



東京大学工学系研究科総合研究機構 第三回次世代ジルコニアセミナー

“焼結の連続体力学とマイクロ力学”

若井 史博

東京工業大学 名誉教授

焼結とそれに伴う微構造形成は、セラミック部材の製造プロセスにおいて最も重要な工程である。成形した粉体に熱を加えると、全表面エネルギー、界面エネルギーを減少する方向に物質移動が起こり、所望の密度、微構造、形状を持つ部材が生まれる。エレクトロニクス、エネルギー、医療、環境、モビリティなど様々な応用分野からの要求に応えるには、焼結技術のさらなる洗練と、新技術の開発が不可欠である。セラミックスの焼結プロセスを予測・制御し、優れた特性を持つ部材を効率良く製造する能力を高めるには、焼結の熱力学・動力学の基礎理論、微構造形成を予測するシミュレーション技術、3次元微構造の直接観察技術の進歩が求められる。本講演では、高温変形の視点から焼結の力学を見つめ直すことにより、高信頼性セラミックス実現に向けた手がかりが得られることを紹介する。

粉末成形プロセスで得られた成形体内部の相対密度は一般に不均質であり、焼成収縮は不均一となる。また、内部に凝集体・介在物がある場合や、複合材料や積層材料など異種材質の同時焼成/共焼結 (Co-sintering) の場合、収縮速度差のため、内部応力が発生し、ゆがみや、場合によっては欠陥形成、き裂や剥離が生じる。所望の形状・寸法精度・性能・信頼性をもつ部材を焼結により製造するには、このような問題を取り扱うことが必要である。このため、焼結の連続体力学が生まれた。高温で多孔体に応力が作用すると変形する。微構造が等方的である場合、巨視的なひずみ速度は、応力の偏差成分と等方成分に対する応答として表される。比例係数の逆数をそれぞれせん断粘性係数、体積粘性係数と呼ぶ。外部から応力が作用しなくても自発的に収縮が起こるのは、焼結応力が存在するからである。これが焼結の熱力学的駆動力である。巨視的な収縮挙動は相対密度だけでなく、粒子スケールの局所構造に依存する。ところが粒子は不規則な形状をしており、粉体成形時に粒子配向や異方的充填が起こる。また、拘束焼結や同時焼成では部材内部に発生する応力により微構造が異方的となる。連続体力学に異方性を導入することにより異方的収縮が解析できる。

焼結の巨視的な収縮は粒子スケールの微構造や力学をもとに理論的に予測できる。簡単な周期的構造モデルを考えることにより、粘性係数テンソルや焼結応力テンソルがいかに関係するか、相対密度、粒径、表面エネルギー、粒界エネルギー、粒界拡散係数、微視的粘性係数、表面曲率、配位数、異方性に影響されるかについての洞察が得られる。近年では、放射光X線マイクロトモグラフィー、FIB-SEMナノトモグラフィーの進歩により焼結中の複雑な3次元気孔構造変化を直接観察できるようになり、コンピューター・シミュレーションの進歩とともに、非平衡・不均一・非等方的組織の焼結のマイクロ力学の理論と実験の研究が発展しつつある。研究開発の潮流が原理・原則に基づき、情報科学を活用した材料設計、プロセス設計に移行して行く中で、このような焼結の科学と技術の展開は高信頼性セラミックス部材開発において重要となると考えている。

日時：2021年4月14日(水) 13:30~15:00 Zoom開催

主催：東京大学「次世代ジルコニア」社会連携講座

問合せ先：ngzirconia@gmail.com