

機関番号：32665

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560088

研究課題名（和文）非接触式表面テクスチャー試験による生体部位の測定

研究課題名（英文）Measurement of the Bio-part by the non-contact surface texture examination

研究代表者 横田 理 (OSAMU YOKOTA)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：70120582

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は、柔軟物表面を負荷させて、その形状を計測してくぼみの直径と深さを測定して柔らかさを求める方法、およびくぼみ深さによる粘弾性特性を調べる方法を提案する。ここで、負荷したときの測定方法を述べ、それらに基づいた試験装置を製作し、柔軟物の形状測定を行った。その結果からいずれも柔軟物の測定が可能であり、またそれらの性能および特長を確認することができた。

## 研究成果の概要（英文）：

A measuring method and a test equipment for the softness and the viscoelasticity property have not yet been established. The testing method which could measure the surface texture of measured object for processed food such as jelly and agar and perishable foodstuff such as pig roast and bird liver is established and the development of the functional equipment is desired. In this study, the dents was made to arise using air jet on the surface of measured object. The shape of the dents is measured in the two-dimensional laser beam. The measuring method of the softness was proposed by the measurement of diameter and depth of the dents which arose to the measured object. And the method for examining the viscoelasticity property by time course of the dents depth was proposed. The functional testing equipment based on them was manufactured and the flexible thing was measured. As a result, it was possible to show the softness at the surface area per unit load. Creep and creep recovery for the depth of the dents were clearly also obtained. Therefore, the measurement of soft measured object was possible for this measuring method, and it was possible to confirm the performance and the advantage.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	100,000	30,000	130,000
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

## 研究分野：

科研費の分科・細目：

## キーワード：

生物・生体工学、福祉・医療、設計工学、計測工学、食品

1. 研究開始当初の背景

食品のテクスチャーを客観的に計測・評価する試験機としてテクスチュロメータやレオメータなどが用いられている。テクスチュロメータは人歯の咀嚼プロセスを模倣したもので、柔軟物の硬さ、凝集、付着性などを計測できる。食品の硬さ評価は柔軟物の上部からプランジャを押し当て破断したときの荷重をプランジャの圧縮面積で割った応力から求めているので、柔軟物の破断応力を表示している。また破断しなければ硬さは求められない。これは金属材料の評価に用いられるブリネル硬さやビッカース硬さ、ゴムや高分子材料に用いられるデュロメータによる硬さ試験法とは異なる評価法である。一方、レオメータは工業材料を対象にする万能試験機の機能を備えた試験機で荷重と変形を同時に検出して柔軟物の破断や粘弾性を測定している。プランジャには、針、コーン、円盤、球体、板状刃などが用いられ、柔軟物の引張荷重、圧縮荷重や切断力などが計測される。ゲル状食品の試験には定荷重あるいは定速度でプランジャを柔軟物に押し込む方法で粘弾性特性を計測している。しかし、プランジャの上下動速度が被測定物の急激な変形速度に対応していないので、柔軟物の粘弾性測定が困難と考える。これらを基に、新しい測定法が必要と考える。

2. 研究の目的

最初に噛んだときの加工食品や生鮮食品などの柔軟物の軟らかさ（柔らかさ）と粘弾性の力学的食感に注目すると、柔らかさと粘弾性を測定できる装置の開発が必要と考える。本研究では、空気噴流を用いてゼリー、寒天等の加工食品や生鮮食品を対象にした柔軟物の表面テクスチャーを測定できる非接触式の試験法を提案し、機能性のある試験

機の開発を試みた。本論文では、(1) 柔軟物のくぼみの直径と深さを測定して柔らかさを求める方法、(2) くぼみ深さによる粘弾性特性を調べる方法を提案する。まず、二つの測定方法を述べ、それらに基づいた試験装置を製作し、柔軟物の測定を行った。その結果からいずれも柔らかい柔軟物の測定が可能であり、またそれらの性能および特長を確認することができた。

3. 研究の方法

眼圧を測定するためのノンコンタクト・トノメータが作るくぼみにヒントを得て、食品の表面テクスチャーを測定できる機能性試験機の開発を試みた。ノズルより流れ出た流体が柔軟物の表面に当たるモデルを図1に示す。噴流が弱い場合やノズルと柔軟物との距離が比較的離れている場合には柔軟物表面は変形しないが、強い噴流が柔軟物に当たるとその表面にはくぼみが生じる。このくぼみは噴流の強さに大きく依存すると考え、噴流の強さによるくぼみの直径と深さおよびその時間的変化を測定する。

図1 測定方法

4. 研究成果

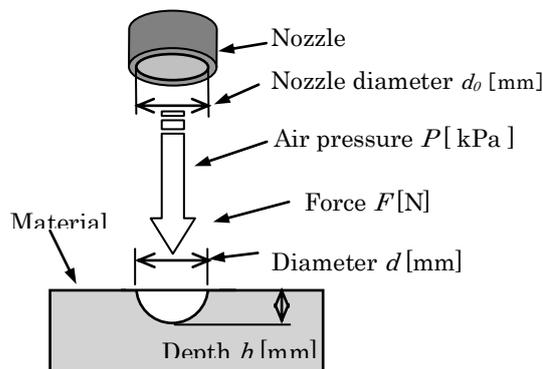


図2にはノズル圧力は、左側より 0, 20, 40, 60 および 80kPa に変化させたときのくぼみ形状を示し、横軸はくぼみの深さ方向を示している。左側の太線は実際のくぼみ形状

を表すが、深さ方向の寸法を正確に測定するためにその右側に拡大した形状（細線）で示してある。ノズル圧力 0kPa ではほぼ直線で示されているが、20kPa 以降ではくぼみ中央部が小さい半球状のくぼみが表れ、その外周部もなだらかな傾きの変形が生じる 2 段階の形状になっている。圧力を 40, 60 および 80kPa になるとくぼみの形状は明瞭に表れ、くぼみ中央部の深さは圧力の増加にともない深くなる。

図 3 において、低圧力では、柔らかさは鳥の肝が最も軟らかく、続いて豚ロース、豆腐類、鶏肉、4%ゼラチン、はんぺん、こんにゃくの順に硬くなり、10%ゼラチンとかまぼこが最も硬かった。なお、鳥の肝や豚ロースなどの柔らかさは一定にならず、ノズル圧力の増加に伴い減少した。この原因として、鳥の肝などは筋繊維の存在や不均質によるものと考えられる。本実験で行った負荷の範囲では、ゴマ豆腐、絹ごし豆腐、はんぺん、鳥の肝、鶏肉、豚ロース、4%ゼラチンの順に破断力は大きい、柔らかさの順序とは明らかに異なった。

したがって、噴射圧力の変化により柔らかさの数値が一定にならなかったり、食品が破断したり、くぼみが表れず測定できない場合もあるので、柔軟物に対して統一した噴射圧力を設定して柔らかさを表示することは難しい。そこで、柔軟物の柔らかさを定性的に評価する場合と定量的に評価する場合を考える。すなわち、硬軟の定性的評価には、任意の噴射圧力におけるくぼみ変形の大きさを比較して硬軟を決定する。

一方、柔らかさの定量化は噴射圧力を数回変えたときの数値がほぼ一定になる値で、その数値が柔軟物の持つ柔らかさとする。本研究では柔軟物に噴射圧力を 5kPa ごと加圧して柔らかさを求めた結果、豆腐類が最も柔ら

かく、次に 4%ゼラチン、はんぺん、こんにゃく、かまぼこ、10%ゼラチンの順に硬くなる。なお、鳥の肝や豚ロース等は各圧力で一定値にならず、柔らかさを数値化できなかった。これらの測定方法や表示方法について更なる検討を要する。

絹ごし豆腐に生じたくぼみ深さの時間的変化を図 4 に示す。ノズル圧力は 10kPa、負荷時間は 5 秒から 30 秒間の 5 秒間隔とした 6 区分、負荷開始直後から測定時間を 80 秒とし、くぼみ深さは 0.5 秒毎に測定した。負荷によるクリープ曲線はくぼみが急激に深くなる直線 OA の弾性変形、粘性と弾性の性質をもつ曲線 AB の遅延弾性変形に分かれている。負荷時間が短いときはくぼみ深さは浅いが、負荷時間が長

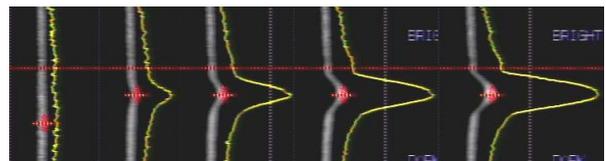


図 2 圧力によるくぼみの形状変化

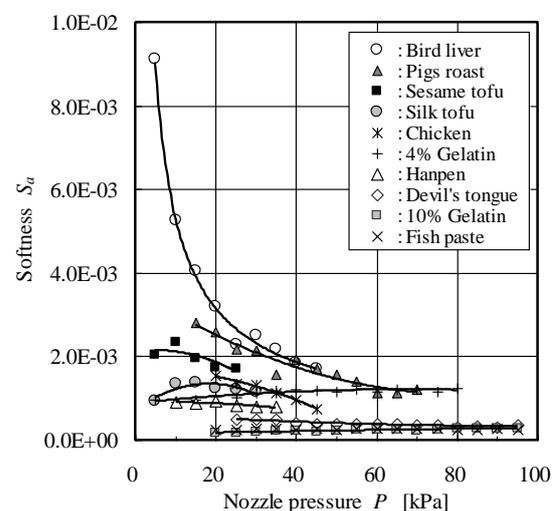
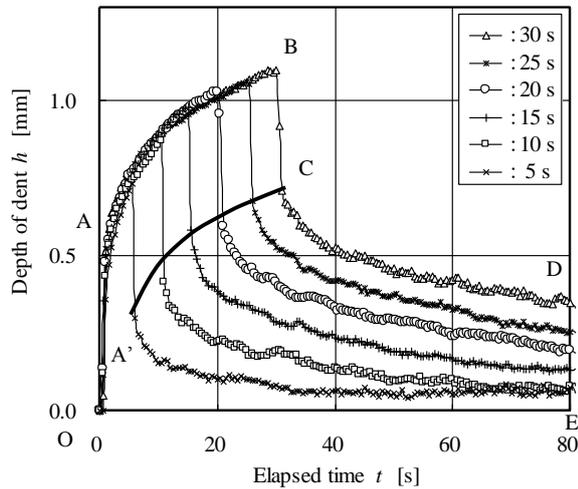


図 3 柔軟物の柔らかさ

くなると深さも増加し深さのくぼみ成長速度は緩やかになっている。また、OAB のクリープ曲線は負荷時間に関わらず一つの曲線で示された。除荷後のクリープ回復曲線 BCD において、くぼみは瞬間的に小さくな



る直線 BC の弾性変形と遅延弾性変形が表れる曲線 CD を示す。瞬間弾性変形後の各点を結ぶ曲線 A'C はクリープ曲線 AB から瞬間的に弾性回復した BC を差引いた 6 区分の点を結んだ曲線となっている。また、残留変形 DE は負荷時間が長くなると大きくなっている。

図4 クリープおよびクリープ回復

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

1. 横田 理, 長尾光雄, 梅田良太, 野中伸悟: 負荷中における柔軟物の表面形状の測定, 表面探傷分科会・保守検査特別研究委員会合同シンポジウム (日本非破壊検査協会), 7-3, 118~123 (2011).
2. 横田 理, 長尾光雄, 前畑尚行, 女屋 裕, 小山 潔, 星川 洋: コンクリートに発生した欠陥への補修材注入に関する研究, 圧力技術, 49-2(2011), 44-52.
3. 小山 潔, 星川 洋, 横田 理, 上田政人: 面状探傷用渦電流上置プローブに関する研究, 地域連携プロジェクト平成 21 年度研究報告書 (日本大学生産工学部・生産工学研究所) 59~62(2011).
4. 小山 潔, 星川 洋, 横田 理, 上田政人, 大滝政博: 電磁誘導非破壊試験による炭

素繊維強化プラスチック (CFRP) の損傷検出に関する研究, 地域連携

プロジェクト平成 21 年度研究報告書 (日本大学生産工学部・生産工学研究所) 63~66(2011).

5. 長尾光雄, 横田 理, 依田満夫: 柔らかさおよび粘弾性を計測できる機能性試験機の開発, 日本機械学会論文集 76 巻 770 号 C 編 pp. 2598-2603(2010).

6. 長尾光雄, 横田 理, 矢久保修嗣: ユビキタス脈波計の開発, 圧力技術, 48-1(2010), 4-10.

7. 横田 理: ひび割れを有するコンクリートへの結合材充填評価の研究, 調査研究事業等成果報告会成果報告集(東北建設協会) 第 2 回(2008), 3~7.

8. Mitsuo Nagao, Osamu Yokota: Development of intra-articular tension measuring used in anterior cruciate ligament reconstruction- Measuring method and design of probe, Advances in CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future, International Journal of International Society of Productivity Enhancement, 62.

9. Ryota Umeda, Mitsuo Nagao, Osamu Yokota: A proposal of a contactless measurement method that considers the visco-elasticity, International Journal of International Society of Productivity Enhancement, (2008) 207-210.

10. Akitoshi Ishizuka, Osamu Yokota, Mitsuo Nagao, Mitsuo Yoda, Toshimitsu Yokobori: Crack growth characteristics and damage of 12-9 Cr steel, Advances in CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future (The International Journal of International Society of Productivity Enhancement (2008)370-376.

11. 渡邊真義, 石井 裕, 依田満夫, 横田理: 高分子フィルムのクリープ寿命の迅速評価法, 日本材料強度学会誌, 42-3 (2008), 55-59.

[学会発表] (計 15 件)

1. 栗田脩平, 長尾光雄, 横田 理: 磁性流体を適用した加速度センサの開発、日本設計工学会東北支部平成 22 年度研究発表講演会 (2010, 12, 18), 3~4.
2. 古川真都, 長尾光雄, 横田 理: 生体計測用探り棒の基本的特性、日本設計工学会東北支部平成 22 年度研究発表講演会 (2010, 12, 18), 5~6.
3. 野中伸悟, 長尾光雄, 横田 理: 空気噴流による柔軟物の粘弾性特性、日本設計工学会東北支部平成 22 年度研究発表講演会 (2010, 12, 18), 15~16.
4. 青田有司, 横田 理, 依田満夫: スクラッチ法による鈹石および溶射皮膜の AE 特性、日本設計工学会東北支部平成 22 年度研究発表講演会 (2010, 12, 18), 39~40.
5. 渡邊文人, 長尾光雄, 横田 理: 半球レンズによる硬軟判別に関する研究、日本設計工学会東北支部平成 22 年度研究発表講演会 (2010, 12, 18), 41~42.
6. 山口 功, 長尾光雄, 横田 理: 噴流による柔軟物の形状計測、日本設計工学会東北支部平成 22 年度研究発表講演会 (2010, 12, 18), 43~44.
7. 長尾 光雄, 横田 理: 堆間板の柔らかさ計測装置の開発 (操作による個人誤差と基礎実験)、日本設計工学会東北支部平成 22 年度研究発表講演会 (2010, 12, 18), 57~58.
8. 女屋 裕, 長尾光雄, 横田 理: コンクリート構造物の欠陥への補修材注入の良否について、精密工学会東北支部学術講演会, (2010, 11, 27), 62~63.

9. 遠藤真一郎, 長尾 光雄, 横田 理: 脈診法を応用した脈波センサの開発とその評価について、精密工学会東北支部学術講演会, (2010, 11, 27), 64~65.

10. 野中伸悟, 長尾光雄, 横田 理: 柔軟物の非接触による粘弾性特性、精密工学会東北支部学術講演会, (2010, 11, 27), 70~71.

11. 栗田脩平, 長尾光雄, 横田 理: 磁性流体を利用した加速度センサへの適用、精密工学会東北支部学術講演会, (2010, 11, 27), 72~73.

12. 横田 理, 長尾 光雄: ユビキタス橈骨動脈波計の開発、日本設計工学会秋季大会平成 22 年度研究発表講演会 (2010, 10, 22), 17~20.

13. 長尾 光雄, 横田 理: 筋硬度計測装置の開発に関する研究 (触診との相関実証試験について)、日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会 (2010, 10, 22), 219~222.

14. 横田 理, 長尾光雄: ユビキタス橈骨動脈波計の開発、平成 21 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「グローバルネットワークによる次世代医療機器の開発とバイオメディカル工学研究拠点形成」研究成果報告会 (2010/6/17), 19~22.

15. 水野大樹, 長尾光雄, 横田 理: 生体計測用探り棒の基本的特性、日本機械学会東北学生会、第 41 回卒研発表会、27~28 (2010)

[図書] (計 1 件)

横田理, 青山正治, 清水誠二, 井上孝司, 春日幸生, 斎藤 修, 齋藤明德, 川森重弘: 基礎からの材料加工法, 日新出版・2009 年 4 月 30 日

8.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

1. 椎間板硬度計測方法及び椎間板硬度計測装置（椎間板、椎間板ヘルニア及び周辺組織の硬さや弾性の計測方法、及び計測装置）

特願 2009-317506 (2008)

特許権 日本大学

発明者 長尾光雄、横田 理、国内

2. 固着すべり状態システム及び固着すべり状態可視化システム

特願 2010-024353 (2010)

特許権 日本大学

発明者 横田 理 国内

○取得状況（計3件）

1. 触覚測定方法および触覚センサ、

特許権 日本大学

発明者 横田 理、柳沼孝侑

特許第 4106611 号

平成 20 年 4 月 11 日 (2008. 4. 11), 国内

2. 靱帯用張力プローブ

特許権 日本大学

発明者 横田 理, 長尾光雄, 長総義弘

特許権 日本大学

特許第 4111324 号 国内

平成 20 年 4 月 18 日 (2008. 4. 18)

3. 柔らかさ測定方法及び測定装置

特許権 日本大学

発明者 横田 理

柔らかさ測定方法及び測定装置

特許第 4247474 号

平成 21 年 1 月 23 日 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.ce.nihon-u.ac.jp/~yokota/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者 横田 理 (OSAMU YOKOTA)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：70120582