

先進国における高齢化人口比率の急速な増大などの医療を取り巻く社会環境の変化と、マルチメディア開発競争で見られるようなコンピュータ・通信技術の飛躍的な発展などの技術環境の大きな変化のなかで、医療ニーズはますます多様化し高度化している。従来、診断目的だけが医用画像技術の中心課題であったが、高騰する医療費の総抑制の観点や患者QOL (Quality of Life) の観点からも、課題の幅は広がり、また求められる画像の質そのものも大きく変わってきた。間近にせまった21世紀に向かって、役にたつ画像提供を旨とする医用画像技術が求められている。

The health care environment is changing in industrialized countries due to rapid growth in the elderly population. The technological environment is also changing due to rapid advances in computer and communication technologies, particularly with regard to multimedia applications. As a result, health care requirements are becoming more diversified and complex.

In the past, medical imaging technology tended to focus exclusively on improvements in diagnostic capabilities. Today, however, medical imaging technology must respond to a much larger number of societal and health care issues, ranging from overall cost containment to improved quality of life for patients. Expectations with regard to image quality have also changed significantly in recent years. This paper outlines the latest trends in medical imaging technologies and also discusses directions for future development.



■ 医療を取り巻く社会、技術は大きく変化している

日本、米国、欧州の先進諸国においては高齢人口比率が増大し、それに伴う医療費の増大が大きな社会問題となっており、医療費抑制策が各国の重要課題として採り上げられ議論されている。米国においては、医療支出の約60%を占める人件費削減(医師を含む)のために、病院の統合・合併が急速に進んでいる。日本においても、米国ですでに実施されている定額医療制度を取り入れ、保健点数制度の下で運用することが提案され導入されようとしている。このように、先進各国では医療の効率を上げることにより医療支出を抑え、国民の医療費負担を軽減しようとの試みがすでに始まっている。

このような社会的背景のなかで、病院における診断・治療行為も効率の高い、しかも高度なものが求められている。

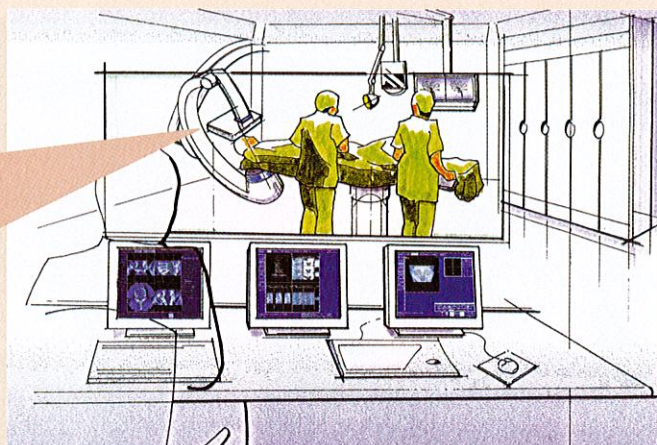
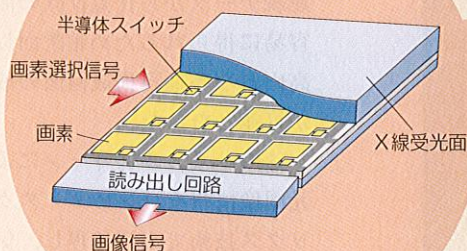


図2. X線平面検出器 従来の電子管イメージインテンシファイアに代わる小型・軽量のX線検出器(左)とその応用システム(右)。  
X-ray flat panel detector

本来、病気にならないことがもっとも医療費を下げることになるので予防医学に力点が置かれ、また、より早期に異常を診断できる技術が求められる。さらに治療においては、より侵襲度の低い治療法(MIT: Minimally Invasive Therapy 最少侵襲治療)を施すことにより病院滞在期間の短縮など治療に要する費用を低減し、かつ患者にとっても負担の少ない医療の展開が期待される。また、患者一人が生涯に発生させる医療データを有効に活用したり、あるいは医療検査データ解析をより少ない医師によって実施するための医療情報ネットワークシステムが病院内だけでなく地域内に社会インフラとして確立していく必要がある。

これらの動向を支えるためには、一段と進んだコンピュータ技術と高速ネットワーク、大容量データベース技術などコンピュータ周辺技術の進展が望まれる。メモリ媒体として的高速磁気ディスク容量が、従来およそ10年で10倍の記録密度を更新していた開発速度が、マルチメディア開発競争が激化したここ数年で10年で100倍に加速された。このように、コンピュータおよびその周辺技術はマルチメディア関連技術開発に伴い

飛躍的に発展を遂げつつある。

21世紀に向けて、世界中どこでもひとしく高度で患者負担の少ない医療が受けられるという社会要請と、コンピュータと通信技術を中心に急速に発展する技術革新の大きな潮流のなかで、画像診断機器を中心とする医用機器の技術開発にも大きな飛躍が求められている。

### ■ 役にたつ画像提供を旨とする

X線の応用に始まった医用画像診断機器の歴史は、医学と工学の発展とその間の共同作業により、CT(Computed Tomography)、超音波装置、MRI(Magnetic Resonance Imaging)、核医学装置、電子内視鏡などへと大きく発展してきた。ここでは、X線装置、CT、超音波装置、MRIにおける最近の技術動向について述べる。

### ■ X線診断装置

X線診断装置は、情報化、システム化の技術潮流のなかで、伝統的なX線フィルム撮影法からフィルムを使わない高画質なデジタル画像システムへと変貌しつつある。

従来から、消化器・循環器系の検

査ではイメージインテンシファイアとテレビカメラを組み合わせた電子管による撮像方式が基本であったが、まず撮像管によるテレビカメラが直接デジタル画像情報を取り出せる100万画素CCDカメラに置き換わり、さらに消化器系の精密検査では空間解像力を大きく向上させた400万画素CCDカメラも近く実用化されようとしている。

しかし、イメージインテンシファイアもテレビカメラも使わず、より直接的にX線像をデジタル情報として取り出す技術的試みも、半導体技術の進歩に伴ってここ数年急速に注目を集めるようになってきた。これはX線像を直接電気信号に変換するアモルファス半導体と電気信号を時系列で読み出す薄膜半導体スイッチからなるX線検出器であり、フィルムに匹敵する高画質・高解像力が期待できるだけでなく構造的に軽量で平板な形をとれるため、X線診断装置全体の姿を大きく変えてしまうインパクトをもつものとしてその実用化が期待されている(図2)。

### ■ X線CT装置

X線CT装置は、X線管-撮像系を回転させながら被検体を移動させ

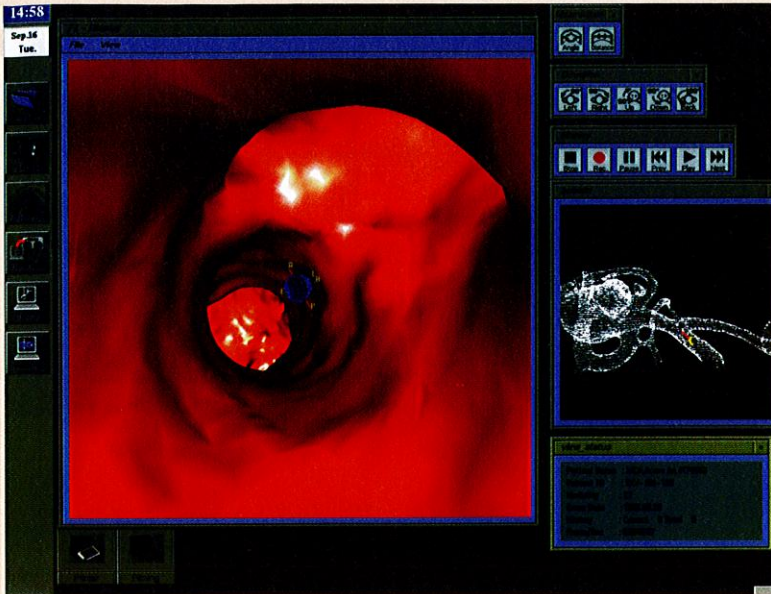


図3. CT内視表示法 三次元CT画像情報を画像処理して、あたかも内視鏡で気管支や血管内の病変部を観察するかのような表示をして、診断に供するCT画像の表示法。写真は脳動脈瘤（りゅう）の内視表示の例である。（写真提供：藤田保健衛生大学）  
Fly-through imaging by 3D-CT

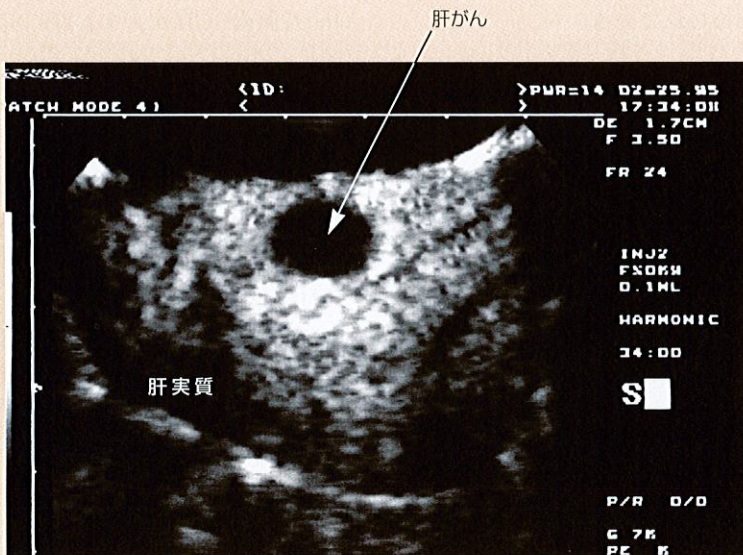


図4. コントラストハーモニックエコー法 微小の気泡を含む超音波造影剤を使って、従来困難であった病変部を画像化する。写真はうさぎの肝がんを表示した例である。

Contrast harmonic echo imaging

連続的に螺（ら）旋状データを集積するヘリカルスキャン技術の実現により、三次元画像の高速撮影が可能となった。また、それだけでなく、連続データから任意位置の断面像が容易に得られるため軸断面以外にも高画質な多面再構成画像の取り出しが可能となった。

このヘリカルスキャンによる三次元画像情報をコンピュータグラフィックス技術で高速処理し、気管支や血管などの管腔臓器を仮想的に内視観察できるCT内視表示法が開発され、解剖学的な形態情報を容易に提供できる手段として臨床の場で注目されている（図3）。

#### ■ 超音波診断装置

超音波診断装置は80年代にドップラー技術が加わることにより、肝臓実質と肝臓内血流が容易に同時観測できるなど飛躍的に診断能が向上し、さらに近年送受信系を全デジタル化することによってより精密なビームフォーミングが可能となり、空間分解能が一段と向上した。

また、機能診断の面でも研究が進み、現在もっとも注目されている技術としてコントラストハーモニックエコー法が実用化されつつある。これはごく微小の気泡を含む造影剤から反射する高調波の高次信号だけ受信し画像化する技術で、毛細血管レベルの血流情報まで得られるため、心筋虚血の状態や腫瘍（しゅよう）の鑑別などの診断に有効な手段として臨床価値が非常に高い。図4は、従来技術ではとらえられないうさぎの転移性肝がんと周りの腫瘍血流を示したものである。

#### ■ MRI装置

MRI装置は、形態情報だけではなく生体中の水（プロトン）の緩和時間をとらえて組織の質的信息をもたらすものとして、頭部や脊椎（せきつい）検査の日常臨床では不可欠

な手段となっているが、一方その欠点として撮影時間の長いことが問題であった。

近年、この問題を解決する試みがさまざまなされてきたが、FASE法<sup>(注1)</sup>が開発されたことにより、従来のスピネコー法の1/384の時間で撮像できるようになった。この技術を応用したMRCP法<sup>(注2)</sup>は、従来の内視鏡的手法(ERCP法)に比べ胆・膵(すい)管画像を無侵襲で得ることができ、消化器診断に大きなインパクトを与えている。

また、循環器診断領域でも心臓の栄養血管である冠動脈をMRIでとらえる試みがなされており、心臓と呼吸の動きを実効的に止める心呼吸同期法と高速スキャン(Segmented Fast FE)法の併用で、冠動脈主幹部から第二分枝程度までの画像化が可能となった(図5)。

さらに解像力が上がり実臨床に使えるようになれば、従来の侵襲度の高いX線造影法と比べて画期的な診断技術になるものと期待される。

## 診断から治療へ

高度な診断技術により正しく病名が特定できたとしても病気を治すことができなければ患者にとってなんのメリットもない。患者への負担を最小限に抑え、かつ治療効果を最大限に引き出す治療概念としてMITが広く医学会で注目されているが、高度な診断技術もこの流れの中で治療技術と融合することによりほんとうの価値をもつ。

80年代から急速に臨床の場に広がったPTCA(経皮的冠動脈形成術)

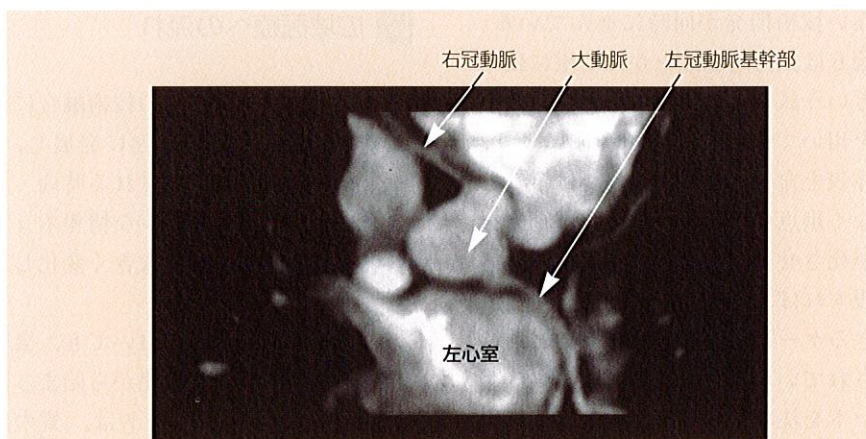


図5. 高速MRIによる冠動脈の撮影 従来MRIでは画像化が難しかった冠動脈の撮影などが、高速スキャン法の開発により可能となってきた。  
Coronary angiography by MRI

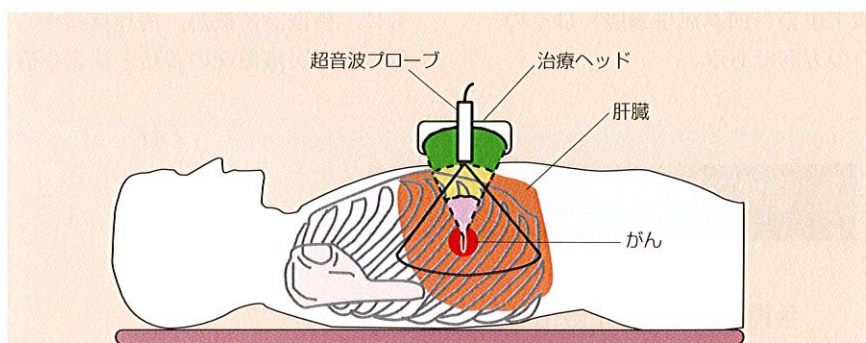


図6. 強力超音波による治療 超音波を集束させて体内のがんなどを焼き治療する。外科手術に頼らないため、患者に対する負担が軽く実現が待たれる新技術である。  
Focused ultrasound surgery system

はすでに古典的な響きさえもつが、高精細なX線画像による診断とバルーンカテーテルによる治療を直結した画期的なMITの幕開けでもあった。診断画像をそのまま治療や検査に使う試みは現在では非常に広く行われているが、CTにおいても連続回転のスリッピング技術と高速画像データ処理技術の融合によりリアルタイムでCTによる透視が可能となり、リアルタイムCT像下で

安全確実に腫瘍細胞を採取したりがん治療薬剤を注入したりすることができるようになった。

MRI装置においても、患者にとっては閉塞感の強い円筒型の撮影装置から、患者の側面を開放したオープン型MRIによってMRI撮像下での治療行為を含めた患者へのケアを重視するケースが増えている。

一方、治療装置そのものの技術においても、より低侵襲で治療効果の

(注1) FASE法 (Fast Advanced Spin Echo)  
従来の高速MR撮像法(Spin Echo法)をさらに進化させて、ハーフフーリエ法により半分のデータから画像を再構成する。通常の二次元画像であれば数秒以内で撮像できるため、消化器診断には非常に有効な撮像法として注目されている。

(注2) MRCP法 (Magnetic Resonance Cholangio Pancreatography)  
従来から、胆・膵管の診断には、体外から内視鏡を胆・膵管まで導き、ここでX線造影剤を注入してX線撮影を行う方法(ERCP法: Endoscopic Retrograde Cholangio Pancreatography)が用いられているが、患者に対する負担が大きいため、これに代わる新しい技術として、MRIで体外から胆・膵管を画像化して診断しようとする方法である。患者負担が大幅に軽減される新しい画像技術として期待されている。

高い技術開発が同時に進んでいる。図6は強力超音波をがん治療に使うという試みで、凹面の超音波振動子を用いて集束させた超音波により、体表を含む正常組織を傷つけることなく焦点部だけを加熱しがん細胞を壊死させようとするものである。実現すれば、外科手術に頼らず治療できるケースが相当数あるものと期待されている。この場合も治療ターゲットを決めて精度よく安全にがんを焼灼(しょうしゃく)するためには、高度な画像診断装置の助けがなくてはならない。現在の医療において画像診断装置と治療は切っても切れない関係となっている。画像支援下手術(囲み記事参照)はその一つの方向である。

## ■ 広域医療への流れ

コンピュータと通信の技術融合により情報システムは急速に発展し、インターネットに代表される時間・空間を越えたグローバルな情報ネットワークにより社会は大きく変化しつつある。

病院内情報の扱いにおいても、会計部門の情報システム化から始まった病院内イントラネットは、質の高い医療を効率的に提供することを目ざし、予約から検査・治療まで患者情報を共有化する病院情報システム(HIS: Hospital Information System)が各施設で普及するとともに、画像診断機器、病理機器から得られる医療画像の蓄積と検索を容

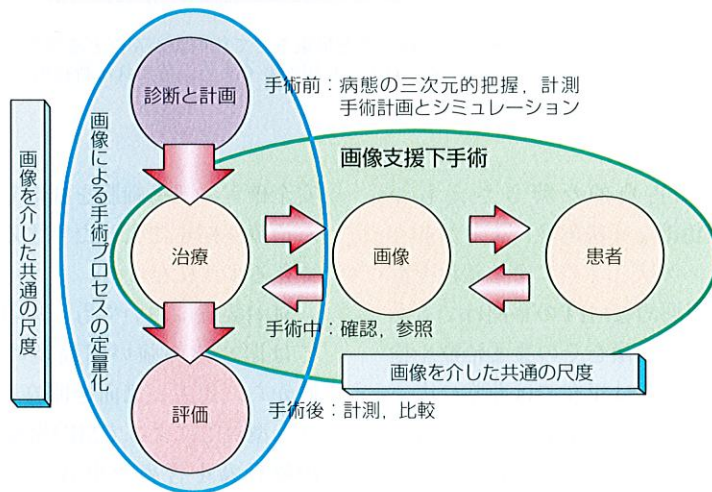
易にする総合画像診断システム(PACS: Picture Archiving and Communication System)も各所で導入が広がっている。

米国の放射線学会(ACR)と電気機器工業会(NEMA)とで93年に規格化したDICOM(注3) V3.0により、画像データフォーマットと通信プロトコルの技術基準が標準化され、異なるメーカーの機器間だけでなくプリンタ、データ保管システム、ワークステーション(WS)など周辺機器間のネットワーク化が容易になったことで、これらの動きはさらに加速している。

医療画像・検査データがネットワークを介しコンピュータ上でインタラクティブに扱える環境が整ってい

## 画像支援下手術 Image Guided Surgery

### 手術プロセスの定量化と画像支援下手術



外科手術において医用三次元画像情報を利用する試みが精力的に行われている。これは、CTやMRI画像を、外科手術プロセス全般にわたって共通に利用できる指標として導入することにより、病態把握、手術計画、手術、評価といった手術の各段階を定量的に結びつけ、これまで不可能であった低

侵襲かつ高度な手術手技を実現し、かつ手術成績の向上を図ることを目的としている。

これを達成するための一つのアプローチが画像支援下手術である。術前・術中診断画像、患者、手術器具の相互関係を数学的に統合する仮想的な手術環境を計算機上に構築し、バーチャル

リアリティ技術を用いて医師が外科手術に要求する物体認識と操作性を実現する。

画像支援下手術では、CT、MRI、核医学画像などの術前画像情報は、空間的な相対位置合せ処理の後、手術を行ううえで必要となる関連部位を抽出しそれらを三次元数学的モデルとして計算機上に構築する。医師はこのモデルに対しさまざまな角度から病態診断と仮想的な手術手技を行うことで、実際の手術を行う際に地図の役割を果たす手術計画を定量的に作成することができる。

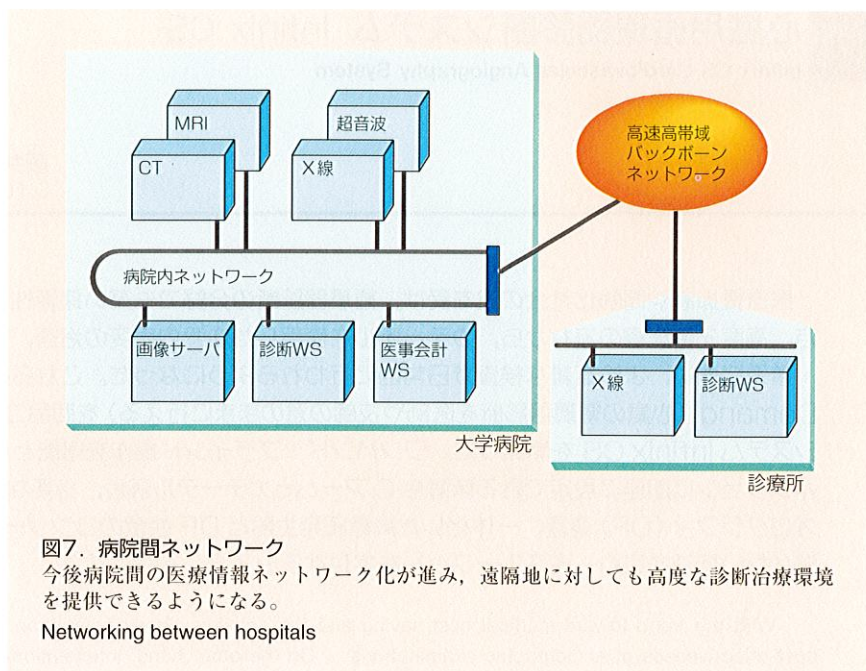
手術に際しては、この手術計画に加え術中に得られる画像情報、医師、手術器具、患者を先の仮想的な手術環境に統合する。この仮想環境から得られる統合画像情報を、手術中に逐次参照することにより、オリエンテーションやナビゲーションシステムとして利用することで、作成した手術計画を客観的かつ定量的に再現することが可能となる。

くに従い、多角的な診断・仮想空間上での治療シミュレーション、質の高いインフォームドコンセントの提供などを実現するため、コンピュータグラフィック技術、バーチャルリアリティ技術だけでなく多面的なネットワーク応用技術も医療の場でますます必要となってきた。

このような医療におけるシステム化、ネットワーク化の動きはさらに拡大し、病院間のネットワーク化へと発展していくことになる。医療が多様化するなかで一人の医師、一つの施設でできる医療には限界があり、大病院、中小病院、診療所が連携したチーム医療や連携医療が求められるのは当然の社会要請である。

病院間のネットワーク化（図7）は、医療情報のデータベース化による相互支援から始まり、遠隔地に対しても高度な診断治療環境を提供する遠隔医療へとさらに発展する。米国では産・官・学共同体で乳がん検診における早期診断から治療までを遠隔医療で行う試みが始まっている。僻（へき）地巡回検診では、X線撮影したデジタル画像を通信衛星を介して中央病院へ伝送し、受診者がいる間に放射線医が読影し追加撮影などの指示を与えることも技術的には可能となった。

21世紀へ向けた情報化社会の大きな潮流のなかで医療の場における情報化もその例外ではない。しかし、医療情報のネットワーク化が本格的な実用期に入るには社会制度や社会インフラの整備に待つところも大きい。



## 21世紀に向けて

医用画像技術の発展の歴史を振り返ると、初めはハードウェア技術を中心とした個々の機器技術が展開し、これにソフトウェア技術が加わることにより、より価値の高い画像を容易に臨床の場に提供できる機器を実現してきた歴史がまず基本にあった。ここまでは個の技術、点の技術と言ってよい。

一方、機器技術の完成度が上がるにつれて、より高度な医療ニーズにこたえるために機器間の連携や治療・検査機器との連携など、個と個を結び全体の運用を最適化し多様化するニーズにこたえるシステム化技術も、医療の場から強く求められるようになった。これがさらに空間的・時間的な広がりをもち、社会構造との有機的な融合を遂げることに

よって初めて医用画像技術の新しい歴史が始まると言える。

機器の技術においてもまだまだ克服すべき課題は多いが、すでに概観したとおりさまざまな形で高度な技術開発がなされている。これらを確実に実現しながら、一方で面・場・空間でこれらをどのように展開していくか、21世紀に向けて医用画像技術は個の完成度の追求と同時にその幅も大きく広げていかねばならない。



有田 昌隆

Masataka Arita

医用機器・システム技術研究所 所長  
Medical Engineering Lab.

### (注3) DICOM (Digital Imaging and COmmunication in Medicine)

世界的なDICOMの導入により、機器間の画像情報のやりとりが急速に広がっている。規格はたんに医用画像機器間を相互接続するだけでなく、さらに発展的に病院情報システム(HIS)への接続も可能とし、医療分野全体のネットワーク化にとって今後大きな意味をもつ。X線や超音波の動画像など大量の画像情報に対しては、可搬電子媒体を利用したオフライン通信の規定もある。新たな媒体としてのDVDへの期待も大きい。