

特集 ■ 第 14 回大会

特別講演 1

医療と福祉分野における知能ロボットの現状と展望



藤江正克

早稲田大学 理工学術院

FUJIE MASAKATSU

ただいまご紹介をいただきました、藤江でございます。先ほど、橋本先生からご紹介いただきましたように、私、このバーチャルリアリティ学会に参加させていただくのは今回初めてでございます、バーチャルリアリティという言葉が私のプレゼンの中に一回も出てこないと思いますが、ご容赦いただきたいと思っております。

(スライド・タイトルが出ています)ここにございますように、医療と福祉分野における知能ロボットの現状と展望ということで、私自身は早稲田大学の学生の時には、加藤一郎先生というロボットの先生の研究室出身でして、ずーっと日立の間も、ずーっとロボットだけをやってきたという状況でございます。

今やっとロボットを世の中に出せる状況になってきたことで、張り切ってやっているわけですが、我々が今この中で、早稲田大学のロボットということはどういうことを考えているか、まず最初の方でお話して、それから医療・福祉分野ということですから、各々の代表的な部分、我々が考えているところをお話させていただきたいと思っております。基本的にロボットが、40年日本では役に立つ、役に立つと言っていながらずっと役に立たなかった。もうそろそろ狼少年として色あせてきている状態。そういう状況に対して、サステナブルロボットガイアというような思想を我々は考えています。グローバル COE のときにかなりその辺を考えているいろいろなディスカッションしてきたわけですが、基本的にロボットをうまく使うことで、老若男女みんなが社会に参加できるような形を作っていきたいと考えております。そのためのロボット技術ってなんだろうか。従来のいろいろなイベントをするロボットだけでなく、何を技術として確立しおさえなければならないのか、ということをお話したので、今日少しお話ししたいと思います。

順番としては、医療と福祉という視点からですが、ま

ず福祉の分野という視点を少しサポートしていきたい。なぜ、医療と福祉に分けているかが一つポイントとして、私自身は、人間とロボットの共存関係を研究開発していく視点では同じだと思っているのですが、学生さんが研究室の中を医療グループ・福祉グループとどうも分けたがっている傾向が強くありまして、厚労省も健康と医療をどうも分けたいという視点があるので、分けた方が整理のつきがいいので今日も福祉の分野と医療の分野という話でスタートさせていただきます。

こちら(図1)は、人間のいろいろな部分をどのような形で高齢者の生活を支援したり、あるいはリハビリテーションの支援をするかをやっている図です。この中でいろいろなことやっています、例えば、杖というグループで新しい問題もやっていますし、あるいは本態性振戦ということで、加齢により手の震えが出てきて日常生活が非常にしにくくなる。これをロボットで何とかしたい。あるいはもっといきますとターミナルケアですね、最後お亡くなりになるときに、寝返りが非常に打ちにくく骨転移をしている。最終的に非常に寝返りがしにくいというのに対して、ロボットで何とかできそうかどうか。あ

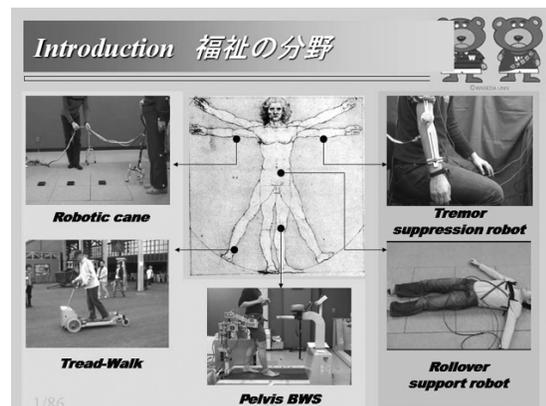


図 1



図 2

るいはお年寄りが移動するときに、移動というのは一番大きいわけですが、歩行するときにどういう支援が出来るかということを行っています。

それから医療の分野という視点では、こちら(図2)にございますように頭のとっぺんから足の方まで、あらゆる部位をやっているのですが、みなさんご存知のように早稲田大学は医学部を持っておりませんので、日本中、あるいは世界中のいろいろな医学部の先生方とお付き合いが非常にフランクに出来るという状況で、それをうまく活用しながら、その分野の高名な先生方にいろいろご指導いただきながらやっているという状況でございます。最初に始めたのは脳でしたが、そのあと心臓、さらには高齢者独特の問題、さらに少子高齢化の少子の場合もこの中でやっているという状況です。まず、筋電の直接的な使い方が非常に大きなポイントになっておりまして、実はこの筋電は既に35年前に、早稲田大学では、加藤一郎先生が、筋電を使った義手というものを始めて製品化もして世の中に出してきました。

最近では山海先生のところで、ロボットに筋電を使っているいろいろやられています。そういう部分で、筋電というものを使って、直接的な操作ができるということがロボットにとって非常に重要になってくる。そういう視点のことをしています。実は先ほど申しました二つのものですが、大体60歳を過ぎたところから出てくるわけですが、例えばスープを持つとか、おそばを食べるとか、お茶を飲む、コーヒーを飲む、そういう類のときに非常にぶれてしまうというのが、高齢社会では増えてきている。先ほど言いましたようにターミナルケアもあるということで、こういうものについては何かを自覚するというよりは、自覚しない運動に対してそういうものが出てくるということですので、それを筋電からとって、ここにロボットのアームがくっついているわけですが、それをおさえてやるということです。基本的にマシンブレインインタフェー

スという形ではなく、運動機能に絞った形で今やっているというのが私どもの内容になります。

それから一番メインとしてやっているのが、(今日はこの辺の話が中心になるのですが)歩行の支援というのが一番大事でないかと考えていまして、歩行の支援というのは(先ほどもございましたように)ロボットを直感的に操作してあげる。要するに何か指令を出して動かすとか、スイッチを入れて動かすということではなく、日常生活をサポートしてもらうためには、非常に直感的に動かせるのが重要です。ここにありますように杖で、段差がある、あるいは坂道がある、でこぼこしている、そういうところでも多脚杖といっているのですが、足がいくつかあるものについても、いろいろ地面のでこぼこに押ししても、そんなことを気にせず歩けるように、直角に杖がつけて、体重がかけられる様にとというようなことをやっております。今日はこの辺の細かい話をするのですが、(スライド・上の)人間が歩くと、全体がその上に乗った人間を連れて行ってけると、こういう風なものもある。あるいはリハビリテーションという視点がありますが、基本的に股関節をサポートしながら人間の歩行というものを体重免荷をしながら支えてあげるということを行っています。

これからトレッドウォークというものについて少しお話をしていきたいなと思います。これからのフューチャーレビューというのは歩道に対してどういう形で移動のサポートを出来るのかが一つのポイントで、従来のロボットのシステムは人が機械に合わせるというのをやってきたのに対して、これからの問題は機械が人に合わせてくれる。こういうものをちゃんと削っていかねばならない。そういう時にやらねばいけないことがこちらの四つに書いてございますが(図3)、こういう技術をしっかり固めようということをやっています。これをやるためには、何をすればよいか、大学のキャンパスの中、あるいは実験室の中でロボットを作っていればよいという



図 3

ことではなくて、世の中で実際に使うお年寄り、あるいは障害を持った方々と一緒に、我々が作りながら、技術を固めていくことが非常に重要です。衝突ないし、衝突しても安全、快適な乗り心地、直感的な操作。かなり、定量的でない表現に、一般的にこれまで言われているところを如何に工学的にちゃんと扱っていけるだろうか、というのがこの中の課題になっております。もともとどういうところから出てきたのかというと、実は車椅子というのが、これまでこの分野で大きなポイントでしたが、車椅子というのは、みなさんもお存知のように、もう300年の歴史を持っているわけで、300年前というのは今のような技術は当然何もなかったわけですね。そういう時に動けなく、歩けなくなってしまった人を、連れてってあげようというのが車椅子だったわけですが、基本的に車椅子に乗ると良く分かりますが、私も2年前に実は、腓腹筋の断裂を学内でやりまして、歩けなくなって病院へ連れて行くのに車椅子で連れて行ってもらっていました。乗っている時はもうイヤでイヤで、特に事務所を通過していく時だったのですが、こんなことしないと私は移動できないんだというのを皆に触れてまわっているような感じがしました。基本的に、そういう視点からいくと、今もそうなんです、お年を召されて車椅子を使わざるを得ないという方が一番感じるの、私はこれがなければもう生きていけなくなっちゃったんだよね、っていうところが最大のポイントになっていると一般的に言われています。それから例えば外に出るといいうことになる、視点が歩いている人、立っている人に比べて、車椅子の視点というのは非常に下になるわけですね。そういう視点は、我々は座っていた方が楽じゃないという風に言えるところなのですが、実際にはそれしかなくなった人にとっては、慈善隠匿ということを感じてしまうところになる。そういうところに対して、どうしたらよいだろうかというのがポイントになります。具体的には、使う人の心理・概念モデルがありまして、ジレンマがあるわけですね。実際にファンクションがあれば嬉しいんだけど、あったらあったでその能力をどのように捉えるのかという視点があって、早く動けるのは嬉しいけれど、それがないと歩けないという形になると、それが葛藤になってしまう。そこをロボットで何とかできないかなと。車椅子って300年も昔の話なんで、我々がこれだけ技術を持っているのだから何とかしたいというのが最初のポイントでした。早く動くとか、心地よく動くとか楽である、といった視点があるわけですが、それと歩けるという視点とを両方うまく兼ねあったものを是非我々としてはやっていきたいというのがポイントだったわけです。実はこれがそうなんです(図4)、これは実はメインとして、今は東京大学の鎌田先生の研究室



図4

に移りましたが、私の方では博士号までとった人なんですけど、この子がですね、元々は私どもの研究室に来る前までは、国立障害者リハビリテーションセンターにいて、車椅子の研究をやっていたんですね。その中で、こういうものが絶対にこれから必要になってくるということでスタートした状況があります。実際に元気な人でなくて、高齢者という視点で考えると、そういう人がどうやって動かせるんだらうかというのがポイントになってくる。構造としては非常に簡単なもので、トレッドウォークと言っているのですが、この上で歩く練習をするようなものです。この上のベルトを踏むと、このベルトが動いていく。この上で歩くと歩くことが出来る。この舵を取る部分とそれを駆動する部分という、たったこれだけの構成なんです。でも、それを直感的に動かしている、人間が歩いているわけじゃなくて、この上をちょこちょこ移動することに対して、この装置が大きく移動することをサポートしてくれる。ここに絵が出ているんですが、こういう形で、上のベルトを歩きます。今ベルトを止めてありまして、フォースプレートの上でいろいろデータを測っているところです。そのとき上でゆっくり歩こうと、早く歩こうと、それをコマンドとして早く歩きたいなという、通常のある歩き方が出来るところから、少し早めの歩き方をした時にはそれを早く連れて行ってくれるし、ゆっくりだったらゆっくり歩ける。(スライドの動画を見ながら)今、ちょっと行動しましたように、下りればずっとそのまま止まった状態になってくれる。すべてこのベルトの力と速度を検出しながらモータの制御をするところを、この装置の一番メインの問題にしました。この部分にハンドルをとることによって、ここは変える。今日は話に出てきませんが、直感的に動かす、というのは、人間はハンドルをつけて歩いているわけではないですね。右足と左足の歩行速度が変わることで、方向が変えていけるわけで、今最新のモードとしては、このベルトが右足と左足と、ベルトが2本になっていて旋回もしていくという形になっています。

これは例えば日本の場合だと、都市部に結構、高齢者がお住まいになっていることが多いのですが、通常のこの田舎の、という表現はいけないのですが、そういうところでどういう風な舵を切ればいいのか。要するに今、シニアカーとかシルバーカーとか言われているものがあるんですが、最近いろんなところで問題が出ています。ジャーニー式の坂のところで、ちょっとスピードが出てしまうと、ひっくりかえってそのままになっちゃったとか、踏み切りで動かなくなっちゃったとか、いろいろあるわけですが、そういうところに対して直感的な操作でちゃんと動かせるようにということを考えていこうということで、おおむね先に言いますと、その直感的に動かせるというのは何なんだろうというのは、我々大学の中でやらなきゃいけないことで、例えば、そのときに、傾きと力の出し方と、動かす速度と、動かすための力のある式の上にちゃんと乗せながらしっかり押えていく。そのときに直感的に乗せる式のパラメータをどのような形で押えればよいかのポイントになっています。向かいにあります東京都の障がい者センターで場所を借りまして、いろいろと実験を行っている風景なんですけど、建物の中にスロープ等がある状態なんですけど、かなり狭いところでいろいろ通行人もいる所で、このようなやり方でいいのだろうか、パラメータをどのように捉えたらいいのだろうかということを押えてやってきました。これは無理にこじつけるとするならば、バーチャルリアリティという視点に対しては、バーチャルな形で歩いたのをリアルにちゃんと動かしていくということがポイントになっている。もう一つポイントなのは、旋回なんですけど、旋回をするときにおしりを振るという状況が出てくるんですね。右と左、ハンドルを持っています。これは自分の体重が外に振られる形で、こういう運動が起こってくるわけですが、若い人の場合、実は傾斜スロープをいろいろ移動することには、ある意味それをうまくコントロールすることが、面白い要素になるのですが、例えば障害を持っている方、あるいは高齢の方にとっては非常に難しい状況になる。同じ状況に対しても、例えば、姿勢だとか、力のもたれ方、あるいは加速度、速度、そういうものを抑えてやることでおしりを勝手にもっていかれないやり方が式に表現できる形になってくる。そこが、直感的と言うともうおしまいになってしまうのですが、例えば、運動方程式のレベルで押えたとするならば、どういう風な形で押えられるか、というようなことをやっております。

その結果ですね、新しい方法を考えまして、例えば、その場旋回というのがそうなんですけど、スピードだの何だの、あるいは横方向に持っていかれるGですけども、そういうものをどういう風に抑えたらいいんだ

ろうか。大体最初は皆、部屋の中でこういう形でやっております。これはフォースプレートの中で力の地面から反力を検出したり、あるいはモーションキャプチャで実際の動きを全部観察して測定するという風なことが出てくるんですね。先ほどのその場旋回であり、通常の旋回についても同様な形で、状況はパラメータの設定が変わってくるわけですけども、そういった形でやると非常にやりやすくなる。ここまで来ると、やっと実際のところで人たちにもいろいろ使ってもらえるよって事で、屋外に持って行って、これがこんなにおしりが振られちゃったのに対して、もちろん歩き方が違うから違うんだらっっておっしゃるかもしれませんが、そうではなくて、さっき言った形で、パラメータを押さえ込んだことで、こういう風な歩き方が出来るということで、この辺で実際に、高齢者の方に屋内でまず、いろいろ基本をお手伝いいただくという風なことをやりながら進めてまいりました。



図5

さらにこれは福岡にあります、ロボット特区ですが、その中に、商店街の特区と住宅街の特区ということで、博多湾の埋立地に新しい住宅区が出来ております。その中でいろいろ実験をしているところなんですけど(図5)、これが70歳のおじいさんなんですけど、非常に快調に使っていただけるという風なことで、まあ、高齢者の方にどんどん使っていただくということがポイントになっております。あとはもう一つ、直感性の問題がありまして、先ほど言いましたように乗ったときにこの辺がありますと定量的といいましても、それを実際にどう感じるのかというのは、何人の方にも乗っていただきながらやっていただくというやり方を取ってまいりまして、加速、減速、止め方、あるいはその歩行の足の運びですとか、そういうのをいろいろ変えていくとどうなんだろうか。その時に、ちゃんと足の動きがこういう風な形で行っているんだらっかと。歩行の今までの考えたものと、歩行

の解析はものすごく昔からいろいろなところで研究されていますので、そういうものに対して、こういう移動体がどういう風な形でそれにうまく繋がっていくんだろうかということをおさえてきました。

それからもう一つは、直感性というポイントですが、その機械に慣れがあるかどうかという問題が重要なファクターになってきます。これは実際ですね、初めてここに今乗っていただいている、この方は、75歳かな、女性の方なんですけれども、その方に乗っていただいて、最初に初めて乗っていただいた時、乗り始めてから、30秒経った時、それから1分経った時、典型的な例を今こうして出しているわけですが、よく見ていただくと、機械に慣れていない、直感的に動かせないというのは、一生懸命頭で考えようって事で、ご覧いただきますと分かりますように、いつも下の足元を見てしまっているんですね。下手なスキーのときと同じ状態になります。30秒経つとちょっと足が調子よく動き始める。これで少し運動に対して慣れてきたんですね。だけどやっぱり下を見ている。それがまた1分までいきますと、いってみようかという形になって、このように外が歩ける、というポイントになっていました。

これは、こんなものは、例えばセグウェイという風なものでも出来てんじゃないかといわれるかもしれませんが、私も何回かセグウェイに乗ったことがあるのですが、やはり若い方には易しいらしいんですが、私ぐらいになるとだいぶ難しい。あれは要するに、身体の重心を前に持ってくるか、後ろに持ってくるかで速度を変える案ですね。そうじゃなくて、自然に歩くということとは全然違うことを追って移動させるわけですが、これは従来の歩くという状況をそのままここでコマンドとして使うことによって、全体のコントロールをしているということになるわけです。

何人かの方、具体的には38人の方に、ある日のデータを取らせていただいたものですが、ここに(図6)ご覧

いただきますように、「80%の方がやってもいいよ」、「いいじゃん」という風に言っていたことで、8割の方がですね。お声をかけてもですね、実はなかなかやってくれないのが恒例のものなのですが、ここはロボット特区だということをご存知の方が来ているというのがあります、やっていると興味深そうに、見ておられて、ちょっとお声をかけると「やってみましょうか、私も」ということでやっていただいた。しかも「高齢の方用のものなんですよ」と申し上げているので不自然なく、ただし、「こんなもの要らないよ」ということでかなり否定的な答えをされる方も大体1割だったのですが、おられました。

そういう状況を踏まえたときに、これをマーケット、ニーズがあるかと我々はよく言うんですけども、マーケットがあるというのは、お金を出して本当に買ってくれて、自分の役に立ててみようと思ってくれる方が1割だったということだったんですね。例えばオートバイのスクーターと呼ばれているものとかですね、あるいは高齢者用の(先ほどチラッと言いましたけれども)、シニアカーという風にいわれているもの、あるいは電動車椅子、こういうものの値段との比較で、大体は日本の場合は、今あるものとの比較で値段が決まってしまう。これでどれだけ売れるんだろうかというのがこれからのポイントになってきます。

高齢者に対して、直感的に動かせるということはどういうことなんだろうか。今申しましたように、まだまだこれから評価をもっともっとしていかなければいけません。今、シニアカーもいろいろ事故が起こって大変だということを言われているわけですが、そういう視点で、どういう形でどうされればいいのかということをしかり押えていくことがポイントで、これを急がないといけないと認識しております。

次に全く違う視点なんですけど、高齢化社会がどんどん進んでいて、超高齢社会に入っているという状況になったときに、病気になるということが非常に重要なファクターで、特に人生が50年から80年になっている現在、生活習慣病、もっと言うと、肝疾患障害、脳疾患障害、心臓疾患、この三つが三大病なんですけれども、外からの菌によるものではなくて、自分の生活をしたことによってなる病気、というのに対して、非常に低侵襲で、非常に人間の身体に対して負担の小さい手術をしなければならない。患者に対しても医師に対しても負担の小さい治療というものが非常に重要なものになる(図7)。薬も必要なんですけど、薬って基本的には、菌などの従来外から入ってくるものに対して、手を打つわけですが、生活習慣病については、別に外からのものに狙われるわけじゃなくて、自分が長い生活をしてた上で積み重ねでなる



図6 *口絵にカラー版掲載

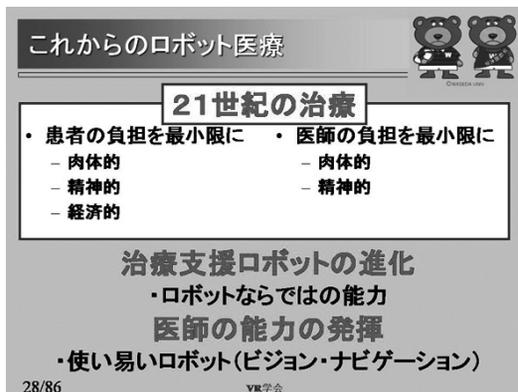


図 7

いうものですから、そういう治療は非常に重要になってくる。これも、医師にとっては使いやすいロボット。今までやってたことと、医師としてのいろいろ教育をされてきたことだけで、使いこなせるロボット。何かあった時に、例えば血が噴出したという時にも、直感的に動かせるということがポイントになってくると考えている。そういうところでの知能というものはこれからのポイントであると考えています。

その見本が、実は私いつもこの映画を使いまして、最近、国際会議でもこの絵を使うので海外の先生もずいぶん真似して使うようになってきたんですが、みなさんご存知の方も、ご存知でない方もいると思うんですが、1966年にアメリカで作られた、ミクロの決死圏、(原題)ファンタスティック・ボヤージという映画なんですが、これなんですね。これはこちらの方に、この人は世界中で一番素晴らしい脳神経科の先生と言われている人、すぐ隣にいるこっちの人が、この医師をサポートすれば世界一うまいと言われている看護師さん。これ実は1966年なんです、原子力潜水艦になります。原子力潜水艦を動かせばバッチリと。それからもう一人、悪者が居るってのが映画のストーリーになっているのですが、これが全部この原子力潜水艦の中に入って、ある光を当てると、身体が非常にどんどん全体が小さくなって、注射針から身体の中に入っていきけるという映画になっています。この患者さんはソ連の科学者で、脳に血腫ができてそれを取らないと亡くなってしまうというストーリーになっておりまして、この潜水艦の中に入って行って、それを動かしている。ここにレーダーがありまして、1966年だからこんなレーダー、そんなレーダーで治療するという風なこと。実際に脳の中に入って行って、レーザーガンを打ちながら血腫を除去するということをしています。移動については血管内を通常は移動している。リンパ管も通過するというのもありますけれども、こんな風な形になっ

ていて。こういうものは既に世の中では、例えばこういうものに対してMRIだとか、CTだとか超音波だとか、もっともっと素晴らしいものが揃っている。原子力潜水艦もある。だけれどもそういったもの全体のシステムを運用するのに、オートノマスに動けるものではなくて、結局、これは人間がやろうねということになって、その人間を小さくしてやりましょう。最終的にこの潜水艦そのものは大体10ミクロン程度、要するに細胞の大きさ程度の大きさに入って中で治療するというものになっておりまして、最終的にたぶん一番身体に負担が小さくてこういうのができるのは、このようなものになるでしょうということで、世界中でもロボットの分野ではカプセルロボットという言い方もしておりますけれども、身体の中を巡っていきましょと。まずは食道を移動するというのが始まっておりますけれども、そういう形で行きましょととなっております。

一方、世の中で出来ているロボットというのも医療ではずいぶん出ておりまして、1970年代から始まっているんですけども、ロボドックというのがございます。これも日本製で、今は電産という会社、昔は三京という会社がありまして、産業のロボットを作っている。これはIBMがOEMで作ってございましたので、IBMで作ったのがこのロボドックという整形疾患の手術をするロボットです。こちらも日本製で、ゼウスというロボットで、愛知県の自動車会社のグループ会社で作ったロボットでありまして、これもただし日本では厚生労働省その他の認可が下りないということで、権利を全部欧米に売ってしまっ、欧米から出てきている。このロボットは日本でも昨年の3月から厚生労働省の方式が変わりまして、日本でも使えるようになったということで、既に九州大学の医学部と東京医大で、泌尿器科の治療には使われ始めているという状況にあります。その他も、MRIをうまく使おう、ここにうっすらと白く出ているのですが、オープン環境のMRIの中で先ほどのミクロの決死圏中のレーダーで見ていたものに相当するものを、切り開かなくても中がもっとよく見えますよというのがオープンのMRIで、(明日夕方、女子医大の連携見学が入っていて、あそこに行くことが出来るはずです)ロボットがこういうものの中で、身体の中を見ながら治療しましょうという概念が動いております。具体的には、お医者さんが動かしている風景で、MRIで見たり、超音波、内視鏡で見たりという画像をうまく組み合わせながら、いかにもこの身体の中を切り開いている状況でお医者さんが治療できると。針をさして治療するというのは、低侵襲の一番ポイントになってきますから、針を刺して治療するというのもでは実はグループがいくつか、私自身が居ました会社もこの中に入っておりますけれども、それか

ら九州大学が中心になりまして、早稲田大学も一緒にやらせていただいて、2007年の経済産業省の今年のロボット大賞をいただくことが出来ました。ただしこれも出来たんですけど、なかなか認可というレベルにはいってなくて、厚労省の話もありまして、ダヴィンチというアメリカ製のロボットは使えることになったんですけど、その先のロボットは試験がとか認証がとかそういうものが大変なものがあって、今は国内的には塩漬けになっている状態です。これからのポイントとして、私ども早稲田大学は、先ほどグローバルな話が出ましたが、そのほかにも知的クラスタということで、岐阜県の方と一緒にいろいろなこういうものの研究開発を行ってまして、これは今、心臓のバイパス手術をしているところです。冠動脈のバイパス手術をしているところの絵なんですけど、こういうものが今は、心臓が拍動している状態で治療するというのがこれからどんどん普通になってきています。心臓を止めることは、患者さんの負担という点では非常に大きな負担です。今は、冠動脈バイパス手術は日本中でも大体50%以上が心臓を動かして行う形になっております。でも、これはやはり、うまいお医者さんに当たればいいんですけど、そうでないお医者さんの方が多くいますから、なかなか大変であるということがある。そういうのを、実はこれがそうなんですけど、私どもはそういうことを積極的に、ダヴィンチやなんかはこういうことは出来ないんですけど、ロボットが心臓の動きと同期して動いてくれば、お医者さんにとっては止まっているものを治療するのと同じことになるんですね。それが画像の方についても止まった形で内視鏡で見ることができれば、それは止まっているものを治療をしているのと同じことになる。通常心臓を止めて行う手術でバイパス手術するのはほとんど100%うまくいっているわけですから、そういうものと同等にしまおうというのが大きなポイントになっています。私どもの研究室でいうと、これは文科省のプロジェクトだっ

たのですが、知的クラスタという中で、岐阜大学の心臓外科の先生と一緒に組みまして、こういうのをやってみりました(図8)。具体的にどういう風な形でやっているかという、患者さんのつもりなんですけど、手術ベッドの上に乗っておりまして、この心臓の動きというものは、ここに心臓が、手を動かしておりますけれども、心臓の動きを動かせる、要するにxyz、それから角度です。要するに6自由度に対して工学的にそれを検出できるように、小さな中に入っていったものが心臓にべたつくついでいって、体外からその動きが正確にリアルタイムにわかるという形になっています(図9)。具体的にどういう形で動くかという、今これ手で動かしているところ、これは心臓の手術で既に使われているスタビライザーというものなのですが、それにすべて付いて、ここに付いているのが実は内視鏡なんです。これが一緒に動きますから内視鏡から見ている画像という意味で患部が止まっているのと同じ状態になってくれますし、これが一緒に動いてくれば、これは人間でなくて豚なんですけれども、豚のところ、これも大きく開いた状態で今実験していますけれども、豚の心臓が拍動している状態であっても、このところは、若干まだ動いておりますが、ほとんど停止した状態で作業が出来る。ロボットの動きも同様にすることで、こちらの方がその実際のロボットの動きです。動いている状況に対しても、糸を縫うとか複雑なことも出来るし、3次元の内視鏡の画像を見ながら実際の作業をする。その時に見ている画像はほとんど止まっている状態になるということです。これについても実は簡単に定量的な評価はできなくて、今までのロボットというのはどちらかというと、出来たよね、うまくいったよね、見てくださというものが、ロボットの世界だったんですけど、こういう風にこうだ、と定量的に抑えるというのを今ポイントにしています。その時にですが、例えばこちらのロボットの方が作るのが大変で、実際のロボットはバーチャルな環

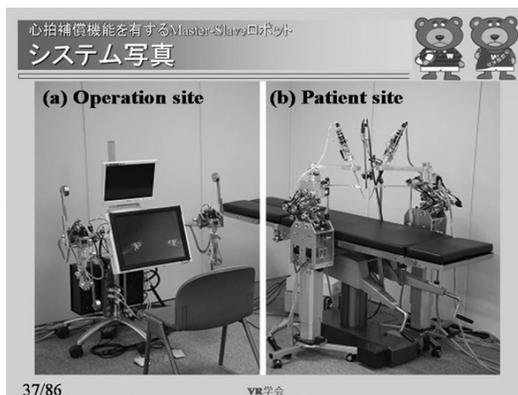


図 8

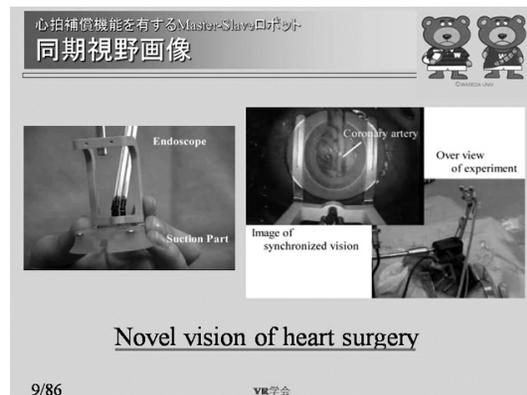


図 9



図 10

境でコンピュータが作ってやる。それを動かすのはお医者さんが動かす。それによってお医者さんが動かしやすいか、動かしにくいかってのは、定量的に評価が出来る。この辺は、唯一この学会に近いところじゃないかなと私は思っているんですけども(笑)、そんな風なことがこの中で評価する。これについてもいろいろなお医者さんに使っていただいて、うまいと言われている先生もいろいろうまさがあるわけですし、それをどういう風な動かし方になっているよね、ということ定量的に図ることによって、それを評価する(図10)。実は、こういうことについては評価の手法の一つとしては、NASAが宇宙開発でいろいろなことをやっているところに、こういう手法がずいぶんあるんですね。それを我々も標準としては使いながら、どんどんモディファイしていくという風なやり方で、共同研究を進めております。実際にこれは、これも模擬血管になるのですが、5mmの模擬血管に対して、針をかけて縫うという作業ですね。バイパスの吻合という形になるのですが、こんな風なことが出来るというのは押えました。これはまたブタの心臓を使いまして、これが岐阜大学の心臓外科の主任教授なんですけど、この先生と一緒に、豚の心臓が動いていて、その横にある血管を取り出してここにくっつけてやると、先ほどの体外でやったのに対して、体内で実際の評価をするという風なことをやってきております。

さらに詳細に見ていきます。これがロボットのアームが同期した形で、心臓の動きを検出したものに対して同期して、今まで同期が十分でなかったが、これだったら止まっているのとほぼ同等に手術が出来ますよと、臨床の先生から言っていた状況です。もっと一般の方が手術するんだったらもう少し、精度が上がってくれないと困りますよと言われております。見ている感じは、実際に先生が見ている時の状況で、これ内視鏡がくっついて見えますので、止まって見える。この心臓の動きに対して、このくらいであれば、この針掛

けをして3mmの血管を縫うくらいは何とかできる。普及に際しては、もうひと頑張りしないといけない。実はこれは世界中で600台以上も使われているダヴィンチというロボットが出来ないところなんです。この辺をしっかりと押さえる。ロボットについてもロボットを使ってよかったよねということがたぶん言えるだろう。未来的にはもっとロボットにしようということと、もっとロボットのための制御、そしてミクロの決死圏を実現する。ただし、この技術というのは基本的に従来の制御の技術から特に出ているわけではないんですね。従来の制御の技術をよりプリサイズにして、この手術に向いたものにしようというのがポイント。その次のポイントがここまで行くとたぶん行くんじゃないかなと。今はまだ、ミクロの決死圏までいけないですね。出来てもまだまだ大きな物で、人間は目で見ながら遠隔操作をしましょうという視点になります。それに対して、今、世界的にも、この分野の研究として、非常に大きな競争になっておりまして、たぶん今のところ、早稲田大学が一番進んでいると私どもは勝手に思っているのですが、すぐ後ろに、スタンフォードとかパークレイとかへばりついてきているのがはっきりしているの、もうひと頑張りしないといけないのですが。要するに、例えば、脳の場合を考えているのですが、脳の物理特性というものを全部モデル化して、しかもそれがリアルタイムに術中に再現できるように、あるいは、対象が変わった時にそれに対してモディファイできるようにという風な形で、そういうモデルをしっかり作って、それを制御の基本に押えちゃうという風なことをちゃんと備われば何が出来るかというのがポイントで。例えばロボットが、ガン細胞と正常細胞を見分けられるように。その違いが例えば正常な動物から取ったもの、正常な細胞の運動というパラメータに対して、これだけ近づきますよ。動物というのは人間も動物として。うまいお医者さんは触った感じがガン細胞を見分けられるんですね。いいガンなのか、悪いガンなのか。無論その後、生理検査をやるわけですが。あるいはロボットは何かの動作をしたときに、例えば危険が、特に脳の場合そういうポイントが多かったのですが、危険で、過剰な力で触られていないのか、というのがポイント。それから術中にこうやったらうまくいかないよね、これやったらきっと危ないから、血液が、血管が膨らんでいるところが破裂するよねというの、事前に術中にシミュレーションして、こうやったら破裂しちゃうから、こうやらないでこういう風にやり直そうとかですね。つまり、術中のシミュレーションも出来るようになる。こういうことが出来て初めて本物なんだということで、我々はそれに対して、まず

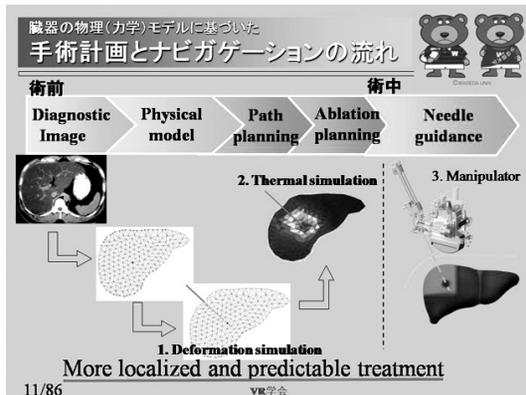


図 11

肝臓からスタートしました(図 11)。実は肝臓というのは、今、昔は肝臓がんがありますと、こうぶちぶちと切ってその部分を取ってしまうのが普通でしたが、最近はこの、どんどん低侵襲というのが進んできたので、この肝臓のガンに対して針を刺して、高周波をかけたり、マイクロ波を掛けたりして、焼いてしまうんですね。あるいは、エタノールを注入して細胞を殺してしまうという状況を作ります。これも人間が手でやる時にはほとんど、そうやってきているんですが、そういう時に、針先端でガンを除去して、基本的に治療するということになりましたが、これは今、肝臓が進められているのですが、肺とか乳がんもだんだんそういう方向に来ている。特に乳がんの場合、温存というのが昔に比べて圧倒的に多くなってきているので、そういうポイントが重要になってくるんですね。

そうすると、針を入れる、ピンポイントで、非常に初期のガン、小さいガンに対して、ピンポイントに位置決めをしなければならない。刺していくことによって位置がずれてしまう。あるいは、刺していくときに、肝臓の場合、特にその傾向が強いのですが、中にガンがあるときには、周辺のガンも肝硬変に非常になっている状態で、非常に硬かったり、患者さんによっても違ってきます。ちゃんとさしていかなければいけないというのがポイントになってきます。基本的に術前から、術中へずっと入っていくといいんですが、例えば、解剖学的な CT とか MRI の画像をみて、大体このお医者さんの頭の中なんですけど、モデルを作って、それに針を刺したら、こうなるよねっていうことでやっていて、針を刺してこれだけの電気を加えたら、焼けちゃうよね、ちゃんと焼けるよね、ここはウェルダンになったよねと、これをロボットとのプロセスの中でやっていこうと、今、やっております。ポイントは、ここに書いてあるのが実はそうなんですけど、針を刺していくことで、これは肝臓の場合ですが、肝臓のところ針が入っていくと、ここで、針が

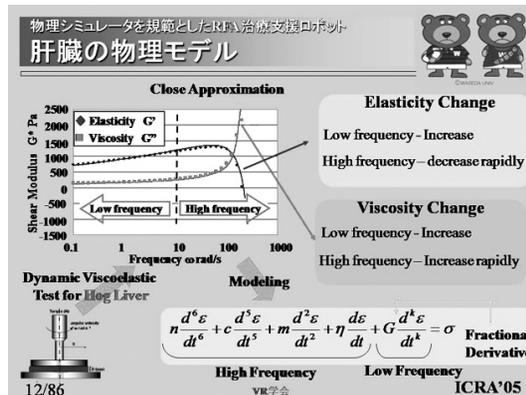


図 12

中に入っていくことに対して、摩擦が起こったり、あるいは、ヤング率というばね定数に相当するもの、あるいはダンピング定数、どんどん変わっていくんですね。それは硬いガンだったり、やわらかいガンだったりでも変わりますし、組織そのものも違いますし、中の血液のあり方でも変わってくる。そういうものに対して従来は、医師の経験、カンで対処していた。これを何とかすることが重要だということで、これも肝臓のデータをいろいろやってみますと、これはデータとして出しているのは、健康な若い豚の肝臓で出しているのですが、それに対して、粘性の特性、弾性の特性、こういうものを押えていくと(図 12)、青い線と赤い線で書いたのですが、6 次の運動方程式で記述できるのがこの線なんですね。このぶちぶちぶちっというばいデータを押えてあるのが、実は健康で若い豚の肝臓のデータです。こういう形で一個一個のパラメータをある装置をいろいろ使いながら、この装置に関しても我々なかなかいいのがなくて困っていたところ、食品会社で非常に使いこなしている、こういう計測装置があり、我々も使い始めました。舌触りとか歯ごたえを食品会社はしっかり押えなければいけないことで、こういうものを使って、我々は肝臓の硬さを測りたいのですが、彼らは食品にするものということで使っていました。豚の健康な肝臓で、このパラメータ一個一個をちゃんと押えられる。人間も、健康な人と肝臓ガンになっている人ではずいぶん確かに違うわけで、それはそれで、術中にパラメータを同定していきます。これは従来 80 年代に特に、制御の分野で流行った手法を、今コンピュータパワーが上がっているのもう一回使うことができるということで、それをやると合うということが分かりました。

豚の健康な肝臓から、レオメータを使うことで、粘性とか、非線形特性、針を刺していく時に針のきばえと実際の肝臓の間での摩擦係数、それから表面に入っていく力、それから対象物の変形が一個一個のパラメータ

を、豚の肝臓を使うことによって得られるという形になりました。実際にこんな風に入っていくわけですが、これは超音波で実験の風景で見ているのですが、これは針を刺している状況です。今、変わったところに気付くと思いますが、何段にもズブン、ズブン、ズブンとスティックスリップという状況があるのですが、こういう状況を起こします。実はスティックスリップって本当によく解決されていなくて、いまだにスティックスリップで学位論文を出される方たくさんおられるので、まだまだやることあるんだと最近すごく思っております。これ今入っていきますと、プチン、プチンと変な動きをする、(今戻りましたが,)こういう風な状況が起こってくると、肝臓をピンポイントでせっかくMRIやCTで正確に位置が分かったものに対して、差し込みながら変形を見込んで壊していく。これがスティックスリップでぶちんぶちんとなってる状況をここに示しているんですが、こんなものも含めて全部データで示せるようになって来ました。まあだいたい2次元でやっていけば、3次元にはそのまま使えるよね、と我々やってたんですが、ちょっとずいぶん違って来たということで、これの3次元の数値解析の手法がずいぶん出来ていて、この分野、大阪大学の先生方、非常にいろいろやっておられまして、いろいろ教えていただきながら一緒にやっているんですけども、3次元でやると、こういう風な形になるから、2次元だったらこうなるよね、っていう風なことも、かなりはつきり出来るようになってきた。機械工学の分野で我々やっていることになります。

もう一つ針を刺していった時のポイントで、実は今の变形や何かについては、ちょっとご経験がある先生にとっては割りと易しいんだそうです。今、そういう先生方でも難しいのは、どれだけのラジオ波なり、マイクロ波なりをどういうタイミングでどれだけの量を照射しておけば、ちゃんと肝臓のガンだけがウェルダンになってくれるのかというのが非常に大きなポイントで、熱の問題がもう一つ大きな問題です。実はこれがそうなんですが、横軸に温度をとって、熱伝導というデータを与えています。これが、肝臓がレアな状態、これがウェルダンな状態になるんですが、その状態に対応した形で、人間の熱の伝導そのものの伝導係数が変わってくる。比熱も変わって行ってしまふ。それをじゃあどうすればいいのかということ、実際にちゃんとできるのはこうだから、このときはこうすればいい。このときも熱拡散ということで、血液が流れ出ている範囲で、入ってくる場合、出て行く場合で全然変わってきます。こういうものもパラメータとして押えてやる。ということでこういうのは割と簡単な式、先ほどの肝臓のダイナミクスは6次だったんですが、熱の輸送方程式はそんなに複雑では実はない。

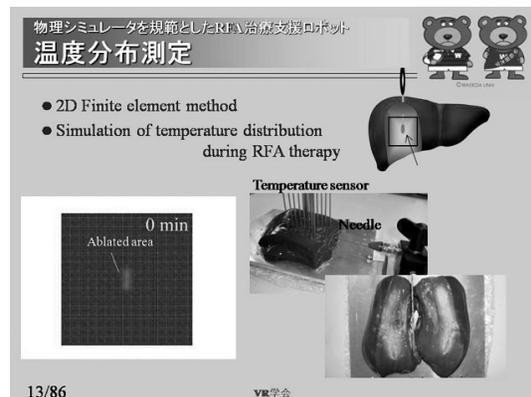


図 13

パラメータがいろいろ変わることをちゃんと、どれだけ押えてやるかというのがポイントになる。それを今押えている最中でございまして、これも数値解析で、今までこういう解析ずいぶんやられているのでそれを使いながら、実際に生きている豚の取り出した肝臓でやって、パラメータを押さえ込んでいくということをやっております。実際にやっていくだけでなく、こちらは実験室で(図13)、生の取れたての豚の肝臓なんですけど、温度計を刺しながら、全体の温度分布は本当にどうなっているのかということと合わせ込みながら今も押えているという状況で、これもかなりきれいに合うようになってきました。昨日は実はIEEEのバイオの関係の学会がアメリカでやってきまして、うちの学生さんみんな行ってたんですが、昨日帰って来まして、この辺もうまく発表できたと言っていました。これに対して、こういう物理的な特性をさらにビジョンと組み合わせて、例えばオープン環境のMRIだとか、超音波だとか、あるいは術前のCTというものを合わせこみながら如何にやっていくのかが一つポイントで、ただ、この辺はロボットとしてはかなりこれまでやってきている。物理的な特性をしっかり押さえるのがポイントです。もう一つは基本的に、健康な若い豚の一個一個のデータであり、例えば、脳も肝臓もそうです。それに対して、実際に刺したときには患者によって全部違う。これも最近大体出てきたのですが、実際に、最初に作ったモデルに対して、パラメータ同定を繰り返して、どんどん術中にやっていく。針を刺したことによって、実際、刺したらこれくらい変形するよねっていうものに対して、実際にはそれだけ変形しなかった、あるいはもっと余計に変形したということでデータを繰り返してやっていく。制御の分野では、カルマンフィルターというのは昔からすごくたくさんやられている。でもカルマンフィルターは役に立たないよねっていうのが、大体我々の分野では言われてたんですが、今コンピュータのパワーがものすごく上がったことによって、

それをいろんな方法で振ることがリアルタイムに出来るようになってきている。これでやるとかなりいい形で合ってくるというのが見えてきました。ただし、お医者さんが必ず付いていることを前提に、オートノマスな手術をこの中でやっていくということではない。術者の支援をするということになります。臓器の硬さはこれで合うし、摩擦係数が少し違ったねとか、油で刀の切れ味なんてよく言いますが、血のりが付くとどんどん変わってくる。そういう問題についてもやっていくことによって、手術の計算をやっていくというようなことはやりました。肝臓で大体見えてきたので、実は肝臓、脳が一番簡単で、我々は脳から始めたんですね、組織としては割りと単純な組織ですから。それに対して肝臓は症状によって違うパラメータなんだけど、それさえ克服すれば、肝臓はわりとモノトーンな構造。それで、そのほかにも、実は脳というものでどのくらいなのって事に対して、脳は大体一個一個の特性については、機械工学的には3次元の三要素のモデルで大体合わせこんでいけば、こちらの方がその数値解析モデルであり、ここに入ってくるのは実際健康で若い豚の脳ですけれども、これで押さえ込むことが出来る。それに対して、式としても、そんなに難しい式でなくて、材料力学で、大学2年生でやるくらいの内容で押さえ込むことが出来る。そのパラメータをどうするかって部分だけが非常に問題である。同様に、その次に難しいのが、肺であって、肺がんというのはこれからの大きな仕事になるのですが、肺というのは、肺実質の他に、器官があり、血管があり、神経があると、その中でも、器官の問題が非常に難しく、非常にへんてこんな形をしているんですね。血管のようにまん丸の筒ではない。そういうものに対しては同定で一応パラメータを決めて、同定してやればよい。

もう一つ大変なのは乳がんなんですね。世界中で一番嘱望されているのは乳がんの治療で、しかも低侵襲で行いたい。ところが組織として、脳とか肝臓に対して、肺が難しいと言いましたが、一番難しいのは実は乳がんなんですね。乳房というのは基本的に下にろっ骨があり、その上にも組織があり、その組織が、人間によってすごく違う。もっというと欧米人とアジア人ではまず全然組織が違う。そういうものに対して、パラメータをどう設定すればよいか。私どもの研究室で、乳がんの触診ロボットを35年前にやっているんですね。それがようやく少し、我々の研究に使えるようになってきたということで。これを押し込みながら、あるもので抑えながら、針を刺していく。こう押し込んで、ガンがある状態に追い込んでいって、そこでいい位置が決まったら、針を刺して、乳がんを焼ききると。ただ、乳がんもいろいろなガンがあって、こりこりしたものもあれば、ねば

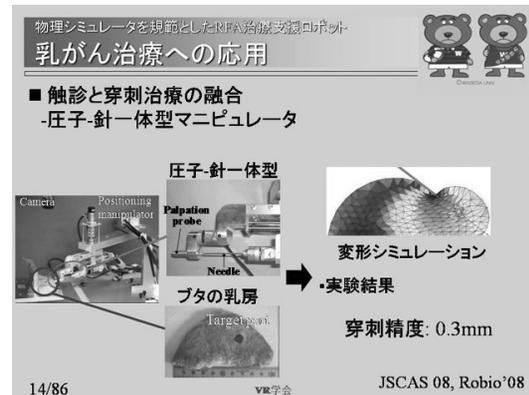


図14 *口絵にカラー版掲載

ねばしたガンもあるし、腺ガンとかいろいろなガンがあるわけですね。それに対して、このパラメータをしっかりおさえていかなきゃいけない。ただ、これも明日、ご覧いただく方はご覧いただきます、我々のキャンパスでは女子医大と一緒に動いておまして、人間の乳がんと極めて近いガンを持っているのが猫なんだそうですね。今、猫の乳がんをいろいろ使わせていただきながらやるのを始めました。それまではホルスタインという言葉もあるくらいなんで、牛とかヤギがいいんじゃないかって、やったんですが、実はあれは搾乳に向いているように、中に空洞があり、そこに全部お乳がたまる状態になっていて、人間と全然形が違うんですね。そんなことで今、ふうふう言いながらやっております。これが実は豚でみんな最初はやっているものですから、豚の乳房で仮想的なガンを入れて、これがそうなんですが(図14)、そこに針を刺していったときに、それがどういう形でデータが出るのか。数値解析と、実際のパラメータ同定とで合わせこんでやっていくことをやっています。数値解析にもいろいろなやり方があるので、どうやったらうまく合うのかなという風なことをやっていて、豚の乳房に対して、喉の切り方やなんかもなかなか大変で。こういうのは今までの割と我々の分野で原子力のプラントとかで使われていたものなのですが、乳房というのは想定されていない対象だと思うので、その辺がなかなか難しい状況で、変形はどういった形でなるのかということを押さえっていく。

そのほかは、少子化の話では、我々は国立成育医療センターと一緒にやらせていただいているんですが、胎児の状態のところでは治療するというのも非常に重要なことになっておまして、成人の組織の性質と違ってくる。それに対して、パラメータをどう定めるのか。元の試験が同じでも、パラメータが全然違ってくることになります。

まとめてみると、臓器力学モデルということをしっか

り押さえて、それをちゃんと制御に押さえ込めれば、出来るし、それをどんどんどんどん小さくしていく。基本的には我々は、実は薬でやっておられる方もこの分野ではたくさんありまして、薬とロボットとの競合状態になっている。(この辺はこれからのスライドは飛ばしていきますが)、こういうのは今、国の中でもいろいろなプロジェクトが走っている。(スライド)これ横軸に2002年から2009年までとったものなんですけど、これからどんどんこういうものを、如何にこういう展開を押えていくかというものを、経産省も動いていて、我々もその中に位置づけをしていただきながら、進めているという事になります。

あとは、こういう分野ですと、機械工学も非常に重要です。私も、機械学会でそういう分科会を作って動き始めているのですが、そのほか医学との連携というのも大事で、その中で、こういうロボットを作った、お年寄りを支援するロボットも、手術するロボットも、いずれも、人間が作るもので、パーフェクトなものはいらないわけだから、それに対して、こうすればここまでやっているんだよということ、学会レベルで提言できるようなことを、このなかでしていこうということで動いています。このほか学会も、日本ロボット外科学会というのが昨年出来まして、私も顔を出していますけれども、こういう中で、医学と工学がお互い上か下かでなくてやっぺいこうと。それから国の中でも、スーパー特区というようなことが動き始めていますし、実は去年が非常に大きなポイントで、混合診療というのができるようになりました。保険が効くものと効かないものというのが、ちゃんと区分けが出来ようになりました。それから、高度先進医療というのに対して、高度医療評価制度というのが出来て、これによって、提案することで長い治験という時間を、ある意味では少しスキップできるようになりました。それから、アメリカでいうFDAに相当する、そういう評価できるようなところもできたし、さっき言いましたスーパー特区というようなものも出来ました。こういうものをやるには実は、これから一番大きなポイントは、こういうところでガンガンできる若者を育てなければいけない。我々はグローバルCOEの中で育てている。こういうロボットに対して、ロボットと人間との関係をどうするのか、それは工学だけではなくて、人文科学、社会科学とも連携しながらやっていかなければならない。そういう学生さんをしっかり育てていきたい。今回の大会長の橋本先生にも頑張っていたきたいながら、今そういう形を早稲田のカリキュラムにも組み込んでいこうということで動いてまして、基本的には、こんな風な街の絵が出ているんですけど、このような街の中で、ロボットがあっても当たり前、特に立ち止まってみる必

要もないというものをこれからしっかりおさえていかなければならないと思っております。

すみません。ちょっと5分余計にしゃべったようです。どうもご清聴ありがとうございました。最後駆け足になって申しわけありません。

質問者：私も初めて聞いた話しも多かったですけど、いろいろなお医者さんと組むというと、相手ごとに全部グループを分けてやっているのですか？

藤江：はい。今、私どもはいろいろなグループにいます。私自身は20年前にこの分野を始めたんですが、その時は、前の東京女子医大の学長、高倉先生がこういうのよろうとおっしゃって、私もやりたいなと思い、高倉先生のご専門である脳神経外科という形で始めました。その次は心臓外科ということで、これは東京大学の先生と最初は始めたんですけども、今ロボット外科学会というのが出来たのは、あれは金沢大学の心臓外科の先生が始めているものですが、岐阜大学とのグループとも連携して今やっております。そこかなり心臓に関してはやっております。消化器は九州大学とやっております。それから整形外科は大阪大学、神戸大学のグループと一緒にやっています。あとは、胎児、小児外科については九州大学及び、国立生育センターという風な形でやらせていただいております。それから、リハビリについては、所沢の国立リハビリテーションセンターがかなり中心で、横浜市総合リハビリテーションセンターの方からもご指導いただいております。

司会：バーチャルリアリティと関係ないということでお話いただきましたが、そんなこともなさそうな気がして、それから、お医者さん、医学と工学がくっついたこういうものはあまりなかなか見られない。バーチャルリアリティもたぶん同じ意味で、役に立つ領域があるんじゃないかと思いました。

【略歴】

藤江正克 (FUJIE Masakatsu)

1971年早稲田大学大学院修士課程修了。日立製作所機械研究所にてロボットの研究開発に従事。同社主管研究長を経て2001年より早稲田大学理工学部機械工学科教授、現在、早稲田大学理工学術院教授。日本機械学会(フェロー・評議員)、日本ロボット学会(正会員)、IEEE等の会員。科学技術庁長官賞・日本ロボット学会実用化技術賞・日本機械学会技術賞・日経BP技術賞・今年のロボット大賞審査委員特別賞、IEEE Harashima Award、博士(工学)。