



水蒸気を利用した 軽金属材料の高機能化

芝浦工業大学 工学部

教授 石崎 貴裕

2025年2月20日

構造材料をめぐる社会状況

地球環境問題や資源制約の観点

CO₂削減目標：2030年度に2013年度比▲26.0%の水準
(約10億4,200万t-CO₂)

軽量化がキーワード

↳ 鉄鋼主体から**マルチマテリアル**化へ

アルミニウム、マグネシウムなどの軽金属材料

用途の拡大には

- ① **高強度化** (鉄鋼に匹敵する比強度)
- ② **高耐食化** (自動車外板でも使用可能)

AlやMg合金
で置換

ボンネット、ドアパネル
フェンダーパネル等

課題：強度と耐食性は**トレードオフの関係** (両立が困難)

➡ 軽金属材料に**高耐食性と高強度化を同時に付与可能な
技術開発**が必要不可欠

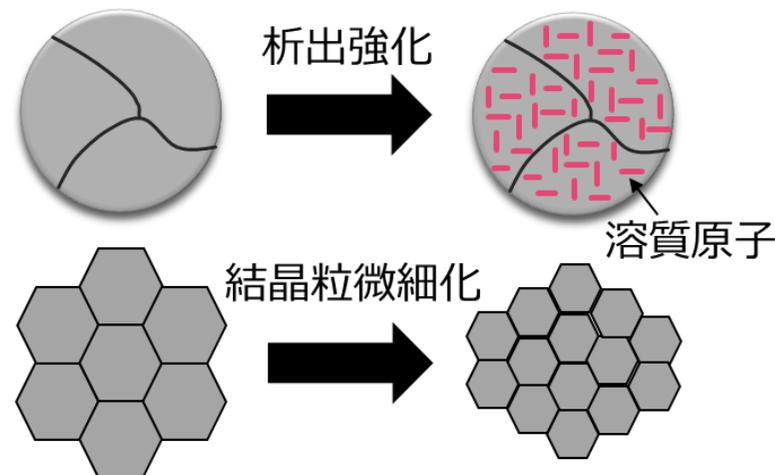


高強度化と高耐食化に関する従来技術

従来の高強度化手法

- ・合金設計時の溶質元素の種類と濃度の制御
- ・熱処理（析出強化；溶質原子の熱拡散）
- ・結晶粒微細化（粒界増加による転位の抵抗増加）

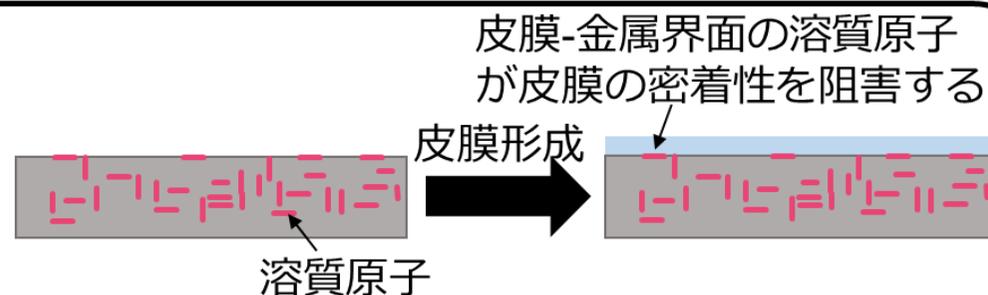
課題 高強度化に寄与する溶質原子は耐食性の低下を招く



従来の高耐食化手法

- ・表面処理（皮膜形成）

課題 高強度化に寄与する溶質原子は皮膜の耐食性と密着性を低下させる



従来、これら2つの特性を改善するには別々に処理する必要がある

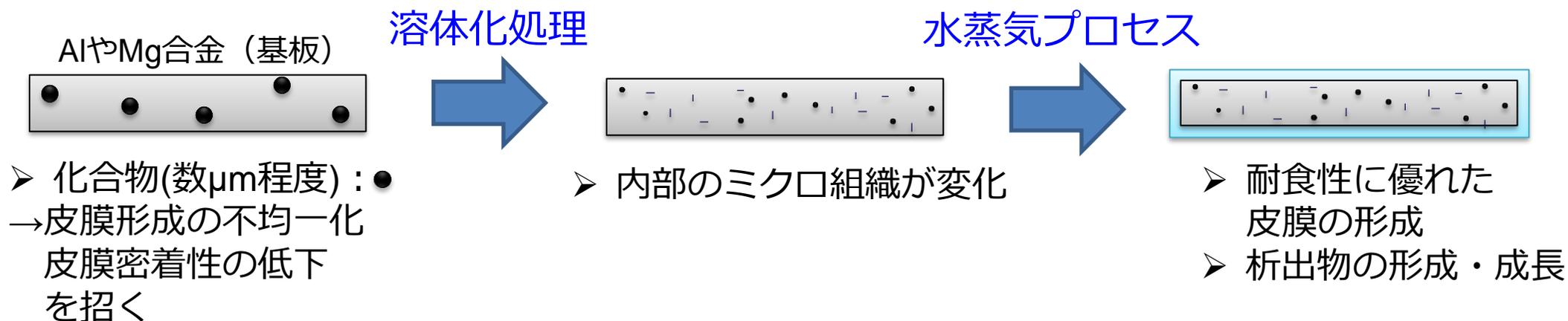
従来プロセス：高強度化と高耐食化はトレードオフの関係

↳ 両特性を同時に向上させるメカニズムやプロセスは皆無

➡ **高強度化と高耐食化を同時に付与可能な技術開発が重要**

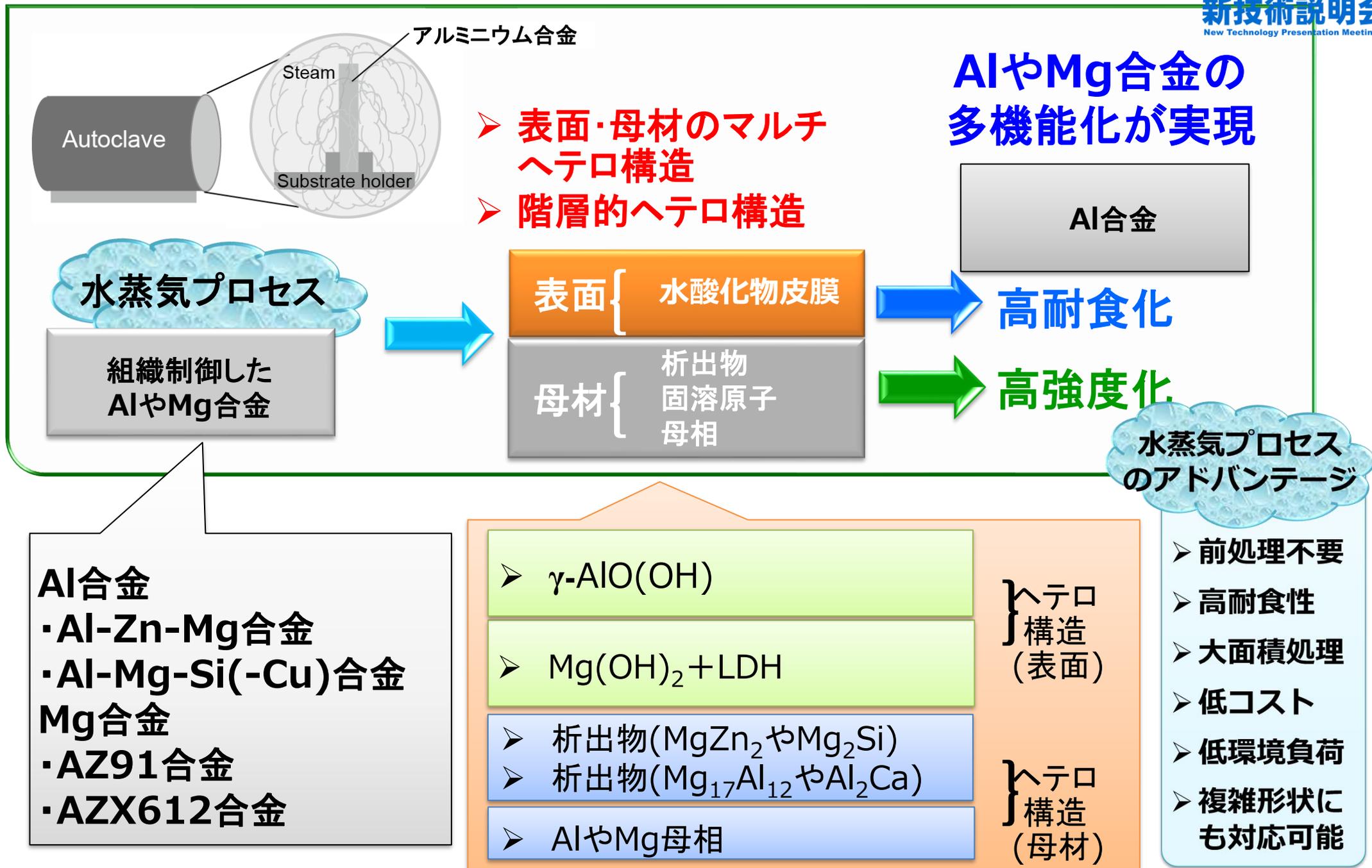
新技術の概要

本技術は、溶体化処理したアルミニウムやマグネシウム合金を高圧・中低温の水蒸気下にさらすだけで材料の強度と耐食性を向上させる技術



複雑形状部材や大型部材にも適用可能であるため、自動車部材や熱交換器等への適用が期待

水蒸気プロセスとその特徴



水蒸気プロセスに用いる反応容器

蒸気を活用し，オートクレーブを反応容器として利用することによって化学反応を早く進行させ、金属表面に緻密な耐食性皮膜を直接成長させる技術

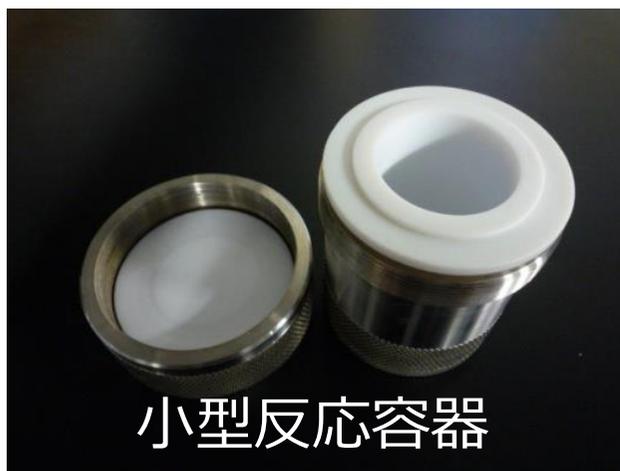
温度 → 中・低温

圧力 → 高い



工業用大型オートクレーブ

直径：1.5m
長さ：2.7m



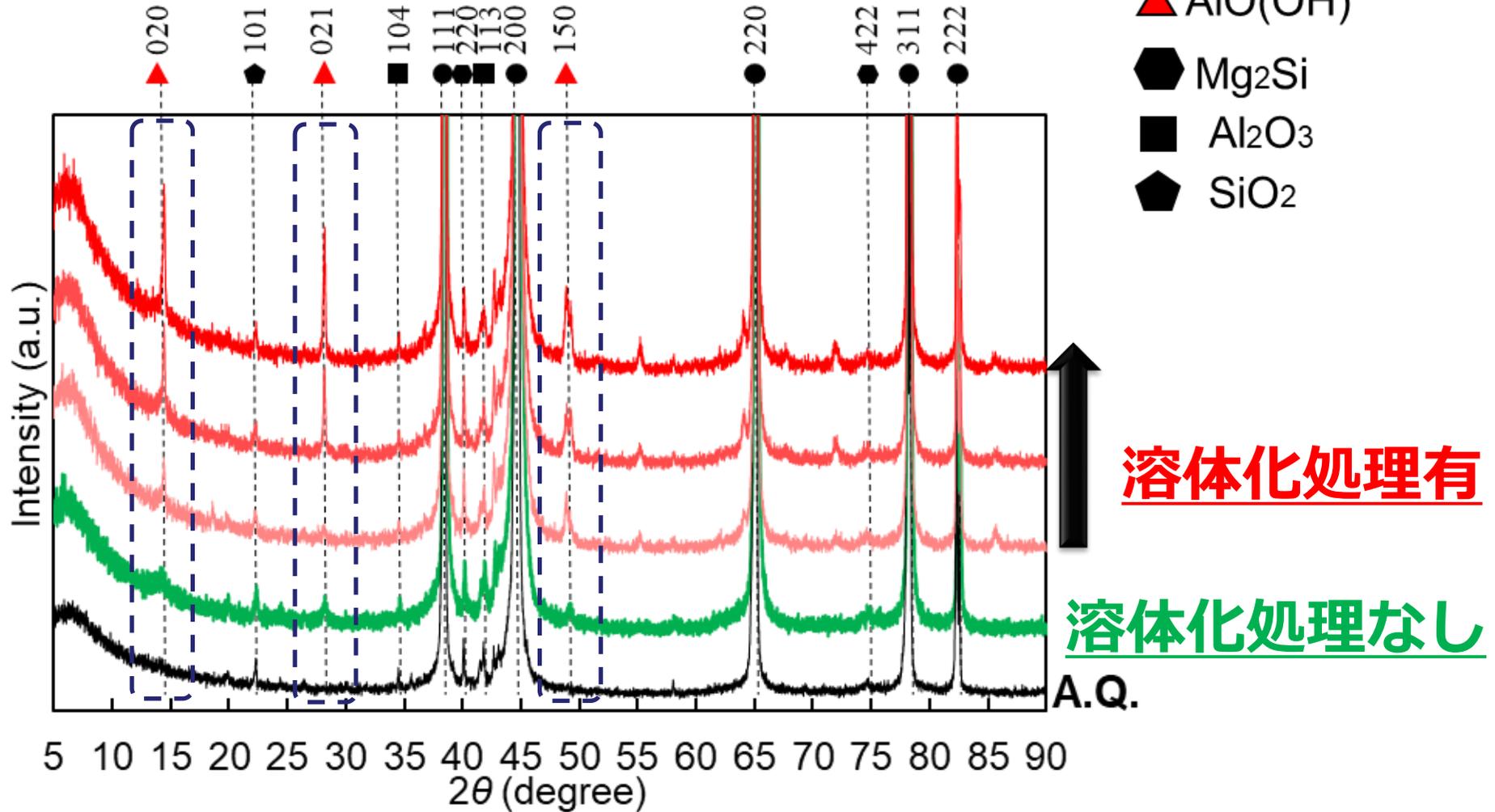
小型反応容器



中型反応容器

形成した皮膜の結晶相(AI合金)

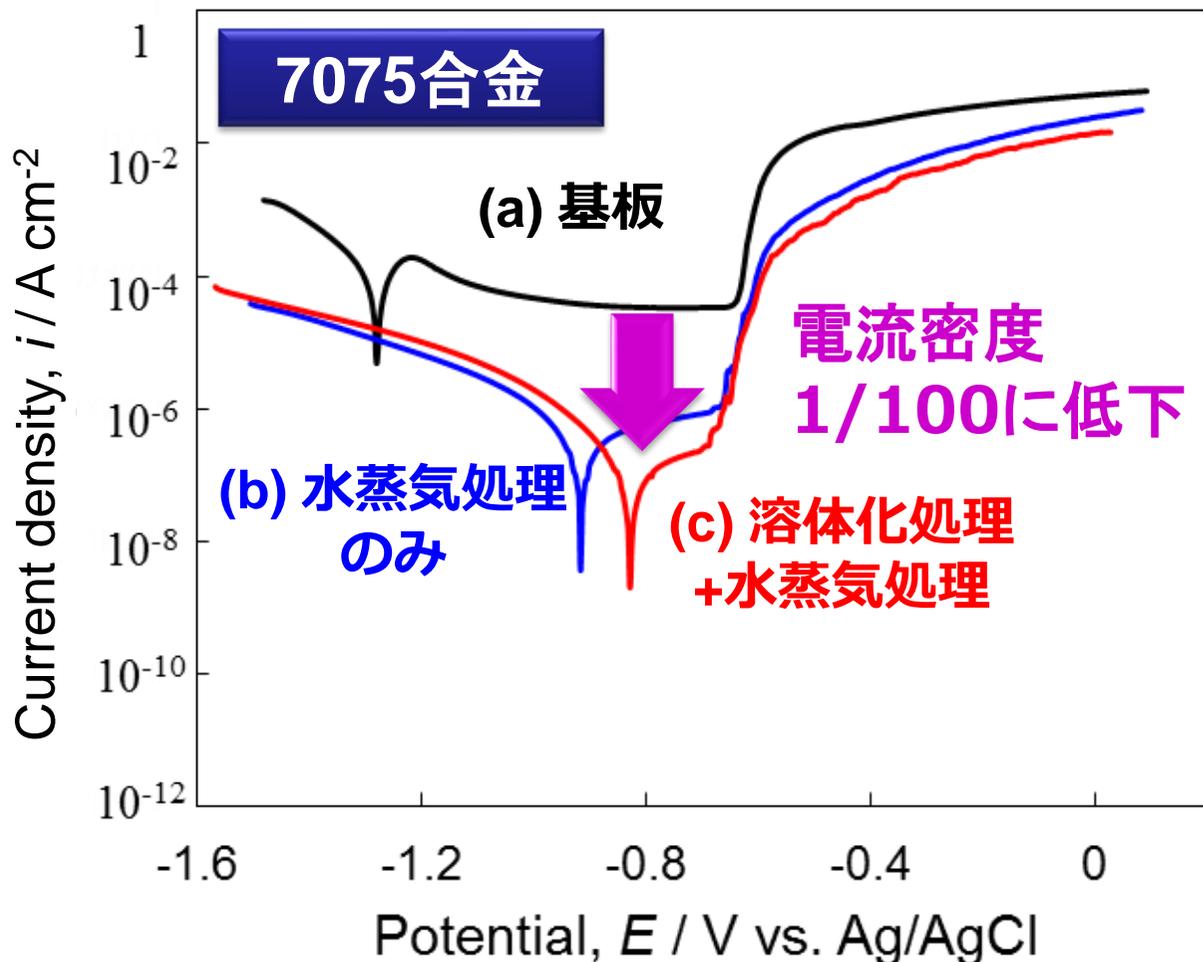
水蒸気処理の条件は全て同じ



皮膜由来のピーク強度が増加

水蒸気プロセスによる高耐食化例 (Al合金)

分極試験による耐食性評価

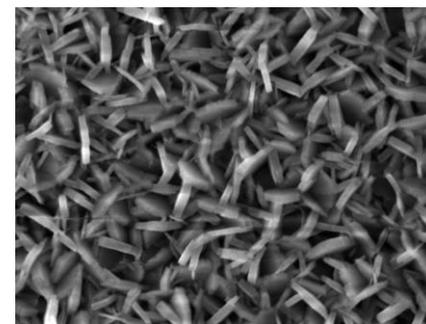


条件	腐食電流密度 (A cm^{-2})	腐食電位 (V)
(a)	1.60×10^{-4}	-1.28
(b)	1.04×10^{-6}	-0.92
(c)	1.74×10^{-7}	-0.83

条件(b)のSEM像



条件(c)のSEM像



溶体化処理により
皮膜が緻密化

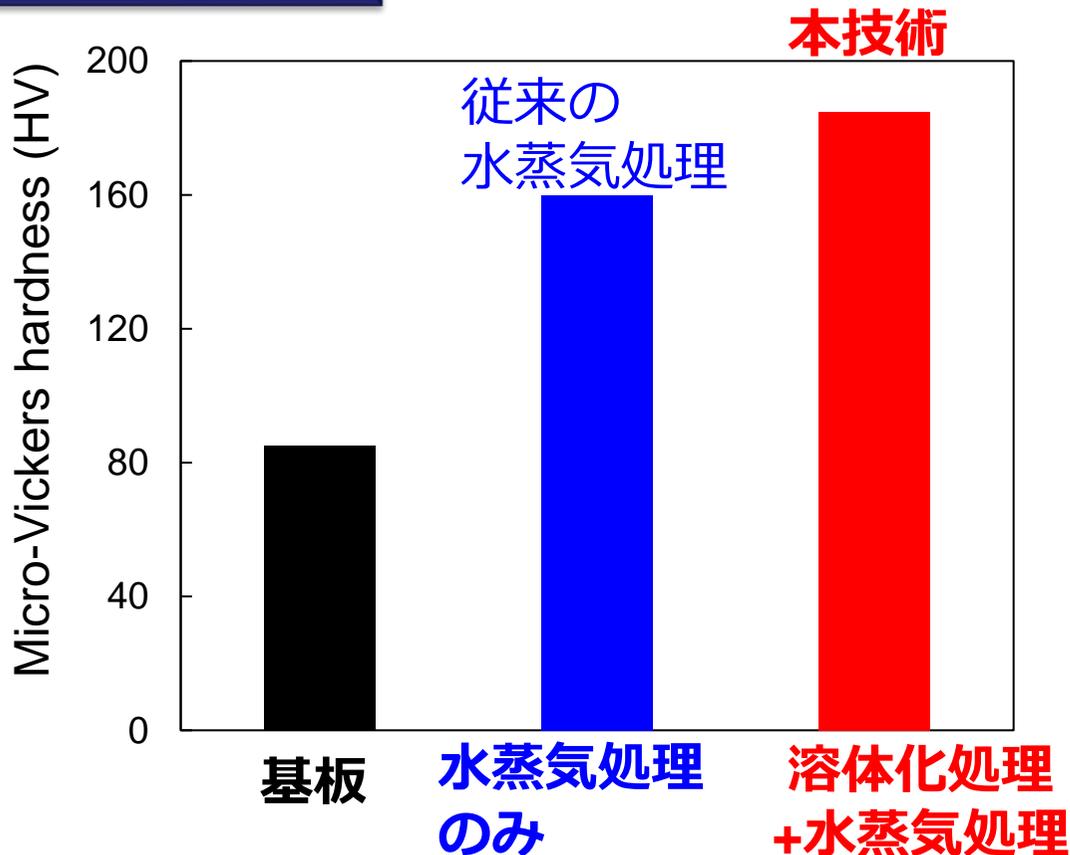
腐食電流密度の減少

➡ 皮膜の形成により耐食性が向上

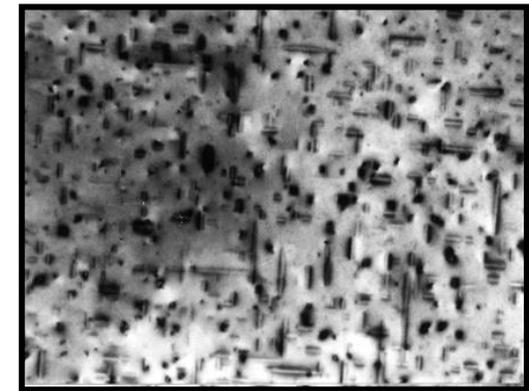
水蒸気プロセスによる高強度化例(AI合金)

微小硬さ試験による強度評価

7075合金



微細析出 → 高強度化



100 nm

処理条件の最適化で
硬さ2倍以上に向上

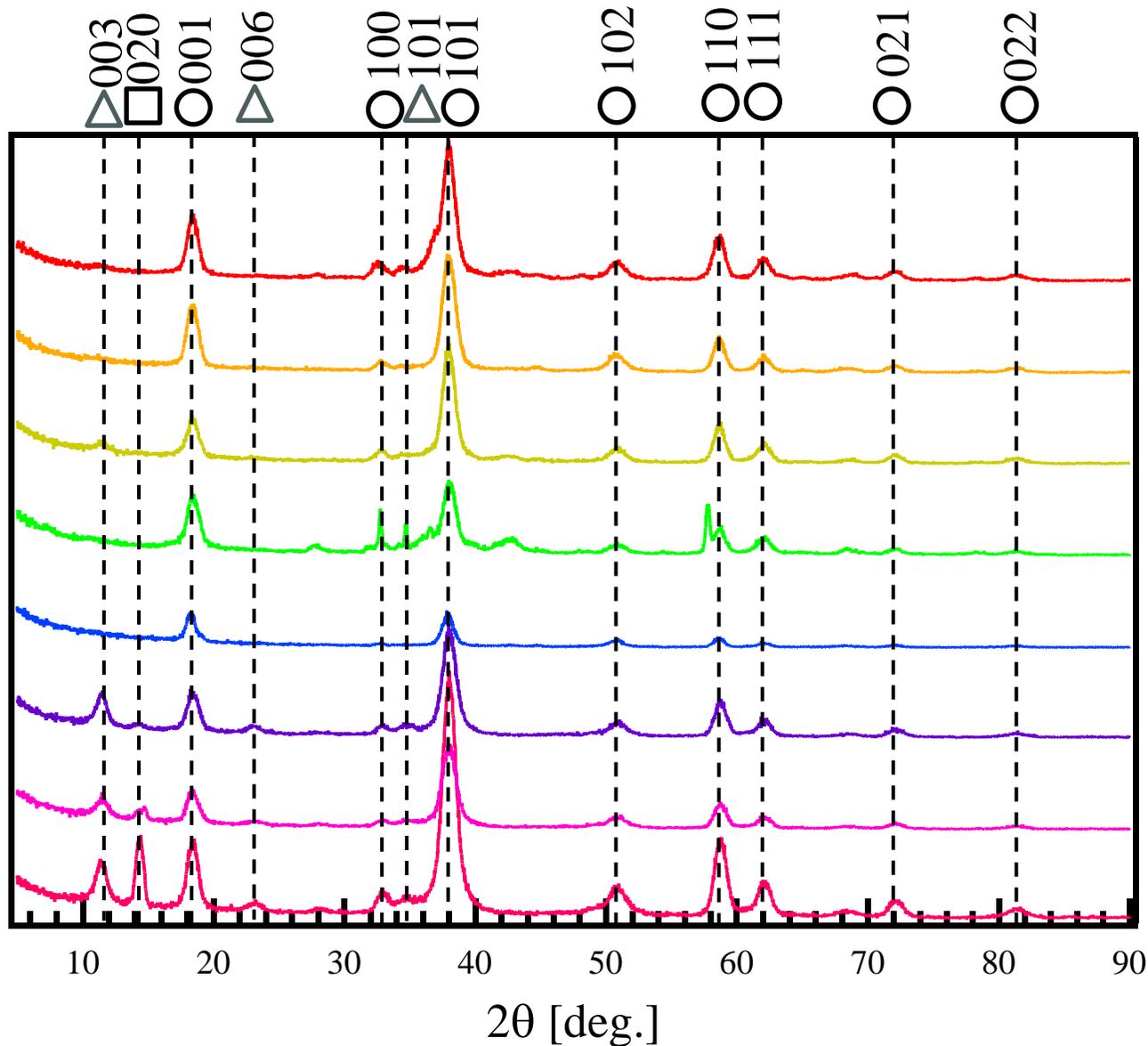
水蒸気による析出現象の誘起

→ 通常の時効処理と同等の高強度化を実現

形成した皮膜の結晶相(Mg合金)

- $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- △ Mg-Al LDH
- $\text{AlO}(\text{OH})$

Intensity [a.u.]



処理3

処理4

処理7

処理6

処理2

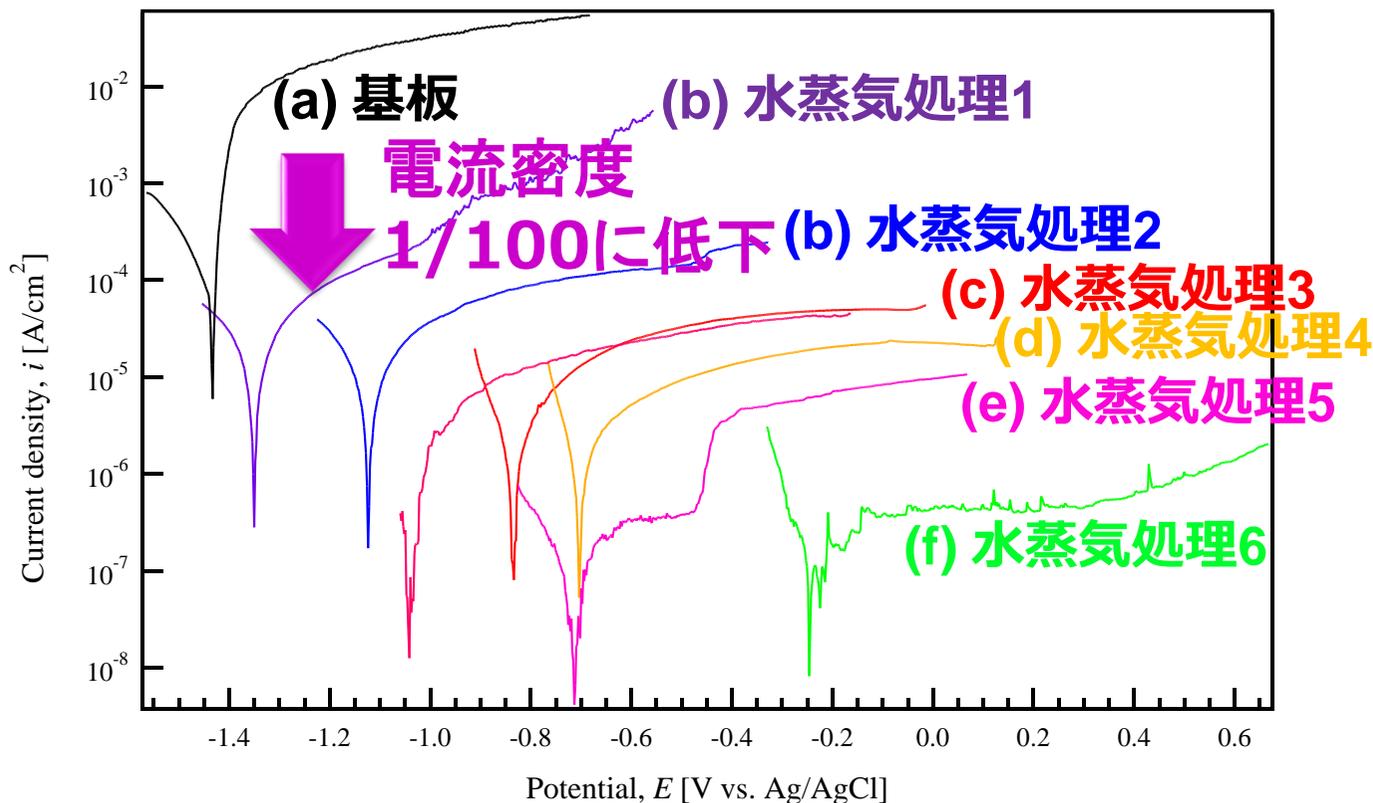
処理1

処理5

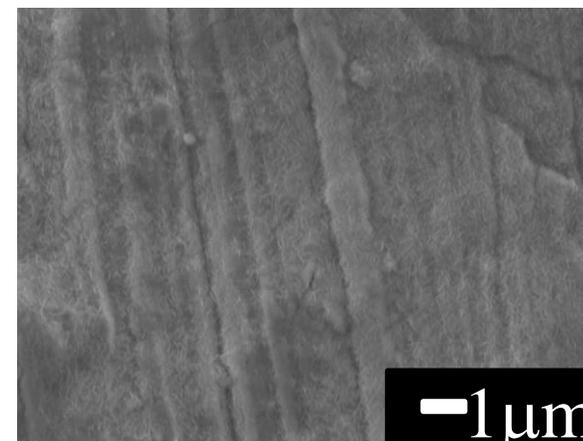
処理8

全ての試料において、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ とLDH由来のピークが確認された。
一部の処理において、 $\text{AlO}(\text{OH})$ 由来のピークも存在した。

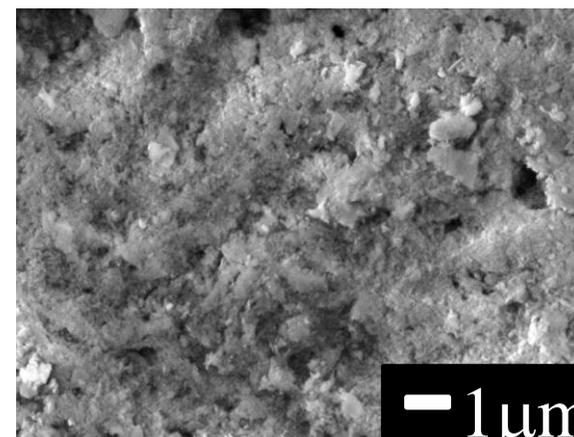
水蒸気プロセスによる高耐食化例(Mg合金)



処理1後のSEM像



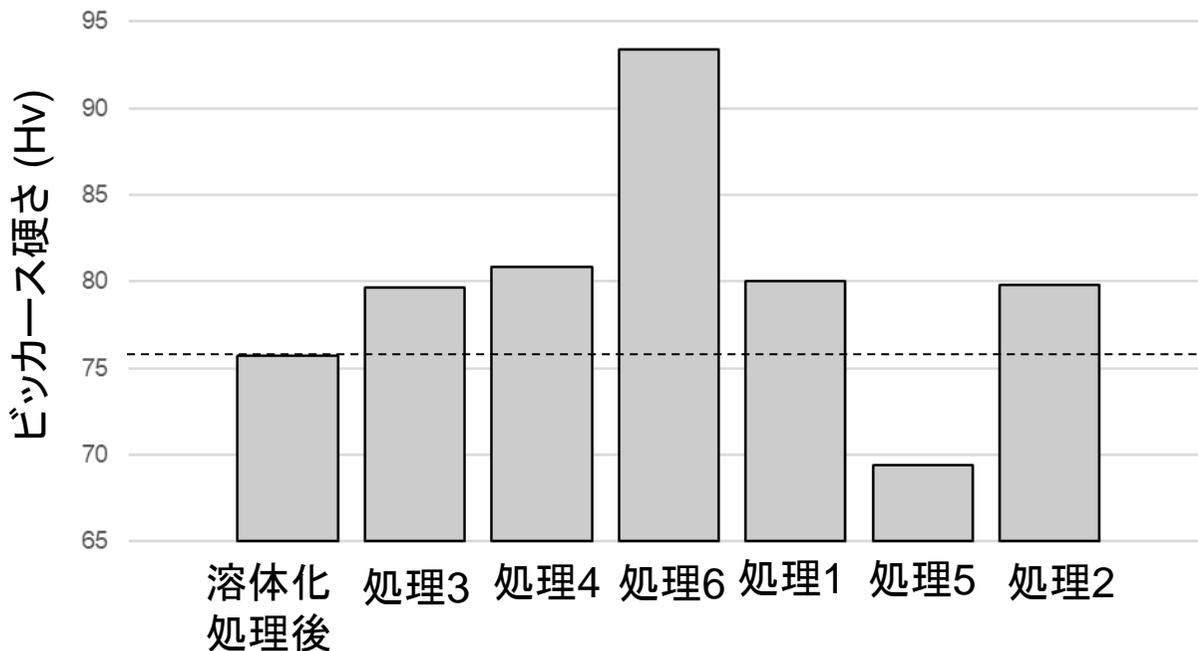
処理6後のSEM像



腐食電流密度の減少

➡ 皮膜の形成により耐食性が向上

水蒸気プロセスによる高硬度化例(Mg合金)



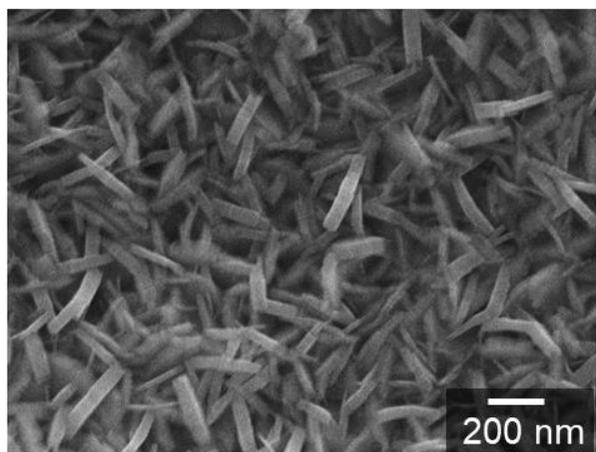
	溶体化後	処理3	処理4	処理6	処理1	処理5	処理2
ビッカース硬度 (HV)	75.7	79.7	80.9	93.4	80.1	69.4	80.0

水蒸気による析出現象の誘起

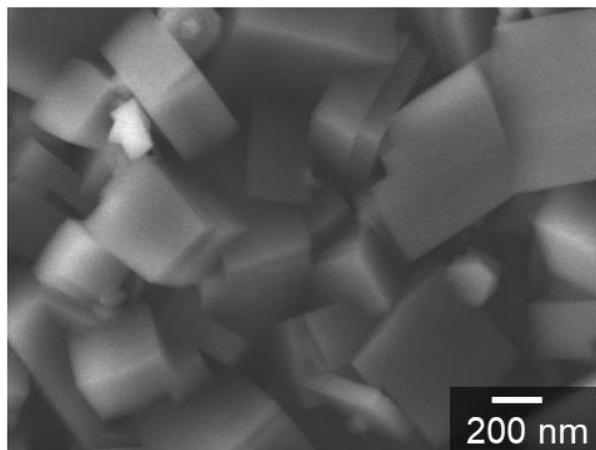
➡ 通常の時効処理と同等の高強度化を実現

水蒸気処理でできること

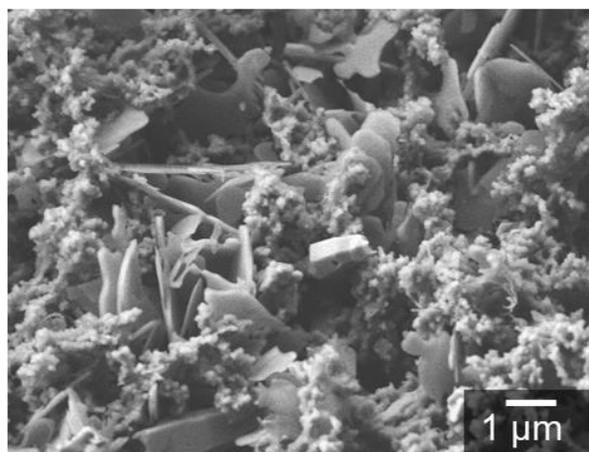
γ -AlO(OH)のみの皮膜
(低温で作製)



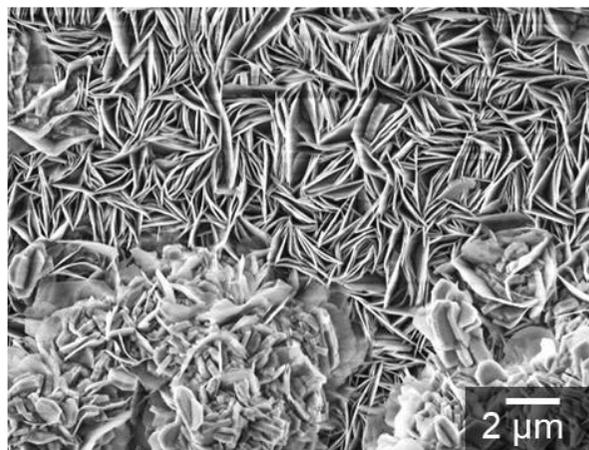
(高温で作製)



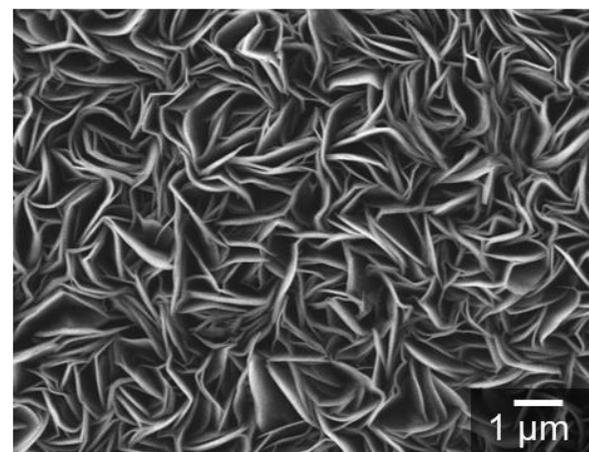
LDH+ γ -AlO(OH)の皮膜
(Zn-Al LDH)



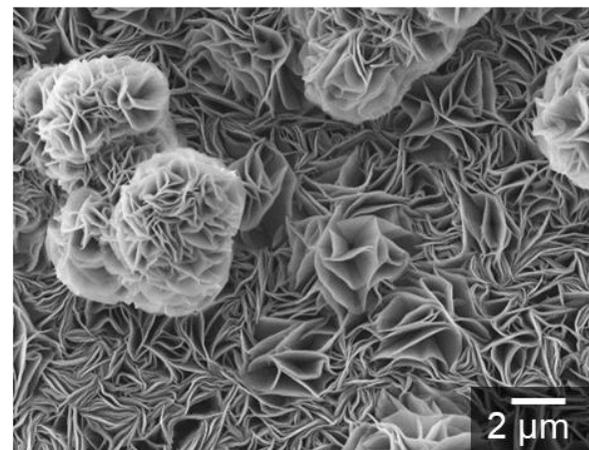
(Co-Al LDH)



LDHのみの皮膜
(Zn-Al LDH)



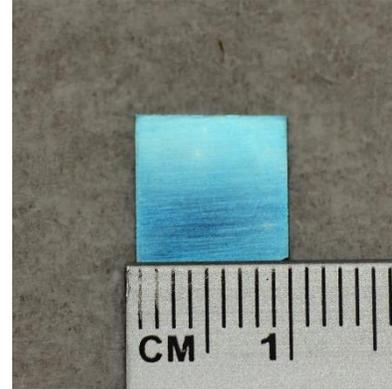
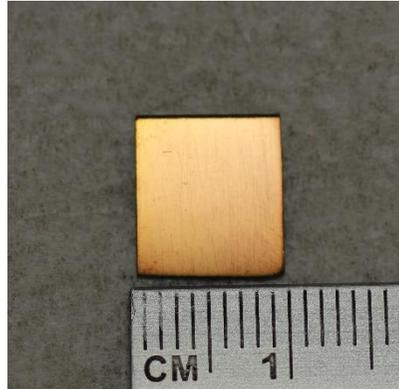
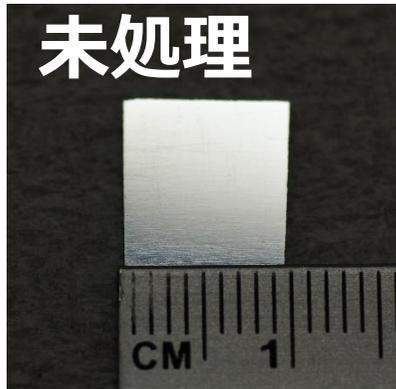
(Co-Al LDH)



表面形態の制御が可能

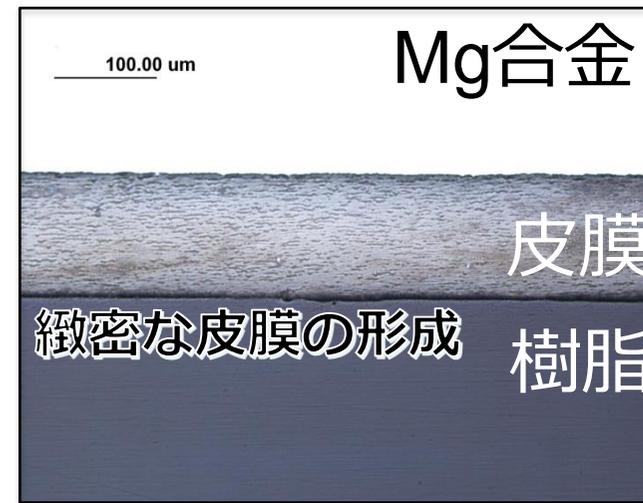
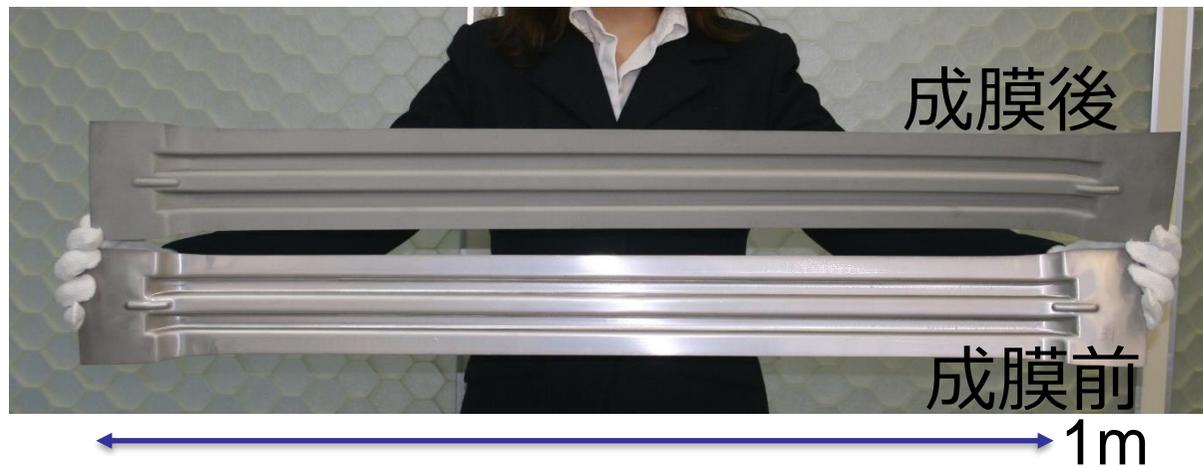
水蒸気プロセスの応用例

Feへの展開



プロセス条件の制御により、色調を可変

大型部材への展開



複雑形状の大型部材にも適用可能！

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術では困難な高強度化と高耐食化を実現！
- 組織制御の導入により高強度化と高耐食化の高度化を実現可能！
- 表面処理技術として、1プロセス(省プロセス)、大型部材・複雑形状部材にも適用可、廃液処理不要などのアドバンテージがある。

想定される用途

- 自動車部材 → 強度・耐食性の要求が高い。
特に、プレス加工などを行わない押出材はメリットが大きい
- 熱交換器 → 放熱面積の大きな複雑な形状であるため、水蒸気プロセスのアドバンテージを活かせる
- 大型部材 → 水蒸気を利用するプロセスのため、大量の化学薬品を使用する必要がない

実用化に向けた課題

- 適用材に合わせた、AlやMg合金の組織制御と水蒸気プロセスに関する条件最適化（耐食性皮膜の構造は材料に依存）
- 本技術で形成させた皮膜を下地皮膜としての適用可否 → 塗膜との密着性を要検討
- 大量生産、低コストを目的とした場合のプロセスの最適化

企業への期待

- 自動車部材・熱交換器・建材を製造している企業には、本技術の導入が有効であると思われる。
- 複雑形状を有するアルミニウムやマグネシウム合金に対して耐食性あるいは強度を向上させたいニーズのある企業との共同研究を希望
- 軽量金属の高強度化と高耐食化を両立させたいニーズを有する企業との共同研究を希望

企業への貢献、PRポイント

- **本技術では、試薬レスで処理が可能のため、低環境負荷型のプロセスを導入した企業に貢献できる。**
- **本技術の導入にあたり、必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。**
- **本格導入にあたっての技術指導等**

本技術に関する知的財産権(1)

- 発明の名称 : 耐食性及び強度に優れたアルミニウム合金材及びその製造方法
- 出願番号 : 特願2024-154848
- 出願人 : 学校法人 芝浦工業大学
- 発明者 : 石崎貴裕

本技術に関する知的財産権(2)

- 発明の名称 : 高強度・高耐食性マグネシウム合金材の製造方法
- 出願番号 : 出願準備中
- 出願人 : 学校法人 芝浦工業大学
- 発明者 : 石崎貴裕

産学連携の経歴

- **2011年-2015年 NEDO若手グラントに採択**
- **2016年-2019年 JST研究成果展開事業に採択**
(産学共創基礎基盤研究プログラム)
(A-STEPシーズ育成)
- **2016年- N社と共同研究実施**
- **2023年- JST研究成果展開事業に採択**
(A-STEPシーズ育成型)

お問い合わせ先

芝浦工業大学
産学官連携コーディネーター
篠宮 学

TEL: 03-5859-7180

FAX : 03-5859-7181

e-mail: sangaku@ow.shibaura-it.ac.jp