



多様な顔を持つ鋼 その理解に向けて

To Understand Steels with
Diverse Performance

上野虎太郎

Kotaro Ueno

九州大学 大学院総合理工学府
総合理工学専攻 構造材料物性学教育分野
中島・光原研究室
革新的高機能構造鉄鋼材料共同研究部門
高橋・樋渡・林研究室 博士1年

URL : <http://www.asem.kyushu-u.ac.jp/~takahashi.manabu/index.html>

1 研究室

革新的高機能構造鉄鋼材料共同研究部門は、2020年4月、九州大学の産学連携強化を目的に、日本製鉄株式会社との共同研究部門として総合理工学研究院に設立されました。教員2名、学生3名（修士課程3名、私はそのうちの1人）で活動を始め、現在は、教員4名、学生7名（博士課程2名、修士課程5名）で活動しています。

先生方は日本製鉄のOBや現役の研究者であり、鉄鋼材料

やその周辺に関して非常に深い知識を持たれています。また、その中で、自身の学協会講演などの研究活動を通して、研究の難しさ、楽しさを先生方から助言いただいています。

高橋特任教授は、共同研究部門の立ち上げに伴い、日本製鉄から九州大学へ来られました。お酒と運動が大好きなとても紳士的な先生です。

学生は総合理工学府内の金属系研究室である中島・光原研究室や板倉研究室から共同研究部門へ派遣されています。「派遣」という形を取っていますが、同じ建物に研究室があり、実験や行事（スポーツ大会や懇親会（図1））を一緒に行っています。

総合理工学府は九州大学本部のある伊都キャンパス（福岡市西区・糸島市、博多駅から50分）ではなく、筑紫キャンパス（春日市・大野城市、博多駅から15分）にあります。また、2020年度まで学部を持たない大学院でした。そのため、高等専門学校（高専）専攻科や他大学の出身者、外国人留学生が多く所属しています。研究部の学生構成も、高専専攻科出身者2名、九州大学以外の大学出身者3名、外国人留学生2名です。高専や大学で機械工学や材料工学を専攻し、総合理工学府へ進んでいます。

様々な背景を持つ学生が集まることは、研究に良い影響を与えていると感じています。大学院入学前にそれぞれの学生が学んできたことが異なるので、お互いに補完することができ、研究室全体として幅広い知識や技術を持つことができます。各自の知識や技術を活かして、研究に必要なソフトウェ



図1 (a) (b) 革新的高機能構造鉄鋼材料共同研究部門 ((a) 前列向かって右端が著者), (c) 中島・光原研究室との懇親会 (Online version in color.)

アや治具を構想し、設計・製作しています。

研究室に入る前から鉄鋼材料について研究してきた人は少数ですので、修士1年生の前期の間に研究室で徹底的に鉄鋼材料の基礎について勉強会を行います。材料工学分野の出身者は良い復習の機会になりますし、材料を使う側として学んできた機械工学分野の出身者は鉄鋼材料の基礎を身に付けることができます。また、修士2年と博士の学生は年2回以上、学会発表をすることを目標にするのも研究室の特徴です。修士2年の学生は、秋の学会発表が終わるとすぐに卒業直前の春の学会発表の準備に取り掛からなければなりません。並行して修士論文の作成や試問会の準備をする必要があり、卒業旅行にも行きたいので忙しくはありますが、短期的な目標ができることで集中して研究を進めることができます。

2 研究内容

本誌の読者の方へは釈迦に説法になり恐縮ですが少しばかり、構造用鉄鋼材料についてお話しします。鉄鋼材料は建物や橋梁、輸送機器、生産機械などの構造材料として幅広く使用されています。世の中で使用されている金属の95%は鉄鋼材料と言われることもあり、日常目にする金属のほとんどが鉄鋼材料であると言っても過言ではありません。

なぜ鉄鋼材料はこれほど多く利用されているのでしょうか。非常に高い強度を持つ工具類や金型、我々の生活を支える橋梁やビルの骨格構造、車や家電などの日用品、モータコアやロータなどの機能部品など、これらに必要な特性は、鋼のマイクロ組織に強く依存し、様々な加工熱処理技術で作り分けられています。鋼は鉄と炭素の合金ですが、室温での炭素の存在形態や鉄中の様々な欠陥を制御することで多様なミ

クロ組織を作ることができます。製造時の冷却速度を少し変えるだけで、全く違ったマイクロ組織、すなわち全く違った機械特性が得られることが鉄鋼材料の魅力です。

このように非常に大きな多様性を持つ鉄鋼材料ですが、材料というものはそれ単体では実社会で役に立つことができません。材料を加工して、形状を付与し、建築物や機械として完成することで初めて役に立つのです。良い建築物や機械を作るためには加工や組み合わせに適した材料が必要です。

日本の鉄鋼材料は、自動車産業の発展と共に進歩したともいわれます。自動車では、ボディ、足回り、エンジン・パワートレインなど至るところに鉄鋼材料が使用されています。各部品に求められる性能はそれぞれ異なるため、使用される鉄鋼材料の特性も様々です。自動車のボディを作る自動車用鋼板を考えると、外板には複雑形状に加工するための「柔らかさ」や「高延性」が、骨格材や補強材には自動車事故時に乗員を守る「衝突エネルギー吸収能」や「高強度」が要求されます。また、パワートレイン部品には塑性変形しないための「壊れにくさ」と「超高強度」が期待されます。鉄鋼材料の研究者はこれらの特性を達成するための最適なマイクロ組織制御を検討しています。

鉄鋼材料で強度が最も高いマイクロ組織はマルテンサイトです。マルテンサイトは元々、刃物や工具、歯車や軸受などの変形を許さないもののマイクロ組織として主に利用されてきました。しかし、その後、自動車車体に使用される鋼板の強度を上昇させ、衝突安全性を向上するためにも、マルテンサイトが積極的に使われるようになりました。まず、強度の高いマルテンサイトを軟質なフェライト中に分散させた dual phase (DP) 鋼が開発され、実用化されました。DP鋼では、

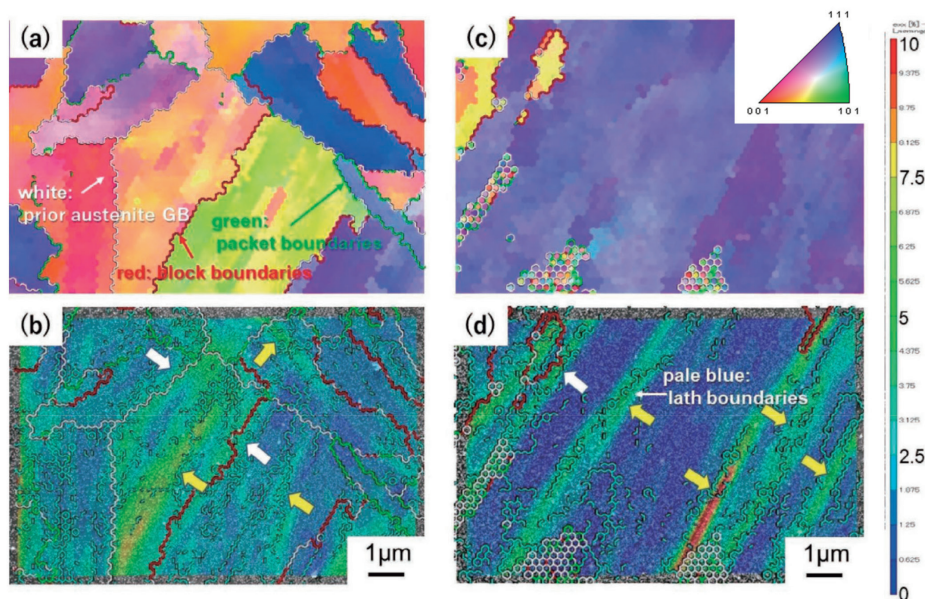


図2 EBSD法による結晶方位・境界マップとDIC法によるひずみ分布、(a) 様々な結晶方位を含む領域の結晶方位・境界マップ、(b) (a) のひずみ分布、(c) 比較的結晶方位が同じ領域の結晶方位・境界マップ、(d) (c) のひずみ分布 (Online version in color.)

軟質なフェライトが主な変形を担っていると考え、強度はマルテンサイトの分率で整理されていました。さらに、近年では、1.5GPaから2.0GPaほどの強度を持つフルマルテンサイトの自動車用鋼板が実用化され、超高強度部品に使用されています。

自動車用鋼板では、プレス加工や衝突事故といった塑性変形領域での事象を考慮することが重要です。この様な超高強度組織の塑性変形挙動の解明が私たちの研究課題の1つです。初級的な材料力学では、材料のマイクロ組織は考慮せず、材料に力を加えると、サン・ブナンの原理から材料内部では均一に応力が分布し、ヤング率に応じて均一に弾性ひずみが生じるとして扱います。また、一般的に機械構造は弾性変形領域で使用するため、塑性変形領域を考慮することはありません。

しかし、図2¹⁾のように、実際の塑性変形挙動をデジタル画像相関 (DIC) 法により、マイクロに観察すると、マイクロ組織に対応してひずみが分布し、不均一に変形していることがわかります。さらに、マクロなDICでもひずみは不均一であることが確認されています。このようなひずみの不均一性とマクロな塑性変形能の関係はまだ十分に理解されていません。

自動車用鋼板の更なる発展には、塑性変形領域におけるマイクロ組織レベルでの不均一な変形が生じるメカニズムを理解することが欠かせません。そのために、研究室では、添加元素や熱処理を変えることで様々なマイクロ組織を持つ鋼を作り、それらに対して、マイクロ組織観察やマルチスケールでの力学試験を行っています。さらにDIC法や後方散乱電子回折 (EBSD) 法で得られる膨大なピクセルごとのデータをデータ

サイエンスにより解析し、これまで埋もれていた情報を抽出することに挑戦しています。

3 まとめ

この度、ふえらむ上で研究室紹介の機会を頂き感謝申し上げます。

鉄鋼材料のマイクロ組織や力学特性に関する研究は何十年も前に終わったことだと思われる方も多いかもしれません。高専の機械工学科出身の私も研究室に入るまでそう思っていました。しかし、実際に研究を進めていくと容易に説明できない事象が次々に起こり、鉄鋼材料について十分に理解できていないことに気がきます。

日本は高性能で高品質な鉄鋼材料を発明し、製造することができる数少ない国の1つです。この強みを今後も維持向上させるために、鉄鋼材料の本質を理解するための研究を続けていきます。

紙面の都合で割愛しました詳細については研究室ホームページ <http://www.asem.kyushu-u.ac.jp/~takahashi.manabu/index.html> をご覧ください。研究室見学などは常時、受け付けておりますので、お気軽にご連絡ください。

参考文献

- 1) K.Sakaguchi, S.Yamasaki, H.Kawata, K.Hayashi and M.Takahashi : ISIJ Int., 62 (2022) 10, 2008.

(2023年2月8日受付)

教員からひと言

日本は原料やエネルギー等のリソースを輸入し、国内で付加価値をつけて輸出することで国民生活に必要な外貨を得ています。従って“ものづくり”が国の基盤と言ってよいでしょう。様々な“ものづくり”産業が世界と競合しながら活躍していますが、差別化をしながら収益につなげるためには、扱う商品そのものに革新性が必要です。素材は最終商品に革新性を与えることのできる重要な技術の一つだと思います。鉄鋼材料は

まさにその代表と言えるでしょう。鋼の真の姿をじっくりと観察し、鋼の気持ちになってその変化を理解することで、未来の革新的な技術、日本の競争力に貢献できるものと確信します。若い人達が新しい視点で鋼の研究に取り組む姿に大いに元気づけられています。

(九州大学 大学院総合理工学研究院 高橋 学)