

AI を用いた電子顕微鏡像の結晶形状解析 Crystal Shape Analysis of Scanning Electron Microscope Images Using AI.

内田 美幸[†] 穴戸 龍之介[†] 神内 拓真[†] 早瀬 麻穂[†] 織田 達広[†] 塩見 康友[†]
Miyuki Uchida Ryunosuke Shishido Takuma Jinnai Maho Hayase
Tatsuhiko Oda Yasutomo Shiomi

1. はじめに

セラミック製品の開発においては、その結晶形状によって製品性能が決まるため、製造プロセス開発や結晶の出来栄評価のために、走査型電子顕微鏡で撮像した結晶形状と製造プロセスや特性を関連付けている。しかし、電子顕微鏡像の解析には高度な画像処理技術が求められること、人手作業による電子顕微鏡像の解析業務は作業負荷が大きいことにより、複雑な結晶形状を十分に解析できず、官能的な評価に留まっている。また、セラミック製品に限らず、類似製品においても同様に製品開発で電子顕微鏡による観測がおこなわれていることから、電子顕微鏡像の形状解析の自動化が求められている。

そこで、我々はこのような電子顕微鏡像の解析を効率化するため、AIによる電子顕微鏡像の結晶形状抽出技術と統計的形状分析による結晶形状分析技術を組み合わせた、電子顕微鏡像の結晶形状解析技術を開発している。

2. AIによる電子顕微鏡像の結晶形状抽出

今回、電子顕微鏡像から結晶形状を抽出する手法として、pix2pix^[1]と呼ばれる画像変換 AI を選定した。pix2pix は、入力画像とそれに対応する出力画像をペアで学習させることで、線画から写真への変換や、白黒写真からカラー写真への変換が可能となるスタイル変換 AI である。本検討では、入力を電子顕微鏡像、出力を結晶像としたペア画像で学習を実施した。

画像は、製品の任意の箇所を 1024×712 画素の電子顕微鏡像を撮像し、電子顕微鏡像の結晶位置を教示した二値画像を基準ペアとした。用意した 9 ペアのうち、7 ペアを学習データ、2 ペアを検証データとした。pix2pix は 256×256 画素を入出力とするモデルであるため、学習の際は各画像から 256×256 画素をランダムに切り出し学習を行った。また、少量の学習データでも結晶像の生成を可能にするため、電子顕微鏡像の撮像時に発生しうる撮像ばらつきを考慮して学習データの拡張を施した。推論の際は電子顕微鏡像を 256×256 画素のパッチに分割して推論し、出力された画像を再結合して結晶像を生成した。

AI で出力した結晶像(AI 出力)、手作業で抽出した結晶像(正解)の一部拡大図を図 1 に示す。図 1 より、AI により電子顕微鏡像の結晶形状を概ね抽出できたが、結晶像(AI)では結晶がない箇所でも結晶形状を誤って抽出してしまうことを確認した。このような結晶形状の誤抽出は、学習データ量が十分ではなく、結晶間の距離が離れている同様の画像が少ないために発生したと考えられる。

結晶像(AI)の確からしさを定量化するため、電子顕微鏡像の各パッチの向きを反転・回転して推論し、AI 出力の反転・回転を補正して再結合した 8 枚の画像の輝度の分散画像を分散 AI 結晶像とした。また、8 画像の最小値画像を最小 AI 結晶像、最大値画像を最大 AI 結晶像とした。図 1 と同じ箇所の分散 AI 結晶像、最小 AI 結晶像、最大結晶像を図 2 に示す。分散 AI 結晶像は AI 出力の確からしさを示しており、確からしさが低い箇所が白く映る。図 2(a)の分散 AI 結晶像は、結晶がない箇所でも AI 出力の確からしさが低くなっており、誤認識が発生しやすいためであることを確認した。本検討では、結晶像(AI)の統計画像から尤もらしい結晶像である最小 AI 結晶像を用いることで、人手作業とほぼ同等の結晶像を得られることを確認した。

3. 統計的形状分析による結晶形状分析

走査型電子顕微鏡で撮像した結晶形状と製造プロセスや特性を関連付けて、製造プロセス開発や結晶の出来栄評価をするため、AI で出力した結晶像から統計的形状分析^[2]により結晶形状を定量化した。ある製造パラメータを変えたときの結晶サイズの確率密度分布の違いを図 3 に示す。図 3 より、製造パラメータが高くなるほど結晶サイズが大きくなる傾向を確認した。

4. おわりに

電子顕微鏡像の解析効率化に向け、AI による結晶形状の抽出検討を実施した。分散画像を用いることで AI 出力の確からしさを定量化可能であること、少数の学習データでもいくつかの統計画像から適切なものを選択することで人手作業とほぼ同等の結晶像を得られることを確認した。さらに、抽出した結晶像を統計的形状分析により数値化することで、製造条件による結晶形状の違いを評価できることを確認した。定量化した結晶形状と製造条件や特性データとを関連付けることで、製造プロセスの迅速な決定や特性予測が可能となり、製品開発効率の向上が期待される。

参考文献

- [1] Phillip Isola, Jun-Yan Zhu, Tinghui Zhou, Alexei A. Efros, "Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks," Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, (2017).
- [2] Dryden, I. L., and K. V. Mardia., "Statistical Shape Analysis, with Applications in R. Second Edition.", Chichester: John Wiley and Sons, (2016).

[†] 株式会社東芝 総合研究所 生産技術センター,
TOSHIBA CORPORATION

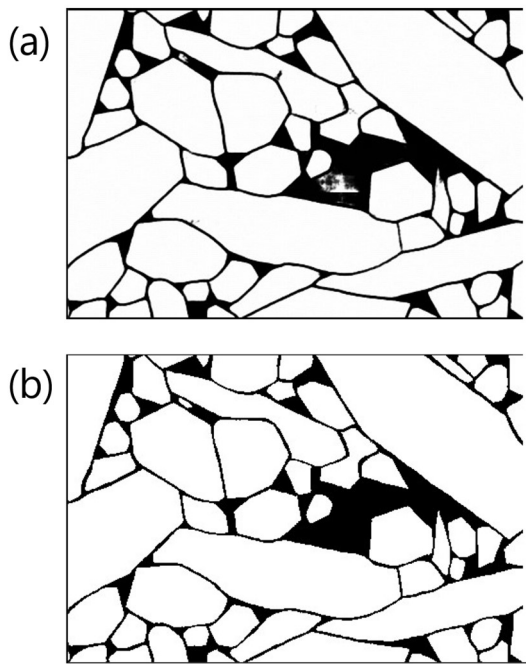


図 1 検証データ
(a)結晶像(AI)、(b)結晶像(正解)

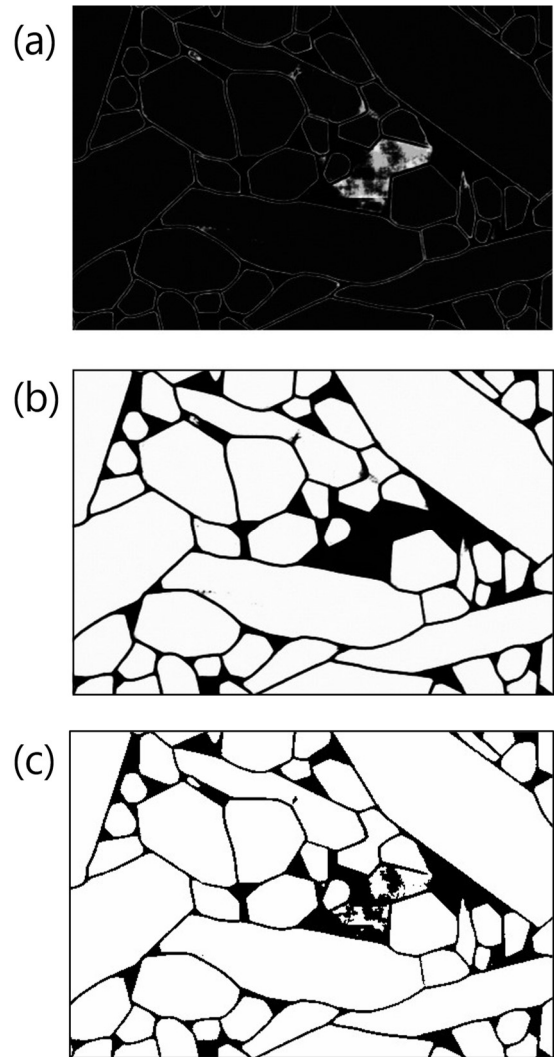


図 2 統計処理後の AI 結晶像
(a)分散 AI 結晶像、(b)最小 AI 結晶像、
(c)最大 AI 結晶像

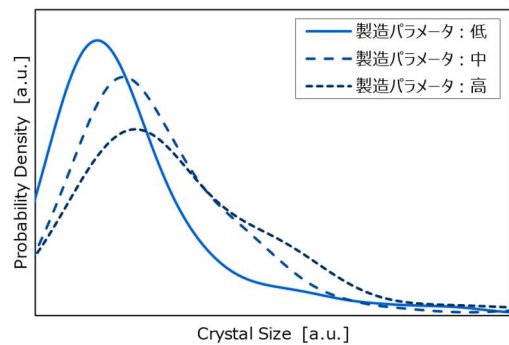


図 3 結晶サイズの確率密度分布