

ImPACT

NEWS LETTER

Vol. **4** | Jan. 2016

■ contents ■

「プログラムの新たな展開」
成果を超えて、その先へ————— 02

「連載第4回」
プログラム・マネージャー紹介————— 08

鈴木隆領 PM

田所諭 PM

成果を超えて、その先へ

佐橋PMと合田PMのプログラムから大きな成果が生まれました。

いずれもImPACTが目指す非連続イノベーションの実現に欠かせないステップであり、各PMのリーダーシップの元で、真摯に研究を進めるプロジェクト・メンバーにとって、目標達成に向けて、さらにモチベーションを高める効果を上げています。

本コーナーでは、これらの成果の詳細をお伝えするとともに、

国内外へのプログラムのアピール活動について、最新の動向をご紹介します。

佐橋PM

佐橋プログラムの新展開: 重点強化と加速

——電圧書き込み方式不揮発性メモリなどの研究進捗を踏まえ、事業化を見据えた分科会体制——

佐橋プログラムでは、進化を続けるネットワーク、スマートフォンなどのクラウドコンピューティング、モバイル機器に加えて、IoT (Internet of Every Thing)、Big Data、AI (Artificial Intelligence) の進展を踏まえ、「モノとモノ」の分散情報処理の到来に備えて、〈生活様式を変える革新的省エネ・エコ社会の実現「地球との共生」〉といった大きなテーマのもと、社会に大きな変革をもたらす「無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現」の構想に取り組んでいます。演算処理部を含めたコンピュータの各階層に革新的なスピントロニクス技術を投入し、「揮発性から不揮発性に」と「電流駆動から電圧駆動に」を大きな目標に鋭意研究開発を進めています。ここに来て、電圧駆動において世界で初めてとなる電圧駆動不揮発性メモリ(電圧書き込み方式のMRAM)の安定動作の実証に成功するなど、研究の進捗に大きな進展が得られたことから、プログラムで取り組む研究開発を重点強化し、2大分科会体制で加速するなど、佐橋プログラムも新たな展開のステージに入って参りました。ここでは、昨年の12月10日に科学技術振興機構と産業技術総合研究所(産総研)の共同発表の形でプレスリリースした「電圧駆動不揮発性メモリ(電圧書き込み方式のMRAM)の安定動作の実証」についての紹介と著しい研究の進捗を踏まえた分科会体

制への移行について紹介致します。

電圧書き込み方式不揮発性メモリの安定動作の実証

超低消費電力の「電圧トルクMRAM」の実現に道筋

電界効果型トランジスタを除く多くのメモリ、とりわけ揮発性のメインメモリであるDRAM*1や不揮発性のNAND*2フラッシュメモリ、開発途上である電流駆動のSTT-MRAM*3やReRAM*4、PCRAM*5は、いずれも電荷の移動を前提にした電流駆動型メモリであり、高速書き込み、消費電力の面で大きな課題を抱えている。

この度、内閣府(ImPACT)佐橋プログラムの課題である「電圧効果ダイナミクスの解明と高性能化」および「電圧効果材料の開発、電圧素子微細加工技術の開発」に取り組んでいる産総研のスピントロニクスセンター(センター長湯浅新治)が、電圧による磁気メモリ(MRAM)への書き込みの安定動作を実証することに成功、実用化に必要な書き込みエラー率を実現する道筋を明らかにした。まだ、素子サイズが120ナノメートルサイズと大きいこともあり、電圧をかけた後の素子の電気抵抗変化から磁化反転の成功・失敗を判定し、10万回の書き込みを行なって、書き込みエラー率を電圧印加時間(電圧パルスをかけた時間:0.8nsec~1.4nsec)に対して評価したもので、実験で得られた書込

みエラー率は 4×10^{-3} 程度であるが、磁気摩擦定数 α が素子サイズのため本来の0.01に対して10倍の0.1と大きくなっており、この磁気摩擦定数を本来の0.01にまで低減できれば 10^{-8} 台に、さらに熱擾乱耐性 $\Delta (=E/k_B T)$ (ここにEは、磁化反転に対するエネルギー障壁の高さ)を50以上に高めることで、 10^{-15} 以下の書き込みエラー率が達成可能であるなど、電圧トルクMRAM(VC-MRAM)の実現への道筋を明らかにしたものである。今後は残された課題の克服に全力投球してもらうための体制を敷く。

[掲載記事]

日刊工業新聞 12月11日 朝刊 31面

化学工業新聞 12月16日 朝刊 6面

[WEB掲載] 日刊工業新聞 (2015.12.11)

<http://www.nikkan.co.jp/articles/view/00367901>

スマートジャパン (2015.12.10) <http://release.itmedia.co.jp/release/sj/2015/12/10/09ea40e359bc116361e95259f9625681.html>

日経テクノロジーオンライン (2015.12.14)

<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/news/15/121401547/?rt=ocnt>

Yahoo!ニュース(EE Times Japan) (2015.12.15)

<http://headlines.yahoo.co.jp>

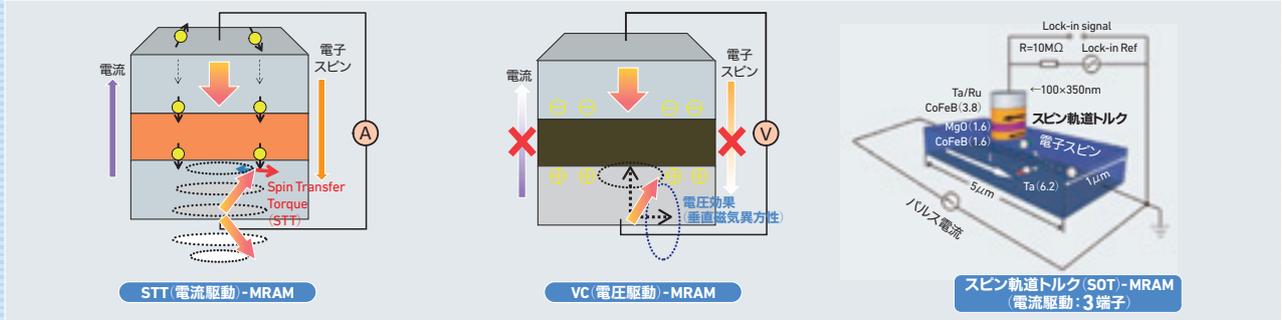
[/hl?a=20151215-00000051-it_eetimes-sci](http://hl?a=20151215-00000051-it_eetimes-sci)

東北大学のスピン軌道トルクを含めた著しい研究の進捗を踏まえた分科会体制への移行

佐橋プログラムではここに来て先に述べた産総研の「電圧書き込み方式不揮発性メモリの安定動作の実証」に加え

各種MRAMの性能比較と原理模式図

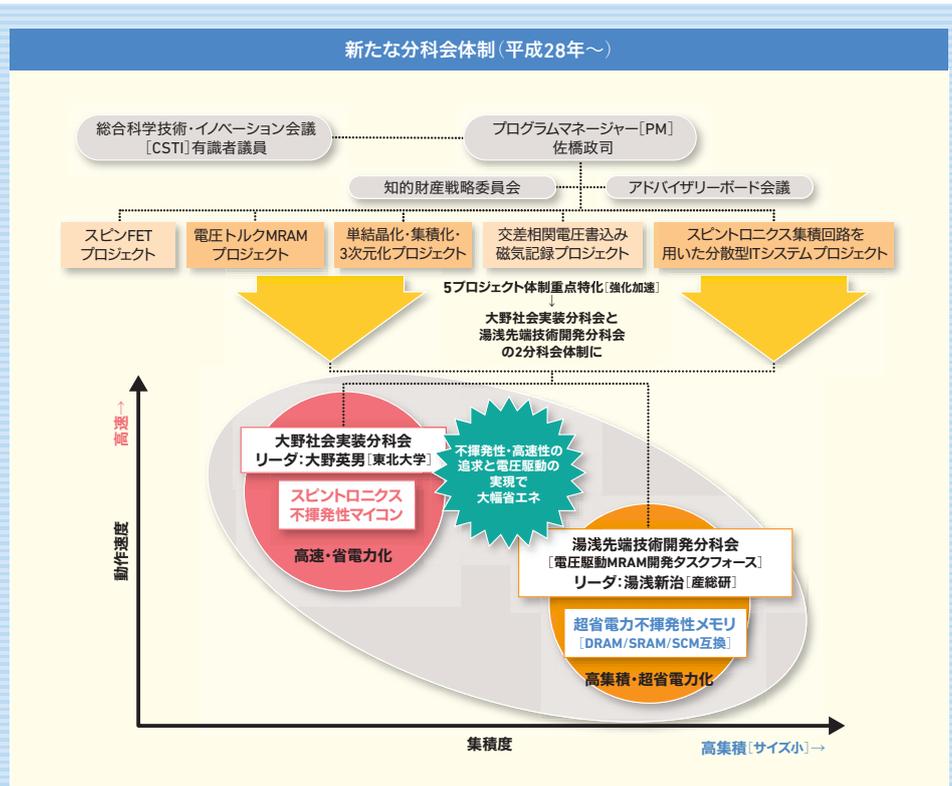
| 性能等 | メモリ技術 | STT-MRAM | VC-MRAM | SOT-MRAM |
|------------|-------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 書き込み速度 | | 3~10 ns | 1~3 ns | <~ 1 ns |
| 集積度 | | 4~6 F ² | 4~6 F ² | 12~18 F ² |
| 微細化 (node) | | >~ 10 nm | <~ 10 nm | >~ 10 nm |
| 消費電力 | | 10~100 fJ/bit | 1~10 fJ/bit | 3~30 fJ/bit |
| 磁気抵抗比 | | > 100 % | > 100 % | > 100 % |
| 技術課題 | | 駆動電流の低減 | プリセッション制御 (回路) | 注入効率、外部磁場 |



て、2月にはプレスリリースを予定している東北大学が進める「スピントロニクス集積回路」プロジェクトにおいて、世界に先駆けスピントロニック (SOT*)-MRAMによる1nsecを切る高速性の実験検証など際立った研究成果が立て続けに出されている。それと相俟ってスピントロニクス、とりわけEmbedded (組み込み型) MRAMの開発競争は、世界レベルで激化の様相を呈して来ている。このような競争の環境変化と佐橋プログラムにおける研究成果に鑑みて、5プロジェクト体制で、演算処理部を含めたコンピュータの各階層に革新的なスピントロニクス技術を投入し、「揮発性から不揮発性に」と「電流駆動から電圧駆動に」を大きな目標に鋭意研究開発を進めて来た佐橋プログラムの研究開発体制を、IoTを睨んでスピントロニクス・マイコンの事業化へと大きく舵をきり、研究開発を強化・加速する大野社会実装分科会 (リーダー: 東北大学 大野英男教授) とL3キャッシュを含めたメインメモリ階層への電圧駆動MRAM投入・事業化への道筋をいち早く立て

るため研究開発を強化・加速する湯浅先端技術開発分科会 [電圧駆動MRAMタスクフォース] (リーダー: 産総研 湯浅新治) の2大分科会体制とし、事業化を睨んだ、あるいは見据えた研究開発に重点特化し、シャープに構想実現を目指して取り組んで参ります。関係の皆様には、これまでもまして、ご支援のほど宜しくお願い致します。

- *1—DRAM: Dynamic Random Access Memory
- *2—NAND: 否定論理積とは、与えられた複数の命題のうち偽であるものが含まれることを示す論理演算であり、NANDと表記される。
- *3—STT-MRAM: 電流駆動のMRAM (Magnetic Random Access Memory)。STTはSpin Transfer Torqueの略)
- *4—ReRAM: Resistive Random Access Memory。電流 (電圧) 駆動メモリの種類。
- *5—PCRAM: Phase Change Random Access Memory。電流駆動メモリの種類。
- *6—SOT: Spin Orbit Torque (スピントロニック)



現在、私たちは合田圭介プログラム・マネージャーのもと、非常に多数の細胞や粒子から希少なターゲットを探索し採取する「セレンディピター」の情報処理部を構築するための研究開発を実施しています。セレンディピターは多数の超高速センサー群からの出力を統合し、ターゲット細胞・粒子であることをリアルタイムで判断します(図1の細胞同定部)。具体的には各々のセンサーが10ギガビット/秒を超す超高速データを生成し、ターゲットの種類により柔軟にセンサー構成や情報処理方式を変更することが必要です。私たちは全ての構成要素をイーサネットを組み立てブロックのようにつなぎ合わせていくALL IPアーキテクチャにより、超高速処理を実現することを目標として基本設計を行っています。ALL IPアーキテクチャでは、10メガビット/秒から100ギガビット/秒のイーサネット通信の相互接続性を利用し、必要なセンサーや

アクチュエーターをスイッチに接続するだけでシステムに加えることができる柔軟性を実現することができます。

しかしながら、セレンディピターでALL IPアーキテクチャを用いることの最大の壁は、100ギガビット/秒ネットワーク上でのシングルストリーム・TCP通信に理論上および実質上の限界があり、高効率の通信が実現できないことでした。このため、国内外の研究者が多数のTCPストリームを束ねる方法や、TCPではなくUDPベースで信頼性のあるプロトコルを用いることを提案してきました。

今回、私たちはこの限界を打ち破るLFTCP通信方式を開発し、太平洋を渡る日米間通信で73ギガビット/秒のシングルストリーム通信を実証しました。その内容はプレスリリース(<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20151211-2/>)にありますので、ここでは実験がどのように行われ、結果を達成したか、その裏

[図2]—実験用PCと実験用ルータ

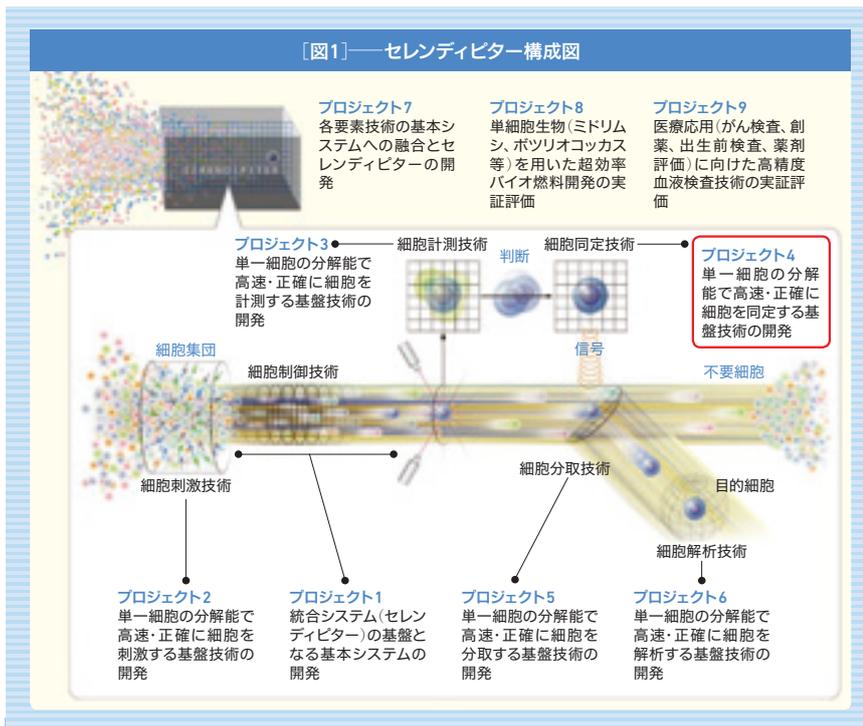


側のお話を紹介したいと思います。

私達が100ギガビットネットワークを有効にTCPで使う技術研究を検討し始めたのは、2006年に10ギガビットネットワークに関し、99%を越す最終的な速度記録を出した後でした。まずは基本方式の検討、発生する問題点の確認などの基礎研究に5年程を費やし、40ギガビットネットワークが登場した2011年くらいから、輻輳制御方式、自己輻輳を防ぐ方式を実際に検証し始めました。しかしながら、40ギガビットと100ギガビットの間には様々な困難があり、100ギガビット・シングルストリームTCP通信はそれまで誰も実現できてない、いわば高嶺の花という技術領域でした。

具体的には、100ギガビットに挑戦するための前提条件として①100ギガビットのネットワークアダプタカード、②100ギガビットのデータ転送能力のあるPCと通信ソフトウェア、③100ギガビットのインターネット、④100ギガ

[図1]—セレンディピター構成図



【図3】— 実験で使用したネットワーク経路



ビットのスイッチ／ルータ、そして一番重要なポイントが**6**100ギガビット／秒ネットワークを高効率利用できる通信方式が必要です。これら全てがそろわないと何もできません。

2014年度末から努力を続けてきた結果、2015年8月にネットワークアダプタカードが動作し始め、スイッチを介さない、直接接続の実験が始められました。しかし、このカードが出力する銅線規格に接続でき、上流のインターネットに光ファイバーで繋がられるスイッチがなく、実験で使える外部インターネットもなく、実験は無理かもしれないと思い始めました。

ちょうどそのころ、日米間の100ギガビットネットワークを整備し、もしかすると11月に動き始めるかもしれないという情報が環太平洋ネットワーク組織であるAPANとWIDEプロジェクトから来ました。それならば、ということで1種類だけ使えそうなスイッチを発見し、動作テストとして貸し出して頂きました。しかし、到着直後に繋いだところ全く動作しませんでした。これが10月です。もうだめかと思ったところに、スイッチソフトウェアのアップデートの新版がきて、ソフトを入れ替えると動作しました。

そこで、実験準備を急ピッチですすめ、スイッチ以外の実験機器（PC4台、多数のケーブル、ファイバーと電源ケーブル、小型スイッチ）をスーツケース13個にパッキングし11月に渡米しました。実験機器を手持ちにするのは、コスト削減という面も大きいですが、一つでも欠けると

実験ができないリスクを少なくするためです。到着して機器を整備し、ネットワークの開通を待ちましたが（図2）、11月14日の土曜日まで日米100ギガビットネットワークは開通せず、全くデータ通信ができない状態でした。実験期間は19日の午後3時までなので、なんとか成果をださなければと気ばかり焦りました。ようやく14日に開通しましたが、パケットロス（途中でデータが無くなってしまふ事）が激しく、実験にならない状態でした。図3は実験で使用するネットワーク経路です。途中に10を超えるスイッチ・ルータや中継所があり、さらに往復合わせて100近くある光ファイバーの接点が悪く汚れていたためパケットロスが出てしまったのです。

そこで途中の全ての中継地点（オースチン、シアトル、東京）のエンジニアの方に依頼して、全ての光ファイバー接点を磨きなおし、スイッチ設定の最適化を行いました。

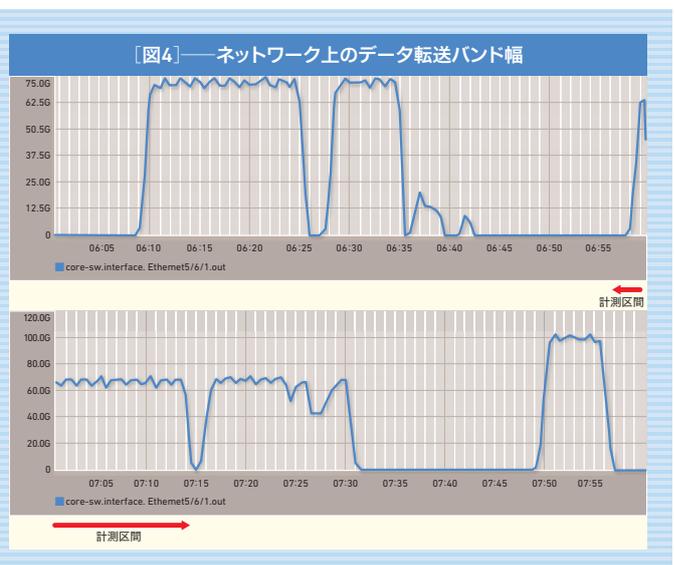
こうした対処によりようやく16日になってパケットロスがゼロの状態になりました。そして残りの実験時間、48時間で、今回の成果のデータを得ることが出来ました（図4）。

今、思い出

しても蜘蛛の糸1本くらいの可能性に賭けて実験を積極的に行ってよかったですと感じるとともに、周囲の方々の献身的な協力が本当にありがたかったです。更に、もし上記の関門の一つでも克服できなかったら、「無駄な実験をして」と合田PMに怒られたのではではないかと思えます。過去の経験からも実験の直前に海底ファイバーが切断する、パケットロスがどうしてもゼロにならない、実験機器の宅配便が誤配送されて行方不明になる、実験メンバーがインフルエンザで倒れるなど数限りない障害が発生していましたから、本当に今回は幸運だったと感じます。もっとも、運を使い果たしたのか、帰国する航空便がシカゴで欠航になり、吹雪の中を見知らぬホテルまで行かされましたが、実験終了後なので問題はありませんでした。

最後になりますが、実験チームのメンバーはこの期間中、ベッドの中で寝ることが無い生活でしたが、本当によく頑張ってくれたと思います。また、日本までのネットワークを接続し、パケットロスなしになるまで追い込んで頂いたSCinet、ワシントン大学、TransPAC、APAN、KDDI、WIDEプロジェクトの方々に深く感謝します。

【図4】— ネットワーク上のデータ転送バンド幅



山本PM 日・蘭フォーラム：量子コンピュータと情報社会の未来

2015年11月11日(水)東京・赤坂のANA INTERCONTINENTAL TOKYOにて、オランダ大使館主催で量子コンピュータ・通信を含む量子技術をテーマとした「Japan-Netherlands Forum: Quantum Computers and our future information society」フォーラムが開催されました。本フォーラムでは山本PMが「量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現」プログラムの概要、特に開発中のコヒーレント・イジングマシンの原理、実装、応用、将来のIoT技術の中核と位置づけられるマシンであること等を報告しました。当日はオランダのHenk Kamp

経済大臣も出席され、本プログラムに興味を持っていただき、世界でも最高レベルの量子研究国である日本とオランダとの研究協力が、今後の量子情報技術分野の発展には重要である旨述べられました。

パネルディスカッションでは本プログラムの研究開発責任者の一人である樽茶清悟氏(理化学研究所)とオランダのKouwenhoven氏(QuTech)により、産業界との連携・協力体制、量子コンピュータ開発で現在直面している問題、そして政策的に国に期待することについて討論がなされました。

その後、総合科学技術・イノベーシ

ョン会議(CSTI)の原山優子議員よりご挨拶があり、グローバルな課題に対して社会変革を起こしうるツールとして量子コンピューティングに対する期待が述べられました。



▶オランダHenk Kamp経済大臣にImPACT山本プログラムの研究開発概要を説明する山本PM

田所PM ImPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ」シンポジウム

12月5日(土)早稲田大学西早稲田キャンパスにて、ImPACT「タフ・ロボティクス・チャレンジ」の第1回公開シンポジウムを開催しました。本シンポジウムは、第6回先端メカトロニクス国際会議(ICAM2015)に合わせて開催したものです。

シンポジウムでは、冒頭、総合科学技術・イノベーション会議の久間和生議員より、ICTやロボット技術に関わる政策動向や本プログラムへの期待についてご講演をいただきました。その後、田所諭プログラム・マネージャー(PM)より本プログラムの概要として、災害対応ロボットの役割や、本プログラムの5種類のロボットの活躍が期待される災害緊急対応・災害予防シナリオなどを紹介し、また、目指す非連続イノベーションとして、災害極限状況で効果を発揮するタフな基盤技術創出(技術的イノベーション)、災害の予防・緊急対応・復旧へ

の寄与(社会的イノベーション)、タフな基盤技術の産業への波及(産業的イノベーション)の3つのイノベーションを示しました。

続いて、本プログラムの研究者より、研究開発状況や成果の発表を行いました。ロボット研究開発関係者が多く集まった本会場では、タフさの具体的な定義や油圧機構に用いる油の検討の必要性など、技術的な観点からプログラム推進の参考となる多数の意見が出されました。

また、シンポジウムにおいて田所PMは、2016年6月に公開フィールド評価会を実施することを発表し、研究者への次なる達成目標を示すとともに、シンポジウム参加者へ評価会への参加を求めました。



▶久間議員の講演



▶田所PMによるプログラムの概要紹介



▶シンポジウムの様子



▶島尻大臣にプログラムの概要を説明する八木PM(出典:内閣府HP
http://www.cao.go.jp/minister/1510_a_shimajiri/photo/2015-028.html)



▶自らの意思でHALが動くことを体験する島尻大臣

島尻科学技術政策担当大臣は11月30日、八木PMのプログラムの一環として、光超音波イメージングの医療領域での実用化を目指して研究開発を進めている京都大学において、光超音波を用いたマンモグラフィ装置(乳がんの画像診断装置)を視察されました。光超音波イメージングは、従来のX線によるマンモグラフィと異なり被曝がなく、体に負担をかけずに簡便に診断を行うことができる大きなメリットがあります。また、高解像度の三次元臨床画像が得られることから、病気の早期発見に資することが期待されます。島尻大臣には、実際の臨床画像により高解像度で腫瘍血管が撮像できることをご確認頂きました。

八木PMはこの視察の中で、コア技術である光超音波イメージングが医療領域のみならず様々な分野に应用が期待でき、新しい産業を切り拓く可能性

を持つことを説明しました。島尻大臣からは「医療に加え、健康への展開を期待します」とのコментарを頂きました。

また、島尻大臣は12月9日、山海PMの研究開発現場であるCYBERDYNE社を視察されました。CYBERDYNE社は、装着型のロボットとして国内で初めて医療機器に承認されたロボットスーツHAL®をはじめ、各種最先端技術の研究開発およびリース販売等を推進しています。脳・神経・筋系の疾患により歩行が困難になった患者が装着し、生体信号を検出し、自身の動く意思に応じて歩行等をアシストするHALは、同時に歩行時の身体感覚が脳にフィードバックされることで、歩行機能を改善することができます。

山海PMから、HALの技術を薬品や医療との組み合わせで発展させることも含め、搬送ロボット等の各種ロボッ

ト技術やIoTの活用を通じて重介護ゼロ社会の実現を目指すImPACTプログラムの構想、それを実現するためのシナリオを紹介しました。また、搬送ロボットのデモを行うとともに、島尻大臣自身にHALを装着し、自らの意思でしかロボットが動かないことを体験していただきました。大臣は、強く興味を惹かれた様子で最後に「高い技術に感銘しました。ぜひまた訪問させてください」とコメントされました。

今後の
イベントの予定

[山川PM]

イベント名——「脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現」2015年度シンポジウム

開催日——2016年3月1日(火)

開催場所——品川 THE GRAND HALL

申し込み方法——ImPACTのHPにてご案内いたします。

[宮田PM]

イベント名——ImPACT International Symposium on InSECT 2016

開催日——2016年4月26日(火)、27日(水)

開催場所——名古屋大学

申し込み方法——ImPACTのHPにてご案内いたします。

クモの糸を超える超高機能構造タンパク質で天然資源に頼らない素材産業革命を目指す



鈴木隆領 | Takane SUZUKI

1982年、静岡大学工学部卒業
1987年、小島プレス工業株式会社入社
2010年、同社開発担当取締役
2014年より、ImPACTプログラム・マネージャー

クモの糸に代表される生物由来の構造タンパク質を解析し、人工的に大量生産することで産業用素材として活用できれば、天然資源に頼らない新しい産業構造を確立できる。自動車業界における生産技術の研究開発で培った経験を活かし、鈴木隆領PMが目指すのは、素材産業革命がもたらす未来。

厳しい競争を求めて自動車業界に飛び込む

鈴木PMは名古屋市の生まれ。下町に育ち、昆虫が大好きな少年時代だったという。

「子どもの頃は、虫やザリガニを捕って遊んでいましたね。学校の授業では理科が一番好きで、自分で作った虫眼鏡で太陽光を集めて実験をしたりしていました」

高校では山岳部に入り、登山に熱中した。

「山岳部は登山家だった父の影響です。僕の隆領^{たかね}という名前は、富士の高嶺から来ているんですよ」

気象情報を聞いて自分で天気図を描き、明日の天気を予測することもして

いたという。

「登山のインターハイにも出場しましたが、気象についての知識も要求されるんです。今思うと、自然を知ることに対してとても興味があったんでしょうね」

大学では工学部で機械系を専攻した。講義よりも実習の方が楽しかったという。

自然に対する興味と工学、鈴木PMのプログラムはクモの糸に代表される生物由来の構造タンパク質を産業用素材化することであり、プログラムの萌芽を垣間見ることができる。

大学を卒業してから、最初に繊維メーカーに就職した。

「最初に就職した会社では繊維関係の研究をしていました。その会社はある製品で独占的シェアを持っていたため、

経営は安定していましたが、僕は何か物足りなさを感じるようになりました」

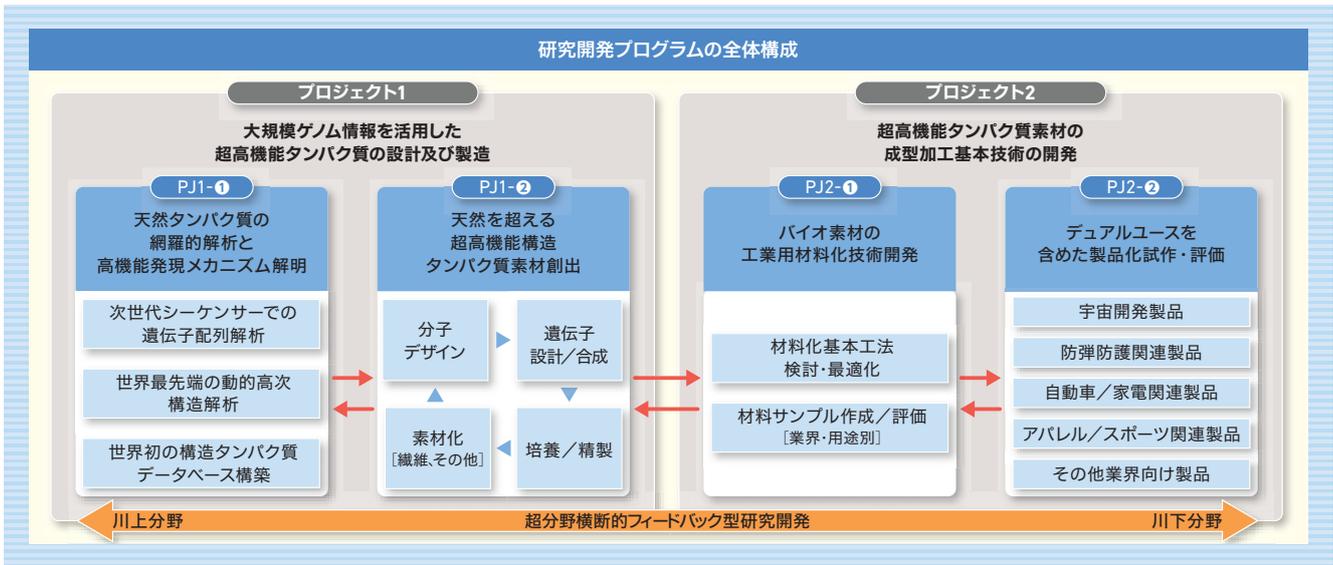
いつしか転職を考え、知人の紹介で小島プレス工業に入社する。同社はトヨタ自動車をクライアントとする中堅の部品メーカーだった。

「あえて厳しい世界に身を投じたいと考えての行動でしたが、振り返ってみると若気の至りだったかもしれないですね」

鈴木PMが転職した頃は、円高不況で自動車業界が激しい競争にさらされていた時期であった。



▶高校の山岳部時代の鈴木PM
[前列左から二人目]



モノづくりの最前線で 生産技術の研究開発に取り組む

小島プレス工業では、研究開発部門に配属された。

「繊維をやっていたので、材料の研究もできるだろうと思われたのでしょね。新しい自動車用の材料を開発するのがミッションになりました」

鈴木PMは外部のメーカーと協力しながら、新材料の研究開発を進めることになる。

「しかし研究開発とは言っても、実際は応用研究がメインでした。材料メーカーが作った素材と装置メーカーが作った機械を組み合わせ、いかに自動車用として最適なものを作るかが重要でした。つまり生産技術の研究だったのです」

安く、品質の良いものを、安定して作れるかどうか、生産技術では一番求められる。

「Aという材料を自動車用にもっと安定して作るにはどうしたらいいか。Bという装置を使って、もっと安く作るにはどうしたらいいか。現状あるものをベースにして、いかに応用していくかという仕事でした」

クライアントのトヨタ自動車から要求されるコスト削減や品質向上の要求は非常に厳しかった。もちろんライバル企業も多く、大手とも競争していかな

いとならなかった。それに加え、円高により海外の部品メーカーとの競争も始まっていた。

「モノづくりの最前線にいて痛感したのは、すでにある製品をベースに応用研究をしているだけでは限界があること。中堅部品メーカーだからこそ、材料も機械も自ら作っていかないと大手企業には勝てないということでした」

しかし材料メーカーや装置メーカーに、「細かい部分をカスタマイズしたい」と訴えても、「今あるカタログの中から選んでください」「トータルで考えれば、こっちの方が安くなりますよ」という反応しか返ってこなかった。

「彼らの理屈は分かるのですが、やはり自分たちで作っていかないと、本当の技術開発にはならないなと感じていました」

入社から10年が過ぎた頃から、自社で材料を作り、装置も開発していく方向にシフトしていく。

業界内での生き残りをかけて 他社がやらない隙間市場を開拓する

「いずれ電気自動車の時代になるから、電池の開発を進めないといけない」「省エネを考えるならLEDに投資するのがいい」

自動車業界にいれば、いろいろな情報が聞こえてきて、各社が次の手を考

えるようになる。

「他社と同じようなことをやっていたのでは中堅メーカーが勝てる見込みはなく、結局大手に負けてしまいます。その代わりに、自社の技術力や規模を考えて、他社がやっていないような隙間を狙う方向で研究開発を進めました」

各社が自動車用のエアバッグの開発に取り組んでいた頃、鈴木PMはあえて違う方向を目指した。

「当時のエアバッグは運転席だけで、正面衝突にしか対応できなかった。そこで車内の側面部用に横からの衝突に対応できる、安くて品質の良い吸収体を開発しようと考えました」

この見た目は卵パックにそっくりな吸収体を、車内の至るところに埋め込むことで耐衝撃性も向上した。

「アイデア勝負の商品で高度な生産技術も必要ではなかったのですが、特許も取得できてオンリーワンの製品になりました」

メッキ代替の開発にも取り組んだ。

「メッキは自動車の内装に使われますが、環境問題で国内生産が難しくなっていました。環境対策には工場に膨大な設備投資が必要となり、国内では事業として成り立たなくなっていました。代わりに規制があまり厳しくない海外

自分たちで作っていかないと、
本当の技術開発にはならない。

で生産するようになったり、海外メーカーから調達したりするのですが、品質が安定しないんですね。それではトヨタ自動車などは納得してくれない」

そこで鈴木PMはスパッタリングという金属成膜技術を使った、めっき代替製品の開発を進めていった。

「スパッタリングは一般的な技術でしたが、膜がはがれやすいという欠点がありました。われわれはそこを改良して、はがれにくく、人が触れても問題なく、かつ見栄えが良い製品の開発に成功しました」

他社が目をつけていないような分野にニーズを見つけて、自社の技術力を活かせるモノづくりを進めた小島プレス工業は、2012年に大河内記念生産特賞を受賞する。この賞は生産技術のノーベル賞とも言われるもので、その中でも最高の特賞を中堅メーカーが受賞することは快挙であった。

「面白いけれど、難しい」 構造タンパク質の可能性

2010年に開発担当取締役役に就任した鈴木PMは、大学や研究機関とも交流し、今までにない新素材を探し求めていた。

「当時は日本の家電業界の業績が大きく下がっていた時期で、自動車業界にも同じことが起きるのではないかと不安視されていました。そうなった時に部品メーカーはどう生き残っていけ



▶開発プロセスをプレゼンする鈴木PM
[小島プレス工業時代]

ばいいのかを各社が考え始め、われわれも新事業の芽を模索するようになっていました」

そこで出会ったのが生物由来の構造タンパク質の研究であった。構造タンパク質とは生物の体の構造を作っているもので、骨や皮膚、爪や歯などを構成しているタンパク質である。

「例えばクモの糸は、重さ当たりの強靱性が鋼鉄の340倍にもなります。アリの歯はチタンよりも固い。生物由来の素材は、鉄、プラスチック、セラミックスなどの既存の材料よりも優れた物性を有しているものがあることが明らかになっています。こうした構造タンパク質を産業用材料として使えるようになれば、素材革命が起きることは間違いのないでしょう」

生物素材の研究は世界中で行われているが、まだ事業化には至っていない。一部のベンチャー企業では、微生物に構造タンパク質を作らせる研究も行われていたが、そこに参入して事業化しようという企業はなかなか現れなかった。

「いろんな繊維メーカーや材料メーカーの担当者と話してみると、みんな構造タンパク質には強い関心を持っていて、『今はどこまで研究が進んでいるんですか?』と最新の情報を欲しがっています。でも企業として本格的に事業化に取り組む様子はありません。面白いけれど、ビジネスにするにはまだまだ難しい」

長年、自動車業界で生産技術の最前線にいた経験から、鈴木PMは研究室と事業化の間を結ぶ仕掛けが必要だと考えるようになった。

「この分野に大手企業を参加させるためには、まず具体的な製品が必要で、コストシミュレーションもある程度示さないと、検討さえしてくれないでしょう。たとえば1キログラムあたり数百万かかっている、こういう風に作れば量産可能で、どのくらい作ればコストがど



▶開発製品のプレゼンを行う鈴木PM
[小島プレス工業時代]

う下がっていくのかという具体的なシミュレーションが欲しい。それが無い状態で、企業が二の足を踏むのは経営判断としては正しいと思います」

超高機能構造タンパク質を合成し 大手企業を巻き込んだ素材革命を

2013年の暮れ、鈴木PMは交流のある研究者たちからImPACTの話聞く。

「このプログラムを活用して、構造タンパク質の事業化を大きく進められるのではないかと思います。ただし自分がPMをやるとは考えてもいませんでした」

公募資料の作成を進めている中で、PMに求められているのは研究者ではなくマネジメント能力だと気づき、やがて「自分がPMをやるしかないな」と決意した。その後、鈴木PMは会社も辞め、ImPACTに専念することとなる。

鈴木PMのテーマは「超高機能構造タンパク質による素材産業革命」。鉄やプラスチックなどの既存材料と比較して圧倒的な性能を持つ生物由来の構造タンパク質を人工的に量産することで、素材分野の産業革命を目指す。これが成功すれば、原料を天然資源に頼ることがなくなり、資源を輸入するしかない日本にとって、大きなアドバンテージとなるのは間違いない。

「資源のない日本は加工技術で世界と戦ってきました。でもそれだけでは人件費の安い海外に仕事を奪われてしまう現実があります。日本の未来のた

めに新しい強みを生み出す必要がある。その問題意識を共有できる研究者、企業を集めて、チームを組んでいます」

第1段階として、クモ類や昆虫類を中心に、天然に存在する構造タンパク質の基本的な組成分析や構造解析、物性測定などを行うとともに、ゲノム情報も取得し、世界初の構造タンパク質のデータベース化を進めていく。

「この解析には、理化学研究所の大型放射光施設SPring-8や、慶応義塾大学先端生命科学研究所の次世代シーケンサーなどを活用します。これらの機器を使い、構造タンパク質が持つ優れた性質のメカニズムを明らかにするのです」

ここで得られたデータを元に、分子デザインを行うことで、天然素材を越える超高機能構造タンパク質を人工的に合成していく。

「天然の素材はそのままでは工業製品としては使えません。クモの糸は優れた物性を持っていますが、2日でクモの巣を張り替えます。2日しかもたなくて良いのです。工業材料はそういうわけにはいきません。ですから天然素材の良いところを利用しつつ、人間が扱いやすい工業材料に作り替えることが必要です。ここではクモの糸の研究で知られるベンチャー企業スパイバーの技術を使います」

第2段階では、人工的に合成された超高機能構造タンパク質を産業別・用途別に、工業用に使える材料(繊維、フィルム、ゲルなど)に加工していく。そして、ここで得られた加工材料を使った具体的な製品を試作することを最終目標としている。対象分野は自動車、家電、アパレル、スポーツ用品の他、宇宙関連、防弾防護関連と幅広い。

「加工段階では、各材料分野のリーディングカンパニーに本腰を入れて加わってもらう予定です。参加してくれそうな会社とは、僕がトップと直接話をしています。そして何らかの試作品を完成させて、超高機能構造タンパク質の素晴らしさと可能性を目に見える形で

提示したい」

ImPACTが目標とする超高機能構造タンパク質が広く社会で使われるようになるには、やはり技術力、体力、販売力のある大手企業の参加が欠かせない。そのためには彼らに「これはいける」と思わせるレベルまで研究内容を持っていく必要があると、鈴木PMは考えている。

PMに求められるのは経営センス ImPACTを成功させて次世代へ

「昨年の秋からプログラムがスタートして、今のところ予定通りです。研究メンバーのモチベーションは高く、問題意識も共有できていて、課題を一步一步乗り越えていっている。最近プログラムについてプレゼンをする機会が増えていますが、期待度はどんどん高くなっているのを感じますね」

鈴木PMはプログラムをひとつの企業ととらえ、PMは経営者だと考えるようになったという。

「5年という研究期間と与えられた予算で、最大限の成果を上げなければならぬ。PMとして、そこが問われていると、ますます感じています」

鈴木PMは、小島プレス工業時代にトヨタ自動車のマネジメント能力の高さを目の当たりにし、「人と組織の動かし方を学んだ」という。

「状況に応じて、捨てるところは捨てて、捨てるのは捨てるのがマネジメントだと思います。その決断をするのがPMの役割。マネジメントが核にないと、どこにどれだけの人員と技術を投入すればいいのか判断できませんから」

難易度が高い課題に取り組んでいる研究メンバーに対して、鈴木PMは「常に前向きに、楽しくやろう」と伝えている。

「楽しいというのは、楽にやるという意味ではありません。これまでの経験上、自分がやったことが成果として出てくるのが一番楽しいと思います。達成感としての楽しさを追求してほしい。もうひとつが、

失敗はそのまま放置するとただの失敗ですが、きちんと原因を整理してエビデンスとすれば、それは成果になり得るということ。良い失敗を繰り返していけば、いつか成功につながります」

ImPACTは今までの日本にはなかった新しい試み。「だからこそ成功させたい」と鈴木PMは言う。

「従来の研究者主体の研究開発とは異なるプログラム・マネージャーという仕組みを成功させ、実績が残ればと考えています。そうすれば、成長のためのリスクを恐れず、新たな成長分野を切り開いていく、そんなモチベーションが高いプログラム・マネージャーがどんどん誕生し、そこからまた新しい研究開発、イノベーションが生まれてくると考えるからです。このようなサイクルができることが、ImPACTの成果が社会に還元された証しになるのではないのでしょうか」

鈴木PMはImPACTの終了後も、超高機能構造タンパク質の研究に携わっていきたいと考えている。

「どんな形でもいいので関わっていきたいと思います。ImPACTのために、いろんな人と話をして、スタッフを集めてきたのですから、最終的に大きな成果を上げるところまで見届けたい。長年材料の研究をしてきた者からすると、夢のような素材が現実になるところを見てみたいです」

最後に鈴木PMが考えるイノベーションについて聞いてみた。

「近年、IT系で世界的なイノベーションを起こしている企業は、マネジメントに優れていたのだと思います。マネジメントこそイノベーションのための鍵かもしれません」

良い失敗を繰り返していけば、いつか成功につながる。



▶開発装置についてプレゼンしている鈴木PM
[小島プレス工業時代]

タフに仕事ができるレスキューロボットが 災害現場で活躍できる未来のために



田所諭 | Satoshi TADOKORO

博士[工学]
1984年、東京大学大学院修士課程修了
1993～2005年、神戸大学工学部助教授
2002年、国際レスキューシステム研究機構設立
2005年、東北大学大学院情報科学研究科教授
2014年、同副研究科長
2014年、IEEE Robotics and Automation Society President-Elect
2014年より、ImPACTプログラム・マネージャー

阪神・淡路大震災を経験し、災害ロボットの研究を決意した田所諭PMは「ロボカップレスキュー」の創設、「国際レスキューシステム研究機構」の設立、福島原発へのロボット投入など、レスキューロボットの開発を進めてきた。田所PMがImPACTで挑むのは、「ひ弱な優等生」を卒業した「タフな」ロボットの基盤技術。人間とロボットが助け合いながら、災害被害を最小限に抑える未来を目指す。

面白い研究を求めて研究者の道へ ロボットをテーマに選ぶ

田所PMは愛媛県新居浜生まれ。横山光輝の漫画「鉄人28号」が大好きな少年だった。そして「鉄人28号」が好きなだけでなく、どうして動くのか、どうやったら思い通りに動かせるのか、いろいろ考えたという。

「鉄人28号を動かすリモコンは、お弁当箱のような箱に2本のレバーがついていて、そのレバーを手で動かすだけで鉄人が空を飛んだり、パンチをしたり、自由に動かすことができるんです。

小学校の友達に、2本のレバーだけで鉄人の多くの動きを操作できるはずがない、と自慢げに話していた記憶があります。しかし今思うと、鉄人は正

太郎少年の指示が意味する意図を理解しながら複雑な作業ができる高度な自律システムだったのでしょね」

松山市の愛光学園を経て、東京大学に進学するために上京。

「東大では機械や電気関係をやってみたかったので、工学部で精密機械工学科を専攻しました」

当時は日本のエレクトロニクス産業が世界を席巻していた時期で、同級生の多くは電機メーカーや機械メーカーに就職していった。

「一時は就職を考えたのですが、会社員として何十年頑張ったとして、他人とは違う大きな仕事ができるのだろうか、と思うようになりました」

もともと人と違うことをするのが好きな性格もあって、田所PMは研究者と

しての道を選ぶことになる。1984年に神戸大学に助手として赴任すると、ロボットを研究テーマに選ぶ。

「当時は産業用ロボットの全盛期で、大変面白い研究対象に思えました。逆に、今と違って、サービスロボットの研究者はほとんどいませんでした」

阪神・淡路大震災で被災経験 レスキューロボットの開発を決意

1995年1月17日早朝、自宅で寝ていた田所PMは、強烈な揺れで目を覚ます。阪神・淡路大震災である。

「一体何が起きているのか全く分からない状態でした。家の中も家具が転倒していて、外に出るのも一苦勞。情報が何も無く、神戸の中心部が壊滅的な状況になっていると知ったのは夕方になった頃でした」

ようやく大学に行けたのは、一週間後のこと。がれきの下から何とか助け出された学生や、下宿が無くなってしまい、

タフ・ロボティクス・チャレンジが目指す未来の災害救助



公園や大学内でテント生活をしている学生、不幸にも命を落とした学生の話も聞こえてきた。自分がやってきたロボットの技術が、災害で人命が失われていく現実に関与できないことが、とても腹立たしく、無力感にさいなまれた。

「阪神・淡路大震災で被災したことが、レスキューロボットの研究を始めるきっかけになったのは間違いありません。ある人から『神戸の人がリーダーシップをとらないと誰もやらないよ』と言われましたが、その通りだと思いました」

田所PMは研究予算の獲得を試みるが、それまで誰もやっていないような研究に予算を出してくれるところは無かった。

「レスキューロボットは研究ではなく、学術的価値はない、と言われました。全くの0(ゼロ)の状態から、0.01にするまでの障壁はとても大きかったです」

趣旨に賛同する人たちとともに日本機械学会の中に研究会を作り、レスキューロボットのニーズと可能性に関する調査を行い、それをもとに先駆け研究を2年間に渡って実施した。



▶阪神・淡路大震災で研究室の学生が埋もれた倒壊家屋

「調べれば調べるほど、できることはたくさんあるということがわかってきました。それと同時に、世界中でこの問題に取り組んでいる研究者はほとんど誰もいないということもわかりました。誰もやってないということは10年経っても100年経っても現状は変わらないということです。成果が出るかどうかかわからないが、草の根から少しずつ始めていくことが重要だと思ったのです」

阪神・淡路大震災が
レスキューロボット研究の
きっかけです。

災害対応ロボットによる競技会「ロボカップレスキュー」を創設

レスキューロボットの開発は長い時間がかかるため、継続的に研究者と予算を集めていく仕組みが重要となる。そこで田所PMは「ロボカップ」に注目した。1997年から毎年開催されているロボカップは、「西暦2050年に、自律型の人型ロボットチームが、人間のサッカーワールドカップ優勝チームに勝利を収める」ことを目標とした競技会である。

「ロボカップには世界中から多くの研究者が集まり、毎年技術レベルも向上していました。この仕組みをレスキューロボットでも使えないかと思ったのです」

そこで田所PMは、ロボカップの創始者メンバーであるソニー CSLの北野宏明(当時研究員、現所長)や大阪大学の

浅田稔(当時助教授、現教授)とディスカッションを行い、アメリカの人工知能学会や国立標準技術研究所のAdam Jacoff(当時研究員、現主幹研究員)の協力を得ながら、新しい競技会「ロボカップレスキュー」を創設する。

「バーチャルなシミュレーションによる競技と、実際のロボットによる競技の2種類のルールを策定し、2001年からロボカップのひとつとして世界大会を開始することができました」

ロボカップレスキューはフィールド内のがれきの中から「被災者」を探索し、位置情報を確認するというルール。世界各国から参加者が集まり、年を追うごとにセンシング能力やロボットの自律性能・運動性能が向上していった。

「開発される技術や機能が災害現場でどう役立つかが、毎回、競技が用意した模擬空間で検証され、いいものは他のチームにまねされて改良される、ということに意義があるのです。逆に、これは使えたと研究者が思ったとしても、実際に使えない無理な技術は次第に淘汰されていきます」

産官学民が一体となった体制作り「国際レスキューシステム研究機構」設立

2001年9月11日のアメリカ同時多発テロで、倒壊したビル内の様子を調べるためにロボットが使われたことで、防災関係者のレスキューロボットに対する関心が高まった。

「2002年からスタートした文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)に、レスキューロボットを研究テーマのひとつに入れてもらうことができました」

レスキューロボットの認知度は徐々に高まってきていたが、国内の研究者をとりまとめ、その意義や成果を唱え、将来を見すえた研究プランを提案するような組織が当時まだ無かった。そこで田所PMは「NPO法人国際レスキューシステム研究機構(IRS)」を設立し、産官学民が一体となって研究を進めてい

く体制作りを行った。研究開発型のNPOにすることで、大学や企業など既存の組織にとらわれない形で、レスキューロボットの効果的な研究を進めることができるようになった。

「IRSを中心として大大特を共同で進めた結果、実用化に結びつきそうな成果がいくつか出てきました。またロボット研究者の多くが、災害時の活用を意識するようになってきました」

災害現場の最前線で救助にあたる消防隊員からも、レスキューロボットに対する期待、要望がたくさん寄せられた。

「神戸市消防局の方からは、震災時に被災者がどこにいるのかが分からず、救助しようにもできなかったという話を聞きました。場所が分かれば助ける方法はあるので、ロボットが探し出せるのなら、大変役立つという意見でした」

また、被災者を安全に救助すると同時に、救助する側の安全を守る仕組みも重要だということがわかってきた。

「火災現場で被災者を救助しようとして、救助する側が命を落とす場合もあります。救助する隊員の安全を確保することも大切で、隊員が安全に作業するためにロボットを使えないかということも、いただいた要望でした」

福島原発に「Quince」を投入 レスキューロボットによる大きな実績

2005年に東北大学大学院情報科学研究科教授に就任した田所PMは、これまでの研究成果を元に、地下街やビル等の閉鎖空間で災害情報を収集するロボットの開発に取り組んでいく。

「優れた運動性能と計測機能を持ち、人間に代わって災害現場などの危険な環境での情報収集を行うロボットです。円滑な救助活動の支援と救助に従事する人間の二次災害防止を目的としました」

2011年3月、田所PMは災害対応ロボット「Quince」のテストのために、ア

メリカのテキサス州にいた。

「ディザスターシテイと呼ばれる施設は全米最大の災害対応訓練施設で毎年17万人を超える訓練や教育を行っています。そこでは様々な災害や事故を想定した救助訓練が可能な模擬災害空間が作られて

います。ここを使ってQuinceの最終能力テストを行っていたのです。無事試験を終えた翌日、日本から信じられないニュースが飛び込んできたのです」

3月11日、東日本大震災。急遽帰国した田所PMは、神戸に続く二度目の大地震被害に言葉を失った。復旧活動もままならない中、少しずつ福島の原子力発電所の事故のニュースが届き始めた。

「人が入れない原子炉建屋内にロボットを入れて、内部の状態を調べよとの計画がすぐにはじまりました。私たちは、このままだと東北地方はもとより、日本全体が、あるいは、世界が滅びる可能性まである。放射線量が高く人間が入ることができない、しかも現場がどのような状況なのか、入ってみたいとわからないような災害の瓦礫環境で使えるロボットといえばQuinceしかない。研究予算も国から出ていましたので、この問題解決に協力することが私たちの義務ではないかと考えました」

田所PMは経済産業省を通じて、Quinceの存在をアピールするとともに、政府や東京電力の関係者に対して実機を使ったデモを行い、4月のおわりになって正式に「Quinceを使いたい」との連絡が入った。共同研究を行っていた千葉工業大学の施設を使って、多くの共同研究者の手によって、原子炉建屋内で活動できるようにQuinceの改良が



▶レスキューロボット「Quince」

行われ、6月にいよいよ現場へ投入されることになった。

「発電所内部の詳しい状況が分からないため実際の作業計画をなかなか決めることができない中でQuinceが投入され、発電所内部の状況を撮影し、温度調査や放射線マッピング、ダストサンプルの収集などを行いました」

その情報を元にすぐに復旧計画が立てられ、復旧作業が進められた。そしてその結果、炉内の温度を下げることに成功し、冷温停止状態の実現に貢献することができた。これが、レスキューロボットが実際の災害現場で活用された実績のうちで、世界中で最も広くよく知られた事例となった。

「Quinceは原発用に開発したロボットではありませんが、ある程度の成果を出すことができました。阪神・淡路大震災以降以降ずっと続けてきたことがお役に立てて、本当にうれしかったです」

ずっと続けてきたことが
お役に立てて、
本当にうれしかった。

「ひ弱な優等生」ではないタフで へこたれないロボットを目指して

2014年、田所PMはImPACTに応募し、「タフ・ロボティクス・チャレンジ」

をテーマにプログラムをスタートさせた。田所PMのプログラムでは、未知の状況が刻一刻と変化する極限災害環境の中でも、へこたれずに仕事ができる遠隔自律型ロボットのための基盤技術の確立を目標としている。具体的には「極限環境アクセシビリティ」「極限センシング」「作業失敗時リカバリ」「極限環境適合性」などである。

「私は今のロボットを、ひ弱な優等生と呼んでいます。ある決められた環境条件では優れた能力を発揮しますが、環境条件が異なると、何もできなくなってしまう。災害現場で求められるのは、多少のことがあってもタフにやり遂げられるような強さです。タフ・ロボティクスのタフとは、頑丈なロボットを作ることではなくて、条件が異なってもきちんと動いて、仕事ができるという意味です」

プロジェクトには「日本のロボット研究者のベストメンバーを集めた」と田所PM。「複合ロボ」「索状ロボ」「飛行ロボ」「脚ロボ」「動物サイボーグ」の5種類のロボットボディを想定し、そのプラットフォーム上に様々な技術を集約しつつ、フィールドでの検証を行っていく。

人間とロボットが協力しながら 災害救助に取り組む未来

レスキューロボットが災害現場で広く活用されるようになった未来を、田所PMはどのように予測しているのだろうか。

「人間とロボットが役割分担をしながら

ら救助活動を行うことになると思います。ロボットが得意なことを人間がやる必要はないのです。逆にロボットが苦手なことを、時間とコストをかけてロボットにやらせる必要はないでしょう。100%ロボットにやらせることが技術的に可能であったとしても、予算を投じてやることではないと思います。

昔、生産現場を完全ロボット化することに注力された時代がありました。その時は自動化が至上命題で、人間がやったほうが良いようなことまで無理してロボット化が試みられていました。しかし現在では、人間とロボットがどう役割分担して、どのように作業を進めていくことが効率よく製品を生産できるか、にシフトしています。災害現場でもそれは同じでしょう。人間とロボット、それぞれが何をやるのが災害救助としてもっとも効果をあげることができるかを考えるべきでしょう」

タフロボティクスが生み出す 非連続イノベーションの可能性

ImPACTの成果として、タフなレスキューロボットが実現したとしても、それがそのまま産業として成立することは難しいと、田所PMは考えている。

「レスキューロボットのエンドユーザーは誰なのかと考えると、やはり国や自治体に限定されるでしょう。一般家庭が購入するものではないし、企業にしても法規制でもない限り、積極的に購入するとは思えません」

世界的に見ても予想される市場は小さい。社会的にはレスキューロボットの必要性を認められても、産業として成立するかは別の問題である。

「災害時に役立つロボットというのは重要な目標で、それを実現するのが技術的イノベーションです。また、安全安心社会を実現することが社



▶米国CRASAR(ロボット支援探索救助センター)との共同ロボット試験を行う田所PM

会的イノベーションだと考えています。それだけでなく、ここで開発する技術や方法論、あるいは人材が、産業的イノベーションを引き起こすことを期待したい。フィールド評価試験でロボットが動いているところを見て感じれば、これができるんなら、こういうことも可能ではないかというインスピレーションが働いて、新しい事業や製品が生まれたり、既存の製品に新しいイノベーションの種を吹き込むことにつながるでしょう」

レスキューロボットの研究開発成果が、災害分野以外でも「タフに」能力を発揮して産業競争力強化にも貢献したい。これも田所PMのプログラムが目指すところである。

「プログラムに参加している若い研究者に、ImPACTの研究を進める過程で育てていてもらいたいですね。タフ・ロボティクス・チャレンジがあったから今の自分があるんだと、10年、20年後に大活躍している人にそう言ってもらえたら最高だと思います」

これからの社会に必要なソリューションを生み出すのは「人」である。タフ・ロボティクス・チャレンジの研究開発が創り出すものは、技術・社会・産業の非連続イノベーションだけではなく、それを継続して産み出し続けることができる「人」なのだ、と田所PMは語った。



▶能動スコープカメラのフィールド試験



革新的研究開発推進プログラム

IMPACT

Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Program

ImPACT Newsletter Vol. 4

| | |
|----------|---|
| 発行日 | 2016年1月31日 |
| 企画・編集・発行 | 国立研究開発法人 科学技術振興機構[JST] 革新的研究開発推進室 〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's五番町 |
| TEL | 03-6380-9012 |
| E-mail | impact@jst.go.jp |
| URL | http://www.jst.go.jp/impact/ |