

# 焼結シミュレーションによる素形材プロセスの高度化支援

一般財団法人ファインセラミックスセンター  
野村 浩

## 1. テーマ設定の背景

素形材の製造法には、鋳造や鍛造をはじめとする様々な手法があるが、近年めざましい技術進展を遂げているのが「粉末冶金」である。粉末冶金の最大の特長は、後加工が容易な“ニアネットシェイプ”の部材製造が可能であり、素形材の製造コストの低減に寄与している。

粉末冶金には、原料粉の調製、成形、焼結の工程があり、ニアネットシェイプ製造のためには、成形技術と焼結技術の高度化が重要である。焼結工程では部材の緻密化に伴う収縮変形や内部応力が生じるため、変形を考慮した成形が不可欠である。ただ、成形に用いる金型は作製に長期間を要するため、従来行われてきた、金型の作製と焼結を繰り返す手法では、開発期間の短縮が難しいという問題がある。

筆者らは、焼結による変形を計算によって予測する焼結シミュレーション技術の開発に携わり、ソフトウェア「SinterPro」の普及を通じて、素形材産業の高度化を支援してきた。現在では、金属やセラミックスの素形材に加え、様々な電子デバイスの製造にも適用範囲を拡大し、多くの企業で活用されている。

## 2. 素形材分野との関連性

素形材の焼結には、固相焼結と液相焼結があり、特に液相焼結では、粒子の成長によって微構造は変化し、特性に大きな影響を及ぼす。「SinterPro」では、外形の変化のみならず、内部構造の変化も予測できることから、特性改善のための開発支援ツールとしても活用できるように技術を進展させてきた。

## 3. 研究開発の成果

焼結シミュレーションソフトウェアを頒布し、素形材産業を中心に、粉末冶金によるものづくり支援ツールとして活用されている。

「SinterPro」は、モンテカルロ（MC）法と有限要素法（FEM）という、2つの異なる計算手法から構成されている。MC法は、比較的微小領域を対象として、高温下での焼結・粒成長過程の組織変化、密度および粒径の変化や気孔形態、特定相の連続性などの組織解析が可能な手法であり、FEMは、MC法と連携させて、巨視的領域での焼結過程が再現できる手法である。巨視的焼結過程の再現により、大型部材焼結時の底面摩擦と自重の影響による焼結後の形状予測や、電子部品などの積層体焼結時における反りや密度分布の解析が可能となった。

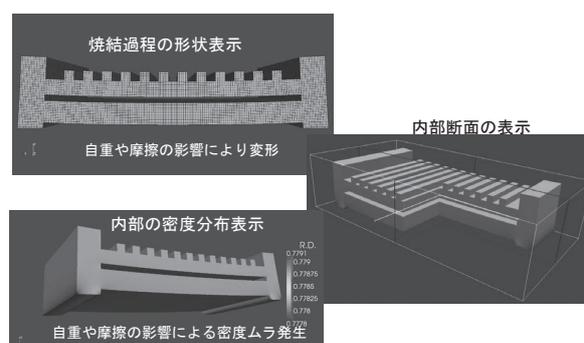


図1 シミュレーションの一例。  
FEMにより焼結時の形状や内部密度分布を解析

## 4. 訴求点

焼結シミュレーション技術は、国内外で複数の大学・研究機関が開発を進めているが、実用ソフトウェアを頒布しているのは、(少なくとも国内では)他になく、近年の計算機の高速化とあいまって、ユーザー企業は急速に増加している。また、ソフトウェアの頒布だけでなく、各ユーザーの

使用目的に応じた技術指導も積極的に実施しており、広範な技術ニーズの把握から、バージョンアップ・機能拡大の方向性を決定するなど、より使いやすいソフトウェアの開発を継続的に進めている。

この焼結シミュレーション技術は、焼結部材開発促進や焼結部材生産で生じる様々な問題の強力な解決支援ツールとなる。

例えば、様々な部材の焼結時に生じる、収縮に伴う形状のいびつ化や、その結果生じる応力割れ、あるいは、積層電子部品の一体焼結時に生じる、各層の収縮挙動の違いによる反りや界面クラックの発生などは、これまで、実際の部材製造を繰り返す試行錯誤的な研究開発によって解決が図られてきたが、計算を活用した効率的解決手法は、開発期間の大幅な短縮に繋がっている。

焼結シミュレーションの開発に当たっては、実部材との比較検討が不可欠である。そのため、シミュレーションで必要となる材料物性を基礎データとして収集しながら、実際に作製した部材とシミュレーション結果の比較検証によって、計算手法の妥当性を慎重に検討しており、本研究においては筆者ら自らがデータを収集し、実部材の作製実験との解析を進めることによって、開発手法の有用性を明らかにしてきた。また、固相のみの焼結だけではなく、液相発生を伴う焼結にまでシミュレーション対象を拡大した。さらに、多数の素形材関連企業との協働を通じて、様々な材料系への適用を図り、個別・具体的なシミュレーションの最適化を果たしている。

その他にも、焼結プロセスに取り組んでいる複数のユーザー企業が参加する焼結シミュレーションに関するフォーラム（研究会）を主宰し、企業横断的な意見交換により、個別の成果を焼結シミュレーション技術の共通基盤として昇華させ、ソフトウェアへの機能向上や新たな焼結現象の導入も進めており、素形材産業全体の高度化に貢献している。すでに、シミュレーションソフトウェアの頒布先は国内企業 11 社となっており、加えて、中小企業を含む国内企業約 80 社のシミュ

レーション技術開発にも貢献してきた。

このように、開発したシミュレーション技術およびソフトウェアは、焼結現象の物質移動理論を実部材へと適用可能とするものであり、素形材産業をはじめとする我が国のものづくり産業全体の発展に資すると考えている。

## 参考文献

- 1) “焼結・粒成長する多孔体組織における相連続性の計算機モデリング”, 日本セラミックス協会学術論文誌, 111, p.205-211 (2003).
- 2) “モンテカルロ法と有限要素法の練成による焼結のマイクロ-マクロシミュレーション”, 日本セラミックス協会学術論文誌, 111, p.516-520 (2003).
- 3) “Computational Design for Grain Oriented Microstructure of Functional Ceramics Prepared by Templated Grain Growth under Anisotropic Grain Growth”, J. Am. Ceram. Soc., 89, p.1557-1562 (2006).
- 4) “異方的表面エネルギーをもつ結晶粒子からなる多孔体構造の焼結シミュレーションによる解析”, 粉体および粉末冶金, 55, p.3-9 (2008).
- 5) “セラミックス・金属の焼結設計を支援するシミュレーション技術”, コンバーテック, 38, p.82-87 (2010).
- 6) “省資源・省エネのための材料設計シミュレーション”, 金属, 83, p.440-444 (2013).