

深層学習を用いた金属組織の分類

長井悠貴† 坂知樹†

金沢工業大学†

1. はじめに

本研究では、深層学習を用いたセマンティックセグメンテーション手法を電子顕微鏡組織画像に取り入れ、1つの推論モデルを用いて多条件かつ多種類の金属組織を自動で高精度かつ高速に分類する手法の確立を目指す。

アルミニウム(以下、物質名は元素記号で表記)合金は工業的物性値の向上のため、液体状態で添加物を与えることで結晶粒を微細化させる⁽¹⁾。しかし、微細化の評価に用いる EPMA 元素マッピングや電子顕微鏡画像の二値化処理には以下のような問題があった。すなわち、EPMA には膨大な工数と多額の費用がかかり、電子顕微鏡画像の二値化処理は閾値設定に評価者の任意性が介在する上に膨大な工数がかかった。これまでも機械学習を用いた画像認識による金属組織の分類についての報告は存在したが⁽²⁾、それらの従来手法は、撮影条件の異なる画像を学習させると推論精度が低下した。そのため Al 合金のように種類が多く、種類毎に撮影条件を変化させる Al のような合金への適用は難しかった。

そこで本研究では、この第一段階として特定の金属組織の電子顕微鏡画像に対して深層学習を用いたセマンティックセグメンテーション手法を適用し、その有効性を検討した。

2. セマンティックセグメンテーション

本研究では、セマンティックセグメンテーションのニューラルネットワークモデルの1つである PSPNet⁽³⁾を用いて、金属組織の電子顕微鏡画像に対する深層学習の有効性を検討した。

PSPNet とは、一般的なセグメンテーションネットワークと同様に、畳み込み処理を行って特徴を抽出し特徴マップを作成する Encoder 部分に加えて、抽出した特徴マップを基にピクセル毎に分類した結果を入力画像の大きさまで復元する Decoder 部分を有している。他と大きく異なる点として、Encoder と Decoder の間に Pyram-

id Pooling Module を備えている点が挙げられる。すなわち、Encoder で抽出した特徴に、異なる4つの大きさで pooling を行い、画像全体の大きな特徴から画像細部の細かい特徴までを併せ持った特徴マップを用意することで、鮮明なセグメンテーションを行う事を可能とした。

3. 実験

3.1 実験環境と教師データ

本研究では、金属試料として Al-Si-Mg 系の Al 铸造合金の1つである AC4CH に Na を添加し、Si の結晶粒を微細化させたものを用いた。結晶粒の微細化効果を確認するため、Na の添加量が 6ppm 未満の試料と 27ppm の試料を作成した。また、電子顕微鏡は Olympus 製の BX53M を用い、拡大倍率 200 倍で撮影を行った。

学習データセットとして、目視で Al 部と Si 結晶粒部の正解付けを行ったものを用いた。Na を 6ppm 未満添加した試料に対して正解付けした教師画像が 24 枚、27ppm の試料の教師画像が 25 枚の計 49 枚であった。

3.2 実験方法

データセットのうち 49 枚に対して学習を行い、作成したモデルを用いて未知の画像 1 枚に対して検出(推論)を行い、同じ画像に対して二値化処理を行った結果と比較した。

3.3 評価方法

未知画像には教師画像と同様に、目視で正解付けを行った。この正解データと実験結果の画像を比較し、Table1 に示した分類指標を基にピクセル数をカウントした。ここで、TP, TN, FP, FN はそれぞれ、真陽性、真陰性、偽陽性、および偽陰性の意である。

Table1. ピクセル毎の分類指標

	教師データが Si	教師データが Al
推論結果が Si	TP	FP
推論結果が Al	FN	TN

評価指標には、Accuracy(正解率)=TP/(TP+FN), F 値(ダイス係数)=2TP/(2TP+FN+FP), IoU(Jaccard 係数)=TP/(TP+FP+FN)を用いた。

4. 結果と考察

Figure1 には元画像, Figure2 には元画像に対して PSPNet で推論を行った結果, そして Figure 3 には元画像を二値化処理した画像を示す. また, Table2 には各手法の正確性の表を示す.

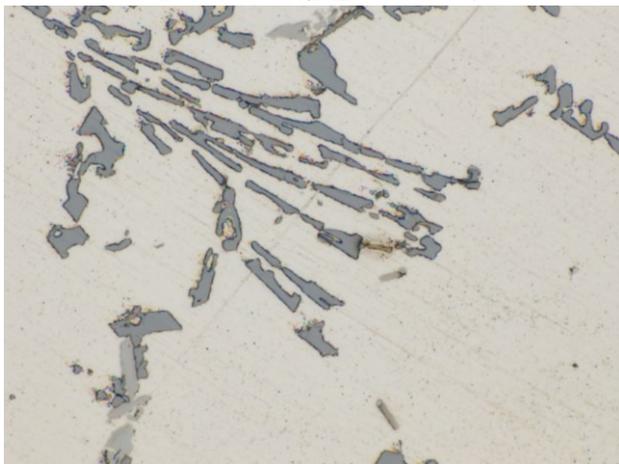


Figure1. 元画像 (Na<6ppm)

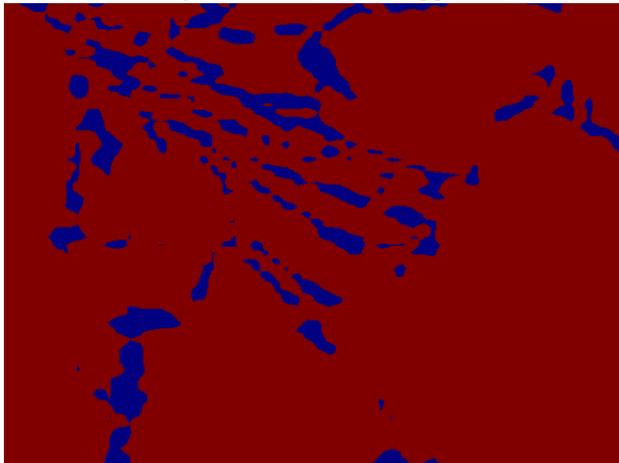


Figure2. PSPNet の推論結果

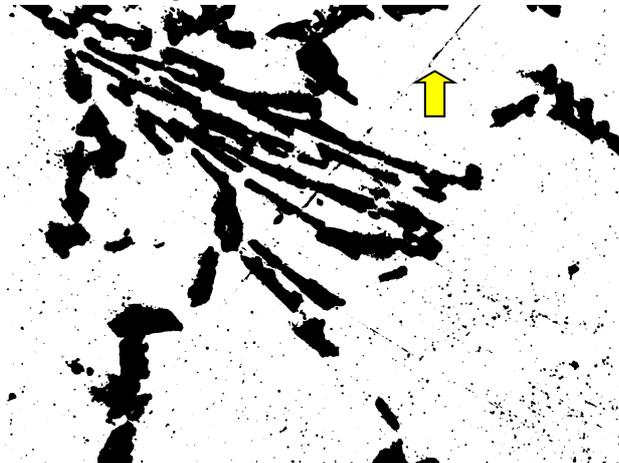


Figure3. 二値化処理した画像(閾値:193)

Table2. 各手法の正確性

	Accuracy	F 値	IOU
PSPNet	95%	76%	61%
二値化	92%	75%	60%

実験の結果, いずれの評価指標についても PSP Net の結果が二値化の結果よりも高い指標を示した. Figure1 に示すように元画像には金属表面の微細な凹凸による雑音成分が含まれている. 二値化では結晶粒と雑音の分離が難しく Figure3 の矢印部のような筋状の雑音を多く検出してしまった. これに対し, Figure2 に示すように PSP Net はこのような雑音成分に頑強であるため, 二値化よりも高い指標を示したと考えられる. この点において深層学習の有効性が確認された.

一方, PSPNet において正確に結晶を検出しているかの指標となる IoU が 61%にとどまった原因としては, 学習画像の大きさが影響したと考えられる. これは, 小さな結晶粒が検出されていないことから分かる. 画像は撮影時に 2664 x 1998[pix]であったが, GPU メモリの容量の制約で 475 x 475[pix]に縮小して学習をかけたことが影響した. 今後は, より大容量の GPU を用いて高解像度の画像に対して学習を行っていく.

5. まとめ

本稿では 1 種類の金属に対して深層学習を用いた組織の分類を行い, その有効性を確認した. 本研究の最終的な目的は複数の金属組織の分類であるため, 今後は検出可能な組織数を増やす予定である. また, PSPNet を金属組織の分類に特化したモデルに改良していく予定である.

謝辞

本研究は, 公益財団法人 TAKEUCHI 育英奨学会 (takeuchi2019-J-19, 代表: 坂 知樹) の助成を受けたものである. また, 試料の作成にご協力頂いた谷田合金株式会社, 撮影にご協力頂いた富山県産業開発センターに御礼申し上げます.

参考文献

(1) 織田和宏, コマロフ・セルゲイ, et al. “超音波照射による過共晶 Al- Si 合金の初晶 Si 微細化とダイカストへの適用.” 軽金属, 2011, 61.4: 149-154.
 (2) 田口茂樹, et al. 「先進的画像処理による組織検出」 鉄と鋼, 2017, vol. 103, No. 3: p142-148.
 (3) ZHAO, Hengshuang, et al. “Pyramid scene parsing network”. In: IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).” 2017. 2881-2890.