

アルミニウム合金・ 純アルミニウムの 硬さの簡便な予測技術

(分野：材料)

秋田大学 大学院理工学研究科
物質科学専攻 材料理工学コース
准教授 後藤 育壮

2026年3月3日

研究背景*

- AI（アルミニウム）合金鋳物の硬さは実体強度の把握・疲労限度の概算などに有用である
 - 鋳物：鋳造によりつくられたもの、定義上はダイカストも含まれる
 - 硬さ：ブリネル硬さ、ビッカース硬さ、etc...
 - 硬さの下限值が規定されている合金種もある

* [後藤ら：日本鋳造工学会全国講演大会概要集186（2025）114（※転載許諾済）](#)

研究背景*

- 工業用純Al鋳物には、必要以上の硬化は望ましくない用途もある
 - パワーモジュール用絶縁放熱基板：
AlN（窒化アルミニウム）基板が
鋳ぐるまれており、熱応力緩和性が求められる
 - 分岐スリーブ・圧縮端子：
電線の圧縮接続に用いられ、延性が求められる

* [後藤ら：日本鋳造工学会全国講演大会概要集186（2025）114](#)（※転載許諾済）

関連研究*

- Al合金・工業用純Al鋳物の電気抵抗率は線形重回帰式で表すことができる
 - 説明変数：含有元素の含有率
 - 切片：高純度Alの電気抵抗率
 - 重回帰分析により得られる偏回帰係数：含有元素の固溶・析出（晶出）状態を概ね反映

* [後藤ら：鋳造工学95（2023）435](#)

研究目的*

- AI合金・工業用純AI鋳物の硬さと化学組成の関係を数式で表すことができれば、所定の機械的性質を得るための合金設計・工業用純AIの微量元素の最適化などへの活用が見込まれる
- 本研究では、種々のAI合金・工業用純AIの硬さを測定し、含有元素が硬さに及ぼす影響の重回帰による定量化を試みた

* [後藤ら：日本鋳造工学会全国講演大会概要集186（2025）114](#)（※転載許諾済）

研究方法*

- 68種類の試料のビッカース硬さを測定した
 - 試料：Al基実用合金・母合金鑄塊、工業用純Al（純度99.9～99.99mass%）鑄塊、種々の組成・鑄造条件のAl合金・工業用純Al鑄物、工業用純Al残湯の坩堝内凝固材、高純度Al（純度99.999mass%）の焼鈍材
 - mass%（=wt%）：質量（重量）パーセント

* [後藤ら：日本鑄造工学会全国講演大会概要集186（2025）114](#)（※転載許諾済）

研究方法*

- 化学組成にはmass%単位の含有率を用いた
 - 原料の分析値（ミルシート値・代表値） or 主要元素に関する目標組成（微量元素は無視）
 - 高純度Al（純度99.999mass%）は純度100mass%と見なした

* [後藤ら：日本鑄造工学会全国講演大会概要集186（2025）114](#)（※転載許諾済）

研究方法*

- 切片を0HVに固定した線形重回帰を行った
 - 目的変数 (y') : 硬さの測定値 (y) から高純度Alの焼鈍材の硬さ (切片 $b=15.5$ HV) を差し引いた値
 - 説明変数 (x_i) : 含有元素 (Al以外の15元素) の含有率 or 含有率の平方根
 - 線形重回帰式 :

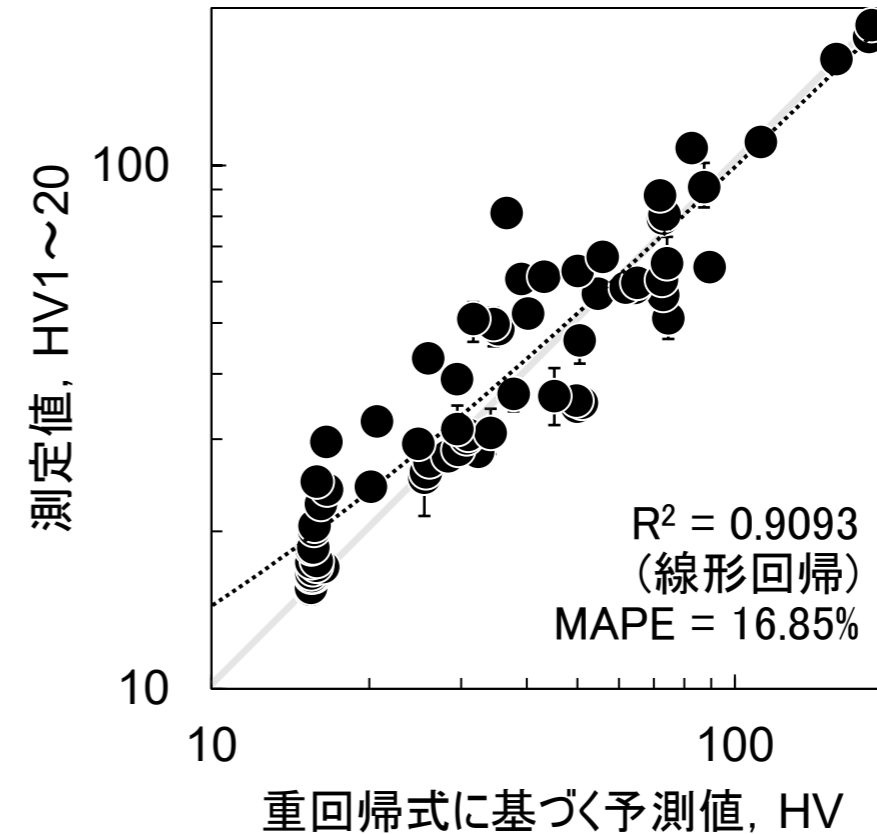
$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + b$$

$$y' (= y - b) = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots$$

* 後藤ら : [日本鑄造工学会全国講演大会概要集186 \(2025\) 114](#) (※転載許諾済)

研究成果*

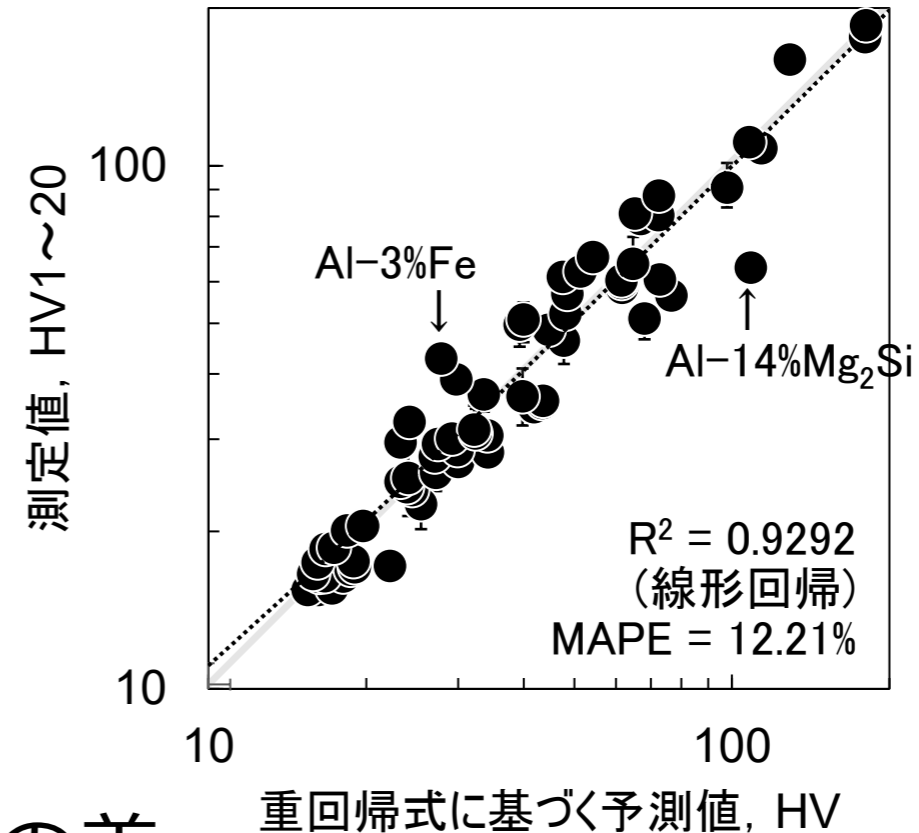
- 図：含有元素の含有率を説明変数とした重回帰式に基づくビッカース硬さの予測値と測定値の関係
- 高い相関が見られた



* 後藤ら：日本鑄造工学会全国講演大会概要集**186** (2025) 114 (※転載許諾済)

研究成果*

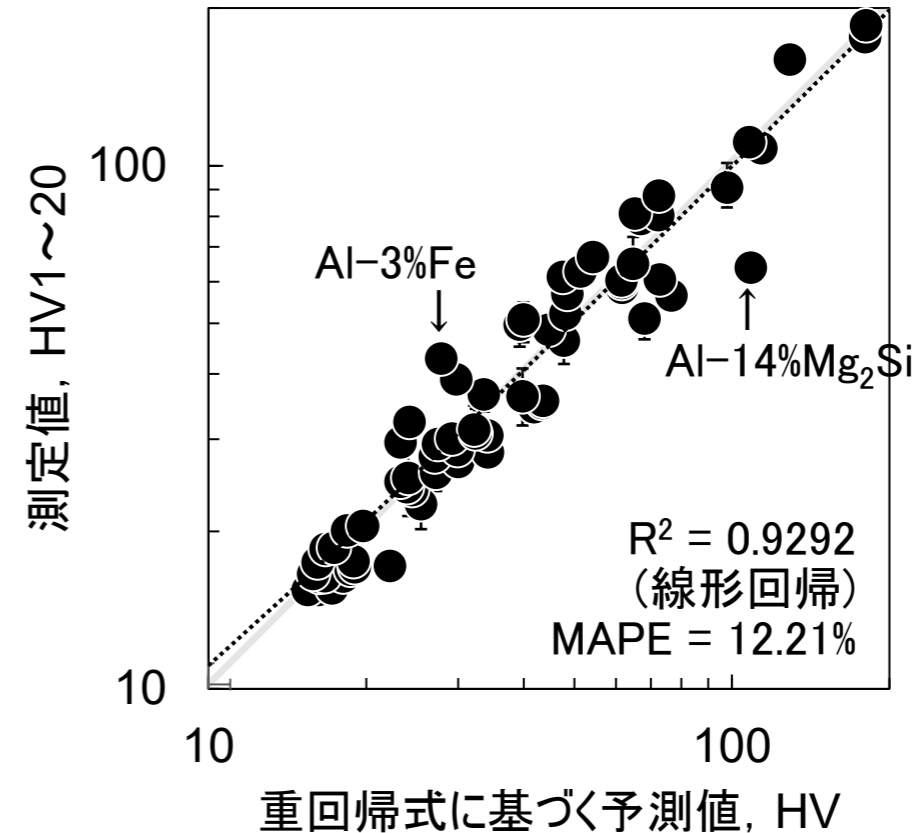
- 図：含有率の平方根を説明変数とした場合
 - 固溶強化時の硬さは含有率（mol%単位）の平方根などに依存
- 特に硬さが低い範囲で誤差の低減が見られた
 - 誤差：測定値と予測値の差



* 後藤ら：日本鑄造工学会全国講演大会概要集**186** (2025) 114 (※転載許諾済)

研究成果*

- MAPEの減少も見られた
 - MAPE：平均絶対パーセント誤差
- Al-14%Mg₂Si・Al-3%Fe（金型鋳物）はパーセント誤差が大きかった
 - Al-14%Mg₂Si = Al-8.87%Mg-5.13%Si



* 後藤ら：日本鋳造工学会全国講演大会概要集**186** (2025) 114 (※転載許諾済)

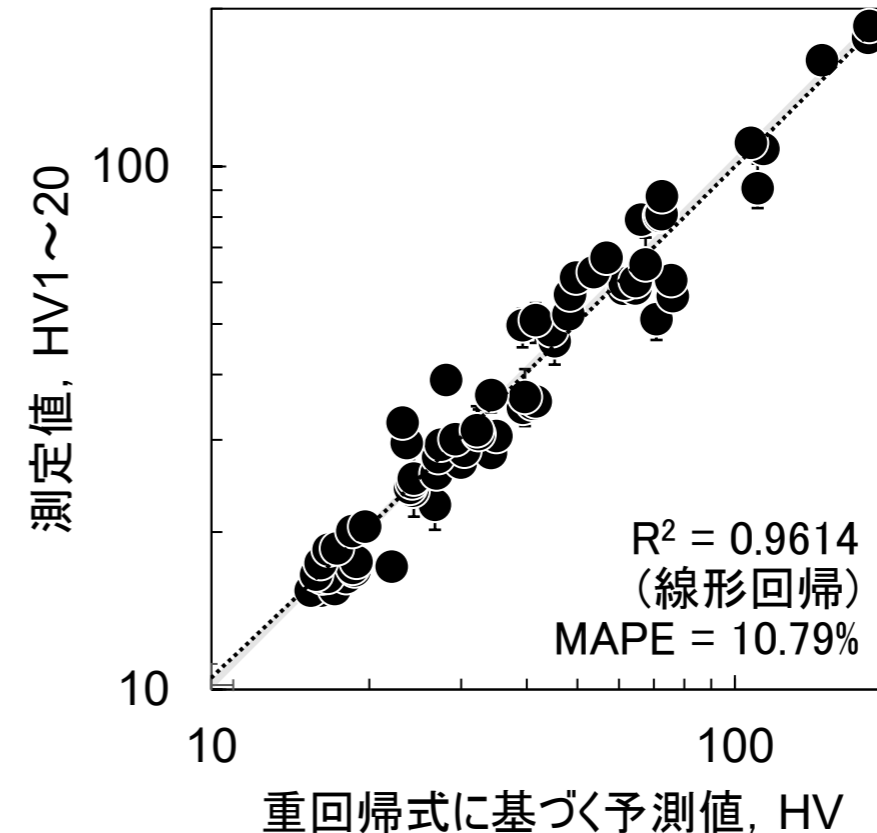
研究成果*

- Al-14%Mg₂Siのパーセント誤差が大きい原因は、Mg₂Si相含有に伴う硬さ増分はMg・Siの単独含有に伴う硬さ増分（変化率）の合計値との乖離が大きいことであると考えられる
- Al-3%Feのパーセント誤差が大きい原因は、鑄造時の冷却速度が速かったことに伴う準安定の金属間化合物相の生成であると考えられる

* [後藤ら：日本鑄造工学会全国講演大会概要集186（2025）114](#)（※転載許諾済）

研究成果*

- 図：含有率の平方根を説明変数として Al-14%Mg₂Si・Al-3%Feを除外した場合
- さらに高い相関・MAPEの減少が見られた



* 後藤ら：日本鑄造工学会全国講演大会概要集**186** (2025) 114 (※転載許諾済)

研究成果の概要*

- 固溶・分散（析出）強化（硬化）以外の要因の影響が小さい鋳物では、各含有元素に伴う硬さ増分は含有率の平方根に概ね比例する
 - 一部例外あり
- 各含有元素に伴う硬さ増分の積算により硬さを概算することができる
 - 線形重回帰式で表すことができる

* [後藤ら：日本鋳造工学会全国講演大会概要集186（2025）114](#)（※転載許諾済）

新技術の概要

- 固溶・分散強化以外の要因の影響が小さい
Al合金・工業用純Alでは、各含有元素
（Al以外）に伴うビッカース硬さの増分は
mass%単位の含有率のべき乗（平方根など）
に概ね比例する場合が多い
- 各含有率の線形重回帰式への代入
（各含有率に基づく硬さ増分の積算）により
鋳塊・鋳物・ダイカストなどの硬さを
予測することができる

新技術の概要

- 各含有元素の硬さ増分（偏回帰係数、 a_i ）は線形重回帰により取得することができる
 - 目的変数 (y) : 硬さの測定値
 - 説明変数 (x_i) : 各含有率 (c_i) のべき乗
(1乗でも良いが例えば0.5~0.56乗など)
 - 切片 (b) : 高純度Alの硬さ

新技術の概要

- 各含有元素の硬さ増分（偏回帰係数、 a_i ）は線形重回帰により取得することができる

－線形重回帰式の例：

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + b$$
$$= a_1c_1 + a_2c_2 + a_3c_3 + \dots + b \quad (1乗の場合)$$

$$y = a_1\sqrt{c_1} + a_2\sqrt{c_2} + a_3\sqrt{c_3} + \dots + b$$

(0.5乗 = 平方根の場合)

$$y = a_1c_1^{0.56} + a_2c_2^{0.56} + a_3c_3^{0.56} + \dots + b$$

(0.56乗の場合)

新技術の概要

- 何らかの要因により線形重回帰式
（各含有元素に伴う硬さ増分の積算）
による予測が困難となる場合もあることを
逆手にとり、例外的なデータを
線形重回帰により特定することもできる
 - 影響が大きい場合に線形重回帰式による予測が
困難となる（誤差が大きくなる）主な要因：
Mg₂Si相・Al-Fe系準安定金属間化合物相など
の生成、加工硬化（転位強化）、結晶粒界強化

従来技術とその問題点

- 硬さを数式で表すことは、
固溶状態と析出状態を区分して
それぞれに別の数理モデルを適用すれば、
おそらく不可能ではない
- 算出に必要なパラメータが多くなり、
実用的ではなくなる可能性もある

新技術の特徴・従来技術との比較

- 硬さの概算に使用するのは
化学組成（AI以外の含有元素の含有率）のみ
 - 微量元素は無視して
主要元素のみに関する化学組成を使用可能
 - 主要元素の含有率には分析値ではなく
溶製時の目標値を使用しても良い
- 化学組成にはmass%単位の含有率を使用可能
- 含有元素の固溶・析出（晶出）状態に
概ね非依存

新技術の特徴・従来技術との比較

- 硬さの実測値 (y) と高純度AIの硬さ (b) の差 ($y' = y - b$) を目的変数として切片を0に固定した線形重回帰を行っても良い
 - 説明変数には例えば各含有元素の含有率の0.5乗 (平方根) \sim 0.56乗などを使用することで予測精度が向上する
- 線形重回帰に必要なデータ数が少ない
 - 例えば数十個のデータでも概ね実施可能 (データ数が多いほど高精度化が期待)

新技術の特徴・従来技術との比較

- 非常にシンプルかつ簡便な硬さ予測技術としての活用が期待
- 硬さの予測値の実測値との誤差に基づき、加工硬化（転位密度大）・結晶粒界強化（微細結晶粒）などの要因の影響が大きい例外的な試料・データを特定可能

想定される用途

- AI合金・工業用純AIの機械的性質の予測機能としての市販ソフトウェアへの搭載
 - 機械的性質：硬さ・耐力・引張強さ・実態強度・疲労限度など
- 所定の特性を有するAI合金・工業用純AIを得るための合金設計（合金元素・添加元素の最適化）・微量元素の最適化
- 転位密度・結晶粒径などの要因の影響が大きい例外的な試料・データの特定

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：
アルミニウム合金の硬さ予測方法、
アルミニウム合金の硬さ予測装置
- 出願番号： 特願2025-149995
- 出願人： 秋田大学
- 発明者： 後藤育壮、 肖英紀、 福地孝平

お問い合わせ先

- 国立大学法人秋田大学
未来研究統括機構 イノベーションオフィス
 - TEL : 018-889-2712
 - e-mail : staff@crc.akita-u.ac.jp