

身近な金属の  
ミクロ組織を読む

第 **52** 回

● シリーズ ●

材料の素顔に迫る

■はじめに

生体組織や失った機能を回復するために使用される人工材料を広くバイオマテリアル(生体材料)と呼んでいます。なかでも形状を保ったり、力を伝える堅構造材料には金属系のバイオマテリアルが用いられています。最近では、機能が低下あるいは喪失した骨、関節、歯などを人工骨、人工関節、人工歯根などで置換する人達が急激に増えています。今回はこのような人工の生体材料を取り上げます。

■生体材料に必要な特性

ウイルスや細菌のような微生物とか、移植された他人の臓器のような生物系異物が体内に侵入してくると、それらの表面に存在する抗原基を体内の抗体分子あるいは免疫系細胞が察知して生体防衛反応を開始します(簡単にいえば拒絶反応です)。生体中で金属材料を使用する際には、もっとさまざまな問題が生じます。もともと生体中に存在しないものを入れるわけですから、生体もびっくりしてしまいます。生体中に有害な金属イオンが材料から長期にわたって溶出すれば、毒性やアレルギー性のような障害を引き起こしますので、生体用金属材料には人体環境に対する高い耐食性が要求されます。このため、生体用材料としては、歯科用合金を除けばステンレス鋼、Co-Cr-Mo系合金、純TiあるいはTi合金が使用されています。

さらに、骨に完全に埋入する材料では、材料周囲の骨形成が迅速に行われ、骨と密着あるいは結合すること(良好な硬組織適合性)が要求されます。この金属材料の硬組織適合性を改善するために最も効果的な方法は、リン酸カルシウム(CaP)あるいはハイドロキシアパタイト(HAp、水酸リン灰石)薄膜の形成であるといわれています<sup>1)</sup>。骨や歯質のような硬組織の主成分は基本的にはHApであるため、HAp被覆によって生体硬組織との適合性を高めることを目指しています。すなわち、体内に埋めたとき、表面にHAp層があると、それが核となって骨や歯内のHAp形成を加速すると考えられています。

# バイオマテリアル

## —人工関節材料—

大阪大学 接合科学研究所 教授 工学博士 小溝 裕一

高齢化社会になり、ますます関心の高い健康、医療ですが、今回は医療に用いられる生体用金属材料を取り上げました。

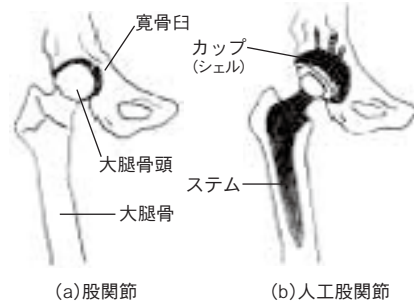


図1 人間の股関節と人工股関節



写真1 シェルの外観形状

■チタン製人工股関節の性状

そこで今回、人体適合性から表面にハイドロキシアパタイト(HAp)を被覆したチタン製の人工股関節をとりあげ、その全体の構造と界面状況を調査しました。人工股関節とは、関節炎や事故等、なんらかの原因で損傷したヒトの大腿骨を代替・置換するための人工材料です。図1に示すように、大腿骨側(ステム)と骨頭、寛骨臼側(カップ)を組み合わせて構成します<sup>2)</sup>。写真1には今回調査したカップ側のシェルの外観形状を示します。シェルは外径42mm、厚さ3.5mmの半球で、いくつか穴(最大8mm径)が空いています。骨盤には骨セメント及びこの穴にボルトをいれ、骨中にねじ込むことで固定します。シェルは金属の基板の外側に皮膜が溶射された構造となっています。この金属の基板部分を分析するとTi-6Al-4V合金でした。

1952年、Branemark(ブローネマルク)はチタンと骨が結合することを偶然発見し、基礎実験と動物実験を通して一定の条件下でチタンを骨に埋入したとき、強

固な統合が得られることを知りました<sup>3)</sup>。1965年に初めて純チタン製のインプラントが臨床応用されて以来、システムが整備されてきました。特に、歯科用インプラントとして、最近広く用いられるようになりました。

写真2にシェルの断面写真を示しますが、表面に大きな凹凸のある皮膜が約200μm程度の厚さでのっていました。凹凸の大きい方が、アンカリング効果により、

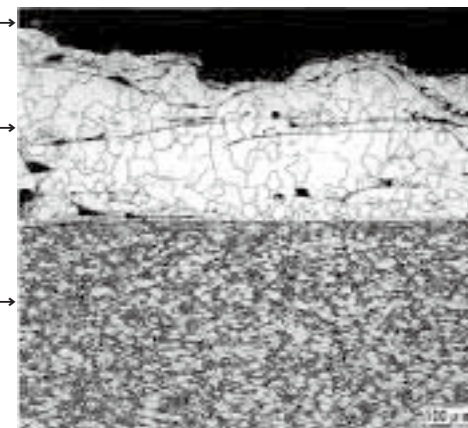


写真2 シェル断面の光学顕微鏡組織

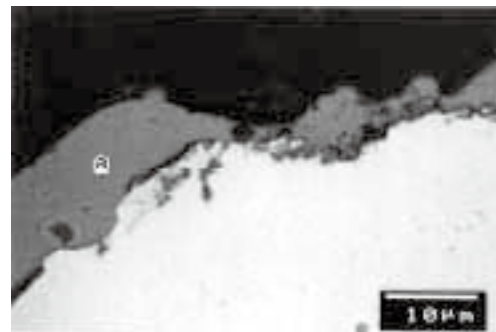


写真3 シェル断面の走査型電子顕微鏡組織

■HAp層のTEM観察

最外層のHAp層は非常に薄い層でしたので、実験室的に、チタンの上にHAp粉末を被覆してみました。ここでは、高速のガス流体に微粉末をのせて基板に高速衝突させるエアロゾル成膜法(噴射成膜法)により試験片を作製しました<sup>4)</sup>。写真4に示すようにチタン基板の上に、約30μm厚さの緻密なHAp層が形成できましたので、基板との界面を透過型電子顕微鏡(TEM)で調査してみました。このような異質の材料が合わさってできている試料の界面を調査する場合、TEM観察用薄膜の作製が非常に難しく、なかなか良質な薄膜試料が造れません。今回は、住友金属テクノロジーの集束イオンビーム(FIB)加工観察装置で、薄膜試料を作製いただきました。TEM観察結果を写真5に示します。チタン層とHAp層が明確に観察されています。EDX分析の結果、

HApの成分は原子量比でCa:6.5%、P:3.5%でした。このことから、Ca<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>9</sub>とα-Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>が混在したような状態で存在しているものと考えられます。事実、α-Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>と同等される回折像も得られました。また、それらとチタンとの間には特定の結晶方位関係は見られませんでしたので、両者は機械的に接合しているものと考えられます。

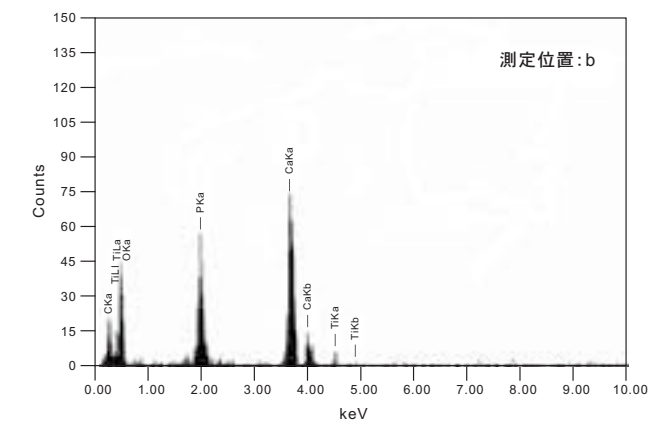
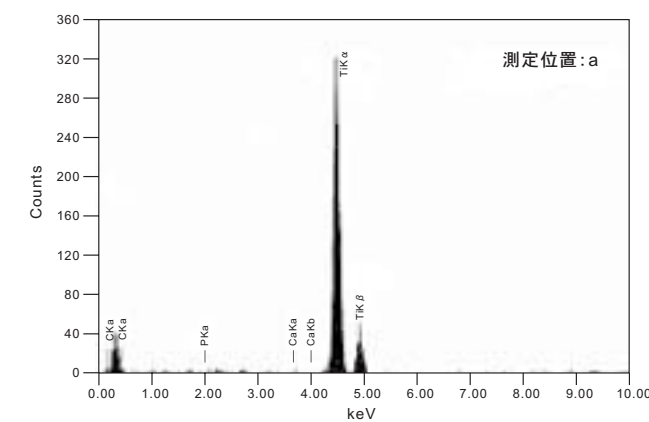
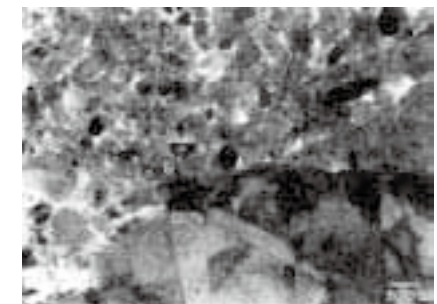


写真5 皮膜試験片界面の透過型電子顕微鏡組織とEDX組成解析結果

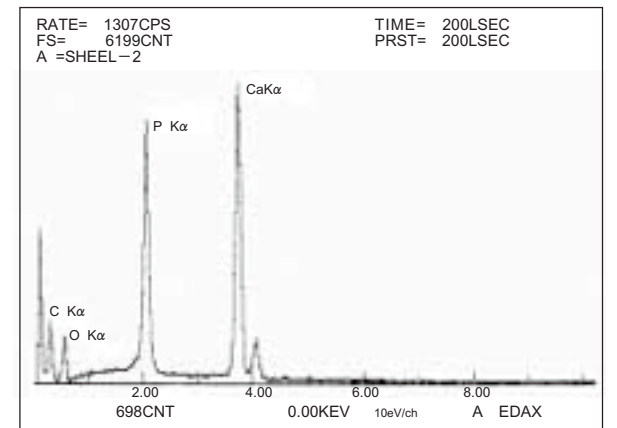


図2 写真3a部のEDX組成解析結果

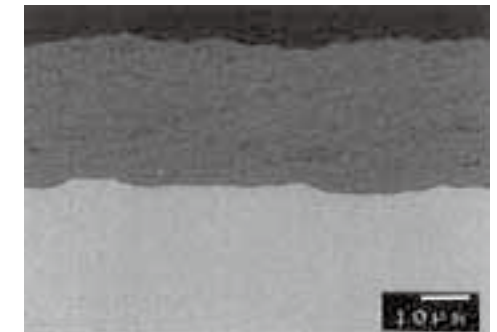


写真4 皮膜試験片断面の走査型電子顕微鏡組織

いまは、生体にいれる前の状態ですが、生体中にいれて、時間がたってからの状態がどのようになっているのか、非常に興味のあるところです。

■おわりに

生体材料とは“生きているものに用いるための材料”ということです。したがって、当然生体にとって無害であり、ヒトの組織と良好な親和性を有し、さらに永遠に破損することなく丈夫であることが理想とされます。そのためのいろいろな技術開発が行われています。

参考文献

- 1) 堀隆夫: までりあ, Vol.37(1998), p.853
- 2) 日本材料学会(株)カタログ
- 3) www.wei.iwate-u.ac.jp/chiba
- 4) M. Tsukamoto, et al.: Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42(2003), p.L120