

第1章 科学技術の進歩と社会経済の変化

日進月歩の科学技術により、我々の社会や生活は変化し続けている。しかし、日々新しい技術や製品がもたらされ、豊かさ、便利さを享受することに慣れてしまい、科学技術の進歩やその基となった科学技術研究に思いを馳せることは必ずしも多くないのではないだろうか。

本章では、まず、我が国の科学技術の進歩によって最近10年程度の間にもたらされた生活の変化について、具体的な事例を紹介する。次に、世界や我が国における社会経済の変化を長期的に俯瞰するとともに、社会経済の様々な課題に科学技術がどのように貢献してきたかについて概説する。最後に、近年の科学技術に関連する出来事を整理して紹介する。

第1節 国民生活に変化をもたらした科学技術の進展

近年、LED照明やスマートフォンなどに代表される、様々な科学技術の成果が、我々の生活の中に急速に浸透しているが、我が国で研究開発された科学技術はどのように活用されているのだろうか。本節では、我々の生活に変化を与えた科学技術のうち、幾つかの事例について、科学技術の種が生まれ、実用化に至るまでに費やされた歳月や関係者の努力等の研究開発の経緯を、政府の支援策を交えながら紹介する。

1 光触媒

新築した家の外壁を眺めたとき、窓ガラスの掃除を終えたとき、このきれいな状態がずっと続けばよいのにと願う人は多いだろう。家の外壁や窓ガラス等のコーティングに使われ、汚れを付きにくくするだけでなく、抗菌・防臭までも可能にする光触媒技術について紹介する。

○背景、研究開発の経緯

光触媒とは、光が照射されることにより、それ自身は変化をしないが化学反応を促進する物質を意味する。光触媒の性質を持つ物質はいくつかあるが、中でも、酸化チタンは、光触媒活性が高く、化学的に安定、安価という特徴があり、現在、ほとんどの光触媒関連製品には、酸化チタンが用いられている。

酸化チタンは「酸化分解力」と「超親水性¹」という二つの機能を持っており、現在、空気浄化、水浄化、抗菌、防汚・防曇といった様々な用途で活用されている(第1-1-1図及び図1-1-2図)。身近に活用されている一例として、住宅の外装材が挙げられる。光触媒コーティング外壁材は、光触媒の持つ酸化分解力により汚れや菌などが分解され、また、超親水性により、雨水が外壁に当たると、汚れの下に水が潜り込み、付着した汚れが流れ落とされる「セルフクリーニング効果」が発揮される。この二つの働きにより、カビなどが生えにくく、汚れが付きにくい状態が長く続き、家のメンテナンスにかかるコストを抑えることができる。また、例えば、東京駅の八重洲口に張られている白色のテントも光触媒テントであり、この光触媒の優れた効果で汚れが付きにくくなっている。また、白いテントは光が入るため昼間は照明がいらず、かつ色が白いため日射の

¹ 各材料表面が水にどの程度なじみやすいかは、水滴と物質表面の接触角によって表される。接触角とは、材料表面に滴下した水滴の縁における材料表面と水滴との接線がなす角度である。接触角が大きい性質を撥水性、小さい性質を親水性という。特に、接触角が0度に近い場合、超親水性という。小さな接触角を持つ超親水性物質は、水滴は平らに張り付いたような形となり、水滴にならない。

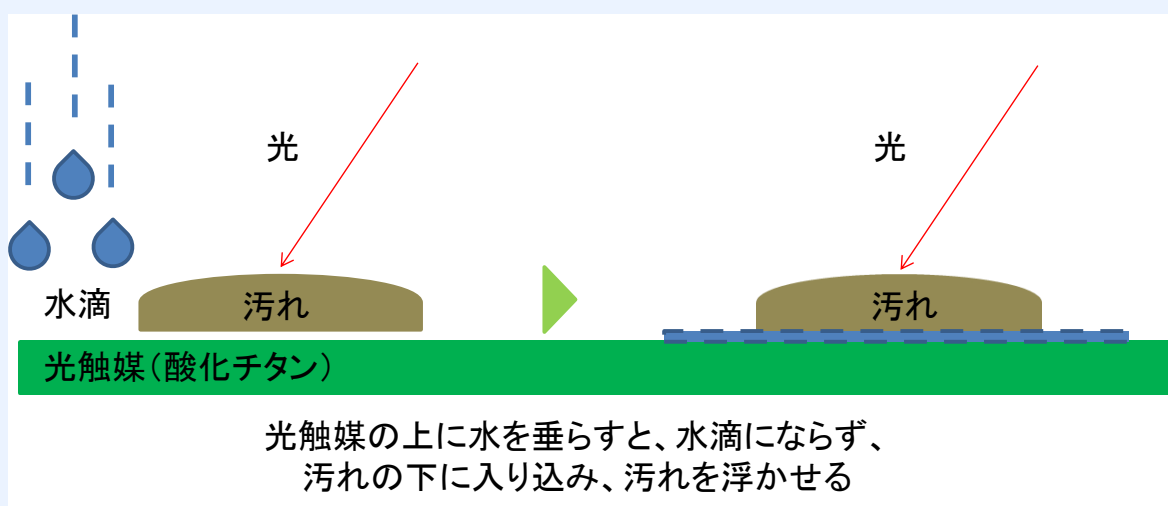
反射率が高く、内部の温度が上がりにくいことから省エネルギーにも役立っている。多岐にわたる産業分野で応用されている光触媒の市場は、今や1,000億円規模とも言われている。

■第1-1-1図／光触媒による酸化分解のメカニズム



資料：文部科学省作成

■第1-1-2図／超親水性機能によるセルフクリーニング効果



資料：文部科学省作成

この光触媒の研究は、昭和42年、東京大学生産技術研究所の教授であった本多健一氏（その後、東京大学名誉教授）の指導の下、大学院生であった藤嶋昭氏（現東京理科大学学長）が、酸化チタンと白金の電極を水に入れて酸化チタンに紫外線を当てたところ、水が分解されて酸素と水素の泡が発生し、酸化チタンに光触媒作用があることを発見したことから始まった。この「本多・藤嶋効果」は、国内の学会で発表されたが、光が水を電気分解するようなエネルギーを持っているとは当時の常識では考えられなかったため、こうした発見は、当初は受け入れられなかった。その後、昭和47年にNature誌にこの発見に関する論文が掲載され、この発見は、世界中の多くの研究者の目にとまることとなった。また、昭和48年の第1次石油危機を受け、石油エネルギーに代わるクリーンエネルギーとして、水素エネルギーが注目され始めたこともあり、光によって水素を発生させるこの研究結果については、国内外を通じて関心が高まっていった。

しかし、その後20年ほど、光触媒研究は実用化がなかなか進まなかった。紫外線による水の分解自体は可能であるものの、実際は、水素と酸素ができて、逆反応が起きて、多くが元の水に戻ってしまっていた。突破口を開いたのが、愛知県岡崎市の分子科学研究所の坂田忠良氏（現東京工業大学名誉教授）と川合知二氏（現大阪大学産業科学研究所特任教授）である。水にアルコールを入れることで、水素と酸素から水ができる逆反応を防ぎ、水素を勢いよく発生させることに成功した。その後、本多・藤嶋効果の応用研究を坂田氏と川合氏と共に行っていた橋本和仁氏（現東京大学大学院工学系研究科教授）が平成元年に講師として、藤嶋氏が所属していた東京大学工学部応用化学科のメンバーとなった。微量でも存在すると困る有害物質を分解する方向に光触媒を利用しようという橋本氏のアイディアもあり、藤嶋氏は、平成2年からTOTO株式会社（当時は東陶機器株式会社。以下、「TOTO」という。）と酸化チタン応用に関する共同研究を始め、実用化の研究を加速させた。トイレに使用するタイルに酸化チタンをコーティングし、光を当てたところ、大腸菌や黄色ブドウ球菌などの微生物を不活性化させることができ、平成5年、TOTOは、酸化チタンをコーティングしたタイルを「光触媒抗菌・防汚・脱臭タイル」と名付けて商品化した。また、応用研究を進めていく中で、酸化チタンでコーティングしたガラスに光をあてると、表面についた水が全面に広がっていく超親水性の機能を発見した。



光触媒の応用分野

資料：経済産業省

○政府の果たした役割

光触媒の開発・普及において、政府が果たした大きな役割として、科学研究費助成事業（以下、「科研費」という。）による基礎研究段階の支援のほか、研究開発成果の国際標準化が挙げられる。光触媒は平成5年から製品の実用化が始まったが、その性能に関する客観的な評価方法がなく、光触媒機能が疑わしい製品も出現し、使用者が適切に製品を選択することが困難な状況となっていた。

経済産業省は、光触媒の性能評価に関する試験方法を統一するため、平成15～18年度、光触媒試験方法の標準化に関する委託事業を実施し、親水性機能の測定法及び酸化分解機能の測定法について、試験データに基づく具体的国際規格原案を取りまとめ、その後、光触媒セルフクリーニング性能評価方法の国際規格が発効した。光触媒の持つセルフクリーニング等の様々な機能についての計測方法や評価方法の国際標準化が進展することに伴い、製品の適切な評価が可能となり、市場展開が容易となった。

また、これまで、酸化チタンは、光子エネルギーが高く、太陽光線のうちわずか3～4%しか含まれていない紫外線だけをエネルギー源として使い、エネルギーが低く、太陽光線の約43%を

占める可視光については使えないため、屋外などの強い紫外線の当たる場所でしか光触媒反応を起こさず、幅広い実用化は極めて困難とされていた。橋本氏を中心とした研究グループは、平成18年度から平成23年度にかけて実施した科学技術振興機構の創造科学技術推進事業¹（ERATO）「橋本光エネルギー変換システムプロジェクト」において、新たな光触媒を作製し、その触媒が有機物の光分解反応において可視光に対して高い応答性を示すことを発見した。平成19年度から平成24年度に実施した新エネルギー・産業技術総合開発機構の「循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト」において、この発見を指針として実用性の高い光触媒の開発に取り組み、大きな成果を上げた。このプロジェクトでは、当初より市場を意識し、可視光による光触媒の活性を従来の10倍以上に高めるという野心的な目標が掲げられ、それを達成した。さらに、この光触媒を適用した製品を病院、空港に設置し実証試験を実施した結果、実用の環境においてもその効果を確認し、製品化・事業化への足掛かりを作った。

○今後の展開等

光触媒は、がんの治療など、医療分野への応用の可能性が模索されている。例えば、がん細胞に酸化チタン粒子を注入し、紫外線を照射することで、がん細胞の増殖を抑制するような実験が行われている。がんの患部にどのように酸化チタン粒子を行きわたらせるか、また、どのように紫外線を照射するかなど解決すべき課題は多いものの、光触媒による治療は、紫外線照射をした時のみ反応を起こすことができ、容易に反応を制御できるなどの利点がある。

そのほかにも、汚染土壌等の浄化を行う研究も精力的に行われており、例えば、植物工場の養液栽培²における成長抑制剤の分解などへの応用が試行されている。これに当たっては、エネルギー密度の低い太陽光を有効に使うため、シート状に加工された光触媒を地面に広げて太陽光を広く面的に集めることにより十分なエネルギーを得るといった、農業的な発想に基づいたシステムの開発が必要であり、実際、これまでに、養液栽培から排出される廃液の浄化・循環利用や、使用済み農薬の浄化、さらに揮発性有機化合物に汚染された土壌の浄化などのための光触媒シートなどが開発され、フィールドテストも行われている。

さらに、新たに開発された可視光を吸収する光触媒により、水の水素、酸素への分解といったもともと本多・藤嶋効果が目指していたエネルギー獲得に向けた研究も進展している。平成24年度から経済産業省に未来開拓研究プロジェクトとして開始した「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発（通称：人工光合成プロジェクト）」においては、光触媒を用いて太陽エネルギーを直接水分解に利用する効率（太陽エネルギー変換効率）を10%まで向上させ、効率的に水から水素を製造させる研究開発を進めている。

光触媒の研究はこれまでほぼ10年ごとに新たな展開が進んできたが、21世紀に入って物質探索という基礎研究のみならず、環境・エネルギー分野への応用研究の面からも大きな展開が進みつつある。今後、様々な分野で光触媒を活用した技術が開発され、人々の生活に良い変化をもたらしていくことが期待されている。

¹ 現在の科学技術振興機構の「戦略的創造研究推進事業 総括実施型研究」。科学技術基本計画の方針等を踏まえ、重点的に研究推進すべき対象として「戦略目標」を定め、「研究領域」を設定。科学技術イノベーションにつながる新技術シーズを創出し、その後の研究開発機関や企業等との共同研究等への展開を通じて、我が国の重要課題の達成に貢献する。

² 土壌ではなく、培養液で作物を栽培する方法

2 スマートフォンとIGZO

○スマートフォンの急激な普及

平成22年末に9.7%であった我が国の世帯におけるスマートフォン保有率は、平成25年末には62.6%となった¹。平成23年3月に発生した東日本大震災直後の新宿駅の様子を伝える映像では、ほとんどの人が従来型の携帯電話を手に家族や知人と連絡を取ろうとする姿が映っていたが、現在、通勤電車の車内で辺りを見渡すと、多くの乗客がスマートフォンを手にしている。新たなICTが人々の生活に浸透するスピードの早さには目を見張るものがある。

スマートフォンの登場が我々の生活に与えた変化は大きく、電話機能はもとより、インターネットへのアクセス機能、情報管理機能、メディアプレーヤー機能、カメラ機能、ゲーム機能、電子書籍機能、ナビゲーション機能、テレビ・ラジオ機能など、従来は個別に機器を用意する必要があった機能全てを、持ち運びのしやすい、軽くて手のひらサイズの端末に納め、いつでもどこに居ても利用することができるようになった。今やその便利さから多くの人々の生活にとって、なくてはならない存在になりつつある。

スマートフォンには、様々な科学技術が使われているが、我が国の科学技術が特に貢献している領域は、リチウムイオン電池、液晶ディスプレイ、メモリー、電子センサ、カメラセンサなどの基幹電子部品であり、これらの技術は、スマートフォンの軽量化、低消費電力化、高精度化、薄型化等に寄与している。

例えばリチウムイオン電池は、研究開発段階から日本人研究者が重要な発見をし、日本の企業が世界で初めて製品化した技術である（コラム1-6参照）。リチウムイオン電池は、エネルギー密度が高いため小型化・高容量化が可能であり、様々なモバイル機器の小型化・軽量化を実現させた技術である。また、LED照明が液晶のバックライトとして使われているのは特集1で述べたとおりであり、さらに、一部のスマートフォンやタブレットPCの液晶ディスプレイや大型の有機EL²テレビに使われ始めたIGZO薄膜トランジスタ（TFT：Thin Film Transistor）も我が国で開発された科学技術である。

○IGZO液晶の特徴

「IGZO」は、インジウム（Indium）、ガリウム（Gallium）、亜鉛（Zinc）、酸素（Oxygen）により構成される酸化物半導体であり、これをTFTに利用した液晶ディスプレイがIGZO液晶と呼ばれ、国内企業によって初めて実用化された。液晶ディスプレイには、電気信号の増幅やスイッチ動作を行うTFTが不可欠であり、液晶ディスプレイ背面の光源から照射された光が、液晶ディスプレイの画素³ごとにTFTによって制御されることで、画像情報として認識できるようになる。

液晶ディスプレイの画像の精細度は、半導体内の電子の動きやすさ（電子移動度）に比例するが、IGZOは、一般の液晶ディスプレイに使われているアモルファスシリコン半導体⁴の約20倍という電子移動度であるため、TFTの小型化が可能となり画像の高精細化が実現できるとともに、画像の大型化も実現できる。

¹ 総務省「平成22、25年通信利用動向調査」

² 有機EL（Electro-Luminescence）とは、電圧をかけることにより特定の有機物が光る現象のことで、これを活用した有機ELディスプレイは、自らは発光しない液晶ディスプレイと異なり、バックライトで照らす必要がない。

³ 画素（ピクセル）とは、ディスプレイの画面に表示する色情報の最小単位を言う。

⁴ 水素を含むシリコンから成る半導体。なお、アモルファスとは「結晶」の対語で、原子の並び方に規則性がなくX線解析で鋭いピークを与えない状態を指す。

IGZOのもう一つの特徴は、TFTに用いた際に、絶縁されている領域に漏れ出る電流（リーク電流）が小さい点である。リーク電流は、誤動作、余計な発熱や電力消費の原因となる。アモルファスシリコン半導体で作製されたTFT（アモルファスシリコン-TFT）の場合は、静止画等の画素の動きがない間（その時間は動画として画素が動いている時間の約1,000倍にも及ぶ）にも電流が流れてしまうため、消費電力が大きくなっていた。一方、IGZO-TFTは、そのリーク電流がアモルファスシリコン-TFTのそれよりも数桁も小さく、電流の供給を止めても一定時間画像を保持できるという特性を持つ。そのため、IGZO-TFTを液晶ディスプレイに用いることで間欠的に電流をオン・オフ制御することが可能となり、消費電力の低減に寄与している。これにより、スマートフォンの充電回数を減らすことが可能となったのである。

このようにIGZO-TFTは、優れた電気特性と作製の容易さを持ち合わせていることから、今後、中小サイズはもとより、アモルファスシリコン-TFTでは対応が困難な4Kや8Kの高精細で大型の液晶ディスプレイやPCモニターなどへの応用が広がるものと思われる。また、平成26年に上市された大型有機ELテレビ（写真）にIGZO-TFTが使われており、ポスト液晶ディスプレイとして注目されている大型の有機ELディスプレイ用にもIGZO-TFTの活用が期待されている。



IGZO-TFTで駆動する55インチ、4Kの
有機ELテレビ
提供：細野研究室

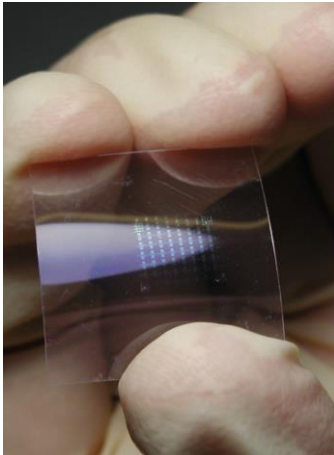
○IGZO液晶の実用化までの道程

IGZOは、昭和60年代初頭に、無機材質研究所（現物質・材料研究機構）の君塚昇氏らによって結晶構造の同定がなされたが、TFT用の半導体として注目し研究を進めたのは、細野秀雄・東京工業大学工業材料研究所助教授（現東京工業大学応用セラミックス研究所教授）らの研究グループであった。平成2年頃から、研究の萌芽期を支えたのは科研費や民間財団の資金である。当時の常識は、「ガラスのように透明なアモルファス物質は電気を通さない」であった。しかし、細野氏は、この常識を覆すべく研究を重ね、平成6年、透明なアモルファス状態でも高い電導性と電子移動度を保っている物質を発見した。翌年の平成7年、神戸で開催された第16回アモルファス半導体国際会議で、電子の伝導路を形成する軌道に関する考察から物質設計の指針を提唱し、元素の周期表を基に、高い電子移動度を持つ透明アモルファス半導体（TAOS: Transparent Amorphous Oxide Semiconductors）ができそうな候補材料の範囲を示す発表を行った。しかし、この発表に対する学会や関係者の反応は冷やかであった。この発表を行った平成7年当時は、テレビはまだブラウン管が主流、液晶ディスプレイの開発も携帯電話やノートパソコン用が主流という時代で、既にアモルファスシリコン半導体が長く用いられて実績を積んでおり、それで十分だったのである。

その後、細野氏は、平成11年10月から平成16年9月まで、科学技術振興機構の創造科学技術推進事業（ERATO）でプロジェクトリーダーを務め、先に提唱したTAOSの設計指針の確かさを実証する研究を行った。この研究の一環として、平成15年、結晶のIGZO-TFTをScience誌に発表し、IGZOが新技術シーズとしてポテンシャルを持っていることを示した。さらに、平成16年10月から平成22年3月まで、ERATOでの研究を具体的な用途に適用し、

実用化に向けた展開を行うことを目的とした戦略的創造事業発展研究¹（SORST）により、基礎的探求研究と実用化を目指した応用研究を同時並行で進めた。この期間に、大型放射光施設 SPring-8²を使った電子状態解析³などにより、TAOSの設計指針の妥当性の裏付けに成功し、TAOSの物質設計の基礎が確立された。

また、細野氏は、「使われてこそ材料」という信念の下、平成16年、TAOSの一つであるIGZOを用いたTF-Tを試作した。アモルファスシリコン半導体を使った従来のTF-Tは、薄膜作製に必要な温度が高く、TF-Tは固いガラスなどの基板の上に作製するが、IGZO-TF-Tは、極めて簡単に室温での薄膜作製が可能なのである。これが意味するところは大きく、基板を薄く



IGZO薄膜トランジスタ

プラスチックの基板に薄膜作製ができるため、指で簡単に曲げることができる。

提供：細野研究室

て曲げられるプラスチックに変えれば、薄くて軽いTF-Tの作製が可能となり、携帯電話などの小型電子機器の軽量化、薄型化に貢献できる。さらには、プロジェクターのスクリーンのように巻き上げたり、柱に巻き付けることができるディスプレイや、テレビ画面を映せるブラインドといった、いわゆるフレキシブル・エレクトロニクスと呼ばれる、従来の常識を覆す製品の実現も夢ではない。しかもIGZOは、アモルファスシリコン半導体の約20倍の電子移動度が得られ、立体感のある3Dテレビや高性能な大画面のディスプレイの実現に求められる性能を有している。これらの研究成果は平成16年、Nature誌に報告され、世界中に大きなインパクトを与えた。フレキシブル・エレクトロニクスや高性能の大型ディスプレイを市場が求め始めたところに、IGZO-TF-Tが登場したのである。

以来、多くの国内外の研究機関や企業がIGZOを用いた高解像度ディスプレイの実用化に向けた研究開発に着手し競争が加速した。細野氏は、SORSTの研究終了報告書の結びにおいて、材料研究は産業化まで短くても10年が必要とよく言われるが、「ERATOからSORST終了まで10年を経て、やっとTAOS-TF-Tのような大きな応用が開けそうな事態となった。ERATOだけで終わっていたら、他のテーマに移っていたような気がする」と振り返り、「1990年代の科研費、財団の研究費で細々やっていた萌芽段階から、ERATOでの成長期、そしてSORSTでの応用をにらんだデバイス試作」と、基礎研究から実用化まで切れ目のない、研究のフェーズに合った長期にわたる支援の重要性を強調している。

こうして、基礎研究が始められてから20年以上の歳月が過ぎた平成24年、IGZO-TF-Tで駆動する高精細ディスプレイが、新型タブレットPCやスマートフォンに搭載され、薄くて軽くて省エネルギーかつ高画質な製品としてようやく世の中の人々の手に渡った。今後は、大型で高性能なディスプレイを搭載したフレキシブル・エレクトロニクスの実用化が期待される。

科学技術振興機構では、IGZOに関し、同機構が持つ基本特許とともに、東京工業大学や共同研究を行った企業が共同出願した、実用化に必要な製造技術などを含む周辺特許をまとめて「特

1 ERATO等の研究課題のうち、優れた研究成果が期待され、かつ発展の見込まれる研究について、当初の研究期間を超えて切れ目なく研究を継続することで、今後の科学技術の鍵となる大きな研究成果又は将来実用化が見込まれる研究成果の創出に資することをねらいとした事業

2 理化学研究所が設置した、国内外の産学官の研究者等に開かれた共同利用施設。世界最高性能の放射光を生み出すことができる。放射光とは、電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、磁石によって進行方向を曲げたときに発生する、細く強力な電磁波のこと

3 光を使って物質内部の電子の様子である電子状態を分析すること。物質の物性は、物質の電子状態の違いによって変わるため、電子状態解析の結果は、その物質が使われるディスプレイなどの性能向上に活用される。

許群」とし、多数の材料メーカーやディスプレイメーカーへ非独占的に実施許諾¹している。大学等の特許は、事業展開を行うに当たり、単独では事業への活用が困難なこともあるため、同機構では特許をパッケージ化して特許群を形成し、事業化につなげやすくしている。

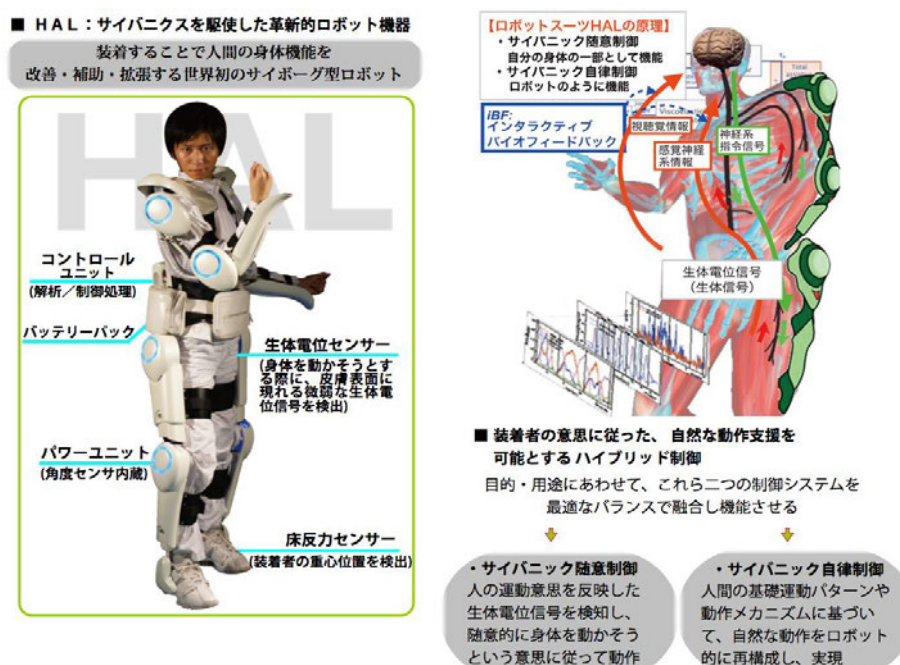
3 医療・福祉用ロボットスーツ

○事例の背景、研究開発の経緯等

我が国では急速に高齢化が進んでおり、平成47年には3人に1人が高齢者となると推定されている²。昨今、このような高齢化の進展を背景に、介護・介助や生活支援を行うロボットの開発が注目されるようになった。

今後、団塊の世代が一挙に高齢者になり、高齢者数が増加するとともに、必要とされる介護職員数も平成37年度には237～249万人程度に上ると推計されている³。こうした社会の到来が予測される中で、介護職員の負担軽減は不可欠であり、介護者がパワーアシストを行う装着型の機器を使用できれば、ベッドと車いすの間などの移乗介助の際の負担を大きく軽減することができる。

山海嘉之・筑波大学大学院システム情報工学研究科教授は、「医学や工学などの科学技術は、人や社会の役に立ってこそ意義がある」との信念を持ち、平成3年頃から基礎研究を開始し、人の身体機能を改善・補助・拡張する世界初のサイボーグ型ロボット「ロボットスーツHAL (Hybrid Assistive Limb)」の研究開発に取り組んできた。ロボットスーツは、下肢の運動機能に障害を有する人に装着し、ロボットの機能により装着者の下肢運動機能を支援する下半身に装着する福祉用のもの、移乗介助のような介助動作において腰部にかかる負担を軽減させるような介護支援用のものなどがある。山海氏は、HALの原理づくりを含めて初期の研究開発段階から身体機能の改善のための新たな治療制御手法の提案と開拓を推進してきた。



サイボーグ型ロボット ロボットスーツHAL
提供：CYBERDYNE Inc. / Prof. Sankai, University of Tsukuba

1 権利者が知的財産の利用を他者に許諾すること
2 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」
3 厚生労働省「医療・介護に係る長期推計」

H A Lは、脳・神経・筋系の機能改善治療のための医療用H A L、自立支援のための福祉用H A L、介護者の腰部負担を軽減させる介護支援用H A L、建設現場や工場での重作業時の腰部負担を軽減させる作業支援用H A L、災害対策用H A Lなど広い分野で開発が進められており、様々な社会課題の解決のために展開され始めている。医療用H A Lは、世界初のロボット治療機器として医療機器C Eマーキングを取得し、欧州全域で自由に流通できるようになった。現在、ドイツでは脊髄損傷や脳卒中などの患者に対する治療費が公的労災保険で全額カバーされることになり、機能改善治療が実施されている。



H A L 医療用下肢タイプ

提供：CYBERDYNE Inc. / Prof. Sankai,
University of Tsukuba

○政府の果たした役割

山海氏が開発したロボットスーツH A Lは、「仮想人体を有するメディカル・インターフェースに関する研究」（平成3年度科研費奨励研究（A））、「歩行障害者のための自律・パワーアシスト複合型外骨格歩行支援システムH A Lの開発」（平成12年度～同基盤研究（B））等の約20年にわたる科研費の下支えや、新エネルギー・産業技術総合開発機構の「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発プロジェクト」等により、実用化が進められたものである。

また、これらの山海氏の研究は、平成21年、新たな知を創造する基礎研究から出口を見据えた研究開発まで、様々な分野及びステージにおける世界のトップを目指した先端的研究を推進するプログラムである内閣府の「最先端研究開発支援プログラム（F I R S T）」に採択された。このプログラムにおいて、中核的なセンターが設置された筑波大学を中心に、大阪大学大学院医学系及び機械工学系、ベンチャー企業であるCYBERDYNE株式会社が連携し、世界を牽引する人・機械・情報系の融合複合新学術領域【サイバニクス】の最先端研究開発拠点を構築した。平成25年度までに、筑波大学において福祉用ロボットスーツを用いた疾患別・症例別の臨床試験が実施され、71の症例データを蓄積した。蓄積したデータを解析した結果、約9割の患者の歩行が改善され、ここに至る様々な知見に基づき、スウェーデンのカロリンスカ医科大学、ドイツのベルクマンズハイル大学病院での臨床研究評価、日本の国立病院機構新潟病院での医師主導による治験が進められ、世界展開へ向けて第一歩が踏み出されている。

さらに、新エネルギー・産業技術総合開発機構の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」で得られたH A L等の生活支援ロボットの安全に関する分析データを活用し、ロボットスーツH A L福祉用は、平成25年2月、生活支援ロボットとして世界初の国際安全規格I S O / D I S 13482認証を取得した。生活支援ロボットは人との接触度が高くなるため、本格的な導入に向けては、対人安全の技術や基準・ルール整備等が求められている。ロボットスーツH A Lが国際安全規格認証を取得したことは、当該製品の安全性が国際的に認められたことを意味し、当該製品を世界中に広く普及させるための足掛かりになると考えられる。

○今後の展開等

現時点では、日本の「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」（昭和35年法律第145号）では、H A Lは医療機器としては未承認である。一方で、医療現場からは、H A Lを疾病の治療・予防の目的で医療機器として使用したいとの声が挙がっている。既

に、平成25年3月から、希少性難治性の神経・筋難病疾患患者を対象に医療用HALを装着することによる歩行改善の効果を調査する医師主導治験が実施されており、平成26年8月に治験が終了した。治験調整医師がまとめた治験総括報告書の結果を受けて、医薬品医療機器総合機構に対して平成27年3月に医療機器の承認申請が行われた。これに先立って平成26年12月には、HAL医療用下肢タイプが、厚生労働省より希少疾病用医療機器として指定され、他の医療機器に優先して承認審査（優先審査）されることとなり、平成27年度中には医療機器の承認が得られることが期待される。

また、ロボットスーツHALを開発するCYBERDYNE株式会社は平成26年9月、人間の作業時の腰部の負担をモーターの補助によって軽減する作業支援用HALのレンタル提供を開始した。HALは当初から医療用途を目指して研究開発されてきており、作業補助向けに展開されるのは初めてである。平成26年11月から株式会社大林組が、重量物運搬が多く中腰作業になることの多い実際の建設現場において、作業支援用HALを導入し、現場実証を行っている。



ロボットスーツを着用し資材を持ち上げる作業
提供：株式会社大林組

今後は、様々な分野で活躍されると期待されており、特に、再生医療とHALによる複合医療や医薬品とHALによる複合療法など、当該革新的ロボット技術と異分野の科学技術との連携・融合によってイノベティブな新分野開拓が加速していくことが期待されている。

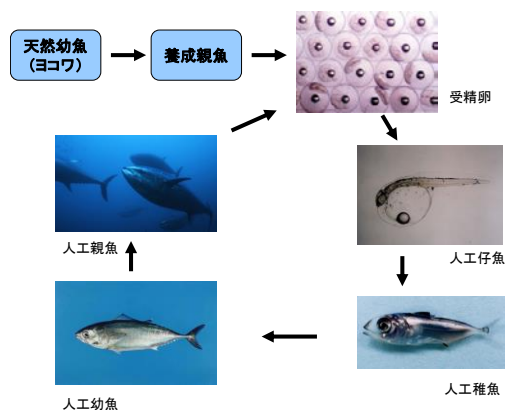
4 世界初のクロマグロの完全養殖

○身近で食べられる完全養殖マグロとマグロの国際情勢

平成27年2月、大手回転すしチェーンのコンベアの上で、完全養殖技術¹によって生産されたクロマグロが回り始めた。このクロマグロの生産には、近畿大学が関わっている²。近畿大学が生産に関わったクロマグロが、大手外食チェーンで採用されたことで、より消費者に身近なものとなったことがメディアでも大きく報道された。

近畿大学は、平成14年に世界で初めてクロマグロの完全養殖に成功した。平成16年には、同大学で養殖されたクロマグロが百貨店等へ初出荷された。同大学及び同大学発のベンチャー企業が一貫して卵から成育したものは、「近大マグロ」と称して販売されてきている。

また、同大学では平成19年から、完全養殖によるクロマグロ人工種苗の量産、市場への安定供



完全養殖のサイクル
提供：近畿大学

1 人工ふ化した仔魚を親魚まで育て、その親魚から採卵し、人工ふ化させて次の世代を生み出していく技術
2 このクロマグロは、近畿大学が生産・出荷した人工種苗を養殖業者が購入して養殖したものである。

給を進めるため、民間の水産会社や養殖業者向けに、人工的に生産した稚魚の販売を開始している。出荷先企業の生けすで養殖され成魚となった近大産まれのクロマグロは、各企業の独自のブランド名で市場に供給されている。

平成26年11月には、平成22年から近畿大学と提携している民間通商企業が、同大学産まれの稚魚から、同大学の技術指導を受けて養殖したクロマグロが、同大学から「近大マグロ」として初めて認定されたことにより、「近大マグロ」の供給量はそれまでの年間2,000尾から年間3,000尾に増えた。同大学では、平成32年までに供給量を現在の2倍の年間6,000尾（成魚の出荷量として240トン¹）に増やすことを目指している。

マグロは、我が国で古くから食され、漁獲の対象となってきたが、近年、世界的な日本食ブームなどを背景としたマグロ需要の伸びが認められ、世界全体のマグロ類²の漁獲量が増大し、資源保護の観点からマグロ漁の規制が行われている。また、クロマグロは、平成26年11月、国際自然保護連合によって絶滅危惧種に指定された。

我が国へは、平成20年現在、世界のマグロ類漁獲量のうち約4分の1が供給されている³。特に、クロマグロについては、世界の漁獲・養殖生産量のうち約8割が供給されている⁴。

そのような状況において、同大学発の完全養殖技術は、クロマグロの保護に貢献するものとして期待されている。現在、同大学を中心に完全養殖のクロマグロの増産に取り組んでいるところであるが、今後、本格的な商業化に向けて安定的な採卵や生産コスト等の残された課題を解決していくことが必要である。なお、政府は、「科学技術イノベーション総合戦略2014」⁵において、大規模な完全養殖システムの開発等を推進し、2020年までにクロマグロ等の完全養殖を商業化することを目標に掲げている。

○研究開発の経緯等

クロマグロの完全養殖に向けた研究開発は、クロマグロ幼魚を育てる技術の確立や人工催熟・ふ化による仔稚魚生産と育成技術の確立を目標として、農林水産省が「有用魚類大規模養殖実験事業」の中で「マグロ類養殖技術開発試験」（昭和45～47年）を開始したことが端緒であった。このプロジェクトの目的は、捕獲したクロマグロの天然幼魚を養殖し自然産卵させるものであり、近畿大学をはじめ五つの研究機関が参画して研究開発を開始したが、クロマグロの養殖は非常に困難なものであり、当時、この目的を果たすことはできなかった。

事業終了後は近畿大学白浜臨海研究所（現近畿大学水産研究所）において、原田輝雄所長（当時）を中心としたグループが研究を進め、同大学は、捕獲方法の工夫や生けすを大きくすることによって、皮膚が弱く取扱いの難しい天然幼魚の生残率を向上させたり、生けすの素材の変更等により台風からの被害を低減させたりすることで、親魚までの飼育に成功した。

その後、昭和54年に、養殖した親魚による自然産卵に成功した。しかしながら、クロマグロの生態について不明点が多く、その取扱いが難しかったことから、仔魚はふ化後47日目までに死滅した。

昭和58年以降、親魚が11年間産卵せず、飼育技術の研究ができなかったが、平成6年によろしく産卵が認められた。

¹ 成魚1尾当たりの重量を40kgとして算出

² クロマグロ、ミナミマグロ、メバチ、キハダ、ビンナガ

³ 平成22年度水産白書

⁴ 平成21年度水産白書

⁵ 平成26年6月24日閣議決定

産まれた仔魚を成魚まで生育するには、三つの大きな壁があった。一つめは、ふ化後4～7日頃に頻発していた、仔魚が表面張力で水面に押し出されて呼吸困難になり死に至る現象である浮上死や、水槽底に接触することで微生物の攻撃により死に至る現象である沈降死である。これには、エアレーターで水を循環させたり、水面に油分を滴下したりといった対策を行ったことが有効であった。二つめは、ふ化後10～20日程度で、共食いによって個体数が大幅に減少することである。これについては、稚魚が空腹状態にならないよう、イシダイ等のふ化仔魚を餌として与えることで解決した。

こうして様々な対策を講じたことにより、水槽から沖の生けすに稚魚を移すことができるまで生育させたものの、その後、ふ化後246日目までに再び死滅してしまった。三つめの壁である衝突死が死滅の原因であった。

衝突死については、クロマグロの諸器官の発達過程の調査により、稚魚から若魚に至る段階において推進力に応じた遊泳制御能力（旋回や停止など）が備わっていない時期があること、また、夜間に車や漁船の光でパニックを起こすことが判明したため、生けすを大きくし、夜間生けすに電気を照らし続けるという対策をとった。

これらの努力により、稚魚や若魚の生残率は向上した。平成13年には、平成7～8年生まれの成魚が52尾、親魚間近まで生育しており、そのほかにも、成魚となった個体が約400尾生育していた。ところが、この年日本列島を直撃した台風11号により発生した濁水に起因する窒息死等ではほとんどの個体が死んでしまうという事態に陥った。しかし、これを乗り越えて親魚まで生育した20尾の個体群から、平成14年、ついに産卵が認められた。産まれた卵は、その後順調にふ化し、近畿大学は、同年、研究の開始から32年の歳月を経て完全養殖を成功させることができた。

クロマグロの各発達段階における課題に対して、同大学は徹底した生態の観察等の上で対策を講じ、完全養殖を可能としたが、同大学は、その後もクロマグロの量産と安定生産のため、浮上死対策の改良や人工配合飼料の開発など、更なる研究開発を進めている。

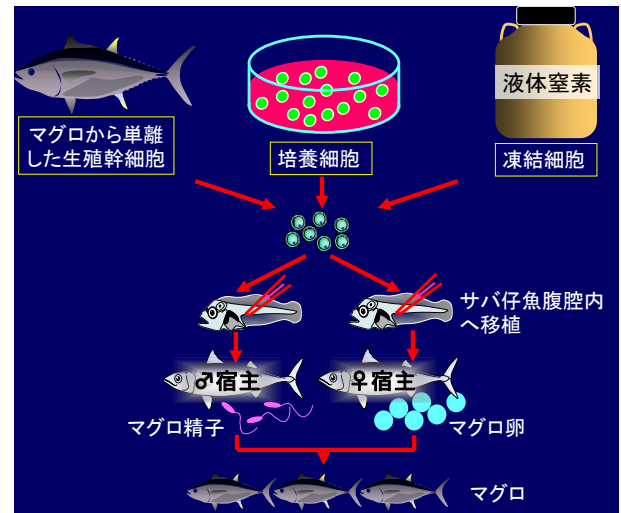
また、クロマグロは摂餌量が多く、魚類の中でも水銀が蓄積しやすいという特徴があるが、同大学では、水銀の蓄積の原因となるカツオ等の大型の生き餌を用いないことにより、クロマグロに含まれる水銀量を低減させ、食品としての安全性を向上させることにも取り組んでいる。

一方、農林水産省は、安定的かつ効率的に良質な卵を採卵できる親魚を確保するため、平成23年度から「クロマグロ養殖最適親魚選抜・確保技術開発事業」を実施しており、この事業により、水産総合研究センターと、近畿大学等とが連携し、早期成熟、高成長、耐病性等などの優良な形質を有する個体を選別し親魚群を形成するための技術開発を進めている。

また、農林水産省においては、捕獲した天然魚を成魚まで養成するという方法がほとんどである我が国のクロマグロ養殖の現状を改善するべく、低コストなクロマグロの養殖用人工稚魚を安定的かつ大量に生産・供給する技術の開発を目指して、平成24年度から「天然資源に依存しない持続的な養殖生産技術の開発」も進めている。これは、水温等の変動による影響を受けやすい海面生けすではなく、環境の制御が可能な大型陸上水槽を用いることによって安定的な産卵等を目指したものであり、平成26年5月には世界で初めて採卵を目的とした大型陸上水槽内でのクロマグロの産卵を確認し、受精卵の確保に成功した。

そのほかにも、マグロ類の親魚が大型であることが、その育成管理及び人工種苗生産に多大な労力やコスト、スペース等を必要とする要因であることから、文部科学省は「海洋生物資源確保技術高度化」事業として、東京海洋大学において、サバなどの小型の近縁種を代理の親魚としてマグロ受精卵を生産する技術の開発を行っている。この技術が実用化できれば、小型の陸上水槽内で、より低労力・低コストで安定的にマグロの受精卵を確保できるようになる。

今後、これらの研究開発により、クロマグロの完全養殖における課題を解決してクロマグロの生産性が上がり、クロマグロの安定供給、安全性の確保につながることが期待されている。また、人工的に生産された完全養殖のクロマグロが普及すれば、資源量が減少している天然のクロマグロの保護にもつながることから、これらの研究開発を進める意義は大きい。



クロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発
(海洋生物資源確保技術高度化事業)

提供：東京海洋大学

5 ヒト i P S 細胞による再生医療と創薬

○ i P S 細胞による再生医療の第一歩

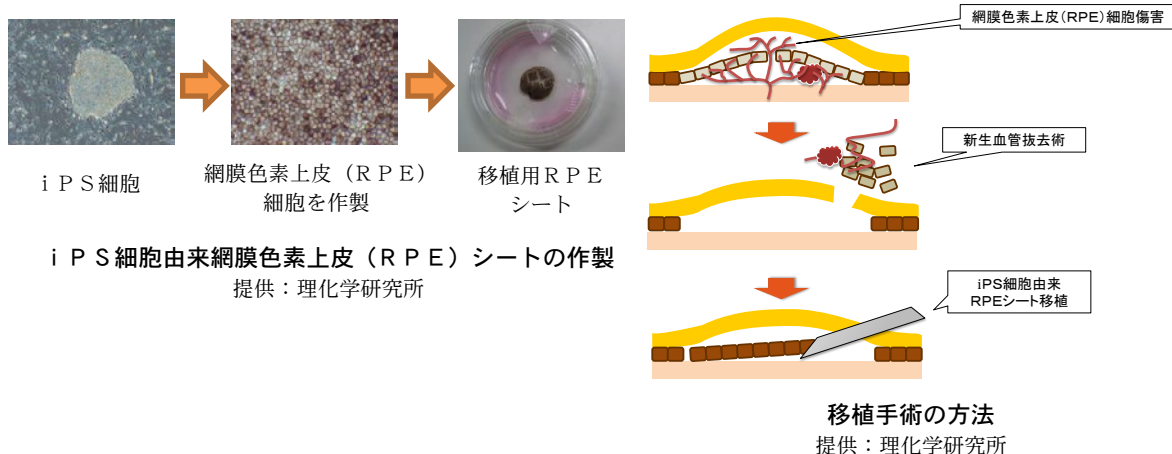
平成26年9月12日、i P S 細胞（人工多能性幹細胞：induced pluripotent stem cells）を使った再生医療の第一歩が踏み出された。

神戸市の公益財団法人先端医療振興財団先端医療センター病院で、¹ 滲出型加齢黄斑変性（加齢により網膜の中心部である黄斑に障害が生じ、見ようとするところが見えにくくなり、症状が進むと失明することもある目の難病）の患者に、自身の皮膚細胞から作成した i P S 細胞を、目の細胞（網膜色素上皮シート）に分化させて移植するという手術が行われたのである。本研究は、科学技術振興機構

が実施している「再生医療実現拠点ネットワークプログラム」¹の成果を基に、理化学研究所多細胞システム形成研究センターの高橋政代プロジェクトリーダーらが、同病院と共に実施している臨床研究の一環として行ったものである。本臨床研究の主な目的は安全性の確認であり、大幅な視力改善などの効果を期待するものではないが、世界で初めて i P S 細胞由来の細胞を患者の体内に移植したものであるとして、注目されている。

i P S 細胞とは、京都大学の山中伸弥教授らが作製法を見いだした、体の様々な組織や臓器の細胞に分化し得る能力を人工的に誘導した幹細胞である。山中氏はこの功績により、平成24年10月8日に「成熟（分化）した細胞が初期化され多能性をもつことの発見」として、ノーベル生理学・医学賞を受賞した。

山中氏らは、皮膚の線維芽細胞に4つの遺伝子を導入する事により i P S 細胞を作製することに成功し、平成18年にマウスの i P S 細胞の樹立を、平成19年にヒトの i P S 細胞の樹立を報告した。



○ i P S 細胞に寄せられる期待

i P S 細胞を用いた技術の実用化に寄せられる期待は、大きく二つある。

一つ目の期待として、再生医療への応用がある。再生医療とは、病気やけがで失われたり損傷したりした臓器や組織に、体外で培養した細胞等を移植し、失われた機能を補うものである。現在、上述の網膜色素上皮シートの移植のほかにも、臨床応用・実用化を見据えた研究が数多く実施されている。

例えば、平成24年5月、澤芳樹・大阪大学大学院医学系研究科教授らのグループは、ヒトの i P S 細胞から作製したシート状の心臓組織を心筋梗塞のラットに移植し、心臓機能を改善させることに成功した。さらに、同教授らは、平成27年1月、i P S 細胞から作った心筋細胞をラットの心臓に移植し、大型放射光施設 (S P r i n g - 8) を利用して観察し、移植した心筋細胞が心臓の心筋細胞と一体化して動いていることを世界で初めて確認した。また、山下潤・京都大学

¹ i P S 細胞等を使った再生医療について、オールジャパン体制で研究開発を推進し、我が国発の i P S 細胞技術を世界に先駆けて臨床応用することを目的とした事業

iPS細胞研究所教授らは、心筋に加えて血管の細胞もヒトiPS細胞から誘導して、心臓組織を模したシートを作製し、これを移植した心筋梗塞のラットにおいて、心臓機能の改善と移植細胞の高効率での残存を認めた。これらの研究は、今後、心不全の治療につながることが期待されている。

ほかにも、がん、脳梗塞、糖尿病、変形性膝関節症、脊髄損傷など、我が国において患者が多い疾患・障害や、パーキンソン病、筋ジストロフィー、炎症性腸疾患（潰瘍性大腸炎、クローン病）といった難病について、iPS細胞を再生医療に役立てるための研究が進んでいる。

二つ目の期待としては、iPS細胞の活用により、疾病の発症の仕組みに関する研究や、新しい薬の開発速度が加速するということが挙げられる。疾病の研究のためであっても、実際に患者の病変組織などを採って研究することは難しい。患者の皮膚や血液などから採った細胞からiPS細胞を作製し、病気の性質を持った細胞や組織に分化させ、それらを使って病気が起こる仕組みを解明したり、薬の候補物質の効果や安全性を確認したりすることができる。

また、こうした細胞や組織を使って、既に別の疾病の薬として安全性が確認され市場に流通しているものの中から、目的の疾患に効果のある薬を探し出すことも可能である。例えば、妻木範行・京都大学iPS細胞研究所教授らは、低身長を来す難病である軟骨無形成症の患者由来のiPS細胞を使って、既に流通している高コレステロール血症治療薬がこの難病にも有効である可能性を見いだした。

さらに、薬の候補物質が不整脈を引き起こすことがないかなどの安全性評価のため、京都大学の山下氏らは民間企業と共同で、新エネルギー・産業技術総合開発機構の支援を受けながら心筋細胞を大量培養する技術を開発している。ヒトiPS細胞から作った心筋細胞を用いて安全性を評価することにより、新薬開発の加速と低廉化に貢献することが期待されている。

○ iPS細胞の研究を支える政府支援

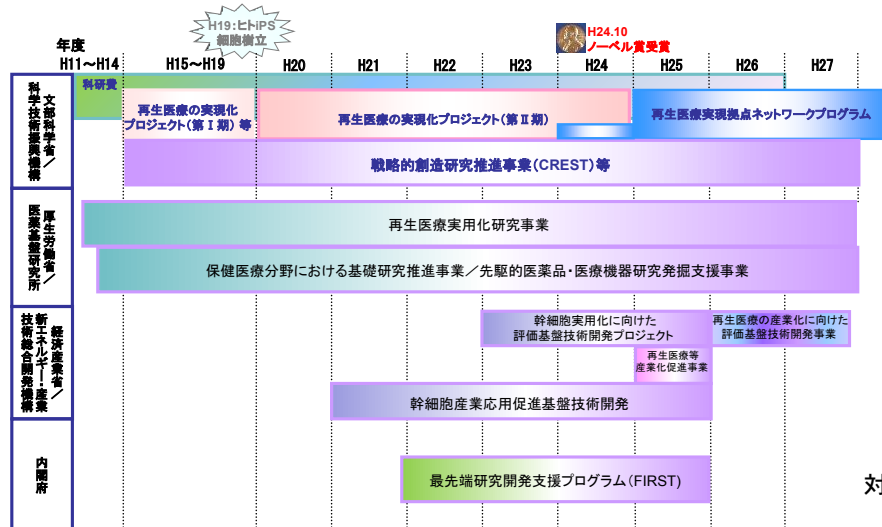
山中伸弥・京都大学iPS細胞研究所所長は、平成11年、奈良先端科学技術大学院大学の助教授として研究室を主宰した。山中氏が同大学で研究室を主宰する前年の平成10年、米国でヒトES細胞¹が樹立されたが、ES細胞は一人の人間に成長する可能性のある胚を壊さなければならないという倫理的な壁に突き当たる。そこで、山中氏は、体細胞からES細胞のような多能性幹細胞を作ることを研究室の目標に掲げ、研究に取り組んだ。この助教授時代に受けた科研費による研究成果が、iPS細胞樹立の基盤となった。山中氏は、ノーベル賞受賞後の記者会見で、「研究者は役に立つかわからないものを研究すべきだし、科研費のように海のものとも山のものともつかない研究を支援する仕組みが、国全体の技術力を維持する上で非常に大切」と語った。

その後、山中氏らは、平成15年からの科学技術振興機構が実施する戦略的創造研究推進事業（以下、「戦略創造事業」という。）のCREST²事業及び文部科学省が実施する再生医療の実現化プロジェクト（第Ⅰ期）や、医薬基盤研究所の基礎研究推進事業等により、平成19年11月、ヒトのiPS細胞の樹立に成功した。山中氏は、「当時iPS細胞は実現可能性が低かったにもかかわらずCRESTに採択され、CRESTは科研費による基礎研究とその後の大規模な国家プロジェクトとの橋渡しとして極めて有効だった。科研費で得られたシーズ（種）は、国家プロジェクトに採用されなければ中断してしまう」と振り返る。

¹ 胚性幹細胞（Embryonic Stem cell）。胚の中にある細胞を取り出して培養した、あらゆる細胞に分化できる能力を持つ人工の幹細胞

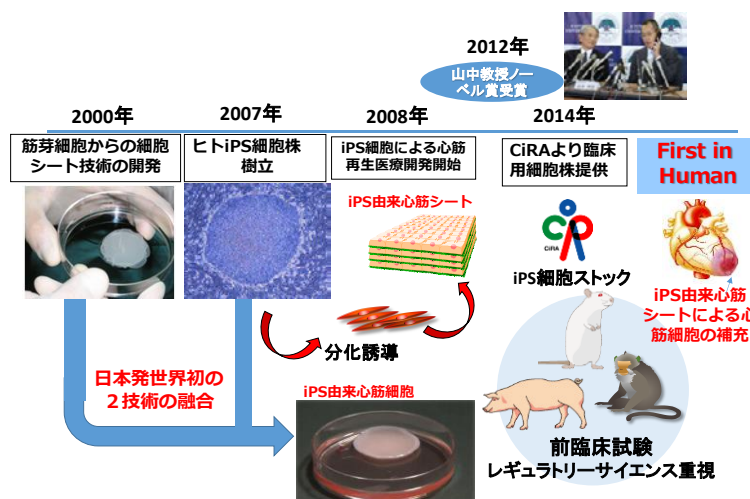
² Core Research for Evolutionary Science and Technologyの略称。国が定める戦略目標の達成に向けて、イノベーション志向の戦略的な基礎研究を推進し、革新的技術シーズを創出するためのチーム型研究

i P S細胞の樹立後、政府はオールジャパン体制での国家プロジェクトを次々と立ち上げ、基礎研究から臨床応用まで、長期間にわたる支援を継続している。



i P S細胞等幹細胞研究に対する主な国の支援について
資料：文部科学省

一方で、ヒト i P S細胞の樹立からわずか7年で、先述の網膜色素上皮シートのヒトへの移植が行われ、非常に短期間で臨床応用が可能となった背景には、E S細胞やその他の幹細胞等に関する長期にわたる研究開発によって得られた、細胞の分離・精製、培養、特定の細胞への分化誘導等の技術が i P S細胞にも応用できたからであることを忘れてはならない。例えば、大阪大学の澤氏らは、平成12年に、体性幹細胞（コラム1-1参照）から心筋細胞への分化誘導等に関する研究を開始した。そして、骨格筋の筋芽¹細胞から細胞シートを作る研究を開始し、それを心臓へ移植するという臨床応用を行ってきた。先述の i P S細胞からの心筋シート作製は、その技術を活用したものである。骨格筋の細胞を使った研究の開始から数えれば、i P S細胞由来の心筋シートのヒトへの臨床応用開始まで、約20年を経ることとなる見込みである。



i P S細胞由来心筋細胞シートによる心筋再生治療開発
提供：大阪大学 澤芳樹教授

○普及を見据えた取組と課題

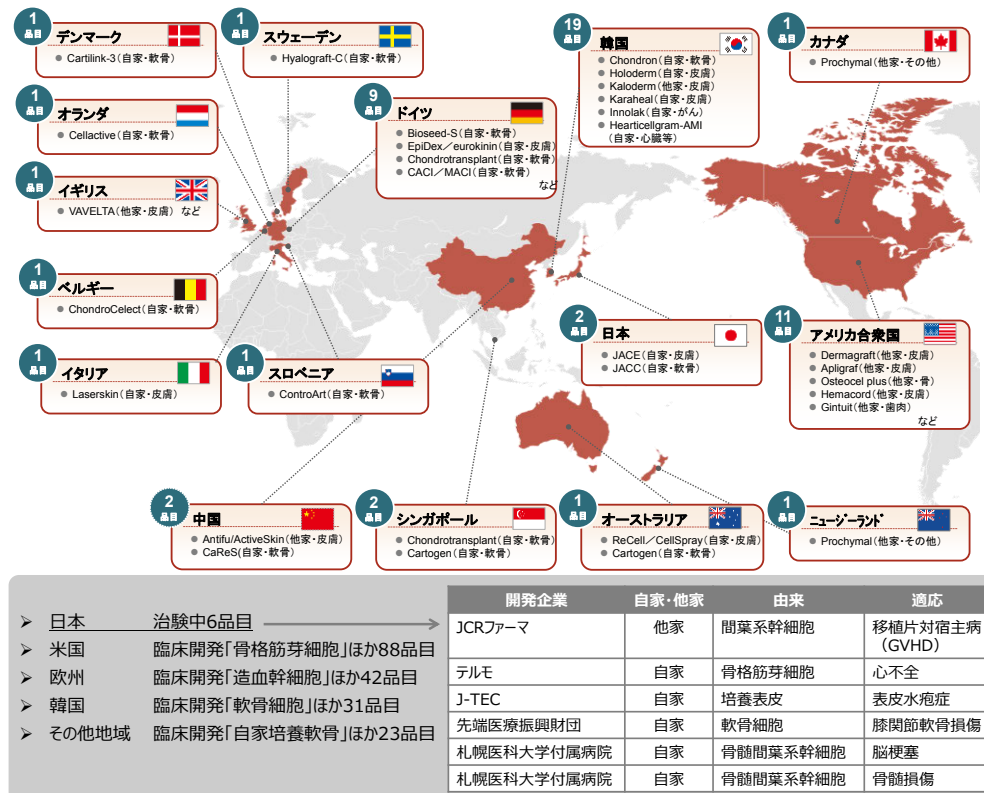
再生医療において、患者本人由来の i P S細胞を使って治療する方法は、拒絶反応のない治療が行えるというメリットがあるが、i P S細胞樹立から目的の細胞へ分化するまでのコストが高く、いわばオーダーメイドの高級車である。また、救急救命医療や、脊髄損傷（損傷から9日程

¹ 体性幹細胞の一種である骨格筋幹細胞から、骨格筋の筋繊維に分化する途中段階の細胞

度での移植が適切との報告がある）の場合など、iPS細胞の移植が必要となってからその本人の細胞を採取し培養しては適切なタイミングで移植を行えないという課題もある。このため、様々なタイプ（免疫型）のヒトiPS細胞を保管しておく「再生医療用iPS細胞ストック」を構築し、多くの患者に対していつでも素早くセミオーダーメイドの治療を行うことを目指し、文部科学省、厚生労働省、経済産業省が連携しながら研究や検討を進めている。

また、我が国は再生医療に関する研究では世界トップレベルにあるが、欧米諸国に比べて実用化されている製品が少ない状況にある。厚生労働省は、「日本再興戦略」¹における「再生医療の実用化を促進するための環境整備を図る」との方針を受け、再生医療の実用化を促進するための仕組みを検討し、平成25年11月に制度的枠組み²が構築され、平成26年11月、施行された。これにより、提供する再生医療等のリスクに応じた審査手続を定めるとともに、細胞の培養・加工について医療機関から外部企業へ委託することを可能とした。また、個人差のある人の細胞を使うため品質が不均一になるという再生医療等製品の特性を踏まえ、一定数の限られた症例を基に有効性が推定され、安全性が確認されれば、条件・期限を付して特別に早期に承認し、市販後も有効性・安全性の検証を継続して最終的な承認を行うという仕組みを構築した。

今後iPS細胞の産業化を進める上で、欠かせない課題がある。それは、iPS細胞が他の細胞に分化できる能力を獲得するメカニズムを更に研究し、品質及び安全性が高いiPS細胞の作製方法を確認すること、さらに、腫瘍化のリスクなどに関する安全性評価の基準を定めることである。遺伝子は通常の加齢によっても変異するが、正常な細胞増殖に影響しないものがほとんどであり、iPS細胞での変異がどこまで許容されるのかという物差しを作ることが求められる。



世界の市場に流通する再生医療品

資料：経済産業省「原料細胞の入手等に関する調査報告書」

1 平成25年6月14日閣議決定

2 「再生医療等の安全性の確保等に関する法律」（平成25年11月27日法律第85号）及び「薬事法等の一部を改正する法律」（平成25年11月27日法律第84号）

さらに、iPS細胞を含めた再生医療の効果とリスクに関する国民の理解醸成、細胞を提供した人の個人情報（遺伝情報）の保護、倫理的問題に関する指針作りなど、研究開発以外での対応も求められている。

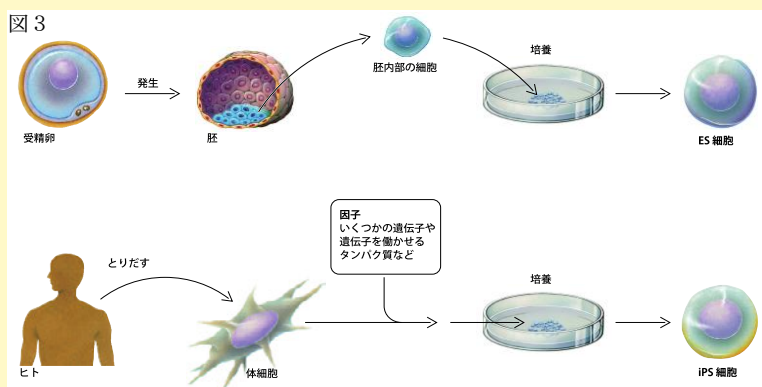
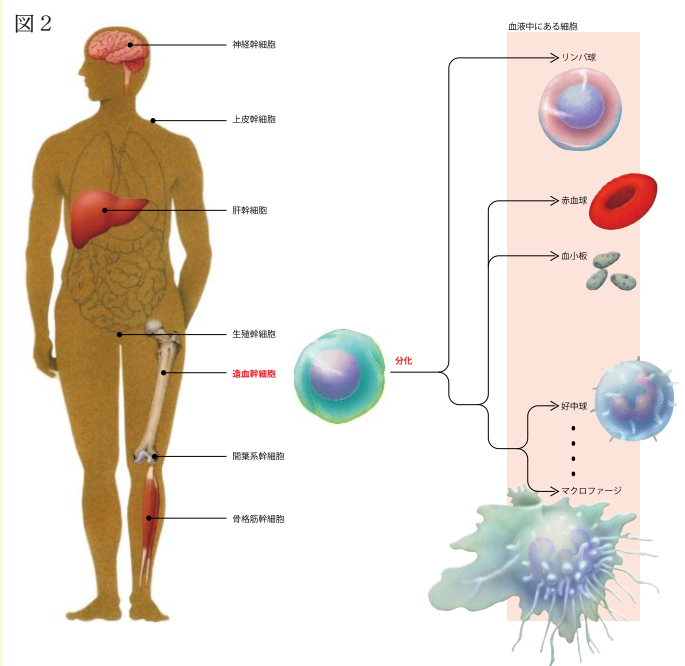
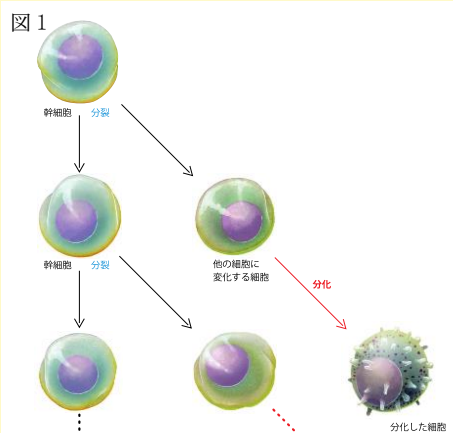
コラム 1-1

幹細胞とは何か

幹細胞の一番の特徴は、他の種類の細胞を生み出すことができるということである。受精卵は分裂により体のあらゆる細胞を生み出すが、分裂して増えていく過程でいろいろな細胞に分化し、出生時にはほとんどの細胞は分化を終え、特定の機能を持って働くようになる（図1）。

しかし、体内の細胞の中には、幹細胞として働き続けているものがある。これらは「体性幹細胞」と呼ばれ、体の中の決まった場所^{まっしやう}で限られた種類の他の細胞を生み出す。例えば、骨髓や末梢^{まっしやう}血にある「造血幹細胞」は、赤血球や白血球など10種類程の血液細胞を作る。ほかにも肝臓の細胞を作る肝臓幹細胞、神経細胞を作る神経幹細胞などがある（図2）。

上記は自然に体内に存在する幹細胞であるが、一方、人工的に作られる幹細胞もある。代表的なものは、ES細胞（胚性幹細胞）、iPS細胞（人工多能性幹細胞）である。これらは、体の中のどんな細胞にも分化できる能力を持っているため、「多能性幹細胞」と呼ばれている。ES細胞は、胚から作られ、iPS細胞は体細胞から作られる（図3）。この二つの細胞は、元になる細胞が違うことを除けば性質が近く、より古くから研究されているES細胞での研究データは、iPS細胞にも応用できる可能性がある。



提供：京都大学 iPS 細胞研究所
イラスト：奈良島知行

6 緊急地震速報

「安全そうな場所に走って行った。速報前にいた場所には老朽化した煙突が倒れていた」

「エレベータへの乗車を見合わせた」

「料理の火を消すことができた」

「大事な薬を手元にまとめることができた」

「夜間目が覚めて、停電になる前に、懐中電灯を手に取り子供を抱くことができた」

「社内のオートロック扉を開け、避難路を確保できた」

これらは、テレビや携帯電話から流れる緊急地震速報を受けた人々がとった行動の例である¹。

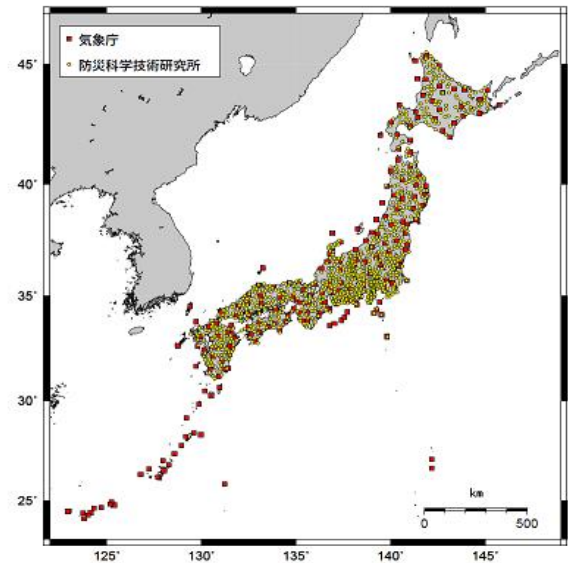
我が国は、世界で発生している大地震の約2割²を占める地震の多発国であることから、様々な地震対策に関わる研究開発が進められ、平成19年（2007年）10月、気象庁による「緊急地震速報」の運用が開始された。

平成25年4月1日現在、緊急地震速報は、全国約1,020か所³に上る地震観測施設を利用して運用がなされている。

○緊急地震速報の仕組み

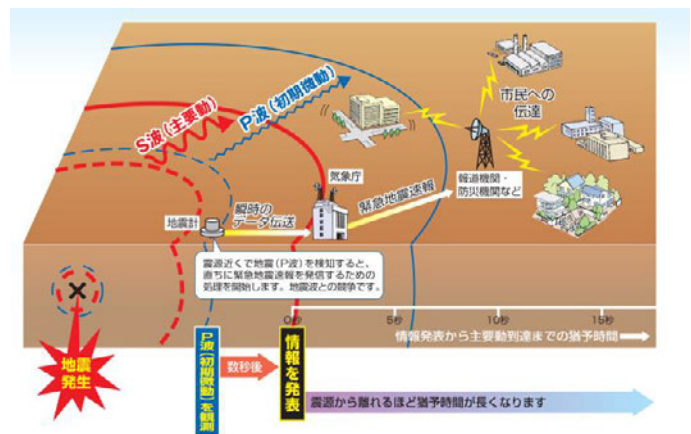
緊急地震速報は、地震の発生直後に、各地での強い揺れの到達時刻や震度を予想し、震度5弱以上と予想された場合に、テレビ、ラジオ、携帯電話等を通じて人々に可能な限り素早く知らせる情報のことである。

緊急地震速報は、地震の発生により震源から地下を伝わっていく地震波を利用している。地震波にはP波⁴とS波⁵があり、P波の方がS波より速く伝わる性質がある一方、強い揺れによる被害をもたらすのは主に後から伝わってくるS波である。このため、先に伝わるP波を検知した段階で、S波が伝わってくる前に危険が迫って



緊急地震速報に活用している地震観測点
(平成25年4月1日現在)

提供：気象庁



緊急地震速報のしくみ

気象庁リーフレット「緊急地震速報～10月より～」(平成18年10月)

¹ 緊急地震速報の利活用状況等に関する調査（気象庁：平成24年12月14日公表）による。

² 2003年から2013年までの間に世界で発生したマグニチュード6.0以上の地震回数（内閣府：平成26年版防災白書）による。

³ 気象庁が約220か所に、防災科学技術研究所が約800か所に設置している。

⁴ 秒速約7 kmの速さで伝わってくる地震波。地面に対し垂直な方向に揺れることが多い。

⁵ 秒速約4 kmの速さで伝わってくる地震波。地面に対し水平な方向に揺れることが多い。

いることを知らせることが可能となる。地震が発生した際、P波が到達した観測地点から、P波の到達時間と大きさに関するデータが瞬時に気象庁に伝送される。気象庁ではこれらのデータを即時に解析し、震源と地震の規模（マグニチュード）を推定する。さらに、この結果を基に各地で予想される揺れの強さ（震度）を推定して緊急地震速報を発表している。

緊急地震速報は、地震発生直後の震源近くで観測されたP波を瞬時に解析し、地震波の速さと競争して情報を伝達するものであるため、予測された震度に誤差を伴う、速報から強い揺れの到達までは長くても数十秒であり、震源に近いところでは速報が間に合わない、又は速報直後に強い揺れが来ることもある、といった原理的な限界がある。気象庁では、リーフレットの配布や講演会などを通じてこのような限界について積極的に説明を行い、緊急地震速報の有無にかかわらず揺れを感じたら身を守る、日頃から速報が鳴った時の行動をイメージしておく等、国民が効果的に速報を利活用できるよう取り組んでいる。

○緊急地震速報の開発

1970年代以降、気象庁や大学・研究機関等は、地震観測網の拡充及び高感度化等を進めてきた。地震発生時に即時に揺れを予測する技術については、1980年代に、高速で走行する新幹線の安全を確保する目的で、鉄道総合技術研究所（旧日本国有鉄道の鉄道技術研究所）が先駆的な研究開発を始めた。その後、気象庁と鉄道総合技術研究所、そして防災科学技術研究所が研究開発を進め、揺れを予測するために必要な知見を蓄積していった。

緊急地震速報の運用を開始する段階に当たっての最大の課題の一つは、より精度の高い情報を少しでも早く国民に提供するということであったが、速報の「精度」と「早さ」は、互いに相容れない要素であった。早さを追求するためには、P波がまだ少数の観測地点にしか到達していない段階でデータを解析する必要がある。一方、観測地点から送られてくる観測データには、地震以外の人為的な揺れ（ノイズ）等が混入したり、同時に発生した二つの地震¹に関するデータが含まれることがあり、僅かな観測点からのデータのみを使った解析では、時に地震ではないのに地震であると判断したり、震源を間違えて決定したりするおそれがあった。

このため、文部科学省が平成15年度から平成19年度まで実施した「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」において、防災科学技術研究所は、誤ったデータを除去するための手法である着末着法²を開発した。また、同プロジェクトにおいて、気象庁は、鉄道総合技術研究所と気象庁が共同開発した単独観測点処理法³、気象庁が開発した複数観測点処理法⁴及び着末着法の結果を統合するための手法を開発した。防災科学技術研究所及び気象庁は、これらの自動的に行われる処理が、実際の観測データを用いて精度よく動作するか否かを、手作業による処理結果と比較することによって4年間にわたり検証した。そして、正しい処理ができなかった場合にはその都度原因を追及してソフトウェアの改良を行った。

さらにこれと並行し、平成18年11月から、気象庁が特定地域の住民を対象としたモデル実験を行うとともに、平成19年3月から、「緊急地震速報の周知・広報及び利活用推進関係省庁連絡会議」（内閣府）等が緊急地震速報の利点と限界について広く一般への周知啓発を進めた。

こうしたことの結果、平成19年10月1日から、緊急地震速報の一般向け提供を開始することが

¹ 我が国では、微小地震も含めると、1日当たり約300個の地震の震源が決定されている。

² 地震波が到達した地点及び到達していない地点に着目し、ノイズ等の誤ったデータを除去する手法

³ 1点の地震計の観測データを用いて、地震波が伝わってきた距離と方向及び地震の規模（マグニチュード）を推定する手法

⁴ 3点から5点の地震計の観測データを用いて震源の領域を推定する手法、及び地震計の観測データが地震によるものかノイズによるものかを判定する手法を指す。

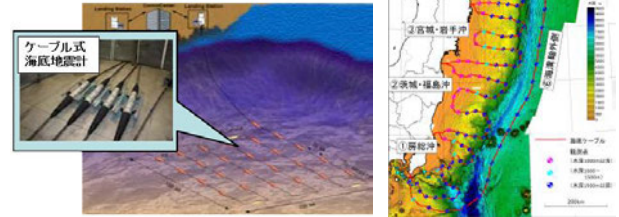
可能となった。

緊急地震速報は、こうした信頼性の高い観測網の整備や地道な研究の成果に、情報通信技術の発展やコンピュータの小型化、通信費の低廉化、そして社会の受容が伴って、初めて実現したものと言える。

○今後の展望

気象庁、防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は、僅かでも早く緊急地震速報を発表することを目指し、巨大地震の発生が懸念される南海トラフの周辺や、できるだけ震源に近い地下深くに地震計を設置し、観測を行っている。また、東日本大震災の発生を受け、防災科学技術研究所は、平成27年度の観測開始に向けて、太平洋にある日本海溝の周辺において海底地震計の設置作業を進めている。

平成27年3月末、気象庁は、南海トラフや首都圏の地下深くの地震計による観測データの一部について、緊急地震速報への活用を開始した。今後、これらの地震計による観測データの緊急地震速報への活用が進むことにより、従来の観測データによる予測に比べ、大地震が発生する可能性のある地域における緊急地震速報の迅速化と精度向上が図られるものと考えられる。



日本海溝海底地震津波観測網について
資料：文部科学省作成

コラム 1-2

緊急地震速報のチャイム音

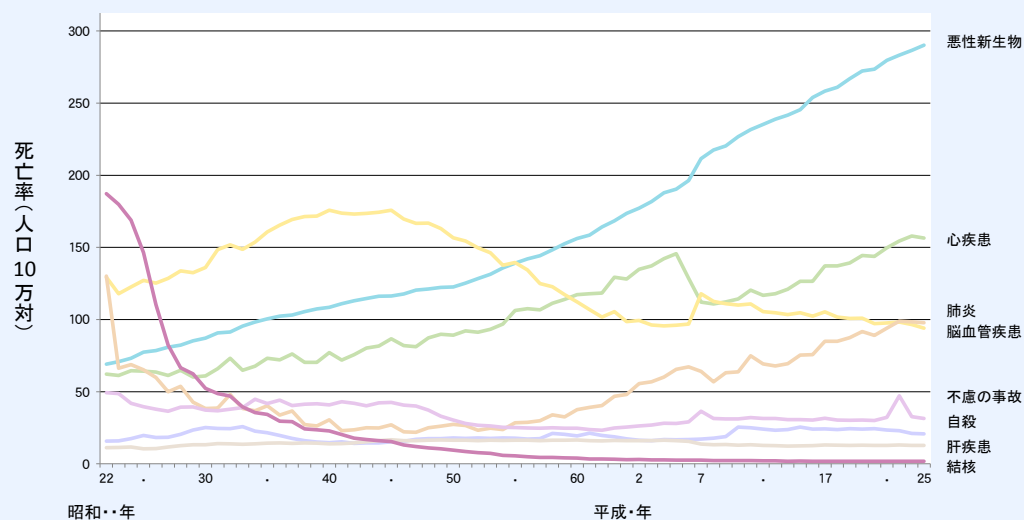
テレビ等から鳴り響く緊急地震速報のチャイム音は、福祉工学の専門家である、伊福部達・東京大学名誉教授の監修によって作成されたものである。身の回りの既存の効果音やチャイム音と似ておらず、人の注意を喚起し、緊急性が高く感じられ、また、すぐに行動したくなるが、怖すぎて動けなくなってしまうといった条件のほか、特にできる限り多くの聴覚障害者にも聞こえるという点に配慮されている。視覚障害者や聴覚障害者を支援するための装置を製作する福祉工学の専門家ならではの配慮である。

7 高コレステロール血症治療薬

○研究開発の経緯等

我が国では、心筋梗塞などの冠動脈疾患を含む心疾患による死亡者数が悪性新生物（がん）に次いで死亡者数が多い（第1-1-3図）。血中コレステロールが高いと冠動脈疾患に罹患しやすいことが、昭和36年頃までに米国における疫学調査等で強く提唱されており、その後数年の間に血中コレステロールを下げるための薬剤が数種類開発された。しかし、その当時は、薬効が不十分で、副作用が強いといった問題があった。

■第1-1-3図／主な死因別にみた死亡率の年次推移



資料：厚生労働省「平成25年 人口動態統計月報年計（概数）の概況」

このような中で、昭和46年、「肝臓のコレステロール合成を阻害すれば、食事から摂取するコレステロールの吸収を抑えるよりも、はるかに有効に血中コレステロールを下げるができる」、
「微生物生産物の中にはコレステロール合成阻害物質が存在する」という二つの仮説を立て、微生物培養液からコレステロール合成阻害剤を探す研究を始めたのが、三共株式会社（現第一三共株式会社）醗酵研究所の研究チームであり、当時の担当者は本プロジェクトの発案者でもある遠藤章研究員（現東京農工大学特別栄誉教授）であった。そして、6,000株の微生物を調べ終えた昭和48年夏に、青カビの1株から目的の阻害剤の第1号となるML-236B（「コンパクチン」）を発見した。この物質の単離後、コンパクチンの標的は、コレステロール合成の律速酵素¹であるHMG-CoA還元酵素であることも明らかにされた。

その後の開発経過は国際的に注目を集め、世界中で全合成物質を含むコンパクチンの類似物質の探索が行われるようになり、三共株式会社によるスタチン²開発に当初から強い関心を寄せていた米国メルク社が昭和62年（1987年）に米国においてスタチンの製品化に初めて成功した。我が国では、それから遅れること2年、平成元年（1989年）にコンパクチンの化学構造に水酸基を加えた「プラバスタチン」で製品化を果たすことができた。

現在、スタチンは高コレステロール血症の第一選択薬として、毎日世界で4,000万人近い患者に投与されていると言われ、冠動脈疾患と脳卒中の予防に大きく貢献しており、同じ青カビから発見されたペニシリンと並ぶ奇跡の薬と呼ばれている。また、生まれつきLDL-コレステロール値が高い家族性高コレステロール血症患者は、若年で冠動脈疾患を発症することが多いが、スタチン投与により数多くの人の命が救われている。

○政府の果たした役割

高コレステロール血症治療薬の開発・普及において、政府が果たした大きな役割の一つとして、

¹ ある物質をつくる一連の反応経路の反応速度を決める段階の酵素

² HMG-CoA還元酵素を阻害することにより血液中のコレステロールを低下させる医薬品の総称

平成5年から、安全・効果的な治療のために、大規模臨床試験MEGA¹ Studyを開始したことが挙げられる。この大規模臨床試験は、当時、欧米の臨床試験において脂質低下療法が心臓発作のリスクを減少させるという結果が出ていたものの、日本人は冠動脈疾患死亡率、出血性脳卒中、血中コレステロール値、食生活、体型などが欧米人と異なるため、日本の高コレステロール血症患者においてもこの治療方法が適用可能かどうか定かではなかったことから、これを調べることを目的に、厚生労働省（当時は厚生省）の委託研究事業として実施したものである。本試験は、高コレステロール血症の患者を対象として我が国で初めて行われた試験であり、冠動脈疾患の既往がなく、総コレステロール値が220～270mg/dLに相当する軽度から中等度の日本の高脂血症患者8,214名を対象²に、食事療法単独群と食事療法と高脂血症治療薬であるプラバスタチン併用群との比較を行った。結果、プラバスタチン併用群で、冠動脈疾患と脳梗塞の発症が有意に抑制され、また、安全性についても、発がん等の有害事象に有意な差は見られなかった。

大規模臨床試験は、世界的には豊富な資金力などを背景に、欧米人を対象とするものが多いが、MEGA Studyは、我が国のみならずアジアで初めてのスタチン療法による大規模臨床試験の例であった。日本人は、欧米人と比較してLDLコレステロール値や冠動脈疾患発症率が低いなど、欧米人とは異なる体質にあるため、MEGA Studyのような大規模臨床試験による日本人独自のデータの蓄積は、日本人に対する様々な疾患に対する安全な投薬治療につながるものであり、官民が連携した成功例の一つと言える。

コラム 1-3

重粒子線がん治療

昭和58年、中曽根内閣で決定された「対がん10カ年総合戦略」において、重点研究課題として、「放射線治療の先端的技術の開発と応用に関する研究」が盛り込まれた。これを受け、放射線医学総合研究所は、昭和62年から、HIMAC（ハイマック：Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba）の開発に取り組み、平成6年6月に、世界で初めて炭素線を用いた重粒子線がん治療³の臨床試験を開始した。以降、これまで20年の間に、9,000例を超える治療を行っている。

また、放射線医学総合研究所では、臨床試験開始以降も、小型普及機の開発、重粒子線回転ガントリー⁴の開発など、様々な技術的改良も併せて進めてきた。このような研究開発を通じて、現在、兵庫県、群馬県、佐賀県に重粒子線がん治療施設が建設され、治療実績が重ねられている。これらの施設を通じて、重粒子線がん治療がより多くの患者にとって身近なものとなるよう、今後も、有効性・安全性等の実証や、担い手たる人材の育成も併せて、取組を進めていくこととしている。



重粒子線治療装置 HIMAC

提供：放射線医学総合研究所



重粒子線がん治療の様子（イメージ）

提供：放射線医学総合研究所

1 Management of Elevated Cholesterol in the Primary Prevention Group of Adult Japanese

2 解析対象数は7,832名

3 放射線治療のうち、炭素イオンを加速器で高速に加速し、がんピンポイントかつ強力に照射する治療法。調節次第で深部のがんであっても集中的に照射することが可能

4 患者の身体の位置や向きを変えずに、360° 任意の方向から照射が可能な治療装置

8 リニアモーターカーの開発

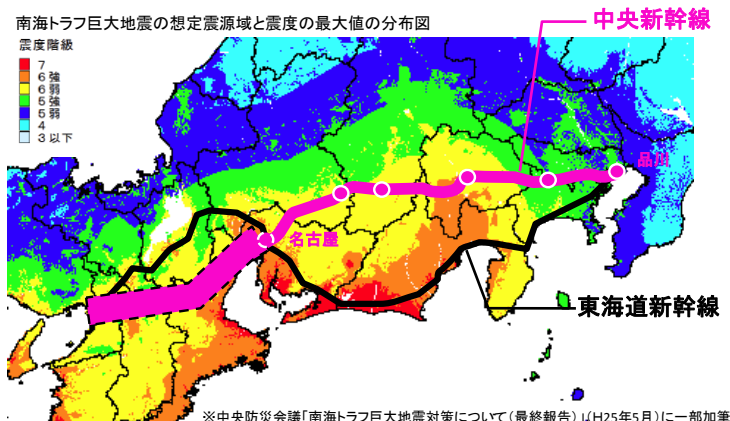
○超電導リニアによる中央新幹線の開業に向けて

平成9年4月から、山梨リニア実験線においてリニアモーターカーの走行試験が開始された¹。その様子は山梨県立リニア見学センターで見学することができる。これに対する国民の関心は強く、平成26年11月及び12月に計8日間実施された体験乗車では、約11万8,000件の応募があり、平均倍率は約125倍であった。

リニアモーターカーは、昭和45年に開催された日本万国博覧会において、その模型が展示されたことで、21世紀の夢の超特急として国民にも広く知られることとなった。リニアモーターカーとは、回転式のモーターを直線状に引き延ばしたリニアモーターで駆動する鉄道車両のことを言い、形態により大きく「超電導磁気浮上方式²」、「常電導磁気浮上方式²」、「鉄輪方式³」の3種類に分けることができ

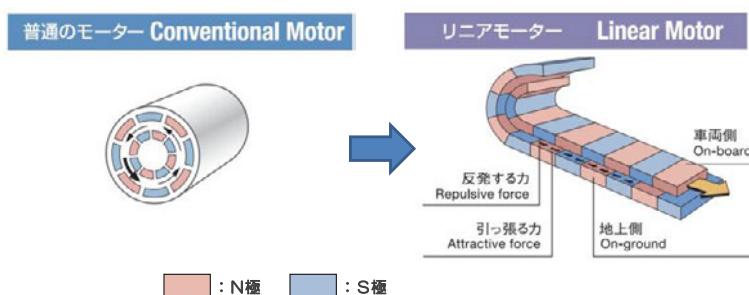
る。このうち、超電導浮上磁気方式、すなわち超電導リニアの技術を採用する中央新幹線の計画が、東海旅客鉄道株式会社（以下、「JR東海」という。）によって進められている。超電導リニアによる中央新幹線は、開業50年を迎えた東海道新幹線の将来の経年劣化と大規模災害に対する抜本的な備えとして、首都圏～中京圏～近畿圏を結ぶ日本の大動脈輸送を二重化することを目的とした路線である。昭和45年の日本万国博覧会から40年以上の時を経て、平成26年12月から第一段階として進める品川～名古屋間の工事が開始されており、平成39年の開業が予定されている。

品川～名古屋間が開業すれば、最速40分で品川から名古屋に移動することが可能となる。東海道新幹線「のぞみ」での移動の半分以下の時間で東京都内から名古屋市内に行くことができるようになり、大都市間の移動時間が劇的に短縮され、両都市が日帰り圏から通勤圏に変わる。また、平成57年をめどに全線開通を予定しており、東京～大阪間を最速67分で結ぶ予定である。その圧



中央新幹線の路線の概要

提供：JR東海



リニアモーターの仕組み

提供：JR東海

1 後述のとおり、山梨リニア実験線のリニアモーターカーは、超電導リニアである。

2 通常の電磁石の吸引力を利用し車両を浮上走行させる鉄道で、我が国では1970年代から日本航空、名古屋鉄道が中心となって開発を進め、その後中部エイチ・エス・エス・ティ開発株式会社が開発を進めたHSST（磁気浮上式鉄道）や1960年代からドイツで開発が進められていたトランスラピッド（磁気浮上式高速鉄道）がある。HSSTは、愛知高速交通東部丘陵線で運用され、2005年（平成17年）の愛知万博会場への交通手段として活躍したほか、現在も名古屋市近郊の通勤手段になっており、トランスラピッドは上海トランスピッドで運用されており、上海空港と上海市中心部を繋いでいる。

3 リニアモーターを使って、通常のレールと車輪によって走行する方式。モーターを除外すれば一般的な鉄道と変わらない。世界各地の地下鉄で利用されており、我が国では平成2年に大阪市営地下鉄長堀鶴見緑地線で運用が開始されたほか、都営地下鉄大江戸線、福岡市地下鉄七隈線など全国の地下鉄で運用されている。

倒的な時間短縮効果から、日本の人口の約半数が含まれる巨大都市圏が誕生し、経済や社会活動の活性化が期待される。

国土交通省の交通政策審議会の分析によると、東京～大阪間の全線開業による便益は、年間で7,100億円に及び、生産額は年間8,700億円増加すると予想されている。

○超電導リニアの開発経緯

中央新幹線で用いる超電導リニアで採用される「超電導¹」とは、ある種の金属・合金・酸化物の温度が一定以下になると電気抵抗がゼロになる現象のことを指し、超電導状態となったコイルに電流を流すと、強力な磁界が発生する。このような電磁石は「超電導磁石」と呼ばれており、超電導リニアは、この磁界の力によって浮上し超高速で走行する。

超電導リニアの研究開発は、旧日本国有鉄道の鉄道技術研究所により昭和37年から開始され、日本国有鉄道の分割民営化後は、JR東海及び鉄道総合技術研究所により進められた。国土交通省はこの研究開発を技術評価や資金面で支援した。平成21年7月には、国土交通省の超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会において、既に営業運転に支障の無い技術レベルに到達されたことが確認されたほか、平成23年12月及び平成24年8月には、国土交通大臣から超電導リニアに関する技術基準が制定された。平成27年4月には鉄道の有人走行世界最高速度の603km/hを記録したが、超電導リニアの研究開発には、様々な最新技術が導入され、試行錯誤が行われてきた。

例えば、高速で走る列車がトンネルを通過する際には、列車によってトンネル内の空気が押し出され、出口側に圧力波（微気圧波）が発生して衝撃音や振動につながる。このような空力特性を改善するため、超電導リニアの先頭車両の設計において、宇宙航空研究開発機構が開発した爆風^{でんぱ}伝播シミュレーション（平成11年及び12年に実施された同名プログラムにより研究開発を実施）が使われている。

この技術は、ロケット打上げ時の万が一の事故に備え、事故が起こった場合の爆風の強度が距離によってどの程度減衰するのか、地形の影響も含めてシミュレーションを行うことで、ロケット打ち上げ時の保安距離の算定に役立てるものであり、西日本旅客鉄道株式会社が行っていた「500系新幹線」の開発にもこのシミュレーションが適用されている。現在の超電導リニアの先頭車両は、このシミュレーション結果を踏まえて設計されており、空気抵抗を少なくして空気を出口側に極力押し出さないようにすることで、微気圧波を減少させている。

平成27年4月に累積走行距離が123万kmを超えた山梨リニア実験線では、実用技術として完成した超電導リニア技術の更なる改良等に取り組んでいる。国土交通省は、これら実験線の施設整備や試験走行を資金面で支援するとともに、技術的な評価を行っている。



山梨実験線を走る超電導リニア
提供：JR東海

○高温超電導磁石の技術開発

現在、実験線車両では、超電導物質としてニオブチタン合金を非常に低い温度（－269度）に冷却して使用しているが、より高温で超電導状態となる超電導物質を利用した超電導磁石の研究開発が進められている。このようないわゆる高温超電導物質であれば、液体ヘリウムを使用せず、

1 「超伝導」、「超電導」の両方が使用されるが、ここでは、「超電導」に統一

超電導磁石を直接冷凍機によって冷却することができるため、超電導磁石や冷却構造の簡素化とコストダウンを図ることができる。我が国では、物質・材料研究機構によって、昭和63年に、ニオブチタン合金より超電導状態になる温度が100度高いビスマス系の超電導物質が発見されたことをはじめ、多くの超電導物質が発見された。

JR東海は、ビスマス系の超電導物質を用いた超電導磁石の研究開発を進め、平成17年にはこの磁石を装着した試験車両を使用し、走行を成功させている。また、鉄道総合技術研究所は、国土交通省の支援を受けながら、それとは別のイットリウム系の超電導物質を用いた超電導磁石の開発を進めている。

このように、超電導リニアが、更なる技術的な改良をされ、我が国の大都市間を走行し、我が国の発展に寄与していくことが期待されている。

コラム 1-4

医療現場等での超電導技術の利用

超電導リニアに使用されている超電導技術は、病院の精密検査などで使われているMRI¹にも利用されている。MRIを高性能化するためには、高磁場化させる必要があるため、超電導技術が使用されている。

我が国では、平成21年現在で約6,150台のMRIが稼働しているが、そのうち約4,100台に超電導磁石が用いられており、従来のMRIと比べはっきりと体内の状況が分かる画像を提供している。

このほかにも、超電導ケーブル、超電導技術を用いた電力貯蔵装置（超電導フライホイールやSME S²）など、高温超電導技術を利用した様々な製品の研究開発が進められており、これらが実用化され、社会生活の一層の充実が図られることが期待されている。



1.5 テスラの超電導MRI
提供：地域医療機能推進機構

1 Magnetic Resonance Imaging

2 Superconducting Magneto Electric System

コラム
1-5

自動車衝突防止用ミリ波レーダ

近年、市販車への「自動ブレーキ」の搭載が増えてきている。自動ブレーキは、自動車の前方に取り付けたセンサにより周囲にある物体を認識して、自車にとって危険と判断すれば自動的にブレーキをかけ、減速あるいは停止するシステムである。自動ブレーキは、単に便利な道具というだけではなく、交通事故の低減とそれに伴う渋滞緩和や燃料消費の改善など、社会的、経済的にも大きな効果を期待されている。

このセンサは人間に例えれば目の役割をするもので、76GHz帯の周波数を用いる「ミリ波レーダ¹」が使われている。他のセンサとしてはカメラや赤外線レーザーレーダなどがあるが、ミリ波レーダの特長は、電波を使っているため、他のセンサと比べて夜間や濃霧などの影響を受けづらく、100m以上の長距離を見るのに適しているという点である。

企業がミリ波レーダを車の自動ブレーキとして実用化するに当たっては、防衛省が戦闘機搭載用の高性能レーダの開発を行った際に培われた、非常に高い周波数で動作可能な半導体や電子制御式アンテナ²等の技術の要素が、大きな役割を果たしている。これは、防衛省が長年にわたって高性能レーダの研究開発に取り組んできた過程で、レーダの設計や製造に関する基本的な技術が参画した企業に蓄積されたことによる。

また、電波関係の制度整備を担当する総務省では、平成11年に国内で76GHz帯のミリ波レーダの使用を可能とするための制度改正³を行った。さらに、平成24年に79GHz帯高分解能レーダ⁴の技術基準の整備を行った。⁵

レーダは、歴史的には第二次世界大戦中に米国、欧州などで軍用に実用化されて以来、今日に至るまで、科学技術の進歩に伴い大きく発展してきた。我が国でも主要な防衛技術の一つとして、防衛省が継続した研究開発を行ってきている。また、人工衛星に搭載され、宇宙分野でも活用されている。さらに、総務省においても、現在、交差点内の歩行者検知等にむけ79GHz帯高分解能レーダの道路側設備への応用⁶のための研究開発や、粉じんの中での建設機械の自動化等を見据え、更に小さい物体の3次元検知を可能とする140GHz帯高性能レーダの研究開発を行っている。

今後、ミリ波レーダなどの電波センサ技術は、防衛・宇宙分野を中心に更なる高性能化が図られる一方で、民間企業により自動車分野での活用が進むことにより、自動走行システムなどの安心・安全な交通社会の実現に寄与するものと期待される。

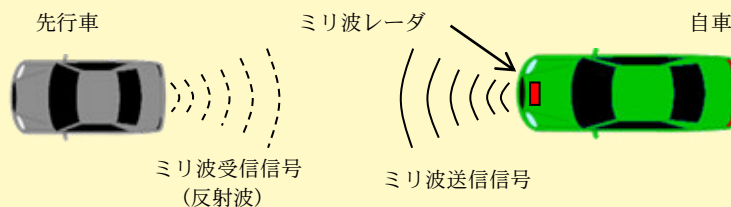


図 ミリ波レーダの機能

ミリ波レーダの機能

ミリ波送信信号と受信信号（反射波）から、物体（先行車）との距離・相対速度・方位を検知する。

- 1 ミリ波レーダに用いられている76GHz帯の周波数は、携帯電話に用いられている周波数の50～100倍も高い。
- 2 アンテナの向きを変えることなく、所望の方向の電波を送受信できるレーダ。機械式アンテナ技術に比べ、駆動機構が不要となり装置の小型化・軽量化が可能となる。
- 3 電波法関連の制度（無線設備規則等）の改正
- 4 76GHz帯レーダは自動車サイズの物体の検知を可能とするものであったが、79GHz帯高分解能レーダは更に小さい物体（歩行者サイズ）の物体の検知を可能とするもので、今後の実用化が期待されている。
- 5 電波法関連の制度（無線設備規則等）の改正
- 6 交差点内の電柱等の道路側設備に79GHz帯高分解能レーダを設置し歩行者の検知を行うもの。例えば、検知された情報を電波で自動車に伝え、自動車に歩行者を回避する行動を取らせる。