

# 環境に優しいチタン製品

## Titanium Products as Environmentally Friendly Materials

石井 満 男<sup>\*(1)</sup>  
Mitsuo ISHII

木下 和 宏<sup>\*(1)</sup>  
Kazuhiro KINOSHITA

木村 欽 一<sup>\*(1)</sup>  
Kin'ichi KIMURA

### 抄 録

わが国の鉄鋼業界では日本鉄鋼連盟が地球温暖化防止対策に関する自主行動計画を取りまとめ、鉄鋼業界全体でエネルギー量を2010年に1990年比で10%削減することを目標に取り組んでいる。また、1999年6月から環境影響評価法が全面施行される。そこでこの評価制度の視点からチタンがどのように環境に優しいかについて述べた。(1)チタンの環境負荷とリサイクル、新日本製鐵が開発した製品群、例えば、(2)耐候性、耐酸性雨性、景観性に優れたチタン建材、(3)自然環境に優しいチタンの小型船舶及び(4)海洋構造物への適用を中心に概略を述べ、次いで(5)自動車のエネルギー消費とCO<sub>2</sub>排出の低減が期待される自動車部品用チタン合金線材、(6)製鉄プロセスの効率化と省エネルギーが期待されるチタンの製鉄設備への適用について触れた。

### Abstract

In the domestic Japanese steel industry, the Japan Iron and Steel Federation has incorporated the self-imposed action plan relating to measures to prevent global warming and it is striving to achieve the goal of a reduction in the amount of energy of the entire steel industry in 2010 to 10% compared to 1990. Furthermore, the Environmental Effect Evaluation law will be completely enforced from June, 1999. We have stated how titanium is gentle on the environment from the viewpoint of this evaluation system. We have touched on (1) the environmental load and recycling of titanium and products that Nippon Steel Corporation has developed, for example: (2) titanium building materials that are superior in weather resistance, acid-rain resistance and landscaping, (3) small sailing vessels built of a titanium that is gentle on the natural environment and we have touched on (4) a summary centered on its use in oceanic structures followed by (5) titanium alloy rod material for use in automobile parts that are expected to reduce automobile energy consumption and CO<sub>2</sub> exhaust, and (6) the use in titanium made equipment that is expected to make steel manufacturing processes efficient and to allow for energy conservation.

### 1. 緒 言

一般に地球環境問題とは地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、森林破壊、海洋汚染、砂漠化、開発途上国公害、有害廃棄物越境移動、野生生物種減少の九つである<sup>1)</sup>。1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3、地球温暖化防止京都会議)において、日本は先進締約国全体の温室効果ガスの排出を、2008年から2012年までの5年間で1990年比で6%削減することを約束した<sup>2,3)</sup>。

これを受けて国、地方公共団体、事業者、国民が一体となって地球温暖化対策に取り組むための枠組みとして、1998年10月に“地球温暖化対策の推進に関する法律”が公布された<sup>3)</sup>。環境影響評価法が1999年6月12日より全面施行されるが、評価の対象は、(1)大気環境、水環境、土壌環境、その他の環境、(2)植物、動物、生態系から

成る“生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全”、(3)景観、触れあい活動の場から成る“人と自然との豊かな触れ合い”、(4)廃棄物、温室効果ガス等から成る“環境への負荷”となっている<sup>4)</sup>。

わが国の鉄鋼業界では日本鉄鋼連盟が地球温暖化防止対策に関する自主行動計画を取りまとめ、鉄鋼業界全体でエネルギー量を2010年に1990年比で10%削減することを目標に取り組んでいる。日本鉄鋼協会は国際鉄鋼協会と協同で鉄鋼製品のLCA(Life Cycle Assessment)手法の開発とLCAデータベースの構築を進めてきた<sup>5)</sup>。チタン業界では日本チタン協会が中心となり、現在LCAデータベースの構築を計画しているところである<sup>6)</sup>。

本報では前述の環境影響評価制度の視点からチタンがどのように環境に優しいかについて述べ、その中から今後チタン業界として取り組むべき事柄について考えてみることにしたい。

<sup>\*(1)</sup> チタン部 マネジャー

東京都千代田区大手町2-6-2 ☎100-8071 ☎(03)3275-7336

## 2. チタンの環境負荷とリサイクル

### 2.1 チタンの環境負荷

金属チタンは、チタン鉱石を塩化して四塩化チタン( $TiCl_4$ )とし、これを金属Mgで還元して多孔質のチタンスポンジを製造し、次に真空アーク炉(VAR)や電子ビーム溶解炉(EBR)等で溶解して鋳塊とされる。鋳塊は更に一次加工工程(鍛造や圧延工程)を経て一般的なチタン展伸材とされた後に二次加工工程で最終製品形状とされる<sup>7)</sup>。

金属チタンを製造する場合の環境負荷についてはいくつかの試算があるが<sup>8-14)</sup>、使用されている原単位が更新されていない点や試算の内容が公開されていない等の問題点を含んでいる。ここでは南條の試算結果<sup>8)</sup>を基に、鉱石から一次金属を得る場合とスクラップからリサイクルする場合に要するエネルギーを鉄鋼との比(Ti/Fe)で示すと、前者では12.8(6.5)、後者では2.4(1.2)となる。なお、この計算ではチタンの一次金属はチタンスポンジを前提としており、括弧内の数字は同一体積で比較したものである。これから、チタンの場合はスクラップを有効活用することが環境負担の低減につながる事が分かる。

### 2.2 チタンのリサイクル<sup>15-17)</sup>

チタンスクラップはチタン産業内でリサイクルされ、原材料として鉄鋼、フェロチタン産業に販売されている。チタンスクラップはスポンジ、鋳塊、展伸材と並び商業的にも軍事戦略的にも重要な貿易品であり、CIS、英国、米国、日本を中心に流通している。スクラップには新スクラップと古スクラップがあり、前者は切削屑、クロップや半成りで、後者は航空機部品や熱交換器の老廃部品からなるが、いずれも厳格な選別を経て航空宇宙材料規格(AMS)の展伸材製造に使用されている。前者は比較的汚染が少なくまた洗浄もしやすいが後者は処理に手間が掛かる。

米国ではインゴット原料の50%はスクラップであるが、古スクラップからは2%以下しか使用されない。日本ではスクラップの使用率は米国より低く、溶解原料として米国へ輸出している。チタン産業の自家発生スクラップは100%近くリサイクルされると考えられるが、耐久消費財分野での二次加工屑や一般老廃屑に関しては、まだ社会的蓄積が少ないので流通ルートが十分には育っておらず、有効利用されていないのが現状である。

## 3. 環境に優しいチタン製品

### 3.1 耐候性、耐酸性雨性、景観性に優れたチタン建材

#### 3.1.1 チタン建材の需要動向

チタンが建材に初めて使われ始めたのは約25年前である。その使用量は着実に伸びてきており、最近では全国で年間約200t規模の市場となっている。用途別の使用割合(重量比)では、屋根が64%、外壁が30%、その他モニュメント等であり、屋根に最も多く使用されている。1997年に集計した採用理由の件数割合は、耐食性67%、意匠性18%及びチタンイメージ15%となっており<sup>18)</sup>、耐食性を理由に挙げる件数が他を圧倒している。

チタンは海浜地域及び火山地域において、更には、昨今の酸性雨対策としても他材料を凌駕する抜群の耐食性を有している。そのため過酷な環境下にある沖縄の海浜地域では沖縄県立武道館屋根(1997年、23t)など多数の採用例がある。火山地域では鹿児島県庁舎・議会、警察、行政棟屋根・外壁(1995~96年、70t)などの採

用例がある。海外でもスペインBilbao市のGuggenheim博物館外壁(1997年、80t)を始め大型構造物へのチタン建材の適用が始まりつつある。

#### 3.1.2 新日本製鐵独自の表面意匠性を持つチタン建材

チタン建材への需要が増えるにつれ、表面の意匠性がより強く要求されるようになり、それに応えるため新日本製鐵では各種の表面意匠性を持つ建材を開発してきている。例えば、代表的な表面仕上げである“ロールダル仕上げ”が、東京の湾岸地区港区台場のフジテレビジョン本社ビル球体展望室外壁(1996年、14t)に使用されている。更に新日本製鐵独自の意匠性として開発した“アルミナプラスト仕上げ”が東京国立博物館、平成館の屋根(1997年、18t)や東京九段下に完成した昭和館外壁(1999年、56t、末尾に示す写真1参照)に採用されている。

これらのチタン素地の意匠性に加えて、陽極酸化法で発色させて青色や金色等のチタンでしか得られない鮮やかな色を着ける“景観カラー発色仕上げ”もあり、奈良国立博物館では既設の博物館の屋根(コルテン鋼)に合わせるためにアルミナプラスト後に茶色(コルテン色)に発色させたチタンが使用されている。また、このアルミナプラスト仕上げ材は製造条件を制御すると日本瓦に似せた色調が、更に緑色に発色させると銅板の緑青色に似たものが得られる。

#### 3.1.3 貴重な歴史的文化的財を守るチタン建材

大気中の $CO_2$ 濃度(約350ppm)と平衡状態にある水のpH(水素イオン濃度)は約5.6であり、それ以下の雨を酸性雨という。酸性雨によって、自由の女神像(米国)、パルテノン神殿(ギリシア)、ケルン大聖堂(ドイツ)等の貴重な歴史的建造物が損傷を受けていると報告されている<sup>19)</sup>。日本では欧州ほど顕著ではないとはいえ、酸性雨による被害が発生している。例えば、京都市北区の光悦寺で谷樋に使用された板厚0.5mmの銅板が、使用後16年で腐食により貫通穴が発生している<sup>20)</sup>。数百年を経た歴史的建築物において、わずか10数年で貫通穴が生じることは、その維持管理上問題である。また、銅屋根の腐食によって銅イオンが流出して苔庭が赤くなる現象も発生しており、景観上及び環境的にも問題とされている。

そこで、酸性雨の実体を把握すべく、歴史的文化的財が多数存在する京都地区の数か所において実降雨の調査を行った<sup>20)</sup>。表1に一休寺(京田辺市)で降り始めてから1mmまで降った雨のpH及び成分を示す<sup>21)</sup>。また、図1には一休寺でのpH別の出現頻度を示す。これらの結果より、pH4程度の雨が京都地区で実際に降っており、

表1 京都地区での酸性雨成分の例(一休寺(京田辺市))

pH	電気伝導度 ( $\mu\Omega^{-1}\cdot m^{-1}$ )	成分( $\mu mol/l$ )							
		$SO_4^{2-}$	$NO_3^-$	$Cl^-$	$NH_4^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$K^+$	$Na^+$
3.7	$1.68 \times 10^4$	287.3	164.2	188.7	320	69.5	16.9	61.8	186.5

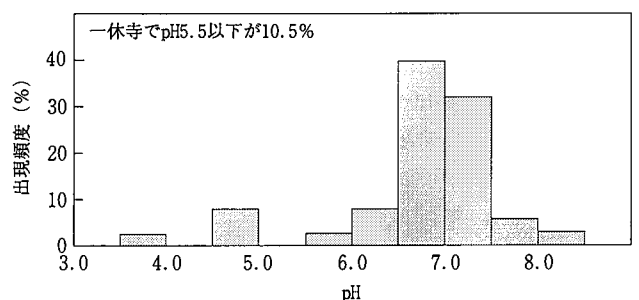


図1 京都地区での酸性雨のpH別頻度の例 一休寺(京田辺市)

またその成分には $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ が多く含まれていることが分かる。このような酸性雨によって、神社仏閣等の文化財の屋根に使用されている銅板に被害が及び始めていると考えられる。

そこで、銅板とチタン板を用いて、表1を参考にして作った模擬酸性雨の雨垂れによる腐食再現実験を行った結果を写真2に示す。銅板の方は表面の緑青がとれて腐食しているが、チタンには全くそれが認められない<sup>22)</sup>。銅は溶存酸素を含む水溶液中で腐食を起こすが、塩基性炭酸銅、塩基性硫酸銅、酸化銅などの皮膜形成によって腐食が抑制される。しかし、この皮膜はコロイド状の凝縮・沈澱物であり、雨垂れ程度の流速でも皮膜形成が阻止されるものと考えられる。また、酸性雨に含まれる硫酸、硝酸などの酸によって皮膜が化学的に溶解する作用も無視できない<sup>23)</sup>。一方、チタン建材は銅イオン流出のような問題も全くなく、後世に残すべき貴重な文化遺産の保存に適しており、更に歴史的景観にもマッチするので和風建築物でも注目されている<sup>24)</sup>。

以上述べてきたように、大気環境においてほぼ完全な耐食性を有するチタンは、海浜地域や火山地域だけでなく、大気環境の悪化による酸性雨対策としても注目されてきている。新日本製鐵は“ロールダル仕上げ”に加えて“アルミナプラスト仕上げ”や“景観カラー発色仕上げ”等を開発してきた。耐食性ニーズと独自の表面意匠性が相まって、前述のフジテレビジョン本社ビル等の現代建築物や100年建築をコンセプトとした東京国立博物館及び奈良国立博物館(1997年、13t)に採用された。更に歴史的な文化財である京都の光悦寺、一休寺などにアルミナプラスト材、京都市北区の大徳寺、黄梅院及び同じく上京区の北野天満宮、宝物殿(1998年、写真3)に表面を緑色に発色したチタン材が採用された。今後、環境に優しく、強いチタンは、建材用途への需要がますます増加すると期待される。

### 3.2 自然環境に優しいチタンとその小型船舶への適用

チタンは熱力学的には極めて活性な金属であるにもかかわらず、不動態化する環境が広範囲にわたるため耐食材料として有用な金属で、特に海水、海洋雰囲気のような塩化物雰囲気では優れた耐食性を示す。これは不動態皮膜(表面酸化物)がこれらの環境下で安定であることに起因している<sup>25)</sup>。また、海水中で生物を飼育して物質循環のメカニズムを解明する閉鎖型水圏物質循環装置では、実験装置から何らかの物質が溶出すると都合が悪いので、腐食や金属イオンが溶出しないことが必要で金属材料では唯一チタンが使用されている<sup>26)</sup>。

このような視点から自然環境に優しいチタンの小型船舶への適用が本格化しつつある。現在20トン以下の小型船舶においては、FRP製が50.5%で金属船としてはアルミ製が14.5%を占めている<sup>27)</sup>。FRP製漁船等の大型廃棄物は、海岸などに放置されるために環境破壊を引き起こしている<sup>28)</sup>。しかしチタンが船体に使われた場合はスクラップのリサイクル性が高いと予想される。

新日本製鐵はこうしたチタンの軽量性、強度特性、耐海水腐食性、耐金属イオン溶出性及びリサイクル性に着目し、江藤造船所及びトーホーテック(株)と共同で、初めて全チタン製動力船への適用を実現した(1998年進水、写真4参照)。本船は排水量4.6グロスト、全長12.5m、幅2.8mで1998年10月に進水した。小型船舶へのチタンの応用にはこれまでもヨット(1985年、1997年)、ポート(1993年)、シーカヤック(1998年)があるがいずれも無動力または外部動力船であり、動力船としての本格的採用はこれが初めての

ケースとなる。全チタン製動力船はFRP製に比べ走行安定性が良いとされており、第二船目の製造も決定している<sup>29)</sup>。

### 3.3 環境に優しいチタンとその海洋構造物への適用

#### 3.3.1 海洋構造物のメンテナンス問題

日本の都市構造は主に臨海地域で発達してきたが、近年その展開の方向を海上に求めてきている。この動きの中で、大型海洋鋼構造物を建設するに当たり、メンテナンスフリーの要求、更に構造物の長寿命化の要求があり、そのため超長期を目標とした防食法の適用が強く望まれてきた。

従来確立されてきた鋼製橋脚等の大型海洋鋼構造物の長期防食法は、大気中部分については厚膜エポキシ樹脂塗装+ふっ素樹脂塗装、海中部についてはタールエポキシ樹脂塗装+犠牲陽極による電気防食の複合電気防食法である。いずれも補修が前提となっているが、50年程度の長期防食が可能である。一方、その両者の接点である飛沫・干満部は補修が困難であるため、確実な防食方法が確立されていなかった。しかしながら、ここにも補修が不要で、流木や小型船舶等の衝突に耐え、更に最近ではデザイン等景観性にも優れた防食法が望まれるようになった。因みに関西空港連絡橋で採用された工法は、樹脂ライニング(厚み2300 $\mu\text{m}$ )で30年、犠牲鋼板(25mm)の腐食しるで55年、コンクリート(200mm)で15年の計100年の防食を期待する方法であった。

しかし一般に高分子材料は長い使用期間中に光や空気によって劣化し、50年を超える寿命を考えたときには、より信頼性の高い材料が必要となってくる。この点から高耐食性金属によるライニング防食法が囑望されてきた<sup>30,31)</sup>。

#### 3.3.2 チタンクラッド熱間圧延薄鋼板の開発

チタンは表2<sup>32)</sup>に示すように流動海水中での耐食性に非常に優れているが、海洋構造物の防食に適用するには二つの技術的課題があった。まず第一に鋼構造物へのチタンのライニング接合法の問題である。チタンだけで構造物を構築することは経済的に成立しない。チタンの持つ耐食性だけを生かし、構造物本体を鋼で製作する方が効率的である。しかし、チタンと鉄を直接溶接すると脆い金属間化合物を形成するため実用的ではない。このため、チタンと鋼を熱間圧延工程で一体化した“チタンクラッド熱間圧延薄鋼板”を利用し、クラッド鋼板の鋼部分と鋼構造物の本体を溶接接合して、合わせ材のチタンを防食に利用する工法を開発した<sup>33)</sup>。

第二はチタンクラッド鋼板のサイズの問題である。従来、チタンクラッド鋼板は厚板しか製造されておらず、これをライニングに使用するには板厚の面で無駄が多い上に板のサイズや形状に制約があった。そこで、普通鋼製造プロセスである連続熱間圧延機を用いて厚さが5mm程度で長尺コイル状のチタンクラッド熱間圧延薄鋼板を開発した<sup>34)</sup>。この開発により新日本製鐵は第31回(平成10年度)市村産業賞貢献賞を受賞した。

#### 3.3.3 海洋鋼構造物の超長期防食法

新日本製鐵が新たに開発した超長期防食法は、前述のチタンクラッド薄鋼板を鋼構造物上に溶接ライニングし、表面のチタンで飛沫・干満部を防食する工法である。チタンの耐海水腐食性から長期

表2 流動海水中での各種金属の腐食速度  
( $\times 10^3\text{mm/year}$ )

炭素鋼	ステンレス鋼	亜鉛	アルミニウム	キプロニッケル	チタン
150	5	50	8	20	<1

表3 チタンクラッド薄鋼板ライニング防食工法の適用例

件名	施工主	適用部位	防食面積 (m <sup>2</sup> )	クラッド薄鋼板 使用量(t)	施工時期
東京湾横断道路	東京湾横断道路(株)	橋脚/飛沫・干満帯	2 200	80	1991~1993
紋別港水海展望塔	紋別市	基礎部/飛沫・干満帯	200	7	1995
メガフロート実験設備	メガフロート技術研究組合	浮体ユニット接合部/飛沫・喫水部	10	1	1994~1995
夢洲-舞洲連絡橋	大阪市	ポンツーン/飛沫・喫水部	1 000	40	1998~1999

にわたる防食が期待できるとともに、金属ライニング(チタン1mm, 鋼4mm, 合計5mm)のため耐衝撃性にも優れ、かつ橋脚全体の形状も滑らかに仕上げられるので景観上からも好ましいものとなる。これまでに新日本製鐵の開発した超長期防食法が適用された例を表3、写真5に示す。いずれもわが国の土木技術史上画期的なものである。

チタンクラッド薄鋼板は、(1)チタンが海水に対して殆ど腐食せず金属溶出が殆どない、(2)チタンは生体に対して毒性が少なく周りの生態系に影響を与えない、(3)超長期に亘ってメンテナンスフリーが期待できるなど、環境に優しい材料とすることができる。しかし、ここで紹介したチタンクラッド薄鋼板ライニング防食技術は、まだ緒についたばかりの最新技術である。今後いろいろな観点からのチェックと改良を積み重ね、万全の工法として確立されていけば、より一層環境保全に貢献できる技術になると確信している。

#### 4. 結 言

本報では環境影響評価制度のいくつかの視点からチタンがどのように環境に優しいかについて述べた。紙面の都合で詳細は割愛したが、自動車における環境負荷低減にもチタンは大きな役割を果たす。例えば、往復運動部品にチタン材料を用いることで、エンジンの軽量化、高出力(=小型化)により車両の走行時のエネルギー消費とCO<sub>2</sub>排出を低減できる。更にエンジンの静粛性が向上すると言われている。新日本製鐵は自動車エンジンの吸気・排気バルブ用チタン合金線材(例えばTi-6Al-4V, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-Si, TIMETAL®1100)の国内製造(一部輸入販売)体制を早くから構築し需要家の要請に応じてきている。また、新日本製鐵では製鉄プロセスの効率化と省エネルギーを鋭意推進しているが、堺製鉄所大形工場加熱炉の地下煙道更新において、暗渠内外面の腐食対策としてチタンを採用した。

新日本製鐵はこのように“環境の世紀21世紀”を見据えたチタンの用途開発を積極的に行い、地球的な環境負荷低減に貢献していく所存であるが、チタン業界としてもチタンスクラップの有効活用を行うシステムの整備が必要なことを強調して終えることにする。

#### 参照文献

- 1) 安井 至: 金属. (6),42(1993)
- 2) 磯崎博司: 環境と公害. 28(1),2(1999)
- 3) 竹内恒夫: 環境技術. 28(1),8(1999)
- 4) 北沢克巳: 月刊地球環境. (2),58(1998)
- 5) 高松信彦: エコマテリアル研究会HP (<http://www.snt.or.jp/eeco-news/no16/eeco16-2.htm>)
- 6) 日本チタン協会: 私信. 1999-2-14
- 7) Donachie, Jr.J.M.: Titanium a Technical Guide. Metals Park, ASM International, 1988. 岸輝雄監修, 鈴木洋夫, 原田健一郎訳, チタン・テクニカルガイド-基礎から実務まで. 日本語版第1版. 東京, 内田老鶴圃, 1993. p.37-56
- 8) 南條道夫: 東北大学選鉱精錬研究所研究彙報. 43,239(1987)
- 9) 未踏科学技術協会エコマテリアル研究会: 環境負担性評価システム構築のための基礎調査研究. 調査報告書(別冊)-金属素材インベントリーデータ. 東京, 未踏科学技術協会, 1995
- 10) 科学技術庁金属材料技術研究所: エコマテリアル設計者・開発者のためのデータベース, Environmental load data for 4000 social stocks (<http://www.nrim.go.jp:8080/ecomat/ecosheet/ecosheet.htm>)
- 11) 浅井滋生: までりあ. 33,587(1994)
- 12) 原田幸明, 山本良一: までりあ. 33,516(1994)
- 13) 木村一弘, 八木晃一: 日本船舶機関学会誌. 28,540(1993)
- 14) 長井寿: 金属. (10),65(1993)
- 15) Roskill Information Service Ltd.: The Economics of Titanium Metal. First Edition. London, Roskill Information Service Ltd. 1998. p.6,37
- 16) 小泉昌明: 金属. (11),36(1983)
- 17) 田中孝秀: 工業レアメタル. (96),35(1989)
- 18) 木下和宏: チタン. 46,319(1998)
- 19) 古明地哲人: 材料と環境. 41,118(1992)
- 20) 紀平寛, 松橋亮, 添田精一, 田籠直子, 木下孝一, 中村利則: 第42回腐食防食討論会講演集. 1995, p.23
- 21) 田籠直子, 紀平寛, 木下孝一, 中村利則, 添田精一: 腐食防食'94講演集. 1994. p.201
- 22) 高橋康雄, 田所裕, 武藤泉, 田籠直子, 等俊一: 新日鉄技報. (352), 9(1994)
- 23) 紀平寛: 材料と環境. 47,95(1998)
- 24) 和風建築社編: 和風建築シリーズ6“屋根”. 東京, 建築資料研究社, 1999
- 25) 渡辺孝, 内藤浩光, 鈴木堅市, 中村泰: 鉄と鋼. 72,308(1986)
- 26) 千葉強平: 金属. 68(10),931(1998)
- 27) 上瀧洋明: 軽金属溶接. 37,9(1999)
- 28) 小島昭, 古河茂, 浅田俊彦: 金属. (7),31(1992)
- 29) 日本チタン協会: チタン. 47,84(1999)
- 30) 田所裕: 材料と環境. (7),440(1998)
- 31) 高橋康雄, 田所裕, 武藤泉, 田籠直子, 等俊一: 新日鉄技報. (352),9(1992)
- 32) 腐食防食協会: 防食技術便覧. 第1版. 東京, 日刊工業新聞社, 1986. p.203
- 33) 田所裕, 本間宏二, 長谷泰治, 等俊一, 吉田耕太郎, 山谷弥太郎, 伊藤 徹: 新日鉄技報. (3-14),22(1992)
- 34) 山本章夫, 長谷泰治, 高橋康雄, 添田精一, 鎌田啓一: チタニウムジルコニウム. (1) 274(1994)

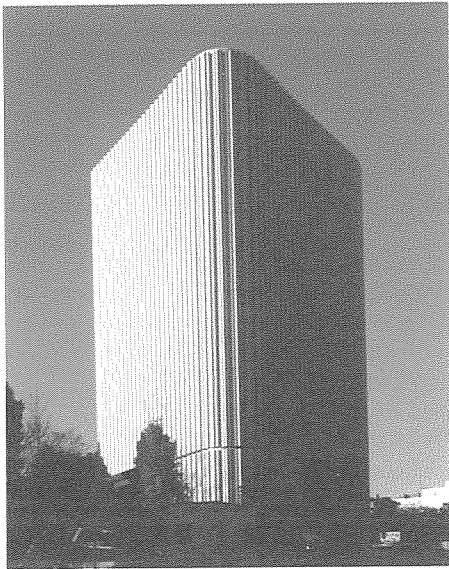


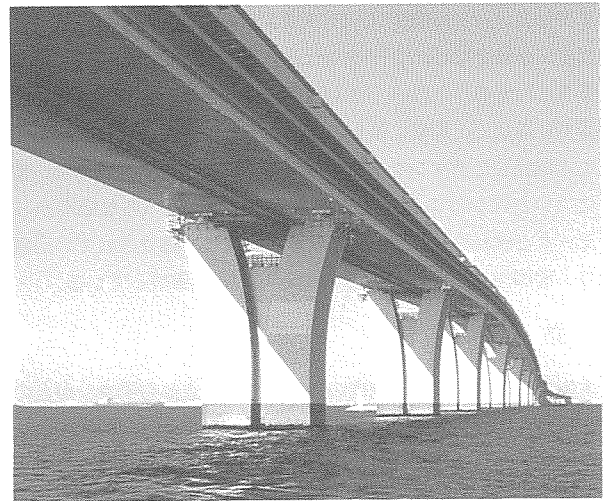
写真1 独自の表面意匠性を持つ建材:昭和館外壁(東京九段下, アルミナプラス仕上げ)



写真4 全チタン製小型船舶(佐賀県唐津市, 1998年進水)

	アルミナプラスTi	Cu
2日後		
66日後		

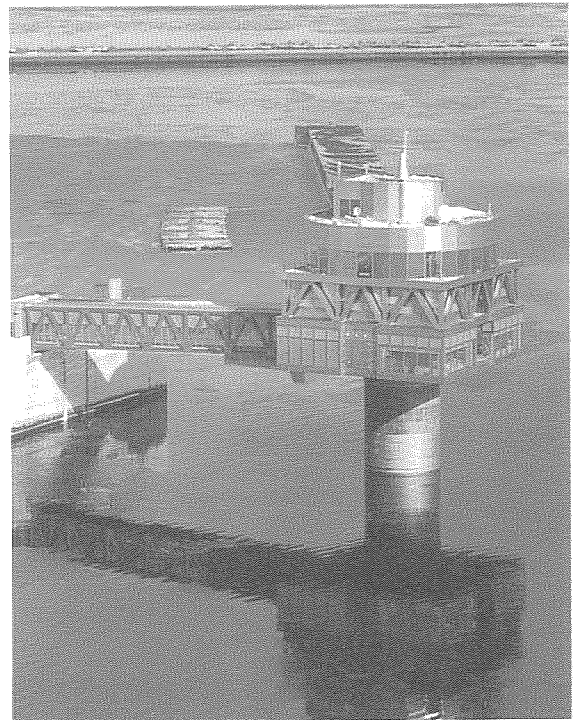
写真2 模擬酸性雨を用いた雨垂れによる腐食再現実験



(a)東京湾横断道路(アクアライン)の橋脚



写真3 貴重な歴史的な文化財を守るチタン建材:北野天満宮宝物殿屋根(京都上京区, アルミナプラス仕上げ+緑色発色)



(b)紋別湾水海展望塔

写真5 海洋鋼構造物の超長期防食法に用いられるチタンクラッド薄鋼板