

材料画像評価への AI 技術の適用

Application of AI Technology to Material Image Evaluation

下 寄 ゆ り

要 約 材料開発の製品評価の現場では、材料のマイクロ・ナノスケールの形状とその材料が発現する機能の関連を捉え、新材料の開発や製造プロセスの改善をするといった活動が行われることがある。材料の見た目の形状は、電子顕微鏡や原子間力顕微鏡等の高分解能な撮像装置で取得した画像に対し、目視による手作業で定量することが多い。この評価方法の課題として、評価に適した画像の撮影や画像処理ソフトのパラメータ設定が作業者のスキルに依存するため、解析結果にバラつきが生じるということが言われている。当社では、材料業界における画像評価業務の品質安定化のソリューションとして、AI (Artificial Intelligence) 技術を導入した画像解析ソフトを開発した。このソフトウェアにより、特定の作業者だけが持つ評価指標を他の作業者が継続的に利用・改善できるようになる。これによって、解析現場の評価指標の同等性を維持し続けることができ、製品品質や機能の向上に役立てることができる。

Abstract In the field of product evaluation in materials development, activities such as the development of new materials and the improvement of manufacturing processes are conducted with understanding the relationship between the micro- or nano-scale shapes of materials and the functions they exhibit. The apparent shape of a material is often quantified manually by means of visual inspection instead of images acquired with high-resolution imaging devices such as electron microscopes and atomic force microscopes. One of the problems with this evaluation method is the inconsistency of the analysis result, because it depends on the skill of the operator to take suitable images for evaluation and to set the parameters of the image processing software. We have developed an image analysis software with AI (Artificial Intelligence) technology as a solution for uniform quality of image evaluation work in the materials industry. This software will enable every worker to continuously use and improve the evaluation indexes that only specific worker has. This will help to maintain the equivalence of evaluation indices at the analysis site, which can be used to improve product quality and functionality.

1. はじめに

世の中のあらゆる製品は、多くの素材を加工・合成・組み立てることによってできている。特に電化製品は、製品自体は海外メーカー製でも、製品を構成する部材は日本メーカー製であることも多い。当社（大日本印刷株式会社）も2021年現在、液晶テレビに組み込まれる偏光板の表面に貼る、外光の映り込みを抑える機能性フィルム（反射防止フィルム）において世界トップシェアを誇っている。このような機能性材料の開発は、開発者が長年培った経験を基に行われており、個人の中で醸成された材料合成のノウハウこそが企業の財産となっている。

本稿では、材料開発分野向けに当社が開発した「DNP 粒子画像解析ソフト」を紹介する。近代までの製品はメカニカルな部品によって機能が実現されていたが、小型化・高機能化が進

む近代の製品の機能は、よりミクロなスケールで様々な特性を持つ機能性材料によって実現されるようになってきている。機能性材料の特性に強く影響を与える要素の一つは原材料であり、多くの場合、粉体の形態で加工に用いられるため、原材料の粒子を制御することが近代の製品の根幹を支えていると言える。ミクロンオーダーの原材料粒子の大きさなど形状を管理することで、機能性材料の性能をバラつきなく制御できるようになるため、材料開発者は多くのリソースをかけて原材料粒子の評価を行ってきた。当社の研究開発部門でも同様の活動が行われてきたが、手作業による原材料粒子の評価は作業時間的にも心理的にも開発者の負担が大きいことがわかり、評価の自動化、迅速化を目的に本ソフトウェアの開発に至った。原材料粒子の評価を自動化することによって、材料開発者を非生産的な作業から解放し、本来の材料開発であるプロセス検討の生産的な作業に注力してもらうことができる。機能性材料の開発者の活動を支援し、日本が世界に誇る材料技術の開発を推進する一助となりたいと考えている。

2章では、材料開発業界における課題を説明し、3章では本ソフトウェアの機能と特徴を述べる。4章および5章では、実際の解析例を紹介する。

本ソフトウェアによる解析結果は、製造工程のパラメータと物性測定値を組み合わせ、機能性材料開発を加速するマテリアルズ・インフォマティクスに投入することで、より多くの益を生み出すことが期待される。

2. 材料評価の課題

材料の評価手法は、合成した材料から力学的・熱的・電磁氣的・光学的な特性をマクロスケールで測定する方法と、表面構造や化学組成、結晶構造をミクロスケールで測定する方法に大分される。計測装置メーカー各社から様々な評価装置が販売されており、材料開発者はそれらの装置を使いこなしながら、開発者自身が工夫をこらした評価手法を組み合わせることで材料の性質・性能を捉えていく。

材料の一形態である粉体などの粒子材料は、そのサイズ（粒子径）によって材料としての特性が大きく変化する。粒子径の評価は、粉体サンプルのレーザや電位の変化から全体の特性を推定する粒子径分布測定装置が用いられているのが一般的である^[1]。この方法の課題の一つとして、測定装置では測定できない物性パラメータがあると言われている。例えば、粒子の実際の形状や個々の粒子の被膜状態、キズなどといったミクロな情報である。このような情報を得るためには、電子顕微鏡などの高解像度な撮影装置で画像を取得し、目視観察をする方法がとられている。観察結果を画像から定量評価するための数値化作業は、現状では手作業の場合が多く、例えば画像処理ソフトで二値化パラメータを手動で求めるとか、画像を印刷し粒子径を一粒ずつものさしで測るといった方法が用いられている。

画像評価の課題として、粉体画像の多くは粒子の凝集（重なり合い、結着等）があり、粒子の本当の形状が見えていないことがある。またSEM（走査型電子顕微鏡）画像はその装置特性上グレースケールであり、粒子の輪郭や形状を示すグレー階調と粒子自体の組成によるグレー階調が区別されないため、明るい粒子と暗い粒子が混在したり、チャージによる画像の乱れやベースラインの調整不備による画像全体の輝度の傾斜が生じたりする。そのため従来の画像処理アルゴリズムを用いたソフトウェアでは個々の粒子の検出処理が難しく、検出できたとしても処理パラメータを画像により調整する必要が生じる。またソフトウェアを扱う作業者のスキルによって異なるアルゴリズムが使用されており、解析方法が個人のノウハウ化すると

いった課題がある。

ソフトウェアを使用せずに画像からアナログ的に測定する場合も、どの程度隠れた粒子を計測の範囲外とするか、どこまで小さな粒子を拾うか、といった判断が評価者に依存しており、数値にバラつきが生じるだけでなく、評価指標の再現が困難である。そのため解析結果の正当性・納得を他者から得るのに時間がかかり、本来時間をかけるべき開発作業に割く時間が短くなってしまふ。

3. DNP 粒子画像解析ソフトの機能と特徴

本ソフトウェアは、画像を入力すると AI (Artificial Intelligence) 技術を用いて粒子を検出・分類し、個々の粒子のデータや粒径分布を出力する。図 1 に本ソフトウェアの概要を示す。入力画像は主に SEM 画像を想定しているが、AFM (原子間力顕微鏡) 画像や光学顕微鏡画像も処理できる。全ての機能は GUI 上で簡易にマウス操作でき、検出・分類処理にかかる時間は画像 1 枚につき数秒程度である。

本ソフトウェアの機能は、個々の粒子の形状情報を取得する「粒子検出・分類機能」と、取得した情報から、粒子群としての傾向を表示する「グラフ機能」、そして検出・分類 AI を様々な画像に適応させる「学習機能」を備える。

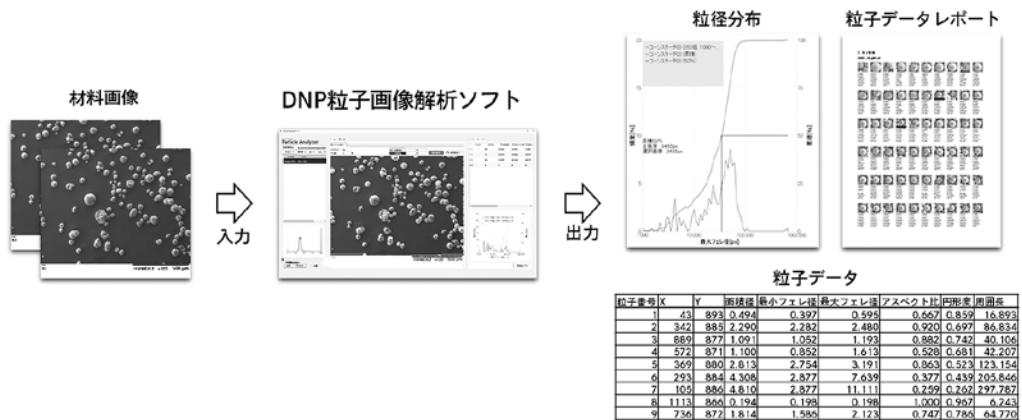


図 1 本ソフトウェアの概要

3.1 粒子検出・分類機能

本ソフトウェアには 2 種類の AI を搭載している。一つは画像から粒子輪郭をセグメンテーションする AI、もう一つは検出した粒子を多値分類する AI である。ユーザは本ソフトウェアに画像を入力し、各 AI 機能においてニューラルネット構成およびパラメータ値を格納したモデルファイルを選択する。実行ボタンを押すと検出や分類を開始する。画像は複数枚を連続処理できるので、その日一日で撮影した画像を夜間に処理させておくという運用もできる。

3.2 グラフ機能

粒子検出機能で処理を行うと、検出した個々の粒子のデータを記載した csv ファイルが出力される。csv ファイルには、主に粒子のサイズ情報や、アスペクト比や円形度などの形状情報の他、画像上における当該粒子の位置座標 (X, Y) が記載される。詳細に統計を行いたい場合

はこの csv ファイルの情報を基にユーザーが行うことができる。粒子の分散具合を数値化したい場合は、粒子の位置座標の情報を活用するといった解析ができる。粒子のサイズ情報を基に、グラフ画面では粒径分布を確認することができる。粒径は、最大フェレ径、最小フェレ径、面積径が算出される。

3.3 学習機能

粒子検出・分類機能での精度が満足いくものでなかった場合、ユーザーの手で学習作業を行う。図2に学習機能の概要を示す。まず、良好に検出できなかった部分を画面上で領域選択し、学習機能に遷移する。すると、選択した領域を切り出した画像が表示されるので、ペイント機能で粒子と境界を塗り分ける。ここは手作業が必要となるが、細かい作業や難易度の高い作業は不要である。特に専門的な知識も必要としない。ここで画像を塗り分けたら、モデルファイルを選択する。モデルファイルには、全く学習させていない未学習モデルが用意されているため、それを選択して学習ボタンを押すと、今手作業で塗り分けた画像の通りに検出できるようにAIが学習をする。学習データは、最初から大量のデータは必要としない。まずは画像の一部分で前述の作業を行い、そこから徐々に学習範囲を拡げていくことで無駄なく正解に近づくことができる。

従来の画像処理アルゴリズムを組み込んだソフトウェアでは、ユーザーは自身でアルゴリズムを組み合わせることで良好に検出できる方法を模索する必要があった。また画像処理の個々の機能のパラメータをユーザーが自身で調整する必要があった。このアルゴリズムの選定やパラメータ調整はユーザーの判断に任せられる部分が大きかったが、本ソフトウェアの場合は、一度学習させたモデルは他者も使用することができ、またある程度の画像のコントラスト揺れに対しては再調整をほぼすることなく対応することができる。

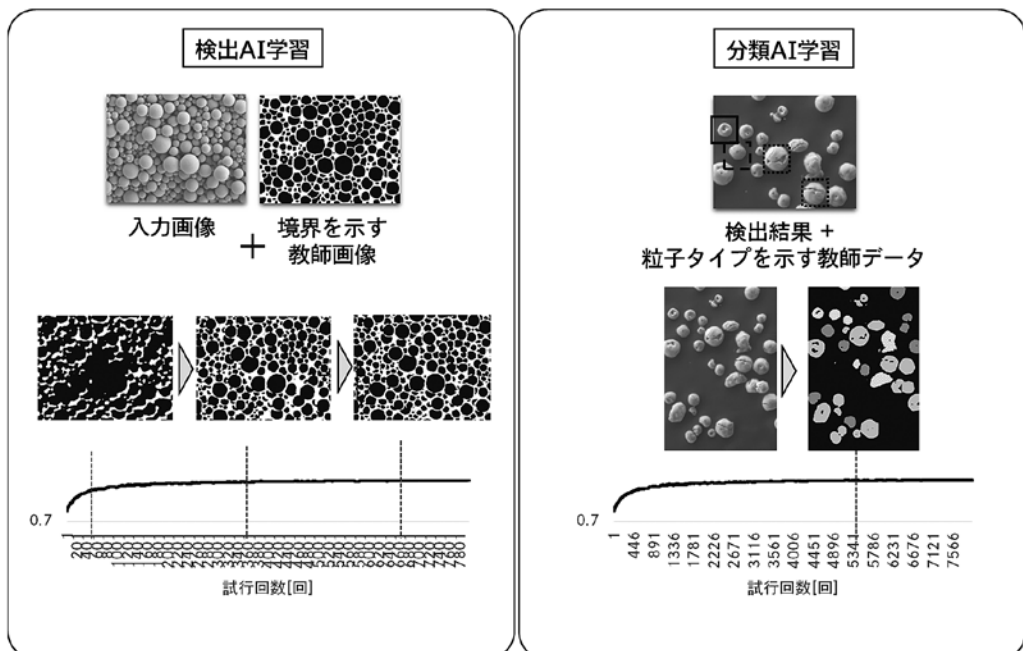


図2 学習機能

4. 処理事例

本章では、SEM で撮影した画像に対して本ソフトウェアで解析した結果を紹介する。

4.1 事例 1：密集した粒子の画像

図 3 は、片栗粉を SEM で撮影した画像である。(a) が元画像、(b) が粒子検出結果である。本ソフトウェアの実際の出力画像は元画像に検出結果をオーバーラップさせたカラー画像である。片栗粉の粉末は大小の楕円に近い粒子で構成されているが、画像上では隣接した粒子同士が接しており、エッジ検出や周波数フィルタなどの従来の画像処理アルゴリズムでは難易度が高い。本ソフトウェアの粒子検出 AI を用いると、境界線の階調の濃淡にある程度のバリエーションがあっても個々の粒子を認識することができる。

右下部分のように粒子が凝集している場合は、表面の粒子のみが検出される。粒子が重なり合っている場合は、後側にある粒子は画像上で見える部分のみが検出される。粒子の元の形状を推定する機能は、現状では搭載していない。

図 3 の画像は全体で約 2000 個の粒子が写っているが、手作業で測定すると約 1～2 時間程度かかると予想される。本ソフトウェアでの検出処理は 5 秒程度で完了するため、測定時間を大幅に短縮することができる。

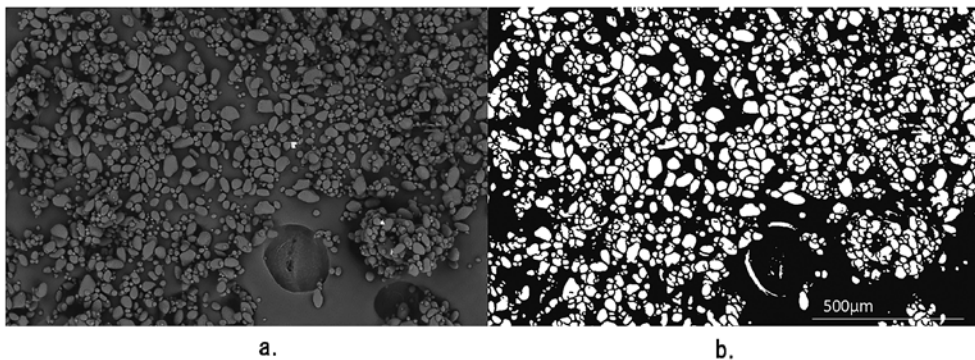


図 3 片栗粉粒子の検出例

4.2 事例 2：複数種類の粒子が混在した画像

図 4 は重曹の多角形の立体的な粒子 A と、丸い小さな粒子 B が混在した状態である。検出機能で全ての粒子を検出したあと、分類機能で粒子 A、B を自動分類した (b)。網掛けパターンの粒子が A、灰色の粒子が B と認識されたものである。円検出などの画像処理アルゴリズムを使用せず AI を用いることにより、対象粒子の形状の制限なく検出することができる。分類処理も AI を使用しているので、分類するための特徴量をユーザが設定する必要がない。学習機能を用いて、粒子の見た目の通りに教師データを付与するだけで粒子を自動分類できるようになる。

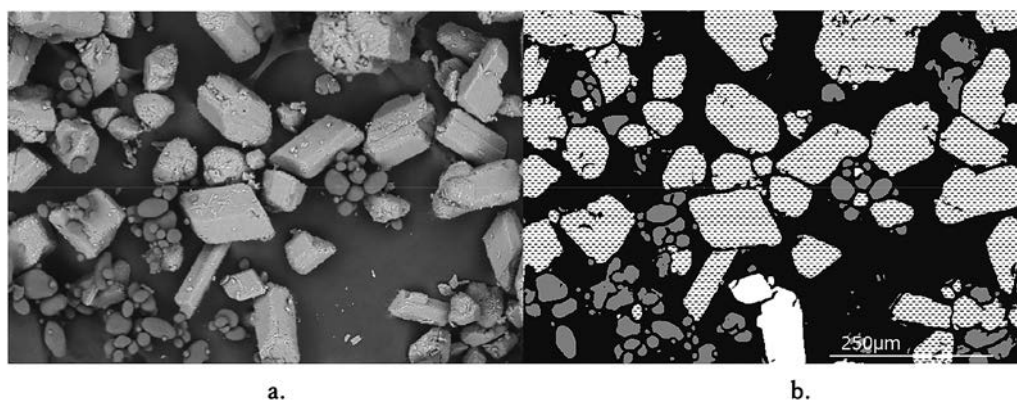


図4 重曹粒子の分類例

4.3 事例3：表面状態が異なる粒子が混在した画像

図5はシリカ粒子の例である．個々の粒子の表面に注目すると，中央部分が凹んだ粒子A，線上のキズが入った粒子B，キズがない粒子Cが混在している．粒子検出後，それぞれの粒子を数個ずつ学習させて自動分類した結果が（b）である．格子パターンが粒子A，灰色が粒子B，網掛けパターンが粒子Cと認識されたものである．各粒子グループの中でも，粒子サイズやキズの入り具合にバラつきが生じており，これらを分類するための特徴量の設計は通常困難と考えられるが，AIを用いることで複雑な作業なくおおよそ見た目通りの表面形状で粒子を分類することができる．

この作業を目視で行う場合，キズの入り方の微妙な具合によって作業員毎に認識のブレが生じ，人によって集計結果に差異が生じると予想される．本ソフトウェアを使用して学習させたモデルファイルを適用すれば，作業員によって結果が異なることはない．誰か一人の判断基準を他者も活用することができ，品質評価基準を標準化することができる．

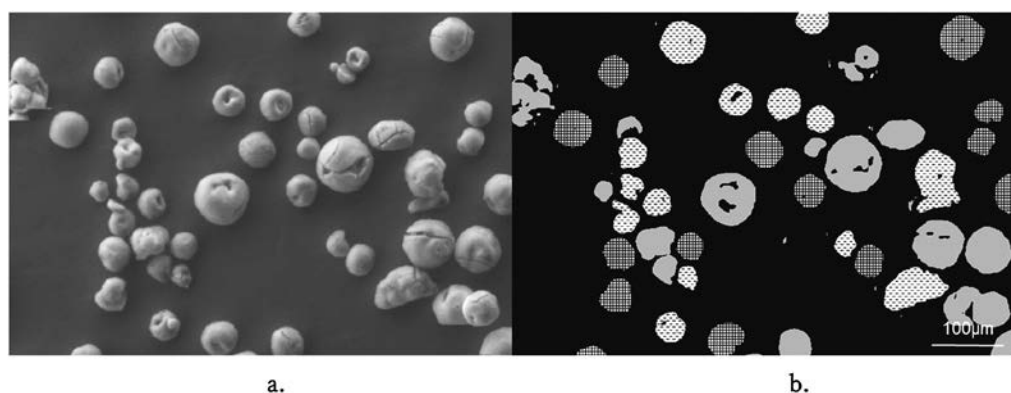


図5 キズ入りシリカ粒子の解析例

5. 解析結果の応用

5.1 トナーの解析

図6は，プリンタートナーを液中に分散して光学顕微鏡で撮影した画像に適用した例^[2]であ

る。この例では、粒子検出結果 (b) から分類機能を用いて単一の粒子 A と二個以上の粒子が結合した粒子 B を分類した (c)。単一の粒子のみを用いて粒度分布を作成したところ、手動で測定したデータと近い分布を得ることができた。従来の画像処理アルゴリズムを用いて同様の処理を行う場合、面積や円形度のデータを閾値で分類するか、結合した粒子を Watershed などのアルゴリズムで強制的に分割するか、といった方法を取るようになるが、前者は作業者の判断による値が生じてしまうため、属人的な部分を減らすという当初の本ソフトウェアのコンセプトからずれてしまう。また後者は、粒子の元々の形状を欠けさせたような形状となるため本来の分布とは異なる分布が得られてしまう。その点、AI 技術を用いると特徴量などの観点とは異なる情報を用いるため、人間の感覚に近い分析を行うことができる。

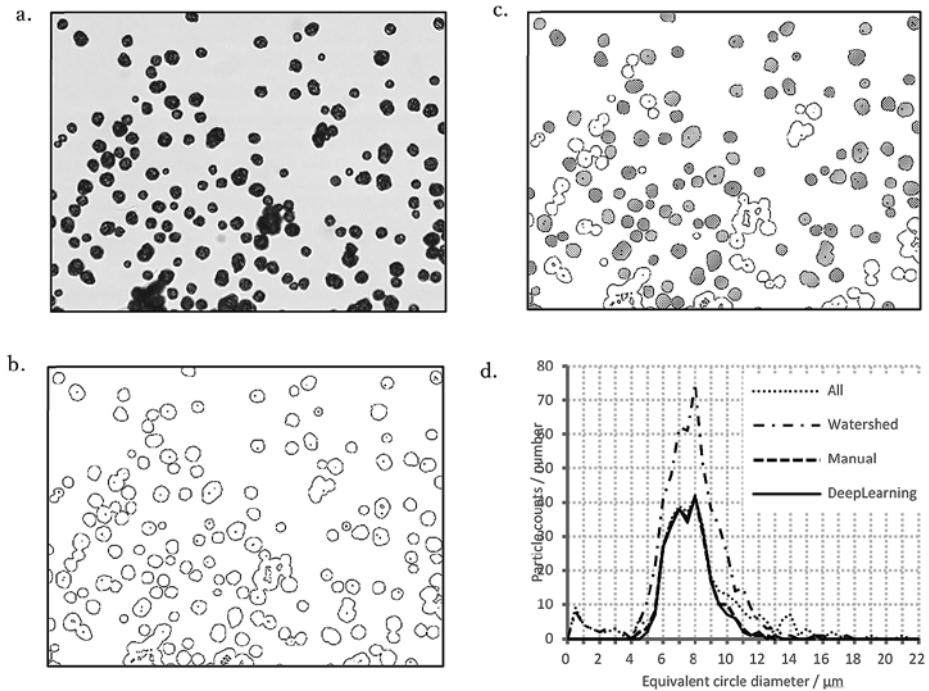


図6 プリントナーの解析例

5.2 機能性フィルムの評価

液晶ディスプレイ等の表面に貼る反射防止フィルムは、フィルム表面に賦形された微小な突起により入射光を散乱させることで反射光を低減する仕組みである。SEMで観察すると、ナノオーダーの突起が賦形されていることが分かる(図7)。この突起には、賦形プロセスの特性上、突起の先端が一つだけの単峰突起と、複数に分かれた多峰突起が発現する。多峰突起の割合によって散乱の特性が変化し、視点角度による反射特性や液晶との干渉によるチラツキやギラツキの出方に差が出る。

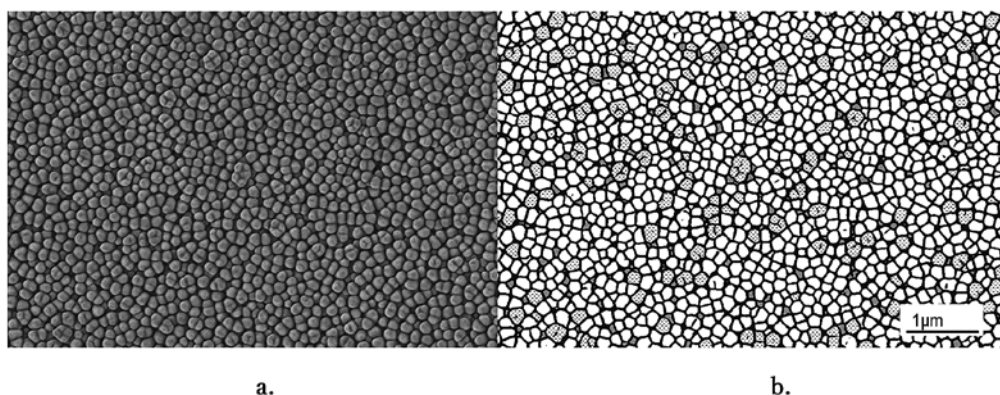


図7 光学フィルムの解析例

解析例は、フィルム表面の画像から単峰と多峰の突起を自動分類したものである。単峰突起が白色、多峰突起が網掛けパターン、単峰だが面積の小さい突起が灰色で示してある。通常はこれらを分類するために目視検査を行い、光学特性との関連付けを行うが、本ソフトウェアを用いることでその計測を迅速に行い、各々の粒子の割合や分布を数値化することができる。これらの結果は製造プロセス上の検査工程で使用したり、特許などのパラメータに使用するなどの活用方法が考えられる。

6. おわりに

本稿では、当社が開発した「DNP 粒子画像解析ソフト」の機能と解析例を紹介した。本ソフトウェアを使用することで、粒子材料を含む材料の粒径分布の確認ができるだけでなく、従来のメカニカルな評価方法では数値化できなかった個々の粒子の形状や模様といった情報を数値化することができる。また AI 技術を使用することにより属人的な作業を低減し、作業者によるバラツキのない基準での評価を迅速に行うことができる。本ソフトウェアは当社ホームページより、ソフトウェアの貸出によるデモや、画像評価の依頼を受け付けている。

今後の発展として、より材料評価に有益となる情報を取得できるような機能改善や、AIの性能向上などを進めていく予定である。材料業界の開発活動は今後も盛んになっていくが、これに役立つ技術と価値を提供していくことで、より未来的な社会に向けて貢献していきたい。

-
- 参考文献** [1] 山本秀夫他, 「今日からモノ知りシリーズ トコトンやさしい粉の本」, 第2版, 日刊工業新聞社, 2014年10月20日, P.82
 [2] 佐波晶, 「粒子形状の測定法の実際(各論) AI・ディープラーニング技術による粒子画像解析」, 化学装置, 工業通信, 2020年2月号, 2020年1月28日発号, 4章5節

執筆者紹介 下 寄 ゆ り (Yuri Shimozaki)

2011 年大日本印刷(株)入社。住空間製品向けの画像処理ソフトウェア開発に従事した後、再生医療分野における AI 画像解析に分野を変え、更にスピンアウトテーマとして材料画像解析に取り組む。

