



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

多様性への流れの中で

In the Trend of Diversification

伏脇祐介

Yusuke Fushiwaki

JFE スチール (株)

スチール研究所 表面処理研究部

主任研究員 (課長)

1 はじめに

筆者は2002年に旧川崎製鉄(株)に入社し、技術研究所表面処理研究部門(現JFEスチール(株)スチール研究所表面処理研究部)に配属となり、約15年が経過しました。この間、旧NKKとの統合をはじめ、千葉、倉敷、福山と3地区に渡る異動を経験しましたが、約2年間の英国留学時を除き、一貫して自動車用高強度溶融亜鉛めっき鋼板の研究開発に従事してまいりました。今回、光栄にも本稿を執筆する機会を与えて頂きましたので、筆者がこれまで担当した溶融めっき分野を中心とした研究開発事例や英国留学体験などの一端を紹介させて頂き、今後の研究開発についての想いを述べさせて頂きたいと思います。

2 JFEスチールにおける研究の一例

筆者が担当している高強度溶融亜鉛めっき鋼板の開発は、近年の自動車の軽量化と衝突安全性向上というニーズの高まりから、ますます重要性を増しています¹⁾。一方、高強度鋼板の場合、高強度化および高延性化の観点から、Si、Mnをはじめとする様々な元素が添加されています²⁾。この鋼中に添加されたSiやMnなどの易酸化性元素が、溶融めっき直前の再結晶焼鈍時において選択外部酸化するため、鋼板表面に生成したSi、Mnなどを含有する選択外部酸化物が溶融亜鉛との濡れ性を低下させ、溶融亜鉛が被覆しない不めっき欠陥等が発生するという問題が知られています³⁻⁵⁾。また、亜鉛めっきと下地鋼板を合金化させる場合、選択外部酸化物が合金化反応を阻害し、表面外観を損なう問題が生じることが報告されています^{6,7)}。

選択外部酸化を低減し、高強度溶融亜鉛めっき鋼板の表面品質問題を解決する有力な手法の一つとして、Fe酸化-還元

法が提案されています^{8,9)}。これは、まず高酸素ポテンシャル雰囲気においてFeを酸化させた後、水素が存在する雰囲気において酸化鉄の表層を還元し、外方拡散するSi、Mnを酸化鉄-下地鋼板の界面においてトラップすることにより選択外部酸化を抑制し、溶融亜鉛の濡れ性及び反応性を向上させるというものです。しかしながら、Fe酸化-還元法におけるSi、Mn選択外部酸化の抑制機構について詳細に説明されている文献は少なかったため、このメカニズムを明確化することを目的に、Fe酸化-還元の各過程における選択外部酸化、内部酸化及び固溶元素の欠乏領域と拡散距離を関連づけた調査に取り組みました¹⁰⁾。

ラボ溶解したSi、Mn含有鋼の冷延材をFe酸化-還元処理した場合の表面及び断面SEM観察結果を、Fe酸化を行わない場合と比較しながら図1に示します¹¹⁾。Fe酸化を行わない場合に比べ、Fe酸化を行った場合は、選択外部酸化物は顕著に減少し、さらに表層から1 μ m程度の鋼板中に内部酸化物

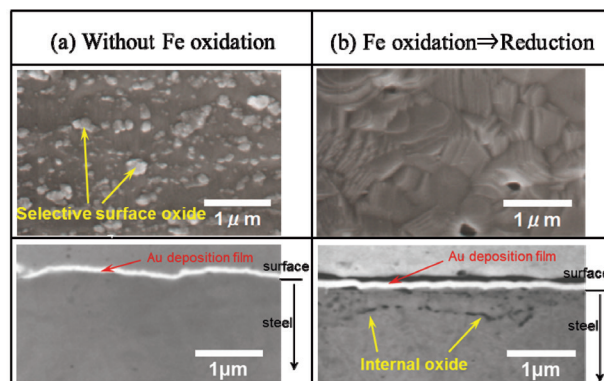


図1 0.3mass% Si-2mass% Mn鋼について、(a) Fe酸化を行わない、(b) Fe酸化を行う、各場合における還元後の表面及び断面SEM観察結果 (Fe酸化条件: 0.1vol% O₂-N₂、露点20℃の雰囲気中で650℃まで50sで加熱、還元条件: 5vol% H₂-N₂、露点-35℃の雰囲気中で650℃から800℃まで50sで昇温し、800℃で80s保持)¹¹⁾

が生成し、TEM観察やEDX分析の結果より内部酸化物の近傍では固溶Si、Mnが枯渇した欠乏層を形成することが分かりました。これらの事実から、図2の模式図に示すように、還元時に酸化鉄が表層から還元されると同時に、酸化鉄-下地鋼板界面において鋼中Si、Mnが内部酸化し、この内部酸化物の近傍では固溶Si、Mnの欠乏層が形成され、この欠乏層の厚みがSi、Mnの拡散距離に比べ大きくなるため、酸化鉄の還元が完了した後においても選択外部酸化が抑制されるこ

とが明らかになりました¹⁰⁾。

なお、本検討に関連した基礎研究については、国際学会における発表¹²⁾をはじめ、企業幹事として参画させていただいている「高機能溶融亜鉛めっき皮膜創成とナノ解析」研究会（主査：東北大学教授 貝沼先生）において、大学の先生方や鉄鋼他社の研究者の方々と議論する機会に恵まれています。今後は、トップレベルにある日本の溶融めっき技術のさらなる向上に少しでも貢献しながら、世界に情報発信し活躍できる表面処理研究者になれるよう、精進してまいりたいと思います。

3 英国マンチェスター大学における研究生活

筆者は2013年12月より約2年間、英国のマンチェスター大学（University of Manchester, UoM）に留学するという貴重な機会を得ました。入社以来続けてきた溶融亜鉛めっき鋼板の開発から初めて離れ、実用化を意識しない基礎的でよりアカデミックな研究に没頭できる、企業研究者としてはなかなか得難い機会でもありました。そこでの研究生活の一端をご紹介します。

マンチェスターは英国第二の都市圏を形成していますが、市域人口は50万人程度の街です。産業革命以後、大英帝国の繁栄に貢献する重要都市の一つでしたが、戦後は衰退し荒廃していた時期もあったようです。しかし、最近はメディアや金融業の集積で人口も増加し、またポップカルチャーの発信基地として若者が集まり、大変活気のある街になってい

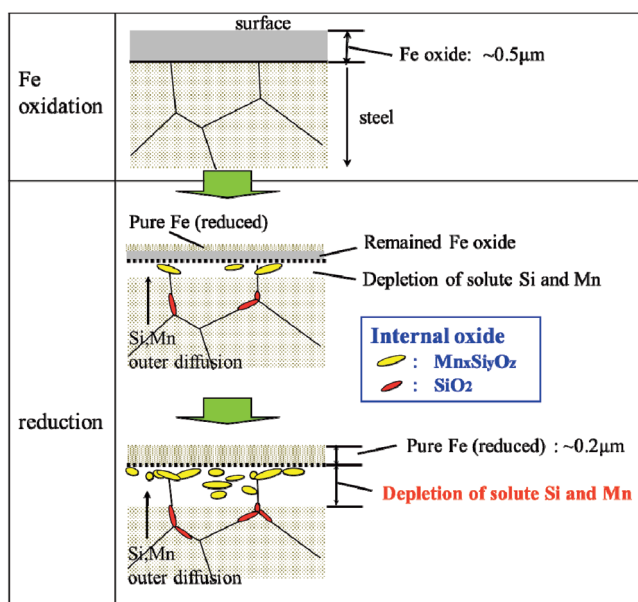


図2 Fe酸化-還元法におけるSi、Mn選択外部酸化の抑制機構¹⁰⁾



図3 (上) マンチェスター大学の外観、(下) 学内の様子

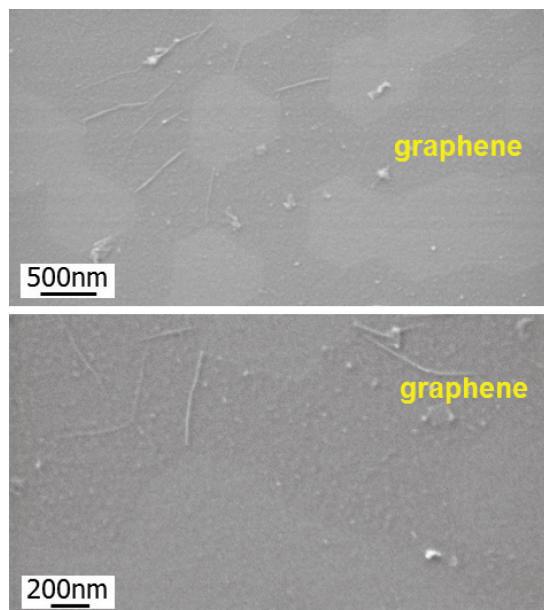


図4 Si基板上に成膜させたグラフェンのSEM観察結果の一例

ます。地元の英語は少し訛りがありますが、人々はフレンドリーで、そのホスピタリティーに心打たれることもよくあります。また、ロケーションとしてはブリテン島のほぼ中央に位置するため、ロンドン、エジンバラなどの主な都市をはじめ、コッツウォルズ、湖水地方などの主な観光地はいずれも日帰りすることも可能です。さらに、市街からほど近いマンチェスター空港発着のLCCが充実しているため、欧州各都市に格安で気軽にアクセスできることも大きな魅力の一つとなっています。おかげ様でこれまで数多くの国々を訪問することができました。

1824年創設のUoM (図3) はマンチェスターの市街地に位置し、学生約4万人を擁する英国有数の総合大学で、これまで25人のノーベル賞受賞者を輩出しています。このUoMのSchool of Materialsで筆者はPhD学生として在籍し、2010年にノーベル物理学賞の対象となったグラフェン (図4) と鉄鋼材料との界面相互作用に関し、ラマン分光法を用いて調査するという基礎研究に取り組みました。また、教官やポスドクの方々は権威主義的なところは全く無く、率直で活発なコミュニケーションが展開されていました (図5)。

一方、研究テーマは渡航前に大きくは決まっていたのですが、渡航後の大学諸手続きや研究の立上げ (実験計画立案、試料、装置の準備など) はほぼゼロから全て自分で何とかしなければなりません。筆者の場合、留学にあたっては従来の延長線上ではダメと思い、コネなどは一切無しで新しい分野に飛び込んだということもあり、相応の覚悟はしていましたが、渡航直後の苦労は想像以上のものでした。とりわけこの時は、これまで日本でいかに恵まれた環境で研究することが



図5 英国東部の製鉄所見学会にて (前列左から3人目が筆者)

できていたことか、と思い知らされました。しかしながら、根気よく会話を重ね、議論や交渉をしながら人間関係を築いていくうちに、時間はかかりましたが何とか研究を軌道に乗せることができ、データを導出できるようになりました。ゼロから「自考、自語、自行」することを身をもって経験でき、その重要性を再認識できる大変貴重な経験となりました。

4 海外研究者との交流を通して

よく耳にする話かもしれませんが、海外に身を置くことは自己相対化の好機だと改めて感じます。学内では筆者より5年以上若いポスドクや学生達とよく会話をしましたが、彼らはそれぞれ非常に自立していて、群れることもなく個人ペースで活動をしています。また若いですが自分の意見を明確に主張し、かつ他人の話は最後までしっかり聞き、日頃から活発に議論をします。さらに研究についてのみならず、政治、経済、歴史をはじめ、社会問題などについても非常に興味を持っています。Language exchangeの時には、英国のEU離脱、スコットランドの独立問題や第二次世界大戦勃発の背景などについての議論が白熱したこともありました。筆者の所感としては、英国では、自己主張を控え周囲の意見に合わせて行動するというケースは比較的少なく、色々な意味でのマイノリティが仲間外れにされることも、あまりないように感じました。これは多くの移民や様々な言語、宗教、文化を受け入れ、多様性を違和感なく、当然のものとして受け入れるスタイルが根付いているからであり、さらにそうであるがゆえに、世界中から研究者が集まってくるのだと思います。

欧米から学ぶべきものは多いとは思いますが、逆に日本の良さを痛感するケースも数多くありました。世界最高水準の技術は言うまでもありませんが、文化、歴史、オモテナシの心遣いなど、世界に誇れることは多いと思います。よって日

本に興味を持つ研究者も多く、「日本に行きたい、日本にいい勤め先はないか？」などとよく言われました。また最近インターネットなどで日本のアニメやドラマを見て日本に興味を持つ学生も多く、欧米人だけでなく中国人や韓国人の学生も、それで日本に親近感や憧れを持つことが多いそうです。しかしながら、現実には言語の問題と保守的と思われる雰囲気の原因で、「日本には行きたいが、二の足を踏んでしまう」ことが多いようです。「日本では仲間外れにされたり、出る杭は打たれるようなこともあると聞く」と言う人もいました。それを聞くといつも残念な気持ちになりました。真の意味でのグローバル化を目指すためには、自分の意見を発信し、他人の意見も尊重しながら、多様性を自然なものとして受け入れる雰囲気を作っていくことが必要であり、筆者もそうなりたいと強く感じる今日この頃です。

5 おわりに

英国留学を終え、帰国後は高強度溶融亜鉛めっき鋼板の開発に復帰しましたが、原理・原則に基づいた研究を継続しつつも、「前例がないから…」という言い訳をせず、「前例がないからこそ」新たなことにチャレンジし、新たな技術の探究を進めていきたいと思っています。時の軍師・黒田官兵衛の言葉に、「草履片々、木履片々」というものがあります。「人は慌てた場合、片方の足に草履、もう一方は木履を履くという、とんでもないことをしでかすものだが、それでも人は前に進まなければならない瞬間がある」ということを示唆しています。片足に草履、もう一方に木履という分別を欠いた姿勢で走るように既成概念や常識にとらわれず、物事の潮目を読んで考え行動し、時には博打を打つべきときがある、という意識を常に抱きながら、日々精進してまいりたいと思います。

最後になりましたが、これまでご指導いただきました諸先生方、先輩方、ならびに現在ご支援いただいております関係者の方々にこの場をお借りしまして、改めて厚く御礼申し上げます。また今後とも引き続き、ご指導、ご鞭撻のほどをよろしくお願い申し上げます。

参考文献

- 1) 杉山隆司：塑性と加工, 46 (2005) 534, 8.
- 2) 大和康二：第138・139回西山記念技術講座, 溶融めっき鋼板の製造技術の進歩, 日本鉄鋼協会編, (1994), 89.
- 3) 広瀬祐輔, 戸川博, 住谷次郎：鉄と鋼, 68 (1982), 665.
- 4) 西本昭彦, 稲垣淳一, 中岡一秀：鉄と鋼, 68 (1982), 1404.
- 5) 加藤千昭, 関根輝幸, 海野茂, 山下孝子, 望月一雄, 増田正純：CAMP-ISIJ, 7 (1994), 1511.
- 6) 櫻井理孝, 森田正哉, 稲垣淳一, 山下正明：CAMP-ISIJ, 9 (1996), 513.
- 7) 藤林亘江, 飛山洋一, 京野一章：CAMP-ISIJ, 10 (1997), 609.
- 8) 広瀬祐輔, 戸川博, 住谷次郎：鉄と鋼, 68 (1982), 2551.
- 9) 小松厚志, 安藤敦司, 橘高敏晴：日新製鋼技報, 77 (1998), 1.
- 10) 伏脇祐介, 長滝康伸, 永野英樹, 谷本亘, 杉本芳春：鉄と鋼, 99 (2013), 221.
- 11) 伏脇祐介, 鈴木善継, 杉本芳春：CAMP-ISIJ, 23 (2010), 1186.
- 12) 例えば, Y.Fushiwaki, Y.Nagataki, H.Nagano, W.Tanimoto and Y.Sugimoto：Galvatech'13, (2013), 188.

(2017年5月19日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

Professor of Polymer Science and Technology, National Graphene Institute and School of Materials, University of Manchester, UK

Robert J Young

It is my great pleasure to be able to provide some comments for Ferrum upon Yusuke Fushiwaki who is presently a research student working upon the structure and properties of graphene-coated steel products. He is undertaking this research project in addition to his duties and a senior research and manager in the coated products research department of the JFE Steel Corporation. Needless to say this is a major undertaking and it needs considerable hard work and dedication on his behalf.

Graphene is sometime called the “wonder material of the 21st century” and has been the centre of attention over the past few years due to its unique properties and seemingly endless possibilities for utilization. In its purest form graphene is a one-atom thick sheet of carbon atoms that has unique physical properties. Seven years after the award of the Nobel Prize in Physics to my colleagues in Manchester and thirteen years since the first report of freestanding, monolayer graphene, the worldwide interest in this wonder material is still increasing. The reason for this is mainly the multi-functionality of this 2D-atomic crystal that combines unique properties such as high thermal conductivity, high electron mobility, large surface area, high modulus of elasticity and good electrical conductivity, which make it attractive for use in a vast

number of applications.

Yusuke first came to Manchester in 2013 and spent 2 years here full-time, first as a visitor and then a PhD student. He is continuing his PhD studies in Japan part-time and has made a number of return visits to Manchester to undertake specialised measurements. The aim of his project is to look into ways in which graphene can be used in coatings upon steel. It became very clear that once he arrived in Manchester he had a considerable talent to undertake research and he soon developed novel ways to coat steel with graphene. He found that the coated materials can have interesting and unusual properties. He was able to rapidly master new experimental techniques, such as Raman spectroscopy, that are rarely used in steel research and showed a considerable capacity for hard and careful work. As a measure of the quality of his research he has already presented his work at conferences and published a research paper. A patent has also been filed based upon some of his findings. He is continuing to find interesting and unexpected properties for his graphene-coated steels and I am great enjoying collaborating with him. I am sure that he has an exciting career ahead of him and that he will continue to make major contributions to the both Japanese steel industry and research upon steel worldwide.

POSCO 技術大学 鉄鋼融合科 教授

崔 鎮源

今 回ご縁あって、表面処理分野で活躍している伏脇さんへのエールをお引き受けすることになりました。伏脇さんとの出会いは、2000年に私が大阪大学でvisiting researcherとして鉄鋼材料の高温酸化について共同研究をしていた時です。当時、伏脇さんはその研究室の学生でしたが、しっかりと自分の意見を持った、ぶれない人という印象を持ちました。それは今も変わらないですね。

私は帰国後、POSCOで高強度溶融亜鉛めっき鋼板の選択外部酸化によるめっき欠陥の低減に関する研究を担当することになりましたが、時を同じくして伏脇さんも川崎製鉄（現JFEスチール）で、偶然にも同じ分野の研究を担当することになり、そのため学会などでもお会いし、議論する機会がしばしばありました。

高強度溶融亜鉛めっき鋼板は最近、自動車の防錆性向上はもとより、軽量化および衝突安全性向上という観点から、その重要性が増しています。一方で、良好な機械特性を得るために鋼中添加されたSi、Mnなどの選択外

部酸化物が、溶融亜鉛の濡れ性を低下させ深刻な表面品質問題を引き起こす問題があります。そこで各国の鉄鋼メーカーは、このような表面品質問題を解決するための技術を競って開発してきましたが、その中で提案されている有望な技術の一つがFe酸化-還元法です。

本稿に紹介されているように伏脇さんは、このFe酸化-還元法を活用して、選択外部酸化を抑制する効率的な方法を見出し、高強度溶融亜鉛めっき鋼板の製造技術向上に貢献しています。また、海外留学の機会を得て、次世代の夢のナノ材料といわれるgrapheneと鉄鋼材料との相互作用に関するアカデミックな基礎研究を行うという、貴重な経験をしました。この経験を活かして、これからは既成概念にとらわれない新しい考え方を取り入れながら、新しいことにどしどしチャレンジしていった下さい。日本を代表する表面処理研究者として成長され、世界に通用する鉄鋼研究者として活躍されることを、大いに期待していますよ。