

令和7年度仙台市NanoTerasuトライアルユース事業

NanoTerasuと機械学習を活用した 新規フリーズドライ麺製造プロセス構築の試み

マルニ食品株式会社

- 明治18年(1885年)に街道の麺茶屋として創業。
- 手延べうどんを始めとして、なま麺や乾麺を製造し「麺のある楽しい暮らし」を目標として、日々、人々に寄り添い時代に合わせた幅広い商品づくり

日本の麺文化を磨き上げ

世界に喜ばれ誇れるもの

誰かに必要とされる存在になれるために日々邁進

- その時代や場所に合うような商品づくり
- スーパーやコンビニに合わせた日常的な商品、大切な人への贈り物や特別な日などの非日常、お土産屋さん向けの商品など「人々の生活」に合わせた商品づくりに力を入れている
- また、今後の開発は、フリーズドライを始めとして今までの麺を超えるような商品づくりを行っていき、次の時代に伝えていきたい

- 人々の暮らしが多様化し、それに寄り添った商品づくりをするなかで健康的な材料を使用したフリーズドライ麺の作成に挑戦
- フリーズドライ食品は、高い保存性や調理不必要性、高い携帯性からフードロス削減や災害地域への供給といった社会課題解決にも資すると期待
- 2023年(SPring-8)および2024年(NanoTerasu)のトライアルユースおよびシェアリング2000により、冷凍・乾燥工程における麺内部の微細な相分離や空隙構造の可視化に成功
- 「湯戻りの悪さ」や「食感の劣化」を克服する指針を得て、テストマーケティング段階へ移行済み

直面している課題

- 高品質化に成功した次の課題は、大量生産に向けた生産コストと効率の改良
- 「高品質」と「購入しやすい価格」を両立させ、製品を広く展開するための製造プロセスの革新

本トライアルユースの目的

- これまでの研究で確立した「高品質フリーズドライ麺」の知見を基に、製造工程を科学的に最適化する解析基盤の構築と試行
- NanoTerasuの高度な分析能力と機械学習を組み合わせ、「食感(品質)」と「製造コスト」という相反する要素を高いレベルで両立させる最適条件の予測に繋げる

フリーズドライ工程と製造コスト

- 各工程に要する時間が生産性・製造コストに直結。
 - 最初のトライアルとして製造コストを必要時間で、FD麺としての機能性を湯戻し性に関係する多孔構造で指標化。

製麺・茹で



冷凍

- 食品組織・成分固定
- 相分離・氷晶制御
 - 脱水性・湯戻し性
 - 食感・食味



乾燥

- 多孔構造形成
 - 湯戻し性
- 含水量調整
 - 保存性・食感



製品



サンプル水準と製造コスト

製麺および冷凍条件の異なるフリーズドライ麺を用意し、
製造コスト高～低を1～3の3段階評価

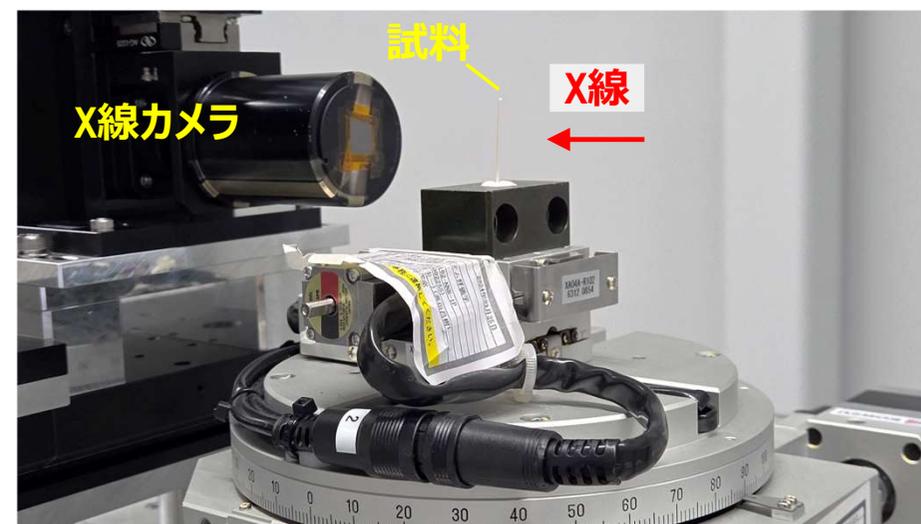
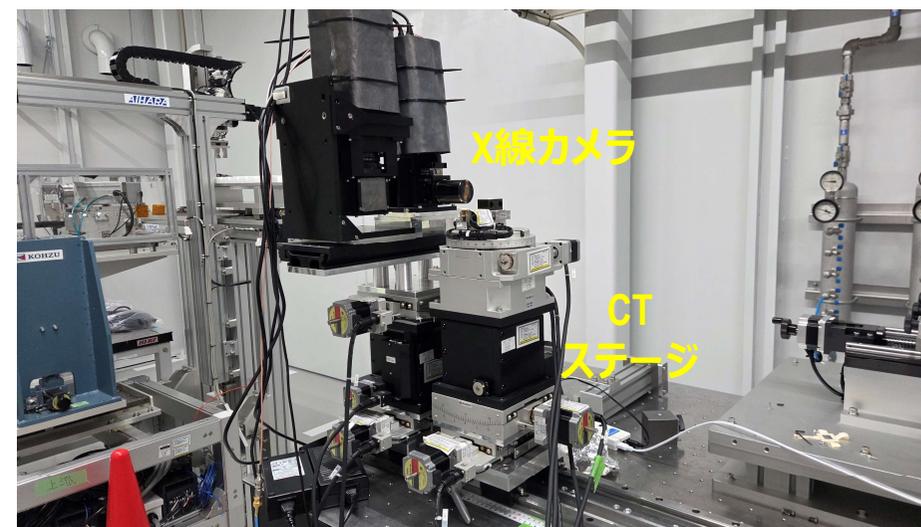
ラベル	A	B	C	D	E	F
製麺工程	高	低	低	高	低	低
冷凍工程	高	高	高	高	高	低
スコア	1	2	2	1	2	3

湯戻し性の向上に重要な
フリーズドライ麺の空隙構造の可視化と定量化を
NanoTerasuの高空間分解能 μ CTで実施。

白色X線CTビームライン

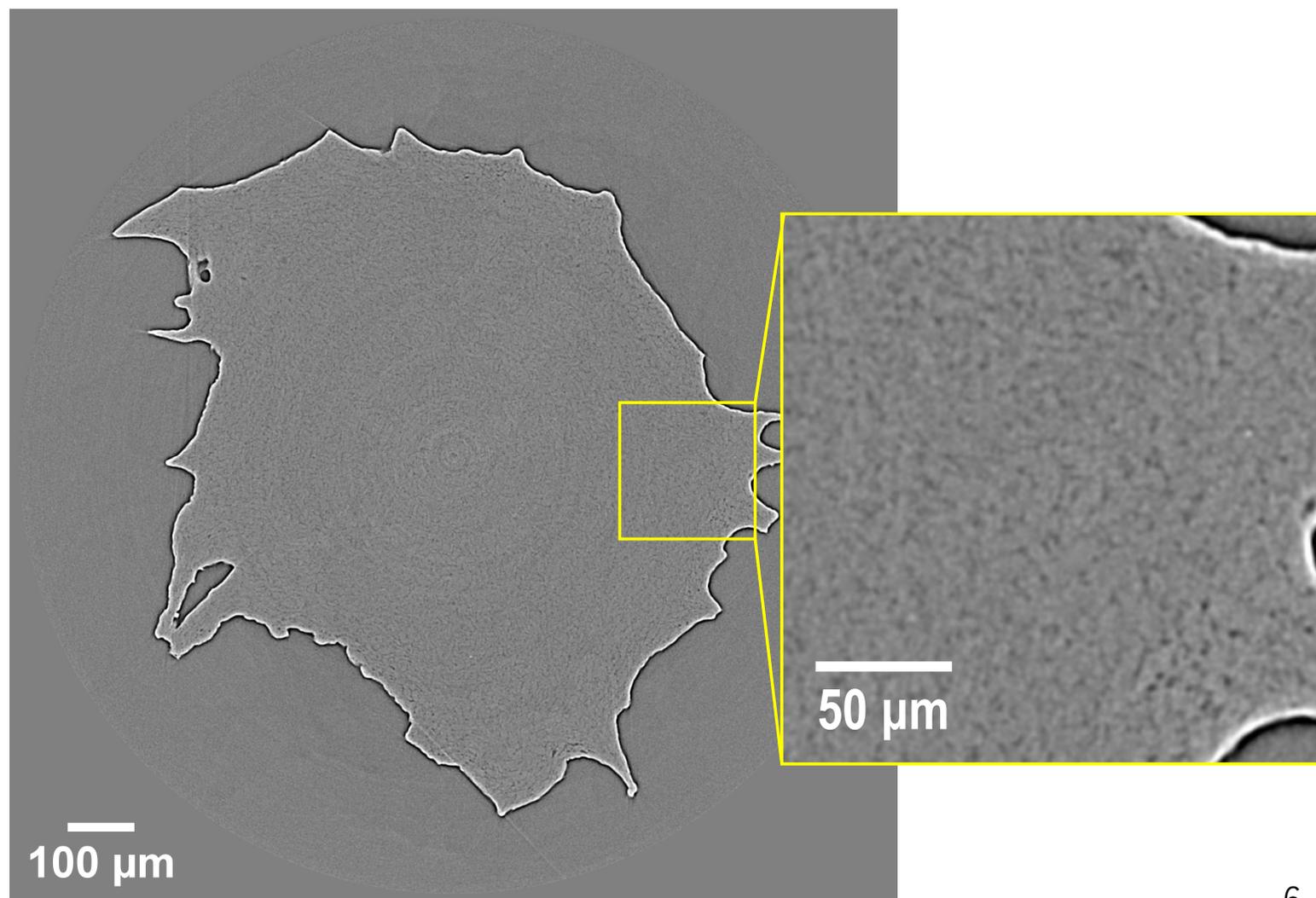
4~30 keV(波長0.3~0.04 nm)の
連続スペクトル

- 厚さ100 μ mのAgアブソーバーにより
特に25 keV(0.05 nm)付近を利用
- 高空間分解能カメラの搭載により、
画素サイズ0.65 μ m、
視野1.3 mmW x 1.3 mmH
- 試料-検出器間距離を55 mmとし、
屈折による輪郭強調コントラストを利用。



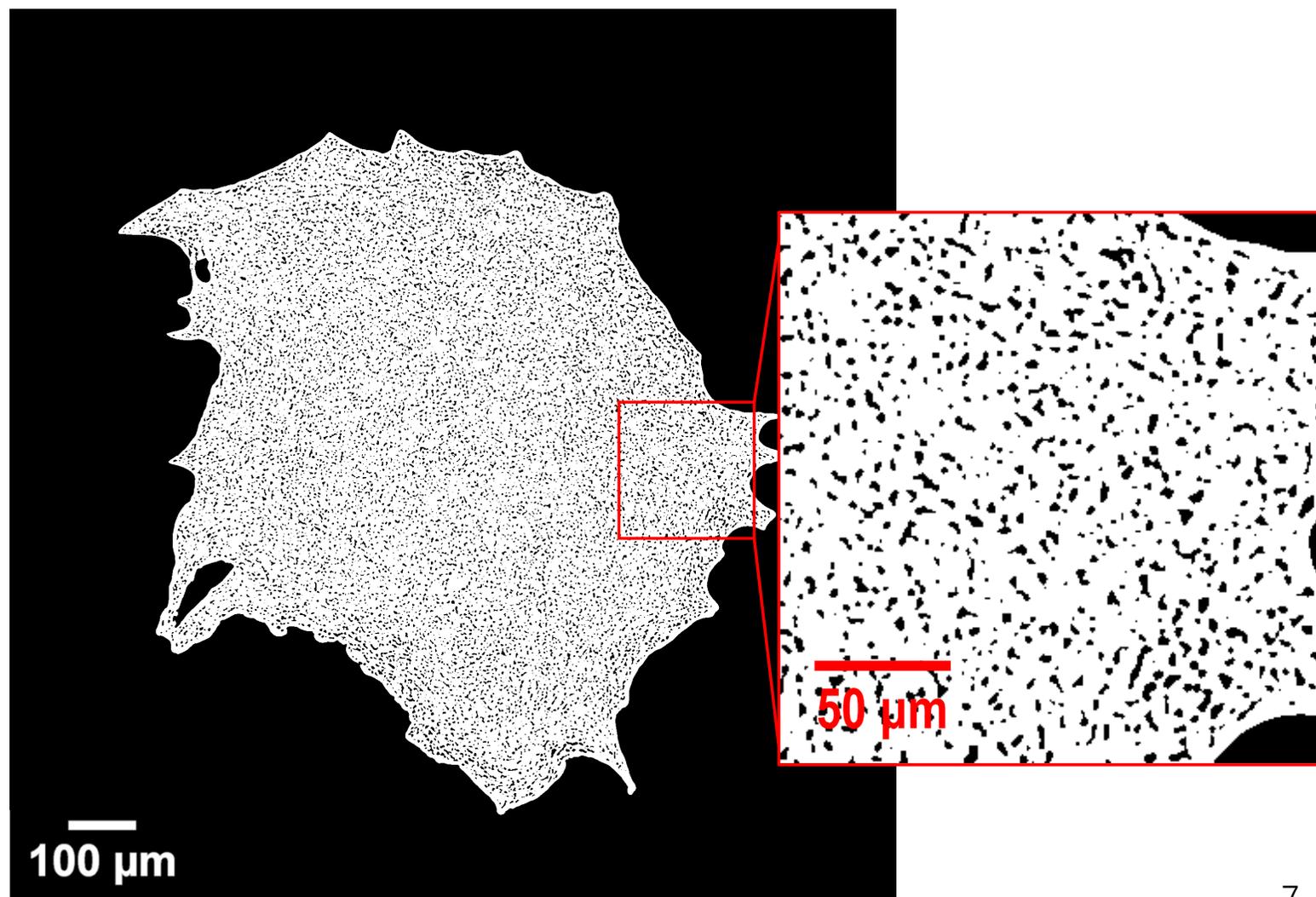
あるプロセス条件の フリーズドライ麺断層像

- デンプンが粒状性を保持したまま乾燥により収縮。
- 3 μm 程度の微細な空隙。
 - 湯戻しに重要な空隙構造の可視化に成功。
 - 放射光X線 μCT でなければ非破壊観察は困難。



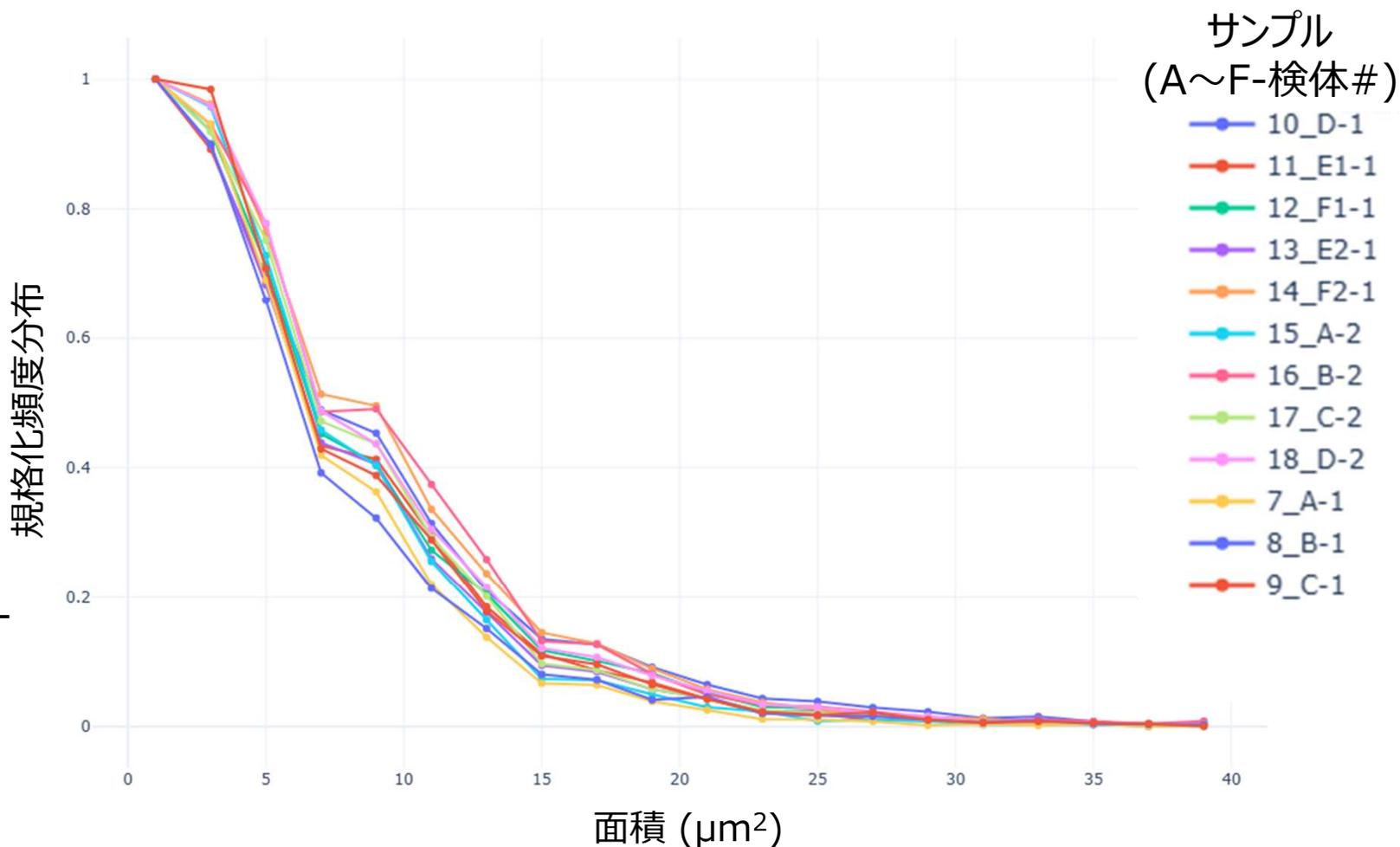
空隙情報の抽出

- ImageJのAuto Local Threshold機能でPhansalkar法による二値化を実施。
- ImageJのAnalyze Particles機能で空隙情報を数値化。
 - 空隙情報を適切に定量することに成功。



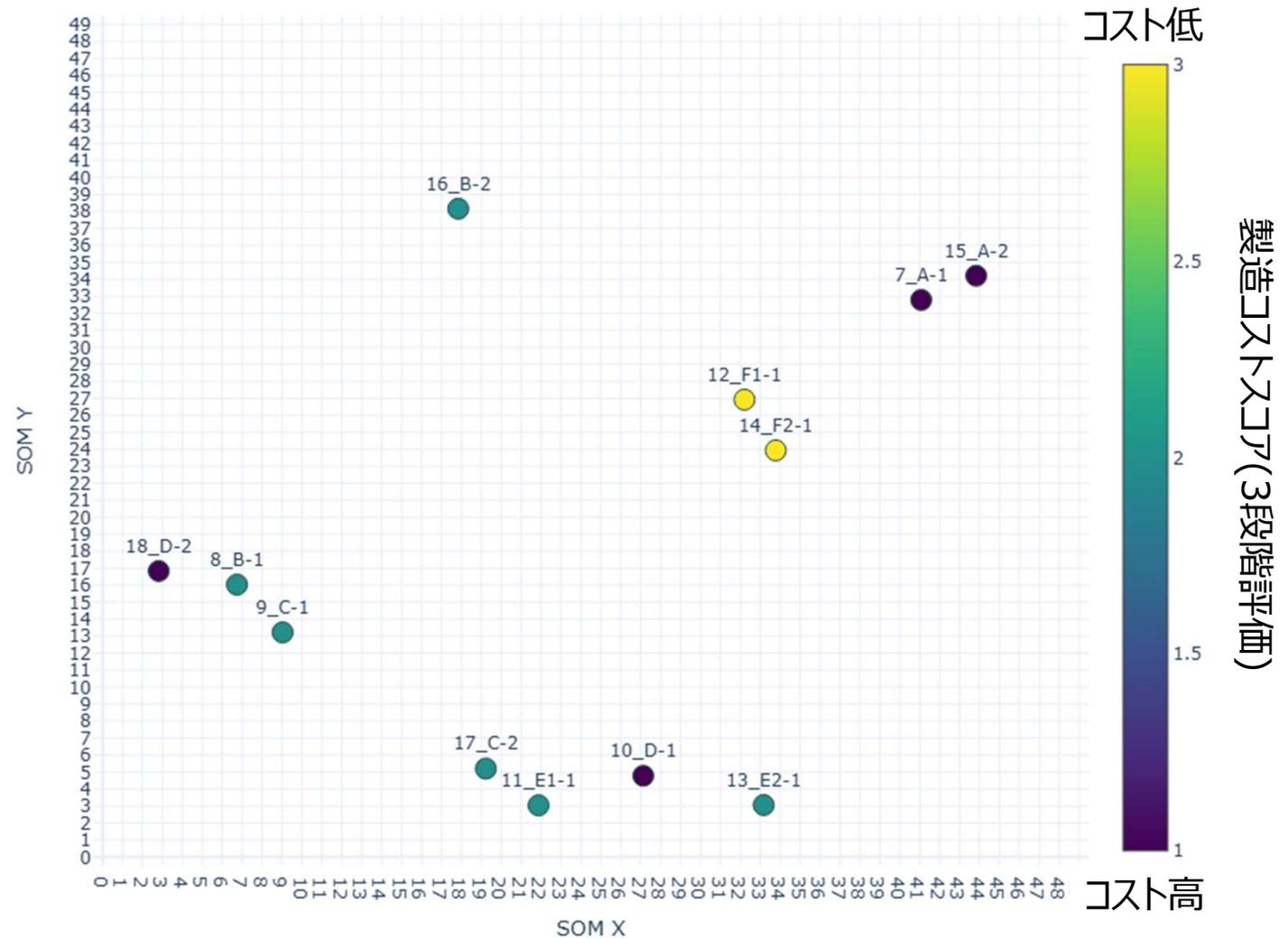
規格化頻度分布の計算

- フリーズドライ条件
A～Fについて、
空隙面積の頻度分布を
計算。
- フリーズドライ条件間で
傾向は類似しているが、
やや異なるサイズ分布。
- 機械学習の一種である
自己組織化マップ(Self-
Organized Map,
SOM)による比較を
実施。



自己組織化マップ(SOM)による分

- 空隙サイズ分布が、似たフリーズドライ条件は近くに、異なる条件は遠くにプロット。
- 製造コスト(3段階スコア評価)で色付けすることで、湯戻しに重要な空隙構造と製造コストの関係を可視化。
 - 比較した製造条件や構造パラメータは限定的だが、評価基盤を構築することができた。
 - 比較事例を増やすことで分類軸XおよびYが自動抽出した関係性を同定・解釈できるものと期待。



- NanoTerasuの高品質なX線を利用した位相(屈折)コントラストCTにより、フリーズドライ麺の湯戻し性に重要な因子である空隙の形状分布を数 μm スケールまで定量的に可視化評価を行うことができた。
- 自己組織化マップ法により空隙の形状分布を分類することで、製造コストとの相関性を視覚的に可視化評価する方法論を構築することができた。
 - 今後、フリーズドライ条件数を増やすと共に、空隙の形状分布だけでなく、デンプンの再結晶化度や官能性など、多面的に比較分類することで、製造プロセスと製造コストのバランスの最適化を検討する。

東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター/農学研究科
高山 裕貴 准教授

ナノテラス共創推進機構
高田 昌樹 副機構長 / 教授

光科学イノベーションセンター
高橋 聖弥 博士