

## 超合金等の硬質材料について最高特性発現と環境調和性の設計学(シミュレーション)構築を目指す

Development of designing (simulation) study for maximum properties and environmental harmony in cemented carbide and other hard materials



教授 松原 秀彰  
Professor  
Hideaki Matsubara



助教 寺坂 宗太  
Assistant Professor  
Sota Terasaka

当研究分野では、切削工具、耐摩耗工具に用いられる炭化タングステン-コバルト (WC-Co) 超合金などの硬質材料において環境資源問題と材料特性等を調和させること(環境調和設計)を目的とした研究開発を進めている。新規硬質材料の基礎研究、シミュレーション、材料設計データベースの構築等を行う。メカニズム解明などの基礎研究の成果が実用的な観点からどのような意味をもつかを明らかにする。硬質材料における資源問題の解決策(希少金属の低減・代替技術など)の基礎研究を行い、硬質材料における資源問題や環境問題を解決する材料設計技術開発を目指す。

We are conducting research and development aimed at harmonizing environmental resource issues and material properties (environmental harmony design) with hard materials, such as tungsten carbide-cobalt (WC-Co) cemented carbides, used for cutting tools and wear-resistant tools. Basic research on new hard materials, simulation, and the construction of a material design database will be conducted. We will clarify the meaning of the basic research results, such as mechanism elucidation, from a practical standpoint and conduct basic research on solutions to resource problems in hard materials (e.g., technologies to reduce and substitute rare metals), aiming to develop material design technologies to solve resource and environmental problems in hard materials.

### 超合金材料の基礎研究

超合金材料では近年、従来よりも極めて高い強度が得られる超微粒超合金が新規材料として開発され、その基礎研究が重要となっている。また、超合金の工業製品においては形状品質や希少金属(W, Co等)の低減・代替技術の研究なども重要な課題である。本研究室ではこれらの課題に関する研究を企業と連携して行っており、最近では超微粒超合金の強度、超合金の焼結時の変形、超合金の結合相の研究を進めている。

### 材料プロセスと組織形成のシミュレーション

硬質材料の多くは粉末成形～焼結プロセスによって作製されるが、各プロセスにおける因子は非常に多く、また組織への影響は極めて複雑であるため、シミュレーションの活用が有効である。本研究では、モンテカルロ法、有限要素法、離散要素法などを用いて、硬質材料の材料プロセスにおける組織形成と変形のシミュレーション研究を行っている。樹脂を含んだ粉末の成形、溶媒と樹脂の乾燥・脱脂、液相焼結・粒成長など各要素プロセスのシミュレーションの

### Basic research on cemented carbide materials

Ultra-fine grained cemented carbides with extremely higher strength than before have been developed as new materials in recent years, and basic research on these materials has become important. In addition, research on shape quality, rare metal reduction (W, Co, etc.), and alternative technologies are also important issues for industrial cemented carbide products. Our laboratory has been conducting research on these issues in cooperation with companies. Recently, we have been studying the strength of ultra-fine grained cemented carbides, deformation of cemented carbides during sintering, and the binder phase of cemented carbides.

### Simulation of material processes and microstructure development

Most hard materials are fabricated by the powder compaction to sintering process. Because there are so many factors in each process and their effects on the microstructure are extremely complex, the use of simulation is effective. In this study, we are conducting a simulation study of microstructure development and deformation in the material process of hard materials using the Monte Carlo method, finite element method, and discrete element method. We are developing simulations of

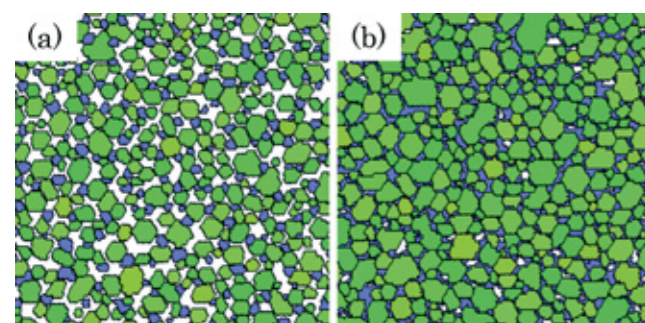


Fig. 1 MC simulation of sintering of cemented carbide. (a) initial structure, (b) structure after sintering. Green is solid phase, blue is liquid phase, and white is pore.

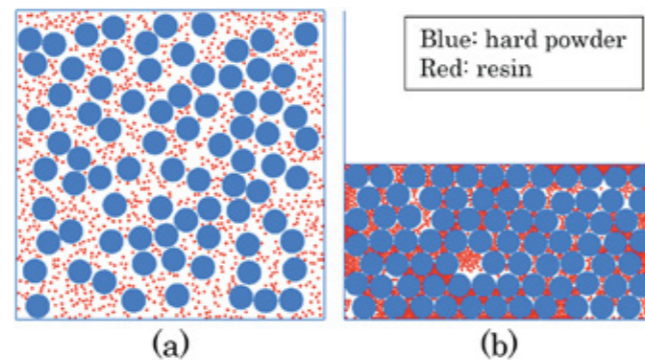


Fig. 2 DEM simulation of powder compaction. (a) initial structure, (b) structure after compaction.

開発や、粉末成形と焼結を連続させたプロセスのシミュレーション、焼結による組織変化と変形の連携シミュレーションの開発を行っている。

### 硬質材料の特性のシミュレーション

本研究では、硬質材料の機械的特性のシミュレーションを有限要素法と離散要素法を用いて行っている。最近では、超合金に働く熱応力や超微粒超合金の破壊についてのシミュレーション研究を行っている。

### 材料設計データベースの構築

各種のシミュレーションや計算状態図の結果を集積し、材料設計データベースとしての構築を行う。WCと種々の結合相(Co, Niおよび各種添加物等)の状態図計算、液相焼結の各種因子を変えた組織形成のシミュレーションを行い、データベース化を進めている。

### 受賞や学会等での活動

<受賞>

(1) 加藤大夢、松原秀彰、寺坂宗太、高田真之、上高原理暢：粉体および粉末冶金論文賞(2023年6月)「超微粒超合金の曲げ破壊の実験とDEMシミュレーション」

<学会等での活動>

松原秀彰：粉体粉末冶金協会理事、同協会硬質材料分科会主査、同協会粉体および粉末冶金出版編集委員、賢材研究会幹事等

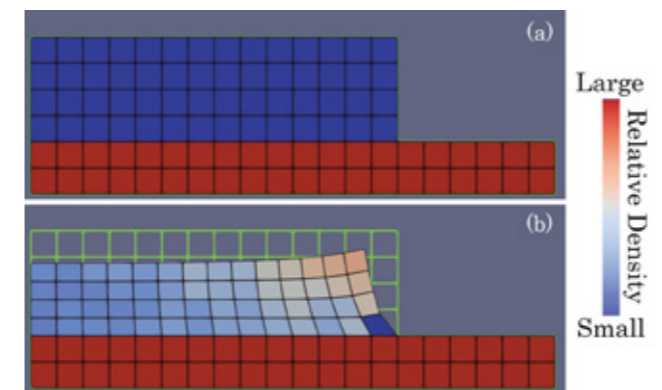


Fig. 3 FEM simulation of constrained sintering. (a) before sintering, (b) after sintering.

each elemental process, such as compacting powder containing resin, drying/degreasing solvent and resin, and liquid-phase sintering and grain growth, as well as process simulations of continuous powder compaction and sintering and a coupling simulation of microstructural changes and deformation due to sintering.

### Simulation of hard material property

The mechanical properties of hard materials are simulated using the finite element method and the discrete element method. Recently, simulation studies on thermal stress acting on cemented carbides and the fracture of ultra-fine grained cemented carbides have been conducted.

### Construction of material design database

We are constructing a materials design database by accumulating the results of various simulations and phase diagram calculations. We are conducting phase diagram calculations of WC and various binder phases (Co, Ni, various additives, etc.) and simulations of microstructure development with factors in liquid-phase sintering and are compiling the database.

### Awards and Activities in academic societies

< Awards >

Hiromu Kato, Hideaki Matsubara, Sota Terasaka, Masayuki Takada and Masanobu Kamitakahara: Japan Society of Powder and Powder Metallurgy Distinguished Paper Award, "Experiment and DEM Simulation on Bending Fracture of Ultra-fine Grained Cemented Carbide", June 2023.

<Activities in academic societies>

Hideaki Matsubara: Director of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Chairperson of Technical Division of Hard Materials Committee of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Publication Editorial Committee of the *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, Secretary of Ken-Materials Research Consortium, etc.

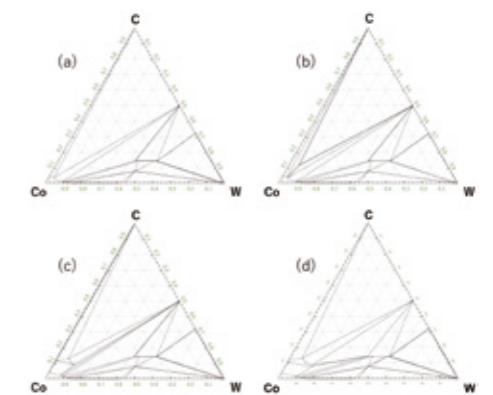


Fig. 4 W-C-Co ternary phase diagram calculation. (a) 1260 °C, (b) 1280 °C, (c) 1320 °C, (d) 1340 °C.