

マイクロディンプル処理[®]（MD 処理[®]）の ふるい網への適用

株式会社サーフテクノロジー 西谷 伴子
Tomoko NISHITANI

Key Words: マイクロディンプル処理、MD 処理、粉体付着抑制

1. はじめに

ケーキを作るとき、小麦粉をふるう。このことで、ダマになった小麦粉は取り除かれ、均一な粉の状態になる。また、ふるうことで、空気を含ませることができ、生地へのなじみが良くなる。さらにはベーキングパウダーなど、他の成分とも均一に混合しやすくなり、ふんわりとした食感の美味しいケーキが出来上がる。ガーデニングや畑の土壌を作る時は、土をふるう。このことで、土の通気性が良くなり、固まった土をほぐすことができる。また、小石や雑草の種子などが取り除かれ、植物の成長が促されることで、美しい花が咲き、美味しい野菜が収穫できる。このように、ふるい分けは、出来上がりの品質を左右する重要な作業であると言える。一方、ふるい作業においては、トラブルや課題も散見される。代表例としては、ふるいの目詰まりがある。ふるい作業をしていくうちに、粉体がふるいの目に詰まってしまう、ふるい効率が低下する。そして、最終的にはふるうことができなくなってしまう。この課題を解決する1つの方法として、マイクロディンプル処理[®]（MD 処理[®]）がある。MD 処理ではふるい網などのメッシュ表面に微細な凹凸を形成させる。凹凸が形成された表面に粉体が接触すると、平滑面と接触した場合と違って、粉体と表面が多点接触となり、粉体の付着抑制や滑り性の向上などの効果をもたらす。当社では、微細凹凸を粉体付着の抑制に適用する手法を開発し^{1),2)}、MD 処理として、食品・医薬品・化粧品の三品産業を中心に展開している。本稿では、MD 処理のふるい網への適用について紹介する。

2. マイクロディンプル処理（MD 処理）とは？

MD 処理とは、図-1に示すように、直径数 μm ～数十 μm の微粒子を圧縮性気体に混合して高速で部材表面に衝突させ、表面を改質する方法である。MD 処理は、板材でもふるいなどのメッシュ表面にも処理が可能である。いわゆるショットピーニングやサンドブラストと似ているが、使用する投射メディアの形状や粒子径、処理速度、目的などが違う。投射メディアとしてショットピーニングでは直径数百 μm の球形粒子が使用され、サンドブラストでは直径数百 μm の鋭角粒子が使用される。一方、MD 処理では形状を問わない直径数 μm ～数十 μm の微粒子が投射メディアとして使用される。また、投射速度は、ショットピーニングなどでは数十～百 m/s であるのに対し、MD 処理では使用する粒子径が小さいため、より高速での投射速度となる。一般的なブラスト処理は塗装の剥離目的や、コーティングのアンカー効果を目的として使用されるため、投射メディアも鋭角なものが使用されるが、MD 処理の目的はそれとは異なる。MD 処理では寸法変化も少なく、目的に合わせた表面に改質が可能である。

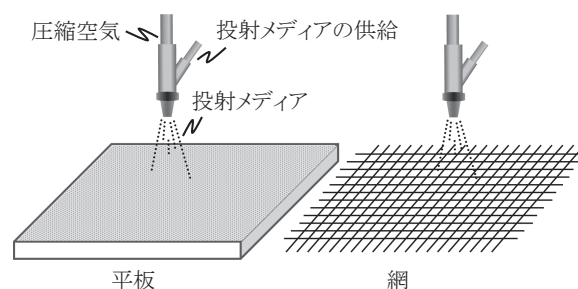


図-1 マイクロディンプル処理の概略図

3. MD 処理の効果

MD 処理の効果についてはさまざまあるが、詳細については既報³⁾を参照されたい。本稿ではふるい網への MD 処理の効果に焦点を当てて触れていく。

3-1 目詰まりの抑制

未処理と、3種類の MD 処理を施した4つの茶こしを用意し、それぞれ一定量の小麦粉をふるった。ふるった後の茶こしを上部から撮影した画像を図-2に示す。使用した茶こしは市販されているごく普通の茶こしである。まず、未処理の茶こしは、MD 処理品3種と比較して、ふるった後の小麦粉の付着量が多いことがわかる。また、3種類の MD 処理品の間でも、小麦粉の付着量に差があった。MD 処理2が最も付着量が少なく、MD 処理1は未処理品ほどではないが、ある程度の量の小麦粉の付着が確認できた。茶こしの線材部分をマイクロスコップで拡大し、観察した結果を図-3に示す。未処理品は小麦粉の目詰まりが発生していることが良くわかる。一方で、MD 処理品、特に MD 処理2は、小麦粉の目詰まりもなく、線材表面への小麦粉の付着も抑えられていることがわかる。このように、MD 処理によって、目詰まりと付着を抑制する優れた効果もたらされる。今回、3種類の MD 処理品で比較をしたが、MD 処理の種類によって効果に違いがあった。それはなぜか。鍵を握るのは“粒子径分布”である。

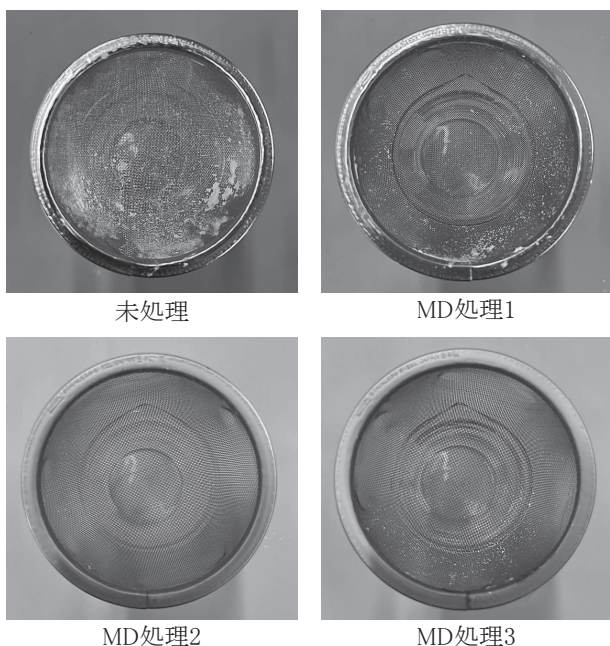


図-2 小麦粉をふるった後の茶こし

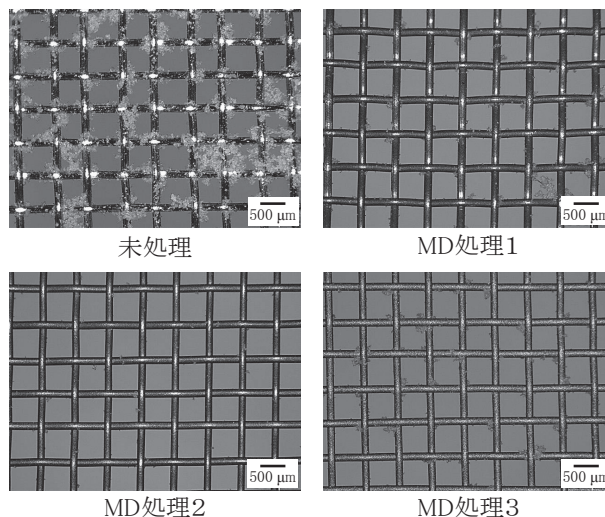


図-3 小麦粉をふるった後の茶こし線材のマイクロスコップ画像

3-2 粉体の粒子径分布と MD 処理

一般的に、粉体には粒子径分布が存在する。たとえば、小麦粉などは5~130 μm 程度、脱脂粉乳などでは5~400 μm とその種類によって幅がある。粒子径分布の粒子径に合わせた凹凸分布が形成できるよう、MD 処理条件を選定することで、大幅な付着抑制効果を得ることができる。未処理品と MD 処理品の茶こし表面の3D 表面観察画像を図-4に示す。未処理品では、ツールマークが確認できるが、MD 処理品はツールマークが消え、表面に微細な凹凸が形成されていることがわかる。MD 処理では、同一箇所にランダムな複数回の投射がなされる。そのため、表面形状は複雑であり規則性を有していない。また、処理に使用する投射メディアの粒子径によって、形成される表面凹凸の大きさは変化する。粒子径の異なる粒子 (54 μm 以下、5 μm 以下) を投射したものと、鏡面 (平滑面) における表面形状のフーリエ変換を行って規格化した結果を図-5に示す。横軸は周期 (ディンプル径) であり、縦軸は規格化した N 数である。表面のディンプル径は、投射粒子径に対応した径を中心とした幅広い分布を有している。表面形状は処理条件 (投射粒子の種類、投射圧力、投射距離など) により、さまざまな形状を形成することが可能であることがわかる。これに対して、食品粉体もさまざまな粒子径分布や形状を有している。粉体層内の粒子が鎖状に接触すると応力鎖が生じると言われる、粒子はごく一部の接触でも、これら応力鎖により、基材表面に保持される。図-6に示すように、平滑面に対して、小麦粉は面接触する。一方、MD 処理品に対して、小麦粉は点接触

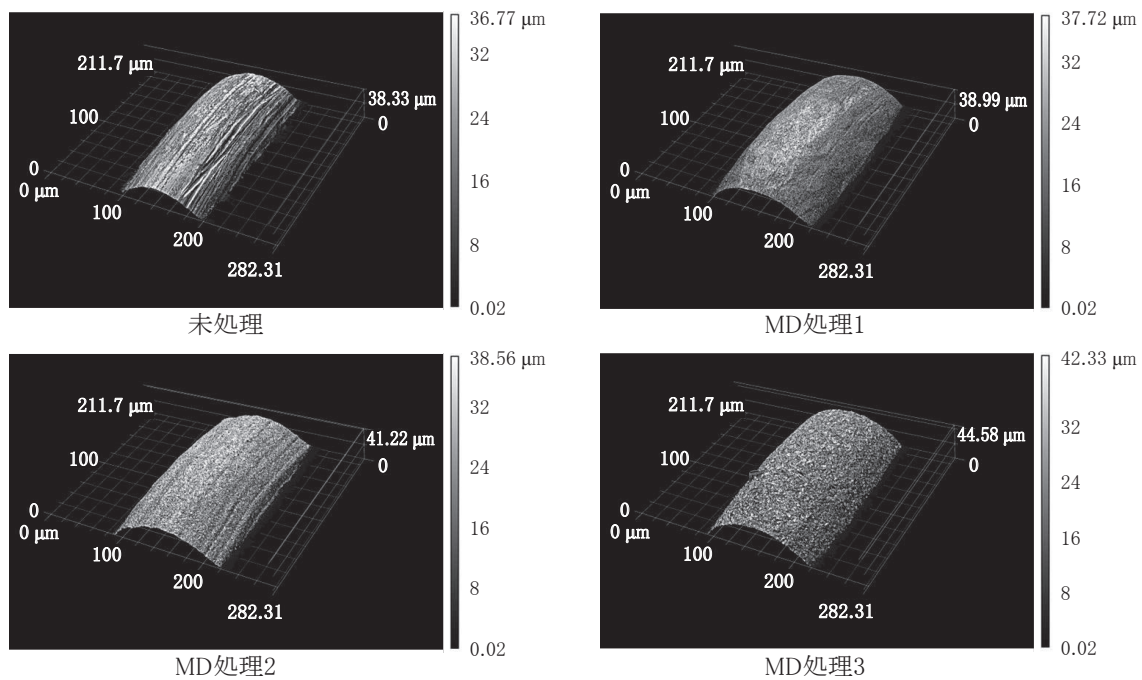


図-4 茶こし線材表面の3D 観察画像

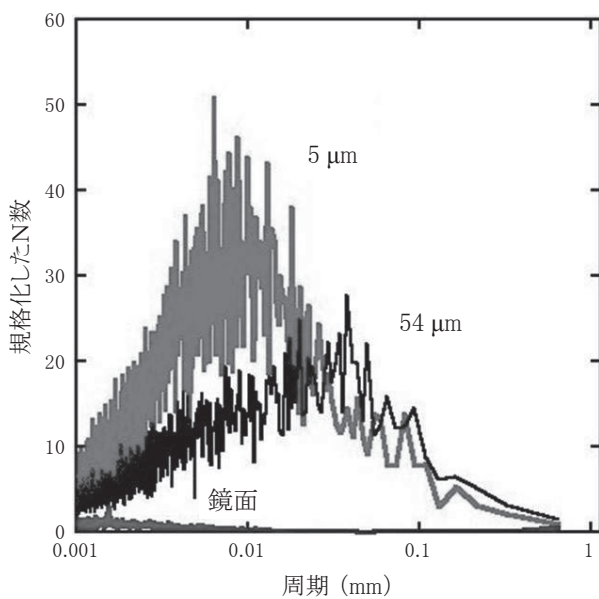


図-5 異なる粒子径の微粒子投射処理面のフーリエ変換解析によるディンプル径の分布

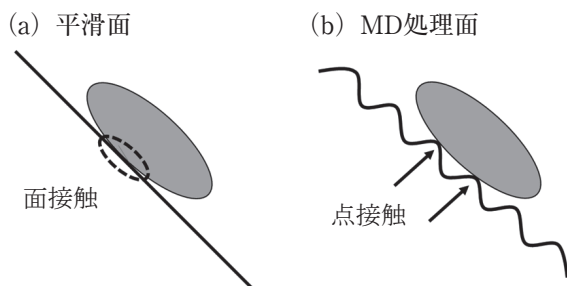


図-6 (a) 平滑面と (b) MD 処理面への粉体付着の様子となる。つまり、粉体と部材の接触面積が減ること、また接触点が凸部のため、粉体を支える応力鎖が不安定になり、付着抑制効果に繋がる。3-1節

で示した通り、小麦粉の付着抑制としては、MD 処理2が大きな効果を発揮した。このことは、MD 処理2で形成される表面凹凸のディンプルサイズの分布が、ふるう対象である小麦粉の粒子径分布に対して、最適であったと言える。そのため、ふるう対象が変われば、効果のある MD 処理も変わってくる。未処理品と MD 処理1~3の茶こしで、市販のカフェオレパウダーをふるった時の茶こしの顕微鏡画像を図-7に示す。未処理品では、小麦粉をふるった時と同様、カフェオレパウダーの付着が顕著で、目詰まりを起こしている部分もある。一方で、MD 処理品ではカフェオレパウダーの付着が抑えられ、MD 処理3は特に付着抑

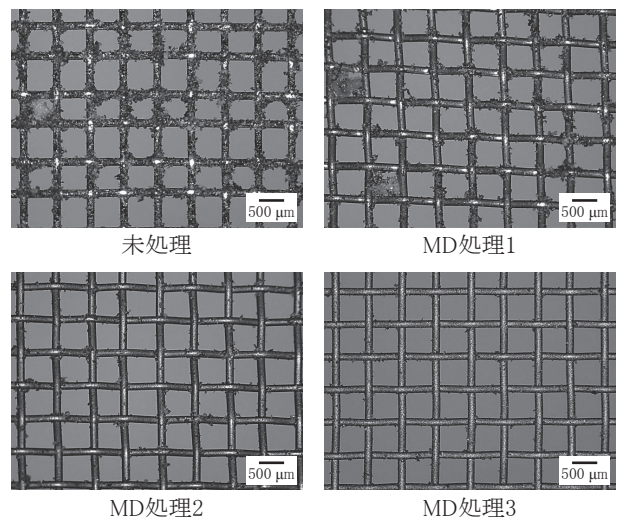


図-7 カフェオレパウダーをふるった後の茶こしの顕微鏡画像

制効果が高いことがわかる。このように、ふるう対象によって、効果のある MD 処理も変わることから、効果を発揮する最適な MD 処理を見極めることが重要である。

3-3 ふるい網の線径と目開きへの影響

「MD 処理によってふるい網の線材の強度は弱くなりませんか？」という質問を受けることがある。MD 処理では微粒子を線材にぶつけることから、線径が細くなったり、ふるいの網目がよれたりするのでは？ という心配からの質問である。線径や目開きに影響が出てしまい、元のふるいのスペックに変化が生じてしてしまうと、目的とするふるい作業に影響が出る。そこで、MD 処理前後の線材の強度を引張試験により比較した。試験装置にインストロン社製5582型万能試験機を用い、ロードセル5 kN、試験速度50 mm/min の条件で引張試験を実施した。測定サンプル数はそれぞれ n=5 とした。結果を図-8に示す。MD 処理前後で比較すると、MD 処理品は、全体として引張強度が高く、変位量も少なかった。このことは、MD 処理によって、線材表面に圧縮応力が付与されるため、線材表面の小さなキズなどの補修や、亀裂進展に

対する抵抗になるためと考えられる。変位量については、サンプル設置時のたわみや、治具との滑りなども含まれることから参考値として捉えて欲しいところだが、MD 処理品は未処理品と比較して、引張強度が高く、バラつきが小さいことが確認できた。線径や目開きについても、図-3および図-7からわかる通り、ほぼ変化がないことから、MD 処理によってふるいの機能が低下することはない。MD 処理によって、ふるいを構成する線材を強化し、バラつきも抑えられ、付着抑制効果と共に、機能的な特性を付与することができる。

4. コーティングフリーの利点

MD 処理の利点の一つがコーティングフリーということである。付着抑制などの優れた特性を持つコーティング技術とは異なる。MD 処理は部材そのものの表面形状を変化させるだけで、コーティングではないため、コーティング材の剥がれなどによる異物混入の心配がない。こういった利点により、食品製造設備などを中心に、MD 処理の採用は拡大している。

2014年頃から食品への異物混入問題が拡大し、食品をはじめとした生活に直結する産業分野での安全性の確保への関心が高まった⁴⁾。国内では食品事業者に対して HACCP（危害分析重要管理点）⁵⁾の義務化が開始された。HACCP では、食品などを取り扱う事業者が、異物混入や食中毒の原因菌などの危害要因を把握し、すべての製造工程において、それらの危害要因を取り除くための工程管理が必要とされる。MD 処理はコーティングフリーであることから、異物混入の心配はなく、原料の付着抑制効果は細菌やカビの繁殖抑制にも繋がる。さらに、MD 処理による表面形状そのものに抗菌効果があることも確認されており^{6), 7)}、こういった効果は HACCP の観点からも有利であると言える。

5. おわりに

ふるいわけは、最終製品の品質を決める重要な作業である。そして、ふるった後、そのふるいに残存する原料の量を減らすことは、環境負荷の面で有利に働く。小麦粉やでんぷんなどの食用粉体の国内消費量は年間1000万 t といわれており、製造工程において数%の付着を抑制できれば、数十

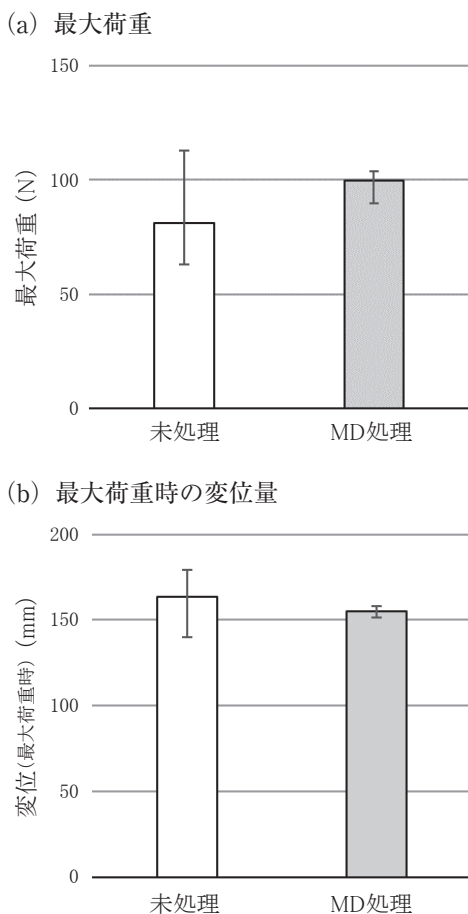


図-8 MD 処理前後の線材の引張試験結果

万tの廃棄を抑えられる。こういった食品ロス削減への取り組みなどから、ふるい網へのMD処理は年々拡大している。MD処理の効果は、生産効率の向上に繋がるなどの利点もある。こういった利点を活かし、今後も、さまざまなアプリケーションへの提案を進めていきたい。

引用文献

- 1) (株)サーフテクノロジー 他：“処理器具及びその表面処理方法”、日本国特許第6416151号 (2017)
- 2) (株)サーフテクノロジー 他：“金属製メッシュ要素及び金属製ふるい”、日本国特許第6460490号 (2018)
- 3) 西谷伴子：“表面形状形成による粉体付着と摩耗対策”、粉体技術、**13**(1)、pp. 48-52 (2021)
- 4) C. Awuchi, *FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY*,

- 2176280, **9**(1) (2023)
- 5) CODEX ARIMENTARIUS. GENERAL PRINCIPLES OF FOOD HYGIENE (CXC1-1969)/ HACCP Hazard Analysis and Critical Control Point.
 - 6) T. Nishitani et al.: “Antibacterial effect on microscale rough surface formed by fine particle bombarding”, *AMB Express*, **12**(9) (2022)
 - 7) T. Nishitani et al.: “Mechanism of antibacterial property of micro scale rough surface formed by fine-particle bombarding”, *Science and Technology of Advanced Materials*, **25**(1), 2376522 (2024)

にしに ともこ
西谷 伴子
(株)サーフテクノロジー

〒252-0331 神奈川県相模原市南区大野台4-1-83
TEL : 042-707-0618
E-mail : nishitani@microdimple.co.jp



掲 示 板



「粉体技術」PDF版提供開始のお知らせ【会員限定】

日本粉体工業技術協会のホームページでは会員専用サイトを設置し会員様向けに情報を提供していますが、このたび新しいコンテンツとして「「粉体技術」バックナンバー」を追加いたしました。

会員専用サイト <https://member.appie.or.jp/> にログインし、メニューから「「粉体技術」誌 バックナンバー」を選び、バックナンバーの一覧から閲覧したい号をクリックすると、「粉体技術」のPDFが表示されます（バックナンバーは2022年1月号より閲覧可能です）。

ぜひ「粉体技術」バックナンバーPDFをご覧くださいご活用いただければ幸いです。

【会員専用サイトログインIDとパスワードについて】

- 法人会員、賛助会員には各社に1つIDを発行していますので、企業内でID、パスワードにつき情報共有をお願いいたします。
- 個人会員、名誉個人会員、会友、委員会・部門・分科会関係者の皆様には個人で1つIDを発行しています。
- ログインIDとパスワードをお忘れになった/紛失された場合、soumu@appie.or.jp までお問い合わせください。