# ImPACT Newsletter

Vol. 13 Aug. 2018

Impulsing
Paradigm
Change through Disruptive
Technologies Program


［特集］

革新的スピントロニクスシーズ
イノベーションで次世代の社会情報
インフラを支える基盤技術を確立――02

サブナノ秒レーザーを
手軽に使える環境を整備――07

［TOPICS］

藤田プログラム「放射性廃棄物の処理
方法」が「21世紀発明賞」を受賞――11

光超音波3Dイメージング技術を
医師や医療関係者へ紹介――12

［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――13


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

［特集1］ 佐橋PM

**コンピューティングのクラウド化、IoTの普及、急速に進む人工知能の開発とビッグデータの利活用など、デジタル技術の進展が日々加速する中で、佐橋プログラムが目指す究極のエコIT機器が果たす役割への期待も増大している。佐橋PMとともに目標達成に向けて邁進する研究者が集まり、研究開発の現状とその先の未来について語り合った。**

# 革新的スピントロニクスシーズイノベーションで次世代の社会情報インフラを支える基盤技術を確立

## 前倒しでプロジェクトを統廃合、組織改編を行い目標達成へ全力で挑む

佐橋◉みなさん、本日はお忙しい中、お集まりいただきありがとうございます。まずは私たちのプログラムの現状について簡単にお話ししたいと思います。

日本のエレクトロニクス産業、特に半導体産業の力強い再興を促すためのシーズイノベーションを確立することをプログラムの第一義とし、それによって根本的な変革へと繋がる突破口や起爆剤となるような圧倒的な差別化技術をまずは創り出す。そこから明確な出口戦略に基づいて展開を図り、最終的には社会の変革、さらに新たな価値創造にまで持っていくという好循環を産み出す、大きなビジョンをもって取り組んでいます。当初、5つのプロジェクトをスタートさせ、2年半後にステージゲートを設けて、絞り込みを行なうことを考えていました。しかしここに来て人工知能などコンピュータ分野での技術革新が急速に進んでいることもあって、1年前倒しでプロジェクトの統廃合を行いました。

その結果、「大野社会実装分科会」でのスピントロニクス集積回路プロジェクトと「湯浅先端技術開発分科会」での電圧駆動MRAM開発タスクフォースプロジェクトの2つにプロジェクトを収束させました。大野社会実装分科会には、従来のマイクロコントローラユニット（MCU）の消費電力を二桁下げるような思い切ったチャンレンジをお願いしました。具体的には300mmのシリコンCMOSウエハ上に動作周波数100メガヘルツ、消費電力100マイクロワット以下のスピントロニクス集積回路の実現を目指してもらいました。さらに若手の深見先生には、スピン軌道トルクという新しい磁化反転原理を使って、回路上でどれくらいの高速性が得られるかにチャレンジしてもらっています。湯浅先端技術開発分科会には、デジタル情報を1ビット書き込むための消費エネルギーを、現行STT-MRAMの100分の1である1フェムトジュールにまで下げること、そしてさらに電圧での書き込みエラーレートをどこまで下げられるかに挑戦してもらっています。

研究者のみなさんのおかげで、来年3月までに目標を達成することが何とか見えてきたというのが現状です。

**佐橋政司** Masashi Sahashi
ImPACTプログラム・マネージャー
東北大学教授（リサーチプロフェッサー）
大学院・工学研究科電子工学専攻

## ハイリスクに挑むための基礎研究の重要性

佐橋◉ここからはImPACTにおける基礎研究の重要性に関して、若い研究者からご意見をいただきたいと思います。

深見◉私はスピンホール効果を利用する方式を使い、電流で磁化を反転させるスピン軌道トルク磁化反転の研究をしています。これは2011年に初めて実験で実証された新しい物理原理で、まさに基礎研究です。ImPACTに参加して感じたことは、世界に先駆けてスピントロニクス素子の磁化反転の高速化や信頼性の向上で成果を出せたこと、それによって将来の実用化のための知的財産権獲得の可能性が見えてきたことです。また挑戦的な研究に取り組むことで思ってもいなかった新しい発見があったことでしょうか。

白井◉私は3年目から公募でImPACTに参加しました。界面垂直磁気異方性を電圧で制御する際、この電圧の効果をこれまでよりも一桁以上大きくするにはどうしたらいいか、その指針を理論計算の方から提示しなさいというのが佐橋PMから与えられたミッションで、まさに基礎研究の領域です。われわれの理論計算がプロジェクトに何がしかの貢献はできたのかなと思っています。

**遠藤哲郎** Tetsuo Endoh

東北大学教授（リサーチプロフェッサー）
大学院・工学研究科電気エネルギーシステム専攻
同大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター長
「我が国では数少ない、大学でシリコンCMOS集積回路を専門とされている研究者のひとりで、かつ第一人者です」（佐橋PM）

野崎◉私は先端技術開発分科会で、主に電圧でスピンを制御して、低消費電力なメモリを実現する研究に取り組んでいます。破壊的なイノベーションをもたらす基礎研究から産み出された技術革新の芽を育てて実用化へと繋げるための重要特許などの知的財産権を獲得していくことは、日本の半導体デバイスメーカーがあまり元気のない今の状況において、極めて重要な戦略だと思います。佐橋PMの俯瞰的な視点からの意見を重視しながら、基礎物理からデバイスまで広い範囲と分野に共通認識で取り組むという点は非常に新しいなと感じました。個人的にも基礎研究をさらに一段階高めに押し上げることができたのではないかと思います。

三谷◉私は主に材料科学を担当しています。まさに基礎研究ですが、非常に野心的な目標に向かって研究をしています。最初、ImPACTが目指す非連続なイノベーションというのがよく分かりませんでした。でも仮にそれを実現することができるとすると、おそらく新材料の分野ではないかと考えました。実際、先端技術開発分科会での電圧駆動MRAMの研究開発は非連続なイノベーションにつながりそうです。

## ブレイクスルーをもたらし確かな出口戦略を見据えた研究開発

佐橋◉次はもっと大きな枠組でImPACTに携わって頂いております研究者の方々から、研究開発の持つ意義についてお話してもらおうと思います。

遠藤◉みなさんが豊かに生活すればするほど、たくさんのエレクトロニクス製品がどんどんエネルギーを使っています。その結果、地球が悲鳴を上げることになる。この現状からどのようにブレイクスルーするかが、大きな社会的課題になっているのだと思います。その意味でシリコンの技術にスピントロニクスという新しい技術を融合させていくことで、画期的な低消費電力機器を生み出すことが出来るはずです。そこにチャレンジすることは大きな社会的意義があるのだろうと考えています。日本企業が得意としているMCUは、家電やロボットさらには自動車などいろいろなところに使われています。私どもの大野社会実装分科会では、そのMCUに使われている半導体チップを、100マイクロワットを切るような

**湯浅新治** Shinji Yuasa

産業技術総合研究所
スピントロニクス研究センター長
「MRAMやHDD磁気ヘッドの共通基盤技術となっているMgOバリア磁気トンネル接合の開発者であり発明者。日本のスピントロニクス研究を牽引する中心研究者です」（佐橋PM）

**三谷誠司** Seiji Mitani

物質・材料研究機構
磁性・スピントロニクス材料研究拠点 スピントロニクスグループ長
「HDD磁気ヘッドやMRAMに代表されるスピントロニクス材料の研究開発における世界的拠点である物質・材料研究機構の中心研究者です」（佐橋PM）

**池田正二** Shoji Ikeda

東北大学
国際集積エレクトロニクス研究開発センター
教授・副センター長

「CoFeB/MgO界面に生じる界面垂直磁気異方性を世界で初めて見出された研究者で、ImPACTでは集積回路に埋め込まれる電流駆動STT-MRAMの開発と300mmウエハでのMCU機能実証試作で重要な役割を果たされています」（佐橋PM）

消費電力で動くようにしたい。それができれば、きっと社会のあり方も大きく変わってくるものと考えています。

湯浅◉半導体分野では数十年前に電流駆動のバイポーラトランジスタから電圧駆動のCMOSに移行して、半導体デバイスが省電力化されたという画期的な出来事がありました。 そのアナロジーから、スピントロニクスでも電圧でスピンを操作してデジタル情報を書き込むことを考え、これをImPACTの核に据えようと考えました。とは言っても強磁性体（磁石）の磁化反転を電圧駆動で行うと言う、これまで誰も成し遂げていないことに挑むもので、決して容易いものではありませんが、私ども先端技術開発分科会では、電流駆動に比べて100分の1の消費電力を実現することを目標としました。まさにハイリスク・ハイインパクトな挑戦ですので、三谷さんらにも協力していただいて新材料の開発にも果敢に取り組みました。また與田さん、野崎君といっしょに新しい回路技術にも取り組みました。さらに白井先生らの理論計算のシミュレーションの支援も得ることができ、効率的な材料・プロセス開発を進めることができました。技術的にはかなり完成に近づいて来ていますので、産業界に橋渡しをして本格的な実用化研究に踏み出せるような段階に来たものと確信しています。

與田◉私は情報機器の省電力化に貢献したいという思いがずっとありました。不揮発性メモリには実は大きなジレンマがあります。記憶した情報を忘れないということは、逆に情報を書き込みにくいということで、その分書き込みに大きなエネルギーが必要になってしまう。コンピュータのワーキングメモリでは頻繁に情報を書き込む必要があるため、実は不揮発性メモリを使った方が多くのエネルギーを消費するということになってしまいます。佐橋プログラムではまさにこのジレンマを解くことに挑戦しています。まだ基礎技術開発のレベルではありますが、克服できる可能性が出てきました。非常に意義があったと思います。

池田◉私は大野社会実装分科会で、MgOベースの不揮発性メモリであるSTT-MRAMとスピン軌道トルク（SOT）素子の集積化技術の開発を進めています。MTJ（磁気トンネル結合）を用いた電流駆動のSTT-MRAMは、現在MCUへの応用をターゲットにした埋め込み型MRAMが量産一歩手前のリスクプロダクションの段階に入っており、まさに社会実装の段階にあります。ImPACTでは、現在STT-MRAMの応用として考えられている埋め込み型のNOR FlashメモリMCUの演算性能に比べて5倍以上の演算性能（100メガヘルツ）を目指してMCUの技術開発を進めています。加えて深見先生が開発したSOT素子を集積化したメモリアレイの開発を推進し、高速動作の実証を進めています。文字通りハイリスク・ハイインパクトな研究に挑んでいるものだと思っています。

## ImPACTという取り組みと佐橋PMのリーダーシップ

野崎◉ImPACTのひとつの特徴だと感じているのが、基礎研究であっても、その発展性が明確化されていることです。非常に大きな枠組でプログラムが作られているので、新材料の開発にしても理論的な提案から実験実証、それを解析して数値化、デバイスとして回路設計にまでもっていく。ここまでの流れを常に第一線の研究者のフィードバックを受けながら、高い効率で速やかに廻して行く研究体制はこれまでになかったという印象です。このような環境で取り組むことが出来た電圧によるスピン制御の研究開発は本当に10年くらい進んだのではないのでしょうか。

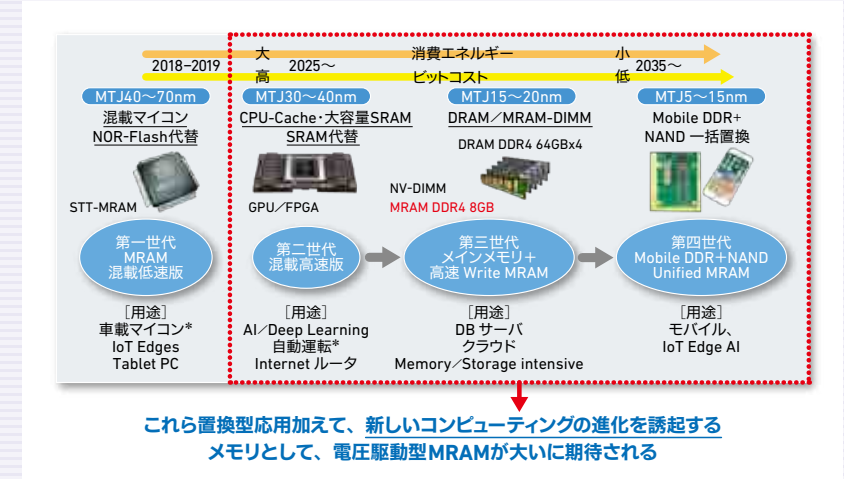
三谷◉ImPACTで感じたのはあやふやさがないことです。従来の大型プロジェクトの中には、最終的にどうまとめていくのかが分からないものもありました。ImPACTに関しては危ういところや難しいところも含めて佐橋PMが明確にしていただいたことで、非常に取り組みやすい印象を受けました。始まって1年半後に佐橋PMの判断で大きな組織改編と方針転換が図られましたが、それは決して悪いことではないと思います。

與田◉佐橋PMには何かと良い方向に持っていけないかと背中を押して頂いたという感じがします。佐橋PMは東芝のご出身で、私も昔いっしょに仕事をしたことがあります。とにかく普通の常識人から考えると明らかに無謀だと思えることを多くの人を巻き込んで実現させて来た方です。自分だけでなく、多くの人を巻き込むことができる

**野崎隆行** Takayuki Nozaki

産業技術総合研究所
スピントロニクス研究センター 電圧スピントロニクスチーム長

「大阪大学 大学院・基礎工学研究科の時に、電圧で界面垂直磁気異方性を制御するという論文を『ネイチャー マテリアル』誌に発表するなど電圧制御磁気異方性（VCMA）で世界を牽引する研究成果を出し、多くの招待講演や賞を受けられている新進気鋭の研究者です」（佐橋PM）




▶電圧駆動型MRAMの今後の展望

リーダーシップは他の誰にも真似できない素晴らしいところだと思います。

白井◉私を公募でImPACTに引き込んだことが、まさに佐橋PMのリーダーシップだったと思います。必要なものは必要という判断で大胆に組織を変えていく佐橋PMの能力は素晴らしいと思っています。国立研究開発法人、大学、企業からこれだけカルチャーが違う人たちが集まり、いっしょに研究できたことはすごく刺激になりました。これだけのメンバーで共著論文が出るなんて普通は考えられないことです。論文を書いている途中も「こういう解析をしないといけない」となれば、新たな研究者が入ってきて完成度を高めていく。これは私にとって大きな収穫でした。

**深見俊輔** Shunsuke Fukami

東北大学准教授
電気通信研究所スピントロニクス研究室
「大野英男先生の後継者。スピン軌道トルクMRAM研究で世界を牽引する研究成果を出すなど、国際学会での多くの招待講演や賞を受けられている新進気鋭の研究者です」（佐橋PM）

深見◉佐橋PMが私の研究をご覧になり、非常に大きな予算をつけていただきました。同時に「単体の素子ではなくて、集積回路に乗せて実証してみよう」というミッションにも挑戦することになりました。ハードルは高くなりましたが、これをやることでいろんな企業が動き出す。大学内の基礎研究で終わらずに、そのレベルまで持っていけるように、佐橋PMにはいろいろ配慮していただいたと思います。また私と同世代の若い研究者にも佐橋PMは気さくに話しかけてくれて、懇親会でも激励してくれたことを思い出します。

池田◉当初は、STT-MRAMを埋め込んだマイコンの開発をやりましょうという話でしたが、佐橋PMの大英断で、スピン軌道トルク（SOT）-MRAMの集積回路も作ることになりました。やる方からすると全くの別物なので、企業なら別グループがやるはずですが、ImPACTでは同じメンバーでいかに進めるかという話になりました。材料・デバイス、集積回路、集積化プロセスの3分野の研究者が一致団結して進めないといけません。何とか開発できて、先が見えて来たかなと思っていますが、佐橋PMはそこまで見通していたのかも知れません。

**與田博明** Hiroaki Yoda

株式会社東芝 研究開発センター 技監
「電流磁界で磁化を反転させる初期の磁気トンネル接合を用いたMRAMの開発や現在のSTT-MRAMのデファクトスタンダードになっている垂直磁気異方性を用いた電流駆動STT-MRAM（Perpendicular STT-MRAM）のコンセプト提案と開発など、継続して長らく日本のMRAM研究開発を牽引して来た世界を代表する企業内開発者です」（佐橋PM）

遠藤◉一般論ですが、日本は基礎研究分野では強く、研究者個人も良い研究をしていると思っています。しかしいろいろな技術を統合して行って、応用していくこと、すなわち果実を取りに行く段階になると、海外勢に負けてしまうと言われています。ひとつの意志（Will）をもって技術を統合して価値を生んでいくというところが日本は不得意であるという話ですね。そういう意味でImPACTのハイインパクトを目指すというテーマは、日本の科学技術研究のあり方とか、いかに産業化につなげていくかとかの非常によい事例になるのではないかと思っています。ImPACTの中で次の世代を担う新しい人材が、自分の目の前の研究をやる楽しさだけでなく、いろいろな技術を融合してひとつの成果へと繋げて行くことをぜひ経験してほしいと思っています。それは大きな資産だと思います。

湯浅◉佐橋PMがプログラムの途中で臨機応変にどんどん大なたを振るうところを間近で見てきました。通常の大型5年プログラムなら、3年目までは体制も研究も変えないものです。しかし佐橋PMは1年目から大きく変えて行きました。東芝の與田さんのVoCSMという新しいメモリに関しては、佐橋PMの判断で、急遽私のプロジェクト

**白井正文** Masafumi Shirai

東北大学教授 電気通信研究所
同大学スピントロニクス学術連携研究教育センター 副センター長
「スピントロニクス計算科学分野で日本を代表する研究者です。電圧駆動MRAM開発の要である電圧制御垂直磁気異方性変化係数の増大やスピントロニクス材料の高性能化の研究開発効率の向上と研究開発の加速には計算科学からの支援が不可欠と考え、参画をお願いしました」（佐橋PM）

のメインテーマのひとつとなりました。白井先生らの理論計算グループからの強力な支援をいただいたことも本当に助かりました。そこはImPACTの特徴がうまく現れたなと思います。

遠藤◉ImPACTはすごく大きなプログラムですから、佐橋PMには大きなプレッシャーがあったと思います。それでもぶれずに多くの研究者をマネージメントし、強い意志でハイリスクにチャレンジし続けられて来られました。プレッシャーに負けてしまうと結果が出やすい方に流れてしまうものですが、そこには絶対に行かないというのはなかなか出来ないことです。

佐橋◉エレクトロニクスの開発を見たとき、日本はどうも材料分野は強いのですが、なぜか肝心の出口展開のところまでうまく廻って行きません。そこで文句ばかり言っていても仕方がないので、基礎研究や材料研究をやっておられる人たちが、社会貢献を強く意識して一歩でも二歩でもデバイス・システム側に踏み出して、自分たちが社会変革を切り拓いて行くんだというパイオニア精神を持った方が良いのではないかと思います。世界に対して何をやるべきか、どのように貢献して行くべきかをひとり一人が考えて行かなければなりません。アジア一つ取っても、私が若い頃の中国、韓国の状況とは大きく変わって来ています。対欧米だけではなく、このままではアジアの中での日本のステータスもどんどん下がって行くだけです。まだ東芝の研究所にいたときに、良く言われたのが、“Will”です。それは持っている人と持っていない人がいて、持ってない人は永久に持てないものです。Willを持っている人たちが集まって、何かひとつの大きなことを成し遂げようとするなら、まずは仲間作りが大事です。その意味で佐橋プログラムには優れたWillを持った研究者が集まってくれたものと信じています。是非この場、機会を活かして頂きたい。私自身まだ気の抜けない局面に立っていますが、残り半年私たちのプログラムからインパクトある、意味のある成果を出せるようにがんばって行きたいと思います。

みなさん、どうぞ宜しくお願いします。

## 革新的スピントロニクスシーズ イノベーションの創出と社会変革への挑戦

### 佐橋プログラムの公開成果報告会を実施

6月29日（金）、東京国際フォーラムで佐橋プログラムの公開成果報告会「安全・安心かつ持続可能な高度知的エコ社会に向けての『無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現』」が須藤亮プログラム統括、中村道治JST顧問、金丸正剛産業技術総合研究所理事、金山敏彦産業技術総合研究所フェロー他をお招きして開催されました。

来賓として内閣府の鈴木富男参事官、経済産業省デバイス・情報家電戦略室の田中伸彦室長が登壇され、ImPACTおよび佐橋プログラムへの期待が述べられました。

成果報告では、まず佐橋PMがプログラムの概要説明と革新的スピントロニクスシーズイノベーションの創出と社会変革への応用展開に挑む取り組みを紹介。そしてImPACTも最終年度を迎え、目標達成に向けて最後までプログラムを推進していく決意を語りました。続いて大野社会実装分科会の遠藤哲郎教授（東北大学）が「スピントロニクス集積回路プロジェクト」について、湯浅先端技術開発分科会の湯浅新治センター長（産業技術総合研究所）が「電圧駆動MRAM開発タスクフォースプロジェクト」の進捗状況についての報告をしました。

午後からは東北大学の大野英男総長と大阪大学の鈴木義茂教授による特別講演や東京大学の大谷義近教授と米国ベンチャーAvalanche Technology社のYiming Huai博士の招待基調講演後に、ImPACT発の新概念メモリであるVoCSMについて東芝の與田技監らが、スピントロニクス材料の研究開発について物質・材料研究機構の三谷グループ長が成果報告をした他、佐橋プログラムに参加する研究者、技術者からの成果報告がポスターセッションの形式（発表件数：44件）で行われ、満員の会場で参加者はスピントロニクス研究の最先端の成果に聞き入っていました。

佐野プログラムが目指す「いつでもどこでも使えるユビキタスなレーザー」の中核となる超小型パルスレーザーの開発が進んでいる。この度、このレーザーを手軽に試用できるプラットフォームが浜松工業技術支援センターに設置された。佐野PMと開発者、そしてこのレーザーの製品化・実用化を目指す研究者が集まり、超小型のサブナノ秒レーザーがもたらす未来について語り合った。

# サブナノ秒レーザーを手軽に使える環境を整備

## 超小型パルスレーザーの試用プラットフォームを設置

［写真1］超小型パルスレーザーの発振デモ（バッテリー駆動も可能）

### マイクロチップレーザーから超小型パルスレーザーを開発

**佐野PM◉**われわれのプログラムでは、超小型X線自由電子レーザー（XFEL）と並んで、超小型パルスレーザーの開発に取り組んできました。強力なパルスレーザーは装置が大型であり、またレーザー光の伝送が難しいことからあまり普及が進んでいません。そこで分子科学研究所で長年マイクロチップレーザーの開発を進めてこられた平等先生にImPACTに加わってもらおうと考えました。相当の予算をつけて研究してもらえれば産業界の役に立つ超小型のパルスレーザーを作り出せるのではと思ったのです。

［写真2］浜松工業技術支援センター

**平等◉**私は元々、メーカーで半導体チップの開発をしていました。1989年から福井大学でレーザーレーダーの研究を始めたのですが、半導体業界とはあまりに違っていて驚きました。装置は大きくて蓋を開けたら中はがらんどう、光るだけの装置なのにスイッチを入れても使えるようになるまで何時間もかかるのが当たり前、というのがレーザーの世界。しかもそんな装置が1～2千万円もするというのです。私はレーザーに半導体テクノロジーを導入して装置のダウンサイジングを図り、全てを集積化しようと考え、半導体レーザー励起マイクロチップレーザーやその波長変換の研究を始めました。佐野PMとも以前から面識があり、私のレーザーが「もしかすると使えそうだ」と思っていただいて、ImPACTに呼ばれたのかなと思います。

**佐野PM◉**最初に平等先生に提示した予算がXFELとの兼ね合いもあって、減額になってしまったのは申し訳なかったですね。

**平等◉**そこで開発期間を2年に絞って前倒しして、一気に開発を進めようと考えました。背水の陣で臨み成果を上げれば次の展開もあるだろうと考えたのです。では2年間で何をしたかというと、レーザーを構成する光学部品を一体化する接合装置を開発しました。これはある意味半導体装置でもあり、うまく接合できてレーザーの性能が向上しました。

今回、200ミリジュールでサブナノ秒、すなわちサブギガワットクラスのレーザーをA3サイズくらいまでダウンサイズできました。様々な工夫をしながら、何とかきれいなレーザーが出てくるようになり、ようやくみなさんが使ってもらえる段階にまで来たのかなと思います。

［写真3］ロボットにも搭載可能なパルスレーザー（重さ約500g）

## パルスレーザーの製品化を目指した公募を実施し、3社を採択

**佐野PM◉**平等先生のパルスレーザーの開発が進み、かなり良いものができそうだと分かった段階で、このレーザーの製品化を前提にした公募を実施しました。その結果3社を採択し、平等先生より技術移管をしてもらいました。現在各社が製品化へ向けた開発を進めています。今日はそのうちの1社である株式会社ニデックの足立さんに来ていただいています。

**足立◉**当社は眼科向けに様々な医療機器を開発しています。眼は光を通す器官ですので、実はレーザーとの相性がよく、眼科ではいろんなレーザーが使われています。緑内障と後発白内障等のレーザー手術装置ではフラッシュランプ励起のYAGレーザーが30年くらい変わらずに使われています。現場の医師の方々は気にされていませんが、メーカーからするとレーザーのパルス波形があまりきれいではありません。もっとクリーンなパルスレーザーに変更したいとずっと考えていたところ、平等先生の論文を読んだのです。これなら使えそうと思っていたら、ちょうどタイミングよくImPACTからの公募があり、応募しました。

**佐野PM◉**ニデックの良いところはレーザー装置も自社で作るし、そのアプリケーションも持っているところです。非常に見通しの効いた活用ができるんじゃないかと思います。

**足立◉**平等先生のレーザーに置き換えることで、パルス波形も非常に良くなるし、パルス幅も短くなるので、低侵襲で患者さんの負担が少ない手術が可能になると期待しています。切開した後もきれいで高精度な手術ができて良いことばかりです。弊社では2022年度内の販売を目指して、平等先生とも連携を取りながら開発を進めています。

**平等◉**マイクロチップレーザーでは、ダウンサイズすることできれいな光、使える光を作りましょうというのがひとつのポイント。でも小さくするとエネルギー自体も小さくなってしまうので、われわれは新しい原理と構造を取り入れることで、小さくしても従来のパワーレーザーより高強度の光が取れるようになってきています。図体がでかいだけのレーザーよりもはるかにパワーがあって、かつ光の質も上がってきました。

**足立◉**医師に今までのレーザーのパルス波形のデータを見せると「こんなに不安定だったのか」と驚かれる。新しいレーザー手術装置のコンセプトを話すと、非常に良い反応が返ってきます。今は医師がレーザーを当てる箇所を少しずつ変えながら、何回もレーザーを打って手術しています。手術装置自体が高機能化して、一回のレーザーで早く処置できるようになれば、患者さんの負担も減ることになります。

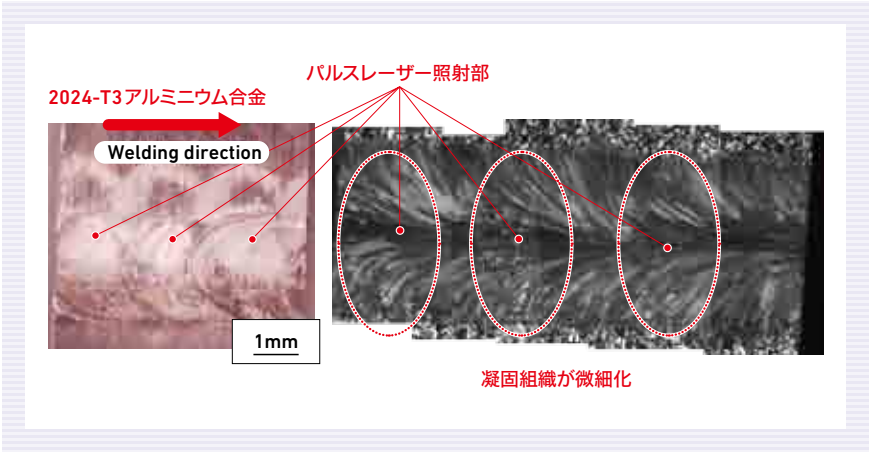
**佐野PM◉**公募で採択された他の2社は、パナソニックプロダクションエンジニアリング株式会社と株式会社オプトクエストです。

**平等◉**パナソニックプロダクションエンジニアリングは自社の生産ラインで活用したいようです。オプトクエストは光学装置の試作品の製造を得意としている会社です。マイクロチップレーザーを使ったレーザー加工・分析装置の分野に進出していきたいという意向です。

## パルスレーザーの応用展開にユニークなアイディアが寄せられる

**佐野PM◉**加えて、超小型パルスレーザーの応用展開のアイディアについても公募を行いました。材料加工、インフラ、検査計測、医療、宇宙分野等で様々なアイディアが寄せられました。中には大変ユニークなテーマもありましたね。本日お越しいただいた大阪大学の佐野智一先生が進めている「パルスレーザー支援レーザー溶接法の開発」も公募のひとつです。佐野先生は20年以上前からレーザーで物質を高度に圧縮した時に何ができるのか、それをどのよう

［写真4］ニデックの眼科手術用マイクロチップレーザーの展示




［図1］パルスレーザー支援レーザー溶接法の開発

に世の中で使えるようにするかの研究をされています。レーザーの新しい応用という意味では興味深いテーマに取り組んでもらっています。

佐野◉私のプロジェクトでは、パルスレーザーを使って材料組織を変えるという研究をしています。建物や橋を作る時に必ず部材と部材をバーナーなどで一回溶かして溶接するわけですが、強度が弱くなってしまいます。それを元の材料と少なくとも同程度、できたらもっと強くすることはできないかというテーマでやっています。例えば溶接機のそばにパルスレーザーを置いて、溶接した場所をレーザーで少し叩くことで壊れないようにできる可能性があります。こうすることで大体寿命が100倍くらい伸びると考えています。

私と同じ大阪大学の浅井知先生の「革新的スマート溶接システム」の方は、溶接施工時のモニタリングで破壊の起点となる溶接不良を施工時に検出しようというプロジェクトです。溶接後の検査で不良が見つかると全部やり直しになってしまいますが、溶接をしながらパルスレーザーを使った超音波検査をしていくことで「完全無欠溶接」が可能になります。

平等◉ユニタックの「皮膚疾患用あざ取り・シミ取り」もパルスレーザーを使ったレーザー治療器を開発しようというものです。これはレーザー誘起の超音波でシミを叩いて数百ナノメートル以下に粉砕し、眼に見えない大きさにしてしまうものです。火傷にならないので患者さんの負担が少なく、従来の皮膚疾患治療に革新をもたらす研究と期待されています。

突拍子もないアイディアだと思ったのが神戸大学／生理学研究所の「光刺激による脳機能活動操作」です。これは光で記憶を書き換えたり、行動を制御しようというものです。短パルスのレーザーでマウスの脳のニューロンを刺激するのですが、これまでは装置が大がかりで研究に制約がありました。

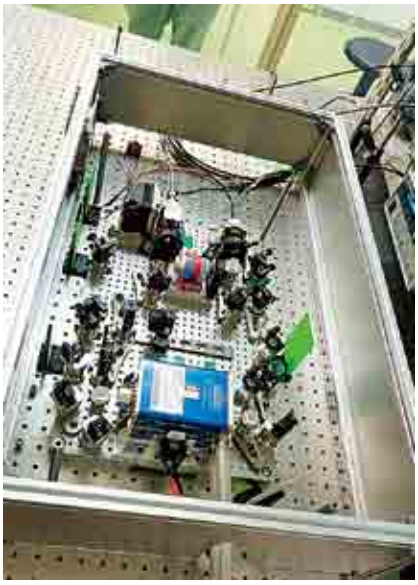
佐野PM◉アイディア公募に出せる予算は少ない分、次の公的資金に応募してくれることを公募の条件にしました。この「光刺激による脳機能活動操作」は、JSTのCRESTで採択され、研究が続けられることになりました。

平等◉超小型パルスレーザーでは、サブナノ秒からピコ秒の間のパルス幅にアクセスできることが大きなメリットになっています。従来のジャイアントパルスレーザーは100ナノ秒から10ナノ秒の領域です。それより短いといきなりフェムト秒になってしまう。数ピコ秒からナノ秒の領域が空白だったのです。最近ではこの領域をカバーする種々の方法が提案されていますが、いずれも装置が大がかりになってしまいます。われわれは従来のQスイッチレーザーを小さくする方向で開発することで、サブナノ秒の領域にアクセスできようになりました。サイエンスの最前線をさらに推し進めたり、工業分野にイノベーションを起こすためにもサブナノ秒レーザーが重要。世界がそれに気づき始めています。

## 浜松工業技術支援センターにレーザー試用プラットフォーム設置

佐野PM◉そして今回、ImPACTの成果である超小型パルスレーザーをより手軽にもっと多くの人に使ってもらうことを目指して「レーザー試用プラットフォーム」を静岡県工業技術研究所の浜松工業技術支援センター内に設置することになりました。全国の企業や大学からの問い合わせにも対応しますし、センターのスタッフによる万全のサポートも提供できます。

［写真5］ユーザー利用説明会（7月11日）



［写真6］プラットフォームに設置したレーザー

佐野◉中小企業の方でも手軽にパルスレーザーを試せるというのがいいですよね。必要なレーザー装置の調整はセンター側でやってくれますので、サンプルだけ持ってくればいい。「こういうことをやってみたい」と要望にも対応してくれます。そうしてパルスレーザーのユーザーの裾野を広げていくことが大切です。いくら良い技術でも使われてこそだと思う。

佐野PM◉平等先生のパルスレーザーがいろいろ使えると分かってから、できるだけオープンにしていくことを考えるようになりました。全国の大学や企業の方々に、ぜひ使っていただきたいと思っています。ただサポート体制は絶対に必要です。今ひとつレーザー技術が普及しないのはやはりサポートの問題があります。そこをクリアするために、このセンターにプラットフォームを置くことにしました。来年3月までのImPACTの期間中は無料で使うことができますし、その後もたいへん安い料金で使用することができます。

平等◉世界最先端のレーザーを無料でかつサポート有りで使えるなんて普通だったらありえないことです。このプラットフォームは日本のものづくりの骨を鍛える意味で、ものすごく意味があります。お試し感覚で使えるのがいいですね。

佐野PM◉いろんな人に使ってもらい、そのフィードバックによってさらに良い製品になっていく。そこから新しい開発の種も期待できると思います。

平等◉ユーザーからのリクエストが逆に新しいアイディアになることがあります。自分が作りたいものを作っているだけでは見えないことも有るかと思います。他の人からこうしてほしいという意見があって、じゃあどうするかと考える。そんなところから新しい発見も出てくるのではないでしょうか。

佐野◉このレーザーを本気で使おうという気持ちが原動力でしょうね。

## 研究者の負担をできるだけ減らす 佐野PMのマネジメント術

佐野◉ImPACTが素晴らしいのは、平等先生（レーザー開発者）と私たち研究者、そしてユーザー（企業）の距離が近いということです。平等先生に「この辺のパルス幅ならもっといい結果が出ると思うので、こんな仕様のレーザーを作ってください」とお願いすることもできてしまう。

足立◉弊社でも最初問題があったので、平等先生のところに行って解決策を相談したことがあります。

佐野PM◉確かに苦労はありましたが、非常にうまく行ったなという感じは持っています。私やPM補佐はできるだけ研究者のいる場所に行って議論を行うようにしました。またターゲットをこちらが明確にした上で、研究をどう進めるかまではクチを出さないことにしました。ペーパーワーク等の雑用をできるだけ減らして研究に専念してもらうことに気をつけて進めました。

佐野◉個人的にも非常にやりやすさを感じています。こちらが申し訳ないと思うくらい、何度も大阪まで来ていただいた。さらに技術相談にも乗っていただいて、いっしょに考えてくれます。佐野PMもレーザー研究の現場を御存知なのはやりやすかったです。

佐野PM◉ImPACTの性質上、かなり高い目標を掲げたなと感じています。全部できればもちろんいいですが、必ずしもそうはいかない。超小型パルスレーザーはどこまでできるか不安でしたが、ここまで来ることができました。XFELの方はシステムも複雑で何ができたかを計るための計測技術の開発も必要です。なかなか難しくて、ImPACT期間中は基盤技術の完成までを目指しています。でも理化学研究所の播磨事業所内に実験装置は作っていますので、それを多くの方々に使ってもらってもらいたいと思っています。そこまでは何としてもやりとげたい。

本日はありがとうございました。

［写真7］左から、佐野智一（大阪大学准教授）、平等拓範（分子科学研究所准教授）、佐野雄二（ImPACTプログラム・マネージャー）、足立宗之（株式会社ニデック）

# 藤田プログラム「放射性廃棄物の処理方法」が「21世紀発明賞」を受賞

**藤田プログラムの成果である長寿命核分裂生成物（LLFP）を加速器で核変換し、大幅に低減・資源化を実現する処理技術が「21世紀発明賞」を受賞した。**

ImPACT藤田プログラムにおける「放射性廃棄物の処理方法（特許第6106892号）」が、公益社団法人発明協会が主催する平成30年度全国発明表彰において、「21世紀発明賞」を受賞しました。6月12日（火）ホテルオークラ東京にて表彰式が挙行され、発明協会総裁である常陸宮殿下のご臨席を賜り、藤田PMをはじめ発明者9名と発明者の所属する4団体の長が賞状を拝領しました。

全国発明表彰は我が国に於ける発明等の完成者並びに発明の実施及び奨励に関し、功績のあった方々を顕彰することにより、科学技術の向上及び産業の発展に寄与することを目的として行っています。その中でも21世紀発明賞は著しく優秀と認められる発明に対して贈呈されます。

受賞した発明は高レベル放射性廃棄物に含まれる半減期の長い核分裂生成物（LLFP：Long-lived Fission Products）の資源化と低減化を実現するために、偶奇分離と加速器による核変換を組み合わせた方法です。本発明により、地層処分場の容量の低減、処理用の大容量加速器とレアメタルのリサイクル分野への発展が期待されます。まさに、藤田PMがImPACTプログラムで掲げている目標を実現するための一歩となるものです。

［写真1］受賞者の皆さま

最初は緊張の面持ちでしたが、全員での記念撮影など式が進むにつれて、皆さんも次第に笑顔があふれ、式典後の懇親会ではパネル展示を見学するなど、表彰を受けた皆さまが談笑している様子が伺えました。

祝辞にもありましたが、受賞した発明のなかには産業につながるものが多く含まれており、我が国の科学技術の発展に大きく貢献するものであると述べられています。

ImPACTでの研究開発が更に進むことにより、この特許技術が活用されることが期待されます。

発明の詳細はこちらを参照ください。
https://www.jst.go.jp/impact/download/data/press20180517.pdf

［写真2］懇親会会場では今回の発明パネル展示が行われた（左）／［写真3］藤田PMと藤井PM補佐（右）

**〈藤田PMのコメント〉**

ImPACTプログラム「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」では高レベル放射性廃棄物に含まれる長寿命核分裂生成物（LLFP）を原子炉ではなく加速器で核変換する技術を開発しています。21世紀発明賞を受賞した「放射性廃棄物の処理方法」の発明は同位体分離をせずに偶奇分離と加速器による核変換を組み合わせた、このプログラムのコンセプト（概念）となる基本特許です。ImPACTプログラムの目標である“社会や産業に変換を持たらす挑戦的な研究開発を進める革新技術”として、本プログラムの基本概念の発明が21世紀発明賞として認められたことは高レベル放射性廃棄物の資源化の今後の研究開発に大きな前進となります。

# 光超音波3Dイメージング技術を医師や医療関係者へ紹介

八木プログラムでは日本乳癌学会学術総会で光超音波3Dイメージング技術のブース展示とセミナーを開催。
医療関係者に光超音波がもたらす未来の画像診断の可能性をアピールした。

［写真1］企業展示ブースでの説明（左）／［写真2］満席となったセミナー（右）

## 日本乳癌学会学術総会でアウトリーチ

5月16日から18日まで、国立京都国際会館で「第26回日本乳癌学会学術総会」が開催されました。

ImPACT八木プログラム「価値実証プロジェクト」のリーダーである戸井雅和先生（京都大学大学院医学研究科乳腺外科学、教授）が会長を務める同学会にて、展示ブースの出展、およびセミナーを開催しました。本プログラムが開発した光超音波技術や研究の進捗について紹介すると共に、医療分野への応用による臨床研究で得られた血管画像などを交えた成果報告を行いました。

## 企業展示ブースでのプログラム紹介

学会期間を通じて、企業展示ブースにて八木プログラムの紹介を行いました［写真1］。ブースでは大型プロジェクターを設置して、「光超音波が生じる原理」「本プロジェクトの装置構成」「臨床研究で得られた血管網の3D光超音波画像」を次々と映し出し、最後に「将来の社会での応用の展望」について、アニメーションを交え紹介しました。

メイン会場からほど近い場所にブースを構えたこともあり、セミナーの出入りの際に多くの学会参加者の目に留まることとなりました。関心を持ってブースに立ち寄って質問をされる方も多く、臨床応用の可能性についてなど、積極的な質問や貴重なご意見をいただきました。

特に日本乳癌学会という場で、実際に医療の現場で治療に携わる医師や医療関係者からの声を直接聞くことができたことは、大きな収穫でした。

## 満員となったイブニングセミナー

5月17日には内閣府／科学技術振興機構が主催するイブニングセミナー「ImPACT 光超音波3Dイメージングが拓く画像診断」を開催、京都大学の3人の先生方による1時間半にわたる講演が行われました。

定員150名の会場は開場と同時に満席となり、急遽2階席を開放しましたが、その後も入場者が絶えず、立ち見が出る盛況となり、220名を超える方に聴講いただきました［写真2,3］。

セミナーでは、片岡正子先生（京都大学医学部附属病院放射線部、助教）より、既存の乳癌画像診断技術が進展している中での光超音波診断の位置づけが紹介されました。次いで、髙田正泰先生（京都大学医学部附属病院手術部、助教）より、最新の光超音波装置を用いた臨床研究で得られた乳癌画像が紹介されました。最後に椎名毅先生（京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻、教授）より、光超音波技術の原理や装置構成などの詳細が解説されました。最新の乳癌画像を見た聴講者からは、これまで見たことのない高精細な画像に感嘆する声が聞かれました。

これらの場を通じて光超音波診断の可能性を示したことによって、八木プログラムへの理解が深まり、多くの医師や医療関係者から早期実用化への期待の声が寄せられました。

［写真3］イブニングセミナーで講演を行う髙田正泰先生

# 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。**

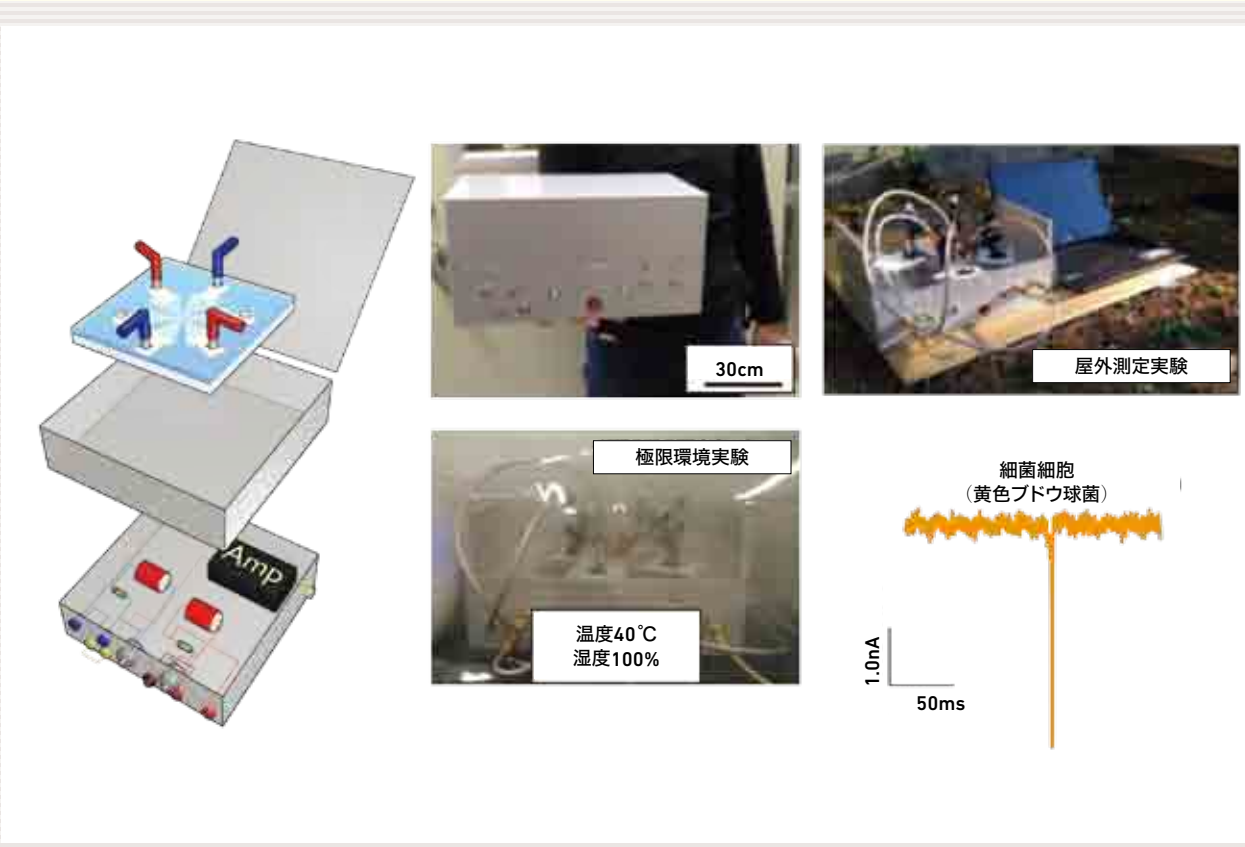
## 宮田PM

*https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180307-2/index.html*

### 持ち運び可能な微生物センサーを開発

宮田プログラム「進化を超える超微量物質の超迅速多項目センシングシステム」の一環として、持ち運び可能な微生物センサーを開発しました。これにより、今後バイオエアロゾルのオンサイト計測が可能になることが期待されます。今回開発した微生物センサーに用いられている電流計測システムは、電気シグナルに応じたサイズ検出機能を備えているため、効率良く物質のサイズを計測する技術として様々な分野での利用が期待されています。しかし、屋外における実サンプル計測は、実験室のような理想の環境下とは異なり、サンプルの分析や検出が正しく行えない欠点があります。本研究チームは、ノイズが入る条件下でも微粒子検出が可能なバックグラウンド電流の抑制技術を開発し、薄く軽いシールドによる、どこにでも持ち運び可能な電流計測センサーの開発に成功しました。このセンサーを用いて計測した黄色ブドウ球菌の直径分布は、電子顕微鏡で得られる分布と高い精度で一致することが確認されました。また、研究室や屋外など様々なノイズが入る条件下でも、微粒子を計測することが可能となりました。本センサーを最適化し実用化に結びつけることで、環境中の多種多様な微粒子を簡便かつオンサイトに検出することが可能となります。例えば、食品工場、製薬工場、病院、自動車、養鶏場、空港等における、安全・安心を見守る微生物センサーへの発展が期待されます。

［名古屋大学大学院工学研究科 安井隆雄准教授］




▶ 持ち運び可能な微生物センサーとそのセンサーを用いた実験風景及び細菌細胞検出結果

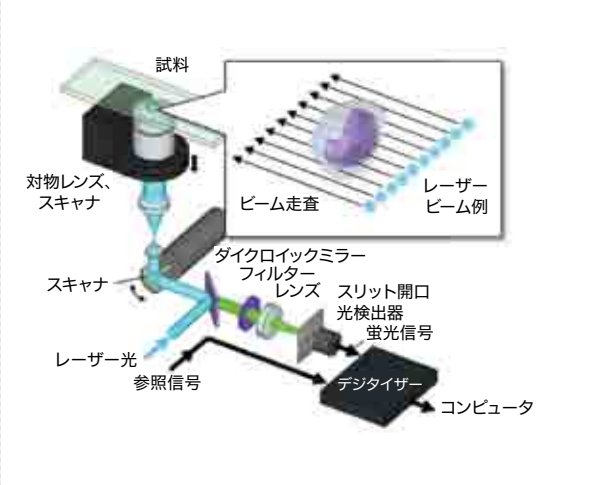
**合田PM** https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180130/index.html

## 世界最高速の共焦点蛍光顕微鏡を開発

東京大学の研究チームにより、情報通信技術を応用することで、従来よりも桁違いに高速な共焦点蛍光顕微鏡の開発に成功しました。本研究成果は、2018年1月29日にアメリカ光学会（Optical Society of America）のジャーナル“Optica”のオンライン版で公開されました（https://www.osapublishing.org/optica/abstract.cfm?uri=optica-5-2-117）。

また、本論文は同誌2018年2月号のCoverに選出され、Top Downloadsの一つに選ばれたほか、日本光学会の光設計賞（光設計特別賞）も受賞しました。（https://www.osapublishing.org/optica/aboutthecover.cfm?volume=5&issue=2）（http://www.opticsdesign.gr.jp/common/hikari-pdf/ODP-20report.pdf）。

生物学・医学の分野では細胞や組織などの観察に共焦点蛍光顕微鏡が不可欠ですが、撮像速度が非常に遅く、多数の画像を短時間で取得することは困難でした。本研究では、現代の生活を支える情報通信技術の原理を共焦点蛍光顕微鏡に応用することで、1秒あたり16,000フレームというきわめて高速度で生体試料の観察像を取得することに成功し、膨大な量の細胞の画像を短時間で取得・解析し、異なる細胞集団を高精度に識別できることを実証しました。今後、多数の細胞画像から導かれる基礎科学の新たな発見や、血中細胞からのがん診断やバイオ燃料生産微生物の開発などへの応用展開が期待されます。［東京大学大学院理学系研究科 三上秀治助教、プログラム・マネージャー 合田圭介］




▶本研究で開発した共焦点蛍光顕微鏡の模式図

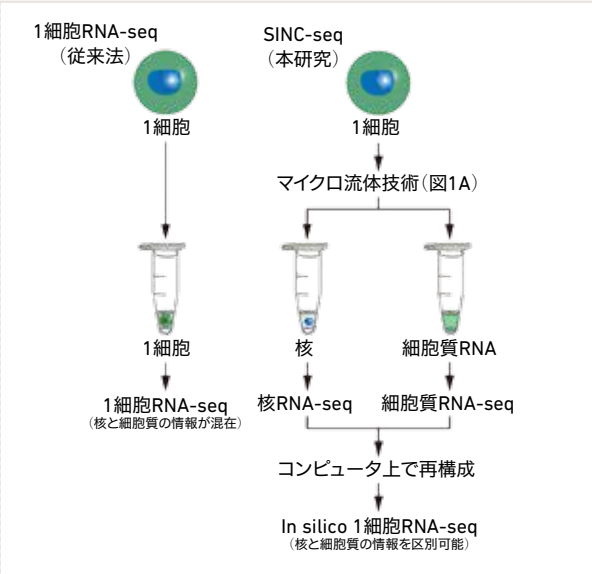
**合田PM** https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180606/index.html

## 1細胞RNA分画解読法の開発に成功

理化学研究所を中心とした複数のチームにより、1つの細胞から核RNAと細胞質RNAを分画して、それぞれの遺伝子発現を解析できる「1細胞RNA分画解読法（SINC-seq法）」を開発しました。本研究成果は、英国の科学雑誌“Genome Biology”のオンライン版に2018年6月6日に掲載されました（https://genomebiology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13059-018-1446-9）。

近年、細胞の多様性を理解するために1細胞レベルのRNA解析が用いられています。RNAは核内で発現した後、細胞質に移動してタンパク質に翻訳されるまでにさまざまな修飾を受けますが、これまで、1細胞から核RNAと細胞質RNAに分離して、網羅的に遺伝子発現を解析する技術はありませんでした。

共同研究グループは、マイクロ流路における電場と流れを制御して、1細胞から核RNAと細胞質RNAを分離して並列に解読解析するSINC-seq法を開発しました。そして、本手法を用いて1つの細胞内のRNAの局在や遺伝子発現の相関を解析できることを実証し、それらが細胞周期などの生命機能と密接に関わっていることを示しました。本研究成果により、遺伝子治療や創薬、微生物産業などへの応用展開が期待できます。［理化学研究所 新宅マイクロ流体工学理研白眉研究チーム 理研白眉研究チームリーダー 新宅博文、プログラム・マネージャー 合田圭介］




▶SINC-seq法の概要

## 八木PM

https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180427-2/index.html

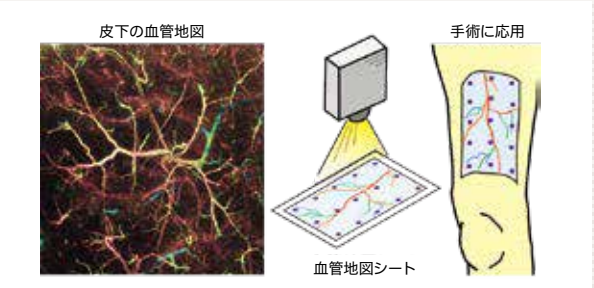
# 光超音波3Dイメージングで皮下の精細な3D血管地図の作成に成功

### より安全かつ良質な皮弁移植術の確立を目指して

京都大学大学院医学研究科戸井雅和教授の研究課題において、同研究科形成外科学の齊藤講師、津下特定病院助教らは、光超音波3Dイメージング法を用いて、超音波やMRIでは描出できなかった細かい血管のネットワークの地図の作成法の開発に成功しました。本研究は、光超音波3Dイメージングが、新しい血管撮影方法として皮弁移植治療における術前評価法に有用であることを示し、より優れたがん治療法の創出にもつながる画期的なものです。5月16日、報道関係者向けに、本研究の説明会を開催し、八木プログラムの最新の臨床研究成果として「光超音波トモグラフィによる3D血管地図の作成に成功」の技術解説を行い、この成果がもたらす産業・社会へのインパクトについて説明しました。

説明会では、八木隆行プログラム・マネージャーからプログラム構想と光超音波3Dイメージング技術の開発成果を、また京都大学大学院医学研究科の形成外科医である齊藤講師より、がんの切除後の皮弁移植治療の現状と、本技術を用いた皮下の血管地図の作成による皮弁移植術の術前評価法（図）といった臨床研究の取り組みや、研究成果を紹介しました。3Dディスプレイを用いて、本研究で撮影された人体の血管3D画像を実際に見てもらい、血管網と血液状態の可視化による3Dイメージングが起こす医療分野でのイノベーションをアピールしました。来場した報道関係者からは「臨床試験は、どのように行われるのか」「患者へのメリットは何か」「医療費の削減につながるのか」などの活発な質疑が行われ、予定の時間を30分延長することになりました。

本技術は造影剤にアレルギーのある患者や腎機能が悪い患者さんにも使用することができ、被ばくの恐れもない点で、きわめて安全に検査をすることができます。本研究の内容は、科学新聞（2018/5/18）、日刊工業新聞・電子版（2018/5/28）で取り上げられ、紹介されました。




▶移植治療における術前評価法の研究（＊）

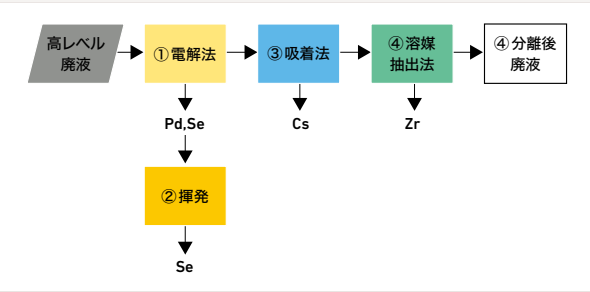
＊ I. Tsuge et al., Plastic and Reconstructive Surgery, DOI: 10.1097/PRS.0000000000004328

## 藤田PM

https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180323/index.html

# 高レベル放射性廃液から4つの元素を相互分離する技術を開発

東芝エネルギーシステムズ株式会社の浅野和仁 グループ長らは、二次廃棄物の発生が少ない分離方法を利用して、高レベル放射性廃液中から長寿命核分裂生成物（LLFP）を含む4つの元素を個別に化学分離し、金属として回収する技術を考案しました。原子力発電所の使用済み核燃料を再処理した際に発生する高レベル放射性廃棄物中には、半減期が数十万年以上もあるパラジウム（Pd）、セレン（Se）、セシウム（Cs）、ジルコニウム（Zr）などの元素が存在します。これら分離対象の元素はそれぞれ独自の化学的性質を示しているため、いくつかの分離法を併用する必要があります。一方、さまざまな元素を分離する方法の適用は、高い放射能の拡散や二次廃棄物の大量発生が心配され、世界的にも進んでいない状況です。本研究により、高レベル放射性廃液から電解法、吸着法や溶媒抽出法を用いて、半減期の極めて長い同位体を含む4つの元素を個別に分離できる手法を開発しました。分離法ごとに液性をほとんど変えずに、二次廃棄物の量を極力抑えることが可能です。今後、それぞれの手法を組み合わせた実験により、実用化に向けた道筋をつけます。［東芝エネルギーシステムズ株式会社 浅野和仁グループ長］




▶考案した4元素の分離回収法の手順

①高レベル放射性廃液から電解法によりPdとSeを金属として回収する。／②Seを揮発させてPdと分離する。／③吸着法によりゼオライトにCsを吸着させ回収する。／④溶媒抽出法によりZrを回収する。

## 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。

| プログラム・マネージャー［PM］ | プログラム |
|---|---|
| 伊藤耕三<br>Kohzo Ito | 超薄膜化・強靭化「しなやかなタフポリマー」の実現 |
| 合田圭介<br>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<br>Yuji Sano | ユビキタス・パワーレーザーによる<br>安全・安心・長寿社会の実現 |
| 佐橋政司<br>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<br>Yoshiyuki Sankai | 重介護ゼロ社会を実現する<br>革新的サイバニックシステム |
| 鈴木隆領<br>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<br>Satoshi Tadokoro | タフ・ロボティクス・チャレンジ |
| 藤田玲子<br>Reiko Fujita | 核変換による高レベル放射性廃棄物の<br>大幅な低減・資源化 |
| 宮田令子<br>Reiko Miyata | 進化を超える極微量物質の超迅速多項目<br>センシングシステム |
| 八木隆行<br>Takayuki Yagi | イノベーティブな可視化技術による新成長産業の創出 |
| 山川義徳<br>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<br>Yoshihisa Yamamoto | 量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ<br>高度知識社会基盤の実現 |
| 白坂成功<br>Seiko Shirasaka | オンデマンド即時観測が可能な<br>小型合成開口レーダ衛星システム |
| 野地博行<br>Hiroyuki Noji | 豊かで安全な社会と新しいバイオものづくりを<br>実現する人工細胞リアクタ |
| 原田香奈子<br>Kanako 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<br>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 |

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

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/