



左より岩井 善郎氏、大久保編集委員長

人・モノを潤すトライボロジストとして

岩井 善郎 氏 (産業機械工学科 S47 年卒業)

はじめに

‘プロジェクトX・福井大学版’は、「母校の卒業生の中に偉大な仕事を成し遂げた人がいることを知り、母校に誇りと自信を持っていただきたい。特に若い卒業生に元気の出る話、心に勇気と感動を与える話を残したい」という願いから、平成 15 (2003) 年発行の工業会誌第 54 号よりスタートしました。

今回は福井大学理事 (研究・産学・社会貢献担当)・副学長の岩井 善郎氏にご登場いただきました。

岩井氏は昭和 47 年 3 月に福井大学工学部産業機械工学科を卒業後、京都大学大学院工学研究科博士課程を単位取得退学し、昭和 53 年 3 月に福井大学産業機械工学科の教員に赴任、平成 24 年には工学部長・工学研究科長、平成 25 年からは理事・副学長を務められています。

現在の国立大学は国の厳しい財政事情に伴う運営交付金の削減、少子化、それらに起因する大学間競争の激化など、年々厳しい状況のなか理事・副学長として活躍されています。

また研究者としてはトライボロジー (摩擦・摩耗・潤滑) の研究に従事し、これまでに日本トライボロジー学会の副会長を、また平成 22 年には福井大学で開催された「トライボロジー会議 2010 福井」の実行委員長を務められました。是非この記事をお読みいただき、岩井氏が長年のトライボロジー研究から発見し進化させた「世界オナーワンの表面強度評価法の開発とその中で学んだ人生の糧」は、皆さまに勇気と感動を与えることは間違いないと思います。楽しみにお読みください。

(第 68 号編集委員長 大久保 貢 (福井大学アドミッションセンター教授 繊維染料学科 S58 年卒業))

今回、‘工業会プロジェクトX’に指名され大変光栄に思います。‘私の一番のプロジェクトX’は、平成27(2015)年5月30日に開催された「行われなかった卒業式を今！－昭和47年・52年卒業式－」ですが、これに関しては福井大学工業会誌第67号(2016年4月)で詳しく紹介をさせて頂きました。一方、研究面での‘プロジェクトX’は、私の長年の機械材料の摩耗・エロージョン(トライボロジー)の研究において、評価原理の発明から試験装置の商品化に至ったマイクロスラリージェットエロージョン(MSE™)材料表面強度評価法とその装置開発に関するものです。それらの道程は私の履歴書そのものでもあります。ここに至るまで本当に不思議な縁によって導かれたことを実感しています。‘MSE法開発のプロジェクトX’を、多くの偶然の出会いと併せてお話ししたいと思います。

摩耗の研究との出会い

4年生になった昭和46(1971)年4月の卒業研究の研究室配属において、私は材料に興味があり、これから塑性加工が主流になると思い、産業機械工学第3講座の平井恒夫教授の研究室を希望していました。春休みが終わって久しぶりに大学に行くと、平井先生は3月末に退職され他大学に転任されたとのことでした。そこで色々迷いましたが、若い岡田庸敬先生が後を継いで同様の研究をされるとのうわさを聞いて、第3講座を希望し配属になりました。研究テーマは、唯一塑性加工の名前が残っていた「塑性加工を施した鋼の耐摩耗性」を選びましたが、実際は「摩耗」が本題でした。この偶然の縁により、以後トライボロジー(摩擦・摩耗・潤滑)・表面工学の世界と深く関わることになりました。

岡田教授との出会いと研究者への道

卒業後、大学院修士課程に進学し摩耗の研究を続けましたが、思うような成果が出ないまま大学院2年生の春になりました。そろそろ就職のことを考えねばと思っていた矢先、岡田教授から呼び出され将来のことを尋ねられました。

私：「小学校から大学院までこの文京区内内を歩き来していたので、福井を出て就職するつもりです。」

岡田教授：「ところで、君は長男だし、いつかは福井に戻ってこないといけなだろう！大学も悪くないから助手になってはどうか？」

私は、偶然関わることになった摩耗の研究に正直限界を感じていたこともあり、固辞しました。しかし、その後も数度にわたり呼び出されて誘いを受けたので、「もう福井の親元を離れて違う場所で自立したいです」を切り札にしてやんわりお断りしました。ところが面談は変な展開になり、岡田先生の指導教授であった京都大学の遠藤 吉郎教授の下で「丁稚奉公するのが良い。そのためには京都大学大学院博士課程を受験してはどうか！」との結論になりました。運良くと言ってよいのか運の尽きと言うべきか、博士課程の入学試験に合格し4年間京都大学で博士学生の生活を送り、昭和53(1978)年3月に本学工学部産業機械工学科講師として採用されました。また、昭和55(1980)年に京都大学から工学博士の学位を授与されました。

その後、岡田教授研究室で主としてキャビテーション・エロージョンの研究を行い、多くの優秀な学生達との研究により多数の論文を書くことができました。

京都大学 遠藤教授



- 基礎研究
- 機械材料学

福井大学 岡田教授



- 産学連携研究
- キャビテーション・エロージョン

(株)パルメソ 松原社長



- ベンチャーマインド
- ウェットブラスト技術

ウプサラ大学 ホグマーク教授



- グローバルマインド
- 硬質薄膜評価

強く影響を受けた方々

ゼロからの研究室創設

学内事情により、平成3(1991)年に思いもかけず42歳で教授に昇任しました。岡田教授研究室を離れたことにより新たに研究分野を立ち上げ、配属になった4年生5名と共に文字通りゼロから研究室を創設することになりました。その当時の4年生が卒業アルバ

ムに残した一言は今でも忘れることができません。それは、「私たちの講座は、今年初めて出来た講座です。そのため、この研究室には何もありません。冷蔵庫などの電化製品はもちろんのこと、パソコンもたったの1台しかありません。ただ、研究室だけがだだっ広く、講座生5人が岩井先生の指導の下で、研究のみに没頭する日々を送っています」という言葉です。



研究室の創設（1992年3月卒業式後5名の卒論生と）

実験装置を手づくりし、また研究費獲得のために文部省科学研究費補助金の獲得に全力を尽くし、次第にトライボロジーの研究室として形ができて上がってきました。トライボロジーの研究に興味を持った優秀な学生達が集って来てくれて、「金属基複合材料のトライボロジー特性」、「オンラインモニタリング装置の開発とトライボ損傷の予知」などの研究で、国際会議での発表や学術論文を出すことができるようになりました。

松原氏・ウエットブラスト技術との出会い

北陸3県と新潟県の研究者と技術者で立ち上げた日本海トライボロジー研究会の第5回会合が平成9（1997）年に新潟県で開かれ、長岡市でベンチャーから独自技術で全国シェアを有する中小企業に発展したマコー(株)の松原亨社長がウエットブラストに関する特別講演を行いました。私と同年配の社長がウエットブラストのメカニズムに関して自説を自信満々に説明されたのですが、私はそのメカニズムが腑に落ちませんでした。そこで、松原氏に講演依頼された新潟大学の教授に仲介してもらい、後日マコー(株)を訪問して私の研究を紹介し議論しましたが、お互い理解に至らず私のエロージョンに関する研究にも全く関心が無いようでした。今後の共同研究のことは一切話題にならずがっかりでしたが、折角の訪問だからとのご配慮で駆け足の社内見学をすることになりました。

当時、マコー(株)では、ウエットブラスト技術による表面加工（主としてバリ取り）装置を製造販売してい

て、寿命がより長いブラストノズル用の焼結材を自社開発していました。超硬合金（WC）等のバインダーレス焼結による耐摩耗性材料の開発を地元の長岡技術科学大学の先生と共同開発中でした。狭く雑然とした焼結材開発室の見学で、部屋の片隅に片付けてあった「耐摩耗試験装置」のラベルが貼られた機器がたまたま目に入りました。その試験機らしきものは、自社技術のウエットブラストを用いて開発材の耐摩耗性をチェックするために試作された簡易試験機とのことでした。



マコー(株)で見つけた耐摩耗試験装置

私は、当時大型ポンプのインペラーのスラリー・エロージョンの研究を行っていましたが、試験装置が大きかりでかつ長時間の試験が必要で困っていたため加速試験法を探していたところでした。私はこれまでの研究の知見から、この試験機が新しい試験法や試験装置としての可能性が大きいと瞬時に思いました。この装置との偶然の出会いが、MSE法の研究の始まりでしたが、その時は「プロジェクトX」に発展するような成果に繋がるとは全く予想していませんでした。その数か月後に積極的にアプローチして、2台あった試験機の1台を福井大学に貸し出して頂けることになりました。

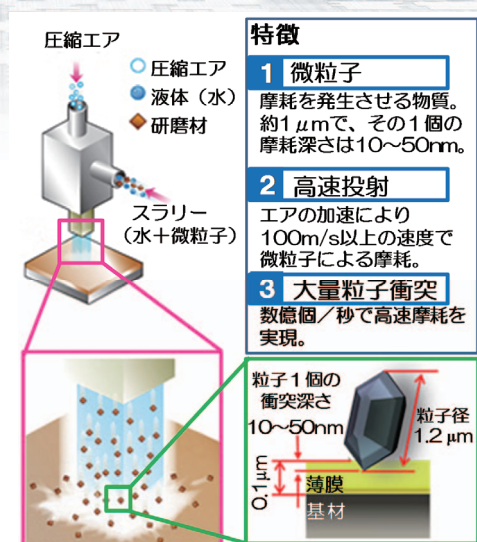
文部省在外研究とホグマーク教授との出会い

研究室では、耐摩耗試験装置の性能とポテンシャルを調べることからスタートしました。投射力、投射粒子などの影響因子のスクリーニング結果は、簡単な構造の装置にもかかわらず再現性が良く精度も高いことがわかり、エロージョンの加速試験装置として十分利用可能との結論を得ました。ちょうどその頃、長年申請していた文部省在外研究の採択見込みの通知がきました。工学部と教育学部の教員が毎年各1名1年間海外で研究できる制度で、その学内選考は申請回数による順番だけでした。文部省の予算削減から派遣人数や期間が縮減され、私の順番は派遣年齢上限の50歳

直前ようやく回ってきました。北欧に一度行ってみたいと思っていたこと、特にスウェーデンには自動車メーカーのボルボやベアリングのSKFなど技術力で世界ブランドの企業が多数あることなどから、スウェーデンに的を絞って研究機関を調査しました。すると、北欧屈指の総合大学であり世界的にも評価の高いウプサラ大学に、トライボロジー分野でハイレベルな研究をしている hogmark 教授とその研究グループの存在がわかりました。そこで、hogmark 教授と親交がある国内の先生に紹介状を書いて頂き、私の滞在が実現すること（平成12（2000）年3月～7月）になりました。

MSE 法の研究開始

折角の機会との思いから実質的な共同研究を申し入れました。hogmark 教授は、硬質薄膜の開発とその機械的・トライボロジー特性評価の両者を行っていて、私のこれまでの研究実績から硬質薄膜の評価に関する研究が共同研究のテーマとなるのではと助言されました。その評価手法は、これまで研究してきた摩耗やエロージョンの利用を考えてみることになりました。当時私の研究室では、硬質薄膜やTiO₂などのトライボロジー特性評価が卒業論文や修士論文のテーマにあり、従来の摩擦摩耗試験や硬さ試験では先進材料の特性評価に限界があると感じていました。また、キャビテーション・エロージョン試験では薄膜の欠陥部分から局所的な破壊が一気に生じることを経験していました。そこでhogmark 教授が提案された新規な評価法の可能性は、マコー(株)から借りてきた実験装置での極微小な固体粒子の投射によるエロージョン試験に懸けることにしました。在外研究に出かける前の予備試験として、担当の大学院博士前期（修士）課程の学生はまず大きな投射粒子から始め、次第に微粒子に置き換え、また粒子の材質も変化させて試験を行いました。その結果、1μmのアルミナ粒子を投射させるとわずか数μmのTiN膜の表面破壊の測定が再現性3%以内で分解能もサブミクロン以下となり、薄膜製造におけるプロセス条件の違いがエロージョン率の差として表示できることがわかりました。それらの結果をウプサラ大学に持参し、並行して福井大学でも実験を積み重ねて、hogmark 教授との議論を重ねました。その成果であるMSE法の原理と評価の可能性に関する論文は、平成13（2001）年4月の世界摩耗国際会議（カナダ・バンクーバー）で発表し、国際学術誌Wearに掲載されました。



MSE法の原理の概要

MSE法の強みの発見

硬質薄膜では、単層だけでなく2層や多層になったものにも適用できることを実験で検証しました。化学蒸着法（CVD）で成膜した2層膜は、成膜時の温度が1000℃にも達することから各層の界面で複雑な化学変化とそれに伴う強度変化が生じています。MSE法をこのようなCVDによるTiC/TiN 2層膜に適用した結果、膜質と界面に対応した変化がエロージョン深さの進展曲線に現れていることがわかりました。その結果を、平成21（2009）年4月の世界摩耗国際会議（米国・ラスベガス）で発表しようと申し込みましたが、原稿提出の締め切り間際になっても進歩性に欠ける演習問題的な論文のレベルのままでした。今回はそれでも仕方がないと思っていた時、投射時間に対するエロージョン深さの変化曲線のグラフを何気なく違った方向から眺めていたところ、エロージョン率の変化を表面から深さ方向にプロットできるのではとのアイデアが浮かびました。早速結果を図式化してみると、わずか数μmの薄膜の深さ方向の強さ（エロージョン率）の分布と界面での微妙な変化が見える化できることが確かめられました。長年の研究生活の中で、何度か「やった!!」と思ったことがあります。この時がまさにそうであったことを鮮明に覚えています。しかし、国際会議での発表はほとんど注目されませんでした。その後の研究によって、この発見はMSE評価法の最大の強みと特色になることがわかってきました。そこで、この発見を改めて特許出願しましたが、既に自分の論文で公知となっていて拒絶され、学会発表における知財への配慮不足を痛感しました。

MSE 法の進化

研究は、松原氏が平成22(2010)年にマコー(株)からスピンアウトして創設した(株)パルメソとの共同研究により進化していきました。私は科学研究費補助金の基盤研究(B)(3年間で約1500万円の助成)に連続して採択され、MSE法を実用化するための装置をパルメソで試作開発しました。

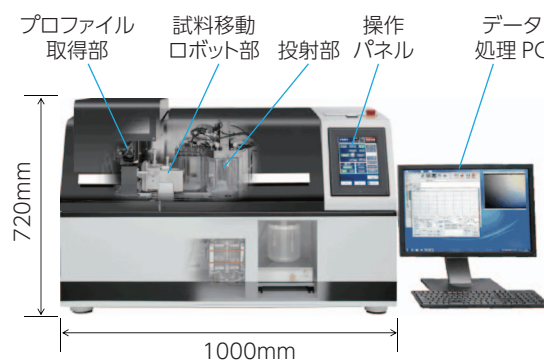
次第に製品の見栄えに近づいて、MSE法の産業界での展開を図ろうと本学の産学官連携本部のコーディネータN氏に相談をしました。N氏は、経済産業省や文部科学省の大型の福井県産学官連携事業を手掛け、辛口のコメントでも有名な方でした。N氏は私の説明と装置のカタログから即座に、「岩井先生、これは製品ではありませんね。計測する人を常時必要とする試験装置は企業では誰も使いません。試験と計測を合体させて自動化しなければ話にならないですね。」でした。さすがにこれはショックでした。しかし、言われてみればその通りで、装置は安くても人件費が必要なものは企業で相手にされないことは一目瞭然でした。そこから、計測装置を搭載したMSE自動試験機の開発を目指すことになりました。

MSE 自動機の開発

自動機開発の研究費を捻出するために、地方大学では採択が難しい科学研究費補助金の基盤研究(A)にチャレンジしました。これまでの基盤研究(B)とは比較にならないほど採択のハードルが高いことや分野横断型の研究が対象になることから、他大学の先生方との研究チームを構成し、内容を高度化して申請書案を練りに練って作成しました。最後に学外の誰かにチェックしてもらいたいと思う反面、研究者としてのプライドもあり躊躇しましたが、私を学生時代から知っていて私も折に触れて何かと助言を仰いできた自動車関連企業研究所OBのM氏に申請書を見てもらいました。回答は、すぐに電話で「よくわからん！多くのことを書き過ぎているので焦点がぼけてしまっている。多様な取組の関連性と整合性に留意した方がよい。他にも…」と言われました。これも大きなショックでしたが、再度それらの指摘を基に申請書案を読み直してみると、なるほどと納得しました。それは、私の思いが強すぎて研究計画があれもこれもとなってい

て、かえって実現性が疑わしいことでした。

その後の修正の努力が功を奏して、翌年4月に採択(4年間で約3500万円の助成)の通知が来ました。その時は年甲斐もなく飛び上がりたい衝動に駆られました。この科研費助成期間中に、パルメソでのMSE自動機の試作機が完成しました。結局、MSE法の確立と実用化に関する研究に対して科学研究費補助金の助成を15年間連続して約8500万円受け、主として(株)パルメソとの共同研究などを通して、世界初でオンリーワンのMSE法と併せて、ようやく商品と呼べるMSE試験装置が完成しました。この装置は、平成27(2015)年に、「材料表面精密試験 マイクロ・スラリージェット・エロージョン試験装置」として市場提供が開始され、販売実績も徐々に上がってきています。

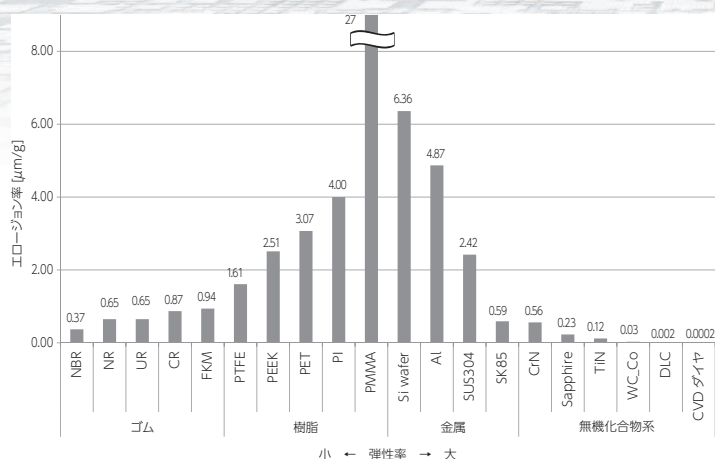


MSE 自動機 (MSE-A (株)パルメソ)

MSE 法の特徴と強みおよび応用分野

MSE法の研究の出発点は硬質薄膜の強度評価でしたが、現在では、従来薄すぎ、硬すぎあるいは軟らか(柔らか)すぎて評価できなかったあらゆる薄膜や材料表面層に対して、表面から内部までシームレスにナノスケールで評価する手法として期待が高まっています。その特色と強みとして、

- (1) 従来の硬さ試験では評価が困難であったマイクロスケールの動的な強さ(衝撃、疲労などに対応)が測定可能
- (2) 製造過程などに起因するわずかな差を拡大して評価可能
- (3) 表面から深さ方向の強さ分布の可視化が可能
- (4) 深さ分解能が数10nmと精密で超薄膜も試験可能が挙げられます。対象となる材料は、ゴム、樹脂、ガラス、セラミックス、光学薄膜、硬質薄膜、焼結超硬材料などに拡大しています。



各種材料のMSE試験によるエロージョン率

現在、成膜、工具、金型、自動車・関連部品などに関わる企業だけでなく、素材メーカーなどにMSE装置が導入され、表面および内部の強度評価、劣化などの評価に用いられ始めています。また、ドイツの表面工学関係の商業誌で注目技術の解説記事の中で大きく取り上げられました。

本学におけるMSE法の研究は、MSE研究・推進センターで継続して実施しています。直近では、科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「研究成果最適展開支援プログラム(A-Step)平成28年度シーズ育成タイプ」に「製造法と材料評価技術の高度化・融合による革新的長寿命掘削ビット用積層型超合金の開発」が採択され、2016年10月～2020年3月のプロジェクトがスタートしました。この間、MSE法の研究で大学院博士後期課程に在学した6名(社会人博士学生を含む)が博士の学位(工学)を取得しました。

受賞

MSE法の研究は、学術・産業界で知名度が上昇するに伴って、学協会・団体から表彰されるようになりました。岩木トライボコーティングネットワークアワード(特別賞)(2009.2)、日本トライボロジー学会トライボロジーオンライン論文賞(2010.5)、(財)りそな中小企業振興財団・日刊工業新聞社第24回「中小企業優秀新技術・新製品賞」産学官連携特別賞(2012.4)、2011年度日本トライボロジー学会技術賞(2012.5)などを受賞しました。

また、日立アプライアンス㈱から、浅井戸・加圧給水用インバータポンプのケーシング内のライナーのスラリー摩耗(エロージョン)について技術相談を受けました。早速にMSE装置を用いた試験で共同研究を

開始しました。従来製品の砲金製ライナーに比べて弾性体であるエラストマー製ライナーは摩耗量を大幅に低減し、パワーが長持ちし寿命を著しく向上させることを実験的に明らかにしました。この商品は、一般財団法人省エネルギーセンター平成27年度省エネルギーセンター会長賞(省エネ大賞)を受賞しました。

耐摩耗弾性ケーシングの共同研究
(日立アプライアンス㈱ 省エネ大賞受賞に貢献)

MSE法の研究を通しての思い

材料表面強度の評価原理の発見から、それを実現するMSE試験装置の商品化までの研究・開発を通して、

- (1) 偶然が重なる時、新しい世界が拓ける。
 - (2) 「弱み」は、ある時「強み」にかわる。
 - (3) 出合いを育て、繋がったネットワークが助けてくれる。
 - (4) 苦しいからこそ、もうちょっと頑張ってみる。
 - (5) 覚悟を決めることは、力と勇気を与えてくれる。
- など、語り尽くせないくらい多くの人生勉強と社会勉強をさせていただきました。

福井大学での教育・研究・社会貢献の活動の中で多くの人たちと出会い、力と勇気を、そして学術的・技術的ヒントを与えてもらいました。中でも、研究室の学生諸君の熱意と頑張り、また元トライボロジー研究室の本田知己准教授、宮島敏郎助教はじめ多くの共同研究者の協力が「プロジェクトX」の推進力でした。この場を借りて心からお礼申し上げます。

これからもMSE法に関心を持って頂いた方々との連携を通して、世界オンリーワンのMSE法の学術上、また工業上の価値と意義のさらなる進展に努め、社会に貢献したいと考えています。

福井大学MSE研究・推進センター ホームページ
<http://msecenter.hisac.u-fukui.ac.jp/>