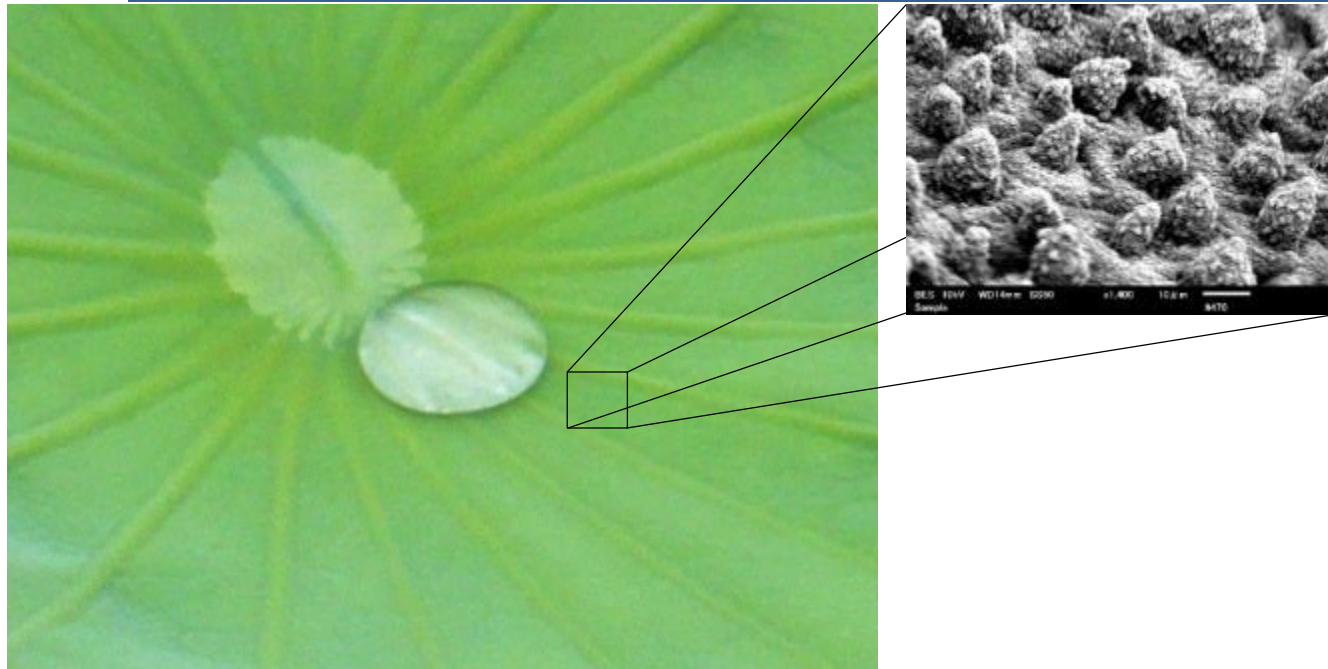


# 表面の撥水性や親水性を向上する レーザー微細加工技術

信州大学 繊維学部  
機械・ロボット学科  
教授 山口 昌樹

◆レーザーで  
機能的テクスチャを  
加工する



1. ハスの葉の表面には、ピッチ 20 – 30  $\mu\text{m}$ 、高さ 10  $\mu\text{m}$  の微細構造と、さらに細かいワックスの結晶構造がある。
2. マイクロ/ナノメートル領域の微細構造による「物理的な撥水性」=(機能的テクスチャ)と、テフロン加工などの「化学的な撥水性」は、重畳して発現させることができる。
3. 微細構造の形状寸法により、撥水面だけでなく親水面を作り出すことができる。

# 加工・成形方法による比較

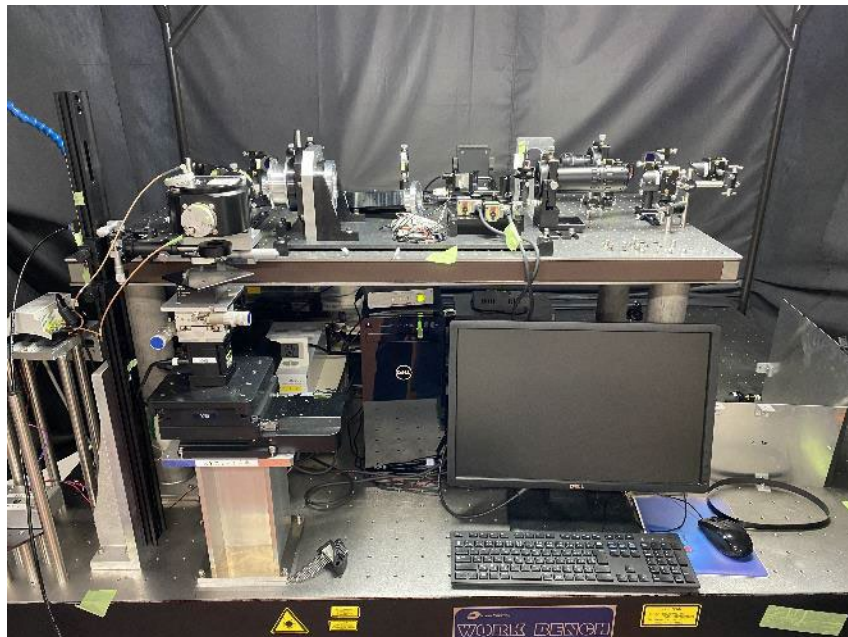
項目	フェムト秒レーザー	切削	フォトリソグラフィー	自己組織化(ケミカル)
微細ピッチ	◎ 百nmまで	× 10 μm ピッチが限界	◎ 百nmまで	◎ 十nmまで
加工スピード	◎ 1m <sup>2</sup> /分	×	×	△
面積	◎	○	△	◎
母材材質	○	○	×	×
曲面	△	△	×	×
3次元構造	×	×	△	△
深さ(アスペクト比)	×	×	○	△

◆ 切削やフォトリソグラフィーでマスターモールドを作成し、電鍍金型のタイリングで大面積化するという方法がある

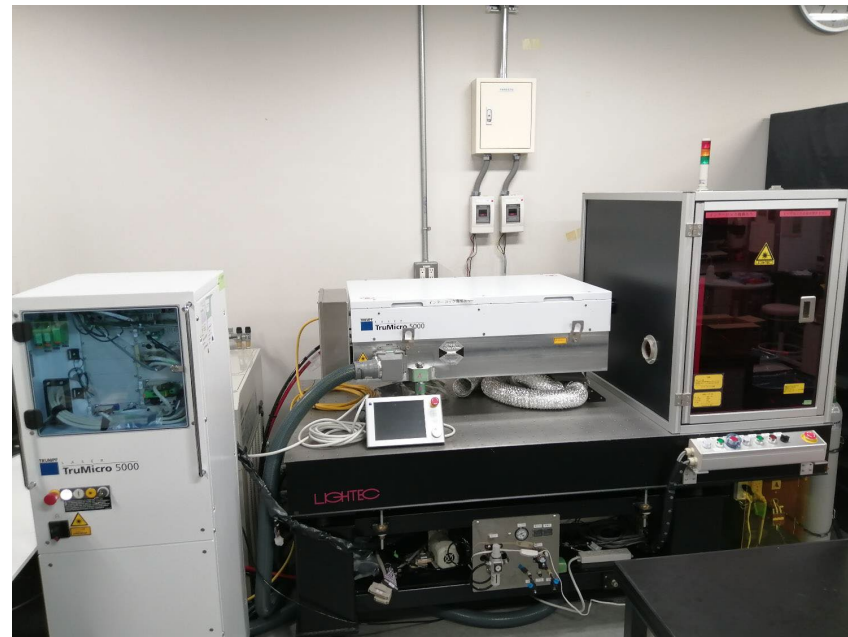


◆ 山口研では、マイクロ/ナノ領域の高速・直接レーザー加工技術を構築(×→◎へ)

# 超短パルスレーザー加工装置



フェムト秒レーザー加工装置  
(Light Conversion社)



ピコ秒レーザー加工装置  
(Trumpf社)

1. 低消費エネルギー，低熱発生（空調費の大幅削減）
2. 静音，省スペース
3. ダストレスでクリーン

➡ カーボンニュートラルに寄与する次世代の加工技術

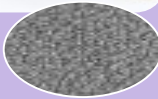
# カーボンニュートラル (脱炭素社会) に向けて

環境負荷が極めて低い超短パルスレーザーを用いて加工した、親水/撥水性, 防汚性, 無反射, 低摩擦/流動抵抗, 低騒音, 殺菌・抗ウイルス性など新機能を発現する表面微細構造 (機能的テクスチャ) を産業実装することで, 従来の化学コーティングや金型を用いた成型加工から脱却し, 超低環境負荷な加工技術へと代替する

## 医療分野



抗菌効果  
クマゼミのハネが  
持つ抗菌効果



殺菌剤の削減

## エネルギー分野



摩擦抵抗削減  
鮫肌の低流体抵抗  
機能



潤滑油の削減

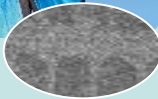
【生物模倣技術】

# Biomimetics

## 環境分野



光の反射の応用  
蝶のハネが持つ  
構造色機能



塗料の代替

## 生活改善

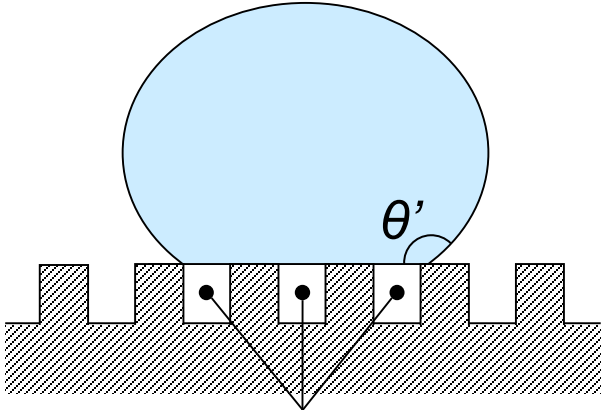
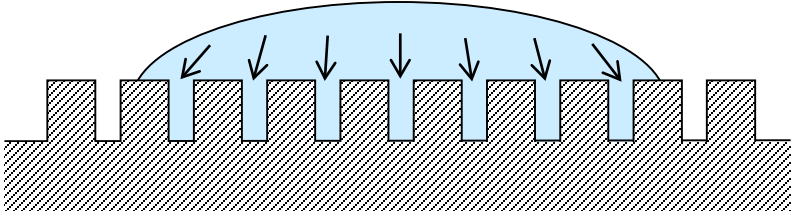


撥水・親水機能  
ハスの葉が持つ  
撥水機能



フッ素の代替

# ◆編むバイオセンサ (特開2021-32659号)

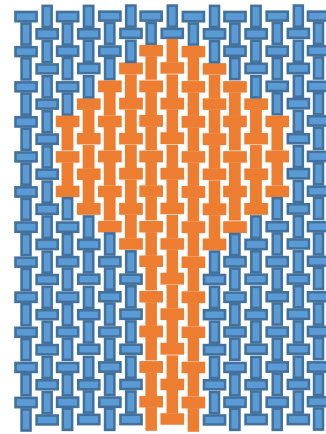
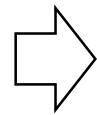
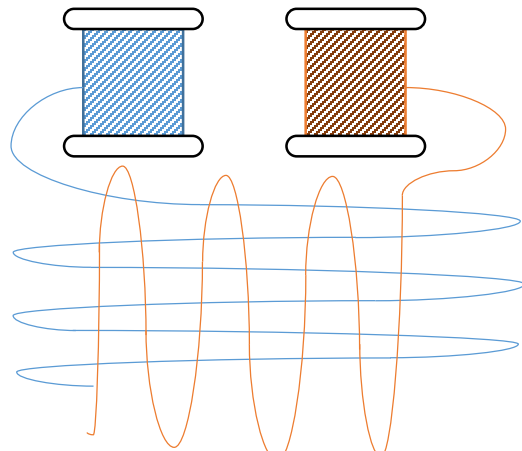
撥水性	親水性
<p style="color: red;"><math>\theta'</math>: みかけの接触角</p>  <p>溝が空気の部屋を形成</p>	 <p>溝に液体が吸引され濡れ広がる</p>
マイクロメートル領域	ナノメートル領域
界面張力	毛細管現象
Cassie (カシー) モデル	Wenzel (ウェンゼル) モデル

空気が最も疎水性の物質であることを利用している

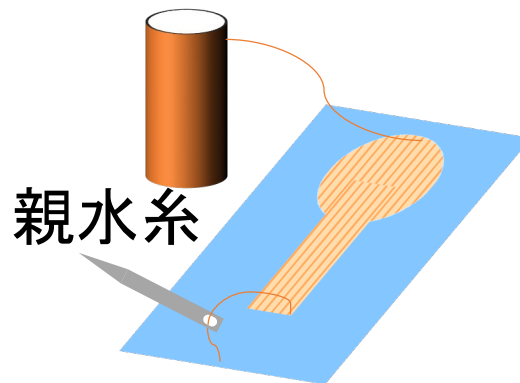
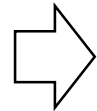
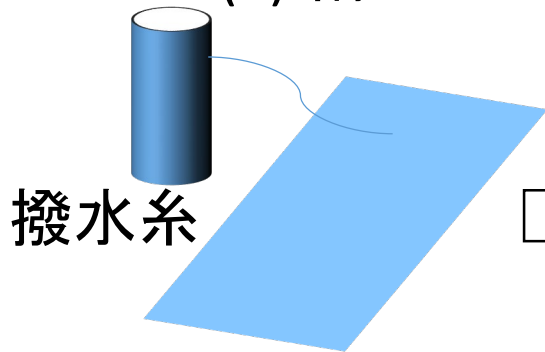


# 編むバイオセンサとは

撥水系 親水系

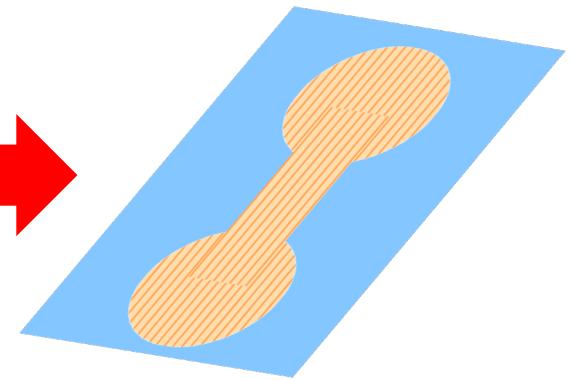


(a) 編み式



(b) 刺繍式

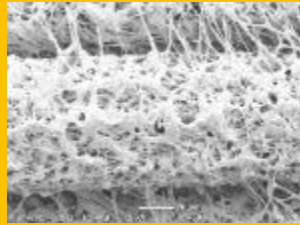
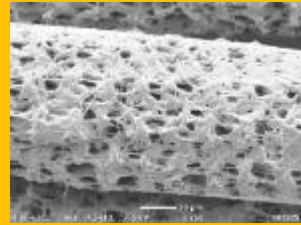
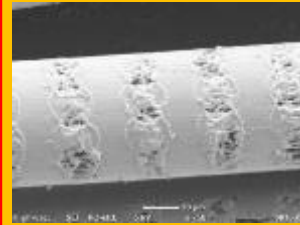
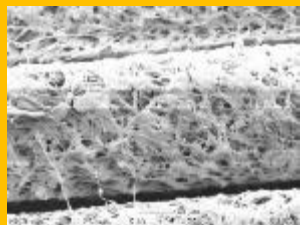
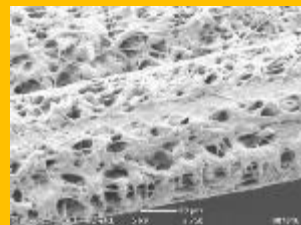
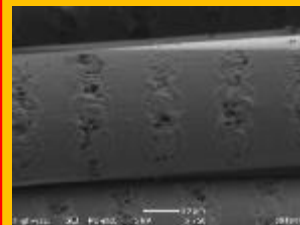
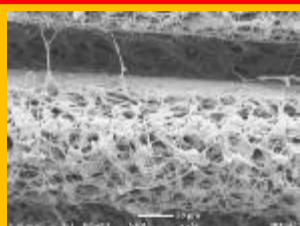
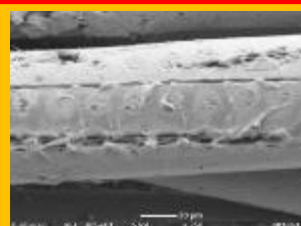
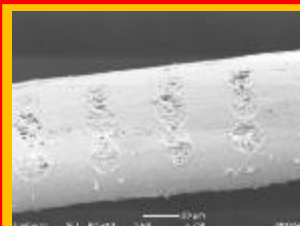
完成



多機能と汎用性: 様々なバイオマーカーに適用できる編むバイオセンサ

# ポリプロピレン単繊維表面への直接加工

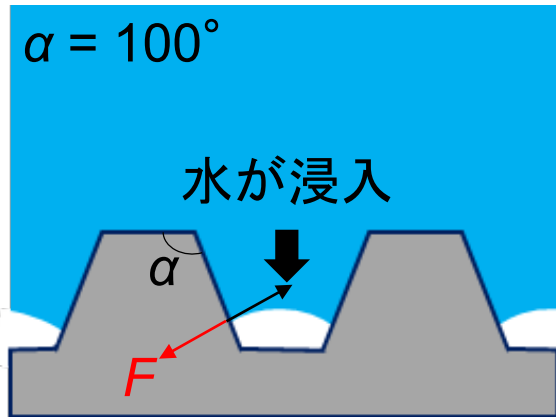
長手方向ピッチ(オーバーラップ率)

	10 $\mu\text{m}$ (67 %)	20 $\mu\text{m}$ (33 %)	40 $\mu\text{m}$ (0 %)	
ピークパワー	147 MW (170 fs)			
	50 MW (500 fs)			
	25 MW (1000 fs)			

- ◆ ピークパワー **50 MW** 以上かつオーバーラップ率 **33 %**以上で繊維全体に表面波干渉が生じ、**階層構造**に。
- ◆ 機能的テクスチャを施した繊維は、撥水性, 防汚性, 保湿性, 通気性, 染色性, クッション性, 肌触り等の機能向上に寄与。

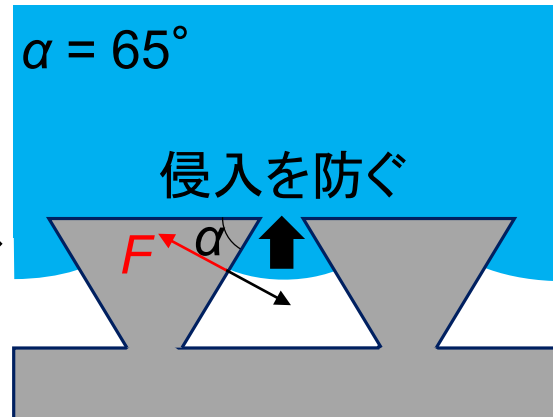
# ◆究極の撥水構造 (特開2022-65693号)

# 究極の撥水構造



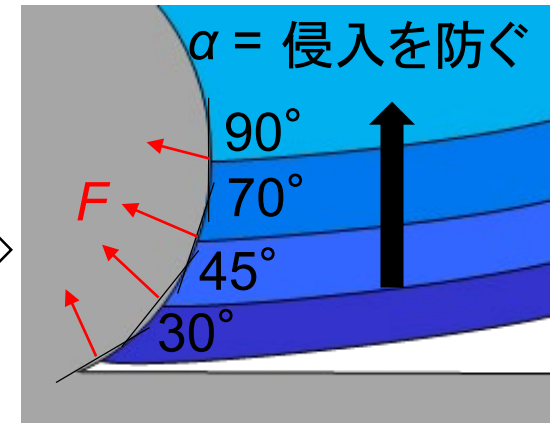
(a) 従来技術の加工限界  
(順テーパー構造)

向上  
→



(b) 逆テーパーによる撥水構造

向上  
→



(c) 究極の超撥水構造

リエントラント構造

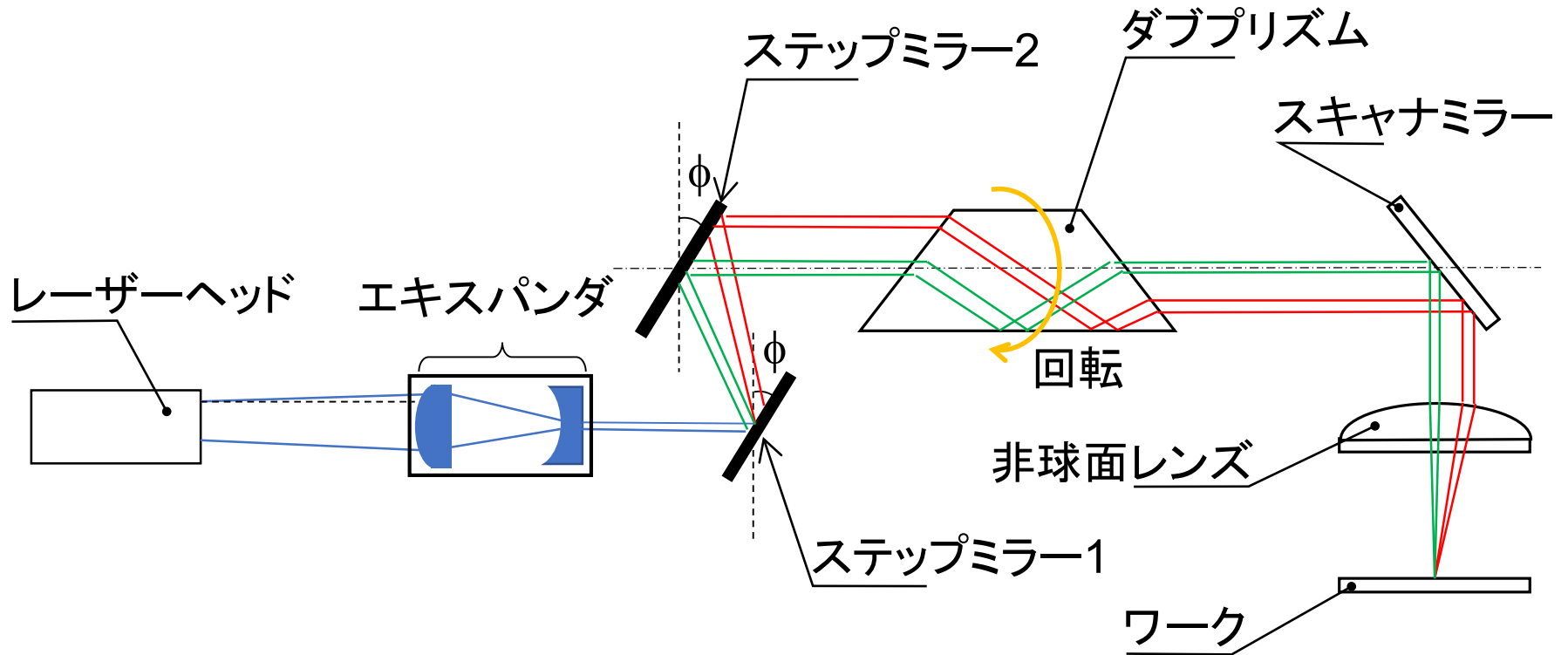
撥水性を増強するには、上から侵入してきた水を支えて空気室を維持する上向き力が必要

側面を球状とすれば、水が入り込むほど支える力は大きくなる

逆テーパー加工が可能となれば、超撥水機能的テクスチャを実現

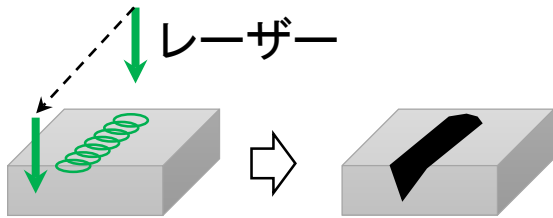
(Brown & Bhushan, Scientific Reports, 6:21048, 2016)

# 開発した逆テーパ光学ユニット

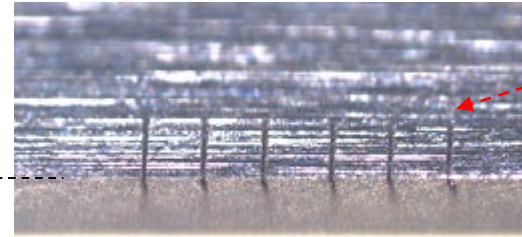


「3次元加工」や「機能的テクスチャ加工」を高速で行う革新的な加工技術を提供

# レーザーによる金属の逆テーパー加工



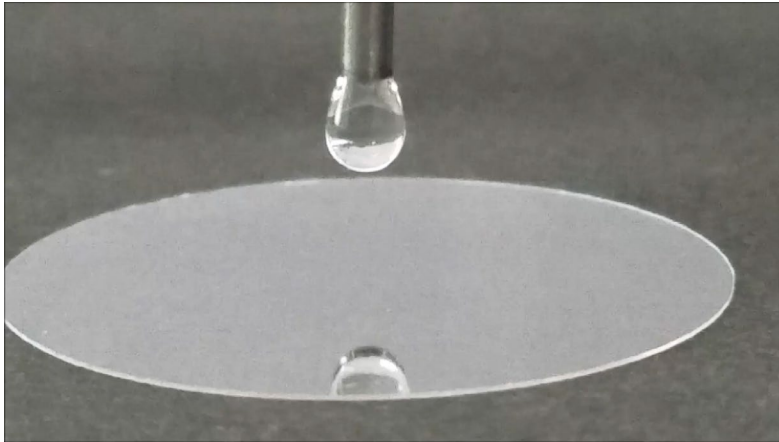
金属板表面  
金属板側面  
(研磨面)



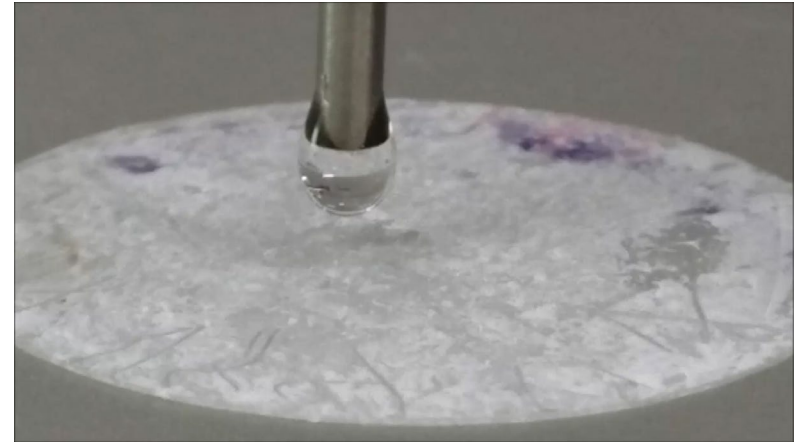
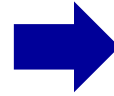
直線加工痕

$\Delta\phi$	-3.50	-3.25	-3.00	-2.75	-2.50	-2.25	-2.00	-1.75	-1.50	-1.25	-1.00	-0.75	-0.50	-0.25	
画像															
$\theta$	20.2	18.2	16.5	15.7	14.2	11.7	10.7	9.8	8.3	6.5	6.1	4.5	2.7	1.8	

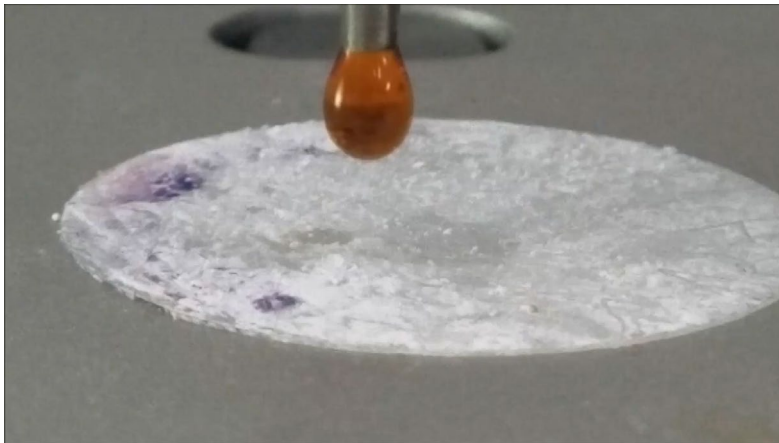
$\Delta\phi$	3.50	3.25	3.00	2.75	2.50	2.25	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0
画像															
$\theta$	22.7	20.2	18.2	17.9	16.5	14.7	12.3	10.5	8.4	8.2	5.8	4.4	2.6	1.4	1.5



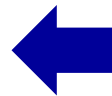
食用油/ガラス平坦面 (日清キャノーラ油)



食用油/リエントラント構造  
(日清キャノーラ油)



醤油/リエントラント構造  
(キッコーマンしぼりたて  
生しょうゆ)



蒸留水/リエントラント構造

(液滴量 : 9  $\mu$ L)

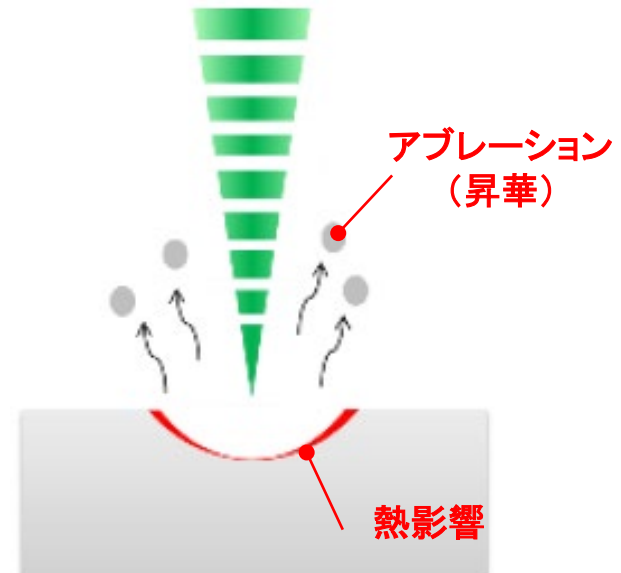
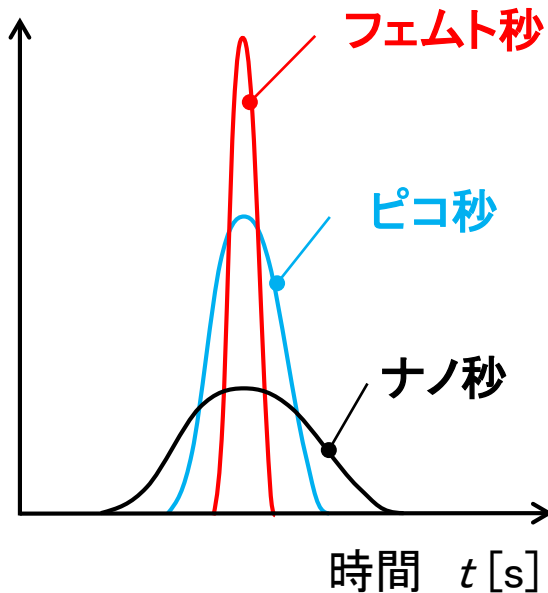
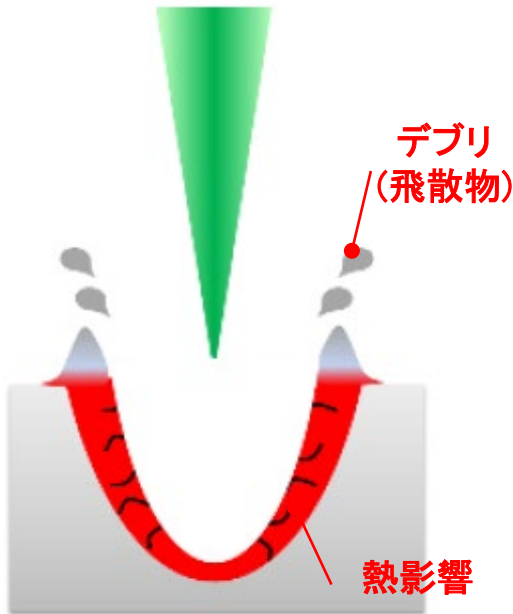
# ◆撥液・防汚の階層構造 (特開2020-146725号)

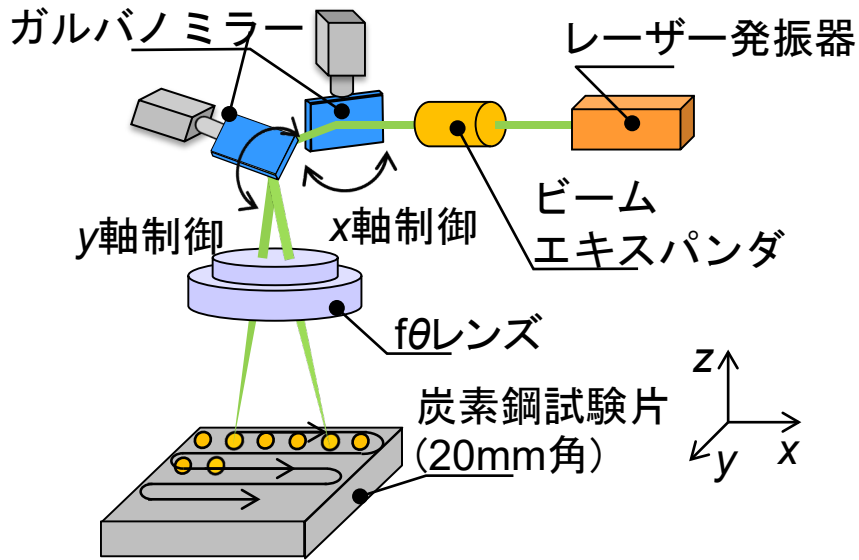


# 短パルスレーザーの利点

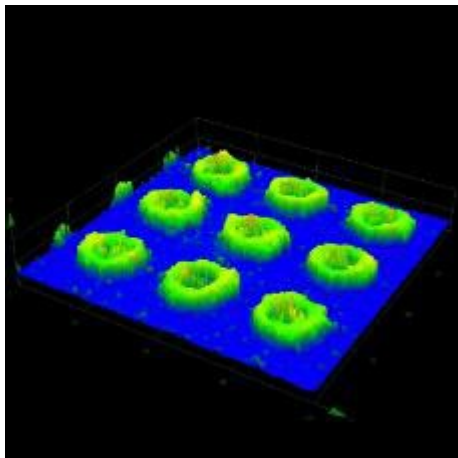
平均パワーが mW クラスのレーザーでも、パルスでは GW(ギガワット) クラスのピーク出力が得られ、その制御も容易

パルスレーザー	ナノ秒	ピコ秒	フェムト秒
時間	$10^{-9}$ s	$10^{-12}$ s	$10^{-15}$ s
ピークパワー ※1μJ/pulse	1 kW (1 ns)	1 MW (1 ps)	1 GW (1 fs)
加工形態	熱加工が支配的	熱加工とアブレーションが混在	アブレーションが支配的

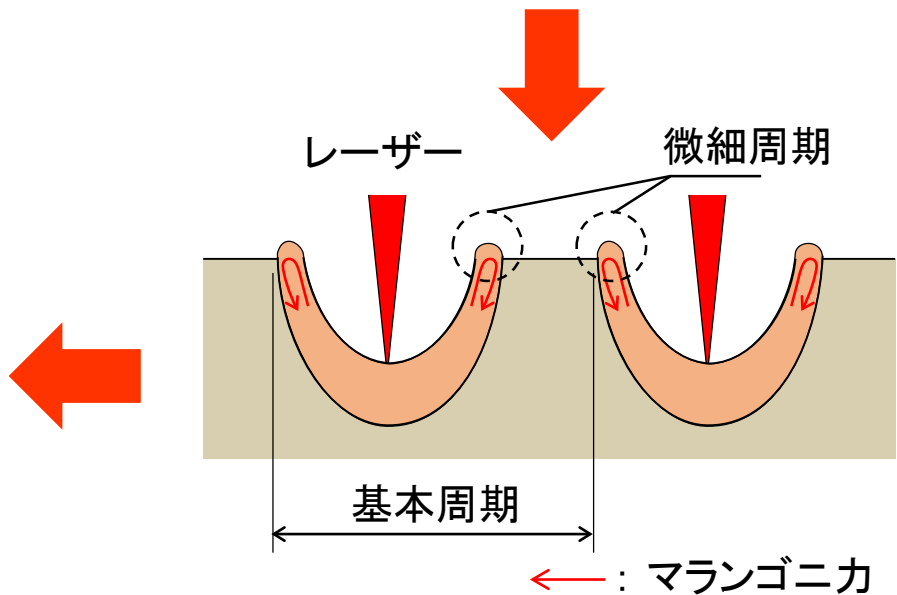
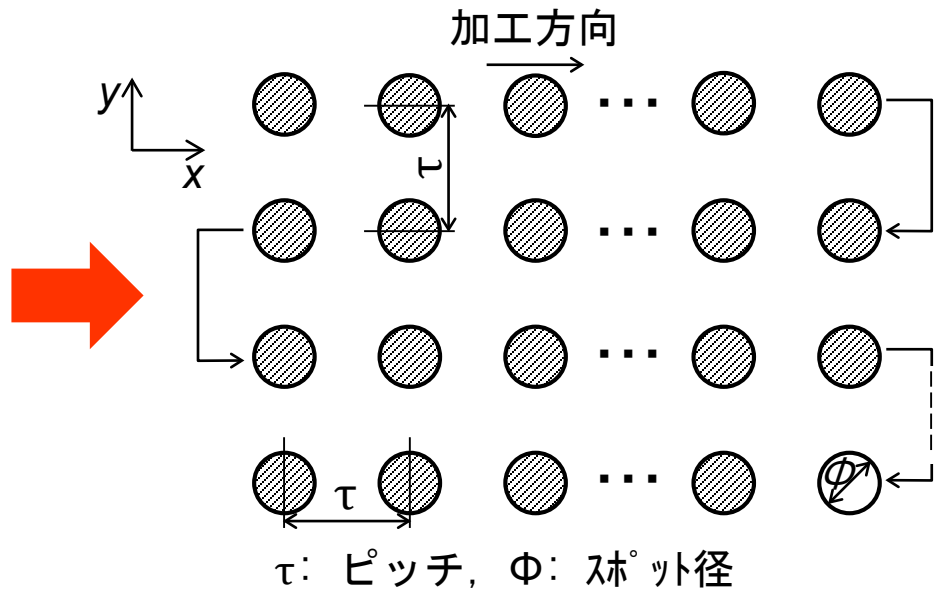




短パルスレーザー加工機 (ML-9011A, (株)アマダミヤチ)



被加工物表面



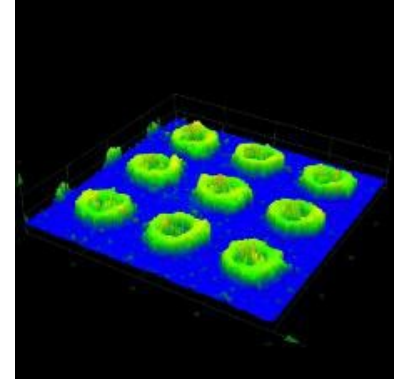
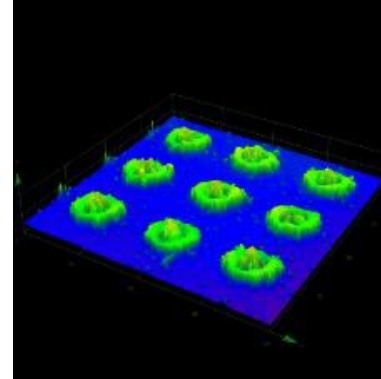
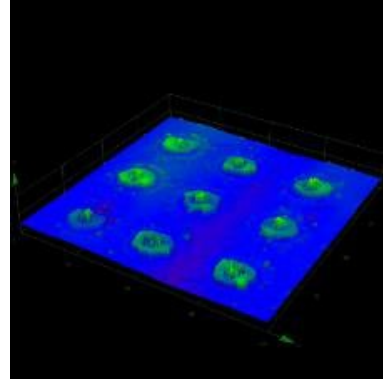
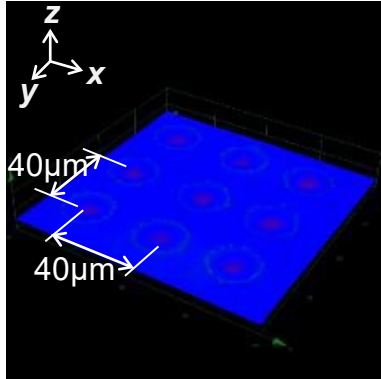
# ピークパワーによる短周期制御

$P_P = 0.45$  [kW]

$P_P = 0.91$  [kW]

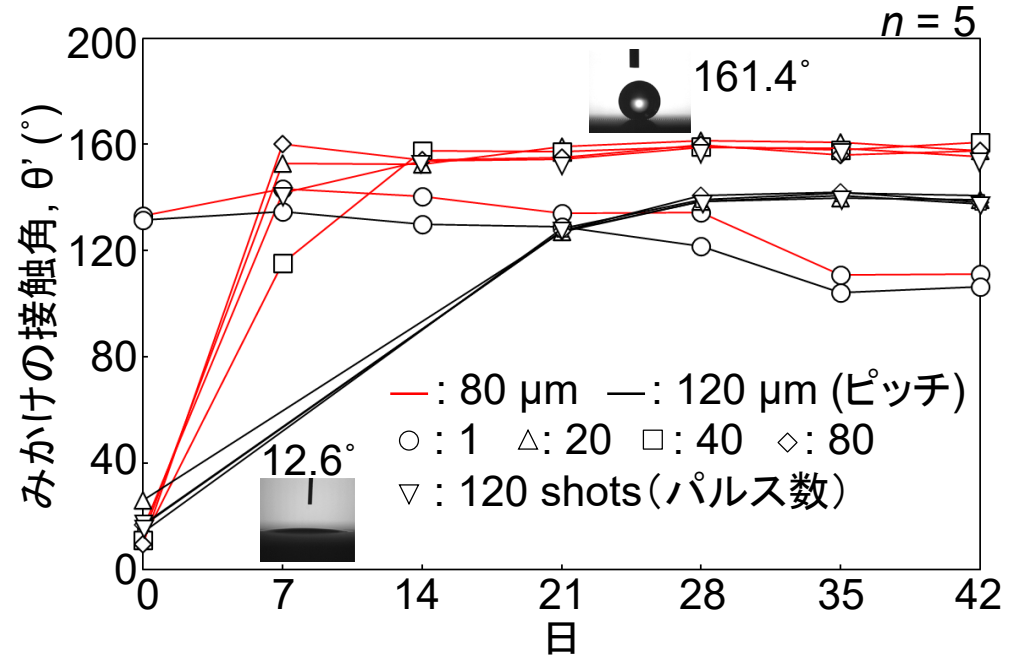
$P_P = 1.4$  [kW]

$P_P = 1.8$  [kW]



◆ 長周期と短周期を一気に形成

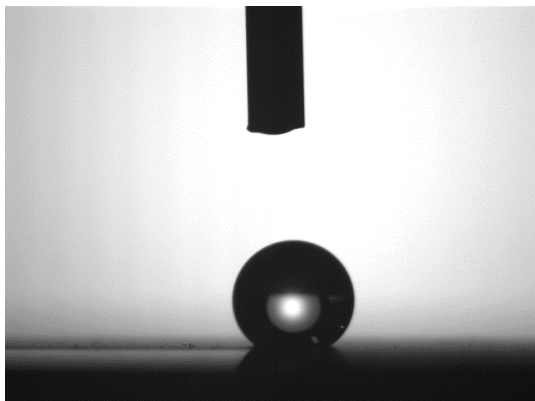
◆ ピークパワーにほぼ比例して短周期構造が大きくなり，微細突起の高さ  $h_2$  は  $0.7 - 12 \mu\text{m}$ ，幅  $t$  は  $2 - 12 \mu\text{m}$  の範囲



みかけの接触角の経時変化

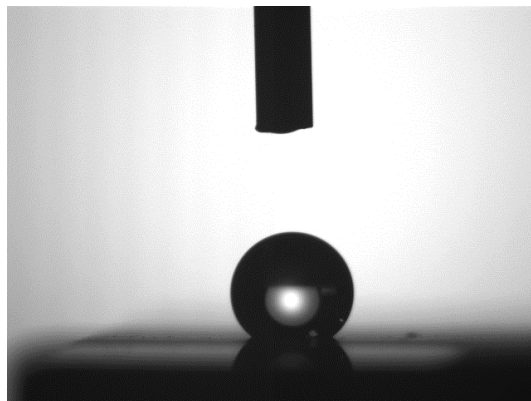
# みかけの接触角 $\theta'$ と滑落角 $\alpha$

表面粗さRa = 0.3



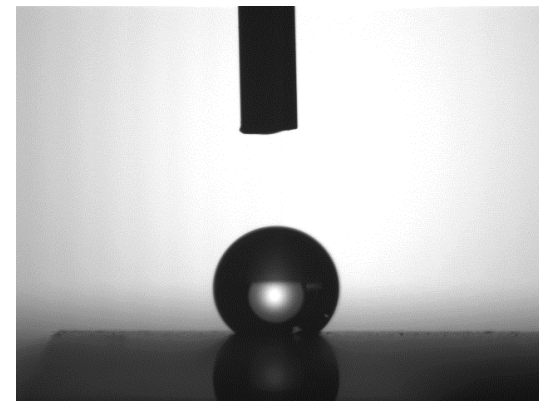
$\theta'$ :  $141.0 \pm 2.9^\circ$

表面粗さRa = 0.1

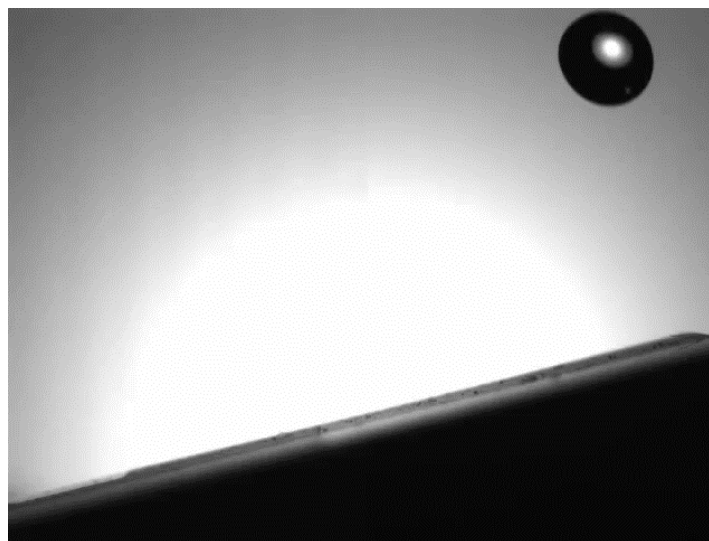
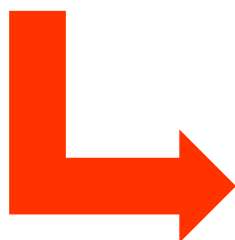


$\theta'$ :  $139.8 \pm 3.6^\circ$

表面粗さRa = 0.05



$\theta'$ :  $134.5 \pm 4.3^\circ$



滑落性 ( $\alpha = 15^\circ$ , 約1/7のスピードで表示)

## これらの特許でできること

1. 今までどうしてもできなかった水はけ性，撥水性の問題を解決できる可能性があります。
2. 材料を選びません。鋼，アルミ，銅などの金属，PMMA，PC，PP，PEなどのプラスチック，ガラス，セラミックなど，ほぼすべての材料に適用可。
3. 加工対象への直接加工，転写成形での間接加工の何れにも対応できます。
4. レーザー干渉法と組み合わせれば，1 m<sup>2</sup>/分で高速加工できます。
5. 大出力レーザーでもたかだか100 W，つまり省エネの加工技術です。油にまみれることもありません。

万物には表面があり，自然界には水がある

## 対象

自然、人工物、人



バラ

ハス



皮膚

## 表面



船舶，航空機



土壌・地層

## 設計技術の構築

### 界面の数値解析

- ・ Cassie, Wenzelモデル



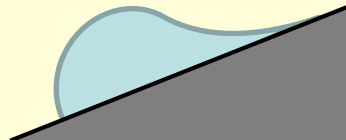
混相流問題 (気液二相流)

- ・ 支配方程式
- 質量保存, Navier-Stokes+
- 界面を如何にモデル化するか?



$\mu\text{s}$  オーダーの動的な挙動観察により，表面での液滴速度と接触角の関係をモデル化

### 動的特性の測定



- ・ 接触角ヒステリシス, 滑落角, 液滴形状の速度依存性

## 産業応用

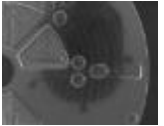
### セルフクリーニング

- ・ 食品等容器の高機能化
- ・ 家屋, ビルの壁の防汚
- ・ 衣料品の防汚



### 医療の高度化

- ・ 少量の検体で分析できるバイオチップ
- ・ ポンプのシール, 血栓防止



### エネルギー

- ・ 液体の輸送抵抗減少
- ・ 電池の高機能化



### 視界の確保

- ・ 輸送機器の視界の確保
- ・ 画面の防汚



### 安全・福祉機器・防災

- ・ ロボットの滑り止め
- ・ 高齢者の転倒防止



# バイオで「設計する」「創る」「使う」

## ミッション

適正な技術でひとつひとつは小さいけれど豊かな社会を実現する

## ビジョン

生物模倣（バイオミメティクス）に基づくエコシステムを構築する

## 戦略 超高機能表面を作る

- ➡ その後で、手頃な表面加工技術を作る
- ➡ これを進めながら、マイクロ/ナノ・レーザー加工技術を提供する

# お問い合わせ先

**株式会社信州TLO**



**T E L 0268-25-5181**

**F A X 0268-25-5188**

**e-mail [info@shinshu-tlo.co.jp](mailto:info@shinshu-tlo.co.jp)**