

補助事業番号 2024M-415  
補助事業名 2024年度 材料表面の内部構造可視化技術i-MSEの実用化 補助事業  
補助事業者名 福井大学 学術研究院 工学系部門 工学領域  
情報・メディア工学講座 福間研究室 福間慎治

## 1 研究の概要

我々はサブミクロンオーダーで材料表面内部の構造を可視化する技術であるi-MSE法を開発している。本研究では様々な試料に対しi-MSE法を適用し、薄膜の強さの分析を行い、電子顕微鏡像、X線分析や他の強さ試験結果と照合することでi-MSEの有効性を明らかにする。i-MSE法の測定結果が信頼できるのであれば、i-MSE法の適用範囲の広さからも実用化が進むと期待できる。

実験により、i-MSEは、電子顕微鏡像では捉えることの難しい皮膜-基材間の中間層の存在と強さを、X線分析結果と照合することで、正しく「見える化」できていることを明らかにした。また、塗装のような柔らかい皮膜に対しスクラッチ試験による強さの測定は困難であるが、i-MSEでは測定と定量評価が可能であることを示した。

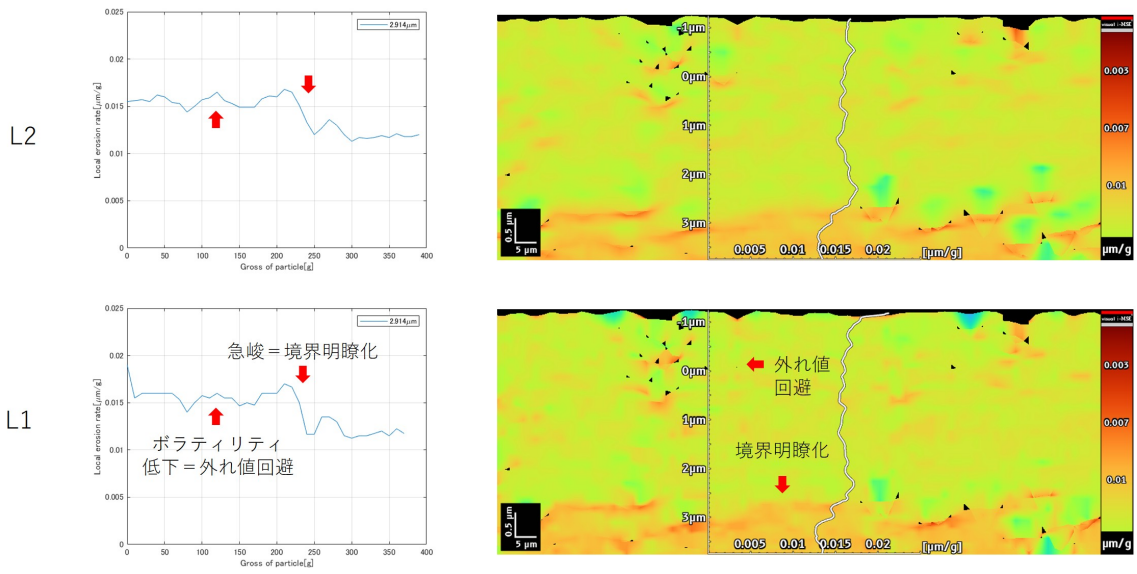
## 2 研究の目的と背景

本研究の目的はサブミクロンオーダーで材料表面内部の構造を可視化する技術-i-MSE-の実用化である。通常、表面内部構造は電子顕微鏡等による切断面の外観検査で評価される。しかしこれは「見た目」による主観評価であり、機械的な性質等の評価ではない。我々が開発したi-MSEは微粒子の高速衝突による微細破壊の進展を観測し、機械的強さを基準に内部構造を画像可視化する革新的技術である。本事業は、薄膜、めっき、樹脂等さまざまな試料を分析することでi-MSEは人の目には見えない「強さ」が見えることを立証し、実用化を目指す。

## 3 研究内容 <https://sylph.fuis.u-fukui.ac.jp/~fukuma/JKAreport.html>

### ①材料表面内部構造可視化のためのロバスト処理技術の開発

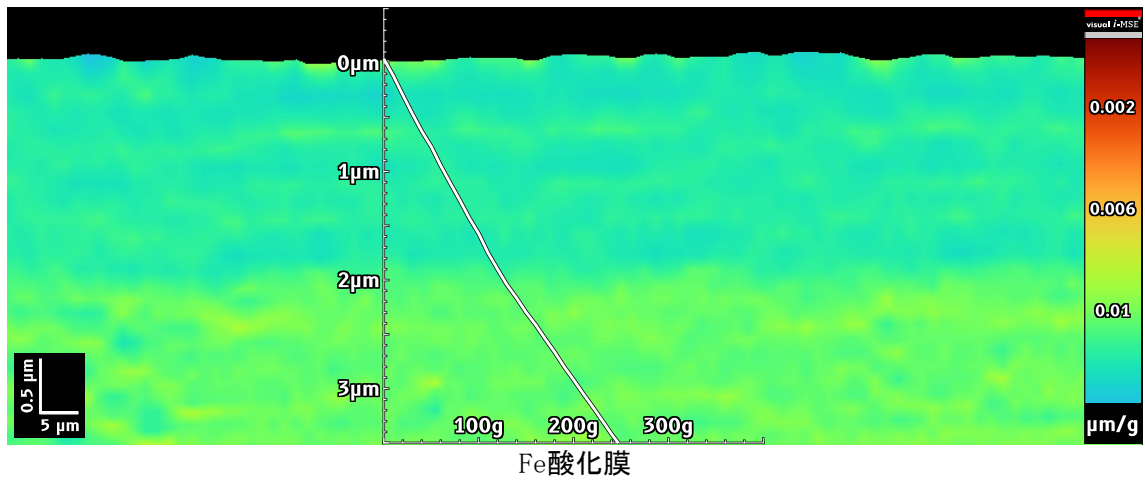
アーティファクト除去のための深さ2乗法、雑音除去フィルタの設計、L1回帰器の設計を行った。以下はロバスト処理による可視化例である。

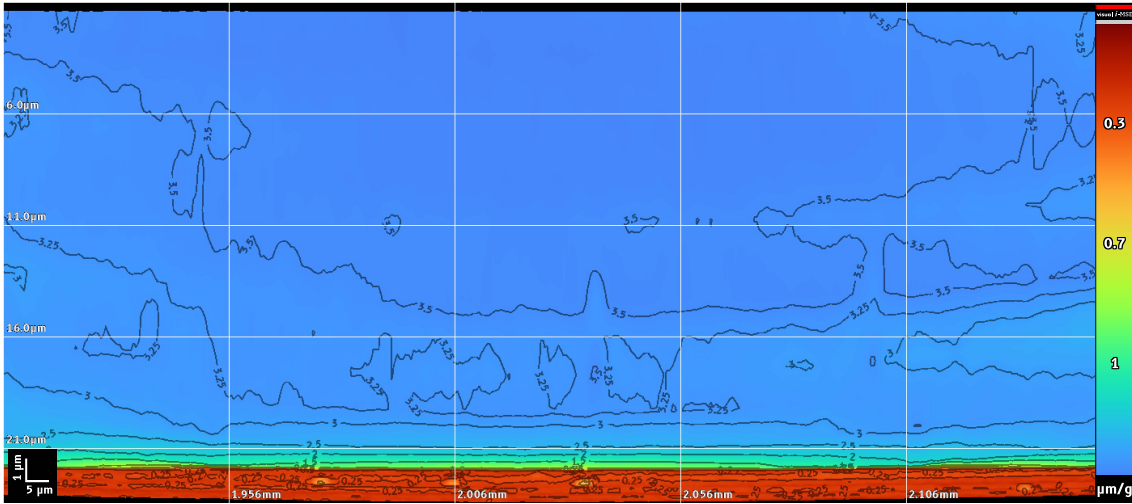


## ② 様々な材料の i-MSE 試験実施

Fe酸化膜, Ni酸化膜, 樹脂膜, TiC膜, 金メッキ, 電着塗装膜について i-MSE 試験を実施した.

以下は Fe酸化膜 と 電着塗装膜 の強度分布断面像を示す.

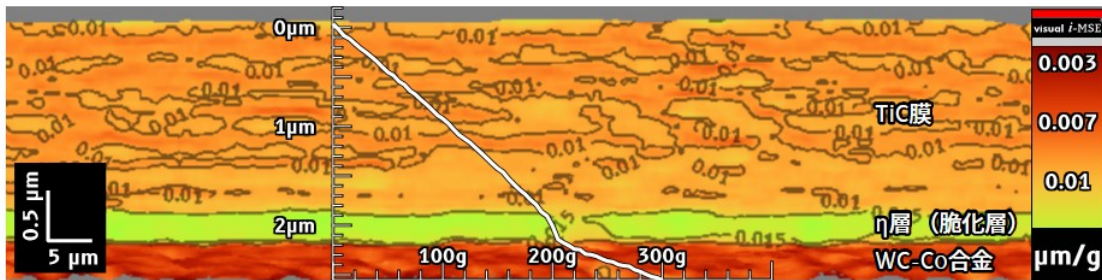




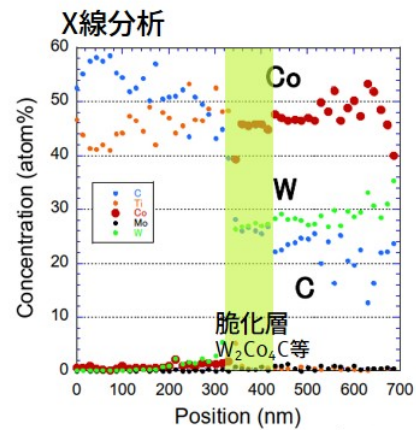
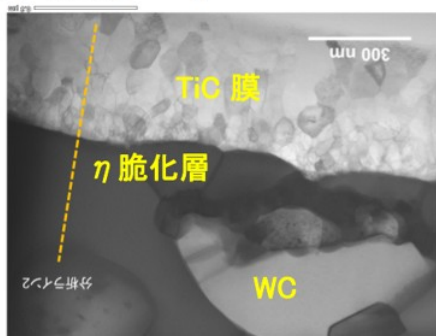
電着塗装膜

③ i-MSEと材料の硬さ等と組成との関係解明

超硬合金 (WC-Co) 上に形成されたTiC膜について、i-MSE法による分析と電子顕微鏡およびX線分析結果を比較し、材料の硬さと組成の関係を調査した。i-MSEでは皮膜と基材間に脆化層を確認できるのに対し、電子顕微鏡像では確認できないが、X線分析でようやく脆化層の存在とその組成を確認できる。

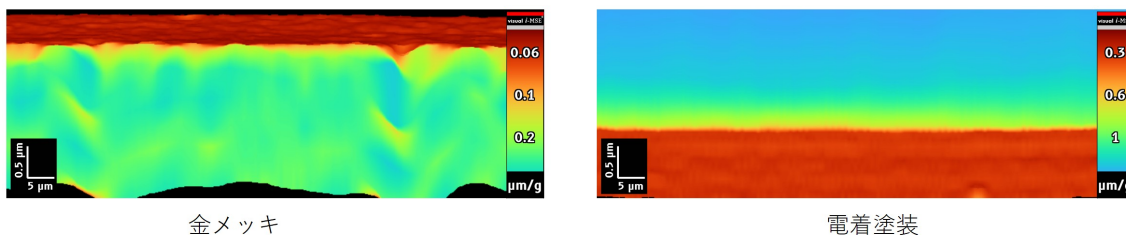


電子顕微鏡 TEM像



#### ④ i-MSEと従来材料強度試験との相関性の解明

金メッキおよび電着塗装膜のi-MSE分析と従来の強度試験の一つであるスクラッチ試験結果を照合した。i-MSE分析では、皮膜の強さは金メッキ > 電着塗装膜である。一方、スクラッチ試験結果ではこれらの柔らかい皮膜に対しては臨界荷重を明確に求めることができなかつた。このように、従来の強度試験では測定が難しい弱い皮膜であってもi-MSEは強さを定量化できる。



試料	膜厚 [um]	エロージョン 速度[um/g]	
		薄膜	基材
金メッキ	0.5	0.03	0.35
電着塗装	20	3	0.25

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

硬い金属膜から柔らかい皮膜まで、広い範囲をカバーできる薄膜の強さの標準的な評価技術となる。異なる製品を並べた横の比較と、同じ製造仕様の製品を並べた縦の比較が可能となる。これにより、製品の優劣だけではなく、品質の評価も可能となる。品質評価は製造ラインへの組み込みも期待でき、歩留まり向上などに資する。こうして我が国の機械産業力向上に寄与できる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

もともと機械系出身で、電気・情報と流れてまた機械分野の研究へ。人生亦輪廻転生也

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

[1] 岩井 善郎, 福間 慎治, 高澤 拓也, "i-MSE法を用いた各種コーティング膜の界面強さ分布の可視化技術-サブマイクロメートルオーダーの薄膜内部の解析事例," トライボロジー会議(春), pp. 100-101, 2024-05.

[2] 福間 慎治, 岩井 善郎, "i-MSE法を用いた材料表面内部構造の画像可視化—酸化膜篇—," 電子情報通信学会総合大会, C-6-01, pp. 4, 2025-03.

[3] Shinji Fukuma, Takuya Takazawa, Yoshiro Iwai, "An Image Based Evaluation of Coating of

Eyeglass Frames by the i-MSE Method," 30th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

[https://drive.google.com/file/d/1c\\_2mc-YIWMfnx0\\_bnnvzKr7K9rELfHvE/view](https://drive.google.com/file/d/1c_2mc-YIWMfnx0_bnnvzKr7K9rELfHvE/view)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 福井大学学術研究院工学系部門

(フクダイガク ガクジュツケンキュウイン コウガクケイブモン)

住 所： 〒910-8507

福井県福井市文京3-9-1

担 当 者： 准教授 福間 慎治 (フクマ シンジ)

E - m a i l : fukuma@u-fukui.ac.jp

U R L : <https://sylph.fuis.u-fukui.ac.jp/~fukuma/>