

電子技術が拓く カプセル内視鏡の進化

「見る」に始まり,投薬や組織採取の機能まで



左がGiven Imaging社のカプセル内視鏡。右がオリンパスメディカルシステムズのカプセル内視鏡

飲み込むだけ。苦痛もない。これまで見えなかった場所を観察できる。
患者にも医療現場にもインパクトをもたらすカプセル内視鏡。
そんな「夢の機器」を実現した立役者は、電子技術にほかならない。
それを進化させるのもまた、電子技術の役割である。
患者や医療現場が思い描く「次世代型」のカプセル内視鏡の実現には、
さまざまな電子技術との融合が欠かせない。

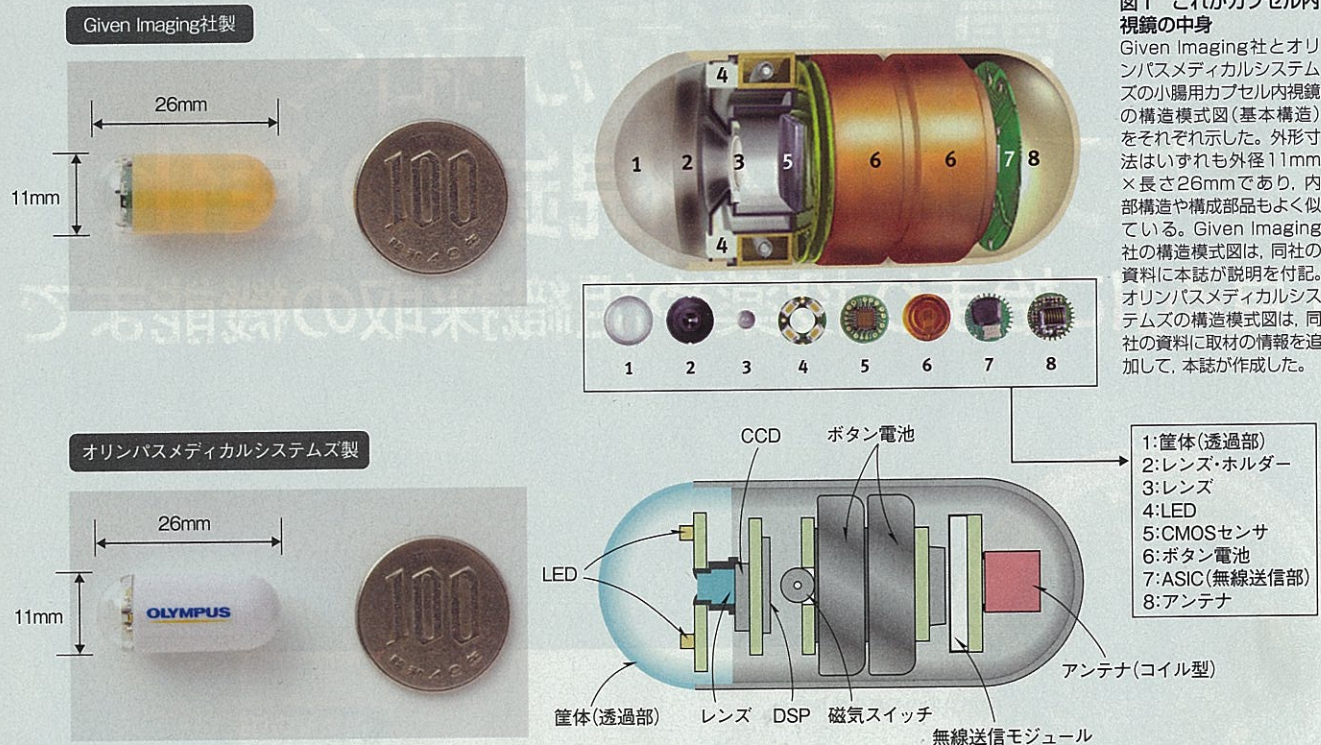


図1 これがカプセル内視鏡の中身

Given Imaging社とオリンパスメディカルシステムズの小腸用カプセル内視鏡の構造模式図(基本構造)をそれぞれ示した。外形寸法はいずれも外径11mm×長さ26mmであり、内部構造や構成部品もよく似ている。Given Imaging社の構造模式図は、同社の資料に本誌が説明を付記。オリンパスメディカルシステムズの構造模式図は、同社の資料に取材の情報を追加して、本誌が作成した。

外径11mm、長さ26mmのカプセルに詰め込まれたカメラ・モジュールや電池、LED、無線モジュール、アンテナ…といった電子部品——これは、薬のように口から飲み込むだけで、体内の器官の様子をくまなく撮影してくれる医療機器「カプセル内視鏡」の内部構造である(図1)。小さな電子部品の塊といえるその構造はまるで、携帯電話機など小型民生機器のそれと見まごうほどだ。

「これまでの医療機器と性質や歴

史が全く異なる。何しろ、10年前には想像できなかったことが、目の前で現実になっていることに驚く(獨協医科大学 学長の寺野彰氏)。カプセル内視鏡について、医学の専門家はこのような評する^{注1)}。まさに最先端の電子技術が、医療の現場に革新をもたらしている象徴事例といえるだろう。

カプセル内視鏡は、既に患者の診断に使われている。図1に示したのは、カプセル内視鏡の第1弾として開発され、欧米でいち早く実用化された小腸

観察用のカプセルである^{注2)}。実用化が遅れていた国内でも、ここに来て、このカプセル内視鏡の許認可が相次いで下り、実用段階に入った。2007月4月にイスラエルGiven Imaging Ltd.製の小腸用カプセル内視鏡が厚生労働省の薬事承認を取得したのに続き、2008年9月にはオリンパスメディカルシステムズが開発した製品も承認を得た。今後、我々が患者の立場でカプセル内視鏡に触れる機会も増えそうだ^{注3)}。

注1) 獨協医科大学の寺野氏は、国内におけるGiven Imaging社のカプセル内視鏡の治験を実施した中心人物である。

注2) カプセル内視鏡の関係者によれば、カプセル内視鏡を利用した検査の件数は、既に全世界で75万件以上を数えるという。

注3) 国内でのカプセル内視鏡の利用件数は、「2008年夏時点で5000～6000件」(獨協医科大学 教授で医療情報センター長 診療科 消化器内科の中村哲也氏)という。現在、Given Imaging社とオリンパスメディカルシステムズの小腸用カプセル内視鏡は保険適用されている。いずれも、保険償還価格は7万7200円、技術料は1万7000円である。保険適用を受けて検査を受ける場合、患者は一般にこの3割を負担することになる。

一方、カプセル内視鏡の開発の現場に目を移すと、将来を見据えた取り組みが垣間見えてくる。現行のカプセル内視鏡をさらに進化させた、「次世代型」の実現を目指す動きが活発になっているのだ。

「ミクロの決死圏」を現実に

実は、現在のカプセル内視鏡の姿は、決して「完成形」ではない。もちろん、現在でも既に医療の大革新をもたらしているが、その開発は緒に就いたばかりであり、もっとも進化する可能性を秘めている(図2)。

ユーザーとなる医療現場からも、さらなる進化を求める声が上がっている。例えば、医師らが中心となり2008年1月に発足した「日本カプセル内視鏡研究会」は、カプセル内視鏡診断の研究を進め、その普及に努めると同時に、「次世代カプセル内視鏡のアイデアを出す」(同研究会の代表世話人を務める獨協医科大学の寺野氏)ことを狙いとしている。カプセル内視鏡に期待をかけていることの表れだ。

こうした利用現場からの要望も踏まえ、進化の過程でカプセル内視鏡がたどり着く姿はさまざま考えられる。しかし、その最終目標はごく明快だ。例えるなら「医師をカプセルに詰め込

むこと」である。1966年に公開された映画「ミクロの決死圏」。脳内出血を起こした要人の命を救うべく、医療チームを乗せた潜航艇が小さくなり、要人の体内に入り込むというSF作品だ。まさに、このような夢物語を現実にすることがゴールとなるであろう。

これに対して現在のカプセル内視鏡は、あくまで「見る」という観察機能にとどまる。ここに、さまざまな最先端の電子技術を融合させることで、例えば「自在に動かせる」「投薬できる」「組織採取できる」などといった機能を追加できれば、夢のゴールにグンと近づく。既に、こうした開発の一端は見え始めてきている^{注4)}。

カプセル内視鏡の進化は、ある側面から見ると携帯電話機の進化に例えられそうだ(図2)。現在のカプセル内視鏡は、通話だけの機能にとどまる初期の携帯電話機の段階といえる。携帯電話機が、ここにカメラや電子マ

ネー、ワンセグなどといった機能を、同程度の大きさの中に盛り込んでいったのと同様に、カプセル内視鏡も限られた大きさの中に多くの機能を詰め込んでいく。そのためには、携帯電話機と同じく、各種電子部品の小型化をはじめ、新たな機能を持つセンサやLSI、機構部品などの開発、低電力化技術、電池技術、高密度実装技術といった電子技術の後押しが不可欠だ。

ルーツは軍事技術にあり

次世代型カプセル内視鏡への取り組みを具体的に見ていく前に、まずは現在のカプセル内視鏡の開発の歴史やその力量、設計などに触れておこう。

その歴史はまだ浅い。今から8年前の2000年5月、米国サンディエゴで開催された消化器関連の医学学会において、Given Imaging社らがカプセル内視鏡を利用した動物実験の結果を発表。同時に、雑誌『Nature』にも

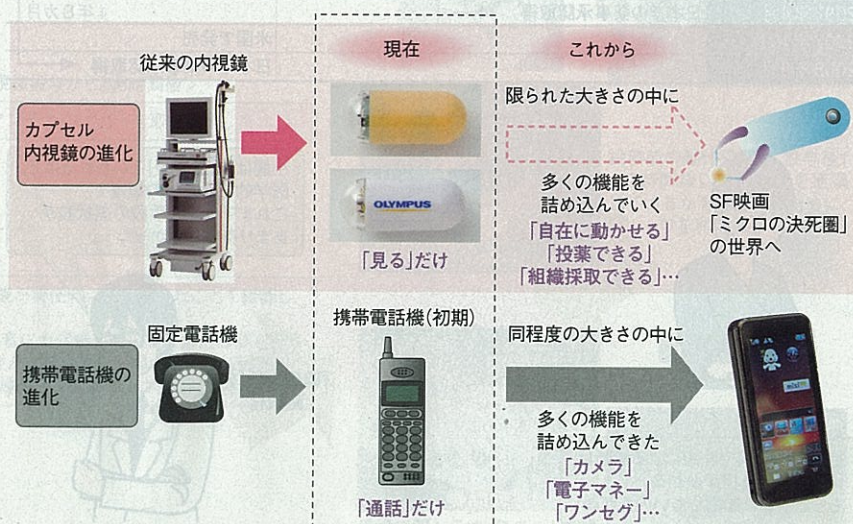


図2 カプセル内視鏡は進化の途中

カプセル内視鏡の開発は緒に就いたばかりであり、今後まだまだ進化する。最終目標は、まるでSF映画「ミクロの決死圏」のように「カプセルに医師を詰め込む」ような状態にすることである。電話機の進化に例えれば、現在のカプセル内視鏡は「通話だけ」の携帯電話機と同じ段階かもしれない。

注4) 文部科学省による都市エリア産学官連携促進事業の「びわこ南部エリア」では、2020年の実現を視野に、体内で移動しながら診断や治療を行う「マイクロ体内ロボット」の研究開発を進めている。下の写真は、その試作機の一つで、大きさは30mm×15mm×7mm。



掲載された。これが、世界で初めての一般公開となった(表1)。「世界が変わると思った」——。この発表を目の当たりにした獨協医科大学の寺野氏は、当時の衝撃をこう振り返る。

Given Imaging社は、カプセル内視鏡の開発のために1998年に設立された会社である。決してそれまで医療機器を手掛けてきたメーカーではなく、カプセル内視鏡を開発したルーツも医療機器にはない。実は、そのルーツは「軍事技術」にあるのだ。

イスラエル国防省の軍事技術研究機関でカメラ付きミサイルの開発に携わっていた技術者が、たまたま消化器内科医と出会ったことが、キッカケと

なった¹⁾。二人が議論を交わしていく中で、「カメラ付きミサイルのようなものを飲み込めば消化器官の様子を画像化できるのでは」という発想にたどり着いたという。その発想を基に研究や実験が重ねられ、Given Imaging社の設立に至ったというのが事の経緯である。医療分野の関係者がカプセル内視鏡の登場に衝撃を受けたのは、全く異なる分野からの発想が持ち込まれたことによる「想定外の視点」があったからなのかもしれない。

「暗黒大陸」を照らす

思わぬキッカケから実用化に至ったカプセル内視鏡は、実際に患者にと

っても医師にとっても大きなインパクトをもたらした(図3)。

患者にとっての最大のメリットは、カプセルを飲み込むだけでよく、検査時の苦痛が極めて少ないことにある。従来の内視鏡検査²⁾といえば、鎮痙薬や鎮静剤などを使う必要がある上、入院が必要になる場合もある。その肉体的・精神的な苦痛は大きい。開腹となれば、なおさらだ。これに対し、既に実用化されている小腸用カプセル内視鏡の場合、カプセルを飲んでから約8時間で撮影が終わる(図4)。体内をカプセルが移動している間、患者は通常の生活のように活動することも可能だ。観察を終えたカプセルは、排便時に体外に出される。なお、カプセルは使い捨てである。

医学的にもカプセル内視鏡は大きなインパクトを与えている。現行のカプセル内視鏡のターゲットである小腸は、口からも肛門からも遠い場所に位置しており、その形状も複雑であることから、これまでは内部の観察が困難な器官とされてきた。「暗黒大陸」と呼ばれてきたほどである。しかし、カプセル内視鏡の登場によって小腸の実態が明らかになり、これまで知り得なかったさまざまな病気が分かってきているという^{注5)}。

表1 Given Imaging社とオリンパスメディカルシステムの小腸用カプセル内視鏡に関する主な出来事

	Given Imaging社	オリンパスメディカルシステムズ
2000年	学会「DDW」で動物実験の結果を発表(初の一般公開) 雑誌「Nature」(Vol.405, 25)に掲載	
2001年5月	CEマーク取得	
2001年8月	FDA認可取得	
2004年4月	日本での薬事申請	
2005年10月		欧州で発売
2007年1月		日本での薬事申請
2007年4月	日本での薬事承認取得	米国で発売
2007年10月		日本での薬事承認取得
2008年9月		

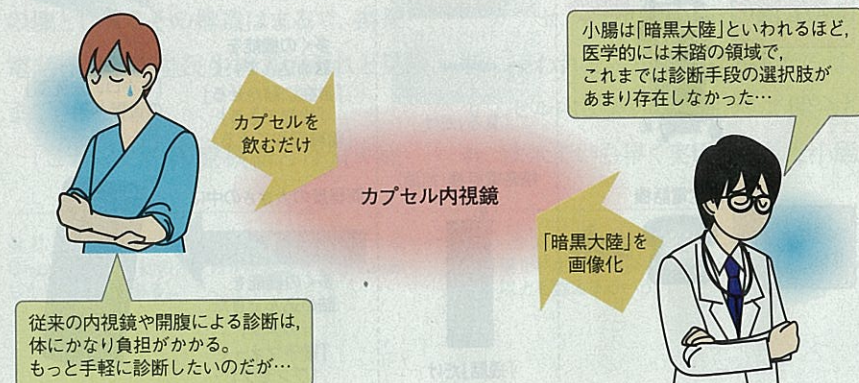


図3 患者にも医師にもインパクトを与えるカプセル内視鏡
カプセルを飲み込むだけで小腸の様子を画像化するカプセル内視鏡は、患者にも医師にも与えるインパクトが大きい。患者にとっては、従来の内視鏡や開腹のような負担が少なくなる。一方、医師にとっては、カプセル内視鏡は多くの未知の情報をもたらしてくれる。小腸は「暗黒大陸」といわれるほど、医学的には未踏の領域だったためである。

注5) カプセル内視鏡に加え、近年、「バルーン内視鏡」と呼ばれる小腸の観察が可能な内視鏡が登場したことも大きく寄与している。「これまで小腸には病気が少ないとされてきた。しかし、研究が進んでいなかっただけにすぎなかった」と、複数の関係者は口をそろえる。

¹⁾蠕動運動＝動物の消化器官などにおいて、筋肉の収縮によって管内の物質をある一定の方向に進める運動のこと。

特殊な酸化銀ボタン電池を搭載

さまざまなインパクトを与えるカプセル内視鏡は、一体どのような設計なのか。国内で認可されているGiven Imaging社とオリンパスメディカルシステムズの小腸用カプセルを基に、形状や駆動、データ送信、カメラなどの点について見ていく。

形状は、図1に示したように極めてよく似ている。外径が11mmである点については両社とも「小腸の径が約

30mmであり、それに対して最適な大きさ」と説明する。カメラはカプセルの片側に備える。「器官内をカプセルが進む際、カメラ側が先頭になるように重心バランスを工夫している」(ギボン・イメージング 常務 薬事品質保証部 部長の亀井智成氏)という。

駆動については、蠕動運動^{ぜんどう}によってカプセルが消化器官内を進むため、モータなどの駆動源は備えない。カプセルを飲み込んでから小腸を通過し終わるまでの時間は約8時間であり、

内蔵する酸化銀ボタン電池の容量(駆動時間)は、これに合わせている。「通常のボタン電池では取り出せない数mAという大電流を消費するため、特殊な仕様の電池を搭載している」(オリンパスメディカルシステムズ 第1開発本部 撮像技術開発部長の笹川克義氏)という。

データ送信には、無線を利用する。撮影した画像データは逐次、患者の体外に張り付けたアンテナ・ユニットを介して無線送信され、アンテナ・ユ

図4 カプセル内視鏡検査の実態

カプセル内視鏡を用いた検査の大まかな手順の例を示した。検査にはカプセル内視鏡のほか、投与前の動作確認を行うためのビューフ、カプセル内視鏡からの画像データを受信するアンテナ・ユニットと受信装置、取得した画像データを解析するワークステーションを用いる。*の項目は、必要に応じて実施する。検査の手順は、「カプセル内視鏡カラーアトラス」(診断と治療社、2007年10月)を参照して作成した。

<検査前>

- 患者は検査の8時間以上前から絶飲食。少量の水は可

<検査開始:カプセル内視鏡投与>

- 患者に受信装置とアンテナ・ユニットを取り付ける
- カプセル内視鏡の滅菌包装を開封し、電源を投入する
- カプセル内視鏡をアンテナ・ユニットに近づけ、ビューフに画像が表示されていることを確認する
- 患者は水と共にカプセル内視鏡を飲み込む
- ビューフに消化管の画像が表示されていることを確認する
- *カプセル内視鏡が胃に到達したことを確認する
- *カプセル内視鏡投与から4時間後まで、患者は食事を取れない

<検査終了:カプセル内視鏡投与から約8時間後>

- 患者から受信装置とアンテナ・ユニットを取り外す

<フォローアップ>

- 患者は、カプセル内視鏡が排便時に排泄されたことを確認し、回収する
- 担当医師は、数日後、患者にカプセル内視鏡の排泄確認を行う
- *カプセル内視鏡の排泄が確認されない場合は、投与日から2週間以内に単純X線撮影によって体内の残留を確認する

<画像観察と診断>

- 受信装置に記録された画像データをパソコン本体に伝送する
- 医師は、パソコン本体にインストールされている専用ソフトを利用して画像観察と診断を行う



医師が患者にカプセル内視鏡を渡す様子。医師がカプセルに直接手を触れないように工夫されている。患者はカプセルを抜き取り、水と共に飲み込む



投与前の動作確認や、投与後1~2時間後に胃の幽門を通過しているかを確認するために、ビューフを利用する



患者にアンテナ・ユニットを張り付け、カプセルからの画像を受信する。データは受信装置に蓄積し、検査後にワークステーションで診断する

ニットにつないだ受信装置に蓄積される。いずれの製品も、1秒当たり2枚の画像を撮影する。一人(1回の検査)の撮影で取得する画像データの総容量は、数Gバイトに及ぶという。

カメラには、Given Imaging社がCMOSセンサ、オリンパスメディカルシステムズがCCDを用いる(表2)。暗い器官内を撮影するため、駆動時には照明用としてLEDが点滅する。加えて、オリンパスメディカルシステムズのカプセルは、自動調光機能を備える。器官内の明るさに応じてCCDの利得を調整するためだ。CCDが周囲の明るさをモニタリングし、最適な画像になるように自律的に制御する。「オリンパス製のカプセル内視鏡は画像が鮮明で、従来の内視鏡の画像と比べても遜色ない」(ある医療関係者)

という評価が挙がる。これに対し、Given Imaging社も自動調光機能を備える「改良型」を開発しており、海外では既に実用化されている^{注6)}。

多種多様なカプセルが登場へ 次世代の試作や要素技術が続々

カプセル内視鏡の開発競争は今後、ますます激しさを増しそうだ。先行するGiven Imaging社とオリンパスメディカルシステムズだけにとどまらず、現在、アールエフや韓国IntroMedic社、中国Chongqing Jinshan Science&Technology (Group)社をはじめ、複数のメーカーがカプセル内視鏡への取り組みを進めている^{注7)}。

各社の試作例や要素技術、医療現場からの声などを踏まえると、カプセル内視鏡は今後、大きく五つの方向に

進化しそうだ。①小腸以外の器官を観察できる、②外部から自在にカプセルを動かせる、③さらなる小型化、④電池を内蔵しない、⑤投薬や組織採取といった治療機能を搭載する、である(図5)。この五つは、既に一部で存在するものから、試作中のもの、要素技術が研究されているものまで、そのフェーズはまちまちだが、大まかには番号の順に登場してくる可能性が高い。これらの進化を一步一步遂げながら、カプセル内視鏡は「ミクロの決死圏」の世界に近づいていく。

大腸、食道、胃も自在に

①の小腸以外の器官を観察できるカプセル内視鏡については、既に存在する。Given Imaging社が食道用と大腸用を開発しており、海外では既に実用化されている^{注8)}。このほか、胃用のカプセルなども海外の研究機関で開発が進んでいるという。

小腸以外の器官は小腸よりも太いため、撮影すべき領域が小腸よりも広い。それに合わせてカプセルを大きくすることは患者が飲み込むことを考えると現実的ではないため、何らかの工夫が必要になる。また、口からたどると小腸より奥にある大腸などを観察する場合には、より長くカプセルが稼

表2 Given Imaging社とオリンパスメディカルシステムズの小腸用カプセル内視鏡の主な仕様比較

メーカー	Given Imaging社	オリンパスメディカルシステムズ
視野角	140度	145度
有効視程距離	30mm	0~20mm(観察深度)
倍率	8倍	5.7倍(15型XGAモニター上)
最小検出対象	0.1mm	非公開
センサの種類	CMOS	CCD
センサの画素数	非公開	非公開
フレーム・レート	2フレーム/秒	2フレーム/秒
自動調光機能	なし	あり
通信周波数	432M~434MHz	315MHz
標準駆動可能時間	7±1時間	8時間
電池の種類	酸化銀ボタン電池(DC3V)	酸化銀ボタン電池(DC1.55V)
カプセルの筐体材質	ポリウレタン	ポリサルフォン, ポリカーボネート(透明部)

注6) 2007年5月に米国のFDAの認可を取得した。

注7) 韓国IntroMedic社のカプセル内視鏡の大きさは、外径11mm×長さ24mm。小腸観察用に設計されているが、食道から大腸まで観察できている。駆動時間は11時間と長い。フレーム・レートは3フレーム/秒で、視野角は150度としている。同社のカプセル内視鏡の画像などは、<http://www.intromedic.com/>で確認できる。中国Chongqing Jinshan Science & Technology (Group)社のカプセル内視鏡の大きさは外径13mm×長さ28.4mm。小腸観察用である。駆動時間は7~9時間とする。フレーム・レートは2~

15フレーム/秒で、視野角は140度としている。同社のカプセル内視鏡の画像などは、<http://www.omom.us/>で確認できる。

働している必要がある。

Given Imaging社の食道用と大腸用のカプセルを見ると、このような課題に対処する工夫を施していることがうかがえる。まず、カメラを両端に備えている(図6)。食道用は一つのカメラで1秒間に9枚で計18枚、大腸用は一つのカメラで1秒間に2枚で計4枚を撮影する。つまり、1秒間に2枚撮影する小腸用に対して、フレーム・レートを高めている。これは、より大きな器官に対応させるための工夫とみられる^{注9)}。また、大腸用カプセルの駆動時間は約10時間と長い。これは、小腸用では二つだったボタン電池を三つに増やすことで対応しているようだ^{注10)}。

もっとも、胃のようにかなり大きな器官を観察する場合には、「胃に対してカプセルが小さすぎるため、何を見ているのか分からなくなる」(ある関係者)といった懸念もある。そこで、②のような外部から自在に動かせる機能の必要性も生まれる。こうした機能が備われば、既存の内視鏡のようにリアルタイム・ビューと組み合わせ、見たい患部を集中して観察することも可能になる。実現には、例えば磁力などの手段でカプセルを制御する技術が求められるだろう。

注8) 食道用カプセルは2004年11月に米国のFDAの認可を取得した。大腸用カプセルは2006年10月に欧州のCEマークを取得した。

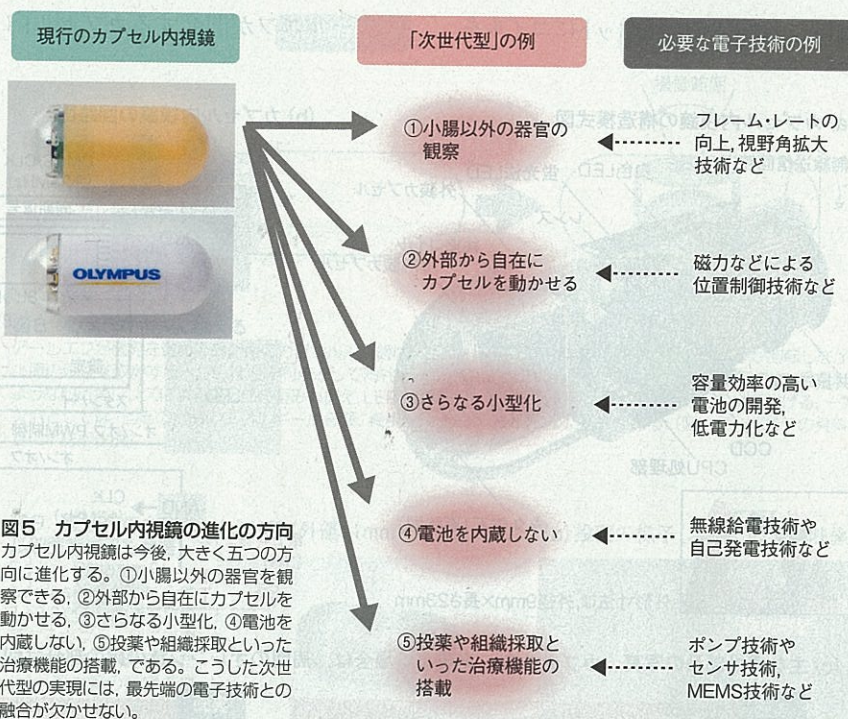
注9) 本誌の推測であり、Given Imaging社が明らかにしたものではない。

注10) ある医療関係者による情報であり、Given Imaging社が明らかにしたものではない。

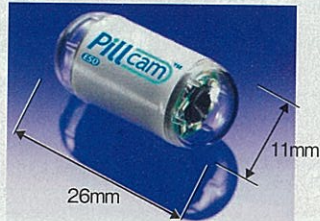
無線給電で駆動する

③のさらなる小型化についても、複数のメーカーが「検討している」と口をそろえる。より小さくなれば、カプセルを飲み込む際の患者の心理的な負担が少なくなる。一層の小型化を進めることで、「乳幼児でも検査が可能になる」と考えるメーカーもある。

現行のカプセル内視鏡の構造を見



(a) 食道用



(b) 大腸用

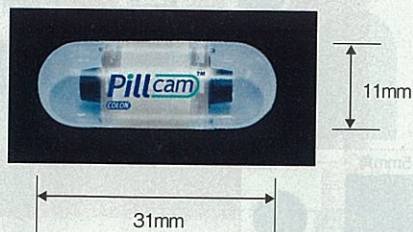


図6 カメラを両端に備える

Given Imaging社は、食道用と大腸用のカプセル内視鏡を既に開発している。食道用の外形寸法は外径11mm×長さ26mmで小腸用と同じだが、カプセルの両端にカメラを備えている(a)。大腸用の外形寸法は外径11mm×長さ31mmと、小腸用より少し長い(b)。食道用と同様に、カプセルの両端にカメラを備えている。(写真: CapsuleEndoscopy.org)

池が存在したスペースを、ほかの機能を実装するためにも活用できる。

電池を内蔵しない場合には、体外から無線で電力を供給したりカプセルに自己発電のような機能を搭載したりする形態が考えられそうだ。このうち、無線によって電力を供給するカプセル内視鏡については、アールエフが開発を進めている(図7)。

アールエフは、無線による電力供給に共振コイルを利用する。患者が検査時に着用するジャケットにコイルを

備え、ここから数M~数十MHzの周波数を放出する。カプセルには、これに共振するように調整したコイルを備えている。このコイルから同じ周波数の交流電流を取り出し、整流して内部の電源として利用する。同社が想定するカプセル内視鏡の消費電力は35mW程度(1.8Vで20mA前後)。これに必要な電流は同方法で「問題なく取り出せる」(同社 技術研究本部 上席主任研究員の佐藤信悟氏)という。

アールエフが開発するカプセル内

視鏡は、無線給電技術の搭載だけでなく、カプセルの中央に配置したカメラが回転しながら撮影する機構を備えるため、被写体に、より接触した鮮明な画像を取得できることをうたうなど、他と一線を画す独自のアイデアが盛り込まれている(図8)^{注10}。こうした独自性もあり、その動向に業界の注目が集まっている。アールエフは「臨床試験開始のターゲットは2009年春」(同社の佐藤氏)としている。

自己発電による電力供給も、将来

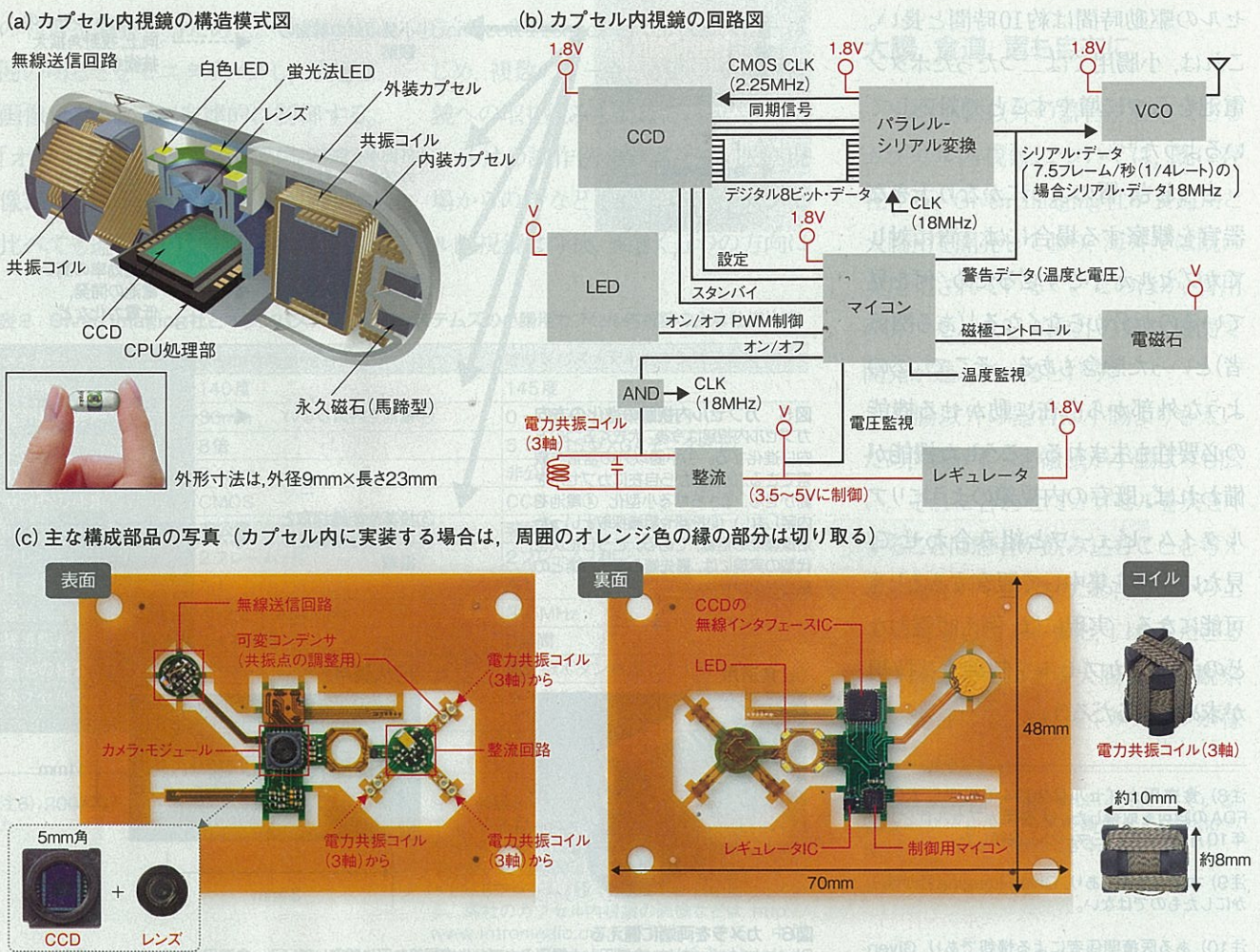


図7 電池を搭載しないカプセル内視鏡
アールエフが開発する最新型のカプセル内視鏡は電池を内蔵せず、外部から無線で電力を供給する(a)。電力供給には共振コイルを利用する(b)。搭載するCCDは5mm角(c)。(図:(a)はアールエフの資料に本誌が説明を付記、(b)はアールエフの資料を基に本誌が作成)

最新特許用「ビート」飛鳥

のカプセル内視鏡に向けた有力な手法となるだろう。2009年2月に米国サンフランシスコで開催される半導体関連技術の国際学会「ISSCC 2009」では、体温や振動、摩擦などを基に発電するセンサ向け技術の発表に1セッションが設けられるなど、開発が活発になっている。いずれ、こうした技術に応用したカプセル内視鏡も登場することになりそうだ。

は急激に上昇するが、腸の上部に進むと酸性度が徐々に低下する。内蔵するpHセンサでこうした変化を検知するとともに、飲み込んでからの経過時間を計測しておけば、投薬位置を特定できるというわけだ。このカプセルには内視鏡のようにカメラを備えていないが、今後、構成部品の小型化や実装技術の向上が進めば、一体型の実現も不可能ではないだろう。

「医師の手」の代わりとなる、微小な鉗子の研究も進む。例えば立命館大学は、MEMS技術を利用した幅0.8mm、厚さ0.1mmの「指」を開発している。空気の出し入れで曲げたり伸ばしたりできる。カプセル内視鏡との融合も視野に入れているという。(小谷 卓也)

参考文献
1) カプセル内視鏡研究会、「カプセル内視鏡—診療ガイド」, 南江堂, 2006年2月。

要素技術が芽生える

将来は、治療機能を搭載する⑤のようなカプセル内視鏡の実現も視野に入る。例えば、カプセルに薬剤を詰め込んで投薬する、カプセルに超音波や赤外線的发生装置を搭載して患部に放射する、カプセルに備える鉗子で生体組織を採取する、といった具合だ。

既に、こうした世界を目指した要素開発は始まっている。例えば、オランダRoyal Philips Electronics社の研究部門であるPhilips Researchは2008年11月、消化管内に薬を直接投与するカプセル型の医療機器「iPill」の開発を発表した(図9)。投薬には、マイクロプロセサで制御したポンプを使う。投薬場所の特定には、酸性度(pH)を用いる。例えば胃は酸性が強くと、カプセルが胃に到達すると酸性度

注11) カメラを回転させるため、カプセルを二重にした構造を採用する。外側のカプセルが小腸などの器官に押しえつけられた状態で、内部のカプセルが独立して回転できる。36度ずつ回転し、1周に10秒かかる。フレーム・レートは30枚/秒である。

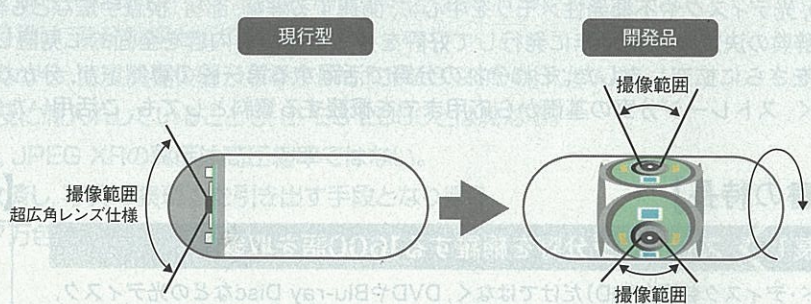


図8 カメラを中央に備える
アールエフが開発を進める最新型のカプセル内視鏡は、カプセルの中央部にカメラを備える。カメラが回転しながら小腸の画像を取得する。この構造の利点として同社は、小腸壁に、より近接した状態でくまなく撮影でき、現行型のような超広角レンズによる周辺部の歪みも抑え、LED照明の明るさ不足の懸念も少なくなるなどの点を挙げる。一方、欠点としては、回転のためのエネルギーが必要、機構が複雑になる、といったことがある。(図:アールエフの資料を基に本誌が作成)

図9 投薬用のカプセル型医療機器も登場 (a)外観(外径11mm×長さ26mm) (b)投薬の様子(水中での実験映像)



(c)カプセルの構造模式図

