

第6章 結論と今後の展望

本研究では、対象の分光特性や蛍光特性と空間情報を同時に取得、解析することにより、対象の成分分布や内部構造を明らかにする「マルチスペクトルイメージング」に着目し、中でも、近赤外分光分析法を基礎とする「近赤外分光イメージング手法」と、励起・蛍光マトリックス (EEM) を基礎とする「EEM イメージング手法」について取り上げた。また、前者の新しい計測システムとして「近赤外高速ハイパースペクトルシステム」及び「マルチバンドイメージスキャナ」、後者の新しい計測システムとして「3次元スペクトルイメージングシステム(3D-SIS)」を開発した。さらに、3D-SIS を用いて得られる膨大な EEM イメージングデータの情報を極力損失することなく解析し、EEM 特性の分布を可視化する手法を開発した。以上で開発した新システム及び解析・可視化手法を実際の食品試料に適用することにより、以下の知見が得られた。

- 1) 近赤外高速ハイパースペクトルシステムを用い、メロンの糖度分布を可視化した。その結果、本システムを用いて従来のシステムよりも高速に計測が行えることや、精度の高い検量線の作成と食品の成分分布可視化が可能であることが明らかとなった。
- 2) 近赤外高速ハイパースペクトルシステムを用い、ブルーベリー果実原料に混入する異物の検知技術を開発した。その結果、本システムを用いて異物を正確に検知でき、加工現場で要求される広範囲の検査にも適用可能であることが明らかとなり、本技術が様々な食品の安全性評価に応用可能であると考えられた。
- 3) マルチバンドイメージスキャナを用い、メロンの糖度分布可視化手法を開発した。その結果、本システムを用いて精度の高い検量線の作成と食品の成分分布可視化が可能であることが明らかとなった。また、得られた可視化画像は近赤外高速ハイパースペクトルシステムよりも高精細であった。
- 4) 3D-SIS と及び EEM イメージングデータの解析・可視化法を用い、大豆種子の内部構造を可視化した。その結果、全く異なる EEM 特性を持った部位の特徴的な分布形態が明確に観察可能となり、3D-SIS 及び EEM イメージングデータの解析・可視化法は、様々な食品の内部構造可視化に有用である

と考えられた。

- 5) 3D-SIS 及び EEM イメージングデータの解析・可視化手法を応用し、コシヨウにおける γ 線照射処理の検知可能性を検討した。その結果、 γ 線照射の線量が増加するにつれて EEM 特性が変化していくことが明らかとなったので、EEM イメージングによって食品成分の変質を検知することが可能であり、EEM イメージングが食品の安全性評価に応用可能であると考えられた。

以上のように、本論文ではマルチスペクトルイメージングの課題を解決するために新しい計測システムとデータ解析手法を開発し、実際の食品試料に適用することにより、それぞれのシステムや手法の有用性を確認した。その結果、本研究により開発した近赤外分光イメージング手法と試作システムは実用的技術として有効であることを立証したと考えられる。また、EEM イメージング手法における EEM と位置情報の同時取得と、その膨大なデータの解析及び可視化は、計測システムの高度化とコンピュータの大容量化・高速化がなければ不可能であり、これまで報告されていない。したがって、筆者と共同研究者の試みはその新規性と有用性に於いて高い評価を受けるものと期待される。さらに、この手法が食品の内部構造や成分の変質の検知に有効であることを実証できたことにより、マルチスペクトルイメージングの研究・開発分野にブレークスルーをもたらす成果が得られたと考えられた。

最終的には、近赤外分光イメージング手法と EEM イメージング手法の双方による計測が可能な「汎用型マルチスペクトルイメージングシステム」の開発を目指す。具体的には、近赤外高速ハイパースペクトルシステムと分光照明装置を組み合わせた「冷却 CCD カメラ型」、また、マルチバンドイメージスキャナの照明と受光素子を、現在研究が進められている分光 LED と分光受光素子に置き換えた「イメージスキャナ型」が挙げられる。前者は広範囲に分布する対象の一括計測、後者は高解像度を活かして微少な対象の計測に適用することが期待される。上記のシステムを用いることにより、広範囲の対象を迅速に計測する必要な場合、例えば果実加工工場での品質計測等には、冷却 CCD カメラ型のシステムを用いて近赤外分光イメージング手法による計測を行い、微少な対象の内部を詳細に計測する場合、例えば穀物の内部における成分分布計測等には、イメージスキャナ型のシステムを用いて EEM イメージング手法による計測を行う、といったように、臨機応変なマルチスペクトルイメージングが可能となると期待される。また、本研究の成果は、食品内の成分分布と官能評価スコアを比較・検討することにより、

消費者の嗜好特性にマッチした新食品の開発を行う研究や、青果物における残留農薬の分布を明らかにして可食部の安全性を定量的に評価する研究など、消費者に安全と安心を届け、食生活にアメニティーをもたらすための食品の品質・安全性評価に応用することが期待される。

参考文献

1. 相良泰行: 形や色の識別技術, 「食の先端科学」, 第1版, 相良泰行編, (朝倉書店, 東京), pp. 1-18 (1999)
2. 河野澄夫: 糖度選別機 (光センサー) がもたらす新しい流通技術の展望 — 果実の品質も味の時代 —, 果実日本, **56**, pp. 80-82 (2001)
3. 伊藤茂・大竹良知・吉村幸江・鬼頭勇夫: 近赤外分光法によるスイカ果実の非破壊糖度測定, 愛知県農業総合試験場研究報告, **31**, pp.153-158 (1999)
4. 河野澄夫: 青果物の非破壊品質検査と選別機, 農耕と園芸, **51** (5), pp. 82-85 (1996)
5. 梶浦一郎・佐藤義彦・大村三男・町田裕: ニホンナシ果実中の糖度分布と試料切片の果実からのサンプリング法, 果樹試験場報告 A, **6**, pp. 1-14 (1979)
6. 石上清・松浦英之: 温室メロン果実の糖度分布と部位別糖類組成, 静岡県農業試験場研究報告, **37**, pp. 33-40 (1993)
7. 岩元睦夫・河野澄夫・魚住純: 「近赤外分光法入門」, 第1版, (幸書房, 東京), (1994)
8. 尾崎幸洋・河田聡編: 「近赤外分光法」, 第1版, (学会出版センター, 東京), (1996)
9. 田中秀夫: 近赤外分光法による醤油品質管理システム, 「食品の非破壊品質計測ハンドブック」, 第1版, 河野澄夫編 ((株)サイエンスフォーラム, 東京), pp. 202-207 (2003)
10. 山田幸生・田村守・綱沢義夫・土屋裕: 近赤外光による生体機能計測と光 CT, 計測と制御, **39** (4), pp.239-245 (2000)
11. 村山幸市: キャピラリー近赤外分光法による1滴の生体液からの癌診断法, 第19回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, pp. 145-148, 茨城 (2003)
12. Morimoto, S. and McClure, W. F.: More on Derivatives: Resolving Overlapping Absorbance Bands, *NIR news*, **10** (4), pp. 10-12 (1999)
13. 魚住純・小笠原秀幸: 拡張された微分法による近赤外微分スペクトルの相関解析, 第19回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, pp. 150-151, 茨城 (2003)
14. 杉山純一: 近赤外イメージングの現状と今後の展望, 第16回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, pp.59-63, 茨城 (2000)
15. 杉山純一: 非破壊内部品質評価—近赤外イメージングの現状と今後の展望—, 「2001年度版農産物流通技術年報」, ((株)流通システム研究センター, 東京), pp.79-83 (2001)
16. 日本バイオーラッドラボラトリーズ株式会社: 二次元アレイ検出器を用いた FT-IR ス

- ペクトルイメージング, 2000 年度国際食品工業展発表資料, (2000)
17. Applied Spectral Imaging Ltd.: SpectraCube® System 技術資料, <http://www.spectral-imaging.com> (2003)
 18. 株式会社オプトサイエンス: Brimrose 社総合カタログ, <http://www.optoscience.com/pdf/brimrose/brimrose.pdf> (2003)
 19. フォトテクニカ株式会社: 液晶チューナブルフィルタカタログ, <http://www.phototechnica.co.jp/pdf/crj/japanese/jp-varispec.pdf>, (2003)
 20. 川鉄テクノロジー株式会社: イメージング分光器 ImSpector カタログ, <http://www.ktec.co.jp/product/hikari/catalogue/imspector/imspector.html>, (2003)
 21. 小山良・古城直道・工藤謙一・樋口俊郎: 近赤外分光分析法による米の成分情報の3次元的可視化, 日本食品科学工学会第48回大会講演集, p. 182, 香川 (2001)
 22. 小山良・工藤謙一・樋口俊郎: 近赤外分光分析法による穀物の成分情報3次元イメージング, 第17回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, pp. 198-199, 茨城 (2001)
 23. 小山良・工藤謙一・樋口俊郎: 近赤外分光分析法を用いた米の成分情報イメージング, 第18回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, pp. 158-159, 茨城 (2002)
 24. Martinsen, P., Schaare, P.: Measuring Soluble Solid Distribution in Kiwifruit Using Near-Infrared Imaging Spectroscopy, *Postharvest Biology and Technology*, **14**, pp.271-281 (1998)
 25. Sugiyama, J.: Visualization of Sugar Content in the Flesh of a Melon by Near-Infrared Imaging, *J. Agric. Food Chem.*, **47**, pp.2715-2718 (1999)
 26. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: Near-infrared Imaging to Visualize Spatial Distribution of Sugar Content for Various Kinds of Melon, Proceedings of the 8th International Congress on Engineering and Food, p. 189, Puebla, Mexico (2000)
 27. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光法に基づくメロン内部の糖度分布可視化, 日本食品工学会第1回年次大会講演要旨集, p. 137, 東京 (2000)
 28. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: The Near Infrared imaging Spectroscopy for the Visualization of sugar Content, Proceedings of The 30th U.S. and Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Protein Resources Panel Meeting, pp. 288-292, Ibaraki, Japan (2001)
 29. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: Near-Infrared Imaging Spectroscopy Based on Sugar Absorption Band for Melons, *J. Agric. Food Chem.*, **50**, pp.48-52 (2002)

30. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光イメージング手法の基礎と応用 ―メロンの糖度分布可視化事例―, (社)映像情報メディア学会技術報告, **26** (14), pp. 13-18 (2002)
31. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: ハイパースペクトルシステムによる近赤外分光イメージング手法 ―メロン糖度分布の可視化事例―, 映像情報メディア学会誌, **56**, 2037-2040 (2002)
32. 福島英雄: 「天文アマチュアのための冷却 CCD 入門」, (誠文堂新光社, 東京), (1996)
33. 安藤幸司: 光と光の記録, <http://www.dango.ne.jp/anfowld/>
34. Kawano, S., Watanabe, H. and Iwamoto, M.: Determination of Sugar Content in Intact Peaches by Near Infrared Spectroscopy with Fiber Optics in Interactance Mode, *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, **61**, 445-451 (1992)
35. Kawano, S., Fujiwara, T. and Iwamoto, M: Nondestructive Determination of Sugar Content in Satsuma Mandarin using Near Infrared (NIR) Transmittance, *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **62** (2), pp.465-470 (1993)
36. Kawano, S. and Abe, H.: Development of a Calibration Equation with Temperature Compensation for Determining the Brix Value in Intact Peaches, *J. Near Infrared Spectrosc.*, **3**, pp.211-218 (1995)
37. 天間毅: 携帯型光糖度計測装置の開発, 「食品の非破壊品質計測ハンドブック」, 第1版, 河野澄夫編 ((株)サイエンスフォーラム, 東京), pp. 239-244 (2003)
38. 株式会社ニレコ: 近赤外分光分析法技術資料Ⅲ, NIRECO NIR News, p.18 (1994)
39. 杉山純一, 蔦瑞樹, 和田行広, 福田博司, 高尾智宏: 食品中の異物・夾雑物の検出方法, 特許出願, 特願 2003-095428 (2003.3.31)
40. 蔦瑞樹・高尾智宏・杉山純一・和田行広・相良泰行: 近赤外分光イメージング手法による果実原料における異物・夾雑物検知技術の開発: 2003年度農業施設学会大会講演要旨集, pp. 48-49, 北海道 (2003)
41. 福田博之・久保田貞三・巢山太郎: 透過光によるリンゴ果実のクロロフィル含有量, ミツ症状及び果肉かつ変測定法確立に関する研究, 果樹試験場報告 C, **6**, pp. 27-54 (1979)
42. 永田雅靖: トマト果実に含まれる色素の同時簡便定量法, 野菜・茶業試験場ニュース, **40**, <http://vegetea.naro.affrc.go.jp/news/40/40.html> (1995)
43. 蔦瑞樹・一ノ瀬修一・小川紋弘・杉山純一・相良泰行: マルチバンドイメージスキャナの開発と近赤外分光イメージングへの応用 ―メロンの糖度分布

- 可視化～, 日本食品科学工学会誌 (投稿中)
44. 蔦瑞樹, 近赤外分光イメージングによるメロン糖度分布の可視化, 東京大学修士論文, (2001)
 45. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光イメージングの精度向上 – ゆらぎ補正・MSC 処理の適用 –, 日本食品科学工学会第 48 回大会講演集, p. 184, 香川 (2001)
 46. 一ノ瀬修一: カラーイメージスキャナの設計技術, 第 47 回日本画像学会技術講習会要旨集, pp. 521c1-521c9, 東京 (1999)
 47. 日本ピー・アイ (株) ホームページ, http://www.npinet.co.jp/ColdSpot/LinearBright/LinearBright_index.html (2003)
 48. 北村智史・工藤智道・田中達也・浜口俊之・森脇章彦: レンズの種類とメカニズム, 「図解レンズ選択 BOOK イラストでよくわかる基礎から応用」, 阿部庄之助編, ((株) 学習研究社, 東京), p. 75 (1997)
 49. 木原章: 画像入力時の注意点, 「医師・研究者のための Photoshop 3 時間攻略法」, (羊土社, 東京), p. 80 (1998)
 50. 蔦瑞樹・一ノ瀬修一・小川紋弘・杉山純一・相良泰行: マルチバンドイメージスキャナによるメロンの糖度分布可視化, 第 19 回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, pp. 160-161, 茨城, (2000)
 51. 藤原孝之・本庄達之助: 近赤外分光法によるウンシュウミカン果汁の糖及び酸含量の測定, 日本食品科学工学会誌, **42** (2), pp. 33-41 (1995)
 52. 田村善藏・太幡利一・保田和雄編: 「けい光分析」, 第 1 版, (講談社, 東京), (1974)
 53. 西川泰治・平木敬三: 「機器分析実技シリーズ 蛍光・りん光分析法」, 第 1 版, (共立出版, 東京), (1984)
 54. 小西充洋・大政謙次: ホウレンソウ葉の水分欠乏に伴う励起-蛍光 matrix への影響, 農業情報研究, **12** (1), pp. 25-32 (2003)
 55. 下山進・野田裕子: 三次元蛍光スペクトルによる古代染色遺物に使用された染料の非破壊的同定法, 分析化学, **41**, pp. 243-250 (1992)
 56. 下山進・野田裕子: 三次元蛍光スペクトルによる古代染色遺物に使用された染料の非破壊的同定法の再検討, 分析化学, **43**, pp. 475-480 (1994)
 57. 下山進・野田裕子: 光ファイバーを用いる三次元蛍光スペクトルによる古代染織物“錦”の色系に使用された染料の同定, 分析化学, **46**, pp. 571-578 (1997)
 58. 下山進・野田裕子: 光ファイバーを用いる三次元蛍光スペクトルによる古代の“緑”の染織物に使用された染料の同定, 分析化学, **46**, pp. 791-799 (1999)
 59. 下山進・野田裕子・勝原伸也: 光ファイバーを用いる三次元蛍光スペクトル

- による日本古来の浮世絵版画に使用された着色料の非破壊同定, 分析化学, 47, pp. 93-100 (1998)
60. 下山進・野田裕子: 三次元表示蛍光スペクトルによる染料の非破壊同定法, 第 16 回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, pp. 151-156, 茨城 (2000)
 61. JiJi, R. D, Cooper, G. A. and Booksh K. S.: Excitation-Emission Matrix Fluorescence Based Determination of Carbamate Pesticides and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, *Analytica. Chimica. Acta.*, 397, pp. 61-72 (1999)
 62. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 3次元スペクトルイメージングシステムの開発, 日本食品工学会第3回年次大会講演要旨集, p. 58, 東京 (2002)
 63. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: Development of the Three-Dimensional Spectral Imaging System (3D-SIS), Proceedings of The 31st U.S. and Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Protein Resources Panel Meeting, p. 37, Monterey, USA (2002)
 64. 杉山純一・蔦瑞樹・中内茂樹・鈴木崇之・臼井支朗: 成分分布可視化方法, 蛍光画像撮影装置及び成分分布可視化装置, 特許出願, 特願 2003-89033 (2003.3.27)
 65. 小林賢知・樋口俊郎・青木勇・工藤謙一: 三次元内部構造顕微鏡の開発, 精密工学会誌, 61 (1), pp. 100-105 (1995)
 66. 長谷川勝也: 「ホントにわかる多変量解析」, (共立出版, 東京), (1998)
 67. 鈴木崇之: マルチスペクトルイメージングによる食品中の成分分布の可視化, 豊橋技術科学大学卒業論文 (2003)
 68. 日本色彩学会編: 「新編 色彩科学ハンドブック」, 第1版, (東京大学出版会, 東京), pp. 135-143 (1980)
 69. ABC of Color @色彩入門@, http://www.d2.dion.ne.jp/~yoshih/color_abc.html (2003)
 70. 蔦瑞樹・鈴木崇之・杉山純一・中内茂樹・相良泰行: 3次元スペクトルイメージングシステムによる成分分布計測, 第18回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, pp. 182-183, 茨城 (2002)
 71. 蔦瑞樹・鈴木崇之・宮下一成・都甲洙・杉山純一・中内茂樹・相良泰行: 3次元スペクトルイメージングシステムによる食品内部構造・成分分布可視化手法の開発, 日本食品科学工学会第50回大会講演集, p. 99, 東京 (2003)
 72. 宮下一成・蔦瑞樹・鈴木崇之・都甲洙・杉山純一・中内茂樹・清水浩: 3次元スペクトルイメージングシステムによる大豆内部の形態構造の可視化, 日本食品科学工学会第50回大会講演集, p. 99, 東京 (2003)
 73. Tsuta, M., Do, G., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: Applications of Multi-Spectral

- Imaging, Proceedings of The 32nd U.S. and Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Food and Agriculture Panel Meeting, pp. 483-485, Ibaraki, Japan (2003)
74. Kuensting, H., Ogawa Y. and Sugiyama, J.: Structural Details in Soybeans: A New Three-dimensional Visualization Method, *J. Food Sci.*, **67** (2), pp. 721-724 (2002)
 75. 小川幸春・宮下一成・清水浩・杉山純一: 連続切片の自家蛍光観察によるダイズ種子の 3 次元内部構造, 日本食品科学工学会誌, **50** (5), pp. 213-217 (2003)
 76. (財)大阪国際経済振興センター: 日本のマーケット情報・香辛料 2000, http://www.ibpcosaka.or.jp/network/trade_japanesemarket/foodstuff_beverage/spices00.html (2003)
 77. 等々力節子: 食品照射技術の世界的動向, 日本食品保蔵科学会誌, **26** (6), pp. 339-347 (2000)
 78. 宮原誠: 世界における放射線殺滅菌技術の展開と現状 - 欧米の食品照射の動向と最近の事情及び検知法の現状 -, 防菌防黴, **30** (4), pp. 234-248 (2002)
 79. Hayashi, T., Todoriki, S. and Kohyama, K.: Applicability of Viscosity Measuring Method to the Detection of Irradiated Spices, 日本食品工業学会誌, **40** (6), pp. 456-460 (1993)
 80. Hayashi, T., Todoriki, S. and Kohyama, K. Irradiation Effects on Pepper starch Viscosity, *J. Food Sci.*, **59** (1), pp. 118-120 (1994)
 81. Hayashi, T., Todoriki, S., Okadome, H. and Kohyama, K.: Conditions of Viscosity Measurement for Detecting Irradiated Peppers, *Radiat. Phys. Chem.*, **45** (4), pp. 665-669 (1995)

研究業績

発表論文

(海外)

1. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: Near-Infrared Imaging Spectroscopy Based on Sugar Absorption Band for Melons, *J. Agric. Food Chem.*, **50**, pp.48-52 (2002)

(国内)

1. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光イメージング手法の基礎と応用 ～メロンの糖度分布可視化事例～, (社)映像情報メディア学会技術報告, **26** (14), pp. 13-18 (2002)
2. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: ハイパースペクトルシステムによる近赤外分光イメージング手法 ～メロン糖度分布の可視化事例～, 映像情報メディア学会誌, **56**, 2037-2040 (2002)
3. 小川幸春・Wood, D. F.・Orts, W. J.・Glenn, G. M.・宮下一成・蔦瑞樹・杉山純一: 粘着テープを利用した簡易切片化による米飯粒の組織構造観察法, 日本食品科学工学会誌, **50** (7), pp.319-323 (2003)
4. 蔦瑞樹・一ノ瀬修一・小川紋弘・杉山純一・相良泰行, マルチバンドイメージスキャナの開発と近赤外分光イメージングへの応用 ～メロンの糖度分布可視化～, 日本食品科学工学会誌 (投稿中)

特許

(国内)

1. 杉山純一・蔦瑞樹・中内茂樹・鈴木崇之・臼井支朗: 成分分布可視化方法, 蛍光画像撮影装置及び成分分布可視化装置, 特許出願, 特願 2003-89033 (2003.3.27)
2. 杉山純一・蔦瑞樹・和田行広・福田博司・高尾智宏: 食品中の異物・夾雑物の検出方法, 特許出願, 特願 2003-095428 (2003.3.31)

招待講演

(国内)

1. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光イメージング手法の基礎と応用 ～メロン糖度分布の可視化事例～, 日本赤外線学会第 31 回定例研究会, 東京, 2002 年 2 月

会議及び学会発表

(海外)

1. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: The Near-Infrared Imaging to Visualize the Spatial Distribution of the Sugar Content for Various Kinds of Melons, The 8th International Congress on Engineering and Food (ICEF8), Puebla, Mexico, April 2000
2. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: The Near-Infrared Imaging Spectroscopy to Visualize the Distribution of Sugar Content in the Flesh of a Melon, The 10th International Conference on Near Infrared Spectroscopy (NIR-2001), Kyongju, Korea, June 2001
3. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: The Near Infrared Imaging Spectroscopy for the Visualization of Sugar Content, The 30th U.S. and Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Protein Resources Panel Meeting, Ibaraki, Japan, October 2001
4. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: Improvement of The Near Infrared Imaging Spectroscopy on Melons using the Compensation for Intensity Fluctuation and MSC methods, 2001 Annual Meeting of American Institute of Chemical Engineers, Reno, USA, November 2001
5. Tsuta, M., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: Development of the Three-Dimensional Spectral Imaging System (3D-SIS), The 31st U.S. and Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Protein Resources Panel Meeting, Monterey, USA, December 2002
6. Tsuta, M., Suzuki, T., Sugiyama, J., Nakauchi, S. and Sagara, Y.: The Excitation-Emission Matrix Imaging System for the Internal Visualization of Food, The 11th International Conference on Near Infrared Spectroscopy (NIR-2003), Cordova, Spain, April 2003
7. Do, G., Tsuta, M., Sagara, Y. and Sugiyama, J.: Development of Measurement System For Three-Dimensional Structure of Ice Crystals In Frozen Materials, 21st IIR International Congress of Refrigeration, Washington D.C., USA, August 2003
8. Tsuta, M., Do, G., Sugiyama, J. and Sagara, Y.: Applications of Multi-Spectral Imaging, The 32nd U.S. and Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Food and Agriculture Panel Meeting, Ibaraki, Japan, November 2003
9. Do, G. Tsuta, M., Sugiyama, J., Ueno, S., Sagara, Y.: Development of Measurement System For Three-Dimensional Structure of Ice Crystals In Raw Beef Samples, The 32nd U.S. and Japan Cooperative Program in Natural Resources

(UJNR) Food and Agriculture Panel Meeting, Ibaraki, Japan, November 2003

10. Tsuta M., Suzuki T., Miyashita K., Do, G., Sugiyama J., Nakauchi S. and Sagara Y.: Development of the Three-Dimensional Spectral Imaging System (3D-SIS) for the visualization of the internal structure and constituent distribution of food, The 9th International Congress on Engineering and Food (ICEF9), Montpellier, France, March 2004 (Accepted)

(国内)

1. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光法を応用したメロンの糖度分布可視化, 食品科学工学会第47回大会, 東京, 2000年3月
2. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光法によるメロン糖度分布の可視化, 2000 国際食品工業展 (FOOMA JAPAN 2000) アカデミックプラザ, 東京, 2000年5月
3. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光法に基づくメロン内糖度分布の可視化, 2000年度農業施設学会大会, 鹿児島, 2000年6月
4. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光法に基づくメロン内部の糖度分布可視化, 食品工学会第1回年次大会, 東京, 2000年8月
5. 杉山純一・蔦瑞樹・相良泰行: 近赤外分光イメージング手法の開発とその応用, 第16回非破壊計測シンポジウム, 茨城, 2000年11月
6. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 糖の吸収波長によるメロンの近赤外分光イメージング, 農業機械学会第60回年次大会, 鳥取, 2001年4月
7. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 近赤外分光イメージングの精度向上 - ゆらぎ補正・MSC 処理の適用 -, 食品科学工学会第48回大会, 香川, 2001年9月
8. 蔦瑞樹・杉山純一・秋山秀雄・小野寺愛衣・相良泰行: 非破壊果肉硬度計 FirmTester SA-I の実用化, 園芸学会平成14年度春季大会, 千葉, 2002年4月
9. 蔦瑞樹・杉山純一・相良泰行: 3次元スペクトルイメージングシステムの開発, 日本食品工学会第3回年次大会, 東京, 2002年8月
10. 都甲洙・蔦瑞樹・相良泰行・杉山純一・工藤謙一・樋口俊郎: 高精度3次元生体情報モデリングシステムの構築, 全国 VBL フォーラム, 広島, 2002年12月
11. 蔦瑞樹・鈴木崇之・杉山純一・中内茂樹・相良泰行: 3次元スペクトルイメージングシステムによる成分分布計測, 第18回非破壊計測シンポジウム, 茨城, 2002年11月
12. 蔦瑞樹・高尾智宏・杉山純一・和田行広・相良泰行: 近赤外分光イメージング手法による果実原料における異物・夾雑物検知技術の開発:, 2003年度農

業施設学会大会, 北海道, 2003 年 8 月

13. 都甲洙・蔦瑞樹・杉山純一・宮下一成・上野茂昭・相良泰行: 近赤外イメージングによる凍結材料内 3 次元氷結晶構造の計測, 2003 年度農業施設学会大会, 北海道, 2003 年 8 月
14. 宮下一成・蔦瑞樹・鈴木崇之・杉山純一・清水浩・森泉昭治: 実体スライスイメージングによる大豆の形態生理情報の三次元可視化技術の開発, 農業環境工学関連 5 学会 2003 年合同大会, 岩手, 2003 年 9 月
15. 蔦瑞樹・鈴木崇之・宮下一成・都甲洙・杉山純一・中内茂樹・相良泰行: 3 次元スペクトルイメージングシステムによる食品内部構造・成分分布可視化手法の開発, 日本食品科学工学会第 50 回大会, 東京, 2003 年 9 月
16. 宮下一成・蔦瑞樹・鈴木崇之・都甲洙・杉山純一・中内茂樹・清水浩: 3 次元スペクトルイメージングシステムによる大豆内部の形態構造の可視化, 日本食品科学工学会第 50 回大会, 東京, 2003 年 9 月
17. 都甲洙・蔦瑞樹・杉山純一・宮下一成・上野茂昭・相良泰行: 近赤外イメージングによる溶液系材料内の 3 次元氷結構造の可視化, 日本食品科学工学会第 50 回大会, 東京, 2003 年 9 月
18. 蔦瑞樹・一ノ瀬修一・小川紋弘・杉山純一・相良泰行: マルチバンドイメージスキャナによるメロンの糖度分布可視化, 第 19 回非破壊計測シンポジウム, 茨城, 2003 年 11 月
19. 都甲洙・蔦瑞樹・杉山純一・宮下一成・上野茂昭・相良泰行: 近赤外イメージングによる 3 次元氷結晶計測法の開発, 第 19 回非破壊計測シンポジウム, 茨城, 2003 年 11 月
20. Al-Haq, M. I., Tsuta, M., Sugiyama, J.: Non-Destructive Measurement of Mango Ripeness Using An Acoustic Firmness Tester, 第 19 回非破壊計測シンポジウム, 茨城, 2003 年 11 月

受賞

(国内)

1. 大会実行委員長賞: 近赤外分光法に基づくメロン内糖度分布の可視化, 2000 年度農業施設学会大会, 2000 年 6 月
2. ベストポスター賞: 近赤外分光イメージング手法の開発とその応用, 第 16 回非破壊計測シンポジウム, 2000 年 11 月

謝辞

- 相良泰行教授（東京大学大学院農学生命科学研究科）

相良先生には修士課程から5年にわたりご指導を賜りました。研究についてはもちろんのこと、国内・海外の様々な場所に連れて行って頂き、ジャズやお酒の嗜み方から人生の歩み方までいろいろと薫陶を受けました。また、「何事にも垣根を作らない」という先生の生き方は、私の人生の目標の一つとなりました。これまでのご指導に深く感謝申し上げます。

- 杉山純一博士（独立行政法人食品総合研究所電磁波情報工学研究室長）

杉山博士には修士課程から研究指導を賜りました。特に、実験計画の立て方、論文の書き方、そして学会発表の方法など、研究の基礎となる部分をしっかりと教えて頂きました。また、国内・海外の学会やシンポジウムにおいて、多数の研究者をご紹介頂きました。さらに、つくばでの生活全般について様々なご助言を頂きました。修士課程・博士課程を通じた私の研究生活と私生活は、杉山博士のご指導とご助力なしには成り立ちませんでした。また、本論文の提出にあたり、快く審査員を引き受けて頂いたことと、論文引用の同意承諾書にご署名頂いたことに、深く御礼申し上げます。

- 中内茂樹助教授（豊橋技術科学大学情報工学系）

中内先生にはEEMイメージングデータの解析について様々なご助言を賜りました。その他に海外での研究生活等についても貴重なアドバイスを頂きました。また、特許出願にあたり多大なるご協力を頂きました。ここに御礼申し上げます。

- 鈴木崇之氏（豊橋技術科学大学情報工学系）

鈴木氏にはEEMイメージングデータの解析アプリケーション開発で多大なご協力を頂きました。また、鈴木氏がインターンシップ学生として食品総合研究所に滞在された際には、主成分分析の理論やMatLabのプログラミング法についてご教授頂きました。さらに、特許出願にあたり多大なるご協力を頂きました。ここに御礼申し上げます。

- 都甲洙博士（東京大学大学院農学生命科学研究科）

都博士には3D-SISの開発やそれを用いた実験で多大なご協力を賜りました。

また、今後の研究生活について様々なアドバイスを頂きました。ここに御礼申し上げます。

- 宮下一成氏（茨城大学大学院農学研究科）

宮下氏には大豆の内部構造可視化実験に際して多大なご協力を賜りました。ここに御礼申し上げます。

- 和田行広氏、高尾智宏氏（日世株式会社）

お二人にはブルーベリーと異物の試料を提供して頂きました。また、実際の果実加工現場を見学する機会を与えて頂き、異物検知の現状についていろいろとご教授頂きました。さらに、特許出願にあたり多大なるご協力を頂きました。ここに御礼申し上げます。

- 一ノ瀬修一氏（アイメジャー有限会社代表取締役）

一ノ瀬氏にはイメージスキャナの基礎についてご教授頂きました。氏のご助言なしでは、イメージスキャナに関して全くの素人である私が、マルチバンドイメージスキャナを用いた実験を遂行することは出来ませんでした。また、本論文の提出にあたり、論文引用の同意承諾書に快くご署名頂きました。ここに御礼申し上げます。

- 小川紋弘氏（有限会社ダット代表取締役）

小川氏には、マルチバンドイメージスキャナを貸して頂いた上、その操作法を教えて頂くと同時に、一ノ瀬氏と同様に、イメージスキャナに関するご助言を頂きました。また、本論文の提出にあたり、論文引用の同意承諾書に快くご署名頂きました。ここに御礼申し上げます。

- 等々力節子博士（独立行政法人食品総合研究所電磁波情報工学研究室主任研究員）

等々力博士には食品の放射線殺菌の現状についてご教授頂きました。また、コショウの γ 線照射に関する文献を紹介して頂きました。ここに御礼申し上げます。

- 中馬誠博士（独立行政法人食品総合研究所電磁波情報工学研究室非常勤研究員）

中馬博士にはコショウの γ 線照射に際して多大なご協力を賜りました。こ

ここに御礼申し上げます。

- 河野澄夫博士（独立行政法人食品総合研究所非破壊計測研究室長）

河野博士には近赤外分光法の理論や実験計画の立て方についてご教授頂きました。また、実際の実験に際しても、測定の細かい工夫などを教えて頂きました。ここに御礼申し上げます。
- 大政謙次教授（東京大学大学院農学生命科学研究科）

大政先生には、本論文提出にあたり、ご多忙の中快く審査員をお引き受け頂きました。ここに御礼申し上げます。
- 樋口俊郎教授（東京大学大学院工学系研究科）

樋口先生には、本論文提出にあたり、ご多忙の中快く審査員をお引き受け頂きました。ここに御礼申し上げます。
- 露木聡助教授（東京大学大学院農学生命科学研究科）

露木先生には、修士論文に引き続き、本論文の審査員をお引き受け頂きました。二度にわたり審査して頂けますことに、御礼申し上げます。
- 独立行政法人食品総合研究所電磁波情報工学研究室の皆様
物言わぬ計測システムや食品を相手に研究を行う中、私が多少なりとも人間性と常識を保てたのは、皆様との楽しいおしゃべりの時間があったからに他なりません。若輩者の私の相手をして頂いたことに、感謝申し上げます。
- 東京大学大学院農学生命科学研究科相良研究室の皆様
私がつくばで研究生活を送る中、ゼミの運営や居室の掃除など、私が行うべき研究室の仕事を、代わりにやって頂きました。特に、上西氏と上野氏には、私の個人的な用事もこなして頂きました。また、上野氏には本論文の校正に際し多大なご助力を頂きました。ここに御礼申し上げます。