

ミュオンスピン緩和法によるアルミ合金の原子空孔と水素原子挙動の研究



大学院理工学部(工学)
教授 西村 克彦

研究分野

Research area

材料加工・処理

研究のキーワード ▶ 結晶・組織制御

研究内容

Research content

水素エネルギー社会の実現に向けて、水素貯蔵の安全性に関連する材料開発は重要な課題である。高圧力の水素貯蔵容器の材料として、高強度の Al-Zn-Mg アルミ合金の利用が望まれる。しかし、この合金は水素脆性を示すことが知られている。本研究では、ミュオンスピン緩和法により、Al-Zn-Mg 合金中の原子空孔と水素原子挙動を調査し、水素脆性を抑制する工業的な手法を確立する。

研究のポイント

Research point

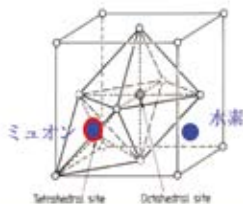
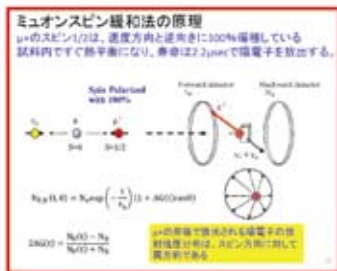
金属・合金中の水素原子の挙動を直接観察することは困難である。そこで、電氣的に水素イオンと類似の振る舞いをする正ミュオンをプローブとして、Al-Zn-Mg 中で水素原子が捕獲されている格子位置を明らかにする。また、正ミュオンの拡散挙動から、原子空孔および水素原子の動力学的挙動を解明する。水素原子や正ミュオンは、アルミ合金中で原子空孔に捕獲されることが知られている。

産学連携への取組、期待

6000 系 Al-Mg-Si 合金は適度な強度と優れた成形性を有するために、従来の建築部材を中心とした構造物に加え、自動車用材料など多岐に渡っている。この合金の機械的特性には原子空孔挙動が大きく関与し、溶質元素の濃度と溶体化処理後の熱処理方法に大きく依存する。これまで、本研究グループは、Al-Mg-Si 合金中の原子空孔挙動とクラスターを調査する目的で、近年その検出精度が非常に向上したミュオンスピン緩和法を利用してきた。平成 25 年度からは、軽金属学会の「ミュオンスピン緩和とスペクトル法の応用研究部会」として、産学連携による国際共同研究を展開してきた。平成 29 年度からは、更に発展させ「アルミニウム合金の熱処理技術とミュオン測定検討部会」として、産学連携で Al-Zn-Mg を中心としたアルミ合金中の原子空孔・水素原子挙動を調査する。

研究 REPORT

ミュオン実験は、連合王国ラザフォード・アップルトン研究所 ISIS 施設にある理化学研究所が管理するミュオンビームラインおよび日本原子力研究開発機構 J-PARC 物質生命科学実験施設 MLF のミュオンラインを利用している。



アルミ合金中の水素原子の捕獲サイトと拡散機構を解明する

- 連合王国ラザフォード・アップルトン研究所：理研-RALミュオン施設
- 大強度陽子加速器施設 J-PARC



- (右) 理研-RAL ミュオン施設の検出器 ARGUS
- (左) J-PARC-物質・生命科学 MLF D1ライン



ナノ組織制御による新機能をデザインした軽量金属材料



大学院理工学研究部(工学)
教授 松田 健二

研究分野

Research area

材料工学

研究のキーワード ▶ アルミニウム, 軽金属材料, ナノ構造, 組織制御

研究内容

Research content

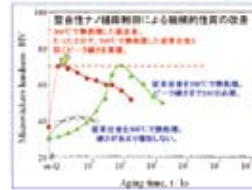
自動車は現代社会に不可欠な陸上輸送機関であり、今後は振興国を中心とした急増が予想されます。地球温暖化防止のためのCO₂量削減には低燃費化や電気自動車等、ますます軽量な車体を持つ自動車が必要です。加えて産業廃棄物とならないリサイクル性に優れたグリーンイノベーションを実現する軽量材料が必要であり、我々のナノ組織制御はそれらを実現する研究です。

研究のポイント

Research point

1. 結晶格子整合性制御 結晶格子の間隔を人為的に変化させるナノ制御を行うことで、合金との整合性を変化させ、強度と靱性を改善する技術の開発。
2. 化合物形態制御 材料中に形成される組織の形態を人為的に変化させることで、ミクロ構造での強度改善を行う研究。
1と2の達成により強度と延性という相反する性質を両立する材料が期待できる。
3. 機能粒子制御 超伝導や磁性等の機能を持つミクロンまたはサブミクロンの粒子を均一分散させることにより、従来にない複数の機能を持ったハイブリッド材料の開発研究。

産学連携への取組、期待

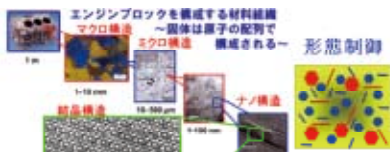


上図は、ナノ組織制御によって得られた新合金をある温度で保持した時の時間に対する硬さ変化曲線を示している。既存の合金に比較して、新合金は高温での熱処理にもかかわらず、同程度の硬さをわずか1-2分で達成している。このような材料開発によって下記のような特許を取得している。

- 特許第 4590633 号 磁性アルミニウム複合材
- 特許第 4876249 号 Al-Mg-Ge系のアルミニウム基合金及びそれを用いたアルミニウム合金材
- 特許第 4961557 号 軽金属複合材料の製造方法及びこの方法で得られた軽金属複合材料
- 特許第 5483078 号 マグネシウム系複合材料
- 特許第 5531176 号 アルミニウム合金

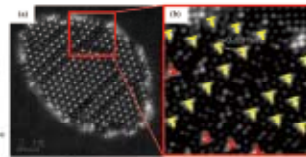
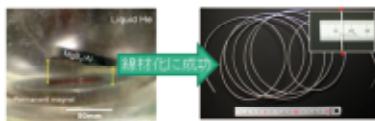
研究 REPORT

エンジンの性能を材料ナノ組織制御で改善

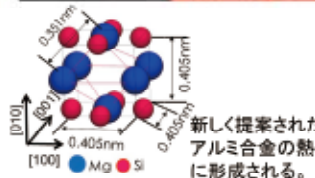


相反する強度と延性の両立

超伝導粒子制御により作製された
磁気浮上するアルミニウム合金と、その超伝導材料



新しく開発した高強度・高延性アルミ合金の材料組織のナノレベル評価。100万倍に拡大して観察すると、新しいアルミ合金の中にはTOAYMAの「T」があります。



富山県のアルミを主体とする金属素材が、地球環境に優しい陸上輸送機関、あるいは航空機用軽金属材の世界的オンリーワンであり、スタンダードとなるよう、リサイクル性に優れ、低炭素化を実現するクリーンエネルギー関連材料の開発に取り組んでいきます。

高性能軽合金のデザイン・作製



大学院理工学研究部(工学)
准教授 李昇原

研究分野

Research area

高性能合金開発・材料加工・組織制御工学

研究のキーワード > アルミニウム合金, 銅合金, マグネシウム合金, セラミックス粒子分散型Al, Mg基複合材, 熱処理

研究内容

Research content

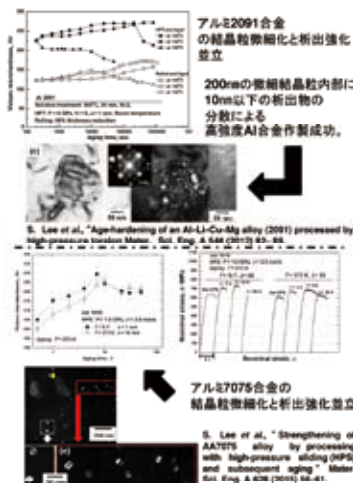
高分解能透過型電子顕微鏡を駆使して、アルミニウム合金、銅合金、マグネシウム合金および軽金属基複合材料中に現れるナノサイズの各種析出物の組織観察と構造解析を行っている。特にAl-Mg-Si合金におけるナノオーダーの析出物を一つ一つ観察して構造解析をするすることにより、電子線照射によってダメージを受けやすく観察が困難とされるGPゾーンの観察に初めて成功した。富山県内外の企業、国内外の研究機関との共同研究を通して行っており、高信頼性材料の開発を目指している。

研究のポイント

Research point

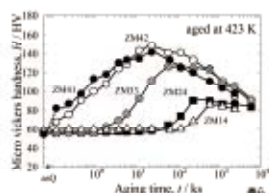
- 高強度軽合金(アルミニウム合金、マグネシウム合金)のデザイン
- セラミックス粒子分散型複合材料の開発
- 銅合金の添加元素による相変態挙動や強化機構
- 材料の機能向上や新たな性質を付加させるためにPVDやCVDによる表面改質(コーティング)の研究
- 電子顕微鏡法による軽金属の微視的組織解析

産学連携への取組、期待

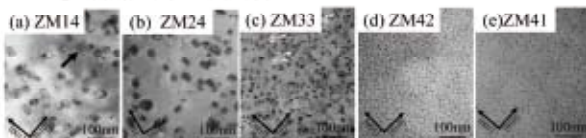


研究 REPORT

高強度軽合金のデザイン

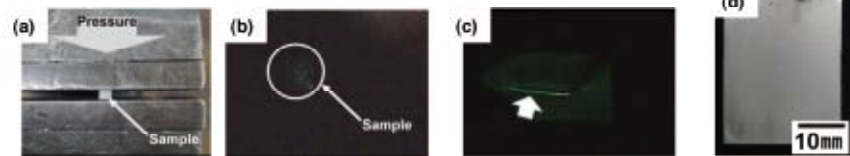


作製されたアルミニウム合金の熱処理による硬さ変化と透過型電子顕微鏡で観察した組織写真



参考, "ピーク特化したZn/Mgの異なるAl-Zn-Mg合金における時効析出機構と機械的性質", 軽金属 第67巻 第5号(2017), 162-167

セラミックス粒子分散型複合材料の開発



(a, b) 応力発光テスト中光る複合材, (c) スクラッチテスト中光る複合材, (d) 作製した応力発光粒子を含むAl基複合材

S. Lee et al., "Production of Al-based composite materials including stress-luminescent particles using 3-dimensional penetration coating (3DPC) / MATEC '16th of Conferences 136, ESOCS (2017)

各種機械材料の静的・動的な強度評価とその試験法の検討



大学院理工学研究部(工学)
准教授 笠場 孝一

研究分野

Research area

機械材料・材料力学

研究のキーワード ▶ 破壊, 疲労, 構造力学

研究内容

Research content

例えばワイヤロープ用の鋼線は、伸線加工を繰返すことで静的強度が強化され、同様に疲労強度にも変化が及ぶ、また超伝導線材は機械的強度とともに、超伝導特性の維持も求められる。前者のような極細の、また後者のような薄膜状の線材試料の、静的または繰返しの負荷を与えたときの機械的、電気磁気的特性評価を行う。またそれらの例に限らず、先進材料の各強度測定のための新実験法の提案などを行う。

研究のポイント

Research point

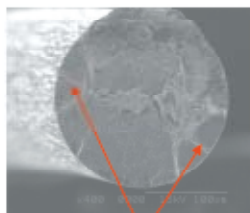
- 直径1mm以下のものから、10mmを超える丸棒まで、軸荷重、回転曲げ荷重を与えた疲労試験
- 寸法の小さな試料の、高精度なひずみ測定
- 電子顕微鏡による破壊起点の同定、ならびにその損傷過程の評価
- 作製上、微視欠陥が不可避な材料(焼結材など;酸化物超伝導体もこれに含まれる)に対して、どのような材料試験を考え、強度パラメータをどのように定義したらよいかを、材料力学・破壊力学を元に考案。

産学連携への取組、期待

- 極細鋼線の断面内強度・延性分布に関する研究: 新日本製鐵(株)線線事業部釜石製鐵所(2002-2009)
- プレス加工金型のひずみ挙動モニタリングによる成形工程最適化技術の開発: 科学研究費基盤研究(C)(2005-2006)
- Bi系超電導線材の特殊条件下での機械的特性の研究: 住友電気工業(株)(2008-現在)
- 高精度粉末冶金成形技術の開発: 戦略的基盤技術高度化支援事業(2009)
- 純度100%錫製フレキシブル手術用具の実用化に向けた錫金属の微細パイプ casting 及び鋼材と一体化したインサート casting 加工技術の開発: 戦略的基盤技術高度化支援事業(2012)
- 超伝導線材の機械的的特性評価とその損傷劣化過程の解明: 核融合科学研究所一般共同研究(2014-現在)

研究 REPORT

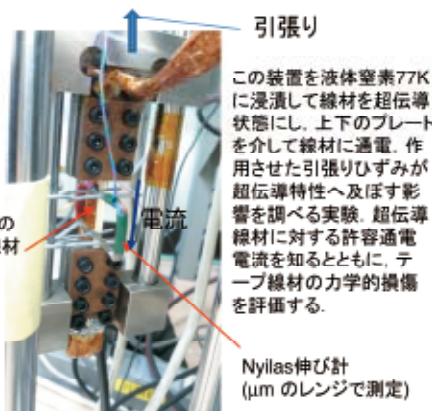
伸線強化された極細鋼線の疲労試験



疲労き裂領域

鋼線に対して回転曲げ疲労試験を実施したものの、電子顕微鏡による破断面の観察結果で、疲労によるき裂進展領域と、その後完全破壊した領域が、はっきりと認識できる。これにより破壊の過程(き裂の加速要因、減速要因など)を解析することができる。

超伝導線材の応力/ひずみ効果の実験



引張り

この装置を液体窒素77Kに浸漬して線材を超伝導状態にし、上下のプレートを通じて線材に通電。作用させた引張りひずみが超伝導特性へ及ぼす影響を調べる実験。超伝導線材に対する許容通電電流を知るとともに、テープ線材の力学的損傷を評価する。

Nylilas伸び計
(μm のレンジで測定)