

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)	Fumihiko 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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	加藤 史洋	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	長谷川 晶一	准教授	審査員	高村 大也	准教授
	審査員	佐藤 誠	教授			
		長橋 宏	教授			
		中本 高道	教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、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 章からなる。

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している。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 の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ックス表現、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説明している。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している。以上から、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、調理器具からの加熱と食材内部の伝熱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ックスレンダリング、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している。

また、構築した VR システムの評価について次のように記している。まず、提案システムが、野菜炒めやステーキ肉の加熱について現実での調理での変化に近い色変化を再現できること、内部の焼け具合を可視化できることを確認している。次に、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の観点から評価している。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している。

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ション手法を提案している。再現のための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がある条件でも、加熱による温度変化の再現性が高いシミュレーション手法を提案している。提案手法は、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、空気との伝熱を再現すると述べている。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と述べている。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性を確認している。

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の変化の可視化を実現し、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している。

以上を要するに、本論文は、物体間の熱伝達の変化を含むリアルタイム伝熱シミュレーション手法の提案と適切なインタラクション手法による、実世界と同様の加熱調理操作が可能なVRシステムを提案するものである。調理訓練の手法としての有用性を示すとともに、本論文のシミュレーション手法は伝熱を含む作業にVRの応用を広げるものであり工学上の貢献が大きい。よって博士（工学）の学位論文として十分な価値を持つと認められる。