

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	リアルタイム伝熱シミュレーションによる加熱調理のバーチャルリアリティ
Title(English)	
著者(和文)	加藤 史洋
Author(English)	Fumihiro Kato
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10227号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:長谷川 晶一,佐藤 誠,長橋 宏,中本 高道,高村 大也
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10227号, Conferred date:2016/3/26, 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

## 論文要旨

### THESIS SUMMARY

専攻： Department of	知能システム科学	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
学生氏名： Student's Name	加藤 史洋		指導教員 (主)： 長谷川 晶一
			指導教員 (副)：
			Academic Advisor(sub)

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文では、バーチャルリアリティ (以下、VR) 世界の食材モデルが実世界の食材と同様に加熱され、調理を練習できるような VR シミュレーション、インタラクションシステムを提案するものであり、「リアルタイム伝熱シミュレーションによる加熱調理のバーチャルリアリティ」と題し 4 章から構成される。

第 1 章「序論」では、VR 研究と伝熱のシミュレーションを概観し VR 調理実現のために、VR 世界の構成手法、加熱調理の VR による再現、加熱調理再現のための伝熱モデルについて研究事例を概説する。具体的には、VR 技術の発展により多様なシミュレータが提案されていること、VR 実現のための要素として、食材や調理過程のコンピュータグラフィクス表現、調理中の食材とのインタラクション手法や、調理変化の数値シミュレーション手法について概説する。VR 調理による加熱調理の練習のためには、調理を再現するシミュレータを用いることが一つの有効な手法であると考えられ、また、加熱調理では、伝熱の再現が必要であることから、調理における食材の加熱モデルや伝熱の計算手法についての従来の知見を説明する。

以上の調査と考察から、加熱調理のバーチャルリアリティの実現には、加熱の強さと調理器具の操作を入力として伝熱をシミュレーションすることにより、食材-物体間や内部の伝熱を再現し、食材内部の温度や焼け具合などの加熱調理効果を可視化して提示することで、利用者による加熱調理の練習が可能になると考え、これを実現する VR システムを提案することを具体的な研究目的としている。

第 2 章「インタラクティブ調理シミュレータ」では、提案するインタラクティブ調理シミュレーション VR システムの構成について、ユーザによる調理器具の操作入力を可能とし食材の重さを提示する力覚インタフェース、調理器具と食材の接触や食材の動きを計算するリアルタイム動力学シミュレータ、調理器具からの食材内部の温度情報を計算するリアルタイム伝熱シミュレータ、温度上昇に伴う食材の焦げやタンパク変性を表現する変性シミュレータ、温度や食材の変性変化を表現するグラフィクスレンダリング、調理器具上に食材を投影する映像提示装置からなることと、各要素について説明する。また、構築した VR システムの評価について説明する。

まず、提案システムを用いることで、ニンジンやエビなどの野菜炒めやステーキ肉の加熱についてシミュレータでの焼け具合による色変化が現実での調理のような変化を再現できることと、内部の焼け具合を可視化できることを確認する。また、構築した VR システムがリアルタイム動作可能であり、調理操作によるインタラクティブな練習に利用可能であることを計算速度観点からの評価する。さらに、牛肉をミディアムに焼く調理について、提案 VR システムを用いた練習と現実の練習での効果を比較することで、提案 VR システムの調理スキルの獲得における効果を示す。

第 3 章「加熱調理の VR での再現のためのリアルタイム伝熱シミュレーション」では、食材の加熱調理による温度変化を精度よく再現するために必要な伝熱シミュレータを提案する。再現に必要なシミュレータへの要求を分析し、調理器具内に温度の偏りや分布があり、調理器具と食材との接触変化の反映がある条件でも、加熱による温度変化の再現性が高い伝熱シミュレータを提案する。提案する伝熱シミュレータは、加熱器具から調理器具への熱流束、物体内の熱伝導、物体間の熱伝達、空気との伝熱について再現した。特に熱伝達計算では物体間の節点同士の対応づけについて熱伝達面積が等価となる高速なアルゴリズムを提案することで、精度を保ちながら計算速度を高速化し、リアルタイム計算を可能にする。試作システムを用いた実験では、IH クッキングヒータによる鉄板内での熱流束分布や、鉄板と空気との熱伝達率、鉄板と金属試料との熱伝達率を同定することで伝熱シミュレータの動作の正確性を確認し、現実の食材である牛もも肉を用いて伝熱の再現を確認する。この中では、牛もも肉を加熱途中で反転するレシピについて反転の前後でも温度の変化の再現が可能であることを確認する。

第 4 章「結論」では、本論文が、適切なインタラクション手法 (2 章) と接触変化を反映可能なリアルタイム伝熱シミュレーション (3 章) による加熱調理の VR システムの提案により、調理器具と食材での伝熱変化を再現することで、食材の温度や焼け具合などの食材内部の可視化が実現し、VR システムを用いた調理の練習によるスキル習得が実現できるという結論を説明する。

以上のように本論文は、実世界と同様の加熱調理操作が可能な VR システムを提案、構築し、VR システムを用いた調理練習を可能とするものであり、調理教育に新たな手法を提案するとともに、VR システムの応用を広げるものであり、VR の研究と産業に貢献すると考えられる。

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).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

# 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 知能システム科学 専攻  
Department of  
学生氏名： 加藤 史洋  
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)： 長谷川 晶一  
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)

This thesis proposes a real-time heat transfer simulation method which visualize heat changes in virtual cooking interactively. The proposed system enables user to practice cooking food as in a real kitchen.

The first chapter, give a survey of existing research on virtual reality (VR) training system, cooking and thermal simulation including VR world building method, VR cooking reproduction method and thermal conduction calculation for cooking. From the survey shows that a real-time system to visualize cooking effects (e.g. inner food temperature and cooked condition changes by reproduction of heat transfer between food and cookware) is needed for the proposed system.

Chapter 2 proposes "Interactive Cooking Simulator" which consists of 6 elements, following (a) to (f). (a)Haptic interface enables user to input cookware operation into (b) real-time rigid body dynamics simulation. Then it produces the weight of food and feeds back to the user. Element (b) calculates motion and contact force between cookware and food ingredients. (c) Real-time thermal conductive simulation calculates heat transfer between cookware and food. (d) Appearance change simulator reproduces chemical change along temperature increasing. It mainly focused on browning and carbonizing. (e) Graphics renderer reproduces changes of temperature and appearance of food. (f) A Projector displays graphics scene on screen which display enables user see through half-mirror. The user can check foods changes displayed on frying pan. Experiments indicate that the proposed system can reproduce food inner / outer appearance changes in real cooking results and the cooking practice on a medium beef steak using the simulator improve user's skill.

Chapter 3 proposed more accurate finite element heat transfer simulation method than proposed in Chapter 2. This chapter analyzes requirements on performance for accurate heat transfer simulator. A matching algorithm of vertices between cookware and food is proposed to reflect contact condition changes in each calculation cycle. The algorithm is high speed enough for interactive cooking operation. An experiment confirms the accuracy of the heat changes for a beef steak cooking where the steak is flipped upside-down.

Chapter 4 concludes that the proposed VR cooking simulation system enables user to practice cooking and skill up.

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

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).