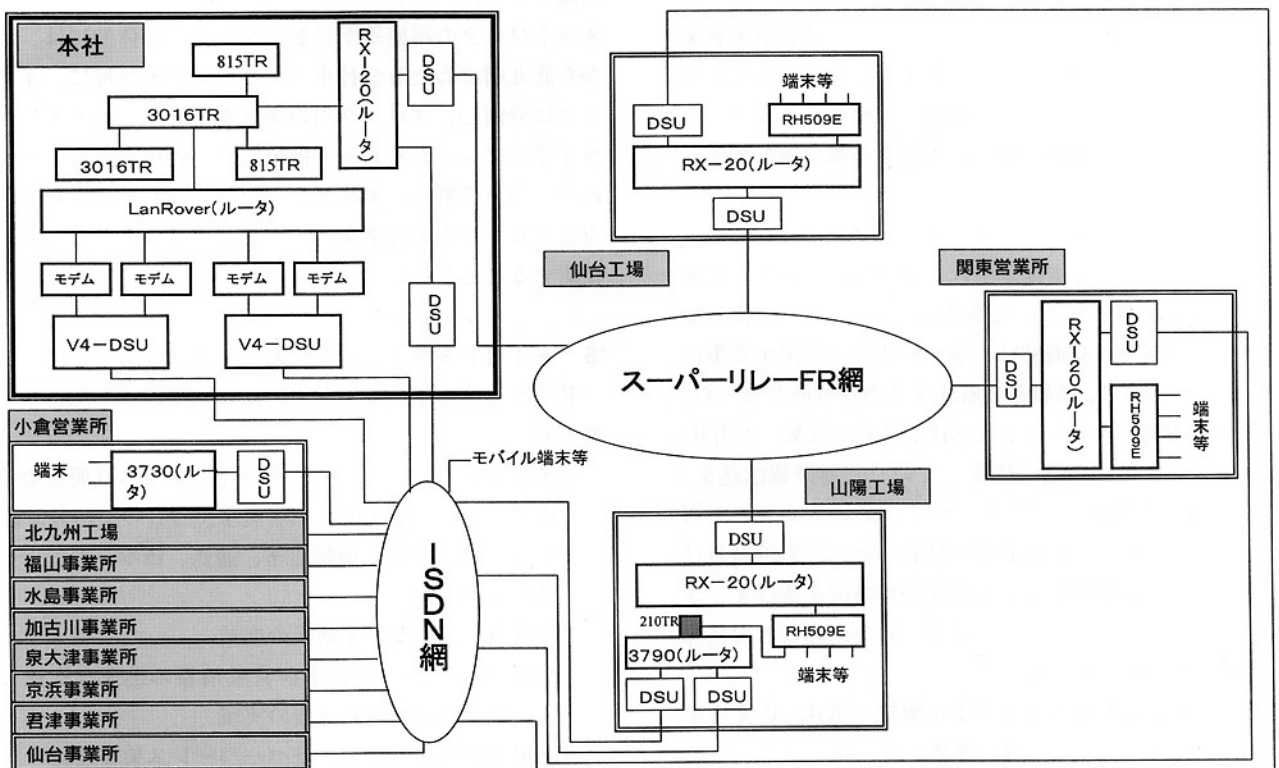


図-2 FINESネットワーク構成図

b. 販売管理システムの構築

営業担当者の受注処理業務を、紙ベースから、コンピュータベースに変更する。これにより、受注実績はデータベース化され、予算実績管理およびユーザー別・商品別・工場別のデータ解析が迅速に行える。また、過去のデータをデータベース化し、ユーザー別の傾向・商品の時系列的傾向など、営業部門に対する強力な支援ツールとする。この情報を工場生産管理システムと連動することで、情報の共有化を推進し、顧客満足度（CS）の一層の向上が図れると考えている。

③社内書類の電子決裁化

「ノーツ」のワークフロー機能を活用して、社内でも利用しているさまざまな届出用紙・申請書・稟議書・報告書等による事務処理を、電子決裁するシステムを構築し、全社的に業務効率化・ペーパーレス化を推進する。将来的には、残業・代休・有給・物品購入等のデータを基幹システムと連動させ、さらなる効率化を実現する予定である。

④インターネット活用による社外情報へのアクセス

技術開発部門や営業部門では、従来からの人的交流に加えて、さらにインターネットを活用した、各大学や学術研究機関との情報交流を活発に行なっている。さらに広く意見を求め、迅速に研究開発活動の活性化に利用し易くするために、使用環境の充実を図る予定である。

⑤社内教育・サポート体制の整備

F I N E S 運用開始に先立って、社長役員をはじめ延べ80名以上の社員に対してワード・エクセル・ノートに関する集合教育を実施した。さらに、必要に応じて個別のフォロー・アップ教育なども実施した。今後はデータベースの活用・アプリケーションのバージョン・アップへの対応を含んだ運用・操作に関する教育を、順次計画し、日常業務での高度な活用を啓蒙していく予定である。

また、ハード・ソフト・ネットワークの健全な維持やトラブル対応できる社内サポート体制を整備し、さらに既存システムの改造要望にも迅速に応えられるシステムメンテナンス体制の充実にも注力して行く計画である。

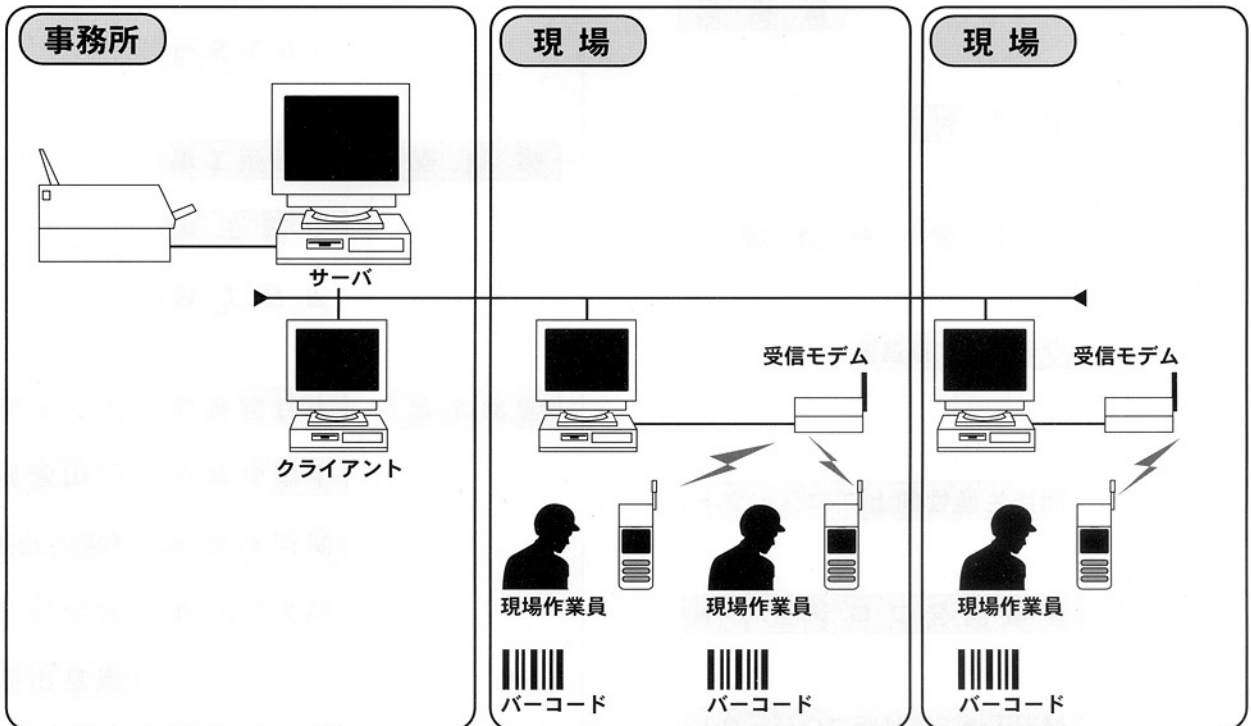
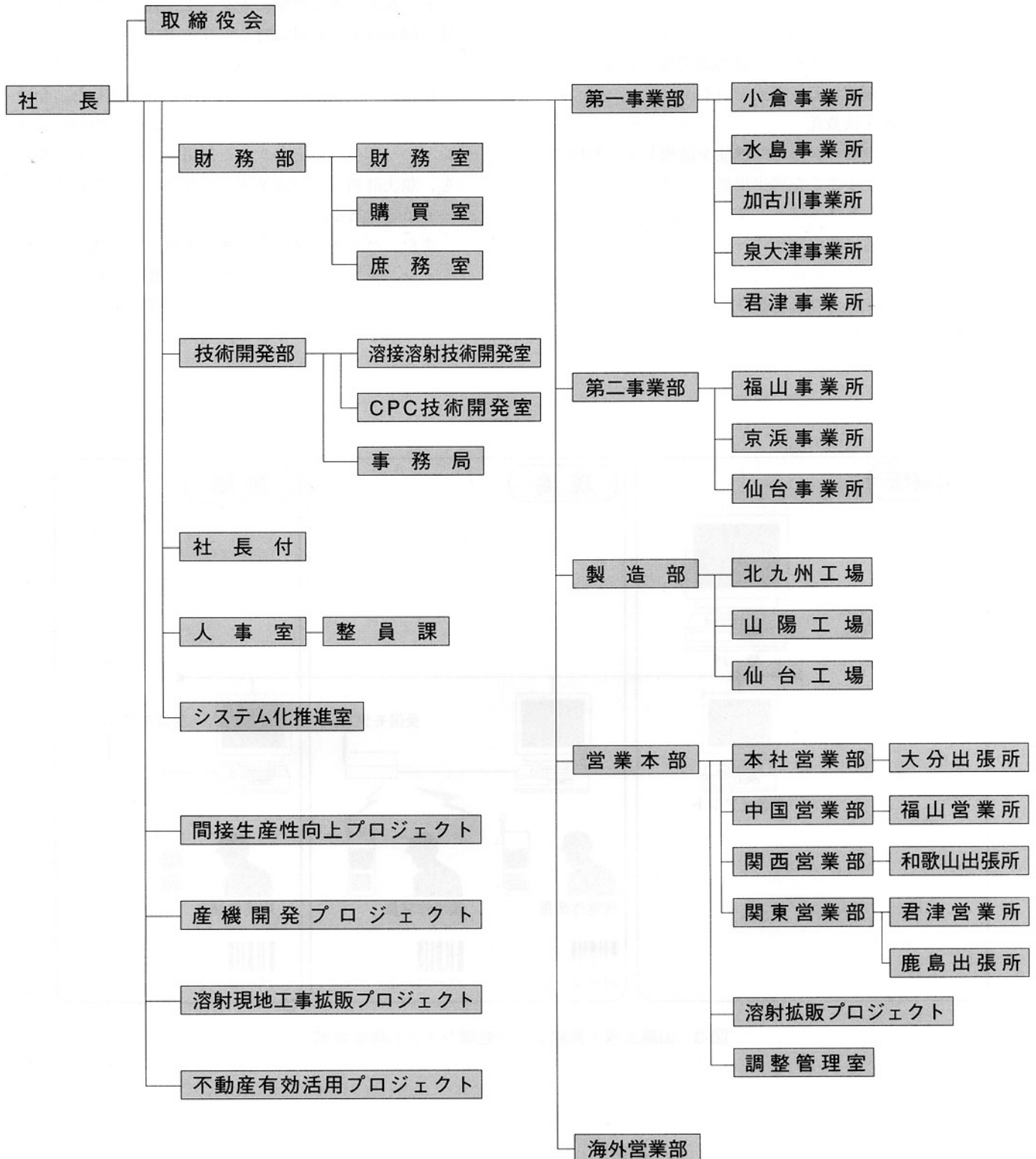


図-3 山陽工場・無線データ処理システム構築事例

# FUJICO 運営組織図

平成10年5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  
トーア・スチール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

## 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

## 本社営業部/海外営業部

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

## 関東営業部

〒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

## 関西営業部

〒675-0131 兵庫県加古川市別府町新野辺1525-2  
加古川神鋼ビル2F  
TEL0794-35-1347・FAX0794-35-5425

## 中国営業部

〒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

## 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

## 鹿島出張所

〒314-0033 茨城県鹿嶋市鉢形台2-1-12 SKビル  
TEL030-24-00189・FAX0299-84-0352

## 和歌山出張所

〒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

## ■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  
TEL093-871-3724・FAX093-884-0009

## 株式会社オフコー

〒314-0033 茨城県鹿嶋市鉢形台2-1-12 SKビル  
TEL 030-24-00189・FAX0299-84-0352

## 株式会社フジテクノ

〒719-0253 岡山県浅口郡鴨方町鳩ヶ丘1丁目1298番地  
TEL 08654-5-8001・FAX08654-5-8003

## 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)  
TEL001-82-562-85-7024・FAX001-82-562-85-5275  
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