

高熱伝導耐熱マグネシウム合金

本田技研工業株式会社

既存のMg合金に対して、

- ① 高温環境下でもMg合金の様々な一般特性に優れ、かつ低コスト
- ② 常温では熱伝導性に優れる

一般的なMg合金の特徴



Honda Mg合金の特徴

高温環境下
(200~300°C程度)

高強度、熱伝導性、電気伝導性、
耐食性を低コストで提供

熱膨張を抑え、部品間のクリアランスを維持
→ 機械部品に最適な合金



常温

十分な耐食性があり、熱伝導性と
電気伝導性を提供

目的

- エンジン軽量化
比重 **1.8 g/cm³** (鉄の1/4以下)
- 温暖化ガス低減
- エンジン可搬性の向上
- 作業負荷の低減



従来のマグネ合金の課題

アルミニウム合金に比べ、

- 低強度
- 低熱伝導
- 発火しやすい

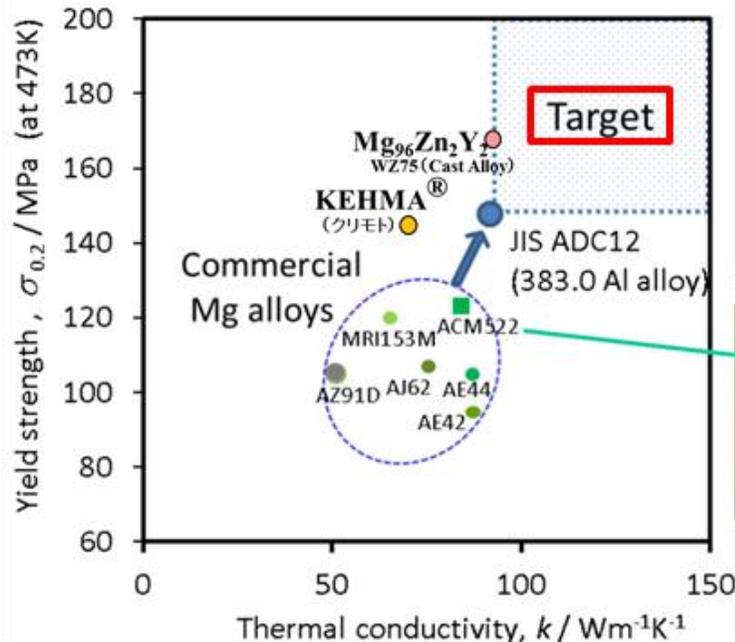


エンジン性能、排気エミッション悪化

狙い

1. 軽量化に加え**高温強度**、**熱伝導特性**を兼ね備えたMg合金
2. ダイカスト等製造工程での**溶湯難燃性** (防燃ガス抑制/環境負荷低減)

高
↑
高温強度
↓
低



溶解炉の難燃性の実現



低 ← 熱伝導 → 高

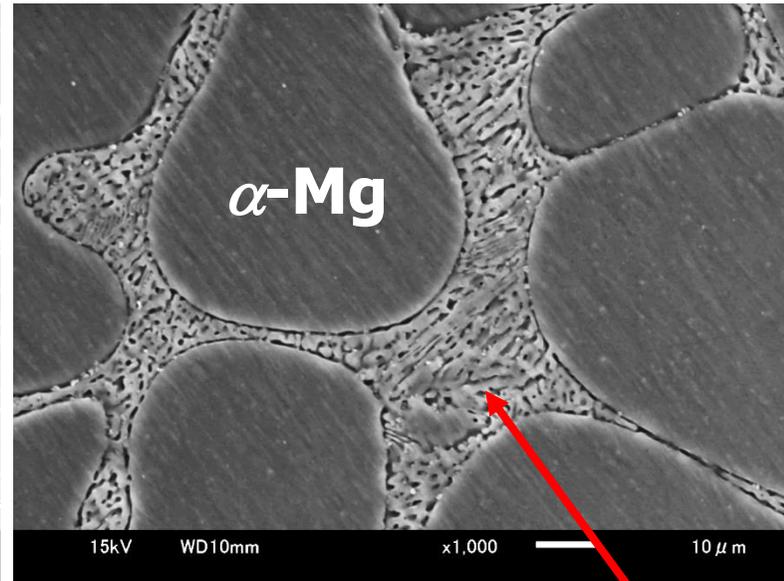
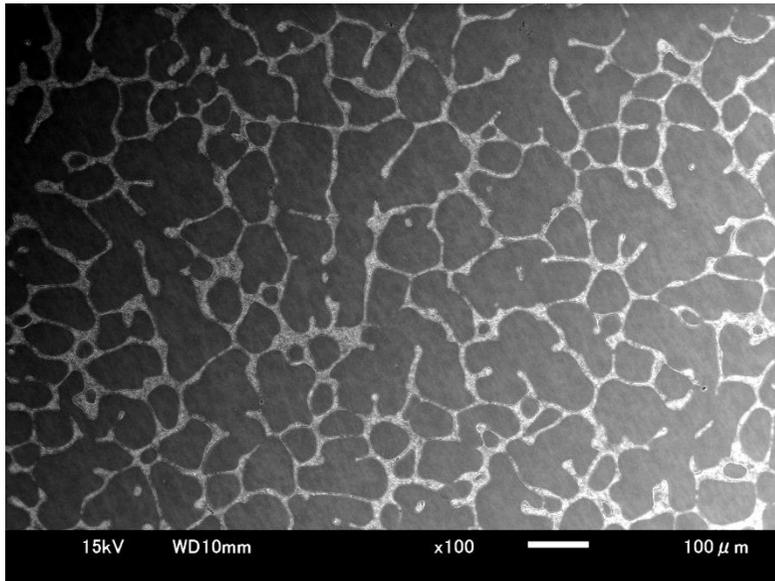
達成手法

高温強度付与:

粒界に高融点晶出相を**3D-Network**化させ、骨格形成

↪ ① **LPSO phase** or ② **Mg₂X** etc.

~~Mg₁₇Al₁₂ (低融点)~~



Ex.) Microstructures of Mg-3%Ca alloy

Mg₂Ca

達成手法

高温強度付与:

一般的にAl添加で固溶強化 + Mg₁₇Al₁₂相強化(低融点)
AZ系、AM系

具体的高温強化手法

Ca化合物相で骨格形成(粒界晶出) ⇒ 高温強度
+
Si添加 Ca-Mg-Si系化合物分散 ⇒ 高温強度
+
Al添加 ⇒ 铸造性

$$Al/Ca \leq 5/3$$

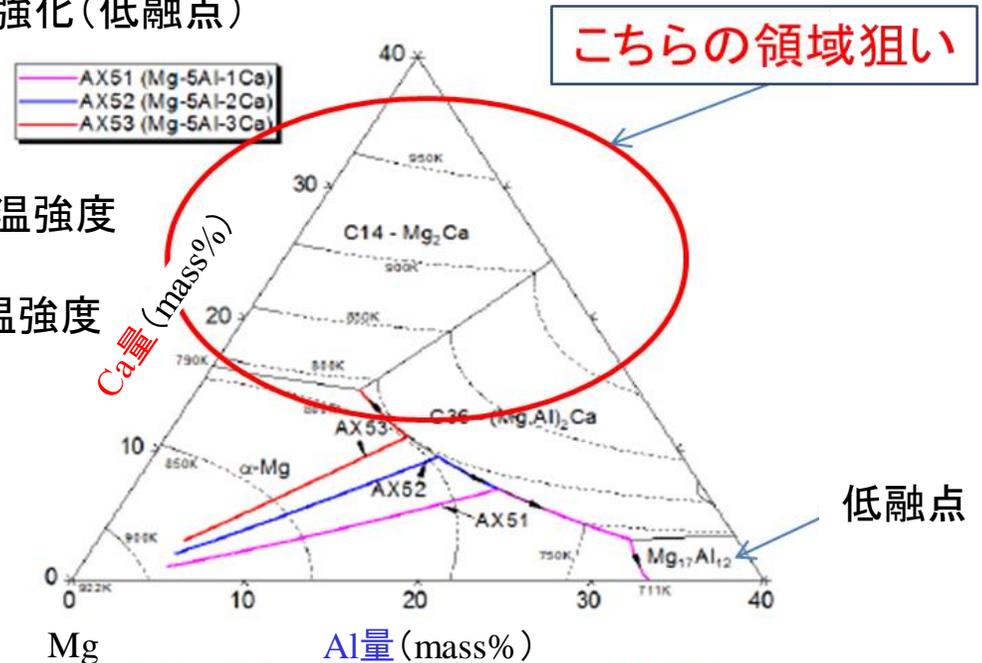
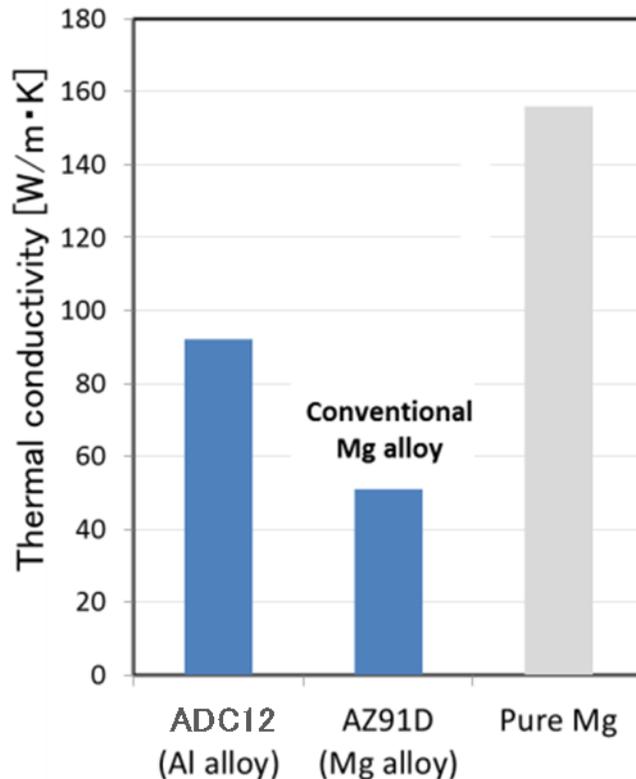


Fig. 1. Calculated Mg-Al-Ca liquidus projection and the solidification paths of the experimental Mg-Al-Ca alloys.

達成手法

熱伝導特性付与:

マトリクス(母相)を純Mg化し、**熱の通り道**を形成
純MgはAl合金より高熱伝導 ⇒ **固溶強化しない**



Thermal resistance

$$\rho = \rho(T) + \{ \rho_{chem} + \rho_{phys} \}$$

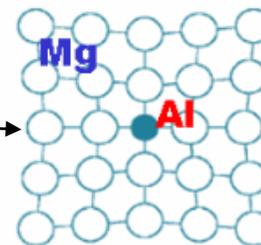
$\rho(T)$: by lattice vibration

ρ_{chem} : by impurities

ρ_{phys} : by lattice defect

Example

AZ91D: solid solution strengthening by Al
⇒ Low heat conduction



達成手法

ジャングルジム

鉄フレーム
子供の通り道

本Mg合金

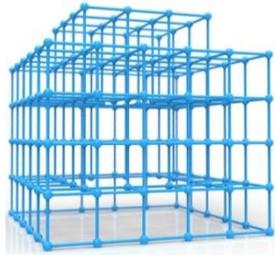
化合物強化相 (Mg_2Ca 等)
純Mg母相 (熱の通り道)

Mg合金各相の役割

強度保持 (高温も)
熱伝導

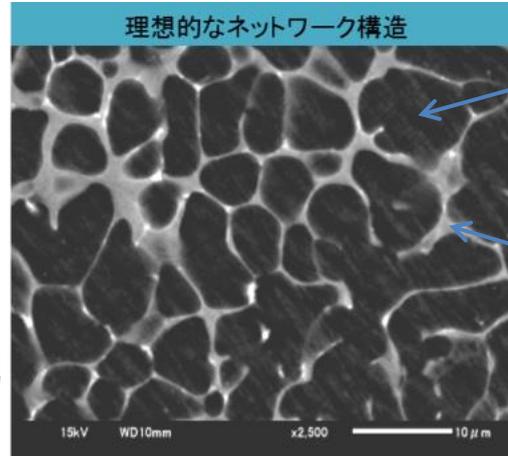


3D構造
イメージ



ジャングルジム

顕微鏡組織
イメージ

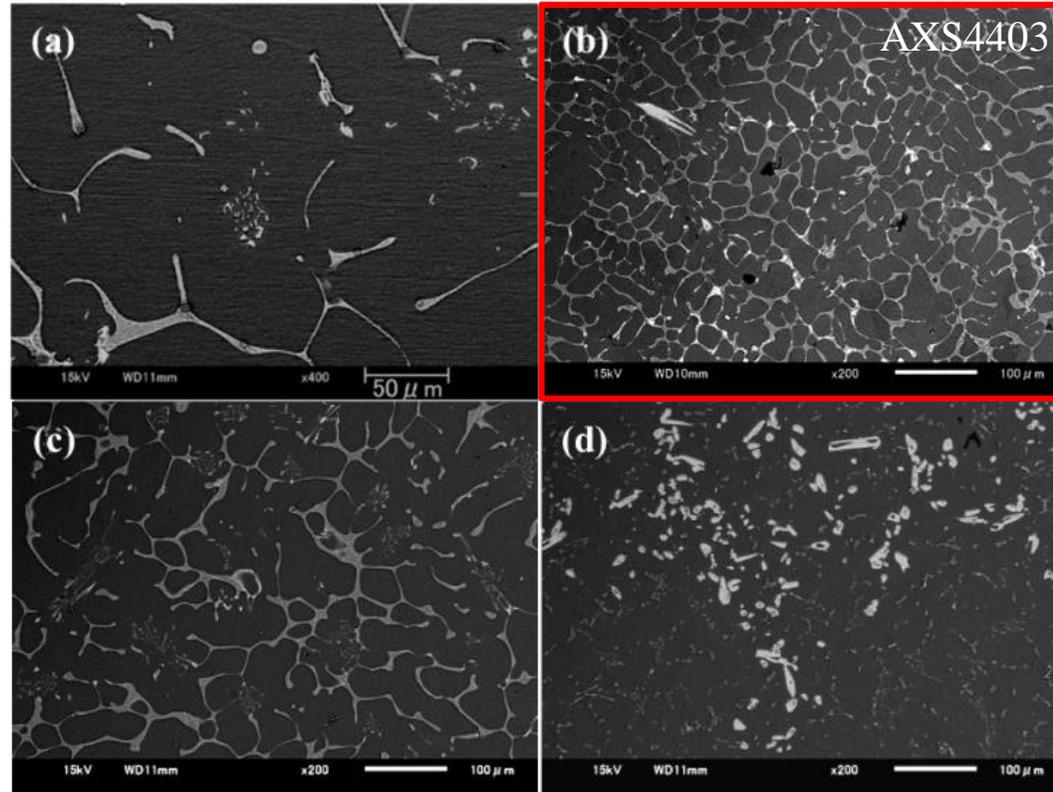
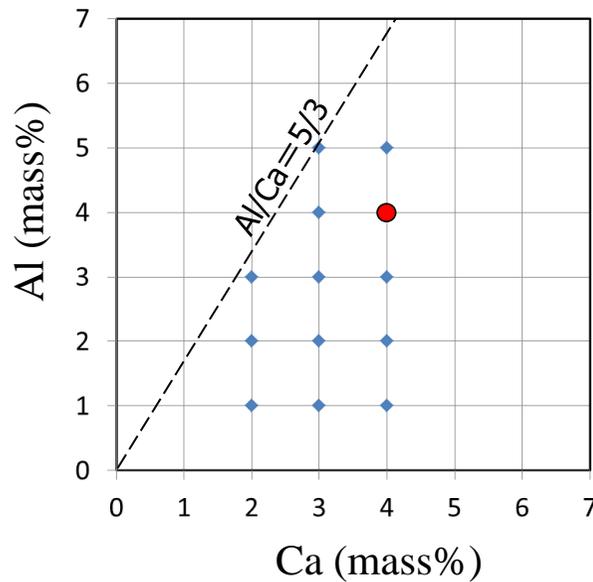


理想的なネットワーク構造

- a) Matrix : pure Mg
(High heat conduction)
- b) Boundary : Mg_2Ca , Al_2Ca
& $(Mg, Al)_2Ca$
3D network (High strength)

合金組成

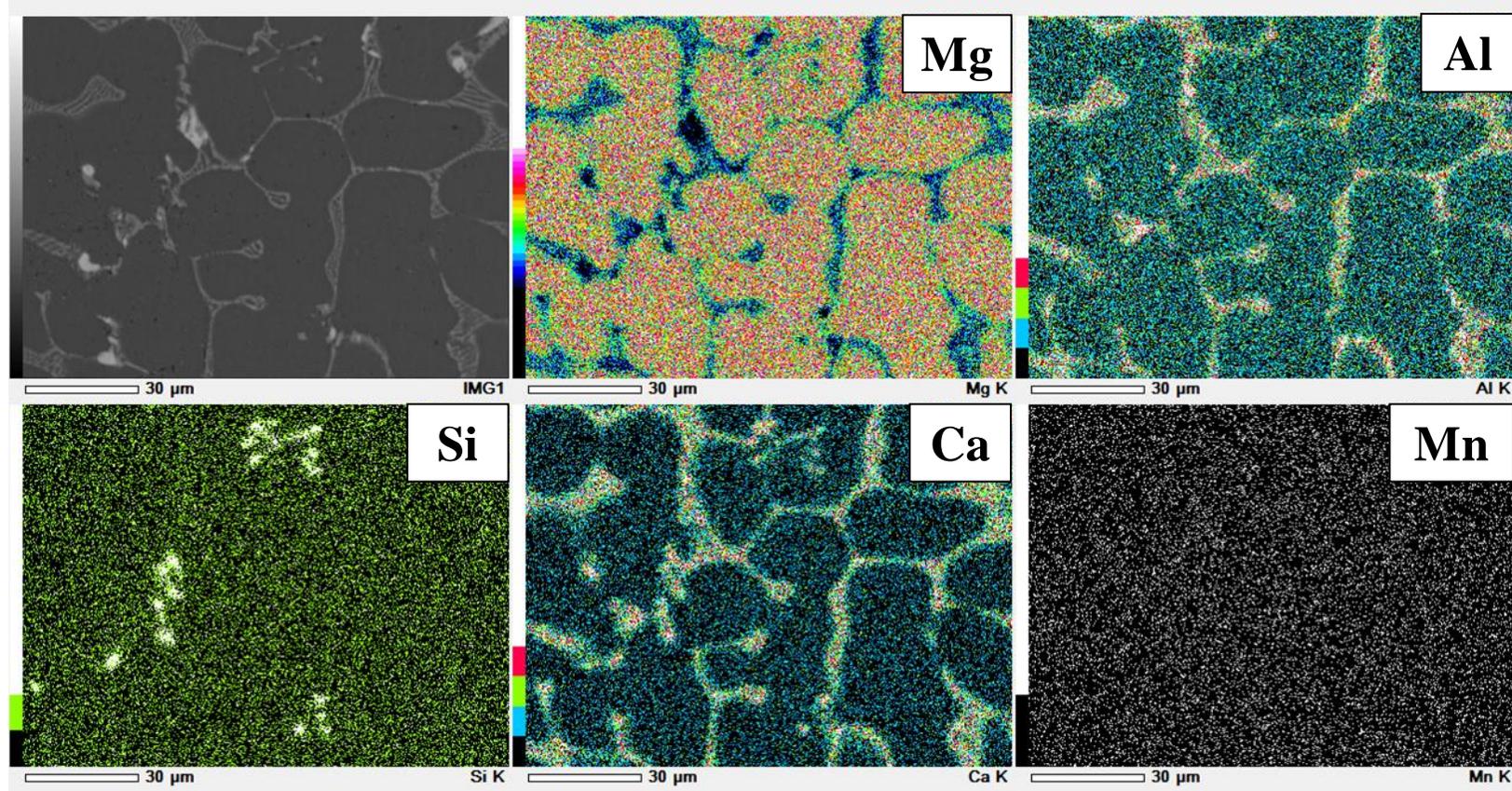
Mg-Al-Ca-Si, Al=1~5, Ca=2~4, Si=0.3~2 (mass%) $Al/Ca \leq 5/3$



SEM-BSE images of (a) Mg-1%Al-2%Ca-0.3%Si alloy, (b) **Mg-4%Al-4%Ca-0.3%Si alloy**, (c) Mg-3%Al-3%Ca-1%Si alloy, (d) Mg-3%Al-4%Ca-3%Si alloy.

4%Al、4%Ca、0.3%Si添加で3D網目状組織となる

適正マイクロ組織



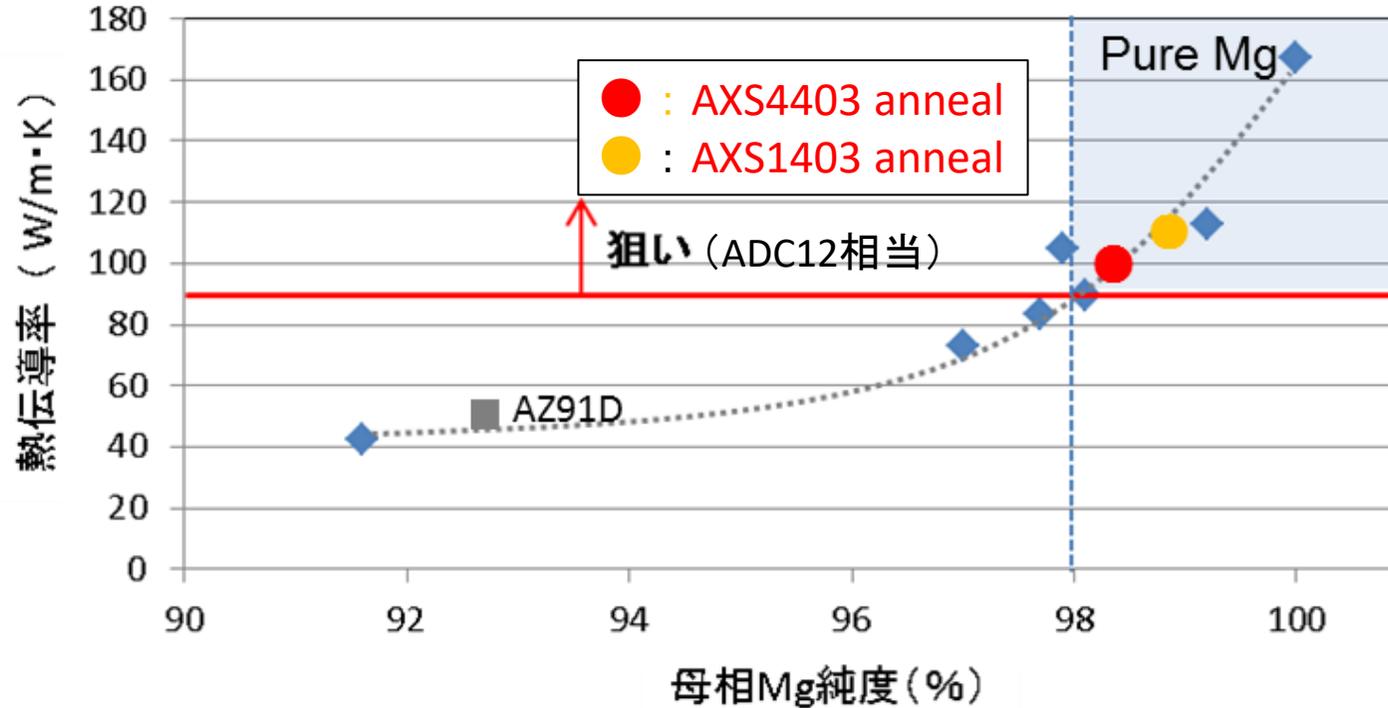
SEM-EDS mapping of (b) Mg-4%Al-4%Ca-0.3%Si alloy.

(Mg, Al)₂Ca 系のネットワーク化した粒界晶出相とCa-Mg-Si系晶出相が見られる
母相はMg主体である

狙い通りの(Mg, Al)₂Ca 系の3D網目状組織形態、母相Mgリッチな組織を持つ

熱伝導特性

母相Mg純度と熱伝導率の関係



Relationship of thermal conductivity and Mg purity in Mg matrix.

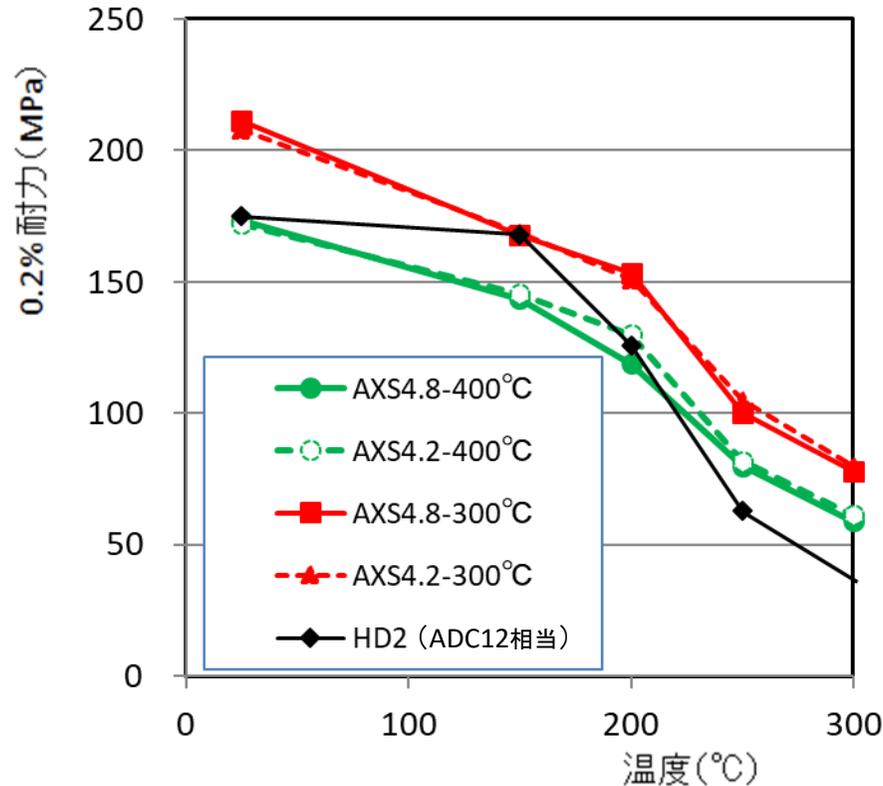
目標熱伝導率 90 W/m·K以上を満たす

* Mg-4%Al-4%Ca-0.3%Si 合金を
以降AXS4403と表記

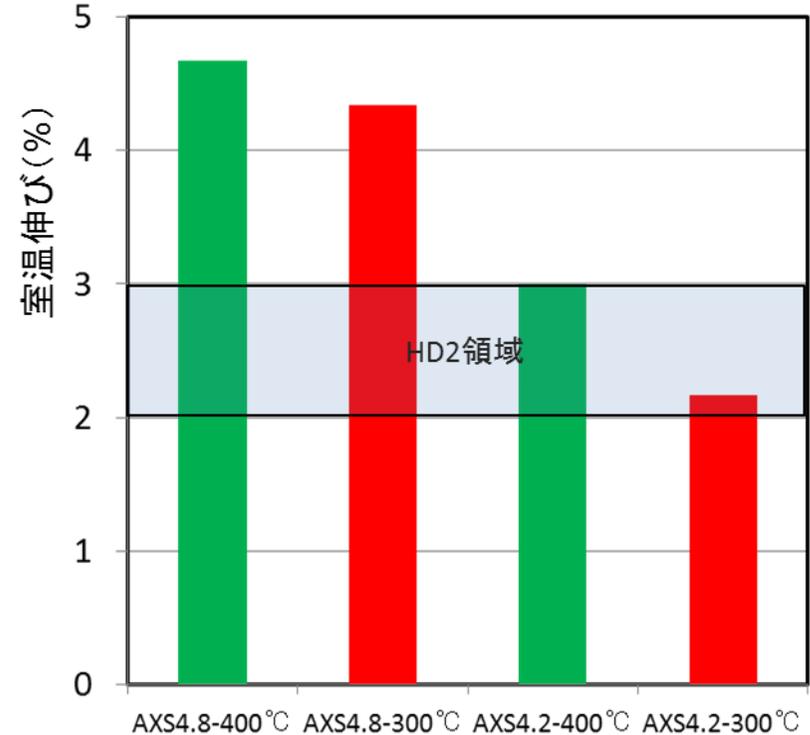
アルミニウム合金ADC12相当、マグネシウム合金AZ91Dの約2倍の熱伝導率を持つ

引張特性

合金組成による0.2%耐力のばらつき



室温伸びのばらつき

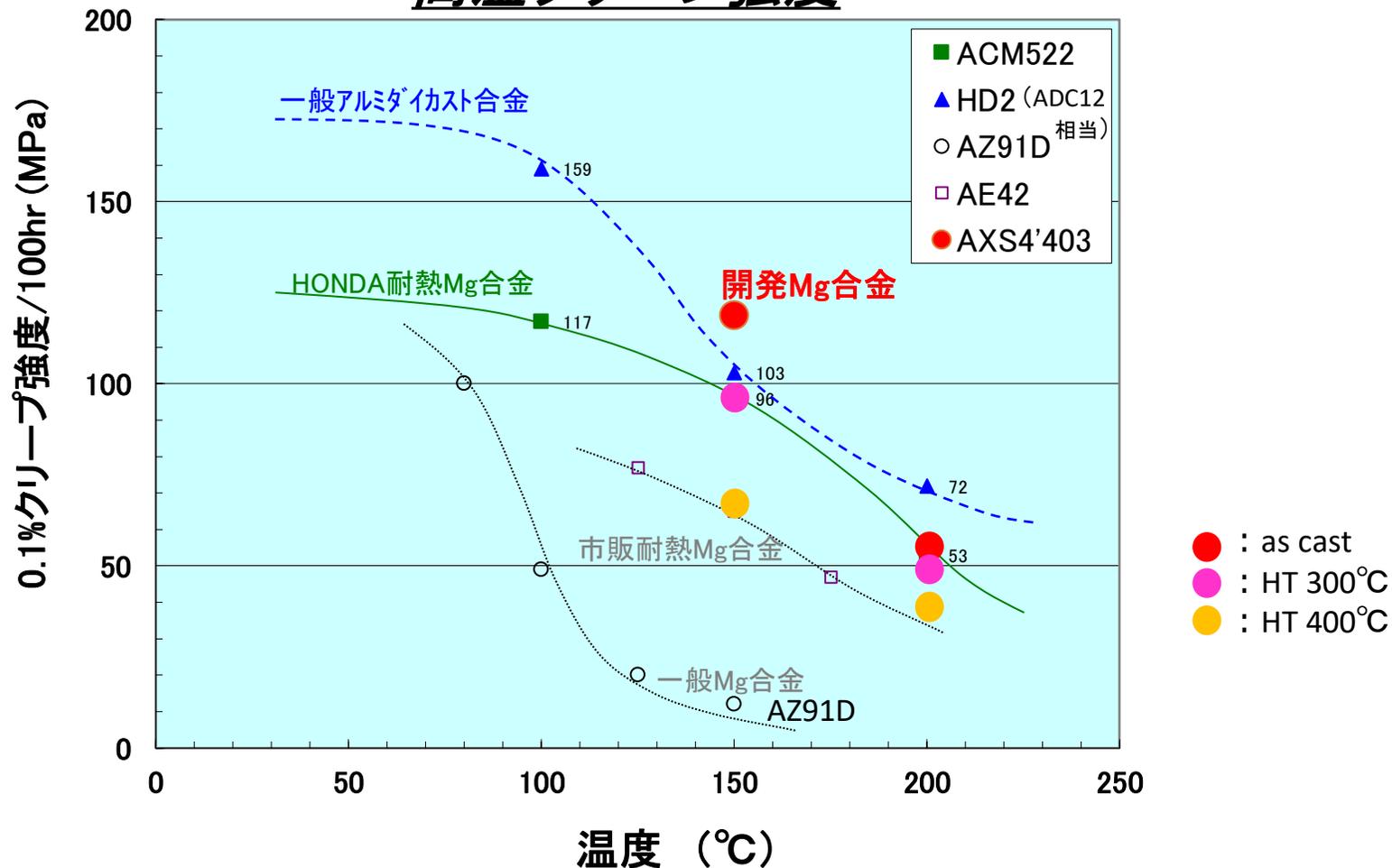


AXS4.8-400°C エンジンテスト材 (4.8はAl添加量、Caはすべて4%添加)
 AXS4.8-300°C 熱処理変更材

ADC12同等レベルの0.2%耐力、同等以上の延性を持つ

クリープ特性

高温クリープ強度

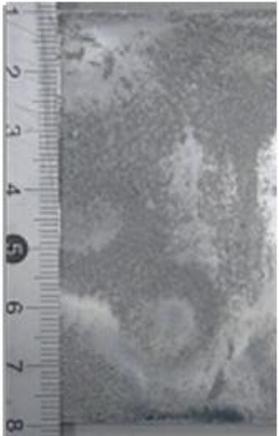
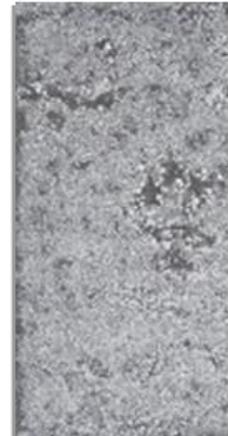
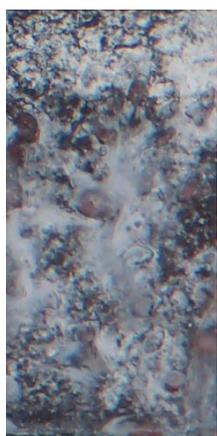
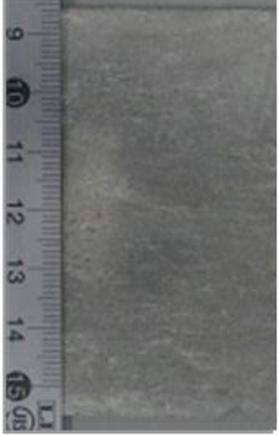
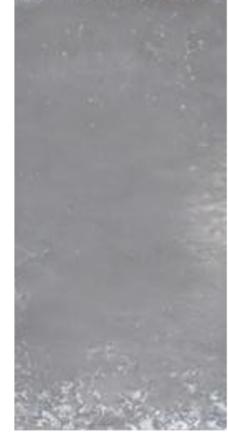


150°Cクリープ応力はADC12レベル（組成：AXS4'403）、200°Cクリープ応力はADC12 30%減で考慮要

耐食性

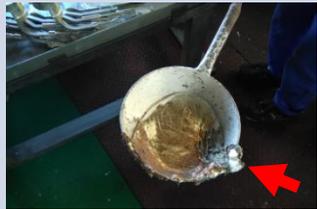
塩水噴霧試験 (SST) at 35°C

* 鑄肌まま

	1h後	8h後	48h後	300h後	1000h後
ADC12					
AXS4403					

塩水噴霧による**裸材**の一般耐食性はアルミニウム合金ADC12に劣らない

溶湯難燃性

	溶解時（静置）	DC casting中（攪拌）	DC後、溶湯静置	溶湯の酸化被膜
ハース材 AXS4.5	不燃 10分 681°C  防燃ガス停止	4分後、 燃焼有  防燃ガスあり	燃焼続く  防燃ガス停止	厚い（ 铸造欠陥要因 ） 
AXS4.5 M.M. (La、 Ce)	不燃 10分 681°C  防燃ガス停止	不燃  防燃ガス停止	不燃 10分 692°C  防燃ガス停止	薄い（ 良好 ） 

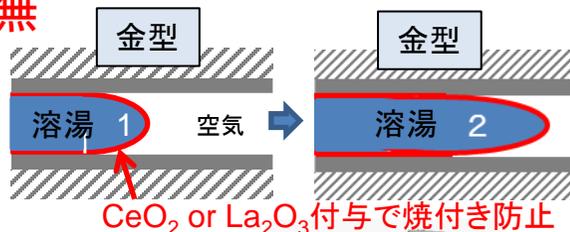
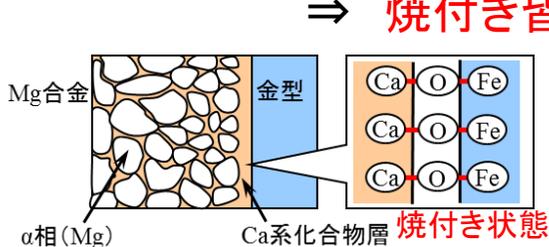
実験の結果、**M.M.添加仕様**はテスト中燃焼は全く発生せず、
铸造中防燃ガスを止めても燃焼のない**良好な難燃効果**を達成できた
生成した**酸化被膜も薄く**、**铸造欠陥**に対しても**優位**と考えられる

溶解、ダイカスト工程を通して、環境負荷の高い**防燃ガスが不要**となる**高い難燃性**を示した

耐焼付き性

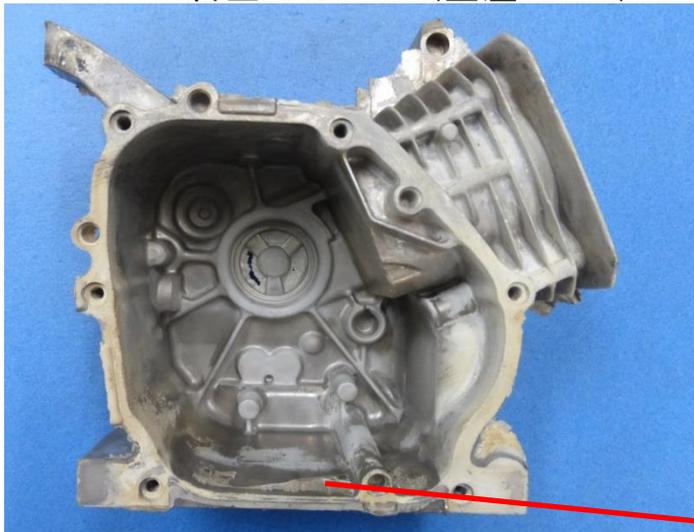
ベース合金とM.M.微量添加合金比較

⇒ **焼付き皆無**



型温を上げたにもかかわらず、焼付きはなくなった。最表面に金型材の鉄と反応するCa系被膜でなく、鉄との反応のないREの被膜(CeO₂等)が形成されたためと考えられる。

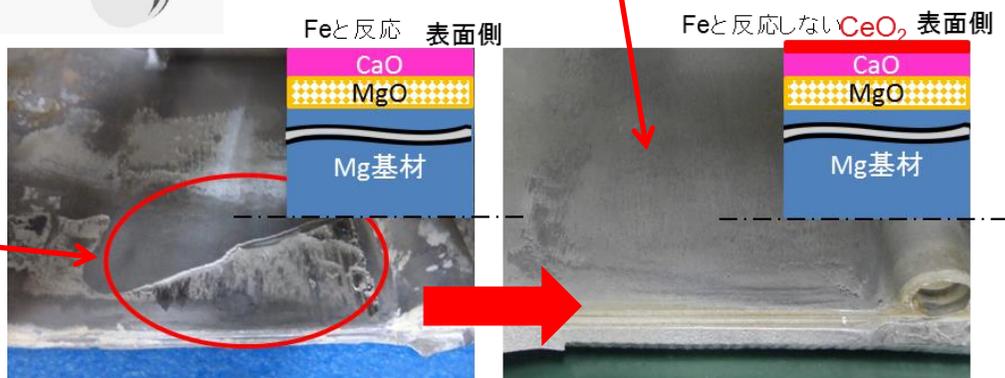
1. ベース合金AXS4'403 (型温150°C)



温度の高い湯口近傍



2. AXS4'403+M.M. (La, Ce) (型温270°C)



M.M.添加により、金型温度upという厳しい条件下においても耐焼付き性を改善できた

試作例

Mgエンジン仕様は、ADC12現行量産仕様に対し、同等レベルの初期性能を有する

Mgインバーターケースは、ADC12現行量産仕様に対し、同等レベルの放熱性能を有する

従来の耐熱Mg合金では熱伝導率が低いためヘッド温度が40°C以上高くなり、性能低下と排気エミッション悪化が生じる結果となった

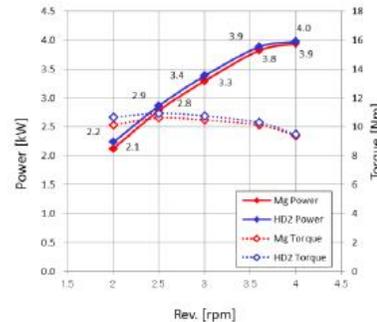
Engine barrel



Inverter case



Passed performance test



For GX160 Engine (barrel, cover, head)

Good heat radiation



		Power 2.8 kW		
Material	Al alloy	Developed Mg alloy		
	ADC12	AXS1303		
	Mass production	As cast	Heat treatment	
Case weight	694.4 g	452.9 g		
Thermal conductivity	113 W/mK	97.5 W/mK	111 W/mK	
Measurement point	Diode	93.6°C	99.2°C (+5.6)	94.5°C (+0.9)
	Thyristor	93.0°C	97.8°C (+4.8)	95.3°C (+2.3)
	FET1	96.2°C	107.2°C (+11)	90.7°C (-5.5)
	FET2	97.0°C	106.7°C (+9.7)	95.1°C (-1.9)

97.5 W/m・Kでは不十分
汎用Mg合金 AZ91Dは51 W/m・K

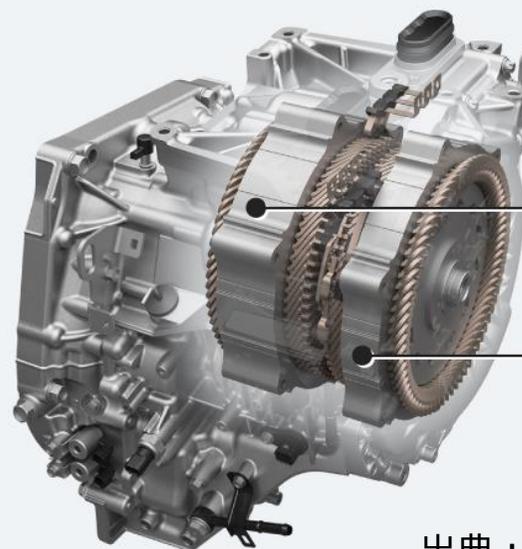
エンジン⇒電動化 軽量化は必須

高出力VCU一体PCU



磁気結合
インダクター

モーターケース



走行用モーター

発電用モーター

出典：HONDAホームページ

各種ヒートシンク類

インバーターケース



5G等発熱増対応ヒートシンク・筐体 (通信関連)

高所設置LED灯放熱フィン

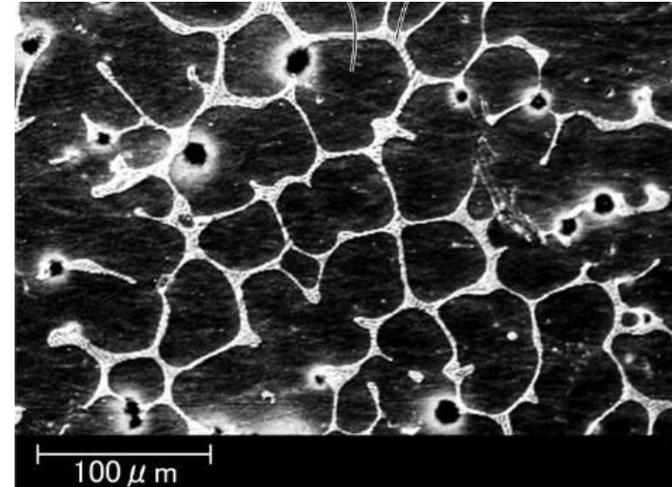
(青字は自動車関連、緑字は航空宇宙関連)

		高温ニース	
		低	高
		~150°C	
軽量化ニース	高 (移動体・高所設置)	<ul style="list-style-type: none"> 内外装部材、構造部材 (主に自動車。エレベーター、探査船等含む) シートフレーム、ステアリング芯材 ・燃料/オイルポンプ・バルブ 防振装置 (エンジンマウントハウジング、ブラケット、サスペンションアーム等) インバーター・コンバーター等電力変換機器ケース (自動車向け、通信基地局向け等) ECUケース (自動車向け) ・電池モジュールケース (自動車向け等) モーターケース (サーボモータ含む。主に自動車・二輪車、船舶、航空機向け) 自動車エアコン用圧縮機の機構部品 (シュー、ピストン、うず巻体) LEDヘッドランプ (照明) ハウジング・ヒートシンク ・ホイール (自動車・二輪車) ミリ波レーダーのベースケース ・車載カメラ用ベース ・ABSボディ 燃料電池 (PEFC) 用セパレーター、スタックマニホールド (移動体用) 水素充填ノズルのハウジング ・電気自動車充放電用コネクタのハウジング 航空機部品 (内装品、座席、ストリンガー、ランディングギア等) PC・デジカメ等モバイル機器 (監視カメラ含む) ・電動工具の筐体 歯車 (風力発電向け等) ・自転車用フレーム 介護補助具 (歩行器、車椅子等)、介護器具 (ベッド等) 内視鏡 (筐体、カメラの気密パッケージ) ・歯科用ハンドピース 生体インプラント (ステント、足場、人工骨等) 架空電線 ・パラボラアンテナ 工作機械・半導体製造装置の駆動用ステージ部材 ロボットアーム・ロボット用部材 (真空搬送ロボット等) 	<ul style="list-style-type: none"> 自動車エンジン部品・周辺部品 (シリンダブロック、シリンダヘッド・カバー、シリンダライナ、ピストン、バルブ、リフター、タペット、スプロケット、コンロッド、オイルパン等) EGRバルブ トランスミッションケース (シフトフォーク等部品含む) ウォータージャケット (スパーサの骨格等) 航空機部品 (ヘリコプターギアボックス、ブレーキハウジング等) 人工衛星部品 (構造材、振動吸収材等) 太陽電池パネルのフレーム (人工衛星向け) 移動式発電機 メタルベース基板・メタルコア基板 (パワーデバイス、LED等向けの放熱性を高めたプリント基板) メタルマスク (ハンダ、有機EL蒸着等)
	低 (地面置き)	<ul style="list-style-type: none"> インバーター等電力変換機器ケース (地面置き機器向け) モーターケース (地面置き機器向け) ・熱交換器 (エアコン用等) ヒートシンク (LED、半導体素子等向け) ・コンデンサ外装材 (アルミ電解コンデンサ) レーザー光源 (UV-LED含む) のパッケージ (キャップ等) 電磁波シールド性化粧シート・壁材 (医療施設等。※航空機壁面は軽量化ニース高) スクロール式流体機械のスクロール (空気、冷媒等の圧縮機用等) 各種センサのケース (超音波センサ、流量計、ガスセンサ、水晶デバイス等で一般用途) 分光分析、金属検出機、三次元計測等計測器のケース・部品 (可搬型は軽量化ニース高) ・防食用マグネシウム陽極 	<ul style="list-style-type: none"> 各種センサのケース (超音波トランスデューサー等でプラント等高温用途) マイクロアクタの流路構成部材やカバー 石油・ガス採掘に使われるフラックボール (分解性が要求される) キャンドモーターポンプのボディ (石油化学、石油精製、油脂化学、電力、食品、半導体、空調等で利用される) 地熱発電用媒体移送管 タイヤモールド

特願2015-107787

質量%で、

- ① **Ca**を**9.0%未満**
- ② **Al**を**0.5%以上5.7%未満**
- ③ **Si**を**1.3%以下含有し、**
残部が**Mg**及び**不可避免的不純物**からなり、
- ④ **Al + 8Ca** \geq **20.5%**
である、**耐熱性マグネシウム合金**。



***その他7件（他社との共有特許含む）
の特許を複数の国で出願しています。**

1. Honda取引先からのインゴット購入

弊社と取引のあるダイキャストメーカーより素材・インゴットをご購入いただき、加工していただくことが可能です。

2. 特許ライセンス

貴社にて素材メーカーを選定していただいた上で研究開発を推進していただくことが可能です。