

臨床放射線医学の過去, 現在, 未来

—— 私の経験と私見を交えて ——

石橋 忠司

東北大学医学部保健学科 放射線技術科学専攻総合画像診断技術学分野

Clinical Diagnostic Radiology, Past, Present and Future, with My Experience and Personal Opinion

Tadashi ISHIBASHI

Department of Radiological Technology, Tohoku University School of Health Sciences

Key words: Radiology, history, CT, MR, Intervention

Radiology has evolved during the century since the discovery of the x ray in 1895 by Wilhelm Conrad Roentgen. In the first decades, conventional radiography was the diagnostic modality. Computed tomography in 1972 and magnetic resonance imaging in 1982 improved our diagnostic capabilities by enabling location and characterization of tumors, and aiding in earlier diagnosis and treatment. In present, MDCT has become a standard noninvasive imaging method for the depiction of vascular anatomy and pathology. In future, interventional radiology will be able to treat in variety fields with progressive image guide. However, many vascular disorders and problems remain unresolved, poorly treated, or not understood. In arterial circulation, the current explosive level of clinical and research interest in stent-grafts will undoubtedly continue. Computer-aided diagnosis (CAD) has become one of the major research subjects in medical imaging and diagnostic radiology. Worldwide communication network not only is making the world one large marketplace for information but is also making telemedicine a reality.

はじめに

放射線医学の歴史はレントゲンがX線を発見した1895年に始まる。レントゲン博士はこの業績で1901年第一回のノーベル物理学賞を受賞した。我々関係者はレントゲン博士のお蔭で仕事をできることを感謝し、発見した11月8日にレントゲン祭を行っている。その後の放射線医学の発展に寄与し、ノーベル賞を受賞した研究が幾つかある。コーマックとハンスフィールドによる1973年CTの発明で1979年に医学生理学賞した(図1)。さらにロータバー、マンフィールドは1982年

MRI装置を発明した。やや遅れて2003年医学生理学賞を受賞した(図2)。私自身の放射線医師としてのスタートは1980年からなので、丁度CT機器が日本に普及する時代に一致する。当時は画像診断を行う放射線科医は日本では少なく、卒業当時の大学病院にもCT装置はまだ設置されていなかった。その後約25年間が経過するが、医療機器の技術革新は目覚ましいものがある。周辺の工学、コンピュータ技術学などの進歩に支えられたところが大きいと思われる。

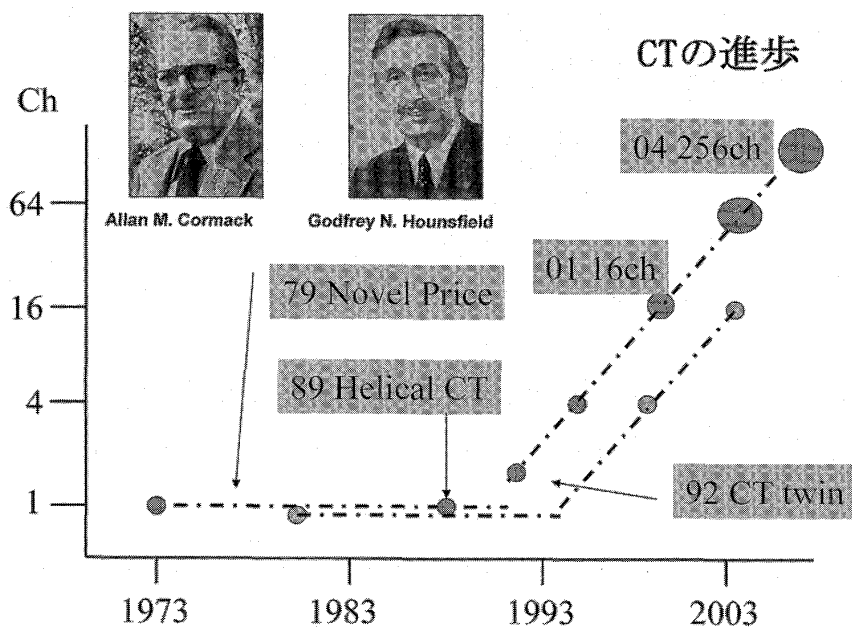


図1. CT装置発明でノーベル医学生理学賞の受賞者

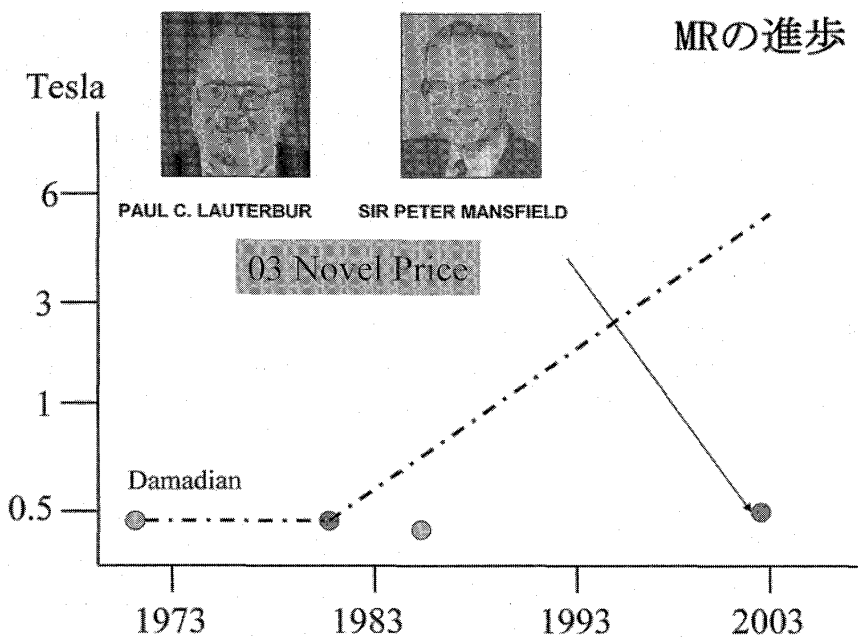


図2. MR装置発明でノーベル医学生理学賞の受賞者

一般放射線機器の進歩

レントゲンがX線を発見した直後から、体の中を透過してきたデータを記録する方法としてフィルム増感紙法が開発され、今日までの記録法の主流として使われている。一般に単純写真撮影と言

われ、現在でも放射線診断技術の基本となっている。現在使われているCT・MRI、超音波などの放射線診断の医療機器、装置のほとんどが欧米各国から発明、開発されたものであり、日本発の機器は非常に少ない。唯一日本発の装置として全世界に販売された装置にフジフィルム株式会社の開発

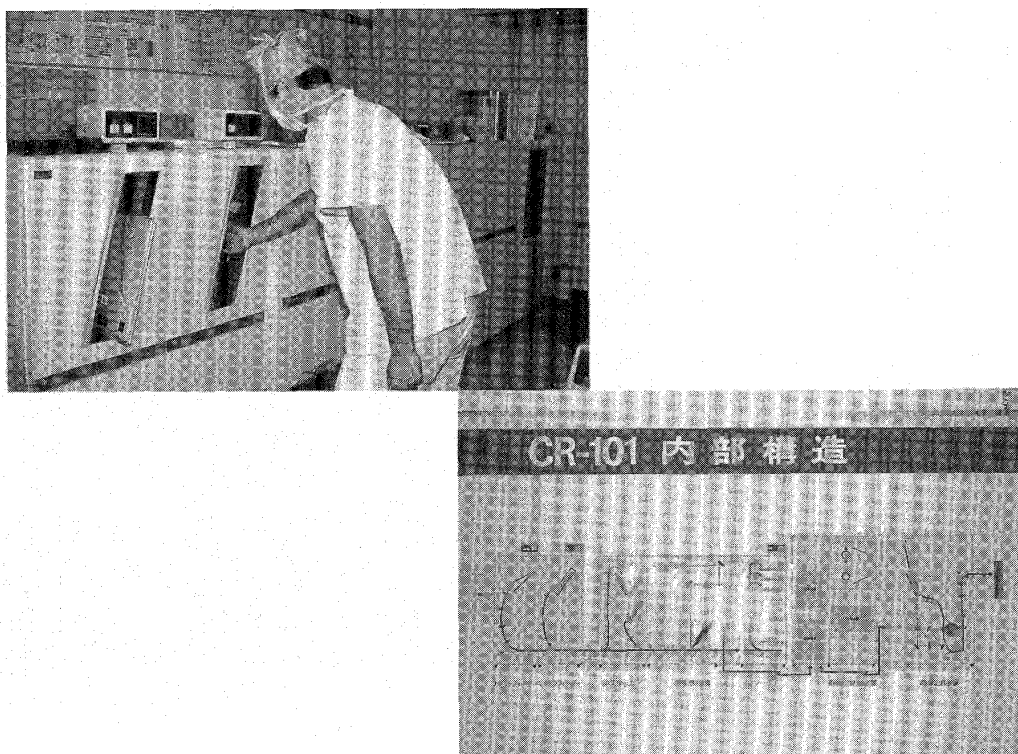


図3. FCR101。1982年国立大学一号機導入時。サブトラクション処理に1シリーズ30分かかった。

したFCRがある。この装置はX線の検出器としてイメージングプレートを用いてその蓄積されたデータをレーザーにて読み出す仕組みで、単純写真領域のデジタル化を成しえた画期的装置である(図3)。現在でも改良が施され、デジタル単純撮影の領域では世界的なシェアを占めている。東北大学に国立大学一号機の臨床試験機が導入され、私が若輩ながら当時の責任者として研究させていただいた¹⁾。被曝線量を軽減し、デジタル画像化することで、データもデジタル保管され、画像ネットワークを可能とすることが期待された。FCRは90年代にCT、MRの開発、普及の影に隠れて、この領域での華々しい進歩はないように思われていた。しかし、研究と開発の方向は現在新たな展開を向かえている。一つは、イメージングプレートのライバルとされる検出器のフラットパネルの出現である。フラットパネルを用いると透視像などがリアルタイムの画像表示が可能となることから、消化管撮影や血管造影などの領域に広まりつつある²⁾。一方、FCRは得意とする空間分解能のさ

らなる向上が進み、特に高精細マンモグラフィーの領域で注目を浴びている。また、デジタル画像の利点を生かした、コンピュータの人工頭脳とを組み合わせた診断支援システム(CAD)の研究、実用化が進んでいる。今後さらに診断能の改善したCADが期待される³⁾。

横断画像診断の進歩

CTは横断画像を撮影できて、濃度分解能が優れる。単純写真では分離できなかった臓器、病変の検出能向上に寄与した。頭蓋内では脳室や脳溝が見事に映し出され、脳腫瘍、血管障害などが診断可能となり、革命的な医学の進歩に寄与したことでノーベル医学生理学賞を受賞した。その後、数多くの技術革新が図られてきた。最近の最も大きな革新はヘリカル技術と多列検出器搭載によるZ軸分解能の向上である。ほぼ等しい等方向ボクセルデータが得られることで、横断画像、冠状断画像、矢状断画像ともに劣化のない画像が可能となった(図4)。そのデータからワークステーショ

Isotropic Voxel Imaging

FOV: 384mm
 X,Y:0.75mm
 Slice Thickness
 (Z):0.75mm

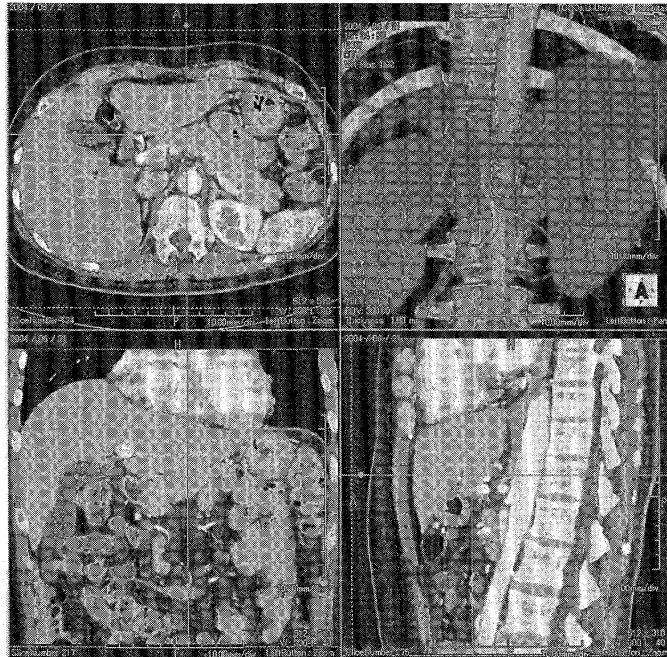
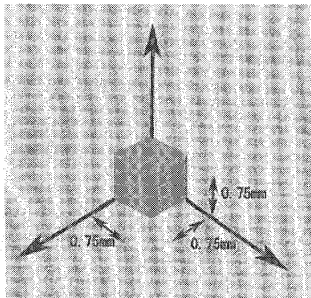
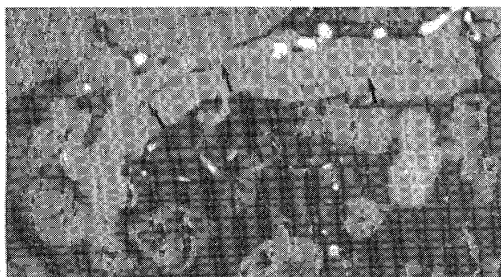


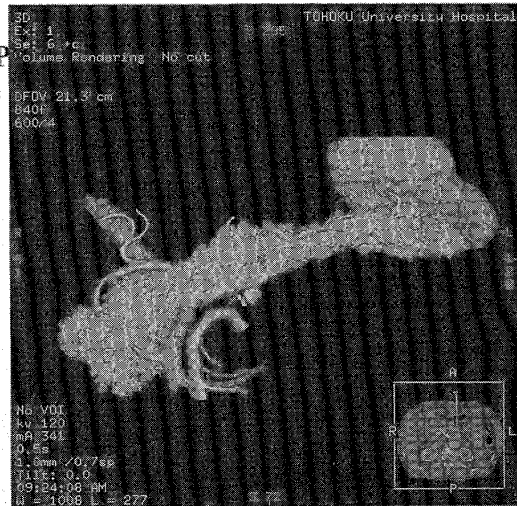
図4. 16列マルチスライスでの等方向ボクセル撮影。横断像，冠状断，矢状断の画像に有意差はない。データからボリュームレンダリングにて腹部の血管像が作成されている。

Postprocessing image technique

- 1) Multi-planar reconstruction (MPR)
- 2) Curved planar reformations (CPR)
- 3) Minimum intensity projection (MinIP)
- 4) Maximum intensity projection (MIP)
- 5) RaySum
- 6) Volume rendering (VR)



CPR



VR

図5. モリウムデータの処理方法。膵臓領域を抽出して主膵管に沿って膵臓を展開 (CPR) した像。膵臓と周囲の血管のみを VR 画像処理した像。

ンを用いてボリュームレンダリング (VR), MIP 画像などの三次元処理が可能になり, CT 血管造影像が作成され, 診断に必要な侵襲的な血管造影検査は激減した (図 5)。同時に放射線診断医の読影環境も大きく変化しようとしている。フィルムでの診断からモニタ診断へと替わり, 動画シネ表示での診断, 三次元ボリューム診断へと変貌しつつある。今後 CT 装置では Z 軸方向の多列チャンネル競争は進むと思われるが, Z 軸分解能の向上はあまり期待できない。コーンビーム型の CT にも限界があるようだ。しかし, 心臓領域での冠状動脈描出能は向上し, 血管造影検査が不要となる日も近いと思われる。

MRI の進歩はどうであろうか。低磁場 (<0.5T) の機種は少なく, 高磁場 MR の普及に向かっている。さらに 3T まで国内では薬事承認され, 販売されつつある。7T は国外では臨床治験が行われている。磁場強度には限界があり, 脳機能の神経走行を表示するような方法, スペクトログラフィーなどの進歩は期待できる。大胆に予想すると, プロトンイメージ以外の原子の画像化が進むのではないだろうか。

画像診断の基本は空間解像度の向上, 濃度分解能の向上, 時間分解能の向上である。CT では空間, 濃度分解能は限界と考えられ, 現在の機種の改良では新たな展開は得られない。時間分解能を上げて被曝量を増やすだけと考えられる。MR 検査では高速撮影, 全身撮影などがさらに進むであろう。

インターベンション技術の進歩

放射線診断技術を用いた治療への応用をインターベンショナルラジオロジーと呼ばれるようになった。低侵襲性でありながら, 外科手術以上の成績が得られたり, また手術できない患者への適応があり, 入院期間短縮, 医療費抑制などの観点からも今後益々期待される領域である。本邦でのインターベンション手技としては肝細胞癌の動脈塞栓療法が幅広く受け入れられている。肝細胞癌の治療法は塞栓療法以外に最近ではエタノール注入療法に替わってラジオ波凝固療法が主流となり

つつある。肝細胞癌治療の領域では内科, 外科, 放射線科などが競合しそれぞれの治療成績を競い合っているのが現状である。転移性腫瘍に関しては従来から局所制御目的に抗がん剤のワンショット動注療法が行われてきた。さらに長時間の持続注入することが大腸癌の肝転移では有効と考えられ, その目的のリザーバ留置術の開発, 薬剤選択が工夫され, 動注療法が盛んに行われている。しかし, 欧米からはランダムトライアルでの客観的な有効性の証明が求められている。出血, 外傷などの止血法としても経カテーテル的動脈塞栓療法が用いられる。特に内視鏡的治療が困難な小腸, 大腸出血, 咯血などには威力を発揮する。門脈圧亢進症に伴う, 食道, 胃静脈瘤からの出血, 難治性腹水治療法としての門脈下大静脈シャント術 (TIPS) は技術的にも難しいが東北地方では唯一東北大のみ良好な成績を上げている方法である。東北大学オリジナルの治療方法としては重症急性膵炎の治療に対する酵素阻害剤動注療法がある。自己融解のリパーゼ融出による悪性連鎖を断ち切りための手段で, 非常に良好な治療率を上げ注目されている⁴⁾。癌治療としての局所動注療法として癌細胞内の局所灌流を高める方法としてレニンによる昇圧化学療法も東北大学オリジナル治療法として泌尿器科領域で良好な成績を取めた。東北大学では広範囲にわたりインターベンションの臨牀を我々のチームが分担してきた, その成果は成書にまとめられ, 本年改定版を出版したので参照願いたい⁵⁾。現在日本で保険未収載であるが欧米では盛んに行われている治療法の一つに子宮筋腫の治療法としての子宮動脈塞栓療法がある。左右の子宮動脈を経カテーテル的に塞栓すると筋腫の血流が減少し, 壊死となり, 徐々に吸収されて過多月経などの症状がなくなる。日本でも婦人科の先生方にも認知されつつある。東北大学病院では産婦人科, 放射線科との共同の臨牀試験として学内倫理委員会からも承認されている。また大動脈瘤, 解離の治療法とし注目されているのがステントグラフト留置術である。この治療法は欧米での外科治療との比較臨牀試験などからその有効性が認められた治療法である。しかし, 治療法は保険

収載されたにも関わらずその器材の薬事承認が日本では遅れ、治療するには現在保険外治療となる。大動脈の膨らんだ瘤を内部から人工血管被覆のステントで治療する方法である。心臓血管外科、移植再建外科、放射線科との共同臨床治験として学内倫理委員会承認の治療法となっている。また、骨粗鬆症の圧迫骨折に対して進行を抑え、疼痛制御

目的に椎体内にセメントを注入する椎体形成術がある。放射線科からの倫理委員会承認の治療法である。このように欧米との保健医療、薬事法などの違いから極端に遅れをとっている領域もある。我々の研究室での基礎実験成果を紹介する。腫瘍に対するターゲット治療法として抗がん剤含有のマイクロカプセルの開発は試作(図6)を行い、動物実験では成果が得られたが、薬事法、安全性試験、薬品購入などの多くの問題点が解決できず商品化がされなかった。悪性胆道閉塞や血管狭窄治療用のインターベンション器材としてセンダイステントを開発した。昨年薬事承認を得て、本年度から販売開始した(図7, 8)。国内初のニチノールの記憶金属材料を用いたステントである。東北工業大学、東北大学工学部、地元企業と宮城県の補助金を受けて開発された。その特徴は拡張性に優れ、蛇行した血管などの追従性に優れた物理特性を有している。現在さらに発展すべき、センダイステントを用いて、薬剤溶出ステント、人工血管被覆ステントの開発を手がけている。日本では医療器具、機械は現在輸入超過となって問題となっている領域である。CTなどの一部の製品が輸出されているものの、高価なステント、カテーテルは大

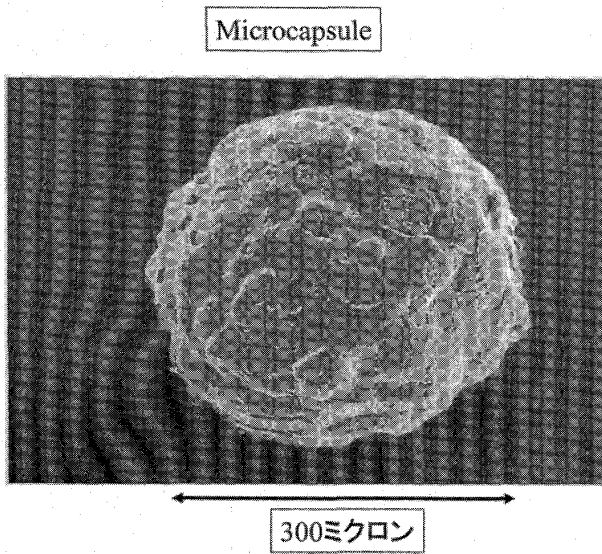


図6. マイクロカプセル電子顕微鏡像

SENDAI STENT

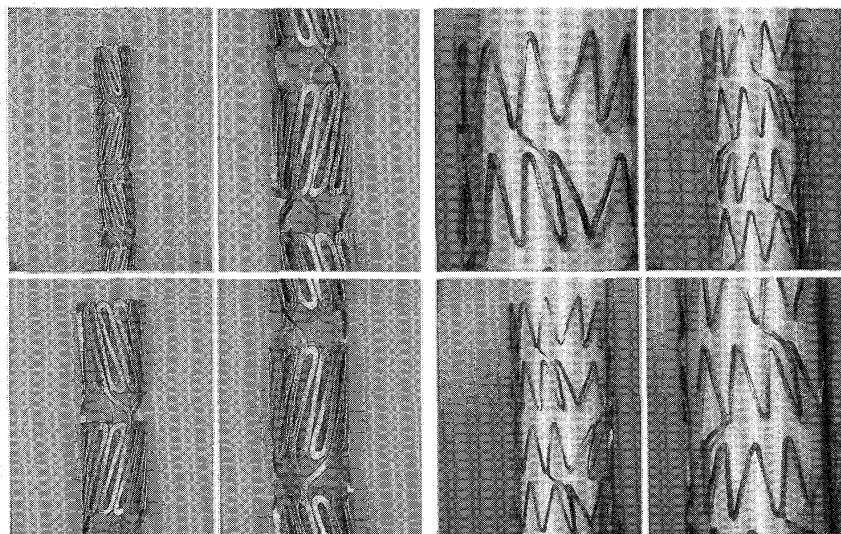
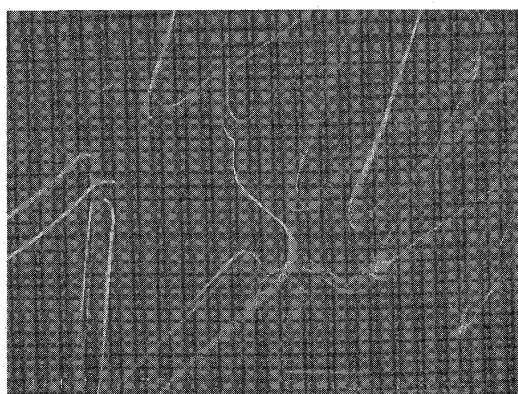
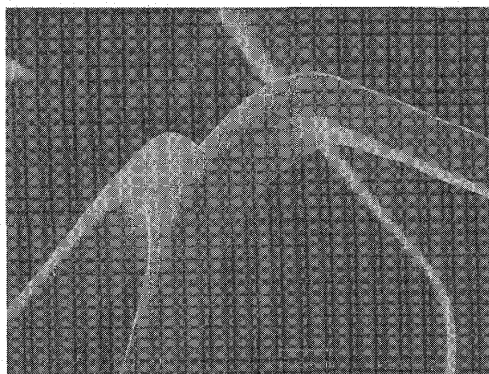


図7. 我々の開発したセンダイステント。ニチノール材料を加工したもの。収縮時は径2ミリで拡張時には6-12ミリに自己拡張する。

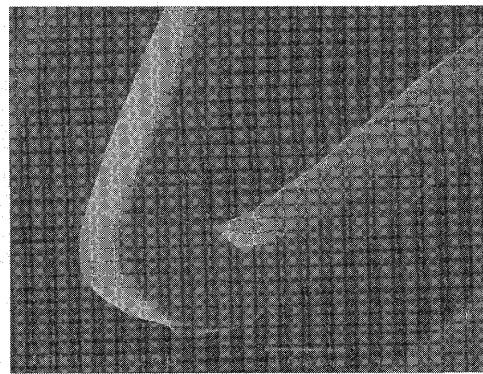


電解研磨後

外観



接合部



端部

図8. センダイステントの電解研磨後の電子顕微鏡像。表面が滑らかになっている。

幅な輸入超過と言われて、国内企業育成が今後の課題である。

医用ネットワークと医療の進歩

放射線領域の共通通信プロトコルは DICOM 3.0 として ACRNEMA 規格で標準化された。モダリティの異なる CT, MR, CR などの画像, 異なる医療機器メーカーであってもこのプロトコルによって送受信が可能となった。病院内のフィルムレス化を図るに非常に都合がよくなった。しかし, まだ多くの問題点がある。シャーカステンに替わる専用の読影端末は高価である。胸部写真を読影するには 3M 以上のモニタが必要といわれ, 乳房用には 5M 以上のモニタが必要といわれている。価格は 3M で 50 万以上, 5M では 100 万以上といわれる。予算のない病院での PACS 化は大変である。しかし, 東北大学では研究用の少ない予

算で民生用モニタを用いて CT, MR の読影端末を試作し, WEB 配信システムを利用した読影法を功逐した(図 9)。専用 DICOM viewer と比較した結果, CT, MR に関しては遜色ない結果を得た。なぜならば CT 画像では一画像は 512×512 マトリックスで, SXGA (1,280×1,024 ピクセル) 表示できる端末では 6 画像がほぼ実寸表示されるからであり, 奥行きも 8 ビット表示され, 輝度も診断に十分と思われた。医用専用モニタとの有意差はないと考えている。マルチスライスなどの診断には動画表示(シネ読影)を必要とするので応答比の改善が求められ, 3M・5M では応答比が逆に劣化する心配がある。また, マルチスライスの大容量のデータをどのように保管するかが大きな問題となっている。HDD が廉価で大容量となっていること, NAS などの技術, 安定性が増したことで今後解決されるものと期待している⁶⁾。このような



フィルムレス読影風景

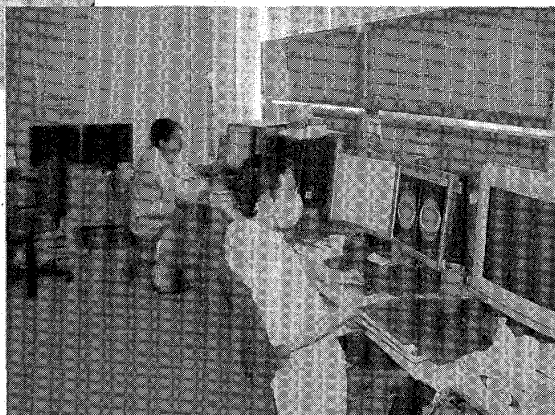


図9. 大学病院での読影風景。フィルムをシャーカステンに投影した読影から PC 端末の液晶モニターを用いたシステムにすでに変更されている。

ネットワークの画像診断の延長上に遠隔医療，遠隔画像診断がある。医療費抑制などから常勤医師を雇えない，または専門が偏るなどの問題点を解決するやめにも数少ない専門医の有効利用という点からも今後世界的規模で発展するものと思われる⁷⁾。

文 献

- 1) 石橋忠司：Fuji Computed Radiography (FCR) の Digital Subtraction Angiography (DSA) への応用，日医放会誌，**45**，1351-1376，1985
- 2) Ishibashi, T.: Evaluation of the clinical image Usefulness of a direct-conversion FPD system in abdominal IVR, Innervision, **1**, 17-18, 2004
- 3) 大内憲明, 石橋忠司：CAD をめぐる国内動向 乳癌検診の現状と CAD への期待，Innervision, **19**，18-21, 2004
- 4) Takeda, K., Mikami, Y., Fukuyama, S., Egawa, S., Sunamura, M., Ishibashi, T., Sato, A., Masamune, A., Matsuno, S.: Pancreatic ischemia associated with vasospasm in the early phase of human acute necrotizing pancreatitis, Pancreas, **30**, 40-49, 2005
- 5) 石橋忠司：改訂版 IVR 一手技，合併症とその対策一，メジカルビュー，東京，2005，p 436
- 6) 石橋忠司：MDCT 撮影での当院における造影剤使用時の工夫とそのポイント 大容量データを有効に生かすための工夫，臨牀画像，**12**，1332-1341，2004
- 7) 大槻昌夫監修，女川テレメディシン研究会編集：地域医療を変える テレメディシン Tele-medicine IT 遠隔医療の実践，東洋経済新報社，東京，2001，p 53-62