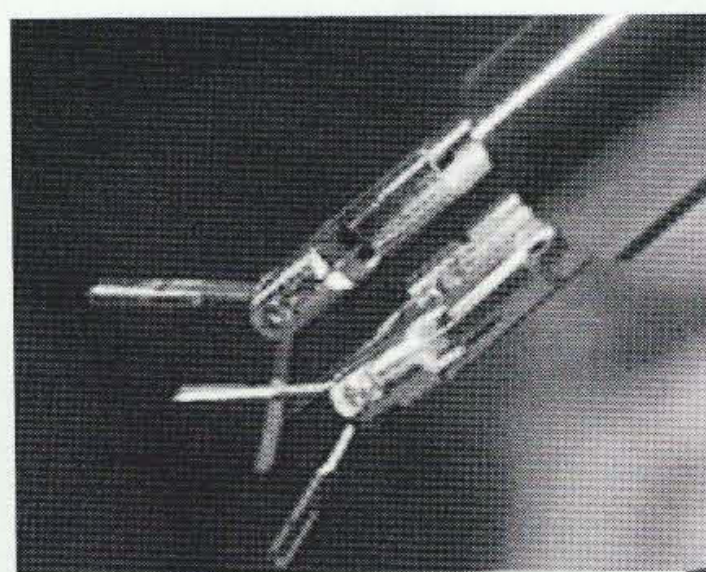


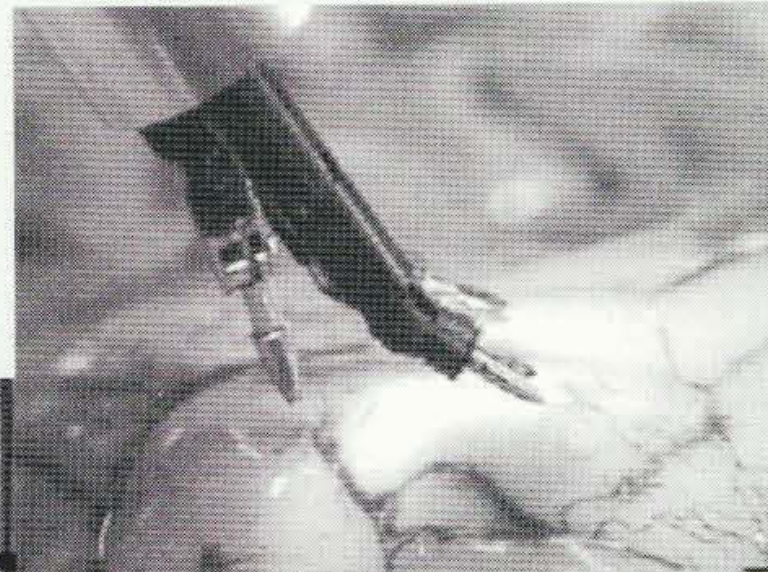
外科医の新しい手と目としての手術支援システム

Surgery Support System as a Surgeon's Advanced Hand and Eye

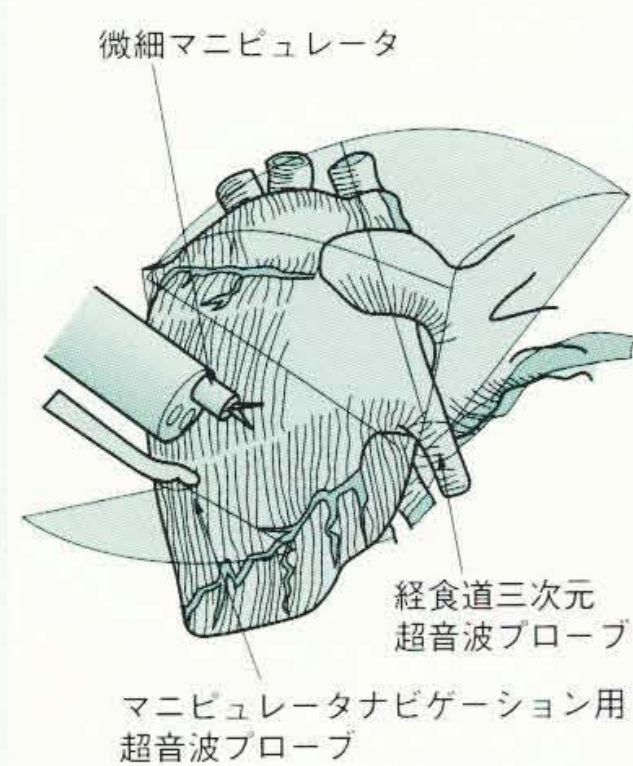
菅 和俊 Kazutoshi Kan 東 隆 Takashi Azuma
及川道雄 Michio Oikawa 宮本 潮 Shio Miyamoto



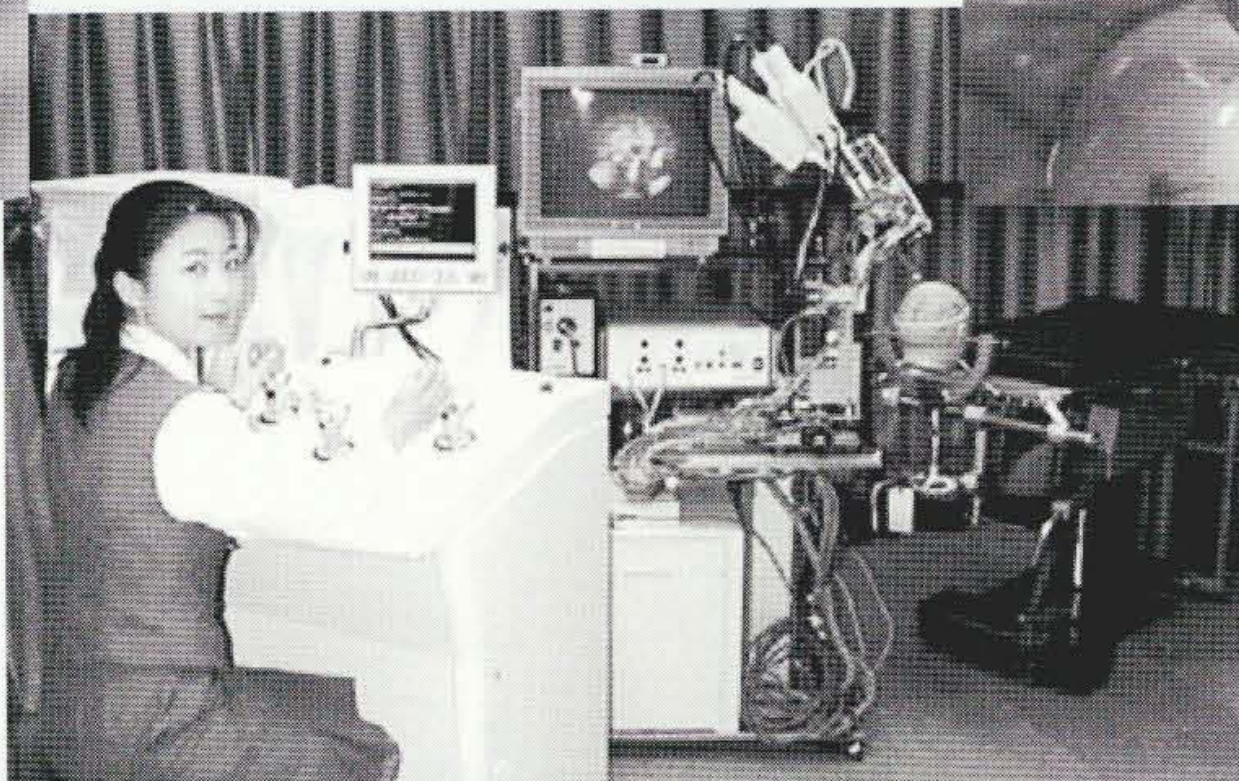
(b) 細径の鉗(かん)子機構



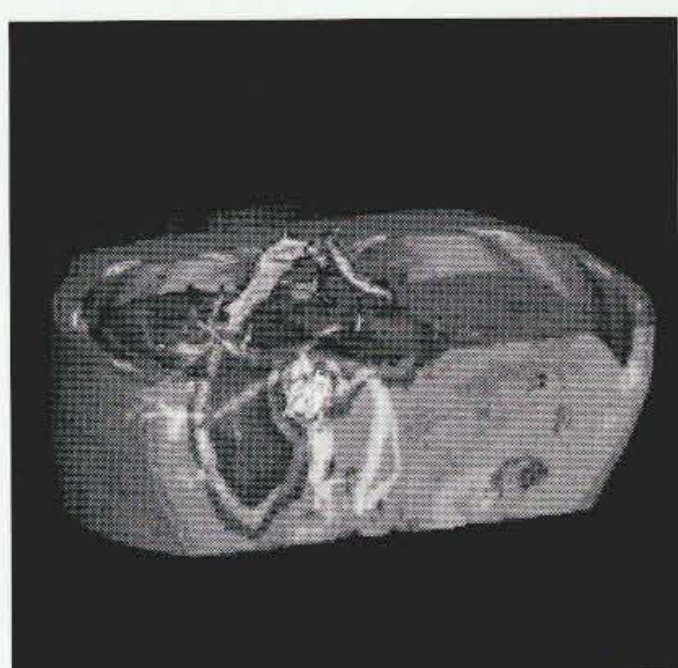
(c) マニピュレータ挿入部先端



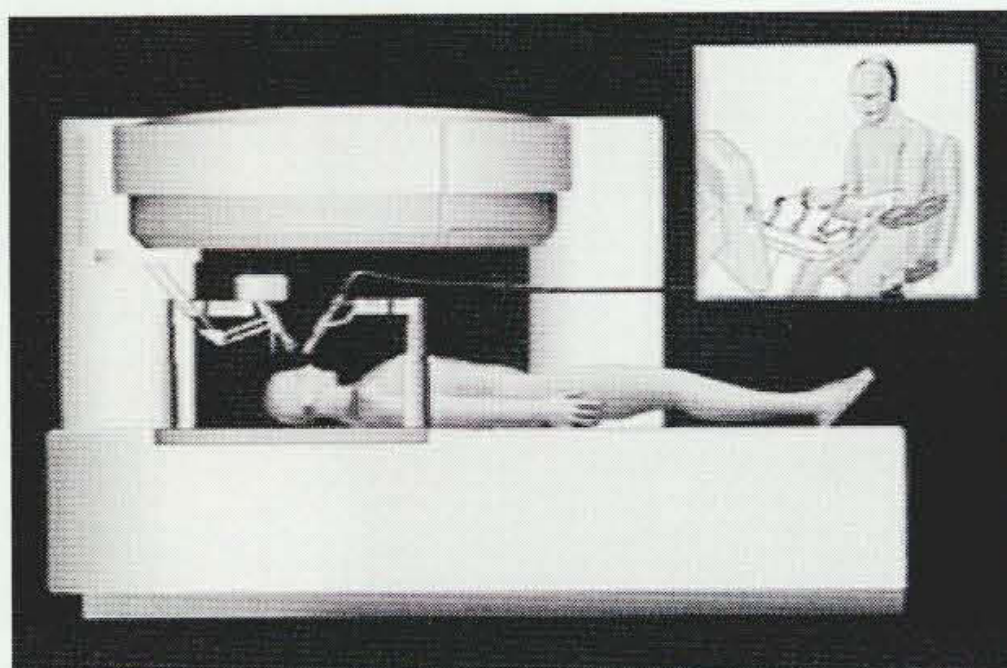
(d) 超音波計測システム構想図



(a) 低侵襲で微細な手術を支援する脳外科用マニピュレータシステム“HUMAN”の試作機



(e) 視覚情報システムの画像情報統合例



(f) MRIモニタ環境下での手術支援システム構想図

注：略語説明

MRI (Magnetic Resonance Imaging)

HUMAN (Hyper Utility Mechatronic Assistant)

外科医の新しい手と目としての手術支援システム

マニピュレータシステム、計測システム、視覚情報システムを統合し、MRIモニタ環境下での手術支援システムへと展開していく。

外科医にとっての進歩した新しい手と目は、「手術支援システム」と言われている。患者への負担の小さい低侵襲(小さな切開)で信頼性の高い手術を実現できるとともに、治療期間の短縮が期待でき、結果として患者のQOL(Quality of Life)の向上を図ることができる。

日立製作所は、脳外科用マニピュレータシステムの開発のほか、超音波計測技術や画像情報支援技術など、低侵襲治療のための統合的な手術支援システムの研究開発を進めている。

1 はじめに

医師にとって、自分の手は治療を実現する最高の手段であり、メスなどの術具の発明は医師自身の手による切開などを可能とし、外科的治療技術の発展に大いに寄与した。そして、外科的治療である手術は、術具の進歩と医療技術の向上により、高度で信頼性の高いものになってきた。現在、体外から高精度に患部の撮像を可能とするX線CT(Computer Tomography)やMRI(Magnetic Resonance Imaging)などの計測機器は、診断する医師にとっては欠かせないものになっている。治療において

も、低侵襲(小さな切開)で信頼性の高い手術を実現するために、新しい手と目が求められている。低侵襲手術により、手術での患者負担が低減し、治療期間の短縮が期待でき、結果としてQOL(Quality of Life)の向上を図ることができる。

ここでは、外科医の新しい手と目としての手術支援システムの現状と今後について述べる。

2 手術支援マニピュレータシステム

日立製作所は、脳外科分野での低侵襲手術を支援するために、脳外科用マニピュレータシステムの開発を進め

てきた。このシステムのコンセプトを、「HUMAN (Hyper Utility Mechatronic Assistant) マニピュレータシステム」^{1), 2)}として提案している。これは、高機能なメカトロニクス技術を用いた助手という意味である。このシステムでは、頭部の直径1 cm程度の小さな開口から挿入部を挿入し、この先端にあるHUMANマニピュレータで術者の手を支援し、内視鏡レンズ系で術者の目を支援する。これにより、低侵襲で微細な手術を実現する。術者は内視鏡モニタを見ながら操作入力装置から操作を行い、手術や治療を実行する。この試作システムを図1に示す。システムは、(1) 操作卓、(2) 保持装置、(3) 微細マニピュレータシステム、および(4) 内視鏡装置から成る。

このシステムの挿入部先端を図2に示す。外径3 mmの

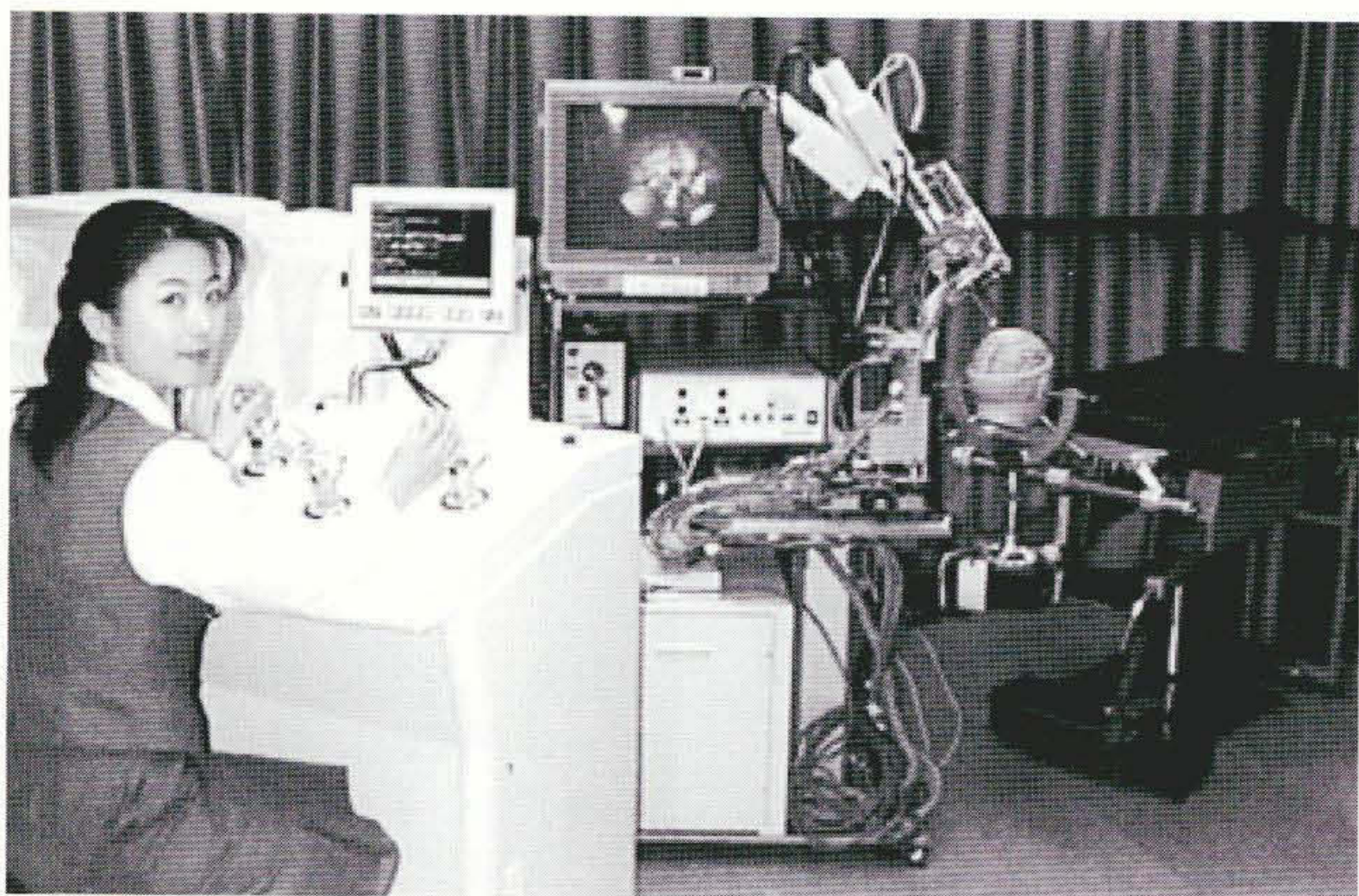


図1 脳外科用HUMANマニピュレータシステムの試作機

左手前が操作卓で、右の頭部模型に左上からアプローチしている細い管の先端に微細マニピュレータがある。

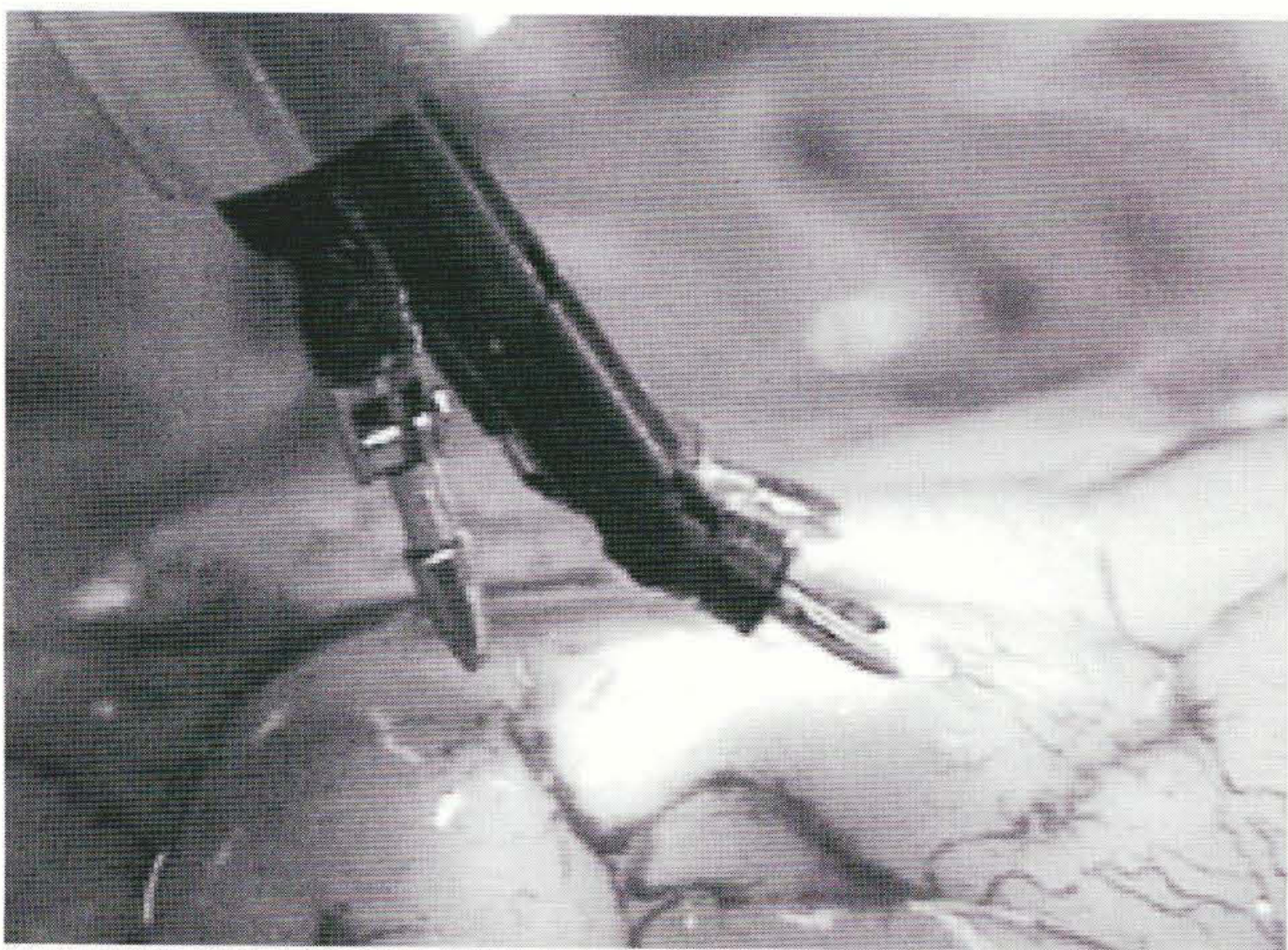


図2 挿入部先端拡大図

HUMANマニピュレータ挿入部の先端を拡大したものを示す。3本の微細マニピュレータの先端には、微細な鉗(かん)子を取り付けてある。

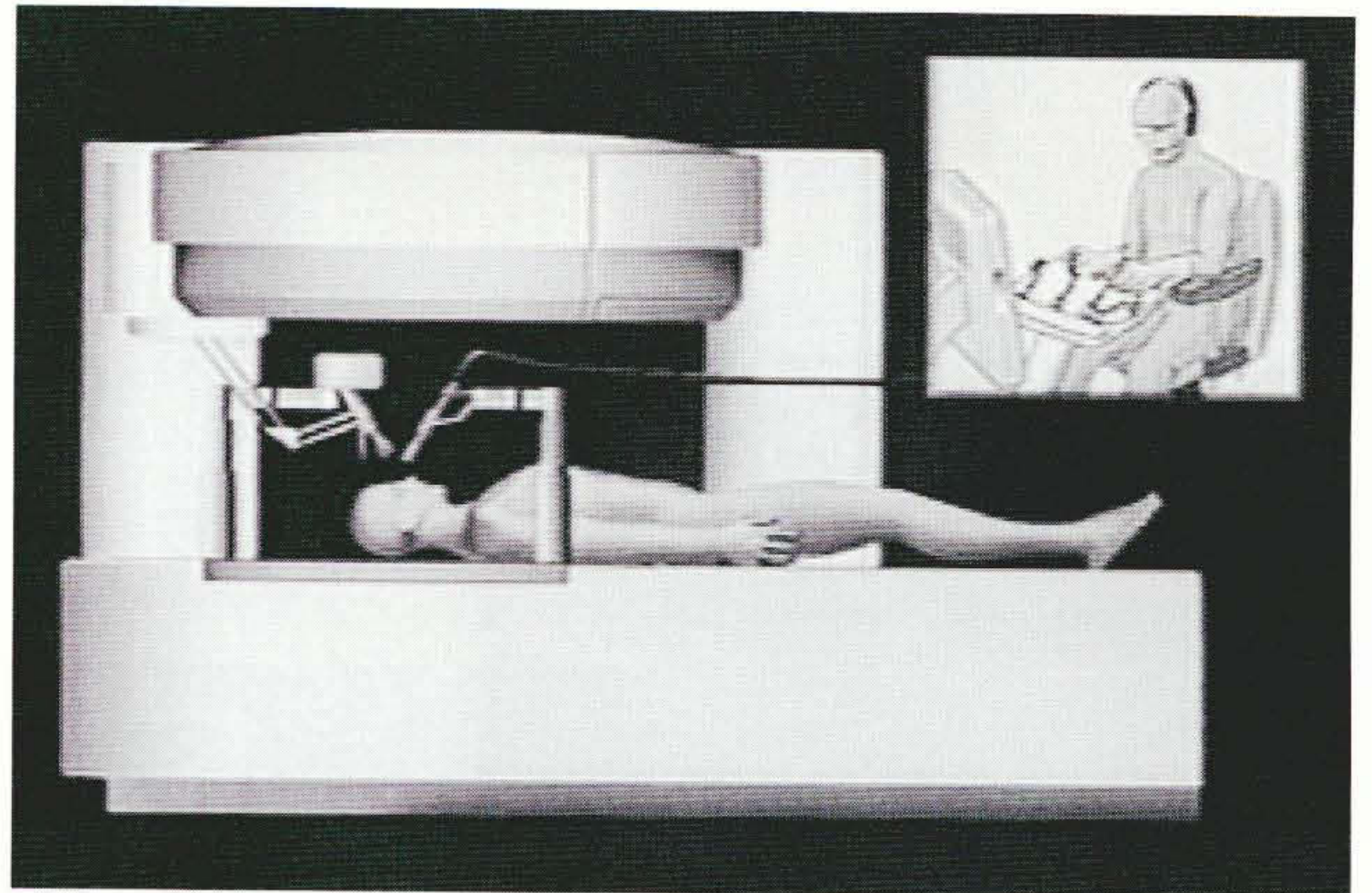


図3 MRIモニタ環境下の手術支援システム構想

開放型MRIの下で、マニピュレータを用いて診断と治療を支援するシステムの構想を示す。

微細マニピュレータを3組装備し、このマニピュレータ内部の中空部に術具を通して用いる。すでに、微細鉗子³⁾や光ファイバなどの利用が可能なことを確認し、大学病院と協力して適応症例の検討段階にある。

さらに、MRIのモニタ環境下でこのマニピュレータ技術を利用する、新しい手と目を融合させる研究を進めており、21世紀早期の実現を目指している(図3参照)。また、この環境下での超音波計測技術と画像情報支援技術の研究を進めており、外科医の新しい手と目を持つ統合的な手術支援システムの開発を進めている。これらの技術について以下に述べる。

3 MRIモニタ環境下での超音波計測技術

低侵襲手術は、大きな切開を伴わずに手術する術式である。この手術では、術者が術野の状況を十分に把握できていなければ、低侵襲の前提が大きく崩れてしまう。したがって、低侵襲治療と画像支援は不可分なものである。特に、循環器系を対象とする手術の場合、術式によって対象臓器の時間的な形状変化が著しいので、局所的な視野を与える内視鏡などの撮像画像に加え、対象臓器とその近傍を含めた全体的な構造を提示する、撮像画像による支援が必要である。

MRIでは、外からガントリ(構台)内への術者のアクセスが可能な開放型MRIが実用化したことにより、国内外でインターベンショナル(術中)MRIの気運が高まっている。MRIは上記の支援画像を提示する断層撮像装置として適しており、MRIモニタ下に治療のためのシステムを構築することで、治療対象領域全体の構造を術中に提示する画像情報の支援が可能となり、外科医にとっての新

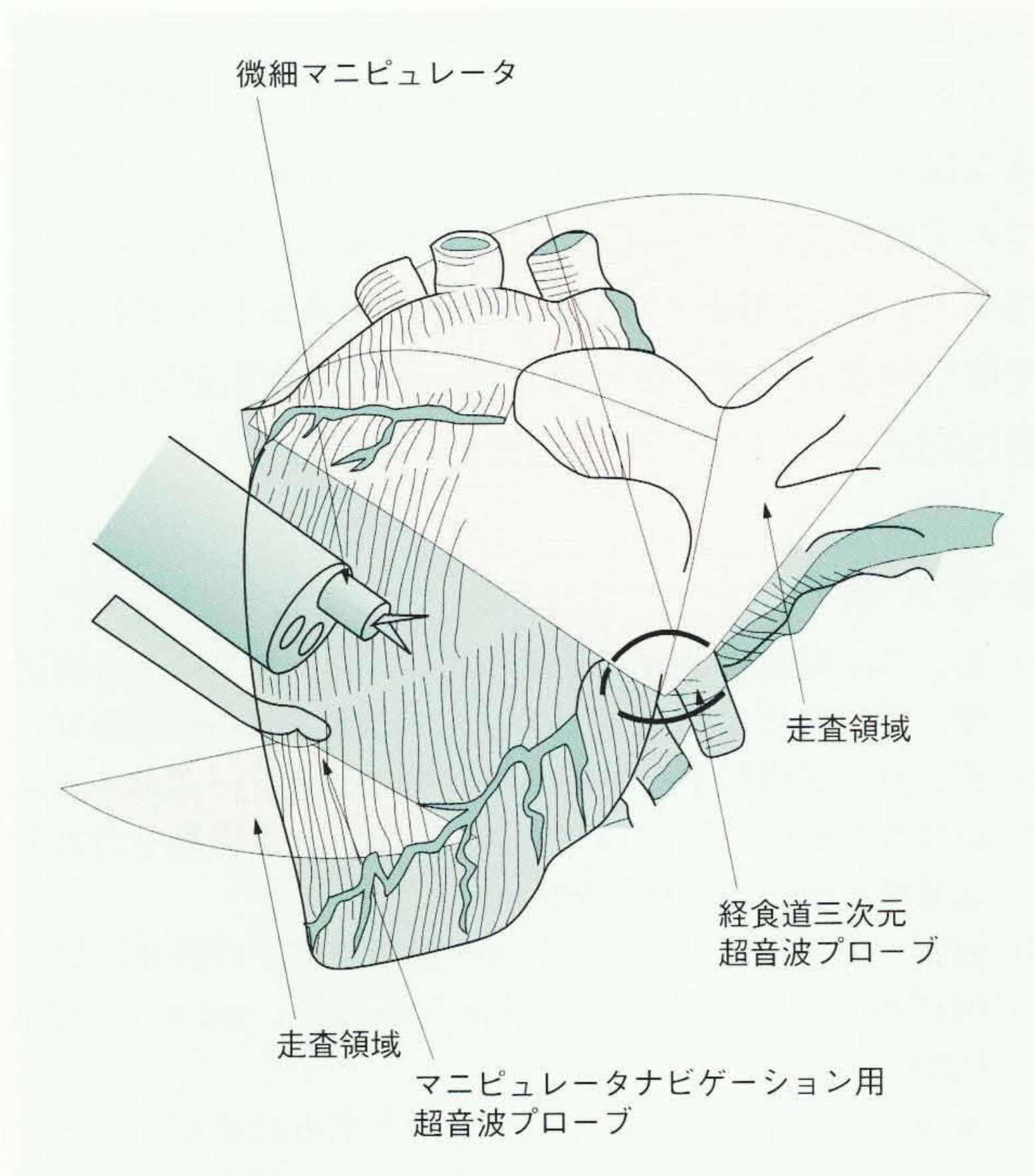


図4 術中超音波計測のイメージ

複数の超音波プローブによってMRIモニタ下で術野を撮像している様子を示す。

しい目となる。

さらに、超音波計測システムは、近年、その操作性の向上に加え、高速、高精細、高機能化により、マニピュレータの目として光学的内視鏡を補い、かつ術野の局所的像に関してリアルタイムにMRIの情報を補うことができる。そこで、磁場を乱さない材料で構成する超音波プローブの開発と、各計測装置間のRF(Radio Frequency)ノイズの影響を減らすため、効率的な時間シェアリングをする計測装置間の統合シーケンスシステムの開発を進めている。超音波プローブでは、経食道の三次元撮像用と超小型の高速二次元撮像用など複数のプローブを同時に用いることや、ドップラーエコーやコントラストエコーによる血流計測を組み合わせることにより、手術支援システムの利便性を大きく向上させることができる(図4参照)。

4 統合的画像処理システム

通常、手術の前には、各種の検査や患部画像の撮影結果などを用いて、診断や治療計画が立てられる。この患部画像には計測・撮像装置の特徴に応じた情報が含まれており、各撮像装置からの画像情報のそれぞれの特徴を生かして統合的に利用することにより、診断と治療を統

合した効果的な支援をすることが可能となる。

例えば、三次元的な形態情報を得るためにはX線CTやMRIが適している。X線CTでは、MRIでは取得できない骨の形態を撮像することができる。一方、MRIではX線を用いずに非侵襲的に撮像が可能であるとともに、血流などによる機能情報を撮像することも可能である。また、超音波計測システムによればほぼリアルタイムに内部の観察も可能である。表面を観察するためには内視鏡が適しており、他の撮像装置では計測することができない色情報を取得することができる。

日立製作所は、このような画像データを診断治療支援に利用するために必要な技術として、対話的に三次元表示が可能なボリュームレンダリング技術⁴⁾、病巣や重要臓器の抽出技術⁵⁾、複数の撮像装置から得られた画像の位置合わせ技術などを開発してきた。

これらの技術を用いることにより、形態情報と機能情報を統合した画像を作成することが可能となる(図5参照)。同図に示すようにX線CTで得られた患部(同図中のA部分)とその周辺の血管(同図中のB部分)の三次元的な位置関係の情報だけでなく、肝機能の情報(同図中のC部分)を把握することが容易になる。これにより、適切な手術方法や術後の患者のQOLを考慮した手術計画を立てることが可能になる。

また、内視鏡下での低侵襲手術では、局所的な内視鏡画像のほかに、MRIなどから得られた大局的な情報を統合的に利用できる。この視覚や位置情報の支援をするこ

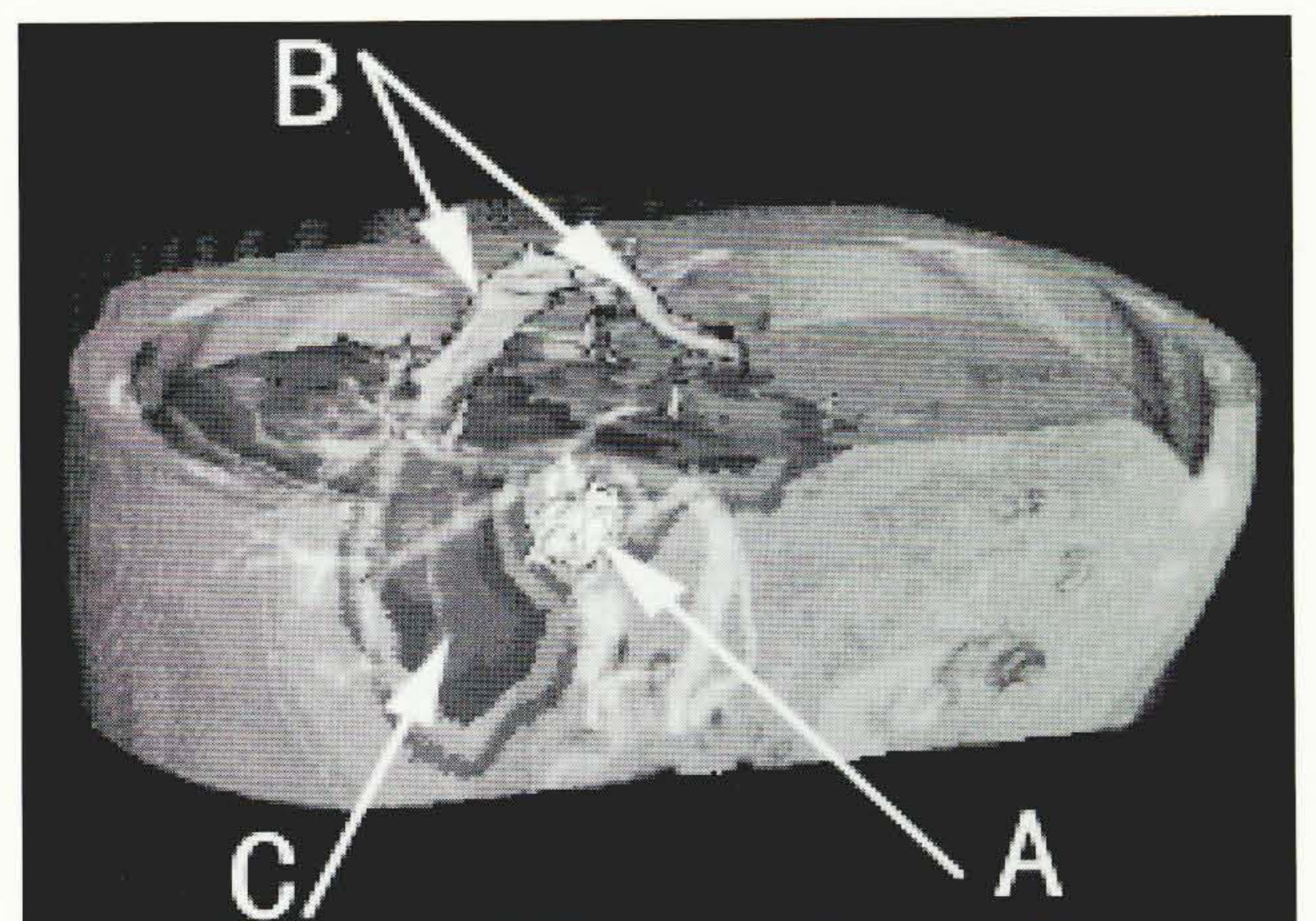


図5 肝臓の画像情報統合例

X線CTで撮像した形態データから肝臓の腫瘍(しゅよう)(A)と周囲の血管(B)に関するデータを抽出し、三次元的に表示している。また、放射性同位元素を利用して撮像した機能データを合成することにより、肝機能の活性度分布の表示ができる。これにより、肝機能と腫瘍の三次元的な関係を可視化し、手術計画に利用することができる。

とにより、外科医は容易にかつ十分な空間認知を行うことができる。

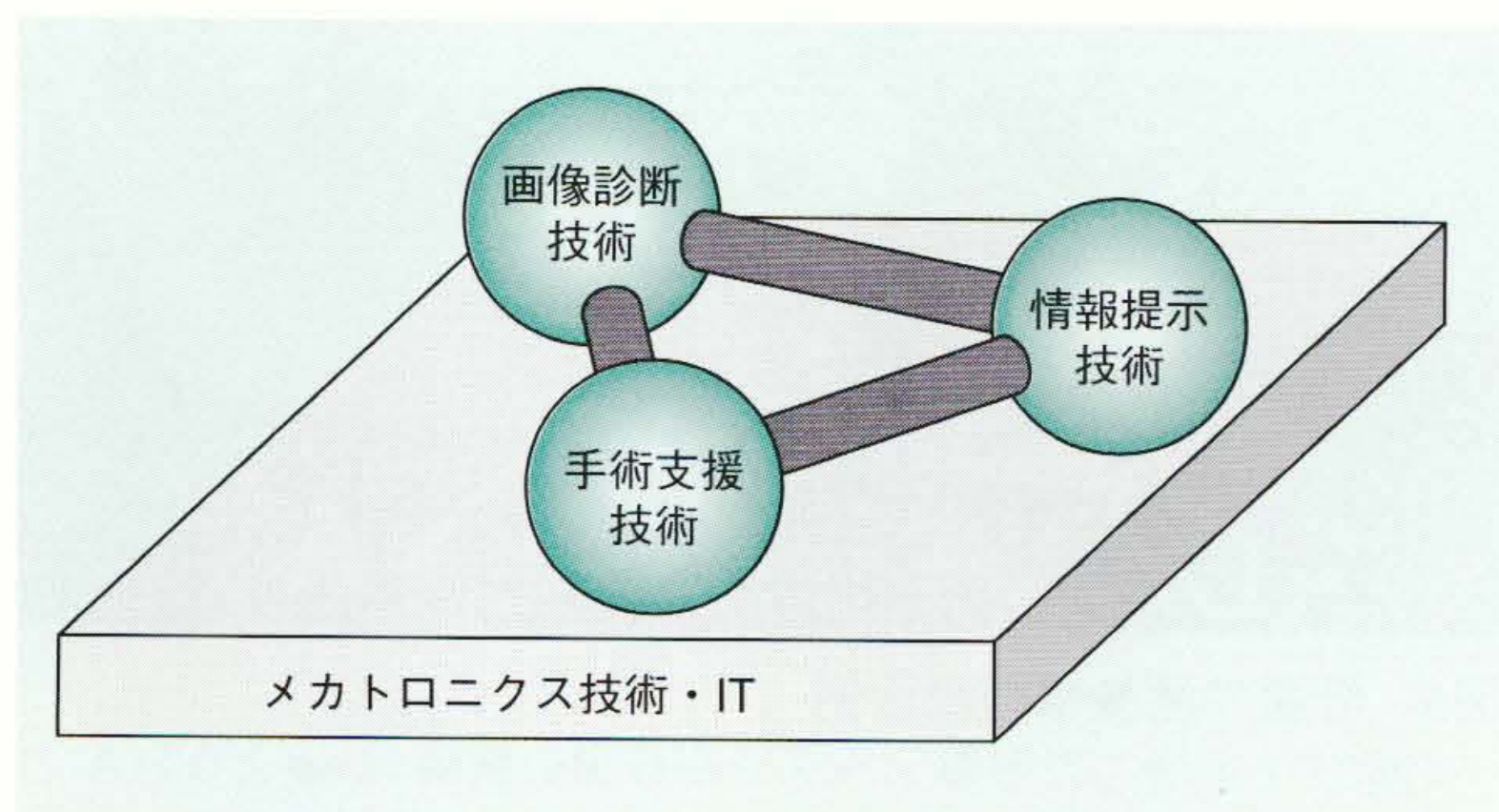
今後、術前の画像情報を術中に参照できるようにするとともに、超音波やMRIによって手術中の状態を撮像することにより、局所的な内視鏡画像だけでなく、大局的な情報や機能情報などを統合的に利用した画像情報支援を行う、統合的画像処理システムを構築していく計画である。

5 おわりに

ここでは、外科医の新しい手と目の役割を果たすことができる手術支援システムについて述べた。

欧米では、低侵襲手術をサポートする機器がすでに登場しはじめており、日立製作所としても、世界をリードする医療システムの提供を目指している。そのために、メカトロニクス技術やITを基礎として、外科医の新しい手となる、マニピュレータシステムによる手術支援技術や、新しい目となる術前・術中の手術計画のための情報提示技術、術中撮影にも対応した画像診断技術などの開発を行ってきた(図6参照)。さらに、個々の技術は手術の個々のプロセスをサポートするシステムとして、また、これらの技術を統合することによって手術の流れのすべてをトータルにサポートするシステムとして、さまざまな低侵襲手術を支援するソリューションを提案していく考えである。

2000年4月の医療費改定により、低侵襲治療関連での保険点数が加算される方向にある。これは社会のニーズに対して行政が支援する形であり、医療現場での低侵襲治療はさらに活性化することが予想される。このような流れの中であって、日立製作所は、患者と外科医に優しい低侵襲手術支援システムの実現を通じて21世紀の医療



注：略語説明 IT (Information Technology)

図6 低侵襲手術・治療を構成するさまざまな技術

メカトロニクス技術とITを基盤として、各技術がリンクして低侵襲手術・治療のためのさまざまな製品を形づくる。

に貢献していく。

なお、脳外科用マニピュレータシステムは「脳腫瘍等手術支援システム」の開発として、また、MRIモニタ環境下での手術支援システムについては「心疾患診断治療統合支援システム」の開発として、それぞれ医療福祉機器技術研究開発制度の一環で新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託で実施しているものである。

参考文献

- 1) 菅，外：脳外科手術用微細マニピュレータシステムの試作，第13回日本ME学会秋季大会論文集，p.188(1999.10)
- 2) 菅，外：脳外科手術用HUMANマニピュレータシステム試作機の操作実験，第8回日本コンピュータ外科学会大会論文集，pp.105～106(1999.11)
- 3) 河合，外：微細マニピュレータ用微細鉗子の開発，第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.673～674(1999.9)
- 4) 及川，外：対話的領域変更を可能とする高速ボリュームレンダリングに適した領域限定モデルの提案，電子情報通信学会論文誌(D-II)，Vol.J82-D-II，No.1，pp.127～136(1999)
- 5) 関口，外：リージョングロウイングをベースにした対話型三次元領域抽出，電子情報通信学会論文誌(D-II)，Vol.J82-D-II，No.2，pp.350～358(1993)

執筆者紹介



菅 和俊

1981年日立製作所入社，機械研究所 第4部 医療福祉機器開発研究室 所属
現在，手術支援システムの研究開発に従事
計測自動制御学会会員，日本ロボット学会会員，日本コンピュータ外科学会会員
E-mail：kan018@merl.hitachi.co.jp



及川道雄

1992年日立製作所入社，システム開発研究所 第1部 所属
現在，医用画像処理システムの研究開発に従事
電子情報通信学会会員，日本医用画像工学会会員，日本コンピュータ外科学会会員
E-mail：oikawa@sdl.hitachi.co.jp



東 隆

1998年日立製作所入社，中央研究所 メディカルシステム研究部 所属
現在，超音波診断装置の研究開発に従事
E-mail：t-azuma@crl.hitachi.co.jp



宮本 潮

1993年日立製作所入社，医療システム推進本部 マーケティング部 所属
現在，新医療ビジネスの事業化，治療分野関連事業の立ち上げ，拡販に従事
E-mail：s-miyamoto@med.hitachi.co.jp