

特殊鋼

2020
Vol.69 No.4

7

The Special Steel

特集／チタン・チタン合金のやさしい解説



特殊鋼

7

目次

2020

【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	宇田川毅志	(愛知製鋼)
〃	福岡 義晃	(神戸製鋼所)
〃	西森 博	(山陽特殊製鋼)
〃	小川 道治	(大同特殊鋼)
〃	浜田 貴成	(日本製鉄)
〃	正能 久晴	(日本金属)
〃	殿村 剛志	(日本高周波鋼業)
〃	及川 誠	(日本冶金工業)
〃	北園 大輔	(日立金属)
〃	簀口 光樹	(三菱製鋼)
〃	阿部 泰	(青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸	(伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	岡崎誠一郎	(UEX)
〃	池田 祐司	(三興鋼材)
〃	関谷 篤	(竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人	(平井)

【特集／チタン・チタン合金のやさしい解説】

I. チタンの基礎知識と需要動向	
1. 生産量の推移と需要の変化	井田 義和 2
2. チタン・チタン合金の基礎知識	関西大学 上田 正人 5
3. 流通からみた最近のチタン需要	(株)UEX 堂本 孝志 8
II. 製造技術	
1. スポンジチタン、チタンインゴット	東邦チタニウム(株) 田中 克巳 11
2. 鍛造、圧延	日本製鉄(株) 木村 欽一 14
III. 用途	
1. 火力・原子力発電	日本製鉄(株) 為成 純一 17
2. 化学プラント	
～化学プラントに使用されるチタン材料の耐食性～	(株)神戸製鋼所 森倉 功和 20
3. 航空機	東京大学 御手洗容子 23
4. 建材用品	日本製鉄(株) 山口 博幸 26
5. 自動車・二輪車	日本製鉄(株) 川上 哲 29
6. スポーツ・レジャー用品	大同特殊鋼(株) 中村 優樹 32
7. 医療	大同特殊鋼(株) 鈴木 昭弘 35
IV. チタン・チタン合金の開発動向	
	大阪大学 中野 貴由 39
V. 会員メーカーのばね材料	
高伝熱チタン板 HEET TM	(株)神戸製鋼所 逸見 義男 43

大同特殊鋼(株)のチタン・チタン合金の市場適用事例	大同特殊鋼(株) 末岡 伯理	44
“特集”編集後記	大同特殊鋼(株) 小川 道治	55

●一人一題：「新型コロナウイルス問題に思うこと」	山陽特殊製鋼(株) 大前 浩三	1
-----------------------------------	-----------------	---

■業界のうごき		45
▲特殊鋼統計資料		48
★倶楽部だより（2020年4月1日～5月31日）.....		52
☆特殊鋼倶楽部の動き		53
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧		54
お詫びと訂正		57

特集／「チタン・チタン合金のやさしい解説」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	小川 道治	大同特殊鋼(株)	ソリューションパートナー部 名古屋ソリューションパートナー室 副主席部員
委員	沢田 讓	愛知製鋼(株)	品質保証部 お客様品質・技術室 主査
〃	増田 智一	(株)神戸製鋼所	鉄鋼事業部門 線材条鋼商品技術部 課長
〃	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS
〃	殿村 剛志	日本高周波鋼業(株)	技術開発本部開発企画部 担当次長
〃	及川 誠	日本冶金工業(株)	ソリューション営業部 部長
〃	福田 方勝	三菱製鋼(株)	技術開発センター
〃	高橋 秀幸	伊藤忠丸紅特殊鋼(株)	特殊鋼本部 前橋支店 副支店長
〃	渡辺 豊文	中川特殊鋼(株)	鉄鋼事業部 技術部長
〃	金原 茂	(株)竹内ハガネ商行	技術部長

一人一題

「新型コロナウイルス問題に思うこと」

山陽特殊製鋼(株)
取締役 東京支社長

おお まえ こう ぞう
大 前 浩 三



新年の賀詞交換会で会員の皆さんとお会いした際、今年は明るい話題が見当たらないけれど、お盆明けあたりからは特殊鋼業界も上向いてくるのではないかと希望も込めて挨拶させていただいたが、その後、このような激震に見舞われることになろうとは夢にも思っていなかった。原稿を書いている5月中旬はまだ首都圏を中心に一部地域において緊急事態宣言発令中であるが、感染された方々の一刻も早いご回復をお祈りするとともに、本誌が皆さんの手許に届く頃には事態が好転し、経済活動が正常化に向かって動き出していることを切に願うところである。

感染症対策の専門家の皆さんのお話によると、有史以来、人類は常に新しい感染症との戦いを繰り返してきたとのことである。俄か勉強で恐縮だが、古代エジプト時代のミイラの遺伝子を解析すると、この時代すでに天然痘など感染症との戦いの痕跡が確認できるのだそうである。その後も、14世紀に欧州で1億人以上の推定死者を出したペストや、世界で7回ものパンデミックを引き起こしたコレラ、強い感染力と致死力でインカ帝国を滅ぼした天然痘、新しいところではエイズやSARSなど、恐ろしい感染症は幾度も人類を苦しめてきた。一方、これらに対する医療技術の発達は人類の歴史の中で見ればつい最近のことである。初めてのワクチンの開発が18世紀、細菌の発見が19世紀、抗生物質の発見が20世紀と、いずれもわずか二百年の間の出来事である。しかし、こうした医療技術の進歩に加え、公衆衛生の改善や国際協力の拡大により、新たな感染症が次々に発生し流行しても、根絶はできなくても拡大を抑え込み、人類はこれと共存することができるようになってきた。

さて、今回の新型コロナウイルス問題であるが、現在はなお世界的に見れば感染拡大が続いており、日本もまだ楽観視することはできない状況にある。しかしながら、検査体制の拡充、隔離対策の徹底等により感染増大を抑える一方で、治療薬の開発を間に合わせる事ができれば、他の感染症と同様に、我々は通常の経済活動を行いながら感染症と付き合っていくようになると確信している。見えない敵は恐ろしいものである。不安やパニックになるとデマが広がり、理性的な判断ができなくなるのはいつの時代も同じである。一方、例えば人口知能（AI）の応用により、診断や治療に関する技術は近年、格段に進歩しているとも聞く。

特殊鋼業界が一日も早く以前の状態に戻ることを祈念するとともに、それまでの間は、皆さんと心を一つに感染拡大抑止に努めていきたいと思う。

I. チタンの基礎知識と需要動向

1. 生産量の推移と需要の変化

㈱大阪チタニウムテクノロジーズ い だ よ し か ず
理 事 兼 営 業 部 長 井 田 義 和

まえがき

その名はギリシャ神話に登場するタイタンに由来するチタン。

タイタンは巨大な体を持つ勇者の神であり、まさにチタンの材料としての特性である「強靱さと耐久性」をあらわしている。

主要金属として鉄が約4000年前に工業化されたのに対し、チタンの本格的な工業生産は1950年代と新しく、さまざまな分野での更なる活躍が期待されている可能性を秘めた夢のある金属材料である。

チタンの特性としては鉄の約2倍、アルミの約3倍の強度を持ち、鉄よりも軽く（約60%）、ステンレス鋼・アルミニウムよりも耐食性、耐熱性に優れている。

こういったさまざまな特性を活かし、チタンは工業用金属材料として各事業分野において活躍の場を広げ発展してきた。

また、その原料にはスポンジチタン製造メーカーでチタン鉱石を精錬した高純度なスポンジチタンが使われている。小さな気孔が無数に空いているためスポンジと呼ばれているが、柔らかいわけではない。このスポンジチタンをベースにチタンスクラップも配合し、鉄や酸素などを成分調整した原料を溶解炉で溶かしチタンインゴットを製造、以降の生産工程は鍛造、圧延、焼鈍等、ほぼ鉄鋼製品と同様のプロセスを経て、展伸材（*）が生産される。

尚、鉄鋼製品同様、その生産工程で発生したチタンスクラップはリサイクルされ、省資源化やCO2排出量削減への取り組みも行われている。

本稿ではチタンに関する基礎知識の習得を目的に、全世界および日本におけるチタン展伸材生産量の推移や需要の変化、その特性を活かした用途等について解説していく。

（*）尚、以下文章においては「展伸材」といった単語を多用するが、所謂、鉄鋼製品（板・棒線・管等）と同義語である。

◇ 世界におけるチタン展伸材生産量の推移と需要の変化

2000年代半ばの世界展伸材生産量は75千トンに過ぎなかったものの、航空機分野での採用拡大や一般産業用分野における用途開拓により、2018年の世界生産量は150千トンとなり、2倍の規模にまで成長してきた。

その用途別内訳は現在、航空機向けが約60%、一般産業用が約40%である。

各々の成長度合いは2005年比で航空機向けが約3倍、一般産業用が約1.5倍となっている。

また、国別の展伸材生産量については、中国38%、ロシア等27%、米国23%、日本は12%となっており、鉄鋼製品同様、自国経済の発展が進んできた中国が一般産業用途を中心に生産量およびシェアを高めてきた。

また、ボーイングやエアバスといった大手航空機製造メーカーの生産拠点である欧米も相応の生産量・シェアを有している。

◇ チタンの用途について

航空機の機体材料は、布、木材から始まりアルミニウム合金へ、そして現在ではCO2排出量削減や低燃費化の観点より自動車同様軽量化が求められており、炭素繊維強化プラスチック（CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic Composite）へと進化してきた。

チタンは、耐食性や熱膨張率においてCFRPとの適合性に優れていることから機体用需要が増大、エンジン用材料としても耐熱性および強度の点から採用拡大が進んできた。

また、世界における航空機の運行機数は2000年代初頭では約15千機であったが、ボーダレス化が進む中、2019年には倍増の約30千機に達する等、チタンの採用比率の向上および運行機数の両面から、世界展伸材生産量拡大の主たる牽引役を担ってきたと言える。

今後、COVID-19の影響により、旅客数の減少やそれに伴う航空会社の業績悪化等、航空機向け展伸材需要は大きく落ち込む可能性があるものの、感染の収束やそれに伴う旅客数の回復、経年機の退役、燃費効率に優れた新型機の採用比率拡大等により、数年先には再度、成長軌道に復する事が期待されている。

一般産業用分野における需要分野は多岐に亘る。

材料特性を活かした用途開発および適用拡大を着実に進めてきた結果、現在では主に以下分野で活用されている。

塩水等を使用するため「耐食性」が求められるプレート式熱交換器、発電所用腹水器、苛性ソーダ電気分解プラント。「軽量化・耐熱性」を必要とする自動車・二輪車用マフラーおよびコンロッド、エンジンバルブ。「耐食性・軽量化」の観点からの建築・土木用材料（屋根・瓦・橋梁用部材等）。我々の生活に身近な民生品としては、ゴルフクラブ、メガネフレーム、時計、装飾品（プレスレット、ネックレス等）が挙げられる。

また、チタンはその表面が強固な不動態皮膜で覆われていることや磁性がないといった特徴から、

人体への親和性も高い材料である。

社会の高齢化が進む中、身体の機能を補う為に、人工関節や歯等のインプラント製品を埋入する手術が増加傾向にある。

骨格や骨形状には個人差がある中において、チタン粉末を活用したオーダーメイドの積層造形（3D）医療製品の適用ニーズが急速に高まりつつある。

尚、スポンジチタンを材料とするフェロチタンは鉄鋼添加材として高張力鋼板や耐熱鋼、ステンレス鋼の生産にも寄与している。

◇ 日本におけるチタン生産量の推移

現在、日本のスポンジチタンおよびチタン展伸材の出荷量は、世界市場においてそれぞれ25%、12%に達しており、世界のチタン業界において大きな位置を占めるまでに至っている。

また、チタン展伸材の用途・向け先は一般産業用分野が主体であり、2013年以降、堅調に成長基調が続いてきたが、その特長としては、10年前の2007年と比較して展伸材の輸出比率が42%→63%と大幅に増加、先の用途開発や適用拡大も含め日本のチタン産業発展のドライバーとなってきた。

しかしながら、直近の2019年における展伸材出荷量は、特に出荷の約2/3を占める輸出向けにおいて中国の景気減速による設備投資の減少や環境規制を背景とした火力発電所の建設抑制など、世界的な需要低迷の影響を受け減少に転じた（約16千トン/年、前年比△14%）。

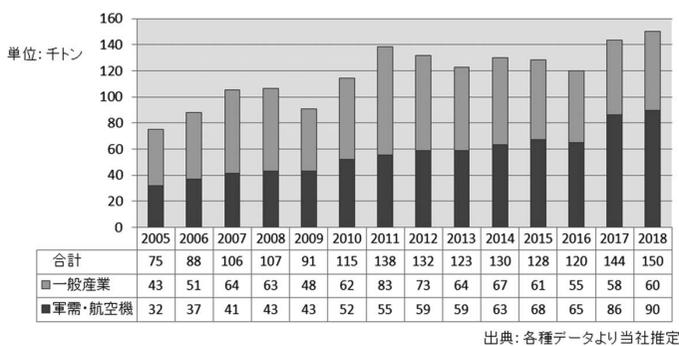
一方、新しい用途としては、先の医療向けに加え、歩留向上・コストダウン・軽量・高強度化の観点から、自動車、航空機向けの積層造形（3D）用チタンパウダーの需要拡大が今後期待されている。

また、会員総数約220社で形成されている一般社団法人日本チタン協会においても、「海淡・環境」、「船舶・建設・海洋」、「医療」といった各部会における調査、研修会、広報活動や産学官連携、開発普及活動、研究助成等を通じて、更なる用途開発や需要拡大に向けた幅広い事業活動を着実に推進している。

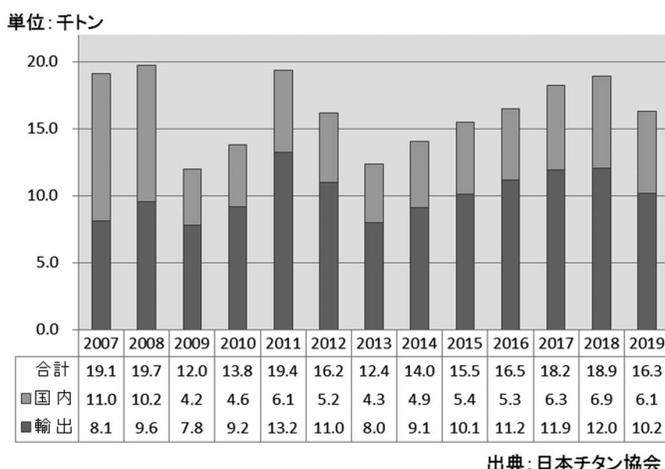
◇ 今後のチタン需要について

これまで需要環境の変化の中で増減を繰り返し

①2005CY～2018CY 世界展伸材出荷量推移



②2007CY～2019CY 国内展伸材出荷量推移



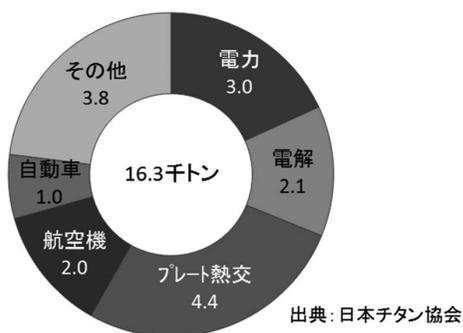
ながら順調に成長してきたチタンも2019年においては米中貿易摩擦等の影響を受けたとともに、更に足元のCOVID-19の影響により、今後、航空機向け、一般産業用向け共々、その需要は国内外で大幅に落ち込む事も懸念される。

また、通商問題に関しても、我が国のスポンジチタンの輸出先の約8割を占める米国において、通商拡大法232条に基づく同商務省の調査結果を受け、トランプ大統領がスポンジチタンの輸入は同国の安全保障を損なう恐れがあるとの見解を示した。結果、輸入措置制限は発動されなかったが、

今後、その動向においては注視が必要である。

こうしたリセッションや通商問題等、今後予断を許さない状況ではあるが、これまで材料特性を活かした用途開発・適用拡大を進め、その名前

③2019CY 国内展伸材用途別出荷量



の由来通り世界的な経済危機やパンデミック等も乗り越え発展してチタン。

今後も将来性のある金属材料である事は変わりなく、更なる飛躍が期待される。

2. チタン・チタン合金の基礎知識

関西大学 化学生命工学部 教授 うえだ まさと
上田 正人

◇ チタンの位置づけ

“チタン (Ti)” は4族第4周期に属する原子番号22の遷移金属である。その名はギリシャ神話に登場する巨人“Titans”に由来する。Tiを含む鉱石は18世紀に発見された。地殻中の存在量は10番目であり、資源的には豊富な元素である。しかしながら、還元が困難であり、金属Tiが誕生したのは1910年である。工業的な生産が始まったのは1946年頃であるから、非常に若い金属と言える。その代表的な特徴は、“軽い”、“強い”、“さびない”、そして“体にやさしい”であろう。さらに、この特徴的な物理的、化学的な性質をアルミニウム (Al)、バナジウム (V)、モリブデン (Mo) などを添加することにより際立たせることも可能である。Tiそのものの還元プロセスがバッチ式であること、主要な添加元素が比較的高価で、さらに価格変動が比較的大きいことから、Ti・Ti合金は高コストな材料になっている。しかしながら、高

い比強度や優れた耐環境性を有することから、航空宇宙産業、化学工業、海洋開発、医療など、他の材料では代替できない分野において幅広く利用されている。また、最近では、その高コストのイメージを逆手にとり、時計やレジャー用品など高級感を活かした民生品にも利用されている。

◇ 状態図

Tiは同素変態を有し、1,158K (885℃) より低温側では最密六方格子 (hcp)、高温側では体心立方格子 (bcc) となる。低温相は α 相、高温相は β 相と呼ばれる。図1にTiを含む、典型的な2元系状態図を模式的に示す。ここでは、(a) α - β 全率固溶型、(b) β 包析型、(c) 単純包晶型、(d) β 全率固溶型、(e) β 共析型の5種類に分類した。

(a) α - β 全率固溶型 (α - β isomorphous type) :
X = Zr, Hf

Zr, HfはTiと同族であり、Tiと同じ同素変態がある。化学的性質もTiのそれとよく似ている。液

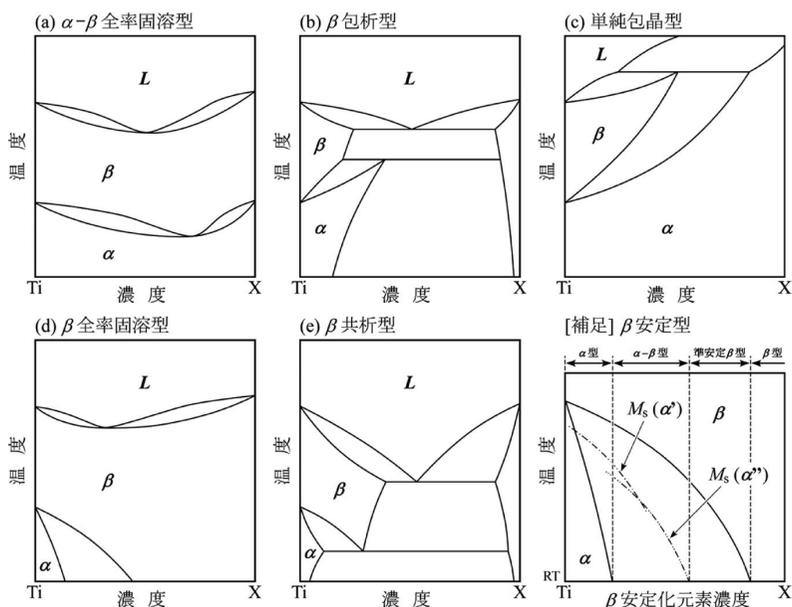


図 1 Ti-X系状態図の分類

相、固相共に全域で固溶し、Ti近傍ではXの添加によって液相線・固相線は右肩下がりとなり、 β/α 変態温度も低下する。

(b) β 包析型 (β -peritectoid type) :

X=C, Al, Ga, Sn etc

これらの元素をTiに添加すると低温域で安定な α 相を高温まで安定化させることができる。炭素(C)は α 相への固溶量が少なく、0.4mass% (1.6at.%)で炭化物(TiC)を生成する。

(c) 単純包晶型 (simple peritectic type) :

X=N, O

上記(b)と同様、これらの元素をTiに添加すると α 相を高温まで安定化させることができる。 α 相への固溶量は、Nで8.8mass% (24.7at.%)、Oで13.5mass% (31.9at.%)と極めて大きい。

(d) β 全率固溶型 (β -isomorphous type) :

X=V, Nb, Mo, Ta etc

これらの元素をTiに添加すると高温域で安定な β 相を低温まで安定化させることができる。Ti-Moの2元系では、 β 相領域に偏析反応が存在する状態図も報告されている。

(e) β 共析型 (β -eutectoid type) :

X=Cr, Mn, Fe, Co, Ni

これらの元素もTiに添加すると共析組成までの領域で β 相を低温まで安定化させることができる。

β 相への固溶量は上記(d)に比べて少ないが、比較的多く固溶する。

Ti合金に現れる基本的な平衡相は α と β の2相であるが、合金元素に依存して様々な遷移(中間・準安定)相が現れる。マルテンサイトである α' (最密六方構造)、 α'' (斜方晶構造)の他、非熱的(athermal) ω 、熱的(isothermal) ω 相などがある。さらに、 β 相の濃度分離によって生じる低溶質濃度領域である β' もある。これらの遷移相はTi合金における有用な特性発現に重要な役割を担っている。 β 安定型の平衡状態図上にマルテンサイト変態開始温度(M_s)を模式的に追記したものを図1[補足]に示す。室温(RT)で β 単相となっている合金を β 型合金、 M_s がRT以下になるような組成で、 β 単相領域から急冷し、RTにおいて β 相を準安定的に残留させた合金を準安定 β 型合金という。

◇ チタン合金の種類と特性

添加元素は、 α 相を高温まで安定化させる α 安定化元素(Al, Sn etc)、 β 相を低温まで安定化させる β 安定化元素(V, Cr, Mn, Fe, Nb, Mo, Ta etc)、さらに α 相と β 相で全率固溶する中性元素に大きく分類される。これらの元素を適切に添加することで、(i) α 型合金、(ii) α - β 型合金、(iii) β 型合金が作製されている。全体像を捉えるため、

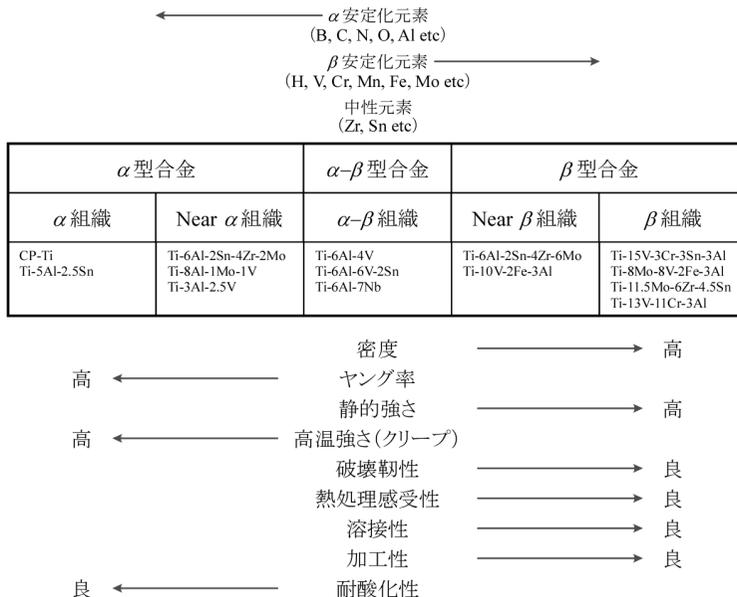


図 2 合金の種類と諸特性の変化

Tiへの α 安定化元素添加、 β 安定化元素添加による組織と諸特性の変化を図2に示す。

(i) α 型合金

工業用純Ti (CP-Ti; Commercially pure titanium) は α 型合金に含められることが多い。侵入型元素である酸素 (O) の添加量を調整して機械的性質を変化させている。また、製造プロセスでの混入が不可避なFeも主な不純物である。JIS規格では、機械的性質と化学組成で4種類に分類される。例えば、焼鈍状態の引張り強さ [O添加量] は、1種で270-410MPa [0.15mass%以下]、2種で340-510MPa [0.20mass%以下]、3種で480-620MPa [0.30mass%以下]、4種で550-750MPa [0.40mass%以下] である。O添加量の調整で、機械的性質を大きく変化させることが可能である。

α 型合金は α 安定化元素、中性元素を主に添加して、hcp構造の α 相を固溶強化した材料である。基本的に β 変態温度以下では組織が安定しており、熱処理性はない。これは高温で使用できることを意味する。主な添加元素はAlであり、耐酸化性、高温強さを向上させるが、8mass%以上添加すると、 $D0_{19}$ 型構造の Ti_3Al が生成するため脆化する。もちろん、 α 型合金では、Al以外の元素も複合的に添加される。その添加量から α 相の安定性に関して、経験的にAl相当量へ換算する“Al当量 ($[Al]_{eq}$)”という考え方が提案されている。このAl当量はその脆化組成の指標にも利用できることが報告されている。

$$[Al]_{eq} = [Al] + (1/3)[Sn] + (1/6)[Zr] + 10[O] \text{ (mass\%)}$$

工業用純Tiは電力向け復水器などのパイプや建材・スポーツ用品に、Ti-3Al-2.5V合金は軍用・民間用航空機部品、さらにはスポーツ用品、医療デバイスに広く利用されている。

(ii) α - β 型合金

この合金は α 安定化元素と β 安定化元素の両方が適切に添加され、 α 相と β 相 (α' の場合もある) の2相からなる。加工と熱処理により α 相の形状な

どミクロ組織を調整し、機械的性質が制御される。超塑性加工も可能で、高温強さ、耐クリープ性に優れた合金が開発されている。

代表的な合金はTi-6Al-4V合金である。この合金はすべてのTi材料総使用量の約50%以上、航空宇宙分野に限定すると、その約80%を占めている。バランスのとれた力学特性に加え、鍛造性・成型性、溶接性などあらゆる面で優れている。この合金では、“Ti-6Al-4V ELI”といった形で、“ELI”という表記が付記されていることがある。これは、“extra low interstitial”の略でCやOなどの侵入型固溶元素の不純物が少ないことを示している。また、この合金は医療用インプラント材料にも多用されているが、Vによる細胞毒性が懸念され、Nbで置換した合金も開発されている。

(iii) β 型合金

β 安定化元素を添加し、中性元素や α 安定化元素を適切量添加することにより、RTで β 単相、または準安定 β 相となっている合金を指す。実用 β 型合金はどちらかと言えば後者を指すことが一般的である。この合金の特徴は、bccに由来する良好な加工性と準安定 β 相に由来する熱処理性である。したがって、 β 安定化元素に対して、 β 相をRTで完全に残留させることができる下限組成は非常に重要である。これは、Mo当量評価式 ($[Mo]_{eq}$) がその指標として用いられることが多い。

$$[Mo]_{eq} = [Mo] + (1/5)[Ta] + (1/3.6)[Nb] + (1/3.6)[Nb] + (1/25)[W] + (1/1.5)[V] + 1.25[Cr] + 1.25[Ni] + (1/3.6)[Nb] + 1.7[Mn] + 1.7[Co] + 2.5[Fe] \text{ (mass\%)}$$

この合金系ではAlが3mass%程度添加されている場合が多い。これは脆化の原因となる等温 ω 相の析出を抑制するためである。これらの合金は航空機機体やエンジン用部材として使用されている他、ヤング率が低い特徴を活かし、硬組織関連デバイス用の材料として利用されている。

3. 流通からみた最近のチタン需要

(株) U E X とうもと たか し
チタン室長 堂 本 孝 志

まえがき

チタン市場規模は日本チタン協会統計によれば2019年（1～12月）16,303トンと、2018年（18,922トン）から10%以上減少して再び2万トンの壁に跳ね返された。2008年に19,727トンを記録して以降、これを超える数字は出ていない。

2020年は元々中国経済の反転予想から回復期待があったが、新型コロナの影響で全く見通せない状況に陥っている。チタンの現状を述べるには甚だ時期が悪いが、本稿では流通企業から見たチタン需要の状況をご紹介します。

◇ 最近のチタン市場動向【図1参照】

日本チタン協会統計は展伸材（製品）について、需要分野別に「化学」「電力」「造水（海水淡水化）」「電解」「プレート熱交」「航空機」「自動車」「船舶・海洋」「エネルギー」「建築・土木」「スポーツ・レジャー」「民生品」「医療」「販売業者（流通）」「その他」の15分野を国内・輸出別に表示

している。

リーマンショック前は全体の50～60%が国内向けだったが、以後は30%台で推移しており、国内市場の縮小が著しく、分野別で見ると特に「化学」「自動車」が10～15年前から半減以下となっている。

「化学」は石油精製やペットボトルの原料を製造するPTAプラントといった石油化学系プラントで多くの案件があったが、国内での石油需要減少やPTAプラント製造の海外流出で最近是小口案件が中心になり規模は大きく縮小している。

「自動車」で多くを占めるのは二輪マフラーだが、2000年代のチタン需給逼迫による急激な価格上昇でチタンからステンレスへの転換が起き、その後は価格が下がっても需要が戻らない状況が続いている。

他に2000年代と比較して減少したのは、「スポーツ・レジャー」「民生品」がある。「スポーツ・レジャー」ではゴルフが多かったが、台湾・中国メーカーとの競合激化で国内生産がほぼなくなり、海外では価格の安い中国材に席卷されたことに加

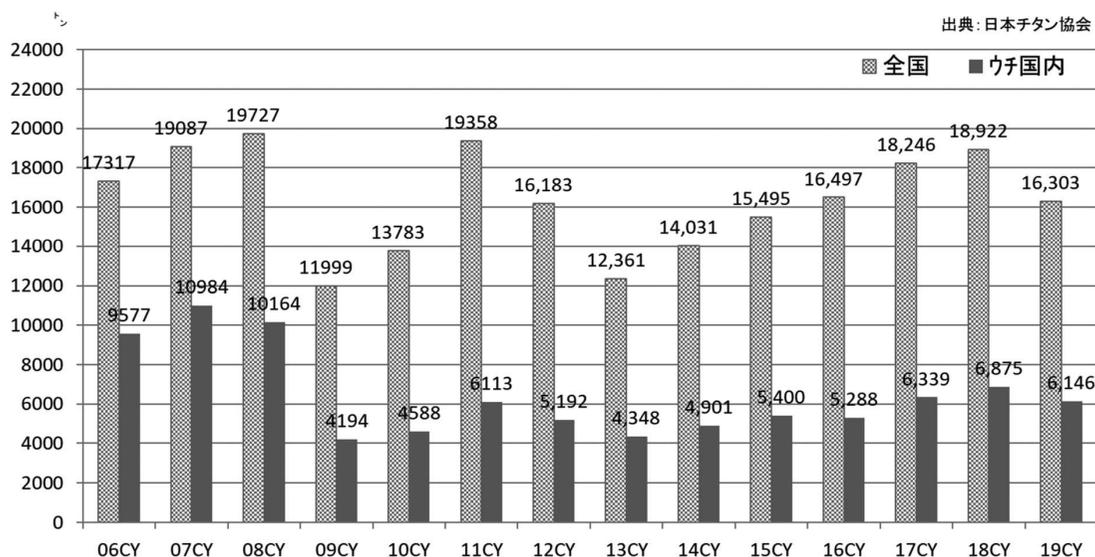


図 1 チタン展伸材出荷推移

え、反発規制の導入により日本メーカーが得意とする高反発性能のチタン合金が使用できなくなったことが減少要因である。因みに、ゴルフクラブ（ドライバー）のカタログでフェース部のチタンが6Al-4V合金と記載があれば、それはほぼ中国製と言え、バラツキがあるために飛ばないドライバーがあるかもしれない（当たり外れがある）。

「民生品」では時計やメガネが多いと思われるが、時計は既に中国での生産が大半となっていて中国材に侵食されていると考えられる。メガネも一時は安い中国製品に押されて厳しい状況だったが、最近は高品質のメイドイン鯖江が世界的に認知され少しずつだが需要が戻りつつあるように感じている。また、2000年代にはデジタルカメラやノートPCの筐体にチタンが採用され大きな流れになるかと思われたが、その後の採用はほとんどない。これはステンレスやアルミなど競合金属との価格差や表面仕上げのバリエーション差が要因と考えられる。

一方、2000年代に比べて増えている分野として「電解」「航空機」「医療」がある。「電解」は「電解銅箔製造設備」と「ソーダ電解プラント」に大別され、近年特に需要が伸びているのは前者で、IOTや5Gの普及に伴い銅箔需要は今後も拡大が続くと考えられており有望分野と言える。ソーダ電解プラントはニッケルとともに相当量のチタン需要があるが、設備新設と改修のサイクルがあるた

め、数年ごとに需要の波が訪れる。

「航空機」は着実に成長している分野で世界の旅客需要が今後も右肩上がりと言われ、市場規模は更に拡大していくことが予想されている。

「医療」は昔から成長分野と期待され確かに増えてきているが、未だ小規模に留まっている。これは医療分野そのものの参入障壁とチタンの医療規格に原因があると見ている。

◇ 流通が担う市場とは【図2-1、2-2参照】

国内流通分野の市場規模は2019年（1-12月）が998トンと前年（1,289トン）から大幅に減少したが、これは2018年が先高感による思惑買いもあり、やや多すぎた反動と見ている。分野では「化学」「電解」「民生品」「医療」「その他」が多いと思われる。過去には「自動車」「スポーツ・レジャー」もあったが、上述したように近年は少ない。

メーカーの生産ロットにならない小規模引合や短納期を要する場合には流通業者が持つ在庫から納入される。具体的には、「化学」ではタンク、配管、継手などのプラント物件、「電解」ではソーダ電解プラントの配管や電極、及び銅箔設備部材、「民生品」では時計・メガネ・アウトドア関連など、「医療」では人工骨、インプラントなど、「その他」では各種様々な機械部品や装置部材が含まれる。

また近年は燃料電池、液晶・有機EL製造装置と

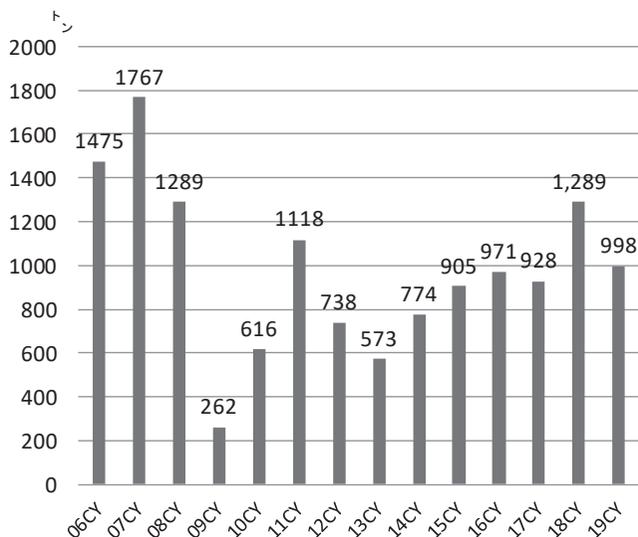


図 2-1 流通向け市場規模推移

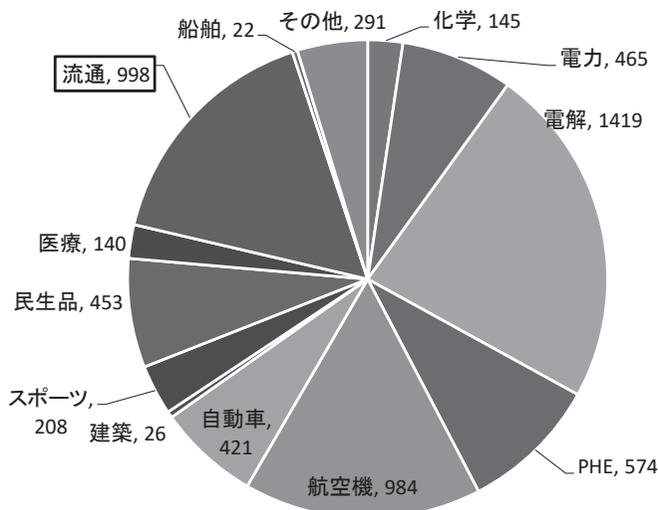


図 2-2 国内分野別規模2019CY (トン)

いった先端分野もあり、当社はメーカーの指導を仰ぎつつ積極的に取り組んでいる。

これら幅広い分野の細かい引合が日々寄せられており、少ないものでは1枚・1本から多くても数百kg程度のものが大半を占め、当社ではこういう雑多な明細を分析し傾向を読み、どのような在庫を持つかを日々試行錯誤している。

◇ UEXの取り組み

当社企業理念である「お客様から頼りにされ愛される」ことを常に意識しながら、需要家ニーズを細かく吸い上げて迅速かつ確実な対応を心掛け、在庫内容の拡充に努めている。

また、以前よりチタンの知識と経験を持つ人員の育成を強化してきており、従来にも増して需要家からの細かい要請に応え、単なる素材販売に留まらず材料加工にまで踏み込んだ対応や、技術サービスといった付加価値を加えることで需要家とメーカーの双方から認めていただける存在を目指していく。

◇ 提言

チタンの国内流通市場は国内市場全体の10%台半ばから後半で推移している一方、ステンレスは20%半ばであり、しかも市場規模自体が2ケタ大きく裾野も広い。市場規模が小さいため投入できる人員も限られる上、市場成長が止まっている状況が長く続いていて、このままでは流通業者の疲弊が進みかねないことを危惧している。

日本チタン協会は1999年に10年後の2009年には市場規模が3万トンになるとの予想を公表し、その際には30%のコスト削減が前提であることを付記していた。チタンが優れた金属であることは既に広く認識されているが、常に価格が障害になり普及が進まない現実がある。

抜本的な製造コスト低減を進め、ステンレスやニッケル、銅、アルミといった他金属に少しでも近づけることが市場拡大には欠かせず、ぜひメーカー主導でチタン業界の成長戦略を示していただきたい。

Ⅱ. 製造技術

1. スポンジチタン、チタンインゴット

東邦チタニウム(株) チタン事業統括本部 た なか かつ み
スポンジ事業部 茅ヶ崎製造部 田 中 克 巳

◇ チタンの製造方法

チタンの工業生産が開始されてから約70年が経過しますがマグネシウム還元法、いわゆるクロール法が採用され続けております。新たな製造方法の開発は精力的に行われているものの、チタンは酸素との親和力が強いいため、実用化に向けた開発は難しいのが現実です。

クロール法はチタン鉱石（酸化チタン分約9割）を塩化し、常温で液体の四塩化チタンを製造します。この四塩化チタンを精製し、金属マグネシウ

ムで還元するという化学的に複雑なプロセスを有しています。

この方法で得られるチタンは多孔質のスポンジ状であるため、“スポンジチタン”と称されます。

クロール法によるスポンジチタンの製造工程を図1に示し、得られるスポンジチタンの一例を写真1に示します¹⁾。

チタン鉱石から四塩化チタンを製造する塩化、蒸留・精製工程、四塩化チタンと金属マグネシウムを反応させ副生する塩化マグネシウムを真空中で除去する還元分離工程、還元反応で副生する塩化

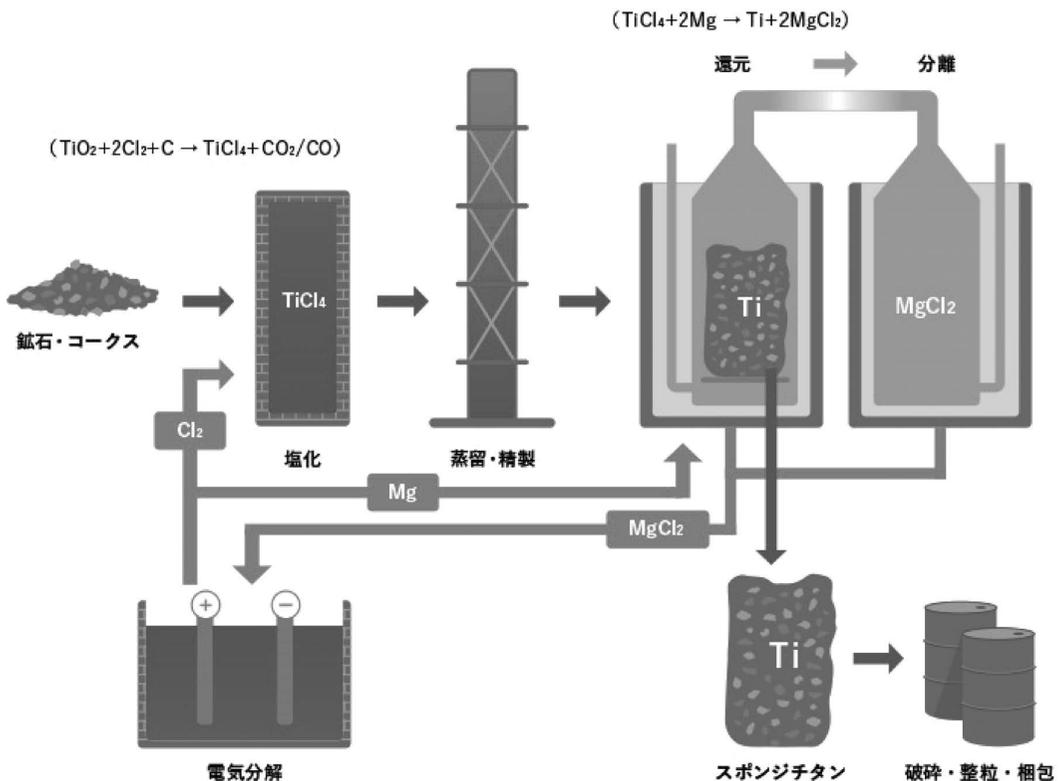


図 1 スポンジチタンの製造工程¹⁾



写真1 クロール法により製造された
スポンジチタン¹⁾

マグネシウムを塩素ガスと金属マグネシウムに電気分解する電解工程、更に製造されたスポンジチタンの大きな塊（大塊）を所定のサイズまで粉碎する破碎工程の四工程で構成されています。

スポンジチタンは多孔質でそのまま金属製品に加工することは出来ません。そのためスポンジチタンを均質なチタンインゴットに溶製しなければなりません。

スポンジチタンやチタンスクラップを原料として溶解、凝固を経てチタンインゴットを製造します。チタン合金は溶解の際、合金原料をチタン原料と同時に溶解することで、均質なチタン合金とします。

スポンジチタンは非常に活性が高く、製造方法が高温のため、酸化物や窒化物が混入する危険があります。溶解方法は消耗電極式真空アーク溶解法やEBコールドハース溶解法が一般的ですが、近年チタンの窒化物などのチタンよりも溶解温度の高い介在物の除去に信頼性向上が期待できるEBコールドハース溶解法が広く使われるようになってきました。EBコールドハース溶解法は電子ビームの高い照射温度とハースでの溶湯の滞留時間の確保により溶解機会の増加と沈降作用によって介在物の除去の信頼性が向上します。消耗電極式真空アーク溶解法を図2、EBコールドハース溶解法を図3に示します¹⁾。

またEBコールドハース溶解法は原料の形状に制

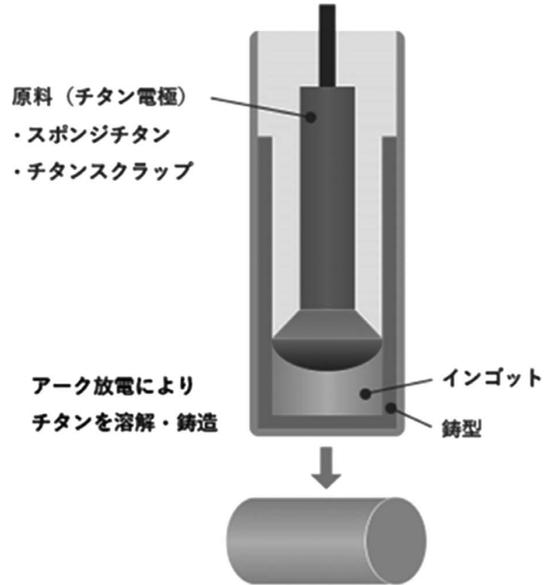


図2 消耗電極式真空アーク溶解法¹⁾

約が少なく、チタンのスクラップを有効に活用できます。インゴットの形状は真空アーク溶解法では円柱でしたが、EBコールドハース溶解法では角形が可能であり、加工工程で圧延ロスの低減が図れます。

◇ コスト削減の取り組み

チタンと酸素は強い親和性があるため還元反応は不活性ガスであるAr雰囲気とした容器内で行います。このため1つの容器内で製造できるスポンジチタンを大きくすることでコストを削減することができます。現在1つの容器で8トンや10トン、更には12トンのスポンジチタンを製造することが可能になっています。しかし1つの容器で製造できるスポンジチタンを大きくすることによる弊害もあるため、技術開発が必要不可欠です。

塩化マグネシウムの電気分解は電力消費が大きく、電力費削減は永遠のテーマと言えます。近年電力単価の高騰により、その要求はさらに高まっています。日本ではバイポーラ（マルチポーラ）電極を有した電解槽が主流となっています。

バイポーラ電解槽は電源に接続されていない中間極を装備したもので、1槽当たり電解出来る極数が中間極数分増加するため、電力原単位（マグネシウムを1トン生産するために必要な電力）が

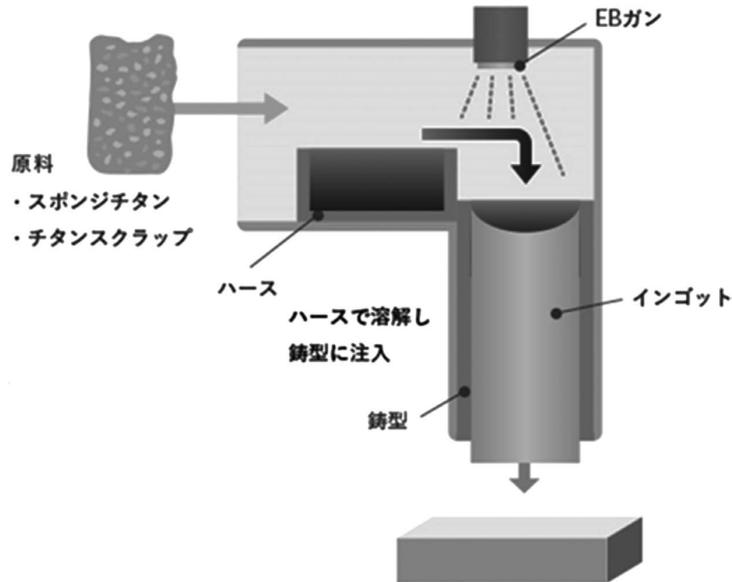


図 3 EBコールドハース溶解法¹⁾

大幅に削減されます。この改善により約20年間で電力原単位は半減しました。

◇ 最近の動向

IoTやAIに用いる電子部品は高機能化が進み、品質向上要求は高まる一方です。電子部品用途の高純度のチタンについても不純物濃度の低減要求が今まで以上に強まっています。これに対応すべくスポンジチタン製錬方法や溶解方法の技術改善が急務になっています。

また3Dプリンタの技術発展に伴い、様々なチタン製品が3Dプリンタで製造されるようになってきました。直近は一部の航空機部品が3Dプリンタで製造されるようになってきており、今後利用される部品がさらに増加すると考えられます。これに伴いチタンの粉末の仕様を3Dプリンタに合わせる事が求められるようになってきました。

◇ 今後の展望

チタン製錬は工業化開始から半世紀以上クロー

ル法が前提となっており、大幅な製造コストの削減には新たな製錬方法が必要であると言われています。

現在検討されている方法はチタンから酸素を取り除く方法に電気やカルシウムを用いた方法などが提案されています^{2), 3)}。

しかし未だ実用化に近づいているものは無く、チタンの酸素親和性が強いという特性が、チタン製錬の難しさの足かせになっていると言わざるを得ないでしょう。

また新製錬技術ではありませんが、溶解や圧延工程を省略あるいは簡略化する試みが、最近検討されています⁴⁾。チタンの利用拡大に向けたさまざまな取り組みに期待したいところです。

参考文献

- 1) 東邦チタニウム（株）ホームページより引用
- 2) 岡部徹、軽金属、Vol. 55、No. 11 (2005) p 537-543
- 3) 小野勝敏、鈴木亮輔、まてりあ、Vol. 41、No. 1 (2002) p 28-31
- 4) 堀川松秀、奥井利行、チタン、Vol. 68、No. 1 (2020) p 64-69

2. 鍛造、圧延

日本製鉄㈱ チタン技術部 きむら きんいち
チタン技術室 **木村 欽一**

まえがき

国内のチタン製品出荷数量で工業用純チタン（以降、純チタン）が多くを占めており、その内、薄板、厚板等の板製品が大半を占める。

「製造技術の鍛造、圧延」とのタイトルであるが、ここでは主に純チタンの薄板、厚板を中心とした棒材や線材等の展伸材の製造工程全般に亘る加工について簡単に紹介する。詳細は参考文献を参照願いたい。

◇ チタン展伸材の主な製造工程

図1にチタン展伸材の主な製造工程を示す。ここでは溶解工程以降の鍛造、分塊圧延以降の加工について紹介する。消耗電極式真空アーク溶解、また電子ビーム式溶解（以降、EB溶解）で製造される円柱状、或いは直方体インゴットを分塊圧延、或いは鍛造してスラブやビレットとし、さらに板および棒材、線材等の様々な形状の製品へと加工される。これらの多くは鉄鋼生産設備を用いており、鉄鋼の優れた技術がチタン製造にも応用されている¹⁾。以下、製品別に圧延等の加工について紹介する。

◇ 板系製品

(1) 鍛造、分塊圧延工程

円柱状、或いは直方体のインゴットを鍛造、分

塊圧延で厚板圧延や薄板向け熱間圧延（以降、熱延）へ供する素材スラブを製造する。インゴットを鍛造のみ、或いは分塊圧延のみでスラブ製造する場合と、鍛造で幅出しし分塊圧延にてスラブ製造するような鍛造と分塊の併用事例もある²⁾。

厚板圧延の素材スラブは、厚板製品の厚さに準じて、スラブ厚が設計される。薄板向け熱延コイルの素材スラブは、厚さ250mm程度で製品幅に準じたスラブ幅が設計される。

このようにインゴットを鍛造、分塊圧延にて熱延コイルの素材スラブとしているが、これらの鍛造、分塊圧延工程を省略して、EB溶解での直方体インゴットを直接熱延に供して熱延コイルを製造することができる直接鍛造スラブ（DCスラブTM）が開発され、量産工業化されている事例がある³⁾。ここでは、従来と同等の品質の薄板製品を供給できるようにスラブの表面性状および内部組織を制御し、そのための鍛造条件等が最適化されている。

(2) 熱延および冷間圧延工程

鍛造、分塊圧延されたスラブ、或いは直接鍛造のDCスラブTMを板厚4mm程度の熱延コイルとする。熱延機は鉄鋼の熱延ラインが用いられており、この熱延ラインは主に粗の可逆式（リバーズ）圧延と仕上のタンデム圧延機で構成される。粗圧延で厚さ25～40mmとし、仕上圧延で厚さ4mm程度まで圧延し、コイル状に巻き取る²⁾。

熱延コイルの表面には酸化スケールがあるので、

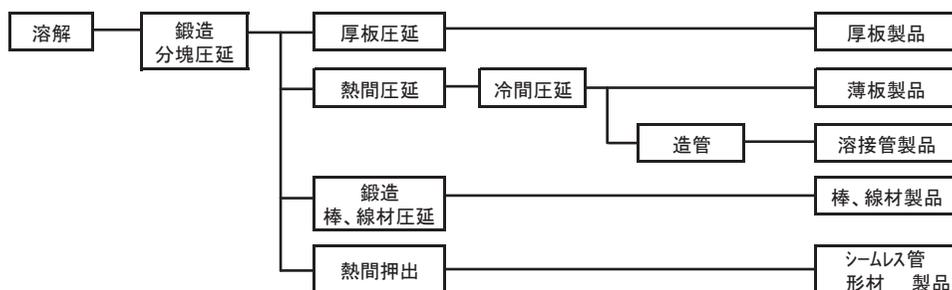


図 1 チタン展伸材の主な製造工程

酸洗等で表面スケールを除去した後、冷間にて圧延する（以降、冷延）。冷延の前に熱延コイルの表面疵を除去するため、ステンレス鋼板で用いられているコイルグラインダーで研削しているが、熱延コイルの疵発生要因を解明し疵を低減して、このコイルグラインダーの適用頻度はかなり低減されている。

冷延は、ステンレス鋼板で用いられている小径多段式クラスターミル（ゼンジミアミル）が多く用いられている。また、ハイカーボン鋼の冷延機でワークロール径が150～400mmと大きい6段リバース式コンビネーションミルにてチタンが冷延されている。このように冷延においてもステンレス鋼などの生産設備がチタンに用いられているが、チタン特有の稠密六方晶の特性を踏まえた適正な圧下配分、パススケジュール等が設定されている。

また、チタンはヤング率が普通鋼に比べて約6割と低く、薄手になるに従い冷延時の被圧延材のチタンにかかるコイル長手方向の張力によって、チタンの幅方向中央部に圧縮応力が加わり、チタンが折れるといった現象が起き易くなる。さらに、冷延時の薄手材の圧延は被圧延材のチタンが無い領域での圧延ワークロール自身が接触する現象（キスロール）も発生し易い。このようなチタン固有の特性に適切に対処し、例えば純チタンの板厚0.3mmで幅1,219mm（4フィート）のような薄手で幅の広い薄板製品が工業生産されている。さらに箔ミルを用いて、純チタンJIS1種材では板厚20 μ mまで工業生産されている^{3)~6)}。

ゼンジミアミルでの冷延はリバース圧延でありワークロールから巻き取りまでのコイルの長手方向の両端部分は未圧延となる領域が生じる。その対策としてリーダーと称する繰り返し使用する小コイルを予め溶接して、歩留低下を防いでいる。鉄鋼と同様に冷延のタンデム圧延化を目指した検討がなされており⁷⁾、今後の技術開発が期待される。

（3）厚板圧延工程

鉄鋼の厚板圧延機を用いてチタン厚板が製造されており、圧延機には圧下スケジュールをプロコンで制御するAGC（Automatic Gage Control）が採用されている⁸⁾。厚板圧延ラインの多くは粗圧延と仕上圧延が別の圧延機で構成されており、製

品幅4,000mm程度の広幅や、板厚4mmの薄手の厚板も製造されている。

圧延後の熱処理は鉄鋼と同じようなローラーハース式の連続炉が用いられている。ただ、チタンはヤング率が小さいため矯正し難い材料であり、特に薄手・幅広材の形状矯正は難しく、そのため形状矯正と熱処理を兼ねた真空クリープ矯正（Vacuum Creep Flattening：以降VCF）が用いられている事例がある。VCFは平坦な基盤上にチタン厚板を載せて、加熱とともに真空度を上げてチタン厚板全体に大気圧を作用させて熱処理温度にてクリープ現象を用いて形状矯正を図り、同時に残留応力も除去できる⁹⁾。

◇ 棒、線材製品

（1）鍛造工程

航空機向けの棒材は、Ti-6Al-4Vを代表とする各種チタン合金の溶解インゴットを鍛造にて製品化されている。チタン合金は鍛造材の金属組織が製品特性に大きく影響を及ぼすので、チタン合金に合わせた鍛造方法、条件の組み合わせが重要であり、さらに鍛造時の温度や歪み速度等の制御が重要である。そのためチタン合金の変形抵抗モデルを用いたFEM解析を用いて表面から中心部までの歪み、歪み速度等が最適となる鍛造スケジュールを検討、設計し、品質向上、安定化を図っている。また、5万トンの超大型プレス機が2013年から稼働され、航空機向けチタン合金鍛造品のさらなる生産、品質向上が期待される^{10)、11)}。

（2）棒、線材圧延工程

溶解インゴットを鍛造、分塊圧延でビレットとした後、棒圧延ミル、線材圧延ミルにて医療や眼鏡向けの製品に仕上げている。棒圧延は、多段式の孔型圧延にて直棒として製造されている。線材圧延も多段式の孔型圧延で圧延し、直径16mm程度以下の線材コイルが製造されている。これら熱間で製造された線材を冷間で伸線加工してさらなる細い線材も製造されている。

◇ 熱押製品

インゴットを鍛造にて直径200mm程度の丸ビレットとし、それを加熱して熱押加工にて形材等が製造されている。熱押加工も鉄鋼で用いられて

いる熱押プレス機が用いられている。熱押加工は丸ビレットをコンテナーの中に装入し、ビレット後部を押して前方の製品に従い設計されたダイスを通して一気に製品形状とする加工である。チタン材とダイス等の工具の間には主にガラス潤滑剤が用いられているが、Ti-6Al-4Vのような熱間強度の高いチタン合金はダイスが摩耗し、所定形状が得られない場合がある、また表層と中心部で歪み、歪み速度等がかなり異なり、加工発熱も多く発生し、熱押材の金属組織や材質に大きく影響する¹²⁾。FEM解析等で熱押条件である押出比（成品／ビレット断面積比）、ビレット加熱温度、ダイス設計、潤滑剤等の適正化が図られている。

むすび

1950年代に国内でチタン工業生産が開始され、その後、国内では主に鉄鋼メーカーがチタン製造を手掛けたことから大型の鉄鋼設備を用いてチタン製造の技術開発を進めた結果、薄板、厚板、溶接管、棒線材、熱押形材など多岐にわたる製品にて高品質で、且つ薄手、幅広材など製造可能範囲も広くカバーされている。そこには優れた鉄鋼技術の上に、チタン固有の特性を踏まえた鍛造、分塊、DCスラブTM、熱延、冷延技術などが開発され

た結果、国内チタン展伸材が全世界チタン出荷量の1割以上のシェアを占めている次第である。今後も冷延のタンデム化などのプロセス技術開発、加えて用途開発等によってチタンのさらなる成長が期待される。

参考文献

- 1) 伊藤喜昌：チタン vol. 61 No. 3 p 212 (2013)
- 2) 森崎昇治、平石勇一、福田正人、館山哲、添田精一、安井健一：チタン vol. 43, No. 2, p 97 (1995)
- 3) 木村欽一、片山俊則：新日鉄住金技報 第396号 p 3 (2013)
- 4) 村岡一雄、福田正人、桑山哲也、飛田寛、原田尚明：チタン vol. 43, No. 4, p 239 (1995)
- 5) 福田正人、井端治廣、樽本慎一、澤田護：神戸製鋼技報 vol. 49, No. 3 p 30 (1999)
- 6) 福田正人：神戸製鋼技報 vol. 50, No. 3 p 46 (2000)
- 7) 白石利幸、原口祐一、市本武彦：新日鐵技報 第375号 p 49 (2001)
- 8) 安藤泰夫、正橋幸一、添田精一、森崎昇治、安井健一：チタン vol. 43, No. 3, p 181 (1995)
- 9) 石井満男、安藤保孝、永井勲：新日鐵技報 第352号 p 40 (1994)
- 10) 稲垣育宏、武智勉、白井善久、有安望：新日鉄住金技報、第396号、p 23 (2013)
- 11) 長田卓、大山英人、村上昌吾：神戸製鋼技報 vol. 64, No. 2 p 28 (2014)
- 12) K. KIMURA, M. ISHI, and H. YOSHIMURA: Metallurgical and Materials Transactions B, vol. 24, p 139 (1993)

Ⅲ. 用途

1. 火力・原子力発電

日本製鉄(株) チタン事業部 ため なり じゅん いち
チタン技術部 チタン商品技術室 主幹 爲 成 純 一

まえがき

火力・原子力発電所において、チタンは、復水器の冷却管としての溶接管、および管板としての厚板に広く適用されている。チタンの海水に対する卓越した耐食性が適用理由である。

◇ 復水器の機能と構造

図1に火力発電所の例を示す。復水器の役割は、ボイラーで加熱されタービンを回転させた蒸気を復水器で冷却し水に戻すことで復水器内の圧力を下げ、蒸気によるタービンの発電効率を上げることである。水の加熱手段として、石油、石炭、天然ガスといった化石燃料を燃焼させるのが火力発電であり、核分裂反応によって発生する熱を使うのが原子力発電である。

図2に復水器の断面構造を示す。復水器内には多数の冷却管を配置しており、管内に冷却水を流した状態となっている。そこに、復水器上方から蒸気が入ってきて、冷却管の表面に接触すること

で、水へと状態変化する。水は復水器下方の出口から排出され、再びボイラーに送られ、加熱され蒸気となり、タービンを回転させ、復水器に送られる、といった循環を繰り返す。

◇ 冷却管の銅合金からチタンへの変遷

発電所が臨海部に位置している場合、復水器の

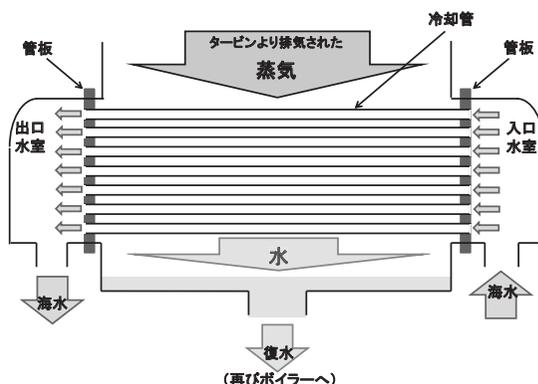


図 2 復水器の断面構造 (冷却水が海水の場合)

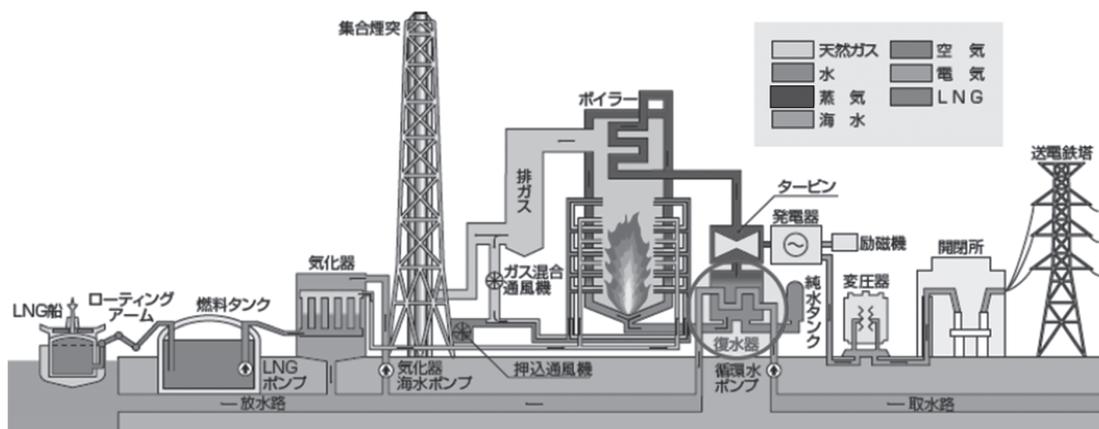


図 1 火力発電所の例

(<https://www.nipponsteel.com/product/titan/catalog/>より) チタンカタログ参照)

冷却水として最も使い勝手の良いのは、周囲に豊富に存在する海水である。しかしながら、海水は約3.5%の塩分を含んでいるため、冷却管を鋼製にしてしまうと、すぐに錆びて減肉し穴が開いてしまう。そのため、冷却管には海水に対して耐食性を有する素材が必要になる。

一方で、冷却管としての素材に必要な特性には、伝熱性がある。蒸気に海水の温度を効率良く伝え、水に状態変化させるためである。そのため、従来、海水を冷媒とする復水器の冷却管には、伝熱性と海水に対する耐食性の観点から、アルミニウム黄銅などの銅合金管が使用されていた。しかしながら、銅合金は、摩耗腐食（エロージョン・コロージョン）が発生しやすいという問題点があった。摩耗腐食とは、海水内の砂などの微粒子によって銅合金の表面が摩耗し、摩耗によって表面にあった腐食を防止する保護被膜が破壊されることで、腐食が進行するという現象である。この摩耗腐食による減肉のため、銅合金製の冷却管は、10年程度で交換が必要であった。

これに対して、チタンは摩耗腐食に強い。これは、摩耗によって保護被膜（極めて薄いチタンの酸化被膜）が破壊したとしても、瞬時に再生し、腐食を発生させないからである。一方で、チタンが銅合金に対して劣るのは、伝熱性である。熱伝導度を比較すると、アルミニウム黄銅が $99\text{W/m}\cdot\text{K}$ に対し、チタンは $17\text{W/m}\cdot\text{K}$ で、約1/5である。伝熱性のデメリットを克服するために、チタン管は銅合金管に対して更なる薄肉化を指向した。復水器用の銅合金管の肉厚は、摩耗腐食による交換頻度を抑制する観点から、1.2mm程度であるのに対し、チタン管は0.5mm（一部の部位には0.7mm）の肉厚を適用することができた。このことで、交換周期まで考慮すれば、チタン管が銅合金管よりもコストメリットがあることが認知され、1970年以降、チタン管を使用した復水器が適用されるようになった。今では臨海部の発電所の復水器用冷却管の多くにチタン管が適用されている。適用実績が重なりチタン管の信頼性が向上したことで、2000年代後半からは、更に薄い肉厚0.4mmのチタン管も適用されるようになってきている。なお、管の外径は25.4~38.1mm（1~1.5インチ）のものが主流である。また、管の長さは10~20m程度で、

かなりの長尺である。

◇ チタン溶接管の製造技術¹⁾

このような、外径25.4~38.1mm、肉厚0.4~0.7mmの復水器冷却管用チタン管の製造方法は、チタンの冷延薄板を幅80~120mmにスリットしたコイル状の素材（フープ）を、連続的にロールフォーミングで円形断面に成形し、突合せ部を溶接するものである。溶接部はそのまま製品に残存することから、熱間押出や冷間引抜で製造される無継目管と対比して、溶接管と呼称される。

ロールフォーミングの手法で溶接管を製造するのは、各種金属で広く行われているが、とりわけチタンの場合に障壁となるのが、一つは低ヤング率に起因したスプリングバックの抑制、もう一つは表面が活性であることに起因したフォーミングロールとの焼き付き抑制である。一つ目のスプリングバック抑制に関しては、成形ロールスタンド数を多く（10段程度）配列し、段階的に円形断面まで成形させることや、とりわけ成形初期段階にフープエッジ部をしっかり曲げておくことが必要となることから、成形初期でダブルバンドと呼ばれる（フープの幅エッジ部と幅中央部を曲げ、フープ断面が幅広いアルファベットのWの形となる）成形を行うことなどで、対応している。もう一点の焼き付きに関しては、工具鋼材質のロールではチタン表面とロール表面との間の周速差によって、チタン側に焼き付きが発生することがある。そのため、チタンと焼き付きを起こさない銅合金製のロールを採用することで、焼き付きの抑制を図っている。

突合せ部の溶接は、TIG溶接法が使用される。チタンは酸素や窒素との親和性が極めて大きいため、溶接はアルゴンガスなどの不活性ガス中で行うことが必須である。TIG溶接はタンゲステン電極と被溶接材の間に発生するアーク（空間放電）を熱源とし、その周囲に不活性ガスを流して大気を遮断しながら溶接する溶接法であり、チタンの溶接に最も広く用いられている。チタン溶接管の製造工程においては、TIG溶接トーチ部周辺をシールボックスで囲い、シールボックス内をアルゴンガス雰囲気としていることに加え、管内面にもアルゴンガスを供給する細管を配置し、管内面

側もアルゴンガス雰囲気とした状態で溶接を行っている。健全な溶接部は銀色の金属色を呈しているが、アルゴンガスの供給が不十分だったり、シールボックス内に酸素や窒素が混入した状態で溶接が行われたりすると、溶接部が青色や光沢のない灰色となり、このようなものは目視検査にて容易にリジェクトされる。

◇ 管板としてのチタンクラッド板の製造技術

図2の復水器の断面構造において、冷却管の両端部は、管板と呼ばれる厚さ30～40mm程度の厚板で固定されている。この管板には復水器の本体と水室部を仕切る役割もある。また、前述の通り、管長さは長いもので20mもあるため、長さ方向には複数枚の支持板（バッフルプレート）を配置し、管を支えることで、管のたわみを防止している。

図3に、冷却管と管板の接合部の模式図を示した。冷却管は管板を通した後、管板の部分のみ、拡管と呼ばれる方法でわずかに外径を大きくする加工が施され、管板の外側（図3では海水側）と溶接される。冷却管がチタンの場合、チタンは鉄系の実用金属（炭素鋼やステンレスなど）と溶接すると、溶融凝固部に脆い金属間化合物を生成するため、溶接部の強度が保てない。強度を保つためには、チタン同士での溶接が必要になる。そのため、管板そのものもチタン厚板とする（図3左側）ことが理想的ではあるが、一方で素材費用が高くなるデメリットもある。管板は、チタン冷却管と溶接される外側側だけがチタンであれば、要求される機能を十分に満足することから、炭素鋼とチタンを接合したチタンクラッド板（図3右

側）も広く適用されている。

チタンクラッド板は、一例では、厚さの約8～9割が炭素鋼、約1～2割がチタンの比率で、炭素鋼の厚板とチタンの中板（厚さ3～6mm）を、厚さ方向に接合したものである。しかしながら、前述の理由で、炭素鋼とチタンは溶融溶接できない。そのため、固相接合法の一種である、爆発圧接（爆着）という方法にて接合している。爆発圧接法は、母材（本件では炭素鋼）を下側、合せ材（チタン）を上側に、間隔をあけて平行に配置する。そして、合せ材の上側に火薬を配置し、火薬を爆発させることで、合せ材を母材に高圧力で衝突させて、両者を接合するものである。高圧衝突の際に金属表面の酸化被膜は除去され、清浄な金属表面同士が接合する。接合界面は波目模様となり、強固な接合が得られる。爆発圧接法は溶接困難な異種金属を接合させる有効な方法だが、脆い金属には適用が難しいことや、爆発が必要なため実施可能な場所の制約があることなどの課題もある。

むすび

このように、チタンは発電所の運転を支える金属として広く適用されており、人類の生活になくってはならない金属となった。チタンには耐海水性の他にもいろいろな優れた特性があり、それらを活かした用途開拓を推進させていく所存である。

参考文献

- 1) 西田祥章、原光男、沖中忠之、土居雅春、藤井敏雄：新日鐵技報 第352号 p 35 (1994)

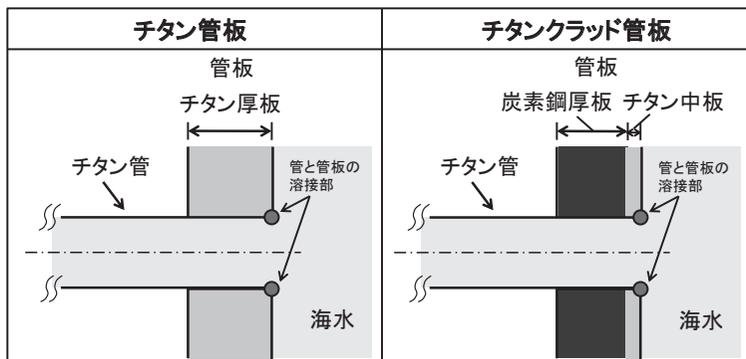


図 3 チタン管と管板の接合部

2. 化学プラント ～化学プラントに使用されるチタン材料の耐食性～

(株)神戸製鋼所 素形材事業部門 まつ くら のり かず
チタンユニット チタン商品技術室 課長 森 倉 功 和

◇ はじめに

比重が4.5で鋼材の6割程度と軽く、耐食性に優れているチタンには、純チタンとチタン合金がある。純チタンは、最も流通しているJIS 1種、2種クラスで300～400MPa程度と軟鋼程度の引張強さを示し、一般的なチタン合金であるTi-6Al-4Vは、焼鈍材で900～1,000MPa程度と、比較的に高い引張強さを持つ。チタン合金は、軽くて強い特徴を活かして航空機部品に使用され、世界的なその生産量は、チタン全体の半分程度を占める。それに対して、日本で生産されるチタンは、航空機関連での使用量が比較的に少なく、そのおよそ9割以上が、耐食性を活かして一般産業向けに使用される純チタンである。

ここではチタンの耐食性に関する特徴や他の金属との比較、純チタンよりも耐食性が高められたチタン合金や、それらの具体的な用途について紹介する。

◇ チタンの耐食性とその特徴

チタンは鉄鋼材料などの汎用金属に比べて優れた耐食性を示す。これはチタンの表面に存在する厚さ数～十数nmのチタン酸化物 (TiO_2 、 Ti_2O_3 、 TiO) からなる不動態皮膜が、この皮膜の下地を保護することによる。チタンの耐食性の特徴としては、非酸化性よりも酸化性の酸に対して示す高い耐食性、塩素イオンが存在する溶液中での耐食性、孔食や応力腐食割れが発生しにくい、などが挙げられる。

酸の種類による耐食性の違いについて述べると、チタンは、不動態である表面の酸化皮膜が維持される硝酸やクロム酸のような酸化性の酸の環境を得意とする一方、非酸化性の酸の環境には酸化被膜が維持されないため不得意である。そのため、塩酸や硫酸のような非酸化性の酸が、高温、高濃度となった場合には腐食が発生する。図1に各種耐食金属の耐食領域の相対比較を示す¹⁾。図1

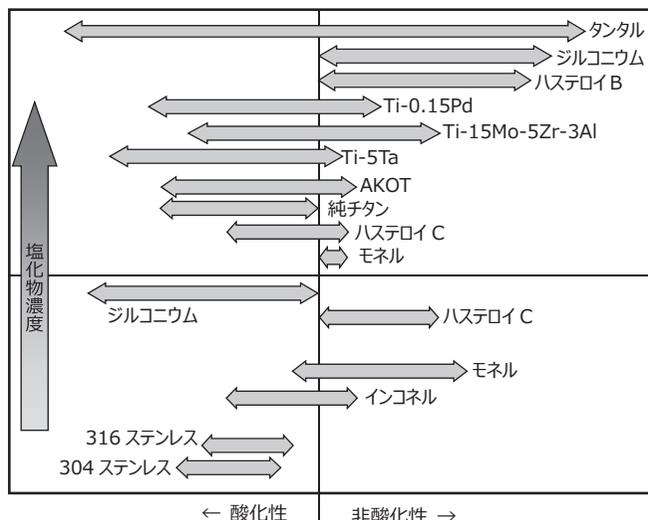


図 1 各種耐食金属の耐食領域の相対比較

では、横軸は酸化性の範囲、縦軸は塩素イオンの濃度で、矢印が長く、上のほうに位置しているほど耐食性を示す領域が広いことを示している。この図に示されるように、純チタンは、酸化性の領域であれば比較的の高い塩素イオン濃度の領域まで耐食性を有する。

チタンと同じく、耐食材料として使用される金属にはステンレスや銅合金がある。ステンレスが優れた耐食性を示す理由もチタンと同じく、主として鉄、クロム、ニッケルの酸化物 (Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 、 NiO 等) からなる表面の不動態皮膜による。しかし、ステンレスの不動態皮膜は、チタンに比べると塩素イオンに対する下地保護性が劣る。そのため、その耐食領域が、チタンと同じく酸化性の領域にあるものの、塩素イオン濃度が低い場合に限られるという点が、チタンとの大きな相違点である。

また銅合金も、海水環境に強い金属として使用される。その理由は、銅合金の表面に存在する銅の酸化皮膜 (CuO 、 Cu_2O) による。なお、その酸化被膜は、チタンやステンレスのような不動態皮膜ではなく、厚さが数 μm と非常に厚い。この皮膜は塩素イオンにある程度の耐性があるため、銅合金は従来から海水を冷却水とする熱交換器の材料として使用されてきた。しかし、チタンの不動態皮膜に比べると耐食性は劣り、また多孔質のため下地の保護性は十分ではない。さらに、酸化皮膜の下地との密着性が十分ではないため、流水や砂の混じった海水を流すと部分的に脱落し、エロージョン腐食を生じる場合がある。この点では、良好な酸化皮膜の密着性によりエロージョンがほとんど起こらないチタンと大きく異なる。

なお、優れているとされるチタンの耐食性も、その環境の影響を受けて変化する場合があるので注意が必要である。例えばチタンが優れた耐食性を示す海水や塩化物溶液中でも、高温になると隙間腐食を起こす場合がある。また前述のように、高温、高濃度の塩酸、硫酸はチタンが不得意な環境ではあるが、低温、低濃度ではそれほど激しく腐食されずステンレスよりも優れた耐食性が期待できるために、チタンが使われる場合がある。電解による塩酸製造プラントに使用されているチタンや耐食チタン合金が、その一例である。

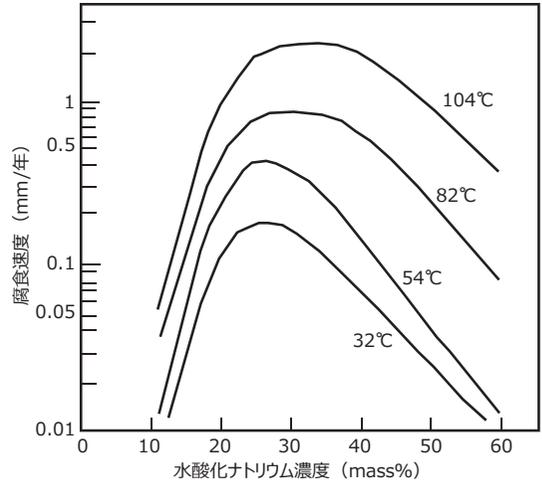


図 2 脱気した水酸化ナトリウム水溶液中におけるチタンの耐食性

また、高温、高濃度の脱気したアルカリ環境下では、腐食する可能性があるので注意が必要である。図2に脱気した水酸化ナトリウム水溶液中におけるチタンの耐食性を示す²⁾。常温ではほとんど腐食は進行しないが、十数%超の濃度での高温下では腐食されることがわかる。一方、通気環境では良好な耐食性を示すことが知られている。

◇ 耐食性チタン合金

チタンの高温・高濃度の非酸化性酸の環境下における耐食性を改善するため、耐食チタン合金が開発されてきた。チタンへの白金族元素の少量添加が、白金族元素自身とこれらの酸化物によるチタンの不動態化を促進することにより、チタンの耐食性を向上させている。Ti-0.15Pd合金は、1960年代に開発された耐食チタン合金で、現在でもなお、代表的な耐食チタン合金として使用されている。図1からわかるように、純チタンに比べて塩化物濃度が高い領域でも耐食性を示し、非酸化性の酸に対する耐食性が改善されている。このように、パラジウム (Pd) は白金族元素の中でもチタンの耐食性改善に最も有効な元素である。しかしその一方でパラジウムは高価な金属でもある。その市況価格の大幅な変動を受けてTi-0.15Pd合金の価格が純チタンの数倍にまで上昇する場合もあり、この点が同合金の課題とされている。

そこで大きなコストアップの原因となるパラジ

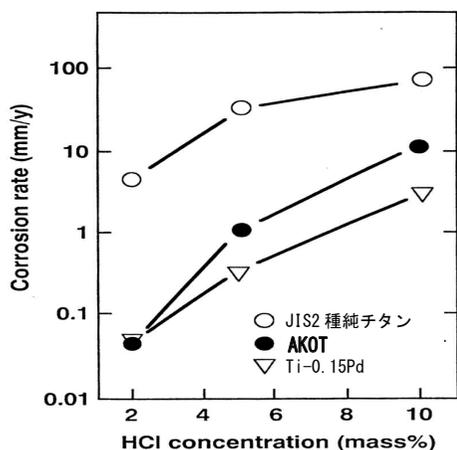


図 3 耐食チタン合金と純チタンの塩酸中の耐食性の比較

ウムの添加量を最小限にして、代わりに白金族元素の中でも比較的安価なルテニウム (Ru)、ニッケル (Ni)、モリブデン (Mo)、コバルト (Co)、クロム (Cr) といった白金族以外の元素でパラジウム減少による耐食性の劣化を補うという設計思想で、Ti-0.15Pd合金より比較的安価な耐食チタン合金が開発されている。図3はその耐食合金の一例として、Ti-0.4Ni-0.015Pd-0.025Ru-0.14Cr (JIS14種、以後AKOTと記載する)の塩酸中での耐食性を、純チタンおよびTi-0.15Pd合金と比較した結果である³⁾。塩酸濃度が2mass%と比較的低濃度の場合、AKOTの腐食速度はTi-0.15Pd合金とほぼ同等である。また、塩酸濃度が10mass%と高濃度の場合、AKOTの腐食速度はTi-0.15Pd合金よりも大きくなるが、その値は純チタンの約1/10であり、優れた耐食性を示している。

◇ チタンの耐食性を活用した用途

チタンが耐食材料として最も多く使用される環境は海水である。海水を冷却水に使用する熱交換器、発電所などで発生する水蒸気を水に戻す復水器、海水の淡水化プラントなどがその代表的な用途である。前述のようにステンレスや銅合金が使用される場合もあるが、その際は、ある頻度で腐食した部位を交換するためのメンテナンスが必要

となる。そのため、これらの材料に替えてチタンを採用した場合、初期コストが高くなっても使用開始後のメンテナンスの負荷を軽減させられる利点がある。なお、前述した用途の材料としては板や管が用いられることが多い。板や管の厚さに着目すると、チタンでは銅合金よりも薄い厚さで、銅合金よりも優れた耐食性を得ることができる。銅合金では徐々に腐食することを見込んで厚い材料が使用されるが、チタンでは腐食分の厚さを上乗せする必要が無いために薄肉化が可能となる。そのため熱交換器として重要な伝熱性能を銅合金と比較する場合でも、チタンは、銅合金に劣る熱伝導度のハンディキャップを薄肉化である程度補うことができている。

チタンは、更に腐食環境が厳しい化学プラントにも使用される。具体的には、苛性ソーダ電解や次亜塩素酸ナトリウム電解などのアノード電極や電解槽などが、その代表的な例である。また高温・高圧下での反応をとまなうプラントでは、その圧力容器内の耐食性を確保するためのライニングなどにも使用される。電解槽などでは腐食環境が局部的に厳しくなる場合があり、その場合は対象となる部分に耐食合金が使用されることがある。

◇ おわりに

チタンは海水を使用する熱交換器や化学プラントにおいて、必要不可欠な材料となっている。今後は温泉などの腐食環境の厳しい熱源の利用や温排熱の利用など適用用途が広がることが期待される。また近年、燃料電池セパレータ(電極)といった耐食性と導電性の両立が必要な新たな用途にもチタンが使用され始めており、今後の利用拡大が大いに期待される。

参考文献

- 1) M. Stern and C. R. Bishop, Trans. ASM, Vol. 52 (1960) Page 239
- 2) L. C. Covington and N. G. Feige, ASTM STP 516, (1972) Page 222
- 3) 上田啓司、杉崎康昭、屋敷貴司、佐藤廣士、鉄と鋼、Vol. 80, No. 4, 1994, Page 99-104

3. 航空機

東京大学大学院 未来工学 新領域創成科学研究科 教授 御手洗 容子

◇ Ti合金の分類

純Tiは885°C以上ではbcc構造のβ相が安定であり、885°C以下ではhcp構造のα相に変態する。Ti合金ではα相とβ相で構成される組織を制御することにより必要な特性を得るが、α相、β相の相平衡に対する効果は合金元素により異なる。合金元素は、α相を安定化する元素とβ相を安定化する元素に分けられる^{1), 2)}。α相安定化元素としては、Al、O、N、Cといった元素が挙げられ、主に、α相に分配される。図1(a)に示すように、合金元素の添加量が増加するにつれ、α相が高温でも安定となり、β相からα相へ変態する温度であるβ transusが上昇する。一方、β相安定化元素としては、V、Mo、Nb、Taなどが挙げられ、図1(b)に示すように、合金元素の添加量が増加するにつれβ相が低温でも安定となり、ついには室温でβ相が安定となる。これらは主にβ相に分配されるため、α相が安定で存在できる領域は減少する。この他に、ここでは示さないが、合金元素添加量が増加すると金属間化合物を生成し、β相からα相と金属間化合物が共析反応により生成するケースもある。こ

れに対応する元素は、Fe、Mn、Cr、Ni、Cu、Si、Hなどが挙げられる。共析組成まではβ相は温度が下がるにつれ安定化するため、図1(b)と同様な形態となるが、共析温度以下ではα相と金属間化合物の2相が安定となる。この他に、α相、β相両方に分配し、全組成域で変態温度があまり変化せず、変態温度以下でα相が安定となり、変態温度以上でβ相が安定となる中性元素と呼ばれるZr、Snがある。

図1(a)や、図1(b)のAに示すように、主相がα相である合金をα-Ti合金、Dに示すようにβ相が安定である合金をβ-Ti合金、B、Cのようにα相とβ相が共存する合金をα+βTi合金と呼ぶ。α+β合金の中でもα相分率が高い合金をnear-α合金、β相分率が高い合金をnear-β合金と呼ぶこともある。また、図1(b)中のMsはβ相からα相がマルテンサイトの生成する温度であり、Bの組成域では、徐冷すればβ相からα相が析出するが、急冷するとマルテンサイトのβ相と組成が変わらないα相(α'相と呼ぶ)が生成する。Cの組成域では、急冷によりマルテンサイトの斜方晶のα相が生成し、α''相と呼ばれる。この他に、急冷中に非熱的

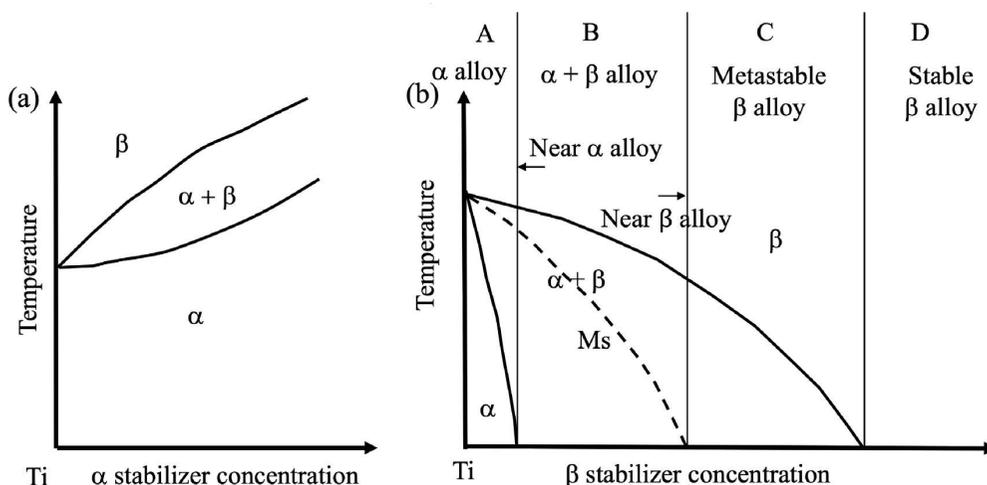


図 1 (a) α安定型元素添加、(b) β安定型元素添加 による相平衡の変化

ω 相と呼ばれる準安定相が生成する。 ω 相は、 β 相中の2つの(110)面が合体したような構造であり、 β 相と酷似した構造を有している。 ω 相は400°C以下で熱処理することによってもナノサイズで生成し、これを冷却中に生成する非熱的 ω 相と区別して、等温 ω 相と呼ぶ。このようにCの組成域では複雑な相変態が起こるが、これらの析出物は合金を脆くする欠点はあるが、強化に有効であり、またこれらの相を核として微細な α 相の生成が可能であるためこれらの相を生かした合金設計が行われている。

◇ 航空機機体材料

航空機全体のTi合金使用量は年々増加しており、特にボーイングの航空機においては、1960年代では数%であったものが、最近の機体であるB-787においては16%まで上昇している²⁾。航空機機体材料としては、軽量であるAl合金や、最近では炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP)が使われているが、高強度が要求されるランディングギア(離着陸用の主脚部品)には β -Ti合金が使われている^{1)~3)}。 β -Ti合金は、bcc構造が主体であるため、そのままでは高強度にはなり得ないが、 α 相を微細に析出させることにより強化を行っている。表1に β -Ti合金の組成を示す。ランディングギアに使われているのは、主にTi-10-2-3合金であり、高強度で焼入れ性が良く、強度と疲労のバランスも良い材料である⁴⁾。 $\alpha + \beta$ 域で鍛造され、 β transusよりも26から56°C低い温度で溶体化処理を行い、さらに482から593°C

で時効処理を行う⁴⁾。溶体化処理中に等軸 α 相が生成し、時効処理中に板状の α 相が生成し、形態の異なる α 相が混在するbi-modal組織となる¹⁾。この組織により、室温で耐力が1,145MPa、引張強度が1,214MPaと高い強度を示す。

◇ 航空機エンジン材料

Ti合金は、ファンなどエンジン前方の比較的溫度が低い部材と圧縮機のブレードやディスクとして使われている^{1)~3)}。表1にエンジンに使われる $\alpha + \beta$ Ti合金の組成を示す。 $\alpha + \beta$ Ti合金は、 β 相が安定なnear β -Ti合金と α 相が安定なnear α -Ti合金に分けられる。Near β -Ti合金であるTi-6246やTi-17は高強度と優れた疲労特性を有するため圧縮機ディスク材に使われている。室温での強度はそれぞれ、1,140MPa以上、1,100MPa以上であり、Ti-17については、371°Cで862MPa以上と高強度を示すが、クリープ特性は高くなく、耐熱温度は350°C程度と言われている⁴⁾。

Ti-64は汎用Ti合金であり、DAT54は、TIMETAL 834を改良して大同特殊鋼が開発した合金である⁵⁾。それ以外の合金はアメリカのTIMETが製造する商用合金である⁴⁾。ファン関係にはTi-64が使われている。Ti-64はチタン合金を代表する合金であり、高強度、高疲労強度、中程度の破壊靱性値を有するバランスに優れた合金である⁴⁾。圧縮機の前段部には、near β -Ti合金であるTi-6246やTi17が使われ、後段部の温度が高い領域では、near α -Ti合金が使われている。表1に示す耐熱性は、415MPa下のクリープ試験で0.2%歪みに到達する時間が

表 1 主なTi合金の組成 (mass %) と耐熱性

合金名	Al	Sn	Zr	Mo	Si	Nb	V	C	Cr	Fe	耐熱性
β -Ti合金											
Ti-10-2-3	3						10			2	-
$\alpha + \beta$ Ti合金 (Near β -Ti合金)											
Ti-6246	6	2	4	6							450 ⁶⁾
Ti-17	5	2	2	4					4		350 ³⁾
$\alpha + \beta$ Ti合金 (Near α -Ti合金)											
DAT-54	6	4	3.5	3	0.3	1					590 ⁷⁾
TIMETAL 834	5.8	4	3.5	0.5	0.3	0.7			0.06		590 ⁶⁾
Ti-6242S	6	2	4	2	0.1						520 ⁶⁾
Ti-64	6						4				300 ⁶⁾

300時間である温度と定義されている⁶⁾。Ti-64の耐熱性は300℃であるが、これは高温で拡散速度が速いVを含んでいるためであり、その後開発されたnear α -Ti合金では、 β 安定型元素としてVの代わりに高融点であるMoやNbが添加されている。また、 α 安定型元素であるAlを添加し、中性元素であるSn、Zrにより α 、 β 両相が固溶強化する。さらに、500℃近傍で時効熱処理をすることにより、微細なTi₃Alにより析出強化する。Siの添加によりシリサイドを微細に析出させ、クリープ特性を向上させている合金もある。

Near α -Ti合金である4合金について、引張強度の温度依存性を図2に示す⁴⁾。室温では1,000MPa程度の強度を示し、温度が高くなるにつれ強度は下がるが500℃においても600MPa以上の高い強度を示す。特に耐熱性が最も高いと言われているTIMETAL 834合金は、500℃において800MPa近い強度を示す。400℃近傍までの強度で言えば、near β -Ti合金であるTi-17合金の強度も高いが、 β 中に α 相が生成する組織であることからクリープ特性はnear α -Ti合金に及ばない。DAT54はTIMETAL 834よりも600℃までの温度域において高い強度を示している。クリープに関しては、試験条件がまちまちで簡単に比較ができないが、高温(500℃以上)での強度とクリープ特性は概ね傾向が一致している。クリープに関する詳細は、ref 8) にまとめている⁸⁾。

Near α -Ti合金は、 β transus以上で熱処理後、

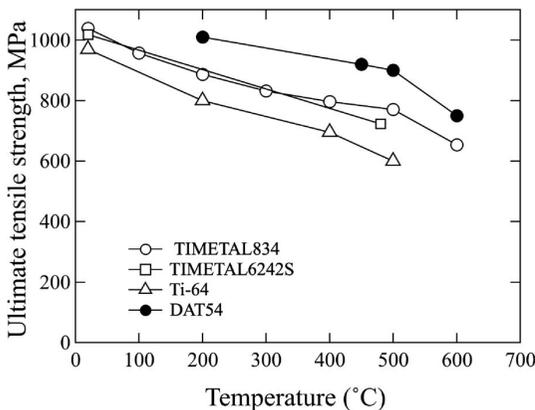


図 2 α -Ti合金の強度の温度依存性

冷却することにより、粗大な β 粒中にパーガースの方角関係 $(0001)_\alpha // \{10\bar{1}\}_\beta$, $\langle 11\bar{2}0 \rangle_\alpha // \langle 11\bar{1} \rangle_\beta$ にしたがって α 相が板状に生成することにより、 α と β が層状に並ぶ、いわゆる針状組織が形成する。これは結晶粒が大きいいためクリープ特性に優れた組織であるが、疲労特性が悪い^{1), 9)}。一方、 β transus以下である $\alpha + \beta$ 2相域で加工熱処理をすることにより、等軸 α と $\alpha + \beta$ 層状組織からなる比較的微細なbi-modal組織を形成する。bi-modal組織は、疲労特性に優れている。圧縮機ディスクには、疲労特性がより重要であるために、等軸 α 相の面積率を10-25%に制御したbi-modal組織が使われる⁹⁾。一方、圧縮機ブレードには、使用温度がディスクよりも100℃ほど高いため、クリープ特性がより重要となり微細針状組織が使われる。

◇ 最後に

年々運用温度が高くなる圧縮機後段でTi合金を使用するために、耐熱性向上は重要課題であるが、同時に疲労特性も重要である。ここでは書けなかったが、Near α -Ti合金では、疲労試験中に最大応力あるいは最大ひずみで一定時間保持されることにより、疲労寿命が通常の疲労試験よりも1桁短くなるDwell疲労と呼ばれる現象が、エンジン部材の安全性を脅かす問題となっている。耐熱性と疲労特性とのバランスを取った材料設計が必要である。

参考文献

- 1) G. Lütjering, J. C. Williams, Titanium 2nd eds, Springer, (2010)
- 2) D. Banerjee, J. C. Williams, Acta Mater. 61 (2013) 844-879
- 3) 稲垣育宏、武智勉、白井義久、有安望、新日鉄住金技報、396 (2013) 23-28
- 4) TIMETAL data sheet, <https://www.timet.com/literature/datasheets.html>
- 5) 服部博、錦織貞郎、生島隆雄、野田俊治、鈴木昭弘、まてりあ、28、2 (1999) 151-153
- 6) D. Eylon, S. Fujishiro, P. J. Postans, and F. H. Froes, JOM 11 (1984) 87-94
- 7) https://www.daido.co.jp/about/release/2018/0626_ams.html
- 8) 御手洗容子、軽金属、68 (2018) 321-328
- 9) 錦織貞郎、軽金属、55 (2005) 557-560

4. 建材用品

日本製鉄㈱ チタン技術部 やま ぐち ひろ ゆき
チタン商品技術室 山口博幸

まえがき

2010年に浅草寺本堂の瓦屋根がチタン瓦（写真1）に葺き替えられ、今年で10年目を迎える。その間、2011年の東日本大震災でも、昨年的大型台風でもチタン瓦は1枚も落下する事なく、威風堂々とした姿で日本国内および世界各国から多数の参拝者をお迎えしている。1946年に工業生産が始まった若い金属であるチタンであるが、伝統建築のみならず、現代建築、土木分野でも貢献するチタン製品について本稿でご紹介したい。

◇ チタンの特長、魅力

チタンには、「軽い」「強い」「錆びない」等の優れた特長がある。チタンの比重は鉄の約60%と軽量であり、高比強度（引張強度／密度）と高耐食性を活かして、航空機、化学・電力、海水淡水化プラント分野等で「縁の下を支える」素材として活用されてきた。建築分野での適用は1970年代から開始し、意匠性と高耐久性を兼ね備えた建築材料として、海浜地区等の厳しい腐食環境から恒久建築物（博物館、美術館、神社仏閣等）へと普及してきた。この過程で建築家からの強い意匠要望に応える形で、素材、加飾メーカーが意匠開発に注力し、意匠性に富むチタン製品が開発された。



写真1 浅草寺本堂

そこで、チタンの魅力の一つである意匠性について、解説させて頂く。

（1）表面仕上げ（テクスチャー）

代表的な表面仕上げとしては、ロールダル仕上げがある。これは、調質圧延時に表面に凹凸を付加したダルロールを用いる事でチタン表面にロールの凹凸を転写させた仕上げで、金属色調と防眩性を兼ね備えた仕上げである。また、より光沢を抑えた表面仕上げとして、ブラスト仕上げがある。これは、チタン表面にアルミナ等のブラスト粒を投射する仕上げで、伝統建築にも相応しい「落ち着いた風合い」が特長である。

また、チタンの結晶粒を粗大化させ、「結晶粒模様」を発現させた仕上げも新たに開発されている。この他にも、酸洗、研磨等の手法とそれらの組み合わせで様々な表面仕上げが誕生している。

（2）色（発色、イオンプレーティング）

チタンは、表面に緻密で強固な酸化被膜を形成する事で優れた耐食性能を発揮するが、この無色透明な酸化被膜を陽極酸化法等により、酸化被膜の厚みを変化させ、光の干渉現象を利用する事で様々な色を発現させる事が可能である。この発色チタンの色は塗装の色とは異なり、チタンの形状、光の角度、強さによって、色のグラデーションが発生し、「自然らしさ」を感じさせる特長がある。

また、PVDの一つであるイオンプレーティング法によるゴールドチタンも開発されている。これは真空もしくは不活性ガス雰囲気炉内でチタン表面に窒化チタン系の薄膜を堆積させた製品で本物の金のような色調を呈する特長がある。

◇ 建築分野での適用状況

（1）建築分野での技術開発

建築分野での適用開始後、1990年代に入り、それまでに建設された一部のチタン屋根が銀色から茶色に変色する現象が確認された。これは、チタン表面に存在する酸化皮膜が酸性雨と反応して成

長し、銀色だった表面の色が光の干渉で茶色に見えるという現象で、建築分野における大きな課題であった。日本製鉄(株) (当時、新日本製鉄(株)) は、この変色メカニズムを解明、変色を抑制する技術を確認し、2001年、「耐変色チタン」の開発に世界で初めて成功した。同年、この耐変色チタンが昭和電工ドーム (大分) に採用され、竣工から20年目を迎える現在も美しい状態を維持している。

(2) 伝統建築における適用状況

伝統建築分野では、檜皮、コケラといった伝統的な屋根材料の入手が年々難しくなるとともに、良質のものが得られにくく、その耐用年数が短期化していた。更に、金属屋根材として重用されてきた銅も、酸性雨の影響等により黒ずんで腐食が発生する等、寿命が短期化していく傾向にあった。こうした時代背景の元、より高耐久な素材であるチタンが建築物を維持、管理する施主からも強く要望されている。

本稿冒頭でご紹介した浅草寺本堂は1958年に竣工、築後約50年が経過し、日本瓦の老朽化が進んできたため、2010年にチタン瓦へ葺き替えている。日本瓦からチタン瓦への変更するメリットは以下三点である。一点目は、屋根全体の質量が約930トンから180トン (約1/5) に軽減、耐震性能が向上する事。二点目は、チタン瓦は下地にビス留めされているため、地震や台風による落下リスクが極めて小さい事。三点目は、チタンの高耐久、高耐食性能によって、メンテナンス負荷の軽減に寄与する事である。さらに、意匠も日本瓦と遜色なく、伝統建築の姿かたちはそのままに、安心、安全な日本のランドマークとして生まれ変わっている。

文化財への適用事例の一つとして、鶴戸神宮 (宮崎県日南市) 住吉神社は、銅からチタンへ2018年に屋根の改修を実施した。鶴戸神宮を含む鶴戸地区一帯は国の名勝に指定されており、名勝内の建築物へチタンが採用された初めての事例である。鶴戸神宮は、日向灘に面した厳しい塩害地域で、銅製屋根の場合25~30年毎に屋根改修を行う必要があった。そこで、チタンの塩害に強く維持管理費用の軽減に貢献する点と伝統建築に相応しい緑青発色の外観が評価され、チタンでの改修が行われた。

(3) 現代建築における適用状況

現代建築分野では、高耐久且つ意匠性が求めら



写真 2 国家大劇院

れる建物、例えば、博物館、美術館等へチタンの適用が進んでいる。九州国立博物館 (2004年竣工) では、菊竹清訓氏の設計で玄界灘をイメージした特徴的な屋根に青色に発色したチタンが採用されており、チタンの低熱膨張の特長を活かして、全長180mの屋根を120mと60mの2本のコイルをつないで長尺施工を実現させる事で、施工負荷の軽減だけでなく、雨漏りのリスク低減にも寄与している。海外でも中国の国家大劇院 (2007年、写真2) のようなランドマークとなる案件への採用が進んでいる。

また、2020年に竣工した青森県の弘前れんが倉庫美術館は、金色に輝く発色チタンが屋根材として採用された。この建物は明治・大正期に建設され、りんごを原料とするシードル (りんご酒) を生産する工場として活用されてきたが、今回リノベーション事業として改修工事を実施し、新たに美術館として誕生させた。この美術館は世界的に有名な建築家・田根剛氏が設計し、金色に輝く屋根の美術館は、新たな街のシンボルとなっている。

◇ 土木分野での適用状況

(1) 土木分野での技術開発

海水に対して高い耐食性を有するチタンは、海洋構造物をはじめ土木分野での普及も進んでいる。普及に際しては、各社でチタンを活用した工法 (ソリューション) の商品化が進められ、例えば、鋼管杭の飛沫・干満帯の防食工法として、チタンカバーペトララム被覆工法 (以下、TP工法) が開発されている。このTP工法は、鋼管杭の表面を

ペトロラタム系防食剤で被覆し、その上に緩衝層を有するチタン板を保護カバーとして装着した防食工法である。工法開発に際して、チタンカバーの固定を溶接ではなく、鞘管を使用したメカニカルな固定方法とした事で、現場施工の負荷軽減にも寄与している。

(2) 土木分野における適用状況

従来は既設鋼管杭の防食工法として、ペトロラタム被覆+FRPカバー等の工法が採用されてきたが、長期耐久性に優れたTP工法も延べ施工面積3万m²を超える実績と着実に実績が積み上がっている。これは、従来工法であるFRPカバーと比して、耐紫外線性のみならず、台風等で流木による衝撃でもチタンカバーは割れない等の理由も普及が広がっている一因である。

また、2010年には羽田空港D滑走路の棧橋部(写真3)にチタンカバープレートが採用された(チタン使用量は約1,000トン)。チタンが採用されたのは厳しい腐食環境である海上の棧橋部で、鋼桁塗装の劣化を抑制するために、チタンを面材としたカバープレートで鋼桁全体を覆う事で供用期間100年の実現とライフサイクルコストのミニマム化に貢献している。

新しい防食工法として、チタン箔による橋梁塗膜の補強工法はNETISにも登録され、適用が進んでいる。本工法は塗膜劣化による鋼材の腐食が起こり易い部位にチタン箔と基材テープで構成されるチタン箔テープを貼り付け塗装する事で、塗膜



写真3 羽田空港D滑走路

の劣化と鋼材の腐食を抑制させ、橋梁塗膜のライフサイクルコストを縮減するメリットがある。2018年には国土交通省主催の第二回インフラメンテナンス大賞優秀賞を受賞し、更なる適用拡大が期待されている。

◇ 今後の展望

今後「持続可能な社会」の実現に向け、超高耐久性能、環境・生態との良好な親和性を持つチタンが貢献できる場面は確実に増加すると期待している。例えば、防災・減災、国土強靱化が求められている「重要インフラ」や「スマートシティ」等における特色ある街づくりへチタンは活躍、貢献できると考えており、微力ながらその一部に貢献していく所存である。

5. 自動車・二輪車

日本製鉄㈱ チタン事業部 かわ かみ あきら
チタン技術部 主幹 川 上 哲

まえがき

チタンは、鉄鋼材料に比べ軽い、アルミニウムに比べ比強度が高く耐熱性が高いなどの優れた特長を有することから、主として高級二輪車、四輪限定車やレース車の部品に使用されてきた¹⁾。これら高級二輪車やレース車等では、徹底した軽量化とそれに伴うレスポンスの良い走り等を要求されるため、機能重視で比強度や耐食性、耐熱性等に優れるチタン・チタン合金が部品として適用される機会は少なくない。本稿では、文献1)以降に自動車部品としてチタンが使用されるようになった事例について主に紹介する。

◇ 自動車各種部品へのチタンの適用例

1. コネクティングロッド (コンロッド)

コンロッドはピストンの上下振動を回転運動に変えるエンジン部品であり、これを軽量化するとエンジンレスポンスが改善される上、周辺部品の小型・簡素化も可能になるなど軽量化効果が大きい²⁾。高級二輪車のコンロッドにはTi-6Al-4Vが、四輪限定車にはTi-3Al-2.5V-REMが使用された¹⁾。

近年、ヤマハYZF-R1に搭載されているSuper-TIX[®]51AF (Ti-5Al-1Fe) 製コンロッド (図1) は、チタン合金では世界初の適用となるFS (Fracture Splitting) 法で製造されている²⁾。Super-TIX[®]51AFはTi-6Al-4V同等強度を有すると共に良好な熱間加工性および切削加工性を有することを特長とする³⁾。FSが行いやすいことに加え、ドリル等で穴明け加工を行いやすいことも、この合金が採用された一因である。

2. エンジンバルブ

高級二輪車や四輪限定車のエンジンバルブにチタン合金が使われるようになってから20年以上経つ。エンジンバルブも往復運動する部品であり、軽量化すると周辺部品を小型化可能である。また、特に高回転域でのレスポンスを改善する効果が大きく、レース車やスーパースポーツ等では有効である。

吸気エンジンバルブには、Ti-6Al-4VおよびSuper-TIX[®]523AFM (Ti-5Al-2Fe-3Mo) に種々の耐摩耗処理を行ったもの⁴⁾が使われている。後者は、Ti-6Al-4Vよりもβ安定化能を高め高強度を狙い設計された合金であり、Ti-6Al-4Vよりも高強度



図 1 Super-TIX[®]51AF製コンロッド (ヤマハYZF-R1に搭載)

ならびに高い疲労特性を有する^{3), 5)}ことから、吸気エンジンバルブへの使用量は増えてきている。

一方、排気エンジンバルブには、航空機エンジン向けに開発されたNear α 型耐熱合金が使用されている⁵⁾。特に、800℃での疲労強度が一部耐熱鋼と同等であり、高い比強度（疲労強度／密度）を有するためである。

3. 排気管

排気系部品は素材使用量が多いため、チタン化による軽量化効果は大きい。1990年代より高級二輪・四輪アフターパーツへの搭載を端緒にマフラーのチタン化が進んできた。

元々はJIS2種純チタン（TP340C）がマフラーに採用され現在に至っているが、比較的高温（例えば700℃以上）に晒される部品には、材料メーカー各社が開発したマフラー向け軽合金が主に使用されている。そのうち、高温強度改善効果の高いAl、Siを含有させた合金がいくつか提案されている⁶⁾が、Alは室温強度も上昇させ延性低下ならびに冷間加工性を低下させることがあるため、添加量を0.5%程度に制限したものが多い。

これに対し、CuはTi中でAlよりも高温での固溶強化能は強い一方、Alと異なり室温で双晶変形の活動を阻害せず、1%程添加しても純チタン同様の冷間加工性を維持するという特性を有する⁷⁾。この特性を活用して、Ti-1Cu（10CU）、Ti-1Cu-0.5Nb（10CUNB）、Ti-1Cu-1Sn-0.35Si-0.2Nb（10CSSN）が開発され、高級二輪車や四輪車に使用されている（図2は日産2015年モデルGT-Rに搭載されているSuper-TIX[®]10CU（Ti-1Cu）製マフラー）。

4. 燃料タンク

燃料タンクの軽量化は、燃費改善と共に重心位置が下って操縦性安定化につながることから、特に二輪車にとって重要な課題である⁸⁾。近年、素材として高密度ポリエチレンを主とする樹脂が用いられているが、燃料ガス透過規制をクリアする必要がある樹脂タンクではバリア層を含み多層に積層する必要が生じており、厚手化（4mm程度、部分的にt6～7mm）は避けられない。一方、5000系を主とするアルミニウム合金はチタンに比べ軽比重であるが、延性が低い上にランクフォード値（r値）が小さく、プレス成形性は良好ではない。また、熱伝導度が高いため溶接時に突合せ部に溶接入熱が集中し難く低融点であることもあり、鉄用の溶接設備では溶け落ちが発生しやすく、やはり薄手化は困難である。

これに対し、優れた深絞り成形性を有するチタンでは、器物や筐体用に量産されておりプレス成形性は良好である。特に、O含有量が低いJIS1種薄板（TP270C）は高延性であり、プレス加工用低炭素鋼同等の張り出し成形性を有することと、熱伝導度が低いため溶接入熱が突合せ部に集中しやすく溶け落ちが起り難く、薄手化が可能である。理論上、t0.7mmのTP270Cを使用した場合、アルミニウム合金がt1.2mm以上必要となれば、燃料タンク重量は同等かチタン製の方が軽量となる。樹脂タンクと比較してもt0.7mmチタン製タンクの方が40%程軽くなる⁸⁾。また、チタンでは防食のための塗装は不要、かつ、鉄製燃料タンク用の現行製造ラインを共用すると共に、リサイクルスクラップを活用することにより、製造コストを抑えるこ

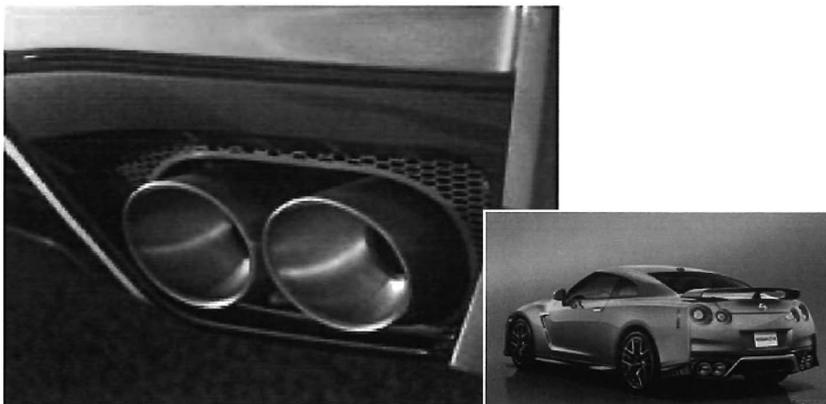


図 2 Super-TIX[®]10CU製マフラー（日産GT-Rに搭載）

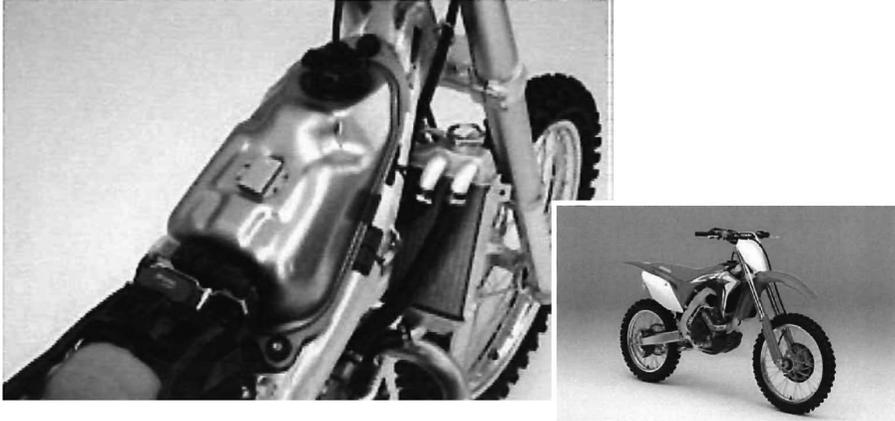


図 3 TP270C製燃料タンク（ホンダCRF450Rに搭載）

とが可能である。

上記に加えて量産上の課題解決を経て、量産二輪車（図3、ホンダ2017年モデルCRF450R）等へのチタン製燃料タンク搭載が世界で初めて実現した⁹⁾。

5. 燃料電池（FC: Fuel Cell）セパレータ

固体高分子形燃料電池（PEFC）は高出力密度が得られることから、燃料電池車（FCV）を中心に実用化されており、さらなる軽量小型化が求められている。PEFCでは水素と酸素を用い水素イオン選択透過型の有機物膜を電解質として用いている。固体高分子膜、電極とガス拡散層を一体化した膜電極集合体（MEA）両側をセパレータで把持した構造体を多数積層してFCスタックを形成する。セパレータには、電子伝導性、両極での酸素ガスと水素ガスの分離性、カーボンペーパーとの接触抵抗が低いことと、FC内の硫酸腐食環境下で良好な耐久性を有することが求められる。

トヨタ2014年モデルMIRAI（FCV）にはチタン箔製セパレータが採用されている。チタン製セパレータは不動態皮膜により高い耐食性を有するが、電気抵抗が高いためカーボンペーパーとの接触抵抗は高くなる。そのため、表面にAu等の貴金属や導電性樹脂をコーティングする方法やPd他の貴金属元素を微量添加したチタン合金を用い酸洗により表面に貴金属元素を濃化させる方法等、耐食性と低い接触抵抗を両立する技術が検討されている¹⁰⁾。

むすび

チタン・チタン合金は高比強度であり、高級二輪車や四輪車のエンジンバルブ、マフラーに長年使われてきている。近年では高比強度に加え、切削加工性を活用してコンロッドに、プレス成形性や溶接性を活用して燃料タンクに、また耐食性やプレス成形性を活かしてFCVセパレータにそれぞれ使用されるようになってきた。チタンは鉄鋼材料よりも高価であるが、その特性と製造上の課題を深く理解頂いて製造コストを削減できれば、各部品のチタン化は可能と考える。自動車にとって燃費や走行性能等を改善するため、軽量化は将来に渡り重要な課題であり、チタン活用は各部品の軽量化に直接寄与する有効な手法の一つと捉えて頂ければ幸甚である。

参考文献

- 1) 正橋：特殊鋼、47-11（1998）、35
- 2) 久保田ら：ふえらむ、23-11、（2018）、11
- 3) 藤井ら：新日鉄住金技報、396、（2013）、16
- 4) 富永ら：自動車技術会論文集、35-1、（2004）、135
- 5) 藤井：塑性と加工、56-654、（2015）、530
- 6) 例えば、T. Yashiki et al: Ti-2007、（2007）、1387
- 7) 岳辺ら：日本製鉄技報、412、（2019）、190
- 8) 平野ら：自動車技術会予稿集、（2018）、1
- 9) 川上：ふえらむ、23-11、（2018）、6
- 10) K. Takahashi et al: Ti-2019、to be published

6. スポーツ・レジャー用品

大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 なか むら ゆう き
耐食・耐熱材料研究室 **中村優樹**

まえがき

欧米諸国におけるチタンの需要が軍事や航空機分野で増加したのに対して、日本においては主に耐食性が必要となる産業プラント分野で需要が増加した。そのため、機械特性や耐熱性の向上のためにチタンにチタン以外の元素を添加した各種チタン合金に比べて純チタンの需要が増加することとなった。その結果、生産性、加工性、コストで有利な純チタンが市場に多く出回り、欧米に比べていち早く、スポーツ・レジャー用品や民生品へチタンが普及した。その後、各企業の旺盛な開発努力によって、純チタンばかりでなく、各種チタン合金についても積極的に利用範囲が広がっていった。

本項では、チタンの特徴を上手に利用した身近な製品について、一例を紹介する。

◇ 製品紹介

1. ゴルフヘッド

チタンがスポーツ用途とし採用された最大のヒット商品はゴルフヘッドである。チタン製のゴルフヘッドは1990年頃に市場に登場し¹⁾、最初は鋳造によって製造されていた。その後、1993年頃に鍛造によって製造されたヘッドが市場に登場した。ステンレス鋼に比べて、チタンは比重が小さ

く強度が高い、つまり比強度（強度／密度）に優れている。そのため、チタンをゴルフヘッドに用いた場合、重量を増やすことなくヘッドの体積を大きくすることができ、より広いフェース面によるスイートスポット拡大が可能となる。これに加え、チタンは弾性率が低く高い反発力を有するため飛距離を増やすことが可能となり、チタンは瞬く間にゴルフヘッド用材料の主役となった²⁾。

表1にゴルフヘッドに使用される代表的なチタン合金の材料特性を示す。初期には、最も一般的なチタン合金である $\alpha+\beta$ 型のTi-6Al-4V合金が用いられていた。Ti-6Al-4V合金は加工性に乏しいことから当初は鍛造ではなく、鋳造による製法がとられていた。

その後、ヘッドの重量を同等に保ちながら、さらにヘッドの大容量化するため、高級品を中心に、より高強度が得られる β 型チタン合金が使用されるようになった。 β 型合金の代表的なものとして、元々航空機用途に開発されたTi-15V-3Al-3Cr-3Snや、冷間加工性に優れたTi-22V-4Alがある。さらに、フェースの反発に関する研究が進むと、肉厚分布をフェースの部位ごとに変化させて反発力の増大やスイートスポットの拡大を指向する設計が主流になった。ヘッドの薄肉化がさらに進み、フェースの強度が求められるようになると、鍛造や冷間圧延によってフェースの強度を高める手法

表 1 ゴルフクラブヘッドに使用される代表的なチタン合金

Material	Type	Heat treatment	Tensile strength [MPa]	Young's modulus [GPa]	Density [g/cm ³]
Ti-6Al-4V	$\alpha+\beta$	A	950	110	4.43
Ti-6Al-1Fe	$\alpha+\beta$	A	1,000	110	4.39
Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al	β	ST STA	820 1,250	88 100	4.76
Ti-22V-4Al	β	ST STA	740 1,270	80 100	4.69
Ti-15V-6Cr-4Al	β	ST STA	870 1,360	85 110	4.72

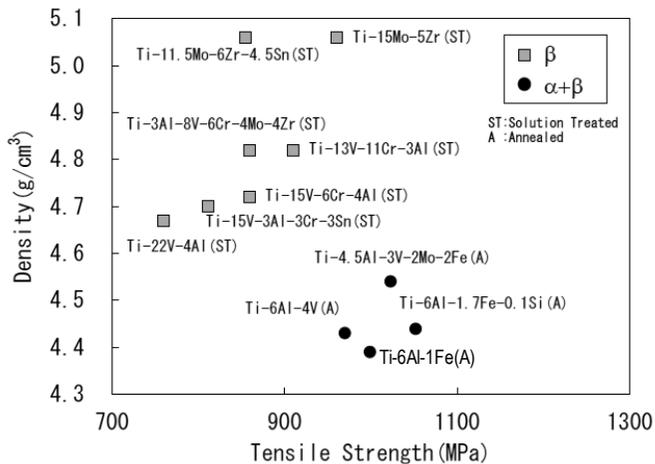


図 1 各チタン合金の強度と密度

が取られるようになっていった。一方で、こうしてチタン製高反発ヘッドが急速に普及し、飛距離が飛躍的に向上するようになると、競技結果に及ぼす機材性能の影響が大きくなり、スポーツ競技としての公平性が問題視されることになった。さらに、飛躍的に伸びた飛距離に対して、既存のコースでは距離が不十分になることが懸念され、対応策として、チタン製のドライバーには、反発係数の規制が設けられることとなった。この規制に対して、ゴルフクラブメーカーは反発係数を追い求める代わりにヘッド自身を軽く仕上げ、ウェイトにより重心を調整し、球の打ち出し角度や回転をコントロールするような新しいヘッド設計の方向性を打ち出すようになった。このためには、より比強度に優れた材料が必要となったが、β型合金はβ安定化元素として比重の大きなVやMoを多く含有するため、合金の比重が大きくなる課題があった。そこで、VやMoを含まないα+β型Ti-6Al-1Fe合金が開発された。図1に代表的なチタン合金の強度と密度の関係を示す。α+β型合金はβ合金よりも低密度である。その中でもTi-6Al-1Fe合金は低密度で優れた強度を示すことから、ゴルフヘッドに採用されている³⁾。このように、ゴルフメーカーは規制に対して材料と設計の両面から改良を加え、製品特性の向上を図っている。

2. 車椅子・自転車

チタンは一般的な車椅子の材料としても適した

材料であるが、特にスピードが要求され、激しい運動が強いられるスポーツ用車椅子に近年チタンが注目されている。これは、チタンの比強度が高く、部品の薄肉化による軽量化が可能で、低弾性率であり衝撃・振動吸収性をフレームに持たせることが可能であることがスポーツ用車椅子の材料として適しているためである。

一般的な車椅子のフレームとしては、ステンレス鋼とアルミニウム合金が用いられている。ステンレス鋼フレームの車椅子の重量は約14~16kgであり、アルミニウム合金フレームでも、約11kgである。チタンフレームでは、通常使用の

車椅子で、10kg以下のものが生産されており、最軽量のものでは8kg以下の車椅子も製造されている。競技用の車椅子の場合は、強度の確保や安全性を確保するためにバンパーなどが装着されるなどして、一般的な車椅子に比べて重量が増加しやすいが、それでも12kg以下のものが製造されている。

車椅子のフレームは主にパイプ構造を有しており、主に純チタンが用いられている。純チタンは、その化学成分と機械的特性に応じて表2に示す4種類のJIS規格が定められている。純チタンの機械強度は、FeとOの微量な差により大きく影響を受ける。1種は、純チタンの中でも最も軟質で、強度が低いながら延性に優れ加工性に優れる。2種は、強度と延性のバランスが良く、広く利用されており最も一般的なグレードである。3、4種は、ステンレス鋼や炭素鋼に匹敵する強度を有しているが、その分延性はやや劣り、加工が難しくなる。日常生活用の車椅子としては2種が一般的に用いられ、スポーツ用では強度を確保するために4種が用いられている⁴⁾。

同じようなチタンの使い方、自転車のフレームがある。チタンの自転車への適用は1996年に始まっている。1999年に、パナソニックサイクルテック(株)(当時ナショナル自転車工業)から発売されたトレクル6500は世界最軽量6.5kgを実現している。自転車ではフレーム以外にも変速ギアやディスクブレーキローターなどの部品にチタン

表 2 JIS規格の4種の純チタン

JIS Grade	Chemical Composition (wt%)						Tensile Strength [MPa]	0.2% Proof Stress [MPa]	Elongation [%]
	H	O	N	Fe	C	Ti			
JIS Type1	≤0.013	≤0.15	≤0.03	≤0.20	≤0.08	Bal.	270-410	≥165	≥27
JIS Type2	≤0.013	≤0.20	≤0.03	≤0.25	≤0.08	Bal.	340-510	≥215	≥23
JIS Type3	≤0.013	≤0.30	≤0.05	≤0.30	≤0.08	Bal.	480-620	≥345	≥18
JIS Type4	≤0.013	≤0.40	≤0.05	≤0.50	≤0.08	Bal.	550-750	≥485	≥15

が採用されているが、これらの部品は、自転車の中でも一部の特殊な競技向け車両向けに限定されており、一般に普及していないというのが実情である⁵⁾。拡大を阻害している最大の要因としては、フレームについては材料価格が高価であること、部品としては耐摩耗性が悪いことと熱伝導性が悪いことなどが挙げられる。これについては、価格を下げる製造技術の確立と新たな合金開発が期待されることである。

3. 腕時計

チタンが最初に採用されたのは1970年代の終わり頃と言われている。軽さ、強度に加えて、生体適合性に優れ、熱伝導率が低いことで装着時に冷たさを感じることがないという特徴から人にやさしい材料として採用された。最初は、高額な素材であったことから、スポーツ時計や高級時計に限定したものだったが、現在ではステンレスの代替材料として各種ラインナップに採用が進んでいる。

純チタンは硬度が低く、一般的に腕時計に用いられるステンレス鋼に比べると表面に傷がつきやすい。そのため、純チタンを用いる場合は、表面処理（窒化や酸化など）を施し、材料表面に硬化層を形成し、耐スクラッチ性を向上させる処理が行われる。ステンレス製の時計の場合、定期的な磨きによって表面の傷を取り除き輝きを取り戻すことができる。一方で、表面処理を行ったチタンは、磨きを行ってしまうと表面の硬化層も取り除かれて光沢を失ってしまうため磨きができないという問題がある。

表面処理以外の耐スクラッチ性を上げる方法と

して、純チタンよりも硬度の高いチタン合金を採用する方法がある。この手法として、主に高級用としてTi-6Al-4Vなどの既存合金が採用されていた。しかし、これら既存のチタン合金は、チタン以外の合金元素を添加することで強化を図っているため、コストの増加と生体適合性の悪化が懸念される。また、強度の増加に伴って、加工性が悪化することになる。これに対して、時計メーカーとチタンメーカー各社は、合金添加元素は極力抑えながら必要な硬度を出す合金設計や初期状態では硬さが低く加工性に優れるが、その後の熱処理によって優れた硬度を発現するチタン合金の開発に取り組んできた。今後、より意匠性に優れた製品の製造が可能となることが期待される。

◇ おわりに

本項では、チタンの特徴を積極的に活かしたスポーツ・レジャーといった民生品の一例を今後克服していかなければならない課題についても触れ紹介した。特に日本においては、必ずしも航空分野や工業分野のみでチタンが発展してきたわけではない。今後も新たな技術革新により、チタンがより身近な材料となることを期待する。

参考文献

- 1) 江藤維彦：チタン、Vol. 50 (2002)、3
- 2) 佐藤文宣：まてりあ、Vol. 41 (2002)、8、546
- 3) 小川道治：電気製鋼、Vol. 79 (2008)、3、253
- 4) 小澤隆治、寺浦康進：まてりあ、Vol. 41 (2002)、8、529
- 5) 現場で生かす金属材料シリーズ チタン、日本チタン協会編、116

7. 医 療

大同特殊銅(株) ステンレス・軸受産機ビジネスユニット オブキアミひろ
東京営業部 チタン営業室 副主席部員 鈴木 昭 弘

ま え が き

チタンおよびチタン合金の特長としては一般的に耐食性がよく軽量かつ高強度であることが挙げられるが、加えて良好な生体適合性を有するといった特長もあり、多くの医療用部材、とくに体内に埋入して使用するインプラント材として用いられている。また、軽量・高強度かつ非磁性であるといった特長から医療器具等にも広く用いられている。

本報告では、チタンの優れた生体適合性、代表的な医療用チタン合金、医療への適用例等について述べる。

◇ チタンおよびチタン合金の生体適合性

チタンの耐食性が良好なのは、表面に安定な酸化物である不動態皮膜を形成するためであるが、生体環境下では表面にリン酸カルシウムを形成することも知られている¹⁾。ステンレス鋼などでは、材料の表面を線維性の組織が覆い、いわばカプセル化することで、直接骨組織とインプラント体は

接触しないようだが、チタンの場合には骨組織とインプラント体であるチタンが光学顕微鏡レベルで直接密着し、持続した結合状態を呈することで、インプラント体に加わった力が直接骨組織に伝達される。これは、Branemarkにより提唱されたOsseointegrationの概念^{1)、2)}であり、チタンの生体適合性が高い特長のひとつとされている。

図1は岡崎等³⁾によってまとめられた金属の細胞毒性のデータであり、横軸はマウス繊維芽由来組織L929の細胞相対増殖率を、縦軸は鶏胚心筋繊維芽組織の細胞成長係数を表している。両軸ともにコントロール(対照材:ガラス)値の1より小さくなるにつれて毒性が増大する。バナジウム(V)や鉄(Fe)、コバルト(Co)が1以下で毒性を示しているのに対し、チタンは両軸とも1を越えており良好である。

また、耐アレルギーに関しても、ニッケルやクロム、コバルトなどの他の金属材料に比べチタンはアレルギーを発症しにくく⁴⁾、その点でも生体材料として適しているといえる。

◇ チタン・チタン合金の医療応用への歴史

金属チタンがクロール法(マグネシウム還元法)によって取り出されるようになったのは1946年、それが工業化されるようになったのは1948年のことであるが、動物埋入実験でチタンが優れた骨適合性を有していることを示唆したのは初めての報告は1940年までさかのぼることができる^{5)、6)}。医療用途への着目はチタンの工業化と同じ時期から進められており、早くから医療用途として着目されていたことが判る。1965年にはBranemarkにより人工歯根の臨床応用が開始、Osseointegrationの概念が導入され、チタンの医療用途における有用性は広く認識されるにいたった。

医療用途として初期に検討されていたのは純チタンであるが、強度不足による破壊が生じ、航空機用途に多用されていた高強度のTi-6Al-4Vが検討さ

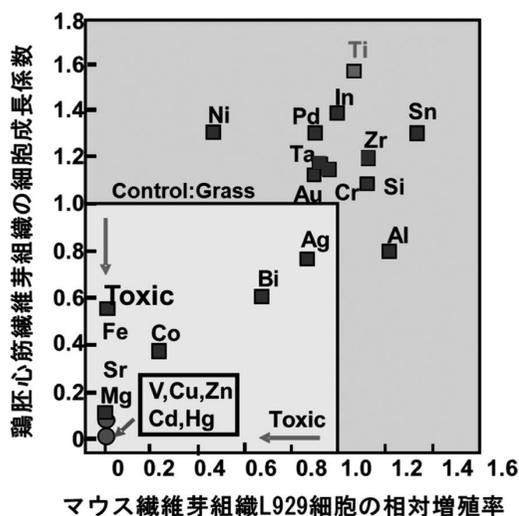


図 1 純金属の細胞毒性³⁾

れるようになった。その後、同じTi-6Al-4Vでもより靱性を重視し酸素等の微量元素を抑えたTi-6Al-4V ELIが多用されるようになった。また、バナジウム(V)の毒性を懸念し、Vをニオブ(Nb)で置き換えたTi-6Al-7Nbや⁴⁾、アルミ(Al)の神経毒性を懸念してVもAlも添加しないTi-15Zr系やTi-15Sn系等のチタン合金が開発されており⁷⁾、最近ではより人体に優しい元素からなる医療用途に特化したチタン合金の研究が進められるようになってきている。

また、医療用途に用いられるチタン・チタン合金の多くは展伸材であるが、歯科では鋳造も検討されており、1978年にTi-Cu-Ni合金で歯科鋳造がはじめて実施された。1982年には井田らがマグネシア系埋没材とアルゴンアーク鋳造機を開発し、その後多くの歯科鋳造システムが製品化されている^{6)、8)}。

最近では、チタン粉末をもとに積層造形(3Dプリンター)を活用したアディティブマニュファクチャリング技術も適用されるようになってきている⁹⁾。

◇ 医療用チタン・チタン合金

医療用のチタン・チタン合金の材料規格を表1に示す。JISではT7401規格のなかで個番号がつけられ純チタンやTi-6Al-4V等のチタン・チタン合金が規格化されている。またISOでも同様に5832規

格のなかで種々の純チタン・チタン合金が規格化されている。JIST7401-2やISO5832-3では、前述のTi-6Al-4VとTi-6Al-4V ELIの区別はされておらず、Ti-6Al-4VとTi-6Al-4V ELIの両者がそれぞれ同じ規格のなかで適用できるようになっている。

しかしながら、現在最も一般的に用いられている医療用チタン・チタン合金の規格は、米国材料試験協会規格であるASTMであり、医療用純チタンはF67規格として、また代表的な医療用チタン合金であるTi-6Al-4V ELIはF136規格に、Ti-6Al-4VはF1472規格にそれぞれ登録されている。またそのほかの α - β 型合金としてはTi-6Al-7NbがF1295に規定されている。さらに β 合金としては、Ti-12Mo-6Zr-2FeがF1813に、またTi-15MoがF2066規格として登録されている。これらのなかでもっとも広くインプラント用に使われているのは、ASTMF67の純チタンとASTM F136のTi-6Al-4V ELIであるが、生体用に特化されて開発されたTi-6Al-7Nbなども欧州では広く使用されている。

骨代替材としてインプラント材を体内に埋入した場合、インプラント材と骨組織が均等に応力を伝達しない(応力遮蔽)と骨組織が退化し骨吸収が生じる⁴⁾。その解決策としてインプラント材の弾性率を極力骨に近づけようとする試みが最近なされており、Ti-15Mo (ASTMF2066)等の β 型合金も注目されるようになってきている。

表 1 主な医療用チタン材料規格

区分	JIS	ISO	ASTM
純チタン	T7401-1 ・ 1種ELI ・ 1種 ・ 2種 ・ 3種 ・ 4種A、B	5832-2 ・ Grade 1 ELI ・ Grade 1 ・ Grade 2 ・ Grade 3 ・ Grade 4A、4B	F67 ・ Grade 1 ・ <u>Grade 2 (主要)</u> ・ Grade 3 ・ Grade 4
チタン合金	α - β T7401-2 ・ Ti-6Al-4V T7401-3 ・ Ti-6Al-2Nb-1Ta T7401-4 ・ Ti-15Zr-4Nb-4Ta T7401-5 ・ Ti-6Al-7Nb	5832-3 ・ Ti-6Al-4V 5832-11 ・ Ti-6Al-7Nb	F1472 ・ Ti-6Al-4V F136 ・ <u>Ti-6Al-4VELI (主要)</u> F1295 ・ Ti-6Al-7Nb
	β T7401-6 ・ Ti-15Mo-5Zr-3Al	5832-14 ・ Ti-15Mo-5Zr-3A	F1813 ・ Ti-12Mo-6Zr-2Fe F2066 ・ Ti-15Mo

表 2 チタン・チタン合金の医療用途への適用事例⁶⁾

主な診療科	医療器具	代表的な合金
整形外科	脊椎固定器具	Ti、Ti-6Al-4V、Ti-6Al-7Nb
	ボーンプレート	Ti、Ti-6Al-4V、Ti-6Al-7Nb
	人工関節・骨頭	Ti-6Al-4V、Ti-6Al-7Nb、Ti-15Mo-5Zr-3Al
循環器外科・内科	心臓ペースメーカー	Ti、Ti-6Al-4V
	人工弁	Ti-6Al-4V
	血管内ステント	Ti-Ni
	ガイドワイヤ	Ti-Ni
歯科	脳動脈瘤クリップ	Ti、Ti-6Al-4V
	歯科インプラント	Ti、Ti-6Al-4V、Ti-6Al-7Nb
	矯正用ワイヤー	Ti-Ni、Ti-Mo
一般外科	手術器具	Ti、Ti-6Al-4V
	カテーテル	Ti-Ni

日本では生体用チタン合金の研究も盛んに行われており、AlやVを含まない生体用合金として、たとえば岡崎らは α - β 型チタン合金のTi-15Zr-4Nb-4Ta (JIST7401-4)を、また新家らは低弾性率 β 型チタン合金のTi-29Nb-13Ta-4.6Zr¹⁰⁾を開発している。

これらはいずれも展伸材であるが、Ti-6Al-4V鋳造材としてASTMF1108が、また純Ti粉末としてASTMF1580が、さらにはTi-6Al-4V粉末としてASTMF1508等の規格も制定されている。

◇ 適用例

インプラント材に要求される特性としては、生体適合性としては周囲組織に影響を与えないことやアレルギーを生じないことが挙げられるが、また力学的特性として適度な機械的性質や耐摩耗性、さらには適度な弾性率も求められるようになってきている。さらには検査技術の進歩も受け、非磁性やX線造影性等も必要に応じて求められる。人体の部位に応じて必要な機能が異なるため、部位ごとに適したチタン材料が用いられている。表2⁶⁾に人体の各部位に適用されている代表的なチタン材料の一例を示す。

脊椎固定器具 (Spine) はチタンが最も適用されている部位であり、そのほか股関節や膝関節にチタン・チタン合金が用いられている。また、内科の分野では、心臓のペースメーカーや人工弁などにチタンが用いられており、さらに歯科の分野では、人工歯根や歯冠等に適用されている。

一方手術等で使用する医療機器としては、手術用具等¹¹⁾にチタンが適用されている。

超弾性や形状記憶特性を有するチタン・ニッケル合金は血管ステントや胆管ステント、カテーテルガイドワイヤに、また歯科の分野では矯正用アーチワイヤや最近では根管形成用ファイルにも適用が図られている¹²⁾。

また、アディティブマニュファクチャリングを活用したカスタムメイド人工頭蓋骨等¹³⁾へ実用化が図られるようになっていたりしている。

◇ 最後に

昨年の医療用途向けのチタンは我が国では140tの生産をしているが、大手医療機器メーカーは海外勢が圧倒的な力をもっており、チタン製医療機器の7～9割程度は輸入に頼っているといわれている¹⁴⁾。日本では薬事承認までの多大な費用と時間が参入障壁の大きな一因となっているようだが、日本のものづくり力を生かし、国産化が増えることを期待したい。

参考文献

- 1) 堀隆夫：チタン、61 (2013)、2、134
- 2) D.M.Brunette、P.Tengvall、M.Textor and P.Thomsen: Titanium in Medicine、Springer-Verlag Berlin Heidelberg、(2001)、30
- 3) Y.Okazaki、Y.Ito、K.Kyo and T.Tateishi: Mat.Sci.Eng.A、A213 (1996)、443
- 4) 新家光雄：電気製鋼、73 (2002)、2、113

- 5) R.T.Bothe, L.E.Beaton and H.A.Davenport: Surg. Gynecol. Obstet., 71 (1940)、598
- 6) 埴隆夫: 軽金属、68 (2018)、9、494
- 7) 岡崎義光、伊藤喜昌、伊藤敦夫、立石哲也: 日本金属学会誌 57 (1993)、3、332
- 8) 井田一夫、都賀谷紀宏、堤定実、谷嘉郎: チタン歯科鑄造技術の現在、三浦維四、井田一夫編、チタンの歯科利用、クインテッセンス出版、(1988)、45
- 9) 中野貴由: 軽金属、67 (2017)、9、470
- 10) 新家光雄、福井壽男、服部友一、許健司、鈴木昭弘: まてりあ、41 (2002)、3、221
- 11) 山田典弘、山田将志、岡田光正: チタン、63 (2015)、1、23
- 12) 形状記憶合金協会: 金属、88 (2018)、9、725
- 13) 中島武彦、山口和芳、平野昌弘、植月啓太、鈴木悠悟、石坂春彦: チタン、65 (2017)、1、17
- 14) 日本チタン協会: 医療用チタンガイドブック、日本チタン協会、(2018)、11



IV. チタン・チタン合金の開発動向

大阪大学 大学院工学研究科 なか の たか よし
 マテリアル生産科学専攻 教授 **中野 貴由**

まえがき

チタン (Ti) およびTi合金は、優れた力学的信頼性と耐環境性を併せ持つことから広範囲な用途での応用が期待されている。Ti合金の開発動向としては、新規の合金設計は一段落ついたところといえる。今後の設計・研究開発指針としては、航空宇宙・エネルギー用途では強度・延性バランスを示す材料開発が、医療用途では低弾性挙動を発揮する材料開発が必要とされる。加えて、先端技術開発としては、新規プロセスによる高効率化および高付加価値化を可能とする製造工程の確立、加工熱処理による組織制御、さらには積層造形 (Additive Manufacturing, AM) 法に代表される新たなプロセス活用によるTiおよびTi合金の高機能化が進められている。

Ti材料の輸出量は2008年のリーマン・ショック後にV字回復を果たし、2015年前後で再び低迷期を迎えたものの、2019年までは航空機産業での需要増で年間5%程度の伸びを示してきた¹⁾。2020年はCOVID-19感染症のパンデミックによるサプライチェーンの分断や、各国でのロックダウンに起因した航空機需要減少の影響を受け、TiおよびTi合金の開発・製造も他の産業と同様に経済復興までしばらく低迷期が続きそうである。

しかし、今だからこそTiおよびTi合金は景気変動に強い高付加価値材料としての地位獲得を期待される場所である。

◇ 高強度Ti合金の開発

Ti合金の開発は、主として航空宇宙・エネルギー関連分野などでの幅広いニーズに対して、高強度化と良好な延性の獲得を目指し、図1に示されるような、合金設計、プロセス技術、熱処理により達成される²⁾。力学特性は、体心立方 (bcc) 構造を示すβ相と六方最密 (hcp) 構造を示すα相の混合比や相安定性、さらには層状組織、等軸組織、混合組織といった組織構成、さらには結晶集合組織などに強く依存する。共晶反応による層状組織形成は、一般に高強度・低延性を示し、例えば、 $Ti_{70.5}Fe_{29.5}$ (以降、断らない限りmass%で示す) 铸造合金の降伏応力は約1,900 MPaと極めて高いが、圧縮破壊ひずみは3%程度である。一方で、層状組織と等軸組織などからなる混合組織は、強度・延性バランスに優れ、 $Ti_{68.8}Nb_{13.6}Co_6Cu_{5.1}Al_{6.5}$ 铸造合金では、(TiCo+βTi) 共晶層状組織と粗大β粒からなるバイモーダル組織を示し、13.5%もの伸びと1,130 MPaの降伏応力を示すことを特長とする³⁾。

多面的に見て良好な特性を示す最先端航空機用

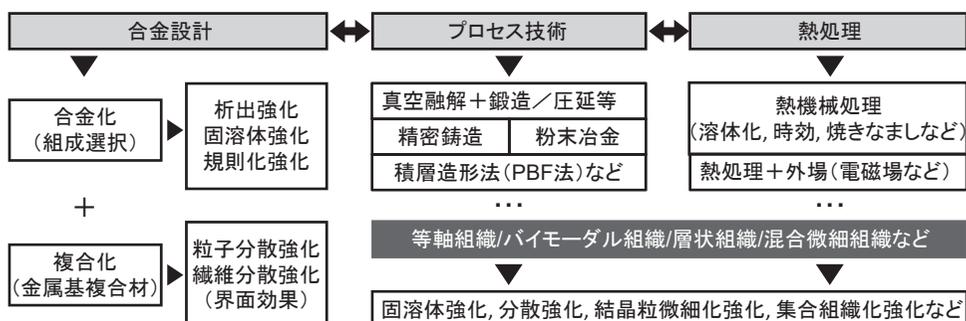


図 1 TiおよびTi合金の高強度化のための研究開発指針 (文献2より改変引用)。

のTi合金は、異なる10元素程度の組み合わせと組織制御で開発されている²⁾。例えば、Tiに添加される元素の安定性の観点からは、主に β 相安定化元素であるNb、Mo、Ta、Fe、Cr、Co、Niを含む場合には、Ti-Fe-Nb合金やTi-Fe-Ta合金などが設計されている。 α 相安定化元素としてのAl、Ge、Ga、In、Biを利用した際には、Ti-Al-Nb合金やTi-Fe-In合金などが、中性元素としてのSn、Zr、Mg、La、Hf、Ceでは、Ti-Zr-Fe-Mn合金やTi-Fe-Sn合金などが開発されている。Ti合金の力学特性は、侵入型固溶元素としての酸素(O)、窒素(N)、炭素(C)などにも強い影響を受け、少量の存在は力学特性にとって有利に作用するが、一定量以上の添加は逆に特性劣化へとつながる。相構成の観点からの強度・延性バランスは、 α 相よりは、($\alpha + \beta$ 相)もしくは β 相を母相とすることが望ましい。

一方で、Tiを利用する高強度化に対する挑戦的な試みとしては、配置のエントロピーを高めたハイエントロピー合金(HEA)が研究開発段階にある。ハイエントロピー合金は、一般に5元素以上からなる单相の不規則合金であり、耐熱材料として開発途上である⁴⁾。さらに、Tiの生体適合性を活かしたTiNbTaZrMo合金は、日本で初めて開発され

た高強度な生体用ハイエントロピー合金(BioHEA)として、研究開発が進められている⁵⁾。

◇ 低弾性Ti合金の開発

高強度Ti合金は本質的に高弾性率を示すが、生体親和性の高いTiおよびTi合金は生体内での利用、中でも骨代替医療デバイスとして期待されることから低弾性特性が必要とされる。歯科用インプラントでは、純Ti材料もしくは、Ti-6Al-4V合金などが用いられ、さらに高強度特性が必要な整形外科用インプラントでは、Ti-6Al-4V合金、Ti-6Al-7Nb合金などが主として利用されている。こうしたTiおよびTi合金はいずれも100 GPa程度の弾性率を示すことから、生体骨弾性率の10~30 GPaに比べて高く、生体骨には応力遮蔽が生じる。そこで応力遮蔽防止を目的に不安定 β 相を利用した低弾性合金の開発が進められている⁶⁾。図2には、代表的な生体用 β 型Ti合金の各種力学特性を示す。その中でも、新家らによって日本で開発されたTi-29Nb-13Ta-4.6Zr合金は生体用低弾性TNTZ合金として良く知られている⁷⁾。近年では、TNTZ合金の溶解性の改善を目的に、TaをCrで置換したTi-20Nb-5Cr-4Zr(TNCZ)合金が開発されている⁸⁾。

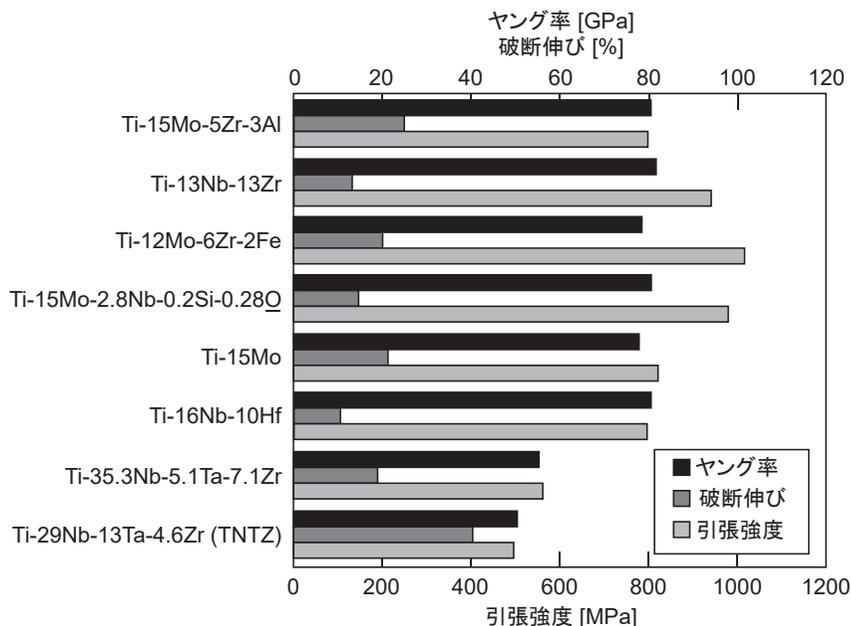


図 2 代表的な生体用 β 型Ti合金の弾性率、伸び、引張強度(文献6より改変引用)。

◇ 金属積層造形 (AM) プロセスによる合金開発と組織・結晶方位制御

TiおよびTi合金の高機能化は、図1で示したように、合金組成探索のみならず製造プロセスによっても達成することができる。近年、合金組成探索、形状制御、溶融/凝固や繰り返し熱処理による組織制御・結晶集合組織制御、部位毎の特性制御などを同時に可能とする金属積層造形法、中でも粉末床溶融 (Powder Bed Fusion, PBF) 法が目目されている⁹⁾。

金属PBF法は、金属粉末を出発材料として、その粉末を敷き詰めたパウダーベッド (PB) に熱源であるレーザービームや電子ビームを照射し、任意の部分で溶融/凝固させ、層毎に繰り返した後、未溶融部分の粉末を取り除くことで複雑な構造を含む3次元造形体を作製するプロセスである⁹⁾。通常、Ti合金造形体を作製するには、目的組成の合金粉末を用いて造形を行う。

しかしながら、金属PBF法は、粉末の溶融・凝固プロセスを経ることから、合金粉末を作製することなく純元素粉末を用いることでTi合金の作製が可能になる。例えば、Ti₈₀X₂₀ (X=Cr, Nb, Mo, Ta) (at.%) 合金において、系統的な研究がなされている¹⁰⁾。いずれもXはTiにおけるβ相安定化元素である。

図3には、純元素粉末を出発材料にしたTi-20at.% Cr合金における結晶粒径、セル成長時のセル間隔の走査速度 (v) 依存性と実際の結晶集合組織のIPF (Inverse Pole Figure) マップを示す。

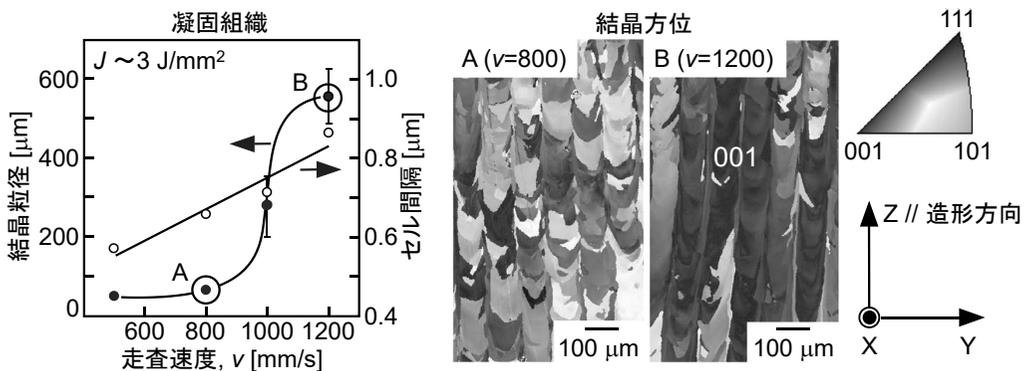


図3 レーザ方式金属PBF法による純元素粉末を用いて積層造形されたTi-20at.%Cr合金造形体の組織と結晶方位 (IPF) マップ (文献10より改変引用)。

一般に投入エネルギー量は単位面積もしくは単位体積当たりのエネルギー密度として、それぞれ J (J/mm^2)、 E (J/mm^3) で表され、以下の2式で算出される。

$$J = \frac{P}{v \cdot w} \quad (1)$$

$$E = \frac{P}{v \cdot w \cdot h} \quad (2)$$

ここで、 P は出力 (この場合は、レーザー出力)、 w は走査ピッチ、 h は積層厚みである。図3では単位面積当たりのエネルギー密度 (J) が、 $\sim 3 \text{ J/mm}^2$ でほぼ一定となるように造形している。つまりエネルギー密度が一定であっても、組織や結晶方位は、抜熱量、温度分布などに基づく溶融池形状、固/液界面移動速度、温度勾配などにより決定されていることを意味する。特に、図3におけるA条件 ($v=800 \text{ mm/s}$) では、弱い結晶集合組織を形成するものの多結晶様になるのに対し、B条件 ($v=1,200 \text{ mm/s}$) では $\langle 100 \rangle \{001\}$ の単結晶様組織を示す。こうした結晶集合組織の形成は、層毎に90°回転しつつレーザー照射することで達成され、Ti-15Mo-5Zr-3Al合金での報告¹¹⁾と一致する。

以上より、金属PBF法を駆使することで、純元素粉末を出発材料とした場合には、造形条件の最適化により様々な組成の合金開発が可能となり、加えて材料組織制御や結晶集合組織の制御をも探索可能であることを示している。Ti合金における組成依存的な e/a (1原子あたりの価電子数) の低化は、弾性率の結晶学的異方性へとつながることが知られていることから¹²⁾、金属PBF法を単なる

外部・内部形状の成型法として利用するだけでなく、新たなTi合金開発への組成探索や組織・結晶方位制御を行うための新たなプロセスとして捉えるべきである。

金属積層造形法はIoT (Internet of Things) の申し子ともいえるべきプロセスであり、サプライチェーンの確保や物流革命にもつながる。同時に造形雰囲気制御が可能なモールドレス手法であるため、金属積層造形法は、活性の高いTiおよびTi合金にとって、不純物混入の少ない成型品を合金設計から形状・組織・結晶方位制御による機能発現に至るまで具現化できる新規プロセスとして、今後の期待は極めて高い。

むすび

TiおよびTi合金は、航空宇宙・エネルギー関連分野では高強度・延性バランスの最適化された材料の開発、生体材料関連分野では低弾性合金の開発が進められている。その手法としては合金組成の探索のみならず、製造プロセスや熱処理などが重要であり、それを同時に行うことができる新規プロセスとして、金属積層造形法の活用が今後益々期待される。

謝 辞

本研究の一部は、内閣府が主導するSIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」(管理法人: JST)、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(S)「骨異方性誘導のための「異方性の材料科学」の構築 (研究代表者: 中野貴由)」(18H05254)の支援により実施された。

参 考 文 献

- 1) チタン 68 [2] (2020) 1-198
- 2) L. Kang, C. Yang: A review on high-strength titanium alloys: microstructure, strengthening, and properties, *Adv Eng Mater.* 21 (2019) 1801359; 1-27
- 3) I. V. Okulov, M. Bönisch, U. Kühn, W. Skrotzki, J. Eckert: Significant tensile ductility and toughness in an ultrafine-structured $Ti_{68.8}Nb_{13.6}Co_6Cu_{5.1}Al_{6.5}$ bi-modal alloy, *Mat Sci Eng A* 615 (2014) 457-463
- 4) 乾晴行 (編): ハイエントロピー合金、内田老鶴圃、東京 (2020)
- 5) M. Todai, T. Nagase, T. Hori, A. Matsugaki, A. Sekita, T. Nakano: Novel TiNbTaZrMo high-entropy alloys for metallic biomaterials, *Scripta Mater.* 129 (2017) 65-68
- 6) M. Niinomi (ed.): *Metals for Biomedical Devices* (2nd Edition), Woodhead Publishing, UK (2019)
- 7) D. Kuroda, M. Niinomi, M. Morinaga, Y. Kato, T. Tashiro: Design and Mechanical Properties of New β -Type Titanium Alloys for Implant Materials, *Mat Sci Eng A* 243 (1998) 244-249
- 8) 日下恵太、小柳禎彦、高林宏之: 生体用 β 型チタン合金TNCZの開発、電気製鋼 86 [1] (2015) 57-60
- 9) 中野貴由: 連載講座 (チタンの基礎講座6) チタンのAdditive Manufacturing (付加製造)、軽金属 67 [9] (2017) 470-480
- 10) T. Nagase, T. Hori, M. Todai, S. H. Sun, T. Nakano: Additive manufacturing of dense components in beta-titanium alloys with crystallographic texture from a mixture of pure metallic element powders, *Materials & Design* 173 (2019) 107771; 1-10
- 11) T. Ishimoto, K. Hagihara, K. Hisamoto, S. H. Sun, T. Nakano: Crystallographic texture control of beta-type Ti-15Mo-5Zr-3Al alloy by selective laser melting for the development of novel implants with a biocompatible low Young's modulus, *Scripta Mater.* 132 (2017) 34-38
- 12) S. H. Lee, M. Todai, M. Tane, K. Hagihara, H. Nakajima, T. Nakano: Biocompatible low Young's modulus achieved by strong crystallographic elastic anisotropy in Ti-15Mo-5Zr-3Al alloy single crystal, *Journal of Mech Behav Biomed Mater.* 14 (2012) 48-54

V. 会員メーカーのばね材料

■ 株神戸製鋼所

高伝熱チタン板 HEET™

まえがき

チタンは、とても腐食しにくい金属で、特に海水に対しては他の実用金属を寄せ付けない耐食性を示します。気体や液体を他の流体で、冷やしたり、熱したりする熱交換器は産業上、様々な分野で活用されており、その流体に海水や温泉水など腐食性の強い液体が用いられる場合は、部材にチタンが多く使われています。気体や液体の熱い流体と、冷たい流体を薄い金属板を隔てて流すことで、両流体間で熱が伝達され、熱い流体は冷やされ、冷たい流体は熱せられます。薄い金属板は、流体同士が混じらないように隔てるのと同時に、熱を伝える役割を担っており、流体が板に接触する面積と板がもつ熱伝達特性が熱交換器の性能を大きく左右します。

当社では、従来のチタン板よりも高い熱伝達能を持つチタン板HEET™を開発しました。チタンの板表面に、微細な凹凸模様を付与することにより、機械的特性や成形性などの従来の純チタンの材質はそのままに高い熱伝達能を持たせることに

成功しました。

熱伝達には利用する媒体の状態変化により以下の3種類のタイプがあり、

- ・気体が冷やされて液体に変わる凝縮熱伝達
- ・液体が熱せられて気体になる蒸発熱伝達
- ・高温と低温の媒体同士で、互いに加熱、冷却する強制対流熱伝達

それぞれの熱伝達タイプに適した凹凸模様を付与させております。

◇ 製品の特徴

図1に示す通り、熱の伝わり方に合わせた凹凸模様を薄板の表面に形成させております。蒸発熱伝達では沸騰核が生成しやすい水玉模様を、凝縮熱伝達では、次々と凝縮して生成する液体を、凝集させることなく効率よく均等に排出させたり、流れに応じてごく表面に乱流を起こさせたりすることで、熱伝達の促進が図られています。用いる媒体やプロセス条件によって異なりますが、R134aと海水の組み合わせの蒸発または凝縮の場合、従来の平滑な純チタン板よりも、総括熱伝達係数において30%程度の向上が図られています。材質はJIS 1種・2種、ASTMGr.1・Gr.2クラスの純チタンが適用され、板厚は0.5mm～1.5mm、板幅は1,000mm幅までのご提供が可能です。

むすび

熱交換器の性能は接触する媒体の面積に比例しますので、HEET™の熱伝達が高い分、従来の機器のコンパクト化が可能となり、システムの省エネルギー化につながります。世界で初めて実証した海洋温度差による発電設備において凝縮、蒸発の熱交換器にHEET™が採用されました。表面が平滑な現行板での設計に比べて20%相当の熱伝達率向上が確認され、2013年に開設以来、現在に至るまで順調に稼働しています。実機での長期運転においても、その性能が実証されており、より多くのプラントでの採用拡大を期待します。

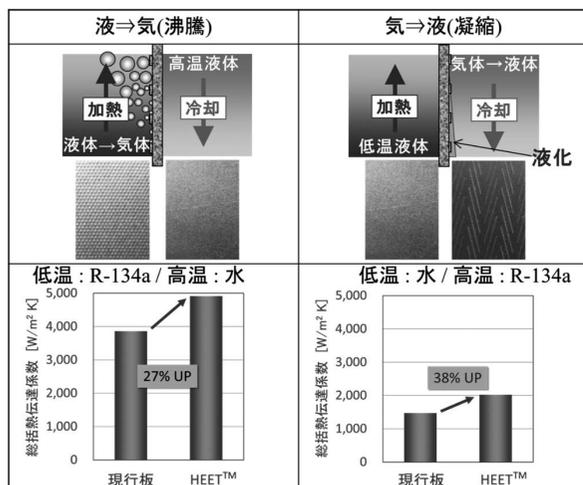


図 1 各種伝熱タイプにおけるHEET™の熱伝達性能例 (※試験媒体: 代替フロン (R-134a) ↔ 水)

〔株神戸製鋼所 素形材事業部門 逸見 義男〕
 〔チタンユニット チタン開発室 主任研究員 逸見 義男〕

大同特殊鋼(株)のチタン・チタン合金の市場適用事例

まえがき

当社は1970年代からチタン・チタン合金の製造を開始し、主に5～300mmの棒(Bar)、φ5～10mmの線材(Wirerod)、および0.5～3mm厚の板および帯(Sheet, Coil)といった製品を主体に、顧客と共同で様々な分野に用途展開を図ってきた。本報では当社のチタン・チタン合金の代表的な市場での適用事例について紹介する。

◇ 大同特殊鋼(株)のチタン・チタン合金の適用事例

(1) 輸送機器

① 航空機

DAT54はMo、Zr、Sn、Nbなどを添加し、耐熱性やクリープ特性を高めた当社独自開発合金であり、ジェットエンジンのディスク部材として採用されている。国内で開発されたエンジン部品用のチタン合金としては初めてAMS規格(Aerospace Material Specification)に採用された合金である。(AMS6952、2018年登録)。

② 船舶

Ti-6Al-4Vを主体とするチタン合金は、特殊な船舶の構造体やディーゼルエンジン、ポンプ部材として採用されている。当社渋川工場はチタン合金鍛造品のNK船級認定工場であり、各種造船用チタン合金部材を市場に提供している。

③ 自動車

Ti-6Al-4Vは二輪および四輪自動車用コンロッド、エンジンバルブとして採用されている。またエンジンバルブにはTi-6242Sも適用が図られている。

(2) 医療機器

① 体内留置具

Ti-6Al-4V-ELI (ASTMF136)、Ti-6Al-7Nb (ASTMF1295)は人工骨、人工関節、人工心臓、歯科技工用部材として採用されている。

② 治療・診断機器

ASTMB348-GR1-4 (Commercially Pure Titanium)、ASTMB348-GR5 (Ti-6Al-4V)は手術器具や人工透析装置、血液分析装置に採用されている。

(3) 装飾品・スポーツ・レジャー

① 装飾品

DAT51 (Ti-22V-4Al)などのβ合金は、軽くてしなやかな特性を活かし、メガネや時計部品として採用されている。

② スポーツ・レジャー用品

Ti-15V-3Al-3Sn-3Crは軽量・高強度化、耐海水性が求められる部材に広く採用されている。

◇ 市場ニーズの動向

地球環境の保全・保護を目的とした、高効率、低エネルギー消費型の輸送機器や機械類、癌や成人病の予防および治療を目的とした各種医療機器へのチタン合金適用ニーズが最近特に伸びている。これらの需要に応えるため、素材自体の特性安定化、調達コストや入手性の安定化などが今後も求められていくものと考えている。

〔大同特殊鋼(株)ステンレス・軸受産機ビジネス ユニット東京営業部チタン営業室 課長 末岡 伯理〕

業界のうごき

クマガイ特殊鋼、厚板切断能力増強 ファイバーレーザ機を増設

クマガイ特殊鋼は特殊鋼厚板の切断機能を増強した。本社工場に最新鋭の8KWファイバーレーザ切断機を導入し、本稼働をスタートした。能力を底上げするとともに業務効率化も推進。板厚の加工サイズ拡大、切断のスピードアップによる短納期化を通じた需要対応力の強化を図る。生産効率は約25%アップする。最大対応板厚は25ミリだが、主に16~19ミリ厚の製品切断に活用する。

同社は産業機械ユーザー向けを中心とした厚板溶断を手掛け、ファイバーレーザ、プラズマ切断機、ガス溶断機を保有して幅広い引き合いに応えている。

高張力鋼板切断の生産性向上策として、レーザ加工による板厚領域の拡大、切断の高速化によるリードタイム短縮を図る。5×10サイズが搭載可能な15段パレットを装着、同社として初めてのパレットチェンジャー型切断機となる。今本稼働に移行し夜間操業も行っている。

(4月14日)

清水鋼鉄、苫小牧で製品倉庫着工 ネジテツコンなど需要増に対応

清水鋼鉄は、苫小牧製鋼所の敷地内で安全祈願を行い、北ヤード製品倉庫の新築工事に着手した。新倉庫はネジテツコンやFRIP、パワーリングなど付加価値製品の専用倉庫として運用する。新倉庫はSRC造・床面積約2,000平方メートルで、完成は10月末の予定。来年をめどに約3分の1を加工工場として使用する計画で、増加している付加価値製品への対応を強化する。

同社は16年11月に竣工した北ヤードの加工工場、ネジ節鉄筋・ネジテツコンや機械式定着・FRIP、高強

度せん断補強筋・パワーリングの加工を開始した。しかし、南ヤードの製品倉庫との間には公道を挟み距離も離れていることから、加工した製品の横持ちをスムーズに行うことができないなどの不便が生じていた。新倉庫建設により、需要増に対応するとともに横持ち作業時の不便などを解消する。

(4月6日)

大洋商事の20年1月期単独決算 需要減で経常減益4.7億円

大洋商事の2020年1月期単独決算は売上高434億円で前期比6.4%減、営業利益4億5,400万円で同4.4%減、経常利益4億6,900万円で同26.1%減。海外子会社の2019年売上高は約120億円で、グループ売上高(単純合算)は1割近く減少した。

昨秋から中国経済変調などの需要影響を受け、最終2カ月間の業績は予算を大きく下回った。同社は特殊鋼棒鋼・厚板や部品・素材材がメインで、向け先は建機関連、自動車関連、一般産機関連がほぼ3割ずつ。

フィリピンで産機部品加工・販売を行う新会社「大洋スービック」は1月中旬に工場が完成し、現在設備導入中だが、新型コロナ禍の影響で稼働開始は当初予定の5月から数カ月遅れる見通し。

今期は4月中旬から売上げの落ち込みが拡大した。建機関連では下期需要に期待するが、自動車関連をはじめ新型コロナ禍の影響で「見通しが立たない状況」という。(4月30日)

テクノタジマ、厚板の機械加工強化 江南工場に最新鋭MC導入

テクノタジマは、江南工場(愛知県江南市)で手掛ける厚板の機械加工機能を高めた。最新鋭の門型マシニングセンタ(MC)を導入し、今月から本稼働を開始した。品質、能力向上を狙った投資を通じて幅広い需

要に対する対応力強化を図るとともに、将来にわたる安定的な生産体制実現につなげる。

江南工場は産業機械・工作機械ユーザー向け製品を中心に、薄物板金製缶・曲げ加工・機械加工・組立まで一貫対応する。省力化、機械化ニーズの広がりに伴い、近年は各工程で高い稼働が継続。今後も需要が拡大するとともに、ユーザーの要求が一段と高度化、複雑化すると予想されている。

機械加工部門はすでに門型MCを保有しているが、客先からの要求に十分対応できないケースがあった。さらなる機械加工ニーズの取り込みにつなげることを狙って新型機を導入した。

(4月15日)

日鉄物産、特殊線材製品・溶材の2社統合 「日鉄物産ワイヤ&ウェルディング」発足

日鉄物産グループのタカハシスチールと日鉄物産溶材販売が統合し、4月1日付で「日鉄物産ワイヤ&ウェルディング」が発足した。特殊線材製品・帯鋼流通加工のタカハシスチールと、溶接材料・プラズマ機器などを販売する日鉄物産溶材販売の両事業を継承し、ばね材、溶材などの線材製品販売を中核に事業強化を進める。

新会社は営業本部内にワイヤ・特殊鋼事業部、ウェルディング事業部を配置し、北海道から九州まで営業拠点網を敷き、タイ、シンガポールにも拠点を持つ。従業員数は約110人。

タカハシスチールは日鉄物産と日鉄SGワイヤの共同出資会社で1999年設立。前身の創業から数えると100年近い歴史がある。日鉄物産溶材販売は日鉄物産と日鉄溶接工業の共同出資会社で、95年に日鉄商事厚板部溶材チームが分社独立し発足した。

(4月9日)

業界のうごき

丸紅、トレーサビリティの実証実験 伊藤忠丸紅鉄鋼の鋼管販売で

丸紅は、伊藤忠丸紅鉄鋼が行う鋼管販売で、ブロックチェーン技術を活用したトレーサビリティの実証実験を開始する。「鋼管の販売時に求められる真正性を証明するトレーサビリティの信頼性向上に、ブロックチェーンという仕組みを使う」試み。伊藤忠丸紅鉄鋼が調達した鋼管を対象に、品質関連文書や発行日時の記録の履歴などをブロックチェーンで管理する。実証実験のための作業は開始しており、今後2～3カ月かけて実施。実用化については実証実験の結果を考慮した上で判断する。

実証実験で使用するシステムは、丸紅の戦略的提携先であるシンガポールのブロックチェーン技術アプリケーション開発会社、ブロックチェーン・ソリューションズ社が構築する。丸紅は2017年から複数の実証実験を進めており、貿易取引などでブロックチェーン技術の有効性が確認されている。(4月16日)

愛知製鋼、電動車向け放熱部品を増産 岐阜工場に専用ライン新設

愛知製鋼は、HV・EVなど電動車に使用するインバータ用放熱部品「パワーカード・リードフレーム」の生産能力を増強するため、岐阜工場の第2ライン(プレス、めっき)を稼働開始した。投資金額は約15億円。中長期的に需要増が見込める電動車向けの供給体制を確保する。同工場の生産棟が稼働する前の17年に比べ、生産量は3倍になる。

電動車には、モータ制御などを行うパワーカード(パワー半導体が複数セットされたカード型のモジュール。車1台に複数枚使用)が搭載されており、同社は主要構成部品の

リードフレームを生産する。複雑形状の接点・放熱部品で、電動車向けで高いシェアを持つ。

07年から知多工場で生産を行っており、18年には岐阜工場でも第1ラインが稼働開始。今回の第2ライン稼働で、岐阜工場の生産能力は月産360万個(車両12万台分)に倍増した。(5月1日)

JFEスチール、高炉2基を一時休止 倉敷、福山地区、新型コロナで需要減

JFEスチールは、新型コロナウイルスの感染拡大などで鉄鋼需要が急減していることを受け、高炉2基を一時休止する。西日本製鉄所倉敷地区の高炉1基を改修のために休止するほか、同製鉄所福山地区では高炉1基のバンキング(再稼働可能な状態での一時休止)を実施する。2012年以来8年ぶりに製鉄所での臨時休業も実施する。

一時休止する高炉は、倉敷の第4高炉(炉容積5,005立方メートル)、福山の第4高炉(炉容積5,000立方メートル)の2基。倉敷第4高炉は4月末に休止し、改修工事に前倒しで入る。当初の改修計画では21年9月に吹き止める予定だった。完工時期は同年12月で変更しない。

福山第4高炉は6月末に休止し、バンキングを実施する。JFEが生産調整のために高炉を一時休止するのは09年以来11年ぶり。一連の対応でJFEが操業する高炉は4月末以降、一時的に8基から6基になる。

(4月16日)

大同特殊鋼、知多第2工場が稼働 ステンレス棒鋼加工、30億円投資

大同特殊鋼が愛知県内で進めていた新生産拠点「知多第2工場」の第一期工事が完了し、本稼働した。IHI愛知事業所(愛知県知多市北浜町)の所有地のうち約21万9,000平方

メートルと建物、付帯する機械類を取得し、これまでに棒鋼のピーリング加工・最終検査・出荷工程1ラインが始動した。今年度中に1ラインを追加投資するほか、熱処理工程を新設し稼働させる計画。主力工場である星崎、知多両工場(いずれも近隣)の生産性向上、物流改善、顧客ニーズへの対応力強化につなげる。投資額は設備関連のみで30億円強。

新工場では、自動車向け主体の高耐熱・高耐食ステンレスのニーズ拡大に合わせ、ST炉(熱処理炉)の新設と星崎工場の既存PMラインのうち1ラインの移設を今年度中に行う計画。同時にIoTを活用した生産運営システムを構築し、知多・星崎両工場間の生産連携を強化。生産性の大幅な向上を図る。(4月6日)

大同特殊鋼、磁石事業で新研究開発拠点 「中津川先進磁性材料開発センター」

大同特殊鋼は、磁石研究開発の新拠点として整備を進めていた中津川先進磁性材料開発センターの運用を開始した。総投資額は約15億円(土地建物購入費、研究開発設備への投資の合計)。製造業の今後の発展に欠かせない高性能磁石の産学連携による研究開発を促進するとともに、技能実習を通じた若手の人材育成、技能向上に貢献するのが目的。

同センター(岐阜県中津川市)の総面積は約2万4,000平方メートル。建屋は本館と磁石試作棟で構成され、開所時の人員は24人。センターの開設により、磁石の研究と製造、設計・評価を同地区に集約し、次世代モータ技術とそれを支える高機能磁石に関する産学連携の研究開発を推進する。産学連携では、名古屋工業大学元学長の松井信行名誉教授を技術顧問に迎えた。大同大学とも連携を強化する。(5月27日)

業界のうごき

日鉄ステンレス、5月も受注抑制 店売りNi系冷薄、価格改定は再開

日鉄ステンレスは店売り向けニッケル系冷延薄板の5月契約で2割程度の受注抑制を実施する。3、4月契約の約3割より抑制幅は縮小するが、市場環境の維持と在庫水準適正化の早期実現に引き続き取り組む。輸入材は高位で足元の需要・在庫水準に対してバランスを欠く状況があり、「極めて強く憂慮している」（同社）。独自のアロイリンク方式に基づく店売り価格改定を3、4月は見送ったが、5月契約から再開する。実態としては15,000円下げとする。輸入材に対して競争力のある価格政策が必要との判断も働いたようだ。

自動車向け以外のステンレス薄板内需で新型コロナ禍の影響は5月から顕在化し、6月以降に本格化しそう。先行きは読みにくいが、「6月以降は2割程度の減少影響が生じるのではないか」と同社はみている。

原料連動の価格動向としては、6月契約以降のアロイ価格は上昇する見通し。
(5月13日)

日本製鉄、上工程設備を一部休止 需要減、鹿島、和歌山の高炉2基など

日本製鉄は、新型コロナウイルスの感染拡大で鉄鋼需要が急減しているため、上工程設備の一部を一時休止する。東日本製鉄所鹿島地区と関西製鉄所和歌山地区の高炉各1基を、バンキングで再稼働可能な状態のまま長期間休止する。自動車やエネルギー産業向けなどは国内外とも先行き不透明で、今後の動向次第ではさらなる減産を迫られる。

バンキングを実施するのは鹿島の第1高炉（炉容積5,370立方メートル）、和歌山の第1高炉（炉容積3,700立方メートル）の計2基。すでに休止準備に入っており、鹿島は4月中旬以降、

和歌山は同下旬以降に吹き止める。

和歌山第1高炉は、生産構造改革の一環ですでに22年度上期の休止が決まっている。いずれの高炉とも休止期間は少なくとも数カ月間にわたる見込み。日鉄が高炉のバンキングに踏み切るのはリーマンショックの09年以来約11年ぶり。
(4月8日)

日本冶金工業、新中期経営計画策定 高効率電炉、22年1月稼働

日本冶金工業は新中期経営計画（20～22年度）を始動し、顧客ニーズへの対応強化（顧客に対する付加価値の提供）に傾斜する姿勢を強く打ち出した。川崎製造所では、22年1月稼働予定の高効率70トン電気炉を戦略設備投資の中核に位置づけ、精整工程への先進設備導入で競争力を高める方針で「業界トップレベルの品質・納期・対応力で信頼され続けるグローバルサプライヤー」を目指す。

フェロニッケルを生産する大江山製造所では、高品位原料（都市鉱山）使用拡大時の製錬技術確立を進めており、多様な高品位原料使用拡大に合わせた所内物流合理化も進める。

高機能材の世界拡販では、輸出の5割を占める中国市場での拡販戦略において、南京鋼鉄との合弁事業を軌道に乗せる。案件に応じて日中双方の設備特性を生かし、南京鋼鉄の広幅圧延機の活用拡大も図る。
(5月18日)

日立金属、検査成績書で不適切行為 特殊鋼と磁石の一部、特別調査委設置

日立金属は4月27日、自社および子会社の特殊鋼と磁石の一部で、検査成績書のデータ改ざんなど不適切行為があったと発表した。特殊鋼では安来工場、磁石では熊谷磁材工場、佐賀工場と国内2、海外4の子会社で不適切行為があった。西山光

秋会長CEOは電話会見を行い、「少なくとも10年以上前から継続していた。品質監査が不十分で有効ではなかった」と述べ、顧客などに対して謝罪した。同日付で設置した外部の専門家による特別調査委員会により、事実関係や発生原因を徹底調査する。

1月下旬に安来工場に関する情報提供を受け、2月の緊急品質監査で事実関係を確認した。3月に他工場でも品質コンプライアンス調査を行い、3月20日に熊谷磁材工場のフェライト磁石の一部で判明し、20日以降の事実確認の過程でフェライト磁石の他拠点や希土類磁石の一部でも判明した。
(4月30日)

三菱製鋼、新中期経営計画を策定 赤字海外事業を再生、一貫生産のビジネス拡大

三菱製鋼は新中期経営計画（20～22年度）を策定した。赤字海外事業の再生、製品力の強化、素材から製品まで一貫生産するビジネスモデルの拡大を進める。3年間の設備投資額は150億円に抑え、特殊鋼、粉末製造設備などに投資する。海外事業の構造改革ではインドネシア特殊鋼事業（JATIM）と北米ばね事業の早期止血・立て直しを進める。

「素材から一貫生産するビジネスモデルの拡大」では、「特殊鋼とばね」の一貫生産ビジネスモデルについてバリエーションを広げるとともに、単品の製品ラインアップにとどまっていた素形材製品を、上下流を含めた一貫生産ビジネスモデルとして強化する。

22年度の連結業績目標は売上高1,500億円、営業利益70億円、ROE8%以上。新型コロナウイルス感染症による景気停滞がある程度収束することを前提に、影響は織り込んでいない。
(5月25日)

文責：(株)鉄鋼新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年月	工具鋼	構造用鋼				特殊用途鋼						計	合計
		機械構造用炭素鋼	合金鋼	計		ばね鋼	軸受鋼	ステンレス鋼	快削鋼	高抗張鋼	その他		
'18 暦年	265,850	5,232,401	4,055,787	9,288,188	428,588	1,029,788	2,954,588	651,312	5,616,124	552,701	11,233,101	20,787,139	
'19 暦年	220,798	4,696,002	3,849,414	8,545,416	397,465	939,803	2,667,128	570,971	5,335,063	506,642	10,417,072	19,183,286	
'18 年度	254,113	5,231,860	4,054,690	9,286,550	430,796	1,032,732	2,881,369	648,216	5,498,472	564,665	11,056,250	20,596,913	
'19 年度	208,719	4,424,471	3,684,277	8,108,748	371,016	858,786	2,648,575	541,637	5,236,485	483,150	10,146,074	18,463,541	
'19. 4-6月	59,607	1,214,992	1,003,656	2,218,648	106,395	257,956	662,226	151,618	1,325,442	128,939	2,632,576	4,910,831	
7-9月	50,278	1,114,002	921,737	2,035,739	90,686	205,660	645,485	134,225	1,348,062	136,324	2,560,442	4,646,459	
10-12月	51,780	1,081,657	908,954	1,990,611	91,364	219,030	667,193	129,102	1,313,859	98,224	2,518,772	4,561,163	
'20. 1-3月	47,054	1,013,820	849,930	1,863,750	82,571	176,140	673,671	126,692	1,249,122	119,663	2,434,284	4,345,088	
'19年 3月	19,619	445,259	354,448	799,707	37,347	94,415	241,645	50,997	489,256	50,469	964,129	1,783,455	
4月	21,290	413,374	346,443	759,817	34,096	85,831	211,052	52,162	410,739	44,250	838,130	1,619,237	
5月	20,098	406,199	330,484	736,683	35,942	84,342	235,021	47,734	445,952	39,429	888,420	1,645,201	
6月	18,219	395,419	326,729	722,148	36,357	87,783	216,153	51,722	468,751	45,260	906,026	1,646,393	
7月	20,072	410,278	333,648	743,926	31,001	68,405	223,023	49,985	468,266	48,818	889,498	1,653,496	
8月	15,421	353,393	289,877	643,270	27,841	65,863	204,477	41,776	459,321	43,043	842,321	1,501,012	
9月	14,785	350,331	298,212	648,543	31,844	71,392	217,985	42,464	420,475	44,463	828,623	1,491,951	
10月	16,576	371,057	318,789	689,846	29,293	76,101	221,915	45,273	432,550	36,549	841,681	1,548,103	
11月	19,290	374,968	315,272	690,240	32,384	74,985	218,159	42,006	437,449	33,759	838,742	1,548,272	
12月	15,914	335,632	274,893	610,525	29,687	67,944	227,119	41,823	443,860	27,916	838,349	1,464,788	
'20年 1月	13,363	330,582	275,829	606,411	24,844	56,694	220,519	31,984	436,453	38,423	815,342	1,435,116	
2月	16,793	333,166	290,703	623,869	27,987	57,385	227,566	45,370	409,818	37,993	806,119	1,446,781	
3月	16,898	350,072	283,398	633,470	29,740	62,061	225,586	49,338	402,851	43,247	812,823	1,463,191	
4月	15,670	267,876	220,510	488,386	24,788	55,965	172,201	30,273	311,152	36,720	631,099	1,135,155	
前月比	92.7	76.5	77.8	77.1	83.3	90.2	76.3	61.4	77.2	84.9	77.6	77.6	
前年同月比	73.6	64.8	63.6	64.3	72.7	65.2	81.6	58.0	75.8	83.0	75.3	70.1	

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
'18 暦年	374,683	6,452,802	1,188,873	4,261,952	1,647,479	6,868,340	20,794,129
'19 暦年	327,633	5,859,800	1,229,819	3,910,932	1,310,485	6,550,016	19,188,685
'18 年度	383,020	6,439,522	1,203,698	4,292,348	1,495,812	6,788,499	20,602,899
'19 年度	293,237	5,497,480	1,202,218	3,709,327	1,333,238	6,433,580	18,469,080
'19. 4-6月	75,598	1,563,314	295,776	1,000,644	311,269	1,665,778	4,912,379
7-9月	81,867	1,376,572	298,841	940,262	354,394	1,595,937	4,647,873
10-12月	73,569	1,331,340	317,912	899,060	321,818	1,618,568	4,562,267
'20. 1-3月	62,203	1,226,254	289,689	869,361	345,757	1,553,297	4,346,561
'19年 3月	31,212	562,202	114,232	365,469	119,111	591,415	1,783,641
4月	20,116	529,582	107,602	333,637	104,685	524,182	1,619,804
5月	21,523	505,525	100,690	337,026	101,841	578,912	1,645,517
6月	33,959	528,207	87,484	329,981	104,743	562,684	1,647,058
7月	29,571	480,049	106,271	348,559	118,268	571,126	1,653,844
8月	25,128	431,139	97,429	298,588	127,327	522,140	1,501,751
9月	27,168	465,384	95,141	293,115	108,799	502,671	1,492,278
10月	23,692	468,339	111,905	305,014	110,233	529,333	1,548,516
11月	23,142	465,065	108,670	308,188	106,924	536,650	1,548,639
12月	26,735	397,936	97,337	285,858	104,661	552,585	1,465,112
'20年 1月	24,198	391,670	95,270	277,185	109,583	537,703	1,435,609
2月	17,837	412,341	98,659	286,062	105,492	526,858	1,447,249
3月	20,168	422,243	95,760	306,114	130,682	488,736	1,463,703
4月	19,558	314,292	90,566	230,476	106,283	374,493	1,135,668
前月比	97.0	74.4	94.6	75.3	81.3	76.6	77.6
前年同月比	97.2	59.3	84.2	69.1	101.5	71.4	70.1

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	高抗張力鋼	その他		
'18 暦年	330,317	3,525,290	2,049,316	5,574,606	122,660	581,255	1,703,148	181,436	95,234	49,039	2,732,772	8,637,695
'19 暦年	273,872	2,970,829	1,631,511	4,602,340	62,907	376,372	1,488,018	141,142	89,625	82,507	2,240,571	7,116,783
'18 年度	322,765	3,543,660	2,028,274	5,571,934	119,549	546,004	1,681,386	179,074	95,026	47,294	2,668,333	8,563,032
'19 年度	259,702	2,759,143	1,499,742	4,258,885	52,877	356,356	1,413,730	132,161	90,062	96,935	2,142,121	6,660,708
'19年 8月	19,082	214,078	119,311	333,389	3,171	27,243	104,810	8,671	7,096	8,373	159,364	511,835
9月	22,106	246,355	129,742	376,097	3,964	33,479	120,696	11,831	7,651	10,402	188,023	586,226
10月	23,177	239,723	133,016	372,739	4,436	29,891	122,771	11,241	7,120	9,590	185,049	580,965
11月	21,163	211,065	121,318	332,383	4,479	28,304	125,585	10,517	6,120	9,206	184,211	537,757
12月	20,267	218,509	117,010	335,519	3,863	27,468	113,562	10,167	7,077	7,835	169,972	525,758
'20年 1月	19,439	210,769	115,133	325,902	3,543	26,310	113,334	10,695	7,182	8,190	169,254	514,595
2月	19,705	211,477	113,424	324,901	4,415	28,316	111,776	11,005	8,860	7,844	172,216	516,822
3月	20,710	206,708	107,773	314,481	6,832	30,577	105,632	10,545	8,090	8,904	170,580	505,771
4月	16,015	195,961	94,730	290,691	6,156	30,602	114,762	8,126	6,519	6,954	173,119	479,825
前月比	77.3	94.8	87.9	92.4	90.1	100.1	108.6	77.1	80.6	78.1	101.5	94.9
前年同月比	71.6	71.9	71.1	71.6	140.8	95.6	93.2	68.3	80.3	182.2	94.4	78.5

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) 2018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	高抗張力鋼	その他		
'18 暦年	9,022	265,513	163,666	429,179	30,989	37,438	132,754	28,173	163,433	19,784	412,571	850,772
'19 暦年	10,060	251,976	163,330	415,306	24,572	30,691	129,191	26,275	186,987	18,501	416,217	841,583
'18 年度	8,276	237,787	154,530	392,317	29,638	33,728	122,372	25,391	162,107	28,897	402,133	802,726
'19 年度	10,477	244,436	157,976	402,412	22,405	31,778	132,154	28,139	140,036	25,484	379,996	792,885
'19年 8月	8,687	266,125	177,380	443,505	22,806	32,897	141,151	31,595	222,825	29,980	481,254	933,446
9月	8,278	248,413	162,047	410,460	23,846	29,494	136,422	28,372	168,239	24,237	410,610	829,348
10月	9,438	248,897	159,291	408,188	21,907	29,949	133,737	30,109	174,612	24,465	414,779	832,405
11月	8,434	258,185	167,297	425,482	23,736	31,736	122,793	30,562	163,789	21,846	394,462	828,378
12月	10,060	251,976	163,330	415,306	24,572	30,691	129,191	26,275	186,987	18,501	416,217	841,583
'20年 1月	9,233	258,760	171,897	430,657	20,456	30,217	134,564	27,267	196,168	24,370	433,042	872,932
2月	9,462	252,222	164,866	417,088	19,932	29,051	133,687	30,923	160,507	24,003	398,103	824,653
3月	10,477	244,436	157,976	402,412	22,405	31,778	132,154	28,139	140,036	25,484	379,996	792,885
4月	10,249	236,787	145,309	382,096	21,575	27,309	131,446	27,476	138,469	26,256	372,531	764,876
前月比	97.8	96.9	92.0	95.0	96.3	85.9	99.5	97.6	98.9	103.0	98.0	96.5
前年同月比	103.7	96.4	89.6	93.7	77.9	82.1	98.9	92.3	77.1	99.5	86.7	90.3

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	高抗張力鋼	その他		
'18 暦年	65,783	207,930	157,295	365,225	13,020	47,754	170,896	9,657	10,264	2,925	254,516	685,524
'19 暦年	78,181	249,537	186,489	436,026	12,273	59,071	178,758	14,078	10,161	9,526	283,867	798,074
'18 年度	71,065	243,896	179,491	423,387	12,518	51,977	183,062	13,627	10,935	3,646	275,765	770,217
'19 年度	78,320	240,274	184,120	424,394	12,436	52,625	178,599	14,953	9,126	9,668	277,407	780,121
'19年 8月	78,051	245,497	187,694	433,191	12,879	54,597	176,733	13,434	10,606	12,603	280,852	792,094
9月	78,368	245,599	186,988	432,587	12,989	54,627	176,614	12,528	10,145	12,336	279,239	790,194
10月	77,379	241,079	181,868	422,947	12,515	55,841	175,953	11,527	9,969	11,443	277,248	777,574
11月	77,688	246,661	184,746	431,407	12,647	57,869	175,952	11,294	10,655	10,761	279,178	788,273
12月	78,181	249,537	186,489	436,026	12,273	59,071	178,758	14,078	10,161	9,526	283,867	798,074
'20年 1月	78,978	241,257	184,276	425,533	12,055	56,417	178,710	11,476	10,037	9,051	277,746	782,257
2月	77,774	238,190	185,915	424,105	12,456	54,001	180,592	13,186	10,011	9,461	279,707	781,586
3月	78,320	240,274	184,120	424,394	12,436	52,625	178,599	14,953	9,126	9,668	277,407	780,121
4月	77,550	253,095	179,660	432,755	12,149	54,528	183,441	15,093	10,157	10,062	285,430	795,735
前月比	99.0	105.3	97.6	102.0	97.7	103.6	102.7	100.9	111.3	104.1	102.9	102.0
前年同月比	107.3	105.5	97.1	101.8	94.8	104.7	102.4	99.5	90.8	288.6	104.2	103.2

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) 2018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	快削鋼	ピアノ線 材	計	高炭素鋼	合金鋼	計	
'18 暦年	42,373	471,715	598,677	1,070,392	189,872	975,751	118,025	92,901	1,376,549	3,582	5,507,686	5,511,269	8,000,583
'19 暦年	37,039	373,118	549,771	922,888	187,541	912,981	96,189	78,476	1,100,522	3,982	4,847,994	4,851,976	7,087,091
'18 年度	40,883	457,288	586,191	1,043,479	189,839	943,017	119,463	92,202	1,344,521	3,295	5,260,314	5,263,608	7,692,492
'19 年度	35,063	353,608	527,588	881,195	174,665	925,925	95,132	74,822	1,270,544	3,858	5,014,950	5,018,808	7,205,611
'19年 7月	3,430	28,925	47,665	76,589	20,183	86,189	5,803	6,861	119,035	397	451,340	451,738	650,792
8月	2,968	28,698	40,921	69,619	15,817	75,129	9,842	11,731	112,520	240	419,594	419,834	604,941
9月	3,150	27,958	38,454	66,412	11,930	83,834	5,326	11,937	113,029	442	430,028	430,470	613,061
10月	3,209	28,313	42,889	71,202	15,892	79,534	9,268	2,107	106,801	288	422,162	422,450	603,662
11月	2,946	32,813	47,057	79,870	12,843	75,424	6,638	436	95,340	325	406,535	406,860	585,015
12月	2,593	29,796	42,592	72,388	15,349	85,655	10,016	2,850	113,871	228	403,485	403,713	592,565
'20年 1月	1,922	23,812	29,142	52,954	12,280	64,736	5,105	3,290	85,411	259	400,973	401,232	541,518
2月	2,603	27,827	46,831	74,657	10,510	74,081	5,765	5,105	95,460	261	473,355	473,616	646,336
3月	2,711	31,955	44,113	76,068	12,055	88,833	12,642	9,794	123,324	224	445,322	445,547	647,650
4月	3,209	21,425	29,992	51,418	12,335	76,452	8,075	8,665	105,526	354	348,716	349,070	509,223
前月比	118.3	67.0	68.0	67.6	102.3	86.1	63.9	88.5	85.6	158.1	78.3	78.3	78.6
前年同月比	92.9	63.0	56.6	59.1	66.9	106.3	123.8	138.0	102.3	66.2	87.7	87.7	86.0

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
'18 暦年	3,821	4,446	1,079	11,731	9,183	222,159	16,704	260,857	297	5,724	444,746	450,470	719,892
'19 暦年	3,901	7,382	557	15,075	8,603	193,072	15,995	233,301	306	8,622	536,308	544,930	789,819
'18 年度	3,789	4,813	901	12,809	9,392	214,008	17,217	254,327	379	6,282	524,362	530,643	793,952
'19 年度	4,566	8,270	575	14,214	7,762	198,515	15,501	236,568	283	8,259	476,144	484,403	734,090
'19年 7月	285	873	24	1,224	838	16,602	1,334	20,022	20	1,040	40,191	41,230	62,430
8月	461	756	81	1,371	465	13,958	1,139	17,013	12	800	33,113	33,912	52,154
9月	345	541	8	971	653	15,460	1,421	18,514	13	176	54,877	55,053	74,466
10月	253	512	82	1,051	639	18,269	1,443	21,482	37	1,260	36,040	37,300	59,584
11月	303	708	49	1,117	430	14,096	1,272	16,964	39	767	63,127	63,894	81,908
12月	313	498	54	1,416	580	19,802	1,195	23,047	28	1,428	46,444	47,871	71,758
'20年 1月	383	986	60	1,215	396	17,680	1,302	20,654	・	233	45,646	45,878	67,901
2月	868	770	31	689	367	17,336	1,229	19,652	51	1,055	30,849	31,904	53,245
3月	292	446	33	944	758	19,064	1,508	22,306	17	104	28,122	28,226	51,288
p 4月	535	677	36	1,128	540	18,507	1,615	21,826	25	2,091	25,641	27,732	50,795
前月比	183.0	151.8	108.9	119.5	71.3	97.1	107.1	97.8	148.3	2,006.1	91.2	98.2	99.0
前年同月比	159.8	173.6	103.2	105.3	77.7	100.1	119.7	100.9	81.8	186.1	59.4	62.6	76.2

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			
'18 暦年	9,729,594	1,257,111	4,817,470	350,091	5,272,067	867,205	-	192,131	121,971	12,099	105,091	50,701	18,158
'19 暦年	9,684,294	1,232,917	4,818,132	324,973	5,195,216	880,539	-	192,203	110,759	10,972	104,323	48,441	12,299
'18 年度	9,750,021	1,265,838	4,837,553	347,731	5,259,589	882,342	-	197,549	122,108	12,318	104,364	52,276	16,891
'19 年度	9,489,302	1,196,578	4,714,027	318,555	5,038,727	852,328	-	190,374	111,919	9,935	104,036	47,879	10,995
'19年 7月	895,822	111,146	445,026	29,064	459,456	78,897	-	19,713	11,427	1,071	8,895	3,429	1,013
8月	678,546	83,693	349,518	24,187	388,600	70,133	-	14,824	8,394	888	8,720	4,675	885
9月	828,889	102,274	400,971	30,382	548,209	88,107	-	18,405	10,522	1,246	8,549	4,273	990
10月	778,590	99,359	404,811	25,549	314,798	54,098	-	14,710	7,523	1,083	8,279	3,752	875
11月	804,523	102,272	413,054	26,242	385,858	69,337	-	8,433	5,006	510	9,261	3,829	817
12月	725,296	93,618	399,262	25,657	344,875	59,614	-	11,767	7,679	700	8,157	3,877	901
'20年 1月	762,315	94,008	334,800	20,756	360,103	58,146	-	16,165	9,725	668	8,394	2,374	808
2月	769,161	93,628	393,610	28,047	430,185	66,949	-	15,546	10,037	530	8,585	3,092	772
3月	828,702	101,105	379,956	29,910	581,438	94,067	-	17,985	11,309	544	8,547	9,343	774
4月	-	-	193,602	17,626	270,393	50,388	-	13,187	10,203	516	7,526	3,754	561
前月比	-	-	51.0	58.9	46.5	53.6	-	73.3	90.2	94.9	88.0	40.2	72.5
前年同月比	-	-	46.4	59.0	56.4	65.5	-	77.7	102.6	58.9	89.1	112.8	51.2

出所: 四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、

新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、

軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、

建設機械生産、産業車輛生産は『経済産業省生産動態統計』、

機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、

工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r: 訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2020年4月分

鋼種別	項目	月別					
		実数 (t)	前月比 (%)	前年 同月比(%)	2015年基準 指数(%)		
工 具 鋼	熱間圧延鋼材生産	15,670	92.7	73.6	76.0		
	鋼材輸入実績	535	183.0	151.5	173.5		
	販売業者	受入計	15,245	71.7	64.5	56.5	
		販売計	16,015	77.3	71.6	61.0	
		うち消費者向	13,180	83.0	70.8	69.7	
		在庫計	77,550	99.0	107.3	131.3	
	鋼材輸出船積実績	3,209	118.3	92.9	67.3		
	生産者工場在庫	10,249	97.8	103.7	123.6		
	総在庫	87,799	98.9	106.8	130.4		
	構 造 用 鋼	熱間圧延鋼材生産	488,386	77.1	64.3	71.4	
販売業者		受入計	299,052	95.0	73.4	45.8	
		販売計	290,691	92.4	71.6	44.5	
		うち消費者向	232,414	87.1	70.1	52.9	
		在庫計	432,755	102.0	101.8	123.0	
鋼材輸出船積実績		51,418	67.6	59.1	62.6		
生産者工場在庫		382,096	95.0	93.7	109.2		
総在庫		814,851	98.6	97.8	116.1		
ば ね 鋼		熱間圧延鋼材生産	24,788	83.3	72.7	68.9	
		鋼材輸入実績	677	151.8	88.7	166.1	
	販売業者	受入計	5,869	86.2	125.6	27.7	
		販売計	6,156	90.1	140.8	29.3	
		うち消費者向	2,408	104.0	86.1	51.8	
		在庫計	12,149	97.7	94.8	99.5	
	鋼材輸出船積実績	12,335	102.3	66.9	78.4		
	生産者工場在庫	21,575	96.3	77.9	83.5		
	総在庫	33,724	96.8	83.2	88.7		
	ス テ ン レ ス 鋼	熱間圧延鋼材生産	172,201	76.3	81.6	75.0	
鋼材輸入実績		21,826	97.8	105.7	150.8		
販売業者		受入計	119,604	115.4	100.3	47.7	
		販売計	114,762	108.6	93.2	45.7	
		うち消費者向	65,549	110.1	101.4	117.2	
		在庫計	183,441	102.7	102.4	134.2	
鋼材輸出船積実績		76,452	86.1	106.3	87.2		
生産者工場在庫		131,446	99.5	98.9	114.1		
総在庫		314,887	101.3	100.9	125.0		
快 削 鋼		熱間圧延鋼材生産	30,273	61.4	58.0	59.0	
	販売業者	受入計	8,266	67.1	61.5	58.4	
		販売計	8,126	77.1	68.3	56.5	
		うち消費者向	7,921	76.1	71.1	56.9	
		在庫計	15,093	100.9	99.5	111.5	
	鋼材輸出船積実績	8,075	63.9	123.8	84.4		
	生産者工場在庫	27,476	97.6	92.3	99.0		
	総在庫	42,569	98.8	94.7	103.1		
	高 抗 張 力 鋼	熱間圧延鋼材生産	311,152	77.2	75.8	75.4	
		販売業者	受入計	7,550	104.8	90.2	73.4
販売計			6,519	80.6	80.3	64.1	
うち消費者向			5,785	92.6	97.8	86.3	
在庫計			10,157	111.3	90.8	92.6	
生産者工場在庫		138,469	98.9	77.1	73.0		
総在庫		148,626	99.6	77.9	74.1		
そ の 他		熱間圧延鋼材生産	92,685	88.0	71.3	67.0	
		販売業者	受入計	7,348	19.2	20.5	18.1
			販売計	6,954	17.6	19.4	17.2
	うち消費者向		6,445	18.3	19.7	17.5	
	在庫計		10,062	16.2	18.1	18.9	
	生産者工場在庫	53,565	93.5	89.8	77.4		
	総在庫	63,627	53.2	55.2	52.0		
	特 殊 鋼 鋼 材 合 計	熱間圧延鋼材生産合計	1,135,155	77.6	70.1	72.2	
		鋼材輸入実績計	50,795	99.0	74.1	62.5	
		販売業者	受入計	495,439	98.2	80.9	48.7
販売計			479,825	94.9	78.5	47.2	
うち消費者向			360,861	91.0	77.2	62.6	
在庫計			795,735	102.0	103.2	124.8	
鋼材輸出船積実績計		509,223	78.6	86.0	79.2		
生産者工場在庫	764,876	96.5	90.3	97.3			
総在庫	1,560,611	99.2	96.4	109.7			

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) 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に含まない。

倶楽部だより

(2020年4月1日～5月31日)

市場開拓調査委員会

説明会（5月28日）

演 題：平成30年度特殊鋼の最終用途別需要
実態調査

講 師：日鉄総研(株) 経済産業調査部
研究主幹 大内 邦彦 氏

方 式：オンライン配信

参加者：100名

[大阪支部]

2019年度会計監査（5月14日）

運営委員会（5月27日・書面審議）

①2019年度事業・収支報告

②2020年度事業計画（案）・収支予算（案）・
役員人事

流通委員会

説明会（4月9日）

演 題：2020年度第1・四半期の特殊鋼需要
見通し

講 師：経済産業省 製造産業局 金属課
課長補佐 篠原 康人 氏

方 式：ライブ配信

参加者：30名

[名古屋支部]

2019年度決算会計監査（5月8日）



特殊鋼倶楽部の動き

「平成30年度特殊鋼の最終用途別需要実態調査」結果報告書説明会開催

去る5月28日（木）午後3時00分より特殊鋼倶楽部の初の試みでオンライン配信による「平成30年度特殊鋼の最終用途別需要実態調査」結果報告書の説明会を開催しました。

本説明会は、当倶楽部・市場開拓調査委員会の平成30年度調査事業として実施した調査報告書（5年毎）を解説したものです。当日は講師として調査を担当された日鉄総研（株）経済産業調査部 研究主幹 大内 邦彦氏にご説明頂き、オンライン配信による参加者は約100名でした。

説明の内容は、1. 調査の背景（特殊鋼業界の動向、調査対象業界を取り巻く経営環境、調査対象業界の動向）、2. 調査結果、3. 今後の課題をダイジェストでご説明頂きました。

約1時間の説明会でしたが、大内講師の詳細かつ分かり易い説明で終了いたしました。（会員専用ページにて当説明会のダイジェスト版を公開しております）

本説明会は「新型コロナウイルス感染症」対策として「3密」を避けるべくオンライン（ZoomとYouTube）配信で手作り満載感の配信ではございましたが、たくさんのご参加をいただき、ありがとうございました。皆様のまたのご参加をお待ちしております。

以下に、会場写真を掲載いたします。



【説明をされる日鉄総研の大内氏】



【オンライン配信中の様子】

左上：オンライン配信の司会を務める小澤特殊鋼倶楽部専務理事
右上：挨拶をする重光業務部長
右下：ご説明中の日鉄総研 大内氏

一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

<p>[会 員 数]</p> <p>(正 会 員)</p> <p>製造業者 25社</p> <p>販売業者 103社</p> <p>合 計 128社</p>	【販売業者会員】		
<p>【製造業者会員】</p>	<p>愛 鋼 (株)</p> <p>青 山 特 殊 鋼 (株)</p> <p>浅 井 産 業 (株)</p> <p>東 金 属 (株)</p> <p>新 井 ハ ガ ネ (株)</p> <p>粟 井 鋼 商 事 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 鉄 鋼 (株)</p> <p>伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 鋼 (株)</p> <p>井 上 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) U E X</p> <p>確 井 鋼 材 (株)</p> <p>ウ メ ト ク (株)</p> <p>扇 鋼 材 (株)</p> <p>岡 谷 鋼 機 (株)</p> <p>カ ネ ヒ ラ 鉄 鋼 (株)</p> <p>兼 松 (株)</p> <p>兼松トレーディング(株)</p> <p>(株) カ ム ス</p> <p>(株) カ ワ イ ス チ ー ル</p> <p>川 本 鋼 材 (株)</p> <p>北 島 鋼 材 (株)</p> <p>ク マ ガ イ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ケ ー ・ ア ン ド ・ アイ 特 殊 管 販 売 (株)</p> <p>小 山 鋼 材 (株)</p> <p>佐 久 間 特 殊 鋼 (株)</p> <p>櫻 井 鋼 鉄 (株)</p> <p>佐 藤 商 事 (株)</p> <p>サ ハ シ 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株) 三 悦</p> <p>三 協 鋼 鉄 (株)</p> <p>三 京 物 産 (株)</p> <p>三 興 鋼 材 (株)</p> <p>三 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>J F E 商 事 (株)</p> <p>芝 本 産 業 (株)</p> <p>清 水 金 属 (株)</p> <p>清 水 鋼 鉄 (株)</p> <p>神 鋼 商 事 (株)</p> <p>住 友 商 事 (株)</p>	<p>住友商事グローバルメタルズ(株)</p> <p>大 同 興 業 (株)</p> <p>大同DMソリューション(株)</p> <p>大 洋 商 事 (株)</p> <p>大 和 興 業 (株)</p> <p>大 和 特 殊 鋼 (株)</p> <p>(株)竹内ハガネ商行</p> <p>孟 鋼 鉄 (株)</p> <p>田 島 ス チ ー ル (株)</p> <p>辰 巳 屋 興 業 (株)</p> <p>千 曲 鋼 材 (株)</p> <p>(株) テ ク ノ タ ジ マ</p> <p>(株) 鐵 鋼 社</p> <p>デルタスチール(株)</p> <p>東京貿易マテリアル(株)</p> <p>(株) 東 信 鋼 鉄</p> <p>(株) ト ー キ ン</p> <p>特 殊 鋼 機 (株)</p> <p>豊 田 通 商 (株)</p> <p>中 川 特 殊 鋼 (株)</p> <p>中 野 ハ ガ ネ (株)</p> <p>永 田 鋼 材 (株)</p> <p>名 古 屋 特 殊 鋼 (株)</p> <p>ナ ス 物 産 (株)</p> <p>南 海 鋼 材 (株)</p> <p>日 金 ス チ ー ル (株)</p> <p>日 鉄 物 産 (株)</p> <p>日鉄物産特殊鋼西日本(株)</p> <p>日 本 金 型 材 (株)</p> <p>ノ ボ ル 鋼 鉄 (株)</p> <p>野 村 鋼 機 (株)</p> <p>白 鷺 特 殊 鋼 (株)</p> <p>橋 本 鋼 (株)</p> <p>(株)長谷川ハガネ店</p> <p>(株)ハヤカワカンパニー</p> <p>林 田 特 殊 鋼 材 (株)</p> <p>阪 神 特 殊 鋼 (株)</p> <p>阪 和 興 業 (株)</p> <p>日 立 金 属 工 具 鋼 (株)</p>	<p>日 立 金 属 商 事 (株)</p> <p>(株)日 立 ハ イ テ ク</p> <p>(株) 平 井</p> <p>(株) フ ク オ カ</p> <p>藤 田 商 事 (株)</p> <p>古 池 鋼 業 (株)</p> <p>(株) プ ル ー タ ス</p> <p>(株) 堀 田 ハ ガ ネ</p> <p>(株)マクスコーポレーション</p> <p>松 井 鋼 材 (株)</p> <p>三 沢 興 産 (株)</p> <p>三 井 物 産 (株)</p> <p>三井物産スチール(株)</p> <p>(株) メ タ ル ワ ン</p> <p>(株)メタルワンチューブラー</p> <p>(株)メタルワン特殊鋼</p> <p>森 寅 鋼 業 (株)</p> <p>(株) 山 一 ハ ガ ネ</p> <p>山 進 産 業 (株)</p> <p>ヤ マ ト 特 殊 鋼 (株)</p> <p>山 野 鋼 材 (株)</p> <p>陽 鋼 物 産 (株)</p> <p>菱 光 特 殊 鋼 (株)</p> <p>リ ン タ ツ (株)</p> <p>渡 辺 ハ ガ ネ (株)</p>

“特集” 編集後記

今月号は「チタン・チタン合金のやさしい解説」を企画しました。チタン・チタン合金に関しては1998年11月号で「身近にあるチタン製品」の特集が組まれています。前回の特集から20年以上が経過し、チタン・チタン合金の取り巻く環境も変化してきました。そこで、本特集号では最近のチタン・チタン合金の需要動向から適用事例までわかりやすくご紹介いただきました。また読者の皆様にチタン・チタン合金について、より理解を深めていただくために基礎知識、製造技術をわかりやすく解説いただきました。

最近の開発動向として、航空宇宙・エネルギー、医療用途での材料開発を解説いただきました。さらに近年注目されている金属積層造形法についてご紹介いただきました。

チタン・チタン合金は高い比強度（強度／密度）、優れた耐食性、良好な生体適合性を有することから、今後も火力・原子力発電、化学プラント、航空機、建材用品、自動車・二輪車、スポーツ・レジャー用品、医療などで使用されていくと思います。さらに少子高齢化社会の到来により、福祉用具などの幅広い分野でチタン・チタン合金が適用されていくと思います。読者の皆様がチタン・チタン合金に興味をお持ちになり、少しでも業務にお役立ていただければ幸いです。

本特集号にご寄稿いただきました執筆者の皆様、ご協力いただきました編集委員の皆様および事務局の皆様がこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 ソリューション支援室 おがわ みちはる 小川 道治〕

【お詫びと訂正】

「特殊鋼」誌 Vol. 69 No. 3 (2020. 5) 掲載の下記論文の原稿執筆者氏名に誤りがありました。ここに訂正させていただきますとともに、謹んでお詫び申し上げます。

一般社団法人特殊鋼倶楽部

記

- ・論文名：Ⅱ. ばねの種類と製造方法
 - 1. 自動車用のばね
 - (1) 自動車用懸架コイルばね
- ・著者名：細見昭平 氏
- ・掲載頁：9頁

(誤) 細身昭平 氏

(正) 細見昭平 氏

以 上

特 集 / 塑性加工（主に鍛造）のやさしい解説

- I. 総論
- II. 塑性加工方法
- III. 特殊塑性加工方法
- IV. 会員メーカーの鍛造製品および技術紹介

11月号特集予定…やさしく知る腐食・防食

特 殊 鋼

第 69 卷 第 4 号
© 2 0 2 0 年 7 月
2020年6月25日 印 刷
2020年7月1日 発 行

定 価 1,252円 送 料 200円
1年 国内7,434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。