

## レーザを用いた微細樹脂モールドの作製と複雑金型への応用

研究報告者 津 守 不二夫

### プロフィール



最終学歴 平成 11 年 3 月  
東京大学大学院 工学系研究科  
金属工学専攻 博士課程修了  
専門分野 粉末冶金, 微細加工, MEMS  
学 位 博士(工学)  
所属団体 九州大学大学院 工学研究院  
機械工学部門  
役 職 名 准教授

### 今後の抱負

助成期間中の研究によりUVレーザ加工による樹脂型の作製技術が上がり、また、応用研究の幅を広げることができた。これらの現在進めている微細成型技術開発のみならず、MEMS分野研究（磁場駆動型ソフトアクチュエータの開発）においても型を有効に利用することが重要である。一般に型はとにかく高精度を目指す必要が重要視されている。しかしながら、成型体によっては形状のバリエーションを増大させることを重視することが重要な場合もある。微細な生体模倣構造は典型的な例であり、ハスの葉表面や構造色を発する蝶の鱗粉表面に見られる独特な規則構造が代表である。興味深いことに、その規則性にはそこそこのゆらぎが含まれており、完全な精度を目指さなくとも機能を実現している。引き続き成型加工技術の高度化を進め、従来の技術で不可能であった生体模倣構造のような多様な構造を作る「新たな成型技術」を開発したい。

レーザーによる微細加工技術はすでにさまざまな方面で利用されており、加工技術として成熟しつつある。レーザーによる局所加工は微細加工にも適しており、本研究においても微細加工技術への応用を狙いとしている。

レーザー加工は、多様な材料へ適用することが可能であり、金属や樹脂にとどまらずセラミックスへの加工も可能である。本申請では、耐熱性樹脂材料にレーザー微細加工を施し、型として利用することを考える。そして、この型を用い、粉末冶金法を応用することにより金属やセラミックスの高機能な金型を作製する応用(図1)を検討する。樹脂材料に対しては特に紫外線(UV)レーザーの加工が効果的だと知られている。UVレーザーは高分子鎖を直接分解する働きがあるため、高効率かつ表面状態の良い加工結果を得ることができる。このように、樹脂に対して有効なUVレーザー加工であるが、樹脂をレーザー加工し成型型に用いることはあまりない。当然ながら、過酷な環境には樹脂が耐えられないからである。

しかしながら、報告者は、以前より携わっている粉末冶金分野において、成形性の良い樹脂バインダーを粉末材料と混合したコンパウンド材料を被加工材として用いることにより、ポリイミド樹脂が型として有効であることを示してきた。このポリイミド材料であるが、樹脂の中では最も耐熱性があるため、一般の熱可塑性樹脂を成形する200℃程度で問題なく利用が可能であり、上記コンパウンド材料との相性も良い。

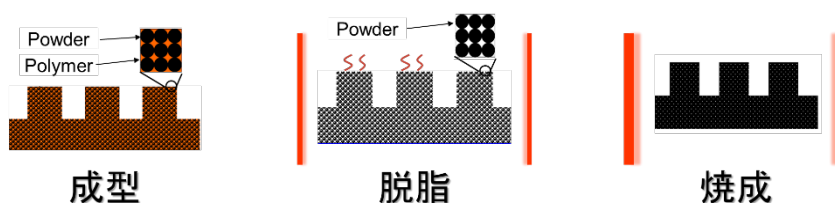


図1 用いる基本的なプロセス。成型段階で樹脂型を適用してきた。

成型した金属やセラミックス粉末を混練した樹脂コンパウンドは、その後、加熱により樹脂成分を分解した後、焼成過程を経て、緻密な金属・セラミックス部材として利用できる。これは一般に粉末冶金法として知られるプロセスである。

報告者はこれまでも、このような粉末プロセスと組み合わせることで従来にはないセラミックスへの微細加工技術を提案してきた（図2）．本報告においても、UV レーザを用いた樹脂型加工技術を用いることにより、形状自由度および精度の高い表面構造を有するセラミックスや金属の微細加工技術を提案していく．

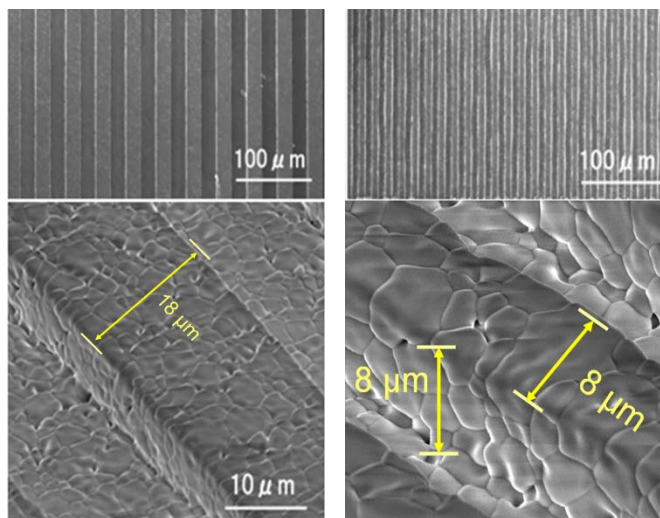


図2 新プロセスで得られたセラミックス微細パターン例.

これまで緑色レーザを用い加工した型を、本助成期間中 UV レーザ加工で作製することにより、より精度の高い加工を行うことができた．また、熱により発生していた煤を回避できるようになった．この型を利用しながら、さらなる応用研究へとつなげている．その中でも、具体的な応用として注力してきた2つのテーマについて説明する．

ひとつは波形状微細パターンを有したセラミックスシートによる固体酸化物形燃料電池の高性能化である．これまで作製した電池セルの一例を図3に示す．左が外観であり、右が中央部位の断面 SEM 写真である．固体酸化物形燃料電池は3層のセラミック構造によって構成されるが、従来のものと異なり、この例はレーザ加工した樹脂型により波状のマイクロパターンを施し、焼成できている．このような波状のパターンにより電池性能は向上することも確認できている．今後さらに波形状を最適化するためには、利用する型の高精度な設計と形状自由度の増大が期待される．

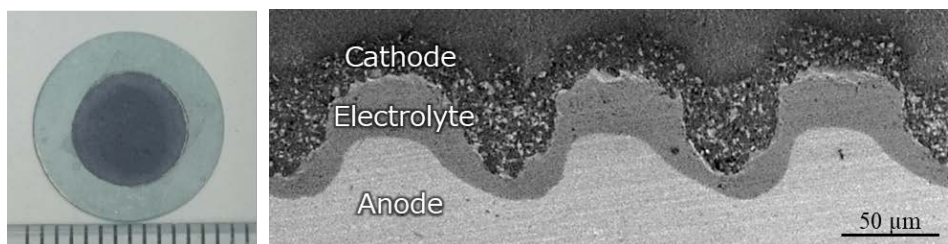


図3 樹脂型を用いて成型加工を施した、固体酸化物燃料電池の例.

もうひとつの例は、セラミックスの多階層構造の作製である。図4に概要を示す。この例では2種類のスケールの異なる単純形状のモールドを利用した。つまり100  $\mu\text{m}$ 程度のピッチを持つ波状の樹脂型（上の例とほぼ同等のもの）と同時に従来の微細加工技術を用いた10  $\mu\text{m}$ ピッチのライン&スペースパターン of シリコンモールドである。簡単な型を組み合わせる新たな多階層構造作製プロセスを開発している。

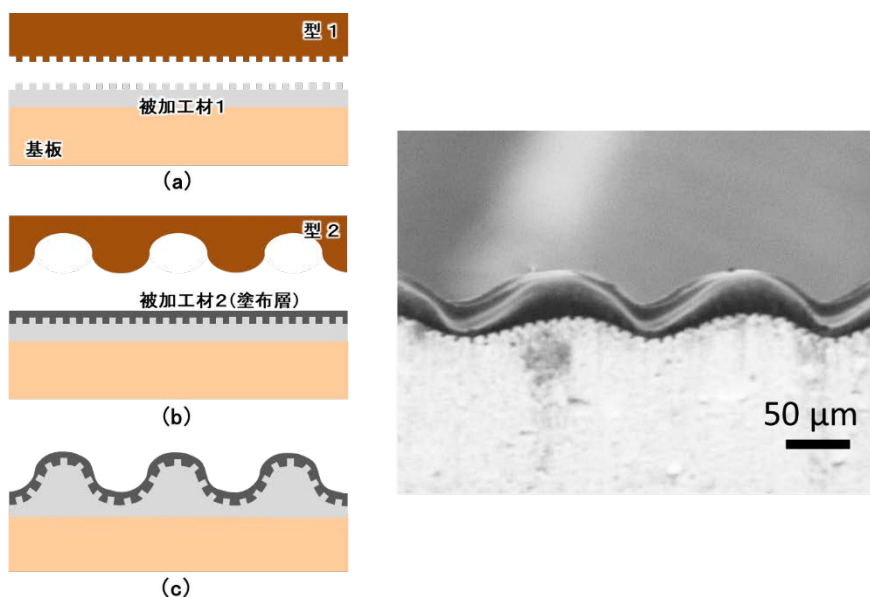


図4 樹脂型を用いて成型加工を施した、固体酸化燃料電池の例。

図4右に示した具体的な成形例のように、多階層構造自体の成型にはすでに成功している。しかしながら、粗いパターンの構造の波の振幅を大きくすること（ハイアスペクト比構造の実現）は意外に困難である。2回目のインプリント成形を行う際、大きく波打たせようとする、1段階目の細かいパターンも大きく変形してしまうからである。1段階目の微細なパターンを残しつつ、ハイアスペクトな粗構造を転写するために、面内圧縮プロセスを開発中である。

具体的な新プロセスを図5に示す。このプロセスは「面内圧縮成形プロセス」と名付けている。一般のインプリント加工は基板に垂直な方向からの加工のみを行うが、このプロセスでは基板面内方向への加工も実現している。基板に弾性樹脂を用い、予備伸長を加えた基板上でインプリント加工を施すことにより面内圧縮加工を実現する。現在、この手法を用いた生体模倣的な超撥水面（ハスの葉構造）や、構造色（モルフォ蝶鱗粉構造）の実現を目指した研究を進めている。これらの微細構造を実現するためには、さまざまな型が必要となる。本技術においては、比較的単純な形状の型を組み合わせることで複雑多階層構造を実現できる。また、さまざまな試行時、設計した型をレーザーにより適宜準備・出力できる環境も整備できつつあり、今後の開発の加速にもつながっている。

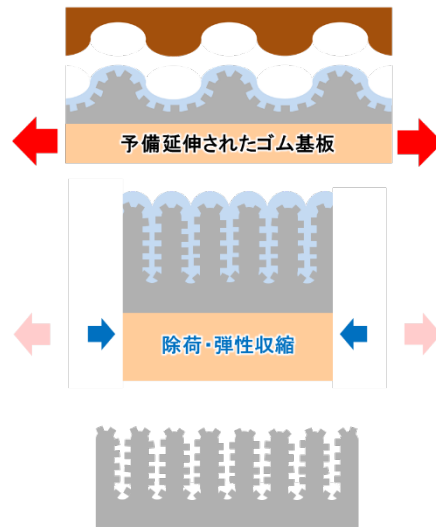


図5 現在開発中の面内圧縮成形プロセスを利用した多階層構造.

これらの例ではいずれも、微細構造自体の形状精度は問われない例である。すなわち、形状やピッチに少々のがみがあったとしても機能には影響しないものである。しかしながら多くの加工においては、精度は第一に検討しなければならない項目である。まずは精度を問わない応用先を狙った開発を行っている段階であるが、今後、プロセスの改良を進め、さまざまな工業的応用に技術を発展させたい。