

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6534101号  
(P6534101)

(45) 発行日 令和1年6月26日(2019.6.26)

(24) 登録日 令和1年6月7日(2019.6.7)

(51) Int. Cl.	F I	
GO 1 N 29/12 (2006.01)	GO 1 N 29/12	
GO 1 N 3/00 (2006.01)	GO 1 N 3/00	K
GO 1 N 19/00 (2006.01)	GO 1 N 19/00	A

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2015-174296 (P2015-174296)	(73) 特許権者	304021417
(22) 出願日	平成27年9月4日(2015.9.4)		国立大学法人東京工業大学
(65) 公開番号	特開2017-49196 (P2017-49196A)		東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
(43) 公開日	平成29年3月9日(2017.3.9)	(74) 代理人	110000420
審査請求日	平成30年7月24日(2018.7.24)		特許業務法人エム・アイ・ピー
特許法第30条第2項適用	平成27年3月6日、一般社団法人日本音響学会発行、日本音響学会2015年春季研究発表会講演論文集 第1121-1122頁にて発表。平成27年3月16日、日本音響学会2015年春季研究発表会にて発表。平成27年9月2日、一般社団法人日本音響学会発行、日本音響学会2015年秋季研究発表会講演論文集 第1177-1178頁にて発表。	(72) 発明者	田原 麻梨江 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内
		(72) 発明者	中村 健太郎 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内
		(72) 発明者	呉 礎伊 東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レオロジー特性を非接触で評価する方法およびシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定対象のレオロジー特性を非接触で評価する方法であって、  
測定対象の表面に空中超音波を集束させるステップと、  
前記表面の振動速度の時間変化を光学的に計測するステップと、  
前記振動速度の時間変化の周波数スペクトルを取得するステップと、  
前記周波数スペクトルの最大振動速度に対応するピークの帯域幅に基づいて第1の特徴量を生成するステップと、  
前記振動速度の時間変化から算出した前記表面の変位の時間変化の包絡線を取得するステップと、  
前記包絡線の最大変位に対応するピークの幅に基づいて第2の特徴量を生成するステップと、  
前記第1の特徴量および前記第2の特徴量に基づいて前記測定対象のレオロジー特性を評価するための評価情報を生成するステップと、  
を含む、方法。

【請求項2】

前記空中超音波は、バースト信号によって駆動する振動子から発振され、  
前記第1の特徴量は、  
前記最大振動速度に対応するピークの帯域幅を、前記周波数スペクトルの中心周波数で除した値であり、

前記第 2 の特徴量は、

前記最大変位に対応するピークの幅を、前記バースト信号を前記振動子に印加してから前記振動速度が最大値に達するまでに要した時間で除した値である、  
請求項 1 の方法。

【請求項 3】

前記評価情報を生成するステップは、

予め用意した、前記レオロジー特性の評価値を目的変数とし前記第 1 の特徴量および前記第 2 の特徴量を説明変数とする回帰モデルに基づいて、前記レオロジー特性を導出するステップである、

請求項 1 または 2 の方法。

10

【請求項 4】

前記評価情報を生成するステップは、

予め用意した、前記第 1 の特徴量および前記第 2 の特徴量の二次元散布図に対して、生成した前記第 1 の特徴量および前記第 2 の特徴量を要素とするプロットを描くステップである、

請求項 1 または 2 の方法。

【請求項 5】

測定対象のレオロジー特性を非接触で評価する評価システムであって、

測定対象の表面に空中超音波を集束させる手段と、

前記表面の振動速度の時間変化を光学的に計測する手段と、

前記振動速度の時間変化の周波数スペクトルを取得する手段と、

前記周波数スペクトルの最大振動速度に対応するピークの帯域幅に基づいて第 1 の特徴量を生成する手段と、

前記振動速度の時間変化から算出した前記表面の変位の時間変化の包絡線を取得する手段と、

前記包絡線の最大変位に対応するピークの幅に基づいて第 2 の特徴量を生成する手段と、

前記第 1 の特徴量および前記第 2 の特徴量に基づいて前記測定対象のレオロジー特性を評価するための評価情報を生成する手段と、

を含む、評価システム。

30

【請求項 6】

前記光学的に計測する手段は、レーザドプラ振動計である、

請求項 5 に記載の評価システム。

【請求項 7】

前記測定対象の表面に空中超音波を集束させる手段は、

オフセット型のパラボリアンテナと同様の形状を備える反射鏡と、その振動面を前記反射鏡の開口に向ける形で該開口の外側に固定される平面振動子とを含み、

前記平面振動子と前記反射鏡は、該平面振動子から発振される空中超音波が該反射鏡に反射して、該反射鏡の開口の内側で集束するように位置決めされ、

前記反射鏡には、前記レーザドプラ振動計が出射するレーザ光を通過させるための貫通孔が形成されており、該レーザ光が該貫通孔を通過して測定対象の表面に入射するように位置決めされている、

請求項 6 に記載の評価システム。

40

【請求項 8】

前記測定対象の表面に空中超音波を集束させる手段は、超音波フェイズドアレイ探索子である、請求項 7 に記載の評価システム。

【請求項 9】

果菜類の熟度を非接触で評価する方法であって、

果菜類の表面に空中超音波を集束させるステップと、

前記表面の振動速度の時間変化を光学的に計測するステップと、

50

前記振動速度の時間変化の周波数スペクトルを取得するステップと、  
 前記周波数スペクトルの最大振動速度に対応するピークの帯域幅に基づいて第 1 の特徴量を生成するステップと、  
 前記振動速度の時間変化から算出される前記表面の変位の時間変化の包絡線を取得するステップと、  
 前記包絡線の最大変位に対応するピークの幅に基づいて第 2 の特徴量を生成するステップと、  
 前記第 1 の特徴量および前記第 2 の特徴量に基づいて前記果菜類の熟度を評価するための評価情報を生成するステップと、  
 を含む、方法。

10

【請求項 10】

果菜類の熟度を非接触で評価するシステムであって、  
 果菜類の表面に空中超音波を集束させる手段と、  
 前記表面の振動速度の時間変化を光学的に計測する手段と、  
 前記振動速度の時間変化の周波数スペクトルを取得する手段と、  
 前記周波数スペクトルの最大振動速度に対応するピークの帯域幅に基づいて第 1 の特徴量を生成する手段と、  
 前記振動速度の時間変化から算出される前記表面の変位の時間変化の包絡線を取得する手段と、  
 前記包絡線の最大変位に対応するピークの幅に基づいて第 2 の特徴量を生成する手段と、  
 前記第 1 の特徴量および前記第 2 の特徴量に基づいて前記果菜類の熟度を評価するための評価情報を生成する手段と、  
 を含む、果菜類熟度評価システム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レオロジー特性の評価方法に関し、より詳細には、空中超音波を用いたレオロジー特性の評価方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

果菜類の硬さとその熟度の間には強い相関関係が認められていることから、従来、果菜類の収穫時期を判断する目安として、果菜類の硬さを計測することが行われている。しかしながら、従来の針式の硬度計を用いて硬さを計測した場合、果菜類に針による傷がつくため、商品価値が下がるという問題があった。

【0003】

この点につき、非特許文献 1 は、果菜類の表面に圧縮空気を吐出し、その時の表面の凹み具合（数十  $\mu\text{m}$  程度）をレーザー変位センサで位置の変位として測定し、その測定データから果菜類の硬さの情報を得る方法を開示する。

40

【0004】

一方、非特許文献 1 は、測定誤差の観点から、できるだけ圧縮空気圧を高めて変位量を大きくすることが望ましいが、誤って高すぎる圧縮空気圧で測定を行った場合、測定対象に塑性変形を生じさせる虞がある旨を示唆する。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】犬塚博他、「農業電化」、平成 24 年 5 月、65 巻 3 号、p8 11

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

## 【 0 0 0 6 】

本発明は、上記従来技術における課題に鑑みてなされたものであり、対象物のレオロジー特性を非接触且つ非侵襲的に評価するための新規な方法を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 7 】

本発明者は、対象物のレオロジー特性を非接触且つ非侵襲的に評価するための新規な方法につき鋭意検討した結果、以下の構成に想到し、本発明に至ったのである。

## 【 0 0 0 8 】

すなわち、本発明によれば、測定対象のレオロジー特性を非接触で評価する方法であって、測定対象の表面に空中超音波を集束させるステップと、前記表面の振動速度の時間変化を光学的に計測するステップと、前記振動速度の時間変化の周波数スペクトルを取得するステップと、前記周波数スペクトルの最大振動速度に対応するピークの帯域幅に基づいて第1の特徴量を生成するステップと、前記振動速度の時間変化から算出した前記表面の変位の時間変化の包絡線を取得するステップと、前記包絡線の最大変位に対応するピークの幅に基づいて第2の特徴量を生成するステップと、前記第1の特徴量および前記第2の特徴量に基づいて前記測定対象のレオロジー特性を評価するための評価情報を生成するステップとを含む、方法が提供される。

## 【発明の効果】

## 【 0 0 0 9 】

上述したように、本発明によれば、対象物のレオロジー特性を非接触且つ非侵襲的に評価するための新規な方法が提供される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 0 】

【図1】本実施形態の果菜類熟度評価システムのシステム構成図。

【図2】本実施形態の果菜類熟度評価システムが実行する処理のフローチャート。

【図3】第1の特徴量の生成過程を説明するための図。

【図4】第2の特徴量の生成過程を説明するための図。

【図5】評価情報としての二次元散布図を示す図。

【図6】パルス波発振を用いた測定法を説明するための図。

【図7】実験結果を示す図。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 1 】

本発明は、測定対象のレオロジー特性を非接触且つ非侵襲的に評価する方法およびその方法を実行するためのシステムを提供する。本発明は、測定対象を限定するものではなく、また、レオロジー特性のみならずレオロジー特性と相関の強い任意の状態の評価に応用することが可能である。以下では、専ら、本発明の好適な応用例として、果菜類の熟度（果菜類の成熟状態とレオロジー特性の間には強い相関関係がある）を非接触且つ非侵襲的に評価する方法およびシステムについて説明する。

## 【 0 0 1 2 】

以下、本発明を図面に示した実施の形態をもって説明するが、本発明は、図面に示した実施の形態に限定されるものではない。なお、以下に参照する各図においては、共通する要素について同じ符号を用い、適宜、その説明を省略するものとする。

## 【 0 0 1 3 】

図1は、本発明の実施形態である果菜類熟度評価システム100のシステム構成を模式的に示す。本実施形態の果菜類熟度評価システム100は、果菜類（果物および果実を食用とする野菜を含む）の熟度を評価するためのシステムであり、平面振動子10と、平面振動子10から発振される空中超音波を集束するための反射鏡12と、レーザドプラ振動計14（以下、LDV14という）と、コンピュータ20とを含んで構成されている。

## 【 0 0 1 4 】

本実施形態において、平面振動子10は、その振動面を反射鏡12の開口に向ける形で

、反射鏡 12 に対して図示しない治具を介して固定される。平面振動子 10 は、図 1 に示す態様で、反射鏡 12 の開口の外側に固定され、アンプ 16 によって増幅された正弦波のバースト信号に基づいて振動面の垂直方向に空中超音波（平面波）を発振する。一方、本実施形態において、反射鏡 12 は、オフセット型のパラボナアンテナと同様の形状を備えており、平面振動子 10 から発振される空中超音波が反射鏡 12 に反射した後、図 1 に示すように、反射鏡 12 の開口の内側で集束するように、平面振動子 10 と反射鏡 12 が位置決めされている。

#### 【0015】

本実施形態では、果菜類 30 の熟度を評価するにあたり、平面振動子 10 から発振される空中超音波が果菜類 30 の表面で集束するように、果菜類 30 と反射鏡 12 の位置関係を固定した上で、平面振動子 10 をバースト信号によって駆動する。このとき、果菜類 30 の表面に集束空中超音波の音響放射力が作用して、果菜類 30 の表面にごく微小な変位が生じる。

#### 【0016】

本実施形態においては、この空中超音波の音響放射力に対する果菜類 30 の表面の変位応答を LDV 14 を使用して光学的に計測する。本実施形態においては、そのために、反射鏡 12 に LDV 14 が出射するレーザー光を通過させるための貫通孔 13 が形成されており、LDV 14 が出射するレーザー光が貫通孔 13 を通って果菜類 30 の表面に入射し、その反射光が再び貫通孔 13 を通って LDV 14 の受光部に入射するように、LDV 14 と反射鏡 12 が位置決めされている。

#### 【0017】

なお、貫通孔 13 の内径は、LDV 14 のレーザー光の波長の 1/2 程度の大きさとするのが好ましい。また、LDV 14 のローパスフィルタには、平面振動子 10 の高周波成分を除去して変位信号のみが抽出されるように、適切な遮断周波数（例えば、5kHz）を設定することが望ましい。

#### 【0018】

本実施形態においては、LDV 14 の出力がコンピュータ 20 に入力されるようになっており、コンピュータ 20 は、LDV 14 から入力される計測値に基づいて果菜類 30 の熟度を評価するための評価情報を生成する。具体的には、LDV 14 は、果菜類 30 の表面の振動速度（レーザー光の入射方向の振動速度）を出力し、コンピュータ 20 は、その振動速度に基づいて果菜類 30 の熟度を評価するための評価情報を生成する。なお、LDV 14 が振動速度を変位に変換して出力する機能を併せ持っている場合には、コンピュータ 20 は、LDV 14 から入力される振動速度と変位に基づいて果菜類 30 の熟度を評価するための評価情報を生成してもよい。

#### 【0019】

また、コンピュータ 20 は、ファンクションジェネレータ 15（以下、FG 15 という）に対して、空中超音波を発振するためのパラメータ（正弦波の周波数やバースト数）を指定して発振信号の生成を要求し、これを受けた FG 15 は、指定されたパラメータに基づいてバースト信号を生成してアンプ 16 に出力する。

#### 【0020】

以上、果菜類熟度評価システム 100 の構成について説明してきたが、続いて、コンピュータ 20 が LDV 14 から入力される計測値を受けて実行する処理を図 2 に示すフローチャートに基づいて説明する。

#### 【0021】

ステップ 101 では、LDV 14 から入力される振動速度の時間変化の周波数スペクトルを取得する。具体的には、まず、LDV 14 から入力される振動速度を所定期間にわたって経時的に記録して振動速度の時間変化を取得する。図 3（a）は、ステップ 101 で取得される果菜類 30 の表面の振動速度の時間変化と、平面振動子 10 に印加されるバースト信号のタイミングチャートを並べて示す。続いて、取得した振動速度の時間変化をフーリエ変換することによって周波数スペクトルを取得する。図 3（b）は、ステップ 10

10

20

30

40

50

1で取得される果菜類30の表面の振動速度の時間変化の周波数スペクトルを示す。なお、図3(b)に示す周波数スペクトルは、振動速度の最大値を基準値(0dB)としたレベル表現である。

【0022】

続くステップ102では、ステップ101で取得した周波数スペクトルを構成する1以上のピーク(周波数成分)のうち、最大振動速度(0dB)に対応するピークの帯域幅を取得する。具体的には、適切な振動速度レベル(dB)を閾値として定義した上で、最大振動速度(0dB)に対応するピークにおいて、閾値と等しい振動速度のレベルを示す2点間の幅(周波数範囲)をピークの帯域幅として取得する。なお、ピークの帯域幅を取得するための閾値は、対象となる果菜類の種類毎に適切な値を予め実験的に求めておく。

10

【0023】

図3(b)に示す例では、閾値を10dBと定義し、最大振動速度(0dB)に対応するピークにおいて、振動速度のレベルが10dBを示す2点間の幅(周波数範囲)を帯域幅WFとして取得している。果菜類が未熟なうちは、最大振動速度(0dB)に対応するピークがブロードになって帯域幅WFが大きくなる傾向がある。一方、果菜類の熟成が進むにつれて、最大振動速度(0dB)に対応するピークがシャープになって帯域幅WFが小さくなる傾向がある。

【0024】

続くステップ103では、ステップ102で取得した帯域幅WFに基づいて第1の特徴量を生成する。本実施形態においては、ステップ102で取得した帯域幅WFそれ自体を第1の特徴量として使用してもよいが、帯域幅WFをステップ101で取得した周波数スペクトルの中心周波数 $f_s$ で除して正規化した値を第1の特徴量とすることが好ましい。

20

【0025】

続くステップ104では、ステップ101で取得した果菜類30の表面の振動速度の時間変化を積分して当該表面の変位の時間変化を取得する。ただし、LDV14が変位を出力する機能を有している場合は、ステップ104において、LDV14から入力される変位を所定期間にわたって経時的に記録することにより変位の時間変化を取得してもよい。図4(a)は、ステップ104で取得される果菜類30の表面の変位の時間変化と、平面振動子10に印加されるバースト信号のタイミングチャートを並べて示す。

【0026】

続くステップ105では、ステップ104で取得した果菜類30の表面の変位の時間変化の包絡線を取得する。具体的には、ステップ104で取得した果菜類30の表面の変位を絶対値に変換し、その絶対値について包絡線を取得する。なお、包絡線は、ヒルベルト変換などの既知の手法により取得することができる。図4(b)は、ステップ105で取得される果菜類30の表面の変位の時間変化の包絡線を示す。なお、図4(b)に示す包絡線は、変位の最大値を基準値(0dB)としたレベル表現である。

30

【0027】

続くステップ106では、ステップ105で取得した包絡線を構成する1以上のピークのうち、最大変位(0dB)に対応するピークの幅を取得する。具体的には、適切な変位レベル(dB)を閾値として定義した上で、最大変位(0dB)に対応するピークにおいて、閾値と等しい変位のレベルを示す2点間の幅(時間)をピークの幅として取得する。なお、ピークの幅を取得するための閾値は、対象となる果菜類の種類毎に適切な値を予め実験的に求めておく。

40

【0028】

図4(b)に示す例では、閾値を10dBと定義し、最大変位(0dB)に対応するピークにおいて、変位のレベルが10dBを示す2点間の幅(時間)が幅WTとして取得している。果菜類が未熟なうちは、変位応答が早く減衰するため、最大変位(0dB)に対応するピークがシャープになって幅WTが小さくなる傾向がある。一方、果菜類の熟成が進むにつれて、変位応答が減衰しにくくなるため、最大変位(0dB)に対応するピークがブロードになって幅WTが大きくなる傾向がある。

50

## 【0029】

続くステップ107では、ステップ106で取得した幅WTに基づいて第2の特徴量を生成する。本実施形態においては、ステップ106で取得した幅WTそれ自体を第2の特徴量として使用してもよいが、幅WTを、バースト信号を平面振動子10に印加してから果菜類30の表面の振動速度が最大値に達するまでに要した時間tsで除して正規化した値を第2の特徴量とすることが好ましい。

## 【0030】

なお、本実施形態は、上述した第1の特徴量を生成するための一連の処理(S101~103)と第2の特徴量を生成するための一連の処理(S104~107)の実行順序を限定するものではない。

## 【0031】

最後にステップ108では、ステップ103で生成した第1の特徴量と、ステップ107で生成した第2の特徴量に基づいて、果菜類30の熟度を評価するための評価情報を生成する。ステップ108で生成する評価情報としては、以下のような態様を例示することができる。

## 【0032】

(熟度の評価値)

本実施形態においては、熟度を評価するための評価情報として、熟度の評価値を生成することができる。

## 【0033】

この場合、事前に、評価対象となる果菜類について、その生育過程における第1および第2の特徴量と熟度の定性的な評価(例えば、未熟・やや未熟・適熟・やや過熟・過熟の5段階評価)に係る統計情報を収集し、当該統計情報を使用して、熟度を目的変数とし、2つの特徴量(第1および第2の特徴量)を説明変数とする多変量解析を行って、熟度と2つの特徴量(第1および第2の特徴量)の関係を表す回帰モデルを生成しておく。その上で、ステップ108においては、ステップ103で生成した第1の特徴量と、ステップ107で生成した第2の特徴量を予め用意した回帰モデルに投入することにより、果菜類30の熟度の評価値(未熟・やや未熟・適熟・やや過熟・過熟)を導出する。

## 【0034】

(二次元散布図)

本実施形態においては、熟度を評価するための評価情報として、第1の特徴量および第2の特徴量を要素とする二次元散布図を生成することができる。

## 【0035】

この場合も同様に、事前に、評価対象となる果菜類について、その生育過程における第1および第2の特徴量と熟度の定性的な評価(例えば、未熟・やや未熟・適熟・やや過熟・過熟の5段階評価)に係る統計情報を収集し、当該統計情報に基づいて、図5(a)に例示するように、二次元散布図上に熟度のマップを作成しておく。

## 【0036】

図5(a)は、第1の特徴量[WF/fs]を縦軸に取り、第2の特徴量[WT/ts]を横軸に取った熟度のマップを示す。図6(a)に示す例では、5段階の熟度のそれぞれに対応する範囲が二次元散布図上に展開されている。

## 【0037】

そして、ステップ108においては、予め用意しておいた熟度のマップ(二次元散布図)の上に、ステップ103で生成した第1の特徴量[WF/fs]と、ステップ107で生成した第2の特徴量[WT/ts]を要素とするプロットを描く。図5(b)は、ステップ108において、プロットが描かれた二次元散布図を示す。この方法によれば、果菜類30の熟度の推移を視覚的に捉えることが可能になる。

## 【0038】

コンピュータ20は、上述した手順で生成した評価情報をディスプレイ22に表示するとともに、記憶装置24に保存する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 9 】

以上、本実施形態の果菜類熟度評価システム 1 0 0 について説明してきたが、果菜類熟度評価システム 1 0 0 には、以下のような利点がある。

## 【 0 0 4 0 】

まず第 1 に、先に説明した非特許文献 1 の圧縮空気を使用する方法では、測定の度に果菜類の表面に数十  $\mu\text{m}$  程度の変位を生じさせるのに対して、本システムにおいては、空中超音波の音響放射力を使用するため、果菜類の表面に数十 ~ 1 0 0  $\text{nm}$  程度の極わずかな変位しか生じさせないという利点がある、そのため、本システムにおいて、果菜類に塑性変形を生じさせる虞は皆無であり、表面が変形しやすい繊細な果菜類（例えば、桃）であっても、安心して熟度の評価ができる。

10

## 【 0 0 4 1 】

第 2 に、先に説明した非特許文献 1 の圧縮空気と比較して、本システムが使用する空中超音波は、その制御性が格段に高いという利点がある、そのため、対象となる果菜類の種類に応じて空中超音波の発振パラメータ（正弦波の周波数やバースト数）を最適化したり、対象となる果菜類の共振周波数で空中超音波のパルス波を連続発振することで当該果菜類を強制加振したりすることが可能となるので、より精度の高い評価が期待できる。

## 【 0 0 4 2 】

また、上述した実施形態では、レーザドプラ振動計で測定対象の表面の変位を計測する例を示したが、レーザドプラ振動計よりも小型で安価なレーザ変位計を用いて測定を行うようにしてもよい。この場合、図 6 ( a ) に示すように、空中超音波のパルス波を、パルス間隔  $T$  ( 周波数  $1 / T$  ) を変更しながら連続的に発振し、その間の測定対象の表面の変位をレーザ変位計で測定する。このようにすると、図 6 ( b ) に示すように、変位の周波数スペクトルが得られるので、レーザドプラ振動計に比べると若干検出精度の低いレーザ変位計の測定値からでも上述した特徴量を検出することが可能になる。

20

## 【 0 0 4 3 】

なお、本実施形態の果菜類熟度評価システム 1 0 0 を実装するにあたっては、図 1 に示した全ての構成要素を 1 つの筐体に一体化してもよいし、図 1 に示した構成要素を適切な単位で分割してもよい。果菜類熟度評価システム 1 0 0 を 2 以上の構成単位に分割する場合、各構成単位は、有線または無線のいずれで接続してもよいし、コンピュータ 2 0 の機能や記憶装置 2 4 の機能の一部をインターネットなどのネットワーク上に配置するようにしてもよい。

30

## 【 0 0 4 4 】

また、図 1 では、果菜類の表面に音響放射力を作用させるための手段として、平面振動子 1 0 と反射鏡 1 2 を使用する例を示したが、他の実施形態では、超音波フェイズドアレイ探索子を使用してもよい。超音波フェイズドアレイ探索子を使用する場合には、空中超音波が一点で集束するように各振動子の駆動タイミングを制御するとともに、例えば、超音波フェイズドアレイ探索子の中心部に貫通孔を設けて、LDV 1 4 から出射するレーザー光がその貫通孔を通して果菜類の表面に入射するように構成すればよい。

## 【 0 0 4 5 】

なお、これまで、果菜類の熟度を非接触且つ非侵襲的に評価する方法およびシステムの実施形態に基づいて本発明を説明してきたが、本発明は、評価対象を果菜類に限定するものではなく、また、測定対象のレオロジー特性およびレオロジー特性に相関の強い任意の状態を非接触且つ非侵襲的に評価する方法およびシステムを提供するものであることは先述した通りである。果菜類の熟度評価以外の応用例としては、人の肌（皮膚）のレオロジー特性を非接触且つ非侵襲的に評価する方法およびシステムを挙げることができる。この場合は、事前に、人の肌（皮膚）について、第 1 および第 2 の特徴量とレオロジー特性の評価値（例えば、肌年齢）に係る統計情報を収集し、当該統計情報を使用して、肌年齢を目的変数とし、2 つの特徴量（第 1 および第 2 の特徴量）を説明変数とする多変量解析を行って、肌年齢と 2 つの特徴量（第 1 および第 2 の特徴量）の関係を表す回帰モデルを生成するなどすればよい。

40

50



## 【 0 0 4 6 】

以上、本発明について実施形態をもって説明してきたが、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、当業者が推考しうるその他の実施態様の範囲内において、本発明の作用・効果を奏する限り、本発明の範囲に含まれるものである。

## 【実施例】

## 【 0 0 4 7 】

以下、本発明について、実施例を用いてより具体的に説明を行なうが、本発明は、後述する実施例に限定されるものではない。

## 【 0 0 4 8 】

## (システムの構築)

空中超音波振動子(NCG100 D50, UI tran、中心周波数100 kHz、開口径50mm)と3Dプリンタ(agilista 3100, Keyence)で製作したパラボラ反射鏡を用いて図1に示したシステムを構築した。パラボラ反射鏡には、変位検出用のレーザ窓として直径3mmの円筒穴を設けた。なお、2次元内での音波伝搬解析の結果、超音波の焦点が数mm手前にずれていたことから、レーザ窓の位置を焦点より2.5mm手前にずらした構造とした。また、振動子を反射鏡は、超音波の集束方向とレーザ光の入射方向が一定となるように固定した。

## 【 0 0 4 9 】

## (果物を使用した実験)

試料として、グレープフルーツ、桃、ブドウ、リンゴ、キウイを数cmにカットしたものを用意し、集束超音波の焦点位置がおおよそ果物の表面となるように果物を配置した。ファンクションジェネレータからは正弦波(100kHz)のバースト信号を発生させ、アンプの出力が約100Vppとなるように調整した。なお、グレープフルーツと桃についてはバースト信号のバースト数を100とし、ブドウ、リンゴ、キウイについてはバースト信号のバースト数を160として実験を行った。

## 【 0 0 5 0 】

振動速度をレーザドプラ振動計(AT500, Graphtec)で検出し、オシロスコープを用いて振動波形をサンプリング周波数625 kHzで取得した。超音波振動子の高周波振動成分を取り除き、圧迫による変位信号のみを抽出するため、振動計のLPFを5kHz、HPFをDCに設定した。また、振動速度を積分して変位応答を計算した。

## 【 0 0 5 1 】

さらに、試料として、りんご、オレンジ、マンダリンオレンジを用意し、上述したのと同様の手順で実験を行った。なお、各試料について、1週間の期間において、同じ実験を2回行った。

## 【 0 0 5 2 】

## (実験結果)

5種類の試料(グレープフルーツ、桃、ブドウ、リンゴ、キウイ)のそれぞれについて、第1の特徴量 $[WF / fs]$ および第2の特徴量 $[WF / fs]$ を取得した。なお2つの特徴量を取得するための閾値は、いずれも10 dBとした。図7(a)は、第1の特徴量 $[WF / fs]$ を縦軸に取り、第2の特徴量 $[WT / ts]$ を横軸に取った二次元散布図に5種類の試料の実験結果をプロットした図である。

## 【 0 0 5 3 】

3種類の試料(りんご、オレンジ、マンダリンオレンジ)のそれぞれについて、第1の特徴量 $[WF / fs]$ を取得した。図7(b)は、各試料の第1の特徴量 $[WF / fs]$ の時間変化を示す。図7(b)に示すように、3種類の試料のいずれについても、時間の経過に伴って、第1の特徴量 $[WF / fs]$ が小さくなった。

## 【符号の説明】

## 【 0 0 5 4 】

- 10 平面振動子
- 12 反射鏡
- 13 貫通孔

10

20

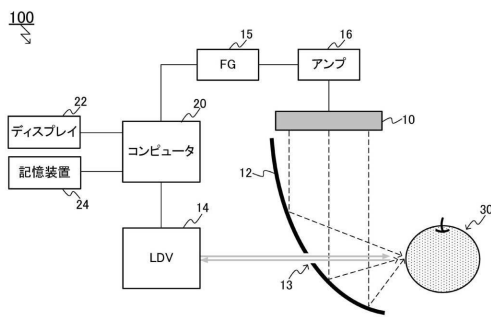
30

40

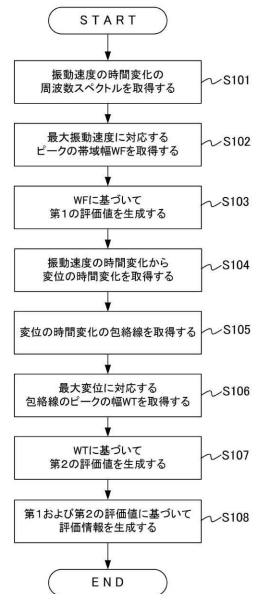
50

- 1 4 レーザドプラ振動計
- 1 5 ファンクションジェネレータ
- 1 6 アンプ
- 2 0 コンピュータ
- 2 2 ディスプレイ
- 2 4 記憶装置
- 3 0 果菜類
- 1 0 0 果菜類熟度評価システム

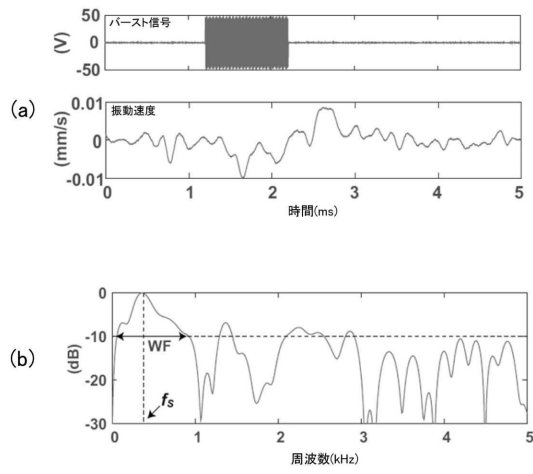
【 図 1 】



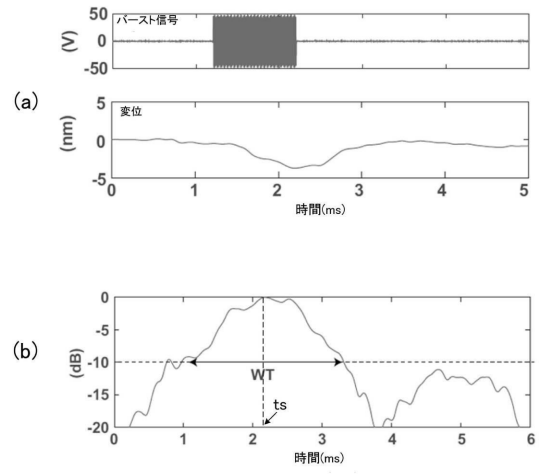
【 図 2 】



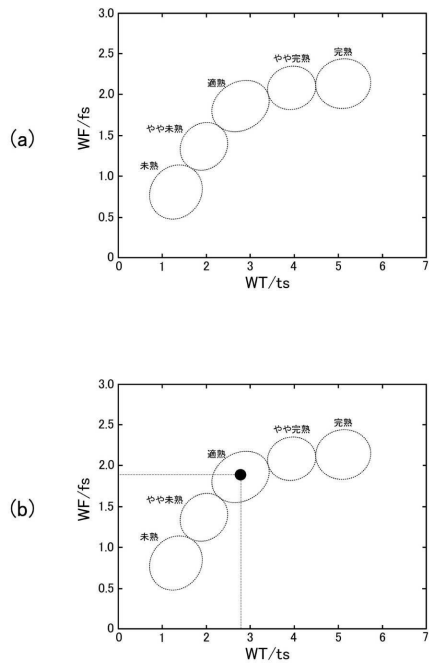
【 図 3 】



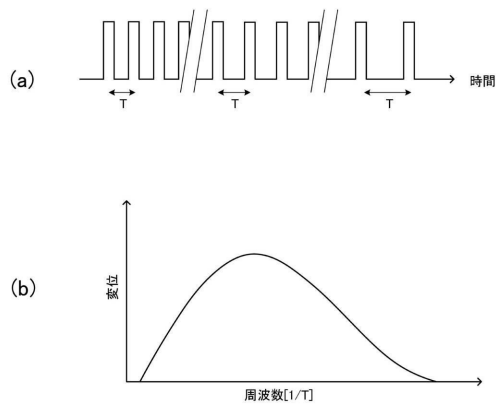
【 図 4 】



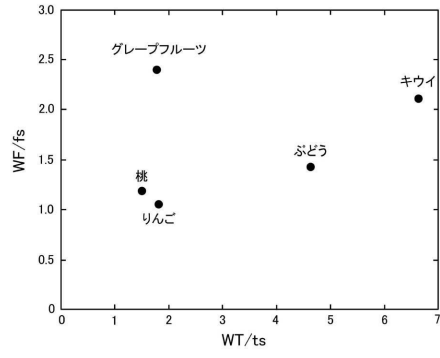
【 図 5 】



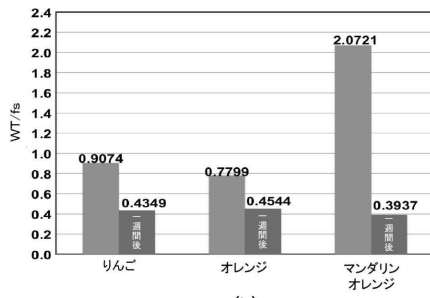
【 図 6 】



【図 7】



(a)



(b)

---

フロントページの続き

審査官 田中 秀直

(56)参考文献 特開2005-315793(JP,A)  
特開平11-281625(JP,A)  
特開2012-037420(JP,A)  
特開昭59-012336(JP,A)  
特開平06-347449(JP,A)  
米国特許出願公開第2008/0034844(US,A1)  
米国特許第06276536(US,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52  
G01N 3/00  
G01N 19/00  
JSTPlus(JDreamIII)