

CIM(Ceramic Injection Molding)を用いた微細金型製造技術の開発

谷川 義博*¹ 山本 圭一朗*¹ 芳賀 善九*²
山口 大輔*³ 白鳥 俊宏*³ 鈴木 昌人*³ 青柳 誠司*³

Development of micro mold manufacturing technology using CIM(Ceramic Injection Molding)

Yoshihiro TANIGAWA, Keiichiro YAMAMOTO, Zenku HAGA,
Daisuke YAMAGUTI, Toshihiro SHIRATORI, Masato SUZUKI and Seiji AOYAGI

医療現場では、痛みや出血等の患者への負担軽減のため低侵襲医療機器の開発が進められている。一方、微細な生物の形状を模倣することでこれまでにない機能を持たせるバイオミメティクス技術が注目されている。関西大学では、バイオミメティクス技術を活用し蚊の針を模倣した痛くない注射針の研究開発を進めている。しかし、このマイクロニードルを射出成形で製造するためには、針先端に数 μm の鋸歯状突起を成形するための凹形状を有する金型を作製する必要があるが、従来の金型加工技術では作製は困難である。本研究では、CIM (Ceramic Injection Molding) を活用することで、県内企業に依頼があった蚊の針を模倣した痛くない樹脂製マイクロニードル成形のための新規な金型製造技術の開発を目指す。

1 はじめに

医療現場では、患者への負担軽減を目的に、低侵襲性マイクロニードルの研究開発が進められている。その一つに、関西大学が研究を進めている蚊の針を模倣した樹脂製マイクロニードルがある。蚊の針を模倣したマイクロニードルは、針先端部に高さ数 μm 程度の鋸歯状突起を有しており、関西大学では、高精度3D光造形装置を用いて作製した樹脂製マイクロニードルをマスターとして電鍍金型を作製し、マイクロニードルを試作してきた。¹⁾しかし、電鍍金型では製造コスト、取扱い、強度の面で課題が残る。

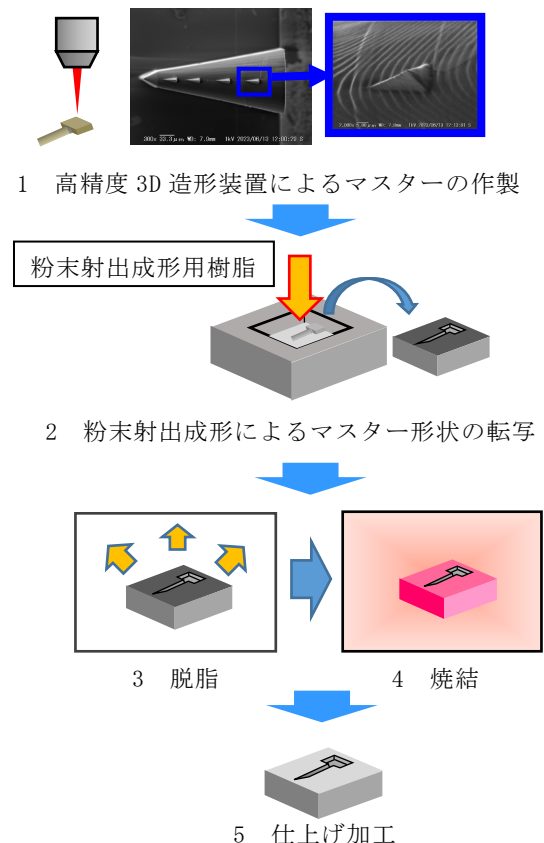
この課題を解決するため、本研究では高精度3D光造形システムで作製された高さ16 μm の鋸歯状突起を有する樹脂製マイクロニードル形状を、CIM技術を活用し転写することで金型を作製する新規な金型製造技術を開発し、鋸歯状突起を有するマイクロニードルの成形が可能であることを確認したので報告する。

2 CIMを活用した金型製造技術の開発

2-1 CIMを活用した金型製造技術の概要

今回開発したCIM技術を活用した金型製造技術工程を図1に示す。CIMとは微細なセラミックス粉末を混入

した熱可塑性樹脂を金型内に射出し、得られた樹脂成形品を脱脂・焼結することで、セラミックス製品を製造する方法である。



*1 機械電子研究所
*2 株式会社メイホー
*3 関西大学

図 1. CIM 技術を活用した金型製造技術工程概要

開発した金型製造技術は、図1に示すような機械加工では製造できない鋸歯状突起を有するマスターニードル先端のみを高精度3D光造形装置で作製し、この形状を、CIM技術を使い高精度に転写することで、鋸歯状突起を有するマイクロニードル成形用セラミックス金型を製造する技術である。

2-2 CIMによるマイクロニードル形状の射出成形実験

図2に示すように、高精度3D光造形装置で作製した鋸歯状突起を有するマイクロニードル先端のマスター型を、切削加工で作製した金属製マイクロニードル金型入れ子の先端部にエポキシ系接着剤で固定した後、この金型入れ子2個をモールドベースに組込み2個取の射出成形用実験金型とした。

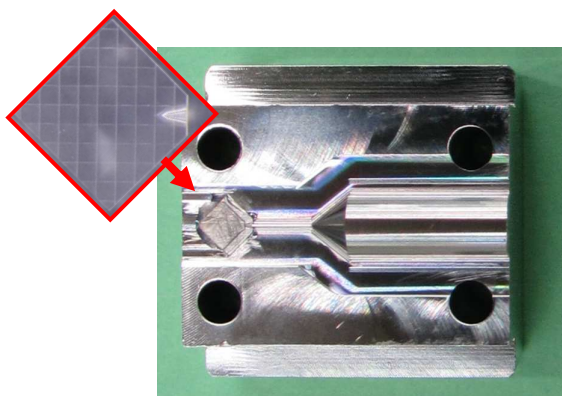


図2 マイクロニードル成形用金型入れ子²⁾

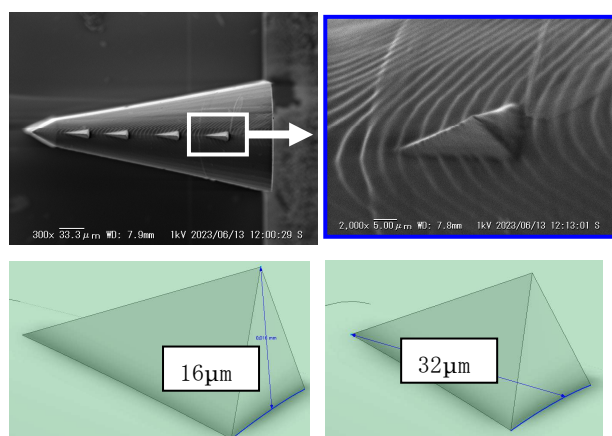


図3 鋸歯状突起形状寸法

今回高精度3D造形装置で作製した鋸歯状突起の寸法は図3に示す通り、最大高さ部で16 μ mの微細突起である。開発技術で作製する樹脂製マイクロニードルの曲率半径は50 μ mである。CIM技術は射出成形品であるグリーン体を脱脂焼結することでセラミックス部品を得

る技術である。一般的に焼結品寸法はグリーン体寸法に対して30%程度収縮する。本実験では、平均粒径0.18 μ mのジルコニア粉末と樹脂を混練した第一セラモ(株)社製CIM原料DZF-101Aを使用した。本CIM原料で事前実施したブロック形状のCIM実験において収縮率は30%程度であった。本研究で開発する金型は曲率半径50 μ mのマイクロニードルを成形用金型であるため、金属製マイクロニードル針部の曲率半径は焼結時の収縮を考慮し曲率半径70 μ mとした。

射出成形実験には(株)ソディック社製の精密金属粉末射出成形用単動型射出成形機R20EHV(MIM仕様)を用いた。CIM原料のメーカー推奨射出成形条件と本研究での射出成形実験条件を表1に示す。

表1 射出成形実験条件

メーカー推奨射出成形実験条件	
射出温度 (K)	458～468
金型温度 (K)	293～313
射出成形実験条件	
射出成形温度 (K)	458, 463, 468
金型温度 (K)	323, 328, 333
射出圧力 (MPa)	150
射出速度 (mm/sec)	60
保圧 (MPa)	140, 145, 150
保圧時間 (sec)	15

2-3 マイクロニードル形状の射出成形実験結果

図4に射出成形実験で得られたCIMグリーン体のマイクロニードル形状部のSEM像を示す。

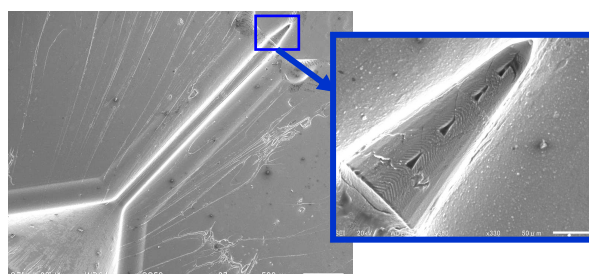


図4 CIM射出成形品SEM像

図4に示すように、CIM射出成形で、高さ16 μ mの鋸歯状突起の転写が可能であることが確認できた。本開発技術では、樹脂製マイクロニードル先端マスターに対

し高温の樹脂を高い圧力で射出するため、微細な鋸歯状突起の折損が懸念されたが、射出温度458K、射出圧力150MPaの成形であれば40ショット程度成形しても鋸歯状突起は折損することなく成形可能であることが確認できた。成形されたグリーン体は、成形時の上型側は平面形状、下型側にマイクロニードル反転形状が成形されている状態である。グリーン体の平面度を三鷹光機(株)社製非接触三次元測定機NH-3SPで測定した。測定結果を図4に示す。図5に示すように上型側となる平面側の平面度は金型温度が高いほど悪くなる傾向にあり、射出温度458K、金型温度333K、保圧145MPa条件で射出成形した時の平面度が最も大きく14.568 μm であった。形状側で最も良い平面度が得られたのは、射出温度468K、金型温度328K、保圧140MPaの条件で平面度3.739 μm であった。

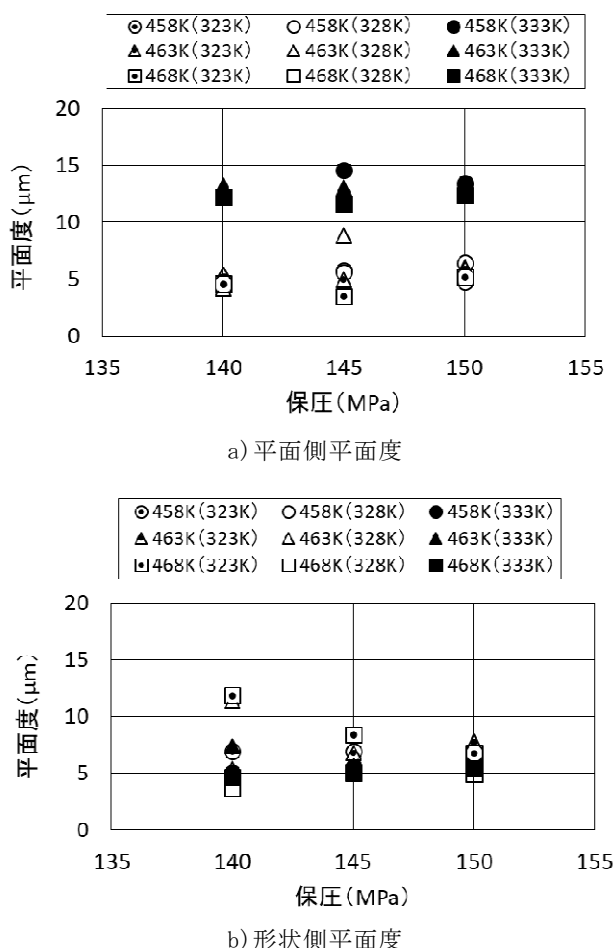


図5 CIM成形品平面度測定結果

今回高精度3D造形装置で作製した鋸歯状突起を有するマイクロニードル先端部を金属製マイクロニードル入れ子に取り付けCIM原料を使い射出成形した結果、鋸

歯状突起を有するマイクロニードル形状が高精度に転写された成形品を得ることが可能であることが確認できた。

2-4 マイクロニードルグリーン体の脱脂焼結

射出成形により作製したグリーン体を脱脂焼結することでマイクロニードル成形用セラミックス金型入れ子を作製する。脱脂焼結は同一炉内で、図6に示す条件で実施した。

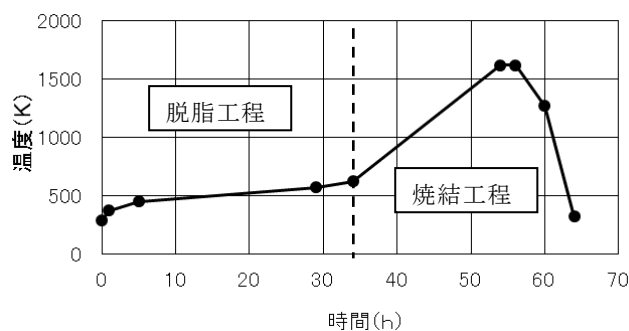


図6 CIMマイクロニードル成形品脱脂焼結条件

図6の条件で脱脂焼結したマイクロニードル成形用金型入れ子写真を図7に示す。

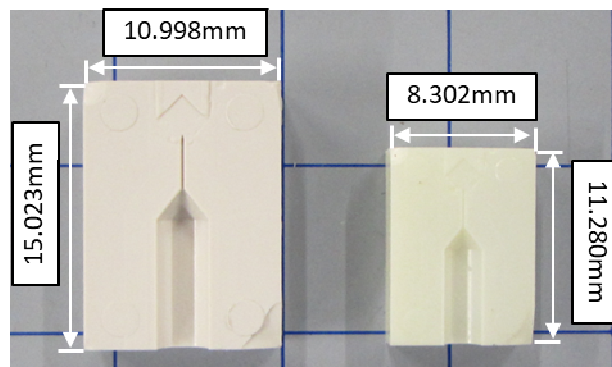
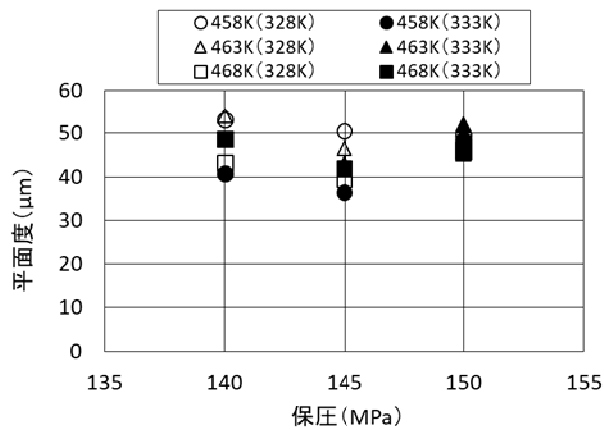
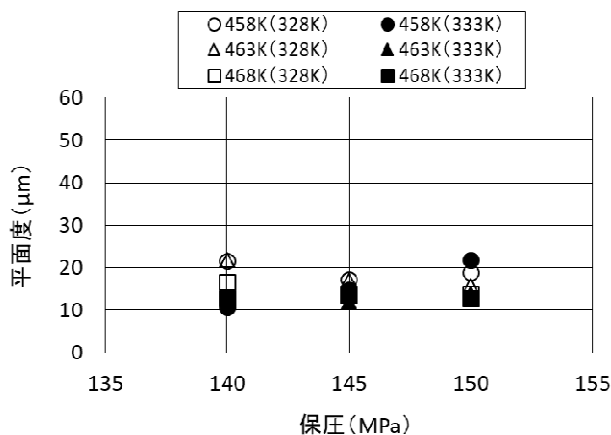


図7 CIMグリーン体と脱脂焼結品外觀寸法比較

今回の脱脂焼結では、図7に示すように長さ方向の収縮率24.9%、幅方向で24.4%であった。厚さ方向に関してはグリーン体5.01mmに対して焼結体3.781mmと収縮率24.5%となり、マイクロニードルの曲率半径は52 μm であった。焼結品についても、グリーン体と同様平面側と形状側の平面度を測定した。測定結果を図8に示す。グリーン体を脱脂焼結することでソリが発生し、平面側で平面度は最大54.15 μm 、形状側で最大21.72 μm となった。



a) 焼結品平面側平面度



b) 焼結品形状側平面度

図 8 CIM 焼結品平面度測定結果

しかし、形状側での平面度は、10～13 μm 程度であり、マイクロニードルの傾きは1～3 μm であったため、形状側を基準とし、脱脂焼結品をマイクロニードル成形用金型に組込めるように加工した。加工したマイクロニードル金型入れ子先端部SEM像を図9に示す。

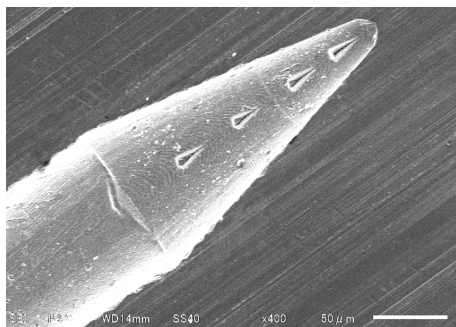


図 9 マイクロニードル金型入れ子針部 SEM 像

図9のSEM像からマイクロニードル先端の鋸歯状突起成形用凹形状を焼結後も確認することができる。

3 CIM金型を用いたマイクロニードル射出成形結果

作製したCIM金型を使用して鋸歯状突起を有するマイクロニードルの射出成形テストを関西大学において実施した。成形材料にはポリ乳酸を使用し、(株)メイホー社製卓上射出成形機 $\mu\text{MV-2}$ ((株)メイホー社製)を使用し射出成形テストを行った。射出成形した鋸歯状突起を有するマイクロニードル先端部SEM像を図10に示す。

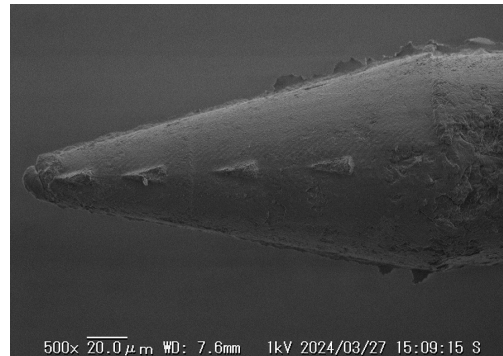


図 10 CIM 金型で射出成形したマイクロニードル SEM 像

図10に示すように今回開発したCIM金型で鋸歯状突起を有する曲率半径50 μm のマイクロニードルを成形することが可能であることが確認できた。

4 結論

今回の研究で、以下の結論を得た。

- 1) 高精度3D造形装置を使い作製した高さ16 μm の鋸歯状突起を有するマスター型形状を、CIM技術を活用する事で高精度にその形状を転写したセラミックス金型入れ子製造技術を開発することができた。
- 2) 開発したセラミックス金型入れ子を使い鋸歯状突起を有する樹脂製マイクロニードルの成形が可能であることが確認できた。

5 参考文献

- 1)元彪, 佐藤潤哉, 鈴木昌人, 高橋智一, 青柳誠司, 松本真一, 鈴木康一郎, 植田浩之, 芳賀善九, 都博之: 2016 年度精密工学会春季大会学術講演論文集, 2016, pp. 321-322
- 2)谷川義博, 山本圭一朗, 芳賀善九, 山口大輔, 白鳥俊宏, 鈴木昌人, 青柳誠司: 2023精密工学会春季学術講演論文集, 2023, pp. 713-714