

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月10日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22780236

研究課題名（和文）小麦粉製品のおいしさ予測モデルの開発

研究課題名（英文）Development of predictive models for overall preference scores of flour based food products

## 研究代表者

荒木 徹也（ARAKI TETSUYA）

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：40420228

## 研究成果の概要（和文）：

ミキシング段階の異なるパン生地中のグルテン分布の可視化および定量化に成功した。焼成パンの断面をスキャナで撮像した画像から気泡構造を定量化するためのアルゴリズムを開発した。焼成後のパンの食感に直接影響を与える粘弾性パラメータを検討した結果、特に米ゲルを原料とするパンについて、試料の膨張性と柔らかさが必ずしも対応しないという結果が得られた。おいしさ予測モデルの構築に向けて、官能評価データの精度向上が今後の課題である。

## 研究成果の概要（英文）：

Gluten distribution was successfully visualized and quantified for bread dough under four different mixing conditions. An algorithm was developed for quantifying bubble structure in baked bread from scanned images of its cross section. Investigation of viscoelastic parameters directly influencing the texture of baked bread resulted in the discrepancy between expansibility and softness of the samples. Further challenge is to improve the accuracy of sensory evaluation data for constructing predictive models of overall preference scores.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：画像処理・画像認識

## 1. 研究開始当初の背景

三大穀物の一つである小麦は、国内ではコメに次いで消費量が多く、主に製パン用である。代表的な小麦粉製品であるパンの食感はその「おいしさ」を決定する主要因であり、直接的には「すだち」と呼ばれる内部気泡構

造とそれに起因する粘弾性、また間接的（成分的）にはパン生地内部のグルテンとよばれるタンパク質の分布状態により決定される。

製パン工程において、グルテンは製造工程の一つであるミキシング中に形成され、パン生地中に網目状に分布し気泡を取り込む性

質を持つ。よって、パン生地中のグルテン分布は焼成後のパンの内部構造形成に大きく影響する。しかしながら、ミキシング工程の最適化は製造現場の職人の勘に依存しているため、パン生地中のグルテンの分布を可視化し、パンの食感、すなわち官能評価との関連を定量的に明らかにすることが食品産業から期待されている。

一方、励起・蛍光マトリクス (Excitation-Emission Matrix; EEM) を画像計測に展開し、非破壊・非染色での成分分布の可視化が試みられており、大豆の内部構造可視化およびカビ毒や農薬の検知などがすでに成功している。そこで、EEM 計測がパン生地内のグルテン分布の可視化に応用可能であり、さらに焼成パンの「すだち」は製造現場での応用を考慮すると簡便な撮像と画像処理により定量化することが望ましく、情報工学の形態画像解析が利用可能と考えた。

さらに、これらグルテン分布および「すだち」計測で得られる内部構造パラメータに製造条件、焼成パンの粘弾性および官能評価データを統合し、製造条件から最終製品までの食感に関するすべてのパラメータを含むパンの「おいしさ」モデルを構築することができれば、合理的なパンの製造工程の最適化およびそれによる安定した品質の製品供給に大きく貢献できると考えられた。

## 2. 研究の目的

代表的な小麦粉製品であるパンを供試材料とし、(1) 励起・蛍光マトリクスによるパン生地中のグルテン分布の可視化および定量化、(2) 形態画像解析による焼成パンの「すだち」の定量化、(3) 焼成パンの粘弾性パラメータの計測および官能評価からそれぞれパンの「おいしさ」に関わるパラメータの抽出、および得られたパラメータと官能評価データの統合による (4) パンのおいしさ予測モデルの開発を目的とした。特に「食感」に着目し、それに関係する機器測定および官能的性質を定量的に結びつけることにより、製造条件から、パン生地、焼成パン、官能評価までおいしさの「生起要因」をモデルにより総合的に説明することを目指した。

## 3. 研究の方法

(1) 励起・蛍光マトリクスによるパン生地中のグルテン分布の可視化および定量化

励起・蛍光マトリクス (Excitation-Emission Matrix; EEM) は励起波長、蛍光波長および蛍光強度からなる等高線状のデータで、成分に固有のパターンを示す。本研究では EEM 測定と画像計測を組み合わせた EEM イメージング手法を用いて、ミキシング条件を 4 段階 (ピックアップ段階・クリーンアップ段階・ファイナル段階・オーバーミ

キシング段階) に調製したパン生地試料中のグルテン分布を可視化、定量化した。

(2) 形態画像解析による焼成パンの「すだち」の定量化

薄片化した焼成パン試料の断面をスキャナで撮像し、内部画像を解析した。また、数値解析ソフトウェアを用いて画像データに形態画素解析を適用し、パン内部構造の気泡直径、面積等の気泡単体のパラメータの他、気泡間の平均距離等の気泡全体の分布を特徴付けるパラメータを定量化するためのアルゴリズムを開発した。

(3) 焼成パンの粘弾性パラメータの計測および官能評価

焼成後のパンの食感に直接影響を与える粘弾性を定量化し、粘弾性パラメータを特定した。具体的には、レオメータを用いて試料のクリープ試験を実施した。そして、得られた時間-歪データに力学的粘弾性モデルを適用し、粘弾性パラメータを算出した。さらに、焼成パンの官能評価を実施した。

(4) パンのおいしさ予測モデルの開発

ミキシングおよび焼成温度からなる製造条件、(1)~(3)で得られた内部構造、粘弾性パラメータおよび官能評価データから「おいしさ」予測モデルの開発を試みた。まず、得られた多数のパラメータから相関分析、主成分分析などの多変量解析およびニューラルネットワークなどのデータマイニング手法を適用し、官能評価に影響が大きいと考えられるモデルの説明変数を選択した。さらに、これらのパラメータと官能評価データを今共分散構造分析やマルチスプライン関数などの線形、また非線形のモデルを用いてモデル化および最適なモデリング変数の選択を試みた。

## 4. 研究成果

本研究では、励起・蛍光マトリクスによるパン生地中のグルテン分布の可視化および定量化に成功した。図 1 から図 3 にアンダーミキシング段階、最適ミキシング段階、オーバーミキシング段階の可視化画像をそれぞれ示す。図中の赤色部分がグルテンの分布を、緑色部分がデンプンの分布を、黒色部分が気泡の分布をそれぞれ示す。

また、小麦粉製品のおいしさ予測モデルを開発するために、まず、製造現場での実用面を考慮し、簡易にデータを取得可能なイメージスキャナを用いた単純な撮像方法と画像処理により、「すだち」と呼ばれるパンの気泡構造のパラメータを定量化する一連の気泡画像計測アルゴリズムを開発した。そして、得られた気泡パラメータと物性パラメータの一つである粘弾性係数の相関分析を行った結果、気泡面積割合 (気泡パラメータ) と粘弾性に正の相関 ( $r > 0.59$ ,  $p < 0.05$ ) が

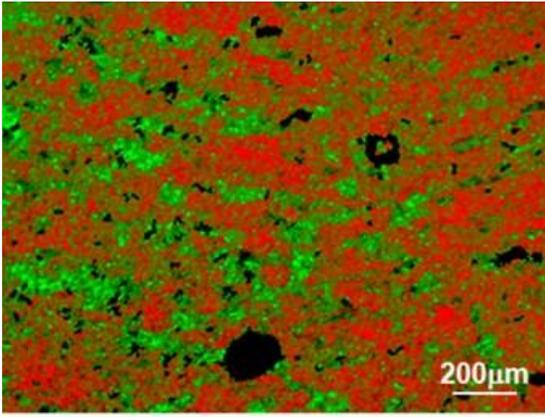


図1 可視化画像 (アンダーミキシング段階)

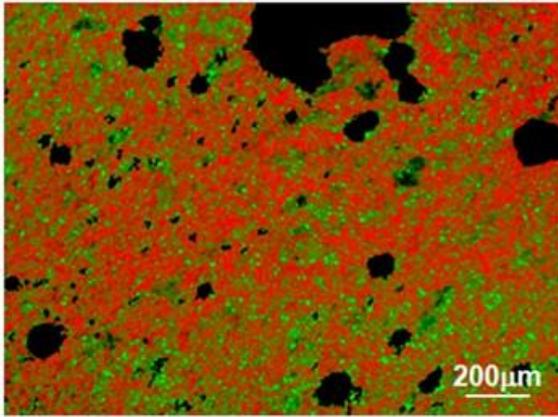


図2 可視化画像 (最適ミキシング段階)

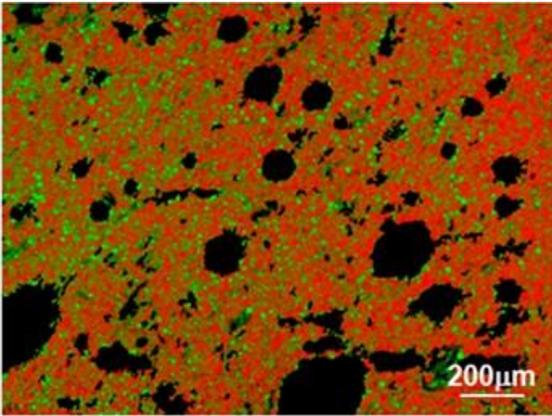


図3 可視化画像 (オーバーミキシング段階)

あることが分かった。すなわち、気泡面積の割合が大きいほど、「かたく」感じられることが示唆された。

また、米粉および米を糊化させて調製した糊化米粉およびお粥を混合した糊化米粉パンおよびお粥パンを開発し、その粘弾性および気泡構造の特性を明らかにした。糊化米粉パンおよびお粥パンは既存の米粉パンや小

麦粉パンよりも柔らかく、膨張性が高いことから、米を利用したパンの普及に貢献できると考えられる。また、焼成後のパンの食感に直接影響を与える粘弾性パラメータを検討した結果、特に米ゲルを原料とするパンについて、試料の膨張性と柔らかさが必ずしも対応しないという結果が得られた。

なお、おいしさ予測モデルの構築に向けて、官能評価データの精度向上が今後の課題である。今後は、試料の水分活性を追加的に測定すること等により試料の品質を長期保存性といった観点からもあわせて評価することが必要となるだろう。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計21件)

- ① Maeda T, Kokawa M, Miura M, Araki T, Yamada M, Takeya K, Sagara Y (2013). Development of a novel staining procedure for visualizing the gluten-starch matrix in bread dough and cereal products. *Cereal Chemistry*, 査読有, 90(3), 175-180.  
DOI: 10.1094/CCHEM-10-12-0132-R
- ② Kokawa M, Sugiyama J, Tsuta M, Yoshimura M, Fujita K, Shibata M, Araki T, Nabetani H (2012). Development of a Quantitative Visualization Technique for Gluten in Dough Using Fluorescence Fingerprint Imaging. *Food and Bioprocess Technology*. 査読有,  
DOI: 10.1007/s11947-012-0982-7
- ③ Tsai CL, Sugiyama J, Shibata M, Kokawa M, Fujita K, Tsuta M, Nabetani H, Araki T (2012). Changes in the Texture and Viscoelastic Properties of Bread Containing Rice Porridge during Storage. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 査読有, 76(2), 331-335.  
DOI: 10.1271/bbb.110722
- ④ Kokawa M, Fujita K, Sugiyama J, Tsuta M, Shibata M, Araki T, Nabetani H (2012). Quantification of the distributions of gluten, starch and air bubbles in dough at different mixing stages by fluorescence fingerprint imaging. *Journal of Cereal Science*, 査読有, 55(1), 15-21.  
DOI: 10.1016/j.jcs.2011.09.002
- ⑤ Onishi M, Inoue M, Araki T, Iwabuchi H, Sagara Y (2012). A PTR-MS-Based Protocol for Simulating Bread Aroma During Mastication. *Food and Bioprocess Technology*, 査読有, 5(4),

- 1228-1237.  
DOI: 10.1007/s11947-010-0422-5
- ⑥ Akiyama M, Tatsuzaki M, Michishita T, Ichiki T, Sumi M, Ikeda M, Araki T, Sagara Y (2012). Package design of ready-to-drink coffee beverages based on food kansei model—Effects of straw and cognition terms on consumer's pleasantness. Food and Bioprocess Technology, 査読有, 5(5), 1924-1938.  
DOI: 10.1007/s11947-011-0527-5
- ⑦ Onishi M, Inoue M, Araki T, Iwabuchi H, Sagara Y (2011). Characteristic Coloring Curve for White Bread during Baking. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 査読有, 75(2), 255-260.  
DOI: 10.1271/bbb.100558
- ⑧ Onishi M, Inoue M, Araki T, Iwabuchi H, Sagara Y (2011). Odorant transfer characteristics in white bread during baking process. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 査読有, 75(2), 261-267.  
DOI: 10.1271/bbb.100572
- ⑨ Kokawa M, Fujita K, Sugiyama J, Tsuta M, Shibata M, Araki T, Nabetani H (2011). Visualization of the distribution of multiple constituents in bread dough by use of Fluorescence Fingerprint Imaging. Procedia Food Science, 査読有, 1(0), 927-934.  
DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.140
- ⑩ Shibata M, Sugiyama J, Tsai CL, Tsuta M, Fujita K, Kokawa M, Araki T (2011). Evaluation of viscoelastic properties and air-bubble structure of bread containing gelatinized rice. Procedia Food Science, 査読有, 1, 927-934.  
DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.085
- ⑪ Kokawa M, Fujita K, Sugiyama J, Tsuta M, Shibata M, Araki T, Nabetani H (2011). Visualization of gluten and starch distributions in dough by fluorescence fingerprint imaging. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 査読有, 75(11), 2112-2118.  
DOI: 10.1271/bbb.110342
- ⑫ Michishita T, Akiyama M, Hirano Y, Ikeda M, Sagara Y, Araki T (2010). Gas Chromatography/Olfactometry and Electronic Nose Analyses of Retronasal Aroma of Espresso and Correlation with Sensory Evaluation by an Artificial Neural Network. Journal of Food Science, 査読有, 75(9), S477-S489.  
DOI:10.1111/j.1750-3841.2010.01828.x
- ⑬ Sugiyama T, Sugiyama J, Tsuta M, Fujita K, Shibata M, Kokawa M, Araki T, Nabetani H, Sagara Y (2010). NIR spectral imaging with discriminant analysis for detecting foreign materials among blueberries. Journal of Food Engineering, 査読有, 101(3), 244-252.  
DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.06.026
- ⑭ 柴田真理朗, 杉山純一, 藤田かおり, 葛瑞樹, 吉村正俊, 粉川美踏, 荒木徹也 (2012). アミロース含量の異なる米粥のパンの物性へ及ぼす影響. 日本食品科学工学会誌. 査読有, 59(10), 503-508.  
DOI: 10.3136/nskkk.59.503
- ⑮ 中村結花子, 藤田かおり, 葛瑞樹, 柴田真理朗, 吉村正俊, 粉川美踏, 杉山純一, 鍋谷浩志, 荒木徹也. (2012). 蛍光指紋計測によるマンゴーの産地判別. 日本食品科学工学会誌. 査読有, 59(8), 387-393.  
DOI: 10.3136/nskkk.59.503
- ⑯ 柴田真理朗, 杉山純一, 藤田かおり, 葛瑞樹, 吉村正俊, 粉川美踏, 荒木徹也. (2012). 攪拌処理による高アミロース米のゲル物性の変化. 日本食品科学工学会誌. 査読有, 59(5), 220-224.  
DOI: 10.3136/nskkk.59.220
- ⑰ 柴田真理朗, 杉山純一, 蔡佳瓴, 葛瑞樹, 藤田かおり, 粉川美踏, 荒木徹也. (2011). 粥状に糊化处理した米を添加したパンの粘弾性および気泡構造. 日本食品科学工学会誌. 査読有, 58(5), 196-201.  
DOI: 10.3136/nskkk.58.196
- ⑱ 柴田真理朗, 杉山純一, 葛瑞樹, 藤田かおり, 杉山武裕, 粉川美踏, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 相良泰行. (2010). パンの粘弾性と気泡構造(すだち)との関係の定量化手法の開発. 日本食品科学工学会誌. 査読有, 57(7), 296-303.  
DOI: 10.3136/nskkk.57.296
- ⑲ 柴田真理朗, 杉山純一, 葛瑞樹, 藤田かおり, 杉山武裕, 粉川美踏, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 相良泰行. (2010). イメージスキャナを用いたパン気泡構造の計測手法の開発. 日本食品科学工学会誌. 査読有, 57(6), 243-250.  
DOI: 10.3136/nskkk.57.243
- ⑳ 杉山武裕, 藤田かおり, 葛瑞樹, 杉山純一, 柴田真理朗, 粉川美踏, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 相良泰行. (2010). 励起蛍光マトリクスによるそば粉と小麦粉の混合割合の推定. 日本食品科学工学会誌. 査読有, 57(6), 238-242.  
DOI: 10.3136/nskkk.57.238
- 21 上田玲子, 荒木徹也, 柴田真理朗, 相良

泰行, 杉山公教, 千葉智. (2010). 生タ  
ラコの官能評価値と機器分析値への共  
分散構造分析の適用. 日本食品科学工  
学会誌. 査読有, 57(8), 326-335.  
DOI: 10.3136/nskkk.57.326

[学会発表] (計 25 件)

- ① Shibata, M., et al., Development of High-Amylose Rice Gel by Gelatinization and Mechanical Mixing. 2012 EFFoST Annual Meeting (2012.11.20-23, Montpellier, France)
- ② Morita, A., et al., Developments of Integrated Quality Evaluation and Design systems for Natural Cheese. 5th European Conference on Sensory and Consumer Research (2012.9.9-12, Bern, Switzerland)
- ③ Nakamura, Y., et al., Determination of the Geographic Origin of Mangoes using Fluorescence Fingerprint. 16th IUFOST, World Congress of Food Science and Technology (2012.8.5-9, Foz do Iguacu, Brazil)
- ④ Kokawa, M., et al., Quantitative Visualization of the Distribution of Gluten and Starch in Model Dough with Fluorescence Fingerprint Imaging. International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng2012 (2012.7.8-12, Valencia, Spain)
- ⑤ Kokawa M, Fujita K, Sugiyama J, Tsuta M, Shibata M, Araki T, Nabetani H. Visualization of the distribution of multiple constituents in bread dough by use of Fluorescence Fingerprint Imaging. 11th International Congress on Engineering and Food (2011.5.22-26, Athens, Greece)
- ⑥ Shibata M, Sugiyama J, Tsai CL, Tsuta M, Fujita K, Kokawa M, Araki T. Evaluation of viscoelastic properties and air-bubble structure of bread containing gelatinized rice. 11th International Congress on Engineering and Food (2011.5.22-26, Athens, Greece)
- ⑦ Kokawa M, Fujita K, Sugiyama J, Shibata M, Tsuta M, Sugiyama T, Araki T, Nabetani H. Visualization of the gluten distribution in dough by using the excitation-emission matrix. 1st International Congress on Food Technology (2010.11.3-6, Antalya, Turkey)
- ⑧ Shibata M, Tsuta M, Sugiyama J, Fujita K, Sugiyama T, Kokawa M, Araki T, Nabetani H. Image analysis of bread crumb structure in relation to mechanical properties. 1st International Congress on Food Technology (2010.11.3-6, Antalya, Turkey)
- ⑨ 粉川美踏, 杉山純一, 蔦瑞樹, 藤田かおり, 吉村正俊, 柴田真理朗, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 光の指紋によるパイ生地中のグルテン・澱粉・バターの分布可視化. 日本食品科学工学会 平成 25 年度関東支部大会 (2013.3.7, 東京, 東京農業大学)
- ⑩ 松山信悟, 柴田真理朗, 杉山純一, 藤田かおり, 蔦瑞樹, 吉村正俊, 粉川美踏, 平野由香里, 荒木徹也, ダイレクト糊化法による高アミロース米麺の開発. 日本食品科学工学会 平成 25 年度関東支部大会 (2013.3.7, 東京, 東京農業大学)
- ⑪ 平野由香里, 杉山純一, 柴田真理朗, 藤田かおり, 蔦瑞樹, 吉村正俊, 粉川美踏, 松山信悟, 荒木徹也, ダイレクト糊化による高アミロース米の最適製パン技術の開発. 日本食品科学工学会 平成 25 年度関東支部大会 (2013.3.7, 東京, 東京農業大学)
- ⑫ 粉川美踏, 蔦瑞樹, 杉山純一, 藤田かおり, 吉村正俊, 柴田真理朗, 荒木徹也, 鍋谷浩志, パン生地の蛍光指紋イメージン: 成分存在比を考慮したカラーマッピング法. 日本食品科学工学会第 59 回大会 (2012.8.29-31, 札幌, 藤女子大学)
- ⑬ 柴田真理朗, 杉山純一, 松山信悟, 藤田かおり, 粉川美踏, 蔦瑞樹, 吉村正俊, 荒木徹也, ダイレクト糊化による高アミロース米ゲル食品の開発. 日本食品科学工学会第 59 回大会 (2012.8.29-31, 札幌, 藤女子大学)
- ⑭ 中村結花子, 藤田かおり, 杉山純一, 蔦瑞樹, 粉川美踏, 吉村正俊, 柴田真理朗, 鍋谷浩志, 荒木徹也, 中村哲, 蛍光指紋によるサトイモの産地判別法開発とその精度検討. 日本食品科学工学会第 59 回大会 (2012.8.29-31, 札幌, 藤女子大学)
- ⑮ 守田愛梨, 池上翔馬, 荒木徹也, 小石原洋, 越智浩, 相良泰行, 溶融塩の配合割合と溶融時間がプロセスチーズの粘弾性に及ぼす影響評価. 日本食品科学工学会第 59 回大会 (2012.8.29-31, 札幌, 藤女子大学)
- ⑯ 柴田真理朗, 杉山純一, 藤田かおり, 蔦瑞樹, 吉村正俊, 粉川美踏, 荒木徹也, 高アミロース米を用いた新規食品の開発. 日本食品工学会第 13 回年次大会 (2012.8.9-10, 札幌, 北海道大学)

- ⑰ 守田愛梨, 荒木徹也, 住正宏, 吉田浩一, 上田玲子, 相良泰行, チェダーチーズの粘弾性と香り成分特性および官能評価値の相関分析. 日本食品工学会第 13 回年次大会 (2012. 8. 9-10, 札幌, 北海道大学)
- ⑱ 粉川美踏, 蔦瑞樹, 杉山純一, 藤田かおり, 吉村正俊, 柴田真理朗, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 蛍光指紋によるパン生地中グルテンの定量イメージング. 農業情報学会 2012 年度大会 (2012. 5. 17, 東京, 東京大学)
- ⑲ 柴田真理朗, 杉山純一, 藤田かおり, 蔡佳瓚, 蔦瑞樹, 吉村正俊, 粉川美踏, 荒木徹也, アミロース含量の異なる糊化米がパンの物性へ及ぼす影響. 日本食品科学工学会第 58 回 (2011 年度) 大会 (2011. 9. 9-11, 仙台, 仙台国際センター, 東北大学)
- ⑳ Tsai CL, Sugiyama J, Shibata M, Kokawa M, Fujita K, Tsuta M, Nabetani H, Araki T, Texture and viscoelastic properties of bread containing rice porridge (Okayu) during storage. 日本食品工学会第 12 回 (2011 年度) 年次大会 (2011. 8. 6, 京都, 京都テルサ)
- 21 粉川美踏, 柴田真理朗, 吉村正俊, 藤田かおり, 蔦瑞樹, 杉山純一, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 米素材を混合したパン生地の成分分布可視化手法の開発. 日本食品工学会第 12 回 (2011 年度) 年次大会 (2011. 8. 6, 京都, 京都テルサ)
- 22 中村結花子, 藤田かおり, 杉山純一, 蔦瑞樹, 粉川美踏, 吉村正俊, 柴田真理朗, 鍋谷浩志, 荒木徹也, 蛍光指紋計測によるマンゴーの産地判別. 日本食品工学会第 12 回 (2011 年度) 年次大会 (2011. 8. 6, 京都, 京都テルサ)
- 23 粉川美踏, 藤田かおり, 杉山純一, 柴田真理朗, 蔦瑞樹, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 励起蛍光マトリクスイメージングによるパン生地中のグルテン・デンプン分布の可視化手法, 日本食品工学会第 11 回年次大会 (2010. 8. 4, 東京, 東京海洋大学)
- 24 柴田真理朗, 杉山純一, 蔦瑞樹, 藤田かおり, 粉川美踏, 蔡佳瓚, 荒木徹也, 米を製パン素材としたパンの気泡構造および粘弾性, 日本食品科学工学会第 57 回大会 (2010. 9. 3, 東京, 東京農業大学)
- 25 粉川美踏, 藤田かおり, 杉山純一, 蔦瑞樹, 柴田真理朗, 荒木徹也, 鍋谷浩志, EEM イメージングによるパン生地中のグルテン・デンプン分布の可視化, 日本食品科学工学会第 57 回大会 (2010. 9. 3, 東京, 東京農業大学)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]  
○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]  
ホームページ等  
<http://www.iai.ga.a.u-tokyo.ac.jp/nabetani-araki2012/src/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

荒木 徹也 ( ARAKI TETSUYA )  
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授  
研究者番号 : 40420228

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :