

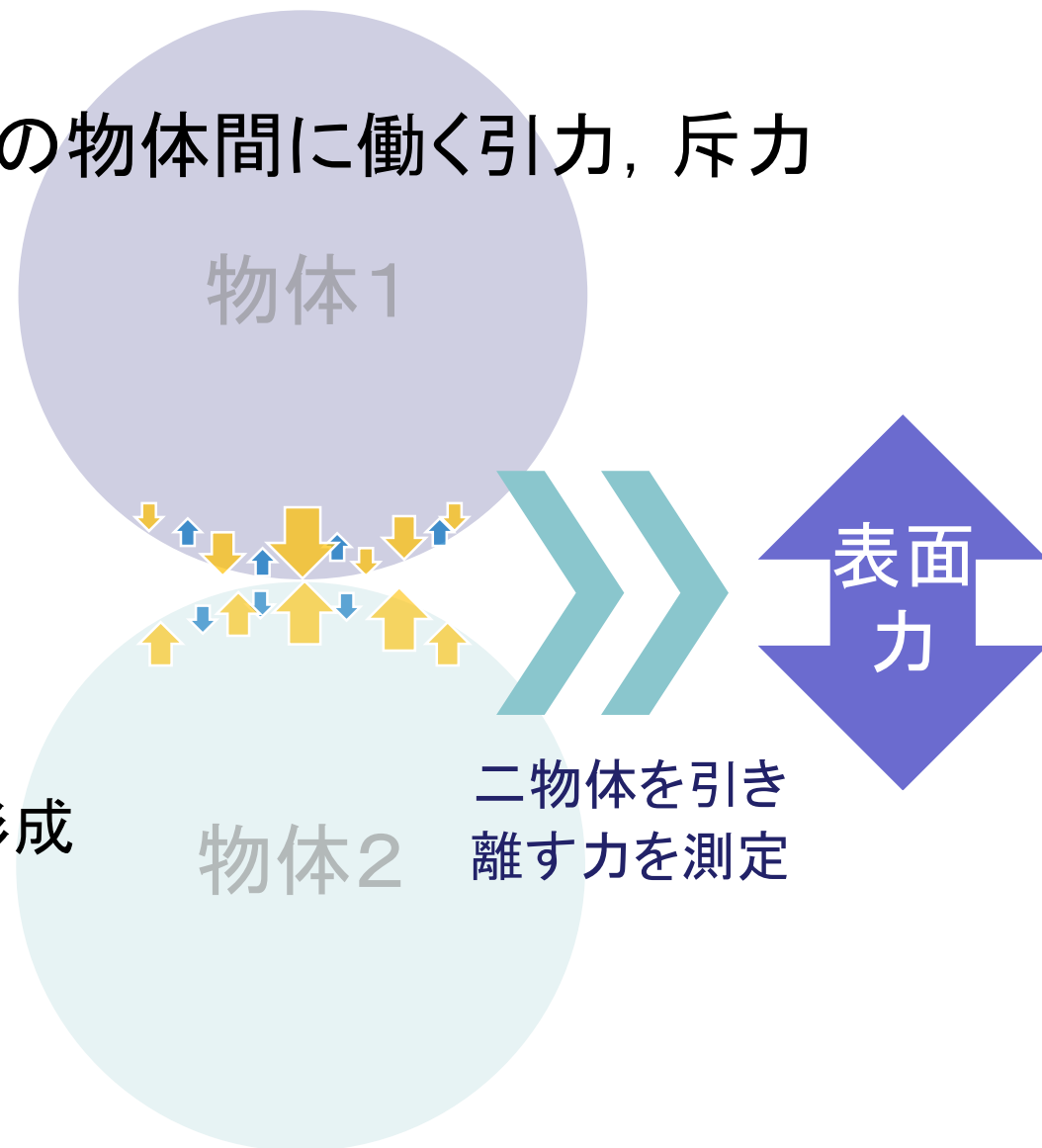


# 表面力とは

- 接近，接触する二つの物体間に働く引力，斥力
  - 静電気力
  - イオン間相互作用
  - 水素結合
  - ファンデルワールス力
    - 双極子相互作用
    - ロンドン分散力
  - メニスカス力
  - etc.

物体表面に力の場を形成

↓  
表面力



二物体を引き離す力を測定



## こんなところに表面力

- 携帯電話のタッチ面の指すべり, 防汚処理
- フライパンこびり付き防止のフッ素樹脂コート
- 自動車のボディコーティング
- ヤモリの足





# 「表面力測定」の意義

## 物体の表面力は？

溶媒（主に水）との親和性で論じられる。

- 撥水性（疎水性）
- 親水性

本装置の表面力と必ずしも一致しない

- ・液体と固体
- ・間に介在する空気の影響
- ・物性の違い

## 工業的な意味での表面力とは？

金型，インプリント

- 離型性

フィルム，薄膜

- 密着性
- 剥離性

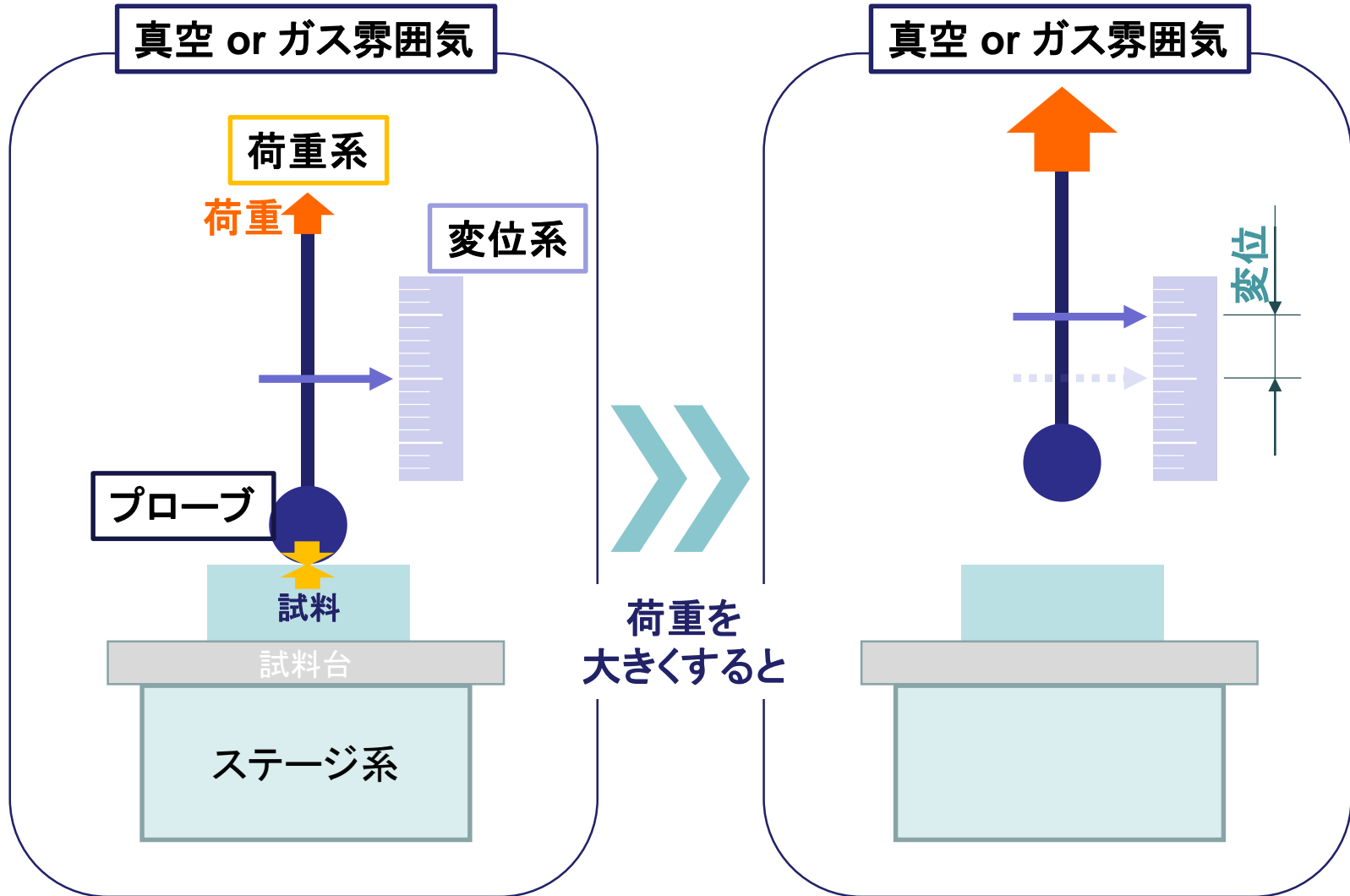
実際の問題と同じ材料，あるいは同質の材料同士を接触させる

- 離型性 = 表面力
- 密着性 = 表面力
- 剥離性 = 表面力

表面力測定による「～性」の定量化

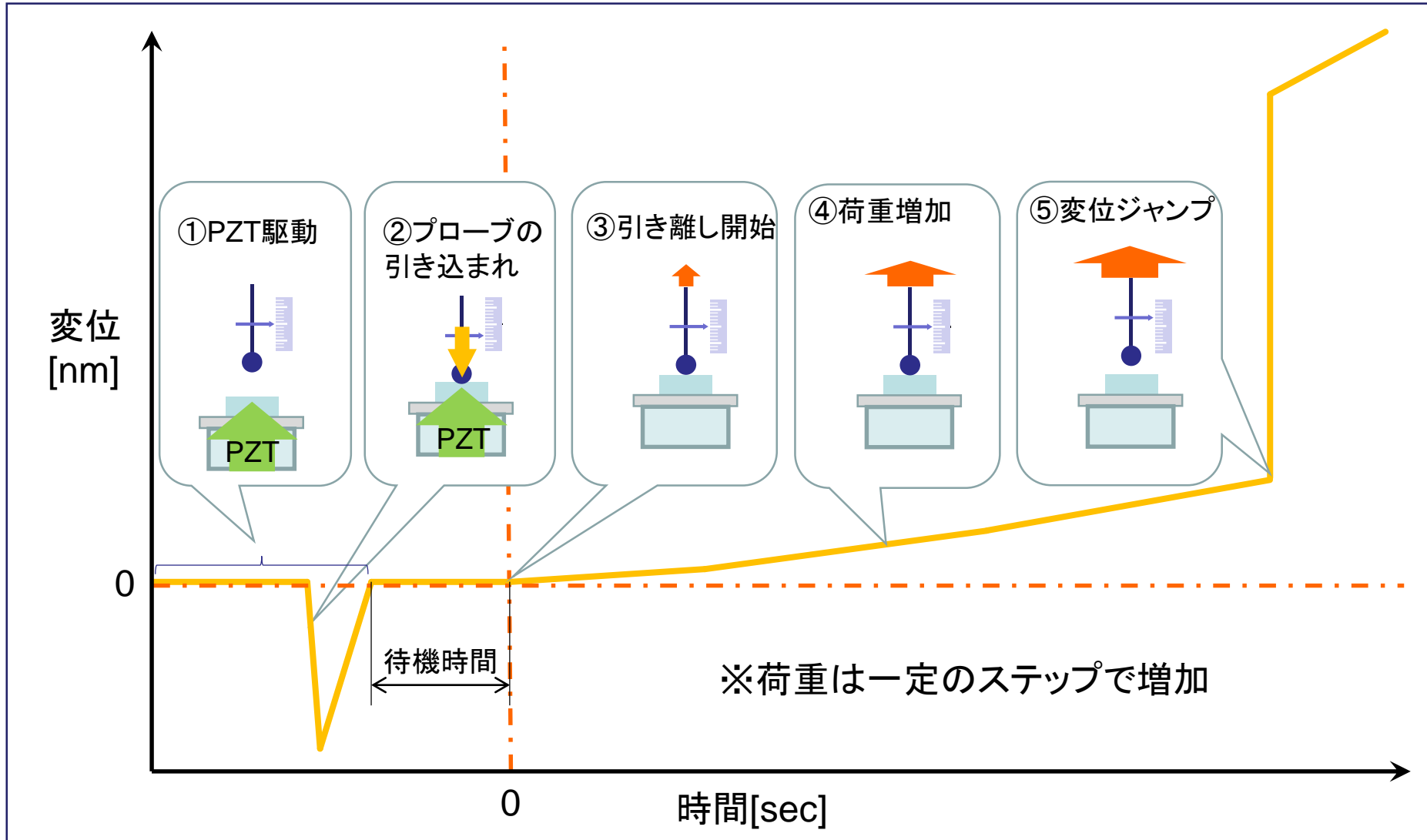


# 測定原理





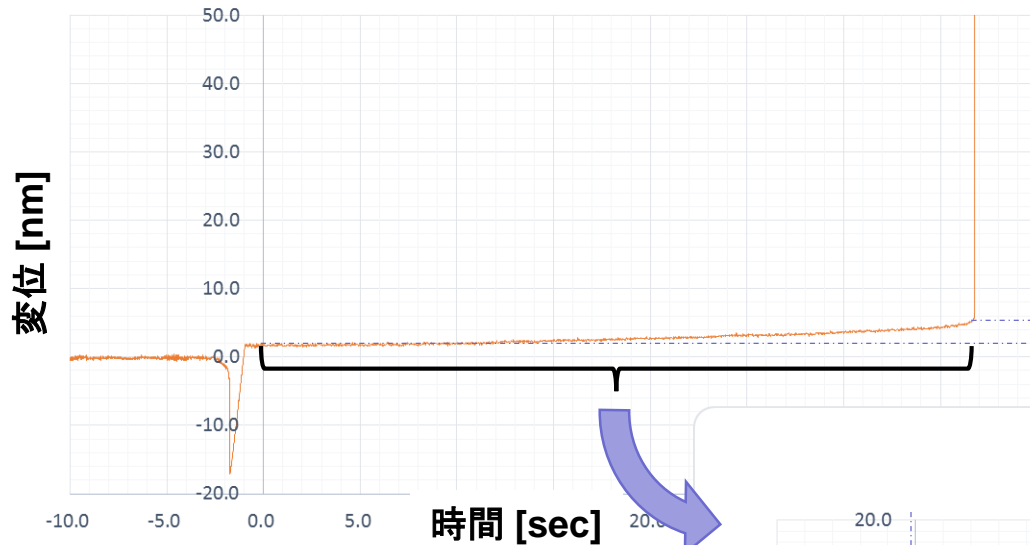
# ESF-5000による測定





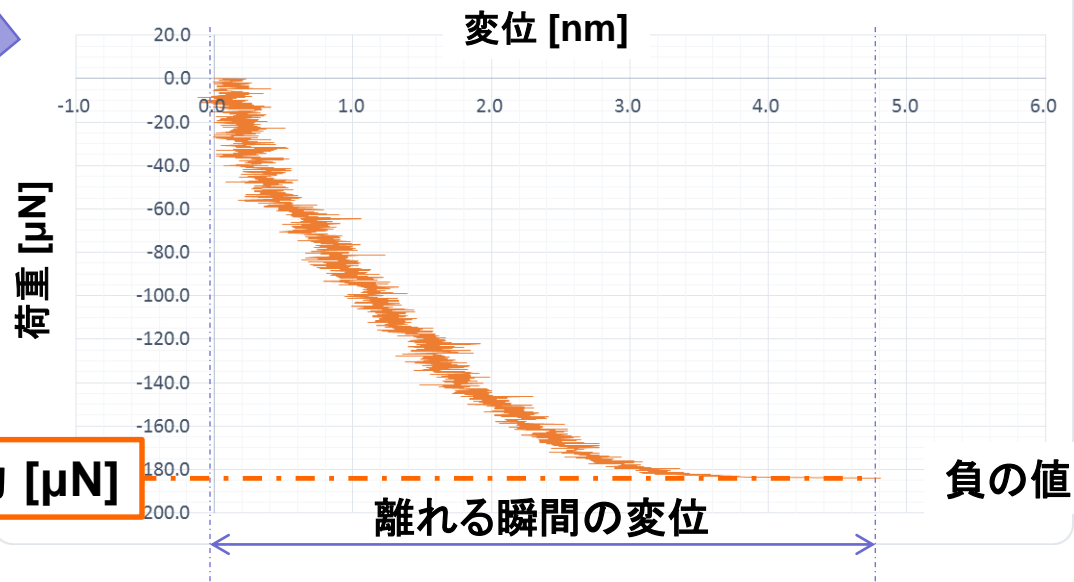
# ESF-5000による測定

時間-変位曲線



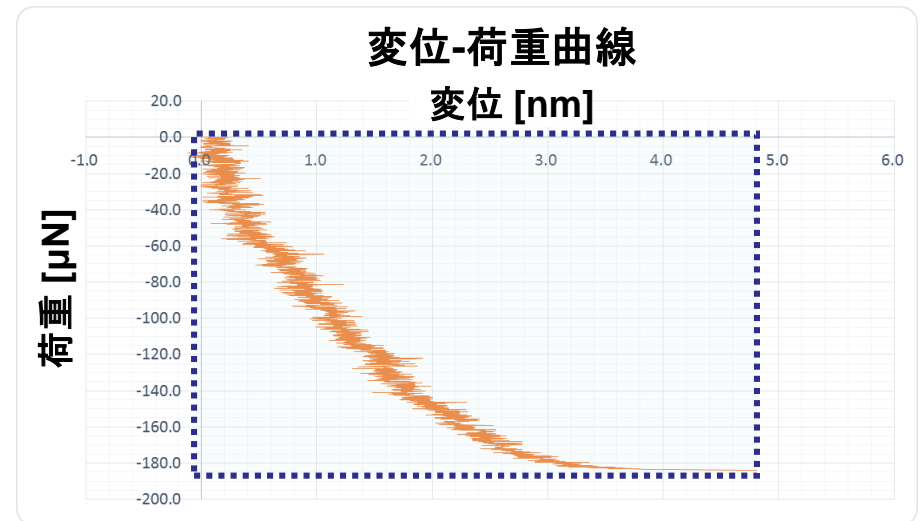
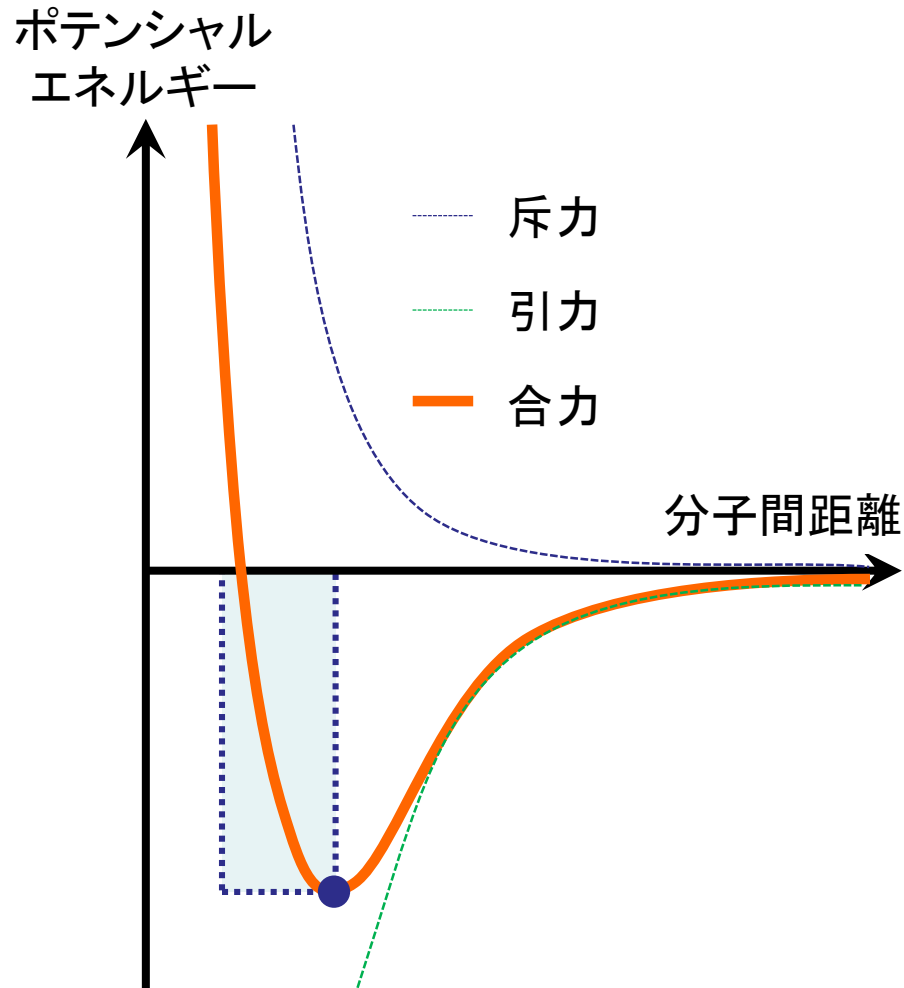
離れる瞬間の変位

変位-荷重曲線





# 分子間ポテンシャルエネルギーとの関係





## ESF-5000の特徴

- 電磁力によって直接荷重を掛ける
  - バネ定数と変位から力を計算していない
- 真空引き, ヒーターによって水分を除去
  - メニスカス架橋による力(表面張力, ラプラス圧力)の影響を除去
- $\mu\text{m}$ スケールの接触領域
- プローブを選択可能
  - $\phi 1\text{mm}$ ガラス球, PDMS付プローブを用意



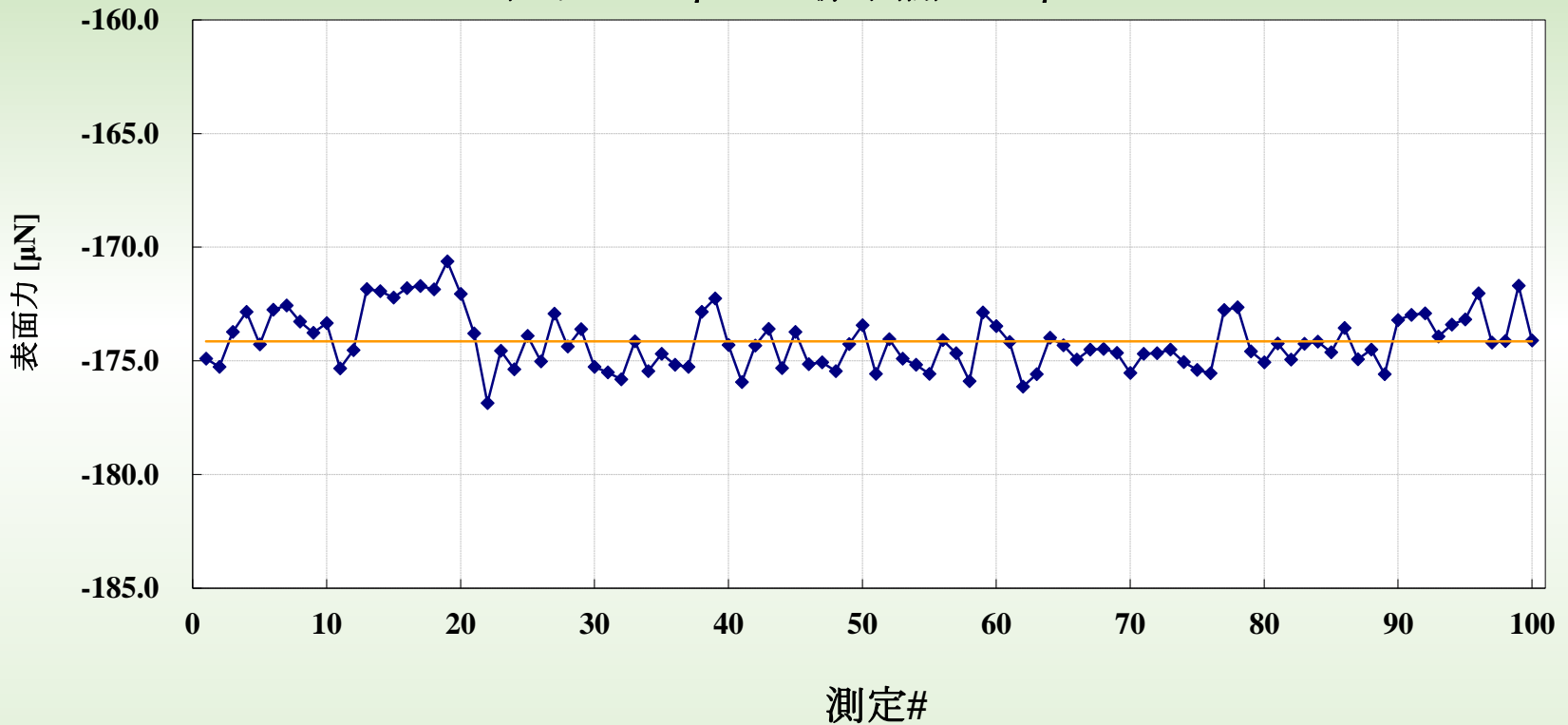




# 測定例：ガラス球とPt膜の測定

Pt膜 (t=10nm) on Siウェハー 10点×10点100μm-Pitch測定

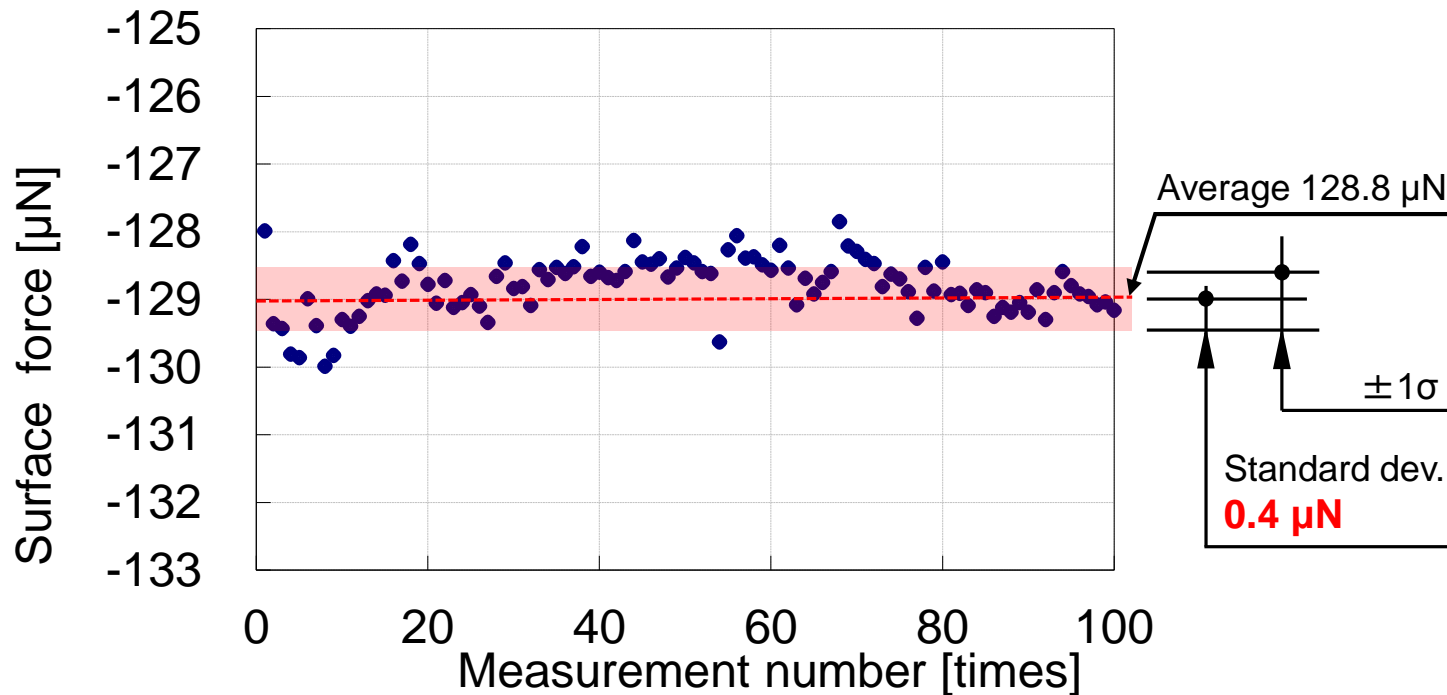
Pt膜 (t=10nm) on Si-ウェハー 10点×10点100μm-Pitch\_表面力plot  
平均  $-174.1 \mu\text{N}$  標準偏差  $1.2 \mu\text{N}$





# 測定例：ガラス球とSi基板の測定 再現性の評価

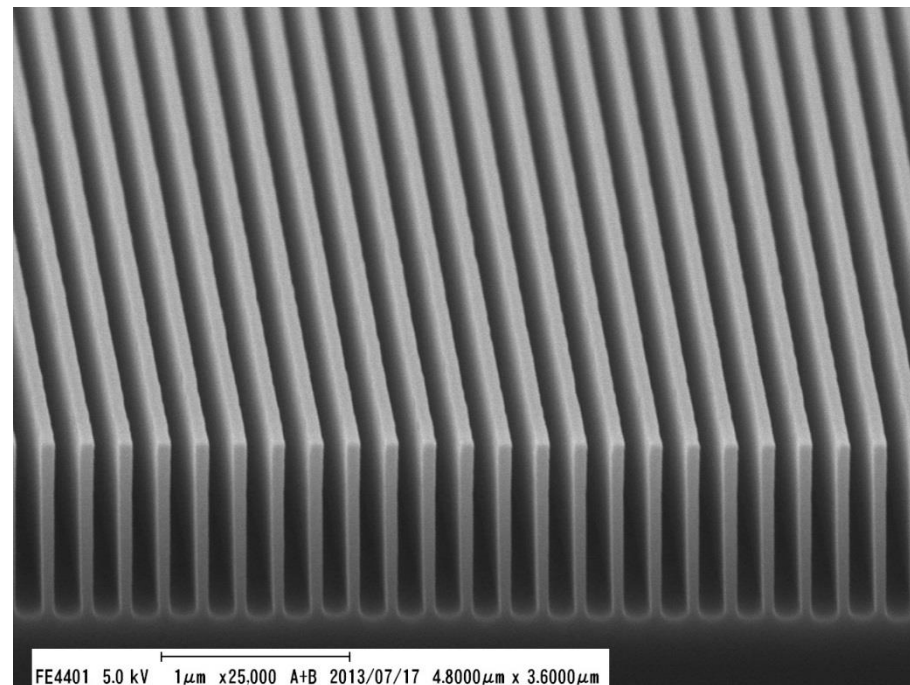
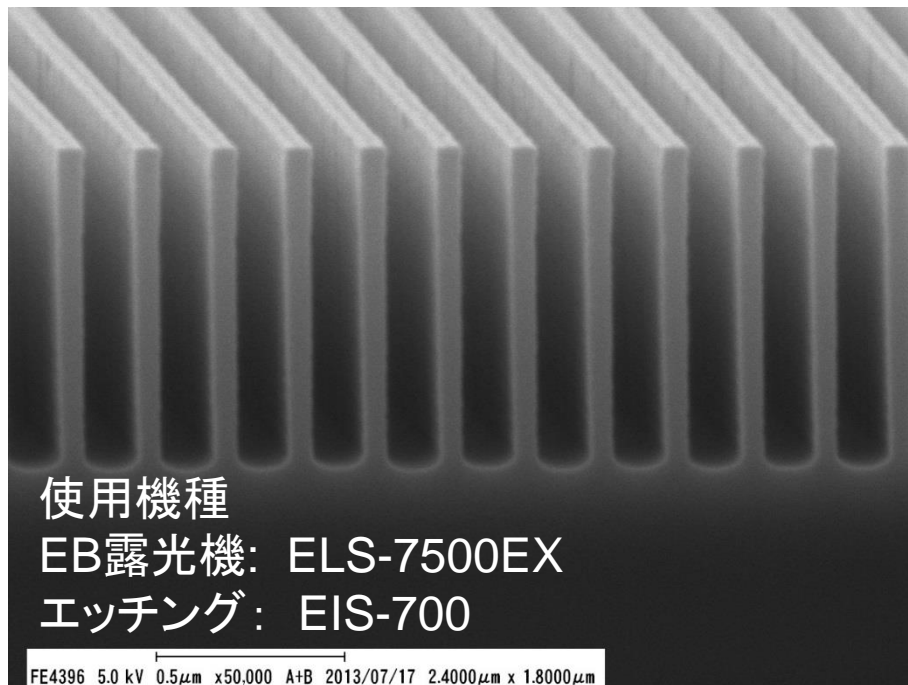
同一箇所を100回連続して測定した結果



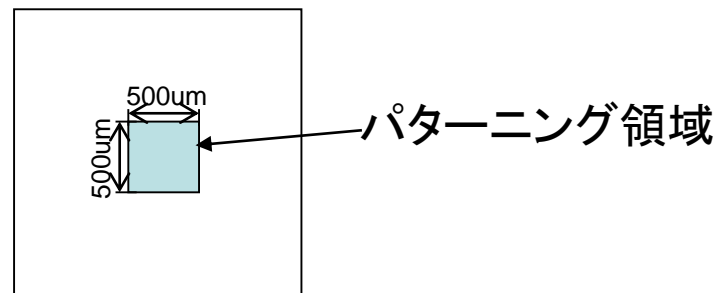


# 測定例:

パターンニングされたSi基板 (200nm-Pitch L&S)の表面力



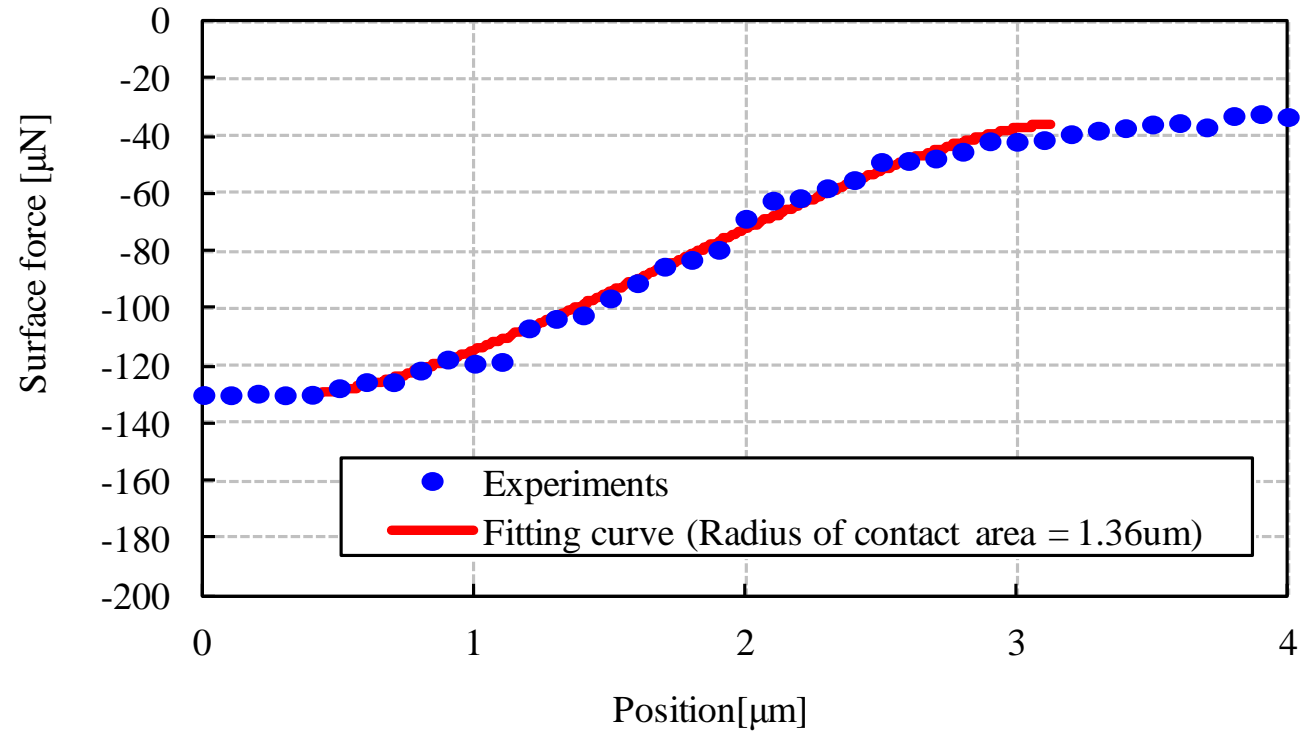
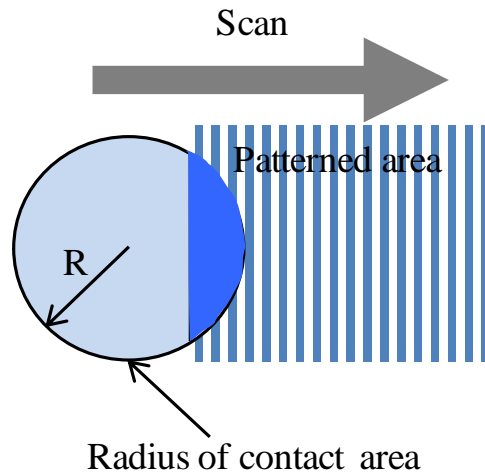
ピッチ: 200nm  
ランド: 70nm  
グルーブ: 130nm  
面積: 500μm × 500μm





# 測定例:

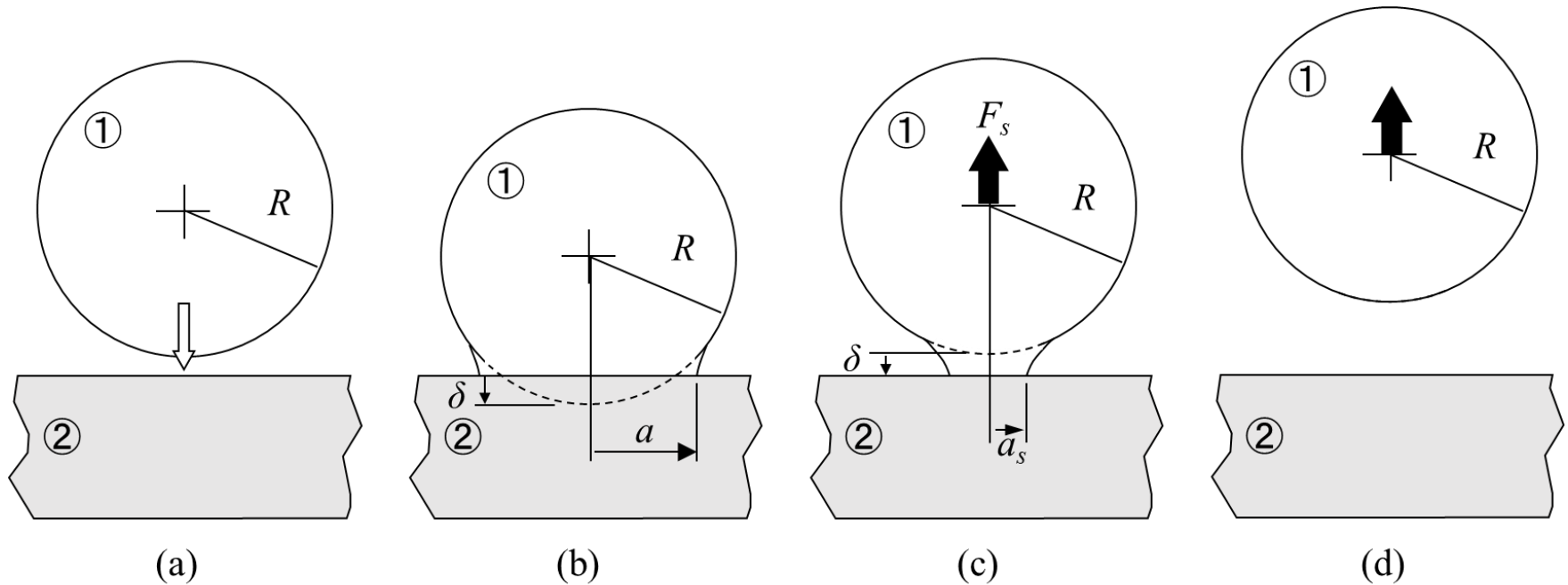
パターニングされたSi基板 (200nm-Pitch L&S)の表面力



接触半径  $a = 1.36\mu\text{m}$



# プローブとサンプルの接触 (JKR理論)



(a)平面への引き込み (b)接触 (c)引き離し (d)分離

接触半径 
$$a^3 = \frac{R}{K} \left\{ F + 3\pi RW_{12} + \sqrt{6\pi RW_{12}F + (3\pi RW_{12})^2} \right\}$$

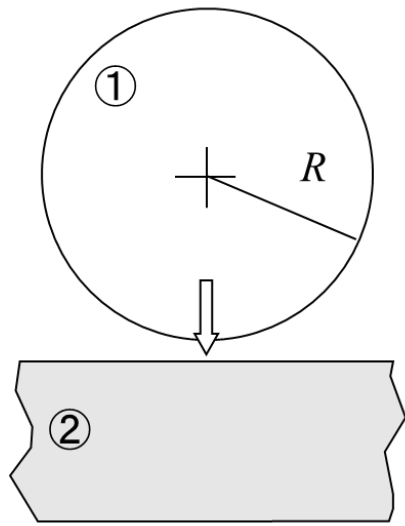
変位 
$$\delta = \frac{a^2}{R} \left\{ 1 - \frac{2}{3} \left( \frac{a_0}{a} \right)^{3/2} \right\}$$

表面力 
$$F_s = -\frac{3}{2} \pi RW_{12}$$

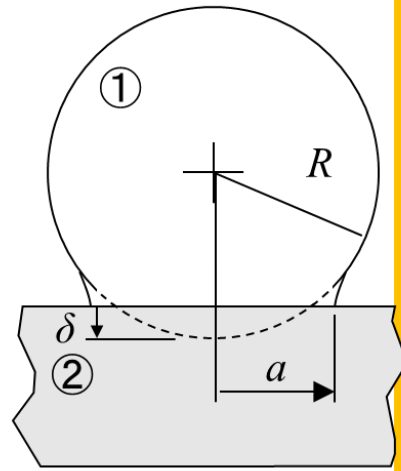


# 測定例:

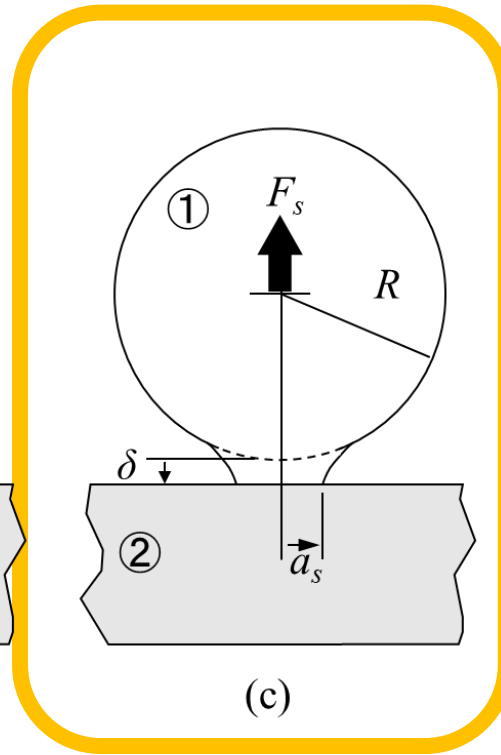
パターニングされたSi基板 (200nm-Pitch L&S)の表面力



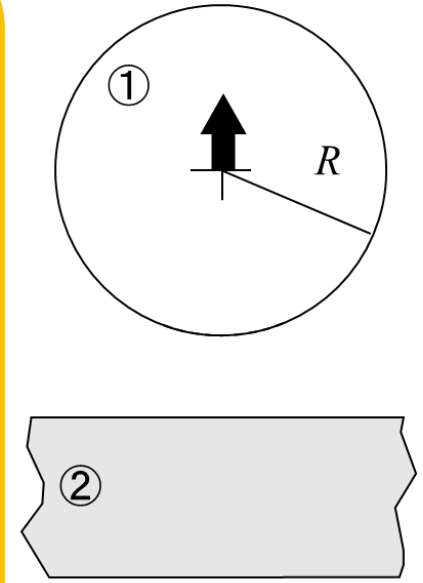
(a)



(b)



(c)



(d)

実測値  $a = 1.36\mu\text{m}$

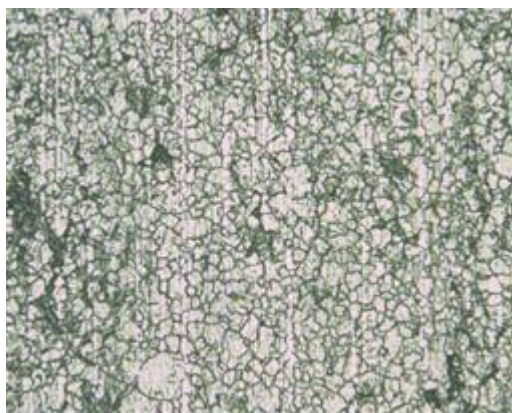
計算値  $a_s = 0.96\mu\text{m}$

理想的な表面と実表面の差

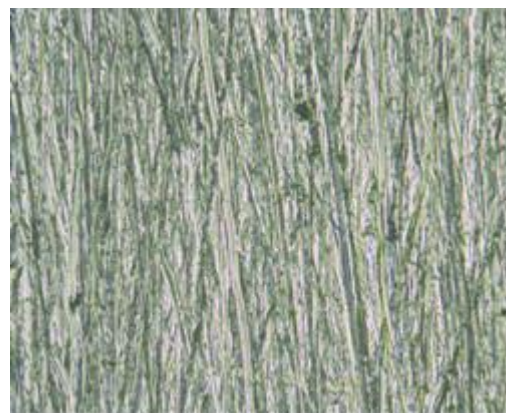


# 測定例： 金属板の表面力 (大きな凹凸を持つ試料表面)

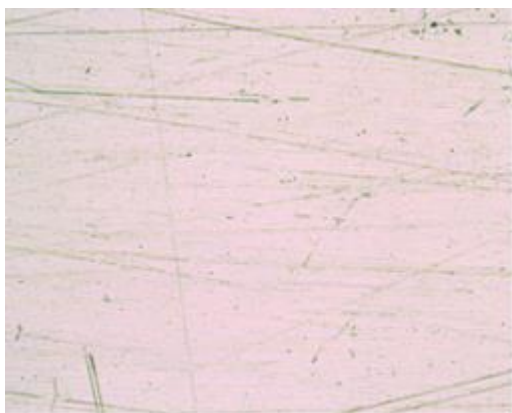
サンプルCMOS画像 (338 $\mu$ m  $\times$  270 $\mu$ m)



SUS304CP 材料素地



機械加工面



バフ研磨

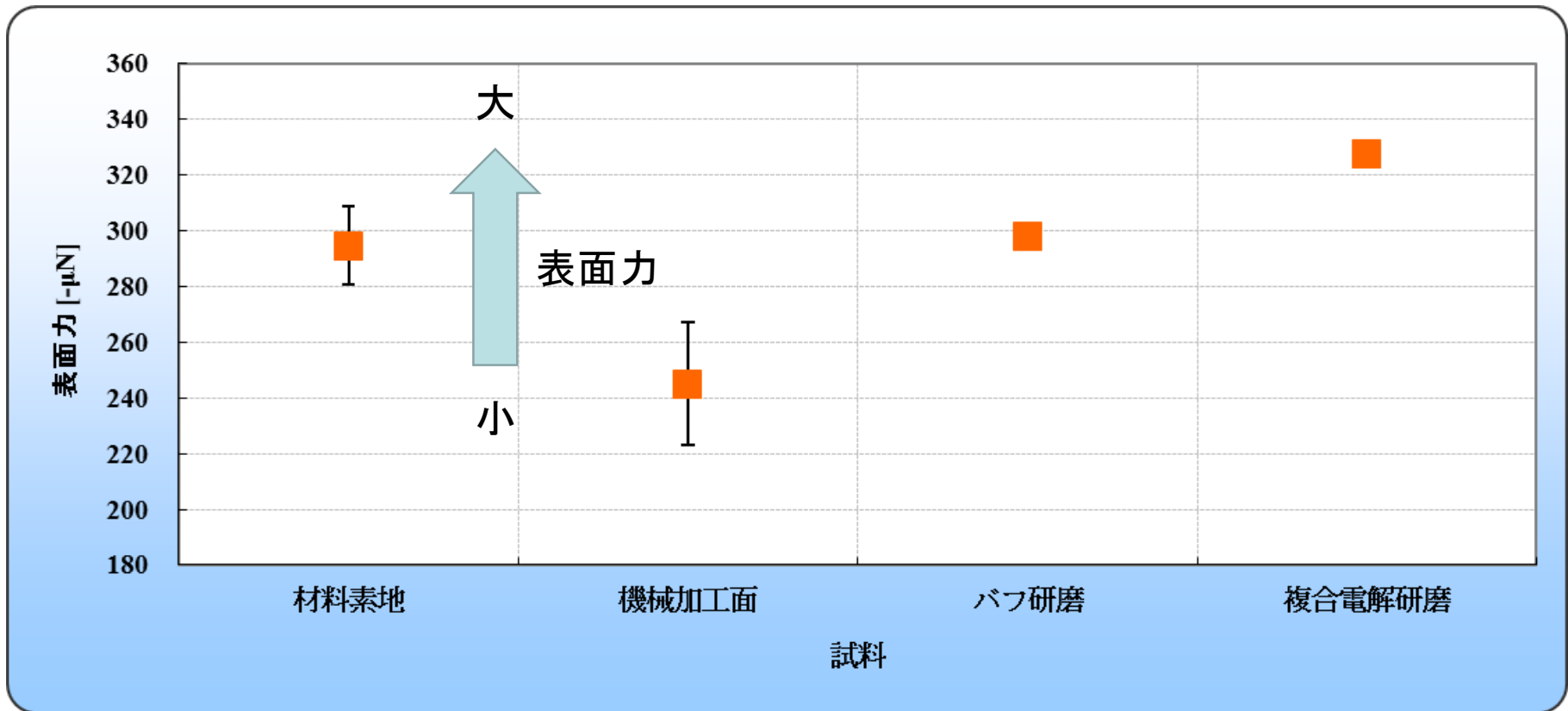


電解複合研磨



# 測定例： 金属板の表面力 (大きな凹凸を持つ試料表面)

使用プローブ：PDMS(シリコーンゴム)付プローブ



表面力測定値

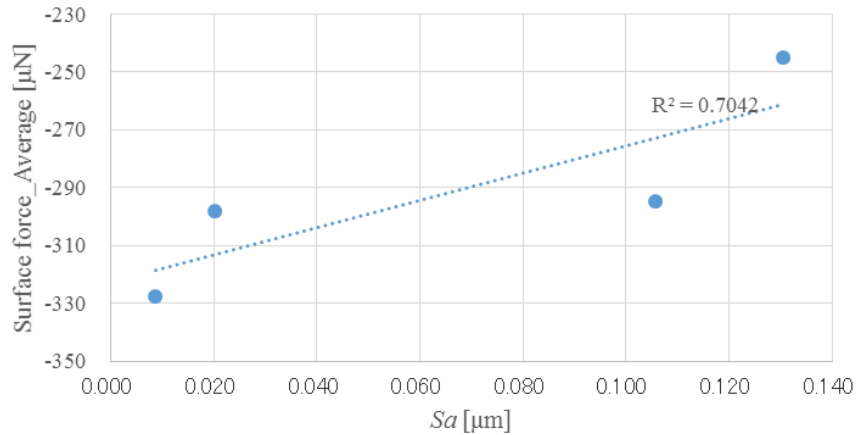




# 測定例： 金属板の表面力 (大きな凹凸を持つ試料表面)

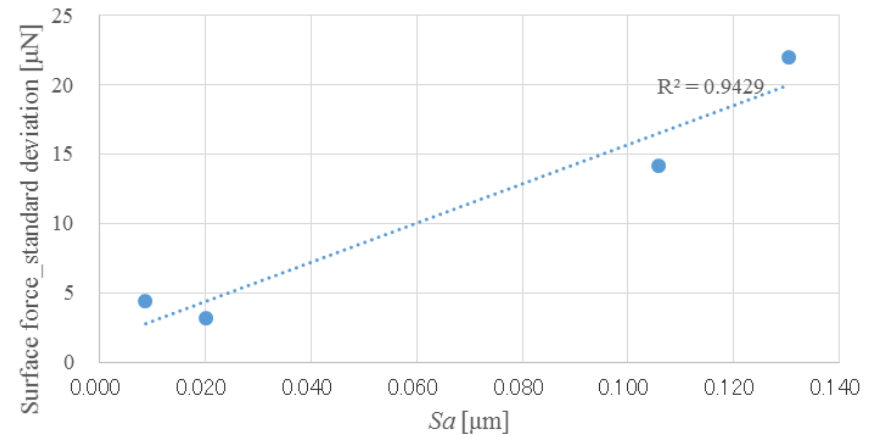
## 粗さと表面力の相関

Sa vs 表面力\_平均値 相関図



算術平均粗さ  $Sa$  と  
表面力の平均値の相関図  
相関係数  $R = 0.839$

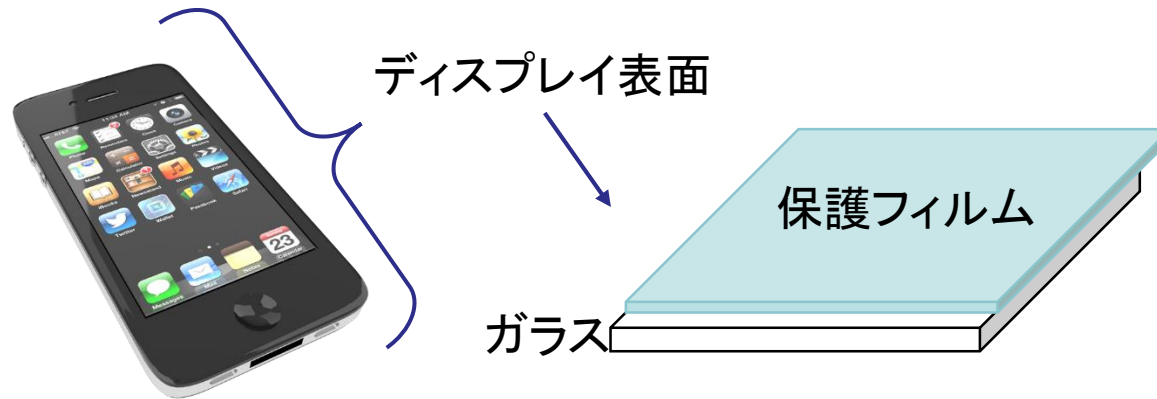
Sa vs 表面力\_標準偏差 相関図



算術平均粗さ  $Sa$  と  
表面力の標準偏差  $\sigma$  との相関図  
相関係数  $R = 0.971$



# 測定例：ディスプレイ保護フィルム



## ■保護フィルムの機能 ※吸着面側を除く

- ・指紋, 皮脂汚れ防止
- ・スムースコート加工  
(指すべりを快適にする)
- ・キズ防止

### <評価方法>

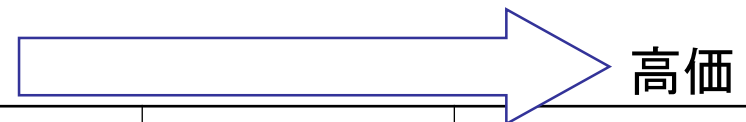
- ・指紋性, 皮脂汚れ防止  
→実際に指で触れて顕微鏡で観察
- ・指すべり  
→官能評価
- ・キズ防止  
→鉛筆硬度試験



# 測定例：ディスプレイ保護フィルム

## 測定対象

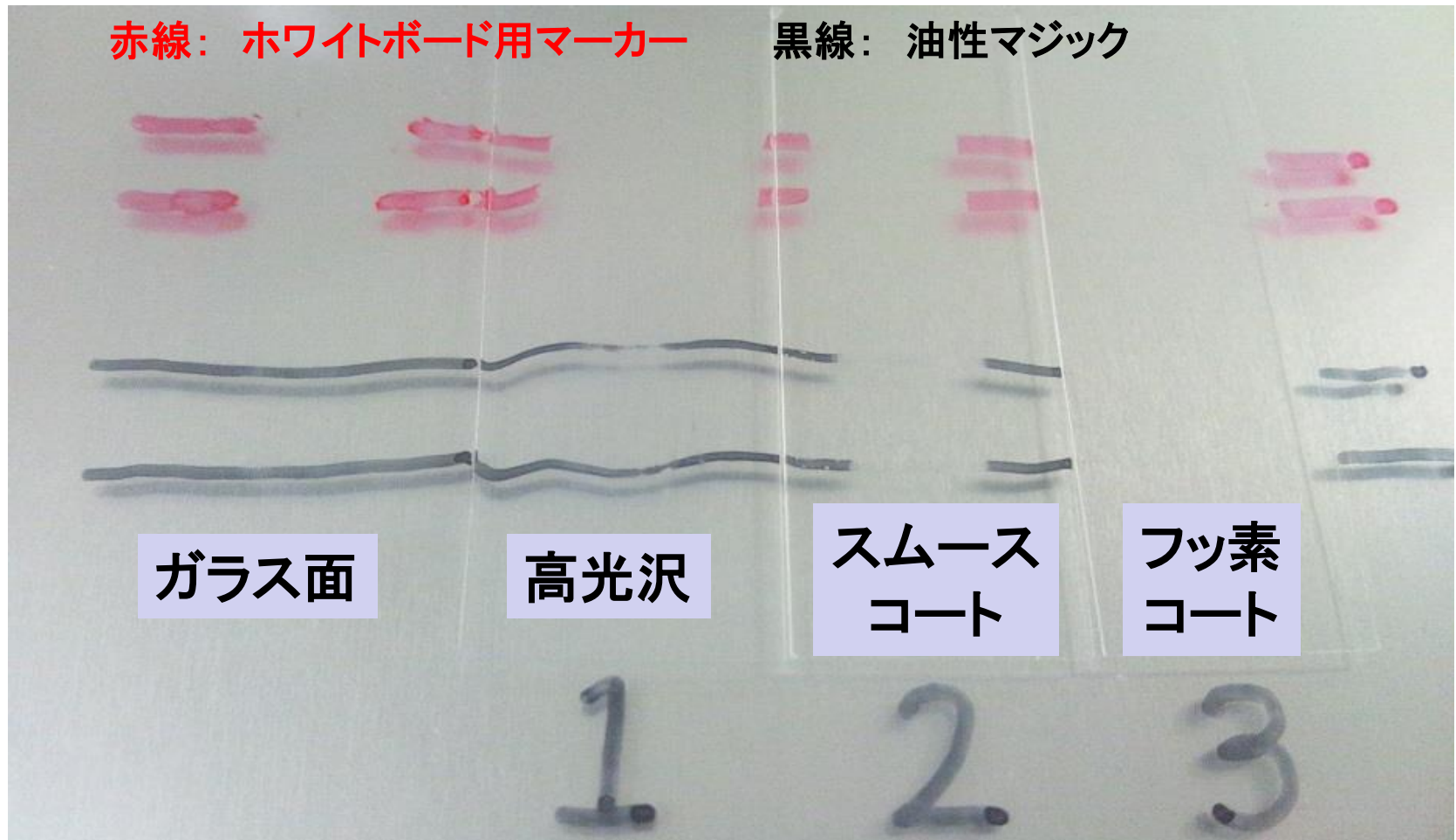
- ・ガラス基板(コーニング社1737F 無アルカリアルミノシリケートガラス)
- ・市販のスマートフォン液晶保護フィルム ×3種



	ガラス基板 corning1737F	高光沢フィルム	反射防止フィルム スムーズコート加工	反射防止フィルム フッ素コート加工
指紋, 皮脂汚れ防止	×	○	○	○
スムーズコート加工	×	×	○	○
フッ素コート加工	×	×	×	○
鉛筆硬度	評価不能	3H	3H	3H



# 測定例：ディスプレイ保護フィルム

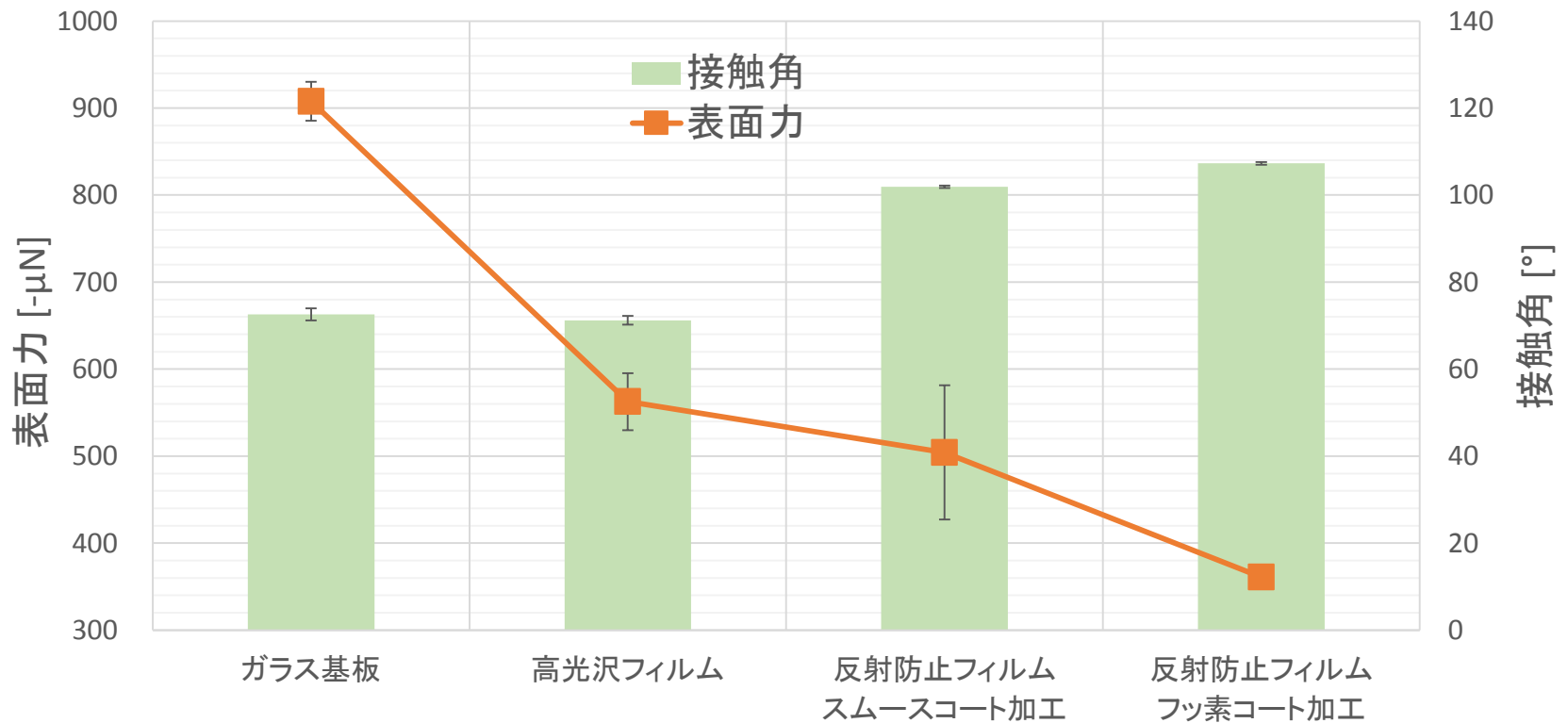


写真は各面に線を描き、後に不織布で50回擦った結果  
フッ素コートは擦るまでもなく、線を描くことすら出来なかった



# 測定例：ディスプレイ保護フィルム

使用プローブ：PDMS(シリコーンゴム)付プローブ



## 表面力 vs 接触角(水)



## ESF-5000の主な測定実績

- ・DLC膜（条件違い, フッ素添加の有無等）
- ・イオンビームによる親水化処理面
- ・印刷ロール上の付着物分布確認
- ・シランカップリング処理面
- ・ナノインプリントの離型剤
- ・ベアリング鋼球と摺動面