

令和4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)

放射光測定法による醤油醸造工程の 可視化と伝統技法の評価

福島県醤油醸造協同組合

醤油醸造の協業化と意義

一 麴

大豆蒸煮設備
小麦炒り設備
麴室 など

二 搾

諸味タンク
仕込み桶
搾り設備

生醤油を各醤油工場に供給



三 火入れ

火入れ釜
ビン詰め装置

各醤油工場で仕上げる
(→産業の合理化)

福島県醤油醸造協同組合
(1964年創立)



醤油の全製造工程

大豆（蒸煮）



小麦（焙煎）



麹菌

醤油麹

+

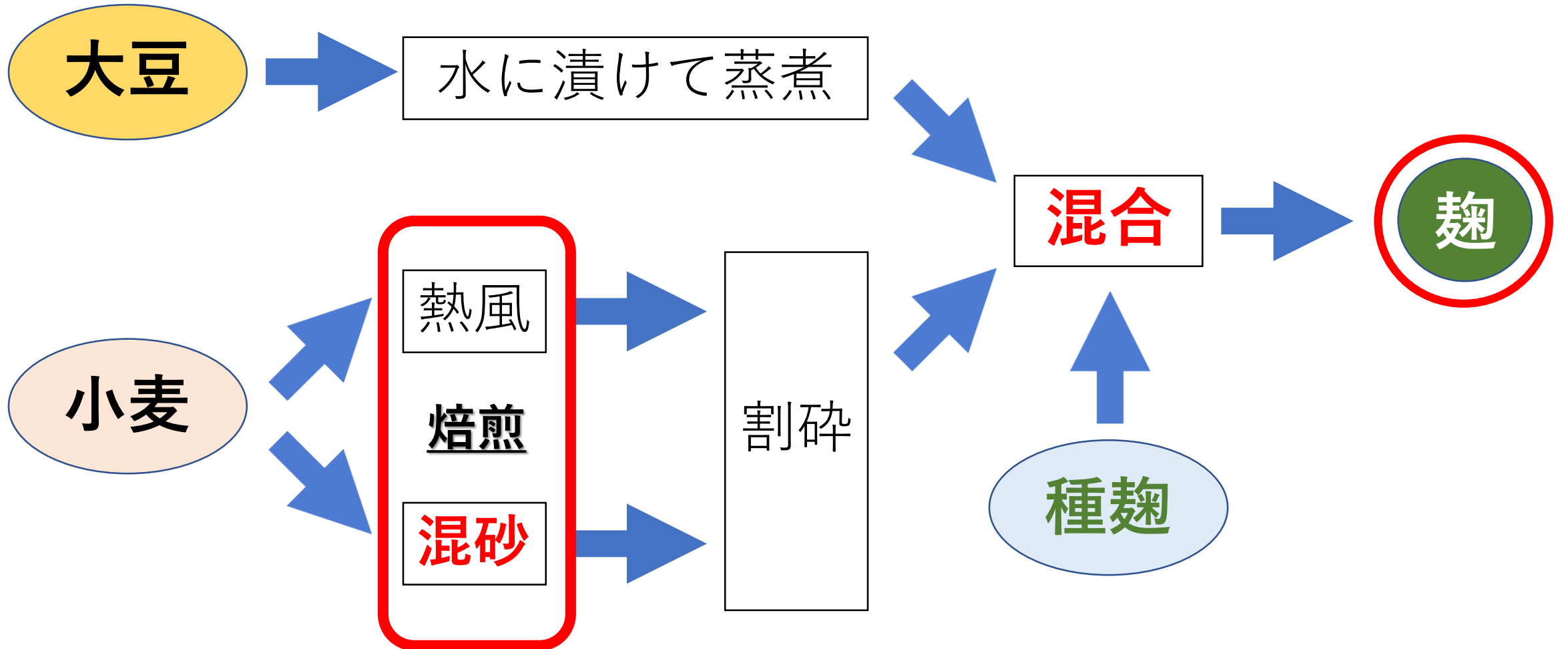
食塩水

諸味

生醤油

製品

醤油の原料処理における小麦焙煎方法



簡略化された熱風焙煎方式
伝統的な混砂焙煎方式

小麦焙煎方法の違いと外観



生小麦

熱風焙煎

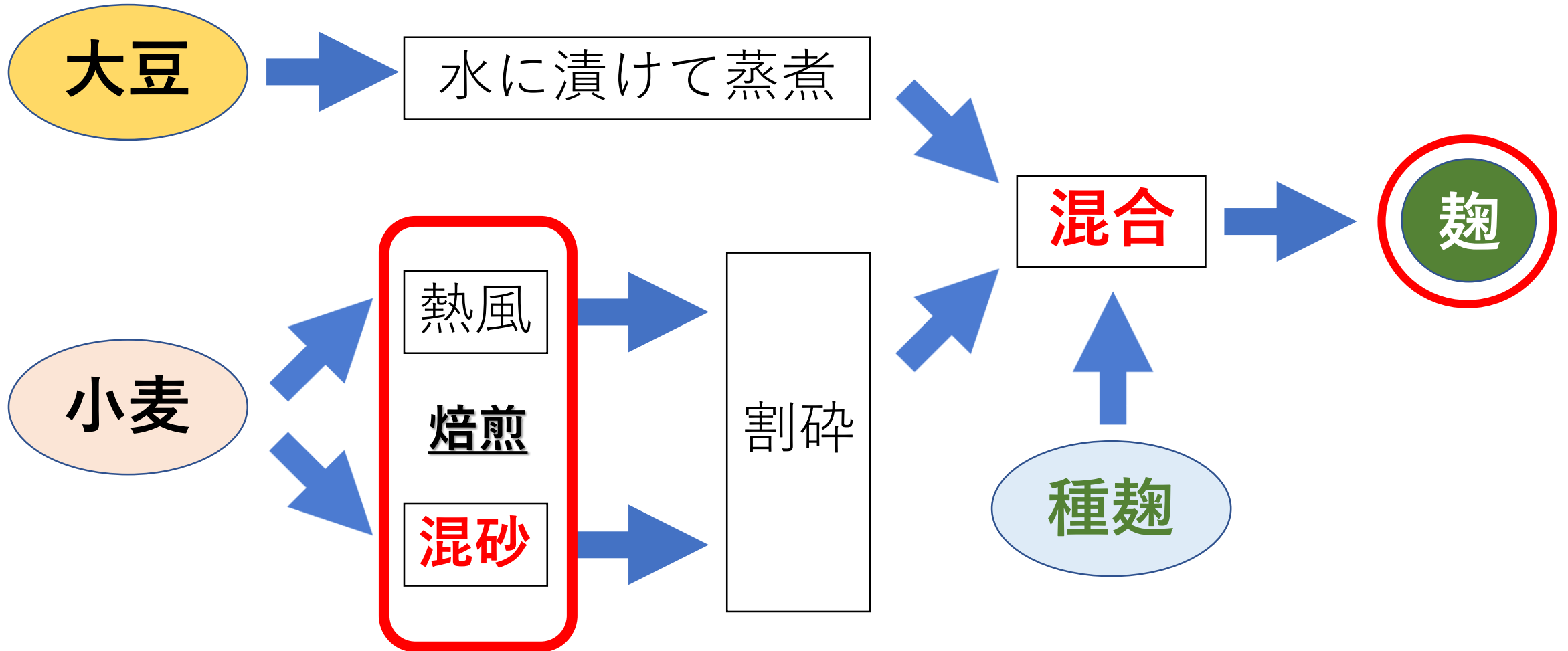
混砂焙煎

小麦焙煎方法の違いは、見た目ではあまり分からない。

旧来の方法「混砂焙煎」の方が味わいのある醤油ができる。

醤油に限らず、職人の経験や勘に頼るものづくりは多いが、なぜその方法がよいのか説明が難しいことも多い。

テーマ①小麦焙煎方法の違いと醤油の風味



簡略化された熱風焙煎方式
伝統的な**混砂焙煎**方式

混砂焙煎方式では味わいのある醤油ができるが、
なぜ混砂方式がよいのか科学的な裏付けが欲しい。

研究体制

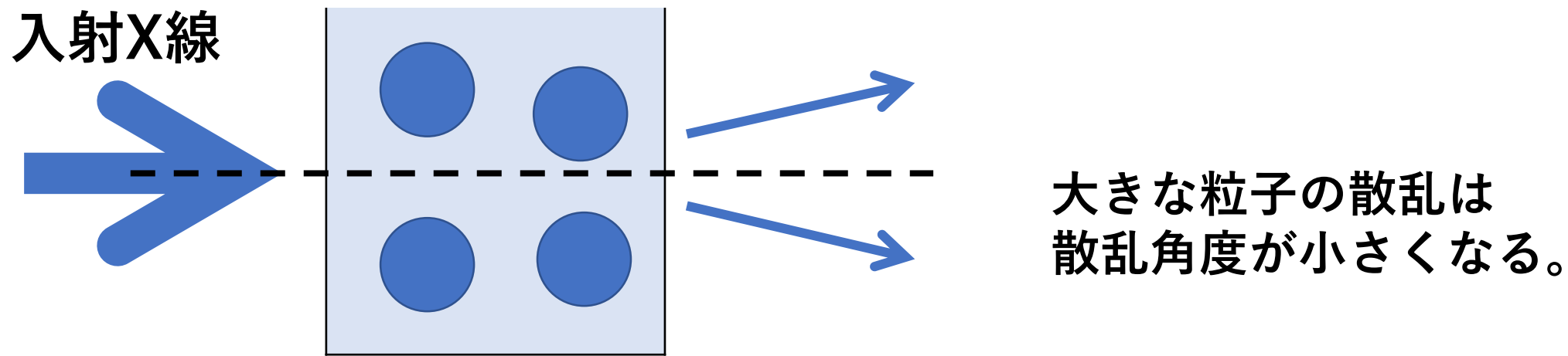
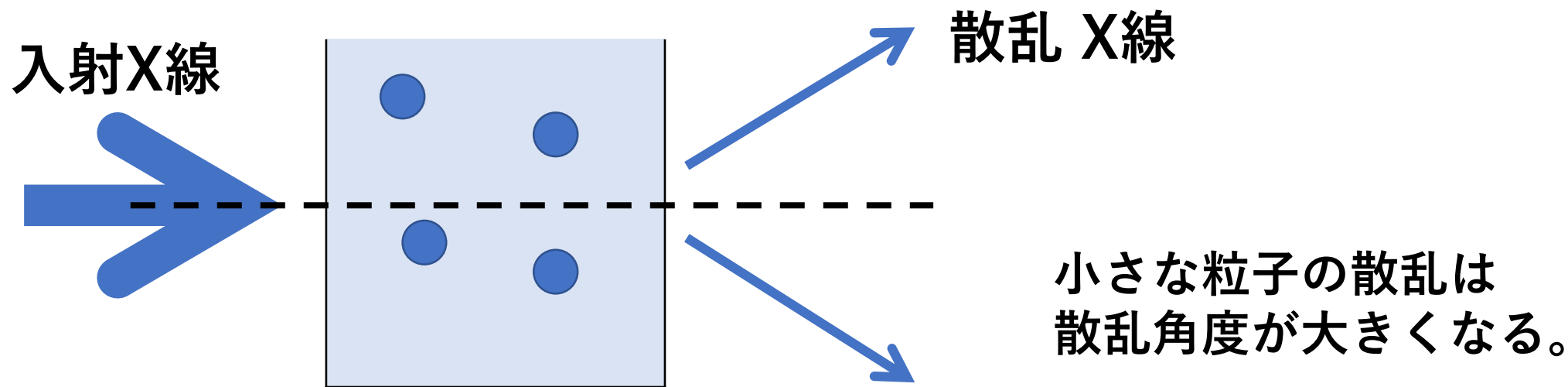
福島県醤油
醸造協同組合

共同研究

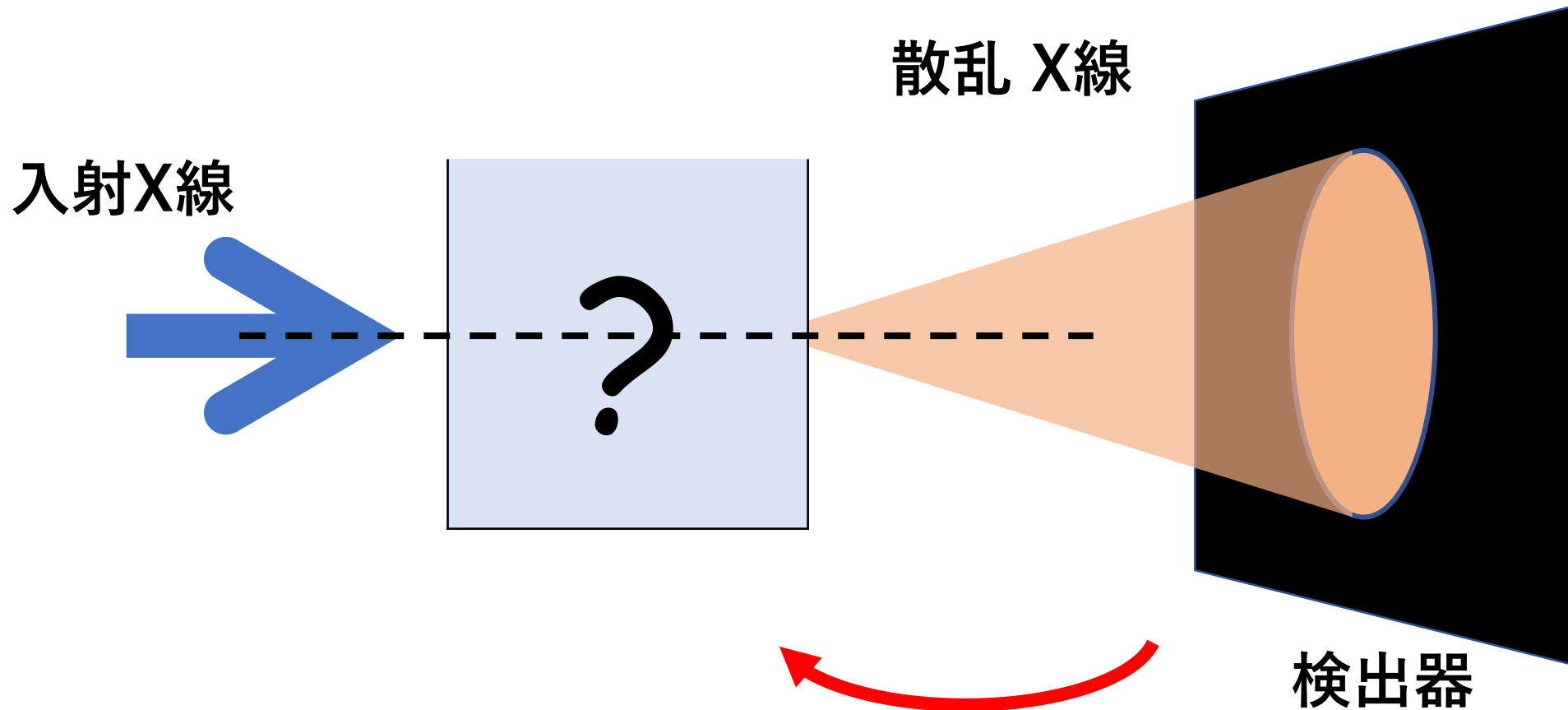
東北大学大学院
農学研究科
発酵微生物学講座
五味勝也先生

- 伝統的製造方法の科学的評価。
- **デンプンの構造**を数値化して評価。

Small Angle X-ray Scattering (SAXS)

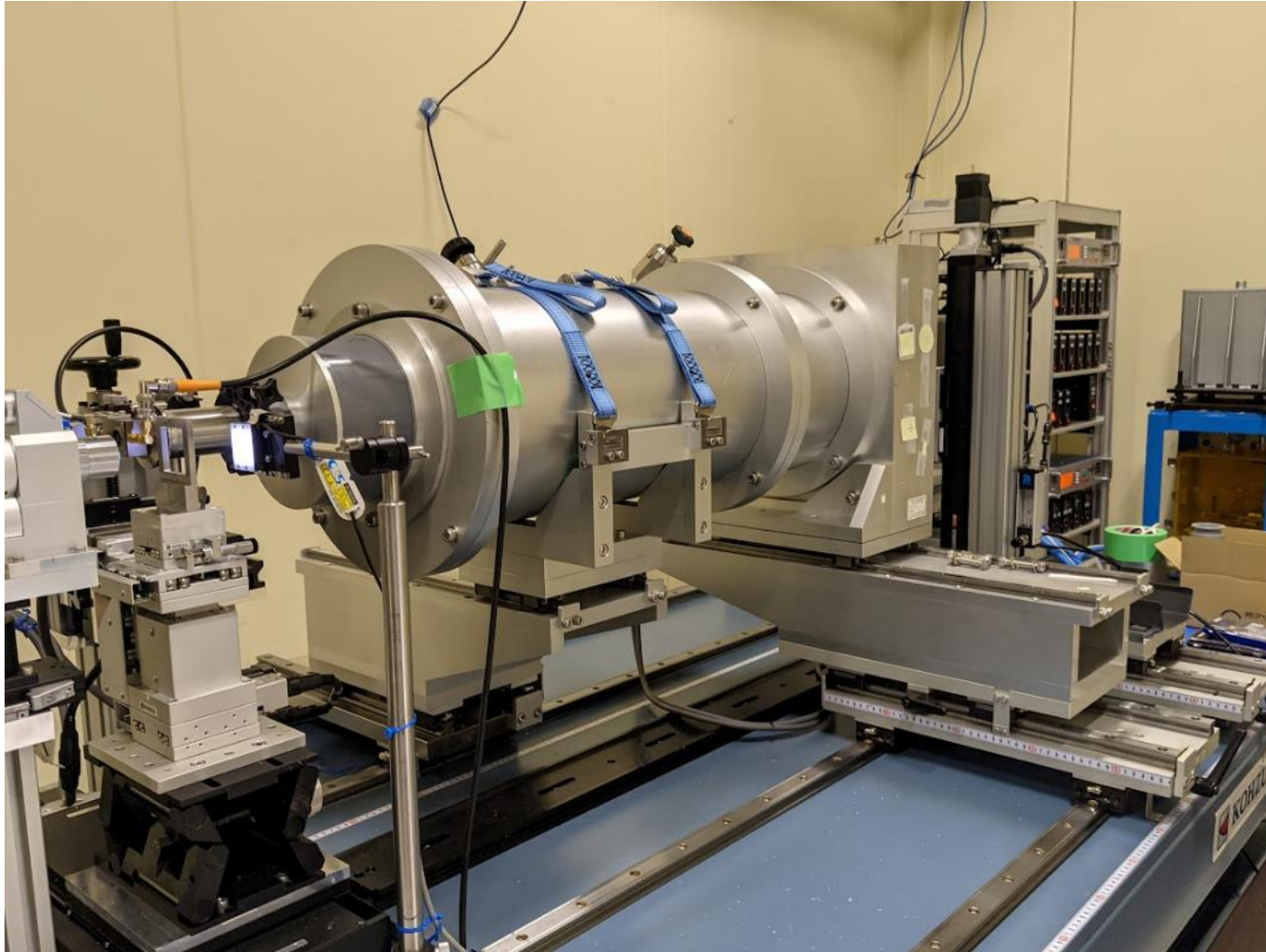


Small Angle X-ray Scattering (SAXS)



検出される散乱パターンを逆算すると
X線が照射されたところに含まれる
粒子の大きさや分布の情報が得られる。

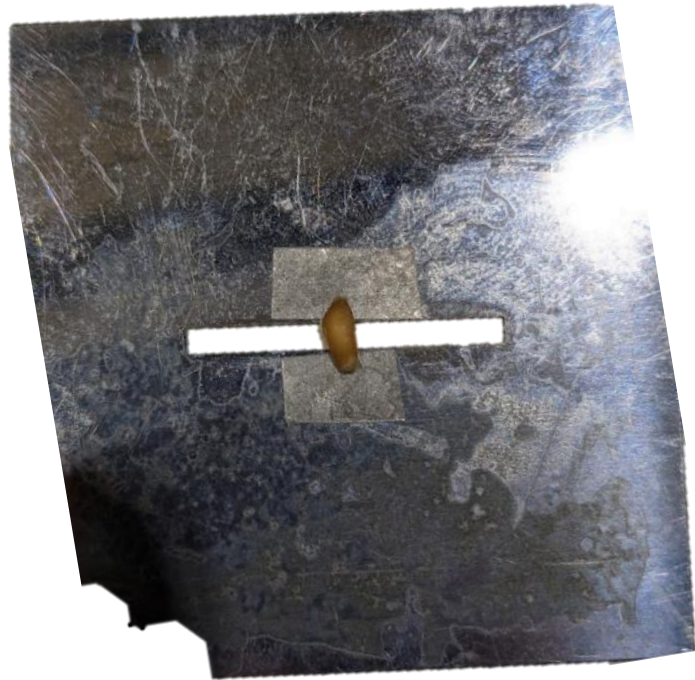
測定：SPring-8 BL24XU



X線のエネルギー（波長）：10 keV (1.24 Å)
カメラ長：1.12 m

露光時間：10秒

測定サンプル



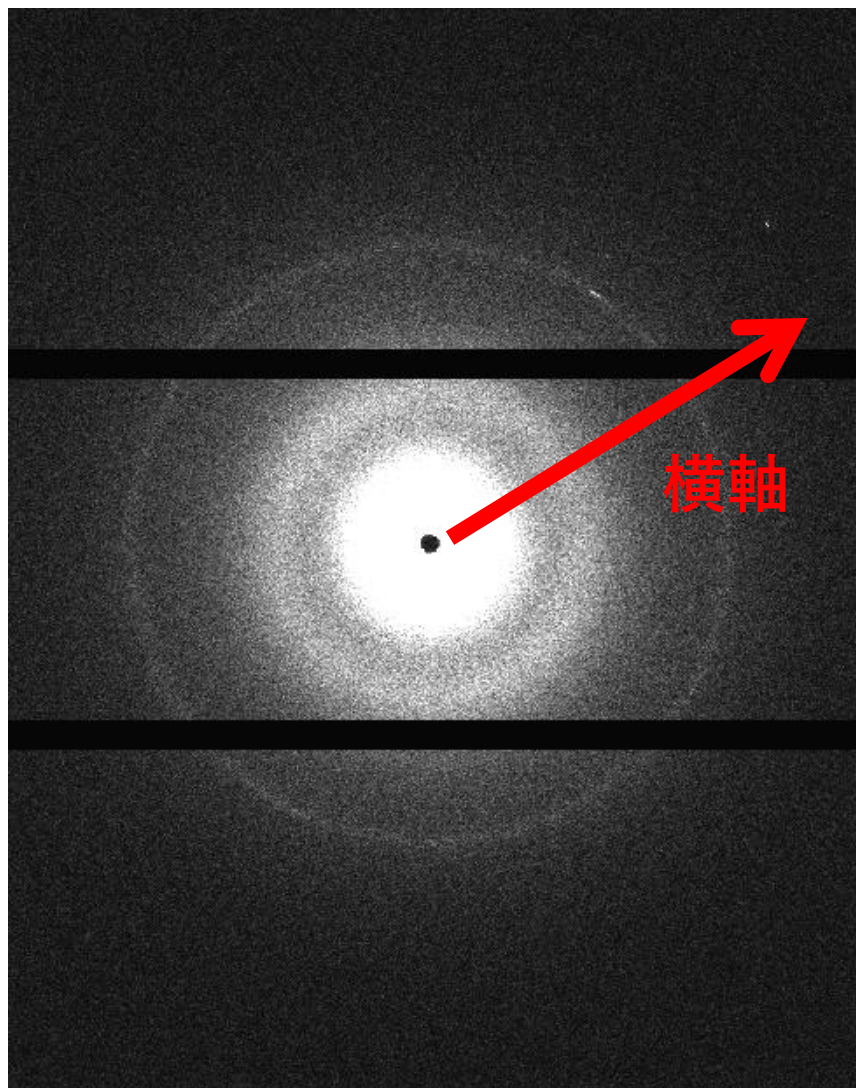
金属板に両面テープで固定



この隙間から
麦にX線を照射

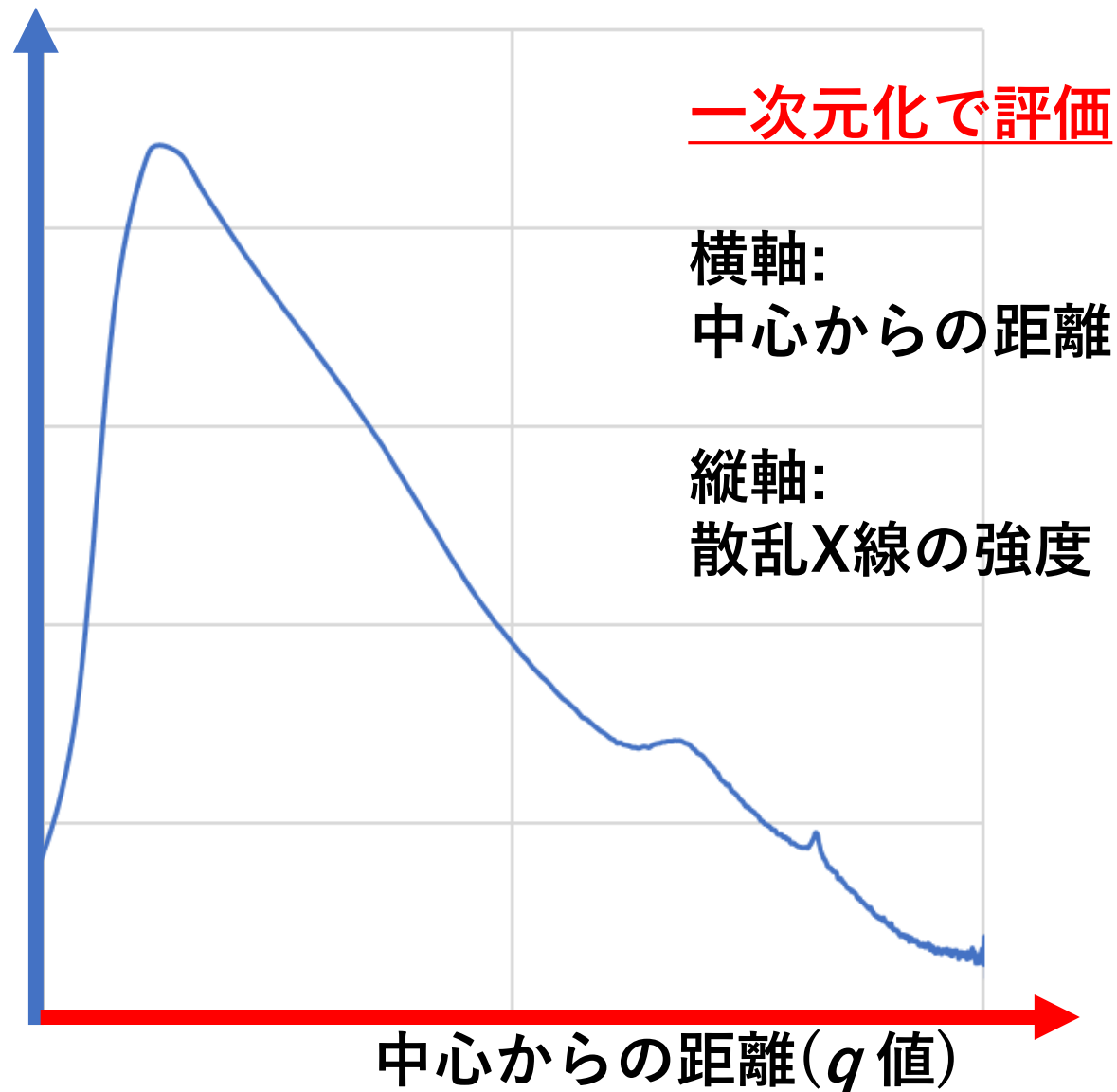
裏から見た図

測定データ

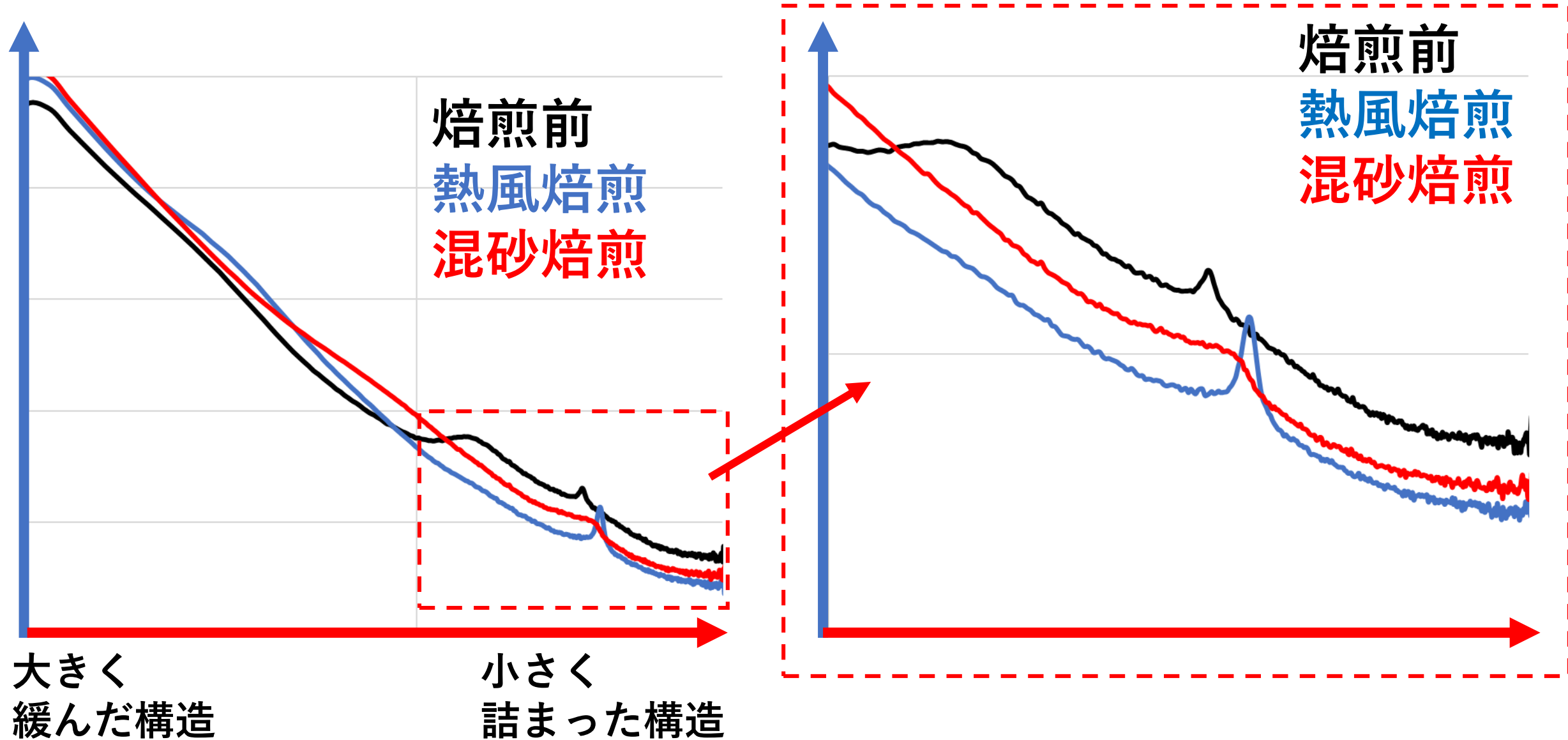


測定データは画像として得られる
明るいところが散乱光

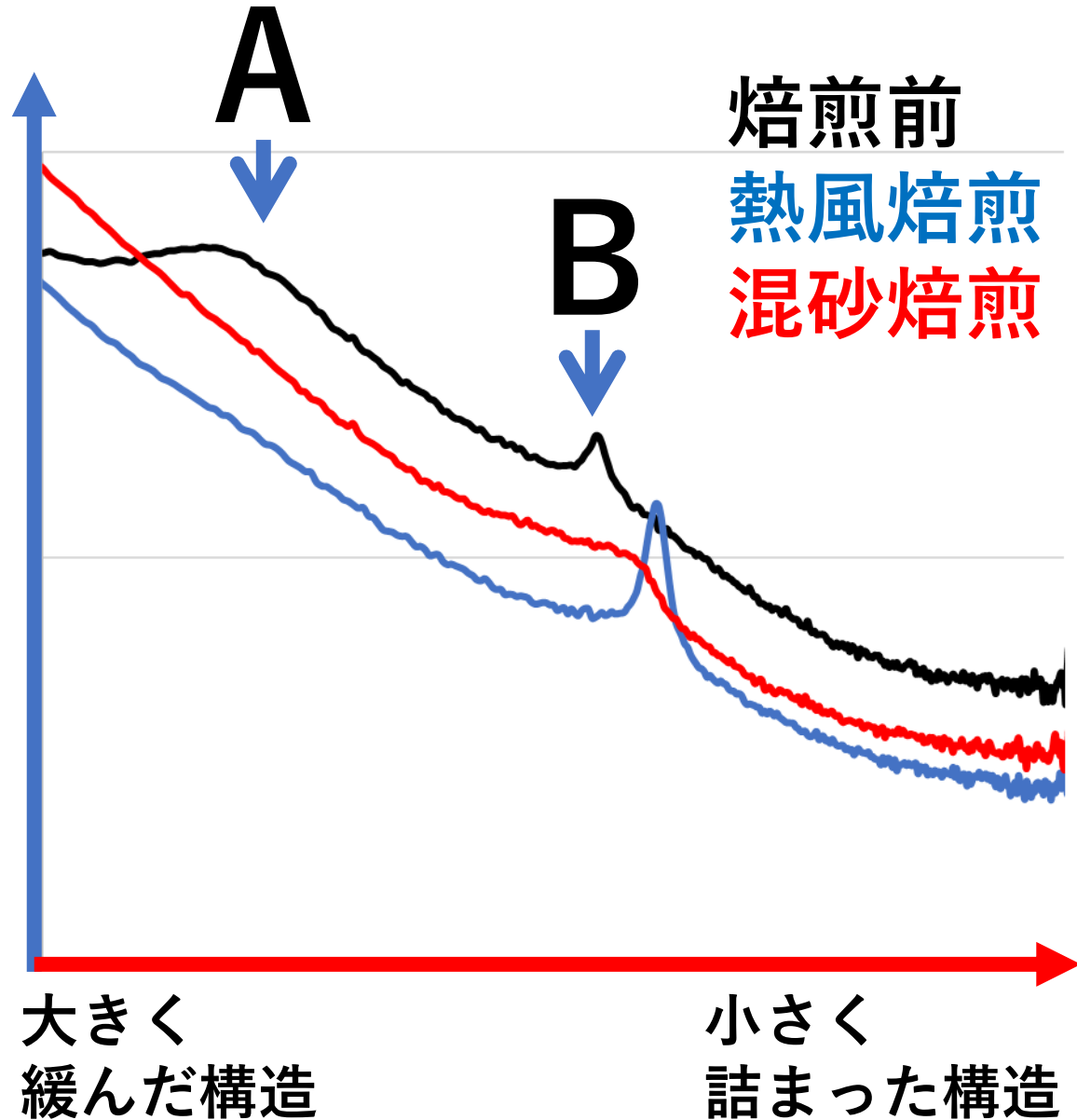
散乱X線の強度
(画像の明るさ)



麦の小角散乱測定結果 (SPring-8 BL24XU)



熱風焙煎と混砂焙煎の違い



焙煎前のデンプンの構造は
AとBの2つの存在状態がある。

熱風焙煎では、大きな分子Aは
さらに緩んだ状態になる。

一方で、小さな分子Bは小さなまま。

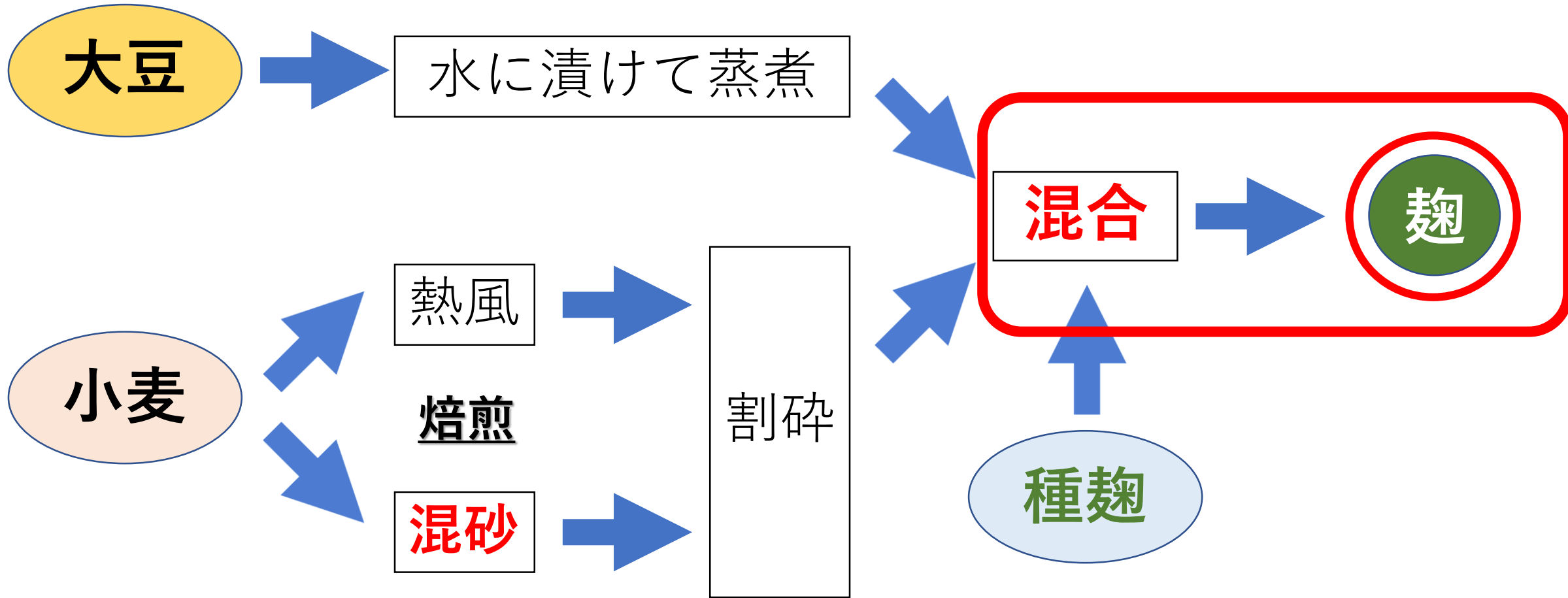
混砂焙煎ではAもBも消失し、
大きく広がった状態に変化している。

熱風焙煎と混砂焙煎では、
焙煎後のデンプンの構造が全く違っていた。

テーマ① 『小麦焙煎方法の違いと醤油の風味』 の成果と考察

- ・小麦焙煎前後の小角散乱測定を初めて試みた。成果として焙煎方法の違いとでんぷん構造の変化を初めて可視化した。
- ・経験的に小麦焙煎度合が高いと、でんぷんの高可溶化に直結する。特に高アルコール発酵に繋がる原料処理の可視化は大変興味深くかつ重要であった。
- ・特に変化の違いがみられた箇所が小麦粒子の外側だったことから、伝統的な「混砂焙煎方法」は小麦外皮までより強く焙煎している方法であると考えられた。

テーマ② 麴造りの観察への応用



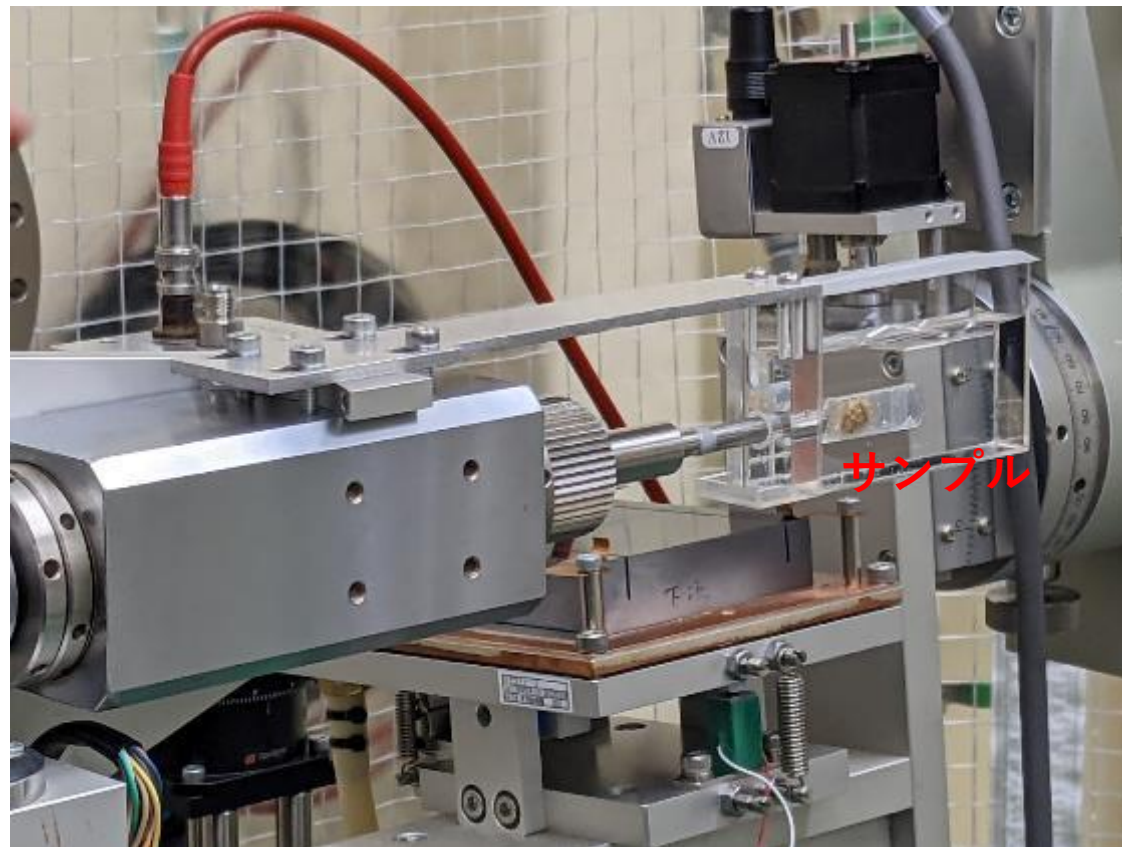
原料を混合したところから麴に変化する段階を可視化し
麴のできる過程を評価したい。

X線位相差CT (SAGA-LS BL07)

BL07 (SAGA-LS)



全景 (試料台は外されています)

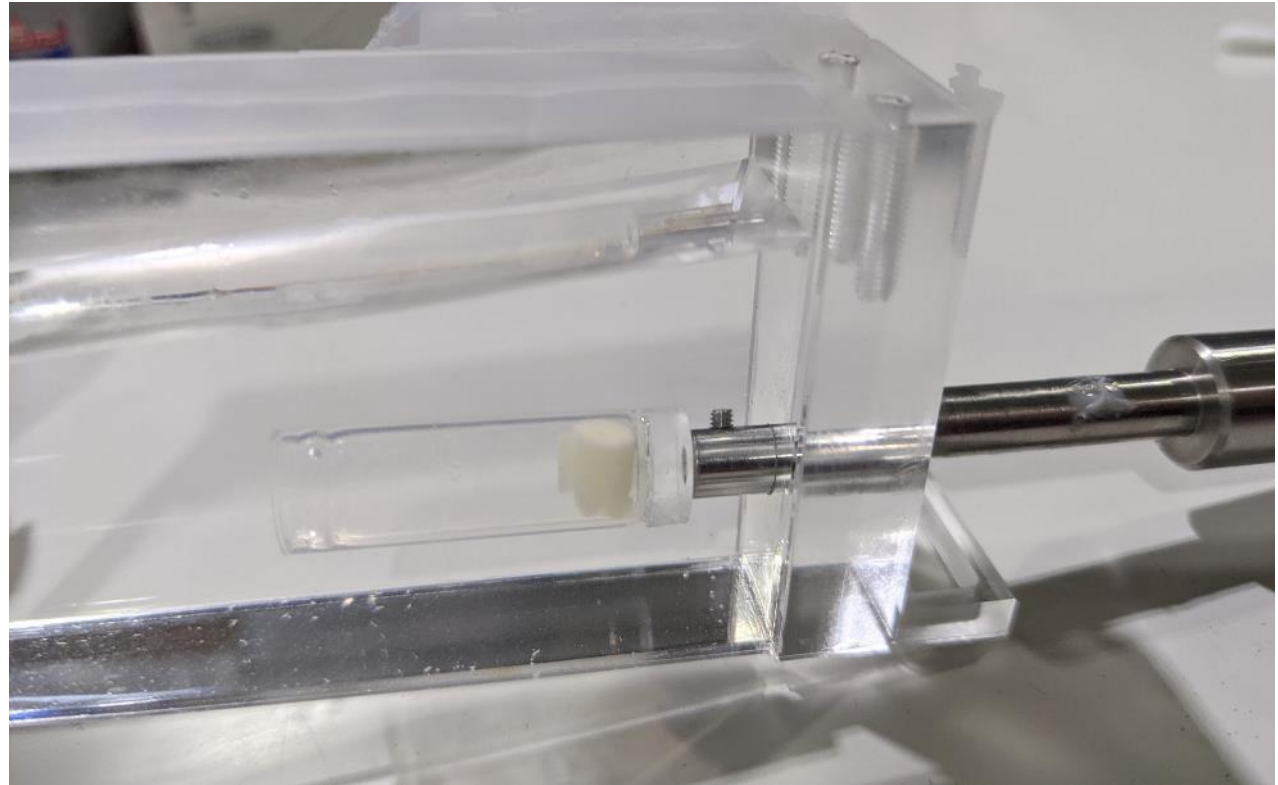


試料台が取り付けられたところ

X線位相差CT (SAGA-LS BL07)



径1センチのプラスチックチューブに
試料を入れてアガロースで包埋



試料を入れたチューブを水槽に入れて測定

X線位相差CT

測定条件

測定試料

混砂焙煎した小麦、種麴、大豆を混合した直後
および培養して完成した麴

X線のエネルギー 17.8 keV

撮影枚数 360 x 15枚

試料を360度回転して測定
検出器の角度を変えて15セット測定し
位相の情報を取得

1枚あたりの照射時間 500 ミリ秒

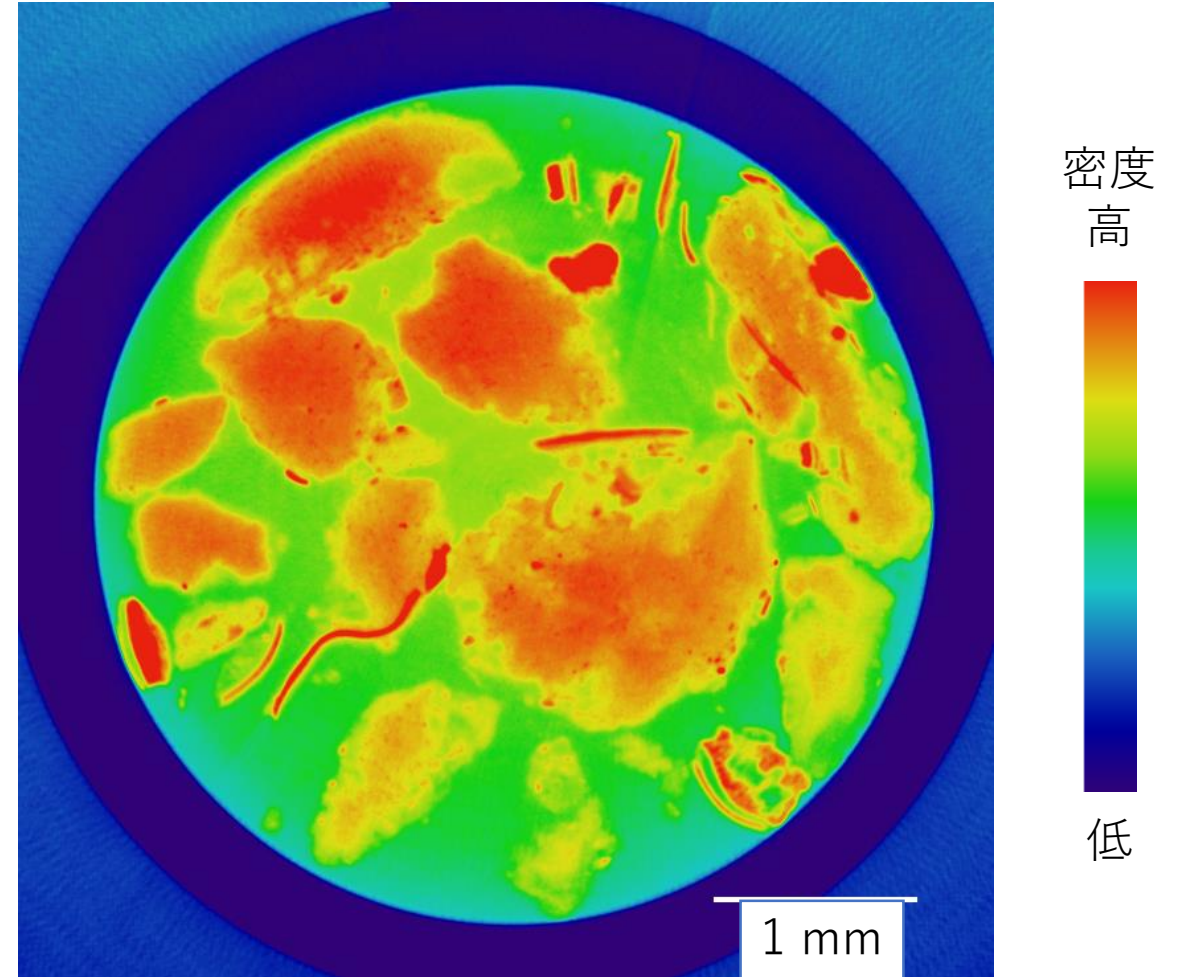
X線の照射時間 約80分

画像再構成 約20分

試料の交換 約20分

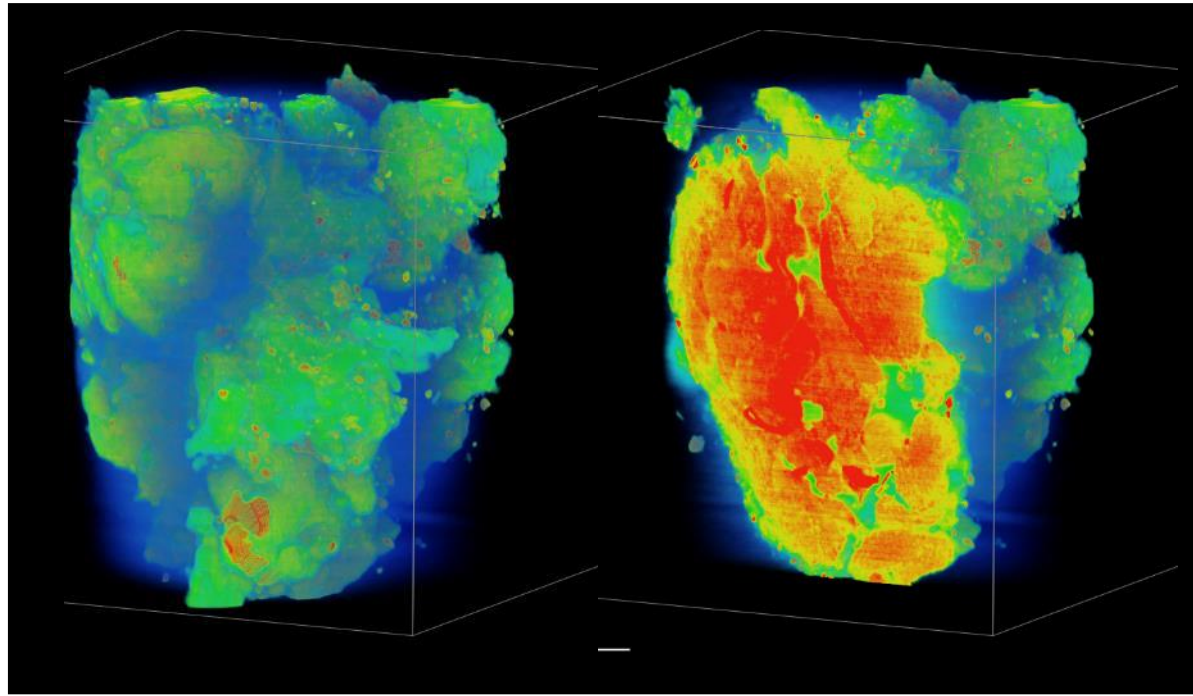
1試料当たりの

測定時間 約2時間



画像解像度 6.5 ミクロン/ピクセル
試料内部の密度に応じたコントラストが得られた

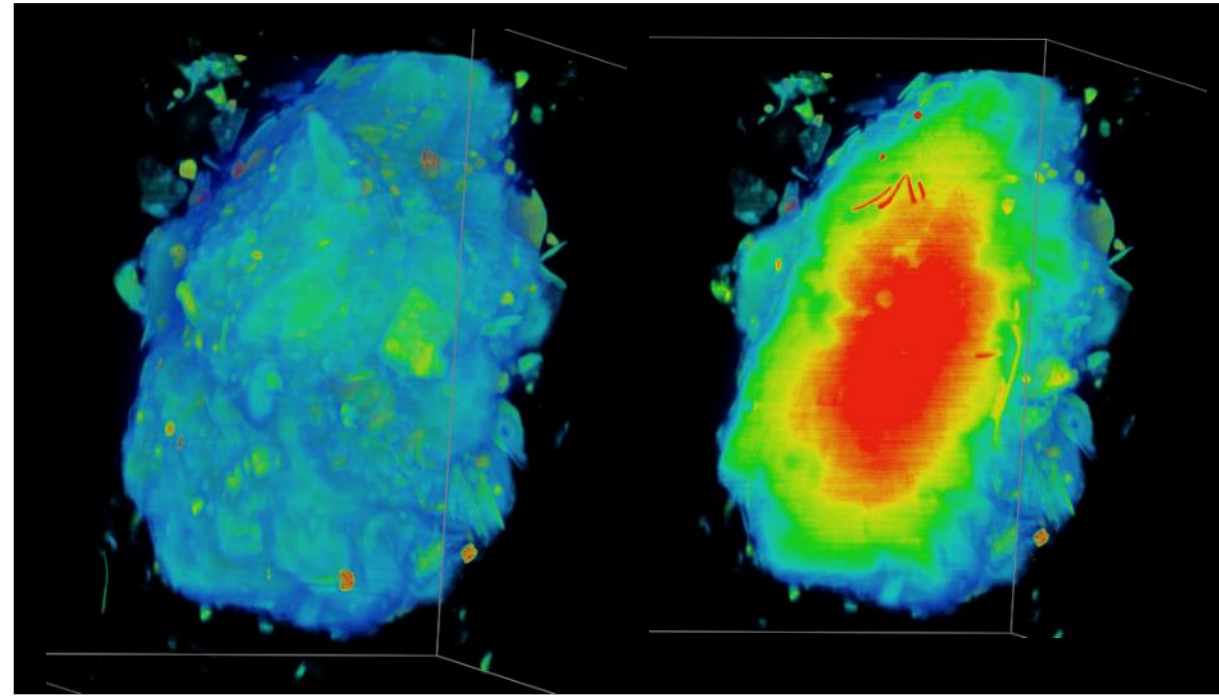
小麦、種麴、大豆を混合した直後



外観

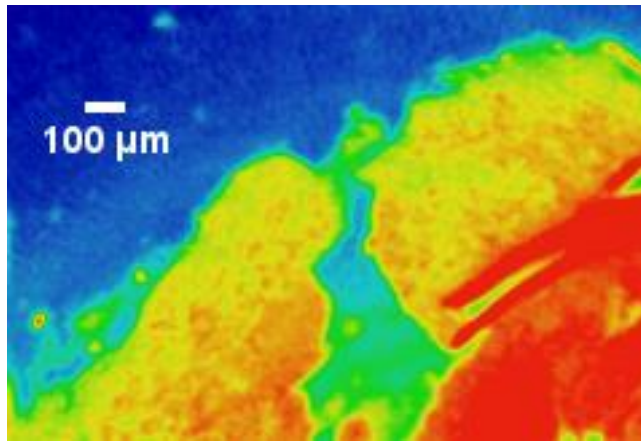
内部

培養して完成した麴

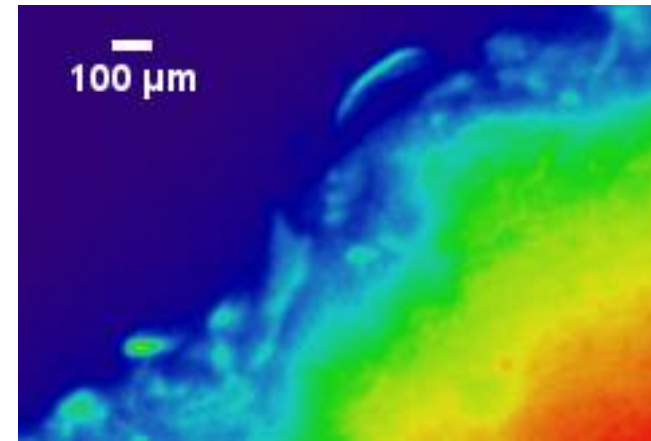


外観

内部



表層の拡大



表層の拡大

テーマ② 『麴造りの観察への応用』 の成果と考察

- ・ アガロースに包埋した状態で、麴の培養前後を測定・観察することができた。
- ・ 培養前は外側まで密度が高いが、培養が進むと外側の密度が低下し、柔らかく変化している様子が観察された。この手法を使うと、麴の変化を追うことができそうである。
- ・ 一方で、表層の菌糸は観察することができなかった。今回の測定では解像度不足（6.5ミクロン/ピクセル）と考えられるので、より高解像度のイメージングが望まれる。

謝 辞

本研究を行うにあたり以下の先生方に大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

東北大学大学院農学研究科

日高 將文先生
原田 昌彦先生
五味 勝也先生