

材料表面の機械的特性で 困っていませんか？

球や
ワイヤー形状が
測れない

ゴムなど
弾性が強く
測れない

硬すぎて
測れない

脆すぎて
測れない

強さと
材料分析の
相互解析が
できない

形状が
複雑であると
測れない

微小な
強さ差が
測れない

内部の
強さ変化が
測れない

弱すぎて
測れない

劣化・変質の
強さ数値化が
できない

多層膜等の
内部劣化・変質の
位置や大きさが
測れない

メッキの
界面強さが
測れない

高分解能な
深さ分布が
測れない

傾斜分布が
測れない

薄すぎて
測れない

薄膜の強さが
精密に測れない

樹脂上
硬質薄膜の
強さが測れない

ナノサイズ
分解能が
測れない

内部欠陥が
見れない

MSE試験で
測れますよ？



株式会社パルメソ
Palmeso Co., Ltd.

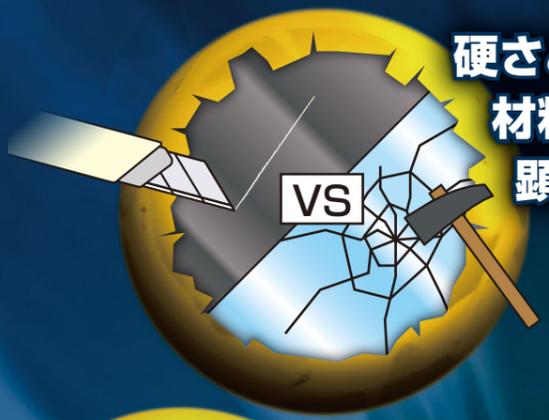
〒940-2024 新潟県長岡市塚町194-7
TEL.0258-86-0240
FAX.0258-86-0241
www.palmeso.co.jp

MSE試験法が可能にした様々な表面特性

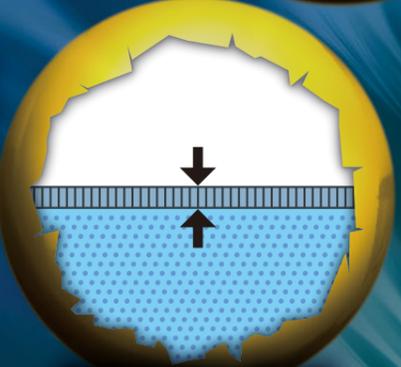
MSE試験法が生みだす新たな価値



表面から深さ方向の強さ分布を連続して取得できる



硬さと脆さのような材料の二面性を顕わにできる



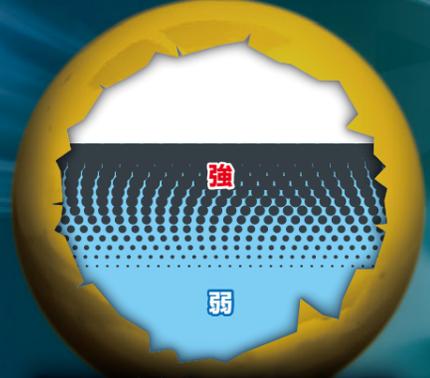
膜厚がわかる



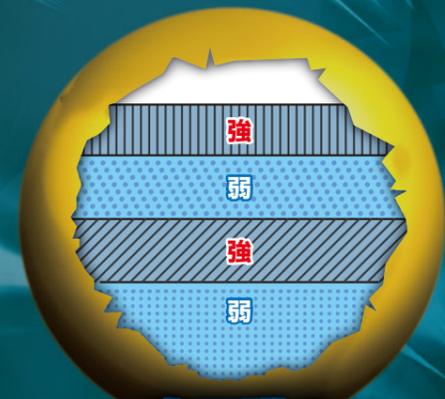
界面の強さがわかる



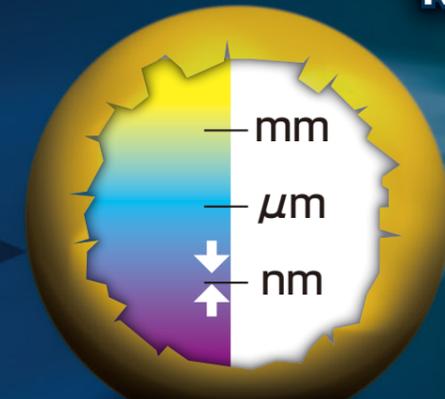
膜内の欠陥や異物を特定できる



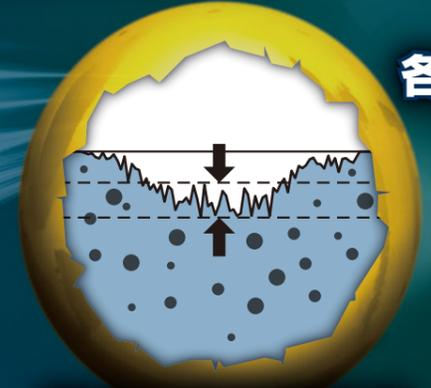
傾斜分布がわかる



多層膜の各層強さがわかる



深さ分解能ナノレベルが可能



膜内の強弱分布を表面粗さとして示せる

研究開発のランクアップ

- 材料配合と強さの高速スクリーニング
- プロセス条件と強さの高速スクリーニング
- 強さ分布と分析データとの合せ技による高度の解析
- 各種材料及び開発材料の強さ比較
- 多層膜や傾斜膜である場合の膜強さ、さらに界面強さの特定
- MSEマップを使用した材料寿命の延長や寿命想定
- コーティング等の結合強度や密度、欠陥量の想定

製造プロセス・品質保証のランクアップ

- プロセス条件と強さの関係から最適条件を導き出す
- エロージョン痕プロファイルからの欠陥や不良の特定
- 安定した品質と低不良率の実現
- 受け入れ検査時の品質基準の高精度化
- 情報量の多い試験データが品質保証の安全と信頼を高度化
- 製造装置およびプロセスの経時変化の精密管理とプリメンテナンス

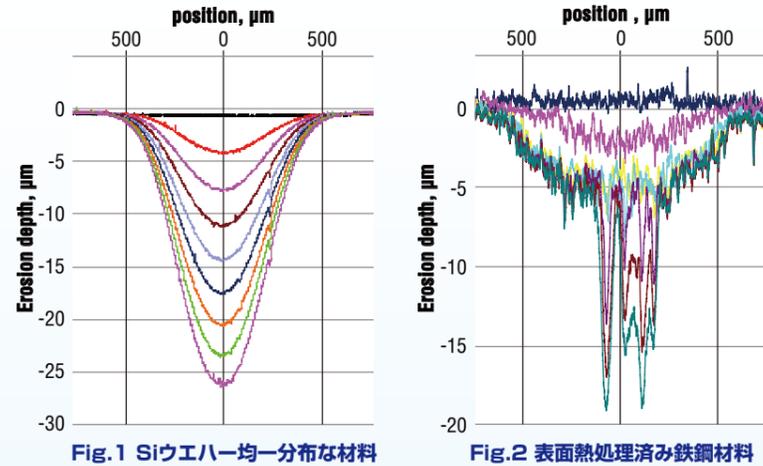
劣化・変質の特定

- 環境試験後の強度(強さ)低下量の取得
- 実環境劣化後の強度(強さ)低下量の取得
- 表面からの劣化、内部の劣化、全体劣化のパターンを俊別
- 時系列データの取得から残存寿命の推定

試験データの読み方

エロージョン痕プロフィールが示しているもの

①エロージョン速度(強さ)の変化が実感できるプロフィールの間隔が強さ度合いを示します。Fig.1は強さが均一な材料を示し、Fig.2は表面と内部では強さが異なる材料を示しています。



②表面粗さが読める
プロフィール1本の細かい凹凸が表面粗さを示します。Fig.1は内部まで粗さが均一で均質材料であること、Fig.2は表面より内部の粗さが大きく、不均質材料であることを示しています。

③強さ変化や分布が読める
Fig.1は痕中心に対称できれいな正規分布曲線が深さ方向に続いていることから均質材料を示し、Fig.2は層状の強弱があると形状曲線が途中で膨らんだり狭まったりして材質の変化や分布が見えます。

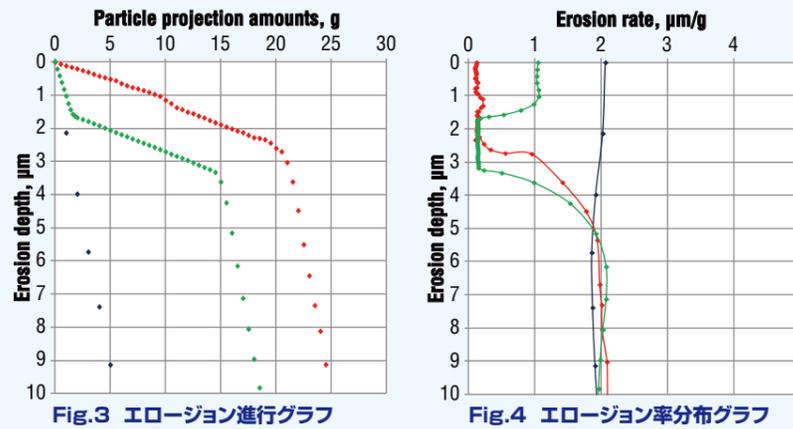
エロージョン進行グラフ、エロージョン率分布グラフ

①言葉の定義
エロージョン進行グラフ Fig.3は、横軸に投射粒子量、縦軸にプロフィール曲線中央部のエロージョン深さを示したグラフです。曲線の傾きはエロージョン速度(強さ)を示します。

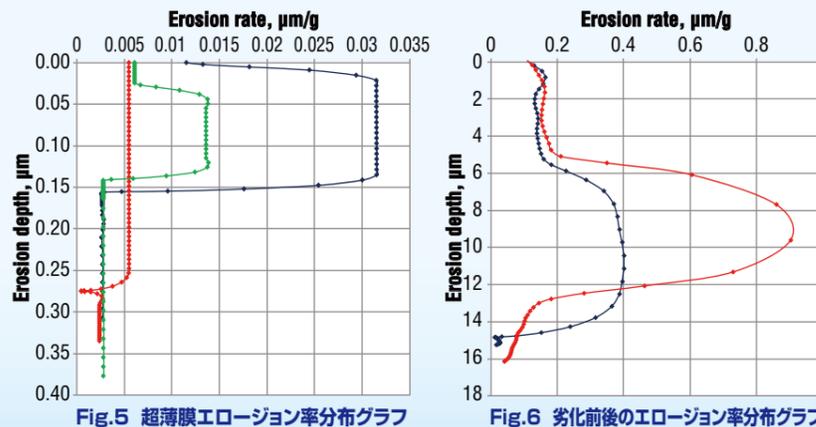
エロージョン率分布グラフ Fig.4はFig.3の曲線の傾きを微分し、横軸にエロージョン率*、縦軸に深さを示したグラフです。横軸は強さの尺度で深さ方向の強さ分布が明確にわかります。

$$*エロージョン率(\mu\text{m/g}) = \frac{\text{深さ}(\mu\text{m})}{\text{投射粒子量}(\text{g})}$$

②エロージョン進行グラフ
Fig.3に均質材料(青点)、単層被膜(赤点)、2層被膜(緑点)の3つが示されていて、傾きから強さが視覚的にわかり、屈折点から膜厚がわかります。それぞれの材料強さが表面から内部までの詳細な分布で示されます。



③エロージョン率分布グラフ
Fig.4はFig.3の事例で、被膜強さの分布と膜厚が明確に読み取れ、3サンプルの基材強さは同じであることがわかります。
Fig.5は膜厚ナノメートルレベルの事例で、薄い膜内でも強弱の分布を確認できます。
Fig.6は2層膜の内部劣化の特定例で、劣化前(青点)に比べて劣化後(赤点)では表層でなく内部の層が弱くなっていることが特定できます。



画期的なソリューション例

材料の機械的特性を可視化する全く新しい二面性評価

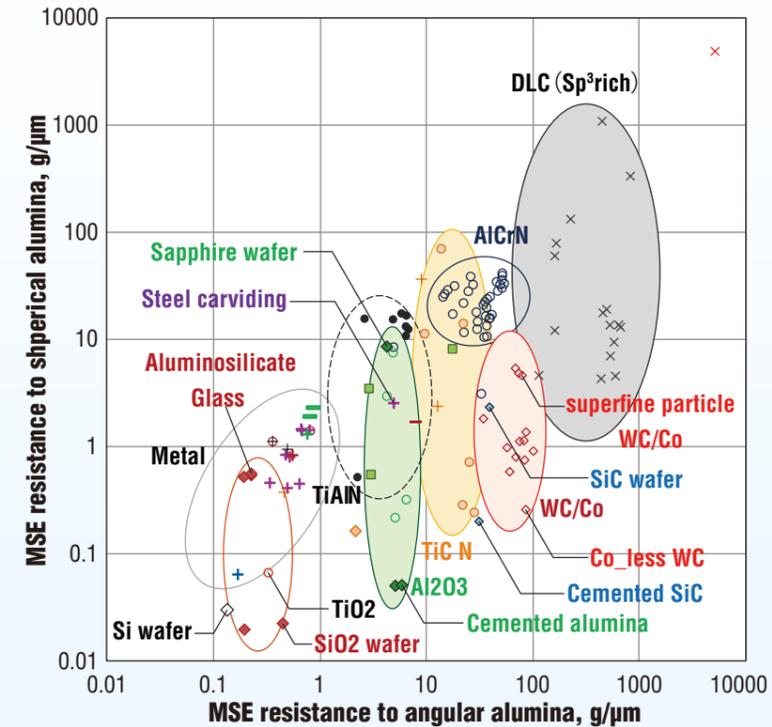
材料の多面性強さ特性を知ることは研究開発や設計や製造プロセスにイノベーションを起こします。

MSEマップ

Fig.1は様々な材料を対象に2種類の異なる粒子(多角アルミナ1.2μm・球アルミナ3μm)で投射条件を同じにしたMSE試験結果です。横軸には多角粒子の耐エロージョン率*、縦軸には球粒子の耐エロージョン率で示しています。

$$*耐エロージョン率(\text{g}/\mu\text{m}) = \frac{\text{投射粒子量}(\text{g})}{\text{深さ}(\mu\text{m})}$$

MSEマップが示すもの
●多角粒子試験(横軸)では、材質の基本的強さの位置づけを示し、弱い応力場での損傷耐性を示しています。
●球粒子試験(縦軸)では、材質の基本的強さに加えて材料内部に存在する欠陥量や密度からくる強度低下度合いや衝撃疲労に対する耐性などが含まれる強さを示し、強い応力場での損傷耐性を示しています。
●材料固有の硬さと脆さなどの二面性を可視化できます。
●同じ材料であっても製造過程の違いなどで縦軸方向に広く分布していることがわかります。



▶Fig.1 MSEマップ

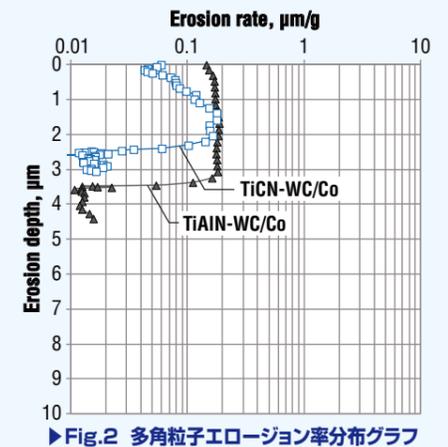
具体的材料への適用例

Fig.2,3は基材WC/Coの表面に2種類の硬質薄膜TiCN及びTiAlNをコーティングしたサンプルに上記の2条件試験を行った事例です。

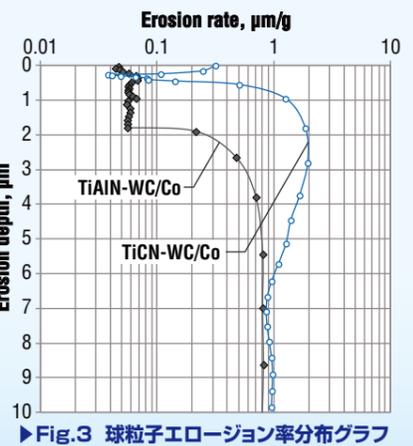
①膜強度
多角粒子エロージョン率(強さ)ではTiCNとTiAlNはほぼ同じでTiCNが表面少し強いことがわかりますが、球粒子エロージョン率(強さ)ではTiCNは表面極薄い層のみ強くTiAlNは約2μmまでが強くなっています。TiCN膜は強い応力場での損傷耐性は弱いことがわかります。

②膜厚と界面
膜厚は多角粒子で明確に基材との強さ変化点から特定できますが、球粒子ではTiCNの膜厚は極薄く、TiAlNの膜厚は多角粒子での半分になっています。強い応力場での有効膜厚は材質基準の膜厚ではないことがわかります。またTiCNの界面は強い応力場では基材よりも弱くなるのがわかります。

③基材の強度
基材WC/Coの強さは多角粒子(弱い応力場)では極端に強く、球粒子(強い応力場)では極端に弱くなるのがわかります。WC/Coは焼結材の特徴である摩擦摩耗には強いが衝撃摩耗に弱い知見と一致します。

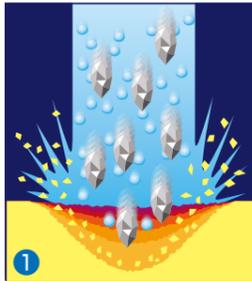


▶Fig.2 多角粒子エロージョン率分布グラフ

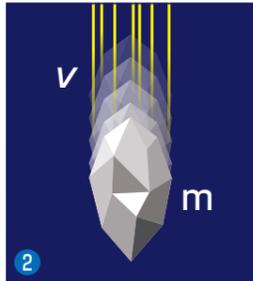


▶Fig.3 球粒子エロージョン率分布グラフ

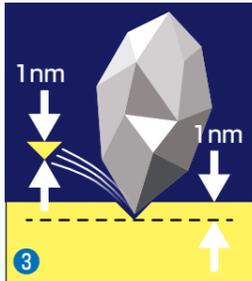
試験を可能にした技術要素



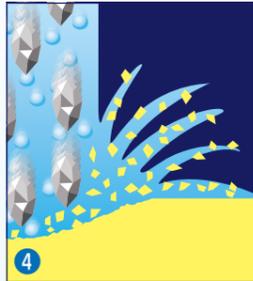
① 投射スラリーに含まれる数十億～数千億個の粒子衝突による高速評価



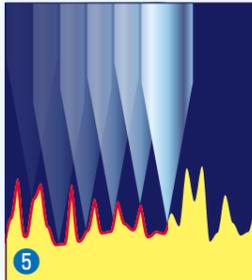
② 1個の粒子エネルギーが $\frac{1}{2}mv^2$ と極めて少ないため影響深さが極めて浅い



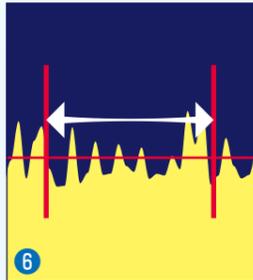
③ 1個の粒子の除去量はナノメートルサイズでナノレベル分解能を実現



④ 水によるサンプル表面の冷却(変質抑制)とクリーンな研掃



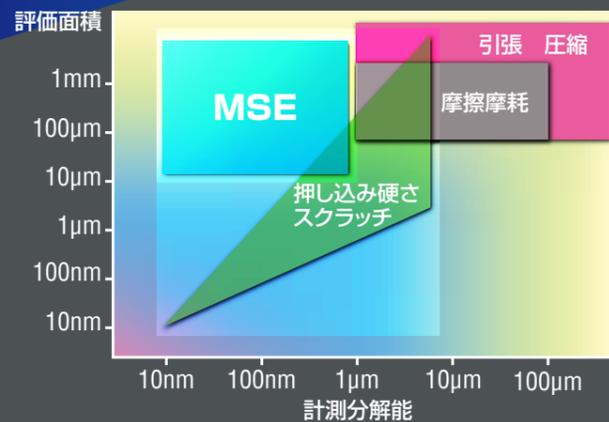
⑤ あらゆる表面形態を精密にデータ化する触針式形状計測器によるプロフィール取得



⑥ 表面粗さがあっても数十～数百μm幅の平均値を算出

MSE試験法の位置づけ

MSE試験法の分解能と評価面積の関係



一個の微粒子衝突がもたらす試料面への損傷効果は、衝突面積が極少で損傷深さは極浅です。そのため深さ方向の分解能はナノメートルサイズが可能です。深さ測定の信頼性はノズルの投射面積1mm×1mmと大きいエロージョン痕中心部の50～100μmと広い面積の平均粗さからの深さを採用することで自動的に計測バラつきが抑えられます。

MSE試験法の相対速度と応力・エネルギーの関係

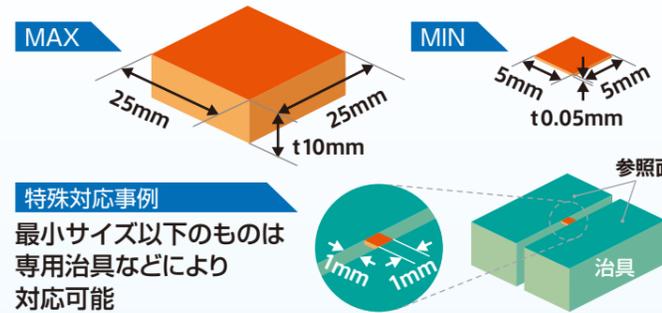


加速された粒子は一定のエネルギーをもって飛行し、衝突時に被試験面に瞬間的に大きな応力を発生し、衝突後は0になります。試験面にはごく短時間に発生した応力により表面損傷を起こします。衝突時の相対速度が速いことで柔らかいゴムから硬いセラミックスまでエロージョンが可能になり、衝突エネルギーが小さいことから高分解能が実現できます。従来の試験法と異なる試験メカニズムです。

試験可能な範囲

サイズ

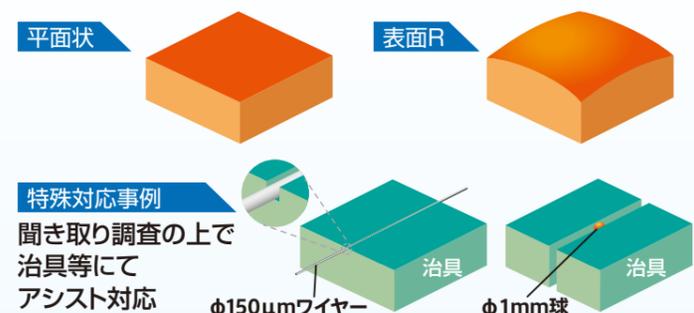
[Max] 25mm×25mm×t10mm以内 標準
[Min] 5mm×5mm×t0.05mm以上



特殊対応事例
最小サイズ以下のものは専用治具などにより対応可能

形状

[標準] 平板状のもの、または表面R=50mm以下



特殊対応事例
聞き取り調査の上で治具等にてアシスト対応

表面粗さ

表面粗さが粗いと深さ方向計測分解能が悪くなる
計測分解能はRz*の約 $\frac{1}{2}$ の精度となる
その他特殊は要相談
*Rz…最大表面粗さの指数

計測可能深さ



可能材料

固体でかつ
水に溶けないもの



MPa ヤング率 GPa

その他

特殊な形状や材質や計測の用途の場合は要相談



MSE強さに関して

粒子衝突で起きるエロージョン

1個の粒子が高速で衝突すると、粒子の硬さとサンプルの硬さの関係から作用時間がマイクロ秒と短く大きな力が発生します。発生した力のうちサンプル材質の耐力を超えた大きさが切削や変形やクラック発生などの損傷に使われ、その損傷量は極めて少ないことが特徴です。投射される粒子の数が1秒当たり数百億と多いことで高速に摩耗が進みます。このような摩耗の進行をエロージョンと言います。

MSE試験による材料強さに関して

微小粒子の衝突で起こるナノレベル範囲の損傷は、分子や原子の結びつき強さや欠陥による強さ低下や、繰り返し衝突による疲労などを示し連続投射によってエロージョン量として表れます。同じ投射条件でのエロージョン進行速度は材料に固有値があることを発見しました。さらに材料の固有強さを示すのみでなく、材料の配合や組成による強弱度合い、密度や内部欠陥や強化材による増減度合いなどを示していることがわかりました。MSE試験では微粒子投射によるエロージョン進行速度を「MSE強さ」として材料の強さを精密に示す尺度にしました。

