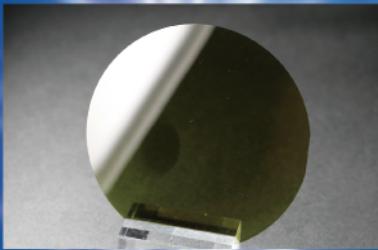


仙台市放射光トライアルユース事業

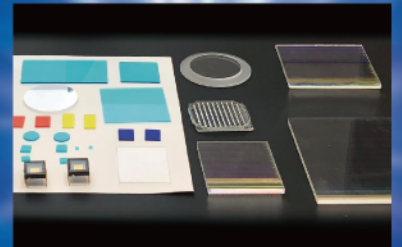
令和元年度事業

事 | 例 | 集



SYNCHROTRON × TOHOKU

放射光が
東北を変える



※募集内容は年度ごとに異なる場合があります。※令和元年度の募集は終了しています。

令和
元年度

仙台市既存放射光施設活用事例創出事業 トライアルユース事業の概要

仙台市では、仙台・東北の事業者が、令和5年稼働予定の次世代放射光施設活用によりイノベーションや付加価値の創出につなげ、地域経済への波及効果を生み出す「光イノベーション都市」の実現を目指しております。

当該事業では、既存放射光施設SPring-8(兵庫県佐用町)を活用した多種多様な事例を創出し、その事例を活用した普及啓発を行うことで、放射光施設の産業利用可能性を認識してもらい、次世代放射光施設稼働後の積極的な活用に繋げていくことを目的としています。

事業内容	①SPring-8利用による事例を創出し、報告書を納品する ②仙台市が指定する事例発表会の場で報告する ※測定試料の作製工程等は、受託者の裁量で機密事項として取扱いを可能とします。
対象者	東北地方に事業所を置く法人(中小企業者) ※法人でない社団又は財団で代表者又は管理人の定めがあるものを含みます。
選定審査等	書類審査及び面接審査にて受託候補者を選定する
契約期間	契約日～令和2年3月31日(火)まで
委託上限額	150万円/1件 ※対象経費:SPring-8施設使用料、消耗品費、測定部品、試料等の輸送費、 職員の現地派遣交通費・宿泊費、 測定データ解析・加工費、成果発表会会場までの交通費等。
スケジュール	令和元年 9月6日 応募締切 令和2年 2月28日 実績報告書提出 9月25日 審査会 3月19日 成果発表会 3月19日 完了報告書提出 ※成果発表会は新型コロナウイルス感染症拡大により未実施
応募件数	8件
採択件数	6件

「次世代放射光施設」とは

- ◎ナノまでを観察することができる世界最先端の巨大な顕微鏡。
- ◎東北大学青葉山新キャンパスに整備され、令和5年運用開始予定。

「SPring-8」とは

- ◎兵庫県佐用町にある世界最高クラスの性能をもつ大型放射光施設。
- ◎平成9年稼働開始後、学術研究から産業利用まで幅広い分野に利用されている。

お問い合わせ先

仙台市役所 経済局 産業振興課 (担当) 高橋・齋藤

TEL:022-214-8768 FAX:022-214-8321 E-mail:kei008030@city.sendai.jp

炊飯器新製品の特長PRのための
エビデンス取得

アイリスオーヤマ株式会社 / 宮城県仙台市

課題

ごはんのおいしさの分子レベルでの定量化

炊飯器やバックごはんにおける「ごはんのおいしさ」は非常に繊細かつ多様であるが、人の味覚(官能評価)では、外観、硬さ、粘り、味、香り、ふっくら感など、特徴を詳細に捉えることができる。一方、機器分析においては、ごはんの特性を測る様々な機器であっても、食味と相関が取れなかったり、おいしさのファクターを部分的に捉えるに限定されている。

測定目的

既設放射光施設SPring-8を活用し、バックごはんの違い、炊飯器の種類やモードの違いまで捉えることが出来るのかを掴み、今後2023年にはその全貌を解明することを目的として今回の測定に着手した。

ごはんの α 化について

- α 化とは…炊飯によりデンプン構造中に水分が入り込んだ構造であり一般的にごはんがおいしい状態(糊化)

測定方法

広角散乱法(WAXS)

使用ビームライン

BL40B2



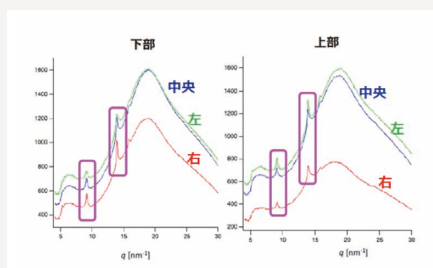
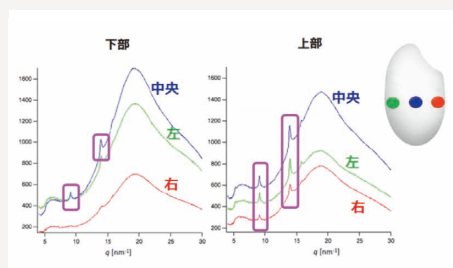
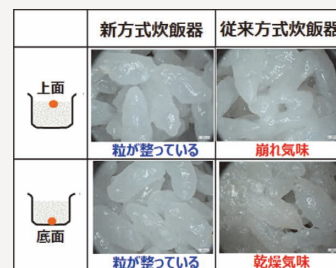
ビームライン概観



ビームライン設備

結果及び考察

均一に米に熱を伝える新方式の炊飯器においては、ごはんの α 化度合いを示すピーク高さが釜の上部・下部とでほぼ同じであり、釜の部位によらず均一な炊き上がりを示唆する結果となった。一方、従来の炊飯器では下部ではピーク高さが小さくなる傾向が見られたことから α 化度合いに不均一さがあるものと考えた。

〈図1〉新方式炊飯器の α 化度合い〈図2〉従来方式炊飯器の α 化度合い

〈図3〉ごはんの炊き上がり外観

誰も確認したことがない 欠陥状態の可視化

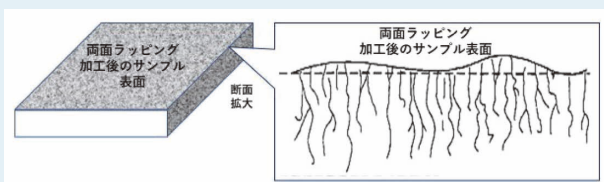
アヒコファインテック株式会社 / 山形県新庄市
共同研究：東北大学多元物質科学研究所

課題

放射光を用いた平板状光学・電子デバイス用材料の 鏡面加工における破碎層の観察

次世代5G通信用デバイス用途として需要増が期待されている平板状光学・電子デバイス用材料(ガラス等)は鏡面化や薄板化などの品質要求が厳しくなっており、そのための精密研磨加工技術の高度化及びその技術を用いた量産化は必要不可欠である。

弊社における平板状光学・電子デバイス用材料の鏡面加工は平板状ワーク群を両面ラッピング装置へ適切に配置し、遊離砥粒を用いて鋳物製の定盤で平板状のワークを両面から挟み回転させながら物理的に削る。削られた平板状ワークの表面下部には深さ数十ミクロン程度に伸展した損傷領域(破碎層)が存在すると考えられている。この破碎層は基材の構造や遊離砥粒の種類及び加工条件等で変化すると考えられており、その状態を可視化し解析することができれば次工程の物理・化学的研磨加工において破碎層のない鏡面及び薄板化した光学・電子デバイス用材料を実現することができるために極めて重要な技術となる。



〈図1〉両面ラッピング加工後のサンプル表面下部の損傷領域(破碎層)のイメージ



〈図2〉両面ラッピング装置

測定目的

放射光を用いて破碎層を可視化し解析する技術確立することで最終的に破碎層のない鏡面及び薄板化した光学・電子デバイス用材料の品質要求に対応することを目的とする。

測定方法

結合型マイクロCT

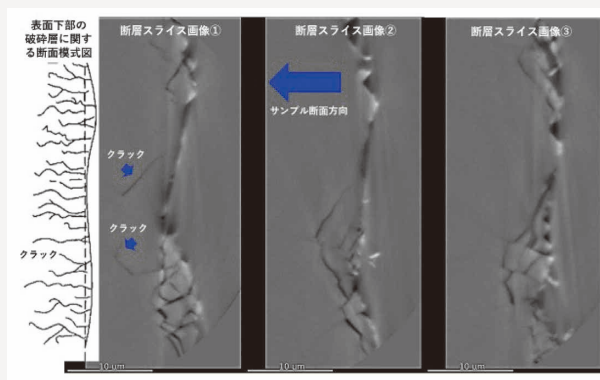
使用ビームライン

BL47XU

結果及び考察

遊離砥粒で削られたサンプル表面の加工痕跡に加えて表面下部に長さ10 μ m程度に伸展するクラック群を2次的に明確に可視化することができた。また、これまで考えられていた表面下部のクラック伸展の模式図と比較してその伸展挙動が明確に異なることがわかった。この挙動についてはダイヤモンド圧子をガラス等へ押し込んだ際に生じるクラックの伸展挙動等と類似していることから、文献調査等でサポートすることにより更なる理解が進むと考えられる。

〈図3〉ラッピング装置で加工されたサンプル表面下部の断面模式図とBL47XUによる結合型マイクロCTに供して撮影されたサンプルの再構成スライス画像



研磨工程簡略化の 可能性が示唆されるエビデンス入手

株式会社齊藤光学製作所 / 秋田県仙北郡美郷町
共同研究：秋田県産業技術センター

課題

SiC基板におけるCMP加工条件を導出するための 放射光計測活用に関する可能性調査

次世代パワー半導体のデバイス性能は、半導体結晶基板の格子欠陥などの結晶の不完全性に大きく左右される。結晶の不完全性の要因には結晶成長時に導入される材料起因のものやウェハー加工時に導入される加工起因のものがある。後者のウェハー加工工程では粗加工で導入される結晶欠陥などの加工変質層を除去するための最終表面仕上げを施し、原子レベルの平滑性だけでなく加工変質層を除去することが求められる。(図1参照)

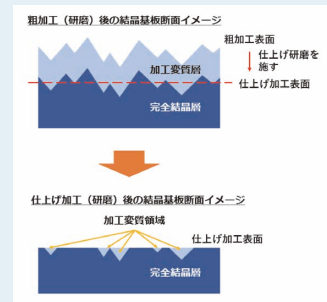
一般に、上述した結晶基板の最終表面仕上げには化学機械研磨(Cheical Mechanical Polishing;CMP)が用いられている。しかし、現状では最適なCMP加工条件は確立されていないため、CMP工程は全加工プロセスの中で最も多くのコストを要しており、普及拡大の阻害要因となっている。すなわち、本工程における最適加工条件の導出は、全体の基板加工コストの低減に非常に高い効果を及ぼす。

測定目的

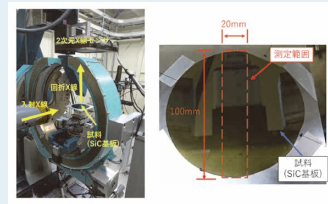
本課題はSiC基板の最終表面仕上げ工程における条件導出の指針を得るために、基板表面付近の加工変質層に存在する結晶欠陥やひずみの密度や分布を評価する手法を確立することを目的とする。具体的には放射光を用いたX線トポグラフィにより、弊社の各CMP条件で加工した基板表面付近の結晶欠陥やひずみの密度や分布の差異を詳細に評価する。

測定方法 X線トポグラフィ

使用ビームライン BL19B2



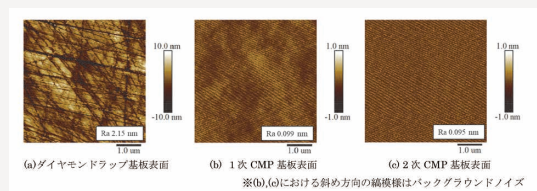
〈図1〉加工変質層除去の模式図



〈図2〉測定セットアップと試料測定範囲

結果及び考察

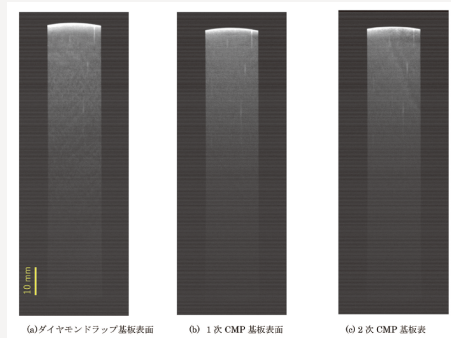
図3(a)に示すダイヤモンドラップ後の表面には多数の傷が確認された。これは、ダイヤモンド砥粒による機械的な除去に起因するものであり、この傷の近傍には結晶歪みが存在するものと考えられる。図3(b)の1次CMP後の表面においては、傷は除去されているものの、微小なうねり成分が認められる。この微小なうねりは図3(c)の2次CMPにおいて除去されており、最終的に平滑な表面が得られている。



〈図3〉各試料の原子間力顕微鏡像

次に今回の評価で得られた放射光X線トポグラフィ像を図4に示す。ここで、X線トポグラフィ像におけるコントラストはX線の回折強度を表しており、基板表面より数μmの深さ範囲における結晶の均質性を示している。コントラストが強いほど結晶構造は不均質であり、均質で良好な結晶構造であれば、コントラストは弱くなる。

ダイヤモンドラップ後の基板表面における結晶品位は不均質性が高く、1次CMPおよび2次CMPを施した基板は同程度の良好な均質性を有していると推測できる。ダイヤモンドラップ後の不均質性は傷や結晶歪みなどの加工変質層に起因するものと考えられ、1次CMP工程終了時点で基板表面の加工変質層が除去されている可能性が示唆された。



〈図4〉放射光X線トポグラフィ像

枝豆の 美味しさの見える化への挑戦

JA仙台 / 宮城県仙台市

共同研究：東北大学大学院農学研究科

課題

仙台産大豆及び枝豆の美味しさの要因解析

当組合では、仙台市農商工連携新商品等開発支援事業やクラウドファンディングを活用しながら、震災復興と認知度向上を目的として大豆のブランド化に取り組んできた。未成熟大豆である枝豆について、仙台市では、生産現場と消費地が近いという立地を最大限に生かすために、「仙台枝豆プロジェクト」を進めている。「仙台枝豆プロジェクト」は、仙台産枝豆の高付加価値化により農業者の収益向上を図る取り組みである。生産方法、流通システムを確立し、高品質な枝豆を提供する仕組みの構築により、仙台産枝豆をブランド化し、仙台の新たな特産品にすることを目指している。

測定目的

上記の背景に基づいて、本トライアルでは、枝豆の美味しさの要因解析に焦点を絞って、内部構造を非破壊で測定する。今回は特に、X線位相コントラストを用いたイメージングにより内部構造を見える化し、硬さとの関係を検討することにより、美味しさの見える化のための基礎的知見を得ることを目的とした。

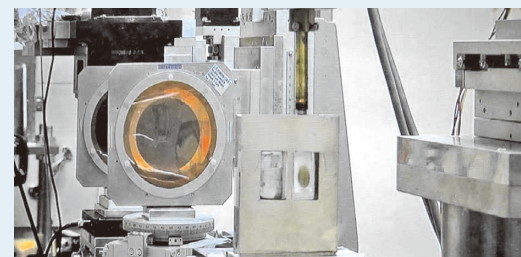
測定方法

位相差X線CT

使用ビームライン

BL20B2

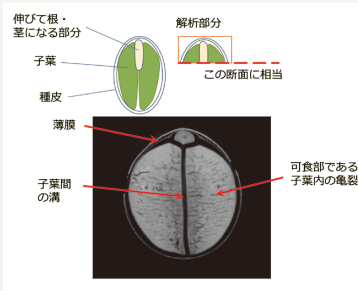
肉眼で見える子葉、根や茎となる部分やそれらを覆っている種皮に加えて、特に、子葉間の溝、可食部である子葉の内部に生じた亀裂のような構造、最外層の種皮の内側に存在する薄膜などを解像度よく可視化することに成功した。これらの構造やX線の吸収レベルなどが、硬さをはじめとする食感に影響を与えているのではないかと考えている。



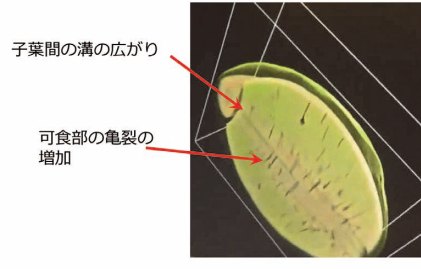
〈図1〉SPring-8でのX線位相差CTによる枝豆サンプル非破壊測定

結果及び考察

3次元画像より、子葉間の溝の広がりが0.3mm程度であることがわかった。また、可食部の亀裂が0.04mm×1mm程度の線状で、子葉間の溝から外側方向に生成している様子が観察された。これらの子葉間の溝の広がりや可食部の亀裂が美味しさにどのように影響するか、今後の検討が求められる。



〈図2〉枝豆の位相差X線CT像



〈図3〉測定データをもとに再構成された枝豆3D構造

工業用刃物製品製造方法の 優位性エビデンスを取得

東洋刃物株式会社 / 宮城県富谷市

課題

高分解能X線CTによる刃物の刃先先端部分の解析・評価

多様・複雑化するニーズに対応するため、刃物は被切断物とファーストコンタクトする刃先先端が材質特性の十分に生かされた鋭利な先端であることを理想とする。しかし、研削加工された刃先先端には塑性流動化したバリが生成される。そのバリの抑制・除去の方法を確立するため、試行錯誤を繰り返しているが、最適な条件の検証ができずに今日に至っている。

測定目的

放射光を利用したX線回折で構造を解析し、刃先先端のバリと刃先の違いを把握することで、流動層が除去された刃先先端の精密加工技術の確立を目指す。

測定方法

マイクロビームX線回折

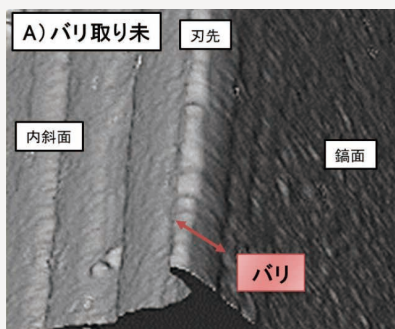
使用ビームライン

BL40XU

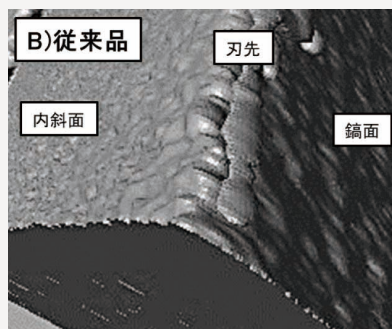


全体

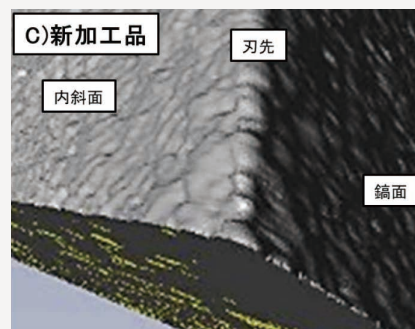
ステージのズーム



バリが内斜面側に突起している。(バリの大きさ:約 $3 \times 10 \mu\text{m}$)



従来品はバリが除去されているが、刃先は若干丸みを帯びており、刃先線も不安定。



新加工品(テスト加工)は従来品よりも丸みは解消され、刃先線も安定している。

■ 今後の課題

今回の測定結果で、刃先加工で生じるバリが母材とほぼ同じく非常に硬い構造であること、またその形状は非常に薄く不安定な形状であることが明らかとなった。これは今まで行ってきた光学顕微鏡・SEM等の表面観察だけでは判定は困難なものであった。刃物づくりにおいて、バリの残留は被切断物への影響が大きく、また使用中に脱落することによって刃先に大きなカケが生じ、更にそのバリが被切断物に付着する事故も懸念されることから、完全除去を目指し、全数検査をおこない出荷している。現場では量産化の為、検査を通す観点から過剰なバリ取り加工の傾向になることは否めない。CT撮影画像Bを見ても明らかのように現行製品は丸みを帯びた刃先形状となり、結果として切れ味が落ちてしまう。

精密な刃先加工は、この硬いバ리를容易でかつキレイな除去を施し鋭利な刃先に仕上げるのが最も重要な要素であり、今回観察できた新しいバリ取り加工技術がその理想とする加工に近づいていることが明らかとなったことは大きな収穫といえる。

美味しさを保つ 冷凍マグロの冷凍条件を探索

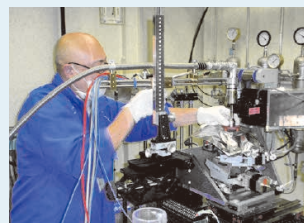
有限会社マルセ秋山商店 / 宮城県石巻市
共同研究：東北大学大学院農学研究科

課題

放射光イメージングによる 冷凍水産物組織の可視化と冷凍条件の最適化

世界的に水産物に対する需要が高まっており、国内でも今後の消費拡大が期待される。水産物は食料の安全保障の点からも重要であるが、漁獲は自然の影響を受け不安定、鮮度低下が早く腐敗しやすい、旬が存在する、水分量が多いなどの特徴により生状態での取り扱いが難しく、多くは冷凍により流通する。このため、冷凍・解凍技術は水産物の品質維持に欠かせない。

冷凍水産物の品質は主に組織の水結晶サイズと解凍時の処理方法に大きく左右されるといわれている。従って、冷凍水産物組織のダメージを軽減するためには氷結晶の形成制御が重要と考えられるが、凍結状態で組織を非破壊的に観察することは極めて困難であり知見に乏しい。さらに冷凍水産物の解凍過程における組織の変化についても観察事例は見当たらない。



測定装置への試料のセット

X線CT測定と3次元構成
(写真はBL14Bのハッチ付近)

測定目的

冷凍水産物の組織状態を解凍処理することなく凍結状態でリアルタイムに観察することを目指し、本県塩釜港でも多く水揚げされ「ひがしもの」としてブランド化されるマグロをモデル試料として、凍結方法（緩慢および急速凍結法）の違いが組織の状態に与える影響について検討した。

測定方法

X線CT

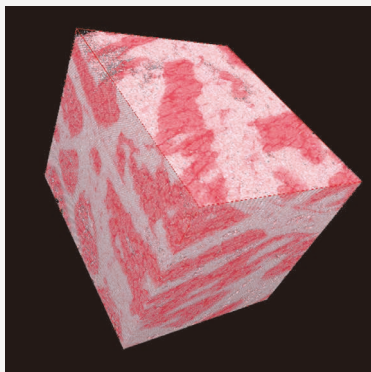
使用ビームライン

BL14B

結論

画像解析の結果、凍結された大トロ中では、急速凍結法に比べ緩慢凍結法においてタンパク質などの成分の分離・濃縮が促進されていることが示唆された。従って、主な細胞成分であるタンパク質の凍結時の存在状態、すなわちタンパク質の水分からの分離と濃縮の程度が解凍後のドリップ（タンパク質やアミノ酸など栄養・うまみ成分が含まれる組織浸出液）の量、味、歯ごたえなどの品質に影響するものと推察される。

放射光X線CTによる観察は、今までの冷凍食品の組織観察手法では氷結晶の直接観察は困難、そして凍結時の状態は解凍後の組織観察や品質変化より推測するしかなかった従来の冷凍食品分野の研究と考察に対して科学的根拠を与えるものである。



〈図1〉冷凍クロマグロ大トロの3次元再構成像