

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	食感のバイオメカニクス
Title(English)	
著者(和文)	門脇廉
Author(English)	Ren Kadowaki
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9451号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:伊能 教夫,蜂屋 弘之,山浦 弘,岸本 喜久雄,宮崎 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9451号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文概要

THESIS ABSTRACT

専攻: Department of	機械制御システム	専攻	申請学位(専攻分野): Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学籍番号: Student ID Number			指導教員(主): Academic Advisor(main)	伊能教夫 教授	
学生氏名: Student's Name	門脇 廉		指導教員(副): Academic Advisor(sub)		

論文題目 Thesis Title	食感のバイオメカニクス
----------------------	-------------

概要(和文300字程度又は英文120語程度)  
Thesis Abstract (approx.300 Japanese Characters or approx.120 English Words)

本論文は、機械工学的、生体力学的観点から食感を考察するものである。食品破砕時の食感は、食品と人体との力学的な相互作用から生じるため、客観的な評価には食品および人体の機械的特性の解明が欠かせない。本研究ではスナック菓子を対象とし、微細な空孔を含む内部構造を定量化する特徴量を提案して食感との関連を調べた。また、微小領域の有限要素解析と荷重試験で菓子の生地ヤング率と破壊強度を測定する手法を開発した。人体に関しては、頭蓋骨の固有振動と口腔での共鳴に着目し、頭部寸法と咀嚼音の関係を考察した。本論文では菓子の内部構造、ヤング率、破壊強度ならびに頭部寸法を説明変数とし、食感を表現する数理モデルを提案する。

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械制御システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
学生氏名： Student's Name	門脇 廉		指導教員 (主)： 伊能教夫 教授
			指導教員 (副)：
			Academic Advisor(sub)

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「食感のバイオメカニクス」と題し、全7章より構成されている。

第1章「緒論」では、食感を客観的に評価する研究の意義と本研究の目的について述べている。まず、食感評価に関する研究事例を調査し、従来研究では定性的な評価手法が中心になっており、食品の機械的特性と咀嚼音に対する人体の特性に関する検討が十分でないことを指摘している。そして、これを踏まえて食品の機械的特性と人体頭部の振動特性から食感を数理的に評価する新たな手法を開発することを本研究の目的としている。

第2章「擬音語を用いたスナック菓子の食感の官能評価」では、評価対象とするスナック菓子の食感を数値化するための官能評価手法について述べている。本研究では、日本語に特徴的な擬音語による食感表現に注目して代表的な「さくさく」、「かりかり」、「ぱりぱり」、「がりがり」の4つの擬音語を選定し、スナック菓子を食べた際にこれらの擬音語のあてはまりの度合いを9点法で調べる官能評価手法を採用している。そして市販の5種類のスナック菓子を対象として官能評価を実施し、分散分析と多重比較および主成分分析によって調べ、半数以上の菓子に特徴的な食感があることや、さくさく感とがりがり感の間に負の相関が見られることを示している。

第3章「スナック菓子の内部構造と食感の関係」では、まず、菓子の内部構造が破壊挙動に影響していることに注目し、内部構造を表現する特徴量として、棒状のスナック菓子の太さ、内部における生地占有率、太さ方向の占有率のばらつき、表面付近への生地の偏在の4種類を提案している。そして、これらを5種類の菓子の中で比較し内部構造を考察するとともに、菓子1個体を圧縮破壊したときの荷重プロファイルとの関係について議論している。また、第2章の官能評価で得られた食感と特徴量との関係を表す線形数理モデルを提案し、重回帰分析によって回帰係数を求めている。そして、構造的特徴のみでは数理モデルの有効性に限界があり、構造の特徴量以外の要素が必要であることを指摘している。

第4章「スナック菓子の材料特性の評価法」では、菓子の生地そのものが持つヤング率や破壊強度が食感に影響を与えていることに注目し、各材料特性の測定手法の開発および測定結果について述べている。この測定には、菓子の部位毎に材料特性が異なることを想定し、菓子の複雑なセル構造をマイクロレベルで評価することが必要であると指摘している。そして、10 mm<sup>3</sup>程度の試験片に微小荷重の圧縮試験とX線CT画像ベースの個別有限要素解析を実施することで、生地そのもののヤング率と破壊強度が同定可能なことを示している。提案手法で得られたヤング率は、従来の巨視的な手法による測定値より5~700倍大きいことを示している。また、これまで測定できなかった破壊強度についてもマイクロレベルで100~500 MPaという値を得ている。このほか、菓子内部の材料特性の分布についても測定できることを示している。

第5章「人体頭部の振動特性の食感への影響」では、食感の重要な要素の一つとして咀嚼音を挙げ、その伝播媒体である頭部の振動特性と咀嚼音との関連について議論している。まず、頭部の大きさの違いが食感の年齢差や個人差に影響している可能性があり、咀嚼時の食品破碎音の重要な要素となることを指摘している。次に、咀嚼音を構成する骨導音と気導音の計測実験を行い、その周波数分析から特に骨導音において頭が大きいほどピーク周波数が低下する傾向があることを示している。骨導音については頭蓋骨の有限要素解析を行い、固有振動数が低下することを示している。また、気導音についてはヘルムホルツ共鳴によって口腔の形と体積がピーク周波数に影響することを実験的に示している。そして、これらの咀嚼音の周波数特性が食感に及ぼす影響を考察している。

第6章「スナック菓子の特性と人体の特性を総合した食感評価」では、菓子の内部構造の特徴量に、材料特性と頭部寸法に関する変数を加えて官能評価の結果を説明する総合的な数理モデルについて述べている。まず、菓子の内部構造の特徴量に菓子生地のヤング率および破壊強度を説明変数として用いることで、さくさく感とがりがり感に対して内部構造の特徴量のみを用いた場合よりも有効な数理モデルを構築できることを示している。また、頭部寸法も加えた場合には、かりかり感の数理モデルに改善が見られることを示している。これらの結果から、食品の特性と人体の特性によって食感を客観的に評価できる可能性があることを述べている。

第7章「結論」では、本研究により得られた成果を総括している。

以上を要するに、本論文はこれまで定性的に評価されていた食感に対して、食品の構造・材料特性と人体の振

動特性の両面から考察することにより食感を客観的に評価する手法を開発したものであり、食感を軸とする食品開発への応用が期待され、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 機械制御システム 専攻  
Department of  
学生氏名：  
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員(主)： 伊能教夫 教授  
Academic Advisor(main)  
指導教員(副)：  
Academic Advisor(sub)

要旨(英文300語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The purpose of this study is to examine food texture from biomechanical viewpoints. We apply crispy snack foods because their commercial value is evaluated by the food texture. Food textures of the crispy foods mainly consist of crashing load and chewing sounds through the air and human skulls. However, existing approaches are qualitative and do not take account of the biomechanical factors.

At first, we performed sensory tests in which examinees score five kinds of commercial snack foods about their food textures. Four onomatopoeias “sakusaku”, “karikari”, “paripari” and “garigari” are selected for the sensory tests. These onomatopoeias are tried to express mathematical models composed of mechanical factors of the snack foods and biomechanical factors of the examinees.

Next, we proposed four characteristics of inner structure of the foods based on the CT images. They are diameter of the cylindrical snack food, average apparent density, its standard deviation and localization of the dough in the snack food. Using the structural characteristics, we obtained the linear mathematical models to express the onomatopoeias. However, the effectiveness of the evaluation was limited.

Then we focus on measurement of microscopic Young's modulus and rupture strength in the snack food developing new methods. The new methods estimate them combining individual finite element analysis and the micro loading test data. Identified microscopic material properties are much larger than the macroscopic characteristics from a conventional compression test.

We also analyzed relationships between chewing sound and vibrational property of the human heads. Result of modal analysis of the head showed that a larger head was easy to vibrate in lower frequencies. This result can explain the relationships between the head size and emphasized frequencies of bone conduction sound. Also about air conduction sound, similar trend was indicated by analyses of the Helmholtz resonance around the mouth.

Finally, we demonstrated that microscopic mechanical factors and human factors well contribute to improve applicability of the linear mathematical models.

The proposed method is helpful to evaluate and develop foods focusing on food textures.

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).