



シリーズ「金属素描」

No. 1 チタン (Titanium)

東北大学 上田 恭介



元素名：Titanium，原子番号：22，質量数：47.87，電子配置：[Ar]3d² 4s²，密度：4.508 Mg·m⁻³(298 K)，結晶構造： α -Ti 六方晶 (~1156 K)， β -Ti 立方晶 (1156~1953 K)，融点：1953 K，沸点：3535 K，地殻存在量 0.7 mass%-TiO₂【写真】(a)クロール法により得られたスポンジチタン(日本金属学会 写真提供)，(b)TiCl₄ 蒸気を Mg 蒸気で還元して得られたチタン(東北大学金属材料研究所 写真提供，参照：竹内ら，日本金属学会誌，23(1959)，629-633.)

チタンは構造用金属材料の中で最も比強度が高く，白金に匹敵する優れた耐食性および細胞毒性やアレルギー性を示さない生体安全性を示すことから，wonder metal とも呼ばれる夢のような材料である．加えて，チタンは地殻中含量で9番目に多く，金属元素の中ではアルミニウム，鉄，マグネシウムに次ぐ4番目と，自然界に豊富に存在している．それにも関わらず，チタンはレアメタルに分類されており，2015年におけるスポンジチタンの世界生産量は180,000トン⁽¹⁾と粗鋼の約1/10⁴であり，それこそ桁違いに少ない．これはひとえに製錬が困難であり，高コストであるためである．チタンの歴史は浅く，1910年にハンター(Matthew A. Hunter)がTiCl₄をナトリウムで還元する(ハンター法)ことで99.9%の金属チタンを得ることに成功している．その後1938年にはクロール(Wilhelm J. Kroll)がTiCl₄をマグネシウムで還元する(クロール法)プロセスを確立し，量産可能となってからまだ80年しか経っていない．現在でもその製錬原理は変わらず，チタンはほぼ全てがクロール法により製錬され，写真(a)に示すスポンジチタンを得ている．このスポンジチタンを真空アーク溶解，真空電子ビーム溶解，プラズマアーク溶解により溶解し，インゴットを得る．

さて，チタンの優れた耐食性や生体安全性，製錬が困難であるといった特徴は，全て酸素が関与している．チタンの酸素溶解度は約14 mass% (33 at%)と広い固溶域を有している．そのため，合金溶解時の酸素ゲッターや脱酸剤として使用されており，このような用途でチタンに触れている読者も多いと思う．酸素のみならず，他の元素との溶解度も高いことから，チタンは合金設計の自由度が高く，特に酸素，炭素，窒素といった軽元素を合金元素として活用できるといっ

た特徴を有している．さらに，他の元素との親和力も高いことから，例えば酸素であれば容易に保護性のTiO₂を表面に形成する．そのため，高い耐食性を示すのである．興味深いことに，チタンは生体必須元素ではない．これは前述のとおりTiO₂が安定であるため，植物も含めて生体内にイオンとして存在し得ない，すなわち食物を通じた摂取が無いため，生体内に取り込まれることが無かったことに起因する．そのため，細胞毒性やアレルギー性を示さないことから，現在では生体埋入デバイスの素材として使用されている．特に人工関節や人工歯根といった骨との強固な結合が求められるデバイスに使用されているが，これは，金属材料の中で唯一，チタンが生体内において骨と光学顕微鏡レベルで結合する「オッセオインテグレーション」⁽²⁾を有しているためである．チタンには α 型， β 型， $\alpha+\beta$ 型等の多彩な合金群が存在し，それぞれ強度，延性，高温特性が異なる．加えて，NiTiは代表的な超弾性，形状記憶特性を有する合金であり，様々な分野で実用化されている．

今後，製錬まで含めた低コスト化によりチタンが普及すれば，世界は劇的に変わることは間違いない．我々チタン研究者は，そのような劇的な社会変化を夢見て，日々研究開発に勤しんでいる．

文 献

- (1) 山出善章ら：軽金属，67(2017)，126-135.
- (2) P.-I. Branemark *et al.*: Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Suppl., 11(1977)，1-132.

次号 金属元素なんでもランキング! No. 1 地殻存在量