



## 結晶塑性解析と出会って

木更津工業高等専門学校電子制御工学科；助教  
奥山 彫夢

### 1. はじめに

私は、北見工業大学の橋鉄也先生の下で、学部4年、修士課程、博士課程の6年間、有限要素法結晶塑性解析を学び、2017年3月に博士(工学)の学位を取得しました。2017年4月から九州大学の田中將己先生の研究室で学術研究員として2年間研究をさせていただき、2019年4月から木更津工業高等専門学校電子制御工学科の助教として勤務しております。この度は、「はばたく」への寄稿という貴重な機会を頂きましたので、これまでに力を入れてきた分散強化合金に関する研究について紹介させていただきます。

### 2. 有限要素法結晶塑性解析との出会い

子供のころパリ・ダカールラリーのドキュメンタリーや映画「紅の豚」が好きだった私は、自動車や航空機などの乗り物を作る仕事がしたいと思い、北見工業大学の機械システム工学科に進学しました。学部生の時、授業で汎用有限要素法解析ソフトを使った際に、これからの時代は計算力学が重要だと思い、橋先生の計算力学研究室を希望して配属されました。研究室の名前だけにしか着目しておらず、研究内容を把握していなかった私は、授業で見た自動車の衝突解析画像などを思い描きながら研究室の門を叩きました。そこで頂いた卒業研究のテーマは「第2相粒子を含む材料中の転位蓄積と加工硬化の結晶塑性解析」というもので、機械工学科では聞きなれない転位と結晶塑性解析という言葉に出会いました。

### 3. 分散強化合金に関する研究

第2相粒子を含む材料、すなわち母相結晶中に第2相粒子が分散する分散強化合金は、母相のすべり変形を担う運動転位に対して分散する硬質な第2相粒子が抵抗となることで高い降伏応力と加工硬化率を示し、優れた力学特性を有します。そのような中、フェライト中にCu粒子が分散する軟質粒子分散鋼は、高い降伏応力を示しながら低い加工硬化率で伸びが優れていることを示す報告<sup>(1)</sup>がありました。そこで硬質粒子分散鋼と軟質粒子分散鋼の力学特性の相違について結晶塑性解析を用いて検討することが研究の目的でした。まず基本となる硬質粒子が分散した合金の力学特性を有限要素法結晶塑性解析で表現できるかというところから始めました。従来の理論では、分散強化合金が高い加工硬化率を示す要因は以下の二つであると考えられています。一つ目は、母相の運動転位が粒子の間を潜り抜けていくとき粒子周りに形成するオロワングループの応力場によって、次に来る運動転位によるすべり変形に対する抵抗が増え加工硬化する<sup>(2)</sup>ということです。また、すべり変形の難しい硬質粒子がすべり変形する母相結晶中にあると、硬質粒子近傍に高い応力が生じ、



図1 指導教員である北見工業大学の橋鉄也先生(右)、佐藤満弘先生(中)と著者(左)。2016年、北海道黒岳山頂にて。

母相で2次すべり系の活動が容易に起こります。従来の理論の二つ目は、2次すべり系の活動に伴い主すべり系に対する林転位(林立転位)が増加することで加工硬化する<sup>(3)</sup>ということです。有限要素法結晶塑性解析は、母相と第2相の弾性率とすべり変形開始応力の違いによって以下の二つを計算することができます。

- (1) 母相がすべり変形するのに対して粒子がすべり変形しないことで粒子が高い応力を担い粒子周りにはオロワングループに相当する幾何学的に必要な転位(GN転位)の分布が形成する。
- (2) 粒子近傍の母相で多重すべりが生じ林転位密度が増加する。

つまり分散強化合金の従来の加工硬化理論で考えられていることが解析結果に表れることにより、実験で得られている力学特性を簡単に再現できると考えていました。結果は、実験結果と一致する力学特性は得られませんでした。そこで何が足りないのか考えながら分散強化合金に関する研究論文を読んでいたところ、あることに気が付きました。十分に塑性変形した分散強化合金のTEM像<sup>(4)</sup>には、主すべり系の転位が多く蓄積しており、加工硬化特性に大きく寄与しているのではないかとということです。そこで分散粒子の間隔が運動転位の平均自由行程に寄与するものとして、主すべり系に蓄積する転位密度を評価したところ、実験結果とよく一致する力学特性が得られました<sup>(5)</sup>。このモデルと考え方を基本的に分散強化合金の研究を行い、現在も続けています。

### 4. おわりに

木更津高専の教員となった現在も、分散強化合金に限らず、金属材料の微視組織と力学特性や微視組織中で生ずる不均一変形に注目し、結晶塑性解析を用いて引き続き研究しております。さらに高専の特色を生かして金属材料の研究にこだわらず新しいことに挑戦していこうと試みています。

最後になりましたが、研究に関することのみならず登山などの遊びに連れて行って頂き色々なことを教えて下さった橋鉄也先生と佐藤満弘先生(図1)、上司として色々なことを教えて下さった田中將己先生、これまでにご指導・ご支援頂いた先生方、研究室の先輩・同輩・後輩・学生の皆様はこの場を借りて深く御礼申し上げます。

### 文 献

- (1) Y. Imanami, M. Murakami, N. Nakada, T. Tsuchiyama and S. Takaki: ISIJ Int., **49**(2009), 1225-1226.
- (2) J. C. Fisher, E. W. Hart and R. H. Pry: Acta Metall., **1**(1953), 336-339.
- (3) M. F. Ashby: Philos. Mag., **14**(1966), 1157-1178.
- (4) F. J. Humphreys and P. B. Hirsch: Philos. Mag., **34**(1976), 373-390.
- (5) 奥山彫夢, 橋鉄也: 鉄と鋼, **102**(2016), 396-404.  
(2019年9月27日受理)[doi:10.2320/materia.59.52]  
(連絡先: 〒292-0041 木更津市清見台 2-11-1)