

# 知っておきたいキーワード

## カプセル内視鏡

越後 富夫<sup>†</sup><sup>†</sup> 大阪電気通信大学 情報通信工学部 情報工学科

"Wireless Capsule Endoscopy" by Tomio Echigo (Department of Engineering Informatics, Faculty of Information and Communication Engineering, Osaka Electro-Communication University, Osaka)

キーワード：カプセル内視鏡, CMOS, 小腸, 診断支援

カプセル内視鏡は内服薬のように口から飲み込んだ後、消化管の蠕動運動で移動し、その内部をカメラで撮影します。これまで困難であった小腸全体の観察が苦痛を伴わずに実現できるようになり、今後の発展がますます期待される非常に画期的なデバイスです。カプセル内視鏡を世界で逸早く開発したのはイスラエルのGiven Imaging社で、イスラエル国防省の軍事技術であるミサイルの映像処理技術ワイヤレスカメラを技術移転して製品化しました。Given Imaging社は1998年に設立後、2000年にNature誌<sup>1)</sup>で紹介されて注目を集め、2001年には欧州、米国で認可されるという、非常に迅速な製品開発を行ってきました。これまでに世界で60万件の利用があったことがGiven Imaging社から公表され、その利用頻度は年々増加しています。日本では2004年春に認可申請を行い

ましたが、審査基準の不明瞭さから長い時間を要し、2007年4月ようやく厚生労働省より認可されました。日本の販売はスズケンが行い、1個10万円です。そして同年10月には保険適用にもなっています。一方、他社の取り組みでは、オリンパスメディカルシステムズが2005年10月欧州、2007年10月米国で販売を開始し、日本では認可

申請中です。また、韓国も国家プロジェクトでカプセル内視鏡を研究開発し、その成果がIntroMedic社によって製品化されました。IntroMedic社は3万円以下の低価格製品を目指しており、高解像度のCMOSを用いて、毎秒3フレームの画像取得を実現しています。それぞれの製品の特徴を表1に示します。

表1 製品化された各社の小腸用カプセル内視鏡

	Given Imaging Ltd.	オリンパスメディカルシステム	IntroMedic
製品名称	PillCam® SB	不明	MiroCam®
大きさ	11×26mm	11×26mm	11×24mm
重さ	4g	不明	3g
撮像素子	CMOS	CCD	CMOS
画素数	256×256	不明	320×320
視野角	140°	145°	150°
撮影時間	8時間	8時間	11時間
フレームレート	2フレーム/秒	2フレーム/秒	3フレーム/秒

カプセル内視鏡は小腸検査に有効であることが内視鏡専門医師で認められています。Given Imaging社はその他の消化管を観察するためのデバイスも製品化しています。食道を観察するための内視鏡はカプセルの前後に二つのカメラを有しており、食道を通過するのに十分な20分間で多くの画像を撮影します。またその他では、大腸用カプセル内視鏡が2007年に欧州で販売されています。2008年2月に米国では認可申請が拒絶されましたが、早急に改善することを同時に発表しています。大腸検査は従来のチューブ型の下部内視鏡が、日本だけで年間600万件の検査実績があり、改善された大腸用カプセル内視鏡の有効性が確認されると非常に大きな需要が見込めるので、今後の展開に期待が掛かります。表2に示すように、大腸用カプセル内

視鏡も、食道用と同じように前後二つのカメラを持っています。大腸まで到達するのに時間を要するので、電池が10時間程度持続できるようになっています。2001年に開発された小腸用カプセル内視鏡との相違は、CMOSの性能向上によって画質が随分良くなっていることです。また、小腸用カプセル内視鏡PillCam®SB2も製品化に向けて開発が進んでおり、レンズを含めた光学系を改善して、より広い画角をカバーし、画質がずいぶん改善されています。カプセル内視鏡の特長の一つに、食物と同じようにカプセルが移動するので、患者に対する負担が少ないことが挙げられますが、検査のために時間を要することが一つの欠点になっています。そこで多くの研究機関では、早く消化管を通過させるために、カプセル自体を駆動させることや、カプセ

ル近傍の消化管に高電圧を掛け、蠕動運動を強く誘引する実験が行われていますが、製品化へは道が遠そうです。また、狭窄の疑いがある場合、カプセルが消化管の途中で停留しないことを確認するため、Given Imaging社はパテンシーカプセルと呼ぶ製品を用意しています。パテンシーカプセルは、大きさ・形状が小腸用カプセル内視鏡と同じですが、カメラに代わってRFIDを搭載し、バリウムを内包しています。外筒は融解性があり、長時間停留した場所がX線造影検査で確認できるようになっています。

カプセル内視鏡で撮影された画像は、無線通信によってデータ送信され、患者の腹部に取り付けられた8つのアンテナでデータを受け取っています。その電波の強度分布から、カプセルの位置を求めることが可能です。しかし現状は、位置精度の悪さに加え、患者の動きによって小腸の移動も考えられるため、小腸のどの部位を通過したかを参考程度に利用されているに過ぎません。以上のように、カプセル内視鏡はまだ発展途上で、今後も多種センサの搭載による潜在能力を秘めたデバイスに違いありません。

表2 小腸以外の消化管用カプセル内視鏡 (Given Imaging社製)

	食道用カプセル内視鏡	大腸用カプセル内視鏡
製品名称	PillCam® ESO	PillCam® Colon
大きさ	11×26mm	11×31mm
撮像素子	2 CMOS	2 CMOS
撮影時間	20分	10時間
フレームレート	14フレーム/秒	4フレーム/秒

日本でも販売が期待されていたカプセル内視鏡ですが、認可半年後の2007年11月、日経メディカルオンラインの調査で、カプセル内視鏡を導入済または導入を検討している医師は11%にしか過ぎませんでした。その大きな理由の一つが、読影の難しさです。8時間で蓄積された画像は5万7千枚に達し、そのわずか1枚にしか現れるかもしれない小さな病変を、見落とさないように凝視することが医師に求められます。Given Imaging社は読影のためのソフトウェアをRAPID2/3/4と提供してきました。RAPID 2は画面上に左右の連続する画像を表示し、医師が病変を発見すると、その画像をキ

ャプチャし、コメントが入れられるようになっていきます。RAPID 3は新たにAutomatic Viewingモードと呼ぶ機能を追加し、類似画像が連続すると結合するという行っています。ただし、アルゴリズムの詳細が不明なため、結合処理によって、変化の小さな病変がわからなくなることを危惧する医師もいます。また、画面上に連続する4枚の画像を同時に表示するのもRAPID3の特長です。RAPID 4はAutomatic Viewingモードとともに、QuickViewを備えています。QuickViewは、過去の診断における異常画像データベースを利用し、要注意画像にタグを付けて要約し、わずか数

分間の映像を医師に提示する機能を実現しました。ただし、要約映像の正確さは不十分であるため、診断に使用できる機能にはなっていません。またRAPID4は、ユーザインタフェースが大きく改善され、画像の特定部分だけをマークできるようになっています。さらにRAPID Atlasを備え、診断中に過去の診断症例を参照できるようになっています。Given Imaging社はできるだけ多くの診断症例を収集したGI Atlasを作成するため、全国の医師に、症例画像を投稿するように呼びかけています。

筆者が参加した2006年3月にフロリダで開催されたカプセル内視鏡国際会議では、会議中のアンケート結果から、読影に40~50分を費やす医師が最も多く、30分程度で読影できることが期待されていました。RAPIDソフトウェアは、読影のためのインターフェースとして十分な機能を持っていますが、読影を短時間にするツールとしてはまだ不十分です。そこで、筆者等は画像の読み飛ばしや、結合を行わず、すべての画像を医師に提示しながら、画像内容に基づいて表示速度を精細に変更するシステムを開発しました<sup>2)</sup>。隣り合う画像間の類似性と、小領域の移動量を検出し、それらの特徴量から表示速度を決定しています。小腸内ではカプセルが停留している時間が多くの時間を占め、その時間帯を早送りすることで、表示時間を短くし、小腸またはカプセルの動作が画像に現われたときはゆっくり表示しています。評価では四人の医師に提案システムとRAPID4を使用してもらい、RAPID4

では読影に平均42分要していたのが、提案システムでは平均32分で読影が可能で、病変検出にも差がありませんでした。図1は提案システムの読影画面で、評価に違和感がないように、RAPID4の2画面表示を模した表示にしています。

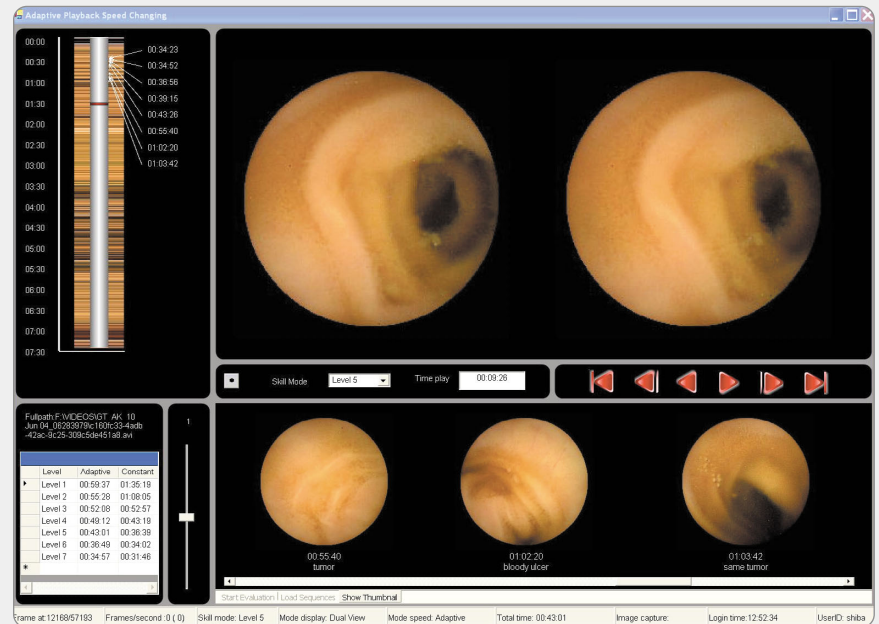


図1 提案システムの読影

Given Imaging社は日本で認可を得る際に、全国で8医療機関を選択し、カプセル内視鏡の臨床試験を始めました。ほとんどの医師にとって初めての小腸画像診断結果をGiven Imaging社に送り、その診断結果の正しさを確認していましたが、応答に非常に時間を要するので、カプセル内視鏡研究会を

発足し、情報交換を始めました。読影には、経験に勝るものはありません。そのための教育ツールを開発し、不慣れた検査医に多くの診断症例を経験してもらうとともに、診断能力を認定するシステムの開発が今後期待されています。また、小腸画像は従来の内視鏡では

見るができなかったため、生理学的にも重要なデータとなっています。カプセル内視鏡で得られた映像から、皺の多さ、皺の向き、連続画像の変化を基に小腸の収縮頻度を検出することが可能となり<sup>3)</sup>、健康者とそれ以外で収縮頻度に差異が表れるか検討されています。

参考文献

- 1) G. Iddan, G. Meron, A. Glukhovsky, P. Swain: "Wireless Capsule Endoscopy", Nature 405, pp.417 (2000)
- 2) V. Hai, T. Echigo, et. al.: "Adaptive Control of Video Display for Diagnostic Assistance by Analysis of Capsule Endoscopic Images", ICPR-2006, 3, pp.980-983 (2006)
- 3) V. Hai, T. Echigo, et. al.: "Contraction Detection in Small Bowel from an Image Sequence of Wireless Capsule Endoscopy", MICCAI-2007, LNCS 4791, pp.775-783 (2007)



**越後 富夫** 2003年、大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。1982年、日本アイ・ビー・エム(株)入社。東京基礎研究所にて、ロボットビジョン、映像メディア処理の研究に従事。2003年、大阪大学産業科学研究所客員教授。医用画像診断支援の研究に従事。2006年より、大阪電気通信大学教授。博士(工学)。