

超軽量、エネルギー吸収特性に 優れたポーラスマグネシウム

地方独立行政法人鳥取県産業技術センター
研究員 塚根 亮

2023年11月30日

従来技術とその問題点

- 地球温暖化対策としてCO₂排出量削減が要望されており、自動車等、輸送機器の軽量化が急務の課題とされている。
- マグネシウム合金は構造用金属材料で最も軽量であるが、耐衝撃性、強度と延性のバランスが良くない。

多孔質(ポーラス)材料について

スポンジ



遮音材、緩衝材

発泡スチロール



クーラーボックス

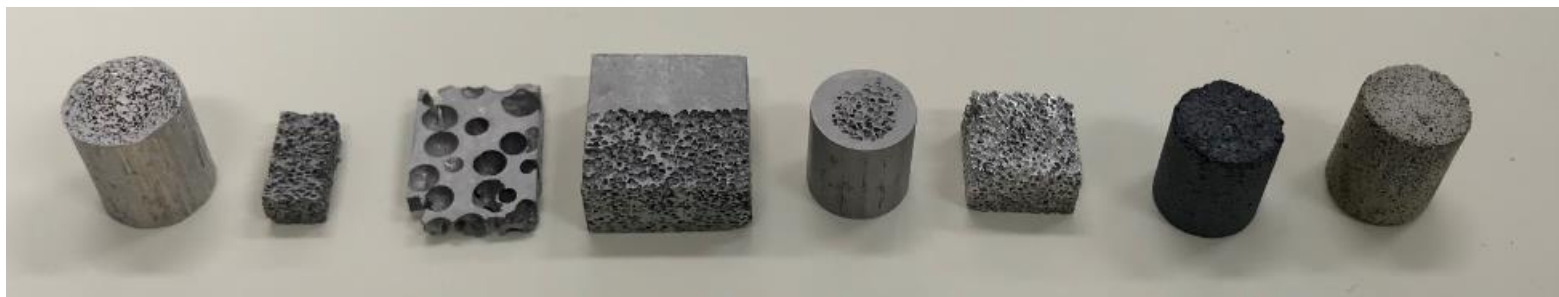
段ボール



梱包資材

細孔をもつため軽量性、振動吸収性、断熱性、衝撃吸収性などに優れる

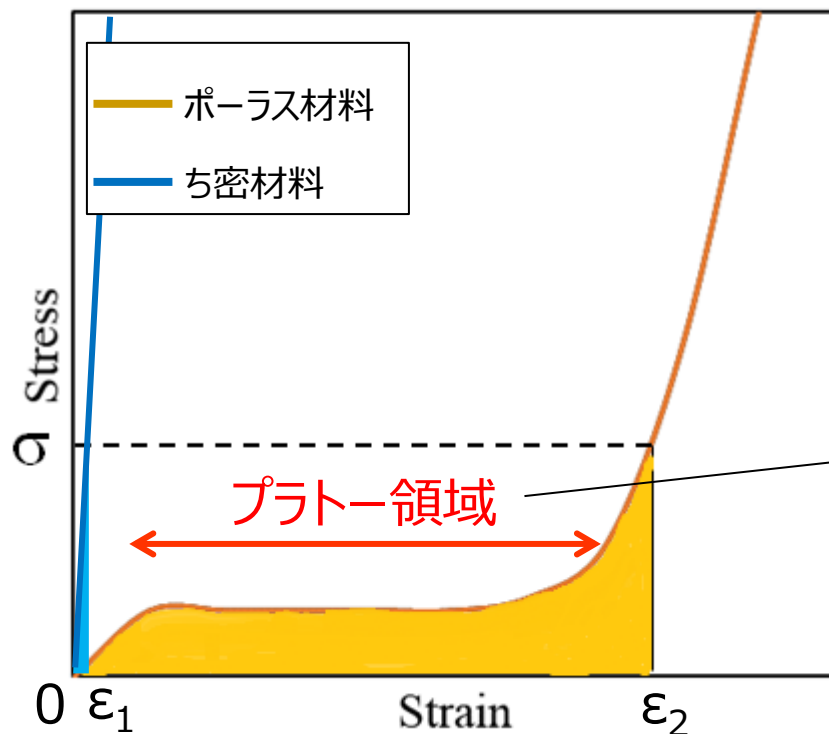
次世代の構造材料として期待される ポーラス金属



	ち密金属材料	ポーラス金属材料
軽量性	×	○
エネルギー吸収能	×	○
制振性	×	○

軽量性と衝突安全性の相反するニーズを同時に実現する

ポーラス材料のエネルギー吸収特性



ポーラス材料は
応力がほぼ一定の
ままひずみが増大

図 圧縮試験により得られる応力ひずみ線図

材料に応力 σ が加わったとき吸収するエネルギー

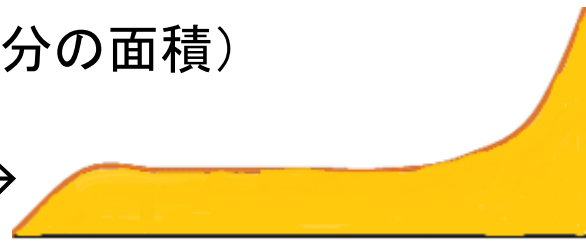
ち密材料 (青い部分の面積)

$$E_1 = \int_0^{\varepsilon_1} \sigma_1(\varepsilon) d\varepsilon \rightarrow$$

\ll

ポーラス材料 (黄色い部分の面積)

$$E_2 = \int_0^{\varepsilon_2} \sigma_2(\varepsilon) d\varepsilon \rightarrow$$

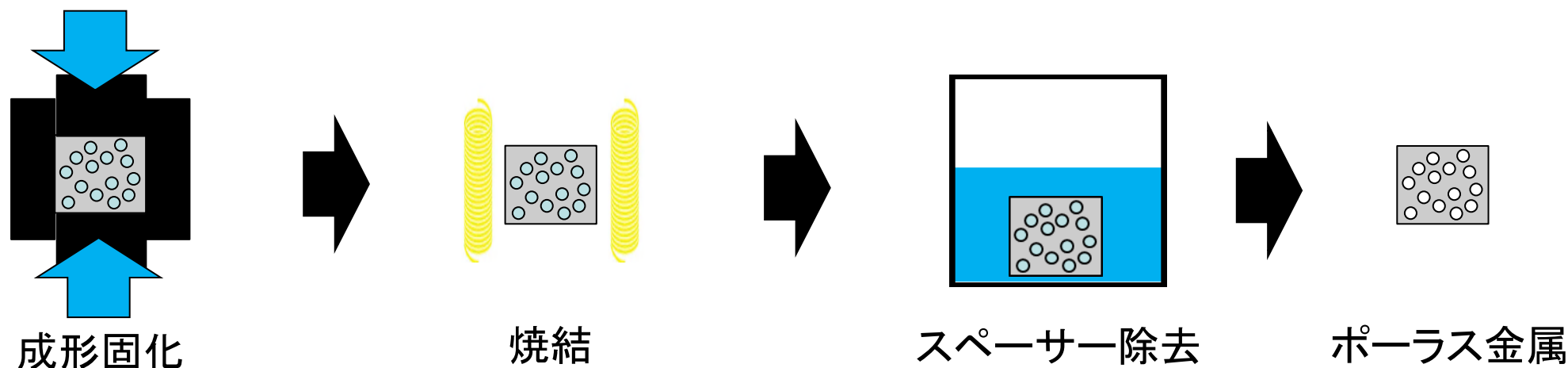


エネルギー吸収量を制御するためポーラスMgの圧縮特性を知ることが必要

ポーラス金属の作製方法の一例

空孔性状(空孔率、空孔形状)を簡便に制御可能なスパーサー法

原料粉末に混合したスパーサー粒子を成形固化後に溶解抽出、加熱分解などにより消失させ、その跡に空孔を形成させる。



焼結しやすい金属(アルミニウム、銅等)によく適用される

➡ 焼結しにくいマグネシウムに適用した事例が少ない

液相焼結

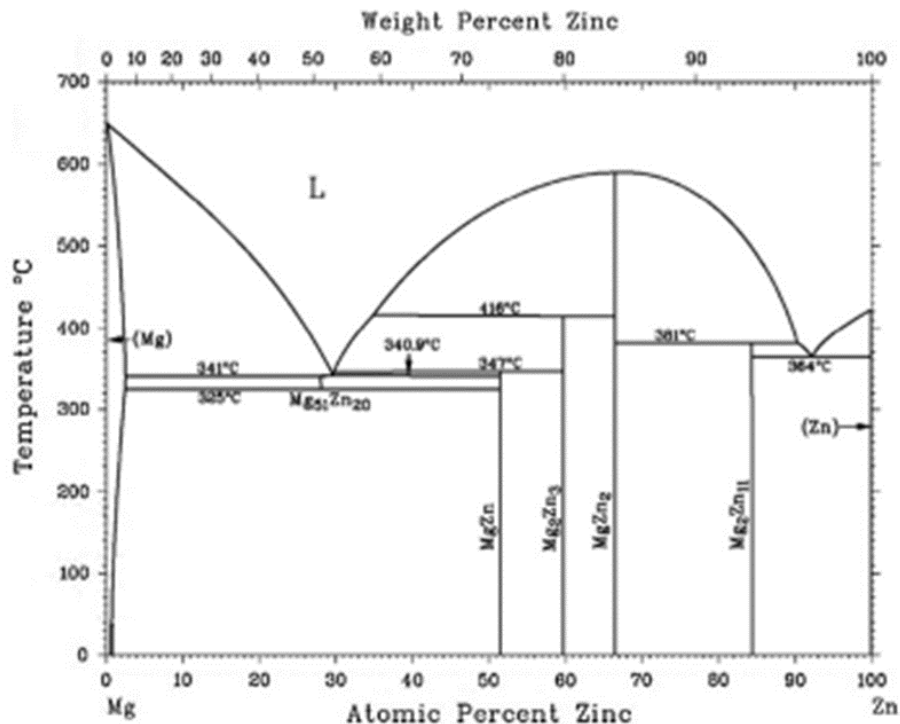


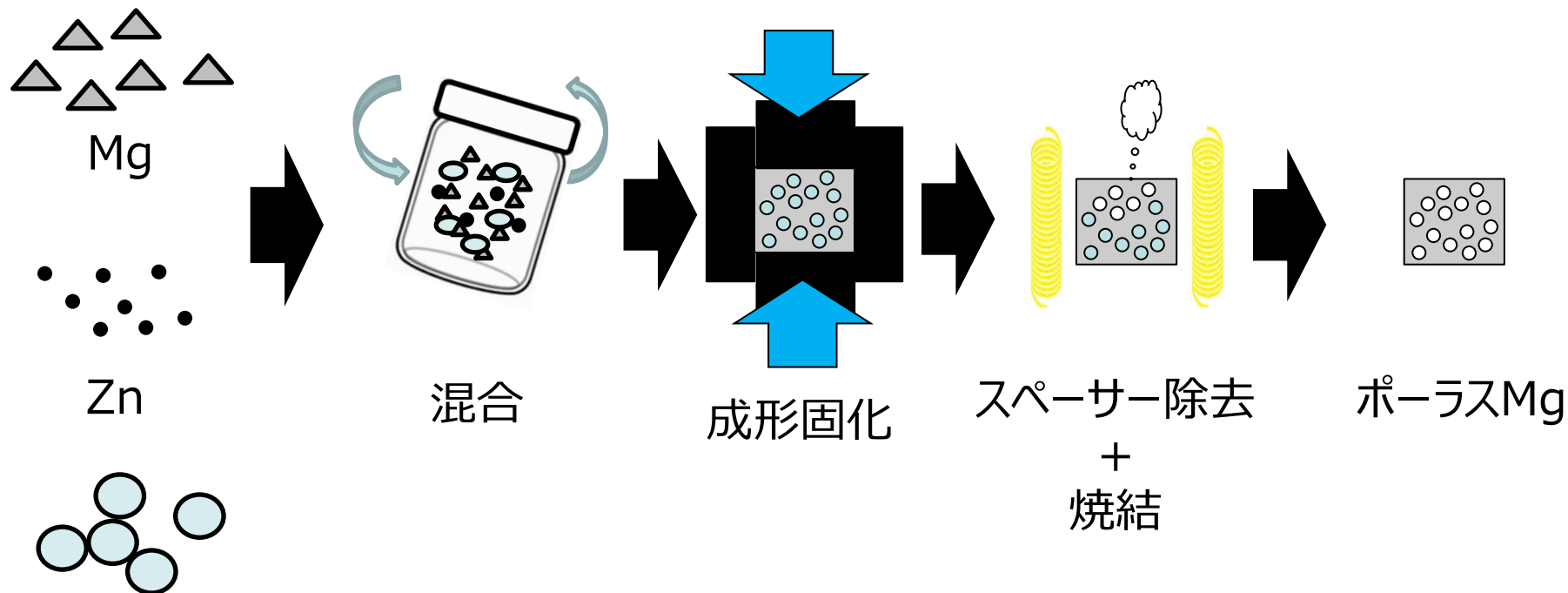
図 Mg-Zn系二元系状態図*

Mgに活性剤としてZnを添加し、焼結温度低下、焼結時間短縮

	液相が生じる温度
Mg	650°C (923 K)
Mg-Zn	340°C (613 K)

Zn添加率がポーラスMgの圧縮特性にどのような影響を及ぼすか

考案したポーラスマグネシウム製造方法



炭酸水素アンモニウム
 NH_4HCO_3

※炭酸水素アンモニウム (NH_4HCO_3) は約60°Cで分解される
 $\text{NH}_4\text{HCO}_3 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Zn混合比率： 5～10 mass%程度

混合：振とう機で5分

成形：300MPaで一軸加圧

焼結：Ar雰囲気中で20 °C/minで400°Cまで昇温し、4時間保持

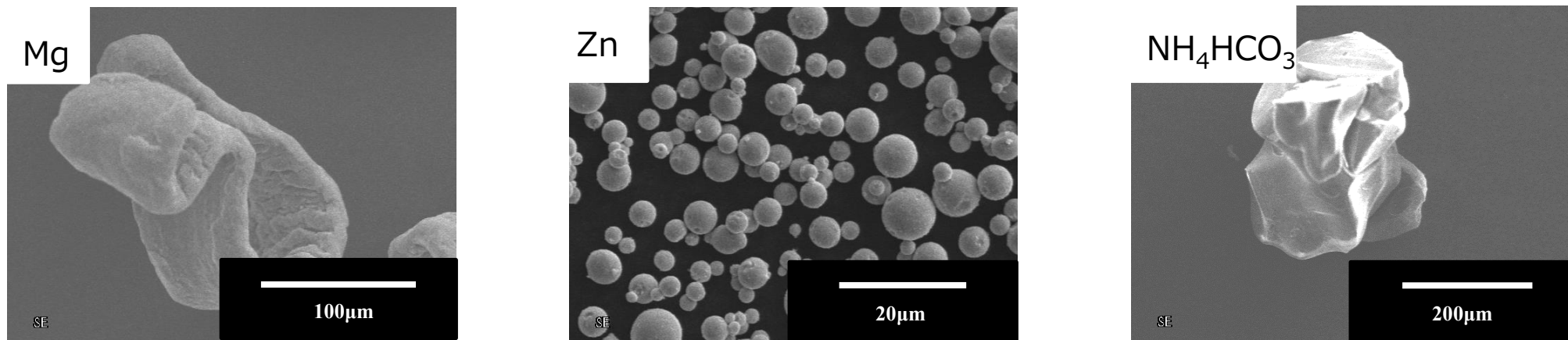


図1 本実験で用いた粉末のSEM写真**

	平均粒径
Mg	120µm
Zn	4µm
NH ₄ HCO ₃	240µm

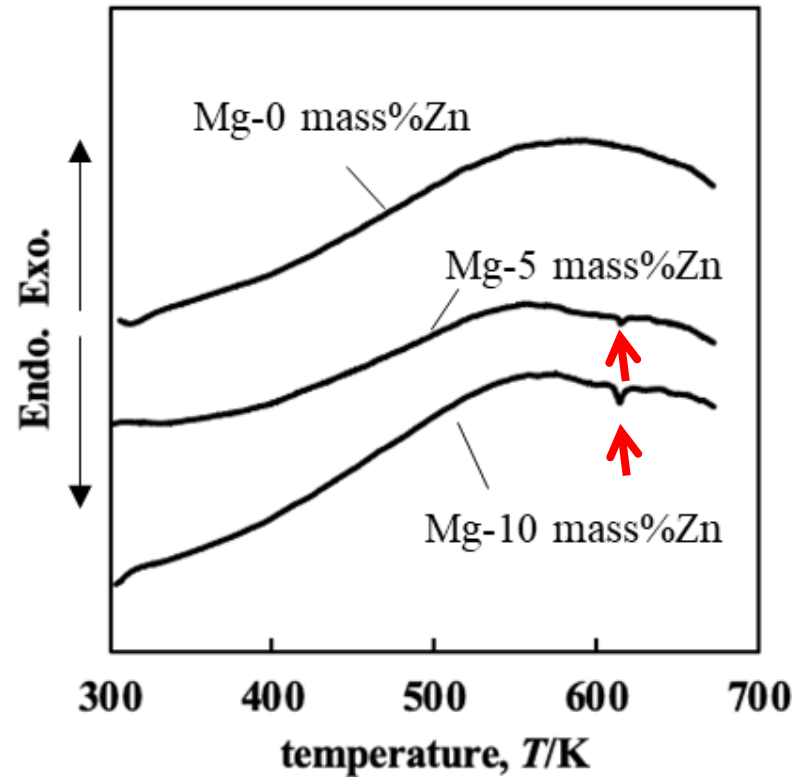


図2 グリーン体の加熱中のDTAカーブ**

- Znを添加したものは613 K (340 °C) 付近に吸熱反応 (図中↑部)
→ MgとZnの共晶融液が生成

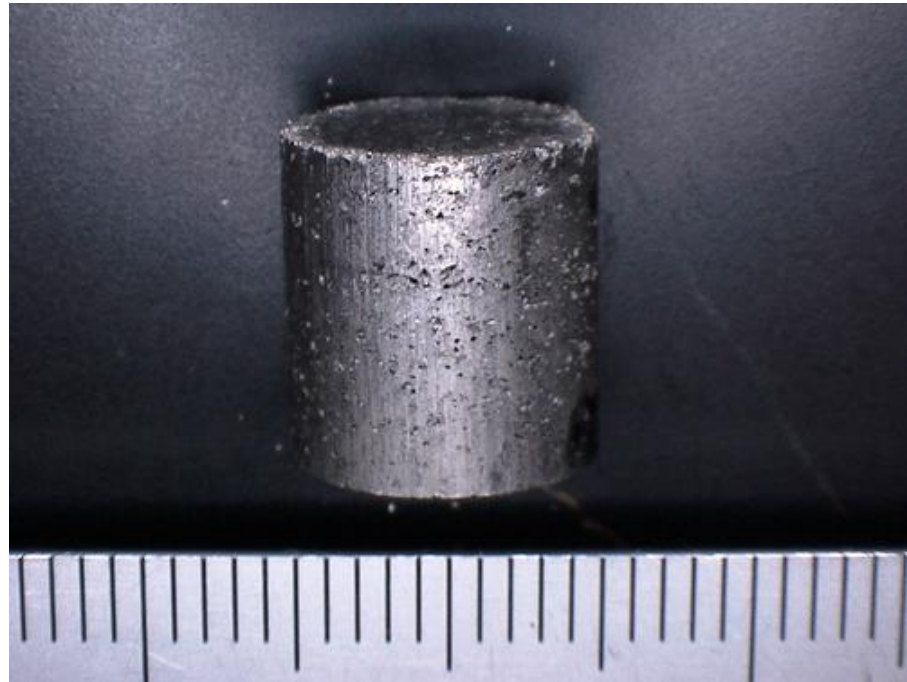


図3 作製したポーラスMgの写真

サイズ：直径10mm、高さ10mm
相対密度：60%（空孔率40%）

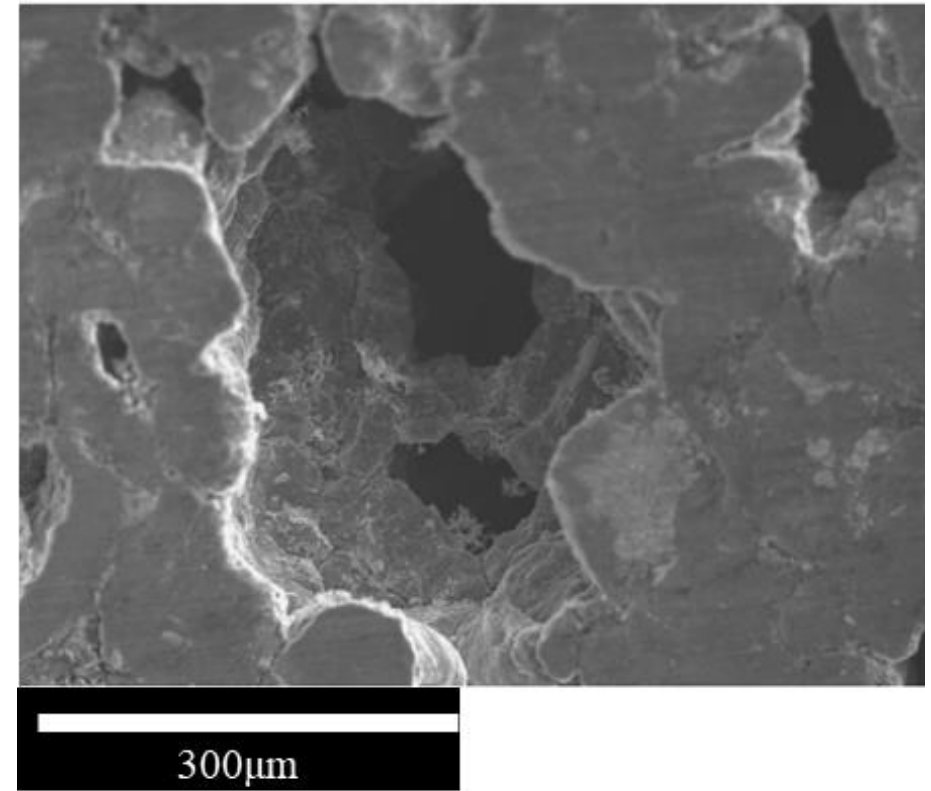
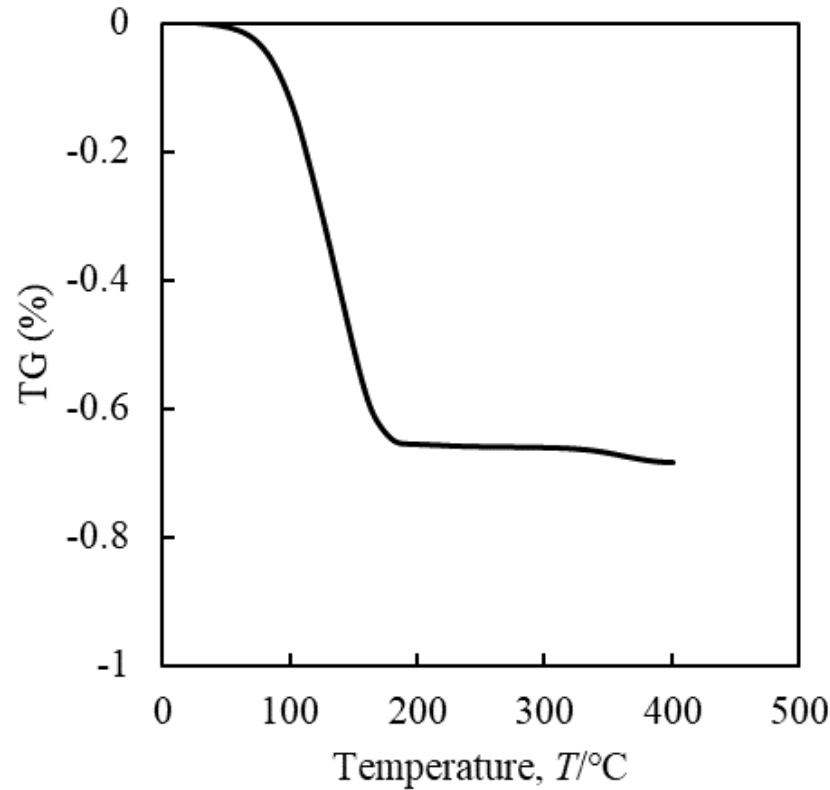


図4 グリーン体(設計相対密度30%)のTG曲線** 図5 ポーラスMgの空孔のSEM写真**

- 100°C付近から大幅な重量減
→ NH_4HCO_3 の分解 ($\text{NH}_4\text{HCO}_3 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) が生じた。
- 分解時に生じたガスがセル壁に開いた連通孔を通して放出された。
- 空孔形状は NH_4HCO_3 の形状が転写された形状となった。

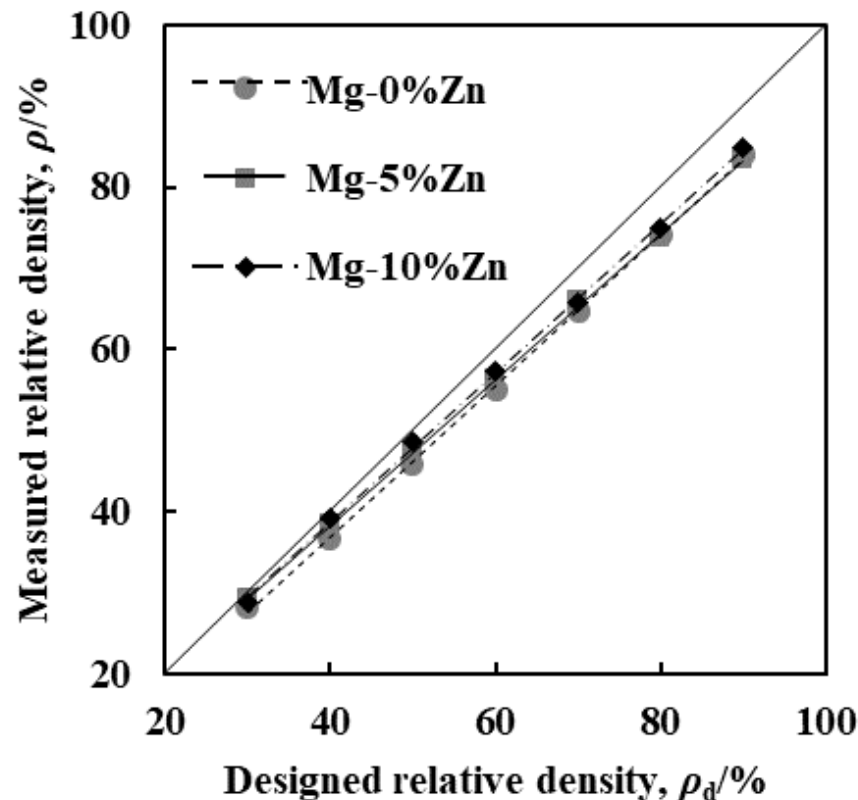


図6 相対密度の測定値と設計値の関係**

- ・作製したポーラスマグネシウムの相対密度は設計値よりも低いが、概ね設計した相対密度となった。
- ・Zn添加量が多いほど相対密度が高い。

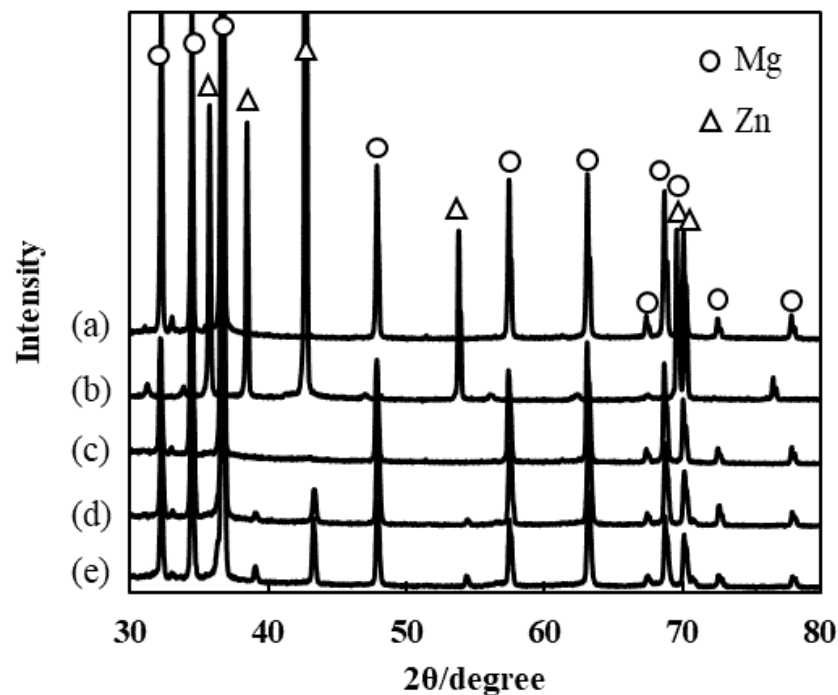


図7 ポーラスMgのX線回折結果

(a)Mg粉末、(b)Zn粉末、(c)Mg-0 mass%Zn、(d)Mg-5 mass%Zn
and (e)Mg-10 mass%Zn**

・ポーラスMgの基本組成はMgとZnである。

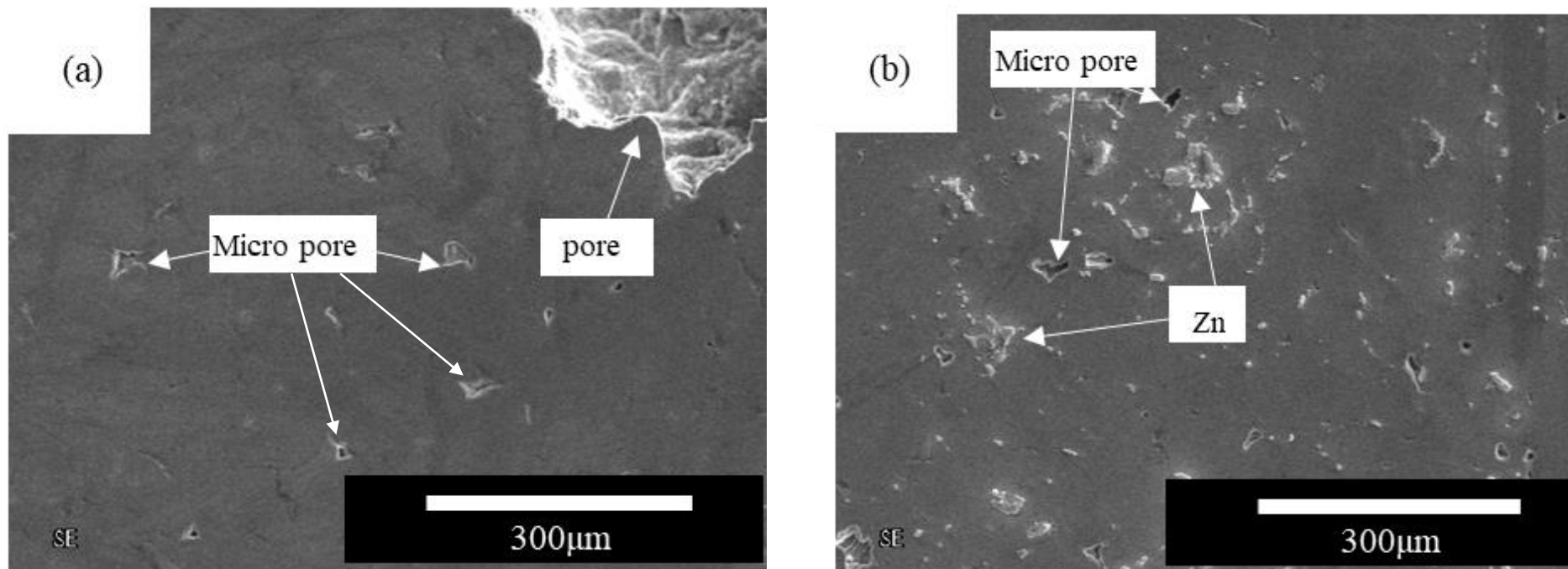


図8 ポーラスMg組織のSEM写真**

- Znを添加していない(a)では微細な空孔が多いが、Znを添加した(b)では空孔を埋めるようにZnが存在しており空孔が少ない。

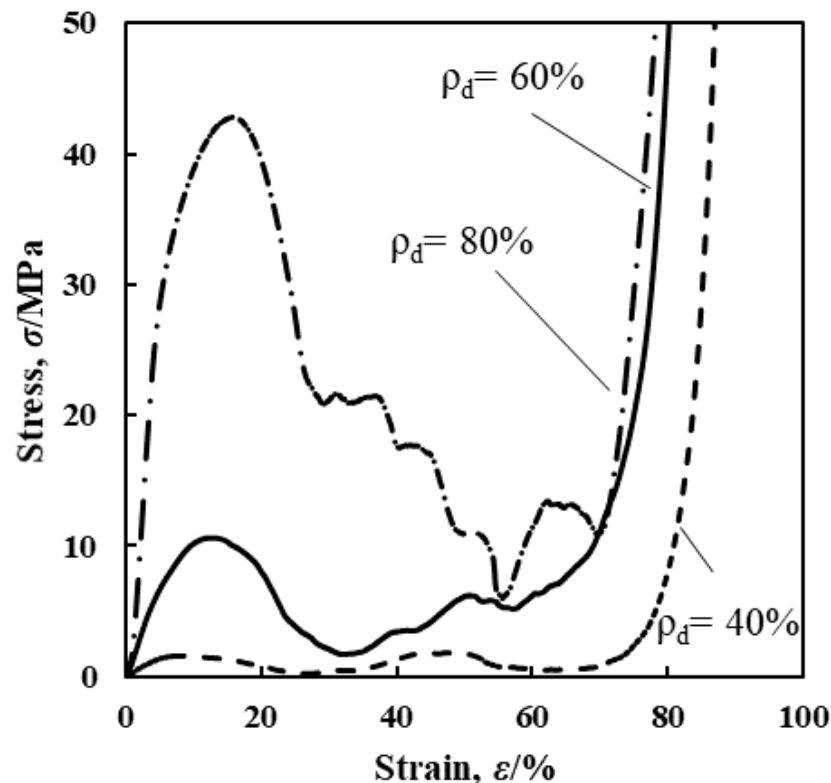
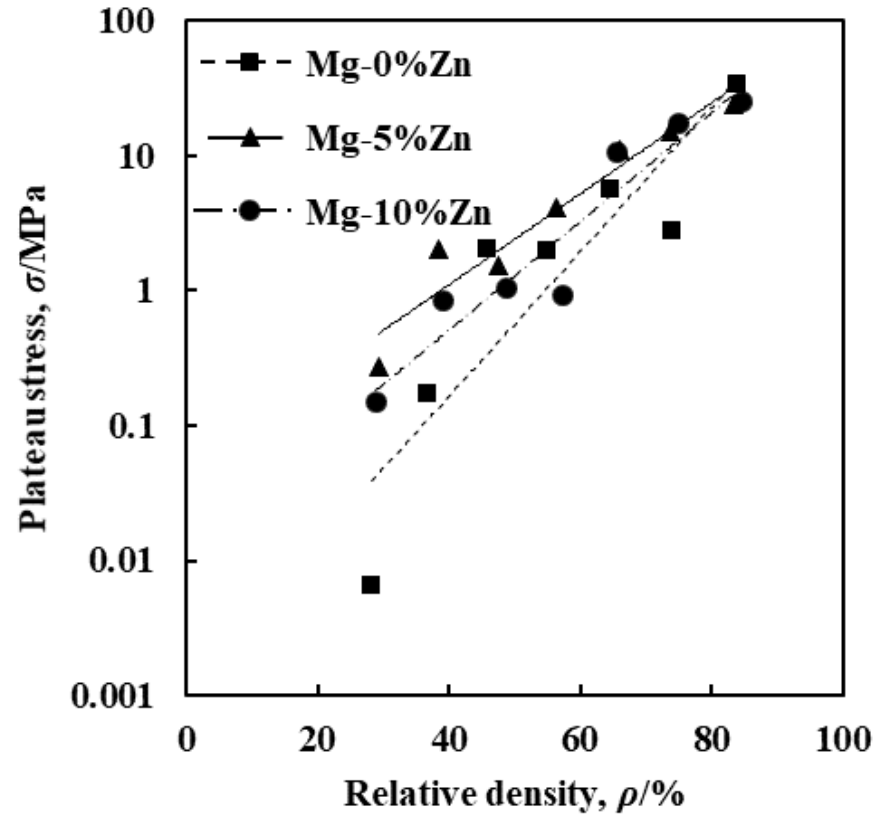


図9 圧縮試験により得られた応力ひずみ線図(Mg-5 mass%Zn)**

- ・相対密度が大きくなると初期最大応力、プラトー応力が高くなり、ち密化が早くなる。

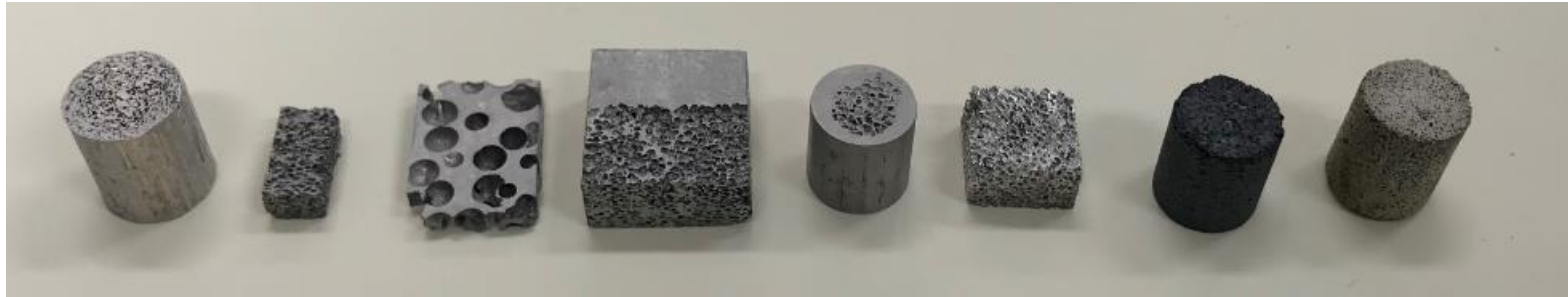


※プラトー応力はひずみ30~60%の応力の平均値とした。

図10 ポーラスMgのプラトー応力と相対密度の関係**

- Zn添加率5%の方が10%よりも高い。
- Zn添加率が高いほど延性が低くなることが起因していると考えられる。

作製可能なポーラスMgについて



スペーサー粒子の大きさ、型に充填する際の粉末の配合割合を変えることで様々な構造のポーラスMgを作製可能

新技術の特徴・従来技術との比較

- 液相焼結を適用して、スプレーサー法によりポーラスMgを作製することに成功した。
- 空孔率、空孔形状はスプレーサー粒子の添加率、形状により制御が可能である。
- ポーラスMgの圧縮特性は相対密度、Zn添加率によりある程度制御可能である。

想定される用途

- 軽量性とエネルギー吸収能が要求される部材（自動車等輸送機器に関わらず、ヘルメット等）。
- 廃棄物として処理されていた切粉を原料によりポーラスMgを作製。
- また、Mgの生体適合性やポーラス構造に着目すると、人工歯根や人口骨といった用途に展開する可能性も考えられる。

実用化に向けた課題

- 現在、圧縮特性については静的試験による評価しかできておらず、動的試験による評価ができていない。
- 大きな形状や複雑な形状のポーラスMg作製方法の検討。

企業への期待

本新材料の社会実装の可能性の検討・検証へのご協力をお願いします。

- 産業応用に向けた共同研究が実施できる企業との共同研究を希望しています。
- 金属の焼結、Mg合金の加工をしている企業には本技術を導入しやすいと思われます。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ポーラスマグネシウム製造方法
- 出願番号 : 特願2018-225886
- 出願人 : 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター
- 発明者 : 塚根 亮

お問い合わせ先

地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

企画・推進連携部

企画室

室長補佐 福島 良

T E L 0857-38-6200

F A X 0857-38-6210

e-mail tiitkikaku@tiit.or.jp