

論文内容要旨 (和文)

2019年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学専攻

氏 名 堀内 真美



論文題目 介護食の課題解決と高付加価値化を目指した軟質食品の3Dフードプリンティングに関する研究

3Dフードプリンターは、サイバーとフィジカルを融合した次世代の革新的な技術であり、これまでの食品加工技術では成し得なかったことを可能にすることが期待される。日本では総人口が減少する中、急速に高齢化が進み、今後も高齢者の割合は上昇が続くと予測されている。超高齢社会に突入した日本では、いかにして高齢者のQOL (Quality of Life) を高め健康寿命を延ばすかが重要であり、その基本は食にあるといえる。食べることは、いくつになっても生きる中で大きな楽しみの一つであり、心理的な幸福のみならず生理学的にも意義がある。そのため、高齢者のQOL向上において介護食品が担う役割は極めて大きい。こうした背景のもと本論文では、高齢者向け介護食品への3Dフードプリンターの活用に着目した。現在の介護食品においては、「見た目や食感の悪さによる食欲不振」、「個々の病気や咀嚼・嚥下機能に応じた栄養成分や物性の個別対応の必要性」、「調整にかかる時間と手間」が課題となっている。こうした課題の解決に対し、3Dフードプリンターの「外部及び内部の複雑形状の実現」、「カスタマイズ性」、「オンデマンド自動化」といった特長が活かされると考えられた。そこで、本論文では、介護食品の3D造形手法を構築し、さらに、用途開発を行って付加価値を創出することを目的とした。本論文は、以下に示すように全5章で構成した。

第1章 (序論) では、3Dプリンターの基礎技術と世界的な広がりに関して記述した後、3Dフードプリンターの既往の研究・開発と今後の可能性について述べた。次に、高齢者が抱える問題と介護食品の課題を示し、介護食品の分野に3Dフードプリンターを活用する意義を述べた。

第2章 (介護食品の3D造形手法の検討) では、栄養強化や物性改良のために介護食品の原料として使われるタンパク質 (卵白粉末、乳たん白粉末など) やゲル化剤 (カラギーナン、ペクチンなど) を用い、介護食品などに適した軟質食品の3D造形を可能にすることを試みた。加えて、軟質食品の3D造形におけるタンパク質とゲル化剤の作用を検討した。その結果、タンパク質が加熱により変性して吐出線を保形し、ゲル化剤が完全にゲル化せず流動性がある温度で吐出することで、軟質食品を3D造形できることを明らかにした。そして、軟質食品の3D造形において、タンパク質は流動性を保ちながら吐出線を保形する作用を持ち、ゲル化剤は吐出線を保形するとともに線同士を接着して造形物全体を保形する作用を持つことがわかった。さらに、食のカスタマイズ化実現のためには種々の食品成分を組合せて1つの食品をつくる必要があるという視点から、種々のタンパク質とゲル化剤の組合せが軟質食品の3D造形に与える影響を検討し、3D造形が可能な軟質食品の処方を見出した。

第3章 (減塩食・減糖食への応用) では、3Dフードプリンターの付加価値創出を目指し、塩分や糖分の濃度が不均一な分布構造を造形することで、軟質食品の塩味や甘味を増強させることができるか検証した。その結果、造形物全体の塩分含量が同じでも、外側に塩分濃度が濃い層がある不均一な構造の方が、塩分濃度が均一な構造よりも塩味を強く感じられることがわかった。甘味においては、造形物全体のショ糖含量が同じ場合、外側あるいは内側にショ糖濃度が濃い層がある不均一な構造を造

形することで味を増強できることがわかった。これらのことから、減塩食や減糖食の作製における3Dフードプリンターの有用性について述べた。

第4章（3次元構造による食感設計）では、「おいしい」介護食品による高齢者のQOL向上を目指し、3Dフードプリンターで巨視的な3次元構造を造形することにより、食品のおいしさに重要な「食感」を制御できるか検討した。まず、硬さの異なる2種の軟質食品を用いて3D造形を行い、軟質食品の3D造形における造形特性として、2種の軟質食品は造形過程で均一化することなく、造形前の物性が造形物の中でも保持されること、造形方向が造形物の力学特性に影響することを明らかにした。次に、3Dフードプリンターで軟質食品を繊維構造と層構造に造形することにより、これらの構造に特徴的な力学特性を再現して目的の食感を発現させることができるか検証した。その結果、3Dフードプリンターを用いることで、軟らかい食品であっても、繊維構造や層構造の力学特性を再現できることがわかった。さらに、これらの構造により、人が有意に識別できるレベルで繊維状の食感や層状の食感を発現させられることが示された。これらのことから、巨視的な3次元構造の制御による介護食品の食感設計とその効果について述べた。

第5章（総括）では、本論文の結論と将来の展望について述べた。本研究は、3Dフードプリンターによる介護食提供システムの開発と高齢者のQOL向上に貢献することが期待される。

論文内容要旨 (英文)

2019年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学専攻

氏名 堀内 真美



論文題目 A Study on 3D Food Printing of Soft Foods for Solving Problems of Nursing Foods and Adding High Values

3D food printing is a next-generation technology which has the potential to solve many problems around nursing food such as requirement of seven essential factors for a balanced diet: carbs, protein, fat, fiber, vitamins, minerals, and water. The focus of my research is on the utilization of 3D-printing, with an aim to develop a 3D-printing method for making soft-foods, and which can be prepared as per individual requirements.

In chapter-1, the problems of nursing foods and the potential of 3D-food-printing are explained.

In chapter-2, 3D-printing of soft-foods by using protein and gelling agents was examined, along with their effects. The results indicate that 3D-printing of soft-foods can be carried out by using a combination of protein and gelling agent, where (i) the protein denatures by heating in 3D-printing to keep the shape of the discharge line (ii) the gelling agent does not gel completely and has fluidity at a temperature to enable 3D-printing of soft-foods.

In chapter-3, the effects of the heterogeneous distributions of salt/sugar concentration in the layer-by-layer 3D-food-printing was examined. Results show that the heterogeneity of salt/sugar possibly enhances the degree of saltiness/sweetness, indicating that 3D-printed food can be used for making low salt/sugar diets.

In chapter-4, texture design and its effect of soft foods was examined. 3D-printing of fiber and layer structures were performed, and the texture of the 3D-printed-food were evaluated. The results suggested that macroscopic 3D structures printed by 3D-food-printing can be used to control the texture of soft foods.

In chapter-5, the conclusion and future perspective of this study are described. It is expected that this study contributes to the development of a system that provides nursing foods using a 3D food printing and the improvement of the Quality of Life of the elderly people, patients, and people in need for a balanced diet.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

令和 4 年 2 月 8 日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 古川 英光 印
副査 峯田 貴 印
副査 村澤 剛 印
副査 野々村 美宗 印
副査 松葉 豪 印
副査 西岡 昭博 印

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	専攻名 機械システム工学専攻 氏名 堀内 真美		
論文題目	介護食の課題解決と高付加価値化を目指した軟質食品の3Dフードプリンティングに関する研究		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	令和4年1月18日～ 令和4年1月27日
論文公聴会	令和4年1月27日	場 所	オンライン開催
最終試験結果	合格	最終試験年月日	令和4年1月27日
学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)			
<p>本論文は、高齢者向け介護食品への3Dフードプリンティング(3DFP)の活用がテーマとなっており、3DFPを活用して現在の介護食品の抱えるさまざまな課題(見た目や食感の悪さ、個人個人の栄養状態、咀嚼や嚥下機能に応じた個別対応など)を解決しようとするところに新規性・独自性が認められる。特に介護食品の3DFPに適したゲル化剤の提案や3D構造制御による塩味や甘味の増強、咀嚼時の食感制御検討などは、本分野において最先端の研究成果である。本論文では、自ら研究を計画・推進するための専門的知識を元に、研究背景・目的が正しく述べられている。本論文は、序論(第1章)、介護食品の3D造形手法の検討(第2章)、減塩食・減糖食への応用(第3章)、3次元構造による食感設計(第4章)、総括(第5章)の全5章で構成されており、学位論文の構成は適切で体裁は整っている。第2章では種々のタンパク質とゲル化剤の組み合わせが軟質食品の3D造形に与える影響が検討されている。タンパク質は流動性を保ちながら吐出線を保形する作用を持ち、ゲル化剤は吐出線を保形するとともに線同士を接着して造形物全体を保形する作用を持つなど、個々の機能の特徴が明らかになった。また第3章では、塩分や糖分の濃度が不均一な分布構造を造形することで、軟質食品の塩味や甘味を増強できることが示された。さらに、第4章では、「おいしい」介護食品による高齢者のQOL向上を目指し、巨視的な3D構造制御による介護食品の食感設計が検討され、3DFPで軟質食品を繊維構造と層構造で3D造形し、これらの構造に特異的な食感を発現できるかが検討された。それにより、人が有意に識別できるレベルで繊維状の食感や層状の食感を発現させられることが示された。学位論文の記述は論理的で、第5章では本論文の結論が明確に述べられている。</p> <p>本論文に関係する第一著者論文は日本食品工学会誌に2報は掲載済みである。また、第2章と第4章の研究成果は特許として出願済みである。</p> <p>以上、研究の新規性、学位論文の内容や体裁、内容公開状況等について本学の審査基準から総合的に判断した結果、学位論文として十分に認められるものであり、学位論文審査を合格と判断した。</p> <p>本論文は、研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>最終試験は、公聴会実施後に学位論文の内容を要約した口頭発表および質疑応答によって実施した。研究テーマおよび研究方法は、当該分野の博士論文として適切なものであり、学術的背景、実験結果、結論は関連分野の博士論文として十分なレベルに達していると判断された。口頭発表および質疑応答では、十分な専門知識、スキル、考察力を有していると判断された。以上から、課程博士として十分な資質が認められ、最終試験を合格と判定した。</p>			