

Title	効率的な画像続影のためのDICOM画像表示ソフトウェアの開発および続影業務に必要な分散サーバの評価
Author(s)	石川, 浩太
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2000, 60(14), p. 856-862
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20000
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

効率的な画像読影のためのDICOM画像表示ソフトウェアの開発および 読影業務に必要な分散サーバの評価

石川 浩太

名古屋第二赤十字病院放射線科

Development of DICOM Image Viewing Software for Efficient Image Reading and Evaluation of Distributed Server System for Diagnostic Environment

Kota Ishikawa

To construct an efficient diagnostic environment using computer displays, the author investigated the time of network transmission using clinical images. In our hospital, we introduced optical-fiber 100Base-Fx Ethernet connections between 22 HIS-segments and one RIS-segment. Although Ethernet architecture is inexpensive, the speed of image transmission becomes 2371 KB/sec. (4.6 CT-slice/sec.) in the RIS-segment and 996 KB/sec. (1.9 CT-slice/sec.) from the RIS-segment to HIS-segments. Because one examination is transmitted in one minute, it does not disturb image reading. Otherwise, a distributed server system using inexpensive personal computers helps in constructing an efficient system. This investigation showed that commercially based Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) servers and RSNA Central Test Node servers are not so different in transmission speed.

The author programmed and developed DICOM transmission and viewing software for Macintosh computers. This viewer includes two inventions, dynamic tiling window system (DTWS) and window binding mode (WBM). On DTWS, windows, tiles, and images are independent objects, which are movable and resizable. The tile-matrix is changeable by mouse dragging, which realizes suitable tile rectangles for wide-low or narrow-high images. The arranging window tool prevents windows from scattering. Using WBM, any operation affects each window similarly. This means that the relationship of compared images is always equivalent. DTWS and WBM contribute greatly to a filmless diagnostic environment.

Research Code No.: 220.9, 208.9

Key words: DICOM image viewer, Macintosh computer, PACS, Filmless diagnosis, Network

Received June 16, 2000; revision accepted Sept. 1, 2000
Department of Radiology, Nagoya Daini Red Cross Hospital

別刷請求先
〒466-8650 名古屋市昭和区妙見町 2-9
名古屋第二赤十字病院放射線科
石川 浩太

はじめに

近年、コンピュータ、ネットワーク技術の発達は目覚ましく、来るべきfilmless時代にそなえ、画像診断を取り巻く環境は、変容を迫られている。しかし、放射線科医として満足の得られるfilmless診断環境を構築することは至難の業である。また、今までつちかわれてきたシャウカステンを用いた読影システムと、cathode ray tube (以下、CRT)を用いた読影システムでの、相違が大きく、filmless診断に移行しづらいことも事実である。コンピュータ操作が加わるため、読影時間の延長や疲労度の増大により、読影効率は低下することが予想される。操作に伴い、注意力が分散し、読影精度(十分なレポートが作成できるか)が落ちることも危惧される。本論文の趣旨は、これらの問題点に対する解決方法を、いくつかの実験をまじえて検討し、さらに、CRT上診断に特化したdigital imaging and communications in medicine (以下、DICOM)画像表示ソフトウェアを企画からプログラミングまでのすべてを自己開発し、次世代のfilmless読影環境を整えることである。

方 法

今回、取り組んだ課題は大きくわけて以下の4点である。

1. 病院ネットワークの構築
2. 医療画像保存サーバの構築
3. 医療画像表示端末への画像提供の方法と画質の選択
4. CRT上診断に特化した画像表示ソフトウェアの自作開発

1. 病院ネットワークの構築
当院はベット数850床の大病院である。1997年、病院を23セグメントに分割し、中央に2台のrouting switchを配置するスター型ネットワークの構築を行った(Fig. 1)。各セグメントにswitching hubを設置し、routing switchと2系統の100 Base-Fx Ethernet光ファイバーケーブルで結んだ。hospital information system segment (以下、HISseg.)では端末を10Base-T Ethernetにて接続し、radiology information system segment (以下、RISseg.)では、PACS機器を100Base-Tx Ethernetにて接続した。

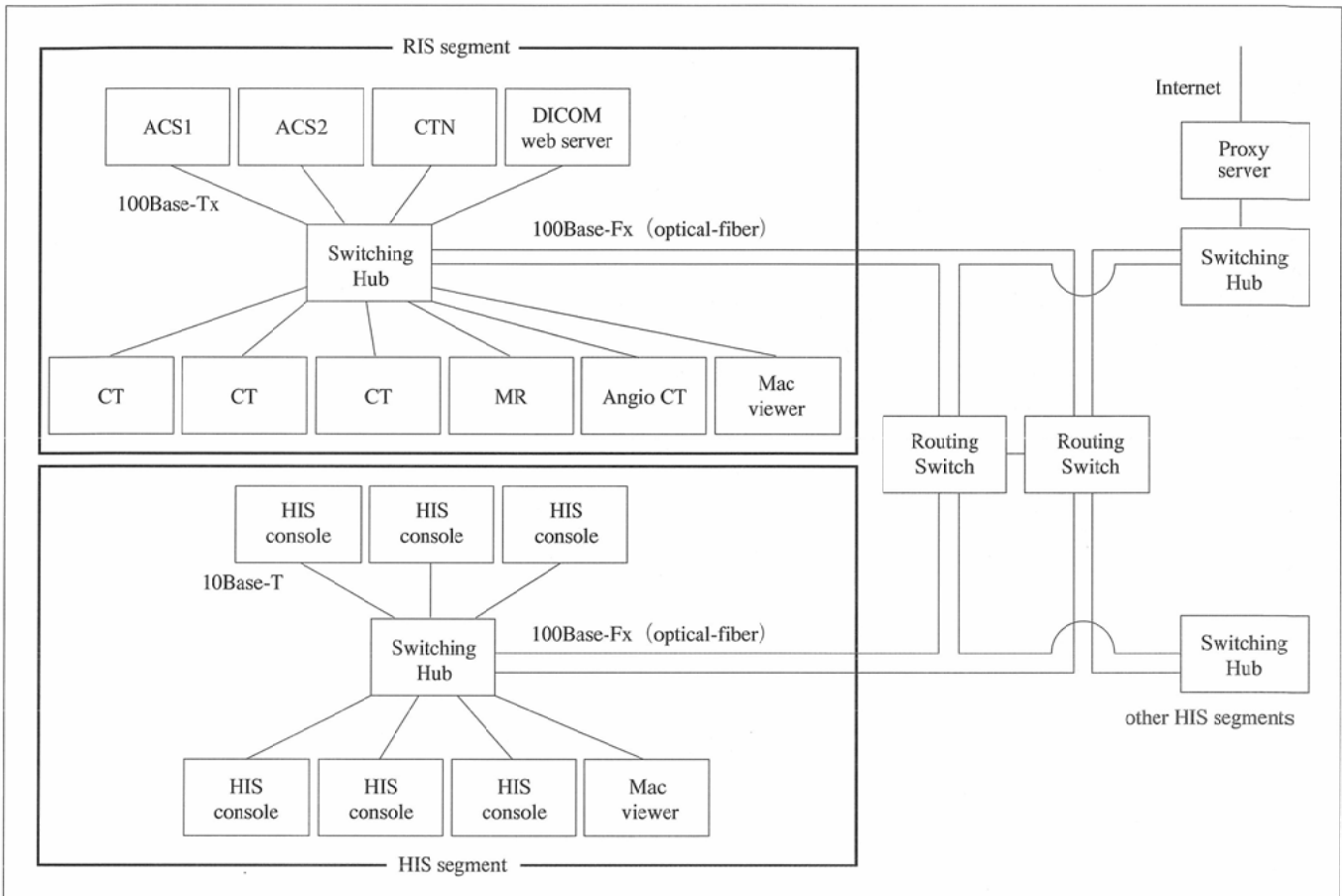


Fig. 1 Hospital-wide network profile.

There are 23 segments and 400 HIS consoles in our hospital network.

ACS: DICOM server by GE Yokogawa Medical Systems.

CTN: RSNA Central Test Node DICOM server.

2. 医療画像保存サーバの構築

RISseg. に Advantage Cluster Storage DICOM server (GE 社) (以下, ACS) 2 台, RSNA Central Test Node DICOM server (以下, CTN) および DICOM 画像配信 web server を設置した (Fig. 1). ACS1 は 1998 年に導入され, 60GB の disk array および CD-R changer (以下, CD-R) (300 枚) の構成で, 3 台の CT 画像の保存を担当する. ACS2 は 1999 年に導入され, 33GB の disk array および CD-R (300 枚) の構成で, MR および angiography-CT の画像保存を担当する. CTN (バージョン 2.11.2) のスペックは 200MHz pentium processor, 48MB のメモリー, 1 GB の内臓 hard disk (以下, HD), OS は Red Hat Linux 6.1 である. CTN は自作で構築を行ったが, 数万円の費用と, 2 週間の期間を要したのみであった.

ネットワークの評価のため, ACS から RISseg. の Macintosh (以下, Mac) viewer (100Base-Tx 接続) への転送時間および ACS から HISseg. の Mac viewer (10Base-T 接続) への転送時間の計測を行った (実験 1-a). DICOM サーバの性能比較のため, ACS から Mac viewer への転送時間および CTN から Mac viewer への転送時間の計測を行った (実験 1-b). 実験には HD 保存の画像, 27 症例 27 検査 (9 分類) を使用した. ACS について, CD-R 保存と HD 保存の画像, 27 症例 27 検査 (9 分類) の転送時間の比較計測も行った (実験 1-c). 実験 1-a, b, c はいず

れも同一検査にて評価を行った. 計測は平日の午後, ネットワークトラフィックは平均的な状態で測定を行った. CT は 16bit 512 × 512 マトリックス (524KB), MR は 16bit 256 × 256 マトリックス (136KB), 血管造影は 16bit 1024 × 1024 マトリックス (2MB) の DICOM 非圧縮画像を使用した.

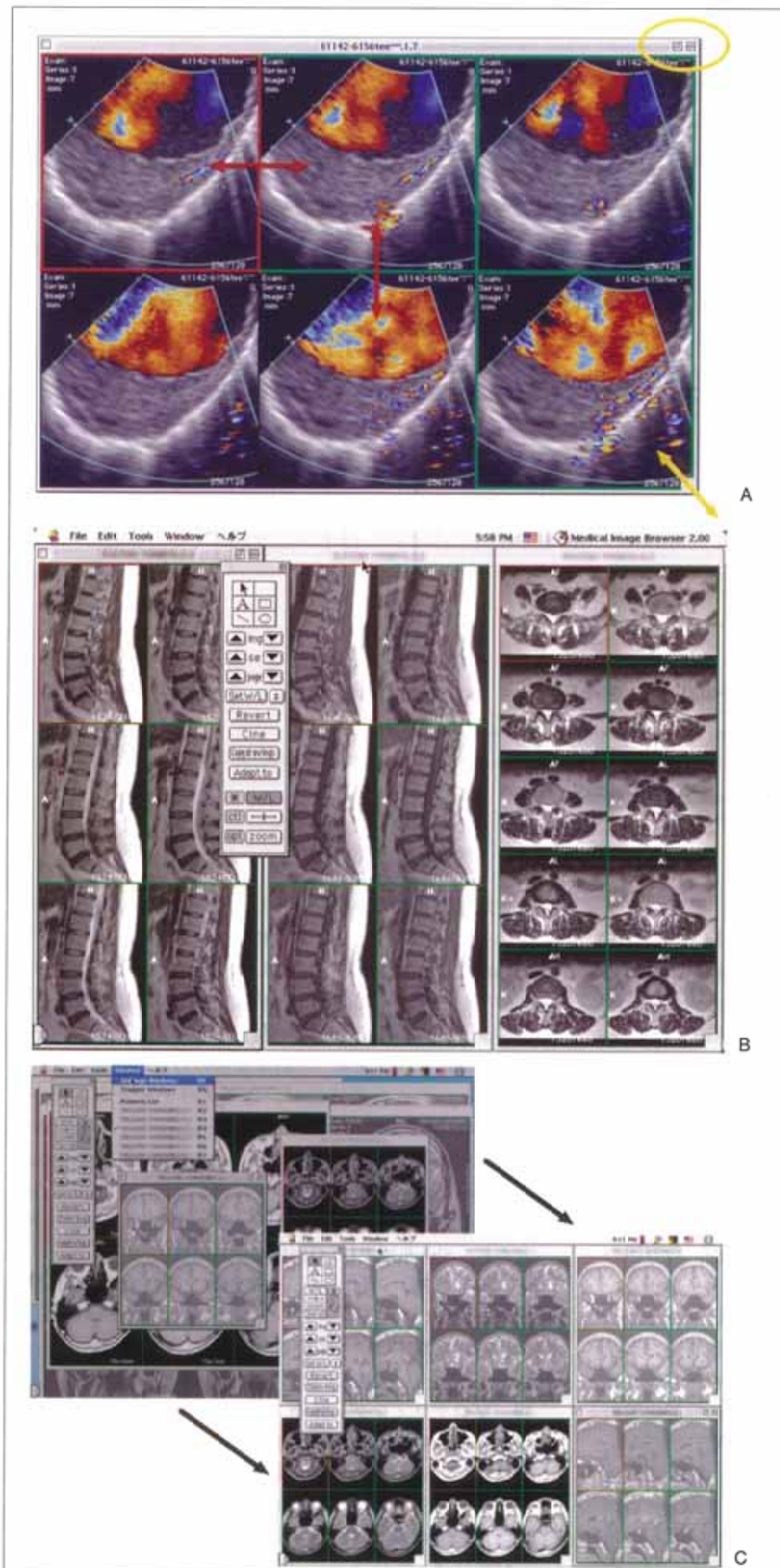
3. 医療画像表示端末への画像提供の方法と画質の選択

RISseg. への画像提供は, 各モダリティともに非圧縮 DICOM 画像を採用した. DICOM viewer は, 前述の Mac viewer (Medical Image Browser), Applicare 社 Radworks および Advantage Workstation (以下, AW) を設置した. HISseg. には, 限られた DICOM viewer 以外, 各モダリティともに, 8bit 非可逆 JPEG 画像を web 配信した.

4. CRT 上診断に特化した画像表示ソフトウェアの自作開発

Mac 用 DICOM 転送ソフトウェア DICOM Transporter (以下, DT), DICOM 画像表示ソフトウェア Medical Image Browser (以下, MIB) を独自に開発した¹⁾. DT, MIB は, 企画, プログラミング, 評価, 改良のすべてを自ら行っているオリジナル作品である. 開発環境は Code Warrior IDE 4.04 であり, Power Plant と称するオブジェクト指向のアプリケーションフレームワークを使用した. 以下はすべて今回開発し, 機能を付加した点である.

MIB には, 従来の viewer の問題点を解決すべく, dynamic



tiling window system (以下, DTWS), window binding mode (以下, WBM) という独自の新技術を盛り込んだ。DTWSとは, window, tile, image を一つ一つのオブジェクトとして独立させ, 個々のオブジェクトの自由な移動やサイズ変更を可能としたシステムである (Fig. 2)。window が tile を内包し, tile が image を内包し, 親オブジェクトの変更が子, 孫オブジェクトに反映される。例えば, window のサイズが変更されると, tile およびその内部の image サイズも自動的に調整される (Fig. 2A)。また, window の tile マトリックスをマウスドラッグにより変更可能で, 縦長あるいは横長の画像にも最適な表示レイアウトが選択可能である (Fig. 2B)。window は複数に開くことが可能で, これらを整頓するツールにより window の散乱もおこらない (Fig. 2C)。シフトキーを押している間, WBM となり, 表示されているすべての window が連動する (Fig. 3)。ズームing, シネ, ページングなど, あらゆる機能が複数の window に連動し適応される。

Fig. 2 Dynamic Tiling Window System. A: Zooming window by sizebox (yellow arrow) and maximizing window by zoombox (yellow circle) are the same as other Macintosh applications. Active tiles are framed in red, and selected tiles are framed in green. The tile matrix can be changed by mouse dragging (red arrow). B: Multi-window display. Suitable tile rectangles for clinical images are realized. C: Arranging window tool prevents windows from scattering.

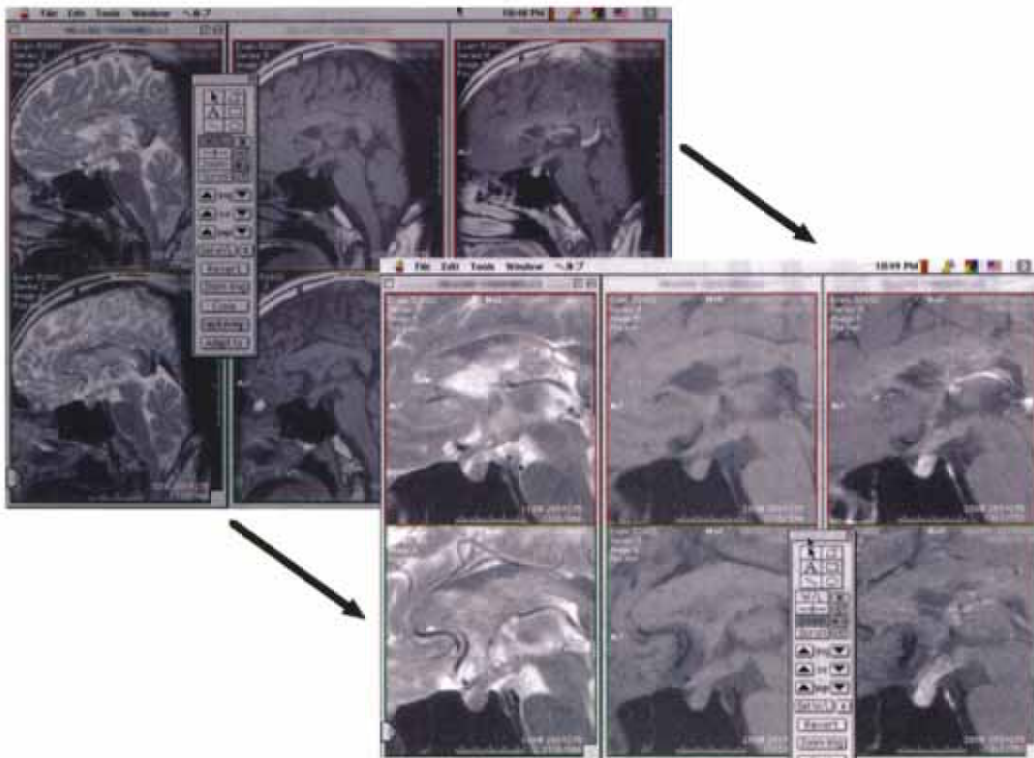


Fig. 3 Window Binding Mode (WBM). Using WBM, zooming, roaming, and other operations affect all windows in the same way.

MIBにおいて、35症例35検査(7分類)の臨床画像につき、DTWSの機能を使用した場合と、機能を制限した場合の画像表示面積の差を下式にて評価した(実験2)。

$$\text{有効画像面積率} = \frac{\text{画像表示数} \times \text{画像の拡大率(面積比)} \times \text{画像ピクセル数}}{\text{CRTピクセル数}} \times 100(\%)$$

さらにAW, RadworksおよびMIBの操作性を同一6症例にて評価した(実験3)。下記の作業に伴う操作数をマウスクリック1点、キー操作1点、マウストラッグ2点、メニュー操作2点として合計点を評価した。

1. 画像をシリーズごと、独立したwindowもしくは領域に表示する。
2. すべての画像が観察できるようにタイルマトリックスを変更する。
3. 1シリーズを全画面拡大して表示する。
4. 参照画像と読影画像を独立したwindowもしくは領域として左右に並べる。
5. 参照画像と読影画像の拡大率、スライス平面を合致させる。
6. 参照画像と読影画像ともに1画像のスタック表示に切り替える。
7. 参照画像と読影画像を連動させページングを行う。
8. 参照画像と読影画像を連動させ病変部を拡大表示する。

結 果

実験 1

画像転送時間をノード別、検査分類別にグラフに示す(Fig. 4)。実験1-aの結果をFig. 5に示す。Wilcoxon検定の結果、ACS-RISseg.間の転送速度とACS-HISseg.間の転送速度には有意差があり、約2.4倍RISseg.内の転送が高速で

あった。

実験1-bの結果をFig. 6に示す。ACSとCTNの画像転送速度には有意差があり、ACSが1.1倍高速であった。今回組み上げたCTNは能力の低いものであったが、ACSとの差は非常に小さい結果となった。HISseg.においては、両者ともネットワークの理論性能の8割近い速度に達し、ネットワーク性能がボトルネックとなることを示している。

実験1-cの結果をFig. 7に示す。HD保存画像とCD-R保存画像の転送速度には有意差があり、HD保存画像の転送が6.7倍高速であった。CD-Rの場合、CD-ROMのチェンジングのためseektimeが長い。これを差し引いた転送速度とHD保存画像の転送速度にも有意差があり、HD保存画像の転送が3.7倍高速であった。CD-Rのseektimeは平均49(S.D.1.8)秒であった。

実験 2

結果をFig. 8に示す。Wilcoxon検定の結果、DTWSを使用する場合と制限した場合で有効画像面積率に有意差がみられた。DTWSを使用すると約1.4倍有効画像面積が増加した。

実験 3

結果をFig. 9に示す。Wilcoxon検定の結果、Radworks-MIB, AW-MIB間の点数に差がみられ、MIBにおいて操作数が有意に減少した。RadworksとAWでは、参照画像と読影画像の拡大率を完全に一致させることは難しく、連動させたページング、病変部拡大機能もない。MIBではDTWSにより、画像表示形態を簡単に变化させることが可能であったが、他のviewerは、多くのメニュー操作やダイアログ操作を必要とした。

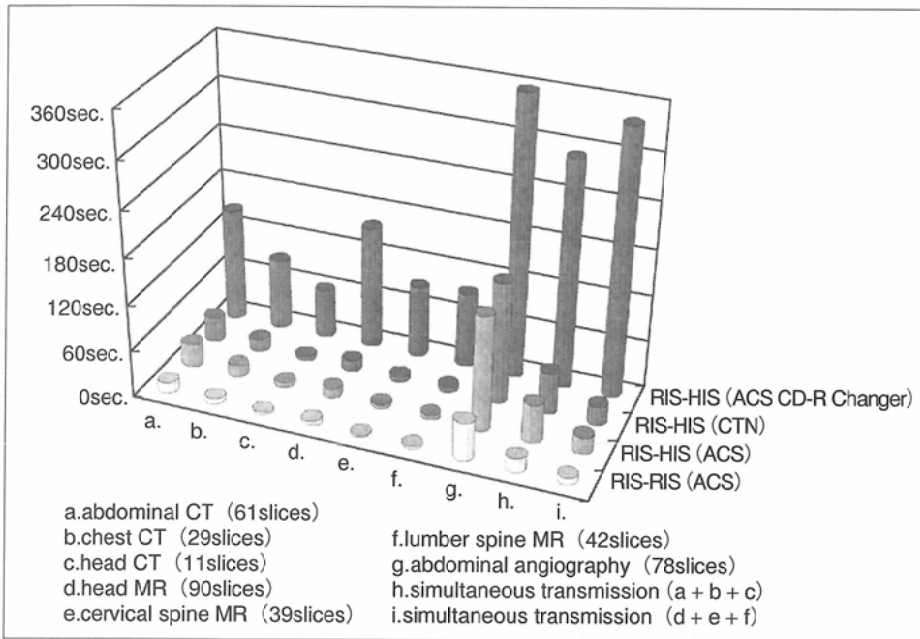


Fig. 4 Transmission time of clinical examinations from DICOM servers to Macintosh viewers. ACS: DICOM server by GE Yokogawa Medical Systems. CTN: RSNA Central Test Node DICOM server.

考 察

1. 病院ネットワークの構築

実験 1-aの結果で示したように、RISseg.内の画像転送速度は2371KB/sec.(18.5MBit/sec)であり、セグメント間の画像転送速度は996KB/sec.(7.8MBit/sec)であった(Fig. 5)。CT画像に換算すると4.6枚/sec, 1.9枚/secとなり、filmless診断に十分対応できる環境が構築できた。RISseg.内では、理論値のおよそ2割の速度にとどまったが、ネットワークがACSサーバやMac viewerの能力を上回っているためと考えられた。現時点では、幹線光ファイバーへの負荷は少なく、安価なEthernet型幹線でもコリジョンが最小限であったため、HIS seg.へは理論値のおよそ8割の限界に近い速度が得られた。将来、HIS seg.へDICOM非圧縮画像の配信が行われた場合には、既設の光ファイバーを用いて、さらに高速、インテリジェントな、fiber distributed data interface (FDDI)やasynchronous transfer mode (ATM)ネットワーク技術の導入^{2),3)}を、考えている。各セグメントにおいて、整備の初期段階から不要なhubカスケードが排除された計画的な配線が行われており、セグメント中央にswitching hubを配し、パケットの垂れ流しを防いでいる点も、速度向上に貢献している。

2. 医療画像保存サーバの構築

filmless診断に際し、画像転送速度は、直接読影業務の効率を左右する。ACS, CTNのHD保存のMR, CT検査はすべて1分以内に転送でき(Fig. 4)、読影への支障はほとんどない。これに対しCD-R画像は、1検査1分以上を要し、CD-Rへのアクセスが同時に複数重なる、数分ウエイトがかかることもある。

CD-Rへのアクセス時間を省くため、夜間に次の日の検査の参照比較画像をあらかじめ端末に転送しておくprefetchが、解決の手段として考えられるが、これにはHIS-RIS情報が必要である。しかし、HIS-RIS情報のPACSへの受け渡し方法は確立されて間がなく⁴⁾既存のシステムを使用する当院ではいまだに実現がなされていない。ACS1のHD保存は2カ月分にとどまり、60GBのHDは現時点では少なく増設が必要である。しかし、造設を繰り返す手法はデータ量の増大とともにいつかは破綻する⁵⁾。

今回の実験1の結果が示す通り、商用DICOMサーバとCTNでは能力差が少ない結果となった(Fig. 6)。もちろん、高速ネットワーク環境では、この差は大きくなる

に違いないが、CTNでも、disk arrayを組み込むことにより、商用DICOMサーバと同様の能力のシステムを構築することも可能である。また、実験1-cの結果の通り(Fig. 7)、CD-Rの能力の低さが露呈しており、CD-Rはあくまで、アーカイブ専用を使用することが望ましい。大容量で高速な保存モダリティとして、digital linear tapeの導入も考えられるが、現状では高価な製品が多い。サーバに高価なワークステーションは必要なく、安価なサーバを複数立ち上げ、分散サーバシステムを構築することで、1台の高性能サーバの能力を上回る環境を構築できる⁶⁾。近年、画像保存サーバを手掛けるベンチャー企業が増えており、personal computer(以下、PC)ベースの安価でよりよいシステムを構築することが可能である。また、画像保存にJPEG可逆圧縮等の技術

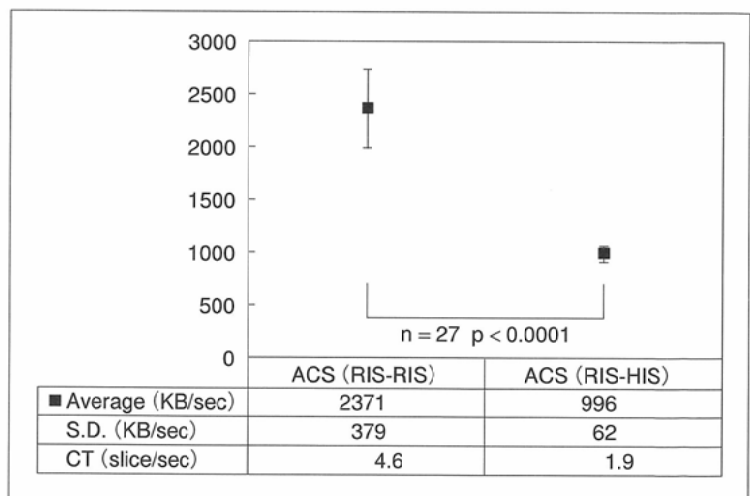


Fig. 5 Speed of image transmission from the RIS ACS to the RIS Macintosh viewer and to the HIS Macintosh viewer. ACS: DICOM server by GE Yokogawa Medical Systems.

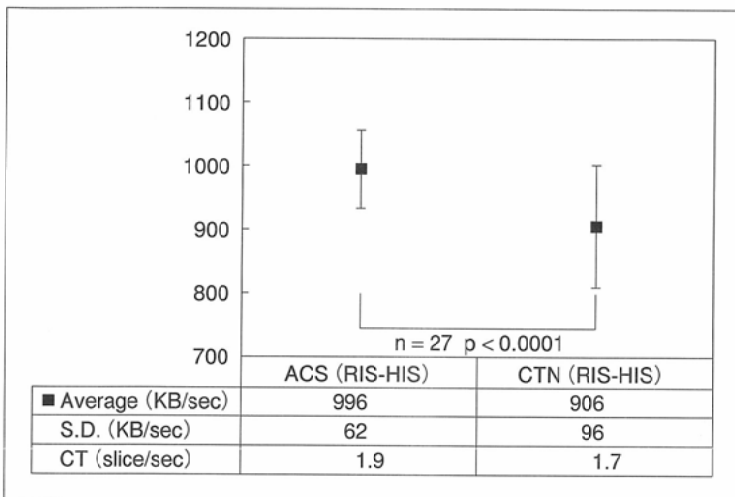


Fig. 6 Speed of image transmission from the ACS and the CTN to the Macintosh viewer.

ACS: DICOM server by GE Yokogawa Medical Systems.
CTN: RSNA Central Test Node DICOM server.

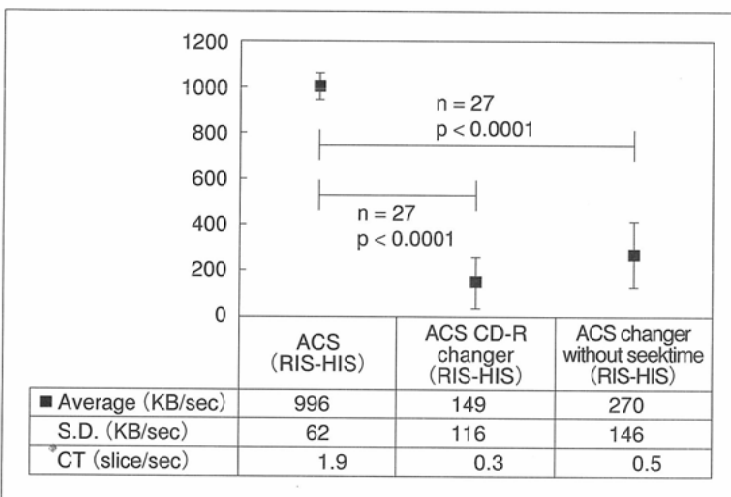


Fig. 7 Speed of image transmission from the ACS to the Macintosh viewer. Comparison of the performance of hard-disk and CD-R changer.
ACS: DICOM server by GE Yokogawa Medical Systems.

を用いることもHD資源の有効利用となる。

3. 医療画像表示端末への画像提供の方法と画質の選択

前述の通りRISseg.へはDICOM非圧縮画像を配信した。しかし、血管造影などの大容量の画像はRISseg.内においても、画像転送に時間を要した(Fig. 4)。データ量の大きい血管造影やCR画像は、保存媒体やネットワークの資源の有効利用、転送時間の短縮のために、DICOM JPEG非可逆圧縮の採用が有効な手段と考えられる。1/10程度の圧縮で1検査あたりのデータ量はCT, MRとほぼ同等になり、同様の環境が実現できる。この程度の画像圧縮では実際の読影に支障はない⁷⁾。HISseg.へのweb配信は、既存のインターネット技術を用いるため、HIS端末を有効に利用でき、低コストなシステム構築が可能である^{8),9)}。しかし、8bit-JPEGの圧縮画像は階調表現に乏しく、また肺野CTなどの高コントラスト画像には不向きである。したがって、参照程度の運用が無難であり、filmless化に際しては、

HISseg.にも非圧縮画像をweb配信するか、DICOM viewerの導入が必要となる。

4. CRT上診断に特化した画像表示ソフトウェアの自作開発

われわれが日々操作するviewerの出来、不出来が、直接、読影の能率と質に影響を与えるが^{10),11)}、この発展は立遅れている。本当にCRT上診断に必要なviewer機能は、実際に業務を行っている者しか、理解できない点があり、これを開発者に伝えることは困難を極める。そのため、シャカステンを使用する操作性に近い読影環境を、CRT上に実現できないかと考え、DTWS, WBMを考案した。DTWS, WBMはともに独自の発案であり、アルゴリズムの開発、プログラミングも自ら行った。

環境整備のためCRTを増やすことは、コスト的問題、人間への負荷の問題(4台のモニターを横1列に並べると両端のCRTではポインターの位置すら分からない)があり、2~3台程度が適当と考えられる。限られた投影面積を最大限いかすために、DTWSが有用となる。DTWSを使用することにより、例えば脊椎MRの矢状断像のように縦長の画像はそれに合わせて表示が可能となった(Fig. 2B)。同じCRTで他のviewerよりも面積比で1.4倍の拡大表示が可能であり(Fig. 8)、CRTの空間分解能の低さを補うことができる。従来のviewerでは、画像のクローズアップをしたり、タイルマトリックスを変更する時に、煩雑な手続きが必要であるが、DTWSでは、簡単なマウス操作で画像表示を動的に自在に変化させることが可能となった(Fig. 2)。非常に多彩な画像表示が可能で、読影に最適なレイアウトを簡単に作り出せる。さらにこのレイアウトを動的に変更しながら読影が可能である。

WBMは比較読影の強力支援ツールであり、読影画像と参照画像を並べての読影が可能である(Fig. 2)。

両画像のFOVが異なっても、実サイズ(スケール)が同一になるよう自動調整されるため、視覚的に大きさの比較が可能である。スライスのずれ、画像の位置のずれも、手動で補正ができる。WBMを応用し、T1強調画像、T2強調画像、造影画像を並べて表示し、3つのwindowをリンクさせて病変部位を拡大することもできる(Fig. 3)。3つの画像の相対関係が崩れないため、細かい信号パターンの評価も容易である。WBMの使用により、従来のviewerやフィルムでは不可能な比較読影が可能となった。

DTWSとWBMの併用により、他のviewerと比し、明らかに操作効率(時間、疲労度をふくめて)は改善した(Fig. 9)。十分なトレーニングを行い、読影全体にかかる時間の計測も行う予定である。操作から解放されることにより、画像に集中でき、読影自体の高効率化、精度(十分なレポートが作成できるか)の向上も期待される。本ソフトウェアは<http://www1.odn.ne.jp/cak42860>にて機能限定版が公開されている。

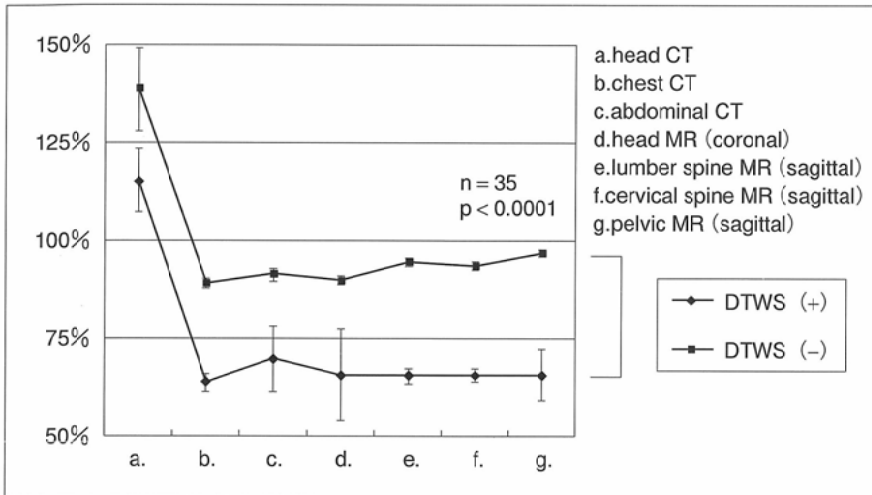


Fig. 8 Comparison of effective image area with and without Dynamic Tiling Window System (DTWS).

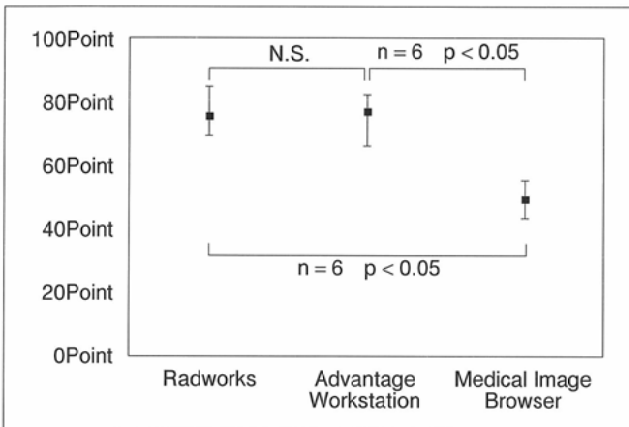


Fig. 9 Comparison between three DICOM viewers in terms of mouse pointing and keyboard handling.

結 論

1. 比較的安価なEthernet型の病院ネットワークを構築し、DICOM画像保存サーバを設置した。HD保存のCT、MR画像は1検査1分以内にネットワーク転送が可能であり、filmless診断にも耐え得る環境が実現できた。
2. 安価なPCベースの画像保存サーバでも画像転送速度に大きな差がないため、これらを用いて、分散サーバシステムを構築することは快適な画像診断環境を得る、1つの手段となる。
3. DICOM画像表示ソフトウェアMIBを自作開発した。MIBにDTWSという独自の概念を盛り込むことにより、

window, tile, imageを動的に変化させながら読影することが可能となり、CRTを用いた画像診断システムの高効率化がはかられ、読影医の労力の軽減がなされた。

4. MIBにWBMという独自の概念を盛り込むことにより、読影画像と参照画像の相対関係を崩すことなく比較読影が可能となった。これは従来のフィルムやviewerでは不可能な手法で、比較画像のスケールも同一化されるため、大きさの比較の精度は高まった。

謝辞

稿を終えるにあたり、懇切なるご指導をいただきました名古屋市立大学放射線医学教室大場 覚教授に厚く御礼申し上げます。また、本研究に際し終始ご協力、ご助言をいただいた同教室の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

なお、本論文の趣旨の一部は第59回日本医学放射線学会 JMCP CyberRad (2000年、横浜)にて発表した。

文 献

- 1) 石川浩太, 荻野浩幸, 浅井龍二, 他: Macintosh computer用DICOM画像の表示ソフトウェアの開発. 日本医放会誌 60: 48-50, 2000
- 2) Kimura M, Tani S, Baatar S, et al: Implementation of multi-vendor DICOM standard image transfer in hospital wide ATM network. Comput Methods Programs Biomed 57: 85-89, 1998
- 3) Pelikan E, Ganser A, Kotter E, et al: Experience with PACS in an ATM/Ethernet switched network environment. IEEE Trans Inf Technol Biomed 2: 26-29, 1998
- 4) Catherine C: A literature review on communication between picture archiving and communication systems and radiology information systems and/or hospital information systems. J Digit Imaging 12: 138-143, 1999
- 5) Bookman G, Baune D: A case for automated tape in clinical imaging. J Digit Imaging 11 (3 supply 1): 42-45, 1998
- 6) Wu TC, Lee SK, Peng CH, et al: An economical, personal computer-based picture archiving and communication system. Radiographics 19: 523-530, 1999
- 7) Smith I, Roszkowski A, Slaughter R, et al: Acceptable levels of digital image compression in chest radiology. Australas Radiol 44: 32-35, 2000
- 8) Fernandez-Bayo J, Barbero O, Rubies C, et al: Distributing medical images with internet technologies: a DICOM web server and a DICOM java viewer. Radiographics 20: 581-590, 2000
- 9) Benett WF, Spigos DG, Tzalonikou MT, et al: Web-based viewing of picture archiving and communications systems images-Part II: The effect of compression on speed of transmission. J Digit Imaging 12 (2 supply 1): 116-118, 1999
- 10) Hirota H, Shimamoto K, Yamakawa K, et al: Clinical evaluation of newly developed CRT viewing station: CT reading and observer's performance. Comput Med Imaging Graph 19: 281-285, 1995
- 11) Honea R, McCluggage CW, Parker B, et al: Evaluation of commercial PC-based DICOM image viewer. J Digit Imaging 11 (3 supply 1): 151-155, 1998