

# 表面改質

構造部材として材料に求められる性質と、外部との境界を成す材料表面に求められる性質とは必ずしも一致しないばかりか、場合によっては相反する特性が求められることもある



**表面改質**は、表面に必要とされる性質を**内部とは独立に付与**し、部品全体での高性能化を図る**材料創製技術**

- ・**熱処理法**: 温度履歴による組織制御や外から表面内部への元素拡散によって母材表面の特性を改善
- ・**コーティング法**: 母材とは異なる物質を被覆することで表面に新しい機能を付与
- ・**機械的処理法**: 機械的エネルギーによって表面物性を変化
- ・**表面テクスチャリング**: 表面幾何形状によって新しい機能を発現させる

# 表面改質法の分類



# 熱処理法

熱を加えて組織変化を起こし、表面並びに内部の強化を行うが、基本的に鉄鋼材料に適用する(すべての金属に適用できる訳ではない)

- ・**焼き入れ法**: 歴史の古い手法であるが、従来の炎焼入れや高周波焼入れとともに、近年ではレーザー焼入れや電子ビーム焼入れなどの新しい手法が取り入れられ、今でも機械部品の最も重要な表面改質技術
- ・**浸炭法**: 表面にCを浸透拡散させ、高炭素としたのち、これを焼入れして表面を硬くする方法。表層の硬度を高めている。
- ・**窒化法**: 鋼の表面に活性化窒素(N)を浸透させて、表面を硬くする方法。浸炭も同時に行う**浸炭窒化処理**もある。
- ・**拡散浸透法**: 炭素や窒素のみならず、ボロンや硫黄、アルミ、クロム、チタン、バナジウムなどの金属元素を表面から内部に熱拡散させて、表面の硬度向上や耐熱性、耐食性向上を図る

# 利点

- ・母材と表面改質層の組織が連続的に変化しているのではく離の心配がない。
- ・数mmまでの改質層を形成できる
- ・大量生産が可能である

# 欠点

- ・エネルギー効率が低い
- ・環境負荷が大きい



CNCガス浸炭炉

プラズマ浸炭装置



# コーティング法

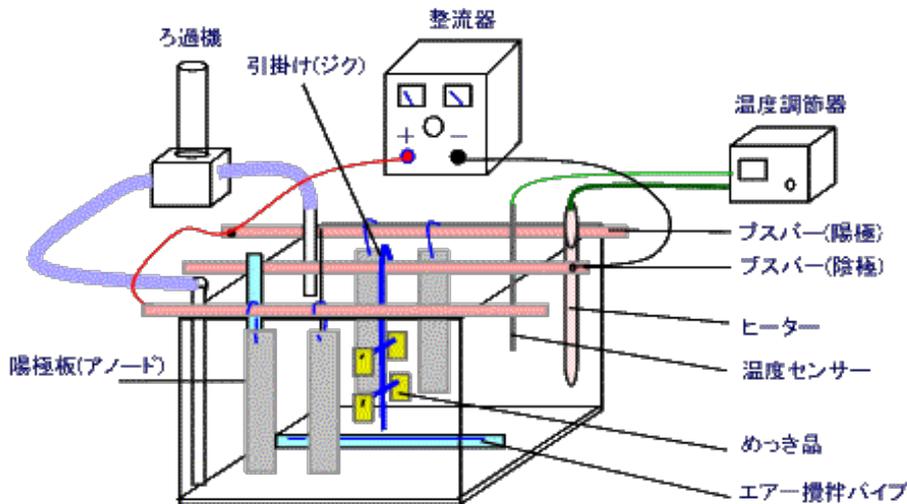
**コーティング**：物体の表面を定着可能な物質・物体で覆う

技術は、近年、トライボマテリアル創製技術として著しい発展を遂げ、その用途も急速に拡大している

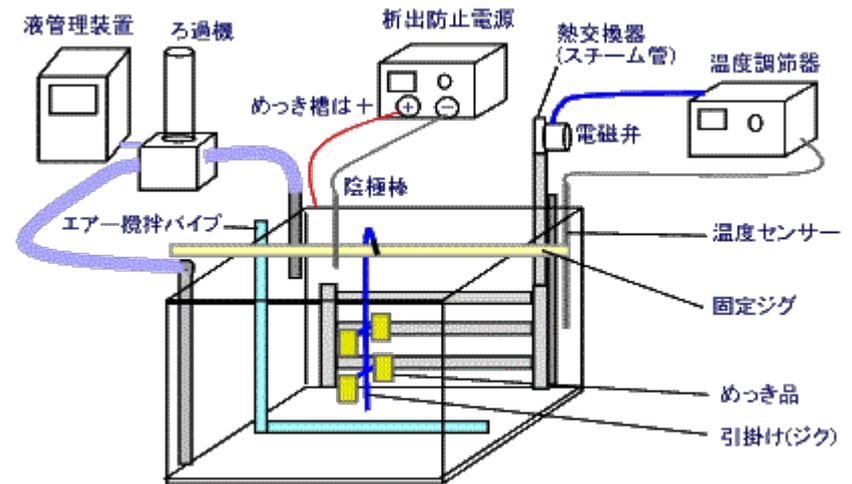
## (1) 湿式めっき法

**電気めっき**：めっき液の中に金属を入れて、コーティング物質を金属表面に電気化学的に析出(電着)させる

**無電解めっき**：外部電源を用いずにめっき金属を化学的に還元析出させる(めっき液に浸漬するだけ)



電気ニッケルめっき設備



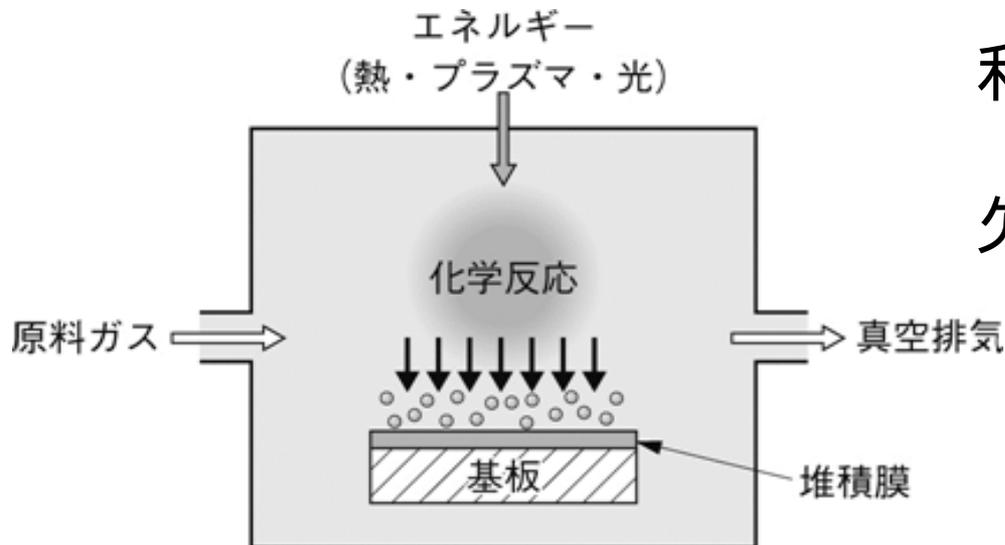
無電解ニッケルめっき設備

## (2) 乾式法

(a) 蒸着法：物質を高温にして蒸発させ、処理物に吸着させその表面上に物質の固体被膜を形成する方法

### ・CVD法 (化学的蒸着)

原料に有機金属ガス等を用い、反応室内に作った高温状態によって原料ガスを反応させ、基板上にコーティングを行うもの  
TiC, TiCN, TiAlN, CrNx, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrC, SiC, DLCなど



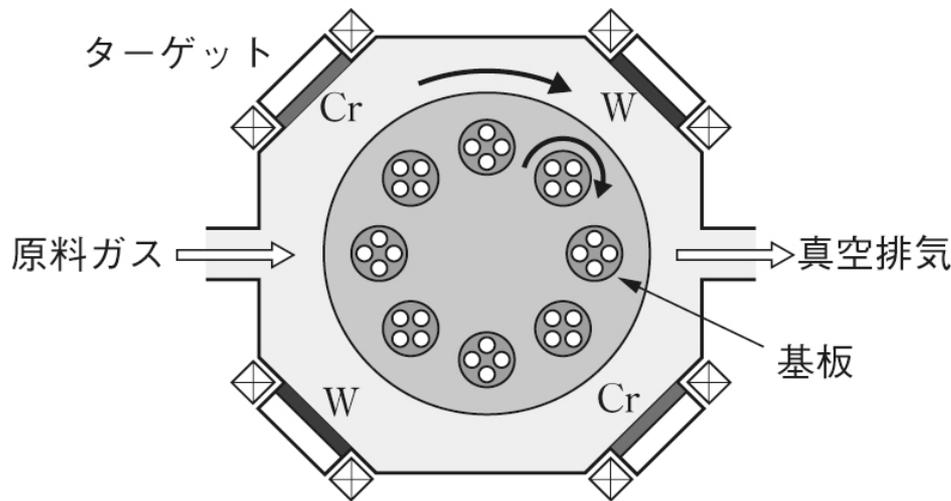
利点：10 $\mu$ mを超える厚膜形成  
密着性がよい

欠点：高温になってしまう(変質の恐れがある)  
反応ガスの後処理(環境的な問題)

## ・PVD法 (物理的蒸着)

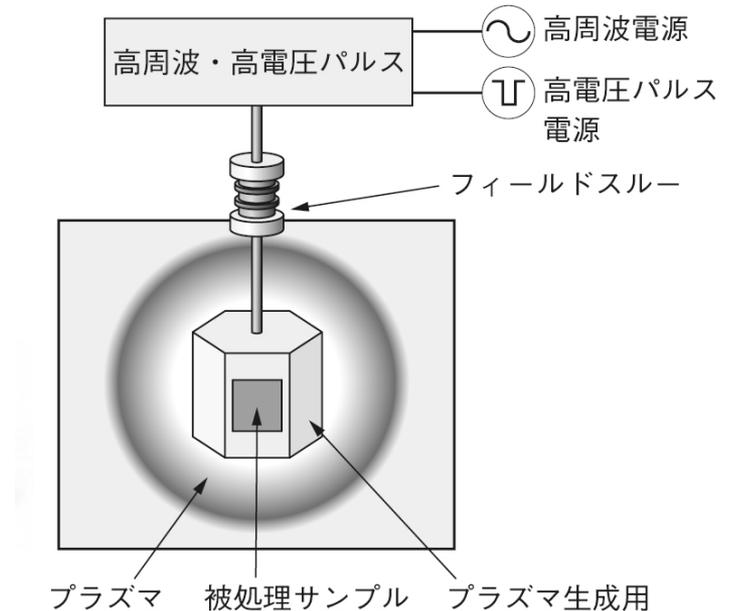
固体を原料として、これを蒸発させてから固相を析出させてコーティングを行う手法。固体原料を用いることから様々な元素を選択することができ、反応ガスの後処理設備が不要であるなどの利点がある。欠点は、CVD法と比較して密着強度が弱い。

イオン注入法 + CVD、PVD → プラズマイオン注入法



PVD装置の概略

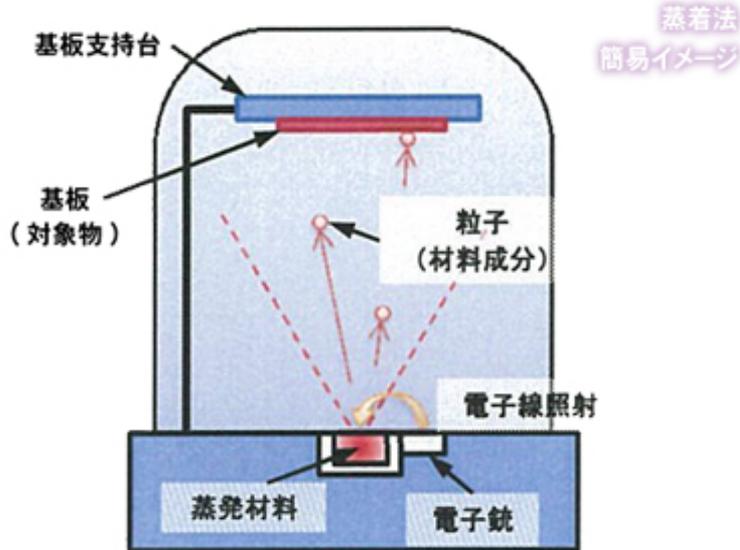
(表面析出に化学反応を必要としない)



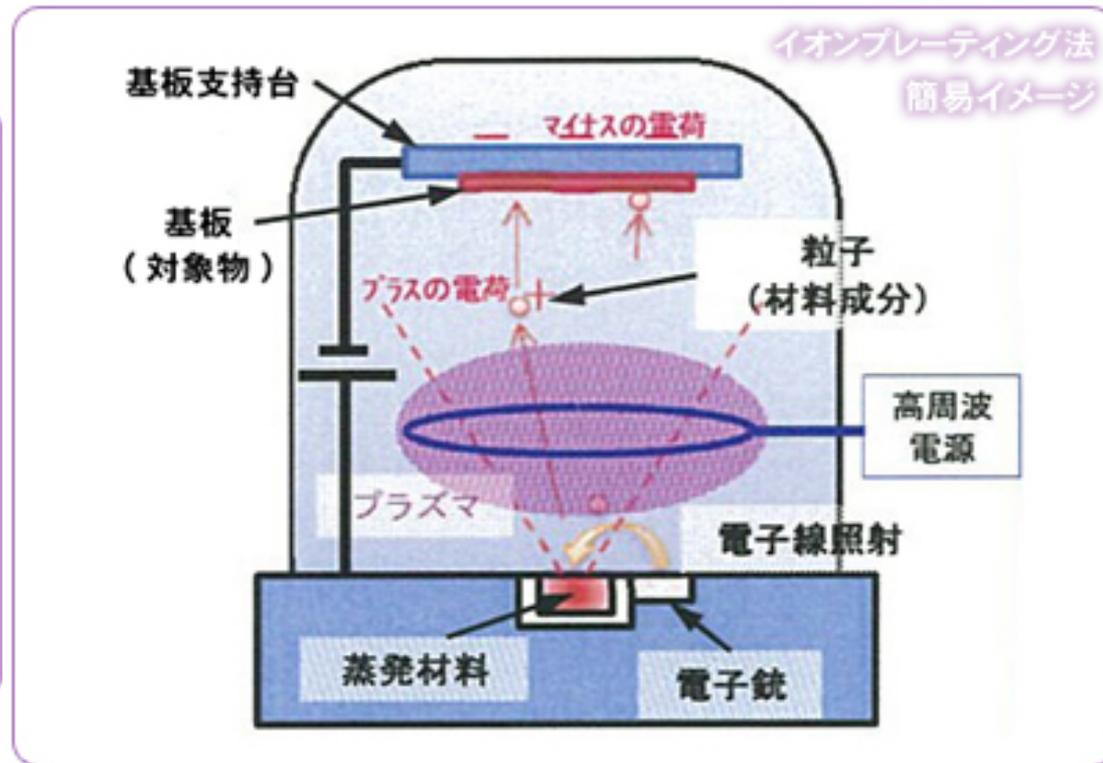
プラズマイオン注入装置の原理

# イオンプレーティング法

イオンプレーティング法は、蒸着法とほぼ同じ原理です。異なるところは、蒸発粒子をプラズマ中を通過させることで、プラスの電荷を帯びさせ、基盤にマイナスの電荷を印加して蒸発粒子を引き付けて堆積させ膜を作成するところです。これにより普通のPVD法に比べより密着性の強い膜を作ることができます。



PVDの簡易的な原理

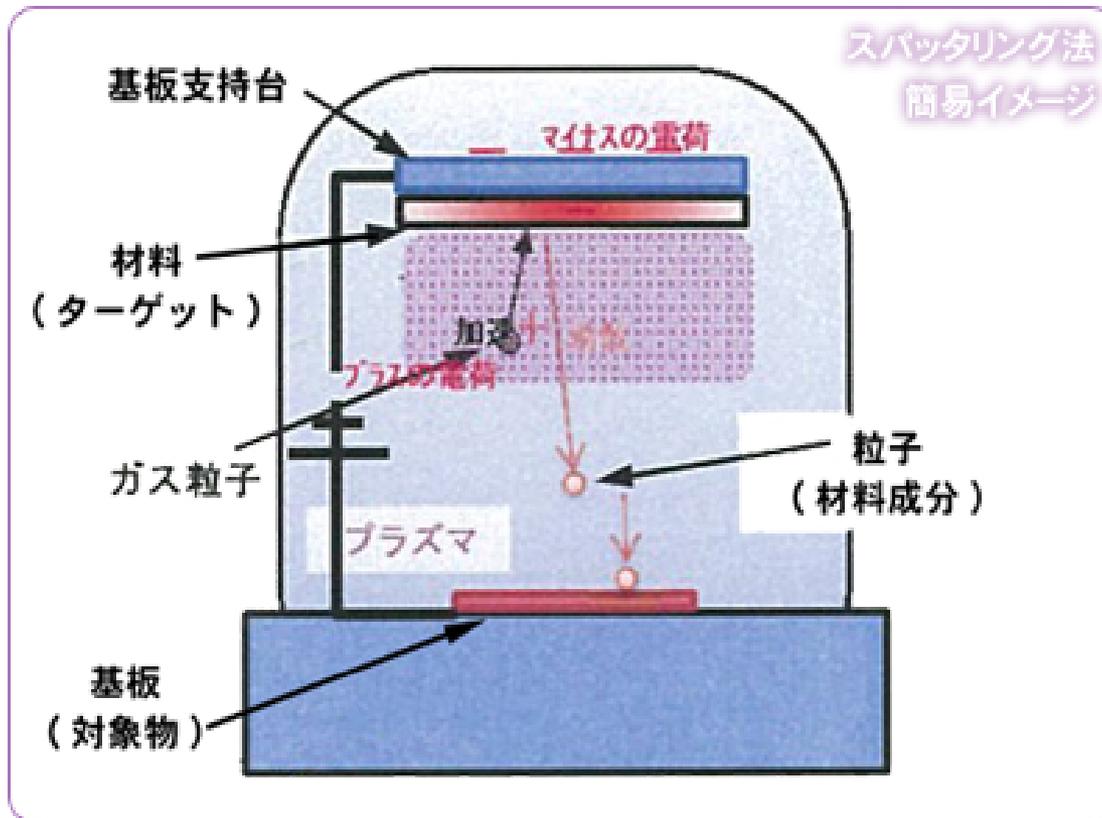


イオンプレーティング法の簡易原理

# スパッタリング法

スパッタリング法は、プラズマ等により高いエネルギーをもった粒子を材料(ターゲット)に衝突させて、その衝撃で材料成分をたたき出します。その粒子を基板上に膜を堆積させることで膜を形成する方法です。

材料そのものをたたき出しているので、合金の成分がほとんどそのまま基板上に堆積することが出来ます。



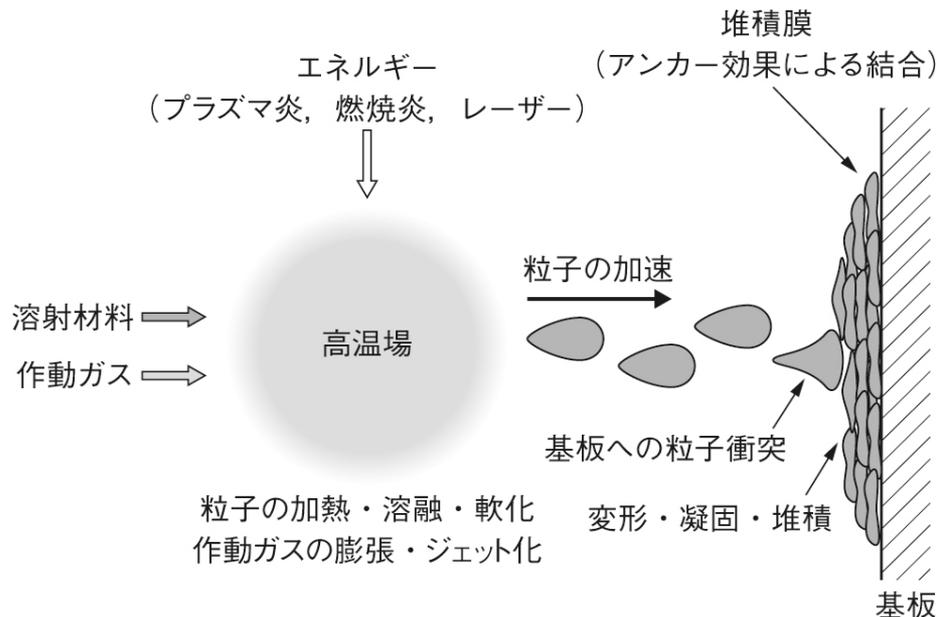
スパッタリング法の簡易原理

## (b) 溶射法

溶射粉末と搬送ガスに高いエネルギーを与えることで、粉末を溶融させるとともに、熱膨張により搬送ガス速度を加速し、高速で溶融粒子を基板に衝突させることによって被膜を堆積させる

### 利点

- ・他のコーティング方法と比較して被膜形成速度が速い
- ・厚膜の作製に適している
- ・溶射材料および被溶射材料に制限が少ない
- ・広い面積や限定された部分への溶射が可能



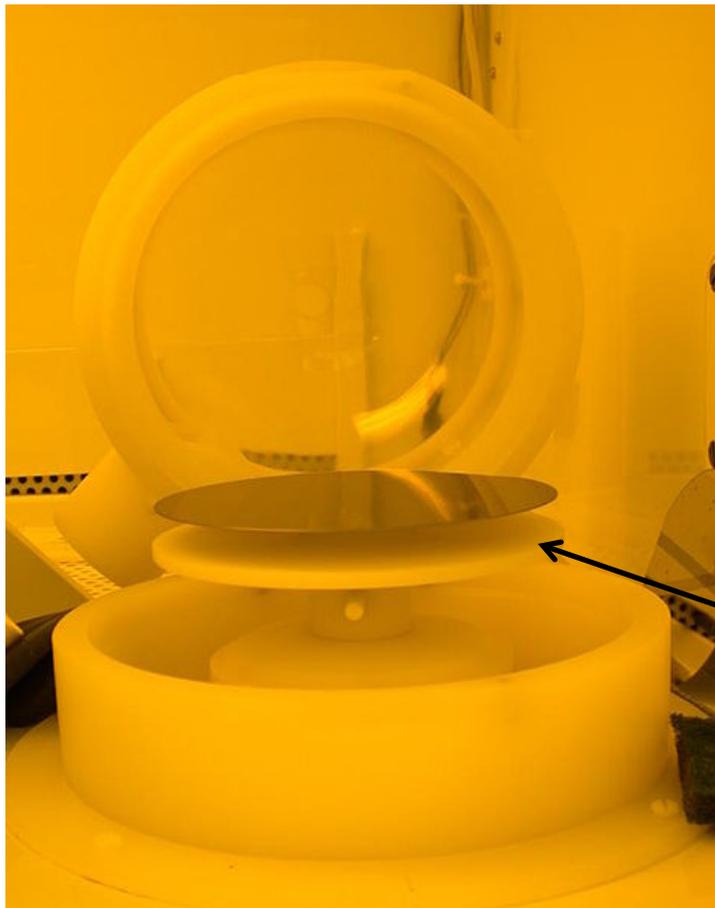
### 欠点

- ・溶射被膜の密着力が弱い
- ・被膜中には空孔や欠陥が多く発生

プラズマ溶射法が考案された

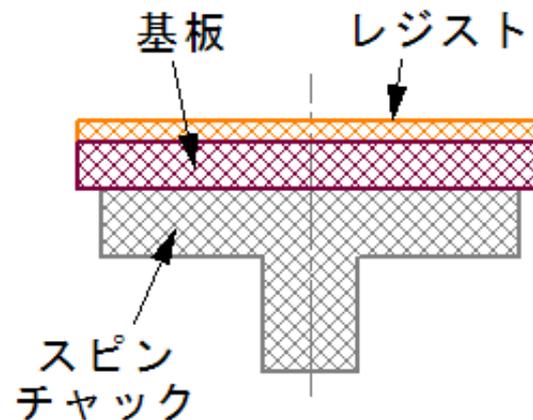
### (3) 塗布法

PTFEや二硫化モリブデン、グラファイトなどの固体潤滑剤にバインダーを加えたものを摺動表面に塗布し、加熱等によりバインダーを揮発あるいは固化させることでコーティング膜を形成する



スピコート装置

ハードディスクドライブに用いられている.ディスク表面には表面を保護するフッ素系潤滑剤は10nm程度まで薄い



スピコート法の簡易原理

# 機械的処理法

サブ～数mmの粒子(ショット)を加工物に投射することで、表面を塑性変形させて硬さの向上、圧縮残留応力付与を図る

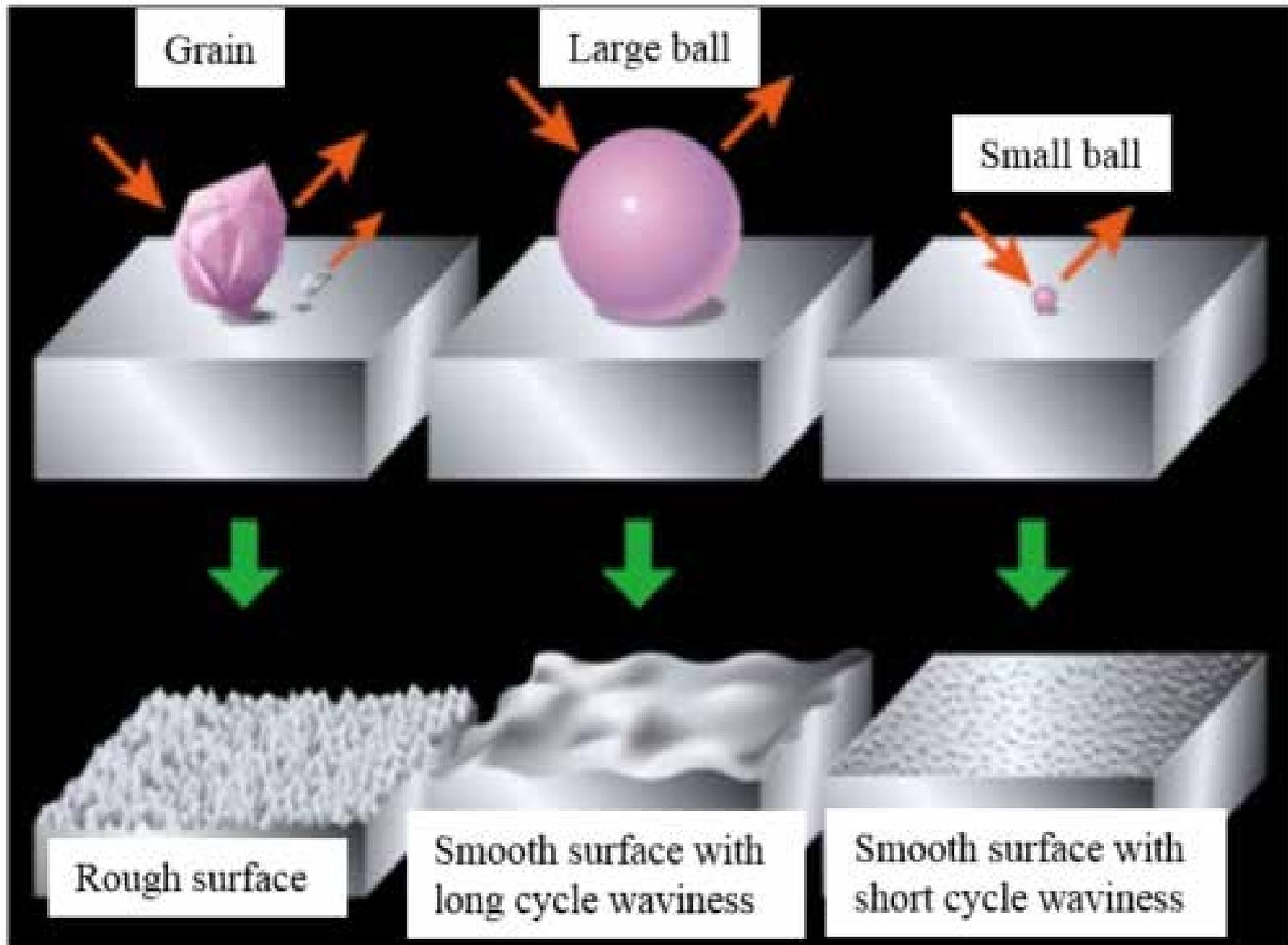


材料強度や疲労強度の向上が主目的であり、表面ではなく、やや内部(Hertz理論)が強化されてしまう

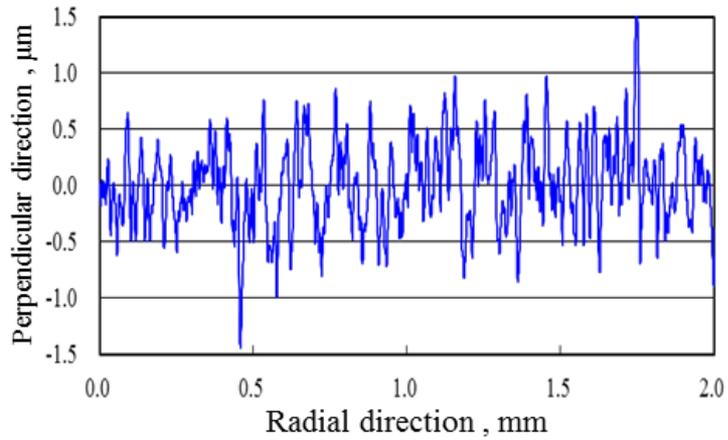


## マイクロショットピーニング法

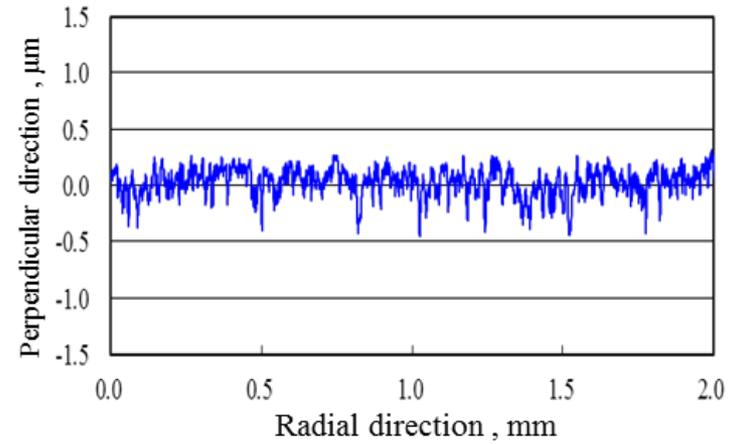
トライボロジー的には、**粒子をミクロンオーダーまで小さく**することによって、表面の硬さ、残留圧縮応力特性を向上させる。粒子の材料・形状によっては、表面を磨いて平滑面にすることも可能。さらに、表面に粒子を埋め込むことも可能。



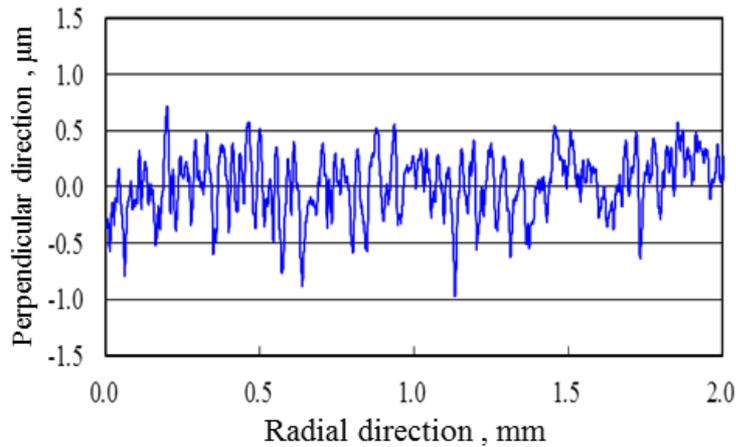
粒子形状・大きさと加工面性状



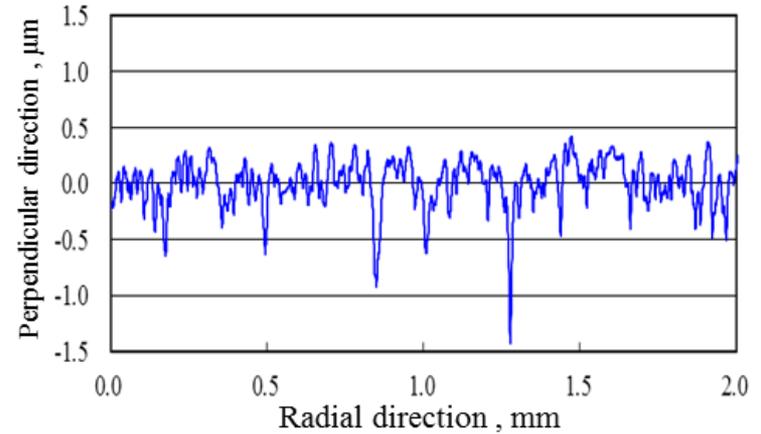
(a) Initial surface (grinded surface)



(b) After high speed steel beads shot

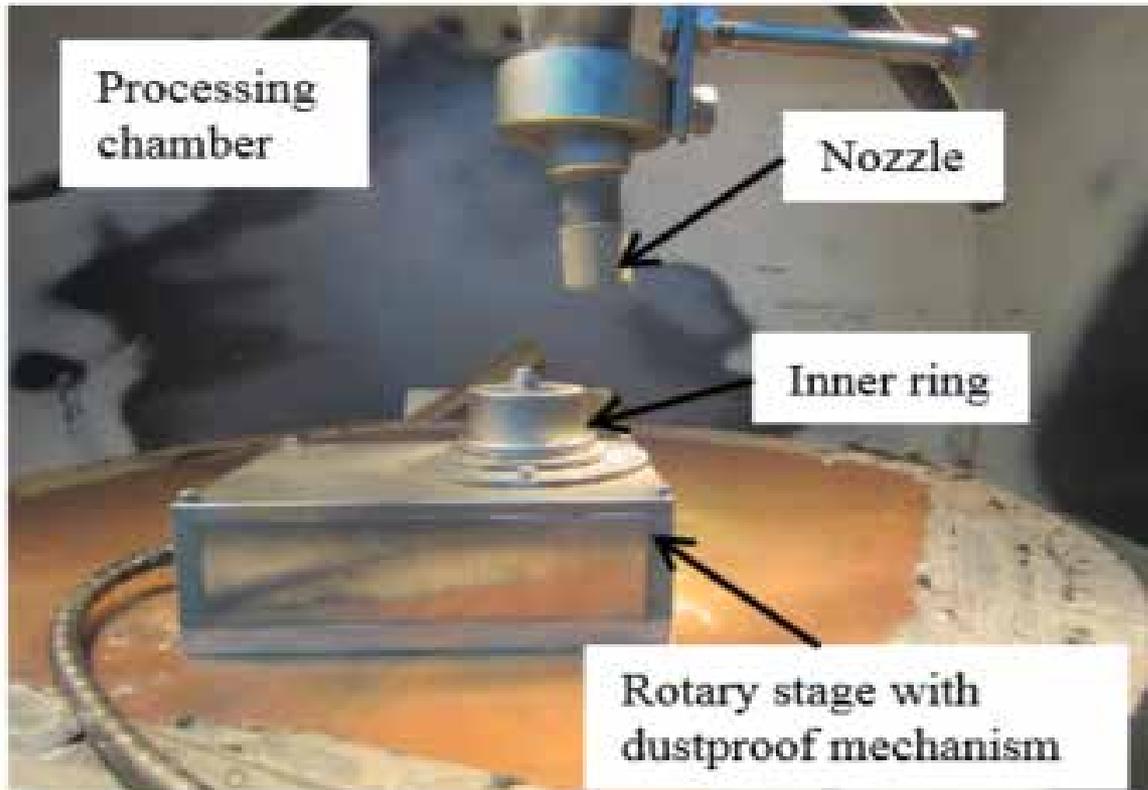


(c) After glass beads shot



(d) After SMAP treatment

## マイクロショット加工面の例

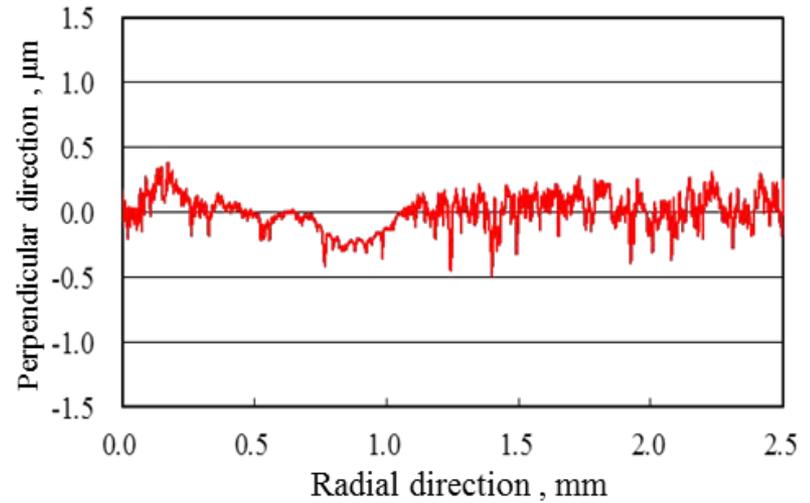
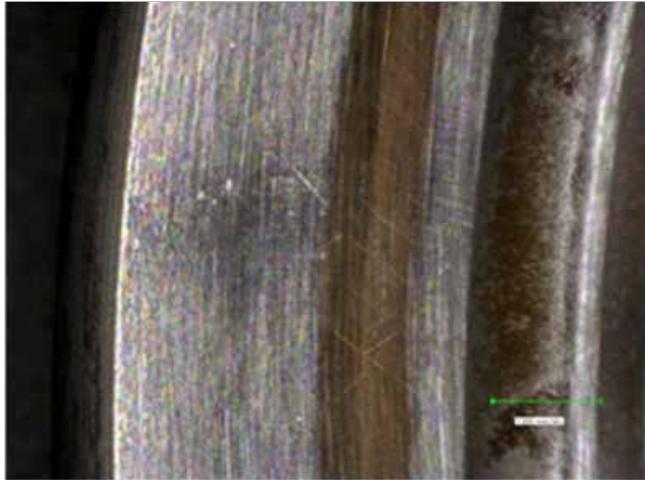


Processing chamber

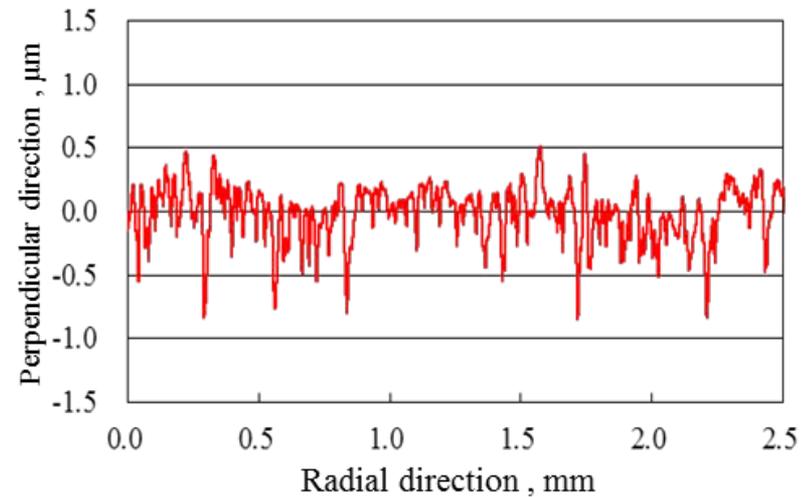
Nozzle

Inner ring

Rotary stage with dustproof mechanism



## 現状製品の摩耗状態



## マイクロショット加工をした表面の摩耗状態

# 表面テクスチャリング

表面に規則的な凹凸や筋目を形成して、トライボロジー特性の向上を図る。機械加工で出来る表面粗さ、うねりもテクスチャーではあるが、自然にできる凹凸と意図を持って形成した凹凸では意味が異なる。

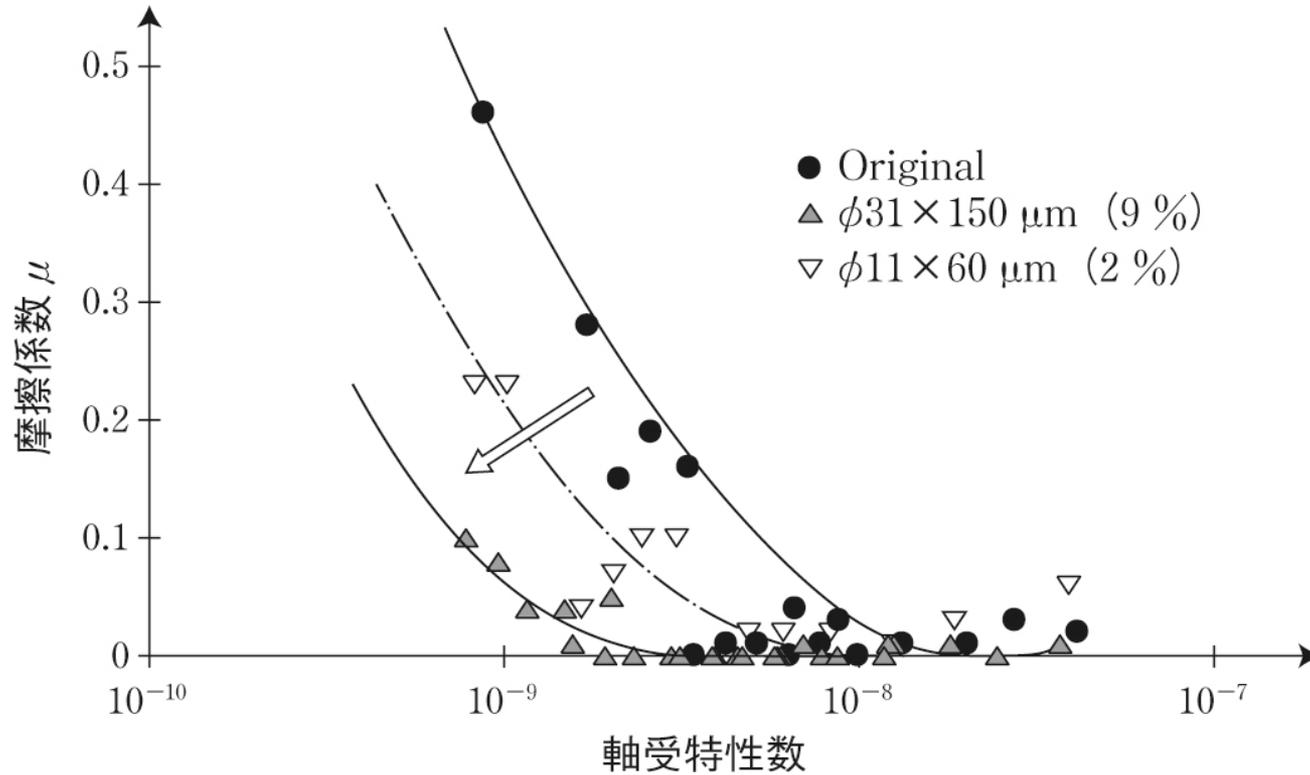
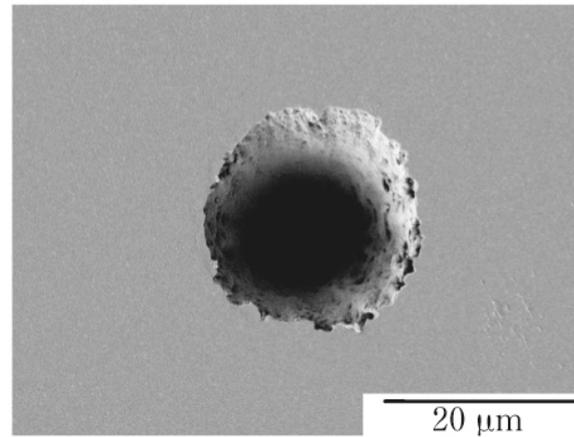
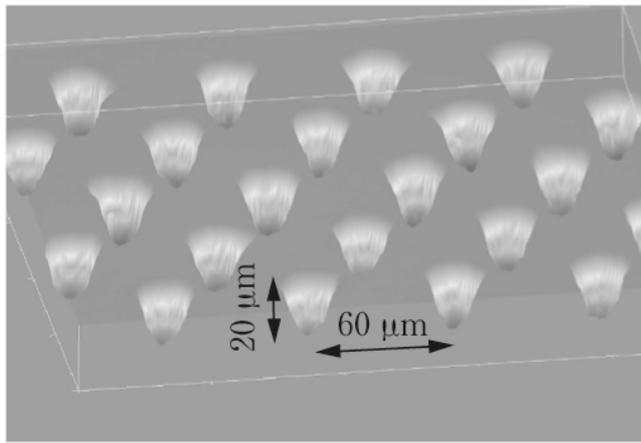


きさげ加工：工作機械の案内面

プラトー表面：レシプロエンジンのシリンダーボア内面

トライボ特性向上に期待される効果

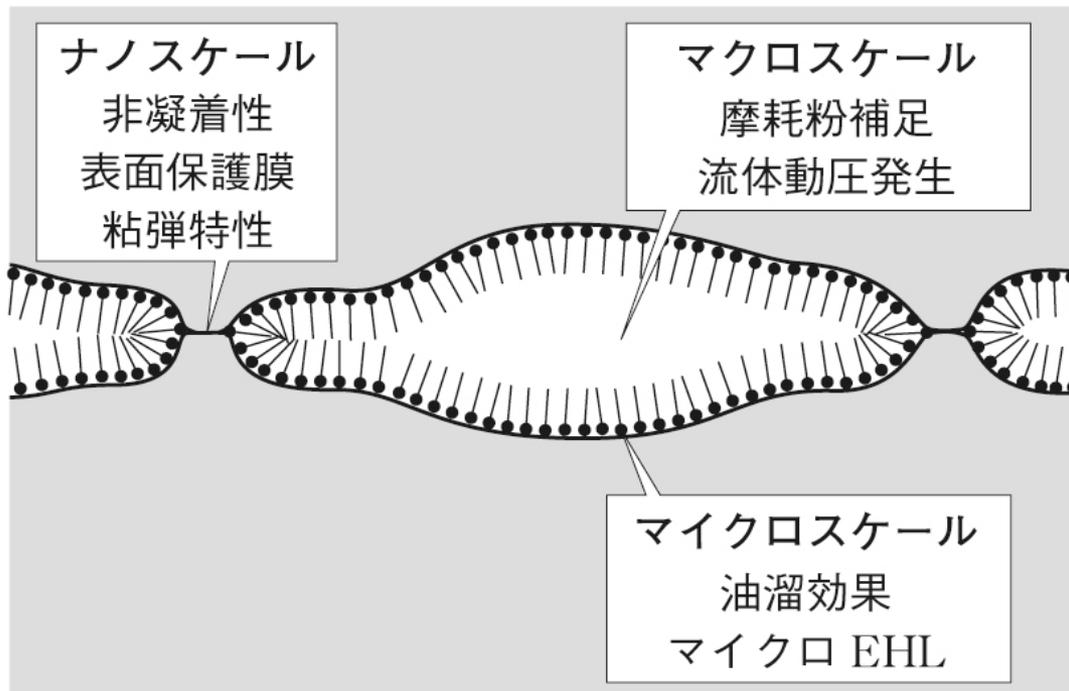
- 1) 潤滑油溜まりによる油切れの改善
- 2) 異物の捕捉による3次元アブレシブ摩耗の抑制
- 3) 流体潤滑域の拡大(流体領域側へシフト)



表面テクスチャリングを施すことによる潤滑状態の改善例

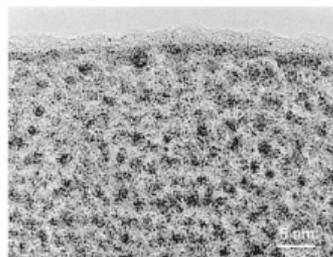
# 表面テクスチャの加工方法

- ・レーザ微細加工
- ・マイクロサンドブラスト加工
- ・精密機械加工
- ・湿式/ドライエッチング
- ・レーザ表面テクスチャリング

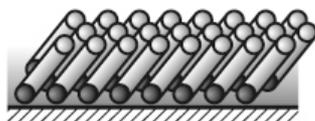


**マルチスケール・テクスチャリング**の概念: 表面の形状及び組成の空間分布をナノ・マイクロからマクロレベルまでの連続したスケールで捉え, それぞれのレベルで支配的となるトライボロジー現象を包括的に扱うことによって, **トータル性能の向上**を目指す

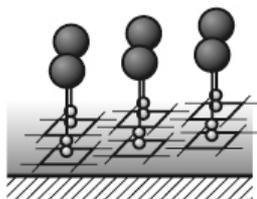
加工性



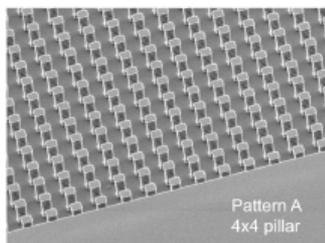
ナノコーティング  
(PVD法)



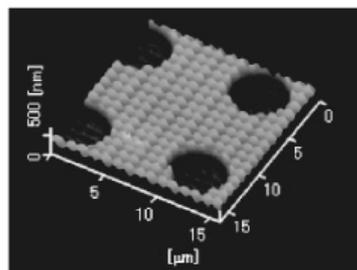
自己組織化膜



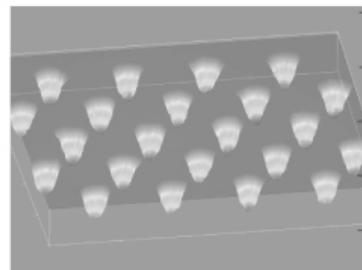
超分子テンプレート



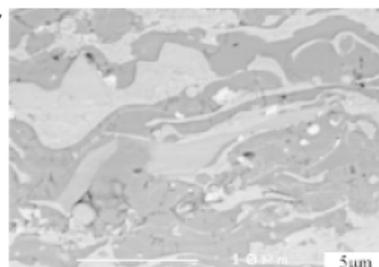
ナノ・マイクロ構造  
(LIGAプロセス)



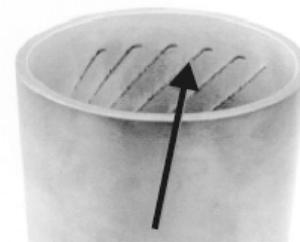
ナノ構造  
(ナノインプリンティング)



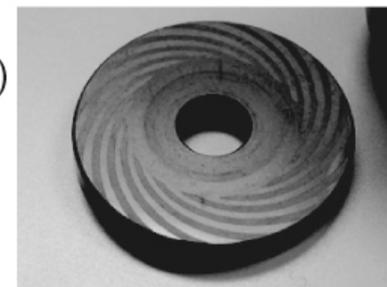
マイクロ構造  
(レーザー微細加工)



複合材料  
(溶射・焼結)



マクロ構造  
(レーザー焼入れ)



メゾ構造  
(サンドブラスト)

nm

μm

mm

テクスチャ構造の単位サイズ

マルチスケール・テクスチャリングの実現方法