

機関番号：16101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21791905

研究課題名（和文） 圧電効果を利用した初期固定促進型即時荷重インプラントの開発

研究課題名（英文） The development of implant using piezoelectric effect

研究代表者 内藤 禎人 (NAITO YOSHIHITO)

徳島大学・病院・助教

研究者番号：20509773

研究成果の概要（和文）：

現在ではインプラント治療は歯科における重要な治療オプションのひとつである。しかし、より早期での骨結合が望まれている。そこで、チタン表面に圧電素子を配置し、自己発電により、周囲骨との早期結合獲得を試みた。まず、今回は基礎実験を行い、チタン表面の圧電素子の生成条件の評価、そして咬合を模した系における繰り返し荷重実験を行った。事象として、実際にチタン表面に早期にアパタイトの析出が確認された。

研究成果の概要（英文）：

Dental implant is important options in dentistry. But bone connection at early stage is desired. Then, we tried to arrange the piezo-electric device on the titanium surface, early of the around bone connection acquisition with self generating. Firstly, we experimented fundamentally, the repeated load experiment in the system which imitates the appraisal, and occlusion of formation condition of the piezo-electric device of the titanium surface it did. As a phenomenon, early precipitation of the apatite was really verified on the titanium surface.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：歯学、生体材料、チタン、表面改質

1. 研究開始当初の背景

歯を失った患者に対して、歯科インプラントを用いた補綴治療が一般的に行われている。その代表的材料であるチタンは強さや硬さといった機械的性質に優れ、体内での長期的使用に耐えうる高い生体適合性を示すこと

に加え、骨と直接結合する骨伝導能を発揮するという優れた特性を示す。しかし、近年、インプラント治療では即時荷重、早期荷重が可能な治療が求められるようになっており、チタンと骨とが結合する速度についてはより一層の向上が必要とされ、種々の改良が

試みられている。

チタンの骨伝導速度の向上においては、チタン表面に骨の主成分の一つであるハイドロキシアパタイト（以下 HAp）が早期に生成することが重要とされている。その手法の一つに、化学的手法によりチタン表面に分子を修飾し、HAp が析出する核とする手法がある。申請者はこれまでに、チタンを水酸化カルシウム水溶液中で高温高圧処理することで、チタン表面にチタン酸カルシウムを生成させ、HAp 析出速度を向上させることに成功している。本手法による HAp 析出速度向上機構は、生成したチタン酸カルシウム分子がチタン表面でプラスに帯電することでチタン表面が分極し、体液中のリン酸イオン（マイナス）やカルシウムイオン（プラス）などと強く結合することにより、HAp が析出しやすくなるものと考えている。このように、表面微小領域での微弱な電気化学的作用により HAp の析出を促進することが可能であり、より積極的な電流の利用によって HAp 析出速度の更なる向上が期待できる。このような微弱な電流の利用による骨折部の治療は既に行われており、種々の電流の供給方法によって一定の有効性を示す治療が可能とされている。このような電流による骨折部位の治療促進作用の機序についてはまだ明らかになっていない点も多いが、これらの知見より、体内に流れる微弱電流によって骨の再建が阻害される可能性は低く、チタン表面への骨の結合を促進させる手法として有効である可能性もある。

歯科インプラントとして使用されるチタンに対する電流供給手法を検討する場合、口腔内粘膜を貫通する経皮的な手法は咀嚼の障害となり、また咀嚼時に顎骨とともに運動することから大きな装置を用いる間接的供給も現実的ではない。したがって、電流はインプラント自らが供給する必要がある。その手法の一つとして、チタンと異種金属のイオン化傾向の差異を利用した局部電池形成による電流供給が提案され、一定の有効性が示されている。しかし、この手法では生体組織中に電流が流れ、それが知覚されることによる疼痛等の危険があることから、材料表面近傍に限定した電流供給手法がより好ましいと考えられる。材料自身が発電を行う現象として圧電効果が知られている。圧電効果は、材料に歪を与えることで分極が生じ、

電圧が発生する現象である。この歪→電圧変換機能を利用して、チタン合金繊維表面に圧電セラミック被膜を生成し、発生電圧から繊維の歪を測定する複合材料が提案されている。

2. 研究の目的

近年、インプラント治療では即時荷重、早期荷重の要求が高まっている。チタンの骨伝導速度の向上には、ハイドロキシアパタイト（以下 HAp）の早期生成が重要である。化学的手法により、チタン表面でプラスに帯電することでチタン表面が分極し、体液中の PO_4^{3-} や Ca^{2+} などと強く結合することで、HAp が析出しやすくなる。材料自身が発電を行う圧電効果は、材料に歪を与えることで分極が生じ、電圧が発生する歪→電圧変換現象である。本研究では表面に圧電セラミック被膜を生成した即時荷重チタンインプラントを想定し、繰り返し荷重によりチタン-圧電セラミック間に繰り返し発生する電流による HAp 析出促進の有効性を検討する。

3. 研究の方法

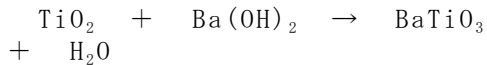
圧電セラミックスとして BT を用いる。BT は生体適合性の点で実用化は困難だが、チタン上での生成が容易であり、圧電特性が高いことから、本研究の有効性の検証に適している。

1. チタン板の下地処理

BT の成膜では通常、基盤金属上に均一な膜を形成することを目指す。本研究では材料表面への HAp の析出を目指していることから、HAp との結合性が高いチタンが露出した状態の BT 膜生成を目指す。その手法としては、表面を粗く（粒度 #280）研磨したチタン板上に BT を成膜し、次いで表面を軽く研磨（粒度 #800）して凸部の BT を除去し、凹部にのみ BT が残存している状態を作る。凹凸の深さや密度などの表面性状は走査型電子顕微鏡で観察し、生成した BT の残存量、分布状態などにより最適化を行う。

2. BT の生成

BT の生成に用いられる主な手法には水熱合成法、ゾル・ゲル法、気相合成法などがあるが、本研究では簡便かつ効率的なプロセスである水熱合成法を採用した。水熱合成法では、チタン板を水酸化バリウム水溶液中で高圧下加熱処理し、



の反応によりチタン表面の酸化チタン膜をBTに転換するものである。このプロセスは、申請者が従来行ってきたチタン表面にチタン酸カルシウムを生成するプロセスと同一反応である。

3. 擬似体液中での繰り返し負荷試験

擬似体液としては申請者が従来から用いている Hanks 溶液を用いる。繰り返し負荷試験には現有の液体浸漬試験用容器付き疲労試験機を用いる。荷重と負荷回数を変化させた試験を行い、チタン表面への HAp 析出量が最大となる条件を明らかにする。HAp 析出量は、申請者が従来から用いている単位表面積あたりの重量増加量で評価する。

4. 研究成果

到達目標としては①表面に圧電セラミック被膜を生成したチタンに繰り返し荷重を与えると、擬似体液中のチタン表面への HAp 析出が促進されることを確認する。②最も効果的に HAp を析出する圧電セラミックの性状（結晶性など）と繰り返し荷重条件（最大荷重値など）を調べ、そこから擬似体液中の HAp 析出に最適な電流、電圧条件などを明らかにするの 2 点であった。

今年度の目的は試料の作製条件の確立であった。数ある修飾方法の中から簡便かつ効率的なプロセスである水熱合成法を採用、チタン板を水酸化バリウム水溶液中で高压下加熱処理して表面にチタン酸バリウム被膜形成の最適条件の検討を行った。被膜形成の検討には X 線解析や、電子顕微鏡を行い、表面性状を確認した。圧電セラミック被膜生成条件に関しては、温度、圧力以外にも pH にも効果が左右されることがわかり、今後パラメータを増やして最適条件を求める必要がある。図 1 には本法により、チタン表面に圧電セラミックスを析出した写真である。また、図 2 には試料表面のエクス線分析結果を示す。本法により表面に多くのチタン酸バリウム結晶を析出することができた。

これに引き続き、今回の作製した試料を用いて荷重と負荷回数を変化させた繰り返し試験を行い、チタン表面への HAp 析出量が最大となる条件の検討を行った。本試験は疲労試験機

を用いたが、液体浸漬試験用容器を設置し、より生体内での環境に近づけた状態での試験を行った。

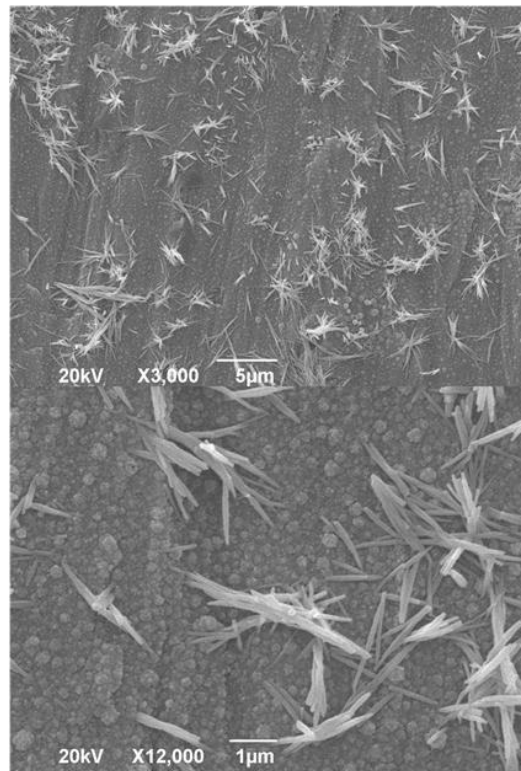


図1チタン表面の圧電セラミックス性状

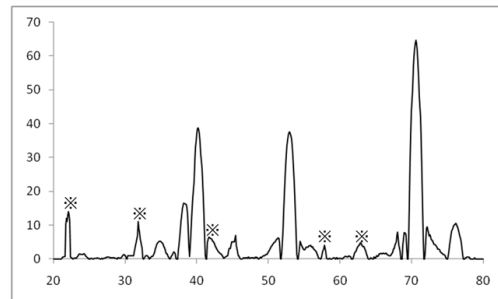


図2 表面エクス線解析(※BT)

繰り返し荷重試験は咬合力を想定し、50kg の荷重で咀嚼回数 30000 回（1500/日、20 日相当）を行った。各条件につき、重量変化が認められ、電子顕微鏡像においてもアパタイトの析出を認めた。しかし、定性的な評価にとどまり、定量評価は今後の課題である。

圧電セラミック被膜生成条件に関しては、温度、圧力以外にも pH にも効果が左右されることがわかり、今後パラメータを増やして最適条件を求める必要がある。擬似体液内での繰り返し荷重試験では、実験に用いたほと

んどの試料において、コントロールに比べてハイドロキシアパタイトの析出が認められた。事象として、実際にアパタイト析出が起こりうることは確認されたため、今後は、圧縮時の表面電位の変化を測定し、アパタイト析出量が最大となった試験条件における負荷、チタン酸バリウムの結晶性から、最も析出を促進する発生電圧を明らかにする。これにより、現在鋭意進められている生体適合型圧電セラミックスの研究開発の中から、アパタイト析出を促進する候補材料を選定する際の重要な指針を提示できると考えている。

徳島大学・病院・助教
研究者番号：20509773

(2)研究分担者 ()

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

内藤 禎人 (NAITO YOSHIHITO)