

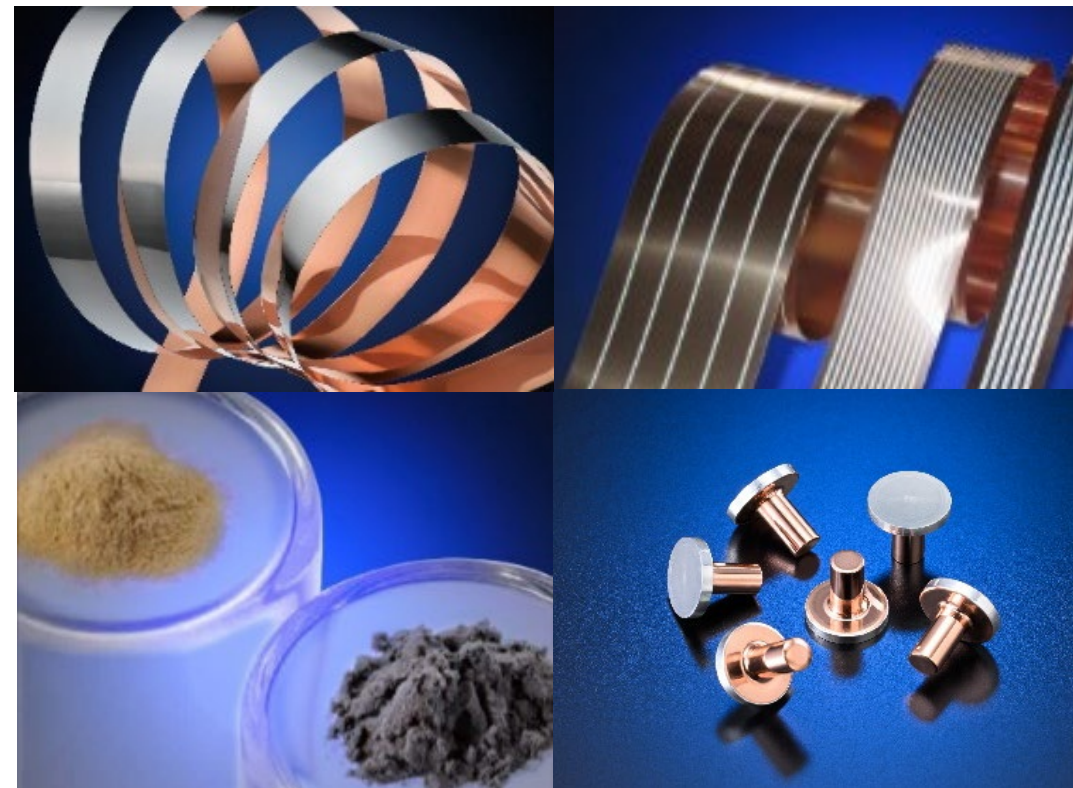
三井ハイテック殿向けプロテリアル展示会

SiCパワー半導体時代に向けた 新電子材料

2024年11月28日

株式会社プロテリアル金属

技術開発部 外木 達也



本資料には株式会社プロテリアル機密情報が含まれています。
事前の許諾無く第三者への開示及び目的外での使用(特許出願を含む)
並びに複製・複写・転載・転用・編集・改変などの二次利用を禁じます。

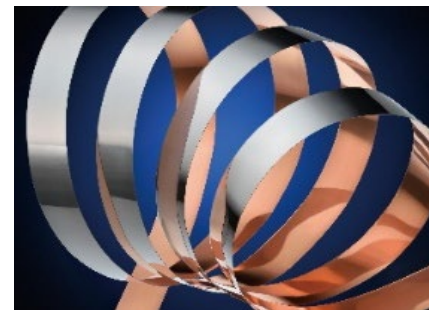
1. (株)プロテリアル金属のご紹介

1-1. プロテリアル金属の製品概要

PROTERIAL

材料技術

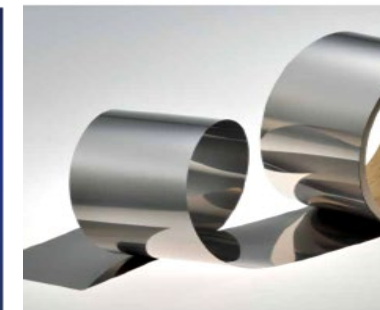
- ・合金設計
- ・圧延技術
- ・クラッド技術



クラッド材



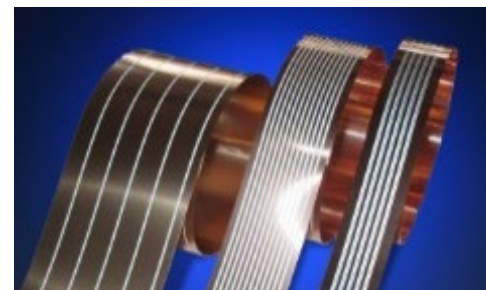
半導体用銅条



ステンレス箔

表面処理技術

- ・めっき
- ・酸化被膜処理



ストライプめっき

二次加工技術

- ・切削
- ・曲げ
- ・溶接
- ・打ち抜き
- ・絞り
- ・ヘッディング
- ・造粒
- ・ろう付け
- ・磁性焼鈍
- ・鍛造



NiP粒子



クラッド端子 CLAMET®

1-2. 製造拠点

PROTERIAL



吹田工場

合金材料・クラッド材料の製造



**北日本工場
新潟製造部**

精密めっき製品の製造



**北日本工場
秋田製造部**

高精度・極薄・
圧延金属箔の製造



鹿児島工場

個片加工・
表面処理加工製品の製造

Confidential



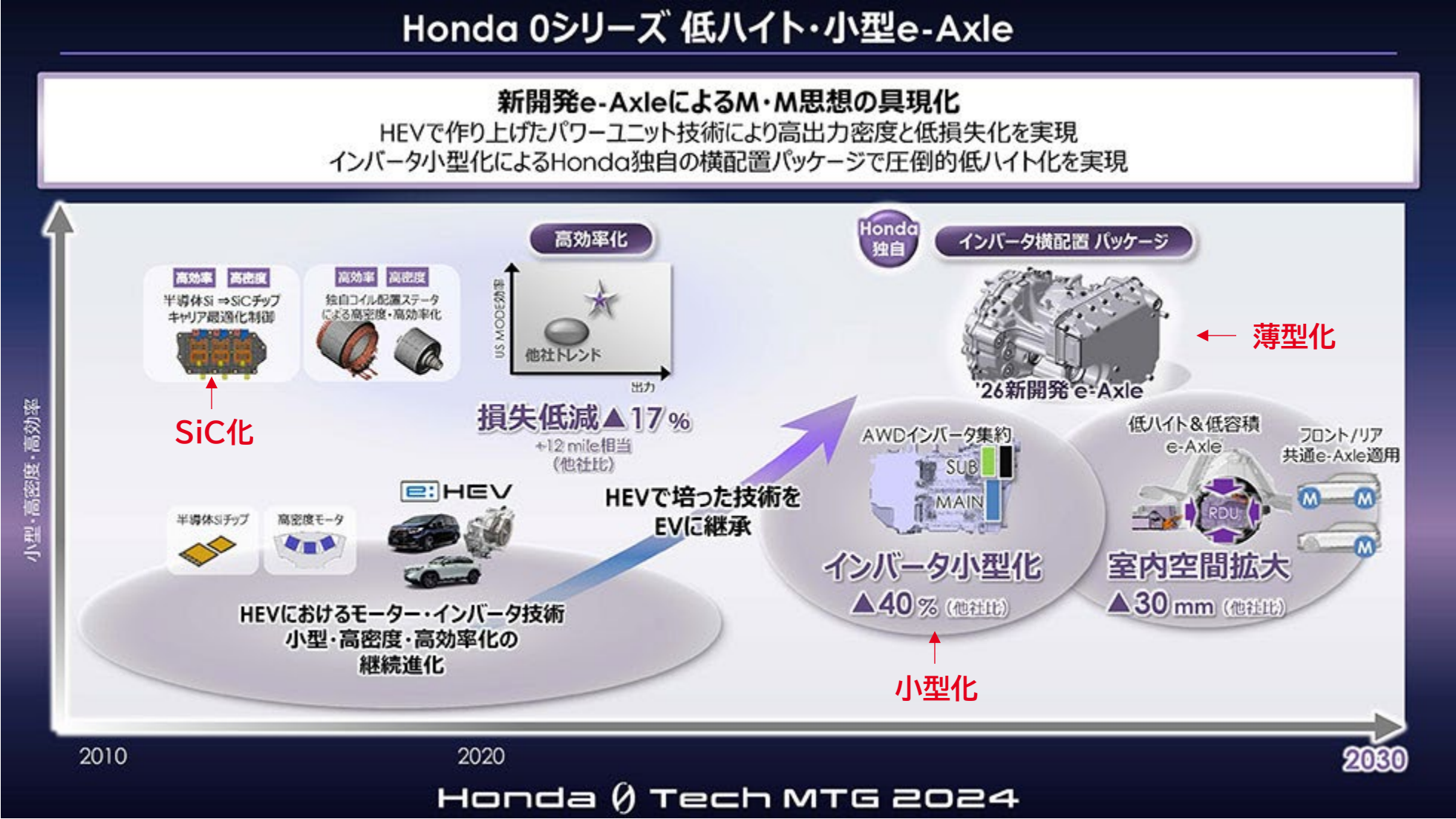
土浦工場

銅条・銅合金条・電気用伸銅品
銅加工品
クラッド材料の製造

2. 車載パワー半導体モジュールのトレンドについて

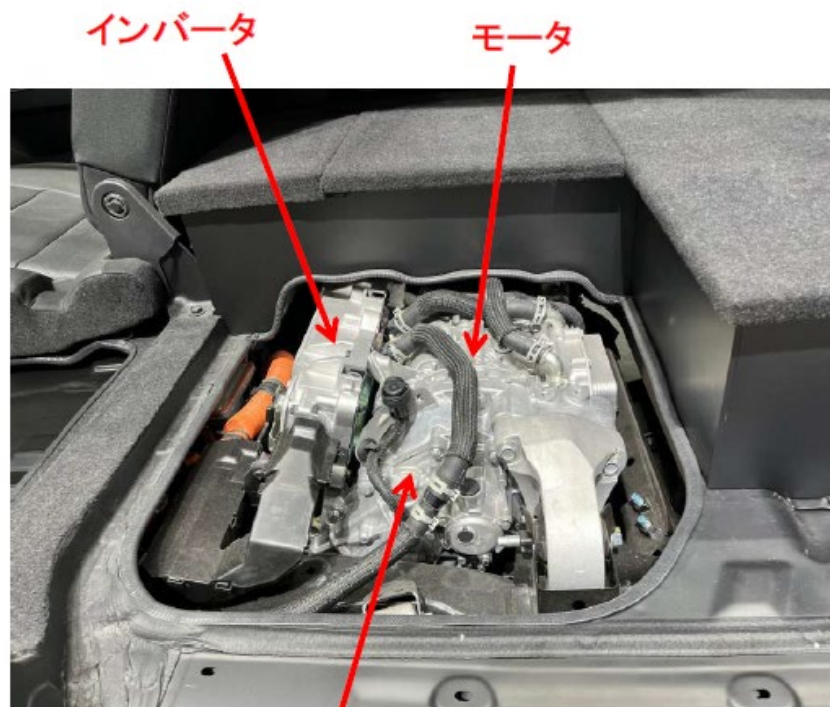
2-1.カーメーカーの動向①

・HondaのEV「0シリーズ」に関するニュースリリース



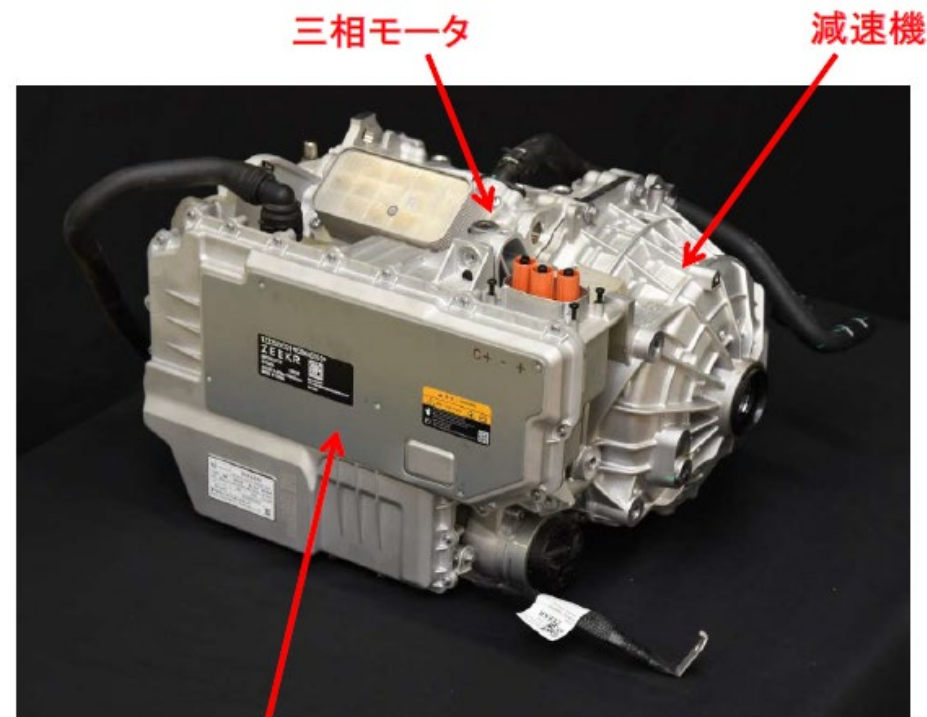
2-2.カーメーカーの動向②

- ・各社ともインバータの小型・薄型化を加速 ➡ パワー半導体モジュールの小型化が重要



減速機

日産アリアの電動アクスル

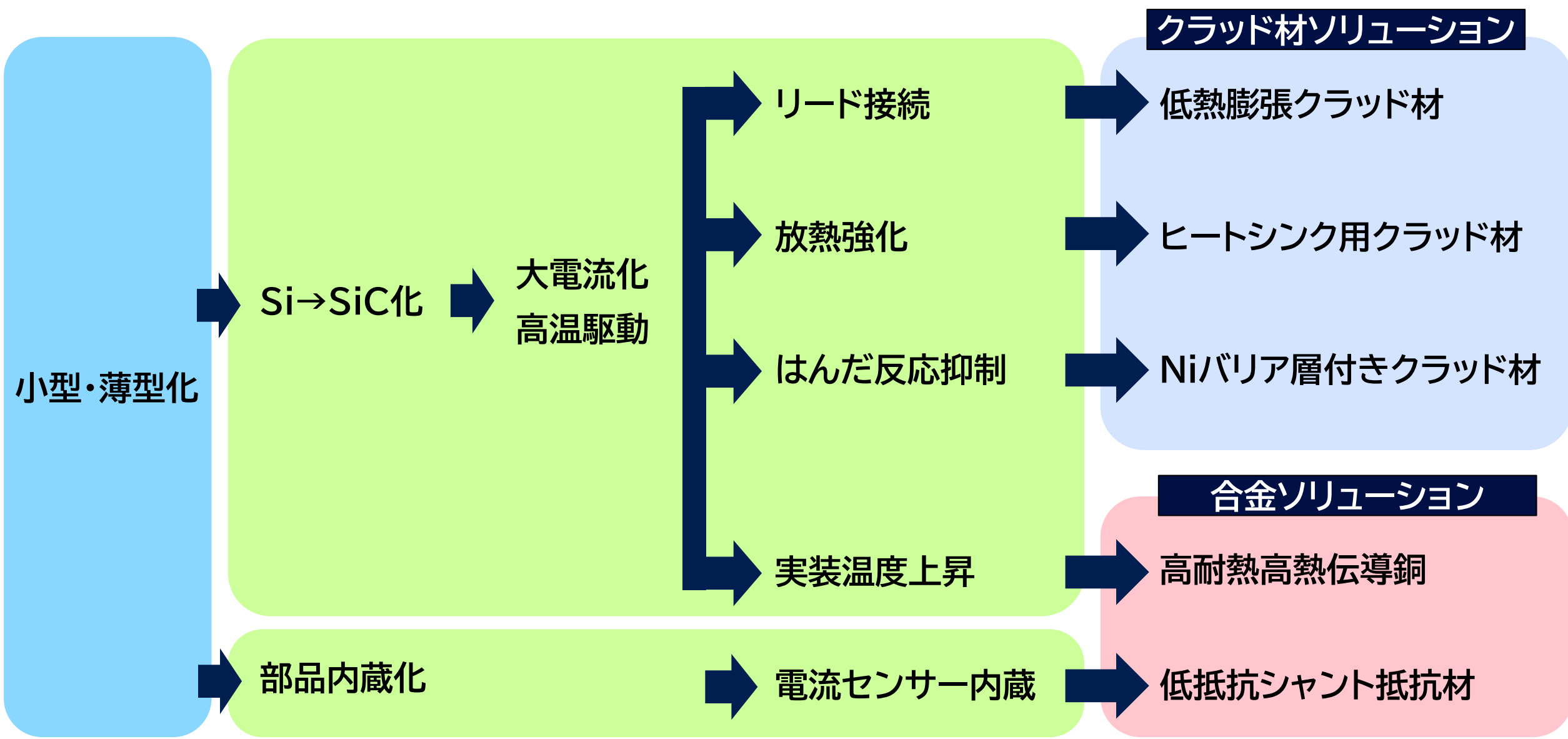


インバータ(310kW)

吉利ZEEKRの電動アクスル

2-3. パワーモジュールのトレンドと提案材料

PROTERIAL



3. クラッド材によるソリューション

3-1.クラッド材とは

技術概要

- 冷間圧接と熱処理の組み合わせによる強固な金属接合

冷間圧接

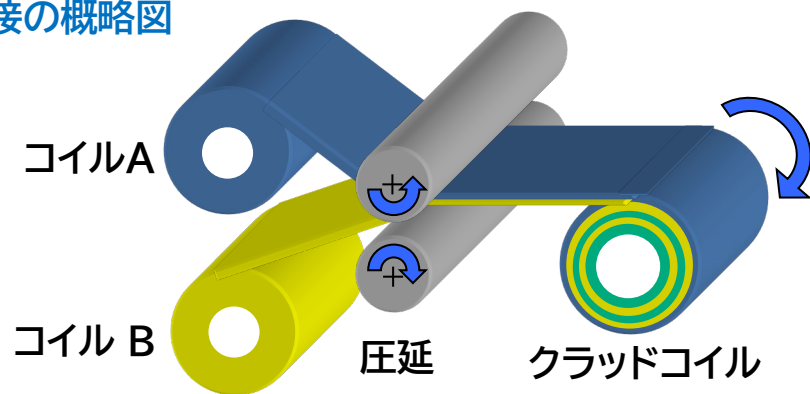
異種材料を重ね合わせ、
圧延、接合



拡散熱処理

熱処理により原子を拡散させ、
金属的に接合

冷間圧接の概略図



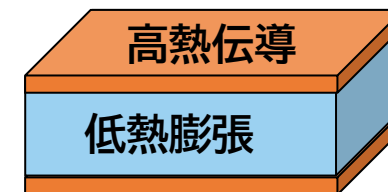
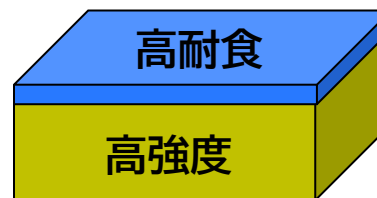
拡散熱処理後の金属界面例 (Ni/SUS304)



Confidential

特徴

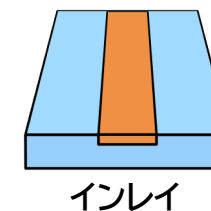
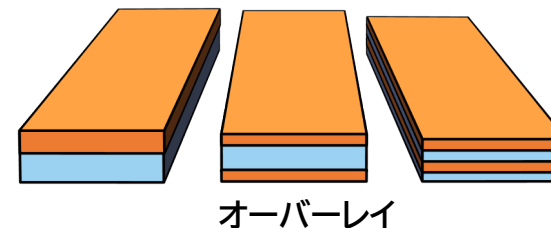
- 異種金属の組み合わせによる、単独の合金では得られない優れた特性を両立



- 強固な金属接合により打ち抜き、曲げ、深絞り等の加工も可能

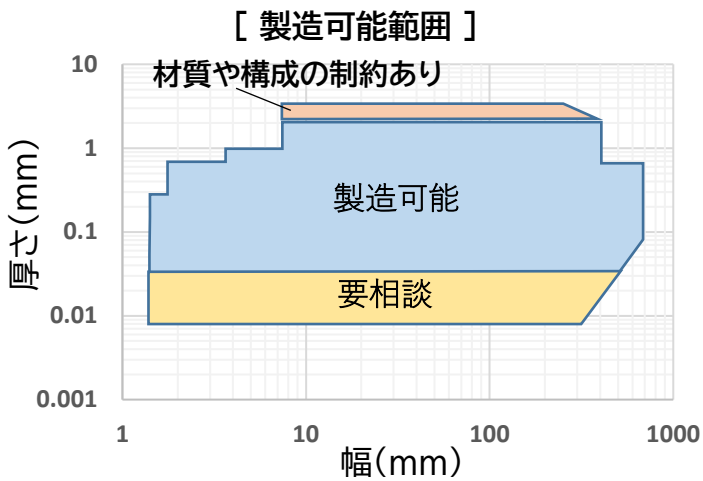


- 用途によりオーバーレイとインレイの2種類のクラッドが選択可能



3-2.クラッド素材の組み合わせ例

		① Fe及びFe合金					② Ni及びNi合金				③ Cu	④ Al	⑤ その他	
		オーステナイト系 ステンレス	フェライト系 ステンレス	Fe-36Ni合金	Fe-42Ni合金	Fe-Ni-Co合金	純ニッケル	Ni-Cr合金	Ni-Cu合金	パーマロイ	無酸素銅	アルミニウム	銀ろう	チタン
①	オーステナイト系ステンレス		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	フェライト系ステンレス			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Fe-36Ni合金				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Fe-42Ni合金					●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Fe-Ni-Co合金						●	●	●	●	●	●	●	●
②	純ニッケル							●	●	●	●	●	●	●
	Ni-Cr合金								●	●	●	●	●	●
	Ni-Cu合金									●	●	●	●	●
	パーマロイ									●	●	●	●	●
③	無酸素銅											●	●	●
④	アルミニウム												●	●
⑤	銀ろう													●
	チタン													



3-3.(1)リード材における低熱膨張クラッド材のご提案

1.対象箇所

- ・半導体チップへの給電リード

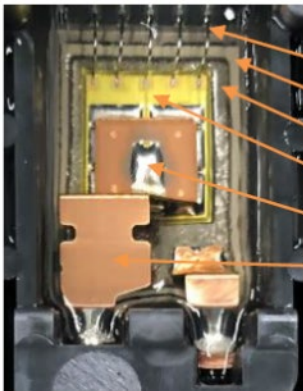
2.トレンド

- ・Alワイヤーボンディング⇒Cuリードはんだ付け



BYD OTTO3

引用:マークライنزWebiner
名古屋大学 山本教授資料



HONDAフィット

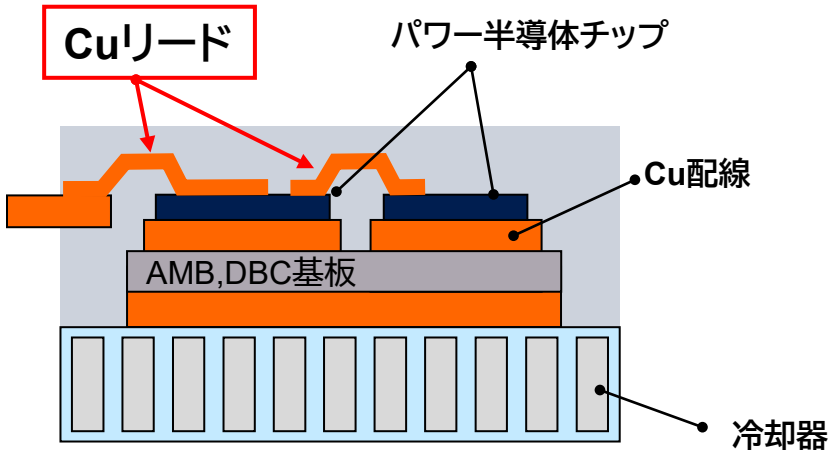
引用:モータ・パワエレ・水素エネルギー研究会
樫村様講演資料

- ゲートワイボンその他
- SiN基板
- 銅条
- RCIGBT
- はんだ
- Cuリード

3.課題

- ・半導体チップとCuリードの剥離

➡大きな熱膨張差により剥離が発生



	線膨張係数 ×10 ⁻⁶ /K	動作温度
Si	4	Max150℃
SiC	4	200℃以上可能
Cu	16	-

Cuリードの優位性

- ・電気抵抗が低いので大電流を流すことができる

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではございません。

3-3.(1)低熱膨張高熱伝導クラッド材:Cu/36Ni-Fe/Cu (CIC®)PROTERIAL

4.課題解決

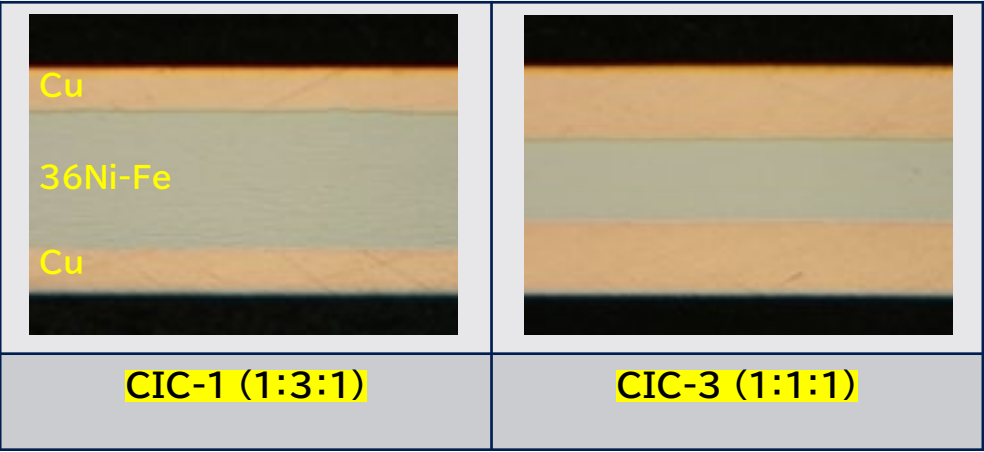
・CuやCu合金の代わりにCu/36Ni-Fe (Invar®) /Cuクラッド材(CIC)をリードに使用

コンセプト

熱伝導に優れたCuと低い熱膨張率のInvar合金をクラッド

表 .CICの諸特性

品名	厚さ比率			熱伝導率(計算値) (W/m・K)		熱膨張係数 :30-200℃ (×10 ⁻⁶ /K)	体積抵抗率 (×10 ⁻⁸ Ω・m)
	Cu	36Ni-Fe	Cu	板面平行 方向	板面直角 方向		
36Ni-Fe	0	1	0	13		2.5	79.8
CIC-1	1	3	1	164	21	3.6	4.1
CIC-3	1	1	1	262	36	7.6	2.5
Cu	1	0	0	391		17	1.7

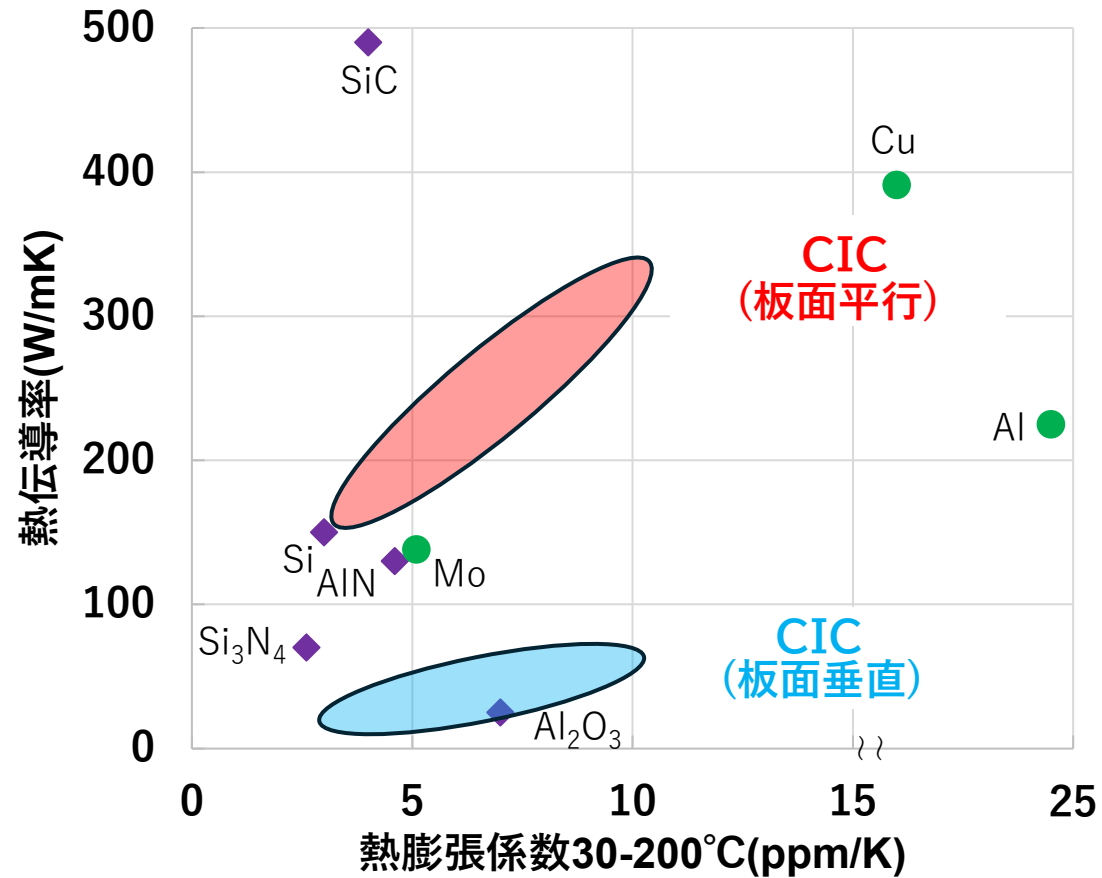


CIC-3とCIC-1の断面写真

※CICは東芝マテリアル株式会社の登録商標です。
※InvarはAperam Imphy Alloysの登録商標です。

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではございません。

3-3.(1)CICの特性比較



各材料の熱膨張係数と熱伝導率

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではありません。

Confidential

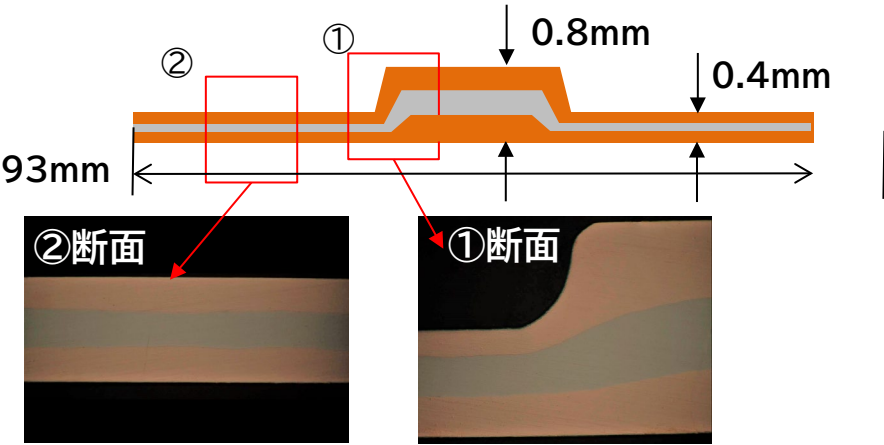
株式会社 プロテリアル金属

Copyright © 2024 Proterial, Ltd. All Rights Reserved. |

概要

- CICは異形条に加工することが可能
- 低熱膨張と同時に部分的に、ヒートシンクや両面冷却のスペーサ用などに使用可能

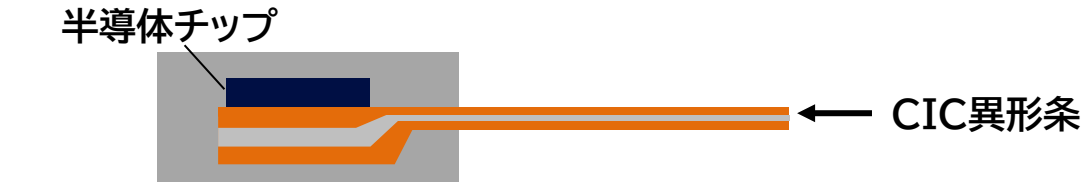
クラッド異形条試作例



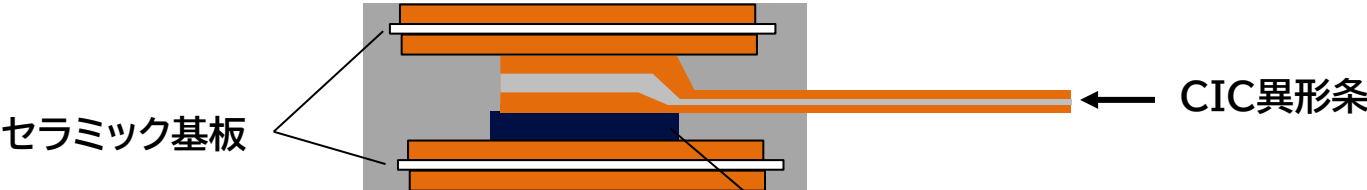
・各層比率

	薄部	厚部
Cu	1.00	1.00
36Ni-Fe	1.03	1.01
Cu	0.95	0.98

使用方法ご提案



ディスクリットタイプのヒートシンクとして



両面冷却タイプのスペーサー材として

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではございません。

3-3.(2)ヒートシンクにおけるCu/Alクラッド材使用のご提案

1.対象箇所

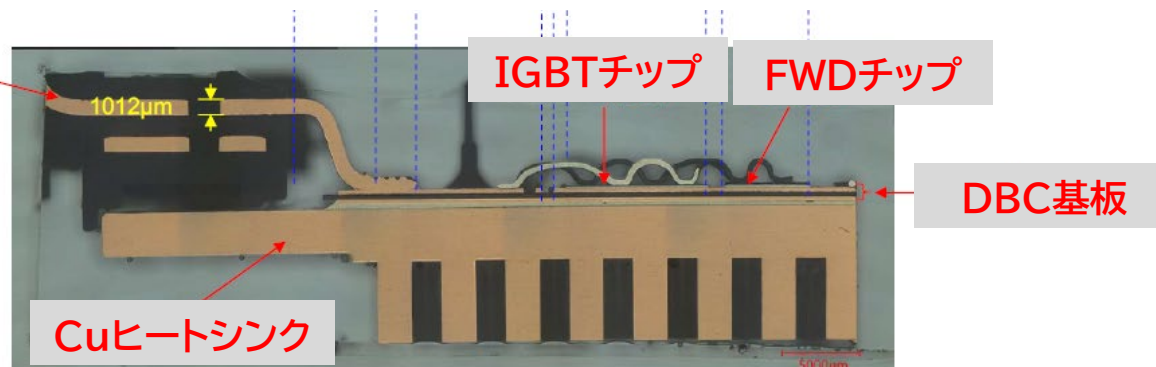
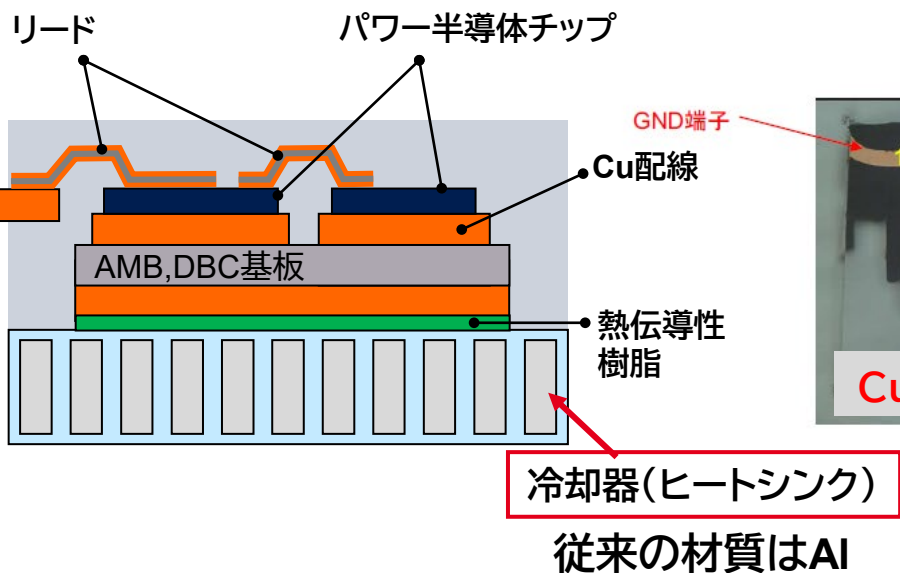
- ・パワーモジュールの冷却器(ヒートシンク)

2.トレンド

- ・冷却強化のためヒートシンクの材質をCu化する動きあり

Cu化のメリット

- ①熱伝導性アップによる冷却性能向上
- ②銅貼りセラミック基板とはんだ付け可能
➡SiCチップを小さくできる



引用:マークラインズWebiner
名古屋大学 山本教授資料

Cuヒートシンク採用例(BYD)



引用:タイワ工業(株)HP

3.課題

- ・Cuをピンフィン加工するには熱間鍛造が必要→高コスト
- ・ピンフィンのピッチを細かくできない

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではございません。

Confidential

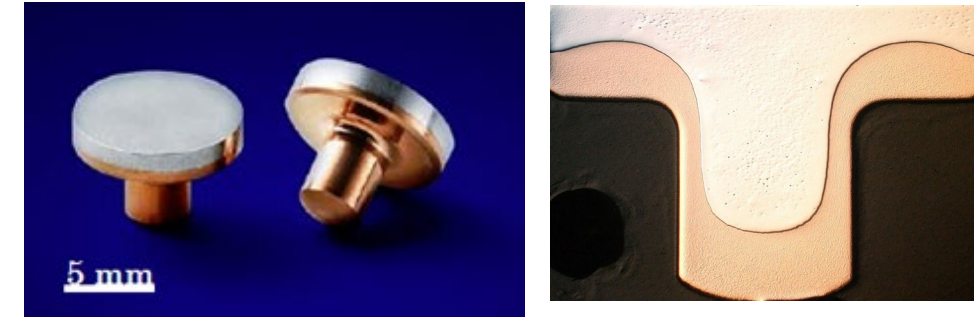
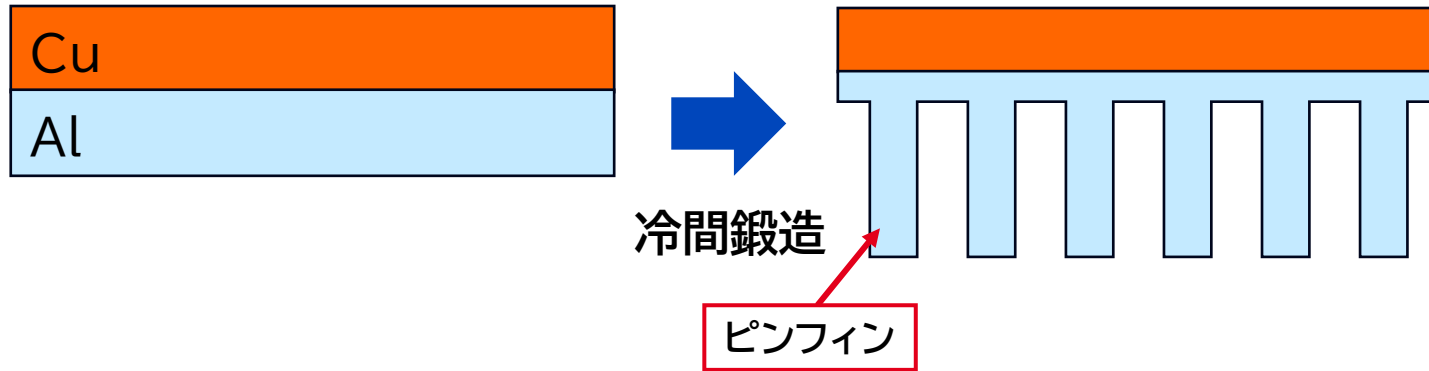
株式会社 プロテリアル金属

Copyright © 2024 Proterial, Ltd. All Rights Reserved. |

3-3.(2)ヒートシンク用Cu/Alクラッド材

4.課題解決

- CuとAlのクラッド材→冷間加工でAlをピンフィン加工



外観 断面
Cu/Alクラッド材のピン加工例

Cu/Alクラッド材使用のメリット

- 冷間鍛造なので加工コストを低減
- ベースはCuなので熱伝導性とはんだ付け性の優位性はそのまま
- 水側がAlなのでメッキ不要

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではありません。

Confidential

株式会社 プロテリアル金属

Copyright © 2024 Proterial, Ltd. All Rights Reserved. |

3-3.(3)クラッド材による金属反応バリアのご提案

1.対象箇所

- ・半導体チップにはんだ付けされるリードフレーム、スペーサ等

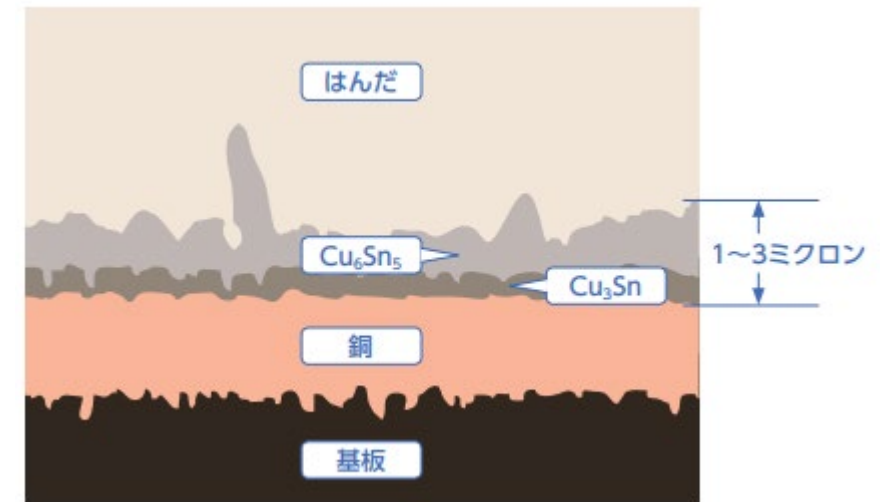
2.トレンド

- ・Si→SiC化による高温動作化

3.課題

- ・Cuとはんだの反応が加速
 - ➡バリアのためのNiめっきが厚膜化
 - ➡めっきコストが増大

半導体	動作温度	Niめっき膜厚
Si	Max150℃	5μm程度
SiC	200℃以上可能	5μm以上



Cuとはんだの界面反応模式図

引用元:https://pubdata.nikkan.co.jp/uploads/book/pdf_file606572efc0a9a.pdf

4.課題解決

- ・Ni層をめっきではなくクラッドによって付与

Niクラッド実績

構成	板厚比率例	用途
Ni/Cu/Ni	1:1:1~1:8:1	電池内部配線
Cu/SUS/Ni	16:76:8~7:91:2	電池ケース



Ni/Cu外観



Cu/SUS/Ni外観

クラッド材使用のメリット

- ・めっきでは困難な厚膜Ni層を設けることができる
- ・Ni以外の金属バリア層を設けることができる

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではありません。

4.合金材によるソリューション

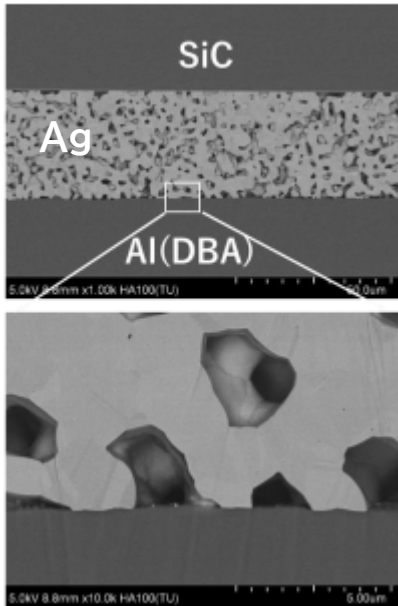
4-1.(1)高熱伝導-高耐熱銅合金のご提案

1.対象箇所

- ・パワー半導体用リードフレーム材

2.トレンド

- ・Si→SiC化による高温駆動化→Ag焼結接合の増加

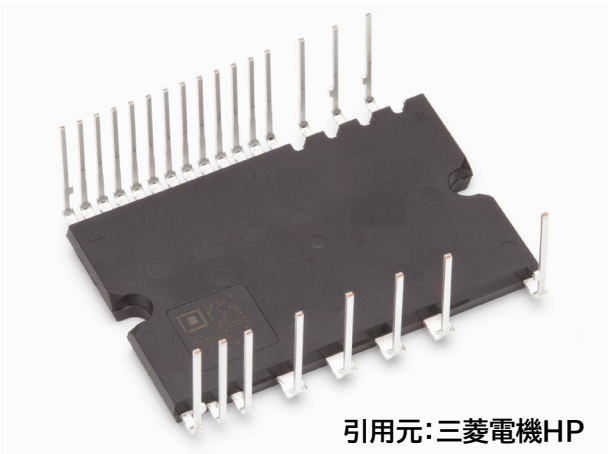


- ・高温でも接合強度が低下しない
- ・はんだよりも熱伝導性に優れる

引用元:大阪大学 新技術説明会
陳 特任助教資料

3.課題

- ・接合温度高温化でリードフレームが軟化
→DIPタイプのパッケージではリードの変形が問題



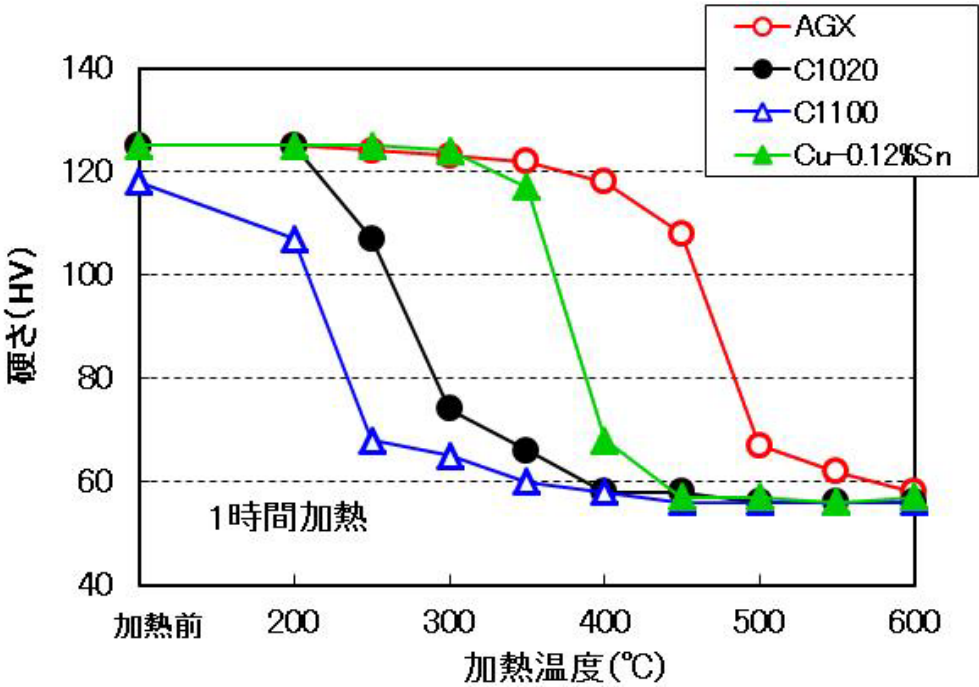
引用元:三菱電機HP

接合材料	接合温度
Pbフリーはんだ	250℃程度
Agペースト	250～300℃

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではございません。

4.課題解決

・高熱伝導高耐熱銅合金「AGX」



材料名	AGX	C1020	HCL-12S	HCL-02Z
成分	Cu-Ag-Zr	Cu	Cu-0.12%Sn	Cu-0.02%Zr
導電率 (%IACS)	98	99	90	94
熱伝導度 (W/m・K)	382	392	360	373
熱膨張係数 (10 ⁻⁶ /K)	17.7	17.7	17.7	17.7
引張強さ (MPa)	340	340	360	360
伸 び (%)	4	4	4	4
硬 さ (HV)	120	120	125	125

AGXのメリット

- ・熱伝導率/導電率は無酸素銅と同等
- ・耐熱温度はZr入り無酸素銅と同等



- ・Agペーストの接合温度を上げられる
- ・更に接合温度が高いCuペーストの使用も可能に

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではございません。

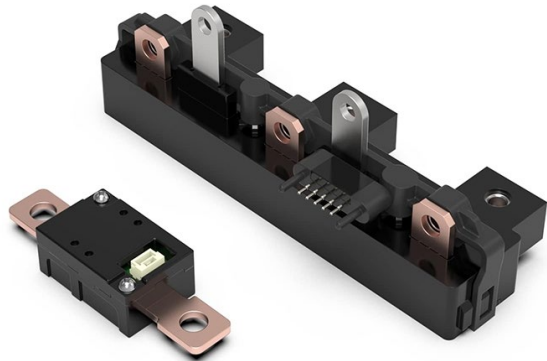
4-2.(2)低抵抗抵抗合金のご提案

1.対象箇所

- ・パワーモジュール用電流センサー

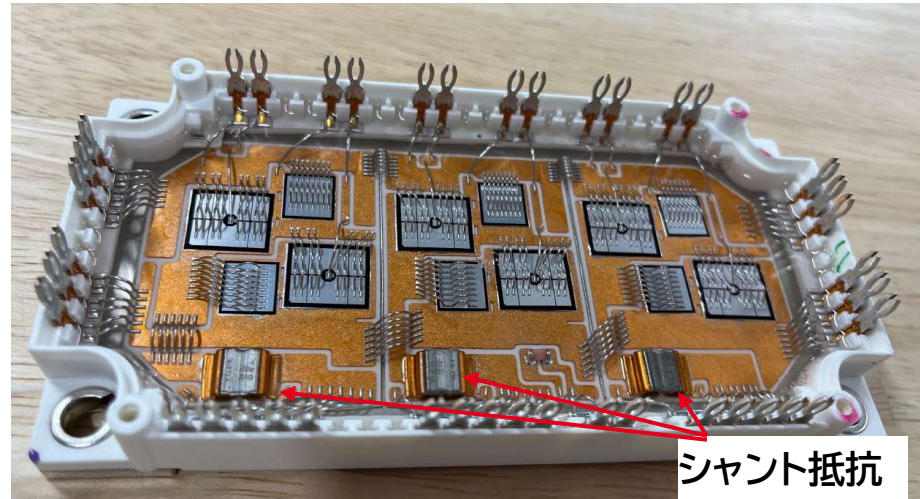
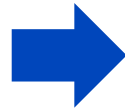
2.トレンド

- ・小型化のため磁気センサー方式からシャント抵抗内蔵方式へ



磁気方式電流センサー(アルプスアルパイン)

引用元:日刊工業新聞

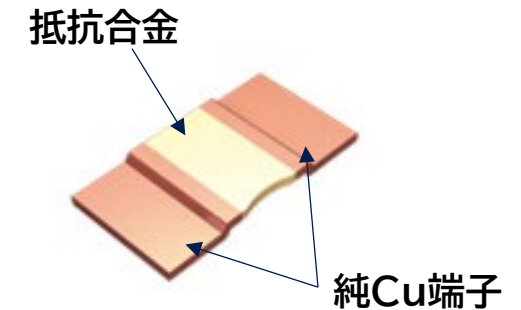


シャント抵抗内蔵パワーモジュール(IONIQ5)

引用:マークラインズWebiner
名古屋大学 山本教授資料

3.課題

- ・シャント抵抗のジュール熱による発熱



シャント抵抗例

抵抗を測定して $I=V/R$
から電流を算出

引用元:デンソーHP

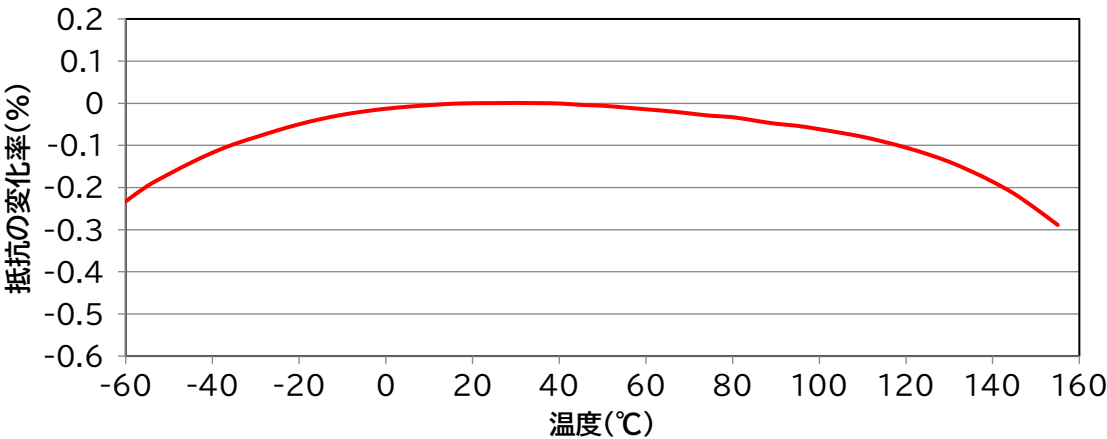
*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではございません。

Confidential

4.課題解決

・CuMn系抵抗合金「MCシリーズ」

抵抗合金名	成分	体積抵抗率 ($10^{-8}\Omega\cdot m$) @20℃	抵抗の温度係数: (ppm/K) @20~60℃
MC-1	12Mn-3Ni-Cu	44	0
MC-2	7Mn-1.7Sn-Cu	29	0
比較①	Cu	1.7	4000
比較②	20Cr-3Al-2Cu-Ni	130	0



MC-2の温度と抵抗変化率の関係

CuMn合金のメリット

・低い体積抵抗率と低い抵抗温度係数の両立

CuMn合金の今後

- ・更なる低抵抗化
- ・低温、高温域での抵抗温度係数改善

→ パッケージタイプでの採用も増加と予想



シャント抵抗内蔵電流アンプ

*)本資料に記載の数値は参考値であり、保証値ではございません。

プロテリアル金属には、本日紹介しきれなかった
その他の電子用材料が多数ございます。

それらについては、パネルのほうで展示させて
いただいておりますので、ぜひお立ち寄り下さい。



PROTERIAL



三井ハイテック殿向けプロテリアル展示会

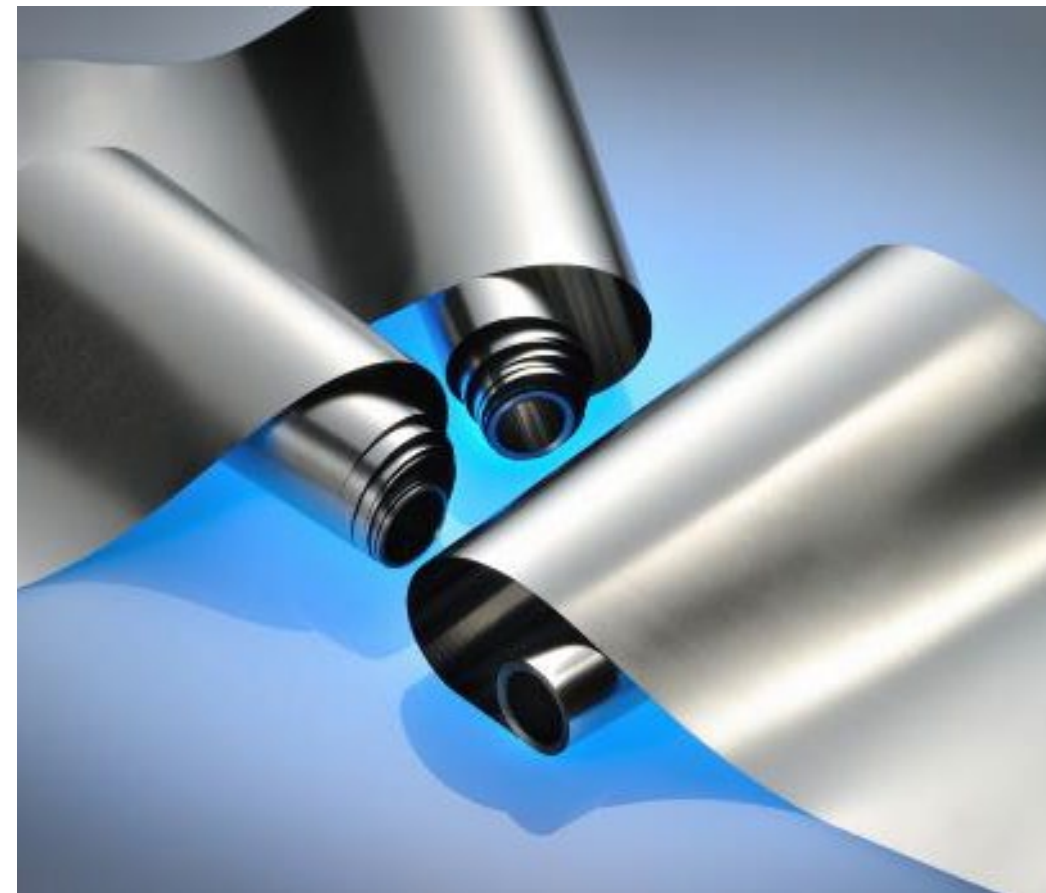
アモルファス材のモータ適用と 金型打抜き加工について

2024年11月28日

株式会社プロテリアル

営業本部 AE部 佐野 博久

安来工場 加工部 新素材グループ 村上 聡志



本資料には株式会社プロテリアルの秘密情報が含まれています。
事前の許諾無く第三者への開示及び目的外での使用(特許出願を含む)
並びに複製・複写・転載・転用・編集・改変などの二次利用を禁じます。

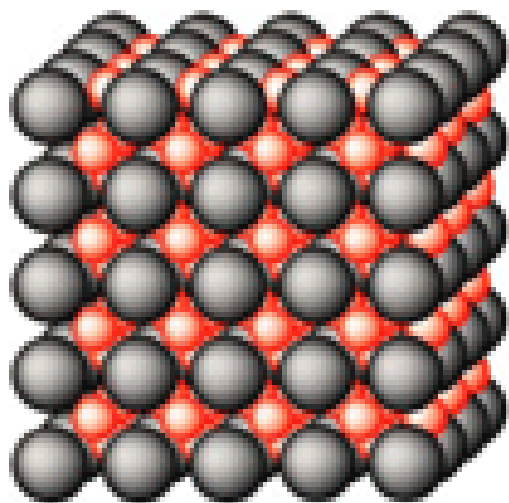
1. アモルファス材の基本特性とモータ適用事例

2. 金型コーティングの検討

1. アモルファス材の基本特性とモータ適用事例

2. 金型コーティングの検討

営業本部 AE部 佐野 博久



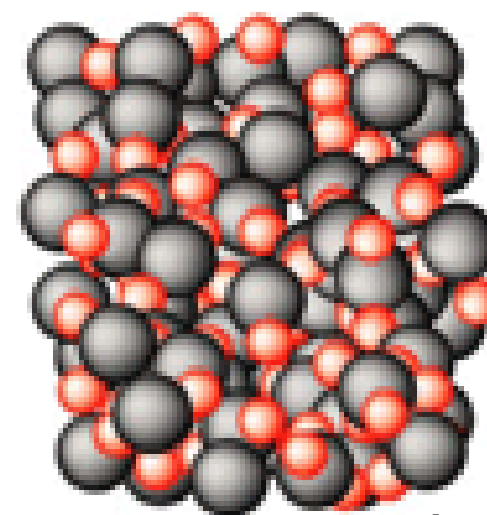
結晶材料
(例: 方向性電磁鋼板)

・規則的原子配列
⇒ 結晶磁気異方性が存在

ヒステリシス
損失大

・低電気抵抗 ($0.5 \mu\Omega \cdot m$)
・板厚大 ($\sim 0.35 \text{ mm}$)

渦電流
損失大



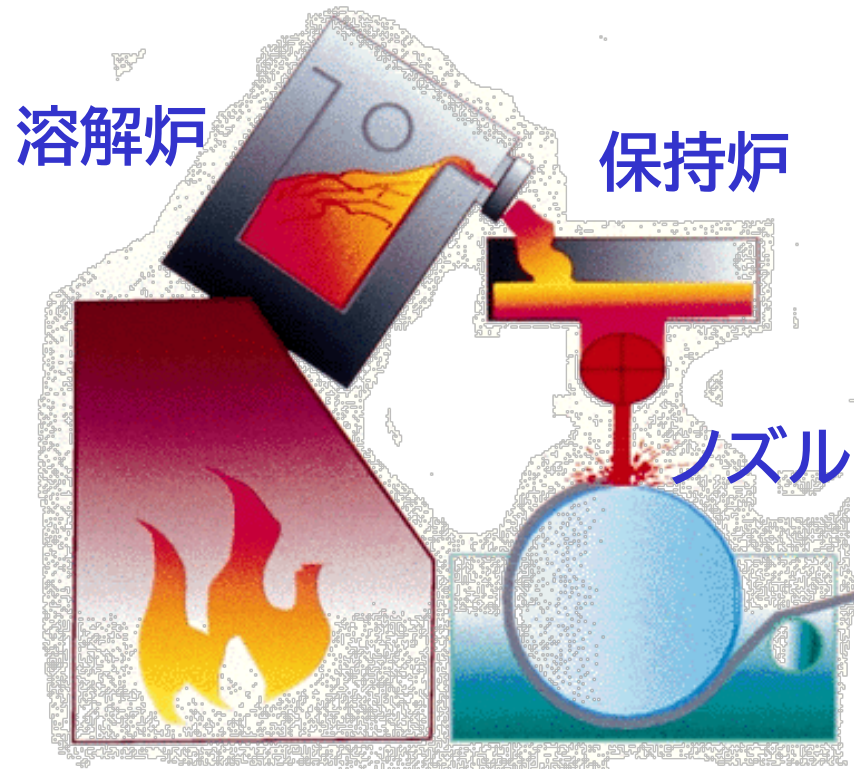
アモルファス合金
(例: Metglas® 2605HB1M)

・不規則原子配列
⇒ 結晶磁気異方性消失

ヒステリシス
損失小

・高電気抵抗 ($1.3 \mu\Omega \cdot m$)
・薄帯 (0.025 mm)

渦電流
損失小



急冷法によりアモルファス箔帯を作製
厚み: 約 $25\mu\text{m}$
急冷速度: $\sim 10^6\text{°C/s}$

Metglas® 2605SA1 & 2605HB1M

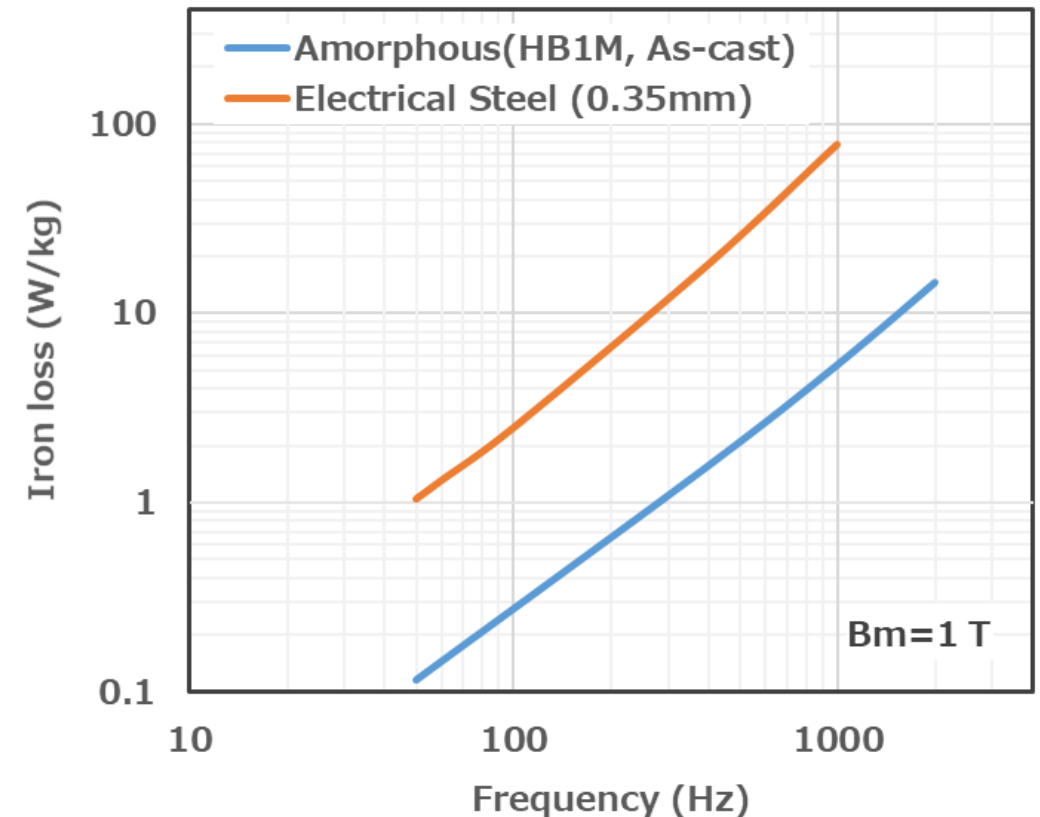
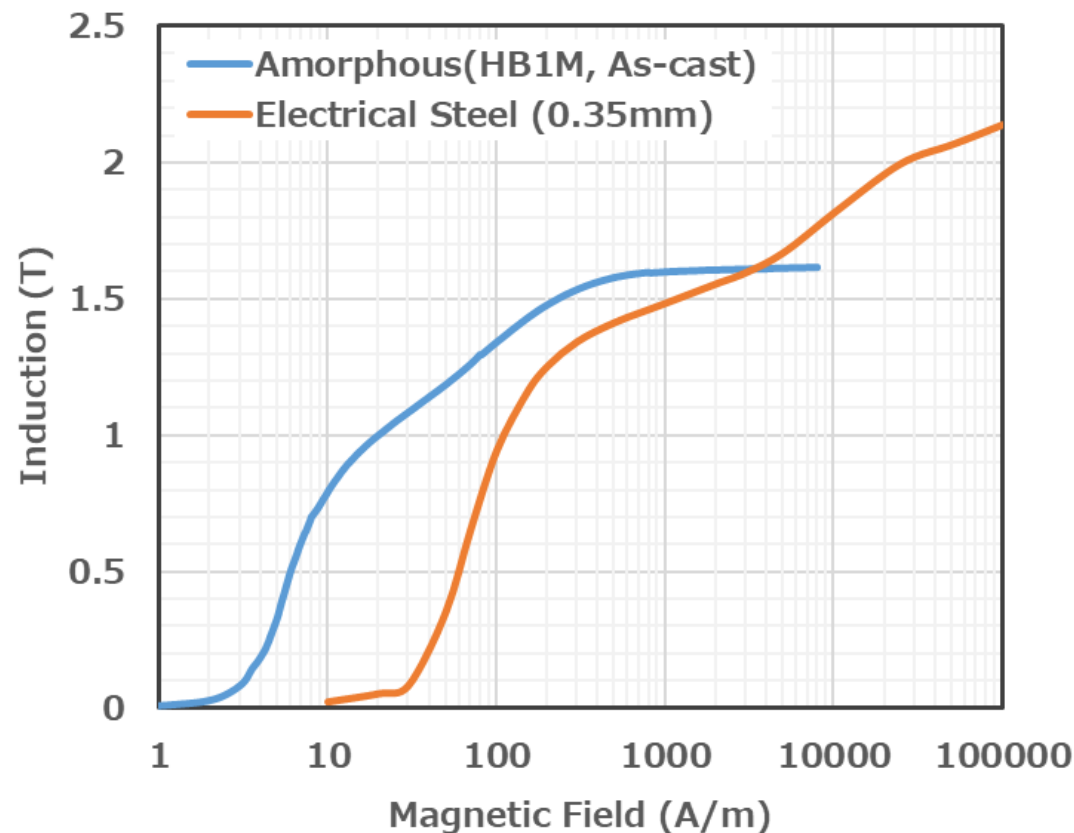
化学組成: Fe, Si, B

公称リボン板厚: $25\mu\text{m}$

標準リボン幅: 142 mm, 170 mm, 213 mm

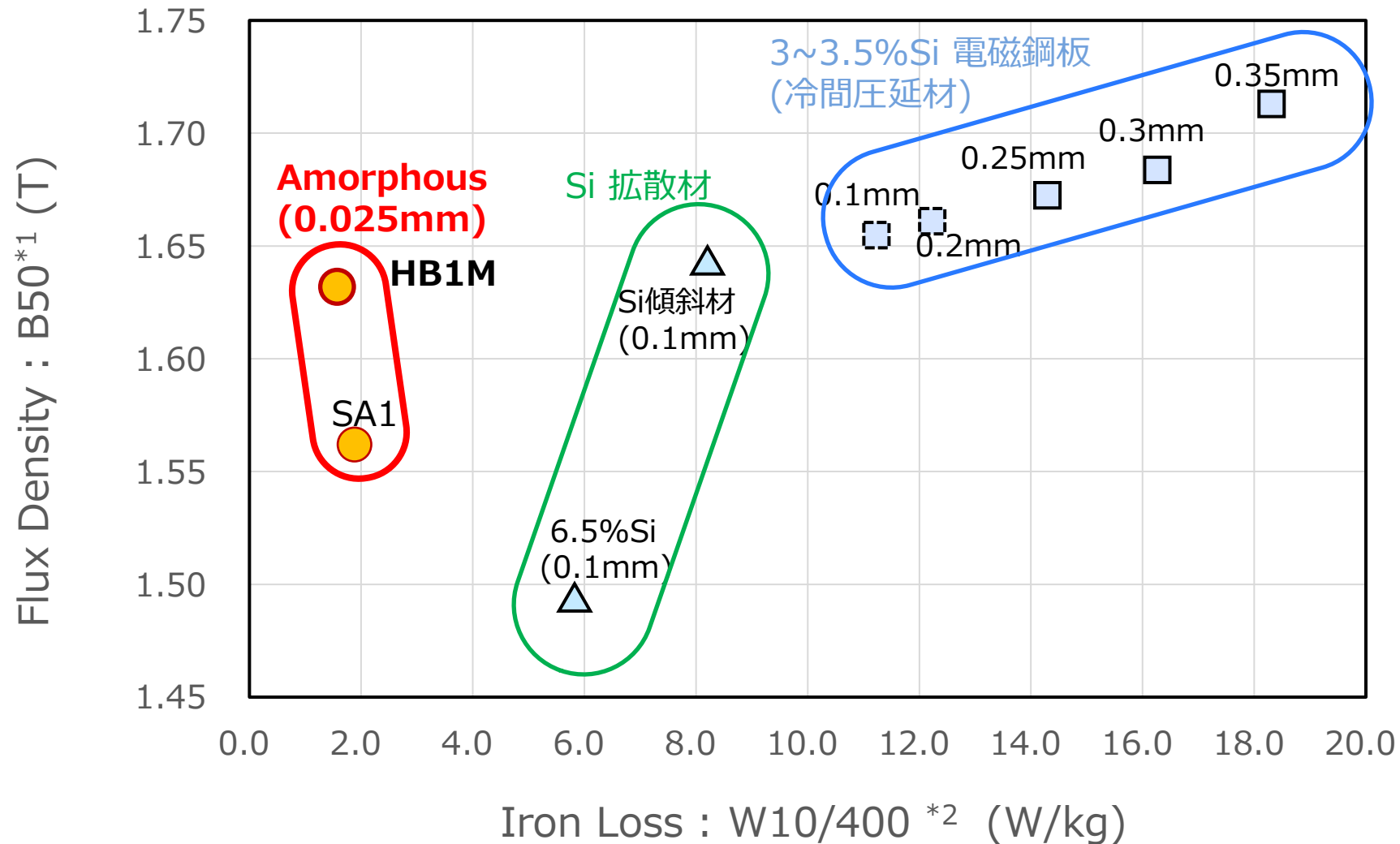


- ・ 鉄損は通常の未熱処理品でも電磁鋼板の1/10以下
- ・ 飽和磁束密度Bsは電磁鋼板よりも低い(約80%)



■コア材料磁気特性比較-2

PROTERIAL



*1: Flux density
@H = 5000A/m

*2: Iron loss
@B_m = 1.0T
f = 400Hz

■ラジアルギャップモータ:比較検討モデル

PROTERIAL

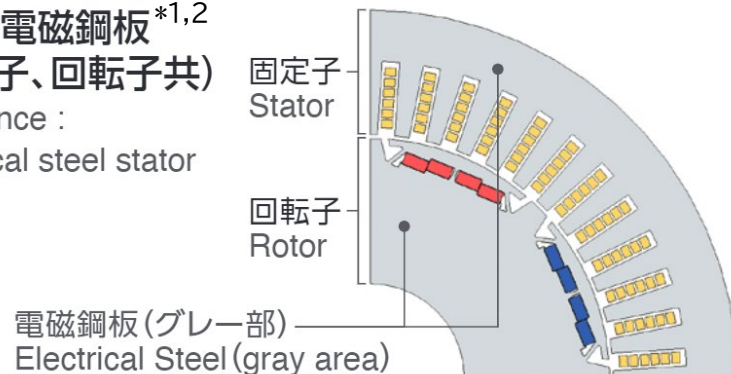
モータ外観



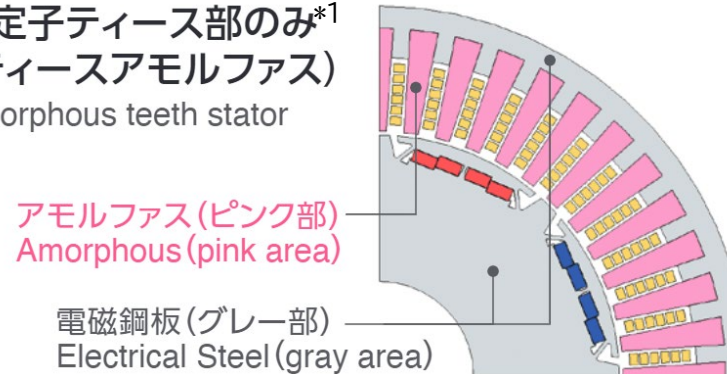
主要仕様

	分布巻IPMアモルファスモータ
出力仕様	22kW(6000 rpm, 35 N・m) Max:66kW(7000 rpm, 90 N・m)
最大トルク	90 N・m
最高回転数	20000r/min
体格	φ215×50mm(1.8L)
総重量	13.6kg

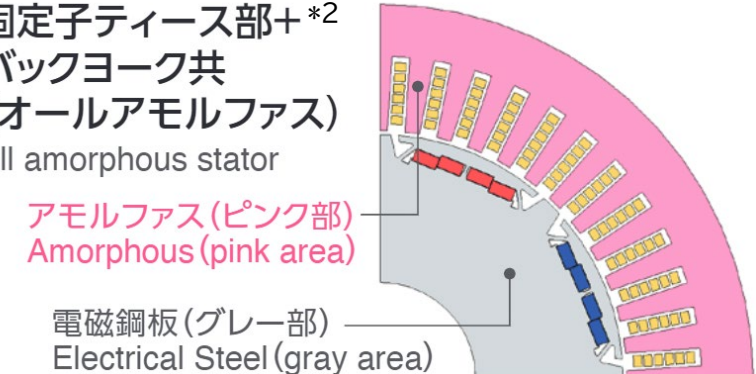
通常:電磁鋼板^{*1,2}
(固定子、回転子共)
Reference :
Electrical steel stator



固定子ティース部のみ^{*1}
(ティースアモルファス)
Amorphous teeth stator



固定子ティース部+^{*2}
バックヨーク共
(オールアモルファス)
All amorphous stator

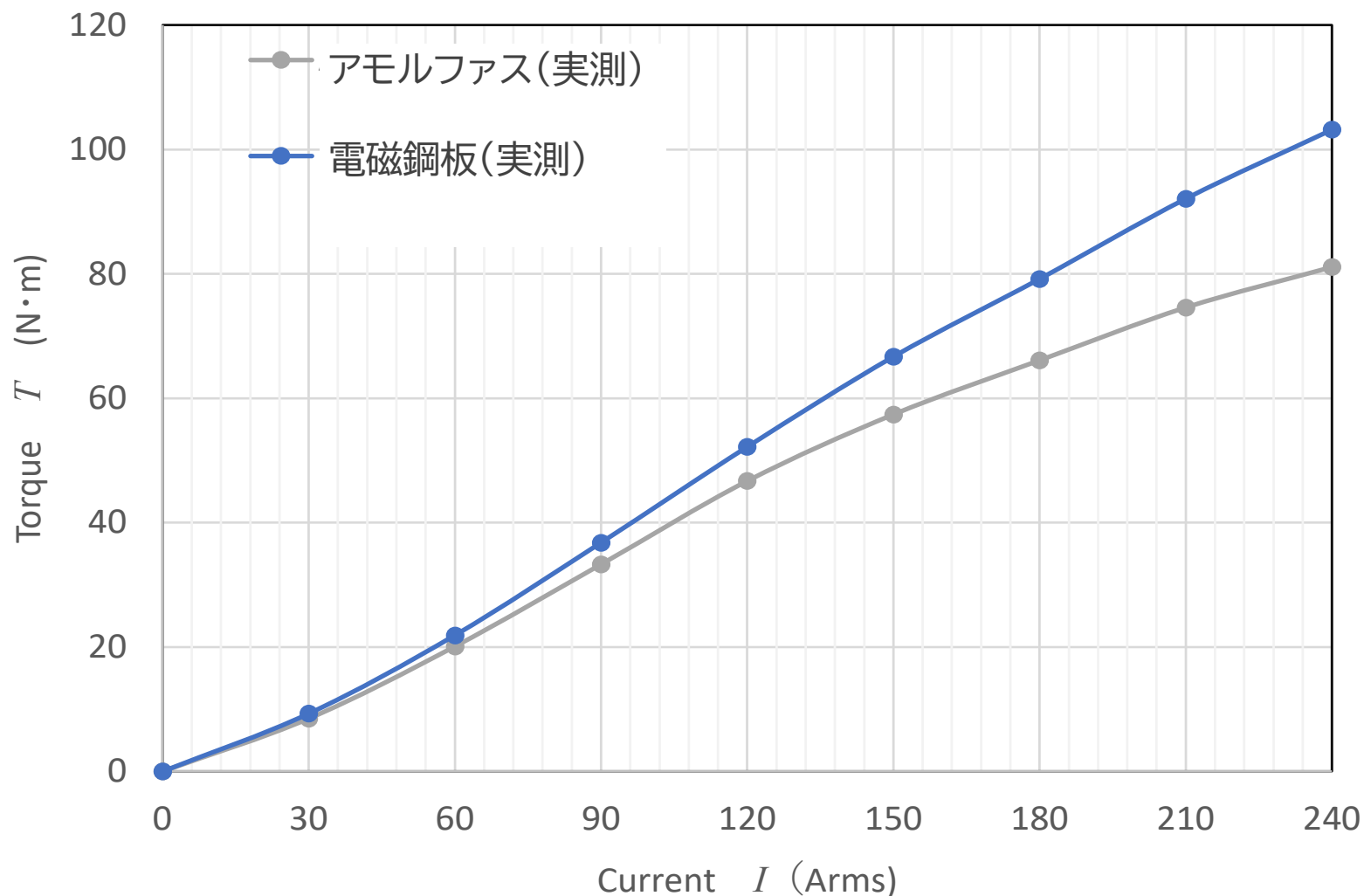


比較検討モデル(モータ断面:1/4モデル) *出典1,2を基に編集

出典 1)榎本 裕治, 永田 稔, 今川 尊雄:「アモルファス金属鉄芯をティース部に用いた分布巻IPMモータ」, 電学論D, Vol. 140, No. 5, pp.54 (2020)
2)榎本 裕治, 木村 守, 丸川 泰弘, 佐野 博久:「固定し鉄心全体をアモルファス金属とした分布巻IPMモータ」, 電学論D, Vol. 142, No. 4, pp.309-315 (2022)

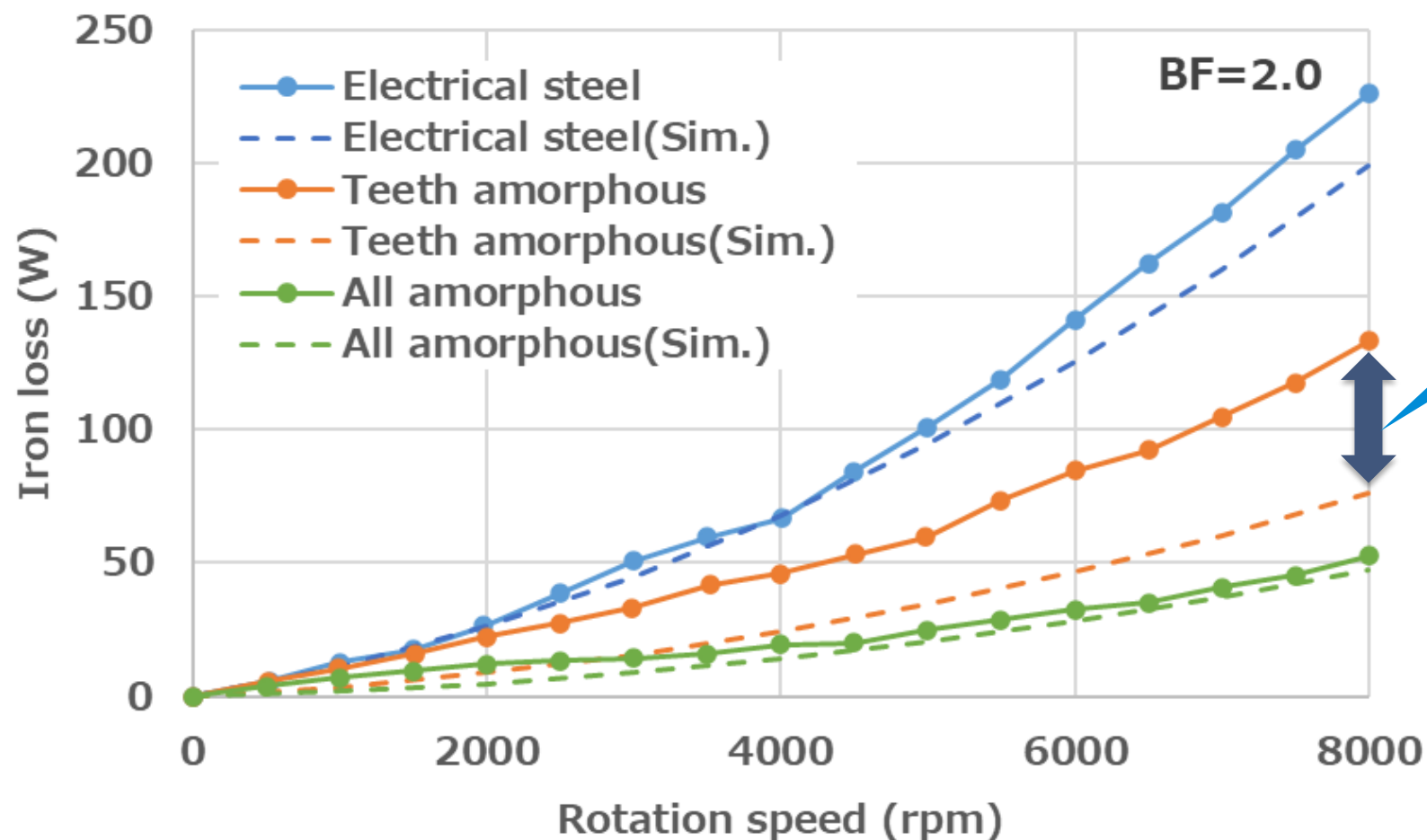
Copyright © 2024 Proterial, Ltd. All Rights Reserved. |

Confidential



*120A程度まではほぼ同程度の挙動でそれ以上の電流値(高負荷側)ではアモルファス機のトルクは低下。

アモルファス化に伴う、鉄損低減効果を確認



分割接合部の
Gap起因

Gapによって、外周
(電磁鋼板)に磁束が集中

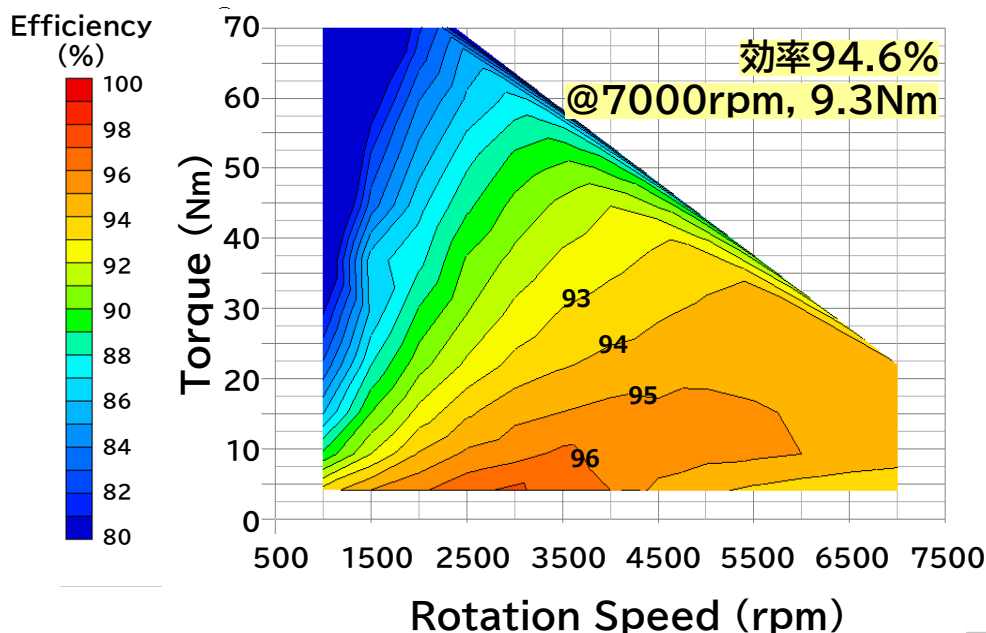
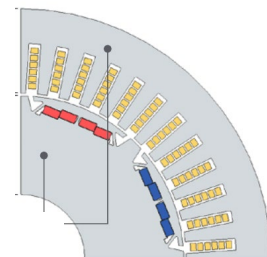
出典 榎本 裕治, 木村 守, 丸川 泰弘, 佐野 博久:「固定し鉄心全体をアモルファス金属とした分布巻IPMモータ」, 電学論D, Vol. 142, No. 4, pp.309-315 (2022) を基に一部編集

■効率マップ（実測）

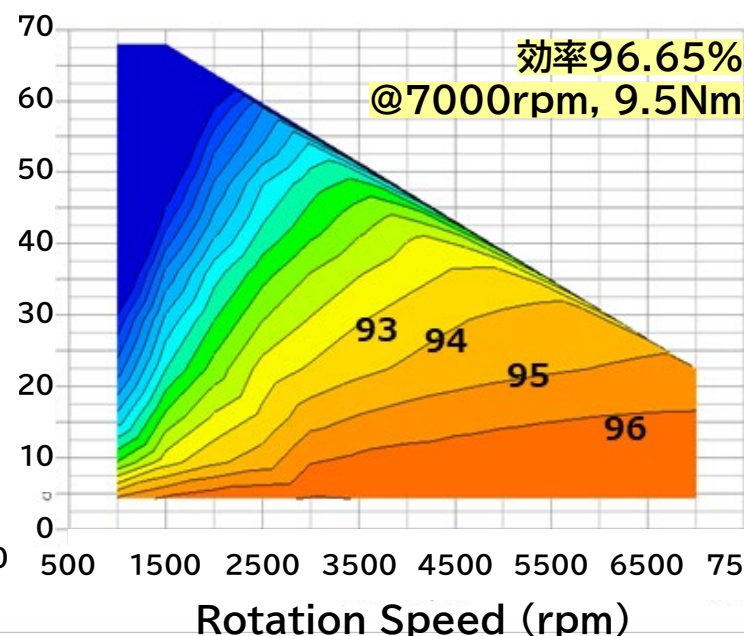
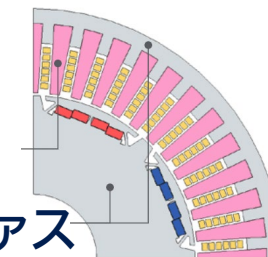
PROTERIAL

低負荷領域で効率改善。特に高速領域ではオールアモルファス化によって効率改善>3%（損失は半減）
→ アモルファス材のモーター適用による性能向上を実証

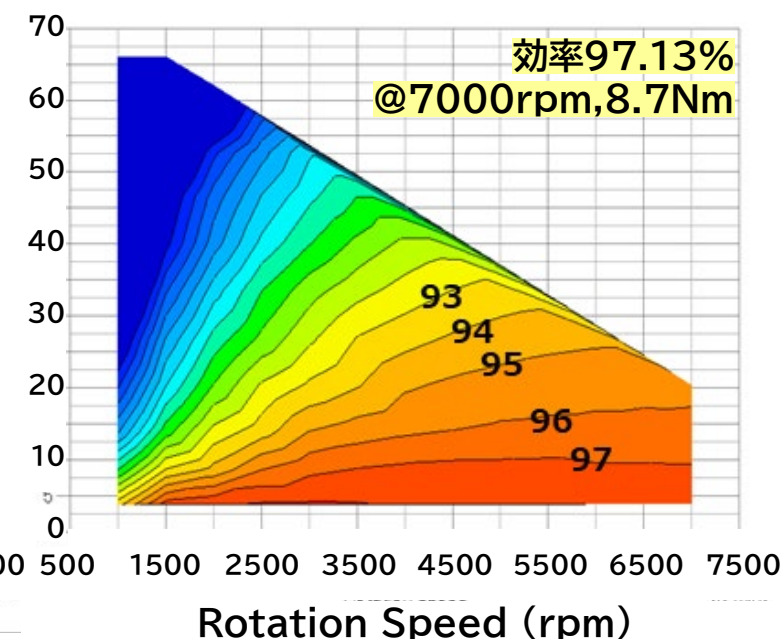
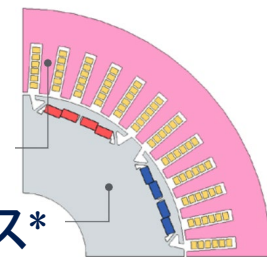
電磁鋼板*



ティースアモルファス



オールアモルファス*



出典 榎本 裕治, 木村 守, 丸川 泰弘, 佐野 博久:「固定し鉄心全体をアモルファス金属とした分布巻IPMモータ」, 電学論D, Vol. 142, No. 4, pp.309-315 (2022) を基に一部編集

Copyright © 2024 Proterial, Ltd. All Rights Reserved. |

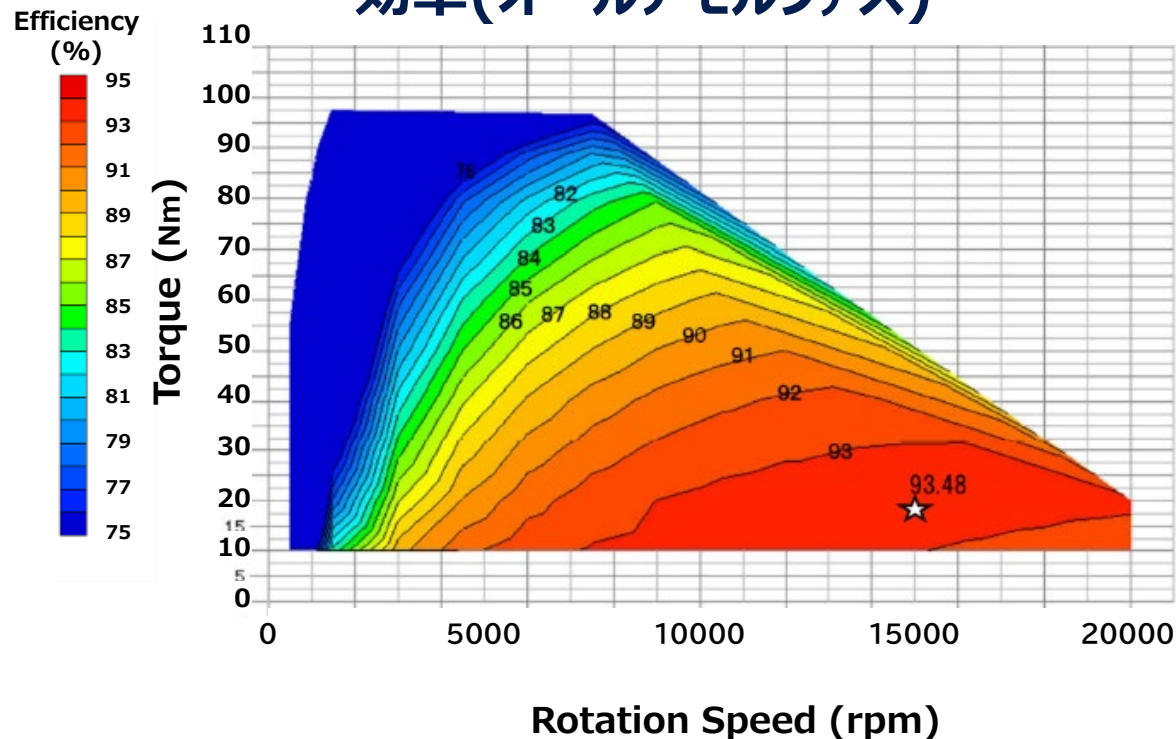
Confidential

> 10,000RPMの高速回転域では更なる効率改善が期待できる

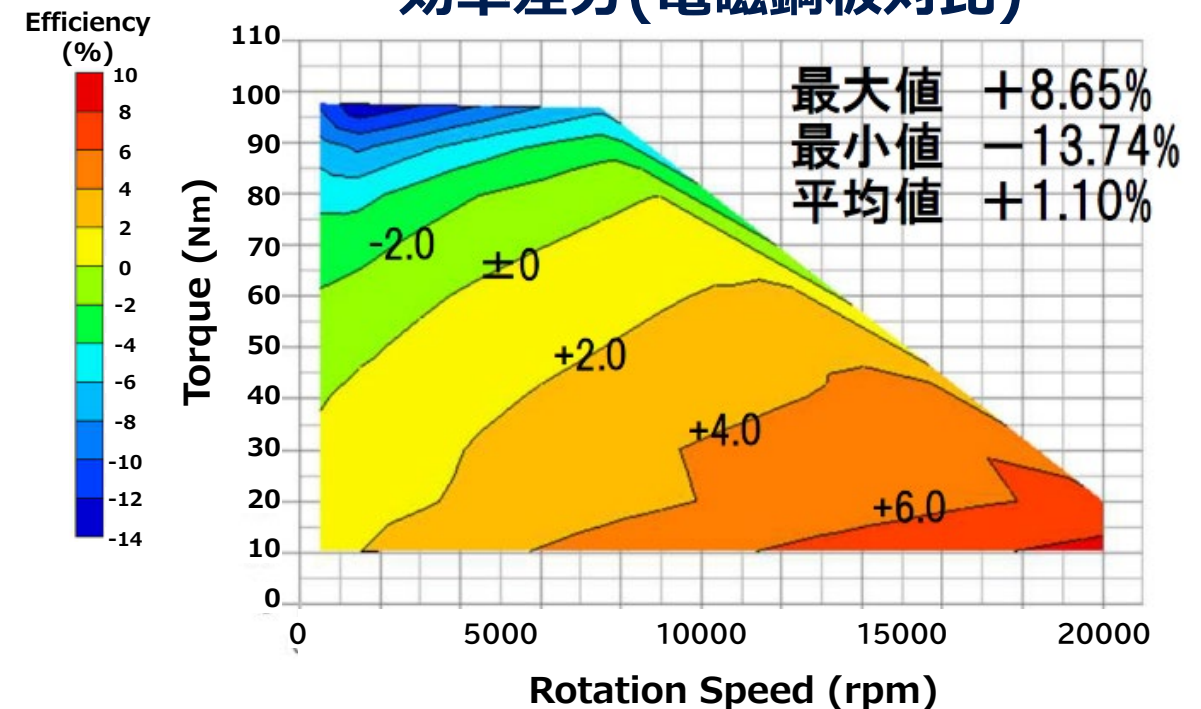
解析条件

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| 1. 銅損(DC) Rdcから算出 | 4. 磁石渦損 磁石導電率 |
| 2. 銅損(AC) 鎖交磁束起因の渦電流(自己電流分除く) | 5. 高調波 正弦波電流*105% |
| 3. 鉄損 スタインメッツ経験則*BFから算出 | 6. 機械損 実測からの近似式 |

効率(オールアモルファス)



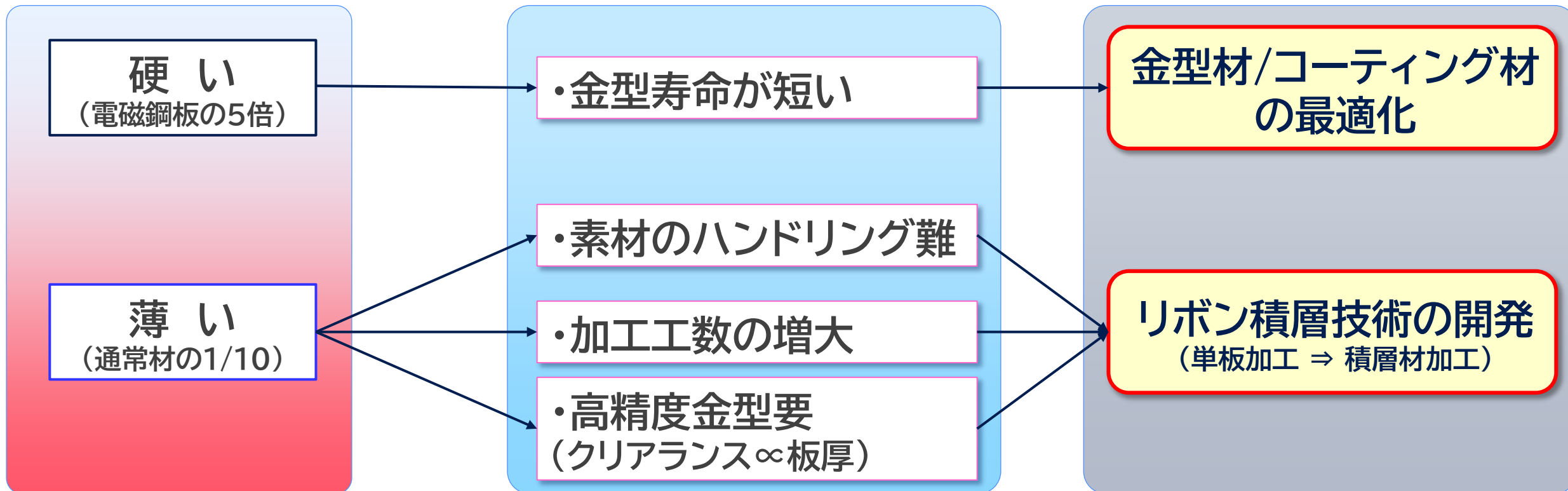
効率差分(電磁鋼板対比)



材料特性上の課題

加工工程への影響

対応策



■打抜き加工:アモルファス材の機械物性

PROTERIAL

材料構造
の特徴

転位が存在しない
⇒すべり変形が生じない

短所

弾性変形域が大

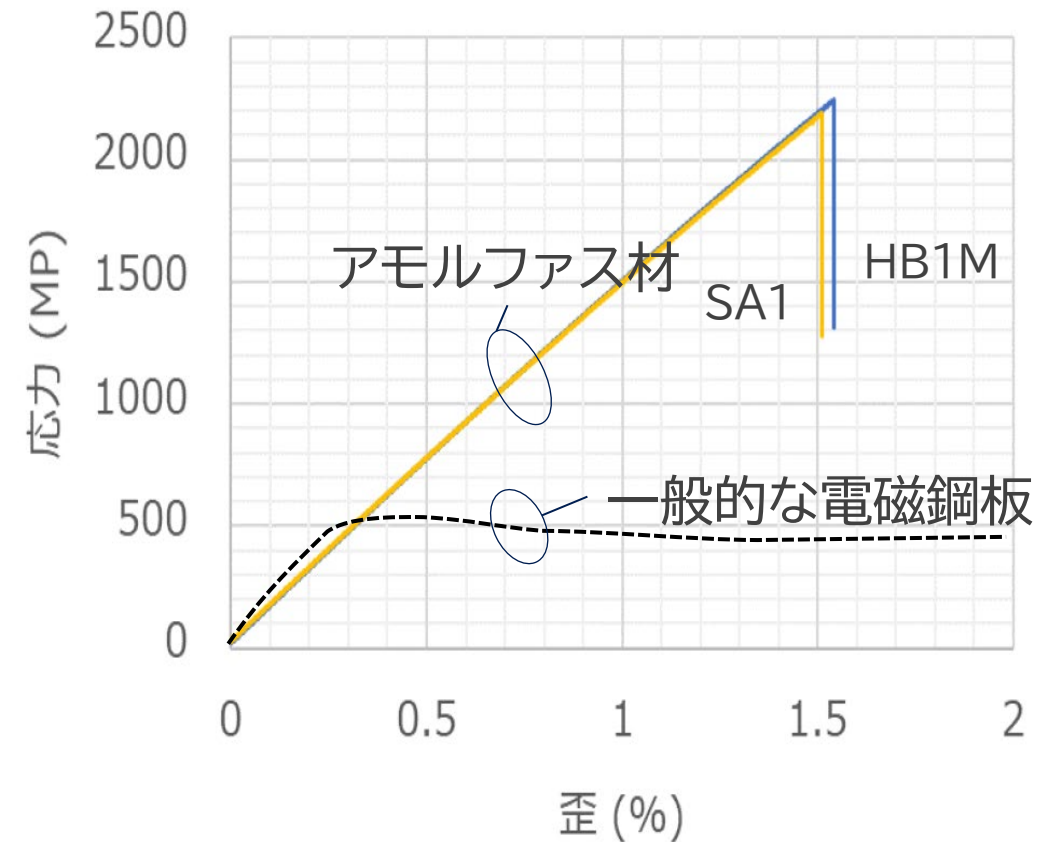
加工時の最大応力が高

金型材の所要硬度が高い

長所

塑性変形が小

加工時の素材へのダメージ小
(加工による損失増加が小さい)



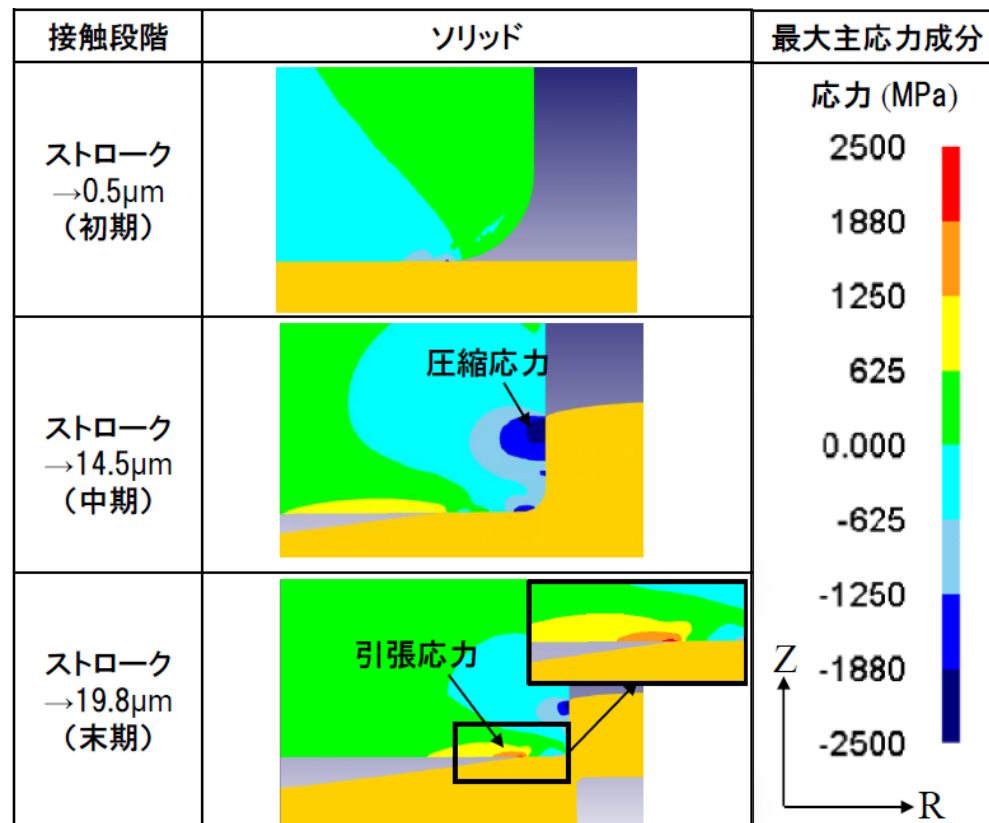
応力-歪み曲線(引張り試験)

■打抜き加工-2：加工上の留意点

- ・加工時のパンチ/ダイ角部への応力集中
- ・切断後のリボンによる側壁摩耗



- ・適切な金型材種の選定
- ・適切な表面処理



➤ パンチ/ダイの角部には側面に圧縮応力、底面側には引張応力(最大2GPa以上)が繰り返し印可

○ 金型基材硬度 >> アモルファス材硬度(Hv~900)
⇒ **超硬材(超微粒)**が好適

○ 金型側面: ストローク進行に伴って強い摩耗を受ける
⇒ **高硬度耐摩耗コーティング**

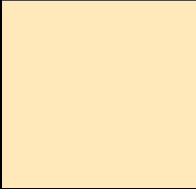
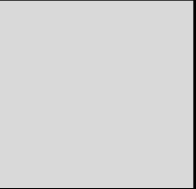
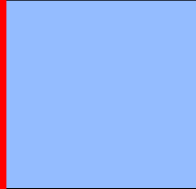
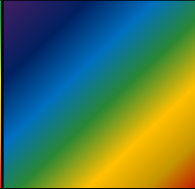
打抜き時のパンチ角部に掛かる応力シミュレーション例

1. アモルファス材の基本特性とモータ適用事例

2. 金型コーティングの検討

安来工場 加工部 新素材グループ 村上 聡志

精密プレス金型向けコーティング

	<i>Tribec</i> 炬 (Kagari)	<i>Tribec</i> 炬V (Kagari V)	<i>Tribec</i> XS ※	<i>Tribec</i> 剛 (Takeru)	<i>Tribec</i> 晃 (Hikaru)	<i>Tribec</i> 晃 ^{smooth} (Smooth)	<i>Tribec</i> DX ※	<i>Tribec</i> 極 (Kiwami)	<i>Tribec</i> 極 ^{Mk-II} (Kiwami)	<i>L-Frex</i> H ※
組成	V-Al系窒化物			Al-Cr系窒化物				DLC (Ta-C)		DLC (a-C:H)
色調										
	ダーク ゴールド	ブラック	シルバー	シルバー	グレー	グレー	ライトグレー	干渉色	濃干渉色	ブラック
膜硬さ (HV)	2500~ 2800	2500~ 3000	2800~ 3000	2500~ 2800	3000~ 3500	3000~ 3500	3000~ 3200	>6000	>6000	3000~ 3500
狙い膜厚 (μm)	>10	>10	3 or 8	8	3	3	<1	<0.3	<0.8	2.5
酸化開始温度 (℃)	600	400	400	700	1000	1000	1000	600	600	350
摩擦係数 (μ)	0.6	0.15	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.1	0.1	0.15

※カタログ未掲載製品

膜硬さ

Tribec®極 & 極 Mk-II (>6000HV) $\geq$ TiN_(2000HV) > CrN_(1600HV)

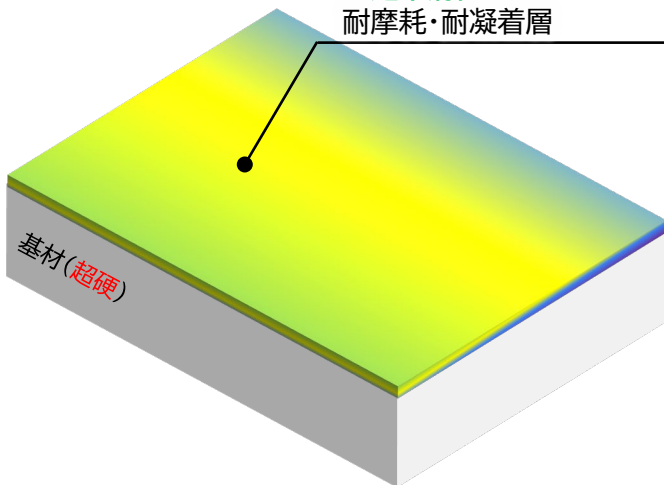
超高精度膜厚設計

Tribec®極 (0.3μm) < 極 Mk-II (0.8μm)

摩擦特性(アルミ・銅 無潤滑)

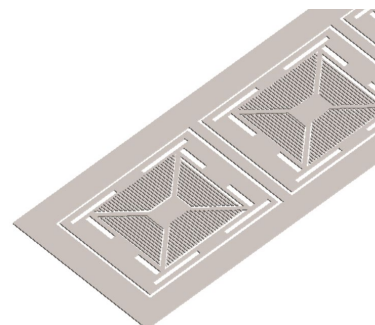
Tribec®極 & 極 Mk-II (μ0.1) < CrN_(μ0.6) < TiAlN_(μ0.7)

水素フリーDLC皮膜(T-FAD)
※超平滑性
耐摩耗・耐凝着層

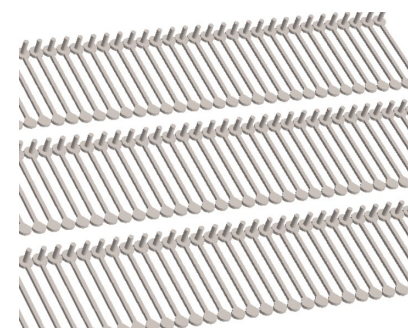


●推奨用途

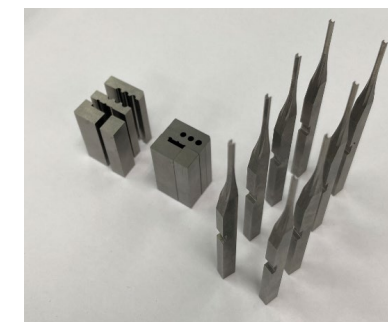
- ・コネクタ(Cu)、リードフレーム(42Ni)成形用精密金型
- ・電池部材(Al)成形用精密金型



リードフレーム

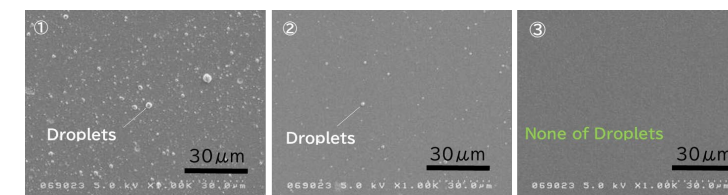
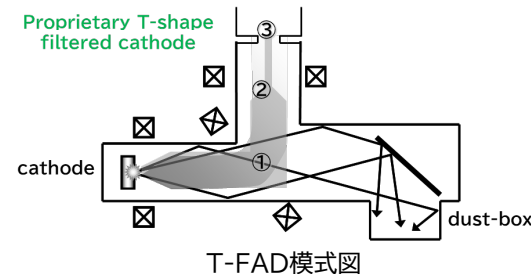


コネクタ部品



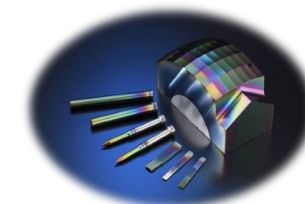
精密パンチ&ダイ

● 水素フリーDLC(ta-C)に特化した独自のフィルタードアーク構造



フィルタードアーク方式によるコーティング表面の平滑性比較

Tribec®極 は独自のフィルタードアーク構造を用いることによる高硬度と極めて高い平滑性を実現。水素フリーDLCコーティングにおける最先端の皮膜



アルミ・銅合金成形超精密金型用“Tribec®極” & “Tribec®極 Mk-II”

膜硬さ

$Tribec^{\circ}DX_{(3500HV)} \cong TiN_{(2000HV)} > CrN_{(1600HV)}$

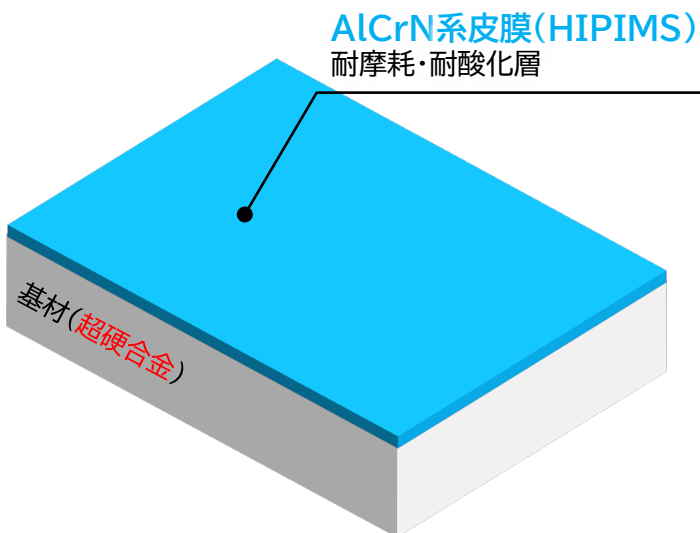
膜厚設定

$Tribec^{\circ}DX_{(1.0\mu m)} < Tribec^{\circ}昇smooth_{(3.0\mu m)} < Tribec^{\circ}昇_{(3.0\mu m)}$

ドロップレットの影響により表面粗い

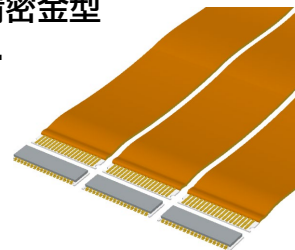
酸化開始温度

$Tribec^{\circ}DX_{(1000^{\circ}C)} > TiAlN_{(800^{\circ}C)} > CrN_{(600HV)} > TiN_{(300^{\circ}C)}$

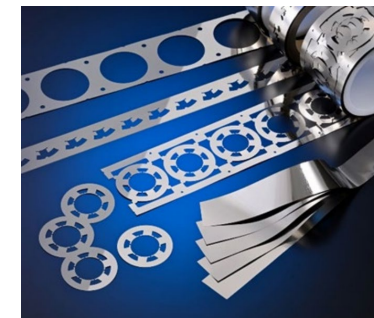


●推奨用途

- ・コルソン銅成形金型
- ・アモルファス合金成形金型
- ・超精密金型
etc.

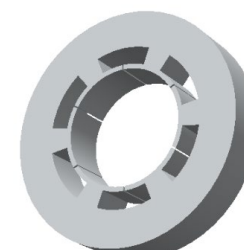


コネクタ部品

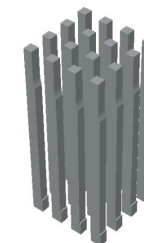


アモルファスモーターコア

●適用金型例



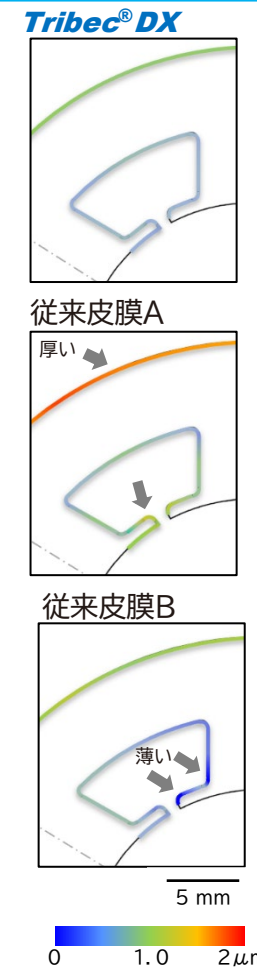
精密ダイ



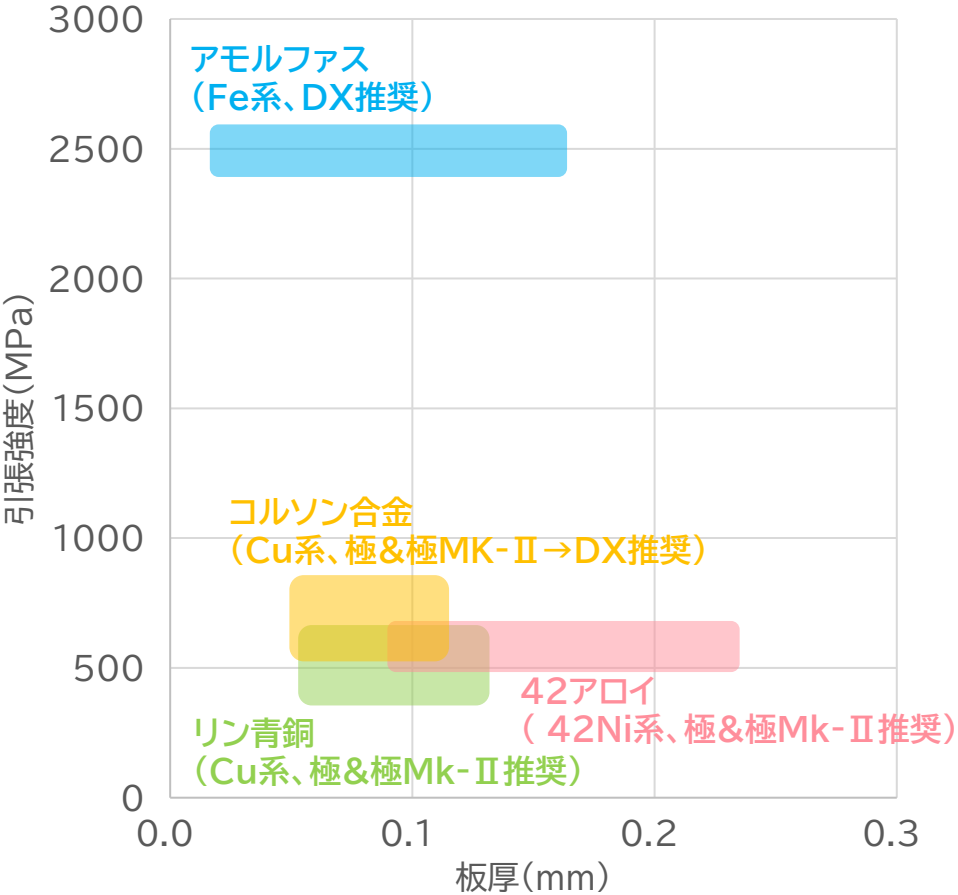
精密パンチ

Tribec® DX はサブミクロンの薄膜設計により、クリアランス制御の厳しい精密金型で必須の寸法精度を維持したまま高い耐摩耗性を実現する

コルソン銅・アモルファス合金成形用“**Tribec® DX**”



※平均膜厚をそれぞれ1 μm程度に統一して比較



コルソン合金(t=0.10mm)

【打抜き条件】ショット数:100k、スピード:800spm
【金型条件】クリアランス:5μm、リシャープ幅:0 mm

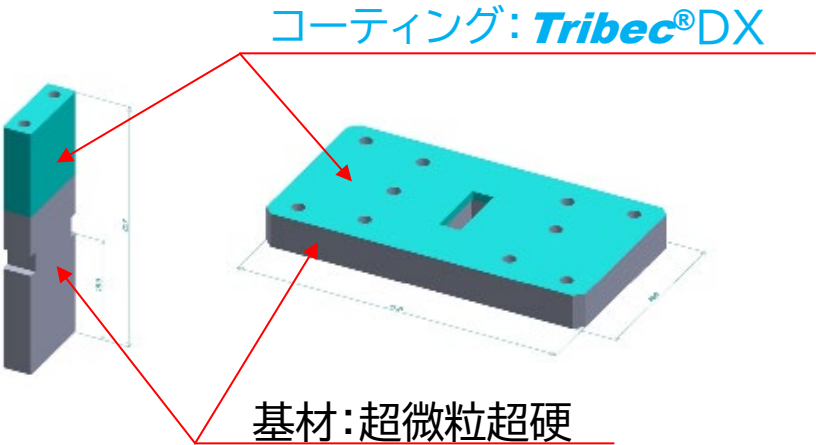
	全体	領域1	領域2	領域3
<i>Tribec® DX</i>				
<i>Tribec® 極</i>				

積層アモルファス(t=0.15mm:5層)

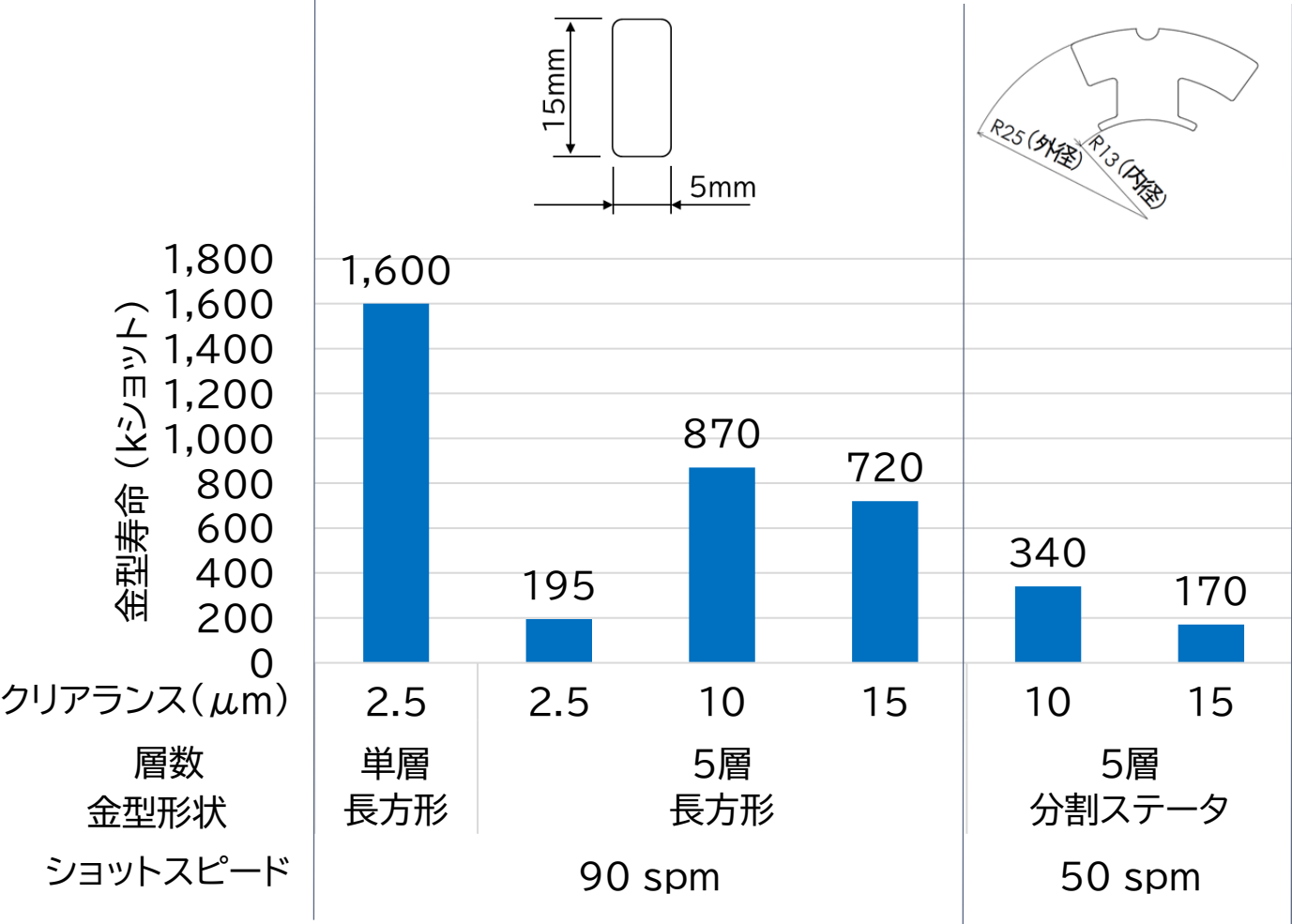
【打抜き条件】ショット数:10k、スピード:200spm
【金型条件】クリアランス:10μm、リシャープ幅:0.1 mm

	全体	領域1	領域2	領域3
<i>Tribec® DX</i>				
<i>Tribec® 極 Mk-II</i>				

金型構造(長方形)



金型寿命



※金型寿命はアモルファス薄帯が打抜けない時点

PROTERIAL



三井ハイテック殿向けプロテリアル展示会

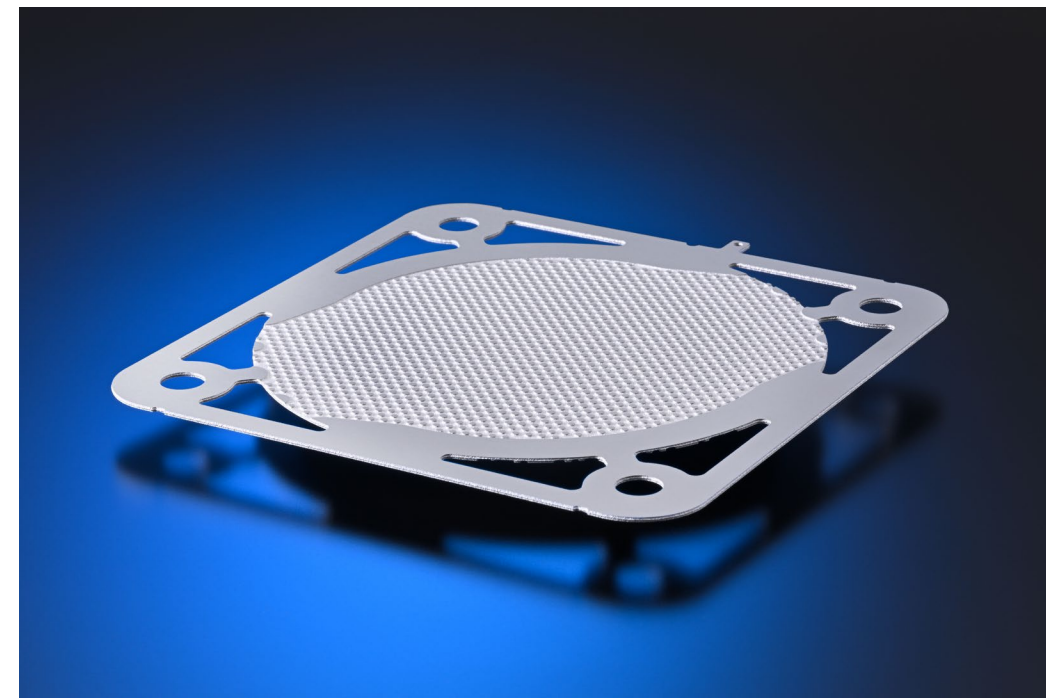
プロテリアルの水素関連材料

2024年11月28日

株式会社プロテリアル

安来工場 冶金研究所 高機能材Gr

桃野将伍, 福本賢太郎

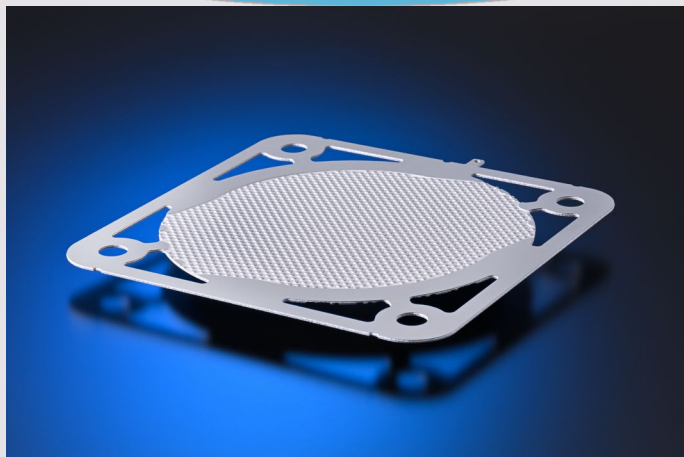


本資料には株式会社プロテリアルのお秘密情報が含まれています。
事前の許諾無く第三者への開示及び目的外での使用(特許出願を含む)
並びに複製・複写・転載・転用・編集・改変などの二次利用を禁じます。

1. プロテリアルの水素関連製品ラインアップのご紹介

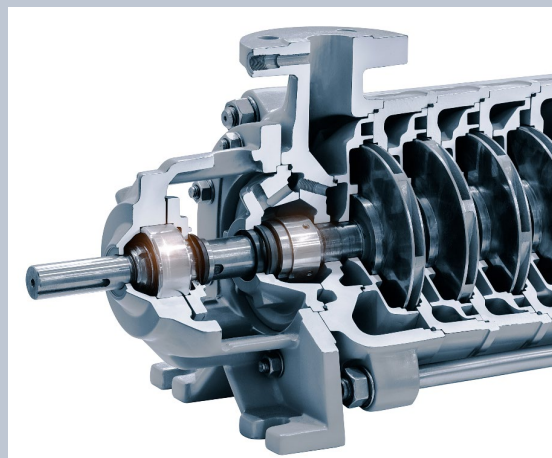
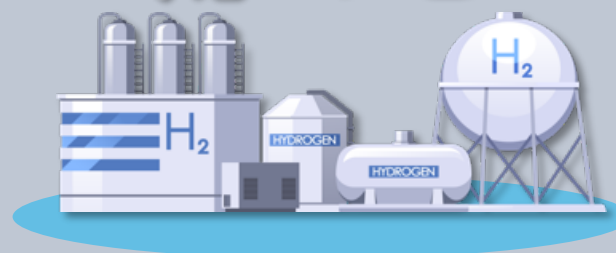
H₂

作る



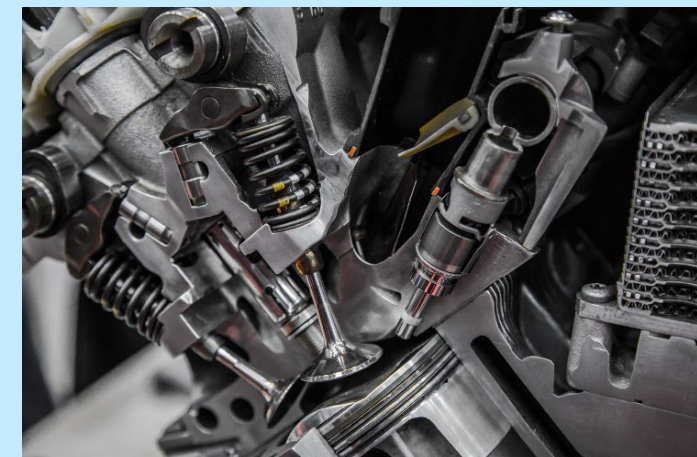
固体酸化物形電解セル(SOEC)用
インターコネクター材 ZMG232®G10

貯める



水素圧縮機用
シリンダー部材 SUH660

使う

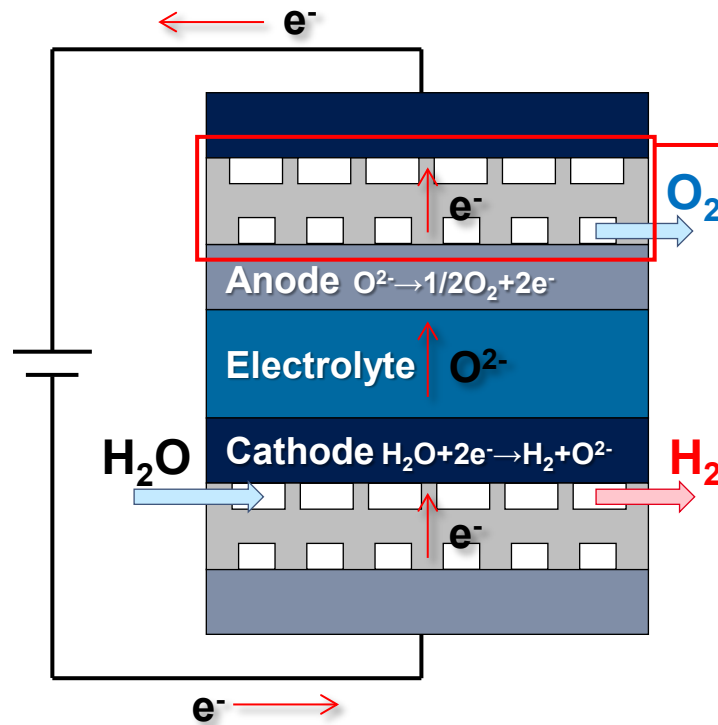


水素エンジン用
ピストンリング材 ASL®817
インジェクター材 ACD®602/627

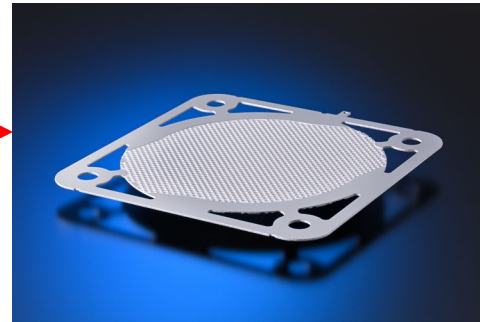
■固体酸化物形電解セル(SOEC)への対応

ZMG232G10はSOECのインターコネクター向けのFe-Crフェライト系ステンレス鋼であり、700-800℃周辺で良好な高温耐酸化性を示します。

SOEC概略図(単一セル)



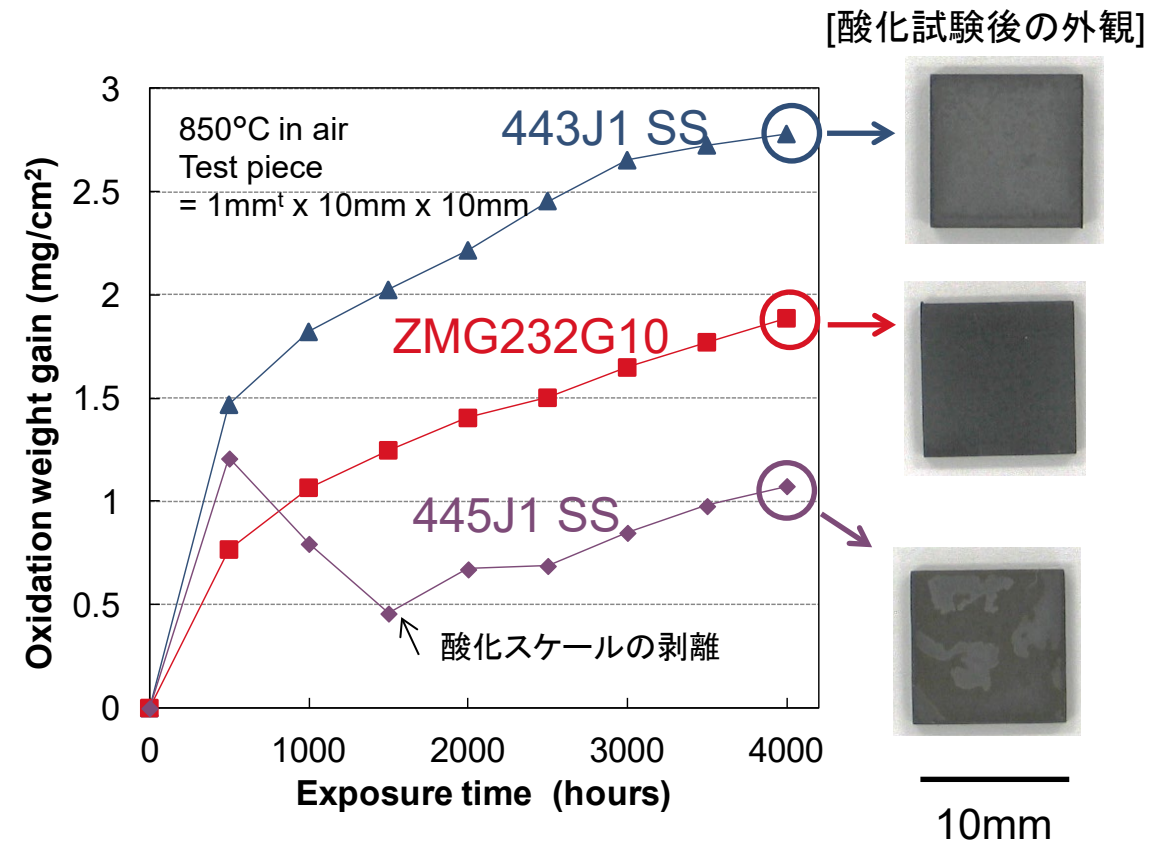
インターコネクター



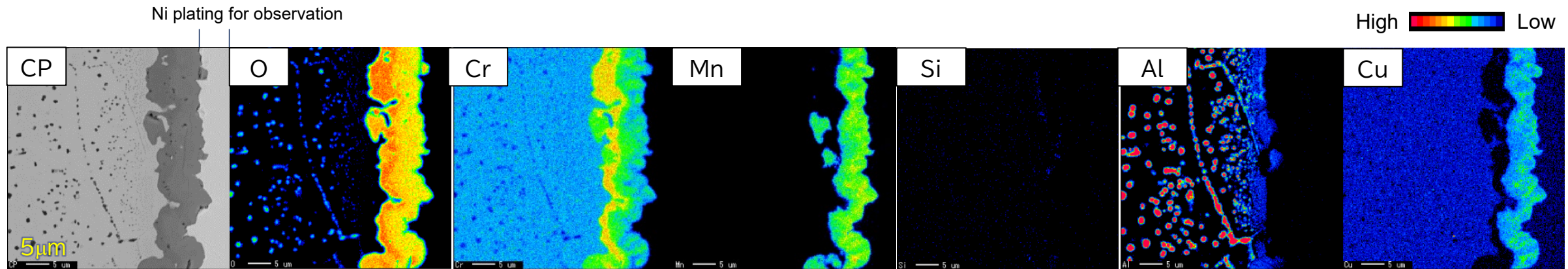
要求特性

- ・ 導電性
- ・ 高温耐酸化性
- ・ 低熱膨張率
- ・ 低Cr蒸発量

ZMG232G10 高温酸化挙動



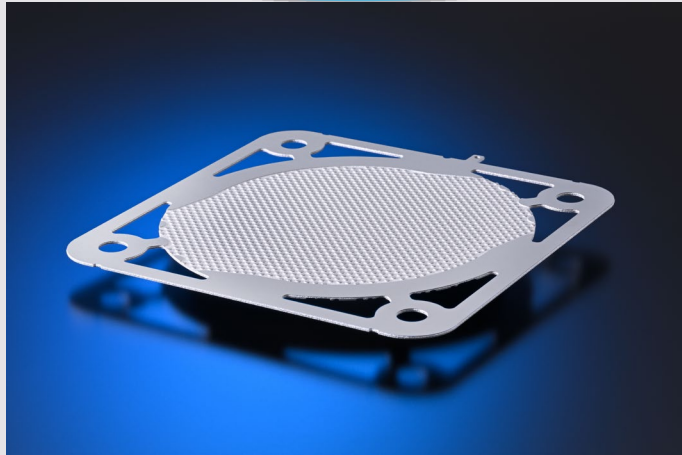
■ 850℃, 10,000時間の酸化試験後の断面元素マッピング



- ✓ ZMG232G10の酸化膜形態は **基材 / Cr_2O_3 / $(\text{Mn}, \text{Cr}, \text{Cu})_3\text{O}_4$** となっています。
- ✓ Cr_2O_3 及び $(\text{Mn}, \text{Cr}, \text{Cu})_3\text{O}_4$ はともに導電性のある酸化膜になります。
- ✓ Cr_2O_3 酸化膜により薄い酸化膜構造を実現し,
 $(\text{Mn}, \text{Cr}, \text{Cu})_3\text{O}_4$ 酸化膜層により Cr_2O_3 からのCr蒸発量を抑制します。

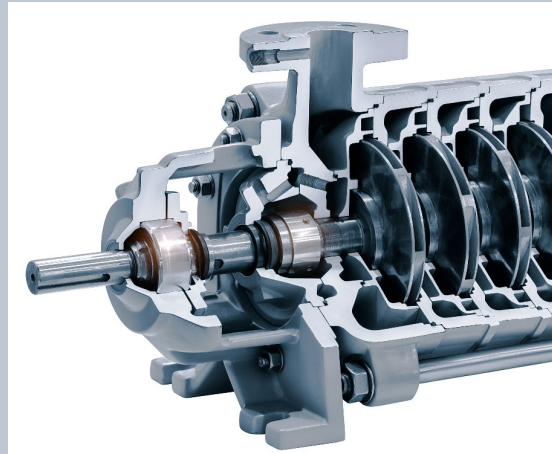
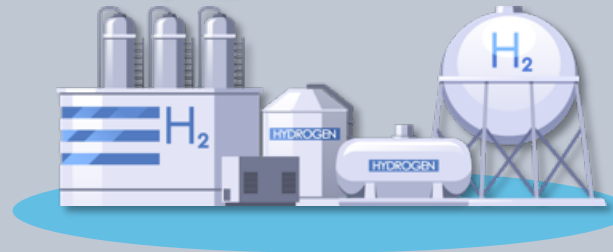
H₂

作る



固体酸化物形電解セル(SOEC)用
インターコネクター材 ZMG232®G10

貯める



水素圧縮機用
シリンダー部材 SUH660

使う



水素エンジン用
ピストンリング材 ASL®817
インジェクター材 ACD®602/627

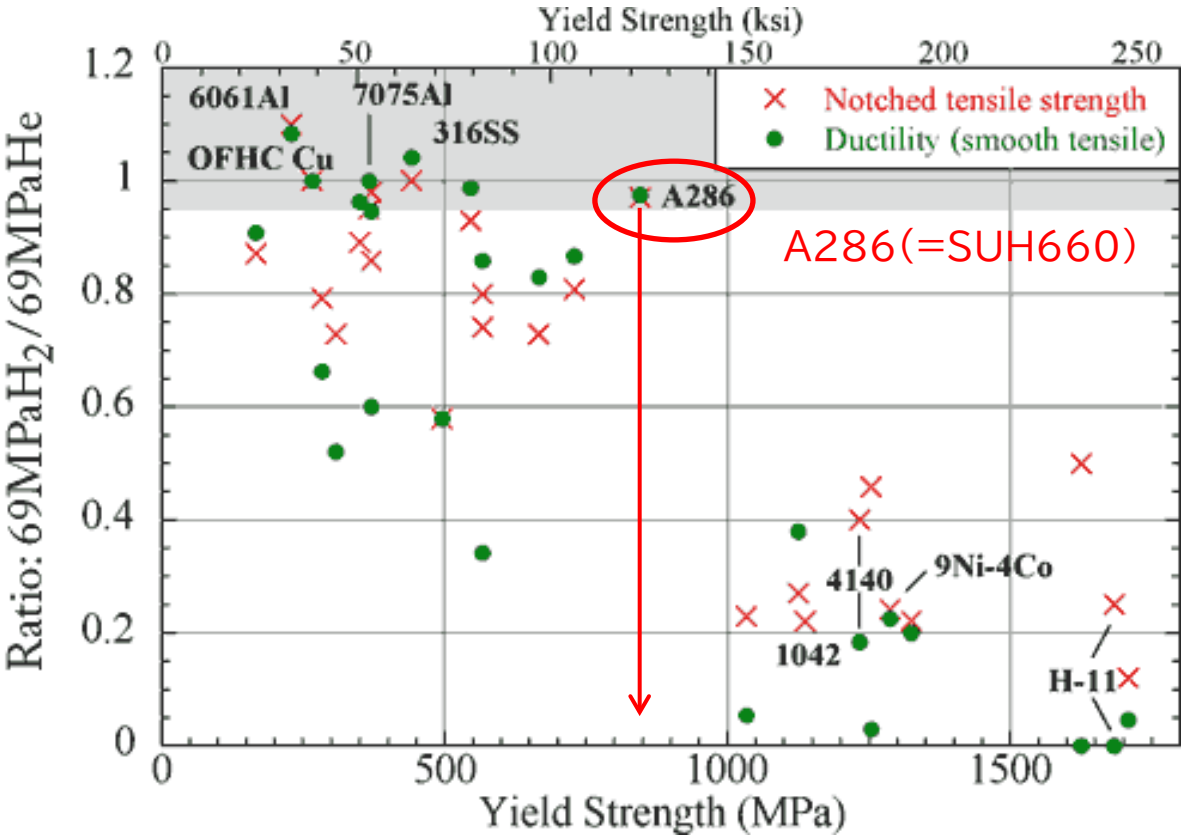
■高圧水素環境への対応

SUH660はJIS G 4311で規定されたオーステナイト系耐熱鋼であり、水素脆化感受性が低い合金の中で高強度であることが知られています。

水素脆化感受性の比較(材料と環境より) 各種材料の強度と水素脆化感受性の関係 (NASAデータより)

	材料	強度・延性の低下率 (%)	
		切欠強度 (Kt=9)	絞り (平滑材)
著しく脆化する	18Ni(250) マルエージ鋼	88	95
	410 ステンレス鋼	79	80
	17-7PH ステンレス鋼	77	95
	H-11 工具鋼	76	100
	Fe-9Ni-4Co-0.02C	76	78
	Rene 41 Ni 合金	73	62
	Inconel 718 合金	54	97
	440C ステンレス鋼	50	100
脆化する	430F ステンレス鋼	32	42
	金属ニッケル	30	25
	ASTM A372-IV鋼	26	66
	ASTM A302 鋼	22	50
	HY80 鋼	21	14
	アームコ鉄	14	40
わずかに脆化する	304L ステンレス鋼	13	9
	305 ステンレス鋼	11	3.8
ほとんど脆化しない	316 ステンレス鋼	3	3.1
	A286 Fe 基耐熱合金	3	2.3
	316 ステンレス鋼	0	+4.2

Zairyo-to-Kankyo, 48, 776-777 (1999)



Data from: Jewitt et al, *Hydrogen Environment Embrittlement of Metals*, NASA-CR-2163, 1973.

φ450 mm 鍛造後ビレット



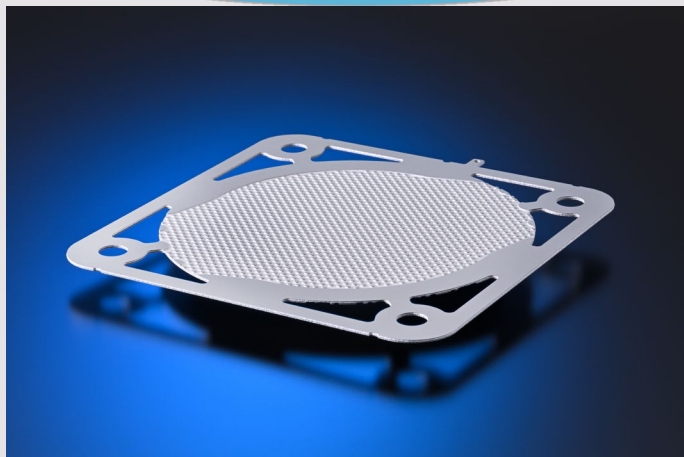
SUH660時効処理後の常温引張特性

	0.2% 耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
φ450 mm 実績	677	1037	30.4	49.5
JIS G 4311	≧ 590	≧ 900	≧ 15	≧ 18

プロテリアルではφ5.5～φ450 mmまでSUH660の製造実績があり、幅広い寸法に対応することが可能です。
φ450 mmの大径であってもJIS規格対比で十分高い延性を達成し、安全性を確保することができます。

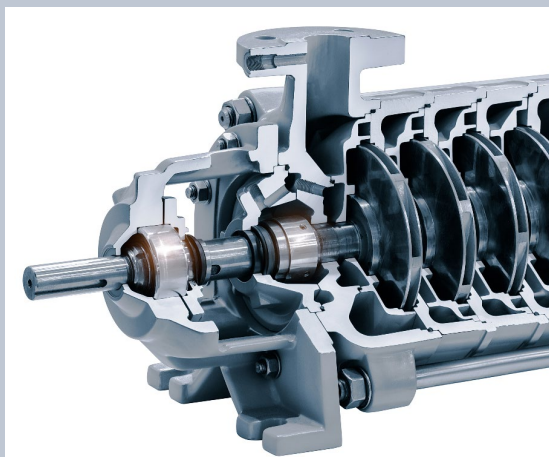
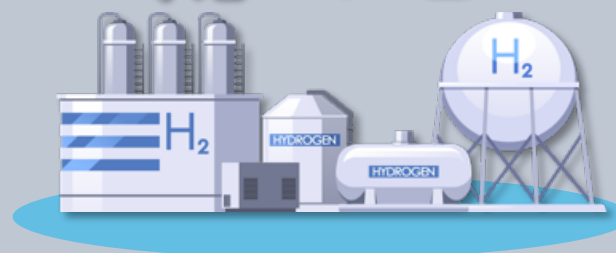
H₂

作る



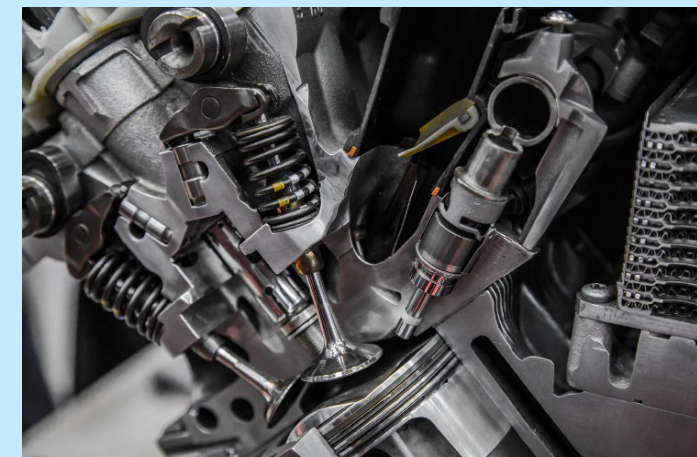
固体酸化物形電解セル(SOEC)用
インターコネクター材 ZMG232®G10

貯める



水素圧縮機用
シリンダー部材 SUH660

使う

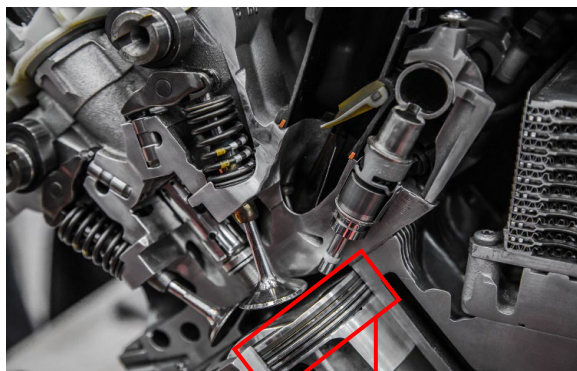


水素エンジン用
ピストンリング材 ASL®817
インジェクター材 ACD®602/627

■水素エンジンへの対応 耐摩耗性

ASL817はガソリンエンジンでピストンリング材として当社で実績を積み重ねたステンレス鋼であり、高い耐摩耗性を有しています。

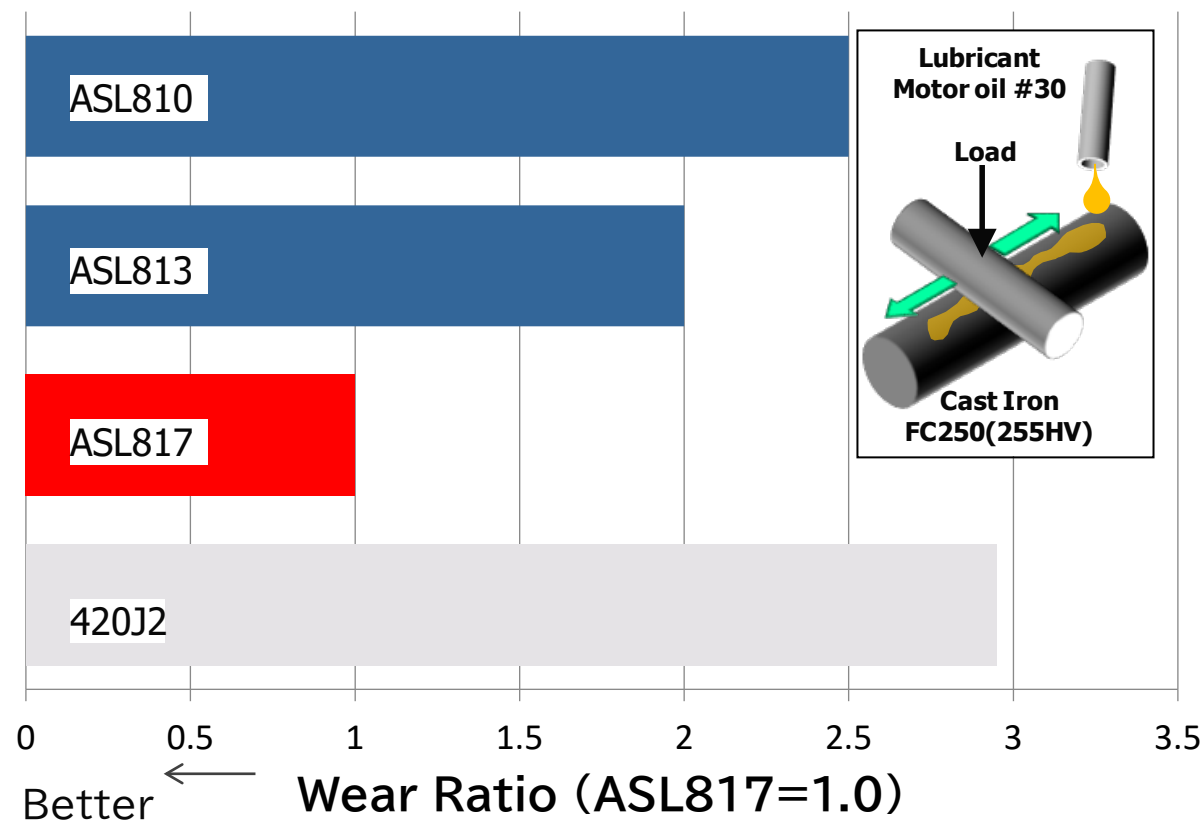
エンジン部材



ピストンリング

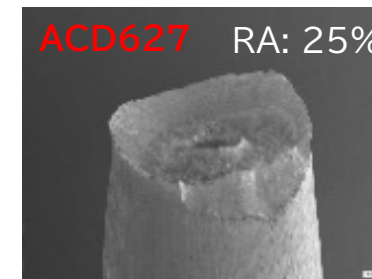
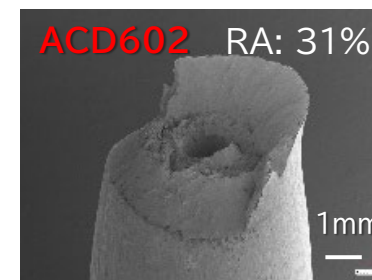
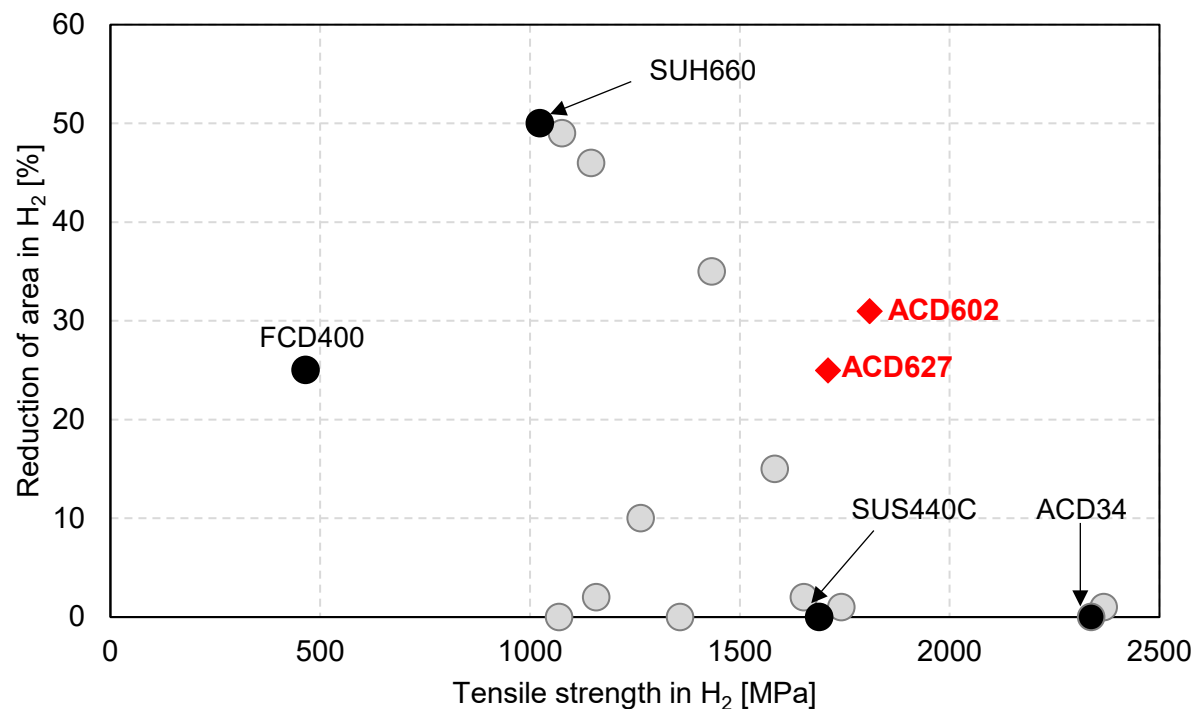
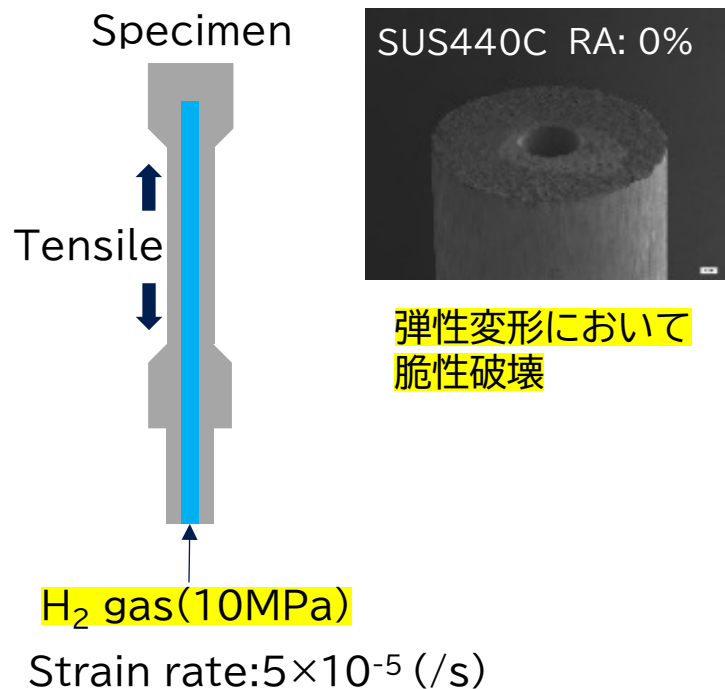


窒化処理後の耐摩耗性



■水素エンジンへの対応 耐水素脆性

ACD602,627は、カーボンニュートラル燃料として最も注目される水素に対して開発したステンレス鋼。20MPa以下の高圧水素環境下において、高強度かつ高い延性を得ることができる。



塑性変形を伴う延性的な破壊

- ・ACD602とACD627は10MPa水素雰囲気中において高い引張強さと延性を兼ね備えている。
- ・ACD602は引張強さ1800MPaでありながら30%以上の絞り値を示します。

■次世代燃料への対応

ACD602,627は、次世代燃料のe-fuel(合成燃料)、バイオ燃料にも対応できる合金。これらの燃料は不完全燃焼時に、生成する酸による腐食が課題となると考えられるが、開発した合金組成と窒化焼入れ技術とを組み合わせることで高硬度と良好な耐食性を兼備することが可能となる。以後、ACD602N,ACD627Nと表記。

合金組成 × 窒化焼入れ = 新たな付加価値

■窒化焼入れの特長

常圧(加圧)窒素中で合金の焼入れを行う
新しい熱処理方法で浸窒処理・浸窒焼入れに近い。

(特徴)

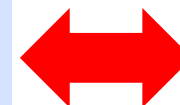
- 一般的な浸炭処理と比較して、
- ・焼入と同時に表面処理が可能
- ・CO₂排出量が少ない可能性
- ・高硬度かつ高耐食
- ・熱処理変寸が小さい

窒化焼入れ

N₂ 常圧・加圧 $\geq 900^{\circ}\text{C}$

窒素富化層 0.1-0.5mm

金属基地



一般的なガス浸炭処理

変成ガス(CO,H₂O,H₂)
約850°C

浸炭層 0.5-1.5mm

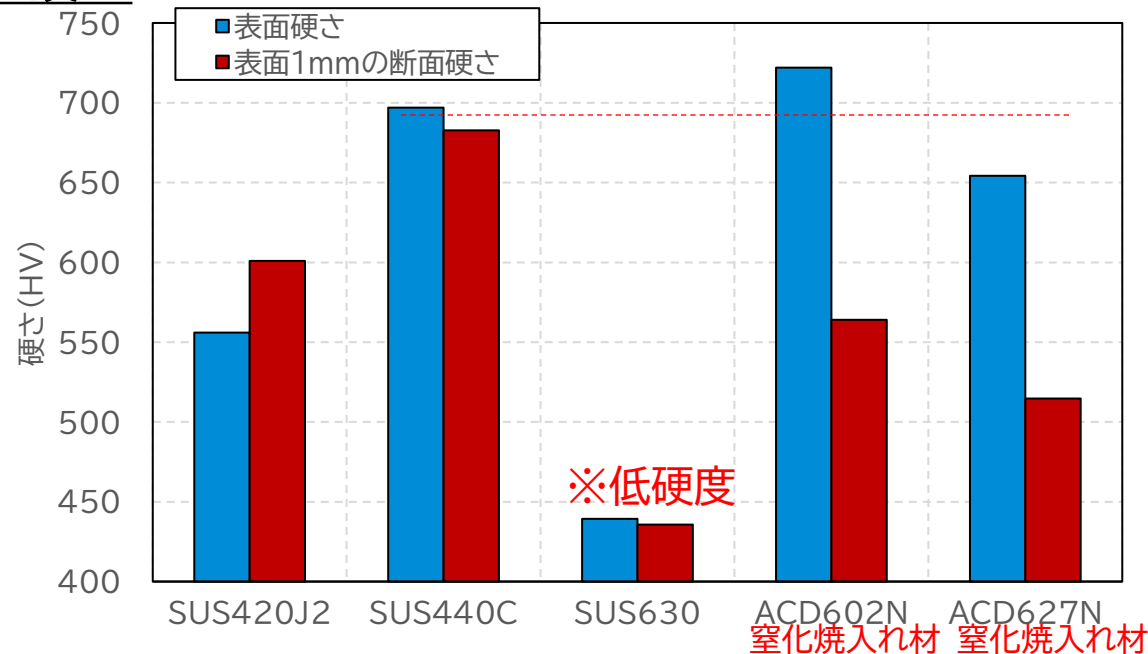
金属基地

■e-fuel, バイオ燃料の課題

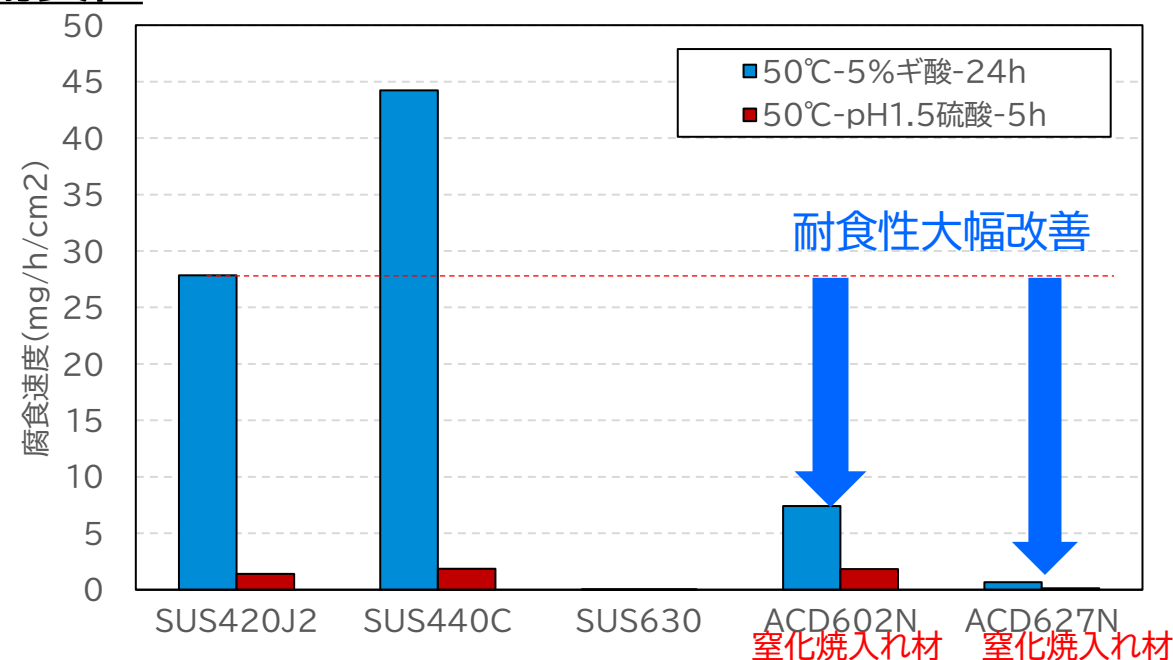
燃料	発生ガス	合成酸
ガソリン・ディーゼル	完全燃焼 : CO_2 、 H_2O 、 SO_2 、 NO_x 不完全燃焼: CO_2 、 H_2O 、 CO 、 HC 、 SO_2 、 NO_x	H_2SO_4 (硫酸)、 HNO_3 (硝酸) //
e-fuel (合成燃料) * 合成メタノール	完全燃焼 : CO_2 、 H_2O 、 NO_x 不完全燃焼: CO_2 、 H_2O 、 HCHO	HNO_3 (硝酸) HCOOH (ギ酸)
バイオ燃料 * バイオエタノール	完全燃焼 : CO_2 、 H_2O 、 NO_x 不完全燃焼: CO_2 、 H_2O 、 CH_3CHO	HNO_3 (硝酸) CH_3COOH (酢酸)

e-fuelでは、特に腐食性の高いギ酸が発生するので、
内燃機関部品が腐食されやすい環境になると推測。

■硬さ



■耐食性



- ・ACD602Nは、SUS440Cを超える表面硬さ、SUS420J2同等以上の耐食性を有する。
- ・ACD627Nは、SUS440Cに近い表面硬さ、SUS420J2よりはるかに高い耐食性を有する。

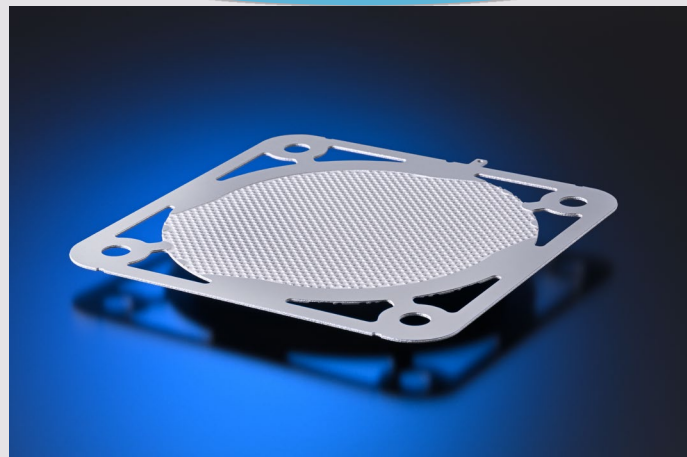
■用途と必要な特性

用途	必要特性
内燃機関部品(インジェクター他)	高硬度, 耐食性(ギ酸・硫酸)
軸受, 歯車, 医療用刃物	高硬度, 高強度, 高耐食



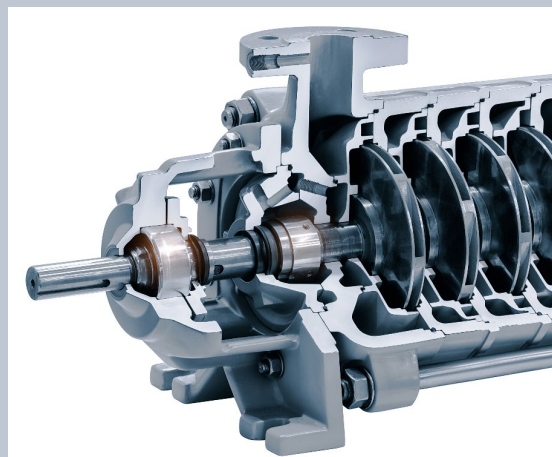
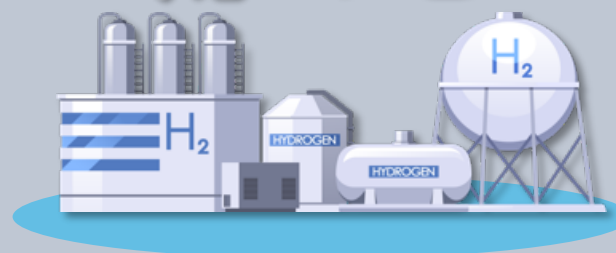
H₂

作る



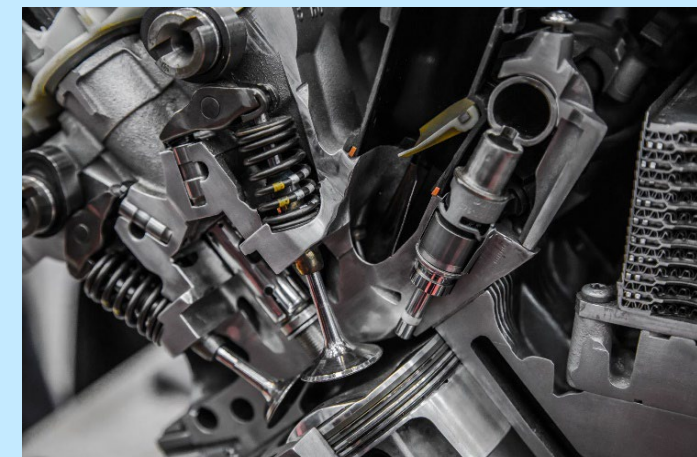
固体酸化物形電解セル(SOEC)用
インターコネクター材 ZMG232®G10

貯める



水素圧縮機用
シリンダー部材 SUH660

使う



水素エンジン用
ピストンリング材 ASL®817
インジェクター材 ACD®602/627

ZMG, ASL, ACDは株式会社プロテリアル登録商標です。

PROTERIAL

