

# 金属系バイオマテリアルの調査報告

## - バイオマテリアルとしての新しいステンレス鋼 -

樋尾勝也\*

### Survey Report on Metal Biomaterials - NewStainless Steels as Biomaterials -

by Katsuya HIO

Recently, many researches on Ti alloys are carried out briskly. Feasibility study is also required for development of new Ti alloys as biomaterials. Stainless steels are in most demand now and advantageous materials in cost. They continue to be promising materials, and researches on stainless steels as biomaterials are also important. Then, it found out that (1) high corrosion resistance and ferromagnetic super ferritic stainless steel, and (2) high intensity and high wear resistance super ferritic stainless steel were mentioned as stainless steel for which development is needed.

Keywords : biomaterial, metal, superferritic stainless steel, Ti alloy

#### 1 . はじめに

高齢者人口の増加に伴い、医療の高度化が推進されるようになり、バイオマテリアル（生体と適合する材料）の研究開発も重要性を増してきている。金属系バイオマテリアルは、強度と靱性を兼ね備え、加工性に優れているため、整形外科および歯科領域では、人工股関節、人工歯根等の硬組織代替器具として重要な地位を占めている。しかし、既存材料での使用において耐久性など種々の問題が発生している。そのため、最近ではバイオマテリアルとして新しい Ti(チタン)合金の研究開発が盛んに行われている<sup>1)</sup>。一方、ステンレス鋼は比較的安価で入手しやすいため幅広く使用されているが、さらに高機能な新しいステンレス鋼の開発が要求されている。そこで、本稿ではバイオマテリアルとしての新しいステンレス鋼開発の可能性

について調査したので報告する。

#### 2 . バイオマテリアルとしての金属材料 2 . 1 金属系バイオマテリアルの種類

金属系バイオマテリアルとしての主な利用分野は整形外科および歯科領域であるが、歴史的には歯科の治療用として発達してきた<sup>2)</sup>。紀元前数千年前に金が歯の治療に使用されていたと言われる<sup>3)</sup>。現在使用されている歯科用金属材料には金合金、銀合金、金銀パラジウム合金などの貴金属合金と、Co-Cr(コバルト・クロム)合金、Ni-Cr(ニッケル・クロム)合金、Ti合金などの卑金属合金が挙げられる<sup>4)</sup>。

産業界では1900年代より、Ni-Cr合金やCo-Cr合金などの耐食、耐熱合金の研究に関する優れた研究が相次ぎ、1910年代になると工業材料としてのステンレス鋼の生産が開発された<sup>5)</sup>。この頃より、金属系バイオマテリアルとしての研

\* 金属研究室 研究グループ

究が盛んになり，ステンレス鋼や Co-Cr 合金が歯や骨折の治療として利用されるようになった<sup>6)</sup>．ステンレス鋼は，当初いわゆる 18-8 ステンレス鋼が用いられたが改良が重ねられ，現在では 1 種と 2 種の規格があり，1 種は SUS316，2 種は SUS316L にほぼ相当する．Ti は耐食性および生体適合性に優れ，バイオマテリアルとして急速に進展している．合金化されていない純 Ti は強度不足のため，工業材料として開発された Ti-6Al(アルミニウム)-4V(バナジウム)合金が生体用として使用されるようになった．

## 2. 2 金属系バイオマテリアルとしての条件および問題点

バイオマテリアルとして使用される金属材料は，生体内にインプラントされる用途が多いため，生体にとって無害であることが必要である．生体内には高濃度の Cl イオンが存在し，金属にとっては過酷な腐食環境であり，金属材料がその中に長時間晒される．金属材料が生体内で腐食するとその構成元素が体内に溶出して生体への影響が心配される．また，例えば用途として下半身の関節などの場合，体重の数倍の繰返し荷重がかかり，腐食孔が疲労破壊の起点になることも考えられる．したがって，金属材料が生体内で使用されるための条件は生体適合性などの生物学的条件とともに材料学的には優れた耐食性と機械的性質を同時に備えていることが重要である．

現在，最も使用されている金属系バイオマテリアルは，ステンレス鋼であり，次いで Co-Cr 合金，Ti および Ti 合金である<sup>7)</sup>．Ti 合金は最も耐食性に優れ，生体に対する親和性が優れているため，バイオマテリアルとして期待されている材料である．しかし，他の材料に比べて耐摩耗性が劣ることや Ti-6Al-4V 合金中の V イオンの強い細胞毒性および Al イオンの強い神経毒性に関して問題となっている<sup>8)</sup>．そこで，Al および V を含まない Ti-13Zr(ジルコニウム)-13Nb(ニオブ)合金<sup>9)</sup> や Ti-29Nb-13Ta(タンタル)-4.6Zr 合金<sup>9)</sup> などが開発されている．ステンレス鋼においては，生体における耐食性は十分とは言えず，長期間体内に埋入していると隙間腐食や擦過腐食を起こすことがある<sup>10)</sup>．また Ni を含むため，溶出した Ni イオ

ンによる発癌性の懸念およびアレルギー反応を引き起こすことがある<sup>11)</sup>．したがって，Ni フリーで耐食性の良好な材料が求められる．

## 3. 新しいステンレス鋼開発についての考察

バイオマテリアルとしてのステンレス鋼である SUS316 および SUS316L は Ni を多量に含有するオーステナイト系である．表 1 に Ti 合金，オーステナイト系ステンレス鋼およびフェライト系ステンレス鋼の緒特性の比較を示す．3 種のうち相対的に，特に有利な特性には○，有利な特性に△，普通のものに□，不利な特性には×で示した．ステンレス鋼は比重において Ti 合金より劣るが，強度があれば薄く軽くできることを考慮すれば，より高強度の材料特性が必要とされる．また，フェライト系ステンレス鋼は耐食性においては他の金属材料よりも低いので，さらなる耐食性の向上が要求される．

表1 各種材料の主な特性の比較

	Ti 合金	オーステナイト系 ステンレス鋼	フェライト系 ステンレス鋼
強度			
耐食性			
耐摩耗性	×		
生体適合性			
コスト	×		
比重	(軽い)	×(重い)	×(重い)

そこで，以上の欠点を解決するために，フェライト系スーパーステンレス鋼に着目した．Ni を含まないため，生体適合性は良好であり，最近では高耐食性材料として注目されている．ステンレス鋼の耐孔食性や隙間腐食抵抗性を改善する合金元素である Cr および Mo(モリブデン)を多量に含有するのが特徴である．フェライト系スーパーステンレス鋼の定義として，Cr(%) + 3.3Mo(%) > 40 を満たす合金成分で与えられる<sup>12)</sup>．JIS における

フェライト系スーパーステンレス鋼として、SUS447J1 (Fe-30Cr-2Mo) が最も近い合金成分である。

フェライト系ステンレス鋼の利点として、Ni を含まないこと、Ni を含まないから比較的安価であること、さらに高耐食性、特に耐隙間腐食性が高いことが挙げられる。また特徴としては、フェライト系であることから磁性を持つことである。この特徴を利用したバイオマテリアルの開発の可能性が期待できる。すなわち、磁性を利用して取り外し可能な補綴(ほてつ)物に応用可能である。あるいは、誘導電流による外部からの加熱など新しい治療方法が可能であると考えられる。ところが、ステンレス鋼の耐食性は Cr 添加量を高くするほど良く、逆に磁性は Cr 量が少ないほど強くなるという関係にあり、高耐食性かつ強磁性を両立したステンレス鋼の開発が要求される。この手段としては Cr 量および Mo 量を調整することによって、両特性のバランスの取れた合金設計が考えられる。また、生体中での異物の体積は少ないほど良いため高強度の特性が求められ、さらに、生体は常に動きがあることから耐摩耗性も要求される。したがって、高強度および高耐摩耗性を追求した材料開発が必要とされる。この手段として、合金元素添加による固溶強化および熱処理による析出強化が考えられる。

#### 4. まとめ

金属系バイオマテリアルとして、現在最も需要があり、コスト的に有利なステンレス鋼に関して研究することは重要であると考えられる。本調査において、その開発が必要とされる生体適合性に優れたステンレス鋼として、高耐食性・強磁性フェライト系スーパーステンレス鋼、高強度・高耐摩耗性フェライト系スーパーステンレス鋼を提案した。活用される場面としては、<sup>13)</sup>については、取り外しが可能な補綴物としての歯科材料への適用(歯科用磁性アタッチメント<sup>13)</sup>など)、<sup>14)</sup>については、耐食性を必要とするポーンプレー

トなどへの適用が考えられる。

#### 参考文献

- 1)例えば、赤堀俊和ほか：“歯科用 Ti-6Al-7Nb 鑄造合金の機械的性質に及ぼす化学熱処理の影響”。日本金属学会誌，64(10)，p895-902 (2000)
- 2)浜中人士：“医学および歯学の分野における金属材料の進歩”。日本金属学会会報，23(4)，p238-244(1984)
- 3)安田克廣ほか：“医療用金属材料”。日本金属学会会報，15(8)，p497-507(1976)
- 4)石川邦夫：“歯科材料の現状と問題点”。材料と環境，51(8)，p331-340(2002)
- 5)鈴木隆志：“ステンレス鋼の発明”。ステンレス鋼便覧 第3版(ステンレス協会編)。東京，日刊工業新聞社，p5-6(1995)
- 6)奥野 攻：“金属系バイオマテリアルの歴史”。金属系バイオマテリアルの基礎と応用。東京，アイピーシー，p11-18(1999)
- 7)朝倉健太郎：“新しい金属系バイオマテリアル”。金属，61(12)，p7-15(1991)
- 8)立石哲也ほか：“医用材料”。金属材料活用事典。東京，産業調査会，p651-660(2000)
- 9)新家光雄：“チタン系生体材料”。素形材，43(10)，p8-14(2002)
- 10)浜中人士：“金属系生体材料の役割”。金属学会セミナー・テキスト 材料の環境調和性とバイオマテリアル。仙台，日本金属学会，p57-62(1999)
- 11)桜井 弘：“金属の生体毒性”。金属系バイオマテリアルの基礎と応用。東京，アイピーシー，p356-372(1999)
- 12)鈴木隆志：“耐海水用スーパーステンレス鋼へ発展”。ステンレス鋼発明史。東京，アグネ技術センター，p133-150(2000)
- 13)本蔵義信ほか：“特集 医用機器用金属材料の動向 各社の医用機器関連材料”。特殊鋼，42(11)，50-60(1993)

