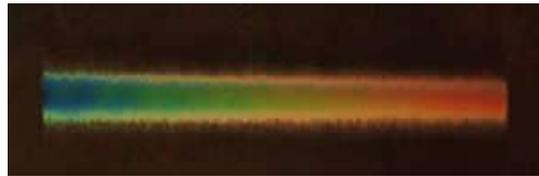


## 超短パルスレーザー加工技術 「超短パルスレーザー」による微細周期構造

直線偏光した超短パルスレーザーを材料表面に集光照射すると、波長オーダーのピッチを持つ周期構造が自己組織的に形成されます。この微細周期構造形成技術は環境問題に直結する摩擦ロスの低減、生体親和性の向上、親水・撥水特性の改善など様々な表面機能の飛躍的な向上につながると期待されています。



加工しきい値近傍のフルエンスを持つ直線偏光のレーザーを照射すると、入射光と基板の表面に沿った散乱光またはプラズマ波の干渉により、レーザーの波長と同程度の周期間隔を持つグレーティング状の周期構造が自己組織的に偏光方向に直交して形成されます。このとき、レーザーをオーバーラップさせながら走査させることで周期構造を広範囲に拡張することができます。最大 200 万本/秒という高速加工が可能です。

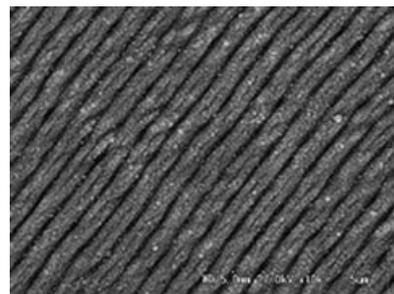


図 1 SUS440C に形成された周期構造

図 1 は超短パルスレーザーにより形成された周期間隔 700nm、溝深さ 200nm の周期構造です。ここでは周期構造の 特徴 機能 応用研究について紹介します。

### 関連論文

沢田博司 他：フェムト秒レーザーによる微細周期構造の形成、精密工学会誌、69、4 (2003) 554.

沢田博司 他：フェムト秒レーザーによる微細周期構造のしゅう動特性に及ぼす影響、精密工学会誌、70、1 (2004) 133.

## 周期構造の特徴

- 1 難加工材の加工が可能
- 2 自由な描画領域設定
- 3 周期構造の方向制御が可能
- 4 薄膜や微小部品への加工が可能
- 5 曲面への加工が可能

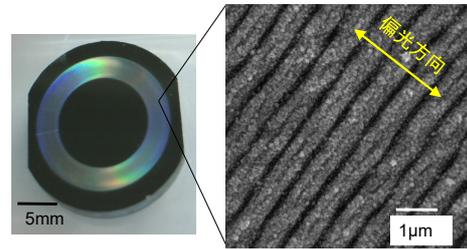


図2 超合金の周期構造（放射状）

レーザー加工のため、焼き入れ鋼や超合金等の難加工材にも加工が可能です。また、Si や SiC, DLC などにも加工することができます。図2は超合金のリング状領域に周期構造を形成したものです。周期構造を形成すると、光の回折により虹色の外観を呈します。周期構造の方向は偏光方向に直交するため、偏光方向を変化させることで図3に示すように通常の機械加工では得にくいパターンも簡単に形成可能です。また、超短パルスレーザーは非常に熱影響を抑制することができるため、マイクロマシンや薄膜コーティングに対しても周期構造を形成することが可能です。



図3 様々な周期構造パターン

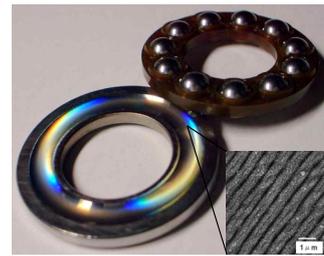


図4 ベアリング転送面の周期構造

この周期構造の形成方法は1光路のみ使用するため、非常にシンプルな光学系で加工できます。また、2光路干渉と違い、平面だけでなく凹凸のある面にも加工可能です。

図4はベアリング転送面に周期構造を形成したものです。1回のレーザースキャンで曲面をもつ転送面に周期構造が形成されています。

## 周期構造の機能

超短パルスレーザーによる周期構造には多くの表面機能が期待されています。

摩擦, 摩耗低減	➡	自動車部品, 軸受
濡れ性・細胞制御	➡	分注ノズル, 医療機器
付着力・凝着力低減	➡	切削工具, 金型
薄膜の密着性向上	➡	成膜下地, 高耐久単分子膜

## 応用研究

周期構造によるトライボロジー特性をはじめとする表面機能の向上について研究しています。ここでは4つの研究テーマ（1 摩擦・摩耗低減、2 濡れ性制御、3 薄膜の密着性向上、4 細胞制御）について紹介します。

### 1.摩擦・摩耗低減

近年、温暖化をはじめとする地球規模での環境破壊が大きな問題となっています。温暖化を防止し豊かな地球環境を保全するためには、温暖化の主要因であるCO<sub>2</sub>の排出量を低減することが不可欠です。なかでも自動車や産業機器におけるしゅう動部の摩擦損失を低減することが重要な課題となっています。そこで、しゅう動部品の表面に周期構造を形成することで潤滑剤の保持機能や流体潤滑膜の負荷能力を向上させ、摩擦力の低減や耐焼き付き性の向上を図る研究が行われています。

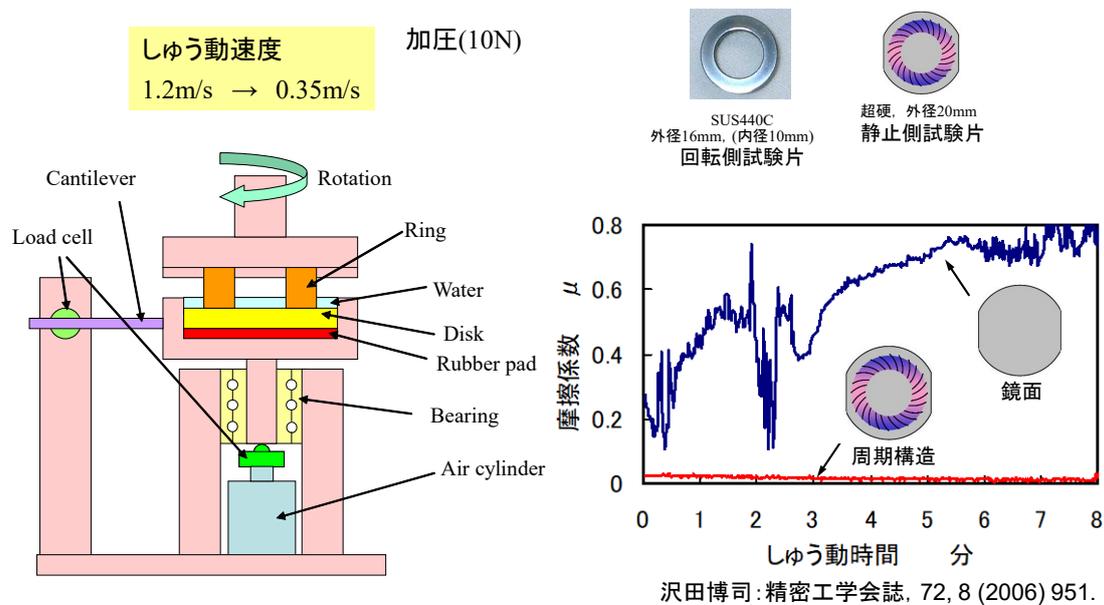


図5 リング・オン・ディスク試験

実験に用いたリング・オン・ディスク試験装置と実験結果を図5に示します。回転側試験片にはSUS440Cの焼き入れ材、静止側試験片には超硬合金を使用しています。試験片は純水に浸漬し、荷重は回転軸側から与えています。しゅう動トルクはカンチレバーを介してロードセルにより検出されます。ディスク試験片にはスパイラル状の周期構造を形成しています。なお、比較のため鏡面試験片同士での実験も行いました。

スパイラル状の周期構造を形成することで、大きな動圧が発生し、摩擦係数が劇的に低減されていることがわかります。

サブミクロンの溝深さである周期構造では、一般的なミクロンサイズの溝深さをもつスパイラルグループ軸受よりも薄く高剛性な油膜が形成されます。スパイラルパターンの溝深さを 200nm および 6 $\mu\text{m}$  とし、相対負荷容量を計算した結果を図 6 に示します。油膜厚さが薄くなると、溝深さ 200nm の方が圧倒的に高負荷容量・高剛性となることがわかります。

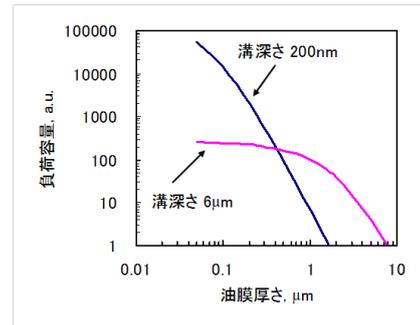


図 6 溝深さの違いによる負荷容量の比較

関連論文 沢田博司：レーザテクスチャリングとその応用、設計工学、48、2 (2013) 65.

## 2.濡れ性制御

濡れ性は表面エネルギーの影響を強く受けることが知られており、表面粗さを導入することで、親水性や撥水性を強調することができます。そこで、超短パルスレーザーを用いて、デザインされた表面粗さを付与することで超撥水面を形成する研究が行われています。

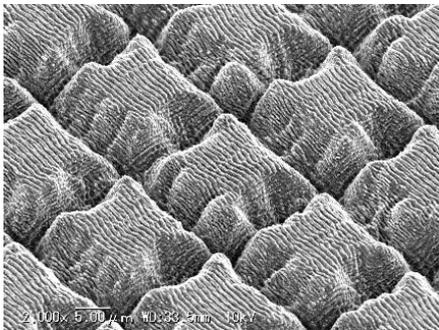


図 7 2次元格子溝と周期構造の複合面

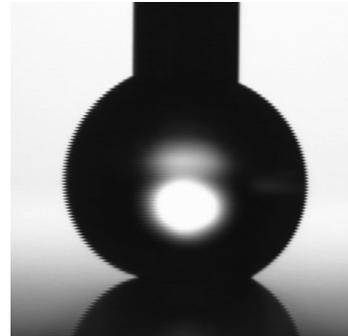


図 8 接触角測定時の液滴

超短パルスレーザーにより形成されるサブミクロンの周期間隔をもつ周期構造は、さらに小さな数十 nm 以下の粗さを内包させることができます。また、周期構造は $\mu\text{m}$ オーダーの粗さをもつ高強度材料表面に上書きし、オーダーの異なる粗さを容易に複合化できるため、高耐久超撥水面構造に有用な表面処理技術となります。図 7 に 2次元格子溝と周期構造の複合面を示します。この複合面は平滑面の 2.67 倍の表面積をもっています。この複合面にフッ素系単分子膜を形成すると、計算上の接触角は 157°となります。実際の接触角を測定すると 155°となり、ほぼ設計どおりの超撥水面が得られています。図 8 に接触角測定時の液滴の様子を示します。



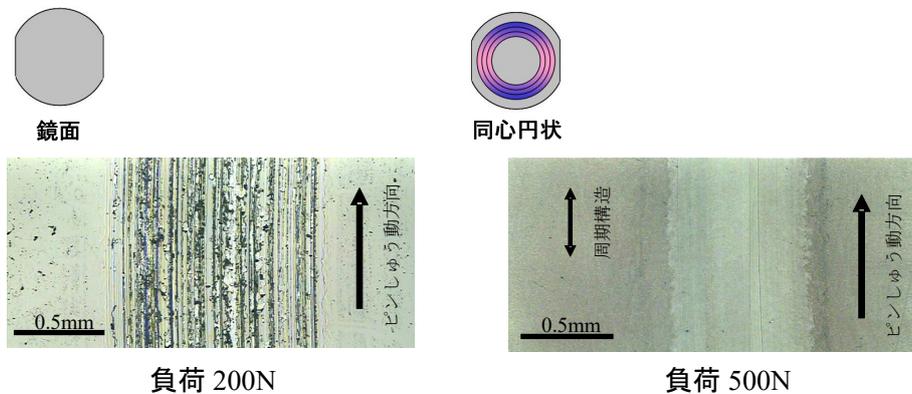
図9 落下液滴の跳ね返り

この超撥水面は図9に示すように、落下する液滴を勢いよく跳ね返すことができます。

関連論文 沢田博司, 他: レーザテクスチャリングによる超撥水面の形成, トライボロジー会議予稿集 2016 春 D30.

### 3. 薄膜の密着性向上

優れたトライボロジー特性を示すダイヤモンドライクカーボン (DLC, Diamond-Like Carbon) や生体親和性を大きく向上させるハイドロキシアパタイトなどの高性能薄膜が注目を集めていますが、基材への密着性が十分とは言えません。高面圧下での使用において、はく離が問題となり、密着性向上が重要な課題となっています。そこで、基材への下地処理として周期構造を形成することで薄膜の密着性を向上する研究が行われています。



沢田・川原・二宮・森・黒田: トライボロジスト, 51, 2 (2006) 180.

図10 DLCの密着性評価

SUS304の基板にDLC膜を成膜し、ピンオンディスク試験機を用いてDLC膜の密着性を評価した結果を図10に示します。鏡面基板では200Nの垂直荷重でDLC膜が激しくはく離を起していますが、周期構造基板では500Nの垂直荷重に対しても目立った損傷は認められません。

関連論文 沢田博司: レーザ誘起表面周期構造によるDLC膜の密着性向上, トライボロジスト, 51, 2 (2006) 180.

#### 4.細胞制御

骨は配向により高い力学機能を発揮しており、骨再生において、骨密度の回復とともに骨配向化の重要性が指摘されています。周期構造を形成したチタンプレートでは、図 11 に示すように骨芽細胞は培養後 1 時間後から周期構造に沿って進展をはじめ、時間経過とともに配向率が向上します。最近の研究で、周期構造により骨芽細胞だけでなく、骨芽細胞が産出する骨基質（コラーゲン線維／アパタイト結晶）も配向化されることが明らかとなりました。骨基質は骨芽細胞の進展方向と平行に配向すると考えられていましたが、骨基質は周期構造と垂直方向に形成されています。人工関節等の表面に周期構造を形成することで、人工関節周囲の新生骨組織を早期に健全な骨（配向化骨）にできることから、治療期間の短縮が期待されています。

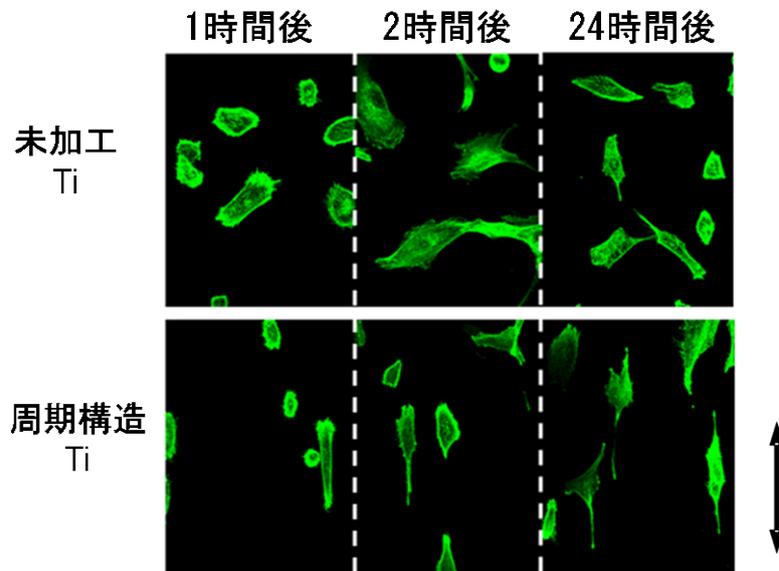


図 11 骨芽細胞の配向

関連論文 Aira Matsugaki et al.: Abnormal arrangement of a collagen/apatite extracellular matrix orthogonal to osteoblast alignment is constructed by a nanoscale periodic surface structure, *Biomaterials* 37 (2015), pp. 134.

#### お問い合わせ

Surfbeat R はデモ機を設置しておりますので常時デモ加工や見学が可能です。ご興味ありましたら、お気軽にお問い合わせください。

キヤノンマシナリー株式会社 研究開発担当

〒525-8511 草津市南山田町 85

cmi-new-business-ml@mail.canon