

プレス金型用超硬部品の高精度・高効率生産技術の開発

研究報告者 長田 稔子

プロフィール



最終学歴 2006年3月
九州大学大学院工学府
知能機械システム専攻 博士後期課程 修了
専門分野 粉体加工
学位 博士（工学）
所属団体 東京都立大学
システムデザイン学部 機械システム工学科
役職名 特任助教

今後の抱負

金属粉末をバインダと混合し、射出成形し焼結する金属粉末射出成形（MIM：Metal Injection Molding）では、小型の複雑形状部品の量産が実現されています。本助成は、以前私が九州大学に在籍していた際に財団に採択頂いた研究に興味を持っていただいた、ものづくりネットワーク九州の鈴木裕先生が申請されました。途中から私が引き継ぐことになり、残念ながら最後まで見届けていただくことは叶いませんでした。鈴木先生の最終目標として、MIM原料を利用した安価な金属造形機（3Dプリンタ）の開発を掲げておられました。金属粉末とバインダを利用した3Dプリンタの一つに、バインダジェット方式があります。バインダを含んだ金属部品の脱脂・焼結工程はMIMと同等と考えられておりますが、焼結体の寸法精度の向上など、3DプリンタにもMIMにも、同様に取り組まないといけないことがたくさんあります。今後も継続してこれらの研究に取り組んでいきたいと考えております。

1. はじめに

金型を用いた成形品の高精度化，微細化には著しいものがある．金型には高い信頼性が求められ，トライレス化，長時間のメンテナンスフリーの実現も現実のものになりつつある．こうした金型や金型部品には，超硬が多用されている．近年ナノ多結晶ダイヤモンド工具をはじめとするダイヤモンド工具の開発が進展したことから，超硬の直彫り技術も開発されている．しかしながら超硬部品の生産性や超硬の材料歩留まりをさらに向上させることも課題となっており，超硬部品のニアネットシェイプ化が必要とされている．

超硬はタングステンカーバイド(WC)と結合剤のコバルトを混合して焼結することで製造される．超硬合金の材料特性を向上させるため，炭化チタンや炭化タンタルが添加されることもある．超硬素材と結合剤を混合したものを，金型を用いてプレス成形される．成形された圧粉体もしくは一時焼結品に対し，機械加工を施す．その後高温で焼結を行い，超硬素材を得る．さらに，超硬合金の加工には研削加工や放電加工が行われる．超硬部品の作製には工程数が多く，加工時間がかかることから，生産効率化のための技術導入が必要と考える．

金属粉末射出成形(Metal Injection Molding, MIM)は，粉末冶金とプラスチックの射出成形を組み合わせた金属部品作製技術である．図1にMIMプロセスの概要を示す．金属粉末と複数の樹脂バインダを混合，混練した原料を金型中に射出成形して形状を付与，その後バインダの除去(脱脂)，金属粉末の焼結という過程で最終製品を得る．材料の自由度が高いうえ，形状の自由度も高く，ネットシェイプで大量生産することが可能な工業的にも有用なプロセスである．

本研究では，MIMによりプレス金型用超硬パンチを作製し，高精度，低コスト生産方式の確立を目指した．

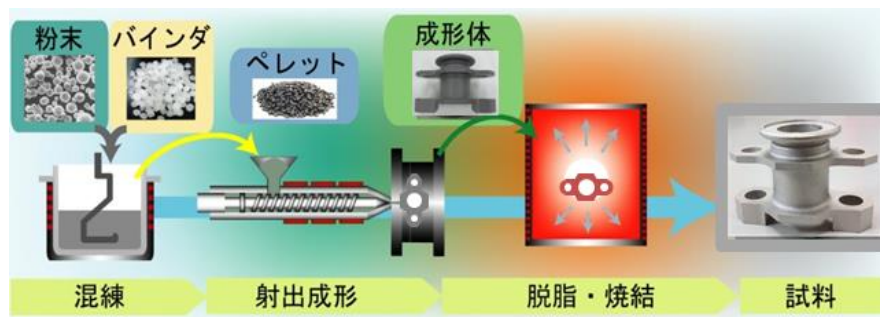


図1 MIM プロセスの概要

2. ダンベル型試験片による基礎実験

2.1 実験方法

実験には，表1に示す2種類の超硬粉末を使用した．粉末のSEM写真を図2に示す．粉末の粒度が異なる2種類である．いずれも1 μ m以下の微細な粉末であり，凝集していることがわかる．

表1 使用粉末とその製品特性

	密度 g/cm ³	硬度 HRC	抗折力 MPa	圧縮強度 MPa
Q3 非磁性・耐蝕性合金	13.6	88.5	3550	4460
SA160 超々微粒子合金	14.5	93.5	4250	6650

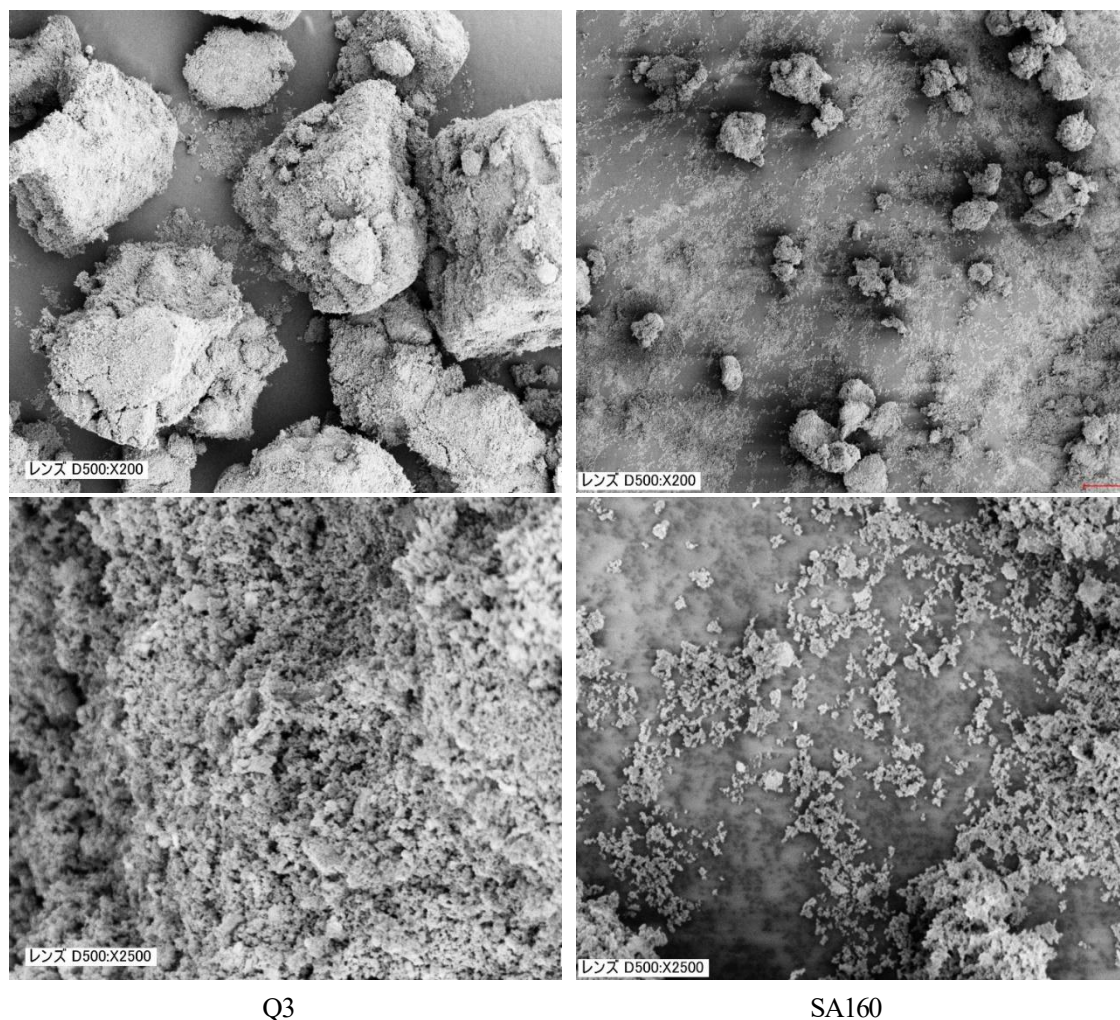


図2 粉末のSEM写真

バインダは市販の加熱脱脂用のものを使用した。バインダの熱分析結果を図3に示す。融点が50℃付近から160℃程度のものをブレンドしたものであり、230℃付近から500℃にかけて徐々に分解することがわかった。

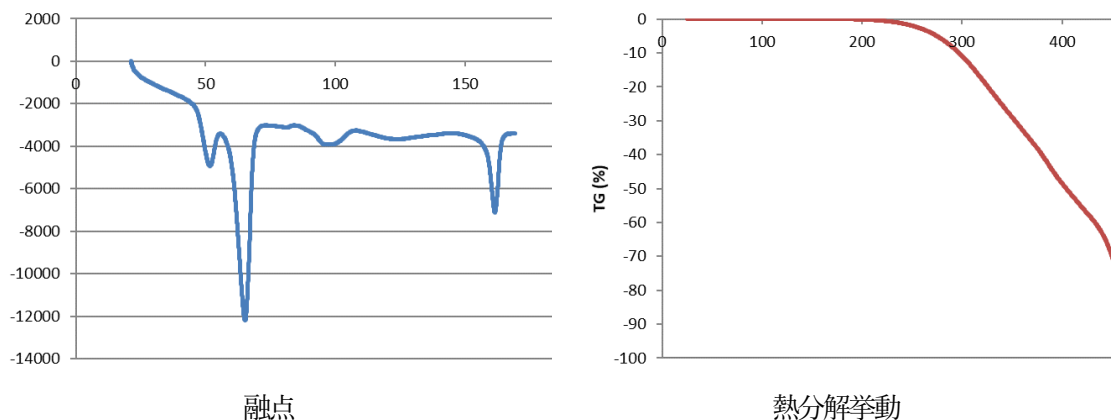


図3 バインダの熱分析結果

粉末およびバインダを混練した。粉末量が多いほど、焼結時の収縮量は小さくなり、変形が抑制できるが、バインダが少なくなると流動性が低下する。一般の MIM 用粉末は平均粒径 10 μm 程度で、球形に近い形状をしており、粉末量 65vol%, バインダ量 35vol%程度で混練されることが一般的である。超硬粉末は粒径が小さいうえ異形状であるため、流動性が低く、バインダ量を増やすことが必要である。粉末粒径の大きい Q3 では、粉末 40, 43, 50vol%, バインダはそれぞれ 60, 57, 50vol%とした。SA160 では、粉末 40vol%, バインダ 60vol%とした。

射出成形では、図4に示すダンベル形状試験片形状を作製した。平行部の幅 5 mm, 厚さ 2 mm, 試験片全長は 50 mm である。



図4 ダンベル形状試験片

脱脂および焼結は、真空脱脂焼結炉を使用し、脱脂はアルゴン中 600°C で保持し、焼結は 1380°C, 1400°C, 1500°C で行った。焼結時のセッター（敷板）にイットリアおよびジルコニアを用いたところ、図5のようにイットリアでは変色が生じた。超硬の成分と反応したものと考えられるため、ジルコニアを使用することとした。



イットリア



ジルコニア

図5 セッターの変色

2.2 結果および考察

焼結体の密度、硬度、カタログ値との比較を表2に、収縮率と粉末量の関係を図6に、断面観察の結果を図7に示す。いずれの粉末も、密度は95%を超えているが、断面には比較的大きな気孔が点在しており、硬度は低かった。収縮率は粉末量の増加とともに減少し、長さおよび幅に比べて厚み方向が収縮しにくい傾向が見られた。

表2 密度および硬度

		密度 %	硬度 HRC	HRC %
Q3	1380°C×1h	97.4	75.1	84.8
Q3	1400°C×1h	96.8	77.5	87.5
SA160	1380°C×1h	96.8	80.6	86.2
SA160	1380°C×3h	97.3	81.6	87.3
SA160	1400°C×1h	97.3	78.5	84.0

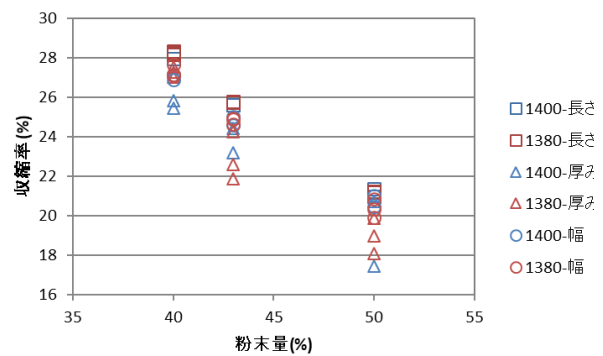
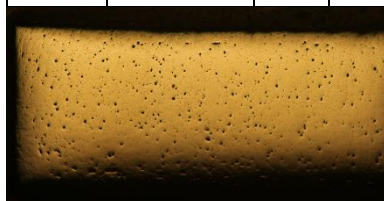


図6 収縮率



1380°C×1h



1380°C×3h



1400°C×1h

図7 断面観察結果

図 8 に 1500°Cでの焼結時間と密度、曲げ強度の関係、図 9 に断面観察の結果を示す。密度および強度は焼結時間の増加とともに向上する結果が得られた。また時間が長くなるほど小さな気孔が減少していることが観察されたが、大きな気孔は残存していた。

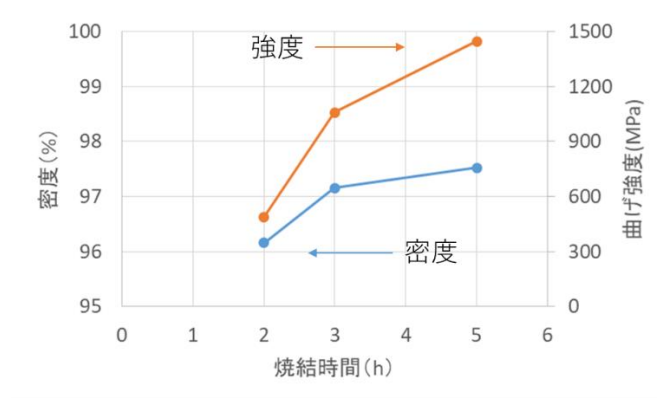


図 8 焼結時間と密度、曲げ強度の関係

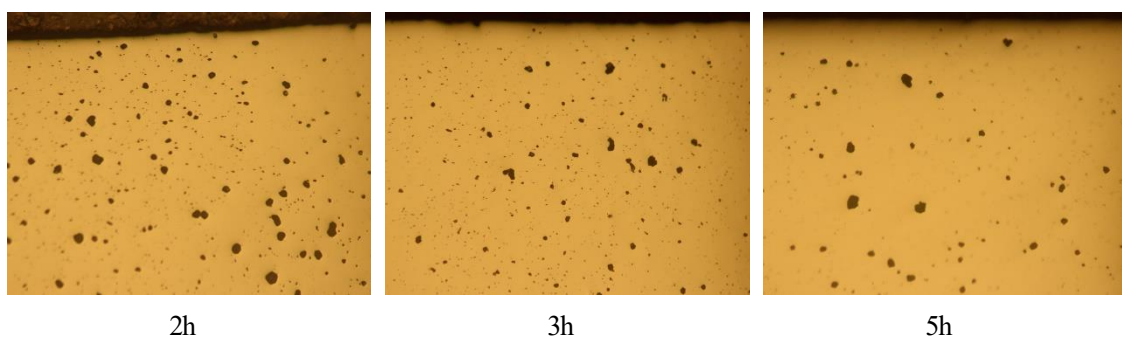


図 9 断面観察結果

3. パンチ形状部品の作製

3.1 金型の設計

パンチ部品の形状を図 10 に示す。先端の厚さ 0.68 mm、根元の厚さ 1.995 mm、幅 4.4 mm、全長 55 mm とした。この形状の部品を図 11 に示すように 2 個取りになるように配置した。ゲートはそれぞれ中央部とした。この際、焼結時の収縮を考慮し、製品部の寸法の調整を行った。

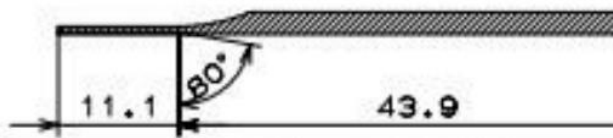


図10 パンチ部品

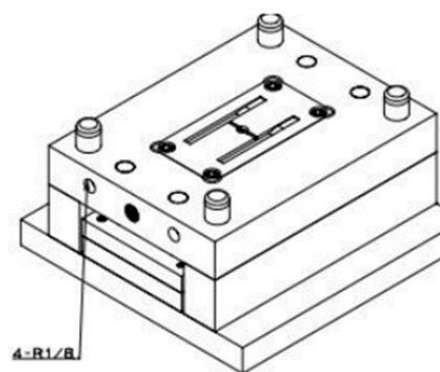


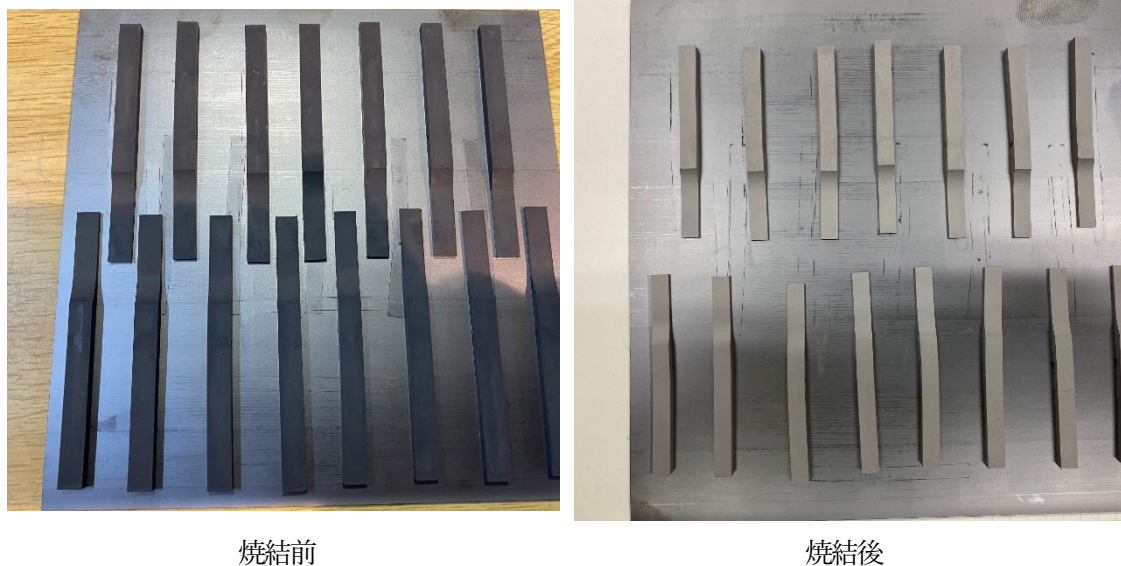
図11 金型

3.2 実験方法

粉末はSA160を使用し、加熱脱脂用の市販バインダとの混練比は体積比で40:60とした。射出成形によりパンチ部品を作製し、加熱脱脂および焼結を行った。さらに、気孔および欠陥を除去するため、焼結体にHIPも行った。

3.3 結果および考察

焼結前後のパンチの状態を図12に示す。焼結により大きく収縮していること、ゲートの方向に向かってやや反り変形が発生していること、クラックが生じている試験片が見られることがわかった。



焼結前

焼結後

図12 焼結前後のパンチ外観

ゲート方向への変形の例を図13に示す。2個取りのそれぞれゲートに向かって変形していることが明らかである。ゲート付近で急激に流動方向が変わることが原因であり、ゲートの位置、サイズを

調整する必要があることがわかった。

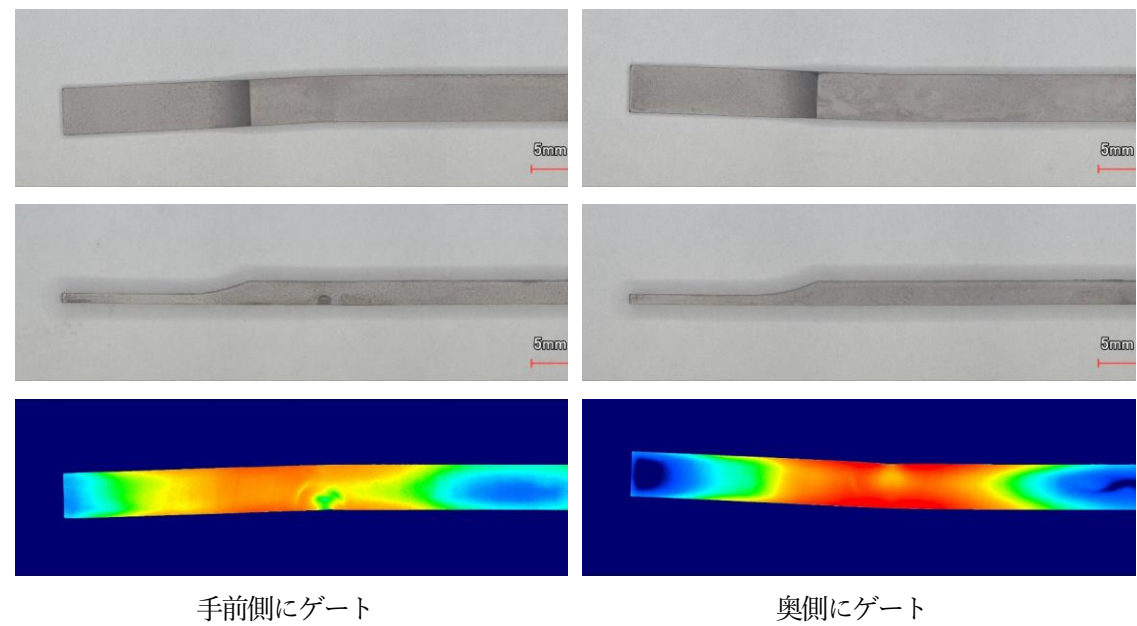


図 13 ゲート方向への変形

断面観察の結果を図 14 に示す。断面画像の黒い部分、二値化画像の白い部分が気孔である。焼結体および HIP 後ともに、先端部の気孔は比較的小さく、根元部の気孔が大きい傾向が見られた。HIP により先端部の気孔は小さくなったが、根元部では大きな気孔が残存していた。

断面を村上氏試薬を使用してエッチングし、結晶粒を観察したところ、結晶粒は $1\text{ }\mu\text{m}$ を超えるサイズとなっており、焼結により WC 粒子が粗大化したと考えられる。焼結体と HIP 後で、結晶粒径に大きな差は見られなかった。

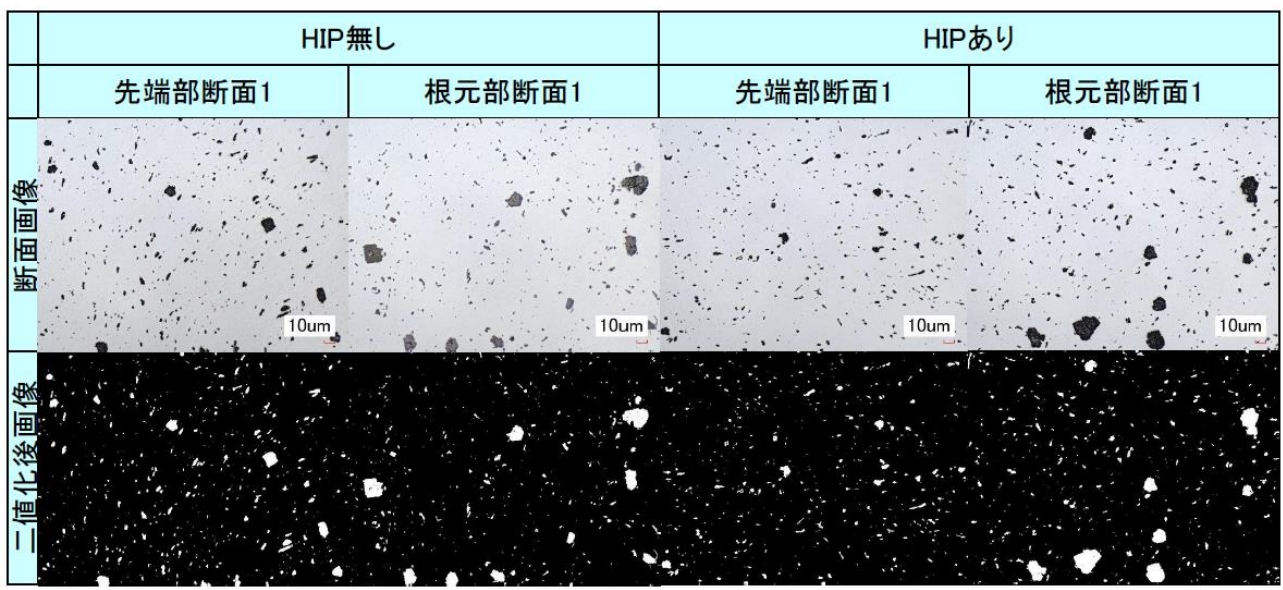


図 14 断面写真と二値化画像

断面観察により、根元部では図 15 のようなクラックも見られた。ゲートがパンチ中央部にあることから、根元部断面に材料が充填しづらいため、大きな気孔が残りやすく、焼結後にクラックとなったと考えられる。これもゲートの配置を考慮する必要がある。一方で、HIP により、クラックが細くなったり、消失することが確認された。上下面の反りは HIP により大きくなった。

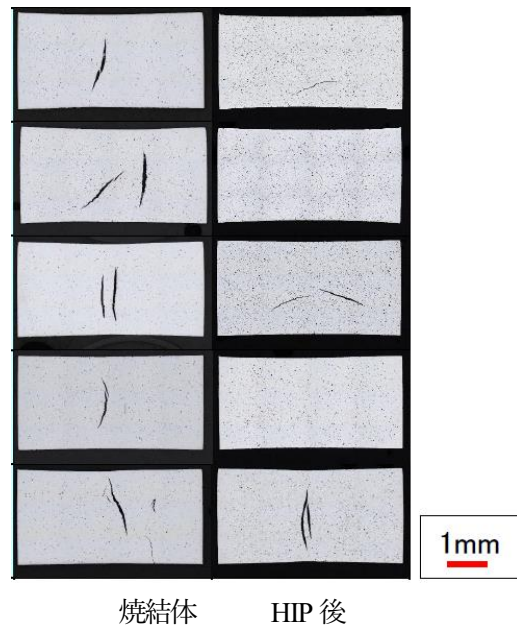


図 15 根元部の断面写真

焼結体および HIP 後の諸特性を表 3 にまとめた。焼結体に比べ、HIP により密度および破壊靱性値は向上しているが、カタログ値には及ばなかった。材料の流動性を考慮して金型設計をすることで、改善できる可能性があると考えられる。

表 3 焼結体, HIP 後の諸特性

	焼結体	HIP 後	カタログ値
密度 g/cm^3	14.09	14.25	14.5
硬度 HRC	92.0	91.0	93.5
破壊靱性値 $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$	10.54	10.73	-

4. まとめ

本研究では、超硬合金に MIM を適用した。

- ・混練比と収縮率の関係がわかった。
- ・相対密度 95%以上の焼結体が得られた。
- ・硬度、曲げ強度は十分な値ではなかった。
- ・パンチ形状の部品の作製を行った。
- ・設計寸法に合わせることは困難であった。
- ・焼結体に変形や欠陥が生じ、金型設計を検討する必要がある。
- ・WC 粒子の粗大化が見られ、粉末の凝集があったことがうかがえる。

謝辞

本研究は、公益財団法人三井金型振興財団による研究助成により実施されたことを記し、感謝の意を表します。また、研究の機会を与えてくださった、ものづくりネットワーク九州鈴木裕先生に感謝するとともに、先生のご冥福をお祈り申し上げます。