

設計者のためのVA/VEコストダウンを実現する

金属粉末射出成形の基本 技術ハンドブック

MIM_Metal Injection Molding

Technical handbook-Basics of MIM to realize reduction in cost



Index



1. 金属射出成形 (MIM: Metal Injection Molding) とはなにか? . . . p.02
2. 高まる MIM のニーズ p.03
3. MIM の特徴 p.04-09
4. 設計者が知っておくべき MIM 部品の導入・設計のポイント . . . p.10
5. MIM 部品設計 VA/VE・コストダウン設計事例 p.11-37
6. 企業情報 p.38-39
7. 技術情報の発信 p.40
8. FAX お問い合わせシート p.41

1. 金属射出成形 (MIM : Metal Injection Molding) とはなにか？

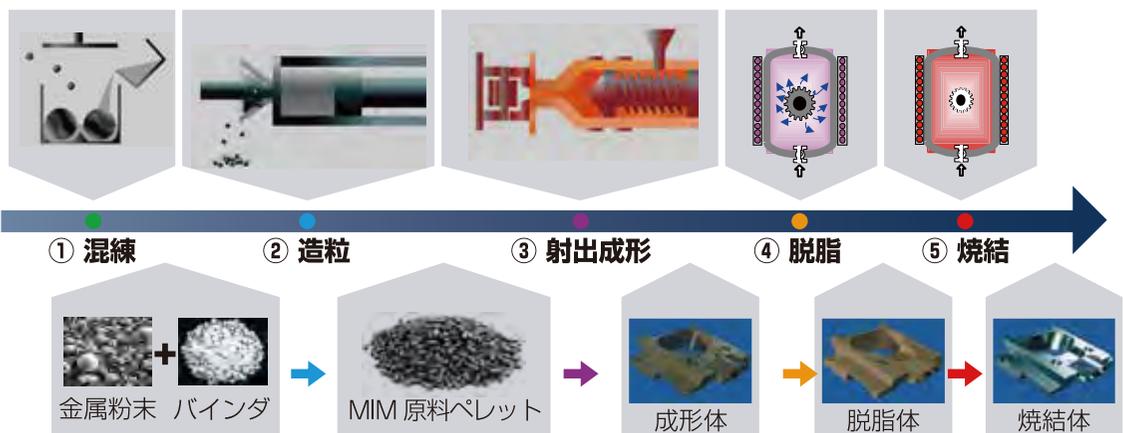
金属射出成形とは

金属射出成形 (MIM) とは、プラスチック射出成形と金属粉末冶金を組み合わせた複合の製造技術で、ダイキャストやチクソモールディングに代表される金属塊を原料とする金属を溶融した射出成形とは異なります。これらの成形法は金型に金属材料を射出成形し、最終形状の製品を得るという点では類似していますが、MIM は原料に金属微粉末を使用し、これを溶融させず、つなぎを加えて射出成形し、その成形体を脱脂・焼結し、高精度な金属部品を得る技術です。複雑な三次元形状が加工でき、精密機器、電気・通信機器、さらに自動車や医療機器など幅広い分野において応用の可能性があるため、ニーズが拡大している加工方法です。



金属射出成形のプロセス

金属射出成形では、基本的に樹脂成形と同じプロセスを経て部品形状の成形が行われます。金型を用いて成形するため、複雑形状であっても一体成形が可能です。最終形状を得るまでのプロセスを以下に記載します。



2. 高まる MIM のニーズ

日々進歩する工業製品ですが、機器の性能向上に当たって各部の部品はより高い加工技術、精度、コストダウンが求められるようになってきています。MIM 部品はそのような社会の動きの中で、複雑形状でも一体成形が可能で、大ロットに対応可能な加工方法であるため、各業界で導入が加速しています。

MIM の採用が加速している業界の一例

以下に示すのは、特に近年 MIM 部品の導入が進んできている業界・機器の一例です。他の工法で作られていた既存部品のコストダウンを狙った置き換えをはじめとして、MIM の中でも超精密 MIM でなければ加工できないような部品のニーズも増えてきています。

医療

- ・内視鏡
- ・検査装置
- ・インプラント



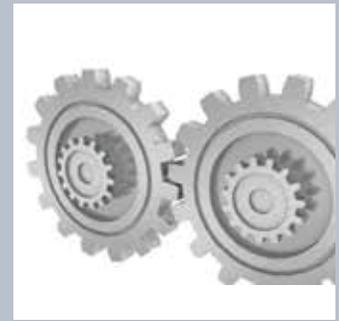
精密機器

- ・カメラ
- ・携帯電話
- ・時計部品



工作機械

- ・ギア部品
- ・工具部品



産業機械

- ・ガスタービン
- ・軸受



自動車部品

- ・フィルター
- ・アクチュエーター



電気機器

- ・OA 機器部品
- ・熱電素子



3.MIM の特徴



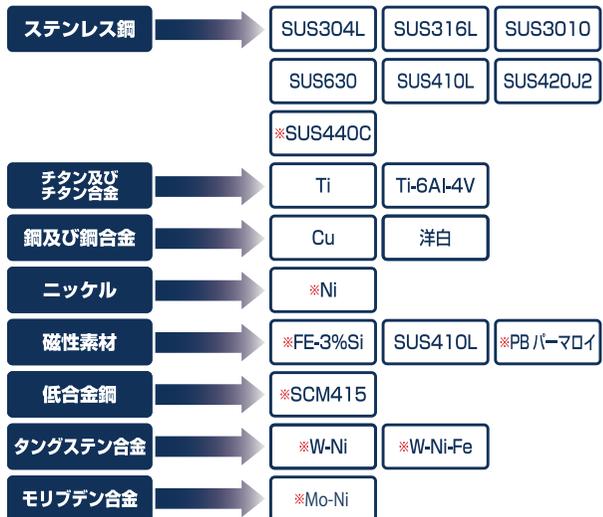
MIM の代表的特徴

この項ではMIMの代表的な特徴について解説します。

■ 材料について

MIM は金属粉末を焼結させるという製法であるため、粉末が準備でき、焼結可能な金属である限りあらゆる金属材料に対応が可能です。研究されている段階のものも含めると、現時点では一般に難削材と呼ばれるようなチタンや超合金といったものまで成形が可能であるとされています。

また金属粉末の射出成形では材料の混合や層の形成等が容易に行えるため、異材質の複合化やバイメタルの一体成形といった通常の加工方法では不可能な加工にも対応が可能になってきています。



その他、耐熱材料、低膨張材料、超合金、セラミックス等による成形も可能です。

■ 形状について

MIMは射出成形という特性上、金型を用いて加工が行われます。

そのため、形状については非常に自由度が高く、複雑形状部品や微細形状部品の加工に適していると言えます。

特に、自由曲面形状や、複雑形状等を得る場合には通常5軸加工機や各種専門機が必要になりますが、MIM の場合は型での成形を行うため、一体成形での加工が可能でコスト面でも優れています。



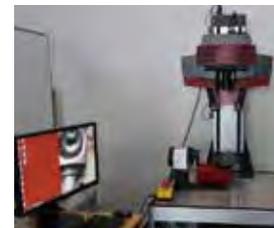
3.MIM の特徴



■ 精度について

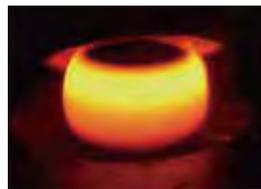
後述するように MIM 単体では精度がおおよそ 100 分の3程度ですが、通常機械加工で加工しなければならない 1000 分の1といった精度の製品でも、一体成形が可能な MIM で製品形状を出した後に二次加工を行うことで、大幅なコストダウン効果を得られることもあります。

一方で製品サイズの大きいものは金型が大きくなり、使用する粉末も大量になるのでコストメリットが出にくいケースが多くなります。



■ 各種特性について

MIM 部品は金属粉末の焼結体ですが、通常の金属と同じように表面処理、熱処理等が可能です。表面研磨やメッキ加工をほどこす事も可能で、汎用性に富んでいます。



MIM の一般的仕様の目安

一般的な MIM 仕様の目安について、以下表に記載します。

(実際の精度等は形状、使用する材料によって異なります。)

仕様	仕様 (MIM)	
	長さ	厚さ
寸法公差	長さ	<30mm
	厚さ	0.5 ~ 5mm
	5mm 以下	±0.03mm
	5 ~ 10mm	±0.04mm
	10 ~ 20mm	±0.08mm
表面粗さ	20 ~ 30mm	±0.15mm
	Ra	<3 μm
	Rmax	<10 μm
重量		<50g

3.MIM の特徴



磁気力のコントロールが可能な MIM

MIM は材料となる金属粉末によって、様々な性質を持たせることができます。磁性材料を使用した磁気力のコントロールもそのひとつです。磁性材料とは、磁気に対して強く反応する性質を強く持つ材料の総称です。大きく分けると、強磁性材料と軟磁性材料の2種類に分けることができ、磁気を蓄える性質の保持力が大きく透磁率が小さいものを強磁性材料、保持力が小さく透磁率が大きいものを軟磁性材料と呼びます。

こういった磁性材料を加工する際には、材料が持つ磁性と加工方法（切削、粉末冶金）の制約により複雑形状の部品に応用することが困難とされてきましたが、MIM を用いることによりこれまでの課題を解決、低コストで複雑形状の磁性材料部品を得ることが可能になってきています。一部では量産化も始まってきており、今後の拡大が注目されています。

■ MIM によって利用可能な軟磁性材料の例

下記には MIM によって製造可能な軟磁性材料の例を示します。特に電子部品や精密機械部品での利用が検討されており、MIM による生産が安定すればこういった部品を安価に調達することが可能になるため、研究が進められています。

パーマロイ

インバータ、磁気シールド



アモルファス

変圧器、可視光センサー



ソフトフェライト

磁気ヘッド (PC等)



電磁鋼板

電源トランス、動力モーター



3.MIM の特徴



MIM と他の加工との比較

下記に MIM と他の工法との特性の比較を示します。

<MIM>

- ・小～大ロット
- ・複雑形状
- ・機械的強度 中
- ・金属粉末



<機械加工>

- ・小ロット
- ・機械的強度 高



<鑄造>

- ・小ロット
- ・複雑形状
- ・機械的強度 低



<粉末冶金>

- ・大ロット
- ・複雑形状
- ・金属



■ 各工法の特性比較一覧表

各工法の特性を比較した表が以下のものです。MIM の場合、密度や機械的強度は機械加工に劣りますが、形状の複雑性や面粗度、量産性、材料の多様性など、総合的に優れた方法であることが分かります。部品形状やロット、性能に合わせた加工方法を選択することが重要です。

	機械加工	粉末冶金	ロストワックス	MIM
密度	1	0.8	1	0.95
引張り強さ	1	0.8	0.9	0.95
膨張率	1	0.6	0.7	0.8
硬度	1	0.8	0.9	0.95
形状複雑度	中	低	高	高
面粗度	高	中	中	高
量産性	低	高	中	高
対応材料幅	低	高	低	高
生産コスト	高	低	低	中
対応サイズ	大	中	中	小
精度	高	中	中	中～高

3.MIMの特徴



超精密 MIM(μ -MIM[®])とは

超精密 MIM(μ -MIM[®])とは文字通り、マイクロオーダーの MIM 製品のことであり、近年ニーズが急拡大してきています。

超精密 MIM(μ -MIM[®])が必要となってきている主な理由としては、

- ①機械加工が困難な材質および形状を有する小型部品の量産化
- ②組立および接合が困難な小型部品の一体化によるコスト低減
- ③1バッチ当りの焼結可能な製品数の増量による生産性向上
- ④比表面積の増加および機能集積化による製品の高付加価値化

などがあります。

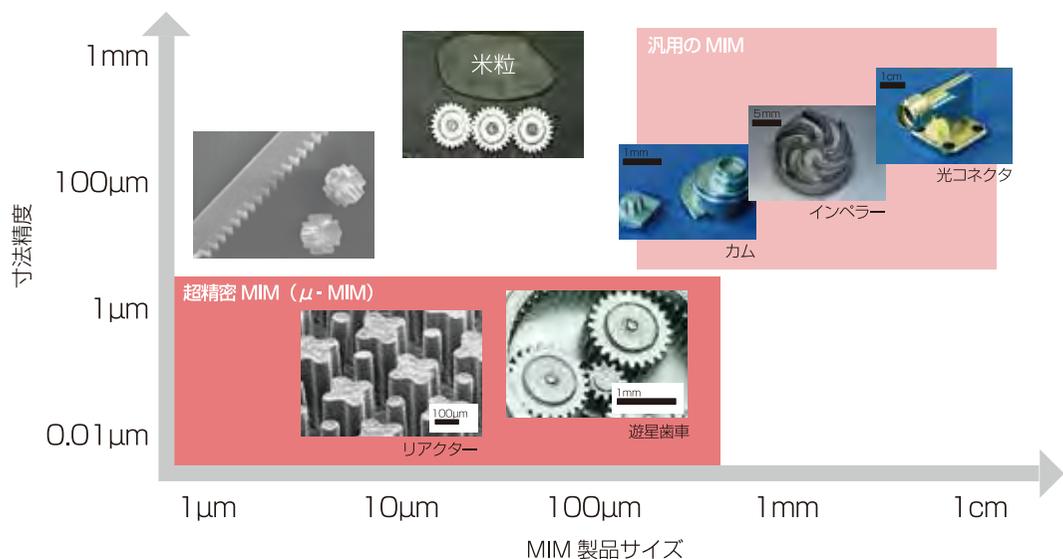
汎用の MIM は、数ミリメートルから数センチメートルのサイズの製品が多く、機械加工が困難な材質や複雑な三次元形状を有する部品が多くなっています。

汎用 MIM の製品の寸法許容差はほぼ十分の1から5%程度ですが、製品のサイズが小型化するほど寸法許容差を小さくすることが困難になるためです。

しかし、最近では MIM の製品または構造のサイズが小型化するにつれて、寸法精度も汎用 MIM 製品と同等の高品質を有する技術が確立されてきました。

さらに、MIM にマイクロシステム技術や MEMS などの半導体製造工程を利用した超精密加工技術を利用し、その補完技術としての必要性から、超精密 MIM(μ -MIM[®]) が欧州を中心に開発が行なわれ、近年北米においても注目され始めています。

■ 従来不可能な微細寸法の MIM



3.MIM の特徴

■ μ -MIM[®] の事例

太盛工業が手がけた超精密 MIM の製作事例を以下に示します。
いずれも 1000 分の 1 台の精度の超精密 MIM となっています。



なぜ太盛工業では超精密 MIM (μ -MIM[®]) が可能なのか

精度マイクロメートルオーダーの超精密 MIM は、製作が極めて困難な最先端の技術の結晶です。この超精密 MIM を表した「 μ -MIM[®]」ということばは、太盛工業の登録商標となっています。ではなぜ太盛工業では超精密 MIM の製作が可能なのでしょう。

ここまでのページでお伝えしてきた通り、MIM は金属粉末をバインダと混ぜて射出成形を行いますが、このバインダこそが、部品形状や精度の限界を決める重要な要素なのです。太盛工業ではこの樹脂のバインダの調整を自社で行っているため、他の MIM 製品の会社では難しいような複雑形状、微細形状を手掛けることができるのです。

一般的な MIM の工法では MIM の精度は全方位に対して $\pm 0.5\%$ 、MIM を得意とする会社でも $\pm 0.3\%$ が限界ですが、太盛工業の超精密 MIM は MIM の限界を超えて、機械加工レベルの、 $\pm 0.1\%$ を超えたレベルの精度を出すことが可能です。

太盛工業はもともと樹脂成形を長年に渡り手がけてきた会社です。この長年の樹脂に対する研究と実績に基づき、お客様の要望を満たす超精密、高精度の部品を作り上げています。そして現在も、自社の研究所では MIM 製品の更なる高機能化、高精度化を目指し、業界の最先端で研究開発を常に行い続けています。



バインダ



μ -MIM[®] 事例

4. 設計者が知っておくべき MIM 製品の導入・設計のポイント

設計段階に起因する主要トラブル

ここまで見てきたように高機能、コストダウンを実現する MIM ですが、設計においては留意点が存在します。このようなトラブルへの具体的な対処方法は次ページ以降の事例に示すとおりですが、大別すると以下の5つのポイントに分けることができます。

■ 肉厚によるトラブル

10mm以上の肉厚部分があると MIM 製品には、成形段階でヒケやソリといった影響が現れ易くなり、製品完成時にクラック等が入ってしまいます。また、肉厚部分と薄肉形状が混在する場合も反り、ヒケ等の影響が起こり易くなります。

■ 穴・ボス形状に関するトラブル

成形の際に樹脂が形状を回りこんで合流することでウェルドラインと呼ばれる、割れ易くなる跡ができてしまったり、脱脂・焼結と工程を進めていく中で穴形状やボス形状は形状が歪んだり、倒れてしまったりといったトラブルが起こります。

■ コーナー形状に関するトラブル

直角のコーナー周りでは成形時に不安定流動が起こりやすくなります。不安定流動がおこると金属粉末の分布が均一でなくなり、製品完成時に一部分がもろくなったり、クラックが発生することがあります。

■ ゲート設計に関するトラブル

MIM 製品の成形時には、金属粉末と樹脂の混合物の射出跡が残るジェットイング等、各種トラブルが起こり易くなります。こういった成形時のトラブルは後工程の脱脂焼結時にクラックや形状歪みとなって MIM 製品に現れます。

■ 複雑形状・微細形状に関するトラブル

MIMにおいて金属粉末は樹脂のバインダと混合した上で成形が行われますが、このバインダが複雑形状や寸法精度を出せるかといった課題に深く関わっています。例えば型の隅まで成形できないショートショットなどバインダに影響を大きく受けるトラブルも存在します。太盛工業では樹脂成形の技術を応用し、複雑形状、微細形状のMIM加工（特殊MIM及び超精密MIM・ μ -MIM[®]）を行っています。

5.MIM 部品設計 VE/VA・コストダウン設計事例 Index

MIMを使いこなすためのポイントはここまで述べてきたとおりです。これより後のページでは、設計者が知っておくべき MIM 部品の設計について、先ほど述べたポイントを具体的に解説したトラブル解決やコストダウン、品質向上につながる事例を紹介していきます。また、太盛工業が得意とする特殊 MIM 及び μ -MIM[®]についても併せて記します。

－MIM 製品におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント－

I - 肉厚形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

- 01 - 肉厚部分のある MIM 製品設計トラブル防止のポイント p.12
- 02 - 薄肉形状のある MIM 製品設計トラブル防止のポイント p.13
- 03 - ガス抜きを考慮した MIM 製品設計トラブル防止のポイント p.14

II - 穴・円筒形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

- 01 - 円形穴部のある MIM 製品設計トラブル防止のポイント p.15
- 02 - 円筒形状における MIM 製品トラブル防止のポイント p.16
- 03 - 設計変更による MIM 製品加工コストダウンのポイント p.17

III - コーナー形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

- 01 - コーナー形状における MIM 製品設計トラブル防止のポイント p.18
- 02 - 角部における MIM 製品設計トラブル防止設計のポイント p.19
- 03 - MIM 製品におけるツメ形状設計のポイント p.20
- 04 - MIM 製品における平面形状設計のポイント p.21

IV - ゲート設定におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

- 01 - ゲート形状の見直しによる MIM 製品トラブル防止のポイント① p.22
- 02 - ゲート形状の見直しによる MIM 製品トラブル防止のポイント② p.23
- 03 - ゲート位置の変更によるジェットニングの防止 p.24
- 04 - MIM 製品における抜き勾配設定のポイント p.25

V - 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント (特殊 MIM 及び μ -MIM[®]の活用事例)

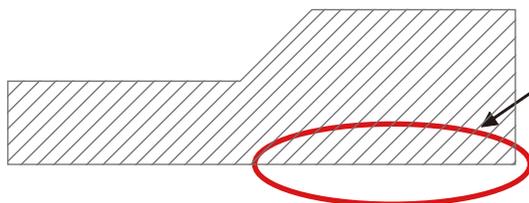
- 01 - 樹脂型の利用による複雑微小製品の成形のポイント① p.26
- 02 - 樹脂型の利用による複雑微小製品の成形のポイント② p.27
- 03 - バインダの調整変更による MIM 製品の品質向上のポイント① p.28
- 04 - バインダの調整変更による MIM 製品の品質向上のポイント② p.29
- 05 - バインダの調整変更による MIM 製品の品質向上のポイント③ p.30
- 06 - インサート成形を利用した複雑形状 MIM 製品成形のポイント p.31
- 07 - インサートを使用したバイメタル MIM 製品成形のポイント p.32
- 08 - 切削加工から μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンのポイント①(μ -ギア) p.33
- 09 - 切削加工から μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンのポイント②(鏡面加工) p.34
- 10 - 切削加工から μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンのポイント③(自由曲面加工) p.35
- 11 - 切削加工から μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンのポイント④(微細転写) p.36
- 12 - 異材質の複合加工による特殊 MIM 製品の品質向上のポイント p.37

01
I

肉厚部分のある MIM 製品設計トラブル防止のポイント

I - 肉厚形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before

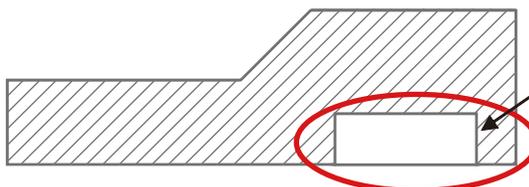


肉厚部分にヒケが発生。脱脂焼結時にクラックの原因となります

断面図

肉厚の部分が製品に存在する場合、樹脂の成形品と同じ MIMにおいてもヒケが発生します。こういったヒケが存在してしまうと脱脂・焼結時に部品のクラックを引き起こす原因となります。

After



肉盗みを設ける事でヒケを防止、クラックを防ぐことができます
10mmを目安として、それ以上の肉厚部には肉盗みを設けます

断面図

肉厚部分が存在する場合、肉盗みを設けます。MIM部品の設計の段階で肉盗みを設けることで、ヒケ・ボイドによる MIM部品のクラックの発生を防ぐことができます。

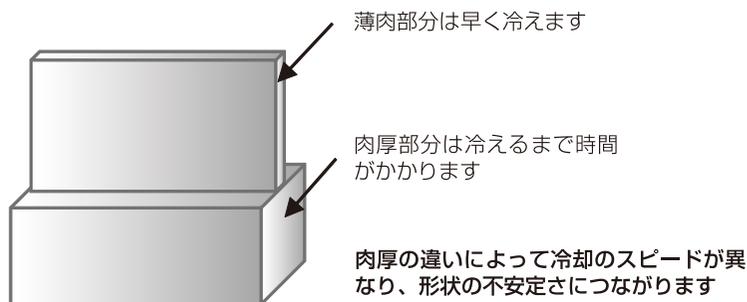
MIM 製品には肉厚の部分があると変形やヒケ、ソリ等の影響が強くなるため設計の際には肉厚部をできるだけ少なくするように肉盗みを設けることが望ましいトラブル対策です。

02
I

薄肉形状のある MIM 製品設計トラブル防止のポイント

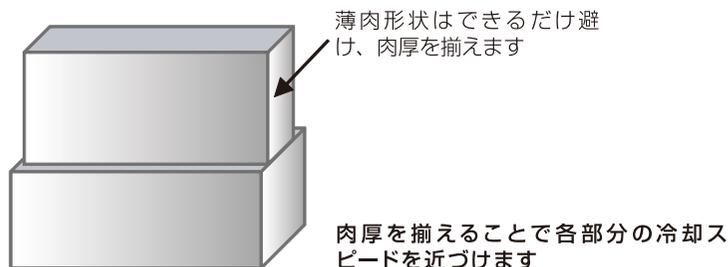
I - 肉厚形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before



熱伝導率が高い材料を用いる場合、薄肉部分があると射出成形時にこの薄肉部分が他の部分より早く冷却されてしまいます。冷却が部分ごとに異なると形状の不安定さにつながってしまいます。

After



冷却スピードを製品全体で均一にするために、薄肉部分はできる限り減らし、他の部分と同じような肉厚の幅広設計にします。こうすることで形状を安定させることができます。

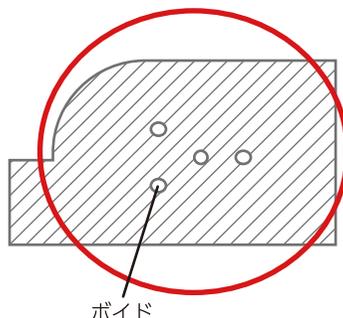
肉厚部分と薄肉部分が混在する製品の場合、部分毎に成形時の冷却スピードが異なってしまい製品形状の不安定さにつながります。薄肉形状を避け、製品の肉厚をできるだけ近づけた設計とすることで品質を安定させることができます。

03
I

ガス抜きを考慮した MIM 製品設計トラブル防止のポイント

I - 肉厚形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before

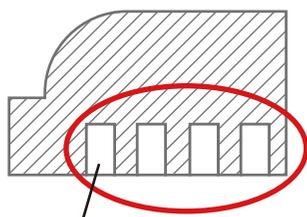


肉厚の部分はガスが抜けにくく、ボイドが内部に発生しやすくなります
ボイドによりクラックなども誘発されます

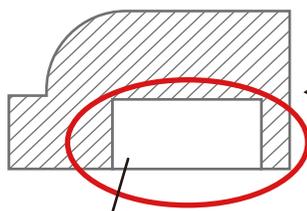
ボイド

ガス抜きの悪い箇所が存在すると MIM 部品を成形後、脱脂・焼結した際にガス化したバインダが製品から抜け難くなります。抜けなかったガスは製品中に溜まり、ボイドの原因となりクラックを引き起こしやすくなります。またバインダの炭素が製品中に残ることになり製品が不安定になります。

After



リブ形状



肉盗み

肉盗みを設けたり、リブ形状に設計を変更することでガス抜きを良くし、トラブルを防止できます

ガス抜きが容易になるように、肉盗みを設けたり、リブ形状にすることで肉厚部分を減らします。脱脂・焼結後にガスが残留しないようにすることで、ボイドを防ぎます。炭素が残留することによる浸炭も防ぐことができます。

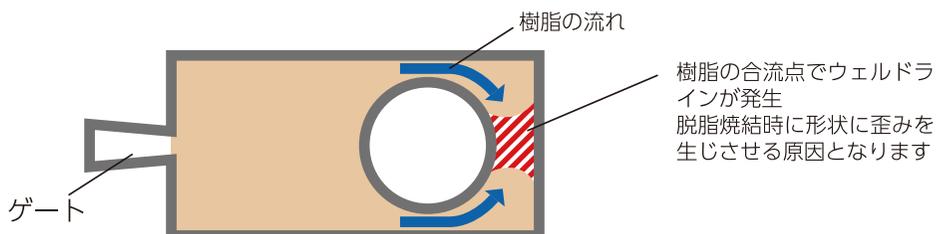
MIM製品は成形後に脱脂焼結する必要があり、その際にバインダとして用いられていた樹脂はガス化して金属粉末の間を抜けていくこととなります。製品形状が、ガスが抜けにくい形状になっていると内部にガスが残りボイドが発生します。これを防ぐために、肉厚部分にリブ形状や肉盗みを設ける事で対応が可能です。

01
II

円形穴部のある MIM 製品設計トラブル防止のポイント

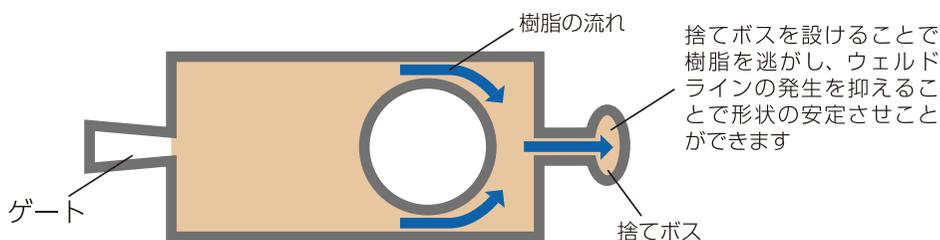
II-穴・円筒形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before



上図のように円形部分が製品に存在する場合、成形時にウェルドラインができてしまいます。ウェルドラインができてしまうと、成形段階では歪みは少ないですが、脱脂焼結の際に円がゆがんでしまいます。

After



設計段階で意図的に捨てボスを設けることで、ウェルドの影響を小さくなります。成形後に捨てボスの除去が必要になり、工程自体は増えるが形状を安定させるために必要です。

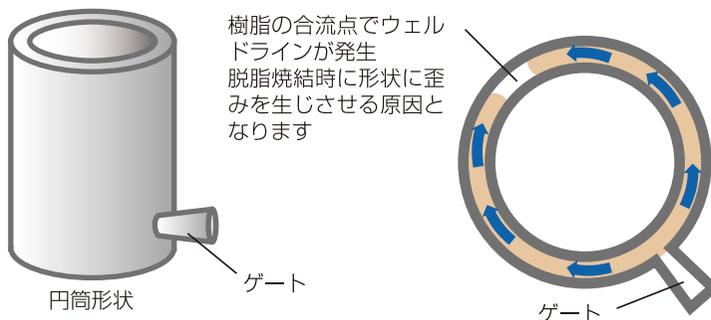
円形部分が MIM 製品に存在する場合、成形時にウェルドラインが円形付近にできてしまい、形状の歪み等のトラブルを引き起こします。このトラブルを防ぐには、ウェルドラインができやすい付近に捨てボスを設けることで対応が可能です。

02
II

円筒形状における MIM 製品トラブル防止のポイント

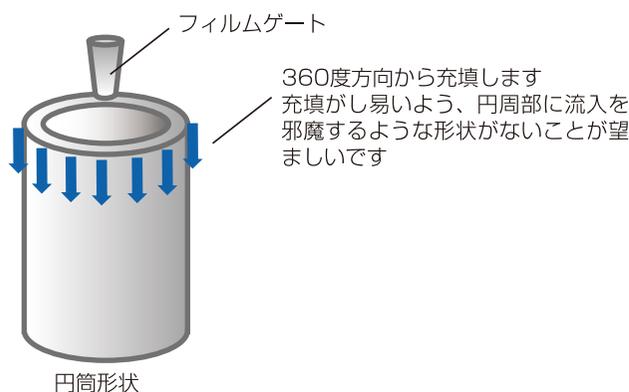
II-穴・円筒形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before



上図のような形状では、矢印のように金属粉末が型内に流れ込んできますが、2つの流体の流れが当たる側面箇所にウェルドラインが出来易くなります。ウェルドラインが出来ると金属粉末の不均一さにつながり、焼結時に真円度が出なくなり楕円形となってしまいます。

After



上図のようにフィルムゲートを用いて360度方向から金属粉末を充填します。こうすることで円周部での材料の不均一を防ぐことができ、真円度を安定して出せるようになります。

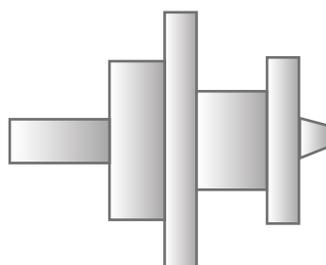
円筒形状では左右方向から樹脂が回りこむような設計にしてしまうと、ウェルドラインが円筒側面に発生し、脱脂焼結した際に真円度、同軸度に歪みが生じます。フィルムゲートを用いると全周均一に樹脂が充填され、安定して形状を得ることができます。

03
II

設計変更による MIM製品 加工コストダウンのポイント

II-穴・円筒形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

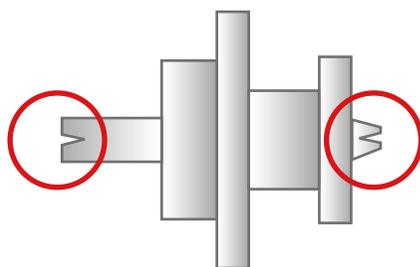
Before



要求精度が数 μm の場合、研磨加工が必要になり、そのために芯の位置決めを行う必要があります

上図のような部品形状で軸部に数 μm オーダーの精度を出すためには二次加工で研削が必要になります。この研削を行う為には芯出しを行う必要があり、この芯の位置決めを行う際に工数が大きくかかってしまいます。

After



設計段階で位置決めのための芯出しが容易になるようにしておくことで、工程時間の大幅な短縮が可能になります。(左図では大きく強調しています)

芯出しを行うために、形状を設計段階から変更することで大幅な時間短縮が可能になり、コストダウンにつながります。

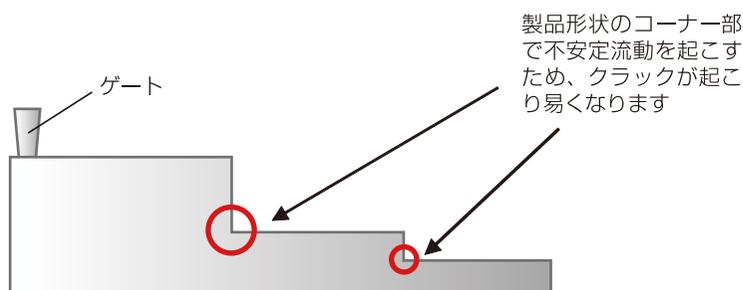
切削加工から MIM部品に置き換える際には、両加工の違いを認識した上での設計が重要であり、MIM製品を二次加工する際の注意点も踏まえたうえでの設計が求められます。上記例では製品の成形後の研削加工のための芯出しを踏まえた設計が必要です。

01
Ⅲ

コーナー形状における MIM 製品設計トラブル防止のポイント

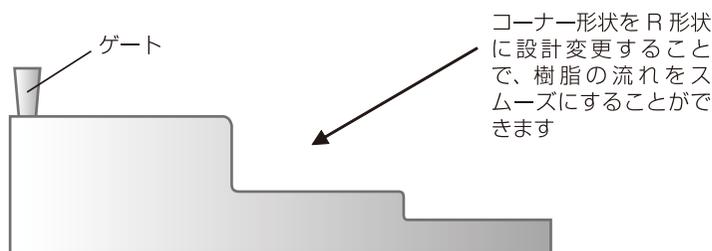
Ⅲ- コーナー形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before



上図のように製品形状にコーナー部が多数ある場合、各コーナー部で不安定流動を起こしてしまいます。結果、金属粉末の分布が不均一となり焼結時にクラックを引き起こす原因になります。

After



部品設計の際はエッジのついたコーナー形状を出来るだけ避け、R のついたコーナーにすることで充填をスムーズに安定して行うことができます。

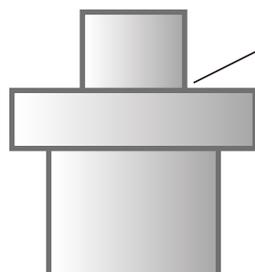
コーナー形状が製品形状にあると、コーナー付近で不安定流動を起こすため金属粉末が不均一に分布しクラックの原因となります。MIM 製品においては、エッジのあるコーナー形状を出来る限り避けて R のついたコーナー形状に変更することでクラック等を防ぎ歩留まりを改善することができます。

02
Ⅲ

角部における MIM 製品設計トラブル防止のポイント

Ⅲ- コーナー形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

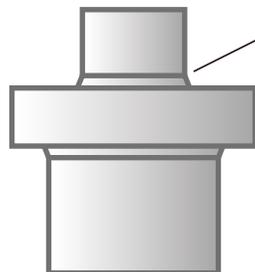
Before



コーナーが直角になると
クラックの原因になり易
いです

MIM 成形の場合、金属粉末でできているため樹脂と比較すると柔軟性が低いという特徴があります。金属射出成形の場合、応力等の影響がよく現れ、角部にクラックが起こり易いです。

After



コーナーにR面やC面を
設ける事でクラックを防
ぐことができます

角部にR面をつける、またはC面を設けることで、負荷を分散・軽減させます。このR面やC面により角部の1点に力が掛かることで起こり易いクラックを防ぐことができます。

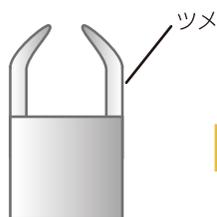
MIM 成形は樹脂とは違い金属粉末を用いるため、成形品の柔軟性が低くなります。結果、角部等にクラックが起こり易いです。これを防ぐために、角部にR形状やC面を設けることで対処できます。

03
Ⅲ

MIM 製品におけるツメ形状設計のポイント

Ⅲ- コーナー形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

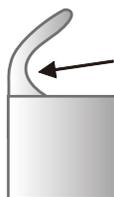
Before



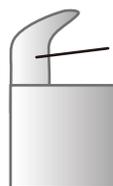
脱脂の際にツメが自重によって倒れてしまいます

MIM 製品において、上図のようなツメ形状は焼結・脱脂の際に自重によって倒れてしまいます。特に精度が必要な部品の場合は、脱脂・焼結による歪みを無視できず精度出しが困難です。

After



or



形状が安定するように、内盛りやR形状をつけます

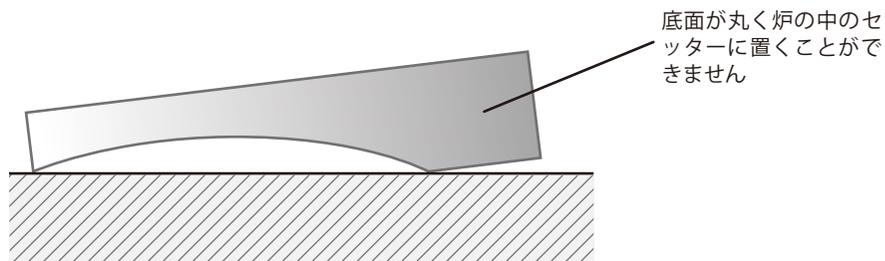
形状を変更することで形状の安定化を図ることができます。例えばツメ形状の下部にRをつけることや、ツメ全体に肉盛りを行うことで形状安定化が可能です。

MIM製品は脱脂・焼結の際に変形が起こりやすく、特にツメ形状などの張り出した形状は、自重によって倒れやすいため、Rをつけたり、肉盛りをするなどの対策が重要になります。

04 MIM 製品における平面形状設計のポイント

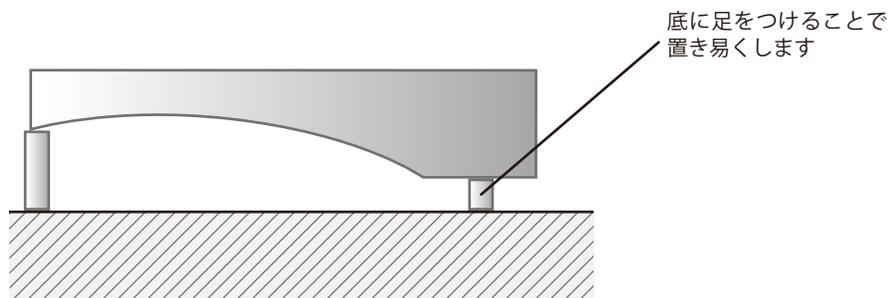
Ⅲ- コーナー形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before



上図のように製品底面に丸い形状の部分がある場合は形状の安定確保が難しくなります。それは脱脂焼結の際に、製品を炉にセットすることが難しくなるからです。

After



製品底面に足を設ける事で解決が可能です。2次加工で除去することで通常対処しますが、設計上問題が無い範囲で設置が容易に行えるような形状にする工夫があればコストダウンにつなげることができます。

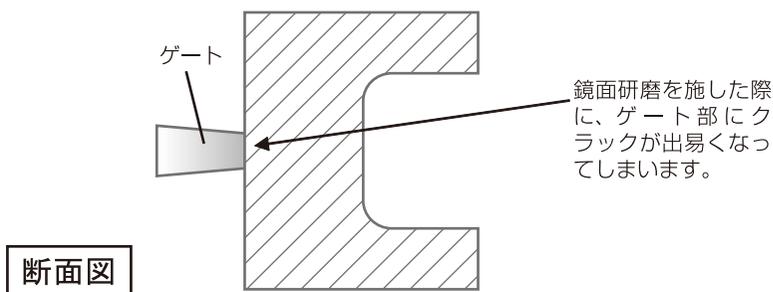
底面が曲面形状をしている MIM 製品は、成形後、脱脂焼結の際に炉の中のセッターに安定して置くことができません。このようなケースでは成形時に脱脂焼結の工程のことを踏まえ、製品形状に足を付けておくことで対処することができます。この足は二次加工で除去します。

01
IV

ゲート形状の見直しによる MIM 製品トラブル防止のポイント①

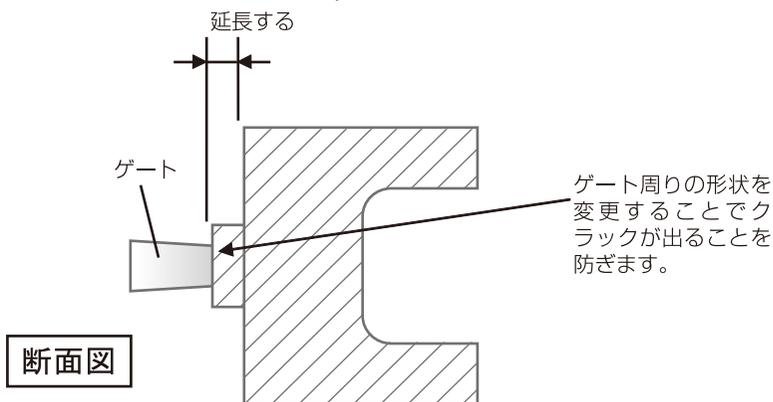
IV-ゲート設定におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before



MIM 製品に鏡面研磨を施す場合、特にゲート部分の周りには研磨によりクラックが出やすくなってしまいます。

After



MIM 製品においては、上図のようにゲートの長さを延長した設計とすることで、鏡面研磨の際にクラックが出ることを防ぐことができます。

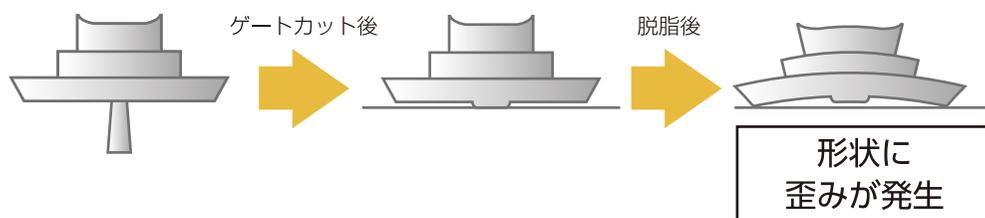
MIM製品では金属粉末とバインダーの混合物が射出されるゲート付近に割れが発生することが多くなります。そのため、ゲート付近に余裕をもった形状に設計しておくことで、割れ等の影響を抑えることができます。

02
IV

ゲート形状の見直しによる MIM 製品トラブル防止のポイント②

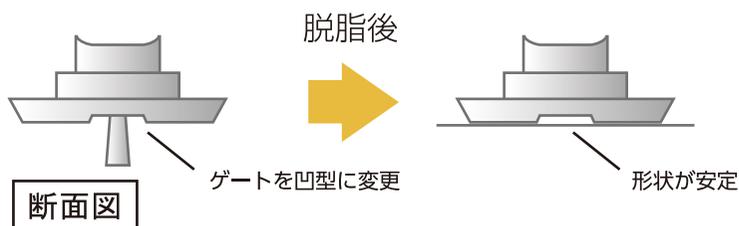
IV- ゲート設定におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before



ゲート形状を上図のように凸型にすると脱脂の際の変形が無視できなくなり、特に数 μm オーダーの製品要求の場合は条件を満足できなくなります。

After



ゲートを設置する際に、凹型とすることで脱脂のプロセスでの形状安定化が可能となり、数 μm オーダーでの精度出しを行うことができます。

MIM製品においてゲート付近の形状を凸型に設定すると脱脂の際の変形が無視できなくなってしまいます。底面にゲートを設定せざるを得ない場合、形状を凹型にすることで変形の影響を防ぐことができます。

03
IV

ゲート位置の変更によるジェットイングの防止

IV- ゲート設定におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

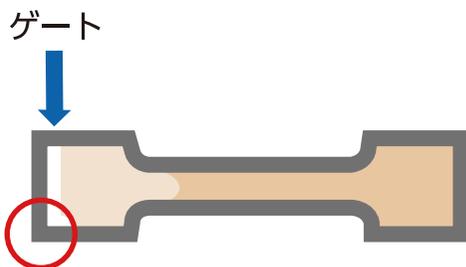
Before



金属粉末の重さからジェットイングが起こり易く、ジェットイングはクラックの原因となります

樹脂製品の場合、射出によるジェットイングは条件次第で減らすことができます。一方で MIM 製品の場合は金属粉末の重さによる慣性力が無視できず、ジェットイングが起こり易くなります。

After



ゲート位置を変更し、一度壁に当てて勢いを止めます

一度壁に当てることで速度を調整します。

MIM 製品の場合は充填の際に、上図のように一度壁に当てることで勢いを抑えジェットイングを防ぐことができます。

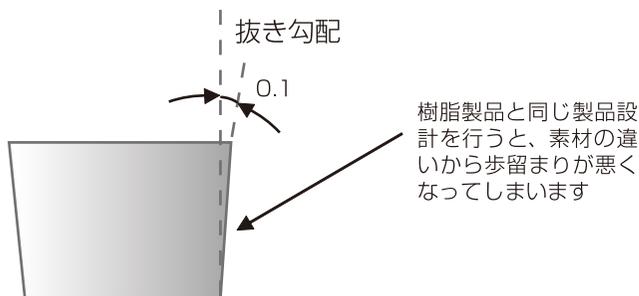
MIMにおいては金属粉末を射出成形しますが、金属粉末は樹脂よりもジェットイングが起こりやすくなります。これを防ぐために射出の勢いを一度壁等に当てることで、樹脂の充填速度を調節します。

04
IV

MIM 製品における抜き勾配設定のポイント

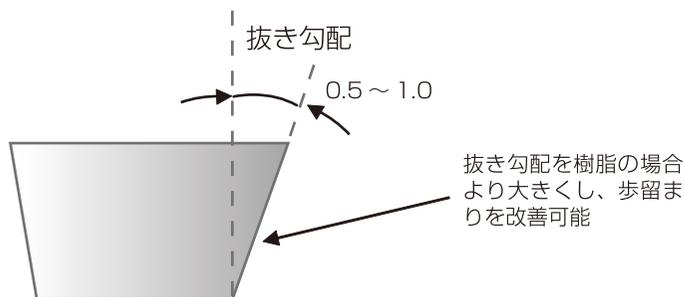
IV- ゲート設定におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント

Before



MIM 製品の成形では金属粉末の性質上樹脂と同じ設計ではトラブルが起きるケースがあります。上図のように型からの離型の為にテーパをつける場合、プラスチック部品と同じ角度では抜きの際に歩留まりが悪くなってしまいます。

After



MIM 製品の設計の際は樹脂製品よりも抜き勾配を大きく取ることによって、離型を容易にして歩留まりを改善することができます。

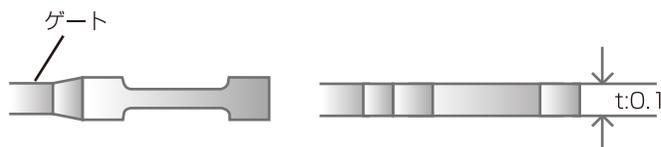
MIM製品については、抜き勾配を樹脂製品と同じ設計にしてしまうと、型からの離型が困難になってしまいます。そのため MIM製品の設計では樹脂設計よりも抜き勾配の角度を大きくする必要があります。

01
V

樹脂型の利用による複雑微小製品の成形のポイント①

V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント（特殊 MIM 及び μ -MIM[®] の活用事例）

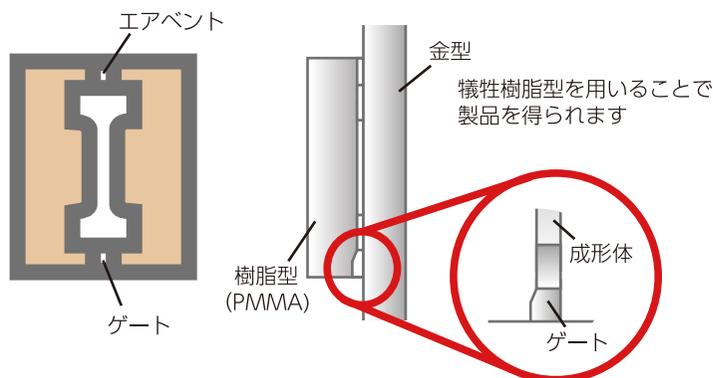
Before



複雑形状や微小形状は
ゲートの設置が難しく、
成形が困難です

MIM 製品では複雑形状や微小形状の成形の場合、ゲートやエジェクターの設置が困難な場合があります。歩留まりが悪くなったり、成形自体が不可能になることがあります。

After



樹脂型を作成することで複雑形状であっても成形が可能になります。樹脂型を用いる場合は樹脂型に成形を行い同時に離型することで成形体を保護し、その後の脱脂・焼結工程で樹脂型を除去します。

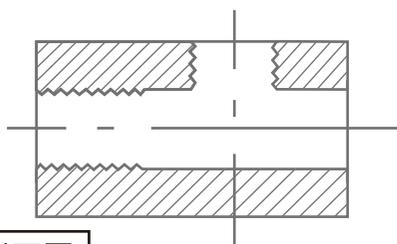
複雑形状や微小形状の成形ではゲートやエジェクターの設置が困難なケースが多く、通常通りの成形ができません。このような場合は、樹脂型を作り複雑・微小形状の MIM 製品を作製することができます。



樹脂型の利用による複雑微小製品の成形のポイント②

V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント（特殊 MIM 及び μ -MIM[®] の活用事例）

Before

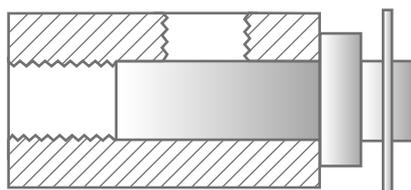


断面図

内ねじ構造が複数存在する場合、金型が複雑になりコスト高になってしまいます

内ねじ構造が複数存在するような部品は、金型構造が複雑になり金型のサイズも非常に大きくなってしまいます。同時に作ることでできる数も少なくなりコストが高くなってしまいます。

After



断面図

樹脂製の中子を作製し、インサート成形を行います

内ねじ構造が複数必要な部品の場合、アクリル樹脂で中子を作製し、インサート成形を MIM により行います。こうすることで二次加工が必要なねじ加工費を大幅に低減することができ、コストダウン生産を行うことができます。

内ねじ構造は成形で作ることが難しく、2箇所以上に内ねじが存在する場合、金型の構成が極めて複雑になりコストが上がってしまいます。このようなケースでは樹脂型を用いることで、コストダウンを達成することができます。

03
V

バインダの調整変更による MIM製品の品質向上のポイント①

V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント（特殊 MIM 及び μ -MIM[®] の活用事例）

Before



ポリプロピレン
(PP:Polypropylene)



ポリエチレン
(PE:Polyethylene)

PP-PE系の樹脂は変形や残炭を起こしやすく、品質が安定することが難しいです

一般に用いられる PP-PE系のバインダーは変形や残炭が起こり易くなります。特に銅やチタン等の材質は残炭がおこると焼結(密度)が不完全になり、品質が不安定になります。

After



ポリオキシメチレン
(POM:Polyoxymethylene)

PP-PE系の樹脂から変更し、POM系の樹脂をバインダに用いることで変形や残炭の問題を防ぐことができます

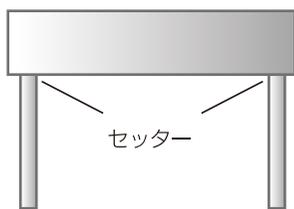
POM 系のバインダーに変更することで変形や残炭の問題を防ぐことができます。銅やチタン材質の MIM 部品の場合は品質安定のためにバインダーの調整を行うことで不良率を下げるすることができます。

一般に MIM によく用いられるバインダーの PP-PE 系樹脂は、変形や残炭の問題が起こりやすく金属材料や製品形状によっては適さないことがあります。こういった場合には、POM 系の樹脂にバインダーを変更することで変形や残炭の問題を解決することができます。

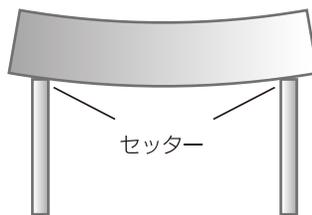
04 バインダの調整変更による MIM 製品の品質向上のポイント②

V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント（特殊 MIM 及び μ -MIM[®] の活用事例）

Before



焼結前

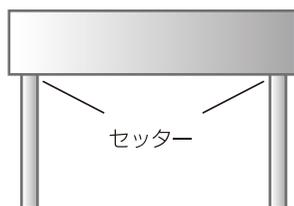


焼結後

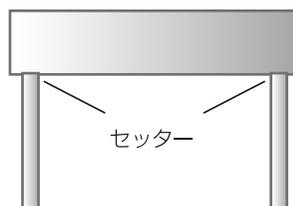
脱脂を行ってもその段階ではバインダーのつなぎが残っており、このつなぎが焼結時の変形に大きく関わってきます

MIM製品の場合、つなぎの性質によって製品形状の安定化が左右されます。一般に用いられるバインダーでは焼結後の、焼結前からの寸法偏差が $\pm 0.5\%$ が限界であり、要求精度を満たせないことがあります。

After



焼結前



焼結後

バインダーの調整を行うことで焼結による変形の寸法偏差を改善することが可能

バインダーの調整を行うことで、焼結による変形を抑えることができます。例えば $\pm 0.5\%$ の寸法偏差を $\pm 0.3\%$ の寸法偏差に調整することで要求精度の公差内に収めるといったことができます。

MIM 製品の形状はバインダーのつなぎの性質によって形状の安定性が左右されます。特に $\pm 0.5\%$ 以下の高精度の寸法公差が必要な場合は、バインダーの構成を変更することで対応することができます。

05
V

バインダの調整変更による MIM製品の品質向上のポイント③

V・複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント（特殊 MIM 及び μ -MIM[®] の活用事例）

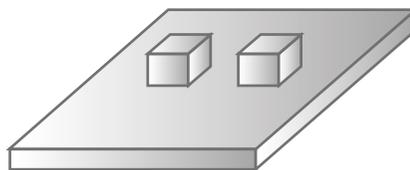
Before



薄肉円筒

薄肉円筒形状は上部にゲートを設けて充填していくことが多いですが、流動性が不足すると下部まで均一に充填されません

例：外系： $\phi 1.2$
内径： $\phi 1.0$
L：10



微細・複雑形状

微細や複雑形状部品は流動性が不足すると形状細部まで充填が行われず、目的とする形状を得ることが難しくなります

例：t=0.1
L=10
b=3 など

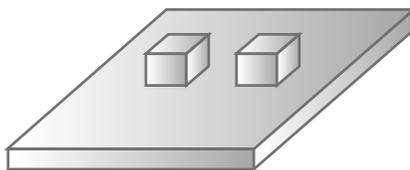
射出成形という製法上、型への充填を行っていきませんが、この際バインダとなる樹脂の流動性が非常に重要となります。流動性が不足すると型の細部や端部まで充填が行われず目的とする形状を得ることが難しくなります。

After



薄肉円筒

薄肉円筒形状はバインダーの流動性と、形状の安定性が同時に求められる形状です



微細・複雑形状

微細や複雑形状はバインダーが型の細部まで充填されることが必要になります

目的形状に合わせてバインダとなる樹脂の流動性を調整することで、薄肉や複雑形状の部品を目的通りに得ることができるようになります。

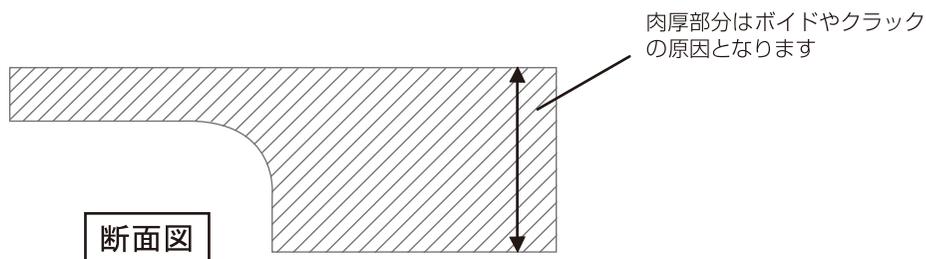
厚肉部品などは流動性を下げることで形状を安定させることができます。薄肉部品は逆に流動性を上げ、隅々まで完全に充填を行うように設定することが重要であり、こういった調整はバインダーの変更により対応します。

06
V

インサート成形を利用した複雑形状 MIM 製品成形のポイント

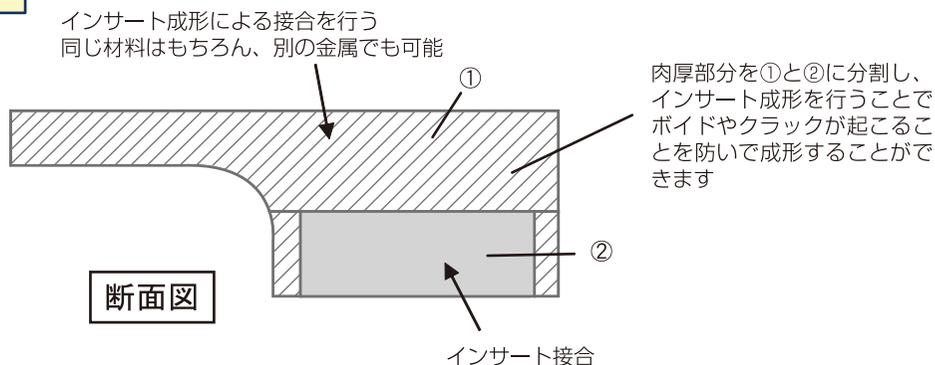
V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント（特殊 MIM 及び μ -MIM[®] の活用事例）

Before



肉厚部分があるとボイドやクラックの原因となりますが、肉盗みを製品仕様上設けることができない肉厚の MIM 製品の場合は成形が難しくなります。

After



肉厚部分を2つの部分に分割した上で二次成形を行います。一方の部品を成形した後にインサート成形を行うことで肉厚の部品に関しても安定した精度を得ることができます。

MIM 製品における肉厚部分はボイドやクラックの原因となりがやすく、設計上は避けるべきですが仕様上変更ができない場合はインサート成形を行うことで安定した成形が可能です。

07
V

インサートを使用したバイメタル MIM製品成形のポイント

V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント（特殊 MIM 及び μ -MIM[®] の活用事例）

Before

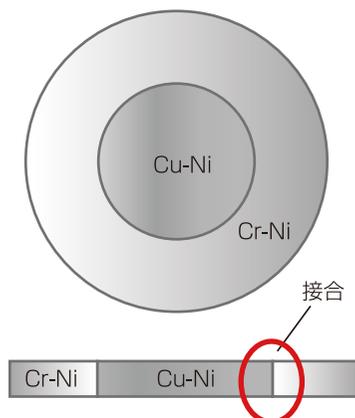


熱に反応するバイメタルの一例

2枚の金属を張り合わせたバイメタル
製作には特殊工程が必要です

熱条件による変化や、絶縁性を部品に持たせたい場合に用いられるバイメタルの製作においては特殊工程が必要になり、コスト高になってしまいます。

After



上図のような形状はもちろ
ん、円形のバイメタル
も MIMでは一体成形が
可能になります

MIMによる加工であれば、一度に成形が可能であるため工程削減・コストダウンを図ることができます。また焼結時により異材質の接合面も焼結されるため強度面でも優れています。

MIM を利用することで異材質の複合化を容易に図ることが可能です。通常バイメタル部品を得る際には、それぞれの部品を加工した後に一体化するための工程が必要になりますが、MIM の場合はインサート成形を行うことで、一度に成形することが可能です。

08
V切削加工から μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンのポイント①(μ -ギア)V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント(特殊 MIM 及び μ -MIM[®]の活用事例)

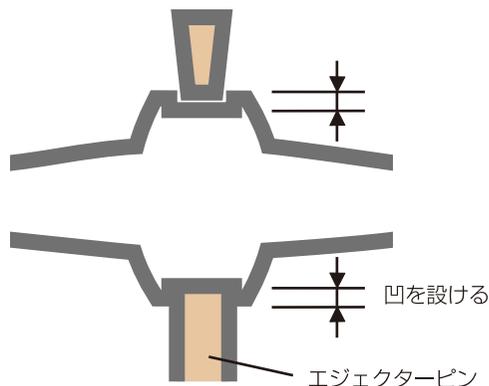
Before



径の小さなギア形状を従来工法で加工しようとする、コストが高くなってしまいます

刃先円の直径が $\phi 2\text{mm}$ 以下のような小さなギア形状部品の場合、切削では加工が困難であり、コストも非常に高くなってしまいます。

After



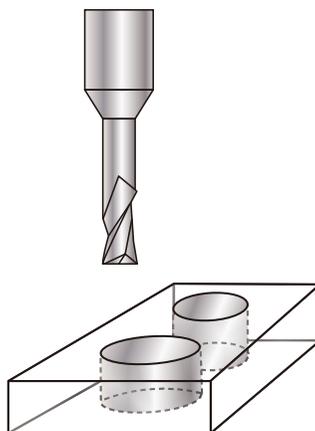
μ -MIM[®]で加工を行うと一体成形を行うことができるため、工数を減らすことができ、コストダウンにつながります

μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンが有効です。 μ -MIM[®]の場合は上図のように設計に工夫が必要となり、ゲートやエジェクタの設置が課題となりますが、軸方向に凹形状を設ける事で形状安定化が可能となります。

微小サイズのギア部品を切削加工で作る場合、1個あたりのコストが非常に高くなってしまいます。 μ -MIM[®]でもギア部品を成形することができ、切削加工と比較すると、1個あたりのコストを大幅に下げることができます。

09
V切削加工から μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンのポイント②(鏡面加工)V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント(特殊 MIM 及び μ -MIM[®]の活用事例)

Before



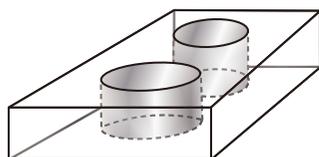
切削により部品形状を削りだしますが、コストと時間がかかります

L : 5mm
w : 2mm
t : 1mm

上図のような鏡面研磨を含んだ部品は切削加工では非常に工数がかかってしまい、加工する工数が多いと大幅なコストアップになってしまいます。

After

μ -MIM[®]により、ネットシェイプで製作後二次加工で鏡面に仕上げます



L : 5mm
w : 2mm
t : 1mm

μ -MIM[®]へと工法を置き換えることでコストダウンが可能となります。なお表面を鏡面に加工するには削りしろが必要になるため、設計段階で予め余肉を1面につき0.5mm程度設けておくことで迅速に加工に入ることができます。

微小部品の切削加工部品の場合、鏡面まで仕上げると納期やロット対応の面でコスト高になってしまいます。 μ -MIM[®]による加工の場合、設計段階で削りしろを設けておくことで、二次加工に対応でき、安価に鏡面加工部品を得ることができます。

10
V

切削加工から μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンのポイント③(自由曲面加工)

V・複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント(特殊MIM及び μ -MIM[®]の活用事例)

Before



五軸加工



鋳造

金属部品の自由曲面形状の加工は、五軸加工や鋳造で行うことが中心。コスト高になり中～多ロットの対応も難しくなります

切削加工で自由曲面加工を行う際には5軸加工機が必要になります。また鋳物を用いる場合は手仕上げの工程が必要になります。いずれの場合もコスト高になり、また材質にも制限があります。

After



自由曲面形状や、複雑3次元形状への対応

Ti SUS
Ni Cu
Ti-6Al-4V
W-Ni

五軸加工や鋳造から μ -MIM[®]に製造を変更することで、中～多ロットの自由曲面形状の加工を安価におこなうことができます

多様な材料に対応可能

μ -MIM[®] 製品では型を用いて成形・加工するため自由曲面形状、3次元形状の部品を切削や鋳造と比較すると多数、安価に得ることができます。また材料も様々な鋼種に対応することができます。

自由曲面形状は5軸加工や鋳造ではロットや価格の面で制約が多くなってしまいます。 μ -MIM[®]の場合は自由曲面にも容易に対応が可能になり、部品形状によっては大幅なコストダウンを行うことができます。

11
V切削加工から μ -MIM[®]への置き換えによるコストダウンのポイント④(微細転写)V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント(特殊MIM及び μ -MIM[®]の活用事例)

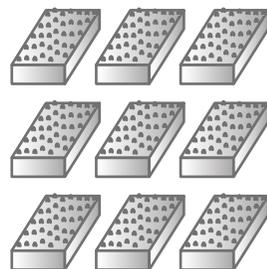
Before



微細形状を切削にて加工する場合、リードタイムやコストに大きな制約がかかります

上記写真のような微細形状を切削にて加工する場合、設備や量産性、加工時間等に大きな制約が掛かり、高コストになってしまいます。

After

型で μ -MIM[®]成形

イメージ図

金型を利用して、ネットシェイプで大量に成形加工

μ -MIM[®]加工の場合では、微細形状を型から転写する形で一体成形できるため、加工コスト等の面で大幅な削減を図ることができます。

部品表面への微細形状が必要な場合、切削加工では加工時間が非常に長くなってしまいます。 μ -MIM[®]の場合は型からそのまま転写することが可能なため、ネットシェイプで一度に形状を得ることができ、大幅なコストダウン効果を得ることができます。

05
V

異材質の複合加工による特殊 MIM製品の品質向上のポイント

V- 複雑・高精度形状におけるトラブル防止・コストダウン設計のポイント（特殊 MIM 及び μ -MIM[®] の活用事例）

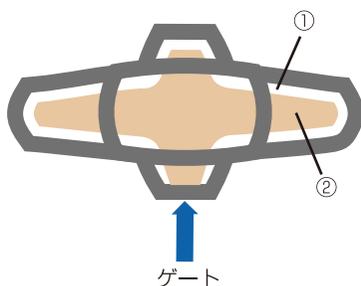
Before



ギア部品を切削加工により製作すると工程が多数必要になり、コストも高くなってしまいます。

ギア部品など表面に高硬度材料、内側に靱性に富んだ材料が必要な部品は、硬質クロムメッキなどの表面処理で加工する必要があります。工程数が必要でコスト面から見ても高くなってしまっています。

After



MIMの場合は特殊な工法を用いると、異材質の組み合わせ部品を一体成形で加工することが可能です。特に①材と②材を組み合わせるサンドイッチ構造のような特殊構造を大量に製作する場合は MIMにより大きなコストダウンが可能になります。

特殊な方法の MIMを利用することで異材質から構成される部品を容易に得ることができます。例えば磁性材料と非磁性材料のように、機能上要求される金属の性質が違う場合でも、MIMにより一度に成形することが可能であり、切削加工に比べて大幅なコストダウンを達成できます。