T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	微構造の3次元可視化による焼結の熱力学的駆動力の解明
Title(English)	Clarification of thermodynamic driving force for sinteringfrom 3-D visualization of the microstructure
著者(和文)	大熊学
Author(English)	Gaku Okuma
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10999号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:若井 史博,東 正樹,尾中 晋,安田 公一,吉田 克己,西山 宣正,田中 諭
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10999号, Conferred date:2018/9/20, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（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	大熊　学	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名	氏　名	職　名
	主査	若井　史博	教授	吉田　克己	准教授
	審査員	東　正樹	教授	西山　宣正	特任准教授
		尾中　晋	教授	田中　諭	准教授
		安田　公一	准教授	（長岡技術科学大学）	

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Clarification of thermodynamic driving force for sintering from 3-D visualization of the microstructure（微構造の３次元可視化による焼結の熱力学的駆動力の解明）」と題し，６章から構成されている．

第１章 Introduction では，巨視的な焼結の連続体力学とミクロスケールの焼結プロセスについてまとめ，本研究の目的について述べている．

第２章 Interface topology for distinguishing stages of sintering では，ガラス粒子の粘性焼結中の複雑な気孔構造の形態変化をＸ線マイクロトモグラフィーで観察し，３次元気孔構造のトポロジーを表現する Euler 標数が相対密度の増加とともに特徴的な変化をすることを見いだしている．初期焼結では粒子間接触による気孔チャネルの形成速度と気孔チャネルの閉鎖速度が平衡するため Euler 標数はほぼ一定であるが，中期焼結では気孔チャネルの閉鎖と閉気孔の形成により相対密度の増加とともに Euler 標数が増大し，最大値に到達した後の終期焼結では閉気孔の収縮・消失により Euler 標数が減少すると述べている．ガラス粒の粘性焼結で得られた知見をもとに，Euler 標数の概念を導入して結晶の固相焼結に関する文献データを解析した結果， Euler 標数は粘性焼結，固相焼結に共通な焼結段階を区別する客観的な基準として利用できると提唱している．

第３章 Computation of sintering stress and bulk viscosity for each stage of sintering では，Ｘ線マイクロトモグラフィーで観察したガラス粒子の粘性焼結における微視的な３次元気孔構造をもとに，巨視的な焼結の連続体力学において体積収縮の駆動力である焼結応力，体積粘性率を推定した結果について述べている．平衡状態の周期的多孔体モデルでは，焼結応力は表面エネルギー法，曲率法，混合法で決定でき，それらの値は厳密に一致するが，現実の焼結では非平衡不均質構造であり，これらの手法によって計算される焼結応力の値が互いに異なることを見いだしている．トモグラフィーで観察した初期焼結における粒子間結合の面積から粒子間に作用する焼結力を推定し，配位数を考慮して焼結応力を求めている．この結果より，非平衡状態に対して初期焼結と中期焼結では混合法が，また，終期焼結ではエネルギー法が妥当な推定値を与えると述べている．実験で求めたひずみ速度と焼結応力より，体積粘性率の相対密度依存性を調べ，Mackenzie-Shuttleworth の理論予測と良い一致を示すことを見いだしている．

第４章 Experimental verification of sintering stress and bulk viscosity estimated from X-ray microtomography では，カルシウムアルミノシリケートガラス粒子の焼結鍛造試験を行い，荷重とひずみ速度の関係より実験的に焼結応力，体積粘性率，せん断粘性率の相対密度依存性を測定した結果について述べている．焼結鍛造試験で測定した値とＸ線トモグラフィーから推定した値を比較し，ガラス組成や粒径が異なっても，表面エネルギーと粒径の補正を行えば，両者の値が良い一致を示すことを見いだしている．Ｘ線トモグラフィー観察による焼結応力や体積粘性率の推定手法は，焼結鍛造試験の困難な薄膜や微小領域の特性分布の解析において有効な手段になりうると述べている．

第５章 Determination of the size of representative volume element for viscous sintering では，微視的に不均一な構造を連続体として取り扱うための代表体積要素を，ガラス粒の粘性焼結のシンクロトロンＸ線マイクロトモグラフィー観察で解析した結果について述べている．代表体積要素の寸法は辺の長さが粒子直径の１０倍程度の立方体に相当することを見いだしている．

第６章 Summary では，各章において得られた結果とともに，本論文の意義を述べている．

以上のように，本論文では巨視的な焼結の熱力学的駆動力が，ミクロスケールの複雑な３次元気孔構造から生み出されることを解明し，原料粉，粉体成形プロセス，粉体充填構造の制御によって焼結性が向上する原理を示したものであり，工業上，工学上，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．