

P-1/72

日本塑性加工学会 北関東・信越支部長野ブロック 第61回技術講習会
兼 令和5年度 さかきテクノセンター 第1回技術セミナー

粉末冶金による機械部品



2023年12月19日
日本ピストンリング株式会社
新製品事業開発部 新製品グループ
木村 正宏

 日本ピストンリング株式会社
NIPPON PISTON RING CO., LTD.

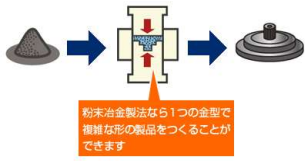
P-2/72

目 次

1. 粉末冶金とは？
2. 粉末冶金の歴史
3. 粉末冶金の日本における現状
4. 製造工程
5. 焼結機械部品の形状
6. NPRの製品例
7. 将来に向けた取組み

P-3/72

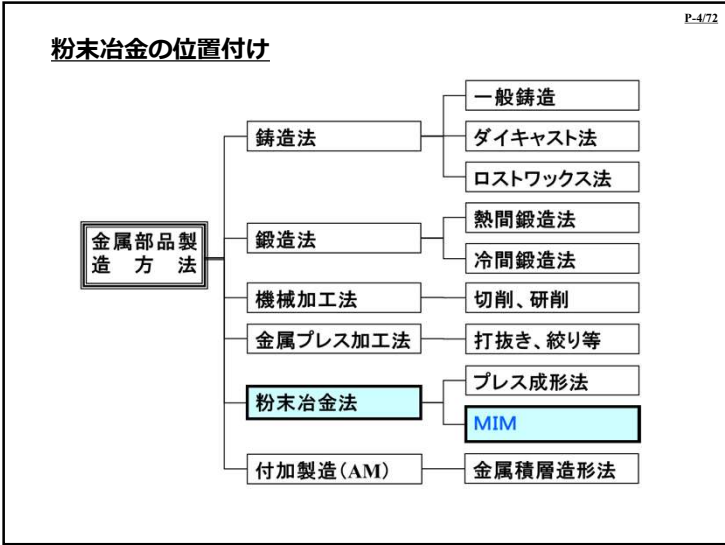
1. 粉末冶金とは？



粉末冶金製法なら1つの金型で
複雑な形の製品をつくることが
できます

- ◆金属の粉末を型に入れて固め、それを焼いて精度の高い部品を大量に作る事ができる技術のこと
- ◆英語では「Powder Metallurgy」で、略称であるPMとかP/Mとか呼ばれることが多い
- ◆金属粉末射出成形法や金属3D積層造形法も粉末冶金に含まれ、高精度化やニアネットシェイプ化に適する

〔定義〕 JIS Z2550による
金属粉の製造および金属の圧縮と焼結による金属製品の製造についての技術、広義には同様の技術による酸化物磁性体、サーメット等の製造技術を含む



粉末冶金の特徴

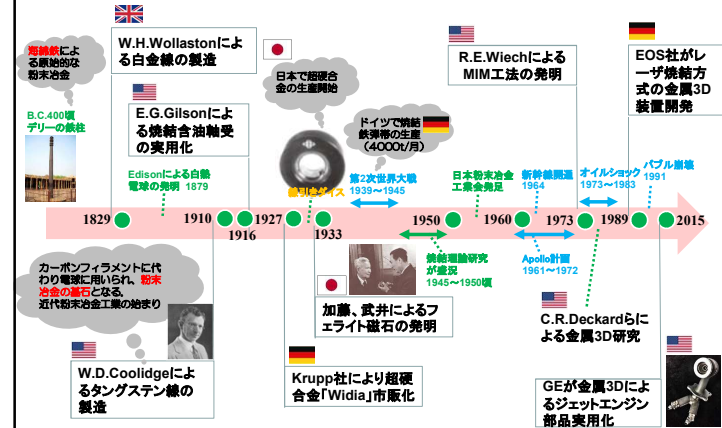
<長所>

- ①高融点金属の製品を作ることができる
- ②難加工材の製品を作ることができる
- ③複合材料を作ることができる
- ④完成寸法に近い製品を作ることができる
(ニアネットシェイプという表現をよく使う)
- ⑤多孔質の材料を作ることができる

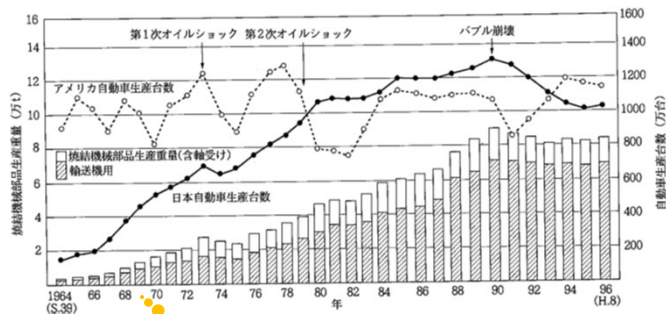
<短所>

- ①大型製品を作ることが困難である
- ②製造設備のコストが大きい
- ③同一組成の溶製材に比べて強度が低下する

2. 粉末冶金の歴史



焼結機械部品重量及び自動車生産台数推移

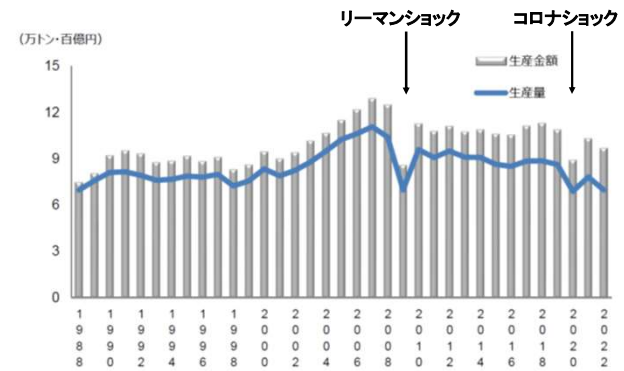


自動車生産台数の増加とともに拡大

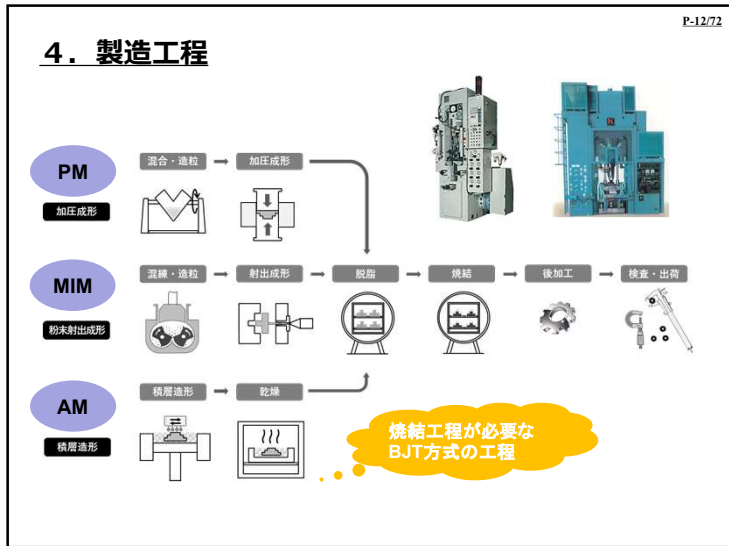
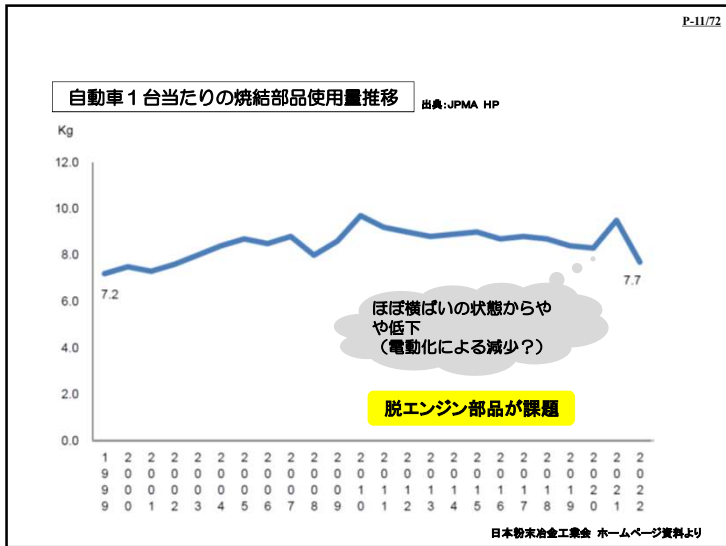
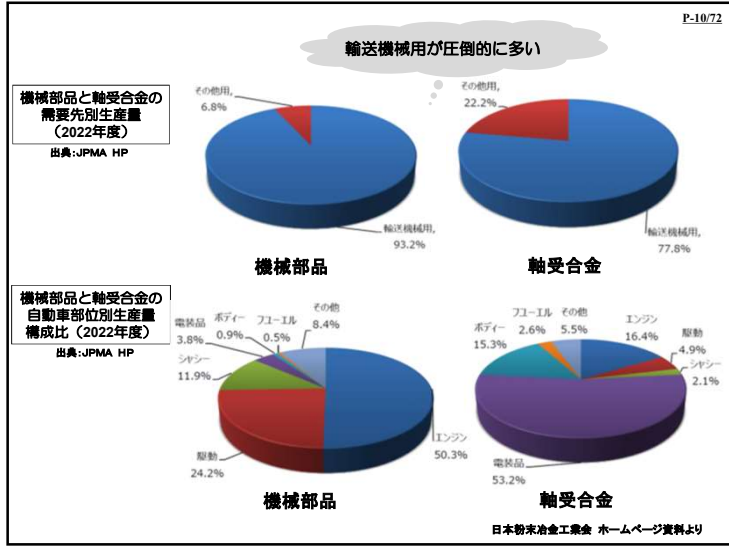
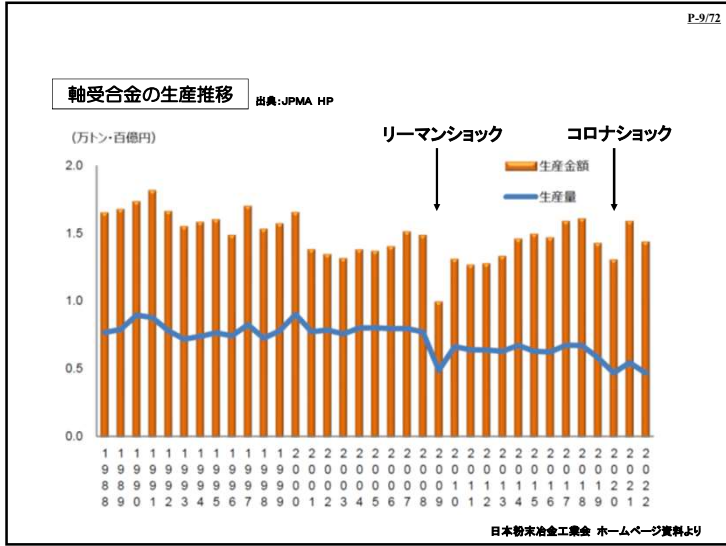
本材料: 金属, Vol67, No.9(1997), P65-69

3. 粉末冶金の日本における現状

機械部品の生産推移



日本粉末冶金工業会 ホームページ資料より



5. 焼結機械部品の形状

P-13/72

焼結機械部品が採用される理由は、機械加工を大幅に削減し、部品を安価に製造できることにある。よって、製品をニアネットシェイプにすることが必要であるが、金型を用いた単軸成形では種々の制約がある。



(株)ファインインター社ホームページより抜粋

プレス成形品：形状制限多い

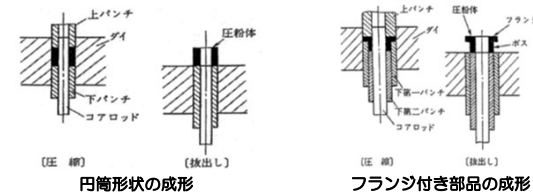


当社MIM製品

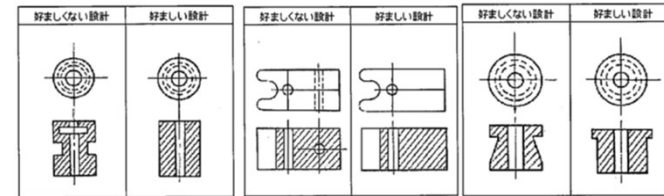
MIM品：形状制限少ない

形状の制約（プレス成形品）

P-14/72



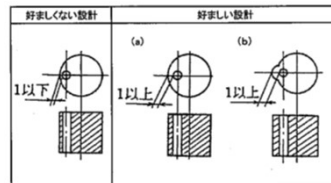
①金型から製品を抜くために必要な制約



日本粉末冶金工業会：焼結部品概要、P32、JPMIA

②粉末充填を均一に行う制約

P-15/72

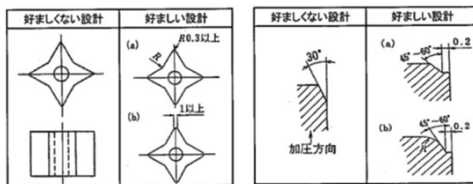


肉厚1mm以下 ×

<参考>

- ・MIMでは横溝、横穴、逆テーパ可能
- ・MIMの最小肉厚は0.5mm

③丈夫な金型にするための制約



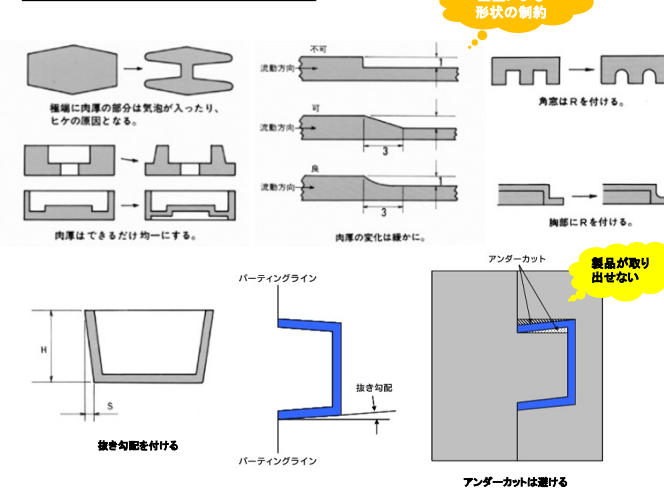
鋭いエッジ ×

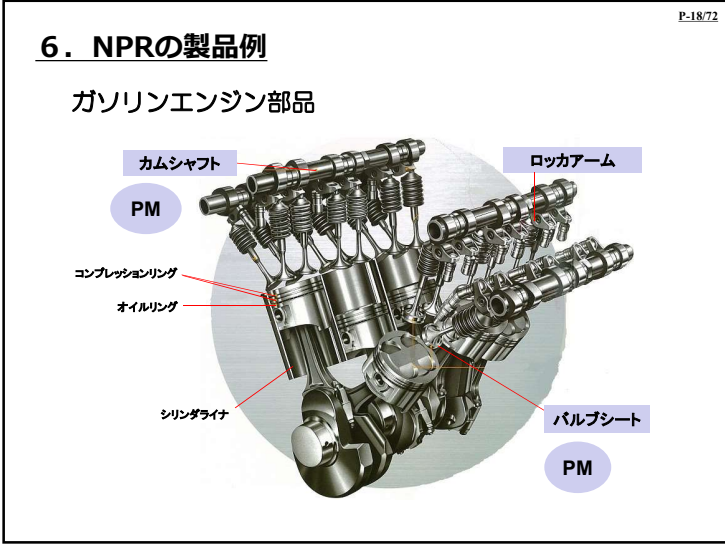
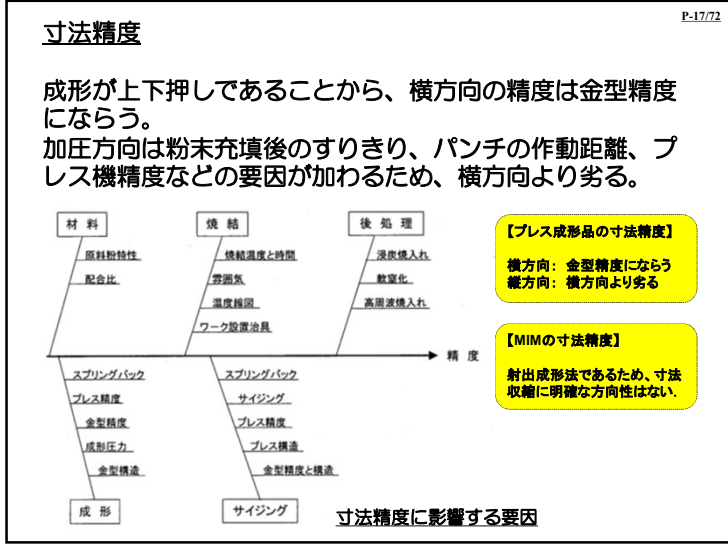
30° 面取り ×

日本粉末冶金工業会：焼結機械部品、P174-176、技術書院

形状の制約（MIM成形品）

P-16/72

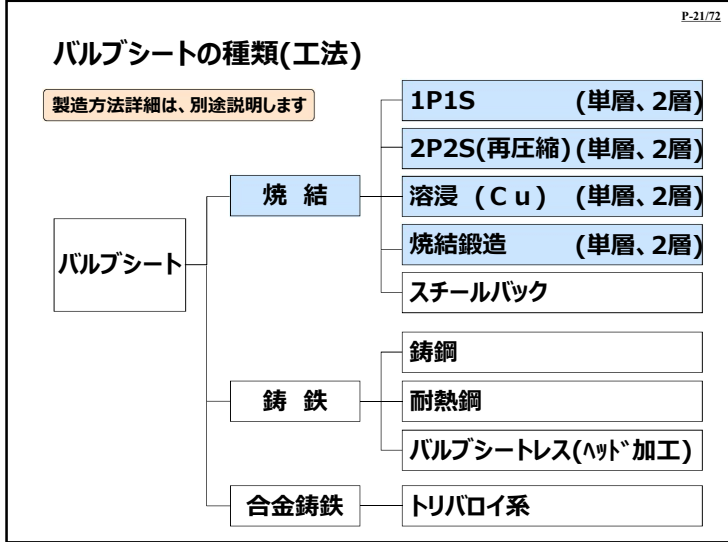




P-20/72

動弁系部品の役割

部品	役割	必要機能
カムシャフト	バルブの開閉を制御	摺動部の耐摩耗性、軸強度
ロッカーアーム (タバット)	カムのリフトに沿って、バルブを駆動	摺動部の耐摩耗性、疲労強度
バルブ	燃焼室の開閉	摺動部の耐摩耗性、気密性、熱伝導性
バルブガイド	バルブの案内、保持	摺動部の耐摩耗性、熱伝導性
バルブシート	バルブと密着し、燃焼室を密閉する	☆特に重要な機能☆ ・耐脱落性 ・摺動部の耐摩耗性 ・気密性、圧入性、熱伝導性
バルブスプリング	バルブとバルブシートを密着させる	疲労強度

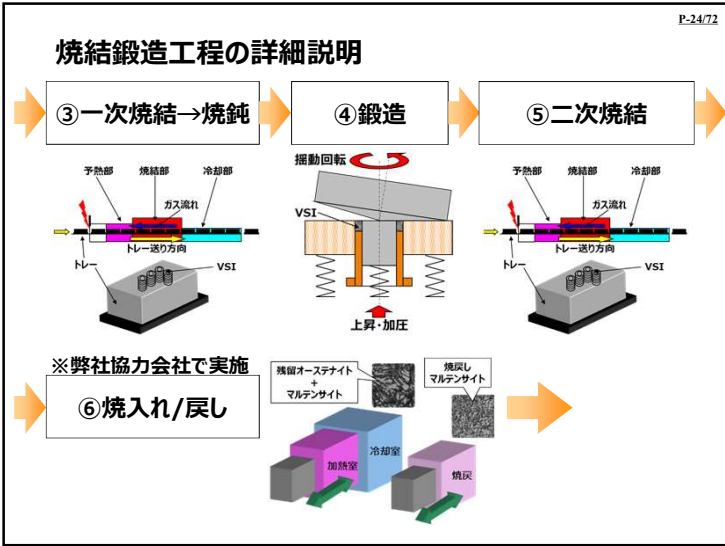
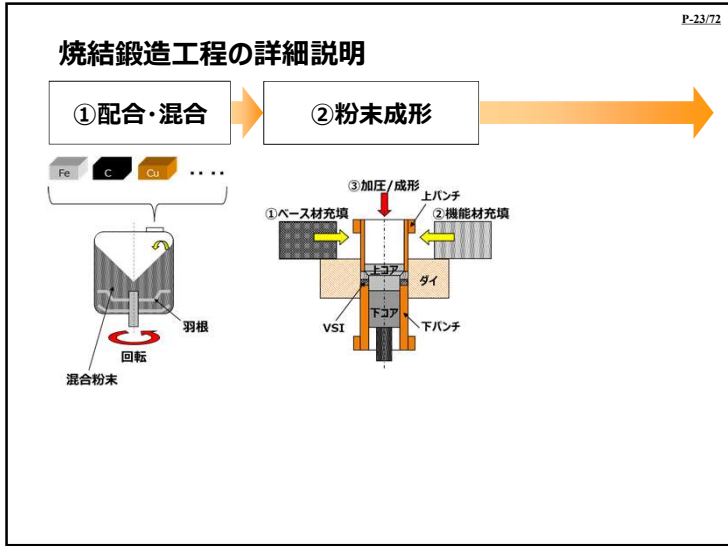


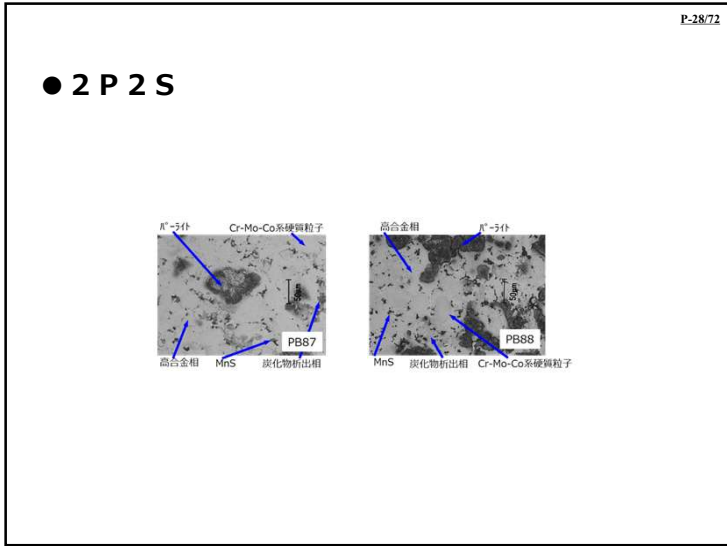
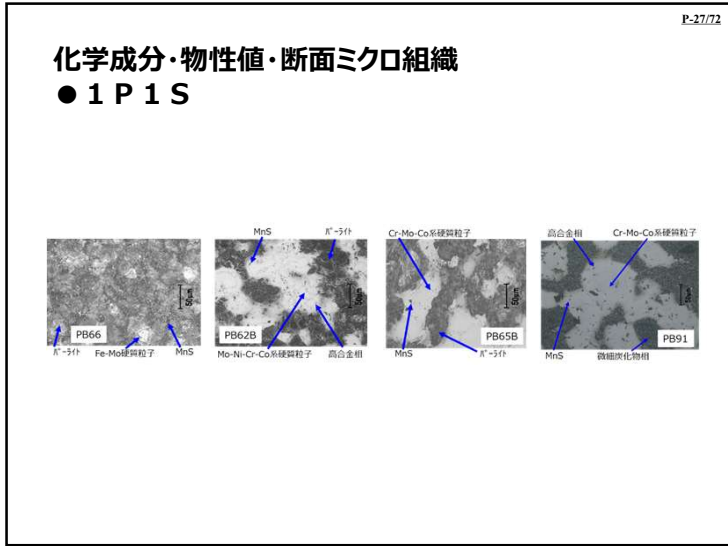
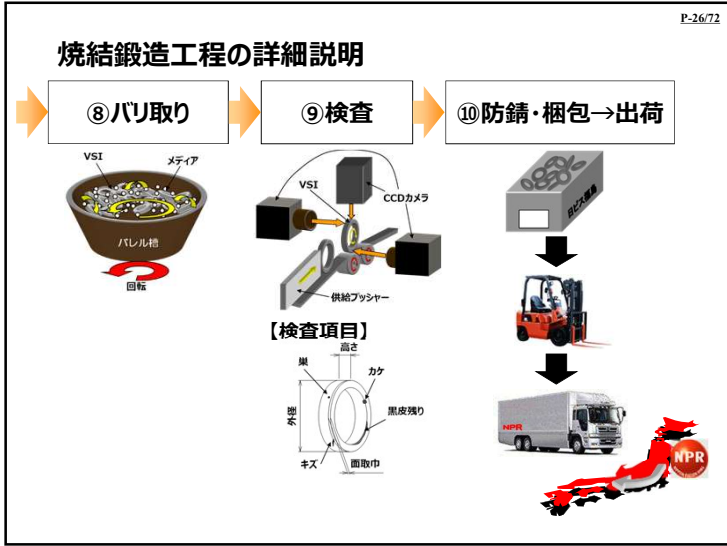
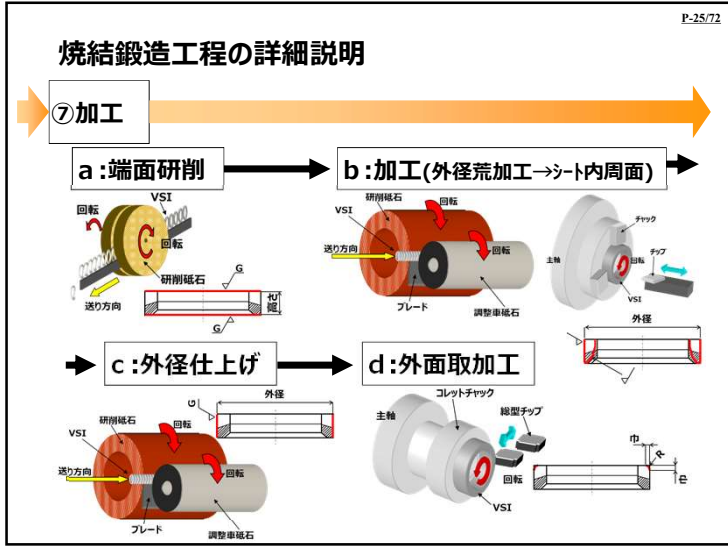
P-22/72

各焼結バルブシート工法の特徴

工法	特徴	材料構成
1P1S	成形圧力向上による高密度化 ・強度アップ ・基地剪断力アップ ・粒子間結合力アップ	【単層材】
2P2S		【2層材】 フェース部材 機能材 ・耐摩耗性 ・耐熱性 支持部材 低コスト材
焼結鍛造		
溶浸 (Cu)	封孔処理による強度、熱伝導率アップ (有鉛ガソリン対策材)	【単層材】 【2層材】 Cuによる封孔処理
スチールバック	バックメタルによる、強度アップ (ALC-デーゼー-FCヘッド対策材) ⇒現在は新規展開はなく焼結鍛造材へ移行済み	焼結材 耐熱鋼(SUH材等)

・ガソリンエンジン(アルミヘッド)向け：1P1S/2P2S工法が主流
・ディーゼルエンジン(FCヘッド)向け：焼結鍛造、溶浸(Cu)工法が多い。





P-29/72

●Cu溶浸、焼結鍛造

Cu相
3771系硬質粒子
PB7
Fe-Mo硬質粒子
焼き戻し後研削仕

Cu溶浸

Cr-Mo-Co系硬質粒子
高合金相
PB63
焼き戻し後研削仕

焼結鍛造

Cr-Mo-Co系硬質粒子
PB74
焼き戻し後研削仕

P-30/72

6-2. PMカムシャフト

P/Mカムシャフト

ガソリンエンジン用 P/Mカムシャフト ディーゼルエンジン用 P/Mカムシャフト

軽量、高耐面圧、カム間隔の縮小化など多くの特長を持つP/Mカムシャフトは、NPRが特許を持ち、NPRでしか製造できない「オンリー1商品」です。
 スチールパイプに焼結合金製のカムロブを複合焼結（拡散接合）する技法で製作します。ジャーナル部分は焼結材を一体焼着、スチール材を銅ロー付で接合、あるいはパイプ部分をジャーナルとして使うなど、エンジンの設計仕様に合わせた選択が可能です。

P-31/72

P/Mカムシャフト 概略構造例

その他構造:パイプジャーナル
(シャフト外周を加工しジャーナルを形成)

フロントエンドピース
スチール(S45C)

摩擦圧接

6角ピース
焼結材(PFJ2A)

拡散接合

カムピース
焼結材(PFC2A)

ジャーナルピース
焼結材(PFJ2A)

センサーピース
焼結材(PFJ2A)

フロントエンドピース別構造例
Cu溶浸

カム最小間隔:
カム幅にもよりますが、3~4mm程度は可能

本カムシャフトは、パイプジャーナル化など部品点数を少なくすることにより、低コスト化ははかれます。
 開発初期段階からのDesign-Inにより、最適仕様のご提案をさせていただきます。

P-32/72

P/Mカムシャフト 概略製造工程例

カムピース	ジャーナルピース	6角ピース	センサーピース	シャフト	フロントエンドピース
焼結材 (PFC2A)	焼結材 (PFJ2A)	焼結材 (PFJ2A)	焼結材 (PFJ2A)	購入品 (炭素鋼)	購入品 (炭素鋼)

組立

カムピースの組立では、パイプ外周V溝と(引き抜き時に形成)カムピース内周突起(プレス時に形成)を嵌め合わせて組立てを行う。

焼結

後処理

曲がり修正

刻印 レザア又は鏡面研

摩擦圧接

検査・油漬け・梱包出荷

製造工程概要 (PMカムシャフト)

①配合・混合

②成形

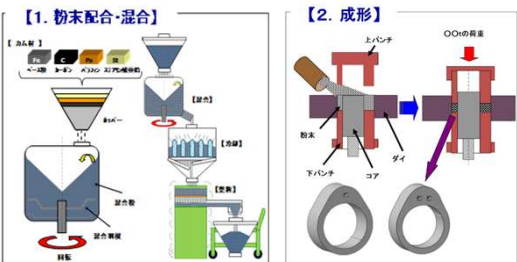
③組立

④焼結

⑤後処理

⑥加工

⑦検査・油付け・梱包



①配合・混合

②成形

③組立

④焼結

⑤後処理

⑥加工

⑦検査・油付け・梱包



①配合・混合

②成形

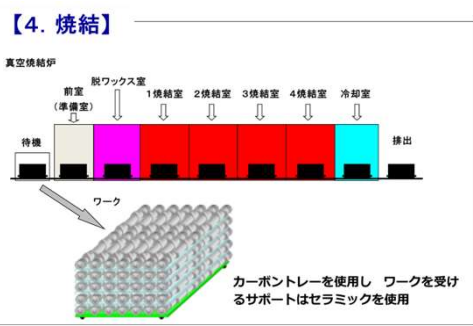
③組立

④焼結

⑤後処理

⑥加工

⑦検査・油付け・梱包



①配合・混合

②成形

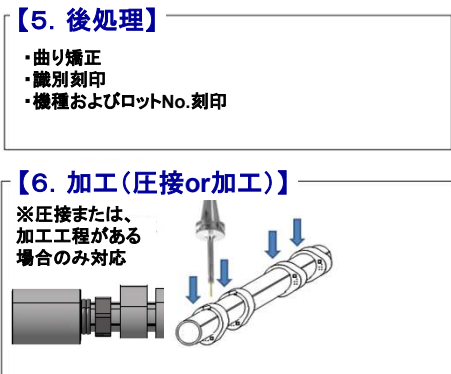
③組立

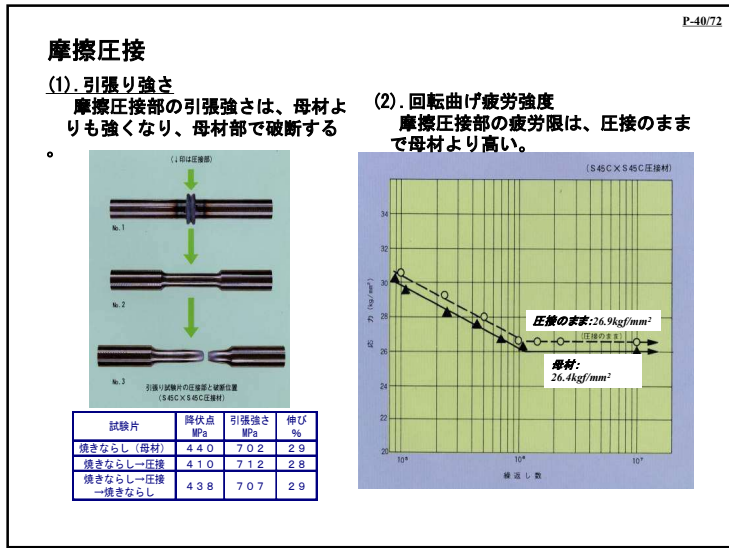
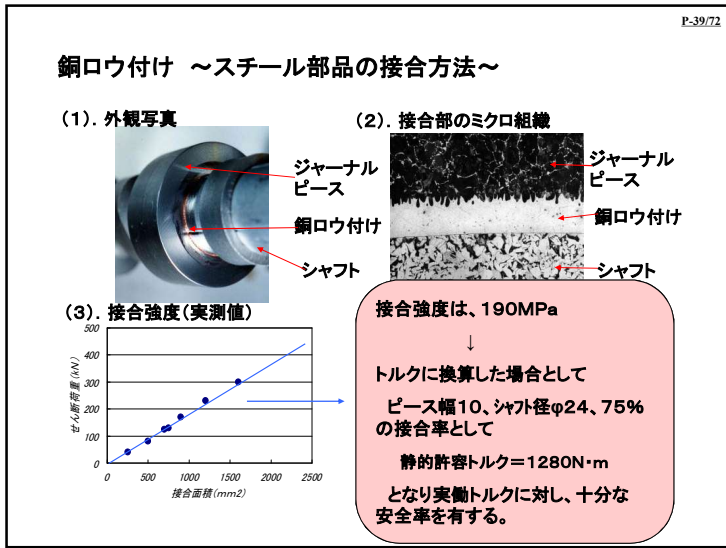
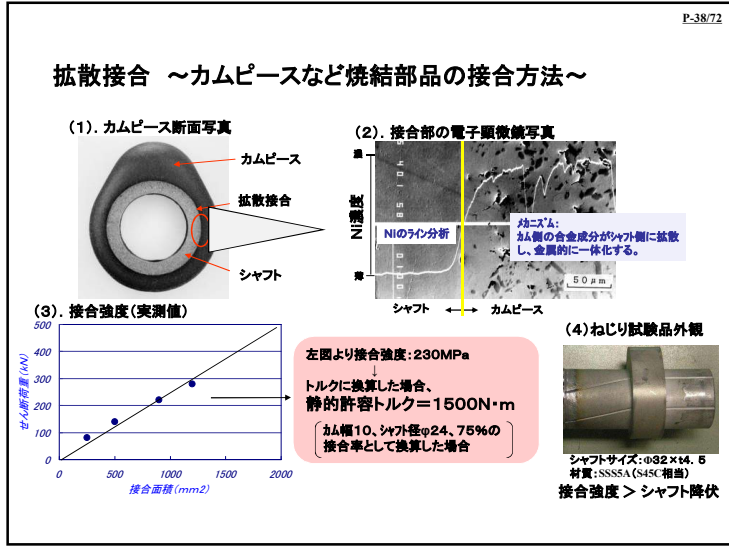
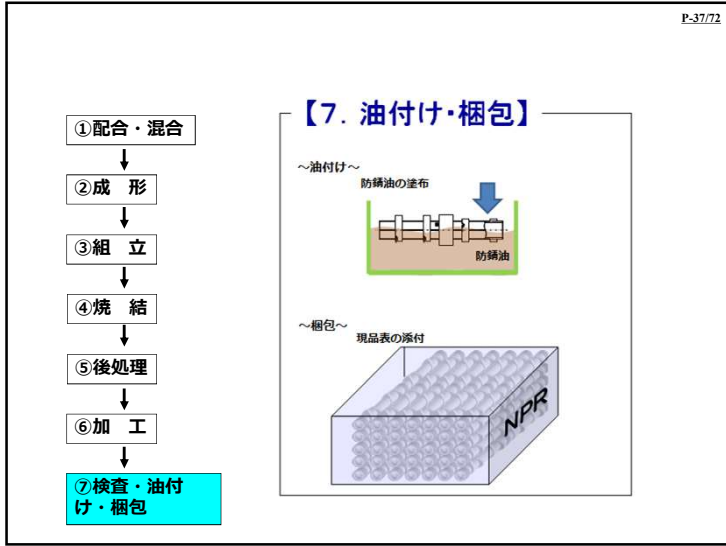
④焼結

⑤後処理

⑥加工

⑦検査・油付け・梱包

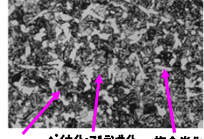




P-41/72

カムロブ材料

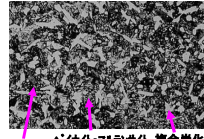
直打フォロワー用カム材の材料特性

カム材	材料説明	マイクロ組織	使用面圧 (実績)
PFC2D 7.5%Cr焼結材	硬さ規格:HRC55~63 密度規格:7.45g/cm ³ 以上 ミクロ組織:右図参照 ベイナイト、マルテンサイト混合基地に微量のパーライト及び残留オーステナイトが存在する。炭化物(リン化鉄を含む)が組織中に均一に分布する。	 <p>パーライト ベイナイト・マルテンサイト (残留オーステナイト) 複合炭化物 (Fe-Cr-Mo-P)</p>	900MPa

P-42/72

カムロブ材料

ローラフォロワー用カム材の材料特性

カム材	材料説明	マイクロ組織	使用面圧 (実績)
PFC2A 8%Cr焼結材	硬さ規格:HRC53~63 密度規格:7.45g/cm ³ 以上 ミクロ組織:右図参照 ベイナイト、マルテンサイト混合基地に微量のパーライト及び残留オーステナイトが存在する。炭化物(リン化鉄を含む)が組織中に均一に分布する。	 <p>パーライト ベイナイト・マルテンサイト (残留オーステナイト) 複合炭化物 (Fe-Cr-Mo-P)</p>	1800MPa

P-43/72

6-3. 金属粉末射出成形

金属粉末射出成形(MIM)



アーマチュア



ロッカアーム

微細な金属粉を射出成形する射出成形技術と粉末冶金技術が合体した焼結技術です。

- ①材料の選択範囲が広い
- ②溶製材とほぼ同じ機械的性質を持つ
- ③溶製材と同様な熱処理・表面改質処理ができる
- ④表面が滑らかな

等の特長があり、設計の自由度を上げます。

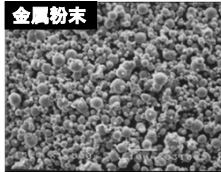
従来PMの
欠点を補う

P-44/72

製造工程

- ①混練・造粒
- ②射出成形
- ③脱脂
- ④焼結
- ⑤後加工
- ⑥検査・出荷

配合率:60vol%
(購入品)



金属粉末

配合率:40vol%
成分:WAX、樹脂、有機溶剤(購入品)



バインダー

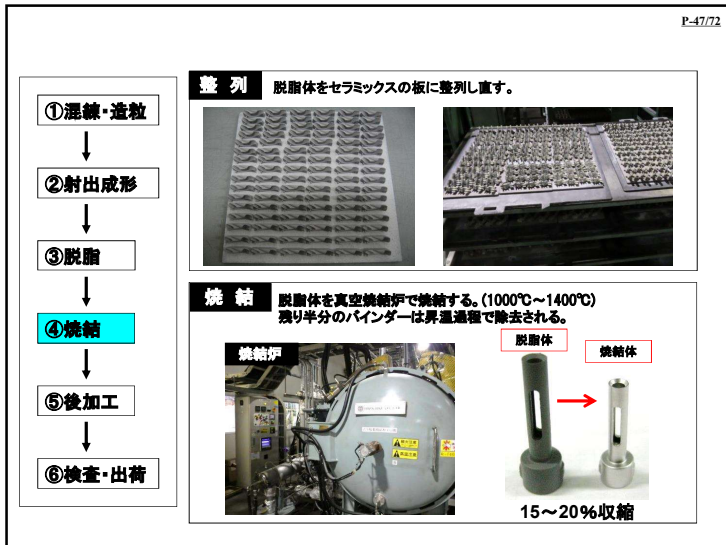
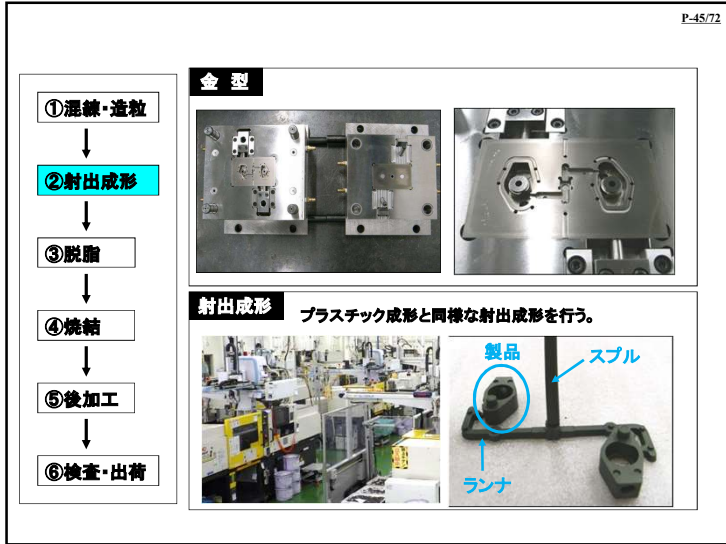
バインダーが溶ける温度(150°C)で混ぜ合わせ、射出成形用のペレットを作製する。



混練



造粒後





P-50/72

他に耐熱鋼、耐熱超合金、
チタン合金などがある

すべての鋼種で量産実績あり

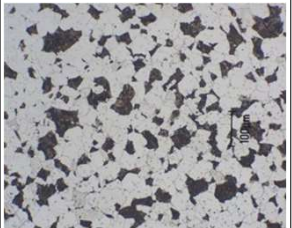
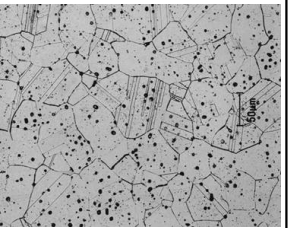
材料特性

	材質	密度 (g/cm ³)	機械的性質		磁気特性	
			引張強さ (MPa)	硬さ	Bm (T)	Hc (A/m)
構造用鋼	SCM415	7.46	450	Hv120	—	—
	SNCM630	7.45	—	Hv200	—	—
	Fe-2Ni-C	7.54	1000 ^{*1)}	HRC30 ^{*1)}	—	—
ステンレス鋼	SUS316L	7.62	490	Hv150	—	—
	SUS630	7.50	1000	Hv300	—	—
	SUS420J2	7.30	1000 ^{*1)}	HRC40 ^{*1)}	—	—
磁性材料	SUS440C	7.42	1600 ^{*1)}	HRC53 ^{*1)}	—	—
	PBA ^o -マロイ	8.00	450	Hv140	1.40	28

*1) 焼入れ・焼戻し後の特性

P-51/72



金属組織

	SCM415相当材	PBA ^o -マロイ相当材
組織		
成分	Fe-0.15C-1.1Cr-0.2Mo	Fe-47Ni
用途	ロッカアーム	インジェクター部品

P-52/72

製品例1(エンジン部品)

適用製品: インジェクター部品 (約100万個/月)
 材質: PBA^o-マロイ相当
 適用目的: ①小型化②応答性の向上③コスト低減

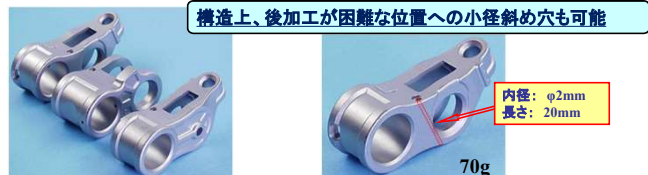
	従来品 13Cr電磁ステンレス	MIM Fe-47Ni
		
飽和磁束密度 (T)	1.21	1.45
保磁力 (A/m)	≤75	≤30
磁気焼鈍	必要	必要なし

・複数部品の一体化、工程削減によりコスト低減及び小型化
 ・磁気特性向上による応答性向上を実現

製品例 2(エンジン部品)

適用製品: ロックアーム
 材質: SCM415相当
 適用目的: ①エンジン高回転化対応
 ②軽量・高剛性化
 ③低フリクション化

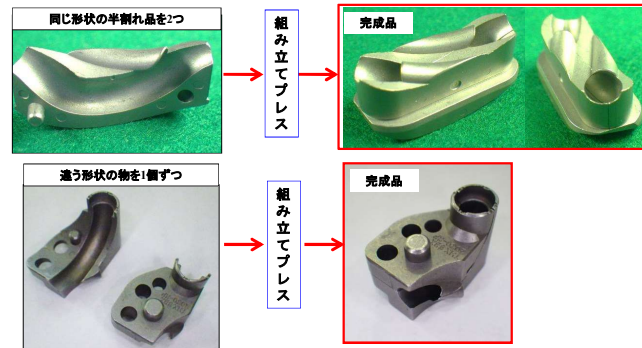
従来工法では
 切削コスト増大
 生産性悪化



- ・ニアネットシェイプにより加工工数の低減(従来工法の1/2)
- ・軽量化設計を実現

製品例3(複雑形状の形成)

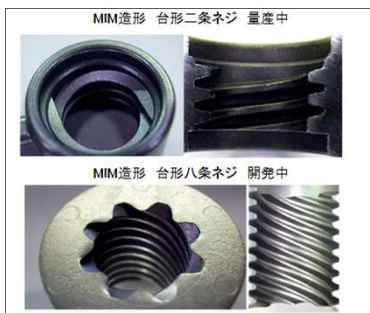
- ・中ぐり形状(トンネル形状)も2つの部品を合わせることで形成可能
- ・合わせ製品は、15品種の量産実績がある



- ・通常の製法では難しい、あるいは不可能な形状も実現可能

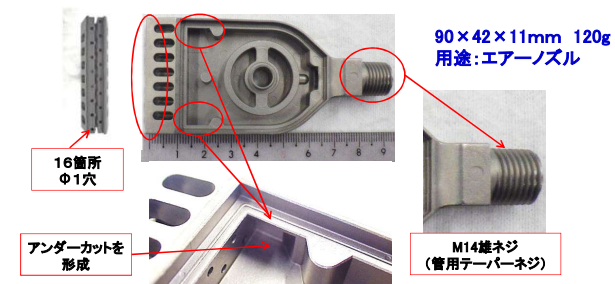
製品例4(雌ネジの形成)

- ・MIMでは、加工難易度の高い雌ネジの造形も可能
 試作レベルで、
台形八条ネジの造形に世界で初めて成功!



製品例5(大型品)

- ・当社のMIMプロセスでは大型品の製造が可能
 通常、MIM製品のサイズは重量80g、大きさ50mm程度が限界であるが、
 その2倍近い大きさの製品を製造可能



P-57/72

製品例6(レジャー用品)

競技用、猟銃部品



・レジャー用品では、強度などの特性の他に、プラスチックにはない金属の重厚感を求めてMIMが採用される
・他に釣り具、包丁などで実績があり、身近なものにもMIMは採用されている


ギター部品




P-58/72

6-4. 金属積層造形

金属積層造形



インペラー (試作品)



背椎ケージ (試作品)

金型を使わずに3次元複雑形状部品を製造できる工法で、様々な方式があるが、焼結をベースとしたバインダージェット (BJT) 方式を採用している。

- ①金型を作る必要がない (金型形状に制限されない)
- ②品質は金属粉末射出成形品に近い
- ③他の方式に比べ表面状態が滑らか
- ④少量生産の対応が可能

等の特長があり、今まで作製できなかった形状を実現できる。

従来PMの制限を解消

P-59/72

積層方法の比較

名称	パウダーベッド (PBF)	デポジション (DED)	バインダージェット (BJT)	材料押し出し (FDM)
概略図				
概要	1層ずつ敷いた金属粉をレーザー等で溶解・固化する	金属粉とレーザーを造形部に同時に照射し、溶解・固化する	1層ずつ敷いた金属粉にバインダーを吹き付けて固化する	金属粉とバインダーの混合物をノズルから押し出し積層する
焼結工程	不要	不要	要	要
メリット	・微細構造可能 ・高密度可能	・粉末自由度高い ・材料歩留り高い	・造形速度速い ・粉末自由度高い ・材料歩留り高い ・サポート不要	・造形速度速い ・装置がコンパクト ・材料歩留り高い
デメリット	・造形速度遅い ・使用粉末の制限 ・サポート必要	・複雑形状困難 ・ポイドの発生	・造形物強度弱い ・大型製品困難	・サポート必要 ・未充填部が残る
技術的境界		未成熟	最近の注目技術	未成熟

・造形後はMIMと同じ工程となる
・NPRの既存技術を活かせる

P-60/72

バインダージェット工程説明

原材料説明

↓

①造形

↓

②乾燥


↓

③粉末除去


↓

④焼結

原材料



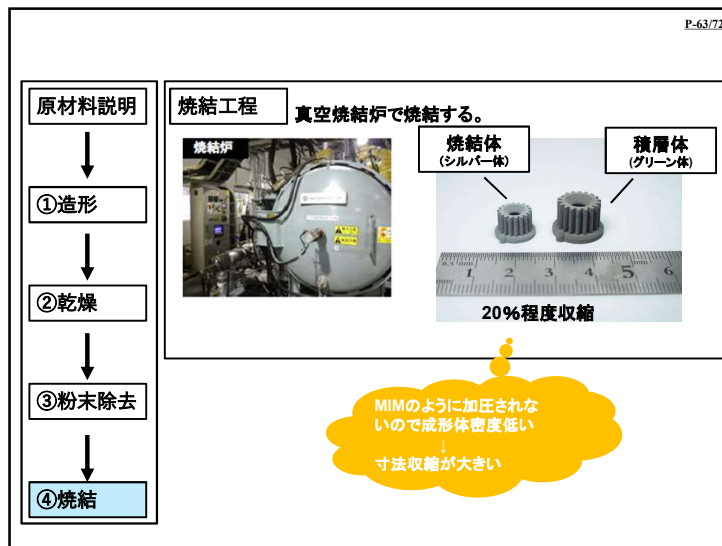
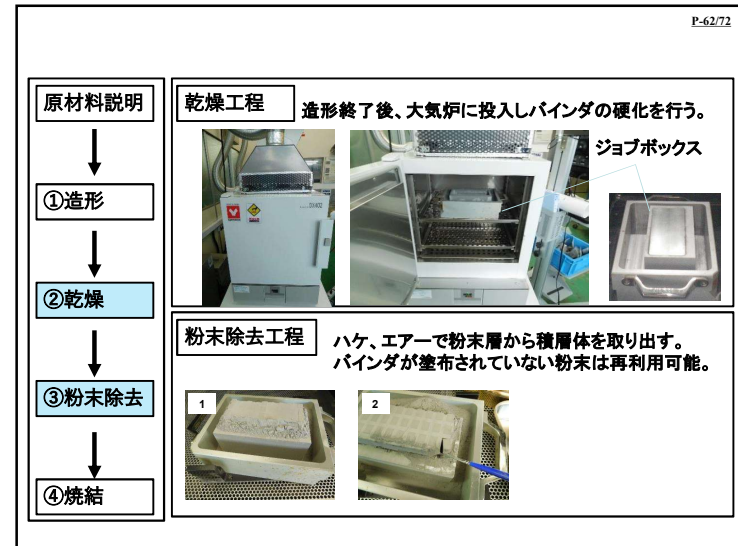
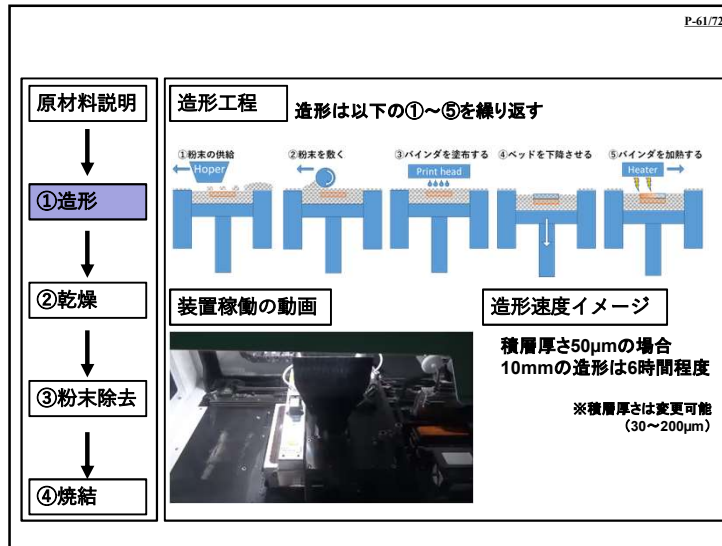
金属粉末
(MIM同等の粒度)
(平均粒径10 μm程度)



装置メーカー専用
水性バインダー

他方式との金属粉末粒径の比較

方式	粒径(D=50)
バインダージェット	10 μm
LB-PBF	20 - 60 μm
EB-PBF	40 - 150 μm



P-64/72

試作サンプルと金属組織

相対密度: 96.5%
(ガスアトマイズ粉使用)

機械部品類

SUS316

インペラー

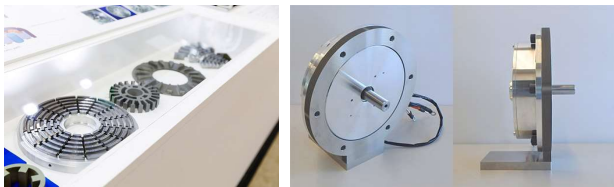
脊椎ケージ

項目	規格
大きさ(mm)	50×50×100
寸法精度	15超え: ±2% 15以下: ±0.3
面粗度(μm)	Ra 3~15
材質	SUS316L

- 少量・短納期試作に対応：納期2~3週間
- 形状制約なし：アンダーカット、ラティス構造も製作可能

6-5. 圧粉コア

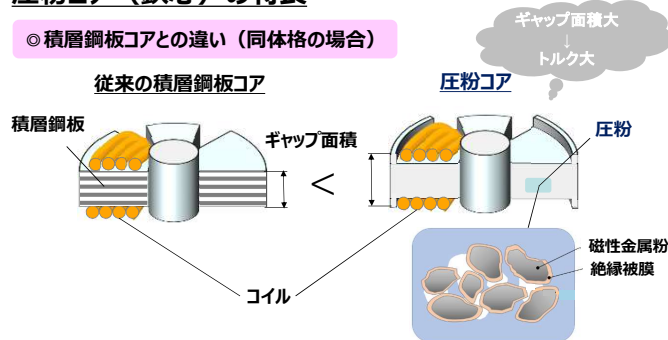
圧粉コア



圧粉コアとは、軟磁性鉄粉をプレス成形によって三次元形状にした磁心（コア）である。電磁鋼板と比べ、形状自由度と実用上の高周波特性に優れます。
 当社では、超小型モビリティ駆動用に圧粉コアを用いたモータの開発を行っております。

圧粉コア（鉄心）の特長

◎積層鋼板コアとの違い（同体格の場合）



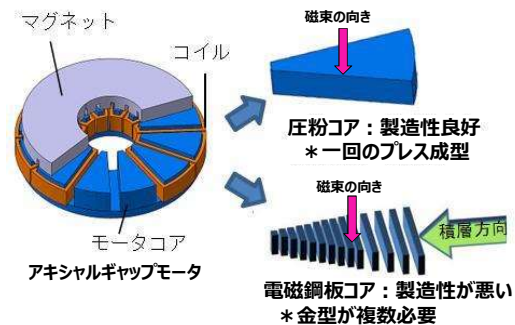
- 圧粉コアの優位性**
- ・形状の自由度
 - ・渦電流損の低減
 - ・無方向性磁路
- ⇒同体格の場合：高トルクを実現
 ⇒同トルクの場合：小型・軽量化を実現

圧粉コアの製造工程



圧粉コアの適用例

アキシャルギャップモータ用コアの製造性



- ・アキシャルギャップモータ用コアは積層鋼板では作り難く、圧粉（プレス成形）が有利
- ・コアとコイル同時に製作して後工程での組立が容易

圧粉コアの適用例 P-69/72

アキシシャルギャップモータ用圧粉コアのバリエーションと用途例

← 一体成形 → 分割成形

出力

50W
f 30
アクチュエータ
ロボットアーム等

360W
f 104
アクチュエータ,
自動車用電装系等

1.3kW
f 228
電動スクーター,
スモールモビリティ等

3.0kW
f 256
Small EV

ステータ外径

・大径モータ用はピース（分割）タイプコアで対応可能

圧粉コア・アキシシャルギャップモータの試作事例 1 P-70/72

ソーラーカー用インホイールモータ

【主仕様】

- 1) 種類：アキシシャルギャップ 3相BLDCM
- 2) サイズ：φ240mm×L60mm
- 3) 構造：軸固定式

【モータ外観】

回転子 (14P)

弊社オリジナル3D形状
圧粉コアを使用
(特許No6002020)

3D形状圧粉コア使用により高トルクを実現

足利大学のソーラーカーに搭載
・ワールドソーラーバイク
レースに参戦 (2016年8月)
5H耐久部門2位
・ソーラーパネル 250W

足利大学 AITシャーク号

インホイール
モータ構造

圧粉コア・アキシシャルギャップモータの試作事例 2 P-71/72

Small EV用インホイールモータ

【主仕様】

- 1) 種類：アキシシャルギャップ 3相BLDCM
- 2) サイズ：φ256mm×L121mm
- 3) 最大トルク：250Nm
- 4) 構造：軸回転式

【モータ外観】

内蔵ギア併用により更に高トルクを実現

【車両搭載の様子】
地域駅伝大会の先導車として採用

後輪左右
それぞれ
1台搭載

実走登坂斜度：16.5°

P-72/72

END

日本ピストンリング株式会社
 NIPPON PISTON RING CO.,LTD.