

## 遠隔医療を支援する Mobile 内視鏡開発のための要素技術の検討

中川晋一 (1)、永田宏 (1)、岡村耕二 (2)、石川ベンジャミン光一 (1)、  
本庄利守 (3)、山岡克式 (4)、山口直人 (1)

1 国立がんセンター研究所がん情報研究部、2 神戸大学情報処理センター  
3 東京工業大学大学院情報理工学研究科、4 東京工業大学工学部

要約 : マルチメディアマルチキャストモバイル端末の一応用分野として内視鏡システムを用いた遠隔地内視鏡支援システム実現のために必要な要素技術について検討した。医学的には同システムに対する必要性として、遠隔条件で適応症例が生じた時に指導医が迅速に実施者を補助するシステムとして、有用性が示唆された。また、動画像と音声だけではなく、内視鏡先端部分の操作、処置用のかん子の開閉などを補助する事も必要であり、そのために新しい同期型の通信手順が必要である可能性も示唆された。近年 NTSC 出力をもつ内視鏡システムが増加しており、内視鏡動画像をコンピュータネットワークを用いて送受する可能性はあるものの、動画像、音声、操作系の 3者の同期に関して今後検討が必要であると思われる。

### Mobile-Endoscope for supporting Tele-Medicine.

S. Nakagawa(1), H. Nagata(1), K. Okamura(2), K.B. Ishikawa(1),  
T. Honjo(3), K. Yamaoka(4), N. Yamaguchi(1)

To apply the multimedia multicast mobile terminal for the supporting tele-medicine on Fiber Scope, we evaluate the basic technical matters for the implementations. In medical field, it will be useful for distance - education between the medical doctors in remote sites, it was suggested that the novel protocol for transferring the synchronizing the motion-video-audio data transfer would be required. Technically, it would be possible to implement as a real system. However, it is suggested that the medical indications and medical costs and frequency of indications would become the problem for practical use.

#### 1 はじめに

消化管内視鏡は 1930 年代にドイツで開発された胃鏡から、1950 年代に小型カメラそのものを飲む GASTRO CAMERA、1957 年に Hirschowitz がグラスファイバーを用いた軟らかい内視鏡を開発した。その後わが国でも開発が行われ、1960 年代半ばから開発が開始された。その後消化管内視鏡の開発と診療技術の進歩はめざましく、上部、下部消化管における悪性疾患をはじめとするあらゆる疾患を対象として、病変部分の観察記録ばかりでなく、出血部の止血や胆石の除去といった消化器病に対する直接的な治療処置が行われるようになってきた。[1] これら処置は手術と異なり、患者に対する侵襲が少ないこと、不潔の条件下で行なえる事、さらに内視鏡の操作と簡単な治療機具を用いることによって治療が成立し施設の増設などの大規模な設備投

資を必要としない事から、治療法が提案されるとその治療法を多施設で行なうことにより、治療法の確立ならびに改善を迅速に行なう事が可能である。内視鏡治療は実際に人体内に挿入した条件での画像を見、ファイバーを操作しつつ技術を習得する必要があるため、実際の技術の指導には、処置において指導医が検査室に行き、実際の画像をライブでモニターしながら実施者に対して口頭で指示し、必要時には直接内視鏡の操作を補助しながら実際の感覚を指導する場合が多い。そのため内視鏡技術を習得する為には大病院等の件数の多い施設でその施設の検査に立ち合い習得する必要がある。研修期間中に適応のある症例を経験出来なかった場合、目的とする手技の習得が困難である。また、緊急処置は検査等の一般処置の教授内容と異なり、適応症例が不定期緊急に生じるため処置の習

得が困難である。これら内視鏡手技は必ずしも全ての医師が習得し実施可能である必要はないが、目前の緊急症例の処置は、適応の決め方ならびに手技の集熟度等、実施者が自らのリスク下で行なわねばならない事から適応症例が生じても実際に処置を試みる事が少なく技術の上達の障害となっている。

近年消化管ファイバースコープは、先端部分にCCDを内蔵し、NTSCの出力を持つものが増加してきており、ビデオ出力をマルチメディアマルチキャスト通信を通じて放送する事も可能になってきた。著者らは、携帯型パーソナルコンピュータを用いた病院内での患者支援を行なうマルチメディアマルチキャスト通信を用いた医療用携帯型端末の基本性能を検討し実験的実装を行ない、携帯型端末での技術的要件につき検討し報告した。[2] [3]

今回、同端末の応用分野として図1に示した指導医が内視鏡の実施者を補助教育する

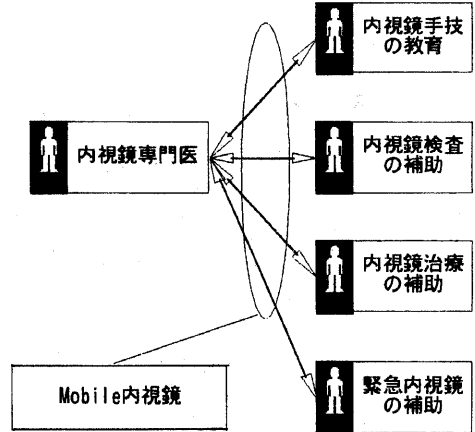


図1 Mobile内視鏡の応用

システムを提案し、同システムの基本概念に関して実際の内視鏡における動作ならびに通信用手続上の必要性について検討した結果を報告する。

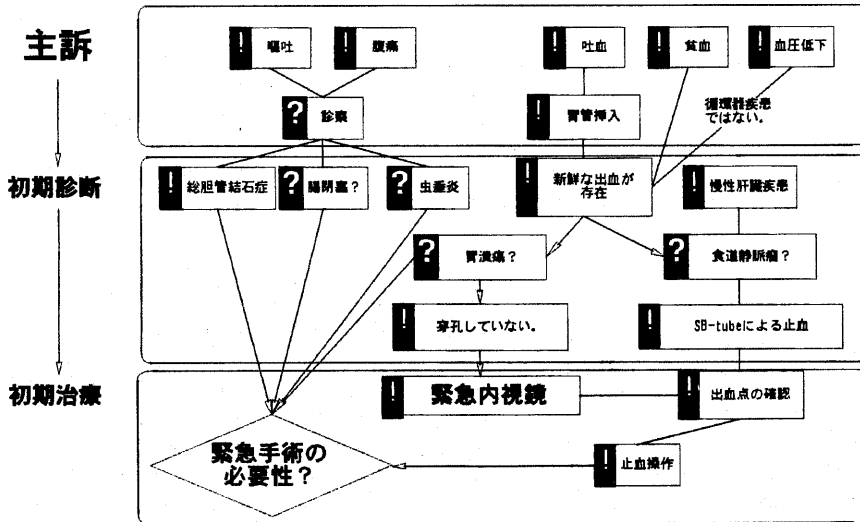


図2 緊急内視鏡に至る診断の流れ

緊急内視鏡に至る初期診断から初期治療への主な過程を示した。一般的な腹部症状の中で緊急的な処置を必要とする 診断ではなく投薬などでは病状の進行によって生命に危険が生じる可能性のある(時)場合、緊急手術を行なうか否かが大きな判断基準ではあるが、内視鏡の発達によって様々な緊急処置が可能になった。

表 1 緊急内視鏡における操作内容と主な止血操作の概要

操作目的	操作内容
前処置	喉頭麻酔
挿入操作	左側臥位 再出血を起こさないように静かに挿入 消化管内の血液・凝血塊を吸引洗浄 出血元の検索
出血病変の診断	拍動性、噴出性、漏出性？ 複数の出血元の検索
内視鏡的止血法	食道静脈瘤硬化法（食道静脈瘤内に硬化剤を注入） 高周波凝固止血法、レーザー止血法、ヒータープローブ止血法、純エタノール止血法、金属クリップ法、高張ナトリウム－エピネフリン液局注法、薬剤散布法

2 内視鏡の適応と構成

2. 1 内視鏡検査と処置の適応

内視鏡検査の一例として、一般内科臨床における緊急内視鏡検査の必要な場合の疾患検索手順を図 2 に示し、特に止血を目的とする緊急内視鏡における止血操作の概要を表 1 に示した。わが国の死因では、悪性腫瘍、脳血管疾患、循環器疾患が上位を占めているが、これらの急性腹症と言われる緊急の外科的処置を必要とする疾患群の方が市中病院では一般的救急疾患であり、放置すれば直ちに生命の危険のある病態である。緊急内視鏡が特に効果的なのは、食道静脈瘤破裂 慢性の肝疾患によって門脈の流れが障害され、食道内部の静脈が怒張している状態のものが破れ出血しているもの。慢性肝疾患の主死因であると言われている。）である。食道静脈瘤は慢性肝疾患を基礎疾患として発症するため、血液が凝固しにくいいため手術を行えなかった症例に対して止血操作を行う事が出来る。止血のため開腹術が必

要とされてきた動脈性胃潰瘍も止血を試みる場合が多い。これら処置は内視鏡基本的には内視鏡先端からかん子を出し、病変部に押し当てる事によって行う(図 6)が、患者の呼吸や体動、さらに空腹時でないため洗浄と吸引を繰り返しながら目的病変を検索するため熟練を要するばかりではなく、多くの医師がモニターしつつ実施医に指示を出して効率よく処置を行う必要がある。

2. 2 内視鏡の構成と基本操作

従来内視鏡は光学的に基部のファインダーから覗く構造であったが、近年 CCD の小型化によってファイバー先端部に設置した CCD から直接画像を得る事が出来るようになった。図 2) これにより、構造が簡略化した。従来先端のレンズ部分で集光した像を光繊維で伝播しファインダーに投影していたため、誤ってファイバーを噛む等の事故があった場合はファイバーそのものが破損し、画像が欠損していたが、現在は起こりにくくなっている。

表 2 国内数社の内視鏡の基本性能 (文献 1 より改変)

社種	O	F	T	P
全長(mm)	1330	1400	1330	1370
有効長(mm)	1030	1100	1030	1050
先端部の太さ(mm)	9.2-10.5	9.8-10.5	9.8-10.9	8.2-10.0
UP(degree)	210	210	210	210
DOWN(degree)	90	90	90	120
RIGHT(degree)	100	100	100	120
LEFT(degree)	100	100	100	120
かん子チャンネル内径(mm)	2.8	2.8	2.8	2.8
視野角(degree)	120-140	120	120	100-120
観察深度(mm)	3-100	5-∞	5-104	5-100
照明方式	ライトガイド	ライトガイド	ライトガイド	ライトガイド
画素数	4-10万	20-40万	12-41万	?
撮像方式	順、同	順、同	順、同	順、同

表 2 に日本国内数社の販売している CCD 内視鏡の諸元をまとめた。NTSC 画像は最高で 40 万画素であり、約 640×640 ピクセル程度である。フルカラー 24 ビット/秒 30 フレーム非圧縮で送出するとすると約 296 メガビット/秒である。現在、この性能でネットワーク上にデータを送出する事は事実上できないが、ギガビット転送が可能になった場合、CT 等の静止画における転送量よりも多い可能性が高い。他の画像診断手法における生成データ量の推定値を表

3 に示した。動画系のデータ転送要求量が大変多い事が示唆される。

内視鏡の基本操作、上部消化管内視鏡検査の概要、および内視鏡による病変部の病理学的検査について図 3、4、5、6 に示した。これら操作は現在基部のコントローラと先端部をワイヤで結んで行なっており、機械的にリモートコントロールを行なっており、遅延は必然的に生じており、実施者は画像を見ながら操作を行う。

表 3 主な診断手法と画像データ量

	画素数	1pixel data (bit)	Frame data (bit/s/ fr)	検査あたり送出枚数	検査時間	検査 1 件あたり転送量 (bit/s)	1 秒あたり転送量 (Mbits/ sec)
単純 X 線撮影	2000×2000	24	9.6E+07	1	5分	9.6E+07	0.32
CT	800×600	16	7.7E+06	40(9x4+α)	20分	3.1E+08	0.26
内視鏡	640×640	24	9.8E+06	30(fr/ sec)×検査時間	20分	3.5E+11	294.91
血管造影	680×680	16	7.4E+06	30(fr/ sec)×検査時間	120分	2.7E+10	221.95
超音波動画	640×640	16	6.6E+06	15(fr/ sec)	20分	2.0E+09	98.30

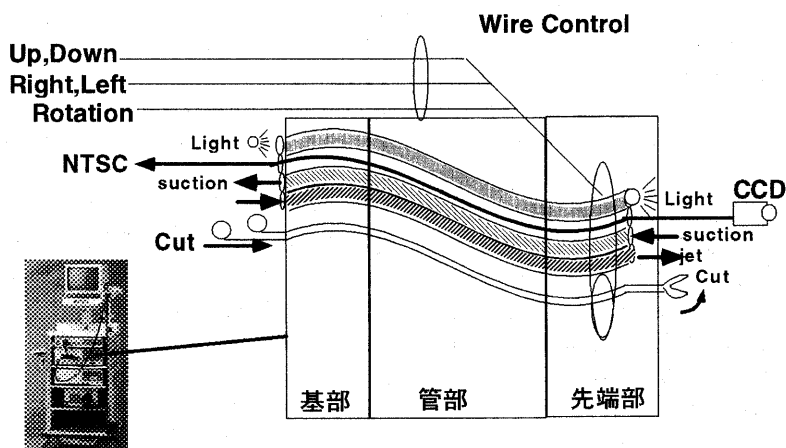


図 3 内視鏡装置の構成 内視鏡装置の構成を示した。内視鏡は先端部の屈曲回転等の動作や吸引等を操作する基部とホース状の管部、CCD や光学系を含む先端部から構成される。基部はコントロールユニット(左下写真)に接続され、同ユニットの NTSC モニタに投影される。術者はモニタを見ながら基部で先端部の屈曲を調整しつつ管部を手動的に送る事によって挿入操作を行なう。

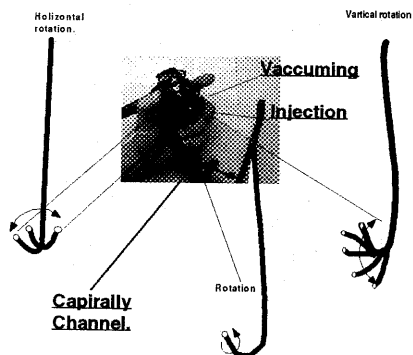


図 4 内視鏡の基本操作

内視鏡のコントローラの基本操作について示した。同部は、左手で保持し、内視鏡の屈曲部の上下左右と先端部のヒネりを行なう事が可能である。内視鏡の挿入は右手でファイバー部分を送り込む動作によって行い、ファイバー全体の方向性もファイバー全体にトルクをかける事によって、ちょうどホースを扱うように行なうが、目的病変へのアプローチなどは先端部分を操作する事によって行なう。また、コントロール部分には吸引と噴射の 2 系統が接続されており、先端部の孔から液体を吸引したり付着物を除去することも可能である。また、かん子用管部分 (Capillary channel) 部分から、様々な種類のかん子を挿入して病変部分の採取、処置を行なう事が可能である。

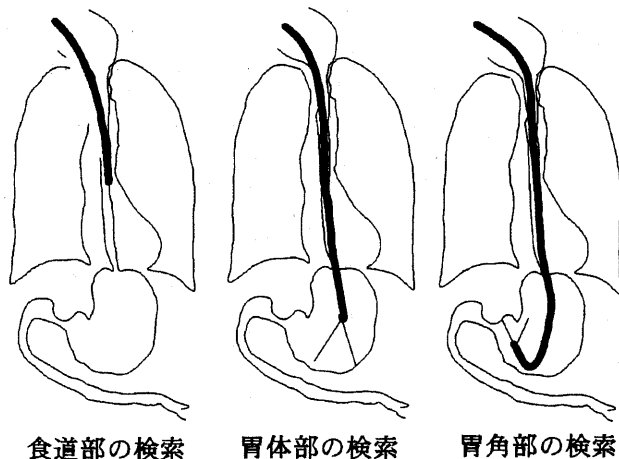
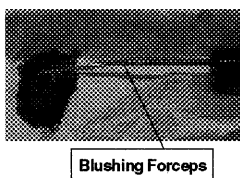


図5:内視鏡の挿入と病変検索例  
 通常の内視鏡検査における挿入と病変検索の流れについて示した。食道部の検索では食道内壁での出血や粘膜の乱れ、胃体部および胃角部における検索では潰瘍性病変、発赤、粘膜の乱れを検索し、必要に応じて組織病理検査の為の検体の採取をかん子を用いて行う。これらの手技は消化器内科専門医の行なう画像を実際にその場に行き数多く経験する事によってのみ可能である。そのため、新しい手技の開発が行なわれても文献的に参照して手技を行なってもオリジナルと同じ方法で行なっているか等については、実際に新療法の開発者に直接画像を参照してもらう事は殆どの場合不可能であり、実際は手技開発者を自施設に招いて行なうことが多い。

## Blushing Biopsy



## Biopsy

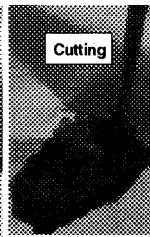
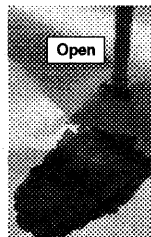
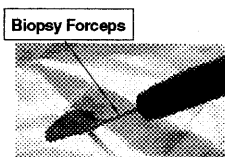


図6 内視鏡検査のモデル例

胃潰瘍等の粘膜病変に対する擦過細胞診 (Blushing Biopsy) と粘膜生検 (Biopsy) のモデルを示した。Blushing Biopsy は病変部にブラシを押し当て、擦過し脱落した細胞を採取する。生検 (biopsy) は組織を一部切り取り (約 1mm<sup>2</sup>)、病理学的診断を行なう。要点は被験者の呼吸や心臓の鼓動によって動く病変部に適切にかん子をアプローチすることである。

### 2. 3 Mobile 内視鏡の提案

術者が直接病変部を触診する他の医療操作と異なり、病変部分に直接接触することによって「ざらざらした、熱い」等の手掌への感覚のフィードバックがない。術者はファインダーまたはモニタの画像から立体的な位置関係を再構築し、動画像を見ながら目的とする病変部にアプローチする。そのため、動画像と先端部のコントロールの動きをフィードバックすれば操作の大半をモニターする事も可能である。以上の検討から、遠隔地間での内視鏡操作を動的に共有す

る事を目的として図7に示す「Mobile 内視鏡」を提案する。この系の技術的要点は、図7aの機械的に共有する部分 (先端部の操作部とかん子の開閉に関するコントロールの部分) と動画像を別々に扱うのではなく、画像のフレームに同期した機械的フィードバックを行なう事によって、送信者とその画像を送出したときに操作部のハンドルをどのように動かしたかを共有する事が可能になる。本システムにおけるメディア同期の概念を図7に示した。

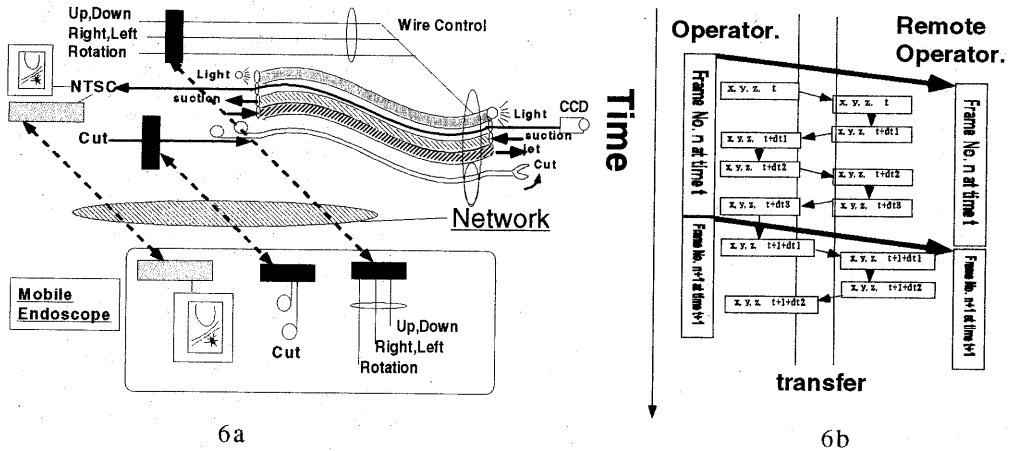


図7 Mobile内視鏡の基本概念とデータ転送のモデル

7a: Mobile内視鏡の概念図 ネットワークを介して内視鏡画像を送受し、内視鏡先端部の操作並びにかん子をリモートで操作可能にするMobile内視鏡の概念を示した。先端遠隔操作部ならびにかん子のリモートコントロールは同期する駆動系を用いて行なう等の方法が考慮される。7b:データ転送のモデル ネットワークを介して内視鏡動画を転送し、操作部分のハンドル動きを実際のオペレータ(operator)と遠隔のオペレータ(remote operator)がハンドルの動作を画像に同期して行なう場合のタイミングの案を示した。この場合、リモートに対して自分の操作状態を(x,y,z,t)で送した後、remote operatorからのack以外のデータ更新がない場合、ロックをリリースするなど様々な協調作業に関する制御方法が考えられる。

## 2.4 遠隔情報共有問題とMobile内視鏡

近年インターネットを介した遠隔手術システムが考案されてきている[4]が、術者にとって手掌の感覚を伝達されない事は、大きなハンディキャップであり問題設定の点でデータ転送における諸問題と目的とする手技の間に隔たりがあると思われる。これに対して内視鏡は実施者も手掌の感覚を持たず、動画を元に各種手技を行なう事から両者の間の情報共有が動画と内視鏡の動作ならびに音声においてなされれば良いため、情報通信モデルとしての問題設定が限定しやすい。遠隔情報共有問題としては、送出される画像フレームと内視鏡の動作共有の解決をメディア同期問題として扱う必要があり、今後遠隔病理画像連携[5]ならびに医療教育[6]における問題点と共にネットワークにおける実データ転送実験系[7]を用いて今後検討し、遠隔医療連携のデータ転送手順を提案する事とした。

### 謝辞

研究にあたり、御指導をいただいた東京工業大学大野浩之講師、内視鏡医療につき貴重な情報をいただいた国立がんセンター中央病院内科福田治彦医員、本研究内容の医療への応用分野について情報をいただ

た国立がんセンター運営部企画室長山内雅司厚生医療官に深謝する。また、本研究は厚生省厚生科学研究所がん研究助成(8-1)の支援を受けた。

### 参考文献

- 1 市岡四象、消化管内視鏡の歴史と展望、日本医師会雑誌, 116(2), 2-7
- 2 中川晋一、本庄利守、岡村耕二、山岡克式、石川光一、小山博史、大野浩之、山口直人、病院内ネットワークにおける携帯型端末の実装と性能評価、情処研報 Vol.96, No.MBL-4(5), pp 25-30, 1997
- 3 S. Nakagawa, K. Okamura, T. Honjo et al, Evaluation of the Multimedia-Multicast-Mobile Terminal for Hospital Patient Care, Proc. of ICOIN-12, (in press)
- 4 Chatzipapadopoulos F., et al., A novel tele-medical environment appropriate for use in tele-advisory and tele-surgery cases., Technology & Health Care, 4(2):187-91, 1996
- 5 氷田宏、水島洋、中川晋一、携帯型端末における遠隔協調画像作業システムの開発、情処研報モバイルコンピューティング, 2-9, pp49-54
- 6 佐藤敏彦、高橋謙、八幡勝也、中川晋一、Andrzej Wójtczak、滝澤行雄、関川曉他、公衆衛生領域におけるインターネットの活用、日本公衆衛生雑誌, 44(7), pp518-522, 1997
- 7 本庄利守、中川晋一、大野浩之、長健二郎、データ転送性能評価システム PEERの構築、Internet Conference'97 Proceedings, 1997, (in press)