

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号： 11301

研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間： 2017～2019

課題番号： 17KK0126

研究課題名（和文）デンタルインプラントの界面制御を可能にするレーザー加工／機械加工複合プロセスの構築

研究課題名（英文）Development of novel manufacturing process for material interface design

研究代表者

水谷 正義（Mizutani, Masayoshi）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号： 50398640

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,300,000円

渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：インプラントの高機能化に対し、材料表面に微細構造を創成することで種々の機能性を付与可能な技術が注目されている。この点に対して本研究では、超精密切削により創成したマイクロメートルオーダのV溝構造と、短パルスレーザーにより創成されるナノメートルオーダの微細周期構造(LIPSS)を組み合わせることでマイクロ・ナノ複合微細構造の創成を試み、その創成原理の解明を行うとともに、その構造が持つ機能性に注目して検討を行った。その結果、V溝の角度やレーザーの偏光方向、照射回数によってV溝内部で生じる光学的な挙動が変化し、それによって得られる複合構造が変化することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

“インプラント周囲炎”に関する課題は世界的に解決策を模索している状態で、未だ解決には至っていない。本研究によりこの課題を解決することが可能になれば、医歯学分野にとって画期的な成果となる。また、本研究で創成したマイクロ・ナノ複合構造により適切に「界面」の創成・制御が可能となれば工業的に非常に魅力的な機能の創出が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Functional surface creation technologies have garnered increasing attention over the years. These technologies can provide various functions to an Implant by establishing a fine structure on the material surface. Our study combined a micrometer-scale V-shaped groove structure using an ultra-precision cutting and nanometer-scale ultra-fine periodic structure (LIPSS) using a short-pulsed laser. Then, we clarified the creation principle and studied the functionality of the structure. As a result, it was found that optical behavior inside the V-shaped groove changed; therefore, the composite structure changed depending on the groove angle, laser polarization direction, and number of times of irradiation.

研究分野： 生産工学・加工学

キーワード： レーザ加工 歯科インプラント 微細周期構造 マイクロ・ナノ複合構造

様式 F - 19 - 2

1. 研究開始当初の背景

インプラントと生体組織との接着について、研究レベルでは2000年代前半から検討されてきた。ただし、世界的に見ても、現在までのところ軟組織との接着を積極的に得るための製品は実用されておらず、インプラント治療にとって解決することが急務な課題となっている。

軟組織と接触する部位において、現状では表面を鏡面状に仕上げることで繊維性結合組織の収縮により物理的に封鎖するという手法が行われている。これに対し最近では、組織との確実な接着を獲得し、いわゆる“生物学的封鎖”を達成するための方法が検討されている。例えば、表面に50 μm 程度の周期的な溝や孔を作成することにより、インプラントの長軸方向と垂直に配向する軟組織との接着を狙った研究がなされている。

ただし、それらの研究のほとんどは単純な幾何学形状について議論されたものであり、本研究で扱うような複雑かつ微細な形状について議論されたものは少ない。とくに、本研究で提案するような最先端の加工技術を複合させたプロセスにより表面（界面）を創成した事例は見当たらないが、本研究で創成しようとしている表面が、従来技術では成し得なかった軟組織との強固な固着に有効である可能性は申請者自身が示した通りである。すなわち、本研究の遂行により得られる成果は世界をリードするものであるとともに、ライフイノベーション分野、さらには生産加工分野においてもインパクトのある成果が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、(複合)微細構造に関する取り組みとして、切削加工とレーザー加工を組み合わせたプロセスに着目した。具体的には、超精密切削で創成したマイクロメートルオーダの微細溝斜面部に対して短パルスレーザー(Short Pulsed Laser, SPL)を照射してナノメートルオーダの微細周期構造(Laser Induced Periodic Surface Structure, LIPSS)を創成することでマイクロメートルオーダの溝の内部にナノメートルオーダの溝が存在するマイクロ-ナノ複合微細構造の創成を試みた。その際、SPLを照射する表面の溝構造がLIPSSの創成現象に及ぼす影響について検討を行った。

3. 研究の方法

本研究では試験片として、SUS430の母材に対してアモルファスニッケルリンをめっきした試料(以下、単にNi-P)を使用した。同材に対してまず、超精密微細形状加工機を用いてV溝構造を創成した。具体的には、ダイヤモンドRバイトで平面出しを行った後、90°および120°の刃先角を有するダイヤモンドVバイトを用いて深さ50 μm 、ピッチ500 μm のV溝加工を行った。なお、いずれの加工もオイルミスト環境下で行った。

次に加工後の試料に対してレーザー照射実験を行った。LIPSS創成に対するV溝の影響を検証するため、創成したV溝に対してレーザーの偏光方向を0°、45°、90°の3条件で照射実験を行った。なお、本研究ではV溝に平行の偏光方向を0°と定義する。また、照射条件として定めた照射エネルギー密度 E_d および照射回数 n は、平面試料に対してレーザー照射を行い、LIPSSが創成された値を参考に設定した。本実験で用いたレーザーのエネルギー密度分布はガウシアン分布となっており外気温が296Kの大気中でレーザー単発照射を行った。

4. 研究成果

本研究の成果の一部を示す。Ni-P表面にV溝を創成し、そのV溝斜面部に対して短パルスレーザー照射を行った際、創成されたLIPSSの走査型電子顕微鏡(SEM)像を図1および図2に示す。いずれも図の上側がV溝斜面、下側が平面、実線矢印がレーザーの偏光方向を示している。これらの図より、90°V溝に対して照射回数 $n=25$ でレーザーを照射した結果と、120°V溝に対してレーザーを照射した結果では、照射対象が平面の場合と同様にレーザーの偏光方向に垂直なLIPSSが創成された(図1(a)-(c)、図2)。一方で、90°V溝に対して照射回数 $n=5$ でレーザーを照射した場合、V溝斜面部ではレーザーの偏光方向に関わらずV溝方向に平行で、かつレーザー波長よりも明らかにピッチ幅の短いLIPSSが創成された(図1(d)-(f)中、破線矢印)。また、図1(a),(b)において創成されるLIPSSは偏光方向に垂直な周期性を有するものの、平面で創成される一般的なLIPSSと比較すると格子状に見えることが確認された。

以上の結果から、V溝斜面部で創成されるLIPSSは120°V溝および多照射回数で90°V溝にレーザーを照射した場合には平面と同様のLIPSS創成原理に従うが、少照射回数で90°V溝にレーザーを照射した場合は、平面とは異なる創成原理に従うと考えられる。

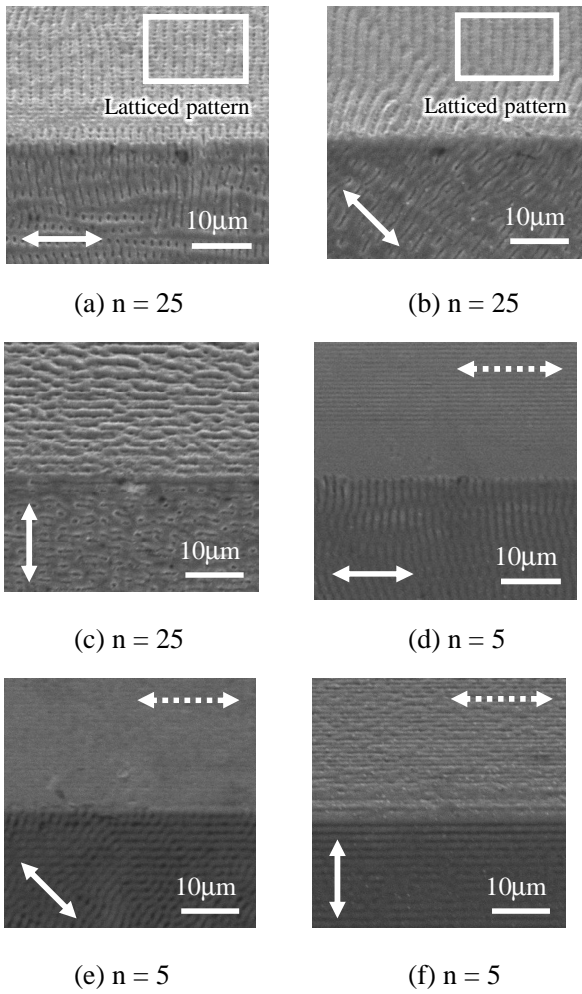


図1 90°V溝へのレーザー照射結果($E_d = 0.191$)

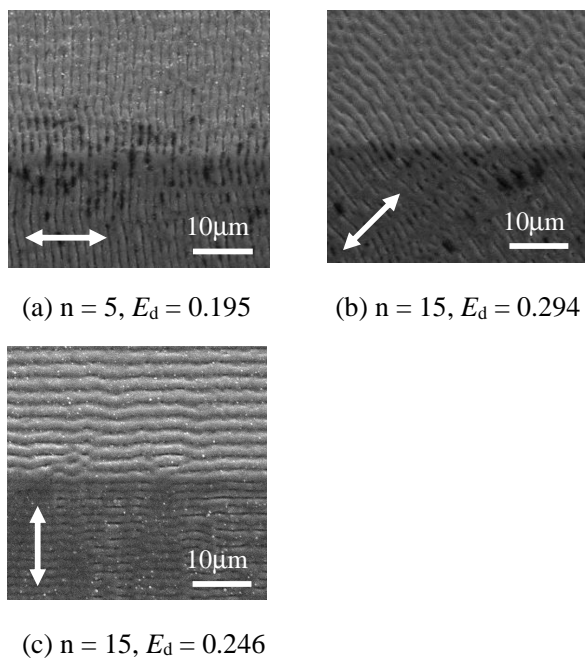


図2 120°V溝へのレーザー照射結

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Yuta Kurashina, Atsushi Ezura, Ryo Murakami, Masayoshi Mizutani, Jun Komotori	4. 巻 30, Article57
2. 論文標題 Effect of hydroxy groups and microtopography generated by a nanosecond-pulsed laser on pure Ti surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science: Materials in Medicine	6. 最初と最後の頁 1-9
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 HIROTA Masatsugu, HARAI Tomohiro, ISHIBASHI Shinji, MIZUTANI Masayoshi, HAYAKAWA Tohru	4. 巻 38
2. 論文標題 Cortical bone response toward nanosecond-pulsed laser-treated zirconia implant surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 444 ~ 451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4012/dmj.2018-153	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 Kodama S., Yamaguchi H., Shimada K., Mizutani M., Kuriyagawa T.	4. 巻 60
2. 論文標題 Control of short-pulsed laser induced periodic surface structures with machining -picosecond laser nanotexturing with magnetic abrasive finishing-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 428 ~ 436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2019.06.015	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 MIZUTANI Masayoshi, OTSUKA Yuichi, KIKUCHI Shoichi	4. 巻 68
2. 論文標題 Forefront in Biomedical Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 723 ~ 729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.68.723	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 Kodama Shuhei, Suzuki Shinya, Shibata Akihiro, Shimada Keita, Mizutani Masayoshi, Kuriyagawa Tsunemoto, Tohoku University 6-6-01 Aramaki-Aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan, Dexerials Corporation, Tagajo, Japan	4. 巻 12
2. 論文標題 Effect of Crystal Structure on Fabrication of Fine Periodic Surface Structures with Short Pulsed Laser	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 868 ~ 875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2018.p0868	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 Kodama Shuhei, Suzuki Shinya, Hayashibe Kazuya, Shimada Keita, Mizutani Masayoshi, Kuriyagawa Tsunemoto	4. 巻 55
2. 論文標題 Control of short-pulsed laser induced periodic surface structures with machining - Picosecond laser micro/nanotexturing with ultraprecision cutting	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 433 ~ 438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2018.10.013	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 Harai Tomohiro, Hirota Masatsugu, Hayakawa Tohru, Shimada Keita, Mizutani Masayoshi, Kuriyagawa Tsunemoto	4. 巻 83
2. 論文標題 Imparting Biocompatibility to Zirconia Implants with Nanosecond Pulsed Laser: Formation of Microgrooves and Investigation of Heat Effects	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Institute of Metals and Materials	6. 最初と最後の頁 37 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/jinstmet.J2018043	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 水谷 正義	4. 巻 64
2. 論文標題 Fraunhofer IPT 滞在記 (滞在中)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 トライボロジスト	6. 最初と最後の頁 103 ~ 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18914/tribologist.64.02_103	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Masayoshi Mizutani, Shinji Ishibashi, Takumi Mizoi, Masaki Tsukuda, Keita Shimada, Shoichi Kikuchi, Yoshikazu Nakai, Tsunemoto Kuriyagawa
2. 発表標題 Design of Bio-Functional Porous Structure Adopting Metal Additive Manufacturing -Effects of the Porosity and Its Orientation on the Mechanical Property-
3. 学会等名 First European Conference on Structural Integrity of Additively Manufactured Materials (ESIAM19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinji Ishibashi, Masataka Chuzenji, Takumi Mizoi, Masaki Tsukuda, Hidekazu Maehana, Keita Shimada, Masayoshi Mizutani, Tsunemoto Kuriyagawa
2. 発表標題 Design of Pore Morphology in Porous Metal Manufactured via Selective Laser Melting
3. 学会等名 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Harai, Keita Shimada, Masayoshi Mizutani, Satomi Oizumi, Keisuke Nakamura, Masatsugu Hirota, Tohru Hayakawa, Hitoshi Ohmori, Tsunemoto Kuriyagawa
2. 発表標題 Wettability and Osteoblast-Like Cell Behavior on Zirconia Surface Irradiated with Nanosecond Pulsed Laser
3. 学会等名 The 22nd International Symposium on Advances in Abrasive Technology (ISAAT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝井琢巳、石橋信治、中善寺優昂、佃将希、前花英一、金高弘恭、佐々木理、嶋田慶太、水谷正義、厨川常元
2. 発表標題 高機能性インプラントの実現を目指した根状多孔質構造体の創成
3. 学会等名 2019年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中善寺優昂、石橋信治、溝井琢巳、嶋田慶太、水谷正義、厨川常元
2. 発表標題 金属積層造形による根状多孔質構造体に関する研究
3. 学会等名 2019年砥粒加工学会先進テクノフェア (ATF2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原井智広、水谷正義
2. 発表標題 レーザー照射ジルコニアの黒化と制御
3. 学会等名 日本材料科学会 第2回北海道・東北支部 材料科学コロキウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中善寺優昂、石橋信治、溝井琢巳、前花英一、嶋田慶太、水谷正義、厨川常元
2. 発表標題 選択的レーザー溶融法による根状多孔質構造体の創成
3. 学会等名 2019年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大崎航平、菊池将一、中井善一、石橋信治、嶋田慶太、水谷正義、厨川常元
2. 発表標題 選択的レーザー溶融法により作製した3D積層造形Ti-6Al-4V合金の4点曲げ疲労特性に及ぼすレーザー走査条件の影響
3. 学会等名 日本機械学会 M&M材料力学カンファレンス2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Harai Tomohiro, Hirota Masatsugu, Hayakawa Tohru, Shimada Keita, Mizutani Masayoshi, Kuriyagawa Tsunemoto
2. 発表標題 Improvement of biocompatibility by nanosecond pulsed laser
3. 学会等名 The 5th International Symposium on Micro/Nano Mechanical machining and Manufacturing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原井智広、廣田正嗣、早川徹、嶋田慶太、水谷正義、厨川常元
2. 発表標題 ナノ秒パルスレーザー照射によるジルコニアインプラントの表面改質に関する基礎的検討
3. 学会等名 2018年度精密工学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀧田千秋、原井智広、嶋田慶太、水谷正義、厨川常元
2. 発表標題 レーザー照射によるチタン酸化皮膜の結晶構造制御に関する研究
3. 学会等名 2018年度精密工学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2018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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	Arntz Kristian (Arntz Kristian)	Fraunhofer IPT・Department of Non-conventional manufacturing processes and technology integration・Chief Engineer	