

チタン市場の最近の動向と技術展望

Present Status of Titanium Market and Technology

諸石大司/Taishi Moroishi・総合技術研究所 顧問 工博

要 約

我が国におけるチタン生産量の年平均伸び率は約 8 % になっており、現時点では久々の活況を呈している。我が国のチタン市場は軍需、航空宇宙分野は少なく、産業プラント設備や民生用耐久消費財がほとんどである。中でも最近では建材、身の回り品やスポーツ用品の需要増が著しい。更に発展させるためには、競合材料に対するコスト競争力のある製品開発と市場形成を強力に進め、新しい民需市場を発掘するとともに現存する市場を助成することが必要である。ここでは我が国のチタンの生産動向と市場の現状を簡単に概観するとともに、我が国におけるチタンとその合金の最近の技術開発と市場開発の状況について述べる。今後日本でチタンの新しい需要を生み出すと期待される市場は既開発分野に加えて、自動車、海洋構造物、食品工業、医用品、歯科用品、漁業、都市用海水淡水化設備、廃水廃ガス処理などであろう。ここでは需要の要求に対して過不足のない適正性能を持ち、かつ、素材製造コストや商品製造コストを含めて安くなるような新合金が必要とされる。材料の製造コスト低減を実現するには粉末焼結技術の活用、チタン製錬の連続化とスクラップの再利用が大きな課題である。

Synopsis

Annual growth rate of 8 % is estimated for Japanese titanium production. Titanium industries around the world are booming at the moment. The predominant application fields in the Japanese titanium market are not munitions and the aerospace industry, but industrial plants and consumers' goods. Recent rapid growth of the demand for titanium in materials for building, personal items and sports goods is remarkable. It is necessary for further expansion of the titanium market to develop new markets and promote the existing markets of titanium for civilian use, by means of intensive development of new products and their uses to be able to surpass the price of competing materials. The Japanese titanium production and market trends are reviewed here together with new developments in technologies and applications for titanium and its alloys. Automotive parts, marine construction, food industries, medical and dental materials, fishery, desalination plants at coastal cities and waste water and waste gas treatment plants are expected to become promising future markets, in addition to consumers' goods, sports and leisure sports goods. These markets require new alloys to possess just the right properties to achieve their purposes and to attain minimum costs in producing the material as well as goods. The application of powder metallurgy, creating a continuous process from titanium reduction to ingot production and scrap recycling are the big problems to be solved in order to realize extensive cost reduction for titanium products.

1. 緒 言

チタン市場は以前より主要市場である航空業界や化学産業の設備投資の周期などの影響を強く受けて、過去において浮き沈みの大きい周期性をもつが、平均すると生産量は増加の一途を辿っている。我が国における生産量の年平均伸び率は約 8 % になっており、生産規模は未だ小さいが、この数字は高成長を注目されているステンレス鋼の年率約 5 % を大きく上回る。

殊に現時点ではボーイング 777 を始めとする米国の航空機生産の好調と、チタン・ゴルフ・ヘッドを主体とする耐

久消費財のブームの恩恵を受けて、需給が逼迫するという状況にある。そのために我が国のスポンジ生産は既設設備のフル操業はもとより、新たな設備増強も図られるなど、久々の活況を呈している。しかしながら需要の拡大に加えて、需要変動の平準化、すなわち需要の安定成長もチタン業界の悲願である。現状に満足することなく、次の大規模需要を生み出す市場開発を現需要の後退期以前に終えなくてはならない。

世界的にもチタン産業はより厳しい国際競争に直面しかけていると思われる。CIS のチタン産業が冷戦終結後の経済構造の変化からその市場を軍需から民需への転換を図り、

かつ、国内需要の不振から外貨獲得のため 1993 年頃から輸出に傾注している。CIS のチタン・スポンジは欧米に浸透しており、我が国での使用量も着実に増加している。更に、スポンジ需給の現状から CIS の生産余力が期待されている有様である。展伸材の輸出はロシアの巨大な生産設備能力から見るとその規模は今の所大きくないが、輸出市場開発が懸命に続けられている。一方、1995 年経営危機を脱し、好業績に転じた米国 TIMET 社は欧州で寡占化していた英、独、仏メーカーとの合併会社を作り、欧州への影響力を強め、米国内においても電子ビーム炉をによる溶解メーカーを支配下に置くなど着々と世界戦略を展開している様子がうかがわれる。我が国においては状況は異なっており、スポンジ・メーカー二社と展伸材メーカー、すなわち圧延メーカーは十数社がひしめいており、市場を分けあっている状況にある。更に激化が予想される国際競争の中で生き残るためには、競合材料に対するコスト競争力のある製品開発と市場形成を強力に進めていくほかはない。

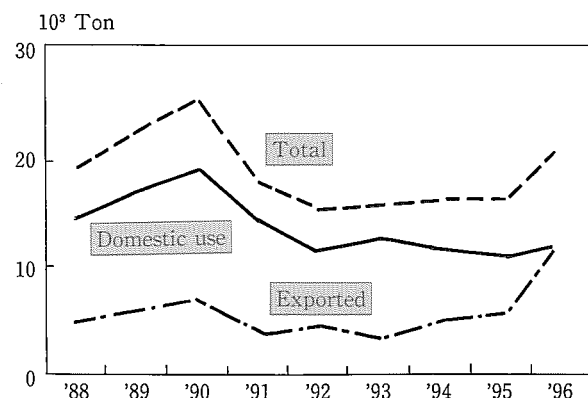
いずれにしろチタンの低コスト化は既存市場の拡大と新市場の開発にとって必須である。低コスト化の方法として、材料の製造コスト低減を実現する製造プロセスおよび材料の開発と、一方で需要の要求性能を丁度過不足無く満たしつつ商品製造コストも低減する商品製造技術開発および材料開発を総合的に進めていく必要がある。

ここでは我が国のチタンの生産動向と市場の現状を簡単に概観するとともに、我が国におけるチタンとその合金の最近の技術開発と市場開発の状況について述べる。

2. チタンの生産動向

2-1 チタン・スポンジの生産動向

第 1 図¹⁾はチタン・スポンジに関して最近の 9 年間の各年の全生産量と国内市場向け出荷量および輸出量を示す。1995 年一年間で全生産量は約 16 700 トンであった。チタン・スポンジの生産は 1992 年以来年々ゆっくりではあるが、着実



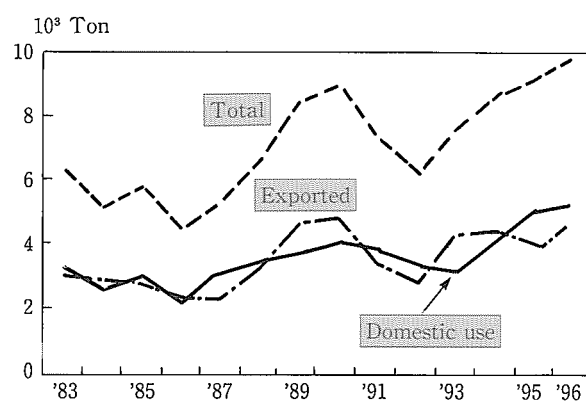
第 1 図 我が国におけるチタン・スポンジの出荷量
Fig.1 Japanese shipments of titanium sponge

な回復を見せて来た。更に、1996 年のスポンジ生産量の伸びは著しく、前年比 126 %、21 000 トンを若干上回る量までになった。この回復は欧米の旺盛なチタン需要を反映して、前年の二倍弱まで急増した輸出によってもたらされたものである。

すなわち、国産の高品質スポンジの輸出は 1995 年には 5 000 トン強であったものが、1996 年には急増し、10 000 トンを若干上回った。一方、CIS からの安い輸入スポンジがかなり増加し、1995、1996 年には 5 000 トン前後の CIS スポンジが日本に流れ込んだと見られる。国産スポンジの国内向け出荷量は 1993 年以来徐々に減少したが、1996 年は国内需要も旺盛となり、前年比約 5 % 増の 11 200 トン弱になっている。

2-2 チタン展伸材の生産動向

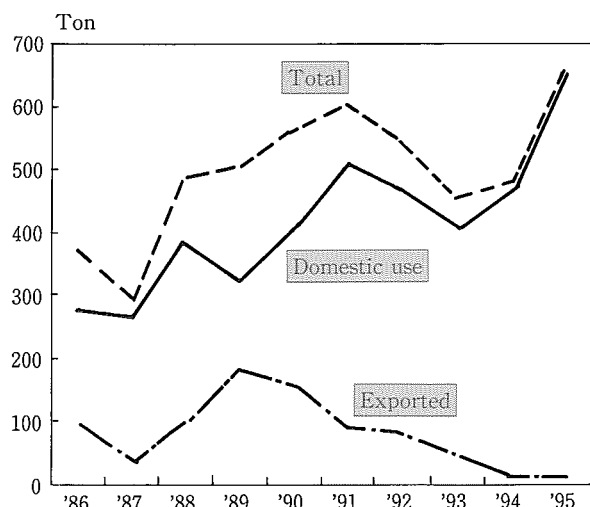
第 2 図²⁾は 1983 年から 1996 年までの展伸材出荷量を表す。過去の最高年間生産量は 1990 年に達成された 8 964 トンであった。その後、市場は 1992 年まで縮小し続け、6 237 トンまで落ちたが、それ以後回復し始めた。1995 年は過去最高を更新する新記録の 9 134 トンであった。1996 年は更にこれを上回って 9 555 トンに達し、会計年度では 10 876 トンと遂に 1 万トンを突破した。生産された全展伸材のほぼ半分が国内の市場に出荷され、残りの半分が輸出される。図に示されたとおり、1993 年以来輸出は横ばいになったが、1996 年は再び前年比 10 % 伸びた。輸出比率約 46 % である。国内向け出荷量は 1995、1996 両年ともほぼ同じで、約 5 100 トンであるが、一方でスラブなど半製品やゴルフ・ヘッドのような製品の輸入が増加している模様である。



第 2 図 我が国におけるチタン展伸材の出荷量
Fig.2 Japanese titanium wrought product shipments

2-3 チタン合金の生産動向

チタン合金の生産量は全チタン生産量の 10 % にも満たないが、その推移にほぼ平行して増減している。第 3 図³⁾に示すように、合金の輸出は 1989 年以来徐々に減少したので、合金の国内出荷の割合が増え、とうとう 1994 年、1995 年



第3図 我が国のチタン合金の出荷量

Fig.3 Japanese shipments of titanium alloys

は生産された合金のほとんど全部が国内の市場に出荷されたと思われるが、1996年はわずかながら合金の輸出も増加した。

3. チタンの国内市場動向

第4図¹⁾に1995年の種々の市場セグメントにおけるシェアを示す。図中の点々を打ったセクタは既存の市場セグ

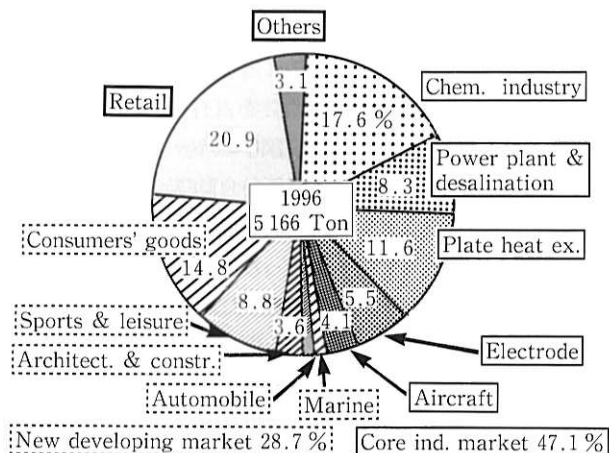
メント、すなわち、化学工業、発電所、板型熱交換器、電極と航空機を示している。1990年にはこれらのセグメントのシェアは全市場のその4分の3を占有していたが、1995年にはほぼ53%になっている。図中のハッチを入れた消費財、レジャースポーツ、土木建築、自動車、海洋構造物という新しい市場セグメントの着実な成長のために、既存市場は徐々にそのシェア失っていった。新しい市場セグメントは1990年には比較的に小さかったが、急速に成長した。消費財市場はスポーツ余暇用品、医用・歯科用材料を含めて1995年にはその市場シェアを1990年の3倍に増した。レジャースポーツは元来消費財に含まれていたが、1993年以降急速な成長のため便宜的に分離してある。主要な市場セグメントの経時動向を第5図¹⁾に示す。既存の市場でも化学産業およびその関連のセグメントはまだ大きくなっている。一方、海水淡水化、発電所プラントおよびエネルギーセグメントは1992年以来頭打になっている。レジャースポーツと消費財セグメントの成長が著しい。第1表²⁾は1994年のスポーツ余暇商品を含め消費財のチタン消費の推定値を要約して示すとともに、日用品とスポーツ余暇商品と家庭用品その他の各セグメントの中身の詳細を説明している。腕時計ケースとそのバンド、眼鏡フレーム、ゴルフクラブはこの消費財市場セグメントの最も主要な商品である。このセグメントの全消費量はおそらく1994年は680トンであったものが、1996年で1200トンを超えたと思われる。

第1表 1994年における民生用耐久消費財に使用されたチタンの推定消費量

Table 1 Estimated consumption of titanium used for consumers' goods in 1994

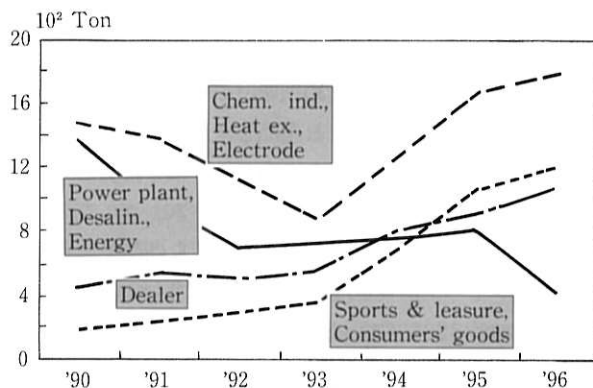
Market segments	Name of goods	Estimated material consumption ton		Remarks
Personal articles	Watch case	Alloys /Bar, Plate	50~60	
	Watch band	cp Ti, Alloys /Sheet, Wire	60~70	
	Frame of eyeglasses	Alloys /Wire	60~70 (144)	12 g per a titanium frame 32 million pieces sold in 1990 in total
	Accessories	cp Ti /Sheet, Wire	10~15 (60)	
	Camera			
	Golf club	Alloys /Sheet, Bar	120~150 (170~200)	
Sports & leisure sports	Motorcycle	cp Ti, Alloys /Pipe, Bar	10~15	Muffler, Parts of mountain-bike etc.
	Bicycle			
	Others		5~10	Fishing tackle, Mountaineering and camping equipment, Base ball bat, Spike, Kendo's mask, Diver's knife, Parts of sail boat etc.
Utensil & others	Kitchen ware	cp Ti, Alloys /Sheet, Bar	3~5	Thermos, Wok etc.
	Tool	Wire	5~10	Safety hook, Spanner, Wrench etc.
Others			10~15	Electrodes of toaster and water Electrolyser, Stamp etc.
Total			400(674)	() Figure from another reference

技術解説



第4図 我が国の展伸材の最終用途別シェア

Fig.4 Japanese titanium end-use share in 1996



第5図 チタンの主要市場の動向

Fig.5 Market trend of main application fields

4. 最近の国内市場開発 および技術開発

4-1 熱交換器

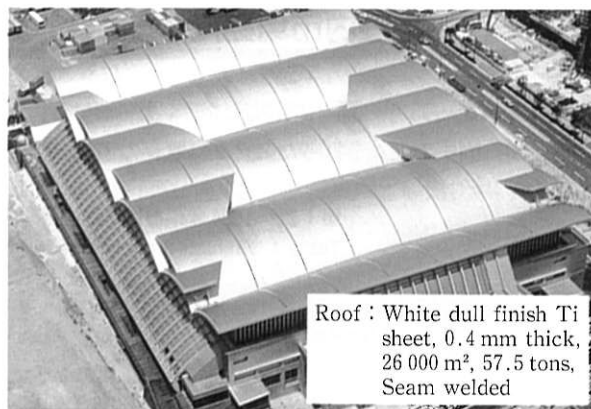
化学プラント用の板型熱交換器の需要が堅調である。これには主として工業用純チタンの薄板が使用されるが、隙間腐食防止対策として微量のパラジウム族元素を添加した新合金が開発され、腐食の厳しい条件で使用されるようになった。すなわち、耐隙間腐食用チタン合金 ASTM Gr.7(Ti-0.15 Pd)のコスト低減のために、耐食性を損なわない程度に Pd を極力低減し、微量の Co 添加で補った Ti-0.05 Pd-0.3 Co(Gr.30, 31)をはじめ同様の思想で、Ti-0.05 Ru-0.5 Ni(Gr.13, 14, 15), Ti-0.01 Pd-0.03 Ru-0.4 Ni-0.15 Cr³⁾が開発されている。

我が国の発電プラントの復水器にはチタン管も使われているが、なお多数のアルミニウム黄銅管が使われていて、いくらかの本数は毎年腐食損傷を受ける状況が続いている。その取り替え用に液圧拡管法によって製造された肉厚 0.3

mm の極薄肉溶接チタン管と黄銅管の二重管が開発されている⁴⁾。

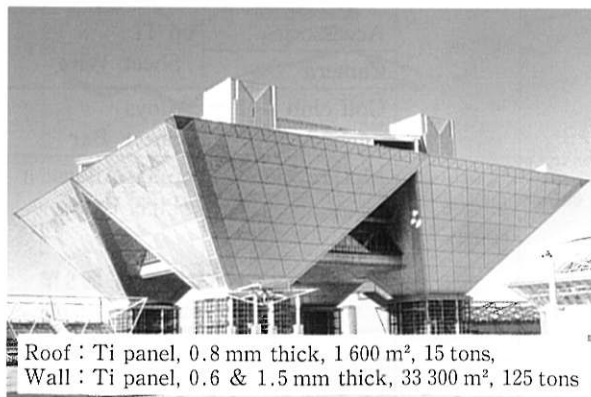
4-2 建築

チタンが日本建築基準法の不燃材料として認定された 1987 年以来、建築物はチタンの主要な用途の 1 つとして定着した。第 6, 7 図⁵⁾に 1995 年に建てられた代表的な大型建造物、福岡マリンメッセおよび東京国際展示場のコングレストワーを示す。チタンがなぜ屋根材や外壁材に使用されたかという理由はその耐候性はもちろんのこと、それに加えてその低熱膨張係数が温度変化によって長く広い屋根に発生する熱応力を和らげるために好都合だからである。同時に軽量でもあることが支持構造のコストを低減する。第 8 図に示すように過去 10 年でおおよそ 1200 トンのチタンがこの用途に使用され、そのうち 60 % 強は屋根材に、30 % 弱は屋内、外の被覆材料に使用された⁶⁾。屋根材としては主として加工性の良い JIS 1 種が使用される。建築用材料としては欧米でも使用例が出始めている。



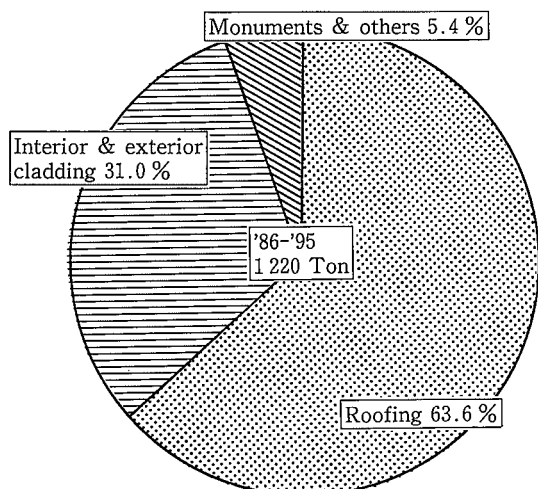
第6図 福岡マリン・メッセ/福岡 (1995)

Fig.6 Fukuoka Marine Messe/Fukuoka (1995)



第7図 東京ビッグ・サイト国際展示場/東京(1995)

Fig.7 Tokyo Big Sight-International Exhibition Center/Tokyo(1995)



第8図 建築・土木に使用されたチタンの最終用途別シェア
Fig.8 End-use share of titanium used for architecture and construction

4-3 カメラ

チタンが他の金属より軽く、耐久性があるので、一部の高級カメラに使われている。年間のチタン消費量は第1表²⁾に示したようにさほど多くはないが、堅実に増えている。複雑な形のカメラ・ボディのプレス加工に使用するチタン薄板には張り出し性と深絞り性の適当な組み合わせが要求されるので、適正な成分と圧延条件の制御が必要である。プレス加工中の噛りや擦り傷の防止のために、熱間プレスと対向液圧成形法を組み合わせたプロセスが開発された。このプロセスは張り出し性を改善し、深絞り性を得るので、中間焼鈍も含めて、加工工程が半減した^{6),7)}。

4-4 海洋構造物

海洋雰囲気にて建てられた大規模な構造物にメンテナンスなしに長寿命を保証するためにはチタンの完全な耐食性を必要とする。この種の用途の先導的な例は1997年に完工される予定の東京湾横断道路橋の橋脚である⁸⁾。この橋の海洋腐食の防止のために橋脚の飛沫帯と干満帯にチタンクラッド鋼板のライニングが使用された。

浮体式海上空港とこれにチタンを使った腐食防止法の技術開発プロジェクトが行われている⁹⁾。現段階では9つのブロックを繋ぎ合わせた幅60メートル、長さ300メートルの箱型浮体の舷側に、チタンと高ニッケルステンレス鋼のライニングテスト鋼板が溶接されているが、溶接チャンバーを使って喫水線下の溶接をする技術が確立され、高い溶接生産性を確保するために溶接装置も改善された。

別の例として養殖いけすのチタン網¹⁰⁾がある。チタン線を編織した網が現在養殖いけすに用いられている亜鉛鉄線の網を代替できれば、いけす用養殖魚網はチタンの大きい潜在市場であるに違いない。亜鉛鉄線は腐食されたときに網

を海中に投棄することによって起こる海水汚染問題のために使うことが難しくなっている。チタンの場合はチタン線材およびいけす構造を含めて養殖魚網の製造コスト低減が最重要課題であり、更に耐久性を保証する網の設計、防汚技術の開発等解決せねばならない種々の問題がある。

魚網に用いるチタン線材は線径2~3mmとなるであろう。この線径は従来熱間圧延線を冷間抽伸で伸線して製造されるが、最近、スーパー・マイクロ・ミル(4ロールによる多段連続圧延ミル)による冷間圧延プロセスが開発され、高能率の生産ができるようになったので、従来品よりコスト・ダウンの可能性が見込めるようになった。

4-5 自動車

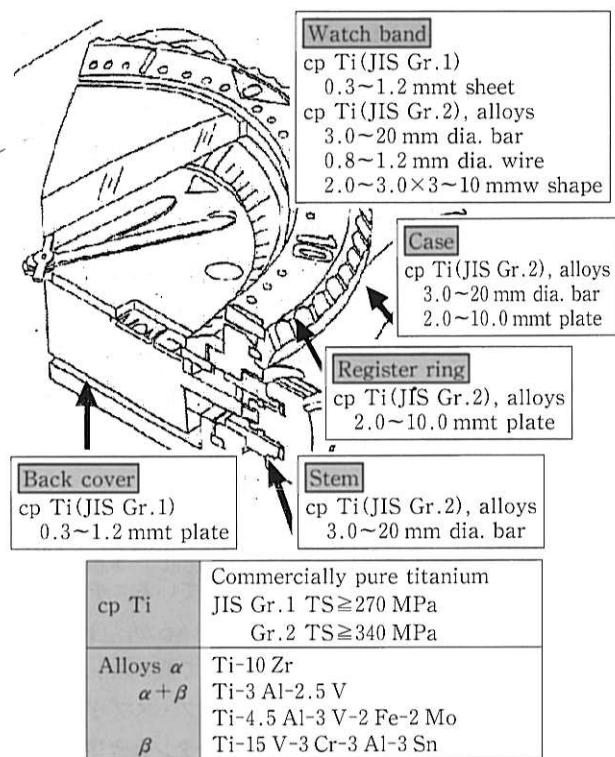
自動車セグメントは常に潜在的なチタン市場として期待されているが、非常に小さいまま推移している。チタンはレーシングカーにこそ少量は使用されているが、自動車メーカーがここ暫く普通乗用車には徹底して低コスト車を追求したので、一部の車種のエンジンバルブ・スプリング・リテーナーとして採用された冷鍛用 β チタン合金¹¹⁾やコンロッドに使用された快削性 α - β 合金¹²⁾等使用例はあるが、これまでコスト問題からほとんど使用されていなかった。しかしながら車の優秀さを強調するために、より高い性能に眼を向ける徴候も見え始めたようである。エンジン性能を改善するために、最近、スポーツクーペの吸気弁に耐磨耗性チタン炭化物分散型チタン合金¹³⁾が採用されている。この合金はクロム炭化物とチタン合金を原料として溶製した展伸材として製造することもできるが、これらの混合粉末を用いた溶射被膜として利用することも開発されている。

高級車や限定車種のみでなく、量産される大衆車用材料として使用されれば非常に大きい市場が見込まれるのであるが、この市場では鉄鋼材料とのコスト競争が特に厳しい。コスト・ダウンの一つの試みとして、ニア・ネット・シェーブでコスト・パフォーマンスを狙ったチタンほう化物分散チタン MMC(メタル/メタル・コンポジット)焼結合金が開発されている¹⁴⁾。これもほう素粉末とTi-6Al-4V合金粉末または β 合金粉末を混合して焼結することにより、チタン合金マトリックス中に焼結プロセスで生成したチタンほう化物が分散した組織となり、機械的強度、耐磨耗性を確保するものである。

4-6 腕時計

チタンを使用する利点は軽量であることは勿論、耐久性と非アレルギー性^{15),16)}であることである。第9図¹⁷⁾示すように、使用されるチタン材料は(工業的)純チタンだけでなく、高強度と高硬度が要求される部分には種々のチタン合金も使用される。掻き傷防止のために硬質無機塗膜被覆技術が開発されている。高強度合金は冷間加工が難しいために、結晶粒成長と酸化を防止しながら熱間加工をする技術

技術解説



第9図 時計外装に使用されるチタンのグレードと形状

Fig.9 Grade and shape of titanium used for watch exterior parts

が確立された。

チタン製腕時計の新しいファッションとして従来の灰色のホーニング面よりも第10図に示されるような鏡面研磨仕上げが採用されつつある。鏡面研磨仕上げ面を得るために、微細結晶粒でかつ高硬度のチタン合金が開発された。

腕時計ケースとバンドの製造のために開発されたもう一つの新技术はチタン粉末のメタル・インジェクション・モールドイング・プロセスである。このプロセスが実用できるようになったのは、誘導加熱により溶けたチタンの滴下流を不活性ガスでアトマイズすることにより低酸素濃度の球状チタン粒子を大量生産方式で製造できるプロセスが開発されたことに負うところが大きい(第10図)¹⁸⁾。

4-7 眼鏡フレーム

チタンフレームはプラスチックレンズと組み合わせることによって、ステンレス鋼や洋銀製の眼鏡フレームより遙かに軽く、完全耐食性であり、メタルアレルギー性がないこと、更にバネ性が良く、頭に柔らかく接触するので、ほかの材料に比べてかけ心地が良いなどの利点がある。チタンフレームの割合は普通眼鏡全体の約三分の一占める(第11図)。

鍛付け時の熱により加工硬化したフレームメタルの軟化と結晶粒成長が生ずることを防止するために第2表¹⁹⁾に示したような高強度合金も使用されている。信頼性のある鍛付け技術の開発も行われた。鍛付けはアルゴン雰囲気中でTi-Cu-Ni合金を鍛材として行なわれる。研磨技術と表



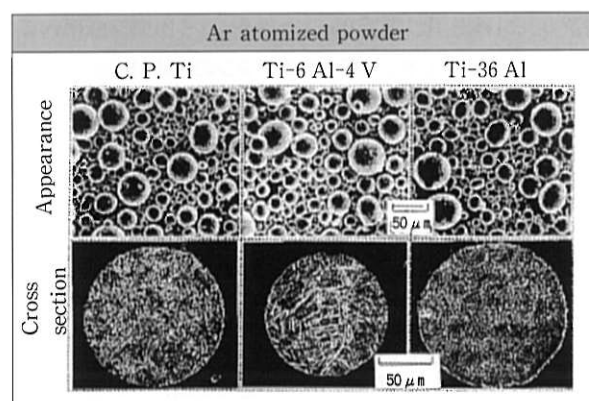
Mirror finish

MIM product

Hard and fine grain titanium alloys for mirror finish

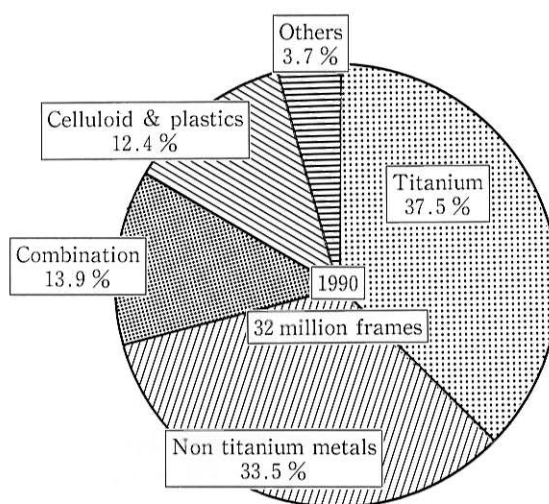
Bright Titan
Fine Titan

Ti-10 Zr
Ti-0.7 X
Ti-0.8 Fe-0.4 O-0.1 N
Ti-4.5 Al-3 V-2 Fe-2 Mo



第10図 チタン時計側およびバンドの最近の動向

Fig.10 Recent trend of wrist watch case and band



第11図 眼鏡フレームに使用される材料

Fig.11 Materials used for frames of ordinary eyeglasses

面処理技術も開発された。一部のフレーム用線材の製造に先に述べたスーパー・マイクロ・ミルが活用されて、コスト・ダウンの一翼を担っている。

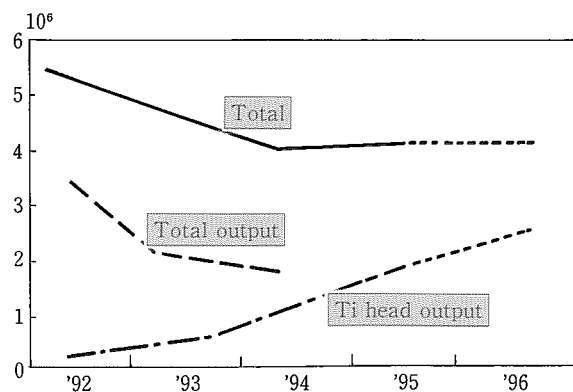
第2表 眼鏡フレームに使用される合金と製造技術
Table 2 Development of technologies for frame of eyeglasses

High strength alloys	α 合金 Ti-0.8 Fe-0.4 O-0.1 N Ti-10 Zr
	α - β 合金 Ti-3 Al-2.5 V
	β 合金 Ti-15 V-3 Cr-3 Al-3 Sn Ti-22 V-4 Al
Brazing technology	Braze metal: Ti-Cu-Ni Atmosphere: Argon
Surface treatment	Ion plating

4-8 ゴルフクラブ・ヘッド

チタン製ゴルフクラブヘッドは1990年に市場に登場し、最初は鋳造によって製造された。その後4年遅れて鍛造チタンヘッドが出てきた。ヘッドの容積は年々大きくなっている。1993年に250立方センチメートルの鍛造ヘッドが市場に現われて以来、チタンヘッドのゴルフクラブ販売量が急に上がった。長尺シャフトを持つデカヘッドは大きな慣性モーメントのために、従来の材料のクラブヘッドより飛距離が出るということで急速に普及した。その後第12図に示すように日本市場に出回ったウッドクラブの総数が1994年以来頭打っているにもかかわらず、チタンヘッドのウッドの生産は急速に増大してきた示している。

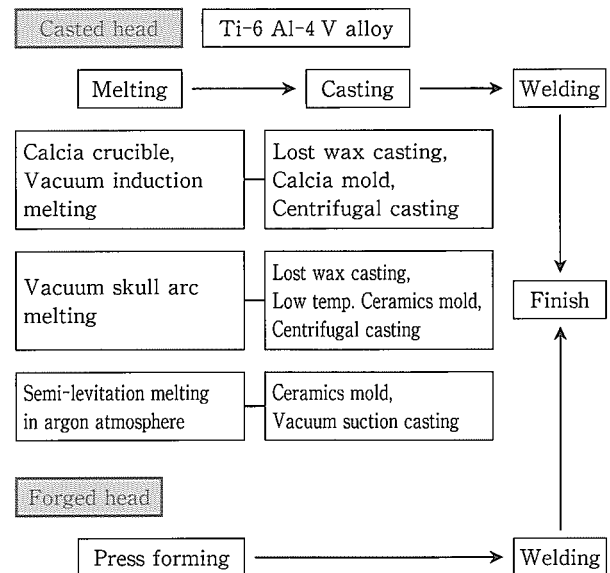
チタンクラブヘッドの製造プロセスには異なる三つの典型的な精密鋳造プロセスと鍛造プロセスが適用されている。鋳造ヘッドにはTi-6 Al-4 V合金が通常使用され、鍛造ヘッドには種々の β 型合金が使われている(第3表)。最近、アイアンのチタン化も始まっており、今年中は少なくともチタンの需要は伸びると見られている。



第12図 我が国におけるウッド・クラブの全販売量と国内生産量とチタン・ヘッド・クラブの国内生産量

Fig.12 Total market and domestic output of wood club in Japan

第3表 チタン・ゴルフクラブ・ヘッドの製造工程と使用合金
Table 3 Production process of titanium golf head



α -Ti alloy	Ti-10 Zr
α + β Ti alloy	Ti-4.5 Al-3 V-2 Fe-2 Mo
β -Ti alloy	Ti-15 V-3 Cr-3 Al-3 Sn, Ti-22 V-4 Al, Ti-20 V-4 Al-1 Sn

4-9 車椅子

昨年国際福祉機器展が日本で開催され、全チタン製または一部部品にチタンを使用している車椅子が展示された。高齢化社会に向けて、家庭介護とリハビリテーションのための設備に対する需要が増大するに違いないが、これらに対してチタンが軽量のために取扱いが容易で、消毒薬に対する耐性があるのでよく利用されるようになるであろう。軽量化のために高強度合金が使用される。

4-10 医用・歯科用生体材料

チタンは生体に対して不活性であるということで歯根や人工骨や生体埋め込み機器の材料として広く利用されている。従来、工業的純チタンやELI-Ti-6 Al-4 V合金が主として利用されてきた。最近では骨の弾性率に近づけたチタン合金が開発研究の対象になってきている。

合金元素のAlやVの有害性が懸念されているが、表面に生成する安定なチタン酸化物による被覆効果を上げて安全性を強調する向きもある。一方、これらに変わる合金元素としてFe、Nbなどを添加したチタン合金も開発されてきた。また最近、生体内で生成する活性酸素がチタンを腐食するという現象が報告された。ただし、これまでの知見ではチタン・イオンの有害性はほかの金属イオンのそれに比べて格段に低いと考えられている。

4-11 高純度チタン

通常の工業用純チタンは数百ppmの酸素、鉄等の不純物を含むが、半導体集積回路のスパッタ材など電子材料とし

技術解説

ではアルカリ金属、重金属、放射性金属が嫌われ、これらの元素を極力除去したシックス・ナインの高純度チタンが要求される。その製造プロセスとしてヨード法²⁰⁾や溶融塩電解法²¹⁾が開発された。ヨード法は第13図に示すように、チタン金属原料が反応炉の低温ゾーンでヨードと反応して、ヨウ化チタンを生成し、そのヨウ化物が炉の高温端において分解して、極めて純粋なチタン金属結晶を生ずるというプロセスである。この反応サイクルの間に不純物は分溜によって排除されるので、シックス・ナイン級の高純度金属が大量生産方式で製造できる。溶融塩電解法は始め溶融塩電解プロセスにて電解溶出電位の差を利用して電気分解により重い不純元素を排除し、ついで電子ビーム溶解にかけ、軽い不純物をを除く方法である。

5. 今後の開発課題

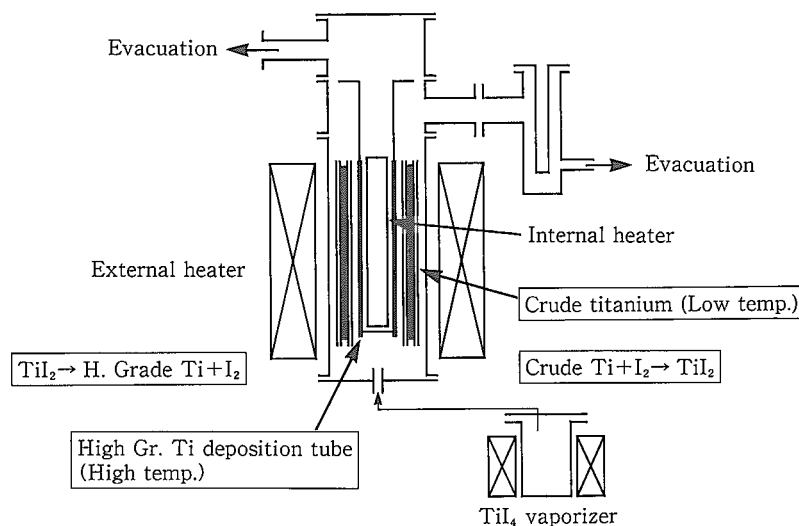
日本のチタン市場は欧米とは異なり、世界的にはチタンの一大市場である航空宇宙と軍需産業は少なく、プラント材料や民生用耐久消費財がほとんどである。なかでも最近では建材、身の回り品やスポーツ用品の需要増が著しい。チタン市場を拡大させるために、絶えずチタンの新しい民需市場を発掘するとともに現存する市場を助成することが必要である。今後日本でチタンの新しい需要を生み出すと期待される市場は既開発分野に加えて、自動車、海洋構造物、食品工業、医用品、歯科用品、漁業、都市用海水淡水化設

備、廃水廃ガス処理などであろう。新しく開発されつつある市場セグメントには高品質を要求される従来の宇宙航空用耐熱合金よりも、需要の要求に対して過不足のない適正性能を持ち、かつ、製造コストや組立コストを含めて安くなるような新合金が必要とされる。

低コストの製品を製造する方法として注目されるのはニヤ・ネット・シェープによる歩留りの向上が期待される粉末焼結技術である。

チタン・スポンジの製造はコスト競争で現在クロール法のみ生き残り、製造設備の大型化などいろいろな合理化努力によって、電力原単位などコスト・ダウンは相当図られてきたが、一層のコストの低減を狙って、チタン還元プロセスとインゴット casting までの連続化が大きな課題である。更に角型スラブの連続 casting ができれば歩留りと生産性の向上がはかられ、製造コストへの影響は著しいであろう。我が国ではミネルバ計画²²⁾というスポンジ・メーカーの共同研究で連続プロセスへの検討がなされている。また、大学においても同様の研究が続けられている²³⁾。一方、米国においてもチタン製造業界が DOE や ASM の支援を受けて、この問題に対するワークショップが開催されることになっている。

また、消費量が増加するにつれてスクラップの回収利用が問題となるであろうが、合金開発時にコストダウンに繋がるようなスクラップの再利用を考えて置く必要がある。米国においては航空機用などチタン合金の使用量が多く、



An example of impurity analysis of high purity titanium

Fe	Ni	Cr	Cu	Al	Na	K	U, Th
<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.2	<0.02	<0.02	<0.0001
O	N	C	H				
30	10	10	5	(ppm)			

第13図 高純度チタン(ヨード法と不純物分析結果)

Fig.13 High purity titanium (Iodide process and impurity analysis)

かつ、スクラップの発生量が多いので、スクラップ溶解に適した大規模な電子ビーム溶解炉が稼働しており、更に次々に建設されている。角型インゴットが生産できる電子ビーム炉は真空アーク炉の丸型インゴットと異なり、圧延コストの低減ができる利点がある。我が国では今のところスクラップは真空アーク炉の溶解原料としてスポンジとともに利用したり、米国の電子ビーム溶解炉でスラブ化したりしているが、我が国としてもチタン生産が増加するに連れて、コスト・ダウンのためのスクラップ処理法を考えねばならない。

謝 辞

著者はいろいろの文献、資料その他の情報を利用させていただいた厚生省 斉藤和幸氏、株式会社東陽理化学研究所 吉原祐氏、セイコーエプソン株式会社 米倉秀夫氏、

シチズン時計株式会社 串田八郎氏、福井県眼鏡工業組合 大橋巧氏、三造メタル株式会社 茅根美治氏、服部セイコー株式会社 神戸庸介氏、株式会社遠藤製作所 小林健治氏、社団法人日本ゴルフ用品協会 木田旭氏、株式会社ミズノ 寺西幸弘氏、社団法人日本チタン協会 北岡一泰氏に感謝の意を表します。



諸石大司/Taishi Moroishi

総合技術研究所 顧問
工博

(問合せ先：06(401)6201)

参考文献

- 1) '金属チタン・日本チタン協会統計' 及び '1996 年チタン展伸材国内向用途別出荷実績', チタン, **45**(2), 143-145, (1996), 原資料を著者が編集した。
- 2) 志村勝: 'チタンの生産と需要の動向', 機械技術, **42**(12), 18-22, (1994), 一部著者が資料追加した。
- 3) 山田真: '日本で開発されたチタン合金', チタン, **43**(1), 11-13, (1995)
- 4) 佐藤史郎: 'コンデンサーチューブの材料変遷とチタン管の今後の課題' チタニウム・ジルコニウム, **42**(3), 111-119, (1994)
- 5) 金子照男: '95 実用化の進むチタン建材・その 7', チタン, **44**(4), 254-257, (1996)
- 6) 押山道夫: 'カメラ外装材への工業用純チタン材の適用', チタニウム・ジルコニウム, **42**(3), 81-87, (1994)
- 7) 速水寧人: 'チタンとカメラ', 金属, **66**(1), 65-69, (1996)
- 8) 吉田修, 成田和由: '東京湾横断道路', 溶接学会誌, **60**(8), 656-66, (1991)
- 9) 高橋康雄, 松岡和己, 大八木亮太郎, 杉本広憲, 岡田稔, 山田通政: 'メガフロート開発におけるチタン適用研究', チタン, **44**(4), 235-240, (1996)
- 10) 砂川貞治: 'チタン製養殖用いけす(その 2)', チタニウム・ジルコニウム, **42**(3), 89-96, (1994)
- 11) 虫明守行: 'ギャラン(三菱自動車)エンジンにチタン合金(チタン合金製バルブスプリングリテーナの開発)', チタニウム・ジルコニウム, **38**(2), 123-125, (1990)
- 12) 松原敏彦: '快削チタン合金コネクティングロッドの開発', チタニウム・ジルコニウム, **39**(4), 175-184, (1991)
- 13) W. Takahashi, T. Nagata, M. Okada, Y. Shida and T. Kuwayama: 'Development of High-Performance Titanium Alloys for Automobile Use', Sumitomo Search, No. 52, 59-66, (1993)
- 14) 斎藤卓: '自動車用としての低コストチタン基材料/チタンにおける低コスト化材料学の可能性を探る', 「チタン」フォーラム調査研究成果報告書, 日本鉄鋼協会, 160-164, (1996)
- 15) '平成 3 年度家庭用品に係る健康被害病院モニター報告', 厚生省生活衛生局企画課, 生活化学安全対策室, 平成 4 年 12 月, 原資料を著者が編集した。
- 16) 山根英朝生, 串田八郎, 池田俊二, 青木昭雄: '耐メタルアレルギー腕時計素材について', 日本時計学会誌, No.144, 1-13, (1993)
- 17) 串田八郎: '腕時計外装とチタン', チタン, **43**(2), 73-76, (1995)
- 18) 白石博章, 有本伸弘, 森盛: 'ガスアトマイズ法によるチタン粉末製造技術', チタニウム・ジルコニウム, **42**(4), 252-255, (1994)
- 19) 斎藤昇一: '福井のめがねとチタン', チタニウム・ジルコニウム, **39**(1), 9-11, (1991)
- 20) 吉村泰徳: '住友シチックスの高純度チタン製造(新ヨウ化物法)', チタン, **44**(2), 71-73(1996)
- 21) 新藤裕一郎, 山口峻一郎, 嶋本晋: 'J-エナジーの高純度チタンの製造' チタン, **44**(2), 74-76(1996)
- 22) 小笠原忠司: 'チタン連続製錬プロセスの開発', チタン, **43**(4), 261-264, (1995)
- 23) 小野勝敏, 出浦哲史, 鈴木亮輔: 'TiCl₄ガスインジェクションチタン精錬', 製鋼第 19 委員会反応プロセス研究会資料, 日本学術振興会, 1-10, (1997)