

# FS報告「NanoTerasuの活用に向けた食品測定事例の蓄積」

宮城県産業技術総合センター  
食品バイオ技術部 ○羽生幸弘  
星野友花

# 1. 背景

## 次世代放射光施設（NanoTerasu（ナノテラス））

- ・ 軟X線高輝度放射光
- ・ 軽元素を感度良く測定
- ・ 物質構造に加え、機能に影響を与える「電子状態」、「ダイナミクス」等の詳細な解析が可能
- ・ 令和6年4月供用開始



「東北大学総合情報 まなびの杜ウェブサイト」より



- ・ 県内企業（特に食品分野）による活用を期待  
→ トライアルユース、**活用支援調査（FS）**による利活用促進

前回（R3、R4）→ あいちSRとラボ機の比較

今回（R7）→ NanoTerasuとラボ機の比較

} 食品素材にて検討

## 2. 本調査の取組内容

### 1) NanoTerasuによる食品の測定

- ・ラボ機（X線CT）で観察が困難な小さい構造の観察を期待
- ・サンプル変質防止のため冷蔵や冷凍環境を期待

測定サンプル：チーズ、かまぼこ、米

ラボ機（XRM）での観察  
ナノテラスでの観察

} 観察結果の比較、位相回復処理（ナノテラス）

### 2) 企業ニーズへの適用可能性調査

冷蔵品と解凍品ではかまぼこの硬さが変化する。これをナノテラスで評価できないか

測定サンプル：かまぼこ（冷蔵品、冷凍品）

テクスチャー評価装置での評価

ラボ機（XRM）での観察  
ナノテラスでの観察

} 観察結果の比較、位相回復処理（ナノテラス）

# 3. 結果（NanoTerasuによる食品の測定）

+ TITLE ▶

## 1) ラボ機での測定（X線分析顕微鏡（XRM））

### <測定条件>

解 像 度：1.25  $\mu\text{m}/\text{pixel}$ （ビニング2×2）

露 光 時 間：3.6 秒×800 枚（48 分）

タ ー ゲ ッ ト：Cu

温 度：常温

サンプル形状：3.5mm $\phi$ （ストローでくり抜き）



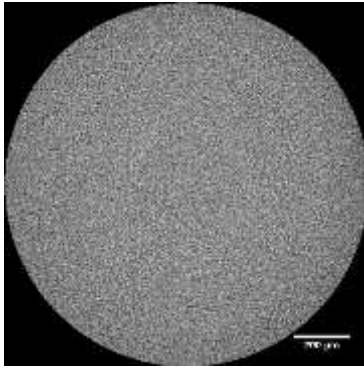
装置外観



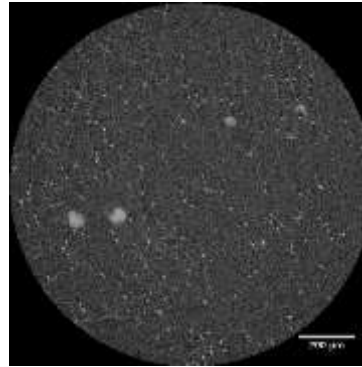
サンプル設置状況

### 3. 結果（NanoTerasuによる食品の測定）

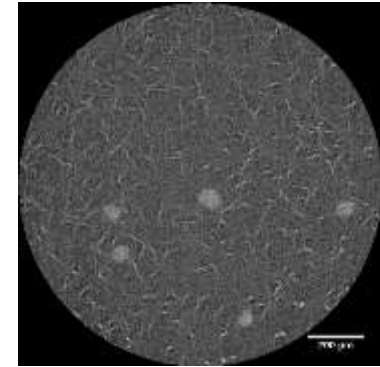
+ TITLE ▶



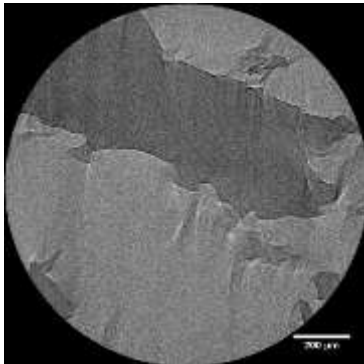
カマンベールチーズ



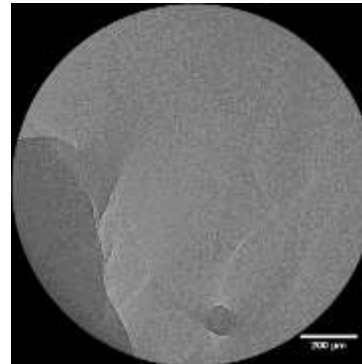
チェダーチーズ



ミモレットチーズ



かまぼこ①



かまぼこ②

- チーズは種類により、内部構造が異なった
- かまぼこはチーズより柔らかく、測定中にサンプルが動いたとみられ、上手く観察できなかった

# 3. 結果（ NanoTerasuによる食品の測定）

## 2) NanoTerasuでの測定

測定条件はサンプルの透過像を見ながら決定

〔 X線照射時にサンプルに気泡  
→適切なフィルター厚さの調整

<決定した測定条件>

解像度： 0.65 $\mu$ m/pixel（ビニング：2 $\times$ 2）

露光時間：0.15秒 $\times$  1,891枚（5分）

温度：冷蔵（4 $^{\circ}$ C）

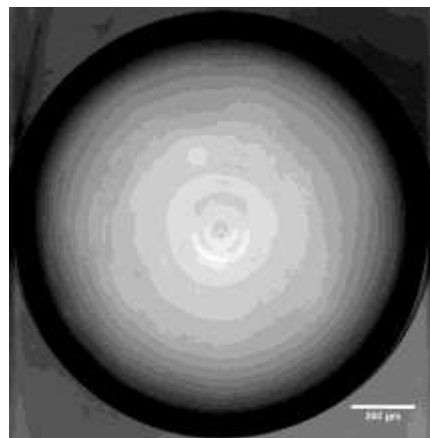
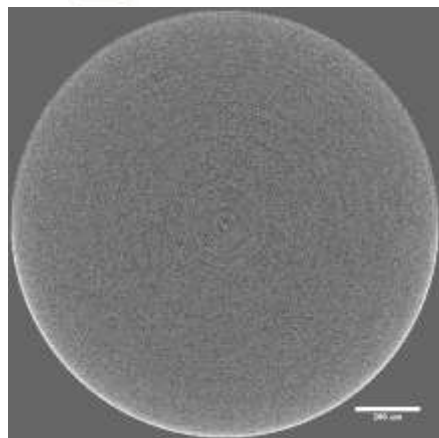
フィルター：Al 2mm

サンプル形状：2mm $\phi$ （生検トレパンでくり抜き）

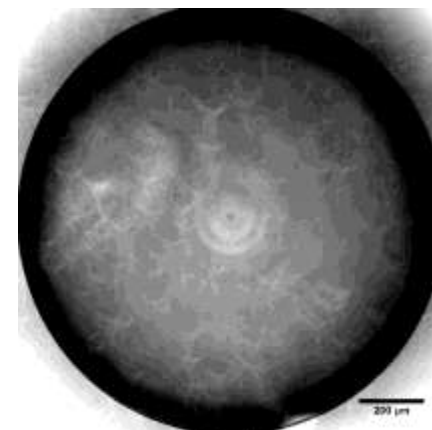
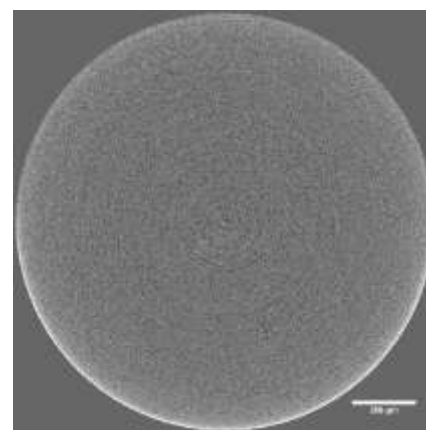


### 3. 結果 ( NanoTerasuによる食品の測定)

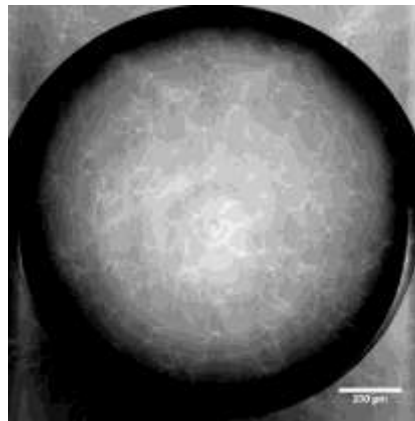
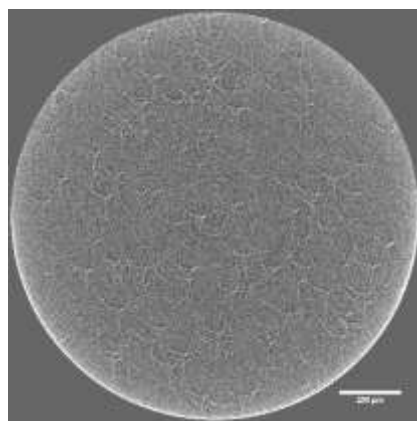
+ TITLE ▶



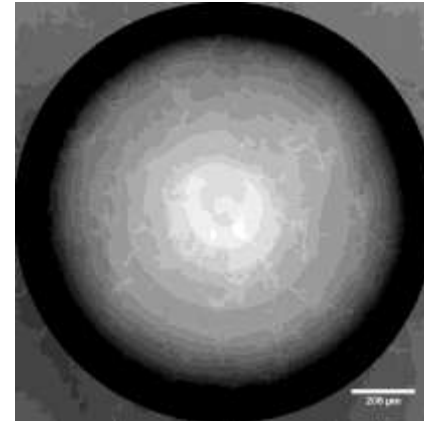
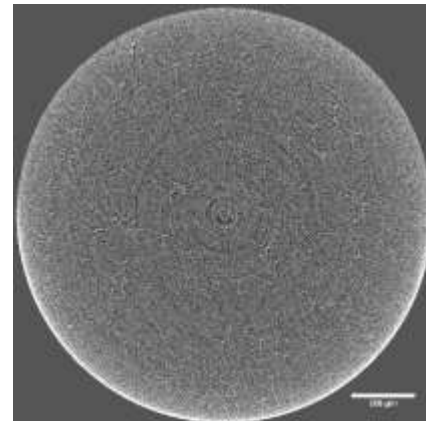
カマンベールチーズ  
(左：吸収像、右：位相回復処理)



チェダーチーズ  
(左：吸収像、右：位相回復処理)



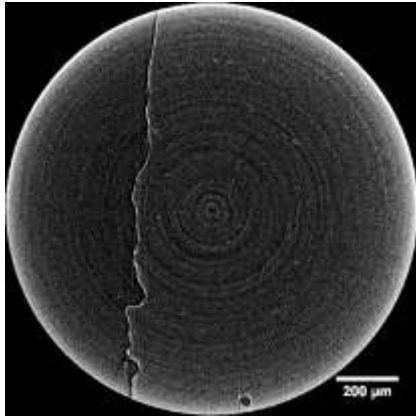
ミモレットチーズ  
(左：吸収像、右：位相回復処理)



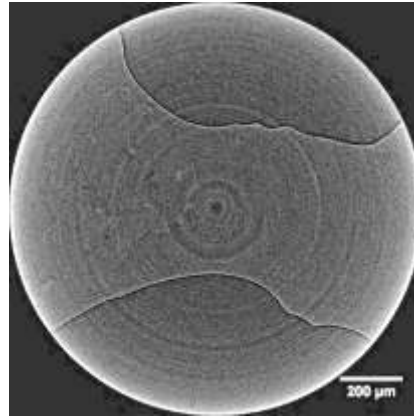
さけるチーズ  
(左：吸収像、右：位相回復処理)

### 3. 結果 ( NanoTerasuによる食品の測定)

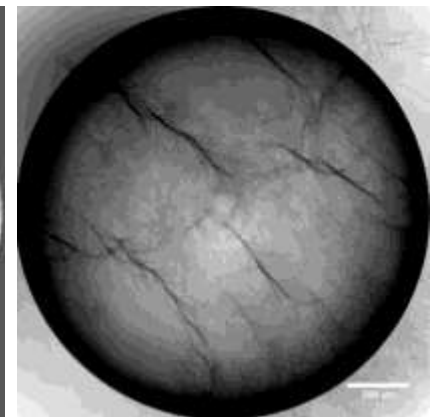
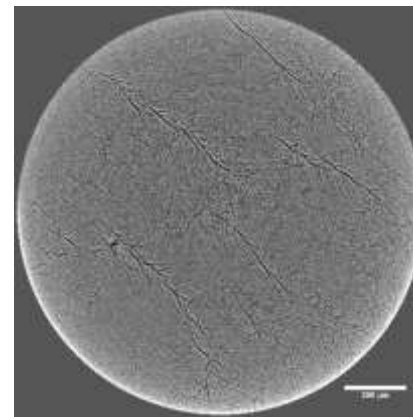
+ TITLE ▶



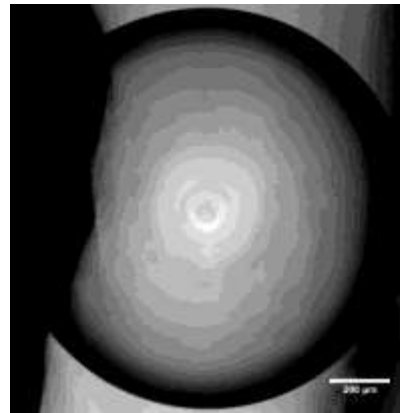
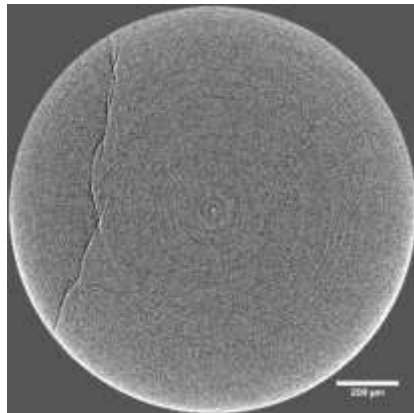
かまぼこ①  
(吸収像)



かまぼこ②  
(吸収像)



酒米  
(左：吸収像、右：位相回復処理)



アルファ米  
(左：吸収像、右：位相回復処理)

・位相回復処理を行うことで構造が確認できるようになったものもあった

# 3.結果（企業ニーズへの適応可能性調査）

+ TITLE ▶

## 1) テクスチャー評価装置による評価

<測定条件>

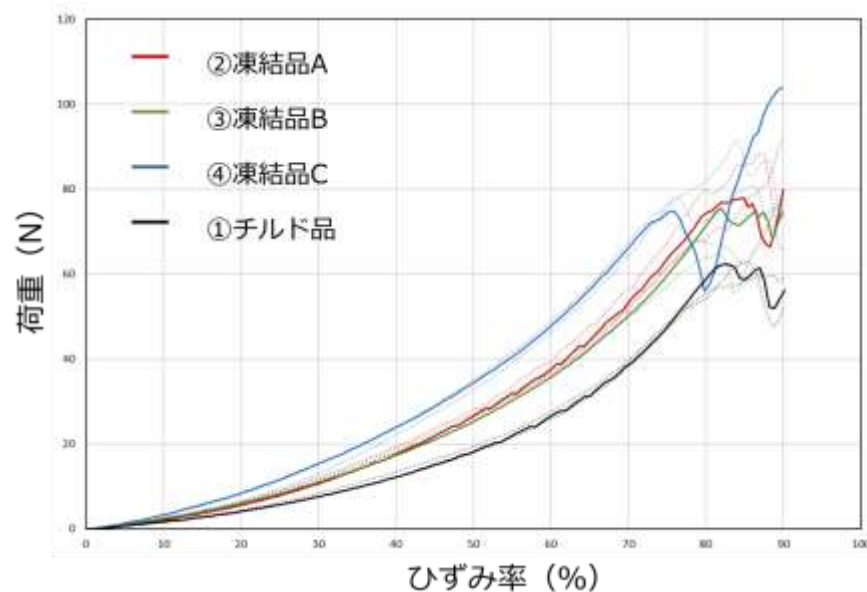
歪率：90%  
治具：No.56（20 mm円盤）  
圧縮速度：10.0 mm/sec  
サンプル形状：全体を3等分に切断



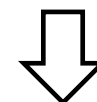
<測定サンプル>

①チルド品 ②凍結品A ③凍結品B ④凍結品C

※凍結品は冷蔵にて一晩解凍



・食味評価の結果と同様の傾向



X線CTによる内部構造の観察へ

SP8 BL14B2  
12.4keV

# 冷凍によって起こっていた現象

**試料**：調製かまぼこ 提供：藤井 智幸 先生（東北大学大学院農学研究科）

**なま**  
(25度測定)

緩慢凍結

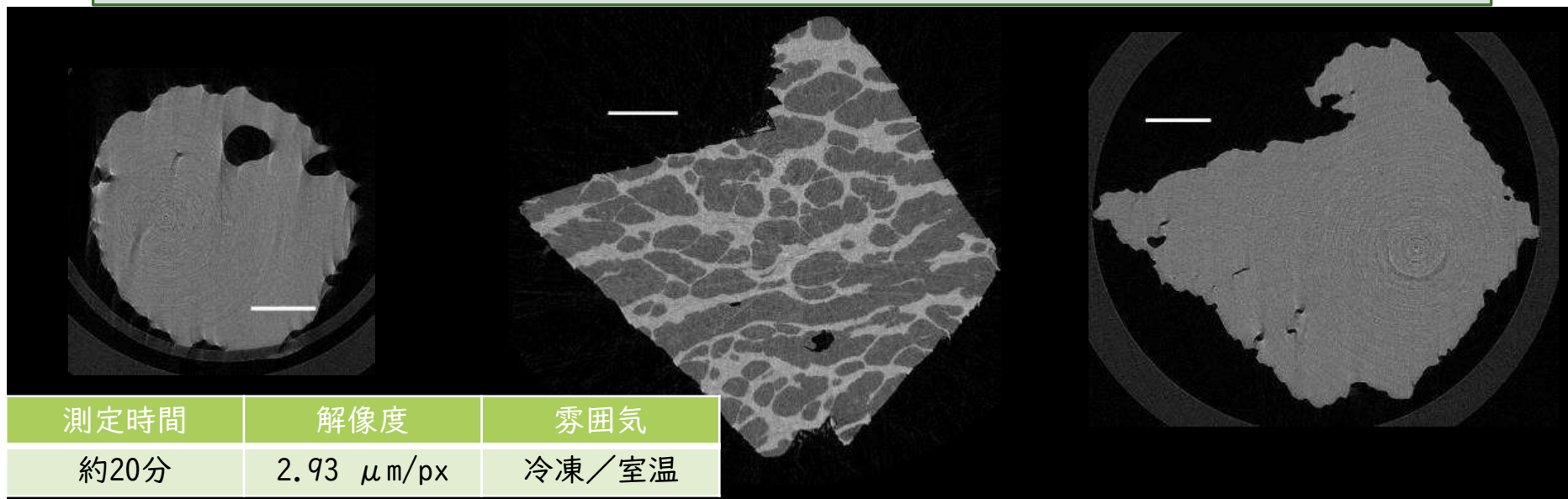
**冷凍**

(-30°C測定)

室温解凍

**解凍**

(室温測定)



測定時間

解像度

雰囲気

約20分

2.93  $\mu\text{m}/\text{px}$ 

冷凍/室温

令和2年度仙台市トライアルユース事業 発表資料より

# 3.結果（企業ニーズへの適応可能性調査）

## 2) ラボ用CT（XRMでの測定）

＜測定条件＞

ターゲット：Cu

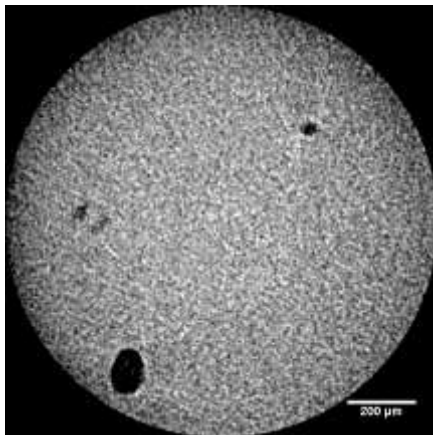
解像度：2.6 $\mu$ m/pixel（ビニング：4 $\times$ 4）

撮影枚数：400枚

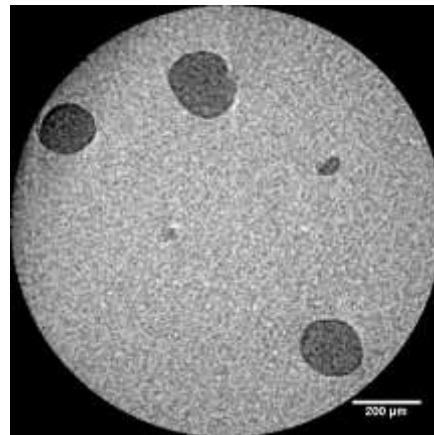
露光時間：0.87～0.96 sec  
（7.25 min～14 min）

温度：室温

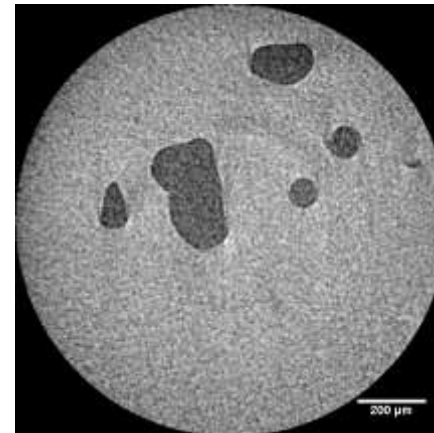
サンプル形状：3.5 mm $\phi$   
（ストローでくり抜き）



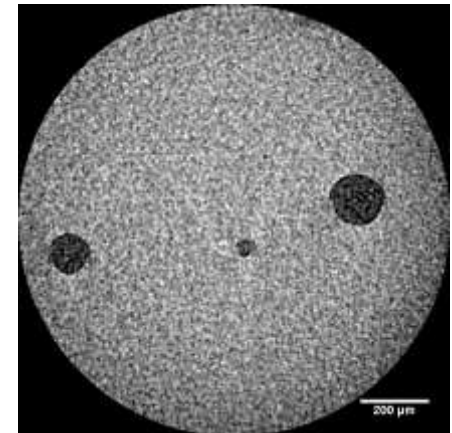
チルド品



凍結品A



凍結品B



凍結品C

サンプル間の構造の違いは確認できなかった  $\Rightarrow$  ナノテラスでの観察へ

# 3.結果（企業ニーズへの適応可能性調査）

## 3) 放射光（NanoTerasu）の測定結果

笹かまぼこの構造観察

<測定条件>

測定エネルギー：白色光（400mA）

解像度：0.65 $\mu$ m/pixel  
（ビニング：2 $\times$ 2）

露光時間：0.15秒 $\times$  1,891枚（5分）

温度：冷蔵（4 $^{\circ}$ C）、冷凍（-22 $^{\circ}$ C）

フィルター：Al 3mm

サンプル形状：2mm $\phi$ （生検トレパンでくり抜き）



<測定サンプル>

・冷蔵（4 $^{\circ}$ C）

→ チルド品、凍結品A、凍結品B、凍結品C

※凍結品は冷蔵にて一晩解凍

・冷凍（-22 $^{\circ}$ C）

→ 凍結品A、凍結品B、凍結品C

# 3.結果（企業ニーズへの適応可能性調査）

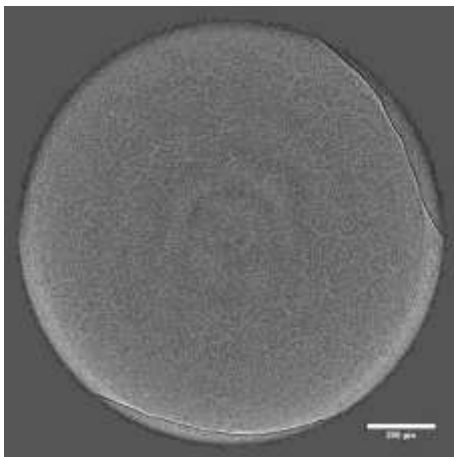
+ TITLE ▶

笹かまぼこの構造観察

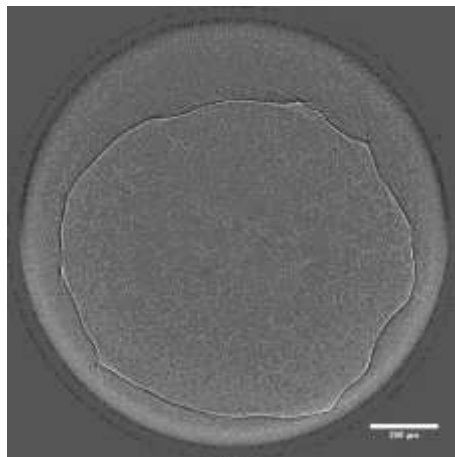
<測定結果>

1. 冷蔵（4℃）

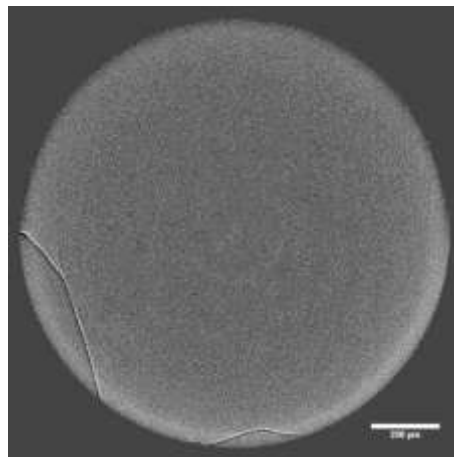
①チルド品



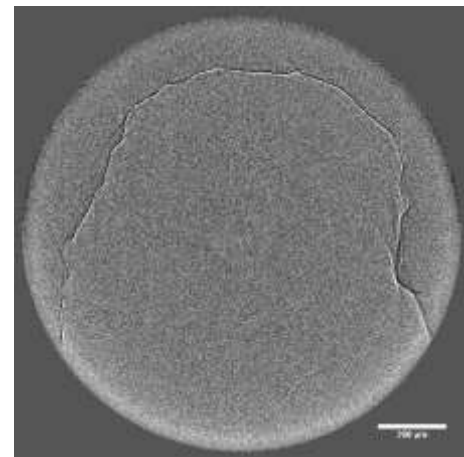
②凍結品A



③凍結品B



④凍結品C



- ・測定エネルギーが強すぎたため、フィルターの厚さを調整し測定。
- ・チルド品と比較して、凍結方法の異なる凍結品A～Cの内部構造の違いは認められなかった。

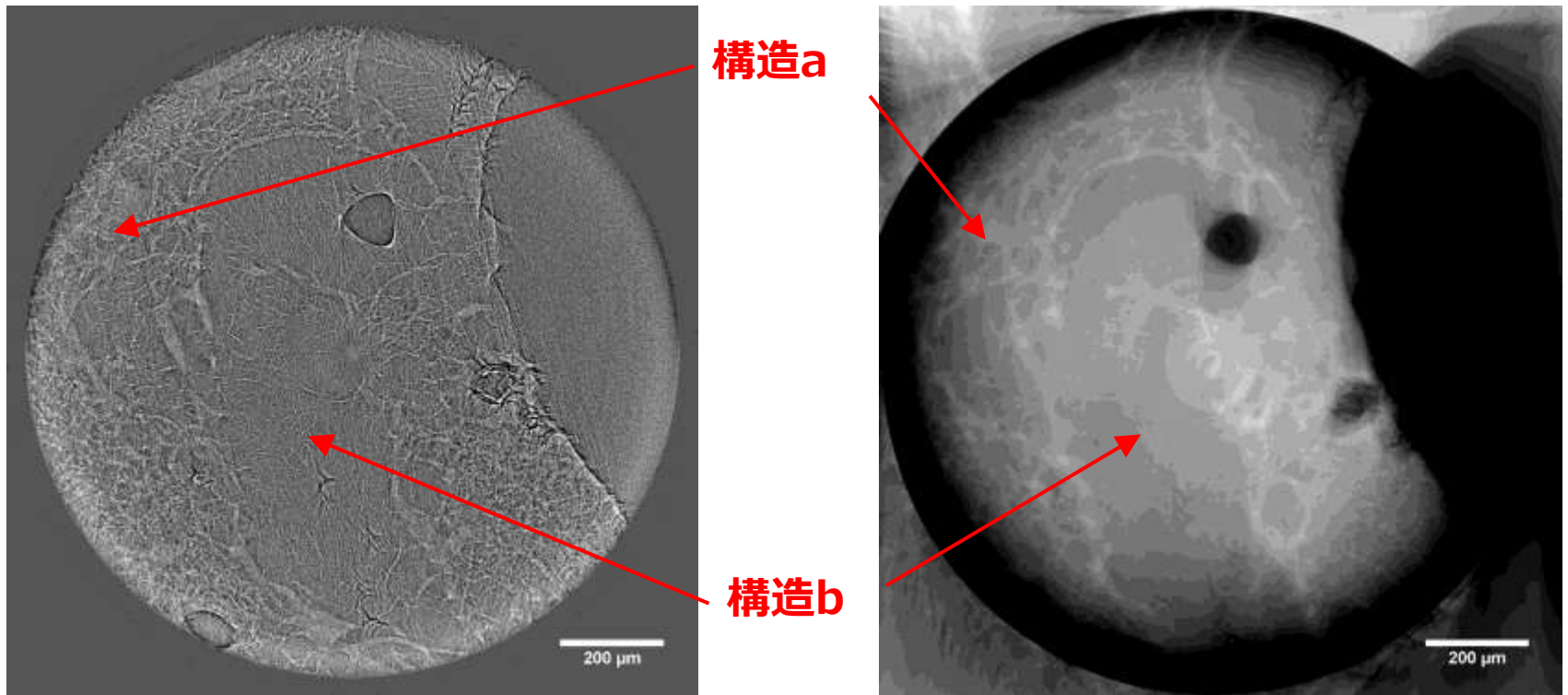
### 3.結果（企業ニーズへの適応可能性調査）

笹かまぼこの構造観察

<測定結果>

2. 冷凍 (-22℃)

①凍結品A（左：吸収像、右：位相回復像）



吸収の強い部分（構造a）と吸収の弱い部分（構造b）を確認

# 3.結果（企業ニーズへの適応可能性調査）

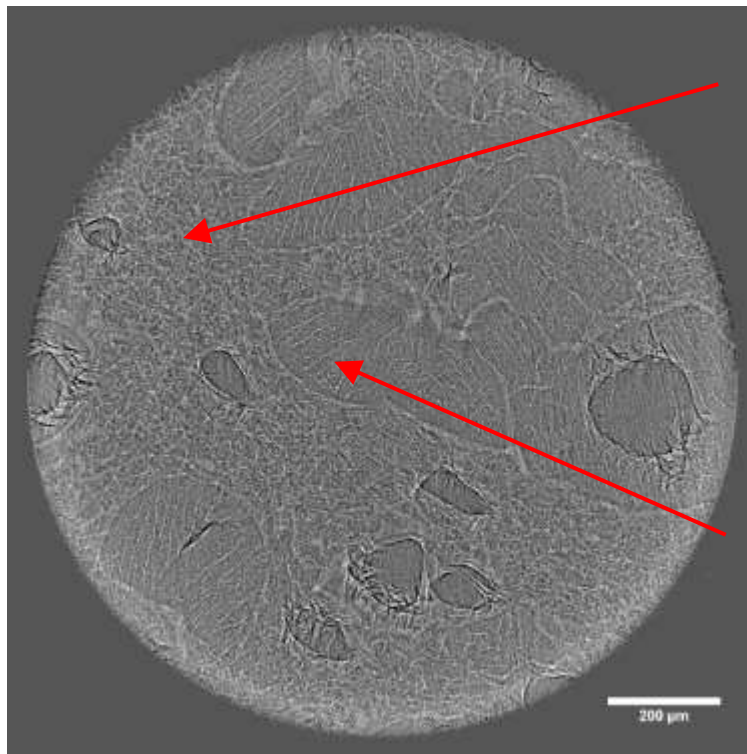
+ TITLE ▶

笹かまぼこの構造観察

<測定結果>

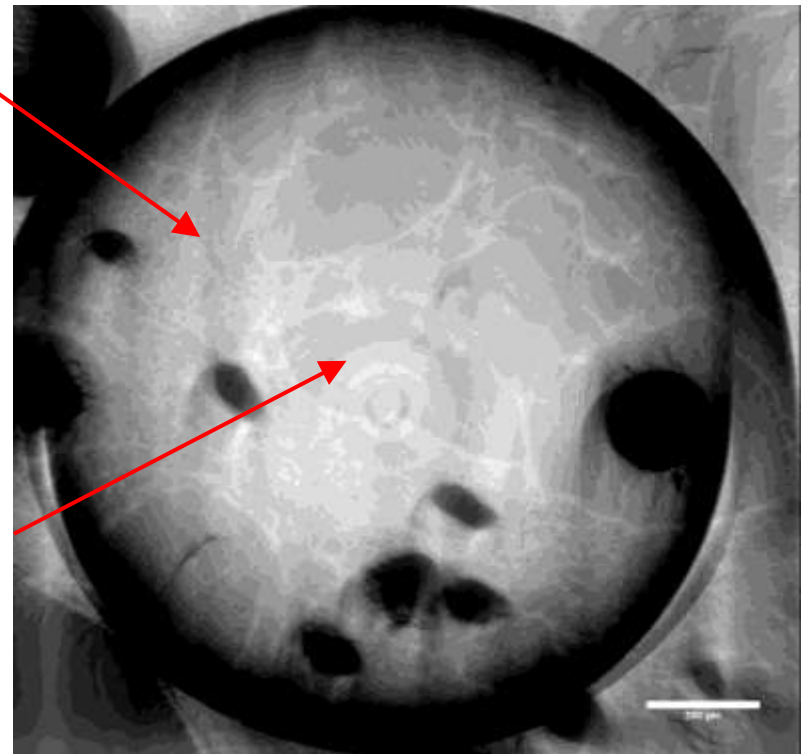
2. 冷凍 (-22℃)

②凍結品B（左：吸収像、右：位相回復像）



構造a

構造b



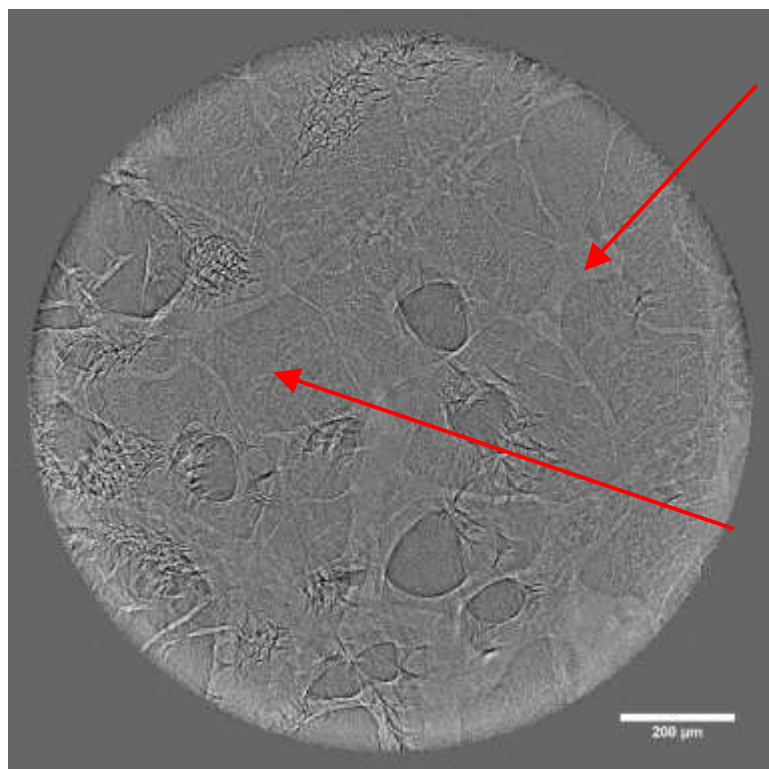
# 3.結果（企業ニーズへの適応可能性調査）

笹かまぼこの構造観察

<測定結果>

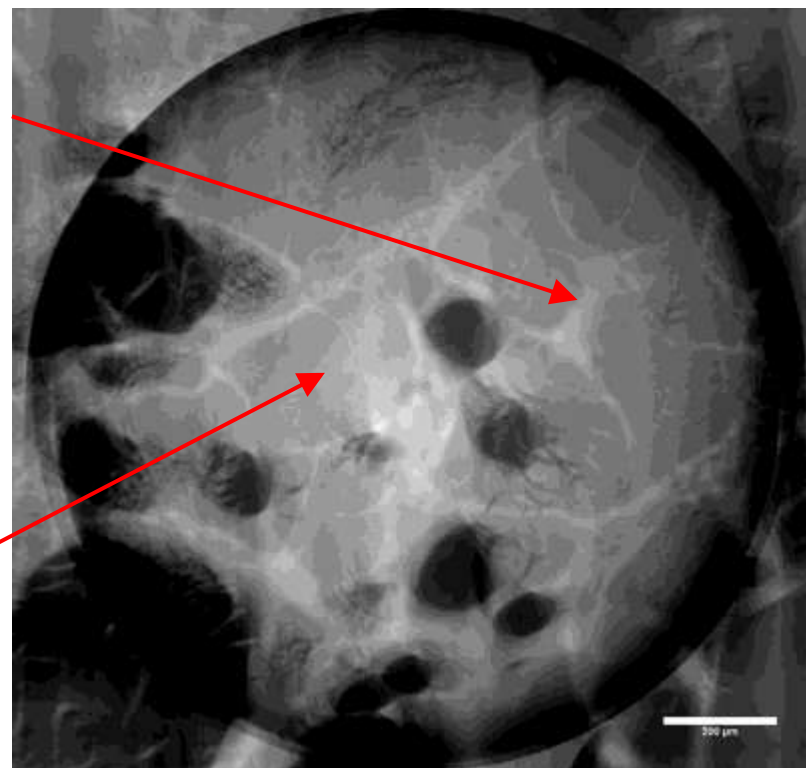
2. 冷凍 (-22℃)

③凍結品C（左：吸収像、右：位相回復像）



構造a

構造b



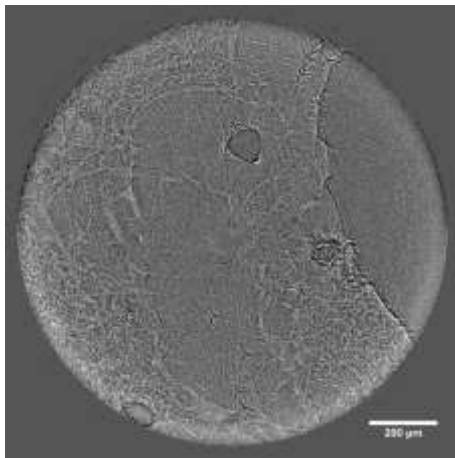
# 3.結果（企業ニーズへの適応可能性調査）

## 笹かまぼこの構造観察

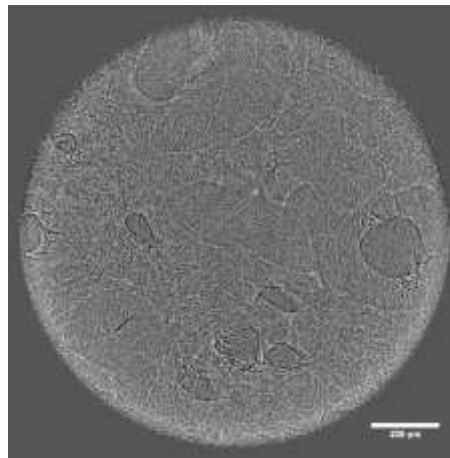
### <測定結果>

#### 2. 冷凍 (-22℃)

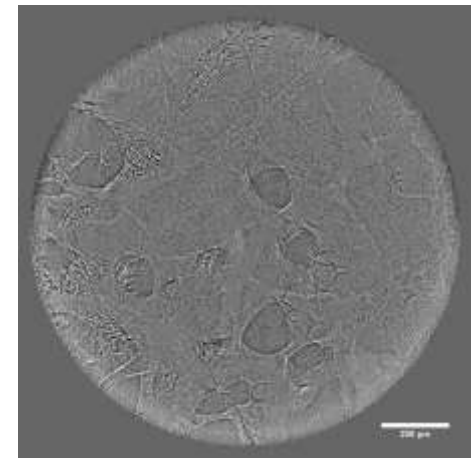
①凍結品A



②凍結品B



③凍結品C



- ・ 凍結方法による内部構造の違いが認められ、吸収の強い部分（構造a）と吸収の弱い部分（構造b）が確認できた。
- ・ 吸収の強い部分（構造a）にはミネラルなどが含まれる可能性が考えられた（東北大からのアドバイス）。
- ・ 硬さと構造の関係の解明には至らなかった

# 4.まとめ

## 1) NanoTerasuによる食品の測定

- NanoTerasuではより小さい構造を短時間（5分）で測定が可能
- 位相回復処理により、構造がより明確に表されるものもあった

## 2) 企業ニーズへの適応可能性

- 冷蔵での笹かまぼこの測定ではチルド品と解凍品の内部構造の違いは確認できなかった。
- 冷凍での測定では冷凍方法による内部構造の違いを確認できた。しかし、かまぼこの硬さと構造の関係の解明には至らなかった

# おわりに

+ TITLE ▶

本調査を進めるに当たり、

原田昌彦 先生、村松淳司 先生、日高將文 先生  
をはじめとする東北大学農学研究科の皆様  
光科学イノベーションセンターの皆様

に多大なる御協力をいただきました。



# 宮城県産業技術総合センター

INDUSTRIAL TECHNOLOGY INSTITUTE. MIYAGI PREFECTURAL GOVERNMENT



〒981-3206

宮城県仙台市泉区明通 2 丁目 2 番地

TEL 022-377-8700 FAX 022-377-8712

Web [www.mit.pref.miyagi.jp](http://www.mit.pref.miyagi.jp)



・仙台駅より車で 40 分 / 東北自動車道 泉 I.C. より 15 分

・地下鉄泉中央駅より路線バスで約 25 分

3 番乗り場 ▶ 「宮城大学前経由 泉パークタウン車庫」行き  
「宮城大学・仙台保健福祉専門学校前」下車徒歩 3 分

・仙台駅より路線バスで約 40 分

バスプール 2 番乗り場 ▶ 「宮城大学・仙台保健福祉専門学校前」行き  
「宮城大学・仙台保健福祉専門学校前」下車徒歩 3 分