

No.89

December 15, 1999

# *Information*

---

講 演

1998年12月9日（水）・第100回談話サロン（東京・弘済会館）

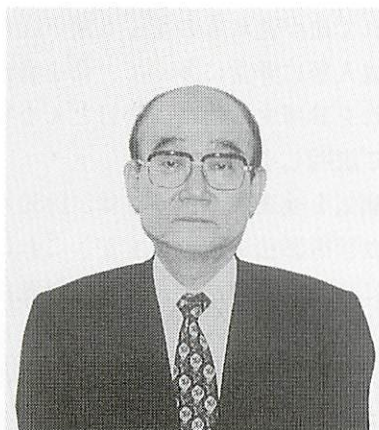
講師・演題

高倉 公朋・土肥 健純：「外科手術へのコンピュータ技術の応用」

---

社団法人  
日本工学アカデミー  
THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

# 外科手術へのコンピュータ技術の応用



高倉 公朋 (たかくら きんとも)



土肥 健純 (どひ たけよし)

1932年10月生まれ

1958年 東京大学医学部卒業

1963年 同 大学医学部大学院修了

同年 同 大学医学部脳神経外科助手

1964~67年 米国マウントサイナイ医科大学客員研究員

1968年 国立がんセンター脳神経外科医長

1978年 東京大学助教授 (医学部脳神経外科)

1981年 同 大学教授 (医学部脳神経外科)

1992年 東京女子医科大学脳神経外科学主任教授

1993年 東京大学名誉教授

1994年 東京女子医科大学脳神経センター所長

1997年 同 学長、東京女子医科大学名誉教授

国際脳神経外科学会連合名誉会長、米国脳神経外科アカデミー会員等。

1947年5月生まれ

1972年 東京大学工学部精密機械工学科卒業

1974年 同 大学大学院工学系研究科修士課程修了

1977年 同 大学大学院工学系研究科博士課程修了

1980年 東京電機大学工学部助教授

1981年 東京大学工学部精密機械工学科助教授

1988年 同 教授

1995年 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻教授

工学博士。第35回科学技術映像祭 科学技術庁長官賞受賞。

司 会 (三浦謹一郎バイオ専門部会長) きょうは、第100回という非常に記念すべき談話サロンですが、バイオ専門部会で企画をさせていただきました、「外科手術へのコンピュータ技術の応用」という題でお話を伺うことになりました。

最近コンピュータとディスプレイが格段に発達しまして、画面を見ながら病気の状態を知るといっただけではありませんで、コンピュータを通して手術をするというところまで実際に進んでいるようであります。コンピュータを眺めながら仕事をするということで、バーチャル・サージェリーというような分野が開けてきたと思います。

きょうはお二人の講師をお願いいたしますが、

高倉公朋先生には医学的な面から、土肥健純先生には工学的な面からお話ししていただきます。きょうの講師の高倉公朋先生と土肥健純先生は、お二人で実際に共同研究もなさっているということで、うまいチームプレーでお話をいただけるのではないかと思います。

まず、最初のスピーカーの高倉先生を簡単にご紹介申し上げます。東京のお生まれで、昭和33年に東大の医学部をご卒業になり、38年に大学院を修了されまして、医学部の脳神経外科の助手を務められました。その後、ニューヨークのマウントサイナイ医科大学に行かれましたが、43年からは国立がんセンター脳神経外科の医長をなさり、53



年には東大医学部神経外科の助教授、56年に教授になられました。平成4年に東大を退官されまして、東京女子医科大学の脳神経外科の教授になられました。平成6年からは、東京女子医科大学脳神経センターの所長を、また、平成9年からは東京女子医大の学長をなさっていらっしゃいます。

きょうは、大変お忙しいところをお願いいたしました。海外でも、国際脳神経学会連合の名誉会長でありますとか、米国脳神経外科アカデミーの会員でありますとか、ご活躍になっておられます。

続いて、2番目のスピーカーでいらっしゃいます土肥健純先生についてもご紹介申し上げておきたいと思います。

土肥先生も東京のお生まれで、東京大学工学部に進まれ、精密機械工学科を昭和47年に卒業されましたが、お家がお医者さんであるということもあり、やはり工学を医学に生かすというところが血筋でもあるのかもしれません。大学院の博士課程まで進まれて、55年に東京電機大学工学部の助教授になれましたが、すぐに東大の精密機械工学科に移られまして、63年には精密機械工学科の教授に昇任されました。現在は大学院重点化で東大の大学院工学系の教授をされているわけであり、土肥先生も、いろいろなことは省略させていただきますが、内外ともにご活躍になっておられます。

部分的に重なるところもあるかと思いますが、お二人で適当に分けてお話しいただけるとと思います。それでは、高倉先生からお願いいたします。  
**高 倉** ただいまご紹介いただきました東京女子医科大学の高倉でございます。

本日は「外科手術への工学的な応用」ということとお話し申し上げたいと思います。いま、外科学の技術は日進月歩で進んでいますけれども、その進歩に貢献しているのはほとんどが工学技術で、特にコンピュータ技術がなければ何事も進まないような時代になっています。外科というと、すぐメスを使う治療をご想像になると思いますけれども、今日では、手術中の放射線治療とか、診断と外科手術の共同作業等が進歩していますので、最近の状況をご理解いただくことができれば幸いです。特に脳の疾患に関しての診断

技術や治療技術がどのくらい進歩しているかを中心に、お話し申し上げたいと思います。

最初にくも膜下出血という病気を例にとって診断の進歩をご説明します。脳の血管のコブ（動脈瘤）が破れて血が流れるのをくも膜下出血と呼んでおり、成人層に非常に多くて、命を脅かす病気です。これを診断するのに、今日どんな検査法があるかをご説明します。

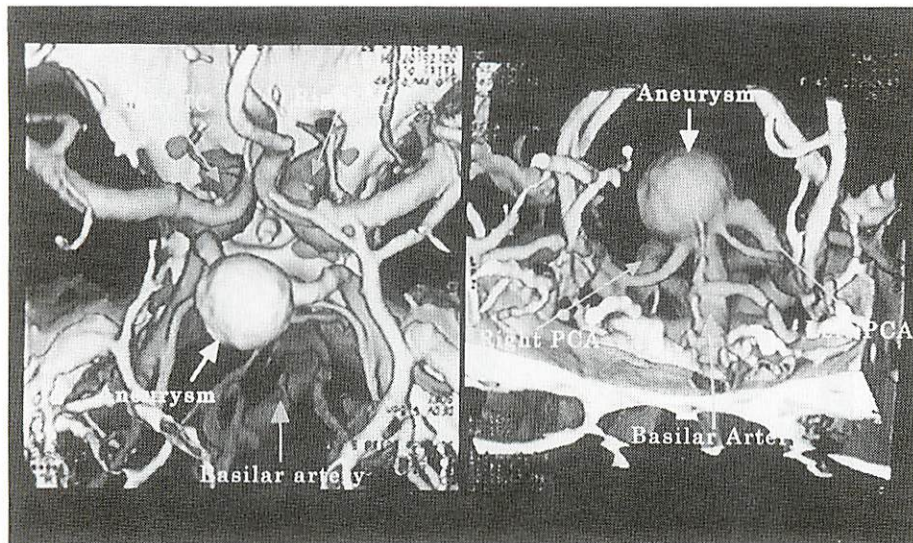
血管の病気を検査するためには、1930年代に開発された血管撮影法を用いますが、これは造影剤を血管内に注入する方法で、これで動脈瘤が見えてくるわけです。もちろんこういう技術も使っていますけれども、いまは立体的なCTスキャンを用いて、非常にわかりやすい病像の立体像として映るように、検査が行われています。

それがこの例です（スライド1）。この画は生きた人から撮った血管の像で、こういう像が日常の診療に使われる時代になっています。ここに血管のコブが見えていますが、これはCTで作られた画像で、コンピュータの操作により、動脈瘤の内面を見たいという場合にも、簡単にコブを輪切りにした像が画像としてできてきます。そうしますと、この動脈瘤を半分に切って内面を見たところが写ってまいります。この動脈瘤に入ってくる血管から血液が流れ出ていく血管までがはっきりとわかります。ちょうど絵に描いたように写っています。このような写真は、今日の診断に用いられている最前線の検査に用いる写真とお考えいただければよろしいのですけれども、こういう像ができるのも、コンピュータのソフトの発達のおかげです。

このように動脈瘤が見つかりますと、手術で、二度と破裂しないようにクリップで、ちょうど洗濯ばさみのように挟んで、破れた動脈瘤をつぶしてしまう治療を行っています。この操作はいまのところは外科医が手で行っていますが、将来はいろいろな方法が用いられるようになります。血管の中から操作して、毛髪のように細い白金のコイルで、動脈瘤の中を詰める方法も、いまは行われています。先ほど三浦先生がバーチャル・リアリティの技術が医学に応用されていると申されましたけれども、まさにバーチャル・リアリティで、現実



スライド1 3次元CT画像で写った脳の血管と脳動脈瘤の形態



に見ているのではないけれども、動脈瘤が目に見えてくる。「仮想的現実」の技術が盛んに取り入れられていると言えます。

手術場では、こういったような診断の画像とともに、呼吸機能、脳波、心電図など、いろいろな機能を調べる検査情報を全部コンピュータで管理して、手術を行う外科医に適時指示をして、正しい情報を刻々と伝えることができるようになっていきます。

これから簡単に、現在の手術室から想像される来世紀21世紀の手術室はこんなになるのではないかとこのところをお話したいと思います。最初にお話し申し上げるのは3次元の外科用のテレビです。いま現在、普通に用いているテレビは2次元で、立体感が得られません。今日では脳外科だけではなく、形成外科、耳鼻科、眼科でも、ほとんどが顕微鏡を見ながら手術を行っています。その顕微鏡の画像がテレビに映されまして、看護婦やその他周りの者がテレビを見れば、何を手術しているのかよくわかるようになっていきます。ただ、これは2次元の画像ですから、立体感は十分につかめないのが欠点であります。

そこで、いま私どもが開発しているのは3次元のテレビで、しかもそれをハイビジョンで繊細な像を映せるようにいろいろと研究を進めています。今後は、外科医は顕微鏡をのぞかないで、テレビ画面を見ながら手術することになります。画像も

かなりきれいになり、3次元の立体感も出るようになっていますが、ハイビジョンにするにはもう半年ぐらいの開発が必要かと思います。実際にテレビを見ながら手術をすることが可能です。このテレビ装置を用いますと、顕微鏡の接眼レンズは要らないことになります。

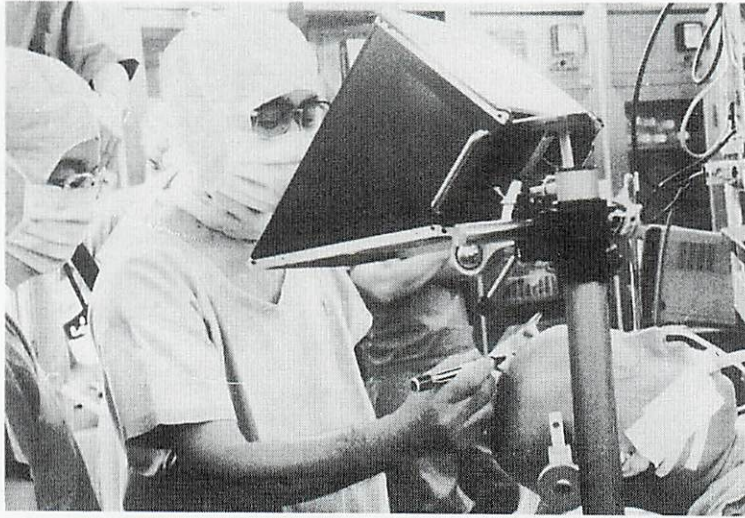
次に、手術で非常に大事なものは、手術病巣の正確な位置を知ることです。例えば、血がたまっているとか、脳腫瘍があるとか、手術で取らなければいけない場所を正確に知ることが非常に大事ですが、小さな病巣がどこにあるのか正確な位置が簡単にはわからないので、診断画像から位置決めを正確にするモニター装置が必要になってきます。

骨を開けて脳を見たときに、一体ここはどこなのだろうか、ここから右へ何cm行ったら腫瘍に当たるのだろうかといったような位置決めは、現実には非常に大事なわけでありまして。ご承知のように車に例えると、自分の車がどこを走っているのかはカー・ナビゲーターと呼ばれる装置でよくわかりまして、最近では非常に正確に自分の位置を知ることができます。それと同じような考え方で、手術をしているときに、自分がどこにさわっているのかわかるような指示装置をナビゲーターと呼んでいます。

15年ぐらい前に第一世代のナビゲーターが開発されました。CTとかMRIの診断の画像をコン



## スライド2 Volumegraph で見える脳の形状



ピュータに情報をためておき、手術場に知らせます。ナビゲーターのセンサーの先端がどこを指しているのかがわかるようにした指示装置です。ナビゲーターのプローベの先端がテレビの画面に出てきますので、手術中に自分がさわっている位置が表示されるわけです。私どもはそれを使ってみまして、使い勝手が悪いということもあります。さらに正確で簡単な方法を考えて、ボリュームグラフを東大の工学部と共同で開発しています。

これは特殊なフィルムを使いまして、3次元の立体的な脳の像、またはその病巣のある像を、患者さんの頭の中に透かして見えるようにする技術です（スライド2）。頭の手術で皮膚を切開する前に、奥のものが透かして見えたような状態になります。このように脳が見えてくるわけです。ちょうど投影しているといいますか、透かして見えたような状態になって、病巣がはっきりとわかりますので、場所をあやまらずに皮膚を切開して、病巣に到達することができるという仕組みです（スライド3）。脳にはいろいろな血管があります。大事な血管を傷つけてはいけませんので、そういう血管も見えますし、中の病巣も見えるというわけです。

同時に超音波の検査法も大切であります。病巣の形は時々刻々、腫瘍を半分取れば半分に小さくなるように、形がどんどん変わっていきます。それを知るには超音波診断法が便利なわけで、3次元の超音波診断法を研究しております。通常の超

音波の検査機器は、2次元の平面画像ができてきます。そこで、プローベを回転させて、断層像をつくり、それを手術場の中のコンピュータで集積して立体像をつくるという3次元超音波診断法を開発しています。

そのようにすると腫瘍の立体像が見えるので、さらに画像を鮮明化してわかりやすくするように、いま研究しております。こうした機器は手術を正確に行うためのナビゲーター・システムと呼んでいますが、そのほかに大型の機器としては、オープンMRI、移動型のCTスキャンなどもあります。オープンMRIとは、手術場にMRIの診断機器を入れて、手術中、手術している部位がどこかをはっきりとMRIの画像に写しながら手術するものです。ハイテク手術室と申したらよろしいでしょう。

このほかに、遠隔手術用のマニピュレータを開発しています。遠くからの指示によって、挟むとか、つまんだりということができるようにする装置です。これはまだ開発途上ですが、完成しますと、もっと遠くでもかなりのことができます。現在でもかなり微妙な操作ができるようになっており、例えば、糸を結ぶことも可能です。オープンMRIを使いながら、遠くから手術をすることも可能になるわけであります。

このようないろいろな指示・操作を組み合わせ、手術前に、手術の計画（シミュレーション）を綿密に立てることができます。機械のほうが精密にできることがいっぱいありますので、機械にで



スライド3 Volumegraphで見る脳の血管像



きる仕事は機械に任せて、医師にしかできない心のこもった仕事は医師が行うというふうに、機能を分担して、機械は機械で発展させて、医師がそれを使いこなすというようにするのが将来の計画的治療の方法と考えています。

外科はメスを使うばかりではありません。いろいろな新しい放射線の治療機器もできています。これも一種の道具であり、使い分けて、最適な治療に役立つ道具を選ぶことが必要です。

その例として、ガンマ・ナイフというのは局所に集中して放射線を照射する機器で、日本ではすでに25ヵ所の施設に設置されています。ガンマ・ナイフの構造は、大きな鉄製のヘルメット型をした容器の中に201個のコバルト60の小さい放射線線源が入っており、そこから出てくるガンマ線が一点に集中するように設計されています。ガンマ線が集中したところは非常に強い放射線がかかって治療効果をあげますが、そのほかのところは1/200の線量しか当たりませんので、ほとんど正常の脳には障害を与えずに、局所だけに放射線を集中させることができる機器です。

一例として、肺がんが脳に転移することは非常に多く、そういう方を治療するために、従来はこの腫瘍を手術で取っていました。最近は手術で取る場合もありますが、一般的にはガンマ・ナイフでここだけに照射して治療しています。1回の照射で、一月後には、完全になくなっています(スライド4次頁)。手術できれいに取ったのと同

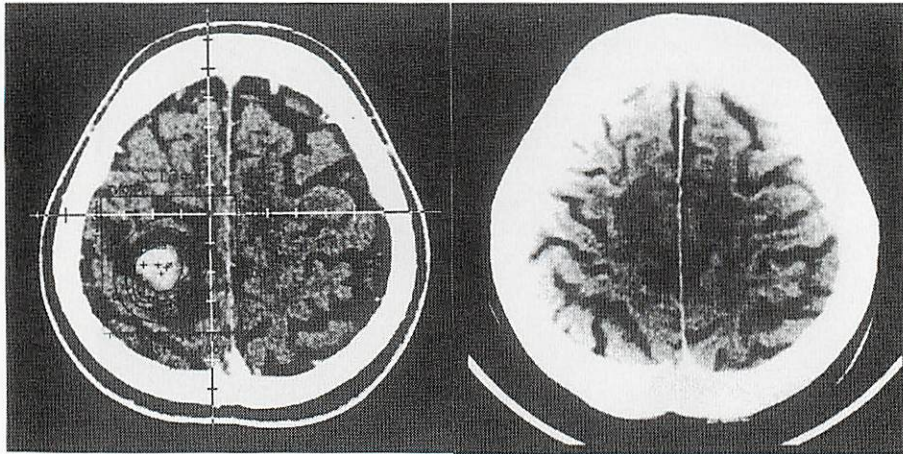
じようになっています。病巣には非常に強い線量が当たりますが、ほかの正常な脳には当たらないので、このような転移性の脳腫瘍の標準的な治療法になっています。

腫瘍ばかりでなくて、脳の動静脈奇形といって、血管がとぐろを巻いたように見える病気があります。これも血管が弱いので、破れて出血を起こすことが多いのですけれども、外科手術でこれを取るのにはなかなか難しく、後遺症を起こすことも多いのですが、ガンマ・ナイフでここだけ照射しますと、1年後には完全に消えてなくなって、ちょうど手術で取ったと同じように治すことができます。ガンマ・ナイフ治療の利点は、1回の照射で終了することです。1日の治療で終了して、患者さんは次の日に退院でき、社会復帰できます。もし手術で取りますと、1ヵ月から2ヵ月間入院し続けなければなりません。治療が短期間で終結することと、外科的手術をしませんので、それによる障害が一切ない、安全な治療で、しかも早い回復が見込めるということです。

もう一つ別の放射線治療で、非常に新しい、フォトン局所放射線治療システム(PRSと略しています)という機器があります(スライド5次頁)。PRSとはどういう機器かと申しますと、ポータブル型で、重さが1.9kgぐらいのX線発生装置で、電子線を発生させ、それが直径3mmぐらいのプロローベを電子線が走って、先端に張ってある金箔へ当たるとX線が発するというしくみになっています。



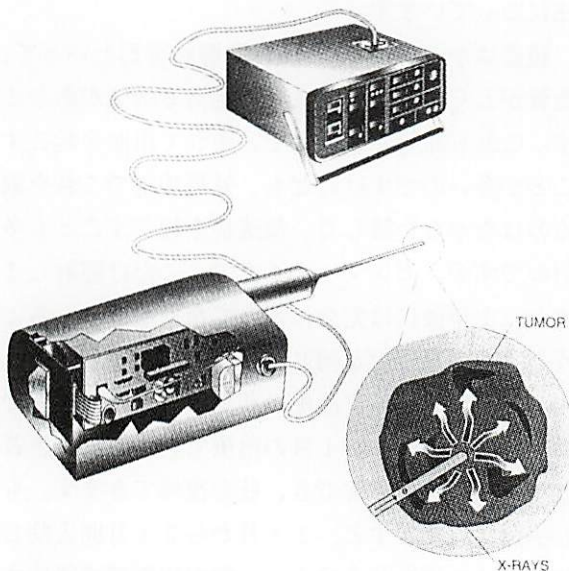
#### スライド4 ガンマナイフによる肺癌脳転移の治療



A：治療前

B：ガンマナイフ治療1ヶ月後のCT  
像で、腫瘍は消失している

#### スライド5 フォトン局所放射線治療装置 (PRS)の構造



これは12ボルトで稼働しますので、電池で働きます。スイッチ・オンしますと、X線が出るので、この針先(プローベ)をガンの中心部に置いてスイッチ・オンすると、腫瘍の中心部から照射することができます。

現在ではアイソトープを使い、例えば放射性ヨウ素の針を埋め込む治療が行われています。腫瘍内照射法と申します。それを用いますと、治療期間は1週間から2週間かかり、しかも針を埋め込んでいる間は放射線漏れがあるので、患者さん

は放射線が通過しない密閉隔離された病室で過ごさなければならないわけですが、PRSはスイッチを切れば放射線は出ませんので、簡単に治療できますし、手術する外科医や看護婦にとりましても放射線を被爆することがないのです。

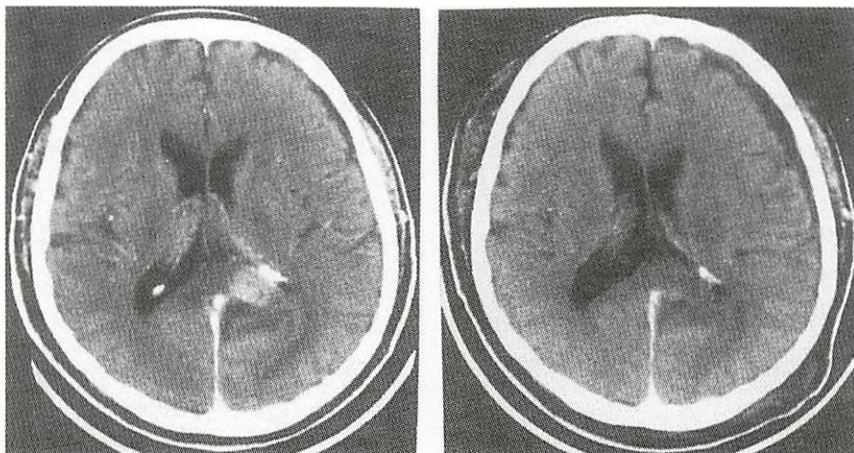
しかも、出てくる放射線のエネルギーが非常に急峻なカーブを持っています。中心には非常に強い放射線が照射されますが、周辺になるとたちまち弱くなるというわけで、治療計画は周辺の放射線量で決定します。例えば、腫瘍の周辺線量を15グレイとか20グレイに設定しますと、その通りに治療ができるという仕組みになっています。プローベを定位的に腫瘍に正確に挿入して、腫瘍を照射することもできます。

また、手術の後で残ったところを照射することもできます。この例は(スライド6)、脳の深部にガンがあり、針生検で組織検査をしました。これが悪性リンパ腫であることがわかりましたので、同じところへプローベを刺しまして、PRSの照射を7分行っています。この周辺線量を18グレイに設定しています。そうしますと、中心線量は非常に高く数百グレイというような、普通の放射線治療の何十倍という量が一週にかかります。この例は、24時間後に、腫瘍は全部消えてなくなっていました。このように非常にスピーディに腫瘍の治療が完結してしまいます。

スライド7(次頁)は別の17歳の男の子で、Germ



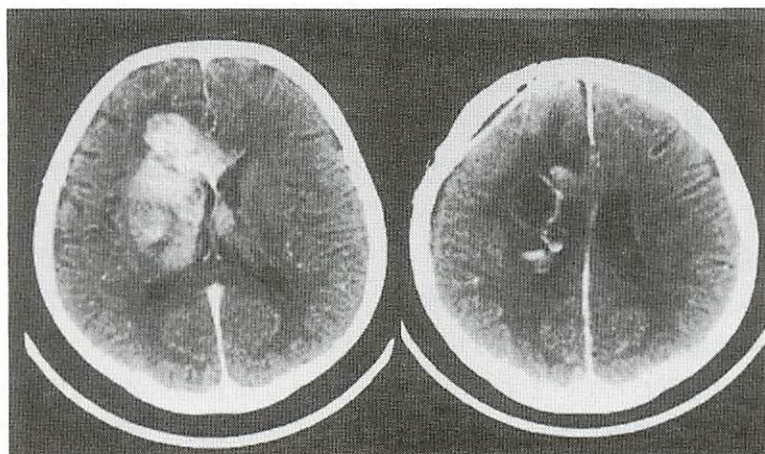
スライド6 PRSで治療した悪性リンパ腫



A：治療前 脳の深部に直径1.5 cmの腫瘍が見える

B：PRS治療24時間後のCT像で、腫瘍は消失している

スライド7 PRSで治療した悪性脳腫瘍（胚細胞性腫瘍）の再発例



A：治療前

B：治療2日後のCT像で、腫瘍は消失している

cell tumor という特殊な脳腫瘍で、非常に治りにくいものであります。普通の治療をして、さらに再発して大きくなってきたもので、ほかに治療方法がありませんので、PRSで照射治療を行いました。2週後には、ほとんど消えてなくなっていました。このように治療効果が著しく認められます。

2歳男子の、最も悪性の膠芽腫という病気の例では、脳の深部に拡がっているのが、手術で取ると重大な障害を起こしますので、取るわけにいかず、それで、この子の場合にはPRSで30分ぐらい照射をいたしました。治療して5日後には、元気になっています。この子は2歳のときに治療して、現在は5歳になりまして、幼稚園に通っています。

PRSは局所の放射線治療機で、アイソトープを使うことがないので、非常に安全で簡単な操作ができる治療機です。侵襲が少ない治療ができる利点があります。このPRSによる治療は、現在、私どものところで国際共同で治験を始めています。現在日本で2カ所、東北大学と私どものところでしかまだ使用しておりませんが、近いうちに厚生省の許可が下りますと、いろいろな他の臓器のガンにこのPRSが使用されるようになると思います。

放射線治療で巨大なプロジェクトもあります。千葉の稲毛にある科学技術庁の放射線医学研究所の巨大なシンクロトロンです。大きな建物の地下で重粒子を発生させています。重粒子の照射は、ネ



オン、シリコン、アルゴン、炭素などの原子核を照射するもので、現在使っているのは炭素の原子核です。重粒子線の治療がガンの治療に非常に適しているのは、エネルギー分布を腫瘍に集中することができることであります。普通のガンマ線とか中性子線ですと、照射して、例えば脳腫瘍の場合に皮膚、頭の骨のところに100%線量が当たったとしますと、腫瘍のところへ到達するまでにどんどんエネルギーが吸収されて、照射したい場所、肝心のガンのところには30%とか、非常に減衰した量しかかからないのです。ところが、重粒子線とか量子線はエネルギーの最大量を目的とする場所の深部に設定することが可能ですので、途中にはあまりかからないようにして、患部へ強い照射をすることができます。これが重粒子線のガン治療への応用の最大のメリットです。

ビルの地下にシンクロトロンがあり、ここで重粒子線を発生しています。治療室が3部屋あり、肺がん、子宮がん等、それぞれ臓器別に研究班がつくられています。私は脳腫瘍の研究班として治療を行っているわけです。この治療は始めましてから3年弱で、まだ結論的なことは申せませんが、頭蓋底に拡がった悪性腫瘍で、手術では取れない場合に重粒子線治療は有効と考えております。こういう新しい治療も行われていますが、この機械は巨大な機械でして、費用も数百億円かかるので、どこにでも設置するわけには参りません。国家プロジェクトで行われている新しい治療法です。

結局、外科医がいま求めているのは、ただ命を延ばせばいいという治療ではなくて、患者の有意義な人生を守らなければいけないという基本的な考え方で、私どもも同じ考えです。

東京女子医科大学ではそういうことを目的として、ハイテクリサーチパークセンターという仮の名前で、医学と工学が共同して機器の開発を行う計画を練っております。先端工学外科学と言ってもいいかもしれません。非常に低侵襲の手術で、すなわち大きな手術ではなくて、なるべく小さい傷で小さな侵襲で手術を行う方法を総合的に開発する研究方針を立てて、いま実行し始めているところであります。

東京女子医科大学では、21世紀のモデルになるような手術室をつくりあげようと、来年度に向けて準備を進めているところでございます。雑駁なお話を申し上げましたけれども、これで終わらせていただきます。(拍手)

司 会 高倉先生どうもありがとうございました。

それでは、引き続き土肥先生にお話をいただいて、その後でまとめて質問をしていただきたいと思います。

土 肥 東京大学工学部で、医療機器や福祉機器の研究と教育を専門に担当しています。

私たち工学者が、医療あるいは福祉の分野にどうアプローチするか、あるいは支援するかというのを、簡単に示したのがOHP1です。きょうお話しするのは、医療支援技術の中でも治療支援を対象とした工学です。治療支援においては、他に生体計測、生体機能の補助などもあります。

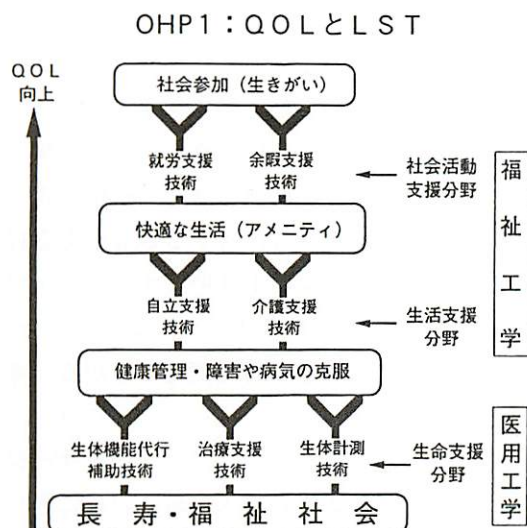
一方、福祉工学は、医療において病気を治療した後、患者さんに障害が残ったり、あるいは不具合があってもなかなか自分一人では生活できないといった場合に、支援する工学技術の分野です。私の研究室ではこの両方の分野について、全部ではありませんが、その一部分について研究開発を行っています。

きょう高倉先生がお話になられた治療支援は、特に工学的支援が最も苦手とする分野です。なぜかといいますと、この分野での工学支援、その中でも機械的な支援になりますが、実際の外科手術は人間の非常に器用な手、感覚の鋭い手で行っていますから、それを機械に行わせることは非常に難しい。その前段階の観察、あるいは検査に関しては行いやすいのですが、どうしても手術そのものを工学技術で支援する場合、どのような疾患に対してどのように支援したらよいか、なかなか見つからないのが現状ではないかと思います。

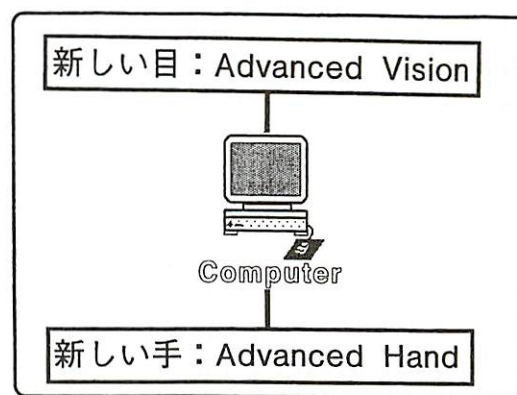
外科手術は、麻酔や滅菌・消毒といった技術とともに発達してきましたが、外科治療の基本は、外科医が直接目で見ながら手で処置を行うという、人間の機能をフル活用した技術だからです。

しかし、フル活用したとしても、人間の手には手の大きさや位置決め精度などによる限界もありますし、目もスーパーマンではないので体の中を





OHP2: 外科医の新しい目と手



透視することはできません。そのため、よりよい手術を目指しても、現在の手術方式では人間の目と手の機能に基づくため、手術にも当然それらの機能による限界も存在します。この限界をどのようにして乗り越えるかが問題となるのです。

この限界をどう乗り越えるか、とくに、外科医自身の目と手の能力を超える新しい目と手を工学的技術によりどう実現するのかが、きょうの私の話のメインです (OHP2)。

人間の目には多くの機能がありますが、手術遂行上さらに欲しい機能は、近年急速に発展したX線CT、MRI、超音波などの医用画像装置からある程度得ることができます。一方、複雑な動作をし、かつ繊細な感覚をも感じる器用な人間の手でも、大きさ、位置決め精度、疲労などの問題がありますが、その多くはロボット技術により解決することが可能です。すなわち、手術支援ロボットなどの手術支援機器は、外科医に新しい手を提供することができるのです。

このように、この外科医の新しい目と手の実現には、コンピュータ技術を駆使した三次元画像処理技術やロボット技術などが不可欠なため、この新しい外科分野を、「コンピュータ外科 (Computer Aided Surgery: 通称 CAS)」と呼んでいます。

ただし、現在の外科手術は、外科医による長年の経験により発展してきたものですが、コンピュータ外科のような新しい外科でも、その蓄積した経験と知識が生かされなければいけません。

しかし、その経験の生かし方は、従来のやり方をそのまま機械に置きかえるというものではないと思います。例えば、真空管の時代に、電子機器を一生懸命小さくしよう、さらに熱量も少なくしようとしたとき、ミニチュア管など非常に小さい真空管を開発した時期がありました。しかし、あくまで真空管を基本とするため、そこには限界があったのですが、それを新しい方向から乗り越えられるようになったのは、トランジスタの出現です。トランジスタが出てきたからこそ電子機器は小さくなり、さらにIC、LSI、超LSIというものにまで発展することができたのです。

真空管からICや超LSIになったとき、材料など変わったものもありますが、基本となる電子理論そのものは変わっていません。ただ、その理論を実現する環境が全く新しく変わったのです。それは医学においても同じだと思います。医師が治療するに当たって、いままでの治療方法を単に機械に置きかえるのではなくて、全く新しい、しかも治療しやすい環境を外科医に提供するのがこのコンピュータ外科です。

このコンピュータ外科の意義としては次のようなものがあります。

#### 1) 低侵襲外科治療の実現

- ・手術という患者にとって大きな肉体的負担の軽減
- ・入院期間短縮による、患者の早期社会復帰  
(高齢者の寝たきりの回避、術後のリハビリ期間の短縮あるいは不要、医療費の低減など)
- ・無輸血手術の対象拡大により、患者の輸血感染



事故の減少

- ・医療スタッフに対する肝炎やエイズなどの感染事故防止
  - ・医療スタッフの肉体的、精神的、および時間的負担の軽減
- 2) 従来治療が不可能あるいは困難であった疾患の治療の実現
  - 3) 従来の手術よりも安全で正確な処置の実現
  - 4) 離島や過疎地などに対する遠隔手術の実現
  - 5) コンピュータ上における手術シミュレーションの充実
- ・適切な手術計画の実現
  - ・患者への適切なインフォームドコンセント
  - ・医学教育や専門医教育の充実

コンピュータ外科の中で一番大事な点が「低侵襲外科治療」の実現です。患者さんにとって手術という大きな負担を減らすことが可能となります。また、この負担を減らせば入院期間が短縮されたり不要になったりしますので、早期の社会復帰もできますし、またリハビリテーションの期間も短くすることができます。厚生省が喜ぶ言葉では「医療費の削減」ということにもなるわけです。

低侵襲外科治療ということになりますと、手術に際しての出血量が少なくなりますので、当然輸血も必要としません。そのため、患者さんにとっては、輸血によって生じる型違い輸血や感染の事故もなくなります。一方、治療スタッフにとっても、患者さんや輸血用の血液から感染する可能性の高い肝炎やエイズなどの感染事故も防ぐことができます。将来的には、単に患者さんだけではなく、医療スタッフに対しても肉体的、精神的、および時間的負担を軽減しようというのが、コンピュータ外科による低侵襲外科治療の目的であります。

コンピュータ外科の技術を使用すると、手術前に手術のシミュレーションやそれに基づいた最適手術計画が立てられます。さらに、手術支援ロボットなどの使用により、大がかりな開頭や開腹などの切開を必要としなくなりますので、従来よりも侵襲が少なく安全で信頼性の高い手術を実現することが可能となります。

また、この種の手術シミュレーションは、患者

さんに対して、これから行う予定の手術はどのようにして行い、その安全性と危険性はどうかを解りやすく説明することができます。さらに、医師に対しても、従来ならば手術しなければ解らなかったような情報も手術前に詳しく提供でき、また、危険性はあるがそれに対する処置もある程度このシミュレーションにより把握することができます。したがって、この手術シミュレーションは、臨床医学における新しい研究開発に繋がると考えています。

CASは、コンピュータ・エイデッド・サージェリーの略ですが、まず外科医の新しい目に当たる部分の工学的研究対象としては、次に示すようなものがあります。

- 1) 各種医用画像の取得
- 2) 三次元画像の再構成
- 3) 各種医用画像の統合
- 4) 三次元画像の表示方法

特に各種の医用画像の取得は、X線CT、MRI、超音波断層画像などの従来の検査機器でも十分な性能があり、また、現在のコンピュータの能力をもってすればいろいろな医用画像の二次元断層画像や三次元画像の再構成もできます。ただし、各種医用画像の統合に関しては、それぞれの機器から得た画像は必ずしも寸法、あるいはひずみの程度というのは同じではありませんので、それらの画像を三次元的に合わせることは非常に難しいといえます。人間の目で見ますと簡単に合わせることはできますが、それを計算機で自動的に行うには一工夫要するという感じです。

また、画像の輪郭をどのように決めるかについても問題はあります。画像の濃淡をどのレベルで区切るかによって、再構成画像における臓器の大きさが違ってしまいます。本物の臓器の大きさは変わらないわけですが、区切る濃淡レベルの決め方によって変わってしまう問題は、現在の技術レベルでは簡単には乗り越えられないと思っています。また、軟組織の画像では輪郭があやふやな部分が多く認められ、画像の濃淡レベルで自動的に決めることが困難であり、人間の目で判断した方が適切で速いというところもあります。しかし、技術が発展すればいずれは乗り越えられる問題だと



思います。

最後に人間が観察する表示方法としては、立体的、あるいは三次元的な表示が必要です。普通の人は、二次元の連続した断層画像を幾つか見て、それを頭の中で再構成し三次元的な構造を認識することは簡単にはできません。しかし、同じような医用画像をしじゅう見慣れているドクターですと、専門家として解剖学的知識も持っていますから、頭の中に容易に三次元構造を構築し、認識することができます。でも、専門外の医師、あるいは新米の医師にはできないのが普通です。これに対して、はじめから三次元的な画像として提示すれば、だれでも立体的構造が理解できますし、特に、解剖学的知識がある医師であれば、三次元医用画像については確実に理解できるはずです。

また、低侵襲外科治療を行うに際して、立体顕微鏡や立体内視鏡などにより患者さんの術野を立体視することは、術者にとって体内の様々な位置にある組織を十分に奥行き感を持って見ることができます。この技術は、コンピュータ外科のシステムには不可欠な技術で、実際の内視鏡下手術や腹腔鏡下手術に応用され始めています。なお、現在の表示では、単に術野画像のみを表示していますが、将来的にはシミュレーション画像などを術野と重ね合わせて表示したり、実際に手術に必要な様々な情報を同時に表示することも必要です。

そういう意味でこの4つの研究分野は、これから工学サイドが積極的に支えていかなければならない、あるいは新たに研究開発していかなければならない分野と思っています。

従来、医用画像は、主に術前の診断や術後の結果などの観察に用いられてきましたが、より良い治療を行うためには、術中にも積極的に医用画像を取得し、治療経過を確認しながらより適切な処置を行う必要があります。そのため、術中の三次元画像に要求される機能としては下記のものがあります。

- 1) 術前のシミュレーション結果が術中に容易に確認できること
- 2) 新たなシミュレーションが術中に容易に行えること
- 3) 術中の三次元画像が容易にリアルタイムで得ら

れること

- 4) 組織機能の三次元的情報がリアルタイムで得られること
- 5) 形状と機能の三次元情報の統合画像がリアルタイムで得られること
- 6) 手術支援機器などを用いる場合、計測や制御に関する必要な情報を提示できること
- 7) 術者に理解し易い形で提示できること

特に、低侵襲外科治療に際して、小さな切開部位からの患部へのアプローチ、あるいは狭い術野における微細な処置などにおいては、外科医の新しい手となる手術支援ロボットの存在は不可欠です。また、患者さんへの安全を確保しながら、手術支援ロボット等の外科医の新しい手の能力を最大限に発揮するには、術中の様々な医用画像、臓器の形態のみならず臓器機能も含めた三次元画像も必要不可欠な情報です。さらに、適切な外科的処置により治療成績を上げるには、単に治療する臓器の形態的情報のみならず、その臓器の機能情報、例えば、治療している部分の組織が機能しているのかいないのか、期待通りの機能を有しているのかなど、治療において最も知りたい重要な情報も三次元画像化し、さらにその形態と機能を統合して術者に提供する必要がでてきます。このようなシステムの開発も私たちエンジニアリングサイドの役目と思っています。

私の研究室では、高倉先生と共同研究を始める前に、現在東京警察病院で外科部長をされている橋本大定先生と肝臓ガンの治療を始めました。これはいまから12年ほど前、1986年の秋頃に開始しました。OHP 3 (13頁)は、肝臓の内部にガンがある場合、肝臓内の重要な血管を避けてガン組織の部分に針を刺し、その針の先端からレーザー光を照射してガン組織を焼く治療方法です。まず、術前にガン組織の位置をX線CTで確認する際、リピオドールという薬を血管内に注入することでガンの位置を分かりやすくすることができます。しかし、手術でお腹を開けた後、手術中に使用できる唯一の画像診断装置の超音波装置でガンの位置を確認しようとする、あるはずのガンが見つかりません。これは、正常な肝細胞とリピオドールを含んだガン細胞の音響インピーダンスがほとん



ど同じになってしまうため、超音波映像として検出できなくなるからです。実際には存在するのに、最終アプローチでどこにあるのか探せないということになりました。これであきらめるのはあまりにも能がないということで、消えた映像を見えるように、あるいは見えなくても、ターゲットにアプローチできるようにするのが私たち工学者の役目ということになりました。

まず、ガン組織を安全確実にレーザー光で焼くには、針をどこからどの方向にどれだけ穿刺すればよいかを知る必要があります。これは、手術シミュレーションをコンピュータグラフィックスで行いますが、そのためには、まずX線CTやMRIの画像データからモデルを作成します。モデルとして作成するのは、肝臓の表面だけではなくて、治療に必要な動脈、静脈、門脈、およびガン組織です。モデルの作り方は幾通りかありますが、私たちが採用しているモデルは、サーフェースモデルといわれるもので、臓器の断層像からその臓器の輪郭線を抽出して作成するワイヤフレームモデルに面を張り付けたものです。

あと、皆さんもご存じだと思いますが、二次元医用画像を縦横ともにそれぞれ256分割して、同じ色合いのところを積木のようにして重ねていきますと、ボクセルモデルといわれるモデルができあがります。このボクセルモデルは単に観察するだけならば良いのですが、今お話ししている穿刺シミュレーションを行うには、三次元座標が正確にわからないとできないので、私たちは主にサーフェースモデルを用いて研究しています。

ところで、ガン組織を照射する針を肝臓表面のどこから刺したらいいかということになりますが、シミュレーションで、その針が重要な血管に刺さってしまう場合、危険ということで赤を表示をします。また、血管は刺さないがその危険性が多少ある場合には黄色を表示し、安全に穿刺できる場合には青を表示します。そして、この状態をOHP4のように肝臓表面に穿刺適切度マッピングとして表示することで、外科医は、肝臓のどの部分から穿刺すれば安全かを知ることができます。このマッピングをお腹の表面に作成すれば開腹しなくても同じ治療ができることになります。

照射用の針をこのシミュレーションにしたがって穿刺した後、レーザー光で焼くほか、高周波、エタノールや薬の注入などによる治療にもそのまま応用することができます。治療するガンが1つだけでなく幾つかある場合でも、体表面から1つ1つ穿刺して治療することができます。さらに、その治療が簡単な麻酔で済むのであれば、入院でなく、外来通院で治療することも可能になります。

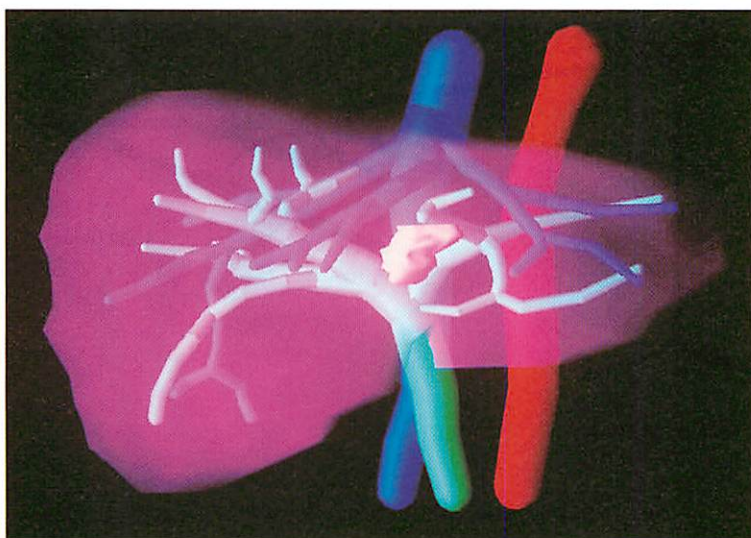
一方、穿刺する場合、もっと精度良く行うのであれば穿刺用のマニピュレータを用いることになります。これがいわゆる治療用あるいは手術用のロボットというものです。このように正確に穿刺するのは、人間の手で行うよりも、機械で行った方が適していますが、その場合、機械で行うのに適した環境を整えて機械に適した方法で行う必要があります。一般に、人間の行う方法は、機械が最も不得意とするものですので、人間の行うことを単に真似するロボットを開発するのは全くの見当違いというものです。

腹部外科における腹腔鏡下胆嚢摘出手術は、腹腔鏡による映像を見ながら胆嚢を摘出する手術です。この場合、前もって患者さんの臓器モデルをつくっておきますと、腹腔鏡で肝臓と胆嚢を見たときの映像、つまり外科医が見慣れている通常の開腹手術による肝臓のイメージとは異なった映像を前もって観察することができます。腹腔鏡手術に慣れない先生ですと、外科医といえども解剖学的配置を把握するのに時間がかかります。胆汁をためておく胆嚢、肝臓から胆汁を胆嚢に送る胆嚢胆管、胆汁を腸の中に送り出す総胆管、これらをしっかり認識する必要があります。術前に臓器モデルを作成すればその認識は容易です。胆嚢を摘出する際、間違った管を切ってしまうと、命に関わります。間違ってしまった場合、もう一度やり直す必要がありますが、その場合の処置は摘出よりも困難な処置となるため開腹して行うことになります。

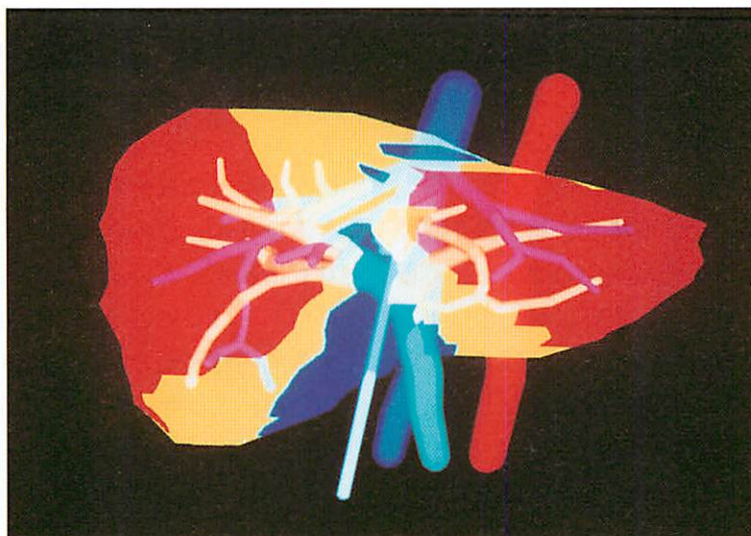
一方、このコンピュータモデルを用いて、計算機の中で簡単にこの胆嚢を取ることができます。計算機内で胆嚢を取り除くことにより、胆嚢の裏にある肝臓の血管の状態、どのようになっているか、どのくらい胆嚢の近くにあるかということが



OHP 3：肝臓ガン穿刺治療用C Gモデル



OHP 4：穿刺シミュレーション

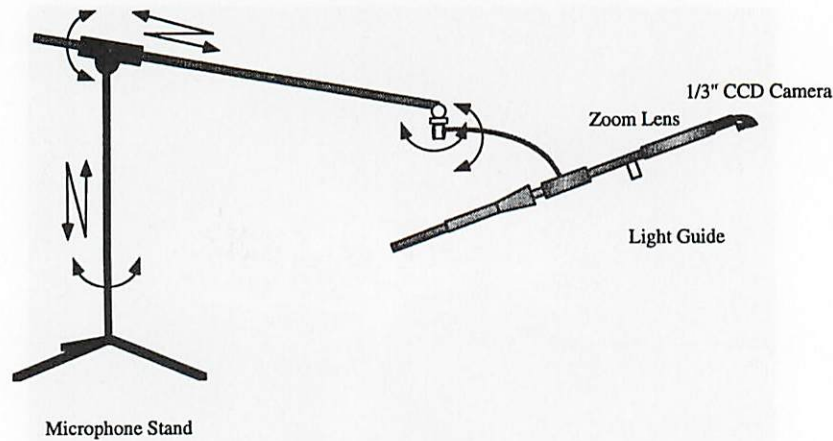


OHP 5：立体視用内視鏡





OHP 6：腹腔鏡操作作用マニピュレータ



わかります。もし、胆嚢の裏側の近くに太い血管がある場合、胆嚢の提出に際してこの血管を傷つけないように注意しなければならないということも事前にわかります。したがって、従来ならば手術を開始してから分かったようなことも、術前に多くの情報を得ることができ、安全な手術が行えます。

腹腔鏡を用いて手術をする場合、執刀医が腹腔鏡で見ることでできる術野は狭いのですが、処置を安全確実にを行うためには、術野に見える様々な組織の前後関係や奥行き感は重要な情報です。胆嚢摘出の手術において、胆管や総胆管などに糸をかけて結紮したり、組織に針を通したりするのは、奥行き感がないと慣れた先生でも非常にやりにくいものです。このような場合、術野を立体視できればこの種の処置を安全に行えるため、今後次第に普及するようになると思います。また、先ほど高倉先生も言われたように、腹腔鏡や内視鏡による手術では、立体視することは重要であり、わが国では、脳外科や腹部外科のいくつかのグループによって世界をリードした研究が行われています。OHP 5（前頁）は、レンズ系が1つの単眼立体内視鏡ですが、左右の目に対する視差のついた映像を、CCDカメラの直前に設置したプリズムにより作り出しています。この内視鏡の外径は 4.9mm と世界で最も細い立体内視鏡で、先ほど高倉先生がお話しされた脳外科手術において、既に使用されています。

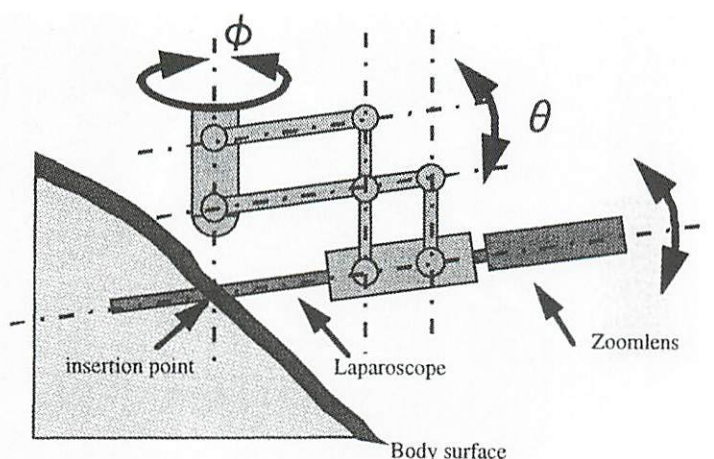
（OHP 6）腹腔鏡手術において、通常、腹腔鏡を

手で持って操作するアシスタントがいるのですが、術者とアシスタントとの息が合わないと、術者が見たい所を思うように見れず手術にも影響が及びます。そのため、術者自身が簡単にコントロールできる腹腔鏡操作ロボットの要求が出てくるのです。ロボットを術者自身で操作する場合、多少時間がかかっても術者の思い通りに動かすことができるほうが、息の合わないアシスタントと組むよりもはるかによいようです。さらに、腹腔鏡操作ロボットは、患者や術者などの医療スタッフに対する危険性が他の手術支援ロボットに比較して低いため、工学サイドとして最も取り組みやすい手術支援ロボットといえます。

ただし、注意しなければいけないのは、腹腔鏡が患者さんのお腹を貫通する点を大きく動かすことがあってはいけないということです。そこで私たちは、このようなことが起きないようにロボットを機構的に設計することにしました。工業用の自由度のあるロボットをソフトウェアで制御することで、その要件を実現することも可能ですが、もし、ノイズなどで暴走した場合には大変危険なことになります。そこでまず設計したのが、単純に水平面と垂直面で回転する機構で腹腔鏡を動かすものです。この機構ですと、お腹の貫通点の上に水平面の回転中心を持つてくることにより腹壁を傷つけないようにできますが、垂直面の回転軸はお腹に近づけないと貫通点の上下変動を少なくすることができません。しかし、垂直面の回転軸をお腹に近づけすぎると回転機構が手術操作に必要



OHP 7：第二世代腹腔鏡操作用マニピュレータ



な腹部上の空間を占領してしまうという欠点があります。

(OHP 7) 一方、垂直面での回転を実現する場合、機械屋ならば回転軸と駆動部を離して実現するのに平行リンク機構がすぐに頭に浮かびます。私たちはもう一つ欲張って簡単に洗浄と滅菌が行えるよう駆動用モーターをロボット本体から切り離してワイヤー駆動する方針を採用してみました。しかし、患者さんの腹部上からモーターを無くすことはできたものの、駆動用ワイヤーと平行リンク機構が意外と患者腹部上の手術操作空間を占領してしまい、これもベストではないという結論に達しました。

(OHP 8次頁) 先ほどもお話ししたように、私たちの研究室では、制御で動きを決めるのではなく、できるだけ機構的に安全な動きを実現するという基本方針があります。そこで、最終的にはお腹の貫通点に回転可能なボール・ジョイントを設置し、それを動かないように固定します。これに対して腹腔鏡の一端を体から離れた垂直面上で5節リンク機構により動かします。そして、この5節リンクを患者さんの手術台に置いた駆動用モーター2個により駆動します。これにより、患者さんのお腹の上にくるリンク機構部は非常にシンプルになり、十分な操作空間を患者さんの腹部上に確保できます。さらに、リンク機構部を駆動部と簡単に脱着できるようにすることで、清潔さが要求されるリンク機構部を簡単に洗浄消毒することができるようになりました。それから、処置する

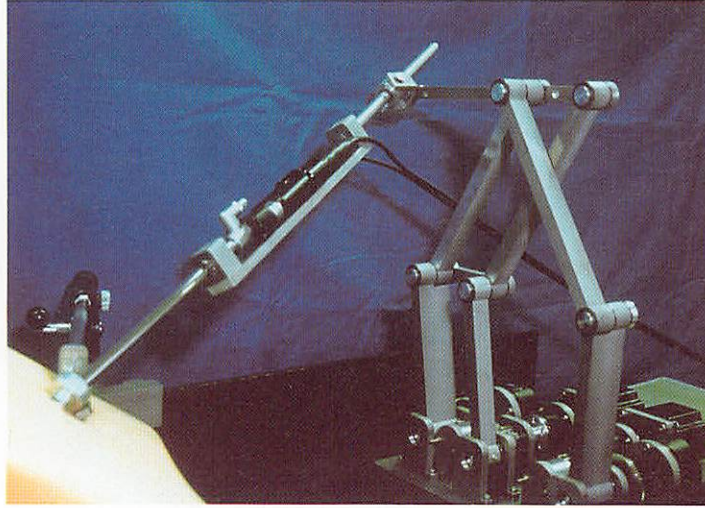
術野をズームしたりワイドにしたりする場合、通常は腹腔鏡先端を患部に近づけたり遠ざけたりしますが、安全性の観点からレンズによるズーム機構を採用しています。そして、腹腔鏡の保持部の所に左右両眼用の小型CCDカメラを取り付けています。ただし、脳外科のプロジェクターでは、小型CCDカメラの代わりに世界で最小のハイビジョンCCDカメラを用いています。これは日本ビクターがすでに市販しているものです。

現在、私たちはこの第三世代の腹腔鏡操作ロボットの基本開発を終えて、動物実験も行い、今度は臨床に用いるという段階にまできています。本ロボットは、他の腹腔鏡操作ロボットと異なり、どんな操作ミスや外部ノイズによる暴走があったとしても、患者さんを傷つけたり、ロボットの周りにいる医療スタッフに対しても危害を加えることはありません。

次に、このロボットを術者自身がどのように操作するかが問題となります。はじめに、誰でもが思いつくのが音声認識による方法です。しかし、現在の音声認識レベルでは以外とまどろっこしい面があります。次に考えたのが視線による操作です。ディスプレイ上に表示された画面に対して、動きたい方向に視線を変えることで指示するものです。しかし、これも映像を見ながら視線方向を微妙に変える必要があり、術者にとって以外と負担がかかるものでした。そこで、皆さんもよくご存じのパソコンのマウスの考え方を応用してみました。マウスの動かす部分を頭の動きで行い、クリッ



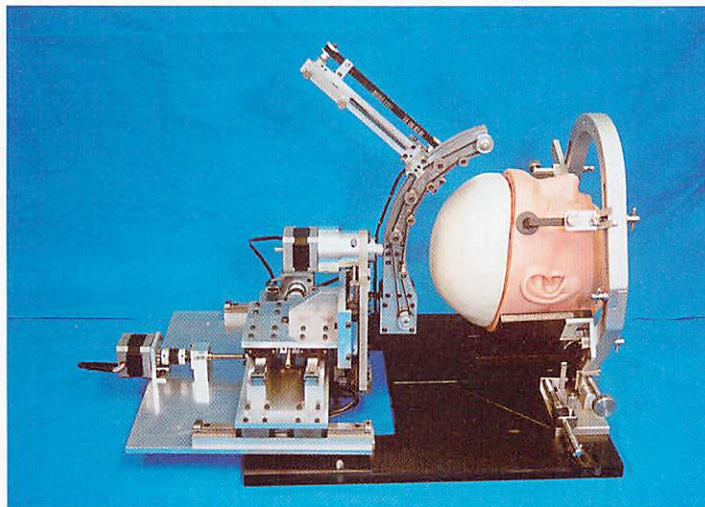
OHP 8：第三世代腹腔鏡操作用マニピュレータ



OHP 9：医療分野のロボット

| 分 野       | 種 類                        |
|-----------|----------------------------|
| 検 査 ・ 診 断 | 生検用、乳ガン検査診断用、靱帯損傷検査診断用 等   |
| 治 療       | マイクロサージェリ、内視鏡・腹腔鏡ナビゲーション 等 |
| リハビリテーション | 歩行訓練、作業訓練、筋力トレーニング 等       |
| 院内間接作業    | 検体検査、検体搬送、カルテ・手術器具等各種搬送 等  |
| 介護・福祉     | 看護・介助支援、自立支援、日常生活支援 等      |
| 研 究       | 遠隔操作、細胞操作、シミュレーション 等       |
| 教 育       | 心肺蘇生訓練、麻酔訓練 等              |

OHP10：脳外科用穿刺マニピュレータ





クは膝スイッチで行うことにしました。私たちはこれをヘッドマウスと名付けました。なお、フットスイッチについても検討しましたが、医師の先生方は既に電気メスなどの操作をフットスイッチにより行っており、それと混同する危険性があるので、私たちのグループの先生からは、フットスイッチだけ用いないようにとの要求が当初からありました。

腹腔鏡操作ロボットのように、人と接触する医療用ロボットや医療用機械は、工業用ロボットと全く違うということに注意して下さい。患者さんのお腹の中へ入って動いたり、頭に針を刺したり、いろいろな処置を行います。このようなロボットは福祉の分野にもあります。また、治療や介護において、作業が常に同じということはまずありません。たとえ、術前のシミュレーションで最適な手術方法や手順を決定したとしても、そのプログラム通りにロボットを動かして治療できる保証はありません。処置する毎にそれを確認して、その結果に応じて処置内容を変える可能性の方が遙かに大きいからです。

また、外科手術を見ていると、確認を目的に試しに切開してみようということはよくありますが、試しにどうなるか肝心な部分を切除したり、組織を破壊して、うまくいかないからといって、それではやり直しましょうということはありません。車の組立や塗装などの場合ならば失敗してもそれ1台の損失で済みますが、その失敗が人間個人に対して起きた場合、それは許されないことです。

それから、この種のロボットの操作は医師が行うことになります。たとえ臨床工学士のような機器操作の専門家である技師がある程度手伝いはするにしても、最終的な判断は医師に委ねられます。最終的な責任は医師に行きますので、医師や臨床工学士のような人たちでも間違いなく簡単に操作できるものでなければいけません。そういう意味で、医療用の、特に手術支援用のロボットは、工業用ロボットとは全く違うということを認識しなければいけないのです。これらの、特長をまとめると、以下ようになります。

1) 直接被介護者や患者に接触する。

2) 処置や作業の内容が一律でなく常に変化する。

3) 実行に際して、動作の試しおよびやり直しができない。

4) 特別な専門家でなくとも容易に操作できる。

医療関係・福祉関係で使用するロボットを分類するときの基準として、誰が使用するのか、何を対象とするのか、そのときの設計上のポイントは何か、人体に対する侵襲度はどの程度かなどの点から分けてみますとOHP 9のようになります。私たちは、医療福祉関係のロボットを、検査、治療、リハビリ、院内作業、福祉介護、研究、および教育用の7分野に分類しています。このうち、検査診断、治療、リハビリテーションおよび看護・介護関係では、人間と直接接触するため、産業用ロボットを簡単に応用したら、後でひどい目に遭います。例えば、治療用ロボットは、治療を目的としたロボットで、高級なピンセットと同じであり、対象は患者さんで、それを使用するのは医師となります。特に治療を目的に患者さんの体に直接作用しますので、安全性と操作性が重要となります。

病気は、先進国も発展途上国も病気によって治療方法が異なることはほとんどありませんので、設計方針は世界的に共通といえます。なお、海外では安全性よりも治療操作、特に外科医と同じ動作を行うことを目的に産業用ロボットと同じ機構を用いている例がかなり見られます。

ロボットが活躍するこれからの分野は、医療関係と福祉関係と言われており、従来、工業ロボットや宇宙ロボットの研究をしていた世界中のロボット工学者が、新たにこの分野に参入してきています。しかし、当初はほとんどの研究者が医療福祉分野の目的を理解しないでトンチンカンな研究をしていました。大企業や大学でロボットの研究をしている人たちが提出する計画書を見ても、そのほとんどはロボットを楽しんでおり、患者さん、高齢者、障害者、介護者の立場や問題点を理解していないものでした。未だにロボットのためのロボット研究という感じのものを目にします。

手術支援ロボットといいますが、多くの人は工学系、医学系の研究者も含めて、ロボットがハサミとメスを持って人間と同じように手術を行う動



作を代行させたり、介護支援ロボットですと、寝たきりの高齢者を介護者が抱きかかえるように人間の手みみたいなロボットの腕で、人間をどう傷つけないで持ち上げるかというような研究や開発例を目にしました。手術支援用のロボットは、外科医の動作を真似するのではなく、いかに良い処置を低侵襲で安全確実に行うことができるかが重要なのです。また、抱き抱えロボットの本当の目的は、患者さんや障害者、高齢者など、寝たきりの人をベッドからストレッチャーなどに移動させることであり、抱き抱えることが目的ではないのです。ところが、この種のロボットを作ろうとする研究者は、人間が介護するときと同じ動作で人を抱き抱えて移動させるものを開発しようとするのです。そこには、機構や制御などロボット工学の分野としてはおもしろい研究対象がありますが、できあがったとしても、とても実用にはなりません。本質は、ベッドからストレッチャーに人を移動させることにあるので、それに適した機構から考えて設計すべきなのです。

OHP10 (16 頁) に示すのは、私たちの研究室で開発した脳外科用穿刺マニピュレータで、手術支援ロボットの 1 つです。通常ロボットの腕の部分をマニピュレータと呼んだり、ロボットというイメージが良くないときにマニピュレータと呼ぶことが多いと思います。このマニピュレータ、XYZ 軸の 3 自由度の移動、穿刺方向を決める 2 自由度の回転、そして針やカテーテルを脳に穿刺する 1 自由度の合計 6 自由度で構成されています。このロボットの試作 1 号機は 7～8 年前にできましたが、実験に使用したのみで臨床的には用いていません。これは、腹腔鏡操作ロボットと異なり脳穿刺用ロボットではより高度な安全性、信頼性、滅菌性、使用後の洗浄性にまだ問題があるからです。最近はこの点も考慮し、MRI 下でも磁場を乱さないで使用できるものの開発を非磁性材料の選定から行っています。

このマニピュレータの大きな特長は、患者さんの脳に穿刺する針をセットするまでは、どの軸が暴走しても患者さんやその周りにいる医療スタッフにも危害を加えないことです。ただ単に、頭に針を刺すだけであれば工業用ロボットでも制御さ

え上手に行えば簡単にできます。しかし、もしコントロールが乱れた場合、電気メスなどによるノイズでコンピュータが誤作動してしまったら、患者さんの頭をたたいてしまうこともあり得るのです。その点このロボットは、穿刺という最終段階以外、どんなことがあっても人間に危害を加えないように設計されています。

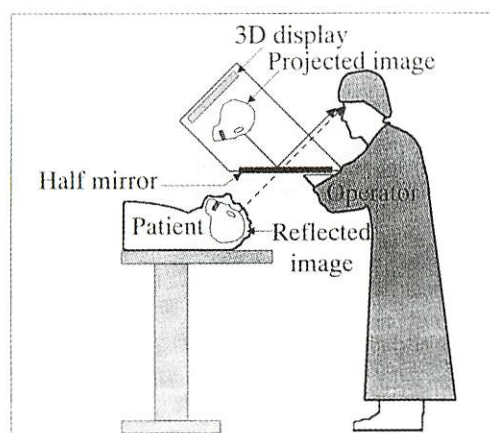
医療用のロボットでは、十分な安全性を考えて設計しないと臨床には使用してはいけな思考えています。ですから、工業用ロボットで行うこともできますが、それはあくまでもデモンストレーションのレベルに止めるべきものです。もし万が一のことが起きれば、その事故 1 つでロボット技術を医療分野に取り入れるのはまかりならんという風潮になってしまいます。せっかくこれから発展する分野なのに、たった 1 つの不注意、たった 1 人の無責任な行動によって、それで閉ざされてしまう危険性はなきにしもあらずです。残念ながら工業用ロボットに毛の生えたようなロボットが、治験として臨床に用いられているのが現状で、もし、そのようなロボットに厚生省の認可が下りたとしても、私たち医用工学の研究者としては、それに関与したくはありません。

なお、このマニピュレータにおいて、穿刺した針の先端の部分で何をするのか。これは先ほど高倉先生からお話がありましたように、現在、この先端部分で処置作業を行う道具を日立製作所が担当して開発していますし、また私たちの研究室でも独自に研究開発しています。

一方、手術室に持ち込める三次元医用画像として、私たちはノートパソコンにより脳の輪郭と腫瘍を表示するソフトウェアを開発しました。医用画像としてはできるだけきれいなものが好ましく、医師も工学者もそれを目指しています。その一方で、このような単純化した映像、これは頭の周り、脳の輪郭、脳室、そして腫瘍について示したものです。さらに主要な血管が表示されていれば申し分ないと思いますが、このような画像だけでも腫瘍の位置、脳室との接触具合は十分認識することができます。このように、目的にあった映像を医師に提供することが重要で、そうでないと綺麗に見えても使いものにならないということになりま



## OHP11：ボリュームグラフ



す。

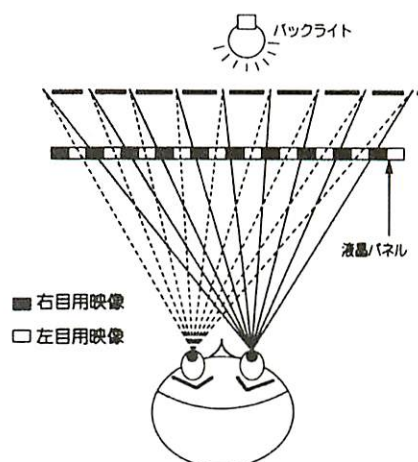
脳にこの穿刺マニピュレータで治療針を穿刺する場合、今以上の精度が要求されるようになると脳の変形を考慮しないといけなくなります。私たちの研究室では、脳変形の研究の意義がほとんど認識されていない頃から行っていました。脳を手術する際、開頭すると重力などの影響により脳はある程度変形しますが、当時の手術ではその変形を考慮するようなレベルではなかったのです。しかし、穿刺ロボットなどを用いるようになると、当然より精度の高い手術の要求が生まれてきますので、治療成績の向上のためにも脳の変形を考慮して手術する必要が生じます。現在では欧米でも同様なシミュレーションの研究発表が見られますが、残念ながら私たちの成果は、引用されていません。しかし、研究内容は私たちの方が進んでいると確信しています。

このような変形シミュレーションは、脳だけではなくて肝臓などの軟組織の臓器においても重要になってきます。そして、この種の変形問題は、有限要素法の大変良い応用分野であり、私たち工学者がサポートし、発展させていかなければならない研究分野であると思います。

OHP11は、先ほど高倉先生がお話になられたボリュームグラフで、高倉先生が実際の手術に用いた方法を示したものです。術者は、これにより、患者さんの頭部内に脳の輪郭線と腫瘍の位置が投影され、患者さんの頭の中を透視して見ているような感じになります。

## OHP12：両眼立体視

(サンヨーのカタログより引用)



OHP12は、両眼立体視の原理を示したものです。通常、左目用と右目用の映像を見て、その映像に立体感を感じるのです。その他、三次元表示として、ホログラフィがかなり期待されましたが、見る位置により変形したり、ひずんだり、あるいは色が変わったりといった問題があり、医療用には普及しませんでした。これに対して、ホログラフィよりも簡単に三次元画像を三次元空間に投影するものが開発されました。

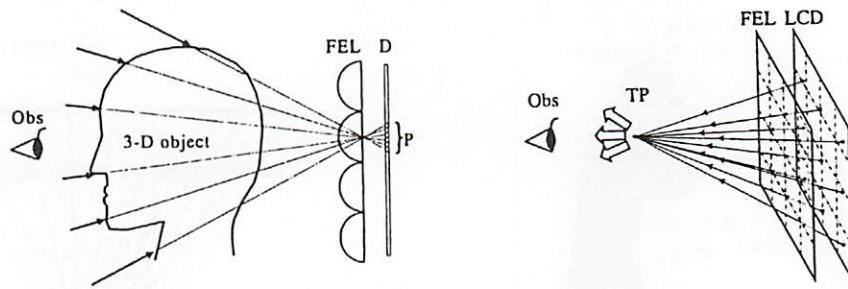
OHP13(次頁)は、ボリュームグラフを作成する原理で、通常はインテグラル・フォトグラフィ(I P)と呼ばれているものです。この原理自体は、今世紀初めにフランス人によって考えられたもので、今日お越しの先生の中には私よりもはるかに詳しい方がいらっしゃるのではないかと思います。蠅の目レンズの焦点面に感光フィルムを張り付け、三次元空間に置いた点光源を撮影しますと、光源の光は各レンズの中心を通過して直線的にフィルム面に焼き付けられます。

このフィルムの後ろから光を与えると、焼き付けられた各点は全て点光源がもとあった三次元空間内の1点に集まり、そして広がってゆきます。そのため、この蠅の目レンズ付きフィルムをその集光点よりも遠くから観察すると、観察者にとっては光がもとあった三次元空間の1点から光が発しているように見えます。すなわち、三次元空間内の1点に点光源があるように見えるのです。

この点光源の代わりに被写体を用いたのがインテグラル・フォトグラフィです。しかし、被写体



# OHP13：I Pの原理



を再投影すると、三次元空間には被写体とは逆の凹凸の像が観察されます。このような欠点があるために、インテグラル・フォトグラフィは日の目を見ることが無かったのです。しかし、5～6年前に、日本ビクターは、被写体を写す代わりに点光源を動かして等高線のような線画を記録し、それを三次元空間に投影する方法を開発しました。この三次元映像を私たちは、ポリウムグラフと名付けました。そして、先ほど高倉先生からお話がありましたように、1996年の秋に世界に先がけて、このポリウムグラフによる手術が高倉先生により行われ、大変効果的であることが確認されました。

このポリウムグラフは、三次元空間内の位置に映像を投影しますが、両眼立体視の場合は異なります。両眼立体視では、右目用と左目用の絵は観察者と同じ距離の位置にあり、それを観察者は目の焦点を合わせて見ているのです。その上で、同じ位置にある映像に対してある部分は遠くに、ある部分は近くにあるように感じて見えます。この遠くに感じる点を見る時と近くに感じる点を見る時、通常目では目の焦点や両眼の輻輳角が変化しますが、両眼立体視の場合、変化してしまえば像がぼけてしまいます。この生理学的な矛盾により、両眼立体視を長時間見続けると疲労が起こるのです。また、立体視もあくまで両目で見る映像の違いとなる視差と輻輳角で感じるため、前後関係は分かっても絶対的な三次元空間の位置を認識することは不可能です。

それに対して、ポリウムグラフは、三次元空間内の決まった点に映像を投影しますので、立体視的には非常に楽で目の疲労がないということで、両眼立体視よりもこの方法のほうが手術、特に体

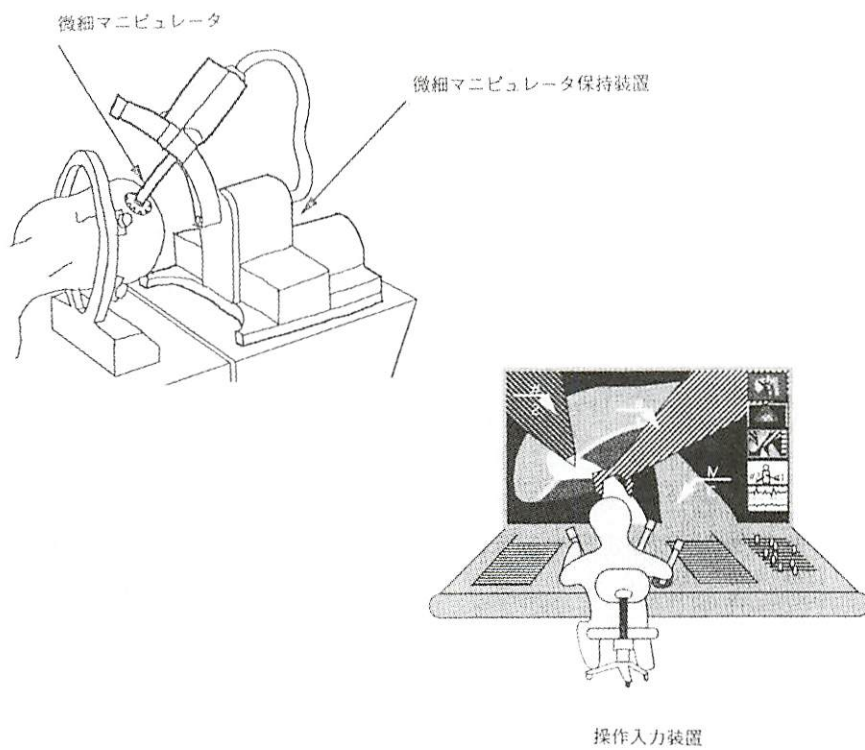
内のターゲットに穿刺するときには適していると思います。

OHP14は、患者さんの体内に治療器具を挿入し、術者がそれらの器具を操作パネルで操作して治療するリモート手術の想像図です。これができるようになると、実際の手術室で患者さんに付き添う医師は1人ぐらいでよく、その医師は、手術の準備や後始末、あるいは何かあったときに直ぐに臨時処置を行うのがメインの仕事になります。一方、メインの術者は操作パネルのところでリラックスしながら、例えばお茶を飲みながら、タバコを吸いながら手術することができます。しかも画面は三次元画像ですので、まるで自分が小さくなって患者さんのお腹に入って治療する感じです。先生方の世代でしたら、以前に『ミクロの決死圏』というアメリカ映画を見たことがあるのではないかと思います。それと同じような治療環境を実現できるのです。映画のように人間が小さくなって患者さんの体内に入るなどというのはとても無理な話ですが、今の技術をもってすれば同じような治療環境を実現できるということです。

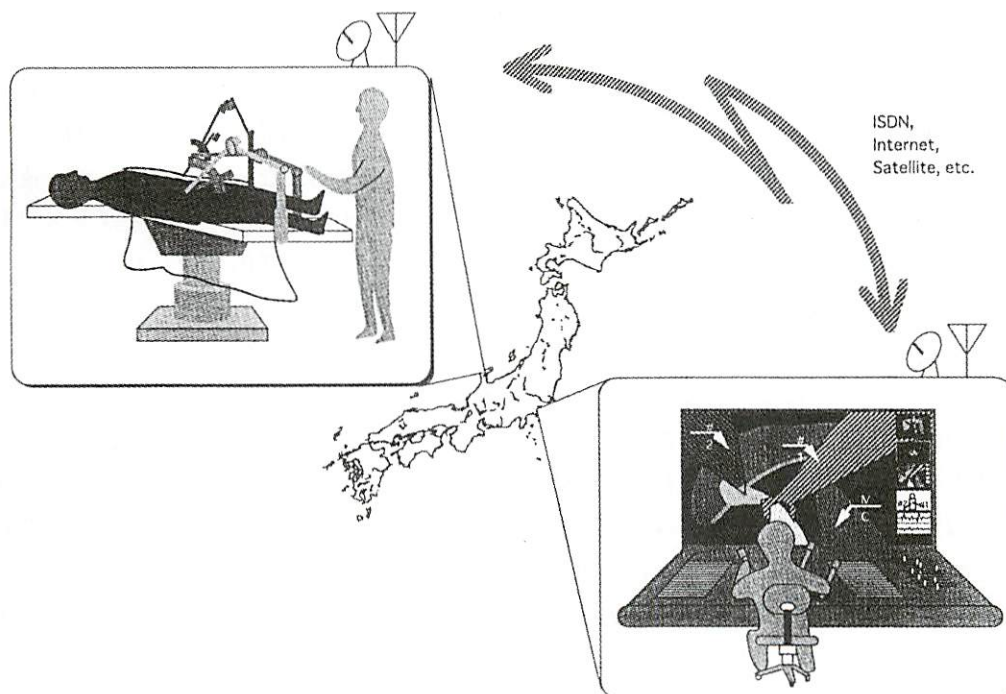
それが可能になれば、隣の手術室にいる患者さんを手術するだけでなく、先ほど高倉先生からお話がありましたように、都会から離れた過疎地でも一流の専門医の治療を受けることができるようになります(OHP15)。簡単な手術は問題ないかもしれませんが、難しい手術でも、専門の先生の指示を受けながら治療することで専門でない先生も一流の治療が行えるようになります。また、日本は島国ですから、将来的には海底や宇宙に進出するようになると思います。現時点では通信に関する問題が多くありますが、それが少しでも解決されれば、海底や宇宙にいる患者さんの遠隔手術



## OHP14：リモート手術



## OHP15：遠隔地手術





も将来は可能になると思います。

重傷の患者さんを目の前にして、こんな薬があれば、あるいはこんな手術ができればこの患者さんを救えるのと思ったことのある医師は多いと思います。私たち医用工学者はそういったものを一つ一つ実現していかなければなりません。従来のように医師の目や手に頼る手術ではなく、機械が最も得意とする方法で新しい外科医の目と手を開発する必要があります。従来医師が行っていた処置を単に真似して代行するのであれば、それは従来通り医師自身が行った方が良いと思います。この場合の機械にとってやりやすい方法は、患者さんにとって最も優しい治療方法であり、医師にとっても従来抱いていた夢の治療を実現するものでなければなりません。これにより、新しい医療の道が開かれ、外科医はそれを見て、また新しい医療を考えるようになると思います。

以上で私の話は終わらせていただきます。(拍手)

司 会 どうもありがとうございました。

それでは、ご質問をしていただければと思います。

土 肥 ボリュームグラフを持ってきたので、お返しします。

司 会 先に高倉先生のご講演に対するご質問をお願いしたいと思います。

合志陽一 どちらにという意味ではなくて、お二人に伺いたいのです。

診断のあたりはあれだと思いますけれども、実際に手術自体にどのくらい機械が入るかというのがなかなか大変なところがあるというお話でしたが、機械に置きかえていかれる、機械を使うときに、どういう点が一番難しいのでしょうか。

高 倉 手術というのは、指を使って行うだけではなくて、先ほどお見せしました放射線の治療のように、いろいろな形状に応じてそこだけに放射線を当てるということも一種の手術治療に入ります。実際の放射線照射の誤差は1 mm以下になっているわけです。腫瘍のところだけに放射線を当てるという技術は、ちょうどそこだけを手術でえぐり取ったと同じようなことが起こっているわけですが、指を使わずに、それを放射線治療にまかせ

ております。そういうように、外科と言っていいかどうか分かりませんが、治療技術には必ずしも指を使うことだけではなくて、いろいろな機械を使うということでございます。

それから、指を使うとなると、ハサミとかピンセットなどが基本でしょうが、実際に手術しているときは、レーザメスを使って、触れないでそこだけやくとか、超音波で碎いて吸引してしまう装置もありますので、それはそれぞれの器具をその場所へ持っていけばよろしいわけですから、必ずしも手でなくても、機械がそれをやってくれば手と同じことができるということだと思います。指の動きは非常に精密ですから、もしも指を使わなければならないことは外科医がやるべきだと思います。

合 志 そうすると、マニピュレートをするところは問題は残っているかもしれないけれども、実情はかなりできているのですか。

高 倉 すでにかなりできていると思います。いま内視鏡手術が盛んに行われております。胆石を取るときに限りませんが、実際はファイバースコープでのぞいて外科医がやっておりますけれども、のぞくのも、昔はファイバースコープを目に当てて手術していましたが、今ではテレビを見ながら手術しているわけです。長い操作管の先のところで動いている道具で切ったり縫ったりして、ほとんど間接的になっておりまして、遠くから動かしています。それはロボティックスでお見せした方法よりは半間接的かもしれませんが、人の指からかなり離れたところで、道具を操作していることになると思います。

柴田 碧 2つお伺いしたいのですが、常識的に考えて、人体の組織図というのは柔らかくて、少し力がかかれば相対の位置関係は非常に変わりやすいものだと思いますし、力が加わらなくても、さっきおっしゃったように脈拍などでしじゅう動いているように思うのです。石膏でできた人体モデルなら、いまのようなお話、コンピュータの処理でもできる。それをどうやってカバーしておられるのかということが、いまのお話を伺っていて一番疑問に思ったことです。

もう一つは、私自身、舌の手術を受けておりま



すけれども、そのときは神経繊維同士をつながなくて、ひとりでつながるのを待っていた。1ヵ月ぐらいですけれども。その後、私の手術をしてくださったお医者さんがそれをつなげることを努力して、うまくいきそうだという話をしてくださったことがあるのです。いま先生は指のことをおっしゃったのですが、外科医の指の精度というのはどのくらいあるのかなと思ひまして、自分自身は1mmも正確に線を引くことができないことを考えて、これは直接お話とは関係ないのかもしれませんが、常識的なこととして先生はどのくらいのことまでやられているのか伺いたいと思います。

**高 倉** 最初のご質問の時々刻々形が変わっていくということは、そのとおりでございます。脳は比較的動かない臓器ですけれども、胃とか肺は常時呼吸でも動いています。時々刻々変わっていく像を追うには、手術の前に撮った写真を使っていたのではぴたりと合わないわけです。そのために、例えば3次元の超音波診断装置でしたら手術場で時々刻々見られますから、そのまま読み取れます。それから、手術場の中に機器を入れて、常時形態を追跡できる方法としてはオープンMRIがあります。また、CTスキャンも移動型CTスキャンというのがあります。簡単に言えば、CTを手術場の中に入れ、それを使って手術中の刻々変化している形をそのまま診断できる方法もあります。ですから動いていてもすぐ形態がわかります。このような方法は、ほとんど実用化される段階まで来ているわけです。

**柴 田** いまの問題で、おっしゃることはわかりますけれども、実際の処理と映像を検出して、それを処理に結びつける計算機のほうの時間的な余裕というのがあるのかどうかですけれども。

**高 倉** オープンMRIや移動型CTはある程度完成しておりますから、ほとんどリアルタイムです。何分の1秒かずれているかもしれませんが、1秒以上はずれていないと思います。例えば、指を動かせばそのまま映ってまいりますし、たまっている血を引いていけばそれなりに減っていくのがわかりますから、ほとんど同時と思われていると思います。

次に、どのくらい指に精密な動作ができるかと

いうことですが、わかりやすく申しますと、有名な陶芸家とか漆塗りの職人が非常に繊細な絵を描いたりしますが、そういうのと同じくらい繊細でして、直系1mmの血管と血管をつないで中を通すということぐらいは、いまの外科医はできます。心臓バイパス手術は、心臓の血管は太いですが、太いといっても2mmとか3mmです。それを正しくつないで血液を通して心筋梗塞を治しているわけでございます。その程度の技術は持っております。

**司 会** 土肥先生、いまの最初のほうのご質問にお答えいただけますか。

**土 肥** 実際に変形していくのを見るというのは、MRIでも十分できます。臓器の動きに関して、心臓手術では、心臓が動いているままでは確かに処置はできません。それでは、止めればよいかといって止めるとなると、人工心肺をつけることになります。それがいやでしたら、手術する部分だけを動かないように細工することも可能です。現在では、処置する部分を吸引するような形で動かないようにする道具もあります。確かに見るだけでしたらストロボを用いれば心臓は静止したように観察できます。しかし、動いている心臓に何らかの処置を行う場合、ロボットの研究者は、動いているものにマニピュレータも同期させて動かし、それをストロボで見ながら操作するようなことを考えます。ロボット制御の問題としては宜しいかもしれませんが、臨床的には使えません。この方法しかないという場合ならともかく、治療を目的に考えるべきだと思います。

それから、外科医の指の精度の問題ですが、角膜移植では、厚さ0.5mm以下の角膜の真ん中に裸眼では見えない糸の付いた針を通して結ぶのです。その手術をする先生方も通常用いている顕微鏡を用いないと絶対できません。目からのフィードバックがあると、人間はかなり細かい作業ができます。ですから、高倉先生がおっしゃった1mmの血管というと、それこそ血管壁は0.何ミリですね。でも、顕微鏡や拡大鏡を用いることで、それをきちとうまく縫っていくことができるのです。

**高 倉** 例えば、1mmとか2mmの血管をつなぐ場合に使う糸は、裸眼ではほとんど見えません。あ



るのかないかわからないくらい細い糸です。顕微鏡の下だから見えますけれども。

**太田利彦** 外科の治療は、的確な診断ということはもちろん前提でございますけれども、そこから先はすぐれて技術的だというふうに私は理解しております。そうしますと、いわゆる良い外科医と下手な外科医というか、先ほど土肥先生が産業用ロボットと医療用ロボットは本質的に全然違うとおっしゃいましたが、産業用ロボットの場合は技術の平準化ということが1つの目的にあったと思うのですけれども、医療用の場合は外科技術の平準化には役立つものなのでしょうか。

**高 倉** これは非常に大きな問題で、究極の目的は標準化なのです。例えば、胃がんの手術で名医と言われている方がいらっしゃるわけですね。その人でなければできない技術では困るわけです。もしその方が東京にいて北海道で病気になった方があれば、わざわざ東京までこなければならぬですから、北海道にいる外科医にも同じ技術があればいい。

実を言うと、診断はほとんど同じぐらいのレベルになってきているわけです。昔は、胃の透視をやって、30年も透視に一生を捧げた人でないと胃がんは見つけられないと言っていましたけれども、診断技術はどんどん進歩しましたから、数ヵ月習った人でも30年の経験を持っている人と同じぐらいの診断能力がつく。

それと、外科技術のほうも、なるべくいろいろな工学的技術の力をかりて、そんなに慣れていない人でもかなり高等のことができるようにしようというのが理想です。もちろん理想どおりにはいかないと思うのですけれども、そうしたいというのが基本的な研究方針としてはございます。

**司 会** どうもありがとうございます。

実は時間の都合がありまして、大変申しわけなのですが、ここで一応質問は打ち切らせていただきます。高倉先生はご都合で退席されますけれども、土肥先生は会食を一緒になさいますので、まだお話がございましたら後ほどしていただけたらと思います。

それでは、お二人に拍手をしてお礼を申し上げますと思います。(拍手)

**司 会** 少し早めに食事が終わりましたので、もしご質問があればお答えいただけたと思います。よろしかったらどうぞ。

**城水元次郎** コンピュータの利用の話は大変勉強になりました。実際に手術のためにだいぶ気を配られて考えられているお話を承ったのですが、外科手術に対する応用で、技術の普及度といいますか、商業化がどの程度進んでいるか、外国の例も含めて、技術レベルがどの辺にあるかということをお教えいただければと思います。

**土 肥** この分野に関して言えば、人数は少ないですが、日本のグループが世界をリードしている感じです。

というのは、この分野に着手した私たちのグループには、はじめから日本のメーカーの人たちも参加していましたので、大変進みました。私たちが研究を始めたころは、アメリカでもヨーロッパでもこの種の研究は行われていませんでした。アメリカが積極的に参加してきたのは、つい4～5年前で、宇宙分野に資金が出にくくなったのを契機に、多くのロボット屋さんが急遽こちらの分野にきはじめたのです。その当時は、先ほど言いましたように、ロボット屋さんが何か医療用に使えないかというアプローチでしたので、使い物にならないものばかりでした。それによろやく気がつき始めたのは、ここ1～2年だと思います。

アメリカで初めからわかっていた研究者は10人いるかいなか、ヨーロッパでもそんなにはいなかったと思います。そういう意味では日本のほうがわかっている人は多かったのですが、お金のかけ方はアメリカの方が日本よりもすごいです。こうと決まるとたんに、プロジェクトチームを組んだり、私たちではとても怖くて使えないようなロボットも出してきたり、やると決まったら徹底的にやるという感じで進みました。ただ、アメリカではPLの問題がございまして、実際の臨床からは手を引いている感じを受けますが、ヨーロッパではとても危なっかしいロボットで、デモンストレーションみたいな発表も見受けられます。

そういう意味では、海外の製品は幾つか見られますが、日本の医者が安心して使えるような口



ボットはないと言っていていいかと思います。例えば、スイスのローザンヌ工科大学で開発した脳外科用の穿刺ロボットがありますが、それは高倉先生をはじめとする日本の脳外科の先生はとても怖くて使えないものです。それを、開発したグループの人たちは、このロボットのもつ危険性は、普通の医者でもミスするレベルだから、大丈夫だというような恐ろしいことを言っています。

普通、頭蓋骨と脳の間には血管が付いている硬膜がありますが、その硬膜を貫通して脳に針を刺すとき、もし血管に当たるようなことがあったらそれを避けなければならないのに、よけないで刺すのです。日本だったら考えられないようなことをしています。当初はそういうレベルだったのですが、向こうもだんだんわかってきて、日本もおちおちしていられないという感じです。ヨーロッパもECが中心となって、この分野にかなりお金をつけるようになっていきます。アメリカやヨーロッパでは、急速に研究が活発になってきており、しかも、この分野のことがわかっている連中がリーダーシップをとっていますので、日本もおちおちできないといった段階です。

城 水 日本の中では女子医大に局在している技術なのですか。

土 肥 この研究を始めたのは、女子医大と私のところですよ。あと警察病院です。もともと警察病院も東大にいた先生と始めたのですが、その先生が東大から警察病院に移ったので警察病院ということになったのです。また、そこに別のよく知っている先生がいらして、さらにその先生と一緒にその先生の分野の研究を開始するといった感じで研究の輪が広がっています。ただ、今後どう展開するか、まだ静観している先生が多いようです。本当に役に立つのかな、というような感じですね。

1999年の3月に日本外科学会で、九州大学医学部第2外科教授の杉町先生という方が大会長をされて、その際、同様なことをメインテーマとして全面的におやりになるということです。あと、慶應大学医学部第2外科の先生方、北島教授のグループがすごく積極的に取り組んでおられます。そういう意味では、日本国内でも良い情報交換をしながらやっています。あと、高倉先生のおかげ

で日本の脳外科の多くの先生には、非常に積極的に参加していただいております。こんな感じで、徐々に徐々に輪が広がっているというところまでございます。

柏木 寛 お伺いしたいのは、オープンMRIというお話がございまして、人体に及ぼす磁場の影響をかなりセンシティブに議論していらっしゃる方がおられるのですが、それに対してお医者さんたちは全くオープンで取り組める状況になってきているのでございますか。

土 肥 生きるか死ぬかときには、患者さんにとって磁場の問題は関係ありません。ただでさえX線は普通の人にとっていけないのです。でも、患者さんは生きるか死ぬかですから、止めるわけにはいきません。X線に比べて磁場のほうがはるかに人体への影響は少ないのです。

柏木 私がお伺いしたいのは、オープンですから、お医者さんも一緒にその磁場を浴びることになりますね。したがって、いまお伺いしたのはお医者さんへの影響です。

土 肥 現在使用している磁場強度は、0.5とか1.5テスラですので、今の医学界での常識では問題ないとされています。しかし、カナダあたりでは実験的に9テスラのような高磁場を使用しています。お隣のアメリカではとても許されなため、アメリカの研究者は、そのような高磁場下の実験をするためにカナダへ行って実験をしています。ただ、いまGEで使用しているのは、普通1.5テスラですので、ちょっと離れば医者にとっては何でもありません。

X線CTだと医者が被爆しますが、MRIでは被爆しません。さらにMRIではその中で手術などの治療が行えるのは素晴らしいことだと思います。この場合、GEが採用している縦型オープンMRIが適しています。さらに、縦型オープンMRIですと、あの中で座ったり立ったりして体を動かすことが可能ですので、寝た状態ではなく自然の状態での動きの検査ができ、整形外科にとっては欠かせない検査機器になると思います。縦型では診断と治療の両面に優れた面を持っていますが、横型オープンMRIは、診断にはいいが、治療の面では、百点満点で30点いけばいいほうかなといった感じでご



ざいます。

**富浦 梓** いまのようなお話が医学以外の一般の産業にどういう波及効果を持つというふうに期待が持てるのでしょうか。私の会社の中では溶鉱炉という得たいの知れない道具がありまして、あの中で何が起きているかといったらさっぱりわからないのですが。

**土 肥** 溶鉱炉ですと人体とは温度がかなり違いますので……。ちょっと話がずれるかもしれませんが、今日のお話でハイビジョンがございましたね。NHKが一生懸命開発しておりますけれども、世界においては分が悪い状況という話を聞いております。これが医療の世界でもし日本式のをどんどん普及してしまえば、結局世界はそれを使わざるを得ないだろうと思っていますし、放送のほうでは頭打ちでも、これだけきれいに見えるとなったら絶対使うと思います。

日本のお医者さんの場合は、MRIにしても、X線CTにしても、本来1つの国であんなに台数を持っている国は珍しいのではないのでしょうか。フランスなんかMRIはそんなに使われないだろうというので抑えているために、MRI関係の技術はゼロに近いようです。日本では、かなり売れているようです。私の研究室にも0.5テスラのが1台、工学部なのにございます。世界に比べて日本の医療界は、高価な機械でも普及しますから、まず、日本の医療界に広まることで商売になり、それが世界へ広まっていくということになるのではないかと思います。さあ、それが溶鉱炉となりますと私の想像を越えることですので、ちょっと申しわけございません。

**柴 田** もう一つお伺いしたいと思いましたが、さっきライアビリティの問題があるから、というふうにおっしゃったように聞こえたのですけれども、法とコンピュータ学会や、日本機械学会の中に法工学研究会をつくっております。そこで法律関係の方といろいろそういう問題を議論しているのです。いまのようなものを事前に動物実験を繰り返してやっても、人命に関することですから、死亡事故と言っているのかどうかわかりませんが、そういう結果をもたらすようなことがあり得ると思うのです。それがあっても、そ

れが進歩であるから私はいいと思うのですけれども、法律屋さんは必ずしもそれをいいと言うかどうかはなかなか難しい問題だと思うのです。そういう問題をどういうふうに解釈されて仕事を進められているのか、何かありましたら教えていただきたいと思います。

**土 肥** その方法として、医療の世界では2つあると思います。それをしなければ確実に死ぬという患者さんを対象にすることです。人工腎臓が発達したのがまさにそうだったのです。人工腎臓は1948年、終戦直後にできたのですが、それが技術的に進歩したのは朝鮮戦争の時です。朝鮮戦争で兵隊が負傷したとき、特に足を失うなどの大きな負傷をして大量の出血をした場合、命はとりとめても出血性のショックで腎不全になるケースが多いのです。腎不全を治さなければ死んでしまうので、どうせ死ぬのならば試してみようということになり始めてたのです。何しろ負傷者はどんどんきますので、次から次ぎに人工腎臓で治療を試みたのですが、次第に治療のノウハウが蓄積されてだんだん助かる人が増えてきて人工腎臓の治療が認められるようになったのです。

もう一つは、それを使わなくても、従来の方法でも助かる治療です。いま高倉先生と研究開発しているのは、どちらかというと私たちが開発した機器がなくても、その手術は完璧に行えるというものです。その装置を使って、うまくいけばその装置の性能をチェックでき、だめならば、すぐ普通の手術に切りかえて続けることができるので、患者さんにとって危険はないのです。この2つの方法でやっていかざるを得ないと思います。

なお、肝補助装置の開発の際によく言われた意地悪な意見をご紹介します。急性肝不全の患者さんに肝補助装置をつけてもなかなか患者は助からないので、この肝補助は意味がないと。しかし、開発側では、肝補助装置をつけても助からない状態になってから声がかかり使用したので、助かるはずがない。こんなに悪くなる前に使用すべきだと。では、容体がまだこれほど悪くなる前に使用したらどうなるか。今度は、肝補助装置を使用して助かった。開発した人は肝補助装置の成果と言うが、批判的な人は、本来、肝補助装置が



無くても助かったと。コンピュータ外科もこのように、はじめは水掛け論的になるかもしれませんが、それにより助かった、あるいは良い成績を得たという症例を重ねる努力が必要ではないかと思っています。

ただ、明らかな失敗、ロボットの操作ミス、あるいは違った画像を用いて手術してしまったような人的なミスは許されません。しかし、医療の世界は密室で行われますので、多少の失敗はあるかと思いますが、ロボットのような機械が暴れまわったりしたら、不可抗力によるミスとして片づけることは無理ではないでしょうか。

柴 田 私、思うのは、お医者さんのほうは医療ということで許されるけれども、それを工学者の立場から援助した場合、特にコンピュータ・バグの問題があったときに、お医者さんと同等に免責的に扱ってもらえるかどうかというのが大変気になるのです。

土 肥 その問題に関して、一番いい例は、心臓ペースメーカーだと思います。日本のメーカーは心臓ペースメーカーをつくる技術はアメリカよりもはるかに持っているにもかかわらず手を付けなかったのは、まさにその点なのです。例えば、日立やNECが、良いペースメーカーを開発したとしても、そのペースメーカーが故障して患者さんが死亡したらどうなるか。その事故のイメージのために、ペースメーカーよりももっと大きなマー

ケットである家電製品のマーケットを失う危険性があります。そのために手を出さないというのが現実です。

しかも、おそらく日本のマスコミの多くは、たとえ正当な理由があったとしても、あれはおかしいと言い出します。とくに、そのときだけニュースになればよいと思って騒ぐケースを私たちはたくさん見えています。そうなってしまったらお手上げということで、日本のメーカーは手を出さなかったのです。

ただ、どうしても国益上、あるいは日本の国民のためにしなければならなくなった場合には、別会社をつくって、もし問題が起きたときにはそこが責任をとるような仕組みにしないと日本国内では無理です。欧米であれば、説明して一筆とっておけば、全部済んでしまう話です。日本だと、一筆とっていてもやり玉に挙げられると言うのが実状ですので、日本の企業はやりにくいと思います。アメリカとかヨーロッパでは積極的に進めることができて、日本では石橋をたたいて行かざるを得ないというハンディはあります。ただ、その分丁寧にやりますから、良い製品ができるのではないかと考えております。

司 会 それでは、時間のやりくりがうまくいかなくて申しわけありませんでしたが、これでおしまいにさせていただこうと思います。どうもありがとうございました。(拍手)



1999年 12月15日

編集発行

(社)日本工学アカデミー

〒100-0005 東京都千代田区丸の内 1 - 5 - 1

新丸ビル 4 - 007

T E L : (03) 3211-2441~2

F A X : (03) 3211-2443