

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K14832

研究課題名(和文) 生体および食品を対象とする乾燥プロセスの非破壊オンライン測定システムの開発

研究課題名(英文) Development of non-destructive online measurement system of drying process for biological and food materials

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(農学部)・准教授

研究者番号：40420228

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：6種類の糖を糖濃度10%～40%に調製した試料、およびこれら6種類の糖とゼラチンを一定割合で混合した試料を用いて誘電スペクトル、水分活性および凍結水量を測定した。食品の乾燥プロセスに関連して1)冷凍ピザ生地の過熱水蒸気乾燥プロセス、2)高圧処理後の緑茶葉の乾燥プロセス、3)原産国・地域が異なるカカオ豆に含まれるカカオポリフェノールの産地別定量分析に関する実験的検証を行った。予算の制約により乾燥プロセスの非破壊オンライン測定システムの開発に向けて今後の課題を数多く残す形とはなったものの、食品の乾燥プロセスに関する実験的検証に関しては十分な基礎データが得られた。

研究成果の概要(英文)：Dielectric spectra, water activity and frozen water content for 10-40% of six sugar solutions and six sugars mixed with gelatin were measured. Drying process of foods was experimentally investigated in the following topics: 1) superheated steam drying of frozen pizza dough, 2) drying process of green tea leaves after high hydrostatic pressure treatment, and 3) quantitative analysis for cacaopolyphenol content contained in cacao beans produced in different countries and regions. Although many challenges still remain towards the development of non-destructive online measurement system of drying process due to the budgetary constraints, fundamental experimental data of food drying process were sufficiently obtained.

研究分野：食品工学

キーワード：乾燥 食品 生体

### 1. 研究開始当初の背景

微量水分測定の電気化学的方法としてはカールフィッシャ法がよく知られているが、試薬を用いる電量滴定法であるため、オンライン測定には適さない。一方、オンライン型の水分測定法としては赤外線吸収法や導電率法、超音波法、熱伝導率法、FT-NIR法などが知られている。しかしながら、赤外線吸収法は近赤外線の反射量を測定するため、試料表面が平坦でない誤差が生じやすく、濃色試料の測定には適用困難である。導電率法は有機酸や二酸化炭素による導電率やpHの変化の影響を受けるため、測定環境によっては測定精度が低下してしまう。超音波法および熱伝導率法は気泡等がない均質な試料であることが求められるので、多孔質材料である凍結乾燥材料の測定に適さないという問題がある。また、FT-NIR法により微小な水分量変化を非破壊で測定可能という知見はすでに得られているが、測定装置が非常に高額である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、生体および食品を対象とする凍結乾燥プロセス中の非破壊オンライン微量水分測定システムを開発することにある。具体的にはまず、一次昇華乾燥プロセスについてはロードセルによる直接質量を測定し、二次脱湿乾燥プロセスについては誘電特性の測定結果から微量水分量を推算するという組み合わせ手法により、凍結乾燥プロセスの全期間を通じて非破壊オンラインで材料内水分量の測定が可能なシステムを開発する。

### 3. 研究の方法

(平成27年度)

生体組織および生鮮食品の保存期間を長期化するためには、両者に共通して存在するたんぱく質の状態を維持することが重要であり、その劣化の指標として考えられる水の態を計測することが必要である。そこで、モデル生体食品としてグルコース、フルクトース、ガラクトース、スクロース、トレハロースおよびマルトースの6種類の糖を糖濃度10%~40%に調製した試料、およびこれら6種類の糖とゼラチンを一定割合で混合した試料を用いて誘電スペクトル、水分活性および凍結水量を測定した。

(平成28年度)

食品の乾燥プロセスに関連して1)冷凍ピザ生地の過熱水蒸気乾燥プロセスおよび2)高圧処理後の緑茶葉の乾燥プロセスに関する実験的検証を行った。

1)については、異なる凍結温度(-5, -15, -25, -35, -45)および冷凍保存期間(1日間、15日間、25日間および35日間)で調製した冷凍ピザ生地試料を熱風乾燥および過熱水蒸気乾燥で焼成し、その焼成

特性を計測するとともに、焼成後試料の表面色および粘弾性を計測した。

2)については、生茶葉に対して30~70の温度で0.1~800MPaの圧力処理を施した後、1日間から5日間乾燥し、乾燥前後の試料のカテキン含量を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)を用いて定量した。

(平成29年度)

食品の乾燥プロセスに関連して1)原産国・地域が異なるカカオ豆に含まれるカカオポリフェノールの産地別定量分析および2)高圧処理後の緑茶葉の乾燥プロセスに関する実験的検証を行った。特に2)については、緑茶に含む23種類のアミノ酸が高圧処理による影響を蒸し処理と比較した。生茶葉に100-700MPaで10-60分間または蒸し処理を施し、凍結乾燥した。乾燥後の試料を沸騰の水で5分間抽出し、LC/MSによりアミノ酸を定量した。

### 4. 研究成果

(平成27年度)

得られた結果から、糖を添加したゼラチンゲルの水の相はDebye緩和の2項の重ね合わせ記述可能であり、糖を添加したゼラチンゲルにおいて、まず表面の自由水が乾燥するまで乾燥速度は一定であるが、自由水がなくなると結合水1( $t_1$ 緩和時間が $t_1=10-9s$ における結合水)が乾燥し、それに伴って水が存在する表面積が徐々に小さくなり、乾燥速度が小さくなるのではないかと示唆された。また、糖を添加すると、より高い水分率で定率乾燥期間および減率乾燥期間を迎えることが分かった。その水分率の差は混合比が水35g(初期含水率70%)、糖5g、ゼラチン10gまたは水40g(初期含水率80%)、糖5g、ゼラチン5gのときには糖添加量が增大するにつれて増大したが、混合比が水45g(初期含水率90%)、糖1g、ゼラチン5gの場合には著な糖添加量依存性は見られなかった。以上のことから、定率乾燥期間において凍結水および自由水が減少し、減率乾燥期間において水分活性に關与する水および結合水1が減少することが示唆された。

(平成28年度)

凍結温度-5°C試料は15日間の冷凍保存後に含水率が顕著に低下した。焼成後試料の表面色変化は過熱水蒸気乾燥において熱風乾燥と比較してより顕著に変化した。また、冷凍保存期間が25日間および35日間の試料において高い粘弾性値(クリーブ曲線に四要素モデルを用いて算出)が認められた。

その結果、30~50で200MPaの圧力処理を施した緑茶茶葉は、カテキン酸化率が減少することが分かった。すなわち、高圧処理には緑茶茶葉において熱処理と類似したカテキン酸化の抑制効果があることが分かった。先行研究によるとトマトやホウレンソウ

に対する高圧処理によるポリフェノールオキシダーゼ (PPO; polyphenol oxidase) の酵素活性の失活効果が明らかにされており、緑茶においても高圧処理によりカテキン酸化が抑制され、茶葉の発酵に大きく関わるPPOを失活させたと考えられた

(平成29年度)

1)については、国別にカカオ豆のカテキン成分が5%水準で有意に異なること、(-)-epicatechinとEpigallocatechin gallateは地域間、品種間でその量に5%水準で有意差があることが示され、さらに地域による品種の選択の優位性があることから2種類のカテキン成分量には地域がかなり強い影響を及ぼすことが示唆された。加えて、(-)-epicatechinの値とカカオパウダーの割合にやや強めの相関が見られた。これによりカカオパウダーの割合が多いカカオ豆には(-)-epicatechinの量が多いことが示唆された。

2)については、高圧茶葉は蒸しよりテアニン、グルタミン、およびGABAを顕著に多く含み、新鮮な茶葉に近い状態が残された。

予算の制約により高機能形熱画像計測装置の購入を断念したこともあり、乾燥プロセスの非破壊オンライン測定システムの開発に向けて今後の課題を数多く残す形とはなったものの、食品の乾燥プロセスに関する実験的検証に関しては十分な基礎データが得られた。

#### 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19件)

#### 2017年

- 1) Kono, S., Tobar, Y., Araki, T., Sagara, Y. 2017. Investigating the ice crystal morphology in frozen cooked rice based on size, fractal dimension and ANN modeling. *International Journal of Refrigeration*, 84, 210-219. 査読有
- 2) Do, S., Sase, S., Bae, Y., Maeda, T., Ueno, S., Araki, T. 2017. Microscale to macroscale measurement of bubbles in frozen materials with cryogenic microtome spectral imaging system. *Jpn. J. Food Eng.*, 18(3), 125-132. 査読有
- 3) Kono, S., Kon, M., Araki, T., Sagara, Y. 2017. Effects of relationships among freezing rate, ice crystal size and color on surface color of frozen salmon fillet. *Journal of Food Engineering*, 214, 158-165. 査読有
- 4) Pramudita, D., Araki, T., Sagara, Y., Tambunan, A. H. 2017. Characteristic roasting and colouring curves for

coffee bean roasting with broad time-temperature variations. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 1509-1520. 査読有

- 5) Kokawa, M., Maeda, T., Morita, A., Araki, T., Yamada, M., Takeya, K., Sagara, Y. 2017. The effects of mixing and fermentation times on chemical and physical properties of white pan bread. *Food Sci. Technol. Res.*, 23(2), 181-191. 査読有
- 6) Shigematsu, T., Furukawa, N., Takaoka, R., Hayashi, M., Sasao, S., Ueno, S., Nakajima, K., Kido, M., Nomura, K., Iguchi, A. 2017. Effect of high pressure on saccharification of starch in tuberous root of sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Biophysical Chemistry*, S0301-4622(17), 30001-7. 査読有
- 7) 守田愛梨, 荒木徹也, 池上翔馬, 岳上美紗子, 住正宏, 上田玲子, 相良泰行. 2016. チェダーチーズの粘弾性特性と香気成分から官能評価スコアを予測する品質評価モデルの開発. *日本食品科学工学会誌*, 63(1), 1-17. 査読有
- 8) Aoyama, H., Nagai, M., Shimada, R., Atsuzawa, K., Kaneko, Y., Ueno, S. 2016. Effect of freezing and immersion in agro-product homogenate treatment on the quality of octopus (*Octopus vulgaris*). *Transactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, 33, 215-219. 査読有
- 9) Tagubase, J. L., Ueno, S., Yoshie, Y., Araki, T. 2016. Effect of freezing and thawing on the quality of durian (*Durio zibethinus Murray*) pulp. *Transactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, 33, 267-272. 査読有
- 10) Ueno, S., Hayashi, M., Kimizuka, N., Shigematsu, T. 2016. Effect of freezing storage and high hydrostatic pressure on microbial in liquid whole egg-sucrose mixture. *Transactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, 33, 273-277. 査読有
- 11) 上野茂昭, 笹尾翔士, 荒木徹也, 厚沢希美江, 金子康子, 猪籠夏子. 2016. 凍結解凍後保存した大豆におけるGABA生成反応の速度論的解析. *日本冷凍空調学会論文集*, 33, 279-285. 査読有
- 12) Kono, S., Kawamura, I., Yamagami, S., Araki, T., Sagara, Y. 2016. ANN modeling for optimum storage condition based on viscoelastic characteristics and sensory evaluation of frozen cooked rice.

- International Journal of Refrigeration, 65, 218-227. 査読有
- 13) 守田愛梨, 荒木徹也, 池上翔馬, 岳上美紗子, 住正宏, 上田玲子, 相良泰行. 2015. チェダーチーズの粘弾性試験法に基づいた食感評価モデルの開発. 日本食品工学会誌, 16(3), 185-200. 査読有
  - 14) Morita, A., Araki, T., Ikegami, S., Okaue, M., Sumi, M., Ueda, R., Sagara, Y. 2015. Coupled stepwise PLS-VIP and ANN modeling for identifying and ranking aroma components conforming palatability of cheddar cheese. Food Sci. Technol. Res., 21, 175-186. 査読有
  - 15) Do, S., Araki, T., Bae, Y., Ishikura, K., Sagara, Y. 2015. Three-dimensional measurement of ice crystals in frozen materials by near-infrared imaging spectroscopy. Drying Technology, 33, 1614-1620. 査読有
  - 16) Kono, S., Kawamura, I., Yamagami, S., Araki, T., Sagara, Y. 2015. Optimum storage temperature of frozen cooked rice predicted by ice crystal measurement, sensory evaluation and artificial neural network. International Journal of Refrigeration, 56, 165-172. 査読有
  - 17) Maeda, T., Kokawa, M., Nango, N., Miura, M., Araki, T., Yamada, M., Takeya, K., Sagara, Y. 2015. Development of a quantification method of the gluten matrix in bread dough by fluorescence microscopy and image analysis. Food and Bioprocess Technology, 8, 1349-1354. 査読有
  - 18) Ueno, S., Shigematsu, T., Karo, M., Hayashi, M., Fujii, T. 2015. Effect of high hydrostatic pressure on water absorption of adzuki beans. Foods, 4, 148-158. 査読有
  - 19) Ueno, S., Ichinoi, H., Zhao, J., Fujii, T. 2015. Degradation of fish gelatin using hot-compressed water and the properties of the degradation products. High Pressure Research, 35(2), 203-213. 査読有
- 〔学会発表〕(計 19 件)
- 1) 笹尾翔士, 上野茂昭, 林真由美, 重松亨, 厚沢季美江, 金子康, 荒木徹也, 高圧処理による高-グルカン大麦粉の改質, 日本食品科学工学会平成 30 年度関東支部会, 女子栄養大学, 2018 年 3 月 3 日
  - 2) 高橋玲, 都甲洙, 島田玲子, 上野茂昭, 脂質含量の異なる食品最適凍結条件に関する研究, 日本食品科学工学会平成 30 年度関東支部会, 女子栄養大学, 2018 年 3 月 3 日
  - 3) 飯島礼, 深見健, 島田玲子, 上野茂昭, ドライフルーツの調製に及ぼす添加糖の影響, 日本食品科学工学会平成 30 年度関東支部会, 女子栄養大学, 2018 年 3 月 3 日
  - 4) 劉修銘, 上野茂昭, 荒木徹也, 緑茶葉の酸化酵素に対する高圧処理の影響, 日本食品科学工学会平成 30 年度関東支部会, 女子栄養大学, 2018 年 3 月 3 日
  - 5) 河口優葵, 島田玲子, 上野茂昭, 高圧大豆の呈味に関する研究, 日本食品科学工学会平成 30 年度関東支部会, 女子栄養大学, 2018 年 3 月 3 日
  - 6) 押切優佳, 島田玲子, 上野茂昭, 高圧大豆の機能性に関する研究, 日本食品科学工学会平成 30 年度関東支部会, 女子栄養大学, 2018 年 3 月 3 日
  - 7) Toru Shigematsu, Naho Furukawa, Ryo Takaoka, Mayumi Hayashi, Shoji Sasao, Shigeaki Ueno, Kanako Nakajima, Miyuki Kido, Kazuki Nomura and Akinori Iguchi, Effect of high pressure on saccharification of starch in tuberous root of sweet potato (Ipomoea batatas), International Conference on Food for Health in Niigata, 朱鷺メッセ, 2016 年 11 月 10 日 ~ 2016 年 11 月 11 日
  - 8) Shigeaki Ueno, Shoji Sasao, Mayumi Hayashi, Toru Shigematsu, Tetsuya Araki, Innovative quality modification of barley flour by high hydrostatic pressure, International Conference on Food for Health in Niigata, 朱鷺メッセ, 2016 年 11 月 10 日 ~ 2016 年 11 月 11 日
  - 9) Shigeaki Ueno, Shoji Sasao, Tetsuya Araki, Kimie Atsuzawa, Yasuko Kaneko, Natsuko Iryo, Kinetic Analysis of GABA Generation Reaction In Frozen-Thawed Soybeans, International Conference on Food for Health in Niigata, 朱鷺メッセ, 2016 年 11 月 10 日 ~ 2016 年 11 月 11 日
  - 10) Hsiuming Liu, Shigeaki Ueno, Tetsuya Araki, Regulation of catechin oxidation in green tea leaves by high hydrostatic pressure, International Conference on Food for Health in Niigata, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市), 2016 年 11 月 10 日 ~ 2016 年 11 月 11 日
  - 11) 上野茂昭, 笹尾翔士, Zhang Xilin, 荒木徹也, 林麻由美, 重松亨, 大麦粉の非加熱粘度制御技術の開発, 日本冷凍空調学会 2016 年年次大会, 神戸大学, 2016 年 09 月 09 日
  - 12) ジャッキー タグバセ, Shigeaki UENO,

Yumiko YOSHIE, Tetsuya ARAKI, 異なる凍結解凍法による匂い特性への影響, 日本冷凍空調学会 2016 年年次大会, 神戸大学, 2016 年 09 月 09 日

- 13) 荒木徹也, 孟令軻, 河野晋治, 今村光, 相良泰行, 冷凍ピザ生地 of 熱風および過熱水蒸気乾燥特性と焼成後の表面色および粘弾性の計測, 日本冷凍空調学会 2016 年年次大会, 神戸大学, 2016 年 09 月 09 日
- 14) Hsiuming LIU, Shigeaki UENO and Tetsuya ARAKI, Effect of High-Hydrostatic-Pressure Processing on Green Tea Leaf Catechin Oxidation, The 20th International Drying Symposium (IDS 2016), 長良川国際会議場, 2016 年 08 月 08 日 ~ 2016 年 08 月 10 日
- 15) ジャッキー タグバセ, Shigeaki UENO, Yumiko YOSHIE, Tetsuya ARAKI, 異なる凍結解凍法によるドリアンの物理化学特性への影響, 日本冷凍空調学会 2016 年年次大会, 神戸大学, 2016 年 09 月 09 日
- 16) ジャッキー タグバセ, Shigeaki Ueno, Yumiko Yoshie, Tetsuya Araki, Effects of freezing and different thawing treatments on the chemical properties of Durian (*Durio zibethinus* Murray), 日本食品工学会 2016 年大会, 東京海洋大学, 2016 年 08 月 04 日 ~ 2016 年 08 月 05 日
- 17) Shoji Sasao, Xilin Zhang, Shigeaki Ueno, Mayumi Hayashi, Toru Shigematsu, Tetsuya Araki, Effect of High Pressure Processing on Adjusting Viscosity of Barley Flour-Water Mixture, 日本食品工学会 2016 年大会, 東京海洋大学, 2016 年 08 月 04 日 ~ 2016 年 08 月 05 日
- 18) 劉修銘, 上野茂昭, 荒木徹也, 高圧処理が緑茶茶葉内のカテキン酸化反応に及ぼす影響, 日本食品工学会 2016 年大会, 東京海洋大学, 2016 年 08 月 04 日 ~ 2016 年 08 月 05 日
- 19) 佐藤華那子, 石橋拓巳, 吉江由美子, 島田玲子, 上野茂昭, 燻製醤油の品質特性に関する研究, 日本食品工学会 2016 年大会, 東京海洋大学, 2016 年 08 月 04 日 ~ 2016 年 08 月 05 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

## 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

上野 茂昭 (UENO, Shigeaki)  
埼玉大学・教育学部・准教授  
研究者番号: 80410223