The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	咀嚼圧力分布解析に基づく食品テクスチャ推定システムに関する研究
Author(s)	柴田, 曉秀
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69565
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　柴田　曉秀　）	
論文題名	咀嚼圧力分布解析に基づく食品テクスチャ推定システムに関する研究

論文内容の要旨

本論文では，食品テクスチャの客観的・定量的評価手法について議論し，「ヒトが舌上で感知する繊細なテクスチャを評価指標として数値で呈示する」ロボットセンシングシステムを提案した．高齢者向けの介護用食品として，舌と口蓋を使って押しつぶして喫食するゲル食品が開発されており，Quality of Life の観点から，咀嚼・嚥下の安全性と美味しさが高水準で両立することが望まれている．美味しさは，食品の化学的性質＝味・香りのみでなく，咀嚼・嚥下過程における食品の物理的性質＝テクスチャにも強く依存する．テクスチャの評価は，ヒトが試食してアンケート形式で数値化する官能評価試験が基準となるが，時間，コスト，信頼性の問題が懸案となっており，物理的測定によって定量的に評価する手法が求められている．テクスチャは，機械的特性（もちもち感，ねっとり感，など）や幾何学的特性（つるつる感，ざらざら感，など）に分類され，機械的特性に関しては測定機器が実用化されている一方，幾何学的特性を含めたヒトが舌上で受ける繊細な印象と関連付けて食品テクスチャを評価する手法は確立されていない．以上を踏まえ，本論文では，ゲル食品を対象とし，ヒトに代わって食品テクスチャを評価するロボットセンシングシステムの開発を目的とした．ヒトの基本機能を再現した咀嚼ロボットを開発し，食品圧縮・破断過程の圧力分布（咀嚼圧力分布）データとテクスチャ官能評価値との関係を表す数理モデルに基づくテクスチャ推定手法を構築した．まず，圧力分布データに画像テクスチャ解析手法を適用して特徴量を算出し，主成分分析および重回帰分析を用いたテクスチャ官能評価値推定モデルを作成した．テクスチャ推定実験により，ゲル食品のテクスチャについて，機械的特性のみでなく幾何学的特性についても高精度に官能評価値を推定できることを確認した．続いて，画像特徴量の抽出手法について検討した．テクスチャ評価項目は多岐に渡るため，それぞれを評価する際に必要となる特徴量も異なることが予想される．そこで，画像特徴量の定義自体が学習の対象となっている畳み込みニューラルネットワークを導入し，汎用性の高い推定モデル作成方式の構築を試みた．テクスチャ推定実験によって，画像テクスチャ解析手法を用いた特徴量定義方式よりも多くのテクスチャ評価項目に対応できることを確認した．さらに，ヒトの舌の弾性変形を考慮したシステムへと拡張した．咀嚼ロボットに対する模擬舌の導入に向け，ヒトの舌組織の弾性を測定するための筋電位センサ付きグリッパ式計測システムを開発した．ここでは，舌筋の弛緩時に比べ，収縮時の方が，約４倍弾性が高いことを示した．最後に，弾性可変機構を有するシリコーン製模擬舌を提案し，プロトタイプによってヒトの舌の弾性を弛緩状態から収縮状態まで再現可能なことを示した．咀嚼ロボットに模擬舌を導入し，模擬舌の弾性状態による咀嚼圧力分布の違いを示すとともに，テクスチャ推定実験を通じて，テクスチャ評価項目に応じて，推定精度を向上させるための最適な模擬舌の弾性が変化することを明らかにした．

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　柴田　曉秀　）	
論文審査担当者	（職）　氏　名 主 査　准教授　東森　充 副 査　教　授　金子　真 副 査　教　授　大須賀　公一 副 査　教　授　山田　克彦

論文審査の結果の要旨

本論文では，食品テクスチャの客観的・定量的評価手法を確立することを目的とし，「ヒトが舌上で感知する機械的および幾何学的テクスチャを評価指標として数値で呈示する」ロボットセンシングシステムを提案している．

第１章では，研究背景と目的についてまとめ，従来研究との比較から本研究の位置付けについて示している．

第２章では，物理的測定により食品テクスチャを客観的かつ定量的に評価するために，咀嚼ロボットによる食品圧縮破断中の圧力分布（咀嚼圧力分布）からテクスチャを評価する手法を提案している．圧力分布データに画像テクスチャ解析手法を適用し，算出された特徴量とテクスチャ官能評価値との数理モデルを構築している．複数種類のゲルを用いた実験により，提案手法が，機械的特性および幾何学的特性の両者についてテクスチャ官能評価値を推定できることを確認している．

第３章では，特徴量の定義自体を学習により獲得するために，畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）を用いたゲル食品のテクスチャ推定手法を提案している．この手法では，モデル作成者の経験に基づく特徴量定義を回避できるため，第２章の手法よりも多様な食品テクスチャに対応することが期待できる．ＣＮＮへの入力は圧力分布画像を時系列順に複数フレーム結合したものが用いられ，ＣＮＮは７層からなる畳み込み層・プーリング層と２層からなる全結合層によって構成される．検証実験を行い，提案手法によって高精度に食品のテクスチャが推定可能なこと，第２章の手法では推定が困難であるテクスチャ評価項目にまで対応可能なこと，食品破断時および圧縮終了時の２フレームから成る入力画像でテクスチャ推定が可能なことを明らかにしている．

第４章では，模擬舌の設計と評価に向け，in vivo で舌組織の弾性を評価する計測システムについて議論している．グリッパ式弾性計測機構を採用し，舌の厚さ変化に依存することなく評価するために，弾性の評価指標として等価舌ヤング率を導入している．また，筋電位センサを用いた舌筋の収縮状態識別機能を実装している．シリコーン製模擬舌を用いた予備実験によって組織の弾性を妥当に評価できることを示した後，ヒトの舌に対する計測実験によって等価舌ヤング率を算出し，舌筋の弛緩時に比べ，収縮時の方が，約４倍弾性が高くなることを示している．

第５章では，舌式咀嚼を人工的に再現するためのシリコーン製模擬舌を提案し，製作したプロトタイプによってヒトの舌の弾性を弛緩状態から収縮状態まで再現可能なことを示している．模擬舌を導入した咀嚼ロボットを開発し，模擬舌の弾性状態による圧力分布の違いを示すとともに，テクスチャ推定実験を通じて，テクスチャ評価項目およびゲル食品の種類に応じて，推定精度を向上させるための適切な模擬舌の弾性が存在することを明らかにしている．

以上のように，本論文は，食品の機械的・幾何学的テクスチャを定量評価するためのロボットセンシングシステムを提案し，実験により有効性を示している．食品を人間中心の考えで計測しようとする新しい手法の構築といった学術的価値とともに，食品科学・産業への応用が期待できる．よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．