

理科大学ならではの異分野連携と新学術創成

東京理科大学 工学部 教養 教授 (数学・自然科学分野) **山本** やまもと **貴博** たかひろ

はじめに

東京理科大学に限らず、大学では多くの研究者がそれぞれの専門分野を深化・発展させるために日々努力を続けています。いずれの分野においても、研究を大きく進展させることは容易ではありませんが、「新しい視点・発想」や「新しい手法」が分野に導入された際に、ブレークスルーやイノベーションが起こることが多々あります。

これは研究に限らず日常生活においても同じことが言えるかもしれません。例えば、自分が抱えている悩み事が、自分のもっている知識や技術では解決困難あるいは解決不可能なとき、家族や友人に相談することで（今まで解決できなかったことが不思議なくらい）いとも簡単に解決してしまうことを経験した人も多いことでしょう。このような経験をもつ方は、家族や友人の存在の大きさや大切さを身にしみて感じたことでしょう。研究の世界でも全く同じです。たとえ自分の専門分野の知識や技術だけでは解決困難な問題であったとしても、異分野の方々（研究者である必要はない！）と交流することで「新しい視点・発想」や「新しい手法」に気が付き、ブレークスルーやイノベーションにつながるものがたびたびあります。また、ここでの「新しい」とは「新しい=世の中になかった」ということは稀で、「新しい=その分野になかった」であることが多いようです。

このように、研究の世界でも「こちらの常識はあちらの非常識、あちらの常識はこちら

の非常識」であることが多く、「こちら」と「あちら」がつながる環境があれば、新発見や問題解決につながる可能性が高まるというわけです。私生活でも研究の世界でも、信頼できる仲間の存在がとても大きいことに違いはありません。理科大には、そのような仲間と出会える環境が多く準備されており、それが「理科大学ならではの学際的研究」を生み出す場となっています。

本稿では、本学のそのような環境の中で生まれた異分野連携と新学術領域の創成について、筆者が関わった事例を中心に紹介したいと思います。

総合研究院を舞台とした異分野連携

理科大には異分野連携による新学術が生まれる環境が多く存在します。その象徴的な存在が「研究推進機構 総合研究院」です。総合研究院では、異分野間の連携研究を推進している研究センターと研究部門等が設置されています（2019年1月現在、8研究センター、20研究部門、および2共同利用・共同研究拠点が活動中）。これほど多くの学際的研究組織をもつ私立大学は稀です。センターや部門では、それぞれの研究テーマと目的を共有し合った研究者たちが学部学科の枠を超えて共同研究を展開しています。これらのセンターや部門は決してトップダウンで組織されたものではなく、研究者たちが共同研究を行うために自発的に集まった研究組織です。これだけ多くの研究組織が自発的に生まれる雰囲気が

理科大にはあるのです。

自発的に研究組織が生まれることには、もちろん理由があります。理科大に限らず、研究者たちはそれぞれの問題と日々格闘しており、新しい知識や技術の獲得に対して貪欲です。しかし、研究の世界に「何でも相談所」のような便利な場所はありませんから、問題解決のための新しい知識や技術を習得するために誰にどのように相談していいか分からずにいることが多いです。

総合研究院には、そのような研究者の悩みを解消するために生まれた「懇談会」と呼ばれる「研究者交流の場」があります。懇談会はセンターや部門と違ってテーマやメンバーを固定した組織ではなく、理科大の研究者たちが技術交流やアイデア交換を行う「場」です（研究者同士のお見合いの場みたいなもの?）。ちなみに現在、理科大では私立大学研究ブランディング事業として「材料表面・界面における水の学際研究拠点の形成（代表者：由井宏治）」と「スペース・コロニー拠点の創成（代表者：向井千秋）」が推進されていますが、両者とも「懇談会」から生まれた研究プロジェクトです。2019年1月現在、総合研究院には8つの懇談会が設置されていますが、以下では筆者が座長（お見合いの仲人?）を仰せつかっている「エネルギー創成科学懇談会（通称：エネ懇）」について紹介させていただきます。

エネルギー創成科学懇談会 (通称：エネ懇)

「クリーンかつ安全なエネルギーの創成」は社会的に重要な課題であり、物質・材料科学の研究を行う研究者の大きな責務です。このことに関わる研究は多岐にわたり、理科大

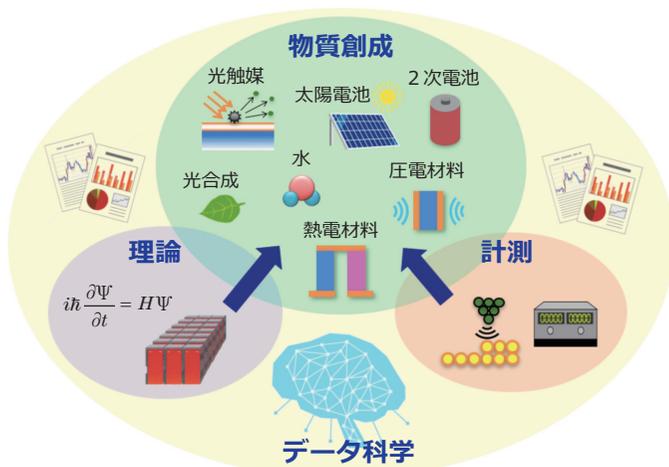


図1 エネ懇が目指す「物質創成・計測・理論+データ科学の総合的協力体制」

ではかねてから多くの研究者がそれぞれ特徴ある研究成果を挙げています。そこでは、個々に固有な先端性と同時に課題間の共通性も認められますが、ご存知の通り「エネルギー問題」や「環境問題」が克服すべき課題は膨大であり、特定の分野の研究だけで解決できるような問題ではありません（当然、科学技術だけで解決できる問題でさえありません）。

このような状況に鑑み、2015年にエネルギー創成科学に関わる学内研究者が自発的に集まり、先端的な研究成果に関する情報の共有を基礎に、物質創成・計測・理論の総合的協力体制による連携研究を促進するインフォーマルな場として「エネ懇」は誕生しました（発足当時は、総合研究院と無関係なインフォーマルな場でした）（図1）。

まず、エネ懇の開催方法（お見合いの仕掛け方）について紹介したいと思います。エネ懇では、学内研究者にアンケートを実施し、それぞれの研究者の興味・所有技術・困っている問題・知りたい知識・身に付けたい技術などの情報を収集し、共通性の高いテーマに関する意見交換会や講習会などを企画します（この作業には、研究・産学連携（URA）センターの担当職員が全面的にサポートしてくれていますが、これも他に例を見ない「理科大なら

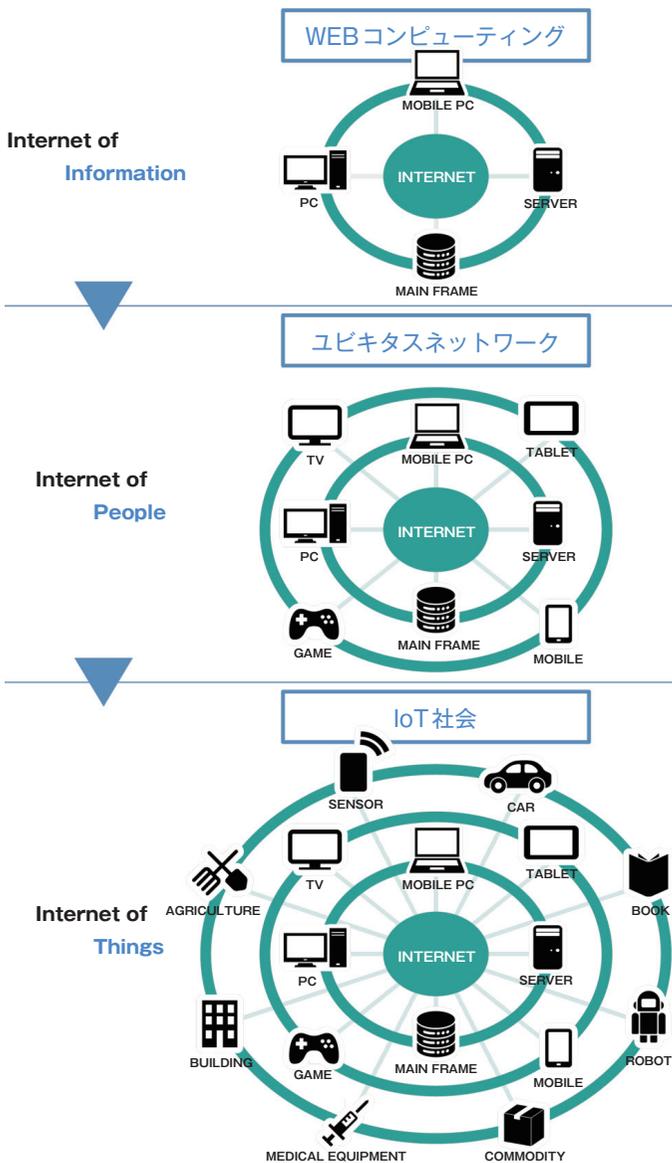


図2 WEB コンピューティングからIoT社会へ

ではの協力体制」です)。意見交換会では、学会や成果報告会と違って、発表者は「上手くいかず困っていること」を忌憚なく発表し、聴衆からのコメントやアドバイスを期待する形をとっています。つまり、「こちらの常識はあちらの非常識、あちらの常識はこちらの非常識」の「こちら」と「あちら」がつながる環境づくりです。

エネ懇は、2016年に総合研究院の正式な場となりましたが、上述の開催方法や活動方針

は今も変わらず、メンバーを固定することなく、エネルギー創成科学に関心をもつ研究者であれば誰でも参加可能な「全学的研究交流の場」として大きな役割を果たしています。実際、エネ懇から多くの共同研究が生まれています。その1つが、前述の私立大学研究ブランディング事業「材料表面・界面における水の学際研究拠点の形成」です。本事業については、本誌2017年10月号で特集を組まさせていただきましたので、本稿では「エネ懇」から生まれた別の学際的研究「マルチモーダル環境発電」について紹介させていただきます。

マルチモーダル環境発電

IoT (Internet of Things) や CPS (Cyber Physical System) といった用語が世間を賑わしていますが、これらは要するに、あらゆるモノにセンサーと無線を付加することでさまざまなデータを自動取得・通信し、医療・健康管理・物流・農業・インフラ監視などに役立つ技術のことです。

図2は、この20年ほどの間のインターネット社会の発展の様子を示したものです。今後のIoT社会の発展においては、2023年までに毎年1兆個（1トリリオン個）程度のセンサーを活用する必要（現在の100倍程度）があり、2033年には45兆個ほどのセンサーが必要という試算もあります。45兆個というと膨大すぎてピンと来ないかもしれませんが、45兆個を世界人口の約70億人で割ると一人当たり年間約6,750個のセンサーを使うことに

相当していることになりますから、とてつもない数であることが想像できるでしょう。

次に、45兆個の電池を交換するためにどの程度の労働量が必要か見積もってみましょう。例えば、作業員が10分に1個の電池を交換できるとすると、8時間労働で48個、1年間230日勤務で一人当たり年間1万1,040個の電池を交換できることになります。したがって、年間45兆個の電池を交換するためには、約40億人の作業員が必要（世界人口の6割弱の人々が電池交換！）ということになります（無謀ですね）。これらのことから分かるように、電池だけに頼っているのは、サステナブル（持続可能）なIoT社会の実現は極めて厳しい状況です。

そこで電池と同じような自立電源として「エネルギーハーベスティング（環境発電）」という新技術に注目が集まっています。環境発電とは、電池の代わりに「身のまわりに存在する未利用のエネルギー（熱や振動など）」を有効利用する技術です。例えば、体温で発電する技術（熱電発電）が発展すれば、体温で動くスマートウォッチなどのウェアラブルデバイスが可能になります。熱電発電以外にも、振動エネルギーを電気エネルギーに変換する「振動発電（圧電発電）」などがあり、それぞれの発電方式を専門とする研究者が、それぞれの分野で材料開発やデバイス開発を行っています。しかし、熱電材料は高インピーダンスのデバイスの駆動に向きで、逆に、圧電材料は低インピーダンスの素子の駆動に向きです。

したがって、熱と振動の両方を電気エネルギーに同時変換（マルチモーダル環境発電）できる材料があれば、これまでの環境発電方式では動作不能であったさまざまなデバイスが動作可能となり、IoT用のセンサーと無線発信の電力を供給する自立電源としての応用

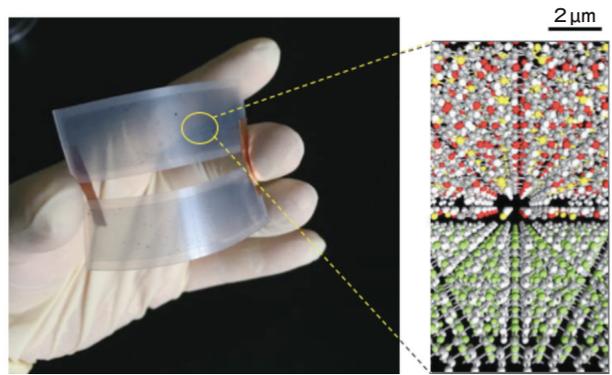


写真1 マルチモーダル環境発電材料のプロトタイプ

も期待されます。

この発想は「エネ懇」での意見交換の中で生まれました。現在、熱電機能と圧電機能の両方を兼ね備えた新材料や新構造を創成し、さまざまな負荷を高効率に駆動させる新技術「マルチモーダル発電」の基盤を構築する新学術研究が「理科大ならではの学際的研究」として進められています。現時点では、マルチモーダル発電を実現したプロトタイプを製作し、その特性評価を行っている段階です（写真1）。今後、このような研究がIoT社会の早期実現に貢献することを期待しています。

異分野連携を支える 理科大ならではの仕組み

理科大では、ボトムアップ的に誕生した共同研究が総合研究院などを舞台として推進されていますが、共同研究が活発化すると研究予算もそれなりに必要になることがあります。しかし、成果が生まれる前の新しい研究プロジェクトのための研究費（競争的資金）を獲得することは簡単ではありません。そのような萌芽的研究を育てるためには学内予算によるサポートが極めて重要です。

理科大には、新学術の芽を育てるための学内予算が準備されています。1つ具体例を紹介します。「エネ懇」から生まれた共同研究の1つに「ナノ空間・表面の水」に関する共

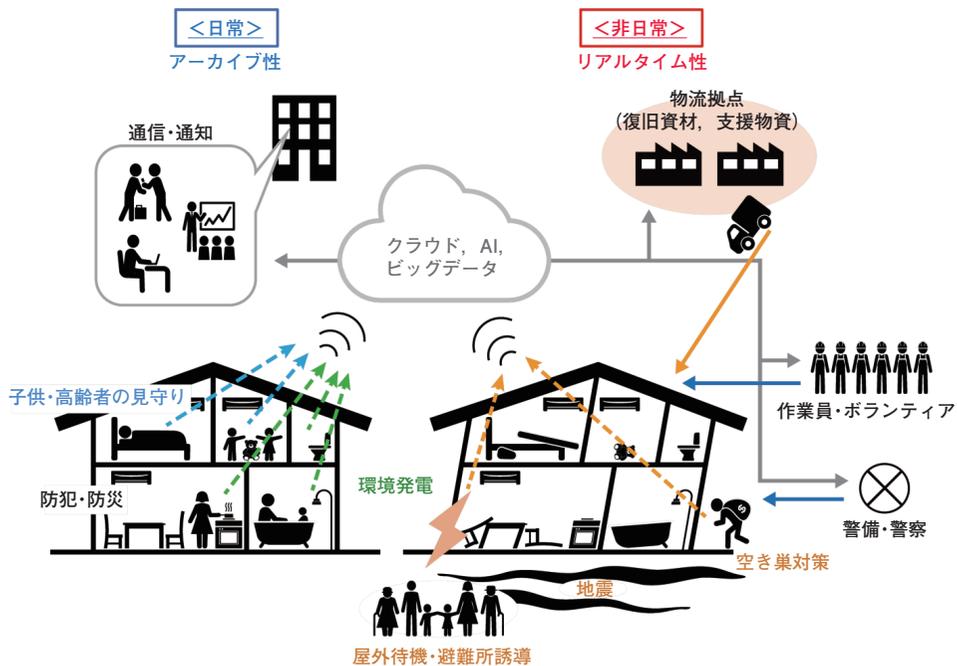


図3 建築IoTのコンセプト

同研究がありますが、この共同研究は前述の私立大学研究ブランディング事業「材料表面・界面における水の学際研究拠点の形成」へと発展していくわけですが、それまでに、戦略研究課題助成金（平成25年度）、特定研究助成金（平成26～27年度）の学内助成のもと基盤を固め、その後、平成28年度に私立大学研究ブランディング事業の採択に至りました。研究者の自由な発想を大学が育ててくれた素晴らしい一例です。

「マルチモーダル環境発電」についても、真に新しい学際的研究ですので、いわゆる「成果」はない状態でしたが、こちらも学内の重点課題特別研究推進費（平成28～29年度）の助成のもと、共同研究活動が推進されました。そこでの成果をもとに「JST さきがけ」や「科研費基盤B」などの外部資金を獲得し、現在では自立した研究活動が展開されています。

何気ない会話から生まれる学際的研究

異分野研究交流は、学生食堂（学食）で食

事をしている最中の何気ない会話から生まれることもあります。物質科学を専門とする筆者にとって「建築分野」はそれまで研究対象として考えたこともなかったのですが、学食で工学部建築学科の伊藤拓海先生と雑談していた際に、思いがけない連携のチャンスに出会いました。以下ではその連携研究について簡単に紹介させていただきます。

建築IoT

地震や老朽化などによって建築物の見えない箇所（壁の中や地面の中）に生じた欠陥は発見が難しく、発見が遅れてしまうと人命に関わる事態を招きかねません。これは建築分野の大問題です。もし、上述の「環境発電」を利用した各種センサーを建築物に仕込むことができれば、欠陥を早期発見（あるいは欠陥が生じる前に警告）に役立て、住環境の安全・安心を確保することが可能になります（図3）。建築分野の課題を物質科学の技術で解決する異分野連携の芽が生まれた瞬間でした。

しかし、この取り組みは、建築と物質科学

の知識と技術だけで解決するような簡単な問題ではありません。環境発電を利用してセンシングした建築データを無線でサーバーに送り、インターネットを介して集中管理し、それらのビッグデータを解析するためには、通信やデータ解析の専門的知識と技術が不可欠です。そこで、本学の工学部の建築学科（伊藤拓海教授）と電気工学科（河原尊之教授、長谷川幹雄教授）と教養学科（筆者）ならびに理学部応用物理学科（中嶋宇史准教授、橋爪洋一郎講師）で「建築IoTグループ」を結成（平成28年秋）し、半年間にわたってブレインストーミングを繰り返し、研究の方向性の共有やお互いの有する技術と知識の確認を行いました。その後、平成29年度から実地研究を開始し、大分県国東市にIoT技術を実装した建屋を建て、建屋の状況をセンシング・無線発信・人工知能（AI）解析に成功した段階です。また、本学工学部では、このような学科横断研究を助成する独自の制度があり、本共同研究もそのサポートのもとで推進してきました。

今後においては、このシステムの最適化と実用化に向けて本格化していく予定です。建築IoTについては、本誌2016年10月号で紹介させていただきましたので、是非そちらをご一読いただけると幸いです。

山本研究室での学際的研究

本稿の最後に、山本研究室での学際的研究の雰囲気をご紹介します。山本研究室は、学部では工学部教養に属しますが、大学院では工学研究科電気工学専攻にも所属しています。また、本学の学際的組織である総合研究院ではナノカーボン研究部門とウォーターフロンティアサイエンス部門に所属しています。そのようなこともあって、山本研究室には電気工学科の学生のみならず、さまざまな学部・学科の学生たちが所属しています。

専門分野の異なる学生たちが1つ屋根の下で研究活動を行っていますので、無闇に専門用語を使った議論は禁物です。筆者も学生たちも、それぞれの分野の専門用語を噛み砕いて仲間たちに伝える必要があります。これは大変なことではありますが、自分自身の理解を深めるだけでなく、「こちらの常識とあちらの非常識、あちらの常識とこちらの非常識」の「こちら」と「あちら」がコミュニケーションするために必要な能力を養う絶好の機会にもなっています。

また、山本研究室は工学部教養の研究室フロアの一角にありますので、理系以外のさまざまな分野（人文科学、社会科学、英文学、言語学など）の方々とコミュニケートする機会にも恵まれており、リベラルアーツを身につける絶好の環境です。このような環境で育った学生たちが、将来、世界を舞台に活躍する姿が楽しみでなりません。

謝辞

筆者が2011年4月に本学工学部に着任する以前から、本学の学際的研究の環境を築き上げてくださった歴代の総研院長である福山秀敏先生、浅島誠先生、高柳英明先生ならびに副院長の本間義和先生には、研究だけでなく多くのことをご指導いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。本稿を執筆するにあたって、図や写真を提供して下さった共同研究者の工学部建築学科の伊藤拓海先生と理学部第一部応用物理学科の中嶋宇史先生にも深く感謝申し上げます。そして、山本研究室で毎日楽しく過ごせるのは、本研究室の笹岡健二助教と高島健吾研究員と元気な学生たちのおかげです。また、研究室秘書の大隅晃枝さんと熊澤雅代さんには、研究・教育以外のことすべてを親身にサポートしていただき、そのおかげで、研究室メンバーは研究・教育に専念できています。この場を借りて御礼申し上げます。