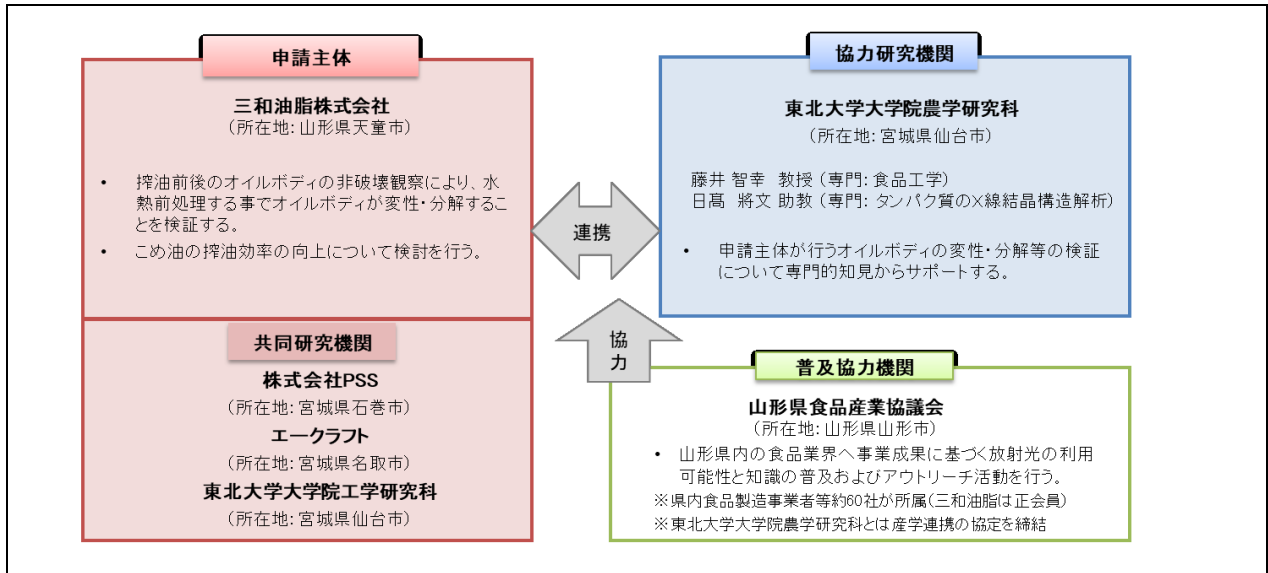


令和3年度仙台市既存放射光施設活用事例創出事業（トライアルユース） 事例報告書

1 課題名

油糧用米ぬか内部の非破壊ミクロ構造観察と搾油効率評価への応用可能性

2 測定にあたっての体制（社外委託先を含め記載）



3 背景と測定目的

○背景

当社は、東北地区の米ぬかを集積し、搾油・精製することで米油の製造・販売を行う製油会社である。ヘキサン抽出によって大量生産する「まいにちのこめ油」に加え、ヘキサンを使用せずに物理的な製法で少量生産する「圧搾こめ油」を開発している。昨今の健康志向の高まりにより、「圧搾こめ油」は当社の人気商品となり、注文が殺到しているが、製造に手間がかかるため需要に対応できていない。物理的な製法としては機械圧搾法にて搾油を行っているがヘキサン抽出法に比べて半分程度の収率であり、搾油効率が悪い点が問題となっている。

米ぬか中の油分は、脂質がオレオシンと呼ばれるタンパク質に被覆された数百ナノメートル程度のオイルボディという細胞内小器官として存在しており、これは極めて硬く破壊することが難しいとされる。そのため、我々は機械圧搾法において米油の搾油効率が低い原因は、従来の機械圧搾法ではオイルボディを破壊できていないためであると考えている。

この仮説に基づき、米ぬかのオイルボディを破壊する新たな技術として、新井邦夫東北大学名誉教授や阿尻雅文東北大学リサーチプロフェッサーが基礎から応用にかけて研究を展開した水熱処理に着目し、精油プロセスに水熱処理技術の導入を試みている。水熱処理技術を用いるとタンパク質が容易に変性・分解するため、機械的に強靱な構造を有するオイルボディを構成しているオレオシンの断片化が可能となり、短い処理時間で効果的にオイルボディを破壊できる可能性が高い。これを機械圧搾の前処理に用いることで搾油効率が飛躍的に向上するものと考えている。

一方で、オイルボディの破壊に着目した搾油方法を検討する場合、搾油によってオイルボディが適切に破壊することができたのかを評価することが不可欠である。通常、オイルボディの形態は電子顕微鏡で観察するが、観察用サンプルの調製段階におけるオイルボディの破壊の可能性を考慮すると、サンプルは非破壊で観察することが望ましい。しかし、従来の手法ではオイルボディのような数百ナノメートル程度の構造体を非破壊で観察することは難しく、結果としてオイルボディの観察方法がないことが米油圧搾技術の研究開発のボトルネックとなっている。

○目的

米ぬかを水熱前処理する事により、オイルボディが変性・分解できる可能性が高いが、その技術開発および実用化には搾油前後のオイルボディの非破壊観察が不可欠である。米ぬかは、0.1~1 mm 程度の粒であり、その中に含まれるオイルボディを評価するために、サンプルサイズ、必要解像度を考慮して結像型 X 線 CT を用いた測定を実施する。搾油前後の米ぬかを観察し、結像型 X 線 CT でオイルボディの形状変化、残存油分の評価を行うことができるかを調べる。評価が可能な場合、水熱前処理した米ぬかについて、オイルボディの破壊について調べ、併せて油分の搾油効率の結果と比較することによってどのような前処理操作が好ましいかを検討する。仮にオイルボディそのものを観察することが難しい場合でも、高解像度の結像 X 線 CT で非破壊観察することで、米ぬか中の油分の存在形態について、搾油技術開発を支援する知見を得ることができると考えている。

4 測定方法（測定手法、測定セットアップ、使用ビームラインなど）

使用ビームライン

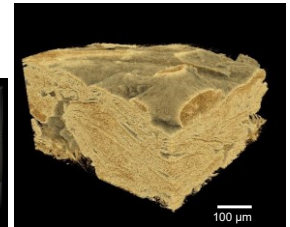
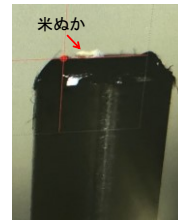
・SPring-8 BL47XU

測定サンプルおよびセットアップ

- ・未処理・処理サンプル合計 6 種類
- ・光学顕微鏡で選別（粒径 0.1~1 mm のサンプルを選別）
- ・サンプルホルダー先端のカーボンテープに装着
- ・測定室の所定の場所にサンプルホルダーを設置

測定条件

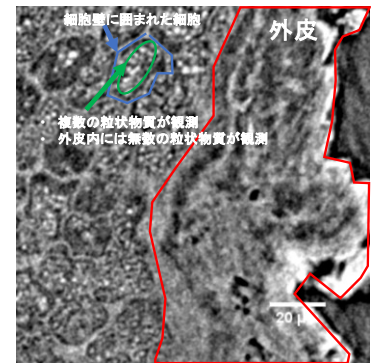
- ・測定エネルギー：15 keV
- ・測定時間：1 サンプルあたり 20~30 分
- ・サンプルの大きさ：0.1~1 mm
- ・解像度：384 nm/px
- ・測定温度：室温(20℃)
- ・大気圧で測定



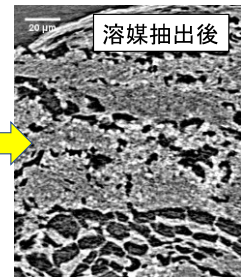
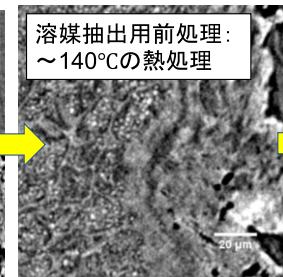
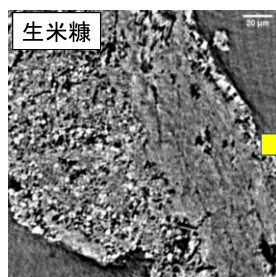
3次元画像を再構成

5 結果及び考察（代表的なグラフや図を用いて分かりやすく説明すること）

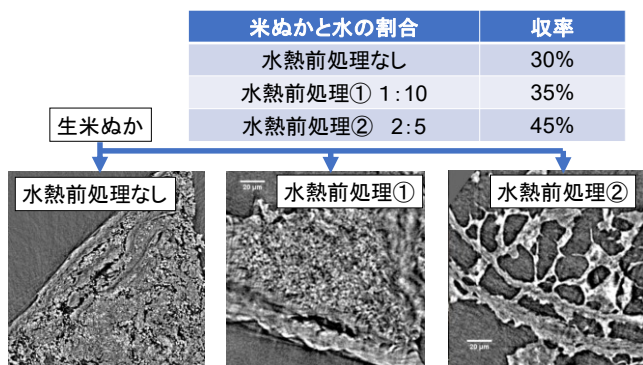
測定した米糠サンプルの X 線 CT 像には、細胞壁に囲まれた細胞内に複数の粒状物質（数 μm ）が確認できる。TEM 画像との比較から、この粒状物はアリューロン顆粒かオイルボディである可能性が高いものと考えられる。アリューロン顆粒とオイルボディは、今回の解像度の X 線 CT では、形状からの区別が付きにくい。脂質をタンパク質が覆うオイルボディはカプセル状なので、さらに高解像度のナノスケールの X 線 CT の測定で判別できる可能性があると考えている。



生米糠には、多数の白い粒状物質が全体に広がっている。それに対し、溶媒抽出前処理（~140℃の熱処理）を施した米糠では、細胞壁が顕在化しており、また、粒状物質が細胞壁内部に存在している。それを溶媒（ヘキサン）で抽出することで、ほぼ 100%の油分が抽出され、残存している油分はゼロとなる。その米糠サンプル（溶媒抽出後）は、細胞壁内部が空洞化しており、さらに白い粒状物質は存在していない。これより、残存油分と粒状物質の量には相関があることが判明した。



140℃の飽和蒸気圧下の液相の水（水熱）が米糠構造およびオイルボディに与える影響を見るため、生米糠を水熱前処理させたサンプルを用意した。なお、水熱前処理は、米糠重量に対し加水量を 1/10 倍とした場合（水熱前処理①）と、2/5 倍（水熱前処理②）とした 2 条件でサンプルを調整した。ここで、水熱前処理なしの米糠を機械圧搾した場合、米油収率は 30%であったのに対し、水熱前処理①で 35%、水熱前処理②では 45%の米油収率であり、いずれの水熱前処理も機械圧搾による米油収率を向上させた。X 線 CT 像と機械圧搾収率との関係から、水熱前処理①では粒状物質が多かった。これより残存収率が 35%までしか上がらないのは、粒状物質が壊れていないためと考える。また、水熱前処理②サンプルの X 線 CT 像には粒状物質がほぼ存在しない。しかし、米油収率は 45%程度にどどまってしまった。これは、粒状物質が水熱前処理の段階で漏出している可能性もある。



6 今後の課題

X 線 CT 測定により超薄切片を作成することなく内部構造を可視化することができた。数 μm の大きさの粒状物質を確認した。米油収率の高い前処理では粒状物質が消失し、粒を形成していた構造体が破壊された可能性がある。水熱前処理によっても、条件が異なると内部は違う状態になっており、内部構造を把握すると収率を上げるために必要な戦略が異なってくる、という気付きを与えてくれた。今後、水熱前処理中の油の流出について検証が必要である。

7 参考文献

1) J. Am. Oil Chem. Soc., 89 (2012) 1867-1892