

ImPACT

Newsletter

Vol. | 14 | Jan. 2019

Impulsing
Paradigm
Change through Disruptive
Technologies Program

ImPACTが切り拓く「明日の日本」——02

「特集」

素材がミライを変える

「しなやかなタフポリマー」で

モノづくりの新たな展開へ——03

タフでへこたれない

災害ロボットの実現を目指して——07

災害だけでなく、ビジネス利用も
視野に入れた小型合成開口レーダ

衛星システムの開発——10

● 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) は、その名の通り、インパクトのある科学技術イノベーションの創出を目指した研究開発プログラムです。

● 日本は、長きにわたる景気低迷や東日本大震災など先の見えないトンネルの中、暗中模索を続けてきました。このような状況を打開するためには、暗がりの中に輝く、確かな光となる非連続・破壊的なイノベーションが不可欠であることから、内閣府は、「加速型オープン・イノベーション・プラットフォーム」としてImPACTを創設しました。ImPACTは、失敗を恐れず新しい

ハインパクト研究に挑戦してきました。

● PMのおかげで、我々の光明となりうる素晴らしい成果がいくつも実現しました。それらすべてをご紹介するには紙面が足りませんが、例えば伊藤耕三PMの「しなやかなタフポリマー」は、アカデミアの洗練された理論と企業の豊富な技術力が融合し、しなやかさとタフさのトレードオフを打破した革新的な材料です。また、白坂成功PMの「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」は、災害やユーザーのニーズなどその時々状況に応じて、迅速に低コストかつ高精度

ImPACTが切り拓く「明日の日本」

試みに果敢に挑戦できる機会として、革新的な科学技術イノベーションの創出を目指す、すなわち、その光を見つけ出すとても挑戦的なプログラムとして平成25年度にスタートしました。

● ImPACTの研究開発を牽引するのは、研究開発全体のマネジメントとその成果をイノベーション創出に結びつけるプロデューサーとしての役割を担うプログラム・マネージャー (PM) です。PMはそれぞれの科学分野でトップの業績を挙げた人たちであり、それぞれのプログラムにおいて、産学・国内外問わず選り抜きの専門家を結集し、PMの構想の実現を目指します。

● プログラム発足から、早くも5年が経過しようとしています。この間、当初の12名および途中から加わった4名の計16名のPMが、それぞれの知識・経験・ネットワーク、あらゆるリソースとなによりも彼らの心からの情熱と勇気を注ぎ込み、ハイリスク

に観測できる衛星システムです。これらが将来もたらしうるイノベーションは、スマートフォンのように、いずれ産業や社会に浸透し、知らず知らずのうちに我々の生活をより快適にしてくれるものと期待しています。

● ImPACTの成果は、PMが夢を思い続けた結果です。人は夢を抱くと、それが実現するまでひたすらに考え続けます。そして考え続けた夢はいつか実現します。人類は、どうしたら月に行けるかと真剣に願い続けた結果、月を歩くこともできました。内閣府は、今後もより野心的な構想の下、関係府省庁が一体となって集中・重点的に研究開発を推進する仕組みを検討し、政府全体として非連続なイノベーションを生み出す研究開発を継続的かつ安定的に推進していきます。

内閣府 プログラム統括

須藤 亮



日本における高分子材料のトップクラスの人材と素材メーカーを集めた伊藤プログラムのタフポリマー開発。従来は乗り越えることができなかった材料特性のトレードオフを突破することを目指した産学連携が着実に成果を上げ、「しなやかなタフポリマー」の可能性を示すコンセプトカーを完成させ、実用化へと着実に歩みを進めている。

素材がミライを変える 「しなやかなタフポリマー」で モノづくりの新たな展開へ

【写真1】コンセプトカー「I to P」

様々な課題を解決する材料
軽くて、壊れにくい、
しなやかなタフポリマーを目指して

ポリマーは、現在の日常生活で広く使われている高分子材料です。ナイロンなどの合成繊維やポリエチレン、プラスチックなどの合成樹脂もポリマーです。加工がしやすく、大量生産に向いているため、身の回りの多くの製品で使われています。

しかし、人類がポリマーの存在を知ることになってから、まだ100年足らずで、その性質について詳しく研究が進んでいるわけではありません。

例えばポリマーは鉄やセラミックなどの素材に比べると、軽いけれど、壊れやすい特性を持っています。壊れにくいように硬くすると、今度は脆くなってしまいます。そのため製品の重要な部位にポリマーを使うのは難しいとされてきました。

伊藤耕三プログラム・マネージャー（PM）が率いる「超薄膜化・強靱化『しなや

かなタフポリマー』の実現』では、タフネス性・柔軟性・自己修復性（熱や光で元に戻る）という特徴を持つタフポリマーの研究に取り組んできました。

タフポリマーは、自動車部品や輸送機器の特性・性能を飛躍的に向上させるブレークスルーにつながります。さらに、これまでポリマーが使われることがなかった分野で活用されるようになれば、産業全般に大きな波及効果をもたらすことが期待されます。

高分子材料のトップメンバーを集め、
新規体制で基礎的な素材研究と
5つの材料開発

伊藤PMは、ImPACTで「しなやかなタフポリマー」の研究を進めるにあたり、通常の企業研究では設定しないトレードオフ打破のテーマや目標を掲げて、アカデミアと素材メーカーからトップクラスの研究者を集め、オールジャパンの体制を作り上げました。主要な材料開発については、燃料電池電解質膜はAGC、リチ

ウムイオン（Li）電池セパレータは三菱ケミカル、車体構造用樹脂は東レ、タイヤ材料はブリヂストン、透明樹脂は住友化学という1材料、1企業のプロジェクト体制にしました。また、企業とアカデミアが1対1で研究を行うのではなく、1企業と複数のアカデミアが連携する「マトリクス



【写真2】伊藤耕三プログラム・マネージャー

運営」という研究体制を構築しています。研究段階に応じて必要とされるアカデミアの知見は異なっているため、企業側が柔軟に複数の研究者と連携することで、研究開発スピードを加速していくことができます。さらに、日産自動車が参画して、各プロジェクトが開発した材料についてユーザの視点からの評価を担っているという点も特徴です。伊藤PMによれば、当初産官学の間で全く話が噛み合わなかったのを、三者面談を繰り返しながら1つ1つ連携作りを進めることにより、ポリマー研究ではこれまでに例のない規模や形態での産学連携体制を築くことができたということです。

一方で、アカデミアが中心となって、目標とするタフポリマーを開発する上で共通の課題となる「破壊機構の分子的解

明」、「分子結合制御の新技术開発」というテーマが検討されましたが、そこでは、企業の研究者も加わってオープンな議論が繰り広げられ、長年の謎を解明するような画期的な成果に繋がっています。

ImPACTの取り組みで トレードオフを打破 日本の素材研究を大きく進展

燃料電池電解質膜薄膜化プロジェクトでは、燃料電池を構成するフッ素系の電解質膜を対象に、従来トレードオフの関係にあった薄膜化と高水準の機械的耐久性とを両立させるという難しい課題に挑戦し、SPring-8の大型設備で検証しながら、ミクロ構造を制御したフッ素系電解質ポリマーを開発することにより、膜厚が5分の1で、機械的耐久性が5倍の無

補強高性能電解質薄膜の開発に成功しました。今後、小型・低コストの次世代型燃料電池システムの実現が期待されます。

Li電池セパレータ薄膜化プロジェクトでは、乾式二軸延伸法において、ポリプロピレン(PP)系多孔質フィルムの空孔形成を制御することにより、従来技術ではなし得なかった薄膜化と高強度化の両立に成功し、従来の4～5分の1に相当する5マイクロメートルの厚みで、突刺し強度を単位厚み換算で2～3倍にまで高めた高強度セパレータを開発しました。今後、この開発成果を分離膜等の各種多孔質フィルムに適用すれば、機器を小型化でき、省エネルギー・省資源化への貢献が見込まれます。

車体構造用樹脂強靱化プロジェクトでは、アカデミアによるポリマー材料への

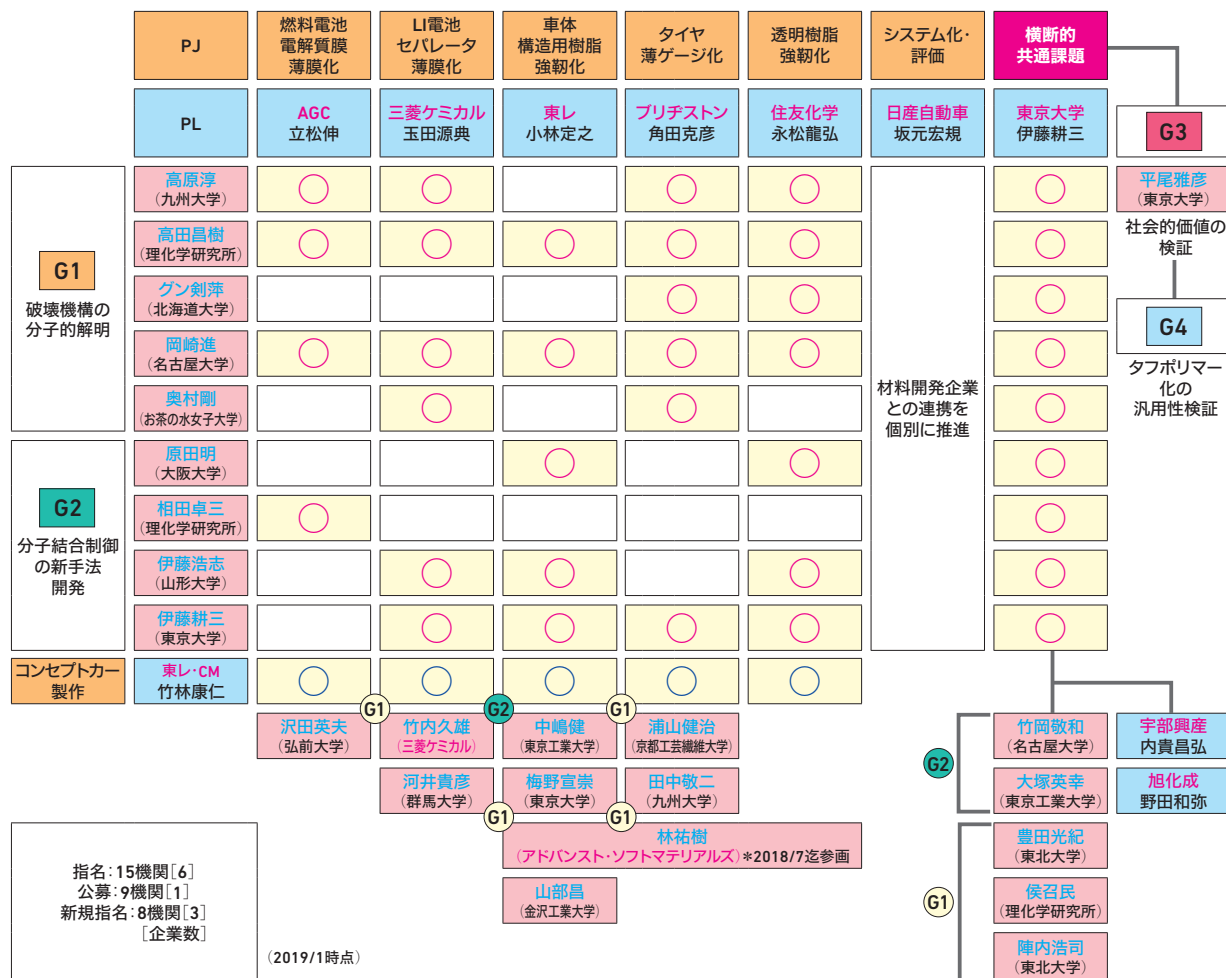


図1 マトリクス運営

環動ポリマー構造導入と東レが培ったナノアロイ技術を組み合わせることにより、従来材料と比較して約8倍の破断伸びと約20倍の屈曲耐久性を達成し、硬さや強さを保ちながら、衝撃を受けても壊れにくい材料を開発することに成功しました。今後、自動車、家電、スポーツ用品等、幅広い分野への応用展開とポリマー材料市場の拡大が期待されます。

タイヤ薄ゲージ化プロジェクトでは、北海道大学の龔剣萍(グン チェンピン)教授がタフポリマー化の手法として提唱してきたダブルネットワーク構造をゴム材料に導入することに世界で初めて成功した結果、ゴム材料の強度を、低燃費性を意識したゴム(基準ゴム)対比約5倍に向上するとともに、従来技術では強度と二律背反の関係にあったタイヤの燃費特性に寄与する材料物性も15パーセント向上する、革新的なゴム複合体を開発しました。これにより、タイヤの厚みを40パーセントに減らすことが可能となり、将来的にタイヤの軽量化、省資源化および低燃費性能の向上に貢献できます。

透明樹脂強靱化プロジェクトでは、代表的な透明樹脂であるポリメタクリル酸メチル(PMMA)を対象に、高透明性を維持したまま、従来トレードオフの関係にあった剛性と耐衝撃性を高水準で両立させるという非常に難しい課題に取り組みました。分子レベルでの高次構造制御に成功した結果、高透明性と高剛性を保ったまま、従来の10倍以上の耐衝撃性を実現しました。これにより、自動車の前面窓やルーフを樹脂製に置き換える可能性が示されました。ルーフ部材に適用した場合、併せガラスの重量に対して6割超、鋼板重量に対して約4割の軽量化が見込まれます。

産学連携、異分野同士の交流が生んだ成果
材料開発につながる重要な原理解明

各材料開発プロジェクトにおける画期的な研究成果に加えて、基盤的な共通課題に関する研究においても重要な成果がありました。

例えば、お茶の水女子大学の奥村剛教授と東京大学の梅野宜崇准教授の研究グループでは、60年以上もの間未解決だった、ゴムの高速破壊を引き起こす「亀裂進展の速度ジャンプ」という現象の発生メカニズムを解明しました。また、スーパーコンピュータを用いた亀裂進展に関するマルチスケールシミュレーションとゴム材料を使った実験の結果を組み合わせることにより、タフ化のための材料設計指針を構築しました。これらは、ゴム材料のタフ化にとって極めて重要な知見であり、前述のタイヤ薄ゲージ化プロジェクトでの成果に繋がりました。

他にも、同じ熱可塑性の透明樹脂でありながら、PMMAとポリカーボネート(PC)の間で、脆性-延性転移挙動を始め、靱性が大きく異なる要因の解明や、高強度で温和な条件で速やかに自己修復する新たな自己修復性材料の発明、ナイフを当てても切れない強靱性と切っても接合可能な自己修復性を併せ持つゲルの合成等にも成功しています。これらの新たな自己修復性材料は、今後、産業全般への広い波及効果が期待されます。

プログラムの集大成
コンセプトカー「I toP」完成
タフポリマー製の車が全国を巡回

伊藤プログラムでは、各材料開発プロジェクトの成果の集大成として、「タフポリマー」の可能性をクルマで示し、実用性・安全性を備えた未来車のプロトタイプを提示するためにコンセプトカーを製作しました。このコンセプトカーは、鉄からポリマーへ「Iron to Polymer」という意味を込め「I toP(アイトッパ)」と名付けられました。

“I toP”は電気自動車(EV)で3人乗り、将来の自動運転化を見据えたモニタリングシステムやステアリングシステムを備えています。そして、開発成果であるタフポリマーを、サスペンション、窓材料、タイヤ、ホイール、クラッシュボックス、バッテリーパック、インテリア等、多くの部位にふんだんに使いながら、車両の樹脂化を47パーセント(従来比4倍)に高めて

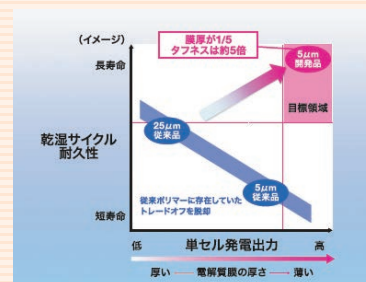


図2 燃料電池電解質膜薄膜化の成果

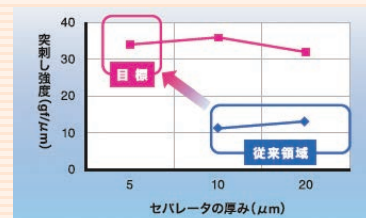


図3 Li電池セパレータ薄膜化の成果

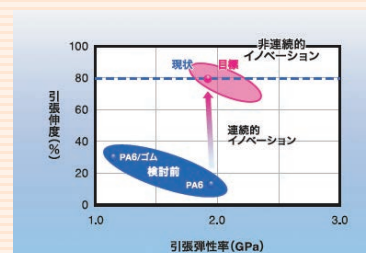


図4 車体構造用樹脂強靱化の成果

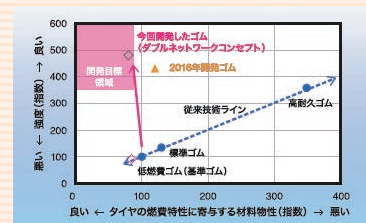


図5 タイヤ薄ゲージ化の成果

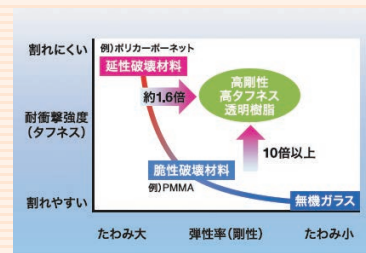


図6 透明樹脂強靱化の成果

います。その結果、車重は約850キログラムとなり、従来と同じ素材で製作した場合の約4割減という軽量化を達成しました。

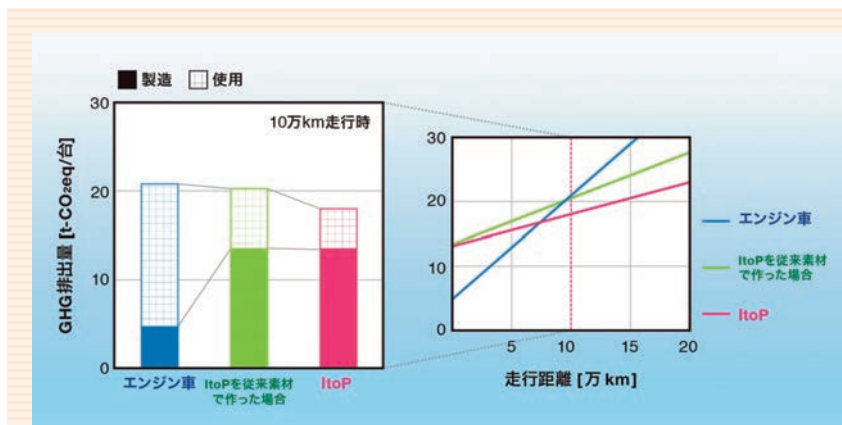
このように、様々な開発成果を盛り込んで省エネルギーを追求した“I toP”では、従来エンジン車に対し、製造時及び10万キロメートル走行時の温室効果ガス排出量が約11パーセント低減できる



【写真3】電気自動車の国際展示会「EVS31」に出展

という試算結果が得られています。これは軽量化による燃費向上、必要蓄電容量の低減、低燃費タイヤ実装の相乗効果によるものです。

今回、実物大のクルマを作ったことは、生産技術の問題を検討する上でも意味のあることでした。タフポリマー素材の実用化、量産化を考えた時、実験室レベルでうまくいっても、大きなサイズでの製造で様々な問題に直面するはずです。そこで伊藤PMは、コンセプトカーの製作過程で、生産プロセスやコスト等に関する問題を明らかにしてしまおうと考えました。ImPACT期間中に解決策を示すこ



【図7】温室効果ガス(GHG)削減効果

とができなくても、こういう課題があることをはっきりさせておけば、今後の実用化にプラスになると考えたわけです。また、実走可能なクルマにして、実際に140km/hを超える速度で走行したことにより、タフポリマーを使った各種部材の耐久性や実用可能性を示すことができました。

伊藤プログラムでは、2018年9月末から、「しなやかポリマー全国技術説明会」と銘打って、企業とのマッチングやさらなるタフ化アイデア募集も兼ねた、「I to P」の全国巡回展示を進めています。巡回展示では、各地で国内外の多数のメ

ディアに取り上げて頂いたこともあって、企業関係者は勿論、一般の方々からも大きな注目を集めることができました。今後、自動車に限らず、様々な分野において社会実装に向けた企業間の協業が活発化し、タフポリマーが安全・安心・低環境負荷という社会ニーズにとってのキーマテリアルとなる未来が到来することでしょう。



【写真4】伊藤プログラムのメンバーと記念写真（2018年7月：湘南国際村センターでの班会議）

毎年のように地震や大雨などの災害に見舞われる日本において、災害ロボットが果たす役割は大きい。田所プログラム「タフ・ロボティクス・チャレンジ」では、災害現場に近い環境でテストを繰り返しながら、過酷な状況下でも活躍できるロボット技術の研究開発を進めてきた。



タフでへこたれない災害ロボットの 実現を目指して フィールドでの評価から災害現場への適用まで

【写真1】スーツを装着したサイバー救助犬



【写真2】第7回フィールド評価会(福島ロボットテストフィールド)

極限災害環境の中でも タフに活動できる災害ロボット

田所諭プログラム・マネージャーによる「タフ・ロボティクス・チャレンジ」では、極限の災害現場でも、へこたれず、タフに仕事ができる遠隔自律ロボットの実現を目指すとともに、カギとなる基盤技術の研究開発に取り組んできました。

これまでの災害ロボットは、ある決められた環境であれば優れた性能を発揮

するものの、少しでも違った環境になると何もできなくなってしまう「ひ弱な優等生」でした。田所プログラムでは、未知の状況が刻一刻と変化する極限災害環境の中でも、タフにミッションをやり遂げることができるロボット基盤技術を創り出すことを目標とし、サイバー救助犬、索状ロボ、脚ロボ、飛行ロボ、建設ロボをプラットフォームとして研究開発を進めてきました。

2017年夏の九州北部豪雨災害で ImPACTの飛行ロボが情報収集

【サイバー救助犬】災害救助犬は地震や台風、土砂崩れなど災害で行方不明になっている人を優れた嗅覚で捜索するために特別な訓練を受けた犬です。サイバー救助犬スーツは救助犬に装着することで、犬の行動モニタリングと行動指示ができます(世界初)。救助犬はハンズフリーで近くにいる状態でしか行動できませんでしたが、スーツに内蔵された



【写真3】田所諭プログラム・マネージャー



【写真4】炎の中でもモノをつかめるロボットハンド



【写真5】索状ロボ

ライトを用いて、離れた場所から救助犬に「右に進め、左に進め」などの指示が可能です。スーツは装着した犬の負担にならないように設計されています。開発にあたりNPO法人日本救助犬協会の協力を得ることができ、山岳遭難者の探索での活用が期待されています。

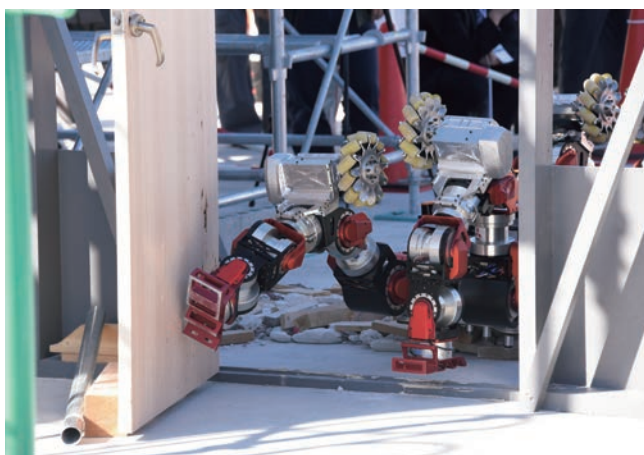
【索状ロボ】索状ロボは瓦礫内をヘビのように進み、倒壊家屋のわずかな隙間に入り込んで、情報収集や被災者の探索を行うことを想定しています。ImPACTでは多様な索状ロボの開発に成功しており、例えば、索状ロボ（太径）は配管内外・ダクト・不整地・垂直梯子を移動でき（世界初）、刃物などがつった物体もつかむことができる柔軟ロボットハンドを備えています（世界初）。索状ロボ（細径）には先端部から空気を噴射す

る機能があり、これまで越えられなかった段差を乗り越えて進むことができます（世界初）。福島第一原発1号機の状況調査に使われるなど、すでに実績を上げつつあります。また空気の代わりに水を噴射して空中に浮かんで消火活動が可能な「ドラゴンファイヤーファイター」も開発されました（世界初）。索状ロボは災害時だけでなく、プラント設備の点検作業での活用も期待されています。

【脚ロボ】脚ロボは車輪走行モードと4肢による腹ばい移動モードを使い分けて、瓦礫の中を移動できます（世界有数）。ロボットハンドは40キログラムの棚をどかしたり、ドアを開けたり、バルブを開閉したり、様々な作業が可能です。よりパワフルな油圧ハンドは、コンクリート壁を割ることもできます。

【建設ロボ】建設ロボは二重旋回機構による重作業と精密作業の両方が可能な双腕ロボットです（世界一）。有線ドローンやロボット本体に搭載したカメラからの映像を見ながら、オペレーターによる遠隔操作が可能です。

【飛行ロボ】飛行ロボは、1時間あたり300ミリの降雨下でも安定した飛行が可能で、上空からの観測により被災地の3次元マップの作成ができます。さらに搭載マイクで地上音声の聞き取りと位置推定が可能です（世界初）。複数の飛行ロボをマルチホップ通信でつないで、災害現場の映像を遠方にある医療機関に送ることもできます。7月の九州北部豪雨災害では、福岡県東峰村の被害状況の調査のために飛行ロボが投入され、上空から情報収集を行いました。



【写真6】ドアを開ける脚ロボ



【写真7】コンクリート壁を割る油圧アーム



【写真8】建設ロボと有線ドローン



【写真9】飛行ロボット

福島県南相馬市でImPACT最後のフィールド評価会を開催

田所プログラムでは、より災害現場に近い状況で災害ロボットのデモンストラーションを行うフィールド評価会をこれまで複数回にわたり開催してきました。評価会では倒壊した家屋や瓦礫、プラント内部を模したテスト環境で実際にロボットを動かし、想定した性能を発揮できるかの検証を行います。

11月2日に福島県南相馬市の福島ロボットテストフィールドで行われた第7回フィールド評価会は、ImPACTでの最後のフィールド評価会として、これまでの集大成と呼べる内容で、見学者を含め約500名が参加する大規模なものとなりました。サイバー救助犬、索状ロボ、脚ロボ、建設ロボ、飛行ロボの最新の成果が披露されるとともに、火災現場の灼熱環境でも物体をつかめる柔軟堅牢ロボットハンドも公開されました。耐火性の素材を使い、炎の中でも使用可能な柔軟ロボットハンドは世界初の成果です。

会場となった福島ロボットテストフィールドは、物流、インフラ点検、大規模災害などに対応する陸・海・空のフィールドロボットの一大性能試験拠点として整備が進められている施設です。ImPACTでは整備段階から関わり

を持ち、前回のフィールド評価会（2018年6月開催）もここで開催されました。

「こうした環境で実際にテストすることで、問題点を明らかにできます。その上で、さらに改良を加えていくことで、本当に社会に役立つ災害ロボットが生まれていくと考えています」[田所PM]

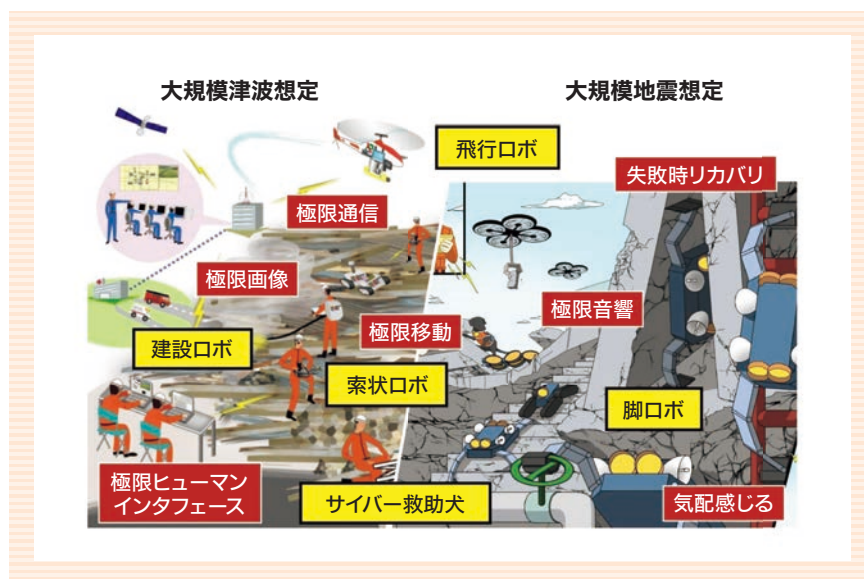
さらなる継続開発を進め 真の災害ロボットへ

最後のフィールド評価会を終えた田所PMは「技術的には当初の予測を上回る成果が出てきたと思っています」と感想を述べました。評価会で披露され

たロボット技術を見た見学者から、「ぜひ活用したい」という問い合わせが増えているといいます。

また災害ロボットが広く社会で活用されるためには、それを事業とする企業が安定したビジネスを展開できなくてはなりません。そのためには技術面だけでなくコストの問題も避けて通ることはできません。

ImPACTで生み出された要素技術が社会や災害現場で実際に使われるようになるためには、これからも継続して研究開発を続けていく必要があるでしょう。



【図1】「タフ・ロボティクス・チャレンジ」が目指す災害時のロボット活用イメージ



地震や水害等の災害発生時に、すぐに打ち上げることができ、特定の場所の被害状況を迅速に提供できる小型軽量の地球観測衛星システムは、災害大国日本において大きなインパクトをもたらすと考えられる。優秀な研究者とともに困難な開発に挑み、社会実装への道筋が見えてきた。

【写真1】スペインで開催された「International Geoscience and Remote Sensing 2018」で、SAR衛星の模型を展示

合成開口レーダを搭載した人工衛星の小型軽量化という困難に挑む

白坂成功プログラム・マネージャーが取り組む「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」では、自然災害や人為災害などの緊急事態が発生した際に、夜間や悪天候でも観測が可能な人工衛星をオンデマンドで打ち上げることで、災害現場で必要とされている情報を迅速に提供し、被害を最小限に食い止めることを目指しています。

プログラムの中核となる技術は「合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar)」です。SARは、光学カメラとは異なり、人工衛星から地上に向けて照射したマイクロ波の反射波を受けることで地表面を観測するタイプの地球観測センサです。SARは、光学カメラでは困難な夜間や悪天候でも地上の画像を取得可能な点が最大の特徴です。

オンデマンドでの人工衛星の打ち上げには、準備に時間がかかる液体燃料ロケッ

トではなく、固体燃料ロケットを想定しています。固体燃料ロケットは液体燃料ロケットと比べて地上での保管や取り扱いが容易である一方、輸送効率が劣るため、衛星は小型・軽量であることが求められます。従って、白坂PMはプログラム開始時の目標としてSAR衛星の重さを100キログラム級とし、また製造コストは1機20億円程度をターゲットとしました。SAR衛星は小型・軽量化が難しいとされており、この目標は白坂プログラムにとって大きなチャレンジでした。

世界の競合に勝つためにプログラムの目標を柔軟に変更

世界における小型SAR衛星の開発競争は非常に激しく、白坂プログラムでは、SAR衛星の開発動向に常に注目してきました。

ImPACTにはプログラム期間の途中であっても、PMの判断によって計画の変更を可能とする柔軟性があります。そこで、白坂PMはプログラムの研究開発目標をス



【写真2】白坂成功プログラム・マネージャー

タート当初の目標から変更し、実用時には衛星重量100キログラム以下、製造コスト5億円以下を目指すことにしました。また、白坂PMは開発スピードを早めることを重要視し、プロジェクト内での優先順位に変更を加えています。もちろん、やみくもに変更を加えるわけではなく、開発成果を最大化するために導入が必要な機能を厳選しながらも、当初目指した衛星の観測性能(空間分解能1メートル以下)は確実に実現することを重視しました。新たに設定した目標を達成すべく、目まぐるしく変わる状況変

化に柔軟に対応しながら、研究開発は加速していきました。

超コンパクト高収納型 アンテナ技術の開発

白坂プログラムでは、SAR衛星の大幅な小型化を実現するために、SARアンテナを世界の二大潮流である「アクティブフェーズドアレー方式」と「パラボラ方式」のどちらでもない「平面スロットアレーアンテナ方式」を選択しました。この平面スロットアレーアンテナは、宇宙空間における展開時には、空間分解能1メートル以下を実現するために全長5メートルになりますが、打ち上げ時には折りたたんで超コンパクトに収納できるよう技術開発に取り組みました。その結果、衛星を打ち上げ時に約70センチ立方以下、重量100キログラム以下に抑えることが可能になり、世界にも前例のない小型軽量のSAR衛星が実現しました。

世界最高クラスの 高速データ送信技術

災害時に衛星が取得したデータを地上にどれだけ早く送ることができるかは、迅速な救援対策・支援活動に大きく影響してきます。大容量の画像データを超高速に地上に送信するために、高速データダウンリンクで世界最高レベルの技術開発に挑戦しました。その結果、64値振幅位相変調方式を採用することで、衛星から地上へのデータ伝送速度1.5Gbps以上が達成可能であることを地上検証にて確認しました。これは小型衛星の世界記録の3倍以上の伝送速度であり、大型衛星を含めても世界最高クラスの性能です。この開発成果は、近々打ち上げが予定されているJAXAの革新的衛星技術実証1号機に搭載され、実際に宇宙空間において技術実証試験を行うことが計画されています。

高機能・高性能な衛星バスに加え 人工衛星の自動運転技術に挑戦

小型軽量、高速データ送信に加え、衛星

そのものの機能向上にも取り組みました。地上からの細かい指示を受けなくても、衛星自身が自己の状態や環境などの状況を基に判断し、姿勢変更などの制御を自動・自律的に行う機能もそのひとつです。例えば、地上を観測している時には自動的に目標地点を指向しますが、観察していない時は太陽電池による発電等のための姿勢に自動移行できるような機能を開発しました。

当初の目標を上まわる 小型化とコストダウンに成功

これらの成果を盛り込んだ小型SAR衛星が、重量で100キログラム以下、1機あたり5億円以下で製造できるメドが立ちました。同じ分解能を持つ既存衛星が、重量で数百キログラム〜1トン以上、1基あたり100億円以上になることを考えると、十分な小型化とコストダウンに成功したと言えるでしょう。

また、高速データ通信、自動運転技術などを達成した事により、災害発生時等の画像取得リクエストから10時間以内に1メートル分解能の地表データの取得が可能なシステムのメドが立ちました。

ビジネス利用にも視野を広げ ビッグデータのプラットフォームへ

白坂プログラムの成果である、SAR衛星

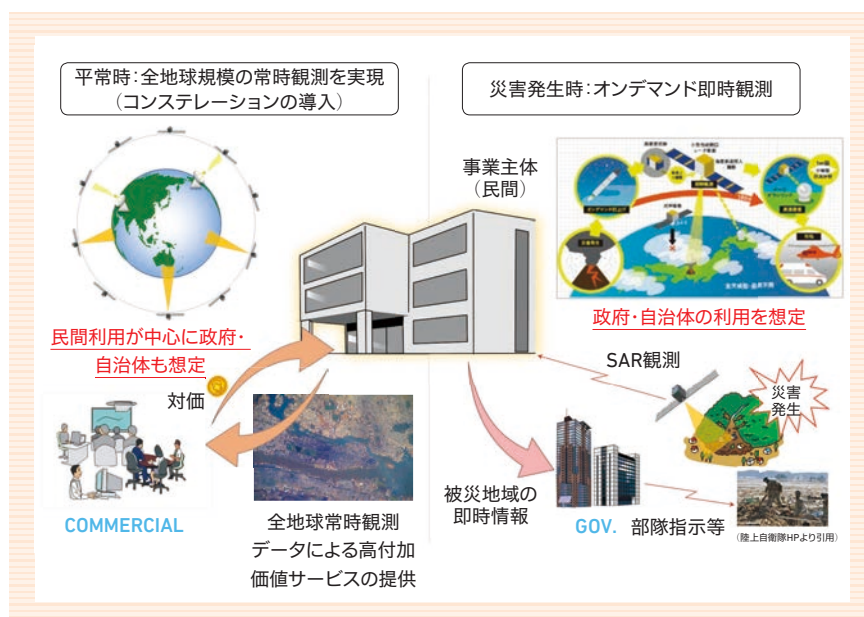
星の小型・軽量化と製造コストの削減、およびデータ通信の高速化と自動運転技術は、衛星の打ち上げと運用のコストを下げることにつながりました。

これにより、災害発生時にオンデマンドで衛星を打ち上げるだけでなく、平常時に複数の衛星を打ち上げておいて、夜間や悪天候に影響を受けない、全地球規模の常時観測態勢を構築して、SAR衛星をビジネス利用のプラットフォームとして使う可能性も考えられています。この構想は、いち早く情報を知りたいことをビジネスにおいて重要視している人々から関心を集めています。

例えば世界中でインフラ工事を行ってきた日本のゼネコンでは、これまで建設してきた橋などのモニタリングにSAR衛星の情報を活用することを検討しています。補修工事の優勢順位を決めることで、危ない状態の橋があれば、工事スケジュールを早めるなどの対応ができるでしょう。

白坂プログラムでは、SAR衛星の製造・運用、SARデータのビジネス利用など、ImPACTの成果を社会実装するための受け皿となるベンチャー企業を立ち上げました。

SAR衛星がプラットフォームとしてビッグデータを提供し、アイデアを持つ世界中の人々が活用することで、予想もしていなかったサービス・価値を社会にもたらす未来が考えられます。



【図1】白坂プログラムが目指すSAR衛星の運用イメージ

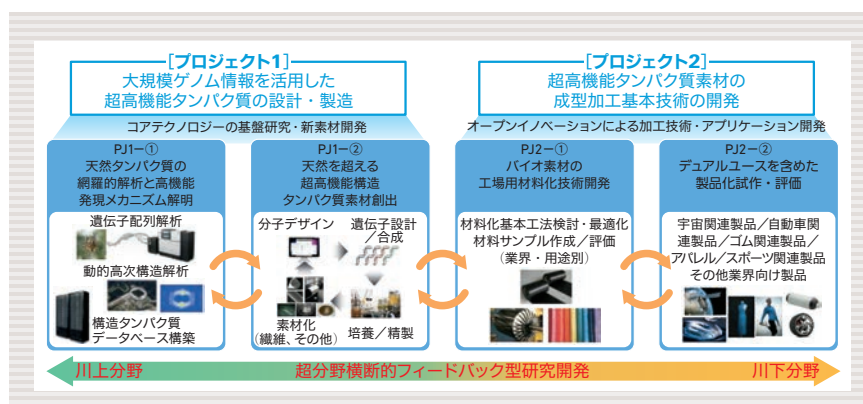
自然に学び、物性発現メカニズムを解明し 超高機能構造タンパク質による素材革命を目指す

プログラム概要

従来のモノづくり産業は、石油や金属、セラミックスなどの天然資源に頼ってきましたが、将来的な枯渇が懸念されています。ImPACT鈴木プログラムは、自然に学び、超高機能な次世代素材を創造し、日本の産業競争力を飛躍的に向上させる試みです。たとえば、重さ当たりの強靱性が鋼鉄の340倍にもなるクモ糸を超える「超高機能構造タンパク質」をつくる遺伝子を微生物に組み込み、人工的に量産することを目指しています。異次元の性能を実現するメカニズムを解明し、新素材設計と加工技術の基盤を確立することで、素材の産業革命を起こし、従来の産業構造からの脱却を図ります。

構造タンパク質素材の物性発現メカニズムの解明に向けた取り組み

タンパク質は、複数のアミノ酸がペプチド結合によって連結した生体高分子です。生物が使用しているアミノ酸は20種類あり、そのアミノ酸が並ぶ順番によって、タンパク質の立体構造が変化し、様々な機能を発現します。タンパク質の中でもクモの糸や人間の髪の毛や爪等を構成しているタンパク質は構造タンパク質と呼ばれています。鈴木プログラムでは人工的に構造タンパク質を設計・合成し、発酵培養を通じて大量生産することによって、汎用的な素材



【図1】鈴木プログラムのプロジェクト体制

として実用化することを目指しています。人工的に構造タンパク質を設計する上では、構造タンパク質の物性発現メカニズム（具体的には構造タンパク質のアミノ酸配列、高次構造、物性がどのように関わっているか）を明らかにする必要がありますと考えています。鈴木プログラムにおいては、天然に存在する構造タンパク質素材（主に天然クモ糸）を網羅的に採取し、次世代シーケンサーを用いたアミノ酸配列の同定、SPRING-8等の施設を利用した構造解析データの取得、引っ張り試験機や熱分析装置による各種物性・特性に関する評価を行い、データベース化することで、物性発現メカニズムの解明に取り組んでいます。

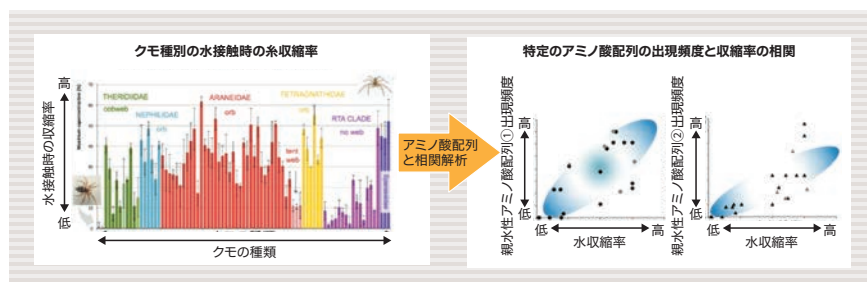
構造タンパク質データベースから得られた知見の活用

構造タンパク質データベースの活用例として、人工構造タンパク質の耐水性に関する取り組みを紹介します。天然クモ糸

の物性評価の一環として、水に接触した際の収縮率の評価を実施していますが、収縮率が低いサンプルを選別し、遺伝子配列の特徴を解析した結果、収縮率の低いサンプルにおいては特定のアミノ酸配列の出現頻度が低い傾向があることが分かりました。この知見を活用し、人工構造タンパク質の設計において、特定のアミノ酸配列を疎水性のアミノ酸配列に置き換えることによって、収縮率の低い（水への感受性が低い）タンパク質素材を生産することが可能となりました。今後、データベースから得られた様々な知見を活用し、用途やニーズに合わせた人工構造タンパク質素材の設計・製造を進めます。

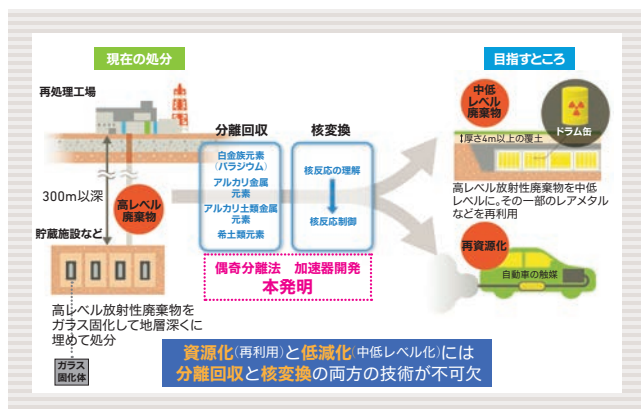
構造タンパク質素材の実用化に向けて

鈴木プログラムでは、人工構造タンパク質素材の開発と並行して、材料加工技術の開発や製品化試作・評価を進めています。また、構造タンパク質素材を様々な従来材料と組み合わせることで、従来材料を上回る性能を発現する新規複合材の製造にも成功しており、これらの材料を用いて4つの産業領域（人工衛星、自動車ボディ、ゴム製品、アウトドアパレル）において、製品化を目指しています。

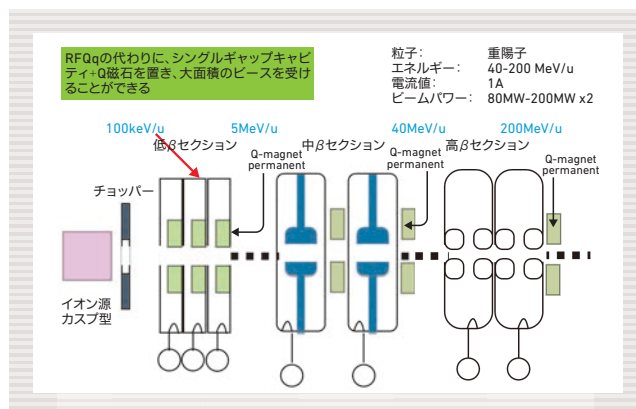


【図2】クモ糸のアミノ酸配列と糸の収縮率の相関

藤田PM [イノベーションへの期待]



【図1】プロセス概念



【図2】革新型加速器

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

本プログラムが目指すところ

原子力発電所で使用した際に発生する高レベル放射性廃棄物の処分場がなかなか決まらないという課題があります。この課題を解決する選択肢の1つとして、高レベル放射性廃棄物から長寿命核分裂生成物 (Long-lived Fission Products: LLFP) を回収し、核変換により安定核種もしくは短半減期核種にすることにより廃棄物を低減すると共にその中に含まれる有用元素はリサイクル、再利用することにより資源化する技術を開発しています。

低減化および資源化を実現する成果

既往研究ではLLFPを化学的に分離した後、半減期の長い核種のみを同位体分離法で取り出し、原子炉で核変換する方法でした。

しかしながら、同位体分離を行うとLLFP毎に同位体分離プラントが必要となり、経済性から社会実装が極めて困難になります。本プログラムでは、高レベル放射性廃棄物に含まれるLLFPを化学的な方法で分離回収した後、偶数核種と奇数

核種を分離する偶奇分離法を開発し、半減期の長い奇数核種のみを取り出し、加速器で核変換する方法を提案しました。その概念を図1に示します。この概念は公益社団法人発明協会の平成30年度全国発明表彰の21世紀発明賞を受賞する*1ことができました。

LLFPの1種であるPd-107を偶奇分離し、図2に示すような核変換する革新型加速器を概念設計しています。加速器で変換するための核反応データは今までほとんどなかったため、理研のRIビームファクトリーなどの施設で世界で初めての多くのデータを取得しています*2 *3。この革新型加速器は世界で初めて処理装置としての仕様を持つもので、入射ビーム電流1アンペア級、入射ビーム径10cm以上の重陽子ビームを用いる*4ものです。

高レベル放射性廃棄物から経済性の高い化学法でLLFPを分離回収し*5 *6、偶奇分離法により奇数核種のみを取り出し*7、革新型加速器で核変換し、生成した金属はインゴットにするプラントの概念設計を完成しました。

また、LLFPのうち、有用であるPd-107とZr-93は安定核種に変換した後の金属を再利用するために、どのような使い方をしても健康に問題ないレベル(クリアランスレ

ベル)を種々の経路を検討し世界で初めて試算し、アクセプトされました。*8 今後ICRP (International Commission on Radiological Protection)とIAEA(International Atomic Energy Agency)にクリアランスレベルの値として採用されるよう働きかけていきます。

社会実装に向けた今後の取り組み

今後、次のフェーズでは実使用済み高レベル廃棄物を用いて化学法によりLLFPを分離回収する試験を行い、プロセスが成立することを実証する予定です。また、Pd-107の入った使用済みパラジウムを用いて偶奇分離法の成立性を確認する試験も計画しています。さらに、概念設計した革新型加速器のパイロット装置を製作し、性能確認を行うと共に実用化の課題を抽出し、解決していくと共に2040年には社会実装を目指しています。

【参考資料】

- *1 : <https://www.jst.go.jp/impact/download/data/press20180517.pdf>
- *2 : <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170213/index.html>
- *3 : <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170911/index.html>
- *4 : <https://www.jst.go.jp/impact/sympo/fujita/index.html>
- *5 : <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180323/index.html>
- *6 : <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180903/index.html>
- *7 : <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170110/index.html>
- *8 : <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20181003/index.html>

安全・安全・快適な社会を実現する多項目オンサイトセンシングシステムの開発

elNSECT®による安全、安心、快適な社会

私たちは常に細菌、ウイルスや化学物質などの危険・有害物質の脅威に晒されています。新興感染症や抗生物質が効かない薬剤耐性菌などの脅威が迫り、その被害は国境を越え地球規模に及びます。また生物剤や化学剤によるテロの脅威も止まりません。このような危険・有害物質の脅威から身を守るためには、これらをいつでも簡便に検知し、グローバルに情報共有すると共に各人が危険に備える必要があります。

当プログラムでは、危険、有害物や空気を簡便に検知できるセンシングシステムelNSECT®を開発し、社会実装することを目的としています。これにより各人が迫り来る脅威に備えられるようになり、真に安全、安心、快適な社会が実現します。

elNSECT®には超高感度、迅速、小型、多項目検知が求められ、既存技術の延長線上では実現できません。そこで全く新しい原理に基づくセンシングシステムの開発に挑戦しました。検知対象別に以下の三つのプロジェクトを立

ち上げ、国内トップレベルの研究開発機関を結集、各機関が協働して研究開発に取り組むことにより、以下に紹介する成果が得られています。成果の民間企業への橋渡しなど、社会実装に向けた取り組みも精力的に進めています。

プロジェクト①——細菌・ウイルス ナノポアによる一粒子解析技術を確立

ナノポアはシリコン絶縁膜に開けたナノサイズの貫通孔で上下に電極を備えています。ナノポアに細菌やウイルスを通過させると、電極間に流れる電流値が変化します。プロジェクト①では、ナノポアの薄さを極限まで薄くし、得られる僅かな電流の変化を捉えて機械学習で解析することにより、対象物を一粒子単位で観測する新技术を開発しました。この技術により細菌、ウイルスの高精度検出が可能となり、現在プロトタイプを医療機関に持ち込みその有用性を検証しています(写真1)。

プロジェクト②——バイオエアロゾル 大気中の微粒子を捕捉・濃縮し、 薬剤耐性まで識別できる流路デバイスを開発

大気中の浮遊物を捕捉、濃縮して検出部まで送るのがバイオエアロゾル検知の鍵です。プロジェクト②では、ナノワイヤという微細な構造体の上に薄い水相を形成させ、大気中の微粒子を水相に取り込み、濃縮する技術を確認しました。また、薬剤耐性の有無を識別できるナノポアデバイスの開発にも成功し、現在

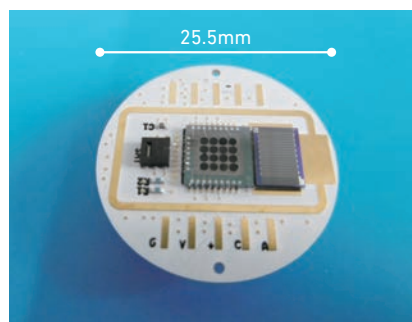


[写真2] バイオエアロゾル検出のプロトタイプ装置

フィールド評価を行っています(写真2)。

プロジェクト③——人工嗅覚システム 濃縮・マルチセンサを備えた超高感度 「人工嗅覚システム」を開発

空間ガスや生体ガスは多くの成分からなり、その空気質を検知することにより空間の危険性や、人の健康状態がわかります。プロジェクト③では、極微量の成分を濃縮するナノワイヤチップ、様々な成分に応答する16Chセンサアレイ、センサの応答パターンから空気室を識別する機械学習アルゴリズムを搭載したシステムを開発しました(写真3)。プログラム終了までに手のひらサイズまで小型化する予定です。感度は従来のガスセンサの1,000倍程度まで到達、様々なシーンで有用性を検証しています。



[写真3] 人工嗅覚システムの濃縮・検出一体化チップ(上)・チップを搭載したプロトタイプ装置(下)



[写真1] ナノポア検出チップを搭載した細菌、ウイルス計測のプロトタイプ装置



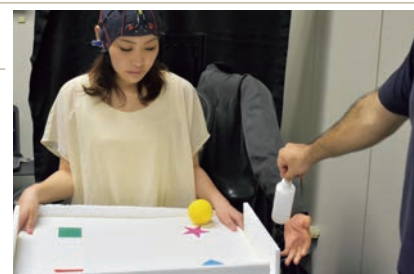
【図1】携帯型BMIニューロフィードバック

脳情報の可視化と制御技術の開発で脳ビッグデータを活用できる社会へ

本プログラムでは、人生100年時代における高齢化に伴う認知機能の低下や、AIやIoTによる情報化の進展に伴うストレスの増加といった脳や心の世界的な課題を解決するため、脳情報の可視化と制御技術の研究開発を進めてきました。主要な研究開発として、脳の状態を見える化し、より良い状態に変えるための携帯型ブレインマシンインターフェース（以下、BMI）の実装を進めました。国際電気通信基礎技術研究所の川人光男所長を中心に大型計測装置でのニューロフィードバック技術を開発し、その技術を軽量な計測装置に移植する技術開発を行いました。具体的には、認知機能を規定する脳内ネットワークの操作や恐怖記憶の消去の研究開発に加えて、脳波からfMRI活動を推定する機械学習技術を開発し、BMIニューロフィードバックを実装しました（図1）。一方、用途を特定し汎用的なBMIの作成も試みました。生理学研究所の乾幸二准教授を中心に「眼鏡」を題材に視覚誘発磁界による「見え方」と「まぶしさ」評価を確立し、誘発脳波計の量産化に

道筋を得ました。また、東京大学の生田幸士教授を中心に乾式電極方式の装着デバイスとリアルタイム解析の開発に成功し、日常の「注意」の計測が可能になりつつあります。

一方、BMIの発展を見据え、京都大学の神谷之康教授を中心に多様な心理状態の可視化技術の研究開発も進めました。ネット上の画像やテキストを、人々が体験した心理状態を記述する「心的コンテンツの素材」とみなし、これを脳活動データと組み合わせること



【写真2】脳ロボティクス技術による追加肢制御

で実環境に即したリアルな体験と脳活動のマッピングを実装しました。このような脳ビッグデータを用いたコンテンツを評価・生成する技術を開発し、新たな芸術表現につながる成果が得られました（写真1）。これらを発展させ、ストレスを癒すコンテンツ生成につなげられると考えています。また、大阪大学の石黒浩教授を中心に脳をより良くする制御技術の開発も進めました。人が両腕を使い、BMIでロボットアームを操作する実験を行い、高い成功率で操作できることを示しました（写真2）。これは、マルチタスク能力など、人の認知能力の向上に役立つと考えられます。また、装着型ロボットの動作教示による脳の体性感覚認知能力の改善やロボットとの対話による脳の活性化なども実装しました。これらは健全な心身を維持するための脳ロボティクス技術になります。

並行して、社会実装のためのエコシステム作りも進めて参りました。日本脳ドック学会の小林祥泰前理事長を中心に日本に数多くある脳ドック拠点との連携を進めるとともに、理化学研究所の渡辺恭良チームリーダーを中心に産学連携や国際標準化を進め、BHQ（Brain Healthcare Quotient）という新たな指標のコンセプトが国際標準化機関に承認されました。これにより、前述の技術が様々な場所で客観的な指標により比較され、脳情報に関する研究開発のさらなる発展及び脳情報産業の創出に道筋が得られつつあると考えています。

【写真1】脳ビッグデータによる視覚イメージ生成「Umwelt」2018年10月からロンドン、サーペンタイン・ギャラリーで開催されている現代美術家ビエール・ユイグ氏の展示

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目指しています。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。

プログラム・マネージャー [PM]	プログラム
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
TEL 03-6380-9012
E-mail impact@jst.go.jp
URL https://www.jst.go.jp/impact/