



令和5年度 宮城県放射光利用実地研修

「放射光X線CTによる食品解凍技術の評価」

アイリスオーヤマ株式会社
応用研究部 藤村 洋



I 本実地研修の目的

II X線CTによるマグロの組織構造観察と解凍メカニズム解析

1 解凍方法別のマグロの組織観察

事前測定 宮城県産業技術総合センター

放射光測定 あいちシンクロトロン(2シフト8h)

2 解凍過程の組織観察とメカニズム解析

事前測定 宮城県産業技術総合センター

放射光測定 SPring-8(1シフト8h)

III 放射光利用によって得た成果と課題



目的: 解凍家電の技術評価

家庭で冷凍食材をおいしく解凍できる 家電製品の開発

食品のおいしさは内部構造による食感の影響が非常に大きいため、三次元での構造把握が可能なX線CTを活用したい。



マグロの食味を低下させると言われているドリップが出るメカニズムや氷結晶の再結晶化の過程を観察し、解凍条件の最適化につなげる。

時短でおいしく解凍を

実験ステップ

解凍方法、条件の異なるマグロ（例）を用意し、X線CTで三次元組織構造の差異を明らかにしていく。

宮城県産業技術総合センター
凍結乾燥品によるX線CT観察 6月



あいちシンクロトロン BL8S2
解凍後サンプル（生）による
放射光X線CT観察 6-7月

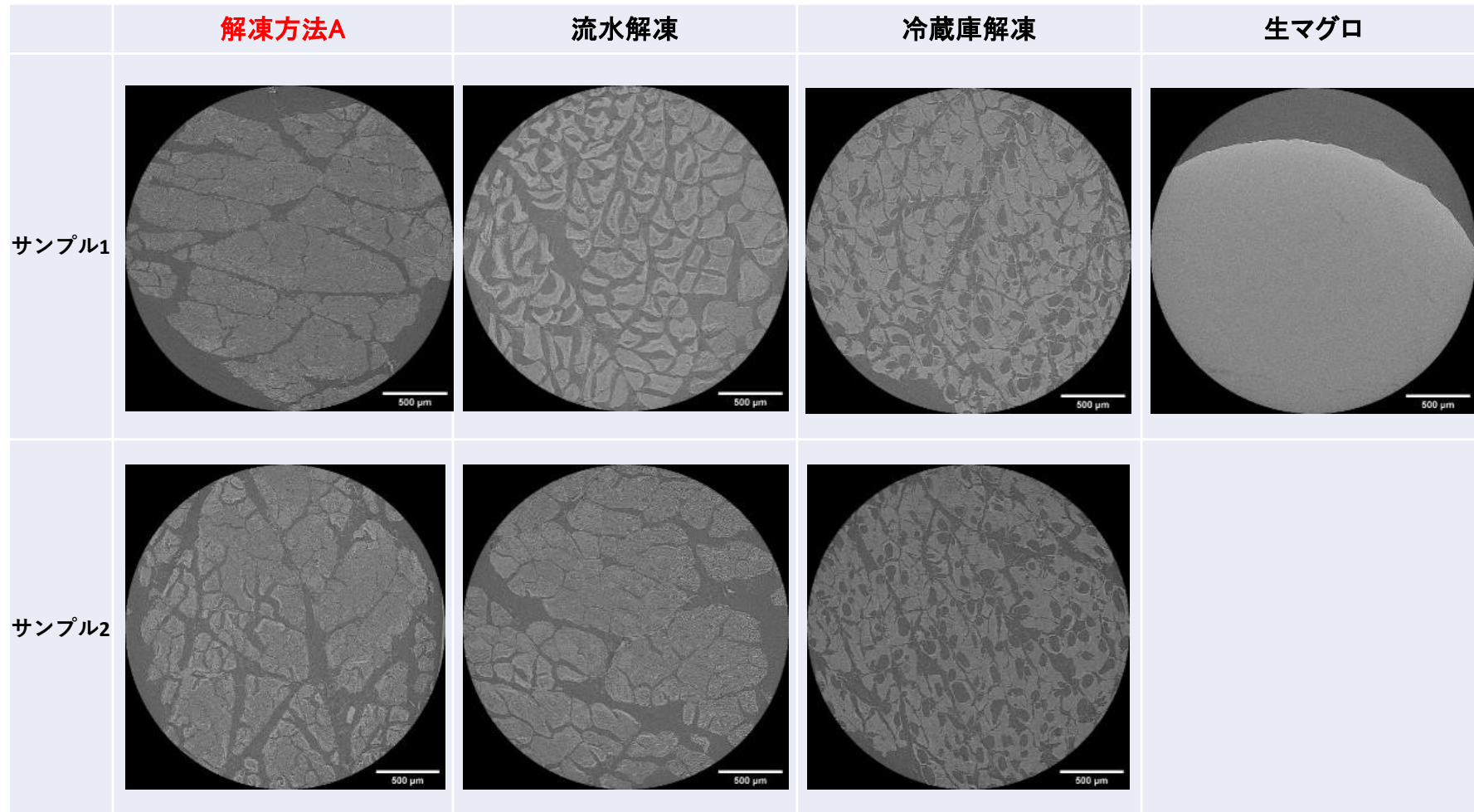


SPring-8
凍結中サンプルのcryo-X線CT観察 11月

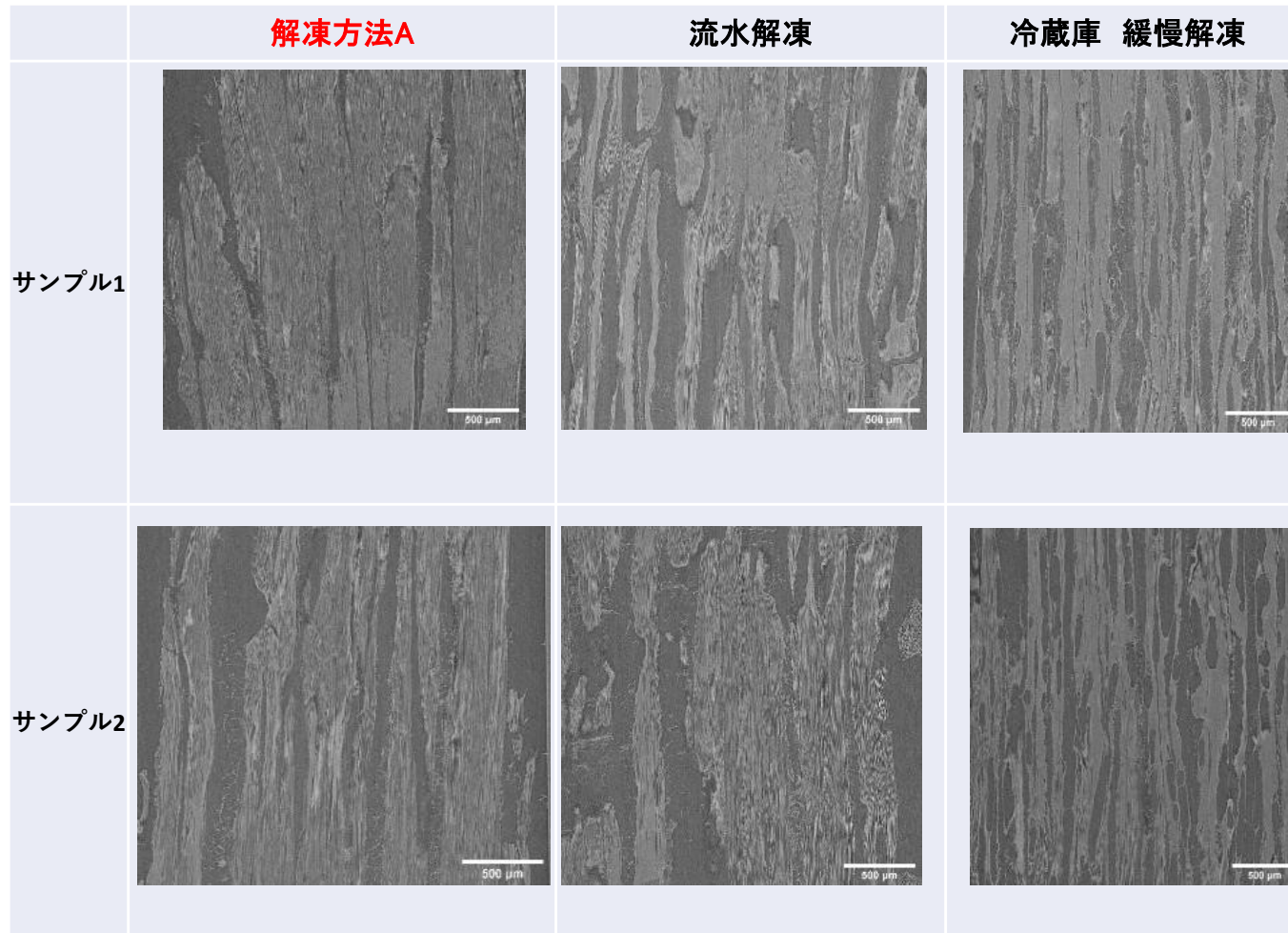


放射光X線CTを活用し、解凍マグロの組織評価と解凍メカニズムを解明していく。

冷凍マグロを各解凍方法で解凍した後、凍結乾燥したサンプル



冷凍マグロを各解凍方法で解凍した後、凍結乾燥したサンプル

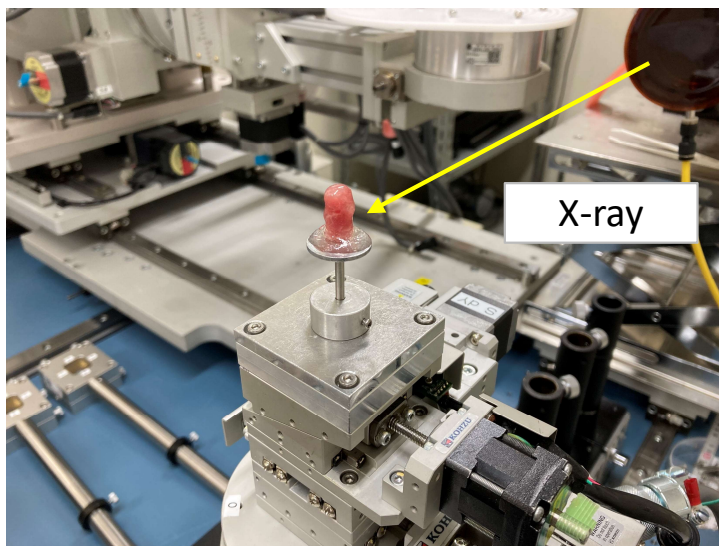


筋繊維が剥がれたような構造と切れた構造が確認された。

⇒では乾燥させていない解凍マグロは同じ様に見えるのか

解凍したマグロの内部構造をあいちシンクロトロンで測定

測定の様子



※解凍に必要な冷蔵庫、電子レンジ、冷凍マグロは持ち込み

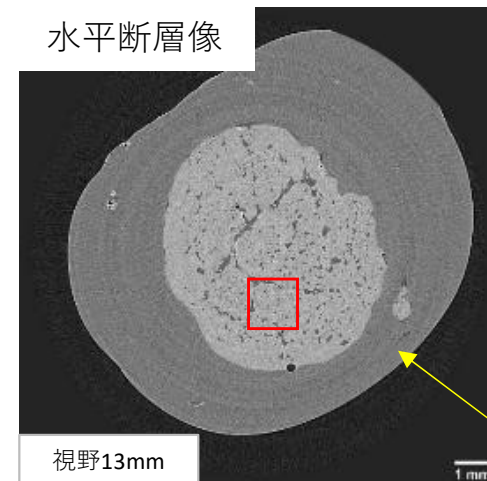
サンプル：各方法で解凍した本マグロ赤身(200g)からφ8mmで切り出し、UV硬化樹脂でサンプルホルダーに固定した。

解凍方法：解凍方法A、冷蔵庫解凍、流水解凍、氷水解凍、室温解凍、電子レンジ解凍

測定：BL8S2 単色光14keV 1測定に15分

放射光X線CT測定例

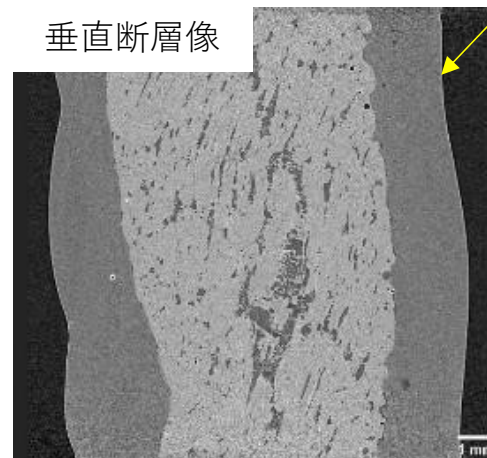
水平断層像



視野13mm

UV硬化樹脂

垂直断層像





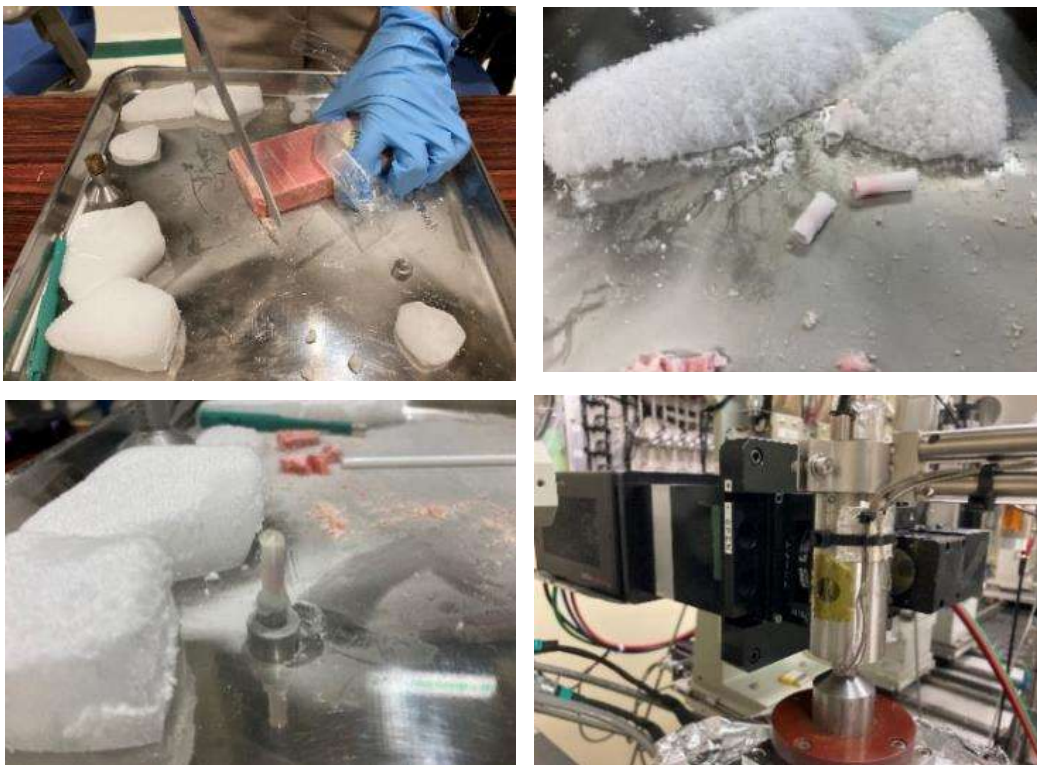
	解凍方法A	冷蔵庫解凍	氷水解凍	流水解凍	常温解凍
解凍後の写真					
断層像(拡大)					
ドリップ	4.8g	3.1g	4.4g	19.7g	16.6g
食味	○ 評点4.6	○ 評点5.0	○ 評点4.4	× 評点3.1	× 評点-

解凍方法による構造の違いとドリップ量、官能評価に相関がありそう

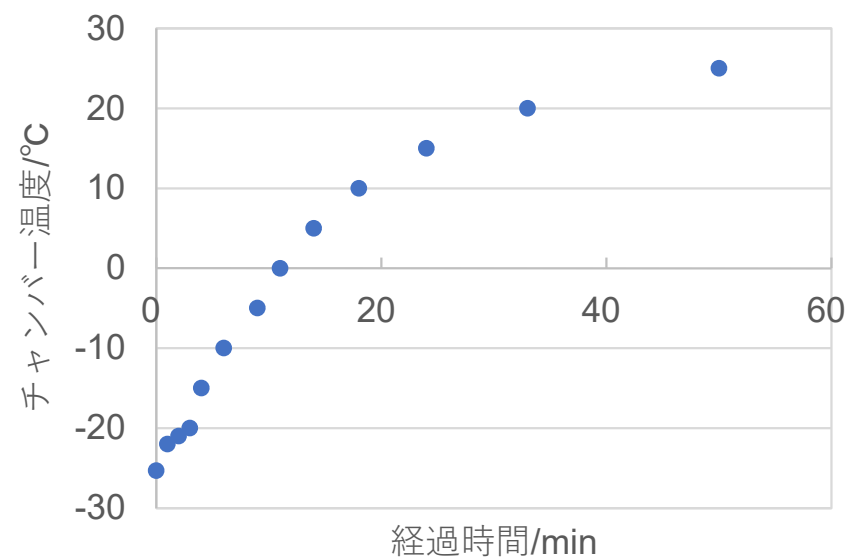
⇒では解凍中に何が起きて構造の差が発生しているか

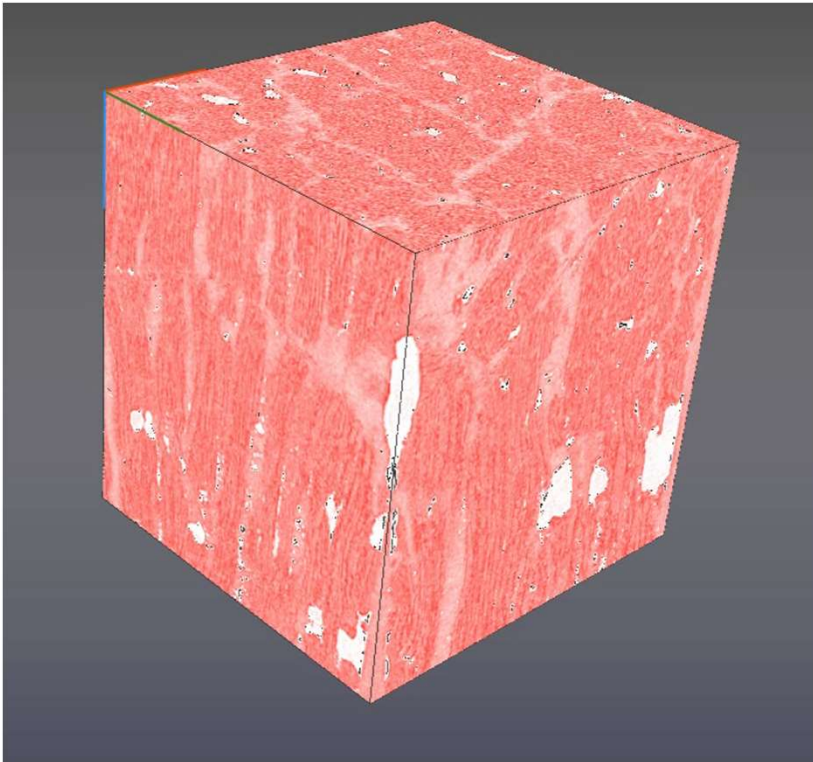
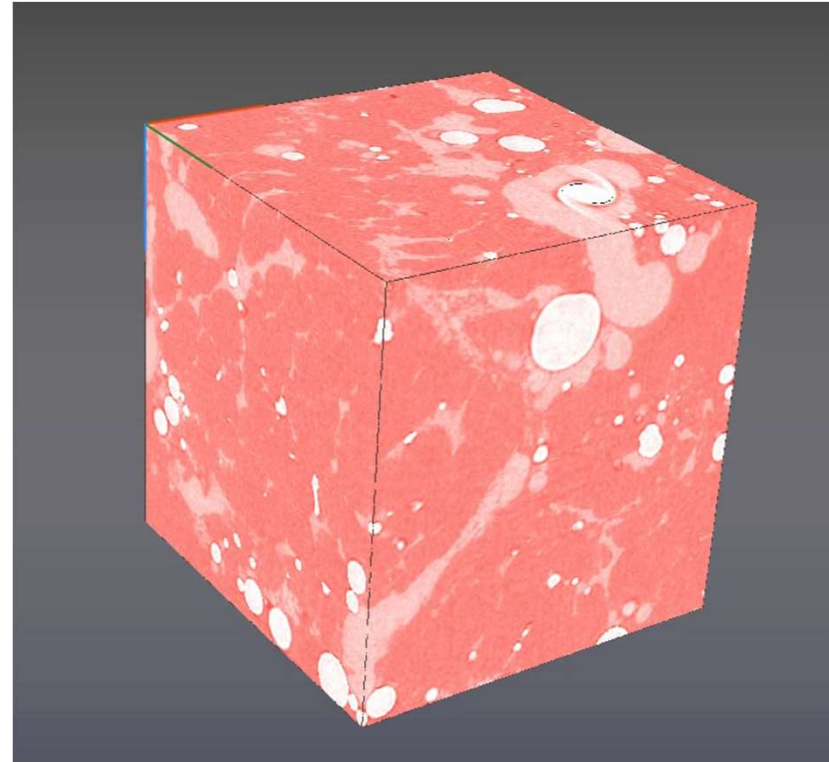
サンプル：冷凍マグロをドライアイスで冷却しながら切り出し、サンプルを成形した。(4φxH6mm)
切り出したサンプルをPP製ストローに封入しサンプルホルダーに固定した。

測定：サンプルに窒素ガスを吹き付けることで急な昇温を抑えながら放射光X線CT測定を行った。
波長は1Å 12.4keV 1測定にかかった時間は5分(75秒でも実施)
測定温度は窒素吹き付けカバー内側の温度を測定した。(右下温度変化グラフ参照)



※アルミバットの下にもドライアイス2kg



-30°C  25°C 

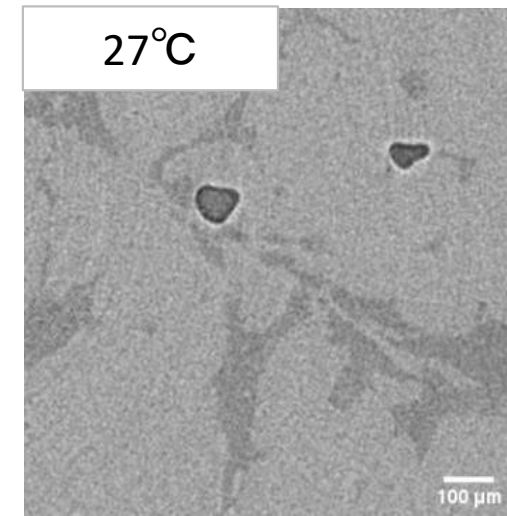
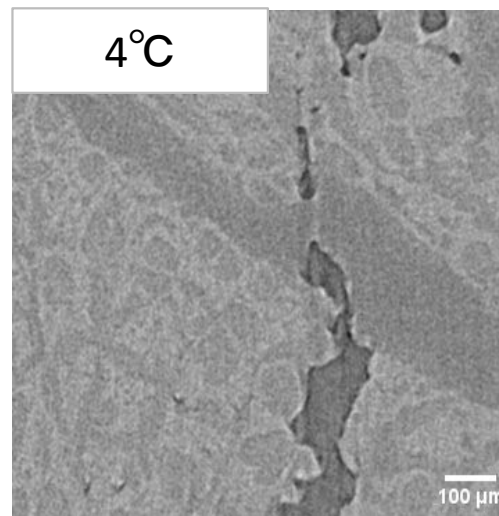
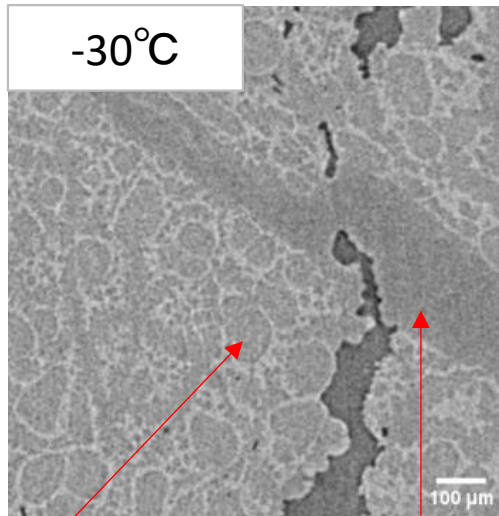
※1サンプルの同じ場所を観察している。

※※濃赤：筋組織 薄赤：細胞外凍結部 or ドリップ 白：空隙

※※※スケールは一辺が4mm

冷凍状態では繊維状に見えていた組織が解凍されると膨潤している。

→この解凍過程を観察していく。



薄グレー：細胞内氷結晶

濃グレー：細胞外凍結

白：凍結濃縮された組織

黒：空間

細胞内で白い領域が広がる
→凍結濃縮された組織が**復水**
(凍結時に分離したたんぱく質
と水が混ざり合う) している

筋組織が膨潤しドロップが押し出されている

低温域：構造変化はなく、細胞内で復水している。

高温域：筋組織が膨潤し、ドロップが排出されている。

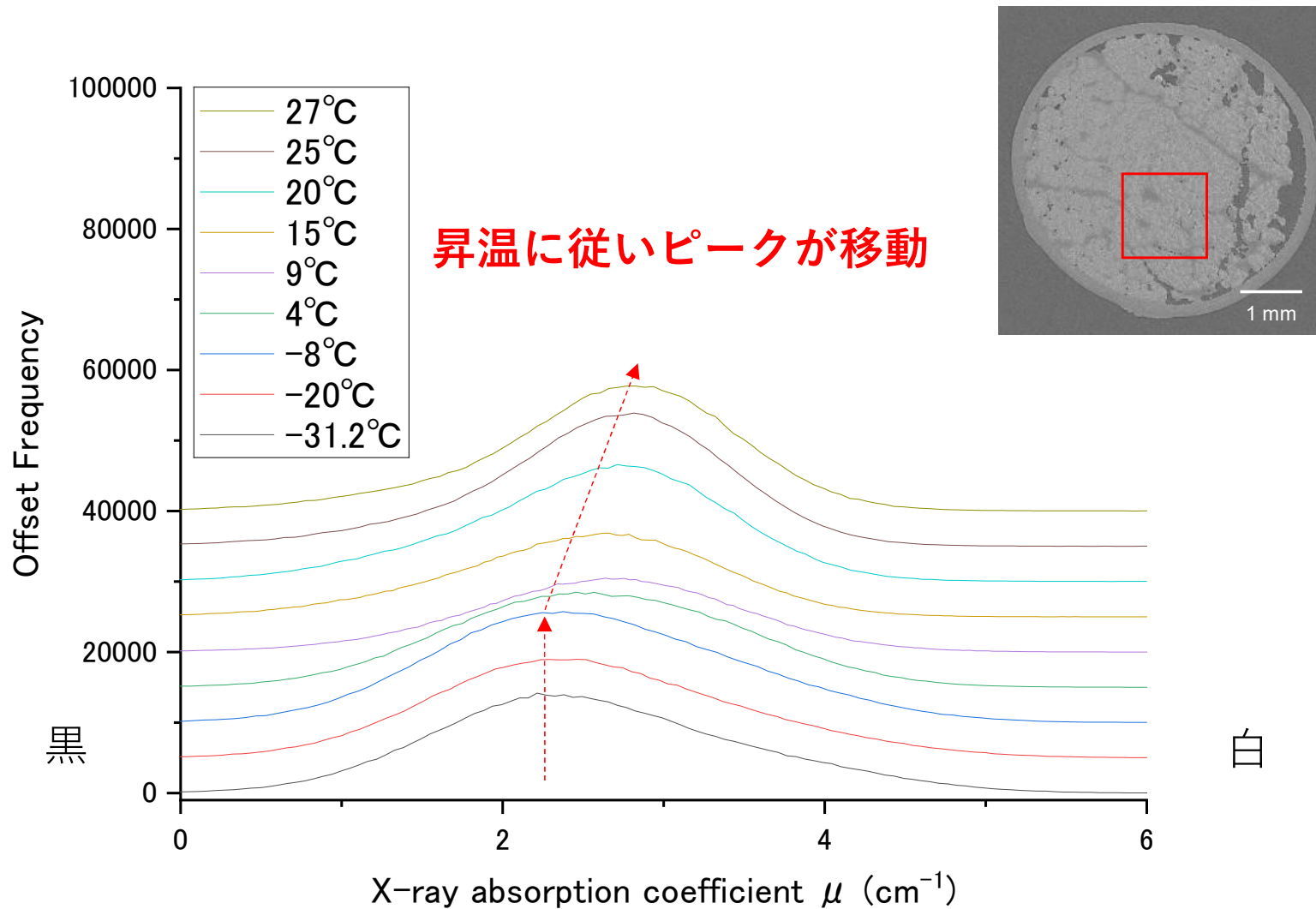
ドロップの出る様子、タイミングを数値やグラフで定量化できないか



X線吸収係数解析

赤枠内のX線吸収係数（コントラスト）のヒストグラムを抽出しプロットしてみた。

X線吸収係数：吸収されるX線エネルギーの割合。ざっくり密度に比例する。
小さければ黒く、大きければ白く映る。





成果

・解凍技術の評価

放射光X線CTで開発技術が評価できた。
おいしさに関わるエビデンスを取得できた。

・解凍過程の可視化

解凍メカニズムを可視化、解析することで他食品への用途が広がった。

課題

・結晶成長の観察

最大氷結晶生成帯(-5°C程度)での結晶成長による細胞破壊の様子観察
温度コントロール

・マグロの死後硬直に関わるCa-ATPの考察

・サンプル

配送中の温度管理、部位



謝辞

本日発表した実験成果は

- ・ 宮城県産業技術総合センター
- ・ 科学技術交流財団あいちシンクロトロン光センター
(BL8S2 実験番号202302139)
- ・ **SPring-8**
(BL14B2 課題番号2023B1780)

で行ったものです。

測定、相談させていただいた

- ・ あいちシンクロトロン光センター 櫻井様、花田様
- ・ **SPring-8** 梶原様 漆原様
- ・ 宮城大学 食産業学群 准教授庄子様
- ・ 宮城県産業総合技術センター 伊藤様
- ・ 宮城県水産技術総合センター 紺野様

本研修に関わってくださった皆様に御礼申し上げます。