X線CTによる果実の内部品質評価

小川雄一¹・近藤 直²・澁澤 栄³

¹ 東北大学大学院農学研究科 981-0914 仙台市青葉区堤通雨宮町 1-1

² エスアイ精工株式会社 791-8036 松山市高岡町 66

³ 東京農工大学農学部 183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8

Internal Quality Evaluation of Fruit with X-ray CT

Yuichi OGAWA¹, Naoshi KONDO² and Sakae SHIBUSAWA³

¹ Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, 1-1 Tsutsumidori-Amamiyamachi, Sendai 981-0914, Japan

² SI Seiko Co., Ltd., 66 Takaoka Matuyama 791-8036, Japan

³ Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwaicho, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

Abstract

There has been much research into the inspection of the internal quality of agricultural products by the use of X-rays, which gives information regarding the internal structure and water content. In this paper, an experiment to inspect peaches, pears and apples by an X-ray CT scanner was conducted. Three cross-sectional images of each fruit were acquired at 15, 30 and 50 mm heights from the base, and were compared with the corresponding actual cross-sections. It was observed that not only structural defects such as split pit and rotten core, but also defects based on water content were detected. As for pears, in which the flesh water content distribution has much relation taste, we assumed the method was feasible to obtain information on taste. It was also considered that evaluation of the water core of apples was possible by developing a recognition algorithm. However, it was difficult to detect discolored flesh in apples, because there was not a marked difference between water content of discolored and normal flesh. In addition, CT value distribution showed that water content distribution of apples was different from that of peaches and pears.

Keywords : CT value, distribution of water, internal quality, X-ray CT

はじめに

昨今、食に関する様々な問題がテレビや紙面ににぎわすようになり、食の安全性や品質への注目度が高まっている。このような消費者の要望に応える形で様々な研究機関や企業で農作物を評価する技術が研究開発されている (Kawano *et al.*, 2003)。他方生産者は、国内外に対

して品質や安全性をアピールし、競争力のあるものを生産する必要性が生じている。このため、生産物に対して栽培履歴や品質、安全性といった様々な情報を付加することが重要である。このように様々な情報を農産物に付加する技術は、精密農法日本モデル (Shibusawa, 2002) のビジネスモデルの中でも重要な要素技術と位置付けられており、生産地から流通、消費者を巻き込んだその体系作りや、各要素技術の開発が着々と進みつつある。この中でも農産物を評価する技術は重要と考えられており、従来では困難であった内部品質を非破壊かつ詳細に評価する技術の開発への要望は大きい。さらに、ヨーロッパではEUREPGAP (欧州小売業組合適正農業

2004年12月 6日受付

2005年 2月 4日受理

Corresponding author : Yuichi Ogawa

(yogawa@bios.tohoku.ac.jp)

規範) (EUREPGAP, 2004, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, 2004, Smith *et al.*, 2004) が 2005 年より実施されようとしており, 優良な農業経営と良質農産物の流通・消費に対する期待は国際的に高まりつつある。良質農産物の判定と評価方法の確立は, 国内外を問わず急務な課題となっている。

現在, 食品検査や青果物を対象とし, 内部品質評価を目的とした様々な X 線を用いた研究が報告されている (Honma, 1989, Karube *et al.*, 1991, Han *et al.*, 1992, Morita *et al.*, 1998, Yantarasi *et al.*, 2000)。とくに近年, 食品検査を目的とした X 線利用は増加しており, ここで用いられている X 線量は, 栄養学的にも微生物学的にも問題は生じないレベルとされている。他方, X 線 CT を用いて内部傷害や熟度などの内部品質検査を試みた研究として, Lammertyn らのグループが X 線 CT と MRI を使った洋ナシの傷害について調査し, 長期保存時の障害果判別法としての有効性を述べている (Lammerty *et al.*, 2003)。また, Barcelon らはモモの熟度や糖, 酸度といった内部品質に関する成分と CT 値との関係を明らかにし, X 線 CT の品質評価法への利用について論じている (Barcelon *et al.*, 1999)。しかし従来の X 線 CT に関する研究では, 正常な果実が収穫後に追熟する過程の時間変化を評価しており, 実際の選果場における品質評価時に判断を必要とする芯腐れや押し傷, 害虫に果汁を吸われ果肉に異常をきたした部位などに関する研究は行われていない。

そこで本研究では, X 線 CT を利用した農作物の内部品質評価技術の開発を目指し, 選果場における選別過程での実用化に向けた応用可能性について検討する。特に, 収穫直後のナシ, リンゴ, モモにおけるそれぞれの CT 画像と, 実際の内部断面との比較を行い, 従来の外観計測では判別困難な内部障害についての判別可能性について検討した。また, 果肉の障害箇所や正常箇所との CT 値の比較を行い, この値から内部障害や品質の情報が得られるかどうかについての調査を試みた。

供試材料

本実験で使用した品種と個数は, モモ「あかつき」50 個, ナシ「幸水」41 個, リンゴ「つがる」63 個である。これらのサンプルは, 長野県下伊那園芸農業協同組合の選果場にて 2002 年 7 月から 9 月にかけて採取した。それぞれのサンプルにおいて, 採取後一週間以内に X 線 CT スキャナにて内部画像を取得し, それぞれの個体毎に断面の目視調査を実施した。これらのサンプルは従来

の選果基準において, 規格外あるいは廃果となるような外部障害が顕著で内部に異常があると予想されるものや, 直接触らないと見つけることが困難で, CCD カメラによる既存の外観計測での判別が困難な障害果を意図的に採取した。

以下にそれぞれの特徴 (Shimura *et al.*, 2000) および, 主に生理障害による代表的な内部障害について記す。

「あかつき」は白桃に白鳳を交配して育成した品種で, 肉質は緻密, 多汁で繊維は少ない。核と果肉が離れにくい粘核で, 比較的核割れが少ない品種である。一般にモモの内部障害としては, 核割れや収穫が遅れることにより果肉が水浸状になることがある。

「幸水」は「菊水」に「早生幸蔵」を交雑して育成した早生品種で, 果面が茶褐色の赤ナシに分類される。果肉は軟らかく, 糖含量は 12% 程度である。ナシの内部障害には, 果肉が水浸状になるみつ症や, す入り, 芯腐れ, 果裂果などが上げられる。

「つがる」は「ゴールドデリシャス」をもとに交配し, 育成した早生リンゴの代表品種で, 果肉は黄白色で緻密, 果汁が多く食味は良好とされている。リンゴでは, ナシ同様にす入りや芯腐れといった内部障害の他に, 果肉褐変障害を生じるものがある。ただし, リンゴの場合の水浸状のみつ症は, 品質の良い証明として評価される。

X 線 CT の原理

X 線 CT (Computed Tomography) は, X 線装置とコンピュータを組み合わせた断層撮像システムで, 医療機器として多くの企業から商品化されている。近年ではその技術を利用した産業向けの汎用タイプのシステムが販売されている。X 線 CT はコントラストの分解能が高く, 断層像が非破壊で得られるという特徴を有している。医療現場では, X 線を 360 度回転しながら人体に照射し, 人体の横断面を撮影する。このようにして得た各方向からの X 線透過強度分布をコンピュータ上で 2 次元フーリエ変換などの信号処理を施し, 平面画像さらには三次元画像として再構成する。

図 1 に X 線 CT の概念図を示す。対象物表面での X 線の反射ロスが無いと仮定し, 対象物を均一な吸収分布を持つモデルと想定すると, X 線管により発生した X 線 I_0 は, 対象物を透過することにより減衰し, I_t となって検出器に入射する。このとき, 検出器で検出された透過強度 I_t は, 対象物に照射された I_0 と対象物の吸収係数 $\alpha[\text{cm}^{-1}]$, 厚さ $t[\text{cm}]$ を用いると,

$$I_t = I_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

図1 X線CTの原理

Fig. 1 Principle of X-ray Computed Tomography.

と表される。式 (1) を変形し、吸収係数 α と厚さ t の積 A は、以下のように求められる。

$$A = \alpha t = -\ln(I_t/I_0) \quad (2)$$

一般に断層像を得るためのシステムは、サンプルを回転させる回転テーブルと光源を並進させる移動機構が利用される。これらを考慮する吸収係数と厚さの積 A は、位置情報 ϕ_i と X_i の関数となり、式 (2) は以下のように示される。

$$A(\phi_i, X_i) = -\ln(I_t(\phi_i, X_i)/I_0) \quad (3)$$

X線CTでイメージを構成するには、式 (3) より得られる吸収係数と厚さの積 A を対象物に対して様々な方向から求め、これらの情報より画像再構成アルゴリズムを利用して画像化する。

画像再構成のアルゴリズムには、コンボリューション・バックプロジェクション法が利用されることが多い (Ogura, 1998)。この結果得られる画像の濃度値は、CT値 (Hounsfield number または CT value) という情報で定義される。CT値とは水を基準の0とし、空気を-1000、骨を1000とし、そのあいだの比重とCT値が直線関係となるように設定したもので、組織のX線減弱係数 (μ_t) の値を、水の減弱係数 (μ_w) を基準とした値で示したものである。

$$\text{CT 値} = \frac{(\mu_t - \mu_w)}{\mu_w} K \quad (K: \text{Constant}) \quad (4)$$

医療分野ではCT値が-100では脂肪を、50では血液を示す。農業分野では硬度や密度の高い部位や果柄は

CT値が高く、水分を多く含む部位はCT値が0に近くなる傾向があるが、医療応用のようにCT値の分類がなされていない。しかし人体のように臓器の違いによる内部構造の大きな違いを有さない農産物の場合、果肉部などのCT画像は水分量の分布を示していると考えられる。本実験では、モモ、ナシについて果肉の亀裂や変色箇所など部位ごとのCT値を調査した。このとき、比較の基準データとなる正常な果肉については、果肉の中央部分を用いることとした。また、各部位から取得するデータはCT画像中5×5画素の平均値を用いて調査を行った。

装置および方法

1. 実験装置

図2に本実験で使用したX線CTスキャナシステム (東芝 TOSCANER-20000) を示す。本システムはX線管、コリメータ、回転テーブル、検出器、並進移動機構などで構成されており、図中左のCTスキャナの内部に搭載されている。これらのコントロールは図中右のコントロールパネルにて行う。また、X線による被曝を防ぐために、CTスキャナは金属製の扉で閉じられている。

CTスキャナ内にて計測される断面は、回転テーブルに平行な面である。一般に3次元の情報を得る場合にはこの回転テーブルの高さを変化させながら撮像するが、本システムは予め回転テーブルの高さを任意に調整することができるため、任意の一断面のみの撮像が可能となる。この出射高さは本システムに装備されているマーカークレーンで知ることができる。

図2 CTスキャナの写真

Fig. 2 Photograph of CT scanner.

実際にこのようなシステムを選果場などで応用することを考えた場合、3次元の精密な情報を得ることは時間的にも実用的ではない。本実験で用いるようなモモ、ナシ、リンゴをはじめとする多くの農産物の内部障害は、平面的にのみ広がるわけではなく、空間的に分布すると考えられる。したがってX線CTを利用する場合、対象物に対し数断面を撮像することが実用的であると考えられる。

これらの装置を利用し、本実験では任意の高さの断面画像と実際の切断面を比較し、どのような内部障害が認識できるかを検討した。

2. 実験方法

本実験で使用したCTスキャナを用いると、3次元断層画像を撮像することが可能であるが、本研究では図3に示すように三つの断面にて測定を行う事とし、CT画像による内部品質評価の可能性について検討する事とした。

サンプルの設置方法は、がく片基部を下にして対象物となる果実を置いたとき、下から15, 30, 50 mmの高さに印をつけ、X線CTスキャナ内に調整用として備え付けられているマーカービームがこの印を通るようにテーブルの高さを調整した。本実験で使用したサンプルのうち、直径が100 mmを超えるものはなかった。したがって、全てのサンプルにおいて下から50, 30, 15 mmの高さは、3分割した際の上段、中段、下段(図中I, II, III)の範囲内の断面に相当する。

本実験ではX線管の印加電圧を150 kV, 3 mAで使用した。X線のスリット幅は2 mm, 撮影領域は回転ステージ上φ300 mmである。断層像を画像化したときの画像分解能は512×512画素、この領域の中に4個もしくは3個のサンプルの断層像が含まれるように配置して実験を行った。スキャナにより得られた断層像の情報は、コントロールパネルと一体化している専用計算機内で2

図3 断面画像の位置

Fig. 3 Position of cross-sectional image.

次元画像として再構成され、ディスプレイに表示される。本システムで得た画像情報は、専用のフォーマットでワークステーションに保存される。

3. 画像表示

一般に医療用画像は多階調であり、特にX線CT画像は16ビットにも達する。このようにダイナミックレンジが広い画像をディスプレイで表示させる際、画面上には濃度値を8ビットでしか表示できないため、すべての階調を一度に表示させ微妙なCT値の変化を表示することはできない。そこで医療分野ではウィンドウ変換と呼ばれる処理を施し、比較的ダイナミックレンジの狭い領域のCT値のみに注目して臓器を診断する。そこで本研究でも同様に図4に示す線形ウィンドウを使ってウィンドウ変換を行った。

ウィンドウレベルをL, 幅をW, CRTの表示濃度レベルの上限と下限を G_H, G_L とすると、任意のCT値に対するウィンドウ変換は次式により決まる。

$$y = G_L; \left(x < L - \frac{W}{2} \right) \quad (5)$$

$$y = \frac{(G_H - G_L + 1) \times \left(x - L + \frac{W}{2} \right)}{W};$$

$$\cdot \left(L - \frac{W}{2} \leq x \leq L + \frac{W}{2} \right) \quad (6)$$

$$y = G_H; \left(L + \frac{W}{2} < x \right) \quad (7)$$

以下に示す実験結果の画像は、予備実験の結果を元にウィンドウ変換の設定を、 $W=2000, L=200$ として表示している。このとき、CT画像中ではCT値が大きい

図4 ウィンドウ変換の原理

Fig. 4 Principle of window conversion.

ほど輝度が高く、CT値が小さいほど暗く表示されている。

結果および考察

1. モモ

図5に今回の実験で得たモモのCT画像および目視調査時の写真の一例を示す。図5の右図はCT画像を、左図は同じ断面の写真、下図には左図の紙面手前側のブロックの断面を示す。下図の断面の写真は、上図の矢印部において黒い斑点として映し出されている部位である。写真にも同じ位置に矢印を示す。

このサンプルは、果肉の障害が進み内部がゼリー状に水浸化したもので、目視にて断面を観察すると、左図に見られるように水浸化し変色している箇所が見られる。それに対しCT画像では、写真ほど明瞭に判別することが困難であった。これは正常な部位と比較して水分含量に大きな差がなく、X線の減衰量に違いが現れなかったためと考えられる。

また、目視調査を行った結果、CT画像の矢印の部位に示された黒い点は、維管束が映し出されていることが確認された。左の写真では黒い矢印部に相当し、目視で判別することが困難であった。この部位の維管束は直径が約1ミリと大きく、他の正常な部位に比べて約3倍程度の大きさであった。この写真を示したものが下段の図である。他のサンプルにおいても同様に目視調査で維管束の大きい部位が確認されたが、CT値にこのような違いは確認されなかった。実際の目視調査から、この維管

図5 変色した果肉および硬化した維管束のCT画像と可視画像

Fig. 5 Discolored flesh and sclerosed fibrovascular bundles of CT image and visible images.

図6 部位別によるCT値の違い (モモ)

Fig. 6 The difference of location. (peach)

図7 果肉の打ち傷と種子を含む核割れ

Fig. 7 The bruise of flesh and cracked core with seed inside the stone.

束は他のものと比較して乾燥しており、内部に水分が少なくなったためX線の減衰が少なくなったためと推測される。

さらに本実験ではモモの核、種子、正常な果肉、果肉褐変症や腐敗により茶色く変色した果肉について、CT値の比較を行った。図6にその結果を示す。以上の結果からも、正常な果肉と褐変症の果肉ではCT値に大きな違いとなって現れないことが確認された。

図7に果肉が褐色に変色した部位と核割れを生じている果実のCT画像を示す。本サンプルは外観検査では異常が見られなかったが、CT画像から内部異常が発見された果実である。断面の目視調査の結果、果肉の変色部

位は落下などにより外部から衝撃を受けた部位と思われる。先の褐変症とは異なり、果肉が細かく割れ、空気層が出来ている。そのためCT画像中の矢印に示すようにCT値の違いとして現れることが明らかとなった。このような障害は表面に触れると軟らかくなっており接触検査で判別できるが、多くの果実では外部から力を加える接触検査は傷をつける恐れがあるため望ましくない。また、このような打ち傷や押し傷のような果肉の障害は、輸送や貯蔵中に腐敗や病気の原因になることがあるため、早期に検出できることが望ましい。このような点において、X線CTは有効に利用できることが示された。

さらにこのCT画像から大きく核割れの様子が確認できる。本サンプルは外観が薊玉のように変形していないため、既存の検査方法では核割れを事前に検知することが困難で、調理段階で初めて核割れが確認できるものである。このようなサンプルにおいて、果実の赤道付近のCT画像断面を測定することで、効果的に核割れが認知できることが確認された。

2. ナシ

図8にナシの断面のCT画像と可視画像を示す。可視画像ではCT画像のように大きな果肉の変化を確認することができなかった。また、このサンプルは外観でもこのような内部の様子を推測することが困難であった。

本実験において(株)藤原製作所製果実硬度計で果肉を測定したところ、概ね正常部分の果肉の硬度は約1.2~1.5kgであったが、このようにCT値が低いため黒く表示されている部分では、平均約1.0kgと他の部位よりわずかに低い傾向があった。また、この部分の果肉を採取し絞ると泡が多く、空気を多く含んでいる部位であった。さらに試食するとカスカスした食感で、みずみずしさが損なわれている部位であることが分かった。これらのことから、CT画像を用いることで果肉の状態および食感に関する情報を得られる可能性があると考えられる。

図8 CT画像と可視画像の比較

Fig. 8 Comparison with CT image and visible image.

図9 部位別によるCT値の違い(ナシ)

Fig. 9 The difference of location. (pear)

図9にナシの部位別のCT値を示す。本グラフに示した部位は、正常な果肉、水浸した果肉、打痕などにより生じた果肉の割れ、先ほどの水分を失った部位であり、それぞれのサンプル数は87個、16個、16個、26個で、1枚のCT画像から複数の箇所を測定している。この結果、水分を失った部分はCT値に反映され、本手法による判別は容易であることが確認できた。また、ナシの腐敗が進んだ部位では正常な部分よりもCT値が高くなる傾向が見られた。以上のことから、X線CT画像を用いることで食味に関する情報や腐敗部の有無に関する情報を付加できると考えられる。

3. リンゴ

図10に果実吸蛾類の害虫に果汁を吸われたリンゴのCT画像およびその可視画像を示す。可視画像の破線でカットした断面がCT画像に相当する。本サンプルの外観には1ミリ程の黒い点があるのみで、既存の外観検査手法では検出が困難な対象物である。この部位をカットすると、図のように網目状に繊維質のみが残っており、水分が無く乾燥している。また、反対の面には打痕があり、CT画像を見ると網目状組織はCT値が空気層と同

図10 害虫被害を受けたリンゴ

Fig. 10 The damaged apple by harmful insect.

図 11 リンゴの芯腐れ

Fig. 11 The blackheart of apple.

図 12 リンゴのみつの分布

Fig. 12 The distribution of water core in an apple.

じ値を示しており、打痕部では水が溜まっている様子や割れを生じている様子が確認できる。また、打痕の内側に水分が生じている部位は、正常部位との間にCT値が低い層が見られる。

図11に芯腐れを生じているリンゴのサンプルを示す。このサンプルの異常は外観からはまったく識別できず、断面をCT画像化して初めて知り得た障害果である。障害部は木のように乾燥し、萎縮しているため果実内部に空洞が生じていた。

図12にCT画像で判別したみつの様子を示す。リング中に生じるみつは一般に糖度が高く品質の良いリングとして認知されている。みつの成分はソルビトールとい

図 13 CT 値の分布比較

Fig. 13 The comparison with distribution of CT values.

うブドウ糖の還元によって生成される糖アルコールの一種で、余分なソルビトールが細胞と細胞の隙間に入り込み、水が溜まった状態になることを示す。本実験で得たCT画像からも水分が溜まりCT値が他の部位と異なっている様子が認識できる。現状では果肉の障害とみつを識別する方法は存在しないが、CT値の分布、形状、位置情報を元に、識別アルゴリズムを開発することで、このみつの情報を数値化して付加価値を付けることも可能であると考えられる。

図13に今回使用した3種類の果実のうち、それぞれの正常果のCT値を比較した結果を示す。この図は、CT画像のサンプル中心を通る横軸方向の断面で、各サンプルの中心位置を合わせて重ね合わせたものである。これらは目視検査の結果、内部に障害のない標準的なサンプルである。図中の横軸と平行の破線はCT値が0、-1100を示しており、それぞれ水と空気を示している。また横軸は画素数を示しており、1画素あたり0.5mmの分解能となる。このグラフに見られるように、ナシやモモは果肉部において外周に近づくにつれてCT値が高くなる傾向が見られるが、リンゴでは逆に、CT値が低くなる傾向が見られた。このことは、リンゴの密度や水分分布が中心に近いほど高くなることを意味していると考えられる。このように異なる果実内のCT値を比較した報告例はなく、果実の鮮度は表層の水分量と密接に関係することから、CT値を調べることで鮮度を評価することができると考えられる。

本実験結果より、X線CTでは従来の非破壊選別で行っている手法では得られない種々の情報が提供可能であることが明らかとなった。これにより、X線CTを果実の検査に利用すれば、割れや芯腐れといった外観では判断できない障害を選果段階で非破壊判別でき、輸送中や保存中の腐敗および病原菌の発生を食い止める技術

につながると共に、高付加価値農産物として消費者に提供できると考えられる。

4. 実用化に向けた考察

実際の選果場での応用を考えると、技術的な課題としては、安全性の確保および検査の迅速性が挙げられる。現在、X線やγ線といった放射線は、「健全性」(WHO, 1994)と呼ばれる概念を用いて、10 kGy以下の照射量であれば、実験的に安全であることが国際的に評価されている。そのため、X線は既に食品の異物検査などで数多く実用化されており、本報で報告したX線CTは安全性の面から鑑みて、選果場での利用が可能と考えられる。一方、本実験で用いたCTスキャナでは1枚の断層像を得るために数分を要したが、本実験で試みたように複数個のサンプルを一度に測定する方法や、分解能を低くし高効率化、高速化を図る方法も考えられる。また果実などの内部障害は、空間的に分布する。したがって、医学用途のように詳細かつ限なく断層像を得る必要はなく、現時点の技術レベルを考慮すると、先に述べたように1個体につき2, 3断面での評価が実用的な検査になると考えられる。しかし現在、X線CTの高速化に関する研究が進み、1 mm程度の空間分解能であれば1枚あたり約0.5秒で画像取得が可能(Tech-noresearch institute Inc., 2002)となっている。また、多くの農産物検査において、空間分解能が2 mm程度であれば、本実験で示したような従来では判別が困難な内部品質の検査が可能と考えられる。この分解能であればさらに高速でスキャンできる技術が生まれており、三澤らの報告(Misawa *et al.*, 1999)では1スキャン3.6 msで画像取得が可能であり、ほぼリアルタイムの画像取得が可能となっている。しかしこのシステムは撮像エリアが50 mm程度であるため即応用可能な性能を満たしているとは言い難い。そこで現在、選果場で行われている外観計測に要しているカメラ画像の取り込みレートである30 ms相当まで撮像速度を落とす代わりに、撮像エリアを広げることが出来ると考えると、X線CTスキャナに関する周辺技術は選果場での実用化も近いレベルまで達していると考えられる。

今後さらに農業や食品工学でのX線CTの利用価値を明らかにすることは、企業や研究機関が持つ医学用途の優れた技術を農業分野に役立てるように促すことにつながると考える。検査現場への実用化に向けたコストダウンの方法としては、農産物検査専用のX線CTシステムを開発することが重要で、農産物評価に見合った性能を持たせることがその方法の一つと考える。現在医療分野で5千万円以上するシステムのコストダウンが今後

の大きな課題と言える。

摘 要

X線CTによる果実の内部品質評価の実用化を目指し、モモ、ナシ、リンゴのCT画像を得、それぞれの断面を目視調査した結果から、以下のような知見を得た。

1) 核割れや芯腐れのような構造変化のみならず、果肉の水分状態や打ち傷による空気層の有無に由来する内部品質を非破壊で知ることが可能であった。

2) モモの褐変部位などの変色および水浸状の部位では、正常な部位と比較して水分に見た目ほどの違いが無いため、正常な部位との識別が困難であった。

3) ナシのように食感が重視される果実に対しても、CT画像から食感に関わる情報を得られる可能性が示された。また、このような果肉や水浸した部位は正常な果肉とCT値に違いがあり、判別が可能であることが示された。

4) CT画像と画像認識アルゴリズムを組み合わせることで、リンゴのみの有無を非破壊で検査可能と考えられた。

5) 果実中心を通る横軸方向の断面のCT値の分布より、リンゴにおいては、果実中心ほどCT値が高く、モモやナシでは果実中心ほどCT値が低いことが確認された。

謝 辞

本実験の実施に当たり、果実のサンプルを数多く提供していただいた下伊那園芸農業協同組合、伊藤部長、井坪次長および関係者に感謝の意を表します。また、東京農工大学の東城清秀先生にはX線CTスキャナをお借りするとともに、取り扱いのご指導をいただきました。記して感謝の意を表します。

引用文献

- Barcelon, E. G., Tojo, S., Watanabe, K. 1999. X-ray Computed Tomography for Internal Quality Evaluation of Peaches. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73 : 323-330.
- Barcelon, E. G., Tojo, S., Watanabe, K. 1999. X-ray CT imaging and quality detection of peach at different physiological maturity. *Trans. ASAE* 42 (2) : 435-441.
- EUREPGAP. 2004. Eurepgap fruit and vegetablesh

- [internet], http://www.eurep.org/fruit/Languages/English/index_html[accessed 2004-11-15].
- Han, Y. J., Bowers, S. V., Dodd, R. B. 1992. Nondes-
tructive Detection of Split-Pit Peaches. Trans.
ASAE 35(6) : 2063-2067.
- Honma, H. 1989. Equipment for inspecting the cave of
a watermelon using X-rays (in Japanese). Report
of Japan Technical Institute of Food Distribution
117 : 10-13.
- Karube, M. *et al.*, 1991. Food Industry and Sensor -
Development and Application- (in Japanese).
Korin Co., Tokyo, 104-119.
- Kawano, S. *et al.*, 2003. Handbook of nondestructive
measurement for food product (in Japanese).
Science forum, Tokyo, 1-348.
- Lammerty, J., Dresselaers, T., Van Hecke, P., Janc-
sok, P., Wevers, M., Nicoai, B.M. 2003. Analysis
of the time course of core breakdown in 'Confer-
ence' pears by means of MRI and X-ray CT.
Postharvest Biology and Technology 29 : 19-28.
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of
Japan. 2004. Brief outline of EUREPGAP (in
Japanese)[internet], <http://www.maff.go.jp/kaigai/2004/20040311uk81a.htm>[accessed 2004-10-10].
- Misawa, M., Ichikawa, N., Akai, M., Monji, H. and
Matsui, G. 1999. Measurement of Dynamic Inter-
face Structure of Slug Flow in Simplified Rod
Bundles using a Fast X-ray CT Scanner. Proc. 7th
International Conference on Nuclear Engineering,
No. 7099.
- Morita, K., Ogawa, Y., Fujii, T. and Hattori, M. 1998.
Detection of Foreign Material in Beverage Con-
tainer for Recycle Use by Soft X-ray Image
Analysis (in Japanese), Nippon Shokuhin Kaga-
ku Kogaku Kaishi., 45(4), 232-237.
- Ogura, T. 1998. Reconstitution technique of CT
images. In : Digital radiation image (in
Japanese), ed. by Uchida, S., Ohmsha Co., Tokyo,
168-172.
- Shibusawa, S. 2002. Community - Based Precision
Farming (in Japanese). The symposium agricul-
ture information engineering-paradigm shift-, 39-
49.
- Shimura, I., Yokota, K., Tanabe, K. and Genma, H.
2000. Fruit Tree Horticulture (in Japanese).
Bunedo publication Co., Tokyo, 72-160.
- Smith, E., Marsden, T.K., Flynn, A. & Percival, A.
2004. Regulating food risks : rebuilding
confidence in Europe's food?. Environment and
Planning C : Government and Policy. 22(4) : 543-
567.
- Technoresearch institute Inc. 2002. High Speed and
Three-Dimensional CT using a Cone Beam X-
Ray -trend report- (in Japanese) [internet],
<http://www.nedo.go.jp/iinkai/hyouka/bunka-kai/14h/35/1/7-1.pdf> [accessed 2005-01-10].
- WHO, 1994. Safety and Nutritinal Adequacy of
irradiated Food (in Japanese). Coop publication
Co., Tokyo, 1-242.
- Yantarasri, T., Kalayanamitra, K., Saranwong S.,
Sornsrivichai, J. 2000. Evaluation of the Maturity
Index for Durian Fruit by Various Destructive
and Nondestructive Techniques. ACIAR Proceed-
ings, 100 : 700-705.