

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02036

研究課題名（和文）骨固定用金属製インプラントの超異方的剛性機能設計のための指導原理

研究課題名（英文）Guiding principles for design of ultra-anisotropic stiffness function of metallic implants for bone fixation

研究代表者

仲井 正昭（Nakai, Masaaki）

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：20431603

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：金属製インプラントの剛性は、応力遮蔽抑制のために骨軸方向に低く、骨治癒を促進するためにせん断方向に高いことが望まれる。そこで、金属積層造形により結晶方位配向を制御し、縦方向のヤング率が低く、横方向のヤング率が高い金属製プレートの作製を試みた。供試材には316Lステンレス鋼を用い、結晶方位配向が、面内直交方向に<100>/<110>および<110>/<111>となるようにした。その結果、横方向のヤング率が縦方向のヤング率より高い金属製プレートの作製に成功した。しかし、実際に得られたヤング率と単結晶のヤング率とは差があった。この差は、造形プロセスの最適化により小さくすることができると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既に超高齢社会となっている我が国では、骨疾患の症例数も増加しており、金属インプラントの使用機会が増加している。それにもかかわらず、我が国の金属インプラントの市場は、外国製品に頼っており、国産製品が占める割合は極めて小さい。しかし、本研究のように新たな機能を持たせて付加価値の高い金属インプラントが開発されれば、実際にそれを利用する医師や患者にとって有益であるとともに、外国製品との差別化より競争力のある国内産業の創出にも貢献すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Low stiffness in the axial direction is required to suppress stress shielding, whereas high stiffness in the shear direction is required to promote bone healing in metallic implants. Therefore, using an additive manufacturing technique, metallic plates having a low Young's modulus in the longitudinal direction and high Young's modulus in the lateral direction were tried to be fabricated by controlling crystallographic orientation. 316L stainless steel was used as a material, and two types of crystallographic orientations were set to be <100>/<110> and <110>/<111> along two in-plane orthogonal directions. As the results, the fabricated plates with the Young's modulus higher in the lateral direction than that in the longitudinal direction could be obtained successfully. However, the Young's modulus of fabricated plates was different from that of single crystal. It is considered that this difference can be decreased by optimizing the fabrication process.

研究分野：生体材料学、金属材料学

キーワード：生体材料 ステンレス鋼 金属積層造形 結晶方位配向 ヤング率 異方性 骨固定 インプラント

1. 研究開始当初の背景

医療用金属材料の研究分野では、骨と金属製インプラントとの剛性の差に起因する応力遮蔽による骨改変時の骨量・骨質低下の抑制を目的として、数多くの低ヤング率型チタン合金が開発されてきた。しかし、金属製インプラントに低ヤング率型チタン合金を用いると剛性が低くなるため、骨欠損が修復されるのに必要となる固定性が十分に得られない懸念がある。すなわち、金属製インプラントの剛性は、骨修復と骨改変(骨修復後)のどちらを対象とするかで適正値が異なり、前者に対しては高剛性、後者に対しては低剛性が有効であると考えられる。さらに、骨軸方向に比べて、せん断方向の固定性の欠如が骨修復に対して有害に作用するといった指摘もあり、金属製インプラントによる骨固定では、力学的負荷の方向も考慮すべきであることが示唆される。これらのことを併せると、金属製インプラントの剛性は、骨軸方向には低く、せん断方向には高いのが望ましいことになる。そこで、ヤング率異方性を意図的に大きくし、縦方向には低ヤング率であるが、横方向には高ヤング率である金属製プレートの開発を目指すこととした。

2. 研究の目的

金属のヤング率は結晶方位に依存して変化し、結晶構造が立方晶(体心立方格子(BCC)や面心立方格子(FCC)等)からなる型チタン合金やオーステナイト系ステンレス鋼では、 $\langle 100 \rangle$ よりも $\langle 110 \rangle$ が高く、さらに $\langle 110 \rangle$ よりも $\langle 111 \rangle$ が高くなることが多い。この結晶方位依存性をヤング率異方性の制御に利用する。通常、金属材料は多結晶からなっている。多結晶材料の結晶方位を配向させるには、一般的には、加工熱処理により集合組織を形成させる。ただし、多結晶材料の集合組織は、塑性加工の程度と方向に強く依存するため、任意の結晶方位への配向制御には困難を伴う。一方で、単結晶材料はコスト上および製造上の制約があり、実用化への展開は容易ではない。しかし、最近、金属積層造形を用いることにより、造形条件の工夫次第で、単結晶様の組織形成を実現することができ、これらの課題を克服できる可能性があることが提案されている。そこで、本研究では、まずは汎用の医療用金属材料であり、金属積層造形に関する研究報告も多い316Lステンレス鋼を用いて、板状造形体を試作し、その結晶方位配向性およびヤング率異方性を評価することにより、面内の直交する二方向の結晶方位配向の実現可能性について検討した。

3. 研究の方法

供試材として316Lステンレス鋼粉末を用いた。造形には、パウダーベッド方式のレーザービーム型金属積層造形装置を用いた。造形条件を従来の研究報告を基に決定し、縦方向と横方向がそれぞれ $\langle 100 \rangle / \langle 110 \rangle$ および $\langle 110 \rangle / \langle 111 \rangle$ に配向するように図1に示す造形体を作製した。各造形体の名称を、レーザー走査方向および積層方向を用いて、それぞれXscan-90°buildおよびXscan-45°buildとする。造形後、電子線後方散乱回折(EBSD)を備えた走査型電子顕微鏡(SEM)によりミクロ組織を評価した。引張試験により得られた応力-ひずみの関係からヤング率を求めた。

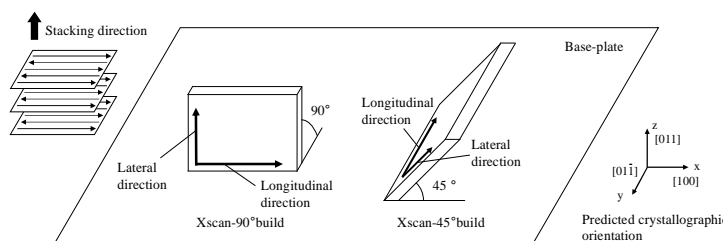


図1 金属積層造形におけるレーザー走査方向と造形方向

4. 研究成果

Xscan-90°buildの横方向に垂直な断面(xy面)のSEM/EBSDによるミクロ組織観察および結晶方位分析の結果を図2に示す。IQマップから、結晶粒の形状は、微細な等軸粒と、y方向に伸長した柱状粒とからなっている。この伸長方向はレーザー走査方向に垂直方向である。柱状粒は、いったん溶解・凝固した部分が、隣のレーザー走査トラックで再溶解されたときに、走査トラック境界から内側に向けて結晶成長したことにより形成されると考えられる。IPFマップから、緑色で示される $\{110\}$ が多くの領域を占有しているが、黄色やピンク色等の $\{110\}$ ではない結晶面も存在していることがわかる。この分析結果を基に作成した $\{100\}$ 、 $\{110\}$ および $\{111\}$ 極点図とステレオ投影シミュレーション結果とを比較すると、y軸

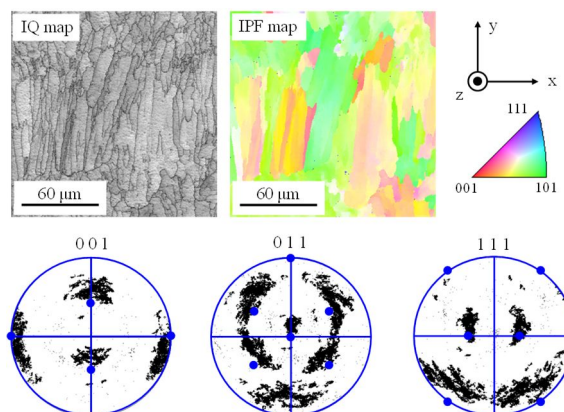


図2 Xscan-90°buildのxy面におけるEBSD分析結果

中心および z 軸中心の回転方向のずれはほとんどないが、x 軸中心に 15° 程度の回転方向のずれが生じている。すなわち、この分析結果は、x 方向には<100>に強く配向しているが、y 方向と z 方向の結晶方位配向性が x 方向よりも若干低いことを示唆している。立方晶からなる金属での結晶方位配向は造形初期でのレーザー走査パターンに依存した特定方位への選択的な結晶成長およびそれに続くエピタキシャル成長に基づくと考えられており、積層するレイヤー間で結晶方位を連続させることでエピタキシャル成長により核生成エネルギーをできるだけ下げようとすることと結晶成長の駆動力が与えられる熱流方向に近い方向へ結晶成長しようとする事により結晶方位が決定される。本研究で実施したように一軸方向に平行にレーザーを走査させて造形した場合、優先結晶成長方向は<100>であるため、理想的には、レーザー照射によって生じる溶融池内では積層方向に対して±45°方向およびレーザー走査方向(溶融池の長手方向)に<100>に配向した単結晶様の集合組織が形成されることになる。しかし、実験結果として、レーザー走査方向(図1のx軸方向)には意図したとおり比較的強い<100>の配向が得られたが、積層方向(図1のz軸方向)の<110>の配向が若干低下していた。上記の集合組織形成機構に基づくと、本研究で意図した集合組織を完全に形成させることができなかったのは、溶融池の形状、すなわち、溶融池断面における固液界面の積層方向に対する角度が±45°からずれたことが大きな要因の一つであると考えられる。溶融池の形状は、レーザー出力、走査速度、ハッチングピッチ、積層厚さ等の造形条件に依存する。したがって、本研究で実施した造形において、意図した結晶方位にさらに強く配向させるには、造形条件のさらなる最適化が必要であると考えられる。なお、レーザー走査方向と垂直方向(図1のy軸方向)の<110>の配向低下は積層方向の<110>の配向低下に伴って生じたと考えられる。Xscan-45°buildについては、造形条件だけでなく造形方向にも改善の余地がある。x方向に<100>、y方向およびz方向に<110>に結晶方位が配向した造形体の<110>のxz面およびyz面への投射を考えると、yz面内ではz軸と平行となるが、xz面内ではx軸方向から55°傾いている。したがって、本研究で実施したXscan-45°buildの造形方向では、理想的な結晶方位配向が得られない。縦方向に<110>、横方向に<111>と平行になるように結晶方位を配向させたプレートを得るためには、プレート面がxy面から55°傾くように造形することが望ましいと考えられる。

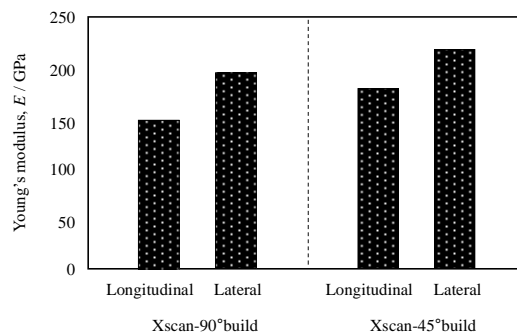


図3 Xscan-90° build および Xscan-45° build のヤング率

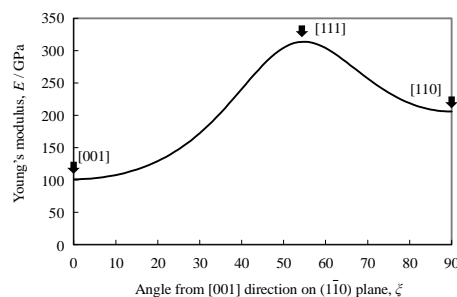


図4 オーステナイト系ステンレス鋼単結晶のヤング率の結晶方位依存性

Xscan-90°build および Xscan-45°build における縦方向および横方向のヤング率を図3に示す。いずれの造形体においても、縦方向よりも横方向に高いヤング率を得ることに成功したことがわかる。本研究で作製した試験片の各方向のヤング率値の妥当性を検証するため、オーステナイト系ステンレス鋼単結晶のヤング率の結晶方位依存性を考える。弾性スティフネス定数の報告値を用いて求めたヤング率の結晶方位依存性を図4に示す。各結晶方位のヤング率は、それぞれ $E_{001} = 101$ GPa、 $E_{110} = 206$ GPa および $E_{111} = 314$ GPa となる。本研究で作製した Xscan-90°build の縦方向および横方向のヤング率はそれぞれ 148 GPa および 194 GPa であったことから、単結晶の<100>および<110>のヤング率に比べて、縦方向には46%高く、横方向には6%低い。また、Xscan-45°build の縦方向および横方向のヤング率はそれぞれ 180 GPa および 218 GPa であったことから、単結晶の<110>および<111>のヤング率に比べて、縦方向には13%低く、横方向には31%低い。Xscan-90°build の横方向および Xscan-45°build の縦方向のヤング率と単結晶の<110>のヤング率との差が小さいが、これは結晶方位配向性が高いわけではなく、<110>のヤング率が<100>および<111>のヤング率の中間の大きさであるため、結晶方位配向性が高くなくても、種々の結晶方位のヤング率が平均化された値になるためであると考えられる。Xscan-90°build の縦方向と単結晶の<100>のヤング率との差および Xscan-45°build の横方向のヤング率と単結晶の<111>のヤング率との差は大きく、これらには改善の余地がある。ヤング率は物性値の一つであり、結晶粒の大きさや形状にはほとんど依存せず、結晶方位の配向性によってほぼ一義的に与えられる。したがって、既に各造形体の結晶方位配向について考察したとおり、Xscan-90°build については造形条件の最適化、Xscan-45°build については造形条件の最適化に加えて造形方向の改善により、単結晶のヤング率に近づけることが可能であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件／うち国際共著 10件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 M. Nakai, K. Narita, K. Kobayashi, K. Sasagawa, M. Niinomi and K. Hasegawa	4. 巻 64
2. 論文標題 Concept and fabrication of beta-type titanium alloy rod with parts possessing different Young's moduli for spinal fixation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 147 ~ 154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-MLA2022019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 S. Takeda, K. Ueki, K. Ueda, M. Nakai, T. Nakano and T. Narushima	4. 巻 862
2. 論文標題 Improvement of mechanical properties of Co-Cr-W-Ni alloy tube suitable for balloon-expandable stent applications through heat treatment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mater. Sci. Eng. A	6. 最初と最後の頁 ID No. 144505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2022.144505	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Ueki, R. Hirano and M. Nakai	4. 巻 34
2. 論文標題 Development of biodegradable Fe-Mn-Mg alloys by mechanical alloying and spark plasma sintering	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mater. Today Commun.	6. 最初と最後の頁 ID No. 105465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtcomm.2023.105465	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Yilmazer, I. Caha, B. Dikici, F. Toptan, M. Isik, M. Niinomi, M. Nakai, A.C. Alves	4. 巻 13
2. 論文標題 Investigation of the influence of high-pressure torsion and solution treatment on corrosion and tribocorrosion behavior of CoCrMo alloys for biomedical applications	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 ID No. 590
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst13040590	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 O. Yigit, B. Dikici, M. Kaseem, M. Nakai and M. Niinomi	4. 巻 37
2. 論文標題 Facile formation with HA/Sr-GO-based composite coatings via green hydrothermal treatment on beta-type TiNbTaZr alloys: Morphological and electrochemical insights	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Mater. Res.	6. 最初と最後の頁 2512 ~ 2524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/s43578-021-00470-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Q. Li, Q. Huang, J. Li, Q. He, M. Nakai, K. Zhang, M. Niinomi, K. Yamanaka, A. Chiba and T. Nakano	4. 巻 32
2. 論文標題 Microstructure and mechanical properties of Ti-Nb-Fe-Zr alloys with high strength and low elastic modulus	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Trans. Nonferrous Met. Soc. China	6. 最初と最後の頁 503 ~ 512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/S1003-6326(22)65811-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 N.B. Abdullah, D. Miyazaki, E. Yamamoto, K. Ueki and M. Nakai	4. 巻 37
2. 論文標題 Effect of low modulus titanium plate fixation on rabbit femur bone healing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Mater. Res.	6. 最初と最後の頁 2536 ~ 2545
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1557/s43578-022-00616-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N.B. Abdullah, D. Miyazaki, E. Yamamoto, K. Ueki and M. Nakai	4. 巻 9
2. 論文標題 Effect of titanium plate stiffness on bone healing in rabbit femur	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mech. Eng. J.	6. 最初と最後の頁 ID No. 22-00282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mej.22-00282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Zarka, B. Dikici, M. Niinomi, K.V. Ezirmik, M. Nakai and H. Yilmazer	4. 巻 183
2. 論文標題 A systematic study of -type Ti-based PVD coatings on magnesium for biomedical application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 ID No. 109850
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2020.109850	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 K. Ueki, S. Yanagihara, K. Ueda, M. Nakai, T. Nakano and T. Narushima	4. 巻 62
2. 論文標題 Improvement of mechanical properties by microstructural evolution of biomedical Co-Cr-W-Ni alloys with the addition of Mn and Si	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 229 ~ 238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2020300	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Q. Li, H. Sun, J. Li, X. Yuan, M. Nakai, M. Niinomi and T. Nakano	4. 巻 30
2. 論文標題 Influence of Sintering Temperature on Mechanical Properties of Ti-Nb-Zr-Fe Alloys Prepared by Spark Plasma Sintering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Mater. Eng. Perform.	6. 最初と最後の頁 5719 ~ 5727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11665-021-05804-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Q. Li, J. Yang, J. Li, R. Zhang, M. Nakai, M. Niinomi and T. Nakano	4. 巻 62
2. 論文標題 Antibacterial Cu-doped calcium phosphate coating on pure titanium	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 1052 ~ 1055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2021005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Zarka, B. Dikici, M. Niinomi, K.V. Ezirmik, M. Nakai and M. Kaseem	4. 巻 192
2. 論文標題 The Ti3.6Nb1.0Ta0.2Zr0.2 coating of anodized aluminum by PVD: A potential candidate for short-time biomedical applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 ID No. 110450
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2021.110450	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 仲井正昭	4. 巻 69
2. 論文標題 共振式平面曲げ疲労試験法による生体用 型チタン合金の疲労特性の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 チタン	6. 最初と最後の頁 238 ~ 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 仲井正昭, 佐脇凜, 植木洸輔, 黒須信吾, 南部智憲	4. 巻 87
2. 論文標題 積層造形法により結晶方位を配向させた面内直交異方性を有する医療用316L ステンレス鋼プレートの力学的特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 ID No. 21-00101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Yanagihara, K. Ueki, K. Ueda, M. Nakai, T. Nakano and T. Narushima	4. 巻 52
2. 論文標題 Development of low-yield stress Co-Cr-W-Ni alloy by adding 6 mass pct Mn for balloon-expandable stents	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Metall. Mater. Trans. A	6. 最初と最後の頁 4135 ~ 4145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11661-021-06374-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Nakai, T. Iwasaki and K. Ueki	4. 巻 124
2. 論文標題 Differences in the effect of surface texturing on the wear loss of β -type Ti-Nb-Ta-Zr and (α + β)-type Ti-6Al-4V ELI alloys in contact with zirconia in physiological saline solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Mech. Behav. Biomed. Mater.	6. 最初と最後の頁 ID No. 104808
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2021.104808	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Q. Li, C. Cheng, J. Li, K. Zhang, K. Zhou, M. Nakai, M. Niinomi, K. Yamanaka, D. Wei, A. Chiba and T. Nakano	4. 巻 29
2. 論文標題 Low Young's modulus and high strength obtained in Ti-Nb-Zr-Cr alloys by optimizing Zr content	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Mater. Eng. Perform.	6. 最初と最後の頁 2871 ~ 2878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11665-020-04826-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Q. Li, R. Zhang, J. Li, Q. Qi, X. Liu, M. Nakai, M. Niinomi, T. Nakano	4. 巻 29
2. 論文標題 Microstructure, Mechanical Properties, and Springback of Ti-Nb Alloys Modified by Mo Addition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Mater. Eng. Perform.	6. 最初と最後の頁 5366 ~ 5373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11665-020-05000-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 仲井正昭, 新家光雄	4. 巻 59
2. 論文標題 型Ti-Nb基合金の低ヤング率化の要因と医療応用研究の現状	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 まてりあ	6. 最初と最後の頁 588 ~ 593
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.59.588	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 V. Khademi, H. Liu, M. Nakai, M. Niinomi and C.J. Boehlert	4. 巻 321
2. 論文標題 The Deformation Behavior of Oxygen-Modified Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr(wt.%)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MATEC Web Conf.	6. 最初と最後の頁 ID No. 11003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/mateconf/202032111003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 N.B. Abdullah, M. Nakai, Y. Kawamura, E. Yamamoto and M. Niinomi	4. 巻 321
2. 論文標題 Effect of titanium plate fixation on bone healing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MATEC Web Conf.	6. 最初と最後の頁 ID No. 05015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/mateconf/202032105015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Ueki, S. Yanagihara, K. Ueda, M. Nakai, T. Nakano and T. Narushima	4. 巻 1016
2. 論文標題 Improvement of strength and ductility by combining static recrystallization and unique heat treatment in Co-20Cr-15W-10Ni alloy for stent application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mater. Sci. Forum	6. 最初と最後の頁 1503 ~ 1509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.1016.1503	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 宮崎大輔, ノルアインピンティアブドラー, 山本衛, 植木洸輔, 仲井正昭
2. 発表標題 弾性率の異なるTi合金プレートで固定した家兎大腿骨に形成された仮骨の定量評価
3. 学会等名 日本金属学会2023年春期 (第172回) 講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ノルアイン ビンティ アブドラー, 宮崎大輔, 山本衛, 植木洸輔, 仲井正昭
2. 発表標題 骨治癒の進行に及ぼすチタンインプラントプレートの剛性の影響
3. 学会等名 日本金属学会2023年春期(第172回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植木洸輔, 水谷祐太, 仲井正昭
2. 発表標題 生体用Co-Cr-W-Ni合金におけるメカニカルミリング法と放電プラズマ焼結を用いた調和組織形成による機械的特性向上
3. 学会等名 日本金属学会2023年春期(第172回)講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 N.B. Abdullah, D. Miyazaki, E. Yamamoto, K. Ueki and M. Nakai
2. 発表標題 Effects of elastic modulus differences between titanium alloys and bone on bone formation during early stage of healing
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 肥田輝, 植木洸輔, 上田恭介, 成島尚之, 仲井正昭
2. 発表標題 生体用Co-Cr-W-Ni合金におけるFe添加が機械的特性および耐食性に与える影響
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ノルアイン ビンティ アブドラ , 宮崎大輔, 山本衛, 植木洸輔, 仲井正昭
2. 発表標題 骨治癒時の仮骨形成パターンに及ぼすインプラントプレートの剛性の影響
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大田尚輝, 植木洸輔, 仲井正昭
2. 発表標題 高濃度Taを含有するTi合金インゴット内部のTa濃度分布と局所的ヤング率
3. 学会等名 日本金属学会2022年秋期(第171回)講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲井正昭
2. 発表標題 さらなる低ヤング率を目指した生体用チタン合金開発の取り組み
3. 学会等名 国際連携を見据えたマグネシウム・チタン若手研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀧遠, 植木洸輔, 仲井正昭
2. 発表標題 窒化真空複合処理による医療用チタン合金の硬化膜の形成
3. 学会等名 日本鑄造工学会関西支部令和4年度秋季支部講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐脇凜, 黒須信吾, 南部智恵, 植木洸輔, 仲井正昭
2. 発表標題 SUS316Lステンレス鋼積層造形板における結晶方位配向と力学的特性に及ぼす造形条件の影響
3. 学会等名 日本鑄造工学会関西支部令和4年度秋季支部講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N.B. Abdullah, D. Miyazaki, E. Yamamoto, K. Ueki and M. Nakai
2. 発表標題 Bone formation pattern after titanium alloy implantation in rabbit femur during early stage of healing
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Experimental Mechanics for Students and Young Researchers 2022 (IWAEM'22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Nakai
2. 発表標題 Effect of dimple texture on wear behaviors of -type Ti-Nb-Ta-Zr and (+)-type Ti-6Al-4V ELI alloys in contact with zirconia for biomedical applications
3. 学会等名 2nd International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (2nd UHAKS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲井正昭
2. 発表標題 医療用 型チタン合金の化学組成と力学的機能
3. 学会等名 日本鉄鋼協会シンポジウム (良好な地球環境を継続的に維持するためのチタンとその合金の開発自主フォーラム) 「チタン合金の相変態に関する研究動向」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N.B. Abdullah, D. Miyazaki, M. Nakai, K. Ueki, E. Yamamoto
2. 発表標題 Effects of titanium plate fixation on callus formation during early stage of bone healing
3. 学会等名 第4回日本金属学会第7分野講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植木洗輔, 平野涼, 仲井正昭
2. 発表標題 メカニカルアロイングおよび放電プラズマ焼結によって作製したFe-Mn-Mg合金の相変態挙動と機械的および腐食特性
3. 学会等名 日本金属学会2022年春期(第170回)大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ノルアイン ビンティ アブドラー, 宮崎大輔, 山本衛, 植木洗輔, 仲井正昭
2. 発表標題 初期治癒段階における骨形成に及ぼすインプラントプレートと骨との弾性率差の影響
3. 学会等名 日本金属学会2022年春期(第170回)大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大田尚輝, 植木洗輔, 仲井正昭
2. 発表標題 高濃度Taを含有するTi合金の溶解・凝固特性
3. 学会等名 日本金属学会2022年春期(第170回)大会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 H. Noguchi, S. Sakata and M. Nakai
2 . 発表標題 Hardness Evaluation of S45C Considering Heterogeneous Microstructure with Probabilistic Analysis
3 . 学会等名 The 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (ACMFMS2020+1) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Yamaguchi, S. Sakata and M. Nakai
2 . 発表標題 Shape and Topology optimization for Material Design of a Resin Structure fabricated by FDM method using the level set method
3 . 学会等名 The 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (ACMFMS2020+1) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Ueda , S. Sakata and M. Nakai
2 . 発表標題 Stochastic Homogenization Analysis of Lattice Structure Fabricated by Additive Manufacturing Considering Randomness in Size of Members
3 . 学会等名 The 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (ACMFMS2020+1) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Iwata, S. Sakata and M. Nakai
2 . 発表標題 Stochastic analysis of a resin specimen fabricated by FDM method with random field modeling of microstructure
3 . 学会等名 The 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (ACMFMS2020+1) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 仲井正昭
2. 発表標題 ヤング率可変型チタン合金の力学的特性とその改善
3. 学会等名 軽金属学会第139回秋期大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳原創, 植木洸輔, 上田恭介, 仲井正昭, 中野貴由, 成島尚之
2. 発表標題 MnおよびSiを添加したステント用Co-Cr合金の微細組織と機械的特性
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期（第167回）大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山本 衛 (Yamamoto Ei) (00309270)	近畿大学・生物理工学部・教授 (34419)	
研究分担者	京極 秀樹 (Kyogoku Hideki) (10258056)	近畿大学・次世代基盤技術研究所・特任教授 (34419)	
研究分担者	坂田 誠一郎 (Sakata Sei-ichiro) (80325042)	近畿大学・理工学部・教授 (34419)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	植木 洸輔 (Ueki Kosuke) (10845928)	近畿大学・理工学部・講師 (34419)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関