じょうほう通

トロント大学における摩擦攪拌接合研究*

柴 柳 敏 哉**

Research Activity of Friction Stir Welding at University of Toronto*

by SHIBAYANAGI Toshiya**

キーワード

摩擦攪拌接合, トロント大学, 温度測定, 流動挙動, ひずみ速度

はじめに

平成19年8月から一年間の契約でカナダのトロント大学応用理工学部材料科学工学科にて客員研究員として摩擦攪拌スポット接合の研究に従事しております。受け入れ先はT. H. North教授（以下ノース先生と記します）です。ノース先生については日本ではよく知られていることでしょうかから詳細は省きますが、現在摩擦攪拌接合（FSW）の基礎研究に精力的に取り組んでおられる研究者です。今回、溶接学会より当地での研究動向について寄稿する機会を与えていただきましたので、私が経験したことをベースにしてトロント大学から眺めたFSWについて綴ってまいります。本記事を読んでトロントに留学したような気分になっていただければ幸いです。

トロント観光案内

トロント（Toronto）市はオンタリオ州の州都で、北米大陸五大湖の一つであるオンタリオ湖の畔に位置する大都市です。カナダはケベック州のようにフランス系の地域がありますが、オンタリオ州は英国系（Upper Canadaと言うそうです）の地域になります。名前の由来は先住民のヒューロン族の言葉で、その意味するところは「人が集まる場所」ということだそうです。この言葉の通り、市の人口（約250万人）の半分は非英国系で、街中を歩いていると様々な国の出身者を目にしますし、多様な言語と文化を日常的に感じることができる特異な街でもあります。共通言語はもちろん英語で、抑揚のない

日本語英語を含めていろんな訛りの英語が飛び交っています。

トロントに名所はありません。ちょっと言い過ぎかもしれませんが、ここはナイアガラの滝を目当てに集まる観光客にとっての中継地点に過ぎないように思います。市内観光バスに全部乗りましたが、無理矢理名所にしてしまっているような印象を受けます。強いて言えば高さが553.33mあるCNタワーが見所でしょうか。

ダウンタウンは公共交通機関が発達していて、ほとんどのメインストリートに路面電車あるいは地下鉄やバスが通っていて移動手段に事欠くことはありませんし、広

CNタワーとロジャースセンター

*原稿受付 平成20年3月5日

**正 員 大阪大学 接合科学研究所 Member, Joining and Welding Research Institute, Osaka University

ダウントウン街角風景

大なショッピングモールに連結している地下街もあるので街をゆっくりと楽しむことができます。多民族が同居する街ですので、中華街、韓国街などそれぞれのコミュニティが発達しており、各国の文物に触れ、独特の料理を楽しむことができます。日本人街はありませんが、市内のあちこちで Sushi を見かけます。

トロントでは9月中頃から朝夕の寒さを感じるようになります。4月中頃までは寒さ対策を必要とします。極寒期は1月末から2月中頃で、太陽の恵みを楽しむ期間は一年のうちで5ヶ月ほどしかありません。こちらにおいてになるのであれば5月から9月まで、紅葉を楽しみたいのであれば防寒具をもって10月末までがシーズンでしょう。

トロント大学

ダウントウンのほぼ中心部に近いところにこの大学があります。1827年創立のキングスカレッジを源流とし、現在3つのキャンパスを持つカナダで最高レベルの大学です。図書館の蔵書量は北米地区で第3位を誇り、インシュリンが発見されたことでも有名で、これまでに8人のノーベル賞受賞者を輩出しています。最近発表された世界の理科系大学ランキングでは11位となっており、そのアクティビティーの高さが伺われます（ちなみに東京大学は9位）。

キャンパスは広々としており、英国のケンブリッジ大学に似た様式の建物や中庭も見受けられます。ここでも様々な国籍の人たちに出会います。学生寮や保育施設なども整備されていますし、レストランやカフェテリアがたくさんあって厚生施設は一定水準にあるようです。教授だけが利用できる会員制のレストランもあります。キャンパス内で映画撮影に出くわしたことがあります。米軍とニューヨーク市警察の格好をした俳優さんたちが走り回っていました。ニューヨークを舞台にした映画で、トロント大学や市内の様子をそうとは知らずに見ていることがあるのかもしれません。

材料科学工学科は College 通りに面した地上3階地下1階の建物内にあり、化学工学科やコンピューターサイエンス系の学科と同居しています。教育には熱心で、木曜日の昼休み時間に大学院生が教員や同僚の前で各自の

トロント大学University College

トロント大学材料科学工学科

研究成果について報告する場がもたれています。全員出席で、教授たちは発表内容について採点をして、コメントを発表者に渡しています。卒業研究成果を含めて学部成績が上位10%以内にあるものが大学院進学資格を手にするそうで、競争はかなり厳しいようです。

各研究者が獲得する研究費の中で高く位置づけられているのが NSERC (the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada) からの助成金で、審査が厳しく、3年ごとにその期間の研究成果を報告して評価を受けて、それに合格しないと新規採択を逃すという仕組みになっているようです。これを逃すと経済的にもそうですが、学者としての地位に傷が付くらしくてかなり神経質になっているようです。

トロントマフィア

別に非合法的な活動を行っているわけではありません。ノース先生が面白半分にならうと称しているだけなのですが、彼を中心として気脈を通ずるもの同士が互いに非常に緩い結びつきの関係を保ちながら時には共同研究につながるような情報交換や、あるいは国際シンポジウムを手弁当にて世界各地で開催するなどの学術的な活動を続けてきています。彼の研究グループにはこれまでに日本からは私を含めて9人が参加してきています。溶接学会年次大会などで読者の皆様の横に座っている人がもしかした

トロントマフィアと筆者（一般人）

らトロントマフィアにつながる研究者かもしれません。それでは、ノース先生の視点から眺めた摩擦攪拌接合研究についてお話を進めてまいりましょう。

My dog can do that!

大阪弁に翻訳すると、「そんなもん誰でもできるで」となります。こちらで仕事を始めて間もない頃、よく耳にしました。明確かつ戦略的な目的もなくただ接合条件を種々変えて強度測定や組織観察を繰り返している類の論文を見ると決まってこの台詞が出てきます。これは彼自身が強く自分に戒めていることであって、他者に向けられている言葉ではないように感じています。その厳しい姿勢に触発されて周囲のものが物事の本質に迫る問題提起をするようになることを実は心の中で願っているわけです。

こちらでは毎週月曜日の朝9時半から教授室にて打ち合わせ会議があります。ノース先生も含めてそれぞれの進捗状況について意見交換や新テーマ発掘の議論をします。ここでもノース節が炸裂します。「最初にあるべきものはidea, 次にquestionそしてtestです。君のゲームプランは何だね？」毎日議論、毎日論文、毎日が新しい提案、刺激満点で楽しいのですが、疲れてしまうこともたまにあります。

トロント大学における FSW 研究 ーノース教授の野望ー

基本的でポイントとなる考え方を誰よりも先に提案して逐次実証して行き、それをもって対象とする現象を解明する競争を制する、彼は囲碁の定石を引き合いに説明してくれますが、これがノース教授の戦略です。彼が発表してきている論文を読むとアイデアの検証過程をたどることができましよう。

「摩擦攪拌接合は固相状態でプロセスが進行する」、これは嘘です。というのが彼の FSW 研究の基本的な考えです。合金によりますが、液相が出現する条件とその原因ならびにそれが接合にどう影響するのかがほぼ特定されています。「液相なんて本接合法において考慮する意味な

んかないんだよ」とおっしゃる前に今一度、学術的な視点で現象をご覧ください。

もともとは、この新規な接合現象がどういう原理原則をもって理解されるべきなのかという素朴な問題提起から彼の研究がスタートしていて、異材接合を利用して塑性流動挙動の実験事実を得て、それをベースに数理モデルを構築し、流動挙動のイメージを確立しました。次に温度測定です。熱電対を装填する位置を工夫したツールを考案して、接合時のツールと試料の接触面の温度を可能な限り正確に測定できるようになっています。そして、歪み速度の推定です。これは動的再結晶現象であることをベースにしてその現象におけるひずみ速度式を導出することに成功して、種々の材料についての接合中のひずみ速度を算出してきています。非常に大きなひずみ速度であることが見いだされていますし、接合条件によってはツールからのトルクが素材に伝わりにくくなるといったスリップ現象が発現することも発見されています。その材料組織学的な解釈については未解明の部分が残されていますが、これについても本記事が読者の皆様に届けられる頃には見通しの良い「ゲームプラン」が策定されてしまっていることでしょう。“Toshiya, Game Over! I win, you lose!”というわけです。

ごくごく普通の高温変形の実験をするとしましょう。まず何を準備なさいますか？温度測定システム、変形応力測定システムの二つは現在、当たり前前に準備されることですよ。FSW 研究で両者はどうなっていますか。まともに温度を測っていますか？トルクは？ひずみ速度は？「彼らの温度測定は全部間違っている。」と強い調子で主張されますが、これは「みなさん、もう一度原点に戻って、きちんと現象を理解しませんか」というメッセージとして受け止めていただきたいと思います。応力やひずみ速度といった基本的な力学的情報の測定法についても今一度考えてみる価値はあると思います。こちらでは、スポット接合を主として行う関係上、XYZ 各軸についての軸荷重とトルク値（合計6軸）を一つのロードセルで測定しています。この種のロードセルをまずは配備して、正確な情報を取得するシステムを構築することから FSW 研究の精密化が具現化されると感じています。

新しい材料の接合に成功したというトピックスはその価値が否定されているわけではありません。問題は、その実験により何を解決したいのかということにあります。トロント大学は高い学問的ステータスを世界に誇ります。そこでは「ちょっとやってみました」という類の研究は評価されません。現在、カナダではノース先生のもとで修行をした研究者がいくつかの大学で教授あるいは准教授として活躍しています。彼らはノース哲学の遺伝子を受け継いでいて、さらに新しい観点で FSW 研究や他の溶接研究に従事しています。彼らは brain power を重要視していて、マンパワーに依存する研究は視野に入れていません。日本の大学ほど多くの学生・院生をかかえられないことが根本的な理由なのですが、かえってそのことが独特の哲学を生み出すことに結実しています。

トロント大学においても、日本で現在進められているような FSW 研究は潜在的な課題として、あるいは一部実

行前段階として、位置づけられています。それらをここで紹介することは、未発表のアイデアですので、お許しください。

「日本の大学の先生方は忙しすぎて脳細胞が疲弊しきっている、しかも安月給である。」というのが彼の見立てです。日本人の観測・測定技術の高さは非常に高く評価してくれていますが、それはここではあまり必要とされません。自然現象に対する透徹した洞察力が本来的に求められます。日本的な研究室スタイルに加えてトロント流の視点を上手に加味することで我が国での接合研究がさらに多様に発展していくチャンスを得ると感じています。

おわりに

20年以上も前のことですが、大学院生であった頃に結晶粒界の虜になり粒界一筋と心に決めた時期がありました。その当時、トロント大学の K. T. Aust 教授といえ

超一流の研究者として世界中に知られておりまして、私の憧れの先生の一人であり、この大学は私にとっては聖地の一つでした。奇しくも今その場に自分がいて、テーマは違いますが学術研究に携わっていることに不思議な巡り合わせを感じます。また、当地での研究の機会を与えて下さりました池内建二先生、日本からの救援物資輸送にお力添えをいただいております高橋 誠先生ならびに池内研究室の皆様方には心より感謝を申し上げます。

摩擦攪拌接合研究は日進月歩の展開を続けていて、どの方向が今後ホットなテーマに結びついていくかを正しく予見するのは困難なように思います。トロント大学での考え方を通して眺めると、対象とする素材の目新しさや表面的な特徴に目を奪われて本質を見逃してはならないということになりましょう。この接合技術はいずれ重要な転換点を迎えるように感じています。その時に生き残る研究はなんでしょう、Idea first! ではないでしょうか。さらに詳しいことをお聞きになりたい方はお近くのトロントマフィアまでお気軽に。