

TITANIUM



フジテレビ本社ビル
球体展望室

建築材料としての チタン100の質問

チタンという名称を各分野で耳にすることが多くなりました。電力・化学プラント・航空宇宙・自動車・船舶海洋・エネルギー・医療等の各分野に使用されており、用途的には、カメラボディ・時計・眼鏡フレーム・ゴルフクラブ等、私たちの身の周りにたくさんあります。また、建築の世界でも、今号で取り上げた「大阪湊町リバーブレイス」「田原町図書館」でも外壁に大量に使用されているように、チタンは外壁・屋根・手摺・モニュメントに活躍の場を広げています。その普及に伴い、我々金属工事業界でも、その機械的性質・材料特性・取扱の注意ポイントを学ぶ時期にあると考え、日本のチタンの歴史を作り、トップメーカーである神戸製鋼所を取材訪問しました。

data

(株)神戸製鋼所 鉄鋼部門チタン本部チタン技術部・担当部長

山本 喜孝

(株)神戸製鋼所 鉄鋼部門チタン本部チタン営業部・課長

村上 仁

report:(株)ハコセン/内田 吉則



山本 喜孝 氏



村上 仁 氏

チタンってなんですか？

Q 1／元素番号は？

A／22番、記号はTi、原子量47.88です。

Q 2／特性としては何が上げられますか？

A／チタンのセールスポイントは「軽い」「強い」「錆びない」です。

Q 3／どれくらい軽いですか？

A／比重4.5はアルミの2.7に及ばないものの、普通鋼(7.9)ステンレス(8.0)の60%、銅(8.9)の半分です。KS40(JIS・1種)を採用することで設計の自由度が増します(前ページ:大阪湊町リバーブレイス参照)。神社仏閣などの屋根材としても、構造補強しなくとも使用でき、今後需要が見込まれます。

Q 4／強さはどうですか(高比強度)？

A／建材に使用されるチタンは、カラー鉄板等とほぼ同じ強度です。

Q 5／溶融点は？

A／溶融点は1688度です。不燃材として国土交通大臣NMS-8596に認定されています。

Q 6／熱に対してはどうですか？

A／熱膨張係数は、 8.4×10^{-6} 乗でステンレスの半分、アルミの1/3、つまりガラス・石並です。そのため、他の素材と馴染みが良く、ゆがみが最小限に抑えられます。つまり、気温による変形が少ないので、継ぎ目等への応力集中が少くなります

Q 7／熱伝導率はどうですか？

A／熱伝導率は $17\text{W}/\text{M}\cdot\text{K}$ と小さく、ステンと同じです。だから建築物の温度保持に適しています。

Q 8／耐食性はどうですか(対海水性)？

A／耐海水性は白金並で、半永久的な寿命を持ちます。

Q 9／どうして耐食性が優れているのですか？

A／チタンの表面には 100\AA (オングストローム)以下の厚みの酸化皮膜があり、様々な環境に安定しており、絶対に錆びない金属です。

Q 10／その他にどんな特性がありますか？

A／無害なので人口骨に使われます。金属イオンが溶出しないので生物にやさしいからです。形状記憶特性・非磁性(透磁率1.0001)・水素吸蔵性・極低温特性・超伝導特性があり、短い放射能半減期に素材特性を発揮します。

Q 11／リユースはどうですか？

A／100%リサイクルされるので地球にやさしい金属です。

Q 12／自然界には、どういう形で存在するのですか？

A／砂状になっており、露天掘りしていますが、金属としては自然界に4番目に埋蔵量が多いといわれています。

Q 13／ステンレスとの違いは？

A／ステンレスで問題になる孔食・隙間腐食・応力腐食割れの心配がありません。

チタンの歴史と製造法

Q 14／いつ発見されたのですか？

A／イギリスの寺僧で鉱物学者のウイリアム・グレゴーが、1790年メカナノ海岸で採取しました。磁性のある黒色の砂の中に新しい金属元素を見つけました。そのため当初は、地名から『メカナイト』と名づけられました。

Q 15／どうして、チタンというのですか？

A／ギリシャ神話の中からオリンポスの神々との戦いに破れた巨人『タイタン』が、地底に閉じ込められたという話から、鉱石中に閉じ込められた元素という意味で言われます。

Q 16／誰が名づけたのですか？

A／最初の発見から5年後の1795年、ドイツの科学者クラプロートが、ルチル鉱(金鉱石)の成分分析の中から特異な性質を持つ酸化物と認識し名づけました。

Q 17／どうして、すぐに利用されなかったのですか？

A／工業的に、砂状からスponジ状にするための真空技術が必要でした。1954年、神戸製鋼所は、クロール博士とギルバート技師の指導を受けて、消耗電極式真空アーク溶解法を開発しました。

Q 18／最初に純粋なチタンを工業化したのは誰ですか？

A／1910年にアメリカの科学者ハンターが、99.9%のチタンの抽出に成功しました。

Q 19／実用化はいつからですか？

A／第2次大戦後の1946年「ナトリウム還元法」(ハンター法)が開発され、同時にもう一つ「マグネシウム還元法」(クロール法)が、ルクセンブルグの冶金学者クロールにより開発されました。

Q 20／今はどちらが主流ですか？

A／暫くは2製法が共存していましたが、今はクロール法が一般的です。後で説明しますが、この方法で作るとチタンはスponジ状になるので、半製品をスponジチタンと言います。

Q 21／化学式はどうなりますか？

A/ $\text{TiO}_2 + 2\text{Cl}_2 + \text{C} \rightarrow \text{TiCl}_4 + \text{CO}_2$

$\text{TiCl}_4 + 2\text{Mg} \rightarrow \text{Ti} + 2\text{MgCl}_2$

原料はほとんどがルチル鉱石です。これに塩素と炭素を加え約1000度から1100度で反応させて、中間材料の粗四塩化チタンを作ります。これは気体ですが冷まして液体に、さらに蒸留塔で精製します。その後不活性ガスで満たされた容器中に液体のマグネシウムを投入し、液体の四塩化チタンを滴下し反応させます。また、この際分離された塩化マグネシウムは、電気分解され、再び反応工程で再利用します。

Q 22／これでは、まだ製品ではないですよね？

A／その通りです。インゴットにし、その後、鍛造・圧延・鋳造等に加工していきます。

Q 23／日本での歴史は？

A／工業化が始まって50年、アメリカが最初に工業化しましたが、軍事目的が主でした。一方、日本は民生用からスタートしました。

Q 24／いろいろな物が製作可能なのですね？

A／ステンレスで出来るものは全て製造出来ます。

チタンの生産市場

Q25／中間のスponジチタンの生産はどこが主ですか？
A／日本が27,000トン（シェア24.5%）、欧州60,000トン、アメリカ20,000トン、中国3,000トンです。

Q26／展伸材はどうですか？
A／2001年度実績で日本では15,068トンが出荷されています。

Q27／どう使われますか？
A／全体の53%が輸出されています。建築用は0.5%程度しかありません。建材用として出荷数が少ないので残念です。

Q28／展伸材の具体的な出荷数量は？
A／2001年の数字ですが、15,068トンの出荷の内輸出が7,488トン、そのうち電力用が2,065トンです。PHEが2,229トン、航空機は363トンです。国内は7,580トンの内、電力1,141トン、建築土木は48トンです。

Q29／国内で何社が製造していますか？
A／14社ですが、スponジチタンが2社、チタンインゴットが6社、展伸材が10社、鍛造が3社、チタンの溶解から最終製品まで手がけられるのは、神戸製鋼だけです。

Q30／世界にどんなメーカーがありますか？
A／米にTIME T、RTI、ATI。英にTIMET、UK。独にDEUTSCHE、TITAN、伊にTITANIA、SPA。ロシアにVEMPO、VILS。カザフにTMK。ウクライナにZAPOROZHYE。中国にBAOJIがあります。

Q31／日本のメーカーの実力は？
A／純チタンは日本が最高技術を持っています。

Q32／どれくらいの大きさまでが製作可能ですか？
A／厚さ0.3mm～200mmまで。長さ2000mm～7000mm。板厚によって異なりますが板巾1219～1524mmまで。

Q33／標準仕様は？
A／表面はJIS・NO1仕上げ、酸洗い仕上げが標準です。端面は厚板切断のまま。薄板はシャー切断。16mm以下はシャー切断可能です。

Q34／板の標準品は？
A／0.3～50mmです。

Q35／高くないですか？
A／ステンレスの約10倍しますが、比重が半分なので、単価で約5～6倍、しかし塗装が不要・メンテ不用で、長期的には同価格になります。

建材としてのチタン

Q36／日本では建材としていつから使われましたか？
A／1973年からですが、本格的には1984年からです。

Q37／2001年までに建材用にどれくらい使われましたか？
A／屋根:278件・1403.5トン、外壁:129件・626.5トン、その他159件・124.3トン、モニュメント・手摺・防水下地・滑雪板・箱文字は案件対応なので、大きな案件がある年と、ない年とばらつきがあり、ならせば1%にも満ちません。

Q38／世界で最初に使われたのは？
A／1979年にアテネの「パルテノン神殿」の耐食補強材として7トンが使われました。

Q39／世界で最初に外壁パネル使われたのは？
A／1997年にスペインのビルバオの「グッテンハイム美術館」で使われたのが本格採用の第1号です。

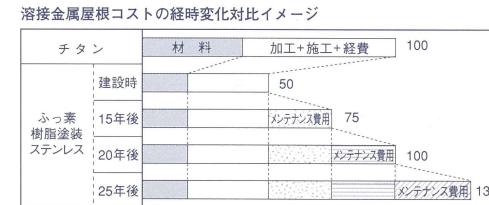
Q40／今後の見通しはどうですか？
A／世界中で大型案件が計画されています。アブダビでは1000トン近く使う計画があります。これは過去7年間の日本の建設関係への出荷量に匹敵します。

Q41／建設材料としての消費は？
A／建設用は純チタンが使われます。AP（焼鈍酸洗）材を薦めています。屋根にはJIS・1種（引張り強度270～410N/mm）を薦めています。

Q42／合金よりも純チタンが使われる原因是なぜですか？
A／成形性に優れているからです。主にKS40（JIS1種）が採用されています。ただ、神戸製鋼では建材用として、各種特許に基づき、設計要求に対しオリジナルの特別処理をします。

Q43／我々が通常知っているメガネのチタン、ゴルフクラブのチタンと同じですか？
A／これらはチタン合金です。ものすごく種類があります。

Q44／ステンレスとの比較、優位性はどういうところですか？
A／



機械的性質と意匠性

Q45／原版の表面仕上げは？
A／ブライト仕上げは金属光沢があります。ダル仕上げはつや消しの銀白色です。ソルト酸洗いをします。

Q46／2次仕上げは？
A／ヘアライン仕上げは長く連続した研磨目がありますが、150～240番の研磨ベルトで研磨します。鏡面仕上げはバフ研磨・電解研磨で行ないます。プラスチック仕上げは直径50～500μmのガラス粒・アルミナ粒で梨地状に。エンボス仕上げはエッチングまたはエンボスロールまたはエンボス金型で。凸凹の浮き出しエッチングは、耐酸性塗料であらかじめ模様を書き硝フッ素酸で腐食させます。

Q47／発色はできますか？
A／一般的には陽極酸化法を使ったカラー発色が実用化されています。チタン表面の酸化皮膜からの反射光と、酸化皮膜を通して、酸化皮膜とチタンの界面で反射した内部反射光との干渉作用によります。

Q48／何色が出るのですか？
A／白、黒、真っ赤以外は可能です。

Q49／どうして色がつくのですか？
A／チタンの表面は、空気または水と接触することにより、酸化皮膜が形成されます。この皮膜は透明であるために、皮膜の厚みと光の色の波長により、光の干渉効果をもたらし、色がついて見えます。この現象を、工業的に応用しカラーチタンとして商品化しています。

Q50／基本は何色ですか？
A／通常の安定した状態では、100オングストローク以下と非常に薄いため、銀白色に見えます。

Q51／他の金属との違いは？
A／キャス試験でも2000時間過ぎても孔食が起りません。

建材用チタンの最新技術について

Q52／AP仕上げってなんですか？
A／APライン（Annealing & Pickling）焼鈍・酸洗いラインで製造されます。

Q53／どこで開発したのですか？
A／神戸製鋼の技術です。

Q54／どんな特性があるのですか？

A／清浄な外観と低光沢な素地になります。したがって反射公害を防ぎます。光沢度制御技術による均一な色調を計画できます。さらにポケットウエーブ抑制技術による凸凹の少ない施工仕上がりが期待できます。変色しにくい素材表面が実現しました。

Q55／このAP材は2次加工はできますか？

A／勿論できます。発色・エンボス・ヘアーライン・プラスチック・研磨など。

Q56／どうしてVA材でなく、AP材なのですか？

A／酸化皮膜の炭素による汚染は、真空焼鈍前に除去できなかった圧延油が、焼鈍時に拡散した結果です。これを特許3255610号で酸洗いました。

Q57／建材用の出荷の傾向は？

A／日本では低光沢が好まれます。

Q58／光沢度制御技術とはなんですか？

A／神戸製鋼が1994年にAPラインで技術を確立し、特許第3253288を取得しました。

Q59／光沢度について詳しく教えてください？

A／結晶粒の大きさと表面粗度により、光の反射率が変わり、光沢度が高い（表面が滑らか）と、板全体が黒っぽく、光沢度が低いと（表面が粗い）と、板は白っぽく見えます。これを制御することにより、色調を整え、好みの反射率の設計が可能になります。

Q60／どれくらい低光沢ができますか？

A／AP材で光源から60度の角度の光沢度は20%までコントロールできます。

Q61／どういうメリットがありますか？

A／反射公害を防ぎます。かつてあったような色むらや、経年経過による黄変の心配がなくなりました。

Q62／先程の「ポケットウエーブ技術」とはなんですか？

A／ポケットウエーブとは、ロールフォーミングによって生じた残留圧縮応力が、素材の耐力を超えると起こります。いわゆるベコベコの状態です。ミクロ顕微鏡で見ると結晶粒が粗くランダムに壊れています。

Q63／これも新技術ですか？

A／1987年に開発し、特許第1774211を取りました。「東京国立博物館・平成館」の屋根は0.4（AP材）アルミニナプラスチック板ですが、きれいに仕上がっています。

チタンの加工について (JIS H4600 1種OR2種)

Q65／曲げ加工はどうですか？

A／V曲げ・U曲げ・端曲げ・波曲げなど、ほとんどの加工が可能です。

Q66／スプリングバックは？

A／力を加えて曲げた後、力を除くと弾力性のため形状が戻ろうとする過剰変形が必要です。90度Vを要求するなら87~88度Vに設定する必要があります。

Q67／コーナーRはシャープに曲がりますか？

A／薄板1~3mmの板をパネルにする時でも殆どノッチ加工をする必要がありませんが、ノッチ加工をしてシャープな曲がりにする場合もあります。

Q68／曲げ方向は？

A／L曲げよりもT曲げの方が優れています。

Q69／長物の加工は？

A／ロールによる連続加工も可能です。ただスプリングバックが大きいので、アルミやステンレス以上にロール段数を増やす必要があります。

Q70／穴あけはどうですか(切削加工)？

A／ステンレスとほとんど変わりません。

Q71／切削加工の注意は？

A／焼付けが起る場合があります。それは熱伝導率が小さく熱容量が小さいためです。

Q72／どうしたらよいですか？

A／切削速度をスチールの1/3に、送りはやや粗く、発熱を抑えます。また切削油は多めに使用します。

Q73／切断はどうですか？

A／塗装鋼板。メッキ鋼板では切断面が問題になりますが、チタンは問題ありません。

Q74／手切りはできますか？

A／金切り鋸で1mm以下は出来ます。

Q75／機械切りはどうですか？

A／ステンレスとほとんど変わりません。

Q76／切削切粉は？

A／活性な金属ゆえ、酸素と急激に反応して燃えることがあります。堆積しないよう、定期的に清掃してください。消火は砂・食塩・消火器を使い、水は掛けないこと。

Q77／打ち抜きは？

A／ダイスとポンチの隙間は板厚の2~4%、最大隙間は0.5mmです。

チタンの溶接や接合について

Q78／溶接による接合は？

A／以前は接合と言えば溶接を意味するほどでした。現在でも主流はアーク溶接によるTIG溶接ですが、屋根にはシーム溶接・スポット溶接、外壁はTIG溶接・スタッド溶接です。

Q79／シーム溶接ってなんですか？

A／防水層にチタンの薄板の長尺材を使用し、連続溶接して一枚板にします。したがって、完全な水密性を有するとともに、複雑な曲面状の屋根に適しています。具体的には、ハゼの接合部分に、シーム溶接機の電極で両側からはさみ、通電して溶接します。

Q80／TIG溶接って何ですか？

A／主として外壁パネルのコーナー溶接に使用します。タンゲステンを電極に用い、不活性ガスでシールドし、溶接ワイヤーをアークで溶かしながら溶接します。チタンは400度以上で水素・酸素を吸収し、韌性が低下するので、溶接部を大気と完全に遮断するために、アルゴンやヘリウムガスの不活性ガスで防御します。

Q81／応力除去焼きなましは必要ですか？

A／必要ありません。

Q82／溶接火花の養生は？

A／充分気をつけてください。けっして水で消さないこと。

Q83／その他の接合方法は？

A／屋根には主としてハゼ折を。外壁には主としてボルトナット止めが使われます。

Q84／ボルトもチタンですか？

A／チタンボルトが入手困難な場合、オーステナイト系ステンレスでも構いません(SUS304)。

Q85／ボルトの注意は？

A／400系のボルトは避けください。

Q86／電食(ガルバニック腐食)は起こりませんか？

A／チタンとステンレス(SUS304・316)は、ほぼ同じ電位であるため、心配ありません。

Q87／接着はできますか？

A／かつては、信頼性が低く仮止めぐらいでしたが、研究が進みアクリル系の両面テープが開発され、熱劣化(80度)、温水浸漬(40度)、塩水噴霧、冷熱サイクル(-30度から80度)、紫外線劣化の試験に合格しています。

Q88／チタンのメンテナンスは？

A／通常の大気中で使用される限り、海岸地帯でも、温泉地帯でも、錆びことはありません。メンテナンスフリーにその可能性があります。

チタンの取扱注意事項

Q89／チタンの色むら、自然色であるためロットごとのムラはありませんか？

A／今はコントロール技術が確立し心配ありません。ただ曲げ加工の方向を一定にする必要があります。

Q90／変色は？

A／チタンのみならず、どのような素材でも変色は起こります。かってのVA材で3年目ぐらいから変色が起こる場合がありましたが、建築パネルにはAP材を薦めています。

Q91／常時水が掛かる浴室のように、湿気が多い、道面上にして排気ガスや硫化水素がかかる時は？

A／積極的には大気から遮断するクリア塗装、消極的には異常皮膜の除去が必要です。

Q92／ごみが付着して太陽光が散乱される事はありませんか？

A／どの素材でも起こりますが、チタンは付着しにくいので、雨による自然洗い流しで構いません。それでもという時は、市販の中性洗剤で洗ってください。

Q93／その他には？

A／養生シートは施工完了後速やかにはがしてください。

チタンの施工例

Q94／チタン屋根の施工例は？

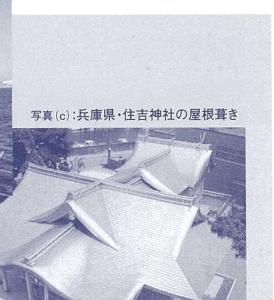
A／1973年の大分県の「早岐日女神社」の一文字屋根(150平方m)を初めに、1993年の「福岡ドーム」(48500平方m)の特殊立ハゼ葺き、「大分スタジアム」「マリンメッセ福岡」「宮崎シーガイア」「かごしま水族館」「島根県立美術館」「奈良国立博物館」「須磨水族館」などがあります。京都の「妙心寺」「長野県姫野公明院」の屋根葺きがあります、寺社等の一文字葺きでは0.3mmを使っていますが、軽いので作業が楽なだけでなく、屋根下の構造物への負担が少なく済みます。写真(a)



写真(a):フジテレビ本社ビルの球体展望室(菊川工業(株)提供)



写真(b):横浜みなとみらい21・臨港パークの親水欄・手摺



写真(c):兵庫県・住吉神社の屋根葺き

Q95／チタン外壁の施工例は？

A／「東京国際展示場」、お台場「フジテレビ本社ビル」写真(a)、「昭和館」があります。「東京ビッグサイト」は量的には145トンを使用し、世界最大です。

Q96／それ以外に、ぜひ見てほしい施工例はありますか？

A／取材された「大阪漆町リバーブレイス」もエンボス加工されており、当社の自信作です。また、兵庫県の「手塚治記念館」の屋上パネルは、チタンのグレーデーションのままパネルに成形されています。

Q97／チタンのモニュメントは？

A／「鹿島神宮」の大鳥居、「水戸芸術館」のシンボルタワー、アツミ島の「戦没者慰靈塔」「長野オリンピックの聖火台」「天王洲アイルの街路灯」があります。

Q98／その他には？

A／「横浜みなとみらい21・臨港パーク」の親水欄写真(b)もチタンで潮風や海水に強みを見せています。同じ場所でステンレス欄もありますが、違いを見てほしいと思います。

チタンのこれから

Q99／どういう使い方をしてほしいですか？

A／チタンは高い、硬くて加工しにくくまだ思われています。加工は慣れれば全く問題なく、環境にやさしく、長い目で見たら確実にコストメリットがあり経済的です。ぜひ検討してみてください。

Q100／より普及するためのメーカーとしての働きかけは？

A／使用量の多寡にかかわらず、ご説明に上がり、チタン普及に努めています。また、数々の研修会を通じて、チタンをもっと知ってもらいたいと思います。

取材後記:ハイテクイメージゆえ、気難しい存在と思っていたチタンが身近に感じられました。ステンレスで出来ることは、全て出来るということ、またステンレスとの違いを知り、癖を知れば怖くないという思いが強くなりました。当組合でもチタンの取扱研修会に取り組みたいと思います※取材・撮影・レポート:内田 吉則