

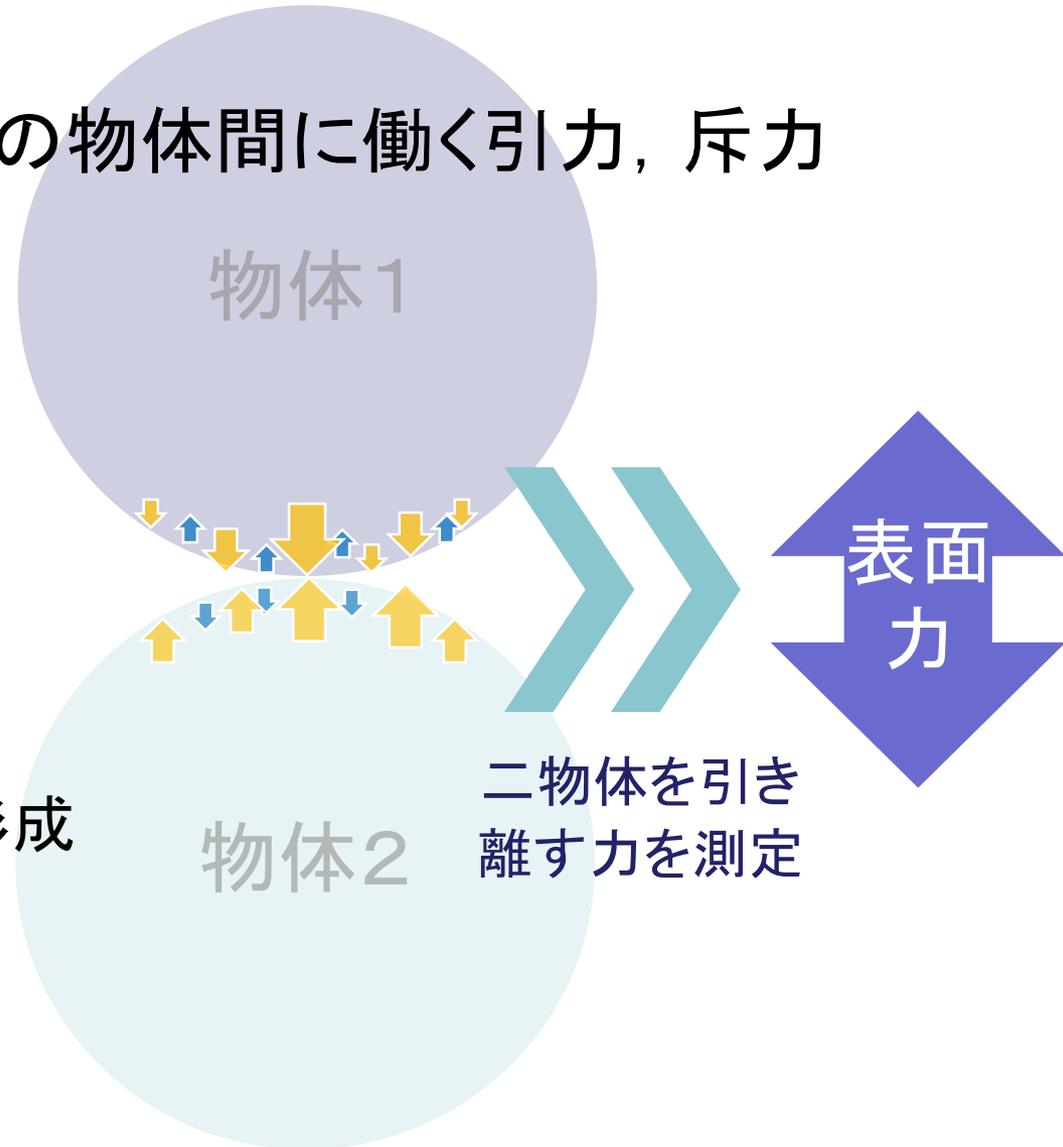


表面力とは

- 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





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存在
- ・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

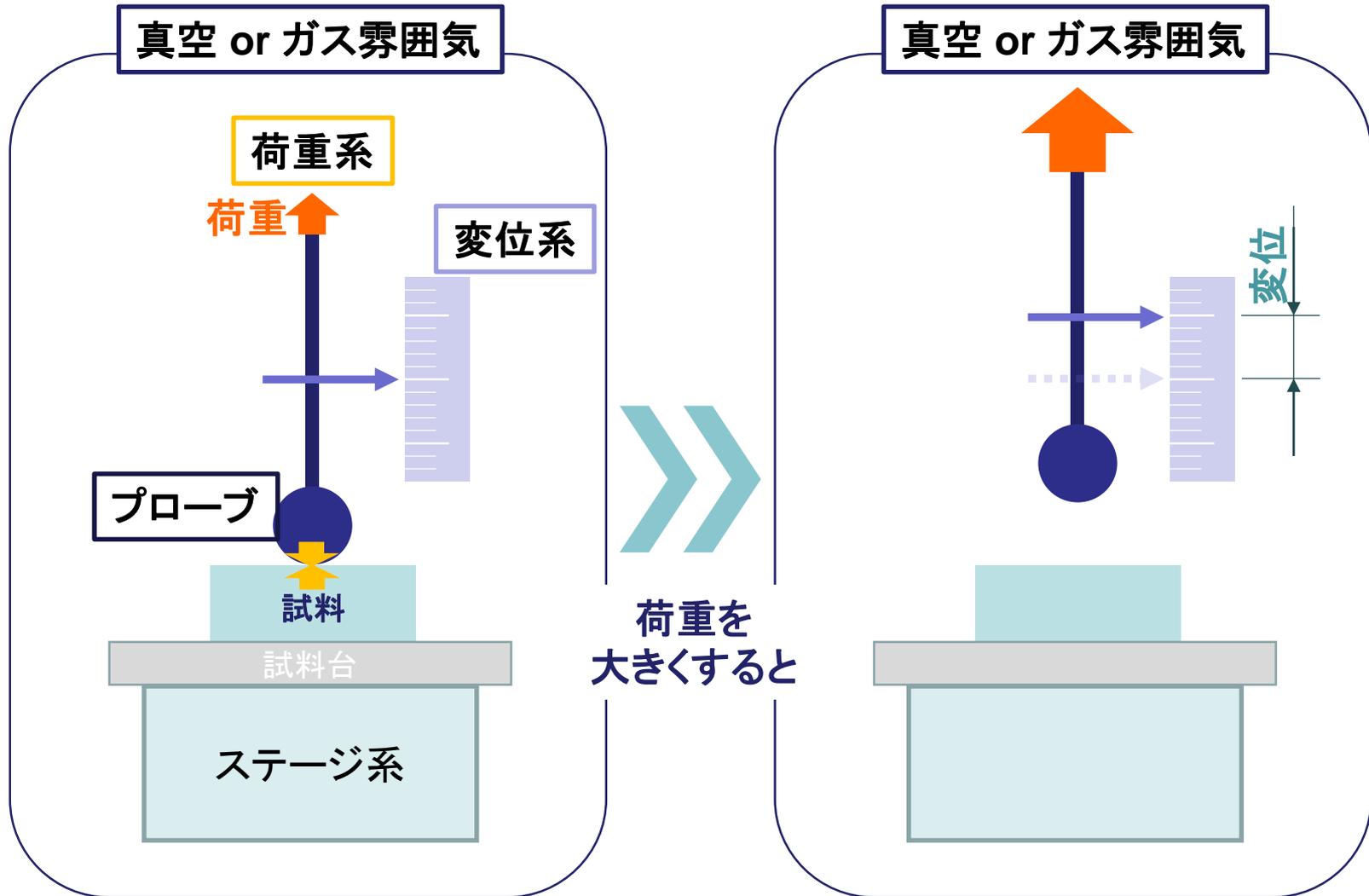
実際の問題と同じ材料，あるいは同質の材料同士を接触させる

- 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

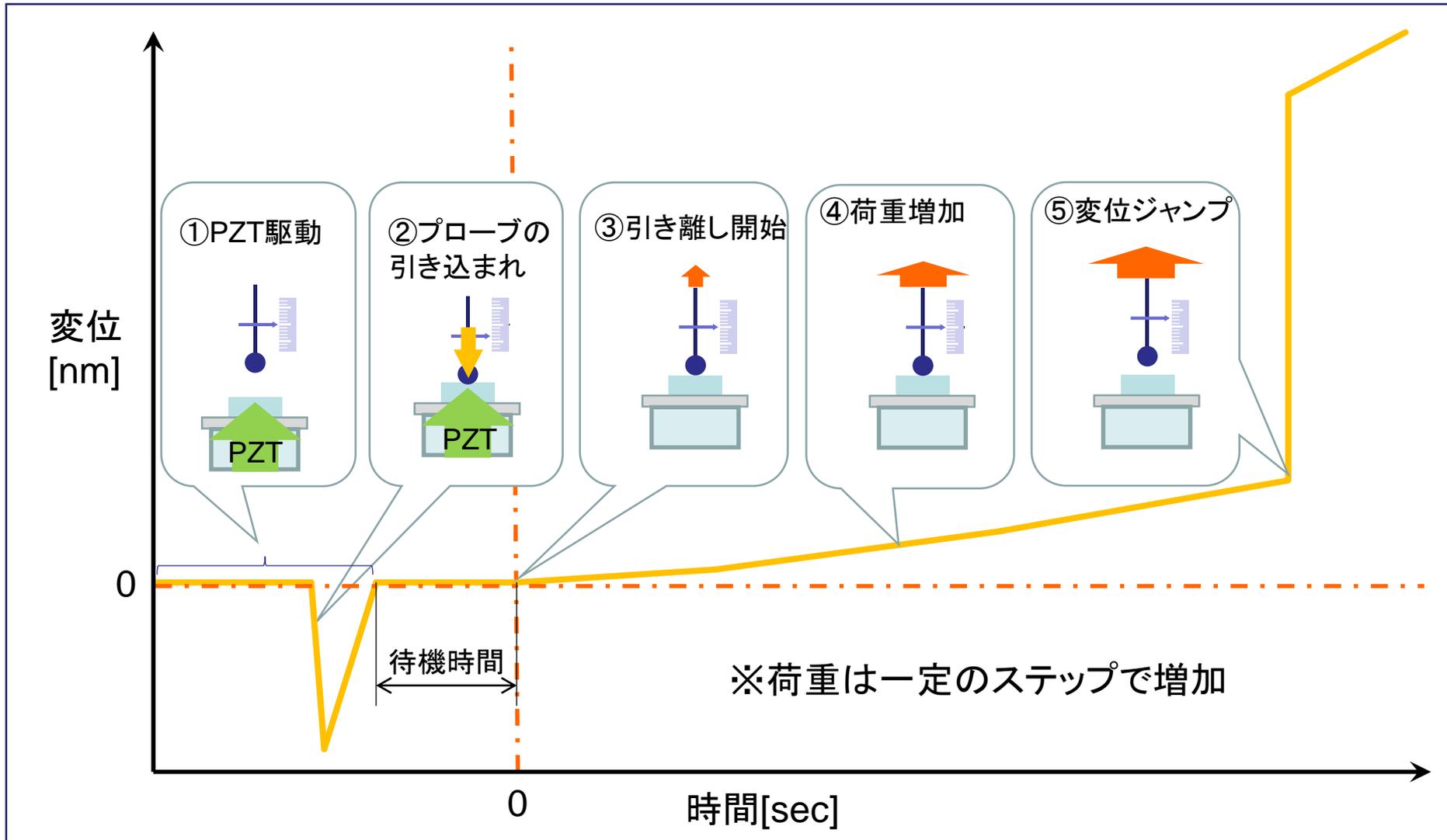


測定原理





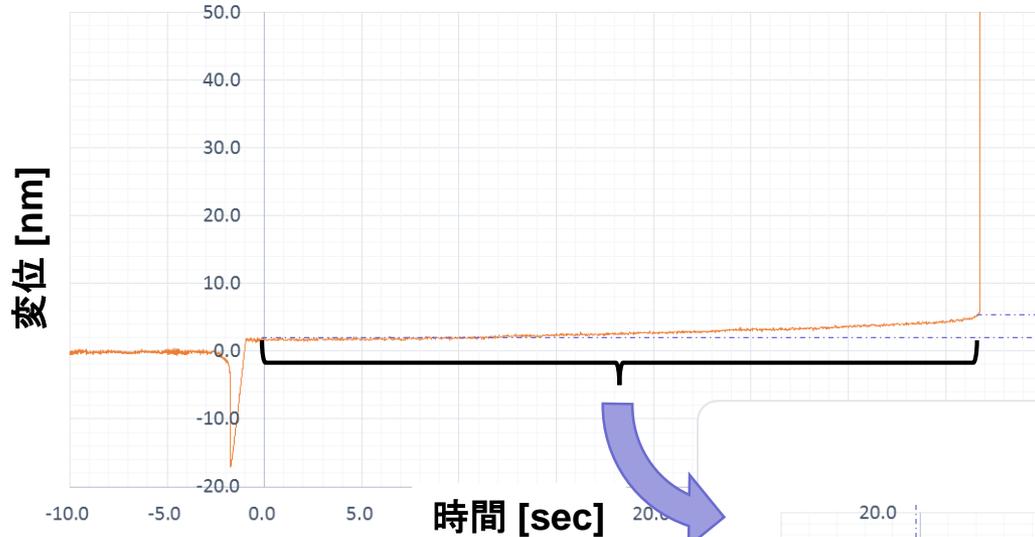
ESF-5000による測定





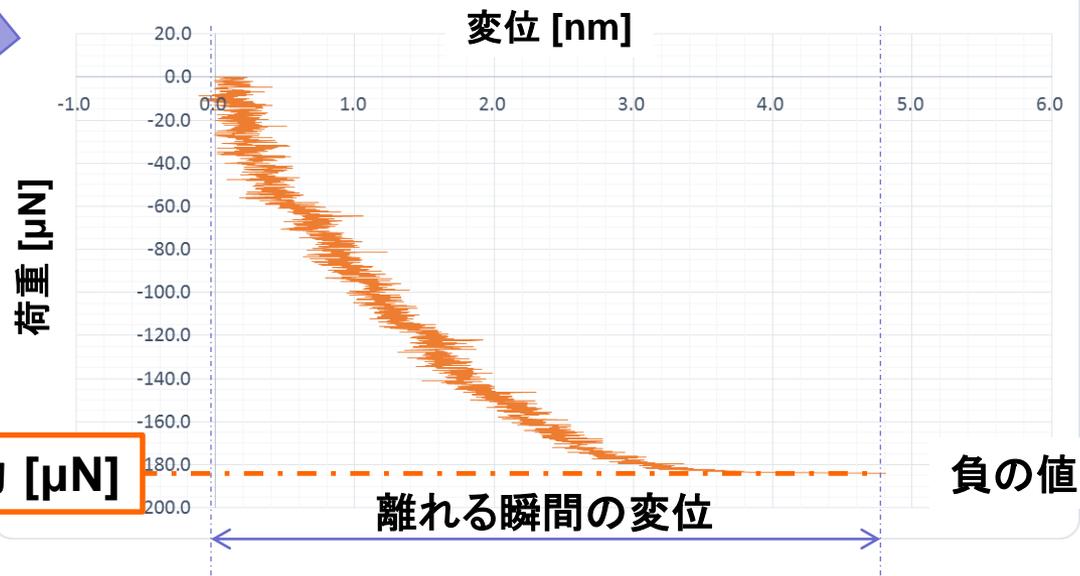
ESF-5000による測定

時間-変位曲線



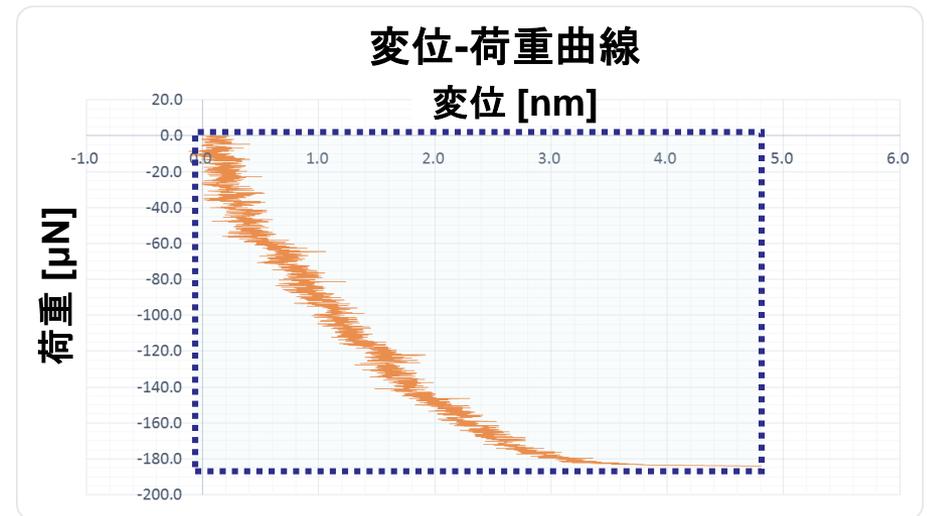
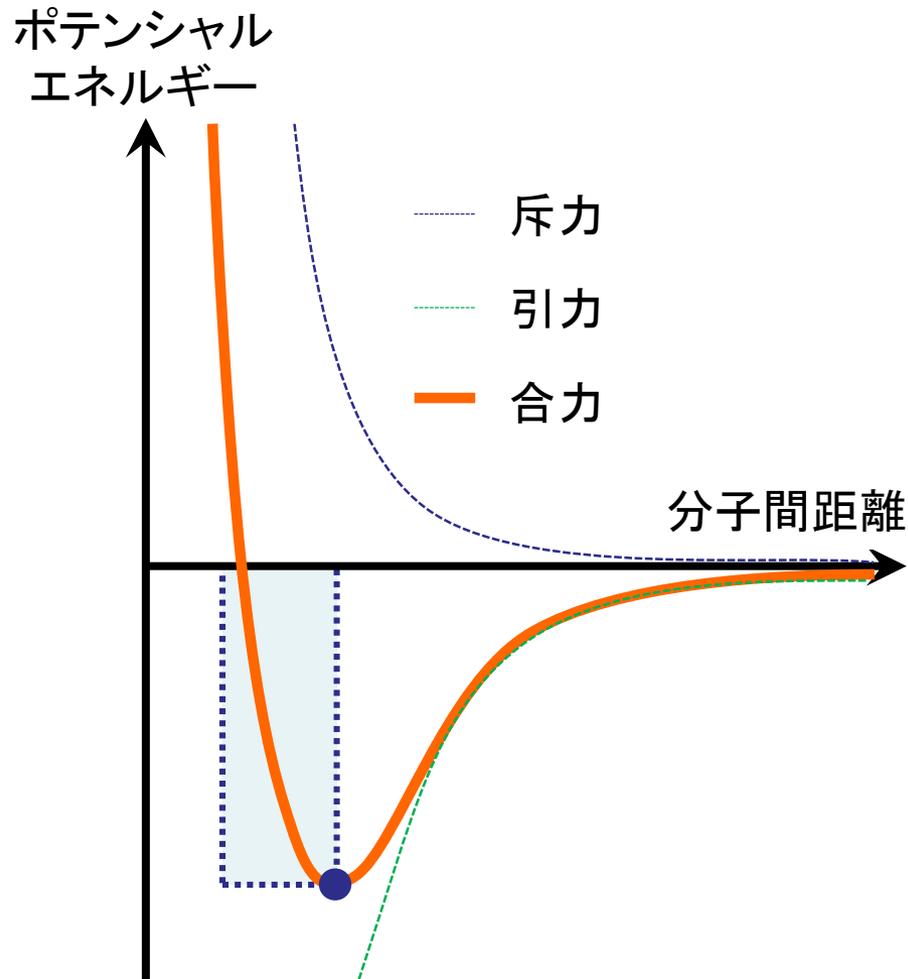
離れる瞬間の変位

変位-荷重曲線





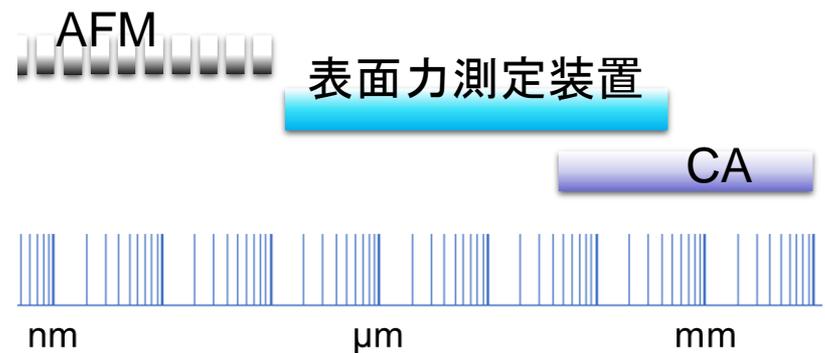
分子間ポテンシャルエネルギーとの関係





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
- μm 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

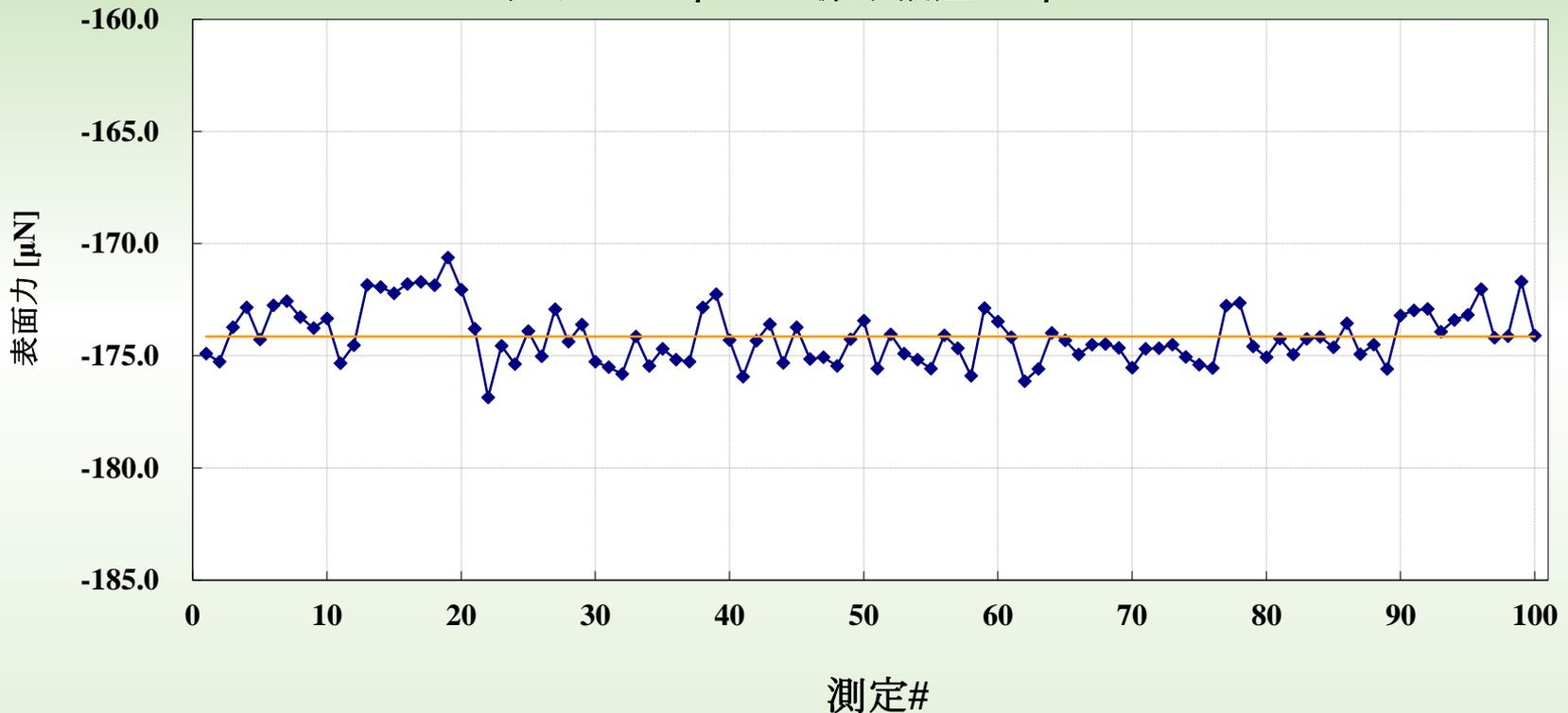




測定例: ガラス球とPt膜の測定

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

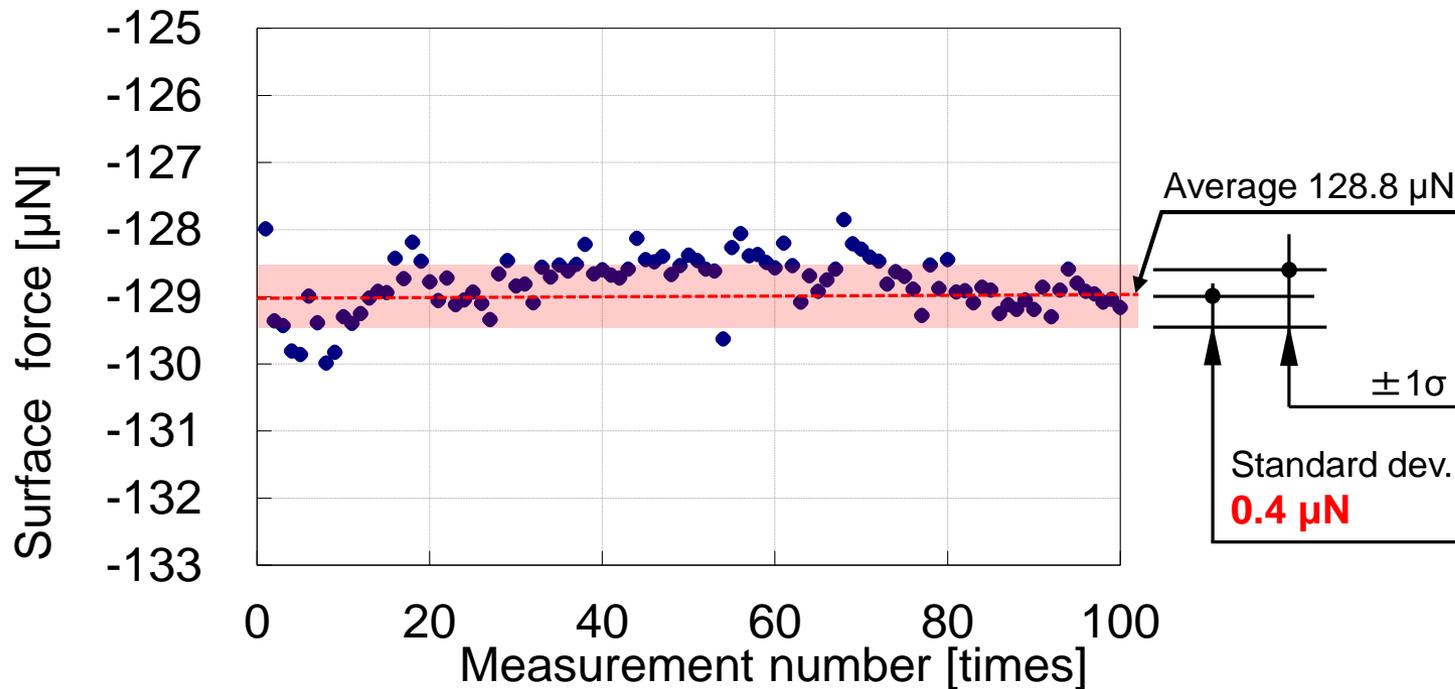
Pt膜 (t=10nm) on Si-ウェハー 10点×10点100μm-Pitch_表面力plot
平均 $-174.1 \mu\text{N}$ 標準偏差 $1.2 \mu\text{N}$





測定例：ガラス球とSi基板の測定 再現性の評価

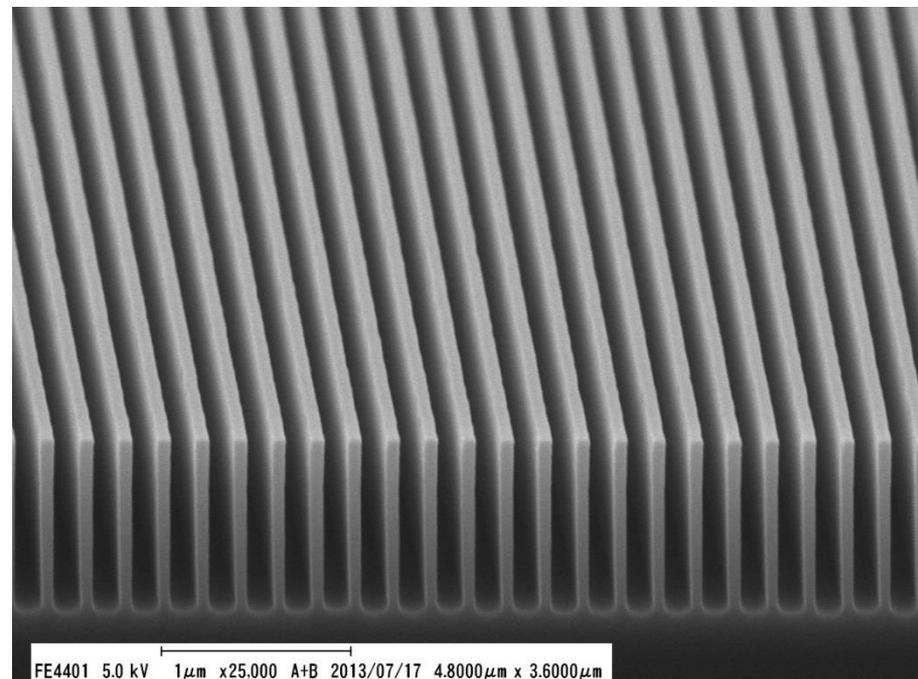
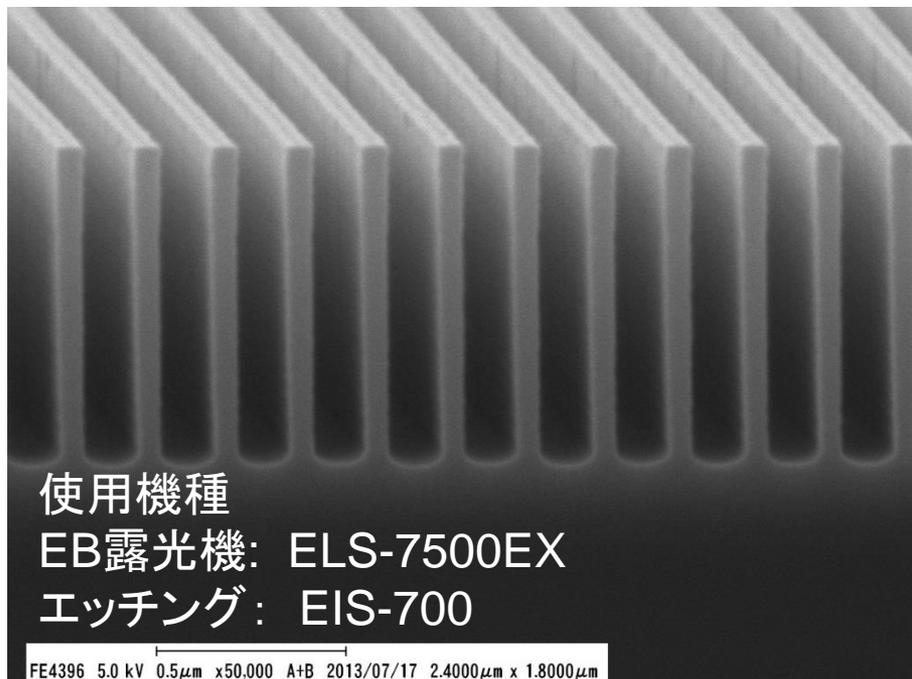
同一箇所を100回連続して測定した結果



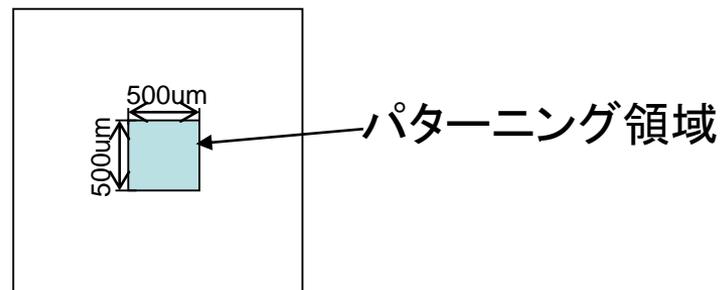


測定例:

パターンニングされたSi基板 (200nm-Pitch L&S)の表面力



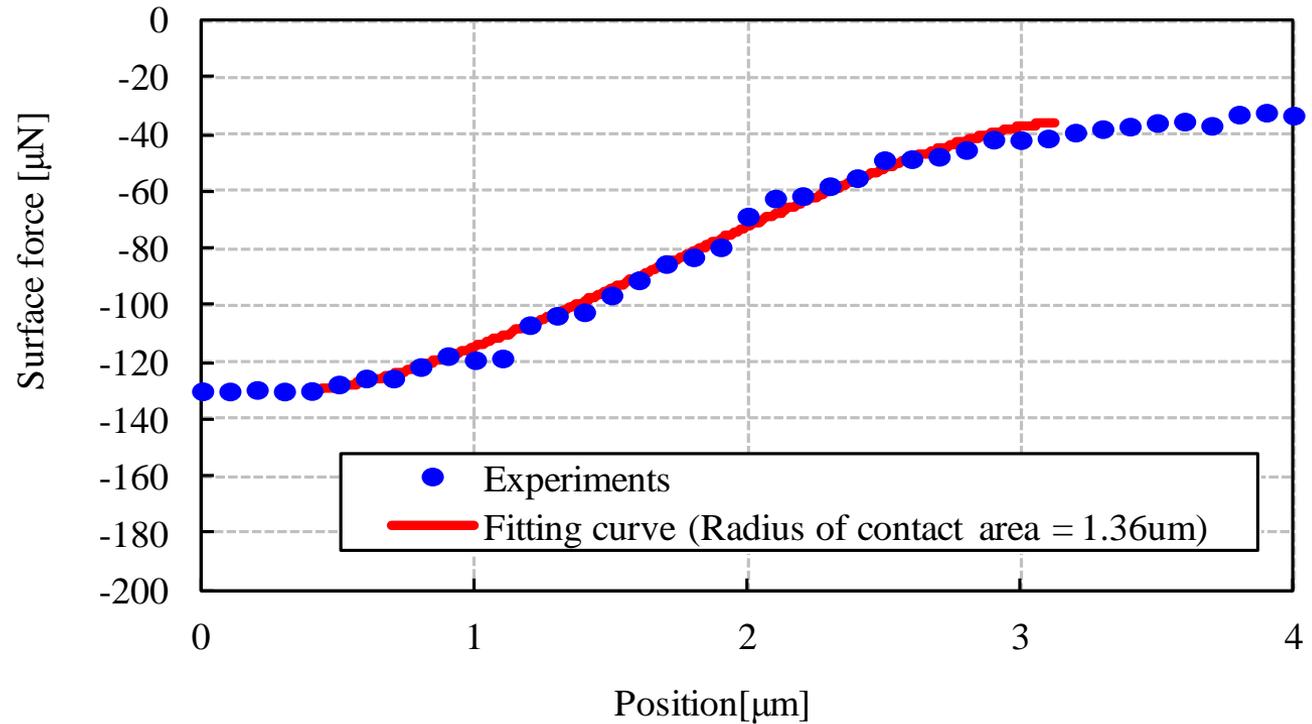
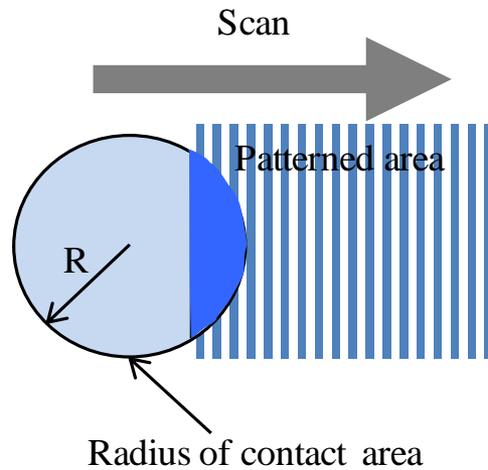
ピッチ: 200nm
ランド: 70nm
グルーブ: 130nm
面積: 500μm × 500μm





測定例:

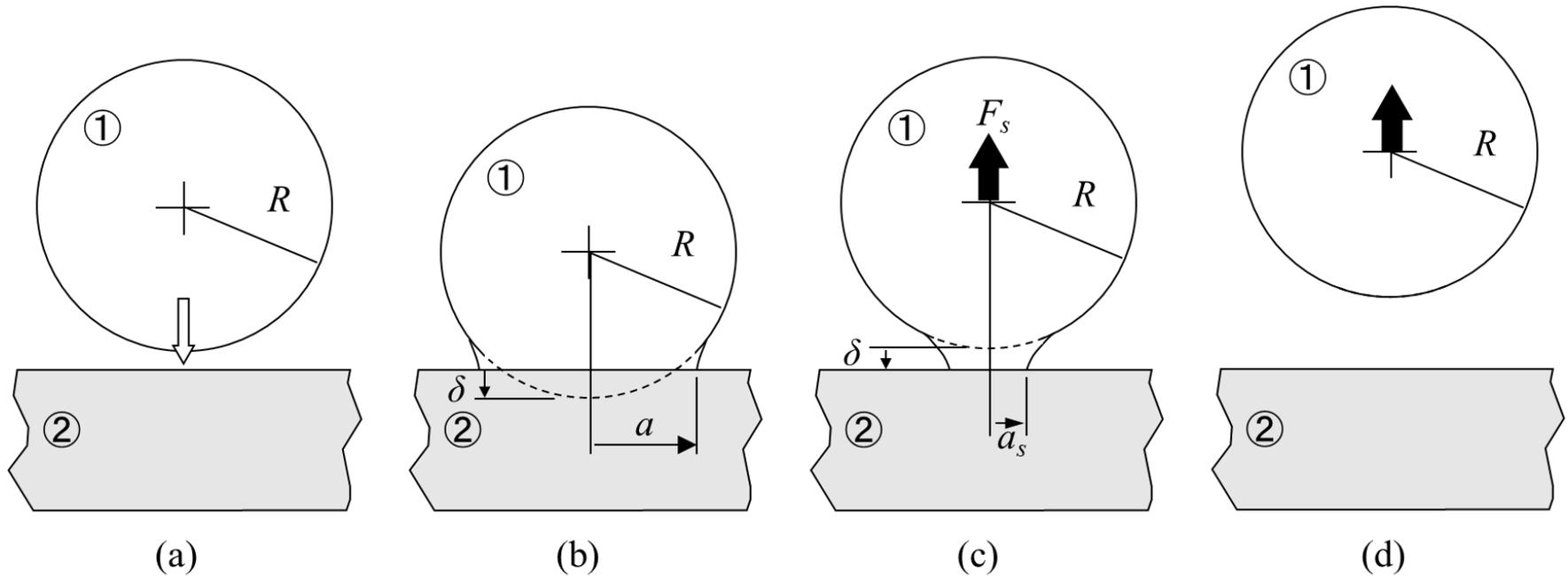
パターニングされたSi基板 (200nm-Pitch L&S)の表面力



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

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

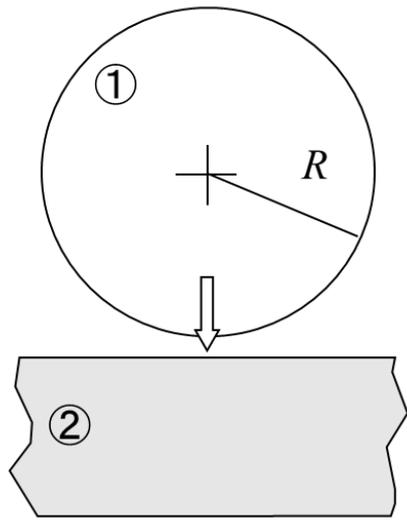
$$\text{変位 } \delta = \frac{a^2}{R} \left\{ 1 - \frac{2}{3} \left(\frac{a_0}{a} \right)^{3/2} \right\}$$

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

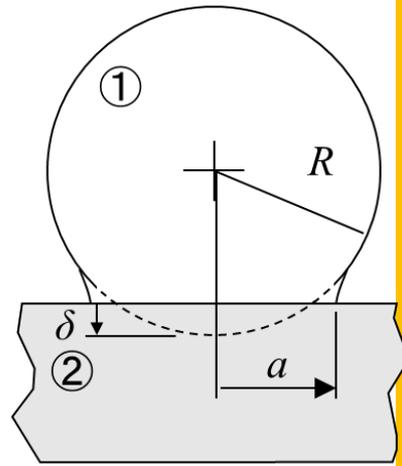


測定例:

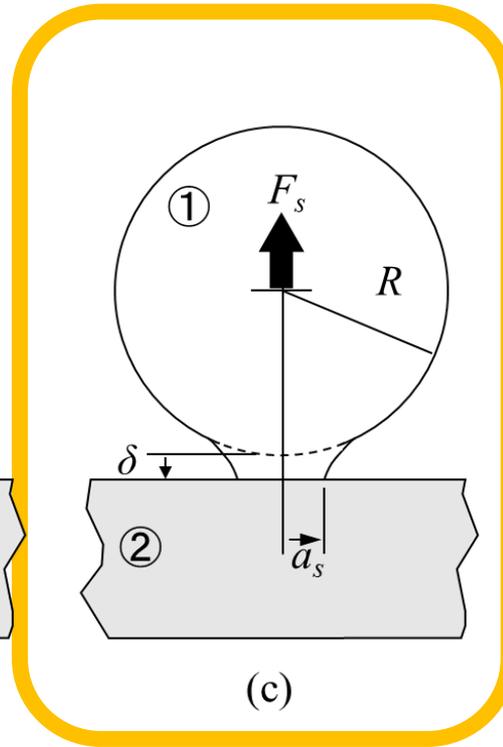
パターニングされたSi基板 (200nm-Pitch L&S)の表面力



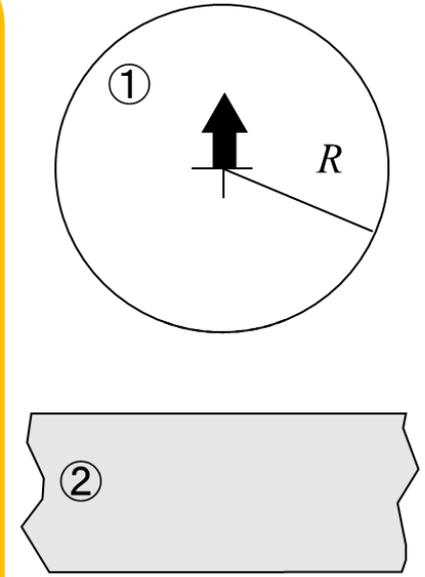
(a)



(b)



(c)



(d)

実測値 $a = 1.36\mu\text{m}$

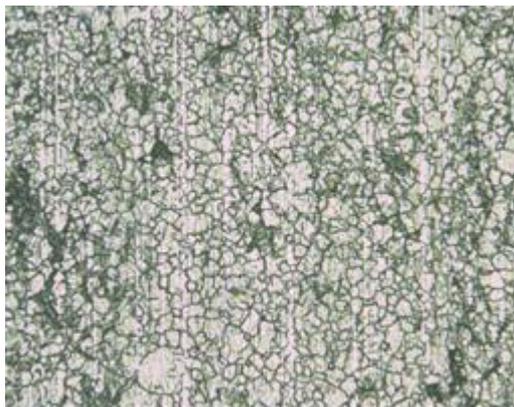
計算値 $a_s = 0.96\mu\text{m}$

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 μ m \times 270 μ m)



SUS304CP 材料素地



機械加工面



バフ研磨

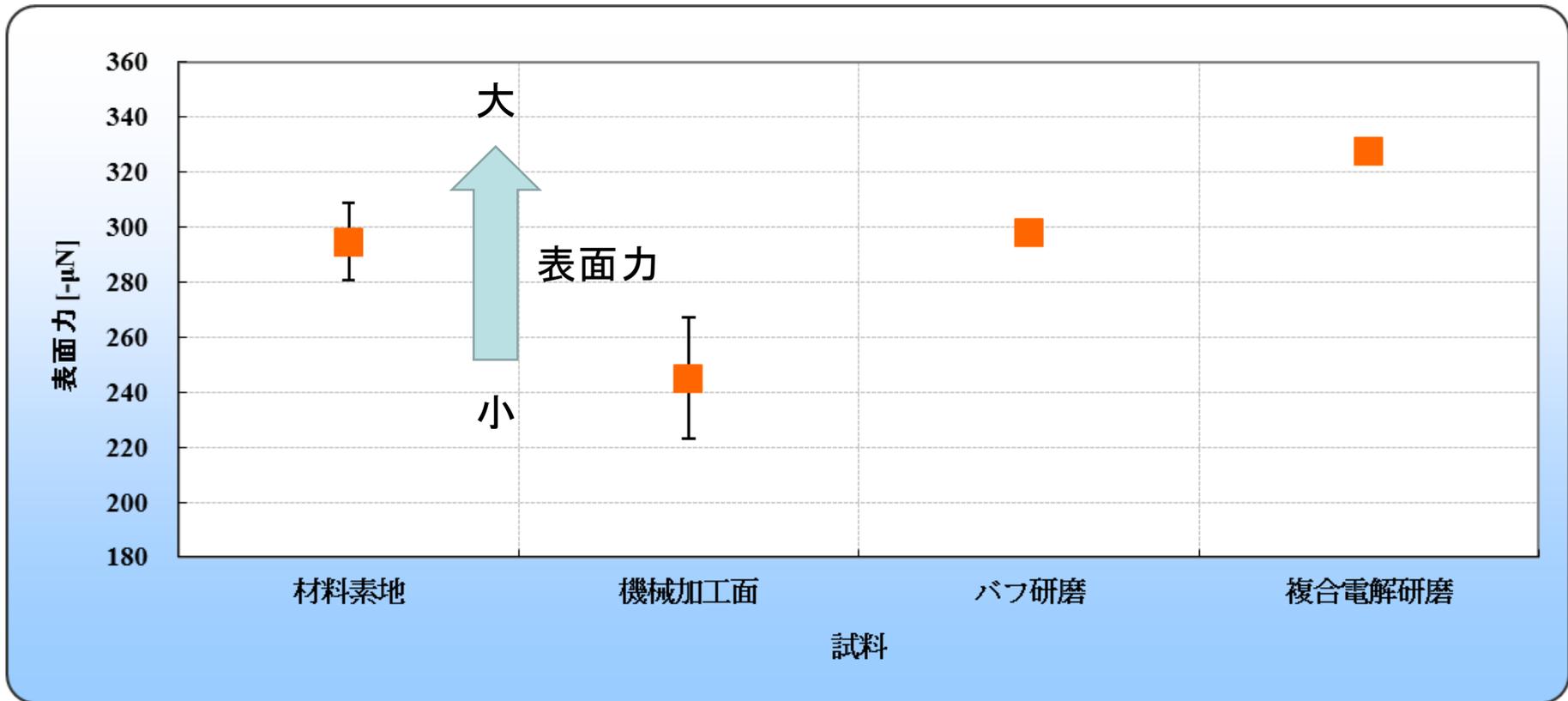


電解複合研磨



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



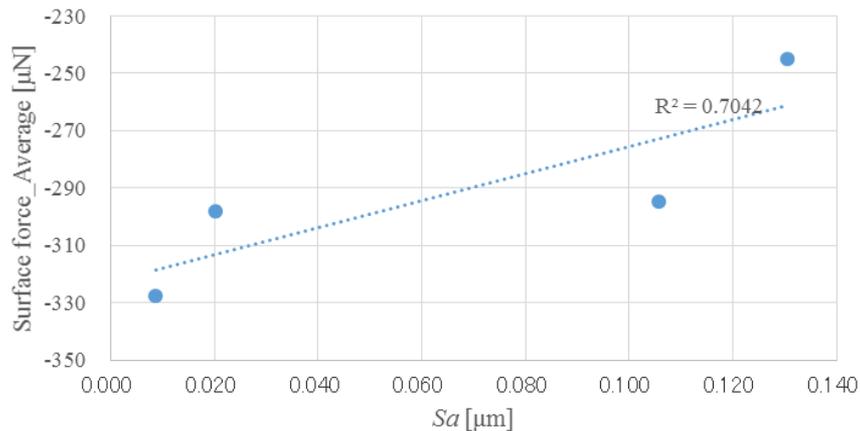
表面力測定値



測定例： 金属板の表面力 (大きな凹凸を持つ試料表面)

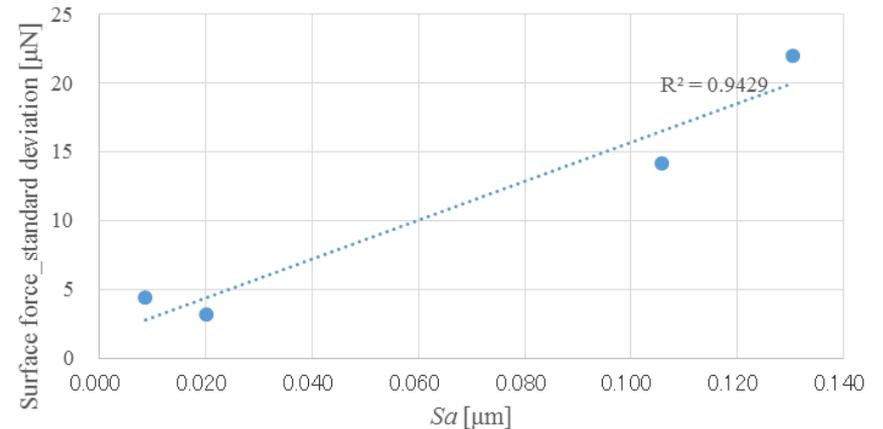
粗さと表面力の相関

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 $R = 0.839$

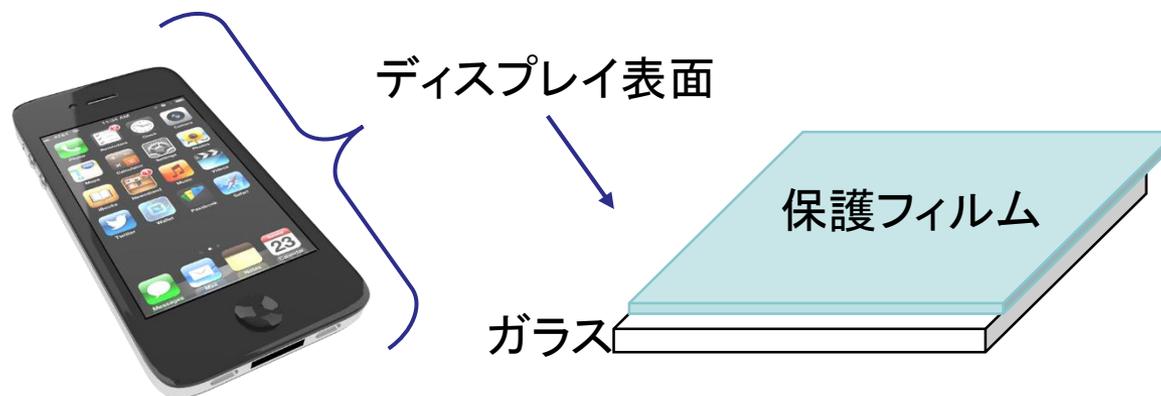
Sa vs 表面力_標準偏差 相関図



算術平均粗さ Sa と
表面力の標準偏差 σ 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
- ・スモースコート加工
(指すべりを快適にする)
- ・キズ防止

<評価方法>

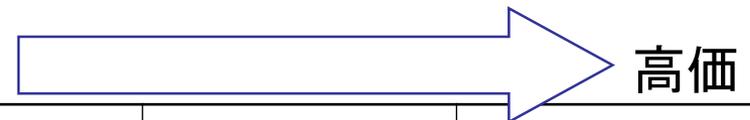
- ・指紋性, 皮脂汚れ防止
→実際に指で触れて顕微鏡で観察
- ・指すべり
→官能評価
- ・キズ防止
→鉛筆硬度試験



測定例：ディスプレイ保護フィルム

測定対象

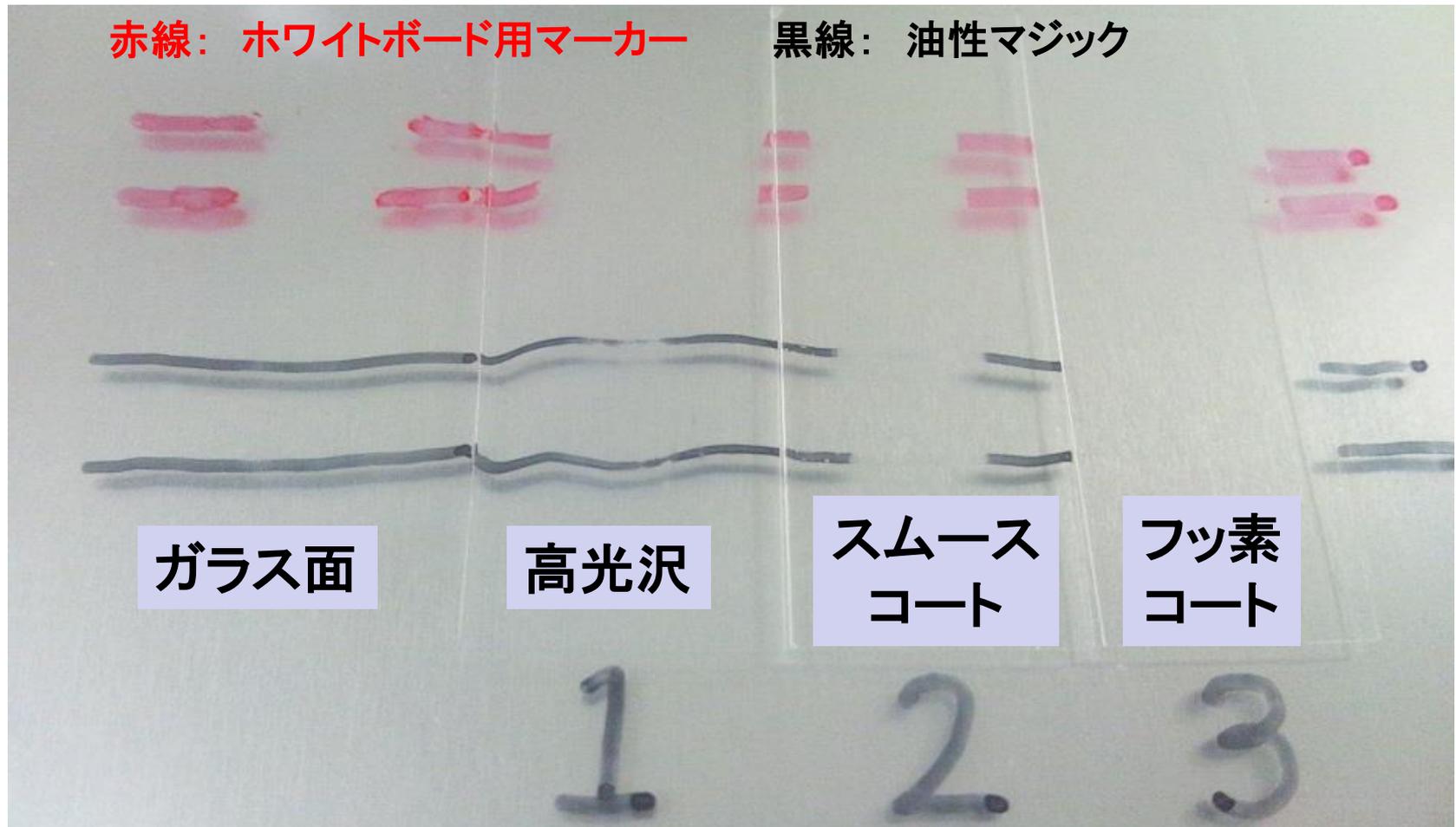
- ・ガラス基板(コーニング社1737F 無アルカリアルミノシリケートガラス)
- ・市販のスマートフォン液晶保護フィルム ×3種



| | 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

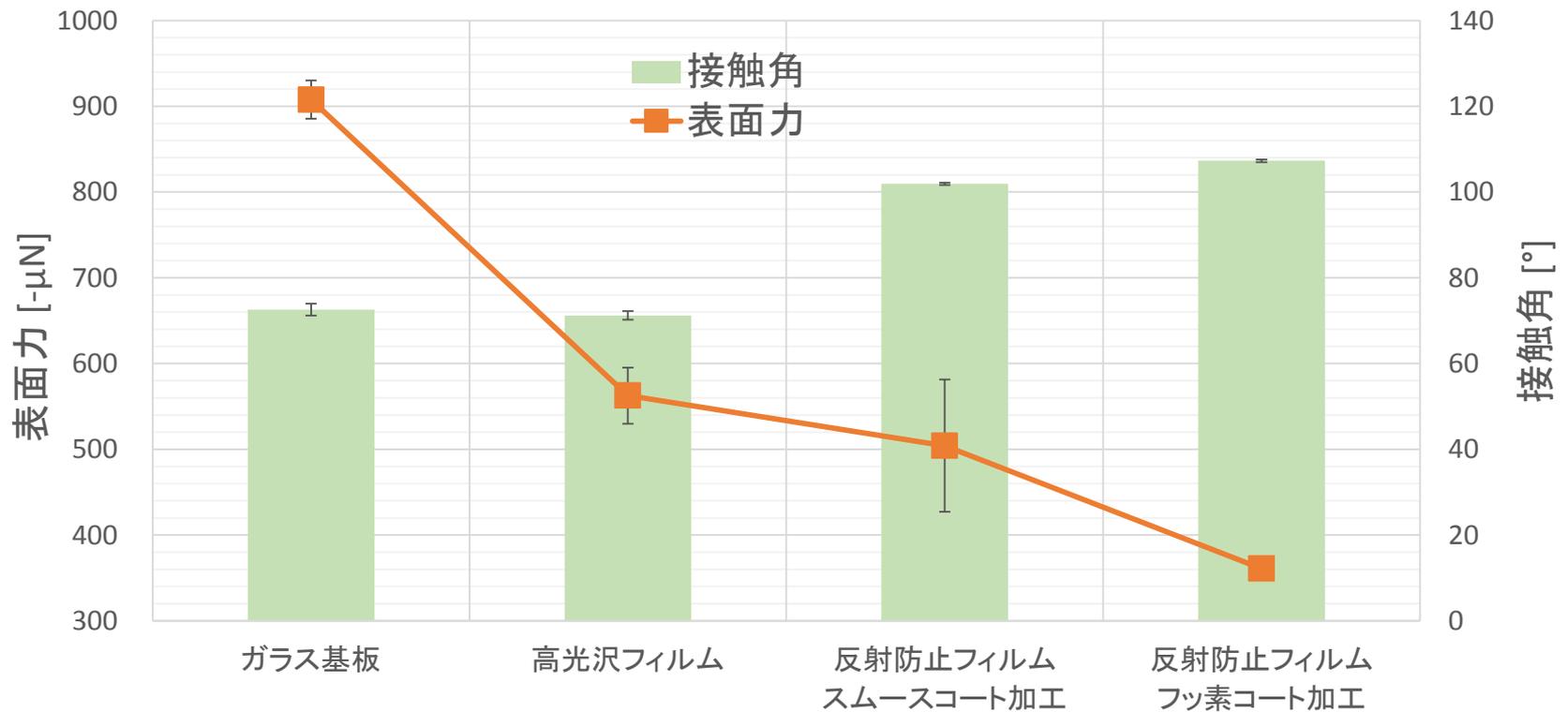


写真は各面に線を描き、後に不織布で50回擦った結果
フッ素コートは擦るまでもなく、線を描くことすら出来なかった



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