

超高速ネットワークを利用する遠隔病理診断システムの開発

永田 宏^{1,3)}, 櫻田 武嗣²⁾, 木俣 豊¹⁾, 勝本 道哲²⁾, 浅見 徹³⁾, 中川 晋一¹⁾,

独立行政法人通信総合研究所 次世代インターネットグループ¹⁾

〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

TEL/FAX: 042-327-7537/6902: Email: {kidawara, snakagaw}@crl.go.jp

独立行政法人通信総合研究所 超高速ネットワークグループ²⁾

TEL/FAX: 042-327-7537/6902: Email: {take-s, kasumoto}@crl.go.jp

(株)KDDI 研究所 高信頼 IP ネットワーク技術プロジェクト³⁾

〒356-8502 埼玉県上福岡市大原 2-1-15

TEL/FAX: 0492-78-7303/7510: Email: {hi-nagata, asami}@kddilabs.jp

要旨:日本における遠隔病理診断と遠隔顕微鏡のニーズに関して厚生労働省の統計データ等を用いて分析した。また既存の遠隔顕微鏡の欠点である動画伝送を克服するために、DVTS および D1 over IP を利用した新しい遠隔顕微鏡システムの開発を行った。CEATEC2001 等の実験を通して、本システムの実用性を確認しつつある。DVTS は遠隔病理診断のみならず、超音波検査や内視鏡検査の遠隔診断にも活用できる可能性がある。

キーワード: DVTS、D1 over IP、遠隔病理診断、遠隔顕微鏡

Development of Remote Microscope System using DVTS and D1 over IP over the Broadband Internet

Hiroshi Nagata^{1,3)}, Takeshi Sakurada²⁾, Yutaka Kidawara¹⁾, Michiaki Katsumoto²⁾,
Tohru Asami³⁾, and Shin-ichi Nakagawa¹⁾

Next Generation Internet Group, Communications Research Laboratory¹⁾

Broadband Internet Group, Communications Research Laboratory²⁾

High Quality Internet Project, KDDI R&D Laboratories Inc. ³⁾

Abstract: We analysed the status and needs of intra-operational pathological diagnosis using statistical data of Health, Labor and Welfare Ministry and Pathological Society of Japan. And then we designed and implemented a new remote microscope system by which pathologists can observe remote samples with controlling a remote microscope under real-time motion picture condition. The real-time picture transmission protocol we used are the DVTS and the D1 over IP. Through several experiments, we conformed our system could be a killer application to the conventional telepathology systems.

1. はじめに

遠隔地の顕微鏡から送られてくる病理標本の映像を観察して診断を行う行為は遠隔病理診断(テレパソロジー: telepathology)と呼ばれている。またそのための遠隔顕微鏡システムを遠隔病理診断システム(テレパソロジーシステム)と呼ばれている。本研究で我々は超高速インターネット回線を使った遠隔病理診断システムを開発した。本システムは遠隔地の顕微鏡をリアルタイムで遠隔操作し、リアルタイムの病理標本映像を観ながら遠隔病理診断を行うことを可能にするものである。

2. 遠隔顕微鏡

遠隔顕微鏡システムの研究の歴史は古く、すでに 1950 年代末から北米を中心に試みられてきた。もっとも古い遠隔顕微鏡システムの実験はアメリカのローガン空港診療所と XX 大学で行われた。空港診療所に置かれた顕微鏡に TV カメラを装着し、100Km 離れた大学にケーブルで映像を送送するというものであった。その後改良を加えられつつ世界各地で様々なシステムが開発されたが、1980 年代半ばに至るまでは撮像方式、伝送方式ともほとんど変化は見られなかった。

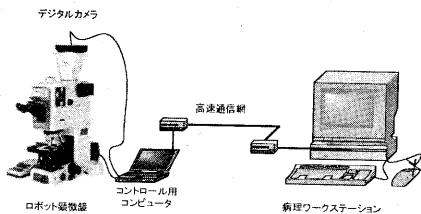


図 1. 現代的遠隔顕微鏡システムの概念

しかし 1987 年、Weinstein らによって斬新なシステムコンセプトが提唱された。彼らは、遠隔顕微鏡を次の 4 つの機能から構成されるべきだと提案した。

- (1) リモートコントロール可能なロボット顕微鏡
- (2) ロボット顕微鏡に装着するデジタル映像装置
- (3) 顕微鏡のデジタル映像をリアルタイムで伝送するためのデジタル通信網
- (4) ロボット顕微鏡を遠隔操作し、また顕微鏡からのデジタル映像を表示するための病理ワークステーション。

これらの条件を図に示すと図 1 のようになる。1980 年代末から 1990 年代にかけてこの要件に沿った様々なシステムが開発されてきた。しかし条件 (3) を経済的にクリアすることが困難であったため、多くのシステムはリアルタイム動画伝送を諦め、静止画伝送を採用した²⁻⁴⁾。

しかし静止画環境下では顕微鏡を自在に遠隔操作することが困難であるため、ほとんどのシステムは実験段階に留まり、また一部のシステムは企業によって商品化されたものの、いまだ広範な普及を見るに至っていない。

そこで今回の研究では、高速通信網として研究開発用ギガビットネットワーク (JGN: TAO) を使い、デジタル映像システムとして DVTS および D1 over IP を用いた遠隔顕微鏡システムの開発を行うことにした。

3. 遠隔顕微鏡の医療ニーズ

遠隔顕微鏡の主な使用目的は遠隔地の患者の病理診断を行うことである。病理診断はとりわけ悪性腫瘍（がん）の診断と手術の際に重要である。なぜなら病理診断はがんの確定診断であるからである。また臨床的に悪性か良性かを判定できないまま手術を行うケースも多い。そのような場合、手術中の緊急病理診断（術中迅速診断）が手術の方針に重要な影響を与え、ひいては患者の治癒率やQOL（Quality Of Life：生活の質）にも重大な影響を及ぼす場合もある。

病理診断は病理専門医によって行われるが、医療経済上の様々な要因から病理医の数は世界的にみても、日本国内に限っても不足気味である。病理医が常勤している病院は日本全国で約400ヶ所に過ぎない。また病理医の数は1500人ほどで、その大半が医学部や大学病院に偏在している。そのため多くの病院では、病理医なしでがんの手術が行われている。近隣に大学病院等がある病院では、手術中に検体（臓器）を緊急車両等で運搬し、緊急手術を受けるケースが多い。

表1は日本のがん手術の実態について、厚生労働省の資料や日本病理学会の資料をもとにまとめたものである^{5,6)}。日本の医療行政では、全国を364の2次医療圏に分け、医療圏ごとに病院の整備や医療水準の維持を行うことになっている。1996年の段階で、病理医が常勤している二次医療圏は143圏、病理医が不在の二次医療圏は203圏であった。その大半が農村地域や海岸沿いの漁村地域である。

一方、がんの手術を行っている病院は全国に3055施設あるが、そのうち728施設

は病理不在二次医療圏に所属している。これらの施設は、近隣に病理医が常勤する病院が存在しないため、がんの手術はもっぱら病理の支援なしに行われている。

表1. 日本のがん手術の実態（1996年）

全国の二次医療圏	346圏
病理医常勤二次医療圏	143圏
病理医不在二次医療圏	203圏
がん手術実施施設	3055施設
病理医常勤二次医療圏	2327施設
病理医不在二次医療圏	728施設
がん手術件数	36万件
病理医常勤二次医療圏	30万件
病理医不在二次医療圏	6万件

またがんの手術は全国で年間36万件行われているが、そのうち約6万件が病理医不在二次医療圏で行われている。

日本における遠隔顕微鏡の研究開発は、こうした問題を解決するために始められたのだが、1990年代を通してこの目的に経済的に利用できる通信回線はISDN（NET64）しか存在しなかった。しかしISDNでは静止画伝送しかできないため、ほとんど普及することなく現在にいたっている。また地方における病理医の不足状態も未解決のままである。

4. システムコンセプトとデザイン

病理診断を遠隔でおこなう上でもっとも重要な点は、リアルタイムの動画を観なが

ら病理医が自由に顕微鏡を遠隔操作できる環境を提供することである。したがって技術的には動画伝送と顕微鏡遠隔操作の2つが重要になる。

動画伝送に関しては、すでに通信総合研究所と WIDE プロジェクトなどが DVTS を開発している。DVTS は DV フォーマットの映像ストリームを IP でリアルタイム伝送するための技術である⁷⁾。またより高精彩の動画伝送技術である D1 over IP も通信総合研究所の勝本らによって開発されている⁸⁾。D1 over IP では、非圧縮の D1 映像ストリームを IP でリアルタイム伝送可能である。そこで本研究では、これら2つの伝送方式に対応できるシステムを目指すことにした。

顕微鏡に関しては、IP に対応した機種はまだ少ないが、ニコン社製の Eclips1000 は LAN 接続が可能で、対物レンズの切り換え等を LAN 上の PC 等からおこなうことが可能である。またフォーカスや照明に関しては全自動機能を搭載している。したがって今回の研究では、この顕微鏡を用いることにした。

ただし X-Y ステージ (標本ステージ) は市販のものは精度が悪く、遠隔からの操作に適さないため、新たに開発することにした。X-Y ステージの要件としては、(1) ステージ移動速度を数段階に切り換えることが可能であること、(2) 移動精度が数ミクロン以内であること、の2点である。対物レンズの倍率によって視野の広さが大きく変わるため、(1) は必須である。また高倍率の観察では、ステージ移動の精度が重要になるため、(2) も必須条件である。

次に遠隔操作のユーザーインターフェース

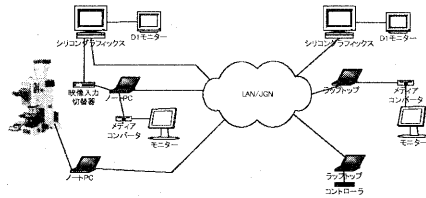


図2. 遠隔顕微鏡システム構成図

だが、映像部は DVTS や D1 over IP をそのまま使用することにした。また顕微鏡の遠隔操作には、ソニーの PlayStation のリモコンを使用することにした。

図2にシステム構成を示した。顕微鏡にハイビジョン TV カメラを装着し、その映像信号を分配器によって D1 over IP、DVTS のどちらかに送れるようにする。DVTS 側ではメディアコンバーターを介して映像信号をモニターに表示できるようにする。一方 D1 over IP 側では信号をシリコングラフィックス社製のワークステーションに取り込み、送信する。

受信側は DVTS ではノート PC、メディアコンバーター、および液晶モニターで構成する。D1 over IP ではワークステーションと D1 モニターで構成する。

また顕微鏡の遠隔操作に関しては、双方にノート PC を用意する。受信側の PC にソニーの PlayStation のリモコンを接続する。

ネットワークに関しては、実験室内の超高速 LAN および JGN を用いて実験を行うことにした。DVTS が動画伝送に要する帯域は約 30Mbps、D1 over IP が使用する帯域は約 300Mbps である。

5. 実装

以上の設計に基づきシステムを実装した。図3は今回開発した遠隔顕微鏡システムの全体像である。顕微鏡には D1 カメラを搭載し、その映像を左側のハイビジョンモニターで観察できるようになっている。また DV に変換した映像を右側の小さいモニターで観察できるようになっている。ノート PC、ワークステーション等は隣の実験台に載せているため、この写真には写っていない。

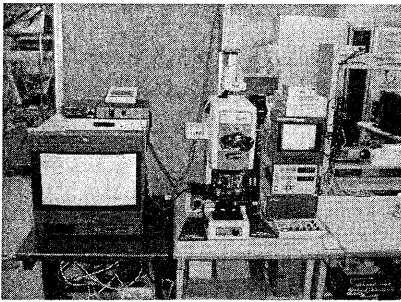


図3. 遠隔顕微鏡の全体像

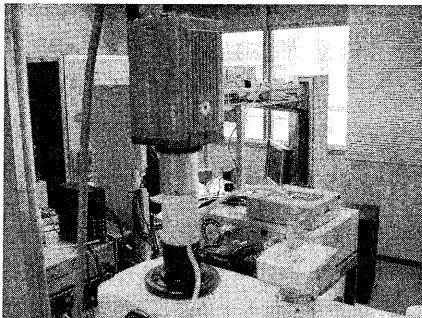


図4. ハイビジョンカメラとWEBカメラ

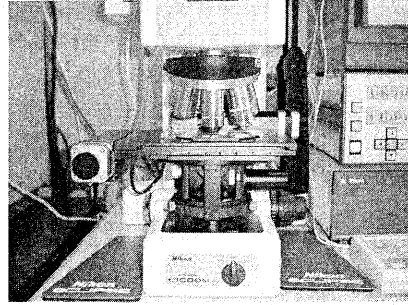


図5. 高性能電動 X-Y ステージ

図5は今回開発した電動 X-Y ステージである。移動速度は9段階に変速可能であり、位置制度はプラスマイナス1ミクロンである。市販のステージはモーター部分が大きく、しかもギアの遊びが大きいため、振動に弱く位置精度もプラスマイナス10ミクロン前後であった。今回開発した X-Y ステージは、市販のものに比べてモーター部の容積が 1/3 以下であり、しかもギアの遊びが小さく、動きがスムーズで振動にも強いという長所を有している。対物レンズの倍率に応じて自動的にギアチェンジするようにソフトウェアを作り込んだため、操作者はギアチェンジのコマンドを送る必要はなく、遠隔での操作性は良い。

6. 実験

通信総合研究所 (CRL) 内を中心に実験を行っているが、ここでは本年10月に行われた CEATEC2001 における実験を紹介する。

本実験は図6に示すように、東京小金井の CRL 内に置かれた顕微鏡を、直線距離で 60Km 離れた CEATEC 会場 (幕張メッセ：千葉県) からリモートコントロールし、顕

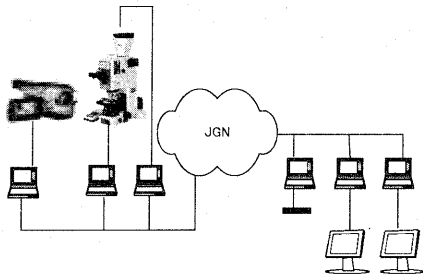
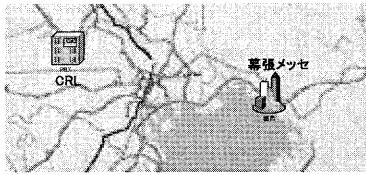


図6. CEATEC2001における通信実験概要



図7. CEATEC2001における遠隔顕微鏡の通信実験

顕微鏡映像をリアルタイムで会場のモニターに伝送・表示するというものであった。顕微鏡映像は DVTS を用いて伝送した。また顕微鏡の前に TV カメラを置き、実際に顕微鏡がリモートコントロールされる様子も合わせて会場のモニターに表示した。

図7は本実験の様子を示したものである。画面上部の液晶モニターに映っているのは、小金井の CRL に置かれた顕微鏡である。また下のモニターには顕微鏡から送られてくる映像が映っている。このとき用いた顕微鏡標本は花の花粉であった。画面右横に置かれているのが顕微鏡のコントローラー (PlayStation 用リモコン) である。

顕微鏡操作、動画伝送とも成功し、ストレスなく顕微鏡を遠隔操作できることが確認された。また顕微鏡映像の画質、色彩とも非常に鮮明であった。

このときの実験は一般向けのデモンストレーションを兼ねていたため、映像的に見栄えのする花粉の標本を用いたが、病理標本に関しては、実験室レベルで遠隔操作、画質、色彩等が病理診断の用途に耐えられることが確認できている。今後、日本病理学会等で、CEATEC2001 と同様の実験を行い、実際に多くの病理医にみてもらいながら、実用性の検討を進めたいと考えている。

7. 考察

本研究では映像のリアルタイム伝送のために DVTS と D1 over IP の両方を用いている。しかし D1 over IP による動画転送には 300Mbps 程度の帯域を使用するため、現時点では現実的な方法とは言えない。一方 DVTS で用いる帯域は 30Mbps 程度であり、JGN 等の実験用高速ネットワークを利用

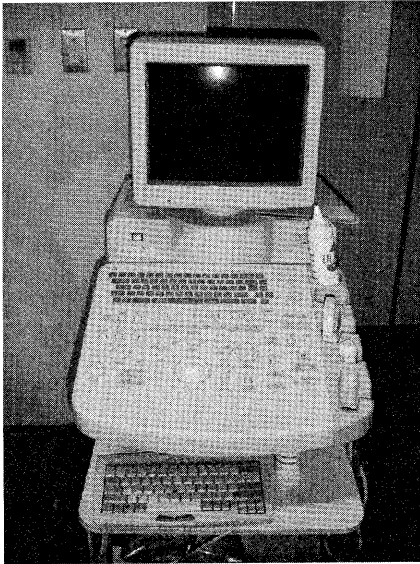


図8. 超音波診断装置（日立製）

できる環境であれば、問題なく使用することができる。したがって当面は DVTS を使ったシステムで伝送実験を行い、臨床への利用を進めていく予定である。

また同時に顕微鏡以外の医療機器への DVTS の活用を模索しているところである。たとえば超音波検査装置（図8）や内視鏡の映像はもともと NTSC ないしはそれに準じた解像度であるため、DVTS を使って十分に実用的な動画を伝送することが可能である。超音波検査装置に関しては、すでに DVTS を使った動画伝送実験を行っており、遠隔診断に活用できるという感触を得ている。また内視鏡に関しても実験の準備を進めているところである。これらの医療機器を用いる検査でも専門化が進んでおり、遠隔医療のニーズが高まっていることから、早期の実用化を目指したいと考えている。

8. まとめ

日本における遠隔病理診断と遠隔顕微鏡のニーズに関して厚生労働省の統計データ等を用いて分析した。また既存の遠隔顕微鏡の欠点である動画伝送を克服するために、DVTS および D1 over IP を利用した新しい遠隔顕微鏡システムの開発を行った。CEATEC2001 等の実験を通して、本システムの実用性を確認しつつある。DVTS は遠隔病理診断のみならず、超音波検査や内視鏡検査の遠隔診断にも活用できる可能性がある。

参考文献

1. Weinstein RS, Bloom KJ, Rozek LS. Telepathology and the networking of pathology diagnostic services. *Arch Pathol Lab Med* 1987 Jul;111(7):646-52
2. Shimosato Y, Yagi Y, Yamagishi K, Mukai K, Hirohashi S, Matsumoto T, Kodama T. Experience and present status of telepathology in the National Cancer Center Hospital, Tokyo. *Zentralbl Pathol.* 1992 Dec;138(6):413-7.
3. Adachi H, Inoue J, Nozu T, Aoki H, Ito H. Frozen-section services by telepathology: experience of 100 cases in the San-in District, Japan. *Pathol Int.* 1996 Jun;46(6):436-41.
4. Tsuchihashi Y, Okada Y, Ogushi Y, Mazaki T, Tsutsumi Y, Sawai T. The current status of medicolegal issues surrounding telepathology and telecytology in Japan. *J Telemed Telecare.* 2000;6 Suppl 1:S143-5.
5. 1999 年日本病理剖検輯報, 日本病理学

会編集

6. 2001 年地域医療基礎統計,厚生統計協会
編集

7. 杉浦、櫻田、小川、高品質メディア IP
転送技術の実証実験報告, 情報処理 2000
年 12 月号, 1321-1326

8. 勝本, 高品質メディアの高速 IP 転送技
術報告, 情報処理 2000 年 12 月号,
1327-1331