

---

# バンドン工科大学（インドネシア） 研修報告書

## OES, SEM および EDS を用いた Al 合金の微細構造および硬さの調査

先進理工系科学研究科 機械工学プログラム 前田悠太郎

### 1. はじめに

2022年9月26日から10月13日の間、インドネシアのバンドン工科大学において共同研究を行った。その報告を以下に示す。

### 2. 研究課題の決定

本研究室では、実験による新規材料開発とシミュレーションや機械学習を用いた材料開発を行っている。インドネシアのバンドン工科大学はインドネシアにおける最も優れた理工系大学と評価されており、材料学的な研究も活発に行われている。そこで、本研究ではシミュレーションで得られた Al-Zr, Al-Ti, Al-Zr-Ti 合金の降伏応力に対して、実際の硬さ試験結果を比較することを目的とした。

### 3. 共同研究スケジュール

9月24日 出国

9月26日~10月13日 入国、研究、プレゼンテーション

10月14日 出国、帰国

### 4. 共同研究派遣先の概要

大学名: Institut Teknologi Bandung, ITB

所在地: Jl. Ganesha No.10, Lb. Siliwangi, Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132  
Indonesia

指導教員: Dr. Aditianto Ramelan, Dr. Asep Ridwan

### 5. 共同研究の内容

#### 5.1 概要

アルミニウム合金は軽さや高強度、高い成型性によって自動車産業や航空宇宙部品として広く用いられている。固溶強化のメカニズムについては、微細なクラスターが形成されることで、合金元素の種類や添加量によって合金の機械的特性に影響を与える。クラスターとは不均一な添加元素の集合体のことである。本研究室で開発したシミュレーションソフトを使うことで、このクラスターの形状と降伏応力を予測することができる。そこで、本研究の目的は、シミュレーションの結果と今回の実験結果を比較し、シミュレーションが実験結果を再現できるかどうか検証することとした。

#### 5.2 方法

重力铸造にて 2 元系 Al-Zr, Al-Ti, 3 元系 Al-Zr-Ti を作製した。目標添加元素含有量はそれぞれ 1.0 at%である。母合金と純 Al を 800°C で溶かし、空冷した。その後、溶体化処理 (600°C で 2 時間保持した後、水冷) を行った。試料の評価方法として、OM (光学顕微鏡) による組織観察、OES (固体発光分光分析)、EDS (エネルギー分散型 X 線分光法) での分析およびビッカース硬さ試験を用いた。

---

### 5. 3 結果と考察

作製した Al-Zr, Al-Ti, Al-Ti-Zr を NaOH でエッチングした後、OM を用いて、組織観察を行った。Fig.1 に (1) Al-Ti、(2) Al-Zr、(3) Al-Ti-Zr を観察した結果を示す。いずれのサンプルからも針状析出物を確認することができる。また、Fig.2 に Al-Ti-Zr の EDS 分析画像を示す。この画像、文献や状態図から、析出物は  $Al_3Ti$ 、 $Al_3Zr$  の金属間化合物であると考えられる。本研究では、これらの金属間化合物ではなく合金部分に着目するため、定量分析などは行わないこととした。次に、Table 1 に OES による分析結果を示す。この結果からわかるように、目標とする添加元素の含有量 1.0 at% の試料を作製することはできなかった。この原因として、攪拌が十分に行われていなかったこと、母合金が不均一であった可能性が挙げられる。今後、同様の実験を行う場合、より高温 1000°C で融解することや攪拌機を使用することで、これらの課題解決につながると期待される。次に、Table 2 にビッカース硬さ試験結果を示す。これは、析出物以外の箇所でも各 4 回測定し平均値を求めたものである。硬さは Al-Ti-Zr、Al-Ti、Al-Zr の順に高かった。最後に、シミュレーションによる降伏応力と実験による硬さの比較を行った。本来であれば、引張試験をし、試料の降伏応力を求めてから比較を行いたいところではあったが、引張試験については実施できなかったため、本研究ではビッカース硬さ試験を用いることとした。また、降伏応力と硬さの関係については、各種 Al 合金において線形的な相関があることが明らかになっている。Table 1 の添加元素含有量で、シミュレーションをし、算出した降伏応力を Table 3 に示す。降伏応力は、Al-Ti-Zr、Al-Ti、Al-Zr の順に高い。このことから、順が一致している。この結果から、この 3 つの系において、定性的には本研究で開発したシミュレーションは実験結果を再現できていると考えられる。

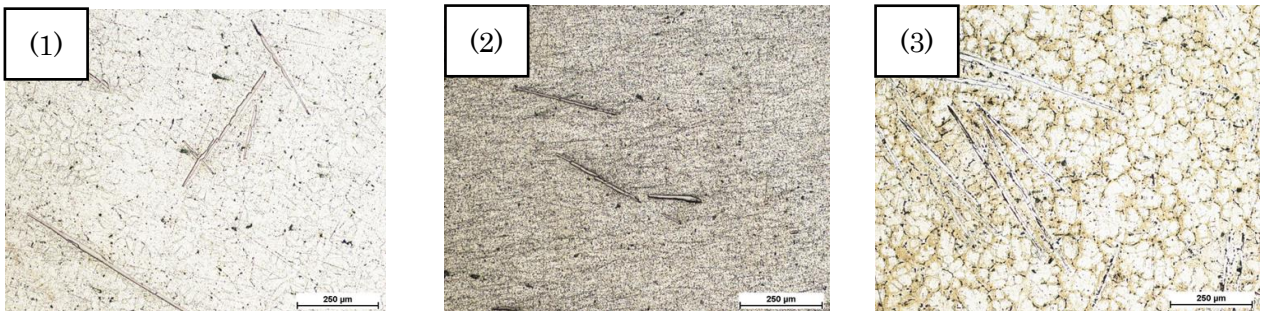


Fig. 1. 光学顕微鏡による組織観察画像、(1) Al-Ti、(2) Al-Zr、(3) Al-Ti-Zr

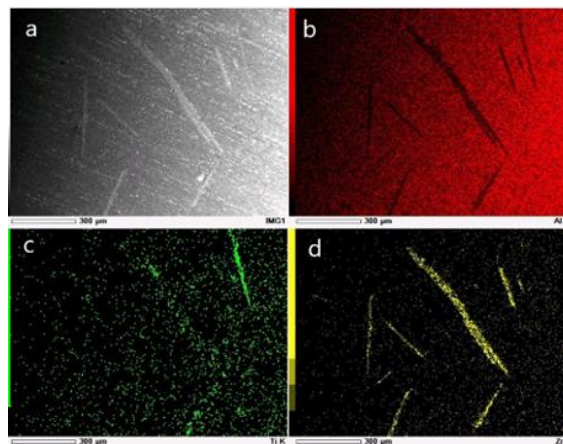


Fig. 2. Al-Zr-Ti の EDS 分析画像

Table 1. OES による分析結果 (at%)

	Al	Ti	Zr
Al-Ti	Bal.	0.617	/
Al-Zr	Bal.	/	0.200
Al-Ti-Zr	Bal.	0.320	0.429

Table 2. ビッカース硬さ試験結果

	硬さ (Hv)	変動係数
Al-Ti	22.3	5.6
Al-Zr	22.0	0.0
Al-Ti-Zr	25.0	2.8

Table 3. シミュレーションによる降伏応力

系	Al-Ti	Al-Zr	Al-Ti-Zr
降伏応力 (MPa)	150.4	116.9	203.9

## 6. まとめ

3週間という短い期間でしたが、言語や価値観の全く異なる環境に1人で身を置きに行ったことで、非常に貴重な経験をすることができました。初めてのイスラム圏滞在だったこともあり、日本と異なる文化や価値観に、これまで以上に触れることができ、自分の視野を広げることができました。他の文化・宗教の下で、一種の共同生活を送ることは、日本ではできないからです。また、自ら心を開いて、積極的にコミュニケーションすることや、努力を継続することの大切さに改めて気付きました。常に英語を用いて、研究すること・コミュニケーションを取ったことで、自分の英語力に対して自信がつけました。

## 7. 謝辞

本研究において、ご指導して下さった Aditianto Ramelan 先生、Asep Ridwan 先生、研究面のみならず現地生活の手助けをして頂いた ifa さん、Sharon 君、Ully さんをはじめとする研究室の学生の方々には、厚く御礼申し上げます。また、このような貴重な機会を与えて頂いた佐々木元教授、杉尾健次郎准教授に厚く御礼申し上げます。最後に、海外共同研究プログラムをサポートして下さいました実行委員会の諸先生方、学生支援グループ国際事業担当の皆様深く御礼申し上げます。