

特殊鋼

2018
Vol.67 No.6

11

The Special Steel

特集／高温で使用するステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金



特殊鋼

|11| 目次 2018

【編集委員】

委員長	井上幸一郎 (大同特殊鋼)
副委員長	渡辺 豊文 (中川特殊鋼)
委員	杉本 淳 (愛知製鋼)
〃	増田 智一 (神戸製鋼所)
〃	西森 博 (山陽特殊製鋼)
〃	浜田 貴成 (新日鐵住金)
〃	大矢 耕二 (大同特殊鋼)
〃	洲崎 恒年 (日新製鋼)
〃	正能 久晴 (日本金属)
〃	殿村 剛志 (日本高周波銅業)
〃	戸塚 覚 (日本冶金工業)
〃	古谷 匡 (日立金属)
〃	福田 方勝 (三菱製鋼)
〃	阿部 泰 (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)
〃	平井 義人 (平井)

【特集／高温で使用するステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金】

I. 総論

1. 高温で使用するステンレス鋼・耐熱鋼及び耐熱合金 (棒・線)…………… 大同特殊鋼(株) 熊谷 祥希 2
2. 高温で使用するステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金 (板・帯)…………… 日本冶金工業(株) 吉田 裕志 6

II. ステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金の高温用途

1. 自動車

(1) エキゾーストマニホールド

…………… 新日鐵住金ステンレス(株) 矢川 敦久 8

(2) フレキシブルチューブ… 日新製鋼(株) 富田 壮郎 13

(3) 触媒コンバーター… JFEスチール(株) 水谷 映斗 16

(4) エンジンバルブ…………… 東北特殊鋼(株) 菅原 誠司 19

(5) EGR…………… 日新製鋼(株) 富田 壮郎 22

(6) ターボチャージャー… 大同特殊鋼(株) 鷲見 芳紀 25

2. エネルギー

(1) ごみ焼却炉…………… 山陽特殊製鋼(株) 細田 孝 28

(2) 発電用ボイラー…………… 新日鐵住金(株) 仙波 潤之 31

(3) タービンプレード…………… 日立金属(株) 小島 正照 35

(4) 燃料電池…………… 日立金属(株) 上原 利弘 38

3. 航空機エンジン…………… (株)IHI 佐々木厚太 41

4. 化学プラント…………… 日本冶金工業(株) 戸塚 覚 45

III. 会員メーカーの高温用途材料

耐酸化・耐高温腐食鋼 SICシリーズ

…………… 山陽特殊製鋼(株) 細田 孝 48

高温対応耐熱ばね COWALOY… 大同特殊鋼(株) 鷺見 芳紀 49
耐熱ヘタリ性に優れる低Ni耐熱合金

…………… 日立金属(株) 竹原 隆司 50

“特集”編集後記…………… 日新製鋼(株) 藤平 和孝 63

●一人一題：「鋼プロジェクト」…………… (株)竹内ハガネ商行 竹内 誠二 1

■業界の動き …………… 51

▲特殊鋼統計資料 …………… 54

★倶楽部だより（平成30年8月1日～9月30日）…………… 58

☆特殊鋼倶楽部の動き …………… 59

◇お知らせ 3年連続して、高機能金属展に特殊鋼倶楽部として出展 61

☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧 62

特集／「高温で使用するステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金」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	藤平 和孝	日 新 製 鋼 (株)	商品品質・技術サービス部 担当部長
委 員	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 自動車・産機営業部 自産機CS室長 品質保証部
〃	大矢 耕二	大 同 特 殊 鋼 (株)	特殊鋼ソリューションパートナー部 副主席部員
〃	戸塚 覚	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 部長
〃	古谷 匡	日 立 金 属 (株)	特殊鋼カンパニー 技術部長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長
〃	渡辺 豊文	中 川 特 殊 鋼 (株)	鉄鋼事業部 技術部長

「鋼プロジェクト」

(株)竹内ハガネ商行
代表取締役社長

たけ うち せい じ
竹 内 誠 二



鋼プロジェクトとは、「ボールペンのバネから宇宙ロケット部品まで、みんなの知らないハガネの世界」を歌った、鋼孝太郎とラブジャミ5（ファイブ）によるコラボソング「鋼の勇気」を通して『日本社会を支えてきた鋼の世界を多くの人々に知ってもらいたいとの強い思いから生まれたプロジェクト』です。

近年は、様々なコラボレーションが生まれています。鋼プロジェクトはそのコラボの一つとして、人材育成、業界の更なる活性化、そして日本社会の発展を目標に生まれました。

さて、小生が歌謡曲を好むのは、歌詞からその時代の背景が脳裏に浮かんでくるからです。例えば、昭和31年に曾根史郎が歌ってヒットした「若いお巡りさん」です。この歌の一番の歌詞の最後に「そろそろ広場の灯も消える」と有りますが、その頃は公園の灯を夜間は消していたようです。また二、三番の歌詞もこの時代を偲ばせていますが、圧巻なのは四番で、若いお巡りさんが、浜辺で若い娘さんを軟派する歌詞です。非番とはいえ、女の子に声をかけるのは大らかな時代を感じます。当時小生は何気なく口ずさんでいました。小生にとって、時代と共に歩んできた道を、その時々ヒットした歌謡曲を重ね合わせて思い出すことは楽しみの一つです。

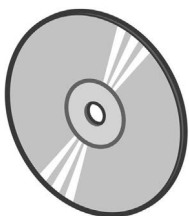
小生の人生は、歌とともにあるのかも知れません。

昨年春の叙勲記念の折に作成した「鋼の勇気」のCDが、業界応援曲を模索していた東金属（株）の菅社長の目にとまりました。そして小生を育てて頂き、約50年間身を寄せた特殊鋼業界に少しでも恩返しが出来ればと思い、この度、菅社長と共に鋼プロジェクトを立ち上げました。そこで、歌って、踊って、楽器を演奏するラブジャミが今秋に発売したCD「夜空の王子様」の中に、「鋼の勇気」の新バージョンをリリースし、挿入しました。プロモーションビデオをYouTube等で見ることもできます。

何度かステージで歌わせていただく機会もありました。小生は、発声の基礎も出来ておらず、人前で歌わせて頂くにはまだまだ未熟ですが、ステージに上がる直前には、なぜか心地よい緊張感が走ります。この「鋼の勇気」の歌を通して、皆様に鋼の不思議な世界や面白さが少しでも伝われば幸いです。

更に鋼プロジェクトでは、LPGA（女子プロゴルフ）ツアー公式戦に参戦している大城さつきプロを応援しており、彼女には頑張る特殊鋼業界を支援する鋼プロジェクトをPRしてもらっています。

まだ誕生したばかりの「鋼プロジェクト」ですが、特殊鋼業界を知って頂く切っ掛けとなり、より多くの皆様のご支援を頂きながら、育てて行きたいと思っています。



特集 高温で使用する ステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金

I. 総 論

1. 高温で使用するステンレス鋼・耐熱鋼 及び耐熱合金（棒・線）

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 耐食・耐熱材料研究室 熊谷 祥希

ま え が き

耐熱鋼・耐熱合金の棒線は、自動車や船舶等の内燃機関、火力発電所、化学プラント等、高い温度と力学的負荷に曝される厳しい環境下で使用され、基幹産業の発展を支える材料の一つとなっている。

本稿では、各種耐熱鋼・耐熱合金のうち、JISで規定される棒線の種類や特徴について述べる。

◇ 耐熱性とは

一口に耐熱性といえども、要求される特性は多岐に渡る。その一例を表1に示す¹⁾。クリープや熱疲労といった高温特有の強度特性のほか、さらに使用中に材料が損傷・減肉していかないよう、高温酸化や高温腐食といった耐環境特性も重要となる。ただし、材質によっては使用用途に応じ、強度特性と耐環境特性のどちらか一方のみに重きを置かれているものもある。

◇ 耐熱鋼・耐熱合金棒の種類と特徴

JIS G 3411耐熱棒鋼および線材、JIS G 4901耐食耐熱超合金棒として規定されている鋼種は全46

表 1 耐熱鋼・耐熱合金に求められる特性¹⁾

物理的性質	融点、密度、熱伝導率、熱膨張係数、拡散速度、減衰率など
化学的性質	高温の空気、水蒸気、CO、CO ₂ 、H ₂ Sなどを含む各種燃焼排ガス、溶融塩、その他の環境での耐酸化性、耐食性、酸化皮膜の密着性など
力学的性質	高温での強度と延性・韌性。とくにクリープ強さ、クリープ破断強さ、および疲労強さ、耐熱疲労性、耐熱衝撃性、長期の高温使用に対する安定性など
製 造 性	溶解、 casting、鍛錬、圧延、溶接、焼結などで必要な形状・寸法の部品に製造できること
経 済 性	原料費、加工費などが低廉。とくに製造プロセスが低コストであること

鋼種あるが、そのうち代表的な鋼種を表2に示す。耐熱鋼と耐熱合金の違いについて、明確な規定はないものの、慣用として合金元素の含有量の合計値で区分される。合金元素の合計値が約50mass%未満のものを耐熱鋼、それ以上のものを耐熱合金と呼んでいる。これら耐熱鋼、耐熱合金は、母相や構成組織の違いから、フェライト系、マルテンサイト系、析出硬化系、オーステナイト系に大きく分けられる。なお、鋼種名の頭にある記号につ

表 2 代表的な耐熱鋼・耐熱合金棒線の化学組成と主な用途

	鋼種名	組成 (mass%)	主な用途
フェライト系	SUS405	13Cr-Al-0.06C	焼入硬化が少ない。 ガスタービン コンプレッサーブレード
	SUS430	18Cr-0.1C	850℃以下の耐酸化用部品 炉部品
	SUH446	25Cr-N-0.2C	高温腐食に強く1082℃まで剥離しやすいスケールの発生がない。燃焼室
マルテンサイト系	SUS403	12Cr-0.1C	600℃以下の耐高温強度用部品
	SUS410J1	12Cr-0.4Mo-0.1C	600℃以下の耐高温強度用部品
	SUH3	11Cr-1Mo-2Si-0.4C	エンジン吸気バルブ
	SUH11	9Cr-2Si-0.5C	エンジン吸気バルブ
析出硬化系	SUS630	17Cr-4Ni-4Cu-0.3Nb-0.05C	タービンコンプレッサーブレード タービン部品
	SUS631	17Cr-7Ni-Al-0.07C	高温用ばね、ベローズ、ダイヤフラム
オーステナイト系	SUS304	18Cr-8Ni	870℃以下の繰返し加熱・冷却が生じる耐酸化用部品、炉部品
	SUS310S	25Cr-20Ni-0.06C	1035℃までの繰返し加熱に耐える。 炉材、自動車排ガス装置用材料
	SUH35	21Cr-4Ni-9Mn-0.4N-0.5C	エンジン排気バルブ
	SUH660	15Cr-25Ni-1Mo-0.2V-2Ti-0.2Al	耐熱ボルト、耐熱ばね
耐熱合金 (オーステナイト系)	NCF600	75Ni-15Cr-8Fe	熱交換器、工業設備、電子機器
	NCF601	60Ni-22Cr-1.4Al-15Fe	工業加熱炉、ガスタービン部品
	NCF718	53Ni-18Cr-18Fe-5Nb-Al,Ti	700℃以下のガスタービン部品、 航空・宇宙部品、耐熱ばね、ボルト
	NCF751	73Ni-15Cr-7Fe-Al,Ti	エンジン排気バルブ
	NCF800H	Fe-33Ni-21Cr-Al,Ti-C	熱交換器、工業設備、発電プラントのヒーター
	NCF80A	Ni-19Cr-Al,Ti	陸上・船用内燃機関用排気バルブ、ガスタービン部品

いて、SUH系は耐熱鋼のみの規格であり、SUS系はステンレスと同等の規格（JISG4303、4308）の鋼種体系となっている。また、耐熱合金についてはNCF系として規定されている。

これらの耐熱材料はそれぞれに物性、強度特性、耐酸化性などに特徴があり、用途、使用環境などにより使い分けられている。

1. フェライト系耐熱鋼

フェライト系耐熱鋼はFe-Crを主成分とし、フェライトを母相とすることを特徴とし、代表鋼種としてSUS430が挙げられる。Crは耐酸化性、耐高温腐食性向上に有効な元素であり、またNiのような高価な元素を含まないことから安価である。SUH系ではSUH446があり、SUS430よりもさらにCr量が多く高温での耐環境特性に優れる。さらにフェライト系耐熱鋼の特徴として、熱膨張率が低く、熱伝導率が高いことから、常温から高温までの寸法変化が少なく、熱疲労特性に優れるといっ

た特徴を有する。ただし、焼きなましによる軟化処理状態にて使用されることが多く、引張強さではマルテンサイト系やオーステナイト系に劣ることから、高い強度が求められる部材への適用は限定される。

2. マルテンサイト系耐熱鋼

マルテンサイト系耐熱鋼はFe-Cr-Cを主成分とし、代表鋼種としてSUS403が挙げられる。マルテンサイト系耐熱鋼の熱処理の特徴として焼入れ-焼戻し処理があり、すなわちまず高温から焼入れることでマルテンサイト組織が形成する。しかし、このままでは硬く靱性に乏しいため、その後の焼戻しにより靱性を向上させる。また、マルテンサイト組織中に炭化物が析出し強化されることから、600℃までは優れた強度および耐摩耗性を有する。しかし、焼戻し温度以上の高温になると炭化物の粗大化あるいは相変態により組織が変化するため、強度が急激に低下する。また、元々含まれるCr量

が12%程度と少ない上、焼戻し処理にてCrは炭化物として消費される。したがって、他の系統の耐熱鋼に比較して耐酸化性が低い特徴を有している。そこで、マルテンサイト系は600℃以下の温度域で耐酸化性よりも強度が重視される用途に適用される。

棒線の主な使用用途としては自動車エンジンの吸気バルブが挙げられ、使用される代表鋼種としてSUH3やSUH11がある。これらの鋼種はSiを添加することで耐酸化性を改善している。

3. 析出硬化型耐熱鋼

JISにおいて規定される析出硬化型耐熱鋼（Precipitation Hardening Type：略してPH鋼とも呼ばれる）はSUS630およびSUS631の2種類のみである。時効処理により析出強化する点は後述の一部オーステナイト系耐熱鋼と似ているが、これら2鋼種は基本的にマルテンサイト組織であることで区別される。SUS630はCuが添加されており、焼き入れ後の時効処理により ϵ -Cu相が微細析出し強化される。SUS631についてはセミオーステナイト系と言われ、Niの添加により固溶化処理後はオーステナイトであるため加工が容易であるが、その後の熱処理や加工によりマルテンサイト組織となり、さらに時効処理により金属間化合物 β -NiAl相が析出し強化される。なお、高温ではこれら析出相の粗大化や消失により軟化するため、使用温度は500℃程度までと限定される。

4. オーステナイト系耐熱鋼

オーステナイト系耐熱鋼はFe-Cr-Niを主成分とし、オーステナイト安定化のためにNiの含有量を高めた系統であり、汎用鋼種としてSUS304がある。オーステナイト系耐熱鋼はいずれの使用温度

域においてもフェライト系よりも高い強度を有し、またマルテンサイト系に比較すると600℃までは強度が劣るものの、600℃以上では高い強度を有している。SUS304やSUS310Sは固溶化熱処理状態で使用し、それぞれ870℃および1035℃までの繰り返し加熱による酸化に耐える。一方、固溶化熱処理後に時効処理を行うことで化合物を析出させ、より高い強度を得る鋼種もあり、排気バルブに使用されるSUH35等の30番台鋼種、耐熱ボルトや耐熱ばねに使用されるSUH660等が挙げられる。SUH35は炭化物の析出にて強化される他、オーステナイト安定化のために安価なNやMnが添加されており、含有Ni量が少なく素材コストに優れる。SUH660についてはAlおよびTiが添加されており、金属間化合物 γ' 相 [Ni₃ (Al,Ti)] の析出により650℃程度まで優れた高温強度を有する。

なお、オーステナイト系は熱膨張係数がフェライト系やマルテンサイト系よりも高いことから、熱疲労特性が要求される部材への適用には注意する必要がある。

5. 耐熱合金

耐熱合金は電熱線として使用される80Ni-20Crのニクロム合金を基に開発され、高温まで安定なオーステナイト相を母相とし、固溶強化型と析出強化型に大分される。JISで規定される固溶強化型の代表的な耐熱合金棒線はNCF600等の600番台合金、およびNCF800H等の800番台合金である。析出強化型の合金はNCF718に代表される700番台合金およびNCF80Aであり、SUH660と同様AlおよびTiが添加され、固溶化処理後の時効処理により高温まで安定な γ' 相等の金属間化合物が微細析出することから、優れた高温強度を有する。

表 3 耐熱鋼・耐熱合金の特徴

	組織形態	熱膨張率	熱伝導率	高温強度	熱疲労	加工性	素材コスト
フェライト系	フェライト (BCC)	小	大	×	◎	◎	◎
マルテンサイト系	焼戻しマルテンサイト+炭化物	小	大	<600℃：○ >600℃：△	<600℃：◎ >600℃：×	○	◎
析出硬化型	焼戻しマルテンサイト+金属間化合物	小	大	<600℃：◎ >600℃：△	<600℃：◎ >600℃：×	○	○
オーステナイト系	オーステナイト (FCC) (+炭窒化物あるいは金属間化合物)	大	小	○	×	×	△
耐熱合金	オーステナイト (FCC) (+炭化物あるいは金属間化合物)	大	小	◎	○	×	×

◎：優れる、○：やや優れる、△：やや劣る、×：劣る

耐熱合金は一般的には前項までに紹介した耐熱鋼と比較して優れた耐環境特性や高温強度特性を有している反面、素材コストが高い、熱伝導率が低い、切削加工性が悪い等のデメリットも存在する。

最後に、これまで解説してきた耐熱鋼・耐熱合金の特徴の比較を表3にまとめる。

むすび

本稿では一般的な棒線向け耐熱鋼・耐熱合金の特徴について述べた。これら材質の他、特殊鋼

メーカー各社では、それぞれの材質の特性を最大限に引き出すような、あるいは欠点を補うような独自鋼種の開発が活発に行われている。しかしながら、すべての特性を満足するような万能な材料は残念ながら存在しない。材料を選ぶ際は、目的の部材に要求される特性に応じた、適切な選定を行う必要がある。

参考文献

- 1) 田中良平：特殊鋼、60 (2011) No.6、p2



2. 高温で使用するステンレス鋼、耐熱鋼 及び耐熱合金（板・帯）

日本冶金工業㈱ 川崎製造所 よし だ ひろ し
品質保証部 部長 吉 田 裕 志

◇ 耐熱鋼・耐熱合金の特長

耐熱鋼・耐熱合金の特長は、高温（500～1000℃）で強度があり、かつ耐酸化性・耐食性を有していることです。

金属材料の高温での強度は室温での強度に必ずしも比例するわけではないため、高温引張試験による強度が材料仕様として加えられる場合があります。更に、高温引張試験は短時間での変形強度ですが、金属材料では高温でクリープと呼ばれる現象が見られるため、クリープ強度も必用になる場合があります。これは、高温にさらされた金属材料が耐力（塑性変形が生じない最大応力）よりもずっと低い応力であっても、ゆっくりと塑性変形してしまう現象で、長時間の使用では一般的な高温引張試験の強度よりもこのクリープ強度の方が重要な特性となります。

また、大気環境で使用する場合、金属材料は大気と反応して酸化してしまうため、強度と同時に高温での耐酸化性も求められます。さらに、大気ではなく、様々な雰囲気が使われる場合には、その雰囲気に対して高温での耐食性を有している必用があります。

これらの必用特性に合わせて種々の耐熱鋼・耐

熱合金が設計されており、主な耐熱鋼はSUH（Steel, Use, Heat Resisting）JIS G 4312として、また耐熱合金はNCF（Nickel, Chrome, Ferrum）JIS G 4902としてJISになっています。

それぞれの耐熱鋼・耐熱合金は、様々な用途を考慮して設計されたものですので個々に細かい成分調整がされていますが、一般的にはNi含有量が高いほど高温強度（クリープ強度も含めて）が高く、Crが高いほど耐酸化性・耐食性が高くなります。具体的な成分規格については、各JISを参照してください。参考に、JIS G 4312とG 4902に記載されている耐熱鋼・耐熱合金のNi量とCr量をグラフにしてまとめてみました（図1）。Cr系のステンレス耐熱鋼、オーステナイトステンレス耐熱鋼、高Ni合金耐熱鋼の特長が現れています。

ステンレス鋼はその成分にNiとCrを含有しているので耐熱鋼の特性が期待できます。実際にステンレス鋼が耐熱用途に使われる場合もあり、JIS G 4312には、SUS（Steel, Use, Stainless）も耐熱鋼として記載されています（表1 JIS G 4312、G 4902に規定されている耐熱鋼・耐熱合金）。

◇ 耐熱鋼・耐熱合金の用途

耐熱鋼・耐熱合金が必用とされる用途は多岐に

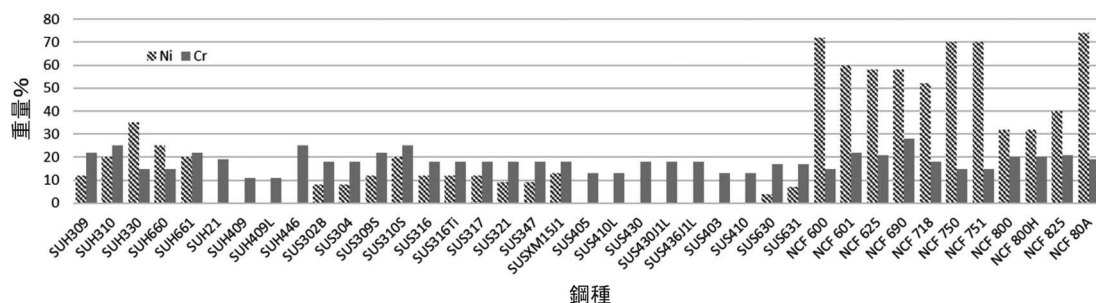


図 1 JIS G4312、G 4902の耐熱鋼・耐熱合金のNi・Cr量比較

わたります（加熱炉、炉部品、排ガス浄化装置、ターボ部材、反応容器、ノズル、熱交換器、ベローズ、自動車マフラー等）。先に述べたように、酸化・腐食の度合いは環境に大きく影響されるため、すでに実績がある用途でない場合には実環境で予備試験を行って材料選定をするのが一般的で

すが、いずれも歴史のある材料なので、客先から材料指定されることが大半です。

◇ 弊社の耐熱鋼・耐熱合金

弊社が製造している主な耐熱鋼・耐熱合金について、その具体的な用途と特長を表2に示します。

表 1 JIS G 4312、G 4902に規定されている耐熱鋼・耐熱合金

分類	種類の記号
JIS G 4312	
オーステナイト系	SUH309、SUH310、SUH330、SUH660、SUH661、SUS302B、SUS304、SUS309S、SUS310S、SUS316、SUS316Ti、SUS317、SUS321、SUS347、SUSXM15J1
フェライト系	SUH21、SUH409、SUH409L、SUH446、SUS405、SUS410L、SUS430、SUS430J1L、SUS436J1L
マルテンサイト系	SUS403、SUS410
析出硬化系	SUS630、SUS631
JIS G 4902	
耐食耐熱超合金	NCF600、NCF601、NCF625、NCF690、NCF718、NCF750、NCF751、NCF800、NCF800H、NCF825、NCF80A

表 2 日本冶金工業(株) が製造販売している主な高Ni耐熱合金とその用途

鋼種	特長と用途
NCF600	各種の酸・アルカリに対して高い耐食性を有しています。原子力発電プラント、熱交換器、化学工業用蒸発缶、酸・アルカリ工業用機器などに使用されています。
NCF601	耐侵炭性、耐浸硫性に優れるため、ディーゼルエンジン車用グロープラグ、熱処理炉部材などに使用されています。
NCF800	高温強度、耐食性、耐酸化性に優れており、シース電熱線被覆管、熱電対保護管などに使用されています。
NCF800H	NCF800と同様の成分規格ですが、結晶粒制御、C、Ti、Al含有量のコントロールにより高いクリープ強度を確保しています。各種化学プラント、反応容器、熱処理炉などで使用されています。
NCF825	酸化性および非酸化性酸に対する耐食性に優れており、石油掘削プラントの部材として使用されています。
NCF625	MoとNbを添加することで固溶強化したNi基合金で、優れた耐食性と耐熱性を兼ね備えています。原子力発電所、ジェットエンジン部品、蒸発器、化学プラントなどに使用されます。

Ⅱ．ステンレス鋼、耐熱鋼及び 耐熱合金の高温用途

1．自動車

(1) エキゾーストマニホールド

新日鐵住金ステンレス(株) や かわ あつ ひさ
商品開発部(担当部長) 矢 川 敦 久

エンジン直下に配置され、内燃機関の各シリンダーの排気ポートから出る排気ガスの流路を1つにまとめ、エキゾーストパイプや触媒コンバータへと送り出す多岐管部品がエキゾーストマニホールド（以下エキマニ）である。エンジンから排出された排気ガスは数百℃を超える温度（アイドリング時で200～300℃、全負荷走行時で700℃を超える）で、従来は鋳物（球状黒鉛鋳鉄）が使用されていたが、1980年代以降、ステンレス鋼板または鋼管といったステンレス板金部品の適用が急速に進んだ。これは、1970年代より地球環境問題への対応が重要視され始め、自動車産業のその大きな影響度より、アメリカでのマスキー法の制定を発端に、排出ガス規制の厳しい基準をクリアした車造りが不可避となったことが背景にある。燃費向上のための部品軽量化、下流に配置されたコンバータでの触媒反応向上のための部品低熱容量化（エキマニ部での排気ガス温度低下抑制により、触媒部への高温排気ガスとし、始動直後からの即効性／触媒暖気性および排気ガス浄化性能向上を図る）、耐熱性向上の観点より、ステンレス板金部品の開発が進められた。エキマニの構造としては、鋼管を加工後に溶接するパイプエキマニ、鋼板をプレス加工後に溶接して排気ガス流路を形成するプレスエキマニ、内管と外管（二重パイプやプレス二重構造あり）から構成される2重管エキマニがある^{1)～9)}。最近では、触媒コンバータとエキマニを一体化した例もある¹⁰⁾。

エキマニは高温の燃焼ガスに曝されながら振動

を受けるほか、エンジンの起動・停止や走行中の出力変動に伴い、加熱と冷却を繰り返し受ける。したがって、材料に要求される特性として、高温強度、高温疲労特性、耐高温酸化性が重要となる。また、排気ガスの温度や流れ、熱容量に加え、近年の部品省収納スペース化（居住空間快適化）ニーズが高まり、複雑な形状に設計されるため、鋼管や鋼板の成形性も重要となる^{11)、12)}。一方、耐食性については、水分が介在する湿食ではなく、部品の配置や環境により、高温塩害といわれる融雪塩（NaClやCaCl₂等の塩化物）による高温腐食^{13)、14)}に留意するケースが見受けられる。

さて、表1に代表的なエキマニ適用ステンレス鋼と要求特性に対する位置付けを一覧するが、相対的な比較であり、各要求特性に対する考え方について説明する。

まず、フェライト系ステンレス鋼、オーステナイト系ステンレス鋼のエキマニ鋼のエキマニ用材料適用への耐熱性について述べる。図1に、代表的なエキマニ適用鋼の高温強度比較として、高温引張試験における0.2%耐力を示す^{1)、15)}。高温強度の観点では、フェライト系ステンレス鋼に比べてオーステナイト系ステンレス鋼の方が高強度であり、その傾向は温度上昇に伴い顕著となる。しかしながら、エキマニ用材料の耐久性能を示す最重要特性である熱疲労特性では、フェライト系ステンレス鋼の方が優れており、国内のほとんどの車に採用されている。エキマニは排気管の一部として他部品と連結・拘束されているが、排気ガス温

表 1 代表的なエキゾーストマニホールド適用ステンレス鋼の要求特性に対する位置付け一覧

材料	SUH409L	SUS430J1L	SUS429	17Cr-Cu-Nb	SUS444	SUS304	SUSXM15J1
代表成分	11Cr-Ti	19Cr-Nb	14Cr-1Si-Nb	17Cr-1.2Cu-Nb	19Cr-2Mo-Nb	18Cr-8Ni	18Cr-12Ni-4Si
結晶構造・相	α	α	α	α	α	γ	γ
適用材温（目安）	$\leq 700^{\circ}\text{C}$	$\leq 800^{\circ}\text{C}$	$\leq 800^{\circ}\text{C}$	$\leq 850^{\circ}\text{C}$	$\leq 900^{\circ}\text{C}$	$\leq 850^{\circ}\text{C}$	$\leq 950^{\circ}\text{C}$
熱疲労寿命	適用材温に見合った強度、寿命序列					相対的に短い	
高温強度	適用材温に見合った強度序列					相対的に高い	
高温疲労強度	適用材温に見合った強度序列					相対的に高い	
線膨張係数	相対的に小さい（熱疲労寿命に大きく寄与）					大きい	
高温酸化性 スケール密着性	スケール密着性に優れ、スケール成長少ない スケールとの熱膨張係数の差が相対的に小さく、 スケール密着性に優位					温度変化でスケール剥離が 発生し易い 熱膨張差が大でスケール抑制や 密着性確保の検討要	
加工性	C、N低減で軟質化、絞り加工性に優れる					高延性で優れた張出加工性	

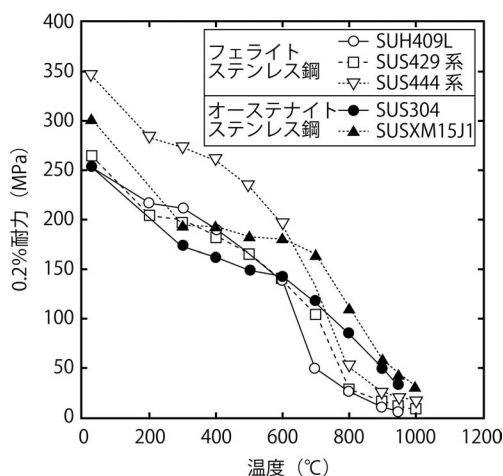


図 1 高温引張特性^{1), 15)}

度による熱膨張が歪となり、繰り返し温度変化による繰り返し歪がエキマニの亀裂や破損といった熱疲労となる。フェライト系ステンレス鋼は熱膨張係数が相対的に小さいため熱疲労特性に優れており、エキマニ用材料の主流になっている。

エキマニ用材料はその適用温度に見合った材料選定が重要であり、コストと要求特性にバランスした材料開発が望まれてきた。ステンレス鋼がエキマニに適用され始めた当時は、SUH409L（11Cr-Ti鋼）やSUS430J1L（19Cr-Nb鋼）が代表的であったが、高温特性の向上ならびにコストパフォーマンスの観点よりSUS429系（14Cr-1Si-Nb鋼）が開発され^{16)~20)}、国内では汎用材として最も多く使用されている。この鋼では、800℃以下での

高温強度向上効果が大きいNbを積極的に活用するとともに、耐酸化性改善効果が大きいSiを添加し、低Cr化している点が特徴である。図2に高温強度に及ぼす添加元素の影響を示す^{15), 21)}。Nbによる高温強化は、固溶強化や析出強化機構が報告されており^{21)~24)}、エキマニ用強化元素の主流となっている。また、Tiとの複合添加は、固溶Nb量の増加となり、高温強度や熱疲労特性の向上に寄与する^{6), 18), 25), 26)}。さらに、レアメタルであるNbに代えて、やはり800℃以下での析出強化能が高いCu活用鋼も実用化に向けて開発されている^{27)~29)}。

排気ガス温度の高温化に対応した鋼としてSUS444系（19Cr-2Mo-Nb鋼）が開発され、SUS429系の上位鋼種として適用されている^{19), 20), 25), 26), 28), 29)}。この鋼は図2に示す様に高温強度向上効果が大きいMoを多量に添加しており、熱疲労寿命もSUS429に比べて優れている。しかしながら、加工性やコスト面でSUS429系よりも劣っており、Tiとの複合添加と製造プロセス最適化を組み合わせた高r値材³⁰⁾やSUS444系より低Cr、低Mo化した鋼も開発、適用されている³¹⁾。更に積極的にSUS429系とSUS444系の耐熱性や加工性、コスト等の中間鋼的な位置付けとして、Cu添加の17Cr-Nb-Cu系の開発が進められ^{32), 33)}、実用化に至っている。

なお、長時間適用によるこれら高温特性の低下を抑制することも必要であり、高温時効後の高温特性についても把握しておくことが重要である^{34)~37)}。高温強度のベースである強化機能（固溶強化や析出強化）の状態に変化が少ないことがポ

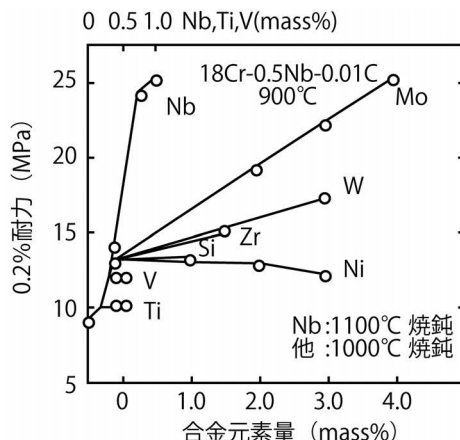
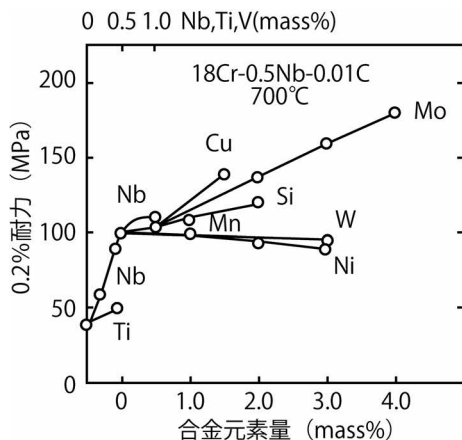


図 2 フェライト系ステンレス鋼の高温強度に及ぼす添加元素の影響^{15), 21)}

イントであり、添加元素の熱力学的平衡に配慮した成分設計や製造条件制御が重要となる。特に析出強化を図るCu添加については、析出物の成長・粗大化が強化能に強く影響するが、熱疲労で導入される歪みによって微細化することも判明している²⁹⁾。

次に、エキマニ用材料の重要な特性のひとつである耐酸化性について述べる。高温に曝されるエキマニ鋼にとって、高温環境下での異常酸化や成長した酸化スケールが剥離すると排気システムの性能に問題が生じる懸念がある。フェライト系ステンレス鋼の耐酸化性は、CrやSiなどの保護性酸化皮膜形成元素の添加により向上する。酸化皮膜の急激に成長する温度域（耐酸化限界）で異常酸化が生じるが、SUS429系の耐酸化限界はSUS304やSUH409Lよりも高く、耐酸化性に優れている¹⁾。また、フェライト系ステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼に比べてスケールとの熱膨張係数差が小さいため、スケール密着性に優位となる。

近年、さらなる環境基準厳格化で燃費性能向上を、エンジン出力維持・向上と両立させるため、これまで以上の高温燃焼、排気ガス高温化、軽量化が要求されている。排気ガス温度が1000℃近傍となると、オーステナイト系ステンレス鋼を適用せざるを得ない状況であるが、部品構造や異鋼種溶接といった生産性やコスト面の課題を有しており、耐熱上限温度域を拡大した超高耐熱フェライト系ステンレス鋼³⁸⁾のニーズはある。また、オーステナイト系ステンレス鋼の適用事例として、こ

れまでも、薄肉低熱容量化を図った2重管構造のエキマニの場合、内管は薄肉のオーステナイト系ステンレス鋼、外管はフェライト系ステンレス鋼が使用されている³⁹⁾。内管には熱疲労を回避する構造が採られ、高温高サイクル疲労や耐酸化性が主な特性課題となり、国内では、SUSXM15J1系（19Cr-13Ni-Si鋼）や高温強度、疲労特性、耐スケール剥離性に優れた23Cr-12Ni-N-REM（希土類元素）鋼が採用されている^{40), 41)}。いよいよフェライト系ステンレス鋼では高温強度が担保し切れない温度域（材料温度 $\geq 900^{\circ}\text{C}$ 後半）を想定して、エキマニ材へのオーステナイト系ステンレス鋼の適用拡大に向け、超高耐熱オーステナイト系ステンレス鋼の開発⁴²⁾も検討されている。

最後に、耐食性について述べる。湿食といわれるマフラー等のコールドエンドで気にする耐食性とは異なり、フレキシブルチューブと同様の高温塩害に優れたエキマニ用材料を要求される場合がある。高温下に曝される部品のため水は介さないが、融雪塩が付着するような部品配置や構造となっている場合、融雪塩による高温腐食現象が認められる⁴³⁾。高温塩害にはSi、Ni、Mo等が効果的^{13), 14), 43)~45)}で、耐酸化性や高温強化の添加元素となるが、加工性低下となる懸念もあり、添加バランスを考慮することがポイントである。

さて、エキマニ用材料には様々な特性が要求されるが、最終的な実部品適用は、自動車メーカーや排気部品メーカーによる実エキマニ部品の冷熱耐久試験による信頼性評価で判断される⁴⁶⁾。実エ

ンジンに排気部品を接続してエンジン回転数を繰り返し変化させるエンジン耐久試験や簡易的にエキマニ単体に高温ガスを通風、冷熱させる方法⁴⁷⁾で、所定のサイクル数(期間)までに排気ガス漏れなどの不具合が発生しないことを確認する。なお、耐久試験による不具合のほとんどが熱疲労破壊によるものであり、材料の熱疲労特性把握や寿命予測が重要になる。そのため、実際のエキマニに用いられる中空素材を用いて、表面しわおよび亀裂の板厚方向への進展を模擬できる熱疲労試験方法が開発され^{7)~9)}、応力-歪み測定より非弾性歪範囲と熱疲労寿命の関係をj得ることで熱疲労寿命予測線が導出され、適材選定に活用されている^{30)、48)、49)}。また、材料の動的組織変化に伴う材質変化を考慮した損傷解析^{49)、50)}、FEMによる実エキマニの熱応力解析^{51)~53)}および耐久試験中の歪測定⁵⁴⁾による寿命予測を、材料開発は基よりエキマニ部品設計・開発の効率化につなぎ、環境問題解決への迅速対応を図ることが重要である。

参 考 文 献

- 1) 梶村治彦：ふえらむ、11 (2006)、67
- 2) 石川秀雄：第151・152回西山記念技術講座、日本鉄鋼協会編、東京、(1994)、253
- 3) 富樫房夫：第151・152回西山記念技術講座、日本鉄鋼協会編、東京、(1994)、267
- 4) 菊池正夫：特殊鋼、49 (2000)、No. 10、10
- 5) 泉章：特殊鋼、50 (2001)、No. 10、23
- 6) 菊池正夫：日本鉄鋼協会自主フォーラム、ステンレス鋼の高温特性と自動車排気系部材への利用技術、(2003)、1
- 7) 富士川尚男：自動車技術会、日本鉄鋼協会自動車用材料シンポジウム、(1995)、27
- 8) 富士川尚男、高祖正志、宮原光雄、時政勝行、樋口賢次：住友金属、41 (1989)、215
- 9) 樽谷芳男、宮原光雄、橋詰寿伸、樋口賢次、富士川尚男：住友金属、45 (1993)、92
- 10) 杉山香里：ふえらむ、11 (2006)、618
- 11) 宮崎淳、郡司牧男、馬場幸裕：川崎製鉄技報、33 (2001)、72
- 12) 奥学：日本鉄鋼協会自動車用材料シンポジウム、(2006)、53
- 13) H. Fujikawa and N. Maruyama: Materials Science and Engineering、A120 (1989)、301
- 14) N. Hiramatsu、Y. Uematsu、T. Tanaka and M. Kinugasa: Materials Science and Engineering、A120 (1989)、319
- 15) 濱田純一 (2011). ステンレス鋼の用途 (1) エキゾーストマニホールド、細井祐三 (監修) ステンレス鋼の化学と最新技術、ステンレス協会、p. 223-228
- 16) 樽谷芳男、樋口賢次、松田隆明、宮原光雄、平出信彦：住友金属、47 (1995)、77
- 17) 奥学、中村定幸、平松直人、植松美博：日新製鋼技報、74 (1996)、26
- 18) 藤田展弘、大村圭一、佐藤栄次、山本章夫：新日鉄技報、361 (1996)、20
- 19) 宮崎淳、郡司牧男、吉岡啓一：川崎製鉄技報、25 (1993)、112
- 20) 宮崎淳、石井和秀、佐藤進：川崎製鉄技報、30 (1998)、99
- 21) 奥学：日本金属学会シンポジウム、自動車用材料の高温特性研究の最先端、(2001)、5
- 22) 大村圭一：金属、11 (1992)、9
- 23) N. Fujita、K. Ohmura、T. Suzuki、S. Funaki and I. Hiroshige: Scripta Materialia、35 (1996)、705
- 24) A. Miyazaki、K. Takao and O. Furukimi: ISIJ Int.、42 (2002)、916
- 25) 藤田展弘：新日鉄技報、371 (1999)、30
- 26) 井上宜治、菊池正夫：新日鉄技報、378 (2003)、55
- 27) 神野憲博、濱田純一、平出信彦、林篤剛、矢川敦久、井上宜治、寺岡慎一：自動車技術会論文集、48 (2017)、939
- 28) J.-I. Hamada、N. Kanno、A. Hayashi、N. Hiraide、M. Abe、K. Nishimura、C. Takushima、A. Yakawa and F. Fudanoki: La Metallurgia Italiana、4 (2018)、33
- 29) 神野憲博、濱田純一、金子賢治：鉄と鋼、103 (2017)、539
- 30) 濱田純一、神野憲博、林篤剛、平出信彦、梶村治彦、井上宜治：自動車技術会学術講演会前刷集、46-14 (2014)、13
- 31) 宮崎淳、平澤淳一郎、古君修：川崎製鉄技報、34 (2002)、81
- 32) 富田壮郎、奥学：日新製鋼技報、90 (2009)、30
- 33) 濱田純一、林篤剛、神野憲博、小森唯志、伊藤宏治、福田望、井上宜治：まてりあ、56 (2017)、33
- 34) S. Kobayashi、T. Takeda、K. Nakai、J. Hamada、N. Kanno and T. Sakamoto: ISIJ International、51 (2011)、657
- 35) S. Kobayashi、T. Takeda、T. Oe、J. Hamada、N. Kanno、Y. Inoue、K. Nakai and T. Sakamoto: ISIJ International、54 (2014)、1697
- 36) 小林周平、金子賢治、山田和広、菊池正夫、神野憲博、濱田純一：鉄と鋼、101 (2015)、315
- 37) 山中大輔、小林千悟、濱田純一、神野憲博：鉄と鋼、104 (2018)、385
- 38) 加藤康、宮崎淳、宇城工：JFE技報、20 (2008)、28
- 39) 奥学：日本鉄鋼協会自主フォーラム、ステンレス鋼の高温特性と自動車排気系部材への利用技術、(2003)、24
- 40) 西山佳孝、榎木義淳、松田隆明、木原重光、梶谷一郎：住友金属、49 (1997)、50
- 41) 石井和夫、宗村岳、吉田信行：Honda R&D Technical Review、14 (2002)、1
- 42) 多久島睦子、濱田純一、林篤剛、矢川敦久、寺岡慎一：自動車技術会学術講演会前刷集、20185079 (2018)
- 43) H. Fujikawa and N. Maruyama: Material Science and Engineering、87 (1987)、399
- 44) 平松直人、清水勇、植松美博：日新製鋼技報、68 (1993)、59
- 45) 平出信彦、梶村治彦：材料と環境、58 (2009)、20
- 46) 自動車技術ハンドブック6、自動車技術会、東京、(2006)、93

- 47) 土田剛、田中隆行、田路政浩、中崎信行、水野雅祥、下高敏信：マツダ技報、10（1992）、217
- 48) 宮原光雄、梶村治彦、樋口賢次：日本鉄鋼協会自主フォーラム、ステンレス鋼の高温特性と自動車排気系部材への利用技術、(2003)、10
- 49) J. Hamada, H. Kajimura and N. Morihiro: Proc. of 6th European Stainless Steel Conference, JERNKONTORET, Sweden, (2008)、669
- 50) 濱田純一、森弘尚希、梶村治彦：日本金属学会誌、81（2017）、527
- 51) 渡辺義正、白谷和彦、鈴木誠、岩永省吾、西野和彰：TOYOTA Technical Review、47（1997）、108
- 52) P. O. Santacreu: Temperature-Fatigue Interaction, International Conference on Temperature-Fatigue Interaction, Ninth International Spring Meeting, Vol. 6, Paris, (2002)、361
- 53) B.L. Choi, H. Chang and K.H. Park: International Journal of Automotive Technology、5（2004）、297
- 54) 山口篤史、大西昌紀、工藤裕士、工藤邦人、西田正也、樋口周作：自動車技術会学術講演前刷集、No. 18-07（2007）、21



(2) フレキシブルチューブ

日新製鋼(株) 商品品質・技術サービス部 とみ た たけ お
自動車用鋼板品質・技術サービスチーム(サブリーダー) 富 田 壮 郎

ま え が き

自動車には排ガス規制や燃費規制など地球環境に対する規制の他に、騒音規制など生活環境に対する規制も設けられている。特に騒音は人々の快適な生活環境を阻害する最も重大な要因である。自動車からの騒音は大別してエンジン、吸気系、駆動系、冷却系、排気系からの音やロードノイズなどがあり¹⁾、自動車メーカーは騒音低減の対策を行なっている。

ここでは、排気系で発生する騒音の対策として適用されているフレキシブルチューブの要求特性や適用鋼種について述べる。

◇ フレキシブルチューブの概要

フレキシブルチューブは前述のエキゾーストマニホールドに接続されるフロントパイプとコンバーターケース間に設置される事が多く、主な目的はエンジンからエキゾーストマニホールド・フロントパイプへと伝わった振動を吸収し、排気管から発生する振動と騒音を抑制する事である。

フレキシブルチューブは、写真1に示すように、蛇腹状に加工された二重管の外側に、ステンレスワイヤのメッシュで作られたアウトブレードが全体を覆う構造である。二重管は板厚0.2～0.4mm程度のステンレスの溶接管であり、これを液圧バルジ加工により蛇腹状にしている。



写真1 フレキシブルチューブ外観
(写真提供：日新製鋼(株))

◇ 要求特性

フレキシブルチューブはコンバーター前に位置するため、内部を通る排ガスは比較的高温であり、また床下に設置されるため、耐酸化性或耐高温塩害特性が必要である。また、走行中の振動に耐える高温高サイクル疲労特性や溶接部を含め蛇腹形状に耐える高い成形性(伸び)も要求されるため、一般的にはオーステナイト系ステンレス鋼が使用されている。

1. 高温塩害特性

自動車は世界各国で走行しているが、材料の腐食面から厳しい環境は降雪時期に融雪塩を散布する地域である。なぜなら、これらの地域では走行時の安全性確保のため、道路上に積雪が生じないよう融雪塩を多量に散布するためであり、積雪前に撒かれるため走行時に融雪塩が多量に巻き上げられ、ボディーはもとより床下の排気系部材にも付着する²⁾。一般的に融雪塩には塩化カルシウムや塩化ナトリウムなど塩化物が用いられており、これら塩化物は、鉄やステンレスの腐食を促進させる要因であり、高温環境下ではより早く腐食が進行するため、耐高温塩害性が重視される。

図1に各種ステンレス鋼の飽和食塩水による浸漬-加熱試験結果を示す³⁾。試験は、20℃の飽和食塩水(約26%NaCl)中に5分間浸漬し、450～750℃で2時間加熱、5分間空冷のヒートパターンを10サイクル繰り返す高温塩害腐食試験を行い、腐食減量で評価した。供試材はフェライト系のSUS430LX、オーステナイト系のSUS304、SUS310S、SUSXM15J1である。どの供試材においても、試験温度が高くなるにつれて、腐食減量が増加している。とくに、650℃から750℃にかけて腐食減量は急激に増加しているが、SUSXM15J1は他の供試材よりも減量は半分程度であり、優れた耐高温塩害性を示している。

オーステナイト系ステンレス鋼の耐高温塩害腐

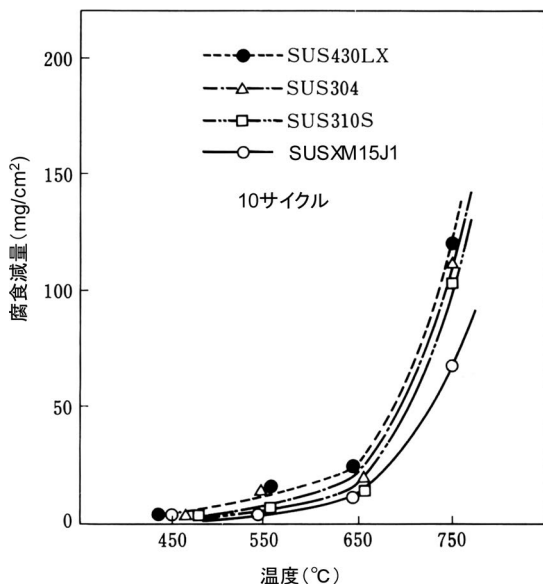


図 1 各種ステンレス鋼の飽和食塩水での浸漬－加熱試験結果³⁾

食性に及ぼす合金元素の影響も種々検討されており、Si、Mo、AlやC低減が有効である⁴⁾。SiやAlは酸化物を形成することで侵食を抑制し、Moは合金界面や粒界に濃化層を形成することで耐高温塩害腐食を改善する。C低減は粒界での Cr_{23}C_6 とNaClの反応を低減させる事で粒界腐食を抑制する。一方、Crは一般的に耐食性を向上させるが、Cr炭化物やCr酸化物がNaClと反応すると、 Na_2CrO_4 を生成し、Crが溶出してしまうため添加は必ずしも有効ではない。フェライト系ステンレス鋼についてもMo添加が有効であることが知られている⁵⁾。

2. その他特性

その他には加工性、高温強度や高温高サイクル

疲労などの耐熱性が要求されるが、一般にオーステナイト系ステンレス鋼は高い伸び値を有しているため、加工性で問題になることは少ない。また、高温強度も高いため、適切な成分設計をしていれば耐熱性は問題ないことが多い⁶⁾。

◇ 使用鋼種

一般的に自動車の排ガス経路部材にはほぼフェライト系ステンレス鋼が適用されているが、耐高温塩害性、加工性の観点からフレキシブルチューブにはオーステナイト系ステンレス鋼が適用されている。

表1にフレキシブルチューブ用ステンレス鋼の一例を示す⁴⁾。これらは実環境（走行地域、材料の環境温度など）によって使い分けられており、一般的な環境であれば、SUS304（18Cr-8Ni）で使用上問題はないが、融雪塩が散布される環境では、SUS302B（17Cr-10Ni-2.5Si）系、SUS315J1（18Cr-9.5Ni-2Si-1.5Cu-Mo,N）系やSUSXM15J1（19Cr-13Ni-Si）系が使用されており、後者ほど高温塩害腐食性が優れる。またさらに耐高温塩害性を向上させた鋼種として、15Cr-15Ni-4Si-1Mo-LC⁷⁾や17Cr-13Ni-2.5Si-2.5Mo⁸⁾などが開発されている。また、これらの鋼種の耐高温塩害腐食性を腐食減量や浸食深さでの評価から、SUS304の寿命を1としたときの相対寿命で示す。Si-Mo系や高合金系では腐食減量でSUS304の約4倍、侵食度で約8倍の耐高温塩害性を有している。

むすび

現在、フレキシブルチューブの適用は減少傾向

表 1 排ガス温度を目安としたエキマニ用ステンレス鋼の適用例⁴⁾

鋼種系	成分系	使用環境	耐高温塩害腐食性*	
			腐食減量	侵食深さ
SUS304系	18Cr-8Ni	一般環境	1	1
SUS302B系	17Cr-10Ni-2.5Si	融雪塩	1.5	—
SUS315J1系	18Cr-9.5Ni-2Si-1.5Cu-Mo,N	融雪塩	—	3
SUSXM15J1系	19Cr-13Ni-3.5Si 19Cr-13Ni-3.2Si-0.1Nb	融雪塩	2	4
Si-Mo系	15Cr-15Ni-4Si-1Mo-LC	融雪塩	4	8
高合金系	17Cr-13Ni-2.5Si-2.5Mo	融雪塩	4	8

*：SUS304の寿命を1とした時の腐食減量、浸食深さから評価した相対寿命

にあるが、中型・大型車では振動吸収性に優れるフレキシブルチューブのニーズが依然としてある。今後も排ガス・燃費規制対応のために、排ガス温度は上昇すると考えられ、フレキシブルチューブの環境温度も上昇することから、さらに高温での塩害性に優れた材料が要求される可能性もある。また、最近ではEVやHEVの普及により、走行時の振動や車内の静音性について既存のエンジン車への要求も高まりつつある。今後、振動、騒音への一方策としてフレキシブルチューブが見直されてくると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 大野進一：騒音制御、16 (1992)、2
- 2) 坂内恒雄：表面技術、46 (1995)、13
- 3) 平松直人、植松美博、田中照夫、衣笠雅普：日新技報、60 (1989)、11
- 4) 川畑幸寛：日本金属学会シンポジウム (自動車用材料の高温特性研究の最先端)、(2001)
- 5) 加藤康、平野正大、宇城工：JFE技報、20 (2008)、33
- 6) 細井祐三監修：ステンレス鋼の科学と最新技術、(2011)、228
- 7) 樽谷芳男、宮原光雄、橋詰寿伸、樋口賢次、富士川尚男：住友金属、45 (1993)、92
- 8) 平松直人、清水勇、植松美博：日新技報、68 (1993)、59



(3) 触媒コンバーター

JFEスチール(株) スチール研究所 主任研究員 水谷 映斗

まえがき

自動車エンジンから排出されるガスに含まれる有害成分（CO：一酸化炭素、NO_x：酸化窒素、HC：炭化水素）を、触媒と接触させて無害化する部品が触媒コンバーターである。触媒コンバーターの内部は高温の排出ガスに常時晒され続けており、触媒と排出ガスとの反応による発熱も生じる。自動車の走行条件によっては内部温度が1000℃を超えることもあるため、触媒コンバーターに用いられるステンレス鋼には、自動車の排気系部材の中でも、特に優れた耐熱性が要求される。本稿では、触媒コンバーターに用いられるステンレス鋼を紹介する。

◇ 触媒コンバーターの構造

触媒コンバーターはエキゾーストマニホールドからマフラーまでの間に設置され、排出ガス中に含まれる有害成分を浄化する働きを持つ部品である。触媒コンバーターは主に、ステンレス鋼板製の「シェル」の内部に、ハニカム構造の「触媒担体」が挿入された構造となっており、それぞれに異なる材料が用いられる。表1に、触媒コンバーターに用いられる材料と必要特性を示す。触媒コンバーターの外殻となるシェルには、耐熱性を高めたフェライト系ステンレス鋼板が用いられる。シェルの内部に設置され、貴金属触媒を担持させる触媒担体には、セラミック担体とメタル担体と

の二種類がある。一般的に、四輪車の触媒担体はセラミック製が主流であり、メタル担体は高出力及び低圧損が要求される高性能車両での使用が多い。現在、世界で生産されるガソリン車のうち約1割にメタル担体が搭載されていると考えられる。一方、二輪車の触媒コンバーターは、その構造上、四輪車の触媒コンバーターに比べて衝撃や振動を受けやすいため、セラミック担体よりも耐衝撃性に優れたメタル担体が用いられる。二輪車の触媒担体は、そのほぼ全てがメタル担体である¹⁾。

本稿では、触媒コンバーターのシェルおよび、メタル担体に用いられるステンレス鋼について述べる。特に、メタル担体に用いられる高Al含有フェライト系ステンレス鋼は、高温で表面にAl₂O₃皮膜が生成する特徴的な材料であるため、紙面の多くを割いて解説する。一方、シェルに用いられる材料は、エキゾーストマニホールド用材料と重複するものが多いため、詳しくはエキゾーストマニホールド用材料の解説を参照して頂きたい。

◇ シェル

触媒コンバーターは、エキゾーストマニホールド直下や、車体の床下に設置されるため、高温や激しい振動にさらされる。従って、触媒コンバーターシェルに使用される材料には、高温強度、高温疲労特性、耐酸化性、耐高温塩害腐食性が求められる。また、エンジンの起動・停止に伴い加熱冷却が繰り返されるため、熱疲労特性も重要とな

表 1 触媒コンバーターに使用される材料および要求特性

部品	必要特性	材料（代表成分）
シェル	高温強度 高温疲労特性 耐酸化性 耐高温塩害腐食性 熱疲労特性	SUS429類似鋼（14Cr-1Si-Nb鋼など） SUS436L（18Cr-1Mo-Ti、Nb、Zr鋼） SUH409L（11Cr-Ti鋼） SUS430J1L（19Cr-Nb鋼）
触媒担体	耐酸化性 耐高温変形性	SUH21（18Cr-3Al鋼） 20Cr-5Al鋼 セラミック

る。このような背景から、触媒コンバーターシェルにはNbを添加して高温強度を高め、Siを添加することで耐酸化性を向上させたSUS429の類似鋼種（14Cr-1Si-Nb鋼など）が用いられることが多い。また、耐高温塩害腐食性が重視される場合には、Moを添加することで耐食性を高めたSUS436L（18Cr-1Mo-Ti、Nb、Zr鋼）が使用される。その他、使用環境に応じて、SUH409L（11Cr-Ti鋼）、SUS430J1L（19Cr-Nb鋼）などが用いられている。

◇ 触媒担体（メタル担体）

1. 高Al含有フェライト系ステンレス箔

四輪車の触媒担体はセラミック担体が主流であるが、板厚を薄くすることで排出ガスの圧力損失を低減できる、熱容量が小さいため素早く触媒反応速度まで昇温できるといった利点から、メタル担体の適用が広がっている。また、二輪車の触媒担体には、セラミック担体よりも耐衝撃性に優れたメタル担体が適用されている。図1および図2に、メタル担体の外観²⁾およびメタル担体の構造模式図¹⁾を示す。図1中のメタル担体は、内部の構造がわかるようカットされたものであり、図1

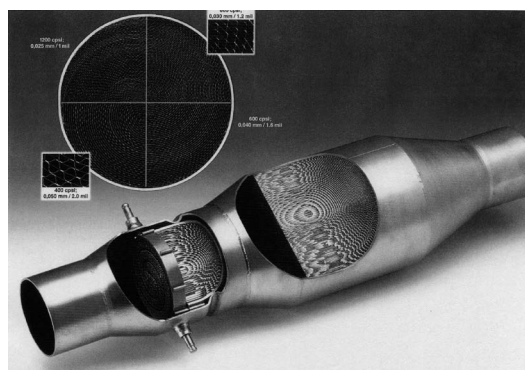


図 1 メタル担体の外観
(写真提供：Continental Emitec GmbH)

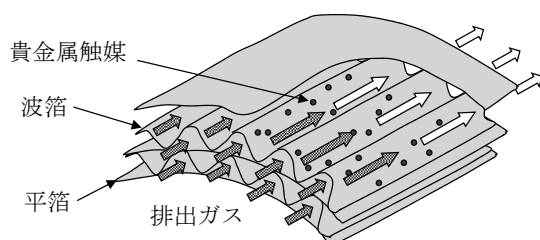


図 2 メタル担体の構造模式図

中の左上にはメタル担体の断面図が示されている。メタル担体には、厚さ30～100 μ m程度のステンレス箔が用いられる。波付加工を施した波箔と、加工を施していない平箔とを重ね合わせ、これらを巻き取ることでハニカム構造とし、表面には貴金属触媒を担持させる。この装置内を排出ガスが流れ触媒と接触することで、ガス中の有害成分が浄化される仕組みである。

触媒コンバーターの内部は、排出ガス自体の温度に加えて、触媒とガスの反応による発熱も生じるため、1000℃を超える高温となる場合もある。さらに、急激な温度変化も生じるため、メタル担体に用いられるステンレス箔には極めて優れた耐酸化性が求められる。また、繰り返しの加熱冷却を受けた際の変形が小さいこと、表面に生成した酸化皮膜が剥離しないことも必要である。これらの厳しい要求を満たすため、触媒担体には、ステンレス鋼にAlを3%以上含有させたSUH21（18Cr-3Al鋼）や、20Cr-5Al鋼に代表される、高Al含有フェライト系ステンレス鋼が用いられている。

通常のステンレス鋼は、高温で酸化させると表面にCr₂O₃を主体とするCr酸化皮膜が生成する。このCr酸化皮膜が下地合金中のFeの酸化を抑制するため、ステンレス鋼は優れた耐酸化性を有する。一方、触媒コンバーター内部のような1000℃を超える過酷な環境においては、Cr₂O₃皮膜の耐酸化性は十分でない。そこで、メタル担体には、Alを添加することで耐酸化性を大幅に高めたフェライト系ステンレス鋼が用いられる。ステンレス鋼にAlを3%以上含有させると、Alが優先的に酸化され、Al₂O₃を主体とする緻密な酸化皮膜が生成ようになる。このAl₂O₃皮膜は、Cr₂O₃皮膜に比べて高温での安定性に優れており、成長速度も遅いため、ステンレス鋼の表面に生成すると極めて優れた保護性を発揮する。しかし、Al₂O₃皮膜はCr₂O₃皮膜に比べて下地合金との密着性に劣っており、純粋なFe-Cr-Al合金に生成するAl₂O₃皮膜は高温からの冷却時に容易に剥離してしまう。そこで、Al₂O₃皮膜の耐剥離性向上のために、Y、Zr、La、HfまたはTiなどの酸素活性元素（Reactive Elements: REs）が添加された高Al含有フェライト系ステンレス鋼が、メタル担体用材料として適用されている³⁾。

2. 高Al含有フェライト系ステンレス箔の高温酸化挙動

一般的に、 Al_2O_3 皮膜が生成するステンレス箔の高温酸化は、次の3段階で進行することが知られている³⁾。第1段階：銅板表面に Al_2O_3 皮膜が形成する。箔中のAlが枯渇した時点でこの段階が終了する。第2段階：Oが Al_2O_3 皮膜中を内方に拡散して、 Al_2O_3 /下地合金界面で Cr_2O_3 皮膜が生成する。第3段階：箔中のCr濃度が低下し、急激なFeの酸化が生じる（Break away）。生成する酸化物は脆く破壊しやすいものとなる。

メタル担体用材料は、使用中に酸化量が第2段階以降に到達しないよう設計される必要がある。そこで、これまでに第1段階の継続時間を延長するための技術開発が多く行われてきた。第1段階の継続時間を延長するためには、Al含有量を増やすことが効果的であるが、Al含有量が6%を超えると鋼の靱性が低下して、通常の圧延法による箔材の製造が困難となる。そこで、Alコーティング等によってAl含有量を大幅に高める方法⁴⁾や、

3. 酸素活性元素（REs）添加の効果

高Al含有フェライト系ステンレス鋼にREsを添加すると、高温で生成する Al_2O_3 皮膜の密着性が改善されるとともに、その成長速度が低減される。例えば、Laを添加した20Cr-5Al鋼の第1段階継続時間に及ぼすTiおよびZrの影響を調査した結果が報告されている⁵⁾。Tiは添加量の増加に伴って第1段階の継続時間が減少するが、Zrは0.3%程度の添加によって酸化速度が低下し第1段階の継続時間が延長されることが示されている。

REsの添加によって、 Al_2O_3 皮膜の耐剥離性が向上するメカニズムとしては、REsの酸化物が酸化皮膜/下地合金界面に生成することで保護皮膜を楔止め（keying）したり、ピン止め（pinning）したりする機構が提案されている⁶⁾。また、REsの添加によって、 Al_2O_3 皮膜の成長速度が低減されるメカニズムとしては、例えば鋼中に添加されたLaおよびZrが Al_2O_3 皮膜の結晶粒界に濃化することで、結晶粒界上のOの拡散速度を低下させる可能性が指摘されている⁷⁾。しかしながら、これらのメカニズムについては不明な点が多く、未だ統一的な見解は得られていない。

むすび

自動車の触媒コンバーターには、耐熱性に優れたフェライト系ステンレス鋼が用いられている。特に、メタル担体に用いられる高Al含有フェライト系ステンレス箔は、表面に Al_2O_3 皮膜が生成する特徴的な材料である。本材料は、1000℃超の過酷な高温環境にも耐えられるよう、様々な技術によって耐酸化性が高められている。

参考文献

- 1) 福田國夫、石井和秀：ふえらむ、12（2007）、23
- 2) Continental Emitec GmbH 製品カタログ
- 3) ステンレス鋼の科学と最新技術（2011）細井祐三監修、ステンレス協会
- 4) A. Andoh, S. Taniguchi and T. Shibata: Oxidation of Metals, 46（1996）、481
- 5) 石井和秀、河野雅昭、佐藤進：川崎製鉄技報、30（1998）、104
- 6) 齊藤安俊、阿竹徹、丸山俊夫 訳編：金属の高温酸化（1986）、内田老鶴圃
- 7) 石川伸、河野雅昭、前田千寿子、石井和秀、下村順一、吉岡啓一：日本金属学会誌、60（1996）、463

(4) エンジンバルブ

東北特殊鋼(株) すが わら せい じ
技 術 部 管 原 誠 司

ま え が き

昨今の地球温暖化防止に端を発し、各国で厳しさを増している温室効果ガスの排出規制に対応する必要があり、特に自動車用エンジンでは低燃費化を図るために過給ダウンサイジング、ハイブリッド化等の技術革新が進んでいる。本稿ではエンジンバルブ用鋼で必要とされる特性とトレンドについて紹介する。

◇ エンジンバルブ用鋼の種類と特徴

JISで規定されている耐熱鋼のうち一般的にエンジンバルブ用鋼として使用されている鋼種を抜粋して紹介する(表1)。主にマルテンサイト系耐熱鋼は吸気バルブに、オーステナイト系耐熱鋼は排気バルブに、耐食耐熱超合金([Ni]基超合金)は特に高温環境となる排気バルブに使用されている。

上記の他にもNCF751対比低[Ni]鋼種、[Fe]基の高強度鋼等、各自動車メーカーやバルブメーカーからの要求に対応した鋼種の開発が素材メーカーで行われてきた。近年は顧客の生産拠点のグロー

バル展開や素材の現地調達進展により、調達性、コスト、使用方法の改善等の理由から素材メーカー独自の開発鋼よりも表1に示すような標準的で入手性に優れた鋼種が選択される傾向にある。

◇ エンジンバルブ用鋼の要求特性とトレンド

エンジンバルブは連続的に高温になる燃焼室内の気密性を確保することが重要な特性になるが、その他にも部位毎に要求される特性が存在する(図1)。また、吸気バルブと排気バルブへの要求の違いとして高温強度や耐食性が挙げられる。これは吸気バルブが低温の混合気にさらされるのに対し、排気バルブは燃焼直後の高温の排気ガスにさらされることに起因する。

耐熱要求温度としては吸気バルブ~350℃に対し、排気バルブ~800℃前後となる報告例があり、この温度での高温強度を満たすためにマルテンサイト系耐熱鋼とオーステナイト系耐熱鋼、[Ni]基超合金の使い分けが行われている。

耐食性としては吸気バルブが燃焼前の燃料や大気に対する耐食性であるものに対し、排気バルブ

表 1 エンジンバルブに使用される主な耐熱鋼

鋼種	概略成分	用途	特長
SUH1	0.4C-3Si-9Cr	吸気	耐酸化性に優れる。焼入れ性に優れ、海外メーカーでの採用例が多い。
SUH3	0.4C-2Si-11Cr-1Mo	吸気	低廉排気バルブにも使用される。SUH1より耐食性、耐酸化性に優れる。
SUH11	0.5C-1.5Si-9Cr	吸気	SUH1の靱性を改善し同等の強度が得られる。日系メーカーでの採用例が多い。
SUH35	0.5C-9Mn-21Cr-4Ni-N	排気	自動車用として広く使用される。
SUH37	0.2C-21Cr-11Ni-N	排気	耐酸化性に優れる。鉄道用ディーゼルエンジン等に使用される。
SUH38	0.3C-高P-21Cr-11Ni-2Mo-B	排気	SUH35対比高温強度に優れる。
NCF751	Ni (>70)-15Cr-7Fe-1.2Al-2.3Ti	排気	熱間強度が高く、熱及び強度負荷の特に高いエンジンに使用される。
NCF80A	Ni-19Cr-1.4Al-2.2Ti	排気	熱間強度が高く、熱及び強度負荷の特に高いエンジンに使用される。耐硫化腐食性に優れるため船用エンジンバルブにも使用される。

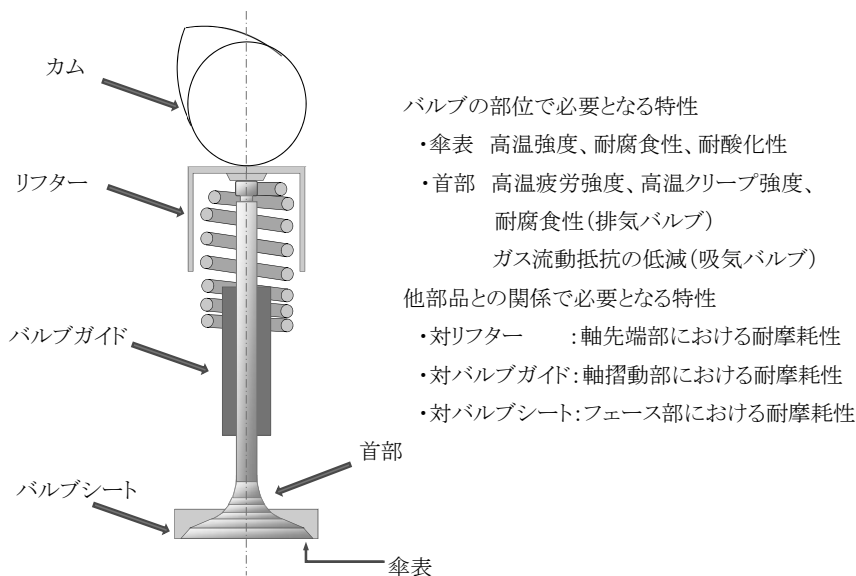


図 1 エンジンバルブの要求特性

では燃焼生成物に対するものである。燃焼生成物は使用する燃料に由来し、[S]、[V]、[Pb]等の腐食性酸化物による腐食に耐える必要がある。

これらの要求に加え、低燃費化を進めるためにエンジンバルブに対して高温化、高耐食化、軽量化等の更に厳しい特性が要求されている。

①高温化対応

低燃費化の手段として熱効率の向上を考えた場合、高出力・低燃費を両立できる理論空燃比での運転領域の拡大が考えられるが、これは燃焼温度の上昇をもたらすため排気バルブへの耐熱要求温度の上昇につながる。また、同様に過給ダウンサイジングを考えた場合、減少した出力を補うため過給機の使用が行われるが、これも排気バルブへの耐熱性の要求レベルが高まることにつながる。

このため高温強度の高い材料、または傘部から軸部に熱を逃がしやすい熱伝導率の高い材料が必要となる。従来SUH35の耐熱温度よりも高温で使用する場合、NCF751等の[Ni]基超合金を採用するのが一般的であり、競技用などの特殊用途では軸部分を中空化し、[Na]封入することで冷却を強化する手法がとられてきた。現在ではバルブメーカーにより現実的なコストで製造可能となり、中空バルブの採用が増える傾向にある。この技術により高価な[Ni]基超合金ではなく[Fe]基の

鋼種を使用した高温化対応が普及していくと考えられる。

②高耐食化対応

低燃費化の手段として燃料制御のためにEGRの導入量が増える傾向がある。この技術では排気ガスの一部が吸気マニホールドに戻されるため吸気バルブの耐食性の要求レベルが高まることにつながり、耐食性の高い素材の要求が強まると考えられる。

③軽量化対応

エンジンバルブの軽量化は従来、高回転高出力化が主な目的であったが、近年はフリクションを減らし、燃費改善を図ることを目的としている。強度を維持しつつ軽量化を行うには、より強度の高い素材を使用して軸径を細くする、あるいは[Ti]合金等の軽量な素材を採用するのが一般的である。しかし、いずれも素材が高価になる上、調達性を考慮すると高温化対応と同様に、SUH35等の一般的な素材を用いた中空化が進むものと考えられる。

◇ エンジンバルブの製造方法

エンジンバルブは加熱、鍛造による成形、熱処理を実施し、機械加工により製造する。鍛造による成形方法としては、大別するとバルブ軸径とほぼ同径の素材の片端を通電加熱し、材料端部を団

子形状にしたのち傘部の鍛造を行うUPSET法と、素材全体を加熱し、バルブ軸部を押出したのち傘部の鍛造を行う熱間搾出法の2種類の工法で製造されている。前者はバルブの傘径と軸径の比を大きくすることができる、後者は生産性が高い等のメリットが挙げられる。但し、前述したような要求特性を全て単一の素材だけで満たすことは難しい為、用途により2種類の工法の使い分け、及び部分的に他の素材を組み合わせる製法も行われている。

①軸先端部における耐摩耗性向上

オーステナイト系耐熱鋼で製造したエンジンバルブの先端部にマルテンサイト系耐熱鋼のチップ材を溶接し、チップ材を焼入れして高硬度化を図る。

②軸摺動部における耐摩耗性向上

傘部はオーステナイト系耐熱鋼や[Ni]基超合金、軸部はマルテンサイト系耐熱鋼として溶接したエンジンバルブ。表1で示したようにオーステナイト系耐熱鋼や[Ni]基超合金よりもマルテンサイト系耐熱鋼は合金成分が少ないためコストダウンにもつながる。

③フェース部における耐摩耗性向上

エンジンバルブ成形後にステライトなどの盛金をバルブシートとの接触面に実施し耐熱性、耐摩耗性、高温硬度の向上を図る。

④高温化対応、軽量化対応

一例としてはエンジンバルブ成形後に軸部（場合によっては傘部まで）にガンドリル等により孔をあけ、[Na]を封入して溶接する中空バルブが挙げられる。これは運転状態では[Na]が液化し、バルブの往復運動により空孔内を対流することで高い冷却性能が得られる。最近では鍛造初期に孔となる部分を予め成形し、以降押出し加工により軸部をパイプ状に製造することによりガンドリル等による孔開けを必要としない中空バルブの製造方法が確立されている。

◇ エンジンバルブ用素材の製造工程

基本的な素材の製造工程を説明する。

[Fe]基のマルテンサイト系・オーステナイト系耐熱鋼は大気溶解、分塊、圧延（線材又は棒材）、熱処理（マルテンサイト系は焼鈍、オーステナイト系は固溶化）を行う。[Ni]基超合金は[Al][Ti]等の酸化物を作りやすい成分が多いため溶解は真空溶解炉が用いられる。

熱処理後、線材は冷間引拔、表面研削が行われる。[N]を含有するオーステナイト系耐熱鋼の場合、冷間加工歪による応力腐食割れを回避するため、冷間引拔後に応力除去のための熱処理とそれに伴う曲り矯正が必要となる。棒材は表面切削、必要により表面研削を行う仕様もある。

内質に関しては、UPSET法では加熱されるのは傘部のみで軸部は素材硬さの影響が残存するため、特に吸気バルブでは冷間加工歪により素材を硬くしておく必要がある。熱間搾出法では搾出前に素材全体を高温に加熱すること、及び軸部、傘部共に強加工されるので安定した加工性を得るために結晶粒度が均一であることが必要となる。

むすび

燃焼制御技術の高度化により、燃焼温度は排気ガス成分を考慮したより適正温度に制御されるようになると考えられる。

一方、エンジンバルブ用鋼は[Fe]基、[Ni]基とも要求温度に耐えうる鋼種は既に存在しているが、先に述べたように独自開発鋼や高価な鋼種よりも、団体規格鋼等の入手しやすい標準的な鋼種が選択される傾向にある。

したがって、今後は標準的な鋼種を、適正な熱処理やバルブ構造の工夫等により材質の本来持っている特性を如何に使いきるかにバルブメーカー及び素材メーカーの技術が問われることになるものと考えている。

(5) EGR

日新製鋼(株) 商品品質・技術サービス部 富田 壮 郎
自動車用鋼板品質・技術サービスチーム(サブリーダー)

まえがき

自動車には排出ガス規制や燃費規制などに対応するために種々の対策を盛り込んでおり、様々な部品が適用されている。ディーゼル車ではコモンレール式燃料噴射装置、DPF (Diesel Particular Filter) や尿素SCR (Selective Catalytic Reduction) などがあるが、ここでは、ディーゼル車およびガソリン車に適用されているEGRについての要求特性や適用鋼種について述べる。

◇ EGRの概要

EGRはExhaust Gas Recirculationの頭文字であり、日本語では排ガス再循環と表される。その名の通り、排ガスを再度エンジンへと送り込む部品である。EGRは当初排ガス対策として適用されていたが、燃費対策にも有効であることから現在では多くの自動車に搭載されている。

一般にエンジンの燃焼効率を高めると、燃費や出力は向上するが排ガス中のNOxが上昇してしまう。そこで、空気よりも酸素濃度が低い排ガスを再度エンジン燃焼室へ戻すことで燃焼温度を下げNOxを抑制できるため、EGRが活用されている。また、排ガスにより酸素量が少なくなるため、低負荷時でもスロットルバルブを開くことができポンピングロスを低減できるため、燃費改善に寄与する。

EGRは構造面から、内部EGRと外部EGRの2種に分類される¹⁾。内部EGRは可変バルブタイミング機構を利用し、排気バルブの制御により吸気時に排ガスを取り込む手法であり、燃焼室内で排ガスを循環させている。一方、外部EGRはエキゾーストマニホールドへと排出されたガスを主排気管から分岐させた管により吸気側へとガスを循環させる手法である。外部EGRでは、分岐させた管の途中に、冷却水と排ガスの熱交換器 (EGRクーラー) を付与したクールドEGRと付与していないタイプがある。EGRクーラーにより排ガス温度を低下

せると、ガスの充填効率が上がり、ノッキングが起きにくくなるなど利点も多く、現在では適用が拡がりつつある。また、設置位置によりターボ前など排ガス上流側からガスを取り出すHPL (High Pressure Loop) とターボ後の排ガス下流側から取り出すLPL (Low Pressure Loop) のタイプに分けられ、目的に合わせて使い分けており、これらを組み合わせたシステムも開発されている²⁾。

内部EGRはエンジン内の機構であるため、以後は外部EGRについて述べる。

◇ EGRの構造

EGRおよびEGRクーラーの外観を写真1に示す。EGRはパイプのみであり両端にフランジを介して排気管や吸気側に接続される。振動や熱疲労の観点から、パイプの一部を蛇腹状にしたEGRも適用されている。一方、EGRクーラーは構造面から、チューブタイプとプレートタイプに大別される。チューブタイプは、クーラー内部にチューブが1本ないしは複数本あり、チューブ内部に排ガスが、チューブ外側に冷却水が流れる。チューブは単純なストレート形状のものもあれば、より冷却水と接触するように凹凸やツイスト形状を付与させたパイプもある。プレートタイプは、フィンとよばれる薄い板を2枚のチューブで挟みこんだフィン/チューブ部品を複数枚積層し、シェルで覆う構造である。両端にはヘッダー、フランジが取り付けられ、ヘッダーを介してフィン/チューブ部品内を排ガスが通り、シェルに取り付けられたパイプを介してフィン/チューブとシェル間を冷却水が流れる。フィンは熱交換率を左右する重要な部品であり、排ガスが効率的に熱交換できる流れになるよう、オフセット形状³⁾やVGフィン⁴⁾など様々な形状が提案されている。

◇ 要求特性

外部EGRの使用環境は排ガス部材とほぼ同様で

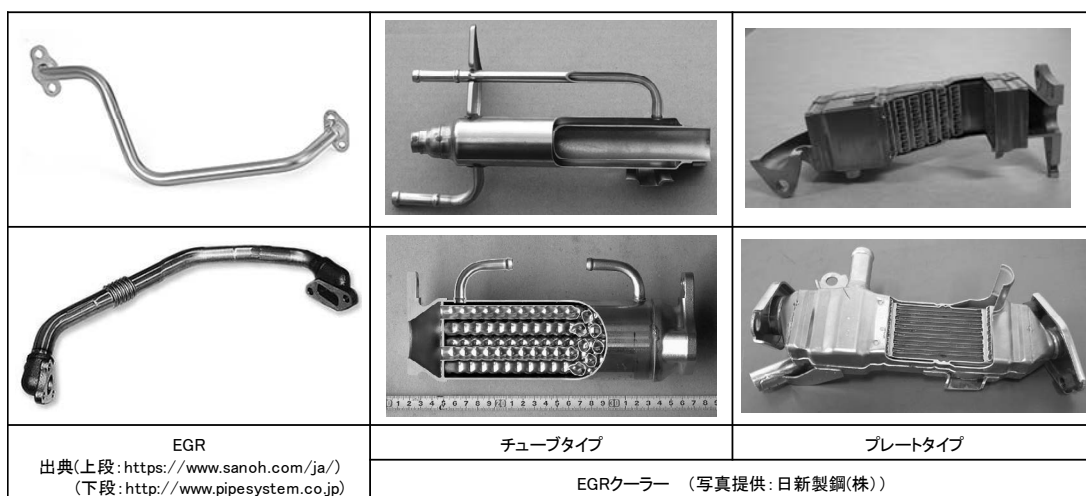


写真1 EGRおよびEGRクーラー外観

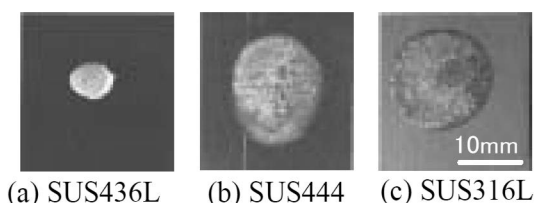
あり、部品は外部に曝されているため耐塩害性が、内部は高温の排ガスが通るため耐酸化性、エンジンの始動停止によって生ずる結露に対する耐硫酸腐食性などが要求される。これらに加え、EGRクーラーは一般的にろう付けで製造されるため、ろう付け性も必要な特性である。

1. ろう付け性

EGRクーラーは写真1で示したように、フィンをチューブに接合する必要があるが、フィンは0.1～0.2mm程度と薄く、溶接での接合は困難であるためろう付けが用いられている。ろう付けは接合方法の一種で、素材よりも融点の低い合金（ろう材）を溶融させ部品を接合する方法である。ろう付けは母材をほとんど溶融させないため薄板の接合に適しており、接合させたい隙間にろう材が流れるため複雑な形状でも接合ができる利点がある。

ろう材には銀、銅、アルミニウムやニッケルなど種々あるが、EGRクーラーの製造にはニッケルろうが広く用いられている。ニッケルろうはJISでは8種類登録されているが、ろう材メーカーは低融点化やぬれ性を向上させた独自のろう材も開発しており、部品形状などを考慮し適正なろう材を選定している。

また、ろう付け方法は大気ろう付けと雰囲気ろう付けに大別でき、大気ろう付けは接合面を局所的に加熱するのに対し、雰囲気ろう付けは炉に部品ごと挿入し、全体加熱する。EGRクーラーは雰



(a) SUS436L (b) SUS444 (c) SUS316L

写真2 ニッケルろう付け後のろう拡がり性⁶⁾

囲気ろう付けで製造されるが、真空中、水素含む還元性雰囲気や不活性ガス雰囲気下⁵⁾で、各ろう材のろう付け温度に順じて処理される。

ろう材が溶融する温度まで到達すると、ろう材が毛細管現象により接合部へ流れ込み、ろう材と母材間との界面反応により接合される。この時、ろう材の流れやすさが重要となる。写真2にステンレス鋼のニッケルろう拡がり（流れ）性について示す⁶⁾。SUS436Lは、SUS444やSUS316Lに比べてぬれ拡がり面積が小さく、ニッケルろう付け性に劣る。一方、SUS444はSUS316Lと同等のろう付け性であるといえる。SUS436Lが他の材料よりろう付け性が劣るのは含有されるTi量の影響であり、ろう付け時にTiを主体とする厚い酸化膜が表層に生成するためと考えられている。SUS444やSUS316Lも酸化皮膜が形成されるが、いずれもFe、Cr酸化物で構成される約5nm薄い酸化皮膜は、ろう付けの際に還元されることから、ろう付け性に影響していないと思われる。

2. その他特性

その他には耐高温酸化性、耐硫酸腐食性などが要求されるが、いずれも排ガス部材として実績のある鋼種であれば問題になる事は少ない。但し、硫黄や塩素成分が高い燃料を使用した場合、フェライト系では耐食性が不十分となるため、オーステナイト系の高耐食鋼までグレードを上げる必要があると考えられる。

◇ 使用鋼種

表 1 に EGR 用ステンレス鋼の一例を示す。チューブタイプでは、オーステナイト系が多く、SUS304、SUS316L、SUS890Lなどが適用されている。プレートタイプではオーステナイト系に加え、コストダウンの観点からフェライト系の適用が広がっている。オーステナイト系はチューブタイプと同鋼種であり、フェライト系は耐食性やろう付け性の観点から、フィンやチューブにはSUS444系、シェルやヘッダーにはSUS430J1L系が適用されている。フェライト系は、オーステナイト系に比べて熱膨張率が小さいことから、小型化の要求が高く、複雑な構造となることが多いガソリ

ン車のEGRクーラーに適用されている。今後は更なる軽量化のために、薄肉化が進んで行くと思われる。

むすび

排ガス、燃費の両面に有効なEGRやEGRクーラーはディーゼル車のみならずガソリン車にも搭載される重要な部品となってきている。今後も排ガス、燃費対策のニーズは続くと思われるため、適用車種は広がっていくと考えられる。今後は、使用環境を考慮しつつコストも加味した材料開発が必要であろう。

参考文献

- 1) 高根英幸：日経Automotive、3（2016）、76
- 2) 貴島賢、伊原美樹、堀内裕史、庄山幸司、岡崎徹矢：日野技報、56（2005）、49
- 3) https://www.denso.co.jp/ja/news/event/tradeshows/2015/files/aeel5_diesel.pdf
- 4) 内田吉宗、田坂将次、原潤一郎：Calsonic Kansei technical review 9（2013）、26
- 5) 渡邊憲一：工業加熱、53（2016）、1
- 6) 溝口太一郎、堀芳明、原田和加大：材料とプロセス、24（2011）、977

表 1 排ガス温度を目安としたエキマニ用ステンレス鋼の適用例

EGRタイプ	部位	鋼種	板厚
チューブ	チューブ	γ : SUS316L、SUS890L	1.0mm
	シェル	γ : SUS304	1.2～1.5mm
プレート	フィン、チューブ	γ : SUS316L、SUS304 α : SUS444系	フィン : 0.1～0.2mm チューブ : 0.4mm
	シェル	γ : SUS304L、SUS304 α : SUS430J1L	1.2～1.5mm

(6) ターボチャージャー

大同特殊鋼(株) 研究開発本部 特殊鋼研究所 耐食・耐熱材料研究室 す み よし のり 鷲 見 芳 紀

まえがき

近年、世界的な自動車需要は増加の一途を辿っており、それに伴うCO₂排出量の増加を抑制するために、世界各国で自動車の排気ガス規制の強化が進められている。各自動車メーカーは規制に対応するための様々な技術開発を行なっているが、欧州では排気量、気筒数を減らし小型化したエンジンにターボチャージャーなどの過給器を組合せ、出力を従来の大排気量自然吸気エンジン並に維持しながら低排出ガス化を達成するダウンサイジングコンセプトが主流となっている¹⁾。もともとはターボチャージャーと相性の良い直噴ディーゼルエンジンにて普及してきたが、近年ではガソリンエンジンでも直噴化が進み、ガソリンエンジンのダウンサイジング+ターボ搭載が急速に進んでいる。

ターボチャージャーは主にタービン部、コンプレッサー部およびそれらを繋ぐ軸と軸受を納めるベアリング部で構成される。ターボチャージャーは、エンジンから排出される高温の排気ガスでタービンを高速回転させ、その力で吸気側のコンプレッサーを回転させて燃焼室に圧縮した空気を送り込む装置である。

コンプレッサーは外気温程度の空気を取り込み圧縮する部分で、最高でも200℃程度の温度環境である為、軽量性に優れるアルミニウム合金が採用される。また、タービンとコンプレッサーを繋ぐ軸を保持するベアリング部は潤滑油が絶えず循環して冷却されており、こちらも温度環境としては耐熱材料が要求されるほどではない。

一方で、タービン部は高温の排気ガスに直接曝されるため、構成する部材は高温に耐えられる耐熱材料が選択される。ディーゼルエンジンでは排気ガス温度は最高850℃程度だが、ガソリンエンジンでは950℃程度とより高温である。さらに、省燃費性能を向上させるため、最新のガソリンエンジンの直噴ターボでは排気ガス温度が上昇傾向であ

り^{2)、3)}、最高で1050℃⁴⁾まで到達している。

本稿では、ターボチャージャーの構成部品のうち、特に耐熱性を要求されるタービン側で使用される耐熱材料について、種類と特徴を解説する。

◇ タービン部に使われる材料

タービン部は多くの部品で構成され、代表的な部品としてタービンホイール、タービンハウジング、可変機構、ウェイストゲートバルブが挙げられる。また、ターボチャージャーとエキゾーストマニホールドの連結部では高温に対応したメタルガスケットと締結用の耐熱ボルトが使用される。表1に代表的なタービン部品に使用される耐熱材料と必要特性を示すが、ターボチャージャーではオーステナイト系ステンレス鋼をはじめ、耐熱鋼やNi基超合金などが使用される。

1. タービンホイール

タービンホイールは、高温の排気ガスによって毎分20万回転近い高速で回転し大きな遠心力が作用するため、優れた高温クリープ特性、疲労特性が要求される。表2にタービンホイール用材料の化学組成例を示す。いずれもNi基鑄造合金であり、高温強度を向上させるために強化相としてNi₃Al

表 1 タービン部に使用される主要な材料

部品	必要特性	主な使用材料
タービンホイール	クリープ強度 疲労強度 耐酸化性	Alloy713C GMR235 MarM246
タービンハウジング	熱疲労強度 耐酸化性 切削加工性	ニレジスト フェライト系鑄鋼 オーステナイト鑄鋼
可変機構	高温強度 耐酸化性 耐摩耗性	SCH21 SCH22
ウェイストゲートバルブ	高温強度 耐酸化性 耐摩耗性	SUS310S SCH22 Alloy713C
メタルガスケット	耐へたり性 冷間加工性	SUS301 SUS310S Alloy718

(γ') や M_6C 、 $M_{23}C_6$ などの炭化物を利用している。高温での強度を確保するため、これらの強化相の割合が非常に多いことから、一般的な熱間加工や切削加工は困難である。さらに、タービンホイールは複雑な形状をしているため、ロストワックスを用いた精密鑄造によって製品が作られている。最も一般的に使用されているのは Alloy713C であるが、比較的低温用途には Fe を含有し低廉な GMR235 があり、使用環境が高温の場合や、高い加給圧を求める用途では MarM246 が使用されている。近年はガソリンターボの高温化指向が強く、MarM246 の使用が増えている。他には、比重が Ni 基超合金の約 1/2 と軽量かつ Alloy713C 以上の比強度を有する TiAl 基合金も開発、実用化されている^{5)、6)}。

2. タービンハウジング

タービンハウジングはタービンホイールに排気ガスを導く役目をしており、直接排気ガスと接するために、ディーゼルエンジンでは 800℃ 前後、ガソリンエンジンでは 1000℃ 前後の高温となる。また、ハウジングの外側は時には氷点下の外気に曝され、エンジンの運転停止や車の加減速にともない温度の昇降が頻繁に起こるため、熱膨張、収縮の繰り返しによる熱疲労や繰り返し酸化が問題となる。また、内部に渦巻状の空洞を持つ複雑な形状のため、製法としては鑄造が一般的である。表

表 2 主なタービンホイール用材料 (mass%)

合金名	Ni	Cr	Mo	W	Nb	Al	Ti	他
Alloy713C	Bal.	12.5	4.0	—	1.8	6.0	0.7	C、B
GMR235	Bal.	12.5	5.0	—	—	3.5	2.0	10Fe、Zr、C、B
MarM246	Bal.	9.0	2.5	10	—	5.6	1.5	10Co、Ta、Zr、C、B

表 3 タービンハウジング用材料の成分組成例 (mass%)

区分	種別	鋼種名	成分						
			Fe	C	Si	Ni	Cr	W	Nb
鑄鉄	オーステナイト	Ni-resist D5S	Bal.	2.0	5.0	35	2.0	—	—
		Starcast DCR1	Bal.	0.05	—	—	19	2.0	1.0
	フェライト	Starcast DCR3	Bal.	0.35	1.8	—	18.5	0.7	1.5
		Starcast DCN2	Bal.	0.27	1.0	12	20	—	0.7
		Starcast DCN3	Bal.	0.27	1.0	21	25	1.0	1.0
		Starcast DCN4	Bal.	0.30	1.0	26	25	2.0	1.0
		Starcast DCN5	Bal.	0.30	1.0	26	25	4.0	1.0
		Starcast DCN6	Bal.	0.30	1.0	40	25	6.0	1.5
		Starcast DCNX1	Bal.	0.40	1.0	21	25	3.0	1.0
	オーステナイト	Starcast DCN2	Bal.	0.27	1.0	12	20	—	0.7
		Starcast DCN3	Bal.	0.27	1.0	21	25	1.0	1.0

3 に代表的なタービンハウジング用材料の化学成分例を示す。排気ガス温度の低いディーゼルエンジンでは、700℃ 程度まではダクタイル鑄鉄が使用されているが⁴⁾、それ以上の温度では約 35% の Ni を添加したオーステナイト系ニレジスト鑄鉄が一般的である。一方、排気ガス温度がより高いガソリンエンジンでは、900℃ 前後までは、熱膨張係数が低く熱疲労に対して優れるフェライト系鑄鋼が使用されるが、1000℃ 前後の温度では耐酸化性や高温強度に優れるオーステナイト系鑄鋼が使われる⁴⁾。しかしオーステナイト系は熱膨張が高く熱疲労に対しては不利であるため、合金元素の調整により高温強度を高め熱膨張係数を低下させて耐熱疲労性を向上させたものが開発されている⁷⁾。特に、Ni は熱膨張係数を低下させる効果が大いため、Ni が多く添加されているものほど耐熱疲労に優れる。当社では、種々の要求温度に対応する Starcast[®] シリーズを開発しラインナップしている⁸⁾。また、炭化物を利用して、高価な Ni の使用を極力抑えながら高い耐熱疲労特性を有する DCNX1 という鋼種も開発されている⁹⁾。

3. 可変機構

排気ガスの運動エネルギーを利用してタービンを回転させるターボチャージャーは、エンジンの回転数が低く排気ガスの流量が少ない時には十分な仕事が出来ないという欠点がある。そこで考案された機構が可変容量ターボである。図 1 に、可変容量ターボの構造を示す¹⁰⁾。可変容量ターボでは、スクロール内に可動するノズルを配置し、低回転から高回転まで排気ガス流量に応じた絞り制御を行うことで効率よくタービンホイールを回転させることが出来る。

ノズルベーンはタービンホイールと同様、高温の排気ガスに直接さらされる。また、ノズルの開閉時にはノズルリングと摺動するため、高温域での耐摩耗性が必要とされる。一般にノズルベーン用材料としてはオーステナイト系鑄鋼 SCH21 (Fe-0.3C-20Ni-25Cr (mass%)) や SCH22 (Fe-0.4C-20Ni-25Cr (mass%)) などが使用される。ノズルベーンはロストワックスによる精密鑄造法や MIM (Metal-Injection-

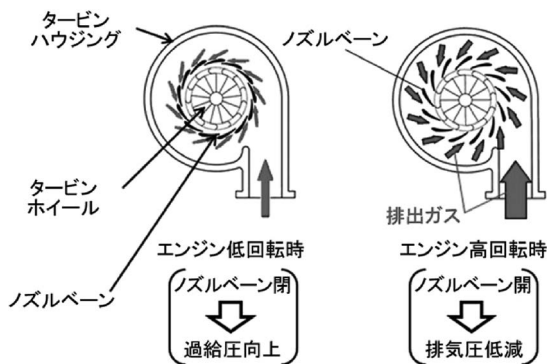


図 1 可変容量ターボの構造¹⁰⁾

Molding) 法で製造される。

4. ウェイストゲートバルブ

過給圧が過剰になるとエンジンおよびターボチャージャーの破損につながるため、タービンハウジング内の圧力を調整するためにウェイストゲートバルブが一般的に使用される。バルブには耐酸化性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼 SUS310S やオーステナイト系耐熱鋳鋼である SCH22 などが使用されるが、排気ガス温度が高温になる機種ではタービンホイール用途で用いられる Ni 基鋳造合金 Alloy 713C も使われる。

5. メタルガスケット

ターボチャージャーで用いられるメタルガスケットは、タービンハウジングの入口とエキゾーストマニホールド間、およびハウジング出口とコンバーター（触媒）間のフランジにおいて排気ガスが外部に漏れないようシールする役目を持つ、薄板のガスケットである。これらのフランジは使用中に熱膨張や振動によって隙間が開くことがあるため、ガスケットはビードと呼ばれる折り目ではね反力を持たせて密閉性を確保している。また、その反力を高温で締結された状態で長期間に渡り保持しなければならないため、リラクセーション特性に優れた材料が求められるが、同時に厚さ 1mm 以下の薄い帯材が製造可能な加工性も求められる。最も汎用的に用いられているのは、準安定オーステナイト系ステンレスである SUS301 (Fe-17Cr-7Ni (mass%)) で使用耐温度は 400℃ 程度までであり、より高温では耐熱性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼 SUS310S が使用される。当社では、600℃ までのガスケット用材料として、

高温強度および高温での軟化抵抗に優れた高窒素オーステナイト系ステンレス鋼 DSN9 (Fe-23Cr-10Ni-6Mn-2Mo-0.5N (mass%)) を開発し、600℃ までのメタルガスケットとして適用されている^{11), 12)}。

DSN9 は冷間加工によって、SUS304 より大きな加工硬化を示す。さらに、60% の冷間加工を加えることで 600℃ の時効によって 500HV まで時効硬化し、400 時間後も硬さの降下が少ないのが特徴である。しかし、600℃ 以上では早期に軟化が進むため、それ以上の温度では Alloy 718 (Fe-53Ni-19Cr-3Mo-5Nb-0.9Ti (mass%)) などの Ni 基超合金が用いられる。

むすび

年々厳しくなる排気ガス規制の中、近年ではより実走行の CO₂ 排出量および燃費を重視するようになっており、高負荷運転中のエンジン効率を高めるためにターボチャージャーによる過給技術の向上がますます求められるものと考えられる。高性能化のために排気ガス温度は上昇する傾向にあり、使用される耐熱材料には更なる高温特性が要求される。また、機構や部品形状の見直しなどにより効率向上の試みが継続して行われており、求められる材料が今後変化していく可能性もある。材料選定の際は、実体部品の使用環境をよく考慮の上、求められる要求特性に応じた適材適所の選定が必要となる。

参考文献

- 1) 青柳稔、池谷信之：Engine Technology、8 (2006)、36
- 2) 萩田敦司：特殊鋼、56 (2007) 7、42
- 3) 伊藤賢治、林啓次郎、早田智臣：日立金属技報、22 (2006)、51
- 4) 松本鋼児、東條正希、陣内靖明、林慎之、茨木誠一：三菱重工技報、45 (2008)、2
- 5) 鉄井利光、京谷美智男、野田俊治、芝田智樹、畑浩巳：まてりあ、39 (2000)、193
- 6) 小柳禎彦、鷺見芳紀、高林宏之：電気製鋼、85 (2014) 2、121
- 7) 植田茂紀、濱野修次、阿部直弘、野田俊治：電気製鋼、73 (2002)、93
- 8) 高林宏之：電気製鋼、79 (2008)、263
- 9) 高林宏之、植田茂紀：電気製鋼、81 (2010)、143
- 10) 恵比寿幹：三菱重工技報、53 (2016)、27
- 11) 桂井隆、西山忠夫、濱野修次：HONDA R&D Technical Review、15 (2003) 2、167
- 12) 濱野修次、古賀猛、桂井隆、西山忠夫：まてりあ、44 (2005)、151

2. エネルギー

(1) ごみ焼却炉

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 山陽特殊製鋼(株) 新商品・技術開発室 商品開発2グループ 山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 山陽特殊製鋼(株) 新商品・技術開発室 商品開発2グループ

まえがき

小資源国である日本が持続的な経済発展を望むには、生成したエネルギーを無駄なく・効率よく利用することが必要である。さらに近年は、枯渇性エネルギー依存によるリスクも露呈し、自立・分散型である再生可能エネルギーの利用に対する注目は一層の高まりを見せている。太陽光発電や風力発電を含む再生可能エネルギーの中でも、ごみ焼却炉にて発生する熱エネルギーを利用して発電する「ごみ発電」は比較的安定した電力を供給できることから、更なる活用が期待される¹⁾。また、ごみ発電は二酸化炭素排出係数も小さいことから、低炭素社会の構築に貢献できる貴重なグリーン電力の供給方式としても注目されている。ここではごみ発電について概要・発電原理を説明するとともに、エネルギー回収の高効率化を阻む課題、さらにその課題解決のために当社が特殊鋼メーカーとして取り組んだ事例についても紹介する。

◇ ごみ発電

1. ごみ発電の概要

ごみ発電は、文字通りごみ焼却炉で発生する熱を利用して発電する方式のことである。一般的には、我々の日常生活で発生する“ごみ（台所・紙くずなど）”を燃料として焼却し、発生した熱を利用した高温・高圧の水蒸気にてタービンを回転させて発電する。日本におけるごみ発電の出力は、1,000トン/日以上のごみ焼却量を有する最新鋭の大規模清掃工場（例えば、東京二十三区清掃一部事務組合新江東清掃工場）でも最大5万kWで、100万kW以上の出力を有する最新鋭の石炭火力発電所や原子力発電所と比べると規模は非常に小さい²⁾。

しかし、再生可能エネルギーであることに加え、発電電力の売却益は自治体の貴重な収入源（例えば東京二十三区清掃一部事務組合では年間約100億円の売却収入³⁾）にもなっており、有用な発電システムである。

20年程前から顕著に高まった地球資源利用の3R意識（Reduce-Reuse-Recycle）により、ごみが持っている熱エネルギーからいかに多くの電力を得るかという、ごみ発電高効率化の動きが活発化し、現在の高効率ごみ発電プラントシステムが開発された。発電の高効率化のためには、焼却熱からより高温・高圧の蒸気を発生させてタービンを勢いよく回転させることが不可欠である。しかし高温・高圧の蒸気を得ようとした場合は、設備への負荷が増大することになる。特に顕著なのは焼却炉内で燃焼ガスから蒸気への熱交換を担う過熱器管であり、激しい腐食、減肉のリスクが高まる。また、理由については後述するが、ごみ焼却炉内は一般の石炭火力発電設備よりもかなり厳しい腐食環境であるため、ごみ発電では反応を抑えるために蒸気温度を火力発電よりも低くしなければならず、現在は一般的に最高400℃-40気圧の過熱蒸気で発電が行われている。

2. 高効率ごみ発電プラントボイラーについて

代表的な高効率ごみ発電プラントのボイラー断面図を図1に示す。焼却炉には大きく分けて2つのタイプがあり、ストーカ式と流動床式がある。大型の施設には同図に示すようなストーカ式が多く採用されている。ストーカとは階段状に火格子を並べた焼却炉である。ストーカ式では、ホッパーから挿入されたごみが、前後に動くストーカ上で攪拌されて効率よく空気と接触し、斜め下方へ移動しながら燃焼される方式のことをいう。

高温の燃焼ガスは煙道を通り、水壁管、過熱器

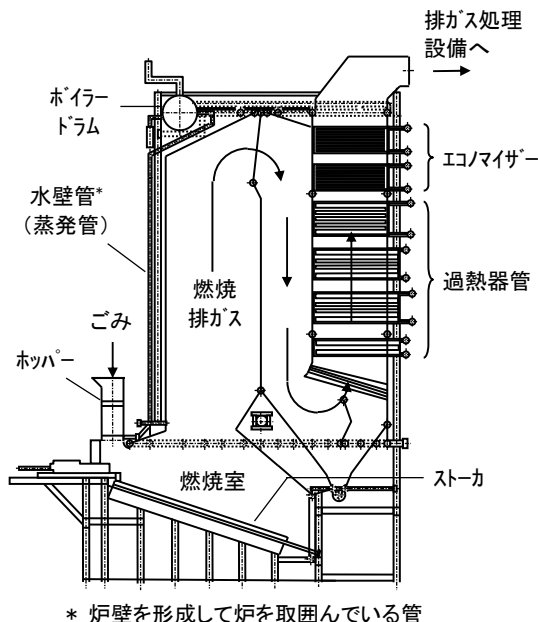


図 1 代表的なごみ焼却ボイラ断面図

管、エコマイザー管群を通り抜けて熱交換を行った後、排ガス洗浄設備で洗浄されて大気に出される。過熱蒸気は、まずボイラードラムからボイラー水を供給して水壁管で蒸気となり、一旦ドラムに戻された後、過熱器管を経て作られる。その後、過熱蒸気は蒸気タービンに送られ、タービンを回転させることによって発電する。役割を終えた蒸気は水に戻され、エコマイザーで予熱、再び過熱蒸気を得るボイラー水として循環される。

同図内で示されている水壁管、過熱器管及びエコマイザー管のうち、過熱器管は最も厳しい環境に曝されるため、耐食性に優れたSUS310クラス(25%Cr-20%Ni鋼)のステンレス鋼が用いられており、現在はJIS SUS310S、SUS310改良鋼あるいは後に紹介する当社開発鋼のQSX5などが適用されている。

◇ ごみ発電の効率化における課題

限られたごみ資源でより多くの電力を得るためには、発電の高効率化が必要である。その高効率化を図るためには、高温の過熱蒸気を得る必要があり、必然的に稼働中の過熱器管自身は温度の上昇を伴うことになる。ごみ焼却炉内は、燃焼ガス中には塩化水素ガスや二酸化硫黄ガスなどが、焼

却飛灰には低融点の塩化物や硫酸塩も含まれるため、暴露される鋼材にとって非常に過酷な腐食環境であり、その上での高温化は更に厳しい腐食環境を形成することになる。また、過熱器管にSUS310クラスの高耐食鋼管を適用した場合でも、年間1mmを超える大きな減肉を生じることもある⁴⁾。この激しい腐食には、温度だけでなく燃焼ガス中の塩化水素、或いは焼却灰中の塩化物等が深く関わっていることもこれまでに分かっている^{5)~7)}。このようにごみ発電の高効率化を実現させるためには、更に過酷化する焼却ガスや焼却灰による高温腐食環境を考慮し、十分な耐久性を有するごみ焼却プラントを設置・整備する必要がある。

◇ 高効率ごみ発電用ステンレス鋼管「QSX5」

一般的に火力発電用過熱器管には優れた高温強度が要求されるが、ごみ発電では先に述べた通り、過酷な高温腐食環境に晒されるため、強度よりも高温での耐食性が重視され、主として高耐食ステンレス鋼管が用いられる。高効率化の実現においては、ボイラ構造の設計改善や燃焼管理の徹底というアプローチもあるが、高性能化した材料を開発、適用することも有効である。1990年代以降に材料メーカーやプラントメーカーで新材料や既存材料のテストが重ねられた結果、高耐食性のステンレス鋼や肉盛合金などが開発され、それらが以前よりも高効率化された現在のプラントに適用されている。

この中、当社は高効率ごみ発電用過熱器管材として「QSX5」を開発している。QSX5は、化学成分においてはSUS310Sをベースに低C化し、Si、Mo、Nbを増量／添加しているのが特徴の材料で、常温での機械的性質はSUS310と同等であるが、焼却炉内の高温腐食環境において優れた耐食性を発揮する。ごみ焼却環境下を模擬した高温腐食試験結果を図2に示す。ラボ試験においてQSX5は他耐食材料と比較しても非常に優れた耐高温腐食性を示すことがわかる。この他にもメンテナンス等の焼却炉停止時期に生じる酸腐食、および長期間使用した際の内部組織変化が起因となる靱性の低下に対してもQSX5は優れた耐性を有することを確認している⁸⁾。更に図3に示す通り、東京都の清掃工場にて実証試験も行っており、QSX5が既

- ◆試験方法：塗布法
- ◆模擬ガス：8% O₂+18% H₂O+8% CO₂+0.1% HCl+N₂ bal.
- ◆腐食灰：11% Na+16% S+1% Cl+11% K+4% Ca+4% Zn+6% Pb
- ◆試験温度、時間：550、600℃×72h

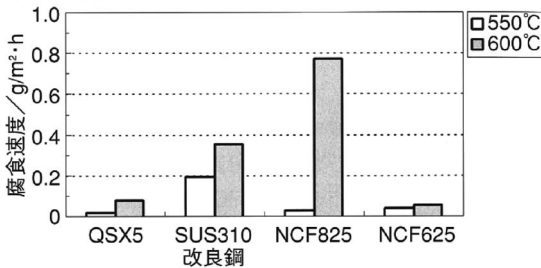


図 2 ごみ焼却環境下を模擬した高温腐食試験結果⁷⁾

- ◆試験期間：2年
- ◆暴露流動ガス温度：約600～700℃
- ◆最高蒸気温度：450℃
- ◆腐食ガス（分析結果代表例）
7.8% O₂+11.6% CO₂+22% H₂O+333ppm HCl+0.13ppm Cl₂
- ◆付着灰（分析結果代表例）
8% Na+5% Al+3% Si+8% S+15% Cl+10% K+13% Ca+0.1% Pb

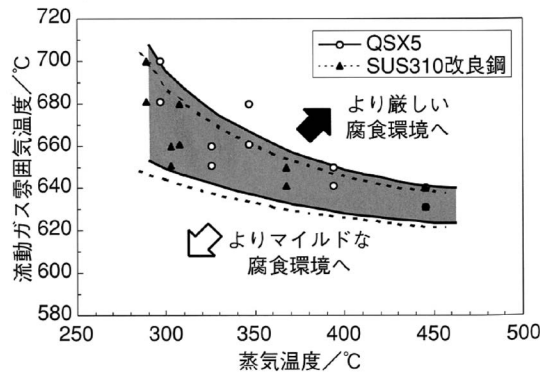


図 3 最大減肉速度が0.6mm/年を示すガス温度－蒸気温度条件（2年間の実証試験による）⁷⁾

存材に対して同等以上に優れた耐性を有することも実証されている。QXS5は最高使用温度475℃の

火力発電材料として一般の使用が承認されており、各地の清掃工場で数多く使用されている。

むすび

本稿では、ごみ焼却炉からエネルギーを回収するシステムであるごみ発電の概略と原理、本発電方式の効率化に伴って生じる課題、そして当社の取り組みについて紹介した。今後も再生可能エネルギーの重要性は高まると予想され、更なるごみ発電の効率化が求められれば、よりレベルの高いプラント内環境の過酷化に耐え得るシステムならびに使用部材の高性能化が必要になってくるものとする。こうした需要・ニーズが高まった場合、当社は特殊鋼メーカーとして、QXS5開発時の経験も生かし、適切な合金設計や組織制御を駆使した材料開発にて、ごみ焼却炉・ごみ発電事業の発展に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 一般財団法人 日本環境衛生センター 今後のごみ発電のあり方研究会、第2期最終報告（2017）
- 2) 環境省 HP、http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippa/h28/index.html
- 3) 東京二十三区清掃一部事務組合HP、<http://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/shiro/shori/kanen/joki.html>
- 4) 庄 篤史、磯本辰郎、吉葉正行ら：第10回廃棄物学会研究発表会後援論文集Ⅱ、(1999) 749-752
- 5) 榊 孝、伊原義尚：第139回腐食防食シンポジウム資料、(2003) 47-50
- 6) 川原雄三：第117回腐食防食シンポジウム資料、(1998) 61-79
- 7) 吉葉正行：まてりあ、Vol. 38、No. 3、(1999) 203-211
- 8) 山陽特殊製鋼技報、Vol. 9、No. 1 (2002)、86-88

(2) 発電用ボイラー

新日鐵住金(株) 技術開発本部 せん ば ひろ ゆき
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部 仙 波 潤 之

ま え が き

耐熱鋼、耐熱合金の重要な高温用途として火力発電プラントが挙げられる。図1に火力発電プラントの模式図を示す¹⁾。火力発電プラントは石炭等の燃料を燃焼させて水を蒸気に変えるボイラーと発生した蒸気により発電機を回す蒸気タービンに大別されるが、本稿では火力発電ボイラーにおいて使用される材料について述べる。ボイラーの主要構造材は鋼管であり、主なものに熱交換により蒸気を発生させる蒸発管（鋼管が壁状に配置されることから水壁管とも呼ばれる）、発生した蒸気をさらに高温高压にする過熱器管、高温高压の蒸気をタービンに送る主蒸気管、一度タービンを回し温度、圧力が低下した蒸気を再び加熱する再熱器管、再熱蒸気をタービンに送る高温再熱蒸気管が挙げられる。熱交換を行う蒸発管、過熱器管、再熱器管は伝熱管とも呼ばれ、一般的には外径

30～50mm程度の小径管が使用される。一方、主蒸気管、高温再熱蒸気管は熱交換を行わないため、配管とも呼ばれ、ボイラーの発生蒸気量（＝プラントの発電容量）によっても異なるが、一般的には外径400～1,000mm、肉厚数十～100mm程度の大径厚肉管が使用される。高温高压となる過熱器管や再熱器管には比較的多量のCrとNiを含有し、高温強度と耐食性に優れるオーステナイト鋼（fcc構造）が使用されるが、大径厚肉となる主蒸気管や高温再熱蒸気管は、発電プラントの起動停止に伴う熱疲労を考慮する必要があるため、bcc構造であり線膨張係数の小さいフェライト鋼を用いる。

火力発電は温暖化ガスであるCO₂を多く排出する。特に燃料コストなどの点から世界で広く使用されている石炭火力発電は、他の化石燃料より単位発電量当たりのCO₂排出量が多いため、これまでに蒸気条件の高温高压化による発電効率の向上が図られてきた。現状では蒸気温度約600℃、圧力約

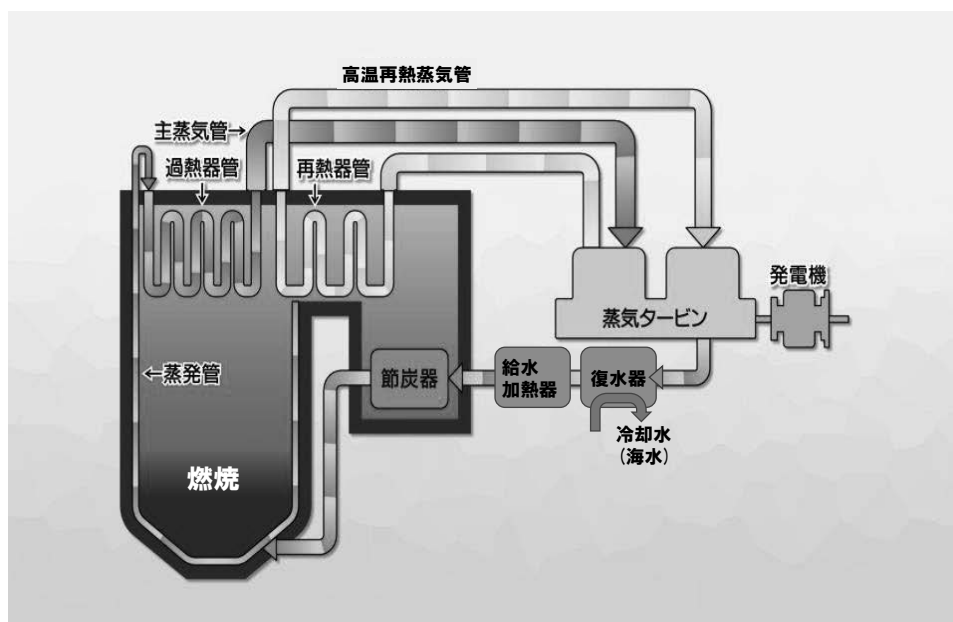


図 1 石炭火力発電プラントの模式図¹⁾

25MPa（約250気圧）の超々臨界圧（USC: Ultra Super-Critical）ボイラが普及している。USCボイラの実現には後述する通り、主として日本で開発された高強度フェライト系およびオーステナイト系耐熱鋼が大きく貢献している。

◇ ボイラー鋼管に求められる特性

高温高圧下で長時間使用されるボイラー鋼管には、まず高いクリープ強度が求められる。クリープとは低い温度域では塑性変形しない程度の応力であっても、原子の拡散速度が大きくなる高温域では徐々に塑性変形が生じる現象であり²⁾、母材のみならず、後述する溶接継手部のクリープ強度も重要である。さらに大径厚肉となる配管には、プラントの起動・停止に伴う熱膨張応力が生じることからクリープ疲労や熱疲労³⁾についても考慮する必要がある。一方、耐食性の観点からは伝熱管、配管とも蒸気と接する管内面の水蒸気酸化特性⁴⁾が重要である。石炭などの燃焼雰囲気下で熱交換を行う伝熱管、特に温度が高くなる過熱器管や再熱器管においては石炭灰などによる管外面の高温腐食⁴⁾についても考慮する必要がある。耐食

性を向上させるためには一般的にはCrの含有量を高めることが有効である（高温での使用中に保護性の高いCr₂O₃皮膜が形成されやすいため）。オーステナイト鋼においては結晶粒を細かくすることもCr₂O₃皮膜の形成を促進し、特に耐水蒸気酸化性の向上に有効である。

ボイラー鋼管は周溶接でつないで使用するため施工面では溶接性⁵⁾も重要な特性である。また、溶接継手部はクリープ強度や耐食性の面で母材と違った特性、挙動を示すことがあるため注意が必要である。ボイラー鋼管は蒸発管や水を予熱する節炭器管などの比較的低温の部位には電縫鋼管（熱延鋼板を筒状に成形し、長手方向の突合せ部を電気抵抗溶接して製造する鋼管）⁶⁾が使用される場合もあるが、一般的には高い信頼性が要求されるため、主として継目無鋼管（溶接による長手方向の継目を生じさせない製管方法、シームレス鋼管とも呼ばれる）⁷⁾が用いられる。

◇ フェライト系耐熱鋼

表1上段にフェライト系耐熱鋼の例を示す。発電ボイラーに従来より一般的に使用されている材

表 1 フェライト系およびオーステナイト系耐熱鋼の例（鋼管の規格）

	区分	規格	代表組成（mass%）
フェライト鋼	炭素鋼	従来鋼 STB340	0.1C-0.5Mn
		開発鋼 火STB380J2	0.1C-1Mn-0.3Cu-0.1Sb
	低合金鋼	従来鋼 STPA24	0.12C-2.25Cr-1Mo
		開発鋼 火STPA24J1	0.06C-2.25Cr-1.6W
	高Cr鋼	従来鋼 STPA26	0.1C-9Cr-1Mo
		火STPA28	0.1C-9Cr-1Mo-0.08Nb-0.2V
		開発鋼 火STPA29	0.1C-9Cr-0.5Mo-1.8W-0.07Nb-0.2V
		火SUS410J3TP	0.12C-10.5Cr-0.4Mo-2W-0.06Nb-0.2V
オーステナイト鋼	18Cr系	従来鋼	SUS304HTB 0.08C-18Cr-8Ni
			SUS316HTB 0.08C-16Cr-12Ni-2Mo
			SUS321HTB 0.08C-18Cr-10Ni-0.4Ti
			SUS347HTB 0.08C-18Cr-10Ni-0.8Nb
		火SUSTP347HTB	0.08C-18Cr-10Ni-0.8Nb
		開発鋼	火SUS304J1HTB 0.08C-18Cr-9Ni-3Cu-0.4Nb-0.15N
			火SUS321J1HTB 0.1C-18Cr-10Ni-0.1Nb-0.08Ti
			火SUS347J1TB 0.03C-18Cr-9Ni-0.4Nb-2W
	25Cr系	従来鋼 SUS310STB	0.06C-25Cr-20Ni
		開発鋼 火SUS310J1TB	0.06C-25Cr-20Ni-0.25N
		火SUS310J2TB	0.08C-22Cr-25Ni-1.5Mo-0.2N

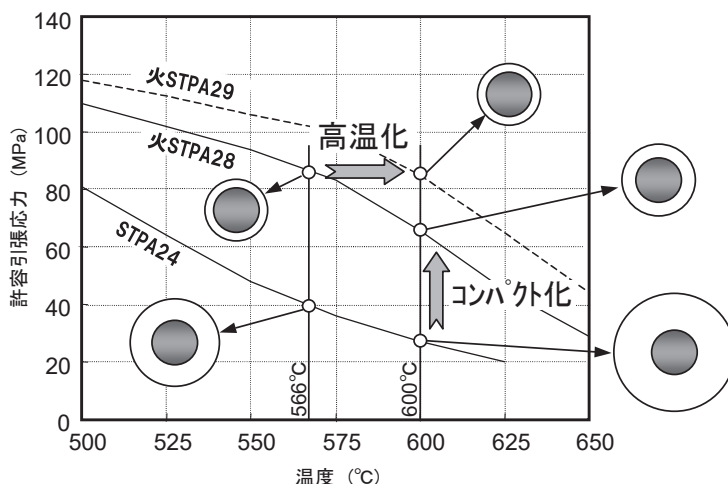


図 2 9Crフェライト系耐熱鋼の許容応力と配管寸法例¹⁶⁾

料はJIS規格に規定されているが、クリープ強度や耐食性を改善した開発鋼は「発電用火力設備の技術基準の解釈」⁸⁾に規定され、規格名の頭に「火」がつけられている（火技解釈材料とも呼ばれる）。低合金鋼の火STPA/STBA24J^{9), 10)}（STPAは配管の規格、STBAは伝熱管の規格：以下同じ）は同じ2Cr系の従来鋼STPA/STBA24のMoに替わりWを添加し、さらにVとNbを添加して高強度化を図った材料であり、550℃の許容引張応力（規格に規定された設計に用いる強度値）はSTPA/STBA24の1.9倍である。同鋼はC含有量を低めることにより溶接性も改善している。より高温の部位（蒸気温度が575℃程度を上回る環境）では水蒸気酸化が厳しくなることから高Cr鋼（9～12%Cr）が必要となる。火STPA/STBA28¹¹⁾は従来の9Cr-1Mo鋼（STPA/STBA26）にVとNbを添加し、Nを高めて炭窒化物の析出強化によりクリープ強度を飛躍的に高めた9%Cr鋼である。許容引張応力はSTPA/STBA26の約3倍となる。さらに高強度化を図った高Cr鋼として火STPA/STBA29¹²⁾、火SUS410J3TP/TB¹³⁾（TPは配管の規格、TBは伝熱管の規格：以下同じ）が開発されている。何れもV、Nb添加による炭窒化物析出強化に加えて、火STPA/STBA28のMoに替えてWを添加し高強度化を図っている。火STPA/STBA29は火STPA/STBA28の1.3倍の許容引張応力を示し、火技解釈材料のフェライト系耐熱鋼では最高強度を示す。近年では火STPA/STBA29を上回る高強度9%Cr

鋼として9Cr-3W-3Co-V-Nb-Ta-Nd-B鋼¹⁴⁾が開発されており、実用化されつつある（米国ASME規格には登録済み）。同鋼は従来にない多量のB（0.01%）を添加し、さらにNd（ネオジム）などの合金元素を活用し、従来の高Crフェライト系耐熱鋼で懸念される溶接継手の長時間クリープ破断強度低下を軽減した材料である¹⁵⁾。

図2は9Crフェライト系耐熱鋼の許容引張応力と配管寸法の例（蒸気圧力25MPaとして蒸気温度を変えた場合の試算）である¹⁶⁾。発電効率を高めるために蒸気温度を上げると、温度上昇とともに材料の強度（＝許容引張応力）は低下するため、配管の肉厚が増大することを示しており、製造困難な寸法になったり、溶接施工上の問題が生じる。火STPA29のような高強度の開発鋼を適用することにより、配管肉厚の低減や蒸気温度の上昇が可能となり、これらの開発鋼はUSCボイラの実現に大きく寄与している。

◇ オーステナイト系耐熱鋼

表1下段にオーステナイト系耐熱鋼の例を示す。JISに規定されるSUS347HTBは固溶化熱処理温度が低く、比較的細粒であるため耐水蒸気酸化性が良好であるが、許容引張応力は低めとなる。そのため固溶化熱処理温度が高く、比較的粗粒で許容引張応力が高く設定された火SUSTP347HTBが火技解釈材料として規定されているが（18-8系従来鋼としては最高強度）、耐水蒸気酸化性が課題で

あった。火SUS304J1HTB¹⁷⁾ は約3%のCuに加えてNb、Nを最適添加し、さらに製法も工夫することにより細粒組織でありながら、Cu相の微細整合析出やNbCrN型窒化物の析出で高強度化を図り、火SUSTP347HTBを大幅に上回るクリープ強度と良好な耐水蒸気酸化性を両立した画期的な材料である(18-8系オーステナイト耐熱鋼で世界最高強度)。

石炭炊きのボイラーにおいては低質な石炭(S含有量が高い)を使用する場合もあり、よりCr含有量が高く耐高温腐食性に優れた材料も必要となる。従来鋼で25%Crを含有するSUS310STBは σ 相と呼ばれる脆化相が析出し、クリープ強度や靱性が低いため高温のボイラー用途にはほとんど使用されていなかった。火SUS310J1TB¹⁸⁾ はNbとNを最適含有した25%Cr鋼で、 σ 相の析出を抑制しながらNbCrN型窒化物の析出でクリープ強度を高め、高温ボイラー用途への適用を可能とし、火SUS304J1HTBとともにUSCボイラー過熱器管、再熱器管の世界標準材となっている。高耐食高強度のオーステナイト鋼としては22%Crを含有し、塩化物腐食環境(ごみ焼却発電ボイラー等の環境)に有利なNi、Moの含有量が多く、許容引張応力もさらに高い火SUS310J2TB¹⁹⁾ も開発されている。

むすび

代表的な火力発電ボイラー用のフェライト系およびオーステナイト系耐熱鋼管材料について紹介した。日本で開発された耐熱鋼により世界の火力発電の高効率化が進んだと言っても過言ではない。今後とも発電効率向上によるCO₂排出量低減が必須であり、さらなる蒸気温度の向上(650~700℃)を目指した技術開発が進められている。本稿では紹介できなかったが、現在開発、実用化されつつある新耐熱鋼、耐熱合金がその実現の鍵を握っている。

参考文献

- 1) 新日鐵住金(株)、ボイラ用シームレス鋼管、製品カタログ、2017
- 2) 例えば、丸山公一、中島英治:「高温強度の材料科学」、内田老鶴圃、1997
- 3) 例えば、「高温強度の基礎・考え方・応用」、日本材料学会、2008
- 4) 例えば、「ステンレス鋼の科学と最新技術」、ステンレス協会、2011
- 5) 例えば、「溶接冶金研究の進歩と今後の展望」、溶接学会溶接冶金研究委員会編、2003
- 6) 新日鐵住金(株)、ボイラ・熱交換器用電気抵抗溶接鋼管、製品カタログ、2017
- 7) 林千博:「鋼管の製造方法」、日本鉄鋼協会、2000
- 8) 発電火力設備の技術基準の解釈、経済産業省、平成25年5月17日 20130507商局第2号
- 9) F. Masuyama, T. Yokoyama, Y. Sawaragi and I. Iseda: Materials for Advanced Power Engineering, part 1, Kluwer Academic publishers (1994)、173
- 10) Y. Sawaragi, T. kan, Y. Yamadera, F. Masuyama, T. Yokoyama and N. Komai: Proceedings of the 6th International Conference on Materials for Advanced Power Engineering (1998)、Liege, Forschungszentrum GmbH、61
- 11) Creep Properties of Heat Resistant Steels and Superalloys, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, Group VIII, Vol. 2, Springer (2003)、126
- 12) 榊原瑞夫、榊本弘毅、小川忠雄、高橋常利、藤田利夫: 火力原子力発電: 38 (1987)、841
- 13) 伊勢田敦朗、名取敦、榊本義淳、小川和博、増山不二光、横山知充: 火力原子力発電、45 (1994)、900
- 14) 伊勢田敦朗、吉澤満、岡田浩一、浜口友彰、平田弘征、浄徳佳奈、小野敏秀、田中克樹: 平成27年度火力原子力発電大会論文集、67 (2016)、763
- 15) 浜口友彰、岡田浩一、平田弘征、栗原伸之佑、仙波潤之、吉澤満: 新日鐵住金技報、409 (2017)、33
- 16) 五十嵐正晃: 鉄鋼協会異業種セミナー「材料と環境シリーズ」- これからの日本のエネルギー動向と鉄鋼材料 -、2001/11/2
- 17) 榊本義淳、大塚伸夫、小川和博、加藤信一、平野奨: 住友金属、43 (1991)、24
- 18) 榊本義淳、寺西洋志、牧浦宏文、三浦実、久保田稔: 住友金属、37 (1985)、166
- 19) 榊原瑞夫、菊池正夫、高橋常利、角南達也、藤田利夫: 火力原子力発電、38 (1987)、75

(3) タービンプレード

日立金属(株) 小島正照
安来工場 技術部

まえがき

タービンとは水、蒸気、ガス、空気といった流体が持っているエネルギーを有用な機械的動力に変換する回転式の原動機の総称であり、ガスタービンや蒸気タービンに使用される素材には耐熱銅や超耐熱合金が使用されています。ガスタービンは、燃料となる軽油や灯油、天然ガスと圧縮した空気を燃焼させて、高温高压となった気体でブレードを回転させて動力を得るエンジンの一種です。蒸気タービンは主に発電用途で使用されており、ボイラで発生させた蒸気でブレードを回転させて発電を行っています。タービンプレードは大別すると回転する動翼と、気体の方向等を制御する回転しない静翼に分類されます。タービンプレードが使用される環境は高温高压であり、特に動翼は最大で3,600rpmの高速で回転しているため、耐熱性や耐食性、優れたクリープ強度が要求される材料になります。本文では代表的な蒸気タービンプレード用の材質の特徴、材料強化機構について紹介します。

◇ 耐熱銅（ステンレス系）

耐熱銅はFeを主成分とし、合金元素の添加量が50%以下のものを指します。耐熱銅の対応温度は600℃であり、要求される特性として高温長時間加熱しても酸化スケールが生じないこと、加熱及び冷却を繰り返した際の組織変化とそれに伴う膨張収縮が無く、また、変形や亀裂の少ないこと、使用温度においてクリープ強さが大きいこと等が挙げられます。これらの要求特性を満たすために、耐熱銅には様々な元素が添加されています。耐酸化性を向上させるためにCr、Si、Alなどを添加し、また耐熱性を増すためにNi、Crを添加しています。更に高温における強さ及び硬さを高めるためにW、Mo、Nb、V等を添加しており、これらの元素が炭化物を形成して析出することで材料を強化

表 1 タービン部品（ブレード、ボルト、シュラウド）用の耐熱銅

材質名	主要成分
SUS403	12Cr-0.1C
SUS410	12Cr-0.4Mo-0.1C
SUH616	12Cr-1W-1Mo-0.2V-0.2C
SUS630 (17-4PH)	17Cr-4Ni-4Cu-0.3Nb
TAF	12Cr-0.7Mo-0.2V-0.2Nb-0.15C

※「TAF」は日立金属(株)の登録商標です。

します。耐熱銅は上記の元素を様々な調整し、平角形状だけでなく型鍛造によりブレードに近い形状に鍛造されます。表1にタービン部品用の耐熱銅を示します。表1中のTAFは日立金属安来工場が開発に寄与した耐熱銅であり、12%Cr銅にMo、V、Nb、Bを添加し、他の12%Cr系耐熱銅と比較して優れたクリープ強度ならびに耐酸化性を有する材質になります。

・マルテンサイト系ステンレス鋼

マルテンサイト系ステンレス鋼はステンレス鋼の種類の一つです。ステンレス鋼は金属組織によってマルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系、析出硬化系に分けられ、タービンプレード用途にはこのマルテンサイト系ステンレス銅が多く使用されています。マルテンサイト系ステンレス鋼の中で代表的な耐熱銅はSUS403やSUS410J1であり、Cが $\leq 0.15\%$ 、耐食性向上のためにCrを12%程度含有しており、焼入れによるマルテンサイト変態で硬さと強度を出し、その後の焼き戻しによって炭化物を析出させて強化することで、要求される機械特性を得ています。SUS403は熱間加工により平角形状で製造され、焼入れ焼き戻しを施した後に削りを実施して、ブレードの形状に加工されて使用されています。マルテンサイト系ステンレス鋼の耐用温度は600℃付近であり、溶解方法の違いにより用途を使い分けて使用されています。回転しない静翼は回転による遠心力等

の負荷がかからないためESR（エレクトロスラグ再溶解）を実施しない材質も使用されていますが、回転する動翼は遠心力に耐えるために機械特性の低下を防止する必要があるため、偏析や不純物を減らすためにESRを実施した材質が使用されています。

・析出硬化系ステンレス鋼

析出硬化系ステンレス鋼はFe、Cr、Ni系合金に析出硬化に寄与するCu、Al、Ti、Nb等を添加し、析出硬化現象を利用して高強度を得る材質です。耐食性が要求される船舶機器や化学プラント等の構造用強度部材としても広く使用されており、高い強度と優れた耐食性を兼ね備えている析出硬化系ステンレス鋼のSUS630（17-4PH）がタービン用途として使用されています。SUS630は低Cのマartenサイト組織中に、微細な析出物を分散析出させることで、高い強度を得ることができます。実際の熱処理では1020℃から1060℃の固溶化熱処理後に析出硬化熱処理を施すことで、Cu-rich（ ϵ ）相が析出し高強度と高硬度を得ています。固溶化熱処理後の析出硬化熱処理の温度によって、特性を調整することが可能であり、硬度を重視する場合は析出硬化処理温度470～490℃で処理を行い、

靱性を重視する場合は610～630℃で処理を実施し、使用される環境や用途により条件を変えた熱処理が施されます。SUS630は主に丸棒形状に熱間加工され、熱処理は実施せずに鍛造用の素材として使用されています。丸棒素材から動翼用タービンブレードの形状に鍛造が施され、要求される機械特性に応じた条件で熱処理を実施して使用されています。SUS630は500℃を超えると ϵ 相の粗大化と相変態が生じ、強度が低下するため、500℃以下が使用環境となります。

◇ 超耐熱合金

超耐熱合金はFeが50%以下、又はNi、Coを主成分とするものであり、耐熱鋼やステンレス鋼よりも、更に高温の耐食、耐酸化性又は高温強度の優れた材質となります。現在、発電用蒸気タービンプラントは高効率化が求められており、蒸気の高温高圧化が進んでいます。これまで、蒸気条件600℃、25MPa以上のUSC（Ultra-Super-Critical：超々臨界圧）プラントが使用されてきましたが、更なる発電効率向上に向けて、蒸気条件700℃、35MPaのA-USC（Advanced-Ultra-Super-Critical：

表 2 超耐熱合金の強化機構とベース金属からの分類

分類		成分	高温強度	加工性
		材質名		
固溶強化型	Fe-Ni基	Incoloy800H	小	大
	Ni基	Inconel 600 Inconel 617 Inconel 625 Hastelloy C-276 Hastelloy X		
	Co基	L605 HA188		
炭化物析出強化型	Fe-Ni基	LCN 155	中	中
	Co基	X 40 FSX 414		
γ' 析出強化型	Fe-Ni基	A286	大	小
	Ni基	Inconel 718 Inconel 713C Waspaloy U 720/720Li 718 Plus FENIX 700 LTES 700R		

※「Incoloy」「Inconel」はハントニントン アロイズ コーポレーションの登録商標です。
「Hastelloy」はヘインズ インターナショナル インコーポレーテッドの登録商標です。

先進超々臨界圧) プラントの開発が進められています。A-USCプラントでは、蒸気タービンのロータやブレード、ボルトの他、高温高压蒸気をつくるための過熱器や再熱器のボイラーチューブ、高温高压蒸気をタービンに送るためのパイプ等が700℃以上の高温にさらされるため、従来600℃以下の温度で使用されてきた耐熱鋼では高温強度が不足してしまいます。そのため、700℃以上で高温強度の高い、超耐熱合金を使用したタービンプレードが必要となってきました。

超耐熱合金は大別するとFe-Ni基、Ni基、Co基に分類されます。さらに、強化機構別では固溶強化型、炭化物析出強化型、 γ' (ガンマプライム) 析出強化型の3種類に分類されます。表2に強化機構とベース金属の分類と特徴の一覧を示しております。耐食、耐酸化性を付与するためにCrが添加され、また、高温中ではオーステナイトが最も強度が高く、合金固溶度が大きいために高度に合金化できることから、基地をオーステナイト相にするためにNiあるいはCoが多量に添加されています。また、Mo、W、Nbは炭化物を析出させて基地を強化し、TiとAlは γ' (Ni_3Ti 、 Ni_3Al) 相を析出させることで高温強度を高めています。Fe-Ni基超耐熱合金は約750℃以下、Ni基及びCo基超耐熱合金は約750℃以上の使用温度に耐えることが出来、タービンプレードが使用される環境や用途に応じて材質が選定されています。

◇ チタン合金

チタンは鉄に比べて密度や弾性係数、熱膨張係数が小さく、耐食性もはるかに優れているため、蒸気タービンの効率向上を目的としたタービンプレード長翼化に適した材料です。チタンは常温では稠密六方晶の α 相ですが、882℃付近に変態点があり、これより高温では立方晶の β 相に変態します。チタン合金は常温で存在する主要相が何かによって α 合金、 β 合金、 $\alpha + \beta$ 合金の3種類に大別

され、添加される元素は α 相及び β 相どちらを安定化するかという観点から、 α 安定化元素 (Al、O、N、C、H)、 β 安定化元素 (Mo、V、Nb、Ta等)、中性的元素 (Zr、Sn) に分けられます。 α 合金はクリープ強度が高く、低温でも脆化しにくい利点がありますが、塑性加工性が悪く熱処理で強化することが出来ない等の欠点があります。 β 合金はこれとは反対にクリープ強度が低く、低温で脆化しやすい反面、塑性加工性に優れており、熱処理で高強度が出せるといった利点があります。 $\alpha + \beta$ 合金は α 合金と β 合金の中間的な特徴をもっており、特性のバランスが良く、熱処理によって広範囲の特性が出せます。 $\alpha + \beta$ 合金で最もポピュラーな合金はTi-6Al-4Vであり、特性のバランスが優れているため多量に使用されています。蒸気タービンプレードの長翼用途にもTi-6Al-4V合金が使用されています。

むすび

今後、地球温暖化の要因であるCO₂排出を抑制することを目的に、発電用蒸気タービンプラントの高効率化が必要になってきます。効率向上のために蒸気温度は更に高くなり、タービンプレードは長翼化が進んでいくことが予想されるため、超耐熱合金やチタン合金を用いた材料の開発が必要になります。また、材質だけでなく、ブレード形状への加工についても開発が必要であり、歩留が良い型鍛造法で超耐熱合金とチタン合金を鍛造する技術の開発も重要になってくると考えられます。

参考文献

- 1) 藤田利夫：耐熱鋼の研究 (1987)
- 2) 特殊鋼60巻 (2011)、63巻 (2014)
- 3) 小柴定雄 九重常男：日立評論 別紙第33号 金属特集号第4集 (1959) P4
- 4) 青木宙也 上原利弘 鴨志田宏紀 今野晋也 佐藤恭：日立金属技報 Vol. 30 (2014) P8

(4) 燃料電池

日立金属(株) うえはら とし ひろ
冶金研究所 主管研究員 上 原 利 弘

ま え が き

燃料電池 (Fuel cell) は、水の電気分解の逆反応である、水素と酸素から水が生成する化学反応によって、化学エネルギーを直接電気エネルギーに変化させる発電装置である。内燃機関などのように、熱エネルギーを運動エネルギーに変換し、さらに電気エネルギーに変換する方法と異なり、発電効率が高いことが特長である。また、水素を燃料とすることから、化石燃料の使用量低減や二酸化炭素排出量低減など、地球環境にやさしい発電方法でもある。燃料電池は、蓄電池 (Battery) のように燃料となる化学物質を電池内に保有するのではなく、外部から燃料を供給することで発電を行うことから、燃料さえ供給し続ければ連続して発電が可能な発電装置である。燃料電池本体に使われる金属材料の主な使用部位はセパレータであり、特に高温用途という観点から、最も高温で作動する固体酸化物形燃料電池 (SOFC) のセパレータに使用される金属材料を中心に解説する。

◇ 燃料電池の種類と構成

燃料電池の基本的な構成は、イオン伝導性を示す電解質を空気極と燃料極で挟んだ構成を単セルとし、これを電気伝導性を有するセパレータを介して積層してスタックとするものである。電解質

の材質の種類によって、リン酸形 (PAFC)、熔融炭酸塩形 (MCFC)、固体高分子形 (PEFC)、固体酸化物形 (SOFC) に分類される。その特徴を表 1 にまとめて示す。電解質の材質によって伝導イオンが異なり、作動温度が大きく異なる。作動温度の高い MCFC、SOFC では、金属セパレータに耐熱性、耐食性、耐酸化性を有するステンレス鋼が使用される。MCFC では、SUS310S、25%Cr-30%Ni-Al-Y 鋼、30%Cr-45%Ni-1%Al-0.03%Y 鋼などのオーステナイト系ステンレス鋼が使用、もしくは検討されている。SOFC では、フェライト系ステンレス鋼や Cr 合金などが用いられる。高温作動の燃料電池の中で、最も発電効率の高い SOFC は、実用化に向けた開発が精力的に行われていることから、SOFC 用金属セパレータ (SOFC の場合、インターコネクタともいう) について、以下に詳しく述べる。

◇ SOFC 金属インターコネクタに要求される特性

SOFC の構造には、主として円筒型と平板型があり、金属インターコネクタが使用されるのは、主に平板型である。代表的な平板型 SOFC の単セルの模式図を図 1 に示す。平板型 SOFC 用の金属インターコネクタの役割は、セル間を電氣的に接続すること、燃料ガスと空気を分離することであ

表 1 燃料電池の種類

型式	リン酸型 (PAFC)	熔融炭酸塩型 (MCFC)	固体高分子型 (PEFC)	固体酸化物型 (SOFC)
電解質	リン酸水溶液	Li-Na 系炭酸塩 Li-K 系炭酸塩	イオン交換膜 (高分子膜)	ジルコニア系セラミックス (安定化ジルコニア)
伝導イオン	H ⁺	CO ³⁻	H ⁺	O ²⁻
作動温度	200℃	600~700℃	70~90℃	600~1000℃
発電効率	35~42%	45~60%	35~40%	45~65%
出力規模	50~200kW	100kW~100MW	1~100kW	1kW~100MW
用途分野	オンサイト型コージェネ、 小型分散電源	中規模分散型、 大規模集中型	小型・家庭用コージェネ、 自動車	オンサイト型コージェネ、 小・中規模分散型~大規模発電

る。SOFC用金属インターコネクタは、この機能を高温、長時間の使用においても満足する必要があるため、高温での種々特性が要求される。平板型SOFCには、単セルを機械的に支持する部品によって、電解質支持型、燃料極（アノード）支持型、空気極（カソード）支持型、金属支持型があり、おおよその作動温度は、電解質支持型が850～1000℃、アノード支持型およびカソード支持型が700～800℃、金属支持型が600～700℃である。SOFC金属インターコネクタに要求される主な特性は、①ガスを透過しないこと、②セルの構成材料であるセラミックスに近い熱膨張係数、③作動温度での優れた耐酸化性、④作動温度において表面が酸化した状態での良好な導電性、⑤セルの劣化要因となるCr蒸発が少ないこと、⑥成形加工が容易であること、である。このうち、②、③、④、⑤については、参考文献1）にわかりやすく解説されているので参照されたい。また、SOFCセルスタックにおける金属インターコネクタの使用量がセラミックスセルに比べて多いことから、ス

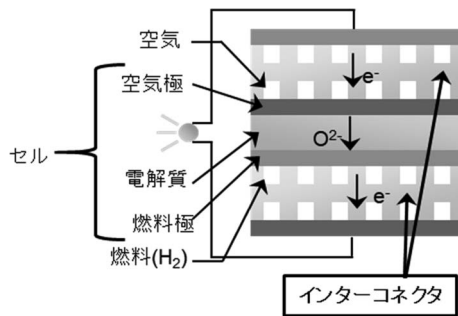


図1 代表的な平板型SOFCの単セルの模式図

タックに占めるコストの割合が高く、比較的安価であることも必要である。SOFCの耐久性に関しては、分野によっても異なるが、例えば、NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ（2017年12月）によると、家庭用燃料電池では2020年で10年、2025年で15年を目標とし、業務・産業用燃料電池では2017年頃～9万時間の見通しを得ること、2025年頃～13万時間の見通しを得ることを目標としている。

◇ SOFC用金属インターコネクタに使用されるステンレス鋼

表2にSOFC用金属インターコネクタの候補材料の特性比較を示す。Cr基合金は、Cr蒸発、加工性、コスト等の課題があるが、Cr蒸発抑制の保護コーティングの実施、粉末焼結によるニアネット形状の大量生産により、電解質支持型SOFCにおいて実用化されている。Ni基合金はCr蒸発、熱膨張係数、加工性、コストに課題があり、オーステナイト系ステンレス鋼はCr蒸発、熱膨張係数に課題があり、いずれも適用されていない。フェライト系ステンレス鋼は、Cr蒸発、耐酸化性に課題があるものの、全体的には特性のバランスが良く、最も有望である。このため、SOFCインターコネクタ用に特化したフェライト系ステンレス鋼がいくつか開発されている。

SOFCインターコネクタ用フェライト系ステンレス鋼の例として、ZMG[®]232G10、Crofer[®]22APU²⁾の代表的な化学成分を一般的なフェライト系ステンレス鋼であるSUS430と比較して表3に示す。このうち、ZMG232G10は、新エネルギー・産業技術

表 2 SOFC用金属インターコネクタの候補材料の特性比較

合金	Cr基合金	Ni基合金	オーステナイト系 ステンレス鋼	フェライト系 ステンレス鋼
ガス透過	無	無	無	無
熱膨張係数 (セラミックス電解質対比)	非常に近い	やや大	大	近い
耐酸化性	良好	良好	良好	やや良好
導電性	良好	良好	良好	良好
Cr蒸発	多	やや少	やや少	やや少
加工性	悪	やや悪	良好	良好
コスト	非常に高	高	低	低

表 3 SOFCインターコネクタ用フェライト系ステンレス鋼の開発例およびSUS430の化学成分の一例
(mass%)

鋼 種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	Cu	Al	Ti	Nb	Zr	La	Fe
ZMG232G10	0.02	0.05	0.27	23.6	1.99	—	0.96	0.08	—	—	0.32	0.06	bal.
Crofer22APU	0.002	0.02	0.38	22.7	—	—	—	0.02	0.07	—	—	0.06	bal.
SUS430	0.04	0.19	0.43	16.3	—	—	—	0.004	—	—	—	—	bal.

(注) ZMGは日立金属株式会社、CroferはVDM Metals International GmbHの登録商標です。

総合開発機構（NEDO）の委託研究の中で、国内で開発された鋼種である。これらのSOFCインターコネクタ用に開発された鋼種は、耐酸化性向上のため、SUS430に比べてCrを多く含み、さらに数種類の添加元素を含んでいる。また、Si、Al等の絶縁性酸化膜を生成する元素は低めとし、Cr蒸発を抑制するスピネル酸化膜を最表面に形成させるためにMnを適量含んでおり、また、酸化膜の剥離を抑制する目的で希土類元素であるLaが少量添加されている。ZMG232G10においては、さらにZr添加による酸化膜の密着性改善、W添加による酸化膜の成長抑制、Cu添加によるCr蒸発抑制を図っている。しかし、これらのSOFCインターコネクタ用に開発されたフェライト系ステンレス鋼においても、Cr蒸発を完全に防ぐことはできないため、主として導電性セラミックスの保護コーティングが施されて使用される。したがって、特性、コストなどについてのコーティングとの相性も要求され、コーティングも含めてインターコネクタとして長期間の実用特性の評価が行われている。

むすび

燃料電池に使用される金属材料のうち、最も高

温で作動するSOFC用途を中心に要求特性と適用材料について紹介した。SOFCの金属インターコネクタには、耐酸化性、熱膨張特性などだけでなく、他の高温用途では要求されない酸化膜の導電性、Cr蒸発の抑制などの特殊な要求があり、インターコネクタに特化した鋼種が開発されている。また、SOFCインターコネクタ用の保護コーティング技術も開発されてきており、フェライト系ステンレス鋼との組合せによるインターコネクタとしての特性改善も進んでいる。これらの材料技術の進歩が燃料電池の実用化、普及に貢献し、地球環境の保護に役立つことを望んでいる。

謝 辞

本研究は平成20～22年度に行われた新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託研究「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」にて得られた成果を含むものです。

関係各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 山村：特殊鋼、66巻、2号（2017年3月）p. 33
- 2) R. Trebbels, T. Markus and L. Singheiser; ECS Transactions, 25 (2) (2009) p. 1417-1422

3. 航空機エンジン

(株)IHI技術開発本部 基盤技術研究所 材料研究部 主任研究員 佐々木 厚 太

まえがき

航空機エンジンとして使用されるジェットエンジンは、重量に厳しい制約があることや氷点下のファン部から千数百度のタービン部まで作動中の温度範囲が幅広いことから、各部品に最適な材料の適用が徹底されており、非常に多種の材料が使用されていることが特徴である。本項ではジェットエンジンに使用されるステンレス鋼、耐熱鋼およびNi基耐熱合金について、その特徴と開発のトレンドを簡単に解説する。

◇ ステンレス鋼、耐熱鋼

図1にジェットエンジン用材料の適用割合の変遷を示す¹⁾。鉄鋼材料は1960～70年代にエンジンの高性能化に伴い、耐熱性の面からNi基耐熱合金に、比強度の面からTi合金に置き換えられてきた。例えば、かつてタービンディスク材として使用されていた、FV535、A286、Incoloy901、V57といった耐熱鋼は、Alloy718を代表としたNi基耐熱合金に完全に置き換えられており、近年のジェットエンジンにおける高温用途としては、鉄鋼材料は主

にコスト面での優位性を生かした限定的な適用にとどまっている。代表的な適用例として、耐熱耐食性が必要とされる潤滑系の配管や鋳造部品へのSUS321、SUS347や、高強度部材への17-4PHといったステンレス鋼があげられる。

また、ユニークな例として、圧縮機ケーシングへのIncoloy909や国内で開発された²⁾ HRA929（HRA：日立金属登録商標）といった低熱膨張率耐熱鋼の適用がある。圧縮機の回転体（ディスクや動翼）には熱膨張率の低いTi合金が使われており、動翼とケーシングとのクリアランスを最小限にコントロールして圧縮機の効率を高めるためには、ケーシングには同等の熱膨張率を持つ材料を使用することが望ましい。ケーシングにTi合金ではなく低熱膨張率耐熱鋼を適用することは、Ti合金同士の接触によるチタンファイアという発火現象のリスクを取り除きつつ、クリアランスのコントロールを可能にするものである。

高温用途以外で見れば、鉄鋼材料はシャフト、ギアおよびベアリングといった重要部品に使用されており、引き続きジェットエンジンの主要な構成材料の一部である。

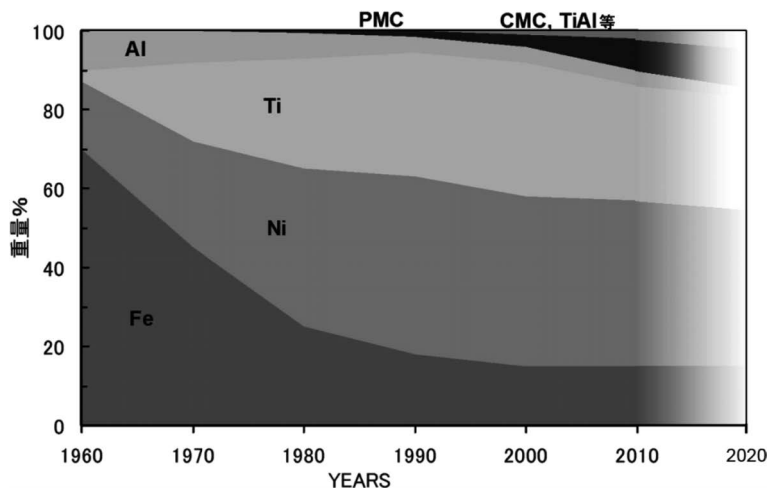


図 1 ジェットエンジン用材料の適用割合

◇ Ni基耐熱合金

Ni基耐熱合金は、圧縮機後段以降の高温部の大部分に使用されており、ジェットエンジンの約40%の重量割合を占めている。特に、1500℃を超える燃焼ガスにさらされるタービン翼、およびそれらを支え最大10,000rpmを越える回転に耐えるタービンディスクには、エンジンの高性能化に伴い、より耐用温度の高い合金が開発され、適用されている。

1. タービンディスク用耐熱合金

タービンディスクは、ジェットエンジンの最重要部品の一つであり、極めて高い高温強度特性と信頼性が求められる。タービンディスクに用いられるNi基耐熱合金は、その製造方法から、溶製鍛造材（C&W: Cast & Wrought）と粉末冶金材（PM: Powder Metallurgy）の2種類に分けることができる。図2に代表的なディスク用耐熱合金の高温高強度化のトレンドを示す。

C&W材は、不純物を極限まで排除する3重溶解工程（VIM+ESR+VAR）を経て製造される。C&W材としては、 Ni_3Nb 型の γ'' 相の析出強化を利用したAlloy718が広く普及しており、LCF強度特性を向上させるため、微細粒化製造工程を採用したHS718、DA718が民間エンジンの低圧タービンディスクの大部分に使用されている。より高温で

使用されるC&W材として、高温で組織的に安定な Ni_3Al 型 γ' 相が析出するU720Liが開発されているがPM材の開発、適用が進み、タービンディスクへの適用は限定的であった。ところが、近年、PM材は欧米で戦略技術として囲い込まれていること、また製造装置の維持も含めた経済性の問題などから、PM材に匹敵する高温強度特性を持ったC&W材の開発が進められるようになった。U720Liより50℃耐用温度を向上させた国産材のTMW合金や³⁾、PM材であるRene88DTをC&W材として改良したRene65などが、PM材の代替材としてエンジンへの適用が進められている⁴⁾。また、欧州で開発されたAD730は高温強度特性とコストのバランスを考えて、各種Ni基耐熱合金のスクラップ材を混合して原料として用いることができるように合金組成が工夫されている⁵⁾。これらの合金は、エンジンの高温化に伴ってAlloy718に代わって低圧タービンディスクにも適用が進められようとしている。

一方、PM材はガスアトマイズ法などによって製造された均質で微細な粉末を原料として用いることにより、合金設計の自由度が高く、多種、多量の元素を添加することで、C&W材より高い高温強度特性を得ることができる。現在製造されているほぼすべてのジェットエンジンの高圧タービンディスクにはPM材が適用されている。米国では、AF115やIN100PMといった高温での強度を重視し

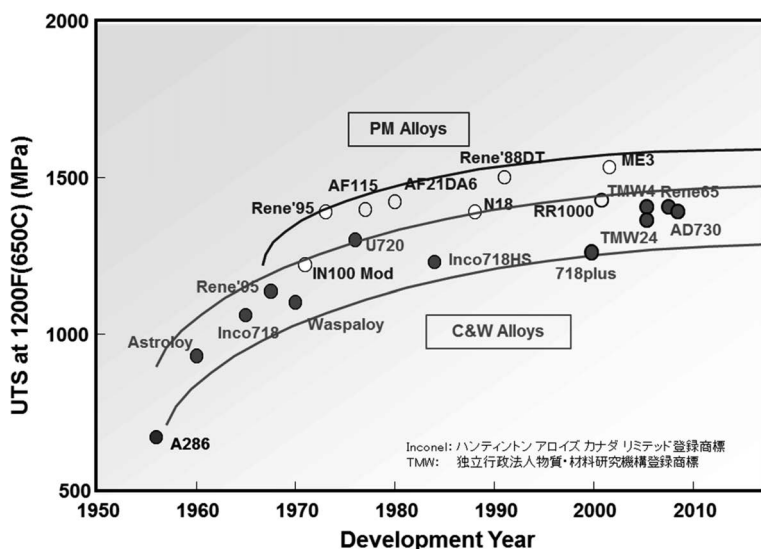


図 2 代表的なディスク用耐熱合金の高温高強度化のトレンド

た合金が開発されていたが、PM材は製造中の介在物等の混入を完全には排除できないことから、損傷許容性を高めるためにき裂進展特性を改善したRene88DTが開発され⁶⁾ PM材のジェットエンジンへの適用が進んだ。さらに、米国では、最高の耐用温度を目指したME3が開発されており⁷⁾、欧州では、N18およびそのクリープ特性を大幅に向上させたN19や、RR1000が開発されている^{8)、9)}。

2. タービン翼用耐熱合金

図3に、タービン翼用耐熱合金のクリープ耐用温度のトレンドを示す¹⁰⁾。1980年以降、単結晶合金(SC: Single Crystal)の適用が始まり、現在製造されているジェットエンジンの高圧タービン翼のほぼ全てはSC合金になっている。最新のエンジンではタービン入口ガス温度は、1700℃以上に達しており、SC合金の耐用温度のみならず融点(約1350℃)を大きく超えている。そこで、翼内部に空気を流すための複雑な流路を設けて冷却するとともに、翼面をコーティングと冷却空気層で遮熱することで、金属表面温度を耐用温度以下に下げるように設計が行われている。

SC合金は重元素の添加によって析出 γ' 相強化や固溶強化などの向上が図られており、特にRe添加量が合金世代を特徴付けている。Reを含まない第1世代(PWA1480、CMSX-2等)からReを3wt%程度含む第2世代(PWA1484、CMSX-4、Rene

N5等)、Reを5~6wt%含む第3世代(CMSX-10、Rene N6、TMS-75等)へと世代が進むにつれ、耐用温度は約25℃向上する¹¹⁾。

第3世代合金は、高温長時間での使用でTCP(Topologically Close Packed)相と呼ばれる針状の有害相が発生し^{11)、12)}、このTCP相の増加とともに強度が低下することが知られている¹³⁾。この問題点を克服するために、白金族系元素を添加した第4世代以降のSC合金開発が行なわれているが、この分野では日本が世界をリードしている。

米国では、F-35戦闘機用エンジンのタービン翼の候補合金として、EPM-102(MX-4、PWA1497)が開発された¹⁴⁾。

国内において開発された合金としては、第4世代のTMS-138、第5世代のTMS-162、196などがあり^{15)、16)}、一連の開発の中で選定された合金が、ボーイング787用ロールス・ロイス社製エンジンTrent1000のタービン翼に適用されている。近年、さらに第5世代を超える合金として耐用温度1120℃級のTMS-238が開発されている¹⁷⁾。

SC合金について、希少元素添加により耐用温度を向上させる技術は、エンジンの高温化による性能向上には必須の技術となっている一方で、材料コストの上昇、入手性の悪化等のリスクを抱えており、使用量の削減が課題となっている。Re量抑制の取り組みとして、Re量を第2世代SC合金の

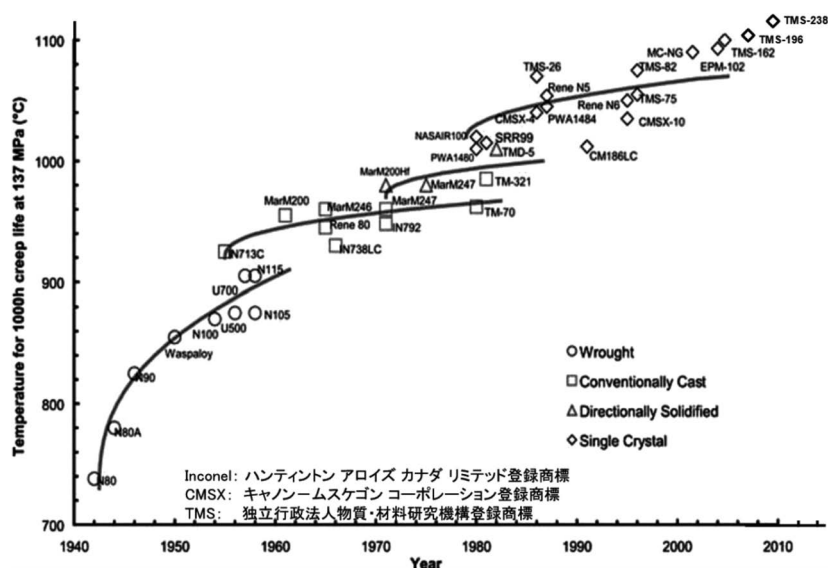


図 3 タービン翼用耐熱合金のクリープ耐用温度のトレンド

Rene N5から半減させ1.5%にしたRene N515、および0%にしたRene N500という新しいSC合金の開発が行われている。Rene N515はRene N5と同等のクリープ特性を示すことが報告されており、CFM56エンジンの高圧タービン翼に、従来使われていたRene N5に代わって、適用が始まっている¹⁸⁾。

低圧タービン翼に対しては、Alloy713CやRene80等の通常鑄造材 (CC: Conventional Cast) が主に使われている。近年、エンジンの高温化により低圧タービンの最前段はCC材の耐用温度を超えており、一方向凝固材 (DS: Directionally Solidified) やSC合金の適用が進んでいる。また、比較的低温な後段のタービン翼には、比重がNi合金の半分のTiAlの適用が始まっている。ボーイング787用GE社製エンジンGE_{nx}には民間エンジンで初めてTiAl製タービン翼が適用されている¹⁹⁾。

むすび

航空機エンジンに使用されるステンレス鋼、耐熱鋼および耐熱合金について、適用部品や開発動向を概説した。エンジンの高性能化には設計技術の向上とともに、これらの材料開発が大きく貢献してきた。航空機の需要は当面右肩上がりであり、機体数は年率5%で増加していくことが予測されている。よって航空機エンジンの環境負荷はより

一層の低減が求められ、それに応じてCMCなど新たな耐熱材料の開発も進められている。また、地道な高温化への取り組みの一方で、今後は、オープンロータといったエンジン形態の変化も検討されており、大きな技術的なブレイクスルーにつながる材料開発が期待されている。

参考文献

- 1) 佐々木厚太ほか：学振123委員会研究報告、57、(2016) p. 84
- 2) K. Sato et al.: SUPERALLOY 1992、(1992) p. 247
- 3) Y. F. Gul et al.: SUPERALLOY 2008、(2008) p. 53-61
- 4) J. A. Heaney et al.: 8th International Symposium on Superalloy 718 and Derivatives、(2014) p. 67-77
- 5) A. Devaux et al.: SUPERALLOY 2012、(2012) p. 911-919
- 6) D. Kruger et al.: SUPERALLOY 1992、(1992) p. 277-286
- 7) NASA/TM-2002-211796
- 8) C. Ducrocq et al.: SUPERALLOY 1988、(1988) p. 63-72
- 9) I. Molyneux: CBM Global Trends Conference 2005、(2005)
- 10) R. C. Reed: The Superalloys、(2006) p. 19
- 11) 青木祥宏ほか：石川島播磨技報、Vol. 42、No. 4、(2002) p. 232-237
- 12) G. L. Erickson: SUPERALLOY 1996、(1996) p. 35-44
- 13) K. S. O'Hara et al.: U. S. Patent 5482789、(1996. 1)
- 14) S. Walston et al.: SUPERALLOY 2004、(2004) p. 15-24
- 15) Y. Koizumi et al.: SUPERALLOY 2004、(2004) p. 35-43
- 16) 佐藤彰洋ら：日本金属学会誌、第70巻、第2号 (2006) p. 19
- 17) K. Kawagishi et al.: SUPERALLOY 2012、(2012) p. 189-195
- 18) JOM Vol. 62 No. 1 (2010)
- 19) 守屋信彦：航空技術、No. 645、p. 35 (2008)

4. 化学プラント

日本冶金工業(株) と つか さとる
ソリューション営業部 戸 塚 覚

まえがき

化学プラントの定義として一般的には化学製品を生産する設備・施設と言える。

狭義では石油を原料にエチレン等の石油製品を製造する石油化学プラントを指す場合もあるが、広義では化学反応（合成・分解・分離 等）により製品を製造するプラントという場合もある。ここでは広義の化学反応により製品を製造するプラントと解釈する。

◇ 要求特性

化学プラントで用いられる耐熱鋼・耐熱合金が要求される特性は主に以下の4点である。

- 【1】耐酸化性 使用温度域で予定される以上の酸化減量があつてはならない。
- 【2】高温強度 使用温度域においても必要な強度を保持し著しい変形があつてはならない。
- 【3】耐食性 高温腐食環境において、予定されていた以上の腐食があつてはならない。
- 【4】クリープ特性 クリープ変形が起きないこと。

※クリープとは高温で荷重を受ける金属はその温度での見かけ上の降伏点以下の小さい応力でも時間の経過とともに伸びを生じ、破断が生じる場合もあり、その現象のこと。

◇ 化学プラントにおける主な高温プロセスと構成材料

【1】化学プラントにおける主な高温プロセスと構成材料を表1に示す。但し商標登録されているような名称の素材は省いた。また温度・材質は各社の操業条件により異なる。

【2】JIS G4311、4312、4901、4902の範疇の鋼種・合金の特性は総論の項を参照願う。ここでは簡単に特徴を示す。

- ・Cr-Mo鋼 Cr鋼にMoを添加改良したもの。高温強度に優れ非腐食性雰囲気 で用いられる。
- ・SUS304 マイルドな腐食環境で使用されるが、600℃前後に粒界腐食の鋭敏化領域があるため使用条件を選ぶ。非腐食環境では900℃近傍まで使用可能。
- ・SUS321、347 SUS304にTiやNbを添加し高温強度・クリープ特性を改善したもの。

表 1 化学プラントにおける主な高温プロセスと構成材料

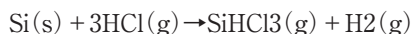
プロセス	内容	温度条件	主な腐食条件	主な使用素材	阻害要因
流動接触分解 FCC	重質油を分解反応し高オクタン価のガソリン精製	470～700℃	高温・エロージョン・ポリチオン酸	SUS304 Cr-Mo鋼 SUS321	クリープ エロージョン SCC
水素化脱アルキル HDA	トルエン／キシレンからアルキル基を水素で置換してベンゼン精製	300～700℃	S添加 ポリチオン酸 高温H ₂ -H ₂ S	SUS304 SUS321 SUS347	クリープ 再熱割れ SCC
水素製造	脱硫ナフサを触媒下でスチームと反応させて水素を生成	100～900℃	高温H ₂ , CO ₂	Cr-Mo鋼 SUS304L NCF800 NCF600	クリープ 浸炭 焼き戻し 脆化
アンモニア製造	窒素と水素を高温下で反応させる	≤950℃	高温H ₂ , NH ₃ , CO ₂ , N ₂	NCF800 他	クリープ 浸炭 焼き戻し 脆化 窒化 水素侵食
エチレン	ナフサを希釈スチームと共に熱分解させ生成	-35～900℃	高温H ₂ , HC	Cr-Mo鋼 SUS304 NCF800	クリープ 浸炭 焼き戻し 脆化
ポリシリコン製造	低純度シリコンを塩素化し精製後脱塩素	400～600℃	高温HCl, Clガス	SUS347 NCF800H N08120	クリープ SCC

- ・ NCF800系 32Ni-20Cr Al Ti SUS310S よりも高温強度・耐酸化性・耐食性に優れる。
- ・ NCF600 77Ni-16Cr-6Fe 汎用的に使われるNi合金の中では最も高温特性に優れるが高価である。

◇ 耐熱合金を用いる化学プラントの実例

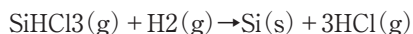
1. ポリシリコン生成プロセス

不純物の多い金属Siを精製するために最初にHClによりトリクロロシランガスを作る。



この工程が高温（約600℃）高圧かつ塩酸が存在するため高温強度が高く耐食性の良いNAS800H（NCF800H）耐熱合金が用いられる。

このトリクロロシランガスを精製しCVD反応炉へ送り下記反応で種Siロッドの上にSiを析出させる。



出来上がった製品がポリシリコンである。

これを再度溶解して単結晶・多結晶シリコンを製造する。

これらの製造過程では、高温・高圧の方が反応

速度もあがり効率的ということで耐熱合金が用いられる。また塩素ガスや塩化物環境ということもあり耐食かつ耐熱合金が必要となる。

2. ポリシリコン製造に用いられる特殊鋼

そこで用いられる素材はJIS G4902 NCF800H（ASTM B409 UNS N08810相当）という合金である。その成分規格を表2に示す。

NCF800Hは基本的にはNCF800と同様な成分系だが、高温域でのクリープ強度が要求される用途のため、炭素はNCF800の0.10%以下が0.05～0.10%と高めに誘導し、熱処理は焼きなまし（980～1060℃）が固溶化熱処理（1100～1170℃）になり、結晶粒度は5またはこれより粗い事となっている。その装置の例を写真1に示す。

図1はJIS B 8265（圧力容器の規格）の許容応力曲線である。許容応力とはある温度で変形しないで継続的に使用可能な応力を示したものである。

一般的な耐熱鋼のSUS310SよりNCF800系のほうが550℃以上では許容応力が大きく特に625℃を境にNCF800Hの許容応力が一番高くなっている。またAlとTiを含有しているため耐高温酸化と耐高温腐食の特性も優れている。

表 2 JIS G4902 NCF800 NCF800H

成分	C	Si	Mn	P	S	Ni
NCF800	0.10以下	1.00以下	1.50以下	0.030以下	0.015以下	30.00～35.00
NCF800H	0.05～0.10	1.00以下	1.50以下	0.030以下	0.015以下	30.00～35.00
成分	Cr	Cu	Al	Ti	Fe	
NCF800	19.00～23.00	0.75以下	0.15～0.60	0.15～0.60	BAL	
NCF800H	19.00～23.00	0.75以下	0.15～0.60	0.15～0.60	BAL	



写真1 水素化流動床反応器 NAS800H（NCF800H）

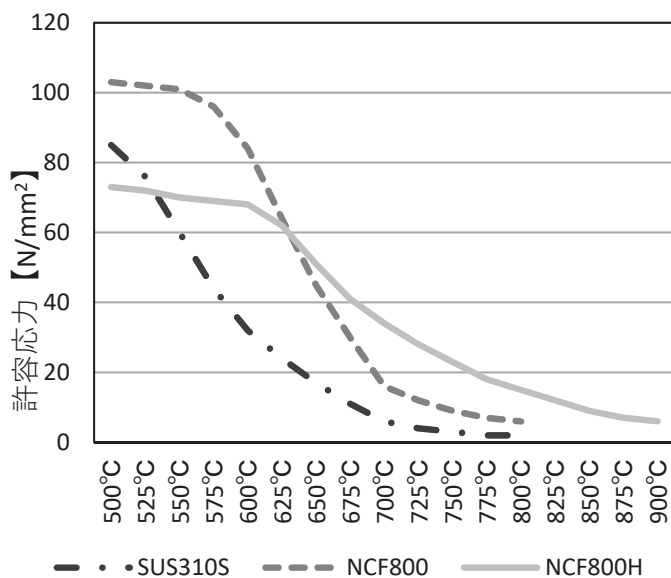


図 1 高温域での許容応力

むすび

化学プラントの高温領域で使われる耐熱鋼・耐熱合金は本報であげたもの以外にも多種多様な部分で使われている。今回はプロセス中の反応系に使われる耐熱鋼・耐熱合金に特化した、これ以外にも加熱バーナーにはSUS309S SUS310S等が使われ、加熱炉にも左記 2 鋼種以外にNCF600 NCF601等が使われている。

参考文献

- 1) 山本栄一 溶接技術2010 VOL7 P128
- 2) Chiang Mai J. High Purity Polycrystalline Silicon Growth and Characterization Sci. 2007; 34(1): 47-53
- 3) ステンレス協会 ステンレス鋼の科学と最新技術
- 4) 田中良平 ステンレス鋼の選び方・使い方
- 5) ステンレス協会 ステンレスの初歩2015

Ⅲ. 会員メーカーの高温用途材料

山陽特殊製鋼(株)

耐酸化・耐高温腐食鋼 SICシリーズ

まえがき

鉄鋼の加熱炉や熱処理炉、非鉄金属や窯業における溶解炉などの工業炉では、熱効率の向上を図るため、燃焼にて生じた排ガスが、燃焼用空気を予熱するのに用いられる。この熱回収を行う装置の中でも、排ガスと燃焼用空気とを伝熱管を介して熱伝導させ、空気側を加熱する換熱式の熱回収装置はレキュペレータと呼ばれる。レキュペレータは、長期間使用されることが前提となっており、その間に種々の損傷を受けやすい。高温酸化もさることながら、燃料に含まれるS、V等の燃焼にて生じる高温ガスや燃焼灰による腐食も伝熱管の寿命を大きく左右する。伝熱管材料には、約800℃まで耐えられる耐酸化性、耐高温腐食性が必須であると同時に、排ガスの熱を燃焼用空気に伝える高い熱伝導性、温度変化に伴う変形を小さくするための低熱膨張性も求められる。これらの要求を満たし、伝熱管材料として使用されている当社の改良型シクロマル：SIC鋼についてここに紹介する。

◇ SIC鋼の特徴

当社のステンレス鋼製品ラインナップにおいてSIC鋼はSIC9、SIC10、およびSIC12と化学成分の異なる3種類の鋼種がある。SIC9、SIC10および

SIC12はそれぞれ13%、18%、24%のCrを含有し、SiとAlの添加量はそれぞれ、およそ1%である。SIC9、10、12の耐酸化性の限界温度はそれぞれ900℃、1000℃および1200℃が目安となる。

SIC鋼を800～1200℃の大気中で50時間連続加熱した場合の酸化減量を各種ステンレス鋼と比較して図1に示す。SIC9は17%CrのSUS430とほぼ同等の耐酸化性を有し、SIC10はSUS304より良好であり、24%CrのSUH446に匹敵する。SIC12はSUS310Sと同等であり1200℃まで安定した耐酸化性を示す。通常のステンレス鋼では耐食性が不十分な重油燃焼ガス雰囲気中でのSアタックやVアタックなどの高温腐食に対しても極めて優れた耐食性も有している。また、オーステナイト系ステンレス鋼に比べ熱伝導性は良好であり、熱膨張係数も低く、レキュペレータ用伝熱管材料に適した材料となっている。この他、SIC鋼はシクロマル特有の粗い表面状態や低い靱延性が、化学成分の調整をはじめとした各種対策によって改善されているのも特徴である。

むすび

SIC鋼はレキュペレータなど廃熱利用の熱交換器用途として既に広く使用され、需要家の皆様より好評を頂いている。更に今後、要求レベルが刻々と高まっている他の各種加熱設備用材料のニーズに対しても、SIC鋼の優れた性能が適合する可能性があると考ええる。

〔山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター 新商品・技術開発室 商品開発2グループ 細田 孝〕

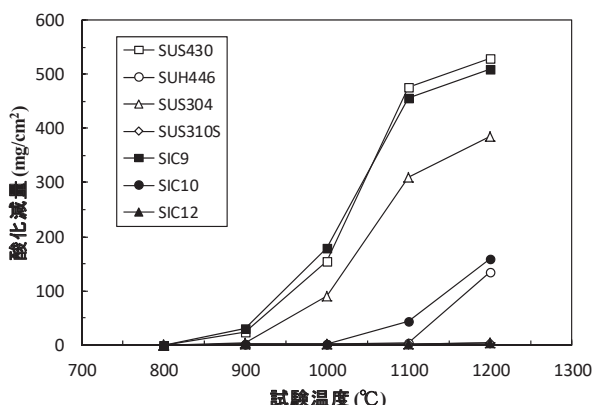


図 1 SIC鋼とステンレス規格鋼の耐酸化性比較（各温度で50時間保持）

高温対応耐熱ばね COWALLOY

まえがき

近年、排気ガス規制をクリアするために自動車エンジンの排気温度は年々高まる傾向にある。耐熱ばねは主に内燃機関において動弁系部品の開閉制御等に使用されているが、燃焼温度の上昇に伴い耐熱ばねにも高い耐熱へたり特性が求められてきている。また、ばねは主に線材を巻いたコイル形状をしており、耐熱ばね用途として適用する為には、熱間圧延、線材圧延による線材加工が可能であることが求められる。

◇ 特徴

従来このような高温環境にさらされる部材には、Alloy 718、Waspaloy¹⁾、Alloy U520などのNi基超合金が使用されている。これらの合金は主に γ' -Ni₃(Al,Ti)もしくは γ'' -Ni₃Nbを強化相としているが、当社では γ' -(Ni,Co)₃(Al,W)を強化相として利用したCo-Ni-Cr-W-Al合金COWALLOY[®]を開発した²⁾。COWALLOY[®]はAlloy U520と同等以上の高温強度を有しており、かつ熱間鍛造や線材圧延が可能である³⁾。COWALLOY[®]を用いて試作したばね(図1)を初期応力400MPaにて締結し、各試験温度で96h保持した後の荷重減少量を図2に示す。COWALLOY[®]は既存のばね用Ni基耐熱ばねに比べて荷重損失が少ない⁴⁾。

むすび

排気ガスの高温化が進む中で、内燃機関に使用

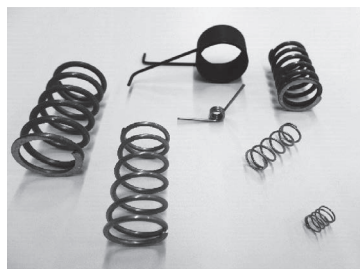


図 1 COWALLOY[®]製耐熱ばね

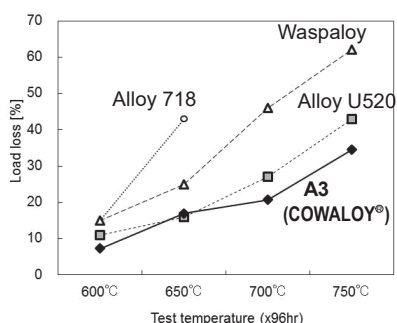


図 2 ばねの高温締結保持後の荷重損失

される耐熱材料には今後ますます高い耐熱性が求められていくと考えられる。COWALLOY[®]は優れた熱間加工性と高温強度を併せ持っており、今後排気バルブ、メタルガasketなどへも応用が広がっていくものと期待される。

参考文献

- 1) 谷本好則：ばね技術研究会2000年秋（2000）
- 2) 大崎元嗣：電気製鋼、Vol. 79（2008）、3、197
- 3) 小柳禎彦：鋳鋼と鍛鋼、No. 548（2018）、1
- 4) 鷺見芳紀：ばね論文集、No. 63（2018）、1

〔大同特殊鋼(株) 研究開発本部 特殊鋼研究所 耐食・耐熱材料研究室 すみ 芳紀〕

耐熱ヘタリ性に優れる 低Ni耐熱合金

◇ 開発の目的

近年、自動車の燃費向上や排ガス規制等の環境対応に際して、エンジンの燃焼温度や圧力が高まる傾向にある。そのため、エンジン部品にも更なる高温特性の向上が求められ、冷間圧延帯鋼（薄板）を素材としたプレス成形部品等でもオーステナイト系ステンレス鋼から超耐熱合金化の検討が進められている。高温部位で使用される上記のプレス成形部品は、高温下の形状変形を抑制するため、耐熱ヘタリ性（一定の荷重が作用する部品において、高温下で生じる形状変形の度合いを評価する指標）と呼ばれる特性が重要視される。この耐熱ヘタリ性は、高温強度に優れるAlloy718等の超耐熱合金が優れた性能を有するが、一方でニッケル（Ni）基合金系となるため、コスト高となる課題もある。これらの状況を鑑み、プレス成形部品の置換えとして検討が進められているAlloy718超耐熱合金よりも低Ni組成で、良好な耐熱ヘタリ性を有する耐熱合金の検討を行った。

◇ 開発の内容

良好な耐熱ヘタリ性を実現するため、Alloy718と同様、Ni基合金系の γ' （ガンマプライム）析出強化型となる超耐熱合金をベースとして、Alloy718対比、Ni含有量を約10%低減した当社鋼種名「ASL[®]171」の耐熱ヘタリ性について検討を行った。表1にASL171とAlloy718の概略成分比較を示す。ASL171は安定 γ （オーステナイト）領域を確保することができる範囲の低Ni組成で、アルミ（Al）、チタン（Ti）、ニオブ（Nb）量の最適化から析出強化（ γ' ）相の組成、相量を調整することで、高温強度の向上を図った当社の開発合金である。なお、ASL171は800℃付近でも比較的高い強度が得られる合金であり、一般的な超耐熱合金と同様、変形抵抗が高く、冷間圧延帯鋼への製造が極めて難しい合金組成である。当社では本合金の製造面についても検討を行い、熱間圧延、冷間圧延工程の製造条件等を最適化することで、板厚0.2mmの冷間圧延帯鋼を製造することも可能である。

表 1 ASL171、Alloy718概略成分の比較

(mass%)

鋼種	Ni	Cr	Mo	Al	Ti	Nb	Fe
ASL171	42	15	0.7	添加	添加	添加	残
Alloy718	53	19	3	0.5	0.8	5	残

◇ 開発の成果

一般的なオーステナイト系ステンレス鋼SUS304も含めて、Alloy718とASL171の耐熱ヘタリ性を比較評価した。図1に、熱ヘタリ試験に使用した治具の模式図を示す。板厚0.2mmの平滑な試験片を平面5mm曲げとなるように図1の試験治具へセットし、試験温度600℃、700℃、800℃の3水準で4hr後の各熱ヘタリ（凸変形）量を測定した。図2に、試験結果を示す。何れの試験温度においてもASL171の熱ヘタリ量が最も小さく、800℃におけるAlloy718の熱ヘタリ量と比較して、約43%の低減効果が得られた。

現在、ASL171は①低Ni組成によるコストメリット、②優れた耐熱ヘタリ性から、高温部位で使用される自動車用プレス成形部品の性能向上に大きな期待が寄せられ、サンプル評価を頂いている。将来的にはASL171の成分、製造条件の更なる改良から、素材特性をより向上させる検討も進めていく所存である。

〔日立金属株 安来工場 技術部 マネージャー たけはら りゅうじ 竹原 隆司〕

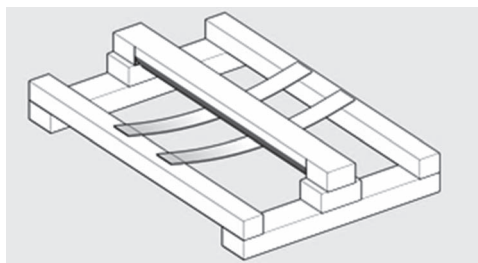


図 1 熱ヘタリ試験治具の模式図

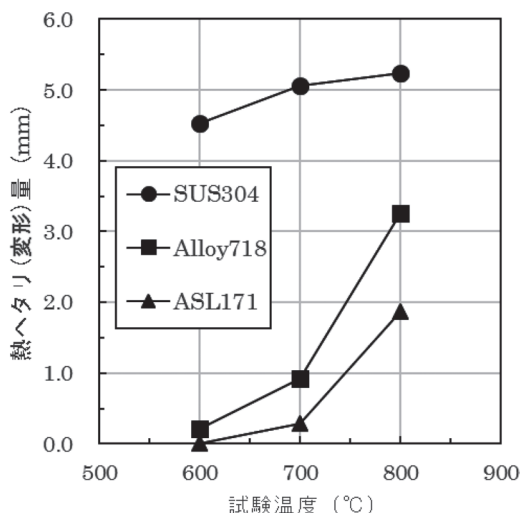


図 2 SUS304、Alloy718、ASL171熱ヘタリ量

業界のうごき

伊藤忠丸紅特殊鋼、 「えるぼし」企業認定を取得

伊藤忠丸紅鉄鋼（MISI）は、厚生労働大臣から「えるぼし」の企業認定を7月27日付で受けた。

「えるぼし」とは、2016年4月に施行された「女性の職業生活における活躍の推進に関する法律（女性活躍推進法）」に基づいた届出を行い、その取り組みの実施状況等が優良な企業が認定されるもの。今回、MISIは3段階中、2段階目の認定を取得した。

MISIは本年度スタートした第6次中期経営計画において、「ダイバーシティの推進」を重点施策の一つに設定。性別・国籍・年齢等、多様な人材がそれぞれの力を発揮できる組織・環境づくりを目指しており、その一環として女性社員の活躍推進にも注力している。（8月1日）

UEX、 残材管理システムが本格稼働

UEXは、伊勢原スチールサービスセンター（神奈川県伊勢原市）で「鋼板残材管理システム」を本格導入した。顧客所有物を除く保管残材をタブレット端末でシステムにデータ登録、専用ラベルを貼り付けし管理するもので、納期対応力強化と歩留まり向上につながっている。

営業が顧客の注文を受け発行される「出荷指示書」の内容に応じた残材を探す際に、残材管理システムにより鋼種や板厚・長さなどの条件から適切な残材を検索できる。歩留まりを最優先した検索結果上位が表示され、最上位の鋼板を活用する。検索結果には置き場も明示され、残材を探す手間を最小限にしている。

同様の管理システムは業界内でも導入している会社は限られており、先進的な取り組み。同社は2014年ごろから導入を開始し、今年4月から

本格的に稼働した。（9月6日）

佐久間特殊鋼、 CFRP事業に参入

佐久間特殊鋼は、自動車部品製造などを視野に入れたCFRP（炭素繊維複合材料）事業に参入する。コストも環境負荷も低いリサイクル炭素繊維を使った短繊維射出成形分野をターゲットに、複合物をナノレベルで均一分散できる技術を擁する、HSPテクノロジーズと共同で研究開発を推進。将来的な自動車の機構変化などに伴う新素材の需要拡大に先行して量産体制まで構築し、2021年の事業化を目指す。

同社は昨年から開発体制の整備に着手。このほど研究開発事業が採択された「新あいち創造研究開発補助金」も活用し、東海支店内に約2,000万円を投じ、テストピースの作成や材料評価を行う実験室を開設した。設備にはドラフトチャンバーやプレス機、デジタルマイクロスコープなどを導入し、この7月には少量試作評価を終え、今後中量試作に入る。

計画では今年に基礎技術、19年に実用化技術、20年に量産化技術を確立し、21年での事業化を目指す。

（8月1日）

佐藤商事、 カンボジアに進出

佐藤商事が6月にカンボジア・プノンペンで設立した現地法人「サトージョージ・カンボジア」が、8月から営業を開始した。取引先部品メーカーのカンボジア進出に伴い、物流を担う現法として進出する。同時に同社グループのベトナム、タイ、インドネシア拠点などと連携し、アセアンでのさらなる事業拡大を目指す。

プノンペン経済特区に拠点を置く。佐藤商事100%出資で、資本金

は70万米ドル（約7,800万円）。代表者は伊藤明彦執行役員。現地代表は小林孝宏氏で、現地社員4人を加えた5人体制で始動する。（8月1日）

清水鋼鉄、 道内配送オーバーチャージを改定

清水鋼鉄は10月1日受注分から、北海道で運送コスト上昇を受けた配送オーバーチャージの改定を実施する。苫小牧製鋼所がある苫小牧市内や札幌、千歳、恵庭、北広島市内を除き、現行比トン当たり1,000～2,000円値上げする。

現在、運転手不足や軽油の高止まりで運送コストが上昇しており、メーカー、運送会社での自助努力では吸収できない状況になっている。また、運転手の総労働時間規制の問題もあり、遠距離地域への輸送にも支障をきたす懸念がある。

改定後の配送オーバーチャージは苫小牧市内などのゼロは変わらず、以降、2,000円、3,000円、5,000円となる。契約出荷予定日を超過したオーダーに関しては、11月1日から新運賃を適用する。（9月14日）

堀田ハガネ、 YouTubeにチャンネル開設

特殊鋼流通の堀田ハガネは、会社PRの一環として、動画配信サイトYouTubeに、同社のコーポレートキャラクター「ガンニッケルマン」チャンネルを開設した。

ガンニッケルマンは、同社の主要鋼種のひとつである含ニッケル鋼をイメージしたキャラクター。名刺に印刷されたり、大阪府貝塚市の水間観音駅から貝塚駅の区間を走る「水間鉄道」の列車のヘッドマークに装着されるなど、以前からPR活動に活用。本社の受付には踊ったりしゃべったりできる同キャラクターロボットも配置しており、来訪者を楽

業界のうごき

しませている。

ガンニッケルマンチャンネルでは、同社社員やロボットが踊る様子などを紹介しているほか、社歌「いつも笑顔で」とイメージソング「行け！ガンニッケルマン」のプロモーションビデオも公開している。

(8月6日)

三井物産、豪鉄鉱石プロジェクト参画

三井物産は、豪州のカーペンタリア・リソーシズ社とピュア・メタルズ社が推進するHawsons鉄鉱石プロジェクトの事業化調査に参画することを決め、3社間で関連契約書を締結した。三井物産は同プロジェクトに必要な調査費の20%を負担し、事業化された際に生産量の20%を引き取る権利（オフテイク権）が獲得できるオプションを取得する。

プロジェクトでは、豪州ニューサウスウェールズ州ブローケンヒル周辺に位置する未開発鉱区を新たに開発、年間約1,000万トンの高品位鉱の生産を目指している。鉄鉱石が柔らかく粉砕プロセスが容易であり、不純物が分離しやすい特性を有しているため、生産に関わるコストが比較的低く、高い価格競争力が見込まれる。世界的に供給ひっ迫が予想される高品位鉄鉱石の需要に対応するもの。

(8月9日)

愛知製鋼、開発鋼が「技術開発賞」

愛知製鋼がアイシン・エイ・ダブリュ、新日鉄住金と共同開発した「マイルド浸炭用鋼MSB20」が、日本金属学会の技術開発賞を受賞した。技術開発賞は、創意あふれる開発研究を推奨する目的で、金属工学に関連する新技術・新製品などの独創的な技術開発に携わった技術者に対し贈られるもの。

「マイルド浸炭用鋼MSB20」は、アイシン・エイ・ダブリュが開発した表面硬化熱処理方法である「マイルド浸炭プロセス」の特徴を最大限に発揮できるように開発した鋼種。モリブデンとクロムを添加せず省資源化を図りながら成分を最適化したことで、ディファレンシャルリングギヤ（車が曲がるときの内側と外側の車輪の速度差を吸収する差動機構に使用されるリング状のギヤ）などの自動車用部品のさらなる高強度軽量化を実現した。これにより、ユーザーの素材コスト低減や自動車の燃費改善に貢献するだけでなく、資源枯渇問題が顕在化するなか、サステナブル社会の実現に向けた技術としてさらなる展開が期待できる。(9月20日)

神戸製鋼所、「AI推進プロジェクト部」新設

神戸製鋼所は、AI（人工知能）を活用して、製品開発力とものづくり力の強化を目指す専任組織「AI推進プロジェクト部」を、10月1日付で技術開発本部内に新設する。技術者約20人を専任として配置し、材料や機械製品の開発・ものづくりにおいて、他社との差別化が可能となる技術の確立を目指す。

製鉄プロセス制御の分野などでこれまでもAIを活用してきたが、同社2020年度グループ中期経営計画では、対象範囲を拡大させ、大量のデータを効率よく処理して利用するデータ活用活動を推進。ディープラーニング（深層学習）による画像認識やデータ分析技術で有益な情報を取り出す、テキストマイニングの活用にも取り組み始めている。

AI推進プロジェクト部発足を機に、さらに製品開発力の向上や、ものづくり力強化に貢献するソリューション開発力の向上に注力していく。

(9月27日)

合同製鉄、朝日工業を子会社化へ

合同製鉄は、朝日工業に対して株式公開買付け（TOB）を行い、子会社化する。公正取引委員会の審査を経て、2019年2月上旬までにTOBを実施する予定。完全子会社か少なくとも連結子会社化を目指しており、完全子会社化する場合の買付金額は126億円。少子高齢化などで長期的に国内建設用鋼材需要の伸びが期待できない中、高強度鉄筋などの高付加価値製品を中心とした製品ラインアップの拡充やデリバリー性の向上、コスト削減などのシナジー効果で競争力の強化を目指す。

鉄筋事業では、合同製鉄の船橋製造所と完全子会社の三星金属工業、朝日工業で販売方針・営業施策などを共有するとともに、製造設備や技術などの経営資源の相互活用を目指す。朝日工業が製造するねじ節鉄筋の合同製鉄への供給、高強度鉄筋をはじめとする高付加価値製品を中心とした製品ラインアップのさらなる拡充を図る。

構造用棒鋼事業では製造・販売面で市場の重複がほとんど見られない上、製造サイズも合同製鉄が直径40ミリ以上の太径、朝日工業は直径50ミリ以下の細径を中心と補完性の高い製品構成となっていることから、子会社化後はそれぞれの得意分野を活用した共同販売展開などを推進する。

(8月7日)

新日鉄住金、山特子会社化の契約締結

新日鉄住金は、新日鉄住金による山陽特殊製鋼（山特）の子会社化等に関する契約を締結した。同契約に基づき、2019年3月28日に山特の議決権比率を51・5%に引き上げ同社を連結子会社化するとともに、山特は新日

業界のうごき

鉄住金の完全子会社であるスウェーデンの特殊鋼メーカー、オバコ社の株式を取得し、完全子会社化する。

新日鉄住金は山特とともに、オバコとの3社連携を視野に入れた特殊鋼事業の強化とグローバル事業推進体制の構築に向けて、基本スキームを本年3月に発表。予定通り今回の正式契約に至った。

新日鉄住金は山特をグループに加え、八幡製鉄所や室蘭製鉄所などを含めた特殊鋼分野での最適生産体制の構築や、資機材などの調達コスト低減を進める。山特は、オバコ社との一体的事業運営を可能とし、軸受鋼を中心に特殊鋼分野の競争力強化を図る。

山特としては年間50億円以上、同社を含めた新日鉄住金グループ全体では年間100億円程度の相乗効果の発揮を目指していく。(8月2日)

新日鉄住金ステンレス、 「SUS323L」道路橋に採用

新日鉄住金ステンレス(NSSC)の高強度・高耐食ステンレス鋼「SUS323L」が、国内初となる省合金型二相ステンレス鋼厚板を主要部材とした道路橋(テラス橋)に採用された。隣接する排水機場の水門にも使用され、鋼材使用量は道路橋で約10トン、水門で約40トンの計50トン。

同道路橋では、排水機場に隣接する立地上の制約から排水機場の工事時には取り外し可能なこと、桁下が低く再塗装が困難なことからメンテナンスフリーであること、平坦な橋面を実現する高強度の材料であることなどの要求事項があり、検討の結果、NSSC製厚板の採用が決まった。日本鋼構造協会(JSSC)が土木構造物のステンレス化のために策定した「ステンレス鋼土木構造物の設計・施工指針(案)」に準拠した初の事例。

同橋は隅田川と仙台堀川の合流地点に位置し、都内の親水空間「隅田

川テラス」の一部を構成する人道橋として、今年3月に設置された。

(8月8日)

大同特殊鋼、 独社から実用化認定取得

大同特殊鋼は、船舶用エンジンの設計ライセンス会社で世界最大手のマンエナジーソリューションズ社(ドイツ)から、高クロム―ニッケル合金「DSA760」について船舶用エンジン排気弁棒素材としての実用化認定を7月に取得した。

DSA760は、高温下で優れた耐食性と高硬度を持つ。船舶用エンジン排気弁棒向け用途として実船検証試験を実施した結果、従来から使用されているニッケル基合金製の排気弁に比べて、高温腐食による損耗速度が半減することが確認され、今回の実用化認定取得に至った。マンエナジーソリューションズ社は、2ストローク船用ディーゼルエンジンの70%超のシェアを有する。

DSA760は、金属間化合物とクロム強化相とを複合的に析出することで高強度を実現。バナジウム塩およびサルファ塩の腐食環境下で、船舶用エンジン排気弁棒で多用されているニッケル基合金と比較して、高クロムのため腐食減量が少なく、耐高温腐食性に優れている。(8月29日)

日立金属、 サーチャージ制の本格運用開始

日立金属は、全製品を対象としたサーチャージ制の運用を本格的に開始した。特殊鋼の場合で従来は合金原料価格の変動に対応したアロイ・サーチャージ方式を行っていたが、新たに鉄スクラップや副資材、電力、燃料まで対象を広げた。国内金属業界では黒鉛電極や耐火物の価格高騰に対するベース値上げは進んできたが、副資材でのサーチャージ制

導入は初。

7月出荷分から国内外の8割の顧客との間で運用を開始。10月出荷分からはほぼ全ての顧客と運用する。価格改定は原則として3カ月単位で行う。

多くの副資材価格が高騰する環境下、特殊鋼において電極や耐火物、一部のフェライト磁石ではコバルトなど、これまで適用外だったコスト要因の影響が大きくなっており、こうしたコスト変動を販売価格に適切に転嫁する。これまで諸コストの変動に関して顧客と時間をかけて調整してきたが、サーチャージ制に切り替えることでそうした労力を省き、双方がメリットを享受する。(9月10日)

不二越、 DLC成膜装置を開発

不二越は、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)成膜装置「SPS-2020」を開発、市場投入する。ハイブリッド成膜技術による高品質化、成膜速度の高速化などが特徴。DLC膜は航空機や自動車、産業機械など幅広い分野で需要が伸びており、それに合わせて成長している成膜装置の需要を捉える。

金属製品の長寿命化・性能向上などの効果を狙い、幅広い産業分野でコーティング加工が行われている。特に炭素を主成分とする非晶質のカーボン硬質膜であるDLC膜は、耐磨耗性・非凝着性・低摩擦性からアルミ切削用ドリルなどの工具、プラスチックやガラスレンズ、アルミ部品向けの金型のほか、クラッチプレートやピストンリングなどの自動車部品にも広く用いられ、年率10%を超えるスピードで市場規模が拡大。同時にDLC成膜装置の高品質化、高速化のニーズも高まっている。

(8月6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	構 造 用 鋼				特 殊 用 途 鋼						計	合 計
	工具鋼	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	高抗張力鋼	その他		
'16 暦年	242,925	4,713,936	3,593,009	8,306,945	411,650	939,192	2,784,129	590,795	5,485,686	676,186	10,887,638	19,437,508
'17 暦年	262,744	5,014,549	3,947,953	8,962,502	438,097	1,011,176	2,850,849	629,459	5,562,736	609,458	11,101,775	20,327,021
'16 年度	246,763	4,786,841	3,677,564	8,464,405	424,465	951,774	2,803,875	602,844	5,496,896	657,374	10,937,228	19,648,396
'17 年度	268,659	5,058,907	4,010,098	9,069,005	434,231	1,025,656	2,898,689	637,160	5,672,002	575,660	11,243,398	20,581,062
'17. 7- 9月	61,691	1,248,678	987,307	2,235,985	108,176	260,345	709,255	157,807	1,364,954	145,998	2,746,535	5,044,211
10-12月	70,341	1,263,666	1,004,185	2,267,851	112,789	254,594	742,928	157,477	1,417,277	141,752	2,826,817	5,165,009
'18. 1- 3月	70,870	1,285,892	1,016,164	2,302,056	106,812	254,213	765,443	159,122	1,465,352	131,191	2,882,133	5,255,059
4- 6月	69,786	1,325,708	1,025,402	2,351,110	111,727	259,731	736,597	168,272	1,459,353	139,793	2,875,473	5,296,369
'17年 7月	21,697	410,991	331,437	742,428	36,116	83,830	215,600	53,597	469,109	50,197	908,449	1,672,574
8月	19,070	412,465	316,988	729,453	35,234	84,957	246,038	50,577	437,021	48,209	902,036	1,650,559
9月	20,924	425,222	338,882	764,104	36,826	91,558	247,617	53,633	458,824	47,592	936,050	1,721,078
10月	22,974	427,686	343,071	770,757	37,201	86,089	260,625	54,070	465,179	45,738	948,902	1,742,633
11月	23,484	414,568	339,914	754,482	35,577	82,482	230,464	54,755	505,672	45,594	954,544	1,732,510
12月	23,883	421,412	321,200	742,612	40,011	86,023	251,839	48,652	446,426	50,420	923,371	1,689,866
'18年 1月	25,405	416,166	330,912	747,078	32,645	80,134	254,983	48,909	490,017	41,920	948,608	1,721,091
2月	22,269	413,700	329,122	742,822	34,205	84,183	246,564	52,284	466,132	42,438	925,806	1,690,897
3月	23,196	456,026	356,130	812,156	39,962	89,896	263,896	57,929	509,203	46,833	1,007,719	1,843,071
4月	24,591	431,808	346,133	777,941	35,531	85,313	242,146	52,231	470,100	51,271	936,592	1,739,124
5月	21,223	451,591	349,683	801,274	37,301	90,588	245,014	58,280	509,651	40,077	980,911	1,803,408
6月	23,972	442,309	329,586	771,895	38,895	83,830	249,437	57,761	479,602	48,445	957,970	1,753,837
7月	20,555	431,726	349,361	781,087	37,727	81,011	242,273	59,279	396,927	49,094	866,311	1,667,953
8月	20,048	422,671	310,377	733,048	33,536	79,855	246,448	47,506	474,025	50,823	932,193	1,685,289
前 月 比	97.5	97.9	88.8	93.8	88.9	98.6	101.7	80.1	119.4	103.5	107.6	101.0
前年同月比	105.1	102.5	97.9	100.5	95.2	94.0	100.2	93.9	108.5	105.4	103.3	102.1

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

形状別

(単位：t)

年 月	形 鋼	棒 鋼	管 材	線 材	鋼 板	鋼 帯	合 計
'16 暦年	309,707	5,756,252	989,696	4,173,511	2,001,827	6,218,161	19,449,154
'17 暦年	345,018	6,272,447	1,112,835	4,249,655	1,716,315	6,648,155	20,344,425
'16 年度	313,559	5,917,546	984,067	4,202,470	1,954,496	6,287,894	19,660,032
'17 年度	347,415	6,340,621	1,168,193	4,199,478	1,780,457	6,761,726	20,597,890
'17. 7- 9月	90,841	1,532,307	301,849	1,069,880	381,691	1,675,956	5,052,524
10-12月	90,625	1,609,879	287,199	1,035,719	489,706	1,655,146	5,168,274
'18. 1- 3月	88,262	1,601,854	302,465	1,040,570	474,671	1,749,574	5,257,396
4- 6月	103,104	1,648,385	299,488	1,073,417	445,767	1,728,159	5,298,320
'17年 7月	28,042	507,452	104,789	353,466	119,777	560,019	1,673,545
8月	37,454	486,587	101,611	354,234	124,294	547,350	1,651,530
9月	25,345	538,268	95,449	362,180	137,620	568,587	1,727,449
10月	25,413	546,707	103,549	348,344	157,441	562,150	1,743,604
11月	26,488	543,097	92,161	340,262	173,474	557,999	1,733,481
12月	38,724	520,075	91,489	347,113	158,791	534,997	1,691,189
'18年 1月	24,783	503,655	106,730	336,364	161,704	588,826	1,722,062
2月	38,239	522,438	93,448	334,540	148,568	554,635	1,691,868
3月	25,240	575,761	102,287	369,666	164,399	606,113	1,843,466
4月	41,111	525,948	113,196	359,675	154,446	545,719	1,740,095
5月	23,311	562,037	101,462	361,223	154,804	601,090	1,803,927
6月	38,682	560,400	84,830	352,519	136,517	581,350	1,754,298
7月	29,835	548,334	93,366	365,812	105,218	526,157	1,668,722
8月	26,322	483,072	105,550	352,595	127,862	590,339	1,685,740
前 月 比	88.2	88.1	113.0	96.4	121.5	112.2	101.0
前年同月比	70.3	99.3	103.9	99.5	102.9	107.9	102.1

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

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	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 力	そ の 他	計		
'16 暦 年	318,284	3,793,728	4,159,973	7,953,701	249,025	502,736	3,043,035	167,359	100,734	40,543	4,103,432	12,375,417	
'17 暦 年	328,624	3,662,276	3,174,867	6,837,143	209,980	558,894	2,401,141	182,809	98,145	56,347	3,507,316	10,673,083	
'16 年 度	317,816	3,843,693	4,224,447	8,068,140	255,982	531,825	3,063,505	170,660	95,118	43,717	4,160,807	12,546,763	
'17 年 度	328,965	3,482,828	2,582,257	6,065,085	169,371	561,237	2,045,095	180,396	100,874	56,424	3,113,397	9,507,447	
'17年 12月	29,260	265,263	160,609	425,872	8,597	45,725	133,012	14,952	9,080	9,077	220,443	675,575	
'18年 1月	24,955	257,390	155,052	412,442	7,734	44,319	136,791	13,074	7,047	3,729	212,694	650,091	
2月	26,994	267,234	163,721	430,955	10,781	45,594	140,333	14,933	8,668	3,957	224,266	682,215	
3月	29,627	297,646	170,368	468,014	9,416	50,557	149,668	15,581	8,188	4,569	237,979	735,620	
4月	26,906	286,104	165,514	451,618	9,821	47,220	138,136	14,591	8,954	3,939	222,661	701,185	
5月	29,596	292,375	172,082	464,457	10,997	48,547	141,527	16,921	8,123	3,898	230,013	724,066	
6月	27,900	305,901	188,982	494,883	10,983	54,654	143,329	16,821	6,755	4,480	237,022	759,805	
7月	28,094	306,418	184,137	490,555	11,281	51,063	136,912	16,583	8,457	4,446	228,742	747,391	
8月	25,643	290,235	160,495	450,730	9,324	46,112	137,312	13,274	6,616	3,912	216,550	692,923	
前 月 比	91.3	94.7	87.2	91.9	82.7	90.3	100.3	80.0	78.2	88.0	94.7	92.7	
前年同月比	100.7	109.1	104.6	107.5	90.3	107.0	99.7	98.0	90.7	107.9	100.4	104.9	

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 平成30年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

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	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 力	そ の 他	計		
'16 暦 年	6,840	239,158	136,648	375,806	23,596	36,680	122,241	27,149	191,633	26,245	427,544	810,190	
'17 暦 年	7,366	231,844	127,052	358,896	33,141	32,395	122,991	26,401	188,923	21,699	425,550	791,812	
'16 年 度	7,525	214,217	129,129	343,346	27,751	31,790	109,641	27,312	185,309	31,761	413,564	764,435	
'17 年 度	6,776	223,466	121,672	345,138	32,300	31,384	119,951	28,451	175,114	21,424	408,624	760,538	
'17年 12月	7,366	231,844	127,052	358,896	33,141	32,395	122,991	26,401	188,923	21,699	425,550	791,812	
'18年 1月	8,868	245,602	134,453	380,055	33,832	33,324	132,474	29,620	211,156	23,253	463,659	852,582	
2月	7,139	245,057	127,713	372,770	30,674	32,725	130,560	32,094	189,622	24,145	439,820	819,729	
3月	6,776	223,466	121,672	345,138	32,300	31,384	119,951	28,451	175,114	21,424	408,624	760,538	
4月	7,481	231,844	158,570	390,414	27,674	33,572	132,261	29,696	190,760	24,359	438,322	836,217	
5月	6,384	251,722	164,620	416,342	30,037	33,345	128,110	32,255	199,089	21,979	444,815	867,541	
6月	6,667	254,300	161,259	415,559	28,738	32,628	132,706	28,830	204,968	21,604	449,474	871,700	
7月	5,832	241,363	155,816	397,179	26,513	28,753	133,459	30,166	172,446	24,884	416,221	819,232	
8月	7,012	259,265	167,599	426,864	29,224	31,147	137,406	30,284	208,069	31,690	467,820	901,696	
前 月 比	120.2	107.4	107.6	107.5	110.2	108.3	103.0	100.4	120.7	127.4	112.4	110.1	
前年同月比	104.5	108.4	129.2	115.7	99.6	89.3	108.1	95.5	105.8	114.8	104.6	109.6	

出所: 経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

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	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 力	そ の 他	計		
'16 暦 年	58,237	187,464	141,858	329,322	14,527	58,916	129,697	11,828	10,737	1,619	227,324	614,883	
'17 暦 年	55,932	183,466	146,595	330,061	12,917	53,973	144,088	9,965	10,293	2,213	233,449	619,442	
'16 年 度	57,869	190,684	145,813	336,497	20,955	59,768	141,859	11,460	10,537	2,252	246,831	641,197	
'17 年 度	65,001	195,049	149,069	344,118	12,899	52,740	161,067	10,837	10,373	2,192	250,108	659,227	
'17年 12月	55,932	183,466	146,595	330,061	12,917	53,973	144,088	9,965	10,293	2,213	233,449	619,442	
'18年 1月	56,918	180,738	144,204	324,942	8,003	50,290	149,549	9,889	10,137	2,340	230,208	612,068	
2月	56,928	177,864	141,600	319,464	12,238	49,473	148,964	9,417	10,135	2,263	232,490	608,882	
3月	65,001	195,049	149,069	344,118	12,899	52,740	161,067	10,837	10,373	2,192	250,108	659,227	
4月	66,117	195,937	151,534	347,471	12,865	55,010	160,781	9,373	10,848	2,019	250,896	664,484	
5月	66,347	195,003	153,283	348,286	13,384	60,366	163,202	9,677	10,831	2,545	260,005	674,638	
6月	72,119	201,314	151,821	353,135	13,916	55,336	162,784	10,490	10,661	2,697	255,884	681,138	
7月	67,907	199,880	152,514	352,394	13,389	48,717	155,228	9,788	10,066	2,812	240,000	660,301	
8月	67,383	204,256	156,134	360,390	13,994	48,611	163,695	10,810	9,810	2,602	249,522	677,295	
前 月 比	99.2	102.2	102.4	102.3	104.5	99.8	105.5	110.4	97.5	92.5	104.0	102.6	
前年同月比	117.7	108.6	105.5	107.2	95.2	82.4	111.3	82.8	93.9	129.3	101.3	105.9	

出所: 一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 平成30年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

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	
'16 暦 年	43,539	412,511	530,319	942,830	182,238	1,015,301	146,993	1,344,532	10,111	6,088,581	6,098,693	8,429,594
'17 暦 年	42,292	453,298	604,953	1,058,252	187,297	991,116	120,960	1,299,372	5,337	5,872,203	5,877,539	8,277,455
'16 年 度	44,566	429,850	558,646	988,496	188,175	1,022,853	137,846	1,348,875	9,298	6,153,697	6,162,994	8,544,931
'17 年 度	42,058	459,167	611,145	1,070,312	187,017	986,796	110,363	1,284,173	5,038	5,734,097	5,739,251	8,135,682
'17年 11月	3,238	34,163	48,578	82,740	14,735	84,359	6,860	105,953	514	534,479	534,992	726,924
'17年 12月	3,427	42,403	56,409	98,812	18,181	90,161	8,187	116,528	533	486,991	487,524	706,291
'18年 1月	2,974	32,313	44,636	76,949	13,978	79,911	6,384	100,274	334	482,357	482,691	662,887
'18年 2月	3,631	39,324	49,787	89,110	16,575	75,054	9,264	100,893	360	458,181	458,542	652,176
'18年 3月	4,096	45,894	60,333	106,227	17,200	92,492	6,894	116,586	462	482,661	483,123	710,031
'18年 4月	4,117	35,893	49,877	85,770	17,248	78,116	6,427	101,790	285	423,255	423,539	615,216
'18年 5月	3,822	39,822	45,678	85,500	16,404	82,642	7,324	106,370	244	528,649	528,893	724,584
'18年 6月	3,991	42,104	52,775	94,880	16,925	83,559	7,985	108,470	285	475,409	475,695	683,035
'18年 7月	3,456	40,709	52,914	93,623	19,419	78,743	5,440	103,602	180	470,182	470,362	671,043
'18年 8月	3,134	38,313	45,464	83,777	14,704	77,545	9,493	101,742	277	511,264	511,540	700,193
前 月 比	90.7	94.1	85.9	89.5	75.7	98.5	174.5	98.2	153.6	108.7	108.8	104.3
前年同月比	101.1	111.7	115.4	113.7	99.1	103.2	91.4	101.4	85.1	114.7	114.7	112.4

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	
'16 暦 年	3,441	3,369	666	10,616	11,054	172,316	14,549	209,200	70	16,478	857,976	874,454	1,090,534
'17 暦 年	3,597	3,665	779	12,136	12,315	206,740	16,077	248,047	127	10,199	599,044	609,243	864,679
'16 年 度	3,179	3,551	643	11,306	11,294	173,146	14,752	211,141	64	15,748	767,618	783,366	1,001,302
'17 年 度	3,720	3,649	896	11,567	11,437	216,687	16,435	257,022	125	8,434	544,543	552,977	817,491
'17年 11月	338	331	46	1,175	1,261	18,168	1,095	21,745	13	490	36,220	36,710	59,137
'17年 12月	182	392	120	847	1,191	14,490	1,419	18,066	9	1,016	26,738	27,754	46,402
'18年 1月	310	288	121	803	757	14,786	1,250	17,716	-	272	26,425	26,696	45,011
'18年 2月	254	303	103	953	622	24,261	1,222	27,160	2	695	28,653	29,348	57,066
'18年 3月	345	357	59	875	774	17,742	1,548	20,999	8	230	30,088	30,318	52,027
'18年 4月	274	302	131	828	932	22,867	1,284	26,042	1	97	43,272	43,369	69,987
'18年 5月	470	185	100	1,072	719	20,648	1,523	24,061	67	1,007	29,158	30,165	54,947
'18年 6月	300	361	307	922	893	21,052	1,269	24,443	18	99	27,221	27,320	52,442
'18年 7月	350	508	93	1,036	1,030	19,356	1,441	22,956	31	976	41,187	42,163	66,007
p 8月	345	365	4	922	340	18,603	1,410	21,278	116	194	19,548	19,742	41,846
前 月 比	98.7	71.7	4.0	89.0	33.0	96.1	97.8	92.7	379.1	19.9	47.5	46.8	63.4
前年同月比	112.6	159.6	20.0	85.4	42.1	129.0	120.4	121.6	644.3	17.5	31.8	31.6	51.9

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	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			
'16 暦 年	9,204,702	1,201,073	4,634,033	383,959	4,970,258	808,302	-	154,214	109,243	10,437	102,600	56,089	12,500
'17 暦 年	9,690,674	1,219,741	4,705,848	368,407	5,234,165	832,195	-	178,930	113,932	11,460	101,431	50,328	16,456
'16 年 度	9,357,382	1,192,689	4,636,390	373,097	5,077,903	818,858	-	159,765	109,887	10,553	102,314	50,944	12,893
'17 年 度	9,683,262	1,224,728	4,786,909	362,966	5,197,109	832,361	-	182,533	116,204	11,544	101,451	49,284	17,803
'17年 11月	847,882	107,673	438,377	33,389	406,860	73,241	-	15,753	10,195	907	8,886	4,500	1,585
'17年 12月	797,843	99,899	433,390	29,700	394,253	63,022	-	16,015	9,569	851	8,060	4,383	1,659
'18年 1月	738,501	90,824	334,167	23,923	399,540	59,132	-	14,172	9,063	743	8,723	3,185	1,544
'18年 2月	857,122	106,794	416,546	29,133	473,876	70,962	-	14,795	9,641	813	8,910	3,972	1,552
'18年 3月	939,120	118,735	441,675	34,435	667,277	102,142	-	17,140	11,070	1,004	8,566	6,639	1,829
'18年 4月	777,670	100,438	432,137	29,268	366,156	60,094	-	15,483	9,693	736	9,431	3,393	1,631
'18年 5月	725,216	97,561	344,875	26,140	371,864	63,352	-	14,968	9,388	896	9,079	3,759	1,492
'18年 6月	822,272	108,659	412,156	34,540	453,765	77,522	-	16,112	10,741	1,064	8,276	4,944	1,593
'18年 7月	801,778	107,009	380,307	29,955	441,533	71,628	-	15,440	11,138	1,018	9,186	4,276	1,511
'18年 8月	-	-	371,612	24,629	364,216	60,907	-	14,919	8,980	982	9,815	3,499	1,404
前 月 比	-	-	97.7	82.2	82.5	85.0	-	96.6	80.6	96.5	106.8	81.8	92.9
前年同月比	-	-	103.4	92.3	102.5	97.1	-	101.4	106.5	96.6	113.1	84.4	105.1

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:訂正值

特殊鋼需給統計総括表

2 0 1 8 年 8 月 分

鋼種別	月 別		実 数 (t)	前 月 比 (%)	前 年 同 月 比(%)	2015年基準 指 数(%)
	項 目					
工 具 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		20,048	97.5	105.1	97.3
	鋼 材 輸 入 実 績		345	98.7	112.6	112.0
	販 売 業 者	受 入 計	25,119	105.2	108.2	93.1
		販 売 計	25,643	91.3	100.7	97.6
		うち消費者向	19,515	90.6	107.6	103.2
		在 庫 計	67,383	99.2	117.7	114.1
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		3,134	90.7	101.1	65.8
	生 産 者 工 場 在 庫		7,012	120.2	104.5	84.6
	総 在 庫		74,395	100.9	116.3	110.5
	構 造 用 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		733,048	93.8	100.5
鋼 材 輸 入 実 績		10,102	65.6	25.5	29.1	
販 売 業 者		受 入 計	458,726	93.7	108.2	70.2
		販 売 計	450,730	91.9	107.5	69.0
		うち消費者向	340,483	94.2	121.7	77.5
		在 庫 計	360,390	102.3	107.2	102.4
鋼 材 輸 出 船 積 実 績		83,777	89.5	113.7	101.9	
生 産 者 工 場 在 庫		426,864	107.5	115.7	122.0	
総 在 庫		787,254	105.0	111.7	112.2	
ば ね 鋼		熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		33,536	88.9	95.2
	鋼 材 輸 入 実 績		365	71.7	159.6	89.4
	販 売 業 者	受 入 計	9,929	92.3	82.6	46.8
		販 売 計	9,324	82.7	90.3	44.4
		うち消費者向	3,587	78.2	89.9	77.1
		在 庫 計	13,994	104.5	95.2	114.6
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績		14,704	75.7	99.1	93.5
	生 産 者 工 場 在 庫		29,224	110.2	99.6	113.2
	総 在 庫		43,218	108.3	98.1	113.6
	ス テ ン レ ス 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		246,448	101.7	100.2
鋼 材 輸 入 実 績		21,278	92.7	121.6	147.1	
販 売 業 者		受 入 計	145,779	112.7	96.8	58.1
		販 売 計	137,312	100.3	99.7	54.6
		うち消費者向	65,450	91.8	123.1	117.0
		在 庫 計	163,695	105.5	111.3	119.8
鋼 材 輸 出 船 積 実 績		77,545	98.5	103.2	88.4	
生 産 者 工 場 在 庫		137,406	103.0	108.1	119.3	
総 在 庫		301,101	104.3	109.8	119.5	
快 削 鋼		熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		47,506	80.1	93.9
	販 売 業 者	受 入 計	14,296	90.0	94.7	101.1
		販 売 計	13,274	80.0	98.0	92.3
		うち消費者向	12,609	78.9	100.2	90.6
		在 庫 計	10,810	110.4	82.8	79.9
	生 産 者 工 場 在 庫		30,284	100.4	95.5	109.1
	総 在 庫		41,094	102.9	91.8	99.5
高 抗 張 力 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		474,025	119.4	108.5	114.8
	販 売 業 者	受 入 計	6,360	80.9	102.7	61.9
		販 売 計	6,616	78.2	90.7	65.0
		うち消費者向	4,982	79.1	90.2	74.3
		在 庫 計	9,810	97.5	93.9	89.5
	生 産 者 工 場 在 庫		208,069	120.7	105.8	109.7
	総 在 庫		217,879	119.4	105.2	108.6
そ の 他	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		130,678	100.4	98.1	94.4
	販 売 業 者	受 入 計	49,708	101.4	113.0	122.6
		販 売 計	50,024	90.1	107.1	123.4
		うち消費者向	34,877	87.7	107.5	94.9
		在 庫 計	51,213	99.4	83.9	96.4
	生 産 者 工 場 在 庫		62,837	117.2	100.6	90.8
	総 在 庫		114,050	108.4	92.3	93.2
特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産 合 計		1,685,289	101.0	102.1	107.1
	鋼 材 輸 入 実 績 計		41,846	63.4	51.9	51.5
	販 売 業 者	受 入 計	709,917	97.7	105.2	69.8
		販 売 計	692,923	92.7	104.9	68.1
		うち消費者向	481,503	92.4	118.7	83.6
		在 庫 計	677,295	102.6	105.9	106.2
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		700,193	104.3	112.4	108.9
	生 産 者 工 場 在 庫		901,696	110.1	109.6	114.8
	総 在 庫		1,578,991	106.7	108.0	110.9

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.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。

2.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30年8月1日～9月30日)

編集委員会

小委員会（8月29日）

1月号特集「実はすごいんだ、日本の特殊鋼（仮題）」の編集内容の検討

本委員会（9月6日）

1月号特集「実はすごいんだ、日本の特殊鋼（仮題）」の編集方針、内容の確認

人材確保育成委員会

工場見学会

平成30年度第1回（8月24日）

見学先：コマツ栃木工場及び同小山工場

参加者：44名

平成30年度第2回（9月25日）

見学先：JFEスチール(株)西日本製鉄所倉敷地区

参加者：53名

平成30年度特殊鋼教養講座（8月31日）

講師：小澤特殊鋼倶楽部専務理事

受講者：33名

流通委員会

構造用鋼分科会（8月29日）

①幹事会社アンケート継続実施の検討

②取引適正化・内示精度の問題対応の検討

ステンレス棒鋼分科会（9月4日）

①幹事会社アンケート継続実施の検討

②取引適正化・内示精度の問題対応の検討

流通海外展開委員会

委員会（9月11日）

①平成29年度事業活動の報告

②平成30年度活動方針の検討

講演会（9月7日）

演題：米国における自動車・自動車部品の輸入追加関税措置の動向とその影響

講師：みずほ総合研究所(株) 欧米調査部兼市場調査部 主席エコノミスト

小野 亮 氏

[大阪支部]

三団体責任者会議（8月21日）

①本年共催講演会検討

②本年下期事業のすり合わせ他

③共通事務局の運営について

平成30年度工場見学会付新人研修講座（全特協と共催）（9月19日）

①座学「特殊鋼の基礎講座」

②工場見学（製鋼・棒鋼工場）

③業界からのメッセージ

④懇親会

参加者：54名

特殊鋼倶楽部の動き

「米国における自動車・自動車部品の輸入追加関税措置の 動向とその影響」講演会を開催しました

去る9月7日（金）午後3時00分より東京都中央区日本橋茅場町・鉄鋼会館802～804号室において、「米国における自動車・自動車部品の輸入追加関税措置の動向とその影響」の講演会を開催しました。

本講演会は、自国保護主義に梃を切った米国を震源地として、貿易環境は世界を巻き込んで一変し始めていることを踏まえ、流通海外展開委員会では目下、特殊鋼業界最大の関心事である米国の輸入車への追加関税の動向に焦点を当て、みずほ総合研究所株式会社 欧米調査部兼市場調査部 主席エコノミスト 小野亮 氏を講師としてお招きし、実施いたしました。

講演内容は、～米国経済・自動車市場の現状とトランプ政権の通商政策～を演題の副題として、1. 米国経済の現状と注目点、2. 米自動車市場の現状と3つの課題、3. 米通商政策とその行方のテーマ構成でした。

本件に精通している講師の詳細かつ分かり易い説明と、直近の最新データを取り入れた資料により、1時間40分ほどの講演会で、参加された48名の方は、米国トランプ政権の貿易収支不均衡に対する通商政策の考え方について、現在の状況と今後の方向性など整理された情報が紹介され、最後まで熱心に講師の話に耳を傾け、盛会の内に終了いたしました。

また、講演会に参加された方々にはアンケートを実施させていただき、貴重なご意見をありがとうございました。今後の講演会などに反映させていきたいと思っています。

多数のご参加を賜り、厚く御礼申し上げます。



【会場の様子（東京・鉄鋼会館）】

「平成30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9月25日（火）に平成30年度第2回工場見学会を開催しました。

見学先は、岡山県倉敷市にあるJFEスチール(株)西日本製鉄所倉敷地区殿で、会員企業から53名が参加しました。

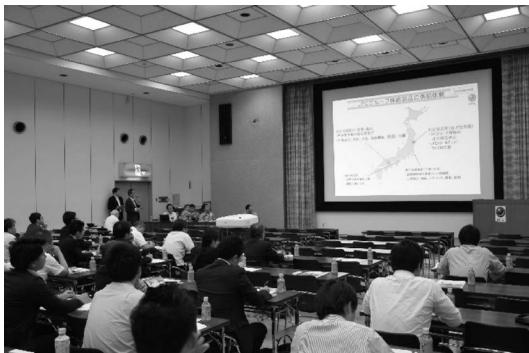
訪問先であるJFEスチール(株)西日本製鉄所倉敷地区に到着後、同所見学センター大ホールにて小澤 特殊鋼倶楽部専務理事が主催者挨拶、江原 JFEスチール(株) 倉敷棒線部長より工場側のご挨拶があり、次いで東 棒線商品技術部 倉敷商品技術室室長及び菅原 棒線事業部 棒線営業部 第2棒線室長より工場概要説明を受け、2班に分かれ見学に入りました。

製鋼工場、銅片工場、材料ヤード、高炉、棒線工場を見学し、その後見学センター大ホールに戻り質疑応答の後、小澤 特殊鋼倶楽部専務理事より工場見学御礼の挨拶に続き菅原 棒線事業部 棒線営業部 第2棒線室長から終了のご挨拶があり同社工場の見学を全て終了しました。

見学先の感想では、「転炉へ溶鋼を挿入するところが迫力があり、初めてその作業を拝見させて頂き印象に残りました。」「4ロールミルが0.1ミリピッチで製造できる事」「棒線圧延ラインが4ラインに分離するところ」「棒鋼、BIC、線材の3品種に対応」「ホットスカーファでサイズを細くし、90度回して作っていく工程は初めて見たので印象的だった」「製鉄所の広大さ、規模が想像をはるかに超えた」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JFEスチール(株)西日本製鉄所倉敷地区の関係者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 JFEスチール(株)西日本製鉄所倉敷地区殿】

お知らせ

～3年連続して、高機能金属展に特殊鋼倶楽部として出展～

第5回 高機能金属展

会期:2018年12月5日(水)～7日(金)

時間:10:00～18:00 7日(金)のみ17:00終了 会場:幕張メッセ

主催:リードエグジビションジャパン(株) 協賛:(一社)特殊鋼倶楽部

特殊鋼倶楽部は、「選ばれる特殊鋼」を目指して、特殊鋼のPRの強化を図っています。その一環として、市場開拓調査委員会で検討した結果、昨年に引き続き『第5回高機能金属展』に出展することにしました。

特殊鋼商品知識の普及及び啓蒙、特殊鋼倶楽部、会員会社の紹介、会員会社の出展ブース会場案内図、当倶楽部出版物配布を行います。

是非ご来場ください。会場にてお待ちしております。

◆特殊鋼倶楽部ブースNo. : 40-24

弊社ブースNo. 40-24

第5回 高機能金属展
金属材料・金属加工機などが出展

会期: 2018年12月5日[水]～7日[金]
会場: 幕張メッセ

◆倶楽部ブース内会員会社展示

- ・秋山精鋼株式会社
- ・中川特殊鋼株式会社

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

【会 員 数】		【販売業者会員】	
(正 会 員)			
製造業者	26社		
販売業者	103社		
合 計	129社		
【製造業者会員】			
愛 知 製 鋼 (株)		住友商事グローバルメタルズ(株)	日 立 金 属 商 事 (株)
秋 山 精 鋼 (株)		大 同 興 業 (株)	(株)日立ハイテクノロジーズ
(株)川口金属加工		大同DMソリューション(株)	(株) 平 井
高周波熱錬(株)		大 洋 商 事 (株)	(株) フ ク オ カ
合 同 製 鐵 (株)		大 和 興 業 (株)	藤 田 商 事 (株)
(株)神 戸 製 鋼 所		大 和 特 殊 鋼 (株)	古 池 鋼 業 (株)
山陽特殊製鋼(株)		(株)竹内ハガネ商行	(株) プ ル ー タ ス
J F E ス チ ール (株)		孟 鋼 鉄 (株)	(株) 堀 田 ハ ガ ネ
J X 金 属 (株)		田 島 ス チ ール (株)	(株)マクシスコーポレーション
下村特殊精工(株)		辰 巳 屋 興 業 (株)	松 井 鋼 材 (株)
新日鐵住金(株)		千 曲 鋼 材 (株)	三 沢 興 産 (株)
新日鐵住金ステンレス(株)		(株)テクノタジマ	三 井 物 産 (株)
大 同 特 殊 鋼 (株)		(株) 鐵 鋼 社	三井物産スチール(株)
高 砂 鐵 工 (株)		デルタステール(株)	(株) メ タ ル ワ ン
東 北 特 殊 鋼 (株)		(株) ト ー キ ン	(株)メタルワンチューブラー
日 新 製 鋼 (株)		東京貿易マテリアル(株)	(株)メタルワン特殊鋼
日 本 金 属 (株)		(株) 東 信 鋼 鉄	森 寅 鋼 業 (株)
日本高周波鋼業(株)		特 殊 鋼 機 (株)	(株) 山 一 ハ ガ ネ
日 本 精 線 (株)		豊 田 通 商 (株)	山 進 産 業 (株)
日 本 冶 金 工 業 (株)		中 川 特 殊 鋼 (株)	ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)
日 立 金 属 (株)		中 野 ハ ガ ネ (株)	山 野 鋼 材 (株)
(株)広島メタル&マシナリー		永 田 鋼 材 (株)	陽 鋼 物 産 (株)
(株) 不 二 越		名 古 屋 特 殊 鋼 (株)	菱 光 特 殊 鋼 (株)
三 菱 製 鋼 (株)		ナ ス 物 産 (株)	リ ン タ ツ (株)
ヤマシンスチール(株)		南 海 鋼 材 (株)	渡 辺 ハ ガ ネ (株)
理 研 製 鋼 (株)		日 金 ス チ ール (株)	
		日 鉄 住 金 物 産 (株)	
		日鉄住金物産特殊鋼西日本(株)	
		日 本 金 型 材 (株)	
		ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)	
		野 村 鋼 機 (株)	
		白 鷺 特 殊 鋼 (株)	
		橋 本 鋼 (株)	
		(株)長谷川ハガネ店	
		(株)ハヤカワカンパニー	
		林 田 特 殊 鋼 材 (株)	
		阪 神 特 殊 鋼 (株)	
		阪 和 興 業 (株)	
		日 立 金 属 工 具 鋼 (株)	

“特集” 編集後記

今月は、「高温で使用されるステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金」という題名で特集を組みました。

過去にステンレス鋼に関する特集や耐熱金属に関する特集は組んでいますが、高温というキーワードでステンレス鋼、耐熱鋼、耐熱合金を解説した特集はありませんでした。

“高温で使用される”と言っても、使用される用途・部位によって強度、耐酸化性、耐腐食性等の必要特性は異なっており、さらにそれら特性を複合的に有する材料が求められています。

そこで、読者の皆様が高温用途に対して多くの鋼種知識を得て、色々な用途に対して提案できるようにと考え、編集しました。

総論では、高温用途のJIS鋼種としてどのようなものがあるかわかりやすく紹介しています。

まず、総論を読んでいただき高温用途に進んでいただくとより理解しやすいと思います。

高温用途では①自動車②エネルギー③航空機エンジン④化学プラントの4つの分野について計12種類の用途別に、その用途に使用する材料への要求特性や使用される鋼種を紹介しています。

特に自動車で6用途、エネルギーで4用途を紹介してこれら分野の多くの用途をカバーしているものと考えます。また、写真や図表を多く掲載し対象用途の理解を深めていただける内容としています。

また、会員会社は独自に様々な高温用鋼を開発しています。読者の皆様には今回ご紹介した3社の鋼種について特徴を知っていただき、ユーザーへの提案を積極的に行っていただくことを期待しています。

本特集号を読んでいただき、現状で使用されている材料を知った上で、素材製造メーカーが気がついていないような用途への展開が推進されれば編集に携わった者として非常に喜ばしいことであり、ぜひそうなって欲しいと思います。

最後になりましたが、本特集号にご寄稿いただきました方々、ご協力いただきました編集委員の方々および事務局各位に厚く御礼申し上げます。

〔日 新 製 鋼 (株) ふじひら やすたか〕
商品品質・技術サービス部 藤平 和孝

特 集／実はすごいんだ、日本の特殊鋼

I. まえがき

II. 実はすごいんだ日本の特殊鋼

3月号特集予定…歯車

特 殊 鋼

第 67 卷 第 6 号
© 2 0 1 8 年 11 月
平成30年10月25日 印 刷
平成30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67巻索引

2018年1～11月

「平成30年新年挨拶」……………石黒 武	号・頁	1・1
【年頭所感】		
「年頭に寄せて」……………多田 明弘	1・3	
「年頭所感」……………山中 敏幸	1・4	
「経済の好循環を実現するために 取組むべき課題」……………佐久間貞介	1・5	
「チャレンジ精神と想像力を」……………高木 清秀	1・6	
「年頭所感」……………西村 悟	1・7	
「年頭所感」……………須田 守	1・8	
「年頭所感」……………松岡 弘明	1・9	
「年頭所感」……………山下 匡史	1・10	
「変化をチャンスに」……………佐藤 光司	1・11	
【需要部門の動向】		
産業機械……………片岡 功一	1・12	
自動車工業……………西川 廣人	3・2	
【一人一題】		
「離見の見」……………三上 聡彦	3・1	
「溪流釣りに魅せられて」……………平林 一彦	5・1	
「スキーに学ぶ」……………芝本 政明	7・1	
「人が育つということ」……………深津 和也	9・1	
「鋼プロジェクト」……………竹内 誠二	11・1	

■ 特集記事 ■

☆ IoT社会と特殊鋼

I. 総 論		
1. IoTとは……………吉田 俊	1・16	
2. 我が国製造業におけるIoT推進に向けた 取組について……………経済産業省	1・20	
II. IoTへの各業界の取組み・製品での対応と課題・関連技術動向		
1. コネクティッドカーがもたらす デジタルトランスフォーメーション ……………谷口 覚	1・30	
2. モノづくりににおけるIoTの利活用 ……………加藤 充	1・34	
3. 建機……………山中 伸好	1・41	
4. ロボット……………高本 治明	1・44	
5. IoT時代の生産プロセス分析とプラットフォーム構築の事例……………大山 賢治	1・47	
6. IoT・AI・第四次産業革命と特殊鋼及び流通はいかに向き合うかー特殊鋼の主要用途である自動車の電化シフトを例に考察ー ……………高橋 圭三	1・50	
7. 振動発電による電池不要IoTとその実用化展開 ……………上野 敏幸	1・54	
8. 個体識別技術……………荻部 真	1・57	
III. IoTに対する会員メーカーの取組み		
……………	1・61～1・63	
JFEスチール(株)、大同特殊鋼(株)、三菱製鋼(株)		

☆ 特殊鋼のミクロ組織のやさしい解説

I. 総 論		
1. はじめに……………福田 方勝	3・3	
2. 鋼の熱処理とミクロ組織……………高木 節雄	3・5	
3. ミクロ組織の観察法……………谷山 明	3・10	
II. ミクロ組織各論		
1. 炭素鋼……………山崎 歩見	3・15	
2. 快削鋼……………杉本 淳	3・19	
3. 合金鋼……………堀上 禎悟	3・21	
4. 軸受鋼……………杉本 隼之	3・26	
5. ばね鋼……………糞口 光樹	3・29	
	矢道 幸雄	
6. 工具鋼……………松岡 禎和	3・31	
	關山 孝明	
7. ステンレス鋼……………溝口太一朗	3・37	
8. マルエージング鋼……………大石 勝彦	3・42	
9. 耐熱耐食材料……………草深 佑介	3・43	
10. チタン……………横地 恒平	3・49	

☆ 最新の特殊鋼の信頼性評価技術

I. 総 論		
特殊鋼の非破壊検査技術……………藤原 弘次	5・2	
II. 非破壊検査の動向		
1. 表面欠陥		
(1) 漏えい(洩)磁束探傷……………吉川 仁	5・8	
(2) 磁粉探傷試験……………茂木 良祥	5・12	
(3) 渦電流探傷……………吉川 仁	5・15	
(4) 浸透探傷……………相澤 栄三	5・18	
(5) 画像処理による表面欠陥検査技術 ……………鈴木 聡	5・22	
(6) 赤外線サーモグラフィによる 溶接・接着・欠陥の非破壊検査 ……………矢尾板達也	5・25	
2. 内部欠陥		
(1) 超音波探傷……………松井 晃一	5・29	
(2) 電磁超音波探傷(EMAT) ……………河村 皓二	5・32	
3. 寸 法……………本間 猛	5・35	
III. 最新の材料解析技術		
リバース4D材料エンジニアリング: その構想と最近の展開		
	戸田 裕之	
	ラファエルバトレス	
	桑水流 理	5・38
	小林 正和	
	細川 明秀	
IV. 会員メーカーの信頼性評価技術		
……………	5・48～5・49	
山陽特殊製鋼(株)、大同特殊鋼(株)		

☆ 表面改質技術とその応用

I. 総 論		
特殊鋼を支える表面改質技術と今後の動向について ……………西本 明生	7・2	

II. 主要分野での表面改質の適用例

1. 金型の表面改質

- (1) 冷間金型……………前田 雅人 7・6
- (2) ダイカスト金型……………山岡 美樹 7・9
- (3) 温間、熱間鍛造金型……………笠松 研佑 7・12
- (4) プラスチック金型への表面改質
……………伊吹 基宏 7・15

2. 自動車部品の表面改質

- (1) 浸炭焼入れ……………大林 巧治 7・18
- ……………三坂 佳孝 7・22
- (2) 高周波焼入れ……………川崎 一博
- (3) PVD……………高橋 哲也 7・26
- 3. 建設機械における表面改質……………梅田 孝彰 7・30

III. 最新の表面改質および周辺技術の進歩

- 1. 高耐食めっき鋼板……………白井健太郎 7・33
- 2. 電子ビーム加工装置による最新の表面改質事例
……………鹿島 峻 7・37
- 3. 表面機能を向上させるレーザービニング技術
……………沓名 宗春 7・42
- 4. レーザクラディング……………石川 毅 7・47

IV. 会員会社の表面改質技術および周辺技術の紹介

- ……………7・52～7・53
- 大同特殊鋼(株)、日立金属工具鋼(株)

☆ 最近の自動車用材料のトレンドとマルチマテリアル化

I. マルチマテリアル化の背景と動向

- ……………高橋 健治 9・2

II. カーマーカーにおける材料技術の進化

- 1. 自動車の軽量化に対する鉄鋼材料への期待
……………嬉野 欣成 9・8
- 2. 自動車軽量化に貢献する材料の開発、採用動向
……………林 孝雄 9・11
- 3. 自動車のマルチマテリアル化と異材結合技術
……………豊田 裕介 9・15

III. 部品メーカーにおける新素材へのチャレンジ

- 1. 足回りへのチャレンジ……………山本屋健二 9・19
- ……………住吉 功
- 2. 電装部品へのチャレンジ……………相牟田京平 9・22
- ……………端場登志雄
- 3. 自動車車体骨格のマルチマテリアル化と
それを支える異種金属接合技術
……………鈴木 励一 9・25
- ……………内藤 純也

IV. 素材メーカーの取組み

- 1. アルミニウム合金の自動車への採用動向と
将来展望……………櫻井 健夫 9・29
- 2. 自動車部品としてのマグネシウム合金の
利用状況……………小原 久 9・34
- 3. モーターサイクル用コンロッドへの
チタン合金の適用……………久保田 剛 9・38
- 4. 樹脂、複合材料……………帆高 寿昌 9・41
- 5. 自動車とファインセラミックス
……………矢野友三郎 9・45

☆ 高温で使用するステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金

I. 総論

- 1. 高温で使用するステンレス鋼・耐熱鋼及び
耐熱合金(棒・線)……………熊谷 祥希 11・2
- 2. 高温で使用するステンレス鋼、耐熱鋼及び
耐熱合金(板・帯)……………吉田 裕志 11・6

II. ステンレス鋼、耐熱鋼及び耐熱合金の高温用途

1. 自動車

- (1) エキゾーストマニホールド
……………矢川 敦久 11・8
- (2) フレキシブルチューブ……………富田 壮郎 11・13
- (3) 触媒コンバーター……………水谷 映斗 11・16
- (4) エンジンバルブ……………菅原 誠司 11・19
- (5) EGR……………富田 壮郎 11・22
- (6) ターボチャージャー……………鷺見 芳紀 11・25

2. エネルギー

- (1) ごみ焼却炉……………細田 孝 11・28
- (2) 発電用ボイラー……………仙波 潤之 11・31
- (3) タービンブレード……………小島 正照 11・35
- (4) 燃料電池……………上原 利弘 11・38

3. 航空機エンジン……………佐々木厚太 11・41

4. 化学プラント……………戸塚 覚 11・45

III. 会員メーカーの高温用途材料

- ……………11・48～11・50
- 山陽特殊製鋼(株)、大同特殊鋼(株)、日立金属(株)

【業界の動き】…………… 毎号掲載

【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…………… 毎号掲載
- ▲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)…………… 毎号掲載
- ▲特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の
推移…………… 毎号掲載
- ▲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

【倶楽部だより】…………… 毎号掲載

【特殊鋼倶楽部の動き】…………… 毎号掲載

◇お知らせ

- 【「夢見る鉄」マスコットキャラクター愛称募集について】
……………3・63

- 第235・236回西山記念技術講座……………9・59
- 3年連続して、高機能金属展に特殊鋼倶楽部として出展……………11・61

【会員会社一覧】…………… 毎号掲載