

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5月14日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22780227

研究課題名（和文）テラヘルツ指紋スペクトルを用いた農産物および食品の品質評価法の開発

研究課題名（英文）Development of the quality evaluation for agricultural materials

研究代表者

上野 茂昭（UENO SHIGEAKI）

東北大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号：80410223

研究成果の概要（和文）：テラヘルツ（THz）分光を用いた農産物および食品の品質評価法の開発に際し、凍結試料観察部、試料位置決め2軸ステージ装置、テラヘルツ時間領域分光装置および撮像装置を有する、テラヘルツ分光装置を構築した。ゼラチン水溶液に蛍光試薬を添加し、異なる凍結速度で調製した試料について、凍結過程におけるTHz波の透過率を測定した。時間領域分光の最大ポジションを試料測定に適用することにより、セルサイズが $10\mu\text{m}$ 以上の比較的大きな組織間の違いは明瞭に識別可能となった。

研究成果の概要（英文）：I demonstrate terahertz spectroscopic imaging of frozen tissues. The samples were frozen to -40C and the spectra were measured using a THz time domain spectrometer. The transmission image shows clear contrast originated in the water content in the tissues. I also found a difference of THz transmission spectra between rapidly frozen tissues and slowly frozen ones, which is mainly due to the difference of liquid water remaining in the tissues. In order to clarify the origin of the THz absorption, we also measured the THz transmission spectra of frozen gelatin solution, which was colored by Rhodamin B and the particle of the THz absorption was studied by comparing the absorbance of frozen tissues, freeze dried ones and ice crystals.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000円	390,000円	1,690,000円
2011年度	900,000円	270,000円	1,170,000円
2012年度	900,000円	270,000円	1,170,000円
年度			
年度			
総計	3,100,000円	930,000円	4,030,000円

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：ポストハーベスト工学，テラヘルツ波

1. 研究開始当初の背景

食品成分の非破壊計測技術は、農産物の選果場において近赤外分光法を用いた糖度・酸度測定が実用化されており、また、食品の安全安心を保障するために、食品内異物や残留農薬の検出に対する分光学的研究が推進されている。従来の振動分光法で未解決とされ

てきた食品成分間の分子間相互作用に起因する情報に対し、テラヘルツ波を用いることで新しい学術的知見を得られると考える。テラヘルツ波は未踏の電磁波と言われ、X線に比べて光子のエネルギーが10万分の1のオーダーであり、物質をイオン化して損傷を与える可能性は非常に小さいと予想され、安全

に非破壊検査を行うことができると考えられている。様々な物質がテラヘルツ帯に固有の吸収スペクトルを有することが報告されている。テラヘルツ波はその特徴的な透過性により、封書内禁止薬物の非破壊検出技術として実用展開されているものの、農業分野への応用例は、モデル溶液系やチーズの品質評価など数少ない現状にある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、多成分・複雑系である農産物および食品を対象として、未踏の電磁波と言われるテラヘルツ波を適用し、食品成分・物性情報—テラヘルツ指紋スペクトル—生化学的変化を定量的に計測することにより相互関連性を見出すことにある。最終的には、既往の手法によって得られた食品成分・物性情報とテラヘルツ指紋スペクトルの特徴量を統合することにより、生のままの農産物・加工プロセスを経た食品の品質を、非破壊・低侵襲的に計測する方法を確立すると共に、テラヘルツ波を用いた農産物および食品の品質評価モデルを構築することにある。

3. 研究の方法

モデル水溶液、農産物および食品を試料とし、0.6-18 THzの広帯域な分光測定可能なテラヘルツ分光器を構築することにより、テラヘルツ指紋スペクトルを得ると共にイメージングを試みる。得られたスペクトルから水分・成分変化を示すパラメータを抽出し、食品加工・保存中の水の挙動—内部変化における相互関連性を明らかにする。具体的には、食品加工としては応募者が今までに知見を集積してきた、超高压食品加工、食品冷凍を採用し、その内部構造情報について、LCRメータおよび原子間力顕微鏡を用いて無処理試料と比較することにより、食品加工プロセスによって変化する水分・構造特性を明らかにする。

4. 研究成果

テラヘルツ (THz) 分光を用いた農産物および食品の品質評価法の開発に際し、凍結試料観察部、試料位置決め2軸ステージ装置、テラヘルツ時間領域分光装置 (THz-TDS, Aispec, pulse IRS-2300) および撮像装置を有する、テラヘルツ分光装置を構築した。

ゼラチン水溶液に蛍光試薬を添加し、異なる凍結速度で調製した試料について、凍結過程におけるTHz波の透過率を測定した。THz波は窒素ガスにより水蒸気を除去した環境下で照射し、100ピクセル四方の画像を7時間撮像した。得られたスペクトルを用いて2次元画像を構築したところ、組織間における成分の違いを明瞭に識別することが困難であった。そ

こで、時間領域分光の最大ポジションを試料測定に適用することにより、セルサイズが10 μm 以上の比較的大きな組織間の違いは明瞭に識別可能となった。THz領域における光散乱の影響によって、対象サイズによって異なる光学特性を有することが示唆された。

今後は高精度かつ短時間での測定を可能とする装置系を構築することにより、品質評価の現場で使用可能な装置の開発を目指す。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計11件)

- ① Masaru Nanba, Kazuki Nomura, Yusuke Nasuhara, Manabu Hayashi, Miyuki Kido, Mayumi Hayashi, Akinori Iguchi, Toru Shigematsu, Masao Hirayama, Shigeaki Ueno, Tomoyuki Fujii, Importance of cell-damage causing growth delay for high-pressure inactivation of *Saccharomyces cerevisiae*, *High Pressure Research*, (2013) 査読有.
DOI:10.1080/08957959.2013.781596
- ② Toshimi Hasegawa, Takuya Nakamura, Mayumi Hayashi; Miyuki Kido, Masao Hirayama, Toshio Yamaguchi, Akinori Iguchi, Shigeaki Ueno, Toru Shigematsu, Tomoyuki Fujii, Influence of osmotic and cation stresses on high-pressure inactivation of *Escherichia coli*, *High Pressure Research*, (2013). 査読有. DOI:10.1080/08957959.2013.800513
- ③ Shigeaki UENO, Takumi KATAYAMA, Takae WATANABE, Kanako NAKAJIMA, Mayumi HAYASHI, Toru SHIGEMATSU, Tomoyuki FUJII, Enzymatic Production of γ -Aminobutyric Acid in Soybeans Using High Hydrostatic Pressure and Precursor Feeding, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 77(4) 706-713 (2013) 査読有.
DOI:10.1271/bbb.120740
- ④ Toshimi Hasegawa, Manabu Hayashi, Kazuki Nomura, Mayumi Hayashi, Miyuki Kido, Tsuneo Ohmori, Masao Fukuda, Akinori Iguchi, Shigeaki Ueno, Toru Shigematsu, Masao Hirayama, and Tomoyuki Fujii, High-throughput method for a kinetics analysis of the high-pressure inactivation of microorganisms using microplates. *J. Biosci. Bioeng.*, 113(6), 788-791 (2012) 査読有. DOI:10.1016/j.jbiosc.2012.02.001
- ⑤ 上野茂昭, 白樫了, 都甲洸, 工藤謙一, 荒木徹也, 相良泰行, 凍結高分子ゲルの氷結晶断面画像を用いた凍結濃縮相の誘電

- 特性評価, 日本冷凍空調学会論文集, 29号 3 巻, 365-371 (2012) 査読有.
<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/tjsrae/-char/ja>
- ⑥ Shigeaki Ueno, Toru Shigematsu, Toshimi Hasegawa, Jun Higashi, Mayumi Anzai, Mayumi Hayashi, and Tomoyuki Fujii, Kinetic Analysis of *E. coli* Inactivation by High Hydrostatic Pressure with Salts, *Journal of Food Science*. 76(1), M47-M53 (2011) 査読有. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01927.x
- ⑦ Shigeaki Ueno, Takumi Katayama, Takae Watanabe, Kanako Nakajima, Mayumi Hayashi, Toru Shigematsu, Tomoyuki Fujii, Bioconversion of glutamic acid to gamma-aminobutyric acid in soybean by high pressure with precursor feeding, *Procedia Food Science*, 1, 842-846. (2011) 査読有. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.127.
- ⑧ T. Shigematsu, M Hayashi, K Nakajima, Y Uno, A Sakano, M Murakami, Y Narahara, Shigeaki Ueno, T Fujii, Effects of High Hydrostatic Pressure on Distribution Dynamics of Free Amino Acids in Water Soaked Brown Rice Grain, *Journal of Physics (Conference Series)*, Vol.215, No. 012171 pp.1-4(2010) 査読有. DOI: 10.1088/1742-6596/215/1/012171
- ⑨ Toru Shigematsu, Yusuke Nasuhara, Gen Nagai, Kazuki Nomura, Kenta Ikarashi, Masao Hirayama, Mayumi Hayashi, Shigeaki Ueno, Tomoyuki Fujii, Isolation and Characterization of Barosensitive Mutants of *Saccharomyces cerevisiae* Obtained by UV Mutagenesis, *Journal of Food Science*, Vol.75, No.8, pp.M509-M514 (2010) 査読有. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01789.x
- ⑩ Toru Shigematsu, Mina Murakami, Kanako Nakajima, Yoshiyuki Uno, Arata Sakano, Yuka Narahara, Mayumi Hayashi, Shigeaki Ueno, and Tomoyuki Fujii, Bioconversion of Glutamic acid to γ -Aminobutyric acid (GABA) in Brown Rice Grains Induced by High Pressure Treatment, *Japan Journal of Food Engineering*, Vol.11, No.4, pp.189-199 (2010) 査読有. <http://www.jsfe.jp/journal/abstracts/a1104/6.htm>
- ⑪ Toru Shigematsu, Kazuki Nomura, Yusuke Nasuhara, Kenta Ikarashi, Gen Nagai, Masao Hirayama, Mayumi Hayashi, Shigeaki Ueno, Tomoyuki Fujii, Thermosensitivity of a barosensitive *Saccharomyces cerevisiae* mutant obtained by UV mutagenesis, *High Pressure Research*, 30(4), 524-529 (2010) 査読有. DOI:10.1080/08957959.2010.539568
- [学会発表] (計 51 件)
- ① Shigeaki UENO, Jiahui ZHAO, Hirokazu ICHINOI and Tomoyuki FUJII, Degradation kinetics of fish gelatin in hot-compressed water, High Pressure Bioscience and Biotechnology, Otsu, Shiga (2012/10/30)
- ② Shigeaki Ueno, Toru Shigematsu, Mayumi Hayashi, Tomoyuki Fujii, High-pressure induced generation of functional compounds in brown rice, 7th International Niigata Symposium on Diet and Health, Niigata Toki Messe (2012/10/16)
- ③ 上野茂昭, 片山拓己, 重松亨, 藤井智幸, 高圧処理により誘導される GABA 生成の反応・拡散挙動, 日本食品工学会 2012 年年次大会, 北海道大学 (2012/08/09)
- ④ 上野茂昭, 片山拓己, 重松亨, 藤井智幸, 高圧処理によるダイズ GABA 生成の反応工学的解析, 日本農芸化学会 2012 年年次大会, 京都女子大学 (2012/03/24)
- ⑤ 上野茂昭, 林真由美, 重松亨, 藤井智幸, 高圧処理による農産物の機能性富化, 日本農芸化学会 2012 年年次大会, 京都女子大学 (2012/03/24), 招待講演
- ⑥ 上野茂昭, 福田智世, 深谷修平, 庄子真樹, 羽生幸弘, 毛利哲, 畑中咲子, 富樫千之, 池田正明, 藤井智幸. 米粉の内部構造と吸水特性, 熱物性シンポジウム, 慶應大学 (2011/11/21)
- ⑦ 上野茂昭, 片山拓己, 渡邊貴恵, 中島加奈子, 村上加奈子, 林真由美, 重松亨, 藤井智幸, 高圧処理を施した大豆および玄米における GABA 生成挙動の速度論的解析, 京都, 日本食品工学会 (2011/08/05)
- ⑧ Do Gabsoo, Hirofumi Kawanishi, Yeonghwan Bae, Shigeaki Ueno, Three-Dimensional Measuring Technique for Internal Structure of Ice Cream, International Congress on Engineering and Food 11 ICEF11, Athens, Greece (2011/05/24)
- ⑨ Ueno S, Shigematsu T, Katayama T, Watanabe T, Nakajima K, Hayashi M, Fujii T, Bioconversion of glutamic acid to gamma aminobutyric acid by high pressure with precursor feeding, ICEF11, Athens, Greece (2011/05/23)
- ⑩ Hiromichi Hoshina, Aya Hayashi, Norio

Miyoshi, Yuichi Ogawa, Shigeaki Ueno, Yukihiro Fukunaga, Fumiaki Miyamaru, and Chiko Otani, Terahertz spectroscopy and imaging of frozen biological tissues. Pacifichem, Hawaii, USA. (2010/12/15-20)

- ⑪ 保科宏道, 林朱, 上野茂昭, 小川雄一, 大谷知行. 凍結生体組織中の水のテラヘルツ分光, 平成 22 年度日本分光学会, 京都大学 (2010/11/20)
- ⑫ Ueno S., Katayama T, Nakajima K, Hayashi M, Shigematsu T, Fujii T, *In situ* Bioconversion of Glutamic Acid to gamma-Aminobutylic Acid in Soybean by High Hydrostatic Pressure with Precursor Feeding. The 5th international Niigata symposium on diet and health. Toki Messe, Niigata (2010/10/30)
- ⑬ Shigematsu T, Nakajima K, Nakajima Y, Hayashi M, Ueno S., Hirayama M, Fujii T. High pressure-independent *in situ* bioconversion of polyphenolic compounds in *Petroselinum crispum* (parsley) and its use for enhancement of antioxidant activity, The 5th international Niigata symposium on diet and health. Toki Messe, Niigata (2010/10/30)
- ⑭ Hiromichi Hoshina, Aya Hayashi, Shigeaki Ueno, Yuichi Ogawa, and Chiko Otani, Terahertz spectroscopy of liquid water in frozen biological samples, IRMMW-THz2010, Rome, Italy (2010/09/10)
- ⑮ 保科宏道, 林朱, 三好憲男, 小川雄一, 上野茂昭, 福永幸裕, 宮丸文章, 大谷知行, 凍結生体試料のテラヘルツ分光とイメージング, 第 20 回日本光線力学学会, 福井県民ホール (2010/06/12)
- ⑯ Hiromichi Hoshina, Aya Hayashi, Norio Miyoshi, Yuichi Ogawa, Shigeaki Ueno, Yukihiro Fukunaga, Fumiaki Miyamaru, and Chiko Otani, Terahertz spectroscopy and imaging of frozen biological samples, The 2nd Asia Japan-Korea-China PDT symposium, 福井県民ホール (2010/06/11)

[図書] (計 3 件)

- ① Shigeaki Ueno, High-pressure induced transformation of agroproducts, CRC publishing group, the CRC Press Taylor & Francis book. (Improving Food Quality with Novel Food Processing) (Edit. Tokusoglu & Swanson) (2013) (ページ数未定) 印刷中
- ② 上野茂昭, 穀類・豆類への加工技術, 食品分野における高圧処理技術動向, 重松亨, 西海理之監修, 株式会社エヌティーエス,

(2013) (ページ数未定) 印刷中

- ③ 上野茂昭, 仲川清隆, ビタミン D, 機能性食品の機能と安全性, 上野川修一, 清水俊雄, 清水誠, 鈴木英毅, 武田英二編, 丸善出版, (2012/07) 278-278

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 微生物を利用して加工する固体食品の製造方法

発明者: 斎藤静香, 井戸川詩織, 岩元靖, 塚田義弘, 伊藤淑恵, 石川潤一, 毛利哲, 上野茂昭, 藤井智幸

権利者: 太子食品工業株式会社, 国立大学法人東北大学, 宮城県

種類: 特願

番号: 2012-282132

出願年月日: 平成 24 年 12 月 26 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上野 茂昭 (UENO SHIGEAKI)

東北大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号: 80410223