

NEDO先導研究プログラム
～RFI情報提供者によるVIPワークショップ～

水蒸気を利用した 自動車用軽量部材の創出

学校法人芝浦工業大学
石崎 貴裕

研究背景 (技術開発の必要性)

地球環境問題や資源制約の観点

2030年の自動車の燃費基準値：25~26 km/L(国交省 自動車燃費基準小委員会)

エンジン効率の向上と車体の軽量化が必要不可欠

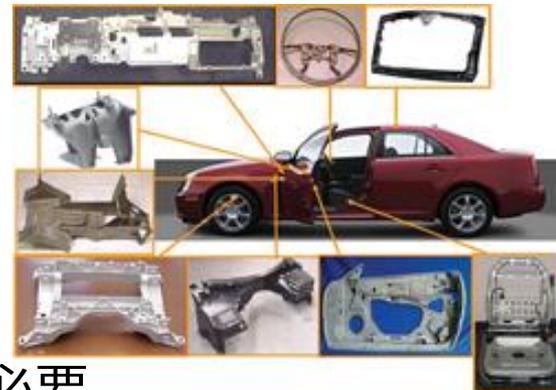
↳ 鉄鋼主体からマルチマテリアル化へ
→Al, Mg, CFRP等の軽量化部材の使用割合の増加



Al&Mg：軽量，高比強度，易加工性，優れたリサイクル性

自動車部材として；2020年のAl&Mg合金の使用割合：14%以下

理由：ダイカスト材；用途が限定
展伸材；使用不可



自動車の軽量化を加速させるためには
重量割合の大きい外板やシャーシ部材等への展開が必要

AlとMg合金に

①高耐食性と②高強度を両立させるための技術開発が必要

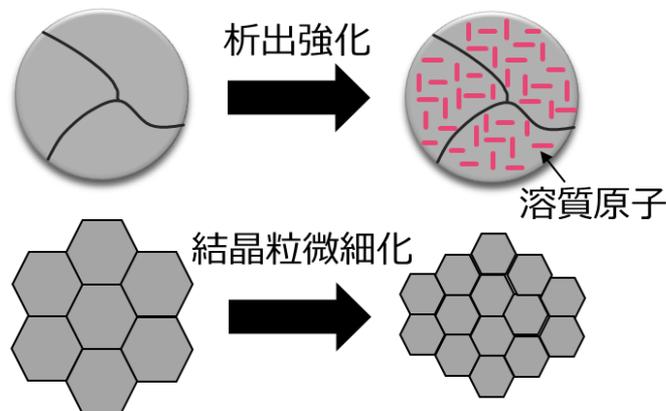
従来技術：高強度化処理→表面処理の多段階プロセスを実施（コスト高）

高強度化および高耐食化の従来技術

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）

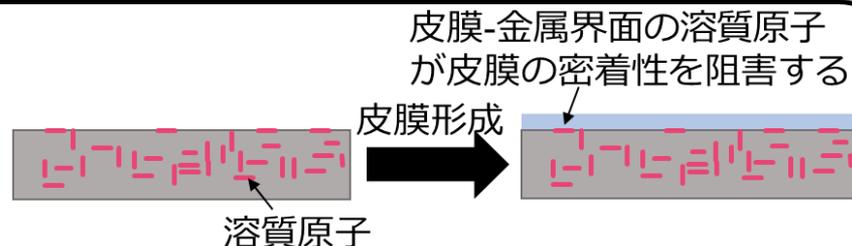
課題 高強度化に寄与する溶質原子は耐食性の低下を招く



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緻密性と密着性に影響を与える



従来プロセス：高強度化処理後に高耐食化を行うため高コスト
↳ 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

➡ 提案技術：水蒸気プロセス

技術開発の概要 (水蒸気プロセス)

水蒸気プロセス

- 水酸化物を皮膜として活用
- 表面処理と組織制御が同時に可能
- 水のみを使用 (低環境負荷)



- ※従来の表面処理
- 表面処理のみ
- 薬品を大量に用いる
- 高電力, 廃液処理が必要

水蒸気プロセスのアドバンテージ

- 前処理不要
- 高耐食性
- 大面積処理
- 低コスト
- 低環境負荷
- 複雑形状にも対応可能

母材のAlやMg原子を表面へ誘導して皮膜を作製
+ 溶質原子を駆使した母材・表面の階層的ヘテロ構造創出

競合技術との比較

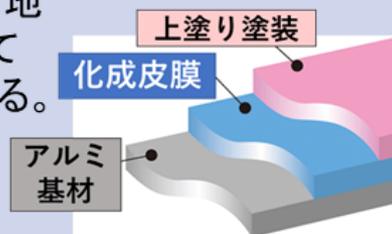
技術名称	研究フェーズ	耐食性	密着性	大面積処理	コスト	前処理工程
水蒸気プロセス	応用研究	500時間	◎	◎	安価	◎
化成処理 (MX-8)	上市・事業化	100時間	○	○	安価	△(3~5回)
陽極酸化処理 (Anomag)	実用化研究	300時間	○	△	高価	△(3~5回)
陽極酸化処理 (Dow-17)	上市・事業化	500時間	○	×	高価	△(3~5回)
導電性陽極酸化処理	実用化達成	300時間	△	×	高価	△(3~5回)
ゾルゲル法	基礎研究	200時間	△	△	安価	△
無電解めっき	基礎研究	100時間	△	△	高価	×(5回以上)

競合技術との比較 & 優位な点

【従来技術】

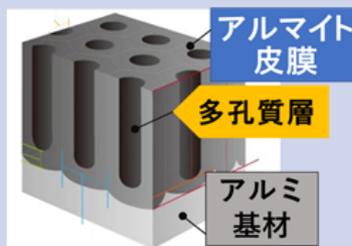
化成処理

化学的に酸化皮膜を形成する表面処理。皮膜の膜厚は薄く、塗装の下地処理としても使われる。



陽極酸化処理

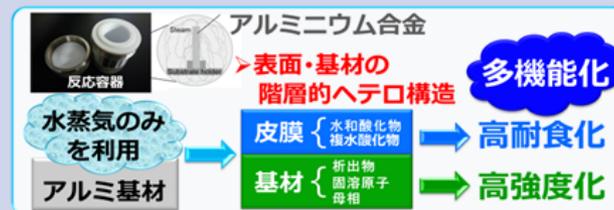
電解液に素材を浸漬し、電流を流して酸化皮膜を表面に形成する。厚膜化も可能。



【コア技術】

「蒸気コーティング」

高温・高圧の水蒸気雰囲気下に曝し、化学反応を進行させて表面に緻密な水酸化物皮膜を形成する。



項目	指標
耐食性	■
環境性	■
大量生産性	■
皮膜均一性	■

項目	指標
耐食性	■
環境性	■
大量生産性	■
皮膜均一性	■

項目	指標
耐食性	■ → ※
環境性	■
大量生産性	■ → ※
皮膜均一性	■

※ 本事業で達成

課題 一度に大量にバレル処理でき、生産性は良いが、**環境性が低く、耐食性も低い**。耐久性も低い。下地処理としての利用に限定される。

一点ずつの治具掛けが必要で、**生産性が低い**。**環境性が著しく低い**ために処理施設の新設が見込めず、代替技術への置き換えが必要とされている。

特長 水のみを利用するため**環境性に優れ、高耐食性を付与可能**であり、密着性・耐久性にも優れる。**高い生産性**も期待でき、複雑形状部品上にも均一に処理可能。

優位性：1プロセスで高強度化と高耐食化を実現可能！

技術内容の**ステージ**

高耐食化（現状）

500時間の複合サイクル試験に耐えうる耐食性を実現！処理時間の短縮化が必要

↳ TRL 5：全てを統合した実証システム（試作品）の製作（要素レベル）

高強度化&高耐食化（現状～今後）

一部の軽金属で強度と耐食性の向上を確認したが、更なる向上と対象材料の拡充が必要不可欠。また、組織改善後の皮膜の緻密性と密着性の向上が必要

↳ TRL 4：各開発要素の製作と性能確認、応用的な開発（要素レベル）

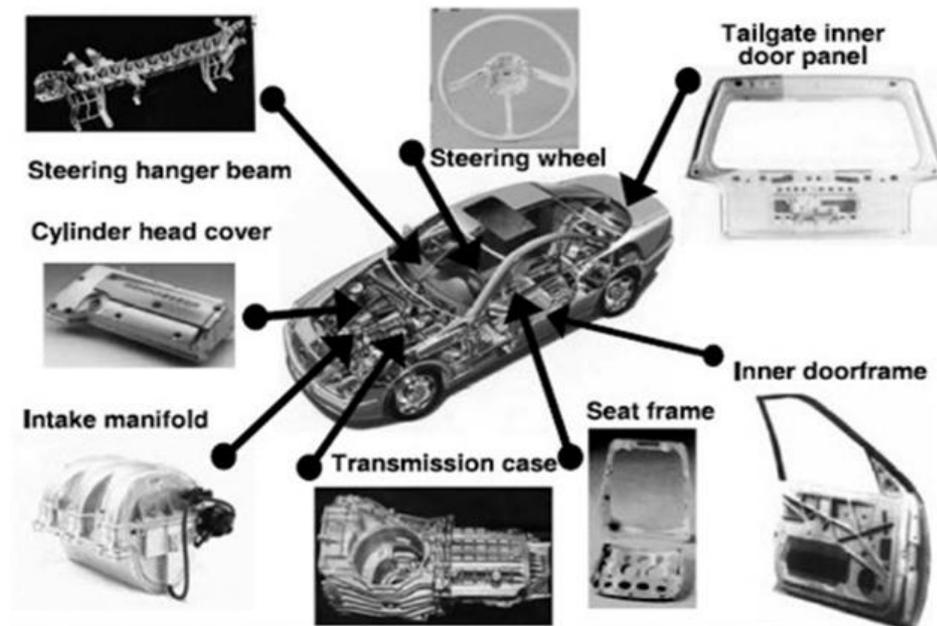
社会実装のイメージ

本技術により創出される開発製品（ターゲット部材）

◆ 自動車

【2040年】 シートフレーム用のパイプ材, ステアリングシャフト, ドアインパクトビーム等

【2050年】 パワートレーン（シリンダーブロック, シリンダーヘッド, エンジンカバー等）, フード, ドア, ホイール等



◆ トラック等大型車

シートフレーム用パイプ材, フロントエンド部材, ドア部材等



杖



車輪



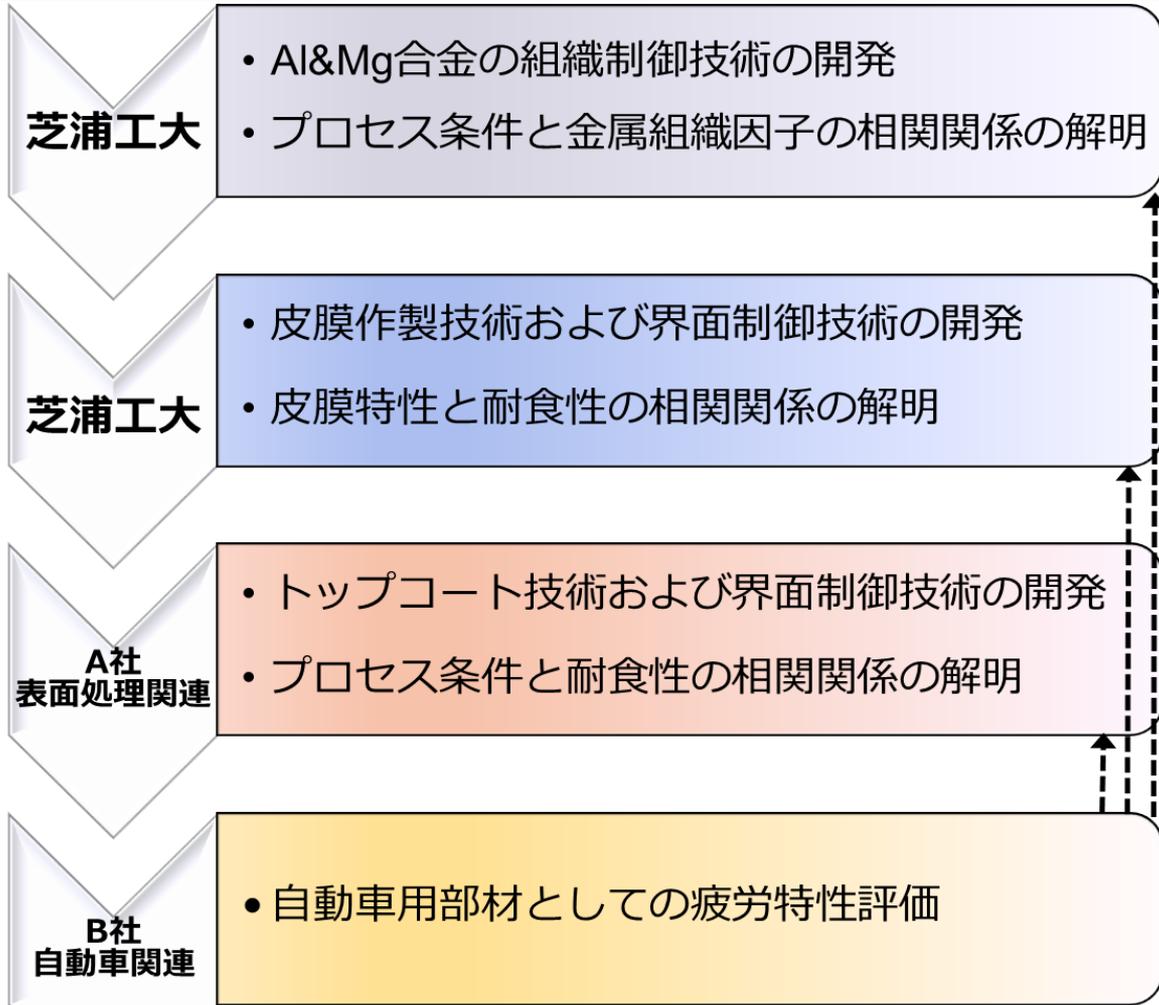
シートフレーム



車いす



社会実装のための開発シナリオ



特性結果のフィードバック

技術提示

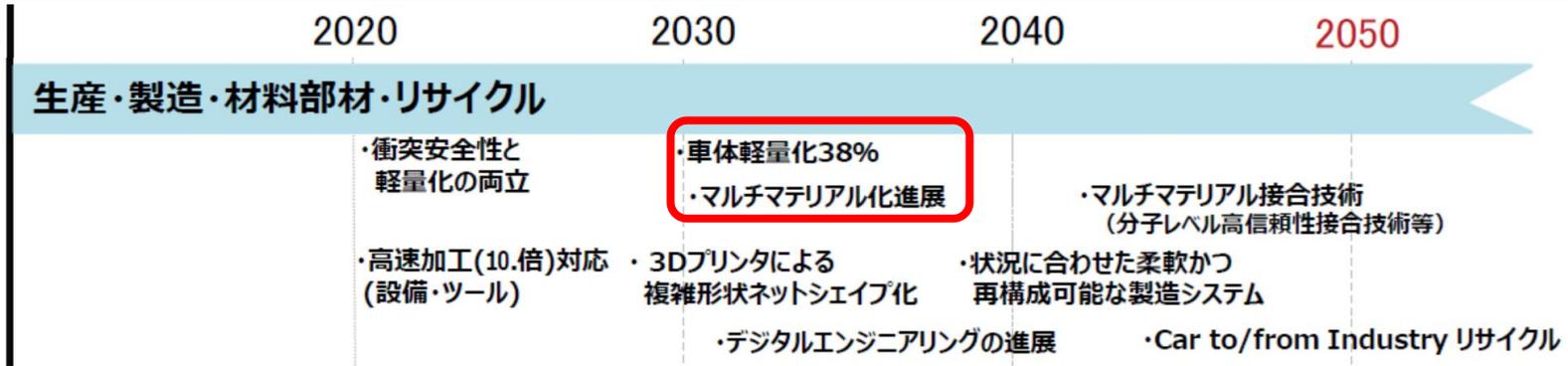


課題提示
技術評価
技術支援

自動車部材に対する
アドバイザー

自動車関連企業

ロードマップ



(公社)自動車技術協会資料より抜粋

2030～2040：車体の軽量化の実現が見込まれている

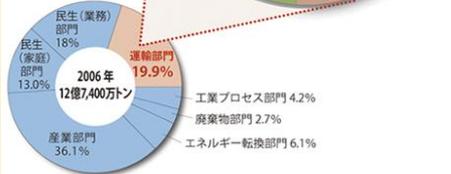
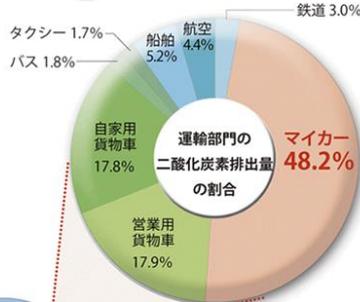


2030までに、Al、Mg合金を自動車に搭載可能な材料にするための技術開発が必要不可欠！

高強度化と高耐食化を実現するための技術開発が必要

本技術の波及効果

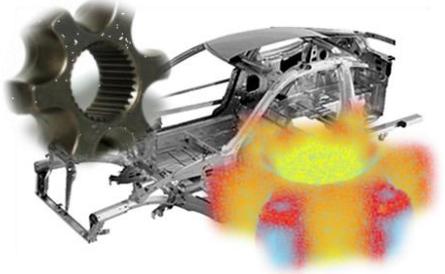
車のCO₂排出への寄与



(出典：温室効果ガスイベントリオフィス)

燃費向上が重要

- ・車体軽量化
- ・エンジン効率向上



Al&Mg合金の利用範囲の拡大 (~30%)

自動車平均重量約200kg低減

日本のCO₂総排出量
-2.3%削減

燃費

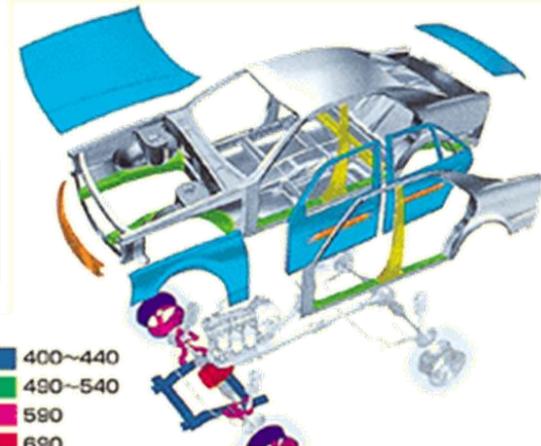
約1.98 km/L向上

エネルギー使用量
約17%低下



100 kgの重量軽減
→約1 km/Lの燃費向上

Al & Mg合金材で置換



新日鉄ホームページより

現状



-200kg減量



未来



走行距離15~20%増

- 省エネ
- CO₂排出量削減

別々の研究分野である材料内部を対象とする「組織制御学」と材料表面を対象とする「表面工学」を、水蒸気を基軸として融合することによって、科学的・技術的知見の融合によるブレークスルーを生み出し、**新たな学術的研究領域の創出**を期待できる

インパクトの試算

【エネルギー削減創出効果】 自動車重量の100 kg軽減→約 1.0 km/Lの燃費向上が可能。
自動車の鋼材をAlやMg合金に置換→それぞれ約30, 50%の軽量化が可能。
自動車総重量の平均を1800 kgとし、そのうちの 20%をAl合金、10%をMg合金に置換すると仮定→ $1800 \text{ kg} \times 0.20 \text{ (割合)} \times 0.3 \text{ (重量軽減率 : \%)} + 1800 \times 0.1 \text{ (割合)} \times 0.5 \text{ (重量軽減率 : \%)} = 198 \text{ kg}$ の重量を軽減でき、 $(198 \text{ kg}) / 100 \text{ kg} \times 1.0 \text{ km/L} = \mathbf{1.98 \text{ km/L}}$ の燃費向上を実現可能

例えば、12 km/Lの燃費の普通乗用車→約**17%のエネルギー削減**を実現
現在のレギュラーガソリンの平均単価を160円→1 L当たり約 26円のコスト安
国内の四輪自動車の全保有台数は78,452,911台で (*), 年間のガソリン使用料を平均 1000 L (約 83 L/月) として試算→ $26 \text{ (円/L)} \times 78,452,911 \text{ (台)} \times 1000 \text{ (L)} = \mathbf{2,039,780,000 \text{ (千円)}}$ のエネルギー削減創出効果を見込める。

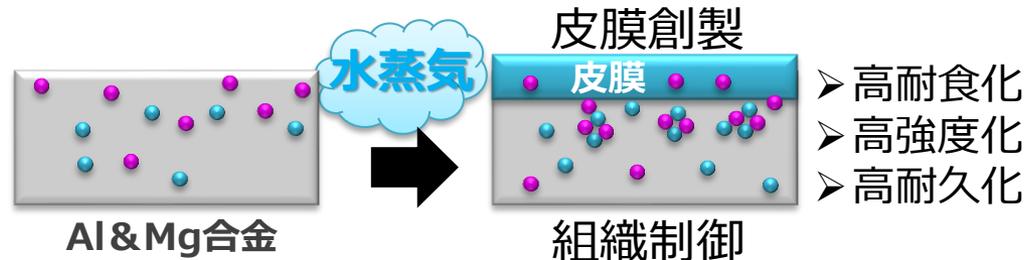


【CO₂削減効果】
持続可能な開発目標(SDGs)の視点→【13.気候変動に具体的な対策を】に貢献
ガソリン 1L当たりの発熱量を 34.6MJ/L、発熱量当たりの CO₂排出量を 67.1g/MJと仮定→ $1,173 \text{ g-CO}_2/\text{Km}$ ($34.6 \text{ MJ/L} \times 67.1 \text{ g/MJ} \div 1.98 \text{ Km/L}$) の CO₂削減効果
2021年の四輪車の総走行距離は53,856,352 千Kmと報告されているため、約 **6,317万トン-CO₂/年** ($= 1173 \text{ g-CO}_2/\text{Km} \times 53,856,352 \text{ 千 Km}$) の削減効果があると推定される。
(*)自動車輸送統計年報 (国土交通省 2021年)

まとめ

本研究構想

- ① 軽金属内の原子の分散・拡散を制御し、原子供給源として機能
- ② 組織制御の最適化により皮膜の密着性と緻密性を向上



プロセスの利点

- ◆ クリーンな手法
(水蒸気のみを利用)
- ◆ 材料の形状を問わない
- ◆ 大型部材にも適用可

軽金属材料の
高機能化

産業化・実用化時の利点

- ◆ 汎用性・応用性が高い
(他の構造材料にも適用可能)
- ◆ 低コストなプロセス
- ◆ サステナビリティの観点での材料設計

水蒸気を活用し、1プロセスで高強度化と高耐食化を実現