

金型の積層造形に適した 粉末材料

2026年3月6日
大同特殊鋼株式会社
機能製品事業部
粉末製品部
粉末技術サービス室
奥村 鉄平

■ 積層造形(AM)に適した粉末材料の開発

- ダイカスト金型を積層造形で作るメリット
- AM用ダイカスト金型材料へのニーズと課題
- ダイカスト金型用粉末HTC™とLTX™

高熱伝導率材料HTC™と大型部品を造形可能なLTX™

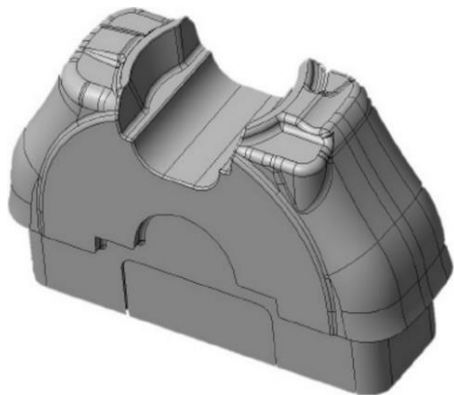
- ・材料設計
- ・材料特性(機械特性、衝撃値、熱伝導率等)
- ・実用化事例

■ まとめと今後の展望

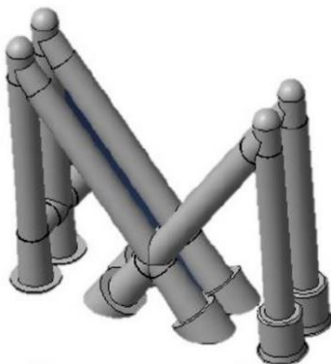
AMにおけるダイス鋼系材料へのニーズと課題

- ダイカスト金型の冷却のために**水冷孔を自由に配置可能**なAMが注目
⇒ 金型表面を効率的、均一に冷却できるため製品の品質や金型の寿命が向上

※1) 出典:(株)日本精機様カタログより

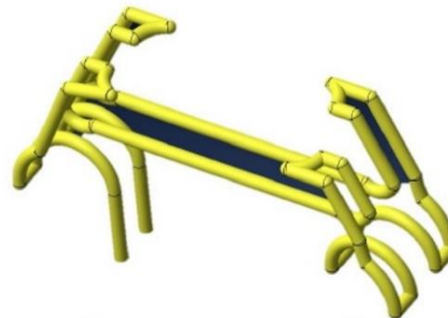


ダイカスト金型



Conventionally manufactured cooling channels

機械加工による冷却孔配置



Additively manufactured cooling channels

AMによる冷却孔配置※1)

図.ダイカスト金型のコンフォーマルクーリングの事例

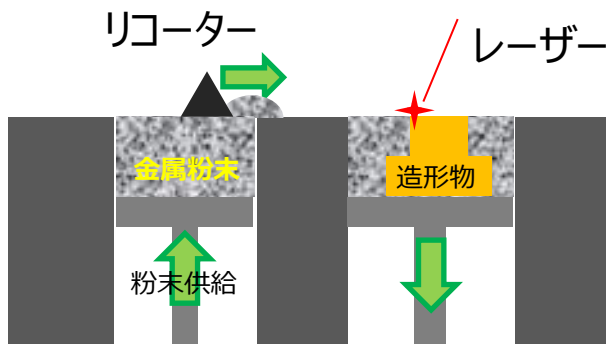
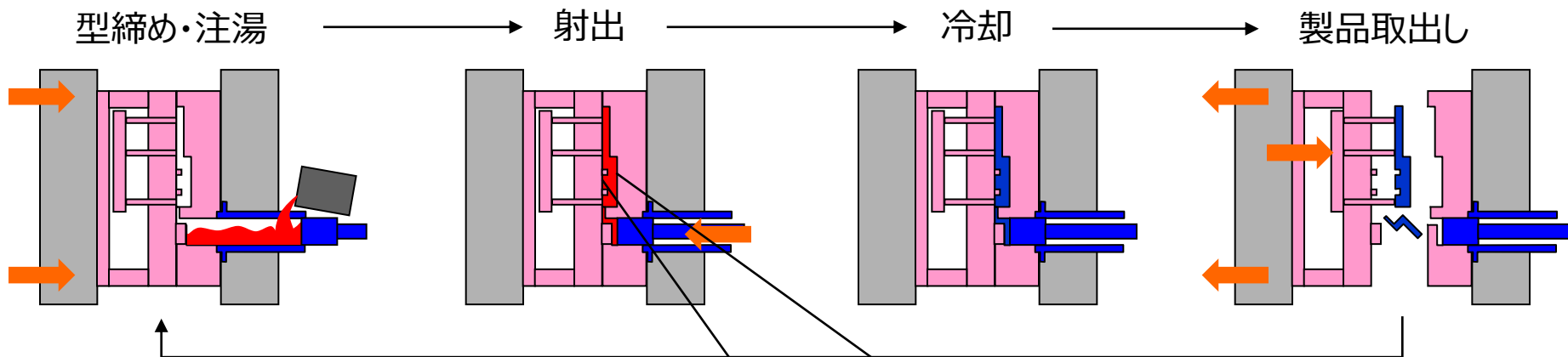


図.SLM方式3Dプリンタの模式図

- AMダイカスト金型には形状精度に優れ、水冷孔の造形に適したSLM方式の3Dプリンタが主に使用
- 主に使用される材料は**造形し易いマルエージング鋼**

ダイカストにおける金型の冷却効果と材料

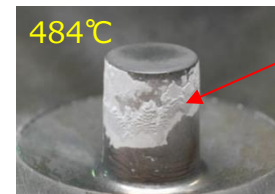
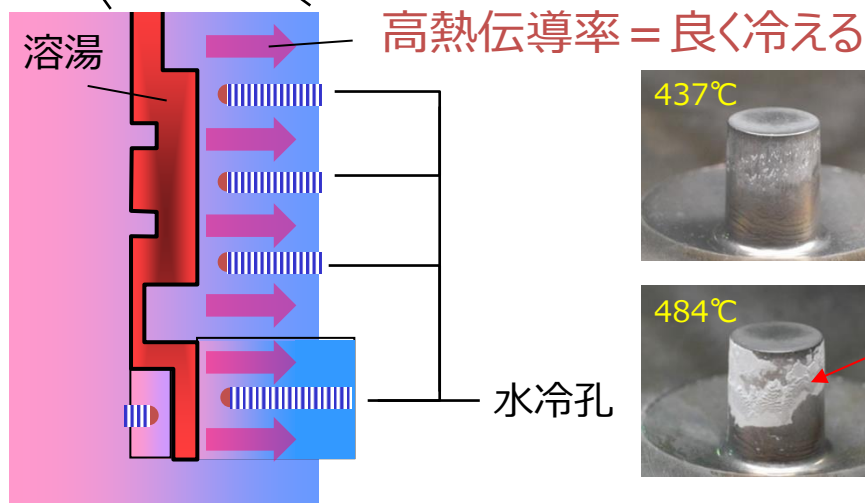
- **ハイサイクル化**や**焼き付き防止**のために金型を高效率で冷却することが重要
- マルエージはダイカスト金型用SKD61対比**熱伝導率が低く**、耐摩耗性も劣る



- 金型冷却の効果
 - ・ハイサイクル化
 - ・焼き付きの防止
- 高性能化の手段
 - ・水冷孔の3D造形
 - ・金型材料の熱伝導率向上

表. 室温の熱伝導率比較

マルエージング鋼	19W/mK
SKD61(ダイス鋼)	24W/mK



焼き付き

図.ダイカストの概要

ダイス鋼とSKD61をAM造形するときの課題

- ダイス鋼: 高強度合金工具鋼。ダイカストや熱間鍛造型にはSKD61が使用
- 冷却毎に焼き入れにより硬化するため割れやひずみが発生し造形が難しい

表. 工具鋼の分類と合金工具鋼の代表成分

JISによる分類		主な用途
炭素工具鋼	SK: Steel Kougu	タガネ、ヤスリ、治工具
合金工具鋼	SKS: Steel Kougu for Special	プレス型、治工具
	SKT: Steel Kougu for Tanzou	鍛造型、ダイブロック
	SKD: Steel Kougu for Dice	各種金型(鋳造、鍛造)
高速度工具鋼	SKH: Steel Kougu for High Speed	切削工具、冷鍛型

JIS区分	分類	JIS記号	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	用途
合金工具鋼	冷間	SKD11	1.5	0.25	0.4	12	0.9	0.3	冷間プレス型
	熱間	SKD61	0.38	1	0.45	5	1.2	1	ダイカスト型、熱鍛型

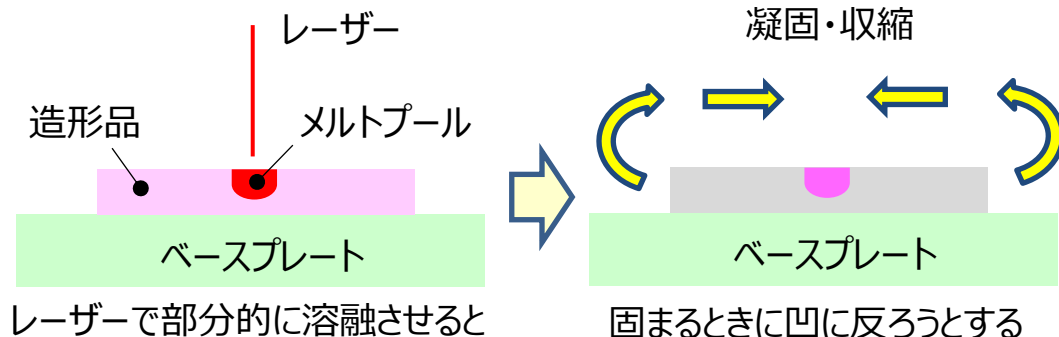
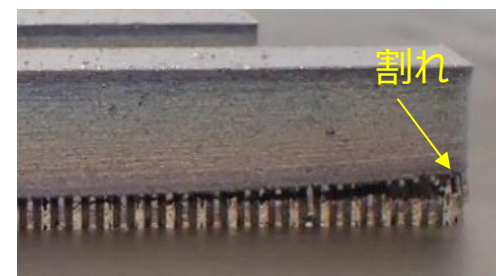


表. 合金工具鋼の割れのメカニズム



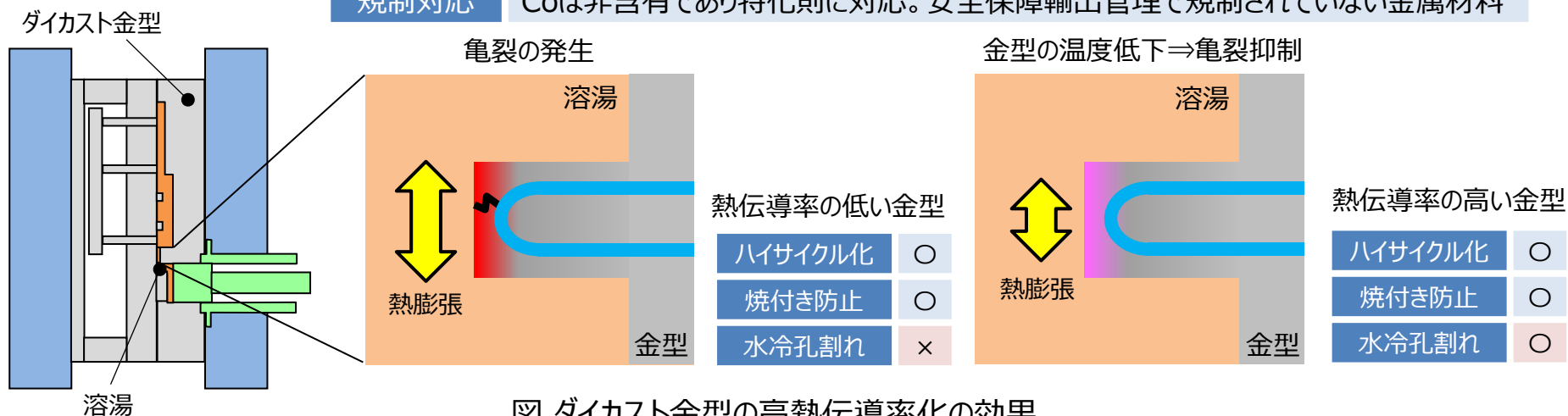
造形品が大きくなると力が蓄積
硬くて脆い材料では割れが発生

- SKD61の**造形し易さ**を改善しさらに**熱伝導率を向上**させたダイス鋼系の開発粉末
- 金型のハイサイクル化や焼付き防止、水冷孔割れを抑制し金型寿命を延長

表.HTC™の代表成分値、粒子径および特徴

AMDAP™ シリーズ	鋼材相当鋼種	硬さ範囲 (HRC)	代表的な組成(mass%)					用途
			C	Si	Cr	Mo	V	
HTC™45	SKD61系ダイス鋼	40~50	0.23	0.1	5	1.2	0.4	ダイカスト金型
HTC™40	SKD61系ダイス鋼	35~45	0.13	0.1	5	1.2	0.4	ダイカスト金型 プラスチック金型
SKD61(参考)	—	40~53	0.38	1	5	1.2	1	各種金型

粒径(μm)	強度	SKD61対比C量を低減、焼入性・高温強度に影響するCr、MoはSKD61と同量
-53/+25	熱伝導率	SKD61対比Si量を低減
	規制対応	Coは非含有であり特化則に対応。安全保障輸出管理で規制されていない金属材料



- 硬さ:ダイカスト金型に必要な硬さが得られる最低限度まで[C]を抑制し造形性を改善
- 熱伝導率:組成の調整によりマルエージング鋼の2倍、SKD61の1.5倍

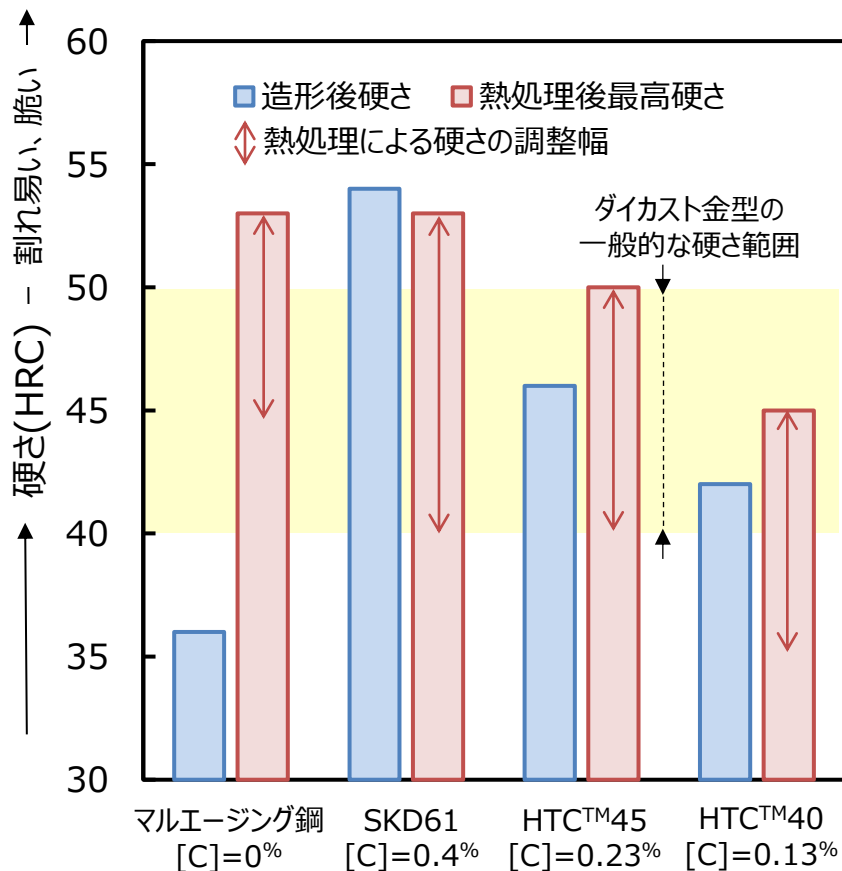


図.各種材料の炭素量と硬さの関係

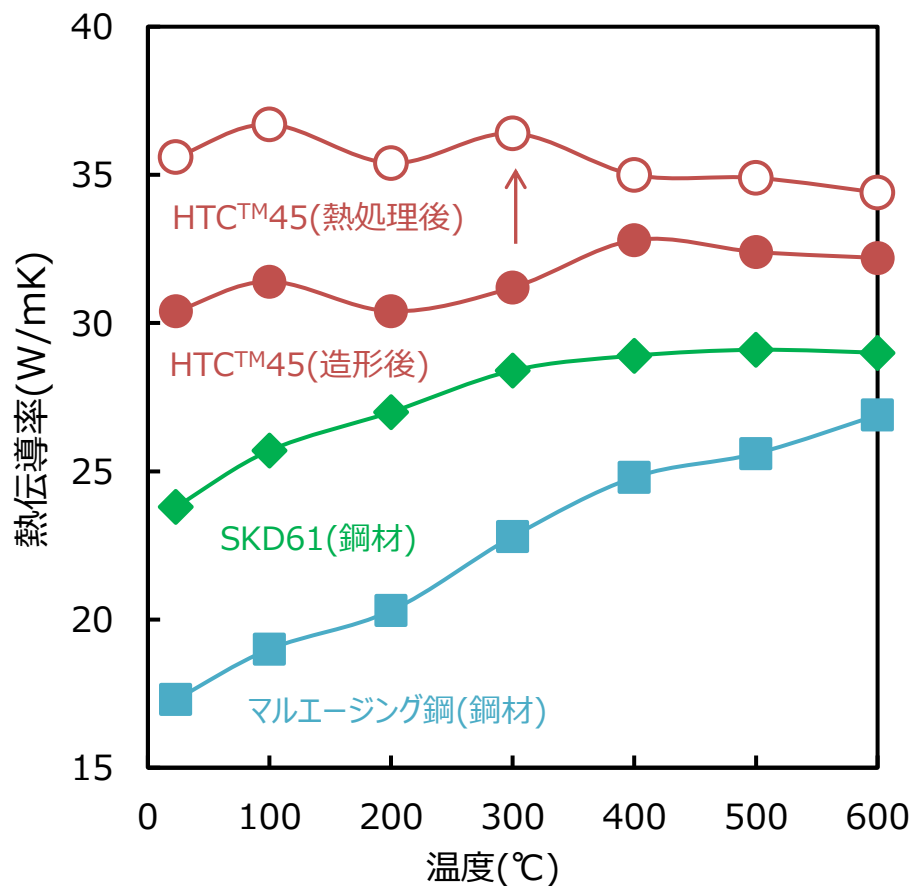


図.各種材料の熱伝導率と温度の関係

高熱伝導率ダイス鋼系材料HTC™ 焼き戻し硬さと窒化特性

- 硬さ: 焼き戻し硬さはSKD61と同等でありSKD61鋼材とのハイブリッド造形に適する
- 窒化特性: 硬度分布や化合物相の厚さはSKD61と同等になるように設計

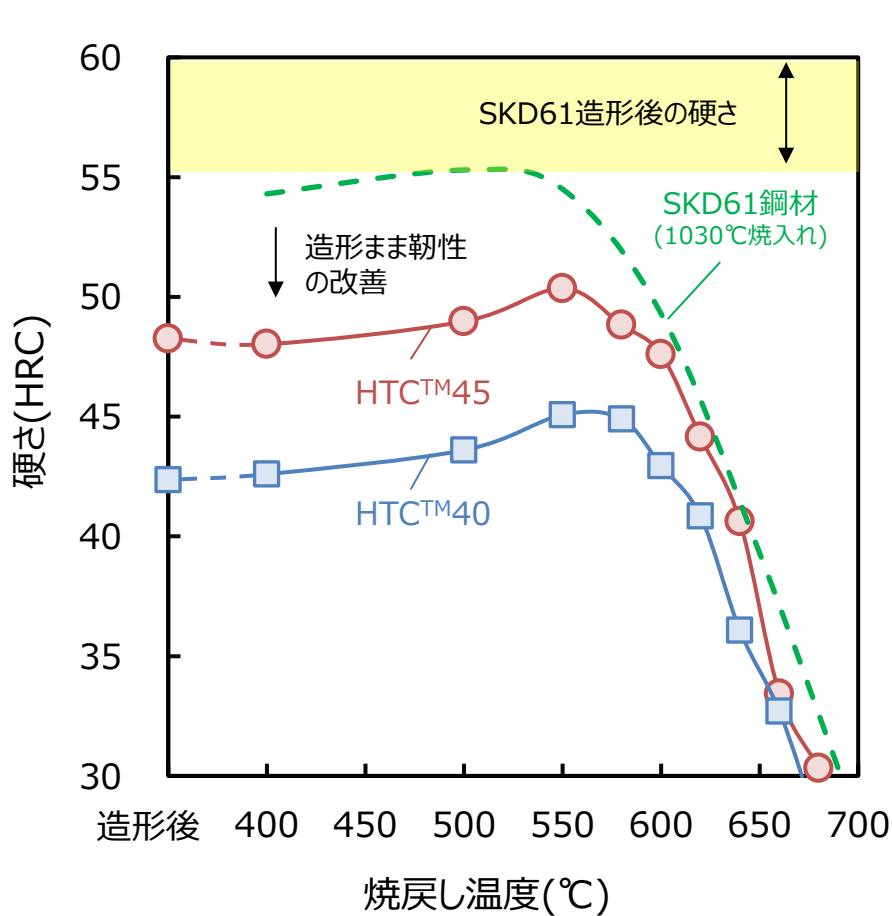


図. HTC™の硬さと焼き戻し温度の関係

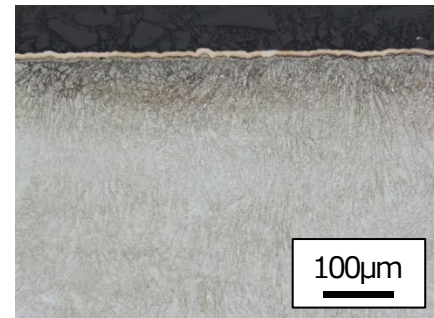
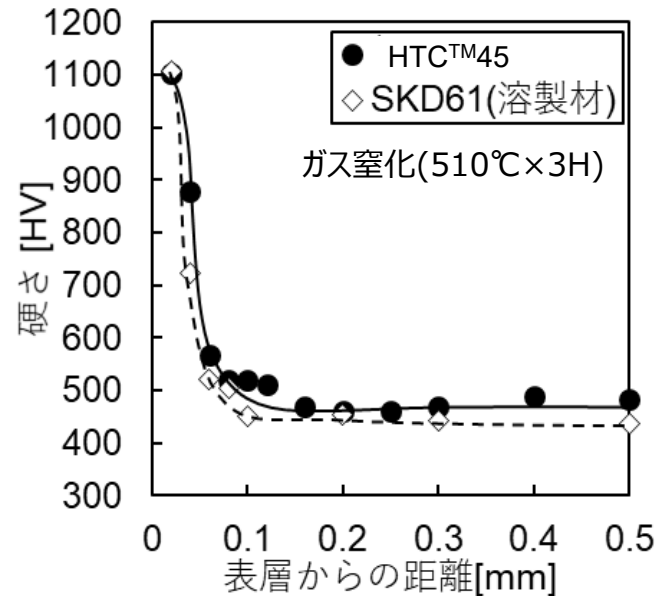


図. HTC™45の窒化特性と窒化後の組織

- 機械特性: 引張強度および0.2%耐力は同じ硬さのSKD61鋼材と同等
- 衝撃値: 低炭素化の効果により同じ硬さのSKD61鋼材対比高くなる

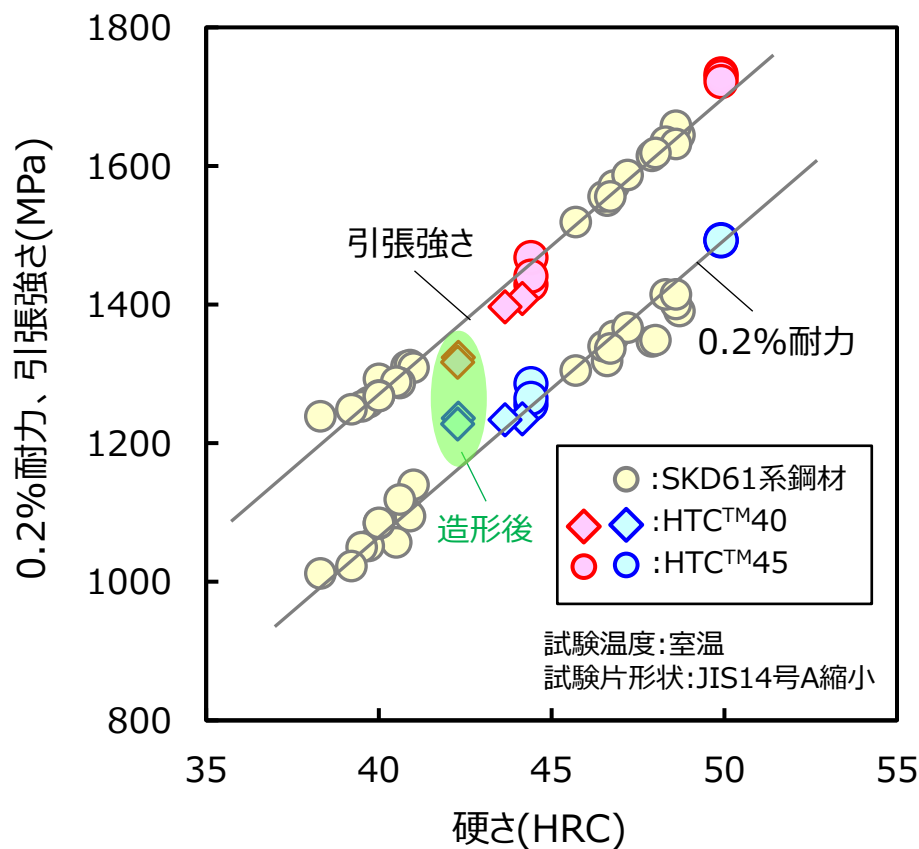


図. HTC™の硬さと引張強度、0.2%耐力の関係

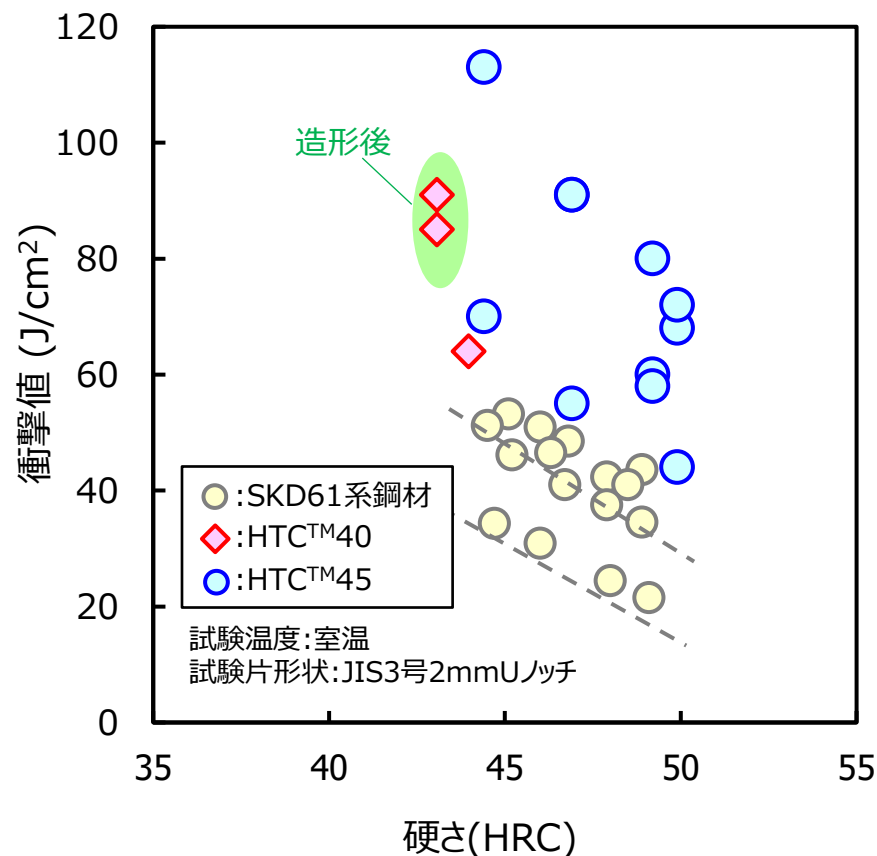
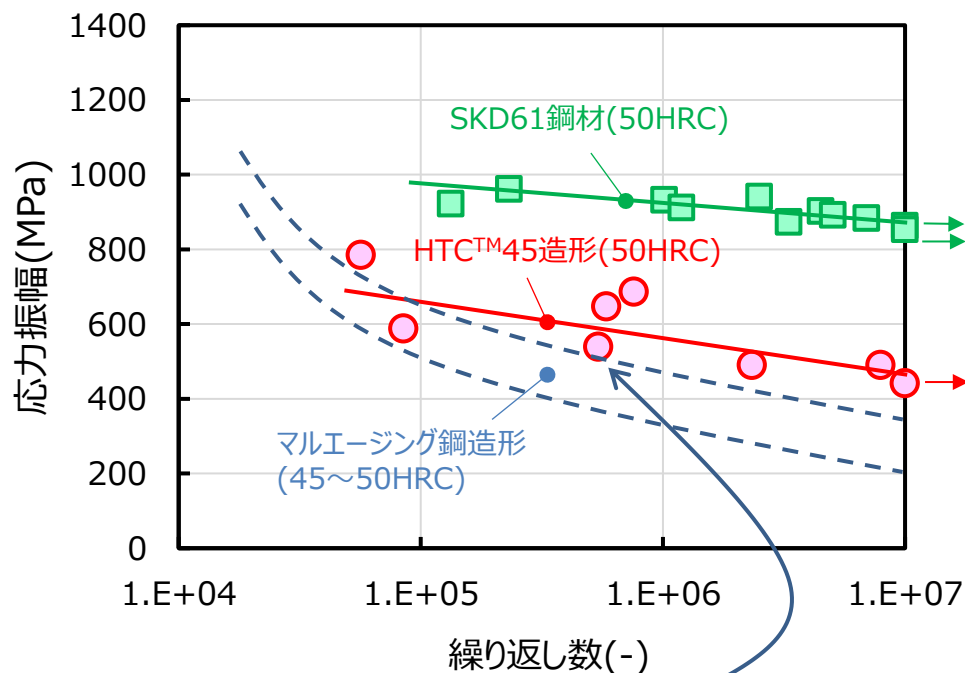
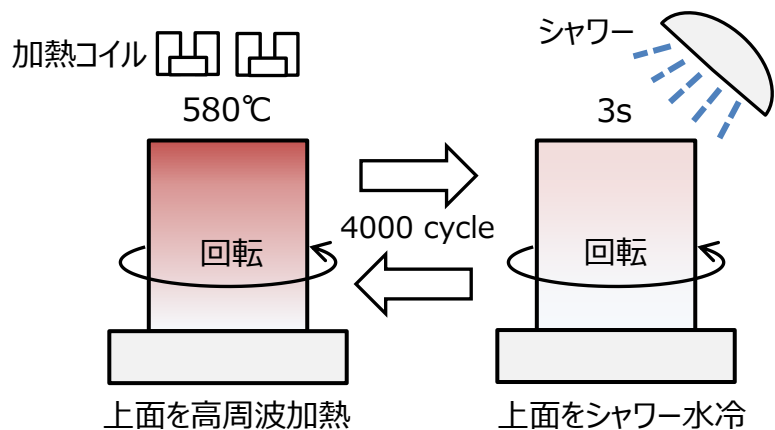
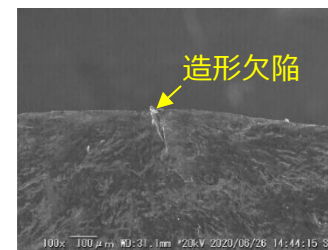


図. HTC™の硬さと衝撃値の関係

- 熱疲労: 高熱伝導率であり熱応力が低下。SKD61鋼材対比ヒートチェックが低減
- 疲労強度: 欠陥により鋼材対比疲労強度は低下。造形条件の適正化が必要



	SKD61鋼材 47.6HRC	HTC™45 48.9HRC
ヒートチェック 発生状況		
試験片 中央部 の亀裂深さ	1.84cm	0.88cm



疲労破面起点部(応力振幅: 539MPa, 破断寿命: 5.42×10^5 回)

図. HTC™造形物のS-N曲線

図. 熱疲労試験の概要とHTC™の試験結果

■ 金型造形:SKD61とのハイブリッド造形が容易。水冷孔の円滑化により割れを抑制

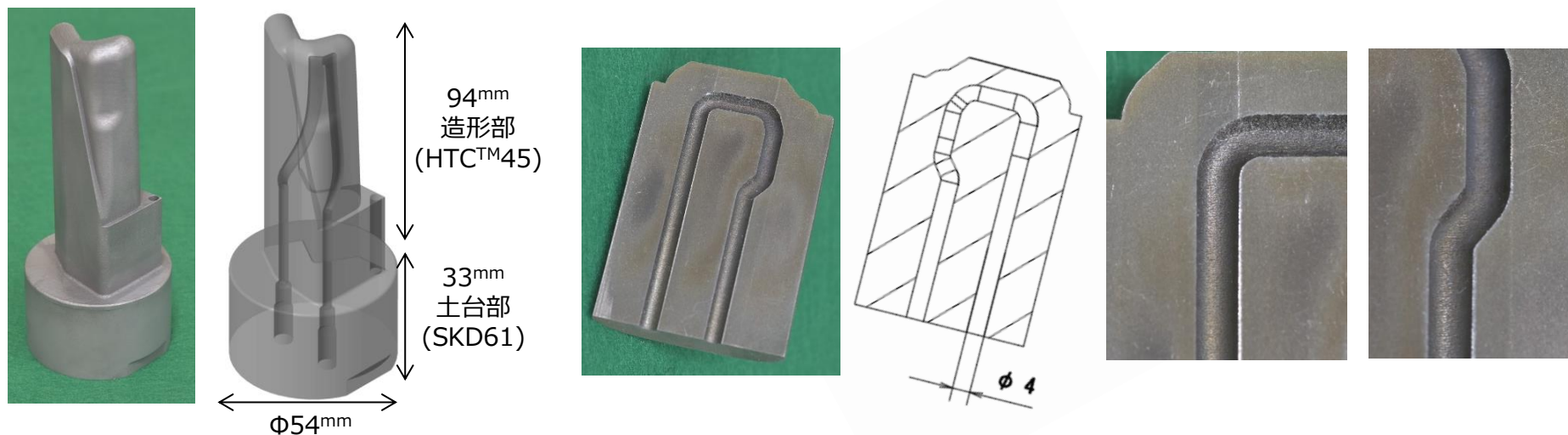


図.HTC™45を用いたハイブリッド造形の事例※2)

図.HTC™45を用いた造形品の水冷孔内面の状態※2)

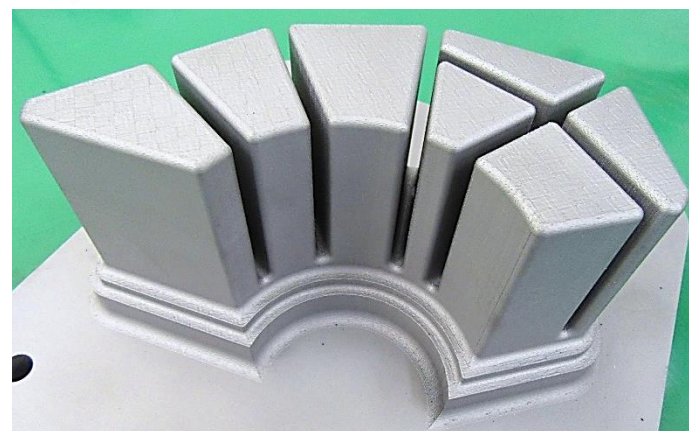
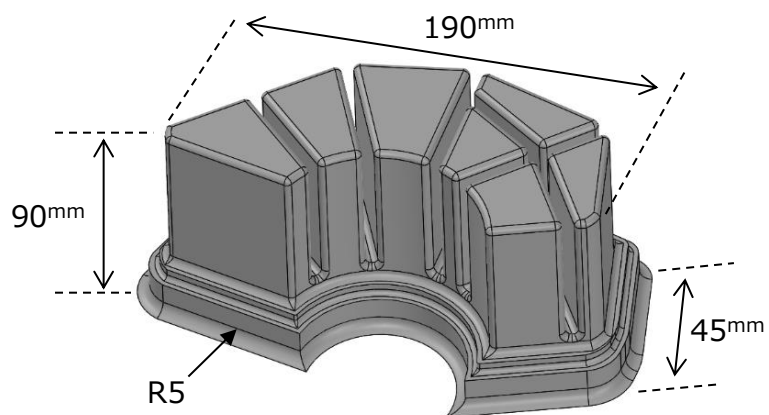


図.HTC™45による模擬型の造形例

■ 24年11月に400mmクラスの4気筒ウォータージャケットの試作に成功しています

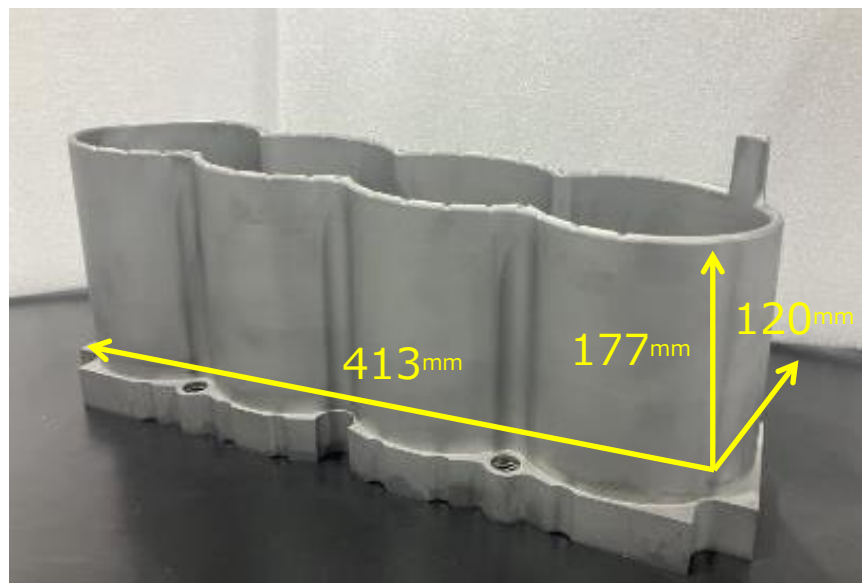


図.HTC™45を用いて造形した4気筒ウォータージャケット



図.4気筒ウォータージャケットの造形状況

日本精機(名古屋市守山区、052・736・0611)はこれまで大型サイズの造形が難しいとされてきたSKD61の粉末材で、400mm超サイズのワークの造形に成功した。ソディックと共同開発した金属3Dプリンタを活用した。これまでより面積で約4倍、体積で約6倍の大型サイズを造形できるようになったことで、提案の幅を広げるほか、将来はギガキャスト向け金型の入れ子での採用を目指す。

ソディックとプリンタ共同開発

造形したワーク(写真)は横413mm×縦120mm×高さ177mmサイズのウォータージャケット用の金型で、2個同時造形した。すでに自動車メーカーへの採用も決定している。材料は大同特殊鋼が開発したSKD61の粉末材「HTC」を採用。同材料は熱伝導性に優れるなどの特性を持つ一方、造形が難しく「弊社では240mm角程度までしか造形できなかった」(松原雅人常務)という。

この造形を可能にしたのはソディックと共同開発した金属3Dプリンタ「LPM450」の特仕様機。同機種は450mmサイズの造形が可能で、オプションで4本のレーザーが搭載できるなど大型に特化している。

日本精機では造形が難しいHTCに特化し、品質保証を重視していることから、同社の知見やアイデアを盛り込み共同で作り込んだ。特に、品質を保证するためメルトプール(溶融金属が溜まる部分)のリアルタイムモニタリング装置や、造形表面の温度を計測できる装置などを搭載。また、装置だけでなく、太陽日酸が提供する機内の酸素濃度を安定化させる装置を採用するなど、「要望を全て盛り込んだ」(松原常務)という。

同社は3年前から金属3Dプリンタを活用した入れ子の製作に着手し、すでに600個以上の造形実績を持つ。これまでも、大型の要望が強かったほか、海外ではギガキャストで多くの3Dプリンタ入れ子が採用されていることから、ソディックなど複数のパートナー企業と大型対応の開発を進めていた。

日本精機の松原常務は「SKD61粉末材での大型金属積層造形には課題は多い。今後も残留応力試験と解析を繰り返し、割れない設計と造形条件を探索していく。同時に、極限まで酸素と水分濃度を低減するなど造形室内雰囲気環境の最適化に注力する。これを実現させ、高機能・長寿命・省メンテナ型を設計領域から提案いきたい」としている。

金型新聞 2024年11月10日

- 特徴: ひずみや割れを抑制し大型部品を造形可能。材料特性はSKD61と同等
- 組成: Niの添加によりマルテンサイト変態開始温度を調整して造形中のひずみを低減

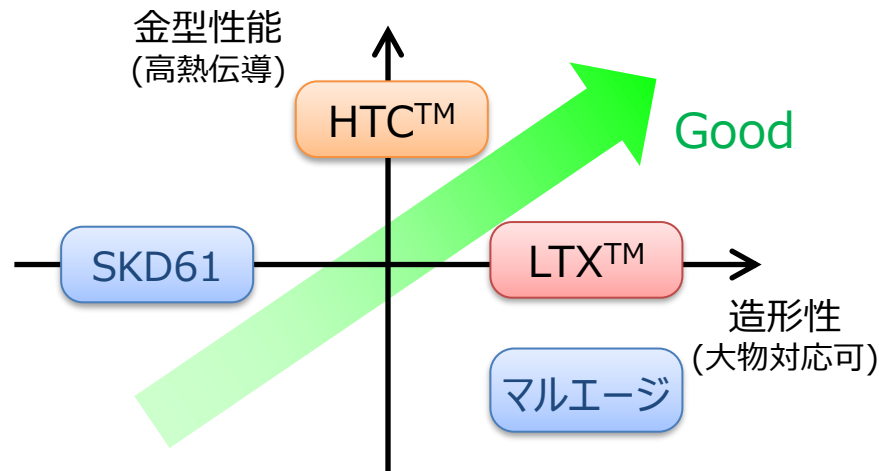
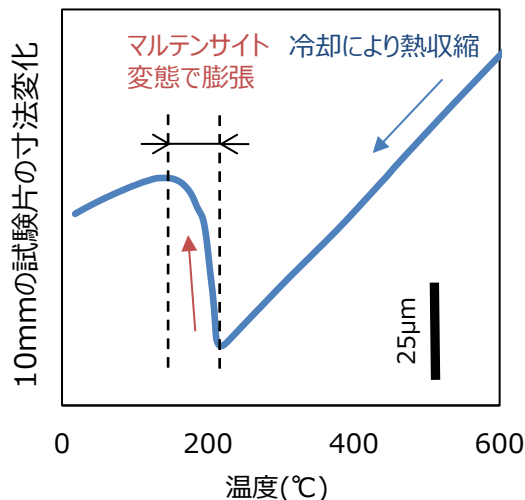
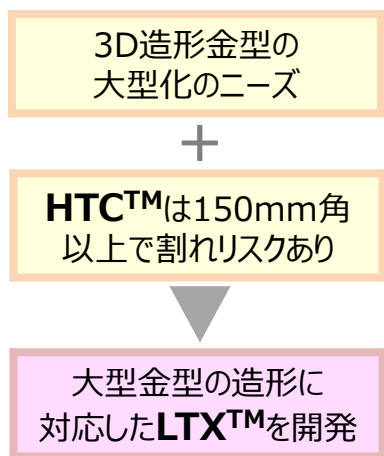


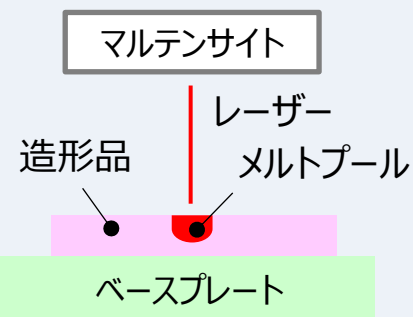
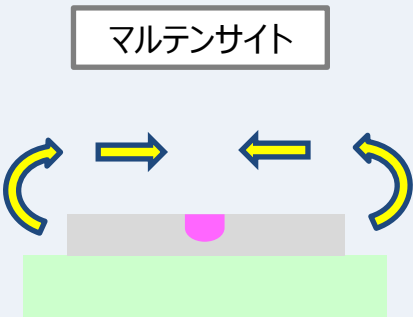
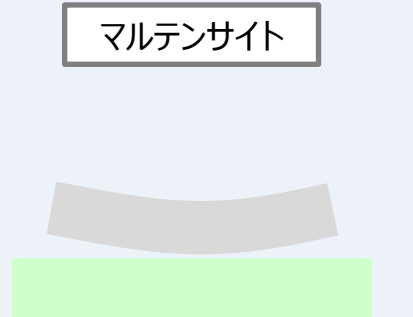
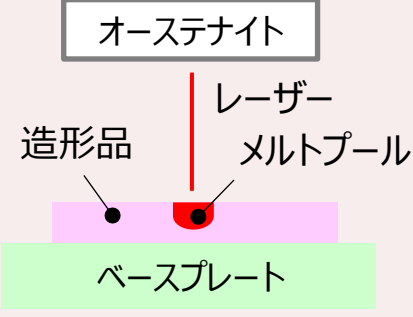
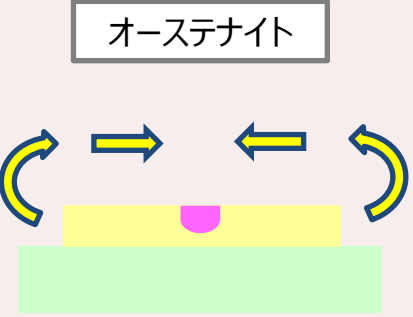
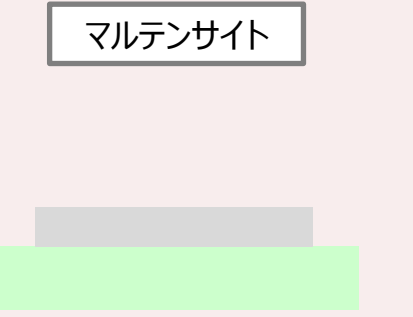
図.LTX™の材料設計の考え方と特性の位置付け

表.LTX™の代表成分値と粒径および特徴

AMDAP™ シリーズ	鋼材相当鋼種	硬さ範囲 (HRC)	代表的な組成(mass%)						用途
			C	Si	Cr	Ni	Mo	V	
LTX™	SKD61系ダイス鋼	40~52	0.25	0.1	5	6	1.2	0.4	ダイカスト金型 プラスチック金型
SKD61(参考)	-	40~53	0.38	1	5		1.2	1	各種金型
粒径(µm)	強度	焼入性・高温強度に影響するCr、MoはSKD61と同量の5%Cr系のダイス鋼							
-53/+25	ひずみ	Ni添加によりマルテンサイト変態開始温度(Ms点)を調整しひずみを低減							
	規制対応	Coは非含有であり特化則に対応。安全保障輸出管理で規制されていない金属材料							

- LTX™はMs点を210℃で設計。**軟らかい状態**(オーステナイト相)で造形することが可能
- 凝固収縮を変形で吸収し、温度低下で全体が焼き入れされるためひずみが小さくなる

表.HTC™およびLTX™の造形中の変形のメカニズム

材質	溶融	凝固	温度低下	Ms点
HTC™	 <p>レーザーで部分的に溶融</p>	 <p>固まるときに凹に反ろうとする</p>	 <p>変形し硬いと割れる</p>	約 300℃
LTX™	 <p>レーザーで部分的に溶融</p>	 <p>凝固収縮を変形で吸収</p>	 <p>全体が焼入れされ低ひずみ</p>	210℃

- 硬さ: 最高硬さ52HRCであり熱処理でSKD61とほぼ同じ範囲で硬さを調整可能
- 熱伝導率: 組成の調整によりマルエージング鋼の約1.5倍、SKD61と同等

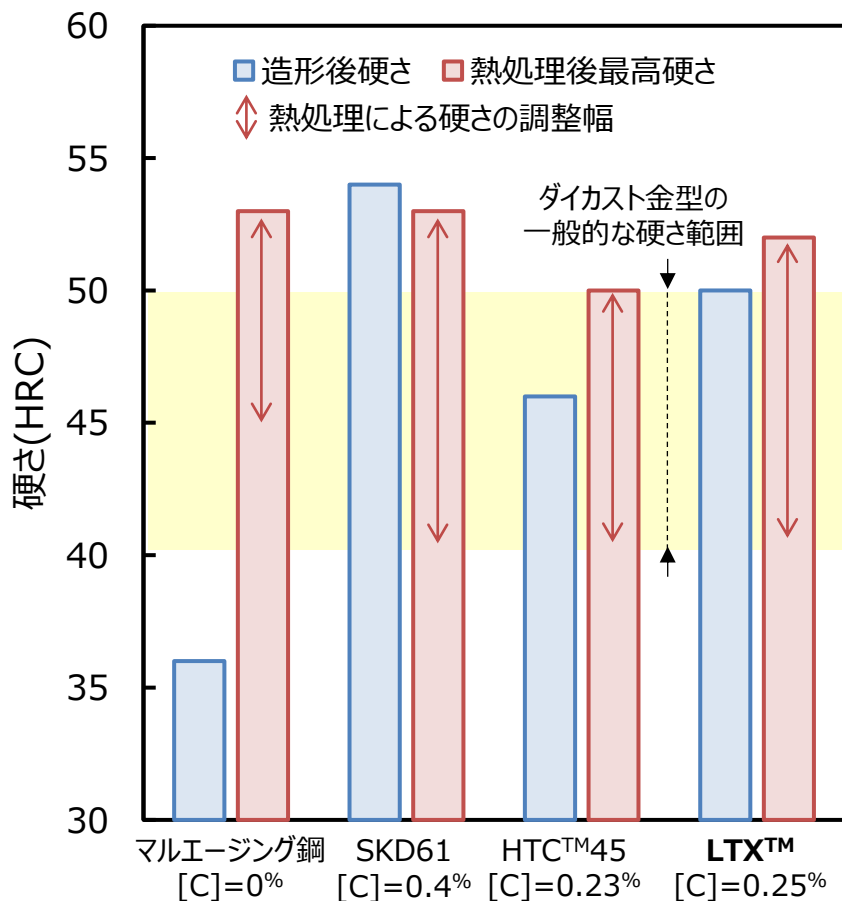


図.各種材料の炭素量と硬さの関係

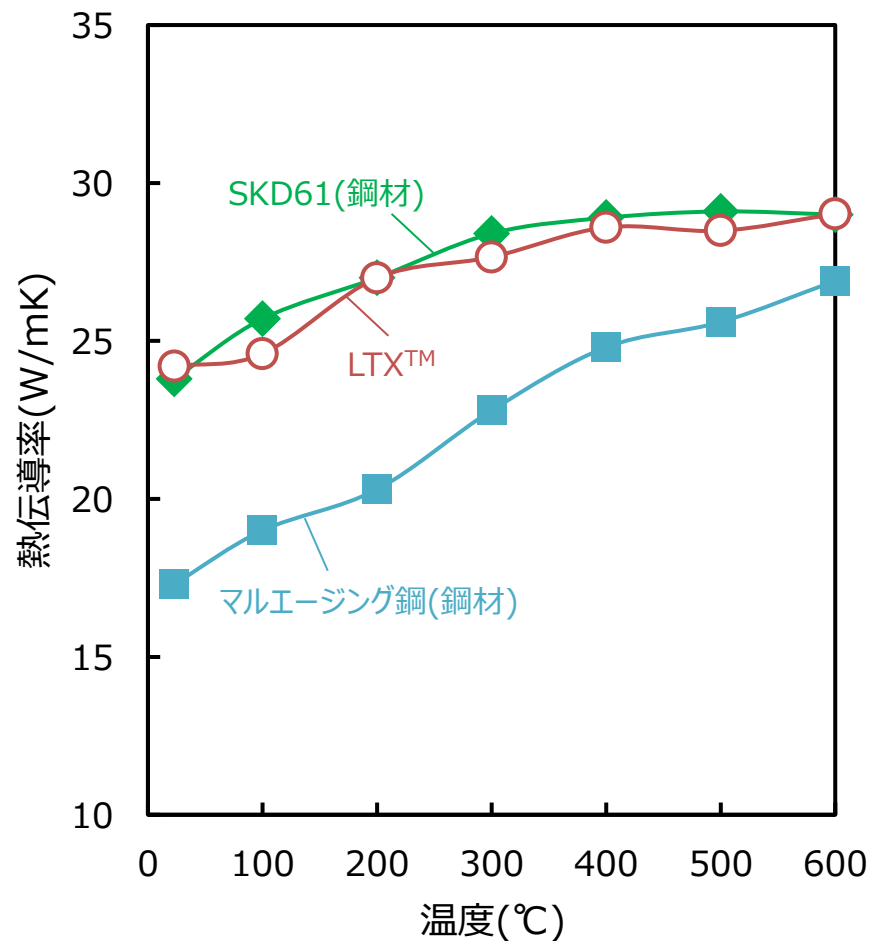


図.各種材料の熱伝導率と温度の関係

- 機械特性: 引張強さ、0.2%耐力は同じ硬さのSKD61鋼材とほぼ同等
- 衝撃値: 同じ硬さのSKD61鋼材に対して同等以上衝撃値が得られる

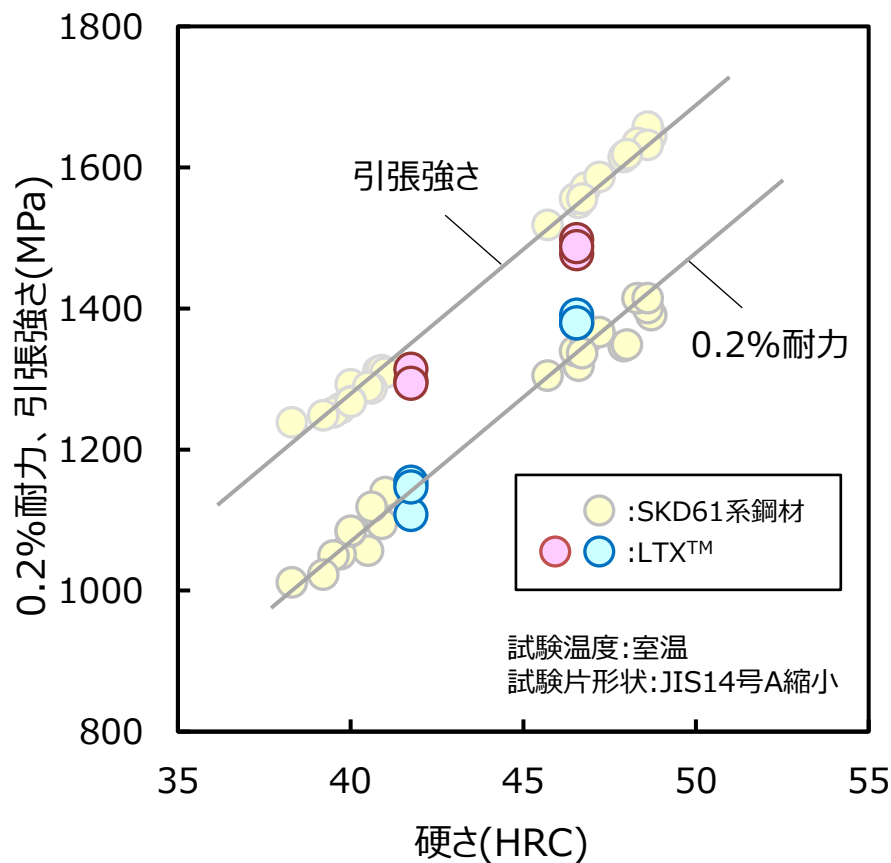


図.LTX™の硬さと引張強さ、0.2%耐力の関係

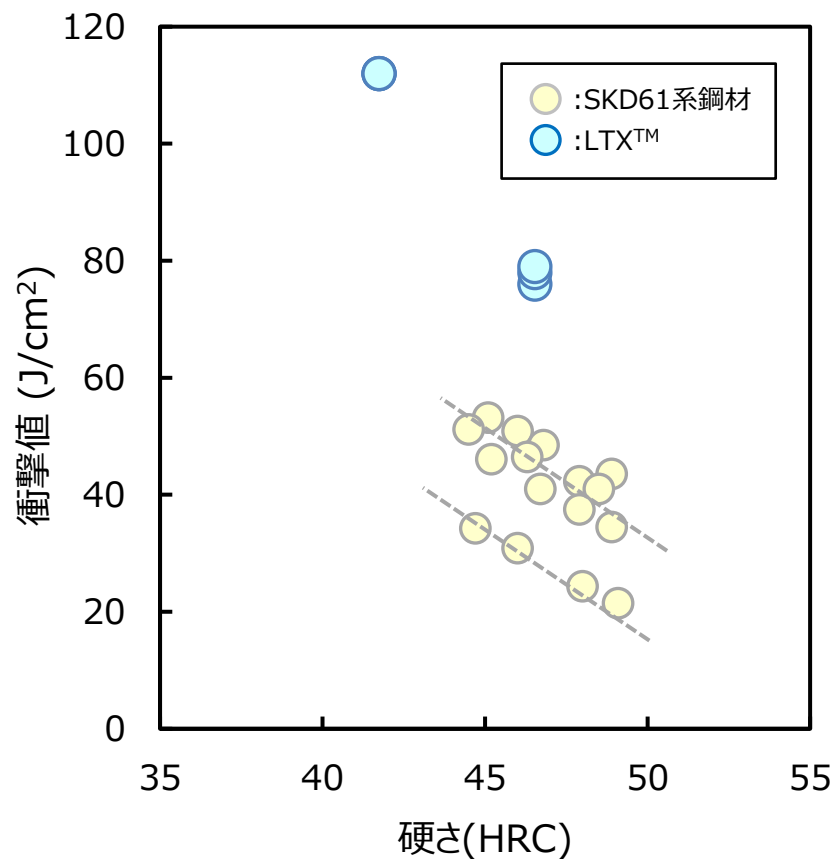


図. LTX™の硬さと衝撃値の関係

- 熱処理: 硬さはSKD61と同等。最高硬さ52HRC。SKD61とのハイブリッド造形に適する
- 熱疲労: 同じ硬さの場合熱疲労特性は熱伝導率がほぼ同じSKD61と同等

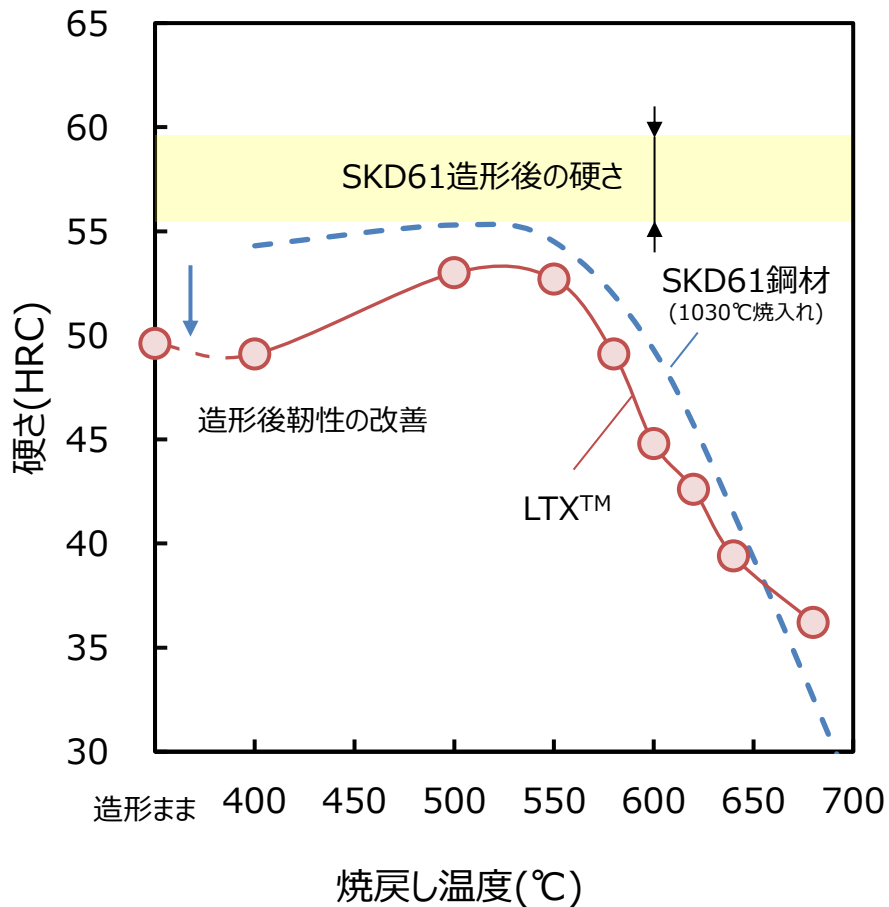


図.LTX™の硬さと焼き戻し温度の関係

図.SKD61、LTX™およびHTC™45の熱疲労試験結果

	SKD61鋼材 (45.3HRC)	LTX™ (46.5HRC)	HTC™45 (46.7HRC)
1000 cycle			
2000 cycle			
4000 cycle			
ヒートチェック ノッチ部			

- 120～200℃の予熱温度で150mm角以上の大型部品を低ひずみの状態で造形可能
- **ダイカスト金型インサート**用途での**量産適用**が進む

※1)造形機: Concept Laser M2、ベースプレート温度: 160℃
 ※2)造形機: Concept Laser M2、ベースプレート温度: 200℃

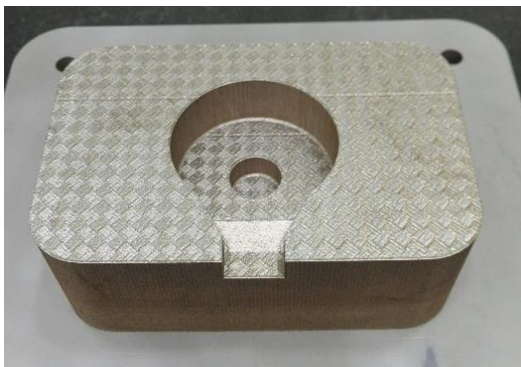


図.LTX™の模擬型の造形例※1)

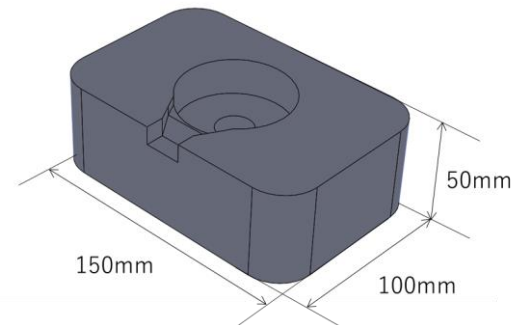
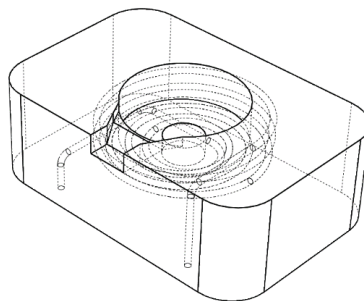


図.LTX™の模擬型の形状

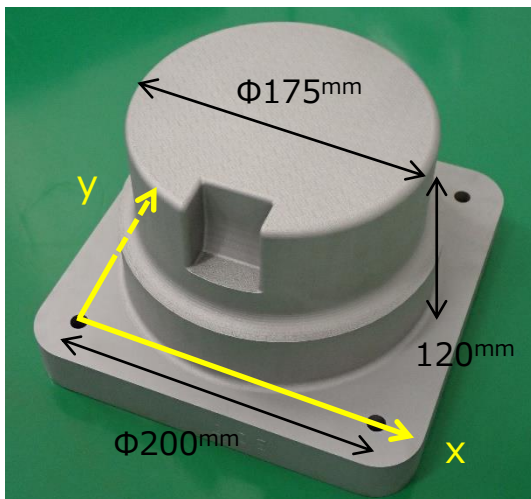


図.LTX™の模擬型の造形例※2)

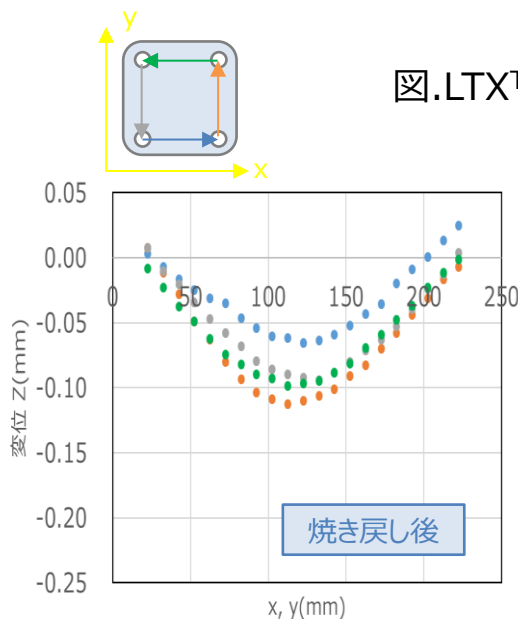


図.ベースプレート界面の変位



図.LTX™でのインサートの造形事例

■ 10000shot後の金型に発生する熱疲労によるクラックをマルエージ対比大幅に抑制

サンプル

- ・材質:LTX™、マルエージング鋼
- ・工程:AM→焼戻し(LTX™)
AM→時効(マルエージング鋼)
- ・硬さ:51HRC

試験条件

Al合金	ADC-12
注湯量	600g
溶湯温度	685℃
高速射出速度	1.6m/s
鋳造圧力	65MPa
離型剤/噴霧時間	MS-10(希釈率100倍)/3s

試験方法

- ・ダイカストマシンで10000shot鋳造
- ・可動入子の損傷状態を比較



□ □ :可動入子

表.10000 shot 鋳造後の可動入子の損傷状態

硬さ	51HRC	
材質	マルエージング鋼	LTX™
外観		

まとめと今後の展望

■ AMに適したダイカスト金型用材料

- 水冷孔を自由に配置できる積層造形金型の実用化が始まる
- 既存の金型材料はマルテンサイト変態により変形や割れが発生し易い
- 狙いはサイクルタイムの短縮や焼き付きの抑制
 - ・ヒートクラックを抑制可能な高熱伝導率粉末HTC™45
 - ・SKD61の造形性を改善したLTX™
- ギガキャスト等への使用を想定した大型金型の実用化が進む

■ 今後

- AM技術は未成熟であり、金型の実用化には、材料および造形メーカー、ユーザー様との連携が不可欠です。
実用化と一緒に取り組んでいただき、新たなパートナー企業様との連携を希望しております