

Impulsing
Paradigm
Change through Disruptive
Technologies Program

Vol. **7** November 2016

ImPACT

NEWS LETTER



プログラムの新たな展開

非連続イノベーションの
実現に向けて…… 2

プログラム・マネージャー紹介

未来開拓者の系譜 7 …… 8

山川義徳 PM

白坂成功 PM



革新的研究開発推進プログラム
ImPACT
Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Program

非連続イノベーションの実現に向けて

ImPACT (革新的研究開発推進プログラム) は、公募で選ばれた 16 名のプログラム・マネージャー (PM) を中心に、それぞれのプログラムが“ハイリスク・ハイインパクト”な研究テーマに挑み、日々、目覚ましい成果を上げています。そうしたプログラムの最新動向をご紹介します。

P M Goda

微生物の個性を測る高速分子イメージング法を開発

～微生物によるバイオ燃料・バイオ医薬品生産の研究を加速～

研究の背景

合田プログラムでは、ライフサイエンスでの「砂浜から一粒の砂金」のような幸運な発見 (セレンディピティ) を、計画的に創出できる革新的な基盤技術を開発しています。

偶然を必然の発見にするために、先端光技術を機軸に異分野の知見や技術を融合することで、夢の細胞検索エンジン「セレンディピター」の実現に取り組んでいます。膨大な数の細胞集団に含まれる個々の細胞を調べることで、希少な細胞を生きたまま高速で探索することが可能となります。

このひとつひとつの細胞の個性を調べる方法について、本プログラムでは複数の研究を進めており、大きな進展がありました。

本プログラムに参加する、東京大学を中心とした複数のチームにより、生きた細胞内部に存在する生体分子を光学的に検出する、高速誘導ラマン散乱 (SRS) 顕微鏡を開発し、生きて動くミドリムシ細胞の内部に存在する脂質や多糖類などをイメージング (画像化) することに成功したのです。

本研究成果は、2016年8月1日に英国の科学雑誌 *Nature Microbiology* のオンライン版で公開 (<http://www.nature.com/articles/nmicrobiol2016124>) されました。また、本論文は同誌2016年9月号の Cover Art (<http://www.nature.com/nmicrobiol/volumes/1/issues/10>) に選ばれました。

細胞の個性を調べる ラマン顕微鏡

微生物を用いた物質生産技術は、バイオ燃料、医薬品、食料、プラスチックへの幅広い応用が期待されています。微生物の中でも、単細胞の藻類の一種であるミドリムシ (学名: *Euglena gracilis*) は、脂質や、多糖類の一種であるパラミロンなど様々な代謝物を産生することが知られています。脂質はジェット燃料をはじめとする再生可能エネルギーへの応用、パラミロンはバイオ医薬品等への応用が期待されており、生育環境や外部からの刺激に応じてどのように産生量が変化するかを知ることが重要です。しかし、脂質の染色法は存在するものの、パラミロンの染色法はまだ知られていません。従来の化学的な計測法では、多数の細胞内の物質量の総和の計測はできますが、個々の細胞内の物質量を調べることは困難でした。

無染色での生体観察法としては、光を分子に照射して生じるラマン散乱を検出するラマン顕微鏡が知られています。ラマン散乱は、光を分子に照射した際の光の散乱現象の1つであり、分子振動の周波数だけ光の周波数が変化したものです。ラマン散乱の光の周波数は分子構造を反映するので、ラマ

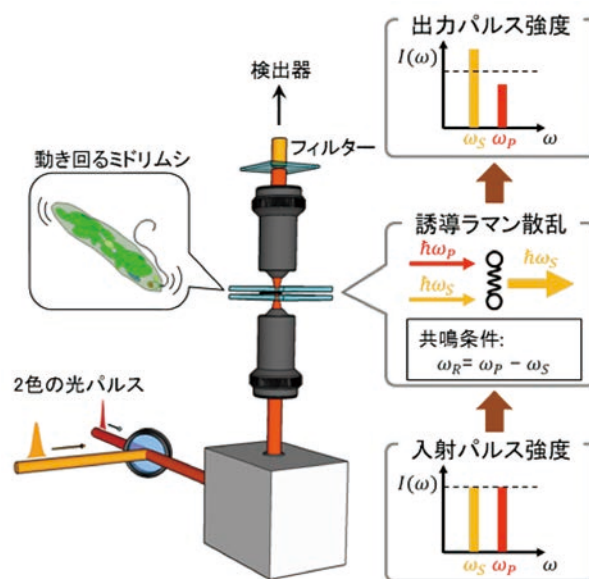


図1. 誘導ラマン散乱顕微鏡の概念図

ン顕微鏡により無染色の生体の分子イメージングができます。しかし、ラマン散乱光は極めて微弱なため、ラマン顕微鏡でのイメージングには数十分から数時間程度の長時間を要していました。

これに対し、本プログラムに参加している東京大学の小関泰之准教授が開発を進めてきた誘導ラマン散乱 (SRS: Stimulated Raman Scattering) 顕微鏡では、5ピコ秒 (1兆分の5秒) 程度のごく短い時間幅を持った2色の光パルス分子に照射し、分子振動に由来する光パルスの強度の変化 (SRS効果) を検出します (図1)。SRS顕微鏡では、ラマン散乱に比べて高い感度で高速に生体分子を識別し、数秒程度の短い時間内に分子イメージングを行うことができます。



SRS顕微鏡の高速化により 生きて動くミドリムシの 内部を観察

本研究では、SRS顕微鏡をさらに高速化し、生きて動くミドリムシの個々の細胞に含まれる脂質やパラミロン等の物質の分子イメージングに成功しました。まず、ミドリムシ細胞が動かないように薬剤で固定してからSRS顕微鏡で観察したところ、ミドリムシ内部の、脂質とパラミロンを含む4種類の物質がイメージングできることを見出しました(図2)。次に、SRS顕微鏡の画像取得速度を、従来の1秒あたり30枚から1秒あたり110枚に高速化し、生きて動くミドリムシを観察しました。その結果、4つの分子振動周波数に対応するSRS画像を37ミリ秒という短い時間で取得し、ミドリムシが細胞内に蓄積する物質を無染色で分子イメージングすることに成功しました(図3)。

さらに、本手法を応用して、窒素が非常に少ない窒素欠乏状態に置かれた細胞の応答を調べました。窒素欠乏状態でミドリムシを培養すると、通常の培養条件よりも、細胞内部にパラミロンや脂質を多く蓄えることが知られていましたが、細胞ごとのパラミロンの量を調べることはこれまで困難でした。

窒素欠乏状態に置かれる前後の細胞

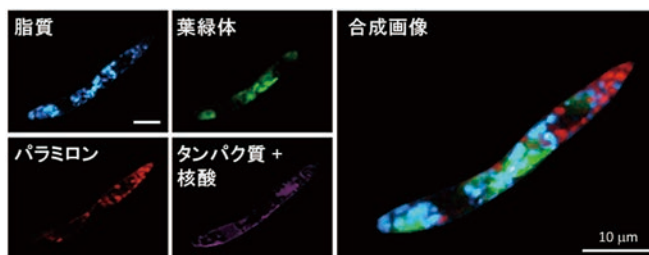


図2. 固定したミドリムシの観察結果
(水色：脂質、赤：パラミロン、緑：葉緑体、紫：タンパク質+核酸)

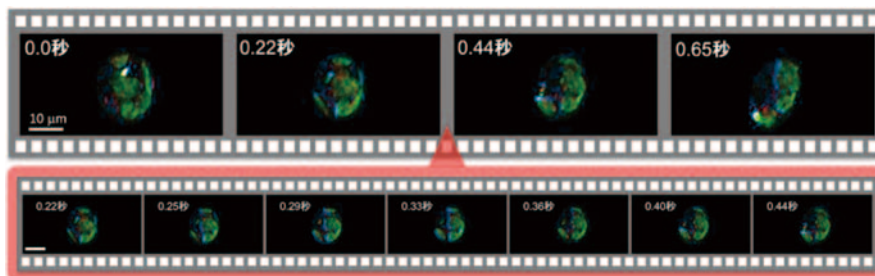


図3. 高速SRS顕微鏡により観察した、生きて動き回るミドリムシの細胞内成分
(水色：脂質、赤：パラミロン、緑：葉緑体)

集団から、それぞれ約100匹の細胞を観察・評価して比較した結果、個々の細胞が含有する成分量は細胞ごとに大きく異なるが、窒素欠乏状態に置かれた細胞では、全体として葉緑体の量が減り、脂質やパラミロンの量が増えることが確認されました(図4)。

このように、生きた細胞ひとつひとつに含まれる代謝物量と空間分布という細胞の個性に関する情報を得ることが可能になりました。

観察速度のさらなる向上へ

私たちが開発を進めてきたSRS顕微

鏡で、これまで可視化が難しかったミドリムシの栄養分が見えたのはたいへん驚きでした。

また、本研究は合田プログラム内において複数の研究チームが試料調製、観察実験、画像解析、統計解析などを協働することで達成できた、異分野連携の成果でもあります。今後、SRS顕微鏡の観察速度をさらに向上させ、膨大な数の細胞集団から希少な細胞を探索する技術の実現に向けて研究を進めていきます。

東京大学大学院工学系研究科
小関 泰之、鈴木 祐太

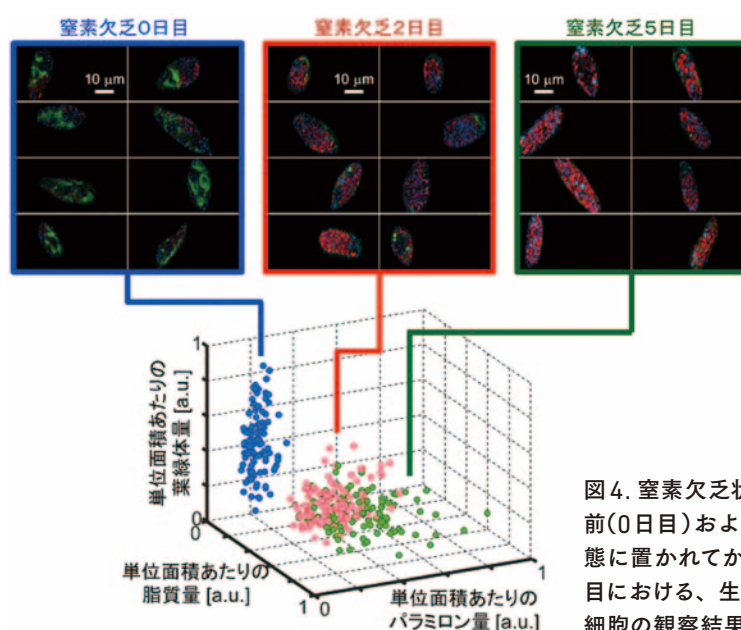


図4. 窒素欠乏状態に置かれる前(0日目)および窒素欠乏状態に置かれてから2日目、5日目における、生きたミドリムシ細胞の観察結果

PMコメント：

今回開発した高速SRS顕微鏡は、生きたままの微生物の細胞ひとつひとつの個性の計測を可能とするものであり、膨大な数の細胞集団から希少な細胞を見つけ出す細胞検索エンジン「セレンディピター」の実現に向けた大きな一歩であると考えています。ミドリムシをはじめとする微生物が様々な環境変化や外部刺激に対してどのような応答を示すかを詳細に調べた知見が、高効率な物質生産手法の構築、さらにはバイオ燃料生産の効率化や新規バイオ医薬品の開発につながるものと期待できます。

合田圭介PM

P M Sahashi

スピントロニクス素子を用いた
不揮発再構成可能論理集積回路

「無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現」を目指す佐橋プログラムでは、東北大学 大野英男教授をリーダーに「スピントロニクス集積回路プロジェクト」が進行しています。この大野プロジェクトでは、同大学の羽生貴弘教授と鈴木大輔助教が、安全・安心でかつ省エネルギーのIoT (Internet of Things) 社会の基盤技術を構築しようと、「エナジーハーベスティングで駆動する集積回路向け回路・アーキテクチャ」の研究開発を行っています。日本経済新聞6月20日号で紹介され、人工知能 (AI) への展開も期待されている最近の研究成果を紹介します。

佐橋政司PM

ブロックレベル
パワーゲーティング技術

現在、端末に用いられているマイコンは、消費電力が大きく定期的な電池交換が必要ことからその適用範囲は限られ、また端末とクラウドでの通信容量にも限度があります。従って将来の高度なIoT社会実現を見据えると、マイコンの低消費電力化および高性能化が必須となります。

このような観点から、大野プロジェクトではスピントロニクスマイコンの開発を世界に先駆けて進めています。スピントロニクス記憶素子は、高速かつ無限回の情報の書き換えが可能であり、また記憶した情報を不揮発に保持することができることから待機電力を実質的にゼロにすることができます。これらの性質を利用した電池交換不要、かつ高性能なマイコンを社会のいたるところに分散させて端末間でもローカルに情報を処理させることによってクラウドに上げる情報を最小限にし、結

果として身の回りの膨大な情報をリアルタイムで柔軟に活用できる利便性の高いIoT社会を構築することが大野プロジェクトの夢です。

マイコンはCPUをはじめ様々な機能ブロックから構成されており、Field-Programmable Gate Array (FPGA) はこれらの機能ブロックを実現する重要な要素となります。このよう

なFPGAにおいては、非稼働状態の回路ブロックの電源供給を一時的に遮断するパワーゲーティング技術が重要な鍵を担っています。特に、より細かい時間的/空間的粒度でパワーゲーティングを行うことで、無駄な待機電力は、完全に削減可能となります。

今回、最先端・次世代研究開発支援プログラムで培ってきた設計資産に基づき、不揮発FPGAを設計するとともに、FPGAの動作状態に着目することで待機電力を大幅に削減可能なブロックレベルパワーゲーティング技術を考案、その低消費電力性を世界に先駆けて実証しました。

図1に不揮発FPGAの基本アーキテクチャを示します。FPGAはTileと呼ばれる基本構成単位のアレイ構造となっています。Tileは、演算機能を実現するConfigurable Logic Block (CLB)、配線トラック上の入出力信号の方向を制御するSwitch Block (SB)、CLBとSB間の接続を決定するConnection Block (CB)、およびこれらのブロックに回路情報を書き込むための書込み回路で構成されています。スピントロニクス記

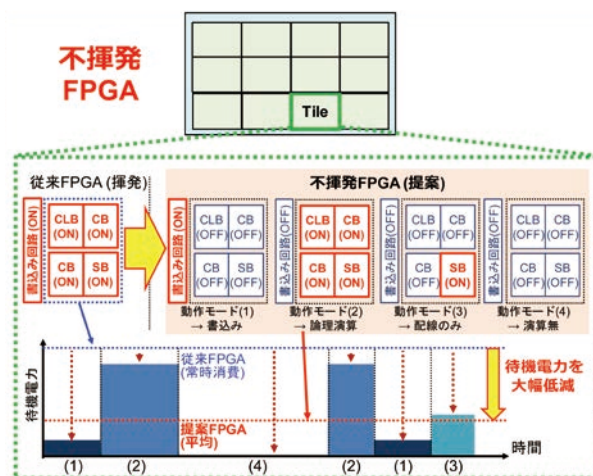


図1. ブロックレベルパワーゲーティング技術

憶素子はCLB、SB、CBに分散しており、不揮発に回路情報を保持します。従って、電源を遮断しても回路情報は保持され、電源再投入後瞬時に元の状態に復帰することが可能です。

ここで、それぞれの回路ブロックの動作状態に着目すると、動作モードに応じて全く使用していないブロックがあることが分かります。従って、その未使用ブロックの電源供給を停止することで待機電力の大幅削減が可能となります（ブロックレベルパワーゲーティング）。すなわち、

- ① 書込みモード: この時、書込み回路のみに電源が供給され、他は電源オフとなります。
- ② 演算モード: この時、通常の演算処理が行われますが、書込み回路は演算には寄与しないので電源オフとなります。
- ③ 配線モード: この時、隣接するTileに信号を伝搬させるため、SBのみが電源オンとなります。
- ④ 演算無しモード: この時、Tileは全く動作しないため、すべてのブロックの電源はオフとなります。



上記のようなブロックレベルパワーゲーティングにより、Tileの平均待機電力を大幅に削減することが可能となります。

そこで、IoT応用を想定し、典型的なベンチマーク回路20個における間欠

動作を行った場合の消費電力の評価を行った結果、Tileごとに適切な電源供給を実施することで、従来回路と比較して81%の電力削減（従来比1/5）を達成、その低消費電力性を世界に先駆けて実証しました。

今後ともスピントロニクスマイコンの社会実装に向けて研究開発をより一層加速していきます。

東北大学 省エネルギー・スピントロニクス
集積化システムセンター
羽生貴弘、鈴木大輔

P M Sahashi

マンガン合金ナノ薄膜を用いたトンネル磁気抵抗素子の開発に成功

佐橋 プログラム「湯浅 電圧駆動 MRAM 開発タスクフォースプロジェクト」(PL:産総研 湯浅新治)では、エコで快適なライフスタイルへの変革、および安全・安心なユビキタス IT 社会の実現を目指し、新たな磁化反転の物理メカニズムである電圧駆動を利用した究極の省電力磁気抵抗メモリ (MRAM) を開発しています。高集積化を狙う電圧駆動MRAMには、磁性記憶層の高磁気異性化等これまで以上に薄膜の高性能化が求められます。

この度、東北大学WPI-AIMRの水上成美教授らの研究グループでは、新たな磁性材料ナノ薄膜を用いたトンネル磁気抵抗 (TMR) 素子の開発に成功しました。本研究は、MRAMの高集積化へ向けた1つの方向性を示すインパクトのある成果です。なお、本研究成果は、7月に日経産業新聞等に掲載されています。 佐橋政司PM

開発の経緯

MRAMでは、TMR素子とトランジスタを組み合わせることで1ビット記憶ユニットとします(図1)。TMR素子の磁性記憶層の磁気の向きが情報の担体であり、TMR効果によって磁気の向きを電気信号に変換して読み出します。また逆に、電氣的に磁気の方向を反転することで情報を書き込みます。磁気の源はミクロな電子のスピンであり、磁気の反転には物質の移動がほとんど伴わないた

めSRAM並みの高速性を実現できます。また、1ビットの物理的スケールを小さくすることでDRAM同様の大容量化が可能です。磁性記憶層の磁気の方向は、永久磁石のように磁気異方性と呼ばれる力で熱揺籃からプロテクトされるため、MRAMの記憶の保持に電源は不要です。そこで、情報機器のメモリとして用いることで待機時の消費電力を大幅に低減できます。現在、東芝をはじめとする国内外メモリメーカーが、DRAMやSRAM代替のため、高集積あるいは高速のMRAMの開発を進めています。

これら現行のMRAMでは、主に鉄とコバルトなどの合金にホウ素が添加された磁性材料のナノ薄膜がTMR素子の磁性記憶層に用いられています。酸化マグネシウム絶縁障壁と接合することで、ナノ薄膜の面に垂直の方向に磁気の方向を安定化させる磁気異方性(垂直磁気異方性)を発現するとともに、大きなTMR効果が得られるためです。また、書き込みの際には、電流を流して磁性記憶層にスピンを注入し、磁気の方向を量子力学的なスピン

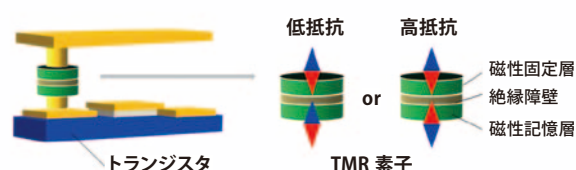


図1. MRAMの記憶セルの模式図

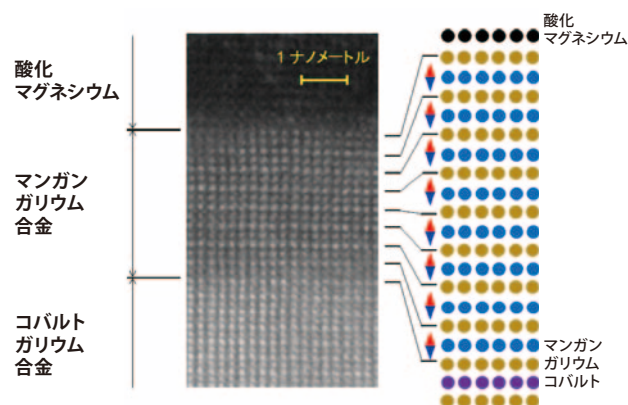


図2. 開発したTMR素子の断面の電子顕微鏡写真

移送トルク(STT効果)で回転させますが、上述の材料では磁気に働く摩擦(磁気摩擦)が弱いため、小さいトルク(低電流)で磁気を反転させることができます。これら材料と量子物理効果を用いることで、TMR素子直径がおよそ20~30ナノメートル、数ギガビットの容量のMRAMが実現できると考えられています。しかし、さらなる大容量のMRAMでは素子の直径が10~20ナノメートルになると推測され、より大きな垂直磁気異方性と低磁気摩擦を発現するナノ薄膜を磁性記憶層に有し、かつ高いTMR効果を示す新材料ナノ薄膜素子の開発が重要な課題の1つです。

本研究の成果

本研究グループは、これまでマンガンを主な元素とする磁性材料研究に取り組む、マンガ磁性合金が高垂直磁気異方性と低磁気摩擦を兼ね備えた材料であり、優れた磁性記憶層材料になりうることを世界に先駆けて発見しています。

本プロジェクトにおいてさらに研究を推進し、非磁性のコバルトとガリウムの合金を下地材料として用いることにより、原子が規則的に配列したマンガとガリウムの磁性合金ナノ薄膜を世界に先駆けて開発しました(図2)。

このナノ薄膜は、産業に用いられる標準的なスパッタ法により室温で容易に作製でき、マンガやガリウムの原子がコバルトガリウム合金の表面で自発的に規則配列しながら成長すると考えられます。磁性ナノ薄膜の上部にはガリウム原子を介して(001)方位に配向した酸化マグネシウム絶縁障壁層が形成され、TMR効果を発現することも

実証されました。

本プログラムで果たす役割

マンガガリウム合金ナノ薄膜の垂直磁気異方性は、コバルト鉄ホウ素合金ナノ薄膜と酸化マグネシウム絶縁障壁を接合した標準的な構造が示す垂直磁気異方性よりも数倍大きいことが明らかとなり、現行よりも高い集積度のMRAMに対応できるものと考えられ、本プログラムの1つの礎となりうるものです。

また、マンガ磁性合金は塊状や厚い薄膜では良質の試料を作製するのが難しかったため、そのSTT効果や、より新しい書き込み原理である電圧書き込みやスピン軌道トルク(SOT)書き込みの研究例がなく、学術的にも未踏の領域です。

本成果はその探索の入り口を見出した快挙といえ、本プログラムの研究開発を深化させる役割を果たすものと考えられます。

今後の展開

本研究で見出したマンガガリウム合金ナノ薄膜の結晶格子はわずかに歪んでいますが、格子歪による電子エネルギーバンド構造の変化によって巨大なTMR効果が発現することが、本プログラムの計算科学支援チームによって理論予測されました。本プロジェクトで並行して進行している新バリア材料や単結晶プロセス技術の開発と連携し、巨大TMR効果を実現する素子の高度化を今後達成します。

半導体技術においてシリコンが1つの標準であるように、これまでの磁気技術では鉄が標準的な磁性材料であったわけですから、マンガ磁性材料を用いたTMR素子の実用化は革新的なブレイクスルーに相当します。それには多くのハードルがありますが、他機関や企業と連携することで、究極のMRAMの実現を目指します。

東北大学 WPI-AIMR
水上成美、鈴木和也

P M Tadokoro

電波が直接届かない環境でもロボットを安定に制御する技術を開発 ～上空のドローンを経由し、見通し外の小型四輪ロボットの遠隔制御が可能に～

研究開発の背景

広い範囲を移動するロボットを操縦者が遠隔制御する場合、ロボットが厚い壁、建物、樹木、あるいは山などの反対側(見通し外)に回り込んでしまうと電波は遮られて通信が切れ、遠隔からのロボットの制御や状態把握(テレメトリ)ができなくなります。

これに対し、これまでも他のロボットを経由して障害物を乗り越えるアドホック・マルチホップ通信の技術がありました。しかし、その多くはインターネット用として設計された無線LANの技術をそのまま流用していたため、通信経路切り替えの際の連続性や遅延時

間(レイテンシ)などが制御にとって問題でした。

私たちの研究チームでは、ImPACTの「タフ・ロボティクス・チャレンジ」において「タフな無線」の実現を目指し、通信方式をゼロベースで見直すこととしました。

技術の概要

本研究では、見通し外のロボットを中継用ロボット経由で制御・状態把握する状況を想定して、「ロボット制御用」に特化し、「中継伝送すること」を前提として、応答遅延時間が小さく、かつ、通信信号どうしが互いに干渉しな

いことを両立させた新たな通信手順を設計・開発しました。具体的には「時分割多元接続(TDMA)」方式をロボット制御用に採用し、レイテンシを保証して制御データの「鮮度」を一定に保つことを可能にしました。

また、異なる中継経路を経由して受信される信号をTDMA方式の各スロットで常にすべて受信し、受信側でどちらか強い信号だけを受け取るという手法をロボット制御用の中継方式として初めて採用しました。

これらの技術により、これまで条件によって変動していた中継局経由のレイテンシを制御データの送信周期(約

50ミリ秒)以内に抑え、中継経路が変更された際の通信の切断時間を従来の1/10以下に抑えることを可能にしました。

実証実験

情報通信研究機構と産業技術総合研究所は、本技術を検証するため、試作装置(920MHz帯)を用いたフィールド実証実験を行い、操縦者から見て見通し外にある小型四輪ロボットの安定な遠隔制御とそのテレメトリ信号受信に成功しました。中継装置は、ドローン(マルチロータ型無人機)に搭載し、高度約20～30メートルでホバリングさせ、これを経由して小型四輪ロボットへの無線制御回線を構成しました(図1)。ドローンを経由して他のロボットを制御し、かつ中継経路が途中で切り替わっても通信を切断させない技術は、世界でもまだ実現した例がありません。

おわりに

開発した技術は、今後、電波が伝わりにくい建物内やその近傍での災害時や警備等のためのロボット運用に加え、山間部でのドローンの低高度飛行によるモニタリング調査や遠方への物資の輸送などへの活用も期待されます。

情報通信研究機構
三浦 龍、加川 敏規、滝沢 賢一、小野 文枝
産業技術総合研究所
加藤 晋、越川 知大、神村 明哉、有隅 仁

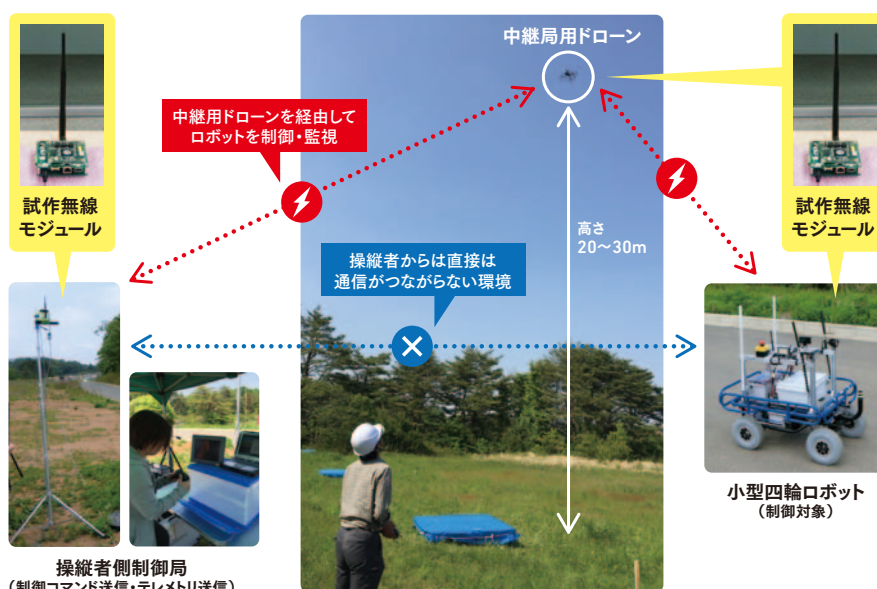


図1. フィールド実証実験の様子

PMコメント：

ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジは、災害の予防・緊急対応・復旧、人命救助、人道貢献のためのロボットに必要不可欠な、「タフで、へこたれない」様々な技術を創りだし、防災における社会的イノベーションとともに、新事業創出による産業的イノベーションを興すことを目的とし、プロジェクトの研究開発を推進しています。

災害現場での緊急対応や平時の災害予防(点検等)のためのロボットには、無線通信による遠隔操作や情報の伝送が必須です。ところが、構造物の陰に隠れたり、地形や樹木の影響によって電波が遮られ、通信が不安定になると

いう問題があり、ロボットを運用する際の大きな問題点となっていました。

本研究は、無線通信を中継するロボットが間に入ることによって、通信の遅れを最小限に抑えながら安定した通信を確保するための実用技術です。無線通信のタフさを改善することにより、途切れることのない情報伝送や遠隔操作の実現という非連続イノベーションを達成したところに意義があります。

今後、実用化を進めることによって、大規模災害における通信手段の安定性を飛躍的に向上させるとともに、インフラ・設備点検などへの広い波及効果が期待されます。 田所 諭PM

今後のイベント予定

イベント名	nano tech 2017 第16回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 (シンポジウム開催、ブース出展) 宮田 PM
開催日	2017年2月15日～17日(シンポジウム開催15日のみ)
開催場所	東京ビッグサイト
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」 2016年度シンポジウム 山川 PM
開催日	2017年2月23日
開催場所	丸ビルホール

申し込み方法等詳細は、ImPACTのHPにて随時ご案内いたします
URL:<http://www.jst.go.jp/impact/>

自分の脳は自分で守る時代

脳の健康指標を軸とする
エコシステム戦略で
新たな産業を興す

脳の働きを調べる技術は、ここ20年ほどで大きく進歩した。しかし、その成果の応用は医療や創薬の分野にとどまっている。応用範囲を民生用に広げたら、新たな産業を興せるのではないか。そう考えた山川義徳PMは、多様なプレイヤーを巻き込むエコシステム戦略を次々に繰り出し、イノベーションの実現を目指している。

Yoshinori YAMAKAWA



脳情報産業のインフラづくりが1つの出口。
そうすれば、研究者も企業も
個人も参加してくれる。

カイコからインターネットへ

「脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現」というプログラムを率いる山川PM。しかし、履歴を一通り見ただけでは、なぜこのテーマの研究開発を行うに至ったのかが、なかなか見えてこない。その背景には、どんな思いがあったのだろうか。

「歴史や経営など文系寄りのことが好きで、社会の中で人の心がどう動くかということに昔から関心がありました」と、山川PMは言う。人の心は脳の働きで生まれることから、山川PMが脳の働きを知りたいと思ったのも当然だ。ちょうど1990年代に脳科学の研究が一気に進んだこともあり、大学院修士課程ではカイコやマウスを使って、脳の働きに関係する遺伝子や細胞を研究した。

しかし、より高度な人の脳の働きを調べるには、MRI(Magnetic Resonance Imaging：核磁気共鳴画像法)のような高価で大きかりな装置が必要になる。当時、MRIは医療用として普及が始まっていたものの、脳研究のために使える研究機関は限られており、山川PMの目指す「社会や組織の中で脳がどう動いているか」という新しい分野の研究に使うことは難しかった。そこで修士課程修了後は、日本電気に入社し、社長直轄のインターネット事業戦略室に所属することになった。

脳研究とインターネット事業とは、あまり関係がなさそうに見える。しかし、「2000年頃は、インターネットが急速に花開いた時期で、それが人の行動にも大きく影響すると予想されていました。そこで、インターネット社会における人や組織のふるまいを分析して、新しい事業を興すという部門に入れてもらったのです」と、山川PM。

ところが日本電気に5年間勤めた後、山川PMは大学院博士課程に進学することにした。

山川義徳

- 2000年 京都大学大学院理学研究科修士課程修了
- 2000年～2005年 日本電気(NEC)株式会社インターネット事業戦略室、経営企画部主任
- 2008年 京都大学大学院人間・環境学研究科博士課程修了
博士(人間・環境学)
- 2008年～2010年 京都大学大学院情報科学研究科グローバルCOE助教
- 2010年～ NTTデータ経営研究所ニューロマネジメント室長
- 2014年～ ImPACTプログラム・マネージャー



企業での経験に触発される

理由は、1990年代初頭のバブル崩壊以降、日本経済が「失われた20年」に陥ってしまい、日本電気も新しい事業を興すべく努力していたが、山川PMの目には、新事業のもとになる科学と技術を生み出すパワーがそがれていると映ったためである。「企業の中で待っているより、自分でリスクを取ってまた科学研究をやってみようと思ったのです」

博士課程では、事業戦略と脳の関係というテーマで研究を行うことにした。「社会の中で人間の脳がどういうふうに物事を判断しているかは、まだまだ研究されていなかったし、実用に足りるものは全く見当たらなかったのです。そして何より、修士課程のときにやれなかったテーマであり、再度チャレンジすることにしました」

ちょうどその頃、MRIを使った脳の研究が非医療分野にも広がってきた。「その多くは、何かを見ている時に脳がどういう活動をしているのかとか、何かを動かそうとしている時の脳はどういう状態かといった、どちらかという」と物理現象と脳の関係の研究でした。しかし、私自身は昔からの問題意識から、脳が他人をどうやって認識するかというところに焦点を当てました」

MRIを用いた解析に基づき、脳の適応戦略や認知特性を企業戦略に結びつけられるかどうかを議論した先駆的な博士論文は高い評価を得た。世界的にも、ソーシャルニューロサイエンス(社会神経科学)という研究領域が勃興しつつあった。山川PMは、学位取得後、京都大学のグローバルCOEプログラム「知識循環社会のための情報学教育研究拠点」の助教として脳と経営の研究を続けたが、その頃から「脳科学を使った新しい事業をやりたい」という思いが心の真ん中を占めていることがはっきりしてきた。そこで、企業との間で、新しい事業につながるよ

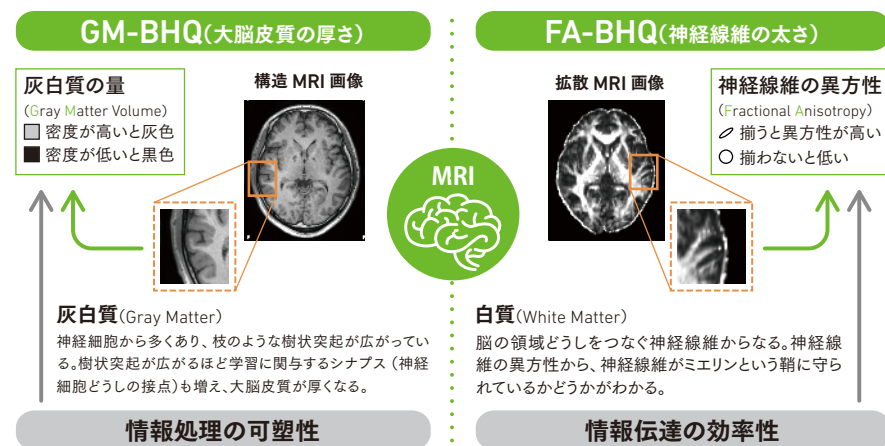


図1. 脳の健康指標 (BHQ : Brain Healthcare Quotients)

神経生理学的な基盤を考慮した上で、広く一般にも利用可能な脳の健康指標のβ版を策定

うな研究を活発に行い始めた。「今になるとわかるのですが、そういう思いは、修士課程でカイコの研究をしていた時も、日本電気にいた時もずっとあったのです」と山川PMは振り返る。

BHQ という新しい指標を根づかせたい

しかし、企業に呼びかけて新しい事業を興すには、大学よりも企業にいたほうがいい。そう考えるようになった山川PMは、大学を離れ、NTTデータ経営研究所というコンサルティング・ファームに入った。「脳科学を活かしたビジネスモデルやマーケティングの研究開発を考える企業からお金をいただいて、研究を具体化するという形でした」

こうして心の真ん中にある思いを少しずつ実現に近づけてきた山川PMは、2014年、それまでの思いを自らの手で社会に実装すべくImPACTプログラムに応募し、採択されてPMとなった。これまで指導を受けてきた先生や上司たちから「山川君がやるのだったら僕たちも応援する」と後押しされたという。山川PM自身は、脳科学をベースとする新事業という、企業も二の足を踏みがちな挑戦的な研究開発領域に、国が資金を出してくれることに大きな魅力を感じた。

山川PMの構想はスケールが大きい。プログラム内で特定の製品を実用化することだけが出口だとは考えていない。「脳の健康状態を表す指標を社会のインフラとして根づかせ、それを利用して研究者や企業、さらには個人が自由に製品やサービスを生み出せるようにしたいのです」と熱く語る。脳科学に基づく新事業のあり方を考え抜いてきた山川PMだからこその着想だ。

そこで、本プログラムではまず、脳の健康状態を表す指標を総称してBHQ(Brain Healthcare Quotients)と名づけた。そのケースとして2つの指標を策定した。1つは大脳皮質の厚さで、より厚いほうが情報処理がより柔軟に行われる。もう1つは神経線維の太さで、より太いほうが情報がより速く伝わる。いずれも脳のMRI画像の解析で得られるが、加齢により値は次第に下がっていく。「この2つのBHQの低下を食い止める、あるいは、上げることでできる製品やサービスが、脳の健康にとってよいということになります」と山川PMは説明する。

そのためには、大勢の健常人のMRIデータを集め、BHQという指標を精緻化・高度化する必要がある。そこで山川PMが基盤として構築したのが、「脳情報プラットフォーム」だ。本プログラムのために、大学や国の研究機関がもつ研究用のMRIを使える体制

を整えた。このプラットフォームを用いて、昨年度までにのべ300～400人の測定を行い、今年度は約800人、来年度以降は毎年約1000人の測定を予定している。

脳の状態をよくする 機器の開発に取り組む

そうして得られるMRIデータは、BHQだけではなく、「脳をよくする」サービスを開発するために活用される。その開発を行うのは、脳情報プラットフォームの上に設けられた4つの技術領域だ(図2)。プログラム開始当初は、サービスとして健康、教育、情報への展開を想定していたが、今年度から対象を健康関連のサービスに絞り、昨年度までの成果も活かしつつ、研究開発の選択と集中を図っている。

4つの技術領域のうち、「携帯型BMI(Brain-Machine Interface)」では、MRIを使わなくても脳の健康状態がわかる簡易型の計測器の開発を進めている。この装置は、「ニューロフィードバック」への利用が期待されている。脳の状態はいつも揺れ動いているが、よい状態の時に「今、いいね」という合図を送ると、脳はその状態を保とうとする。そのことを利用して、脳を健康な状態に

導く方法がニューロフィードバックである。MRIを用いて、PTSD(心的外傷後ストレス障害)などの治療が試みられているが、多額の費用がかかる。「ですから、できるだけ安くして手軽な装置で脳の状態を測って『可視化』し、利用者がそれを見て自分の脳の状態を『制御』できるようにしたいのです」と、山川PMは携帯型BMIの意義を語る。

この領域の統括技術責任者は、脳情報通信総合研究所(ATR)の川人光男所長。MRIが磁場を利用して脳を輪切り状に計測するのにに対し、携帯型BMIは近赤外線を頭の周りから当て、脳表面の状態を計測する。表面だけの計測でMRIなみの情報が得られるのかと気になるが、多数のMRIデータを用いて脳の活動のパターンを調べておくことで、近赤外線で得られる情報をMRIで得られる脳活動と対応させることが可能だという。「川人先生に筋道を立てていただき、プログラム終了までには実用化のめどをつけたいと考えています」

川人所長だけでなく、本プログラムにはわが国のトップクラスの脳研究者が名を連ねる。「すばらしい成果をあげている先生方の中でも、社会展開を目指すというImPACTのビジョンを共有できる方々に加わっていただきました」。そんな一人、大阪大学の石黒浩

教授が率いるのは、「脳ロボティクス」という技術領域だ。携帯型BMIと並ぶ「柱」だと山川PMは位置づけている。

「石黒先生の対話健康支援ロボットは『制御』が中心で、例えば、脳がよい状態の時にハグしてくれる。つまり、単に合図を送るのではなく、体の動きや触覚を通じて脳をよい状態に保つ働きをします。子供がテストでよい点を取れた時に『よかったね』といって頭をなでると、言葉だけよりも効果があるのと同じです」

さらに、映画の世界のようだが、京都大学の神谷之康教授は、自分の代わりに働いてくれる脳、ブレインロイドの開発も視野に入れている。まずは、長時間行くとストレスになり脳に変調をきたすようなネット検索などを自分の代わりにやってもらうところから始めるという。

企業と個人を 巻き込むための戦略

こうしたプログラム内の研究開発に加えて、山川PMは産業界に働きかけるしくみも構築した。既存の製品やサービスから新事業の「タネ」を発掘するための「Brain Healthcare チャレンジ」だ。

このチャレンジでは、脳の健康によいと思われる食品や環境、運動などを企業から提案してもらい、BHQを指標としてそれらの有効性を探る。2015年度は49件の応募があり、この中から山川PMらが選んだパブリカキサントフィル、オフィスストレッチなど5件について、それぞれ30人が約1ヵ月間実行し、実行の前後にBHQの値を測定した(図3)。これにより、例えば、オフィスストレッチを実行した30人のうち21人で、BHQのうちでも神経線維の太さの値が上がるといった結果が得られた。「BHQという明確な指標の導入によって、企業が脳によるサービスや製品を開発しやすくなる

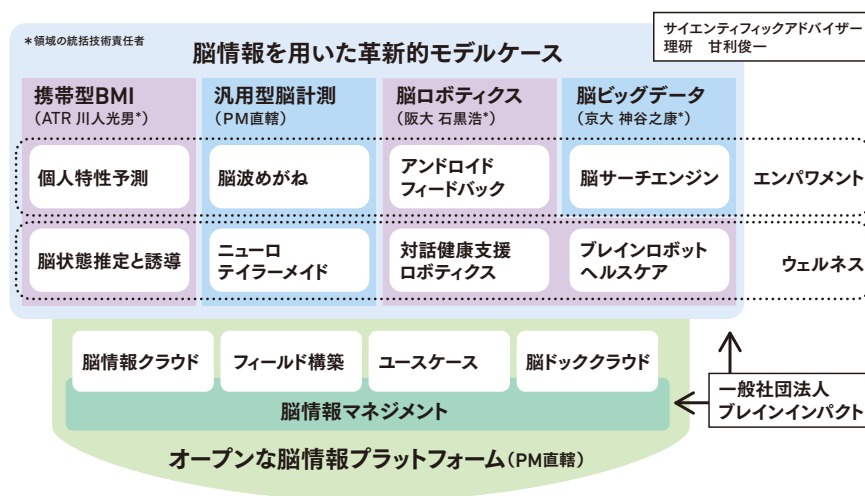


図2. 現在の研究開発体制

4つの技術領域に2つのサービス領域を設定した全8領域に対して、8グループを配置している。下支えをする脳情報インフラ基盤領域には、PM直轄の4グループを配置

ことを狙っています」

その一方で、このチャレンジには、プログラム内の研究者を刺激する効果もあるという。「BHQを研究の評価指標とすることで、先生方に『パブリカよりBHQの上がるものをつくって下さい』と言えますからね。先生方も、『負けてはいられない』と思ってがんばってくれるのではないのでしょうか」

一方で、BHQを社会に根づかせるには、企業の取り組みだけでは不十分だ。そこで山川PMは、脳を健康にするライフスタイルを個人が科学的に捉えることができるような活動も必要と考えている。

一般の市民がMRI撮像を行え、「自身のBHQ」や「BHQから推定される脳年齢」等の情報から、自分の脳の健康状態を知ることができ、さらに、様々な人々とBHQ変化の体験を共有し、脳によいライフスタイルを科学的に考えることができるような活動である。

こうした活動については、市民だけでなく専門家も加わって一緒に検討することで、脳の健康に関する新しい研究の方向性が生まれることも期待している。深い学術的知見を有する脳の専門家と多様な視点を持った市民が交流することで、今までにない研究開発ができるのではないかと考えるからである。

実際の「BHQ分析レポート」の例を見せてもらった。そこには、推定脳年齢が「47歳(+6歳)」とある。「実は、これは私の脳を測ったレポートなんです。残念ながら脳の健康度はよくない。でも、このレポートには、私のようなBHQの男性はパブリカを摂るといいというおすすりが出ています。私はこれを見て、パブリカを食事に取り入れつつ有酸素運動してみることを考えています。自分に合った方法を実証的に探求する楽しみがあると思いませんか。最終的にはBHQという科学を皆で楽しむ文化をつくれればと思います」と、山川PMは市民参加型の活動の魅力と

狙いを語る。企業がBHQ向上に効果のある製品やサービスを考えるだけでなく、市民も参加すればこれまでにない発想が生まれる。さらに多数のデータが集まれば、製品やサービスの開発の方向性も見えてくると期待されるのである。実にうまいくみだ。

脳情報産業を世界へ、そして、未来へ

さらに山川PMは、BHQを脳の健康状態の国際標準とすべく、国際機関への提案を行っている。そこでは、新たなBHQを開発、運用する手順の国際標準化まで進めている。自らのBHQだけを使ってもらうだけでなく、多くの人がBHQをつくることから参加することが脳情報産業を広げると語る。BHQの手順が国際標準になれば、多くのBHQがつくられ、それぞれのBHQの改善をもたらす製品やサービスが国際協調の中で展開されるからだ。考えていることの大きさに驚かされる。

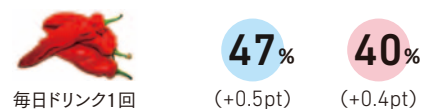
こうした数々の戦略は、「ずっと脳科学をベースにしながらも、事業戦略やマネジメントにも取り組んできた」という山川PMが、脳情報産業を興すという目的に向かって立ててきたものだ。今後、これらの戦略が奏功し、プログラムの内外で成果があがっていくことだろう。しかし、山川PMは、それで終わりとは考えていない。「私のこれまでを振り返ると、だいたい5年ごとに所属が変わってきました。このプログラムもちょうど5年で終わるので、その後のことを考えています」

すでに、一般社団法人ブレインインパクトという新たな組織を立ち上げ、Brain Healthcareチャレンジ参加企業の支援を行うとともに、BHQの利用について様々な業種の企業と議論する場を設けている。

さらに、企業だけでなく、日本の自治体や世界の地域などが脳の健康管理のためにBHQを利用する可能性も含

図3. Brain Healthcareチャレンジ(2015年度)に選ばれたアイデアとその実証トライアルの結果

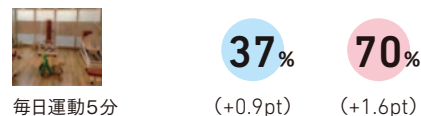
パブリカキサントフィル(江崎グリコ)



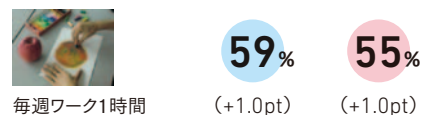
ビール苦味成分(キリン)



オフィスストレッチ(コクヨ)



臨床美術(凸版印刷)



カラーレンズ(東海光学)



● GM-BHQ(大脳皮質の厚さ)の増加者率及びその平均増加ポイント
● FA-BHQ(神経線維の太さ)の増加者率及びその平均増加ポイント

め、企業、個人、行政を巻き込んで脳情報産業を次々に生み出すイノベーション・エコシステムの構築につなげたい考えだ。

最後に、プログラム名にある「活力溢れる生活」とはどんな生活なのかを質問すると、「脳の状態がよくて、やりたいことがやれる生活だと思います。私自身、今は元気にしていますが、BHQでは脳の状態がよくないと判定されてしまった。石黒先生のロボットができたならハグしてもらって、脳をどンドン元気にしたいですね」と茶目っ気のある答えが返ってきた。

山川PMなら、これからもきっと、事業戦略とアイデアが溢れる脳を保って走り続けることだろう。

いつでもどこでも衛星から観測 新方式の合成開口レーダで 災害に対応

災害発生時、人工衛星から撮影する地表の画像は、衛星の動きなどから大きなタイムラグが生じる。緊急を要する災害対策に活用するには、必要な地点に迅速に打ち上げられる小型衛星に、悪天候や夜間でも撮影できる合成開口レーダを搭載、衛星が自律して自動で制御して観測体勢をとれるシステムが必要になる。白坂成功PMは、これらの機能を統合した衛星システムを世に出そうとしている。

宇宙ステーション補給機「こうのとり」開発で試練を受ける

「中学2年生のときに、ふと宇宙に行きたいと思いました」と白坂PM。宇宙飛行士でなくても普通の人が宇宙へ行ける乗り物を開発すれば、自分も宇宙へ行けると考えたという。

そんな思いから、大学では航空宇宙工学を専攻した。研究テーマは宇宙開発における人工知能。例えば火星を探索する無人ローバーが予期しない状況に出会っても、地球からリアルタイムで指示できない。ローバー自らが状況を判断して対応するための人工知能が必要になる。ところが当時の大学では、人工知能を搭載するロケットや衛星を実際に開発することがほとんどできなかった。モノづくりに直接関わりたいと考えていた白坂PMは、修士を取るとメーカーである三菱電機に就職した。

三菱電機では、国際宇宙ステーション(ISS)へ補給物資を運ぶ無人の宇宙船「こうのとり」の開発に携わった。「こうのとり」は高度約400kmを飛ぶ国際宇宙ステーションに自動で接近し、ロボットアームで把持されてISSに結合される。ISSは有人の宇宙船なので、接近・結合する「こうのとり」にも厳しい安全基準が課せられた。

「NASAの要求は“2 Fail Safe”。故障や操作ミスが2つ起きても安全を担保するというものでした」

安全を確保する対象となったのは、コンピュータ、噴射装置、センシング機器など、かなりの点数に上る。自動車の部品点数が数万点と言われた1990年代末、「こうのとり」の部品点数は100万点を超えていた。このような大規模な宇宙システムの開発は日本では行った例がない。そのため、試作を始めると、次々に不具合が出てきた。

「不具合の山でした。毎日毎日、走り回っていましたね」

システムの安全を担当していた白坂

東日本大震災が
「災害に対応する衛星」
開発のトリガーになりました。

Seiko SHIRASAKA



白坂成功

1994年
2012年

東京大学大学院工学研究科修士課程修了
博士(システムズエンジニアリング)を
慶應義塾大学で取得

1994年～2010年
2000年～2002年
2010年
2015年～

三菱電機株式会社 鎌倉製作所
EADS アストリウム社(現エアバス社) 交換エンジニア
慶應義塾大学大学院 准教授
ImPACT プログラム・マネージャー



PMは、ソフトウェアをはじめとして社内で作っている機器や運用設備の開発部門に対して、「こういう仕様のものでつくってください」「こう使ってください」と指示する立場にあったが、システムをどう設計したらいいのか、悩みに悩んだ。

検討を始めて3カ月後、ようやくアプローチの方法を打ち出すことができた。ちょうどその頃、プロジェクトがいったん延期され、「このとり」の開発に時間的な余裕ができた。この間に「EADS アストリウム社(現エアバス社)に行ってみないか」という誘いがあり、2000年5月、ドイツに駐在することになった。

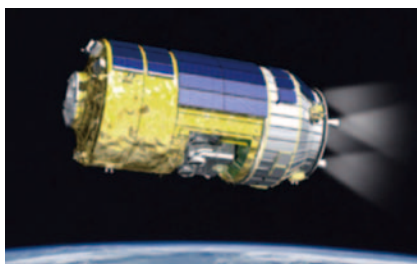
「システムズエンジニアリング」を自分の基点に定める

白坂PMが籍を置いたのは、欧州宇宙機関(ESA)向け地球観測衛星の姿勢制御系を開発する部門であった。といっても、特定の衛星の機器を開発するのではなく、複数のプロジェクトの基盤をつくる場所であった。

「ここが基点になって、今の私があります。特にシステムズエンジニアリング部門のマネージャーから、『この分野はかなり進んできているから、面白くなるよ。見ておいたほうがいい』とアドバイスを受け、自分なりに調べ始めたのです。当時、宇宙開発に関わるどの技術を自分の基点にしたらいいのか、迷っていました。エアバス社に行かなかったら、全く違う研究をしていたかもしれません」

「システムズエンジニアリングの考え方を知っていたら、『このとり』の開発であんなにも悩まないですんだはずだと感じました。その思いに押されて、システムズエンジニアリング学の習得に励みました」

システムズエンジニアリングは日本では「システム工学」とも呼ばれる。1940年代から60年代にかけて、アメ



宇宙ステーション補給機「このとり」1号。100万点以上の部品で構成されており、白坂PMは安全なシステムを設計するのに苦労した。

リカでは軍事や宇宙開発の分野でその考え方が確立された。日本には50年代半ばに入ってきて、当時のハイテクであった原子力発電や新幹線などのシステム設計に取り入れられていった。

1980年代になると、欧米ではシステム工学は変貌した。従来のシステム工学では、勘、経験などに頼るのではなく、定量的に、つまり科学的に見ていこうという「エンジニアリングマネジメント(Engineering Management)」が中心だったのに対して、新しいシステム工学は、開発をどういうプロセスでやるべきかという「システムエンジニアリングプロセス(Systems Engineering Process)」にフォーカスした。実践の学問に変わったのである。

一方、バブル時代を迎えていた日本は、その変化を見落としていた。そのため、新しいシステム工学が取り入れられることもなく、大学でも古典的なシステム工学が教えられていた。

「日本のシステム工学は、『自動車のシステム工学』『鉄道のシステム工学』というように領域ごとに閉じたままでした。一方、欧米では領域を横断するシステム工学が確立され、数千人の研究者や技術者を擁するソサエティーができていたのです。私がそのソサエティーに参加した時、日本人は私で2人目でした」

2002年1月に帰国した白坂PMは、「このとり」の開発と並行して、準天頂衛星と言われる日本版GPSプロジェクトの立ち上げにも携わるようになった。このときは、全体のシステム



白坂PMがシステムズエンジニアリングを学んだエアバス社の仲間たち。再会し、新たなシステム構築の方法論について議論を交わした。

設計に新しいシステム工学を大々的に適用した。

東日本大震災で人工衛星はなぜ活用できなかったのか？

「このとり」初号機は2009年9月、打ち上げに成功し、続いて2号機の開発が始まった。白坂PMがこのプロジェクトに携わってから13年経っていた。プロジェクトに関わった当初は要素技術の一エンジニアであったが、打ち上げ時にはマネージャーになっていた。直接モノづくりに携わることはなくなり、人を指導することが多くなった。この流れの中で2010年、慶應義塾大学大学院システムデザインマネジメント研究科(SDM)の教員となった。人材育成にも喜びを感じるようになっていたからである。

慶大に移ってまもなく、学部生のときからの恩師であった東京大学の中須賀真一教授から誘いがあり、FIRSTプログラム(内閣府が2009年度から5カ年計画で進めていた最先端研究開発支援プログラム)へ参加することになった。中須賀プロジェクトでは、これまでの常識を覆す低コスト(3億円以下)・短期(2年間)で超小型衛星(重さ50kg級)を開発し、宇宙の新しい利用法を開拓していくことを目指していた。

その実現のため、「ほどよし信頼性工学」と呼ばれる独自の理論を打ち立てた。白坂PMは、この理論の構築に協力した。これまでの考え方では、人工衛星の構成だけに着目して信頼度を

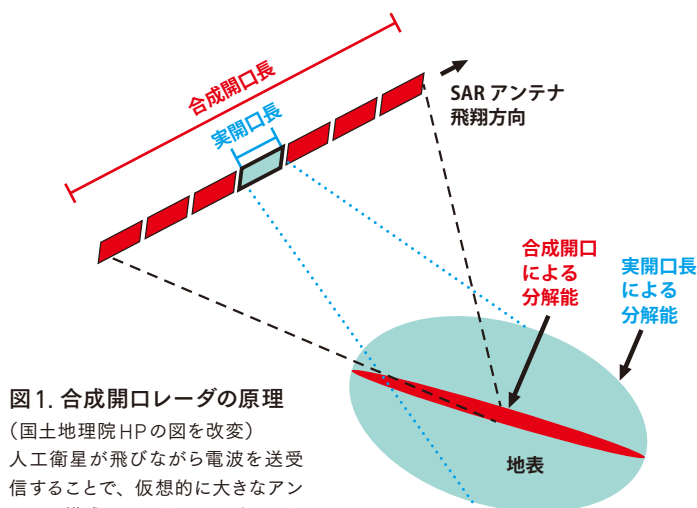


図1. 合成開口レーダの原理

(国土地理院HPの図を改変)
人工衛星が飛びながら電波を送受信することで、仮想的に大きなアンテナを構成する。開口長が大きくなるほど指向性は高まる。

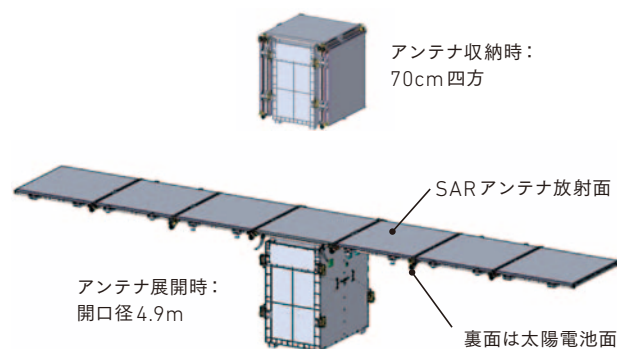


図2. 開発中の受動平面立体アンテナを搭載したSAR衛星
アンテナパネルの裏面に太陽電池を貼ることで、電波送信のための大電力を確保する。パネルは折りたたんでロケットに収納される。

計算していた。ところが現実のシステムでは、複雑にすれば設計ミスが起き、検証漏れが発生して、さらに運用でのミスを誘発してしまう。ほどよし信頼性工学では、目線を1つ上にあげて俯瞰的に見ることで、本当に信頼できるシステムにするにはどうすればいいのかというアプローチをとった。システムズエンジニアリングの知見がこの理論の確立に貢献したのである。

FIRSTプログラムが進められていた2011年3月、東日本を未曾有の大震災が襲った。人工衛星、とくに小型衛星の開発に携わるコミュニティーに衝撃が走った。人工衛星がほとんど活用されなかったからである。その無念の思いが、「人工衛星はどんな価値を社会に提供できたのだろうか？」という問題意識となり、さまざまなアイデアが議論された。

「その中で、『災害時に対応できる衛星』というイメージができあがり、ImPACTへの提案『オンデマンド即時観測可能な小型合成開口レーダ衛星システム』につながっていったのです」

合成開口レーダのイノベーションで軽量化・小型化を実現

災害時における即時観測といったとき、実際にはどのくらいの即時性が求められるのだろうか？

「ユーザーになりそうな防災・減災に関わるトップにヒアリングしたところ、災害発生から10時間以内であればどのような情報であってもほしい。10時間を超えると、すでに救援部隊を派遣しているので、その部隊に指示を出すための情報として、どのルートが通ることができ、どのルートが通れないかを見分けられる1m分解能の画像がほしいと言われました。そこで、10時間以内に現場の画像を手に入れ、解析することを目指しました」

2015年9月、茨城県常総市の鬼怒川が氾濫した時も、人工衛星のタイミングが合わず、必要な撮像がタイムリーに行われず、初期の対処に十分に活用されなかった。今後、多数の打ち上げが計画されている光学衛星が災害現場を撮影するチャンスは増えるだろうが、必ずしも活用できるわけではない。災害発生直後にその上空を通過したとしても、夜間や雲がある時には、光による観測ができないからである。

この欠点を補ってくれるのが合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Rader)である。衛星に搭載したSARから地上に向けて電波(マイクロ波)を照射し、地上からの微弱な反射波を解析することで、夜間でも、雲があっても地上の画像を撮影することができる。

ただしSAR衛星は小さくすること

が難しいという課題があった。電波を送受信するには大電力が必要になるため、衛星本体が大きくなる。また、分解能を高くするにはアンテナを大きくすればいいが、そうするとさらに衛星が大きくなってしまふ。現在活躍している大型SAR衛星の陸域観測技術衛星「だいち2号」の場合、重さが1トンを超えている。

「迅速に打ち上げ、即時観測体制をとるには、重さは100kg級、コスト20億円程度(大型SARの10分の1)で多数つくれるようにしたい」

白坂PMが考えているような小型衛星とレーダの開発を行ってきたのが宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究所の斎藤宏文教授である。SAR衛星は軌道上を移動することでアンテナの大きさ(開口)を広げ、仮想的に大きなアンテナを構成している(図1)。従来のアンテナはパラボラ方式や衛星表面に位相変換素子を並べたフェーズドアレイ方式であったが、斎藤教授はハニカムパネルを利用したスロットアレイアンテナを両翼に展開するユニークな方式(受動平面立体アンテナ方式)を考案した(図2)。アンテナパネルと太陽電池を一体構造にしているので、これまでにない軽量化が実現できる。さらに、ロケットに搭載するときには折りたたんで収納することができる。

オンデマンド即時観測へのチャレンジ

衛星をロケットで打ち上げる方法は2種類ある。1つは固体ロケット、もう1つは液体ロケットである。災害発生時に衛星を迅速に打ち上げるためには、液体ロケットでは燃料の注入に時間がかかるため、常時燃料を積んでおける固体ロケットを使うことになる。

宇宙空間に打ち上げられた衛星は、通常であれば地上から機器の状態をひとつひとつチェックしていき、動作確認してから観測を始めることになる。

このため、チェックが終るまでに、衛星が地球を何周もするほど時間がかかる。衛星を日本から打ち上げ、地球を1周して日本の上空に戻ってきたときには観測できるようにしなければ、災害発生から10時間以内の画像を手に入れるのは難しい。ロケットの打ち上げから機器のチェック、地上の観測、取得データの地上への伝送までの全プロセスを自動化し、異常があった場合には、衛星みずから自律判断して対応できるようにしたい。この「オンデマンド即時観測」が最大の目標である。

「これはきわめてチャレンジングです。地上から指示するチャンスは一度もない。そうすると、例えば災害現場である特定の地点を確実に観測するにはどうしたらいいのか、非常に難しい問題になります。今は方法論を検討しており、完成までにはいくつかのハードルを越えないといけませんが、必ず実現できると考えています」

衛星から観測したデータは、地上のエンドユーザーにできるだけ速く届けたい。そのための高速伝送システムの開発も行っている。観測周波数は材料や降雨による損失の少ないXバンド(9GHz)を使う予定で、世界最速の1.5Gbps(1秒間に1ギガビットを伝送)を目指している。高速伝送システムのベースとなる技術は「ほどよし衛星」ですでに実現しているので、アプ

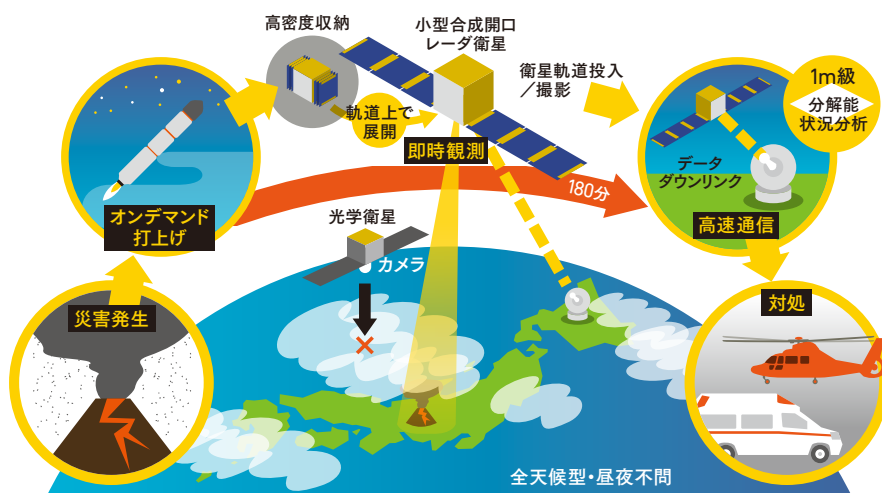


図3. 「オンデマンド即時観測が可能な小型合成開口レーダ衛星システム」による災害対応のイメージ

ローチの方向はほぼ決まっている。

このほか、姿勢制御や電源、テレメトリコマンドといった衛星の基本的な機能を実行する「バスシステム」も「ほどよし衛星」のシステムを活用することで、100kg級の小型衛星システムができあがる見通しが立っている。

商用SARの時代に向けて

ImPACTの実施期間は平成30年(2018年)度までである。それまでに、SARシステムの開発は、打ち上げ可能なモデルをつくり、地上で実証するところまで進める。もっとも困難な全自動化のための技術はソフトウェアが中心になるので、フライトモデルではなく、シミュレーションになる。

では、同じようなプロジェクトは海外でも進められているのだろうか？

「アイデアはあるようですが、実際に実現可能なレベルで動いているのは私たちだけでしょう。ただ、プロジェクトとしてはあまり注目されないのも事実です。衛星を打ち上げる日程をまだ設定していないからでしょう」

一方で、独自の方式で開発を行っているSARは、国際学会で大きな反響を呼んでいる。その背景には、欧米でSARをビジネスに使おうというニーズが出てきたこともあるようだ。

「私たちのSARが今の目標価格で

きた場合、どのくらいのニーズがあるか調査していますが、すぐに出資したい人はいくらでもいると言われるほどです」

SARはこれまで軍事用がメインだったが、アメリカでは「商用SAR」が認められ、この1年、ビジネス化に向けた動きが活発になってきた。例えば、石油タンカーのグローバルな動きや、日本で販売した車が世界のどこを走っているのか、夜間にどこで人が活動しているかといったモノや人の動きを高精度に、しかも昼夜、天候に関係なくモニターできる可能性がある。

「世界の経済活動を衛星でモニターして、それを分析する時代を迎えようとしているのです」

地上インフラが整備されていない開発途上国では、農業や林業の管理などに衛星の画像を役立てることができる。さらに、SARを「世界の安全・安心の目」にすることもできるだろう。世界各地からSARを打ち上げられるようにすれば、日本で災害が起きたときには他国から、他国で災害が起きたときには日本から打ち上げることで、グローバルな対応が可能になる。

日本国内での災害対応からスタートした白坂PMのオンデマンド即時観測可能な小型SAR衛星システムは、いまや国際的に活用される多様な用途を生み出そうとしている。

革新的研究開発推進プログラム [ImPACT]

ImPACT は、実現すれば社会に変革をもたらす「非連続的なイノベーションを生み出す新たな仕組み」です。成功時に大きなインパクトが期待できるような、ハイリスク・ハイインパクトなチャレンジを促し、企業風土を醸成することを特徴としています。また、内閣府「総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）」が設定するテーマについて優れたアイデアをもつ 16 名のプログラム・マネージャー（PM）を厳選し、大胆な権限を付与し、優秀な研究者とともにイノベーション創出することも特徴のひとつです。



プロジェクト マネージャー [PM]	プロジェクト
伊藤 耕三 Kohzo Ito	超薄膜化・強靱化「しなやかなタフポリマー」の実現
合田 圭介 Keisuke Goda	セレンディピティの計画的創出による新価値創造
佐野 雄二 Yuji Sano	ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現
佐橋 政司 Masashi Sahashi	無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現
山海 嘉之 Yoshiyuki Sankai	重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステム
鈴木 隆領 Takane Suzuki	超高機能構造タンパク質による素材産業革命
田所 諭 Satoshi Tadokoro	タフ・ロボティクス・チャレンジ
藤田 玲子 Reiko Fujita	核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化
宮田 令子 Reiko Miyata	進化を超える極微量物質の超迅速多項目センシングシステム
八木 隆行 Takayuki Yagi	イノベティブな可視化技術による新成長産業の創出
山川 義徳 Yoshinori Yamakawa	脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現
山本 喜久 Yoshihisa Yamamoto	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
白坂 成功 Seiko Shirasaka	オンデマンド即時観測が可能な小型合成開口レーダ衛星システム
野地 博行 Hiroyuki Noji	豊かで安全な社会と新しいバイオものづくりを実現する人工細胞リアクタ
原田 香奈子 Kanao Harada	バイオニックヒューマノイドが拓く新産業革命
原田 博司 Hiroshi Harada	社会リスクを低減する超ビッグデータプラットフォーム



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

電話：03-6380-9012 E-mail：impact@jst.go.jp URL：http://www.jst.go.jp/impact/