車椅子材料としての軽金属—主にチタンについて

池田 勝彦*・加藤 浩史**

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 51, No. 5 (2001), pp. 290-296

Light metals for wheelchair, especially titanium

Masahiko IKEDA* and Hiroshi KATO**

Keywords: welfare goods, wheel chair, light metals, light weight, titanium

1. はじめに

厚生労働省のホームページ¹⁾に、各種統計を表およびグラフで提供するページがある。その中に、年次別に年齢層を3段階に分け、1999年までの統計値および2000年以降の予想値の絶対値およびそれらの百分率表示した表が掲載されている。これを図化すると図1のようになる。2020年には、65歳以上の人口が約3000万人、総人口の27%に達し、少子化の影響も受け、2050年には30%となる。同年には、14歳以下の人口は約1000万人となり、労働年齢とされる15~64歳の人口も6000万人程度となる。さらに継続的に少子化が進めば、64歳以下の人口はさらに減少することになる。また、2000年以降の予想人口の年齢分布については公表されていないが、15~64歳の範囲でも各年齢別にその人口を取り、年齢ごとの人口分布を考えると、高齢者側に人口の極大があると容易に予想できる。少子高齢化は介護を必要とする高齢者の増加はもちろん、介護する側（介助者）の高齢化も進むことになる。これを「老老介護」という表現でいろいろなメディアで取上げられている。介護用具を含む福祉用具は使用者に対して「やさしく」なければならない。つまり、介護用具の場合、介護を受ける人に「やさしい」のは当然であるが、介護する人にとっても「やさしく」なければならない。このように福祉用具に対する認識は、年々高まりつつあり、また福祉用具のマーケットも拡大しつつあると言える。

このような社会状況を踏まえて、経済産業省の中に介護用具を含む福祉用具に対する懇談会が設置され、積極的に検討が行われている²⁾。また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の医療・福祉機器関連事業として、福祉用具実用化開発推進事業やウェルフェアテクノシステム関連事業として助成を行っている³⁾。

厚生労働省においても、その傘下にある財団法人テクノエイド協会（昭和62年設立）⁴⁾が、福祉用具の研究開発等の推進、福祉用具の試験評価、情報の収集および提供ならびに義肢装具士や福祉用具プランナーの養成等を通じ、障害者および高齢者の福祉増進に寄与することを目的として設立されている。

図1 年齢3区分による総人口、将来推計人口および構成割合の年次による変化¹⁾

る。この設立目的を達成するために、福祉用具の研究・開発に長寿社会福祉年金を原資として活発な助成活動も行っている⁴⁾。

文部科学省でも、理科教育および産業教育審議会の答申を受けて専門高校に「福祉」科を設置することを決定⁵⁾し、既存の大学でも「福祉」系学科が数多く創設されている。

このように、日本の少子高齢化に向けた福祉用具に関する研究・開発は産官学を問わず活性化しつつある。

2. 車椅子について

介護用具を含めて福祉用具を考えると、車椅子を思い浮かべる方が多いと思う。また、車椅子は介護保険法の第7条および厚生省老企34号「介護保険の給付対象となる福祉用具および住宅改修の取扱いについて」（平成12年1月31日）で、介護保険により貸与される用具として定められている¹⁾。

車椅子を大別すると、1)自走用標準型車椅子、2)普通型電動車椅子、3)介護用標準車椅子となる。1)と3)とは基本構成は同じであるが、前者は車椅子を使用する人が自力によって動作するためハンドリムが装着されている。しかし、後者は介助者によって動作させるために基本的にはそのリムがな

* 関西大学工学部材料工学科（〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35）。Department of Materials Science & Engineering, Kansai University (3-3-35 Yamate-cho, Suita-shi, Osaka 564-8680)。

** ㈱ティグ（〒578-0905 大阪府東大阪市川田 4-1-30）。TiG Co., Ltd. (4-1-30 Kawata, Higashi-Osaka-shi, Osaka 578-0905)。

受理日：平成13年2月7日

図2 介助用車椅子

く、介助者側にブレーキが取り付けられている。当然、自走用車椅子を介護用車椅子と共用型にするのは容易である。

次に、財テクノエイド協会のホーム・ページ (HP) の資料を再録しながら、もう少し詳しく車椅子の分類と簡単な説明をする⁴⁾。表1に財テクノエイド協会のHPに掲載されている車椅子の分類を示す⁴⁾。これらの内、重要であると思われるものについて以下に述べる。

介助用車椅子 (図2)；移動に必要な操作を介助者が行う車椅子。国産品では軽量・収納性を目的にしているものが多い。自操式を共用することがあるが、介助専用では通常、ハンドリムはなく、軽量性を重んじる場合には小さな車輪を使用する。介助者用のグリップの部分にブレーキレバーが付いていることが多い。

さらに、介助用車椅子を分類すると次のようになる。

(1) 自操できないタイプ；車輪まで手が届かない程度に車輪径が小さいか後方にあり、本人が車椅子の操作はできない。我が国独特のタイプ。

(2) 自操用車椅子に介助者用グリップをつけたタイプ；段差越えや乗り心地の点で「自操できないタイプ」に比べ有意だが、重量や大きさの点では大きくなる。本人の上肢の力で車輪をわずかにでも回すことができれば、屋内での短い走行や方向転換程度は可能となる。

(3) 姿勢変換機能がついているタイプ；姿勢変換や移乗介助がしやすいように、各部の調整が簡単にでき、脱着できる部分が多い。

後輪駆動式車椅子 (図3)；一般的に言われている車椅子は、この種のものを指していることが多い。乗車している者が自らの力で操作し、移動するために用いられる車椅子。自走式車椅子と表現されることもある。介助用として使用されることも多い。

後輪駆動式車椅子 (6輪車椅子, 図4)；車椅子にとって、日本家屋の特徴である有効幅が狭い廊下や出入口の敷居の

表1 車椅子の分類とそれらの英文名⁴⁾

分類名	英文名
1 介護用車椅子	Manual attendant-controlled wheelchairs
2 後輪駆動式車椅子 (6輪車椅子を含む)	Bimanual rear-wheeled-driven wheelchairs
3 前輪駆動式車椅子	Bimanual front-wheeled driven wheelchairs
4 両手レバー駆動式車椅子	Bimanual lever-driven wheelchairs
5 片手駆動式車椅子	Single side driven non-powered wheelchairs
6 足駆動式車椅子	Foot-driven wheelchairs
7 電動介助用車椅子 (駆動ユニットのみも含む)	Powered attendant-controlled wheelchairs
8 電動三輪車 電動四輪車	Electric-motor-driven wheelchairs with manual steering
9 電動車椅子 (折りたたみ式, 簡易型, 室内用, 電動リクライニング, 座席昇降機付き, 補助動力付き等を含む)	Electric-motor-driven wheelchairs with powered steering
10 原動機付き車椅子	Combustion-motor-driven wheelchairs
11 モジュラ車椅子	Wheelchair systems
12 姿勢変換機能付き車椅子	Wheelchairs with the variable posture mechanisms
13 起立移動車	Standing mobility devices

1~2 cm の段差は大きな問題である。この問題を解決するための車椅子として開発された。駆動輪位置が通常的車椅子よ

図3 後輪駆動式車椅子

図4 後輪駆動式車椅子 (6輪車椅子)

図6 電動介助用車椅子 (駆動ユニットのみ)

図5 電動介助用車椅子 (組込み式)

り前方にあるので、車輪の駆動範囲が広く、こぎやすい。また、方向転換するとき回転軸が身体に近い位置にあるため、曲がり角でもスムーズに回ることができる。後方に加重することで前部の自在輪(キャスト)がゆっくり挙上し(ウィリー)、1~2 cmの段差が上がりやすい。後部のキャストが接地しているため転倒する心配はない。

電動介助用車椅子(図5および図6); 介助用車椅子を電動化し、介助者の操作で走行できるようにしたもの。急な坂道やスロープ、長距離、介護者の介護力不足などの理由で、十分な操作量が期待できないときに用いる。車椅子に組込まれて販売されるものと、駆動ユニットとして部品の形で供給され、任意の車椅子を改造すれば組込み可能なものがある。後者は強度面で適応しない車種もある。

操作方式からは以下の3種類に分類される。

- (1) ジョイスティック・コントロール・タイプ; 電動車椅

図7 電動車椅子

子に用いられるジョイスティックを後方の介助ハンドル部に取付けたタイプ。直進だけでなく、左右旋回も電動で行えるように左右2個のモータを備える。

- (2) 直進補助タイプ; 主に直進だけを電動化しており、電動駆動を行うときにスイッチを押す。左右旋回は手動で行う。

- (3) 負荷補助タイプ; 普段は手動で走行するが、坂道などの負荷が増加したときのみ負荷に応じて電動で補助するタイプ。介助ハンドル部に強い負荷がかかった場合にのみ自動的にスイッチが入る構造を持つ。

電動車椅子(図7); 電動車椅子は、下肢だけでなく上肢にも障害を持つ人を対象として開発されたもので、ジョイスティックレバーなどの操縦装置を使って、小さい力で、かつ簡単な操作で操縦できるように工夫されている。

走行機構で分類すると次のようになる。

- (1) 後輪駆動タイプ; 左右の後輪のそれぞれに走行用モータが付いており、前輪2輪は自在輪(キャスト)になっているタイプ。操舵は左右の走行用モータの回転方向および出力を変えることによって行う。

- (2) パワーステアリングタイプ; 前輪の操舵専用のモータを使い、前輪の向きを変えることによって操舵するタイプ。

- (3) 前輪駆動タイプ; 左右前輪に走行用モータを取付けるタイプ。一般的にパワーステアリング機構も付いている。

モジュラ車椅子(図8); 部品の組替えができ、車輪やシートの位置を調整できるフレームをベースとした車椅子。

システムの組み方によって、別の種類に変更できる。車椅子全体のデザインが決まっており、車椅子各部の選択寸法を一定間隔ごとに選択して、身体寸法に合せようとするものである。納期が早く、製品を入手した後でも、座幅以外の各部

図8 モジュラ車椅子

の寸法調整ができるものが多い。海外の車椅子は、この種のものが多い。前述のように介護保険法で車椅子は貸与用具と定められたことにより、日本でもこのモジュラ車椅子の生産が多くなると予想されている。

車椅子が必要とする特性を上げてみると、

- (1) 丈夫であること（壊れにくい）
- (2) 軽量であること
- (3) 安価であること
- (4) 座り心地がよいこと
- (5) 修理、改造が可能で容易であること
- (6) オシャレであること

等となるであろう。

次に、上述した特性について簡単に説明する。

丈夫であること；日常生活での使用が目的である用具であるので、頻繁に故障などが生じることは極力さける構造にすべきである。故障には構成要素による故障と構造そのものによる故障が考えられる。たとえば、構成要素であれば、稼動部のベアリングなどの損傷などによる故障、構造による場合はフレームなどの溶接部の割れなどが挙げられる。また、使用環境からの影響で損傷を受け故障する場合もある。たとえば、使用者が沿岸部で生活している場合、塩害によりフレームなどが腐食することがある。また、塩害としては、寒冷地での融雪材や比較的气温の高い地域での汗等による場合も考慮すべきである。

軽量であること；使用者本人の負担軽減、介護者、介助者への負担軽減という点で重要なテーマである。使用者本人にとって、小さな力で動作させるためには、当然車椅子は軽量であるべきである。実際に介護・介助を行う方々は、女性や高齢者の方が多く、車椅子の自動車等への積み込み・積み出しや段差（玄関の敷居など）の乗越え等で持上げる場合が多々あり、車椅子の荷重が介護・介助者の負担になる。この点からも車椅子の軽量化は重要である。

安価であること；車椅子は障害者の方からみれば医療器具（補装具）であるため基本的には地方公共団体から支給（助成）される場合が多々ある（5年に1台というのが一般的である）。もちろん、障害の程度や地方公共団体の制度などにより交付される金額は異なるが、通常約11万円程度が支給さ

れる。それを超える金額の車椅子を希望する場合、その差額は自己負担となる。また、地方公共団体によっては上限金額を越える車椅子には助成しない場合もある。つまり、特性のよい材料を用いて作製された車椅子でも、その金額によっては差額の自己負担や非助成対象となる。さらに、前述したように介護保険法では、車椅子は貸与介護用具に含まれ、使用者は貸与額の1割負担が義務付けられている。この状況が車椅子用の新材料開発に、克服が困難なハードルを課していると言える。

座り心地がよいこと；「座り心地のよい車椅子」とは「使用者が疲れにくい車椅子」と言換えてもよいかもしれない。「疲れ」の原因のうち大きな要因として挙げられるものは、振動による疲労の蓄積である。路面の凹凸などが使用者（搭乗者）に伝わるまでに「タイヤ」、「フレーム」、「シート類」、「クッション」という順に振動が伝達すると考えられる。通常、車椅子設計者にとって、「タイヤで振動を吸収させる」と考えることが一般的である。しかし、タイヤによる振動吸収を考えた場合、タイヤを太くすることになる。タイヤの重量は意外に重く、通常製品で1本約500～700gである。また、軽量タイヤ（細身）でも約250～350gの重量がある。全体の軽量化、こぎ出しの軽さや旋回性などの運動性能からみても、タイヤを軽量化することは必須項目であるといえる。しかし、タイヤの軽量化（つまり、細くすること）は、振動吸収能の低下を招くことになる。これを補うためにフレームで衝撃吸収する機構、つまりサスペンション（衝撃緩衝装置）を取付ける場合がある。しかしこの装置が重く、かえって車椅子重量を大きくするという矛盾が生じる。つまり、フレーム素材自体の弾性率が低く、高い振動吸収能を持つ材料が必要となることを意味している。

修理、改造が可能で容易であること；修理・改造のできない車椅子は「車椅子」でないとと言っても過言ではない。必ず修理・改造は行われると考えなければならない。特に、障害者用車椅子の場合、体形の変化や障害の治癒および進行に対応する必要がある、その都度新規に車椅子を製造することは経済的にも不可能であるといえる。また、車椅子の交付は5年ごとが通常である。これらの事情から、前述した体形変化や治癒・進行による車椅子の仕様変更が生じた場合は、使用中の車椅子を改造して対応させる必要がある。つまり、車椅子、特にフレームなどに使用される材料は溶接や切断、穴あけなどの機械加工が可能な材料である必要がある。

オシャレであること；現在、バリアフリー化が積極的に推進されており、障害者の方々（高齢者の方も含めて）が活発に活動できるような体制になりつつある。その活動手段の一翼を担う車椅子も医療・介護器具から脱皮する時期が到来したと言え、自転車、自動車のようにユーザが使いたいという（機能性だけでなく）気持ちにさせるデザインやカラーリングが必要である。たとえば、人気タレントが車椅子を使用して話題だったドラマが放映されたとき、その車椅子の購入希望者が殺到したという話もある。また、障害を持つ子供達の施設の作業療法士の方々にうかがうと、障害を持つ子供達とそのご両親も「かわいい」車椅子を希望しているということである。車椅子も「Transportation system」の一つとして、使用者が希望するデザインを考える必要がある。

3. 車椅子材料としての軽金属、チタンを中心に

前章で車椅子の種類とそれが必要とする特性について説明した。本章では、この解説の目的である軽金属の車椅子への応用について話を進めることにする。ただし、製造メーカーのノウハウが多いため、これらの資料は多いとは言えない。また、筆者らが収集できた資料がチタンに限られたため、内容がチタンに偏っている点はあらかじめご了承ください。

前章で説明した車椅子が必要とする特性をチタンの特性と関連付けて述べてみる。

(1) 丈夫であること（壊れにくい）

使用環境が沿岸地域や、使用者の汗などを考えた場合、鋼にくらべ、純チタンの耐塩水腐食性が非常に優れているので、チタン製車椅子は塩水による腐食が原因となる破壊を考慮する必要はない。フレームを構成する純チタンパイプの接合には TIG 溶接が用いられ、その溶接技術は確立されている（ノウハウのため公表されないが）ため、接合強度として

鋼パイプのそれらと遜色ないといえる。また、TIG 溶接でなく、より取扱いの容易な抵抗溶接法についても検討が進められている⁶⁾。

(2) 軽量であること

現在使用されている鋼およびステンレス鋼フレームの車椅子の重量は約14～16 kg であり、軽量を目指したアルミニウム合金フレーム（主に7003系アルミニウム合金が使用されている）でも、軽量のもので約11 kg、通常のもので約12～13 kg である。チタンフレームでは、通常使用の車椅子で10 kg 程度のものが生産されており、最軽量では約8.5 kg の車椅子も製造されている。図9に最軽量（約8.5 kg）の純チタン製一般用車椅子の例を示しておく。このように他の材料と比べて軽量化が容易なのは、チタンの優れた比強度に起因している。ただし、オールチタンフレームは過剰品質であると考えられ、強度が重要視される箇所のみにチタンを使用し、強度

図9 純チタン製車椅子（重量8.5 kg）

図11 陽極酸化電圧とチタン酸化皮膜の厚さおよび干渉色¹⁷⁾

図10 チタン着色の工程¹⁷⁾

図12 陽極酸化により着色したハンドリム

があまり重視されない部分にはアルミニウム合金等が使用されている。軽量化は被介護者の安全はもちろんであるが、介助者（介護者）の安全を目指す上で重要である。ただ、軽量化であるがゆえの問題もある。たとえば、従来のステンレス鋼フレーム車椅子では、車椅子それ自身の重量で、使用者が搭乗した場合でも、その重心は比較的低い位置にあるが、チタンフレームの車椅子が従来のデザインで製造された場合、重心位置が高くなり、搭乗者にとって転倒などの危険性が高まる。フレームが軽量化であるがゆえ、フレームデザインを変更する必要がある。事実、チタン製車椅子メーカーでは、この点を考慮したフレームデザインをしている⁶⁾。

(3) 安価であること

チタンを使用する上では、非常に困難な問題ではあるが、車椅子などの民生品にまで使用拡大するには避けることができない課題でもある。アルミニウム合金フレーム車椅子の価格をホームページ等で調査してみると、80,000円台が主流のようである。チタンで主要部を製造した車椅子でも130,000円ほどの価格となり、金属部分をすべてチタンで製造した場合、200,000円ほどの価格となる。このように価格では、アルミニウムフレームの車椅子との競争は不可能であると言える。現在チタン製車椅子のほとんどは工業用純チタン（JIS 2種相当、引張強さ約500 MPa）を使用している。もちろん、現在流通している素材を使用している。種別により、若干価格も異なるであろうが、1 kg 当たりの価格は2000～3000円程度である⁷⁾。7000系アルミニウム合金の価格はその系および形状によっても異なると考えられるが、600～1000円程度であろう。チタンの材料コストはアルミニウム合金の約2～3倍となっている。この材料コストがそのまま車椅子の価格の下限を決定しているといえる。

現在、一般的に使用されている工業用純チタンは高純度スポンジチタンを使用し、厳重な品質管理の基に製造されている。このような高品質の純チタンを車椅子のフレーム材料として用いる必要があるかどうか問題となる。つまり、過剰品質な素材を使用していることになる。しかし、車椅子のフレームには粗悪な素材でよいといっているのではない。車椅子に必要な安全率（強度面だけでなく、耐食性なども含めて）をクリアするのに必要な素材品質にするということである。現在、それを行うことができるほどチタン素材の種別はない。つまり限定された高品位な素材しか選ぶことができないということが問題である。

非常に極端な言い方だが、価格が安く、用途の見込みがあるのであれば、「汚い」純チタンを製造することも可能であろう。その手段はいろいろあると思われるが、たとえば、低品位であるが安価なスポンジチタンを輸入する、また、海外からチタンスクラップを購入し、再溶解して純チタンを製造することも可能であろう⁸⁾。もちろん、そのようにして製造された純チタンが車椅子のフレーム材として必要とされる特性を維持していることは当然ではあるが、航空機や原子力発電所の熱交換器用パイプほどの品質は必要ではないと思う。つまり、適材を適所に応用するための、適材作りが必要であり、その特性のなかでも低コストが重要である。

(4) 座り心地がよいこと

座り心地は弾性率と振動吸収能に依存することはすでに述べた。素材の振動吸収能は内部摩擦を測定する必要がある。

数値そのものは示さないが、ステンレス鋼、アルミニウム合金および純チタンで振動吸収能が大きく変化するとは考えがたい⁹⁾。ここでは各材料の弾性率（ヤング率）での比較を試みる。ステンレス鋼（SUS304）の弾性率は193 GPa¹⁰⁾、7000系アルミニウム合金（7003）では、72 GPa¹¹⁾、工業用純チタンでは105 GPa¹²⁾程度である。工業用純チタンはステンレス鋼の約1/2程度の弾性率であり、アルミニウム合金のそれより若干高い値を持つ。弾性率が直接、振動吸収の「良し悪し」を決定するとは言えないが、弾性率の低い素材を使用し、適当なフレーム構造を採用すれば、鋼のような弾性率の高い、つまり同じ負荷状態でも変形量の少ない素材を使用する場合より搭乗者が受ける振動は軽減できると考えられる。

(5) 修理、改造が可能で容易であること

修理および改造は溶接作業を伴うとして、溶接性について考えることにする。工業用純チタンを取扱う場合、その溶接性はオーステナイト系ステンレス鋼やアルミニウム合金の溶接性とほぼ同程度であることは知られている¹³⁾。また、純チタン焼なまし材を使用している場合は溶接後の熱処理等の後処理は不要である¹⁴⁾。溶接後の後処理を必要としない点では前述の7003アルミニウム合金や7N01アルミニウム合金を使用した場合と同様であるといえる¹⁵⁾。工業用純チタンを使用することが、他の合金、たとえばアルミニウム合金を使用する場合より優れているとはいえないまでも、劣ることはない。

(6) オシャレであること

オシャレであることの必要性は前述した通りである。オシャレは車椅子の形状も重要な要因であるが、これは機能も加味した芸術性を基礎にして説明する必要がある、著者の能力を超えるものである。ここでは、純チタンの着色について述べる事にする。着色された純チタンの製品は読者の方々もよく目にされていると思う。たとえば、金属アレルギーを示さないピアスとして販売されていたりしている。

純チタンの着色は主に陽極酸化法で行われている。この発色機構は生成した酸化皮膜表面の反射光と内部反射光の干渉作用である¹⁶⁾。一般的には直流電源を用いた水溶液での陽極酸化が使用されており、電解液としてはりん酸水溶液を用いている¹⁶⁾。図10にチタン着色の行程¹⁷⁾、図11に陽極酸化電圧とチタン酸化皮膜の厚さおよび干渉色¹⁷⁾を示す。ただし、りん酸水溶液のみで作製された酸化皮膜の密着性は非常に悪い。そのため、強膜処理が行われている。たとえば、りん酸と過酸化水素の混合液を用いる方法がある¹⁶⁾。これは過酸化チタンが形成され溶液中で安定化するため、酸化皮膜の急激な成長が抑制されるためだと考えられている。その他、交流電解による方法、熔融塩を用いた熔融塩電解法もある¹⁶⁾。

酸化チタンは発色だけでなく、適当な条件で陽極酸化をさせると光触媒作用で抗菌作用が生じるアナターゼ型酸化チタンを形成させることができる¹⁸⁾。ハンドリム（図12）に陽極酸化により発色と同時に抗菌作用があるアナターゼ型酸化チタンを形成させることも可能である。これは、搭乗者が頻繁に手を触れる部分であるハンドリムが美しくかつ清潔であるということが達成できる。ただし、図11に示したようにその皮膜は極めて薄い。使用することで酸化皮膜が摩損し、色が薄くなり、最後には金属チタン色になる。この寿命をど

ここまで延ばすことができるかが一つの課題であろう。

4. おわりに

軽金属の車椅子への応用というテーマで始めたが、結果としては純チタンの応用にのみで、さらに上辺ばかりの説明になってしまった。これは著者（池田勝彦）の能力によるもので、読者の方々に対して、不十分な情報提供しかできなかったことを深く反省している。

この解説を書くに当たって、作業療養士、介護士の方々の意見を聞く機会があった。その方々のご意見を集約すると福祉用具で最も重要なことは、介護者（介助者）と被介護者との間の信頼関係がスムーズに形成されるような道具であることだといえる。

そのような介護用具を製造するための素材を開発することが重要である。

最後に、車椅子に関する解説および図面の掲載をお許しいただいた財団法人テクノエイド協会に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 厚生労働省ホームページ；www.mhlw.go.jp
- 2) 経済産業省ホームページ；www.meti.go.jp/index.html
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）ホームページ；www.nedo.go.jp
- 4) 財団法人テクノエイド協会ホームページ；www.techno-aids.or.jp
- 5) 文部科学省ホームページ；www.mext.go.jp
- 6) 小澤隆治（株式会社ティグ）：私信
- 7) 伊藤 均（日本チタン協会）：私信
- 8) M. G. H. Wells, B. Roopchand, F. H. Froes, O. N. Senkov and S. Reichman: "Evaluation of Russian titanium tank door", *Non-Aerospace application of titanium*, F. H. Froes, P. G. Allen and M. Niinomi eds., TMS, (1998), p. 305~313.
- 9) M. F. Ashby: *Materials selection in mechanical design*, Pergamon Press, (1992), p. 40.
- 10) *ASM Metals reference book*, 3rd edition, M. Baucchio ed., ASM, (1993), p. 360.
- 11) 軽金属学会編：アルミニウムの組織と性質，軽金属学会，(1991)，p. 500.
- 12) *Materials properties handbook Titanium alloys*, R. Boyer, G. Welsch and E. W. Collings eds., ASM, (1994), p. 178.
- 13) *Titanium, A technical guide*, M. J. Donachie, Jr. ed., ASM, (1988), p. 132.
- 14) 日本チタニウム協会編：チタンの加工技術，日刊工業新聞社，(1992)，p. 103.
- 15) 軽金属学会編：アルミニウムの組織と性質，軽金属学会，(1991)，p. 314.
- 16) 日本チタニウム協会編：チタンの加工技術，日刊工業新聞社，(1992)，p. 190~195.
- 17) 山口英俊，三木賢二：アルトピア，11 (1987)，41.
- 18) 安永龍哉：アナターゼ型酸化チタン膜による抗菌チタン材，「耐環境高機能チタン材料」フォーラム調査研究成果報告書，河部義邦編，(社)日本鉄鋼協会，(1999)，p. 55~58.