

材料電子化学講座



東北大学
大学院工学研究科
知能デバイス材料学専攻

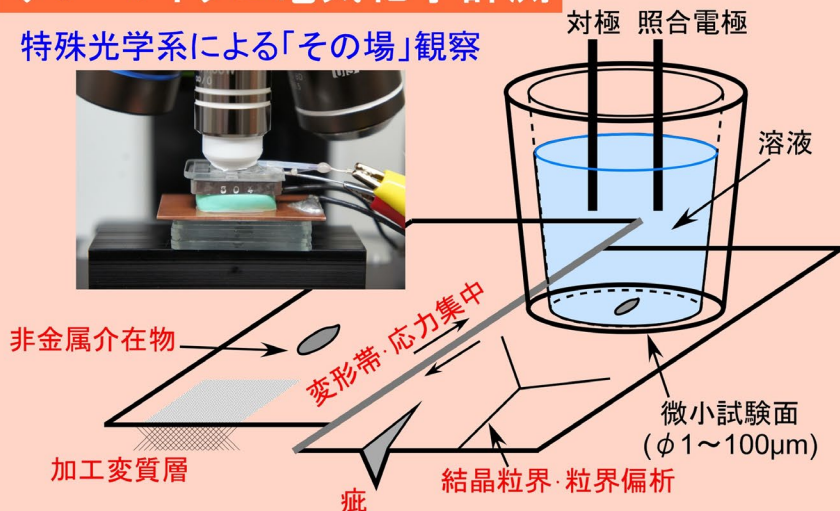
武藤 泉、西本 昌史

- ・ キロメートルレベルの**大型構造物の腐食劣化**と、ナノ・マイクロメートルレベル/**分子・原子・電子レベルの腐食反応**を連成させて解析できる新技術の開発。
- ・ それに基づく**高耐食エコマテリアル**の提案。
- ・ 次世代を担う**若手エンジニア・研究者の育成**。



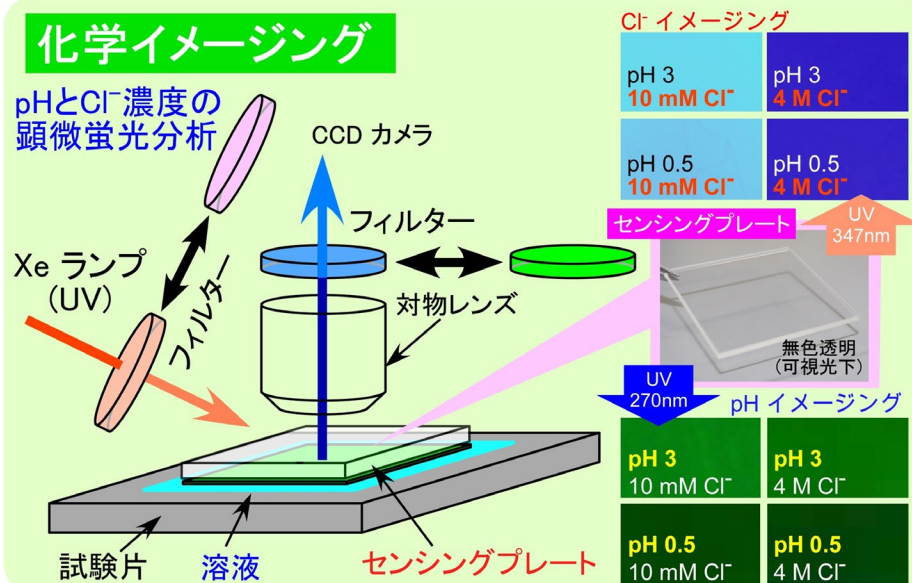
ナノ・マイクロ電気化学計測

特殊光学系による「その場」観察

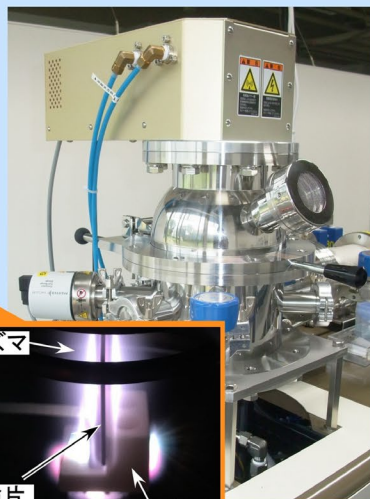
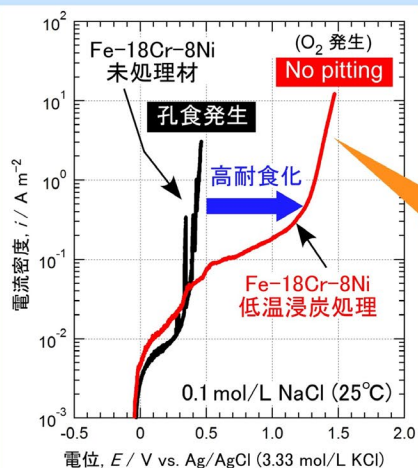


化学イメージング

pHとCl⁻濃度の
顕微蛍光分析



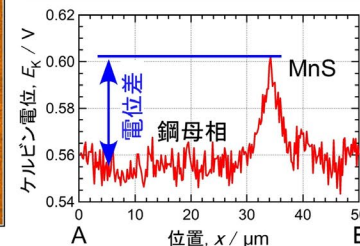
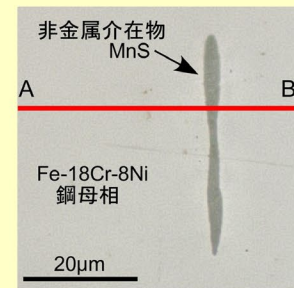
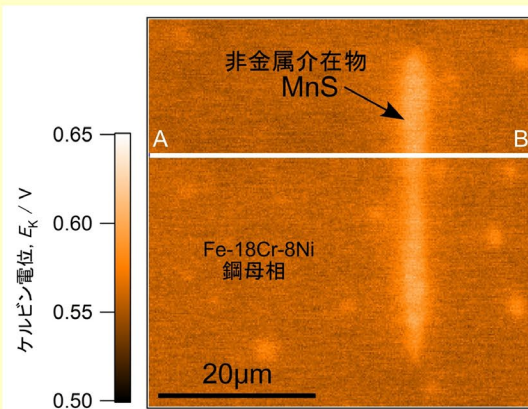
表面改質・コーティング



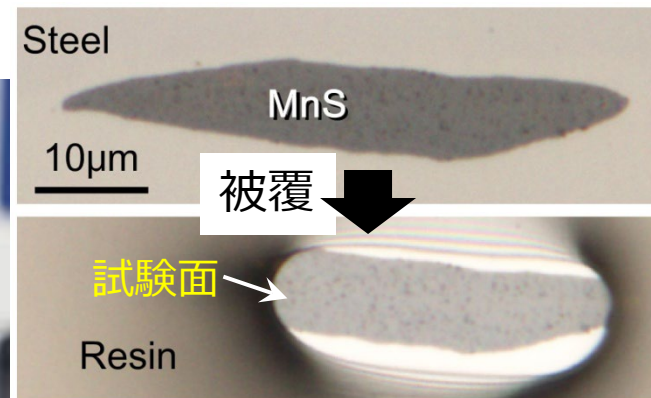
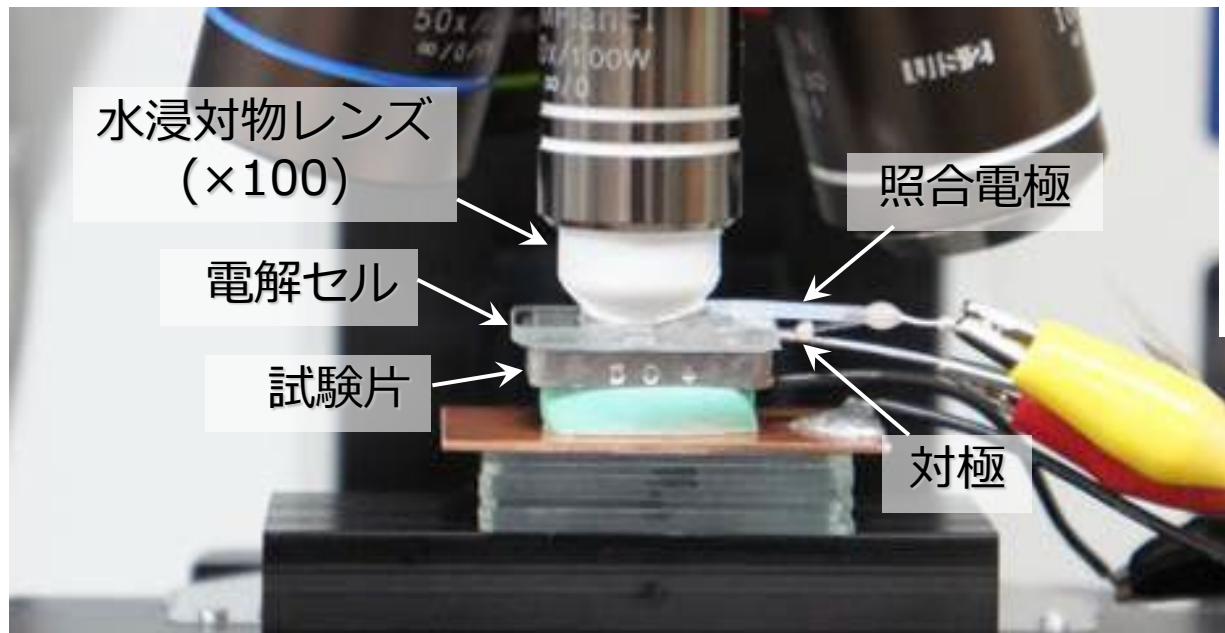
プラズマ処理

ナノレベル表面電気化学

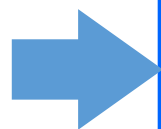
ケルビンフォース顕微鏡



高分解能“その場観察”+マイクロ電気化学計測



狙いを定めた微小領域のみ
を試験面とする手法を開発



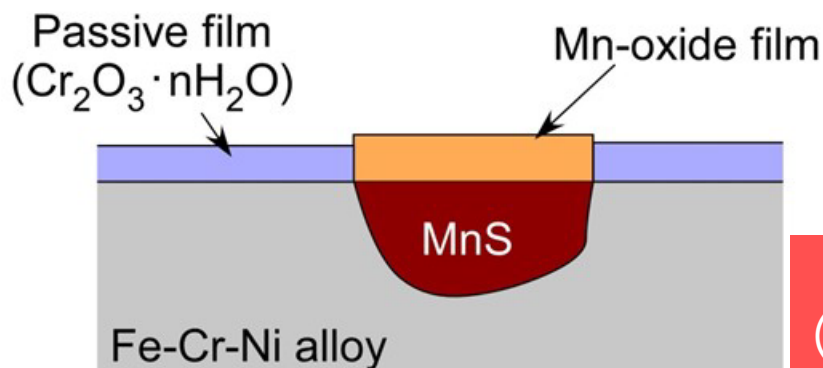
介在物などを起点とする孔食発生過程の水溶液中での高分解能ビデオ撮影に成功し、孔食の自己触媒的成長可否の決定因子を特定

A. Chiba, I. Muto, Y. Sugawara, N. Hara : “A Microelectrochemical System for In Situ High-Resolution Optical Microscopy: Morphological Characteristics of Pitting at MnS Inclusion in Stainless Steel”, *Journal of The Electrochemical Society*, **159** (2012), C341-C350.

R. Takayama, M. Nishimoto, I. Muto, Y. Sugawara : “Micro-Electrochemical Aspects of the Effects of Temperature on Pit Initiation at MnS Inclusion in Type 304 Stainless Steel”, *Journal of The Electrochemical Society*, **169** (2022), 111501.

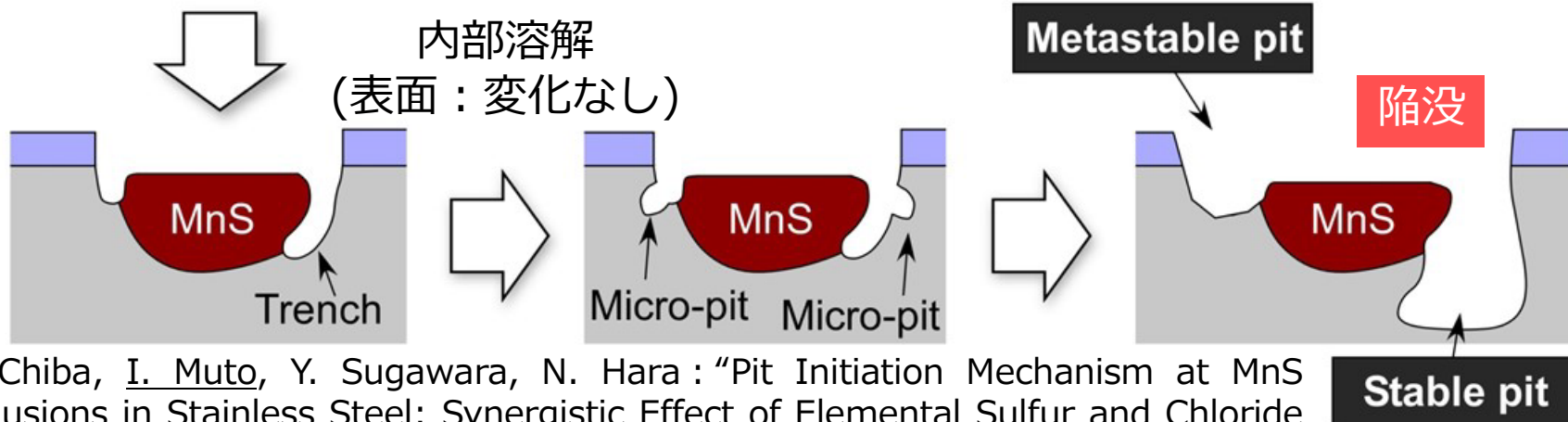
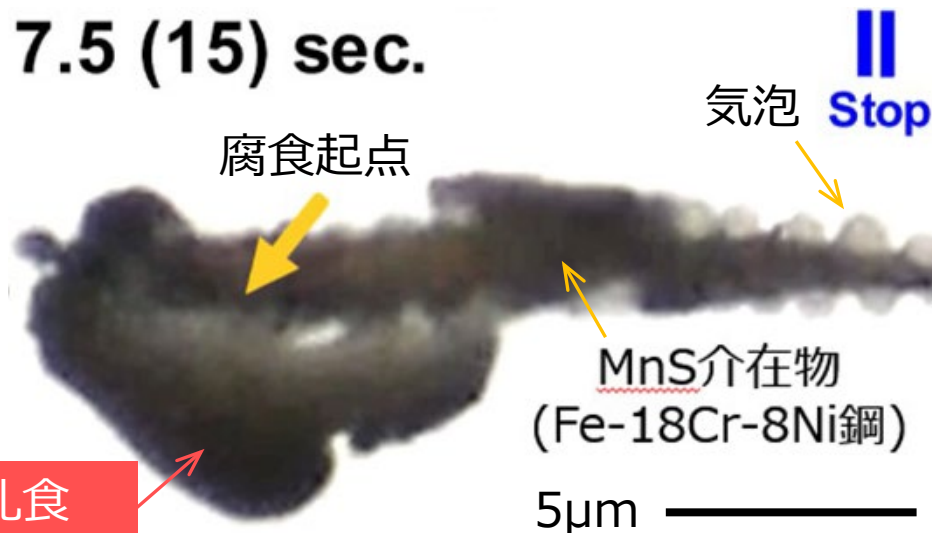
硫化物系介在物から溶解したS系化学種が介在物/鋼境界を侵食し、孔食になることを説明

介在物組成の改質法を提案



成長性ピット 1/2 speed

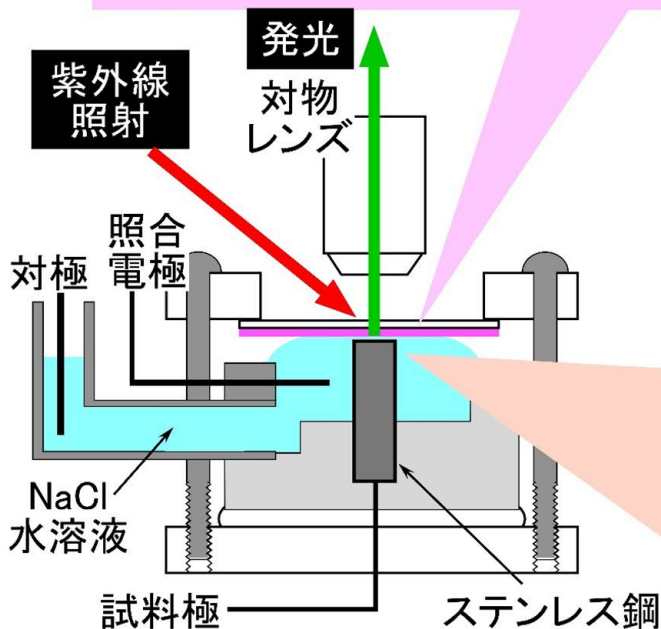
7.5 (15) sec.



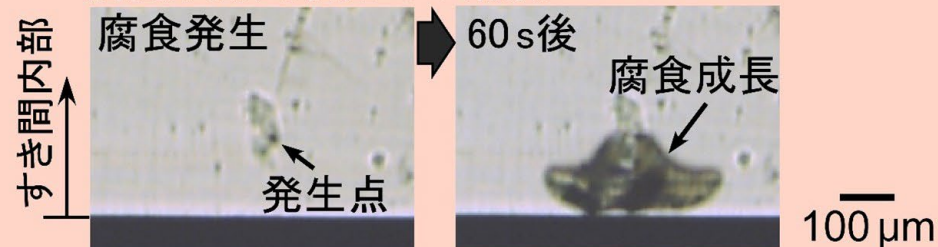
A. Chiba, I. Muto, Y. Sugawara, N. Hara : "Pit Initiation Mechanism at MnS Inclusions in Stainless Steel: Synergistic Effect of Elemental Sulfur and Chloride Ions", *Journal of The Electrochemical Society*, **160** (2013), C511-C520.

化学イメージング用
特殊ガラスプレート

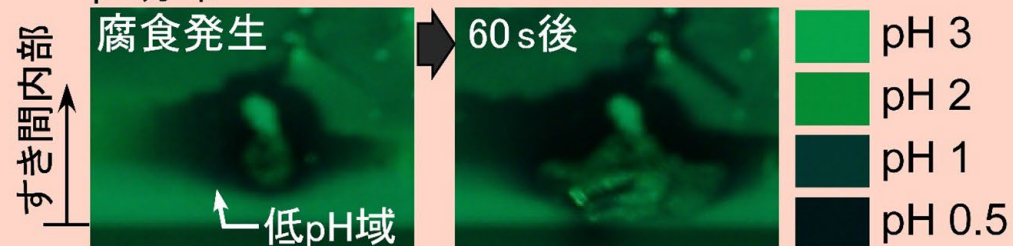
金属/水溶液界面反応の解析



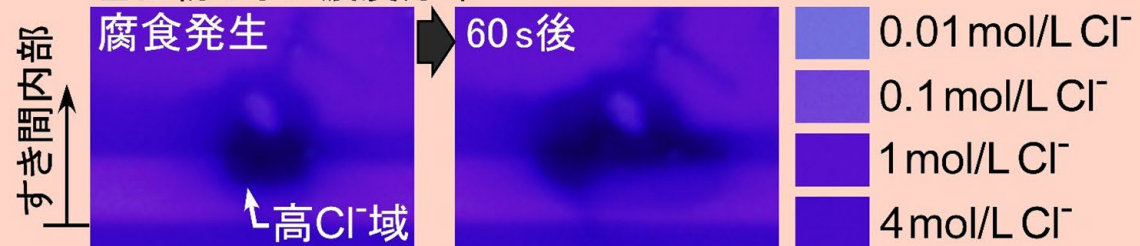
腐食形態(可視光での観察)



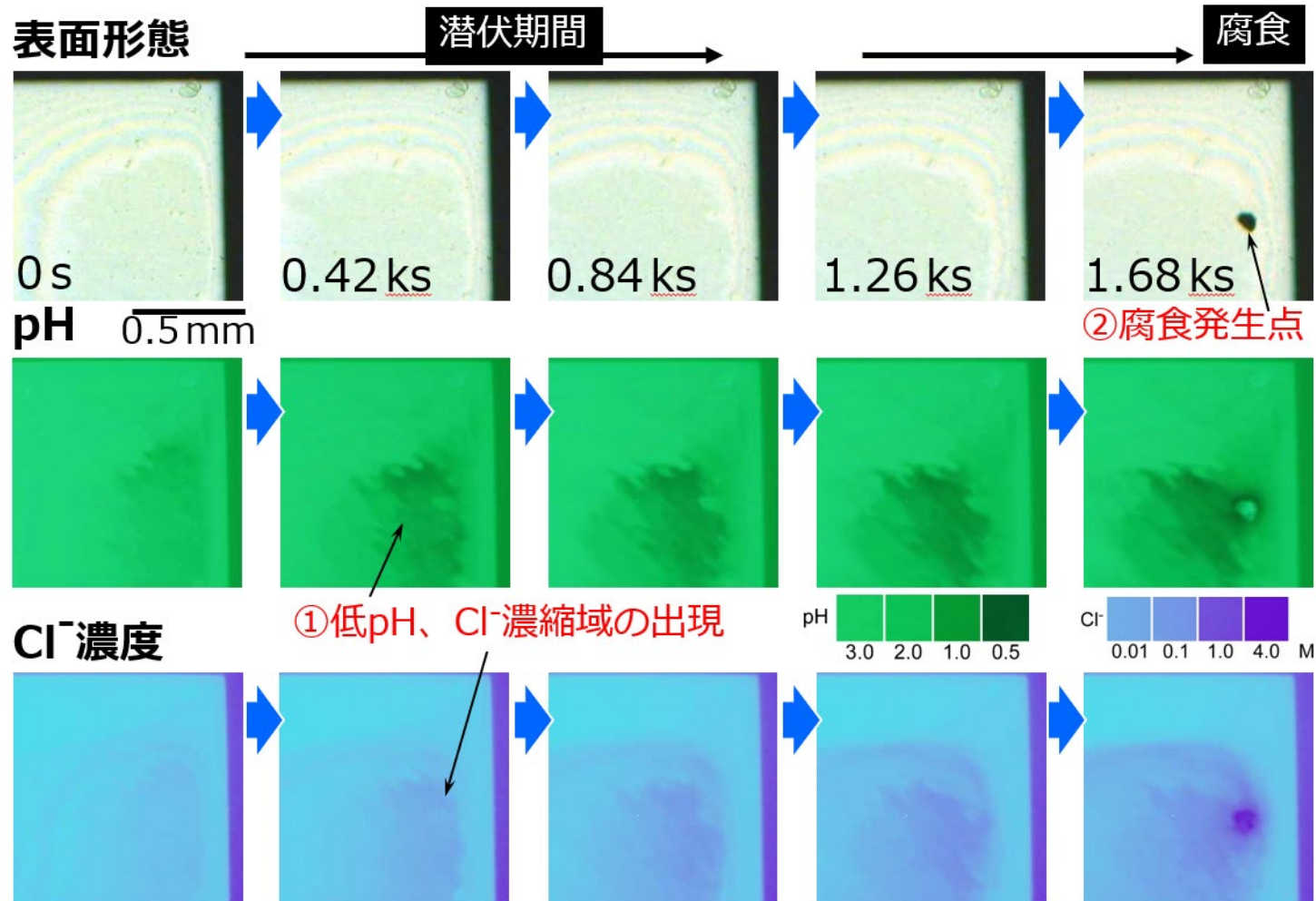
pH分布



塩化物イオン濃度分布

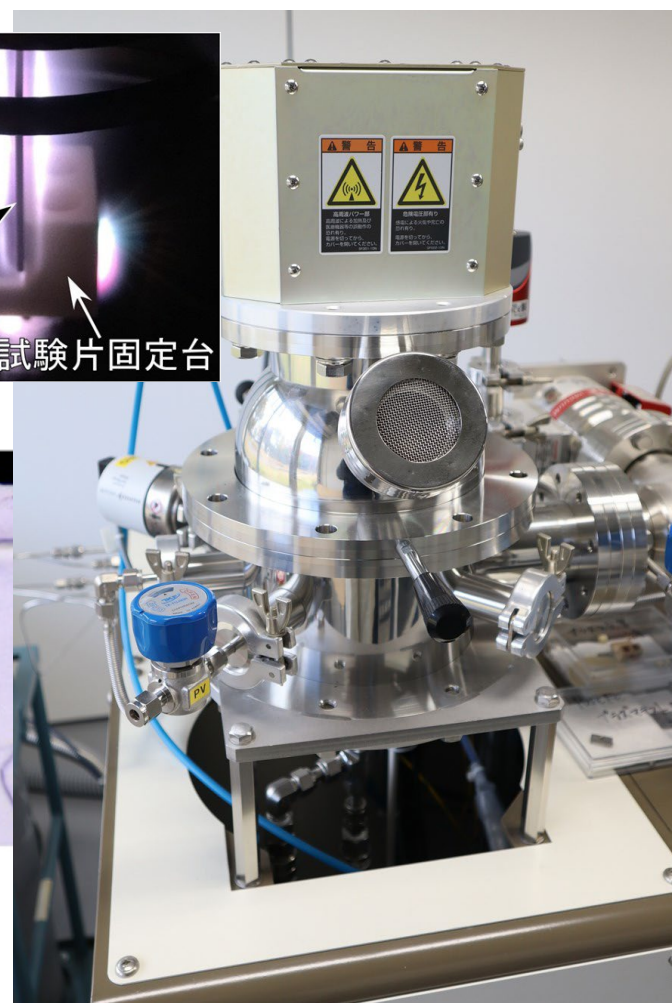
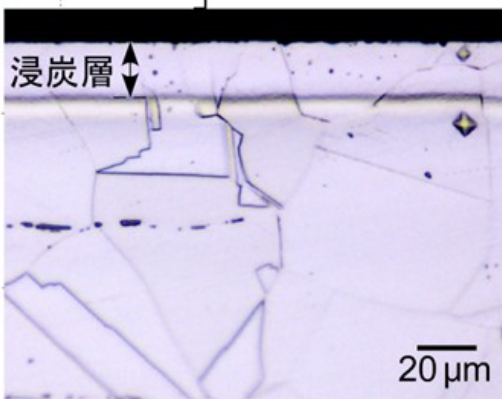
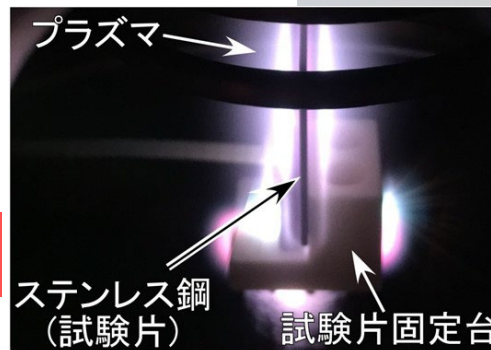
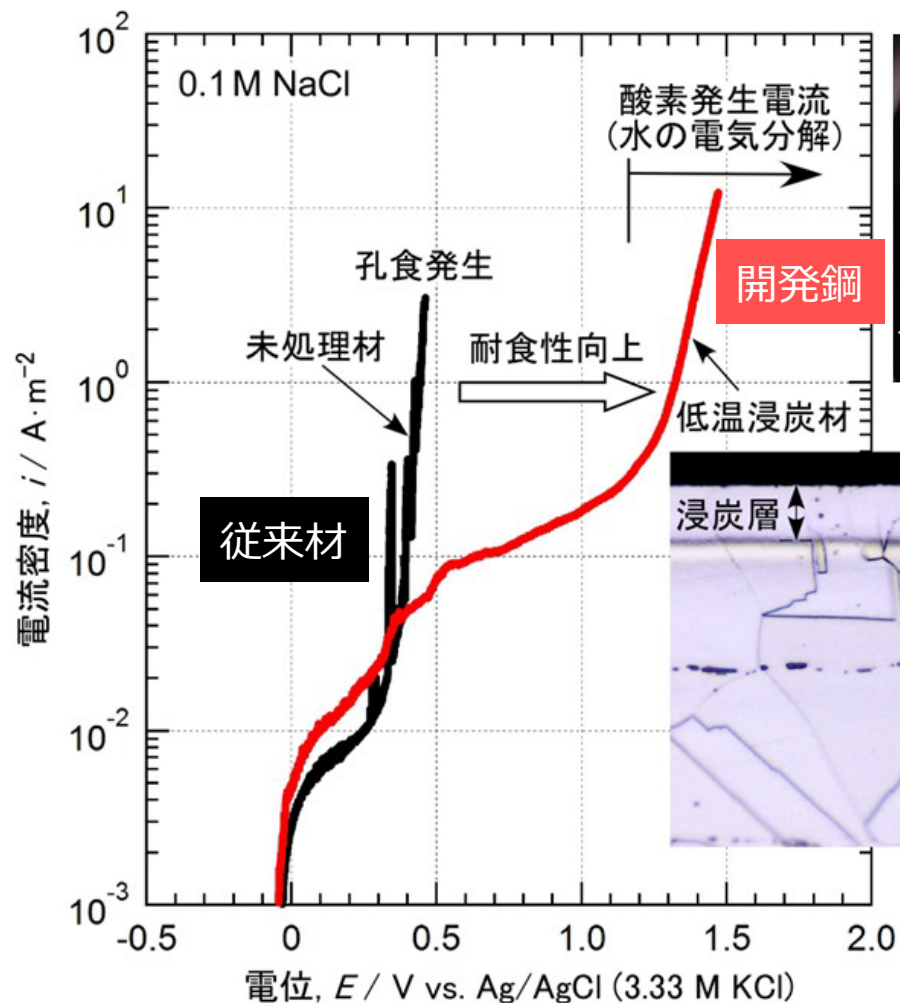


Masashi Nishimoto, Junichiro Ogawa, Izumi Muto, Yu Sugawara, Nobuyoshi Hara : "Simultaneous visualization of pH and Cl⁻ distributions inside the crevice of stainless steel", *Corrosion Science*, **106** (2016), 298-302.



潜伏期間内の反応を解明→①高耐食化法の提案、②寿命予測技術の提案

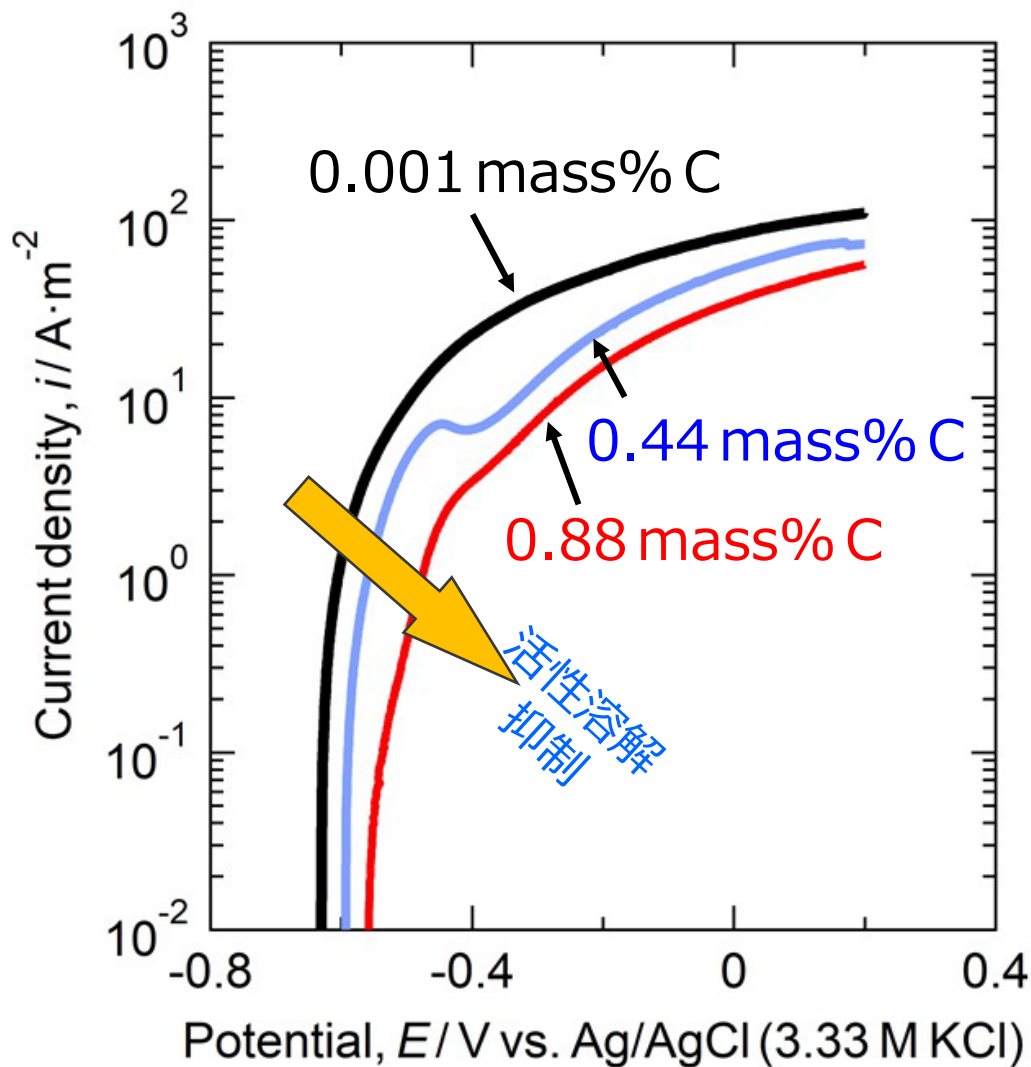
K. Matsumura, M. Nishimoto, I. Muto, Y. Sugawara: "Sudden pH and Cl⁻ Concentration Changes during the Crevice Corrosion of Type 430 Stainless Steel", *Journal of The Electrochemical Society*, **169** (2022), 101506.



➡ 炭素などの軽元素は鋼の耐食性を高める作用がある

A. Chiba, S. Shibukawa, I. Muto, T. Doi, K. Kawano, Y. Sugawara, N. Hara : " Microelectrochemical Aspects of Interstitial Carbon in Type 304 Stainless Steel: Improving Pitting Resistance at MnS Inclusion", *Journal of The Electrochemical Society*, **162** (2015), C270-C278.

50 mM フタル酸水素カリウム溶液 (pH 4.0) 中での分極曲線



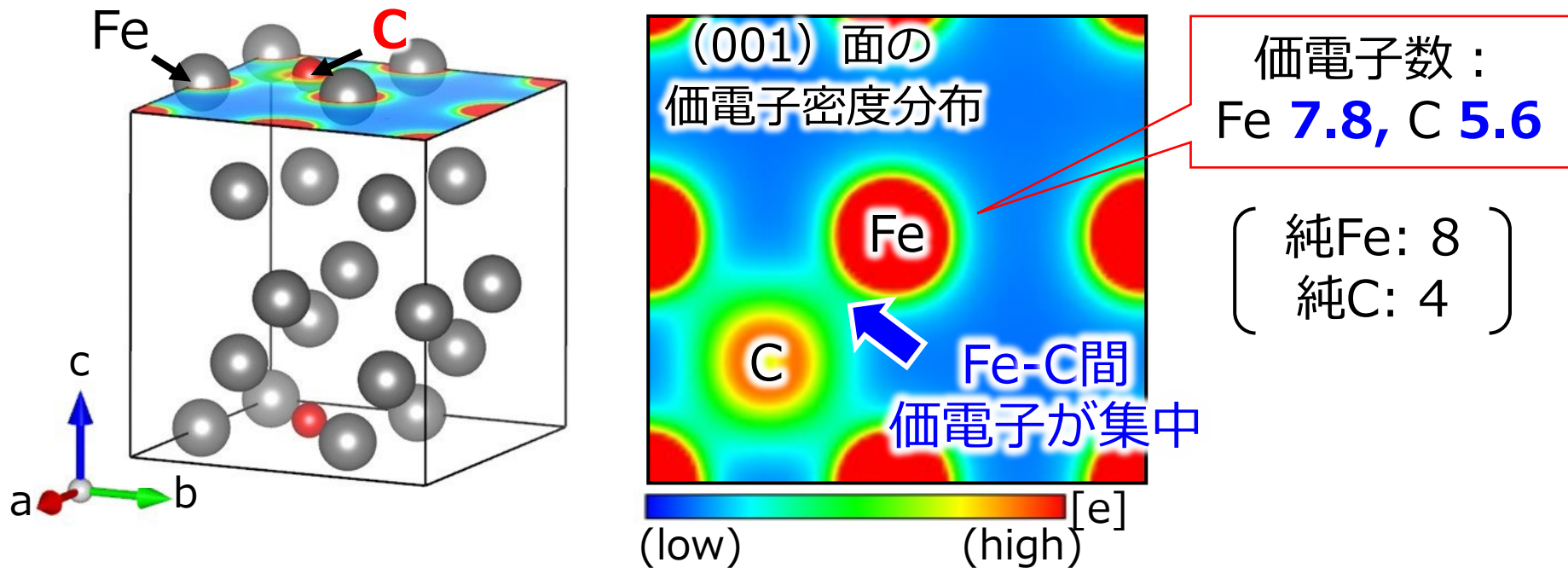
固溶Cによる
活性溶解反応
($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$) の抑制

鉄鋼材料での孔食
鋼の活性溶解により進行

↓
活性溶解の抑制

M. Kadowaki, A. Saengdeejing, I. Muto, Y. Chen, G. S. Frankel, T. Doi, K. Kawano, Y. Sugawara, N. Hara : "Roles of Interstitial Nitrogen, Carbon, and Boron in Steel Corrosion: Generation of Oxyanions and Stabilization of Electronic Structure", Journal of The Electrochemical Society, **167** (2020), 081503.

第一原理計算により、固溶Cの周辺の価電子密度の分布を解析



Feから固溶Cへ**価電子が移行**

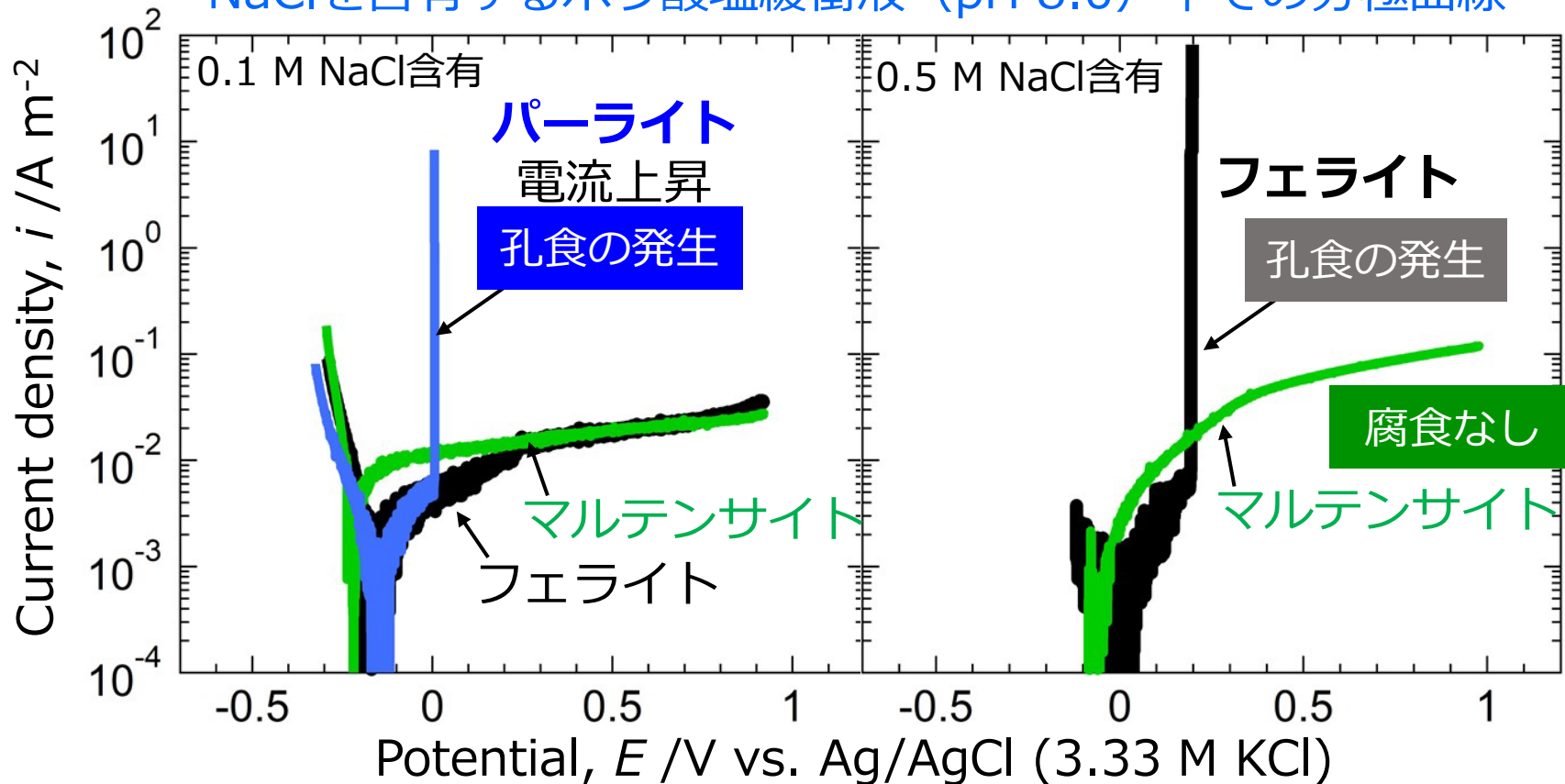
Feの価電子（電気化学反応の要因）の数が減少



Feの電気化学反応が起こる可能性の低下

M. Kadowaki, A. Saengdeejing, I. Muto, Y. Chen, H. Masuda, H. Katayama, T. Doi, K. Kawano, H. Miura, Y. Sugawara, N. Hara : "First-principles analysis of the inhibitive effect of interstitial carbon on an active dissolution of martensitic steel", *Corrosion Science*, **163** (2020), 108251.

NaClを含有するホウ酸塩緩衝液 (pH 8.0) 中での分極曲線

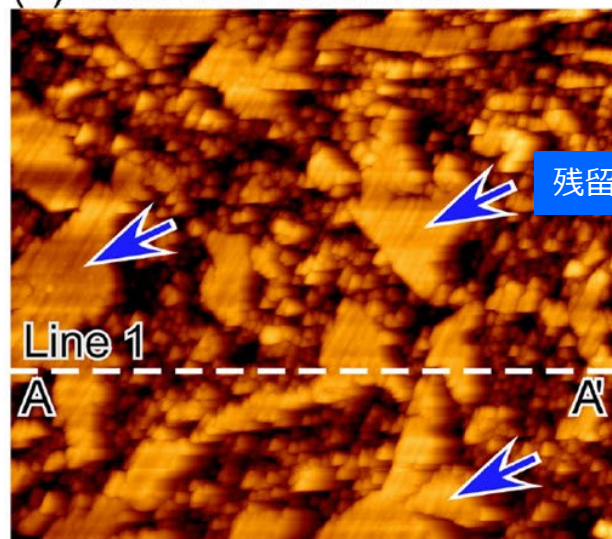


炭素鋼の金属組織の耐孔食性の序列を解明

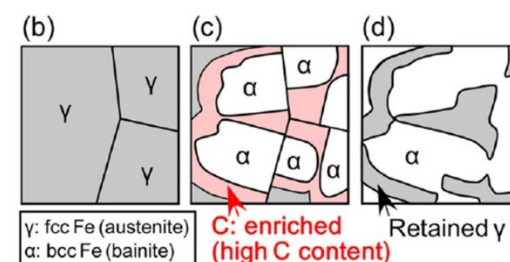
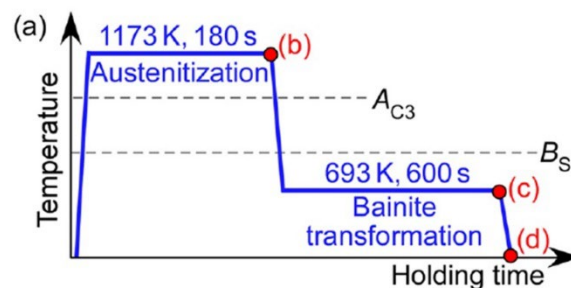
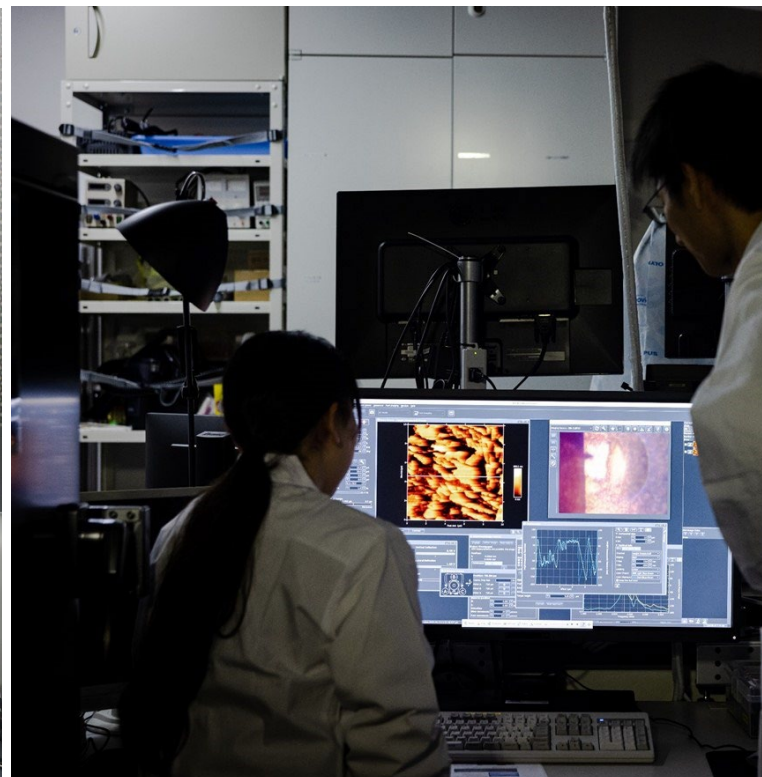
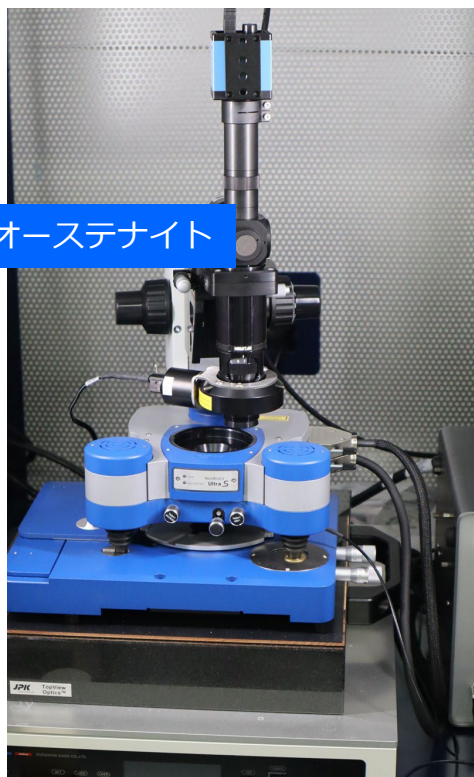
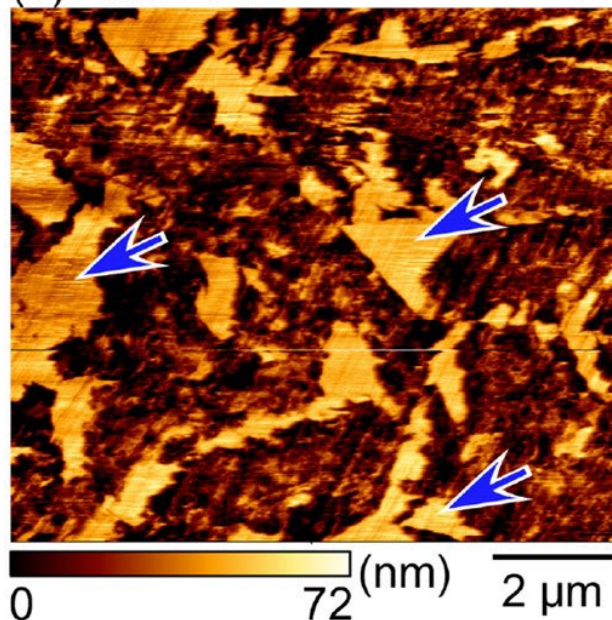
(劣) パーライト < フェライト < マルテンサイト (優)

M. Kadowaki, I. Muto, Y. Sugawara, T. Doi, K. Kawano, N. Hara : "Pitting Corrosion Resistance of Martensite of AISI 1045 Steel and the Beneficial Role of Interstitial Carbon", *Journal of The Electrochemical Society*, **164** (2017), C962-C972.

(a) Just after immersion

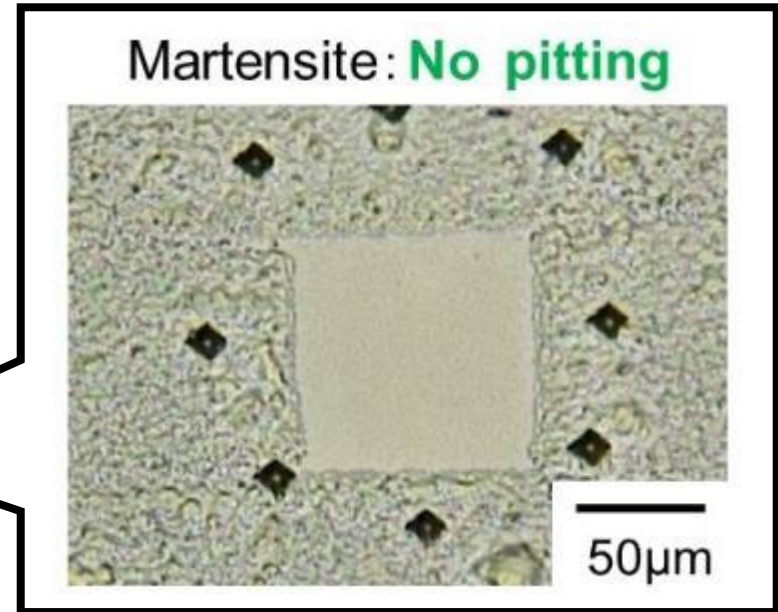
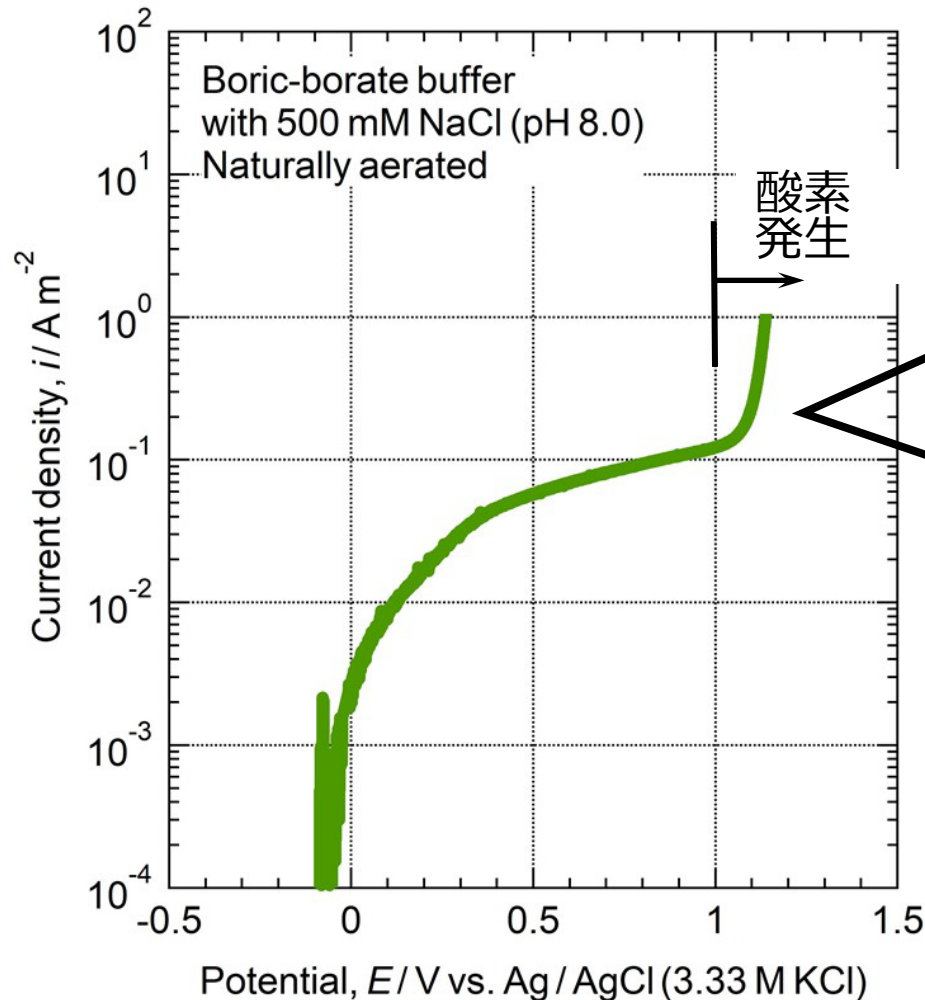


(b) After 2 h



M. Kadowaki, I. Muto, Y. Sugawara, N. Hara : "Beneficial role of retained austenite in pitting corrosion resistance of Fe-C-Si-Mn steel in chloride environments", *Corrosion Science*, **200** (2022) 110251.

試験片：0.45mass%C鋼(S45C)市販材棒鋼(微量S添加材)



塩化物水溶液中でも
「孔食発生せず」

- ・「鋼」：本来は優れた耐食性を備えている
- ・その特性を、いかにして引き出すか？

1. ナノレベルでの腐食反応解析技術の高度化
2. 高耐食エコマテリアルの開発
 - ・ 軽元素を利用した鋼の高耐食化
 - ・ 腐食の起点を制御する材料設計指針の提案