



かわさき産学連携ニュースレター

～新たな産学連携の構築に向けて～

VOL.38 2015年3月31日発行

特集 「電気で回る/電気を作る」 ～モータ・発電装置のはなし～

- ・ 芝浦工業大学
工学部 電気工学科
赤津 観 教授

「モータを高効率化するためには、
どのような技術開発が必要ですか？」 …… 2



- ・ サレジオ工業高等専門学校
電気工学科
山下 健一郎 准教授

「海洋エネルギーを発電に利用するためには、
どのような技術開発が必要ですか？」 …… 4



トピックス

- ・ 公益財団法人実験動物中央研究所
実験動物研究部
末水 洋志 部長

「ヒト化マウスの研究の現状とそれが新薬開発などに
どのように役立つのか教えてください」 …… 6



産学連携窓口紹介

慶應義塾大学 ハプティクス研究センター …… 8

産学連携・試作開発促進プロジェクト ～大学・研究機器・実験機器開発のお手伝い

「産学連携・試作開発促進プロジェクト」は、大学での研究機器の試作、実験装置の開発ニーズに、技術力ある中小企業が応える産学連携の取り組みです。大学と“ものづくり企業”が連携し、研究シーズの具現化を図るべく活動しています。

大学、研究機関での研究のスピードアップ、品質向上に役立てるように、部品加工から機器の設計・開発まで、中小企業のネットワークで実現しますので、開発ニーズなどございましたら、事務局へお問い合わせください。

◆問い合わせ先◆

(公財) 川崎市産業振興財団 新産業振興課 電話044 (548) 4113 FAX044 (548) 4151
E-mail liaison@kawasaki-net.ne.jp URL <http://www.kawasaki-net.ne.jp/shisaku/>

電気で回る／電気を作る ～モータ・発電装置のはなし～

フレミングの左手の法則により、電気を使って回転するのがモータ、そして右手の法則により、回転力を使って電気を作るのが発電装置です。モータは私たちの身の回りの色々なもの、家電製品や電気自動車を始めとして、様々な機器の駆動部に用いられています。一方、環境に優しい電力として、再生可能エネルギーを利用した発電に注目が集まっています。そこで今回は、省エネで高効率なモータや海洋エネルギーを利用した発電装置について、最先端の研究を紹介します。



モータを高効率化するためには、 どのような技術開発が必要ですか？

モータの高効率化で 地球温暖化対策に貢献！

私たちは日々の暮らしや仕事の中で、家電・AV機器、IT・OA機器、産業機器、輸送機器、健康・医療機器など、様々な機器を利用することにより、快適で便利な生活や仕事における高い生産性などを実現しています。そして、それらの機器の駆動部には、必ずと言ってよいほどモータが使用されており、モータはなくてはならない電気部品となっています。例えば、冷蔵庫、炊飯器、電子レンジ、換気扇、洗濯機、掃除機、エアコン、加湿器、温水洗浄便座、ゲーム機、デジカメなどの家電製品では、ファンやポンプ・コンプレッサが内蔵される箇所、動力が必要とされる箇所に、いろいろな種類や大きさのモータが使用されています。このようにモータは多岐にわたる工業製品で利用されるため、メイド・イン・ジャパンのものづくりを支えるキーテクノロジーの一つと言えます。

一方、昨年の秋にはIPCC（気候変動に関する政府間パネル）が第5次評価報告書の統合報告書を公表し、地球温暖化による気候変動の予測、海面上昇や気温上昇などに伴う様々なリスクを明らかにしています。地球温暖化の原因は、産業革命以来、私たち人間が大量に排出してきた二酸化炭素です。私たちは将来世代への責任として、エネルギーの消費を抑えて二酸化炭素の排出量を減らす必要があります。あまり知られていませんが、日本で一年間に消費される総電力のうち、5割強はモータで

消費されています。モータの効率を高めることができれば、電力の消費を抑制し、二酸化炭素の排出を減らすことができるのです。

そこで私たちの研究室では、「2050年CO₂の50%削減に向けて工学的に貢献する」を目標に掲げ、省エネで高効率なモータの研究に取り組んでいます。

可変磁力の技術で 電気自動車の電費改善

現在、ネオジウム鉄ボロン磁石を用いたモータがハイブリッド車や電気自動車などで使用されており、この駆動用モータの最高効率は97～98%という極めて高い水準にあります。ただし、モータが高効率を発揮できるのは、モータのトルクや回転速度が中程度の運転領域に限られていて、例えば、トルクの小さい領域や大きい領域では、モータの効率は低下してしまいます。電気自動車を例に説明すると、高速道路を巡航速度で運転している状態ではモータの効率が大きく、電費（ガソリン車の燃費に相当）も高くなるのですが、街中で信号停止を繰り返しながら走行する場合などにはモータの効率が低下し、電費が大きく落ちてしまいます。高速道路、街中、坂道など、電気自動車の走行状態の変化に合わせて、モータの効率を高めるには、モータに内蔵されている永久磁石の磁力の強さを、状況に応じて自在に変える必要があるのです。

それを実現するための技術が『可変磁力』です。可変磁力の技術は永久磁石に外部から着磁や減

Answer



プロフィール 赤津 観（あかつ・かん）

芝浦工業大学工学部電気工学科教授。博士（工学）。

研究分野は電気機械エネルギー変換工学（特に回転機）、パワーエレクトロニクス、制御工学。主に、モータやジェネレータの高効率、高性能化をテーマに「設計」「解析」「製作」「制御」を中心とした研究活動を行っている。

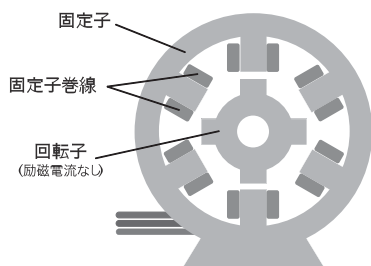
研究室サイト

<http://www.sic.shibaura-it.ac.jp/~akatsu/index.html>

磁のための電流を加えることにより、磁石の強さをコントロールします。例えば、高速道路ではモータを高速・小トルクで運転するため、磁石の磁力は弱い方が高効率になります。逆に、坂道を登る場合にはモータを低速・大トルクで運転するため、磁石の磁力は強い方が高効率になります。私たちの研究室では、このようなモータの可変磁力の最適なコントロールについて研究開発を進めています。

レアアースを使わないSRモータ

ネオジウム鉄ボロン磁石の主成分であるネオジウムは希土類元素であり、レアアースと呼ばれています。2010年9月、日中間の政治的な影響を受けて、中国からの



SRモータは回転子が凹凸（突極性）のある鉄だけでできており、固定子の凸部に回転子の凸部が近づいてくるときに固定子に電流を流して回転子の凸部を磁氣的に吸引してトルクが発生する。

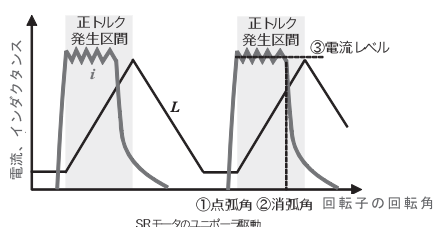
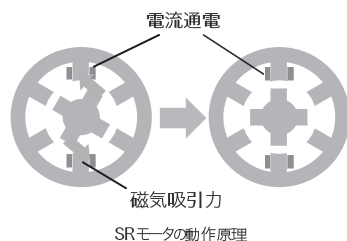


図1 SRモータの構造と動作



写真1 SRモータ

輸入に依存していたレアアースの調達が困難になるという問題が起きました。レアアースは調達に問題がある上、価格も高騰しているため、希土類を使わないモータの開発が求められています。そこで、私たちはレアアースを使用せず、鉄と銅だけを用いたSRモータ（Switched Reluctance Motor）の研究を進めています。

写真1はSRモータの外観、図1はSRモータの構造と動作を示しています。SRモータは永久磁石を使用しないで、材料に鉄と銅を用いることからコストが安いという利点はあるのですが、電流の流し方が難しく、モータをきれいにスムーズに回すことに成功し、回転時の静音性も確保しています（図2参照）。

一方、単相誘導電動機はスイッチを入れれば回るだけのモータとして、ファンやポンプなどに使われています。このモータは、価格は安いのですが、効率は10～20%程度でかなり低い水準にあります。モータの容量は100W以下の小さなものが多いのですが、使用されているモータの数は全体の

40～50%程度を占めているため、その効率の悪さは省エネの観点から見過ごすことはできません。現在私たちが研究を進めているSRモータの効率は40～50%程度であり、単相誘導電動機の代替品として普及させることで、省エネに大きく貢献することができそうです。コストの安いSRモータをもっと使いやすく、さらに効率の良いものにすることで、普及を実現させたいと考えています。

インバータ体型モータ

このほか、SRモータの実用化に向けての課題として、インバータのコストを下げるのが挙げられます。インバータはモータの回転速度を変えて駆動を制御するという役割を担っていて、SRモータでは専用のインバータ装置が必要になります。インバータのコストを下げるには半導体チップを大量生産する必要がありますので、私たちはインバータを標準化してモータと一体化することにより、コス

トダウンできると考えています。写真2は開発中のインバータ体型モータを示しており、コストダウンと同時に小型化することを狙っています。例えば、電動工具用モータとして使用できるように研究を行っていて、2020年の製品化を目標に開発を進めています。

工場をスマート化！

インバータの価格が安くなり、たくさん使用できるようになると、モータをコイルのレベルできめ細かく制御できるようになります。例えば、FA（ファクトリーオートメーション）では、注文を受けて工場に生産の指示を流しますが、生産の品目・量・スピードに合わせて、個々のモータに対し、どの程度駆動しなさいとか、停止しなさいとか、モータを最も高い効率で回すことが可能になります。一つひとつのモータを制御し、それをインターネットにつなぎ、併せてモータの状態や周りの環境などをセンサで検出して、必要な時に必要な分だけモータを回すといった最適な制御ができれば、工場のスマート化や省エネ化を大きく前進させることができるのではないのでしょうか。

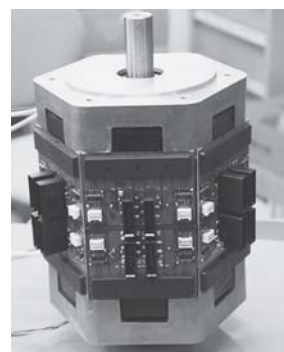
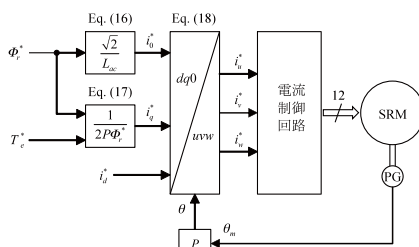
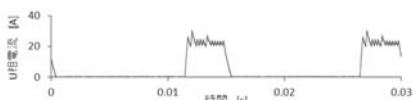


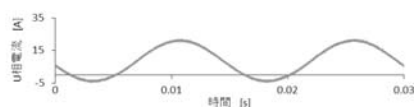
写真2 インバータ体型モータ



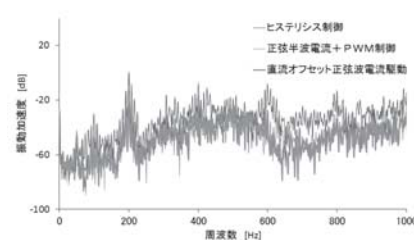
提案するSRモータのベクトル制御方式



従来方式のヒステリシス制御による電流波形



提案方式の電流波形



振動比較

図2 SRモータの駆動方式

Q 海洋エネルギーを発電に利用するためには、 どのような技術開発が必要ですか？

海洋エネルギーを利用する ための電力インフラを研究

日本は四方を海に囲まれた島国であり、海洋の自然エネルギーを自由に利用できる排他的経済水域は、世界でも十指に入る広さを持っています。現在、エネルギー資源のほとんどを輸入に依存していることを踏まえると、海洋に豊富に存在する洋上風力、波力、海流、潮流、潮汐力などの再生可能エネルギーを利用しない手はありません。ただし、このような海洋エネルギーの技術開発や利用において、日本は欧州などと比べ、残念ながら遅れているのが現状です。

そこで私たちの研究室では、「海洋で発電した電力を陸上まで送電する」「不安定な再生可能エネルギーの大量導入に対応可能な電力インフラを構築する」「海洋エネルギーを利用して発電する」といったことをテーマに研究を行っています。

海洋エネルギーのうち、実用化に向けた開発が最も進展しているのが洋上風力発電です。私たちはこれまで、海洋で発電した電力を海底ケーブルによって、陸上まで直流送電する直流送電システムを用いた洋上風力発電の研究を進めてきました。最近では、直流送電システムに洋上風力だけでなく、波力や潮流などの様々な海洋エネルギーで発電する装置を接続し、システム全体を最適に制御するための研究に取り組んでいます。

また、風力や波力などを利用し

た発電では、風や波の状態で出力が大きく変動してしまうという問題があります。このような不安定な電源を大量に導入すると、電力系統において周波数や電圧の変動などの問題を引き起こす可能性があります。特に工業国である日本では、高品質な電力が要求されるため、周波数や電圧の変動は大きな障害になります。例えば、工場の生産現場で使用されるモータなどの電気機器や制御装置は周波数に依存して動作するものも多く、周波数の変動は生産に悪い影響を及ぼしてしまうのです。このような問題を解決するため、私たちは電力補償装置を有する発電システムの研究を進めています。

図1に風力・太陽光ハイブリッド発電システムの構成を示します。本システムでは、サイリスタコンバータにより直流に変換された送電端側系統と風力発電装置の出力を、サイリスタインバータにより再度交流に変換し、受電端側系統に供給します。送電・受電の両端には電力補償装置が接続されており、風力発電の出力が低下する場合には、電力補償装置から不足分の電力を供給し、逆に風力発電によって余剰電力が発生する場合には、電力補償装置により余剰電力を回生します。電力補償装置ではソーラーパネルによって発電した電力をバッテリーに充電し、その電力を用いて直流電動機、同期発電機を駆動させることで、風力発電の出力変動に伴う送電電力の変

Answer



プロフィール

山下 健一郎(やました・けんいちろう)

サレジオ工業高等専門学校電気工学科准教授。博士（工学）。

研究分野は電力工学・電力変換・電気機器・制御工学。主に『海洋再生可能エネルギー』を中心に、自然エネルギーを利用した発電方法について研究を行っている。

研究室サイト

<http://www.salesio-sp.ac.jp/department/lab/yamasita/>

動を補償します。また、風力発電によって余剰電力が発生する場合には、同期発電機を同期電動機、直流電動機を直流発電機として駆動させることにより、これをバッテリーに回生します。本システムの有用性を確認するための理論解析は完了しており、現在は小規模な実験装置を設置して発電を行い、電力補償装置の実証研究を進めているところです(写真1)。

マグナス効果を利用して 海洋エネルギー発電！

海洋の波・海流・潮流を利用し

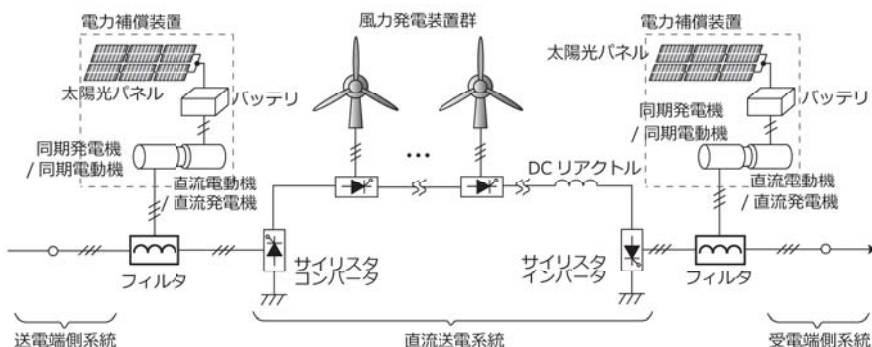


図1 風力・太陽光ハイブリッド発電システム



写真1 発電システムの実験装置

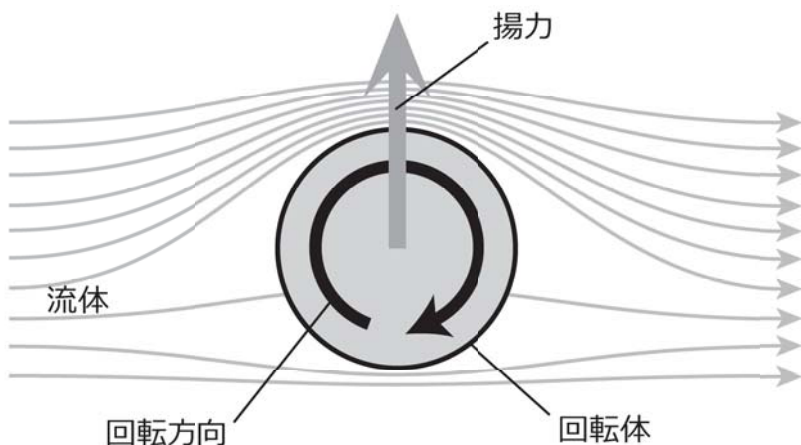


図2 マグナス効果の原理

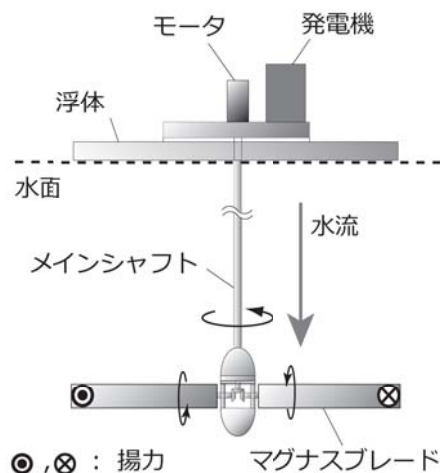


図3 マグナス波力発電装置の構成

た発電装置の技術開発を行うに当たり、私たちの研究室で着目したのが「マグナス効果」です。図2にマグナス効果の原理を示します。流体中に回転体を置くと、回転体に揚力が生じます。この現象をマグナス効果といい、これまでもマグナス効果を利用した風力発電装置はありましたが、波力発電や水力（海流・潮流）発電に応用したのは私たちの研究が初めてです。

図3は、私たちが考案したマグナス波力発電装置の構成を示したものです。海面に浮かべた浮体から海中へ向かってメインシャフトを吊り下げて、その先端に円筒型のマグナスブレードが3本取り付けられています。モータを使ってマグナスブレードを回転させ、波による海面の上下運動により生じる水流がブレードに作用すると、マグナス効果によりブレードに揚力が発生します。この揚力により3本のブレードはプロペラのように回転し、その回転力でメインシャフトを回転させて発電機で電気を作ります。波の上下運動に合わせてモータの駆動を制御し、マグナスブレードの回転方向を切り替えることにより、揚力を一定の方向に保ち、3本のブレードを波の上下運動に拘らず、一定方向に回し続けることができます。これまでの研究で、水流を調節するためのガイドベーン（案内羽根）の有用性・取り付け位置・角度、およびブレードの形状・周速度などについて、最適な設計条件を把握しています。来年度は発電機を搭載して実証実験を行い、発電出力の確認などを進めていく予定です。

一方、図4には垂直軸型マグナス水力発電装置の構成を示しています。水面に対して垂直方向に円筒型のマグナスブレードを3本配置し、各々のブレードはモータを使って回転させています。海流等による水流がブレードに作用すると、マグナス効果により各ブレードに揚力が発生します。この揚力により、メインシャフトの位置を中心として3本のブレードが回転し、メインシャフトが回転することにより発電を行います。マグナスブレードに生じる揚力の方向と大きさは、モータによりブレードの回転方向や周速度を調整することで制御することができます。

このようなマグナス効果を利用した発電装置の最大の特徴は、ブレードが円筒型であることです。一般的なタービンのブレードは形状が複雑で加工が難しいのですが、マグナスブレードは円筒型であるため、製造が容易で生産コストを低く抑えることが可能です。また、ブレードの表面にフジツボなどの

海洋生物が付着しにくい、メンテナンスが容易であるという利点も備えています。

未来の海洋エネルギー利用はこうなる？

陸上では電気自動車の普及が始まっており、そう遠くない将来、電気で走る自動車は当たり前になっているでしょう。一方、海上では相変わらず、船舶が重油などを燃料に二酸化炭素を排出しながら航行しています。マグナス波力発電装置は港の海面に並べて設置することができるので、船舶に電気を供給するための充電スタンドとして使用することが期待できます。現在、電気で走る船の実用化に向けた研究が進められているところであり、私たちの研究はインフラの面から、これをサポートできると考えています。これからも海洋エネルギーの複合的な利用方法を提案することで、持続可能な社会の構築に貢献していければ良いですね。

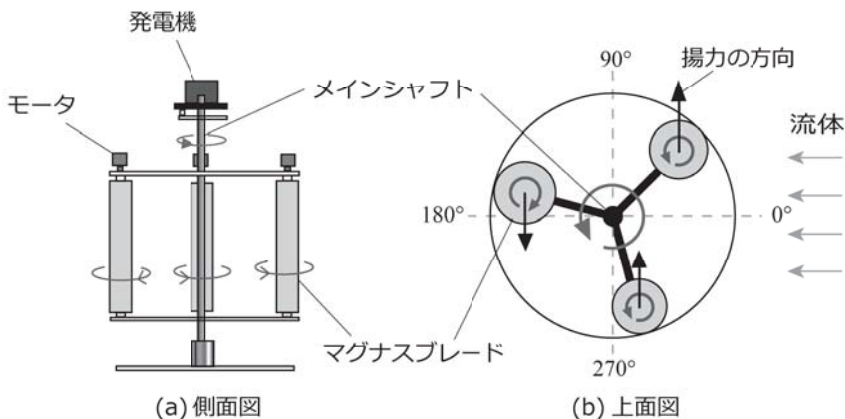


図4 垂直軸型マグナス水力発電装置の構成

トピックス

川崎市では、「殿町国際戦略拠点 キングスカイフロント」において、ライフサイエンス・環境分野のイノベーションの推進を目指して様々な取り組みを進めています。そこで、本コーナーでは、最新の医療、医工連携などに関連した研究についてご紹介します。

今回は、免疫不全マウスを用いたがん転移研究とヒト化モデルの開発を行っている、公益財団法人実験動物中央研究所 実験動物研究部 末水洋志部長にお話を伺いました。

Q ヒト化マウスの研究の現状とそれが新薬開発などにどのように役立つのか教えてください

免疫不全マウスとは？

実験動物中央研究所では、約40年以上も前から免疫力を持たない免疫不全マウスの研究をスタートさせています。図1は免疫不全マウスの開発の歴史を示しています。免疫不全マウスで一番有名なヌードマウスを1970年に導入し、1985年に米国の癌の研究所よりSCIDマウスを導入してマウスの維持・生産を開始し、2002年にNOGマウスを完成させ、その後現在に至るまでマウスモデルの改良が続けています。このマウスはほとんどの免疫機能を持たないため、ヒトを始めとする、様々な種類の動物の細胞や組織を移植することができます。私たちの研究所では、長年にわたり試行錯誤を重ねた結果、マウスの中にヒトの細胞や臓器をつくることに成功しています（図2参照）。

私たちが服用する薬は、ヒトに対して毒が出てはいけないというのが大前提であり、薬の開発段階では必ず動物実験が行われます。しかしながら、動物とヒトとでは薬に対する応答性が異なる場合があり、動物実験では問題なくてもヒ

トが用いると毒として現れることがあります。それが薬の副作用であり、過去の代表的な例がサリドマイドによる薬害です。げっ歯類（ネズミ等）では全く異常がなかった薬が、ヒトの体内に胎児ができた初期の段階で服用した時に、子供に影響が現れるという薬害が明らかになり、世界的な規模で社会問題になりました。また、新薬の開発において、開発中の薬はたいへん貴重なものであり、多量につくることはできません。大型動物を使った実験ではたくさんの投薬が必要になりますので、マウスやマーモセットといった小型の動物が適しているのです。そこで、私たちの研究所では、極力ヒトに近くて、取り扱いやすい実験動物を開発することを目標に、研究に取り組んでいます。

マウスの肝臓をヒト化！

肝臓では500以上の化学反応が行われており、薬物を代謝する、食べたものをエネルギーに変換し蓄積する、毒を排泄する、消化を助けるなど、様々な機能を持っています。最も重要な臓器の一つです。

Answer



プロフィール

末水 洋志（すえみず・ひろし）

公益財団法人実験動物中央研究所 実験動物研究部部長。

免疫不全マウスを用いたがん転移研究とヒト化モデルの開発を行っている。

研究室サイト

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

また、ヒトの臓器のうち、薬の代謝に大きな役割を担っているのは肝臓であり、肝臓の中に薬を代謝する酵素が含まれていて、ネズミとヒトとで大きく違うのはその肝臓の働きです。ネズミはどこまでいってもネズミなのですが、それを少しずつヒトに近づけるための開発・改良が続けています。現在は、ネズミの肝臓を構成する細胞を、ヒトの肝臓の細胞で置き換えることができたという段階であり、このネズミの肝臓の薬物代謝をみると、ヒトと同じような働きをすることが確認できています。つまり、マウスの肝臓をヒト化することにより、ヒトの肝臓の働きをマウスで再現しているのです。

この研究は10年ほど前からスタートしていて、試行錯誤の末、最近になってヒトの肝臓に置き換えたマウスのモデルが安定的につくれるようになったところです。ヒト化肝臓マウスのつくり方は、免疫不全マウスに薬を投与して肝臓の細

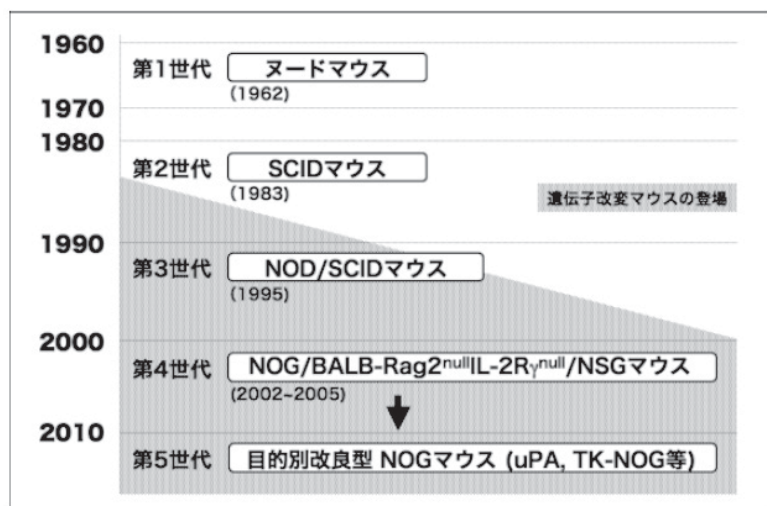
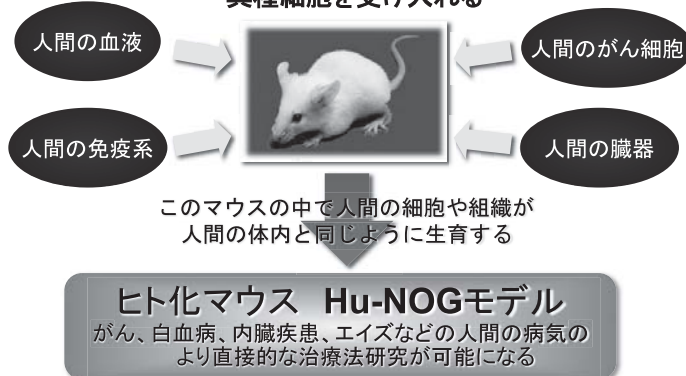


図1 免疫不全マウス開発の歴史

実中研世界の先駆け

異種細胞を受け入れる



7

＜産学連携窓口紹介＞ 慶應義塾大学 ハプティクス研究センター

慶應義塾大学ハプティクス研究センターは、同大理工学部大西公平教授の研究成果である「リアルハプティクス技術」の活用を促進するために、2014年12月1日に設置され、新川崎（K²）タウンキャンパス（以下、K²）で活動しています。本日は、その技術の概要と、センターの取り組みについて、センター長の大西教授を中心にお話を伺いました。

リアルハプティクス技術とは

ハプティクスとは、一般には触覚技術などと言われ、利用者に力や振動などを与え、遠隔地やCGの世界にある物体を実際に触っているような感覚を与える技術です。本センターで対象とするのは、実世界の力感覚をリアルタイムで扱う技術であり、私たちはそれを「リアルハプティクス（以下、RH）技術」と呼ぶこととしています。本技術は、電話が聴覚を、テレビが視覚を伝送する技術であるように、ものに触れた感触のような力覚を高精度で伝送できる技術として本学にて研究され、2011年3月に基本特許を取得しました。本技術を、例えば遠隔操作するロボットハンドに使用すれば、つかんだ物の感覚がリアルに分かるため、鉄の棒であればギュッと、人間の手であればやさしくつかむような、相手の状態に応じて精密に力を制御することが可能となります。このような、やさしくしなやかな動作は、今までのロボット技術では困難であり、現在、ロボットの普及が十分でない、特に、家庭など人と直接触れ合う現場に入っていない大きな理由の一つとなっていました。また、一般に現在の自律型ロボットは、人間のような柔軟な判断が難しく、災害現場などで想定外のこと、たとえばがけ崩れ等であらかじめ記憶された地理的条件が変わってしまった場合などでは能力を十分に発揮できませんでした。しかし、RH技術により、人の「頭」で判断し、遠隔操作するロボットを「体」として使う方法を取れば、こういった現場での活躍も期待できます。



ハプティクス研究センターの活動内容は

本センターは、日本発のRH技術によって、産業界に新しいソリューションを創出し、効率化と優しさ、そして安全・安心の実現に寄与することを目指し、RH技術を普及させることを目標としています。具体的には、本センターがRH技術に関連する知的財産の包括的な管理を行うとともに、技術の更なる進化とその多面的な展開を主導し、同時に、賛同いただける企業等とRH技術協議会を設立し、さまざまな現場で使いやすくなるための基本設計や技術仕様の確立、および応用開発を協調的、持続的に進めていく予定です。

です。特に、共同研究を行う個々のメンバーそれぞれに知財が細分化されて所有されてしまい、有用な活用が妨げられる、「アンチコモنزの悲劇」を避けるため、協議会メンバーが守るべき、「リアルハプティクス知財憲章」も制定されています。協議会メンバーの間で、シーズとニーズの出会いができる場も作って行きます。

また、実用化の推進のため、元横河電機(株)CTO、永島晃氏を副センター長に迎え、さらに、本学医学部など多くの分野とも協力し合っています。加えて、技術の普及、管理のためのベンチャーも設立する予定です。

今後の活動について

まず、最初の2～3年はクローズドイノベーションとし、少数の積極的な企業等と、誰もが使える形になるよう、基盤構築を行います。技術の基本仕様として、RH技術を搭載したい機器の設計段階から検討を行い、RHのコア、エンジンの組み込みを行うタイプと、既存の用途にプラグインで手軽に機能を付加できる形の2種類を考えています。その後、オープンイノベーションに移行して、さまざまな企業等とユーザー主体の研究開発を進める予定です。

K²としても、RH技術協議会の企業と共同研究がしやすくなるような環境作りを進めています。また、RH関連の慶應義塾大学発ベンチャーが、「新川崎発ベンチャー」として発展するよう、支援を行う予定です。



左から、永島副センター長、溝口KAST研究員、大西センター長

【問い合わせ先】

慶應義塾大学 ハプティクス研究センター
E-mail : info@haptics-c.keio.ac.jp
URL : <http://www.haptics-c.keio.ac.jp/>
〒212-0032 神奈川県川崎市幸区新川崎7-1
☎044-580-1599