

# 特殊鋼

2015  
Vol.64 No.6

11

*The Special Steel*

特集／特殊鋼の溶接技術の動向



# 特殊鋼

## 11 目次 2015

### 【編集委員】

委員長	井上幸一郎 (大同特殊鋼)
副委員長	甘利 圭右 (平井)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	永濱 睦久 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	田代 龍次 (新日鐵住金)
〃	松村 康志 (大同特殊鋼)
〃	赤見 大樹 (日新製鋼)
〃	石川流一郎 (日本金属)
〃	宮川 利宏 (日本高周波鋼業)
〃	佐藤 昌男 (日本冶金工業)
〃	田村 庸 (日立金属)
〃	山岡 拓也 (三菱製鋼室蘭特殊鋼)
〃	中村 哲二 (青山特殊鋼)
〃	池田 正秋 (伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎 (UEX)
〃	池田 祐司 (三興鋼材)
〃	金原 茂 (竹内ハガネ商行)
〃	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)

## 【特集／特殊鋼の溶接技術の動向】

### I. 総論

1. 鋼に使われる溶接技術  
..... 日鐵住金溶接工業(株) 水本 学 2
2. 溶接における品質技術..... (株)神戸製鋼所 山下 賢 8
3. 溶接・接合技術の最近の動向... 大阪大学 平田 好則 12

### II. 溶接用材料と溶接技術

1. 構造用鋼・高張力鋼・耐食鋼  
..... 新日鐵住金(株) 浜谷 秀樹 17
2. 耐熱鋼..... 日立金属(株) 田村 庸 21
3. 工具鋼..... 特殊電極(株) 山田 健 24
4. ステンレス鋼..... 日新製鋼(株) 朝田 博 27

### III. ユーザーでの最近の溶接技術

- スチールとアルミニウムのハイブリッドサブフレーム—  
..... (株)本田技術研究所 佐山 満 31

### IV. 会員会社関連の溶接材料、溶接機器

- AWS A5.5:2014 B91合致被覆アーク溶接棒  
TRUSTARC™ CM-95B91 TRUSTARC™ CM-96B91  
..... (株)神戸製鋼所 山下 賢 36
- 排気処理系部品用溶接ワイヤ “WSRシリーズ”  
..... 大同特殊鋼(株) 内藤 聞治 37

### 倶楽部レポート

- 鉄鋼技術に関連した経済産業省の主な取組み  
..... 経済産業省 坂元 耕三 38

●一人一題：「私とソフトボール」

……………大同DMソリューション(株) 関井 教雄 1

■業界の動き	43
▲特殊鋼統計資料	46
★倶楽部だより（平成27年8月1日～9月30日）	50
☆特殊鋼倶楽部の動き	51
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧	54

特集／「特殊鋼の溶接技術の動向」編集小委員会構成メンバー

役名	氏名	会社名	役職名
小委員長	田代 龍次	新日鐵住金(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室長
委員	永濱 陸久	(株)神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部 次長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	軸受営業部 軸受CS室長
〃	松村 康志	大同特殊鋼(株)	特殊鋼ソリューション部 主席部員
〃	内藤 靖	日新製鋼(株)	品質保証・技術サービス部 普通鋼・特殊鋼品質保証チーム主任部員
〃	山岡 拓也	三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)	技術部部长
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部部长
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部部长

## 「私とソフトボール」



大同DMソリューション(株) せき い のり お  
営業本部付 参与 関 井 教 雄

私とソフトボールの出会いは37年も前になります。昭和45年に深谷商業高校を卒業し、それまでの辛く厳しかった部活も終わり暫くは野球の事を忘れたいと思ったものでした。しかしそうは行かず、卒業と同時に入社した石原鋼鉄にも野球部がありそれも年に何回か大会も有るとの事ですぐ入部する事になりました。根っから野球が好きな私は、この業界（ハガネ商組合他）の野球大会に参加し暫くは投手を努めていましたが、その影響で肩を痛めその後接骨院通いが2年位続きました。

その時はもう野球は出来ないのではと思いゴルフに熱中したのもこの時期でした。

ですがやはり野球を諦めきれない私は、医者への勧め（投手以外なら野球をやりなさい）もあって熊谷市内の本石クラブというソフトボールチームで代表を務める友達に会いに行きました。そして玉拾いで良いからと頭を下げ翌年からチームの一員として受け入れてもらえる様になり、それからは毎週日曜日に野球場へ朝一に行きグラウンド整備や皆の練習中の玉拾いをただひたすら続けました。数ヶ月後にやっとバッティング練習及び守備練習をするようになりましたが、その練習が本当に楽しく日曜日が待ちどおしいと思ったものでした。

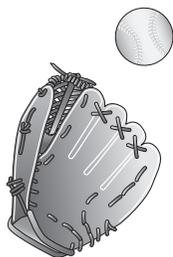
翌年からはチームの皆とも同じ練習を始める様になりましたが、守備練習は楽しかったのですがバッティング練習は全く駄目でした。というのもタイミングの取り方が違う為でした。その後1年間位は試合にも出られずひたすら玉拾いをしていましたが、やっと本気で試合に出たい、そして打てる様に成りたいと思わせてくれた試合が有りました

それは、或る練習試合に出た時の事です。相手の投手に三打席三三振という屈辱を味わい、しかもその投手が試合に出ないバッティングピッチャーであった事を後で知ったことです。それからの私は硬式野球をやっていたと言うプライドを捨てただひたすらバットを振り続けました。

そして入部して三年後にやっとバッティングのきっかけを掴み、それからは試合に出て相手の投手がどんなに速い球を投げようが、変化球を投げようが全く苦にせず打てるようになり、その後チームの最高打率をマークするようになりました。これでやっとチームに貢献できたかなと思うようになりました。その後も晩年までの約30年間はチームの監督、コーチを努め若い選手を指導してきた甲斐もあり最後には市内でトップクラスのチームに育っていきました。残念ながら昨年そのチームは解散してしまいましたが、今でも年に1～2回は皆に会って昔話をするのを楽しみにしています。

最後に、今思うのは野球がこんなに楽しいスポーツだと教えてくれたソフトボールに、そしてチームの皆様に、そして休みの日にグラウンドへ行かせてくれた家族に感謝の気持ちでいっぱいです。また、その経験を今日まで仕事に生かしてこれたと思っていますし、これからの人生に役立てていけたらと思っている次第です。

〔(一社) 特殊鋼倶楽部 工具鋼分科会長〕



# 特殊鋼の溶接技術の動向

## I. 総論

### 1. 鋼に使われる溶接技術

日鐵住金溶接工業(株) 水本 学  
溶接技術サポートグループ

#### まえがき

溶接とは、金属、ガラス、プラスチックなどの接合方法で、その部位を溶かして継ぎ合せることを言います<sup>1)</sup>。また「熔接」と書かれることもあり、火を使い、とかして接合する意味から考えると、こちらの方が直感的に分かりやすく、1959年までは日本溶接協会でも熔接が使われていました<sup>2)</sup>。

現在、鋼の溶接では主に、電気を使ったアーク溶接が用いられており、様々な構造物の製作に活用されています。そこでここでは、主なアーク溶接の方法、原理及びその特徴を紹介します。

#### ◇ 溶接の特徴

溶接には以下の特徴があります<sup>3)</sup>。

- 利点
- ①構造が簡単になり、軽量化が図れる
  - ②継手効率が高い（継手の強度が高い）
  - ③気密性、水密性に優れる
  - ④接合する鋼材の板厚に制限がない
- 欠点
- ①残留応力が発生する
  - ②ひずみ、変形が生じる
  - ③割れや耐食性劣化などの課題が生じる
  - ④技量の影響を受けやすい

このように欠点も多くありますが、それを補う大きな利点があるため、建築、橋梁、造船、自動車、容器など、幅広い分野に適用されています。

町工場やビルの建設現場では、眩しい閃光のもと、溶接面（ハンドシールド、遮光面）を片手に溶接する姿を見かけますが、日常生活でアーク溶接を見る機会は少なく、特殊な技術と思われがちです。しかし、身近にある殆どの構造物に適用されていることから、無くてはならない技術だと言えます。

#### ◇ 溶接の歴史

アーク溶接の歴史は、1801年にイギリスのデイビーがアークを発見したことに始まります。その後、1885年にロシアのベルナードが実用的な炭素アーク溶接法を開発しました。近代のアーク溶接は、1907年にスウェーデンのチェルベルヒが実用化した被覆アーク溶接と言われています<sup>4)</sup>。その後、様々なアーク溶接法が開発され、被覆アーク溶接、サブマージアーク溶接、フラックス入りワイヤを含むガスシールドアーク溶接、各材料ラインナップが一通り揃ったのは、1980年代以降です。アークの発見が約200年前、アーク溶接の実用化が約100年前、そして現代溶接の歴史は約30年なので、鉄鋼分野としては比較的新しい技術となります。

#### ◇ アークとは

アークとは、溶接される鋼材（母材）と溶接材料の先端に発生する気体中の放電です。アーク放電による熱は5000℃以上の高温であり、これを熱

源として利用し、母材（鉄の融点：約1538℃）及び溶接材料を溶融して接合する方法をアーク溶接と呼んでいます。発見したデイビーは、眩しい光が弓形に曲がっていたので、アーク（Arc、弧の意味）と名付けたそうです。日本では電弧（でんこ）と呼ばれていたこともあります。燃焼による最も高い温度は、アセチレンを用いた火炎の約3300℃ですので、アークの方がより高温で、効率良く接合ができます。

### ◇ 溶接法の分類

溶接法の分類を図1に示します。アーク溶接は

最も一般的な溶接法であり、アークの発生方法、溶接部のシールド方法、溶接材料の供給の仕方などによってさらに細分化されます。本稿では、主に使用されているアーク溶接法として、①被覆アーク溶接法、②サブマージアーク溶接法、③ガスシールドアーク溶接法、④ティグアーク溶接法の4種類について説明します。

これらの主な特徴を表1に示します。溶接能率は、溶着速度（単位溶接時間当たりの溶接金属の付着量g/min）が高い方が良くなります。しかし、適用できる溶接姿勢、耐風性（現場溶接か、工場溶接か）、要求される溶接金属性能（じん性など）

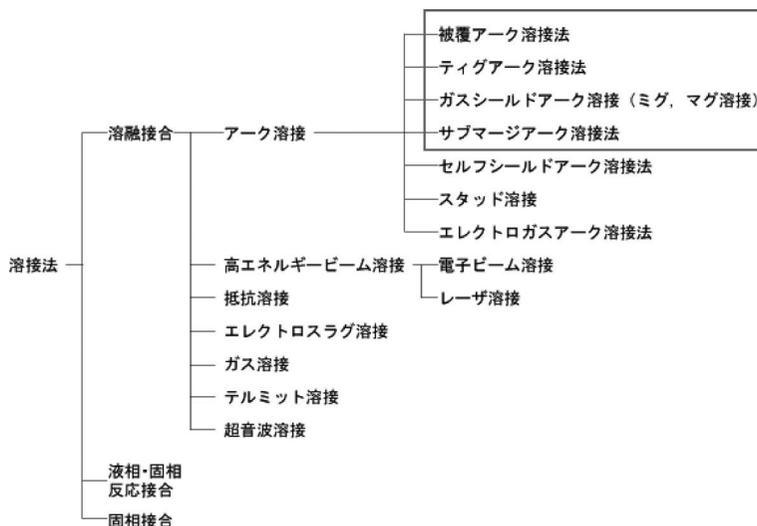


図 1 溶接法の分類

表 1 主なアーク溶接法の特徴

溶接法	略称	シールド方法 (溶接金属の保護方法)	手動・自動	溶着速度例 g/min	溶接姿勢	耐風性 m/sec	490MPa級鋼の vE0℃例 J (JIS種類等)	主な特徴	
被覆アーク	SMAW	スラグ及びガス発生剤から生じる炭酸ガス	手動 (グラビティの簡易自動あり)	25 (4mmφ、170A) 35 (5mmφ、220A)	全姿勢 姿勢限定品も有	4以下	200 (E4916)	ガス不要 小回りが利く 溶着速度低い	
サブマージアーク	SAW	主にスラグ	自動	98 (4mmφ、500A) 244 (6.4mmφ、1,000A) (多電極化により、更に高くすることも可)	下向が主	フラックスが飛ばされない風速	120 (マルチフラックス) 210 (ボンドフラックス)	溶着速度高い 装置が大きい 姿勢に制約有	
ガスシールドアーク	GMAW	炭酸ガス (MAG) 混合ガス (アルゴン+炭酸ガス、MIG)	半自動及び自動	SW	63 (1.2mmφ、250A)	全姿勢可だが下向が主	0.5以下 <sup>1)</sup>	150 (YGW11)	溶着速度は中 全姿勢はやや難 風に弱い
				FCW	75 (1.2mmφ、250A)	全姿勢 姿勢限定品も有	1.0以下 <sup>1)</sup>	80 (T49J0T1-1CA)	溶接作業性優れる 全姿勢溶接が容易 溶接金属性能低目
ティグアーク	GTAW	主にアルゴン、ヘリウム	手動及び自動	10 (1.2~2.4mmφ) (高効率自動機と組合せ、高くすることも可)	全姿勢	ほぼ無風	280 (W49)	溶接金属性能高い 溶着速度低い 風に弱い	

(注)・SW：ソリッドワイヤ、FCW：フラックス入りワイヤを示す。

によって、最適な溶接方法を選定する必要があります。

溶接材料の年間出荷量推移を図2に示します<sup>5)</sup>。人の手で高効率な半自動溶接ができ、更にロボットや簡易台車との組合せで自動化が可能な、ガスシールドアーク溶接用のソリッドワイヤ及びフラックス入りワイヤが最も多く使用されています。次いで手動溶接の代表である被覆アーク溶接、自動溶接の代表であるサブマージアーク溶接が続きます。高品位な溶接金属が得られるティグアーク溶接は、少量ですが安定した出荷量があります。

溶接法別使用比率を図3に示します<sup>6)</sup>。造船の溶接では、様々な板厚に全姿勢が要求されるため、主にフラックス入りワイヤが適用されています。また、建築では主にソリッドワイヤが、橋梁では主にフラックス入りワイヤが、建築のBH、橋梁の鋼床板等ではサブマージアーク溶接材料が多く適用されています。自動車では、薄板中心でロボットとの組合せによる自動化が進んでいるため、圧倒的にソリッドワイヤが主力です。更に、ボイラ・貯塔槽の溶接は特徴的です。様々なスペックがあり、複雑な形状となる容器では、ソリッドワ

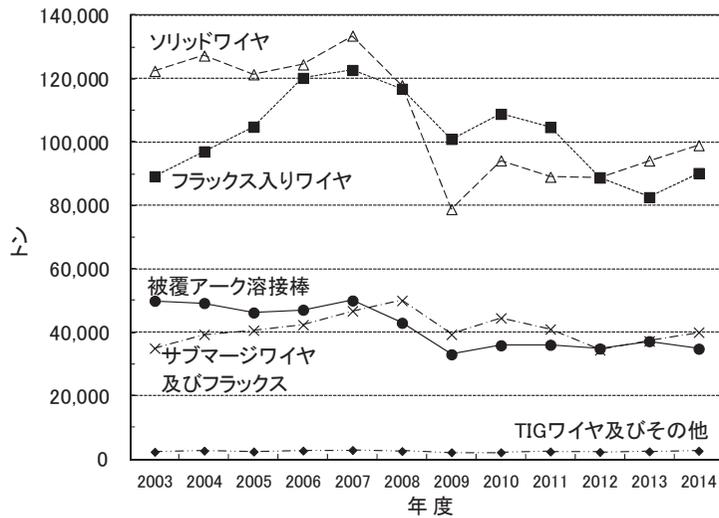


図 2 溶接材料の年間出荷量推移

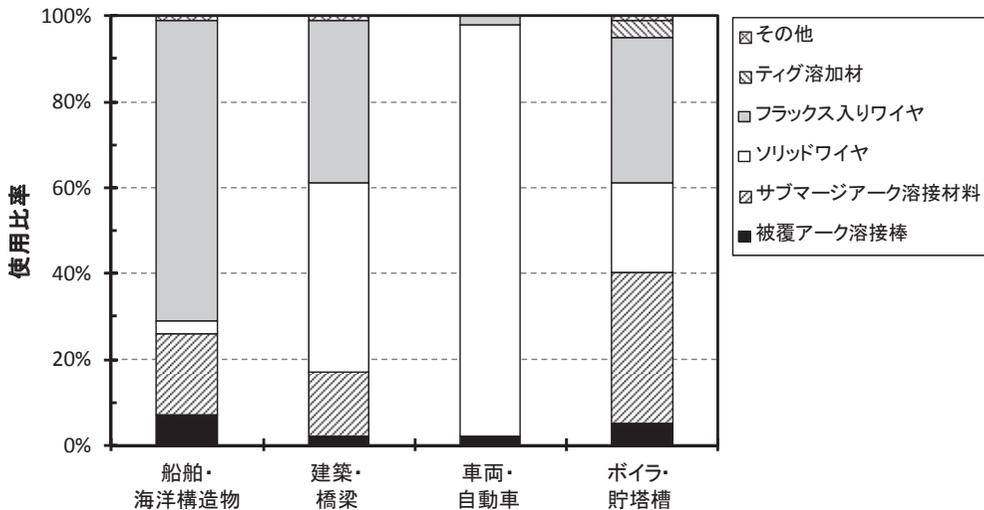


図 3 溶接法別使用比率

イヤやフラックス入りワイヤでは満足できない厳しい要求に応えるため、被覆アーク溶接、サブマージアーク溶接及びティグアーク溶接などが満遍なく適用されています。

#### ◇ 被覆アーク溶接

被覆アーク溶接は、SMAW (Shielded Metal Arc Welding) やMMA (Manual Metal Arc welding)、被覆アーク溶接棒は電弧棒や電気棒とも呼ばれ、古くから幅広い分野で使用されています。

被覆アーク溶接棒の歴史は、今から約100年前に遡り、スウェーデンのチェルベルヒが従来の裸溶接棒に、被覆剤（フラックス）を塗布することを考案したことが始まりと言われていています。当時の被覆剤の塗布は、軟鋼心線（線材）を粉状の被覆剤と水ガラスを添加した泥状の溶剤に漬ける方法（チョコ付きのスティックお菓子のよう）や、溶剤を染み込ませた紙を巻き付ける方法（葉巻のよう）で手造りされていました。その後、大型のフラックス塗装機が開発され、日本では1940年に導入、生産性の大幅な向上が図られました。

被覆アーク溶接の模式図を図4<sup>7)</sup>に示します。重

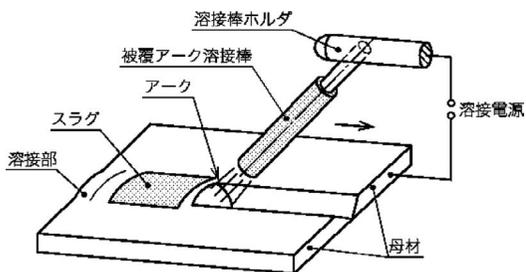


図 4 被覆アーク溶接の模式図と風景

力によって溶接が自動で出来るよう工夫し、フラックスに鉄粉を多量に含有させて能率向上を図ったグラビティ溶接や、一つのホルダで複数本の被覆アーク溶接棒を掴んだ多電極溶接などがありました。現在はガスシールドアーク溶接に置き換わりつつあります。

溶接棒の出荷量は年々少なくなっていますが、本法ならではの使い方があり、その必要性が損なわれていない以下のような分野で用いられています。

- ①狭い場所や、僻地、溶接量の少ない箇所に適用する場合。シールドガスが不要、軽量のホルダひとつで小回りが利く。
- ②現地で行われるパイプライン裏波溶接に適する。
- ③高張力鋼や極低温用鋼の溶接で、高品位の継手性能が得られる。

#### ◇ サブマージアーク溶接

サブマージアーク溶接は、略称として「潜弧（せんこ）」、「ユニオン」、「サブ」、「サブマージ」、「SAW（さう）」など、様々な名前と呼ばれていますが、英語名はSubmerged Arc Weldingであり、「サブマージドアーク溶接」が本来の名称と思いますが、日本ではJIS Z 3001の溶接用語に規定される「サブマージアーク溶接」が正式名称となります。

本溶接法は、アメリカのユニオンカーバイド社が発明したもので、「ユニオンメルト溶接」の商品名と呼ばれていました<sup>8)</sup>。1936年に特許となり、日本では戦後に導入されましたが、本格的に国産品の開発が進んだのは、特許が切れた1960年からです。

サブマージアーク溶接の模式図を図5<sup>7)</sup>に示します。ワイヤとフラックスを別々に供給し、シールドガス無しで溶接を行うことから、被覆アーク溶接法の自動化版と考えてよいでしょう。但し、被覆アーク溶接に比べ、散布したフラックスによって大気をほぼ完全に遮断できるため、溶接技量に左右されず、高品位の溶接金属が安定して得られる特長があります。さらに本溶接法の特長には、何と言っても高能率、溶着速度が高いことが挙げられます。またワイヤの数は1本に限らず、複数電極の適用が可能であり、カットワイヤや鉄粉系ポンドフラックスと組合せれば、更に高くす

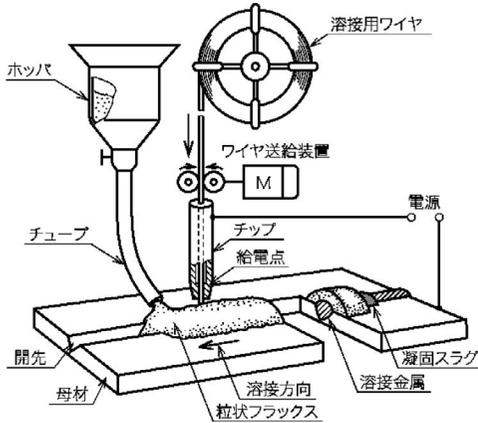


図 5 サブマージアーク溶接の模式図と風景

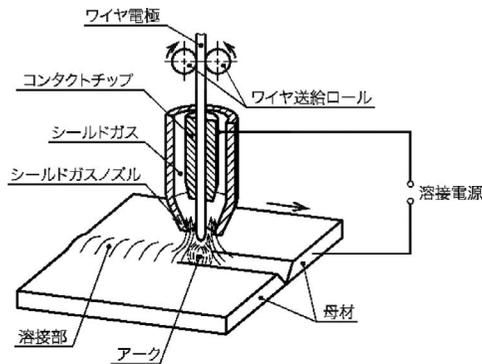
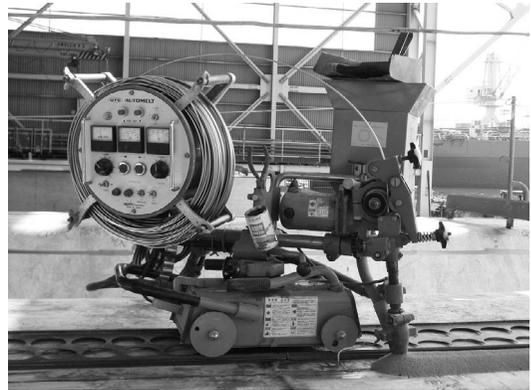


図 6 ガスシールドアーク溶接の模式図と風景



ることが可能です。溶接姿勢に制約（主に下向き）があるものの、高能率で高い性能が得られるため、アーク溶接の中で頼りになる溶接方法であると言えます。但し、大容量の溶接電源や大型の走行設備が必要となり、溶接量が少ない箇所や溶接線が直線では無い場合には適用し難く、小回りが利きにくいと言う点ではやや劣ります。

#### ◇ ガスシールドアーク溶接

「ガス溶接」と「ガスシールドアーク溶接」という似た用語がありますが、ガス溶接はガス炎の熱によって溶接する方法であり、本稿のガスシールドアーク溶接とは異なりますのでご注意ください。

ガスシールドアーク溶接（GMAW、Gas Metal Arc Welding）は、1950年にアメリカのホバートによって、ミグ（MIG、Metal Inert Gas welding）が発明され、ほぼ同時期の1953年にアメリカ

のスミスによって炭酸ガス溶接（マグ、MAG、Metal Active Gas welding）が開発されました。その後、日本にも導入され、溶接電源の高性能化、溶接材料の開発と相まって、現在のアーク溶接の主流となっています<sup>9)</sup>。

ガスシールドアーク溶接の模式図を図6<sup>7)</sup>に示します。本方法は、シールドガスを供給してアーク及び溶接金属を大気から遮断し、細径（1.2～1.6mmφが主流）のワイヤを自動供給して高能率溶接を可能としたものです。ワイヤにはソリッドワイヤと、内部にフラックスを充填したフラックス入りワイヤの2種類があり、シールドガスには、マグ溶接で使われる炭酸ガスと、ミグ溶接で使われる混合ガスの2種類があります。炭酸ガスは経済性に優れ、溶込み深さが安定して得られる特長があり、鉄骨や造船を中心に使用されています。混合ガスは、アルゴンをベースに炭酸ガスを適正

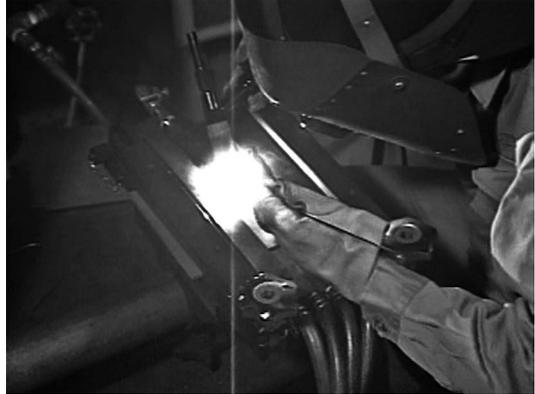
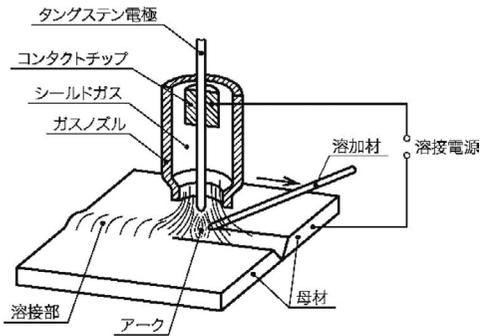


図 7 ティグアーク溶接の模式図と風景

量添加したもので、窒素や酸素などのガス成分が少ない高品位な溶接金属が得られ、スパッタが少ないなどの特長があり、じん性要求の高い構造物や自動車などに使用されています。

### ◇ ティグアーク溶接

ティグアーク溶接（TIG、Tungsten Inert Gas welding）は、1930年にアメリカのホバートにより発明されました。マグネシウム合金が適用された航空機では溶接が困難でしたが、これを解決したのが本溶接法と言われています。

シールドガスに元素周期律表の0族に属するヘリウムやアルゴンを適用します。これらのガスは、温度が上がっても他の元素と反応しない不活性ガスであり、日本に導入された頃は主にヘリウムが使用されていたことから、「ヘリアーク溶接」と言われておりました。現在ではアルゴンが使用されるため、アルゴン溶接とも言われています。

ティグアーク溶接の模式図を図7<sup>7)</sup>に示します。金属で最も融点の高いタングステンを電極とし、電極先端と母材間に安定したアークを発生させます。薄板の溶接では、溶接材料を使わず母材だけを溶融させて溶接する「なめ付け（メルトラン溶接とも言われます）」が行われますが、板厚が数mm以上の場合、溶加棒（ティグ溶接の場合、1,000mm長さのワイヤをこのように呼びます。コイル状ワイヤはソリッドワイヤという名称になります<sup>10)</sup>）の先端をアーク端に入れて溶融金属を形成します。溶加棒は溶接欠陥が生じない範囲で自

由に量を調整できます。アーク熱源と溶接材料が別であるため、ろう付けやはんだ付けに近いイメージです。

安定したアークに不活性ガスのアルゴンシールドを組合せるため、高品位の溶接金属が得られます。極薄板から厚板まで幅広い範囲に適用でき、更に裏波溶接が容易であるため、パイプの突合せ溶接、外観が重視される溶接、高性能が要求される部位などに適用されます。但し能率面では、特殊な高能率自動ティグ装置を除き、被覆アーク溶接と同等か、それ以下と低くなります。

### むすび

以上、鋼に使われる溶接について、広く実用化されているアーク溶接の4方法を紹介しました。本稿が、溶接に初めて携わる方々の知識の一片となりましたら幸いです。

### 参考文献

- 1) 大辞林
- 2) 溶接の研究No.3 昭和33年度経過報告
- 3) 溶接・接合技術概論 溶接学会編
- 4) 接合・溶接技術 Q&A1000
- 5) 一般社団法人日本溶接材料工業会統計
- 6) 日本溶接協会 平成22年度調査第4分科会報告 業種別に見た各種溶接材料の現状と将来に関する調査
- 7) JIS Z 3001-2 溶接用語-第2部：溶接方法
- 8) 溶接・接合用語活用辞典
- 9) マグ・ミグ溶接Q&A
- 10) JIS Z 3316 軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用ティグ溶接溶加棒及びソリッドワイヤ
- 11) 平成19年度溶接の研究 共研第6分科会報告

## 2. 溶接における品質技術

（株）神戸製鋼所 溶接事業部門 山 下 賢  
技術センター 溶接開発部

### まえがき

私たちの身の回りには、自動車、船舶、建築物など数多くの溶接構造物がある。これらの溶接構造物で事故が発生すると人的・社会的に多大な影響を及ぼすことから、溶接品質の確保が極めて重要な課題となる。

ここでは、炭素鋼や特殊鋼などの溶接において注意すべき溶接欠陥を取り上げ、発生原因、検出方法、対策を紹介する。

### ◇ 溶接欠陥の大別

溶接欠陥は、溶接施工条件と材料の2つの要素が絡み合って発生することが多い。そのため、発生原因や対策を溶接欠陥の種類に応じて一義的に決めることは困難であり、合理的ではない。

この認識のもとに、敢えて溶接欠陥を主な原因ごとに大別すると次のようになる。

＜主に溶接施工条件に起因して発生＞

- ・融合不良、溶込み不良
- ・アンダーカット、オーバーラップ
- ・スラグ巻込み

＜主に材料に起因して発生＞

- ・ブローホール、ピット、ウォームホール
- ガス溝
- ・溶接割れ（低温割れ、高温割れ）

### ◇ 主に溶接施工条件に起因する溶接欠陥

#### 1. 融合不良・溶込み不良

融合不良は、母材と溶接ビードの間あるいは溶接ビードと溶接ビードの間に、部分的に溶け合わない隙間が生じた状態であり、溶込み不足は、母材板厚の全厚にわたって溶込みが必要な継手において、開先面の一部が残った状態を呼ぶ。融合不良・溶込み不良は、継手強度の低下や応力集中による亀裂発生の起点となる危険な欠陥である。これらの検出方法には、RT（放射線透過試験）、UT

（超音波探傷試験）、MT（磁粉探傷試験）が用いられる。融合不良・溶込み不良の発生原因は、

- ・入熱量が過度に小さい
- ・溶接金属がアークよりも先行する
- ・ワイヤ狙い位置やウィービングが不適切であるなどが挙げられる。融合不良・溶込み不良の防止には、
  - ・溶接電流・溶接電圧を適正にし、溶接速度を遅くする
  - ・溶接金属をアークよりも先行させないなどが有効である。

#### 2. アンダーカット・オーバーラップ

アンダーカットは、溶接の止端に沿って母材が掘られ、溝となって残ってしまうものであり、オーバーラップは溶接の止端で溶接金属が母材に融合しないで重なってしまったものである。アンダーカットやオーバーラップは応力集中源となり、継手効率や疲労強度の低下を引き起こす。これらの検出には、目視による外観検査の他、特にアンダーカットについてはRTも用いられる。アンダーカットの発生原因は

- ・溶接電流・溶接電圧が高すぎる
  - ・溶接速度が速すぎる
- ためであり、一方のオーバーラップは
- ・溶接電流が低すぎる
  - ・溶接速度が遅すぎる

ためである。両者ともに対策としては溶接条件の適正化が挙げられる。

#### 3. スラグ巻込み

溶接金属中、または母材との境界部近傍にスラグが残留することをスラグ巻込みと呼ぶ。検出方法としてはRT、UT、MTが用いられる。スラグ巻込みの発生原因は未解明な部分が多く確定はできないが、

- ・溶融金属の流動性
- ・スラグの粘性
- ・アークの安定性

などが関連していると考えられている。また、多層盛溶接では、アンダーカットや凸形状の溶接ビード止端部にスラグが残留しやすいため、これらがスラグ巻込みの原因となる場合が多い。対策としては、

- ・前パスのスラグを十分に除去する
- ・スラグの先行を抑制する
- ・運棒操作の適正化

などが有効である。

## ◇ 主に材料に起因する溶接欠陥

### 1. ブローホール、ピット、ウォームホール、ガス溝

ブローホールは、窒素、一酸化炭素、水素、アルゴンなどのガス成分、あるいは亜鉛などの金属蒸気等が、溶接金属の中に取り込まれて空洞として残った気孔欠陥の一種である。ピットは、ブローホールと同じメカニズムで発生するもので、一般的に溶接金属の表面に開口しているものがピット、溶接金属の中に閉じ込められたものがブローホールと呼ばれる。さらに、ブローホールが細長く成長して溶接金属の内部や表面に発生したものがウォームホール、その中でも特に被覆アーク溶接棒やスラグ系フラックス入りワイヤのようにスラグが生成する溶接において溶接金属表面に発生するウォームホールがガス溝と呼ばれる。ピットやガス溝は溶接金属の表面に現れることから目視による外観検査やPT（液体浸透探傷試験）で検出できる。一方、ブローホールやウォームホールなど内部欠陥の検出には、RT、UT、MTが用いられる。

一酸化炭素に対しては溶接材料の適正化、水素はその根源である水分の除去（開先面の清浄、被覆アーク溶接棒やサブマージアーク溶接用フラックスの再乾燥、低水素系溶接材料の選択）が対策として挙げられる。アルゴンに関しては、流量調整、溶接条件の適正化が対策となる。これらは鋼種によらず共通している。

写真1は二相ステンレス鋼の溶接金属表面に発生したウォームホール（ガス溝）を示したものである<sup>1)</sup>。二相ステンレス鋼は優れた耐孔食性を確保するために高窒素としていることが大きな特徴である。写真の事例はこの窒素が溶接金属に固溶



写真1 二相ステンレス鋼溶接金属のウォームホール（ガス溝）

しきれず発生したものである。窒素が原因の気孔欠陥の防止には、その他性能との両立が大前提となるが、チタンやアルミなど窒素と結合しやすい成分を積極的に含有させた溶接材料を選択することが有効である。

### 2. 溶接割れ

溶接割れは溶接欠陥の中で最も危険なもので、特に注意が必要である。表1に各種溶接割れの発生原因と一般的対策を示す<sup>2)</sup>。溶接割れの分類は、クレーター割れや横割れなど発生する場所や割れの形状による分類と、低温割れや高温割れといった発生する時期（≒温度域）による分類がある。ここでは後者の発生する時期による分類に基づき、低温割れと高温割れを説明する。

#### <低温割れ>

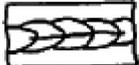
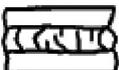
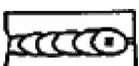
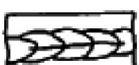
低温割れは、強度が高い、すなわち硬度が大きい材料では溶接直後に発生する場合もあるが、一般的には溶接完了後、ある程度の時間が経過してから発生する。例えば、低合金耐熱鋼やマルテンサイトステンレス鋼などの溶接で、被覆アーク溶接棒の再乾燥が不十分で予熱温度が低すぎる場合などに、溶接終了後数時間から2～3日経過後に発生することが多く、特に溶接後かなりの時期（例えば10日以上）経た後に発生するものを遅れ割れと呼ぶ。

検出方法にはRT、UT、MTがあり、いずれも低温割れを確実に検出できるように検査時期を慎重に決定しなければいけない。例えば、球形タンクの実合せ溶接部のRTは、通常、溶接後少なくとも2日以上を経た後に行われる。

#### 低温割れは、

- ・溶接熱影響部が硬くなること
- ・溶接金属中に一定量以上の水素が存在すること
- ・拘束が大きいこと

表 1 各種溶接割れの発生原因と一般的対策

区分	割れの名称	割れの発生場所	割れの形状例	主な発生原因	一般的対策
低温割れ	ルート割れ	溶接熱影響部 溶接金属		①拡散性水素 ②母材の硬化 ③拘束 ④応力集中	・予熱・後熱 ・低水素系溶接材料の再乾燥と使用
	たて割れ	溶接熱影響部 溶接金属		①拡散性水素 ②母材の硬化 ③拘束	・ルート割れと同じ
	よこ割れ	溶接熱影響部 溶接金属		①拡散性水素 ②母材の硬化	・ルート割れと同じ
	ビード下割れ	溶接熱影響部		①拡散性水素 ②母材の硬化	・ルート割れと同じ
高温割れ	クレーター割れ	溶接金属		①クレーター中心部への不純物の偏析 ②凝固収縮による空洞	・クレーター処理
	たて割れ	溶接金属		①溶接金属の化学成分 ②不純物の偏析 ③過大な溶込み	・溶接金属化学成分の適正化 ・溶接金属不純物の低減 ・溶接条件調整
	粒界マイクロ割れ	溶接熱影響部 溶接金属		①熱影響による不純物の偏析 ②拘束	・母材不純物の低減
	梨型ビード割れ	溶接金属		①不純物の偏析	・ビード断面形状の調整

これら3つの条件が重なり、さらにこの状態で長時間放置された場合に発生する。例えば、高張力鋼を過小な溶接入熱で溶接した場合、冷却速度が速いため溶接熱影響部が硬くなる。この硬くなった部位に水素が集積すると局所的に延性が低下し、この部位が過大な拘束に伴う引張残留応力の下で長期間保持されると低温割れが発生する。この現象は同様の条件が揃えば溶接金属でも起こる場合があり、割れの発生時期は硬さ、水素、拘束の程度によって変化する。

低温割れを防止する対策としては、先の3条件のどれかをなくすことがポイントとなる。溶接熱影響部の硬化の程度は母材成分によっても変化する。硬化の度合を表す指標である炭素当量(Ceq)や溶接割れ感受性指数(P<sub>CM</sub>)の小さな母材の選択が望ましい。母材の選択が容易でなければ、次のような対策が推奨される。

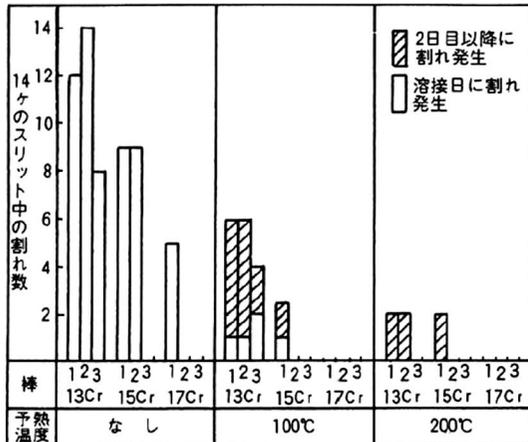
ば、次のような対策が推奨される。

- ・予熱、パス間温度の適切な管理によって冷却速度を調整し、溶接部の硬化を抑制する
- ・低水素系の被覆アーク溶接棒やフラックスを選定する

溶接金属の低温割れを防止するには、上記対策に加えて、下記対策も有効である。

- ・低温割れ性に優れた成分調整を行った溶接材料を採用する

図1はニオブ入りクロム系ステンレス鋼被覆アーク溶接金属のスリット割れ試験結果を示したものである<sup>3)</sup>。予熱温度が高いほど、また溶接金属のクロム量が高くニオブ/炭素量が高いほど低温割れ(遅れ割れ)が発生しにくくなることがわかる。これは溶接金属中の水素が減少することと、硬化組織であるマルテンサイト相が少なくなるた



第1パスの割れ数(試験板：N=2)

図 1 Nb入りクロム系ステンレス鋼溶接金属のスリット割れ試験結果  
(注) 13Cr、15Cr、17Crは溶着金属の概略のCr量(mass%)を示す。  
1、2、3はNb/Cを変化させており、それぞれのNb/Cの概略値は、1：8.5、2：16.5、3：23.5である。

めである。なお溶接終了後、室温まで冷却される前に直後熱を行うことも、溶接部の拡散性水素を減少させ、低温割れの防止に有効である。

#### <高温割れ>

高温割れの代表例として、凝固途中の溶接金属で発生する高温割れがあげられる。検出方法には、PT(液体浸透探傷試験)、RT、UT、MTがある。写真2は、オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属に発生した高温割れを示したものである。

高温割れは、溶接金属が高温下で延性の乏しい状態のときに収縮応力に耐えきれず、樹枝状晶境界、柱状晶境界などが分離開口して発生する。例えば、炭素、硫黄、リンのように偏析係数が大きく凝固が完了するまでの温度幅(凝固脆性温度範囲)を拡大する成分が過剰な場合は、高温割れが発生しやすい。また、ビード断面に形状におけるビード幅(W)とビード高さ(H)の比率(H/W)も影響しており、H/Wが大きくなるとビード断面形状がいわゆる梨型となって、高温割れが発生しやすくなる。

高温割れを防止する対策としては

- ・母材や溶接材料の化学成分の適正化



写真2 オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の高温割れ

・溶接条件の適正化(溶込み形状の適正化)などが有効である。

炭素鋼では炭素、硫黄、リンの低減、高張力鋼や低合金鋼ではさらにニッケルの低減が有効されている。マンガンは、硫黄と結合して高融点のマンガン硫化物を形成し、硫黄の悪影響を軽減すると言われている。一方、SUS304の溶接金属では、5%以上のδフェライト相が高温割れ防止に有効である。δフェライト相はオーステナイト相よりもリン、硫黄などの不純物元素の固溶度が大きく、凝固脆性温度範囲を縮小するためである。

溶接条件面では、低電流・低速度の溶接や開先形状の調整等があげられる。これらは梨型形状の回避と、凝固組織の成長方向を制御して、高温割れが発生しやすい結晶粒の会合部や最終凝固位置を調整する狙いがある。

#### むすび

溶接において注意すべき品質不具合として代表的な溶接欠陥を取り上げ、その発生原因、検出方法、対策を紹介した。溶接構造物の品質向上は、今後、一層重要になると考える。溶接材料だけではなく、溶接という視点から解決に向けた取り組みを進めていきたいと考える。

#### 参考文献

- 1) 菅原大志：神戸製鋼所「技術がいにど」、vol.53 2013-5
- 2) 厚板便覧、株式会社神戸製鋼所
- 3) 神戸製鋼所「技術がいにど」用語解説、1983年4月号

### 3. 溶接・接合技術の最近の動向

大阪大学大学院 工学研究科 ひらた よしのり  
平田 好則

#### まえがき

溶接・接合技術は、自動車をはじめ、重工、造船、電力、石油化学、建築などの基幹産業における組立て・製造工程の基盤技術として広く利用されている。溶接プロセスは材料局部に熱を集中させ、溶かしてつなぐ技術であり、溶接部は製品の一部となる。しかし、急速な加熱・冷却は溶接部の強度や耐食性などを劣化させ、同時に変形や残留応力発生の原因にもなる。この溶接プロセスに内包する不完全性は、世界的にも共通の認識がなされ、ISO国際品質管理規格において「特殊工程」と位置づけられており、技術者・技能者の知識や技量、経験による施工管理に加えて、放射線や超音波などによる非破壊検査を通して、継手部の信頼性を確保している。

溶接施工技術の範囲には、継手品質の確保はもとより、材料調達から曲げ・成形加工、機械加工、熱処理、仕上げの精度など溶接前後のプロセスも含まれるため、基幹産業の各分野においては、蓄積されたノウハウや暗黙知を駆使しながら、製造工程全体にわたる品質レベルと生産性の向上に努めてきたと言える。しかし、急速なグローバル化

の進展は、従来にも増して製品の低価格化や納期の短縮化を誘導し、あらゆる面から溶接工程を含む生産システムの効率を高める検討が進められている。本稿では、生産システムの高効率化の観点から、溶接・接合技術の最近の動向について述べる。

#### ◇ 溶接・接合プロセスの高効率・高性能化への取組み

製造業各社は市場ニーズを踏まえて国内とともに中国など世界各国に生産拠点をもち、それらが互いに補完しながら、社会情勢に応じて「より良いものをより安く作る技術」を獲得する方策に取り組んでいる。溶接・接合技術においては生産性が高く、高品質の溶接継手を確保できることを目的にして、研究開発と実用化が行われている。

生産効率を高めるにはいくつかの方法があるが、溶接方法そのものの効率を上げることと、マンパワーを削減するために、人による作業をロボットや自動機に置き換える方法が進展している。図1にガスマタルアーク（GMA）溶接の原理とその溶接ロボットの構成を示す。GMA溶接はシールドガスの種類によってマグ溶接（Ar+20%CO<sub>2</sub>混合ガス）やミグ溶接（Arガス）と呼ばれる。GMA溶

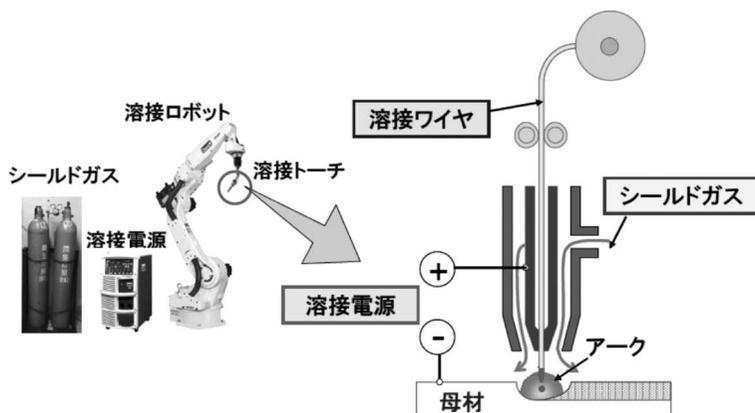


図 1 溶接ロボットとガスマタルアーク（GMA）溶接

接では、溶接ワイヤと母材がアーク放電の電極となる。溶接ワイヤと母材はアーク熱により溶融する。溶接ワイヤの先端が溶融すると、溶滴となって母材へ移行し、溶接部を形成する。GMA溶接の特長として、他の溶接法に比べ、ワイヤが溶融する速度が大きいため、単位時間当たりの母材への溶着量が多く、高能率な溶接ができること、溶接ワイヤはスプールに巻かれており連続的に供給されるので、溶接作業が途切れることがないなどが挙げられる。このため、自動化やロボット化に適する溶接法として、もっとも広く利用されている。このGMA溶接そのものの効率を高めるための方法として、高速溶接や溶着量のさらなる増加、開先溶接における積層パス数の減少、品質安定化による補修工程の低減化などがある。これには溶接材料や溶接機の性能が大きく影響し、さまざまな取組みが行われている。溶接材料の視点からは、設備や溶接方法などは既存のものを使用しながら、作業時間を短くしたいというニーズに対して、高い溶着量を得るコアードワイヤ、入熱量やパス間温度が高くても、溶接部の強度・じん性を確保できる溶接ワイヤの開発・実用化などが行われている。

図2は高能率・高品質化を目指して、国内・海外の溶接機メーカ、溶接材料・ガスメーカが開発したGMA溶接法を電流・電圧条件上に並べたものである<sup>1)</sup>。それぞれ商品名で示しており、高い溶着量を確保できるものや低電流でも極めて安定な溶接ができるなどのキャッチフレーズで、市場に投入されている。1980年にはじめてチョップパ式のトランジスタ電源が登場したが、1984年頃からインバータ電源になって、アーク溶接機の性能が向

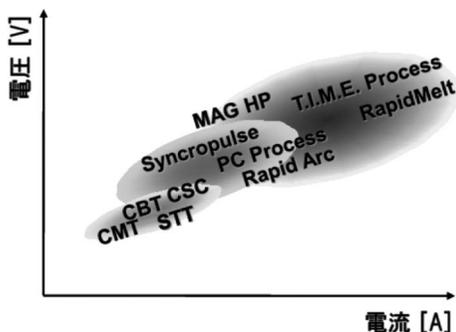


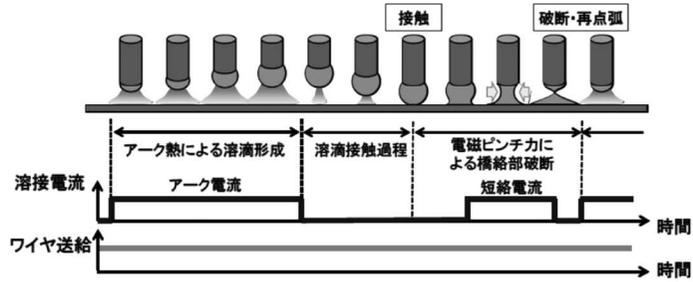
図 2 種々のGMA溶接法とその適用範囲

上した。その後、半導体技術・回路設計技術のさらなる進歩により、インバータ電源の性能が格段に向上し、10A/ $\mu$ s以上の高速の電流制御が可能になった。また、DSP (Digital Signal Processor) 素子が開発され、コンピュータのCPU (Central Processing Unit) から直接にすべてデジタルで高速に、溶接電流・電圧に加えてワイヤ送給量をコントロールできるようになり、ハード的には溶接現象を精密に制御できるポテンシャルにまで達した<sup>2)</sup>。

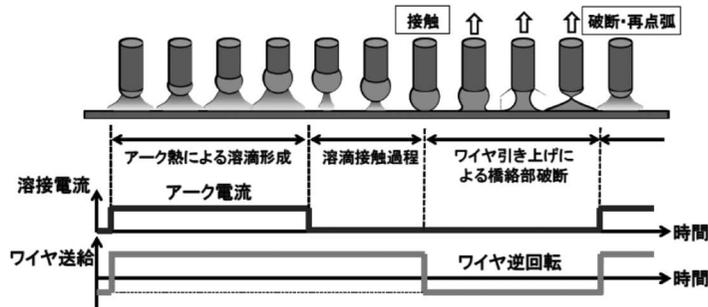
溶接工程において、スパッタと呼ばれる溶接火花が飛散すると、溶接後に母材に付着したスパッタを除去する工程が必要となり、生産効率が低下する。図3は上述の制御技術の適用により、スパッタを大幅に低減する効果を発揮する短絡移行形式のGMA溶接の動作原理を示す。図3 (a) は、アークでワイヤを溶かして溶滴を作り、ある大きさになると、電流を下げ、低い電流値で溶融池とソフトコンタクトして、橋絡させ、その後、短絡電流による電磁ピンチ力で溶融金属の橋絡部を切ってアークを再点弧させ、一連のプロセスを繰り返すものである<sup>3)</sup>。スパッタ低減のポイントは溶滴とプールとのソフトタッチと再点弧する前に電流を下げるところにある。一方、図3 (b) では溶滴と溶融池に形成された橋絡部を破断するのに、電磁ピンチ力ではなくワイヤ送給の方向を反転させ、機械的に引きちぎる方法である<sup>4)</sup>。これらのプロセスはスパッタ低減効果に加え、溶込みの安定化など溶接品質も向上し、いずれも自動車関連分野をはじめとする製造各分野で、その適用が拡大している。

次に、シールドガスを100%CO<sub>2</sub>ガスとする炭酸ガスアーク溶接はマグ溶接に比べ、深い溶込みが得られるため、建築分野など国内で多用されている溶接法であるが、電流値を高くすると、スパッタが激しく発生するという欠点がある。そこで、LaやCeなどのREMを微量添加した溶接ワイヤが開発された。極性を通常とは逆にして、溶接ワイヤを電極マイナスとすることで、溶滴サイズが小さいスプレー移行となり、従来法に比べ90%のスパッタが低減し、安定した溶接が行える<sup>5)</sup>。

次に、現時点では汎用にまで至っていないが、いくつかの製品分野で実用化されている溶接法を



(a) 電流波形制御



(b) ワイヤ送給速度制御

図 3 コントロール短絡移行GMA溶接の原理

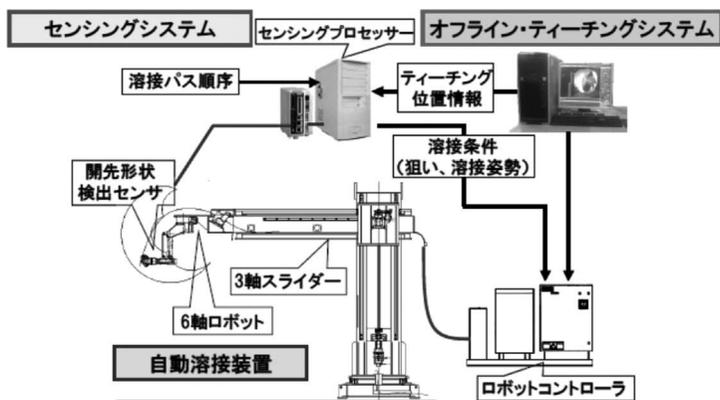
紹介する。まず、高出力レーザーの性能向上とともにドイツなどで実用化がはじまったレーザーアークハイブリッド法について述べる。レーザー溶接は熱歪がほとんどなく、高速で溶接できる高能率溶接法であるが、溶接前工程での精度を確保することが必須条件となっており、組立て精度などと絡んで、実生産においては適用対象が限定されている。これに対して、レーザーとアークのそれぞれのメリットを活かすように組み合わせたものがレーザーアークハイブリッド法と呼ばれる溶接法であり、国内では自動車や鉄道車輛、造船分野で適用されている。摩擦攪拌接合 (FSW) はツールを回転させ、その摩擦熱により融点以下に加熱することで、軟らかくなったアルミなどの金属をかきまぜてつなぐ方法である。機械加工に準じた自動プロセスで、溶接変形が少なく、溶融凝固に伴う欠陥が発生しないなどメリットがあり、新幹線などの車輛構体への適用からはじまり、自動車など多くの製品で利用されている。最近では溶融接合が難しいとされる超ハイテン鋼の接合、アルミ-CFRPなどの異材接合の接合方法として期待されている。ま

た、溶接対象から数メートル離れた位置にあるミラーとレンズを精密に調節することで、レーザーの照射位置を高速にコントロールし、立体的な3次元溶接を可能にするリモートレーザー溶接が開発・商品化されている<sup>6)</sup>。自動車のドアやシート部品など薄板のスポット溶接に置き換わる方法として適用が広がっている。

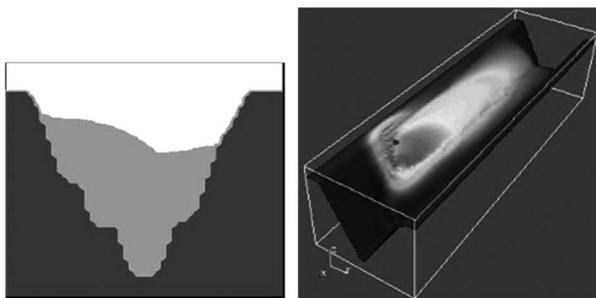
#### ◇ 溶接・接合技術の知能化・デジタル化

この10年ほどの間に、コンピュータやカメラなどが高性能となり、さらに低価格となったので、施工現場に可視化機器が導入され、センシング・制御技術が飛躍的に進歩した。

従来の溶接ロボットでは、ティーチングと呼ばれる溶接線や開先部などの位置情報をあらかじめロボットに教示する必要があり、人がロボットアーム先端に取り付けられた溶接トーチを持って、部材の溶接位置に複数点タッチすることで、位置情報を教示する作業を行う。最近の溶接ロボットにはオフライン・ティーチング機能があり、CAD図面から溶接位置を指定することができるので、



(a) 知能化ロボット溶接システムの例<sup>7)</sup>



(b) GMA 溶接プロセスの数値シミュレーション

図 4 溶接技術の知能化・デジタル化

コンピュータ上で溶接すべき位置を教示できる。単純な形状の継手を除いて、溶接中の変形や開先変動などを監視し、修正する作業が必要である。このため、人の目や耳の代わりになるセンサが用途に応じて開発されてきた。現在、実用されているセンサにはタッチセンサ、アークセンサ、レーザセンサ、カメラセンサなどがあり、さまざまな制御手法をリンクさせることで、開先ならいや適応制御などを行うことが可能となってきた。図4(a)は水力発電用水車ランナーの現地溶接に適用されたオフライン・ティーチングとセンシングシステムを組み合わせた例であるが<sup>7)</sup>、溶接学会溶接法研究委員会が実施したアンケート調査結果を見ても、製造各分野における溶接システムの自動化レベルが着実に高まっている<sup>8)</sup>。

上述のように溶接ロボットは与えられた溶接位置情報に基づいて、溶接トーチを忠実に動かす機能を有するが、溶接電流や電圧、溶接速度などの溶接条件はすべて予め施工実験によって得られた

条件やデータベースに基づいて、人がロボットに入力する必要がある。計算科学の進展に伴い、溶接現象や変形などを精度よく予測できる数値シミュレーションモデルの開発が進められ、最近、ソフトウェアとして整備されつつある。図4(b)は厚板の多層盛溶接をシミュレーションしたものの<sup>9)</sup>で、溶接狙い位置や溶接姿勢、溶接条件に応じて溶込み形状や欠陥発生の予測が可能になりつつあり、CAD/CAMシステムとのリンク、溶接機の知能化など生産・開発サポートツールとして利用されると考えている。

## むすび

いまICT（情報通信技術）が飛躍的に進展し、ドイツではインダストリー4.0、米国では先進製造技術開発などと呼ばれる「第4次産業革命」とも言うべき大変革時代が到来し、ものづくり分野のイノベーションをめぐる国際競争が激しくなってきた。我が国が世界でトップレベルのものづくり

国家として発展していくためには、自動車や重工などの基幹製造産業が高い国際競争力を維持していくことが不可欠であり、そのためには、その基盤技術である溶接接合技術を大きく革新する必要がある。すなわち、溶接プロセスがもつ不完全性を克服し、設計・施工の時点で溶接部あるいは継手部の性能を保証できる新しい溶接接合技術（ノベル・ジョイニング技術）を開発・実現しなければならないと考えている。溶接・接合後の試験・検査や補修を大幅に減らすことができるようになると、技術者・技能者による製造管理体制も大きく変えることが可能となり、生産システムを革新する駆動力になるとともに、高効率生産や高付加価値の製品創成につながることを考えている。

### 参考文献

- 1) 平田：溶接プロセスはどう進むか、溶接法ガイドブック 6
- 2) 平田：デジタルアーク溶接機に期待するもの、溶接学会誌、Vol. 74 (2005) No. 7
- 3) 恵良ら：Controlled Bridge Transfer (CBT法) の適用による薄鋼板の溶接、溶接学会論文集、Vol. 27 (2009) No. 3、pp.189-194
- 4) K.Himmelbauer: The CMT-Process - A revolution in welding technology, IIW Doc.XII-1875-05 (2005)
- 5) 片岡ら：炭酸ガスアーク現象に及ぼすワイヤへのREM添加の影響、溶接学会論文集、Vol. 26 (2008) No. 1、pp. 37-41
- 6) 森：自動車ボディへのレーザ溶接適用、WE-COMマガジン第12号 (2014)、(一社) 日本溶接協会 溶接情報センター
- 7) T. Kato, et.al.: Development of on-site automatic welding system for large-sized water wheel runner, IIW Doc.XII-2034-11 (2011)
- 8) 溶接法ガイドブック7「溶接プロセスの可視化・シミュレーション技術」(2012)、(一社) 溶接学会 溶接法研究委員会編
- 9) 荻野ら：数値シミュレーションによるアーク溶接の溶込み形状予測技術の開発、溶接学会 平成27年度秋季全国大会講演概要集、第97集 (2015)、pp. 46-47



## Ⅱ．溶接用材料と溶接技術

### 1．構造用鋼・高張力鋼・耐食鋼

新 日 鐵 住 金 株 有 限 公 司  
鉄鋼研究所 接合研究部 浜 谷 秀 樹

#### まえがき

高強度化や、低温での靱性、疲労特性、耐食性等への要求の多様化、厳格化、さらには、極厚鋼板の利用拡大など、高度化する市場ニーズに応えるべく新たな鋼板が開発されてきている。これらの鋼板を船舶、建設機械、橋梁、建築物、貯槽などの構造物に適用するには溶接が不可欠であり、その鋼板に適した溶接材料、溶接技術の開発が重要である。すなわち、鋼板が有する機能を構造物として発揮するためには、溶接継手部においても鋼板とほぼ同等の機能を有することが求められ、溶接継手部の機械的特性が構造物の仕様を決めてしまうこともある。特殊な機能を有する鋼板であればあるほど、汎用的な溶接材料では、その特性が十分発揮できないことが多く、その場合には新たに専用の溶接材料を開発することが必要となる。さらに、高効率の大入熱溶接技術、高強度鋼溶接時の予熱負荷の低減、溶接部の疲労特性向上など、溶接に関する社会・産業界からの要望は多岐にわたっている。以下に、最近の溶接材料および溶接技術の開発動向について述べる。

#### ◇ 構造用鋼の溶接技術

構造用鋼として、ここでは船舶および低温仕様様の構造物について述べる。

近年、世界的な海上輸送量の増加から、商船業界では、航海あたりの輸送量を増大させて、コスト削減および環境負荷低減を図る傾向にある。特に、コンテナ船は船型の大型化が急激に進み、燃費向上のための船体構造設計の最適化が実施されており、使用される造船用鋼材には、更なる高強度化と厚手化が求められている。このような背景から開発された造船用厚手高強度鋼（460MPa級

耐力）は、特に脆性破壊発生特性および脆性き裂伝播停止（アレスト）特性を十分に考慮して設計された鋼板である。その実用化においては、溶接継手部も母材と同等の脆性破壊発生特性および脆性き裂伝播停止特性を考慮した規格<sup>1)</sup>を満足することが必要であり、溶接継手部における脆性破壊発生特性（Kc）を確保するためには、溶接金属と溶接熱影響部（HAZ）との強度マッチングが重要であることが明らかとなっている<sup>2)</sup>。従来は、Kc値と溶接部のシャルピー吸収エネルギーとの間には、一定の相関関係が成立するとされていたが、厚手高強度鋼の大入熱溶接継手の場合は、図1に示すように、溶接金属と母材の硬さ（強度）の比（ $\alpha$ ）が1.2を超えると、シャルピー吸収エネルギーから予想される破壊靱性に比べ、実際の破壊靱性が大きく低下することが判明した。この現象は、溶融線近傍（Bond部）の局所応力の増加が、継手のKc値を低下させているためであり、溶接金属の硬さを母材硬さの1.2倍以下に抑える必要があるこ

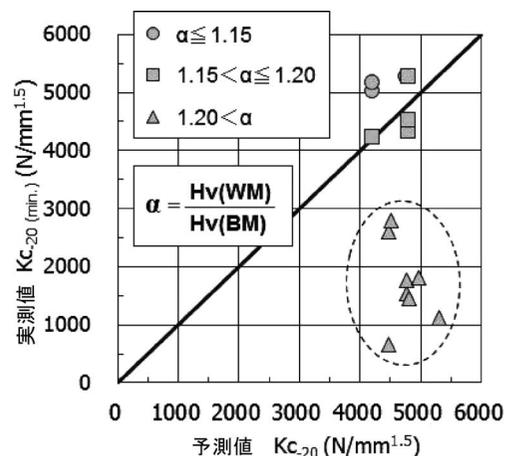


図 1 YP460MPa級大入熱溶接部の脆性破壊発生特性（Kc）と強度マッチングの関係

とを示唆している。この結果から、造船用厚手高強度鋼の溶接には、溶接継手の破壊靱性を確保するために溶接金属の硬さに上限を設けたり、焼入れ性の最適化と微細なアシキュラーフェライトを活用して溶接継手に要求される強度、靱性を満足させる溶接材料が開発され、溶接継手部のKc値の確保が達成されている。

さらに、造船用厚手高強度鋼の溶接には、高能率化も課題である。大型コンテナ船では構造上、船倉周囲上部のハッチサイドコーミングやシアストレーキで強度を確保する必要があり、これらの部位には板厚50~70mmの極厚鋼板が用いられるが、これらの部位では現場での立向姿勢での施工が必要となるため、高能率なエレクトロガスアーク溶接法が採用されている<sup>3)</sup>。また、更なる高能率化を目指した2電極のエレクトロガスアーク溶接法も開発され、適用されている<sup>4)</sup>。

次に低温用鋼について述べる。原油採掘は北海、北極海とより寒冷地へ向けて拡大しており、鋼材への低温靱性への要求厳格化は近年特に進んでいる。低温で鋼構造物を使用する場合、脆性破壊を回避する観点から、溶接金属の靱性確保も鋼材並に極めて重要な課題であり、溶接金属の低温靱性確保のために最も重要なのは、マイクロ組織の微細化である。1980年代に、Ti酸化物などの微小介在物を核とする粒内変態技術<sup>5-7)</sup>が確立され、590N/mm<sup>2</sup>以下の強度の高靱性溶接金属では、主として微細アシキュラーフェライト組織が活用されている。このアシキュラーフェライトは大傾角の組織であるため、破壊の伝播において破面単位を細かくする効果を発現し、高靱性な溶接金属が得られる。このような粒内変態を応用して、例えば10kJ/mmという大入熱サブマージアーク溶接においても、-70℃でのシャルピー吸収エネルギーが100Jを超える高靱性な溶接材料が開発されており<sup>8)</sup>、多目的LPG船などに適用されている<sup>9)</sup>。さらに、LPGタンクに使用する溶接材料においても、-50℃でアレスト性を有する被覆アーク溶接棒も開発されている<sup>10)</sup>。

#### ◇ 高張力鋼の溶接技術

建設産業機器分野を一例にとると、最近ますます高強度化が進んでおり、引張強さ (TS) 590N/

mm<sup>2</sup>鋼から780N/mm<sup>2</sup>鋼へ、さらには950N/mm<sup>2</sup>鋼あるいは980N/mm<sup>2</sup>鋼へのシフトが進んでいる。780N/mm<sup>2</sup>以上の強度を有する溶接金属は、前述したアシキュラーフェライト主体の組織では強度確保ができないために細粒ベイナイト組織が主体となり、また、高強度と高靱性を両立させるためには溶接金属のマイクロ組織微細化に加え、溶接金属中の酸素量の低減技術も重要となる。これらの高張力鋼に適用される溶接材料としては、950N/mm<sup>2</sup>鋼および980N/mm<sup>2</sup>鋼用に、被覆アーク溶接材料、サブマージアーク溶接材料、ガスシールドアーク用ソリッド溶接材料が開発され、必要強度を満たすと共に優れた低温靱性を有している<sup>11)</sup>。また、780N/mm<sup>2</sup>鋼のガスシールドアーク用溶接材料として、ソリッドワイヤに比べて全姿勢溶接性や作業効率が優れたフラックス入りワイヤ (FCW) も開発されている<sup>12)</sup>。

ところで、高張力鋼は、強度が高くなるにつれて合金元素含有量が多くなるために、溶接性を評価する指標として一般的に用いられるPcmやCENなどの炭素当量が高くなり、溶接低温割れが発生しやすくなる。そのため強度が高くなるほど、低温割れの発生を防止するために、より高い温度での予熱が必要となる。ところが近年では、制御圧延技術の一つであるTMCP (Thermo Mechanical Control Process) 技術を駆使することにより、合金元素を抑制して、高強度でありながら溶接性に優れた鋼材が開発されている。例えば、Cuを1%含有し、Cu析出による析出強化を母材の強化機構に利用して、Cを低く抑えた橋梁用高性能鋼は、引張強度が780N/mm<sup>2</sup>鋼と高強度でありながら、溶接低温割れ感受性が非常に低い鋼材である<sup>13)</sup>。この理由としては、この橋梁用高性能鋼の母材においては析出Cuによる水素トラップ効果のために水素拡散が遅くなるが、一方、溶接低温割れが最も生じやすい溶融線近傍のHAZにおいては、析出Cuが再固溶してトラップ効果が失われるために水素の拡散が速くなる。したがって、TMCP技術を用いて製造された橋梁用高性能鋼 (Cu析出鋼) の溶接部は、他の引張強度780N/mm<sup>2</sup>鋼の溶接部に比べて、溶融線近傍では水素拡散が速く、母材側に拡散した水素は析出Cuによりトラップされるために、溶融線近傍HAZの水素濃度が低くなる傾向

にあり、溶接低温割れの観点から有利であると考えられる<sup>14)</sup>。

一般的に、高強度鋼ほど疲労強度は高くなる。しかしながら、溶接部の疲労強度は母材の強度に関係なく、ほとんど変化しない。これは、溶接部の止端部形状と溶接残留応力に起因するためである。そのため、溶接部の疲労寿命を向上させる技術として、ビード止端部形状を滑らかにしたり、ショットピーニングや超音波処理などを行って溶接部に圧縮残留応力を付与する技術が適用されている。その一つとして、低温変態溶接材料 (Low Transformation Temperature溶接材料：以下LTT) を用いる方法を紹介する。

一般的な溶接材料では、変態が高温度で発生・終了するため、変態後の熱収縮で溶接金属部および溶接止端部に引張残留応力が生じ、疲労亀裂が発生しやすくなる。これに対しLTT溶接材料は、合金調整によって溶接金属の変態開始温度を低くし、変態膨張時に発生した圧縮応力を室温まで冷却した状態でも残し、圧縮残留応力を生じさせて疲労特性を向上させるものである<sup>15)</sup>。図2に、角回し溶接継手の試験片において、本ビード溶接を行った後に、角回し部のみをLTT溶接材料で付加ビード溶接を行うことによる疲労強度への影響を調査した結果を示す<sup>16)</sup>。LTT溶材によって疲労限を大幅に向上しており、特に低応力側ではJSSC等級で、2等級以上向上していることがわかる。

## ◇ 耐食鋼の溶接技術

耐食鋼の溶接では、溶接継手部の耐食性を母材と同等以上に確保することが重要であり、そのためには、専用溶接材料の使用が望ましい。例えば、石炭火力ボイラーや廃棄物焼却施設等の排煙設備における硫酸・塩酸露点腐食環境、塩酸酸洗槽や工業硫酸タンク等における硫酸・塩酸腐食環境などで優れた耐硫酸腐食性と耐塩酸腐食性を有する低合金耐食鋼 (耐硫酸・塩酸露点腐食鋼) においては、専用のフラックス入りワイヤ、被覆アーク溶接棒、TIG溶接用ワイヤ、サブマージアーク溶接用ワイヤおよびフラックスの各種溶接材料が開発されている<sup>17)</sup>。これらの溶接材料は、CrやNiのような合金元素を多量に含有していないため、低温割れや高温割れが起こりにくく、溶接施工性に優れた溶接材料である。この耐硫酸・塩酸露点腐食鋼と専用フラックス入りワイヤの溶接継手部と、比較材としてSS400鋼と通常の低合金鋼用フラックス入りワイヤの溶接継手部から試験片を採取し、濃度10.5%で温度80℃の塩酸、および濃度20%で温度40℃の硫酸に24時間浸漬した後の試験片断面を、図3と図4に示す<sup>17)</sup>。この結果から、耐硫酸・塩酸露点腐食鋼専用フラックス入りワイヤは、塩酸環境および硫酸環境の何れにおいても、母材と同等以上の優れた耐食性を有していることがわかる。

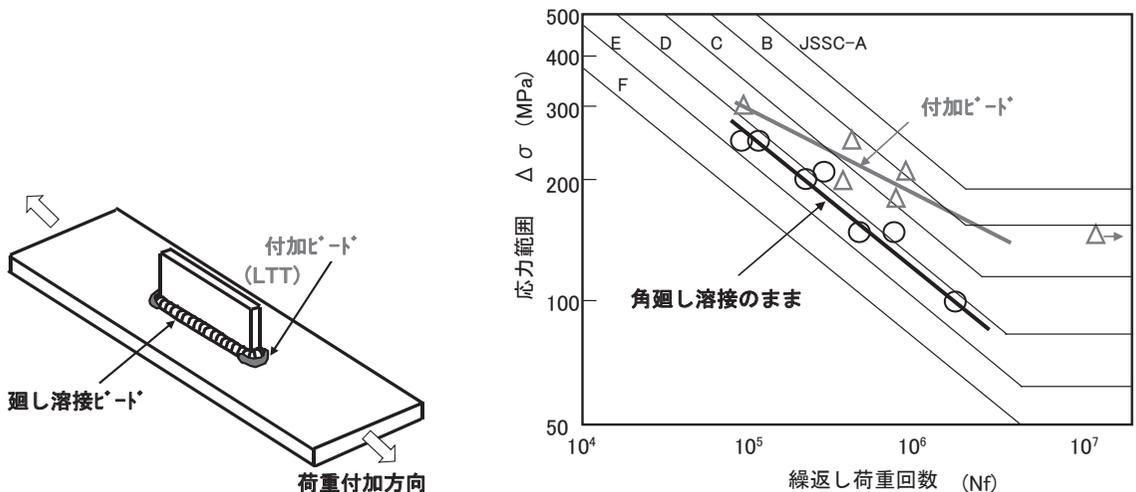


図 2 継手疲労試験片と疲労試験結果

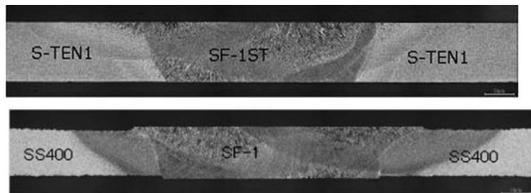


図 3 10.5%-80℃の塩酸に24時間浸漬した試験片断面

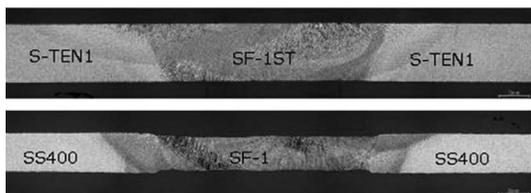


図 4 20%-40℃の硫酸に24時間浸漬した試験片断面

### むすび

厚鋼板への要求性能は、今後ますます多様化・厳格化していくものと考えられる。それに対応して、厚鋼板の機能を最大限生かせる最適な溶接材料や溶接プロセス、さらには、溶接負荷を軽減する溶接材料の開発や溶接能率の向上など、社会・産業界のニーズに応えるべく、新しい溶接技術の開発を継続していくことが重要である。

### 参考文献

1) 日本海事協会：大型コンテナ船へのYP47鋼使用に関するガ

イドライン。2008

- 2) Ishikawa, T., Inoue, T., Shimanuki, H., Imai, S., Otani, J., Hirota, K., Tada, M., Yamaguchi, Y., Matsumoto, T., Yajima, H.: Proc. of the 17th ISOPE Conf. (2007)
- 3) 笹木聖人、須田一師、元松隆一、橋場裕治、大北茂、今井嗣郎：新日鉄技報。(380)、57 (2004)
- 4) 廣田一博、中川隆、武田信玄、橋吉美、多田益男：三菱重工技報。44 (3)、28 (2007)
- 5) S. Ohkita, H. Homma, S. Tsushima, N. Mori: Australian welding J., Vol 29, No 3, 29 (1984)
- 6) O. Grong and D. K. Matlock: International Metals Reviews, Vol. 31, No. 1, 27 (1986)
- 7) R. A. Ricks, P. R. Howell, and G. S. Barritte: Journal of materials science 17, 732 (1982)
- 8) K. Kojima, S. Ohkita, S. Aihara, S. Imai, R. Motomatsu, M. Umeki and T. Miura: Proceedings of the 18th international conference on OMAE MAT-2102 1-8 (1999)
- 9) 永原政明、深水秀範：新日鉄技報 (380)、9-11 (2004)
- 10) 児嶋一浩、萱森陽一、渡部義之、田中将樹、奥島基裕、齋藤佑介：溶接学会全国大会概要集91、125 (2012)
- 11) 山口将美、元松隆一、鈴木友幸、小山邦夫、大北茂：溶接学会全国大会講演概要 第59集 10 (1996)
- 12) Shimura, R., Nagasaki, H., Totsuka, Y., Nakamura, S.: IIW Doc.XII-2033-11, 2011
- 13) 岡村義弘、糟谷正、山場良太、田中陸人、為広博：鋼構造論文集、第1巻、第1号、53 (1994)
- 14) 糟谷正、渡邊耕太郎、熊谷達也：溶接学会全国大会講演概要、Vol. 94 (2014)
- 15) Kasuya, T., Sasaki, K.: 溶接学会論文集 27 (2) 158-162 (2010)
- 16) 新日鉄技報。(385)、92 (2006)
- 17) 児嶋一浩、宇佐見明：配管技術、Vol 3、41 (2004)

## 2. 耐熱鋼

日立金属(株) 田村 庸  
 高級金属カンパニー技術部

### まえがき

東日本大震災より石炭火力発電の安定性・経済性が優れたベースロード電源として再評価されており、環境負荷を低減しつつ火力発電を有効利用するための効率化が進められている。平成27年に資源エネルギー庁から出されたエネルギー基本計画における石炭火力発電の高効率化を図1<sup>1)</sup>に示す。亜臨界圧から超々臨界圧(USC)に進み、さらに石炭ガス化複合発電や先進超々臨界圧(A-USC)などによる熱効率の技術開発が進められている。

微粉炭火力では主蒸気温度は1950年代に530℃から566℃に向上したが、その後長期間進展がなかった。1997年に松浦2号機で593℃が達成され、さらに1998年には中国電力三隅1号機で600℃に上昇した。2000年になると橘湾1号機で再熱温度610℃、2009年には磯子新2号機では再熱温度620℃を達成した。

これら1990年頃から運転を開始した蒸気条件によって熱効率向上を果たしたプラントは蒸気条件の高温高压化に対応した材料技術を中心とした技術が適用されている。

### ◇ ボイラ用耐熱鋼

高温用材料の開発は許容引張応力のベースとなる600℃での10万時間クリープ破断強度 $\sigma_r$ を指針として進められた。代表的なボイラ用耐熱鋼の化学成分を表1<sup>2), 3)</sup>に示す。フェライト系とオーステナイト系の2種類がある。結晶構造が体心立方晶であるフェライト系はオーステナイト系に比べ熱膨張係数が小さく熱伝導率が大きいため、発生する熱応力が小さいという特徴がある一方で、フェライト系の自己拡散係数は面心立方晶のオーステナイト系よりも大きいため、高温での拡散現象に支配されるクリープには不利である。

フェライト系9-12Cr系鋼は長期間使用されてきた代表的な材料であるが $\sigma_r$ は40MPaであった。 $\sigma_r$ が100MPaクラスのオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304HTB, SUS316HTB等)は高コストであるので、9-12Cr鋼の高強度化が進められた。 $\sigma_r$ が100MPaクラスの第2世代改良9Cr系鋼は世界中の過熱器管、管寄せ、蒸気配管等に広く使用されている。オーステナイト系の改良鋼には17-14CuMoや20-25Cr系の $\sigma_r$ 150MPa前後のものがあるが、フェライト系でも140MPaの第3世代また12Cr-

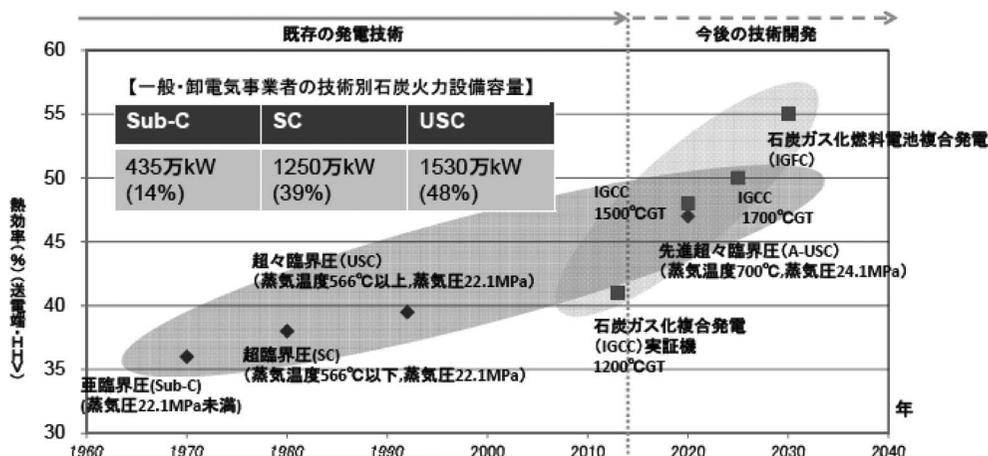


図 1 石炭火力発電の効率向上

表 1 代表的なボイラ用耐熱鋼と該当規格ならびに公称の化学成分

種 別	材料符号 (公称組成)	規 格		化 学 成 分 (mass%)														
		JIS	ASME	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	Co	V	Nb	Ti	B	N	その他	
フェライト系	2Cr	T22 (2.25Cr-1Mo)	STBA24	T22	0.12	0.3	0.45	-	2.25	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
		M2S (2.25Cr-1.6W/VNb)	火 STBA24J1	T23	0.06	0.2	0.45	-	2.25	0.1	1.6	-	0.25	0.05	-	0.003	-	-
	9Cr	T9 (9Cr-1Mo)	STBA26	T9	0.12	0.6	0.45	-	9.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
		M9M (9Cr-2Mo)	火 STBA27	-	0.07	0.3	0.45	-	9.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-
		T91 (9Cr-1MoVNb)	火 STBA28	T91	0.10	0.4	0.45	-	9.0	1.0	-	-	0.20	0.06	-	-	0.05	-
		F16 (9Cr-0.5Mo-2W/VNb)	火 STBA29	T92	0.07	0.06	0.45	-	9.0	0.5	1.8	-	0.20	0.05	-	0.004	0.06	-
		F-9 (9Cr-1MoVNb)	-	-	0.06	0.5	0.60	-	9.0	1.0	-	-	0.25	0.40	-	0.005	-	-
		EM12 (9Cr-2MoVNb)	(NFA49213)	-	0.10	0.4	0.10	-	9.0	2.0	-	-	0.30	0.40	-	-	-	-
		HT91 (12Cr-1MoV)	(DINX20CrMoV121)	-	0.20	0.4	0.60	0.5	12.0	1.0	-	-	0.25	-	-	-	-	-
		HT9 (12Cr-MoWV)	(DINX20CrMoWV121)	-	0.20	0.4	0.60	0.5	12.0	1.0	0.5	-	0.25	-	-	-	-	-
12Cr	M12 (12Cr-1Mo-1W/VNb)	火 SUS410J2TB	-	0.10	0.3	0.55	-	12.0	1.0	1.0	-	0.25	0.05	-	-	0.03	-	
	12A (12Cr-0.4Mo-2W/VNb)	火 SUS410J3TB	T122	0.11	0.1	0.60	-	12.0	0.4	2.0	-	0.20	0.05	-	0.003	0.06	1.0Cu	
	F12 (11Cr-2.6W-2.5Co/VNb)	-	-	0.08	0.2	0.50	-	11.0	0.2	2.6	2.5	0.20	0.07	-	0.004	0.05	-	
	E12 (11Cr-3W-3Co/VNbTaNd)	-	-	0.10	0.3	0.20	-	11.0	-	3.0	3.0	0.20	0.07	-	-	0.04	0.07Ta, 0.04Nd	
	SUS304HTB (18Cr8Ni)	SUS304HTB	TP304H	0.08	0.6	1.6	8.0	18.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Spr304 (18Cr9NiCuNbN)	火 SUS304J1HTB	TP304CuCbN	0.10	0.2	0.8	9.0	18.0	-	-	-	-	0.40	-	-	0.10	3.0Cu	
オーステナイト系	18Cr-8Ni	SUS321HTB (18Cr10NiTi)	SUS321HTB	TP321H	0.08	0.6	1.6	10.0	18.0	-	-	-	-	0.5	-	-	-	
		A-1 (18Cr10NiNbTi)	火 SUS321J1HTB	-	0.12	0.6	1.8	10.0	18.0	-	-	-	-	0.10	0.08	-	-	
	SUS316HTB (16Cr12NiMo)	SUS316HTB	TP316H	0.08	0.6	1.6	12.0	16.0	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
	SUS347HTB (18Cr10NiNb)	SUS347HTB	-	0.08	0.6	1.6	10.0	18.0	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	
	TP347H (18Cr10NiNb)	火 SUSTP347HTB	TP347H	0.08	0.6	1.6	10.0	18.0	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	
	TP347HFG (18Cr10NiNb)	-	TP347HFG	0.08	0.6	1.6	10.0	18.0	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	
	17-14CuMo (17Cr14NiCuMoNbTi)	-	-	0.12	0.5	0.7	14.0	16.0	2.0	-	-	-	0.4	0.3	0.006	-	3.0Cu	
	15Cr-15Ni	Essheir1250 (15Cr10Ni6MnVNbTi)	-	0.12	0.5	6.0	10.0	15.0	1.0	-	-	0.2	1.0	0.06	-	-	-	
	20-25Cr	SUS310TB (25Cr20Ni)	SUS310TB	TP310	0.08	0.6	1.6	20.0	25.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		R3C (25Cr20NiNbN)	火 SUS310J1TB	TP310CbN	0.06	0.4	1.2	20.0	25.0	-	-	-	-	0.45	-	-	0.2	-
		Alloy 800H (21Cr32NiTiW)	NCF800HTB	Alloy 800H	0.08	0.5	1.2	32.0	21.0	-	-	-	-	-	0.5	-	-	4.0Al
		A-3 (22Cr15NiNbN)	火 SUS309J4HTB	-	0.05	0.4	1.5	15.0	22.0	-	-	-	-	0.7	-	0.002	0.15	-
		T09 (20Cr25NiMoNbTi)	火 SUS310J2TB	-	0.05	0.5	1.0	25.0	20.0	1.5	-	-	-	0.2	0.1	-	-	-
		E25 (22.5Cr18.5NiWCoNbN)	火 SUS310J3TB	-	0.10	0.1	1.0	18.0	23.0	-	1.5	-	-	0.45	-	-	0.2	3.0Cu
		R30A (30Cr50NiMoTiZr)	-	-	0.06	0.3	0.2	50.0	30.0	2.0	-	-	-	-	0.2	-	-	0.03Zr
R6W (23Cr43NiWNBt)	-	-	0.08	0.4	1.2	43.0	23.0	-	6.0	-	-	0.18	0.08	0.003	-	-		

表 2 T92、T122フェライト系耐熱鋼用溶接材料の化学成分

溶接方法	溶接材料	溶接材料の化学成分 (mass%)													
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Co	Cr	Mo	V	Nb	W	N
SMAW	CR-12S	0.06	0.38	0.72	0.005	0.003	0.01	0.48	1.56	9.49	0.20	0.29	0.03	1.50	0.05
GTAW	TGS-12CRS	0.07	0.35	0.74	0.004	0.003	0.01	0.51	1.01	9.92	0.35	0.21	0.04	1.45	0.04
GMAW	MGS-12CRS	0.07	0.31	0.93	0.005	0.004	0.01	0.50	1.50	9.54	0.40	0.29	0.04	1.60	0.04
SAW	PF-200S/US-12CRS	0.09	0.15	0.99	0.007	0.003	0.37	0.98	0.14	10.74	0.23	0.19	0.03	1.77	0.02

wCoNiVNb (F12) のようなσ180MPaクラスの材料も開発されている。

◇ 溶接材料

溶接材料には鋼材同様のクリープ破断強度が要求されるほか、所定レベルの衝撃特性も要求される。上記に示した耐熱材料の進歩に応じた溶接材料が必要とされる。表1に示したT92、T122フェライト系耐熱鋼を対象とした溶接材料の化学成分と機械的性質の一例を表2、3<sup>4)</sup>に示す。

クリープ破断強度はV、Nb、Wなどの元素を添加して確保されているが、これらの元素はδフェライトを生成させる傾向があり、δフェライトは衝撃特性に悪影響を及ぼすことが従来から知られているので、成分設計上これを抑える工夫がなさ

表 3 T92、T122フェライト系耐熱鋼用溶接材料の機械的性質

溶接方法	溶接材料	溶接後熱処理	溶着金属の機械的性質				
			0.2%耐力	引張応力	伸び	衝撃地	クリープ破断時間
SMAW	CR-12S	740℃×8h	648	768	26	40	2 650
GTAW	TGS-12CRS	740℃×8h	686	790	23	44	3 915
GMAW	MGS-12CRS	740℃×8h	619	745	27	47	1 670
SAW	PF-200S/US-12CRS	745℃×8h	624	781	22	37	2 635

クリープ破断時間の試験条件: 650℃, 98MPa

れてきた。

$$Cr_{eq} = Cr + 6Si + 4Mo + 1.5W + 11V + 5Nb + 12Al + 8Ti - 40C - 2Mn - 4Ni - 2Co - 30N - Cu \dots (1)$$

(1) 式のCr等量を小さくすることで実用上問

表 4 ボイラ用高強度オーステナイト系耐熱鋼用溶接材料の化学組成の一例

	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Cu	Nb	V	N
母材	0.03	0.27	1.69	9.85	18.5	2.13	-	0.37	0.30	0.23
溶着金属 (溶接方法GTAW)	0.04	0.29	1.21	13.2	18.3	2.58	-	0.39	0.3	0.14
溶着金属 (溶接方法SMAW)	0.05	0.42	1.45	15.0	18.3	3.12	2.01	0.36	0.3	0.12

題にならない衝撃特性を確保できるが、これはT91鋼が開発されたときに提案されたもので、12%Cr鋼溶着金属では、 $\delta$ フェライトの残留が抑制できず衝撃特性の確保が困難になった。そこで、9-12%フェライト鋼改良材に対してはこれを補完する

$$FP = 22C + 0.6Mn + 0.9Cu + 1.4Ni + 0.8Co + 28.7N - Cr - 1.2Si - 2Mo - 4.4V - 3.2Nb - 1.4W - 7Ti + 11.5 \dots (2)$$

FPが大きくなると衝撃特性が向上する関係が得られ、成分設計に活用されている。

オーステナイト系についても同様で新たな耐熱材料が開発されればそれに応じた溶接材料が必要とされる。ここでは、表1に示したSUS347HTBや709よりも高い高温強度を有する開発材 火SUS347J1TBに対して成分の整合性やコスト面を考慮して開発されたオーステナイト系溶接材料の化学成分をベース材の組成と合わせて表4<sup>5)</sup>に示す。

溶接方法SAW、SMAW、GTAWなどに合わせた溶接材料が、フェライト用、オーステナイト用それぞれで開発されている。

#### ◇ むすびにかえて；先進超々臨界圧 (A-USC) 700℃への取組み

21世紀に入って日米欧で700℃級火力発電プラントの実現に向けた材料開発への取組みが行われてきた。蒸気温度を高めて発電効率を約50%に上げるのである。

A-USCは従来の微粉炭火力による発電方式の延長上の技術であることがポイントで2020年以降増大する経年石炭火力のリプレース需要への対応および開発された技術を海外の石炭火力にも容易に適用でき世界レベルでのCO2削減に貢献できる石炭有効利用技術のひとつである。

700℃級の蒸気条件ではフェライト系、オーステナイト系でも強度不足とされ、航空機用ジェット

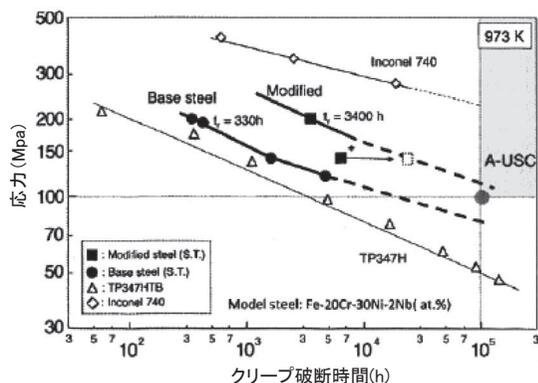


図 2 A-USC候補材の700℃における応力-破断時間曲線  
Base steel (Fe-20Cr-30Ni-2Nb) Modified (微量B、Zr添加)

エンジン用として開発されたNi基鍛造超合金の中からスクリーニングによって選ばれた候補材料の組成をmodifyすることによって開発が進められている。その目標値は10万時間クリープ破断強度がボイラー材で90MPa以上である。図2<sup>6)</sup>に示すように表1に示したTP347Hの倍以上のクリープ強度をもつ材料が開発されている。

Ni基超合金は高価であるうえ、大型鍛造品の製造が難しい。A-USCのロータにはNi基超合金と改良12%Cr系耐熱鋼の溶接ロータの製造と信頼性の確認が必須の要素技術となる。これらの共材、異材溶接技術の点からも、溶接材料は今後もキー技術としての重要性を増していくのである。

#### 参考文献

- 1) 火力発電における論点：資源エネルギー庁（平成27年3月）、p. 2
- 2) 増山：溶接学会誌、第70巻（2001）、p. 750-755
- 3) F. Masuyama: ISIJ International, Vol. 41（2001）、p. 612-625
- 4) 山下ら：R&D神戸製鋼技報、Vol. 54 No. 2（2004）、p. 34-37
- 5) 「ボイラ用高強度オーステナイト系ステンレス耐熱鋼用溶接材料」：新日鉄技報 第385号（2006）、p. 95-96
- 6) 竹山：電気製鋼 第83巻第1号（2012）、p. 27-33

# 3. 工具鋼

## まえがき

工具鋼は主に切削工具や金型などに幅広く使用されている。ものを生産する上で必要な鋼材といってもいいだろう。工具鋼は多くの種類がある中で、使用する目的や条件によって鋼種が変わってくる。鋼種の選定が異なると場合によっては多大な損害が生じることもあるので、目的に合った鋼種を選定するには十分な検討が必要である。最適な工具鋼を使用したとしても損傷が発生した場合、廃棄することとなり、新たに製作・購入すると、多大なコストや納期への支障が発生し、大きな損失に繋がりがかねない。そこで、新たに製作するのではなく、溶接補修によって素材の復元を行うことがなされており、鋼種ごとに素材の復元や損傷に特化した溶接材料が販売されている。溶接補修を行うことで、素材の復元だけでなく長寿命化させることも可能でありコストの削減はもちろん、生産性にも大きな効果が得られる。

本稿では、ダイカストに多く使用されている合金工具鋼の一種であるSKD61を中心にアルミダイカスト用金型補修溶接技術について述べる。

## ◇ 工具鋼の溶接

### 1. 工具鋼の種類

表1に日本工業規格(以下、JIS)に記載されている工具鋼の種類を示す。JISでは工具鋼に炭素工具鋼、高速度工具鋼、合金工具鋼と分類されている<sup>1)</sup>。

る<sup>1)</sup>。JISによって化学成分範囲等が決められているが、各鋼種の改良版としてJISにある成分をベースに特殊な熱処理や成分添加された鋼種もある。

### 2. 工具鋼への溶接

工具鋼は金属を切削や加工するための道具として使用されていることから、どうしても硬くする必要があるので、他の合金鋼より炭素が多く加えられ、溶接すると施工のやり方によってはポンド部(溶融部[溶接金属]と母材との境界の部分)が脆くなり、溶接金属がはがれてしまうようなこともある<sup>4)</sup>。溶接金属がはがれてしまうと、多大な損失を受ける可能性があり、当然コストも増加することとなり生産設備の停止等、悪影響を及ぼしかねない。

## ◇ アルミダイカスト金型の溶接

### 1. アルミダイカストにおける金型損傷

アルミダイカスト金型の多くはSKD61やSKD61の改良鋼等が使用されている。アルミダイカストにおける損傷として、型表面が繰り返し加熱—冷却を受けることで発生するヒートクラックがある。

現在では、生産性を上げる為にハイサイクル化が進められており、金型の冷却が十分にされず、金型表面の熱負荷が増大する。その結果、ヒートクラックが発生しやすく、ダイカストの損傷の約80%はこのヒートクラックとなっている<sup>5)</sup>。

### 2. 溶接方法

金型の溶接補修方法としては、アーク溶接にて

表1 工具鋼のJIS<sup>1)</sup>

規格番号	名称	記号	特徴
G 4401	炭素工具鋼	SK	炭素量0.55~1.50%の範囲で、不純物以外の合金元素を含まない鋼種。主にたがねや刃物、ドリルなどに使用されている <sup>1)</sup> 。
G 4403	高速度工具鋼	SKH	W、Moを多量に含み、顕著な二次硬化性を有し、切削、冷間加工用工具、その他耐熱、耐摩耗性を要する工具や構造部品に広く使用されている <sup>2)</sup> 。
G 4404	合金工具鋼	SKS SKD SKT	工具に必要な焼入性、切削性、耐熱性、耐衝撃性、耐摩耗性、不変形性などの性質を与えるために、合金元素を添加したものである <sup>3)</sup> 。

施工されることが多い。アーク溶接の種類としては、被覆アーク溶接法、マグ (MAG) 溶接法、ミグ (MIG) 溶接法、ティグ (TIG) 溶接法、プラズマ溶接法等がある。また、最近ではレーザー溶接にて溶接補修が行われているところもある。金型溶接補修方法として、特に用いられているのがティグ (Tungsten Inert Gas : TIG) 溶接である。溶接面積の広い金敷等になるとより効率的に施工ができる、マグ溶接やミグ溶接、プラズマ溶接にて施工されることが多い。消耗式電極である被覆アーク溶接法やマグ・ミグ溶接法は溶接材料自体が電極であり、溶接材料と母材間でアークが発生する。溶接材料と母材は溶融するため電極端や溶融池 (プール) 内から溶滴が飛散する。これをスパッタといい、溶接補修箇所以外の箇所へ付着することがある。付着したスパッタの除去作業には時間が掛かり、作業能率の低下に繋がる。一方、ティグ溶接は非消耗式電極であるため、スパッタの発生は皆無に近く、溶接補修部以外の健全な箇所を痛めることはない。また、基本的には手動で行うので溶融池やビード形状等を調整しながら溶接ができる。但し、技術の未熟な作業者が施工を行うと様々な溶接欠陥等を発生させやすい為、金型の寿命に影響を及ぼしてくると考えられる。安定した溶接品質のためには、溶接作業者の高い技量が必要である。

### 3. 金型への溶接施工

溶接施工を行う手順としては、予熱→肉盛溶接→直後熱→徐冷となる。また溶接施工は基本的なアーク溶接を行う際の注意が必要である。

#### 【溶接施工前】

溶接を行う箇所に油分や水分、錆等が残存した状態で溶接を行うと、ブローホールの原因となる。ブローホールが内在した状態で金型を使用すると、そこを起点に金型が大きく損傷する可能性があるため、溶接箇所は作業前に綺麗に洗浄しなければならない。また、アルミダイカストにおいてはアルミが付着している場合があるので、必ず除去しておく必要がある。

クラックが残存したまま表面に溶接を行った場合、使用時の応力等により、残存クラックを起点として大きく損傷することが考えられるため、金型表面に発生したクラックは全て取り除くことが

重要である。

金型の種類によっては窒化などの表面処理を行っている場合があり、表面処理を取り除き、表面処理前の状態にすることが必要である。

溶接施工前には対象物の過去の溶接補修や表面処理の履歴等をしっかりと確認しなければならない。

#### 【溶接施工】

予熱、直後熱、徐冷、溶接後熱処理を行う。

予熱や直後熱、徐冷、溶接後熱処理を行う目的は、溶接割れの防止、残留応力の低減、拡散性水素の放散等のために必要である。一般的な溶接施工において予熱温度は以下に示すように母材の炭素当量から導き出す。

$$\text{予熱温度 (°C)} = \text{炭素当量 (\%)} \times 350\text{°C}$$

$$\text{炭素当量 (\%)} = \text{C}\% + \frac{\text{Mn}\%}{6} + \frac{\text{Si}\%}{24} + \frac{\text{Ni}\%}{40} + \frac{\text{Cr}\%}{5} + \frac{\text{Mo}\%}{4} + \frac{\text{V}\%}{14}$$

しかし、SKD61をこの計算式に当てはめて予熱温度を算出すると約650°Cとなり、とてもではないがTIG溶接はできない。よって実際にはここまで高い温度での予熱は行わず、現場での経験的なものから予熱温度は決められている<sup>6)</sup>。メーカーが推奨する予熱温度があれば、それを使用してもらいたい。

直後熱は拡散性水素を放散し、遅れ割れを防止する目的で行う。直後熱の温度は一般的に予熱温度+50°Cにて30~60分行う。直後熱を行った後は急激な温度低下を防ぐために珪藻土等に埋没させ徐冷を行う<sup>6)</sup>。

溶接後熱処理 (post-weld heat treatment: PWHT) による溶接残留応力の低減機構は、加熱による材料の降伏応力の低下と、高温でのクリープにより溶接部に引張のひずみが生じることで、溶接残留ひずみの不適合性を除くことにある。一般的に厚さ1インチ (約25mm) 当たり1時間保持後、徐冷するのが好ましい<sup>7)</sup>。

金型の場合、焼入れ焼き戻し (調質) を行った素材が使用されており、焼き戻し温度以上にて熱処理を行うと、素材本来の硬さが得られなくなる。その為、焼き戻し温度以下にて熱処理を行うのが望ましい。溶接後、熱処理装置 (電気炉やガス炉) に入れることで直後熱と溶接後熱処理を同時に行うことが可能である。

## 【溶接材料】

ダイカスト金型の溶接補修はマルエージング鋼（通称：マスワン）溶接材料が使用されることが多い。その理由としてマスワンはSKD61素材に対する溶接性が良く、溶接金属の手仕上げ加工性、さらには韌性に優れている。また、溶接後熱処理を行わなくても、アルミ溶湯によって熱処理されることで硬さが得られるという利点もある。しかしながらアルミダイカスト金型で考えた場合、多様なトラブルに対し、求められる特性全てをマスワンが持ち合わせているわけではない<sup>8)</sup>。

表2にマスワン（弊社銘柄：T-MS-1）およびSKD61（弊社銘柄：T-SD-1）、T-AD-102（弊社開発材）の各種特性比較を示す。マスワンは先に述べたように、溶接性・韌性に非常に優れているが、耐アルミ溶損性や耐ヒートクラック性はあまり良くない。これに対し、弊社開発材であるT-AD-102は耐アルミ溶損性や耐ヒートクラック性を向上させた溶接材料である。金型損傷の多くの原因であるヒートクラックを抑えることができることで、金型寿命は長くなるということになる。

表2に示す各特性は、溶接材料の成分が100%に近い状態での評価結果である。ここで注意しなければならないのは溶接によって補修を行った場合、溶接金属には母材成分と溶接材料の混じり合った成分が含まれることになる。つまり、損傷した箇所や溶接材料の特性を付加させたい箇所へ1層盛溶接を行い、有効肉厚が小さい場合には、溶接材料が有している特性が出にくくなることもある（一般的にTIG溶接の希釈率は約10～30%）。

一時的に復元などの補修を行うのであれば、マスワンやSKD61材で十分であると思われるが、マ

スワン以上に耐溶損や耐ヒートクラック性を向上させ、長寿命化特性を付加させたいのであれば、T-AD-102等の損傷の諸症状に応じた溶接材料を選択することをお勧めする。

## むすび

本稿では特にダイカスト金型溶接補修について述べたが、鍛造金型やプラスチック金型用などの溶接材料もある。これらもダイカスト金型溶接補修同様に溶接補修の注意点をしっかり確認し施工を行って頂きたい。いくら小さな溶接欠陥といっても、使用中に大きな損失に繋がる可能性が考えられるので、溶接補修に関しては細心の注意を払って頂きたい。

また、工具鋼の溶接は高い溶接技能が必要なのは当然であるが、溶接材料の選定を間違えても大きな損失に繋がることもある。最近ではロボットにて施工することも可能になってきているが、基本的な溶接施工を理解した上で使用することが必要である。

溶接材料や溶接施工について述べたが、溶接品質保証のための特性要因（IIW Doc.IX-747-71参照<sup>7)</sup>）には本稿にて紹介した以外にも確認する項目があるので参考にして頂きたい。

## 参考文献

- 1) 日本規格協会編：JISハンドブック 鉄鋼 I（2015）
- 2) 日本金属学会編：金属便覧（1990）
- 3) 日本鉄鋼協会編：鉄鋼便覧（1962）
- 4) 安田克彦：「溶接」基礎のきそ（2008）
- 5) ダイカスト金型寿命報告書；日本金型工業会（1980）
- 6) 接合・溶接技術Q&A編集委員会 編：接合・溶接技術Q&A 1000（1999）
- 7) 溶接学会 編：溶接・接合技術特論（2010）
- 8) 岩崎英：型技術 Vol. 29 No. 3（2014）

表2 アルミダイカスト金型溶接補修における各種溶接材料の特性比較<sup>8)</sup>

溶接材料	項目	硬さ	溶接性	韌性	耐溶損	耐ヒートクラック
T-MS-1 (M) (マルエージング鋼)		HRC35※	◎	◎	△	△
T-SD-1 (SKD61相当材)		HRC55	○	△	○	○
T-AD-102 (開発材)		HRC45	○	○	◎	◎

◎：極めて良好 ○：良好 △やや不良

※マルエージング鋼は時効処理により硬さを上げることが出来る。

## 4. ステンレス鋼

日新製鋼(株) グループ商品開発戦略本部 朝田博  
技術研究所 加工技術研究所

### ◇ ステンレス鋼について

ステンレス鋼とは、鉄にクロムを添加し、表面に安定なクロムの不働態皮膜を形成させることによって耐食性を向上させた鋼であり、一般的には鉄に11%以上クロムを含有するものがステンレス鋼と呼ばれている。クロム以外の主要元素としてニッケルがあり、クロムとニッケルの含有量によって種々の特性を得ることが可能である。加えて製造技術の進歩により、種々の元素の添加、不純物元素の低減が可能となっており、目的や用途に応じた各種ステンレス鋼が開発されている。現在JISに規定されているステンレス鋼の鋼種は、耐熱性を主な特性とするSUH鋼種を含めると100種以上あり<sup>1)</sup>、さらに各ステンレス鋼メーカーでは独自に使用環境、要求強度特性などに応じて改良を加えた独自鋼種を生産している。また、鋼板、鋼管、条鋼等さまざまな製品形状があり、幅広い分野に適用されている。

### ◇ ステンレス鋼の特性と溶接への影響

ステンレス鋼は成分によって金属組織が変化する。大別すると、オーステナイト系、フェライト系、マルテンサイト系、およびフェライト相とオーステナイト相の混合組織からなる2相系があり、それぞれ結晶構造や物理的特性が異なる。表1に主な物理的特性を示す<sup>2)</sup>。マルテンサイト系とフェライト系は、炭素鋼と同じ体心立方格子であることからその物理特性は炭素鋼と大きな差は

ないが、高合金であることから熱や電気の伝導度が低くなっている。オーステナイト系は、結晶構造が面心立方格子で炭素鋼と異なることから、異なる特性を示す。これらの特性の違いは、溶接に対しても影響を与える場合がある。

ステンレス鋼は他の鉄鋼材料と同様、溶接の熱サイクルにより組織が変化する。溶融部分では凝固組織となり、熱影響部では結晶粒の粗大化が生じると共に、種々の組織変化や析出物の生成が見られる。

また、素材および溶接ワイヤーの化学成分と混合比率によっても溶接部の組織が異なってくる。図1に、ニッケル当量とクロム当量から溶接部の組織を推定するシェフラーの状態図を示す<sup>3)</sup>。

シェフラーの状態図では溶加材料を加えた場合の組織推定も可能であり、図中にXで示す成分の溶加棒を用いてYで示す母材を溶接した場合、溶接金属の組織はX、Yを結ぶ線上の組織となり、溶けた金属の割合が母材とワイヤーが共に50%であると仮定すると、XとYの midpoint で示される組織になると推定することができる。

ステンレス鋼を溶接する場合、溶接金属の組織がどのような組織になるかを理解した上で溶接施工を行うことが必要である。

### ◇ ステンレス鋼の溶接に用いられる溶接方法

ステンレス鋼は溶接用途にも広く用いられており、TIG溶接、MIG溶接といったアーク溶接や、

表 1 各種ステンレス鋼の物理的特性

名称	鋼種	結晶構造	密度 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>	ヤング率 N/mm <sup>2</sup>	電気抵抗 μΩm	比熱 kJ/kgK	熱伝導率 w/m・K	熱膨張 10 <sup>-6</sup> /K	磁性
オーステナイト系	SUS304	面心立方	7.90	190,000	0.8	0.50	16	16	なし
フェライト系 マルテンサイト系	SUS430 SUS410	体心立方	7.75	200,000	0.6	0.46	22	11	あり
炭素鋼	SPCC	体心立方	7.86	206,000	0.12	0.46	79	12	あり

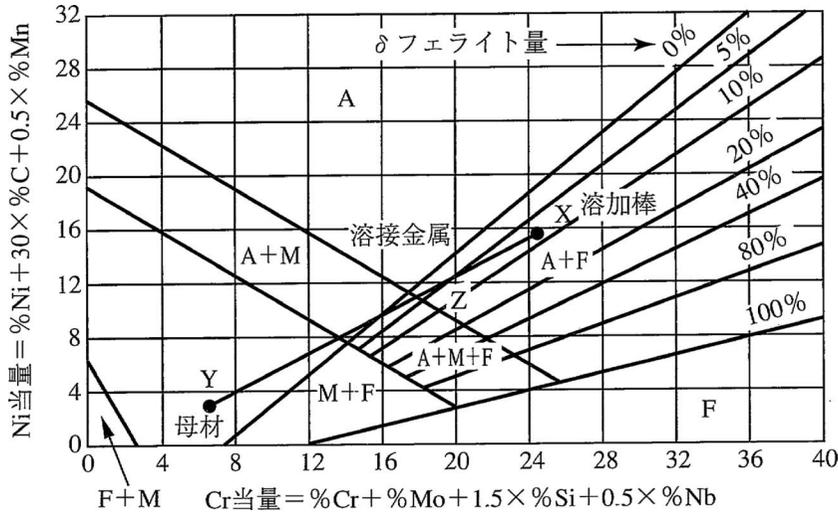


図 1 シェフラーの状態図

レーザー溶接、電子ビーム溶接、抵抗スポット溶接など、さまざまな溶接方法が目的に応じて用いられている。代表的なものとして、缶体や溶接鋼管の製造に用いられるTIG溶接と自動車排ガスシステムの製造に用いられるMIG溶接があるが、熔融金属への不純物や大気巻き込みは溶接部の加工性や耐食性を低下させるため、これらの影響を排除する目的でアルゴンを主体とする不活性ガスでシールドを行って溶接が行われている。また、抵抗溶接の場合、材料に電気を流す事によって生じる発熱を溶接熱源とするため、材料の電気抵抗の差異が適正な溶接条件に大きく影響を及ぼす。このように、溶接条件を設定する上で、材料特性を十分に理解することは重要である。

この他にも、レーザー溶接、電子ビーム溶接などほぼすべての溶接方法が適用されており、ステンレス鋼は身近な家電・厨房機器、自動車から化学プラント、原子力まで溶接用途に幅広く用いられている。

#### ◇ ステンレス鋼の溶接におけるトラブルと対策

ステンレス鋼の溶接に関して発生するトラブルとしては、溶接中に発生するものと、溶接されて製品となった後に使用中生じるものがある。溶接中に生じるトラブルで代表的なものに、溶接高温割れがある。溶接高温割れは熔融金属が凝固する

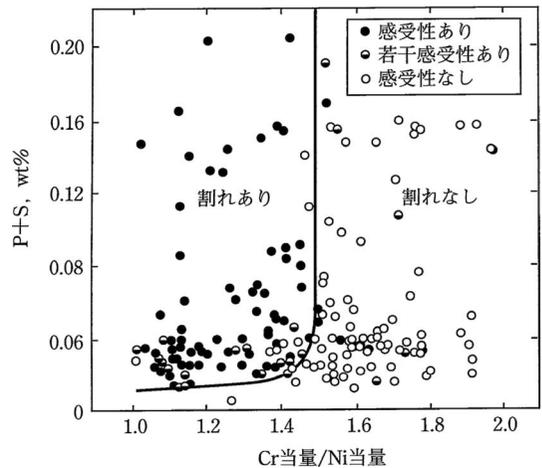


図 2 溶接高温割れ感受性に及ぼす不純物元素量と成分バランスの影響

過程で生じるものであり、凝固時にSやPといった不純物元素が最終凝固点近傍の粒界に偏析すること、および冷却中に生じる収縮応力によって引き起こされる。また、割れ感受性には凝固時の組織も密接に影響しており、図2に示すように成分バランスと不純物の量で割れ発生傾向を整理することが可能である<sup>4)</sup>。したがって高温割れを防止するためには、ステンレス鋼素材の不純物元素の含有量を低減させることと、溶接ワイヤを使う場合には溶接金属の成分バランスを制御することが重要となる。高温割れの防止ということでは溶接入熱を抑制すること、溶接治具などで被溶接物を

十分固定し、溶接部に引張りの力がかかることを防ぐことも必要である。

使用中に生じる問題としては溶接部の腐食が挙げられる。ステンレス鋼は耐食性を保つためにクロムを適正量添加するとともに不純物元素を低減した成分となっており、添加されたクロムが均一に分散し、表面に耐食性を発揮する不動態皮膜が形成されるように製造条件が設定されている。しかし、溶接により熱が加わると不動態皮膜中のクロムは大気と反応して酸化し、これにより生成した酸化スケールの直下においてクロムが欠乏する領域が生じる。この部位では耐食性が十分でないため、選択的に腐食が発生する。この対策としてできる限り表面を酸化させないように不活性ガスでシールドを行うが、完全に酸化スケールの発生を防止することは困難である。そのため、生じた酸化スケールを除去する処理が行われている。図3に、溶接部の耐食性に及ぼす酸化スケールの影響を示す。酸化スケールが付いたままの溶接部に比べ、研磨を行って酸化スケールを除去した方が、大幅に耐食性が回復する<sup>5)</sup>。研磨による除去以外にも、酸洗等の化学的処理で酸化スケールを除去するとともに不動態皮膜を再生させる処理を行う場合もあり、これによって母材と同等の耐食性を得ることが可能である<sup>6)</sup>。

また、溶接入熱が過大である場合には、ステンレス鋼中のクロムと炭素が結合し、溶接部および熱影響部の結晶粒界にクロム炭化物を形成する場

合がある。結晶粒界にクロム炭化物が生成すると、その近傍にはクロムが不足する領域が生じ、結晶粒界の耐食性が著しく低下するため、短期間で溶接部が腐食し、漏水事故につながる場合がある。このような事故を防止するためには、溶接入熱をできる限り低減させるとともに、素材としてSUS304L等の低炭素成分の材料を適用することが必要である。

#### ◇ ステンレス鋼の溶接におけるトレンド

近年、各種分野の溶接にレーザ溶接の適用が拡大している。レーザ溶接は単一波長の光を微小スポットに集光し、その高いエネルギー密度を利用して溶接する方法であるが、従来のTIG、MIG溶接に比べてビード幅が狭く、深い溶け込みが得られる。このため、低入熱で溶接を行うことが可能であり、熱による組織変化、熱ひずみを大幅に抑制できる。

レーザ溶接で製造されたステンレスパイプは、加工性も優れることが報告されている<sup>7)</sup>。環境への影響を防止するため、一部の車種でガソリンを燃料タンクに導く給油管にステンレスパイプが用いられているが、この用途では給油ガンを挿入するために端部拡加工が行われている。この加工は拡管率が100%と厳しく、従来のTIG溶接管や高周波誘導溶接で製造される電縫管では加工ができなかったが、レーザ溶接で製造されるステンレス鋼管では割れなく加工することが可能であることから、実車に搭載されている。

またフェライト系ステンレス鋼の場合、溶接部の結晶粒が大きくなると靱性が低下することが知られているが、レーザ溶接では冷却速度が極めて速いために溶接部の結晶粒が微細となる。よって図4に示すように、溶接部の靱性は他の溶接法に比べると良好となる。

このように、ステンレス鋼管の製造法としてレーザ溶接は優れることから、JISにおいても配管用ステンレス鋼管やボイラー用ステンレス鋼管の製造方法として認定されており、その適用は拡がりつつある。

自動車の排ガスシステムでは耐熱性の高いステンレス鋼が多用されているが、エンジン性能の向上や排ガス浄化システムへの適用から排気温度は

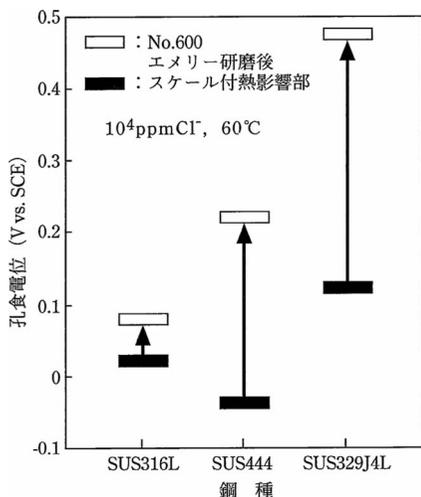


図 3 溶接部の耐食性に及ぼす溶接スケールの影響

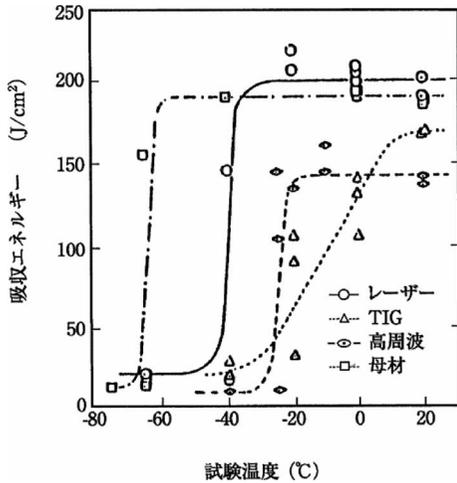


図 4 溶接部の靱性に及ぼす溶接法の影響

高くなる傾向があり、素材であるステンレス鋼に対しても耐熱性の向上が求められている。排ガス用途には熱膨張係数の小さいフェライト系ステンレス鋼が多用されているが、耐熱性を向上させるためには添加元素を加えることが必要であり、このような耐熱性ステンレス鋼もJISに規格化されている。

フェライト系ステンレス鋼は高合金化した場合、溶接部の靱性が低下する傾向があり、これを補うために不純物を低減した材料が適用されている。溶接部の特性を保つためには、溶接時に不純物元素を混入させないことが重要である。不純物としては大気から混入する酸素や窒素、銅板に付着する油分や塗料から混入する炭素などがある。図5に示すように、酸素や窒素の混入量が増加すると靱性が低下する<sup>8)</sup>。炭素の混入も有害であり、良好な溶接部を得るためには、ガスシールドを十分に行うとともに材料を清浄に保つことが必要である。

### むすび

ステンレス鋼は成分の種類や添加量の範囲が広く、特性、用途、使用環境も様々であり、用途に応じた新しい鋼種も開発されている。ステンレス鋼

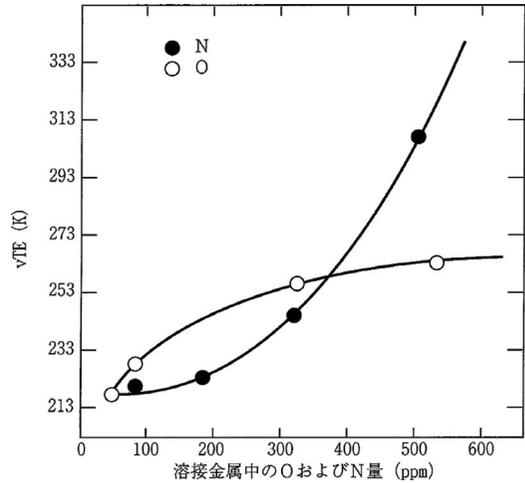


図 5 溶接部の靱性に及ぼす不純物元素の影響

の溶接性は鋼種によって異なり、また溶接法や溶接条件によって溶接部の靱性や耐食性が変化する。

ステンレス鋼の優れた特性を活かすためには、溶接部の組織や特性と共に溶接法や溶接材料について十分に理解し、適切な材料、溶接法、溶接条件、施工方法を選択した上で溶接施工されることが望まれる。ステンレス鋼を生産しているメーカー、ステンレス鋼を用いて製品を製造しているメーカーの団体であるステンレス協会では、良好な溶接施工を実現するためにステンレス鋼溶接施工基準を制定しているので参考にしていただきたい<sup>9)</sup>。

### 参考文献

- 1) 日本規格協会：JISハンドブック2015 鉄鋼 I
- 2) ステンレス協会編：ステンレス鋼便覧 第3版 (1995)、日刊工業新聞社
- 3) 西本ら：ステンレス鋼の溶接 (2001)、産報出版
- 4) J. A. Brooks, F. J. Lambert, Jr : Welding Journal, 57 (1978), p139-s
- 5) 東ら：防食技術、39 (1990)、p603
- 6) 松田：日本ステンレス技報、No.24 (1989)、p75
- 7) 朝田ら：日新製鋼技報No. 80 (2000)、p40
- 8) 井川ら：溶接学会誌、48巻12号 (1979)、p1054
- 9) ステンレス協会：ステンレス鋼溶接施工基準、(1999)

# Ⅲ. ユーザーでの最近の溶接技術

## —スチールとアルミニウムの ハイブリッドサブフレーム—

(株)本田技術研究所 四輪R&Dセンター 第9技術開発室 第4ブロック 佐山 満

### まえがき

国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスの報告書<sup>1)</sup>によると、2013年度の温室効果ガスに占める二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)は約93%となっている。その中で自動車から排出される量は、全排出量の約14.8%を占めている。自動車は人の移動、物流の中心として今後も広く使用されると考えられるので二酸化炭素の排出量を削減しなければならない。自動車の走行時排出CO<sub>2</sub>の削減に対し、エンジンの熱効率向上や電動化、走行抵抗の低減などが図られているが、走行抵抗の中でも他の性能への波及効果の大きな軽量化が必須課題となっている。

本報告は、アルミニウム合金の適用拡大のため

に異種金属接合により軽量構造を実用化したサブフレームについて紹介する。

### ◇ サブフレームについて

自動車の部品の中でもフロントサブフレームは、エンジン・ミッション等を支持している大型の部品であり、軽量化効果に大きな期待が持てる部品の一つである。

図1に示す様に、フロントサブフレームは、重量物であるエンジン、ミッションやサスペンション、ステアリングギヤボックス等の重要な部品を支持し、走行性能や衝突性能にも大きな影響を与える事から強度と剛性を高次元でバランスさせた設計が必要となる。通常サブフレームは、強度と剛性を確保できる様にスチール板(鋼板)をブ

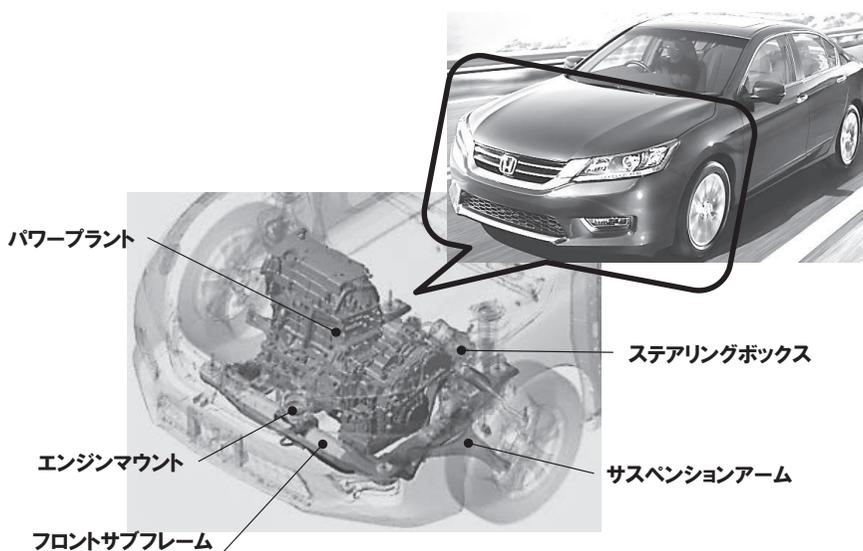


図 1 フロントサブフレーム

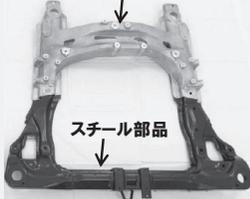
機種	2008年式	2013年式	効果
外観	 <p>アルミニウムダイカスト部品 ↓ スチール部品</p>	 <p>アルミニウムダイカスト部品 ↓ スチール部品</p>	従来は、ダイカスト部品をボルトで締結していた
部品数	55個	26個	50% 削減
重量	31.0 kg	23.3 kg	25% 削減
FSW接合長	0	0.9 m	異種金属接合
アーク溶接長	10.1 m	4.2 m	60% 削減

図 2 新旧フロントサブフレームの比較

レス加工して、アーク溶接や抵抗スポット溶接で接合し、閉断面構造としている。

新しく開発したサブフレームは大幅な軽量化を達成するために、図2に示す様に、アルミニウム適用部位を拡大する構造とした。スチール製のブラケットやカラー、ナット等のリヤメンバ部材とアルミニウムダイカスト製ブラケットから構成された30部品を、大型のアルミニウムダイカスト1部品に統合集約した。ダイカスト製法の高い形状自由度を活かして、肉厚の最適化や補強リップの設定による軽量化と、運動性能に寄与するサスペンションロアアーム取付け部、エンジンやミッションマウント部、ステアリングギヤボックス取付け部の支持剛性を向上させる事ができた。また、フロント側メンバは1仕様のままで、リヤメンバの形状違いを作る事で、直列4気筒エンジンやV型6気筒エンジンの仕様違いを造り分けができる構造とした。

この新しい構造で大幅な軽量化を達成した。図2に示す様に、先代のモデルに対して、25%の軽量化に加え、サスペンション取付け点剛性を20%向上させた。これらの効果として、軽快な走行性能と乗り心地を向上させることが可能となった。また、製造時の接合に必要な電力使用量をアーク溶接長の削減により、半減させている。

これらの効果を得る構造を実現する為に、新しく4つの技術（異種金属接合技術、防錆技術、ロボットFSW技術、非接触非破壊検査技術）を開発した。

#### ◇ 4つ新技術について

##### 1. 異種金属接合技術

スチールとアルミニウムの接合方法は、リベット等の機械接合が主流である。しかし、点接合である事から、サブフレームへの適用には不向きであり、より高い剛性を得るためには、連続接合が望まれていた。そこで、被接合材を溶融させずに固相状態で連続接合が可能な摩擦攪拌接合（Friction Stir Welding : FSW）に注目した。この接合方法は1991年に英国TWIで発明された方法で、摩擦熱だけを利用した接合である。高速回転させた円筒状のツール（先端には突起を有する）を被接合材に挿入する事で接合を行う。ツールと被接合材との摩擦熱により被接合材が軟化する温度に達し、ツールの回転に伴って塑性流動が起こり、攪拌された材料が冶金的に結合して接合される<sup>2)</sup>。被接合体を溶融温度以下の低入熱で接合するFSWの特長に注目し、スチールとアルミニウムの異種金属接合に適用しようと考えた。

通常スチールとアルミニウムを溶接する場合、

融点の高いスチールを熔融させるために入熱を大きくして高い温度（約1500℃以上）で溶接する必要がある。しかし、高温下で熔融した鉄とアルミニウムが脆弱な金属間化合物（Intermetallic Compound：IMC）を生成・成長させ、脆性破壊が起こり易くなり、高い強度が得られない。このような理由から溶融溶接が適さない素材の接合には機械接合が採用されてきた。

これらの課題を克服する為にFSWを用いてスチールとアルミニウムのどちらも熔融させない連続接合を開発した。図3に示す様に、スチールとアルミニウムダイカストのワーク精度やクランプ方法から重ね継手とした。ツールを高速回転させながらアルミニウム側から挿入して、アルミニウムを塑性流動させる。この時、プローブ（ツールの凸部分）の先端部がスチール板表面まで到達してスチール表面を削り取る様に作用しながら、そのまま移動させスチールの新生面を出現させる。

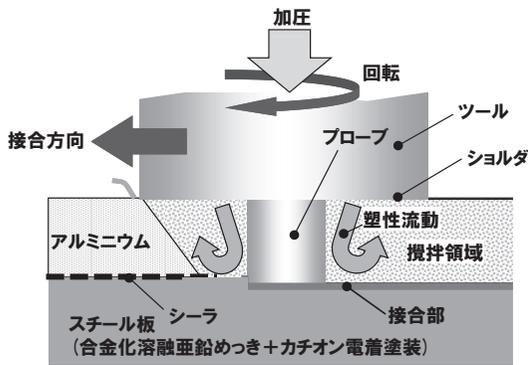


図 3 スチールとアルミニウムのFSW連続接合

回転しているプローブの周囲にはツールとの摩擦熱により軟化し塑性流動しているアルミニウムが充填している。そのアルミニウムは約10kNの加圧力をツールから受けている。約400℃になっているアルミニウムをスチールの新生面に圧着させる事で、鉄とアルミニウムの相互拡散が起こり、IMCが生成されて接合が完成する。IMC層の厚さを1μm以下に制御して、アルミニウム素材以上の接合界面強度を得られる<sup>3)</sup>ようにする事がこの接合技術の要となる。

図4は接合部断面の画像である。断面部を5万倍に拡大した電子顕微鏡（SEM）画像で観察した。この時、IMC層の厚さは0.25μmほどであり、成分を分析した結果、Al-Fe-Siの3元系合金であった。この様な極薄いIMCの生成により、十分な接合強度を得る事ができた。IMCは脆弱であるが、その成長を抑制する事より塑性拘束作用を利用して高い接合継手強度を得ている。

## 2. 防錆技術

異種金属接合では、金属毎の固有の電位による差からおこる電食による錆が最大の懸案となる。サブフレームは、車体下部に取り付けられている部品であり、走行中に水や凍結防止用の塩、泥等が付着する上に、エンジンやミッション等からの熱を受ける厳しい錆環境に置かれている。従来から、錆対策として、合金化溶融亜鉛めっき鋼板上に、カチオン電着塗装を施している。図2で黒く見えるのは、カチオン電着塗装のためである。

今回のハイブリッド構造の場合、接合する前にスチール部分は従来構造と同様に、合金化溶融亜

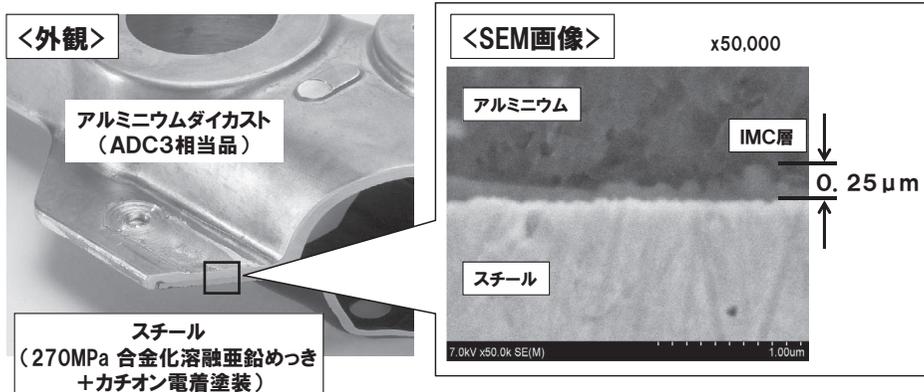


図 4 FSW接合部の状況

鉛めっき鋼板にカチオン電着塗装を実施する。そして、シリコン系シーラ（シール材）を接合部に塗布する。そこにアルミニウムダイキャストを載せてクランプして、接合を開始する。この時、前節で説明した様に、プローブ先端部がスチール表面を削り取る様に作用する事で、表面部分に在るシーラ、カチオン電着塗装、めっき層などを破壊、除去することができる。めっきやシーラ等はそのままの状態で接合部のすぐ近傍に掻き出され、残存することで接合部への腐食物質（水、塩等）の侵入を防ぐ防波堤の様な働きをする。この様に簡単な方法であるが、優れた効果を発揮する防錆構造が完成し、各種腐食試験でも良好な結果を得ている。

### 3. ロボットFSW技術

産業用多関節ロボットを用いた接合システムを開発した。接合のためにツールに約10kNという大きな加圧力をかけるので、多関節ロボットの使用はできないとされていた為、FSW用に大形で高剛性の接合装置を使用しなければならなかった。通常多関節ロボットは、接合荷重に耐えられる様な剛性を有していない<sup>4),5)</sup>。そこで、接合荷重だけを切り離すため、新たにワークと治具を一緒に挟み込む様に作用するC型フレームを開発した（図5）。接合時の大きな荷重をこのフレームで受ける事で、ロボットへの大きな負荷を回避できる。このフレームを活用する事で、汎用の多関節ロボットが使えるようになり、接合に関する制御もロボット制御と統合でき、省スペース化と併せて、投資を抑制することができた。

### 4. 非接触非破壊検査技術

全く新しい構造のサブフレームを量産するにあたり、接合条件管理、全数検査、抜き取り検査の三段構えの品質管理を取り入れた。まず、接合中

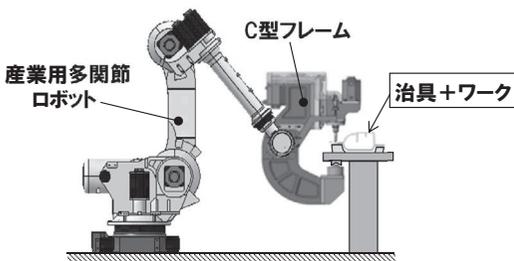


図 5 ロボットFSWの概念図

の接合状態のモニタリングを含む条件管理。次に、インラインによる全数検査が可能な非破壊検査。最後に、抜き取りによる破壊検査（断面観察と引張強度検査）を実施する事とした。

非破壊検査は、量産インラインで適用する事から、溶媒を塗布する事や水没させる必要のない技術と短時間に精度良く良否が判断できる技術が必要である。特にFSW接合は外観から接合の良否を判定する事は困難であり、目視等の検査手段を採用できない。そこで、熱エネルギーの伝播を赤外線カメラで捉える技術を応用した検査技術を開発した。

開発した技術は、非破壊、かつ非接触で検査可能なシステムである。光励起熱画像解析装置を使って、レーザ発振器と組み合わせて検査装置を構築した<sup>6)</sup>。この技術の原理を図6に示す。検査したいワークに熱エネルギーを印加したとき、アクティブサーモグラフィを使って、板厚方向の情報を視覚化するものである。それは、熱エネルギーを印加されたワークがエネルギーを吸収し、再び自己エネルギーとして放射するのを高性能な赤外線カメラで撮影する。撮影されたデータを周波数解析して視覚化する。ワークの中で、素材と異なる部位（界面、欠陥、異物、ギャップ等）で熱伝導の違いが生ずるので、放射エネルギーに位相差ができるので、位相差を検出する事で異なる部位が存在すると判断できる。検査する箇所、未接合部が存在するとそこから放射されるエネルギーは、接合されている部分と時間差（位相差）

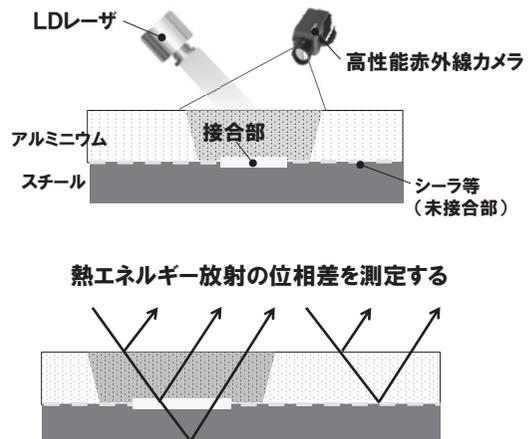


図 6 非接触非破壊検査の原理

が出来る。それを捉える事で接合の良否を判定できる。

また、レーザを熱励起に使ったのは、熱伝導が大きいアルミニウムの場合に板厚方向への伝熱のスピードよりも板面方向への熱拡散が早くなってしまうと精度が悪くなる。レーザは、エネルギー密度が高く、照射時間を容易に制御可能で、かつ緻密に制御できる事から板厚方向の精度が向上する。レーザを使う事によって、検査時間の短縮にも貢献し、1箇所当たり約1秒で検査できるシステムが構築できた。

### ◇ 接合ツール

開発した異種金属接合技術の特長として、ツールのプローブ先端を積極的にスチールの表面に接触させて、ツール自ら切削しながら接合する事に有る。この為に、ツールの形状や材質は、接合品質に大きな影響を与える。

従来のFSW用ツールは、アルミニウム同士の接合が主な使用目的で有った為に工具鋼（ダイス鋼）が使われている<sup>7)</sup>。しかし、スチール表面と断続的な接触を繰り返す事からダイス鋼では、耐久性が著しく短くなってしまふ。これは、接触している部分は、短時間ながら730℃を超える温度に達したからだと考えられる。ツールの周囲は、400℃程のアルミニウムなので安定した温度と言えるが、先端部は厳しい状態にある。

量産に向けた対応策として、ツール材質を高温での強度を確保できるニッケル系合金を選択した事により、量産に適用可能な耐久性を有したツールが完成した。しかし、ダイス鋼に比べ磨減は激減したが、未だ十分なレベルに達していないと考えている。

## むすび

異種金属接合技術、防錆技術、ロボットFSW技術、非接触非破壊検査技術を完成させて、新しいスチールとアルミニウムダイカストを組み合わせたハイブリッド構造のサブフレームを量産化した。生産数は、目標の1500台/日を超えて続けており、3年で累計120万台以上の製造実績を得ている。

今後は、課題と捉えているツール寿命の改善と併せて、接合が困難な高強度材にも適用可能なツールの開発が必要である。その為に、素材専門メーカーや業界との連携を進めなくてはならないと考えている。ドイツの例の様にメーカー数社と幾つかの大学が共同の研究を進めて、その成果を共有化して業界及びドイツ国内全体の発展に寄与している。我が国も同様の取組みが必要であり、これにより国内産業の発展に寄与し、更に進むグローバル化に対しても揺ぎ無い技術を発揮できると確信している。

## 参考文献

- 1) <http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>
- 2) 例えば、溶接学会：摩擦攪拌接合-FSWのすべて-、産報出版株式会社、第1章、p. 12-31 (2006)
- 3) 武田 実佳子、漆原 亘、松本 克史、加藤 淳：抵抗スポット溶接法によるFe-Al異材接合技術の開発、神戸製鋼技報、Vol. 57 No. 2、p. 69-73 (2007)
- 4) Industrial Robot : An international Journal、Volume 31、Number 1、p. 55-63 (2004)
- 5) Industrial Robot : An international Journal、Volume 37、Number 1、p. 36-50 (2010)
- 6) 佐山 満：スチール・アルミFSWの開発と適用、一般社団法人日本溶接協会誌「溶接技術」、第62巻第1号、p.59-60 (2013)
- 7) 溶接学会：摩擦攪拌接合-FSWのすべて-、産報出版株式会社、第1章、p. 14 (2006)

## IV. 会員会社関連の溶接材料、溶接機器

（株）神戸製鋼所

AWS A5.5:2014 B91  
合致被覆アーク溶接棒  
TRUSTARC™ CM-95B91  
TRUSTARC™ CM-96B91

### まえがき

弊社は、火力発電ボイラ向けP91鋼用溶接材料として、米国溶接協会規格AWSのA5.5:2014に規定された“B91”に合致する被覆アーク溶接棒TRUSTARC™ CM-95B91とTRUSTARC™ CM-96B91を開発しました。P91鋼は改良9Cr-1Mo鋼とも呼ばれ、火力発電ボイラの主蒸気管等で実用化されている鋼材です。弊社は、長年に渡り溶接材料の開発と実用化に取り組み、国内火力で数十年の適用実績を持つ9Cbシリーズや“B91”の前身である“B9”シリーズをラインナップ化しております。以下、今回新しく開発したTRUSTARC™ CM-95B91、TRUSTARC™ CM-96B91について紹介します（弊社冠ブランドのTRUSTARC™は省略します）。

### ◇ 特長

CM-95B91は直流電源仕様、CM-96B91は交流電源仕様です。両者の溶着金属成分設計の狙いは同じです。またいずれもPWHT温度は745～780℃を

想定しています。CM-95B91、CM-96B91の特長は、

- ① 前述のPWHT温度でもフレッシュマルテンサイトが出現し難いこと
- ② 長時間クリープ破断強度を低下させるδフェライトの残留を抑制していること
- ③ 長時間クリープ破断強度がP91鋼材同等以上であること、

以上の3点です。①と②はトレードオフの関係にありますが、合金成分量の調整やCr当量-Ni当量の最適化を図ることで、所定機械性能を獲得しています。またN/Al、X bar、溶接金属の拡散性水素量H4への対応はもちろん、耐棒焼け性といった溶接作業性も向上させています。図1にCM-95B91溶着金属のクリープ破断性能の一例を示します。クリープ破断性能は試験温度650℃でP91鋼同等以上であることを確認しており、現在、試験温度600℃で破断時間4万時間（約4.5年）程度を想定した長時間クリープ破断試験を継続推進中です。

### むすび

紙面の都合上、被覆アーク溶接棒のみのご紹介となりましたが、“B91”に合致する他の溶接方法の材料として、ティグ溶接材料TG-S90B91、サブマージアーク溶接材料（フラックス/ワイヤ）PF-90B91/US-90B91の開発も完了しております。被覆アーク溶接棒ともども、ご検討頂ければ幸いです。

（株）神戸製鋼所 溶接事業部門 やました けん  
技術センター 溶接開発部 山下 賢

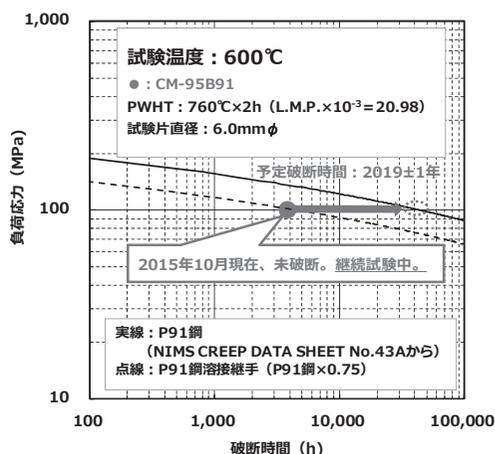
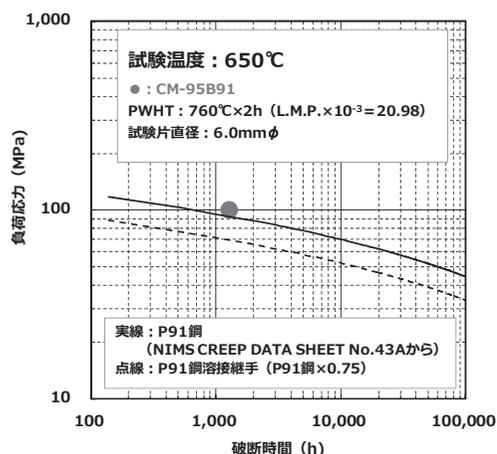


図 1 CM-95B91溶着金属のクリープ破断性能一例

大同特殊鋼(株)

## 排気処理系部品用溶接 ワイヤ “WSRシリーズ”

自動車業界においては、世界的な排ガス規制の強化、燃費向上のための軽量化ニーズが高まり、排気処理系部材には、より耐食性、耐熱性に優れた部材が必要とされている。エンジン排気ポートに直結されるエキゾーストマニホールドは、従来はコスト的に有利な鋳鉄であったが、軽量化や耐食性、耐熱性の向上のため、主にフェライト系ステンレス鋼による板金+溶接構造が多く採用されるようになった。これにより、エキゾーストマニホールドは薄肉化され、熱容量を低下させることで、排ガスを高温に保ち、排ガスの触媒コンバータ以降も耐食性の要求からフェライト系ステンレス鋼のパイプ構造化が進展した。近年は、地球環境保護のため、これらニーズの高まりにより、高温耐食性・強度、熱疲労特性などについて、より高性能な部材が採用されつつある。溶接材料についても、同部材に対応するものが要求されている。

そこで、これら高温強度や耐食性などを確保しつつ、高い溶接作業性が実現可能な溶接ワイヤの検討を行い、排気処理系部品用溶接ワイヤ「WSRシリーズ」を開発してきた。以下にその特長とラインナップを紹介する。

WSRシリーズはステンレスの溶接ワイヤとして、ワイヤ表面に銅めっきを施した世界で唯一のワイヤであり、以下のような特長を有している。

(1) コンタクトチップとの通電性、ワイヤ送給性が良いため、アークが安定し、溶接条件範囲が

広く、作業性(耐スパッタ性)に優れる。(2) コンタクトチップの摩耗軽減により、交換頻度を低減可能。

また、WSRシリーズはすべてソリッドワイヤであり、以下のような特長を有している。

(1) ワイヤの剛性が高く、ワイヤ送給が安定し、狙い位置精度にも優れる。(2) さらなる薄板化に対応した細径ワイヤ(低電流溶接)の製造に有利である。

WSRシリーズはWSR42Kをベースとし、高温特性を向上させたWSR42KM、耐食性を向上させたWSR35K、Ar-CO<sub>2</sub>系のガスでも耐食性を確保可能なWSR43KNbをラインナップしている。

### ◇ 高架橋・耐割れ性改善溶接ワイヤ “G490HM”

溶接部材においては、プレス部品などの溶接では部材同士の重ね部の隙間が大きいことによる溶け落ちや、溶接姿勢によってはビードが垂れる問題があり、大きな隙間や厳しい溶接姿勢でもビード形成性を確保出来る架橋性の良いワイヤが求められている。

また、数ある溶接欠陥の中でも溶接割れは破壊につながる恐れのある重大な欠陥の一つであり、溶接の現場においては使用する母材の材質や施工条件などあらゆる面から割れへの影響因子を取り除く努力が続けられている。

これらの問題を解決するために開発されたのが溶接ワイヤ「G490HM」である。「G490HM」は架橋性と耐割れ性を向上させており、溶接品質の向上に大きく貢献している。

〔大同特殊鋼(株) 自動車ビジネスユニット ないとう ぶんじ〕  
〔東京営業部 溶接材料営業室 内藤 間治〕

## 鉄鋼技術に関連した経済産業省の 主な取組み

経済産業省 鉄鋼課 さか もと こう そう  
製鉄企画室長 **坂元耕三**

### まえがき

一般的にユーザーズは、技術進歩を的確に反映するものである。場合によっては、現状よりも更に高い水準を求めることもある。これまでも自動車、鉄道車両、航空機などに使用される素材は、強度、耐熱性、加工性といった様々な点での高性能化は繰り返されてきたし、全く新しい素材も創出されてきた。材料に関する製造プロセスの開発や加工技術の開発、分析・評価技術の開発など様々な研究活動も行われてきた。同時に鋼材からアルミニウムや炭素繊維強化樹脂などへの置換又は逆置換といった材料転換も行われてきた。

我が国の鉄鋼産業は、こういったユーザーズの高い要求に応えるべく、絶え間ない努力を続けてきたこともあって、世界的にみれば極めて高い技術的な優位性を保持しており、こういった技術に支えられた高品質な素材を様々な産業に安定的に提供してきた。

しかしながら、自動車の軽量化ニーズは更に高い水準を要求するなど、ユーザー産業からの期待は持続している。加えて、地球温暖化への取組みやデジタル化への対応、資源の有効活用、環境や安全への対応といった各種の課題への継続的な対応も不可欠である。更には、韓国や中国などの技術進歩は目覚ましく、その追い上げは楽観視できない状況にある。

本稿では、誌面の関係もあるため、これまでに述べた背景を踏まえ、現在の鉄鋼技術に関連する当省の主な取組みについて紹介する。政策の全体像については、別の機会を利用して紹介したい。

### ◇ 「金属素材競争力強化プラン」の策定

鉄鋼を始めとした我が国の金属素材産業は、外

貨をもたらす基幹的な輸出産業であるとともに、地域経済や雇用を支える重要な存在である。世界的に需要拡大が見込まれる自動車、航空機、エネルギー、医療機器といった様々なユーザー産業に対し、競争優位性の高い部品や素材を提供する存在として高い期待が寄せられている。こういった認識の基で経済産業省は、広範囲な金属素材共通の課題について、業種横断的に知恵・経験を共有し、将来にわたり競争力を強化するための方策を取りまとめ、2015年6月に「金属素材競争力強化プラン」と題して公表した。

このプランでは、①ユーザーズの高度化及び多様化に加え、②海外競合者のキャッチアップによる優位性の縮小、③エネルギーコストや過剰能力・通商摩擦といった事業の制約要因、④デジタル化による事業や製造の変革といった取り巻く環境を踏まえ、これらの課題を克服するために、金属素材産業が目指すべき方向性として「技術開発戦略」、「国内製造基盤強化戦略」及び「グローバル戦略」の3つの視点で提言を取りまとめた。

なお、「技術開発戦略」においては、以下に略記するとおり、素材の高度化とマルチマテリアル化を実現するための材料設計技術、製造技術、分析・評価技術の開発とともに、それらを支える融合人材の育成と、トラブルの予防保全等の周辺の基盤領域の整備を官民で進めることを提言している（図1参照）。経済産業省としては、これらの提言の実現に向けた個別具体的なテーマの抽出・実施に注力しているところである。

### 1. マテリアルズ・インフォマティクス (MI)

新素材の設計・開発期間の大幅な短縮を可能とし、企業が活用しやすいマテリアルズ・インフォマティクス (MI) を構築するため、データベース

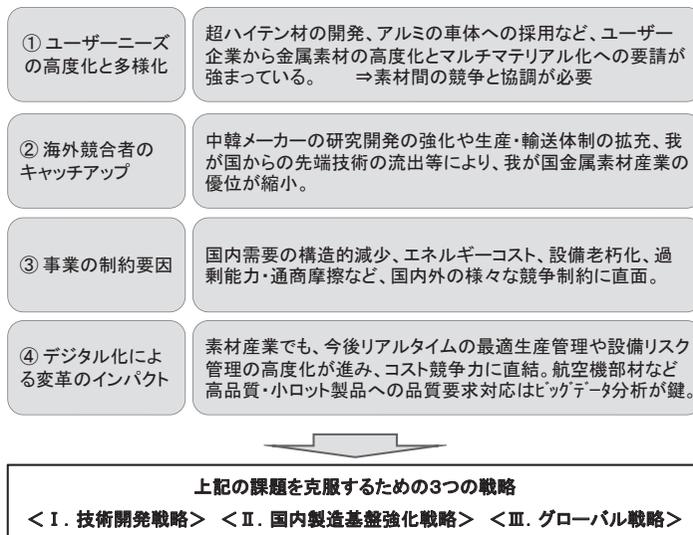


図 1 「金属素材競争力強化プラン」での3つの戦略

のプラットフォームや統計解析手法の開発、オープン・クローズ戦略を踏まえたデータ公表・非公表のルールやアクセス権限等の制度設計などを行うことが必要である。

データ蓄積が多いほど分析精度が向上するため、各企業が如何にデータを提供しやすい環境を整備できるかが鍵となるため、当省では今年度その論点整理や対応策などについて検討を行う予定である。

## 2. 製造技術の開発

素材の適材適所の利用を可能とする接合・接着技術や表面改質技術の開発が必要。また、異なる金属材料を粉体にしてAdditive Manufacturing（いわゆる「3Dプリンター」）で加工することによって全く新しい機能発現を可能とする技術の開発が必要である。

Additive Manufacturingは、複数の素材や組成を自由に組み合わせることにより、全く新しい機能発現を可能とするものである。生産能力の高速化に伴い、産業に広く普及する可能性がある。流動性・溶融性に優れた粉末や機能性の高い合金粉末の開発などを視野に入れた取組みが必要である。

## 3. 分析・評価技術の開発

新素材の開発段階において、素材に含まれる希少金属の抽出や表面・内部検査を行うためには、その技術水準に合致した分析・評価技術が不可欠である。例えば、中性子線等を用い、素材の表

面・内部を広範囲・高精度に分析する技術や迅速な検査技術の開発が必要である。

## 4. 人材育成

材料設計技術、製造技術、分析・評価技術の開発を支える人材を育成する必要がある。特に、材料工学に加え、物理学、化学、情報科学、統計学等の他分野にも精通する融合人材の育成が求められている。

## 5. 周辺の基盤領域

材料の劣化による損傷や製造設備のトラブルを未然に防止するため、今後、世界の潮流になると見込まれるデジタルデータを用いた寿命予測や設備保全技術の開発などが必要である。可能な限り多くのデータを収集し、統計的な処理をすることで信頼性の高い寿命予測が可能となる。

## ◇ 国家プロジェクトの実施状況

経済産業省は、現在、2つの国家プロジェクトを産学官連携の基で推進している。

また同時に、1999年度の文部科学省による基礎研究に端を発する、低品位炭と低品位鉄鉱石を活用したフェロコックスを用いた先進的な省エネルギー製鉄プロセスの実証事業のプロジェクト化も検討中である。

### 1. COURSE50

このプロジェクト名称は「環境調和型製鉄プロ

セス技術開発」であるが、CO<sub>2</sub> Ultimate Reduction in Steelmaking process by innovative technology for cool Earth 50 の頭文字を取って COURSE50の呼称が一般的に使用されている。

次世代型の製鉄プロセスを開発する国家プロジェクトであり、製鉄プロセスから排出されるCO<sub>2</sub>排出量を約3割削減できる技術に関して、2030年頃までに実用化し、その後、2050年にかけて普及を目指すものである。大きく2つの視点で研究開発が行われている（図2参照）。

第一に、コークス炉の800℃の未利用廃熱を利用しコークス炉の水素量を増幅し、一部コークスの代替として当該水素を用いて鉄鉱石を還元する技術の開発を行う。この技術の達成によって、CO<sub>2</sub>発生量の約1割削減を目指す。

第二に、低炭素社会の実現に向けて、CO<sub>2</sub>濃度が高い高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離するため、製鉄所内の未利用低温排熱を利用した、新たなCO<sub>2</sub>分

離・回収技術の開発を行う。この技術の達成によって、CO<sub>2</sub>発生量の約2割削減を目指し、前者の技術と合わせて約3割削減を目指している。

このプロジェクトは、第一段階として2008年度から10年間の期間を見込んでいる。2008から2012年度の5年間（フェーズ1）で要素技術の研究開発を積み重ね、2013から2017年度の5年間（フェーズ2）でパイロットプラントレベル（実機の約500分の1規模）の実証試験を行うこととしている。2016年度には、水素還元技術の開発を行うため、ミニ試験高炉における試験操業や、コークス炉ガスから取り出した水素を安定的に増幅するためのベンチプラント試験などを行う予定である。

現在、①鉄鉱石還元水素活用技術（原料利用技術、送風最適化、プロセス解析）、②試験高炉によるプロセス評価技術、③コークス改良技術、④COG（コークス炉ガス）改質技術、⑤CO<sub>2</sub>分離・回収技術、⑥未利用顕熱回収技術、⑦全体プロセ

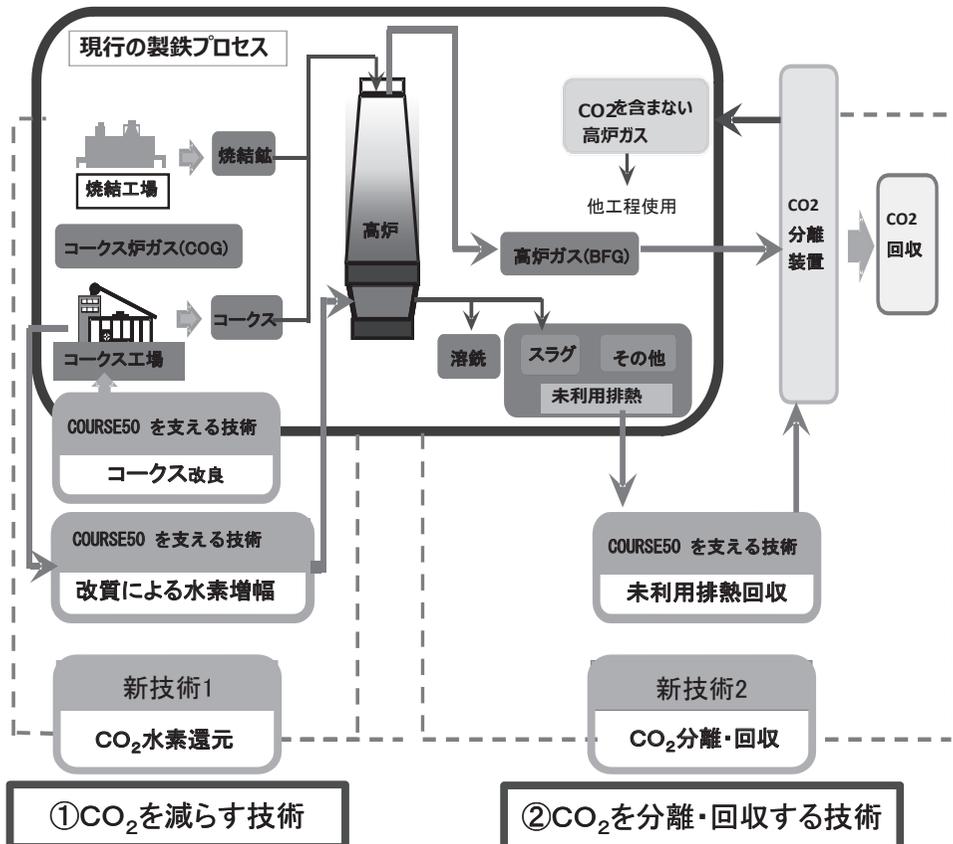


図 2 COURSE50の概要

ス評価・検討といった7つのサブテーマを設定して研究開発を進めている。日本鉄鋼連盟を中核に、鉄鋼高炉メーカー、プラントメーカー、大学、国立研究所などが参画している。

## 2. 革新構造材料

エネルギー使用量の削減及びCO<sub>2</sub>排出量の削減等のため、自動車の場合には半減といった具体的に輸送機器の抜本的な軽量化を図るために、必要な革新的構造材料技術や、各部素材を適材適所に使用するマルチマテリアル化を進める革新的異材接合技術の開発などを行うものである（図3）。

具体的には、鋼材、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、炭素繊維複合材（CFRP）に関する材料開発やプロセス開発、これらの材料を適材適所に使うために必要な接合技術の開発、材料特性を最大限活かす最適設計手法や評価手法等の開発を行っている。

例えば、鉄鋼材の場合には、軽元素の有効利用による粒界強化、 $\gamma$ - $\alpha$  複相形態制御による複相

化、残留 $\gamma$ 中炭素量の高度制御による高延性化などによって、強度1,500MPa、延性20%の高強度高延性中高炭素鋼材の開発を行っている。また、高強度ハイテン鋼同士、鋼板と軽金属、金属と樹脂などをつなぐ接合技術（点接合、連続接合）を開発している。

実施の主体は、新構造材料技術研究組合であり、鉄鋼メーカー、自動車メーカー、重工メーカーなど様々な業種の企業が参加している。

### ◇ 様々な視点での活動

#### 1. 産業事故の防止に向けた取組み

経済産業省は、鉄鋼業における過去10年程度における労働災害や設備災害といった産業事故の防止に向けた官民の取組状況を検証するためのヒアリング調査やアンケート調査を実施し、それらの結果を評価・分析した。その結果、2015年6月に、「鉄鋼業における産業事故の現状と防止に向けた対策について～望ましい13の取組～」と題してとり

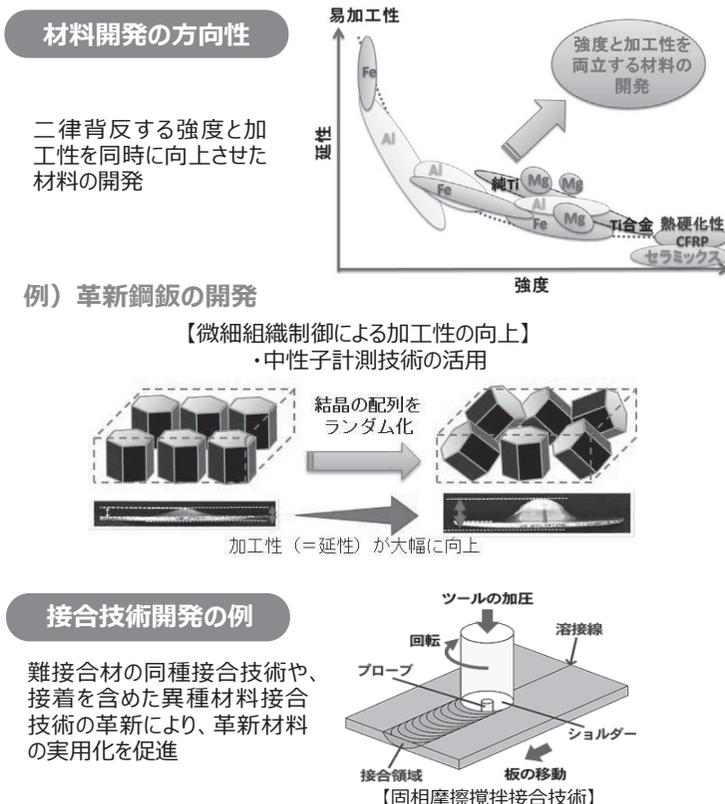


図 3 革新構造材料の概要

表 1 望ましい13の取組み

No.	項 目
1	危険感度の向上・維持、基本ルール遵守への対応
2	現場に浸透する、実効性のある教育の実施
3	一人作業におけるリスク低減策の実施
4	設備を「止める」活動の徹底
5	双方向のコミュニケーション強化
6	設備的対策の推進 (不安全行動を前提にした本質安全化)
7	安全担当の体制づくりと体制強化
8	直営会社による協力会社への安全管理の支援 (直協一体の安全活動の推進)
9	安全文化の醸成とトップダウンによる取組
10	事故分析やリスク抽出の徹底
11	作業標準の整備とルールの徹底
12	技能伝承の着実な実施
13	第三者評価による安全管理部門の取組の見直し

まとめ公表した(表1参照)。同時に、産業事故防止に向け政府が取り組む施策として、①産業事故防止に向けた望ましい取組み事例の普及啓発、②業界横断的な課題への対応(情報交換会の開催など)、③他業界等との橋渡し、及び④新たな産業保安規制に向けた取組みとの連携を実施していくことを明確にした。

## 2. 省エネルギー対策

鉄鋼産業はエネルギーを多消費する代表的な産業であり、他産業に先駆けた前向きな対応が不可欠であり、CO<sub>2</sub>排出抑制とも直結する問題であることから、既述した国家プロジェクトの事例に見られるように、鉄鋼メーカーが連携して様々な取組みを行っている。経済産業省としても極めて重要な事項に位置づけ、「エネルギー使用の合理化に関する法律」において、事業者単位のエネルギー管理やエネルギー消費原単位の低減等を義務付けている。一方では、政府として、事業者の取り組みの支援を行うべく、工場・事業場単位での省エ設備・システムへの入れ替え、製造プロセスの改善等の改修による省エネや電力ピーク対策、複数事業所間での一体的な省エネ対策を行う際に必要となる費用について支援的な補助制度を構築している。

## 3. 国際活動

鉄鋼産業は、標準化活動を古くから尊重してお

り、国内活動・国際活動ともに積極的な活動を展開している。特に国際標準化活動の視点では、1979年にISO/TC17(鋼)の議長・幹事国業務を引き受けて以来、国家規格とISO規格の整合化、ISO規格の提案、各国提案の調整などを行ってきた。また1997年からは、日本鉄鋼連盟内に標準化専門家を常駐させた「標準化センター」を設置し、組織的かつ体系的な標準化活動を推進してきた。現在でも、我が国が提案し、2013年に国際規格となったISO14404(鉄鋼CO<sub>2</sub>排出量・原単位計算方法)の普及啓発に努め、東南アジア各国の省エネルギー活動の支援活動を積極的に行っている。

更には、日本鉄鋼連盟と中国鉄鋼工業協会の共催の基で、2015年10月に「日中鉄鋼業環境保全・省エネ先進技術専門家交流会」を行うなど、各国との環境・省エネ分野を中心に協調・連携体制を構築してきた。

## むすび

大胆な金融緩和政策という第一の矢、機動的な財政政策という第二の矢により、マクロ経済を需要の側面から支えることで、経済の好循環は着実に回り始めており、経済政策の課題は、デフレ脱却を目指した需要不足の解消から、労働・資本の拡大及び生産性革命といった供給制約の打破にシフトしている。他方、世界ではIoT、ビッグデータ、人工知能といった破壊的イノベーションによる「第4次産業革命」とも呼ぶべき大変革が進みつつある。

このような状況にあって、IoT、ビッグデータ、人工知能等の発展がどのような経済・社会的インパクトをもたらし、これに向けて我々はどのような対応を取っていくべきか、官民でビジョンを共有し戦略的に対応することが不可欠であるという認識の下、経済産業省は今年8月、産業構造審議会内に新たに「新産業構造部会」を設置し、官民が共有できるビジョンを策定するとともに、官民に求められる対応について検討を行っている。

鉄鋼産業としても関連の深い内容であり、他国との競争優位性を持続・拡大するためには、次世代を見据えた検討が不可欠である。経済産業省としても必要な検討や対応を行っているところである。

# 業界のうごき

## 伊藤忠丸紅と住商、 国内鉄鋼建材事業を統合

伊藤忠丸紅鉄鋼（MISI）と住友商事は、国内鉄鋼建材事業を統合することで合意した。伊藤忠丸紅テクノスチール（MITS）、住友鉄鋼販売（STH）を来年1月1日に統合し、「伊藤忠丸紅住商テクノスチール」として始動する。連結売上高で約4,200億円。株式比率はMISI66・7%、住友商事33.3%。連結人数は約450人。新統合会社の社長には平本淳MITS社長が就く。STHは統合に先立ち、住友商事の子会社である住友商事北海道、住友商事東北、住友商事九州の3社から、鉄鋼建材事業を承継する。（8月4日）

## 佐藤商事、 大東鋼業の事業譲受

佐藤商事は5月末に民事再生法の適用を申請した大東鋼業（本社＝横浜市）の事業を譲り受け、8月10日付で新会社を設立した。従業員と資産を承継し、1日から事業を開始する。佐藤商事のグループ経営基盤を活用し、同事業の採算改善を図るとともに、グループ全体での業容拡大につなげるのが狙い。設立2年目以降の黒字化を目指す。

新会社の社名は「大東鋼業」を引き続き使用。資本金3,000万円、資本準備金2,000万円で、佐藤商事が全額出資。社長には佐藤商事審査部の桶田昭仁課長（39）が就任した。自動車向けを中心とした鋼材加工・販売を行い、月間販売量は1,200トン、年商は約12億円。取引先は約30社。

旧大東鋼業の取引先の多くが佐藤商事の主要顧客でもあり、佐藤商事も同社への鋼材販売や加工製品の販売窓口の一部を担うなど、関わりの深い取引先だった。（9月1日）

## 豊田通商、 中国で特殊鋼鋼板事業に参画

豊田通商は、中国の特殊鋼鋼板製造事業に参画する。現地法人の豊田通商（中国）が年内にも、中国の特殊鋼鋼板メーカーの常熟宝升精冲材料常熟宝升の発行済み株式の5%を取得する。常熟宝升は江蘇省常熟市に特殊鋼板圧延工場（年産能力10万トン）を持ち、10月から営業生産を開始予定。豊通も出資後、中国における自動車用特殊鋼鋼板需要の拡大、日系・欧米系自動車部品メーカーのニーズに積極的に対応していく方針。

常熟宝升は、事業投資・金属貿易を手掛ける上海宝钢国際経済貿易と鋼帯・冷間圧延中厚板製品を生産する蘇州泰升金属制品の2社が、増大する自動車需要向けに特殊鋼鋼板を生産するため2013年9月に設立。資本金は1億5,000万元（約30億円）で、当初の出資比率は上海宝钢国際経済貿易が50%、蘇州泰升金属制品が50%だった。（7月22日）

## ノボル鋼鉄、 経営基盤を強化

ノボル鋼鉄は、10月に創立70周年を迎えるのを機に、経営基盤を強化する。宮城県に第二の機械加工拠点が完成し稼働を開始するとともに熱処理センター（静岡市）にもものづくり補助金を活用した電子顕微鏡を導入、品質管理を徹底する。大阪出張所を大阪営業所に格上げし事務所も豊中市に移転。支店間の人事交流を活発化して社員の士気を高め、今期経常利益で前期比6割増を目指す。

ノボル鋼鉄は今春、宮城県名取市の愛島工業団地に「宮城テクニカルセンター」（宮城TC）を竣工。既存のテクニカルセンター（福島県南相馬市、TC）と並行して機械加工設備を拡充したもので、工具鋼の加工体

制を強化した。一次加工をTCで、二次加工を宮城TCで対応する。また、営業基盤強化を目的に進出した大阪営業所は、移転に伴い営業担当者を従来の2人から3人に増やし、顧客サービス強化につなげる。（9月24日）

## 阪和興業、 メタルテックに資本参加

阪和興業は9月末にパンチング・エキスパンドメタルの製造販売を行うメタルテック（本社＝東京都墨田区、木野裕貴社長）への資本参加を決めた。メタルテックの創業者一族で100%を保有する発行済み株式のうち、33・334%を阪和興業が取得する。メタルテックが阪和興業グループに加わり、同社の経営資源を活用することで、販売力を大幅に強化する。

両社は以前から取引関係にあり、木野社長もメタルテック入社以前に阪和興業で修業した経験を持つ。資本参加に先立ち、4月に阪和興業の中澤公伸・前東京本社鋼板建材副部長が同社に転出、取締役副社長に就任するなど、阪和による人的資源の支援も進む。

阪和興業としては国土強靱化計画や土木インフラ整備に伴う需要を見据え、ニッチな市場についても積極的に押さえていく上で、メタルテックとの相乗効果を発揮していくことが最適と判断したようだ。（9月4日）

## 愛知製鋼、Dyフリー磁石 一体射出成形を確立

愛知製鋼はDyフリー磁石のマグファインの一体射出成形技術を確立し、同技術の活用により、マグファイン磁石がマキタの充電式草刈り機に採用された。マグファイン磁石の形状自由度と射出成形の加工技術を融合させたもので、Nd焼結磁石の従来技術と同等性能・品質を保ちながら、モーターに使用する磁石アッセ

# 業界のうごき

ンプリーのコスト低減を実現。自動車、家電、産業機器など他の産業向けに競争力のある磁石の開発を進め、製品の拡大普及を図る。

マグファイン磁石の形状自由度と射出成形の加工技術を融合させることで、高出力・高効率モーター市場への参入が可能になった。同技術を活用し、マキタと共同で小型軽量かつコスト優位性のあるアウトローター型ブラシレスモータの回転子を開発、これが充電式草刈機に採用された。(9月11日)

## 神戸製鋼、船舶用高強度中間軸 世界初国際規格に採用

神戸製鋼所は日本海事協会が特別承認材として採用していた独自開発の高強度中間軸が、国際船級協会連合(IACS)に国際規格「IACS統一規則」として世界で初めて採用された。同統一規則化で、より高強度での中間軸の設計織り込みが可能となり、同一径であればより大きなねじり振動に対応する。同じねじり振動応力の場合、中間軸の直径低減も可能となり、船舶の環境性能、燃費向上に寄与する。

従来の統一規則は、中間軸の材料設計上限強度が引っ張り強さ800N/mm<sup>2</sup>だったため、高強度化には限界があったが、同社は製鋼・インゴット casting から一貫製造の高清浄度鋼製造技術でTS950N/mm<sup>2</sup>クラスまでの高強度材が製造可能。高強度中間軸はクロム・モリブデン系の一体型クランク軸と同じ材料として、日本海事協会から「特別承認材」との適用を認可されていた。(8月5日)

## 山特、本社工場内に 第2粉末工場を建設

山陽特殊製鋼は本社工場(兵庫県姫路市)内に、新たに第2粉末工場を建設する。建設費用は約20億円

で、2016年10月に工場建屋が完成し、17年上期の稼働開始を予定している。高純度真空溶解ガスアトマイザーなどを導入し、3Dプリンター等による金属粉末の市場拡大や高純度化ニーズへの対応強化と、新たな市場創生につなげる。

既存の第1粉末工場は1988年に稼働を開始。世界最大級の2トン真空溶解ガスアトマイザーを含め3基の金属粉末アトマイザーを保有し、量産から小ロットの試作・開発まで対応できる体制を構築している。

新工場は第1工場とほぼ同規模の建屋を建設。クリーン度を高め、高純度真空溶解ガスアトマイザー2基や最新鋭のディスクアトマイザー1基などを導入し、高融点材料の高真球粉末の製造研究、用途開発を進める。(10月2日)

## JFEスチール、 越大型製鉄所に出資

JFEスチールは台湾プラスチック・グループがベトナムで建設中の大型製鉄所に参画する。5%資本参加し、技術支援・供与を行う。日本の鉄鋼メーカーが東南アジアの大型製鉄事業に加わるのは初。第1期・年産能力700万トンの大型製鉄所の操業に協力し、JFEが東南アジアに持つ冷延工場や需要家に熱延コイルを供給する。戦略投資を下工程から上工程へと広げ、自動車やインフラ整備など海外で増える高級鋼需要を捕捉する。

台プラの越子会社フォルモサ・ハティン・スチール(FHS)に出資する。台湾プラとの間で詳細を詰めた後に契約を結ぶ。出資額は約270億円。FHSは越ハティン省に製鉄所を建設し、15年秋以降に熱延ミルを先行稼働させ、16年春に第1高炉(年産能力350万トン)の火入れを行う予定。第2高炉(同)を17年以降に稼働させて第1期工事を完成させ

る。第1期の建設投資額は105億ドル(約1兆3,000億円)。熱延コイルを生産し、JFEは熱延を出資見合いで調達する。(7月31日)

## JX日鉱日石金属、 中国で伸銅品CCを開業

JX日鉱日石金属は、約3億円を投じて中国広東省に開設した伸銅品コイルセンター「JX日鉱日石金属製品(東莞)」の開所式を開催した。政府関係者や顧客を来賓に招き、JX金属からは大井滋社長以下、幹部が出席。大井社長はあいさつで、「高機能材料を華南地区のお客様に、少量かつタイムリーに供給していきたい」と述べた。

華南地区はスマホなどのモバイル機器や自動車の部品メーカーが多く、JX金属が得意とするリン青銅やチタン銅、コルソン系銅合金などの高機能材料需要がある。JX金属は自前のCC設立により独自の加工販売戦略を進める。所有するスリッターは3基で、厚さ50μ前後の薄物にも対応する。現在は月間150-200トンの銅・銅合金条を切断加工している。(8月11日)

## 下村特殊精工・中国STSS、 工場体制を整備

下村特殊精工の中国子会社、下村特殊精鋼(蘇州)(STSS)は、自動車関連向けの需要捕捉に向けこのほど倉庫を拡張し、在庫管理能力を高めた。今秋には自動車規格TS16949を取得する。検査工程では、来年に発光分光分析装置を導入する予定。

STSSは2002年2月に設立。拡張した製品倉庫はすでに稼働しており、管理の効率化につながっている。TS16949規格の有無について中国のローカル需要家から問い合わせが多く、規格を持つことで製品の監査など手続きが省ける等のメリットがあるという。

製品の検査工程における識別管

# 業界のうごき

理、材質管理では、グラインダで削った際の火花でサンプルを判定するが、熟練工が少ない海外拠点では判定が困難であるため、発光分光分析装置を導入し、高精度の品質保証体制を確保する。(9月25日)

## 新日鐵住金、 TP工法が大規模採用・沖縄県

新日鐵住金と日鉄住金防蝕は、沖縄県の3漁港で鋼矢板・鋼管矢板を保護するチタンカバー・ペトロラタム被覆(TP)工法が初めて大規模採用されたと発表した。チタンが11トン使われ、施工面積は2,521平方メートルに上る。港湾設備を50年以上海水から守り、長寿命化に寄与する。初期費用は従来の繊維強化プラスチックより約2割増だが、50年の期間で見たライフサイクルコストは半減する。現在、年間で約2万平方メートルあるといわれる海岸周辺の市場規模に対し、TP工法は10%程度。3年後をめどに20%超を目指す。

TP工法は既設の鋼管杭や鋼矢板、鋼管矢板をペトロラタム(石油系残りかす)の防食材で被覆し、その上にチタン薄板を緩衝材とともに保護カバーとして装着する工法。海上の海水飛沫帯から海中部までの被覆防食工法として、主に補修に使われる。鋼矢板・鋼管矢板向けのTP工法としては過去最大の受注規模となった。(8月31日)

## 大同特殊鋼、高合金事業 世界展開を加速

大同特殊鋼は2015年度を「高合金元年」と位置付け、航空機、発電用素材、石油・ガス向けの高合金事業を強化する。国内、アセアン、北米の3拠点を軸に高合金ネットワークを構築、大同ブランド「DSALOY」としてグローバル展開を加速する。渋川工場には世界最大級となる22

トン大型真空誘導溶解炉VIMを導入、16年度の稼働を予定する。米国には10月をめどに石油・ガス向けの高合金マーケティングを担うダイドースチール・アメリカのヒューストン事務所を立ち上げるほか、アセアンにも事務所立ち上げを検討中。

7月には高合金部を新設。9月末には米国スペシャルメタルズコーポレーションと折半出資してきた高合金製品の販売子会社「大同スペシャルメタル」を発展的に解消し、同部に取り込み、高合金製品をグローバル拡販する。(7月17日)

## 日新製鋼ステンレス鋼管、 本社へ生産集約

日新製鋼ステンレス鋼管(兵庫県尼崎市)は、衣浦工場の生産機能の本社工場への集約化に伴い、ステンレス溶接鋼管の大径管(10、12インチ)について、日鉄住金ステンレス鋼管(茨城県古河市)によるOEM生産に切り替える方向で協議を進めている。現在、品質内容等の詳細について調整を進めており、2016年1月から徐々にOEM生産に切り替え、同3月末の衣浦工場の造管工程休止を経て、4月以降は完全に切り替える予定。

昨年4月に日新製鋼の尼崎製造所と日金工鋼管(衣浦)が統合する形で発足し、統合シナジーを発揮するため、本社工場と衣浦工場の2生産拠点の再編を順次進めてきた。来年3月末で衣浦での造管ラインを完全休止するため、一部の生産をOEM化する。国内トップ級の月間生産量約3,000トンのうち、生産委託する大径管は月産約100トン。(9月11日)

## 日立、医療用極細ケーブル 開発、16年度量産開始

日立金属は単繊維化したフッ素樹脂を絶縁体に用いた低静電容量の医療機器用極細同軸ケーブル(特許出

願済)を開発した。2016年度から量産開始予定で、日立電線ファインテックと日立電線(蘇州)がそれぞれ生産を担当した。主な特長は、従来低静電容量同軸の最細品と比較し、外径を約14%低減。従来高静電容量同軸の類似外径品と比べ、10メガHzでの減衰量も約10%低減させた。

同社が今回開発した医療機器用極細同軸ケーブルは、静電容量の低容量化とケーブルの細径化を両立。発泡フッ素樹脂を絶縁体として被覆していた従来の構造に対し、単繊維化したフッ素樹脂を絶縁体として内部導体上に撚り合わせた。

同社は現行の中期経営計画の中で、医療用電線分野で18年度売上高を190億円に拡大させる方針。(9月29日)

## 不二越、新タップ追加投入 世界需要に対応

不二越は自動車・自動車部品、航空機など、量産加工、難削材加工ユーザー向けに「SGスパイラルタップショートチャンファ」を世界同時発売した。薄肉厚と有効ねじ長を両立し、長寿命化を実現。ねじ加工も安定させた。寸法範囲はM2-M24の全サイズをラインアップ。2016年度までに、タップ全体で年間売上高12億円を目指す。

発売した新タップは、加工が難しいとされてきた薄肉止まり穴へのねじ加工を容易とし、加工現場の生産性向上とコストダウンに貢献。アクアドリルと併用することで、薄肉止まり穴加工時の肉厚部を最小限に抑えつつ、有効ねじ長を最大限にし、薄肉厚と有効ねじ長の確保も両立した。

従来、ドリルによる下穴加工後に必要だったエンドミルによる座ぐり加工を省略でき、工程集約・コストダウンに寄与する。(9月28日)

文責：(株)産業新聞社

# 特殊鋼統計資料

## 特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼						合計	
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'13 暦年	246,149	4,572,676	3,871,149	8,443,825	430,297	936,673	2,857,369	692,010	5,705,091	648,243	11,269,683	19,959,657
'14 暦年	264,684	4,822,532	3,996,687	8,819,219	438,207	1,027,943	3,000,538	695,384	5,969,185	688,579	11,819,836	20,903,739
'13 年度	253,463	4,732,925	3,985,769	8,718,694	435,711	995,693	2,923,675	691,101	5,702,462	692,726	11,441,368	20,413,525
'14 年度	267,588	4,796,279	3,938,090	8,734,369	436,613	1,028,923	2,973,816	680,990	5,806,585	669,583	11,596,510	20,598,467
'14. 7-9月	63,908	1,240,034	1,021,050	2,261,084	115,322	250,954	775,716	171,523	1,596,461	171,903	3,081,879	5,406,871
10-12月	66,376	1,186,103	993,378	2,179,481	106,086	265,291	710,693	166,178	1,480,357	158,897	2,887,502	5,133,359
'15. 1-3月	67,381	1,175,974	946,737	2,122,711	107,972	250,767	728,221	161,938	1,249,834	164,311	2,663,043	4,853,135
4-6月	60,525	1,173,819	896,254	2,070,073	111,707	261,081	649,693	159,815	1,200,756	161,156	2,544,208	4,674,806
'14年 7月	21,163	422,683	357,113	779,796	39,529	79,100	258,912	55,658	528,319	64,550	1,026,068	1,827,027
8月	21,297	398,992	318,937	717,929	38,294	82,873	255,952	56,752	540,741	49,800	1,024,412	1,763,638
9月	21,448	418,359	345,000	763,359	37,499	88,981	260,852	59,113	527,401	57,553	1,031,399	1,816,206
10月	24,495	412,311	339,268	751,579	36,929	89,825	264,624	54,151	519,979	60,503	1,026,011	1,802,085
11月	20,658	390,164	335,915	726,079	34,257	89,685	220,321	59,516	516,090	49,036	968,905	1,715,642
12月	21,223	383,628	318,195	701,823	34,900	85,781	225,748	52,511	444,288	49,358	892,586	1,615,632
'15年 1月	20,750	390,644	327,844	718,488	35,806	82,891	247,681	49,837	489,660	54,202	960,077	1,699,315
2月	22,767	372,226	297,464	669,690	35,395	83,471	231,856	52,053	356,241	53,109	812,125	1,504,582
3月	23,864	413,104	321,429	734,533	36,771	84,405	248,684	60,048	403,933	57,000	890,841	1,649,238
4月	20,346	387,610	305,813	693,423	34,040	82,033	204,655	48,023	408,292	57,378	834,421	1,548,190
5月	20,087	397,436	298,168	695,604	40,148	85,194	220,406	55,855	422,368	52,270	876,241	1,591,932
6月	20,092	388,773	292,273	681,046	37,519	93,854	224,632	55,937	370,096	51,508	833,546	1,534,684
7月	19,899	377,911	287,163	665,074	39,689	81,302	231,194	46,716	418,894	58,592	876,387	1,561,360
8月	19,958	371,851	275,582	647,433	32,407	74,792	231,656	51,008	380,222	57,956	828,041	1,495,432
前月比	100.3	98.4	96.0	97.3	81.7	92.0	100.2	109.2	90.8	98.9	94.5	95.8
前年同月比	93.7	93.2	86.4	90.2	84.6	90.2	90.5	89.9	70.3	116.4	80.8	84.8

出所：2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

また、鋼種別合計と形状別合計は、出所が異なることから一致しない。

形状別

(単位：t)

年月	形鋼	棒鋼	管材	線材	鋼板	鋼帯	合計
'13 暦年	420,716	5,782,384	1,413,921	4,143,965	2,122,894	6,075,777	19,959,657
'14 暦年	299,735	6,106,683	1,442,497	4,313,948	2,290,323	6,460,443	20,913,629
'13 年度	386,674	5,959,957	1,469,820	4,289,571	2,106,686	6,203,452	20,416,160
'14 年度	304,098	6,106,807	1,393,173	4,234,850	2,176,351	6,393,357	20,608,636
'14. 7-9月	65,640	1,541,691	371,564	1,095,637	625,824	1,709,164	5,409,520
10-12月	81,923	1,527,665	347,574	1,051,980	571,063	1,555,314	5,135,519
'15. 1-3月	83,030	1,499,905	325,247	1,013,956	386,025	1,547,886	4,856,049
4-6月	62,075	1,483,772	242,195	1,058,712	405,789	1,425,162	4,677,705
'14年 7月	22,636	521,729	136,662	372,895	203,055	571,044	1,828,021
8月	14,389	479,382	120,652	358,675	207,647	583,763	1,764,508
9月	28,615	540,580	114,250	364,067	215,122	554,357	1,816,991
10月	25,803	525,345	123,270	370,346	220,355	538,024	1,803,143
11月	31,696	510,853	113,544	347,670	187,076	524,933	1,715,772
12月	24,424	491,467	110,760	333,964	163,632	492,357	1,616,604
'15年 1月	31,833	496,980	126,601	332,434	137,593	574,846	1,700,287
2月	26,286	481,854	101,321	325,532	107,039	463,521	1,505,553
3月	24,911	521,071	97,325	355,990	141,393	509,519	1,650,209
4月	13,460	478,005	94,543	341,915	146,619	474,619	1,549,161
5月	28,741	504,118	70,930	358,140	118,648	512,326	1,592,903
6月	19,874	501,649	76,722	358,657	140,522	438,217	1,535,641
7月	13,941	469,357	87,732	348,822	151,881	490,598	1,562,331
8月	14,788	457,999	88,253	328,539	103,581	503,243	1,496,403
前月比	106.1	97.6	100.6	94.2	68.2	102.6	95.8
前年同月比	102.8	95.5	73.1	91.6	49.9	86.2	84.8

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

(注) 2014年1月以降の形状別合計と鋼種別合計は、出所が異なることから一致しない。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'13 暦年	321,646	3,825,120	4,018,791	7,843,911	249,017	500,921	2,984,291	195,198	109,018	39,134	4,077,579	12,243,136	
'14 暦年	317,333	3,825,877	4,085,067	7,910,944	266,107	471,325	3,031,187	190,197	120,507	39,810	4,119,133	12,347,410	
'13 年度	324,404	3,879,315	4,061,105	7,940,420	267,951	513,723	3,002,125	199,622	111,431	51,971	4,146,823	12,411,647	
'14 年度	315,143	3,796,580	4,075,391	7,871,971	241,867	459,359	3,036,399	185,102	126,093	28,652	4,077,472	12,264,586	
'14年 12月	25,797	319,890	337,715	657,605	19,918	38,191	250,414	14,789	8,306	1,900	333,518	1,016,920	
'15年 1月	24,637	312,804	339,772	652,576	20,190	38,368	252,568	13,762	10,468	2,576	337,932	1,015,145	
2月	25,501	306,969	332,833	639,802	21,394	37,921	254,297	15,053	12,146	3,022	343,833	1,009,136	
3月	27,374	319,860	340,139	659,999	6,741	40,657	265,056	16,972	11,588	3,190	344,204	1,031,577	
4月	25,908	323,521	339,996	663,517	21,073	37,759	248,140	12,780	11,352	3,207	334,311	1,023,736	
5月	23,929	313,110	334,207	647,317	25,404	37,231	241,529	12,746	9,416	2,280	328,606	999,852	
6月	27,689	327,148	340,534	667,682	21,222	39,561	250,855	13,623	10,859	3,042	339,162	1,034,533	
7月	27,694	328,631	348,405	677,036	26,029	40,759	255,216	14,040	9,285	2,841	348,170	1,052,900	
8月	23,573	290,661	325,257	615,918	24,342	32,818	238,406	13,075	8,847	2,611	320,099	959,590	
前月比	85.1	88.4	93.4	91.0	93.5	80.5	93.4	93.1	95.3	91.9	91.9	91.1	
前年同月比	100.5	99.1	100.3	99.8	138.3	93.8	99.0	104.3	101.1	127.7	101.0	100.2	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'13 暦年	7,642	219,565	133,431	352,996	28,659	47,340	119,544	30,274	178,768	34,745	439,330	799,968	
'14 暦年	10,503	226,316	135,782	362,098	22,297	37,890	122,870	31,045	186,664	33,489	434,255	806,856	
'13 年度	7,603	207,387	127,934	335,321	24,576	43,066	124,560	30,864	163,913	40,196	427,175	770,099	
'14 年度	8,552	212,735	120,601	333,336	24,229	35,151	116,398	25,803	181,594	33,355	416,530	758,418	
'14年 12月	10,503	226,316	135,782	362,098	22,297	37,890	122,870	31,045	186,664	33,489	434,255	806,856	
'15年 1月	8,931	230,093	140,262	370,355	24,568	33,296	122,386	28,248	247,230	37,055	492,783	872,069	
2月	9,794	223,152	131,238	354,390	22,466	34,255	123,022	29,639	173,342	36,053	418,777	782,961	
3月	8,552	212,735	120,601	333,336	24,229	35,151	116,398	25,803	181,594	33,355	416,530	758,418	
4月	7,934	220,519	128,620	349,139	22,776	32,266	109,678	26,130	168,893	35,306	395,049	752,122	
5月	7,935	222,295	133,466	355,761	24,752	37,510	105,518	29,541	167,625	27,606	392,552	756,248	
6月	8,477	224,086	126,561	351,047	28,111	38,727	100,122	26,224	200,817	27,442	421,443	780,967	
7月	7,828	209,465	127,378	336,443	32,515	33,342	107,094	24,926	202,484	27,706	428,067	772,338	
8月	7,459	229,677	137,164	366,841	27,642	35,589	115,943	29,603	193,178	33,021	434,976	809,276	
前月比	95.3	109.9	107.7	109.0	85.0	106.7	108.3	118.8	95.4	119.2	101.6	104.8	
前年同月比	67.8	99.1	99.6	99.2	109.6	91.0	88.6	92.4	79.3	89.4	85.7	91.1	

出所: 2013年12月まで『経済産業省生産動態統計』、2014年1月より経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

(注) 2014年1月より上記のとおり統計調査が変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼							計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張力鋼	その他			
'13 暦年	51,532	192,784	137,555	330,339	14,228	50,702	128,745	14,252	9,314	1,464	218,705	600,576	
'14 暦年	53,199	201,643	148,119	349,762	11,009	52,983	140,388	14,860	10,308	1,767	231,315	634,276	
'13 年度	49,581	204,598	144,165	348,763	10,367	52,471	132,506	15,762	9,305	1,588	221,999	620,343	
'14 年度	58,240	210,206	147,346	357,552	12,927	49,435	140,051	13,509	10,900	1,581	228,403	644,195	
'14年 12月	53,199	201,643	148,119	349,762	11,009	52,983	140,388	14,860	10,308	1,767	231,315	634,276	
'15年 1月	54,070	202,948	144,616	347,564	10,801	52,111	139,033	15,625	10,457	1,579	229,606	631,240	
2月	55,516	203,904	145,750	349,654	11,979	49,660	139,111	13,810	10,198	1,643	226,401	631,571	
3月	58,240	210,206	147,346	357,552	12,927	49,435	140,051	13,509	10,900	1,581	228,403	644,195	
4月	58,893	222,886	140,125	363,011	12,180	48,789	136,271	12,916	10,561	1,273	221,990	643,894	
5月	60,243	217,298	146,778	364,076	12,745	49,937	140,576	14,584	11,320	1,713	230,875	655,194	
6月	61,349	213,586	147,433	361,019	12,714	51,680	135,945	13,086	11,041	1,631	226,097	648,465	
7月	60,166	201,225	139,743	340,968	10,911	52,063	132,880	12,880	10,877	1,496	221,123	622,257	
8月	59,942	205,556	141,265	346,821	11,467	52,669	133,509	13,365	10,879	1,440	223,329	630,092	
前月比	99.6	102.2	101.1	101.7	105.2	101.2	100.5	103.6	100.0	96.3	101.0	101.3	
前年同月比	120.2	99.8	99.2	99.6	105.5	104.1	97.3	92.2	120.2	86.9	99.8	101.3	

出所: 経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から作成。

## 特殊鋼鋼材の輸出入推移

### 輸出

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼			特殊用途鋼				その他の鋼			特殊鋼鋼材合計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	ピアノ線材	計	高炭素鋼	その他合金鋼	計	
'13 暦年	46,815	467,652	559,899	1,027,551	187,205	1,118,549	120,628	1,426,381	13,176	5,145,101	5,158,277	7,659,025
'14 暦年	52,548	499,166	590,092	1,089,258	191,603	1,152,264	151,020	1,494,887	13,742	6,189,851	6,203,593	8,840,287
'13 年度	49,233	474,018	580,043	1,054,061	191,652	1,130,330	135,718	1,457,700	13,215	5,402,234	5,415,449	7,976,443
'14 年度	69,904	508,345	583,116	1,091,461	184,341	1,157,027	142,126	1,483,494	13,457	6,086,053	6,099,510	8,744,369
'14年 11月	3,513	38,276	47,893	86,169	14,503	91,645	8,969	115,117	1,248	426,877	428,125	632,925
'14年 12月	5,422	41,567	51,622	93,190	12,543	84,082	12,496	109,121	905	601,169	602,074	809,806
'15年 1月	14,971	41,958	46,686	88,643	12,308	86,504	9,721	108,532	1,027	463,000	464,027	676,174
'15年 2月	6,722	38,366	41,103	79,469	13,677	89,087	10,960	113,724	851	435,932	436,784	636,699
'15年 3月	5,489	44,186	56,876	101,061	18,044	111,096	9,082	138,222	1,130	514,323	515,453	760,226
'15年 4月	3,375	41,490	48,391	89,881	15,573	90,587	17,232	123,392	919	431,611	432,530	649,178
'15年 5月	3,251	34,397	44,403	78,800	15,908	83,841	10,685	110,434	838	471,543	472,381	664,866
'15年 6月	3,900	37,374	55,179	92,553	15,816	84,546	12,172	112,534	1,462	406,754	408,216	617,203
'15年 7月	3,381	36,454	39,906	76,360	18,360	98,004	8,028	124,392	715	438,236	438,951	643,084
'15年 8月	2,869	31,803	37,619	69,422	18,319	84,736	11,395	114,450	782	458,716	459,498	646,239
前月比	84.9	87.2	94.3	90.9	99.8	86.5	141.9	92.0	109.4	104.7	104.7	100.5
前年同月比	85.4	76.3	87.3	81.7	133.5	82.1	100.3	89.2	90.4	88.0	88.1	87.5

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

### 輸入

(単位：t)

年月	工具鋼	ばね鋼	ステンレス鋼					快削鋼	その他の鋼			特殊鋼鋼材合計	
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管		計	高炭素鋼	合金鋼		計
'13 暦年	5,376	1,497	493	12,079	12,970	170,751	13,387	209,681	310	19,977	396,068	416,044	632,909
'14 暦年	6,417	3,475	596	12,390	14,954	164,225	15,702	207,868	84	20,344	835,935	856,279	1,074,123
'13 年度	5,725	2,913	504	12,330	13,654	180,931	13,839	221,258	118	21,920	582,545	604,465	834,478
'14 年度	6,053	2,369	625	12,085	13,268	145,698	15,267	186,942	77	18,717	758,538	777,255	972,696
'14年 11月	617	169	53	834	1,090	12,934	1,242	14,453	4	3,436	47,071	50,507	65,751
'14年 12月	434	231	49	1,035	955	7,321	1,262	10,623	23	1,163	98,132	99,295	110,605
'15年 1月	363	267	58	1,174	1,151	10,422	1,183	13,988	5	1,120	80,112	81,232	95,855
'15年 2月	305	156	43	1,056	745	9,348	839	12,030	6	1,107	52,508	53,615	66,113
'15年 3月	416	121	47	818	904	12,285	1,049	15,103	1	2,485	44,913	47,398	63,038
'15年 4月	433	282	31	993	991	11,233	1,261	14,509	-	160	57,601	57,761	72,985
'15年 5月	185	178	34	993	938	10,653	1,060	13,676	-	1,061	65,435	66,496	80,534
'15年 6月	337	849	35	1,220	975	9,891	1,019	13,140	-	2,560	55,598	58,158	72,484
'15年 7月	303	238	50	1,129	858	11,479	1,250	14,764	16	2,176	63,628	65,804	81,124
'15年 p8月	237	381	53	1,199	653	12,548	1,009	15,461	2	822	58,234	59,056	75,137
前月比	78.2	160.1	106.0	106.2	76.1	109.3	80.7	104.7	12.5	37.8	91.5	89.7	92.6
前年同月比	58.5	229.5	182.8	124.4	48.7	139.9	89.5	124.3	-	58.0	89.7	89.1	94.7

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p:速報値

## 関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新車登録・軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機械受注額	産業機械受注額	工作機械受注額
	うちトラック	うちトラック	うちトラック	うちトラック	ブルドーザ	パワーショベル	フォークリフト	ショベルトラック					
'13 暦年	9,630,181	1,308,177	4,674,633	472,179	5,375,513	801,975	6,236	148,161	107,777	13,538	93,232	47,742	11,170
'14 暦年	9,774,558	1,357,654	4,465,624	488,473	5,562,887	851,314	7,340	169,987	114,705	14,722	96,920	56,976	15,094
'13 年度	9,912,403	1,333,945	4,632,178	468,925	5,692,162	843,644	6,648	158,109	110,214	14,181	97,030	47,753	12,049
'14 年度	9,590,644	1,364,229	4,490,724	498,961	5,297,111	831,464	7,589	171,426	114,372	14,384	97,805	60,752	16,847
'14年 11月	743,401	114,728	368,109	43,039	416,153	75,521	727	13,919	9,267	1,230	7,920	3,011	1,391
'14年 12月	766,945	107,170	381,113	43,395	431,919	70,743	746	14,214	8,844	1,343	8,362	4,828	1,442
'15年 1月	777,756	110,120	341,872	35,327	401,366	56,590	654	13,869	8,576	968	8,570	5,520	1,211
'15年 2月	823,864	113,885	365,855	41,414	482,102	67,919	625	14,145	9,062	983	8,448	3,793	1,315
'15年 3月	878,577	125,991	396,796	46,490	695,412	106,065	628	15,174	10,373	1,093	8,694	10,282	1,474
'15年 4月	713,240	108,910	379,907	43,022	319,480	55,168	636	14,152	9,469	1,103	9,025	2,520	1,346
'15年 5月	645,539	95,558	289,477	34,435	335,643	55,585	503	12,277	8,616	950	9,076	3,954	1,385
'15年 6月	811,992	115,613	403,730	40,836	442,631	76,745	551	15,766	11,442	1,272	8,359	4,698	1,361
'15年 7月	r841,928	r121,217	415,735	39,801	425,093	68,141	396	15,985	11,540	1,383	8,056	3,509	1,299
'15年 8月	604,974	86,225	322,494	35,054	327,049	54,623	-	11,732	8,323	835	7,594	4,539	1,070
前月比	91.9	71.1	77.6	88.1	76.9	80.2	-	73.4	72.1	60.4	94.3	129.4	82.4
前年同月比	95.3	94.6	99.9	99.4	98.1	106.8	-	99.3	106.5	74.2	94.8	138.3	83.5

出所：四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、  
 新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、  
 軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、  
 建設機械生産、産業車輛生産は『経済産業省生産動態統計』、  
 機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、  
 工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』  
 (注) r:訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2015年8月分

鋼種別	月別		実数 (t)	前月比 (%)	前年同 月比(%)	1995年基準 指数(%)		
	項目							
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産		19,958	100.3	93.7	89.8		
	鋼材輸入実績		237	78.2	58.5	161.2		
	販売業者	受入計		23,349	88.1	92.9	113.5	
		販売計		23,573	85.1	100.5	115.7	
		うち消費者向		16,315	80.1	92.8	173.8	
		在庫計		59,942	99.6	120.2	166.3	
	鋼材輸出船積実績		2,869	84.9	85.4	80.1		
	生産者工場在庫		7,459	95.3	67.8	66.5		
	総在庫		67,401	99.1	110.7	142.9		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産		647,433	97.3	90.2	119.3	
鋼材輸入実績			34,015	77.8	75.4	2232.1		
販売業者		受入計		621,771	94.6	99.0	188.2	
		販売計		615,918	91.0	99.8	187.8	
		うち消費者向		409,136	89.7	100.1	191.5	
		在庫計		346,821	101.7	99.6	144.3	
鋼材輸出船積実績			69,422	90.9	81.9	410.1		
生産者工場在庫			366,841	109.0	99.2	122.5		
総在庫			713,662	105.4	99.4	132.2		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産		32,407	81.7	84.6	76.1	
	鋼材輸入実績		381	160.1	229.5	-		
	販売業者	受入計		24,908	102.9	137.7	166.9	
		販売計		24,342	93.5	138.3	163.4	
		うち消費者向		4,282	94.6	81.5	34.5	
		在庫計		11,467	105.2	105.5	360.8	
	鋼材輸出船積実績		18,319	99.8	133.5	144.8		
	生産者工場在庫		27,642	85.0	109.6	86.0		
	総在庫		39,109	90.1	108.4	110.8		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産		231,656	100.2	90.5	85.7	
鋼材輸入実績			15,461	104.7	124.3	396.6		
販売業者		受入計		239,035	94.8	98.3	159.2	
		販売計		238,406	93.4	99.0	159.6	
		うち消費者向		49,836	84.9	98.7	87.4	
		在庫計		133,509	100.5	97.3	120.7	
鋼材輸出船積実績			84,736	86.5	82.1	83.3		
生産者工場在庫			115,943	108.3	88.6	78.8		
総在庫			249,452	103.9	93.1	96.8		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産		51,008	109.2	89.9	57.6	
	販売業者	受入計		13,534	97.6	105.1	80.5	
		販売計		13,075	93.1	104.3	79.0	
		うち消費者向		12,692	94.5	102.8	89.2	
		在庫計		13,365	103.6	92.2	58.4	
	生産者工場在庫		29,603	118.8	92.4	131.7		
	総在庫		42,968	113.6	92.3	94.7		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産		380,222	90.8	70.3	162.4	
		販売業者	受入計		8,849	97.0	98.7	71.4
			販売計		8,847	95.3	101.1	71.7
うち消費者向				5,877	99.2	99.9	109.2	
在庫計				10,879	100.0	120.2	82.1	
生産者工場在庫			193,178	95.4	79.3	115.3		
総在庫			204,057	95.6	80.8	112.9		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産		132,748	94.9	100.1	56.7	
		販売業者	受入計		35,979	82.1	94.8	290.5
			販売計		35,429	81.3	95.7	287.0
	うち消費者向			32,004	81.4	94.4	594.5	
	在庫計			54,109	101.0	103.6	408.4	
	生産者工場在庫		68,610	112.4	90.2	40.9		
	総在庫		122,719	107.1	95.7	67.9		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計		1,495,432	95.8	84.8	111.0	
		鋼材輸入実績計		75,137	92.6	94.7	950.0	
		販売業者	受入計		967,425	94.2	99.3	169.2
販売計				959,590	91.1	100.2	168.7	
うち消費者向				530,142	88.6	99.2	157.5	
在庫計				630,092	101.3	101.3	142.4	
鋼材輸出船積実績計			646,239	100.5	87.5	192.6		
生産者工場在庫			809,276	104.8	91.1	106.2		
総在庫			1,439,368	103.2	95.3	119.5		

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算

(注) 1.熱間圧延鋼材生産、生産者工場在庫及び総在庫は、2014年1月より『経済産業省生産動態統計』から『鉄鋼生産内訳月報』に変更されたため、それ以前の数値との連続性はない。

2.鋼材輸入実績は速報値を掲載。構造用鋼の鋼材輸入実績とは高炭素鋼の棒鋼及び合金鋼の棒鋼、線材を加算したもの。

3.総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの。生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

# 倶楽部だより

(平成27年8月1日～9月30日)

## 市場開拓調査委員会

特殊鋼PR展示アドホックWG（9月8日）

- ①メタルジャパン及びメタル大阪の概要説明
- ②メタル大阪視察（10月7日）の目的、スケジュールについて

## 人材確保育成委員会

工場見学会（9月30日）

見学先：(株)不二越 富山事業所  
日本高周波鋼業(株)富山製造所  
参加者：42名

## 編集委員会

小委員会（8月27日）

1月号特集「各社のグローバル展開」（仮題）  
の編集内容の検討

## 流通委員会

工具鋼分科会幹事会（8月20日）

本委員会（9月11日）

11月号特集「各社のグローバル展開」（仮題）  
の編集方針、内容の確認

平成28年経済センサス - 活動調査の実施に  
先立ち「企業構造の事前確認」を行います。

- ▶平成28年6月に実施される経済センサス - 活動調査を正確かつ円滑に実施するため、支社等を有する企業の本社あてに、平成27年9月中旬から「企業構造の事前確認」を行います。
- ▶郵送された「企業構造の事前確認票」に印字されている内容をご確認の上、ご回答よろしくお願いたします。

総務省・経済産業省

若松統計株式会社

若松本社

本社  
北陸支社  
関東支社  
近畿工場  
四国工場  
九州研究所

中部支社の記載がないから追記しよう!

郵送

オンライン・郵送

## 特殊鋼倶楽部の動き

### 「平成27年度第1回一般社団法人特殊鋼倶楽部工場見学会開催」

去る9月30日（水）に平成27年度第1回の工場見学会を開催しました。

見学先は午前中が（株）不二越富山事業所殿（富山県富山市）、午後が日本高周波鋼業（株）富山製造所殿（富山県射水市）、富山駅前より大型バスにて両工場を訪問するコースで、会員企業から42名が参加しました。

（株）不二越富山事業所では、最初にKohki Hallにて執行役員マテリアル事業部長越濱様のご挨拶に続き、同事業所はロボット、工具、ベアリングの生産拠点である旨、説明を伺いました。その後2班に分かれロボット工場及び軸受工場を見学し、同工場の見学を終了しました。

午後の日本高周波鋼業（株）富山製造所では工場到着後、大会議室にて富山製造所副所長 取締役堀川様のご挨拶、次いで同工場は、製鋼から鍛造、圧延、加工までの一貫工場であるとの説明を伺いました。その後、4班に分かれて鍛造工場（3,000t油圧鍛造プレス）-特殊溶解工場（VAR・VIF）-鋼線工場（酸洗設備、連続焼きなまし炉）の工場見学を行いました。最後に大会議室に戻り質疑応答を行い、同工場の見学を終了しました。

工場見学後の参加者の感想では、ほぼ全員が工場見学の成果に満足し、次回の工場見学会にも参加したいとの回答をいただきました。

見学先の感想では、（株）不二越富山事業所殿については、「産業機械ロボットで多種多様の要望に沿った仕様が異なることに驚かされた」「エアコン用ベアリング外輪内輪の間へ見合った寸法ボールをマッチングされる精密さがすばらしかった」「事業所内が静かで非常にきれいで整理整頓が徹底されていた」等がありました。

また、日本高周波鋼業（株）富山製造所殿については、「3,000tプレスで鋼塊を鍛造しているところが非常にダイナミックだった」「熱処理設備や材料搬送の自動化など疵のつかない工夫が多かった」「少人数で管理、作業されていたことに驚かされた」「設備は古いが長期的に使用するためのメンテがしっかりされていることが分かった」等の感想をいただきました。

今回、両工場の見学を通じて特殊鋼のユーザー企業、製造企業が生産性向上や競争力向上に取り組む努力を理解でき、特殊鋼関係者にとって大きな収穫のある工場見学会となりました。

最後に、特殊鋼倶楽部会員企業のために貴重な機会を与えていただいた（株）不二越富山事業所殿と日本高周波鋼業（株）富山製造所殿の関係の方々に感謝申し上げて、工場見学会の報告といたします。

以下に、写真を掲載します。



工場見学会の様子（株）不二越富山事業所殿



工場見学会の様子 日本高周波鋼業（株）富山製造所殿

## 「平成27年度第2回一般社団法人特殊鋼倶楽部工場見学会」開催

去る10月19日（月）に平成27年度第2回工場見学会を開催しました。

見学先は、午前中がJAXA調布航空宇宙センター 展示室殿（東京都調布市）及び同飛行場分室（東京都三鷹市）、午後が（株）IHI昭島事業所「IHIそらの未来館（史料館）」殿（東京都昭島市）、同瑞穂工場殿（東京都西多摩郡瑞穂町）で、鉄鋼会館前より大型バスにて両所を訪問するコースで、会員企業から26名が参加しました。

JAXA調布航空宇宙センター 展示室到着後、レクチャールームにて同センター広報見学受付 馬淵様よりJAXAの概要及び見学順路の説明を受け、2グループに分かれ見学に入りました。展示室では、超音速機等の展示物を、また屋外ではYS-11のコックピットを見学し実際に操縦席にも座ることができました。再度、展示室に戻りスペース・ミッション・シミュレーターでは、参加者を代表してお二人が操縦席に座り水平離陸のスペースプレーンで国際宇宙ステーションへ行くなど、宇宙往還機による飛行・操縦を体験しました。展示室を後にして次に向かったのは、調布飛行場に隣接する同飛行場分室です。ここでは、ご説明者のJAXA松島様の材料に対する熱意ある説明を聞きながら複合材試験設備、及びCFRP製の機体断面等を見学しました。

午後の（株）IHI昭島事業所「IHIそらの未来館（史料館）」では、西出本部長補佐のご挨拶の後、2グループに分かれ増本館長、弓手部長より日本初のネ20エンジンを始めとしてジェットエンジン開発等の歴史をご説明頂きました。次に向かった同社瑞穂工場では、大会議室において中根瑞穂工場長のご挨拶に続き、DVDにより工場概要の説明を受け、2グループに分かれ見学に入りました。ジェットエンジン試運転設備、組立工場の順に見学し、最初にジェットエンジン試運転設備では試運転場及び制御室を、組立工場では、ジェットエンジンの修理・組立中の様子を間近に見学することができました。最後に大会議室に戻り質疑応答を行い同工場の見学を終了しました。

見学後参加者の感想は、ほぼ全員が工場見学の成果に満足し、次回の工場見学会にも参加したいとの回答を頂きました。

見学先別の感想ではJAXA殿については、「YS-11コックピット見学」「スペース・ミッション・シミュレーター体験」「炭素繊維という航空業界の動向を実感することができた」「日本の航空宇宙開発の一端を見られて良かった」等の感想を頂きました。

一方、（株）IHI殿については、「ネ20エンジン」「鉄で作られたエンジンからの変化（進化が展示物と説明で理解しやすかった）」「戦中、戦後の日本におけるジェットエンジン開発の歴史を知ることができた」「修理中（組立中）の実物が見られて良かった」「手作業工程の多さ」「エンジンは製造だけでなくアフターサービスの市場が大きい産業だろうと感じた」等の感想を頂きました。

最後に、特殊鋼倶楽部会員企業のために貴重な機会を与えていただいたJAXA調布航空宇宙センター殿と（株）IHI殿の関係の方々に感謝を申し上げて、工場見学会の報告といたします。

以下に、写真を掲載します。



工場見学会の様子 JAXA調布航空宇宙センター殿



工場見学会の様子 （株）IHI 昭島事業所殿

# 一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覽

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 23社</p> <p>販売業者 102社</p> <p>合 計 125社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p> <p>愛 知 製 鋼 (株)</p> <p>秋 山 精 鋼 (株)</p> <p>(株)川口金属加工</p> <p>(株)神 戸 製 鋼</p> <p>合 同 製 鐵 (株)</p> <p>山 陽 特 殊 製 鋼 (株)</p> <p>J F E ス チ ー ル (株)</p> <p>J X 日 鋳 日 石 金 属 (株)</p> <p>下 村 特 殊 精 工 (株)</p> <p>新 日 鐵 住 金 (株)</p> <p>大 同 特 殊 鋼 (株)</p> <p>高 砂 鐵 工 (株)</p> <p>東 北 特 殊 鋼 (株)</p> <p>日 新 製 鋼 (株)</p> <p>日 本 金 属 (株)</p> <p>日 本 高 周 波 鋼 業 (株)</p> <p>日 本 精 線 (株)</p> <p>日 本 冶 金 工 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 (株)</p> <p>(株)不 二 越</p> <p>三 菱 製 鋼 (株)</p> <p>ヤ マ シ ン ス チ ー ル (株)</p> <p>理 研 製 鋼 (株)</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>井 上 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼 松 ト レ ー デ ィ ン グ (株)</p> <p>(株) カ ム ス</p> <p>(株)カワイスチール</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鐵 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) 三 悦</p> <p>三 協 鋼 鐵 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鐵 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p>	<p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大 同 D M ソ リ ュ ー シ ョ ン (株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 興 業 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹内ハガネ商行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>田 島 ス チ ー ル (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>中 部 ス テ ン レ ス (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株)テクノタジマ</p> <p>(株)鐵 鋼 社</p> <p>デ ル タ ス テ ー ル (株)</p> <p>東 京 貿 易 金 属 (株)</p> <p>(株)東 信 鋼 鉄</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 輪 鋼 業 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 (株)</p> <p>日 鉄 住 金 物 産 特 殊 鋼 西 日 本 (株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長谷川ハガネ店</p> <p>(株)ハヤカワカンパニー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 商 事 (株)</p>	<p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p> <p>(株)日立ハイテクノロジーズ</p> <p>(株)平 井</p> <p>(株)フクオカ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株)プルータス</p> <p>(株)堀田ハガネ</p> <p>(株)マクスコーポレーション</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 ス チ ー ル (株)</p> <p>(株)メタルワン</p> <p>(株)メタルワンチューブラー</p> <p>(株)メタルワン特殊鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株)山一ハガネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

## “特集” 編集後記

今号のテーマは「接合」に関するもので、その中から「溶接」に絞って特集しました。鉄鋼メーカーの棒線分野で勤めてきた私にとっては未知な部分が多く、また編集委員になって間もないタイミングでの編集小委員長の大役であったため、関係各位にご苦労とご迷惑をおかけしたことと思えます。まずもって、この場をお借りしまして、深くお詫びと感謝を申し上げます。また、ご多様な中、今回ご執筆頂いた方々に、心からお礼を申し上げます。

先程述べたように、ここでは「溶接」に関する材料と技術をご紹介しましたが、「特殊鋼」分野の接合技術は最終製品製造メーカーの固有技術が大きいこと、特殊鋼に入熱して高温にするため、部分的に組織や成分が変わり、さもすれば特殊鋼の特徴を阻害してしまうこと、しかし「溶接」は身の回りの多くの構造物に使われており、この技術の

変遷が構造物の品質および生産性を高め、わが国の製造業を支える技術であることを、あらためて認識させられました。偉大な先人の技術に感謝すると共に、自動化を含めた今後のさらなる技術の発展に期待します。

「接合」には、電気部品で見られるはんだ付けのような「ろう接」や、今回ご紹介した「溶接」を含めた「冶金的接合法」の他に、ボルトやリベット、缶詰で用いられる巻きしめのような「機械的接合法」もあります。その「ボルト」も特殊鋼にとって1つの大きな分野なので、また別の号で特集し、ご紹介することにして、「接合」の一部である今回の「溶接」に関する特集記事が、少しでも読者の皆様の知識を深め、これからの業務にお役に立てば幸いだと願っております。

〔新日鐵住金(株) 本社 棒線技術部 棒線技術室 田代 龍次〕

## 特 集／特殊鋼メーカー・流通のグローバル展開

- I. 総論
- II. 特殊鋼メーカーのグローバル展開状況
- III. 流通（商社・問屋）のグローバル展開状況

3月号特集予定…特殊鋼鋼材仕様に関するやさしい解説

## 特 殊 鋼

第 64 卷 第 6 号  
© 2 0 1 5 年 11 月  
平成27年10月25日 印 刷  
平成27年11月1日 発 行

定 価 1,230円 送 料 100円  
1年 国内7,300円（送料共）

発 行 所  
一般社団法人 特 殊 鋼 倶 楽 部  
Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館  
電 話 03(3669)2081・2082  
ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>

編集発行人 小 澤 純 夫  
印刷人 増 田 達 朗  
印刷所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。

# 「特殊鋼」誌第64巻索引

2015年1～11月

## ■ 経済関係 ■

「平成27年新年挨拶」……………武田 安夫 1・1

**【年頭所感】**

「年頭に寄せて」……………黒田 篤郎 1・3

「年頭所感」……………石黒 武 1・4

「関係団体が協力して業界発展の足元を固めよう」  
……………佐久間貞介 1・5

「日本企業がグローバルである為に」…高木 清秀 1・6

「年頭所感」……………藤岡 高広 1・7

「グローバル競争を勝ち抜くために」…後藤 隆 1・8

「年頭所感」……………那須 七信 1・9

「年頭所感」……………中川 智章 1・10

「年頭所感」……………宮楠 克久 1・11

「年頭所感」……………安武 雄二 1・12

「年頭所感」……………久留島靖章 1・13

## 【需要部門の動向】

産業機械……………片岡 功一 1・14

「ご挨拶」……………藤岡 高広 9・1

## 【一人一題】

「86,400の使い方」……………秦野 敦臣 3・1

「映画とスポーツと仕事」……………永瀬 哲郎 5・1

「特殊鋼倶楽部会員の皆様へ」……………小島 彰 7・1

「何の為」……………芹澤 浩 9・1

「私とソフトボール」……………関井 教雄 11・1

## 【倶楽部レポート】

特殊鋼最終消費需要の変遷  
……………小島 彰、内田 宏幸 1・68

自動車用特殊鋼鋼材の使用実態調査について  
……………小島 彰 3・59

平成26年1～12月の特殊鋼貿易の概要  
……………事務局 3・65

「ものづくり・商業・サービス革新補助金」  
……………事務局 3・68

ロシア・東欧の特殊鋼需給動向調査について  
……………藤井 孝志 5・42

メキシコ・中南米の特殊鋼需給動向調査について  
……………藤井 孝志 9・43

鉄鋼技術に関連した経済産業省の主な取組み  
……………坂元 耕三 11・38

## ■ 技術関係 ■

### 〈特集記事〉

☆ 「特殊鋼の高強度化」—グローバル競争を支える日本の技術—  
I. 総論……………長井 寿 1・17

## II. 各産業分野における特殊鋼の高強度化ニーズ

1. 自動車……………北野 智靖 1・21

2. 建設—グラウンドアンカーとタイプルー  
……………竹家 宏治 1・24

3. 電力・エネルギー……………佐藤 恭 1・28

## III. 特殊鋼の強度

1. 鋼の強化機構……………高木 節雄 1・31

2. 高強度化の応用例  
(1) 転位強化……………大藤 善弘 1・35  
(2) 粒子分散強化①……………村上 俊夫 1・38  
粒子分散強化②  
耐熱鋼の析出強化……………阿部富士雄 1・41  
(3) 結晶粒微細化を活用した高性能厚鋼板  
……………西村 公宏 1・46

## IV. 高強度化を支える技術

1. 鋼材製造プロセス……………小林 一博 1・49

2. 鍛造における数値シミュレーションの動向  
……………石川 孝司 1・53

## V. 会員各社の高強度材料、関連技術……………1・58～63

愛知製鋼(株)、(株)神戸製鋼所、山陽特殊製鋼(株)、  
JFEスチール(株)、大同特殊鋼(株)、日立金属(株)

## ☆ 鍛造と特殊鋼

### I. 鍛造加工

1. 鍛造の概要……………篠崎吉太郎 3・2

2. 型鍛造……………小出 洋二 3・8

3. 特殊鍛造  
(1) 高速四面鍛造機……………久保井 健 3・11  
(2) 軸肥大拡張加工法  
……………生田 文昭、桑原 義孝 3・15  
川嵜 一博、岡部 永年

4. 鍛造産業の現状と展望……………鈴木 太 3・18

### II. 鍛造に用いられる特殊鋼

1. 鍛造用素材としての特殊鋼鋼材  
(1) 冷間圧造用鋼……………千葉 政道 3・24  
(2) 軸受鋼……………中溝 利尚 3・28  
(3) ステンレス鋼・耐熱鋼……………小柳 禎彦 3・31

2. 鍛造に使われている金型用材料  
(1) 冷間用型材……………吉田 潤二 3・35  
(2) 熱間用型材……………吉田 潤二 3・38

### III. 特殊鋼と鍛造製品

1. 鍛造クランクシャフト……………樋口 淳二 3・41

2. 産業機械、民生品に使用されている鍛造製品  
……………新藤 節夫 3・45

### IV. 会員メーカーの鍛造関連の製品紹介……………3・53～54

(株)カムス、日立金属(株)

## ☆ よくわかる特殊鋼の製造プロセス

### I. 特殊鋼の製造技術の歴史と基本プロセス

……………木村 利光 5・2

### II. 特殊鋼の製造プロセス

1. 構造用鋼……………杉本 淳 5・7

2. 工具鋼	恩田 靖久	5・11	2. 極表面分析 (GDS、AES、XPS、SIMS)	田中 幸基	9・24
3. ばね鋼	山岡 拓也	5・14		祐谷 将人	
4. 軸受鋼	桂 隆之	5・18	3. 介在物・析出物分析	丸山 貴史	9・30
5. ステンレス鋼	佐藤 昌男	5・22	4. 組織観察・分析	杉本 淳	9・33
6. 耐熱鋼・耐熱合金	成田 修二	5・26	5. 環境負荷物質	吉田 裕志	9・39
7. 快削鋼	青山 敦司	5・30	IV. 会員メーカー関連の試験、検査機関		9・42
8. ピアノ線材	南田 高明	5・33	(株)コベルコ科研		
III. 会員会社の最新設備			☆ 特殊鋼の溶接技術の動向		
新連続鋳造機による品質向上の取り組み	八明 輝修	5・36	I. 総論		
ビレットピーリング設備の増強			1. 鋼に使用される溶接技術	水本 学	11・2
表面品質に優れた棒鋼・線材製造	丸川 邦彦	5・37	2. 溶接における品質技術	山下 賢	11・8
VARの新規導入	矢後 信弥	5・38	3. 溶接・接合技術の最近の動向	平田 好則	11・12
			II. 溶接用材料と溶接技術		
☆ やさしく知る特殊鋼の熱処理			1. 構造用鋼・高張力鋼・耐食鋼	浜谷 秀樹	11・17
I. 概論	奥宮 正洋	7・2	2. 耐熱鋼	田村 庸	11・21
—特殊鋼の熱処理—			3. 工具鋼	山田 健	11・24
II. 熱処理の種類			4. ステンレス鋼	朝田 博	11・27
1. 一般熱処理	石毛 健吾	7・5	III. ユーザーでの最近の溶接技術		
2. 表面硬化熱処理	野村 博郎	7・10	スチールとアルミニウムのハイブリッド		
III. 鋼種別熱処理の基礎知識			サブフレーム	佐山 満	11・31
1. 構造用鋼 (炭素鋼・強靱鋼)	鈴木 雅人	7・14	IV. 会員会社関連の溶接材料、溶接機器		11・36~37
2. 構造用鋼 (肌焼鋼、窒化鋼)	安達 裕司	7・18	(株)神戸製鋼所、大同特殊鋼(株)		
3. 工具鋼	鳴海 雅稔	7・22	【業界の動き】		毎号掲載
4. ばね鋼	山岡 拓也	7・27	【特殊鋼統計資料】		
5. 軸受鋼	平塚 悠輔	7・31	▲特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移		毎号掲載
6. ステンレス鋼	及川 誠	7・34	▲特殊鋼鋼材の鋼種別販売 (商社+問屋)		
7. 耐熱鋼・耐熱合金	鷺見 芳紀	7・38	の推移 (同業者+消費者向け)		毎号掲載
IV. 会員会社の特徴のある熱処理技術		7・42~47	▲特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の		
(株)神戸製鋼所、小山鋼材(株)、JFEスチール(株)、			推移		毎号掲載
大同特殊鋼(株)、東北特殊鋼(株)、三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)			▲特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)		毎号掲載
			▲特殊鋼鋼材の輸出入推移		毎号掲載
			▲関連産業指標推移		毎号掲載
			▲特殊鋼需給統計総括表		毎号掲載
☆ 特殊鋼を支える分析・検査技術			【倶楽部だより】		毎号掲載
I. 総論			【特殊鋼倶楽部の動き】		1・81、5・57、9・62、11・51
特殊鋼に関わる分析技術	乾 道春	9・3	【会員会社一覧】		毎号掲載
II. 特殊鋼製造プロセスに使われる分析・検査技術					
1. 製銑・製鋼	城代 哲史	9・8			
2. 粉末・再溶解	恩田 靖久	9・12			
3. 圧延	片岡 克仁	9・15			
4. 熱処理	高嶋 敏昭	9・19			
III. 特殊鋼に使われる分析技術					
1. 微量分析	赤見 大樹	9・21			