

新市場に展開する光応用製品

光応用製品事業推進室 中 楯 健 一¹

Development of Applied Optics Products to the New Market

K. Nakatate

当社の光応用製品は、通信用光ファイバ技術の産業機器や医療機器への応用から始まりました。現在では、特殊ファイバとその加工品だけでなく、新規な光学要素、半導体加工技術、電子技術など異分野の技術を複合して新市場に展開しています。

Fujikura's first "applied optics products" were specialty optical fibers which were applied to industrial and medical usage. Today, "applied optical products" are incorporated with novel optics, semiconductors and electronics, and deployed to new applications.

1. ま え が き

当社では、1980年代より通信用光ファイバ技術を基礎として、イメージファイバや大口径ファイバ等、特殊ファイバの開発を行い、細径内視鏡やファイババンドルなど光応用製品に適用してきました。これらは、発電所、半導体製造、電子機器製造、医療など様々な領域で使用されています。

近年では、上記の従来型光応用製品に加えて、ファイバレーザのように光ファイバをアクティブ素子として利用する製品、光ファイバとは異なる光学要素を用いた装飾用照明デバイス、あるいは、CMOSイメージセンサを用いた医療用デバイスなど、異分野技術を融合した製品開発を行っています。以下、各分野での光応用製品開発について紹介します。

2. 産 業 分 野

産業分野向け光応用製品を大別すると、特殊ファイバを活用した製品と、樹脂を加工して作製する照明部材があります。

特殊ファイバを活用した製品としては、工業用内視鏡、大口径ファイバ加工品、ファイババンドルがあります。工業用内視鏡は、火力発電所のボイラや石炭ガス化炉のモニタや、原子力発電所の点検作業に、大口径ファイバ加工品は、油井やプラントでのセンシングに利用されています。また、ファイババンドルは、半導体の露光装置や電子機器の組み立て機器に使用されています。

産業分野で使用される特殊ファイバは、主に石英ガラ

ス系の光ファイバで、上記の製品は、その特徴である耐環境性（耐熱性、耐放射線性、耐薬品性など）や、伝送特性（紫外線、近赤外線領域での低損失性）をいかしたものとなっています。

また、照明部材は、照明、装飾、および、表示などの用途で使用されています。

以下、工業用内視鏡と装飾用照明部材について紹介します。

2. 1 工業用内視鏡

工業用内視鏡はファイバスコープとも呼ばれ、画像伝送媒体として石英系イメージファイバを使用しています。その構造は、石英系イメージファイバの一端に対物レンズを配置し、観察対象をイメージファイバ端面に結像させ、他端には、イメージファイバから伝送されてきた像をCCDカメラなどの撮像デバイスに結像させるための撮像レンズを組み付けたものです。この構造により、直接観察が難しい狭隘部や高温部を有する対象物の画像観察が可能となります。

2. 1. 1 石炭ガス化炉用ファイバスコープ

化石燃料の効率的燃焼と環境対策（CO₂、NO_x、煤塵等の排出量の削減）の一環として、石炭を燃料とする石炭ガス化炉¹⁾の開発が以前より行われています。近年、この技術を利用した石炭ガス化複合発電技術（IGCC）や石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）など高効率の発電方式の実用化が進んでいます。

石炭ガス化炉はそのプロセスが複雑なため、炉内の燃焼挙動の解明や、安定した動作を維持するためのモニタが必要です。モニタ手段としてファイバスコープが好適に用いられており、高温、高圧、水蒸気下での画像観察、および近赤外光を利用した同時温度測定が可能となりました。

1 光応用製品事業推進室設計開発部グループ長

略語・専門用語リスト			
略語・専門用語	正式表記		説明
石炭ガス化炉			石炭から、高温高压下で、可燃性のガスを取り出し、発電機などの燃料とするシステム、水素を取り出し自動車や燃料電池への利用も検討されている。
IGCC	Integrated Coal Gasification Combined Cycle		石炭ガス化複合発電 石炭をガス化炉と、ガスタービンコンバインドサイクル発電（GTCC）と組み合わせた、発電方式。高効率。
IGFC	Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle		石炭ガス化燃料電池複合発電 石炭ガス化複合発電にさらに、高温型燃料電池を組み合わせた発電方式。IGCCよりもさらに高効率。
イルミパネル	IllumiPanel		導光板に特殊な反射ドット（溝）を多数形成したことを特徴とする照明またはイルミネーション当社の登録商標。
イルミロッド	IllumiRod		導光棒（ロッド）に特殊な反射ドット（溝）を多数形成したことを特徴とする照明またはイルミネーション当社の登録商標。
ガイドワイヤ			カテーテルなどの医療器具を、血管や管腔をとおして、その病変部まで、安全に導くためのワイヤ状の医療機器。
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor;		相補型金属酸化膜半導体 メモリや、マイクロプロセッサなどロジックICなどで広く使用されている。
CMOSイメージセンサ			CMOSを用いた固体撮像素子 他のCMOSデバイス同様にと汎用の半導体製造装置が使用できることからCCDイメージセンサ（Charge Coupled Device Image Sensor）に比べ、低コスト。
カテーテル			体腔や管腔に挿入し、体液等の排出、薬剤の注入、または、異物の排除、機器の設置などの治療を行う管のこと。用途、部位に応じて様々な種類がある。
栄養チューブ			何らかの要因で、咀嚼等が困難になった人に対し、チューブを介し、流動食などを胃などへ送りこむ際に使用されるチューブ。鼻孔から挿入するものや、胃壁を通して送るものなど種類がある。

2. 1. 2 耐放射線性ファイバ스코ープ

コアに純粋石英を使用した石英系イメージファイバは、放射線に対し優れた光学的、機械的耐久性を示します。この耐放射線性イメージファイバを画像伝送媒体として使用し、温度・圧力などにも耐久性のある被覆構造を付与した製品が、耐放射線性ファイバ스코ープです。（図 1）

耐放射線性ファイバ스코ープは、原子力発電所の点検作業や、付帯設備の動作のモニタなどに使用されています。また、イメージファイバと大口径ファイバの機能を併せ持つ複合ファイバによる保守技術の開発も進んでいます²⁾。

図 2 に、伝送画像の γ 照射による影響を評価した結果を示します。図 2-1 は、試験に使用した観察原画、図 2-2 は試験用ファイバ（3000 画素）による γ 線照射前の伝送画像、図 2-3 は線量率 1 kGy/h で γ 線を 2 時間照射後の伝送画像です。

総線量 2 kGy 照射後でも、伝送画像の明るさ、色調、コントラストには変化が見られず、十分な耐放射線性を有していることが確認できます³⁾。

また、耐放射線性ファイバ스코ープの仕様例を表 1、その伝送画像を図 3 に示します。

2. 2 装飾用照明

当社の照明用部材は、イルミロッド、イルミパネルという製品名で商品展開されています。照明のほかに装飾や表示にも利用されています。イルミロッド、イルミパネルは、透明樹脂をベースとし、フジクラ独自のドット加工により作製されたライトガイドデバイスであり、様々な要求に合わせた形状・配光機能により、目的とする方向に高輝度で光を放射することが可能となりました。光の利用効率が高いため、LED など光源の使用数を削減するとともに消費電力を抑制することができ、コスト削減、

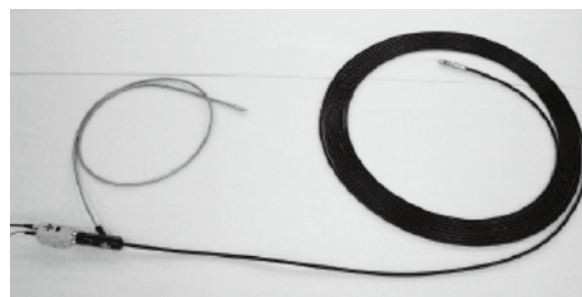


図 1 耐放射線性ファイバ스코ープ
Fig. 1. Radiation resistant fiberscope.



図2-1 観察ターゲット
Fig. 2-1. Original image
(Color chart).

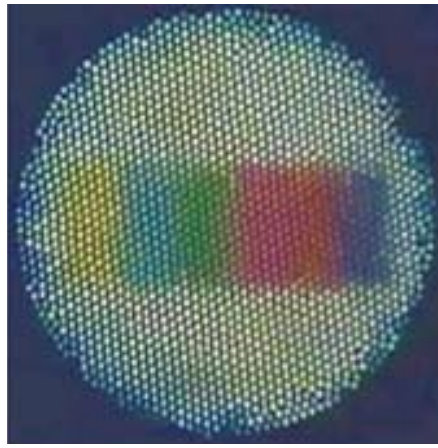


図2-2 照射前伝送画像
Fig. 2-2. Transmitted image
(before irradiation).

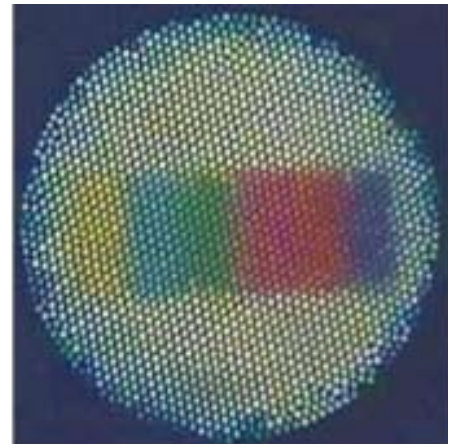


図2-3 2kGy照射後の伝送画像
Fig. 2-3. Transmitted image
(after irradiation).

表1 耐放射線性ファイバースコープ仕様例
Table 1. Specifications of a radiation resistant fiberscope
(as an example).

項目	仕様値
画素数	10,000
視野角	40°
視野方向	直視
観察距離	約 20 ~ 100 mm
スコープ有効長	18.3 m
対物先端外径	φ 15 mm
ライトガイド	有
ライトガイド有効長	2 m
許容曲げ半径	R 300 mm



図3-1 耐放射線性ファイバースコープ伝送画像
Fig. 3-1. Transmitted image
(Numeric character chart).

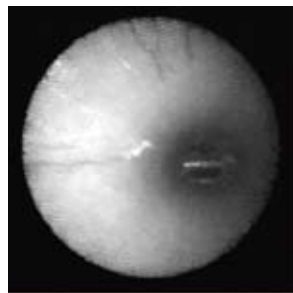


図3-2 耐放射線性ファイバースコープによるパイプ内観察画像
Fig. 3-2. Transmitted image of inner surface of a metal pipe.

省エネ効果が期待できます。自動車の内装照明、携帯電話やスマートフォン、アミューズメント機器などの装飾照明への利用が進んでいます。ここでは、アミューズメント向けLED分岐ライトガイドについて紹介します。

2. 2. 1 アミューズメント向けLED分岐ライトガイド
ゲーム機器などアミューズメント分野においても低コ

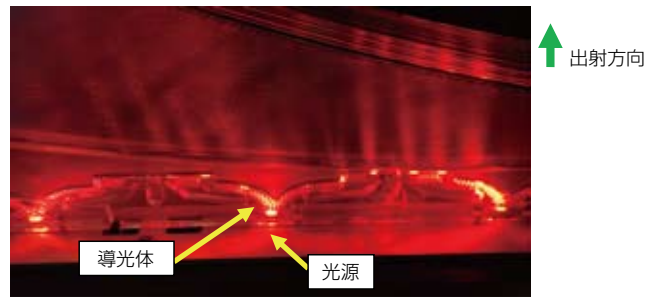


図4 アミューズメント向けLED分岐ライトガイド外観
Fig. 4. Branched light guide.

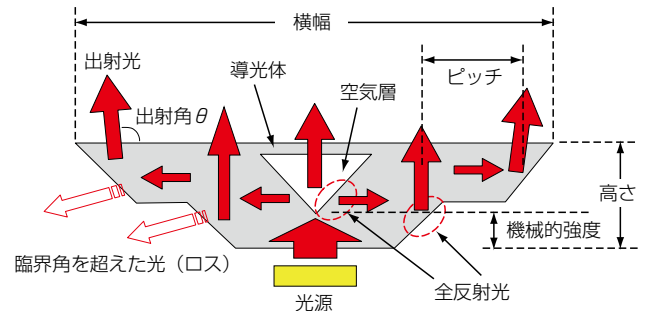


図5 原理説明図
Fig. 5. Structure of branched LED light guide.

スト化、省エネ化が図られていますが、装飾用イルミネーション用のLEDの使用数を減らしてしまうと演出性が低下してしまうため、演出性を保ったままLEDの使用数を減らすことが重要となります。

図4に示すLED分岐ライトガイドは、一つのLEDからの光を幅広く均一に一方方向に照射するためのものです。全反射によって光を導光し分岐を行っているため、反射用のコーティングが不要であり、コストの削減が図られています(図5)。また、分岐後の各反射面からの配光や反射面積、反射光量がほぼ同じになるように設計されて

おり、LEDを多数個使用したものと同様の演出効果が得られるように設計されています。

図4の例では、分岐毎の反射光量のばらつきは平均±9%であり、また、目標とする厚み(10mm以下)、出射方向、機械強度等の要求事項を満足した上で、光の利用効率約52%を実現しています⁴⁾。

3. 医療分野

医療分野においても、石英系の特殊ファイバを使用した製品の検討を行っており、これまでに、細径イメージファイバを用いた内視鏡や大口径ファイバを利用したレーザーによる歯科治療用チップ、PDT(光線力学的治療)やPDD(光線力学的診断)用のファイバアセンブリおよびその周辺機器の開発を行ってきました。また、光学技術にエレクトロニクスを融合することにより、柔軟性と低コスト性を活かしたCMOSイメージセンサモジュールの検討を行っています。

本稿では血管内視鏡とCMOSイメージセンサモジュールについて説明します。

3.1 血管内視鏡システム

石英系イメージファイバを用いた内視鏡は、外径が1mm以下と細く、従来の医療用内視鏡が適用できなかった血管、眼球、胆管、膵管、尿管など体内狭腔部の観察が可能となりました。近年、生活習慣の変化とともに狭心症や心筋梗塞などの虚血性心疾患が増加していますが、そのステント治療における観察手段として、血管内視鏡の重要度が増しています。

血管内の観察手段としては、血管内超音波内視鏡検査(IVUS)や、OCT(光干渉断層撮影)があります。しかし、現在、直観的に対象部位の状態が把握でき、対象部位の組織の性状の同定に必要な色の情報が得られるのは、血管内内視鏡検査(CES)のみであり、その重要性は変わっていません。また、ほかの観察手段における結果の判定の基準としても利用されています⁵⁾。

さて、血管内視鏡は血流遮断型と血流維持型に大別されます。血流遮断型は、観察時に閉塞バルーンを標的近位部で拡張して血流を遮断し、さらに遠位部に生理食塩水などをフラッシュすることで血液を完全に排除して内腔を観察するものです。このため、視野が良好で内腔の全周性画像を得ることができるという利点を持ちますが、観察中はバルーンによる閉塞に伴い血管壁を傷つけたり、一時的な心筋虚血に陥る可能性があるという欠点があります。

一方、血流維持型はバルーンによる冠動脈の血流遮断を必要としないため、血管壁へのダメージのリスクが低く、観察時の心筋虚血は軽度であるためより安全です。しかし、生理食塩水などを流して血液を排除(フラッシュ)する際に、フラッシュ位置と量が適正化がむずかしく、結果的に、フラッシュカテーテル近傍の画像しか取得できず、また、カテーテルの干渉により狭視

野であることとあいまって、内腔全体を観察しにくいという欠点がありました。

また、現在、ステント留置後のフォローアップには上腕からカテーテルを挿入しますが、下肢からの挿入に比べて、細いカテーテルを使用するため、現行の血管内視鏡のサイズでは対応ができませんでした。

これらの問題の解決のため、血流維持型においても十分な視野を確保した細径血管内視鏡(Smart-i)、およびイメージングシステム(i-Light内視鏡装置)を新たに開発しました。

本開発品は、内視鏡を血管内で移動させながら静止画を連続的に撮影し、対象部全体の画像を短時間で一度に取得することで、虚血リスクを減らす新しい観察手法を提供しています。

なお、本開発品は当社グループの医療機器製造販売業者であるファイバーテック株式会社で製品化が完了しており、株式会社アイハート・メディカル株式会社殿より製品リリースされる予定となっています。

3.1.1 血管内視鏡(Smart-i)

※“Smart-i”(スマートアイ)は、アイハート・メディカル株式会社殿における商品名です。

挿入部の細径化によって、血管の細い上腕からの挿入を可能にするとともに、フラッシュ量の増大が図られました。

また、先端部にガイドワイヤを通すことにより、観察部までの導入を確実にするとともに、前述の連続画像を取得するための観察位置の移動操作をスムーズに行うことができます。

なお、ガイドワイヤの使用と先端部の形状効果により、血管壁に対する観察方向が維持されるため、フラッシュカテーテルに視野を邪魔されずに明瞭な観察視野を確保することが可能になります。

導中部には、ポリイミドチューブとハイポチューブ(金属製の薄肉管)の組み合わせ構造を採用し、トルク伝達性と先端部の柔軟性を確保して挿入性と回転操作性の向上が図られました。

図6に、観察画像の例を示します。血液が完全に排除

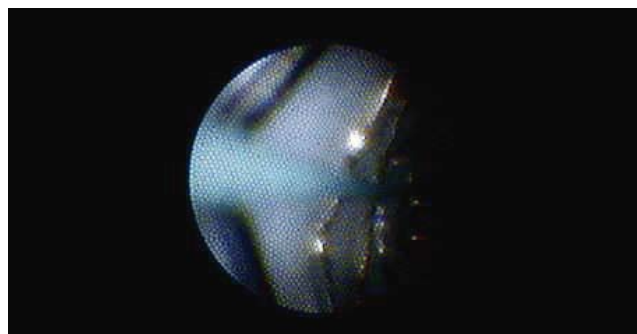


図6 血管内観察画像
(豚による動物実験。白く見えるのが血管壁、金属はステント)
Fig. 6. Observed image of porcine coronary.

され、血管壁とステントの状態が鮮明に観察できています。

また、表 2 および図 7 に本製品の仕様と外観を示します。

3. 1. 2 イメージングシステム (i-Light 内視鏡装置)

※“i-Light 内視鏡装置”(アイライトナシキョウソウチ)は、アイハート・メディカル株式会社殿における商品名です。

血管内視鏡などの細径内視鏡では、直接目視による観察のほか、イメージング装置(撮像用カメラ機器および、照明用光源等からなる装置)により、画像観察および記録が可能です。

当社では、細径内視鏡の利用範囲を拡大するため、廉価版のイメージビューア“i-Light 内視鏡装置 IL-01”を開発しました。

本開発品は、照明用光源として白色LED光源を内蔵し、CCDカメラによる観察とフレームレート毎秒 15 枚での連続撮影機能を有しています。前述の様に、血管内での患部撮影時における重要部位の撮り逃しを防止するとともに、患部の特定に伴う撮影時間の短縮を可能として

表2 Smart-i (S10) 仕様
Table 2. Specifications of Smart-i (S10).

項目	仕様値	
画素数	3,000 画素	
視野角	60°(空気中)	
先端形状	スライド構造 ※ 0.010" ガイドワイヤ対応	
Smart-i挿入部径	スライド部	1.0 mm × 0.7 mm
	フレキシ部	φ 0.45 mm
	セミフレキシ部	φ 0.50 mm
挿入部有効長	1,550 mm	
対応カテーテルサイズ	4 Fr(φ1.33 mm) ~ 5 Fr(φ1.67 mm)	
端末形状	イメージガイド	ファイバテック社仕様
	ライトガイド	ファイバテック社仕様

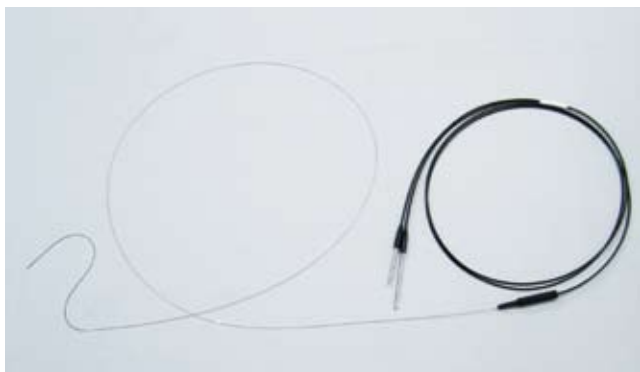


図7 Smart-i (S10) 外観
Fig. 7. Smart-i (S10).

います。また、USBによるPCとのデータ通信機能を搭載し、映像を直接デジタルデータとして記録することができます。ほかの特徴として、バッテリーを内蔵しているため、商用電源がない場所でも単体駆動が可能なほか、停電時の安全性の向上が図られています。表 3 に本開発品の仕様を示します。

3. 2 CMOSイメージセンサモジュール

内視鏡を用いた治療あるいは診断は、低侵襲性という特長から広く普及しています。しかしながら、内視鏡を使用する際に感染症を避けるために実施する滅菌作業に対するコストや、滅菌に対する耐久性を内視鏡に持たせるためのコストが、医療費を押し上げる要因となっております。



図8 i-Light 内視鏡装置 (IL-01) 外観
Fig. 8. i-Light (IL-10).

表3 i-Light (IL-01) 仕様
Table 3. Specifications of i-Light (IL-10).

項目	仕様値		
電源	ACアダプタ AC入力電圧：90 V ~ 264 V 内蔵充電電池		
撮像部	1/4" CCD 有効画素：659 (H) × 494 (V)		
光源	白色LED		
外部モニタ出力	デジタル出力 (DVI-D) VGA：640 (pixel) × 480 (pixel) /動画出力：30 fps		
外部インターフェース	USBインターフェース(USB 2.0 準拠)		
機能	連写	フレームレート	5 FPS, 15 FPSの二通りを選択可能
		記録サイズ	VGA：640 (pixel) × 480 (pixel)
		記録形式	JPEG
		連写時間	1 ~ 10 秒間 (1 秒間隔で設定可能)
デジタルズーム	可変可能倍率	記録可能枚数 (内蔵RAM)	450 枚 5 FPS, 10 秒設定時：9 回 15 FPS, 10 秒設定時：3 回
			1 倍, 1.5 倍, 2 倍, 4 倍

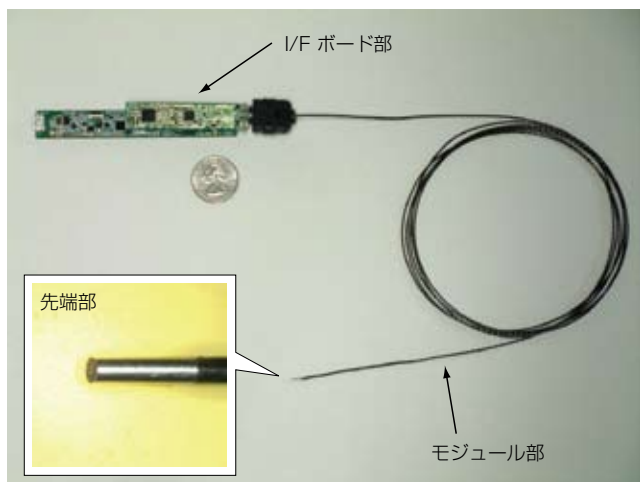


図9 CMOSイメージセンサモジュール外観
Fig. 9. Miniature CMOS image sensor module.

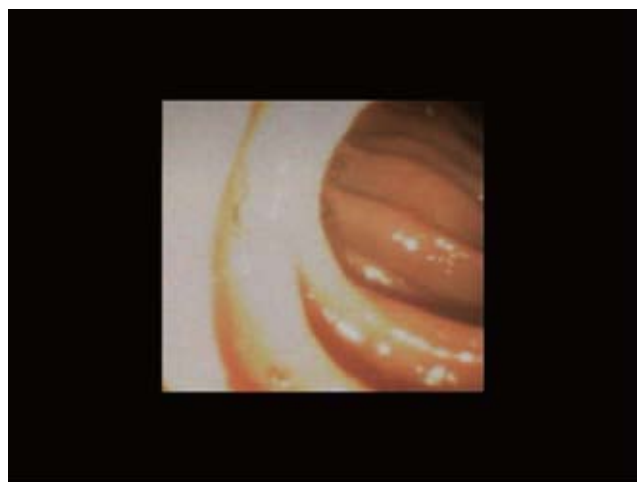


図10 CMOSイメージセンサモジュールによる観察画像
(十二指腸モデル画像)
Fig. 10. Image of a mock duodenum observed by
endoscope system using miniature
CMOS image sensor module.

り、使い捨て可能な内視鏡の実現が期待されています。

一方、栄養チューブなどのカテーテルを人体へ挿入、留置する際に、位置確認が必要な場合があります。位置確認にX線を利用する場合は、在宅治療は無理で特定の病院施設で対応することになります。また、ICU (Intensive Care Unit) などで頻繁にカテーテルを交換するケースでは、患者の被曝量が問題です。そこで、X線に代わり画像によって挿入位置を確認 (Direct Visualization)⁶⁾ できるカテーテルが検討されています。また、このようなカテーテルは対象部位を直接視認できるため、治療や生検などの手技を安全、確実に実施することができます。

これらの市場要求を踏まえ、上記のCMOSイメージセンサを用いた細径・低コストのイメージングデバイスを開発しました (図9)。本開発品は、当社が有する微小光学系アセンブル技術、半導体加工技術、ファインFPC (Flexible Printed Circuit) 技術、極細集合ケーブル技術等の集大成であり、先端硬性部のサイズとして世界最小レベルである直径 1.2 mm、長さ 5 mmを実現しています。同時に、長い伝送距離 3.5 mと広い画角 120°を達成しています。さらに、医療機器への適用を考慮して生体適合性など各種要求に配慮したものとなっています。本製品を用いて作成された内視鏡システムによる画像を図10に示します。前述の目的にかなう十分な画質が得られていることがわかります。

4. む す び

市場の要求に呼応して光応用製品開発を続けてきました。今後も、光ファイバ技術だけでなく、他分野の技術の取り込みをはかり、アプリケーションを念頭に置いた新製品開発、新市場開拓を進めてまいります。

参 考 文 献

- 1) 犬丸他：石炭ガス化複合発電の経緯と現状，電中研レビュー No.44「石炭ガス化複合発電の実現に向けて—実証機開発の支援と将来への研究展開—」，pp.9-25, 2001
- 2) 岡他：複合型光ファイバを用いた1インチ伝熱配管用観察補修レーザー加工ヘッドの開発，保全学 8(4)，p.37-42, (2010)
- 3) 内藤他：高速実験炉「常陽」における原子炉容器内保守・補修技術開発—高耐放射線ファイバスコープの開発—，JAEA-Technology 2012-009, 2012
- 4) アミューズメント向けLED分岐ライトガイド，フジクラ技報 第121号，pp.54, 2011
- 5) 松岡他：冠動脈イメージング (CT, MRI, CAS, OCT, IVUS) の現状，第25回日本血管内視鏡学会プログラム・抄録集，pp.29, 2011
- 6) P. Dragnov et al: Prospective evaluation of the clinical utility of ERCP-guided cholangiopancreatography with a new direct visualization system, Gastrointestinal Endoscopy Vol. 73(5), pp. 971-979, 2011