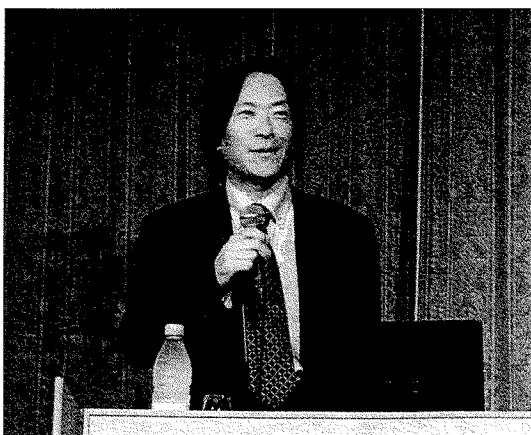


# ヒトとロボットのインタフェース

—広島大学での試み—

広島大学大学院工学研究科 教授

辻 敏 夫 (I57)



ご紹介いただきました辻でございます。先日、土井専務理事から、みなさんの前で何か話をしてくださいというふうに言っていただきまして、諸先生方、諸先輩方の前で話をさせていただくのも私には荷が重いかなと思ったのですが、ちょうどタイミングよく名古屋で愛知万博が開催されています。実は、そこにわれわれ工学部からも二つのチームが参加して出展することになっています。2005年6月9～19日の間、愛知万博「愛・地球博」モリゾー・キッコロメッセにおいて、日本の大学や企業の中の代表的なロボットが一堂に会するのですが、その中で私のところの研究成果も紹介させていただく予定になっておりますので、ちょうどいい機会ということでお引き受けさせていただきました。

いまから約1時間、私の研究室の研究内容をご紹介させていただきますので、「工学部でいま、こんなことやっているんだ」という感じで聞いていただければと思います。どうぞよろしく申し上げます。

## 1. 生体システム論研究室

「ヒトとロボットのインタフェース」というタイトルを今日の話につけさせていただいたのですが、健康な方だけではなく、障害をもたれている方、あるいは寝たきりの高齢者の方でも使えるようなロボットを作っていきたいと思っていて、そういうユニバーサルデザインという観点から考えた人間とロボットの間のインタフェースのあり方を研究しております。

私の研究室は、学部では第二类（電気・電子・システム・情報系）、大学院では複雑システム工学専攻というところに所属しております。電気・電子工学が専門なのですが、研究室の名前としては生体システム論という名前をつけさせていただいていて、電気工学の枠にとどまらず、ヒューマンサイエンス、ライフサイエンスに接近した新しい学際領域の研究を進めていきたいと考えています。図1が研究室全体を表すイメージ図なんですけど、人間の手とロボットの手で一緒に協力して仕事をしています。機械が人間を助け、

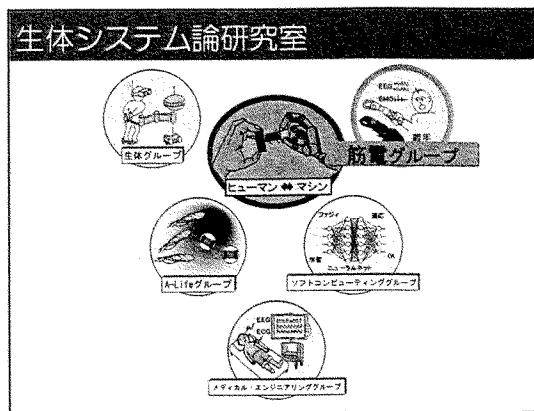


図1

人間と機械が一体となって活動することができるような世界を作っていきたい。そのためには、人間の特性、性質をきちんと調べて、その上で人間のパートナーになれるような機械を設計する必要があります。

もうひとつは、この図を自分の左手と右手という風に見ていただきますと、事故や病気で右手を失ったときにこういうロボットがあれば、体につけて自分の手の代わりになって動いてくれる、人間と機械がひとつのシステムに融合して、生きている部分と機械の部分がひとつのシステムとなって働く、いわゆる「サイボーグ」と呼ばれるようなものを作っていきたいと思っています。こういうことを実現するためには、まず生き物の特性、つまり人間の身体が動く仕組みを調べていかなければいけない。これは医学、生物学に近いような話です。それから情報工学やシステム工学の力を使って、人間と機械の間を取り持つインタフェースを作っていきたい。最後は、実際にハードウェアを、電気工学、電子工学、機械工学などの技術を駆使して作っていく。そういういろんな知識、技術を結集してこういう世界を作りたいというのを、研究室全体の大きな目標として掲げています。

現在、研究室には学生が約40人おりまして、その40人が5つのグループに分かれて、具体的な研究を進めています。「生体グループ」というのは、人間の手の運動の仕組みを調べ、福祉用具、リハビリテーション装置、自動車など人間が使用する装置やシステムへの応用を行うグループです。「筋電グループ」では、身体の不自由な方々のためのインタフェース装置やロボットを作っています。

極論すれば、世の中に存在するあらゆる機械は、人間が使う機械なわけです。例えば自動車を運転しようとする、自動車学校に行って運転の仕方を学びます。そして、練習していくうちにだんだんうまくなる。ただ、障害をもたれている方の中には、練習をしてもなかなかうまくならない方、あるいは練習自体ができないという方がおられますので、私の研究室のコンセプトとしては、「機械のほうが学習して人間に合わせてくれる」、そういう仕組みをつくらうと考えています。どんな人が使うのかということを機械が観察して、使おうとしている人に合わせて動き方を変えてくれる。プログラムを変えてくれる。そういう仕組みができれば、練習が難しい人でも機械を使いこなせるようになるかもしれません。その課題に取り組んでいるのが、

「ソフトコンピューティンググループ」で、人間などの生き物が相手を見て自分の反応を少しずつ変えていくといった適応学習機能をコンピュータで実現するアルゴリズムを作っています。生物の仕組みを手本にして、学習とか進化、適応などのアルゴリズムをコンピュータ上で実現する、そしてそれを機械にインストールして実際に動かそうというコンセプトです。

ただ、人間だけを対象にしてもなかなか難しいので、もう少し基礎的な生き物からきちんと調べようというのが「A-life (人工生命) グループ」です。うちで対象にしているのは大腸菌とかゾウリムシ、それから、*C. elegans* という線虫、小さい1ミリぐらいのミミズみたいな生き物なんですけど、そういう小さい生き物でも、環境の変化に応じて自分の行動を選択したり、学習したりする機能を持っているので、そういうものを調べてヒントを得てアルゴリズムを作っていくというアプローチをとっています。

それから、最近、力を入れているのが、工学と医学の分野を融合した「メディカルエンジニアリンググループ」です。これは医学部や病院の先生たちと一緒に、われわれの技術シーズと医療現場のニーズをマッチングして、新しい計測装置や治療法を開発していききたいというような研究を行っています。

今日は、体の不自由な方々のためのロボットシステムを作りたいという「筋電グループ」と「ソフトコンピューティンググループ」の研究成果を、簡単にご紹介させていただければと思っています。

最も難しい問題は、ロボットが人間の「意のままに動くか」という点です。例えば、事故や病気で手を失った方が身体にロボットを装着して、今からコップを持つから「握れ」という命令を手伝えたいのですが、手がロボットになっていますので、どのようにして自分の意思をロボットに伝えるか、これが意外と難しい。例えば、「握れボタン」がついていてボタンを押すのもおかしいし、音声認識で「握れ」って命令するのもおかしいですね。頭の中で「いまから握ろう」と思っただけで握ってくれるロボット、そういう人間の意図を汲み取って意のままに動くロボットを作りたいというのがポイントです。そして、その技術をベースに開発したロボットを簡単にご紹介させていただいて、その後、「バイオリモート」と私たちが呼んでいる環境制御システム、そして万博展示の内容を最後に紹介させていただければと思います。

## 2. 意のままに動くロボット

労働災害や交通事故、血行障害などで四肢の一部を切断された方は、たくさんおられます。上肢を切断された場合は、義手を使うことになるのですが、日本では人口の約0.1%、12万人ぐらいと言われています。ただし、これは指の切断なども入った数字ですので、12万人のうち、ロボットタイプの義手を必要とされる方はもう少し少ない数になると思います。日本の場合は、労働災害や交通事故が主な原因で、外傷による切断が90%ぐらいです。海外では発生率が高くて戦争などで手足を失う方がかなりおられます。

例えば、手を失われた場合には代わりに人工の手をつけるということになります。つけないと右手と左手の重さが違ってバランスが崩れてうまく歩くのが難しくなるなど、いろんな影響がありますので普通は義手をつけます。タイプとしては3種類ぐらいあります。ひとつは「装飾義手」といって、これは飾りの手でマネキンのような手です。これは見た目（コスメティクス）の問題です。それから「作業義手」と呼ばれるのは、手の形をしている人形の代わりにフックのようなもので作業ができるようにしたものです。ただ、作業義手では軽く引っ掛けることぐらいしかできないので、本当の意味での作業はなかなか難しいですね。

一方、動くタイプを「能動義手」と呼んでいます。これは2種類に分かれていて、体内力源と体外力源があります。体内力源というのはモータなどを使わず、自分の体の中の力源、つまり体に残された別の場所の筋肉を使って義手を動かそうということです。これに対して体外力源は、電気モータなどを内蔵して義手自身が動くことができるというロボットタイプの義手ということになります。ただ、国内で切断されている方



が使用している義手の種類に関するアンケート結果をみますと、現状ではほぼ80%の方が装飾義手を使われているということでした。体外力源を使った義手は非常に少なく、1%にすぎません。ただ、「もしいい電動義手があったら使われますか」という質問に対しては76%の方が使いたいと答えられています。つまり、うまく動いてくれて、手軽に買えるような電動義手が少ないことを意味しています。

そういう意味で、大学で研究開発する意味があるだろうということと、ちょうど十数年ぐらい前に工学部の学生で事故で腕を切断した方がおられて、そういったことがきっかけになって私たちの研究室で、じゃあ作ってみようとはじめました。課題としては、見た目が自然、動きが自然、そしてずっとつけているので軽くないといけな。さらに、動くときにモータの音やギアの音がするとよくないので、静かに動く必要があります。それから毎日つけるので耐久性も必要です。そして、もっとも大切なことが、先ほど申し上げたように、自分が握りたいと思ったときに握ってくれる高い操作性です。意のままに動く、頭の中でこうしようと思っただけで動いてくれる。そういうタイプのロボットじゃないとなかなか使う気にならない。そこで、人の手は脳で動かされていますので、人間の脳と手を調べて、その仕組みを工学の言葉でモデル化する。つまり、人間の身体の中のメカニズムを工学的に調べてそれをモデル化する。そのモデルを、ロボット技術によりハードウェアとして作っていくというアプローチが必要だろうということで、まず簡単に人間の体が動く仕組みを考えてみます。

脳から手を「握れ」という命令が、電気信号として身体の中を伝わっていきます。神経の上を電気のパルスが伝わり、それが切断前は手まで到達して命令を伝えていたのですが、身体の一部が切断された場合は、骨格や筋肉だけでなく、この神経の信号経路も切断されてしまいます。一方で、手の先に何か当たった感覚というのは、やはり神経を通じて電気信号として脳に伝えられます。この信号経路も切断されてしまうわけです。そこで、切断された方にロボットを自由に操っていただくためには、人間の生きている神経とロボットをつないでしまうようなことが必要になります。もし、うまくつなぐことができれば、頭の中で握ろうと思っただけで握れる義手ができるでしょう。

「握れ」という命令の経路をもう少し詳しくみてみ

ます。手を動かすのを脳のどこから命令しているかといいますと、ちょうど側頭部の耳の上のあたりに運動野というところがあります。ここにある神経細胞が興奮して電気のパルスを出すと、神経がつながっている先の筋肉が動くという仕組みになっています。運動野のある部位の細胞が興奮すると手首が動く、その下には指を担当している細胞があるというふうに、頭の中に体の場所ごとを担当した細胞がいて、その細胞が興奮すると対応している筋肉が動くという仕組みです。

例えば、腕を動かさそうと思って命令を送ると、一本の神経を伝わって脊髄まで電気パルスが到達します。脊髄のニューロンはそのパルスを受けて興奮し、またパルスを出して筋肉にパルスを送ります。筋肉はそのパルスを受けて収縮し、力を出します。この力によって身体が動きます。このとき、電気パルスを受けて筋肉も放電します。これを筋電（EMG）信号といいます。皮膚の表面に電極を貼って、筋肉が放電しているときの電気信号を計測すると、力を入れているところにバースト状の波形があらわれ、力を抜くと信号が消えて0Vになります。しかも力を強く入れれば大きな波形、軽く力を入れれば小さな波形というように、力に応じて信号の大きさが変化します。皮膚の表面に電極を貼るだけでこの筋電信号が測れますので、腕を切断された方の残された筋電信号をうまく計測できれば、脳から筋肉への命令を読み取ることができます。

例えば、手首と肘の間で腕を切断された方を考えてみます。この人が手首を曲げようと思うと、脳から手首を曲げるための命令が電気で伝わってきます。切断された部分の手前にある筋肉は、もう動かす手首はないけれども、筋電信号を出してもともとあった手を動かそうとします。その信号を計測して、その信号からこの人が何をしようとしているのか、握ろうとしているのか、開こうとしているのか、手首を曲げようとしているのか、伸ばそうとしているのかということをコンピュータを使って推定して、その結果を制御信号としてモータに送る。もし、手を握ろうと思った瞬間にこれだけのことができれば、「握ろう」と思っただけで義手が動くということになります。

筋肉はそれぞれ異なる働きをしています。例えば手首を内側に曲げると腕のある部分の筋電信号がたくさん出て、別の部分はあまり出なくなります。そこで、この情報をコンピュータに覚えさせておいて、似たような信号がきたら、これは多分、手首を内側に曲げよ

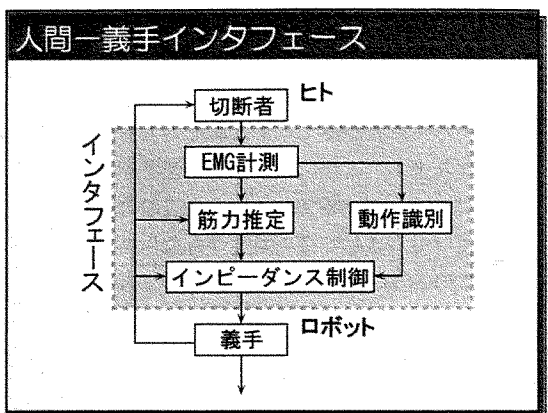


図2

うとしているんだと判断します。つまり、この人が握ろうと思ったらこのパターン、開こうと思ったらこんなパターンというふうに、あらかじめコンピュータの中にいろんなパターンを覚えさせておいて、次に入ってきた信号がどれが一番近いかという計算をして、その結果のとおりロボットを動かせばいいということになります。ただ、電極を貼る場所を動かすとパターンが変化しますし、いろんな人がおられるので、人が変わると同じ動作でも違うパターンの信号がでます。特に障害者の方では、10人おられれば10人とも全然違うというように個人差が非常に大きい。

そこで、私たちは、図2のようなインタフェースを考えました。まず腕を切断された方に電極を貼って筋電信号を計測します。筋電信号は大きい電圧が出れば大きい力が出ている、小さい電圧であれば小さい力ということになりますので、その人が出そうとしている力を計算することができます。同時に、その信号のパターンからどの動作をやりようとしているのか、握ろうとしているのか開こうとしているのかを識別します。ただし、これは学習的に行います。人が変われば別のプログラムを自動的につくるといことです。その人専用のプログラムをその場で瞬時にしかも自動的に作るということを行います。

この力と動作という2つ情報を使ってモータを制御してロボットを動かします。こういう人間とロボット間のインタフェースをうまく作り、これを瞬時に行えるようにすれば、「握ろう」と思っただけで義手が握ってくれるシステムができることになります。

筋電信号を実際に計測すると、1mV ぐらいの振幅で1.5kHz ぐらいまでの高周波成分を含む信号がとれ

ます。この信号を、5Vぐらいに増幅して絶対値をとって、高周波成分をカットするとゆっくりした波になります。これが力の推定値です。その力の推定値を使って、いろいろな人が使えるようにその人専用のプログラムを作ります。これには、私たちが考案した新しいタイプのニューラルネットという人工の神経回路網モデルを使っていて、一回ずつ各動作を行ってもらって、このときの信号をもとにプログラムを作ることができます。さらに、ロボットは機械ですが、人間のようにやわらかく、しなやかに動くような仕組みをロボットの制御プログラムの中に入れていまして、力強く動かせばロボットも力強く、軽く力を入れるとロボットもやわらかく動くという制御を実現して、それらの技術を総合して「義手型人間支援ロボット」というロボットを開発しました。

### 3. 義手型人間支援ロボット

このロボットは、筋電信号で制御される義手部と、位置信号で制御されるアーム部からなります。義手部は、超音波モータで駆動していますので、動作音が聴こえなくて非常に静かに動きます。義手の上には人工皮膚をかぶせて手のような形にします。また、この義手はアームから外せるようになっているので、外出されるときには自分の腕につけていただき、家に帰ったら自分の手から外してこのアーム部の先につけて、このロボットが横から手伝ってくれるというコンセプトで開発しました。

まず、使用される方の腕に電極を貼って筋電信号を計測します。さらに、腕の切断した先端の部分に位置センサをつけて、先端部の3次元的な位置情報を計測します。筋電信号を使って、義手部の「手の開閉」、「手首の左右回転」、「手首の曲げ伸ばし」を制御し、同時に位置信号を使って腕全体の上下左右の大きな動きを制御します。

では、ビデオを見ながら、実際の動作をご説明します。

このシステムでは、皮膚の表面に絆創膏のような電極を貼って、この部分の電位変化を無線でコンピュータに送ります。この信号から、電極の下の筋肉が出している力をリアルタイムで計算します。結局、電極の下の筋肉が出している力が大きくなったり小さくなったりするような信号が取れる。そうすると、もう手の動きを見ていなくても、「いま力を入れた」、「いま力

を抜いた」というのがこの信号だけからわかります。

さらに、この例では電極を6組貼っているので、6つの筋肉の力パターンをグラフにできます。筋肉に力を入れると信号が大きくなりますから、手を握ったら働く筋肉、手を開いたら働く筋肉、曲げたら、伸ばしたらというようにあらかじめパターンを覚えておけばいい。それをコンピュータにやらせます。しかし、直接、パターンを覚えてしまうと、手の動かし方をほんの少し変えただけで間違えてしまいます。そこで、パターンをそのまま覚えるのではなく、少しずつでもちゃんと正しい答えが出るようにニューラルネットを使って学習をします。学習がうまくできれば、電極からの信号でこのロボットを動かします。手を開けばこのロボットも手を開きます。握れば握る、曲げれば曲げる、というように筋電信号を使って物まねをしているわけですね。力の大きさもコントロールできますので、強く握れば強く握る。軽く握れば軽く握るというように、力の入れ具合も調節できます。

同時に、位置センサからの信号で、腕の切断した先端の部分の動きがわかりますから、腕が上に動いたらロボットの腕も上方向に制御します。このように、筋電信号による手首と手の制御と位置センサによる腕全体の動きの制御を並列に処理することにより、ロボット全体をまるで生きているかのように動かすことが可能になります。

このビデオは、藤田和幸さんという上肢切断者の方に、このロボットでご飯を食べていただいているところです。基本的な動作は可能で食事をするができるのですが、ロボットがすこし大きすぎるので、なかなか難しくてお茶を飲むのもちょっと危ない感じです。これだと、家族と会話しながらご飯を食べるのはすこし難しいだろうということで、ちょっと方式を変えて、ずっと操縦し続けるのではなく、メニューから命令を選択してロボットを操縦する方式を開発しました。

目の前にパソコンの画面が置いてあって、その画面にメニューが出てきますので、このメニュー上のカーソルを動かすのを自分の筋肉からとった筋電信号で、ちょうど銀行のATMのような感じで画面上のメニューを選んで、何か命令を実行します。すると、ロボットがその命令を受けて動作します。おかずをフォークで刺して口に持ってくるのか、ちょうどリモコンのようなイメージで画面を見ながら自分のやりたいことを

選んで「実行」というボタンを押す。ただ、この方は手がないので、指でボタンを押す代わりに、筋電信号で選択するとロボットが実行してくれる。これだと、家族と話しながらでもご飯が食べられるだろうということです。このメニュー方式をもう少し発展させたシステムについては、また後ほど、ご説明することになります。

もうひとつの問題は指です。この義手の人工皮膚グローブは5本指なんですけど、中身は2本指です。できれば、指が5本全部そろったロボットを作りたいということで、広島県立東部工業技術センターと広島県立保健福祉大学（現 県立広島大学）、私たちの研究室、それからいくつかの企業が集まって産学官のチームを作り、5本指の義手を開発しました。これはちゃんと指が5本あるので、指を使ってワイングラスのような複雑な形状のものをうまく握ることができます。やはり、腕に電極を貼って筋電信号で制御することができます。ビデオでわかりますように、この5本の指、微妙にずれて動いています。



この義手を実際に切断者の藤田和幸さんにつけていただいて、この方の筋電信号でこの5本の指を動かすと、頭の中で手首を曲げようと思ったら曲げてくれる。ただし、これはできるだけ軽量化することを目標にしまして、指は5本動くんですけど、モータは1個しか入っていません。1個のモータとワイヤですべての指、すべての関節をつないで動かしています。だから親指がコップの表面にぶつかって固定されたとしても、残りの指はワイヤがまだひっぱりますので動き続け、次に人差し指が引っかかったらまだ引っ張られて中指、薬指、小指が動くというふうに、引っかかったところから固定されて、残りが動くという仕組みになっ

ています。残念ながら、じゃんけんではグーとパーしかできなくてチョキは出せないんですけど、2本指よりは格段に生き物っぽく動くようになっています。

#### 4. バイオリモート

これまで開発した義手は、実際に複数の患者さんに試していただいています。結構、気に入っていただけて「家に持って帰りたい」と言っていたのですが、実際に持って帰ってほしいというのはなかなか言えない。やっぱり一台作るのにかなりコストがかかっていて、一台数百万円もかかります。そのあたりが非常に大きな課題となっています。できれば、お土産で持って帰っていただけるぐらいのものを安く作りたいということで、そんなものがないかと考えました。

そのヒントは、先ほどの食事支援のためのメニュー制御方式のシステムにありました。つまり、画面のメニューを見てそれから命令を選ぶ。何か作業を選んだら、それに応じてこのロボットが動いてくれる。このロボットの部分に費用がかかっているんですね。システム全体のコストの大部分はこのロボット部分で、筋電信号を測るとか電子回路を作るのはそんなには大きなコストはかからない。だったら、このちょうどリモコンのような機能を切り出して、ロボットではなく家庭の中にある家電製品をこの仕組みで動かさせないかと考えました。

例えば、寝たきりの人だとリモコンを使うのはなかなか大変で難しいですね。細かいボタンを押すのが大変です。最近、世の中でさかんに言われている「バリアフリー」というのは、例えば段差をなくしたり、階段があるところにはエスカレータや昇降機をつけたりということを普通は指すんですけど、もう少し詳しく私たちの家庭内を考えてみますと、テレビとかビデオあるいはパソコンとかエアコンとかいろんな家電製品が非常に充実してきています。情報家電というものも増えてきている。ところが、それらを使いこなしているのは、ほとんど若くて健康な人たちなんです。新しい機械にもすぐに適応できるし、手先が器用に動くので、こういう家電製品を使いこなすことができる。一方、体の不自由な方はいろんな家電製品が家にあってもなかなか使いこなせない。

例えばテレビをつけるためのリモコンは、もともとは身体の不自由な方たちのために作られたそうです

ね。テレビまで近づいてチャンネルを変えることができないので、離れたところから操作できるようにしよう。それが始まりだったらしいのですが、最近のテレビのリモコンってものすごく機能が充実して操作が複雑になったため、ボタンが小さくて数も多い。そうすると本当に困っておられる障害者の方は使えなくなって、若くて健康な人だけが使いこなしている。リモコンが使えないので仕方なくテレビの近くに行ってチャンネルを替えようと思ったら、最近のテレビにはもうチャンネル自体ついてないですね。

つまり、家の中に見えない「バリア」があって、それは健康な若い人はあまり気づかないけど、実は障害をもたれている方や高齢者の方はそのバリアに苦しんでおられるんじゃないかと。最近の情報テクノロジーに対応した新しいバリアフリー技術というものがあつたんじゃないかということで、さっきの義手の技術を使って新しいバリアフリーインタフェースを開発しようと考えました。

実際に使っていただくためには、障害者の方やお年寄りだけでなく、健康な若い人も子供もわけへだてなく使えるように、つまりユニバーサルデザインにしたいと考えました。そのためにまず、自分にあつた入力方式を選べるように、いろいろなセンサを用意しました。義手の制御に使った筋電センサは複数あるセンサの中のひとつで、例えば、指輪型の加速度センサを指につけて手を振るとそれがスイッチになるようなものもあります。この指輪センサでは、例えば、寝たきりの人が布団をたたくと、それがスイッチになってテレビがつくとか、そんな使い方が可能になります。体が麻痺しているんだけど少しは動くというような人、そういう人には曲げセンサをつけて、例えば指をちょっとだけ曲げるとスイッチが入ってライトをつけられるといった具合です。お年寄りでも健康な方、ちゃんと手が動くという方は、例えばタッチパネルを使って画面のアイコンを選んで押すとそれがスイッチになるように、他にもいろんなタイプのセンサを用意して、使用される方に選んでもらいます。その信号を無線で飛ばして、その人用のプログラムを学習的に作る。

「私は手を握ったらテレビがついてほしい」、「僕は足をぐっと踏んだらライトがついてほしい」というように、その人の使い方や癖にいちいちエンジニアやプログラマーが対応するのではなくて現場でコンピュータが学習してしまう。そういう適応学習機能を用意し、



図3

さらにその識別結果に応じて制御信号を発生する機能を一体化します。操作の対象とする装置は、特別に開発していたら大変な費用がかかるので、できれば家の中にあるものをそのまま利用したい。リモコンで動くものであれば、この装置からリモコンの信号を出してやればいい。こういっただけでも使えるバリアフリーのためのインタフェースを、「生体の」という意味の「バイオ (Bio)」とリモートコントロールの「リモート (Remote)」をつなげて、「バイオリモート (Bio-Remote)」と呼ぶことにし (図3参照)、体から出るいろんな信号を使ってリモートコントロールができるような仕組みを作ろうと考えました。これをちょうど3年前に、経済産業省の「地域新生コンソーシアム研究開発事業」という研究費をいただいて、産学官の共同研究チームで実際に開発しました。これは、例えば筋電信号を計測して無線で送信する装置と、受信機を使用者に購入していただいて、この受信機をUSBでご自分のパソコンにつないでいただきます。そしてソフトウェアをインストールする。ソフトウェアは、学習するニューラルネットとメニュー部分のインタフェースの2種類で、これをインストールしていただく。そして、使用したい機器を登録し、赤外信号を設定すると使えるようになります。

では、動作している様子を、ビデオでご覧いただきましょう。バイオリモートの画面には、家の中のシーンが描いてあります。この例では、4つの場面が描かれており、色が変わっているところが現在選択されているシーンです。筋電信号を使って、この選択しているところを、カーソルを動かすように変更することができます。例えば、手首を上曲げるとカーソルがひ

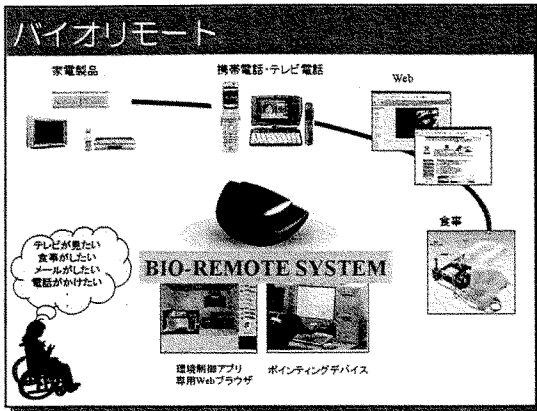


図 4

とつ前に進み次のシーンが選択されます。逆に、手首を下に曲げると、ひとつ戻ります。そして自分が好きなところまで動かして、そこで握るとそのシーンの絵が拡大し、次の階層メニューが表示されます。ここに家電製品が並んでいますので、またカーソルを動かして家電製品を選択して、ここで握る。例えばテレビを選択すると、テレビのアイコンが大きくなって、テレビのリモコンが表示されます。その画面で、またカーソルを動かして「ボリュームアップ」とか「電源OFF」とかを選択して手を握る。すると実際に赤外線信号がテレビにむけて発射され、テレビを思い通りに操作することができるという仕組みです。このビデオが、握ったり開いたり曲げたりしながらテレビをつけてるところです。

この方式だと、手首を「曲げる」と「握る」という、少しの体の動きでテレビをつけたり消したりでき、またいろんな家電製品をメニューの形で取り込めるので、かなり重い障害をもたれている方でも、ほんの少しの体の動きでいろんなものが操作できるようになります。ポイントは、ユーザの能力や特徴に機械のほうに合わせてくれるという点です。いろいろなセンサを用意しており、さらにプログラムもその人に合わせて学習で作るので、その人の病気の特徴に応じて機械側をカスタマイズすることができます。

また、デザイン面にも力を入れていまして、障害者の方が健康な方に自慢できるような装置にしたいと思っています。「僕はこんな装置を使ってテレビをつけたり消したりできるんだ。カッコいいだろう」というようなことが言えるようなものになりたいなど、そうすれば、普及していくんじゃないかという風に考えまし

て、いろいろな機能をバイオリモートに追加したシステムを、いま作っているところです(図4)。

最初は家電製品の操作だったんですが、携帯電話とメールをやりとりしたり、あるいはNTTドコモのFOMAを利用して、たとえば家族が旅行に行かれてきれいな風景を見たときに、それを家におられる寝たきりの方に見せてあげるというテレビ電話機能に対応しています。それからインターネットにアクセスしたり、コンピュータゲームを楽しんだり、さらにご飯を食べるときも、食事支援ロボットをこのシステムにつないで自分でご飯を食べることが出来ます。

#### ■バイオスプーン

この患者さんは、頸椎損傷で首から下が麻痺して動かない古跡博美さんという方です。首の動きは難しいんですけど、顔は動かすことができますので、目じりに電極をつけていただいて、右目ウィンク、左目ウィンク、両目ウィンクという形で、バイオリモートを操作して、自分でご飯を食べていただきます。これが食事支援ロボットで、専用の弁当箱にご飯とおかずをいれて、体の正面のテーブルにおきます。バイオリモートの画面には弁当箱の絵が描いてあって、どこを食べたいかをウィンクで指示します。このビデオは、スプーンを右上の区画に動かしておかずを取ろうとしているところです。おかずの位置までスプーンを動かす必要がありますので、「少し手前」とか、「もう少し右」とかという風に矢印キーをウィンクで選んで動かして、そこでメニュー画面から「食べる」を選択します。そうすると、ロボットがおかずをつかんで口まで運んできてくれる。口の位置もあらかじめ、ウィンクを使って教えておきます。操作者が食べるとスプーンにセンサがついていますので、このロボットは元の位置に戻ってスタンバイの状態で次の命令を待ちます。

これだと、自分でゆっくり、ご飯が食べられます。家族と一緒に、自分でご飯を食べることができるのです。この食事支援ロボット自体は私たちが開発したものではなくて市販のロボットです。これは、通常は、ジョイスティックで操縦するロボットなんですけど、この方はレバーが持てないので使えない。ということで、このロボットを利用してジョイスティックの代わりに赤外線のリモコンで動くように改造し、バイオリモートの中に組み込んだのです。私たちは、このシステムを「バイオスプーン」と呼んでいます。



## ■バイオボコーダ

この古跡さん、実は人工呼吸器をつけておられますので、そのままでは空気が気管から漏れてしまい、発声することができません。顔は動かさずから、「あ」とか言おうとすると口は「あ」の形になるけど、声は出ないのです。ということで、顔の筋肉に電極を貼って筋電信号をとり、この信号を義手と同じように学習処理をして、筋電信号を声に変換する「バイオボコーダ」というシステムを作っています。

まず、「あ」のパターンをコンピュータに取り込む。次に、「い」のパターンというように、使う前に1回ずつ「あ」、「い」、「う」、「え」、「お」、それから「ん」をコンピュータに教えます。その6つのパターンを学習して、プログラムをつくります。ただ、残念ながら「あ」と「か」の違いはわからない。「あ」と「か」は口の形がほとんど同じなので、どうしても同じになってしまう。ただ母音がわかりますので「う」→「え」→「い」→「い」って言ったら、たぶん「嬉しい」って言いたいのだろうと考えます。つまり、単語のモデルをコンピュータの中に用意しておいて、多少、言い間違えても意図した単語が選ばれるように母音列を解析して、選んだ単語を音声合成のソフトを使って読み上げます。だから、家族の方とコミュニケーションをとるときに使えるし、メールの文章を入力したいときに使っていただけじゃなくかと思っています。また、強く力を入れて口の形をつくと大きい声が出ますし、軽くすると小さい声が出るという風に、筋電信号の大きさと音量も変えられようになっています。

## ■アミューズメント・インタフェース

この古跡さん、実は囲碁が非常に得意で、病気になるまでは囲碁とか将棋とかをよくやられていたということでした。「今はできなくなってすごく残念だ」と言われますので、バイオリモットをプレイステーション2というゲーム機につないで、オセロゲームを試していただきました。今度は口の両脇に電極を貼っていますので、口を動かすとこれが命令になって、画面のカーソルを動かして自分の好きなところに石を打つことができます。このように、一人でコンピュータゲームで楽しむことができます。

私たちはユーザに楽しみを与えてくれるようなインタフェースが、今後、重要になっていくと考え、バイオリモットを利用した「アミューズメント・インタフェース」を提案しています。このシステムでは、回路

を書き換えることができるFPGAというチップを利用していますので、プレイステーション2だけでなく、さまざまなゲーム機を接続することができます。

## ■バイオポイント

バイオリモットは、障害をもたれている方だけではなく、健康な人にも使っていただきたいと考えています。たとえば、この「バイオポイント」はコンピュータのマウスの働きをします。コンピュータの画面のカーソルを、筋電信号を使って動かすことができますので、マウスを持たなくてもコンピュータを操作することができます。

例えば、このビデオでは手首の動きを使ってカーソルを操作しています。右手首を上にも曲げるとカーソルが上にも上がる。下にも曲げると下に動く。左右も同様です。そして左手を握るとダブルクリックになります。このビデオは、インターネットエクスプローラを立ち上げてホームページを見ているところです。こういう仕組みだと机がなくても使えますから、歩きながらパソコンを操作することができます。私たちの研究室では、ヘッドマウントディスプレイというゴーグルタイプのディスプレイを目につけて、コンピュータはバッグに入れて、歩きながら手首を使って操作できるウェアラブルコンピュータを開発しています。

## ■テレオペレーション

これまでお話してきた仕組みを利用すると、離れた場所のロボットを操縦することもできます。このビデオは、別の部屋に置いたロボットを、こちらの操作者が離れた場所から筋電信号を使って操作しているところです。例えば、バイオハザードなどで人間が入れない領域でロボットに仕事をさせることが可能となります。従来の技術では、操縦桿がないとロボットを操縦できないのですが、このシステムを使えば自分の腕がそのまま操縦桿の代わりになって、自分が手を開けば、ロボットも手を開くというように直感的でわかりやすい操縦が可能になります。このビデオのように、両腕を使った作業も可能です。

## 5. 愛知万博「愛・地球博」に出展

これまでご紹介してきましたシステムには、移動機能がありません。基本的には家の中で移動せずにまわりにある装置を使おうということですが、やはり移動機能がないと不便ですね。そこで、いまちょうど万博に向けて、移動機能を新しく組み込もうとしています。

図5は、現在開発中の車椅子タイプの移動ロボットです。

このロボットは複数の機能を備えています。まず、寝たきりの方がこのロボットをベッドの上から遠隔で操縦することができます。ベッドの近くに呼び寄せることもできますし、このロボットをリビングルームまで遠隔操縦し、マイクとスピーカ、カメラとディスプレイを使って音と画像をやりとりし、家族団らんに参加することもできます。また、バイオリモートを搭載していますので、リビングルームの家電製品をベッドルームから操作することも可能です。そういったエージェント（代理人）としての機能のほかに、もちろん乗って運転することもできます。



図5

愛知万博では、本日、ご紹介したシステムを全部まとめて展示する計画になっています。システム全体のコンセプトは、「サイバネティック・ヒューマン・ロボット・インタフェース・システム (Cybernetic Human-Robot Interface System)」、略して「CHRIS (クリス)」で、人間の生体信号を使って人間とロボットを融合し、まるでサイボーグのように、ロボットを自分の身体の一部として自由自在に扱う、そんなことを可能にするシステムです。

6月9日から19日まで、名古屋で開催中の「愛・地球博」モリゾー・キッコロ・メッセにおいて「プロトタイプロボット展」が開催されます。これは、ロボットの研究開発を行っている日本の主要な大学や企業から、計65種類のロボットが集まり、未来の世界で活躍するロボットを展示しようという企画です。最先端のヒューマノイド・ロボットや医療用ロボット、アミューズメント・ロボットなどが一堂に会します。万博に



図6

おいて、日本から世界にロボット技術を発信しようというコンセプトです。

実は、今日紹介させていただいた私たちのロボットとは別に、もうひとつ、同じ複雑システム工学専攻のロボティクス研究室から万博に出展される予定になっています。時速160キロのボールを打ち返す「バッティング・ロボット」です。「プロトタイプロボット展」で展示されるロボットは、企業からのものを含めて全国でわずか65種類ですので、広島大学工学部から2チームも選ばれたというのは全国的に見ても非常に珍しく、広島大学に最先端のロボット技術があるということがお分かりいただけると思います。

## 6. おわりに

図6は研究室のポスターなんですが、人間の手と機械の手が融合するような、そういう世界を作っていきたいと考えています。私たちの研究室は、もちろん工学研究科に属してエンジニアリングの立場で研究を進めていますが、エンジニアリングの世界にとどまるのではなく、もっと外に出て行きたい、もっとさまざまな分野と交流し、新しいもの、新しい技術を作っていきたいと思っています。医療や福祉、生物などのフィールドに出て行って、そこでエンジニアリングとヒューマンサイエンスを融合したような新しい分野を切り開いていきたい。そして、工学の技術を使っているような問題に対する効果的なソリューションを提示したい、人間の役に立つようなものを新しく作っていきたいというコンセプトを基本にして、研究を進めています。

今日は時間の関係で、お話しさせていただいたシス

テムを開発するためにどのような基礎研究を行っているかということまでは触れることができなかったのですが、おおよそそのような試みを工学部で行っていますということをご理解いただければ幸いです。もし、6月に万博にこられることがございましたら、ぜひ私たちのところにも足を運んでいただければと思います。

以上、ご清聴いただき、どうもありがとうございました。

#### 司会

どうも、ありがとうございました。それでは、ここで若干の時間がございますので、ご質問がございましたら受けたいと思いますがいかがでしょうか？どうぞ、ご遠慮なくご質問がございましたらお願いいたします。

#### 質問者

子供の頃、テレビアニメの「鉄腕アトム」が好きでよく観ていたのですが、そういう世界が現実になってきてるんだなああと、ロボットが知能を持つようになってきてるんだなあと感じました。そこで、質問ですが、実際に「鉄腕アトム」ができるまで、あと何年くらいかかるとお考えでしょうか。

#### 辻先生

非常に難しい質問なんですけど、いまちょうど、ヒト型ロボット「ヒューマノイド」の研究は一気に進んでいまして、動きだけを見ればアトムに少し近づいているようなものが出はじめています。皆様もテレビでご覧になることがあると思うのですが、ホンダの「アシモ (ASIMO)」とか、SONYの「キュリオ (QUIRO)」っていうロボットとか、制御の技術はかなりよくなってきている。

何が一番足りないかということ、人間のようにアトムは自分で考えて行動するんですね。そこがやっぱり一番難しい。結局、機械の技術を使えばアトムのように100万馬力、100万まではいかななくても、人間の力を超

えるパワーを持たせることは比較的容易なんです。もちろん安全の問題とかありますけど、大きな力を出すことはいずれできるようになります。極端な話をすれば、空を飛ぶことだって、ジェットエンジンを積んでやればできなくはない。ただ問題は自分がいつ飛ぶのか、何のために飛ぶのかという判断をするところが難しい。テレビだとすごいロボットができてるように見えますけど、ほとんどの場合は、完全にプログラムされているか、裏で人が操縦しているか、どちらかです。すごくよく動いているように見えますけど、前の日から行って場所を決めて、ここからここに動かして、それ以外の想定外のことはできないという予定調和の中で、すごくいい動きをしてダンスをしたり、あれはほとんど全部プログラムされているんです。人間のようには本当に自分で考えて自分で動くことができるロボットは、まだ夢の夢という状態です。

私たちの研究室では、そういう「知能」に興味があります。人間が考えていることを理解して意図を汲み上げてくれて、できれば人間が足りないところをサポートしてくれるというような、そういう仕組みを作って行きたいと考えています。

そういう意味で、満足いく「鉄腕アトム」が作れるようになるまで、まだ100年ぐらいかかるんじゃないかと思います。それぐらい人間というのは優れた生き物なんだという風に思います。もちろん、100%再現できなくても、部分、部分が工学的に実現できれば、医療福祉用とか産業用とかいろいろなことに利用できるでしょうし、そういうところを目指して私たちは研究を進めていきたいと思っています。

#### 司会

辻先生にはお忙しい中を本日は私たちのために有益なご講演をいただきましてありがとうございました。今一度、感謝の気持ちを表す拍手をお願いしたいと思います。どうもありがとうございました。

以上を持ちまして記念講演会を終わりたいと存じます。長時間のご清聴、ありがとうございました。

## 辻 敏夫先生のプロフィール

- |  |   |
|--|---|
| ○出身地 京都府                                       | 日本機械学会 ROBOMECH 表彰 (2001)   |
| ○学歴・職歴   | 計測自動制御学会論文賞 (2002)  |
| 広島大学工学部第二類 (電気系)卒業 (1982)                      | 日本医科器械学会論文賞 (2003)  |
| 同大学大学院工学研究科博士課程前期 (システム工学専攻) 修了 (1985)         | IEEE RAS King-Sun Fu Memorial Best Transactions Paper Award (2004)                  |
| 広島大学工学部 助手 (1985)                              | 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門学術業績賞 (2004)  |
| ジェノバ大学 (イタリア) 客員教授 (1992～93)                   | 日本医科器械学会論文賞 (2005)  |
| 広島大学工学部 助教授 (1994)                             | ○文 献  |
| 同大学大学院工学研究科 教授 (2002)                          | ・学術雑誌研究論文 計156編   |
| ○受 賞   | ・国際会議発表論文 計141編   |
| 計測自動制御学会学術奨励賞 (1986)                           | ・解説、著書 計27編   |
| バイオメカニズム学会論文賞 (1990)                           | ○ホームページ   |
| IEEE ICRA Best Manipulation Paper Award (2000) | <a href="http://www.bsys.hiroshima-u.ac.jp/">http://www.bsys.hiroshima-u.ac.jp/</a> |
| 日本義肢装具学会論文賞 (2000)                             |   |

## 平成 18 年 版 会 員 名 簿 完 成 予 定

(平成17年12月上旬)

- |        |   |
|--------|---|
| 体 裁    | A列4判 約1,200頁  |
|        | (1) 会員 約26,000名   |
| 内 容    | (広島高工、広島工専、広島市工専、工学部、工業教員養成所及び大学院工学研究科卒業生) 各学科、卒業年度別掲載                              |
|        | (2) 勤務先別掲載  |
|        | (3) 工学部教職員録 (含旧教官)  |
|        | (4) 支部所在地並びに支部長名  |
|        | (5) 索引 (五十音順)   |
| 会員領布価格 | ・印刷版 1冊 4,500円 (送料込)<br>・CD-ROM版 1枚 4,500円 ( " )<br>・印刷版/CD-ROM版セット 1組 7,500円 ( " ) |
| 申込み方法  | 同封の払込通知票にてお申込みください。完成次第、申込み先着順にお送りいたします。  |