

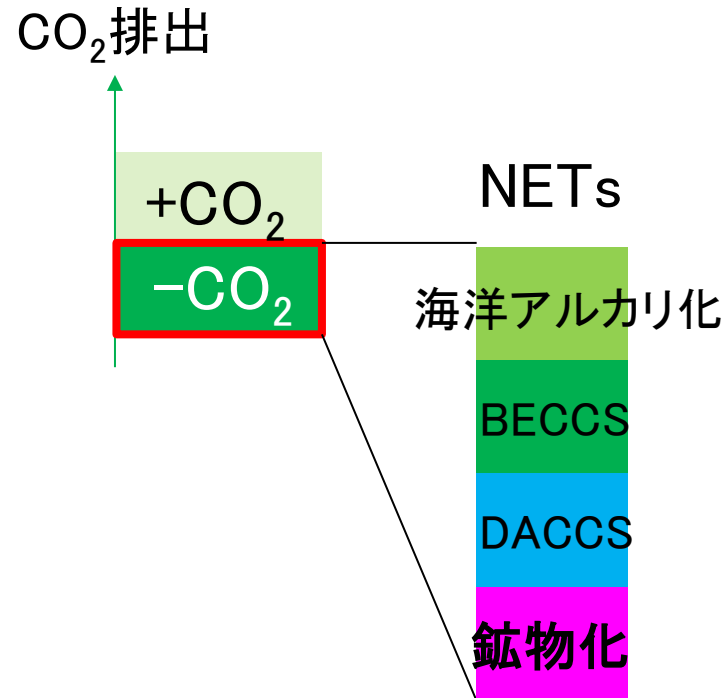
圧力を用いた溶媒(水)を用いない 無水炭酸マグネシウムの合成法の開発

物質・材料研究機構 電子・光機能材料研究センター
機能材料分野 資源循環材料グループ
主任研究員 山根 峻

2026年7月14日

社会的位置づけ

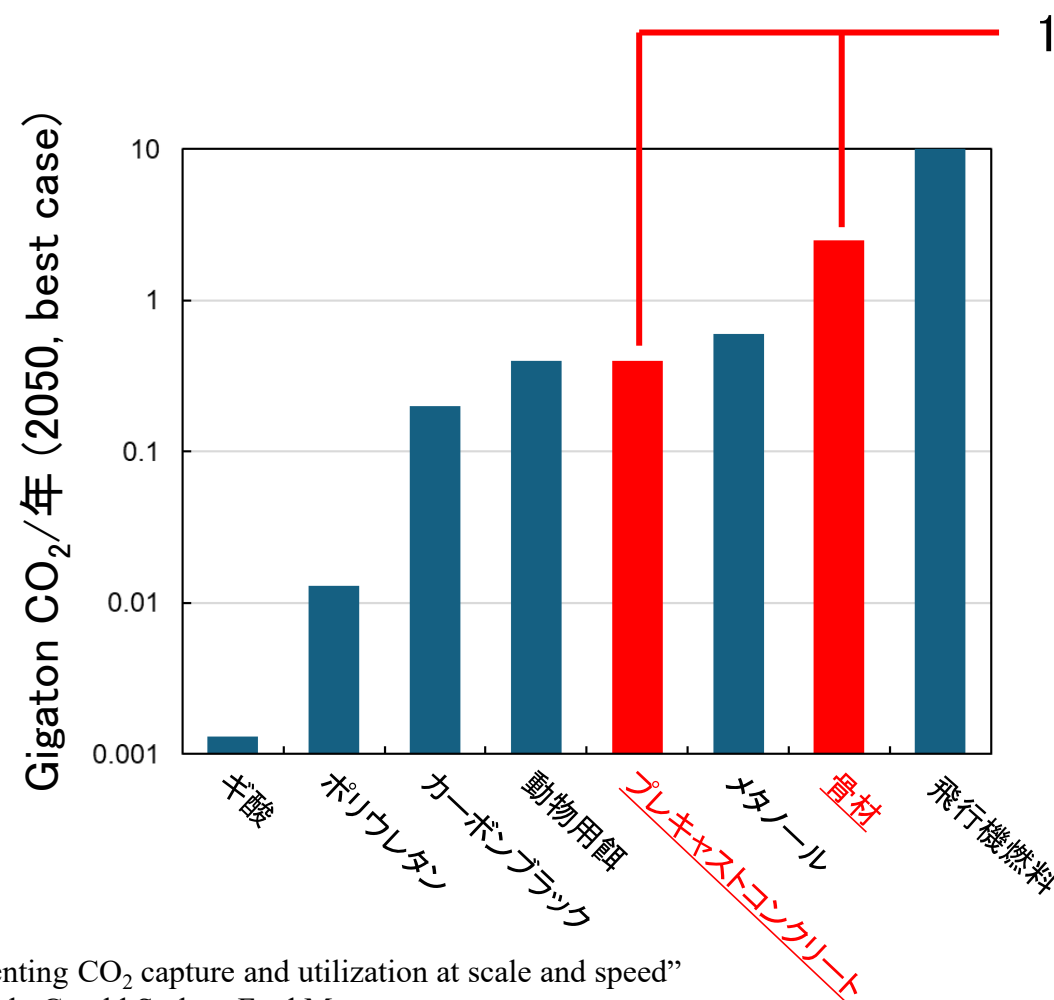
世界的にカーボンニュートラルな社会の実現に向けた取り組みが行われている。



- ✓ 日本でも2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことが宣言されている。
- ✓ カーボンニュートラルの達成には、産業活動で不可避免的に発生するCO₂を吸収・除去するネガティブエミッション (NETs)技術が不可欠である。
- ✓ 本開発はCO₂の鉱物化、およびその有効利用(CCU)に資する技術である。

研究分野の概要①

NETsー主要なCCU(Carbon dioxide Capture and Utilization)技術のCO₂貯蔵ポテンシャル



★炭酸塩材料の利活用(金属イオン源)

CaCO_3 (例: 廃コンクリートのリサイクル)

MgCO_3 研究対象(海からの抽出を主に想定)
マグネサイト

FeCO_3

MnCO_3

ZnCO_3

■
■
■

淡水化処理後のブラインの有効利用

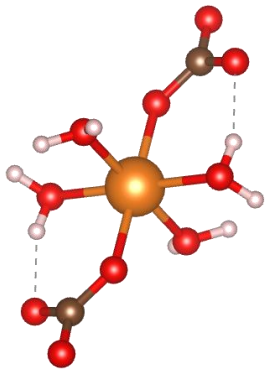
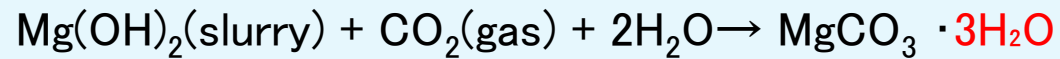
2019年に公表された淡水化施設の淡水化キャパシティから Mg^{2+} イオンが年間処理される量は0.1 Gigaton、 MgCO_3 として固定できるCO₂は**0.2 Gigaton**
(Jones et al., Sci. Total Environ. 2019, 657, 1343-1356をもとに試算)

副産物起源としてはきわめて大きい

研究分野の概要②

★海から抽出したMgを利用したCO₂の鉱物化

水酸化マグネシウムとCO₂の反応式(常温・常圧)

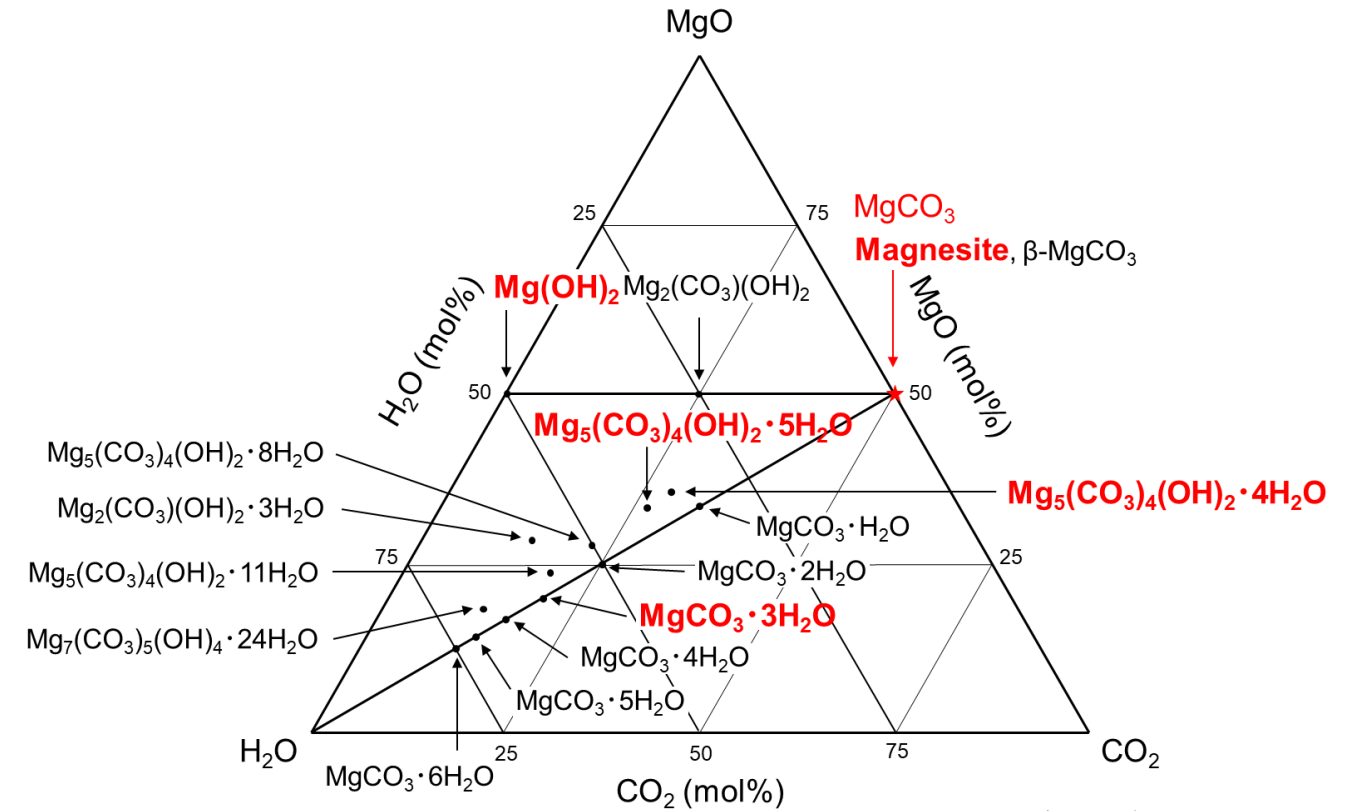


(vestaで描画)

Mg²⁺に水がすぐくっついちゃう

マグネシウムは水分子に水和されやすく、
マグネサイトが生成する前に、含水相が
形成される。

MgO-CO₂-H₂O系の3元図



多様な含水相

従来技術とその問題点

炭酸マグネシウムとして世の中で研究開発されているものは、天然の試料由来でない場合、

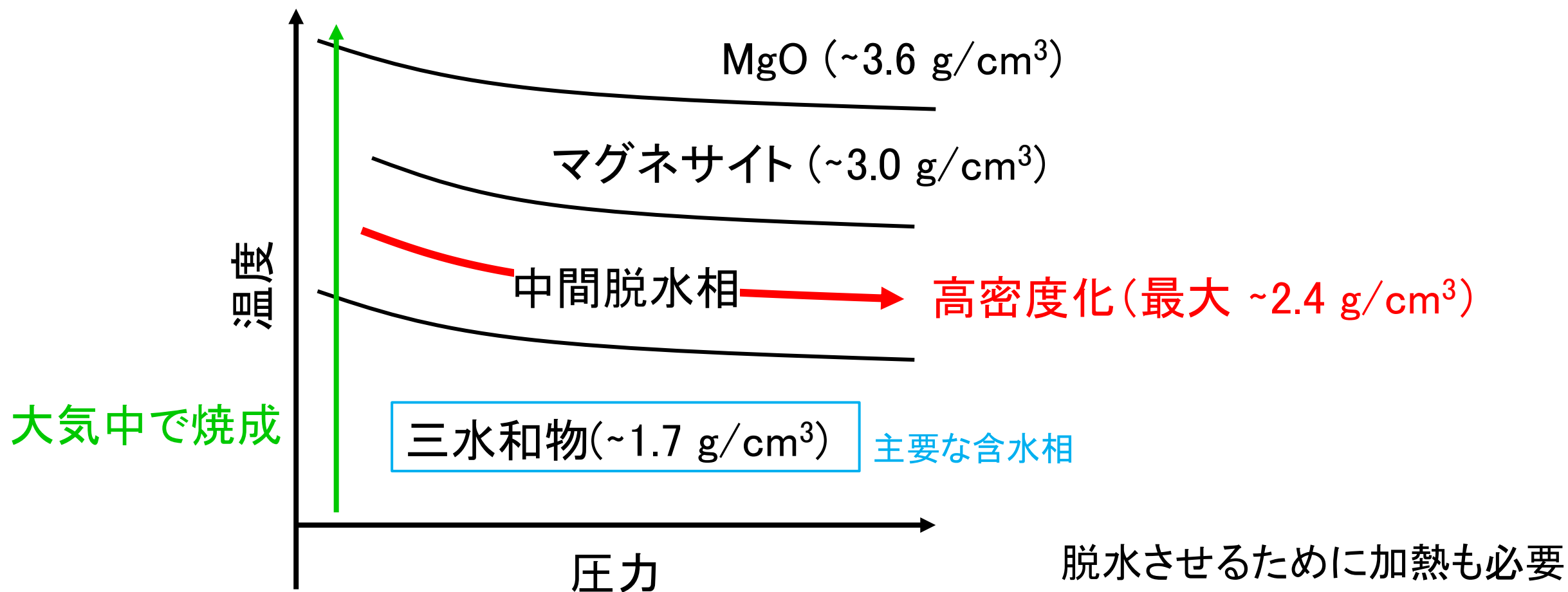
一般的に水分子を結晶構造に含んだ**含水物**である

含水物は化学的な安定性が低く、風化し、
CO₂の長期固定に向かない。

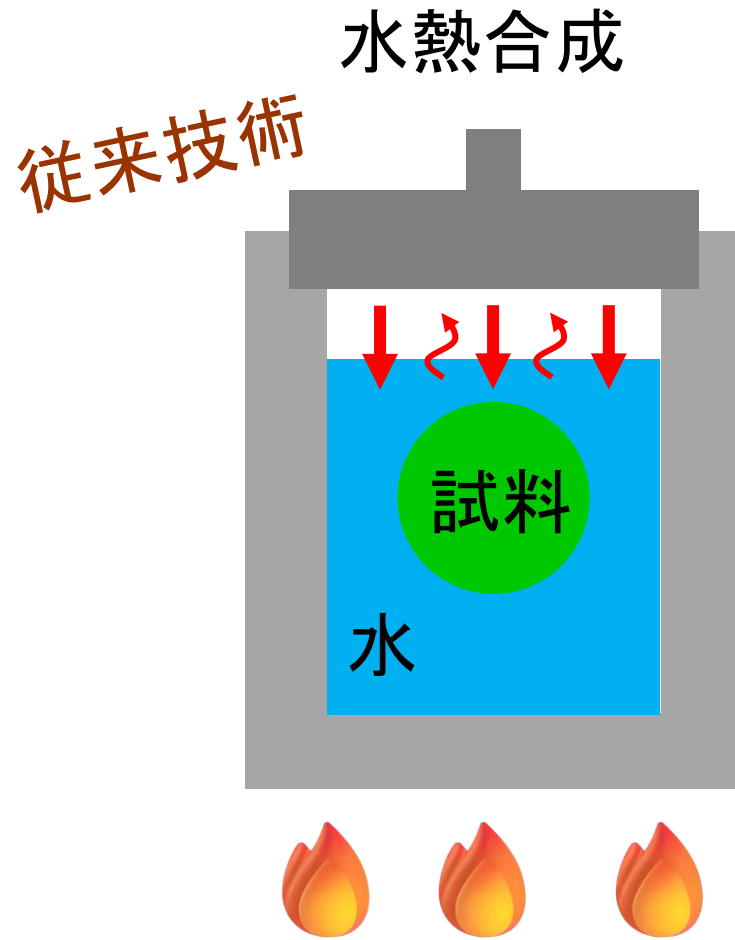
⇒“無水”炭酸マグネシウム(マグネサイト)

研究分野の概要③

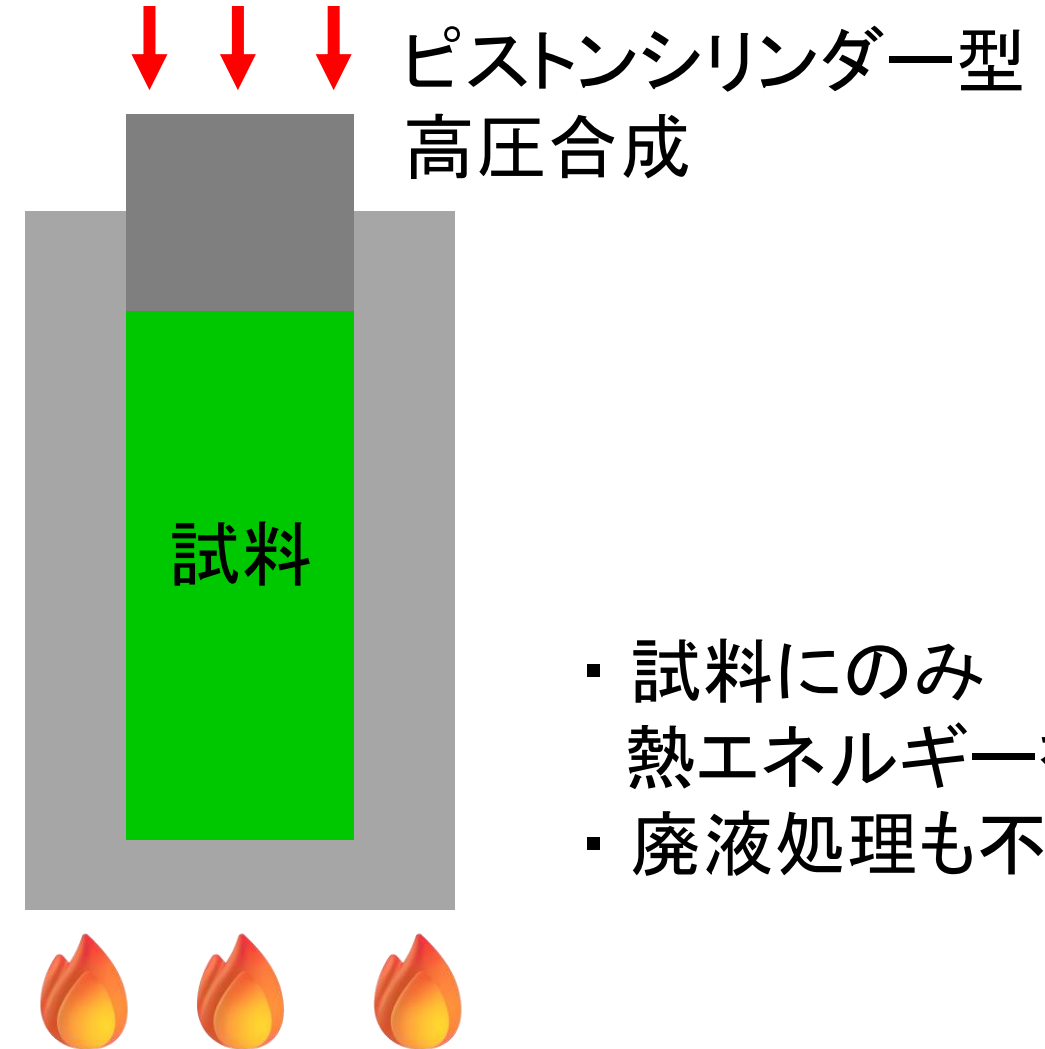
★マグネサイトは高圧力で安定化する: 含水物に圧力をかけて長期固定可能な物質へ



新技術の特徴・従来技術との比較



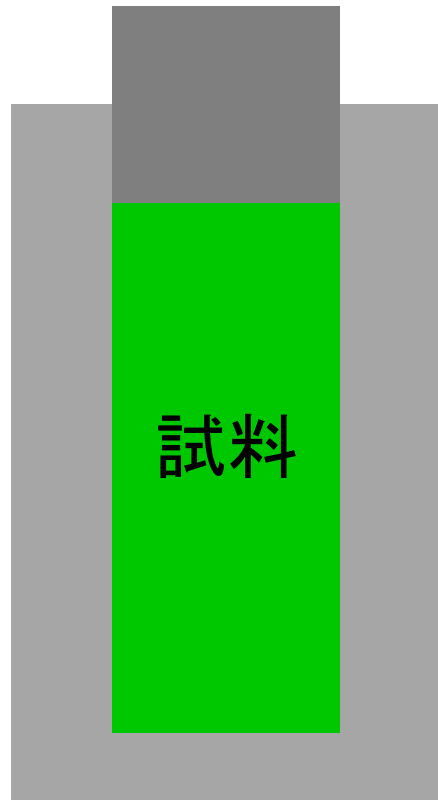
水(溶媒)の蒸気圧で圧力を発生



- ・ 試料にのみ熱エネルギーを消費
- ・ 廃液処理も不要

油圧で圧力発生

ピストンシリンダー型高圧力発生装置の圧力



圧力 = 荷重/断面積

合成結果から100 MPaで試算

1 tonのCO₂を固定するマグネサイト2.1 ton(密度3.0 g/cm³)を合成するにはどれくらいの荷重が必要か？

—Φ100 cm × 100 cmのシリンダーを用いて、
約800 tonをかければ100 MPaで2.1 ton以上の
マグネサイトが合成できる。

(NIMSには1000 tonオーバーの油圧プレスが複数あります)

合成方法

①公知の三水和物の合成法で合成し乾燥:

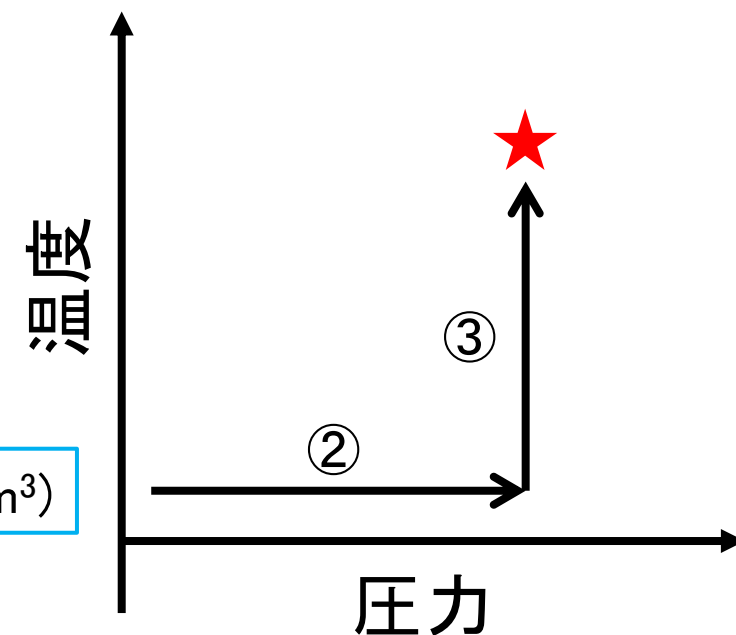


②三水和物を目標の圧力まで加圧

③三水和物を目標の温度まで加熱し所定の温度保持

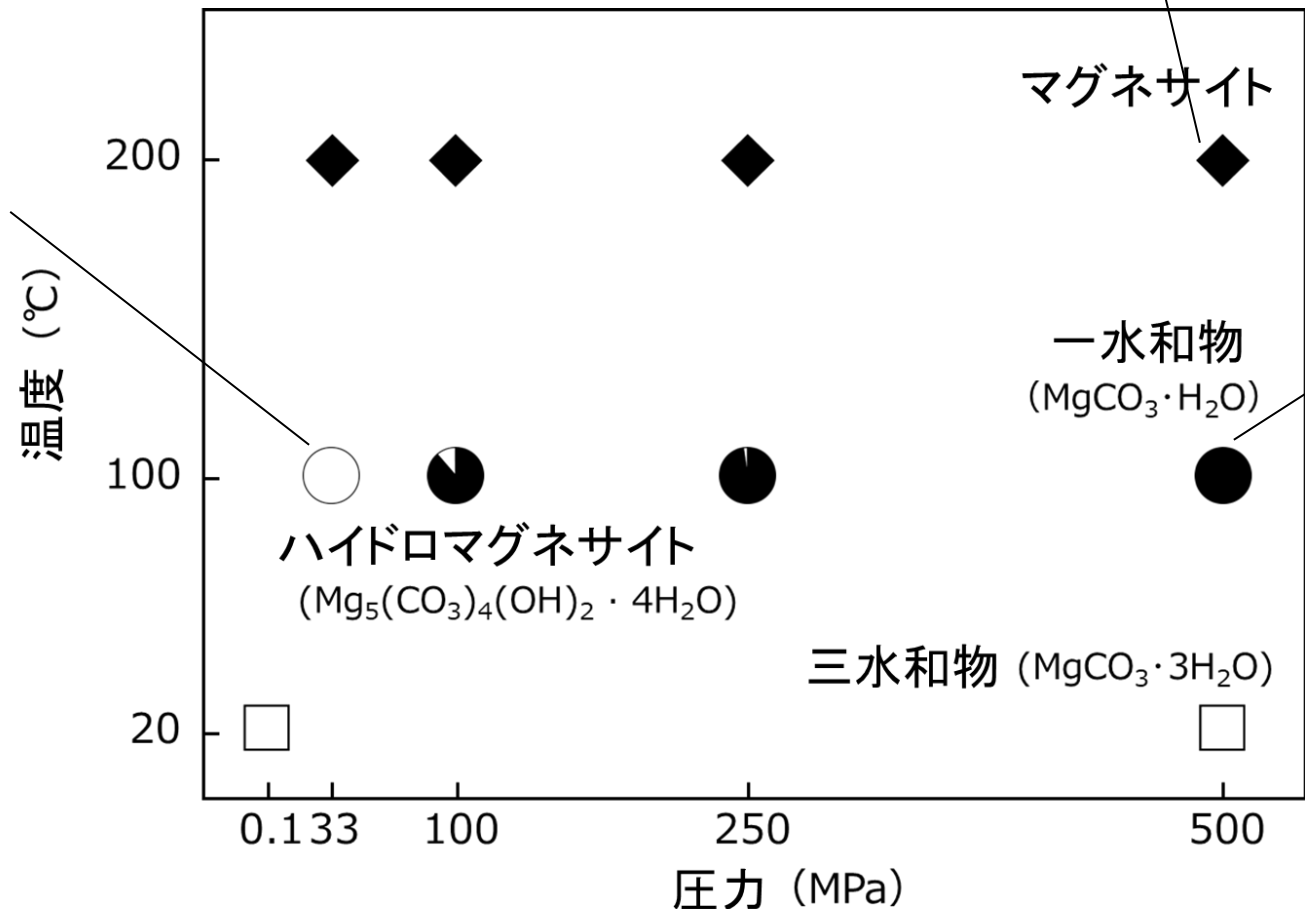
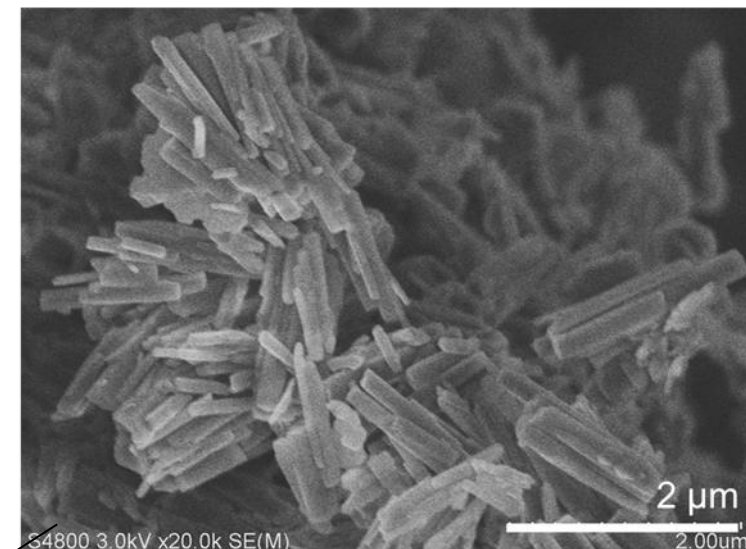
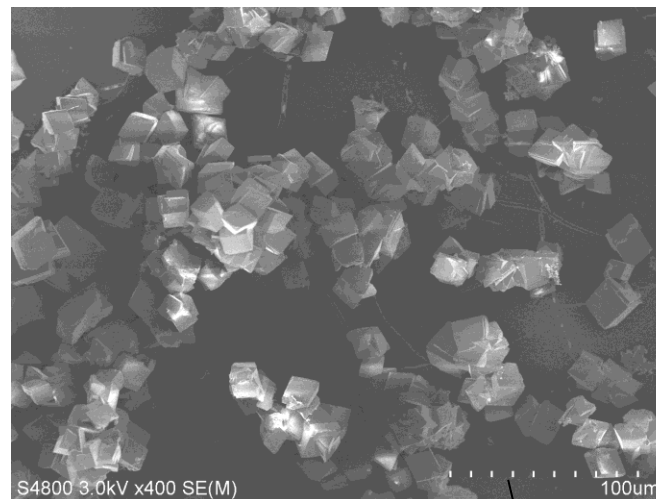
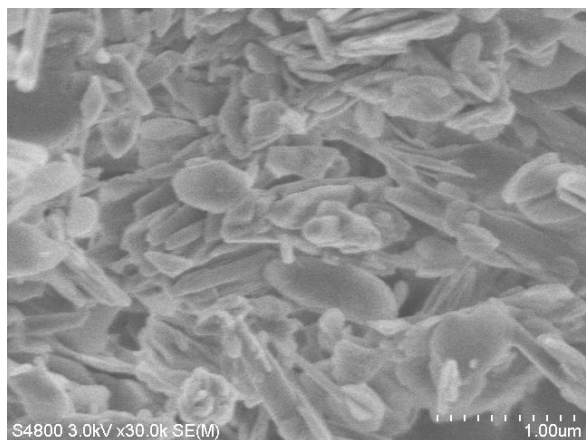
④降温し、脱圧

三水和物($\sim 1.7 \text{ g/cm}^3$)



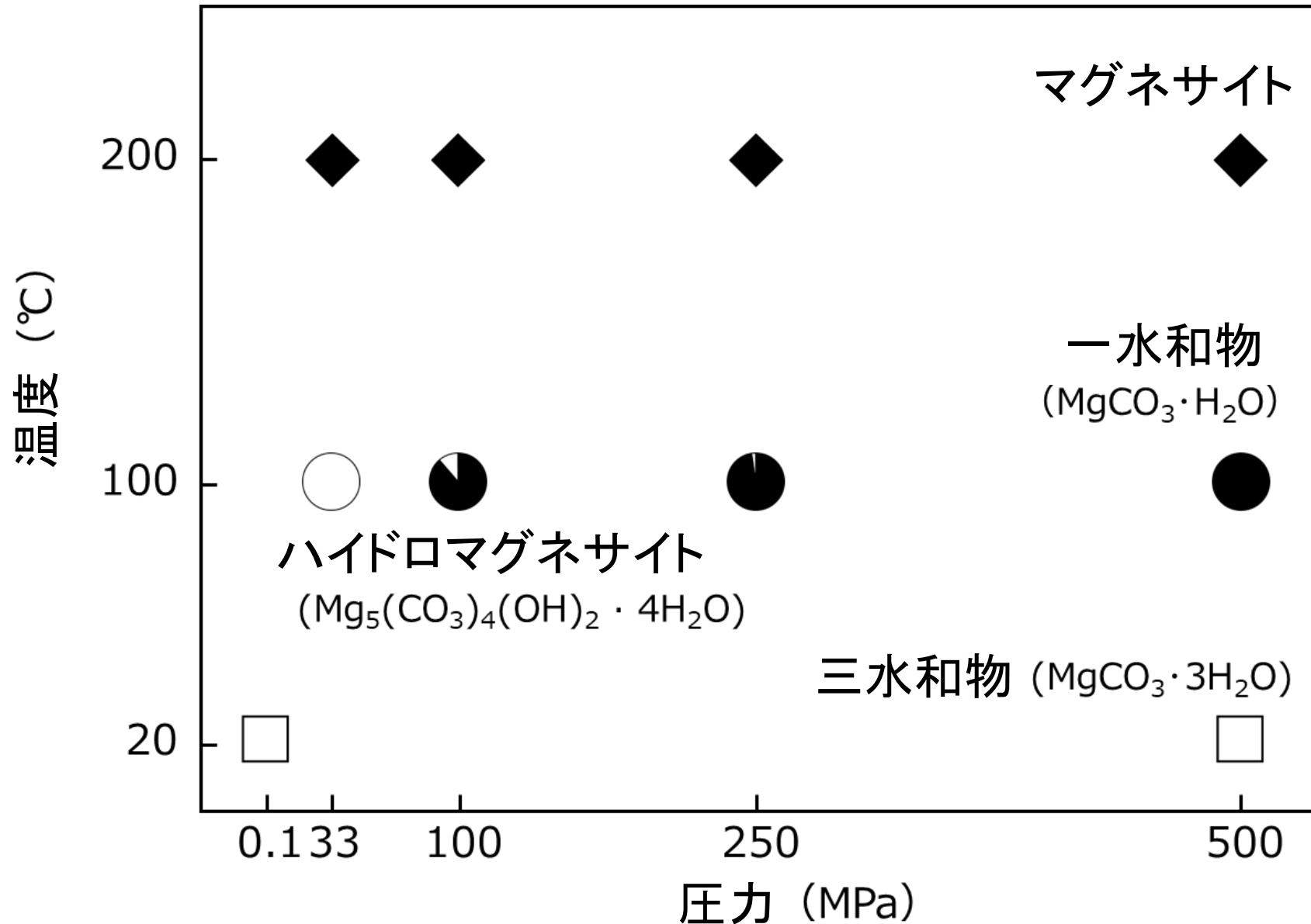
多様な粒子形態

Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351



生成する相と温度・圧力条件
によって結晶形態が変化する。
マグネサイトは33 MPa以上の
圧力で200°C以上で安定的に
合成された。

三水和物の圧力－温度を変えた高压合成



Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351

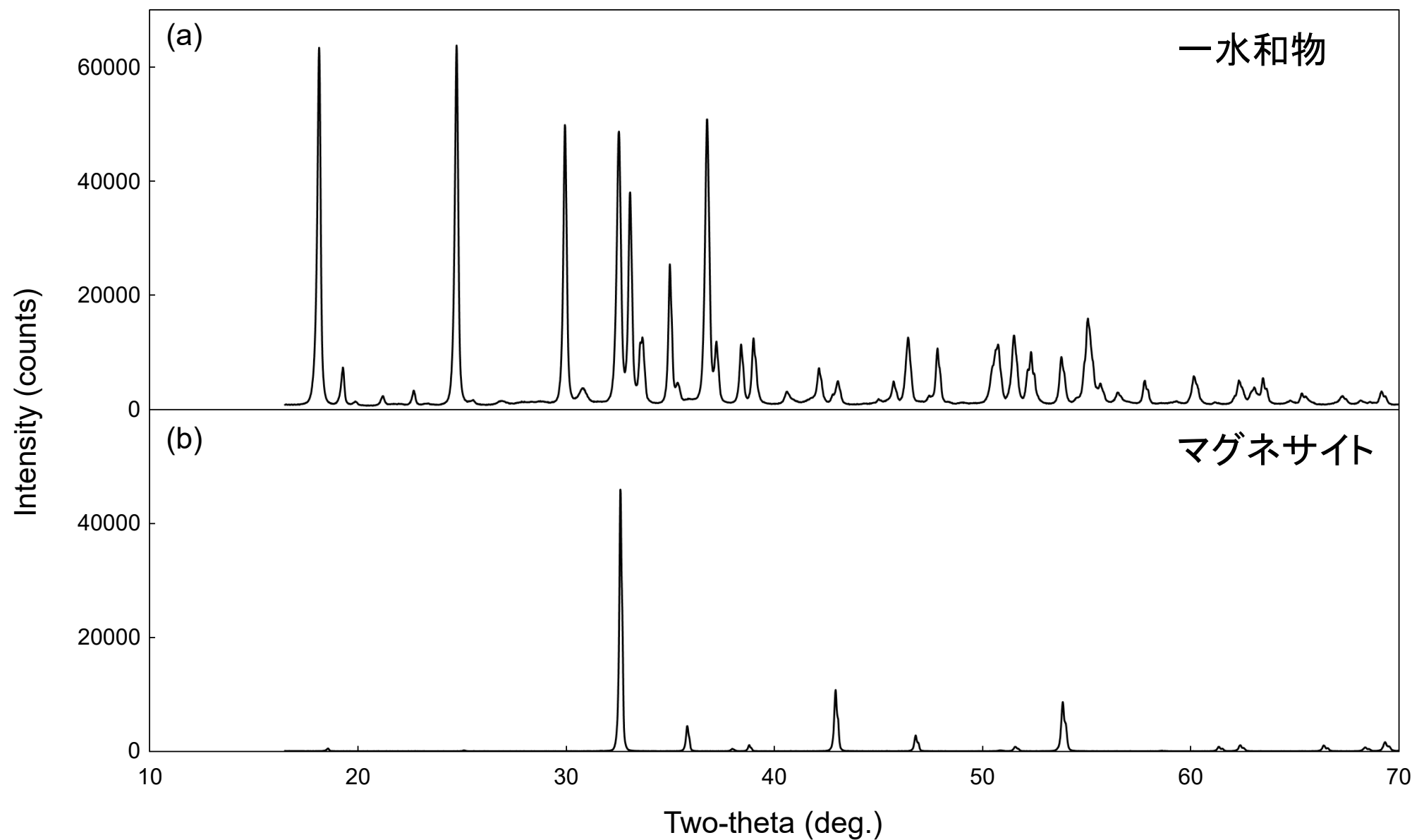
中間脱水相において、
低圧側ではハイドロマгнеサイト
高压側では未知の含水物
(一水和物)が合成された。

後述のTG-DTA測定で化学組成が判明

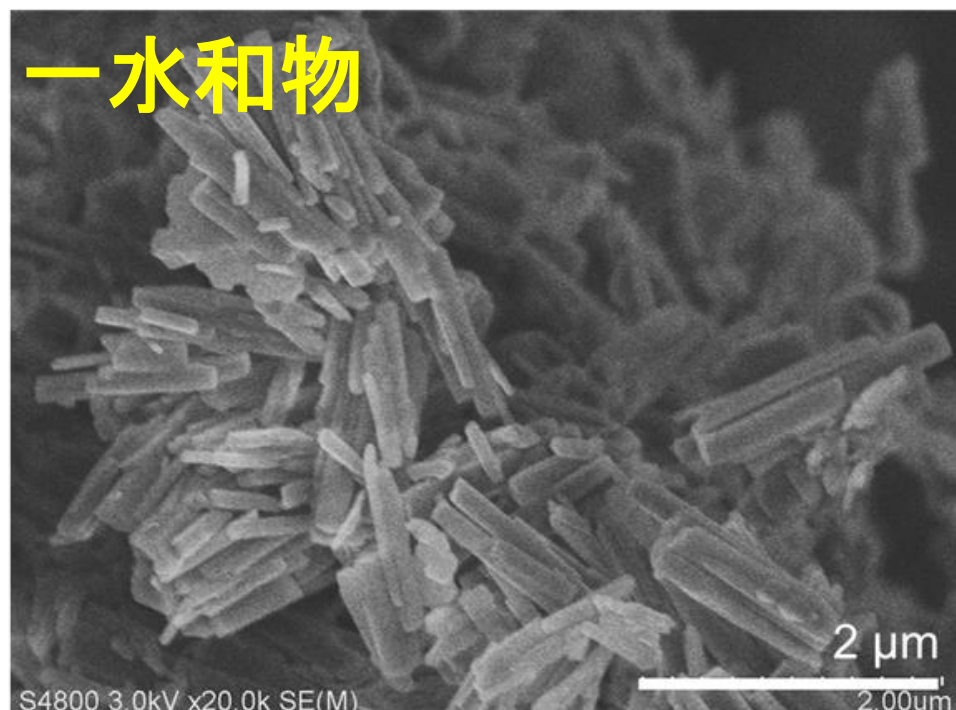
一水和物

一水和物のXRDパターン

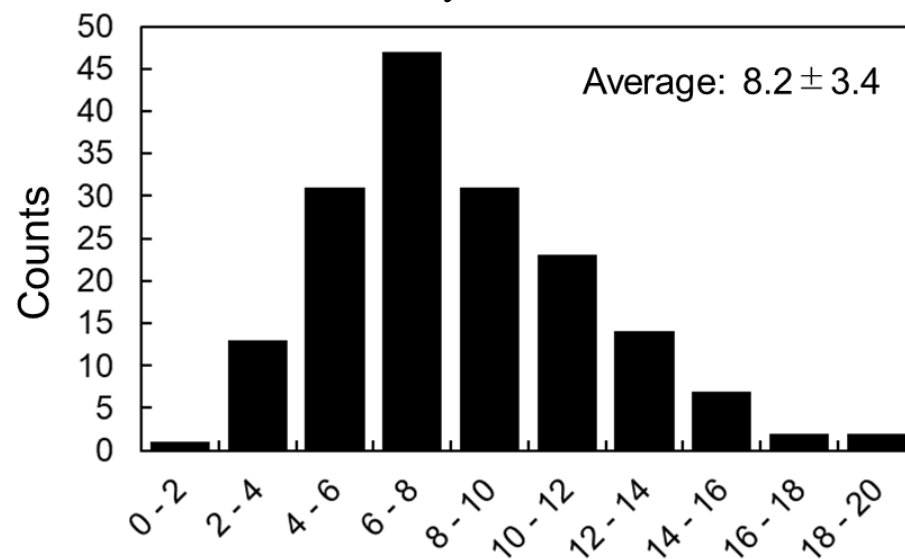
Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351



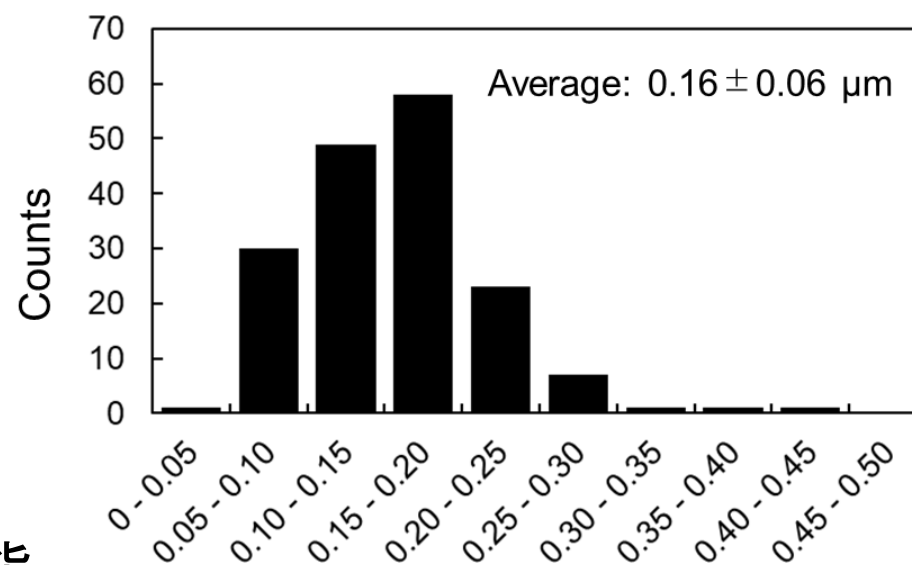
一水和物



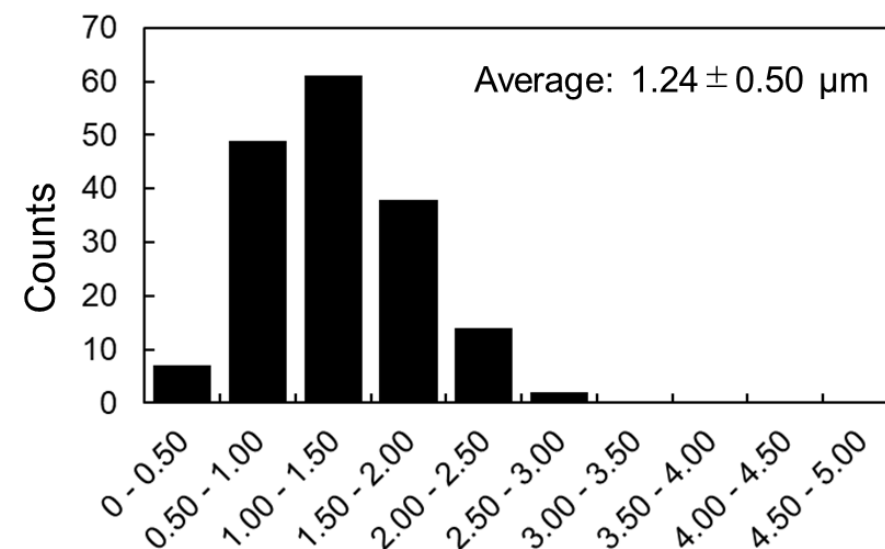
Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351



アスペクト比の分布



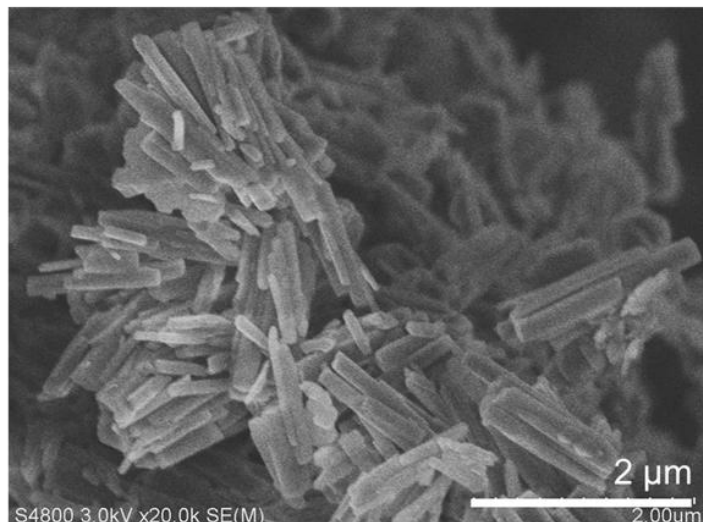
短軸長の分布



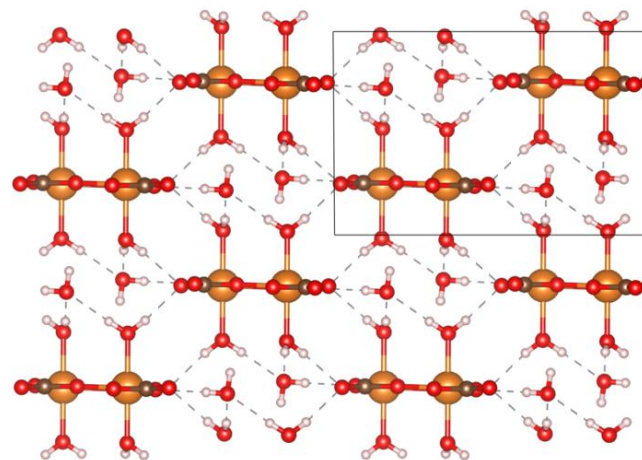
長軸長の分布

微細なロッド形状の形態

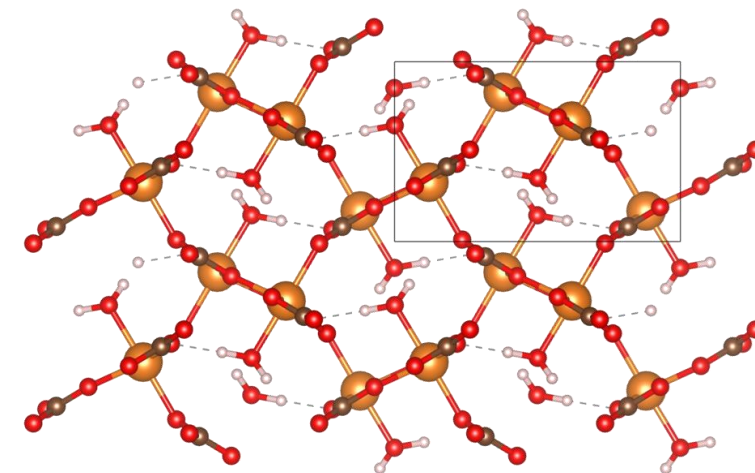
一水和物



三水和物
($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

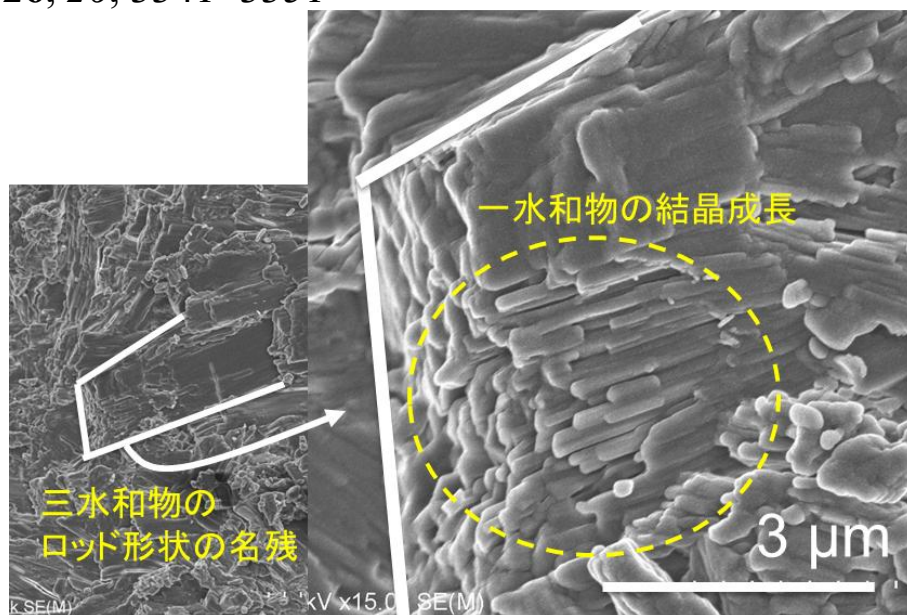


一水和物
($\text{MgCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)



Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351

80°C加熱試料



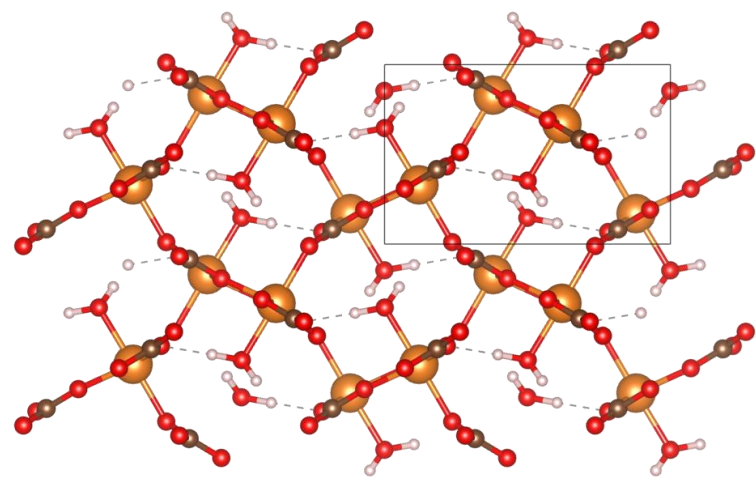
構造解析の結果、三水和物と類似の結晶構造と判明

Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351

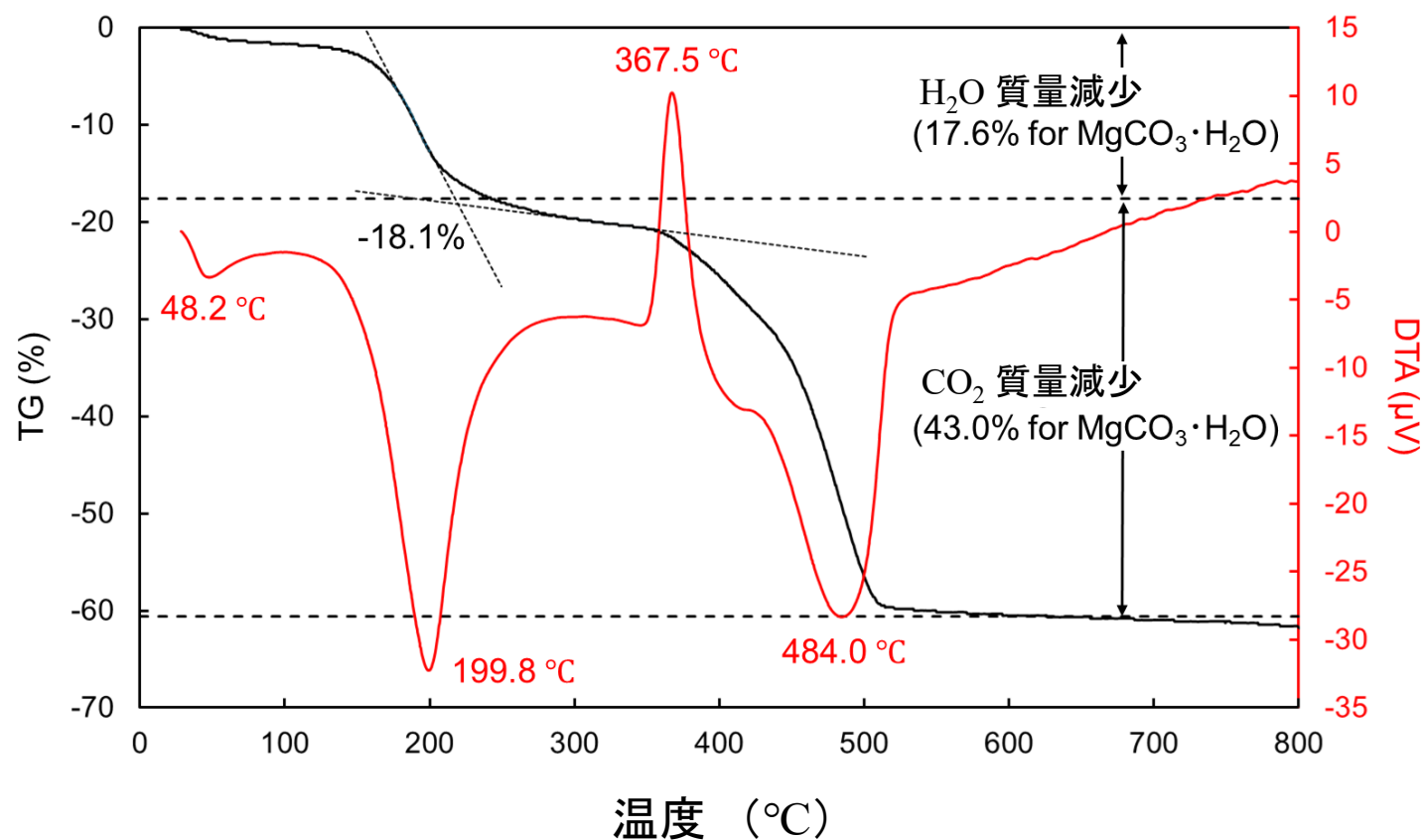
微細なロッド形状：
三水和物から一水和物への
結晶構造の変化に由来する

一水和物

一水和物
($\text{MgCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)



Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351



脱水温度 $\sim 200^{\circ}\text{C}$ と含水相にしては比較的高い

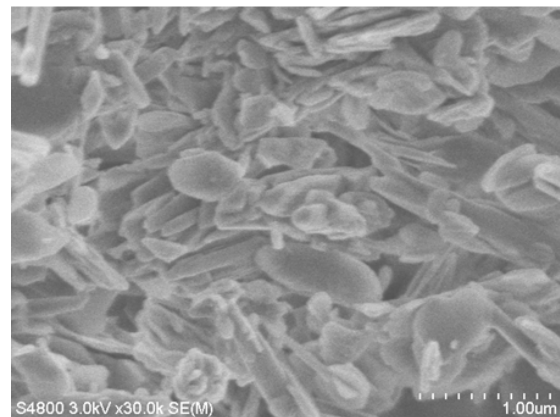
想定される用途

ー水和物について

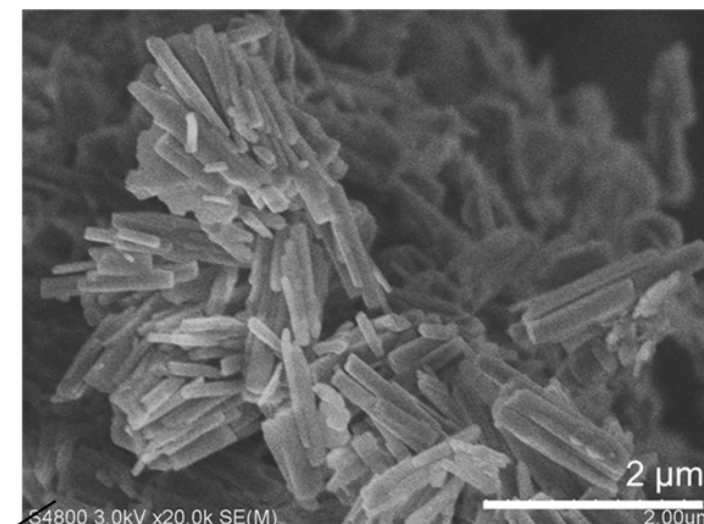
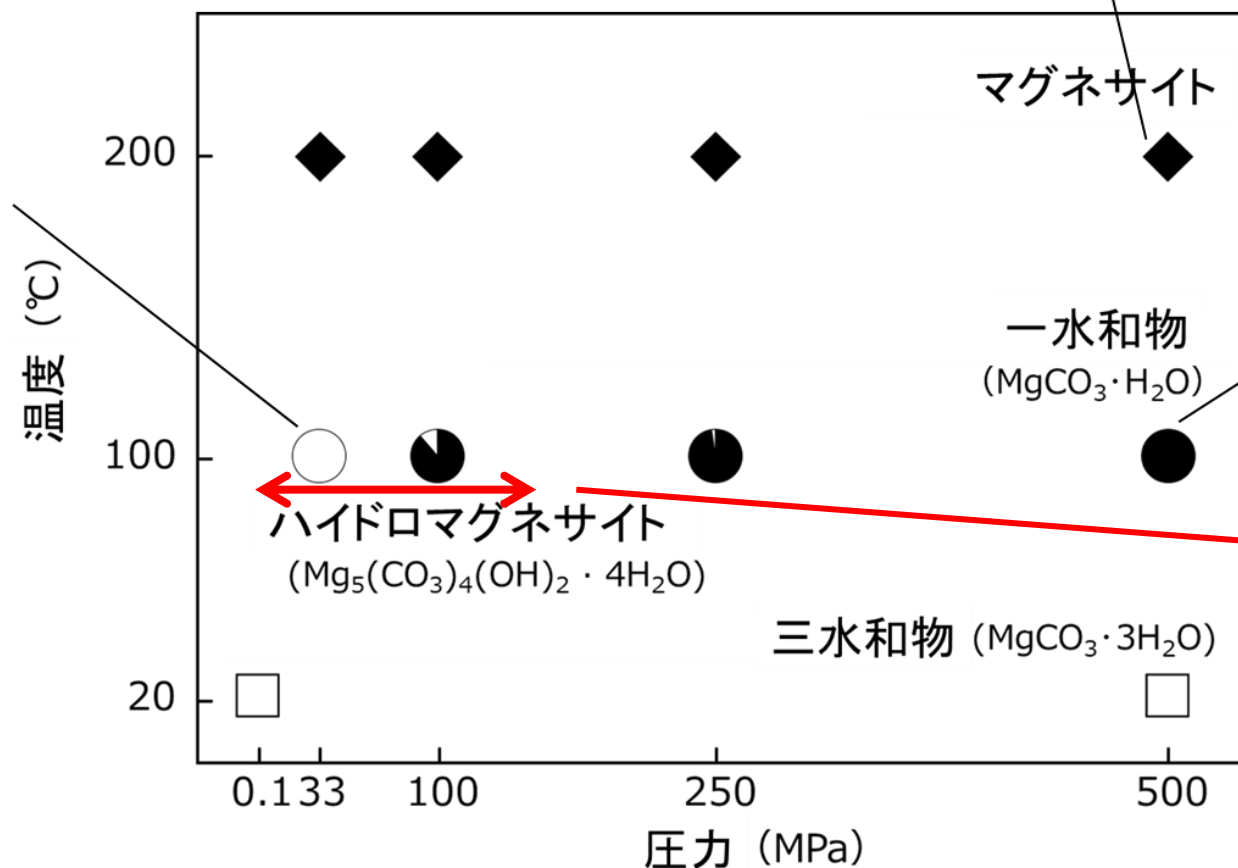
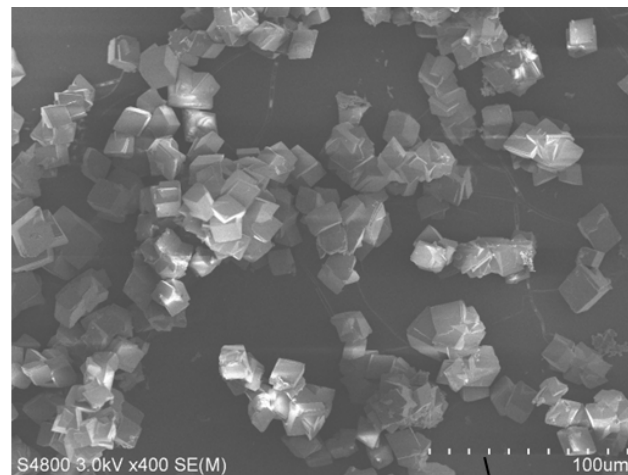
- ・ 炭酸マグネシウム結晶で微細なナノロッドの形態はユニークである。高アスペクト比かつナノ形状は、ポリマーなどの（衝撃）強度増強フィラーとしての展開を期待させる。
- ・ 脱水温度も水和物としては、比較的高くポリマーなどの難燃性フィラーとしての展開も期待できる。
- ・ 安定性については経過観察中だが、大気中で1年間は安定である。

想定される 用途(補足)

Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351



難燃性フィラー
として知られる
(一水和物よりも
わずかに高温域
~250°C)

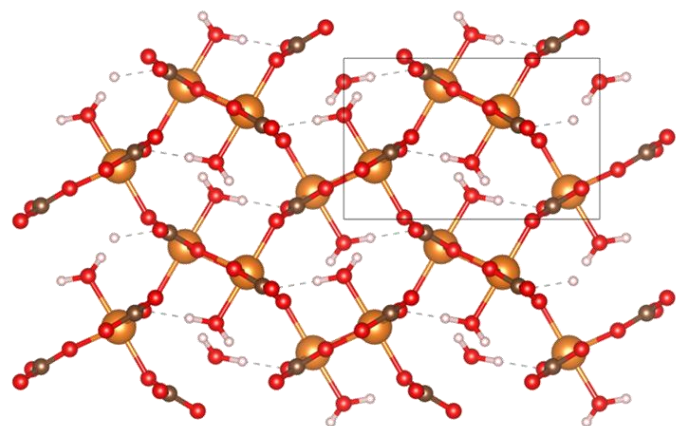


あえて二相共存状態で
合成することにより
脱水温度も制御できる

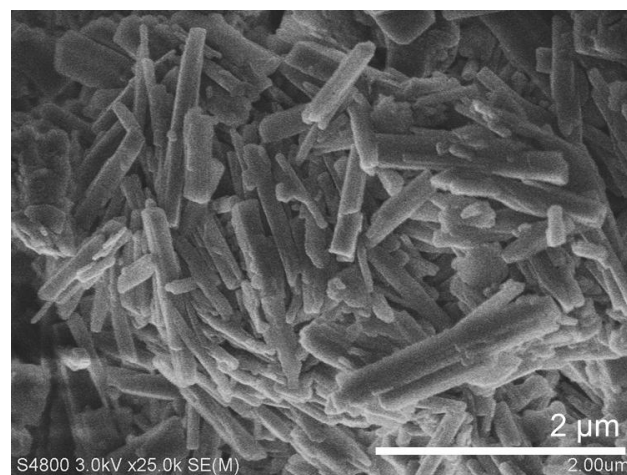
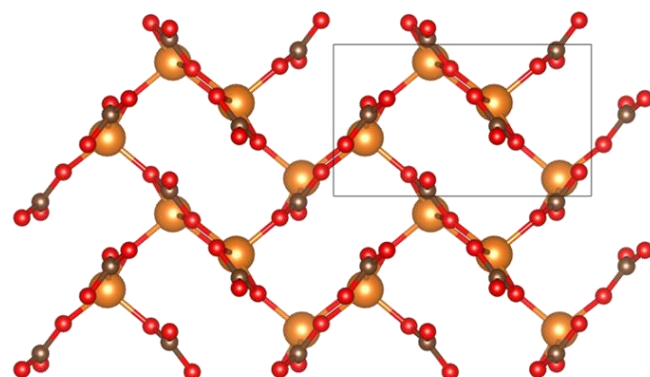
ピストンシリンダーならではの
広い発生可能な圧力範囲を利用

新しい無水炭酸マグネシウム

一水和物
($\text{MgCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)



$\beta\text{-MgCO}_3$
(MgCO_3)



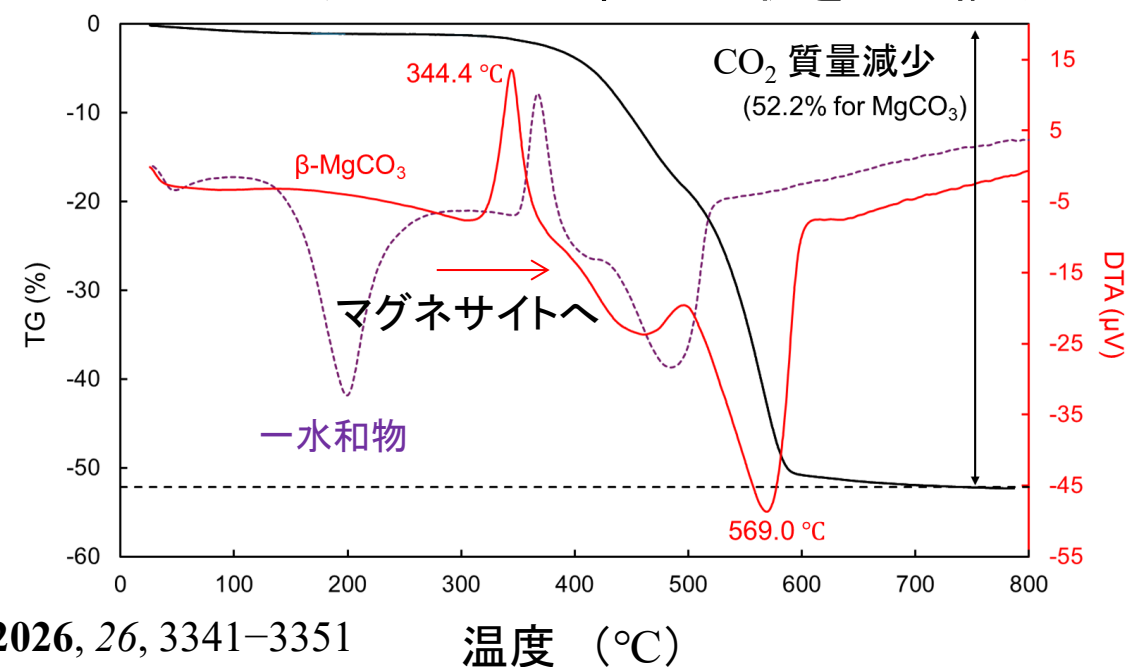
粒子形状は
一水和物と顕著な差はない

合成方法

高压合成で得られた一水和物を
200-300°Cで電気炉で焼成(典型的には
1時間保持)

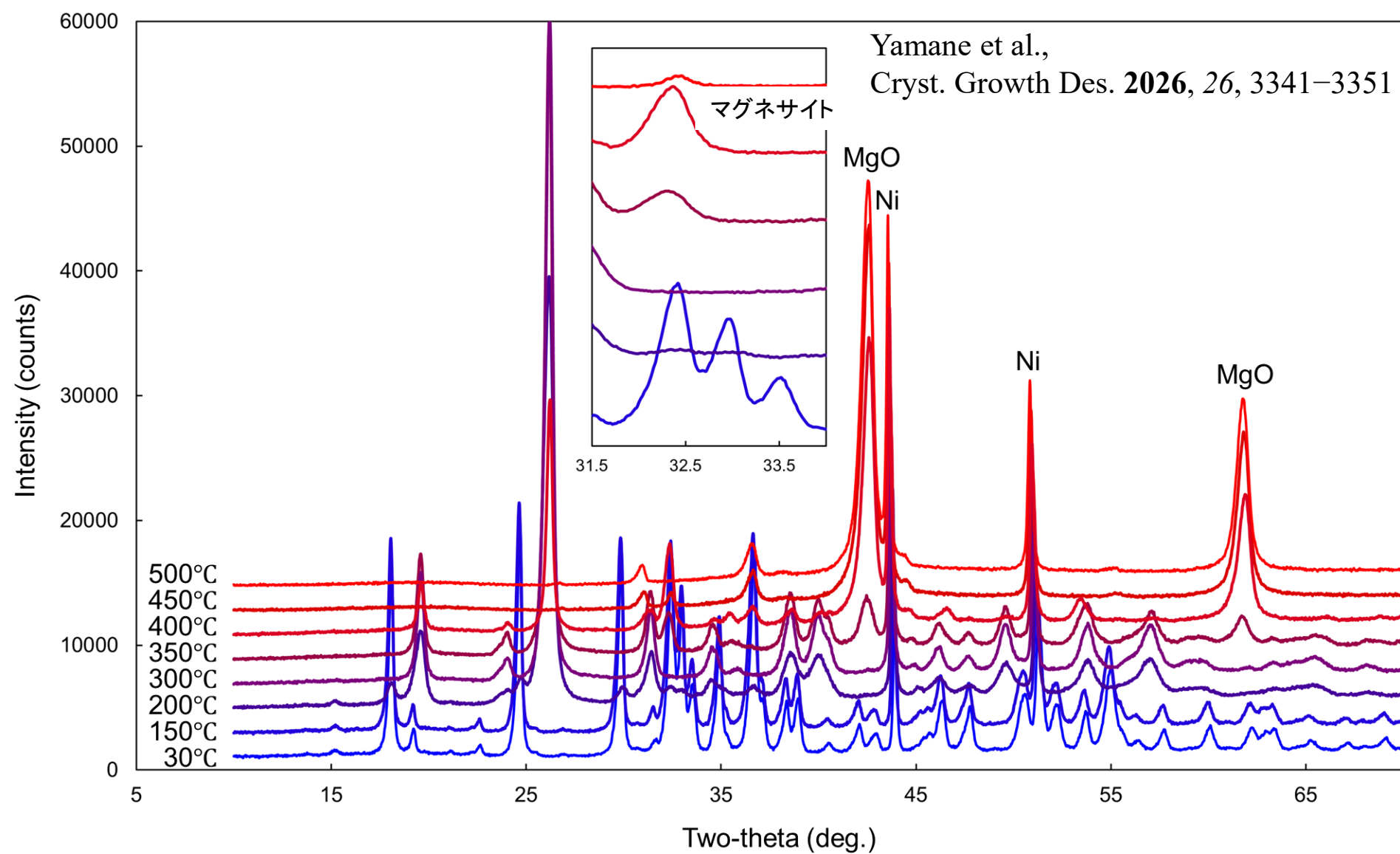
構造解析の結果、一水和物から水分子
が抜けた構造であると判明

マグネサイトも粒子形状を引き継ぐ



Yamane et al.,
Cryst. Growth Des. **2026**, 26, 3341–3351

一水和物の高温XRDパターン



一水和物の高温での変化: 一水和物 $\rightarrow$ β - MgCO_3 $\rightarrow$ マグネサイト $\rightarrow$ MgO (ペリクレーズ)

想定される用途

β -MgCO₃について

- ・ β -MgCO₃は水に弱いので、マグネサイトに変化させて微細ナノロッドファイラーとしての展開が期待される。

マグネサイトについて

- ・ マグネサイトは骨材などへの大量利用を期待。

実用化に向けた課題

- ・ 現在、高圧合成は10 gオーダーの試料量で実施している。
→ **スケールアップ実験が不可欠；高圧大量合成の確立。**
圧力を用いた技術全体の課題
- ・ 実用化に向けて純度の検証も必要。
マグネサイトは単相合成できるが、一水和物合成には
マグネサイトやヒドロマグネサイトが合成条件により混入。
- ・ 合成圧力の低減方法の模索（圧力が低いに越したことはない）
- ・ 水熱合成と無水合成の経済性の検討

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・温度－圧力を変えた三水和物の脱水反応の解明	
現在	・ハイドロマグネサイト、一水和物、 β - MgCO_3 、 マグネサイトの合成が実現	サンプル提供が実現
1～2年後	・合成する温度－圧力領域におけるマグネサイトの 粒子形状の違いを用いた粒形制御 ・スケールアップの検討	評価基礎データの提供
3～4年後	・マグネサイトの骨材としての安定性の評価	評価基礎データの提供

企業への期待

- 合成のスケールアップと一緒に進めたい。
- スケールアップに伴って、本技術の圧力を用いた物質転換の経済性について、検討してほしい。
- こんな圧力研究できませんかというご依頼があればぜひ。

企業への貢献、PRポイント

- 本開発は、Mgを基盤とした、ネガティブエミッションに寄与するCCU技術に向けたものである。
- 合成の無水炭酸マグネシウムの骨材などへの大規模利用は世界的に見ても例がなく、ユニークな技術となりうる。
- 高圧研究には経験とノウハウが必要なので、スケールアップの際に役に立てる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 炭酸マグネシウム無水和物、及びその製造方法、炭酸マグネシウム1水和物、及びその製造方法、並びに、フィラー
- 出願番号 : 2025-243571
- 出願人 : 国立研究開発法人物質・材料研究機構
- 発明者 : 山根 峻/末原 茂/佐久間 博

産学連携の経歴

特になし

お問い合わせ先

国立研究開発法人物質・材料研究機構
外部連携部門 企業連携室

企業様向けお問い合わせフォーム
(スマホ対応)



<https://www.nims.go.jp/contact/collaboration.html>