

新連載 New Series

未来技術報告

The future of technology and design

第1回

生体信号による サイバネティック・インターフェース

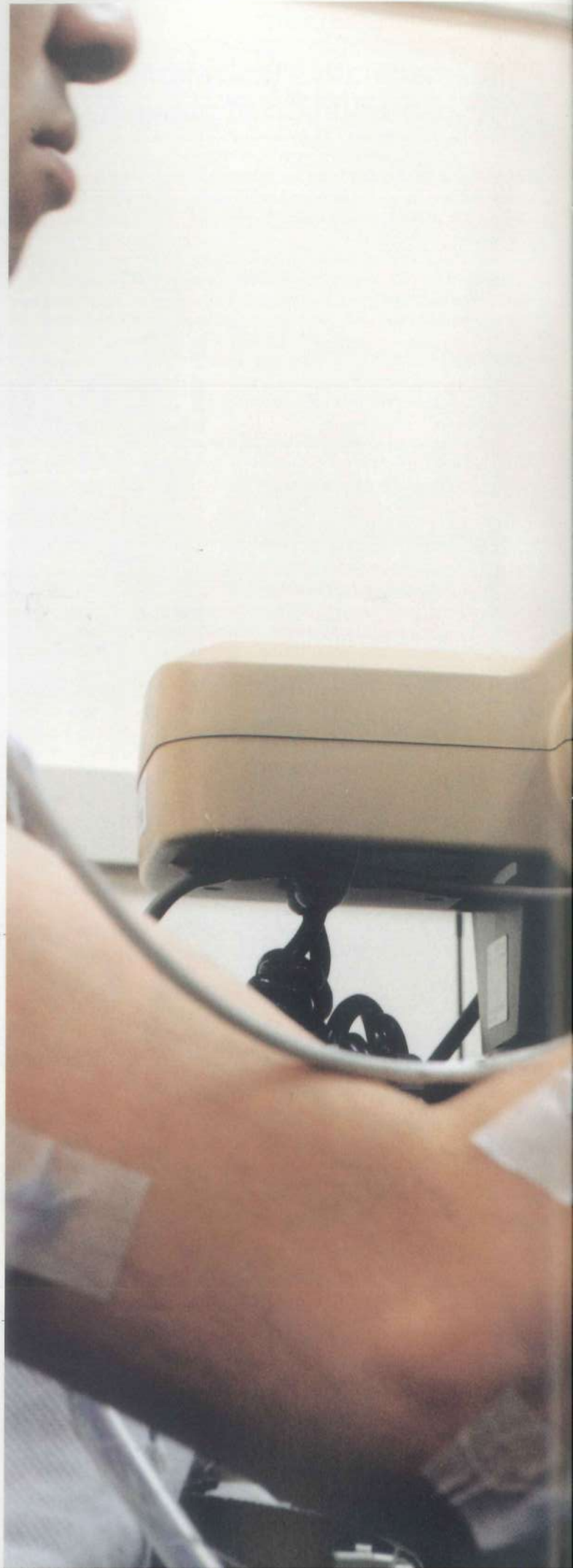
Installment 1: Cybernetic Interface using biosignals

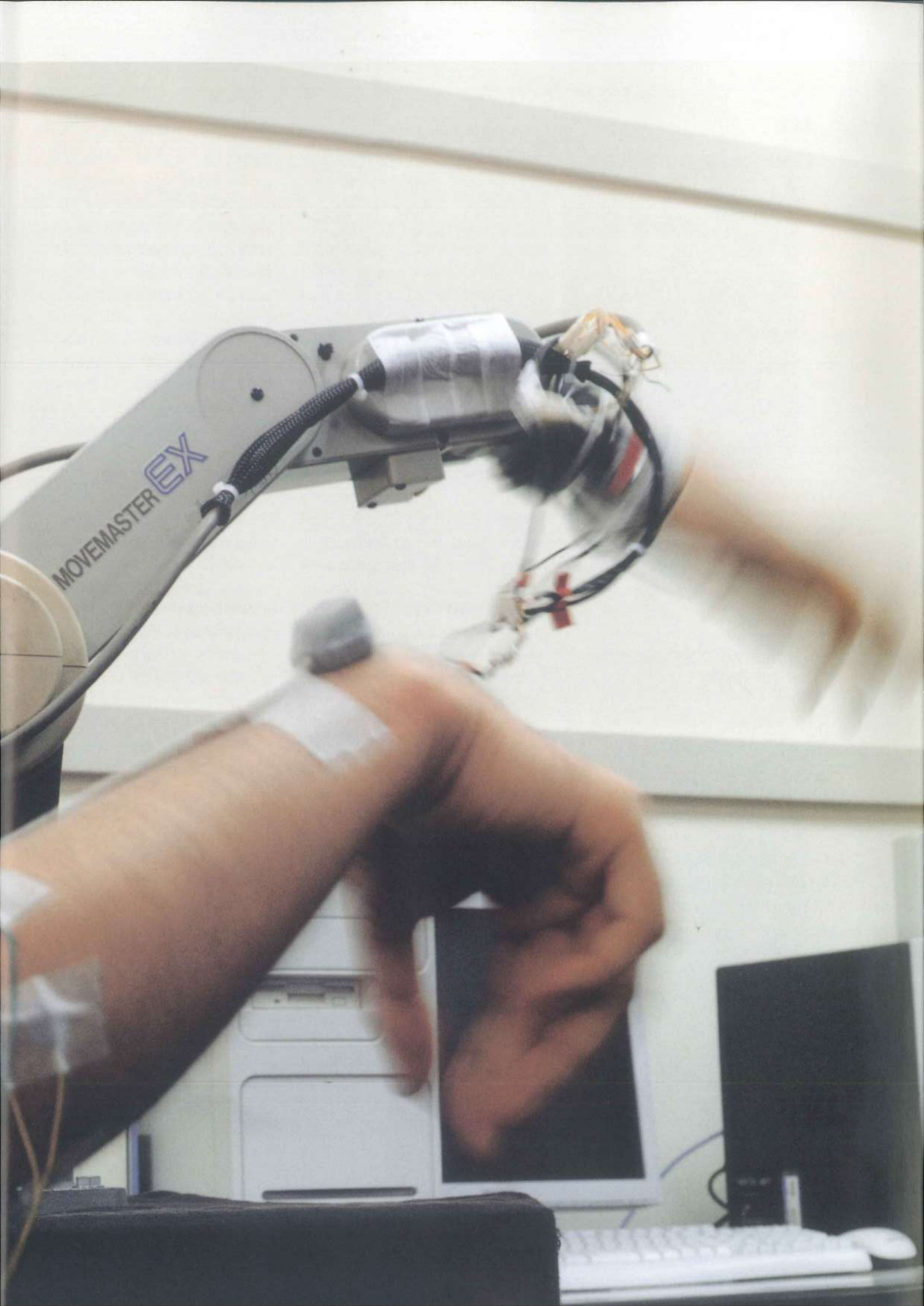
皮膚の上に貼った電極で筋肉が収縮するとき発する電気信号（筋電）を測定し、義手ロボットや車椅子を操作する。腕の動きどおりに義手ロボットが動き、ジョイスティックなどを使わずジェスチャーだけで車椅子が走り出す。筋電を使ったインターフェース開発を行う広島大学大学院工学研究科複雑システム工学専攻 生体システム論研究室を訪ね、辻 敏夫教授に機械と人間の新しいインターフェースのあり方を尋ねた。

Electrical signals (electromyographic, or EMG signals) generated when a muscle contracts are measured with an electrode attached to the skin and used to control robotic prostheses or wheelchairs. I visited Hiroshima University's Department of Artificial Complex Systems Engineering where researchers are developing interfaces using EMG signals and talked with Professor Toshio Tsuji about new directions in human/machine interfaces.

文／藤崎圭一郎
Text by Keiichiro Fujisaki

写真／伊藤慎一
Photos by Shinichi Ito







辻 敏夫教授がサイバネティクスにのめり込みはじめたのは高校生の頃。当時サイバネティクスを語りアンビエント音楽を発表したブライアン・イーノの影響だとか。It was in high school that Professor Toshio Tsuji began to develop an interest in cybernetics. He says he was influenced by Brian Eno who at the time had been releasing ambient music and talking about cybernetics.

インターフェース研究が実現するサイボーグ技術

イヴ・クラインのポスターが貼ってある工学部の研究室は世界広しといえどもここだけだろう。広島大学大学院生体システム論研究室の辻 敏夫教授の部屋に入っていちばん初めに目に入ったのが、フランスの現代美術家イヴ・クラインが1960年前後に制作した「人体測定プリント」シリーズの作品をポスターにしたものだ。塗料を塗った裸の女性を紙に直接押し当てる、魚

拓ならぬ女性拓の平面作品。仏文のタイトルAnthropométriesを正確に訳すると「人体測定学」となる。

辻教授の研究も人体の計測をベースにしている。腕の筋電を測定して義手を動かす。筋電とは筋肉が収縮するときに生ずる電位変化で、皮膚に貼った電極で読み取る。最初に見せてもらったデモでは、右腕に6つの電極を付けた人が「握る」「開く」「手首を上曲げる」「下に」「左に」「右に」という手を使った6動作を行う。生じる筋電には個人差がかなりある。コンピュータが筋電のパターンを読み取って、操作者に応じたプログラムをつくる。その間1、2分。6つの動作をした後の待ち時間は数秒だ。

プログラミングが終われば、義手ロボットは操作者が腕を動かしたとおりの動作をする。操作者が手を握れば義手ロボットもシンクロして手を握る。筋電は力の強弱も測定できるので、握ったときの力の入れ具合まで再現できる。ただし指へ触感がフィードバックされたり5本の指を別々に動かすことはできない。

映像で前腕を失った人が義手ロボットを操作する実験を見せてもらった。人は腕を失っても腕のイメージは残っている。手首を曲げたり手を握るといった行為をイメージすれば、脳から腕へ電気信号が送られる。腕の残った部分の皮膚に貼った電極でそれを検知し、義手ロボットを動かす。

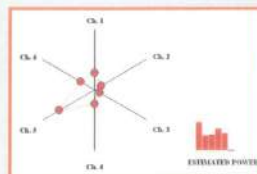
腕に義手ロボットを直接装着しているデモの映像もを見せてもらった。人の体を機械で補うサイボーグ技術である。しかし辻教授が主眼を置くのは高性能義手の開発

ではなく、人と機械を繋ぐインターフェースの研究だ。

「この研究室のキーテクノロジーは“学習”です。筋電を測定するといっても、同じ人でも昨日と今日では握る動作のときに生じる筋電は違います。人によってもぜんぜん違う。障害を持つ方が10人いれば症状や程度は10人とも違います。“スタンダードな障害者”など存在しません。ですからニューラルネット（脳の神経回路を模した学習アルゴリズム）を使って、個人の特長をその場で把握してインターフェースを即座につくる仕組みを考えたのです」。

学習するシステムを支えるサイバネティック理論

辻教授は自らの研究をサイバネティック・インターフェースと呼ぶ。サイバネティクスとは、人間や生物の神経回路と機械の情報処理システムを同じものとして捉える理論である。この理論の提唱者ノーバート・ウィーナーが著書『人間機械論』で語るのは、人間をルーティンワークしかできない機械と見なす考え方でなく、逆に機械を人間の脳の学習システムに近づける方向性だ。サイバネティック・インターフェースは、人間の運動や学習や情報処理のメカニズムを解明し数式としてモデル化し、そのモデルを機械に応用したインターフェースを開発するもの。人間の動きを機械に置き換え、機械をより人間に近いものにするという発想だからサイバネティクスなのだ。人の身体の計測をベースにしている意



EMG信号を利用した手動制御型人間支援マニピュレータ。腕に貼った6つの電極が筋電を検知し、義手ロボットが腕と同時に動く。上は筋電測定画面。Human assisting manipulator operated by EMG signals. Six electrodes attached to the operator's arm detect EMG signals and the prosthetic moves in sync with the operator's arm.

味で、イヴ・クラインの「人体測定学」にも通じるわけだ。

最初のデモの義手ロボットを動かすシステムは大がかりな装置を必要とした。腕の位置を測る磁気センサーも使い、増幅器は高級オーディオのようにラックに積まれている。もっと手軽に日常生活で使えるようにできないだろうか。そこで考えたのが、筋電でダイレクトに機械を操作するのではなく、筋電でパソコンの画面を操作して機器をリモートコントロールする「バイオリモート」というシステムだ。手首を上下に曲げ、握るという3動作だけでメニュー画面を操作する。握るのが決定。クリックと同じ役割だ。

この「バイオリモート」を車椅子に搭載したのが「CHRIS (クリス)」だ。操縦者はパソコンを通して車椅子を操縦したり部屋の家電を操作する。筋電を測る電極をいちいちテープで留める煩わしさを解消するため、腕に巻き付けるバンド式を開発した。

実際に車椅子に乗って操作してみた。まず筆者の筋電をパソコンに学習させ、後は手首を動かしメニュー項目を選択して「Forward」の部分で手を握れば前へ進む。「Right」なら右回転といった具合。握った手を開けばストップ。ものの2、3分で慣れる。パソコンの画面を切り替えれば、テレビや照明のスイッチを入れたり、エアコンの操作などもできる。マルチリモコンになるのだ。

首から下の筋肉が動かない頸椎損傷の患者が、両眼の下に電極を付けて顔の筋肉を使ってこの車椅子を動かす実験デモの映像を見せてもらった。「乗らなくても遠隔操作で動かせるので、例えば隣の部屋に車椅子ロボットを送りこんでマイクやスピーカーやカメラを通して家族の会話に参加できます。ロボットが自分の代わり、つまりエージェントになっているんなことをやってくれるわけです」。

少し想像力を膨らませていただきたい。こうした技術によって将来的には障害者が健常者の能力をはるかに超える活動ができるようになるかもしれない。顔の筋肉だけで離れた場所のパソコンやロボットを使いこなすことも可能かもしれないのだから。「人間ってたとえ障害があっても、ものすごく能力が高いんです。機械も人間も互い



CHRIS. サイバネティック・ヒューマン・ロボット・インターフェース・システムの略。車椅子のボディはアルミ。デザインは筑波大学の院生、梅津大輔氏が担当。CHRIS. CHRIS stands for Cybernetic Human-Robot Interface System. The wheelchair body is made of aluminum. Daisuke Umetsu, a graduate student at the University of Tsukuba was in charge of its design.

に学習して能力を高め合うような仕組みをつくれれば、僕らが考えてもみない使い方が生まれるかもしれない。機械にすべて任せっきりになって人間が退化していく、とはならないと思います」。

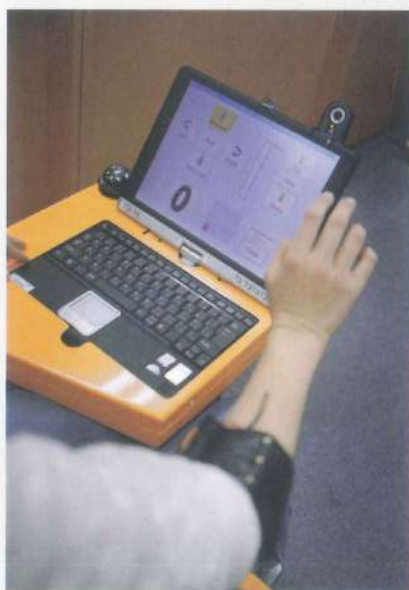
生物や人間のメカニズムの分析が目指すもの

辻教授は最近、自動車の研究に力を入れているという。パイワイヤーと呼ばれる電気制御の操作系の技術が進み、ジョイスティック型など全く新しい形のハンドルやブレーキやシフトが可能になってきている。「しかしどんなふうに操縦システムを変えればいいのか。そのために人間を調べているんです。ハンドル操作のときに筋肉はどういう状態になっているか、力の入り具合はどうかとか。最終的には、そうしたデータをもとにコンピュータの中に人間のモデルをつくってみたい。CADでクルマの設計図をつくると、コンピュータ内の人間が設計図の自動車を運転して操作性を評価する。その結果を見てデザインを変えとかね。評価しながら設計をするプロセスをつくっていきたいと思っています」。

辻研究室ではバクテリアやゾウリムシといった単細胞生物や線虫の運動メカニズムをコンピュータ内で再現するA-Life (人工生命)の研究もやっている。

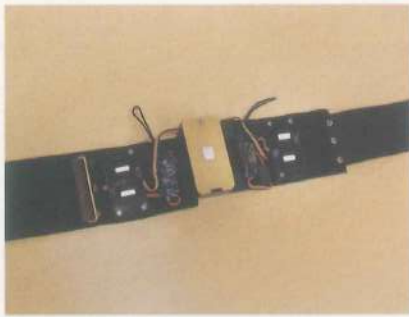
「調べていくと人間の脳の細胞とゾウリムシとそんなに変わらない。ゾウリムシは刺激があればそれに反応して動く。そうした細胞の動きは機械と同じで、電気的に式に書ける。しかしそれが膨大に集まって脳になると、もう式で書けそうもないものになる。それはどこで切り替わるのだろうか。どこかにその秘密があるはずなんです」。

人間の感覚も数値化できるというのだろうか? 「できる——と、僕らは思っているんです。そうやって、どこまでできるかですね。そう考えて従来の工学の領域を越えていきたい。電気工学の研究者はわりとそんなイメージを抱く人が多いんです。機械工学だとなかなか物から離れられないけれども、電気は自由に境界を乗り越えるノマドのようなイメージ。そうした感覚で人間と機械のインターフェースに関していろいろなアプローチをしていきたいと思っています」。



CHRISの操作はノートパソコンの画面を見て行う。手首の上下でメニュー項目を選択。写真は「後ろへ進め」を選択中。ここでグッと手を握れば電動車椅子がバックしはじめる。CHRIS's operation is performed while looking at a notebook computer screen. The operator selects items from the computer menu by moving his/her wrist up or down. The photo shows the operator selecting the "back up" action. Clenching one's hand causes the wheelchair to commence moving backwards.

Installment 1: Cybernetic Interface using biosignals



筋電測定用のバンド型の電極。電池と電極がセットになっている。血圧を測るバンドのように腕に巻き付ける。
Band type electrode for measuring EMG signals. It's battery and poles make a set. It's wound around the arm just like a blood pressure measuring device.

The prosthesis moves by measuring the EMG signals in the arm. These EMG signals, changes in electric potential, are read by electrodes attached to the skin. When I visited Professor Tsuji's lab I was shown a demonstration. A researcher with six electrodes attached to his right arm performed six movements with his hand: clenching, opening, and bending the wrist up, down, left and right. A computer read the EMG signal patterns and created a program that responded to that particular operator. One or two minutes later, when the programming was finished, the prosthetic hand moved in the same manner as did the operator's own hand. When the operator clenched his hand the prosthetic hand clenched in sync. Since EMG signals also convey intensity, the prosthesis can even reproduce the strength of the person's grip. They also showed me a video of an experiment where a person who had lost his forearm operated the prosthesis. When a person loses an arm the "image" of that arm remains. In fact, if you imagine bending your wrist or clenching your hand an electrical signal moves from your brain to your hand. With this device, electrodes attached to the skin on the amputee's stump detect those electric signals and the prosthesis moves accordingly. This is cyborg technology that augments the human body with a machine.

Professor Tsuji's main concern, however, is not the development of a high-performance prosthetic hand but research into interfaces connecting human beings and machines. "The key technology of this lab is 'learning,'" Professor Tsuji explained. "The EMG signals generated by the clenching motion are different on any two days, even with the same person. If we have ten disabled people they will all differ concerning their symptoms and severity. There's no such thing as a 'standard disabled person.' That's why I thought of a system that uses a neural net (a learning algorithm that mimics the neural circuitry of the brain) that apprehends

on the spot the strengths of the individual and improvises an interface."

Professor Tsuji's designation for his research is the "Cybernetic Interface." This research explicates and models human motor mechanisms, learning, and information processing, and develops interfaces that apply the models to machines. It's called "cybernetics" because of the idea of imitating human motion in machines and making machines more similar to human beings. The initial system that got the prosthetic hand to move required a very large device. It used a magnetic sensor to measure the position of the prosthetic hand and the amplifier was packed onto a rack just like a high-end audio system. Professor Tsuji wondered if there was a way to make it practical for daily living. That's when he thought of the bio-remote system. Instead of using EMG signals to directly control the machine, this system controls it remotely through an EMG signal activated personal computer screen. Three movements operate the computer menu: wrist up, wrist down, and hand clenched. Clenching is used to select a task, performing essentially same function as clicking a mouse.

CHRIS is a wheelchair that employs this bio-remote system. The operator uses the personal computer to control the wheelchair as well as home electrical appliances. I also saw a video of an experiment where a quadriplegic patient, who had electrodes attached



CHRISでテレビを操作するためのメニュー画面。家の中の赤外線リモコンを集めて登録すれば他の家電製品も操作できる。FOMAを使ったテレビ電話機能も開発した。
CHRIS's menu for operating the television. Air-conditioners and lights can also be controlled from CHRIS if it records their infrared remote control codes.

under both eyes, operated this wheelchair by using his facial muscles. "Since the patient can operate the wheelchair remotely even if he's not sitting in it he can send it to other rooms in the house and participate in family conversations via microphones, speakers and cameras. The robot stands in for you, it becomes your agent and can perform many tasks for you."

Let your imagination work a little here. With this technology disabled people in the future may be able to do things that go far beyond the abilities of the non-disabled. It may be possible to master the operation of a remote computer or robot with one's facial muscles alone. "Human beings, even if disabled, are extremely capable. If we create a system where machines and human beings can learn from each other and improve each other's abilities then we might see the birth of applications that we could never have conceived. I don't think it will ever come to us leaving everything up to machines and degenerating physically."

At Professor Tsuji's lab they also do research into Artificial Life, which reenacts in a computer the mechanisms of movement of nematodes and simple celled organisms such as bacteria and the paramecium. "When you think about it, you'll see that there's not much difference between the human brain cell and the paramecium. A paramecium responds if there's stimulation. The movement of that kind of cell is the same as a machine, and can be written as an electrical formula. However, when it comes to the brain with its massive number of cells there is no longer any way that such a formula could be written. But where does the switch take place? The secret must lie somewhere," Professor Tsuji continued.

But can the human senses too be quantified? "Yes..., at least that's what I think. It's a matter of taking that approach and seeing how far we can go. I want to go beyond the conventional domains of engineering in accordance with that perspective. Many electrical engineers share this view. Although it's hard for fields like mechanical engineering to move too far from objects, electrical engineers are like nomads who can freely transverse borders. I want to take a variety of approaches to the human/machine interface through that point of view." ●