



Title	電子ビーム積層造形法を用いた生体骨類似機能化チタン合金の開発と機能制御
Author(s)	福田, 英次
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/26261
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

電子ビーム積層造形法を用いた生体骨類似機能化チタン合金の開発と機能制御

学位申請者 福田英次

本論文では、新規製造方法である電子ビーム積層造形技術を活用し、生体骨類似の弾性率および力学的異方性を有する生体骨類似機能化チタン合金の開発を行うとともに、それらの力学機能制御を試みた。さらに、生体組織適合性の観点より、化学・水熱処理による電子ビーム積層造形法で作製したチタン合金造形体への高硬組織適合性付与と生体為害性を示さないTi-15Zr-4Nb-4Ta合金の電子ビーム積層造形法での造形体作製法を確立することを目的とした。

第1章は序論であり、人工関節を取り巻く環境と人工関節に用いられる生体骨代替用金属材料に要求される機械的性質、疲労特性、耐食性、生体骨類似機能性および生体組織適合性について述べた。さらに、人工関節の新規製造方法となり得る電子ビーム積層造形法の特徴と、それを活用して実現を目指す生体骨類似機能性と生体組織適合性を兼ね備えた未来型人工関節について述べた。

第2章では、電子ビーム積層造形法で作製したTi-6Al-4V合金造形材の機械的性質は、造形材の相対密度と結晶粒サイズにより支配されており、それらは、電子ビームの走査速度に依存していることを明らかにした。さらに、電子ビーム積層造形法で作製したTi-6Al-4V合金造形材の機械的性質、疲労特性および耐食性は、既に人工関節の材料として用いられている生体骨代替用金属材料のそれらと比較しても逸脱しておらず、規格規定値も満足していることより、電子ビーム積層造形法で作製したTi-6Al-4V合金造形材は、生体骨代替用金属材料として有効であることを示した。

第3章では、金属粉末（パウダー部）と金属緻密体（ソリッド部）からなる新規複合構造体（パウダー/ソリッド複合構造体）を考案し、パウダー部とソリッド部を適切に配置することで、ヒトの皮質骨の弾性率と降伏応力に一致するパウダー/ソリッド複合構造体の創製に成功した。さらに、パウダー/ソリッド複合構造体の弾性率は、複合則により予測可能であることを見出した。これにより、パウダー/ソリッド複合構造体の弾性率が制御可能となった。

第4章では、ソリッド部を主軸3方向において異方性配置設計し、電子ビーム積層造形法にて作製することで、主軸3方向において顕著な力学的異方性を示すパウダー/ソリッド異方性複合構造体の創製に成功した。さらに、構造体の外形サイズや壁厚あるいはソリッド部とパウダー部のサイズやソリッド部の数量を変化させることで弾性率や力学的異方性などの力学機能が制御可能であることを明らかにした。

第5章では、 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{HNO}_3$ 水溶液を用いた化学処理およびその後の NH_3 水溶液を用いた水熱処理により、電子ビーム積層造形法で作製したTi-6Al-4V合金表面に、生体活性な TiO_2 膜を合成することに成功し、疑似体液浸漬処理により骨類似アパタイトが析出することを確認した。

第6章では、造形パラメータの適性化により生体為害性を示さないTi-15Zr-4Nb-4Ta合金を電子ビーム積層造形法で作製可能とした。さらに、作製したTi-15Zr-4Nb-4Ta合金造形材の機械的性質、疲労強度および耐食性は、既に人工関節の材料として用いられている生体骨代替用金属材料のそれらと比較しても逸脱しておらず、規格規定値も満足していることより、生体骨代替用金属材料として有効であることを示した。Ti-15Zr-4Nb-4Ta合金造形材における空隙の存在とそのサイズが疲労強度に大きく影響していることを明らかにした。

第7章は総括であり、本論文の成果を組み合わせることで、これまでに類をみない生体骨類似機能性と生体組織適合性を兼ね備えた未来型人工関節の実現が可能であることを示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (福田英次)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	中野 貴由
	副 査	教授	藤本 慎司
	副 査	教授	荒木 秀樹
論文審査の結果の要旨			
<p>本論文では、新規材料製造方法である電子ビーム積層造形技術を駆使して、原料 Ti-6Al-4V 合金粉末（パウダー部）と原料 Ti-6Al-4V 合金粉末を電子ビームで溶融凝固した緻密部（ソリッド部）を複合化することで、生体骨類似の弾性率および力学的異方性を有する生体骨類似機能化チタン合金の創製およびその機能制御を行っている。Ti-6Al-4V 合金造形体への化学・水熱処理による生体活性表面修飾および生体為害性を示さない Ti-15Zr-4Nb-4Ta 合金造形体の創製の検討を併せて行っている。</p> <p>第 1 章は序論であり、人工関節に用いられる生体骨代替用金属材料に要求される機械的性質、疲労特性、耐食性、生体骨類似機能性および生体組織適合性について本研究の背景を述べている。人工関節の新規製造方法となりうる電子ビーム積層造形法の特徴およびそれを駆使した生体骨類似機能化チタン合金について明瞭に解説している。</p> <p>第 2 章では、電子ビーム積層造形法で作製した Ti-6Al-4V 合金造形体の機械的性質が、相対密度および結晶粒サイズにより支配されていることを見出し、それらは、造形パラメータの一つである電子ビームの走査速度に依存することを解明し、造形パラメータの選択により、材質設計が可能であることを示している。さらには適正な造形パラメータで作製した Ti-6Al-4V 合金造形体は、生体骨代替用金属材料として有効であることを実証している。</p> <p>第 3 章では、パウダー部とソリッド部からなる新規複合構造体（パウダー/ソリッド複合構造体）を考案し、パウダー部およびソリッド部の配置パターンの適性化により、ヒト皮質骨の弾性率および降伏応力に合致するパウダー/ソリッド複合構造体の創製が可能であることを示している。パウダー部およびソリッド部の弾性率および体積率を用いた複合則によりパウダー/ソリッド複合構造体の弾性率の予測が可能であることを明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、ソリッド部を主軸 3 方向において異方性配置設計することで、生体骨類似の主軸 3 方向において顕著な力学的異方性を示すパウダー/ソリッド異方性複合構造体の創製が可能であることを示している。パウダー部およびソリッド部の構造設計により、弾性率および力学的異方性の制御が可能であることを示している。</p> <p>第 5 章では、H_2O_2/HNO_3 水溶液を用いた化学処理およびその後の NH_3 水溶液を用いた水熱処理により、Ti-6Al-4V 合金造形体表面に生体活性な TiO_2 膜の合成が可能であることを明らかにしている。さらには、その後の疑似体液浸漬処理により、骨伝導能を持つ骨類似アパタイトが析出することを明らかにしている。</p> <p>第 6 章では、造形パラメータの適性化により生体為害性を示さない Ti-15Zr-4Nb-4Ta 合金を電子ビーム積層造形法で作製可能であることを明らかにしている。さらには機械的性質、疲労特性および耐食性の視点から、生体骨代替用金属材料として有効であることを示している。</p> <p>以上のように、本論文は材質・構造設計の視点から、生体用チタン合金への生体骨類似力学機能付与およびその機能制御を可能にする新規手法・概念を与えるものであり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。</p> <p>したがって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>			