

金型づくりを変える3Dプリンティングと切削のハイブリッド加工

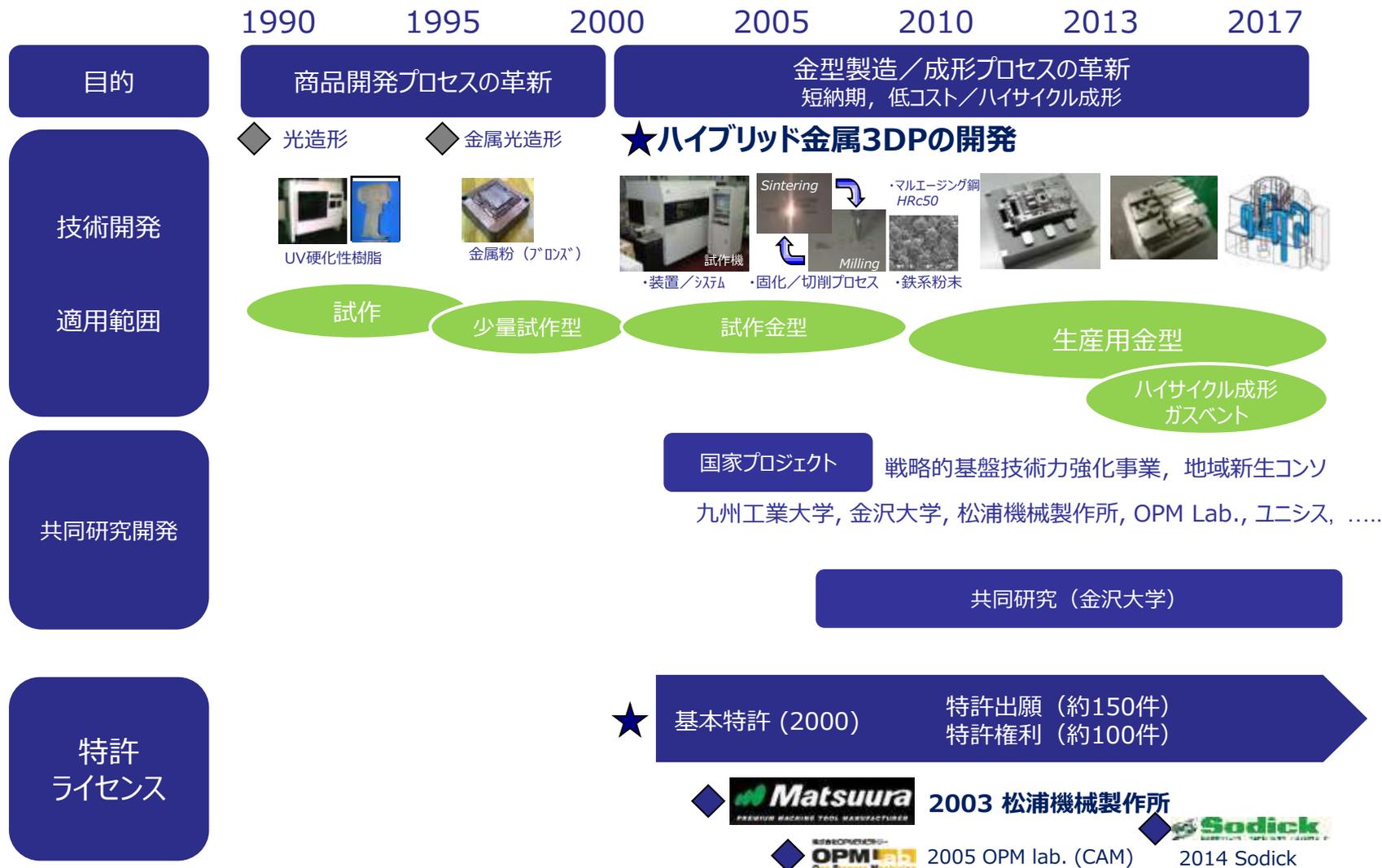
パナソニック株式会社 ライフソリューションズ社
ものづくり革新本部 生産技術センター

*Production Technologies Center
Manufacturing Innovation Division
Life Solutions Company, Panasonic Corporation*

1. ハイブリッド金属3Dプリンティング開発の歴史・経緯
2. 金属3Dプリンティングと切削のハイブリッド加工の概要
3. 技術ポイント
4. パナソニックにおける活用実績

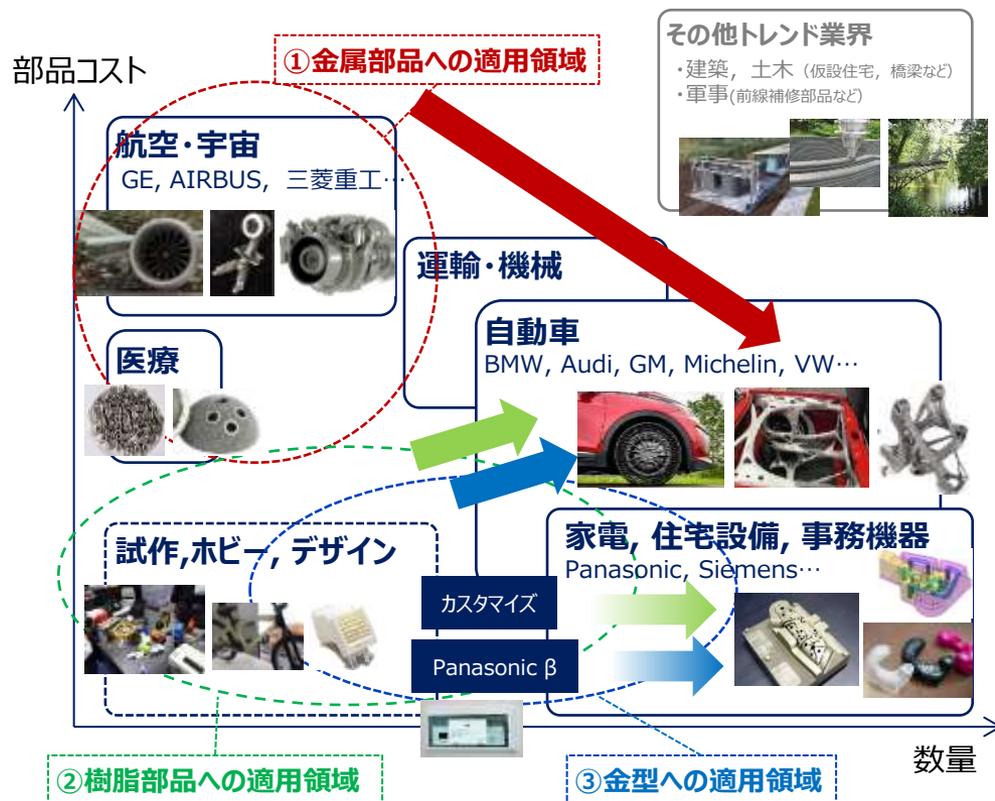
パナソニックの取り組みの歴史 ～ハイブリッド金属3Dプリンティング～

◆ 2000年からハイブリッド金属3Dプリンティングの開発着手，2010年から量産用金型への適用開始



Additive Manufacturingの業界動向

- ◆ AMの特徴にマッチした業界で実用化展開が拡大している
- ◆ さらなるAM市場拡大のために必要な課題
 - 設計思想の転換 …… AMならではの、AMでしかできない設計思想で製品の付加価値アップ
 - コストダウン …… AMの弱みである生産性の向上、後処理コスト削減
 - 造形技術研究開発・ノウハウの蓄積と共有



① 金属部品への適用

<適用部品・業界の特徴>

- ・小ロット部品であり、コストが高くても需要がある

<適用目的・トレンド>

- ・部品集約によるプロセスチェーンの変革
- ・軽量化による燃費抑制 (トポロジー最適化)

<適用拡大のための課題>

- ・生産性…中大量生産プロセスチェーン
- ・サポート, 残留応力…造形ノウハウ

② 樹脂部品への適用

<適用部品・業界の特徴>

- ・大量生産…現状のAM能力では不向き

<適用目的・トレンド>

- ・試作部品の短納期化 (ラピッドプロトタイピング)
- ・カスタマイゼーション

<技術課題>

- ・生産性…中大量生産プロセスチェーン
- ・材料制約, 品質, 信頼性, ばらつき

③ 金型への適用

<適用部品・業界の特徴>

- ・1部品-1金型, アンダーカット (サポート) なし
- ・樹脂射出成型型 / 金属ダイカスト成型型

<適用目的・トレンド>

- ・短納期試作型, 量産型部品 (製造工程集約)
- ・Conformal Cooling (ハイサイクル成形)
- ・ポラス構造によるガス対策

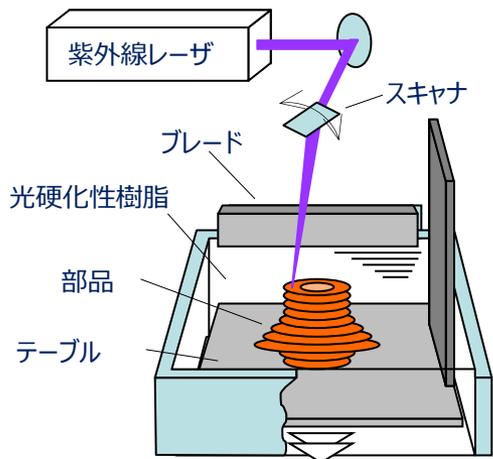
<技術課題>

- ・型製造コスト
- ・精度品質 (巣・反り…)

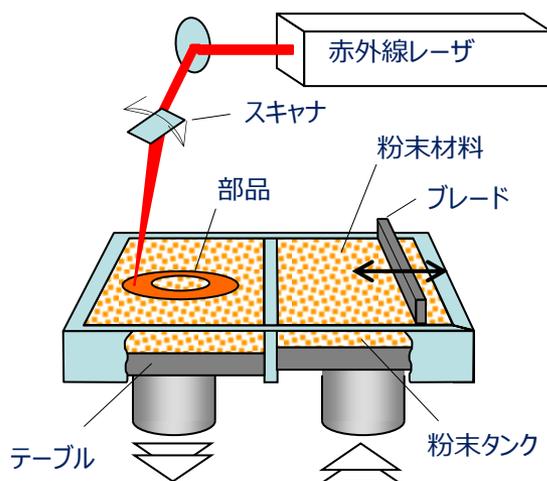


金属3Dプリンティングと切削のハイブリッド加工技術の概要

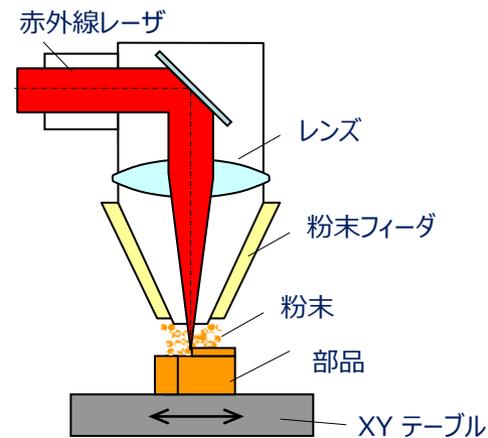
Additive Manufacturing Technologies



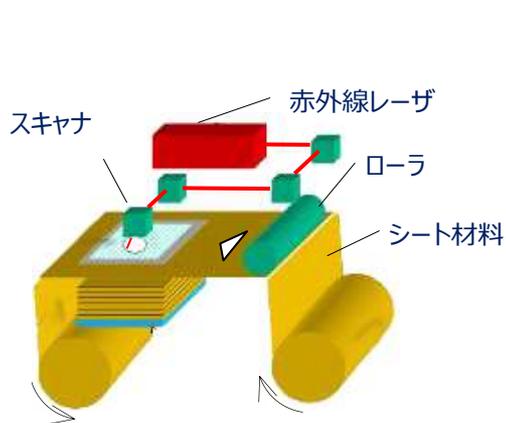
光造形法 : Stereo Lithography



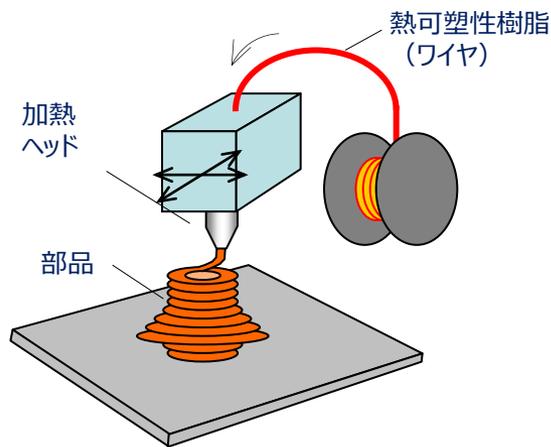
粉末焼結積層法
: Powder Bed Fusion



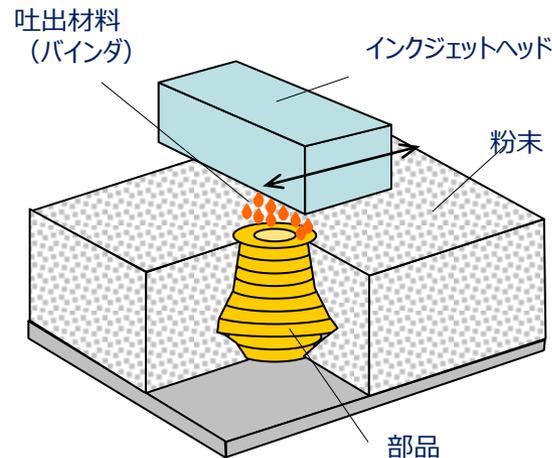
LENS : Laser Engineered Net Shaping



シート積層法 : LOM



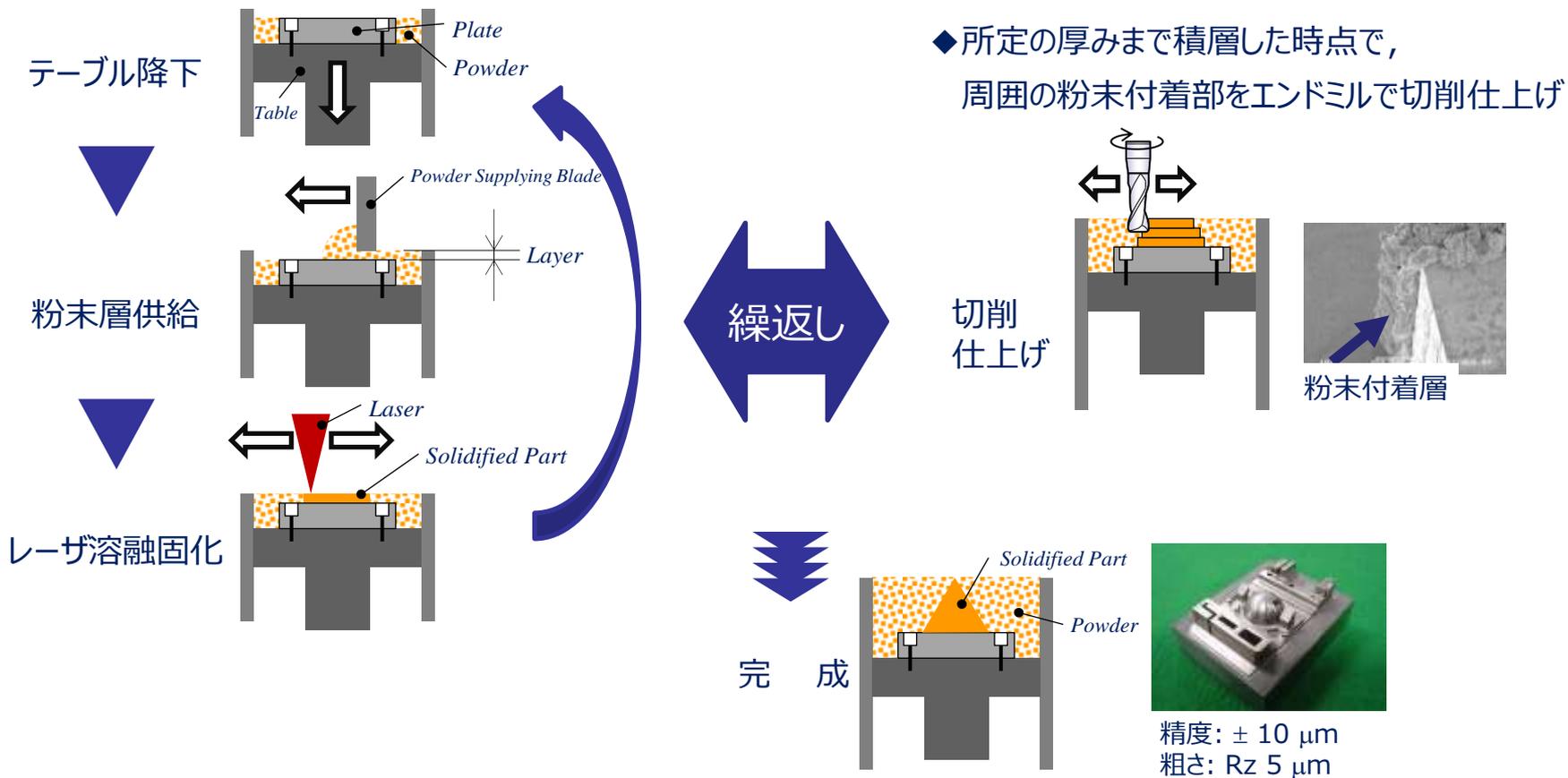
溶融物堆積法 : FDM



インクジェット法 : 3D Printing

ハイブリッド金属3Dプリンティングのプロセス

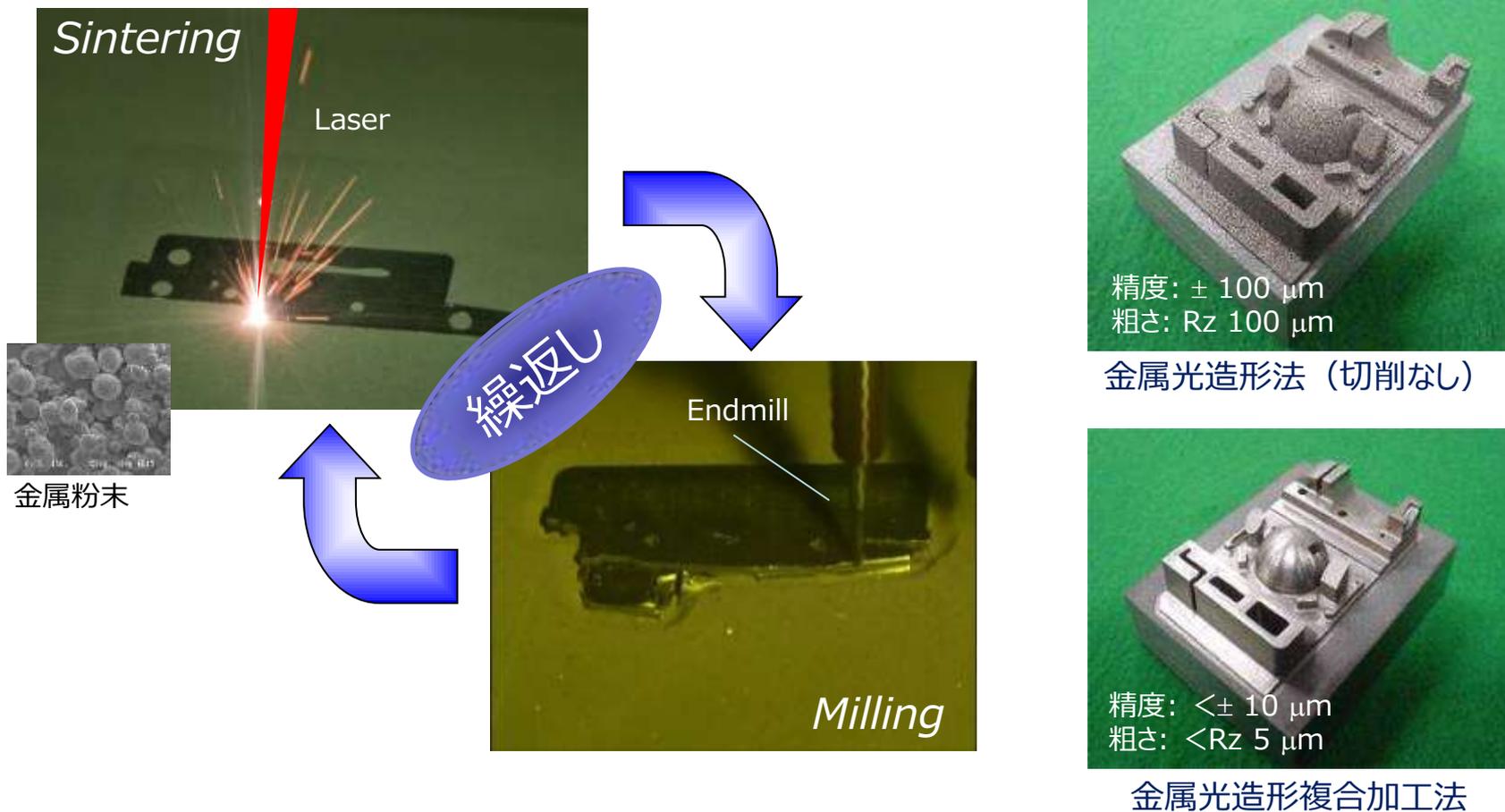
◆ 金属粉末の「レーザに粉末積層造形」とエンドミルによる「切削仕上げ」を組み合わせた成形金型の革新的製造法を考案



特許3446618, 特許3446733, 特許3405357など

金属光造形複合加工法のプロセスと特長

◆ 金属粉末のレーザー溶融固化／積層 と 切削仕上げのハイブリッド造形システム





技術ポイント

量産用金型に適用するための課題

①精度・面粗度（品質）

- 反り・変形の抑制 溶融 固化
 - ・入熱制御造形
- 面粗さ向上
 - ・切削継ぎ目の段差解消 切削
- ピンホール 溶融 固化
 - ・固化密度のコントロール

③内部構造を形成

- 最適な水管配置・構造設計 設計
- ポーラス構造の造形 溶融 固化

量産用金型レベルへの進化

②加工速度（短納期・低コスト）

- 切削時間短縮
 - ・小径工具のドライ切削 切削
 - ・被切削領域を削減 切削
 - ・工具折損トラブル回避 切削

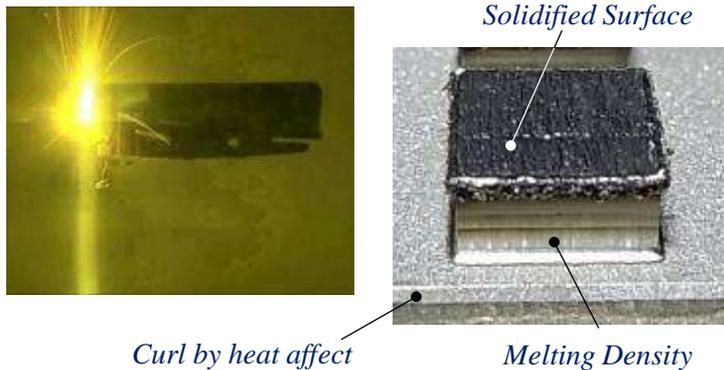
④長寿命（硬度・強度）

- 高硬度材料
 - ・マルエージング鋼の開発
HRc20 → HRc50
 - ※2010年～実用化

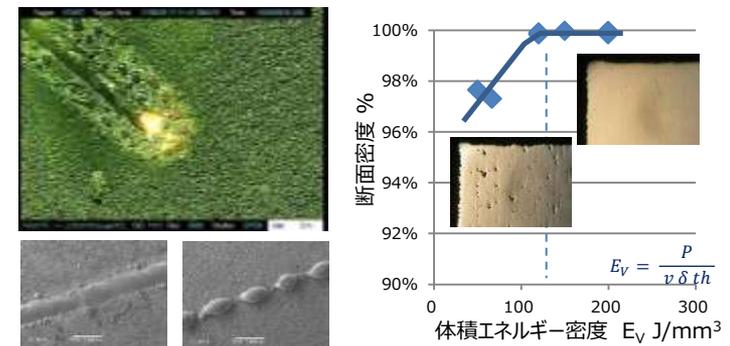
Point 1. 金属粉末のレーザ溶融固化技術

- ◆ 金型に必要な機能をワンプロセスで実現するレーザ溶融固化制御技術
- ◆ ピンホールレス・反り変形の抑制・ガス抜きポラス構造

【固化密度のコントロール（ピンホールレス）】

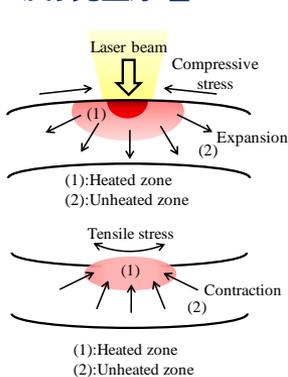


溶融固化現象・メカニズムの解明 エネルギーと断面密度

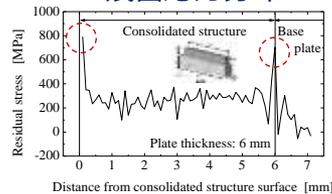


【反り・変形の低減】

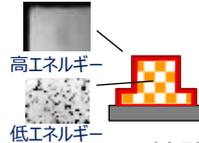
反り発生原理



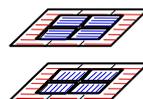
残留応力分布



入熱制御構造

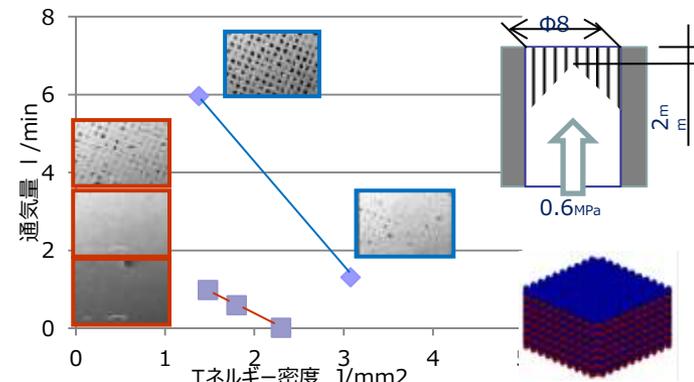


ハッチングパターン



特許5588925など

【ポラス固化部の孔径制御】



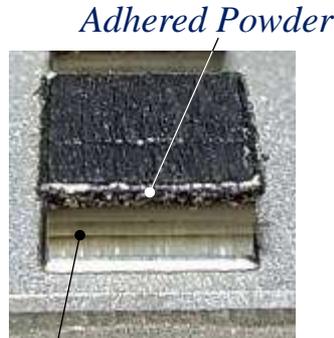
Point 2. 造形物の切削仕上げ加工技術

◆ 極小径工具（Φ1mm以下）で造形物を高速・高精度に切削 ±10μm, Rz5μm

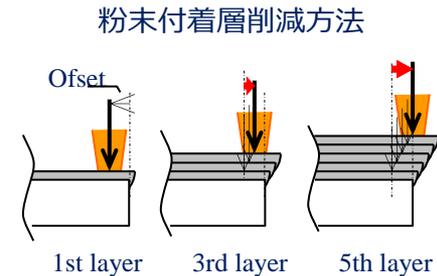
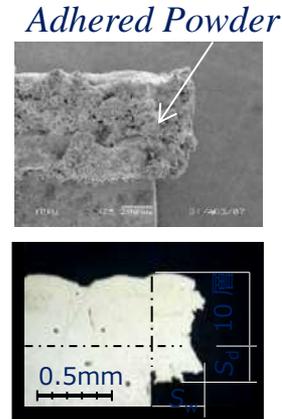
【被切削領域の削減（粉末付着層）】



High Speed Milling

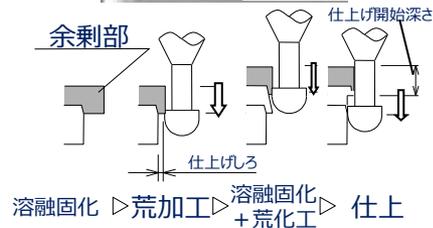
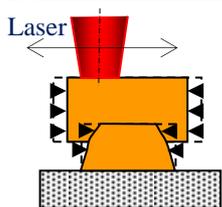
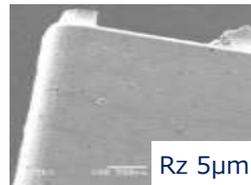
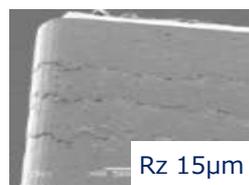


Milled Surface Roughness



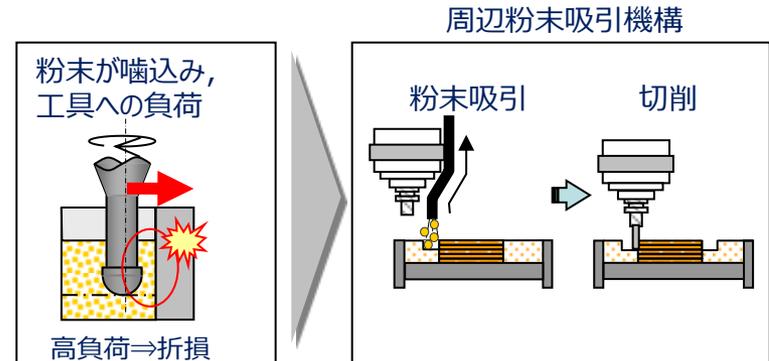
特許3601535

【切削つなぎ部の段差解消】



特許3687672

【小径工具での高速切削・工具折損レス】



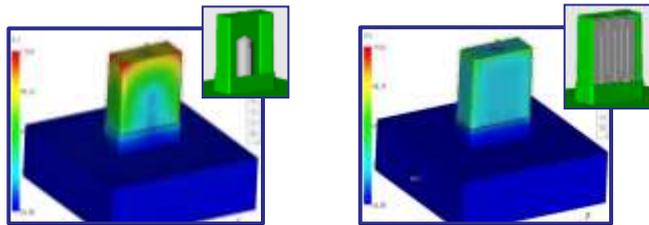
※低負荷切削・・・ 高速切削，工具折損レス

特許5612735など

Point 3. ハイサイクル成形を実現する金属3DP金型

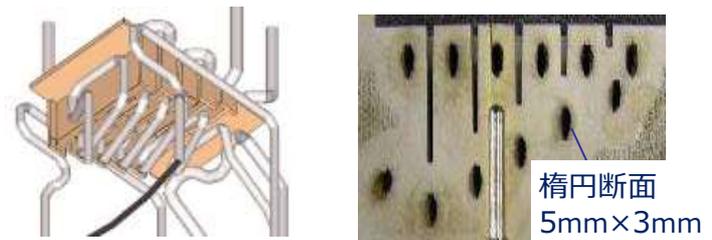
【最適な3D水管配置と水管構造】

CAEをフル活用した最適水管経路設計



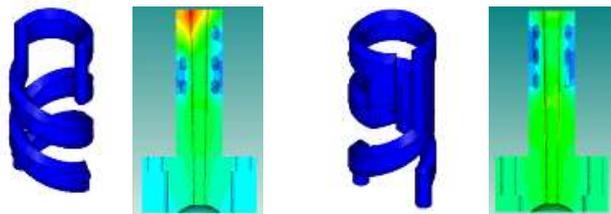
【自由度の高い水管断面設計】

水管断面形状と高効率冷却



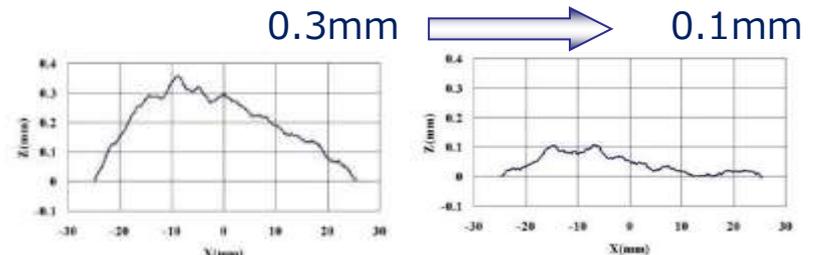
楕円型水管構造で冷却水流量を確保

スプル周りの冷却水管配置と冷却効率



先端部半周経路

先端部全周経路



従来の冷却管

楕円断面/らせん冷却管

成形品反り量

材料物性 マルエージング鋼

		Maraging Steel (Sintered) Developed condition by Panasonic			Maraging (Rolled) JIS / --- ANSI / ---	STAVAX JIS / SUS420 J2 ANSI / 420	NAK80 JIS / --- ANSI / P21	SKD61 JIS / SKD61 ANSI / H13
断面密度 Cross sectional density		99.99%			—	—	—	—
硬度 Hardness	熱処理後 After heat treatment	HRc 33 なし / None	HRc 50 530℃ 3H	HRc 53 480℃ 3H	> HRc 50 490℃	HRc 45-55	HRc 37-43	HRc 40-45
	表面窒化 Nitriding treatment	Hv 900			—	—	HV 720	—
引張強度 Tensile strength		1,185MPa	1,710MPa	1,890MPa	> 1,950 MPa	1,420-2,050 MPa (HRC 45-55)	1,250 MPa (HRC 40)	1,250 MPa (HRC 40)
0.2%耐力 Yield stress		960MPa	1,690MPa	1,880MPa	> 1,850 MPa	1,280-1,610 MPa (HRC 45-55)	1,000 MPa (HRC 40)	1,070 MPa (HRC 40)
弾性率 Young's module		181GPa	181GPa	170GPa	182 GPa	210 GPa	210 GPa	206 GPa (HRC 40)
伸び Elongation		10.9%	5.1%	1.7%	> 5 %	8-12 % (HRC 55-45)	—	10-12 % (HRC 40)
疲労強度 Fatigue limit		—	—	612 MPa	—	887 MPa (HRC 52)	—	—
シャルピー衝撃値 Charpy impact value		—	18.5 J/cm ²	14.4 J/cm ²	48 J/cm ²	20.0 J/cm ²	25.0 J/cm ² (HRC 40)	39-58 J/cm ² (採取方向による)
熱伝導率 Thermal conductivity		19.6 W/m・K			21.3 W/m・K	16.0 W/m・K	38.9 W/m・K	30.5 W/m・K
熱膨張係数 Coefficient of thermal expansion		11.2 ×10 ⁻⁶ /℃			10.1 ×10 ⁻⁶ /℃	11.0 ×10 ⁻⁶ /℃	12.5 ×10 ⁻⁶ /℃	11.7 ×10 ⁻⁶ /℃



金属光造形複合加工法による射出成形金型適用事例

本プロセスで製作した金型の三大メリット

(1) 短納期で高精度な複雑形状金型を製作

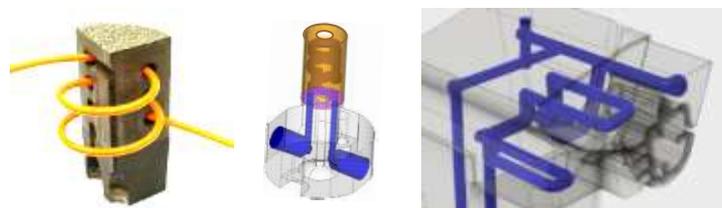
➡ 放電加工が必要な細い溝などを有する複雑形状の金型を高精度に短納期で製作



細溝加工（放電加工レス）

(2) 内部構造を自由に製作できる

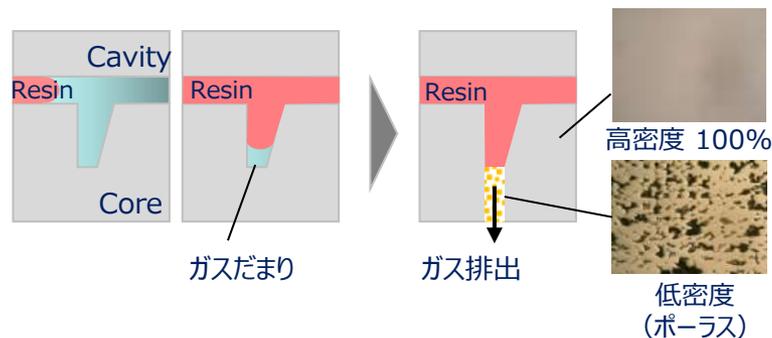
➡ 従来工法では加工できない、3D冷却水管で金型の冷却効率を大幅に向上
→ハイサイクル成形による成形生産性向上



3D 冷却回路

(3) 固化密度をコントロールできる

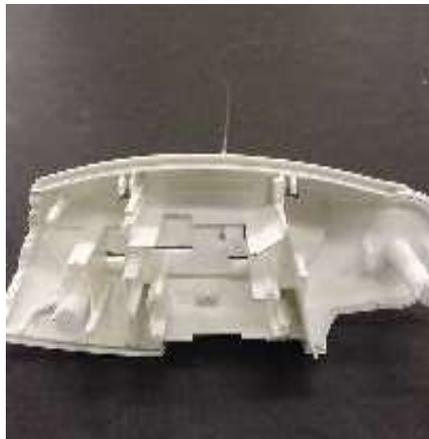
➡ レーザ照射条件により低密度（ポラス）に固化可能
→金型内のガス抜きによる
低圧成形・成形不良削減



短納期で高精度な複雑形状金型を製作

金属光造形複合加工金型の特長

- ① 高アスペクト（深リブ）加工が可能
- ② 切削により精度と面粗さを確保



高アスペクト比加工ができる ～設計・製作期間短縮

◆ ハイブリッド金属3DPは、製作期間短縮、コストダウンに有利（複雑形状の場合）

- ①電極設計不要 ②CAM処理が早い ③ワンプロセス加工

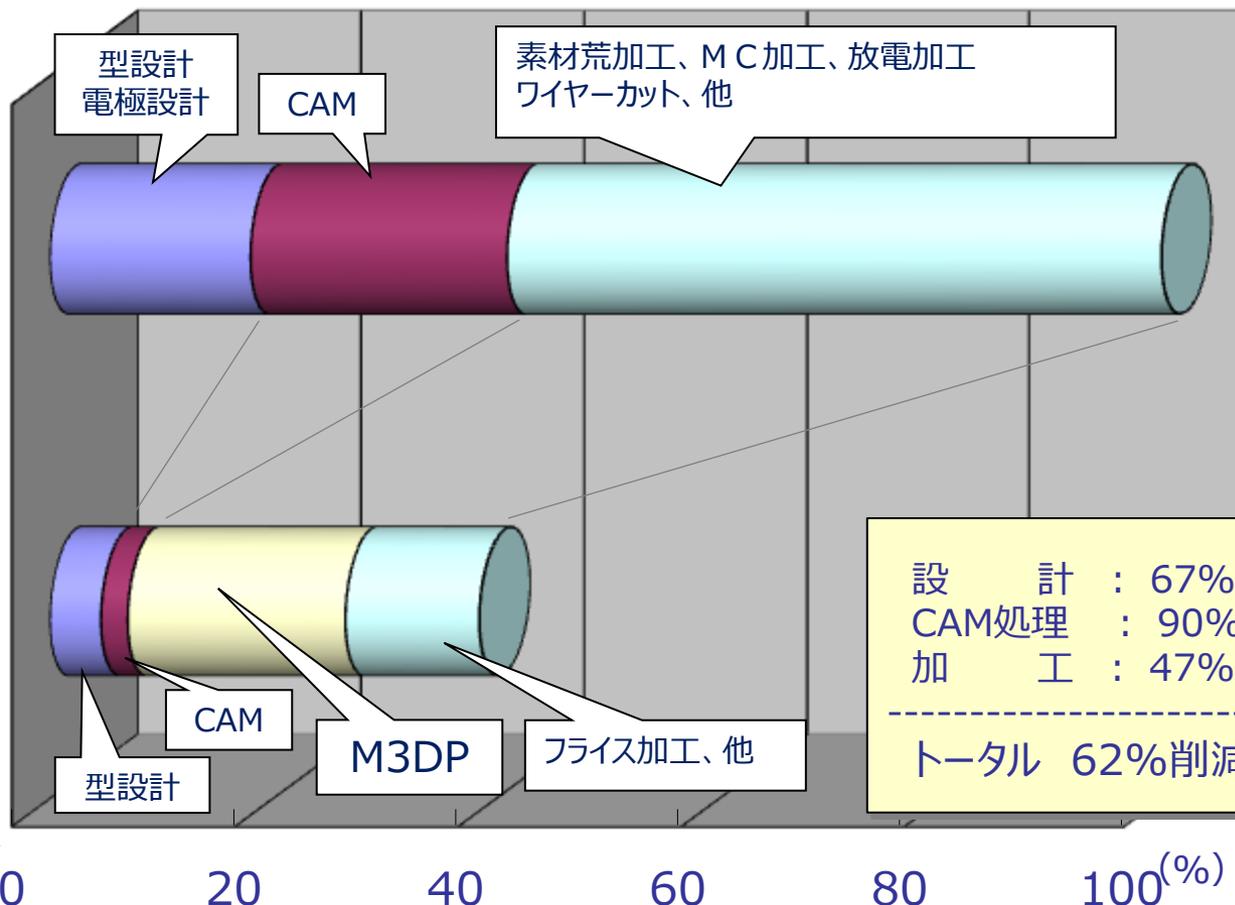
パナソニック電工(株)ドライバ・ハウジングの例



従来工法



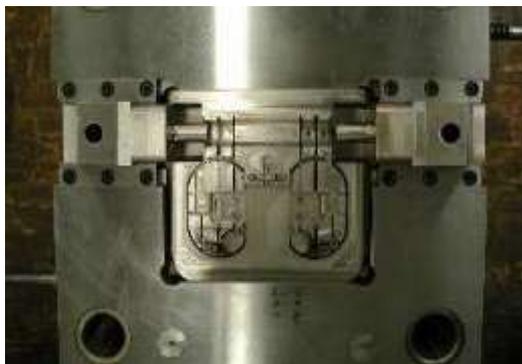
ハイブリッド
金属3Dプリンティング



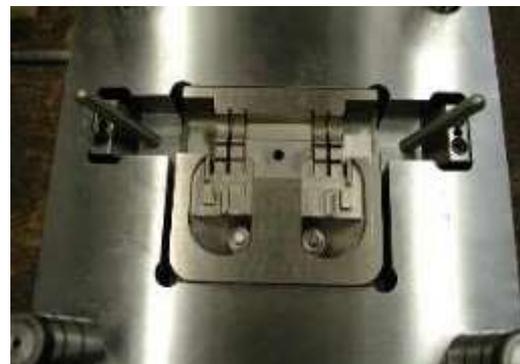
材料 : Panasonic タパワード 03C (Fe-Ni-Cu系)

金型製作事例（機能部品）

◆ 発売直前の設計変更に対応するため、初期生産用金型を短納期で製作



コア 造形時間：120hr



キャビティ 造形時間：120hr



成形品

**製作時間
40%短縮**
(従来工法比)

材料：Panasonic タパワート®03C (Fe-Ni-Cu系)

金型製作事例 ～電動工具ハウジングのハイブリッド型～

- ◆ 形状が複雑な（リブが多い）コアを金属光造形で製作
- ◆ マシニングセンタで完了できるキャビティはアルミの切削で並行して製作

キャビティ：NC直彫り



コア：金属造形＋一部入子



材料：Panasonic タパワート®03C（Fe-Ni-Cu系）



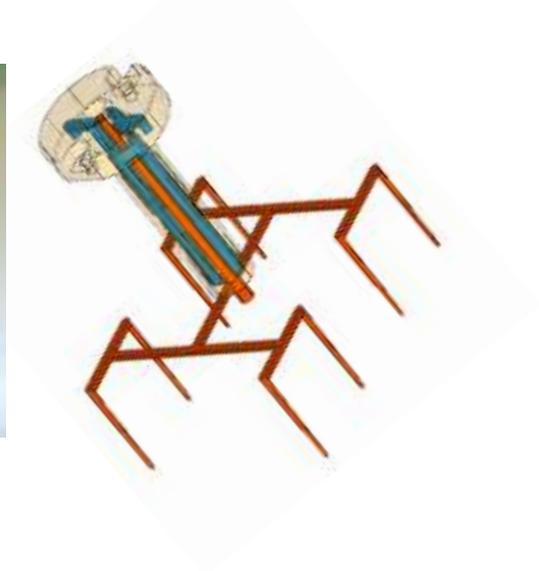
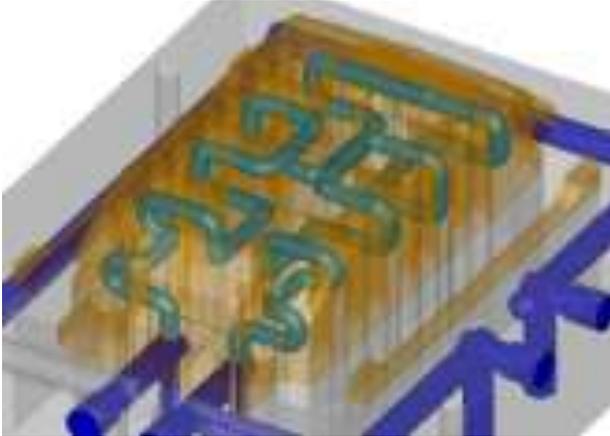
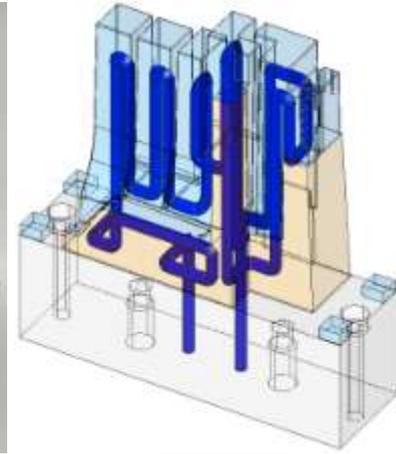


内部構造を自由に製作できる

ハイブリッド金属3Dプリンティング金型の特長

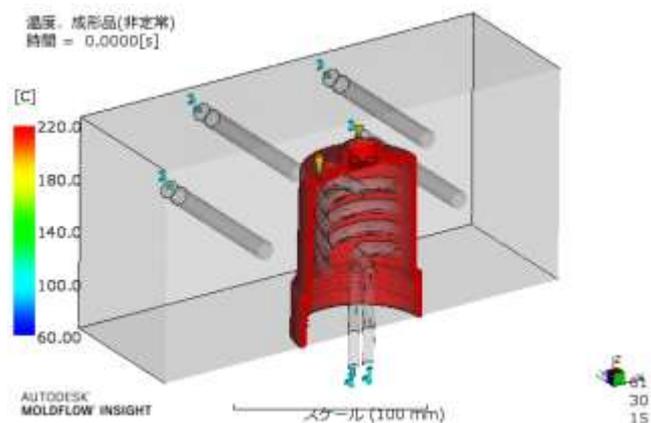
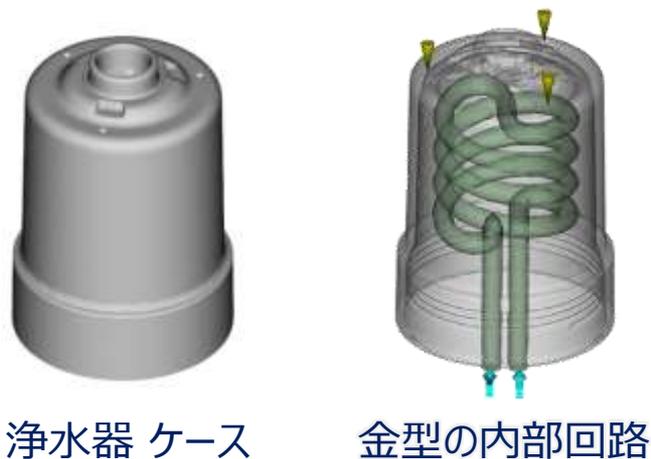
- ◆ 自由に3D冷却回路を形成可能

Conformal Cooling

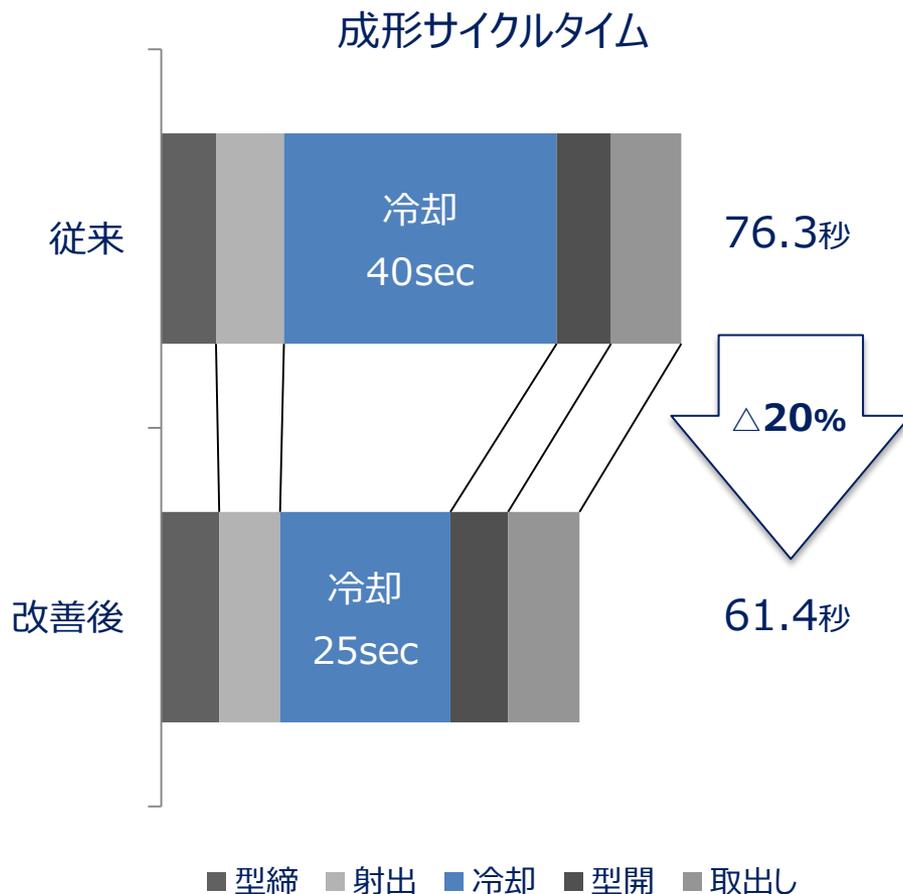


射出成形品の成形コスト低減

- ◆ 冷却性を向上させ，成形加工費をおよそ20%低減することができます
- ◆ 金型表面の近傍に水管を配置，蓄熱しやすい成形品の内側を効率的に冷却



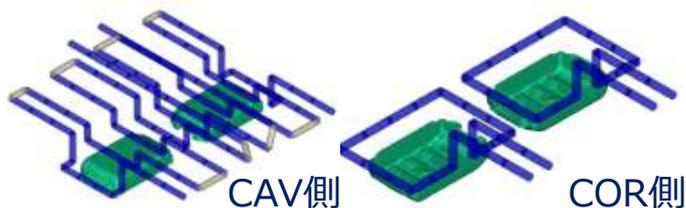
樹脂温度 -シミュレーション-



3D冷却回路の効果 ～ハイサイクル成形

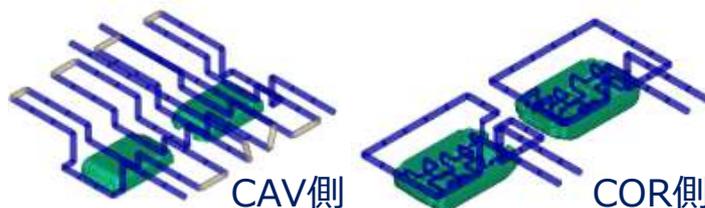
- ◆ 三次元冷却回路の適用により, 冷却時間を20%短縮 (50秒 → 40秒)
- ◆ 成形品温度が5℃~27℃下がっているのは、冷却管配置の効果

従来工法



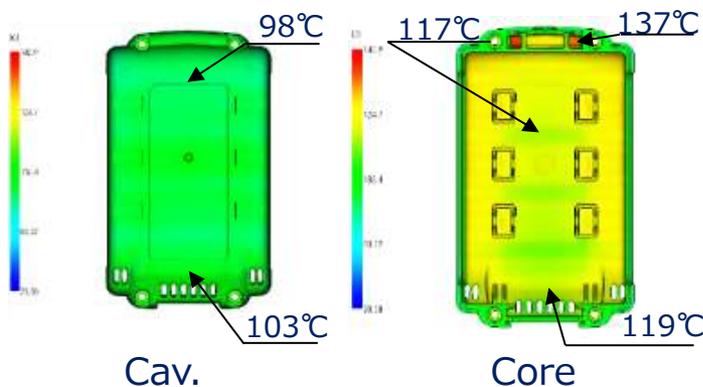
直管（ドリル加工）の組合せ

ハイブリッド金属3Dプリンティング



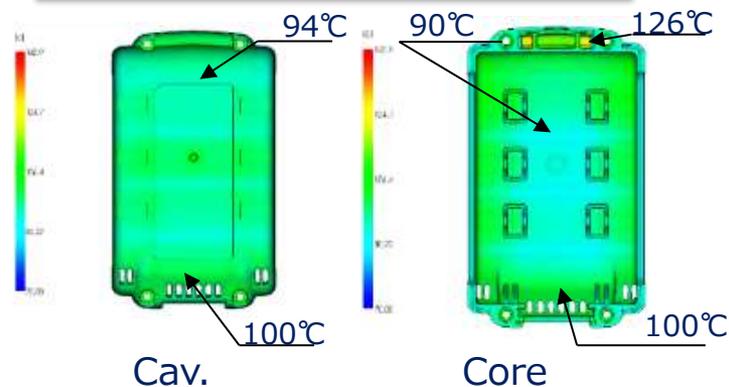
3D冷却回路

取り出し時の成形品温度



冷却時間 50秒

成形品温度が5℃~27℃低下



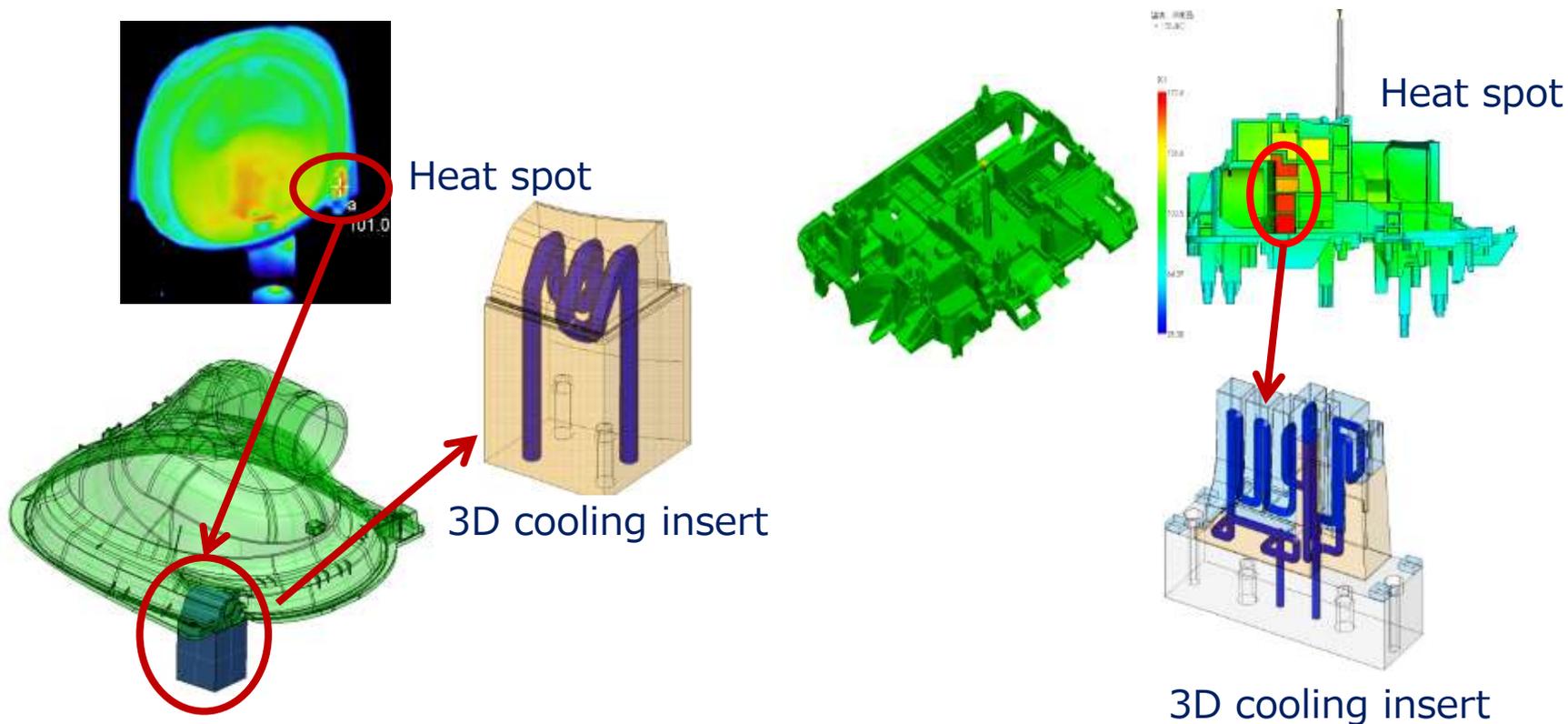
冷却時間 40秒

△20%

材料：マルエージング鋼

部分的な厚肉部・熱溜り部に入子で形成、冷却時間短縮

- ◆ 最も蓄熱する部分へ3D冷却入れ子を配置することで全体のハイサイクル化を実現



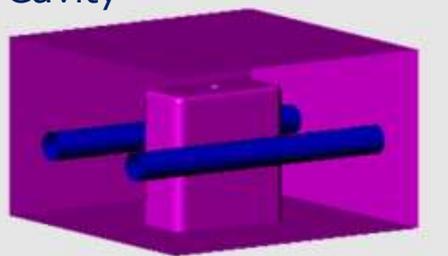
材料：マルエージング鋼

箱型成形金型の最適な冷却回路設計

- ◆ 従来工法では加工不可能な、自由な3D冷却回路設計
- ◆ シミュレーションにより冷却効果を確認する

型部構造

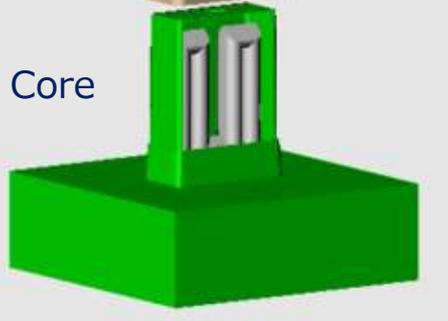
Cavity



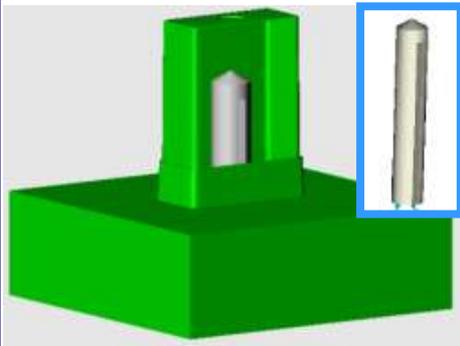
成形品



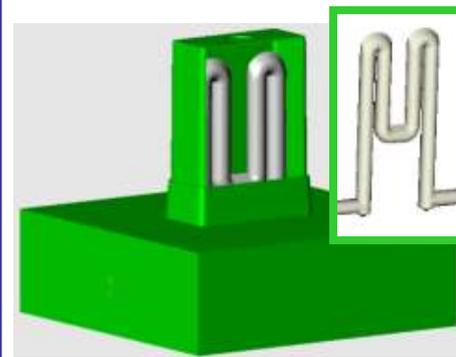
Core



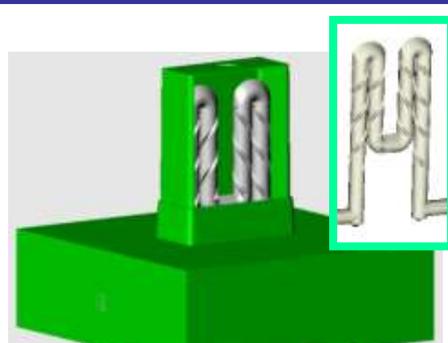
Case1 : 【従来】バツフル



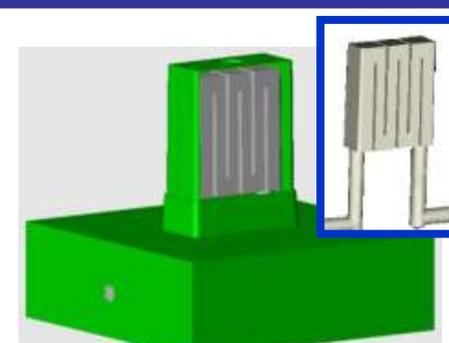
Case2 : U字型



Case3 : U字型 + スクリュー

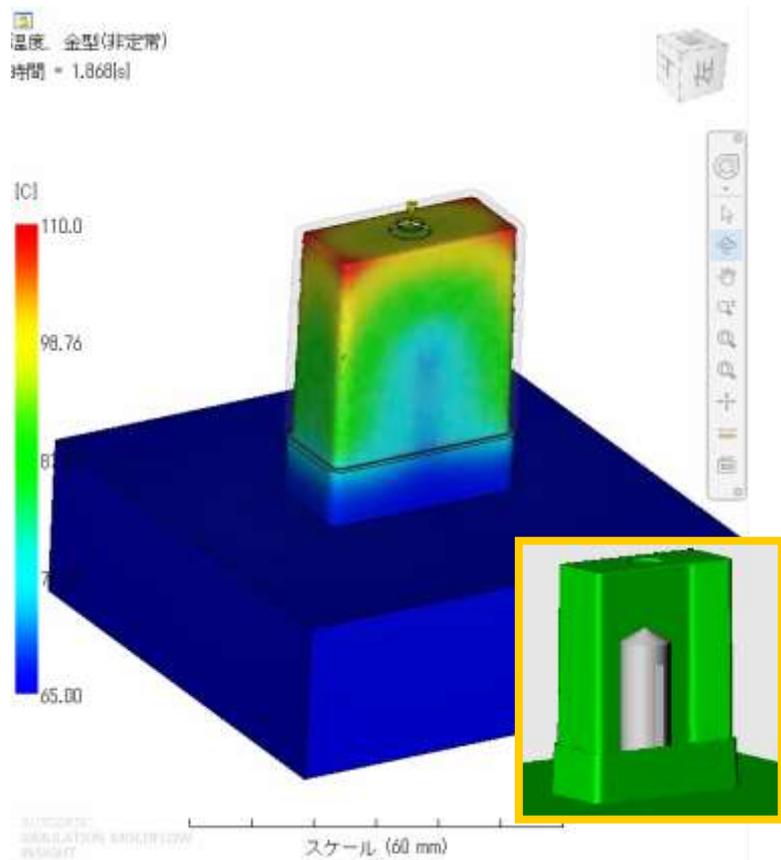


Case4 : 矩形

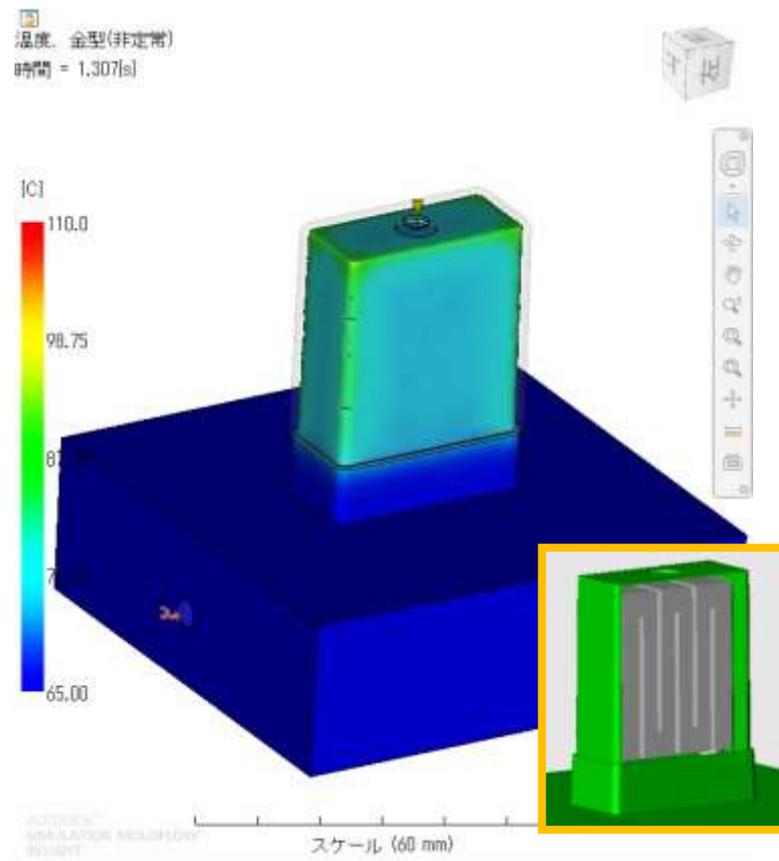


解析結果 ～コア表面温度～

Case1

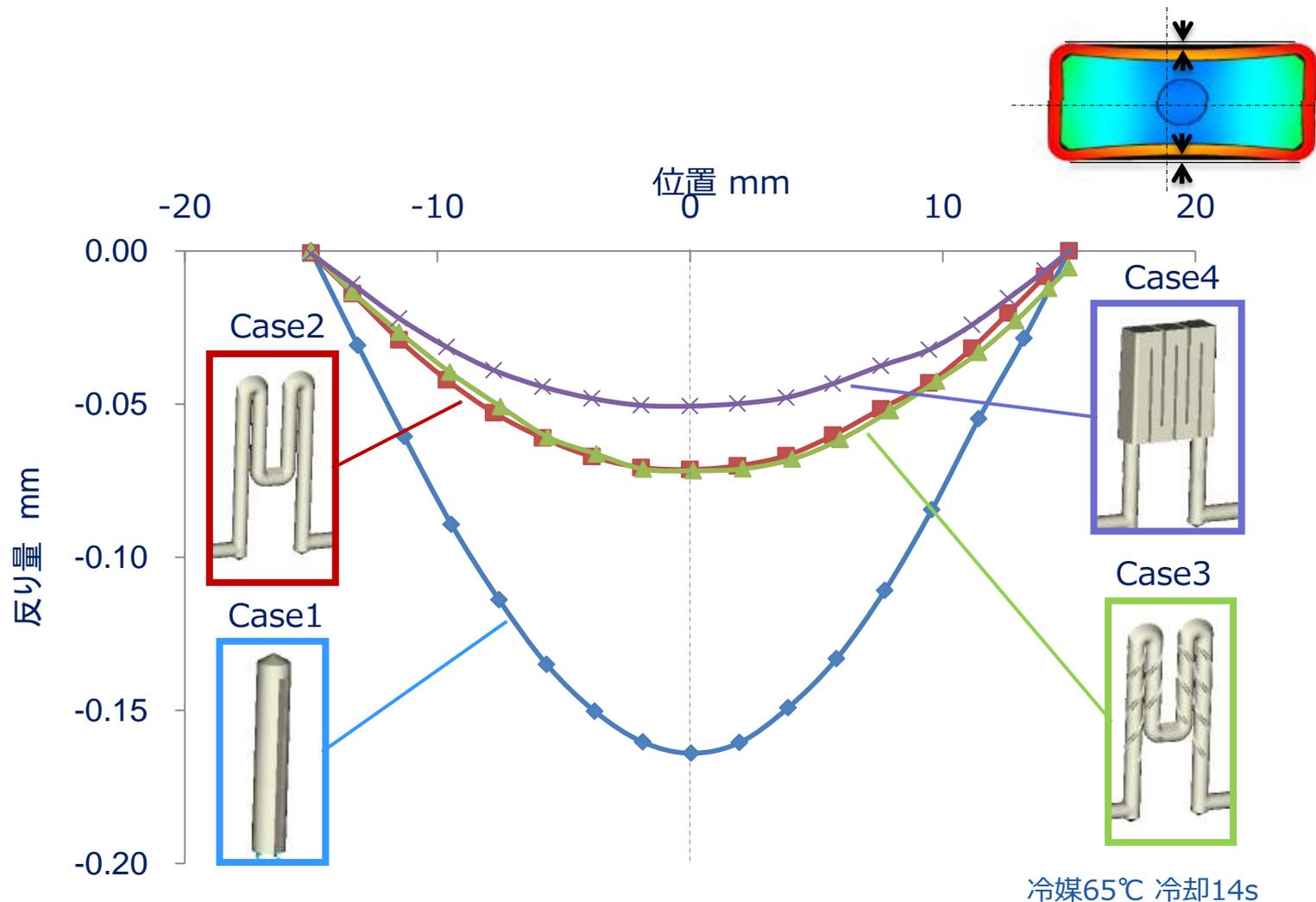


Case4



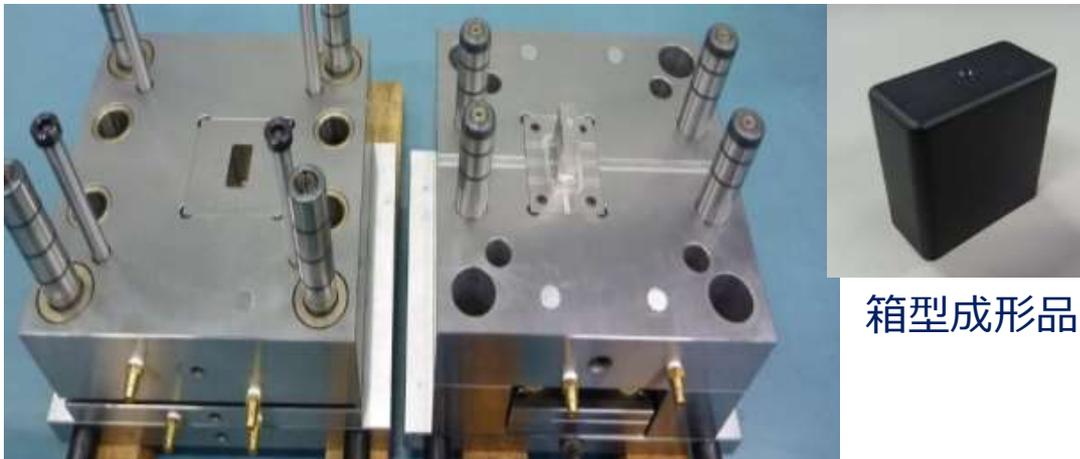
解析結果 ～内反り量比較～

- ◆ 金型表面に近く、表面からの距離が均等な冷却回路が効果的
- ◆ 水管表面の流速の効果はほとんどなし（Case2とCase3）

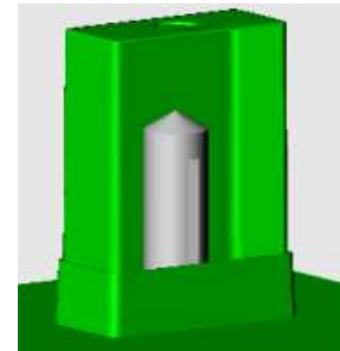


金型製作

- ◆ CORを金属光造形, CAVは切削加工で製作
- ◆ Case1 (バブル回路) とCase5 (3D冷却回路) の冷却性能を比較検証



Case1

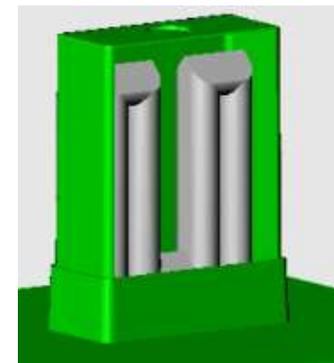


CAV



COR

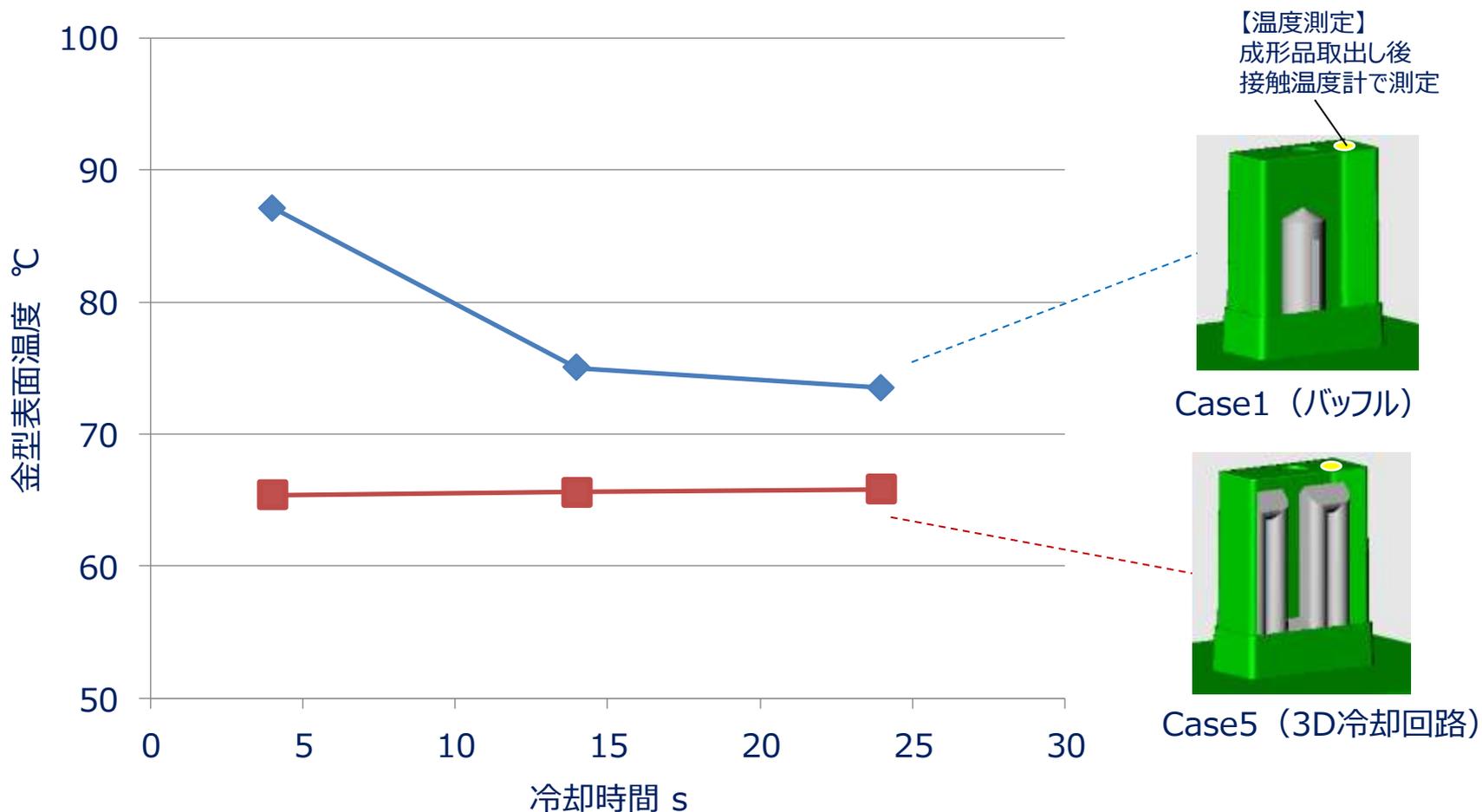
Case5



材料 : Panasonic タパワード BM1 (マルエージング系)

3D冷却回路の効果 取り出し時の金型コア温度

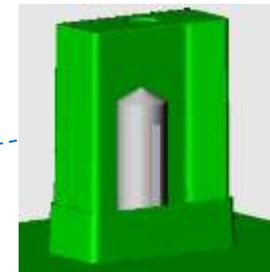
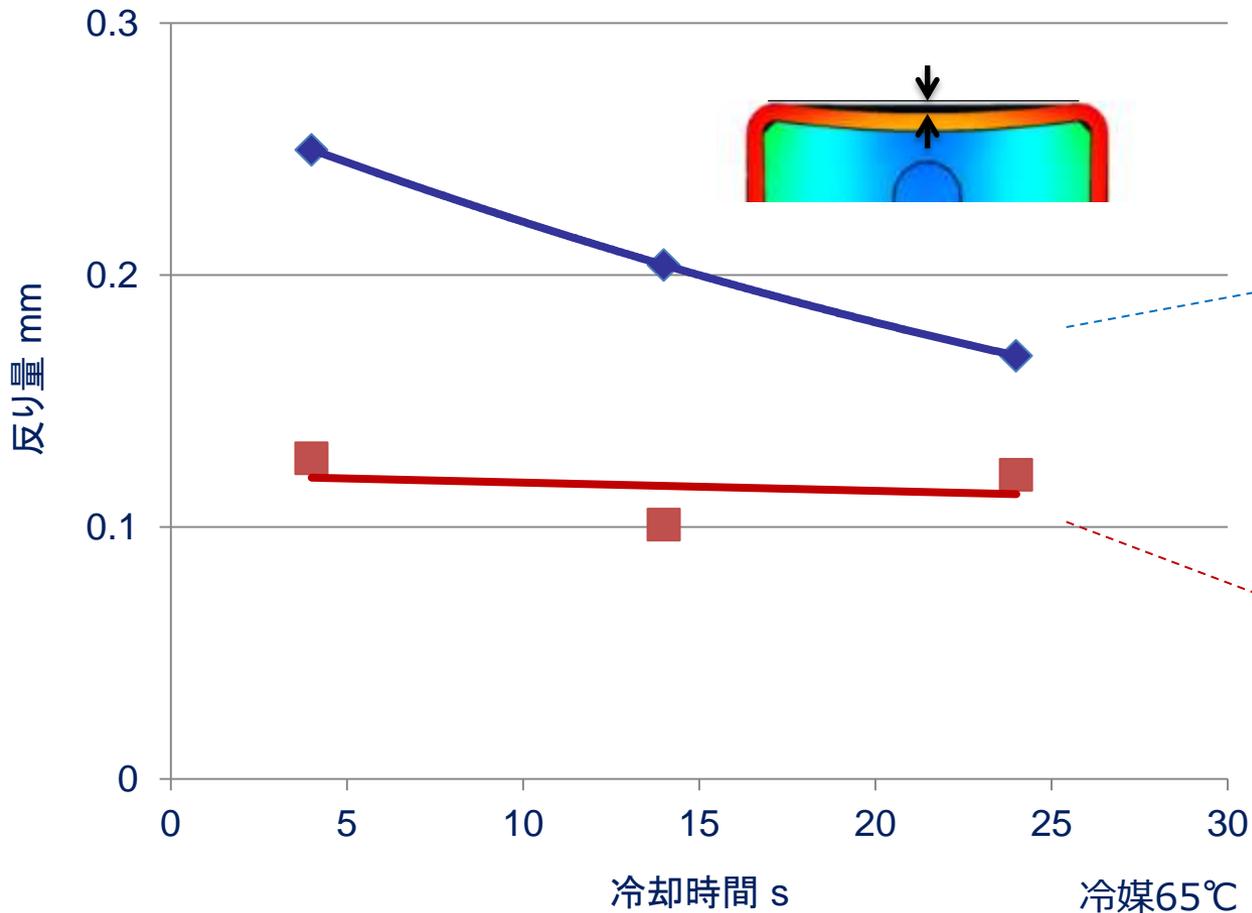
- ◆ 3D冷却回路では冷却時間を短縮しても金型温度が安定. 高い冷却能力を持つ
 - ハイサイクル成形が可能



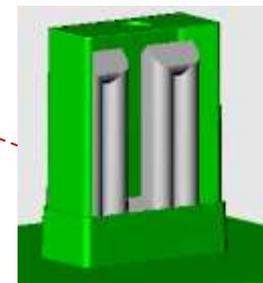
冷媒65°C

3D冷却回路の効果 冷却時間と反り量

- ◆ 3D冷却回路では冷却時間を短縮しても反り量は変わらない
 - ハイサイクル成形が可能



Case1 (バッフル)



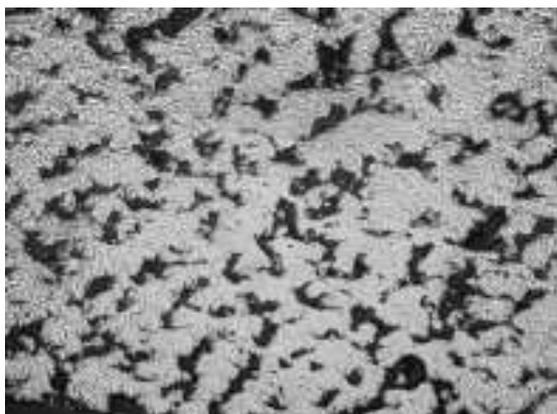
Case5 (3D冷却回路)



内部構造を自由に製作できる

ハイブリッド金属3Dプリンティング金型の特長

◆ 固化密度をコントロールできる



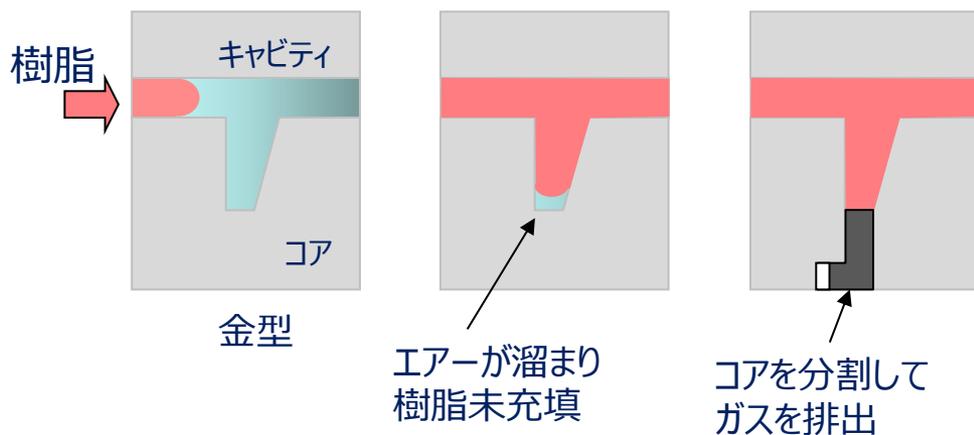
断面密度 平均70% 500μm



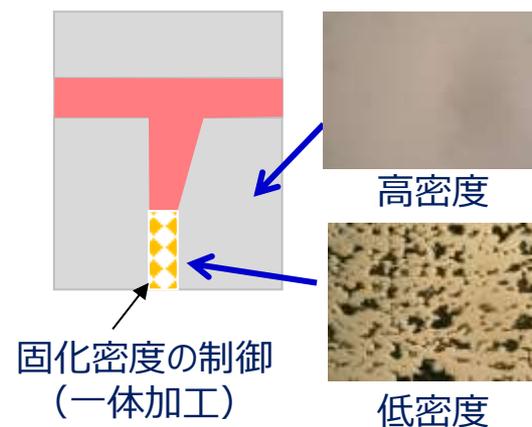
空気圧 0.7MPa

低密度ベント

従来工法



本工法



特許3446748など

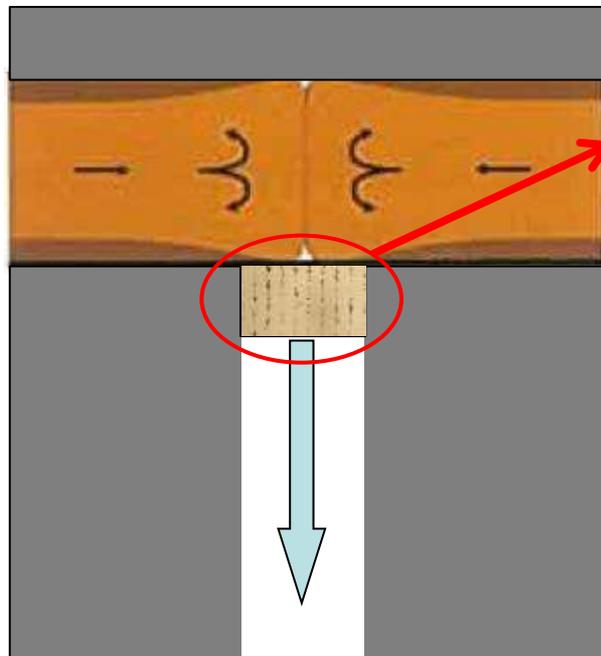
Panasonic

通気金型の機能

◆ レーザ固化密度制御によりガスのみ通過可能な微細孔を形成

① ガス排出機能

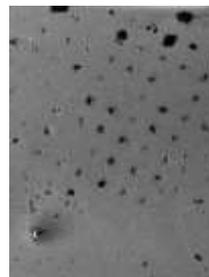
- ✓ 充填性向上（高速充填・ショート不良削減）
- ✓ ガスやけ不良削減
- ✓ 低圧成形（金型・成形機のダウンサイジング）
- ✓ 部品点数削減（一体化）



ガス排出

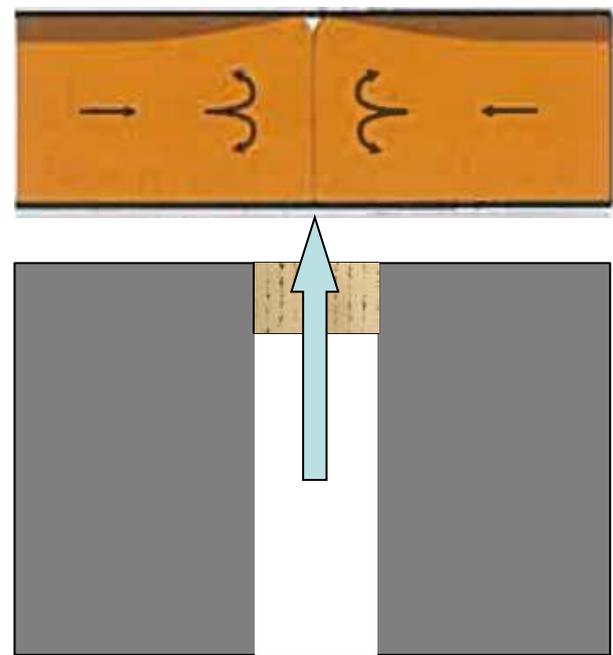


低密度造形を用いた
微細孔形成部



② ガス供給機能

- ✓ 通気構造の目詰まり抑制
- ✓ 離型アシスト（離型不良削減）
- ✓ エアエジェクト（エジェクタピン削減）



ガス供給

通気構造の空孔の大きさ

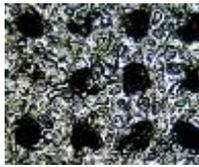
- ◆ 通気孔の大きさを加工条件により制御することができる
- ◆ 最小の通気孔の大きさは□70 μ m

ポーラス (Porous)

名称	P400	P500	P600	P700	
空孔サイズ ^{※1} μ m	40~300	40~440	30~570	50~650	
通気量 mL/min	通気量を評価するための標準形状を検討中				
表面写真 (放電面) 0.5mm					

ラティス (Lattice)

※空孔ピッチは0.2~0.3mm

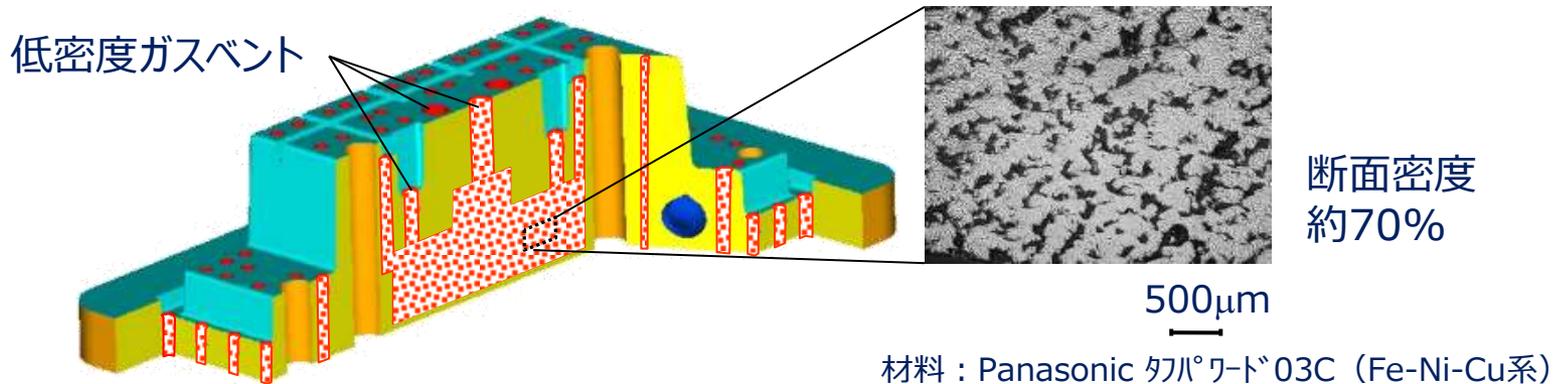
名称	L70	L90	L110	L130	L150
空孔サイズ ^{※1} μ m	70 \pm 30	90 \pm 40	110 \pm 60	130 \pm 50	150 \pm 40
通気量 mL/min	通気量を評価するための標準形状を検討中				
表面写真 (放電面) 0.5mm					

※1 空孔サイズは表面を放電加工した状態で測定

低密度ガスベントによる樹脂充填性の向上

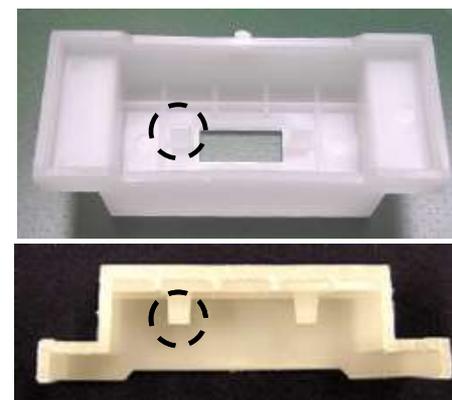
◆ガスベントの効果

— 低密度部の有無による樹脂充填性 —



◆ガスベントの有無による充填性の比較

	保圧		
	0 MPa	15 MPa	30 MPa
ガスベントなし			
ガスベントあり			

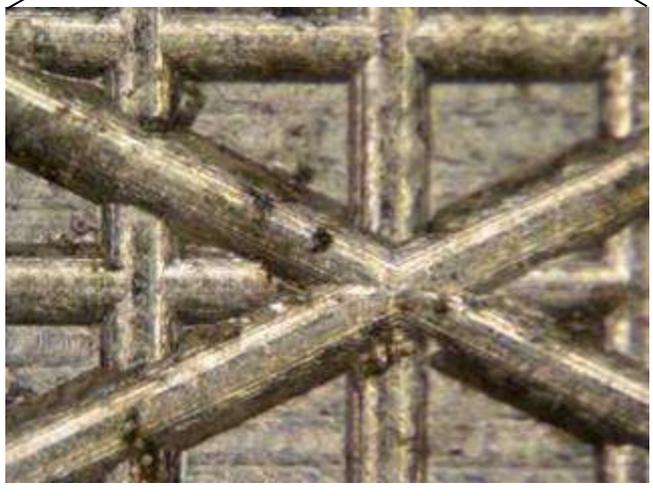
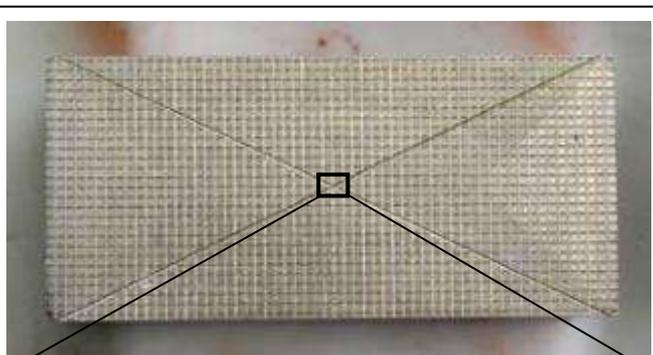


成形材料：PP

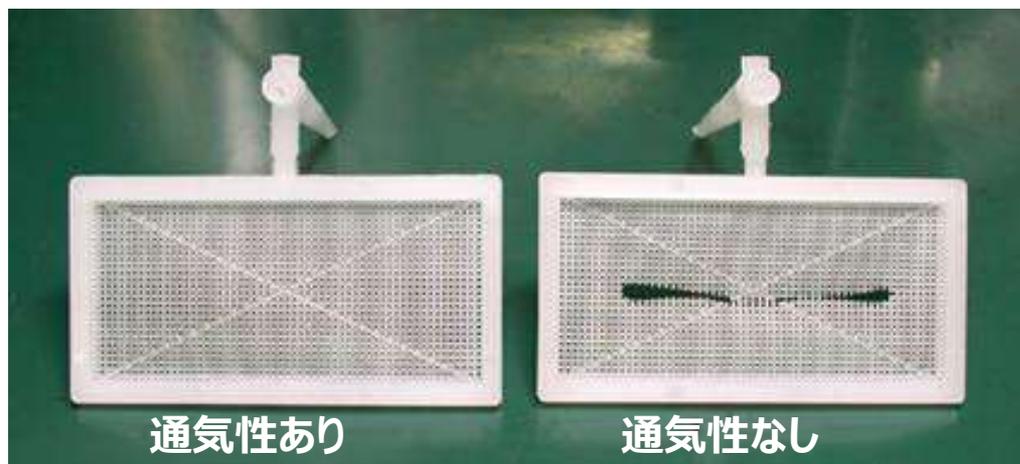
メッシュ部品の事例

- ◆ 通気性がない場合はガスが抜けず，高圧でも充填しない が
- ◆ 通気性がある場合は，極低圧で充填可能

造形型部表面



成形材料 : PP
型温度 : 75℃
射出圧力 : 750kg/cm²程度



同一成形条件での充填状態

材料 : Panasonic タパワード 03C (Fe-Ni-Cu系)