

# いえらむ

Bulletin of  
The Iron  
and Steel  
Institute of  
Japan

Vol.15 / No.7 / 2010

(社)日本鉄鋼協会会報

ISSN1341-688X

# 鉄と鋼

Tetsu-to-Hagané

特集号

「次世代鉄鋼プロセス制御技術」

Vol.96 / No.7 / 2010

ISSN0021-1575



ハイテクの一步先に、いつも。

# HORIBA

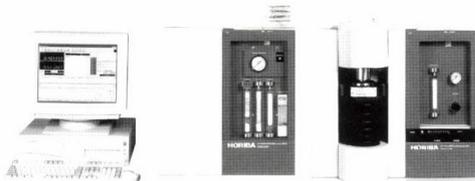
Explore the future

## 測定結果の正確さ 簡単操作で豊富なラインナップ。 金属分析に差をつけます。

### 酸素・窒素分析装置 水素分析装置

#### EMGAシリーズ

EMGA-620W 酸素・窒素同時分析  
EMGA-621W 水素分析  
EMGA-622W 窒素分析  
EMGA 623W 酸素分析

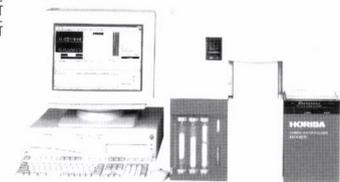


### 炭素・硫黄分析装置

#### EMIAシリーズ

鉄鋼・非鉄金属・新素材・  
セラミックスなどの品質チェック、  
研究開発に。

EMIA-920V 炭素・硫黄同時分析  
EMIA-921V 炭素分析  
EMIA-922V 硫黄分析



### ICP発光分光分析装置

#### JY/ICPシリーズ

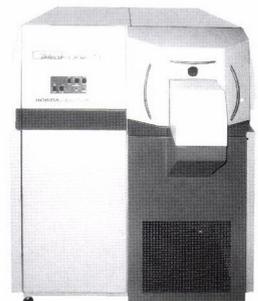
最高分解能0.005で高感度・高精度測定が可能。  
Cl, Brなどのハロゲン元素の分析も可能。



### マーカス型高周波グロー放電 発光表面分析装置

#### GD-Profiler2

迅速表面分析が可能。  
セラミックスなどの  
非導電性材料の深さ方向  
分析が可能。



本製品の詳しい情報は → [www.horiba.info/kinbun/fe/](http://www.horiba.info/kinbun/fe/)  
FAXでの資料請求は → 075-321-6621

株式会社堀場製作所 本社 〒601-8510 京都市南区吉祥院宮の東町2 TEL(075)313-8121 ●仙台(022)308-7890 ●つくば(0298)56-0521 ●東京(03)3861-8231  
●横浜(045)451-2091 ●名古屋(052)936-5781 ●大阪(06)6390-8011 ●広島(082)288-4433 ●愛媛(0897)34-8143 ●福岡(092)472-5041

●製品の技術的なご相談をお受けします。 [カスタマーサポートセンター](#) フリーダイヤル 0120-37-6045

<http://www.horiba.co.jp> e-mail: [info@horiba.co.jp](mailto:info@horiba.co.jp)

# ふえらむ

Vol.15 (2010) No.7

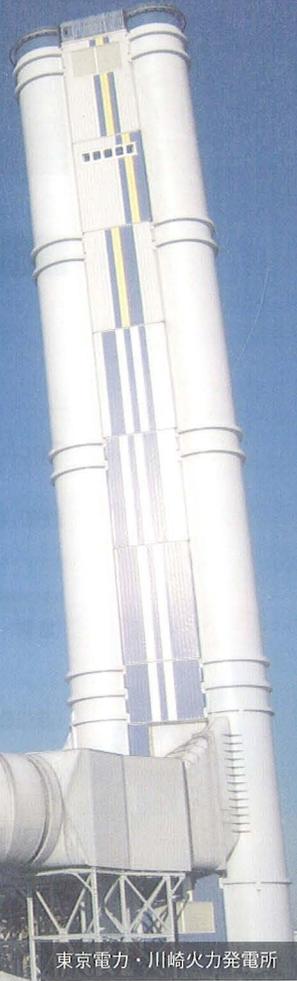
## C O N T E N T S

### 目次

Techno Scope	高効率化が進む天然ガス複合発電	418
鉄の点景	高層煙突	423
特別講演 (経営トップ)	日新製鋼の技術開発戦略「鏝との戦い」－お客様とともに－ 鈴木英男	425
(渡辺義介賞受賞記念)	オンリーワン製品を創出する技術開発～私の経営思想～ 佐藤廣士	431
(浅田賞受賞記念)	構造材料の極限環境での特性評価と国際標準化 緒形俊夫	436
展 望	特殊鋼棒線の最近の進歩－3 表面硬化処理技術と高強度鋼材の動向 紅林 豊	441
入門講座	鉄鋼精錬プロセス工学概論3 北村信也	448
会員へのお知らせ		454
海外鉄鋼関連最新論文		469

# 高効率化が進む 天然ガス複合発電

高効率な天然ガス複合発電プラントの導入が相次いで発表されている。背景には、地球温暖化防止への社会的な要請がある。今後のCO<sub>2</sub>増加に歯止めをかけるには、国内CO<sub>2</sub>排出量の1/3を占める火力発電の発電効率向上が強く望まれている。化石燃料を使用する最もクリーンな発電方式として、天然ガス複合発電は注目されており、現在はさらなる効率向上が進められている。ガスタービンの高温化をはじめとして、蒸気タービンと合せた総合効率の向上が進展している。



東京電力・川崎火力発電所

## CO<sub>2</sub>削減を目指して注目される天然ガス複合発電

熱効率\*59%を誇る天然ガス複合発電プラントが東京電力(株)・川崎火力発電所に建設され、話題を呼んだ。同プラントのガスタービン入口ガス温度は1500℃、熱効率は世界最高水準を達成している。CO<sub>2</sub>排出量、燃料使用量ともに、従来型天然ガス火力に比べ約25%削減している。

最近ではさらに高効率な天然ガス複合発電プラントの建設予定が発表されており、ガスタービン入口ガス温度が1600℃、熱効

率は約61%と、従来を上回る効率でCO<sub>2</sub>排出量の削減が目指されている。

天然ガス複合発電とは、天然ガスを燃料に用いた複合発電(コンバインドサイクル発電。ガスタービンと蒸気タービンの組み合わせ)方式である。

そもそも天然ガスは石炭や石油に比べ発熱量が大きく、単位重量あたりの発熱量を比較すると、天然ガス54MJ/kg、重油46MJ/kg、石炭21~33MJ/kgと、天然ガスが最も高い。発熱量は物質の構成元素によって決まるが、メタン(CH<sub>4</sub>)を主成分とする天然ガスは、水素を多量に含むため発熱量が大きい。天然

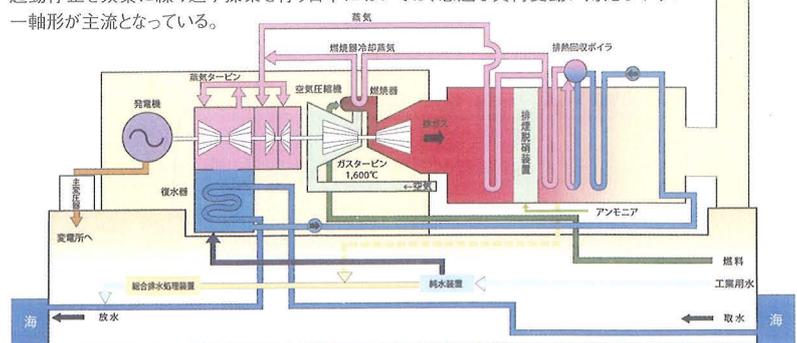
■単位電力あたりのCO<sub>2</sub>発生量



出所:電力中央研究所報告書より作成

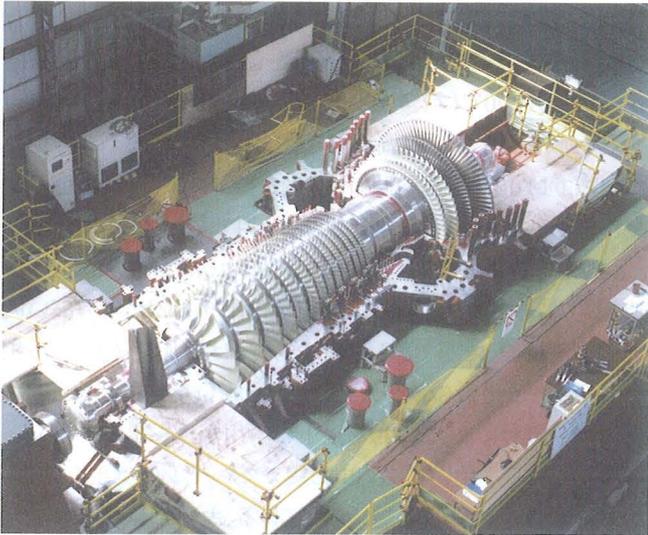
■天然ガス複合発電設備の構成

ガスタービンと蒸気タービンの組み合わせは、1基のガスタービンに1基の蒸気タービンを配列した一軸形と、複数のガスタービンに1基の蒸気タービンを配置した多軸形に大別される。起動停止を頻りに繰り返す操作を行う日本においては、急速な負荷変動に対応しやすい一軸形が主流となっている。



資料提供:東京電力(株)

\* 本文は低位発熱量(Lower Heating Value, LHV)を基準としている。低位発熱量とは燃料中の水分および燃焼によって生成された水蒸気の凝縮熱(蒸発潜熱)を差し引いて産出した熱効率。高位発熱量(Higher Heating Value, HHV)は蒸発潜熱を含む。



商業用として世界最高のタービン入口ガス温度を持つガスタービン(資料提供:三菱重工業(株))

ガスを燃焼して発生した燃焼ガスは、ガスタービンを回した後も排ガス温度が十分高いため、ガスタービンを回した後、排熱を利用して蒸気タービンを回すことができる。現在、天然ガスを燃料に利用する火力発電設備では、複合発電が主流となっている。

高効率な天然ガス複合発電は、石炭火力、石油火力に比べCO<sub>2</sub>発生量が少ない。石炭火力、石油火力、天然ガス複合発電火力の3種を比べると、単位電力あたりのCO<sub>2</sub>発生量は順に100:76:53となっている。このような環境特性から、CO<sub>2</sub>削減がさし迫った課題となっている今日、天然ガス複合発電プラントの需要が世界的に高まっている。

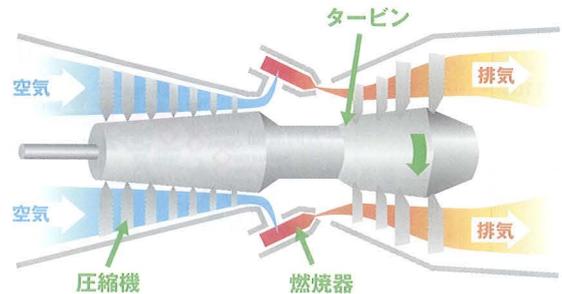
## 著しい進展をみせるガスタービンの高温化

天然ガス複合発電プラントは、主にガスタービン、蒸気タービン、排熱回収ボイラ、発電機、復水器等で構成される。このうちプラントの高効率化に大きく関わるのがガスタービンである。ガスタービンは高温燃焼ガスから直接発電電力を得る内燃機関で、起動後、短時間で大出力を得られるのが特長である。

ガスタービンは圧縮機で高圧空気をつくり、これを燃焼器に吹き込んでガスを燃焼させる。発生した高温高圧の燃焼ガスをタービンに向かって吹き付けると、燃焼ガスは急激に膨張を始め、ガスタービン出口へ向かって高速で流出し、タービンを回転させる。回転力は発電機に伝えられ電力が生まれる仕組みとなっている。

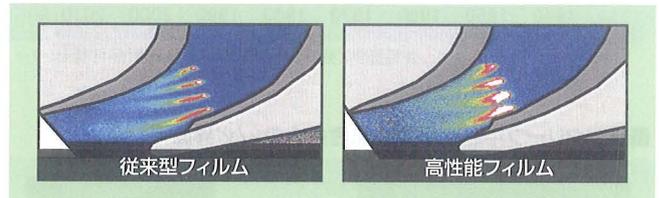
ガスタービンの入口ガス温度が高い方が、より高効率な発電が可能となるため、高温化が著しく進展している。電気事業用として、我が国に初めて天然ガス複合発電プラントが導入されたのが1984年、当時のガスタービン入口ガス温度は1150℃、熱効率

### ■ガスタービンの構造(資料提供:三菱重工業(株))



### ■動翼の翼間、後縁付近のフィルム冷却効率

従来型フィルム孔と形状を最適化した高性能フィルムを比較したところ、高性能フィルムの方がより均一で高い冷却効率を得られることが確認された。(資料提供:三菱重工業(株))

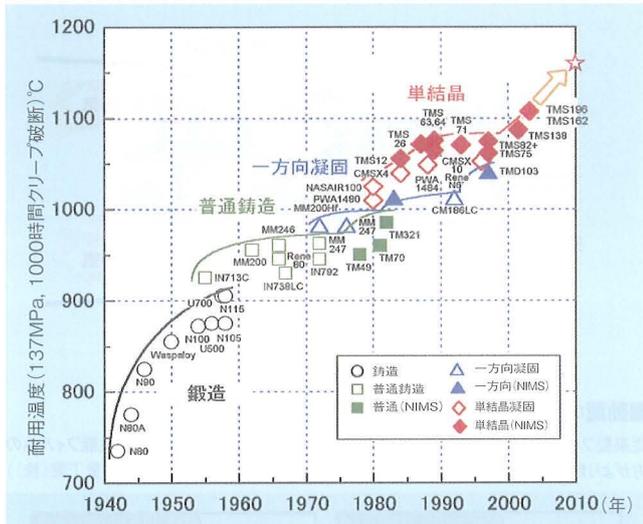


は48%であった。1994年以降登場した改良型は、ガスタービン入口ガス温度が1350℃、熱効率は52%に達している。さらに、ガスタービン入口ガス温度が1500℃、熱効率は59%という天然ガス複合発電プラントも登場している。また最近では従来比200℃の上昇を目指した、ガスタービン入口ガス温度1700℃、熱効率62~65%を目標とした要素技術の開発が国家プロジェクトとして始まっている。

ガスタービンの高温化によって最も過酷な環境におかれるのがタービン翼である。タービンは動翼と静翼から構成され、動翼と静翼の組み合わせ(段)は、複数段存在する。タービン翼は1分間に3000回転、もしくは3600回転もの高速回転により、約100トンもの遠心力がかかる。高温高圧下で非常に高い熱負荷と熱応力に曝され、特に最初にガスを受けて回転する第1段の動静翼は最も過酷な環境におかれる。

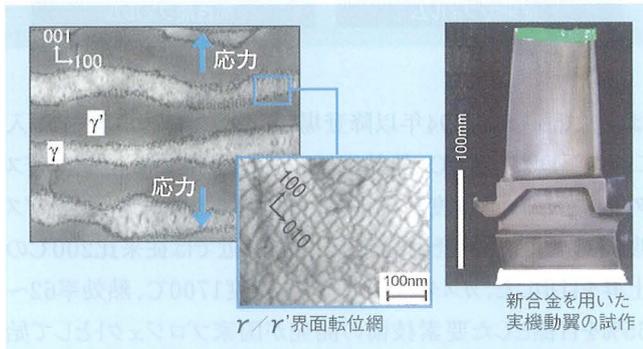
翼は通常、耐熱コーティングが施され、空冷あるいは蒸気冷却することにより、融点以上の高温のガス流中での使用が可能となっている。最近の高温化技術のなかでは、冷却翼技術の進歩が著しく、タービン翼の冷却構造は複雑化している。冷却方法として大きくは内部から冷やす「内部冷却」と冷却空気を翼表面から吹き出し表面に空気の層を形成し、燃焼ガスが直接翼表面に触れないようにする「フィルム冷却」がある。1700℃級ガスタービンの要素技術の開発では、タービン翼表面をより少ない体積の冷却空気でも均等に覆うことを目的に、フィルム冷却孔形状の最適化が行われている。

■Ni基超合金の耐用温度の向上



資料提供: (独)物質・材料研究機構超耐熱材料センター

■高温クリープ中のNi基単結晶合金中の $\gamma/\gamma'$ 界面



資料提供: (独)物質・材料研究機構超耐熱材料センター

世界最高の耐用温度を実現した単結晶超合金

さらなる高温化の実現には、冷却翼技術、耐熱コーティング技術に加えて、高温部材を構成する超耐熱材料の開発が不可欠となっている。

ガスタービンの高温化に超耐熱材料の開発は大きく貢献してきた。ガスタービンではNi基超合金の使用が中心となっており、これまでNi基超合金は普通鋳造、一方凝固、単結晶凝固と、製造方法が進化することにより、高温強度が向上してきた。特に過酷な環境におかれるガスタービン前方段動翼には、これらの結晶構造が重視され材料が採用されている。1100°C級までは普通鋳造合金が用いられてきたが、最近では一方凝固合金あるいは単結晶合金が採用されている。

1500°C級の空冷タービン動翼材であるNi基超合金の耐用温度は、現在980~1025°C (137MPa応力下で1000時間クリープ

に耐える温度)となっている。これを1100°Cまで向上させ、適合する遮熱コーティングや冷却技術等を合わせればガスタービン入口ガス温度を1700°Cに上昇させることが可能と考えられている。

(独)物質・材料研究機構の超耐熱材料センターでは、世界で初めて1100°Cを超える耐用温度を持つ単結晶超合金の開発に成功している。Ni基超合金は、母相である $\gamma$ 相 (Ni固溶体) と $\text{Ni}_3\text{Al}$ 金属間化合物の $\gamma'$ 相の、2相による整合組織を基本構造として持っており、 $\gamma$ 相中に $\gamma'$ 相が析出することにより高い高温強度を持つことができる。同センターでは添加元素により $\gamma$ 相と $\gamma'$ 相の格子定数の差を大きくし、界面転位網を微細化する独自の合金設計により、1100°C以上の耐用温度を達成している。

この新合金を用いて、1700°C級ガスタービンの実現を目指したタービン部材の開発が進められている。また耐用温度1150°Cを目指した単結晶超合金の研究も行われており、高温クリープ強度の向上、熱疲労特性、耐酸化性とのバランスを考えた超耐熱材料の開発が進められている。

蒸気タービンの高効率化を目指した取り組み

天然ガス複合発電では、ガスタービン、蒸気タービンを複合化することで50%以上の熱効率が可能となる。それぞれのタービンの効率は40%程度であるが、2つのタービンを組み合わせることによって飛躍的に効率向上を図ることができるのだ。そのためガスタービンだけでなく、蒸気タービンの性能も効率向上には重要となる。現在、蒸気タービンの技術開発は火力発電の方が先行しており、火力発電における蒸気タービンの高効率技術が複合発電においても適用されている。

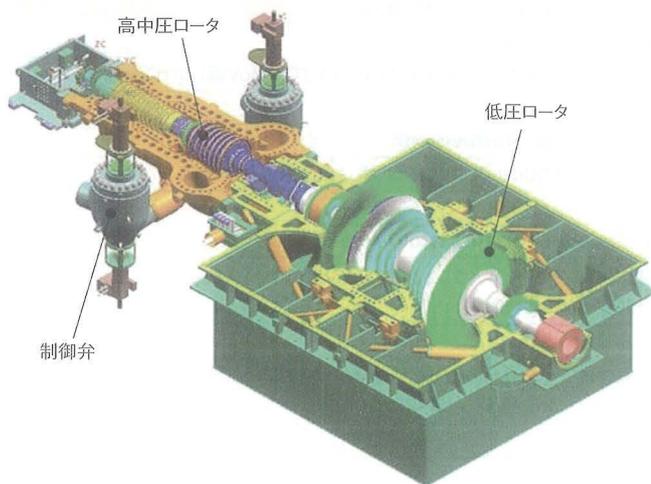
蒸気タービンの仕組みは、ガスタービンからの排熱 (600°C程度)を利用して排熱回収ボイラで発生した蒸気をノズル (静翼) から蒸気を動翼に流し、ロータを回転させる。回転力は発電機に伝えられ電力が生まれる。

蒸気は後段に進むにつれ圧力が減衰し、これに合わせて高圧ロータ、中圧ロータ、低圧ロータが設置される。最近の大容量プラントでは高圧と中圧ロータを一体化し、高中圧部と低圧部に分ける構成が多い。比較的小容量のプラントではコンパクト化を図るため、高圧から低圧まで全てを一体化し、一つのケーシングに納めた高低圧一体型も採用されている。

近年、効率向上をめざして、蒸気タービンの内部損失の低減が積極的に進められており、例えば渦流れ損失や漏れ損失、ケーシングの給・排気圧力損失、排気損失、軸受損失の低減など、細部にわたってロスの低減が行われている。

なかでも効率向上に寄与するのが最終段の動翼である。蒸

■蒸気タービンの構成例 (資料提供:(株)東芝)



気の体積は低圧の終段に進むにつれて大きく膨張するため、それに従い翼の面積を大きくする必要がある。とくに最終段の動翼は最後に蒸気を流しきる役目を担い、最終段を通過した蒸気の運動エネルギーはすべてロス(残留速度損失)となる。残留速度損失は最終段出口蒸気通路部の断面積(排気環状面積)の二乗に逆比例するため、最終段動翼の長翼化は効率向上に有効である。長翼化によって、処理する排気流量が増し、排気ロスの低減を図ることができる。世界最大級のものでは48インチの動翼が実機へ適用されている。最終段の動翼の出力分担はタービン全体の10%を占め、その性能がタービン全体の効率に

■高低圧一体型タービンロータ



高低圧一体型タービンロータは、高圧、中圧、低圧ロータを一体化することで、大幅なコンパクト化を図っている。材料は高低圧一体型タービンロータ用に開発された材料が使用されている。高圧部、低圧部でそれぞれ必要な材料特性を1本のロータで機能させるため、傾斜熱処理技術が開発されている。これは熱処理条件を変えることで部位ごとに異なる特性を付与するもので、高温部は高温焼入れ・高温焼戻しを行い、高温クリープ強度を向上させ、低温部は低温焼入れ・焼戻しを行い、延塑性等を向上させている。(資料提供:(株)東芝)

影響を及ぼす。そのため長大な最終動翼の開発が各社で進められている。

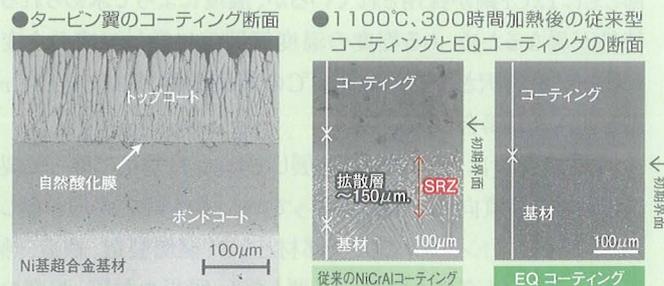
### 高効率化、大容量化に対応する耐熱鋼

蒸気タービンの蒸気条件は経済性と効率とのバランスで設定されている。蒸気タービン入口での蒸気温度は国内の複合発電では一般的に566℃に設定されている。海外では593℃に高温化した例もみられる。

### 高温化で注目される耐熱コーティングの開発

高温化に伴い重要性を増しているのが耐熱コーティング技術である。従来の耐食性コーティングに加えて最近では遮熱コーティングが施されている。遮熱コーティング(Thermal Barrier Coating, TBC)は熱伝導率の低いセラミックスのトップコートと基材の酸化を防ぐボンドコートの2層から成る。大きな遮熱効果が望めることから高温化、または長寿命化を図るうえで不可欠な技術となっており、積極的に開発が進められている。

TBCの開発課題はセラミックス層の低熱伝導化、厚膜化による遮熱効果の向上、起動停止等に対する耐久性の向上、トップコートとボンドコートとの界面に生じる界面酸化物の抑制等である。またボンドコートと基材との界面に生じる二次反応層(Secondary Reaction Zone, SRZ)と呼ばれる析出物も問題となっている。従来、ボンドコートにはAlを多く含む金属コーティングが用いられてきたが、高温でNi基超合金基材との間に相互拡散を起こしSRZ層が生じる。SRZが生成されると基材の強度低下、コーティングの特性劣化をひき起こす。そのた



資料提供:(独)物質・材料研究機構

め高温長時間使用によるSRZ抑制を目指す研究が行われている。

SRZ抑制の一つの方法として、(独)物質・材料研究機構では熱力学平衡コーティング(EQコーティング)を提案している。これはNi合金中の析出強化因子である $\gamma'$ 相と熱力学的に平衡(Equilibrium)関係となる組成の合金を用いることで基材とコーティング層の界面でのSRZ生成を抑制するものである。従来のボンドコートとの比較試験(1100℃、300時間)では、EQコーティングのSRZ抑制効果が確認されている。

■蒸気タービンに使用される主な耐熱材料

部 品 名	鋼 種	化学組成(規格・商標)
高圧・中圧ロータ	CrMoV鍛鋼	1.25Cr1.25MoV鋼(ASTM A470 Cl.8)
	12Cr鍛鋼(593℃のみ)	10.5Cr1MoVNbN鋼(GE)、11Cr1MoVTaN鋼(TOS101)、11.7Cr1MoV鋼(X21CrMoV121)
低圧ロータ	NiCrMoV鋼	3.5%NiCrMoV鋼
高圧・低圧一体型ロータ	CrMoV鍛鋼	2.5CrMoV鋼、2.25CrNiMoV(W)鋼、9CrMoVNbN鋼
高圧・中圧・低圧動翼 ノズル、締付ボルト	12Cr鍛鋼	12Cr鋼(AISI403、SUS403)、13.5CrNb鋼、12CrNbN鋼、12Cr2.5NiMoVN鋼 11Cr1MoVNbN鋼
	改良12Cr鍛鋼(593℃のみ)	12Cr1Mo1WV鋼(AISI422、SUH616)、10Cr1MoV1WNbN鋼
高圧・中圧ケーシング、 蒸気弁	CrMo鋼 CrMoV鋳鋼	1.25Cr1Mo鋼(ASTM A356Gr6、SCPH21.22)、1.25Cr1MoV鋼(ASTM A356Gr8/9、SCPH23)、 2.5CrMo鋼(ASTM A356Gr.10、SCPH32)
	9Cr鍛鋼(593℃のみ)	9Cr1Mo鋼(ASTM A182F91)
	12Cr鋳鋼(593℃のみ)	12Cr鋼、12CrMoV鋼(DIN17245)、10Cr1MoVNbN鋼、11CrMoVWNbN鋼、10Cr0.7Mo1.8W3CoVNbB鋼、 12CrMoWCoVNbBN鋼、12Cr1Mo1WV鋼(AISI422、SUH616)
低圧ケーシング	構造用炭素鋼	SS400

(株)東芝資料より作成

蒸気温度が600℃以下であるため、蒸気タービンには主にフェライト系耐熱鋼が使用され、使用箇所にあわせて各種材料が選択されている(上表参照)。

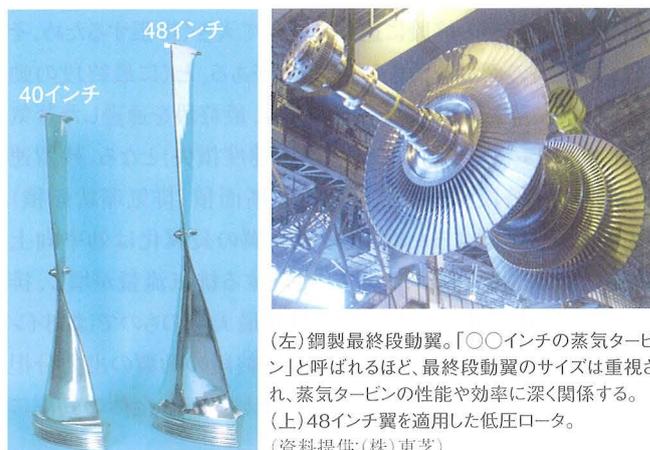
ロータは、高温の高中圧部では高温クリープ強度、靱性、熱疲労強度が要求され、主にCrMoV鋼が使用されている。593℃の蒸気条件の場合は12Cr鋼をロータに用いる場合もある。低温の低圧部は大型構造物となるため靱性に対する要求が強く、NiCrMoV鋼が一般的に使用されている。

動翼やノズル(静翼)は、遠心力に対する強度が高いとともに切欠き感受性が低いこと、熱疲労強度、振動減衰能、耐食性が優れること等が求められ、特に低圧部は長翼に大きな遠心力がかかるため、常温における強度が重視される。高中圧部、低圧部ともに12Cr鋼が採用されているが、温度によって求められる特性が異なるため、ある程度の温度範囲毎に微妙に成分を変えた材料が選択されている。593℃の蒸気条件では改良12Cr鋼を使用する場合もある。

蒸気タービンは大容量化が進展しており、大型化に伴って製造における品質向上が課題となっている。最も鍛造成形が難しいロータは数十トンクラスの大型部材となる。鋼塊製造、鍛造、熱処理いずれにも高度な技術が必要となる。偏析や欠陥、強度の低下等なく鍛造する必要があり、製造メーカーとともに品質の改善が進められている。

また最終段動翼の長翼化に伴って遠心力が増大し、ロータへの負担を軽減するため、従来は50Hz機(3000rpm)で42インチ、60Hz機(3600rpm)で33.5インチを超えるサイズのものには比重が軽いチタン合金を使用する必要があったが、動翼の薄翼化を図り、軽量化と空力性能を向上させることで、鋼製長翼が実用化されている。

さらなる効率向上を目指して、蒸気タービンはロスの低減を図



(左)鋼製最終段動翼。「○○インチの蒸気タービン」と呼ばれるほど、最終段動翼のサイズは重視され、蒸気タービンの性能や効率に深く関係する。  
(上)48インチ翼を適用した低圧ロータ。  
(資料提供:(株)東芝)

るため構造が複雑化しており、よりきめ細かい要求に対応できる材料が求められている。例えば従来、CrMoV鋼をロータに使用するため高中圧部では蒸気を冷却する必要があったが、12Cr鋼とCrMoV鋼の中間的な高温強度を持つ改良CrMoV鋼が開発され、現在は蒸気冷却が不要となっている。

天然ガス複合発電はガスタービン、蒸気タービンをはじめとして各機関の効率向上が重要となるが、実現の鍵を握っているのが材料である。従来の耐熱材料では困難であった要求が、新たな材料開発によって実現可能となっている。近年、中国をはじめとして天然ガス複合発電プラントの世界的な需要が高まり、日本の設備の受注が伸びている。この分野の技術は我が国の国際競争力の向上に繋がり、いっそう高度な要求に応える次世代耐熱材料の開発が望まれている。

- 取材協力 東京電力(株)、三菱重工業(株)、  
(独)物質・材料研究機構超耐熱材料センター、(株)東芝
- 文 藤井 美穂

# Steel Landscape

鉄の点景

## 高層煙突

大規模な工場や発電所、ゴミ焼却場では、高さ100mを超す大型の煙突が使用される。これら高層煙突の多くは鋼製や鉄筋コンクリート製であり、支持鉄塔を備えたものも多い。鉄鋼が活躍する設備として、高層煙突の設計、材料選択などについて紹介する。



〔写真左〕東京電力常陸那珂火力発電所1号煙突（高さ230m）。景観に配慮した鋼製鉄塔支持型。青色の筒身と白色の八角クロスバイラル型の鉄塔からなり、夜間はライトアップされ「常陸那珂レインボータワー」の愛称ももつ。1本目の筒身は鉄塔内でオフセットしており、この後筒身が追加されて集合型となる予定。〔写真右〕東京電力富津火力発電所3、4号煙突（高さ150m）。外側配置の4筒身と内側配置の3筒身、計7筒身の鋼製多脚型で、煙突間を外装鋼板で覆い、形状、色彩を周辺環境となじませて景観に配慮している。

### ■高層煙突とその役割

煙突は、焼却装置などで発生する排煙（ばい煙、熱、大気汚染物質等）を高所まで導いて排出させることにより、地表への影響を低める装置である。

煙突の排煙は熱や排出速度によって上昇した後、風下に流されながら拡散する。排煙の量、地表への影響に従って十分な拡散効果を得られる煙突の高さを取ることが重要であり、このため大型のプラントなどでは、一般に高層煙突と呼ばれる高さ100mを超えるクラスの煙突が多く使われる。日本国内では200m以上（東京電力鹿島火力発電所、231m）、世界的には400mを超える煙突も存在する（カザフスタン、エキバストス第二発電所、419.7m）。

近年は排煙中の汚染物質などの除去技術が進み、燃料もクリーンなものが多く使われるようになった結果、煙突の高さは平均して低くなる傾向にあるが、一方では環境への配慮はより厳しく問われており、高層煙突の必要性はなお高い。

### ■高層煙突の設計と構造

使用条件、立地条件、景観などにより煙突の形状や材質はさまざまだが、高さ100m以上の高層煙突の場合は、鋼板製もしくは鉄筋コンクリート製が一般的である。

煙突は設置面積に比べ著しく高さをもつ建築物であるため、風の影響（風荷重）と、地震の際の煙突重量（水平荷重）による転倒の危険をいかに防ぐかが設計上の重要なポイントである。形状と大きさによって決まる風荷重は鋼板製、鉄筋コンクリート製

で大きな差はない。しかし転倒モーメントを決定付ける煙突自体の重量は、同サイズの場合鉄筋コンクリート製が鋼板製の数倍となる。

日本は地震国であること、大規模な工場が地盤の軟弱な海岸地帯の埋立地に多いことから、軽量で基礎が簡易な鋼板製煙突が多く用いられる。また、地震や強風時の共振現象による倒壊を防ぐため、煙突自体の強度を高めるだけでなく、バランスウェイトや制振ダンパーを配することで振動を減衰させる工夫が行われる。一方、地震の少ない国では材料調達や施工性にメリットがある鉄筋コンクリート製が多くなる。

### 鋼板製高層煙突各種



東京電力福島第一原子力発電所5、6号排気筒（高さ120m）。鋼製1筒（独立型）鉄塔支持型。構造は煙突と変わらないが、原子力発電所で建屋内の換気を目的に設置されるものを「排気筒」と呼ぶ。

鋼製4筒集合型・鉄塔支持型煙突。東京電力姉崎火力発電所1、2号煙突（高さ200m）。

鋼製4筒集合型・多脚型煙突。中部電力渥美火力発電所3、4号煙突（高さ200m）。

鋼板製煙突は、排煙を通す筒身が1本の独立型と、複数を束ねた集合型に大別される。独立型か集合型かは排煙の量・筒身の太さによって選択される。

独立型には、筒身のみ自立型と、鉄塔で筒身を支える鉄塔支持型があるが、自立型は高さ100m以下の煙突が主で、高層煙突にはほとんど用いられない。

集合型にも複数の筒身が支え合う多脚型と鉄塔支持型がある。鉄塔支持型は、排煙を流す機能体である筒身と、設計荷重（転倒モーメント）に対抗する強度体である鉄塔とを分離することで安全性を高めており、また、後から筒身を追加する分割施工も行いやすい。老朽化した場合でも周囲の鉄塔はそのまま利用し、筒身のみを交換することも可能である。一方、多脚型は機能体と強度体を筒身に兼用させる合理的かつ経済的な型式で、構造がシンプルで保守が行いやすい利点がある。

鉄塔支持型（独立型、集合型）や多脚型を外装板で覆い、景観に配慮した煙突もある。

## ■鋼板製煙突の材質

鋼板製煙突には、筒身、支持鉄塔とも共通して、SS、SM、SN、SMA、STK材などの鋼種が主に用いられる。筒身内部には排煙中の腐食成分や熱から筒身鋼板を保護するためのライニン

グが施される。ライニング材料は無機系、有機系、金属系の3つに大分され、特に近年は、筒身建設後にセメント系材料を吹付け施工する無機系キャストブル・ライニングが最も頻繁に使用されている。

長期間にわたるメンテナンスフリーが強く望まれる場合には、筒身に腐食に強いSUS304、SUS316などのステンレス材料や合金材料、それらを合わせたクラッド鋼板も使われる。また燃料の種類などにより腐食環境が特に厳しい場合には、エンドユーザー、製鉄会社、煙突メーカーが共同し、煙突用の高耐食鋼材が新規開発されることもある。

## ■高層煙突のメンテナンスと今後

近年では耐風性や耐震性に関する動的安定性のシミュレーション技術なども向上しているが、一方で阪神淡路大震災の経験、近く発生が危惧される東海地震の存在などにより耐震要求レベルはますます高まっている。このため、より優れた耐震設計や耐震装置の開発が望まれているほか、既設の高層煙突の耐震補強についても合理的で経済的な工法の開発ニーズが高まっている。

煙突各部の耐用年数は、運転条件や環境、材料に大きく左右されるが、平均的には外部の塗装が8～10年程度、内部のライニングが10～15年程度といわれる。一般に、2年に1度

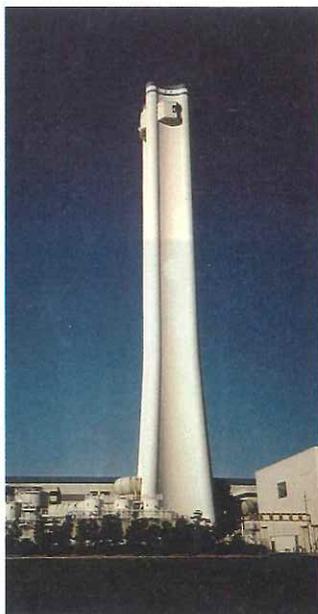
程度の簡易点検、4年に1度程度の詳細点検、10年に1度程度の精密点検が行われ、点検結果に基づいて塗装の塗り替え、ライニングの更新、腐食または劣化した構造部材の交換や補強などが適宜行われる。また筒身内部に付着物が多い場合は、水洗なども行われる。

こうした保守点検作業用には、ラック・ピニオン式エレベータや点検歩廊が設けられるほか、筒身内部の検査・水洗用のロボットなども開発され使用されている。

ただし高層煙突のメンテナンスは大掛かりであり、その間は通煙が行えないため操業への影響が大きい。メンテナンスフリーに対する要望は今後もますます高まっていくものと考えられ、腐食に強く低コストの鋼板材料が求められている。

[取材・文＝川畑英毅]

取材協力・写真提供＝三菱重工鉄構エンジニアリング株式会社



### ●キャストブル・ライニングの施工風景

煙突内部、キャストブル・ライニングの施工風景。金網を張った上にコンクリート系材料を吹付けていく。

### ●鉄筋コンクリート製煙突

東京電力横浜火力発電所7号煙突。4筒集合型（高さ200m）。



### ●煙突内部メンテナンス装置

煙突内部の洗浄、点検に使用されるITV水洗装置。煙突頂部から吊り下げ遠隔操作する。下端の十字が水洗用のノズルで、水の補給は地上より高压ポンプで圧送する。



# 特別講演

□第159回春季講演大会経営トップ特別講演  
(平成22年3月28日)

## 日新製鋼の技術開発戦略「錆との戦い」

—お客様とともに—

Technology Development Strategy of Nisshin Steel for  
‘Overcoming Rust’ together with Customer

鈴木英男 (株)日新製鋼 代表取締役社長

Hideo Suzuki



\*脚注に略歴

### 1 日新製鋼の歴史

日新製鋼は1908年(明治41年)に創業した田中亜鉛鍍金工場と1911年(明治44年)に創業した亜鉛鍍(株)という民間会社に始まる。両社とも溶融亜鉛めっきを事業とした会社であった。その後、この二社はそれぞれ発展し、日亜製鋼(株)と日本鉄板(株)となり、1959年(昭和34年)に合併し、日新製鋼(株)が設立された。日本鉄板では合併前に既にステンレス鋼板の製造・販売も始めていたことから、日新製鋼は当初よりめっき鋼板とステンレス鋼板という薄板耐食材料を製造・販売する会社となった。

合併当初は粗鋼生産65万トン/年の鉄鋼会社であったが、その後、高炉の建設、設備の増強により、2008年には370万トン/年まで拡大した。日新製鋼の売上げ高構成は2008年度で表面処理鋼板40%、ステンレス鋼板43%、特殊鋼9%となっている。表面処理鋼板、ステンレス鋼板の比率が高いのは、日新製鋼が「錆との戦い」を繰り返してきた結果といえる。

現在の日新製鋼の普通鋼・特殊鋼生産設備を表1に、ステンレス鋼生産設備を表2に示す。普通鋼・特殊鋼の上工程生産設備として、高炉2基、転炉3基、連続鋳造機2基を有している。いずれも多品種・少量生産が可能な規模の設備としている。連続鋳造機では2基のうち1基を垂直型とし、高品質の特殊鋼の生産を可能としている。また、プレ圧延機を組み込んだ連続酸洗・冷間圧延設備を世界で初めて導入するなど、生産性の向上に取り組んでいる。めっき設備としては7ラインを有しており、多種類のめっき鋼板の生産を可能としている。ステンレス鋼生産設備としては、電気炉2基、転炉2基、連続式焼鈍酸洗設備・光輝焼鈍設備9基、冷間圧延機

7基を有し、ステンレス鋼においても多品種・少量生産が可能な体制としている。また、生産工程で発生したダストやスラッジから高価なNi、Crを回収する設備も有しており、資源の有効利用に取り組んでいる。

表1 普通鋼・特殊鋼生産設備

工程	設備名	数	参考事項	特徴
製鉄	高炉	2基	2,650m <sup>3</sup> ×1基 2,080m <sup>3</sup> ×1基	多品種・少量の生産が可能
製鋼	転炉	3基	90T×2基 185T×1基	
連铸	連続鋳造設備	2基	垂直型半地下式:1基 垂直曲げ型:1基	
熱延	熱間圧延機	1連	粗圧:2基 +仕上圧延機:7基	普通鋼・特殊鋼・ステンレス鋼兼用
酸洗・冷延	プレ圧延式連続酸洗 & 冷間圧延設備	1連	6段式(1基)+酸洗槽+6段式(4基)	世界で初めて導入
表面処理	溶融アルミめっき設備	1連	溶融めっき	特殊めっきを含む多様なめっきライン群
	溶融亜鉛アルミめっき設備	1連		
	溶融亜鉛めっき設備	3連		
	電気鋼めっき設備	1連		
	電気亜鉛めっき設備	1連		

表2 ステンレス鋼生産設備

工程	設備名	数	参考事項	特徴
製鋼	電気炉	2基	150T、160T×各1	汎用品の大量生産と多品種・少量生産が可能
	転炉	2基	75T×2	
連铸	連続鋳造設備	1基	マンネスマンわん曲型	
焼鈍	熱延コイル連続焼鈍酸洗設備	2基	—	
	冷延コイル連続焼鈍酸洗設備	4基	横型×3、縦型×1	
冷延	冷間圧延機	3基	—	
		4基	20段可逆式(センジミル)	
		1基	12段可逆式(クラスタミル)	
		1基	20段連続式(クンテム・センジミル)	
		1基	連続焼鈍酸洗圧延設備(直結式クンテムミル)	
	ステンレス箔用冷間圧延機	1基	12段可逆式(クラスタミル)	
資源回収	サブマージトアーク型電気製錬炉	1基	連続式溶解	ダスト、スラッジからの有価金属(Ni、Cr)の回収

\* 昭和43年3月慶應義塾大学法学部卒業、昭和43年4月1日新製鋼入社、平成5年6月グループ企画部長、平成7年6月経営企画部長、平成9年6月取締役総務部長兼経営企画部長、平成11年6月常務取締役、平成15年6月取締役上席常務執行役員、平成17年4月取締役副社長執行役員、平成18年4月代表取締役社長

## 2 経営理念とそれを実現するための体制、組織

日新製鋼では企業活動を通じて「お客様と共創した商品開発、および技術サービスの提供」を経営理念としている。全社一体となった活動を可能とするため、製造、販売、研究の各部門をクロスファンクショナルに結びつける商品開発部門を設けている(図1)。この部門はお客様との窓口であり、品質保証、開発関連の打合せ、技術的な相談への対応、マーケティングなど多くの業務をこなしている。商品開発部門の製造、販売、研究部門と密接なつながりを持った活動により、お客様に多様できめ細かな対応を可能とする体制を採っている。

## 3 表面処理鋼板とステンレス鋼板の開発の歴史と開発事例

### 3.1 表面処理鋼板の開発の歴史

日新製鋼では1963年に合金化溶融Znめっき鋼板を商品化して以来、図2に示すように溶融Alめっき鋼板、溶融Zn-Al系合金めっき鋼板、蒸着Znめっき鋼板など多くのめっき鋼板を商品化してきた。さらにお客様のご要望に基づき、電気Cuめっき鋼板、溶融Al,Znめっきステンレス鋼板、溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板など特徴あるめっき鋼板を開発してきた。これらの商品化と設備の増強により表面処理鋼板の生産は、日新製鋼設立時に10万トン/年であったものが、2007年には225万トン/年まで拡大した。

#### 3.1.1 溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板の開発

表面処理鋼板の開発例として、溶融Zn-6%Al-3%Mgめ

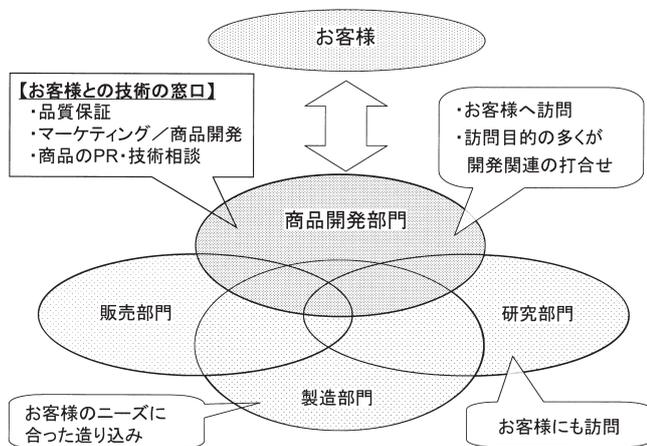


図1 製造、販売、開発が一体 (クロスファンクショナル組織) となった開発活動

き鋼板の開発について紹介する。

1990年代、耐食性が必要な用途には、付着量(単位面積あたりのめっき金属の重量)が多い溶融Znめっき鋼板が使われていた。しかし、Znは可採年数が短いため、資源の節減の面から、低いZn付着量で高い耐食性が得られるめっき鋼板が求められていた。また、お客様からは切断端面の補修費用が高いこともあり、切断端面からの腐食を抑制して欲しいとの要望も寄せられていた。

日新製鋼では過去に蒸着Znめっき鋼板を商品化していた時期があり(1986~1999年)、その高耐食バージョンとして蒸着Zn-Mgめっき鋼板を研究していた。その過程でMgの添加によりZn系めっき鋼板の耐食性が大きく向上するという知見が確認されるとともに、切断端面の耐食性も向上することが見出された。この蒸着Zn-Mgめっき鋼板はプロセスが複雑であったことから商品化には至らなかったが、この時に得られた知見をベースに溶融Zn-6%Al-3%Mg鋼板が開発された。

### (1) 防食機構と耐食性

溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板は図3に示す機構により高い耐食性が得られる。結露や雨によりめっき表面が水に濡

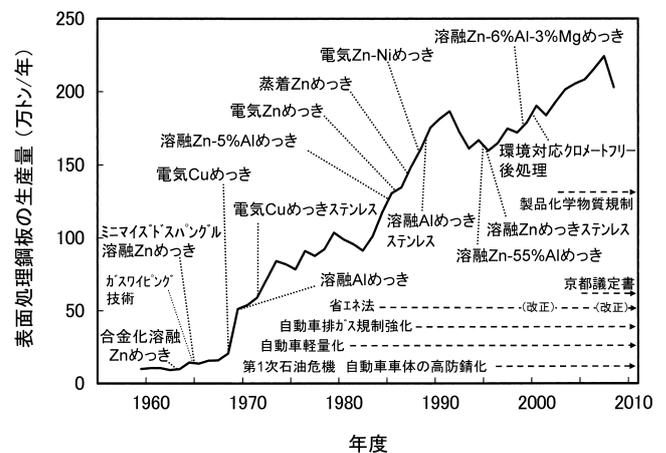


図2 日新製鋼の表面処理鋼板の生産量推移と開発の歴史

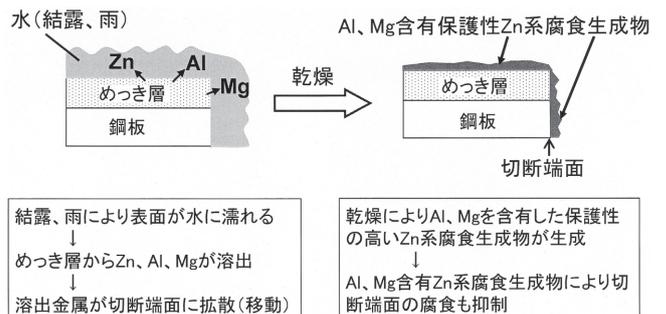


図3 溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板の平坦部と切断端面の防食機構

れるとめっき層からZn、AlおよびMgが溶出する。それらはめっき面と同様に水に濡れている切断端面にも移動し、その後の乾燥過程でAl、Mgを含有したZn系腐食生成物となり、めっき表面および切断端面を覆うことになる。このAl、Mg含有Zn系腐食生成物は保護性が高いので、その後の腐食が抑制される。すなわち、溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板の高耐食機構は、鍍(腐食生成物)で鍍(腐食)を防いでいることになる。屋外で18ヶ月暴露試験したサンプルの切断端面を分析した結果を図4に示す。切断端面にAl、Mg含有Zn系腐食生成物が存在していることがわかる。

沖縄で屋外暴露試験を行った結果を図5に示す。溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板は、溶融Zn系めっき鋼板に対して平坦部で4倍、切断端面部で3、5倍の耐食性を有している。

(2) 市場開発と拡販

溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板は、溶融Zn-5%Alめっき鋼板の代替が可能な高耐食めっき鋼板として1999年より生産・販売を開始した。当時、日新製鋼は溶融Zn-5%Alめっき鋼板を主に建材用として約20万トン/年販売していたが、建

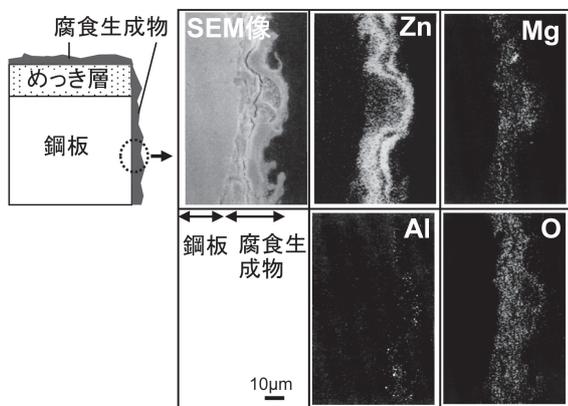


図4 屋外大気暴露試験18ヶ月後の切断端面の断面 (暴露試験地:大阪府堺市)

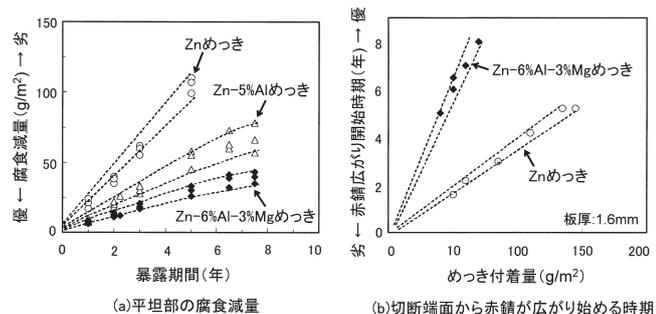


図5 屋外暴露試験での平坦部および切断端面部の耐食性 (暴露試験地:沖縄県中城村)

材だけでなく、土木、道路、農業、電気機器、自動車の各需要分野で溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板の拡販を進めた結果、2008年には60万トン/年まで販売量が增大した。以下に自動車部分野への用途展開について述べる。

自動車には電着塗装部品と並んで、後Znめっき部品が多く使用されている。後Znめっき部品は、図6(a)に示すように冷延鋼板もしくは熱延鋼板を部品に加工した後に電気Znめっきを行い、クロメート処理を行うことにより製造されていた。溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板の販売を開始したころは、欧州で6価クロムを含有する自動車部品の使用を禁止しようとする動きがあり、後Znめっき業界はクロメートフリー化(6価クロム非含有後処理化)を迫られていた。一方、後Znめっき工場は典型的な3K職場であり世代交代時期に廃業する工場も多くあった。そのため、自動車部品業界では後Znめっき業者の確保に苦慮していた。このような状況から、日新製鋼では、後Znめっき部品から溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板を使用した部品への切替えを提案した。

日新製鋼では、6価クロム規制に対応するため、溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板に適したクロメートフリー処理の開発を行った。その結果、表3に示すように、クロメート処理と同じ1µm以下の膜厚で防錆力があり、スポット溶接が可能なTi酸化物系のクロメートフリー処理を開発することができた。

このクロメートフリー処理を行った溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板を使用することにより、6価クロム規制への対応が可能となっただけでなく、図6(b)に示すように部品製造

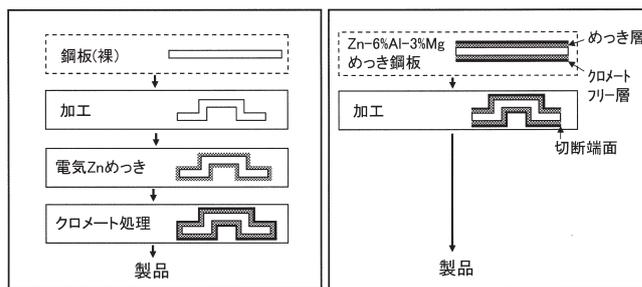


図6 後Znめっき部品製造工程と溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板を使用した部品製造工程

表3 クロメート処理と溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板のクロメートフリー処理の比較

処理	皮膜	膜厚	防錆力	表面導電性 (抵抗溶接性)	6価クロム溶出
クロメート処理	Cr系酸化物	<1µm	○	○	あり
クロメートフリー処理	Ti系酸化物	<1µm	○	○	なし

工程の省略が可能となり、お客様のコスト低減に寄与できるものとなった。部品全体がZnめっきで覆われる後Znめっき部品と違い、切断端面は露出するが、耐食性試験やお客様での実車走行テストにより溶融Zn-6%Al-3%Mgめっき鋼板の切断端面の耐食性が後Znめっき部品に対して遜色がないことが証明され、現在では30種類以上の自動車部品に採用されている。

### 3.2 ステンレス鋼板の開発の歴史

日新製鋼のステンレス鋼板の生産量と開発の歴史を図7に示す。ステンレス鋼板は、高度経済成長前の1950年代までは非常に高価な材料であったが、1958年に当時の日本国内総生産量と同等の生産能力を有する量産冷間圧延機（センジミアミル）を日新製鋼が国内で初めて導入し、汎用材料としての道を切り開いた。

時代とともに casting、精錬などの生産技術が進歩し、純度、精度などの面で高品質のステンレス鋼板の生産が可能となり、また、お客様のご要望にお応えする新しい鋼種を開発することにより、日新製鋼のステンレス鋼板の生産は拡大した。一方、腐食環境の厳しい沿岸地域の開発（ウォーターフロント開発）、世界的な自動車排ガスの段階的な規制強化、低炭素社会化などを背景にステンレス鋼板の需要は増加し続けた。その結果、日新製鋼設立時は約1万トン/年の生産量であったが、2007年には58万トン/年に拡大した。

#### 3.2.1 長尺屋根用ステンレス鋼板の開発

腐食環境の厳しいウォーターフロントでの大型施設の屋根材として採用されているステンレス鋼板の開発について以下に紹介する。

屋根用として、お客様からメンテナンスフリー化が可能で（高耐食性）、長手方向の寸法変化が小さく（低熱膨張）、か

つ疵付き防止のために貼られる厚さ数十 $\mu\text{m}$ の保護フィルムの剥離作業と廃棄の省略が可能となるステンレス鋼板のご要望があった。このお客様の声にお応えして日新製鋼では特殊クリアー塗装高耐食フェライト系ステンレス鋼板を開発した。

#### (1) ステンレス鋼板成分と耐食性

フェライト系ステンレス鋼板の耐食性におよぼす合金元素の影響を図8に示す。Cr、Mo含有量の増加によりステンレス鋼板の耐食性は向上し、さらにNb、Ti、Alを複合添加することにより更に耐食性が向上することを見出した。これらにより高価なMoの低減が可能となり、コスト的にも魅力ある22%Cr-1%Mo-Nb,Ti,Al添加フェライト系ステンレス鋼板を開発することができた。

このフェライト系ステンレス鋼板を沖縄で15年間暴露試験した後の外観を図9に示す。本開発ステンレス鋼板と19%Cr+2%Moステンレス鋼板は、(Cr+3Mo)%で整理するといずれも同じ25%であるが、本開発ステンレス鋼板は19%Cr+2%Moステンレス鋼板よりも耐食性が良好で、錆の発生も少ないことがわかる。

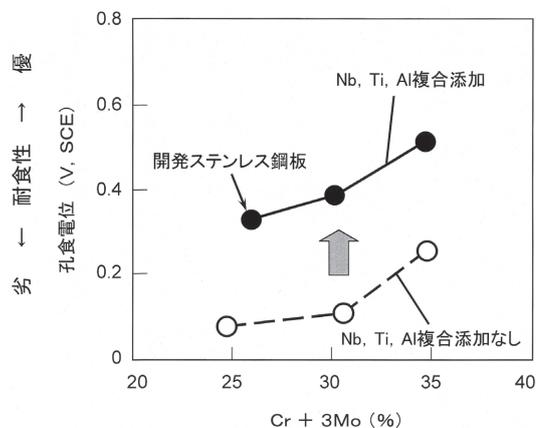


図8 フェライト系ステンレス鋼板の耐食性に及ぼす合金元素の影響 (孔食電位測定結果、試験液; 20%NaCl, 80°C)

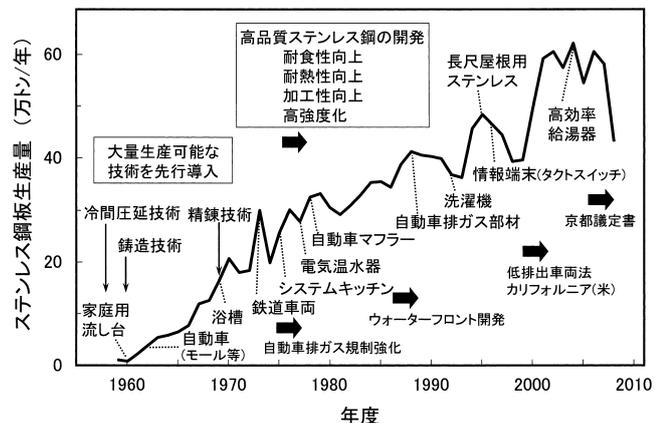
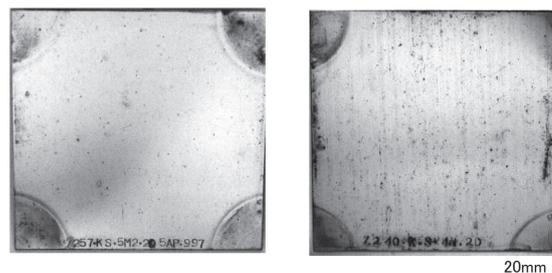


図7 日新製鋼のステンレス鋼板の生産量推移と開発の歴史



(a) 開発ステンレス鋼板 (22%Cr-1%Mo-Nb, Ti, Al添加) (b) 19%Cr-2%Moステンレス鋼板

図9 屋外大気暴露試験15年後の外観 (暴露試験地: 沖縄県中城村、裸材)

(2) 保護フィルム省略が可能な特殊クリアー塗装

ステンレス鋼板は屋根に施工する前にロールフォーミングにより成形されるが、その時の疵付き防止のために保護フィルムが貼られていた。この保護フィルムの省略をめざし、疵付き防止機能を有する特殊クリアー塗装を開発した。図10に特殊クリアー塗装ステンレス鋼板と従来の保護フィルム付きステンレス鋼板の屋根施工工程を比較して示す。従来の保護フィルム付きステンレス鋼板では、施工現場でロール成形した後、保護フィルムを剥がし、その後、屋根に施工される。この場合、剥がした保護フィルムの廃棄処理が必要となる。これに対して、特殊クリアー塗装ステンレス鋼板では、保護フィルムの剥がし作業と廃棄処理を省略できる。また、特殊クリアー塗膜が施工後も残るため、もらい錆も防止される。もらい錆とはロール成形時や屋根施工時に発生する鉄粉や周囲より飛来する金属粉が鋼板表面に付着して、それらが起点となり発生する錆のことである。特殊クリアー塗装することで鉄粉や金属粉が付着しにくくなり、また、雨水で洗い流されやすくなることによって、もらい錆が抑制される。

本開発の特殊クリアー塗装フェライト系ステンレス鋼板の施工例を図11に示す。耐食性に優れ、かつお客様の抱えていた屋根施工における問題を解決したことにより、全国の多くの物件で特殊クリアー塗装フェライト系ステンレス鋼板を採用いただいている。

4 今後の日新製鋼

日新製鋼は「お客様とのマーケットの共創」を経営理念として開発活動を展開してきた。これからもお客様の利便性を追求する鉄鋼会社であり続け、「お客様の夢と理想の実現」を目指していく所存である。この理念をさらに進化させるため、以下の3つを推進する。

①多品種生産体制のブラッシュアップ

お客様とのマーケットの共創には、多品種・小ロットの

生産体制が必須であり、その確立を図ってきた。今後もこの姿勢を継続していくが、陳腐化した商品の統廃合などブラッシュアップを常に図り、弾力性のある強靱な生産体制を築き上げたい。

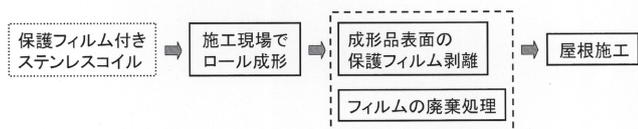
②お客様との共創型開発の強化

日新製鋼では、「お客様とともにマーケットを創造していく」という活動をさらに進化させるため、お客様の夢と日新製鋼グループの技術・商品が出会うための場、また日新製鋼からのソリューション提案の場として、昨年7月に日新製鋼堺製造所内にF-Tech. Plazaを開設した。その概要を図12、13に示す。F-Tech. Plazaは「展示ショールーム」と「やって見せる化工房」から構成され、「展示ショールーム」では日新製鋼グループの技術・商品の紹介、次世代開発への取り組みを展示している。また、「やって見せる化工房」ではソリューションとして提案する技術・工法を体感していただくためにお客様の目の前で実際に加工・接合の実験を行っている。このF-Tech. Plazaでの出会いをきっかけとして、お客様のニーズ・課題を日新製鋼グループとの共通の課題として捕らえることができるようになっている。今後、日新製鋼グループ



図11 特殊クリアー塗装高耐食フェライト系ステンレス鋼板の施工例 (埼玉スーパーアリーナ)

◇保護フィルム付きステンレス鋼板を使用した工程



◇特殊クリアー塗装ステンレス鋼板を使用した工程



図10 ステンレス鋼板製長尺屋根の施工工程の比較

F-Tech. Plaza: お客様とともに未来を切り拓く広場

～ お客様の夢と日新グループの技術・商品が出会うための「広場」～

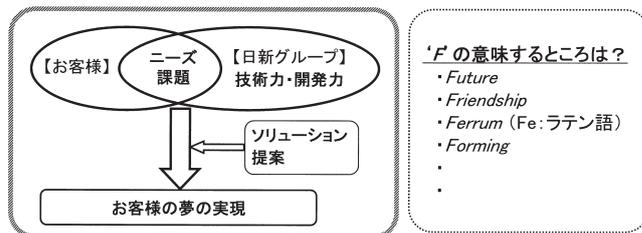


図12 F-Tech. Plazaの設置の考え方

プがこれまで培ってきた技術をベースとして、素材のみにとどまらず、お客様での加工・接合にまで踏み込んでソリューション提案を行い、お客様の夢を実現させるための活動を推進する所存である。「F-Tech. Plaza」の頭文字「F」には、未来 (Future) に向かって、共に協力 (Friendship) して、鉄 (Ferrum) と加工 (Forming) を極めていきたいという思いを込めているが、活動の蓄積が日新製鋼の財産 (Fortune) になればと願っている。

③海外マーケットへの展開

日新製鋼では、表面処理部門とステンレス鋼部門を主体に海外での事業と技術協力を行ってきた。図14に日新製鋼の海外展開状況を示す。日本のお客様の海外進出がさらに加速し、また、海外での需要が増大していく中において、このネットワークを通じ、これまでも増して海外のお客様に対する販売・サービス体制整備を推進したい。

## 5 大学、研究機関への要望

これからの鉄鋼業界は、新興国の鉄鋼メーカーが台頭し大競争時代に突入する一方で、社会や産業の課題やニーズは益々高度化するものと考えられる。このような環境に対応するために、日本の鉄鋼業は世界に先んじて

①徹底したコスト削減に資する革新的生産プロセス技術の開発

②未だ知り尽くされていない鋼の性能をさらに高めた高級鉄鋼材料の開発

に取り組む必要がある。そしてこの二つに加えて、「夢と志」、「情熱と実現への粘り強さ」を持つことが必要不可欠であると考える。

これからの時代へ対応していくためには、異なる分野の人材・技術・知識をコラボレーションできる環境の整備、多くの専門分野を集めた研究センターの設立などによる産業界と連携しやすい仕組み、さらに次世代を切り開く長期的視点を持つ新しい研究・技術開発が求められる。これは一企業で達成し得るものではなく、国を挙げて推進していただきたい。

これらの体制を支える人材は、大学・研究機関における育成と産業界への輩出に拠る。何事にも興味を持ち、原理原則を追求する探求力、進取の精神と成し遂げる情熱、柔軟な発想、実用化へ向けた異なる専門分野の人々をコーディネートする行動力を有する人材を待ち望んでいる。

日新製鋼は一昨年、創業100年、昨年、設立50年の節目を迎えることができた。これは日本製造業という土壌の中でお客様に育てていただいたこと、大学、研究機関からは開発の礎となる理論や知見と優秀な人材を送り出していただいたことの賜物である。100年に一度の危機と言われる現在において、これからも「鏘との戦い」を通じて社会に貢献する50年、100年に繋げていきたい。

(2010年4月28日受付)



図13 F-Tech. Plazaの概要 (2009年7月日新製鋼堺製造所内開設)

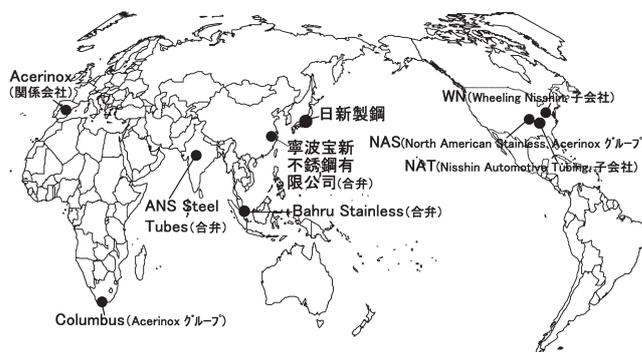


図14 海外展開状況

# 特別講演

□第159回春季講演大会渡辺義介賞受賞記念特別講演  
(平成22年3月28日)

## オンリーワン製品を創出する技術開発

～私の経営思想～

Research and Development Create “Only One” Products

～ My Management Policy ～

佐藤廣士 (株)神戸製鋼所 代表取締役社長

Hiroshi Sato



\*脚注に略歴

### 1 はじめに

ご紹介いただきました佐藤です。本日は、大変栄誉ある生産技術賞を頂戴しまして、まことに光栄に存じます。この受賞は、私のこれまでの功績というよりも、鉄鋼業界が現在、多くの困難に囲まれている中で、働いている人たちがいい業界に勤めたな、学生が今後こういうところで働きたいなという業界になるように、もっと汗をかけという叱咤激励と理解しております。私は研究開発に長年従事してまいりました。本日は、『オンリーワン製品を創出する技術開発～私の経営思想～』と少々大きめの題にさせていただきましたけれども、お話をさせていただきたいと思えます。

少しだけ自己紹介をさせていただきます。私は、学生時代、鉄垂鉛合金めっきというめっきの研究室におりました関係上、1970年に会社に入りました時、腐食や表面処理の研究

室に配属されました。そこで始めたテーマがチタンです。それを研究員として長い間担当して、課長になったころから、めっき銅板や銅、アルミが加わりました。それから研究所長を経て、研究開発のマネージメント、さらに会社の経営と移って来ました。

ここで経験しましたのは、神戸製鋼では、いろいろな業種、事業をやっているということ、それぞれの材料の中でも多種多様なメニューがあるということです。その中で、最近はやりの生物学ではありませんが、多様性が重要であるということがわかりました。

### 2 私の取り組んだ技術開発

図1は、最近、社内で私の論文数を調べてくれた結果で、鉄鋼関係、チタン、電子材料や工具材料等の論文です。ま

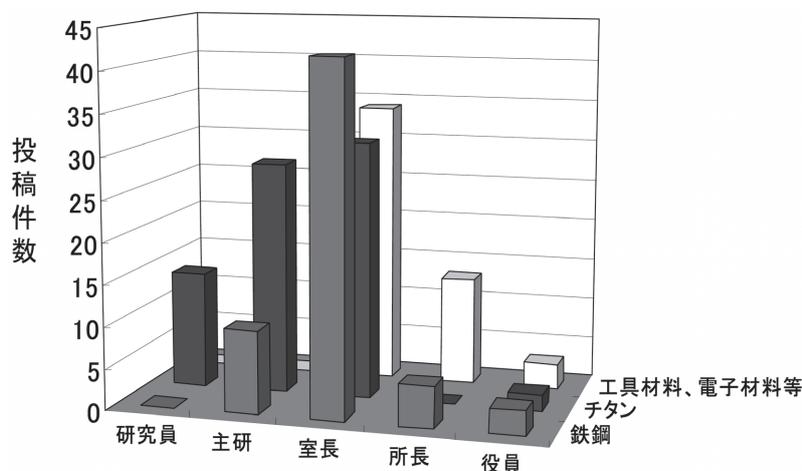


図1 投稿論文数

\* 昭和45年九大大学院修士課程冶金学専攻修了後、(株)神戸製鋼所に入社、技術開発本部材料研究所表面制御研究室長、取締役 技術開発本部開発企画部長、専務取締役 技術開発本部長、代表取締役副社長を歴任し、平成21年より現職に在る。

ず、チタンから研究者人生が始まりました。当時、チタンはあまり世の中で使われておりませんでした。海水に強いという特徴を生かして、海水を冷却水として用いる熱交換器の材料として使いたいというニーズがありました。用途は原子力発電所や、海水淡水化装置です。ところが、チタンといえども海水温度が上がりますと腐食をします。その防食技術の研究を行いました。

(1) 熱交換機用チタン材料の開発

当時、1970年代の終わりごろだったと思いますが、中近東の水不足解消に向けて、海水淡水化装置の寿命延長、メンテナンスフリー化を進めるために、従来の銅合金のパイプからチタンのパイプへの代替が検討されました。ところが、チタンの適用にあたり、実績がないものですから、チタンを支える銅合金の板、さらに外側の鉄鋼部材の、「鉄、銅、チタン」の3つが合わさった系での適正な防食システムがなく、なかなか前に進まなかったことがありました。防食電位の設定が高すぎますと銅合金が腐食しますし、逆に低すぎますとチタンに水素が進入して、水素脆化をおこしてしまうことが懸念されました。研究の結果、防食電位でいいますと、常温では-0.5Vと-0.75Vの間、高温になりますと-0.5Vと-0.65Vの間が、適正範囲であるとわかりました。一方、メンテナンスフリー化のためには、Fe9%-Ni合金の炭素を下げた材料が、全体の腐食を防止する陽極材料として適切であるということを見出し、システムとして提案をしたわけです。その結果、全く実績がなかったのですが、プラントメーカーの役員の方の評価を得まして、中近東の国にもプレゼンテーションしながら、年間約3,000tが使われるようになりました(図2)。また、今後4,000tぐらいは使われるであろうと推測しております。大事なのは、実績がなくても、原理原則にかなったデータを示せば、信頼を得ることはできるということです。

(2) 鉄鋼材料の開発

次に鉄鋼材料の研究に移ったのですが、ここで、2つの事例をご紹介します。当時、自動車用鋼板の腐食で、穴あき腐食というのが問題になっていました。自動車用に亜鉛合金めっき鋼板を使用する際に、塗装がうまくできるかどうか、あるいは溶接がうまくできるだろうか、その前にプレスがうまくできるだろうか、いろいろな懸念があったわけでありました。それらを満足するために、大変多くの種類の亜鉛合金めっき鋼板が研究されて、提案されました。ところが、溶接性やプレス成形性以前の問題として、亜鉛合金めっきの腐食評価結果が大変ばらついて、私は苦労したところがありました。腐食挙動をどのように評価したらいいか、ということですが、従来、一番わかりやすいのは、○、×、△という評価です。官能評価というのは素早く評価結果がわかるという点でメリットがあるのですが、やはり「原理原則にかなった評価法が欲しい」ということで、極値統計的手法を、塗装がうまくならないところで発生する穴あき腐食の評価法として適用しました(図3)。腐食試験とは、塩水をかけたり、乾かしたりするような試験で、腐食で穴が開くまでの時間や、開いた穴の深さを測るわけですが、実験結果を極値統計手法で解析しますと、穴が開くまでの時間はめっきの付着量に比例して長くなり、腐食の穴が開き始めた時の速度はめっきの種類に依存することがわかってきました。この結果は、その後の開発の指針となりました。

このように亜鉛めっきが有用であるということがわかってきますと、至るところに亜鉛めっきを使うわけですが、やはりコストの問題がありまして、使いたくないなというところもあるわけです。めっきをしなくても炭素を非常に低くして、亜鉛と銅を加えるとかかなり腐食が抑制されるという知見がありました。この知見は、急に出てきたものではなく、1970年ぐらいの日本の鉄鋼業界で耐候性鋼や耐海水性鋼の開発をし

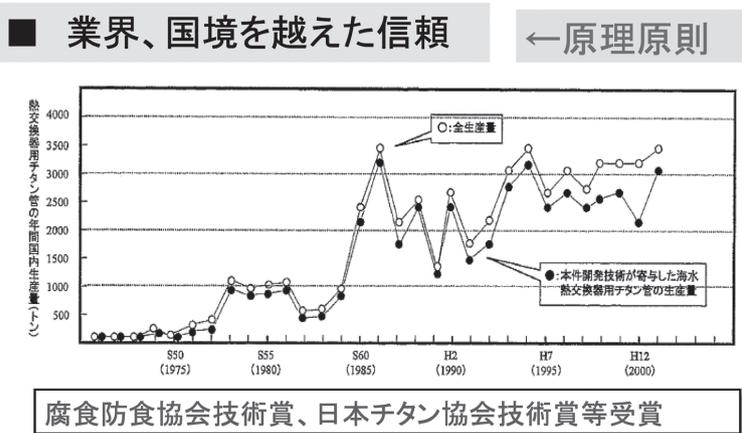


図2 チタンの耐海水腐食性向上技術

ていた時のものです。この知見をもとに、穴あき腐食という独特の環境に合わせた成分調整をした結果、従来鋼よりもかなり腐食が低減しました。溶融亜鉛めっき鋼板よりは劣るけれども安く使えるのではないかといいことで、お客様のコストダウンのニーズに応えることができました(図4)。このように自動車の部品によりまして、コスト、あるいは性能をかなりきめ細かく使い分けて、お客様に提案していくというのが日本の材料メーカーの特徴ではないかと思えます。

### 3 技術開発から得た私の経営思想

#### (1) バリアフリー

研究所長になりますと、いろいろなメニューが自分の範疇の中に入ってまいりました。主なテーマは、ばね鋼を腐食に強くしたいとか、塗装の頻度をかなり省略できるような耐候性鋼板をつくるといった鋼材分野でしたが、他にも超硬工具の開発であるとか、各種機械に要求される材料技術の開発といった多種多様なメニューが入ってきました(図5)。その時に、材料と機械の多様性を融合させると、新しいアイデアが

生まれ、これが日本の特徴にもなるだろうと思いました。研究所長時代は、世の中の景気が大変悪く、研究開発というのは当然コストダウンの聖域ではないといわれておりました。私は、研究開発は、事業の流れの中の一環で、下流を意識して源流からうまく水を流してあげないとだめだ、そういう意識をもたないと、今後の研究開発部門は生きていけないのではないかと感じました。せっかく良い研究をしても、これをお客様で使っていただくまでには、いろいろなステージ、あるいは組織の間に壁があります。この壁を取り除いてあげるといことが、大変重要でして、私はこれを「意識のバリアフリー」という言葉で考えております。また、殻や閉塞感を破るには、異業種の知恵が大変有用であります。この異業種間をうまく接触させる研究開発やマネジメントが必要で

す。こういうことを思いながら、研究開発のマネジメントを担当するようになった時に、幾つかの方策を考えました(図7)。

1つめは、事業部門との連携であります。私は研究する人、あなたはつくる人、あなたは売る人ということではなくて、

- 自動車ドア袋構造部、ヘミング部等で発生する穴あき腐食の抑制ニーズ
- ばらつき要因の大きい自動車用めっき鋼板の腐食現象把握に信頼性の高い評価法必要

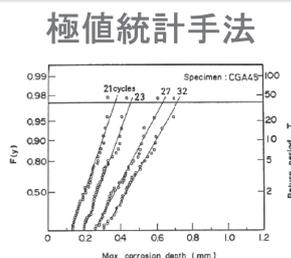
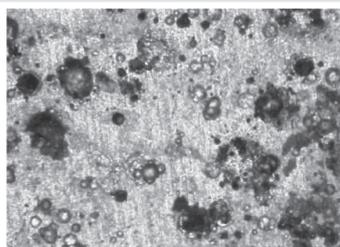
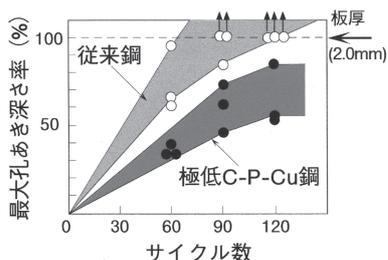


図3 極値統計の手法による亜鉛めっき鋼板の穴あき腐食現象の解析

#### ■ 試作鋼板部材で普通鋼の2倍以上の穴あき寿命



顧客評価 「C/Dニーズに応えてくれた」

図4 はだか耐食鋼の開発

- 鋼材、アルミ、銅、チタン、ステンレス鋼、溶接棒、超硬工具、化学機械、製鉄機械などのメニュー

- 素材事業、機械・エンジニア事業
- 材料と機械事業の多様性



図5 研究所長時代の主な担当業務

研究する人、つくる人、売る人、といった人たちがうまく連携を図ると、実用化も早く、より成功確率が高くなるのではないかと考えました。そこで、ビジネスユニットリーダー制度というのをつくりまして、たとえば、材料研究所は鉄鋼とアルミを担当するというので、事業の知識を少しもってもら。それで、各事業部のリーダーのもとで研究が事業の戦略に合っているかどうかということを議論してもら。また、必要なものはプロジェクトでもって推進してもらおうという制度をつくりました。これは現在でも私どもの会社でやっているのですけれども、定着して、一定の成果を上げてきた制度だろうと評価しております。

2つめは、お客様との連携であります。これは、私たちはつくって売る人、あなたは使ってもらう人、ということではなくて、あるところでは一緒に考えて課題を解決する〈ソリューション〉という時代になっていると思います。それで、ゲストエンジニアリング制度と称して、主な市場分野のお客様のところへ何人かの人が出て、2、3年で帰ってくるという連携をしております。加えて、研究所とお客様との連携を図ることも理想と考えております。研究者がお客様のところに行き、たくさんのプレゼンテーションをする、逆にお客様から研究所にいろいろな課題を投げかけていただくということで

すくニーズとシーズのマッチング〉。その意味で、研究所の来訪者も随分ふえてくるようになりました。2006年度で4,000人ぐらいですが、今は4,600人ぐらいになっています(図8)。

3つめとして、経営層との連携であります。私も経営層の一人なのですが、研究開発をよくわかっていなくて、遅い、高い、役に立っていないということをいいがちです。でも、少なくとも今やっている一番大事なものの背景や、何年後ぐらいにもものになるか、といったことを知ってもらうために、研究開発委員会というものに全経営層を集めて知らせる、知ってもらうという制度をつくっております。これも時間はかかりましたが、だいぶ定着してきました。

(2) ゴールからスタートを見る習性

また、研究開発マネジメントでは、ゴールからスタート地点を見るということも重要です(図9)。私も若いときは研究をスタートして、どれだけ進んだかな、ここまで来たな、随分進んだものだというので、評価していましたし、研究所全体もそういうところがありました。ただ、経営から見ますと、大変勝手なことを申し上げますが、スタート地点からどれだけ来たかというのはあまり評価しませんで、ゴールにどれだけ近づいたかというところから見ます。事業化に近づ

- 研究開発は、事業(売上・収益)という流れの中の源流。下流を意識したい。(連携)
- 実用化の流れには、ステージ・組織間に壁がある。→この壁を去除こう。(意識のバリアフリー)
- 殻や閉塞感を破るには、異業種の知恵が有益。
- 思いつきではなく、原理原則に則った解決策。
- 世の中の変化のスピードに合わせた開発速度。(ゴールから見たマネジメント)

図6 研究所長時代に得た考え

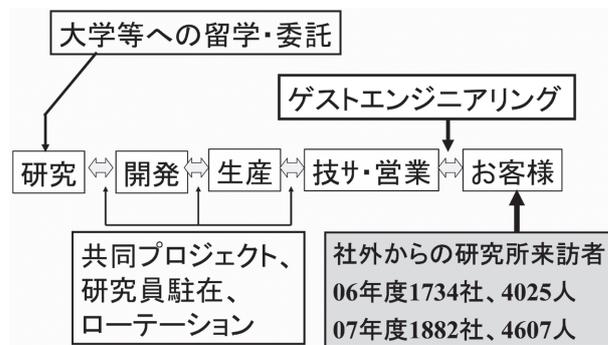


図8 意識のバリアフリー化

- 研究所と事業部門との連携:  
Business Unit Leader (BUL)制度  
・研究所長が事業部門BULに就任  
・事業部門の重要課題への対応案提言  
・J3 (重要、迅速、ジョイント)プロジェクトの企画・立案
- 会社とお客様との連携:  
ゲストエンジニアリング制度  
・事業部からだけでなく、研究所からも  
・顧客の開発現場に密着
- 研究開発陣と経営層との連携:  
研究開発委員会  
・内容、頻度の拡充

図7 バリアフリー化のための施策

- 研究開発: 初期からの進捗距離
- 事業: ゴールからの距離

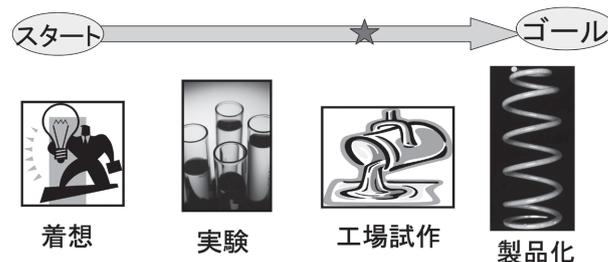


図9 ゴールからスタートを見る習性

いてきたものに対して、どういう計画書が要るのだろうか、どれだけの生産要員が要るのだろうか、どれだけの販売員が必要だろうか、といったことを考えます。これを、研究開発の人が自ら意識すれば、強くなるのだろとう思います。

**(3) 研究のモチベーション向上**

研究開発をやっている人に元気を出してもらうのは、やはり専門性を評価して、表彰してあげることが大変重要であると思っています。その中の1つが特許でありまして、知的財産部門で以前は良い発明をいたしましたら、当然褒賞額をあげるわけですが、1990年ぐらいまでは上限900万円ぐらいでストップしていたものを、5、6年前から上限を撤廃しました。特許を幾らでも出してください、私たちは利益に応じてお支払いしますという制度をつくっております。日本知的財産協会に加盟している会社でも、相当の会社が青天井の上限撤廃の会社になってきており、喜ばしいことだんと考えております。

**4 将来の課題**

研究開発の今後の課題について幾つか述べます。日本は資源の乏しい国でありますから、海外から資源をもってきて、それに付加価値をつけまして、海外に出していく。輸入する原材料に対しまして、製品が3倍ぐらいのプライスをつけられれば、海外で通用します。1980年以降の日本の貿易黒字が大体10兆円で推移してきたわけですが、それが意味では日本の国力のなりわいであると思っています。オンリーワン製品は、この付加価値を生み出しますが、最近原燃料の価格

が大変上がってまいりましたから、今後も3倍説をとろうと思いますと、今まで以上に特長のある製品をつくる努力をしていかなければならないと思います。

そういう特長ある製品というのは、概して大変つくりにくいものであります。材料でいいますと、硬くて圧延しにくかったり、溶接したら割れてしまったりとか、そういうものが多いものですから、ものづくり力への注力を怠ってはなりません。ましてや、外に向かってグローバル化が進んでおりますから、海外でも使えるような普遍性をもったものづくり力でなくてはなりません。

そのためには、いろいろな知恵がいります。これらを支える新しい基盤技術の確保も重要になってきます(図10)。SPring8の高輝度放射光やJ-Parkの Puls 中性子といった新しい技術により、どういう物質でできているのだろうかとか、どういう表面の状態にあるのだろうかといった、従来できなかった分析解析ができる時代に入ってきております。また、コンピュータもペタコンと呼ばれるスーパーコンピュータが出てきております。

いずれにいたしましても、私ども鉄鋼業、素材産業というのは、一朝一夕にはなかなか成果が得られるような業界ではありません。本日申し上げました技術開発、あるいは人材育成、何にしましても一つ一つ丁寧に積み重ねていくというのが基本の基本だろとうと思っています。このことを忘れないよう、心に秘めながら、今後とも精進してまいりたいと思います。ありがとうございました。

(2010年4月28日受付)

**■評価解析技術の活用**

→SPring-8(放射光)、J-PARC(中性子)



**■計算科学技術の活用**

→実験・観測、理論と並ぶ手段  
→神戸スパコン

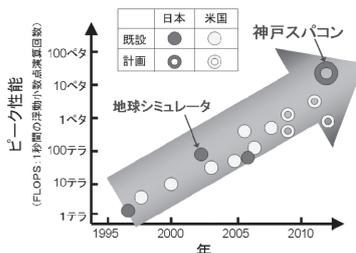


図10 将来に向けて

# 特別講演

□第159回春季講演大会浅田賞受賞記念特別講演  
(平成22年3月30日)

## 構造材料の極限環境での特性評価と国際標準化 Evaluation of Materials Properties in Extremely Severe Environments and International Standardization for Those Methods

緒形俊夫 (独)物質・材料研究機構  
材料信頼性センター センター長  
Toshio Ogata



\*脚注に略歴

### 1 はじめに

構造材料を使用する際には、実際に使われる環境雰囲気  
で特性評価試験を行い、個々の特性に対する環境による影響  
を把握しておくことが必須である。しかし、極限環境になる  
ほど環境の生成と維持に必要な装置が大型化し、設備の導  
入・運用・維持の経費や労力が増大し、試験の実施が難し  
くなる。液体水素(−253℃, 20K)を燃料とする国産宇宙ロ  
ケット及び燃料電池車を始めとするクリーンエネルギー或い  
は国際熱核融合実証炉(ITER)等の液体ヘリウム(−269℃,  
4K)を使う超伝導応用機器の信頼性向上と利用促進のため  
には、用いられる材料の極低温(−253℃以下)での特性把握  
は不可欠である。しかし、1980年代までは長時間にわたる試  
験の実施等が困難なため、特に機器の設計に必要な疲労特性  
データが無い状況だった。また近年、燃料電池車に搭載する  
高圧水素タンク及び配管系の材料の選定と開発が進められて  
いるが、一般的な車載高圧水素タンクの圧力である70MPa以  
上の水素環境中での試験も容易ではない。

筆者は一貫して、構造材料の極低温や高圧水素の極限環  
境における特性及び信頼性を評価するため、試験法を開発す  
るとともに簡便化による試験技術の普及・確立と標準化に取  
り組み、ステンレス鋼及びチタン合金などの極低温強度特性  
や高サイクル疲労特性等の蓄積に従事してきた。開発・確立  
してきた試験法としては、液体ヘリウム中の引張試験法、衝  
撃試験法やヘリウム再凝縮冷凍機付き疲労試験装置等があり、  
簡便な極限環境中材料特性評価法がある。この簡便な極  
限環境中材料特性評価法の適用例の一つが高圧水素環境で  
ある。また、液体ヘリウム中の引張試験法のISOへの提案を  
機に、金属材料の機械的特性試験に関する国際標準規格を所

掌する専門部会であるISO TC164との係わり合いを深めた。  
そして、試験法ごとに定義が異なっていたstressやstrainを  
始めとする試験用語を統一する用語集を取りまとめ制定した  
が、これまでの試験法の開発と国際標準化の実績は国内外の  
関係者の協力を得る上で大いに役に立った。そこで、その概  
要について紹介させて頂く。

### 2 試験法の開発

#### 2.1 液体ヘリウム中シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験は、簡便に構造材料の低温での靱性が  
評価できることから、多く用いられている。低温での試験は、  
冷媒の中で冷却した試験片を取り出し、5秒以内にハンマー  
の打撃を加えれば良いことがJIS Z 2242にも示されており、  
液体窒素温度まではこの方法で良いが、液体ヘリウムのデュ  
ワー中で冷却した試験片を取り出してハンマーで打撃するま  
では、材料の比熱が小さいことから、試験片温度は数10  
度も上昇してしまう。そのため、小さな真空断熱のガラスデュ  
ワーの中にJIS 4号試験片を液体ヘリウムとともに入れて打撃  
する方法も考案されたが難点が多かった。そこで、図1のよ

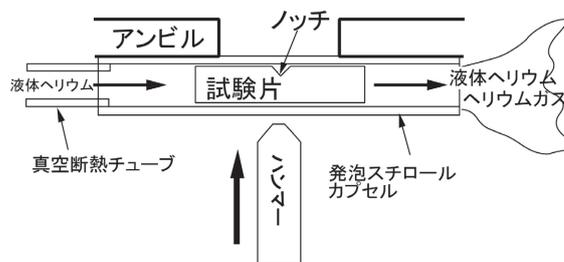


図1 液体ヘリウム中シャルピー試験の模式図

\* 昭和54年3月東大大学院修士課程修了後、金属材料技術研究所(平成13年物質・材料研究機構に統合)に入所し、昭和61年東大より工学博士の学位を取得、力学機構研究部室長などを経て、平成20年に材料信頼性センター長に就任し、現在に至る。

うに試験片を溝付きの3mm厚の発泡スチロールで包み、液体ヘリウムを流しながら冷却し、4Kでの試験を行う方法を考案した<sup>1)</sup>。図2に示すように、冷却に要する時間は2分以内、消費する液体ヘリウムは試験片1本あたり約1リットルであった。ステンレス鋼のように低温でも吸収エネルギーの高い材料においては、塑性変形による発熱により試験片温度がおおよそ200K近く上昇してしまうことから、試験法としては規格化されるに至っていない。しかし、低温での吸収エネルギーの小さい材料の評価には、試験片の温度上昇も小さいことから有効であり、9%Ni鋼やチタン合金の評価にも実際に使われている。

## 2.2 液体ヘリウム中引張試験の標準化

1980年代は、ITER (国際熱核融合実証炉) で高磁場を発生する極低温下の超伝導コイルを支える構造材料の開発が活発に行われた。しかし、液体ヘリウム中の試験は真空断熱容器の中で行われることから、荷重の負荷や軸心の調整が難しく、得られる引張特性のばらつきは室温のそれより大きかった。また極低温で校正したひずみゲージはなく、極低温で使える伸び計の入手も容易ではなく、降伏応力付近でセレーションが生じる材料もあることから、降伏応力の求め方も議論になった。さらに、筆者が行ったひずみ速度と試験片内温度の研究<sup>2-4)</sup>で、図3に示すように、極低温でセレーション変形が生じた際には、試験片温度が100度近くも上昇すること、ひずみ速度が速くなると試験片温度は上昇し続け、図4に示すように、得られる引張強さが変化することを見出したことから、試験法の標準化が始まった。この試験片の温度上昇は、材料の比熱が液体窒素温度 (77K) 以下で、熱伝導率が20K以下で著しく小さくなり、4K付近の比熱は室温の約

1000分の1に熱伝導率は数10分の1になって、局所的な断熱変形が生じることによるものである。熱伝導率が小さいステンレス鋼や熱伝導率の大きい無酸素銅やアルミ合金及び試験片形状を変えた引張試験中の温度測定を行い、ひずみ速度が $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以下であれば、試験片の定常的な発熱を抑え特性の変化が小さいという試験条件を提案した。さらに日米協力やVAMAS (先進材料と評価法の標準化に関する国際共同研究)<sup>5)</sup>で、共通材料を用いたラウンドロビン試験で参加機関間のばらつきの小ささが確認され、まずASTM E 1450、次にJIS Z 2277が制定され、その後のラウンドロビン試験の結果と併せて、ISOにはVAMASを提案母体として (ISOへの通常の提案母体は、加盟国の代表標準団体)、2000年に提案しVAMASの国際協力を元に、ISO19819として2004年に成立した。

ちなみに、室温の引張試験法と異なる点は、①ひずみ速度： $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以下に限定、②特異な変形挙動に対応した降伏応力を定義、③2個以上の伸び計の使用を推奨、④極低温での伸び計の校正法、⑤極低温容器と治具を規定、⑥軸心の検定法、⑦試験片形状などがある。

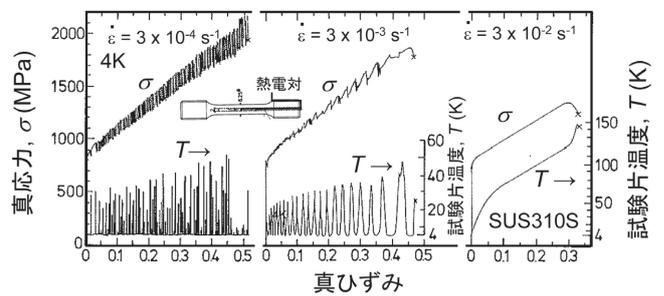


図3 SUS310Sの液体ヘリウム中引張試験の真応力-真ひずみ曲線と試験片温度のひずみ速度による変化

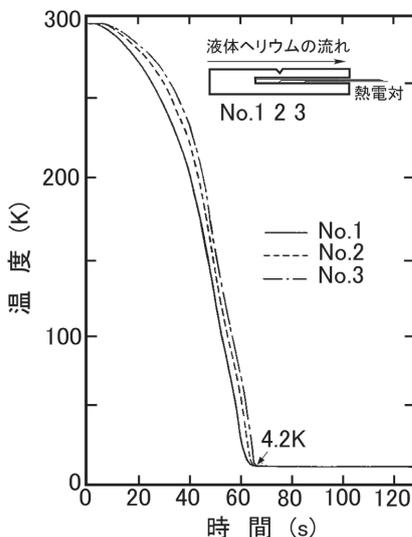


図2 シャルピー衝撃試験片の冷却曲線

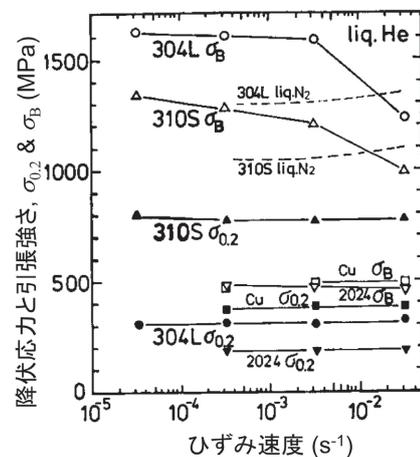


図4 SUS304L、310S、316L、無酸素銅、アルミ合金2024の4Kで得られる降伏応力と引張強さのひずみ速度による変化

同様に高サイクル疲労試験と低サイクル疲労試験における試験片の温度上昇を測定し、高サイクル疲労試験においては試験応力レベルによって試験周波数が4Hz程度または10Hzが上限であること<sup>6)</sup>、軸ひずみ制御低サイクル疲労試験においては、引張試験と同じくひずみ速度0.1%<sup>-1</sup>が上限であること<sup>7)</sup>を示し、実際の試験に適用されるときに、これらの報告が参照されて、液体ヘリウム中低サイクル疲労試験法 JIS Z 2283 が制定された。さらに、液体ヘリウム中弾塑性破壊じん(靱)性 $J_{IC}$ 試験方法 JIS Z 2284 も制定された。

### 2.3 簡便な高圧水素環境中試験法の開発

高圧水素環境下で使用される材料の水素脆化感受性を評価する方法として、従来、高圧水素容器内に試験片を入れて試験が行われているが、環境生成のための装置と安全のための経費が高く、高圧容器と試験機プルロッドとのシール部の構造が複雑になり、試験装置の導入と試験の実施が容易ではない。近年、液体水素の急速気化による高圧水素の充填法が検討され、従来法では困難な高圧水素かつ極低温環境下での材料特性取得が求められた。そこで従来法による高圧水素環境と同等の環境を試験片に設定できる簡便な高圧水素下材料試験法を考案し<sup>8,9)</sup>、オーステナイト系ステンレス鋼について、室温から低温にかけて高圧水素環境下の引張試験を行い、従来の報告<sup>10)</sup>と比較することで、簡便な材料試験法の有効性を確認するとともに、低温下での高圧水素の引張特性への影響を調べ<sup>11)</sup>、本試験手法を疲労試験に適用した<sup>12)</sup>。本手法は、試験片内の微小空隙内のみ高圧水素を充填することで、高温でも極低温でも70MPa級の高圧水素環境特性を評価できる簡便かつ画期的な材料特性評価法で、あらゆる環境条件下の材料試験に適用できるものであるが、当面は水素脆化感受性のスクリーニング評価法として認知されている。

ここでは、オーステナイト系ステンレス鋼の低温での引張特性における水素脆化感受性評価結果を紹介する。

#### 2.3.1 試験方法

簡便な高圧水素下材料試験法として試験片内の微小空隙に高圧水素環境を設定する方法(特開2007-286036)を用いた。概略図を図5に示す。供試材は、市販のSUS304、304LとSUS316Lである。引張試験片の平行部直径は6.25mmで、微小空隙の内径は1mmまたは2mmである。試験温度は試験片を加熱または冷却することにより制御し、室温から77Kにおいて試験した。水素ガス圧はボンベ圧の10MPa級とした。引張試験のクロスヘッド速度は3.6mm/h ( $2.8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ )で行った。

### 2.3.2 試験結果

図6に10MPa級の水素中で得られた絞りを同じHe中の絞りで除して評価した水素環境脆性の影響の温度による変化を示す。低温でオーステナイト相が不安定なSUS304と304Lでは、低温で脆化の度合いが大きくなり200K付近で脆化が最大となり77Kではほぼ延性的に破断し、SUS316Lでは200K付近においても水素感受性の影響は小さい。また図7に示すSUS304の室温での引張破面のように、水素中では室温から200Kにかけて割れを有する破面を呈しており、簡便な本試験法でも従来の報告と結果と同様な結果が得られ、有効性を確認した<sup>9,12)</sup>。

## 3 ISO TC 164 金属材料の機械的試験専門部会での国際標準化活動

### 3.1 金属材料の機械的試験用語編纂と国際議長就任

国際標準は明日の市場を文書によって確保するための国際的な戦いとも言えるものであるが、TC164は日本が幹事国で

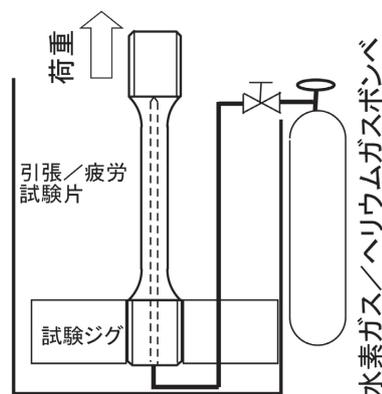


図5 簡便な高圧水素環境中材料試験法の模式図

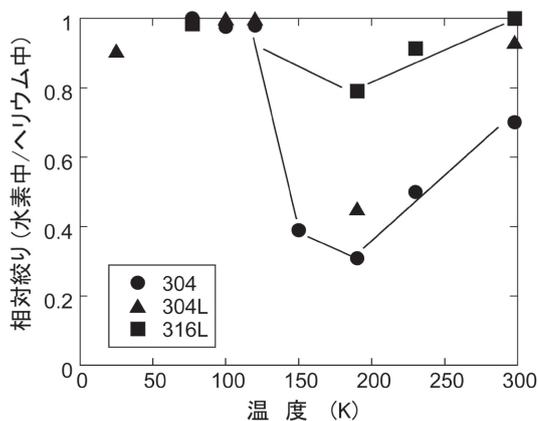


図6 SUS304、304L及び316Lの13MPa水素中とヘリウム中の相対絞りに及ぼす温度の影響

あり、事務局（日本規格協会）と国際議長を務めている。5つのSub Committee (SC) があり、SC1は単軸試験（引張試験、クリープ試験、試験機他）、SC2は延性試験、SC3は硬さ試験、SC4は破壊靱性と衝撃試験、SC5は疲労試験とき裂進展試験である。液体ヘリウム中引張試験のISO規格化は、SC1に提案しプロジェクトリーダーを務めた。その後、TC164内の用語を統一するWGのコンビナーを務めた。当時、SC1とSC5で使われる、stressやstrainを始めとする基本的な試験用語が別々に定義され、他の用語もSC間で齟齬が生じかねない状況であった。そこで、SC間で共通の語を抽出するとともに、定義を統一した。この際、JIS G 0202の鉄鋼用語（試験）規格に含まれている用語は極力尊重した。時には英国と米国で用語の定義が異なることはしばしばあったが、事務局や日本鉄鋼連盟を始めとする日本の代表委員の方々の助言を元に、一つ一つそれなりに理由をつけて採択／却下した。WGの会議で、各国の意見が分かれ、頭の中が真っ白になるぐらい紛糾した時もあったが、最終的にコンビナーに一任するという合意を得て、用語規格ISO23718を2007年に出版することができた。

これらの経歴が下地となって、2009年からTC164の国際議長に就任した。主な仕事は、TC164の総会が円滑に進むように議事を進行するボランティアである。昨年9月の総会で初めて、国際議長として議事を進行したが、まとまりそうなことについても各国代表が好き勝手なことを発言するのに戸惑った。しかし、議論の後に議長としての見解を表明すると、速やかに合意が得られることを知って、単なる調整・進行係ではなく国際議長としてのリーダーシップの重要性を感じた。

### 3.2 金属材料の機械的試験における uncertainty (測定不確かさ)

JISにおいてもISOにおいても、液体ヘリウム中引張試験の標準法を議論制定する際に感じたことは、標準試験法というのは必ずしも材料の真の特性を得るのではなく、所定の試験条件での材料特性を、誰が試験をしても同様の値を得るためのもので、主な用途は商取引のための出荷検査であるということである。そのため使われない規格や売れない規格は審議されないことになる。材料の機械的特性は、ミルシートの許容範囲と個々のばらつきを見込んで評価されているが、近年、このばらつきをuncertainty (測定不確かさ)として、評価することの議論が盛んになっている。これは国際度量衡委員会 (CIPM) では、材料特性データは国際的な相互認証制度が確立していないため材料の国際的な商取引で混乱が生じているという認識があり、材料試験においても、uncertaintyの導入の是非が議論されている。TC164の各試験法において、uncertainty導入が検討されているが、uncertaintyと材料特性の議論が不十分な現在の状況では、規格ではなく参考情報として位置づけ、一部の規格（クリープ試験、室温引張試験、シャルピー衝撃試験）のAnnexに参考情報として記載するに留めるという状況であり、今後、関係する他の標準関係団体との情報交換を増やして、適切に対応する予定である。

## 4 おわりに

筆者が開発・標準化した試験法と試験装置で取得・解析された材料特性は、極低温でのオーステナイト系ステンレス鋼の変形中の相変態挙動の把握と解明<sup>13)</sup>という学術的分野のみならず、液体水素を使う国産宇宙ロケットH-IIAエンジンの設計・改良や運転条件の改善に反映され、H-IIAの連続打ち上げ成功に貢献している。特に1999年の国産ロケットH-IIの事故の際、原因解明にこれらの試験技術及びその技術から得られたデータが参照されるとともに、事故調査委員会から依頼された極低温での材料試験を実施することで<sup>13)</sup>、原因解明に大きく貢献した。今後、次期国産ロケットを開発していく上でも、これらの試験技術は必要不可欠になっている。

### 参考文献

- 1) 緒形俊夫, 平賀啓二郎, 長井寿, 石川圭介: 鉄と鋼, 69 (1983), 641.
- 2) 緒形俊夫, 石川圭介, 長井寿: 鉄と鋼, 71 (1985), 1390.
- 3) 緒形俊夫, 石川圭介: 低温工学, 21 (1986), 99.
- 4) 緒形俊夫, 石川圭介: 低温工学, 23 (1988), 205.
- 5) T.Ogata: Advances in Cryogenic Engineering

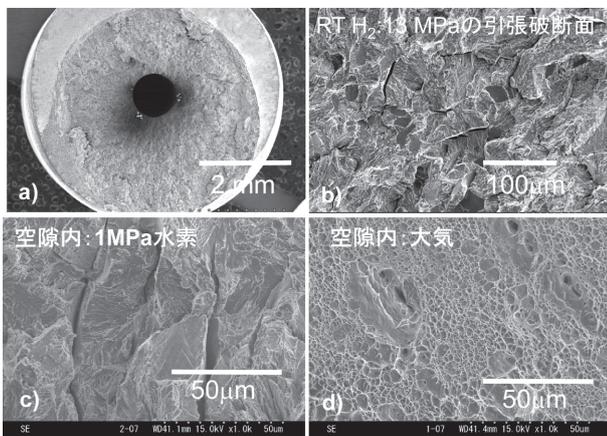


図7 SUS304の簡便な高圧水素環境中引張試験後の破面（室温）  
 a), b) 13MPa水素中（穴の内径は1mm）  
 c) 1MPa水素中、d) 空隙内は大気

- (Materials), 46 (2000), 427.
- 6) 緒形俊夫, 石川圭介, 長井寿, 由利哲美: 鉄と鋼, 73 (1987), 160.
- 7) 緒形俊夫, 石川圭介, 長井寿, 由利哲美, 梅澤修: 低温工学, 26 (1991), 190.
- 8) 緒形俊夫: 日本金属学会講演概要 (2006年春季), 160, 230.
- 9) 緒形俊夫: 金属学会誌, 72 (2008), 125.
- 10) D.Sun 他: Materials Science and Technology, 17 (2001), 302.
- 11) 緒形俊夫: 日本機械学会年次大会講演論文集, 1 (2006), 619.
- 12) 緒形俊夫: CAMP-ISIJ, 20 (2007), 499.
- 13) 緒形俊夫, 由利哲美, 小野嘉則: 低温工学会誌, 42 (2007), 10.
- 14) T.Ogata and S.Matsuoka: Advances in the Astronautical Sciences, 117 (2004), 639.

(2010年4月7日受付)



特殊鋼棒線の最近の進歩—3

# 表面硬化処理技術と高強度鋼材の動向

## Recent Trends of Surface Hardening Technology and High Strength Steel

紅林 豊  
Yutaka Kurebayashi  
大同特殊鋼(株) 東京本社  
特殊鋼事業部 特殊鋼商品開発部

### 1 はじめに

多種多様の表面硬化処理技術が開発され実部品に適用されているが、工業的な適用領域の広さの観点からは、浸炭処理、高周波焼入れ処理、および、窒化・軟窒化処理などが代表的な表面硬化処理技術として挙げられる<sup>1-3)</sup>。

いずれの処理も鋼の表層部を硬化させ、疲労強度や耐摩耗性などの特性を改善するものであるが、適用される鋼や処理条件などは全く異なっており、それぞれに一長一短がある。

本稿では、これらの表面硬化処理技術の特徴や実部品への適用事例を紹介するとともに、浸炭処理を主体とした、材料開発や処理技術の変遷と今後の動向について展望する。

### 2 各種の表面硬化処理の特徴と実部品への適用事例

表1に代表的な表面処理法の分類を示すが、表面処理法の区分は多岐に渡っており、実際の自動車部品では、部品に要求される強度特性や部品の生産性を考慮して、最適な表面硬化処理法が選定されている。工業的には浸炭処理、高周波焼入れ処理、窒化・軟窒化処理が代表的な表面硬化処理と言えるが、その硬化機構や硬化特性に得失があるため、用途に応じて使い分けられている<sup>4-6)</sup>。

高周波焼入れ処理の最大の特長は、他の表面硬化処理に比べて処理時間が短いことであり、機械加工に連動した生産が可能とされる点である。一方、高周波焼入れ処理は加熱コイルによって部品の表層部を加熱するため適用可能な部品の形状に制約があり、ドライブシャフトやクランクシャフトなどのように軸物部品に適用される場合が多い<sup>7-10)</sup>。また、他の表面硬化処理に比べて内部まで硬化させることができるので、曲げ応力やねじり応力の作用する部品の処理に適しており、圧縮の残留応力が得られるため疲労強度にも有利である。

高周波焼入れ処理に用いられる鋼材は、炭素含有量が0.3%~0.5%程度の中炭素鋼が一般的だが、表層硬さや硬化深さの安定化と同時に低廉化を図る目的でBやMnなどを添加した鋼材が適用されている<sup>11,12)</sup>。また、高周波焼入れ処理は短時間の加熱であるために、硬化特性は前組織の影響を受けやすく、熱処理前の組織形態に注意することが必要である。高周波焼入れ処理後の最大表層硬さは素材の炭素量に依存して上昇するが、実用的な炭素量の上限は0.6%程度であり、得られる硬さも700Hv程度が上限で、他の処理に比べると低めである。

窒化・軟窒化処理の特長は、他の表面硬化処理に比べて処理後の残留ひずみが小さいことと表層硬さが高いことである。窒化・軟窒化処理はA<sub>1</sub>変態点以下の温度域で処理され、窒化物の析出や窒素の固溶による強化を利用したものである

表1 表面処理法の分類

浸炭	常圧	固体浸炭
		液体浸炭
		ガス浸炭
	減圧	真空浸炭
		プラズマ浸炭
窒化 軟窒化	常圧	ガス窒化
		ガス軟窒化
	減圧	液体軟窒化(タフトライト)
浸炭窒化	常圧	イオン窒化
		液体浸炭窒化
表面焼入れ	常圧	ガス浸炭窒化
		高周波焼入れ
		火炎焼入れ
		レーザー焼入れ
その他	常圧	浸硫、浸硫窒化
		浸硼(ポロナイジング)
		PVD,CVD, めっき
		溶着、溶射

り、高周波焼入れ処理や浸炭処理のようにマルテンサイト変態による強化ではないため変態によるひずみは発生せず、部品の変形が抑制されることが特長の一つである。また、処理後の表層硬さはAl、Cr、Vなどの合金元素を添加することで1000Hv以上の高硬度を得ることも可能であり、耐摩耗性が要求される部品などに適用されている。なお、軟窒化処理とは、窒素と炭素を共存させることによって窒素の拡散を促進させて短時間の窒化処理を行うものであり、窒素のみを用いる窒化処理と区別され、実部品に広く適用されている処理である。

JISで規格化された窒化鋼はSACM645の一鋼種のみであるが、Cr-Mo系、Cr-Mo-V系、Cr-Al系などの窒化鋼も開発されており<sup>13)</sup>、クランクシャフト、歯車、シャフトなどの自動車部品として実用化されている。

窒化・軟窒化処理は、400℃～600℃程度の温度域で処理されるが、硬化層深さが浅く、内部硬さも他の表面硬化処理に比べて低いので、これまでは強度特性が重視される部品への適用は見送られてきた。近年では、低ひずみに着目して歯車などへの適用事例も見られ、窒化と同時に時効硬化によって高強度化を図ることが試みられているなど、今後の拡大が期待される。

浸炭処理は、歯車や軸受けなどの部品に幅広く適用されており、材料開発のみならず、処理技術や設備技術開発なども積極的に取り組まれている。これらの詳細について以下に紹介する。

### 3 浸炭用鋼開発の変遷

これまでの浸炭用鋼の開発の変遷を振り返ると、1980年代、1990年代、2000年代に特徴的な開発事例が見られる。

1980年以前のこの領域の研究事例を見ると、新鋼種の開発よりも鋼材の品質安定に向けた製造技術に関する研究開発が主体的に実施されており、焼入性コントロールに関する研究が盛んに行われた<sup>14-16)</sup>。浸炭処理ではオーステナイト域から急冷してマルテンサイト組織を得るため、マルテンサイト変態に起因するひずみ発生が不可避である。ひずみ発生の原因は、加熱条件、部品の置き方、冷却条件などの熱処理条件に起因するものと、成分変動や偏析などの材料に起因するものに大別される。とくに、鋼材の焼入性がひずみ発生の重要な因子として取り上げられ、焼入性の制御技術に関する研究開発が実施された。

1980年代に入ると自動車の燃費改善が加速され、部品の小型軽量化が推し進められてきた。このために部品には高強度化が要求され、歯車の分野でも新たな浸炭用鋼の開発が積極的に実施された。

図1に、歯車の損傷形態の分類を示す。歯車の損傷は歯元と歯面の破壊損傷に大別されるが、歯元歯元の損傷は歯底部に作用する曲げ応力に起因するものであり、歯面の損傷は歯面間の接触に起因するものである。実際の自動車の歯車では、使用される環境によって負荷応力条件や接触条件も異なるので、損傷の形態もさまざまである。

図2に、歯車の損傷形態におよぼす相対すべり速度と負荷応力の影響を示す。歯車の損傷形態は歯車間の接触によって生じる相対すべり速度と負荷応力によって変化し、いずれかの強度が改善されると損傷形態は別の形態へ変化する。1980年以前は、磨耗と歯元曲げ破壊が歯車損傷の主体であったが、高強度鋼やショットピーニング技術などが実用化されたことによって歯元曲げ強度が改善され、歯車の損傷はピitting損傷へ変化した。

1980年代の歯車の最弱部は歯元であり、歯車の高強度化において最初に要求された特性は歯元強度の改善であった。並木らは、高強度鋼の研究開発において、浸炭表層に存在する粒界酸化と不完全焼入れ層が歯元強度低下の要因であるとして、粒界酸化の無害化に向けた材料開発を行い、新たな高強度材料を提案した<sup>17-20)</sup>。浸炭処理の多くはガス浸炭処理が適用されているが、ガス浸炭処理後の表層近傍を詳細に観察すると、図3に示すように結晶粒界に沿って酸化層の生成が確認され、同時に、酸化層の近傍は不完全焼入れが生じてい

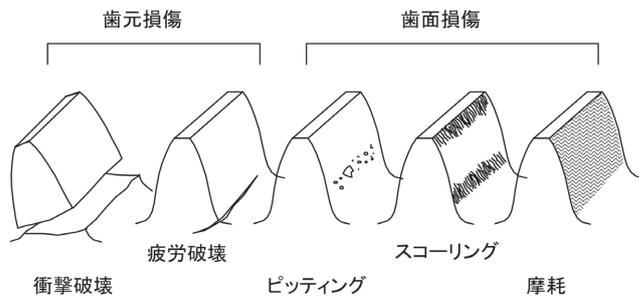


図1 歯車の損傷形態の分類

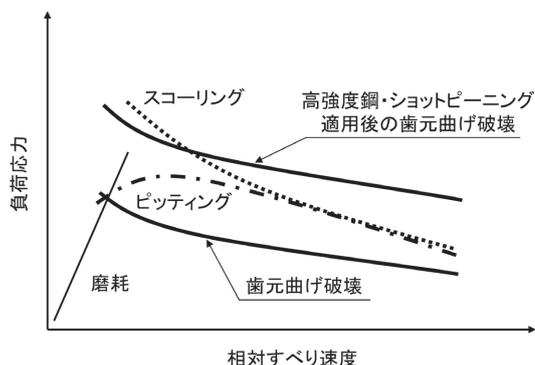


図2 歯車の損傷形態におよぼす相対すべり速度と負荷応力の関係

ることも確認されている。また、結晶粒界では図4に示すようにSiなどの酸化物生成傾向の強い合金元素の濃化が観察され、同様に、MnやCrなどの濃化が生じることも確認されている。この結果、粒界酸化層の近傍は局所的な焼入性の低下が生じ、不完全焼入れを引き起して強度が低下すると考えられる。これらの解析から、粒界酸化の発生を抑制するための合金設計としてSi、Crなどの元素を低減する対策がとられ、それにとまなう焼入性の低下を補完するためにMo、Niなどを添加した高強度歯車用鋼が開発された。

また、これらの開発と前後してショットピーニング処理の適用が試みられ<sup>21,22)</sup>、歯元部への圧縮残留応力の付与と、有害な浸炭層を研削することが検討されている。図5にSCr420の浸炭処理ままとショットピーニング処理を施した場合の疲労強度を示す。ショットピーニング処理を行うことによって、高強度材と同程度の高強度化が得られており、実部品への適用も開始されてきた。

高強度歯車用鋼とショットピーニング処理の適用によっ

て、歯車の最弱部は歯元から歯面へと変化し、1990年代の材料開発では歯面強度の改善に向けた開発に主眼が置かれ、ピitting損傷に関する研究開発が行われるようになった<sup>23-26)</sup>。

歯車は繰り返し接触する際にすべりによって摩擦が生じ、接触部の温度上昇を引き起こすことから、高温域における材料強度がピitting強度に影響すると考えられる。実際の歯車では、歯面表層近傍の温度は200℃～300℃に上昇するので、300℃近傍の温度域での強度の低下防止が有効な手法である。図6に、材料の高温特性の指標として300℃焼戻し後の硬さでピitting特性を整理した結果を示す。図に示すように、300℃焼戻し硬さが高いほどピitting寿命は向上しており、高温強度の改善がピitting寿命の改善に有効であることがわかる。

高温強度の改善に関しては、合金元素添加の観点からのアプローチと浸炭窒化処理によるアプローチに大別される。図7に、300℃焼戻し硬さの実測値と予測値の関係を示すが、軟

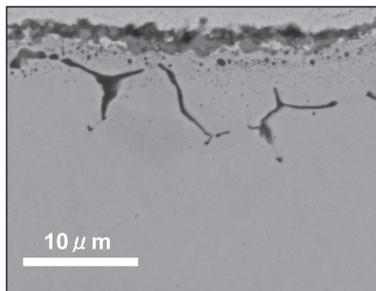


図3 ガス浸炭処理後の表層部断面のマイクロ組織観察例

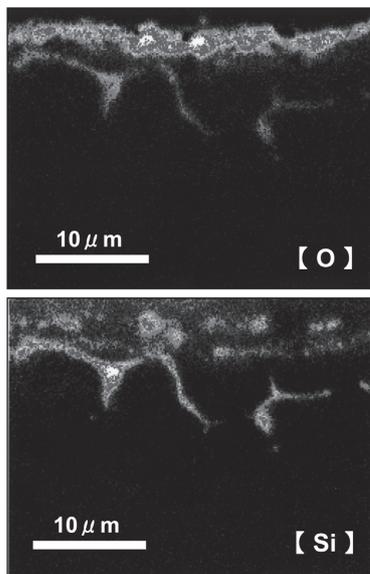


図4 表層部断面における粒界酸化層のEPMA分析結果

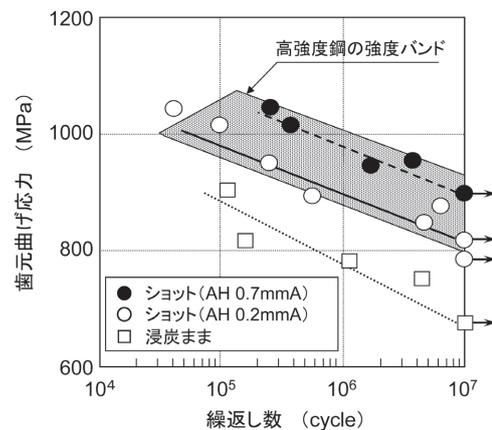


図5 疲労強度におよぼすショットピーニングの効果

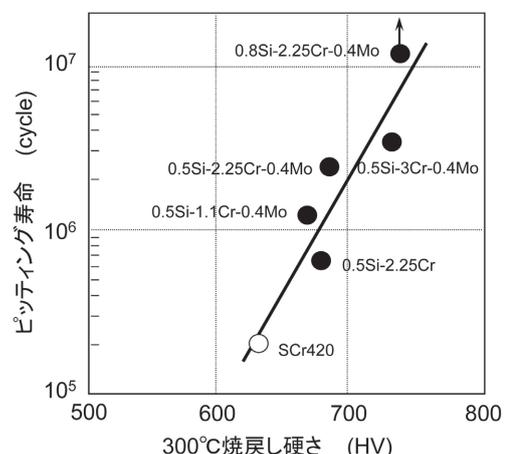


図6 300℃焼戻し硬さとピitting寿命の関係

化抵抗性の改善にはSi、Mo、Crなどの合金元素の添加が有効であることがわかる。この解析結果などから、Si、Cr、Moを添加した高面圧歯車用鋼が実用化されてきた。

浸炭窒化処理<sup>27-29)</sup>は、炭素と窒素を鋼表面に侵入させる手法であり、窒素によって軟化抵抗性が改善される。図8に浸炭窒化処理後の硬さ分布とローラピッチング試験後の試験片表層近傍の硬さ分布を示す。浸炭窒化処理のままの試験片表層の硬さは、残留 $\gamma$ の存在により浸炭処理材に比べて低い値を示しているが、試験後の硬さ分布を見ると試験前よりも硬さが上昇していることがわかる。これは、残留 $\gamma$ の加工誘起変態に起因するものとされているが、窒素の固溶による改善効果と合わせ、軟化抵抗性の改善に有効であることがわかる。

2000年代に入ると、歯元強度と歯面強度の双方を改善するための研究開発が展開されてきている。1980年代に開発された高強度歯車用鋼は低Si、Cr系の合金設計であったのに対し、1990年代に開発された高面圧歯車用鋼は高Si、Cr系の

合金設計であり、全く異なった合金設計のために歯元強度と歯面強度を両立するに至っておらず、歯元強度と歯面強度の両立が重要な研究開発課題となったためである。

高濃度浸炭処理は、歯元強度と歯面強度を両立する技術の一つであり、1980年代にも研究されてきたが<sup>30,31)</sup>、プラズマ浸炭炉や真空浸炭炉などの設備の進歩にともなって、新たな取り組みが行われてきている。高濃度浸炭処理は、通常の共析浸炭に比べて高めの炭素濃度を狙い、共析点を越す過剰の炭素によって浸炭表層部に微細な炭化物を析出させる処理である。

図9に、高濃度浸炭処理後の炭化物量と300℃焼戻し硬さの関係を示した。また、図10には、炭化物量とピッチング強度比の関係を示す。ピッチング寿命比とはSCr420共析浸炭材のピッチング寿命を基準として、炭化物面積率の異なる高濃度浸炭材のピッチング寿命の比率を求めたものである。図9および図10に示したように、炭化物量の増加にともなって300℃焼も度硬さが上昇しており、ピッチング寿命

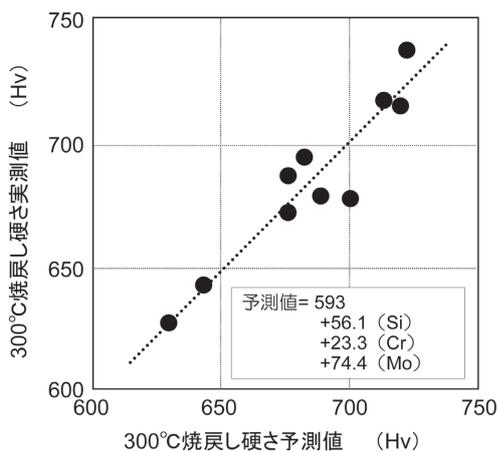


図7 軟化抵抗性におよぼす合金元素の影響

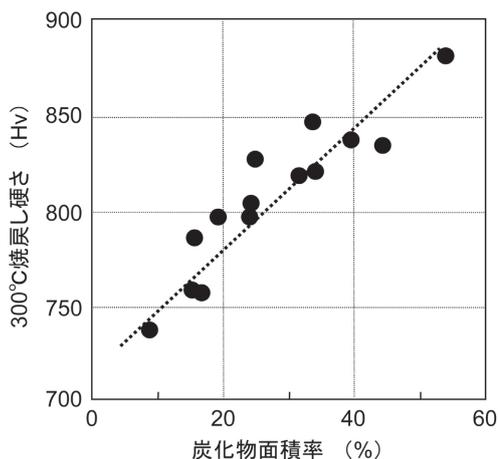


図9 炭化物量と300℃焼戻し硬さの関係

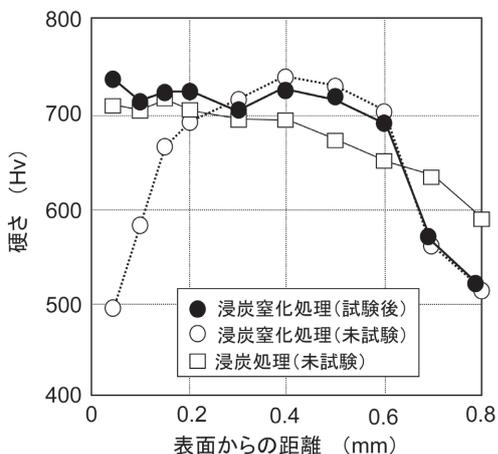


図8 浸炭窒化処理材の表層からの硬さ分布

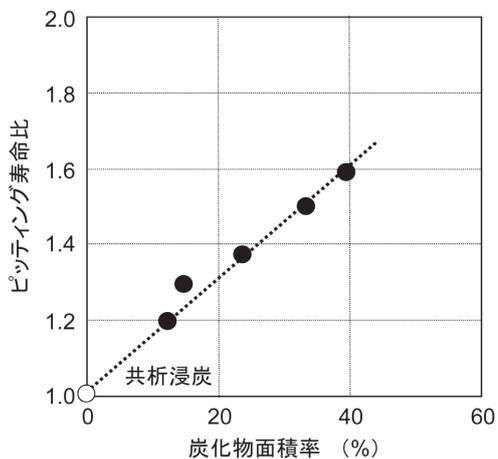


図10 炭化物量とピッチング寿命比の関係

比も向上していることがわかる。汎用の浸炭用鋼では焼入性に配慮した合金設計がなされているが、これらの鋼に高濃度浸炭処理を適用すると、炭化物を生成した領域ではCrやMoなどの合金元素が炭化物中に分配されて焼入性が低下するので、不完全焼入れ層を生成する可能性がある。このために、目標とする炭化物量に応じてCr、Moなどの合金元素量を制御する必要があり、高濃度浸炭処理の適用には注意が必要である。また、図11に高濃度浸炭処理後の炭化物の観察例を示すが、適正な処理条件下では1 $\mu$ m～数 $\mu$ mの微細な炭化物が得られているが、炭素量の管理や冷却条件が不適切な場合には、結晶粒界に網目状の炭化物を生成することもあり、強度低下の要因となるために処理条件の適正化が必要である。

## 4 表面硬化処理技術の今後の動向

浸炭用鋼は、1980年代から種々の変遷を遂げてきたが、近年では浸炭処理技術も大きな変革期を迎えている。1950年代後半にガス浸炭が導入され、自動車の大量生産と連動して進歩してきたが、CO<sub>2</sub>の削減や生産性の向上などの観点から、真空浸炭処理技術が着目されるようになってきた。真空浸炭技術は1980年代以前から開発されているが、品質の安定性に欠け、設備としても十分な状況に無かったため普及には至っていなかったが、2000年代に入り、真空浸炭の原理解明が進み設備面での大幅な改善が達成されたことから、ガス浸炭に変わる技術として着目されている<sup>32,33</sup>。

表2に、真空浸炭処理の長所と短所を示す。真空浸炭の最大の特長は、ガス浸炭の課題とされてきた酸化が生じないことであり、材料開発に大きな影響を与えたと言える。また、設備構造面からガス浸炭に比べて高温の処理が可能で処理時間が短縮できるため、生産性の改善が期待される。

先述したように、これまでの高強度材の材料設計では粒界酸化を抑制するために低Si、低Cr化を行う一方で、軟化抵抗性を向上させる目的で高Si、高Cr化の対策が取られてお

り、全く異なった合金設計が実施されてきたが、真空浸炭の適用によって合金設計面から粒界酸化への対策が不要となり、歯元強度と面強度を両立させる新たな材料開発の可能性が見出されたと言える。

一方、真空浸炭ではガス浸炭処理に用いられる炉内のカーボンポテンシャル制御が適用できないため、品質の安定化に向けた新たな制御技術が必要とされている。現在では、各種の制御法が提案されており、品質面の問題も解決されてきている。

真空浸炭におけるもう一つの課題は過剰浸炭が生じることであり、実部品を処理した際に見られる部位による炭素濃度の差異である。図12に、汎用の浸炭用鋼であるSCr420で製造した試験片のエッジ角度と表層炭素濃度の関係を示す。同一条件化ではエッジ角度が鋭利なほど表層の炭素濃度は高く、平坦部(エッジ角度180°)の炭素量を0.8%狙いで処理した場合、90°の部位では1.2%以上の炭素量であることがわかる。実際の部品では必ず鋭角部が存在するので、全ての部位を均一な炭素濃度に調整することは不可能であり、強度特性を低下させないためには炭素濃度の差を極力小さくすることが望まれる。

表2 真空浸炭処理の長所と短所

長所	酸化しない(粒界酸化の抑制)	⇒ 高強度化が期待できる
	酸化・浸炭阻害が発生しない	⇒ 合金設計の自由度が大きい
	高温処理が容易にできる	⇒ 処理時間を短縮できる
	表層C濃度が高い	⇒ 処理時間を短縮できる ⇒ 炭化物析出が容易にできる
	熱効率が良い	⇒ CO <sub>2</sub> 排出削減が期待できる
	排気ガスが少ない	⇒ クリーン環境で作業できる
短所	部位によってC分布が異なる	⇒ 強度低下が生じる場合がある
	操業条件が複雑である	⇒ 処理別に条件設定が必要である
	焼入れ温度が低下する場合がある	⇒ 品質が安定しない

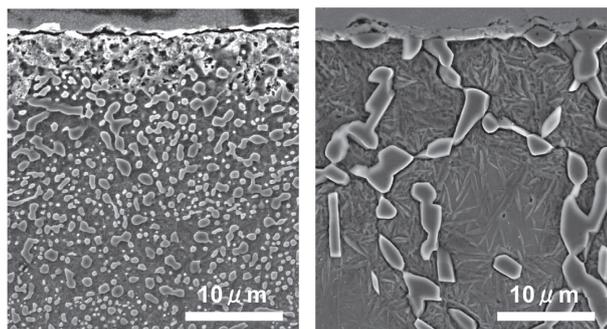


図11 高濃度浸炭処理材の炭化物のSEM観察例

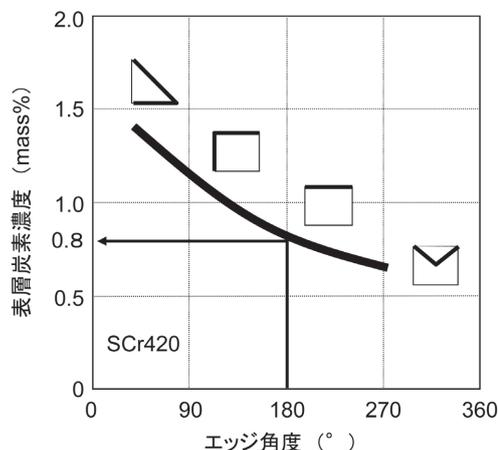


図12 真空浸炭処理における表層炭素濃度におよぼすエッジ角度の影響

このような過剰浸炭の防止の観点から材料開発が試みられ、森田らによって新たな真空浸炭用鋼が提案されており、歯元曲げ疲労強度と面疲労強度を両立した真空浸炭用鋼が実用化されている。また、森田らは、過剰浸炭の発生メカニズム解明に取り組み、計算状態図による考察と実験的な手法によって、真空浸炭時の鋼表層部に侵入する炭素量が鋼の成分組成によって異なることを見出し、新たな材料開発を提案している<sup>34,35)</sup>。

一方、近年では環境対策の観点からあらゆる分野でCO<sub>2</sub>削減の取り組みが実施されているが、真空浸炭技術に対して熱処理分野でのCO<sub>2</sub>削減の期待が寄せられている。一般のガス浸炭では、炉内の雰囲気管理を行うため、部品を処理していない間も浸炭ガスを消費しているのに対し、真空浸炭処理では部品処理時にのみガスを使用するので、CO<sub>2</sub>の発生を大幅に削減することが可能である。また、実際の浸炭に必要なガス量も真空浸炭処理の方が少ないので、CO<sub>2</sub>の削減効果が大きいと言える。

近年、浸炭処理の領域へ窒化・軟窒化処理の適用が拡大しつつある。窒化・軟窒化処理の最大の特長は、先にも述べたように部品の変形(ひずみ)が小さいことであり、この特性に着目したものである。変形を生じた歯車は局部接触のために騒音や振動発生の一因となり、強度も低下することがある。一般には、変形を防止するために、熱処理後の変形を考慮して機械加工がなされている。また、浸炭処理後に歯形修正の工程を追加するなどの対策が実施されており、工程削減の観点からもひずみに有利な窒化・軟窒化処理が見直されている。

部品の小型化の進行も、窒化・軟窒化処理拡大の背景にあると言える。歯車の小型化は小モジュール化を意味するが、同時に、必要とされる硬化深さが浅くなることも意味している。窒化・軟窒化処理の課題は硬化層が浅いことであり、強度改善に向けた研究開発が行われてきたが、要求される硬化深さの変化によって窒化・軟窒化処理の適用可能な範囲が拡大してきた。現在では、遊星変速機構の歯車などに適用された事例が見られ、今後更に適用が拡大されると思われる。

窒化・軟窒化処理も、ガス窒化、塩浴窒化、イオン・ラジカル窒化などの処理を主体に、設備開発や材料開発が継続されているが、高強度化に向けたさらなる開発が必要とされている。

## 5 まとめ

本稿では、表面硬化処理に関する変遷を振り返り、これまでに実用化されてきた各種の高強度材料を解説するとともに、今後の表面硬化処理技術の動向について述べた。

表面硬化処理技術は自動車産業の進歩に連動して進歩してきており、従来は強度改善を主眼に置いた開発が展開されてきたが、近年では、強度に加え環境対策も視野に入れた開発が実施されていることに注目したい。

また、浸炭処理領域の材料開発では、ショットピーニング処理などの表面改質技術や真空浸炭処理技術などの処理技術が材料開発にも大きく影響していることが特徴であり、材料開発と熱処理技術の開発が複合して進行していることにも注目したい。

本稿で紹介したように、これまでに各種の高強度鋼が開発され、同時に、新たな表面硬化処理技術が開発されることによって、部品の高強度化や低コスト化に寄与してきたが、今後も継続した研究開発が必要とされることは言うまでも無い。

自動車産業も、従来のガソリンエンジン車からハイブリッド車、電気自動車へと大きく変化してきており、各種の部品に要求される特性も大きく変化しつつある。材料開発、熱処理技術開発の領域も、この変化に追従した新たな開発が進行することを期待したい。

## 参考文献

- 1) 例えば内藤武志：浸炭焼入れの実際 第2版，日刊工業新聞社，(1999)
- 2) 例えば(社)日本熱処理技術協会：熱処理技術便覧，日刊工業新聞社，(2000)，788.
- 3) 例えば(社)金属表面処理技術協会：金属表面処理技術便覧，(1981)，1124.
- 4) 紅林豊：第188、189回西山記念技術講座，(2006)，83.
- 5) 例えば(社)日本熱処理技術協会：サーモ・スタディ 2008 広島
- 6) 例えば(社)日本熱処理技術協会：サーモ・スタディ 2009 静岡
- 7) 川崎一博：電気製鋼，67 (1996)，44.
- 8) 水馬克久，川崎一博：熱処理，27 (1987)，162.
- 9) 福田達：特殊鋼，46 (1997)，35.
- 10) 高田勝典：特殊鋼，46 (1997)，11.
- 11) 瓜田龍実，並木邦夫：電気製鋼，63 (1992)，59.
- 12) 瓜田龍実，並木邦夫：電気製鋼，61 (1990)，14.
- 13) 例えば(社)日本鉄鋼協会 自動車用材料検討部会(社)自動車技術会 材料部門委員会：表面硬化処理の新しい技術と特性第Ⅱ期WG活動報告書，(1998)
- 14) 葛西靖正，大田久司，成瀬隆；電気製鋼，52 (1982)，58.
- 15) R.A.Granger：Met. Trans.，4 (1973)，2231.
- 16) J.S.Karkaldy：Met. Trans.，4 (1973)，2327.

- 17) 並木邦夫, 磯川憲二: 鉄と鋼, 72 (1986), 2117.
- 18) 磯川憲二, 並木邦夫: 電気製鋼, 57 (19886), 4.
- 19) 磯川憲二, 並木邦夫: 電気製鋼, 57 (19886), 13.
- 20) 並木邦夫, 飯久保知人: 電気製鋼, 59 (19888), 5.
- 21) 久松定興, 金沢孝: 自動車技術, 41 (1987), 722.
- 22) 秦野敦臣, 並木邦夫: 電気製鋼, 63 (1992), 22.
- 23) 羽生田智紀, 紅林豊: 電気製鋼, 75 (2202), 73.
- 24) 羽生田智紀, 中村貞行: 電気製鋼, 73 (2200), 59.
- 25) 坂本和夫, 福住達夫, 上野英生: 三菱製鋼技術報, 30 (1996), 1.
- 26) 平井学, 宇野光男, 中里福和: 住友金属, 41 (1989), 455.
- 27) 渡辺陽一, 荒田晃, 鈴木信一, 三島良直: 熱処理, 39 (1999), 98.
- 28) 渡辺陽一, 成田直樹, 梅垣俊造, 三島良直: 鉄と鋼, 84 (1998), 66.
- 29) 伊藤樹一, 羽生田智紀, 中村貞行: CAMP-ISIJ, 13 (2000), 543.
- 30) 木村利光, 並木邦夫: 日本熱処理技術協会講演大会概要集, 30 (1990), 30.
- 31) 木村利光, 並木邦夫: 電気製鋼, 63 (1992), 4.
- 32) 河田一喜: 特殊鋼, 58 (2009), 29.
- 33) 大林巧治: Automotive Technorgy, 11 (2007), 160.
- 34) 森田敏之, 井上幸一郎, 羽生田智紀: 電気製鋼, 77 (2006), 4.
- 35) 森田敏之, 羽生田智紀: 鉄と鋼, 92 (2006), 268.

(2010年5月6日受付)



# 入門講座

## 鉄鋼精錬プロセス工学概論 3 Introduction of Steel Refining Process Engineering 3

北村信也  
Shin-ya Kitamura

東北大学 多元物質科学研究所  
教授

前号 (Vol.15 No.6 P.333) からの続き

(3.1.1) 式で記述される<sup>34)</sup>。尚、 $\theta$  は一般的には $12^\circ$ とされる。

### 3 要素技術の指標とモデル

$$v_{\max} = \frac{4dv_0}{2x' \tan \theta + d} \dots\dots\dots (3.1.1)$$

精錬は溶銑を溶鋼へ作り変える操作であり、限られた設備と時間の中で、いかに効率的で高速に作業が進められるかが重要である。基本的な精錬設備は転炉であり、それに、予備処理や2次精錬をおこなうため、トピードカーや取鍋を反応容器として用いている。この章では、各反応容器に共通した要素技術について、その考え方、指標、モデルを示す。

転炉上吹きノズルのようにガス流速が非常に大きく超音速の場合には、ノズルから噴出された直後にガスは急に減圧され断熱膨張を起こす。このため、図37に示すような末広型ノズル(ラバルノズルと称する)を用いて圧力損失を抑制してガスの背圧を有効に流速に変えている<sup>34)</sup>。ここで、 $P_p$ は酸素ガスの背圧(MPa)、 $P_a$ は雰囲気圧力(MPa)、 $A_t$ は最も

#### 3.1 上吹きジェット

##### 3.1.1 単孔からの噴流

超音速ジェットとして酸素ガスを上吹きすることは、転炉精錬で最も重要な要素技術であり、脱炭酸素効率のような冶金反応だけでなく、ダストやスピッキング、2次燃焼等の現象とも密接に関連するため、特に、噴流の浴面到達時の流速やエネルギーを推定する試みが広くおこなわれている。

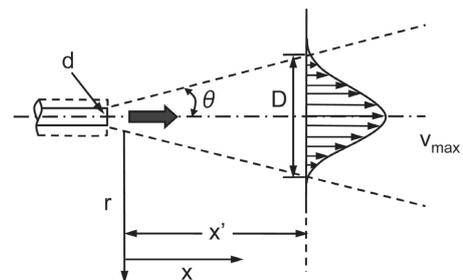


図36 上吹きジェットの噴流流速分布の模式図(文献<sup>34)</sup>による)

ノズルからの気体噴流に関する研究は化学工学で広くおこなわれている。軸対象自由噴流の場合、ノズルから噴出方向を  $x$  (m)、ノズル中心軸から半径方向の距離を  $r$  (m) として、ある位置  $x'$  での  $r$  方向における噴流流速  $v$  (m/s) の分布を測定すると、中心軸で最大 ( $v_{\max}$ ) で周辺部ほど小さくなり、また、ノズルから離れるほど  $v_{\max}$  が小さくなる挙動を示す(図36)<sup>34)</sup>。また、 $x$  によらず  $v/v_{\max}$  と  $r/r_h$  の関係は1つの曲線となることが知られている。ここで  $r_h$  は  $v$  が  $v_{\max}$  の1/2になる  $r$  の値(半値幅)である。

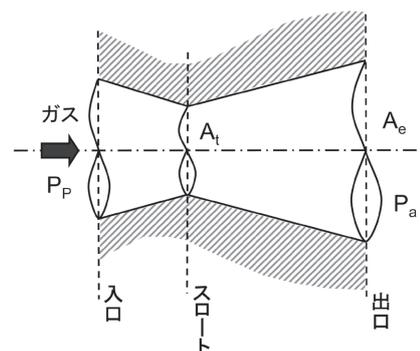


図37 上吹きランスノズル断面の模式図

円孔ノズルでは、 $x'$  での中心流速  $v_{\max}$  と平均流速  $\bar{v}$  との間には  $v_{\max} = 4\bar{v}$  の関係があり、ノズル直径を  $d$ 、気体の初速を  $v_0$  とし、 $x'$  での噴流が直径  $D$  で広がるとすると、運動量保存則から  $dv_0 = D\bar{v}$  の関係が成り立つ。また、噴流の広がり角度を  $\theta$  とすると  $D = 2x' \tan \theta + d$  となり、これより、 $v_{\max}$  は

狭い部分（スロートと称する）の断面積 (m<sup>3</sup>) で、A<sub>e</sub> (m<sup>3</sup>) は出口断面積である。

このようなノズルから高速で気体を噴出させると、中心軸上の流速が変化しないポテンシャルコアと呼ばれる領域が存在し (図 38)、ポテンシャルコアが消えた後に自由噴流と同様の減衰が始まるため、中心軸での流速は図 39 のように変化する。ここで縦軸は測定された流速を音速で無次元化した値 (マッハ数; M) である。M = 1 になる x を仮にジェットコア長さと呼び X<sub>JC</sub> (mm) とすると、この値は (3.1.2) 式で計算できる<sup>35)</sup>。

$$X_{JC} = M_P (5.88 + 1.54M_P^2) d_t \dots\dots\dots (3.1.2)$$

ここで、d<sub>t</sub> はノズルのスロート直径 (mm) であり、M<sub>P</sub> はラバールノズルに対してその形状 (スロート径と出口径の比) で決まる適正マッハ数であり (3.1.3) 式で計算される。尚、d<sub>e</sub> はノズルの出口直径 (mm) である。

$$\frac{d_e}{d_t} = \left\{ \frac{1}{M_P} \left( \frac{1 + 0.2M_P^2}{1.2} \right)^3 \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (3.1.3)$$

M<sub>P</sub> と、その時の酸素ガスの背圧 (P<sub>P</sub>; MPa)、酸素流量 (F<sub>O<sub>2</sub>,P</sub>; Nm<sup>3</sup>/h) の関係は (3.1.4)、(3.1.5) 式で示される。ここで P<sub>a</sub> は大気圧では 0.1013 になるが、減圧下ではその時の操業真空度になる。

$$M_P = \left\{ 5 \times \left( \frac{P_{P,P}}{P_a} \right)^{2/7} - 1 \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (3.1.4)$$

$$F_{O_2,P} = 4.65 \times d_t^2 \times P_P \dots\dots\dots (3.1.5)$$

この流量で供給する場合は、最もエネルギー損失なくガスが噴出できる (適正膨張) ため、いわばノズルの設計流量とも言える値であるが、これと異なる背圧 (P) で酸素を供給した場合には不適正膨張がノズル先端で起こり、それによるエネルギーロスのためジェットコア長さ X'<sub>JC</sub> (mm) が図 40 のように変化する<sup>35)</sup>。この挙動については、P/P<sub>P</sub> (=  $\zeta$ ) と、(3.1.2) 式で計算される適正膨張条件でのジェットコア長さ X<sub>JC</sub><sup>P</sup> (mm) との関係で (3.1.6) 式のような実験式が得られている。

$$\left. \begin{aligned} X_{JC}/X_{JC}^P &= 0.571 \times \zeta - 0.043 && (0.4 < \zeta \leq 0.7) \\ X_{JC}/X_{JC}^P &= -1.935 \times \zeta^4 + 12.65 \times \zeta^3 && \\ &\quad - 29.28 \times \zeta^2 + 28.78 \times \zeta && \\ &\quad - 9.21 && (0.7 < \zeta \leq 2.1) \\ X_{JC}/X_{JC}^P &= 0.078 \times \zeta^3 - 1.023 \times \zeta^2 && \\ &\quad + 4.737 \times \zeta - 4.54 && \\ &&& (2.1 < \zeta \leq 5.0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1.6)$$

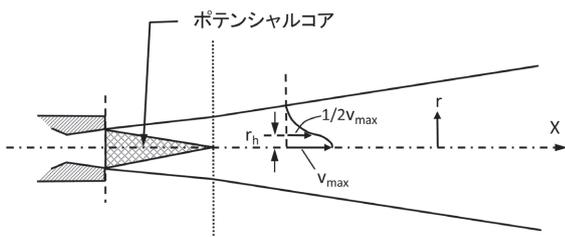


図 38 高速で噴射されたジェットに生成するポテンシャルコア

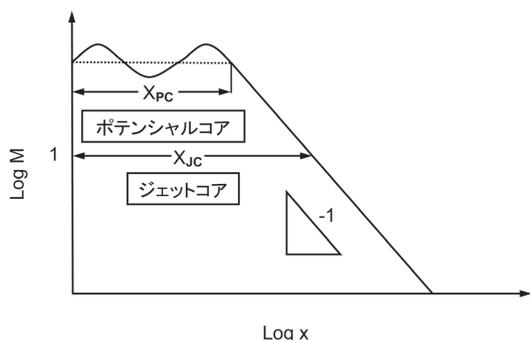


図 39 ジェット中心軸上の最大流速の変化 (文献<sup>35)</sup>による)

### 3.1.2 多孔ランス

転炉上吹き多孔ランスは我が国で開発された技術であり 1962 年に実用化されている。これにより、転炉大型化、高速吹錬化が可能になり、その後、世界的に転炉製鋼法が普及したことに大きな貢献をした。多孔にした場合、ノズルの傾角を十分に大きくしないと、各ノズルからの噴流が合体する。

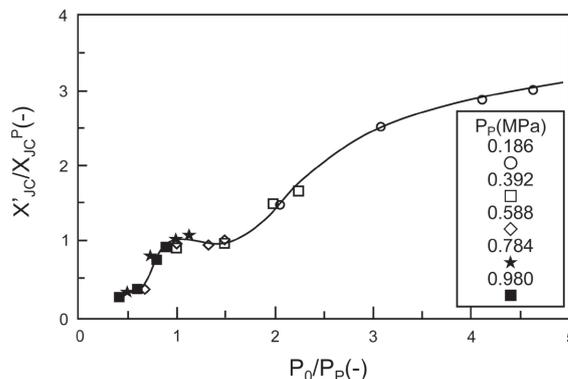


図 40 適正膨張圧力に対して背圧を変化させた場合のジェットコア長さの変化 (文献<sup>35)</sup>による)

これは、噴流が周囲のガスを巻き込んで減衰するときに、各ノズルから出た噴流に囲まれた閉鎖的な空間が存在すると負圧が発生し、周囲の噴流が互いに引き寄せられるためである(図41)<sup>35)</sup>。図42に示すのは冷間で2つのノズルから出た噴流の、ある位置xでの流速分布であるが、2つのノズル間の傾角( $\xi$ )が小さい場合やノズルの間隔( $l_N$ )が短い場合、あたかも1つのノズルからの噴流のようにになっている<sup>35)</sup>。このようになると多孔化した効果が失われるため、ランスの設計では各ノズルの間隔や傾き角度に注意が必要である。どのような条件で合体が起こるのかについては簡単には計算できず、モデル式による検討<sup>35)</sup>や流動解析ソフトによる計算<sup>36)</sup>がなされている。

3.1.3 高温場、反応場、減圧下での噴流

実際の転炉では噴流は高温場にさらされ、また、 $O_2$  ガス噴流が雰囲気中のCOを巻き込むため、噴流内で $O_2 + 2CO = 2CO_2$ という発熱反応が起こる。さらに、2次精錬では減圧雰囲気の上吹きをする場合もある。

噴流挙動に対する雰囲気温度の影響は、雰囲気温度を変化させた加熱炉中で噴流の動圧を測定することで調べるこ

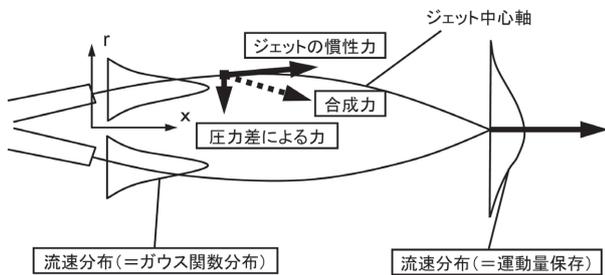


図41 近接する2つのノズルから出た噴流が合体する機構(文献<sup>35)</sup>による)

とができる。それによれば、高温ほどポテンシャルコアが長くなり中心流速も速くなるが、ガス密度が低下するため動圧として見ると温度の影響は大きくないという結果が出ている(図43)<sup>37)</sup>。しかし、酸素ガスをCO雰囲気中に噴出させた実験では、中心軸上のガス組成はノズルから遠ざかるほど $CO_2$ が増加しており(図44)、噴流の温度も $1600^\circ C$ 以上まで上昇している<sup>38)</sup>。このように、転炉での噴流挙動は複雑なものと思われるが、操業指針としては、3.1.1節で示したような冷間実験の結果が用いられる。

一方、2次精錬のように減圧雰囲気での噴流挙動も重要である。この場合には、真空度によってノズルのスロート径や出口径を変えることはできず、同じノズルで様々な真空度で上吹きするため、設計条件(適正膨張)とは大幅に異なる条件(不適正膨張)で使用されることになる。減圧下では雰囲気から巻き込まれるガス密度が下がるためポテンシャルコアが伸び、噴流の減衰も遅くなる。ある位置xとノズル出口でのマッハ数をM、 $M_0$ とすると、噴流は(3.1.7)式で記述できる<sup>39)</sup>。

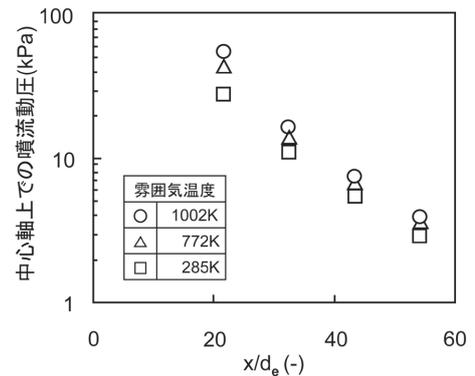


図43 中心軸の動圧変化に対する雰囲気温度の影響(文献<sup>37)</sup>による)

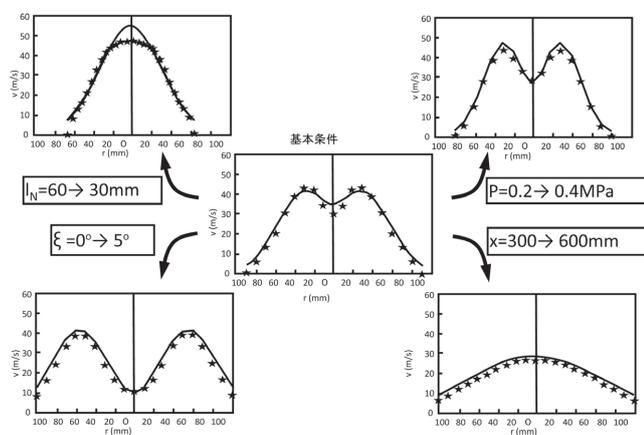


図42 近接する2本の噴流の相互作用による動圧分布の変化(文献<sup>35)</sup>による)

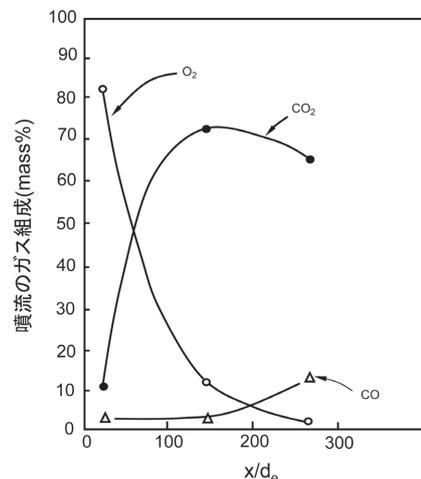


図44 中心軸部のガス組成の変化(文献<sup>38)</sup>による)

$$\frac{M}{M_0} = \frac{K}{(x/d_e - \alpha)} \dots\dots\dots (3.1.7)$$

Kは噴流の減衰速度を示すパラメータで、M = M<sub>0</sub>になる位置をポテンシャルコア (X<sub>PC</sub>) とすると K + α は無次元化されたポテンシャルコア (X<sub>PC</sub>/d<sub>e</sub>) になる。これらは雰囲気圧力 P<sub>a</sub> と背圧 P の比で整理でき (図 45)、以下の実験式が得られている<sup>39)</sup>。

$$K = 6.02 \times 10^{-5} \times \left(\frac{P}{P_a}\right)^2 + 5.40 \dots\dots\dots (3.1.8)$$

$$K + \alpha = -150.4 \times \left(\frac{P}{P_a}\right)^{-1} + 27.8 \dots\dots\dots (3.1.9)$$

ここで M<sub>0</sub> は設計条件 (M<sub>P</sub>) から不適正膨張によるロス (M<sub>loss</sub>) を差し引いた値であり、適正膨張を得られる背圧 P<sub>P</sub> と雰囲気圧力との比で図 46 のようなデータが得られている。

3.1.4 上吹きガスによる攪拌エネルギー密度

上吹きガス噴流を簡易的に図 47 のように近似すると、噴流の流速分布は (3.1.10) 式で与えられる。ここで v (r, x) は中心軸方向に x、半径方向に r の点の流速であり、r<sub>∞</sub> は噴流

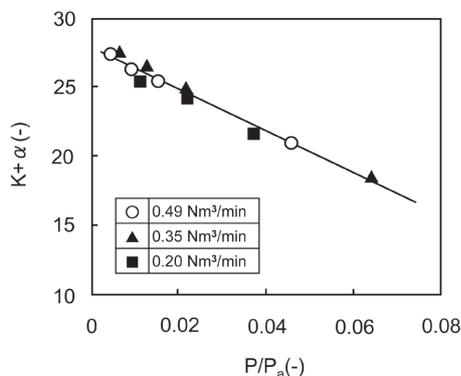


図 45 雰囲気圧力とポテンシャルコア長さの関係 (文献<sup>39)</sup>による)

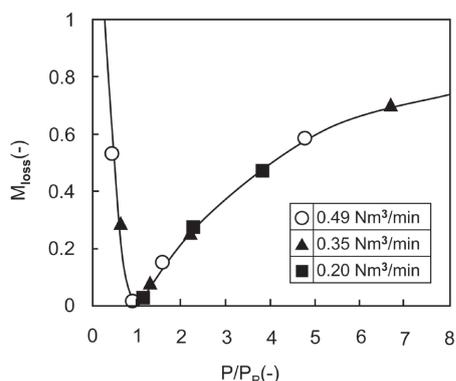


図 46 減圧下での不適正膨張による流速ロス (文献<sup>39)</sup>による)

が広がる半径である。

$$\frac{v(r, x)}{v(0, x)} = \frac{r_\infty - r}{r_\infty} \dots\dots\dots (3.1.10)$$

ガス密度を ρ<sub>g</sub> (kg/m<sup>3</sup>) とすると、運動量収支は (3.1.11) 式で記述され、運動エネルギー E<sub>T</sub> (w) は (3.1.12) 式のようにになる。ここで v<sub>0</sub> = v (0, 0) はノズル出口での初速であり (3.1.13) 式で計算される。

$$\pi \rho_g d_t^2 v_0^2 / 4 = \rho_g \int_0^\infty 2 \pi r v^2 (r, x) dr \dots\dots\dots (3.1.11)$$

$$E_T = \frac{\pi \rho_g}{20} \left(6.313 \frac{d_t}{x}\right)^3 (x \tan \left(\frac{\theta}{2}\right))^2 v_0^3 \dots\dots\dots (3.1.12)$$

$$v_0 = \left\{ \frac{\gamma g R}{m} T_g \left(\frac{P_a}{P}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}^{1/2} \frac{2}{\gamma-1} \left\{ \left(\frac{P}{P_a}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right\} \dots\dots\dots (3.1.13)$$

ここで、γ は比熱比で純酸素であれば 1.4、P、P<sub>a</sub> は背圧、雰囲気圧力、m はガスの分子量、T<sub>g</sub> はガス温度 (K) である。

(3.1.12) 式より、溶鉄の質量を W (t)、上吹き酸素流量を Q<sub>T</sub> (Nm<sup>3</sup>/min) とし、ランス先端から浴面までの距離 (ランス高さ) を h (m)、ランスのノズル数を n<sub>L</sub>、ノズル傾角を ξ とすると、多孔ランスでの上吹きガスによる攪拌エネルギー密度 ε<sub>T</sub> (W/t) は (3.1.14) 式となる<sup>40)</sup>。

$$\epsilon_T = 0.0453 \times Q_T \times \frac{n_L \times d_t \times v_0^2}{W \times h} \cos^2 \xi \dots\dots\dots (3.1.14)$$

また、ガスの水平方向の運動エネルギーも考慮した上で、より簡易に計算できる (3.1.15) 式も提案されている<sup>41)</sup>。

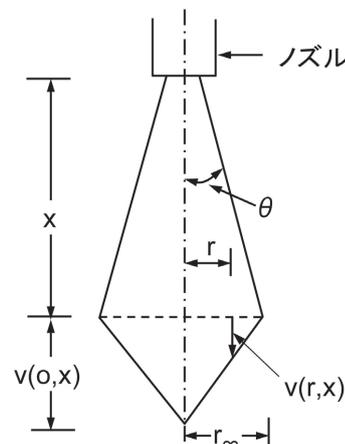


図 47 上吹きガスによる攪拌エネルギー密度 (文献<sup>40)</sup>による)

$$\dot{\epsilon}_T = \frac{0.632 \times 10^{-6}}{W} (\cos \xi) \frac{Q_T^3 m}{n_L^2 d_i^3 h} \dots\dots\dots (3.1.15)$$

尚、後記のように上吹き攪拌エネルギー密度のうち、鋼浴の攪拌に寄与する割合は10%程度にすぎないとされている。

3.1.5 キャビティー深さ

上吹きガス特性において操作上、最も良く使われる概念がキャビティー深さL(m)である。これは図48のように、上吹きガスの動圧で鋼浴表面にできる凹み深さであるが、これを浅くする吹錬をソフトブロー、深くする吹錬をハードブローと呼び、日本で確立され世界で用いられている操業指針である。

Lは(3.1.16)式で計算される<sup>34)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} L &= L_h \exp(-0.78 (h \times 10^3) / L_h) \times 10^{-3} \\ L_h &= 63.0 \left\{ k \frac{Q_T/60}{n_L (d_i \times 10^3)} \right\}^{2/3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1.16)$$

kは多孔ノズルでの重なりを補正する係数であり3孔ノズルの場合は傾角との関係として表2で与えられる。この式は、式の形式は次元解析に基づく理論式であるが、係数は試験転炉での実験値に合わせこんで得たものである。

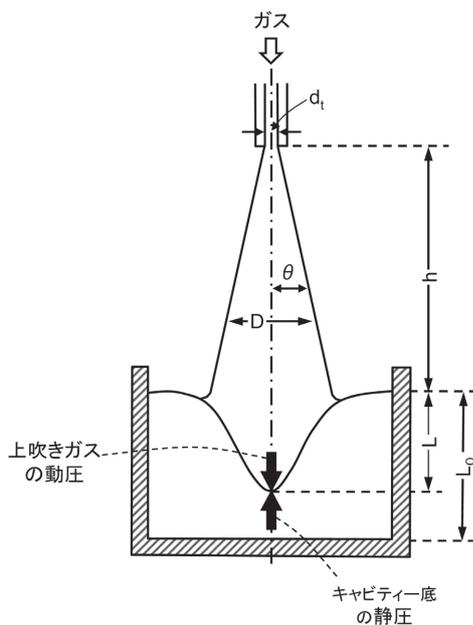


図48 上吹きガスによるキャビティーの形成 (文献<sup>34)</sup>による)

表2 多孔ノズルでの補正係数 (文献<sup>34)</sup>による)

ノズルの傾角(ξ);度	0	5	10
補正係数(k)	約1.72	約1.51	1.00

また、噴流の吹き付け圧がキャビティー底の静圧とバランスするとすれば(3.1.17)式が書ける。ここでρ<sub>L</sub>は溶鉄密度(kg/m<sup>3</sup>)、gは重力加速度(=9.807m/s<sup>2</sup>)である。v<sub>max</sub>を(3.1.1)式(x' = L + h)で与えると(3.1.18)式が得られる<sup>34)</sup>。尚、ζはエネルギー損失を示す補正係数である。

$$\frac{\rho_g v_{max}^2}{2g} = L \rho_L \dots\dots\dots (3.1.17)$$

$$d_i v_0 = \zeta \left\{ \left( \frac{2g \rho_L}{\rho_g} \right)^{1/2} / \left( \frac{4}{2 \tan \theta} \right) \right\} \times (L + h) \sqrt{L} \dots\dots\dots (3.1.18)$$

3.1.6 スピットイングの発生

上吹きガスによる操業上の大きな問題はスピットイングと呼ばれる現象である。これは微小な溶鉄が転炉の炉口から飛散する現象で、鉄分歩留の低下だけでなくランスに付着して操業トラブルを引き起こす原因になる。水モデルで実験するとスピットイング高さや量はキャビティー深さと良い対応を持つことから、上吹きガスにより物理的に引きちぎられた粒子と考えられている<sup>42)</sup>。従って、スピットイングを減らすには上吹きガスのエネルギーを小さくする必要がある。特に、多孔ランスでは前記のように、ノズル傾角やノズル間隔を適正にしないと、各ノズルからのガスが合体し大きなエネルギーで浴面に到達する。このため、各ノズルからの噴流が片側12°の角度で広がって浴面に到達すると仮定して浴面に到達面(火点)を描き、それらが重ならないようにランスを設計することがおこなわれている(図49)<sup>43,44)</sup>。

前節で示した(3.1.18)式は、上吹きガスの運動エネルギーε<sub>T</sub>(W)がキャビティーを生成するエネルギーε<sub>CV</sub>(W)にのみバランスすると仮定しているが、実際には、浴の攪拌ε<sub>AG</sub>(W)やスピットイングの発生ε<sub>SP</sub>(W)にも消費される。

$$\epsilon_T = \epsilon_{CV} + \epsilon_{AG} + \epsilon_{SP} \dots\dots\dots (3.1.19)$$

今、ε<sub>AG</sub> = a · ε<sub>T</sub>、ε<sub>SP</sub> = b · ε<sub>CV</sub>と仮定し、各種液体での実験結果から(3.1.20)式で定義されるパラメータfを算出す

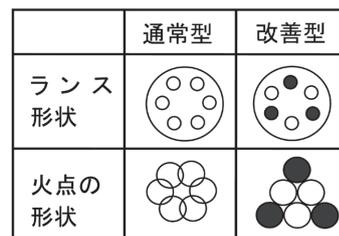


図49 多孔ランスでの浴面の形成される火点の模式図 (文献<sup>44)</sup>による)

ると図 50 のようになる。

$$f = \left( \frac{1+b}{1-a} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (3.1.20)$$

ここで、3.1.4 節で記したように a = 0.1 (つまり上吹きガスのエネルギーのうち攪拌混合に使われる割合は 10%) とすると、水のように軽い液体の場合 b は 1 程度になり、キャビティーを生成するエネルギーと同程度のエネルギーがスピットティングの発生にも消費されているのに対し、溶鉄の場合の b は非常に小さな値になり、上吹きガスの運動エネルギーはキャビティーの生成と浴の攪拌でほとんどが消費され、スピットティングの発生には寄与しないことになる<sup>45)</sup>。

転炉では上吹き酸素と溶鉄の炭素が反応し、浴面から CO ガスが多量に発生する上に、一旦、上吹きガスで物理的に引きちぎられた粒鉄も、その中の炭素がさらに酸化されて CO ガスを発生する。このためスピットティングの主因は CO ガス発生速度であるという研究結果もある (図 51)<sup>45)</sup>。ただし、こ

れらの実験室での測定は、上吹きガスの運動エネルギーが実機に比べてはるかに小さい条件であることは留意すべきであり、作業指針としては、キャビティー深さや火点の重なりが用いられている。

(次号 Vol.15 No.8 に続く)

参考文献

34) 瀬川清：鉄冶金反応工学 改訂新版，日刊工業新聞社，昭和 52 年，90。  
 35) K.Naito, Y.Ogawa, T.Inomoto, S.Kitamura and M.Yano：ISIJ Int., 40 (2000) , 23。  
 36) Y.Tago and Y.Higuchi：ISIJ Int., 43 (2003) , 209。  
 37) I.Sumii, Y.Kishimoto, Y.Kikuchi and H.Igarashi：ISIJ Int., 46 (2006) , 1312。  
 38) 平居正純，辻野良二，向井達夫，原田俊哉，大森正直：鉄と鋼，73 (1987) , 1117。  
 39) I.Sumii, G.Okuyama, S.Nabeshima, H.Matuno and Y.Kishimoto：ISIJ Int., 47 (2007) , 73。  
 40) 非公開資料：1980 年  
 41) 甲斐幹，大河平和男，樋口満雄，平居正純：鉄と鋼，69 (1983) , 228。  
 42) 島田道彦，石橋政衛，森瀬兵治：製鐵研究，266 (1966) , 8855。  
 43) 森正晃，小林功，中島敏洋，荻野定志，吉田学史：鉄と鋼，70 (1984) , S244。  
 44) Y.Higuchi and Y.Tago：ISIJ Int., 41 (2001) , 1454。  
 45) 北村信也，大河平和男：鉄と鋼，76 (1990) , 199。

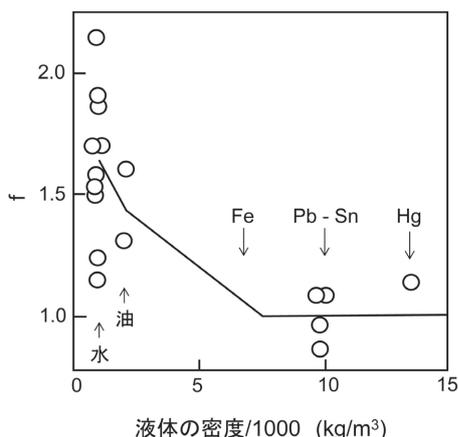


図 50 各種液体を上吹きした場合のエネルギー収支 (文献<sup>45)</sup> による)

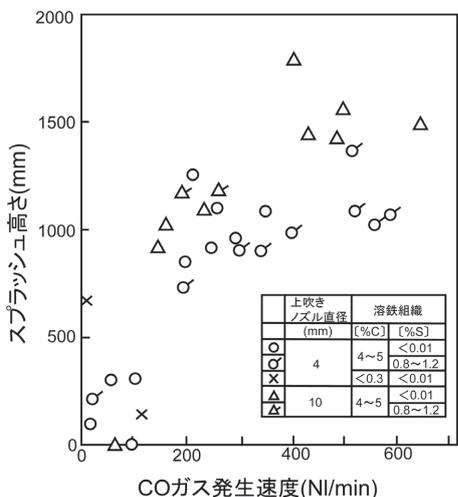


図 51 CO ガス発生速度とスプラッシュ高さの関係 (文献<sup>45)</sup> による)

(2010 年 3 月 25 日受付)

## 会員へのお知らせ目次

**行事等予定** .....454頁

**総合**

平成23年度「産発プロジェクト展開鉄鋼研究」募集案内 .....457頁

日本鉄鋼協会研究会I 平成23年度募集案内(公募) .....459頁

日本鉄鋼協会研究会II 平成23年度募集案内(公募) .....460頁

**イベント情報**

鉄鋼工学セミナー「専科」平成22年度受講のご案内 .....461頁

平成22年度工学教育連合講演会 開催案内と参加募集 工学教育の困難をどう克服するか .....464頁

環境・エネルギー・社会工学部会 鉄の技術と歴史フォーラム 第14回公開研究発表会(2010年度夏季)開催案内 .....465頁

**支部**

東海支部 湯川記念特別講演会開催案内 .....466頁

関西支部 平成22年度本多光太郎記念講演会開催案内 .....466頁

**人材募集案内** .....466頁

**次号目次案内** .....467頁

**会員欄(入会者・死亡退会者一覧)** .....468頁

**海外鉄鋼関連最新論文** .....469頁

## 行事等予定

太字は本会主催の行事。国際会議で○は協会にてサーキュラー等入手できます。

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
<b>2010年7月</b>			
1, 2日	第21回傾斜機能材料シンポジウム(FGM-2010)(北海道)	傾斜機能材料研究会	北海道大学 松浦清隆 Tel.011-706-6345 http://www.fgms.net/
7~9日	表面改質展in名古屋(名古屋)	日刊工業新聞社	Tel.06-6946-3384
7~9日	第47回アイソトープ・放射線研究発表会(東京)	日本アイソトープ協会	Tel.03-5395-8081 gakujuetsu@jrias.or.jp http://www.jrias.or.jp/
8, 9日	第44回X線材料強度に関するシンポジウム(京都)	日本材料学会	Tel.075-761-5321 http://www.jsms.jp/
8, 9日	第30回防錆防食技術発表大会(東京)	日本防錆防食技術協会	Tel.03-3434-0451 http://www1.sphere.ne.jp/jacc/
8, 9日	安全工学シンポジウム2010(東京)	日本学術会議 安全工学会	Tel.03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com http://www.soc.nii.ac.jp/jsse3/
12日	第185回塑性加工技術セミナー(東京)	日本塑性加工学会	Tel.03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
13日	平成22年度 計測自動制御学会 関西支部講習会(大阪)	計測自動制御学会	大阪大学 宮本俊幸 Tel.06-6879-7694 http://is.eei.eng.osaka-u.ac.jp/sice-kansai/
14~16日	第29回電子材料シンポジウム(EMS-29)(静岡)	電子材料シンポジウム運営委員会	東京大学生産技術研究所 太田実雄 Tel.03-5452-6344 http://ems.jpn.org/
15日	<b>東海支部 湯川記念特別講演会(名古屋 本号466頁)</b>	<b>日本鉄鋼協会 東海支部</b>	<b>名古屋大学大学院工学研究科 Tel.090-6090-3604 tokai@numse.nagoya-u.ac.jp</b>
15, 16日	(社)日本分析化学会・(社)日本鉄鋼協会評価・分析・解析部会共催分析信頼性実務者レベル講習会第12回金属分析技術セミナー:金属中微量成分分析(実技と試験)(東京 3号159頁 受講申込締切4月14日)	日本分析化学会 日本鉄鋼協会	日本分析化学会 第12回金属分析技術セミナー係 Tel.03-3490-3351 koms@jsac.or.jp http://www.jsac.or.jp/seminar/
15, 16日	第41回トライボロジー入門講座(東京)	日本摩擦学会	Tel.03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
16日	<b>関西支部 平成22年度本多光太郎記念講演会(大阪 本号466頁)</b>	<b>日本鉄鋼協会 関西支部</b>	<b>関西支部事務局 Tel.06-6443-5326 n-kansai@ostec.or.jp</b>
17~19日	日本混相流学会年會講演会2010(静岡)	日本混相流学会	静岡大学 工学部 Tel.053-478-1605 http://www.eng.shizuoka.ac.jp/~JSMF2010/index.html
21日	No.01-10シンポジウム「車体構造形成におけるCO <sub>2</sub> 削減の新展開」(東京)	自動車技術会	Tel.03-3262-8214 http://www.jsae.or.jp/calendar/
21日	<b>環境・エネルギー・社会工学部会合同夏季セミナー「CO<sub>2</sub>の削減・回収・貯留技術法の最先端」(福岡 6号362頁)</b>	<b>日本鉄鋼協会</b>	<b>東北大学 多元物質科学研究所 村上太一 Tel.022-217-5155</b>
24日	<b>環境・エネルギー・社会工学部会「鉄の技術と歴史」フォーラム第14回公開研究発表会(2010年度夏季)(千葉 本号465頁 申込締切7月16日)</b>	<b>日本鉄鋼協会</b>	<b>千葉工業大学 工学部 寺島慶一 Fax.047-478-0329</b>
25~27日	埋もれた界面のX線・中性子解析に関するワークショップ2010(名古屋)	応用物理学会	物材機構 桜井健次 Tel.029-859-2821 http://www.nims.go.jp/xray/ref/2010ws.htm
25~30日	<b>第36回鉄鋼工学セミナー(蔵王 3号156頁 申込締切5月7日)</b>	<b>日本鉄鋼協会</b>	<b>育成グループ Tel.03-5209-7014</b>
29, 30日	第40回初心者のための有限要素法講習会(演習付き)第1部(京都)	日本材料学会	Tel.075-761-5321 http://www.jsms.jp/
29, 30日	No.10-68 講習会 構造解析のための有限要素法入門-ひとり一台のパソコンによる演習付き-(横浜)	日本機械学会	Tel.03-5369-3505 kumagai@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/event/201005/100729s.htm
30日	<b>「鉄と鋼」特集号「鉄鋼材料の組織・特性予測技術の最前線」原稿締切(2号93頁)</b>	<b>日本鉄鋼協会</b>	<b>編集グループ Tel.03-5209-7012</b>

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
<b>2010年8月</b>			
2～5日	第116回塑性加工講座(名古屋)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
6日	第30回疲労講座「はじめての金属疲労」(大阪)	日本材料学会	Tel. 075-761-5321 <a href="http://www.jsms.jp/">http://www.jsms.jp/</a>
9, 10日	役に立つ真空技術入門講座(大阪)	日本真空協会 関西支部	(株)アルバック 橋 信介 Tel. 06-6397-2284 <a href="http://www.vacuum-jp.org/KANSAI/kansai_latest.html">http://www.vacuum-jp.org/KANSAI/kansai_latest.html</a>
10日	中国四国支部講演大会(山口 6号362頁 発表申込締切6月11日)	日本鉄鋼協会 中国四国支部	山口大学 応用化学科 中山則昭 Fax.0836-85-9201
17～19日	日本実験力学会2010年度年次講演会(長崎)	日本実験力学会	長崎大学工学部 松田 Tel. 095-819-2880 <a href="http://jsem.jp/event/Annual10/index.html">http://jsem.jp/event/Annual10/index.html</a>
19日	平成22年度工学教育連合講演会「工学教育の困難をどう克服するか」(仙台 本号464頁)	日本工学教育協会	Tel. 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp <a href="http://www.soc.nii.ac.jp/jsee/">http://www.soc.nii.ac.jp/jsee/</a>
19, 20日	第40回初心者のための有限要素法講習会(演習付き)第2部(京都)	日本材料学会	Tel. 075-761-5321 <a href="http://www.jsms.jp/">http://www.jsms.jp/</a>
23, 24日	第12回初心者のための疲労設計講習会(名古屋)	日本材料学会	Tel. 075-761-5321 <a href="http://www.jsms.jp/">http://www.jsms.jp/</a>
23～25日	第117回塑性加工講座(名古屋)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
24, 25日	第9回圧力機器および配管におけるガスケットフランジ締結体のシーリングテクノロジー(東京)	日本高圧力技術協会	Tel. 03-3255-3486 hpi@hpij.org
26日	SPRING-8金属材料評価研究会(第3回:ひずみ・応力分布測定の新手法)(東京)	SPRING-8利用推進協議会	高輝度光科学研究センター Tel. 0791-58-0924 kinzoku@spring8.or.jp
26, 27日	第13回初心者のための疲労設計講習会(東京)	日本材料学会	Tel. 075-761-5321 <a href="http://www.jsms.jp/">http://www.jsms.jp/</a>
27日	熱切断作業の品質と安全講習会-ガス、プラズマ、レーザー切断の勘所-(東京)	日本溶接協会	Tel. 03-3257-1524 uchiumi@jwes.or.jp
27, 28日	2010年度JCOM若手シンポジウム(兵庫)	日本材料学会	Tel. 075-761-5321 <a href="http://compo.jsms.jp">http://compo.jsms.jp</a>
31～2日	The International Conference Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testing Techniques(Czech Rep)	Materials & Metallurgical Research	karel.matocha@mmvzskum.cz
30日	日本鉄鋼協会研究会 I 平成23年度応募締切	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-5209-7013
30日	平成23年度産発プロジェクト展開鉄鋼研究、研究会 II 応募締切	日本鉄鋼協会	技術企画・部会グループ Tel. 03-5209-7014
31日	平成22年度日本金属学会関東支部講習会(東京)	日本金属学会 関東支部	関東支部事務局 石川 Tel. 090-6192-2500 ishikawa@material.tu-tokyo.ac.jp
31～1日	第26回分析電子顕微鏡討論会(千葉)	日本顕微鏡学会	九州大学大学院工学研究院 金子賢治 Tel.092-802-2959 kaneko@zaiko.kyushu-u.ac.jp
<b>2010年9月</b>			
1～3日	VACUUM2010-真空展(東京)	日本真空工業会、他	(株)シー・エヌ・ティ Tel. 03-5297-8855 <a href="http://www.jvia.gr.jp">http://www.jvia.gr.jp</a>
3, 4日	鉄鋼工学セミナー「強化機構専科」(東京 6号361頁 申込締切8月3日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-5209-7014
5日	平成22年度クリーン・コールドー(東京)	石炭エネルギーセンター	Tel. 03-6400-5193 fujita@jcoal.or.jp <a href="http://www.jcoal.or.jp">http://www.jcoal.or.jp</a>
5～9日	The 12th International Conference on Aluminium Alloys(ICAA12)(横浜)	JILM	<a href="http://www.icaa12.org/">http://www.icaa12.org/</a>
7～10日	第50回真空夏季大学(静岡)	日本真空協会	Tel. 03-3431-4395 ofc-vsji@vacuum-jp.org <a href="http://www.vacuum-jp.org/">http://www.vacuum-jp.org/</a>
9, 10日	第42回溶融塩化学討論会(北海道)	電気化学会	北海道大学大学院工学研究科 上田幹人 Tel. 011-706-7813 <a href="http://msc.electrochem.jp/">http://msc.electrochem.jp/</a>
10日	もう一度学ぶ機械材料学(東京)	日本機械学会	Tel. 03-5360-3500 <a href="http://www.jsme.or.jp/kyoushu2.htm">http://www.jsme.or.jp/kyoushu2.htm</a>
10日	第38回塑性加工技術フォーラム(広島)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
13～15日	第118回塑性加工講座(東京)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
14～18日	Dynamics and Design Conference(京都)	日本機械学会	同志社大学 辻内伸好 Tel. 0774-65-6493 <a href="http://www.jsme.or.jp/dmc/DD2010">http://www.jsme.or.jp/dmc/DD2010</a>
15～17日	The 10th International Conference on Steel Rolling(ICSR)(中国)	CSM	<a href="http://hy.csm.org.cn/icsr10/en">http://hy.csm.org.cn/icsr10/en</a>
16日	第284回塑性加工シンポジウム(名古屋)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 jstp@jstp.or.jp
16, 17日	鉄鋼工学セミナー「スクラップ専科」(仙台 6号360頁 申込締切8月16日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-5209-7014
16, 17日	非破壊試験による欠陥寸法測定-映像と実演を交えた超音波&渦電流による欠陥寸法測定-(東京)	日本高圧力技術協会	Tel. 03-3255-3486 hpi@hpij.org
25～27日	第160回秋季講演大会(北海道 6号346頁)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel. 03-5209-7013
27, 28日	第27回センシングフォーラム 計測部門大会(群馬)	計測自動制御学会	慶應義塾大学 塚田孝祐 Tel. 045-566-1513 ktsukada@appi.keio.ac.jp
30日	「鉄と鋼」特集号「製鉄所「現場力」の維持・発展のためのエージェント技術」原稿締切(4号210頁)	日本鉄鋼協会	編集グループ Tel. 03-5209-7012
<b>2010年10月</b>			
3～6日	The 2nd International Conference on Interstitially Alloyed Steels(IAS2010)(Belgium)	TI-KVIV	<a href="http://www.ias2010.com/">http://www.ias2010.com/</a>
4～8日	第7回反応性プラズマ国際会議(ICRP)/第28回プラズマプロセス研究会(SPP)(France)	応用物理学会	Tel. 052-789-2726 <a href="http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/icrp-7/">http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/icrp-7/</a>
7～9日	第18回鉄鋼工学アドバンスセミナー(神奈川 6号358頁 申込締切6月18日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel. 03-5209-7014

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
14, 15日	鉄鋼工学セミナー「水素脆化専科」(東京 本号461頁 申込締切9月14日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-5209-7014
15~17日	第61回塑性加工連合講演会(山形)	日本塑性加工学会	Tel.03-3435-8301 tatemukai@jstp.or.jp
18, 19日	標準化と品質管理全国大会2010(東京)	日本規格協会	Tel.03-3583-8004 f_ogawa@jsa.or.jp
20, 21日	第38回ガスタービン学会定期講演会(徳島)	日本ガスタービン学会	Tel.03-3365-0095 <a href="http://www.soc.nii.ac.jp/gtsj/">http://www.soc.nii.ac.jp/gtsj/</a>
21, 22日	鉄鋼工学セミナー「変態・析出の基礎専科」(神奈川 本号463頁 申込締切9月30日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-5209-7014
20~22日	第51回高圧討論会(仙台)	日本高圧力学会	Tel.03-5952-8286 <a href="http://www.highpressure.jp/">http://www.highpressure.jp/</a>
22, 23日	第46回X線分析討論会(広島)	日本分析化学会	Tel.03-3480-3351 <a href="http://home.hiroshima-u.ac.jp/hayakawa/X46/index.html">http://home.hiroshima-u.ac.jp/hayakawa/X46/index.html</a>
25, 26日	鉄鋼工学セミナー「材料熱力学専科」(神奈川 本号462頁 申込締切9月24日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-5209-7014
25~27日	第54回材料工学連合講演会(京都)	日本学術会議	日本材料学会 Tel.075-761-5321 jimu@jsms.jp <a href="http://www.jsms.jp/">http://www.jsms.jp/</a>
28~30日	平成22年度(第41回)塑性加工春季講演会(東京)	日本塑性加工学会	Tel.03-3435-8301 tatemukai@jstp.or.jp
28~30日	第30回疲労シンポジウム(高知)	日本材料学会	Tel.075-761-5321 <a href="http://www.jsms.jp">http://www.jsms.jp</a>
<b>2010年11月</b>			
1~3日	第23回国際超電導シンポジウム(ISS2010)(つくば)	国際超電導産業技術研究センター	Tel.03-3536-7283 iss@istec.or.jp <a href="http://www.istec.or.jp/ISS/main_E.html">http://www.istec.or.jp/ISS/main_E.html</a>
4~6日	真空・表面科学合同講演会 第30回表面科学学術講演会と第51回真空に関する連合講演会(大阪)	日本真空協会、日本表面科学会	日本真空協会事務局 Tel.03-3431-4395 <a href="http://www.vacuum-jp.org/">http://www.vacuum-jp.org/</a> <a href="http://www.sssj.org">http://www.sssj.org</a>
4~7日	The 5th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics(埼玉)	日本実験力学会	岡山理科大学 工学部 Tel.086-256-9580 <a href="http://jsem.jp/ISEM5/">http://jsem.jp/ISEM5/</a>
5日	第203回西山記念技術講座「CO <sub>2</sub> 削減に向けた一貫製鉄プロセス技術の現状と将来展望」(東京 5号292頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-5209-7014
6日	No.10-231動力エネルギーシステム部門設立20周年国際シンポジウム-地球環境保全のために動力とエネルギーの供給から見た機械工学の果たすべき役割-(東京)	日本機械学会	Tel.03-5360-3502 kawasaki@jsme.or.jp <a href="http://www.vacuum-jp.org/pes/Event/symposium20th.html">http://www.vacuum-jp.org/pes/Event/symposium20th.html</a>
8~11日	International Symposium on High-temperature Oxidation and Corrosion(ISHOC)(神奈川)	日本鉄鋼協会	<a href="http://www.mkg.mtl.titech.ac.jp/ISH-OC10/index.html">http://www.mkg.mtl.titech.ac.jp/ISH-OC10/index.html</a>
9~11日	International Conference on Advanced Steels(ICAS2010)(China)	CSM他	<a href="http://www.nercast.com/icas2010/home.html">http://www.nercast.com/icas2010/home.html</a>
9~12日	第9回エコバランス国際会議(東京)	未踏科学技術協会	Tel.03-3503-4681 EcoBalance2010@snt.or.jp <a href="http://www.snt.or.jp/EcoBalance2010/">http://www.snt.or.jp/EcoBalance2010/</a>
11, 12日	鉄鋼工学セミナー「熱力学原理に基づく製鉄プロセスの解析と演習専科」(東京 本号461頁 申込締切10月12日)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-5209-7014
11, 12日	STAHL2010(Germany)	VDEh	<a href="http://www.stahl-online.de/stahltag/start.asp">http://www.stahl-online.de/stahltag/start.asp</a>
12日	第204回西山記念技術講座「CO <sub>2</sub> 削減に向けた一貫製鉄プロセス技術の現状と将来展望」(神戸 5号292頁)	日本鉄鋼協会	育成グループ Tel.03-5209-7014
13~17日	Science and Processing of Cast Iron(SPCI09)(Egypt)	Central Metallurgical R&D Institute	<a href="http://www.cmr.di.sci.eg/index.php/events/eventlist">http://www.cmr.di.sci.eg/index.php/events/eventlist</a>
14~18日	第3回国際セラミックス会議(3rd International Congress on Ceramics(ICC))(大阪)	日本セラミックス協会	産業技術総合研究所 大司達樹 t-ohji@aist.go.jp <a href="http://www.ceramic.or.jp/icc3/">http://www.ceramic.or.jp/icc3/</a>
17~19日	第10回日中流動層シンポジウム(東京)	化学工学会	Tel.03-5452-6898 cjf-x@iis.u-tokyo.ac.jp <a href="http://www.cjf-x.iis.u-tokyo.ac.jp/">http://www.cjf-x.iis.u-tokyo.ac.jp/</a>
17~19日	第31回日本熱物性シンポジウム(福岡)	日本熱物性学会	九州大学 河野正道 Tel.092-802-0399 <a href="http://jstp2010.mech.nagasaki-u.ac.jp">http://jstp2010.mech.nagasaki-u.ac.jp</a>
24~26日	第36回固体イオニクス討論会(仙台)	固体イオニクス学会	東北大学大学院工学研究科 Tel.022-795-6925 <a href="http://ceram.material.tohoku.ac.jp/ssij36/">http://ceram.material.tohoku.ac.jp/ssij36/</a>
27, 28日	第18回機械材料・材料加工講演会(M&P2010)(東京)	日本機械学会	東京大学 藤本浩司 Tel.03-5841-6567 <a href="http://www.jsme.or.jp/conference/mpdconf10/">http://www.jsme.or.jp/conference/mpdconf10/</a>
<b>2010年12月</b>			
1~3日	国際粉体工業展東京2010(東京)	日本粉体工業技術協会	Tel.03-5297-8855 powtex.10@cnt-inc.co.jp <a href="http://www.appie.or.jp">http://www.appie.or.jp</a>
3日	第12回フラクトグラフィシンポジウム(東京)	日本材料学会	Tel.075-761-5321 <a href="http://www.jsms.jp">http://www.jsms.jp</a>
6, 7日	第16回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム(新潟)	化学工学会	新潟大学 清水忠明 Tel.025-262-6783 <a href="http://tshimizu.eng.niigata-u.ac.jp/scej_fluidize/fb16.htm">http://tshimizu.eng.niigata-u.ac.jp/scej_fluidize/fb16.htm</a>
9, 10日	第25回信頼性シンポジウム(名古屋)	日本材料学会	Tel.075-761-5321 <a href="http://www.jsms.jp">http://www.jsms.jp</a>
<b>2011年3月</b>			
25~27日	第161回春季講演大会(東京)	日本鉄鋼協会	学術企画グループ Tel.03-5209-7013
<b>2011年5月</b>			
22~27日	第8回新材料とデバイスに対する原子レベル・キャラクタリゼーションに関する国際会議(ALC'11)(韓国)	日本学術振興会	マイクロビームアナリシス第141委員会 <a href="http://alc.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp/alc11/">http://alc.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp/alc11/</a>
22~27日	第12回工業材料と構造物のクリープと破壊国際会議(Creep2011)(京都)	日本金属学会	東北大学材料科学総合学科内 渡辺久美子 Tel.022-795-7326 <a href="http://www.material.tohoku.ac.jp/creep2011">http://www.material.tohoku.ac.jp/creep2011</a>
31~2日	6th International Conference on High Strength Low Alloy Steels(HSLA Steels2011)(China)	The Chinese Society for Metals	hsla@csm.org.cn <a href="http://hy.csm.org.cn/hsla2011/eu/">http://hy.csm.org.cn/hsla2011/eu/</a>

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
<b>2011年6月</b>			
5～9日	The 11th International Conference on the Mechanical Behavior of Materials(ICM11) (Italy)	Politecnico di Milano	http://www.icm11.org/
19～25日	The 12th World Conference on Titanium(TI-2011) (China)	The Nonferrous Metal Society of China	http://www.ti-2011.com/
22～25日	8th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH2011) (Italy)	AIM他	http://www.aimnet.it/galvatech2011.htm
27～11日	OMETEC InSteel Con 2011 (Germany)	VDEh	http://www.metec-insteel2011.com
<b>2011年9月</b>			
4～9日	International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT) (Osaka)	日本金属学会	http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/icomat/
<b>2011年11月</b>			
28～30日	国際シンポジウム「持続可能社会のための材料科学と技術革新-地球環境持続性のためのエコマテリアルズとエコイノベーション-」(大阪)	大阪大学先端科学イノベーションセンター	Tel. 06-6879-4193 maeda@casi.osaka-u.ac.jp
<b>2011年12月</b>			
4～7日	Fray International Symposium (Mexico)	Flogen Technologies Inc	http://www.flogen.com/FraySymposium/
<b>2012年6月</b>			
10～13日	4th International Conference on Progress Development in Iron and Steelmaking (SCANMET IV)	MEFOS	http://www.scanmet.info

## 総合

### 平成23年度「産発プロジェクト展開鉄鋼研究」募集案内

日本鉄鋼協会では、「日本鉄鋼業の技術力を発展成長させる上で重要かつ基盤的なテーマ領域を鉄鋼企業(産)が選定し、大学等の研究者を募り、産学連携チームで鉄鋼業に大きなインパクトを与える(国家プロジェクトに提案できるレベル程度)研究を推進する。あわせて大学等における鉄鋼研究の振興活性化を図る。」ことを目的として「産発プロジェクト展開鉄鋼研究」への助成を平成18年度より開始いたしました。

平成23年度の研究テーマを下記要領にて募集いたします。今回より応募スケジュールが変更となっていますので、ご注意ください(平成22年8月30日(月)応募締切)。

なお、応募に際しては、提案の研究期間終了後の展開(どのような国家プロジェクトあるいは実用化研究にどのように発展させるのか等[注1])を見据えて、具体的な研究提案[注2]をお願いいたします。

当制度は下記の特徴を有しており、この点をご理解の上、多数の応募をお願いいたします。

- ①企業との連携により開発の優位性(実用性、多様性、迅速化)が得られること
- ②終了後の発展的継続(国家プロジェクト、企業共研)を推進できること

注1：企業選定のテーマ領域ではありますが、必ずしも短期での実用化を必要とするものではなく、一定の技術的知見が得られれば成果と認められます。また、応募テーマ自体が国家プロジェクトレベルではなくとも、大規模プロジェクトへの導入的開発と認められる研究であれば選考の対象と致します。

注2：新規テーマの立案に加えて、以下の視点での提案も可能です。

- ①公の大規模施設の利用(J-PARC、SPRING-8、スパコン、etc)を行うもの
- ②過去の不採択テーマであっても、最新の環境変化を反映して内容が見直されたもの
- ③本会研究会の完了テーマを基に、更なる発展的開発テーマとしたもの(現在活動中の研究会テーマとの重複提案は不可)

#### 1. 応募対象

鉄鋼業に共通する重要かつ基盤的な次の研究テーマ領域に属するテーマであること。

分類	研究テーマ領域
資源対応	低品位原料の利用技術(鉄鉱石/石炭)
	稀少資源分離回収技術
環境・エネルギー対応	革新的エネルギー回収・利用技術
	副生物・発生物の資源化技術、発生量低減技術、無害化技術
	CO <sub>2</sub> 排出量の削減技術
	炭酸ガス分離・固定技術
材料関連	鉄鋼製品の環境影響・社会的価値評価
	高機能鋼材の研究(組織と材質特性および加工技術)
	高強度鋼溶接金属に関する革新技術
	亜鉛めっきに代わる表面処理技術の研究
計測・評価・分析・解析	長寿命化(耐食・耐疲労性、寿命予測等)技術
	鉄鋼材料生産および材質評価のための新計測技術
	鉄鋼材料の新分析・解析・評価技術

## 編集後記

5月末から8月中旬まで東京新国立美術館で、ポスト印象派の絵画を集めたオルセー美術館展2010が開催されている。その中の一枚、ルソーの“ヘビ使いの女”と3度目の再会を果たした。とは言っても初回は、高校生の頃に買った、エルネスト・アンセルメ指揮によるベルリオーズの“幻想交響曲”のLPジャケットの表紙であった。漆黒のジャングルの河岸に佇む裸婦が横笛を奏でると、四方八方から蛇が鎌首をもたげる様を描いている。何ともグロテスクな絵ではあるが、幻想的な情景に見入ってしまう絵でもある。蓋し、幻想交響曲のジャケットにはぴったりである。

昨年秋、宇宙人の発する優しい言葉に多くの国民が酔い痴れて、劇的な政権交代が実現した。その後の顛末は御承知の通り。迷走に次ぐ迷走の末にあっけない幕引きとなった。夢か幻か。政治の世界に新風を期待した国民には何とも幻想的な顛末であったに違いない。真の政治改革につながる一里塚になる事を期待したい。

日本の粗鋼生産も、原料価格の高騰にも関わらずリーマンショックの後遺症から脱しつつある。原料価格動向や市場の不透明感はあるが、何とか粗鋼生産の回復基調が“幻想”ではない事を祈るばかりである。(Y.H.)

### 会報委員会(五十音順)

**委員長** 小野寺秀博(物質・材料研究機構)

**副委員長** 細谷 佳弘(JFEスチール(株))

<b>委員</b>	伊藤 直史(群馬大学)	韋 富高(日本冶金工業(株))	木村 勇次(物質・材料研究機構)
	鹿野 裕((社)日本鉄鋼協会)	芝田 智樹(大同特殊鋼(株))	杉浦 夏子(新日本製鐵(株))
	杉本 卓也(愛知製鋼(株))	埜本 敏江(日新製鋼(株))	滝田 光晴(名古屋大学)
	田嶋 淳平(住友金属工業(株))	谷口 庸一(三菱自動車工業(株))	中嶋 宏(三菱重工業(株))
	浜 孝之(京都大学)	林 幸(東京工業大学)	林 重成(北海道大学)
	前田 恭志((株)神戸製鋼所)	三木 貴博(東北大学)	

ふえらむ／鉄と鋼 合本誌 定価 6,000円(消費税等込・送料本会負担)

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan/Tetsu - to - Hagané : Unit Price ¥6,000 (Free of seamail charge)

1996年5月10日第三種郵便物認可 2010年6月25日印刷納本、2010年7月1日発行(毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル2階 (社)日本鉄鋼協会 専務理事 小島 彰

Tel: 学会・生産技術部門事務局: 03-5209-7012(代) Fax: 03-3257-1110(共通)

(会員の購読料は会費に含む)

印刷所 東京都文京区本駒込3-9-3 (株)トライ

©COPYRIGHT 2010 社団法人日本鉄鋼協会

複写をご希望の方へ

本会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的の複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先: 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

TEL.03-3475-5618 FAX.03-3475-5619 E-mail:info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致していません。

直接、本会へお問い合わせください。

また、アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

・ Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA

TEL.1-978-750-8400 FAX.1-978-646-8600

## 2010 年日本鉄鋼協会秋季大会 宿泊・航空券セットプランのご案内

2010 年 (平成 22 年) 9 月 25 日 (土) ~ 27 日 (月) 於 北海道大学

(near 近畿日本ツーリスト北海道では大会に参加される会員の皆様へ「宿泊・航空券」等のお世話をさせていただくことになりました。会期中は行楽シーズンにあたり大変な混雑が予想されます。お早目のご予約をおすすめ致します。お申込はこちらのホームページから可能です。URL <http://www.knt.co.jp/ec/2010/jim-isij>

### 1 札幌市内宿泊のご案内

宿泊日：2010 年 9 月 24 日 (金) ~ 27 日 (月) の 4 泊

ホテル名	室タイプ	記号	料金	航空券セットプランとの差額
京王プラザ ホテル札幌	シングルルーム	AS	12,000	5,750
	ツインルームの 2 名様利用	AT	9,500	3,250
	ツインルームの 1 名様利用	AX	14,000	7,750
札幌アスペン ホテル	シングルルーム	BS	11,500	5,250
	ツインルームの 2 名様利用	BT	9,500	3,250
	ツインルームの 1 名様利用	BX	13,500	7,250
三井ガーデン ホテル札幌	シングルルーム	CS	10,500	4,250
	ツインルームの 2 名様利用	CT	9,500	3,250
	ツインルームの 1 名様利用	CX	12,500	6,250
ホテルグレイスリー 札幌	シングルルーム	DS	10,000	3,750
	ツインルームの 2 名様利用	DT	9,000	2,750
	ツインルームの 1 名様利用	DX	13,000	6,750
ホテル京阪札幌	シングルルーム	ES	9,000	2,750
	ツインルームの 2 名様利用	ET	8,500	2,250
	ツインルームの 1 名様利用	EX	13,000	6,750
ベストウエストホテル フイノ札幌	シングルルーム	ES	9,500	3,250
	ツインルームの 2 名様利用	ET	8,000	1,750
	ツインルームの 1 名様利用	EX	12,000	5,750
東横イン札幌駅西口北大前	シングルルーム	ES	6,250	基本
	ツインルームの 2 名様利用	ET	4,150	-2,100

上記は、1 泊朝食付・税金・サービス料込みのお一人様料金です。先着順に受付致します。満室の場合はご了承下さい。各ホテルの位置については上記のホームページにて略図をご確認頂けます。

### 2 航空券セットプランのご案内

大会の日程に合わせた『宿泊 1 泊 (朝食付) と往復航空券』のセットプランをご用意いたしました。セットプランをご希望の場合は、必ず往復の航空券とホテル 1 泊以上の組み合わせにてお申込み下さい。航空券のみでのお申込みはできません。代金はお選びいただいたホテル・空港・利用便によって異なります。

#### 基本料金

羽田発着¥38,250 大阪発着¥42,250 名古屋発着¥40,250  
仙台発着¥32,250 福岡発着¥48,250

#### ●往路

記号	搭乗月日	区間	出発時間
A-1	9/24 (金)	羽田→新千歳	17:00~18:30
A-2	9/24 (金)	羽田→新千歳	20:30~22:05
A-3	9/25 (土)	羽田→新千歳	9:00~10:35
B-1	9/24 (金)	関西→新千歳	15:00~16:50
B-2	9/24 (金)	神戸→新千歳	19:35~21:25
B-3	9/25 (土)	伊丹→新千歳	8:45~10:35
C-1	9/24 (金)	中部→新千歳	17:25~19:05
C-2	9/24 (金)	中部→新千歳	20:00~21:40
C-3	9/25 (土)	中部→新千歳	9:10~10:50
D-1	9/24 (金)	仙台→新千歳	14:35~15:45
D-2	9/24 (金)	仙台→新千歳	18:05~19:15
D-3	9/25 (土)	仙台→新千歳	8:00~9:10
E-1	9/24 (金)	福岡→新千歳	11:30~13:45
E-2	9/25 (土)	福岡→新千歳	11:30~13:45

#### ●復路

記号	搭乗月日	区間	出発時間
7-1	9/27 (月)	新千歳→羽田	17:35~19:05
7-2	9/27 (月)	新千歳→羽田	19:20~20:55
7-3	9/28 (火)	新千歳→羽田	9:30~11:05
4-1	9/27 (月)	新千歳→伊丹	18:00~19:50
4-2	9/27 (月)	新千歳→関西	20:15~22:20
4-3	9/28 (火)	新千歳→関西	10:15~12:20
4-1	9/27 (月)	新千歳→中部	17:25~19:10
4-2	9/27 (月)	新千歳→中部	19:45~21:30
4-3	9/28 (火)	新千歳→中部	9:55~11:40
4-1	9/27 (月)	新千歳→仙台	16:30~17:35
4-2	9/27 (月)	新千歳→仙台	18:30~20:05
4-3	9/28 (火)	新千歳→仙台	10:30~11:35
4-1	9/27 (月)	新千歳→福岡	14:30~16:55
4-2	9/28 (火)	新千歳→福岡	14:30~16:55

#### 【ご注意】

平成 22 年 6 月現在の仮ダイヤに基づいております。出発時間については多少変更になる場合もありますのでご了承下さい。各設定便ともに 5 名様以上のお申し込みがあった場合、上記の割引金額が適用されます。該当便の申込者が 5 名様未満の場合、便の変更をお願いする場合や別途割増料金にてご案内となる場合がございます。予めご了承ください。ご案内する航空券は、航空会社のマイレージプログラムの積算対象外の運賃となりますことをご了承ください。

### 3 お申し込みのご案内

- ◎ 下記 URL が大会専用の宿泊ホームページとなります。  
<http://www.knt.co.jp/ec/2010/jim-isij>
- ◎ 申し込み締切日 **平成 22 年 8 月 23 日 (月)**
- ◎ 当社での手続き完了後、受付確認書 (メールもしくは FAX) を送信いたします。お客様の登録番号の記載がございますので、ご確認ください。
- ◎ 申込締切後、8 月 31 日(火)までに、お客様からの申込内容の記された「予約回答書・請求書」をお送りします。代金の精算につきましては、そちらの書面を確認頂いたうえで送金ください。
- ◎ お支払い方法は銀行振込、クレジットカードでの決済(ビザ、マスター、アメリカンエクスプレス、ダイナースクラブ、JCB)からお選びください。銀行振込でのお支払いを選択された方は 9 月 10 日(金)までに銀行振込にて送金ください。振込手数料はお客様にてご負担ください。クレジットカードでの精算をご指定の場合は 9 月上旬に課金をいたします。(クレジットカード課金の際は、大会名ではなく、近畿日本ツーリスト名にての請求となります。)
- ◎ チケット類 (航空券引換証・宿泊券) は、遅くとも出発 7 日前までに届くようにお送りいたします。

### 4 ご変更・お取消

- ◎ 宿泊・航空券セットプランの予約の変更や取消が発生した場合、弊社から発行の登録番号ならびに変更内容を記入の上、電子メールもしくは FAX にてご連絡ください。お電話での受付はお受けいたしかねますのでご了承ください。取消について以下の取消料を申し受けます。当支店営業時間外に頂戴した取消、変更については翌営業日での取扱とさせていただきます。

10 日前～ 8 日前	7 日前～ 2 日前	前日	当日	無連絡/不泊 便出発後
20%	30%	40%	50%	100%

#### ◆お申し込み、お問い合わせ◆

株式会社近畿日本ツーリスト北海道 札幌法人旅行支店  
「2010 年日本鉄鋼協会秋季大会」係

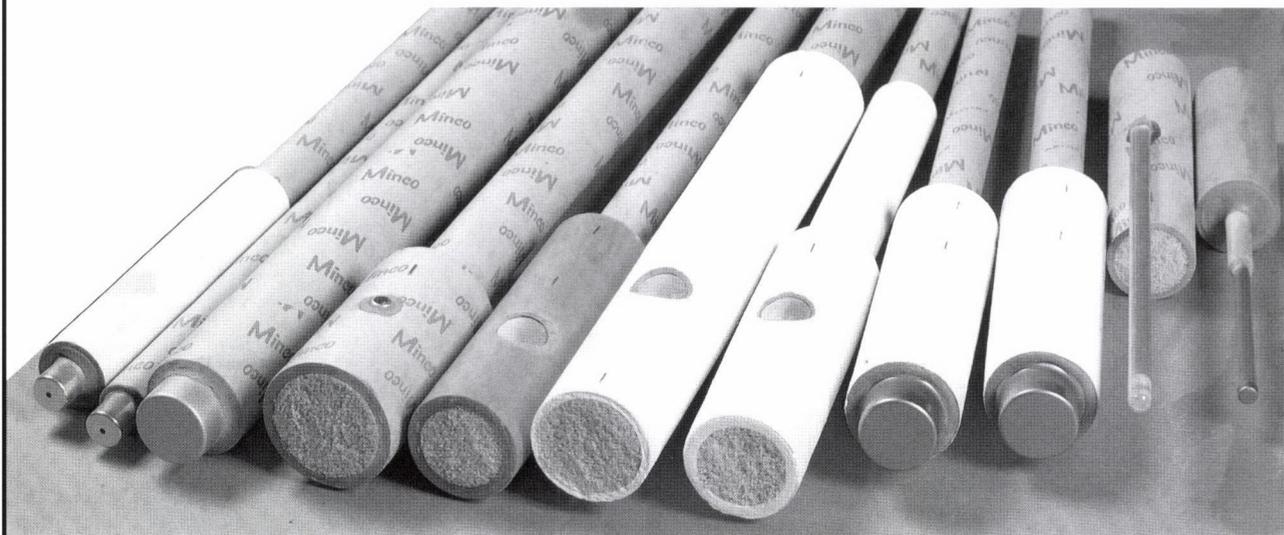
〒060-0003 札幌市中央区北 3 条西 1 丁目札幌ナショナルビル 4 階  
電話 011-280-8855 FAX 011-280-2732  
e-mail s-convention-1@or.knt-h.co.jp  
営業時間 平日 09:00~17:45

※ お電話での申し込みはお受け致しかねます。ご了承下さい。

# Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

## 品質向上のパイオニア

### ■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)

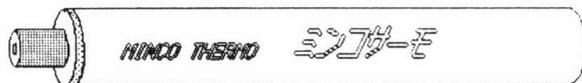


ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。  
炉外精錬装置 脱ガス装置 電気炉 レードル タンディッシュ CCモールド  
高炉出鉄樋 トピードカー 溶鉄予備処理などあらゆる場所から採取できます

### ■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

MMJ型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968  
白金・白金ロジウム

### ■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。  
化学分析用、発光分光分析用、蛍光X線分析用、英国BAS、米国NBS、  
BRAMMER、ALPHA、MINCO、カナダALCAN、ドイツBAM、  
フランスIRSID、スウェーデンSKF、他 ご用命下さい。

## 日本ミンコ株式会社

ISO9001:2000 認証取得

※お問い合わせは

本社 〒341-0032

埼玉県三郷市谷中398番地1

TEL.048(952)8701 FAX.048(952)8705

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

東京事務所 〒166-0012

東京都杉並区和田3-36-7

TEL.03(5306)6265 FAX.03(5306)6268

MINCO U.S.A (WISCONSIN)

MINCO GERMANY (DÜSSELDORF)

MINCO AUSTRALIA (WOLLONGONG)

**ELTRA**  
Analysers made in Germany

業界注目!!  
この機能で低廉価格(500万～)発売中!!

## 炭素/硫黄分析装置 CS-800

### システム概要

CS-800はJIS燃焼-赤外線吸収法に準拠した炭素/硫黄分析装置です。鋼、鋳鉄、銅、鉍石、セメント、セラミックスその他の材料中の炭素及び硫黄を高速同時定量します。CS-800は最大で4機の独立した赤外線セルを備えることができ、それぞれが分析用例に応じて最適な赤外線吸収長に設定されます。16ビットマイクロプロセッサにより誘導燃焼炉のパワー制御や赤外線セル検出器のゼロ及び感度調整を行います。



### 特 徴

- ソリッドステート赤外線セル 4 機搭載
- 燃焼炉の自動クリーニング機構
- 誘導炉出力制御
- 単独及び外部PC制御による運転
- 助燃剤なしでの最大20gまでのCu試料分析

**DSI**

*Dynamic Systems Inc.*



## グローバル試験機シリーズ

熱・機械プロセスの物理シミュレーションのための業界基準となります。

高速加熱と広範囲の機械能力により、溶接HAZシミュレーション、ゼロ強度、熱サイクル、熱処理研究、低力試験、高温引張り試験、さらには高速圧縮・引張り試験、多衝撃高温変形試験、熔融および凝固、そしてストリップ焼なましなどの試験に理想的です。

性能パラメータ	Gleeble 3800	Gleeble 3500	Gleeble 3180 (New)
最高加熱速度	10,000°C/sec	10,000°C/sec	8,000°C/sec
最高焼入れ速度	10,000°C/sec	10,000°C/sec	8,000°C/sec
最大ストローク	100 mm	100 mm	100 mm
最高ストローク速度	2000 mm/sec	1000 mm/sec	1000 mm/sec
最大力	20 tons	10 tons	8 tons
最大サンプル寸法	20 mm diameter	20 mm diameter	20 mm diameter

※加熱方式：直接抵抗加熱システムを採用しています。



日本総代理店  
**ジャパンマシナリー株式会社**  
JAPAN MACHINERY COMPANY

システム営業部 〒143-0015 東京都大田区大森西 5-27-4  
TEL.03-3730-6061(代表) FAX.03-3730-3737  
大阪支店 〒530-0002 大阪府大阪市北区曽根崎新地 1-3-16(京富ビル)  
TEL.06-6342-1551 FAX.06-6342-1555

定価 6,000円 (本体 5,715円)