

表面改質技術を応用した 材料の高機能化

徳島大学院
ソシオテクノサイエンス研究部
先進物質材料部門 材料加工システム
(工学部機械工学科)
米倉大介

目次



- 表面改質技術とは
- 主な研究トピックの概要
- 粉体の付着・堆積を抑制できる表面処理

表面改質技術

【表面改質技術】

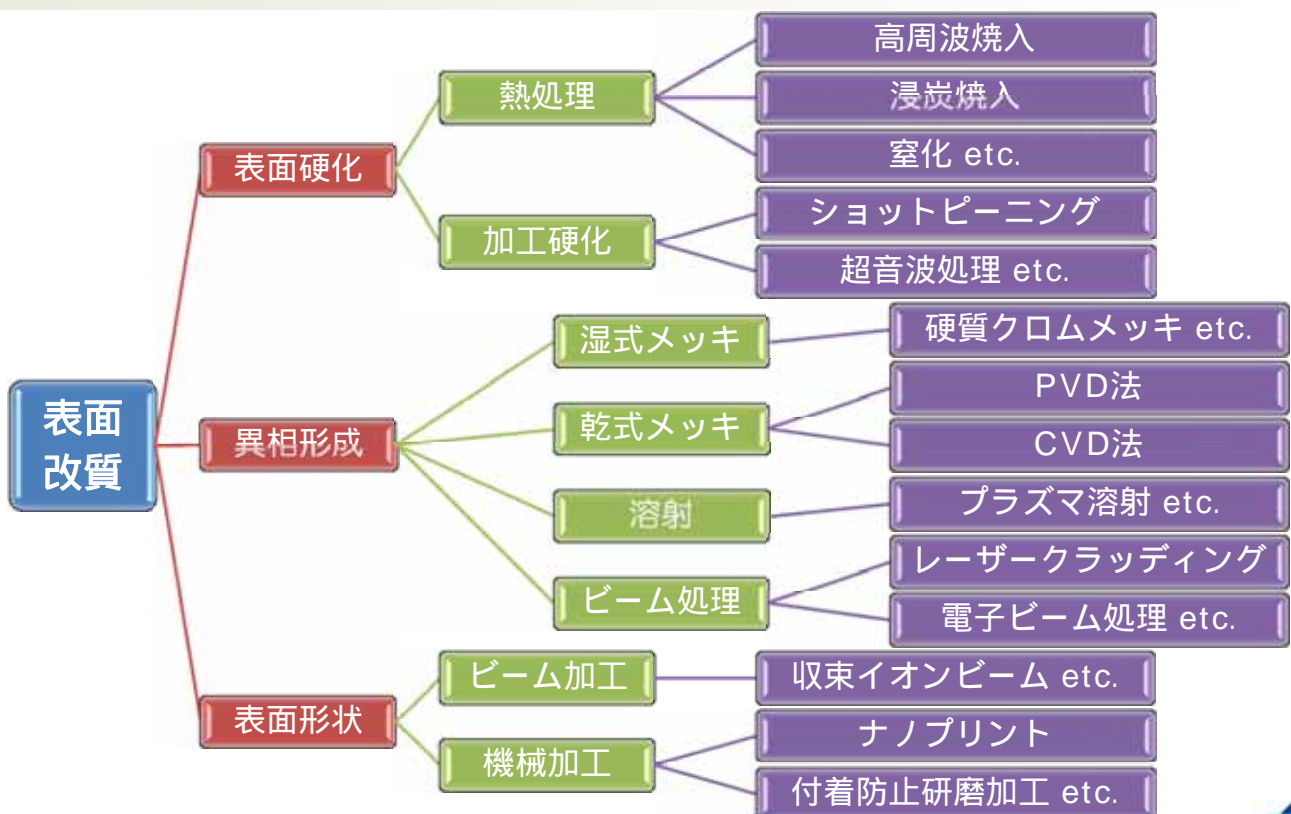
熱処理・機械加工・化学処理・被覆処理などによって，母材とは異なる性質を材料表面に付与する技術．

【用途】

耐摩耗性，潤滑性，耐腐食性，耐疲労性の改善．機能性表面の創成．

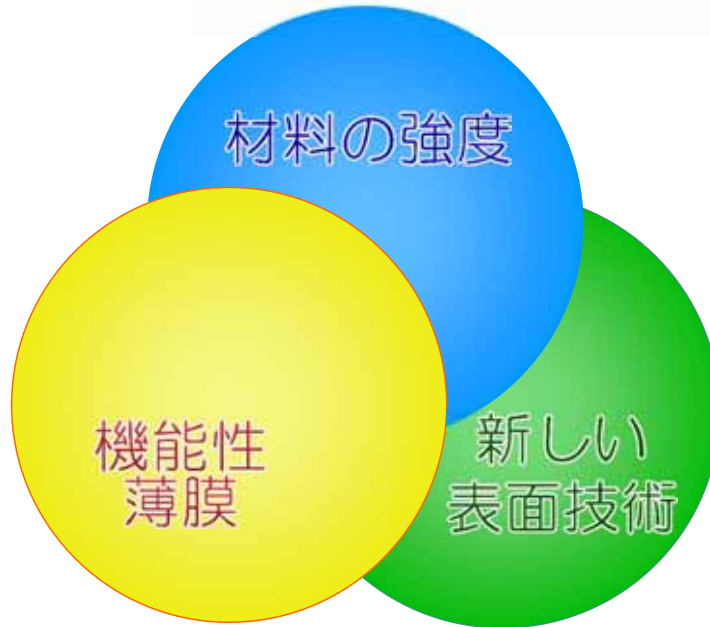


代表的な表面改質技術



本研究室のキーワード

KEYWORDS: 表面改質, 強度, 薄膜

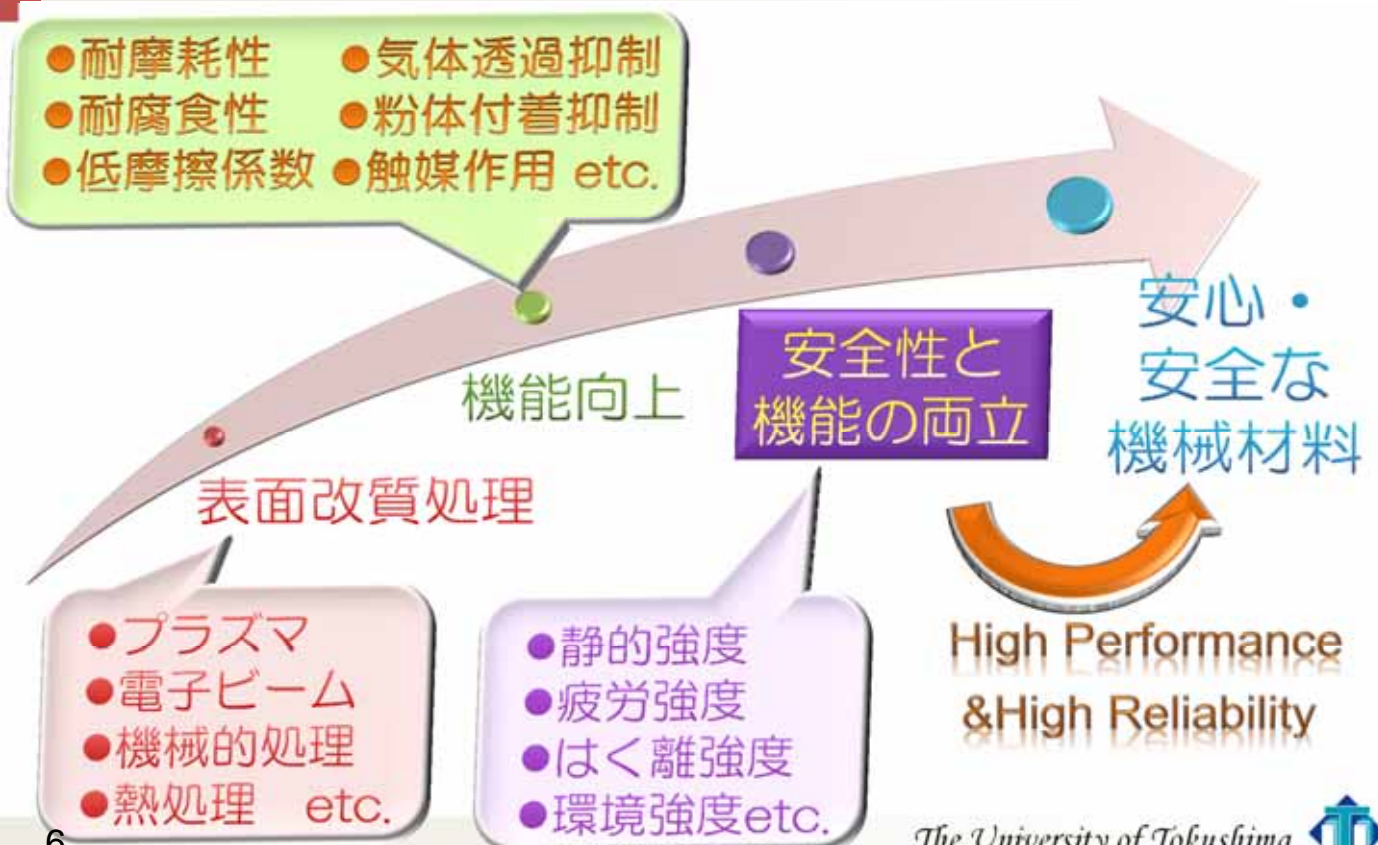


5

The University of Tokushima



本研究室での取り組み



6

The University of Tokushima



現有設備

試料作成

- アーキオンプレーティング装置
- 傾斜対向型DCマグネトロンスパッタ装置
- 精密切断機
- 研磨機
- スパッタ式コーター
- マッフル炉
- 真空炉
- 超音波ハンダ接合機

物性評価

- 走査型電子顕微鏡
- 光学顕微鏡
- 表面粗さ計
- FT-IR
- 接触角測定器
- 近赤可視紫外分光器
- EDX
- X線回折装置
- ホール効果測定器

機械的特性

- 油圧サーボ式疲労試験機
- 4連式回転曲げ疲労試験機
- 小型引張試験機
- 摩擦摩耗試験機
- スクラッチ試験機
- ポテンショスタット
- 自動ふるい機

その他, 大学所有の設備多数

材料の高強度化, 高信頼性化

材料の強度
 最新の新しい
 写真 表面処理

- PVDコーティング材の疲労特性, フレッシング疲労特性
- 溶接材の疲労特性
- 薄膜の密着強度・靱性

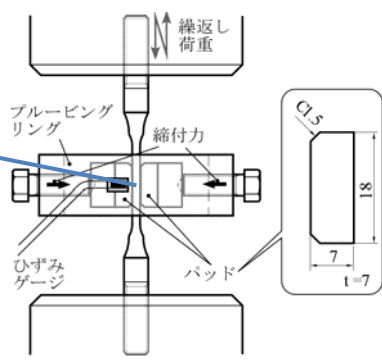
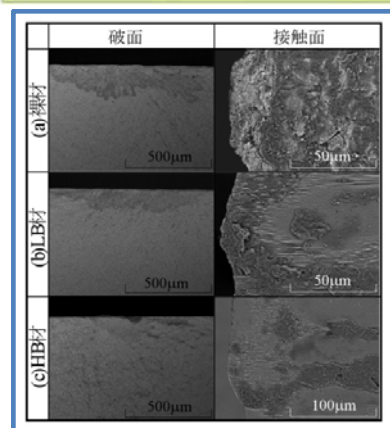
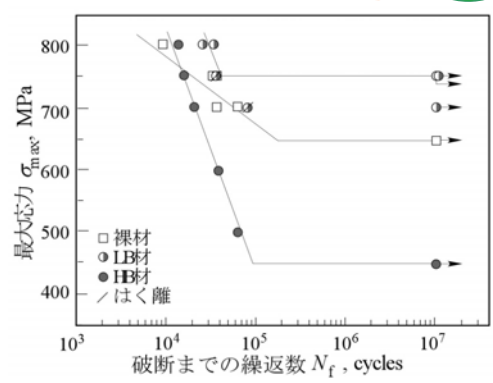
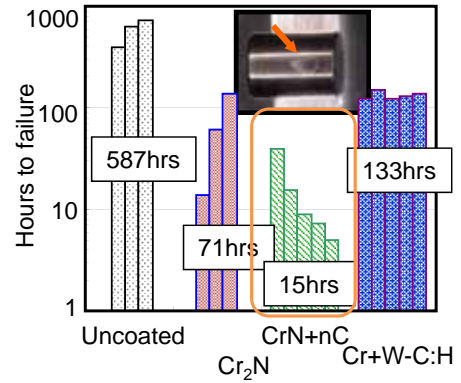


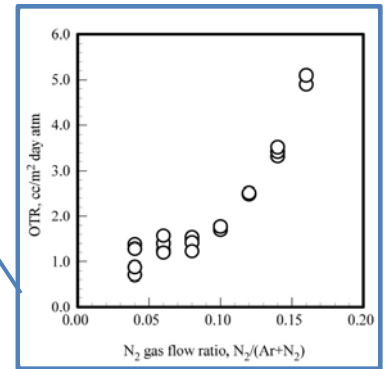
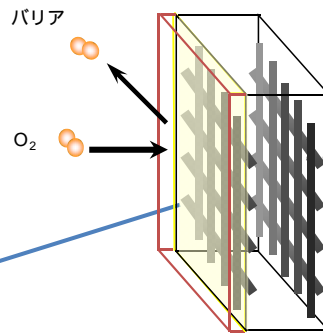
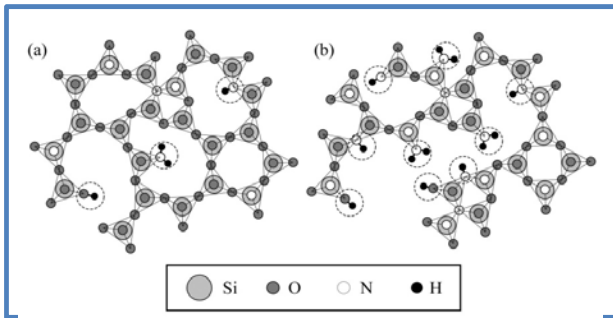
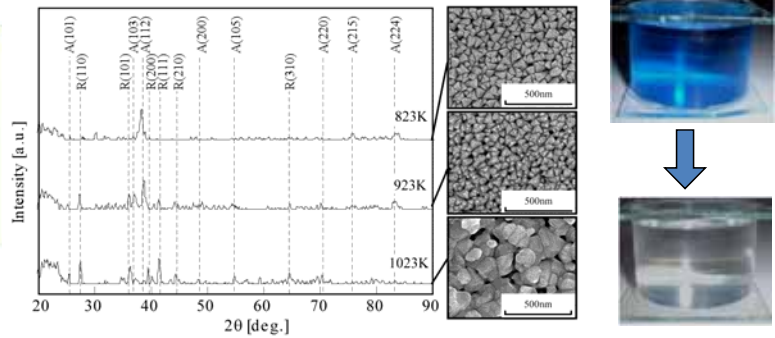
図 破面と接触面観察例 (接触荷重 1500N, $\sigma_{max}=300\text{MPa}$, (a) $N_f=3.7 \times 10^5$ cycles, (b) $N_f=1.2 \times 10^6$ cycles, (c) $N_f=8.3 \times 10^5$ cycles).



機能性薄膜の開発



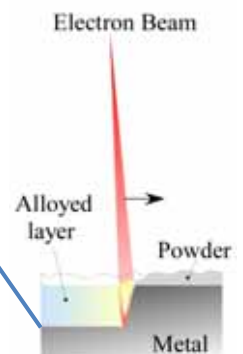
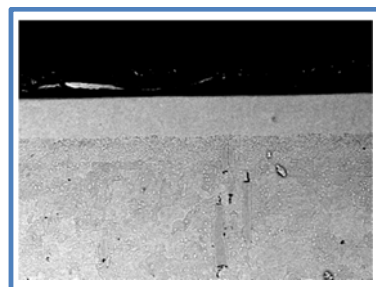
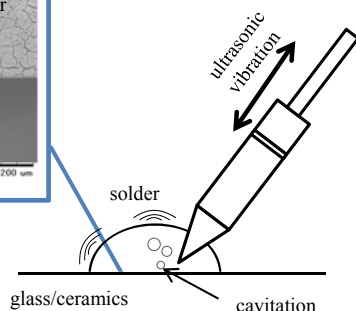
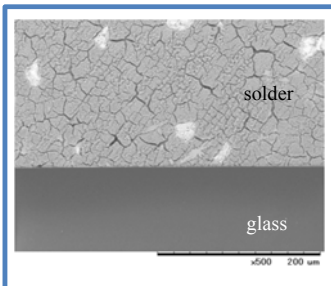
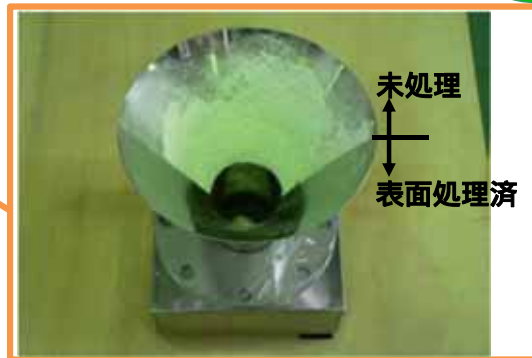
- 可視光応答光触媒
- Si-O-N系ガスバリア膜による酸化遅延技術



新しい表面処理技術



- 超音波ハンダ法によるガラスへのハンダ付け
- 粉体付着抑制表面処理技術
- 電子ビームを用いた新しい表面改質技術



粉体による流路の閉そく問題（共同研究事例）

(有)ダイカテックとの共同研究

粉体取扱装置の課題

- 粉体の付着堆積による 流路の閉そく.

閉そくの解消法

- 打撃 → 騒音，装置損傷.
- 攪拌・噴射
→ 装置の複雑化，過剰な摩耗粉など.
- コーティング
→ 異物混入，除去困難.
食品産業，高純度素材用に使えない.



11

The University of Tokushima



静電気や湿気が付着の主要因？

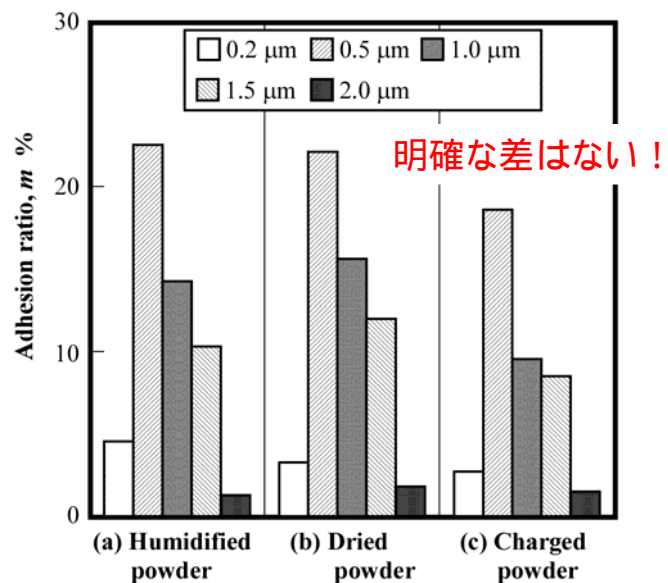
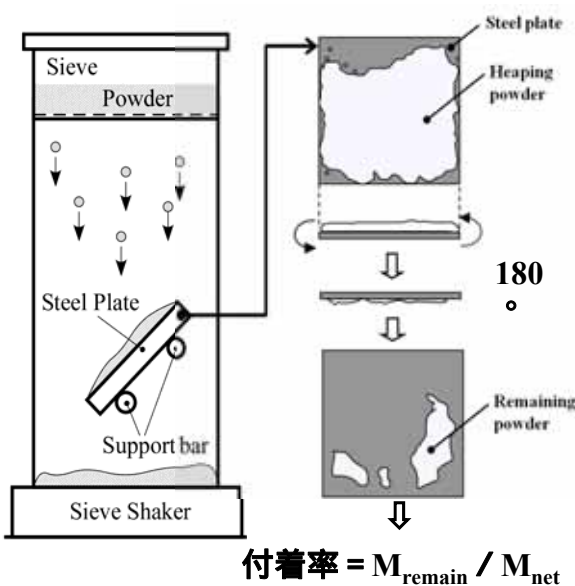


Fig. Result of adhesion tests for various pretreated powders.

静電気力，液架橋力が主要因ではない！

12

The University of Tokushima



平滑な表面にすれば付着抑制？

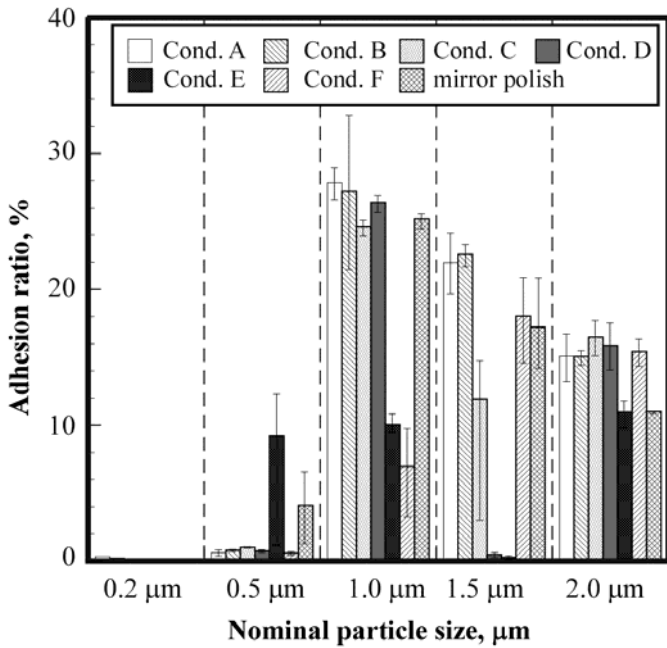


Fig. Result of adhesion tests.

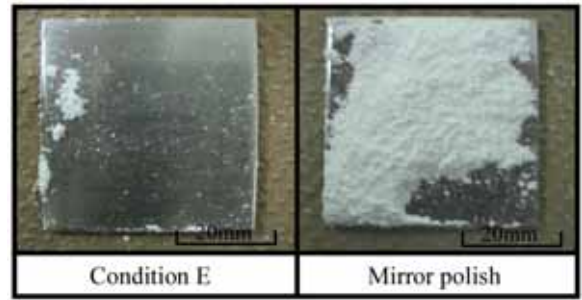


Fig. Typical surface images of steel plate after adhesion test. (Nominal particle size: 1.0 μm)

鏡面状態

- 粉体の付着堆積量: 多い.

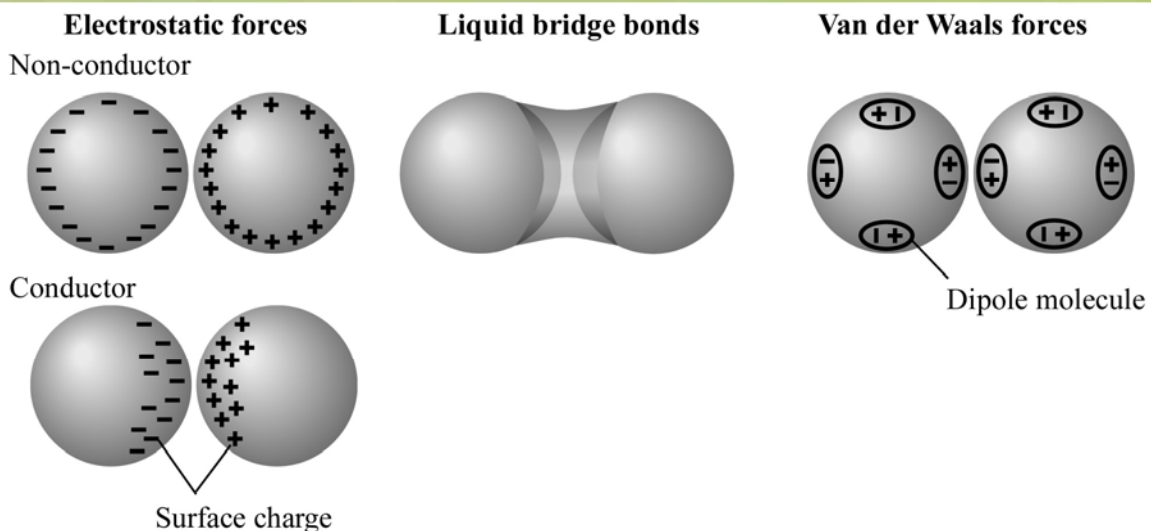
ある程度粗い表面

- 粉体の付着堆積量: 減る場合がある.



代表的な付着の要因

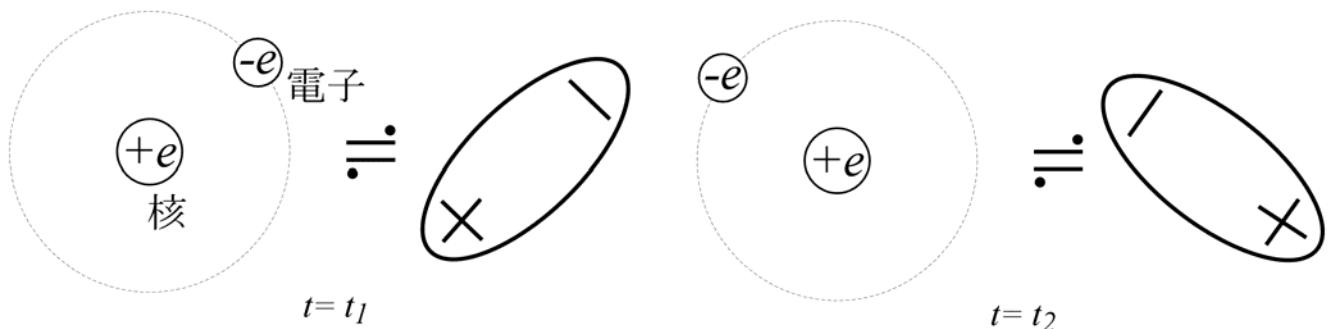
- ① 静電気力 (Electrostatic force)
- ② 液架橋力 (Liquid Bridge Force)
- ③ ファンデルワールスカ (Van der Waals Force)



ファンデルワールス力

・ファンデルワールス力(ロンドン分散力)

- ・分子間に作用する力.
- ・常に物体間に作用する.
- ・**表面粗さに敏感.**



粒子間のファンデルワールス力 F_{ad}

$$F_{ad} = -\frac{Ad}{12z_0^2}$$



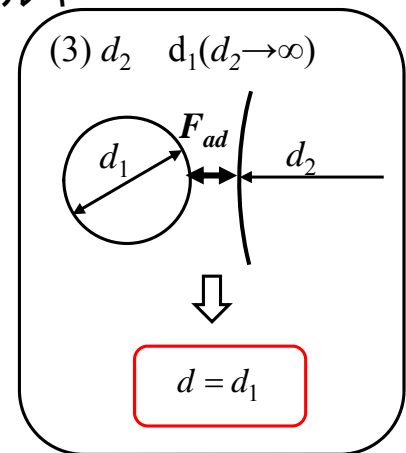
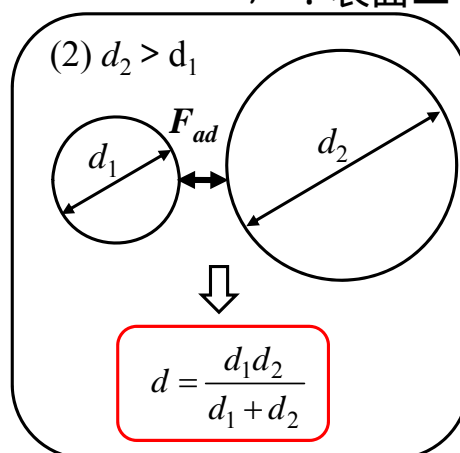
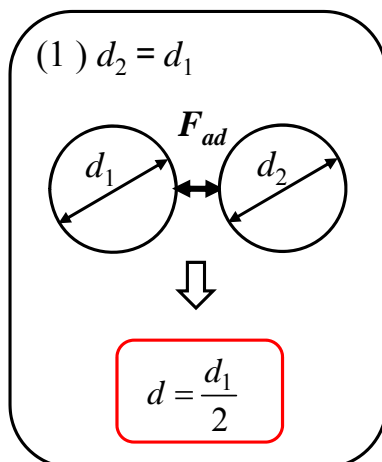
$$d = \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}$$

A : ハマーカー定数 J

$$A = 24 (0.165\text{nm})^2 \gamma \quad A_{12} = \sqrt{A_1 A_2}$$

z_0 : 最も安定な分離距離 約0.3nm

γ : 表面エネルギー



【前提】各粒子の表面：**平滑**



ファンデルワールスと表面粗さ(1)

●表面粗さを考慮したVan der Waals力(修正Rumpfモデル)

$$F_{ad} = \frac{AR}{6H_0^2} \left[\underbrace{\frac{1}{1 + R/(1.48rms)}}_{\text{直接項}} + \underbrace{\frac{1}{(1 + 1.48rms/H_0)^2}}_{\text{間接項}} \right]$$

A : ハマーカー定数 [J]

R : 粒子半径

H_0 : 最も安定な分離距離 0.3 nm

rms : 二乗平均平方根粗さ

$$rms = \sqrt{\frac{32 \int_0^{\lambda/4} y^2 r_1 dr_1}{\lambda^2}} k_p$$

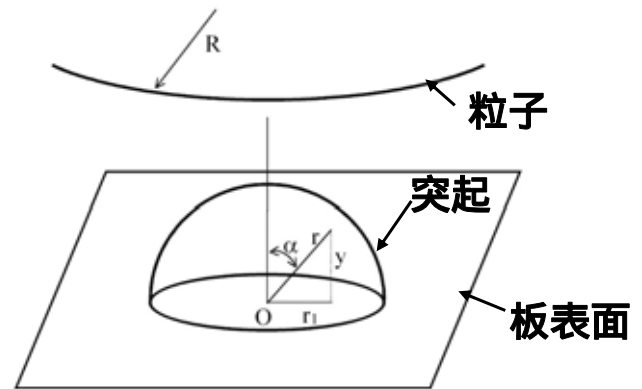
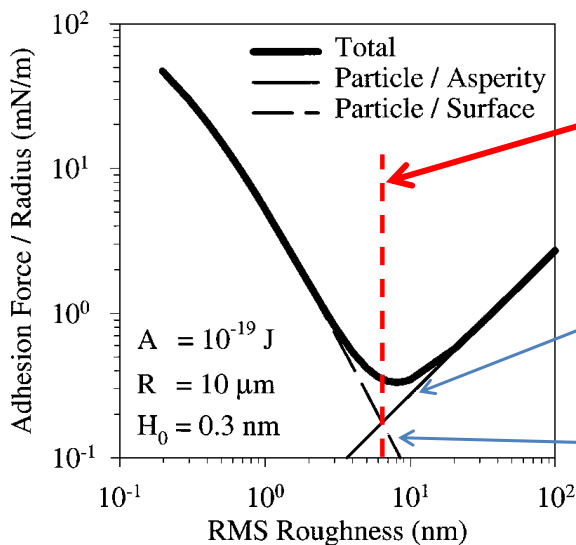


Fig. Rumpf model

Rabinovich, Y. I., Adler, J. J., Ata, A., Singh, R. K. and Moudgil, B. M., Adhesion between Nanoscale Rough Surfaces, I. Role of Asperity Geometry, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 232, (2000), pp. 10-26.



ファンデルワールスと表面粗さ(2)



特定の表面粗さでVDW力が極小となる。

適切な粗さを付与すると、付着の抑制が可能。

第1項:
突起との間のVDW力: 直接項

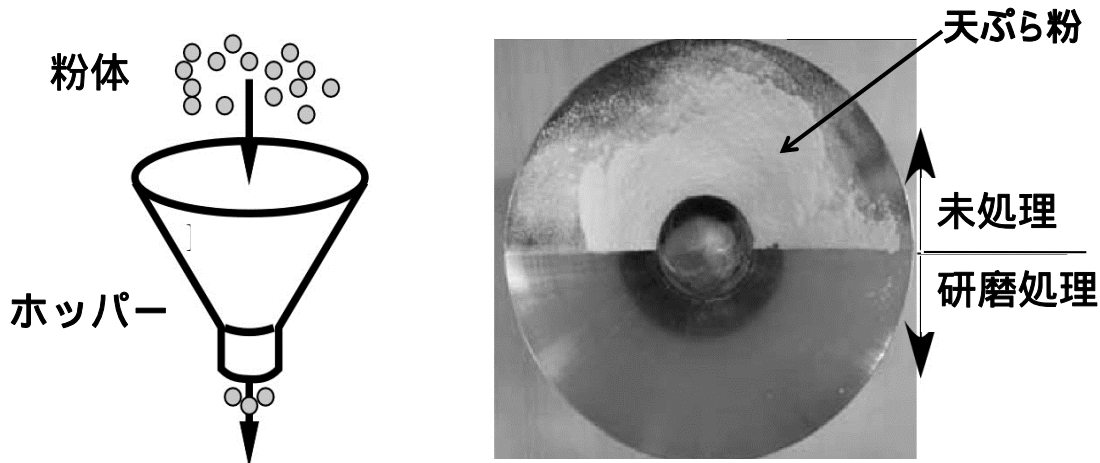
第2項:
平面部分との間のVDW力: 間接項

Fig. 修正Rumpfモデルの計算例

Rabinovich, Y. I., Adler, J. J., Ata, A., Singh, R. K. and Moudgil, B. M., Adhesion between Nanoscale Rough Surfaces, I. Role of Asperity Geometry, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 232, (2000), pp. 10-16.



表面処理による粉体付着堆積抑制技術



「粉体取扱装置用鋼製部材及び粉体取扱装置」

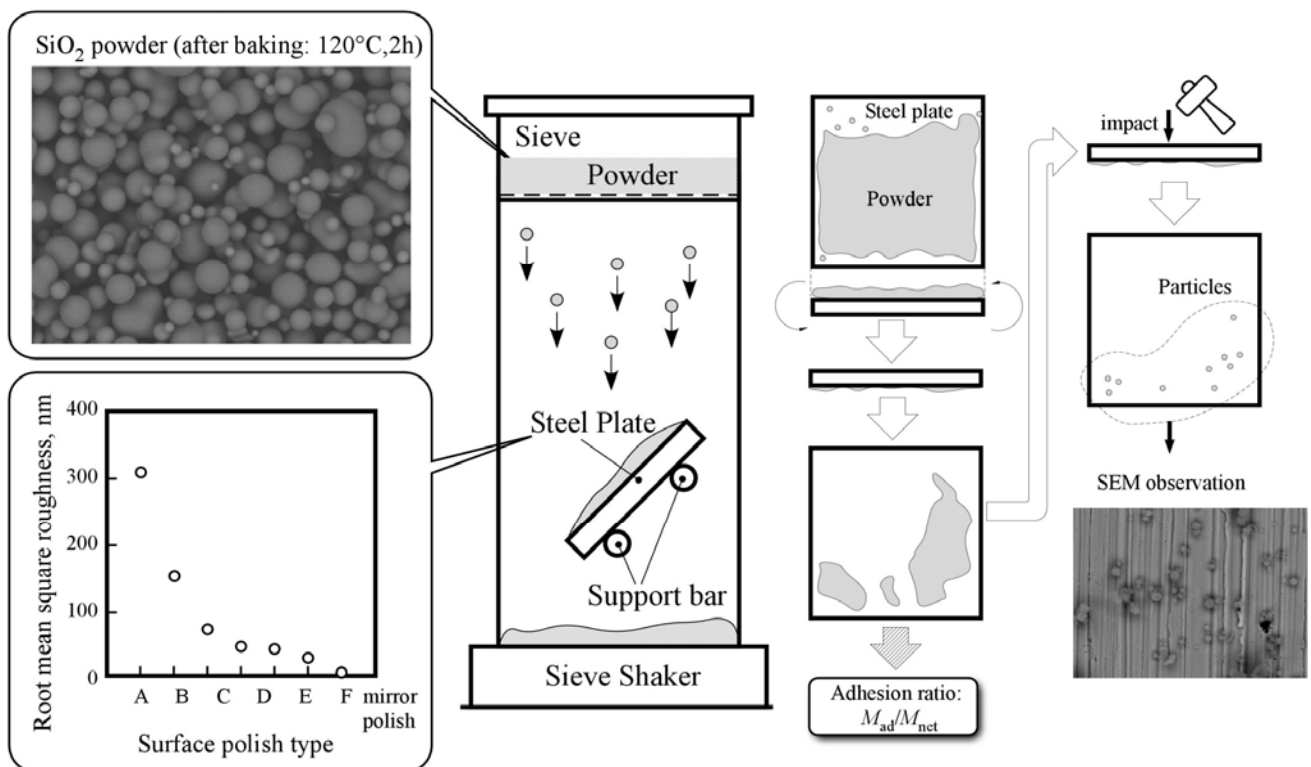
特願2007-073841，特許第4064438号，2008年，加藤 雅裕, 米倉 大介, 大西 賢治

- コーティングを用いない。研磨処理のみ。
- ステンレス鋼の摩耗粉は除鉄装置で排除。

➡ どのような表面の時に最大限の効果を得られるか？



実験方法 - 付着試験および表面観察 -



使用したSiO₂粉体粒径分布

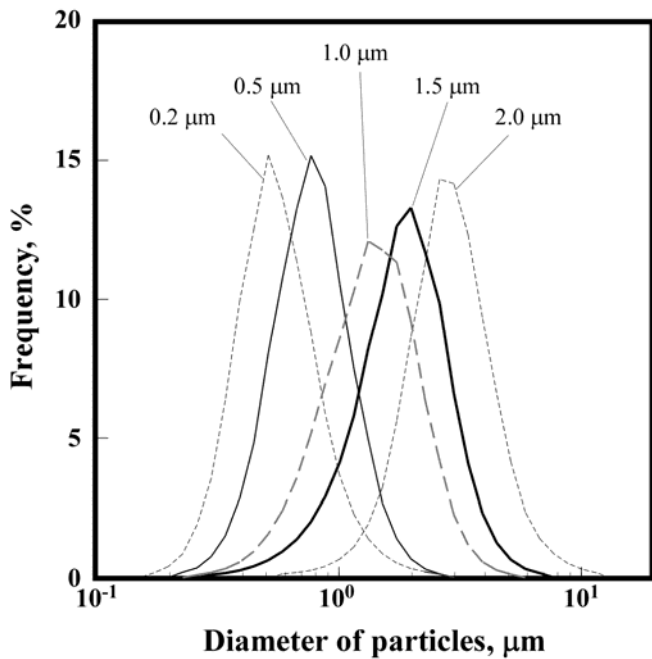
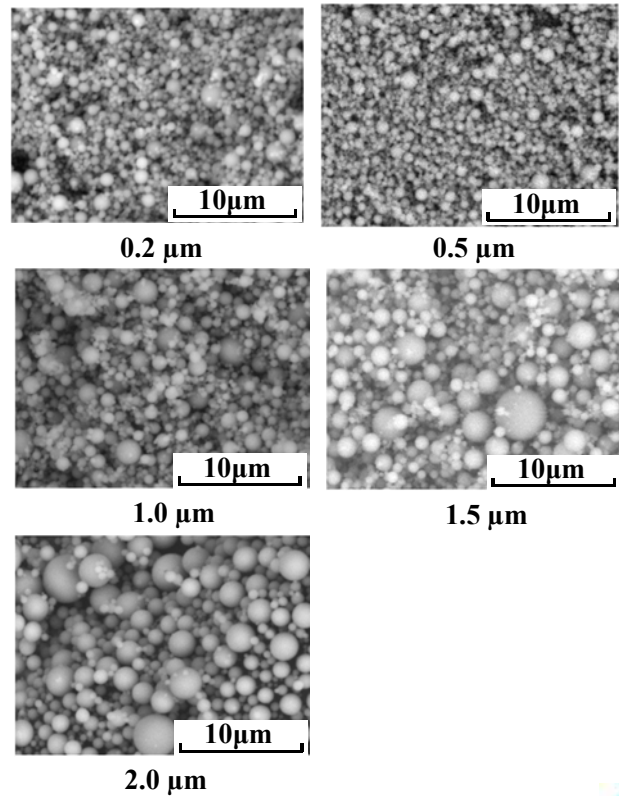


Fig. Particle size distribution.



付着試験結果

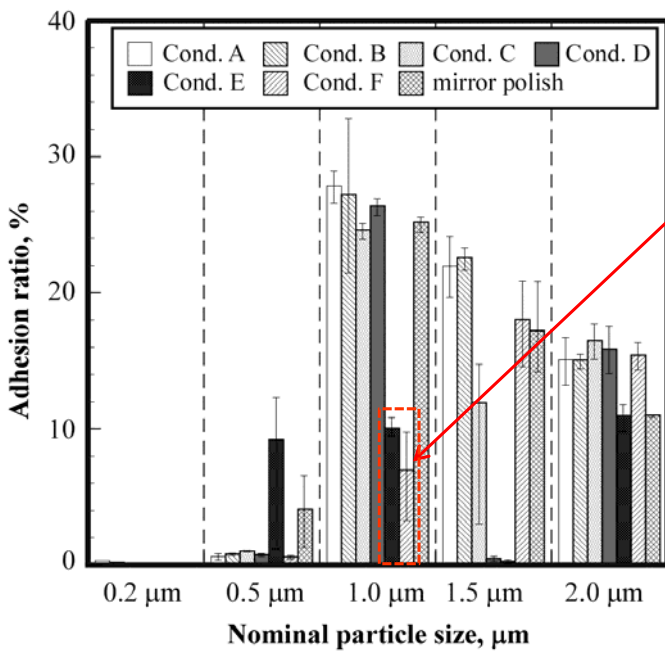
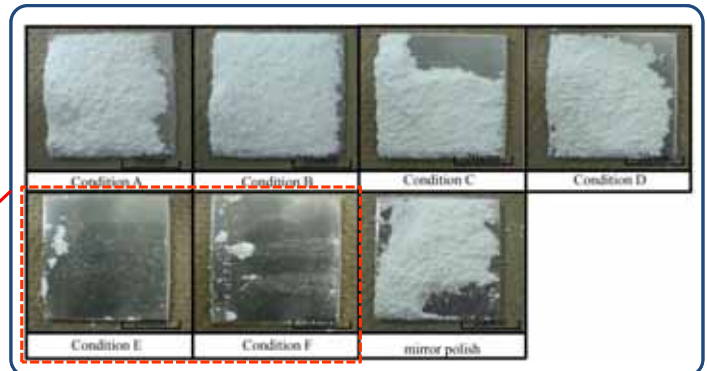


Fig. Result of adhesion tests.



- 効果の出やすい粒径がある。
- 効果の出る表面粗さがある。



強固に付着した粒子のSEM観察

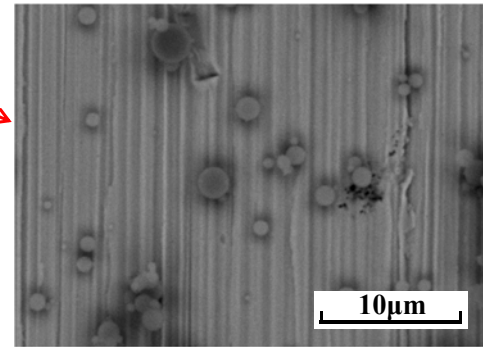
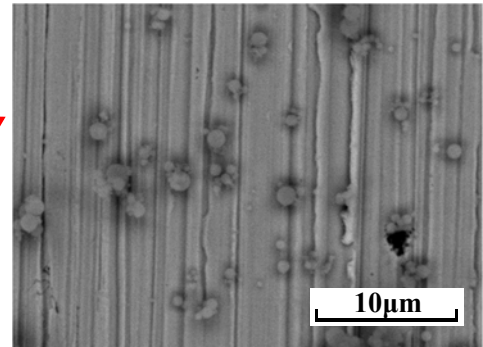
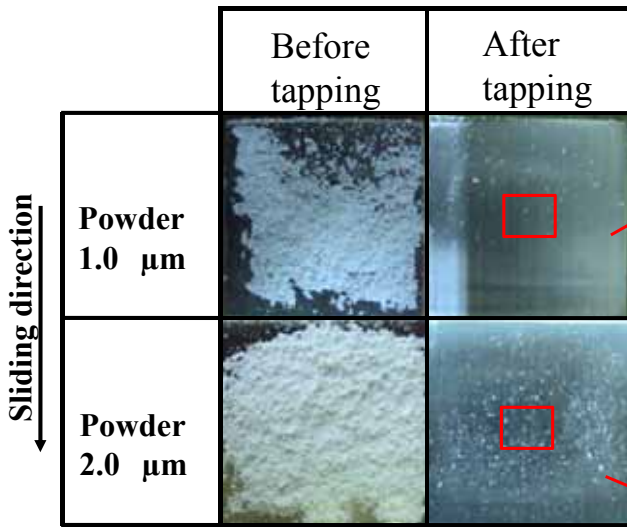


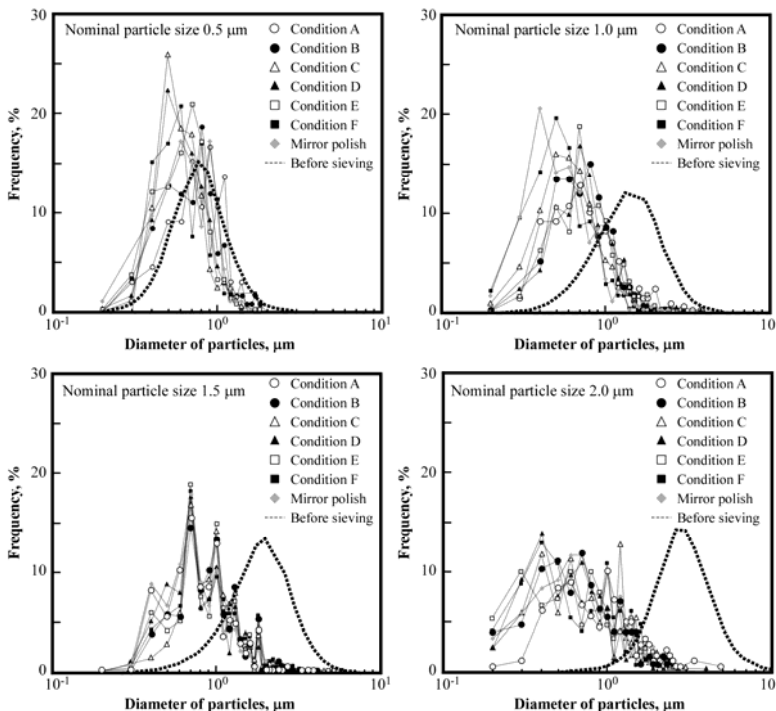
Fig. Typical surface images of steel plate polished by condition C before and after tapping.

小粒径粒子(0.4 μm ~1 μm 程度) :

- 単体で鋼板に付着
- 1 μm 程度以上の比較的大きな粒子と付着



強固に付着した粒子の粒径分布



強固に付着した粒子

付着量は異なるものの...

- 0.4 μm ~1 μm 程度の粒径
- もとの粒径分布と無関係
- 鋼板表面粗さとも無関係
- 呼び粒径0.5 μm の粉体:
→ 少ない堆積

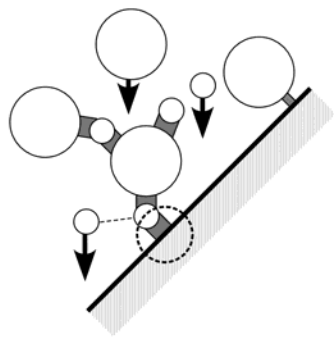


- 0.4 μm ~1 μm 程度の粒子:
鋼板-粒子間の強固な付着
- 1 μm 程度以上の粒子:
粒子-粒子間の付着
→ 堆積挙動に関与

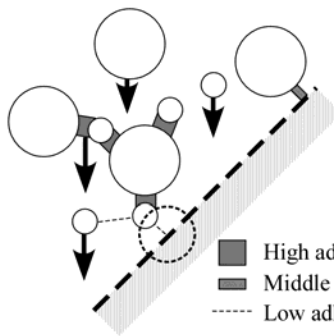
Fig. Particle size distribution on the steel plates after adhesion test.



付着・堆積抑制のメカニズム



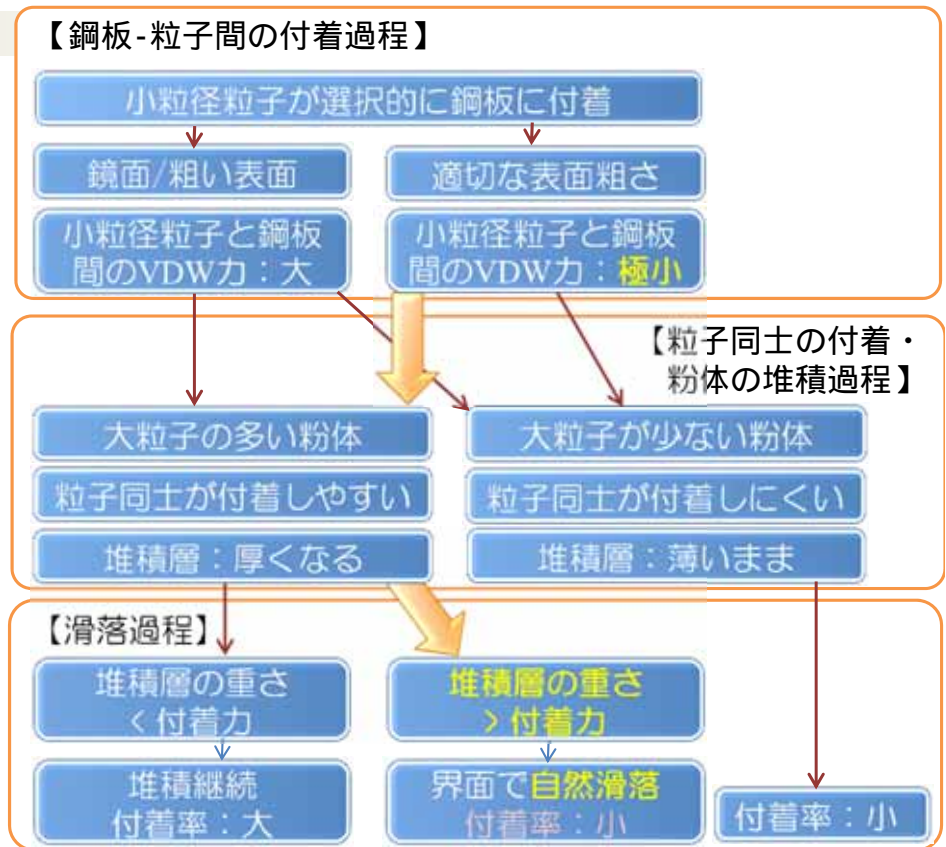
(a) Smooth/High roughness surface



(b) Appropriate surface roughness

Fig. Schematic diagram of adhesion and deposition process of particles.

25



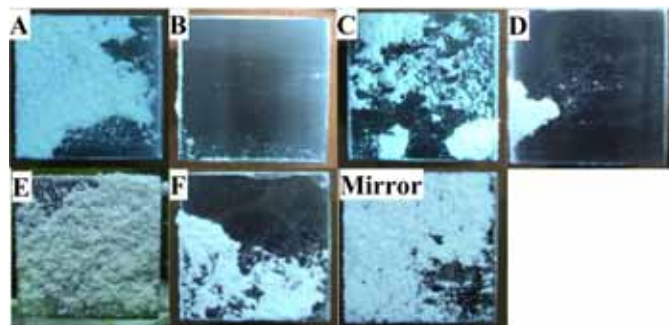
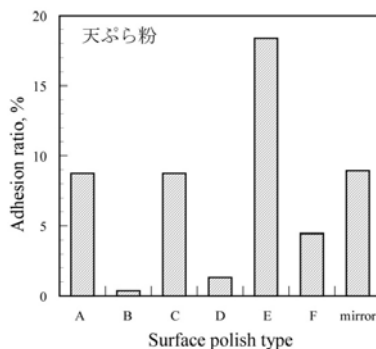
The University of Tokushima



どのような粉体でも付着抑制可能か？



- 効果のない粉体もある。
ex.) 水分・油を多量に含むもの。
- 穀物類は効果が出やすい。
ex.) 天ぷら粉など。



粉体の付着・堆積・滑落のメカニズムを明らかにし、表面処理の効果を実前に推測できる設計指針の構築を目標。

26

The University of Tokushima

