

農業機械化研究所研究報告

第 40 号

Technical Report
of
the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusyo)
Saitama-city, Saitama, Japan
No.40 February 2011

平成 23 年 2 月

農機研報

Tech. Rep.,
Inst. of Agric.
Mach.
40 : 1-64
Feb. 2011

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所
埼玉県さいたま市北区日進町 1 丁目

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所

Institute of Agricultural Machinery
Bio-oriented Technology Research Advancement Institution
National Agriculture and Food Research Organization

編集委員会
Editorial Committee

月山 光夫 (委員長)	Mitsuo TSUKIYAMA (Chief)
西村 洋	Yoh NISHIMURA
後藤 隆志	Takashi GOTO
宮原 佳彦	Sumihiko MIYAHARA
宮崎 昌宏	Masahiro MIYAZAKI
平田 晃	Akira HIRATA
高橋 弘行	Hiroyuki TAKAHASHI
松尾 陽介	Yosuke MATSUO
中村 利男	Toshio NAKAMURA

目 次

大森定夫・平田晃・鷹尾宏之進・中元陽一・藤岡修

青果物の非破壊品質評価技術に関する開発研究

第1章 研究の背景, 従来技術と研究の目的	1
1.1 研究の背景	1
1.1.1 我が国における青果物生産の現状	1
1.1.2 青果物高品質化に向けた取り組み	2
1.1.3 青果物の選別および品質評価の歴史と現状	3
1.2 青果物の非破壊品質評価に関する従来技術	4
1.2.1 力学特性による非破壊品質評価	4
1.2.2 光学特性による非破壊品質評価	6
1.2.3 音響特性による非破壊品質評価	7
1.2.4 電磁気特性による非破壊品質評価	7
1.2.5 その他の方法による非破壊品質評価	8
1.2.6 非破壊品質評価技術の問題点	8
1.3 研究の目的	9
1.3.1 圧縮特性に基づくキウイフルーツ等の軟らかさ・食べ頃評価技術の開発	9
1.3.2 振動特性に基づく西洋ナシの追熟程度・食べ頃評価技術の開発	9
1.3.3 光の透過特性に基づくパインアップルの熟度・内部障害評価技術の開発	9
1.3.4 温度特性に基づく西洋ナシの食べ頃評価技術の開発	9
第2章 圧縮特性に基づくキウイフルーツ等の軟らかさ・食べ頃評価技術の開発	10
2.1 緒言	10
2.2 圧縮変形量による軟らかさ評価	10
2.2.1 軟らかさ評価に向けた基礎試験	12
2.2.2 汎用型軟らかさ評価装置の開発	16
2.2.3 軟らかさ選別装置の開発	19
2.2.4 携帯型軟らかさ判定器の開発	22
2.3 考察	23
2.3.1 軟らかさ評価に向けた基礎試験	23
2.3.2 汎用型軟らかさ評価装置	23
2.3.3 軟らかさ選別装置	24
2.3.4 携帯型軟らかさ判定器	24

第3章 振動特性に基づく西洋ナシの追熟程度・食べ頃評価技術の開発	25
3.1 緒言	25
3.2 打音・振動による追熟果実の追熟程度評価	25
3.2.1 追熟程度評価の基礎試験	26
3.2.2 装置化に向けた基礎試験	28
3.2.3 食べ頃評価装置の開発	29
3.3 考察	31
第4章 光の透過特性に基づくパイナップルの熟度・内部障害評価技術の開発	32
4.1 緒言	32
4.2 人工光の透過光による熟度・内部障害評価	32
4.2.1 熟度・内部障害評価の基礎試験	33
4.2.2 定置型熟度・内部障害評価装置の開発	35
4.3 太陽光の透過光による熟度・内部障害評価	37
4.3.1 熟度・内部障害評価の基礎試験	38
4.3.2 装置化に向けた予備試験	39
4.3.3 携帯型熟度・内部障害評価装置の開発	41
4.4 考察	43
4.4.1 定置型熟度・内部障害評価装置	43
4.4.2 携帯型熟度・内部障害評価装置	43
第5章 温度特性に基づく西洋ナシの食べ頃評価技術の開発	44
5.1 緒言	44
5.2 積算温度による西洋ナシの追熟評価	44
5.2.1 追熟程度評価の基礎調査	44
5.2.2 食べ頃判定ラベルの開発	45
5.3 考察	48
第6章 総括	49
6.1 圧縮特性に基づくキウイフルーツ等の軟らかさ・食べ頃評価技術の開発	49
6.2 振動特性に基づく西洋ナシの追熟程度・食べ頃評価技術の開発	50
6.3 光の透過特性に基づくパイナップルの熟度・内部障害評価技術の開発	50
6.4 温度特性に基づく西洋ナシの食べ頃評価技術の開発	51
6.5 結論	52
謝辞	52
引用文献	52
Summary	58

Technical Report of the Institute of Agricultural Machinery
(Nogyo Kikaika Kenkyusyo)
No.40, Feb. 2011

Contents

Sadao OMORI, Akira HIRATA, Hironoshin TAKAO,
Youichi NAKAMOTO, Osamu FUJIOKA

Research and Development of Nondestructive Quality Evaluation Technologies based on
Physical Properties of Fruit and Vegetables

Preface	1
1 . Introduction	2
2 . Development of nondestructive quality evaluation technology based on static mechanical property	10
3 . Development of nondestructive quality evaluation technology based on dynamic mechanical property	25
4 . Development of nondestructive quality evaluation technology based on optical property	32
5 . Development of nondestructive quality evaluation technology based on temperature property	44
6 . Conclusion	49
Acknowledgement	52
References	52
Summary in English	58

青果物の非破壊品質評価技術に関する開発研究

大森定夫*・平田 晃**・鷹尾宏之進***・中元陽一****・藤岡 修*

2008-6-6 受理

- * 園芸工学研究部
- ** 園芸工学研究部（現：畜産工学研究部）
- *** 園芸工学研究部（現：日本食品科学工学会事務局）
- **** 園芸工学研究部（現：近畿中国四国農業研究センター）

抄 録

青果物の圧縮特性、振動特性、光学特性、温度特性などの物理特性に基づき、青果物内部の非破壊品質評価技術の確立と装置開発を行った。圧縮特性に関しては、キウイフルーツ等を対象として、弾性範囲内の圧縮変形量を捉えて軟らかさを評価する手法を確立し、汎用型軟らかさ評価装置、軟らかさ選別装置、携帯型軟らかさ判定器を開発した。振動特性に関しては、西洋ナシ(ラ・フランス)を対象として、対象物を軽打した時の振動ピーク周波数と果実質量から食べ頃を評価する技術を確立し、食べ頃を評価する装置を開発した。光学特性に関しては、パインアップルを対象として、透過光により熟度や内部障害を評価する技術を確立し、定置型熟度・内部障害評価装置と携帯型熟度・内部障害評価装置を開発した。温度特性に関しては、西洋ナシ(ラ・フランス)を対象として、積算温度を捉えることで食べ頃を評価する手法を確立し、追熟程度評価ラベルを開発した。なお、汎用型軟らかさ評価装置と携帯型軟らかさ判定器は市販化された。

第1章 研究の背景、従来技術と研究の目的

1.1 研究の背景

1.1.1 我が国における青果物生産の現状

青果物の国内における生産量は、1985年頃の23百万トンにピークに減少し続けている。一方、海外からの輸入量は、同時期頃から急増しており、2000年時点で8百万トンに達している(図1-1)。そのため、食料自給率(カロリーベース)は1960年には野菜、果物共に100%であったが、1980年に野菜97%、果実81%となり、2000年には野菜82%、果実44%に低下している¹⁾。穀類、魚介類、肉類などを含めた食料全体自給率も、1965年の73%から2002年には40%まで低下しており、アメリカ、イギリス、フランス、ドイツなどの主要先進国の中で最も低

い水準となっている。

国内青果物生産量の減少と輸入量の増加は、1970～1980年の高度経済成長に伴って、第一次産業から他産業へ労働力が移ったことや、国際的な農産物の輸入自由化の動きが影響していると思われる。特に近年では、WTO(World Trade Organization:世界貿易機関)農業交渉やFTA(Free Trade Agreement:自由貿易協定)などの動きを背景に、食料の国際化への対応が強く迫られている。2002年における農産物輸入の総額は4兆3,011億円で、我が国はアメリカに次ぐ輸入大国となっている。労働賃金の安い国からの輸入の増加は、国内産農産物の低価格化²⁾を招き、国内生産の減

少を助長する傾向にある。一方で、国内産地の労働力情勢は、農業就業人口の減少と共に基幹的農業従事者の高齢化や後継者不足等の問題を抱えている。

表1-1に示すように、農業就業人口は1980年との比較で2000年にはその約60%に減少している。一方2000年の新規就農者は新規学卒就農者が約2千人、39歳以下の離職就農者が約1万人で、合計1万2千人に留まり、65歳以上の農業従事者割合が約40%に達するなど高齢化が進み³⁾、今後もこの傾向は続くと思われる。

1.1.2 青果物高品質化に向けた取り組み

このように、我が国農業を取り巻く情勢は、輸入農産物の増加や農業就業人口の減少、後継者不足といった多くの課題をかかえ、厳しい状況にある。また、これらの問題は、今後の食料安定供給の点からも解決しなければならない課題となっている。そのため、行政部局においても、国民の生命と健康の維持に必要な食料の安定供給を確保するために、担い手の育成・確保

など基本的な農業政策と食料供給の維持・拡大が重要と位置づけて、国内産地の活性化等の推進を図る各種施策を実施している。一方、生産地では低価格な輸入青果物に対抗するため、機械化等による生産コストの低減や、消費者の安全・安心な青果物ニーズに応えるため、栽培履歴情報の開示システムを導入する等の産地構造改革に取り組んでいる。

このような取り組みの他に、一部の果実産地では、国内産の高品質果実を積極的に輸出する動きも出ている。2002年の生鮮果実の輸出額は前年の約2倍に増加し、特に、台湾へのリンゴの輸出は約4倍増と⁴⁾、注目に値する。これまでは、海外の安価な青果物に対しての国際競争力の低さから、青果物の輸出は低迷していたが、近年、輸出増加に転じている。その理由としては、アジア諸国の経済発展に伴う購買力の向上や、日本の青果物が高級・高品質とのブランドイメージが定着したこと、また、残留農薬問題を背景として各国での安全性への関心が高まったこと等があげられる。

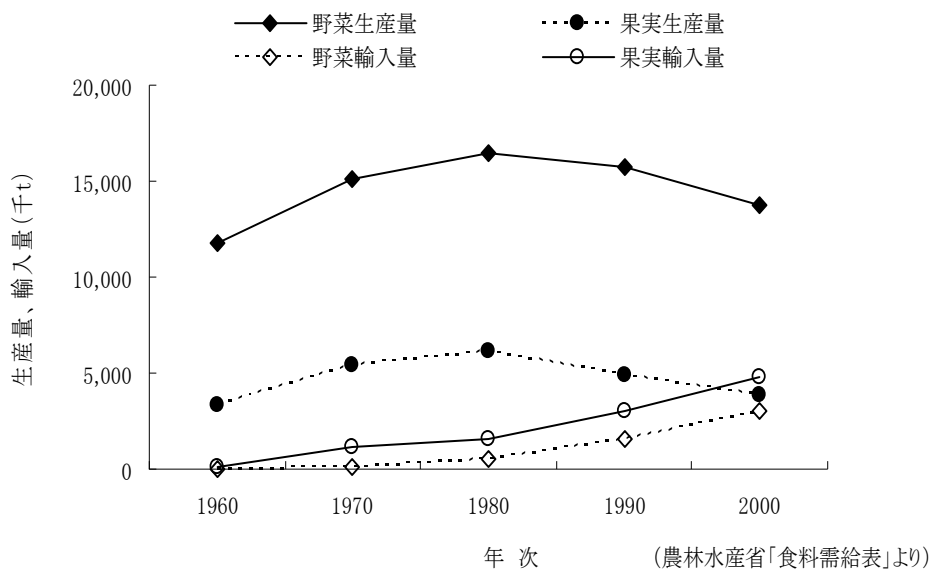


図 1-1 野菜果実の生産量、輸入量の推移⁵⁾

表 1-1 農業就業人口と新規学卒就労者の推移

	単位：人		
	1980年	1990年	2000年
農業就業人口	6,973,000	5,653,000	3,891,000
新規学卒就労者	4,800	1,800	2,100

農林水産省「農林業センサス」「農業構造動態調査」資料

今後も青果物の輸出増加の傾向は続くと考えられるため、品質や安全性等を重視した生産は、産地を活性化させる観点からも重要になっている。

1.1.3 青果物の選別および品質評価の歴史と現状

このように、産地では輸入青果物に対抗するため、より高品質で安全な青果物生産を目標に、例えば果実の産地では、消費者に好まれる高品質な品種への切り替えや、高糖度な果実生産の新たな栽培管理の導入などを積極的に行っている。しかし、青果物は工業製品と異なり、均一な品質のものを生産するのは難しく、大きさ・形・色つや・味等の品質には、ばらつきがある。そのため、これらの品質毎に一定の基準を設けて、その基準で仕分けをする、いわゆる選別を行い卸売市場等に出荷している。近年では、消費者の高品質指向を受けて、これまでの形状や色つやの良否による外観品質による選別に加えて、食味に影響する糖度などの内部品質による選別も行われている。

この選別の歴史は、大正時代にミカンを木箱へ詰めて出荷販売されたことに始まった、とされている⁶⁾。当時は立木売りが主で、ミカン商人への販売形態をとっていたため、選別して出荷するという認識はなく、木箱へ入っているミカンの個数も一定していなかった。この商人に依存した販売から、生産者自らが箱詰めして出荷するようになり、収穫したミカンを大きさなどで選別する概念が生まれ、有利販売へと進展していった。さらに、数戸の生産者がまとまった量を計画的に出荷する、共同選別へと発展してきた⁷⁾。

現在、産地で行われている選別には、大きさや重さを基準として「L, M, S」や「1箱に入る数量」等に仕分ける階級選別と、形状や果皮色等の良否・損傷の程度・病気の有無などの外観による品質や、糖度や内部欠陥の有無などの内部品質を基準として「A, B, C」や「秀, 優, 良」等に仕分ける等級選別がある⁸⁾。これら階級や等級の選別基準は、対象青果物や産地でそれぞれ出荷規格として決められている。その出荷規格は、同じ産地であっても生産量や品質の状況によって、また、年度や収穫する時期で基準が異なる場合もある。

選別が一般的に行われるようになると、選別作業の省力化や高能率化が求められ、選別機の開発も進められてきた。この選別機械には、質量や形状の大小等で仕分ける階級選別機と、形状の良否等の外観品質や糖度等の内部品質で仕分ける等級選別機がある。

階級選別機には、重さ別に仕分けする重量選別機や、大きさ別に仕分ける形状選別機がある。重量選別機には、バネ力や重錘等を利用して規定の質量別に仕分けする機械秤式と、ロードセル、差動トランス、フォースコイル等により質量別に仕分ける電子秤式がある。形状選別機には、大きさの違いを篩やロールなどの間隙を利用して仕分ける選別機と、光線やCCDカメラ等により大きさ別に仕分ける選別機がある。これらの階級選別機は、個々の農家で利用できる小型の機械から、共同選別施設用の大型機械まであり、幅広く使われている。

一方、等級選別機には、外観の品質をモノクロやカラーのCCDカメラで捉えた映像により評価して仕分けを行うタイプがある。このタイプの等級選別機は、大きさ評価も同時に行うことが可能であるため、階級選別機の機能も有する。また、糖度などの内部品質を評価して仕分ける等級選別機には、リンゴやミカン等の糖度やスイカの空洞などの内部欠陥により仕分ける、それぞれ専用の等級選別機がある。これらの内部品質による等級選別機は高価であるため、主として生産量の多いリンゴ、ミカン、モモなどの共同選別施設で利用されている。

このように選別用機械の開発が進むと同時に、高性能な選別機を利用した共同選別包装施設も、各地で建設されるようになった。この施設を一般にはリンゴ選果場、あるいはミカン選別施設などと呼んでおり、これらを総称して「共同選別包装施設」と称している。農林水産省の統計によると、2001年における共同選別包装施設の数約6,000箇所(果実対象:約2,500箇所、野菜対象:約3,500箇所)で、いわゆる機械選別施設が約3,300箇所(果実対象:約1,700箇所、野菜対象:約1,600箇所)であり⁹⁾、産地では選別作業の共同化、施設化、機械化を進め、青果物の有利販売と作業の省力化が進められている。

高性能な選別機が開発され、大型の共同選別包装施設が建設される一方、多くの産地では個別の農家で

の選別作業が行われている。個別農家での等級選別は、作業者の目視による果皮色や形状の評価により行われているが、この手法では作業者の主観が入り、評価に個人差が生じ易い。そこで選別結果を揃えるために、出荷シーズン初期に選別基準の目合わせや、選別結果の検査(目揃い)等を行っているが、安定した評価は難しい。また、果実の糖度のような内部品質については、対象の青果物から抽出したサンプル検査をすることで推定している。しかし、この方法では個体毎の糖度差が大きいので、個々の糖度保証をするには至らない。このようなことから、個別農家においても利用可能な、小型で廉価な等級選別機の開発が望まれている。

また、前述したように、糖度や内部欠陥等の内部品質の非破壊評価技術が進歩し、これまで評価が困難であった内部の品質を適正に評価することが可能となり、食味に影響する内部品質に当たり外れの無い青果物を提供できるようになった。その結果、内部品質の非破壊評価技術は、高級品による差別化や産地イメージの向上に寄与している。

しかし、現在利用されている非破壊品質評価技術は内部品質の一部を評価しているにすぎない。青果物の品質基準には、①外観(形状、色、つや、傷や病気の有無、大きさ等)、②内部品質(味、熟度、障害、栄養価、機能性等)、③触感(重さ、食感、硬さ等)、④安全性(農薬、微生物等)、⑤鮮度等があり、これら品質の客観的評価の要望は、一層の高品質化や食品の安全・安心を求める社会情勢や、消費者ニーズとして増加している。特に外観から判断が困難な内部品質の非破壊評価技術の開発が、強く求められている。

さらに、近年では食生活のグローバル化や食の多様化に伴い、従来から我が国で消費されてきたリンゴやミカン等といった比較的ポピュラーな青果物に加え、西洋ナシやキウイフルーツなど新たな青果物の普及が進んでいて、これら新しい青果物が導入される時代に対応した品質評価技術が求められている。

1.2 青果物の非破壊品質評価に関する従来技術

近年の大規模な共同選別包装施設における選別技

術の主流は、画像処理技術、特定波長の電磁波利用技術、コンピュータアルゴリズムなどを組み合わせた内部品質の非破壊評価技術による選別である。この非破壊評価技術(非破壊計測法)は、「対象物に何らかのエネルギーを与え、その入力エネルギーと、対象物によって影響を受けた出力エネルギーとの関係を調べることによって、対象物の品質に係わる特性を非破壊的に得ようとする技術(手法)である。」と定義されている¹⁰⁾。非破壊評価技術の概念を図1-2に示す。

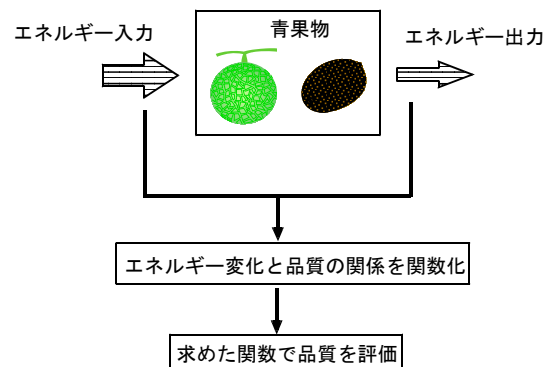


図 1-2 非破壊評価技術の概念¹¹⁾

非破壊評価技術は、光学特性、力学特性、音響特性、電気特性など利用するエネルギーによって分類される。これらの技術は、穀類や青果物などの多くの農産物で利用されており、新たな非破壊品質評価技術の開発研究も積極的に行われている。以下に、青果物の非破壊品質評価技術について、利用エネルギー毎に従来の研究とそれらの実用化技術について述べる。

1.2.1 力学特性による非破壊品質評価

青果物は果実硬度の程度や内部欠陥の有無により、力・変位・速度・加速度などの力学的応答が異なる。力学特性による品質評価は、この力学的応答を捉えて品質評価を行う技術である。

青果物に与える力学的エネルギーには、青果物の打音や振動等の動的応答を調べるための軽打、規定高さからの落下、あるいは加振機などによる強制振動を加える等の動的負荷と、青果物に規定の圧縮力による変形量、あるいは規定量変形させるための圧縮力を調べるための静的負荷がある。このように青果物に与える力学的エネルギーを、対象物が破壊や永久変形を生じない

範囲(弾性変形)内とすることで、非破壊的な計測が可能である。

1) 静的負荷応答を利用した品質評価

青果物に与える弾性変形内の静的負荷には、圧縮試験機等による所定の圧縮力や所定の変形量がある。静的負荷応答を利用した品質評価技術は、その時の変形量や圧縮力、あるいは時間などから、果実硬度等の品質を評価するものである。

所定の変形量に要する圧縮力で評価するものに、トマトやタマネギの硬さ評価の研究がある¹²⁾¹³⁾。この研究では、Push-Pull Scale を利用した携帯可能なトマト、タマネギの硬さ評価装置を試作している。試作装置は、トマトを5mm、タマネギを3mm変形させた時の圧縮力により硬さの評価をするもので、トマトやタマネギの硬さ評価が従来法と同様に可能であったとしている。しかし、この方法は、対象果実を5mmまたは3mm変形させるため、完全に破壊には至っていないが、圧痕が残り市場出荷には問題があると考えられる。

次に、圧縮空気を利用して一定圧縮力を対象物に加え、この時の変形量を測定する装置を考案し、その装置でモモの硬さの非破壊評価が可能であったとの報告がある¹⁴⁾。しかし、この装置は、果実を両側から挟み込んで圧縮空気を利用して圧縮力を与え、その時に加えられた力を歪みゲージで計測し、変形量をダイヤルゲージで読み取る構成となっている。そのため、この装置の利用は実験室内での基礎データ計測に限られ、生産現場などでの利用は困難である。

この他にも、西洋ナシのバートレット果実に、4.5Nから17.8Nの圧縮力を与え、その時の変形量を連続して計測する装置を試作し、この装置で得られた変形量で果実硬さの評価が非破壊的に可能であったとの報告がある¹⁵⁾。この研究では、試作装置での硬さ評価と従来の貫入式硬度計との相関係数は0.7であり、生産現場で利用するには測定精度の向上が必要と考えられる。

2) 動的負荷応答を利用した品質評価

青果物に与える動的負荷には、青果物に対してプラスチックや木製の小型ハンマーにより打撃を与える、一

定の高さから青果物を落とす、あるいは青果物より小さな球を一定速度で衝突させる等がある¹⁶⁾。

この動的負荷応答を利用した品質評価技術には、小型のハンマーによる打撃を利用して、その打音応答から果肉のテクスチャー、粘弾性などの特性を評価する研究報告がある¹⁷⁾。また、スイカを軽打した時の、振動波形の第1ピーク周波数と減衰定数の変化を捉えて、内部品質を評価する研究報告がある¹⁸⁾¹⁹⁾。さらに、軽打した時のスイカの振動波形の自己相関関数を利用して、未熟果や過熟果(煮え)、内部亀裂検知の可能性を示唆した研究報告がある²⁰⁾。このような打音や振動の応答を捉えて、スイカの内部品質を評価する研究が多く行われており、スイカ空洞判定装置が生産現場に導入される²¹⁾など、これらの技術の実用化例も認められる。この他に、メロンを軽打した時の打音波形の解析と果実質量から、熟度を評価する装置が開発されている²²⁾。

また、打音の伝播速度によるメロン熟度判定装置も開発されている²³⁾²⁴⁾。この装置は、マスクメロンの赤道部に振り子を衝突させた時に、打音の伝わる速度(伝播速度)で果実の熟度を評価する装置である。マスクメロンの場合、追熟が進行するに従って伝播速度が遅くなる傾向があるため、予め伝播速度と追熟程度の校正曲線を作成しておくことによって、伝播速度による追熟程度評価が可能としている。

この他の動的負荷応答による品質評価技術には、果実に衝撃荷重を加えたときのデータから、硬さを評価する手法の試みがある²⁵⁾。また、対象物に一定圧力を与えた時の応力緩和などを用いた軟らかさ評価についても報告²⁶⁾²⁷⁾されているが、理論解析の範囲に留まっている。さらに、加振機などで強制的に連続して正弦波あるいは不規則な振動を青果物に与え、その応答によりバレイショ、リンゴ、ナシの収穫適期や熟度の評価を行った研究報告がある²⁸⁾。これらの技術は、いずれも研究段階の技術である。

以上のように、青果物に動的負荷を与えて、その応答から果肉硬度や熟度、あるいは内部欠陥を評価する技術は、スイカやメロンで一部実用化している。しかし、形状が異なるパインアップルやキウイフルーツ等の内部品質評価への適用は、キウイフルーツで可能との報告もあるが、生産現場での利用技術には至っていない。

1.2.2 光学特性による非破壊品質評価

青果物に光を照射し、青果物からの反射光や透過光を計測して、内部品質を評価する技術がある。この技術は、対象物の品質の違い等により透過光や反射光に差が生じるため、その反射光や透過光のスペクトル等を利用して品質評価を行うものである。このような光学的特性を利用した品質評価技術において、利用される光の波長域は、波長域が380~770nmの「可視光」、波長域が可視光と赤外光の間にある800~2,500nmの「近赤外光」、波長域が10~380nmの「紫外光」に分類される。

近年では、遠赤外光とEHF電波の境界領域にある波長1,000~30 μ mの「テラヘルツ光」による計測技術も進んでいる²⁹⁾。テラヘルツ光は、半導体、プラスチック、紙、ゴム、木材、繊維、脂肪、生体粉末、乾燥食品などを透過する性質があり、特にアスピリンやサリチル酸などの各種試薬、ビタミン、糖、農薬類などが固有の吸収スペクトル(指紋スペクトル)を有することから、広範な応用の可能性が示唆されている³⁰⁾。

1) 可視光を利用した品質評価

可視光を利用した品質評価技術には、外観の果皮色や損傷を評価するものと、内部品質の非破壊品質評価を行うものがある。前者は、対象物に可視光を照射し、その反射光から外観の果皮色や損傷の評価を行うもので、選果場などで実用化されている。後者は、可視光を対象物に照射して、その透過や反射光から品質を評価する技術である。

透過を利用した技術は、透過した光の状況を肉眼やカメラ等で捉えて内部品質を評価するもので、Norrisは、青果物を透過した光を計測できる装置を考案し、この装置により計測した透過光特性と物質の吸収スペクトルから、リンゴのみつ含量、トマトの内部色調、果実の熟度、小麦の黒斑含量などの評価を行った³¹⁾。

国内でもこの可視光を利用した非破壊評価技術が実用化されている。その評価装置の一つに、カキの渋判定器「岐阜大式果実品質判定器」がある³²⁾。この装置はカキに光を当て、透過してきた光の程度を肉眼で判断し、渋の状態を評価するものである。渋判定の原理は、カキの渋味成分であるタンニンが不溶化して褐変する

と、光が透過し難くなることを利用している。また、ダイコンの内部障害である「赤芯症」「黒芯症」の評価装置³³⁾がある。この装置は、内部が罹病すると可視光の透過が少なくなることを利用したもので、透過光のムラをカメラで捉えて評価するものである。これらの装置は、何れも可視光の透過光の状況が肉眼で確認できるカキやダイコン専用である。

この他に、可視光を励起光として遅延光放散(DLE)を利用した野菜や果物の成熟過程における色変化の評価技術や、キュウリやピーマンなどの低温障害予測技術³⁴⁾があるが、これらは研究段階である。また、青果物を対象としたものではないが、可視光の透過を利用した血卵の検出に関する研究報告がある³⁵⁾。以上のように、可視光を利用した品質評価研究や技術は、一部の農産物を対象とした利用技術に留まっている。

2) 近赤外光を利用した品質評価

青果物等に近赤外光を照射すると、その波長域800~2,500nmで水素原子が関与するO-H, N-H, C-Hの官能基による吸収が生じる。近赤外光による品質評価は、この吸収スペクトルから水分、タンパク質、脂質、糖度、酸度などを評価する技術である。この手法は、評価する品質(糖度など)と吸収スペクトルデータの関係式(検量線)を重回帰分析などの統計手法を用いて求め、得られた検量線で未知資料の品質を評価(推定)するものである。

近赤外光を利用した非破壊品質評価技術の研究開発は、小麦や大豆などのタンパク質や脂質の成分計測に始まり³⁶⁾³⁷⁾、バレイショ³⁸⁾、モモ³⁹⁾⁴⁰⁾、ナシ⁴¹⁾、温州ミカン⁴²⁾、トマト⁴³⁾等の青果物へと進められ、多くの農産物への適用が行われている⁴⁴⁾。これらの基礎研究により、モモの糖度を選別ラインで連続測定可能な装置が、山梨県の産地に導入され⁴⁵⁾、同時期にオフライン用のモモの糖度評価装置も開発された。この他、リンゴの糖度を評価する選別ラインも開発され、産地での利用に至っている。最近では、果皮の比較的厚いメロンやスイカの糖度評価が可能になり、さらに含有量の少ないミカン等の酸度評価が可能となっている⁴⁶⁾⁴⁷⁾。この技術による糖度等の選別機を「光センサ選果機」と称し、モモ、ミカン、リン

ゴ、ナシ、トマト、メロン、スイカ等の共同選果場で利用されている。また、選果場での利用以外に、樹上果実の糖度を計測可能とした小型の装置開発も行われている⁴⁸⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾。しかし、この技術は糖度や酸度の評価が主であり、熟度や内部障害への適用は見あたらない。

3) 紫外光を利用した品質評価

多くの青果物は、暗室内で紫外光を照射すると、肉眼で観察できる程度の励起発光作用がある。紫外光による品質評価は、この紫外光で励起される光の色調や強さの変化を利用した技術である。

評価事例としては、柑橘類の表皮損傷評価がある⁵¹⁾。柑橘類の表皮が損傷すると表皮から精油が外部に出て、その精油が紫外光によって565nmの波長域で励起発光する現象が発生し、損傷が多くなると、励起光も増加する傾向にあることから、励起された光の強度を計測することで損傷を評価する技術である。また、この紫外光による励起発光については、キュウリやピーマンの鮮度評価への利用可能性も示唆されている⁵²⁾。紫外光を利用した品質評価技術は、表面の傷や鮮度を評価するものであるが、これらは肉眼である程度評価できるため、糖度などと比べると非破壊品質評価技術に対するニーズが少なく、実用化には至っていない。

この他に、農産物に生えるカビによる毒素(アフラトキシン)の評価に、紫外光を利用した研究報告がある⁵³⁾。報告では、ナッツに紫外線を照射した時の励起発光420nmと490nmの2波長からアフラトキシンの検出が可能であったとしている。以上のように、紫外光を利用した品質評価技術は、対象物表面からの励起光により品質を評価するもので、熟度や内部障害の評価には適していない。

1.2.3 音響特性による非破壊品質評価

青果物を伝播する音波や超音波は、内部品質(空洞の有無など)によって変化が見られる。音響特性による品質評価は、このような音波や超音波の特性を利用した技術である。具体的には、超音波を利用したダイコンやバレイショの内部欠陥評価の研究報告⁵⁴⁾や、その他基礎的な研究が多く行われている⁵⁵⁾⁵⁶⁾⁵⁷⁾⁵⁸⁾。

しかし、この超音波を利用した品質評価技術は、超音波素子と対象物の間に空気を介在させないように、水中で計測する等の工夫が必要であるため研究段階の計測技術であり、実用化には至っていない。

次に、形状の複雑な果実の体積を高精度に求めることが可能な、音響式体積計を利用して体積を求めて密度を換算計測し、その密度から糖度を評価する技術がある⁵⁹⁾⁶⁰⁾。この手法は、音響特性によって計測するのは体積であり、直接青果物の品質を評価する技術ではないが、この方式でモモやブドウの糖度を求めた結果、密度が推定できる、との報告がある。これも実験室内での精密な測定が前提になること等から実用化には至っていない。この他、音響特性による品質評価に関連した研究報告には、ヘルムホルツ共鳴による体積測定⁶¹⁾がある。以上のように、音響特性による品質評価技術は、ダイコンやバレイショの内部欠陥評価や糖度評価などに利用可能との研究報告はあるが、生産現場で利用するには精密な計測技術を要する、等の問題を解決する必要がある。

1.2.4 電磁気特性による非破壊品質評価

青果物は、その果肉の化学成分内容、熟度、鮮度等の違いにより、電磁氣的刺激に対して、様々な応答を示す。このような特性を利用した品質評価技術には以下のものがある。

1) 電気インピーダンスを利用した品質評価

一般的に、青果物は導電性と誘電性の両方の性質を持っており、その電気的特性は電気容量の要素と電気抵抗の要素の並列とみなすことができ、交流電圧による電気抵抗値を電気インピーダンスと称している。

青果物などの生態組織に交流電圧を加えると、低周波では細胞膜の絶縁性により電流は細胞間隙を流れるが、周波数の増加と共に細胞膜の絶縁性が低下し、細胞内部に電流が流れるようになる。したがって、低周波から高周波に渡る電気インピーダンスを計測することで、細胞内外の電解質濃度や細胞膜の性状を調べることができる。この電気インピーダンスを利用した品質評価技術には、青果物の熟度、鮮度、損傷の探索に適用

された例がある⁶²⁾⁶³⁾⁶⁴⁾。

これらは、青果物の鮮度の低下や内部品質の劣化に伴い、交流電圧を印加したときの電気インピーダンスに変化が現れることから、水中に設置した電極板間に青果物を挿入する方法や、導電性のゴムを利用する方法により、対象物のインピーダンスを捉えて、熟度や鮮度等を評価したものである⁶⁵⁾。

青果物に針状の電極を刺して測定する方法に比べると、やや精度は劣るが、ある程度鮮度の推定が可能である。この電気インピーダンスを利用した品質評価技術は、青果物の組織が多様で複雑な構造を有することから基礎的な研究に留まっている。

2) 核磁気共鳴を利用した品質評価

核磁気共鳴(NMR:Nuclear Magnetic Resonance)による非破壊評価法は、主に分子構造の解析等の分析化学分野や医学分野で利用されている技術であるが、青果物の内部品質評価への適用も検討されている。

この手法は、特定の強い磁場の中で特定の周波数の振動を与えると、特有の環境の原子核が共鳴して信号を発することを利用したものである。核磁気共鳴による非破壊評価手法の代表に、生体内の水分子プロトンのNMR信号を画像化したNMR imaging(医学分野ではMRIという)がある⁶⁶⁾。このNMR imaging技術を利用して青果物の内部品質を評価する試みが行われ、温州ミカンやメロンの糖度や酸度の定量、スイカの空洞や糖度などの評価が可能であったとの報告がある⁶⁷⁾。しかし、装置が高価なことや運転経費がかかることから実用化には至っていない。

3) 静電容量を利用した品質評価

静電容量を利用した品質評価技術は、青果物の持つ電気的特性である静電容量から青果物の体積を求めて、その体積と質量から計測した密度で内部品質を評価するものである。

従来の果実密度を計測する手法は、水置換による方法で行われてきたが、対象物を水中に沈める必要があることや、連続計測が困難である等の問題があった。この技術では、対象物を水中に沈めることなく体積を求め

ることが可能であり、また、選別ライン等での連続計測も可能である。この静電容量から果実密度を求めて内部品質を評価する技術の実用化事例には、スイカの密度を求めて、内部空洞や内部障害の一つである「うるみ果」を評価する装置があり⁶⁸⁾、石川県のスイカ産地に導入されている。この静電容量を利用した品質評価技術には、メロンの密度計測への応用例もあるが、それ以外の青果物への適用例は見あたらない。

1.2.5 その他の方法による非破壊品質評価

医療や工業用に利用されている、軟X線透視画像による非破壊評価法が、青果物の内部品質の評価に試みられ、スイカの空洞検出に利用例がある⁶⁹⁾。この手法では、パレイショの空洞検出、温州ミカンの内部損傷⁷⁰⁾、成育中の低温が原因とされる内部障害の一つであるスアガリも検出可能である。

また、より鮮明に内部の構造等を評価する場合は、X線CTによる断層映像が有効である⁷¹⁾。しかし、X線CTによる内部品質評価技術は、技術的には利用可能であっても、X線使用に対する消費者等の拒否反応や装置が高価であること等から、青果物の品質評価への導入・普及には至っていない。この他に、メロンから発生する揮発性のガスを捉えて、熟度を評価する研究報告がある⁷²⁾、評価精度が実用レベルに達していないため、普及には至っていない。

1.2.6 非破壊品質評価技術の問題点

以上のように、非破壊での内部品質評価技術は、これまで困難であった糖度や内部の空洞などの評価・検出を可能にした。しかし、これらの非破壊品質評価は、要望されている品質評価の一部であり、また、対象となる青果物も比較的生産量の多い、従来から栽培されているミカン、リンゴ、モモ、スイカ、メロン、トマトなどに限られている。

今後は、熟度や空洞以外の内部障害などの多くの品質評価技術と、食生活のグローバル化や食の多様化等を反映し、市場において急速に需要が伸びている西洋ナシ、キウイフルーツ、パインアップルなどの青果物の

非破壊評価技術が求められている。特に、収穫後に品質が変化する追熟果実の熟度などは、食味評価を左右する大きな要因であるため、非破壊での評価が求められている。さらに、実用化されている内部品質の非破壊評価装置は大型かつ高価格のものが多く、一選別ライン当たりの設置単価が1億円前後ともいわれる大型の共同選別包装施設での利用が主流である⁷³⁾。そのため、個別の農家あるいは経営規模の小さな選別包装施設においても利用可能であり、小型・軽量・コンパクトな可搬型で、操作も簡便な非破壊品質評価装置の開発が望まれている。

1.3 研究の目的

本研究は、上述のような技術的・社会的背景から、比較的近年に普及した青果物を対象として、青果物の圧縮特性、振動特性、光学特性及び温度特性などの各種物理特性を基に、個別農家や経営規模の小さな選別包装施設での利用を可能とする、簡易かつ高精度な内部品質評価技術の確立と、同技術を利用した容易に移動可能な装置の開発を目的とした。

本研究で取り上げた具体的な個別テーマは、以下のとおりである。

1.3.1 圧縮特性に基づくキウイフルーツ等の軟らかさ・食べ頃評価技術の開発

青果物食材の多様化という社会情勢下、新たに導入された青果物であって、熟度の経日変化と共に果皮や果肉の組織が軟化する傾向にあるキウイフルーツ、マスクメロン、マンゴー等の青果物を対象として、力学特性の内の圧縮特性を利用した非破壊品質評価技術の確立と装置開発を行う。

本研究テーマでは、対象物に接触するものの、破壊に至らない弾性範囲内の圧縮変形量を捉え、果実硬度の低下(現象的には「軟らかさの進行」であるため、以下「軟らかさ」と表記)によって熟度を評価する技術を確認する。この技術を基本とし、圧縮力や変形量範囲等を任意に設定可能な汎用性のある「軟らかさ評価装置」を開発する。また、キウイフルーツを対象として軟らかさを基準に仕分けるキウイフルーツの軟らかさ選別装置を

開発する。さらに、小型軽量で携帯可能な軟らかさ判定器を開発する。

1.3.2 振動特性に基づく西洋ナシの追熟程度・食べ頃評価技術の開発

近年ポピュラーな食材となりつつあり、収穫後に追熟過程を要し、しかも過熟に到るのが早く「食べ頃」が追熟過程の一時期に限定される西洋ナシのラ・フランスを対象として、動的力学特性である振動特性を利用した非破壊品質評価技術の確立と評価装置開発を行う。

本研究テーマでは、対象物を軽打した時の打音や振動を捉えて、追熟行程を評価する手法を確立する。この手法を基本とし、従来熟度等の品質評価装置開発が行われていない、ラ・フランスの食べ頃を判定評価する装置を開発する。

1.3.3 光の透過特性に基づくパイナップルの熟度・内部障害評価技術の開発

国内では主に沖縄県で栽培され、近年消費が拡大し、未熟・適熟・過熟の程度や内部の罹病等障害の有無を、果皮色等の外観から判断することが困難なパイナップルを対象として、可視光の透過性を利用した非破壊品質評価技術の確立と装置開発を行う。

本研究テーマでは、対象物を透過した光を捉えて、熟度や内部障害を評価する技術を確認すると共に、収穫後のパイナップルを室内で評価する定置型の装置と、収穫前のパイナップルを圃場で評価可能な携帯型評価装置の2機種を開発する。

1.3.4 温度特性に基づく西洋ナシの食べ頃評価技術の開発

1.3.2のテーマと同様に、追熟程度の判定が表皮色等の外観や触感では困難なラ・フランスを対象として、温度特性を利用した非破壊品質評価技術の確立と評価ラベルの開発を行う。

本研究テーマでは、対象物の置かれた環境の積算温度により、追熟の程度を評価する手法を確立する。この手法を基本とし、店頭や家庭で消費者がラ・フランスの食べ頃を判断できる判定ラベルを開発する。

第2章 圧縮特性に基づくキウイフルーツ等の軟らかさ・食べ頃評価技術の開発

2.1 緒言

青果物の品質には、外観や味の良し悪しの他に、重要な要素として果肉等の硬さがある。この硬さを評価する方法には、Mugnness-Taylor Fruit Pressure Testerに代表される果実硬度計や、引張・圧縮試験装置によってコーンやプランジャ等を対象物に貫入させた時の最大力で評価する手法がある⁷⁴⁾⁷⁵⁾。

果実硬度計は対象物にプランジャ等を圧縮貫入させ、その時の最大力で硬さを評価する手法で、果実に測定時の貫入痕を残すものの、簡易であり取扱いも容易なことから広く利用されている。しかし、測定時の支持方法や圧縮貫入速度の違いによって測定値も変化するため、硬さから果実の食べ頃を評価するには適していない。また、引張・圧縮試験装置による評価では、圧縮貫入力を荷重変換器などで高精度に捉えることができ、プランジャ等の圧縮貫入速度の制御も可能で、高精度な硬さ評価が可能であるが、機器の操作や得られたデータ解析に専門的な知識が要求され、手軽に利用するにはやや難がある。

さらに、これら何れの方法も破壊測定であるため、一個体の経時的な評価や全数検査は困難であり、抽出したサンプルのデータから他の果実の硬さを推測せざるを得ないのが実状である。青果物の場合、個体差が大きく抽出したサンプルによって代表できないため、簡易な硬さ非破壊評価装置の開発が、生産者や試験研究機関などの各方面から強く要望されている。このような背景から、非破壊による硬さ評価技術の研究は各方面で行われているが、評価方法の確立や装置の実用化には至っていない。

著者らは、熟度の経時進行とともに果皮・果肉の組織が軟化する傾向にあるキウイフルーツ、マスクメロン、マンゴー等の青果物を対象として、非破壊で果実の硬さ(多くの果物が果肉が軟らかくなった状態が「食べ頃」であり適熟であることから以下、開発した評価機械名を含め「軟らかさ」と記述する)を評価する技術及び装置の開発を進めた。まず、対象物に接触はするが破壊に至

らない弾性変形を利用した軟らかさ評価に係わる基礎試験を実施し、この評価手法が従来の果実硬度計による破壊測定と同等の評価が可能なこと、さらに貯蔵中の品質管理にも利用できることを確認した。次に、この基礎試験の結果を基に、青果物に与える最大圧縮力、最大変形量、圧縮速度などの測定条件を変えることができる汎用型の軟らかさ評価装置、キウイフルーツの軟らかさ選別が可能で軟らかさ選別装置、貯蔵中のキウイフルーツの軟らかさをチェックするための小型軽量で携帯可能な軟らかさ判定器の3タイプの装置⁷⁶⁾⁷⁷⁾⁷⁸⁾⁷⁹⁾の開発を行った。以下に、これらの結果について述べる。

2.2 圧縮変形量による軟らかさ評価

圧縮下において一般に凸体と平板の間の接触圧、弾性率に関しては、Hertzの接触理論があり、微小な弾性変形領域(凸体と平板)においては、応力式が成立する(式2-1, 図2-1)⁸⁰⁾。しかしながら、Hertzの接触理論は、均質な物体同士の接触現象について適用される理論であるため、果皮・果肉の複合系と鋼製プランジャの接触系には適用が困難である。

$$S_{\max} = 3/2 [F / (\pi ab)] \quad (\text{式2-1})$$

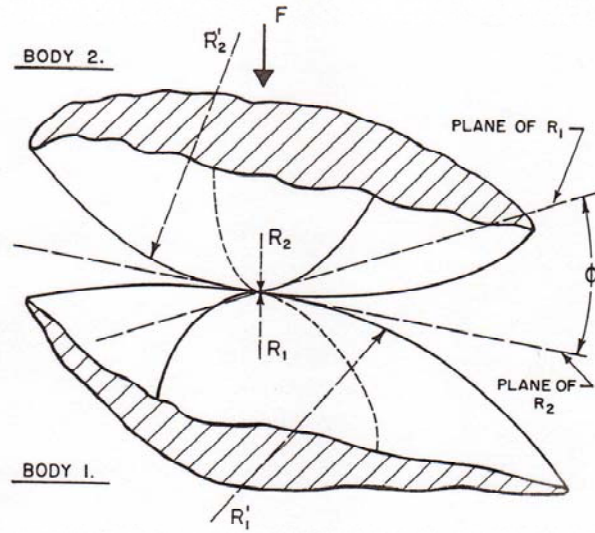
ここで、 S_{\max} は最大接触応力、 F は圧縮力、 a と b は楕円状の接触面積の主と従である。この a 、 b は図2-1の R_1 、 R_2 、 R'_1 、 R'_2 を含む式で求められる。

また、ASAE (American Society of Agricultural Engineers)は、農産物など食品についての圧縮試験規格を提唱している⁸¹⁾。対象物に加えた圧縮力と変形量の関係については、横軸に変形量、縦軸に圧縮力をとると図2-2に示す、力-変位曲線 (Force-deformation curve)が得られる。この曲線において、変位量が増加しても力が減少するか、あるいは変わらない点を生物体降伏点(Bioyield point)、対象物が破壊して力が連続的に減少する点を破壊点(Rupture point)、曲線が最初上向きに凹で、次に下向きに凹に変わる点を、たわみ点

(Point of inflection), たわみ点での変位に対する力の比を硬さ(Stiffness)と定義している。また, Hertzの接触理論を基礎として, ① 2平板間の圧縮, ② 単一平板による圧縮, ③ 凸面体への圧子による圧縮, ④ 平面への圧子による圧縮など, 様々な条件下における見かけの弾性係数(Apparent modulus of elasticity), 最

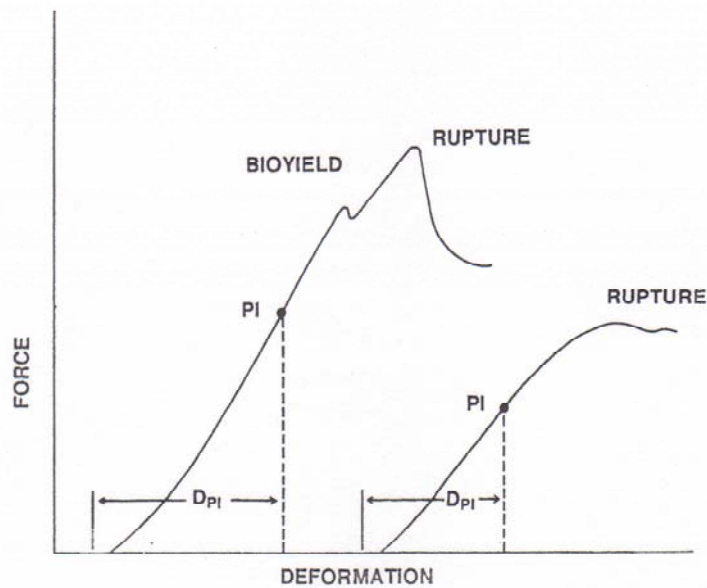
大接触応力(Maximum contact stress)などが定義されている。

しかし, 青果物などの生物材料に特有な異方性, ポアソン比を始めとした各種物理値の未整備等により, これらの式を用いた正確な弾性率, 最大接触応力等の力学的特性値の算出は困難である。



R_1 and R_1' are minimum and maximum radii of curvature for body1, R_2 and R_2' are minimum and maximum radii of curvature for body2.

図 2-1 Hertzの接触理論図 (Mohsenin⁸⁰⁾)



PI: Point of inflection, DPI: Deformation at point of inflection

図 2-2 食品の力-変位曲線 (ASAE STANDARDS 2004⁸¹⁾)

2.2.1 軟らかさ評価に向けた基礎試験

1) 軟らかさ評価の概念

青果物の弾性範囲内で圧縮力や変形量の関係を求めるには、「破壊に至らない圧縮力を規定し、その規定値以上の圧縮力を与えない」または、「破壊に至らない変形量を規定し、その規定値以上の変形をさせない」の2通りがある。

本研究では、対象物に与える圧縮力にバネや錘を利用することで装置化が容易と判断したことから、規定圧縮力を加えた時の変形量で評価する方法を主に用いた。具体的には、図2-3の圧縮力と変形量のグラフに示したように、対象物を傷つけない弾性範囲内と見なされる圧縮力の範囲において、圧子が対象物に接触し、圧縮力と変形量のグラフが直線的になり始める圧縮力 F_a と、対象物に損傷を与えない圧縮力 F_b を予め設定($F_b < F_a$, $F_a > 0$)し、 F_a によって生じた変形量 D_a と F_b により生じた変形量 D_b から、 F_a から F_b までに生じた変形量($D_b - D_a$)で軟らかさを評価するものとした。この変形量は、一定速度で下降するプランジャが設定された圧縮力 F_a から F_b に至るまでの時間から求めた。ここで求めた変形量は、選果場などの生産現場でも利用し易いように、簡潔な整数値に置き換えた。

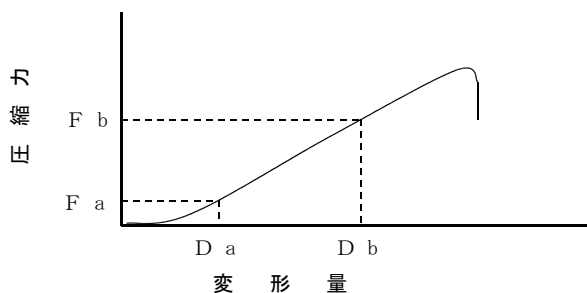


図 2-3 青果物における圧縮力と変形量の関係

この軟らかさを評価する数値は、変形量 = 圧縮速度 × 圧縮時間の関係があることより、 F_a から F_b の圧縮時間から求めた。この数値を軟らかさの程度を表現する「HITカウンタ値, HIT-COUNTER Value (HIT C.V.)」と定義した⁸²⁾。ここでHITは、Hardness(硬さ)、Immaturity(未熟度)、Texture(質感)の頭文字を意味する⁸³⁾。

$$\text{HIT C.V.} = K \times V \times t \quad (\text{式2-2})$$

K は定数、 V は圧縮速度、 t は圧縮時間を示す。

HITカウンタ値は、数値が小さいほど対象物の果皮・果肉が硬く、数値が大きいほど軟らかいことを表している(表 2-1)。このHITカウンタ値は圧縮時間を基礎としているため、圧縮速度が異なると同一変形量であっても数値が変わる。例えば、変形量1.47 mmに対してHITカウンタ値を100とした場合、圧縮速度を1/2にすると変形量1.47 mmに対してHITカウンタ値は200となる。

このように、圧縮速度を変えることにより、評価する数値を0~100から0~200等、測定目的に合わせて変更することが可能であり、圧縮速度以外にもプランジャの直径、 F_a 、 F_b の圧縮力とその範囲等の測定条件によって、評価数値を変えることが可能である。なおこの方法は、測定目的に適した数値評価が可能な反面、測定結果には圧縮速度、最大圧縮力、プランジャ直径などの測定条件を明記する必要がある。

表 2-1 HITカウンタ値と果実硬度、熟度の関係

HITカウンタ値	0	→		100
果皮・果肉	硬い	中程度		軟らかい
熟度	未熟	適熟		過熟

2) 軟らかさ評価の基礎試験装置

弾性範囲内の変形量による軟らかさの非破壊評価の検証と、その測定条件や問題点を明確にするため基礎試験を実施した。また、単に力学的な軟らかさ評価だけでなく、熟度、糖度・酸度等の内部品質、貯蔵中の品質評価、あるいは野菜の鮮度評価などへの応用の可能性を明らかにする試験も合わせて実施した。

軟らかさ評価に係わる基礎試験には、図2-4に示したような基礎試験装置を用いた。この基礎試験装置は、パーソナルコンピュータ(SHARP Z80B)と一軸の引張・圧縮試験機(飯尾電機(株)RHEODYNACORDER RD R-1500)からなり、一定速度で移動するプランジャにより対象青果物を圧縮し、予め設定した圧縮力に対する変形量が測定できる構成とした。

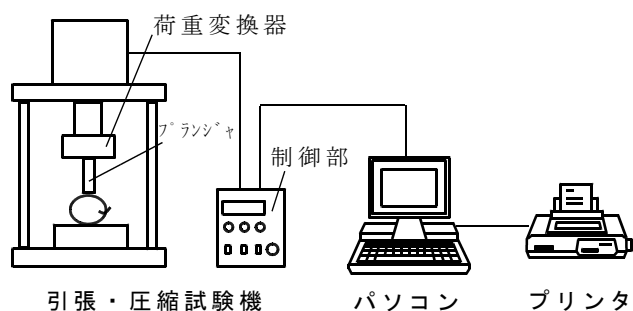


図 2-4 軟らかさ評価基礎試験装置

圧縮するプランジャは、対象物に合わせた先端形状・直径のものに交換可能で、直径3, 8, 12mmの円柱状を用いた。ここで、直径8mmの円柱状プランジャは、従来の果実硬度計プランジャと同等とした。圧縮速度は、50, 100, 150, 200, 300, 600mm/minの6段階が選択可能であり、圧縮力は荷重変換器(容量:196N)より得られた出力電圧を、A/D変換ボード(自作)を介してパーソナルコンピュータに取り込んだ。圧縮による変形量を表すHITカウンタ値は、設定された圧縮力 F_0 から F_n に至るまでの圧縮時間から算出した。また、対象物に損傷を与えない圧縮力 F_n に達した時点で、プランジャ上昇信号を圧縮試験機に出力し、プランジャを直ちに上昇させ、対象物には設定された F_n 以上の圧縮力を与えないこととした。得られた圧縮力と変形量の関係はディスプレイに表示すると共に、プリンタに出力した。

3) 試験方法

a) 供試作物

弾性範囲内の変形量による軟らかさの非破壊評価の基礎試験には、追熟の変化が表皮色等の外観に見られないキウイフルーツやマスクメロンを用いた。供試したキウイフルーツは、愛媛県内の産地から直接入手し、果実の軟らかさ(追熟程度)を変えるために、温度を5℃, 13℃, 20℃の3区分に分けて追熟させた。マスクメロンは、香川県内の温室栽培マスクメロン90個を直接農家から入手した。サンプルは、入手した時点(収穫後4日)での軟らかさを基礎試験装置により、箱毎に全数測定し、貯蔵試験前の果実の軟らかさの状態を把握した。野菜の鮮度をHITカウンタ値で評価する基礎試験に

は、ダイコン、ニンジン、キュウリ、ナスを用いた。供試した野菜は、生研センター附属農場で栽培されたものを用いた。これらの野菜は、収穫した当日から室温(18~23℃)で保存した。

b) 測定方法

キウイフルーツの軟らかさ評価については、基礎試験装置で求めたHITカウンタ値と従来の果実硬度計で測定した値の比較を行った。また、キウイフルーツは追熟が進むにつれて軟らかくなり、酸味が低下し甘さが増加することは経験的に認識されていることから、HITカウンタ値と糖度や酸度の内部品質との関係について調査し、内部品質の非破壊評価について検討した。HITカウンタ値の測定は、表2-2の条件で行い、1果実の赤道部4カ所の平均値として求めた。また、従来の果実硬度測定には、果肉の貫入抵抗力で評価する果実硬度計(富士平工業(株)FT011型)を用いた。酸度測定には、クエン酸含量を水酸化ナトリウムで中和滴定して求める果汁酸度計(アタゴ社FS-2型)を用いた。糖度測定には、果汁内の可溶性固形物による屈折率から糖度を求める、屈折糖度計(アタゴ社N-20型)を用いた。

マスクメロンも、キウイフルーツと同様に追熟処理を必要とする。通常、果実の花落ち部を押して、軟らかさの程度から経験的に追熟の程度を判断しているが、数値での評価は行われていない。そこで、マスクメロンの軟らかさをHITカウンタ値で捉えて追熟程度を評価する可能性を検討した。また、マスクメロンの各種貯蔵条件における品質保持状態を、HITカウンタ値で評価することを試みた。HITカウンタ値の測定は、表2-2の条件で行い、測定部位は花落ち部の中心とした。貯蔵試験には、ほぼ同程度の軟らかさのものを用い、試験区は、A区:室温15~18℃, B区:12℃, 差圧減圧 7~20kPa(12時間のインターバル), C区:12℃差圧減圧13~40kPa(同上), D区:6℃差圧減圧13~40kPa(同上)の4区を設定して、10日後の軟らかさを測定すると共に、食味試験を実施した。

野菜の鮮度を数値で評価する方法としては、質量が減少する割合で捉えるのが一般的であるが、この方法では基準となる初期質量(収穫直後)が必要であり、初期質量が明確でないものに対しては鮮度評価が困難で

ある。これまで、鮮度を客観的に評価する試みはあるが、鮮度評価方法として確立されていない。そこで、収穫された野菜のHITカウンタ値を測定し、得られたデータでの鮮度評価の可能性を検討した。1日毎に、減量とHITカウンタ値の測定を行い、両者の関係を求めた。測

定は、表 2-2の条件で行った。なお、この測定条件下における設定HITカウンタ値は、値が100の時の変形量は1.47mmであり、1 HITカウンタ値の変形量は、14.7 μ mである。

表 2-2 軟らかさ基礎試験での測定条件

対象青果物	プランジヤ直径 (mm)	圧縮速度 (mm/min)	圧縮力Fa (N)	圧縮力Fb (N)
キウイフルーツ	8	50	1.0	3.9
マスクメロン	12	50	1.0	3.9

4) 試験結果

a) キウイフルーツ

基礎試験装置によるキウイフルーツの軟らかさ測定では、従来の果実硬度計による破壊測定値と高い相関があり、非破壊での評価が可能であった(図2-5)。しかし、HITカウンタ値が100近くになると一部に圧痕がみられ、非破壊評価が可能な変形量は1mm程度までであった。また、1個につき4箇所測定した結果、軟らかい果実ほど測定箇所による差が大きかった。

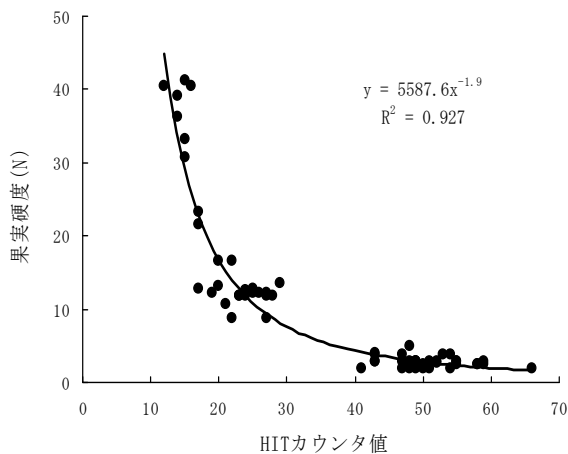


図 2-5 キウイフルーツのHITカウンタ値と果実硬度

このことは果実の部位によって均一に追熟していないためと考えられた。さらに、HITカウンタ値と酸度との関係には高い相関があり、内部品質評価の実用的な指標として利用できる可能性を得た(図2-6)。しかし、糖度とHITカウンタ値には、明確な関係は認められなかつ

た。追熟程度の評価では、果肉が硬く、かつ酸度も高い未熟な果実はHITカウンタ値が10~20であり、食べ頃の果実はHITカウンタ値で50程度と判断された。

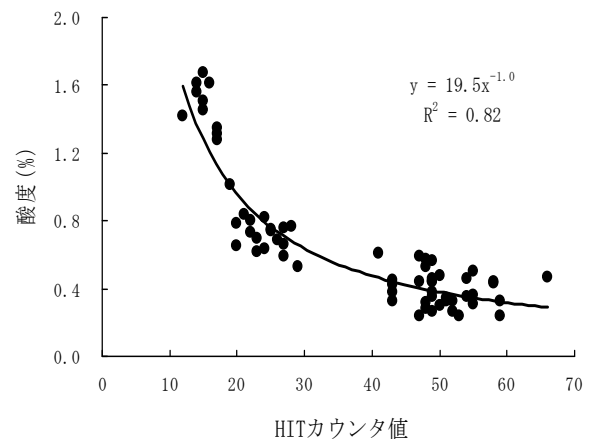


図 2-6 キウイフルーツのHITカウンタ値と酸度

b) マスクメロン

マスクメロンの軟らかさ測定試験では、2mm程度まで圧縮変形させても破壊には至らず、非破壊的に評価することが可能であった。追熟程度の評価は、HITカウンタ値が100を超えるものは果肉が崩れるような過熟状態であり、食べごろは50程度と考えられた。収穫後4日目の箱毎の全数測定結果は、HITカウンタ値で18から75と広い範囲にわたっていた(図2-7)。

マスクメロンは計画的に栽培・収穫されているにもかかわらずこのような結果となったことは、収穫時点でもある程度果実の軟らかさに差があったのではないかと推定され、出荷等での品質管理にはこのような装置が有

効と判断された。また、貯蔵中の品質指標の一つとして HITカウンタ値を測定した結果、貯蔵条件の違いによ

て数値に差が認められた(図2-8)。

4試験区の中で、追熟を最も抑制できた試験区は、

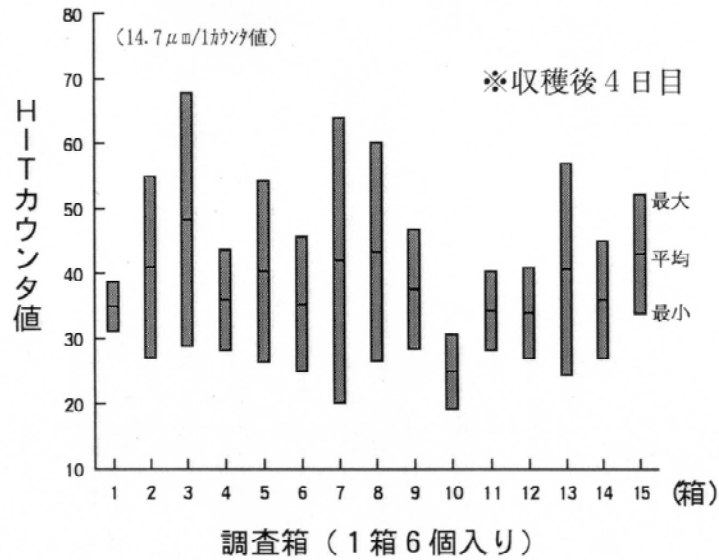


図 2-7 メロンの箱別軟らかさ比較

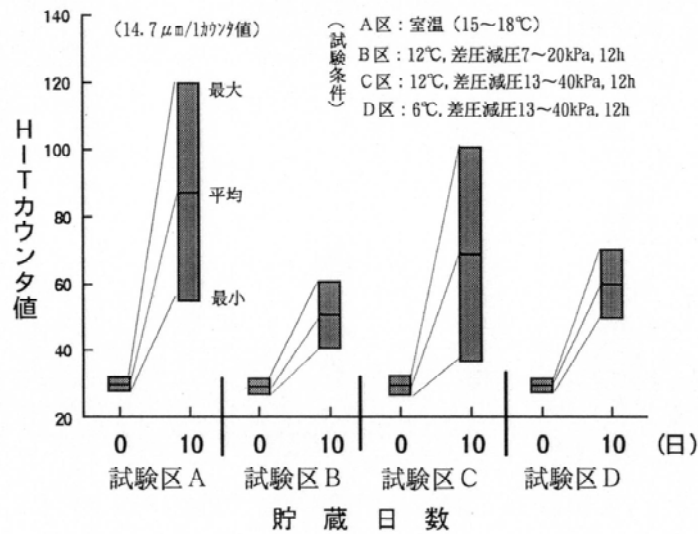


図 2-8 メロンの貯蔵試験区別軟らかさ比較(貯蔵10日)

HITカウンタ値が最も小さいB区と考えられた。このことから、HITカウンタ値が貯蔵中の品質評価指標として利用可能であることを確認した。このようにサンプルを繰り返し全数検査できることから、貯蔵試験等においての最適条件を見出す上で、基礎試験装置の利用は有効と考えられた。今回の結果では追熟度の評価が可能であったが、メロンには多くの品種があり、特性もそれぞれ

異なっているため、メロン一般の追熟度を論ずるにはさらにデータの蓄積が必要である。

c) キュウリ，ナス

果菜類の軟らかさ測定の結果は、減量が進むにつれてHITカウンタ値も増加する傾向があり、収穫後は徐々に軟化することが認められた。しかし、試験の結果から同一材料であっても測定部位によって差が認められた

ため、測定部位を同一とする必要があった。また、一部圧痕が見られるなど、今回試験した範囲内においては非破壊による鮮度評価には難があった。

d) 結論

以上より、弾性変形範囲内の圧縮変形量による軟らかさの非破壊評価は、キウイフルーツやマスクメロンにおいて可能なことが検証できた。また、この手法による軟らかさ評価は、食味に限られた軟らかさ評価だけでなく、貯蔵や選果などの品質管理、品質保持や追熟試験等まで、幅広い利用が可能であることを認めた。

これらの結果を踏まえ、取扱いや操作が簡単で移動可能、また、最大圧縮力や最大変形量を目的に応じて設定することで、規定の圧縮力での変形量評価と、規定量変形に要する圧縮力で評価する両手法が可能で、従来の破壊測定も可能な「汎用型軟らかさ評価装置」と、軟らかさ別の選果が可能な「軟らかさ選別装置」、貯蔵中のキウイフルーツの軟らかさを貯蔵庫内で検査可能な「携帯型軟らかさ判定器」の開発を行うこととした。

2.2.2 汎用型軟らかさ評価装置の開発

基礎試験装置は、圧縮試験機、パーソナルコンピュータ、プリンタを組み合わせため、測定場所を容易に移動できないことや、利用に際して圧縮試験機やパーソナルコンピュータの専門的知識を必要とするなど、生産現場等での使用は難しい。そこで、基礎試験装置と同様な機能を有し、移動が容易で、専門的な知識を要することなく利用できる、取り扱いや操作が簡便な「汎用型軟らかさ評価装置」の開発を行った。

1) 汎用型軟らかさ評価装置の概要

汎用型軟らかさ評価装置は、移動性を良くするため単体の測定装置とした。操作性については、一度設定した各種条件を、次回の変更時まで保持し、同一条件での繰り返し測定を容易にした。軟らかさの評価方法は、設定された圧縮力による変形量で評価する方法と、設定された変形量に対する必要圧縮力で評価する方法の両者から選択可能とした。さらに、従来の破壊測定による評価、破壊時の最大圧縮力の測定も可能とした。測定結果は、液晶表示部に圧縮力、変形量、HITカウ

ンタ値を表示すると共にプリンタに出力する構成とした。また、計測時の圧縮力を電圧で出力させ、圧縮力の経時変化をレコーダ等に記録できる仕様とした。開発した装置の全景を図2-9に、主な仕様を表2-3に示す。

以上の他に測定に関係する操作を、①:測定、②:条件設定、③:圧縮力校正、④:動作設定の4つのモードに分け、操作の簡略化を図った。電源を投入するとモードの選択メニューになり、校正や条件設定は必要な時だけ行い、それ以外は以前に設定した条件で直ちに測定できる構成とした。また、測定開始スイッチは足踏式も設けて、繰り返し測定時の操作性を向上させた。



図 2-9 汎用型軟らかさ評価装置(HITカウンター)

表 2-3 汎用型軟らかさ評価装置の主要諸元

1. 電源	AC100V (50/60Hz)
2. 寸法、質量	180 (W) × 455 (H) × 250 (D) mm, 25.6kg
3. 測定項目 (設定する条件で1), 2) を選択する)	1) 設定圧縮力に対する変位量 (HITカウンタ値) 2) 設定変位量に対する最大圧縮力
4. 条件設定範囲	1) 圧縮力: 0~3,000N 2) 変位量: 0~100.0mm 3) プランジャ圧縮速度: 10~500mm/min 20段階 4) プランジャ: 3, 6, 8, 12mm φ (交換可能)
5. 出力	1) プリンタ: 各種測定条件、測定結果 2) 圧縮力の電圧出力: DC 0~5V

2) 汎用型軟らかさ評価装置の構成

開発した汎用型軟らかさ評価装置は、単体の装置とするため、図2-10に示したようにボードコンピュータ(CPU Z80)を中心に機器構成を行い、圧縮力を荷重変換器で捉え、プランジヤはステッピングモータにより一定速度での圧縮を可能とした。軟らかさの測定結果は、プランジヤの移動時間(1ms単位)から求めたHITカウンタ値とともに、その時の変形量も併せて求めて示した。プランジヤは、対象物に接する部分をネジで取り外せるようにし、目的に応じて仕様変更を可能とした。

汎用型軟らかさ評価装置による軟らかさ評価の流れを図2-11に示す。まず、測定に必要な条件としては、測定開始圧縮力 F_a 、測定終了圧縮力 F_b 、測定時の圧縮速度 V_s 、測定を終了させる限界変位量 L_d と、プランジヤを

対象物近くまで高速で下降させる高速下降距離 D_m 、その時の移動速度 V_h 、高速下降距離に達してから対象にプランジヤが接触するまでの中速移動速度 V_m がある。

これらの条件を対象品目や評価目的に合わせて設定した後、測定モードにして、測定可能な状態となる。測定モードで測定開始のスイッチを押すと、プランジヤが設定された高速下降距離 D_m 下降した後、中速に減速し、プランジヤが対象物に接して圧縮力を感知($F > 0$)した時点で、測定のための圧縮速度(V_s)で下降する。次に、圧縮力が F_a になった時点からの変形量を計測し、圧縮力が F_b になるか、あるいは変形量が限界変位量の L_d に達した時点で、変形量と圧縮力の計測を終了し、プランジヤは下降を中止して上昇する。ここで、圧縮力 F_b と限界変位量 L_d の設定値を、限界変位量 L_d に到達

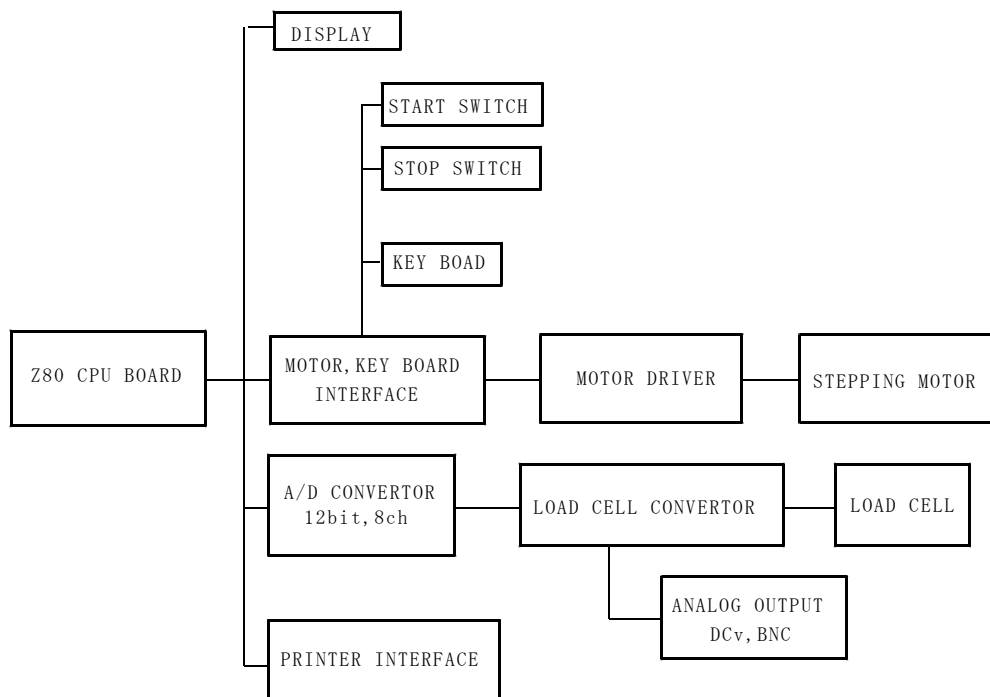


図 2-10 汎用型軟らかさ評価装置の機器構成

る前に最大圧縮力 F_b に達するように条件を設定した場合は、軟らかさを評価する指標は F_a から F_b までの変形量となる。この条件とは逆に、変形量が先に限界変位量 L_d に達するようにした場合は、設定限界変位量 L_d に対する要した圧縮力が軟らかさの指標となる。また、圧縮力 F_b と限界変位量 L_d の設定値を、破壊時の圧縮力と

変形量より大きく設定した場合には、本機の機能構成として最大圧縮力を保持する機能を付加したことから、供試サンプルの破壊に必要な最大圧縮力も、求めることができる。

以上のようにして求められた測定結果は、液晶表示部に表示されると共に、設定条件に応じてプリンタに出

力される(図2-12)。

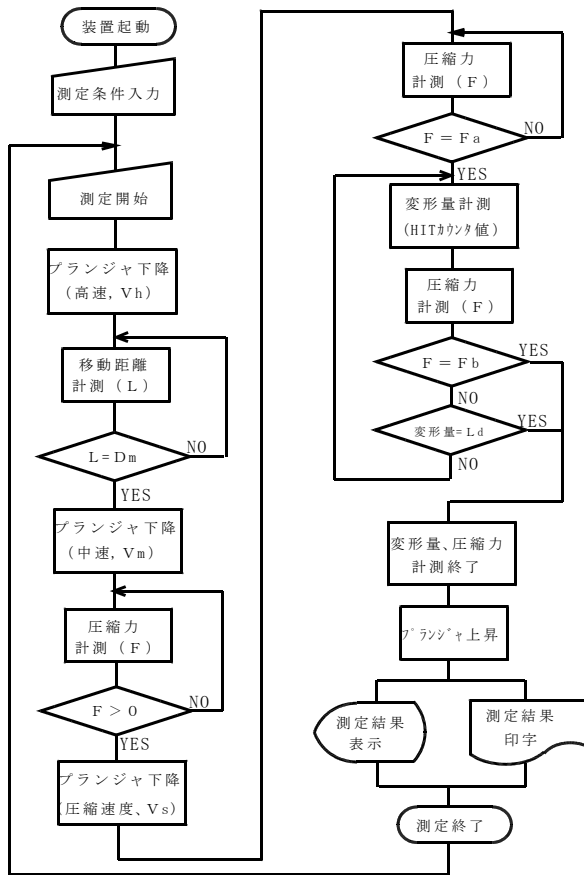


図 2-11 軟らかさ評価のフローチャート

```

*** HIT COUNTER ***
DATE          : 1994.3.10
Plunger-Diameter [mm]: 8
Start-Pressure  [g]: 100
Stop-Pressure   [g]: 400
Limit-Depth    [mm]: 10
Speed          [mm/min]: 50
1 count       [mm]: 0.018
    
```

No.	Count	Depth[mm]	MAX-Pres.[g]
1	26	0.48	400
2	225	4.18	400
3	509	9.44	400

```

*** HIT COUNTER ***
DATE          : 1994.3.10
Plunger-Diameter [mm]: 8
Start-Pressure  [g]: 100
Stop-Pressure   [g]: 2000
Limit-Depth    [mm]: 1
Speed          [mm/min]: 50
1 count       [mm]: 0.018
    
```

No.	Count	Depth[mm]	MAX-Pres.[g]
1	54	1.00	564
2	54	1.00	158
3	53	0.99	128

図 2-12 軟らかさ評価測定結果の印刷例

3) 汎用型軟らかさ評価装置の実用性検証

汎用型軟らかさ評価装置は、開発に大きな期待があったこともあり、試作機の製作後、著者らの性能試験に並行して現地での実用性の検証が行われた。

以下、青果物の品質評価に関する試験研究機関において行われた試験結果の文献報告を中心に、そこで示された汎用型軟らかさ評価装置の利用条件等を、一括して述べる。

a) 果樹試験場での試験

安芸津支場の薬師寺⁸⁴⁾は、汎用型軟らかさ評価装置での非破壊評価の可能性について、キウイフルーツを用いて試験した。予め手触りで硬い果実、中程度の硬さの果実、かなり軟化した果実を選び、各果実の赤道部の軟らかさを測定した。測定条件については①圧縮力、②圧縮速度、③限界変位量の設定を変えて適正条件を検討した。試験の結果、キウイフルーツの軟らかさを非破壊にて評価可能であり、測定条件はプランジャ直径8mm、圧縮速度 70mm/min、圧縮力 $F_a=0.5N$ 、 $F_b=7.8N$ が適正と報告している。ここで、 F_b 値がやや大きく設定されているのは、硬い果実の変形量を大きくして評価するためとしている。

b) 愛知県農業総合試験場での試験

浅見ら⁸⁵⁾は、キウイフルーツの軟らかさ評価について、汎用型軟らかさ評価装置による測定結果と従来の破壊による測定結果を比較した。従来の方法は、薄く剥皮した果実赤道部に直径5mmの円筒型針を100cm/minで貫入させた時の最大圧縮力で評価した。汎用型軟らかさ評価装置の測定条件をプランジャ直径 8mm、圧縮力 $F_a=1.0N$ 、 $F_b=3.9N$ 、圧縮速度 50mm/min として試験を実施した結果、両者には高い相関($r=-0.84$)があり、汎用型軟らかさ評価装置での非破壊評価が可能としている。

c) 岐阜県農業総合研究センターでの試験

松村ら⁸⁶⁾は、カキの硬さ評価について、汎用型軟らかさ評価装置と従来の破壊測定法でプランジャを貫入させた時の抵抗値の比較を行った。汎用型軟らかさ評価装置の測定条件をプランジャ直径8mm、圧縮力 $F_a=2.0N$ 、 $F_b=7.8N$ 、圧縮速度50mm/minとして試験を実施した結果、両者には高い相関($r=-0.87$)が見られ、非破

壊評価が可能であったとしている。

d) 沖縄県農業試験場での試験

名護支場の安富ら⁸⁷⁾は、マンゴーの収穫適期や追熟判定に汎用型軟らかさ評価装置を利用した。測定条件をプランジャ直径8mm、圧縮力 $F_1=1.0\text{N}$ 、 $F_2=5.9\text{N}$ 、圧縮速度を25mm/minとして実施した結果、マンゴーの追熟判定が可能と報告している。また、汎用型軟らかさ評価装置のデータと糖酸比の間に相関が認められ、追熟システムへの利用の可能性を示唆している。

2.2.3 軟らかさ選別装置の開発

汎用型軟らかさ評価装置は、対象とする青果物に見合った測定条件を任意に設定することが可能であり、研究機関などでの利用には適しているが、1個ずつの処理となるため、選別作業での全数評価にはやや難がある。特に、共同選果場での選別作業では、一度に大量の処理能力が要求されるため、汎用型軟らかさ評価装置の利用は適さない。そこで、対象物に一定の圧縮力を与えた時の変形量の大小で評価する手法を用いた、キウイフルーツの軟らかさ選別装置を開発した。

開発にあたって、選別装置に求められる処理能力や選別精度を把握するため、愛媛県内のキウイフルーツの産地の実態を調査した。調査の結果、選別時に箱詰めされた中に追熟した軟化果が混入すると、軟化果から発生するエチレンにより他の果実まで追熟が促進され、日持ちが悪くなるため、これらの除去が要望されていた。また、現状では軟らかさの全数選別が不可能なため、選果時に人手により腐敗や軟化果を除去していることが明らかになった。なお、選別装置に要求される処理量は毎時1万個であった。また、キウイフルーツの選別すべき軟らかさの程度については、産地の評価員により軟らかさ別に分けられたキウイフルーツを、汎用型軟らかさ評価装置で測定し分類した。分類は、A:硬くて長期流通に適している、B:やや軟らかい、C:軟らかいため市場流通に不適の3ランクであり、特にCは軟化果に該当するものであった。

1) 軟らかさ選別装置の概要

キウイフルーツの軟らかさ選別装置は、キウイフルー

ツの選果場の実態に合わせ、判定は3段階、能率は1秒間に3個の判定が得られる仕様とした⁸⁸⁾。開発した選別装置の構成は、供給部、搬送ローラコンベヤ、変形量検出部、圧縮エアノズル、制御部からなる(図2-13)。装置全体の寸法は、全長210cm、全高150cm、全幅70cmである。配果用に要するコンプレッサは、約0.4kWである。電源は、AC100V、8A程度を要する。搬送部には実際の選果施設で利用されているつづみ型のローラを用い、搬送速度は可変速モータによって任意に設定可能とした。軟らかさの検出部については変形量検出装置をコンベヤ上に2セット設置し(図2-14)、検出区間で対象物を反転させながら、対象物の異なる部位2カ所のデータを測定する構成とした。

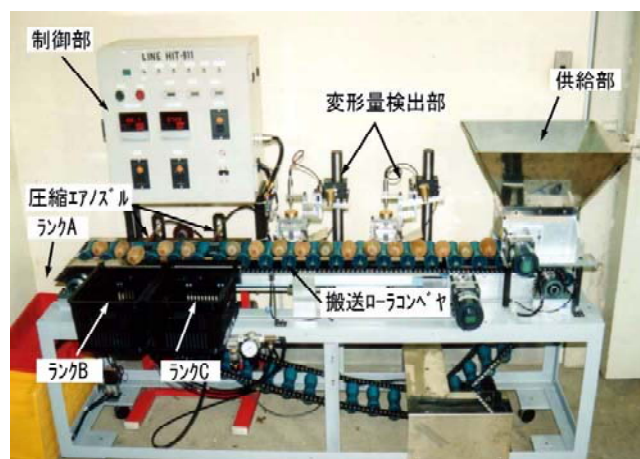


図 2-13 キウイフルーツの軟らかさ選別装置

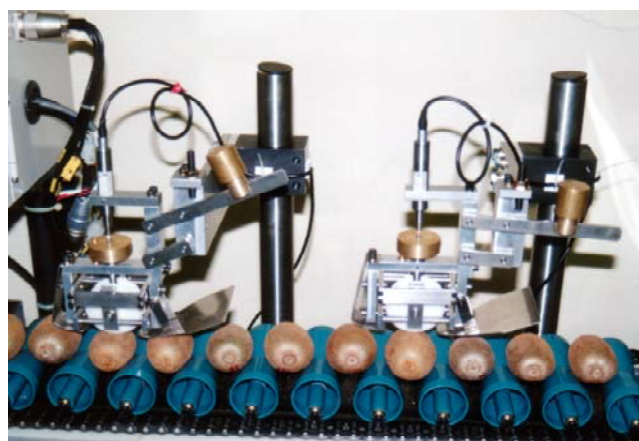


図 2-14 変形量検出部

軟らかさを3段階に分ける基準は任意に設定可能とし、測定された2つのデータのいずれか軟らかい方を判

定の指標とした。軟らかさ別に判定された対象物のコンベヤからの配果には、圧縮空気を利用した(図2-15)。

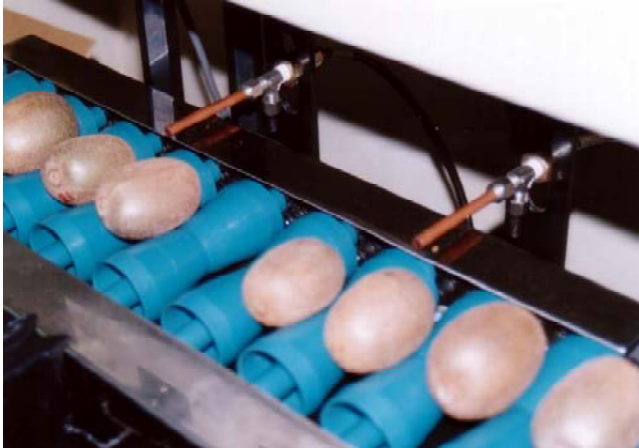


図 2-15 圧縮空気の作用で果実を選別配果

2) 軟らかさ選別装置の構成

供給部には、ある数量まとめて投入されたキウイフルーツを1個ずつ搬送ローラコンベヤに供給するために、繰出用のローラを設けた。搬送ローラコンベヤには、キウイフルーツを長手方向に向けて1個ずつ搬送するために、つぶみ状のローラを用い、そのローラを回転させることで向きを揃えた。変形量検出部⁸⁹⁾⁹⁰⁾(図2-16)は、移動中のキウイフルーツに②の重錘により一定圧縮力が③の測定車輪を介して加えられ、この圧縮力によって生じた⑪の変形量を①の変位センサによって計測する構成である。変形量は2個の基準車輪④と測定車輪で決定され、対象物が移動中に各車輪を押し上げて計測

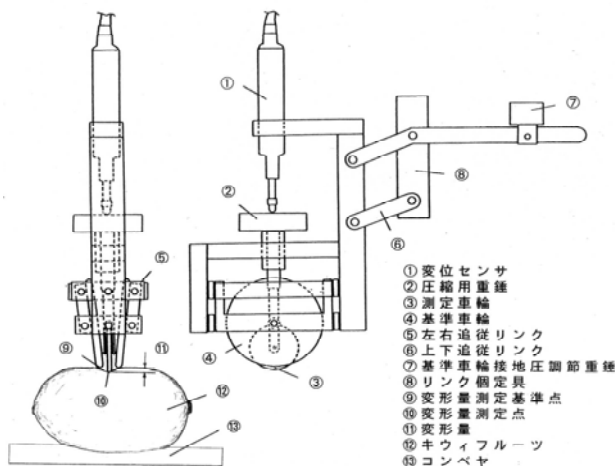


図 2-16 変形量検出部の概要

された最小値を、その対象物の変形量とした。対象物の大きさの違いやコンベヤの振動等に各々の車輪が追従するように、⑥の上下追従リンクを設けた。また、対象物の測定面が常に水平とはならないため、⑤の左右追従リンクによって基準点の補正機能を持たせた。この左右追従リンクにより、斜めになった対象物の計測を可能にした(図2-17,18)。以上のように、変形量検出装置では、移動中の対象物に一定の圧縮力を与え、その時の変形量を計測可能とした。搬送ローラコンベヤで移動しているキウイフルーツは、軟らかさの程度がランクB、ランクCと評価されたものは、それぞれの圧縮空気ノズルからの吹きつけで落下させ選別・配果する構造とした。

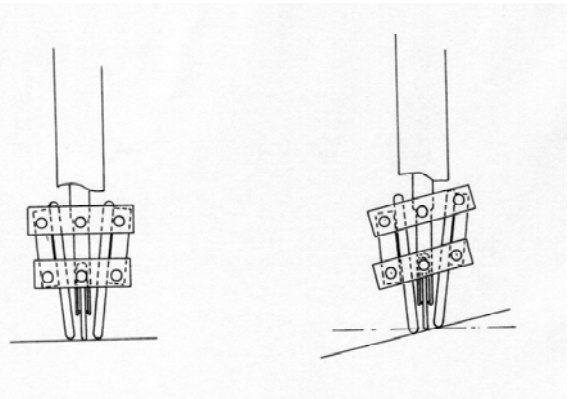


図 2-17 左右追従リンク機構

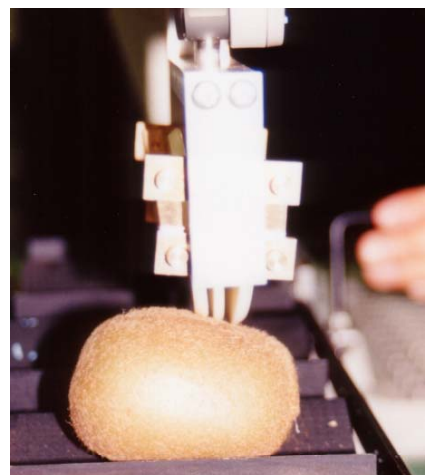


図 2-18 左右追従リンク

3) 軟らかさ選別装置の実用性検証

a) 基礎試験装置での試験

変形量検出部の機能確認のために、対象物を一定速度で移動できるコンベヤ部と、検出結果の表示部か

らなる試験装置を試作し(図2-19), 測定性能を確認する試験を実施した。供試したサンプル(品種:ヘイワード)は愛媛青果連から直接入手し, 軟らかさの程度を変えるため温度の異なる条件で追熟させた。コンベヤの移動速度は0.1m/s と0.2m/s に設定し, それぞれの速度において移動中のキウイフルーツの軟らかさを計測し, 従来の貫入式果実硬度計値と比較した。

試験の結果, 軟らかさの異なるキウイフルーツの変形量と, 果実硬度計による測定結果との間には, 高い相関が得られたが, 硬い果実で多少バラツキがあった(図2-20)。これは, 弾性変形量で評価する手法が, 軟らかい果実の評価に適しているためと考えられる。また, 同一サンプルについてコンベヤ速度を変えた(0.1m/s と0.2m/s)場合は, 測定値に多少差が見られた。このことより, コンベヤ速度は一定にし, 選別基準の設定は, 与えられたコンベヤ速度において行う必要性を認めた。

b) 軟らかさ選別装置の試験

キウイフルーツの軟らかさ選別装置の実用性を検証するために, 軟らかさとサイズの異なる(3S~3L)サンプルをランダムに供給し, コンベヤ速度を0.13m/sに設定して調査した。軟らかさ判定精度の確認は, 3ランクに選別されたサンプルをHITカウンタ値と比較することで行った。

試験の結果, 選別精度については, 実用に供し得る見通しが得られ, 能率についても約3個/秒の処理速度に対応し得た(表2-4)。また, 愛媛県内の産地において, 開発した選別装置による現地試験を実施した結果, 生産者から産地での利用が可能との評価を得た。

表 2-4 キウイフルーツの軟らかさ選別装置による評価結果とHITカウンタ値の比較

選別装置 の評価	HITカウンタ値										合計 (個)
	0~10	~20	~30	~40	~50	~60	~70	~80	~90	~100 以上	
A (硬)	45	8	4	1	3	1	0	0	0	0	62
B (中)	0	1	4	4	6	7	6	2	2	0	32
C (軟)	0	0	0	0	5	2	1	4	3	3	27

注1. 品種はヘイワード、3S:3 2S:21 S:72 M:15 L:5 2L:4 3L:1 合計121個

注2. 評価基準の変形量は、A:0.2mm以下 B:0.2~0.5mm C:0.5mm以上

注3. コンベヤ速度は、0.13m/sに設定



図 2-19 変形量検出部の基礎試験装置

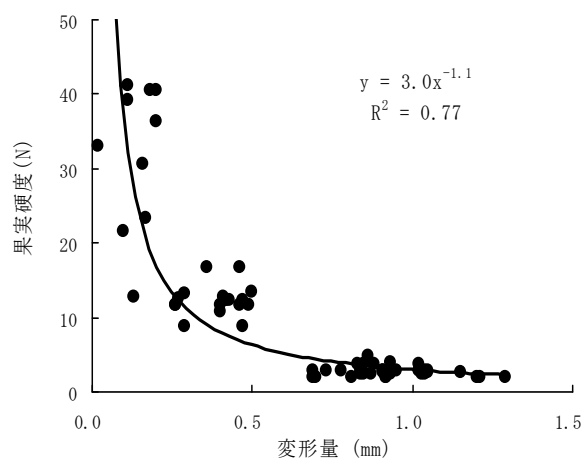


図 2-20 キウイフルーツの果実硬度と変形量

2.2.4 携帯型軟らかさ判定器の開発

キウイフルーツの生産現場や試験研究機関などでは、貯蔵中の追熟程度を軟らかさでチェックするために、貯蔵庫内で利用できる携帯可能な軟らかさの判定器が望まれている。そこで、キウイフルーツの追熟程度を軟らかさで評価するために、キウイフルーツ軟らかさ判定器を開発した。軟らかさ判定の原理は、キウイフルーツに対して、バネによりプランジャで圧縮力(弾性変形の範囲内)を与え、その時の変形量をダイヤルゲージで捉えるものとした⁹⁾。この携帯型軟らかさ判定器を「ハンディHIT」と称する。

1) 携帯型軟らかさ判定器の概要

携帯型軟らかさ判定器は、小型軽量にするためバネ圧縮力を利用し、変形量の計測はアナログ式ダイヤルゲージを用いた。ダイヤルゲージは、1回転が1mmを示すもので、変形量測定範囲は、0.00～1.00mmである。全体の質量は230gで、全長は124mmである。軟らかさ評価の表示は0～100の数値(「ハンディHIT値」と定義し、その数値は変形量の0.00～1.00mmに対応)とした。プランジャの直径は5mm、圧縮力はコイルバネにより3.9～4.9kN(400～500gf)に設定した。計測は、プランジャ先端を対象果実に接触させ、ガイド端面が果実表面に接するまで押し当て、その時のプランジャによる変形量をダイヤルゲージの指示値で読むことで行う。指示値を読み取りやすくするために、置き針で指示値を保持する仕組みとした。この軟らかさ判定器を、「ハンディHIT400-500」と称する(図2-21,22)。ここで、400-500はバネの圧縮力を表す。ハンディHIT400-500の他に、測定対象物の軟らかさに対応させるため、バネ圧縮力の異なる「ハンディHIT100-400」、「ハンディHIT500-800」も製作した。

2) 携帯型軟らかさ判定器の実用性検証

ハンディHIT400-500の実用性を検証するため、従来の果実硬度計による測定値とハンディHIT400-500の測定値を比較した。供試したキウイフルーツは、収穫直後の硬い果実から食べごろを過ぎた軟らかい果実を用いた。測定の結果、ハンディHIT値と果実硬度計値には相

関が認められ(図2-23)、ハンディHIT400-500による軟らかさ評価が可能であった。

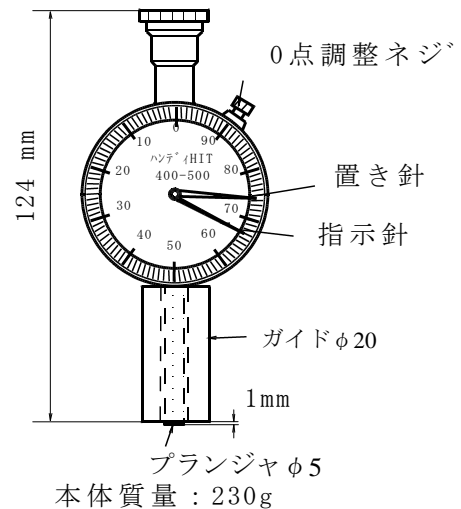


図 2-21 ハンディHIT400-500の概要



図 2-22 ハンディHIT400-500

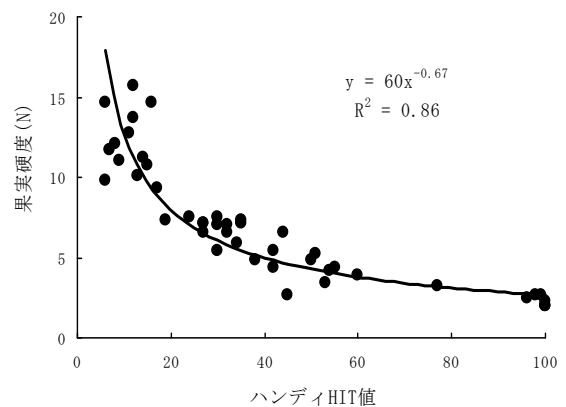


図 2-23 キウイフルーツのハンディHIT値と果実硬度

神奈川県園芸試験場の真子ら⁹²⁾は、キウイフルーツの追熟処理の貯蔵試験において、従来の果実硬度計とハンディHIT400-500による測定結果を比較した。その結果、従来の果実硬度計とハンディHIT400-500に相関が認められ、実用性があり、ハンディHIT400-500によるキウイフルーツの食べ頃の測定値は、40~60であったとしている。

農水省果樹試験場興津支場の矢野ら⁹³⁾は、キウイフルーツの新流通方式の緊急調査研究において、ハンディHIT400-500を利用した結果、実用性が高いと報告している。長崎県果樹試験場の後田ら⁹⁴⁾は、ハウスミカン園での灌水管理において、ミカンの軟らかさをハンディHIT400-500で捉えた数値を指標とすることを検討した結果、簡易な管理指標として利用可能、としている。

2.3 考察

青果物の軟らかさは、品質を評価するに当たって重要な項目であり、特に、キウイフルーツ、マスクメロン、マンゴー等の追熟果実では、追熟程度や食べ頃時期等を判断する指標となっている。この軟らかさを非破壊で評価するために、静的力学特性である圧縮特性を利用して、対象物に接触はするが破壊に至らない弾性範囲内の圧縮力と変形量の関係から非破壊的に評価する技術を開発した。

しかし、この非破壊評価技術は、予め対象とする青果物の弾性変形の圧縮力と変形量の間関係を把握する必要があり、また、弾性変形の範囲が狭いモモのような青果物の評価には向かない点に注意する必要がある。この圧縮特性による軟らかさ評価技術は、メロン等の打音解析による軟らかさ評価技術よりも機器構成や解析が簡便であり、対象とする青果物や使用目的に応じた装置開発を容易とした。

以下に、軟らかさ評価に係わる基礎試験と、この技術を基本として開発した圧縮力や変形量範囲等を任意に設定可能な、汎用性のある軟らかさの評価装置、キウイフルーツを軟らかさを基準として仕分けるキウイフルーツの軟らかさ選別装置、さらに小型軽量で携帯可能な軟らかさ判定器についての発展方向と課題を述べる。

2.3.1 軟らかさ評価に向けた基礎試験

基礎試験を行った結果、対象物の弾性変形範囲の圧縮力と変形量の間関係を計測することで、キウイフルーツやマスクメロンの軟らかさを非破壊で評価することが可能であった。キウイフルーツでは、プランジャ直径が8mmの場合、最大圧縮力は約4Nで、変形量が約1mmまでは損傷が生じないことが確認できた。また、得られた数値で食べ頃時期や酸度の推定も可能であった。

マスクメロンでは、プランジャ直径が12mmの場合、最大圧縮力は約4Nで、変形量が約2mmまでは損傷が生じないことを確認した。また、マスクメロンの貯蔵試験時の追熟状態を、基礎試験装置で評価した結果、同一メロンの追熟程度変化(軟らかさの変化)を捉えることができた。

さらに、従来の果実硬度計などによる軟らかさ評価では、計測したデータをそのまま利用するため、10N や $3\text{N}/\text{cm}^2$ などの物理量で表現していた。これに対して本研究では、軟らかさ評価の数値を0~100などの判りやすい数値(HITカウンタ値)に置き換えて表現することで、生産者の方など物理計測に馴染みのない人たちにも利用しやすくなり、現場での利用も簡便となった。ただし、このHITカウンタ値は、利用場面・利用者に合わせて数値を変えることが可能であるため、データの比較などには注意を要する。

2.3.2 汎用型軟らかさ評価装置

汎用型軟らかさ評価装置は、従来の引張・圧縮試験機と制御装置で計測するシステムに比較して、容易に持ち運びが可能となった。取扱いや操作性については、装置のキーボードで条件設定等を行い、特に専門的知識を要することなく利用できる装置とし、電源を切っても設定を変更するまで一度設定した測定条件を保持しているため、日々の繰り返し計測が容易である。

なお本装置での軟らかさの非破壊評価では、対象青果物を接触・変形させるため、予め対象物の弾性変形範囲を把握し、評価のための適正な条件を見い出しておく必要がある。

また、前述のように利用者の目的に合わせて任意に条件設定できる反面、測定データを比較する場合は利

用条件の統一が必要である。

装置の実用性を検証した結果、キウイフルーツについては農林水産省果樹試験場、愛知県農業総合試験場から、カキについては岐阜県農業総合研究センター、マンゴーについては沖縄県農業試験場から本装置の利用が可能であったとの報告があった。これらの報告を踏まえて、それぞれ目的に応じた測定条件を設定すれば、試験研究機関を始めとして多くの現場に利用拡大が可能と考えられる。

2.3.3 軟らかさ選別装置

キウイフルーツの軟らかさ選別装置は、装置全体の寸法が全長210cm、全高150cm、全幅70cmで、駆動用電源AC100V、配果用に0.4kW程度の小型コンプレッサを用いて作動する仕組みである。キウイフルーツを対象とした選別能力は、予め搬送速度に合わせて、3ランクに仕分ける変形量を設定、連続して1秒間に3個の処理速度があり、軟らかさの程度で3段階に選別・配果することが可能であった。

この選別装置は、従来用いられている他の選別装置に比較してこのように小型であり電灯線での利用も可能であるため、小規模な共同選別包装施設や個人農家での利用も想定される。搬送コンベヤの速度が変化すると検出する変形量も変わるため、搬送速度に注意する必要があるものの、開発機は愛媛県内産地における

現地試験でも実用性が認められたことから、この基本機能を利用して、大型の共同選別包装施設での軟らかさ選別装置への展開も可能と考えられる。

2.3.4 携帯型軟らかさ判定器

携帯型軟らかさ判定器は、ダイヤルゲージの指示値を、置き針で保持するため読み取りやすくなっている。また、キウイフルーツの軟らかさ評価には、バネ圧縮力が3.9~4.9kN(400~500gf)のものが適しており、その判定器をハンディHIT400-500と命名した。ハンディHIT400-500の実用性については、神奈川県園芸試験場と、農水省果樹試験場興津支場で利用した結果、実用性が高いとの報告があった。また、キウイフルーツ以外の果実では、長崎県果樹試験場で、ハウスミカンの灌水管管理に利用した報告があり、携帯型軟らかさ判定器が多方面で利用できる可能性が示唆された。

これらの結果により、対象物に加えるバネの圧縮力を、ハンディHIT400-500よりも弱く設定した「ハンディHIT100-400」、またHIT400-500よりも強く設定した「ハンディHIT 500-800」を製作し、多くの青果物への対応が可能となった。ただしこの携帯型軟らかさ判定器は、小型軽量で構造が単純である反面、汎用性や判定精度に限界があり、測定に当たっては個人差による測定誤差を生じ易いことに注意する必要がある。

第3章 振動特性に基づく西洋ナシの追熟程度・食べ頃評価技術の開発

3.1 緒言

西洋ナシのラ・フランスは、バナナやアボカド等と同様、収穫後に追熟を経過してから食べる追熟型果実であるが、追熟が進んでも果皮色にほとんど変化が見られず、外観から追熟程度（特に、その過程にある食べ頃の時期）を判断することが難しい（図3-1）。さらに、他の追熟型果実に比べ、食べ頃に達した果実は過熟果に達するのが早く、適正な熟度期間が限定されるため、食べ頃時期の判断がより重要な果実である。

ラ・フランスの産地では、収穫時点での熟度を揃えるため、果実を2～5℃の低温庫内で1週間から10日程度保管する低温処理や、濃度約400ppmのエチレングス環境下で48時間程度保管するエチレン処理が行われている。このように出荷前の低温処理やエチレン処理技術により、出荷時点での品質のばらつきは少なくなった



図 3-1 熟度の異なるラ・フランス

が、食べ頃時期の判断は、出荷時点での追熟程度から推定せざるを得ない。

この出荷時点での追熟程度の判断は、果肉の硬さを貫入式の果実硬度計により計測した数値で行われている。この方法は破壊検査であるため、測定された果実は商品にはならず損失となることや、個体差のある青果物での抽出検査であるため判定誤差が大きい、等の問題がある。このような背景から、ラ・フランスの食べ頃を非破壊で評価する技術・装置の開発が求められている。

著者らは、果実を軽打した時の動的力学特性である

打音・振動を利用して、ラ・フランスの追熟過程の特定時期にある「食べ頃」を評価するための技術および装置の開発を行った⁹⁵⁾。

まず、追熟程度評価の基礎試験を実施し、打音・振動特性と追熟程度の指標である果実硬度との関係を調査した。この基礎試験を基に、生産現場での利用が可能な評価装置とするため、ノート型パーソナルコンピュータに周波数分析機能を持たせた試験装置を製作した⁹⁶⁾。次に、この試験装置により追熟程度を評価する専用装置としての機能を確認し、追熟程度評価装置を製作して試験を行い⁹⁷⁾、食べ頃の判断のため、現場での利用可能性を確認した⁹⁸⁾⁹⁹⁾。以下に、これらの結果について述べる。

3.2 打音・振動による追熟果実の追熟程度評価

非破壊で追熟型果実の内部品質を評価する手法には、杉山らが打音の伝播速度を計測して、メロンの熟度評価を行う装置を開発した例がある¹⁰⁰⁾¹⁰¹⁾¹⁰²⁾。また、荒川らは、メロン果実の周囲長で補正し、打音の固有振動値を利用したメロンの熟度評価装置を開発した¹⁰³⁾。これらの装置は、何れもメロン専用で熟度評価を行うものである。この他に、振動特性により果実の硬さを評価する研究報告としては、振動試験器で任意の振動を果実に加えて、その加えた振動に対しての果実表面の振動をレーザドップラ振動計で計測し、その波形と果実硬度の関係を解析した事例がある¹⁰⁴⁾。また、果実に打撃を与えた時の音波を解析して、果実硬度を評価する研究報告¹⁰⁵⁾¹⁰⁶⁾¹⁰⁷⁾があるが、何れも基礎的な報告であり、生産現場での利用には至っていない。

そこで、筆者らは、ラ・フランスの果実硬度を、果実を軽打した時の打音や振動のピーク周波数 f から果実の固有振動数 ω ($\omega = 2\pi f$)を求め、その固有振動数と果実質量 m から算出した「見かけの果実バネ定数 k ($k = m\omega^2$)」で評価することとし、その果実バネ定数を追熟程度の評価指標とした¹⁰⁸⁾。

3.2.1 追熟程度評価の基礎試験

1) 基礎試験装置の概要

果実の打音と振動データを得るため、果実に損傷が生じない範囲で衝撃を与える軽打装置(図3-2)を試作した。試作した軽打装置は、一定バネ圧縮力でハンマーを打ち出し、その時の果実振動を加速度センサで検出する機能を有する。ハンマー打ち出し時に打音・振動計測の妨害となる振動や音を軽減するため、プラスチック部品を利用した。また、軽打装置には、質量約2, 3, 4, 5, 7, 10gの6種類のハンマーを用いた。

2) 試験方法

基礎試験における測定では、ラ・フランスの両端を指で保持し、基礎試験装置で果実のおおよそ中央を軽打し、騒音計(リオンNA-24)と圧電型加速度計を用いて打音と果実表面の振動を同時に計測した。これらの測定においては、周波数分析装置(リオンSOUND AND VIBRATION SIGNAL ANALYZER)によりピーク周波数を求めた(図3-3)。軽打時の振動加速度と騒音計による打音のピーク周波数は、周波数分析結果のグラフから読み取った。果実バネ定数は、グラフから得られたピーク周波数より求めた固有振動数と、電子秤で測定した果実質量により別途算出した。また、質量の異なる果実に対して同一質量のハンマーを用いると、安定した波形が求められない傾向があったことから、果実質量とハンマー質量の関係について調査した。

実際の追熟程度の指標には、一般に利用されている貫入式の果実硬度計(富士平工業(株)FRUIT TESTER

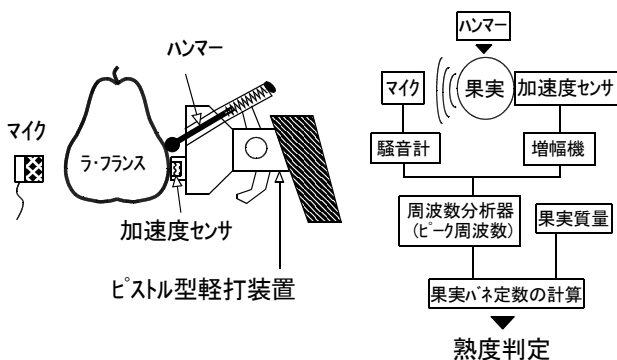


図 3-2 基礎試験装置の概要

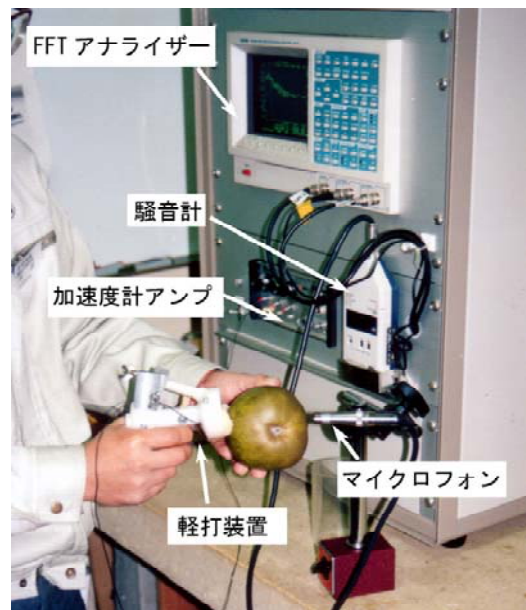


図 3-3 基礎試験装置

FT011, プランジャ径: $\phi 8\text{mm}$)による果実硬度値を用いた。また、果実硬度と食味評価値との関係について調査した。ここでの食味評価値は、「1」が果実内の澱粉が糖に変化しておらず果肉が硬く食べるに値しない、「2」が未熟、「3」が適熟(食べ頃)、「4」が過熟を表す。参考として汎用型軟らかさ評価装置(HITカウンタ)による測定も行った。なお、HITカウンタによる測定においては、プランジャ直径12mm, 圧縮速度50mm/min, 圧縮力 $P_a = 1.0$, $P_b = 7.5\text{N}$ の条件で測定を行った。

供試果実は、山形県園芸試験場で栽培されたもので、同一日に収穫した果実を 5°C で10日間低温処理した後、 2°C , 10°C , 室温の温度環境下で25日間追熟させた。試験には66個を用いた。それらの果実質量は152~490gの範囲であった。

3) 試験結果

追熟程度評価の基礎試験から、以下のことが明らかになった。

果実を軽打した時の打音や振動から、再現性のある安定したピーク周波数を得るためには、果実質量に応じた適正な質量のハンマーを選択する必要があった(図3-4)。果実質量 280g未満のものには約4gのハンマーを用い、280g以上のものには約 7gのハンマーを用

いることで、再現性のある安定した波形の測定が可能であった。また、果実の固有振動数を求めるためのピーク周波数は、打音解析によるピーク周波数と、振動解析によるピーク周波数が、ほぼ同一の値を示し、打音解析の合理性を確認した(図3-5)。

果実を軽打して得られたピーク周波数は、同一熟度であっても、図3-6のように果実質量の増加とともに減少する傾向が見られた。しかし、このピーク周波数と果実質量から求めた果実バネ定数は、同一熟度であれば果実質量に係わらず、ほぼ一定値を示した(図3-7)。また熟度と質量の異なるサンプルの果実硬度と果実バネ定数との間には、高い相関が認められた(図3-8)。軽打装置による打撃時の果実への損傷は認められず、収穫直後から食べ頃の果実まで計測可能であった。また、HITカウンタの利用については、ラ・フランスの圧縮力に対する弾性変形範囲が狭いため、表面に圧痕が生じて非破壊による評価は困難であった。しかし、HITカウンタで得られたデータ(一定圧縮荷重下における変形量)と果実バネ定数には、高い相関が見られた。果実硬度と食味評価との関係については、図3-9に示したような結果が得られた。

以上より、打音や振動のピーク周波数(固有振動数)と果実質量から求めた果実バネ定数は、追熟程度の指標になり得ることを確認した。

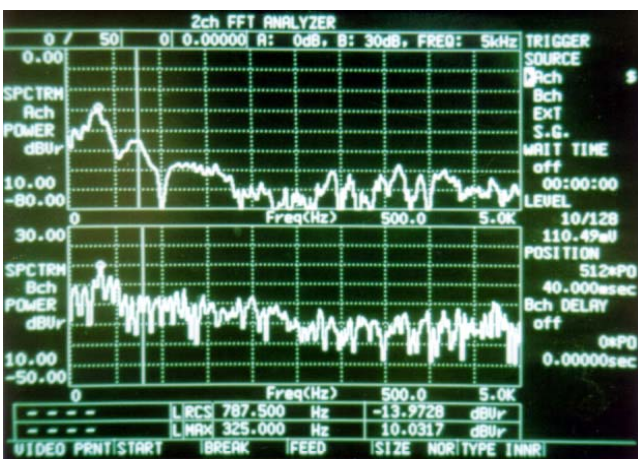


図 3-4 西洋ナシの打音と振動のスペクトル

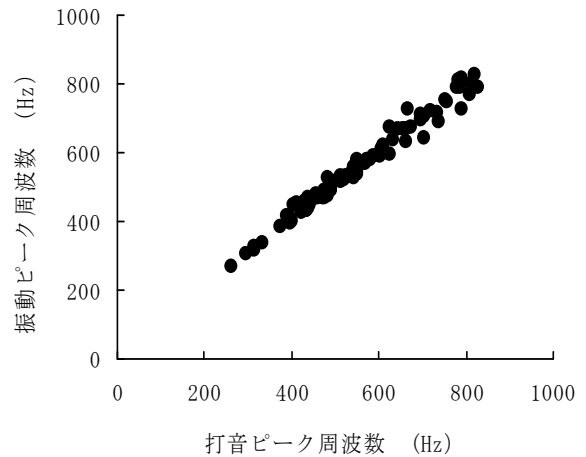


図 3-5 西洋ナシの打音と振動のピーク周波数

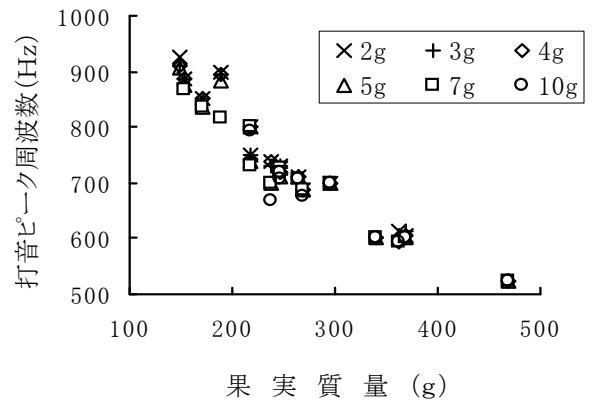


図 3-6 西洋ナシの果実質量と打音ピーク周波数(同一熟度)

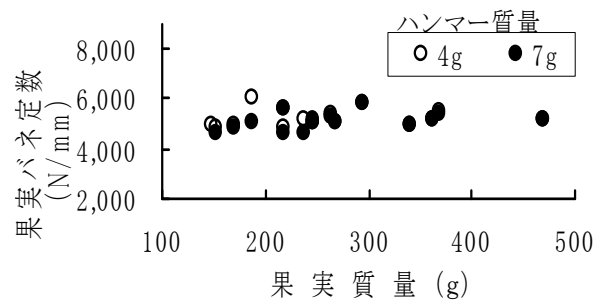


図 3-7 西洋ナシの果実質量と果実バネ定数の関係(同一熟度)

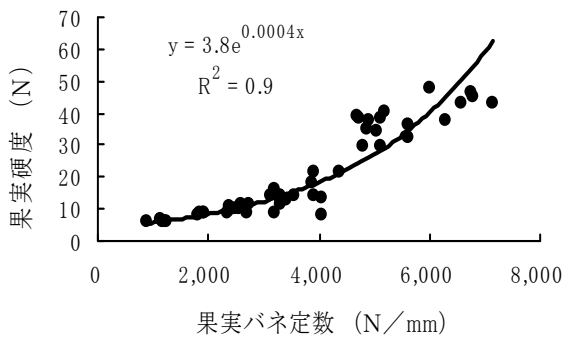
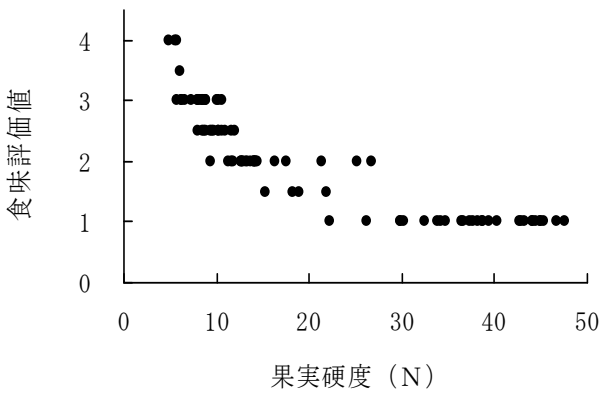


図 3-8 西洋ナシの果実硬度と果実バネ定数



食味評価値: 1 硬い, 2 未熟, 3 食べ頃, 4 過熟

図 3-9 西洋ナシの果実硬度と食味評価

3.2.2 装置化に向けた基礎試験

追熟程度評価の基礎試験結果より、果実を軽打した時の打音や振動ピーク周波数(固有振動数)と果実質量から求めた果実バネ定数は、ラ・フランスの追熟程度の判定指標として有効であることが明らかになった。そこで、追熟程度評価の基礎試験で用いた測定装置と同等の機能を有した食べ頃判定装置開発のために、果実振動ピーク周波数を数値データとしてリアルタイムに検出可能な試験装置を試作した。

装置化に当たっては、打音のピーク周波数よりも振動ピーク周波数を計測する方が、機器構成が簡易になることが確かめられたため、加速度センサにより振動ピーク周波数を計測するシステムとした。果実の質量は、追熟程度評価の基礎試験と同様に、別途計測することとした。

1) 試験装置の概要

試験装置は、ピストル型の軽打装置と加速度センサ(圧電型加速度計)を備えており、果実を軽打すると同時に、果実の振動加速度をA/D変換ボードを介してノート型パーソナルコンピュータで周波数分析を行い、ピーク周波数検出を行うシステムとした。果実バネ定数は、この試験装置で得られたピーク周波数(固有振動数)と、別途電子秤で計測する果実質量データから求める構成とした(図3-10)。

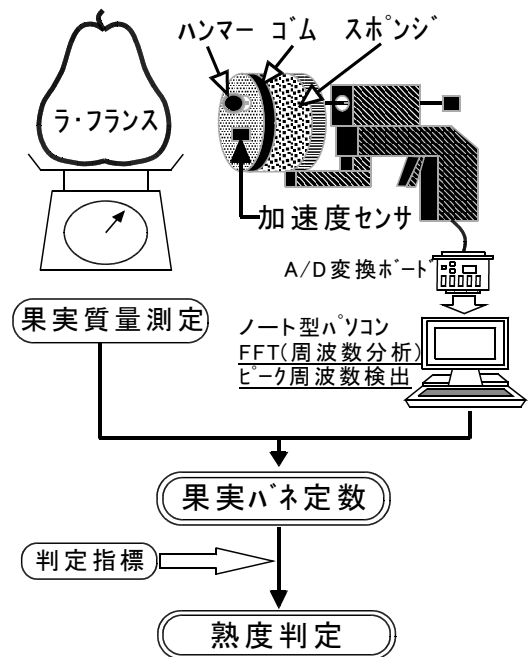


図 3-10 追熟程度評価試験装置の概要

2) 試験方法

試験装置によるピーク周波数検出は、基礎試験の方法と同様に、ピストル型軽打装置を手で果実に押し当てて行った。また、果実を手で保持せずに計測可能とするために、軽打装置上へ載せて検出することも試みた(図3-11)。また、検出したピーク周波数による固有振動数と別途測定した果実質量から求めた果実バネ定数が、実際の熟度判定に利用可能か、両者の関係を調査した。実際の熟度指標には、貫入式果実硬度計による果実硬度値を用いた。

供試サンプルは、山形県園芸試験場で栽培され、収穫直後の硬い果実、追熟途中の未熟果、適熟果、過熟果、合計 189個で、果実質量は146~400gである。

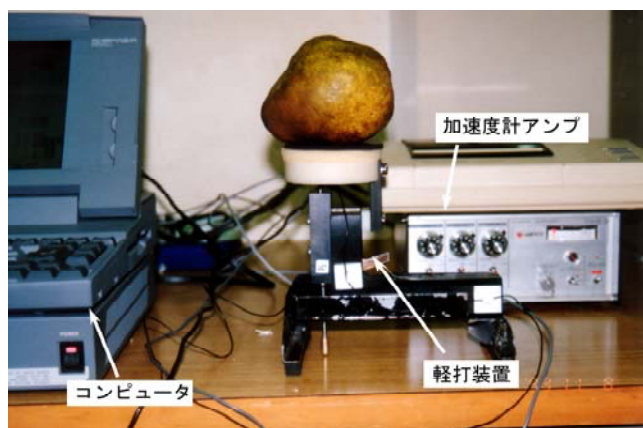


図 3-11 軽打装置に果実を載せて測定

3) 試験結果

装置化に係わる基礎試験の結果、果実を軽打した時のピーク周波数を数値データとしてリアルタイムで検出可能であった。これにより、周波数分析処理部をワンボードマイコン化する形での、追熟程度判定のための装置化について見通しを得た。測定時に果実を手で固定せずに加速度センサを取り付けた軽打装置上へ載せて、ハンマーを下から打ち上げて軽打した場合においても、ピーク周波数を検出することが可能であった。また、計測したピーク周波数と果実質量より算出した果実バネ定数は、基礎試験結果と同様に果実硬度と相関が見られ、追熟程度評価が可能であった。

以上により、試験装置によるピーク周波数のリアルタイム・オンライン計測が可能であり、果実バネ定数による追熟程度評価(以下、本章の目的である「食べ頃評価」と記載する)装置化の見通しを得た。

3.2.3 食べ頃評価装置の開発

1) 食べ頃評価装置の概要

装置化に係わる基礎試験の結果を基に、食べ頃程度評価装置を製作した。試験装置での追熟程度評価は、固有振動数と質量を別々に測定した結果から果実バネ定数を求めるものであったが、食べ頃程度評価装置は、果実を軽打した時の固有振動数と果実質量を同時に求めて果実バネ定数を算出し、果実バネ定数と熟度の関係式から食べ頃を評価する機構とした。

2) 食べ頃評価装置の構成

食べ頃程度評価装置は、測定部と解析部からなり、これまでは果実を測定者が手で保持して測定を行っていたものを、果実を熟度計測部へ積載して行う構成とした(表 3-1、図3-12)。

表 3-1 食べ頃程度評価装置の主要諸元

測定部	外形寸法：200×150×290 mm 質量：5.5 kg 測定台寸法：φ150×170 mm 軽打ハンマー：5 g、7 g (果実質量に応じて自動選択)
解析部	外形寸法：230×310×210 mm 質量：6.0 kg 表示パネル：320×240 ¹ 液晶モニター 使用電源：AC 100 V
測定項目	①果実質量： 最大10kg、分解能 1 g ②振動ピーク周波数： 1～1.3kHz (FFT解析グラフも表示) ③果実バネ定数： 果実質量と振動ピーク周波数より算出 ④食べ頃になるまでの日数： 一般的な追熟を想定して算出



図 3-12 食べ頃評価装置

測定結果としては、解析部の液晶モニターに、振動波形とその周波数分析グラフ、ピーク周波数、果実質量、果実バネ定数、食べ頃判定結果を表示する(図3-13)。ここでの食べ頃評価結果は、測定時点の熟度を基に、あと何日後に食べ頃になるかを表示する。この食べ頃になる日数は、これまでの経験をもとに予測する式を設定した。測定部は、質量の異なる2組のハンマーによる軽打機構と、軽打時の振動を捉える加速度センサを備えた円筒形の測定台で構成されており、この測定台の

下方に取り付けた小型ロードセルによって果実の質量を計測する構造である(図3-14)。また、軽打時に適正な振動波形を安定して得るため、果実の質量に応じたハンマーを、自動的に選択、軽打するシステムとした。

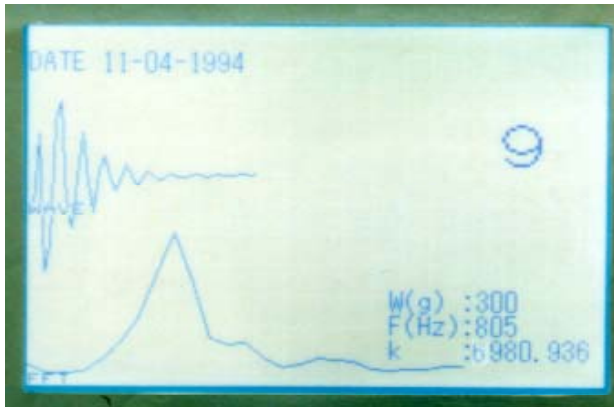


図 3-13 食べ頃程度評価装置の表示部

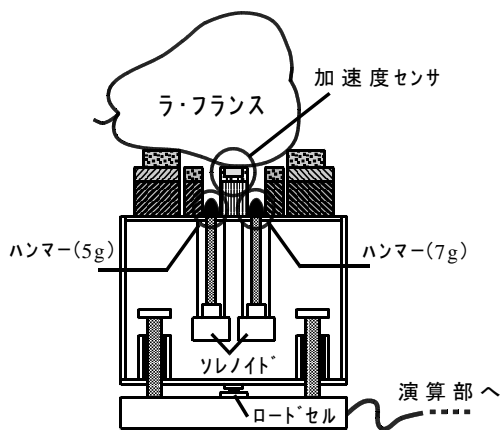


図 3-14 食べ頃程度評価装置の測定部

3) 食べ頃評価装置の実用性検証

a) 試験方法

装置による食べ頃判定性能について、実用性の検証を行った。まず、試験1として収穫後2℃で10日間の低温処理したものを約17℃、湿度90%以上で29日間追熟させたサンプルを用いて、試作装置での食べ頃判定性能と、適正な振動波形を得るためのハンマーの質量について調査した。供試サンプルは、山形県園芸試験場で栽培された76個で、果実質量は167～399gの範囲にあった。次に、試験2として、前処理の条件や追熟条件

の違いによる、追熟特性と果実バネ定数の関係について調査した。試験条件は、表 3-2に示す4区である。試験方法は、毎回、各試験区について30個程度の果実バネ定数の測定を行った。その中から4～5個について果実硬度及び、食味調査を行い、次回測定時には同じ条件で貯蔵した4～5個の果実を追加して試験を続けた。供試サンプルは、山形県園芸試験場で栽培されたものを用いた。

表 3-2 試験区と条件

試験区	前処理	追熟条件
エチレン区	収穫後 48 時間 エチレン処理	18 ~ 19 °Cで追熟
低温Ⅰ区	収穫後 10 日間 5 °C低温処理	15 °C一定で追熟
低温Ⅱ区	収穫後 25 日間 2 °C低温処理	室温で追熟 (15 ~ 18 °C)
低温Ⅲ区	収穫後 25 日間 2 °C低温処理	15 °C一定で追熟

b) 試験結果

実用性検証のための試験1の結果から、以下のことが判明した。ハンマー質量と振動波形の関係を調査した結果、約 230g以上の果実では7g、それ未満では5gのハンマーを用いることで振動ピーク周波数を高い再現性で検出できた。果実に対してハンマーの質量が小さいと第3次、4次のピーク周波数が観測され、ハンマー質量が大きいと周波数の低下が生じた。基礎試験の結果と若干異なる結果になったのは、軽打する機構が異なることや、基礎試験では果実を手で保持していたが、食べ頃程度評価装置では装置上に積載していたため、と考えられた。果実バネ定数と果実硬度との関係は、基礎試験と同様であったが、若干の差異が見られた。この差異も、保持方法の差の影響と考えられた。追熟過程における果実バネ定数の変化は、出荷時期や食べ頃時期の推定にも利用可能と思われた。

次に、試験2の結果については、4試験区における果実硬度と果実バネ定数の関係は、図3-15のとおりであり、果実バネ定数と果実硬度との相関が確認できた。

また、前処理や追熟温度条件毎の追熟過程における果実バネ定数の変化は、図3-16のとおりであった。エチレン区と低温Ⅰ区は、ほぼ同じ傾向を示したが、低温

III区は高めに变化した。低温II区は2週間程度まで低めに推移したが、その後エチレン区などと同様の傾向を示した。食べ頃になったのは、エチレン区で3,900~2,700N/mm程度と見られたが、手に持った感覚では硬めに感じられた。これが低温I区、低温II区では3,000~

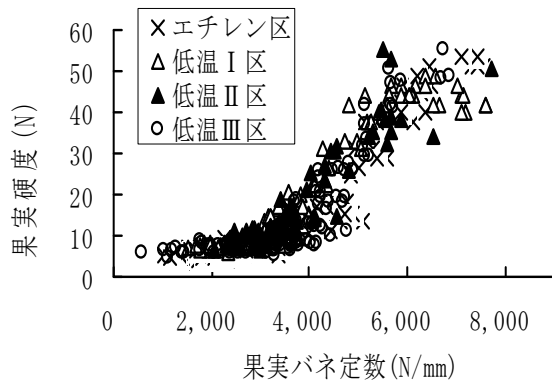


図 3-15 西洋ナシの果実バネ定数と果実硬度

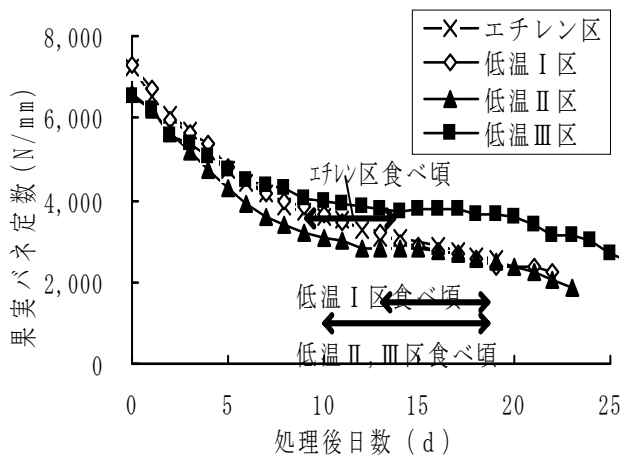


図 3-16 西洋ナシの試験条件と果実バネ定数の変化

2,500N/mm程度であった。低温III区では4,000~3,600N/mmで食べ頃となった。ただし、早い時期に内部褐変が発生するなど、追熟が正常に進行していない場合があった。食味と果実硬度の関係では、いずれも約10Nで食べ頃となった。

c) 結論

以上の結果により、試作した食べ頃程度評価装置は、ラ・フランスの出荷時期や食べ頃時期の推定など追熟程度の評価に利用できる見通しを得た。

3.3 考察

西洋ナシのラ・フランスを対象として、振動特性を利用した非破壊による追熟程度評価技術を確認するとともに、評価装置の開発を行った。果実を軽打した時の打音や振動のピーク周波数から果実の固有振動数 ω を求め、その固有振動数と果実質量 m から算出した「見かけの果実バネ定数 $k(k=m\omega^2)$ 」を用いることで食べ頃の評価が可能であった。ただし、果実を軽打した時に安定した振動波形を得るには、果実質量に適したハンマー質量を選択する必要がある。約230g以上の果実には7g、それ未満では5gのハンマーが適していた。従来技術である打音波形によるスイカの内部空洞検査装置でも、軽打するハンマーを2種類設定していることから、安定した波形を得るために果実の大きさに適したハンマーが必要であるといえよう。

食べ頃評価装置は、測定部と解析部からなり、それらの寸法は、測定部が20cm×15cm×29cm、解析部が23cm×31cm×21cmで、小型軽量で容易に持ち運びできる装置となった。装置は、液晶モニタに果実質量、ピーク周波数、果実バネ定数、食べ頃判定結果を表示すると共に、振動波形とその周波数分析グラフも同時に表示するので、軽打時の波形を確認でき、適正な評価が可能となる。また、果実を測定部に載せて、計測開始スイッチを押すだけの簡便な操作で評価が行える。この食べ頃評価装置は、ラ・フランスの出荷時期や食べ頃時期の推定など、追熟程度の評価に利用できる見通しを得た。なお、本方式では、収穫後に行われるエチレン処理や低温処理の前処理方法に合わせた校正指標が必要であった。

一方、この装置を出荷時点で利用する場合、未熟な果実の状況から食べ頃時期を推定するものであるため、出荷時点では熟度が揃っていても、出荷後の流通環境温度が異なると、店頭や消費者の手元では熟度に差異が生じる問題がある。

そこで、産地から出荷した後に環境温度が異なることによる変化を踏まえ、食べ頃を評価するため新たに組み込んだ「温度履歴ラベル」を利用した流通段階での追熟程度評価・食べ頃の判定技術について、第5章で述べる。

第4章 光の透過特性に基づくパイナップルの熟度・内部障害評価技術の開発

4.1 緒言

パイナップル(以下「パイナップル」と称する)は、国内外を問わず消費が拡大し、安定した評価を得ている果実である。我が国では沖縄県が主産地であり、缶詰、ジュースの加工や生食用としてスムーズ・カイエン種(Smooth Cayenne)が主に栽培されている。

このスムーズ・カイエン種は、図4-1のように表皮が緑色であっても内部は過熟なもの(緑熟果)や、図4-2に示すような外見は何ら問題がない状態でも、内部が褐変して果肉がコルク状を呈する花樟病(*Erwinia ananas* Serrano)と呼ばれている内部障害が見られる。このようにパイナップルの表皮色等の外観から熟度や内部障害を判断するのは難しい。パイナップルの生産農家や出荷場関係者は、この熟度や内部障害果の判定を、指で弾いた時の音で評価しているが、熟練した人でも必ずしもこれらを適正に評価できないのが現状である。

缶詰やジュースに加工する場合は、内部障害果は加工工程で取り除かれ、熟度の差異はシロップで調製されるため、大きな問題とならない。しかし、生食用として消費者に提供する場合は、商品価値のない花樟病果は、産地の信用にも関わることから出荷時点で取り除く必要がある。また、日持ちが悪くアルコール臭がしてくるなど商品イメージを著しく損ねる過熟果や、食味の悪い未熟果についても出荷時点で選別する必要がある。このような背景から、パイナップル産地からは、個々の農家でも利用可能な熟度や内部障害果を、非破壊で評価する装置の開発が強く求められている¹⁰⁹⁾¹¹⁰⁾。



図 4-1 緑熟果のパイナップル(左)



図 4-2 内部障害のパイナップル(花樟病)

著者らは、非破壊評価手法に可視光を利用し、その透過光に基づいたパイナップルの熟度や内部障害果の評価技術および装置の開発を行った。まず、収穫したパイナップルを室内で評価することを前提とし、人工光の透過による熟度や内部障害評価の基礎試験を実施した。これらの結果を踏まえて、農家でも利用可能な人工光を利用した定置型の熟度・内部障害評価装置¹¹¹⁾を開発した。

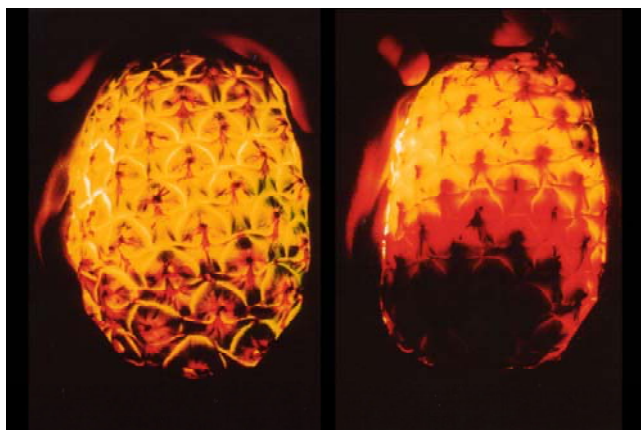
また、ほ場に立毛しているパイナップルを評価することを前提として、太陽光の透過による熟度や内部障害評価の基礎試験および装置化に係わる基礎試験を実施した。これらの結果を踏まえて、ほ場内での利用が可能な太陽光を利用した携帯型の熟度・内部障害評価装置¹¹²⁾の開発を行ったので、これらの結果について述べる。

4.2 人工光の透過による熟度・内部障害評価

可視光による青果物の内部品質非破壊評価技術としては、カキの渋やダイコンの赤芯症などの内部障害評価装置があることは前にも述べたが、これらの評価装置は可視光の透過状況が肉眼で確認できるカキ、ダイコンに限定されるため、パイナップルへの利用は困難である。そこで、パイナップルを透過する光で熟度や内部障害を評価する手法を検討するため、暗室内でパイナップルにハロゲンランプ(100W)光を照射(パイナップル以外から光が暗室内に漏れないように遮光)し、パイナップルを透過してくる光を肉眼で観

察した。調査には未熟果から適熟果、熟度が進みアルコール臭がする過熟果、罹病した内部障害果と推察したパインを用いた。

観察の結果、図4-3に示したように、過熟果については、パインを透過してくる光を肉眼で確認することが可能であった。また、過熟のサンプルにおける内部障害については、部分的に光の透過が悪くなることを確認した。適熟果や未熟果では、透過してくる光の相違を肉眼で識別することはできなかった。しかし、熟度が進むにつれて透過光が多くなると予測された。この結果を基に、人工光を利用した透過光による熟度・内部障害評価の基礎試験を行った。



(左:健全果 右:障害果)

図 4-3 過熟パインアップルの透過光状況

ここでいうパインの熟度については、沖縄県農業試験場などパイン関係者が用いている果肉目視熟度を参考とした。この果肉目視熟度は、果実を縦半分に切断した断面を目視で判断するもので、断面の果肉全体が白いものを0%熟(未熟)、断面全体が黄色みを帯びて水浸状態になったものを100%熟(完熟)とした。中間の熟度は、断面の水浸状態と果肉の黄味の程度を勘案して、その断面全体に占める割合で定めた。また、適熟は、果肉目視熟度が約70~100%熟とし、断面全体が水浸状態で100%熟(完熟)であるが、アルコール臭のあるものは過熟果とした。

4.2.1 熟度・内部障害評価の基礎試験

1) 試験装置の概要

パインの熟度や内部障害果を評価する手法として、ハロゲンランプ光を照射し、その透過光を利用する手法を見出した。しかし、過熟パイン以外では透過する光の量が少なく、肉眼での評価は困難であった。そこで、微弱な透過光を検出できる高感度カメラや図4-4の光検出器(光電子増倍管R928)を用いて、パインからの透過光量を捉えた。



図 4-4 光検出器(光電子増倍管R928)

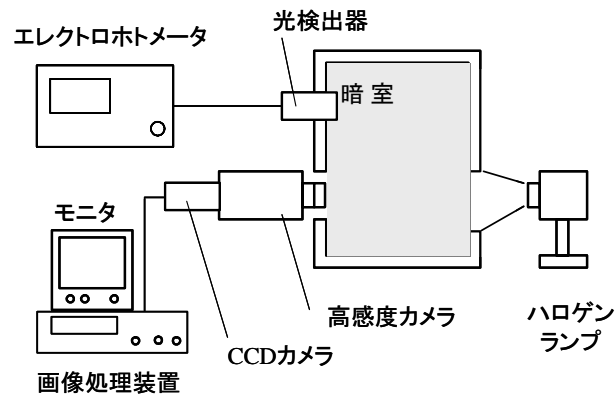


図 4-5 透過光測定システム

段ボール箱を利用した暗室内に開設した窓に接するようにパインを置き、その窓の外から100Wのハロゲンランプ光を照射し、パインを透過した光のみを高感度カメラ(浜松ホトニクス㈱, ナイトビューアーC3100, 波長域400~900nm)にて映像化した。パインからの透過光を高感度カメラで映像化するための試験装置と、その装置での映像の様子を図4-6に示す。

2) 試験方法

この方法によるパインからの透過光量の数値は、高感度カメラから得られた映像を画像処理して求めた。具体的には図4-7に示すように、高感度カメラによるグレースケール(0~255)の映像データを、ある一定の輝度を設定(本研究では110とした)して、白と黒の2値化処理を行い、その設定された輝度以上の映像を白、それ以下を黒とした後、白の面積を画素数で求めて透過光量とした。一方、光検出器を利用した場合の透過光量は、光量の強さを表すエレクトロフォトメータの指示値をEP値と定義して用いた。

試験は、熟度の異なるパイン6個を用いて、光検出器で得られたEP値と高感度カメラの映像を比較して行った。また、別のパイン6個について、EP値と透過光による映像から得られた画素数との比較、および糖度や酸度との比較を行い、EP値や画素数での熟度や内部障害評価の可能性を確認した¹¹³⁾。また、照射するランプの

種類によって、パインを透過する光の量に差があるか否かを、ハロゲンランプと蛍光ランプ等を光源として比較した。光源ランプの分光特性の把握には、分光放射計(東京光学機械株 SR-1)を用いた。

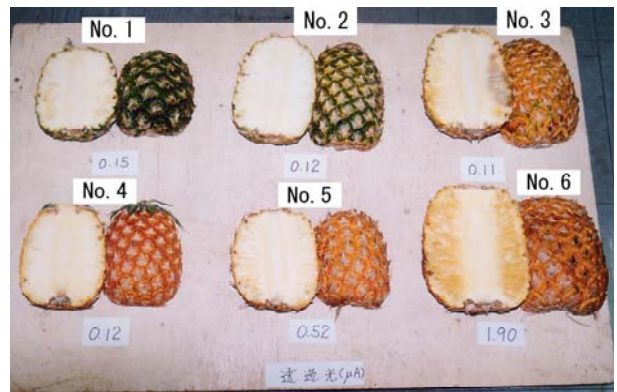
3) 試験結果

肉眼では確認できなかった未熟果や適熟果の透過光を、高感度カメラを利用することによって映像として捉えることが可能であった。また、未熟から適熟へと熟度が進むにつれて、透過光による映像がより明るくなる傾向が見られた。高感度カメラで捉えた映像を2値化処理することで、透過光量を数値で表すことが可能であった。調査に用いたパインの一例を図4-8に示し、その映像とEP値を図4-9に示す。

花樟病果については、全体に病気がある場合はほとんど光が透過せず、映像にならないことから健全なパインとの区別が可能であった。光検出器で測定した透過

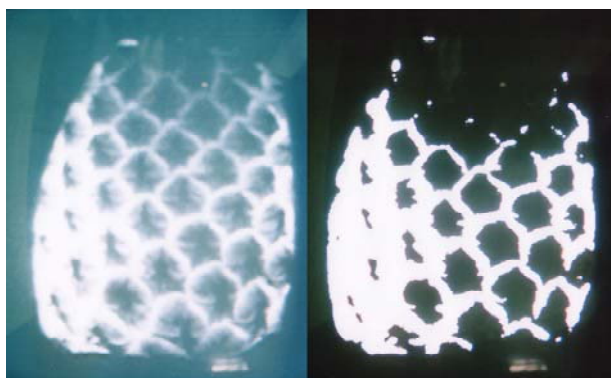


図 4-6 高感度カメラによる透過光の映像化



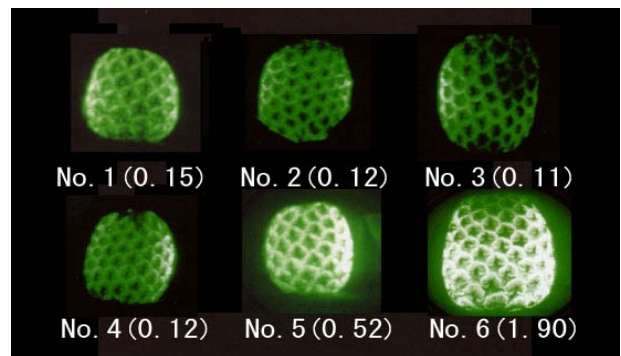
No.1~4: 未熟果, No.5: 適熟果, No.6: 過熟果

図 4-8 透過光計測に用いたパインアップル



(左: 処理前 右: 処理後)

図 4-7 透過映像の2値化処理



() : EP 値

図 4-9 高感度カメラの映像とEP値

光量のEP値は、熟度が進むにしたがって増加する傾向がみられた。また、表 4-1に示すように、高感度カメラによる映像から得られた画素数とEP値は同様な傾向を示したが、画素数やEP値と糖度や酸度との相関は認められなかった。パインに照射する光源については、光源の違いによって、パインを透過する光量に差が認められ、波長の長い光成分が多いハロゲンランプの方が、パインを透過し易いことを確認した。

表 4-1 測定結果

サンプル No.	質量 (g)	2値化処理 (画素数)	EP値 (μA)	糖度 (brix、%)	酸度 (%)
1	1,189	1,232	0.09	11.2	1.13
2	1,456	882	0.07	10.7	1.39
3	1,408	14,270	0.16	13.2	1.34
4	1,560	14,921	0.15	13.2	1.31
5	1,403	54,405	0.43	13.7	0.74
6	1,536	163,025	3.00	11.4	0.51

※1, 2は未熟果、3, 4は適熟果、6は過熟果

4.2.2 定置型熟度・内部障害評価装置の開発

基礎試験においては、光源、暗室、モニター、画像処理装置などを、それぞれ個別に配置して計測したが、生産現場等で利用可能とするため、これらの構成機器を一体化したパインの熟度・内部障害評価装置を開発した。なお、移動性を良くするために、装置全体をキャスターホイールで支持した。

1) 定置型評価装置の概要

パインの定置型熟度・内部障害評価装置は、全体寸法が全長155cm、全高143cm、全幅50cmであり、駆動に要する電源はAC100Vとした。本装置は、パインに100Wのハロゲンランプ光を照射して、透過した光のみを高感度カメラにて映像として捉え、映像の明るさから熟度や障害を評価する¹⁴⁾。この熟度や障害を評価する映像については、画像処理(2値化)して得られた画素数として数値化した。本装置で得られる画素数は0~245,760であり、熟度が進んだものは画素数が多くなり、未熟や病

果のものは画素数が少なく表示される。画像処理して得られた画素数をモニターに表示するとともに、事前に求めておいた画素数と熟度の関係から、熟度を0~99の数値で評価する。障害果は、モニターの映像から判断することとした。図4-10に本装置の全体を示す。



図 4-10 定置型熟度・内部障害評価装置

2) 定置型評価装置の構成

本装置は、パインに光を照射する光源、透過光のみを捉えるための暗室、高感度カメラ、画像処理装置、映像記録装置、モニター、LEDによる表示部で構成する(図4-11)。暗室部は、縦50cm、横50cm、高さ45cmであり、暗室内にパインを設置し、そのパインに光を照射するための3cm×10cmの窓を設けた。また、高感度カメラを強い光から保護するために、透過光測定時のみ暗室内を撮影するカメラ保護シャッターを設けた。

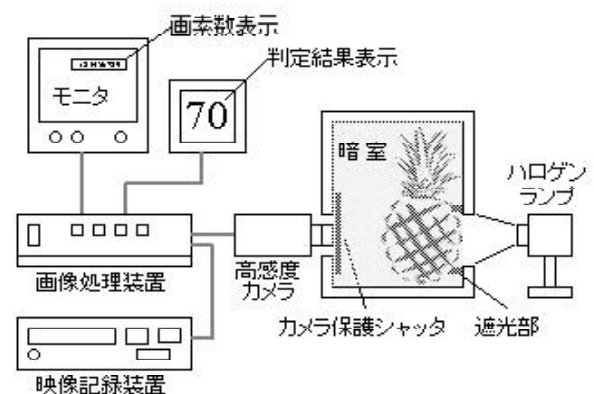


図 4-11 定置型熟度・内部障害評価装置の機器構成

光源には、直流ハロゲンランプ使用し、光源の電源部(Nikon DC POWER SUPPLY NDS-110)は、0~12

Vに電圧を可変可能とした。画像処理装置(クリエイティブシステム(株)BLOB21b)は、透過光の映像を予め設定した輝度レベルで2値化処理し、画素数 0~245,760(512×480)を演算すると共に、この得られた画素数と熟度の関係式から、熟度評価結果を2桁のLEDに表示させるものとした。高感度カメラ(浜松ホトニクス(株)、ナイトビューアーC3100)にリレーレンズ(ナイトビューアー用A2098)を介して、CCDモノクロカメラ(NECTI-23A)を接続し、透過光映像をNTSCの映像信号とした。映像信号は、モニタ(9型白黒)と画像処理装置へ出力した。

3) 定置型評価装置の実用性検証

開発したパインの定置型熟度・障害果評価装置について、実用性の検証試験を行った。試験には沖縄県石垣島で栽培され、商品として販売されたパイン89個(サイズはM果)を用いた。測定項目は、試作装置による画素数の他、果実の直径、高さ、質量、糖度、酸度、表皮色(目視)、果肉色(目視)、病気の有無とした。試作装置で得られた画素数や映像から評価した結果と、実際の目視果肉熟度や内部障害との関係を調査した。

開発装置により、熟度を規定輝度以上の画素数で捉えることが可能であった。図4-12に試験に用いたパインの一例を示し、図4-13に目視果肉熟度と画素数の関係を示す。

また、試験に供した89個の果実で、画素数(透過光量)が極端に少ないものが8個あった。このうち6個が花樟病果で(図4-14)、2個が未熟果であった。さらに、健全な果実と判断した中に、軽度の花樟病に罹病した果実が2個あった。本試験で用いたパインは、商品として販売されたものであるが、未熟果、花樟病果が混在していた。開発装置を利用することで、未熟果、過熟果、花樟病果を除き、熟度の揃った品質の良い商品を消費者に提供できる可能性が示された。

また、パイン以外の青果物について、開発した定置型熟度・障害果評価装置を用いて評価を試みた結果、サツマイモ、日本ナシについて(図4-15)、映像から罹病の有無状況を識別することが可能(図4-16,17)であった。

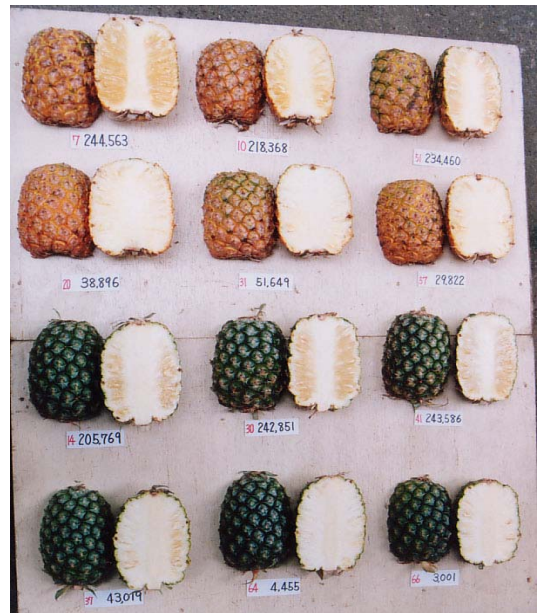


図 4-12 試験に用いたパインアップルの例

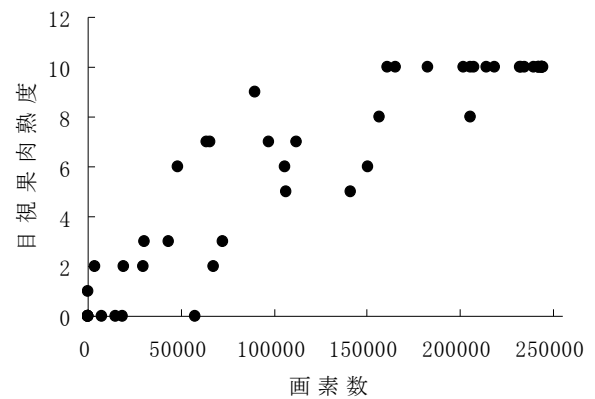


図 4-13 パインアップルの目視熟度と画素数



図 4-14 内部障害(花樟病果)のパインアップル

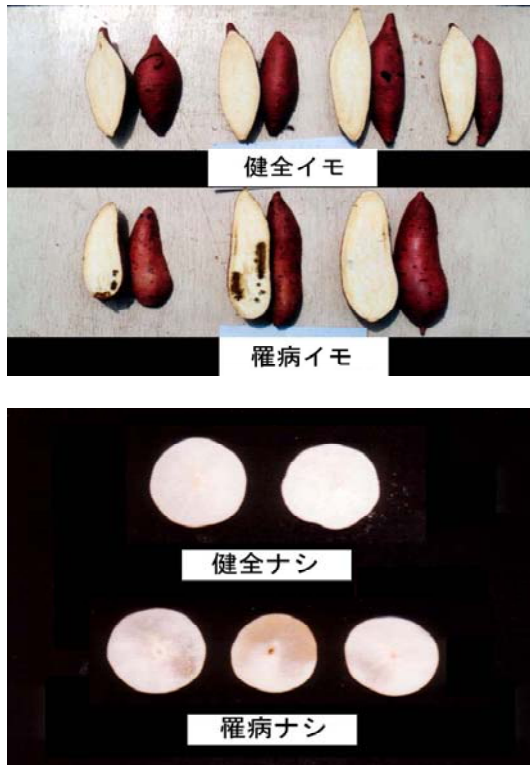


図 4-15 サツマイモと日本ナシの内部障害

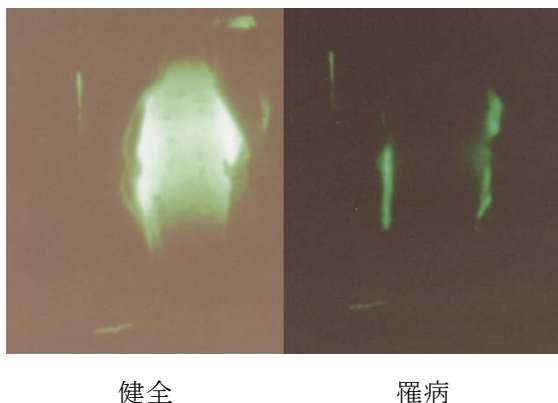


図 4-16 高感度カメラによるサツマイモの映像

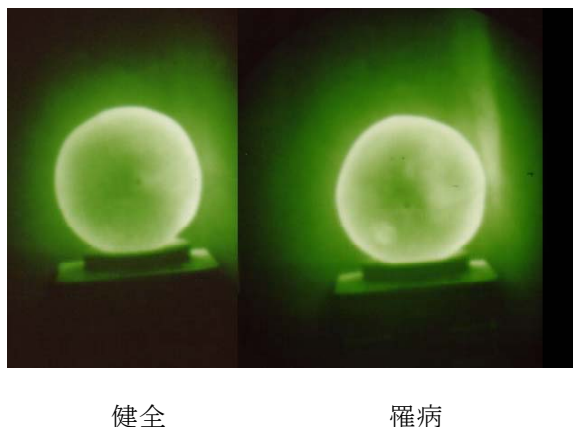


図 4-17 高感度カメラによる日本ナシの映像

4.3 太陽光の透過光による熟度・内部障害評価

定置型の熟度・内部障害評価装置は、ハロゲンランプ光による透過光量で評価するもので、熟度や内部障害果(花樟病果)の評価が可能であった。しかし、生産現場からは、収穫時点で評価可能な装置開発の要望が出された。そこで、立毛中のパインの熟度や内部障害果を評価可能な、携帯型の熟度・内部障害評価装置の開発を行った。

パインからの透過光量を捉えるため、太陽光の利用を検討した。太陽光の利用にあたっては、天候状況や測定時刻によって光の強さが変化することから、まず、太陽光が安定している条件を選び、果実を透過する光量と目視熟度との関係を調査した。図4-18に示すように、太陽光がパインを透過する光量を光電子増倍管で検出し、電圧に変換して読み取った。



図 4-18 太陽光下での透過光量測定

なお、透過光の測定は、収穫したパインを手で持ち、中央部に透過光を検出するセンサ部をあてて行った。パインにあたる太陽光の強さの目安として、測定周辺部の照度(lx)を測定した。測定時の太陽光の強さは、約12000lxであった。供試したパインは、図4-19に示すようなハウス栽培によるパインで、直径が11~13cmの熟度が異なるものとした。

測定結果を図4-20に示す。果肉の目視熟度と透過光量値には高い相関が認められ、透過光量が増えるほど熟度が増す傾向が確認できた。このように比較的安定した太陽光の条件下では、太陽光の透過光量

で熟度評価が可能であることを確認した。

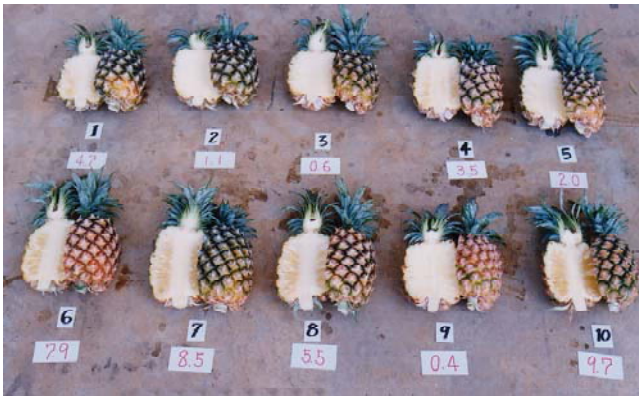


図 4-19 供試したパイナップルの表皮と断面

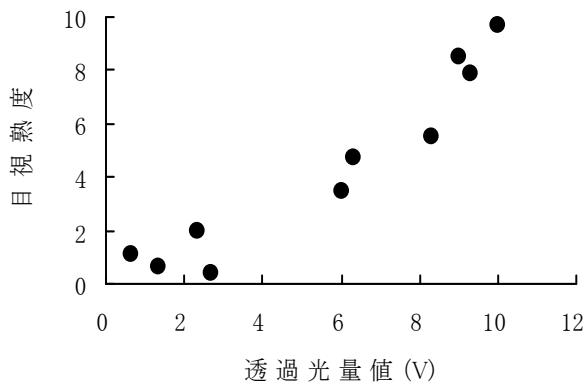


図 4-20 パイナップルの目視熟度と透過光量値

4.3.1 熟度・内部障害評価の基礎試験

1) 基礎試験装置の概要

パイナップルに照射される太陽光(以下「周辺光」と称する)の強さが一定の条件下においては、透過光量で熟度の評価が可能であることを確認した。しかし、現実には、周辺光の強さが天候状況や測定時刻で変化することから、周辺光の変動の影響を受けないようにする必要がある。そこで、パイナップルの透過光とその周辺光を同時に測定するため、図4-21に示すような基礎試験装置を試作した。基礎試験装置は、パイナップルの透過光を計測する際に太陽光を遮光するスポンジフードとその中央部に配置した透過光センサ、スポンジフード上部2カ所に設けた周辺光センサにより構成されている。

これらの光センサは、乾電池で利用できるシリコンフォトダイオード(受光面積:100mm², 感度波長範囲:190

～1100nm, ピーク波長:960nm)で、それぞれ光学NDフィルター(13%, 25%, 50%, 75%)を介して、アンプ出力が適正になるようにした。各光センサが捉えた光強度はアンプを介して電圧で出力した。なお、この基礎試験装置における透過光とは、スポンジフードをパイナップルに密着させた状態で、スポンジフードで覆われていない部分から覆われている部分の中央部へ透過する光をいう。

2) 試験方法

基礎試験装置を用いて、同一パイナップルの周辺光が1万～9万ルクスまで変化した時、透過光センサの出力値を1.0V(一定)にするための補正係数を求めた。供試パイナップルは収穫した露地栽培のパイナップルで、測定は手で持って行った。さらに、この補正係数により透過光データを補正することで、周辺光が異なっても同一熟度のものは同一評価が可能か否かを確認した。供試パイナップルは露地栽培されたものを収穫したもので、熟度の異なる33個(直径11.5～13cm)である。透過光と周辺光の計測は、周辺光1万と9万ルクスの条件下で行った。供試パイナップルの熟度の判断は、定置型熟度・障害果評価装置による画素数を用いて判定した。



図 4-21 周辺光量と透過光量測定の基礎試験装置

3) 試験結果

基礎試験装置を用いて、同一パイナップルの周辺光が1万～9万ルクス時の、透過光センサの出力値を一定にするための補正係数は、図4-22に示すとおりであった。また、透過光のデータを周辺光データで補正した結果は、図4-23に示すように画素数 3×10^4 以上の熟度では

差があるものの、同一熟度の果実はほぼ同一数値となった。この結果から、透過光を周辺光で補正することで、太陽光を光源とする透過光で熟度評価が可能である見通しを得た。

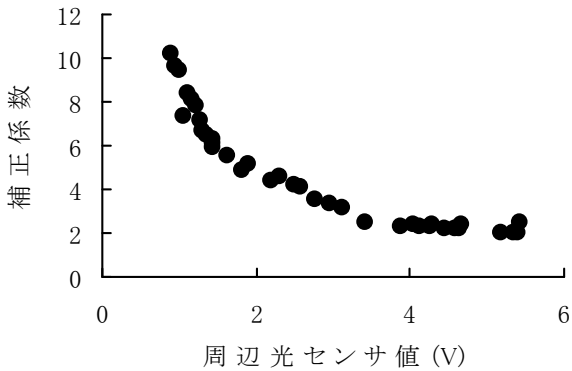


図 4-22 周辺光量と補正係数の関係

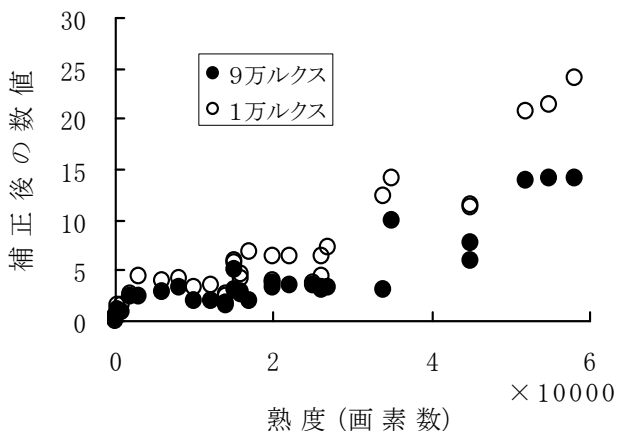


図 4-23 パインアップルの熟度と補正後の数値

4.3.2 装置化に向けた予備試験

1) 試験装置の概要

太陽光による基礎調査の結果に基づき、携帯型熟度・障害果評価装置開発のための予備試験装置を試作した。試験装置による熟度評価は図4-24に示すように、透過光センサのデータを周辺光センサから算出した補正係数で補正(この数値を「測定指数」と定義)し、予め求めておいた測定指数と目視熟度との関係(これを「熟度評価指標」と定義)より行うものとした。評価結果は、コントローラ部に数値データとして表示するとともに、測定部に評価LED(測定作業時の確認を容易にするため、熟度が30%以下を「緑」、40~70%を「黄」、80%以上を「赤」の発光ダイオードで表示)を設けた。予備試

験装置の概略を図4-25、全体を図4-26に示す。

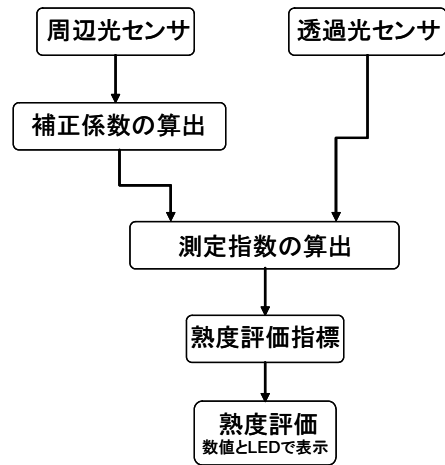


図 4-24 予備試験装置の熟度評価フロー

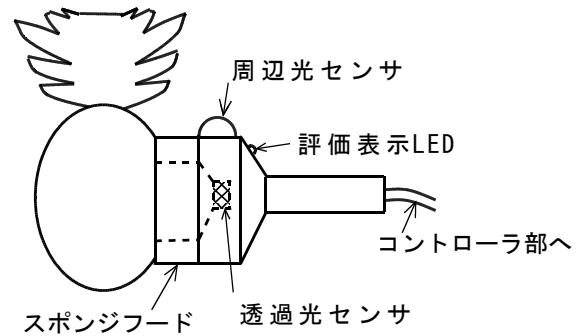


図 4-25 予備試験装置手持ち測定部の概略



図 4-26 予備試験装置の全体

予備試験装置は、乾電池を電源とし、手持ち測定部とコントローラ(センサ出力増幅・演算・評価表示)部から構成される。コントローラ部は、肩掛けまたは腰に付けて持ち運び可能とした。透過光および周辺光センサ

は、基礎試験で利用したシリコンフォトダイオードを使用した。このセンサは、入射光量が約 $1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-3}$ Wまで出力電流(A)と直線関係にあるが、それ以上では飽和する。

アンプ感度は、透過光センサを 10^7 (V/A)に、周辺光センサを 10^5 (V/A)に設定したが、パインを透過する光量は未熟果に対し、過熟果では数10倍～100倍と大きく異なるため、出力が飽和しない範囲で測定できるようにNDフィルターで光センサへの入射光量を低減させて用いた。周辺光センサについても同じ組み合わせのNDフィルターを用いた。また、手持ち測定部のスポンジフードは、太陽光を透しにくい黒色の不織布で覆った。試作装置の利用方法は、パイン果実の中央側面にスポンジフード部を押し当て、スポンジフード部とパインに隙間のないように注意し、握り位置にある測定スイッチを押して評価を行う方式である。

2) 試験方法

試験装置で熟度評価を行うために、熟度評価指標の作成を行った。この指標作成は、収穫されたパインを屋外で手で持った状態で測定した測定指数と目視熟度により求めた。熟度評価指標の作成には、熟度の異なるパイン(果径12.2～13.6cm, 質量1654～2144g)26個を供試した。求めた熟度評価指標を組み込んだ予備試験装置により、ほ場における熟度評価性能を調査した。調査は、図4-27に示すように、ハウス内での収穫前のパイ



図 4-27 予備試験装置による測定状況

ンの熟度評価値を計測するとともに、その同じパインを収穫後にハウス外で手で持った状態で熟度評価値を計測して行った。実際の熟度は、切断面の状況を目視にて0～10分の目視熟度として評価した。供試したパインの性状を表4-2に示す。

表 4-2 供試したハウス栽培パインアップル

目視熟度(分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	過熟
個数(個)	39	24	8	4	9	3	4	5	5	9	5	3
果実直径(cm)	11.3～15.3 (平均12.9)											
果実質量(g)	910～2,610 (平均1,503)											
供試数	118個											

3) 試験結果

試験装置による熟度評価結果は、図4-28に示すように、ハウス内で計測した熟度評価値およびハウス外で計測した熟度評価値それぞれについて、目視熟度との差をグラフで表した。この結果から、目視熟度との差が±20%以内であれば適正であるとすると、ハウス外で手で持って測定した場合の熟度評価は95%が適正であった。しかし、ハウス内の立毛状態で測定した場合の適正評価は約60%であり、+20%ほど評価が異なる傾向にあった。

ハウス内での評価が悪かった理由については、ハウス内での光波長成分が屋外と異なるためと考えられた。従って、熟度評価指標は、ハウス用と屋外用の2種類が必要であることを確認した。

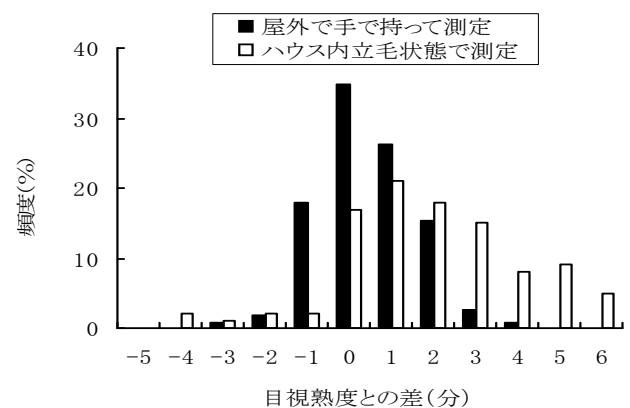


図 4-28 評価結果の目視熟度との差

この結果を受けて、ハウス内での熟度評価指標を作成し、再調査を行った結果、ハウス内での適正評価の

割合が約80%となった。このことから、コントローラ部にハウス用と屋外用の熟度評価指標を組み込み、測定条件に応じて選択できるようにすることにより、立毛状態での評価精度を向上させ得ることが明らかになった。

熟度評価性能以外については、測定部が1.2kgと重く、長時間使用すると疲労が大きいいため、軽量化が必要であること、手持ち測定部の形状が懐中電灯型でパインを手で支えながらスポンジフードを押しつけるには難があったため、握り部分の形を変更する必要があること、また、スポンジフードの前面形状が平らな円筒形で、パイン側面に押しつけた時に光漏れが危惧されたため形状変更が必要である、等の改善点を確認した。

4.3.3 携帯型熟度・内部障害評価装置の開発

沖縄のパイン圃場は、栽植密度4,000本/10aで、畝幅90cmの平畝に2条植え(千鳥に条間60cm, 株間30cm)の栽培が一般的である。畝間は90cmあるが葉の長さは1m以上あり、畝間では葉が20~30cm程度重なりあっている。作業者が楽に歩けるように、栽植本数を減らして畝間隔を広げることが望ましいが、産地では栽植密度は現状を維持したいとの希望がある。このような密植されたパインほ場内で使用することを考慮すると、開発すべき装置は、できるだけ小型・軽量で、片手で操作可能とする必要があると判断した。

1) 携帯型評価装置の概要

予備試験装置による試験結果を踏まえて、携帯型の熟度・内部障害評価装置を製作した。装置の外観を図4-29, その主要諸元を表4-3に示す。



図 4-29 携帯型熟度・内部障害評価装置

表 4-3 携帯型熟度・内部障害評価装置の諸元

手持ち測定部	
外形寸法	φ127×H170 mm
質量	約600 g
光検出器	シリコンフォトダイオード
判定表示	LED (赤、黄、緑)
コントローラ部	
外形寸法	W155×H80×D160 mm
質量	約900 g
アンプ	フォトセンサアンプ
制御	ボードマイコン
判定表示	デジタル4桁
使用電源	DC 6 V (単3電池4本)
	DC 9 V (006P 9 V電池2本)
ケーブル	1.8 m

2) 装置の構成

開発装置は、試験装置と同様に手持ち測定部と肩掛け携行するコントローラ部で構成される。予備試験装置からの改良点を以下に示す。手持ち測定部について、光センサを基盤取り付けタイプに変更してコンパクト化するとともに全体に薄肉化し、質量を1.2kgから0.6kgに軽量化した。また、パインに当てるスポンジフードの形状をパイン側面に密着する形に、手持ち測定部の握りを懐中電灯型から把手型に形状変更した。判定結果が容易に確認できるように評価LED(赤・黄・緑)を把手上部側面に配置した。コントローラ部の測定モード切り換えによって、図4-30に示すような、ハウス内と屋外の2種類の熟度評価指標が選択できるように改良した。

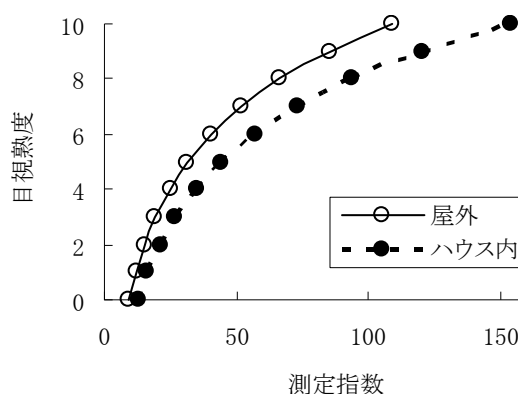


図 4-30 屋外とハウス内の熟度評価指標

3) 携帯型評価装置の実用性検証

a) 熟度・内部障害評価試験

開発装置の性能について、立毛中の露地栽培パイナップル159個を測定し、目視熟度との差を調査した。供試したパイナップルの性状を表4-4に示す。調査の結果、熟度評価は、図4-31に示すように約80%が適正であった。また、開発装置の軽量化や手持ち測定部の改良等の結果、測定時の操作性が向上した。

障害果の評価については、花樟病の疑いのあるサンプルについて熟度評価値を測定し、得られた評価値と実際の障害程度を比較した。なお、障害の程度分類については、重度:全面、中度:半分ないし片側、軽度:一部除去すれば缶詰として利用可能なもの、とした。供試したパイナップルは、収穫されたパイナップルの中から花樟病果と推察されるもの85個を用いた。開発装置での障害果評価は、測定指数が3以下の少ないものとした。調査の結果を表4-5に示す。この結果から、重度の障害果は1回の測定で評価可能であったが、中度障害果では複数部位を測定する必要があった。過熟状態で障害があるものや軽度障害果については判別困難であった。

表 4-4 供試した露地栽培パイナップル

目視熟度(分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	過熟
個数(個)	17	8	11	14	12	12	11	19	14	12	9	20

果実直径(cm) : 10.3~13.2 (平均12.1)
 果実質量 (g) : 970~1,710 (平均1,305)
 供試数 : 159個

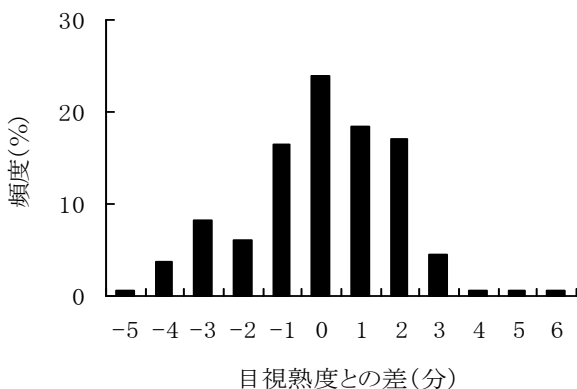


図 4-31 パイナップルの評価結果の目視熟度

表 4-5 パイナップルの花樟病果評価結果

	適正評価	誤判別
重度障害果 (41個)	40	1 (過熟)
中度障害果 (8個)	6	2 (過熟)
軽度障害果 (9個)	0	9
正常果 (27個)	26	1 (一部打撲)

供試数 : 85個

b) 太陽光の受光方位試験

一方、ほ場内で開発装置を利用する場合、太陽光の当たる角度が測定指数に変動を与えると考えられる。そこで、パイナップルの測定する部位が変わらないように開発装置とパイナップルを固定して、その固定したパイナップルと開発装置を、太陽に対して45度刻みに回転させた時の測定指数と熟度判定結果の変化を調査した。表 4-6に結果例を示す。太陽光が当たる角度の変化とともに測定指数に変化が見られるが、熟度の判定結果には大きな差は生じなかった。ただし、周辺光センサにパイナップル冠芽等の影がかかると補正が適正に行われず誤判定する場合が見られた。利用時には、冠芽等で周辺光センサを遮らないように注意する必要がある。

表 4-6 太陽光の向きによるパイナップル熟度評価

角度位置(度)	0	45	90	135	180	225	270	315
測定指数	45	57	59	55	53	54	52	50
熟度評価(分)	7	7	7	7	7	7	7	7

c) 測定部位試験

パイナップルは通常、着果部位から冠芽のある方向に、すなわち下部から上部に向かって熟していく。また、日当たりによって赤道まわりの熟し方も異なる。そこで、1個のパイナップルについて、赤道回りに90度刻みに4箇所の熟度を調査した。その結果、赤道まわりには概ね±10%以内、最大±20%程度の熟度の差が見られた。このことより、開発した装置での熟度評価は、測定時に中央部を大きく外していなければ問題ないと判断された。

d) 果実の大きさ別試験

開発した装置は、パイナップルの熟度を光の透過程度から判定するものであるため、常識的には果実の大きさの影響を受けるものと考えられる。そこで、供試パイナップルを12cm未満、12~12.5cm未満、12.5~13cm未満、13~13.5

cm未満, 13.5cm以上の5グループに分けて果肉目視熟度との差の分布を比較した。極端に小さい果実は中熟が過熟に, 極端に大きい果実では中熟が未熟に誤判定されることがあったことを除けば, 全体として大きさの影響は認められなかった。

4.4 考察

パインについて, 外観からの評価が難しい熟度の程度や内部の罹病等の障害を評価する技術を開発した。パインは熟度が増加するにつれて照射した可視光の透過光量が増すことと, 内部が罹病して果肉が茶褐色等に変色すると透過光量が減少する傾向にあった。しかし, 透過する光の量が僅かであるため, 高感度カメラを利用して透過光量を評価する技術を考案し, 透過光量による映像を画像処理して透過光量の数値化を図った。この技術を基に, それぞれ利用環境に応じた光源を選択, 室内で利用する場合はハロゲンランプ光による定置型装置, ほ場内で利用する場合は太陽光による携帯型装置を開発した。

4.4.1 定置型熟度・内部障害評価装置

収穫したパインを評価する定置型熟度・内部障害評価装置は, 高感度カメラを利用することで, 肉眼では確認できなかった未熟果, 適熟果の透過光を映像として捉えることが可能であった。また, 試作装置による熟度の評価については, 表皮の着色程度には関係なく, 未熟のものは透過光量が少なく, 熟度が進むにつれて透過光量が増加する傾向が確認でき, 画素数と映像状況から可能であった。

この場合, L果とS果のように果実の大きさが異なると, 同一熟度であっても画素数に差を生じるため, 画素数のみで熟度を評価するには, 予め大きさを揃えるか, 大きさによる補正を必要とした。また, 内部障害のうちコルク化した花樟病果は, 透過してくる光の量が極端に少なくなることから評価可能であった。ただし, 罹病の軽度な果実の評価は困難であった。花樟病以外の, 内部

障害の評価については, さらに確認する必要がある。また, 本研究で得られた透過光を高感度カメラにより捉え内部品質を評価する手法は, サツマイモの内部黒変や日本ナシのみつ症の内部障害評価にも適用が可能であった。

4.4.2 携帯型熟度・内部障害評価装置

ほ場内で利用可能な携帯型の熟度・内部障害評価装置は, 太陽光を光源として得られる透過光により, 熟度や障害果の評価が可能であった。ただし, 照射される太陽光の強さは一定ではないことから, 透過光量を周辺光量で補正する必要があった。

開発した装置は, 測定部(600g)と肩掛け式のコントロール部(900g)より構成され, 小型軽量で携帯可能な装置とすることができた。また, 熟度や障害果の評価には, ハウス内測定用指標と屋外測定用指標の2種類が必要であった。熟度評価精度について, 目視熟度との差が±20%以内に入る適正判定割合は, 立毛中(ハウス, 露地)では約80%, 収穫後のパインを手で持って測定した場合は約95%であった。この評価誤差は, 測定部位による影響が最大20%程度, 太陽の向きによる影響が約10%程度であり, 立毛中の測定においては, 冠芽や葉などの影響が認められた。

障害果(花樟病果)の評価については, 重度の障害果は1回の測定で評価可能であったが, 中度障害果では複数部位を測定する必要があった。なお, 過熟状態で障害があるものや軽度障害果については判別が困難であった。

以上, 開発装置は, 小型で軽量化されているため, ほ場内で片手で操作が可能であり, 熟度評価については, 収穫適期の果実を選択収穫するために必要な精度を有していた。障害果の評価については, 中度以上の花樟病果の評価は可能であったが, 過熟の障害果や軽度の障害果評価は困難であった。実用化については, 販売価格が160万円程度となる積算見積りのため, 低価格化が必要である。

第5章 温度特性に基づく西洋ナシの食べ頃評価技術の開発

5.1 緒言

西洋ナシのラ・フランスは、追熟が進んでも外観上ほとんど変化が見られず、食べ頃時期(追熟程度)を判断することが難しい。第3章では果実を軽打して果実バネ定数を求めることで、追熟程度を評価する「追熟程度評価装置の開発」について述べた。しかし、この装置による食べ頃判定は産地での利用に限られ、出荷する時点の熟度から食べ頃時期を推定せざるを得ない。そのため、出荷時点では同一熟度であっても、その後の追熟環境条件によって食べ頃時期が異なってくる。これまでに、果実等の品質を簡便に評価する手法として我妻ら¹¹⁵⁾は、メロンの異常果や収穫適期の判定に、果実から発生する揮発性成分ガスに反応して色変化するラベルの研究を行った。しかし、このラベルは対象果実以外から発生するガスの影響を受けることや、ラベルの色変化の再現性等の問題があり実用化には至っていない。

著者らは、出荷後の店頭に出た時点や消費者の手元で、食べ頃時期の判断が簡便にできる判定ラベルを開発した。果実の追熟に最も影響しているのは、置かれた環境の温度であることが経験的に知られている。暖かい場所に置いた果実は追熟が速く、低温の環境下では追熟が遅い。このことに着目して、追熟環境温度と追熟の関係について調査した。

また、産地から出荷された果実が、実際にどのような温度環境にあるかを把握するために、出荷段ボール箱内に温度計測装置を入れて、流通過程の温度履歴の実態調査を行った。さらに、追熟環境の積算温度(温度×時間積算)の表示が可能なラベルを試作し、このラベルの色彩変化で食べ頃時期の評価の可能性を確認する一方¹¹⁶⁾、この「食べ頃ラベル」の実用性の検証¹¹⁷⁾¹¹⁸⁾も行ったので、以下にこれらの結果について述べる。

5.2 積算温度による西洋ナシの追熟評価

5.2.1 追熟程度評価の基礎調査

ラ・フランスの食べ頃を、追熟環境下の積算温度で評価する手法の可否を確認するため、追熟環境温度と追

熟程度の関係について調査した。また、産地から出荷された果実が、どのような温度環境下で流通しているか温度履歴の実態調査を行った。

1) 追熟環境温度調査

a) 調査方法

追熟環境温度と追熟程度の関係試験では、追熟環境温度の異なる3試験(20°C, 15°C, 室温)を設定し、積算温度(1時間毎の平均温度を積算)と追熟の関係を調査した。供試サンプルは、山形県園芸試験場で栽培された果実で、前処理として低温処理(5°Cの低温庫内で10日程度保管)と、エチレン処理(濃度約400ppmのエチレンガス環境下で48時間程度保管)を行った果実を用いた。追熟の指標としては、果肉の硬さを貫入式の果実硬度計FT011(プランジャ径φ8mm)で測定したデータを用いた。追熟環境温度の積算は、各試験とも1時間ごとのデータを積算して行った。また、果実硬度については1~2日毎に計測した。

b) 調査結果

基礎調査の結果、追熟の程度を示す積算温度と果実硬度との関係は、低温処理区で図5-1のとおりであった。追熟環境温度が高い試験区ほど追熟が速まる傾向にあり、積算温度と果実硬度に相関があることが明らかになった。エチレン処理区の結果も同様であった。

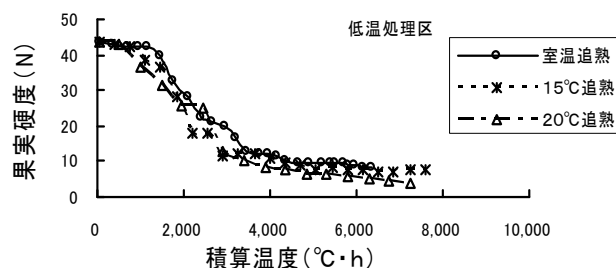


図 5-1 積算温度と西洋ナシ果実硬度

2) 温度履歴調査

a) 調査方法

果実の出荷後の温度履歴調査では、小型の温度記

録計(三洋電機(株)製,「ボタン型クールメモリー」SEC-CD16TB)を果実と一緒に5kg入り段ボール箱内に入れて(図5-2),段ボール箱を開封した者に,温度記録計入りの封筒の返信を依頼して回収した。温度計を入れた段ボール箱は,寒河江市農協の協力を得て5カ所に発送し,温度記録計が返送された時点で,温度履歴を読み取った。



図 5-2 温度記録計と出荷段ボール箱

b) 調査結果

果実出荷後の温度履歴調査を5カ所実施した結果,大阪,横浜,浦和,東京,返信地不明の5カ所から返送があった。返信地が明らかな4カ所についての発送から開封までの温度履歴は,図5-3のような結果であった。それぞれの温度履歴は,約10℃から約20℃の間で変化していた。この様なことから,出荷された後は,それぞれ異なる温度環境に置かれていることを確認した。

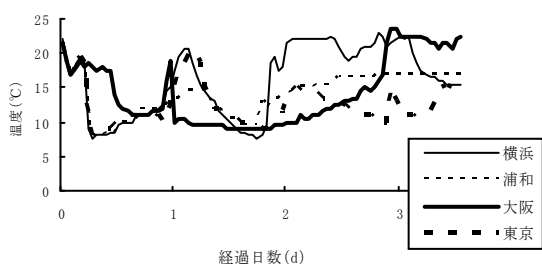


図 5-3 西洋ナシ輸送中の温度変化

3) 結論

以上により,ラ・フランスの追熟程度について,環境温度の積算値を利用して予測する可能性を認めた。ま

た,積算温度による食べ頃の評価は,出荷後の流通過程における温度履歴がそれぞれ異なっていたことから,有効な手段と考えられた。また,流通段階の温度変動については,短時間の変動の場合,果実の温度と環境の温度に差が生じるが¹¹⁹⁾,今回調査した変動程度では環境温度を果実の温度とみなして良いと判断した。

5.2.2 食べ頃判定ラベルの開発

簡便にラ・フランスの食べ頃を評価するため,温度表示を利用した判定ラベルを試作した。また,試作したラベルに影響を及ぼす可能性のある温度以外の要因として,炭酸ガス,エチレン,湿度等による影響を調査した。さらに,食べ頃判定ラベルを実用化するために,ラベル資材の低価格化と,出荷時点での添付作業の簡略化のため貼り合わせ装置を検討した。

1) ラベルの概要

温度表示ラベルは,「サーモラベル」,「示温ラベル」,「温度履歴インジケータ」などと称される市販品があり,ラベルが曝されている温度(その時点での温度)をラベルの色等で表示するものと,ラベルが曝されていた期間の温度履歴を色等で表示する「温度-時間積算ラベル」がある。本研究においては,後者の温度履歴を表示するタイプのラベルを用いることとしたが,市販のラベルには追熟環境下の温度-時間積算に利用可能な製品が見あたらなかったため,積算温度の増加によって色彩が変化する新たな表示ラベルを試作した。

図5-4は,試作ラベルの基となった市販品の低温状態を監視する既製品で,設定温度以上の環境になると中央の●色が濃くなり,設定温度以上に達したことを示すラベルである。

試作したラベルは,図5-4のラベルと同様に染料が浸透層に浸透して中央部分の色が積算温度の増加と共に濃くなり,この色の濃淡で積算温度を表示する。ラベルは,染料層を支持するシートと染料が浸透して発色する染料浸透層から構成され¹²⁰⁾(図5-5),使用時に③染料支持シートと①染料浸透層を貼り合わせた時点からの積算温度を,浸透層中央部分の色で示す。

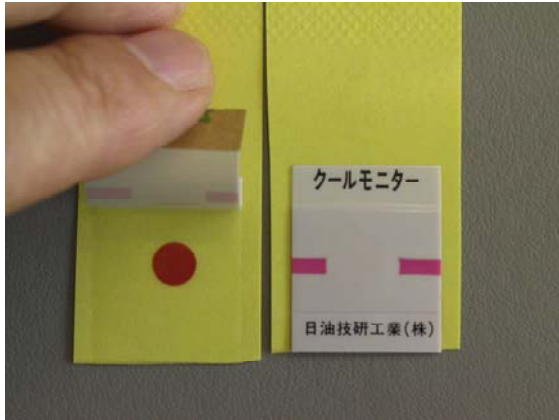


図 5-4 低温監視用のサーモラベル

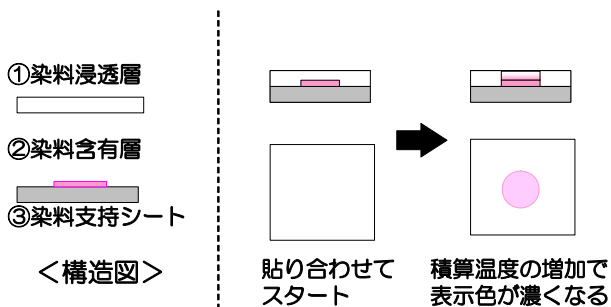


図 5-5 試作ラベルの概要

試作ラベルは、中央部分が淡い赤色から濃い赤色に変化し、参考色と比較することでおおよその積算温度を知ることができる(図5-6)。図5-6の ΔE 値は、中央部分の赤色程度を数値で示したもので、色彩色差計で計測したLab表色系の色差値を表す。

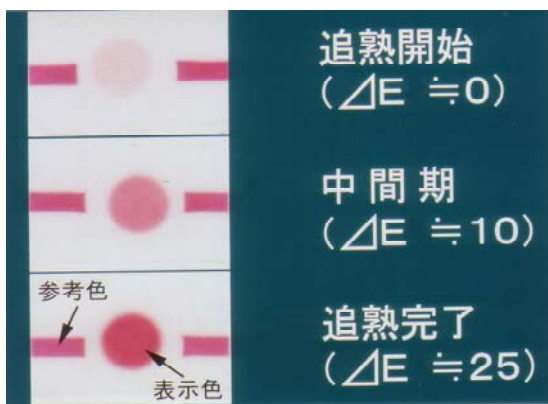


図 5-6 試作ラベルの色変化

2) ラベルの実用性試験

試作ラベルによる食べ頃判定の可否を確認するため、表示色変化と積算温度の関係、及び果実硬度と積算温度の関係について試験を行った。また、ラベルの表示色が温度以外の環境要因に対してどの程度影響されるか、湿度、炭酸ガス、エチレンガスについて試験を実施した。

a) 温度履歴と食べ頃の関係解明試験

試験には、山形県園芸試験場で栽培されたラ・フランス(196個)を供試した。追熟を揃えるための前処理として、エチレン処理(250ppm, 48時間, 39個)と低温処理(5°C, 10日間, 157個)を実施した。追熟温度環境の試験区は、低温処理したサンプルについて、1) 室温区(30個), 2) 15°C区(30個), 3) 10°C区(30個), 4) 15°Cで2日5°Cにする区(37個), 5) 室温で2日5°Cにする区(30個)の5区を設けた。エチレン処理したサンプルについては、果実数の制限から室温追熟区のみで実施した。試作ラベルは、果実硬度が約40~50Nの時点で貼付して試験を開始した。ラベルの表示色変化は、色彩色差計(ミノルタカメラ㈱CR-100)を用いて色差の ΔE 値で評価した。果実硬度は、原則として2日おきに各試験区からサンプルを3個程度無作為抽出し、果実硬度計(富士平工業㈱ FT011, プランジャ径 ϕ 8mm)を用いて測定した。積算温度は、各試験区の温度履歴をデータロガーに記録し、1時間毎の温度を加算することで求めた。

試験区の追熟環境温度は、図5-7に示したとおりであり、これらの追熟温度条件での積算温度と果実硬度の関係は、図5-8の結果となり、果実硬度が10Nとなる食べ頃を示す積算温度は、10°C区で約6,000°C・h, 15°C区で5,000~6,000°C・h, 室温区で4,000~5,000°C・hであった。追熟環境温度が低くなるに従い、食べ頃に達する積算温度が増加する傾向にあった。また、エチレン処理区は、処理後の果実硬度がやや軟らかくなる傾向が見られ、食べ頃の積算温度は3,000~4,000°C・hであった。

積算温度とラベル色差の関係は、図5-9に示す結果となった。参考色とほぼ同程度の表示色を示す色差値20~25に達する積算温度は10°C区で6,000°C・h,

15℃区で4,000~5,000℃・h、室温区で3,000~4,000℃・hであった。ラベルの色差変化も果実硬度の変化と同様に、追熟環境温度が低くなるに従い、食べ頃に達する積算温度が増加傾向にあった。

このようにラベルの色差変化は、追熟環境温度の積算値と相関が認められ、環境温度が低下するにつれて

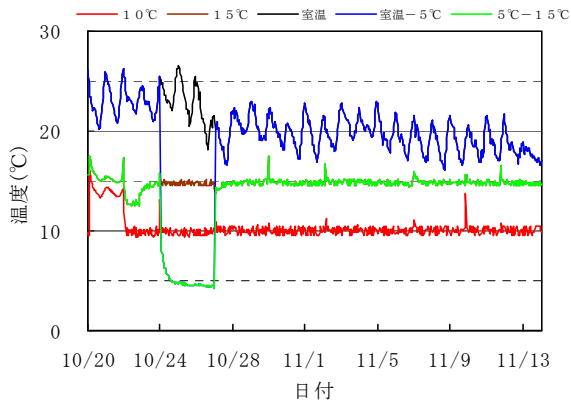


図 5-7 各試験区の温度状況

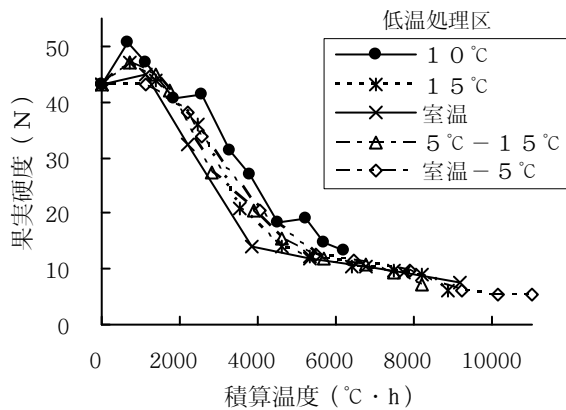


図 5-8 積算温度と果実硬度の関係

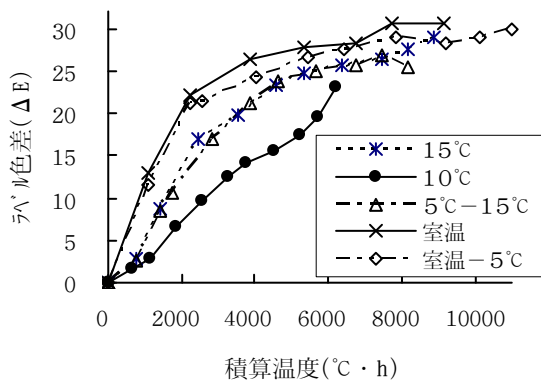


図 5-9 積算温度とラベル色差の関係

食べ頃を示す色差までに達する積算温度が増加する傾向も共通している、試作ラベルの色彩変化でラ・フランスの食べ頃を判断できることを確認した。

b) エチレンガス、炭酸ガス、湿度等の影響を判定する試験

ラ・フランスの追熟環境要因には、温度の他にエチレンガス、炭酸ガス、湿度、光がある。これらの要因のうち、光についてはラベルの利用が出荷容器内を想定しているため除いて、試作ラベルの色彩変化への影響について試験を行った。

ラベルの色彩変化に対する、エチレンや炭酸ガスおよび湿度の影響調査は、デシケータ内にラベルのみを入れて、内部のガス濃度をエチレンガス約100~600ppm、炭酸ガス2~12%の状態にし、同一温度環境下に置いて比較を行った。また、湿度の影響は、デシケータ内にラベルと果実を入れて、相対湿度90%以上の状態での色彩変化を比較した。試験区としてデシケータを8つ用意し、低温区(約5℃)と室温区(平均約14℃)を、それぞれ4つずつ分けた。4つのデシケータは、1)エチレンガスを注入(2ml)、2)炭酸ガスを注入(100%濃度を約3秒間スプレー)、3)栓をしないう周空気、4)果実のみを3個入れた区、以上の4試験区を構成した。

各々のデシケータ内部に食べ頃ラベルを貼り付けたシートを入れ、原則3、4日おきにラベルの色彩変化を色彩色差計(日本電色(株)CR-3000)を用いて測定した。毎回の測定時に、デシケータ内部のガス成分は一旦外部空気と入れ換え、その都度、エチレンガスと炭酸ガスを再度注入して試験を継続した(図5-10)。



図 5-10 エチレンガス等の影響調査状況

試験の結果から、エチレンや炭酸ガス、湿度はラベルの色彩変化に影響しないことを確認した(表5-1)。光については今回調査していないが、直射日光などの強い光を受けると色彩変化に影響があると考えられるため、利用に際しては光が当たらないよう注意する必要がある。

表 5-1 ガスや湿度の違いによるラベル色差比較

経過日数 (d)	4	12	21
エチレンガス(100~600ppm)	9	15	17
炭酸ガス (2~12%)	8	14	16
果実区 (90~98%R. H)	10	16	18
対照区 (35~60%R. H)	8	14	16

※数値は、色差 ΔE 値を示す

c) 結論

これらの結果により、試作ラベルの色彩変化でラ・フランスの食べ頃を判断でき、また、ラベルの色彩変化にエチレンや炭酸ガス、湿度は影響しないことを確認した。しかし試作ラベルは、1枚100円程度の製造原価となることが算定されたため、産地で出荷されている5kg箱1箱当たりの資材費(段ボール箱、緩衝材等)が約180円であることから、実用化にはラベル資材の低コスト化が必要であることが判明した。また、試作ラベルは、1枚毎に貼り合わせて利用するタイプであり、産地等で利用するに際しては、貼り合わせに時間を要する。そのため、連続して貼り合わせが可能で低価格なラベルを再度試作した。

ラベルの再試作に当たっては、食品を対象としていることから、安全性を確保するため、食品添加物着色料原料のイリドイド化合物ゲニピンと食品添加物アミノ酸グリシンを用いた。この試作したラベル(以下、「実用化試作ラベル」)は、2種類のテープを貼り合わせることで、初期の白色から積算温度が増加するに伴い青色に変化するものである(図5-11)。また、2種類のテープを自動で貼り合わせる貼り合わせ装置も試作した(図5-12)。実用化試作ラベルは、低価格(1枚10円程度)で提供できる見通しを得たが、色彩変化に対して環境湿度が影響するため、この湿度の影響を改善する必要があ

った。

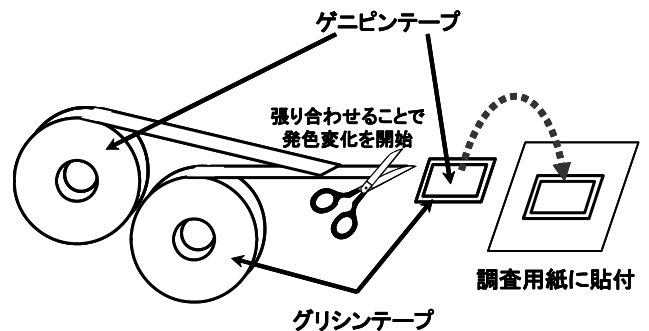


図 5-11 実用化試作ラベルの概要

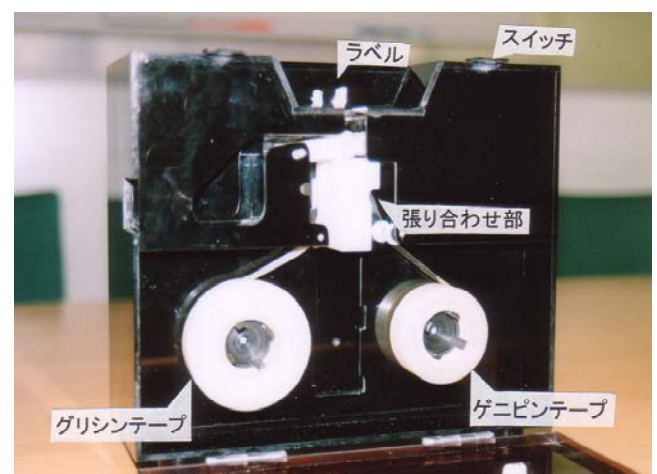


図 5-12 ラベル貼り合わせ装置

5.3 考察

ラ・フランスの追熟は、置かれた環境の温度に影響されることから、環境温度の積算と追熟の関係を調査した。その結果、積算温度と追熟との間に相関が認められたため、積算温度を表示するラベルを試作した。

試作ラベルで食べ頃を評価した結果、ラベルの色変化で食べ頃を判断できることを確認したが、このラベルは1枚100円程度のコストがかかり、実用化にはラベル資材の低コスト化が必要と判断し、低価格の実用化試作ラベルを再度試作したものの、積算温度表示の性能が劣った。このラベルによる追熟程度評価は、置かれた環境の温度により行うため、同一環境下に置かれたサンプルは全て同じ食べ頃と評価されたが、実際は個体差があり同一ではない。より正確な評価をするには、追熟と共に発生するエチレンガスを検出して総合的に判定する手法が有効と考えられた。

第6章 総括

本研究では、多様化する食材の内、需要が拡大しつつある青果物を対象として、当該青果物の圧縮特性、振動特性、光学特性および温度特性などの各種物理特性を基に、個別農家や経営規模の小さな選別包装施設での利用を可能とする、簡易であり高精度な内部品質評価技術と、同技術を利用した装置の開発を実施し、以下のような結果を得た。

6.1 圧縮特性に基づくキウイフルーツ等の軟らかさ・食べ頃評価技術の開発

青果物食材の多様化という社会情勢のもと、比較的近年になって我が国に導入され、熟度の経時進行とともに果皮・果肉の組織が軟化する傾向にあるキウイフルーツ、マスクメロン、マンゴー等の青果物を対象として、力学特性の一つである圧縮特性を利用した非破壊品質評価技術の確立と装置開発を行った。評価する品質は、青果物の食べ頃評価基準として重要な要素である果肉等の硬さ(「食べ頃」は、果肉などの硬度の低下した状態、すなわち「軟らかさ」に、ほぼ一致する。従ってこれまでも「軟らかさ」と表記している)とした。

従来の軟らかさ評価方法は、果実硬度計や引張・圧縮試験装置によってプランジャ等を対象物に貫入させた時の最大力で評価するものであり、破壊測定が前提である。そのため、一個体の経時的な評価や全数検査は困難であり、抽出したサンプルのデータから推測せざるを得ないのが実状であった。この問題を解決するために、対象物に接触はするが破壊に至らない、弾性範囲内の圧縮変形量を捉えて、軟らかさを評価する手法を確立した。

この手法を基本とし、圧縮力や変形量範囲等を任意に設定可能な汎用性のある軟らかさの評価装置「汎用型軟らかさ評価装置(以下、「HITカウンタ」と記述する)」を開発した。また、キウイフルーツを軟らかさを基準として仕分ける「キウイフルーツの軟らかさ選別装置」、さらに、小型軽量で携帯可能な「携帯型軟らかさ判定器(以下、「ハンディHIT」と記述する)」を開発した。

HITカウンタは、従来の引張・圧縮試験機と制御装置で計測するシステムに比較して幅180mm、高さ455mm、奥行き250mmの単体の装置であり、容易に持ち運びが可能である。また、HITカウンタは、圧縮力や変形量の測定条件設定により、①規定の圧縮力に対する変形量(HITカウンタ値)で評価すること、②規定の変形量に対する圧縮力で評価すること、③従来の最大圧縮力で評価すること、の3つの測定を可能とした。非破壊計測は①と②を利用し、本研究では主として①を利用した。さらに、取扱いや操作性については、装置のキーボードで条件設定等を行い、特に専門的知識を要することなく利用できるように考慮し、一度設定した測定条件は、電源を切っても設定を変更するまで保持し、日々の繰り返し計測が容易な評価装置とした。

HITカウンタ利用上の留意点として、本装置での非破壊評価では対象物に接触、一部変形させるため、予め対象物の弾性変形範囲を把握し、評価のための適切な条件を設定する必要がある。また、前述のように利用者の目的に合わせて任意に利用条件を設定できる反面、測定データを比較する場合は測定条件の統一が必要である。

HITカウンタの実用性を検証した結果、キウイフルーツについては農林水産省果樹試験場、愛知県農業総合試験場から、カキについては岐阜県農業総合研究センターから、マンゴーについては沖縄県農業試験場から利用が可能であったとの報告が行われている。これらの報告を踏まえて、それぞれ目的に応じた測定条件を見出すことにより、試験研究機関を始めとして多くの青果物を対象に、現場で利用拡大が可能と考えられる。

キウイフルーツの軟らかさ選別装置は、装置全体の寸法が全長210cm、全高150cm、全幅70cmで、駆動用電源はAC100V、配果用に約0.4kWの小型コンプレッサーを必要とする。選別能力は、連続して1秒間に3個の処理速度で、軟らかさの程度を3ランクに仕分けることが可能であった。本装置の利用に際しては、予め搬送速度に合わせて、3ランクに仕分ける変形量を設定する

必要がある。また、搬送コンベヤの速度が変化すると検出する変形量も変わるため、搬送速度に注意する必要がある。この選別装置は愛媛県内の産地における現地試験の結果、実用に供しう得ることが認められた。また、小型で利用も簡便であるため、小規模な共同選別包装施設や個人農家での利用が可能であり、さらに、この基本機能から発展すれば、大型の共同選別包装施設での、より高速な軟らかさ選別装置への展開も可能と考えられる。

ハンディHITは、対象物に加える圧縮力にコイルバネを利用し、そのバネ圧縮力による変形量をダイヤルゲージで表示する機構で、質量230g、全長124mmの小型測定器である。ダイヤルゲージの指示値は、置き針で保持するようにしてあり、読み取り易い。キウイフルーツの評価には、バネ圧縮力3.9~4.9kN(400~500gf)が適しており、その装置を「ハンディHIT400-500」と称し、実用性の検証を行った。

神奈川県園芸試験場と、農水省果樹試験場興津支場で利用した結果、本装置の実用性が高いとの報告があった。キウイフルーツ以外の果実では、長崎県果樹試験場でハウスミカンの灌水管理に利用した報告があった。これらの結果より、ハンディHIT400-500のバネ圧縮力より弱い「ハンディHIT100-400」、それよりも強い「ハンディHIT500-800」を製作し、多くの青果物への対応を可能とした。

本研究で開発したHITカウンタと、ハンディHITは商品化され、現在までに前者が10台(栄信工業㈱より、定価150万円)、後者が155個(富士平工業㈱より、定価5万円)全国に普及している。また、これらの装置・機器は、現在の選果包装施設等で利用されている装置に比べて、取扱性や価格面から個々の農家や小規模の施設での利用が可能なものとなった。なお、ハンディHITは、汎用性や判定精度に限界があり、また、測定に当たっては、簡便な反面、個人差による測定誤差を生じ易いことに注意する必要がある。

6.2 振動特性に基づく西洋ナシの追熟程度・食べ頃評価技術の開発

近年ポピュラーな食材となりつつあって、収穫後に追

熟処理を要する西洋ナシのラ・フランスを対象として、動的力学特性である振動特性を利用した非破壊品質評価技術の確立と装置開発を行った。本研究テーマでは、対象物を軽打した時の打音や振動を捉えて、内部品質の指標である熟度過程を計測し、食べ頃を評価する手法を確立した。具体的には、対象物を軽打した時の振動ピーク周波数と果実質量から「見かけの果実バネ定数」を求めて、その果実バネ定数で食べ頃を評価する技術である。

この技術を基本とし、ラ・フランスの食べ頃を評価する装置を開発した。開発した装置により、従来の破壊による評価に代わって、非破壊で食べ頃を評価することが可能になった。本装置は、測定部と解析部からなり、それらの寸法は、測定部が20cm×15cm×29cm、解析部が23cm×31cm×21cmで、小型軽量で容易に持ち運びできる装置となった。操作については、果実を測定部に載せて、計測開始スイッチを押すだけで評価が行える。

この追熟程度評価装置は、ラ・フランスの出荷時期や食べ頃の推定に利用できる見通しを得たが、果実バネ定数を用いた追熟程度の評価には、収穫後に行われるエチレン処理や低温処理の前処理方法に合わせた指標が必要であった。

ラ・フランスの食べ頃判定として、果実のバネ定数以外の評価手法として、第2章で述べた弾性変形範囲内の圧縮特性による技術も考えられるが、追熟が進むにつれて果肉の弾性変形の範囲が少なくなり、圧縮力で塑性変形が生じることから利用に適していない。また、第4章で述べた透過光による評価についても試みたが、追熟程度と透過光量には相関が見られなかった。

6.3 光の透過特性に基づくパインアップルの熟度・内部障害評価技術の開発

国内では主に沖縄県で栽培され、未熟・適熟・過熟の程度や内部の罹病等障害の有無が、果皮色等の外観から判断困難なパイン等の青果物を対象として、可視光を利用した非破壊品質評価技術の確立と装置開発を行った。本研究テーマでは、対象物を透過した光を捉えて、熟度や内部障害を評価する手法を確立した。具体的には、人工光源であるハロゲンランプ光の透

過を利用して熟度や内部障害を評価する技術と、太陽光の透過を利用して評価する技術の2方式である。

これらの手法を基本とし、外観から熟度や内部障害の評価が困難なパインの熟度や内部障害を評価する装置を開発した。開発した装置は、収穫後のパインを室内で評価する「定置型熟度・内部障害評価装置」と、収穫前のパインの熟度や内部障害をほ場内で評価できる「携帯型熟度・内部障害評価装置」の2機種である。

定置型熟度・内部障害評価装置は、全体寸法が全長155cm、全高143cm、全幅50cmであり、駆動に要する電源はAC100Vとした。本装置は、パインに100Wのハロゲンランプ光を照射して、透過した光のみを高感度カメラにて映像として捉え、映像の明るさの程度から熟度や障害の評価を行うものである。本装置による熟度の評価では、表皮の着色程度には関係なく、未熟のものは透過光量が少なく、熟度が進むにつれて透過光量が増加する傾向が確認でき、設定輝度以上の画素数と映像状況から評価が可能であった。なお、L果とS果のように果実の大きさが異なると、同一熟度であっても画素数に差を生じるため、画素数のみで熟度を評価するには、予め大きさを揃えるか、大きさによる補正を必要とした。

次に、内部障害のうちコルク化した花樟病果は、透過してくる光の量が極端に少なくなることから評価可能であった。しかし、コルク化に到らない軽度な罹病果の評価には難があった。花樟病以外の内部障害の評価については、さらに確認する必要がある。パインの生産現場では、熟度や内部障害の評価を、経験と勘で行っていたため、未熟果や内部障害果が混入していた。しかし、この装置を利用することで、健全で適正な熟度のパインを消費者に提供できる可能性が示された。また、本研究で得られた透過光を高感度カメラにより捉え内部品質を評価する手法は、サツマイモや日本ナシの内部障害の評価に応用できることから、内部品質が健全で適正な青果物の流通に寄与すると考えられる。

携帯型の熟度・内部障害評価装置は、太陽光を光源として得られる透過光により、熟度や障害果の評価が可能であった。しかし、照射される太陽光の強さは一定でないことから、透過光量を周辺光量で補正する必要があった。開発した装置は、測定部(600g)と肩掛け式のコントロール部(900g)より構成され小型軽量で、ほ場内で

片手操作が可能な携帯装置とすることができた。また、熟度や障害果の評価には、ハウス内測定用指標と屋外測定用指標の2種類が必要であった。熟度評価精度について、目視熟度との差が±20%以内に入る適正判定割合は、立毛中(ハウス、露地)では約80%、収穫後のパインを手で把持して測定した場合は約95%であった。この評価誤差は、測定部位による影響が最大20%程度、太陽光がパインと装置に当たる角度による影響が約10%程度であり、立毛中の測定においては、冠芽や葉などの影響と考えられた。

障害果(花樟病果)の評価については、定置型熟度・内部障害評価装置と同様、重度の障害果は1回の測定で評価可能であったが、中度障害果では複数部位を測定する必要があり、過熟状態で障害があるものや軽度障害果については判別が困難であった。

6.4 温度特性に基づく西洋ナシの食べ頃評価技術の開発

6.2のテーマと同様に、収穫後に追熟を必要とする果実のうち、追熟程度の判断が表皮色等の外観や触ったときの触感では困難な西洋ナシのラ・フランスを対象として、温度特性を利用した非破壊品質評価技術の確立と利用が簡便な評価用ラベルの開発を行った。具体的には、温度×時間の積算で表示色が変化するラベルを用いて、このラベルの色彩変化で食べ頃を評価する技術である。

果実の追熟は、置かれた環境の温度に影響されるため、環境温度の積算と追熟の関係を調査した。その結果、積算温度と追熟との間に相関が見られたことから、積算温度を表示するラベルを試作した。試作ラベルは、温度の積算によって染料が浸透層に浸透することで色が濃くなるもので、染料層を支持するシートと染料が浸透して発色する染料浸透層からなる。ラベルの使用方法は、使用時に染料支持シートと染料浸透層のシートを貼り合わせることで積算温度を色で推測するものである。

試作ラベルで食べ頃を評価した結果、ラベルの色変化で食べ頃を判断できることを確認した。しかし、試作ラベルは、1枚100円程度のコストがかかり、実用化にはラ

ベル資材の低コスト化が必要であった。また、このラベルによる追熟程度評価は、置かれた環境の温度から推定しているため、同一環境下に置かれた果実は、全て同じ食べ頃と評価されたが、実際は個体差があり全く同一ではない。より正確な評価をするには、追熟と共に発生するエチレングスを検出して判定する手法が有効と考えられた。

6.5 結 論

以上のように、新たな青果物に対して、熟度や食べ頃、あるいは内部障害等これまで評価できなかった内部品質の非破壊評価技術と装置を開発した。これら開発した技術や装置は、健全で高品質な青果物を求める消費者ニーズに応えるとともに、産地・生産者にとっても品質の安定した青果物の生産提供が可能になり、輸入農産物や労働力不足に悩む国内生産の活性化にも寄与するものと期待されている。今後も新たな青果物の導入が進むと推察され、生産者や消費者が求めるニーズに応えるためにも、青果物の内部品質を非破壊で評価する技術開発はより重要になると思われる。

謝 辞

本研究を実施するにあたっては、生研機構の芦澤利彰元理事、菅原敏夫元理事、木田滋樹元理事より暖かなご支援と研究環境を与えて頂いたことに対して心より感謝いたします。また、元園芸工学研究部長の三浦恭志郎氏、倉田勇氏、長木司氏よりご指導いただいたことに感謝いたします。研究の推進には、沖縄県農業試験場、沖縄県経済連、農林水産省熱帯農業研究センター沖縄支所（現独立行政法人国際農林水産業研究センター 沖縄支所）、農林水産省果樹試験場（現独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所）、山形県立園芸試験場（現山形県農業総合研究センター 農業生産技術試験場）、愛媛県青果農業協同組合連合会等の関係者より、サンプル果実の提供や現地での試験研究に対するご協力をいただきました。また、試験研究に際しては、元山形県立園芸試験場の駒林和夫氏、野口協

一氏、元生研機構園芸工学研究部特別研究員の宮浦友宏氏のご協力を賜りました。さらに、本研究における試験装置の試作については栄信工業株式会社、食べ頃ラベルの試作については日油技研工業株式会社、東洋エフ・シー・シー株式会社のご協力をいただきました。ここに深くお礼申し上げます。

本論文の取りまとめにあたり、全般にわたって懇切なご指導とご校閲を賜った筑波大学農林工学系佐竹隆顕教授に深甚の謝意を表します。また、本研究取りまとめに際して有益なご助言とご指摘をいただきました筑波大学農林工学系前川孝昭元教授、山口智治教授、氷飽揚四郎教授、北村豊助教授に心から感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) 財務省：農産物の品目別輸出実績推移，貿易統計，2003
- 2) 農林水産省統計部：野菜の主要品目別卸売数量・卸売価格の推移，青果物卸売市場調査報告，2003
- 3) 農林統計協会：平成15年度食料・農業・農村白書，（財）農林統計協会，2004
- 4) 農林統計協会：我が国の農産物貿易の動向，平成15年度食料・農業・農村白書，（財）農林統計協会，88-92，2004
- 5) 農林水産統計情報データベース：食料需給表，農林水産省ホームページ (<http://www.maff.go.jp/index.html>)，2005
- 6) 春日康之：選果と選別施設，農産物流通技術年報，（株）流通システム研究センター，66-77，2000
- 7) 和歌山県果樹園芸試験場：果樹園芸試験場の歩み，和歌山県果樹園芸試験場，16-35，1991
- 8) 農業機械学会編：青果物の選別用機械・施設，生物生産機械ハンドブック，743-744，1996
- 9) 農林水産省統計情報部：調査結果の概要，平成13年度青果物出荷機構調査報告，（財）農林統計協会，8-11，2003
- 10) 河野澄夫：非破壊法の種類と比較，食品の非破壊

- 計測ハンドブック, (株)サイエンスフォーラム, 16-18, 2003
- 11) 岩元睦夫, 河野澄夫, 魚住純: 食品の非破壊分析法, 近赤外分光法入門, 幸書房, 12-39, 1994
- 12) 伊藤喜三男, 村上昭二, 門馬信二, 菅野紹雄: 多目的測定機 Push-Pull scale Unit の考案とトマトの機械的性質の品種間差異, 野菜試験場報告, B (盛岡) 3号, 1980
- 13) 伊藤喜三男: タマネギの簡易堅さ測定機と評価法の開発, 北農, 65 (2), 145-149, 1998
- 14) John, S.P.: A Nondestructive Firmness (NDF) Testing Unit for Fruit, Transaction of the ASAE, 20(4), 762-767, 1977
- 15) Mehlschau, J.J., Chen, P., Claypool, L.L. and Fridley, R.B.: A Deformater for Non-Destructive Maturity Detection of Pears, Transaction of the ASAE, 1368-1375, 1981
- 16) Chen, P., Ruiz-Altisent, M. and Barreiro, P.: Effect of Impacting Mass on Firmness Sensing of Fruits, Transaction of the ASAE, 39, 1019-1023, 1996
- 17) Yamamoto, H. and Haginuma, S.: Dynamic Viscoelastic Properties and Acoustic Properties of Watermelons, Report of National Food Research Institute, 44, 30-35, 1984
- 18) 陳 介余, 宮里 満, 石黒悦爾: 振動特性による農産物の内部品質の判定 (第1報), 農業機械学会誌, 55(3), 65-72, 1993
- 19) 陳 介余, 宮里 満, 石黒悦爾: 振動特性による農産物の内部品質の判定 (第2報), 農業機械学会誌, 55(6), 43-48, 1993
- 20) 陳 介余, 宮里 満, 石黒悦爾: 振動波形の自己相関関数によるスイカの内部品質の非破壊判定, 農業機械学会誌, 56(1), 29-36, 1994
- 21) 前田弘: 画像解析及び打音解析による青果物の品質判定, 食品における非破壊検査システムの現状と展望, 流通システム研究センター, 24-34, 1989
- 22) 川中道夫: 打音解析法によるメロン熟度計, 農業機械学会誌, 58(5), 105-106, 1996
- 23) 杉山純一, 臼井支朗: 打音信号によるマスクメロンの非破壊品質評価, 計測自動制御学会論文集, 26(4), 367-374, 1990
- 24) 杉山純一: 打音解析による果実の熟度計測法の開発, 第11回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, 日本食品科学工学会, 102-105, 1995
- 25) 芋生憲司, 森嶋博, 瀬尾康久, 澤田達也: 衝撃荷重による果実の硬さ測定に関する研究, 農業機械学会誌, 55 (1), 67-74, 1993
- 26) 石橋貞人, 小島孝之: 農産食品の力学的性質に関する研究 (第2報), 農業機械学会誌, 32(1), 59-64, 1970
- 27) 小島孝之, 石橋貞人: 農産食品の力学的性質に関する研究 (第3報), 農業機械学会誌, 32(2), 145-149, 1970
- 28) Finney, E.E. Jr: Mechanical Resonance within Red Delicious Apples and the Relation to Fruit Texture, Transaction of the ASAE, 13, 177-180, 1970
- 29) 川瀬晃道: テラヘルツ光が開く新しい画像世界, 理研パテント情報 No. 28, 独立行政法人 理化学研究所, 2004
- 30) 川瀬晃道: テラヘルツ, 新農業情報工学, (株)養賢堂, 150-151, 2004
- 31) Norris, K.H.: Measuring Light Transmittance Properties of Agricultural Commodities, Agricultural Engineering, 640-643, 1958
- 32) 秋元浩一: 果実・野菜の品質評価技術の展開方向ー非破壊評価技術をめぐって, 農業および園芸, 60(1), 9-17, 1985
- 33) コアテック(株): 大根非破壊検査システム, 岡山県研究開発協同組合・異業種交流プラザ協議会, 1997
- 34) Abbott, J.A. and Massie, D.R.: Delayed Light Emission for Early Detection of Chilling in Cucumber and Bell Pepper Fruit, Society Horticultural Science, 110(1), 42-47, 1985
- 35) Norris, K.H. and Rowan, J.D.: Automatic Detection of Blood in Eggs, Agricultural Engineering, 43(3), 154-159, 1962
- 36) Iwamoto, M., Norris, K.H. and Kimura, S.: Rapid Prediction of Wheat, Soybean, Pork and Fresh

- Potatoes by Near Infrared Spectrophotometric Analysis, *J.Jpn.Soc.Food Sci.Technol.*, 28(2), 85-90, 1981
- 37) Iwamoto, M., Kwang, C.R., Suzuki, T. and Uozumi, J. : Near Infrared Reflectance Analysis for Determining Moisture, Protein and Ash Content in Home-grown Wheat Floures, *J.Jpn.Soc.Food Sci.Technol.*, 31(1), 50-53, 1984
- 38) Dull, G.G., Birth, G.S. and Leffler, R.G. : Use of Near Infrared Analysis for the Nondestructive Measurement of Dry Matter in Potatoes, *Amer. Potato J.*, 66(4), 215-225, 1989
- 39) Kawano, S., Watanabe, H. and Iwamoto, M. : Measurement of Suger Contents in Intact Peaches by NIRS, *Proceedings of the Second International Near Infrared Spectroscopy Conference, Tsukuba Japan*, 343-352, 1989
- 40) Kawano, S., Watanabe, H. and Iwamoto, M. : Determination of Sugar Content in Intact Peaches by Near Infrared Spectroscopy with Fiber Optics in Interactive Mode, *J. Japan Society Horticultural Science*, 62(2), 445-451, 1992
- 41) Kawano, S., Watanabe, H. and Iwamoto, M. : The International Diffuse Reflectance Conference, *Chambersburg, USS*, 5A, 1988
- 42) Kawano, S., Sato, T. and Iwamoto, M. : Determination of Sugars in Satsuma Orange using NIR Transmittance, *Making Light Work, Advances in Near Infrared Spectroscopy (Proceedings of the 4th International Conference of NIRS)* (Ian Michael Publications, UK), 387-393, 1992
- 43) 吉川利彦, 永井耕介, 沢正樹, 小林尚司, 田中平義 : 近赤外分光法による農産物の非破壊品質評価 (第2報), トマトの内容成分と食味についての分析ソフトの開発, *日本低温保蔵学会誌*, 15(2), 75-81, 1986
- 44) 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), 82-85, 1996
- 45) 木村美紀夫 : 複合光センサ (リンゴ, モモ, ナシ) による糖度選別システムについて, 農産物非破壊検査の現状と今後の活用展望, *流通システム研究センター*, 7-16, 1992
- 46) 果実非破壊品質研究所 (FANTEC) : フルーツ非破壊光センシングシステムの開発, *研究トピックス, 生研機構ニュース*, No.18, 12, 1996
- 47) 田野倉保雄 : 果実の味を外から測る, *日経メカニカル*, 日経P B社, No.459, 68-71, 1995
- 48) 水野俊博 : 携帯型近赤外装置の開発とその応用, 第15回非破壊計測シンポジウム, 119-123, 1999
- 49) 森本 進 : フルーツセレクトターの開発, 食品の非破壊計測ハンドブック, (株)サイエンスフォーラム, 234-238, 2003
- 50) 天間 毅 : 携帯型光糖度計測装置の開発, 食品の非破壊計測ハンドブック, (株)サイエンスフォーラム, 239-243, 2003
- 51) 魚住純, 河野澄夫, 岩元睦夫, 西城勝好 : 色むらのある食品の品質評価のための可視分光分析装置の試作, *日本食品工業学会誌*, 34(3), 163-173, 1987
- 52) 安藤義路 : 生体情報の可視化と鮮度識別, *光アイアンス*, 6, 10, 1995
- 53) McClure, W.F. and Farsaie, A. : Fual-Wavelength Fiber Optic Photometer Measures Fluorescence of Aflatoxin Contaminate Pistachio Nuts, *Transaction of the ASAE*, 23(1), 204-207, 1980
- 54) 田中俊一郎 : 横波超音波による青果物の内部欠陥非破壊検査, 食品における非破壊検査システムの現状と展望, (株)流通システム研究センター, 53-96, 1989
- 55) 西津貴久, 池田善郎 : 超音波による農産物の非破壊品質評価に関する研究 (2), 第55回農業機械学会年次大会講演要旨, 339-340, 1996
- 56) 西津貴久, 池田善郎 : 音波による果菜類の品質評価に関する基礎的研究 (第1報), *農業機械学会誌*, 62(3), 51-59, 2000
- 57) 西津貴久, 池田善郎 : 音波による果菜類の品質評価に関する基礎的研究 (第2報), *農業機械学会誌*, 63(2), 74-83, 2001
- 58) 西津貴久, 池田善郎 : 音波による果菜類の品質評

- 価に関する基礎的研究(第3報), 農業機械学会誌, 63(5), 53-61, 2001
- 59) 杉浦俊彦: 比重を利用した廉価なモモ果実糖度の非破壊推定法, 平成8年度果樹研究成果情報, 農林水産省果樹試験場, 29-30, 1996
- 60) 杉浦俊彦: 音響体積計を利用したブドウ果実糖度の非破壊推定技術, 平成9年度果樹研究成果情報, 農林水産省果樹試験場, 33-34, 1997
- 61) 西津貴久, 池田善郎: 農産物の音響的体積測定法(第1報), 農業機械学会誌, 57(5), 47-54, 1995
- 62) 加藤宏郎: 高周波インピーダンスによる農産物の非破壊鮮度判定(第1報), 農業機械学会誌, 50(6), 99-107, 1988
- 63) 加藤宏郎: 高周波インピーダンスによる農産物の非破壊鮮度判定(第2報), 農業機械学会誌, 51(5), 55-61, 1989
- 64) 加藤宏郎: 高周波インピーダンスによる農産物の非破壊鮮度判定(第3報), 農業機械学会誌, 55(1), 75-83, 1993
- 65) 杉山純一: 食品の電気的特性と品質評価, 食品における非破壊検査システムの現状と展望, (株)流通システム研究センター, 35-47, 1989
- 66) 石田信昭: 磁気的特性の利用, 食品の非破壊計測ハンドブック, (株)サイエンスフォーラム, 94-99, 2003
- 67) 秋元浩一, フレッド マックルア, 清水公治, 神部正: 可視光線・MR I・圧力センサーによる果実の非破壊品質評価, 第11回非破壊計測シンポジウム講演要旨集, 日本食品科学工学会, 95-101, 1995
- 68) 加藤宏郎: 密度によるスイカの非破壊糖度選別, 食品流通技術, 23巻12号, 61-64, 1994
- 69) 本間秀明: X線を利用したスイカの空洞検査装置, 食品における非破壊検査システムの現状と展望, 流通システム研究センター, 105-109, 1989
- 70) 鷹尾宏之進, 大森定夫: カンキツの品質選果装置の開発, カンキツ栽培用機械緊急開発事業受託研究報告書, 生研機構, 29-43, 1990
- 71) 瀬尾康久: X線CTスキャナによる青果物の非破壊検査, 非破壊検査を理解するために, 農業機械学会関東支部, 43-48, 1987
- 72) 上野陽一郎: メロンの熟度判定, 食品における非破壊検査システムの現状と展望, 流通システム研究センター, 110-115, 1989
- 73) 農機施設部: 青果物集出荷施設設計事例集, J A 全農, 1996
- 74) 果実の品質評価法, 農林水産省食品総合研究所, 1985
- 75) 野菜の品質評価法(IV), 農林水産省食品総合研究所, 1985
- 76) 大森定夫, 鷹尾宏之進: 青果物の軟らかさ非破壊評価装置の開発(第1報), 農業機械学会誌, 56(2), 49-57, 1994
- 77) Takao, H. and Omori, S.: Development of Device for Nondestructive Evaluation of Firmness in Fruit, JARQ 28, 36-43, 1994
- 78) 大森定夫, 鷹尾宏之進: 青果物の非破壊評価技術, 平成5年度研究報告会資料, 生研機構, 1-12, 1994
- 79) 大森定夫: 果実の硬度計測, 農業機械学会誌, 60(5), 134-136, 1998
- 80) Mohsenin, N.N.: Contact Stresses Between Bodies in Compression, Physical Properties of Plant and Animal Materials, 348-357, 1986
- 81) ASAE S368.4 DEC00: Compression Test of Food Materials of Convex Shape, ASAE STANDARDS 2004, 585-587, 2004
- 82) 鷹尾宏之進, 大森定夫: 青果物等の軟化度測定方法, 特許第1910165号, 1995
- 83) 鷹尾宏之進, 大森定夫: 青果物品質測定装置(HITカソダ)の試作, 農機学会第47回大会講演要旨, 192, 1988
- 84) 薬師寺博, 小野祐幸: キウイフルーツの成熟及び品質の制御技術の確立, 果樹試験場安芸津支場試験研究年報, 28, 1990
- 85) 浅見逸夫: キウイフルーツの非破壊による熟度判定, 農産物流通利用試験成績書, 愛知県農業総合試験場, 1-12, 1991
- 86) 松村博行: カキの非破壊品質評価法, 園芸学会東海支部第38回シンポジウム資料, 8-12, 1992
- 87) 安富徳光, 吉武均, 小那覇安優: ふるさと認証食品普及促進技術開発事業 マンゴー追熟システムの

- 開発事業報告書, 沖縄県農業試験場, 1992
- 88) 大森定夫, 鷹尾宏之進: 非破壊簡易品質評価装置の開発 (第5報), 第51回農業機械学会年次大会講演要旨, 283-284, 1992
- 89) 大森定夫, 鷹尾宏之進: 非破壊簡易品質評価装置の開発 (第3報), 第50回農業機械学会年次大会講演要旨, 397-398, 1991
- 90) 鷹尾宏之進, 大森定夫: 青果物等の軟らかさ測定装置, 特許第2561456号, 1997
- 91) 鷹尾宏之進, 大森定夫: 青果物等の軟らかさ測定器, 特許第2561468号, 1997
- 92) 真子正史: キウイフルーツの追熟と追熟処理果の貯蔵性, 及び果実硬度の非破壊測定について, 学会平成3年度秋季大会講演要旨, 606-607, 1991
- 93) 矢野昌充, 薬師寺博, 小野祐幸: キウイフルーツの新流通方式発に関する緊急調査研究実施報告書, 農林水産省果樹試験場, 1991
- 94) 後田経雄他: 人工制御環境下における温州ミカンの養水分吸収, 平成3年度常緑果樹試験研究成績概要集, 農林水産省果樹試験場, 185-186, 1992
- 95) 大森定夫, 平田 晃, 中元陽一, 藤岡 修, 鷹尾宏之進, 駒林和夫: 西洋ナシの食べ頃判定技術の開発 (第1報), 農業機械学会誌, 66(3), 121-126, 2004
- 96) 平田晃, 大森定夫: 打音・振動による熟度判定装置の開発 (第2報), 第53回農業機械学会年次大会講演要旨, 223-224, 1994
- 97) 平田晃, 大森定夫: 打音・振動による熟度判定装置の開発 (第3報), 第55回農業機械学会年次大会講演要旨, 343-344, 1996
- 98) 大森定夫: 西洋ナシの食べ頃判定技術, 農業機械学会誌, 62(3), 26-29, 2000
- 99) 大森定夫, 平田晃, 藤岡修, 中元陽一, 鷹尾宏之進, 宮浦友宏: 西洋ナシ(ラ・フランス) 食べ頃判定技術の開発, 平成10年度研究報告会資料, 生研機構, 17-23, 1999
- 100) 林 節男, 杉山純一, 乙部和紀, 菊池佑二, 白井支朗: 打音によるメロンの熟度の非破壊評価, 日本食品工業学会誌, 39(6), 465-470, 1992
- 101) Sugiyama, J., Otobe, K., Hayashi, S. and Usui, S. : Firmness Measurement of Muskmelons by Acoustic Impulse Transmission, Transaction of the ASAE, 37 (4), 1235-1241, 1994
- 102) Sugiyama, J., Katsurai, T., Hong, J., Koyama, H. and Mikuriya, K. : Melon Ripeness Monitoring by a Portable Firmness Tester, Transaction of the ASAE, 41(1), 121-127, 1998
- 103) 荒川博, 松浦英之, 大場聖司: 打音解析法による果菜類の熟度判定技術の確立, 平成12年度食品試験研究成績・計画概要集(公立編), 食品総合研究所, 547-558, 2000
- 104) Muramatsu, N., Sakurai, N., Yamamoto, R., Tanaka, K., Asakura, T., Ishikawa, Y. and Nevins, D.J. : Remote Sensing of Fruit Textural Changes with a Laser Doppler Vibrometer, J.AMER. Soc. Hort .Sci., 125(1), 120-127, 1999
- 105) Armstrong, P., Zapp, H.R. and Brown, G.K. : Impulsive Excitation of Acoustic Vibrations in Apples for Firmness Determination, Transaction of the ASAE, 33(4), 1353-1359, 1990
- 106) Chen, P., Sun, Z. and Huarng, L. : Factors Affecting Acoustic Responses of Apples, Transaction of the ASAE, 35(6), 1915-1920, 1992
- 107) Miyamoto, S., Serata, K., Uchigasaki, M. and Aoyama, T. : Relationship between Melon Internal Quality & its Impact & Vibration Characteristics, ASAE paper, No.966055, 1996
- 108) 平田晃, 大森定夫: 打音・振動による熟度判定装置の開発 (第1報), 第52回農業機械学会年次大会講演要旨, 429-430, 1993
- 109) 大森定夫, 鷹尾宏之進: 青果物の非破壊評価技術, 平成5年度研究報告会資料, 生研機構, 12-17, 1994
- 110) 平田晃, 中元陽一, 大森定夫, : 携帯型パインアップルの熟度・障害果判定装置の開発, 平成7年度研究報告会資料, 生研機構, 31-44, 1996
- 111) 大森定夫, 鷹尾宏之進: パインアップルの非破壊による熟度・障害果評価装置の開発 (第1報), 農業施設, 36(2), 111-118, 2005
- 112) 大森定夫, 平田 晃, 中元陽一, 鷹尾宏之進: パ

- インアップルの非破壊による熟度・障害果評価装置の開発（第2報），農業施設，36(3), 137-144, 2005
- 113) 大森定夫，鷹尾宏之進：非破壊簡易品質評価装置の開発（第2報），第50回農業機械学会年次大会講演要旨，395-396，1991
- 114) 大森定夫，鷹尾宏之進：非破壊簡易品質評価装置の開発（第4報），第51回農業機械学会年次大会講演要旨，281-282，1992
- 115) 我妻正迪，大島栄司：メロン果実の化学成分と品質について，北海道農試研究報告，130，145-152，1981
- 116) 大森定夫，藤岡修：積算温度表示ラベルによる果実の追熟程度判定，第57回農業機械学会年次大会講演要旨，231-232，1998
- 117) 大森定夫，藤岡修，宮浦友宏，野口協一：西洋ナシの食べ頃判定技術の開発（第2報），農業機械学会誌，66(4)，96-101，2004
- 118) 大森定夫，平田晃，藤岡修，中元陽一，鷹尾宏之進，宮浦友宏：西洋ナシ（ラ・フランス）食べ頃判定技術の開発，平成10年度研究報告会資料，生研機構，23-26，1998
- 119) Satake, T., Addo, A., Sakata, O. and Hashimoto, H.: Effects of Fluctuating Temperatures on Quality of Kiwifruit in Modified Atmosphere Packages, The Society of Agricultural Structures, Japan, 32(4), 205-216, 2002
- 120) 大森定夫，藤岡修，梶原しげ美：食品素材の追熟程度評価方法，特許公開 特開平11-231074，1999

Summary

Research and Development of Nondestructive Quality Evaluation Technologies based on Physical Properties of Fruit and Vegetables

Sadao OMORI, Akira HIRATA, Hironoshin TAKAO
Youichi NAKAMOTO, Osamu FUJIOKA

Domestic production of fruit and vegetables reached a peak around 1985 and then started to decrease, while the import volume from foreign countries continues to increase every year. Among imported fruit and vegetables, those from China and other low labor cost countries tend to cause a price plummet and to accelerate reduction of domestic production. Also, domestic production areas have farm labor force problems, such as decrease in population mainly engaged in individual farming, aging of principle persons engaged in individual farming, and labor shortage. Agriculture in Japan is thus in a difficult situation. Various measures are taken in the production areas to cope with such imported low-price fruit and vegetables, for example by using machines to reduce the production cost and by producing high-quality, safe and secure fruit and vegetables for differentiation. Thus in production areas active actions are taken not only to ensure the production volume, but also to produce safe and high quality fruit and vegetables. For production of high quality fruit and vegetables, nondestructive quality evaluation equipment has been developed to measure the internal quality such as sugar content and acidity degree, and is used in regular grading-packaging facilities. However, the producers require quality evaluation of maturity and internal disease in addition to sugar content and acidity degree, and therefore evaluation equipment convenient for use in individual farmhouses. From the customer's viewpoint, trends such as overseas operation of companies and booming in overseas travel have broadened diversity of dietary life more internationally, and fruit and vegetables such as kiwifruit, pears, pineapples, etc. have been introduced in addition to the traditional varieties like apples and oranges that have been produced in Japan for centuries. Quality evaluation for these new fruit and vegetables is becoming important to meet the diversified needs of customers.

In response to the above social and technological background, in this research we established nondestructive evaluation technologies of qualities such as maturity, peak ripeness, internal disease, TEC based on various physical properties like compression property, dynamical vibration property, optical property and temperature property, targeting fruit and vegetables recently introduced to meet increasing demand. In addition to these technologies, we also developed nondestructive quality evaluation

equipment that can be used in individual farmhouses or regular grading-packaging facilities on a small management scale.

1. Development of nondestructive quality evaluation technology based on static mechanical property

Kiwifruit, muskmelon, mango, and other fruits were introduced relatively recently into Japan, and their skin and flesh tend to soften as they mature. Targeting these fruit, We established a nondestructive quality evaluation technology and developed equipment based on the compression property, a mechanical quasi-static property. We evaluated the firmness of the fruit, which is important as an evaluation standard of the peak ripeness. So far, a fruit pressure tester or push-pull testing instrument has been used for evaluating the firmness. With these instruments, the firmness is determined by the maximum force required to penetrate a plunger or other tools into the target fruit, and hence the measurement is always destructive. It is therefore difficult in these conventional methods to conduct time-course evaluation of a single target or a total inspection, and the result has to be speculated based on the data of the samples withdrawn. To overcome such difficulty, we established a firmness evaluation method simply by touching the target and detecting compressive deformation within the elastic range, i.e. without destroying the target fruit in this research.

Based upon this method, we developed a firmness evaluation system called the "Universal Firmness Evaluation Device (HIT-COUNTER)" which allows us to arbitrarily set the compression force and deformation range. We also developed the "Firmness Sorter for Kiwifruit" which sorts kiwifruit in order of firmness, together with a small, lightweight, mobile device called the "Portable Firmness Tester (HANDY HIT)."

The Universal Firmness Evaluation Device is a standalone, portable unit of 180mm in width, 455mm in height, and 250mm in length, which is smaller than conventional systems of push-pull testing instruments combined with control devices. The Universal Firmness Evaluation Device can perform of measurements by setting the measurement conditions on the compression force and deformation in three deferent ways as follows: 1) Evaluation based on the deformation against a specific compression force, 2) Evaluation based on the compression force against a specific deformation, and 3) Evaluation based on the conventional maximum compression force, of which 1) and 2) are used in the nondestructive measurement, and the present research mainly used 1). The Device has some advantages in handling and operability. For example, the measurement condition can be configured with the keyboard, with no special knowledge required for the use of the device, and the setting is retained even when the power is off, which makes the daily measurement easy to conduct repeatedly. However, since the

target fruit is touched and deformed in the nondestructive firmness evaluation process with this device, we need to know the elastic deforming range of the target and identify appropriate conditions for the evaluation. As stated previously, the condition can be configured arbitrarily in accordance with the user's aim, although the same measurement condition should be used to compare the measurement data. Regarding the usefulness of the device we developed, positive results were reported from the National Institute of Fruit Tree Science and Aichi Prefecture Agricultural Research Center for kiwifruit, from Gifu Prefecture Agricultural Research Center for persimmons, and from Okinawa Prefecture Agricultural Experiment Station for mangos. These reports confirm that the device can be used in testing and research institutions as well as in many production areas.

The Firmness Sorter for Kiwifruit is 210cm in length, 150cm in height, and 70cm in width, and it requires a power supply of AC100V and a small compressor of about 0.4kw for distributing fruit. It has the ability to consecutively sort three pieces of kiwifruit per second to classify them into three firmness grades. It is necessary to assign the deformation degree to each grade in accordance with the conveyer speed before using the equipment. The speed should be handled with care, because the detected deformation value changes in accordance with the conveyer speed. The Firmness Sorter is small and convenient to use, and can therefore be used in small-scale regular grading-packaging facilities or individual farmhouses. Also, a firmness sorter for large-scale regular grading-packaging facilities is expected to be developed based on the fundamental function of this sorter.

A portable firmness tester in a compact size of 124mm and 230g in weight uses the pressure of a coil spring as a compression force applied to the target and presents the pressure-caused deformation in a dial gauge. The maximum value indicator facilitates easy reading of the dial gauge. An appropriate range of spring pressure is set to be 400-500g for the evaluation of kiwifruit firmness, and the device was therefore named HANDY HIT400-500. We asked the Kanagawa Prefecture Horticultural Experiment Station and the Okitsu National Institute of Fruit Tree Science to test the usefulness of the evaluation device, and received reports that the device is quite useful.

Also, the Nagasaki Prefecture Agricultural Experiment Station reported on fruit other than kiwifruit when they used the device for the watering control of greenhouse oranges. The result motivated us to develop a weaker spring model HANDY HIT100-400 and a stronger spring model HANDY HIT500-800, for application to many fruit and vegetables. However, this compact firmness evaluation device has a simple structure due to the light weight, and thus the versatility and evaluation precision are limited. Also, we need to be aware that the measurement is simple but often contains individual

differences.

The equipment and instruments we developed are convenient for individual farmhouses and small facilities because of easy handling and low price compared to the conventional equipment currently used in fruit grading-packaging facilities. The "Universal Firmness Evaluation Device" and the "Portable Firmness Tester" were commercialized. So far, 10 units of the Universal Firmness Evaluation Device were sold (catalog price: 1.5 million yen/unit) and 145 units of the Portable Firmness Tester have been sold (catalog price: 50 thousand yen/unit) nationwide.

2. Development of nondestructive quality evaluation technology based on dynamic mechanical property

We established the nondestructive quality evaluation technology and developed equipment based on a dynamical property, i.e. vibration property about pear and other fruit that require postharvest ripening. In this research, we established an evaluation method of peak ripeness and maturity as an indicator of internal quality by weakly striking the target fruit and detecting the sound and vibration. More specifically, we developed a technology to evaluate peak ripeness by striking the target fruit and calculating the "apparent spring constant of fruit" from the peak frequency of the vibration and the mass of the fruit.

Based on this technology, we developed equipment to evaluate the peak ripeness of La-France, a pear of variety. The equipment we developed can evaluate the peak ripeness in a nondestructive manner unlike the conventional destructive evaluation methods. The peak-ripeness evaluation equipment consists of a measurement unit and an analysis unit. The former unit is 20×15×29cm, and the latter is 23×31×21cm. Both are compact, light in weight, and portable. Also, a simple operation is all that is required to start the measurement. We just need to place fruit on the measurement platform and press the measurement start button. We discovered this peak-ripeness evaluation equipment could be used for the evaluation of after-ripening to determine the shipment time and peak ripeness of La-France. Because of its compact size, light weight and easy handling, the equipment is suitable for on-site use in production areas. However, the after-ripening evaluation based on the spring constant of fruit requires an index in accordance with deferent ways of the pretreatment, e.g. ethylene treatment and chilling treatment. The compression property within the elastic deforming range is another candidate for evaluation methods other than the fruit spring-constant based method, since the peak ripeness of La-France is evaluated by its firmness. However, the elastic deforming range of the La-France flesh becomes narrower as the maturity progresses, and the compression force could cause plastic deformation. Therefore, use of the method

based on the compression property is inappropriate.

3. Development of nondestructive quality evaluation technology based on optical property

Pineapples are produced mainly in Okinawa Prefecture in Japan and have become popular in recent years. It is difficult to determine the degree of maturity of pineapples, i.e. immaturity, good maturity or over-maturity, and to detect internal diseases from their skin color and other external features. We established a nondestructive quality evaluation technology and developed equipment to evaluate fruit and vegetables including pineapples by using their optical properties against visible light. In this research, we created a method to evaluate the maturity and internal disease by detecting a light transmitted from the target. More specifically, two types of methods are available. One uses transmitted light emitted from an artificial light source, a halogen lamp, to evaluate the maturity and internal diseases, and the other uses transmitted sunlight. We developed equipment based on these technologies to evaluate the maturity and internal diseases of pineapples that are difficult to detect from their appearance. We actually developed the "Stationary Maturity and Internal Disease Evaluation Device" for in-house evaluation of postharvest pineapples, and the "Portable Maturity and Internal Disease Evaluation Device" to evaluate the maturity and internal diseases of pre harvest pineapples in farm fields.

The Stationary Maturity and Internal Disease Evaluation Device is 155cm in length, 143cm in height and 50cm in width, and requires a power supply of AC100V. The equipment uses a highly sensitive camera to detect the transmitted light from a 100W halogen lamp through a pineapple as an image, and evaluate the maturity and internal diseases from the brightness of the image. We confirmed that the skin color did not affect the maturity evaluation with this equipment, and that the intensity of the transmitted light from immature fruit was low while it was higher when passing through fruit of a higher maturity level. The transmitted light was image processed and the maturity could be determined with the obtained pixels and the image. However, the variation of fruit size created differences in the number of pixels and therefore, we had to use targets of the same size or correct the image in accordance with the size. An internal disease, suberized *erwinia ananas serrano* could be evaluated since the intensity of the transmitted light from it was extremely low. However, evaluation was difficult in cases where only part of the fruit body was diseased. The evaluation of internal diseases other than *erwinia ananas serrano* requires further investigation. In the pineapple production areas, evaluation of the maturity and internal diseases, have relied upon experience and instinct, and sometimes immature or diseased pineapples

have passed through checks undetected. With this equipment, however, we consider that safe and appropriately matured pineapples can be supplied to customers. Since the method developed in this research to evaluate internal quality by detecting a transmitted light with a highly sensitive camera can also be used for the evaluation of black discoloration of potatoes and sugarcane, the method would contribute to the distribution of fruit and vegetables with safe and appropriate internal qualities.

The Portable Maturity and Internal Disease Evaluation Device detects transmitted light by using sunlight as a light source to evaluate the maturity and health of fruit. However, the intensity of the radiated sunlight is not stable, and accordingly, the transmitted light intensity must be corrected with the surrounding light volume. The device we developed consists of a measurement unit (600g) and shoulder-type control unit (900g), and is compact, light in weight and portable. We found it necessary to apply two measurement indices, the greenhouse measurement index and outdoor measurement index for the evaluation of maturity and diseased fruit. The evaluation was considered precise when the difference between the maturity determined by this equipment and the maturity determined by visual observation is 2% or smaller, and the ratio of the precise evaluation was about 80% for pre-harvest fruit in the field (greenhouse and open field) and about 95% when measurement position was taken by holding harvested pineapples in hand. The evaluation error was 2% at the maximum due to the influence from the measured area of the fruit and about 1% due to the influence from the direction of the sun, and we presumed that the measurement of the fruit in the field was influenced by buds and leaves. Severely diseased fruit (*erwinia ananas serrano*) could be evaluated in a single measurement, while fruit at a moderately advanced stage of disease required several measurements on different parts of the fruit body for the evaluation. We found difficulty in the evaluation of diseased over-mature fruit and slightly diseased fruit. The device we developed is compact and light in weight and is therefore operable by hand in farm fields. It also has high precision in the maturity evaluation to detect which fruit is mature enough to harvest. It could evaluate *erwinia ananas serrano* of intermediate degree or higher in diseased fruit, but failed to evaluate over-matured diseased fruit and minor diseases.

4. Development of nondestructive quality evaluation technology based on temperature property

We established a nondestructive quality evaluation technology utilizing temperature property and developed a simple-to-use evaluation label for La-France, a pear variety, whose after-ripening is difficult to determine from its appearance such as skin color and from touch alone in comparison with other fruit that requires postharvest

ripening. In this research, we established a method to evaluate maturity and peak ripeness by detecting cumulative temperature of the environment in which the target fruit is placed. More specifically, it is a technology for measuring the peak ripeness by looking at the color of a label, which varies according to the cumulative temperature in time. Based on this method, we developed a peak-ripeness evaluation label that helps customers to check the peak ripeness of La-France easily at stores or at home.

The after-ripening of fruit is influenced by ambient temperature. We therefore investigated the relation between the cumulative ambient temperature and the after-ripening, and identified a correlation between them as a result. From this result, we developed a label that displays the cumulative temperature. The Peak Ripeness Judgment label we developed becomes dark colored when the cumulative temperature forces a dye to penetrate into the penetration layer. The label consists of a dye-layer supporting sheet and the dye penetration layer to which the dye penetrates and develops a color. To use the label that indicates the cumulative temperature by color, the supporting sheet and the penetration layer sheet are pasted together. We used this label to evaluate peak ripeness and found the ripeness could be easily judged by the color change of the label. Since the peak ripeness evaluation with this label is based on the ambient temperature, any fruit placed in the same environment shows the same peak ripeness, although there should be individual variability. Also, the label we developed costs about 100 yen. Considering that the material cost (cardboard box, cushioning, etc.) for a single 5kg box shipped from the production areas is about 180 yen, we determined that the cost of the label material had to be lowered for the practical application, and recreated a sample of lower cost labels but failed to achieve sufficiently high performance of measuring the cumulative temperature. To raise the precision of the evaluation, it could be effective to detect ethylene gas or other gas that is discharged from fruit as the maturity proceeds.

5. Conclusion

As stated above, we developed nondestructive evaluation technologies and equipment for measuring the internal quality such as maturity, peak ripeness, and internal disease, which was previously unevaluated, of diversified new fruit and vegetables. The technologies and equipment we developed are expected to meet the customers' requirements for healthy and high quality fruit, to enable the production and provision of fruit and vegetables of stable quality in the production areas, and to contribute to the activation of domestic production damaged by the imported agricultural products and labor shortage.

(Tech.Rep.Inst.of Agric.Mach.No.40:1-64(2011))

本報告の取扱いについて

本報告の全部又は一部を無断で転載・複製
(コピー) することを禁じます。
転載・複製に当たっては必ず原著者の許諾
を得て下さい。

農業機械化研究所研究報告 第40号

平成23年2月 印刷・発行
頒価787円(本体価格750円)

Technical Report of the Institute
of Agricultural Machinery No.40

〒331-8537
埼玉県さいたま市北区日進町1丁目40番地2

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農業機械化研究所

1-40-2, Nisshin-cho, Kita-ku, Saitama-city
331-8537 JAPAN
URL: <http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/>

Institute of Agricultural Machinery
Bio-oriented Technology Research Advancement Institution
National Agriculture and Food Research Organization

印刷・製本 / ニッセイエブプロ株式会社