

(di ostek)

the

2019

Winter

Vol. 28 /No.1

[ジ・オステック] 2019年1月5日発行 (年4回・季刊) 第28巻第1号 (通巻193号)

ISSN 0916-8702

[ジ・オステック]

OSTEC

OSAKA SCIENCE & TECHNOLOGY CENTER

○第36回大阪科学賞 受賞記念講演

・固体中のスピン流輸送とその物性

京都大学大学院工学研究科 教授 白石 誠司 氏

・発光タンパク質の開発による生命科学への貢献

大阪大学産業科学研究所 教授(荣誉教授) 永井 健治 氏

○国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 理事長 平野 俊夫 氏 講演

『夢は叶えるためにある』がん死ゼロ健康長寿社会実現に向けて ~量研の戦略~



the OSTEC 2019 Winter. Vol.28, No.1 CONTENTS

■ご挨拶

- ・土井 義宏 1
一般財団法人 大阪科学技術センター 会長

■レクチャーレポート①

第36回 大阪科学賞・記念講演

- ・固体中のスピン流輸送とその物性
～小さい磁石の流れを作ることの面白さ～
京都大学大学院工学研究科 教授
白石 誠司 氏 2
- ・発光タンパク質の開発による生命科学への貢献
～パイオイメージング技術からスマート社会に役立つ
技術への展開～
大阪大学産業科学研究所 教授(栄誉教授)
永井 健治 氏 5

■レクチャーレポート②

第131回 OSTEC 講演会

- ・『夢は叶えるためにある』
がん死ゼロ健康長寿社会実現に向けて～量研の戦略～
国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 理事長
平野 俊夫 氏 8

■事業紹介

- ・平成30年度 LSS サイエンスカフェ
第16回「心とつながる脳科学」
～脳を知って生きやすい世の中に～ 開催報告 14
- ・大阪科学技術館新出展ブース
「量子科学技術研究開発機構(QST)」 15
- ・大阪科学技術館 特別展「薬を知ろう！」 16
- ・大阪科学技術館 お話会「薬のいろいろ～薬の町
大阪道修町の歴史と今～」 16
- ・平成30年度 大阪府学生科学賞 表彰式報告 17
- ・大阪科学技術館 名誉館長「テクノくん」活動報告 17
- ・「ネクストリーダー育成ワークショップ」
(イノベーション) 盛況の内に終了 18
- ・平成30年度経済産業省委託事業
「地域中核企業創出・支援事業」のご紹介 19

■インフォメーション 20

表紙解説

鏡開きを行う土井会長と、大阪科学技術館名誉館長テクノくん
(昨年 of 新年交歓会にて)

一般財団法人 大阪科学技術センター

会長 土井 義 宏



新年あけましておめでとうございます。

皆様方におかれましては、ご家族ともども輝かしい新年をめでたくお迎えのこととお慶び申し上げます。

昨年を振り返りますと、冬の寒波に始まり、地震、豪雨、猛暑、そして猛烈な台風の上陸など、例年になく多くの自然災害が発生し、社会生活へ大きな影響が及んだ年でした。被災されました方々に心よりお見舞い申し上げます。一方、科学技術分野に目を向けますと、国内でも6月に“未来投資戦略 2018 — 「Society 5.0」 「データ駆動型社会」 への変革 —” が発表されましたが、“デジタル革命” が世界の潮流となり、GAF A に代表されるプラットフォーマーが急成長を遂げ、データを活用した新たな価値づくりが加速しました。レジリエンスも備えた「Society 5.0」社会の実現に向け、科学技術の役割は今後益々重要になっていくと認識しております。同分野では、昨年秋以降、私どもにとってうれしいニュースが2つございました。1つ目は、京都大学 本庶佑先生のノーベル生理学・医学賞受賞が10月に決定したことです。本庶先生は、第2回大阪科学賞受賞者であり、iPS細胞を発明された山中伸弥先生（第19回受賞）に続く、大阪科学賞受賞者からの2人目の受賞者です。同科学賞の運営に永年携わってきたOSTECとしまして大変誇らしく感じています。2つ目は、大阪が2025年の万博開催地に決定したことです。1970年の大阪万博では「人類の進歩と調和」をテーマに開催され、動く歩道や電波時計、ワイヤレスフォンなど、その後実用化・普及した技術が多く出展されました。2025年の万博でも「いのち輝く未来社会のデザイン」をテーマに世界の課題解決に貢献する大阪・関西・日本発の科学技術の展示が期待されます。前回の大阪万博では、OSTECも万博協会から「お祭り広場の基本設計」と「万博会場の色彩計画」の検討に参画しました。次回の大阪万博に向けても期待に応えていきたいと思っています。

昨年のOSTECの事業を振り返りますと、普及広報事業では、大阪科学技術館において「宇宙」、「ネオジム磁石」、「くすり」をテーマに特別展を開催するとともに、2015年にノーベル物理学賞を受賞された梶田隆章先生によるお話会や、研究機関・企業との連携による多彩なイベント（「サイエンス・ステージ」、「サマースクール」）を実施することができました。関係者の皆様のご支援・ご協力に改めまして厚く御礼申し上げます。これからも年間26万人の来場者を誇る大阪科学技術館を最大限に活用するとともに、小・中学校はもとより特別支援学校や病院内学級などへの出前授業を充実させ、次代を担う子供たちをはじめ、より多くの方々に興味を持っていただき、科学技術の正しい理解が促進されるよう取り組んでまいります。

技術振興事業では、関西の企業が持つ優れた技術を協業やイノベーション等につなげる場を作るべく「関西発のイノベーション創出フォーラム」の試行を2回行うとともに、最新技術をテーマとした討議や発表を通じて将来の指導者・管理者を育成する「ネクストリーダー育成ワークショップ」を開催し、多くの企業にご参加いただきました。新たに「企業OBのキャリアステージ創造」事業の検討も進めております。皆様からご意見を賜りながら、多様なご期待に応えてまいりますので、引き続きのご支援ご協力をお願いします。

昨年、こうした充実した活動ができましたのも、賛助会員の皆様はじめ、関係各位のご支援の賜物であり、厚く御礼申し上げます。

今年は「己亥」（つちのとい）でございます。「己亥」は、草木が成長を終え、力が種子の中に閉じ込められた状態を表すとされており、組織内部の充実をはかる年にしたいと思っております。

当センターは、来年創立60周年「還暦」を迎えます。センター設立以来、工業化社会から情報化社会の流れの中で、次世代層への科学技術の普及や産官学連携による科学技術振興をはかってまいりました。今後も、これまでの活動をより充実させると共に、「Society 5.0」社会の実現など、新たな社会の動きに対応し活動してまいりますので、引き続きのご支援・ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

最後になりましたが、賛助会員をはじめ、関係各位のますますのご健勝を祈念申し上げ、新年のご挨拶とさせていただきます。

第 36 回 大阪科学賞・記念講演

固体中のスピンの流輸送とその物性 ～小さい磁石の流れを作ることの面白さ～

京都大学大学院工学研究科
教授

白石 誠司 氏



1. はじめに

電子には、自由度、と呼ばれる特徴が主に2つあります。1つは電荷自由度と呼ばれるもので、 -1.6×10^{-19} クーロンの電荷量を持ちます。この量（の絶対値）は素電荷と呼ばれており、2倍、3倍にはなりますが、 $1/2$ 、 $1/3$ にはなりません。こういう量を「量子化された量」と呼ぶことが多いですが、その理由は整数倍にしかならない（中途半端な大きさにならない）ためです。もう1つの電子の自由度がスピン角運動量という自由度で、これが本講演の中心となる物理量です。このスピン角運動量もまた量子化された量であり、電子の持つスピン角運動量の場合、 $+1/2$ と $-1/2$ （正確にはこれに換算プランク定数と呼ばれる量がかかります）の2値をとります。このスピン角運動量は1924年にオーストリアの物理学者であるW. Pauliが初めて予言・提案した物理量で「古典的に記述不可能な2値性をもつ」量と予言されていました。その後1928年には、イギリスの物理学者であるP. Diracによって量子力学と相対性理論を統合した理論が構築され、その理論における運動方程式からスピン角運動量が自動的に導かれることが証明され、たしかに量子力学的にしか記述できない粒子（今の場合は電子）に内在する自由度であり、かつ2値性を持つことが証明されました。

あれ？スピンって回転じゃないの？回転運動は古典的に記述できるはずじゃない？と思った方も多いことでしょう。「スピン」という言葉自体はフィギュアスケートなどでよく知られた言葉で、確かに回転を指す言葉です。しかしながら、スピン角運動量という物理量は直接には（電子の）回転運動とは結びつきません。その理由は電子が「素粒子」と呼ばれる粒子であることを思い出すと少

し理解しやすくなります。素粒子物理学という分野は20世紀初頭から物理を愛する人々を魅了し続けている学問分野ですが、その分野で重視されていることの1つに「すべての粒子の基本となる粒子＝これ以上分割できない（構成要素を細かく分割できない）粒子」を決定する、ということがあります。例えばクォークは現在の理論では3世代6種類存在するとされており、このクォークはこれ以上分割できない最小の構成要素となる粒子です。実は電子もまた素粒子なので、これ以上分割できない粒子ということになります。さて、ここで「これ以上分割できない」という表現が何をさすのか考えてみましょう。もし粒子に大きさがあれば、それは分割可能です（大きさが定義できるということは領域が存在することであり、領域が存在するということはその粒子はさらに小さい領域に分けられる、ということです）。ということは分割できない粒子は大きさがなく、ということになることがわかりでしょう。奇異に感じるかもしれませんが、事実、現代の物理学では素粒子には大きさがなく点として扱える、という理解が確立しています（ここで、理解が確立している、ということはこの理解を覆す実験的証拠は何1つ存在していない、ということの意味します）。つまり、電子には大きさがなく点である、ということになります。となると、大きさがなくものの自転、というものをどう考えればいいのでしょうか？地球が「自転」するのも浅田真央選手が「自転」するのも大きさがあからずよですね？でも電子は大きさがなく「自転」はできない。つまり、スピン角運動量、とは電子の自転による物理量ではない、ということがわかりでしょう^[1]。

2. スピントロニクスとスピン流

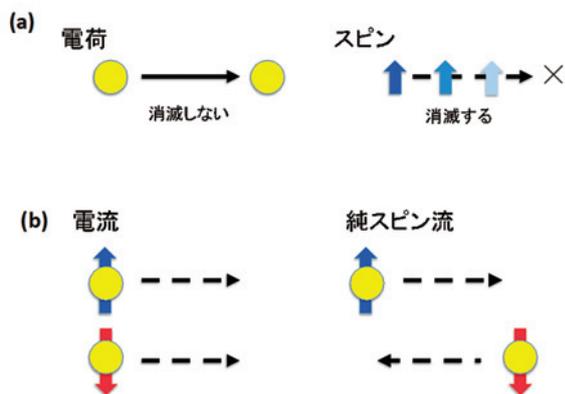


図1. (a)電荷とスピン。保存量の観点からの図。
(b)電流と純スピン流の違い。

さて、電子の持つこの2つの自由度である電荷とスピン角運動量ですが、それぞれを独立に利用することで産業は大きく発展してきました。まず電荷のほうは、その流れが電流であることを用いて電荷を情報の担い手として伝搬させ、さらに電荷を保持・記憶することで情報を記憶し、携帯電話などに膨大な量搭載されているトランジスタなどの半導体素子を作り出すために活用されています。スピン角運動量のほうは実は磁石の源であり(物理の言葉でいうと「磁性」)極小の磁石とみなせません。磁石の機能はモーターの動作やハードディスクを使った情報の記憶に活用されてきました。このように固体物理学という学問で核となる半導体工学・磁気工学というそれぞれの分野で絶大な貢献をしてきた電子の2つの自由度ですが、20世紀の終わり頃からこの2つの自由度を同時に用いることで、全く新しい学問分野が開拓されました。それが「スピントロニクス」(スピンエレクトロニクスと呼ばれることもある)と呼ばれる分野であり、すでに磁気ヘッドや磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)などに応用もされています。そのスピントロニクス分野で21世紀に特に非常に重要な役割を果たすのがスピン流というスピン角運動量の流れです。

スピン流を理解するためには電流との違いを理解することが大変重要です。電流とはすでに述べたように電子のもつ電荷自由度の流れです。実は電荷は「保存量」と呼ばれる量であり決して無くならない量です(電荷が保存量であることは大学2回生くらいで習う電磁気学で出てくるマクスウェル方程式という4つの方程式群から容易に導

けます)。

一方、スピン角運動量は「非保存量」と呼ばれる保存しない量で、事実固体物質の中でスピン角運動量を伝搬させようとしても一定の距離で消失し、この距離を「スピン緩和長」などと呼びます(図1(a)参照)。この保存量か非保存量かという違いは大変重要です。というのは、スピン角運動量の伝搬を観測するためにはこのスピン緩和長よりも小さい素子を作らないといけない、という制約が課されるからです(電荷の伝搬を観測するためにはこういう制約はありません)。もう1つ重要なのは、電流に含まれるスピン角運動量は一般に $+1/2$ (上向き)と $-1/2$ (下向き)が同数である、という点です。この場合は上向きと下向きのスピン角運動量が互いに補償しあうので、電流ではスピン角運動量という情報は運ばません。しかしスピン流はスピン角運動量そのものの流れであるために、スピン角運動量という情報を小さな磁石の流れとして運ぶことができます。中でも図1(b)に示した「純スピン流」と呼ばれるスピン流はこれまでの物理学では登場しなかった全く新しい物理量の流れであり、そのために世界中で極めて高い関心を集め、非常に盛んに研究されています。

ではなぜスピン角運動量という極小の磁石を情報として運ぶことがそんなに重要なのでしょうか?皆さんの中でノートパソコンを持っている人も多いと思いますが、使いだしてしばらくするとパソコン全体が非常に熱くなることを知っているでしょう。これは今の情報処理や計算のシステムが電荷の有る無しを情報の“1”と“0”と定義しているためです。つまり電荷のある“1”の状態をフラッシュメモリなどの記憶媒体に恒常的に記憶する前に一時的に記憶するためにずっと電圧をかけ続けることが必要なためです^[2]。しかしスピン角運動量の記憶には電圧は必要ありません。それは磁石がいつまでたっても磁石の機能を失わないことと同じ理由と考えてもらって構いません。ただ、これだけでは今までの磁気メモリと同じです。スピントロニクスで重要なのは、情報の伝搬もまたスピン角運動量で済ませてしまおう、という発想なのです。そのためのキーになる流れがスピン流となるわけです。

スピン流には電荷もスピン角運動量も同時に流

れるスピン偏極電流と電荷は（実質的には）流れないのにスピン角運動量だけが流れる純スピン流の2つの種類がありますが、この2つを総称して広く「スピン流」と呼ぶことが一般的です。中でも純スピン流は21世紀に作り出された新しい流れですが、その特徴に電荷の流れが実質的にない、ということがあります。図1(b)にも示したように純スピン流では上向きのスピン角運動量を持つ電子（電荷はもちろん持っている）が右に、下向きのスピン角運動量を持つ電子（同じく電荷を持つ）が左に、と互いに「逆」の方向に運動します。そのため2つの運動を合わせると電荷の移動は実質的にはなくなります。一方、時間反転対称性、と言う、いわばビデオに運動を録画して逆回しにしたときに同じ運動に見えるかどうか、という性質に注目すると、この純スピン流は全体がその対称性を満たすために上向きのスピン角運動量を「2つ」「右に」流すことと等価である、と言うことができます。つまり、電荷は流れないのにスピン角運動量だけが情報の担い手として流せるわけです。さらに、電荷の流れはないのでオームの法則を思い出してもらおうとわかるように、理想的には消費電力なしでスピン角運動量という情報を伝搬させることができ、将来的にエネルギー散逸のない無散逸エレクトロニクスの構築に役立つ流れだと大いに期待されています。

この純スピン流はナノテクノロジーが発展し、スピン緩和長よりも短い、大きさが約数百ナノメートル（1ナノメートル[nm]は1mの $1/10^9$ ）素子を割と簡単に作れるようになったことで観測可能になりました。これが21世紀初頭の出来事で、「スピン流物理学」とも呼べる新しい学問分野が開拓されました。しかし研究開始当時は銅やアルミニウムなどの金属中でしか作ることができず、それがスピン角運動量を使った計算の実現への大きな障壁となっていました。しかし様々な実験上の工夫や実験技術の進歩、発想の転換などによってシリコンなどの情報処理や計算に有利な半導体材料や、携帯電話や衛星放送の受信で使われる2次元電子系と呼ばれる電子が非常に早く移動できる材料系、また2016年のノーベル物理学賞が与えられたトポロジーというアイデアに基づく新しい物質群であるトポロジカル絶縁体などで、このスピン流が室温で伝搬・計測できるよう

になりました。

これらの系では容易に電子の移動（スピン角運動量の移動）を制御することで情報のon/offを切り替えられることから、スピン角運動量そのものを使った情報の伝搬から記憶、計算まで実現することで消費電力を極端に抑制するグリーンテクノロジーと呼ばれる技術が構築できるものと期待されています。実際、トランジスタのスピン版であるスピントランジスタはすでに室温で動作可能です。また、基礎学術の面では、20世紀に完成したと思われていた固体物理学という分野における様々な効果や法則、例えばホール効果やゼーベック効果などが、スピン角運動量やスピン流の視点に基づくことで、書き換えたり再定義できたりすることがわかってきており、スピントロニクスやスピン流物理学が物理学の深遠さをさらに広げていっています。

3. おわりに

いつの時代でも物理学は常に新鮮です。私が学生の頃は、素粒子物理学と固体物理学は基本的に別々の学問でしたが21世紀には力強く融合されつつあります。また固体物理学も1980年中頃は「終わった」学問だという誤解が流布していましたが、高温超伝導の発見やスピントロニクスの創出などによって21世紀の今なお急速に発展・進化しています。若い皆さんには常に広い分野への関心を持ち、斬新な発想を持ち続けてほしいと思います。スピン流やスピントロニクスの物理は、異分野の物理学の融合と常識を超える発想から生まれました。私自身、大学院生時代にやった素粒子物理学での計算がまさかスピントロニクスで再び役立つとは思っていませんでした。好奇心と情熱によって第二、第三の「スピン流物理学」「スピントロニクス」のような新鮮な物理学の創出が皆さんによって可能になることを期待しています。

- [1] 実はスピン角運動量は直接自転とは関係はないものの、回転の自由度とは関係することが理解されています。これを実験的に証明したのがアインシュタインとド・ハースの2人です。これはあの相対性理論で有名な理論物理学者であるアインシュタインの唯一の実験だ、と言われています。
- [2] ノートパソコンのことをラップトップ型パソコンなどと呼ぶこともありますが、このラップとは腿のことです。しかしあんなに熱くなったら腿の上に乗せておくことも簡単ではなく、看板に偽りあり、と思ってしまう！

発光タンパク質の開発による生命科学への貢献 ～バイオイメージング技術からスマート社会に役立つ技術への展開～

大阪大学産業科学研究所
教授（荣誉教授）

永井 健治 氏



はじめに

光るタンパク質を使った研究は生きた試料で起きているミクロスケールの現象を顕微鏡下で観て解き明かすバイオイメージングにとどまらず、様々な応用へと飛躍的に進みつつあります。近い将来、御堂筋のイチョウ並木が自らの細胞で光を発することが実現できるかもしれません。今回の受賞技術はそんな夢を抱かせるものです。

本講演では発光性タンパク質がもつ物理化学特性等を利用してどのようにバイオセンサーをデザインするのか、またそれを用いてどんな生命現象が観察できるのかなどを示しながら、バイオイメージングの最先端を概説します。さらに、生物発光に関わる遺伝子を植物に導入することで実現しうる電力不要の街路灯など、スマートシティの実現に大きく貢献する可能性をもつ数々の未来技術についても紹介します。

蛍光タンパク質と化学発光タンパク質

自然界には発光バクテリア、発光キノコ、夜光虫、発光クラゲ、ホタルなど、様々な種類の発光生物がいます。生物が有する発光タンパク質は大まかには光のエネルギーを利用する蛍光タンパク質と化学反応のエネルギーを利用する化学発光タンパク質に分けられます。

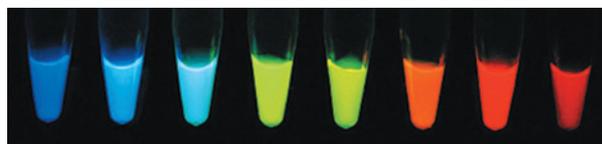
蛍光タンパク質はオワンクラゲから単離された緑色蛍光タンパク質（GFP）が有名です。その遺伝子の導入によって他の生物にも蛍光を

作り出せることが証明されました。つまり、遺伝子さえ導入できれば、さまざまな生物のさまざまな部位に蛍光を作り出すことができます。この特徴を生かして、これまでに様々なバイオイメージングに利用されてきました。

一方、化学発光タンパク質の典型例がホタルが有するルシフェラーゼ（Luc）と呼ばれるタンパク質です。こちらはもっぱら遺伝子発現のレポーターとして利用されてきました。

蛍光タンパク質で細胞内の構造や機能を見る

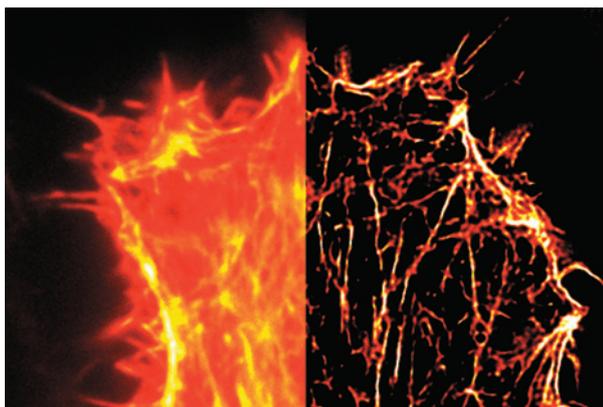
私の研究室では、紫外線を吸収して光るシリウスと名付けられた蛍光タンパク質を開発しました。これは世界で最も短い波長の群青色蛍光を発する蛍光タンパク質です。波長の半分が空間分解能、つまり近接した二点を独立した二点として見分ける能力があるので、シリウスを用いると、一般的な光学顕微鏡で最もクリアに細胞内の構造を見ることが可能です。



様々な色に光る蛍光タンパク質。
シリウスは一番左

そのシリウスよりもさらにクリアで、電子顕微鏡の解像度に迫る超解像観察を可能にするコヒノールやスプーンなどの光スイッチング蛍光タンパク質も開発してきました。

また、細胞内のイオンや生体分子の動態を観



コヒノールを利用したアクチン繊維の通常蛍光画像(左)と超解像画像(右)

察できるカメレオン-ナノやマリオなどの蛍光バイオセンサーも開発し、新しい現象の発見や解明に貢献しました。

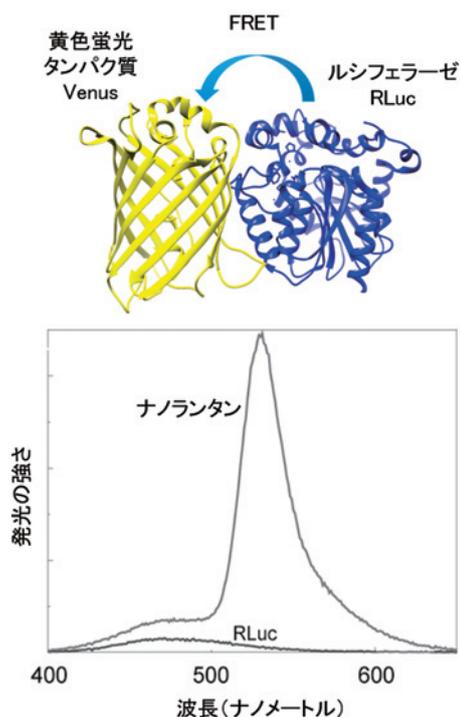
しかしこれら蛍光タンパク質を使ったイメージングでは、細胞内の蛍光タンパク質を光らせるために紫外線などを照射する必要があり、細胞がダメージを受けてしまうという問題がありました。

高光度化学発光タンパク質の開発

そこで紫外線などの照射を必要としない、ホタルやウミシイタケなどの化学発光反応を利用して光るルシフェラーゼを用いれば、細胞に優しい、長時間のイメージングが可能になるだろうと考えたのです。

しかし、ルシフェラーゼは蛍光タンパク質に比べかなり暗く、イメージングに使用するには明るさが足りませんでした。これは化学反応のエネルギーが効率よく光に変換されず、ほとんどが熱になって放出されてしまうからです。そこで、ルシフェラーゼと高効率に光る蛍光タンパク質を連結してみました。これにより熱になって放出されていたエネルギーが効率よく光へ変換され、従来よりも10倍以上明るく光る化学発光タンパク質の開発に成功しました。化学エネルギーで灯をともしナノレベルの小さなランプという意味で「ナノランタン」と名づ

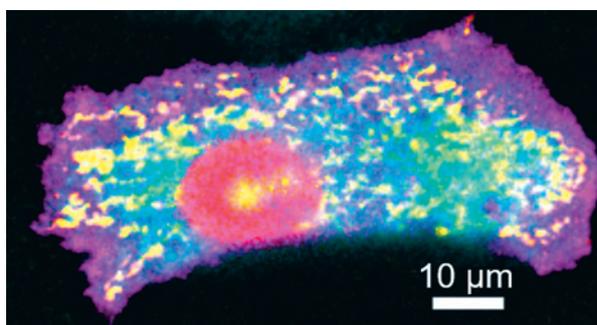
けました。



ナノランタンの構造模式図と発光スペクトル

ナノランタンを用いた細胞～個体レベルでのイメージング

さらに、つなげる蛍光タンパク質を異なる色のものに変えることで、5色のナノランタンを開発しました。このナノランタンで5つの細胞内小器官を観察することが可能になったのみならず、動き回っているマウス体内のがん組織をリアルタイムに観察できました。



細胞小器官のマルチカラー画像

さらに細胞内セカンドメッセンジャーとして信号伝達に関わるカルシウムイオン (Ca^{2+}) や細胞内エネルギー通貨であるアデノシン3リン酸 (ATP) を検出する化学発光バイオセン

サーの開発に取り組みました。これはナノランタン内のルシフェラーゼを半分に分割し、Ca²⁺やATPのそれぞれに結合して構造が変わるタンパク質配列を挿入することで達成できました。これらの開発によって、iPS細胞から作製した心筋細胞における各種薬剤応答の長時間解析や、これまで自家蛍光や光応答の問題があり蛍光での観察が困難であった植物での、光合成によるATPの産生や呼吸による消費が起こる様子をイメージングすることに世界で初めて成功しました。

複雑な生命現象の解明には、細胞内の微細な構造の動態や遺伝子の発現、イオンや代謝産物などを複数同時に計測することが重要です。ナノランタンはそのような研究のみならず、診断・治療などの応用研究への利用も期待されます。

自発光植物で地球を救う

このように、ナノランタンは生命科学研究に新たな火を灯したと言っても過言ではありません。この灯をより身近なものに応用し、未来の社会にも火を灯したいと考えています。

人類社会の存続にとって喫緊の課題は地球環境の劣化に歯止めをかけることです。例えば、地球温暖化や酸性雨、砂漠化、海洋汚染などは近年著しく増加しています。電力なくして今の社会は成り立ちませんが、もし10分の1の電力でも節約できれば、その分だけ化石燃料や原子力の利用を減らすことができ、結果として地球環境の劣化スピードを大きく遅らせる、或いは歯止めをかけることができるかもしれません。

そこでナノランタンの遺伝子を導入したゼニゴケを作製しました。この植物に発光基質を吸わせるとほんのりと明るく発光します。今は発光基質を植物に吸わせていますが、発光基質を細胞の中で生合成している生物がいます。近い

将来、この生合成に関わる遺伝子を解明し、ナノランタンの遺伝子と共に樹木や花のゲノムに導入すれば、自発的に光る植物の創出が可能になります。そのような自発光植物による照明を実現すれば、地球上で照明用に利用されている電力を大幅に削減することが実現するかもしれません。このことの社会的なインパクトは計り知れず、新たな産業革命を引き起こす可能性さえあるでしょう。



おわりに

3色に光るゼニゴケから放たれる暖かみのある柔らかなその光を見つめていると心が癒されます。蛍光灯やLEDなどの人工の光にはない不思議な力がそこにはあります。その光で世界を灯すのが私の夢です。まだまだ小さな一歩を踏み出したにすぎませんが、この一歩がいずれ大きな潮流を作ると信じています。



3色に光るゼニゴケ

第131回 OSTEC 講演会

『夢は叶えるためにある』 がん死ゼロ健康長寿社会実現に向けて～量研の戦略～

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
理事長 平野 俊夫 氏

大阪科学技術センターでは、平成30年11月8日(木)第131回 OSTEC 講演会を開催しました。

厚生労働省「平成28年度人口動態統計(確定数)」によると、日本人の死亡原因として、がん(悪性新生物)が最も多く、約3割を占めています。

今年3月には大阪城のお隣に“切らずに治す”、全国で6ヶ所目となる最先端のがん治療を行う施設として、「大阪重粒子線センター」が開院し、10月には重粒子線を使ったがん治療が開始されました。また、がん細胞を攻撃する免疫細胞にブレーキをかけるタンパク質の発見で京都大学の本庶佑特別教授がノーベル医学生理学賞に選出され、がんの治療法の選択肢が広がってきています。

今回は、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 理事長の平野俊夫氏を講師にお迎えし、同機構放射線医学総合研究所で1994年から取り組まれている重粒子線がん治療の状況、ならびに「がん死ゼロ健康長寿社会」実現に向けての量子科学技術研究開発機構の取組についてご講演いただきました。聴講者は81名を数え、夢のような「がん死ゼロ健康長寿社会」に近い将来実現することを感じました。是非、ご一読ください。

量子科学技術研究開発機構(量研/QST)の平野でございます。今日は「がん死ゼロ健康長寿社会に向けて～量研の戦略～」という題で、「私のがん体験」、「QSTの誕生と量子医学・医療」、「放射線治療とは」、「重粒子線がん治療」、「標的アイソトープ治療」、「感染症から学ぶ免疫の重要性」、「がん死ゼロ健康長寿社会実現のための6つの条件」、「次世代重粒子線がん治療装置である量子メス」、「世界の重粒子線治療施設」、最後に「QST戦略がん(すい臓がん)」についてお話いたします。



●私のがん体験

今から11年前、レントゲン胸部単純撮影では見えないところのがんが偶然発見されました。人間ドックがきっかけでしたが、CTを撮らなければがんは見つからないところでした。阪大病院に入院し、左の肺を60%切除し、3週間入院、3か月リハビリしましたが、60%も肺を切除したため、回復に時間もかかり、結局3か月ぐらいいは講義・講演をキャンセルしました。現在、1期非小細胞肺がんの5年生存率は78%程度です。今同じがんを重粒子線で治療すれば、肺切除は全く不要です。1日で治療が終わるため、働きながら治療ができ、リハビリも不要です。5年生存率は83%。これでほぼ治ってしまいます。1期非小細胞肺がんであれば、重粒子線を1回当てただけで治ります。がん治療のために日常生活への大きな支障がなく、クオリティ・オブ・ライフ

(QOL)は非常に良いと思います。

●QSTの誕生と量子医学・医療

放射線医学総合研究所(放医研)というのは、60年ぐらい前に第5福竜丸事件で原子爆弾実験の死の灰を浴びた事件があり、その後、日本にも放射線の研究所を作らねばならないという経緯からできました。この放医研と日本原子力研究開発機構の核融合部門と量子ビーム部門とが再編統合されて、2年半前の2016年4月1日に新しく量子科学技術研究開発機構(QST)として発足しました。

QSTの研究拠点は、北は青森県の六ヶ所村、西は兵庫県播磨など、全国に5つの研究所があります。フランスではITER(国際熱核融合実験炉)を建設中です(図1)。



図1. 量子科学技術研究開発機構 (QST)

QSTの役割の1つが核融合の研究開発です。核融合エネルギーは究極のエネルギー源といわれています。非常に安全で、燃料は海水から取るので無尽蔵にあります。高レベル放射性廃棄物も出ないということで、「地上に太陽を！」というキャッチフレーズで、日本、欧州、ロシア、アメリカ、韓国、中国、インドの世界7極が共同で実施しているITER(国際熱核融合実験炉)計画に

において、フランスに実験炉を建設中です。その日本の国内実施機関が我々 QST です。

他に、次世代の燃料電池の高性能電解膜等の新しい機能材料の研究開発、レーザー科学研究開発、がんや認知症に関する量子医学・医療、あるいは放射線被曝・防護の研究も行っています。これら出口が、エネルギーであったり、物質材料であったり、生命・がん治療であったりと違っていますが、すべて量子科学技術に基づいています (図2)。



図2. 量研 (QST) の役割

我々は、「量子科学技術による調和ある多様性の創造により、平和で心豊かな人類社会の発展に貢献する」を理念として取り組んでいます。そして、今日の主題であるがんや認知症などを克服して「がん死ゼロ健康長寿社会」実現に貢献したいと考えております。

●平均寿命と健康寿命

がん患者は、毎年 100 万人が新しく罹っていて、そのうちの 40 万人ぐらいの人が亡くなっています。世界では年間 1,400 万人が新しくがんになり、約 20 年後には年間 2,200 万人ぐらいが、がんになるだろうといわれています。まさに 2 人に 1 人はがんになり、3 人に 1 人はがんで死ぬ。そういう時代です。もう一方、認知症というのがあります。現在日本には 460 万人の認知症患者がおり、予備軍が 400 万人で、近々認知症患者は 1,000 万人になるだろうといわれています。これをなんとかしなければいけません。

2010 年の男性の平均寿命は約 80 歳、女性は約 86 歳です。一方、健康寿命、これは、慢性疾患や介護の必要がなく、自覚的に健康であり活動制限もないなどの項目を指数化して、健康か否かを判断して算出します。2010 年には男性で約 70 歳、女性で約 74 歳であり、平均寿命との差 (不健康時間) は男性で約 9 年、女性で約 12 年となり、この期間、不健康で生活することになります。2016 年の統計では健康寿命と平均寿命は若干よくなっていますが、不健康時間はあまり改善されていません。これからの日本は、この不健康期間を限りなくゼロにし、健康寿命を平均寿命に近づけることを重視していかねばならないと思います。

●放射線治療とは

がんの 3 大治療法は、「手術」、「放射線治療」、「抗がん剤治療」です。また、皆さんご存知のように今年、本庶先生がノーベル賞を受賞されたので、一躍、免疫治療がクローズアップされています。免疫治療というのは、昔から免疫学者の間では注目されていた治療法でありました。将来のがん治療というのは、免疫治療と放射線治療が放射線と同等の効果のある治療法の 2 つの組み合わせになっていくものと考えています。

現在、がん治療に用いられる放射線というのは、例えば、X線やガンマ線、あるいは陽子線、重粒子線のような外から放射線をあてる外部照射と、ヨウ素 131 のようなものを飲ませて甲状腺に集めて甲状腺がんを治すといった内部照射の 2 つがあります。この中で我々が実施しているのは、重粒子線 (外部照射) と標的アイソトープ治療 (内部照射) です (図3)。

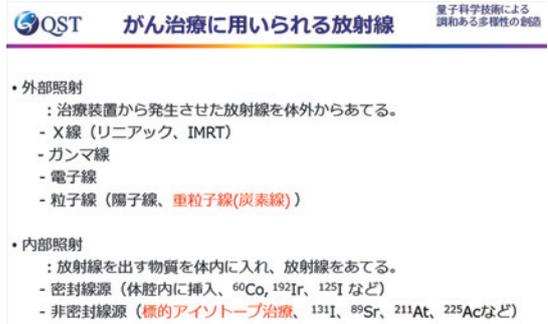


図3. がん治療に用いられる放射線

放射線治療を物理学的な観点から分類すると、皆さんが放射線としてイメージされているのは、X線やガンマ線だと思いますが、X線やガンマ線というのは電磁波であり、性質としては光と同じです。可視光よりも波長が短いため、非常にエネルギーが強い。これらは、電離作用が強く、がん細胞を殺します。一方、陽子や炭素イオン、あるいは電子といった粒子を加速器で加速して、エネルギーを与えてがん細胞にぶつける方法があります。電子の質量を 1 とすると、陽子は 1,800 倍、炭素イオンになると電子に比べて 21,600 倍、陽子と比べても 12 倍の質量差があります。物質の運動エネルギーというのは、質量と速度の積ですから、同じ速度であれば、質量が大きいほど運動エネルギーが大きくなります (図4)。

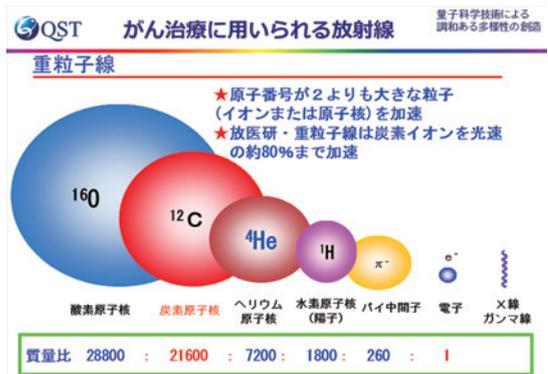


図4. がん治療に用いられる放射線 (重粒子線)

炭素イオンを加速する重粒子線がん治療装置は、QST 放医研が 1993 年に世界で初めて開発に成功しました (図5)。炭素イオンを発生させ、直線加速器である程度加速した後、シンクロトロンでさらに加速し、最終的には光速の 80% まで加速します。これは、1 秒間に地球を 5.5 周する速度です。炭素イオンにこれだけの速度を与え、それを患者さんのがん目掛けてぶつけるわけですから、命中すればがん細胞は必ず死にます。抗がん剤の場合、がんの種類により効く/効かないがありますが、重粒子線がん治療はがんの種類とは関係なく、重粒子線ががん細胞にあたれば、がん細胞は死にます。がん細胞にあたればがん細胞は 100% 死滅させられる反面、正常細胞にあたればそれが破壊されます。そのため、がん細胞にいかに正確にあてるかというのが問題となります。

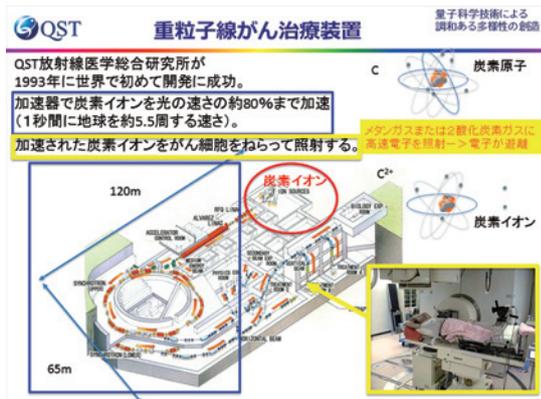


図5. 重粒子線がん治療装置

●重粒子線がん治療装置 HIMAC：歴史と現状

アメリカの物理学者ウィルソン博士は、粒子線の医学・医療への適用について、原子核を加速器で猛烈なエネルギーを与えてがんにつけるとがんは治るのではないかと考え、1946年に論文を発表しました(図6)。それに基づいて、アメリカでは、ローレンス・バークレー研究所が中心になってこの理論を実践しようと試みたものの、ことごとく失敗に終わりました。がん細胞にあればがん細胞は死にますが、あたらないければ人間が死んでしまうため、なかなかうまくいきませんでした。ウィルソン博士が1954年に、大阪大学に設置しているサイクロトロンを見に来ました。当時、日本の加速器・物理学をリードしていた菊池正士教授が阪大に設置したものです。この時、菊池教授の研究室の大学院生であった平尾康男先生が、ウィルソン博士を京都に案内した際、ウィルソン博士から粒子線の医学・医療への適用についての論文を手渡されました。その論文を読んだ平尾先生は感激して、何とかこれを実現したいと思い、その後東京大学の教授を経て、1984年「第1次対がん10カ年総合戦略」の一環として、重粒子線がん治療装置 HIMAC の建設計画がスタートしたのを機に放医研に移られました。そして重粒子線がん治療装置の実現に取り組み、10年かけて装置、すなわち HIMAC の開発に成功しました(図6)。今から思えば、アメリカは開発に着手した時期が早すぎました。CTなど画像処理できるものが何もなく、重粒子線のがんに100%命中させるのは非常に困難な状況にありました。日本が成功したのは、CTが出始めた時期でもあり、タイミングも良かったといえます。HIMAC が完成した1993年から今年でちょうど25年で、この間放医研では10,000人を超える患者を治療しています(図6)。最初は、放医研を訪れる患

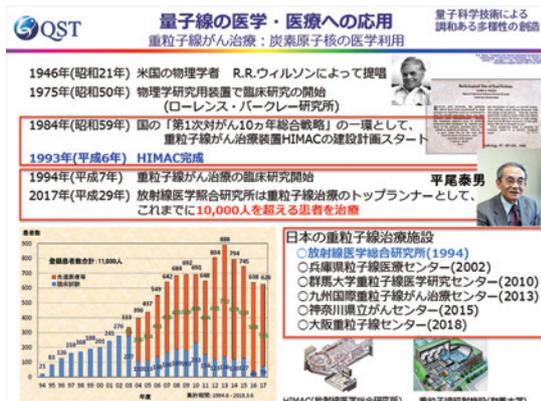


図6. 量子線の医学・医療への応用

者さん達は、当時の様々な方法では治療出来ない方ばかりでした。そのような状況下、放医研の職員は大変困難な時代を経験しましたが、徐々に治療困難ながんが治るケースが出るようになり、重粒子線がん治療が評価されるようになってきました。最近では、この3月に大阪に「大阪重粒子線センター」ができ、10月に第1号の患者さんの治療が始まりました。その他、兵庫県、群馬大学、九州国際重粒子線がん治療センター、神奈川県に施設があり、放医研を含めて、6つの重粒子線治療施設があります(図6)。現在、7つ目が山形大学に建設中です。

重粒子線治療では、前立腺、骨・軟部、頭頸部、肺、すい臓、肝臓など、いろいろながんを治しています(図7)。特徴が2つあり、1つは他の治療法では治療困難であるものでも重粒子線では有効ということです。頭頸部がんや手術ができない骨軟部肉腫などに重粒子線が有効です。骨軟部肉腫に対する最近の治療成績は、がん細胞が大きく、手術・抗がん剤治療ができない患者さん94症例で5年生存率33%、500cc以下のもう少し小さながん細胞の場合、46症例で5年生存率47%となっており、こういう積み重ねで重粒子線治療が認められてきました。

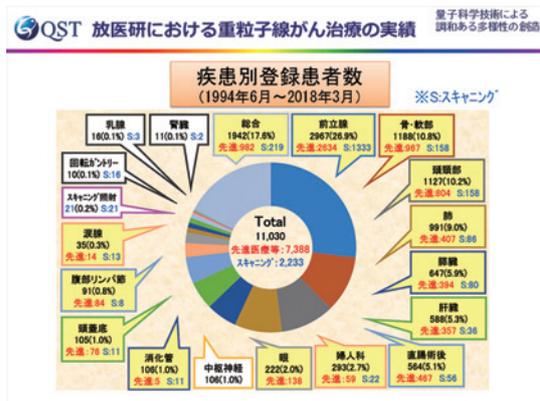


図7. 放医研における重粒子線がん治療の実績

もう1つは、重粒子線での短期治療が可能ということです。X線で前立腺がんを治そうとすると、20～30回くらい照射しないとイケません。重粒子線治療の場合は12回照射で済みますし、現在は4回照射の臨床研究が行われています。肺がん(1期非小細胞肺がん)では1回照射で治療できます。もちろん最初は20回くらい分割して照射していましたが、20年かけて1回でも大丈夫であることを確認しました。このように短期に治療できるのが大きな特徴で、副作用も小さいのです。

すい臓がんは、いまだに5年生存率10%以下のがんです。放医研でも、まだ完全にうまくいっていないわけではありませんが、手術はできないが、他の部位に転移はしていないすい臓がんに対して重粒子線で治療した結果、2年生存率60%の成績を得ています。これは素晴らしい数字です。

●どうして重粒子線がんがんに効くのか

一言でいうと、「線量の集中性」と「強い生物効果」です。

1) 線量の集中性(図8)

X線や中性子線を照射すると最も線量が高いのは皮膚表面で、人体内部に進行していくに従い、人体に吸収される線量が低下します。そのため、がん細胞に到達したときには線量は小さくなってしまいます。一方、炭素線や陽子線は、止まる位置で線量が最大になるBraggピークと呼ばれる特性があります。Braggピークをがん細胞

に焦点をあてておくと、そこで最大の線量となるため、周辺の正常な細胞への影響が少ないのです（図8）。X線の場合、がん細胞に多くの線量を照射すると正常な細胞も影響を受けるため、何回かに分割して少しずつ照射する必要があります。

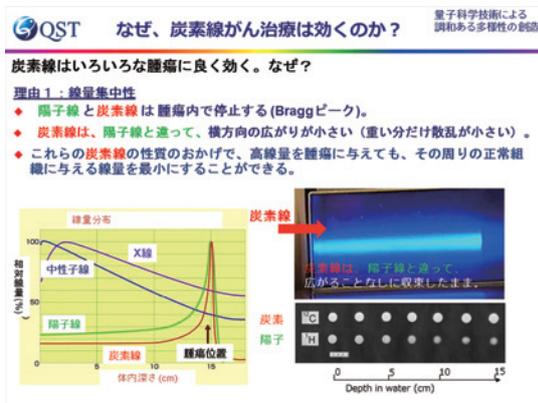


図8. 炭素線がん治療の効果（線量集中度）

では、粒子線なら炭素線も陽子線も同じかという、先ほど説明したように炭素線と陽子線では質量が12倍違います（図4）。炭素線は質量が重い分だけ陽子線に比べ、横方向の広がり（散乱）が小さくなります（図8）。横に広がるといことは、正常組織にもあたっていることとなります。このことから炭素線の方が陽子線よりも線量の集中度が良いということになり、それだけ正常細胞への影響を与えずにがん細胞を狙い撃ちできるのです。

2) 強い生物効果（図9）

炭素線は高い電離密度を持つ高LET（線エネルギー付与）放射線であり、DNAに直接作用して2重鎖切断などの重篤なダメージを与えることができます。その結果、低LET放射線に分類される陽子線やX線と比較して2-3倍の生物効果を発揮します。また、陽子線やX線では効果が弱い放射線抵抗性のがん細胞にも効果を発揮します。先ほども言いましたが、重粒子線はがん細胞にあたればがん細胞は必ず死んでしまいます。

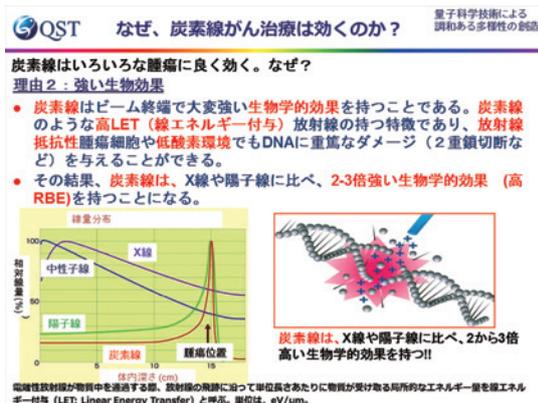


図9. 炭素線がん治療の効果（強い生物効果）

● 標的アイソトープ治療

炭素イオンを使用した重粒子線がん治療は、放射線を体外から照射する外部照射ですが、標的アイソトープ治療は、放射線を体内で照射する内部照射です。

がんに対する抗体やがんが集まりやすい物質は種々あります。これらの抗体や物質に、例えばベータ線やアルファ線を出す放射性同位元素を結合させた化合物を体内に入れることにより、放射性同位元素ががん細胞に集ま

り、がん細胞を殺します。放射性同位元素を用いた場合は、投与量が少なく済むというメリットがあります。アルファ線やベータ線の飛程は短いので、正常組織にあたらないで済みます。特に我々は、アルファ線（ヘリウム原子核）に注力しています。ヘリウム原子核はベータ線の本体である電子に比較して7200倍の質量があり、炭素イオン線のように高LETで高い生物効果を発揮します。がんに集まるような薬剤と一緒に使うことで、転移していてもがん細胞を追いかけてアルファ線を照射することができます。我々は、この標的アイソトープ治療と重粒子線治療を組み合わせることで、切らずに治すがん治療が可能になると考えています。

● 感染症から学ぶ免疫の重要性

感染症がなぜ克服できたかを少し考えてみましょう。始まりは、200年ほど前にジェンナーが天然痘に対する予防接種を発明したことです。これが非常に大きい。ところがこれだけでは感染症を克服することはできませんでした。次に大きかったのは、1928年のフレミングによるペニシリンの発明、すなわち抗生物質の発明です。この2つで我々はほぼすべての感染症を制御できるようになりました。これは何を意味しているかということ、免疫系をあらかじめ活性化しておけば、病気にならない、あるいは病気になっても症状が軽い。つまり、免疫さえ準備しておく、免疫だけで病気を治癒することができることを意味しています。ところが、すでに発症している病気に対しては、予防注射をしても効きません。これは、免疫を活性化するには時間がかかるからで、インフルエンザの予防注射をしたからといって、効果が出るのに2-3週間かかります。免疫がまだ準備できていない場合は、抗ウイルス薬や抗生物質を投与することで、病原菌を死滅させたり、減らしたりして時間をかせぐ必要があります。抗生物質が時間をかせいでいる間に免疫が活性化され、最終的に免疫の力で病原菌を絶滅させることができます。実際、抗生物質は免疫不全症の患者さんには、あまり効力はありません。すなわち抗生物質は免疫に依存して効果を発揮しているとも言えます。

これをがんに当てはめて考えてみましょう。がん細胞が増えた結果がんが発症する。あるいはがん細胞が免疫を逃れた結果、がんが発症する。がんが発症した時点では免疫は十分に活性化できていないので、感染症にあたる抗生物質と類似の役割を演じる方法として、重粒子線照射や標的アイソトープ治療でがん細胞を死滅させたり、その数を減らしたり、あるいは免疫が活性化されやすい環境を整えたりして時間をかせぐのです。その間に免疫が活性化され、免疫が最終的にがん細胞を絶滅させる。必要ならば免疫治療を加える。このように、免疫を機能させる環境をなんらかの方法でつくることができれば、感染症と同様、がんも克服できると考えています。実際、今回の本庶先生らのノーベル賞受賞でも明らかにように、がん免疫の重要性が証明されたわけです。

● がん死ゼロ健康長寿社会実現のための6つの条件

当たり前のことですが、「原発巣」を制御できて、「転移巣」を制御できれば、がんが死ぬことはありません。さらに健康長寿社会のためには、「QOL（動きながらの治療が可能）」を維持できて、一部のお金持ちだけではなく、すべての人が治療を受けられるような「経済性（普遍的な治療方法）」があること。これら4つの条件により、健康長寿社会が実現されると思います（図10）。

また先ほど述べましたように、最終的にがん細胞を絶滅させるのは免疫の役割と考えています。がんを根治し

ようとすると、「免疫は絶対に温存」しておかないといけません。そのため、免疫を破壊するような治療法は行うべきではありません。さらに免疫を活性化できるのであればなおさら良いといえます。

以上のことから、先程あげた4条件に加え免疫の重要性を強調するために「免疫機能温存」と「免疫機能活性」を加えた6条件が、がん死ゼロ健康長寿社会実現のために必要な条件と考えます(図10)。これら6条件と現状のがん治療との関係を整理すると、1つの治療法ですべての条件を満たすことはできないことがわかります(図11)。重粒子線治療ですと、6条件のうち4条件は満たしていますが、転移に対しては対処できません。転移に対しては、分子標的薬、標的アイソトープ治療、免疫制御といった治療法が有効であることから、これらと組み合わせることで、ほぼがんを治すことができます(図12)。

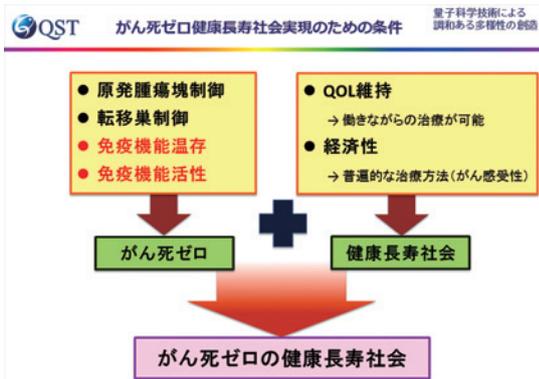


図10. がん死ゼロ健康長寿社会実現のための条件

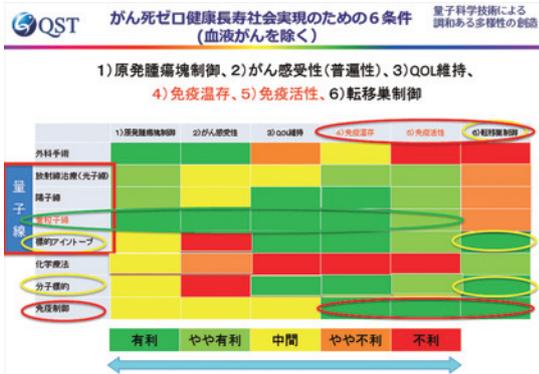


図11. がんの治療方法と実現のための条件との関係

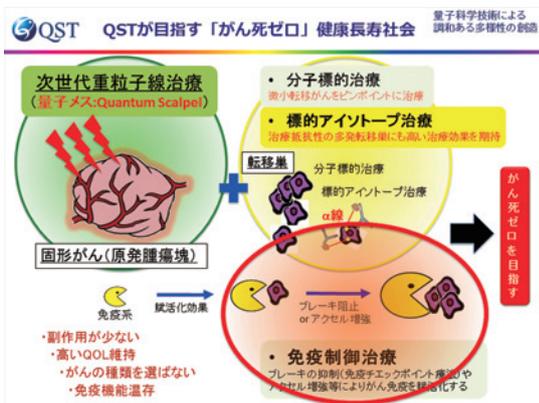


図12. QSTが目指す「がん死ゼロ」健康長寿社会

どの放射線治療でも程度の差はあれ免疫温存や免疫活性化作用はありますが、線量の集中性、強い生物効果については、放射線の中で重粒子線が最も効果が高いのです。また、手術と決定的に違うのは、手術ではがん細胞を切除して体内から除去しますが、重粒子線治療ですと、破壊されたがん細胞が体内に残り、免疫の抗原になります。

局所治療である放射線治療を行った際、照射部位から離れた別の病巣も縮小する現象をアブスコパル効果といい、時々そういった現象が起こることがあります。重粒子線でも同様の現象が確認されており、重粒子線治療により免疫が活性化される可能性を示しています。

以上のことから、我々が目指しているのは、重粒子線でまず原発巣を処理する。転移巣は標的アイソトープ治療や分子標的薬で処理する。必要に応じて免疫治療を行う。これらはすべて体に優しい治療法です。この組み合わせでがん死ゼロ健康長寿社会を実現したいと考えています(図12)。

●量子メス：次世代重粒子線がん治療装置

オリジナルの重粒子線がん治療装置は、120m×65mの大きさで、建設費は320億円かかりました。今年、大阪重粒子線センターに入った装置は、60m×45mの大きさですが、これでもまだ大きく、この装置を入れるためには専用の建物が必要となります。我々はこの大きさを10m×20mまで小型化することで、既存の建物で、X線治療装置の部屋を2つ使えば置けるサイズにしたいと考えています。また、高性能化も必要です。先ほど、1期非小細胞肺癌の場合、1回照射で手術とほとんど変わらない5年生存率83%の成績があると話しましたが、他のがんでもそうなるようにしていきたいと思っています。

次世代重粒子線がん治療装置として、我々は小型化、高性能化したものを「量子メス～Quantum Scalpel～」と名付けて開発に取り組んでいます(図13)。

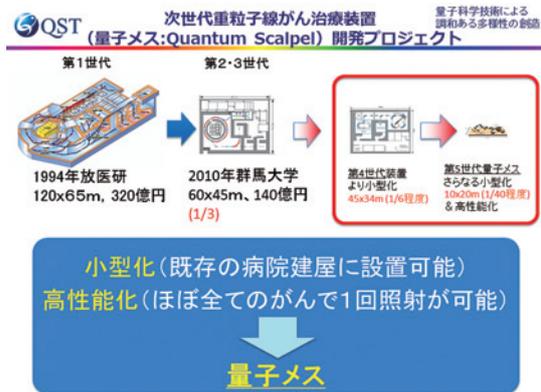


図13. 次世代重粒子線がん治療装置

重粒子線がん治療装置の超小型化のためには、シンクロトロンと直線加速器(入射器)を小型化する必要がありますが、QSTがもつ2つの先端技術に応用する計画です。1つが超伝導技術です。直径が20mくらいあるシンクロトロンは、常伝導磁石を使用していますが、これを我々の核融合研究で使われている超伝導技術を取り入れて超伝導化することで、シンクロトロンの直径を7mぐらいにまで小型化したいと考えています。もう1つは、レーザー加速技術です。我々の世界トップクラスのレーザーの研究部門である関西光科学研究所の田島俊樹博士が、今から35年くらい前にレーザーによる粒子の加速理論を提唱しました。現在この実証を行っています。レーザー加速とは、薄膜に集光してレーザーをあてると、

一瞬にプラズマ化して電子が飛び出すことで急こう配な電界が発生します。これを利用してプラスイオン (C^{2+}) を加速することです。最初はなかなか実証できませんでしたが、最近では多くのデータが取れてきて実証できてきています。このレーザー加速技術を用いることで、現状 15m ぐらいの長さが必要な直線加速器を数 m まで小さくすることができます。さらに将来的には、シンクロトロンもこのレーザー加速に置き換え、100%レーザー加速に置き換えることができると、大幅な小型化ができますが、そこまでは多くの技術的な課題があり、20~30 年はかかるため、まずは 10 年以内に直線加速器の部分レーザー加速に置き換えることで小型化することを考えています。

高性能化については、現在は照射する粒子（イオン）は炭素イオンのみを使用していますが、これをマルチ化します。すい臓の周りには重要臓器があるので、たとえ炭素イオンを用いた重粒子線治療でもすい臓がんの腫瘍部分にあてるのが難しく、腫瘍部分にまんべんなく、強い生物効果を与える方法として、マルチイオン化を考えています。例えば、腫瘍の中心部分には炭素イオンよりも質量の重い酸素イオンを、その周辺は現在の炭素イオン、正常組織とがんの周辺部分にはヘリウムイオンを照射します。理論計算上、すい臓がんにもかなりの効果があることが分かっており、マルチイオン照射することで高性能化を図りたいと考えています。

●世界の重粒子線治療施設と導入計画の現状

世界には現在 12 か所で重粒子線装置が稼働しています。そのうち 6 か所は日本で、7 か所目の施設が山形大学に建設されています。その他はドイツで 2 か所、イタリアで 1 か所、中国で 3 か所が稼働していて、現在建設中のももあります。今年非常に画期的であったこととして、韓国の延世大学と台湾の台北榮民総医院とに、放医研の技術が初めて海外展開されることになりました。

アメリカでは、現在、陽子線施設だけで重粒子線施設はありません。歴史的にアメリカは真っ先に重粒子線設備の開発を行いました。ところが、アメリカも陽子線の限界を感じたようで、その 1 つの証拠が、前の副大統領のバイデンさんががんを克服するための様々なプロジェクトを報告しています。その中には炭素イオンを用いた重粒子線治療やマルチイオン照射が言及されています。また、昨年、University of Texas Southwestern Medical Center (UTSW) の学長さんが放医研に来られて、重粒子線がん治療の共同研究に関する協定を結びました。まもなくすい臓がんのランダム臨床共同研究が始まります。

●すい臓がん：QST 戦略がん

国立がん研究センターが出した最新の統計によると、がんの 5 年生存率は、胃がんで 71%、大腸がんで 70% 等、全体の平均でも 65% となっていますが、すい臓がんだけがいまだに 10% 以下の状況にあります。我々は、このすい臓がんを「QST 戦略がん」に選定しました。その理由は、1) 重粒子線治療では、すい臓がんに対しても良い成績を残していること、2) QST では標的アイソトープ治療も行っているため、それをすい臓がんに対しても実施していただけること、3) 分子イメージング技術による診断技術によってすい臓がんの早期発見が可能になることなど、QST の強みを発揮できることです。これらを推進しながら免疫治療との併用ですい臓がんの克服を目指しています。がんを克服するモデルケースとし

て、すい臓がんをターゲットに取り組んでいるのです。

●最後に

単にがん死を防ぐだけでなく、健康が維持される治療法でなければ健康長寿は達成できません。端的に言えば、働きながらのがん治療を可能にする必要があります。そのためには、身体に優しい治療でなければなりません。またそういった社会が形成されるためには、高額な医療ではいけません (図 14)。

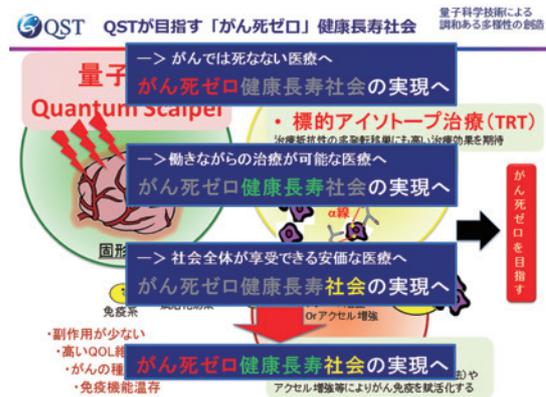


図14. がん死ゼロ健康長寿社会の実現に向かって

量子メスのようなものが大量に世界に普及し、世界の毎年 1400 万人の患者さんの 50% を量子メスで治療することができれば、十分に採算がとれます。数兆円の市場規模になるため、量子メスを安く製造でき、かつ 1 回で治療できるとなれば、たくさん患者さんを治療することが可能となります。現在、日本には 6 つの重粒子線施設があり、年間約 2000 人の治療を行っているものの、日本の年間患者のわずか 0.2%、世界にすると 0.02% 以下にすぎません。量子メスや標的アイソトープ治療を 1 日も早く完成させて世界中の人を治療できるようにしたいと考えています。

1993 年に世界で初めて重粒子線治療装置の開発に成功し、2016 年には治療件数が 1 万人を超えました。2016 年には、骨軟部腫瘍が保険適用されたのに続き、今年 4 月には前立腺がん、早期肺がん、局所進行性膵がんは先進医療に指定されており、これらのがんが保険適用されるのもそれ程遠くない状況にあります。また、近い将来韓国と台湾に QST 放医研で開発された重粒子線がん治療装置が世界に羽ばたきます。来年 2019 年には重粒子線がん治療 25 周年記念シンポジウムを開催することを考えています。

我々の研究所は、加速器工学、レーザー科学や臨床（重粒子線治療）などいろいろな分野、異分野の研究領域の専門家が 1 か所に集結しています。医学、生物学、理工学が融合していて、さらに病院もあるため、基礎から臨床までシームレスな連携が可能となっています。

夢は叶えるためにあります。夢はなかなか実現が不可能だから「夢」ですが、夢を夢だと思っていると永久に夢のままです。夢に向かって目の前のできることを、小さなことをひとつひとつ重ねていくいつかは夢ができるかもしれない。夢が叶えられなくても、夢に向かってひとつひとつのことをやるそのプロセスが人生を豊かにするだろうし、組織を活性化できるのではないかと頑張って頑張っていますので、応援よろしくお願ひいたします。どうもありがとうございました。

平成30年度 LSSサイエンスカフェ 第16回「心とつながる脳科学」～脳を知って生きやすい世の中に～ 開催報告

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 普及事業部 TEL:06-6443-5318

日	時:	平成30年12月1日(土) 13:30～16:00
場	所:	大阪科学技術センター 8階中・小ホール
講	師:	高橋 佳代 氏 (国立研究開発法人理化学研究所 生命機能科学研究センター 上級研究員)
ファシリテーター(LSS委員):		吉原 静恵委員 (大阪府立大学 大学院)、高木 岐代子委員 (近畿経済産業局)
参加者:		93名

LSS (レディース・サイエンス・セッション) では、身近に科学を感じ、興味を持っていただけるテーマを毎年委員と検討し、「サイエンスカフェ」を開催しており、今回は「脳科学」をテーマに実施いたしました。

第一部では、講師より「心とつながる脳科学」についてご講演頂きました。

アメリカの科学者ヘレン・フィッシャーによると、ヒトの性格は、脳内物質によってドーパミン優位型、セロトニン優位型、男性ホルモン優位型、女性ホルモン優位型の4つに分類されるそうです。しかし、実際の脳内物質そのものを測定してヒトの性格を研究した前例はありません。そこでPET (陽電子放出断層撮影装置) を使って生体の脳内物質を測定すると、心のはたらきに関わる様々な分子が、脳のどの部分ではたらいているのかが分かります。

PET を用いた分子イメージング研究結果では、男性ホルモンから女性ホルモンを生成する酵素「アロマターズ」が、攻撃性や協調性に関わることが明らかにされました。また、熱愛中の脳内ではドーパミンが報酬に係る部位で放出されていることが示され、ヒトでのカップル形成のメカニズムの一端が明らかにされました。さらに男性は恋愛中には他人の気持ちを読み取る能力が高くなることも紹介されました。

男性と女性の脳の一般的な違いについても説明があり、それぞれの特性についても紹介がありました。男性脳は空間認知力・集中力・論理的思考、女性脳は言語機能・人の気持ちに共感することに長けていると言われていいます。

ただし、脳は個人差が大きく、一人として同じではないので、自分と他人とは違うという理解を、自分とは違った個性を理解することが多様性への理解を深め、生きやすい世の中になる等、脳について興味深い内容を分かりやすくお話し頂きました。

第二部では、ファシリテーターと参加者からの質問を交え、脳科学について、様々な切り口からの質問があり、充実した内容となりました。あわせて、協賛企業・機関のご協力を得て、脳が指令を出す「疲労」について、「疲労測定」や疲労回復の健康食品に関するパネル展示を実施しました。



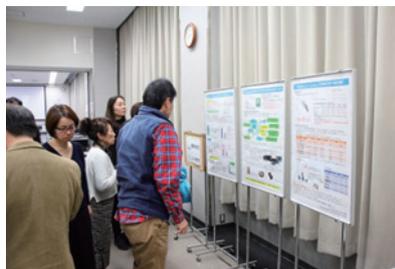
高橋 佳代 先生



参加者からは、「脳のホルモンの働きで心の状態が変わるとは、非常に面白かった。」「心の病の方が多くなっているのもまたこのようなテーマを取り上げてほしい。」「脳を知ること、性格や行動が理解できるのは参考になった。」などのご意見をいただきました。



理化学研究所 健康生き生き羅針盤
リサーチコンプレックス推進プログラム
「疲労度（自律神経機能）測定」



(株)カネカ
「還元型コエンザイム Q10」紹介



日本予防医薬(株)
「イミダペプチド」紹介

協賛企業：大阪ガス(株)・(株)大林組・サントリーホールディングス(株)・日立造船(株)

特別協賛：(株)カネカ

協 力：日本予防医薬(株)、理化学研究所 健康生き生き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラム

次回のサイエンスカフェは、平成31年1月28日(月)
「『AI』で、ハッピーライフ~くらしにAIを~」を開催いたします。

講師：関谷 毅 氏 (大阪大学 産業科学研究所 教授)

~ 詳細は LSS ホームページ <http://www.ostec.or.jp/pop/lss/> やチラシをご覧ください ~

大阪科学技術館新出展ブース 「量子科学技術研究開発機構 (QST)」

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 普及事業部 TEL: 06-6443-5318

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 (以下「量研 (QST)」) は、平成28年4月1日に新たに発足した国立研究開発法人です。量研 (QST) では、重粒子線がん治療や被ばく医療など放射線の医学利用研究、量子ビームによる物質科学・材料科学・生命科学等の研究、レーザーを利用した光量子科学研究、太陽と同じ究極のエネルギー源である核融合の研究などを行っています。

量研 (QST) は、私たちの命を守り、暮らしの向上や産業振興を図り、人類の未来のエネルギー開発など、量子科学技術を利用して「調和ある多様性の創造」を推進し、平和で心豊かな人類社会の発展に貢献していきます。

また、量研 (QST) は京都府木津川市にある関西光科学研究所に、我が国唯一の「光」をテーマにした科学館「きつづ光科学館ふおとん」を併設しています。光の不思議を体験し、最先端の光やレーザーの利用技術などを、子ども達が楽しみながら学ぶことができます。

この度、大阪科学技術館にも量研 (QST) の展示コーナーを開設させて頂くことになりました。未来を担う子どもたちの「科学する心」を育み、また広く一般の方にも、量子科学技術に親しんでいただくことを目的としています。

大阪科学技術館 特別展「薬を知ろう！」

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 普及事業部 TEL：06-6443-5318

大阪市には、「道修町」という薬の町があり現在も製薬会社が軒を連ねています。

大阪科学技術館では1月31日(木)までの期間、特別展として、家庭薬から最新の製薬における研究成果まで、薬にかかわる知恵や歴史、また薬の町「道修町」についてご紹介しています。

カゼをひいたり足をすりむいたり、「薬」は私たちが健康な毎日を過ごすために欠かせないものとなっています。「薬」は、処方箋なしで購入できる「家庭薬」から、長い年月をかけ研究開発を経てようやく製品化される「新薬」などさまざまです。

また近年、青少年への医薬品の正しい使用法、副作用などの知識の普及や啓発に努める「薬育」の重要性が認識されるようになりました。

当館では大阪家庭薬協会の協力のもと、同協会加盟会社が取り組む製薬技術のこだわりや歴史を紹介し、また田辺三菱製薬の創薬の歴史、新薬が出来るまでのプロセスをパネルや映像、実物展示をしております。



協賛：小林製薬(株)、(株)阪本漢法製薬、白石薬品(株)、翠松堂製薬(株)、田辺三菱製薬(株)、田村薬品工業(株)、丹平製薬(株)、常盤薬品工業(株)、森下仁丹(株)、横山製薬(株)
後援：大阪家庭薬協会
協力：くすりの道修町資料館、少彦名神社

大阪科学技術館 お話会「薬のいろいろ～薬の町大阪道修町の歴史と今～」

講師：くすりの道修町資料館 館長 深澤 恒夫氏

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 普及事業部 TEL：06-6443-5318

特別展「薬を知ろう！」の関連イベントとして、11月18日(日)に大阪の道修町にある「くすりの道修町資料館」館長 深澤恒夫氏より、道修町のみならず大阪の歴史、また薬についてさまざまな切り口でお話頂きました。

大阪の「喜連瓜破」「放出」「十三」など難読の地名についての由来や、天下の台所として栄えた大阪と東京との「味」の違い、1882年に大流行したコレラの鎮静を願った「神農祭」の由来や、特別展の展示内容について各々解説を頂きました。「新薬」についての解説では、長い年月と多くの研究開発費を費やして医薬品が出来る過程、また様々な生薬から生まれる「葛根湯」について生薬の実物を用い解説頂きました。

最後に、人が健康な毎日を過ごすためには「医食同源」として食生活を大切にするのが肝要であると力強いメッセージがあり、参加者は終始熱心に講演を聴きいっておられました。



平成30年度 大阪府学生科学賞 表彰式報告

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 普及事業部 TEL: 06-6443-5318

第62回 大阪府学生科学賞の表彰式が11月10日(土)に読売新聞社大阪本社で行われ、最優秀賞、優秀賞、学校賞の各受賞者に賞状が贈られました。

本科学賞では、最優秀賞の一つとして、当財団から「大阪科学技術センター賞」を土井会長から受賞者に授与致しました。

今年度は昨年度以上に多くの応募があり、小学生は生活に身近な物を題材にしているもの、中学生は災害などをテーマにしたもの、高校生は長期間における調査データをもとに研究した内容の応募が多くあり、審査委員長からの総評では「研究者も学ぶべき内容があった」との高評価があり、年々レベルが上がってきているのがうかがわれる表彰式となりました。

今年度の当センター賞の受賞者および作品は以下の通りです。

～最優秀賞 大阪科学技術センター賞～

◆小学校の部「おいしい漬物を長く保存できるのは塩と砂糖のおかげだった？」

岬町立淡輪小学校 5年 溝口 結菜

◆中学校の部「化学飯 温熱編」

堺市立浅香山中学校 2年 岡 咲耶

◆高等学校の部「プランクトンの研究Ⅶ ～1Lの水からわかるプランクトンと魚の関係～地球温暖化に対する未来への警告」

大阪府立和泉高等学校 2年 新門 直大 (以上敬称略)



大阪科学技術センター 土井会長より賞状を授与



大阪科学技術センター賞 受賞者との記念撮影

【主催】大阪府教育委員会、大阪市教育委員会、堺市教育委員会、大阪府科学教育振興委員会、読売新聞社

【後援】大阪府、大阪市、堺市、(一財)大阪科学技術センター

大阪科学技術館 名誉館長「テクノくん」活動報告 たくさんの応援ありがとうございました！

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 普及事業部 TEL: 06-6443-5318

大阪科学技術館の名誉館長「テクノくん」が、全国各地からゆるキャラの日本一を決定する「ゆるキャラグランプリ2018」に、本年で7度目となるエントリーとなりました。

今回のエントリー数は、企業・その他枠で402体、依然として世間から高い注目を浴びている本グランプリにおいて、「テクノくん」は皆様の応援のおかげで63位となり、前年(112位)より大きく順位を上げることができました。

今後も様々な機会でもテクノくんをPRし、大阪科学技術館の知名度向上に努めて参りますので、引き続きご支援のほどよろしくお願ひいたします。



エントリーNO. 45 大阪科学技術館 名誉館長

全国のゆるキャラたちの一年に一度のお祭り

テクノくん 企業枠402体中 63位!

ゆるキャラグランプリ 2018 結果発表

2018年グランプリがバブルくんでした!

応援どうもありがとうございました★皆様ののおかげで9,377票集まりました! これからも皆様に愛されるキャラを目指して頑張ります!

2017年は112位!(476体中) 順位が上がりました!

ゆるキャラグランプリとは? 全国で活躍するゆるキャラさんたちの一年に一度のお祭り。たとえグランプリにならなくとも、地域のスターとして日々頑張っているゆるキャラさんたちをみんなで応援してね!

「ネクストリーダー育成ワークショップ」 (イノベーション) 盛況の内に終了

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター イノベーション推進室・篠崎 TEL : 06-6131-4746

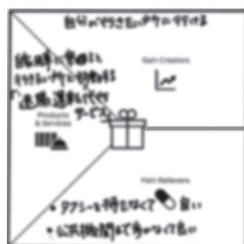
今年度の新テーマ「イノベーション」は、33名が参加し、4月から9月の半年、計5回に亘って実施し、盛況の内に終了しました。第5回の最終発表会のテーマ「**日常の『不』を解消 or 克服するイノベティブなビジネスを生み出せ!**」は、第4回ワークショップの最後に発表しました。

実は、テーマ発表から最終発表会までの約1か月間、各グループが作戦を練ったりアイデアを絞り込んでいったりする過程を見ていました。あるグループでは、ワークショップ用に準備した各グループ専用のコミュニケーションツール chatwork 上でアイデア出しをし、あるグループでは、グループメンバーの会社の会議室に集まって、ディスカッションして発表に向けて資料を作成し、と本業の合間を縫ってディスカッションを重ね、アイデアをブラッシュアップする様子と意気込みが伝わり、事務局も緊張が高まっていきました。

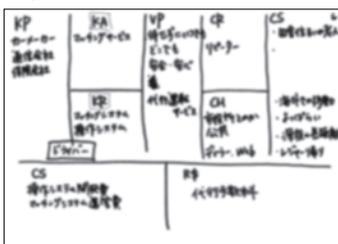


そして最終発表当日に、**最優秀賞**を受賞したグループは、「**高齢者の移動の不便**」に着目し、それを解消する「**遠隔代行運転サービス**」の**ビジネスアイデア**を考えたチームでした。

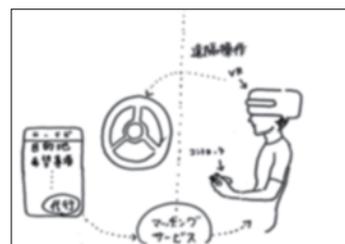
発表より一部抜粋 (画像は、ぼかしてあります)



バリュープロポジションで顧客への価値提供の組合せを検討



ビジネスモデルキャンパスで要素毎に事業性を検討



実装イメージを分かりやすくイラスト化

バリュープロポジションを用いた顧客に提供する価値の組合せの検討、高齢者と遠隔ドライバーを結びつける**マッチングサービスの仕組み**、**ビジネスモデルキャンパス**を用いた各要素の検討、**実装イメージのイラスト化**による分かりやすさなど、各グループより高い評価を得ました。



グループ毎の発表



優秀賞授賞の風景



審査員による講評

各参加者が得た知識や経験を自社の業務で発揮し、活躍されることを期待しています!

*** 次年度の募集を同封しています。先着順で定員に達し次第締切りますので、是非お早目にお申込み下さい。**

(参加者の声)

- 業種の違い、専門性の違いから多様なアイデアや意見が多く、幅広い視野や多様な思考法を得られた。
- 議論が行き詰った時に、力を抜いて柔らかく発想を出す手法を実践の中で学び、有用性を感じられた。
- イノベーション実現に必要な顧客視点、ビジネスモデルキャンパス等のメソッドを得られた。
- 会社で自らワークショップを主催できた。
- リーダーとフォロワーの重要性を実感した。
- 毎回の交流会と最終回の事前検討を通じて、他の企業の仲間と強い繋がりができた。

平成 30 年度経済産業省委託事業 「地域中核企業創出・支援事業」のご紹介

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 技術振興部 TEL: 06-6443-5320

関西に集積するスマートエネルギー分野の企業群・大学・研究機関でネットワークを形成し、同分野におけるビジネスモデル、関連機器、サービス等の検討・創出を行ない、関西発のエネルギー・環境技術のイノベーション創出に資することを目的とし、4件のプロジェクトを推進しています。

- ① AIと水素で描く未来都市～スマートシティ実装化事業～（ネットワーク型）
- ② 防災電源システム（イニシャルフリー）の開発・販路開拓支援事業（ハンズオン型）
- ③ 阪神・瀬戸内ネットワーク液化水素関連機器参入支援事業（ネットワーク型）
- ④ 国産燃料電池ユニットの開発・事業化支援事業（ハンズオン型）

■ AI等の技術をスマートエネルギー分野に活用

AI等IT技術のスマートエネルギー分野への実用・適用に関する可能性等の検討を行い、技術的制約・制度面等の調査、実証に向けた体制整備等を実施します。

■ 取組み

大学キャンパスを実証フィールドとしたスマートエネルギーシステム等の設計・開発支援



■ 自治体が導入しやすい防災電源システムの開発

中小規模の自治体、工場・工業団地等での新たなエネルギービジネスモデル等の創出に向けて、地産地消プロジェクトの発掘や自治体新電力啓発等を実施します。

■ 取組み例

自治体向け中小避難所防災電源システムの開発・販路開拓支援



■ CO₂フリー水素社会を実現する用途開発等の検討

既成概念(ロードマップ等)にとられない水素エネルギー適用可能性等の検討を行い、社会システム・市場等の調査、関連機器等の企画・検討等を実施します。

■ 取組み例

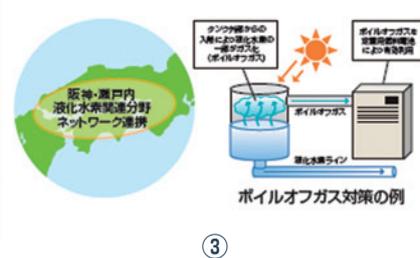
国産燃料電池ユニットの開発・事業化支援



水素エンジンを用いたモビリティの設計・開発支援



液化水素関連機器参入支援



平成 31 年度 OSTE C 見学会のご案内

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 総務部 TEL: 06-6443-5316

当財団では、企業等の施設見学を通じて、最先端の技術や設備の動向、ユニークな取り組みなどの見聞を深め、会員の皆さま方のビジネスのヒントに繋がるような有意義な情報提供の場として賛助会員をはじめとする見学受入先の協力を得て「OSTEC 見学会」を定期的に開催しています。

今年度は、以下の3か所で開催し、延べ110名の方にご参加いただきました。

- 4月 神戸医療産業都市 (神戸アイセンタービジョンパーク、神戸キメックセンタービル)、理化学研究所 計算科学研究機構 (AICS) (スーパーコンピューター「京」)
 - 7月 株式会社堀場製作所 本社、HORIBA 最先端技術センター
 - 10月 パナソニック ミュージアム (松下幸之助歴史館、ものづくりイズム館)、Wonder LAB Osaka
- さて、平成31年度は、表に示す3か所の見学先を候補に内容で調整を進めています。各見学会の2~3ヶ月前には詳細なご案内をしまいりますのでご予定いただきたく、よろしくお願い申し上げます。

また、OSTEC 見学会についてのご希望・ご要望がございましたら、総務部までよろしくお願い致します。

○平成 31 年度 OSTE C 見学会の予定

時期	見学先	見学の概要
8月頃	北大阪健康医療都市 (健都) (国立研究開発法人国立循環器病研究センター他)	北大阪健康医療都市 (健都) は、吹田市と摂津市が 2019 年 7 月、国立循環器病研究センター (国循) の JR 岸辺駅前への移転を見すえて「健康・医療のまちづくり」を進めている地区です。 国循を中心とした国際級の複合医療産業拠点 (医療クラスター) の形成に向けての取組についての見学を予定しています。
	(調整中)	
1月~2月頃	株式会社ダイヘン六甲事業所	六甲事業所は、年々複雑化・高度化する生産現場の自動化ニーズにきめ細かく応えるべく、独自の溶接技術とロボット技術を駆使し、付加価値の高い溶接機、ロボットの開発をされています。 テクニカルセンターでのロボットのデモ・実演とロボットの生産工場についての見学を予定しています。

※表の計画を基に調整を進めてまいりますが、やむを得ない事情により変更となる場合がございます。あらかじめご了承願います。

今後の行事予定 (平成 31 年 1 月~平成 31 年 4 月)

お問い合わせ (一財)大阪科学技術センター 総務部 TEL: 06-6443-5316

1/7(月)	新年交歓会
1/17(木)	燃料電池・FCH 部会 平成 30 年度公開シンポジウム「水素社会に向けた取組」
1/28(月)	スマートグリッド/スマートコミュニティ研究会公開フォーラム 「関西におけるスマートエネルギーの取組み」
1/28(月)	LSS 第 17 回サイエンス・カフェ 「『AI』でハッピーライフ~暮らしに AI を~」
3/13(水)	理事会 [平成 31 年度事業計画・予算等]
3/22(金)	評議員会 [平成 31 年度事業計画・予算等]

《貸会場のご案内》

豊かな緑に囲まれた抜群の環境下、バラエティに富んだ全 20 室のスペースをご用意して、多彩なコンベンションを快適にサポートします。(19 室インターネット対応)



8F 大ホール
大人数の講演会や講習会、表彰式などのビッグイベントに最適。



8F 中・小ホール
講習会・試験・展示会・ワークショップ等広い空間を最大限に活かした多目的ホール。



瀟洒な内装が好評の700号室。大切な方を招いての会議・セミナーに最適な全4室。



小人数のセミナーや研修、採用面接にぴったりの落ち着いた雰囲気の全5室のコミュニケーション空間。



小人数での会議から100名以上の講習会まで対応可能な全6室。



専用ロビーを有する静かで明るいミーティングルーム2室。

OSTEC

一般財団法人

大阪科学技術センター

〒550-0004 大阪市西区靛本町1丁目8番4号

TEL(06)6443-5316 FAX(06)6443-5319

<http://www.ostec.or.jp/>

the OSTEC [ジ・オステック]

2019年1月5日 第28巻1号(通巻193号)

編集/(一財)大阪科学技術センター 総務部

発行人/専務理事 西内 誠

発行/(一財)大阪科学技術センター

大阪市西区靛本町1丁目8番4号

〒550-0004

TEL.(06) 6443-5316

FAX.(06) 6443-5319

制作/(株)ケーエスアイ

部屋名	収容人数(人)	広さ(m ²)	
8F	大ホール	294(固定)	360
	中ホール	S型: 135 □型: 66	154
	小ホール	S型: 81 □型: 42	102
7F	700	S型: 76 □型: 40	146
	701	S型: 90 □型: 42	102
	702	S型: 63 □型: 36	102
	703	S型: 16 □型: 16	51
6F	600	S型: 60 □型: 32	88
	601~3	S型: 27 □型: 24	51
	605	S型: 60 □型: 42	88
4F	401	S型: 135 □型: 60	154
	402	S型: 28 □型: 20	51
	403	S型: 60 □型: 42	88
	404	S型: 90 □型: 42	102
	405	S型: 88 □型: 42	102
	410	S型: 28 □型: 20	35
B1F	B101	S型: 81 □型: 42	102
	B102	S型: 60 □型: 42	88

交通のご案内

貸会場をお探しの方はお気軽に

- 平日(月~土)9時~21時まで利用可
- 日・祝日も営業(9時~17時)
- 交通の便抜群(大阪駅から約15分)
- 環境抜群(ビジネス街で眼下に靛公園の緑)
- 各種視聴覚機器を完備
- ご予約は、当月から起算して12ヶ月先まで受付



- ※新大阪方面より
大阪メトロ御堂筋線本町下車
西へ徒歩8分
- ※大阪方面・なんば方面より
大阪メトロ四つ橋線本町下車
北へ徒歩5分
- うつぽ公園北東角

ご予約お問合せ

〒550-0004 大阪市西区靛本町1丁目8番4号

(一財)大阪科学技術センター 貸会場担当

<http://www.ostec.or.jp/ostec-room>

TEL:06-6443-5324 FAX:06-6443-5315