



揖保乃糸



令和2年度 仙台市既存放射光施設活用事例創出事業

手延べ製法の条件と 手延べ素麺の美味しさ評価

原 信岳

兵庫県手延素麺協同組合

組合概要

- 名称：兵庫県手延素麺協同組合
- 住所：兵庫県たつの市龍野町富永219-2
- 創立：明治20年9月9日（西暦1887年）
- 生産地域：兵庫県・南西部(たつの市/姫路市/宍粟市/揖保郡/佐用郡)
- 現業者数：400名（令和3年8月現在）
- 事業内容：手延ベ素麺・ひやむぎ・うどん等の製造および販売
- 登録商標：宝播、揖保乃糸 等



宝播（たからばん）

い ぼ の い と
揖保乃糸



実施体制

○兵庫県手延素麺協同組合

原信岳、藤井義貴：試料調整、SPring-8での測定、結果の解釈

○兵庫県立大学 大学院 理学研究科

高山裕貴：SPring-8での測定・解析、力学特性の解析、結果の解釈

○兵庫県立大学 環境人間学部

吉村美紀、中谷茉友：力学特性の測定・解析、SPring-8での測定、
結果の解釈

謝辞

予備測定の実施や測定条件検討、結果の解釈でお世話になりました。

高輝度光科学研究センター 八木直人 氏

ひょうご科学技術協会 桑本滋生 氏

ひょうご科学技術協会 漆原良昌 氏

手延べ素麺の製法

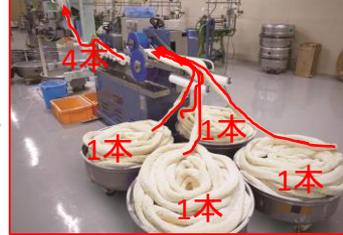
こね前工程
(小麦粉・食塩水)



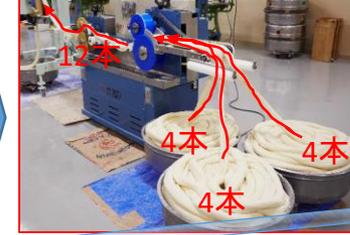
板切(いたぎり)工程
1本に切り出し



板切工程(4本合わせ)
 $1 \times 4 = 4$ 本



板切工程(3本合わせ)
 $4 \times 3 = 12$ 本



板切工程(2本合わせ)
 $12 \times 2 = 24$ 本



※工程赤字は複合圧延工程

小より工程(油返し作業)
麺の直径:約20ミリ



小より工程(細目作業)
麺の直径:約12ミリ



小より工程(小均作業)
麺の直径:約6ミリ



掛巻工程
↓
小引き工程

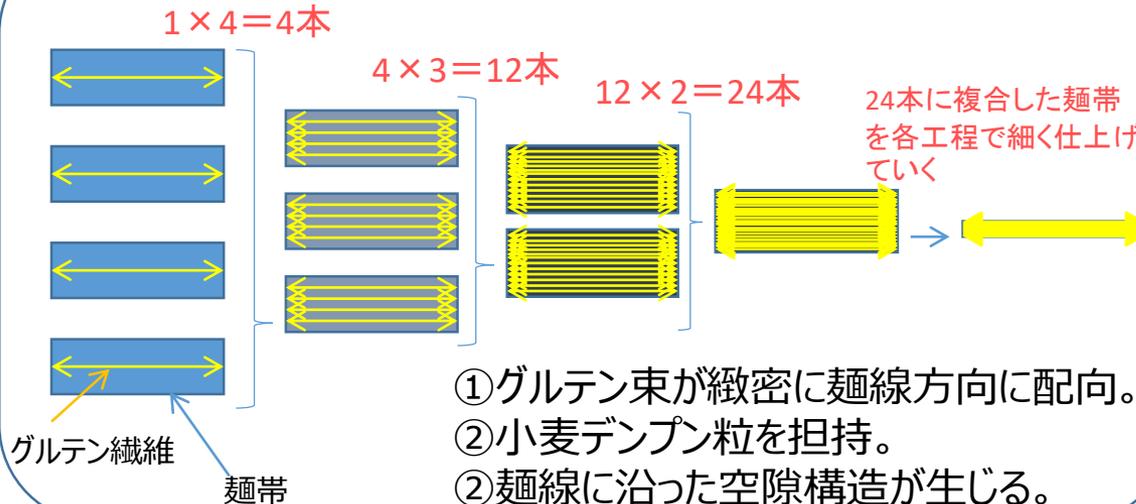
門干し(かどほし)工程
麺の直径:約0.9ミリ



切断/結束工程⇒完成



複合本数24本の模式図



【手延べ素麺特有の食感】

- ・歯切れが良い
- ・適度な硬さ
- ・なめらかな舌ざわり
- ・湯で伸びしにくい



本研究の目的

手延べ素麺の美味しさは手延べ製法由来

手延べ製法に起因する乾麺の空隙構造が影響？

空隙構造は湯(水と熱)を麺内部へ導く経路となり
デンプンの糊化分布に作用？

マクロな力学特性の差異を生じている？

放射光施設活用(SPring-8)

特徴的な複
合圧延工程
に着目

【乾麺構造の観察】
放射光X線 μ CTで乾麺の
ミクロ構造評価。

【茹で麺のデンプン状態空間分布の可視化】
放射光X線マイクロビームで小角散乱(SAXS)/
広角散乱(WAXS)マッピング(μ SWAXS)測定による
ナノ構造評価。

【破断特性の評価】
茹で麺の破断特性からマクロな力学評価。

【製品設計】
手延べ製法のブラッシュアップ
・食感改良
・商品開発
・作業効率化

【機械学習】
多数の情報を詳細に
解釈するため、
マニフォールド学習を適用。

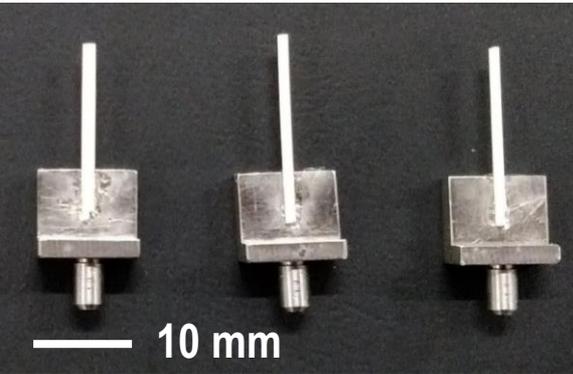
背景

目的

乾麺の μ CT@SPring-8 BL24XU

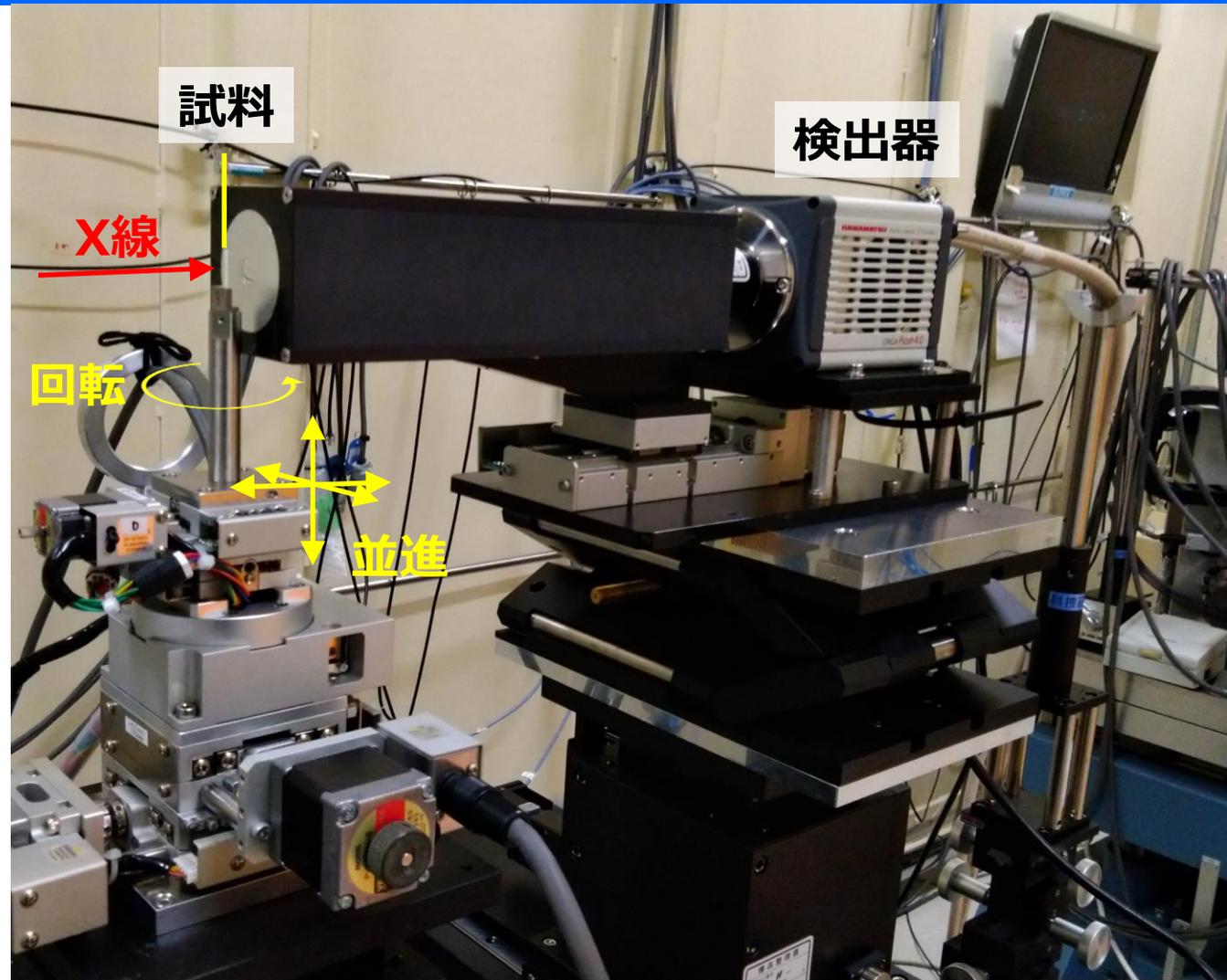
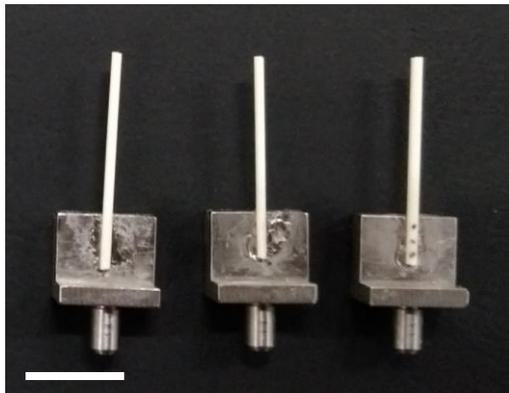
こね30分

複合12 24 36



こね20分

複合12 24 36



光子エネルギー: 15 keV (波長 0.0827 nm)

露光時間 : 0.10 s/投影、180°/1200方向 (0.15° step)

画素サイズ : 0.65 μ m/pixel

乾麺のμCT: 手延麺と機械麺の比較

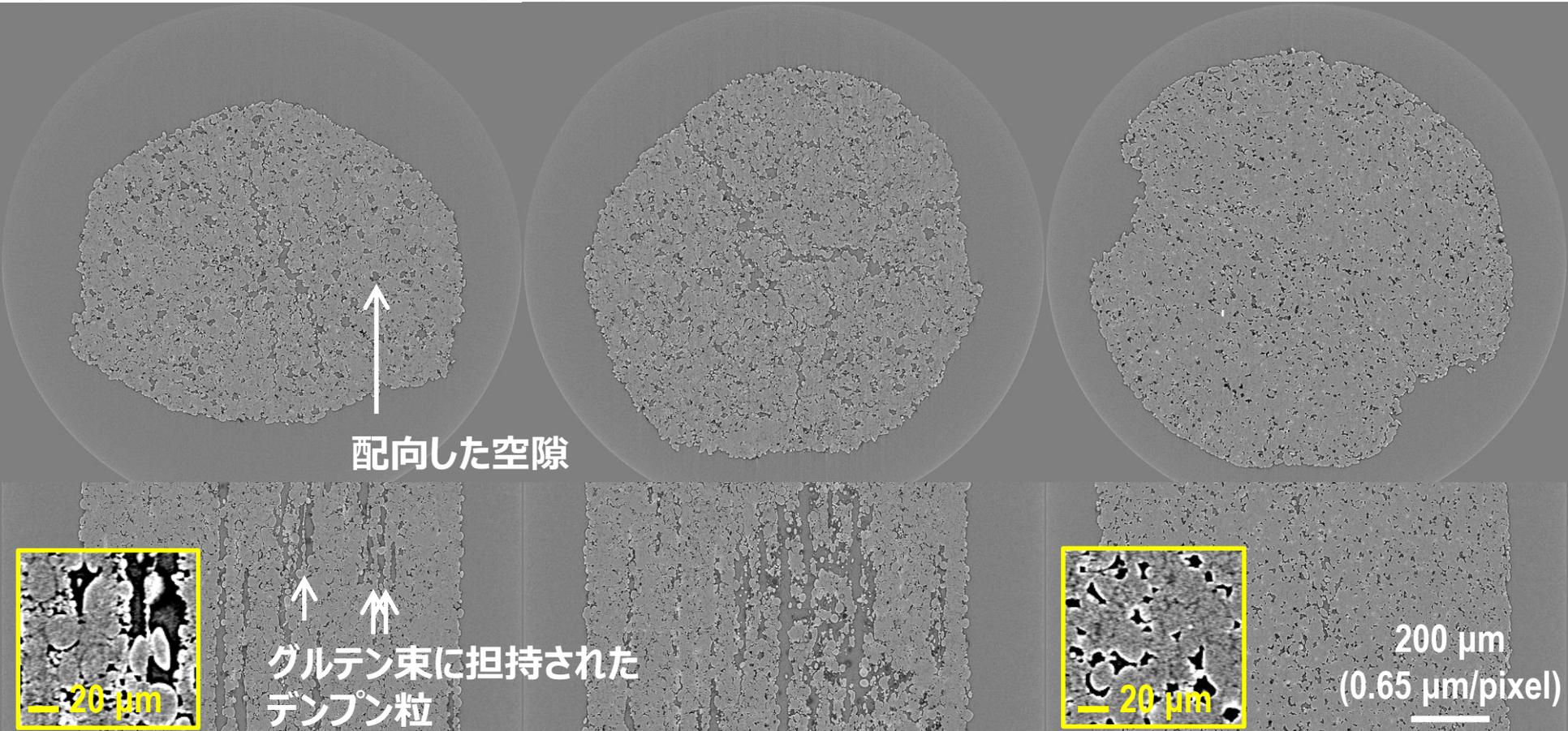
手延べ麺

(混捏30分・複合24本)

手延べ麺

(混捏30分・複合36本)

機械麺

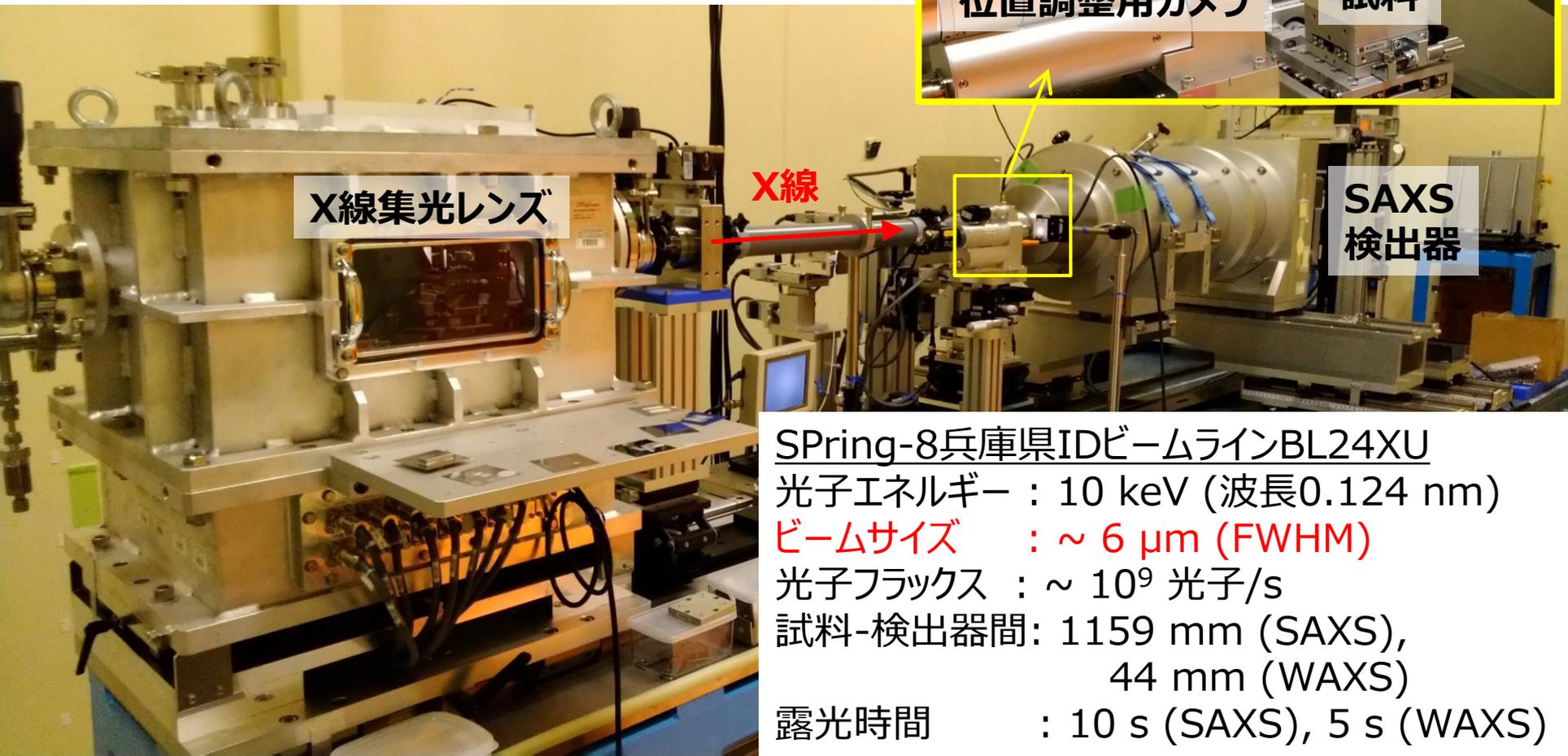


➤ 手延べ麺ではグルテンが麺線方向に配向し、デンプン粒を担持。麺線に沿った空隙構造。

➤ 混捏時間・複合本数を変えた手延べ麺を作製したが空隙構造の顕著な差異は見いだせなかった。

マイクロビーム小角X線散乱(SAXS)/広角X線散乱(WAXS)

- 試料構造の形状やサイズに応じた角度方向に生じる散乱パターンを分析する手法。
- 原料デンプンの結晶性に由来するピークが茹で調理によるデンプンの糊化で消失すると予想。
 - 茹で麺切片を6 μm のX線ビームで走査し、散乱プロファイルのマッピング測定を実施。



SPring-8兵庫県IDビームラインBL24XU

光子エネルギー : 10 keV (波長0.124 nm)

ビームサイズ : $\sim 6 \mu\text{m}$ (FWHM)

光子フラックス : $\sim 10^9$ 光子/s

試料-検出器間: 1159 mm (SAXS),
44 mm (WAXS)

露光時間 : 10 s (SAXS), 5 s (WAXS)

茹で麺切片試料の作製と測定

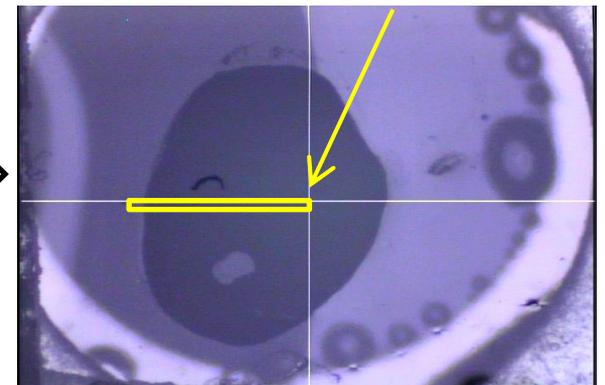
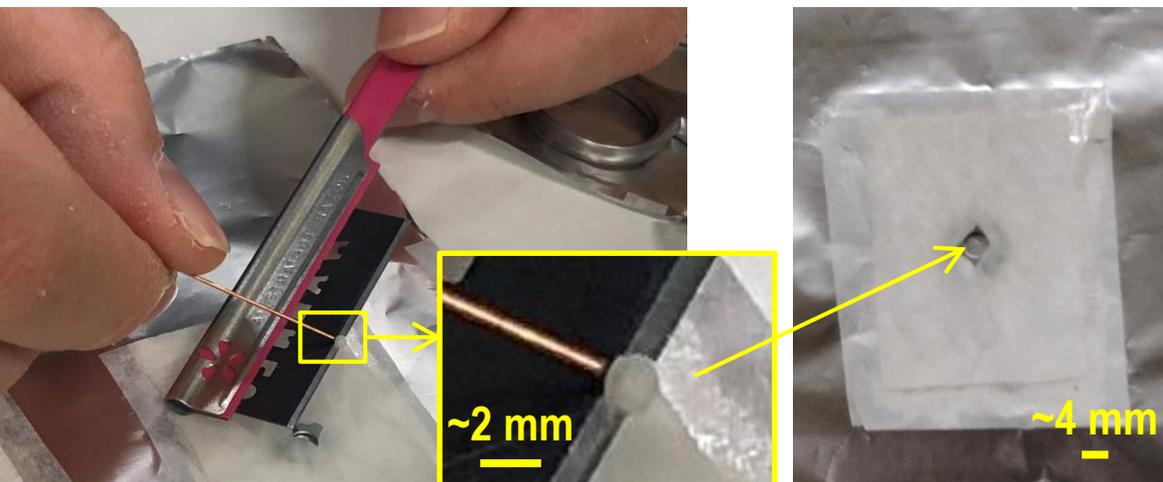
3 cm長の乾麺を1本ずつ吸水率68%程度となるよう茹でた。
95~100 °Cの恒温槽に入れて蓋を開けたまま茹で、
冷水中で揺らしながら30 s冷却。

カミソリで茹で麺を手早く
<1 mm厚に切片化。



切片を湿らせたキムワイプの穴の中央に置き、
PEEKフィルムで封じた(ワッシャーをスペーサーとした)。

1000H×50V μm の範囲を
10 μm stepでマッピング測定。
(結果の表示は左右反転)

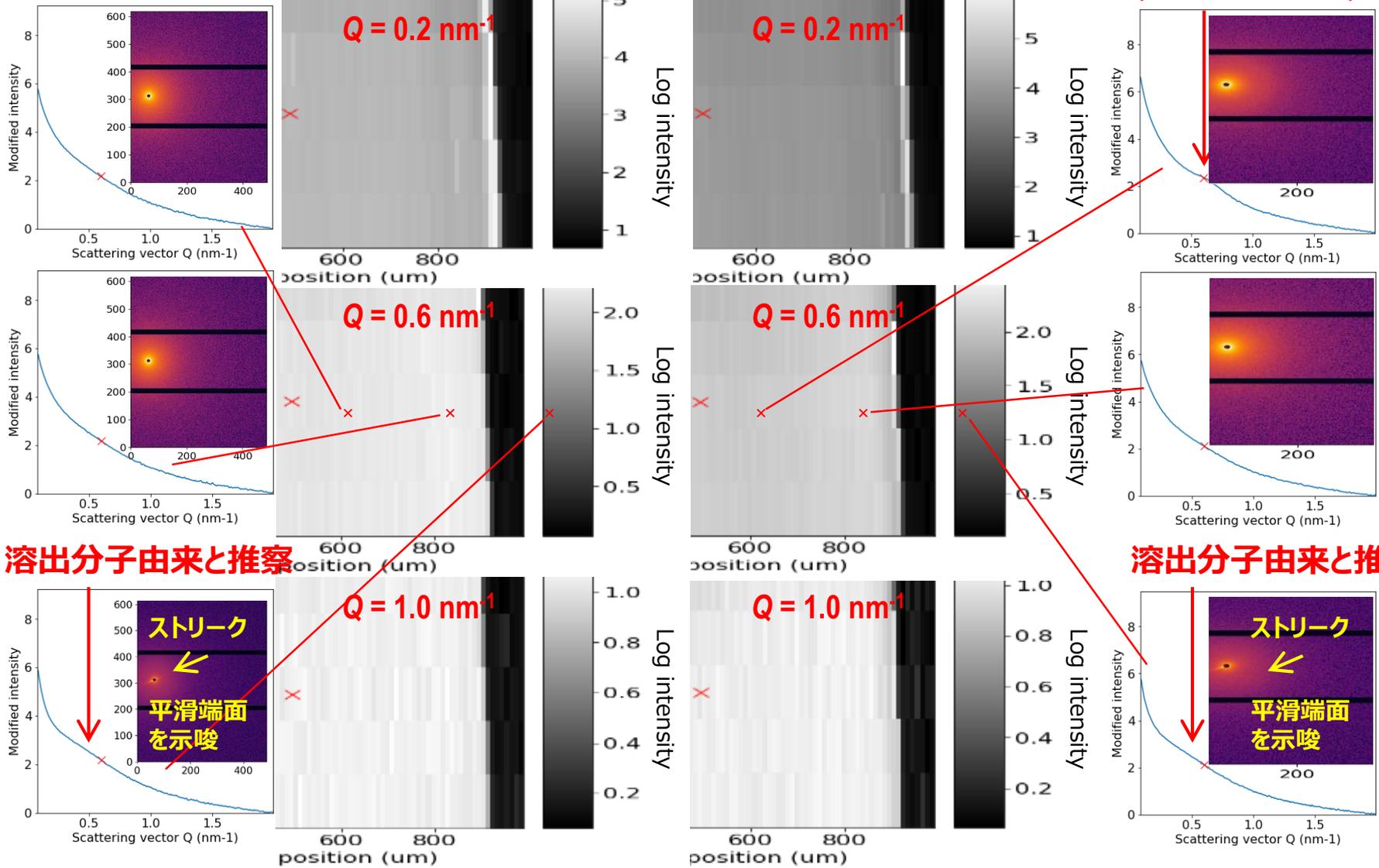


SAXS強度マッピング像

手延べ麺(混捏30分・複合24本)

機械麺

結晶由来のピーク
(WAXSでも確認)



溶出分子由来と推察

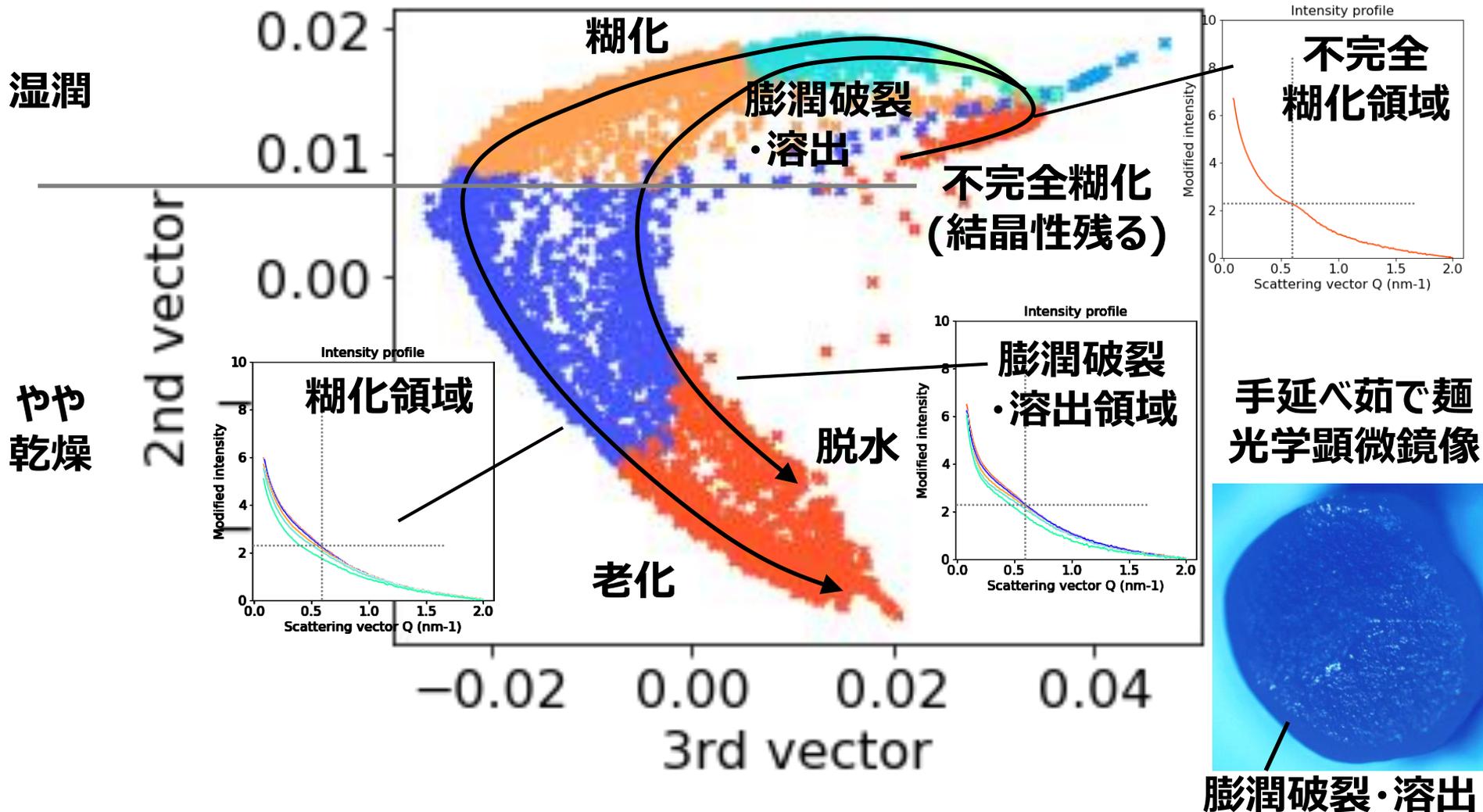
溶出分子由来と推察

機械麺は中央に結晶性が残る。両麺共に表面はデンプンが破裂して分子の溶出を示唆。

機械学習によるSAXSプロファイルの分類評価

5,000点分のSAXSプロファイルにマニフォールド学習を適用し、
個々のSAXSプロファイルを×でプロットしてデータ空間を可視化。

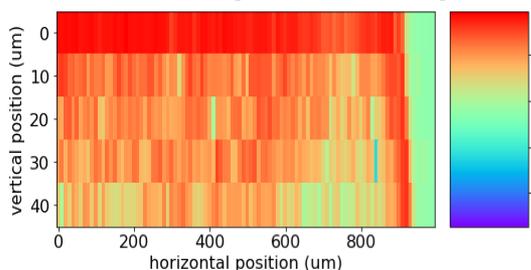
➤ プロファイル形状の類似度の順に並ぶ。デンプンの状態図と解釈できる。



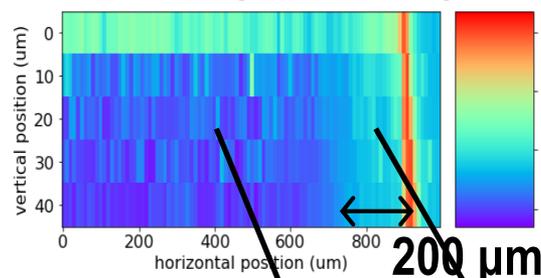
機械学習に基づくデンプン状態分布の可視化

手延麺

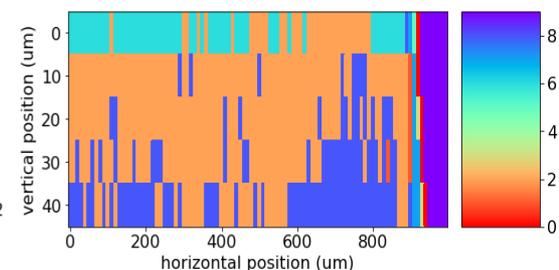
第2基底(乾燥状態)



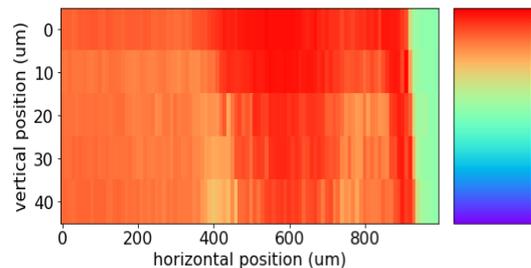
第3基底(糊化状態)



領域番号



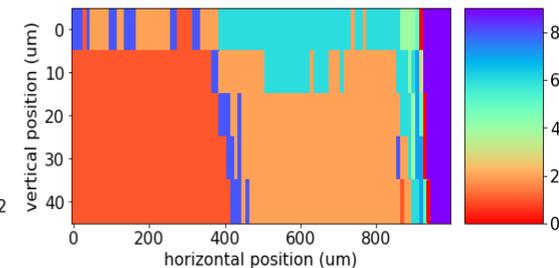
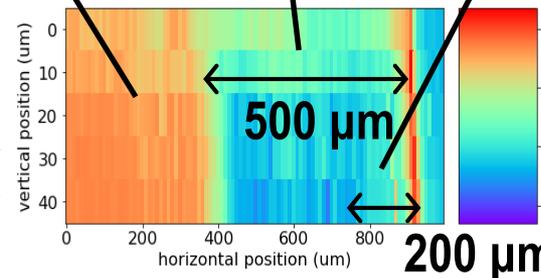
機械麺



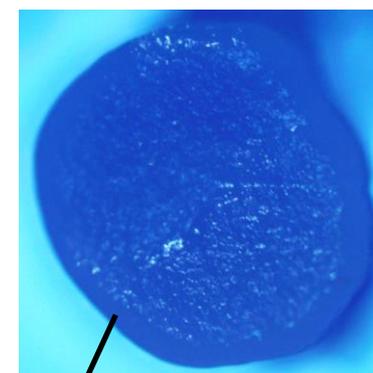
結晶性残存

糊化

溶出ゲル



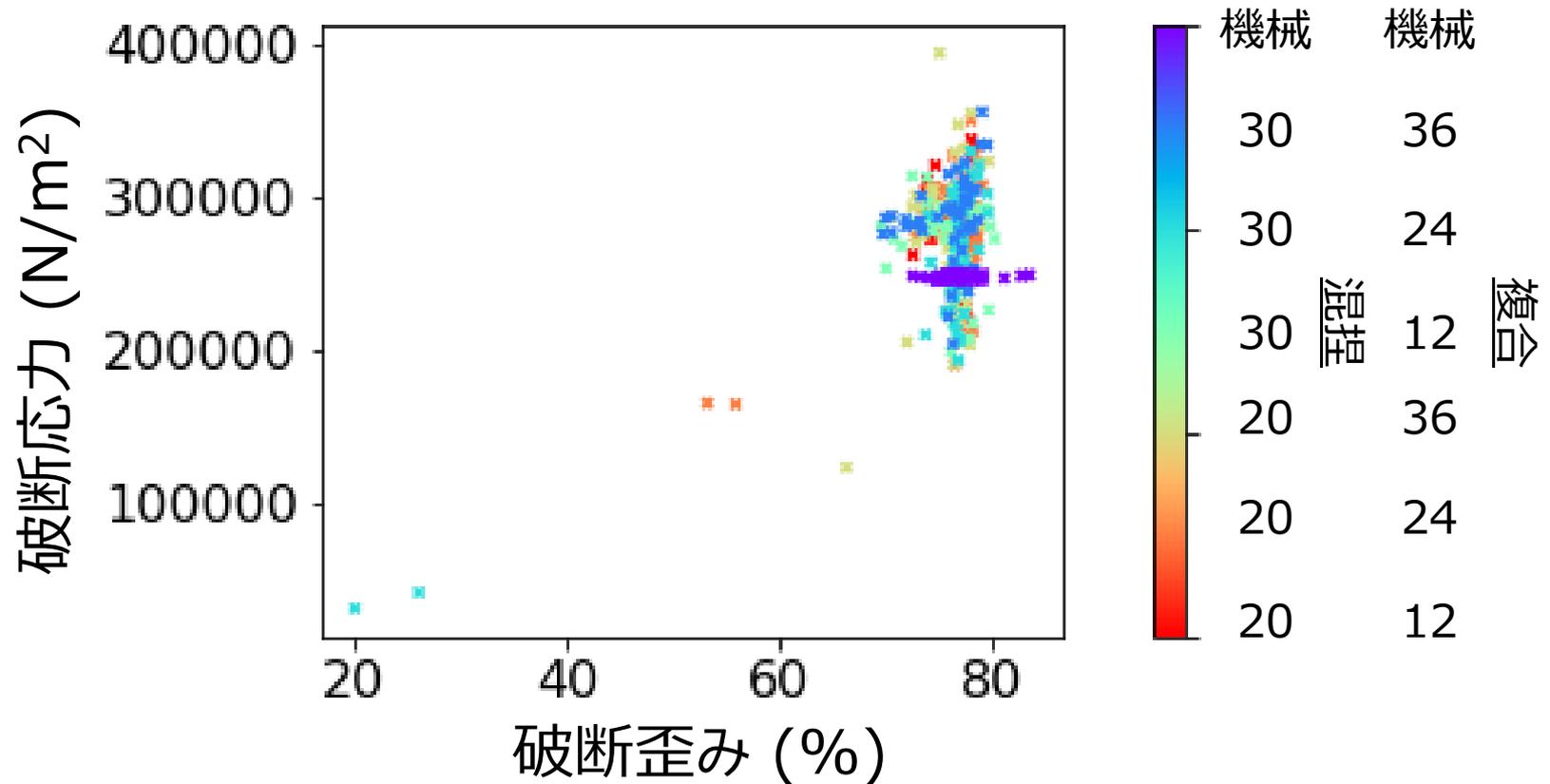
- 機械麺の表層から~500 μmより内側: 結晶性ピークが残存。
 - 手延べ麺のような空隙構造が無いいため表面からしか湯が浸透せず、麺周縁部と中心部で水分量勾配が生じ、不完全に糊化と推察。
- 手延べ麺・機械麺の表層~200 μm: ~14 nmの構造の存在。
 - 表層数層のデンプン粒が膨潤により破裂、アミロース・アミロペクチンが溶出したゲルと推察。のど越しに関与？
 - 乾麺構造に由来するデンプン状態の分布を可視化することに成功。



溶出ゲル

破断プロファイルの解析

構造-力学特性相関の理解のために、
茹で麺1本毎の破断プロファイルを測定(1製麺条件あたり50検体)

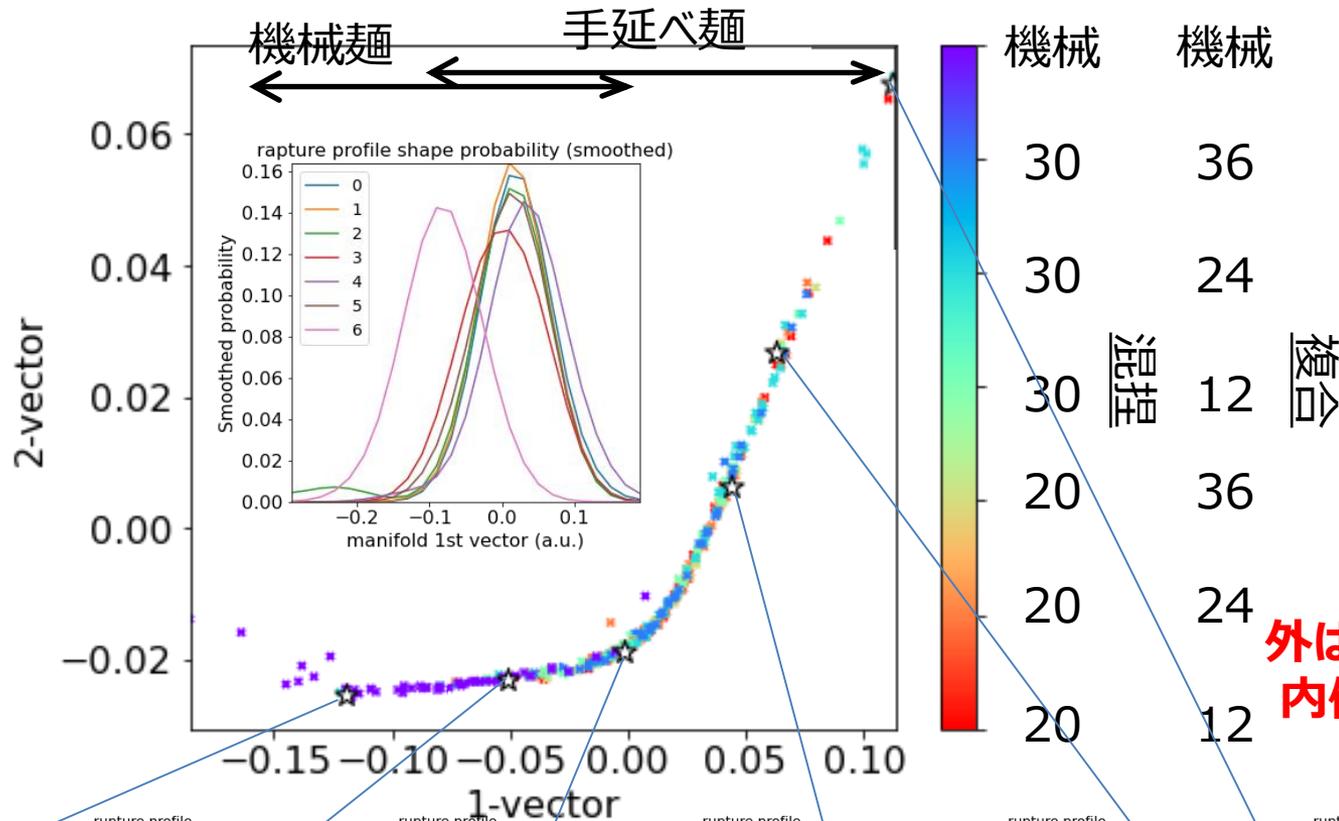


破断歪み: 70 - 85%の範囲に分布。

破断応力: 機械麺ではほぼ一定だが、手延べ麺では広く分布。

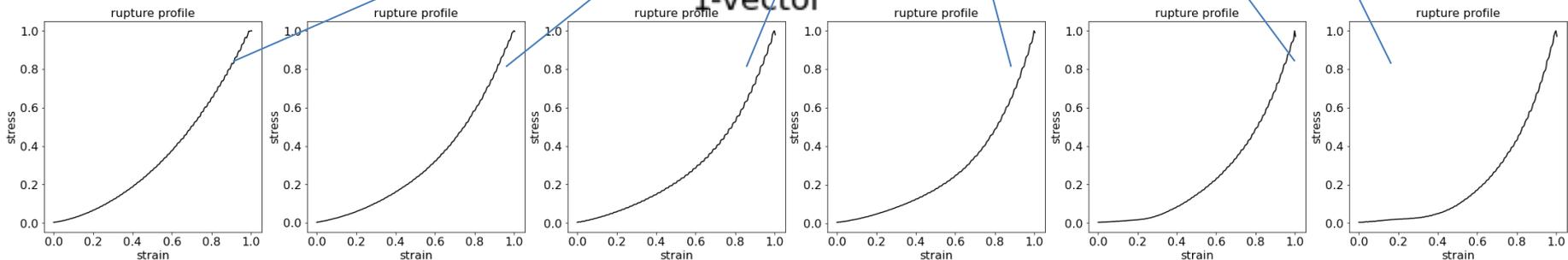
➤ 手延べ麺茹で麺の構造の分布を示唆。

破断プロファイルのマニフォールド学習



全体的に
硬い

外は柔らかく
内側は硬い
➤ コシ?



茹で麺1本1本の破断プロファイル进行分类することに成功。
手延べ麺では今回の μ SWAXSで捉えられていない構造の分布を示唆。

まとめ

本トライアルユース事業により、

- (1) 放射光 μ SWAXSマッピング分析と機械学習解析により、
茹で麺のデンプン状態空間分布の可視化に成功。
- (2) 手延べ素麺特有の配向した空隙構造が、
茹で麺中のデンプン粒子の均一な糊化に寄与することを示した。
- (3) 茹で麺表層はデンプンを構成する多糖高分子が溶出し、
平滑なゲルを構成している可能性を示唆。
- (4) 破断プロファイルの機械学習解析から、
手延べ麺茹で麺には μ SWAXSマッピング分析で捉えられていない
構造の差異が存在することが示唆された。
 - より狭小なX線ビーム・薄い切片試料での
空隙近傍のデンプン状態可視化。(3と類似の現象の有無)
 - 乾麺・茹で麺中のグルテンの三次元ネットワーク構造の評価。
(例えば位相コントラストX線顕微CTなど)

将来の空隙構造やグルテン立体構造を制御した製品設計へ。 ¹⁵