

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00826

研究課題名(和文)食品のミクロからマクロ構造の3次元計測に基づく職人の調理加工技の定量化

研究課題名(英文)Evaluation of food processing techniques based on 3-D measurement of microscale to macroscale structure

研究代表者

都 甲洙 (DO, Gabsoo)

日本大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：40385993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、食品の調理・加工における職人の匠技を解明するため、極低温マイクロトームスペクトラルイメージングシステム(Cryogenic microtome spectral imaging system: CMtSIS)によるアイスクリーム中のミクロからマクロ気泡、氷結晶、乳製品の混合バランスの計測法、米粒の胴割れ計測および冷凍米飯の長期保存における氷結晶のミクロからマクロ計測、CMtSISによりアイスクリーム中の気泡、氷結晶、乳製品の3次元計測、X線CT(SPring-8のBL14B2ライン)によりアイスクリーム内の気泡を計測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

同じ食材でも職人の匠技、食品機械の調理・加工の違いにより品質が異なる。職人の匠技で作った品質は確かに高いが、職人の技の定量化は困難である。本研究では、職人の技の定量化のため、アイスクリーム中のミクロからマクロ気泡、氷結晶、乳製品の混合バランスの計測法、米粒の胴割れ計測および冷凍米飯の長期保存における氷結晶のミクロからマクロ計測、アイスクリーム中の気泡、氷結晶、乳製品の3次元計測、X線CT(SPring-8のBL14B2ライン)によりアイスクリーム内の気泡を計測した。本手法は、食品の調理・加工における食品製造機械の特性の数値化および職人の匠技の定量化に適用されると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Food is produced by food processing techniques such as mixing, heating and fermenting of food materials. The processing and cooking of foods require the skill of skilled workers, and the internal structure of foods depends on the skill of skilled workers. The objective of this work were 1) to develop a cryogenic microtome spectral imaging system (CMtSIS) to enable the measurement of bubbles within an ice cream sample from the microscale to macroscale, 2) to measure ice crystals within cooked rice during long-term cryopreservation by using CMtSIS and for monitoring water permeation into rice kernels after soaking, 3) to determine the size, morphology, and distribution of the internal structure of ice cream, including ice crystals, bubbles, and solids content of samples prepared at four different overrun levels using CMtSIS and X-ray CT at the synchrotron facility SPring-8.

研究分野：食品工学

キーワード：調理と加工 ミクロからマクロ計測 食品内部構造 気泡 氷結晶 3次元計測 X線CT

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

食品材料は、砕く、搗る、練るなどの調理・加工により食べ物になる。同じ食材でも職人の匠技、食品機械の調理・加工の違いにより品質が異なる。職人の匠技で作った食品の内部構造計測、いわゆる、職人の技の定量化は困難である。従来、食品における内部構造は、光学顕微鏡、電子顕微鏡、SEM、X線CTおよびMRIによる観察が報告されている。しかし、これらの装置は計測範囲が制限される。このため、同じ食品内部構造でも、計測場所により異なる値を示し、研究者によって異なった知見に至っている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、食品の調理・加工における職人の匠技を解明するため、「食品成分」、「水・氷結晶」、「気泡」のミクロからマクロ構造の3次元計測を行い、職人の調理・加工技を定量化する。具体的には、(1) 極低温ミクロトームスペクトラルイメージングシステム(Cryogenic microtome spectral imaging system: CMtSIS)によるアイスクリーム中のミクロからマクロ気泡、氷結晶、乳製品の混合バランスの計測法、(2) 米粒の胴割れ計測および冷凍米飯の長期保存における氷結晶のミクロからマクロ計測、(3) CMtSISによりアイスクリーム中の気泡、氷結晶、乳製品の3次元計測、(4) X線CT (Spring-8のBL14B2ライン)によりアイスクリーム内の気泡を計測することにある。

3. 研究方法

(1) アイスクリーム中のミクロからマクロ気泡、氷結晶、乳製品の混合バランスの計測法

① 供試材料および計測法

供試材料は、市販のアイスクリームを用いた。CMtSISにより異なる計測範囲(対物レンズ: 10倍, 20倍, 50倍)における連続2次元断面画像(30枚)をそれぞれ取得した。ミクロからマクロの混合バランスは、CMtSISの自動位置決めにより計測した。自動位置決め計測は、計測範囲 $194 \times 154 \mu\text{m}$ に相当する50倍の対物レンズを用い、横軸移動量 $200 \mu\text{m}$ で5回、縦軸移動量 $158 \mu\text{m}$ で5回ずつ行い、同一断面から25枚の画像を取得し、結合画像とした。気泡、氷結晶、乳製品形状は、面積、長軸、短軸を計測し、面積に相当する円直径を算出した。

② 極低温ミクロトームスペクトラルイメージングシステム

CMtSISは、試料を切削するミクロトーム部、自動XYステージ、分光計測部で構成される。ミクロトーム部は、滑走式ミクロトーム(REM-710, 大和光機社)と熱交換器で構成され、試料を熱交換器の上に凍結固定し、連続的に切削(最小切削厚さ: $0.25 \mu\text{m}$)する。熱交換器は($80 \times 80 \times 50 \text{ mm}$)、液体窒素を冷媒とし、室温から -160°C まで制御される。自動XYステージ(ALD-106-H1P, 中央精機)により、移動量 $\pm 30 \text{ mm}$ 、分解能 $2 \mu\text{m}$ で制御される。分光計測部は、近赤外カメラ(XEVA-USB-60Hz, Xenis, Leuven, Belgium)を用い、 $900 \sim 1700 \text{ nm}$ の範囲の分光画像の取得が可能である。

(2) 米粒の胴割れ計測および冷凍米飯の長期保存における氷結晶のミクロからマクロ計測

① 供試材料および計測法

米粒の浸漬時における胴割れは、冷却加熱近赤外分光イメージング装置により、水の吸収波長である 1460 nm で、浸漬開始から4分間隔で、26分間計測した。氷結晶計測用の米飯は、初期凍結温度 -40°C (PU-3KT, エスペック社)で、 -20°C (MDF-U538D, SANYO社)で最長12ヶ月間凍結保存しながら、CMtSISにより冷凍米飯の切断面の分光画像(1500 nm)を取得した。米飯の包装袋は、 $8 \times 11 \text{ cm}$ で 10 g を入れ、凍結保存した。

② 冷却加熱近赤外分光イメージング装置

本装置は、近赤外照射部、冷却部、分光計測部で構成される。冷却部は、凍結・乾燥真空冷却加熱システム(FDCS-08, リンカム社, 英国)を用い、室温から -190°C の範囲で温度変動幅 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ で制御可能である。近赤外照射部、分光計測部は、CMtSISと同様の機能を有する。

(3) CMtSISによるアイスクリーム中の気泡、氷結晶、乳製品の3次元計測

① 供試材料および計測法

アイスクリームは、ソフトクリームフリーザー(191 P/SP/N, カルピジャーニ・ジャパン社)により製造した。この装置はギヤポンプの流量口径($1.75, 2.00, 2.25, 2.50, 2.75, 3.00 \text{ mm}$)の違いにより6段階のオーバーランを作り出す機能を有する。ORは、アイスクリーム中の空気混入量の度合いで、アイスクリームのミックスとアイスクリームの比を重量(Overrun by weight: OR)および体積(Overrun by volume: ORV)により求めた。

② ORV計測

ORVは、CMtSISを用いたアイスクリームの結合画像(ミクロからマクロ)によるORVcおよび3次元計測によるORVc-3Dを求めた。ORVcは、CMtSISのXYステージによる自動位置決めは、計測範囲 $194 \times 154 \mu\text{m}$ に相当する50倍の対物レンズを用い、横軸移動量 $194 \mu\text{m}$ で6回、縦軸移動量 $154 \mu\text{m}$ で6回ずつ行い、同一断面から36枚の画像を取得した。これらの画像を結合し、気泡、氷結晶、乳製品の識別、2値化を行い、その面積、長軸、短軸を計測し、面積に相当する円直径を算出した。アイスクリームの3次元計測は、計測範囲 $260 \times 206 \mu\text{m}$ 、切削厚さ $4 \mu\text{m}$ 、

100 枚の断面画像を取得，3 次元像を作成し，気泡，氷結晶，乳製品の体積を求めた．ORVc-3D は，気泡の体積により求めた．

(4) X 線 CT によるアイスクリーム内の気泡計測

① 供試材料および計測法

供試材料は，OR 値 22.7%，73.8%のアイスクリームを用いた．X 線 CT は，大型放射光施設 SPring-8 のビームライン (BL14B2) を用いた．X 線エネルギーは 12.4keV である．冷却虐待試料は直径 6mm，高さ 5mm で成形し，ハッチに設置された回転ステージセットした．試料周辺に液体窒素吹き付け，約 -30°C を維持しながら，X 線透過画像を取得した．得られた X 線画像の解像度は， 3160×3160 pixels，分解能は $2.98 \mu\text{m}/\text{pixel}$ である．ORVx 計測には， $1000 \times 1000 \mu\text{m}$ 範囲で行った．

4. 研究成果

(1) アイスクリーム中のマイクロからマクロ気泡，氷結晶，乳製品の混合バランスの計測法

① 気泡，氷結晶，乳製品の識別

CMtSIS の熱交換器の上の試料はマイクロームにより連続的に切削され，その切断面画像は顕微鏡を介し，撮像する．気泡は切削が進むに連れて次第に大きくなり，再び小さくなる．氷結晶は，近赤外分光イメージングにより計測した．近赤外域における光の吸収は，分子構造の官能基の違いにより異なる波長で起こる．したがって，氷結晶には特有の吸収波長帯があり，その近傍では氷による光吸収とその他の成分（乳製品）による光吸収の強度が異なる．以上により，アイスクリーム中の気泡，氷結晶，乳製品を識別した．

② 計測範囲制限における気泡

CMtSIS により，対物レンズ 50 倍，20 倍，10 倍得られた画像の実寸法は $260 \times 206 \mu\text{m}$ ， $650 \times 515 \mu\text{m}$ ， $1300 \times 1030 \mu\text{m}$ である．計測範囲における相当円直径の平均は，50 倍が $8.0 \mu\text{m}$ ，20 倍が $17.9 \mu\text{m}$ ，10 倍が $34.2 \mu\text{m}$ で，計測範囲により相当円直径が異なった．これは，50 倍レンズで計測可能な小さな気泡は 10 倍レンズでの計測が困難で，10 倍レンズで計測可能な大きな気泡は 50 倍レンズでの計測が困難であることを示す．

③ アイスクリーム内の気泡，氷結晶，乳製品のマイクロからマクロ計測

図 1 に CMtSIS の自動位置きめにより得られた 25 枚の結合画像，気泡，氷結晶，乳製品それぞれの識別画像，2 値化画像を示す．結合画像の実寸法は， $970 \times 770 \mu\text{m}$ で，解像度は， $6,500 \times 5,150$ 画素 (12bit 階調) に相当する．図 1b に示すように大きな気泡は断面画像 4 枚の上で，その形状が確認された．結合画像から識別された気泡は 322 個で，長軸の最大が $277.5 \mu\text{m}$ ，最小が $0.8 \mu\text{m}$ ，平均が $28.2 \mu\text{m}$ であった．相当円直径の最大が $231.2 \mu\text{m}$ ，最小が $0.6 \mu\text{m}$ ，平均が $21.1 \mu\text{m}$ で，また，気泡の分布は， $10 \mu\text{m}$ 以下が 55.3% を占めた．結合画像の大きさは $970 \times 770 \mu\text{m}$ で，アイスクリーム内の最大気泡 (長軸 $277.5 \mu\text{m}$) が 3 個以上計測可能な範囲である．この計測範囲 (広範囲) において，ミクロスケール $0.8 \mu\text{m}$ からマクロスケール $277.5 \mu\text{m}$ までの気泡計測が可能になった．結合画像から識別された氷結晶は 185 個で，長軸の最大が $116.0 \mu\text{m}$ ，最小が $0.7 \mu\text{m}$ ，平均が $29.3 \mu\text{m}$ であった．当円直径の最大が $63.6 \mu\text{m}$ ，最小が $0.6 \mu\text{m}$ ，平均が $19.8 \mu\text{m}$ で，また，氷結晶の分布は， $10 \mu\text{m}$ 以下が 24.9% を， $10 \sim 20 \mu\text{m}$ が 36.8% を占めた．これにより，アイスクリーム中のマイクロからマクロ気泡，氷結晶，乳製品の混合バランスの計測法が開発された．

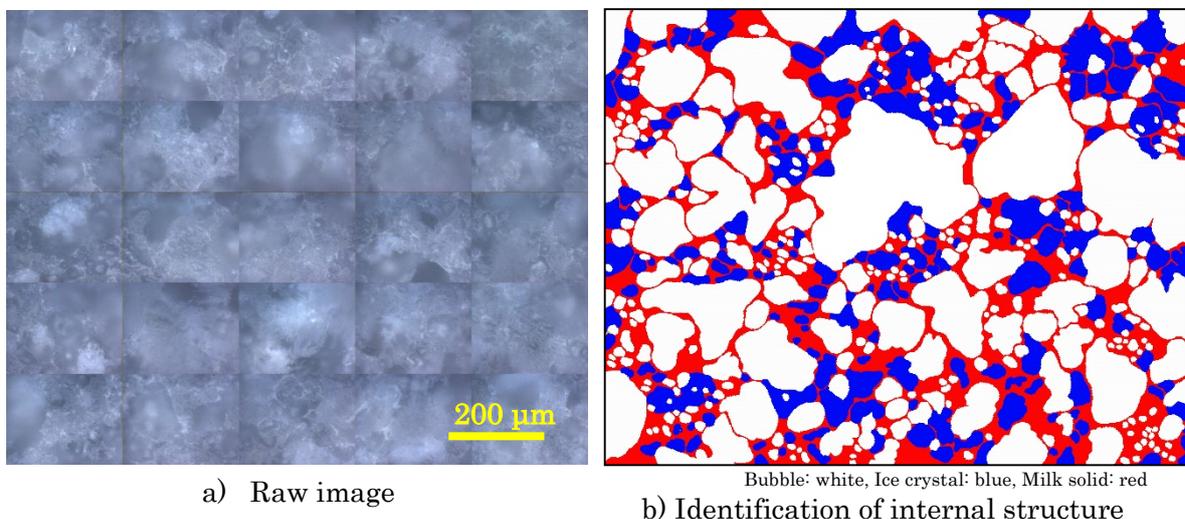


図 1 結合画像および気泡，氷結晶，乳製品の識別

(2) 米粒の胴割れ計測および冷凍米飯の長期保存における氷結晶のマイクロからマクロ計測

① 計測範囲制限における氷結晶

冷凍米飯は、 -20°C で12ヶ月凍結保存しながら、氷結晶を計測した。分光画像の解像度は 320×256 pixelで、計測範囲は $560 \mu\text{m} \times 420 \mu\text{m}$ であった。氷結晶の平均相当円直径は、0ヶ月が $22.1 \pm 14 \mu\text{m}$ 、1ヶ月が $32.9 \pm 14.8 \mu\text{m}$ 、3ヶ月が $32.4 \pm 17.4 \mu\text{m}$ 、6ヶ月が $31.7 \pm 15.6 \mu\text{m}$ 、9ヶ月が $35.1 \pm 13.0 \mu\text{m}$ 、12ヶ月が $37.3 \pm 12.3 \mu\text{m}$ であった。氷結晶の平均相当円直径は、凍結直後に対し1ヶ月が約1.5倍、12ヶ月が約1.6倍であった。氷結晶は、凍結保存開始から1ヶ月までに成長が見られたが、以降、それほど大きな成長が見られなかった。従来、冷凍食品内の氷結晶計測は、多くの研究者により報告され、凍結保存期間が長くなるにつれて氷結晶も大きくなるとされてきた。しかし、本研究では -40°C の凍結直後、氷結晶の相当円直径が最大値 $55.5 \mu\text{m}$ 、最小値 $6.3 \mu\text{m}$ 、平均値 $22.1 \pm 14 \mu\text{m}$ であり、すでに大きな氷結晶および氷結晶のばらつきが確認された。すでに大きな氷結晶の一部は、胴割れ箇所の氷結晶に起因するものと考えられた。

② 米粒の浸漬における胴割れ計測

炊飯前の米粒の浸漬時における分光画像は、水の吸収波長の 1460 nm で、水分が多い箇所の輝度は低く(暗く)なる。吸水開始から4分後に胴割れ箇所に水が浸透し、12分後には米粒半分以上、26分後には全体に浸透した。同じ吸水時間(4分後)においても胴割れ箇所の少ないものと多いものが確認された。胴割れ箇所の水分は、冷凍米飯において氷結晶になる。

③ 氷結晶のマイクロからマクロ計測

凍結直後からすでに大きな氷結晶、および胴割れ箇所の氷結晶の計測は、マイクロからマクロ計測法を用いた。マイクロからマクロ計測は、計測範囲は $560 \mu\text{m} \times 420 \mu\text{m}$ で位置決め、米飯の切断面の結合画像における氷結晶を計測した。試料Aの切断面長さは $3530 \mu\text{m}$ 、Bの長さは $3040 \mu\text{m}$ で、Cの長さは $3850 \mu\text{m}$ で、1個の米飯粒に相当する。試料Aの米飯粒においては比較的小さな氷結晶が、試料Bにおいては帯状の大きな氷結晶が計測された。これは胴割れ箇所の氷結晶であると考えられる。試料Cにおいては、外周部の氷結晶は小さいものの全体的に大きな氷結晶が計測された。また、計測範囲を超過する氷結晶が計測された。結合した画像の大きさは $3850 \mu\text{m} \times 420 \mu\text{m}$ で、最大氷結晶(長軸 $692.6 \mu\text{m}$)が5個ほど計測可能な範囲である。この計測範囲において、氷結晶短軸の最小値 $1.4 \mu\text{m}$ から長軸の最大値 $692.6 \mu\text{m}$ まで、相当円直径の最小値 $4.0 \mu\text{m}$ から最大値 $440.7 \mu\text{m}$ まで、氷結晶の連続分光画像計測が可能になった。同じ凍結温度条件と冷凍米飯塊($20 \times 20 \times 10 \text{ mm}$)であるにも関わらず、氷結晶の大きさは米飯粒ごとに大きな相違が確認された。

(3) CMtSISによるアイスクリーム中の気泡、氷結晶、乳製品の3次元計測

① OR

OR平均は、流量口径が大きい方から、11.5%、15.8%、22.7%、44.3%、73.8%、92.8%であった。一般に、普通のアイスクリームは70~100%の重量ORのものが多く、スーパープレミアムアイスクリームやシャーベット類は20~40%の重量ORのものが多いという。他方、ソフトクリームの重量ORは30~80%といわれている。本実験に用いた、ソフトフリーザーから得られた重量ORは、約11.5~92.8%であり、本フリーザーを用いることにより、一般的なソフトクリームのORのコントロールが可能であることを確認した。

② ミクロからマクロ計測によるORVc

ORVc計測には、OR平均11.5%、44.3%、73.8%のサンプルを用いた。結合画像の実寸法は、 $1164 \times 924 \mu\text{m}$ であった。OR平均11.5%のサンプルより識別された気泡の相当円直径は、最大 $101.9 \mu\text{m}$ 、最小 $1.1 \mu\text{m}$ 、平均 $24.8 \mu\text{m}$ であった。OR平均44.3%のサンプルの相当円直径は、最大 $140.4 \mu\text{m}$ 、最小 $1.1 \mu\text{m}$ 、平均 $25.8 \mu\text{m}$ であった。OR平均73.8%のサンプルの相当円直径は、最大 $248.2 \mu\text{m}$ 、最小 $1.1 \mu\text{m}$ 、平均 $40.3 \mu\text{m}$ であった。結合画像の実寸法は $1164 \times 924 \mu\text{m}$ で、気泡の相当円直径の最小(マイクロ) $1.1 \mu\text{m}$ から最大(マクロ) $248.2 \mu\text{m}$ までの計測が可能になった。これによりマイクロからマクロの計測を再確認した。ORVc平均は、OR平均11.5%サンプルが10.5%、44.3%サンプルが42.8%、73.8%のサンプルが77.7%であった。CMSISにより算出されるORVcは、異なったORアイスクリームにおいて高い精度で実証された。

③ ORVc-3D

図2にOR値12.7%アイスクリームの内部構造の3次元像を示す。各3次元像は、 $260 \times 206 \times 400 \mu\text{m}$ である。同一サンプルから得られた気泡、氷結晶、乳製品の3次元画像から、乳製品は網目構造を形成しており、個々の気泡と氷結晶は不定型な楕円体として、網目構造の中に存在していることが分かった。識別された気泡は、1178個で、体積最大 490.421 mm^3 、最小 0.125 mm^3 、平均 2.342 mm^3 であり、ORVc-3Dは14.8%で、OR値12.7%に比べ、高い精度で再現された。

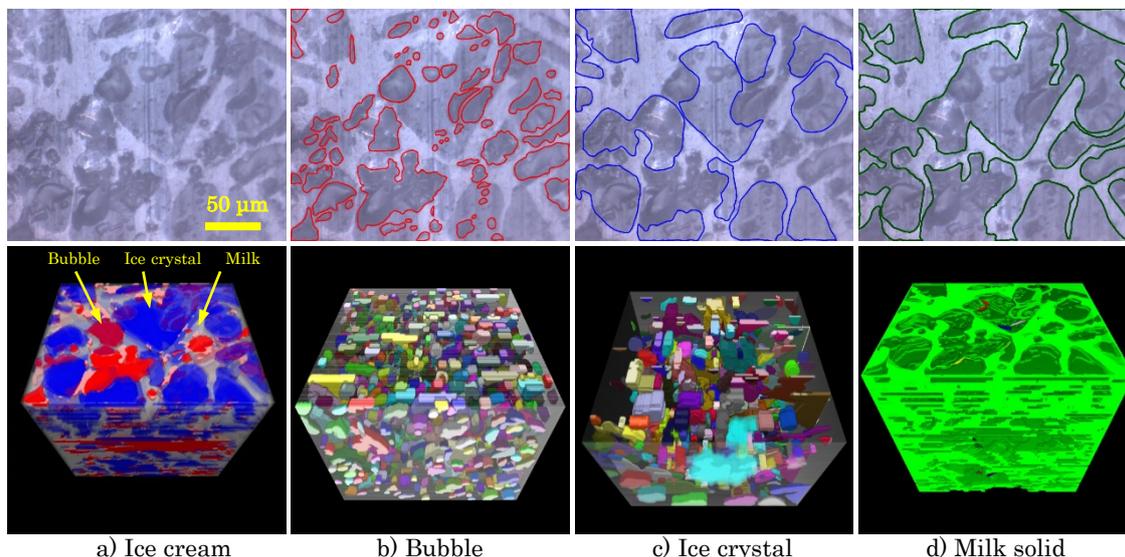


図2 アイスクリームの内部構造の3次元計測 (OR 12.7%).

(4) X線CTによるアイスクリーム内の気泡計測

X線CT像中の色の明暗は、試料中の物質のX線吸収係数の分布を示し、カラースケールが示すようにX線吸収係数が大きい画素は明色で、小さい画素は暗色で示される。X線吸収係数は物質の密度に依存するため、明色の部分は密度が高く、暗色の部分は密度が低くなる。このため、空気はX線の吸収率が低いため、黒色で示される。OR値22.7%サンプルから識別された気泡は、8636個で、体積最大4498.8 μm³、最小26.8 μm³、平均464.1 μm³であり、OR値73.8%サンプルから識別された気泡は、7515個で、体積最大15427.5 μm³、最小26.3 μm³、平均1438.6 μm³であった。

図3にCMtSISとX線CTにより得られたOR, ORVc, ORVc-3D, ORVxを示す。OR値22.7%サンプルのORVxは、最大25.3%、最小17.8%、平均21.7%であり、OR値73.8%サンプルのORVxは、最大75.5%、最小68.8%、平均71.3%であった。

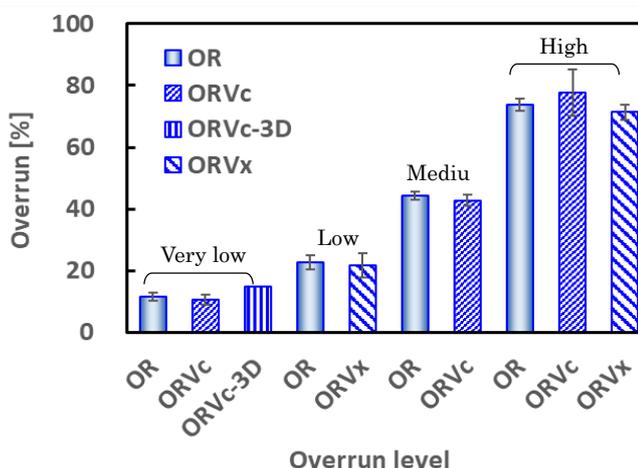


図3 CMtSISとX-ray CTによるOR, ORVc, ORVc-3D and ORVx

〈摘要〉

本研究では、食品の調理・加工における職人の匠技を解明するため、「食品成分」、「水・氷結晶」、「気泡」のミクロからマクロ構造および3次元計測を行った。初年度にCMtSISによるアイスクリーム中のミクロからマクロ気泡、氷結晶、乳製品の混合バランスの計測法の開発、2年目に食品材料として米を選び、米粒の胴割れ計測および冷凍米飯の長期保存における氷結晶のミクロからマクロ計測、最終年度にはCMtSISによりアイスクリーム中の気泡、氷結晶、乳製品の3次元計測、X線CTにより、アイスクリーム内の気泡を計測した。本研究で得られた定量的なデータは、食品の調理・加工における食品製造機械の特性の数値化および職人の匠技の定量化に適用されると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 都 甲洙、山本 怜人、宋 珉錫、姜 起文、佐瀬 勘紀、裊 英煥、上野 茂昭、荒木 徹也	4. 巻 35
2. 論文標題 冷凍米飯の長期保存における氷結晶の計測	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本冷凍空調学会論文集	6. 最初と最後の頁 251 ~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11322/tjsrae.18-22FB	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Gabsoo Do, Sadanori Sase, Yeonghwan Bae, Tatsurou Maeda, Shigeaki Ueno and Tetsuya Araki	4. 巻 18
2. 論文標題 Microscale to Macroscale Measurement of Bubbles in Frozen Materials with Cryogenic Microtome Spectral Imaging System	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japan Journal of Food Engineering	6. 最初と最後の頁 125-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11301/jsfe.17496	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Gabsoo Do, Sadanori Sase, Rika Kobayashi, Masugu Sato
2. 発表標題 Measuring freezer burn of foods using X-ray computed tomography
3. 学会等名 The International Congress on Engineering and Food (ICEF 13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中澤紗貴, 木村優太, 都 甲洙, 佐瀬勘紀
2. 発表標題 冷凍食品内部構造のミクロからマクロ計測
3. 学会等名 日本冷凍空調学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gabsoo Do, Sadanori Sase, Yeonghwan Bae, Tatsuro Maeda, Shigeaki Ueno, Tsuya Araki
2. 発表標題 Three-dimensional measurement of internal structure in frozen food materials by cryogenic microtome imaging system
3. 学会等名 21th International Drying Symposium (IDS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩澤明秀, 都 甲洙, 佐瀬勲紀, 小林りか, 佐藤真直
2. 発表標題 X線CTによる冷凍食品の冷凍焼け評価
3. 学会等名 2018年度日本冷凍空調学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島内 唯, 安藤 愛, 都 甲洙, 佐瀬勲紀
2. 発表標題 凍結保存におけるパン生地の氷結晶計測
3. 学会等名 農業施設学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 尾之上太樹, 都 甲洙, 佐瀬勲紀
2. 発表標題 アイスクリーム内のマイクロからマクロ気泡に基づくオーバーラン計測
3. 学会等名 農業施設学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 早川和宏, 都 甲洙, 佐瀬勲紀
2. 発表標題 冷凍米飯の長期保存における氷結晶計測
3. 学会等名 農業施設学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐藤 眞直 (SATO Masugu) (30360837)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・産業利用推進室・ 主席研究員 (84502)	