

眼科 OCT の概要・経済効果

株式会社ニデック
太田 康夫

1 はじめに

加齢黄斑変性症（AMD:age-related macular degeneration）という眼の病気は、網膜の中心部にある黄斑に障害が生ずると見ようとするところが見えなくなるという恐ろしい病気である。この AMD になり進行すると、以下の図 1¹⁾にある大きな写真のように橋がゆがみ黒い暗点が出てしまい、そのまま放置すると失明する。

この AMD、欧米では成人の失明原因の第 1 位であり、日本においては現状 4 位の失明率である。そして、社会の高齢化と生活の欧米化により、近年 50 歳以上で著しく増加しており、日本の一部の調査ではとくに男性の発生率は欧米並みであるとも報告されている²⁾。しかし、早く見つければ最新のレーザーや薬による治療（PDT や VEGF など）により、回復したりある程度の視力が維持できるとのことである

進行期の症状：中心暗転・視力低下
ものの中心部分が欠けて見えます。



図 1 黄斑疾患による見え方

が、早期発見と早期治療が原則である。

最近、一日パソコンの LCD 画面を見て仕事をしていると、夕刻ピントが合わなくなり、解像度が落ちることから、近くの眼科開業医を訪れた。結果は、加齢による眼精疲労であり、点眼薬をもらった。しかし、視力検査や眼圧測定、視野検査、眼底観察など、開業医でもかなり高度な検査や診察をしていたお陰で、心配される糖尿病や AMD・黄斑疾患や緑内障など失明に至るような病気はなさそうで、その安心感は充分この眼科開業医で得られたのである。特にその決定的な診断を可能としたのが、光干渉断層計（OCT：optical coherence tomography）と呼ばれる装置を使い眼底網膜組織の断層像が、簡単な操作で得られるようになったことである。

この生体に対し非侵襲で高密度な検査・観察が可能な OCT は、更に網膜だけでなく、前眼部の角膜や隅角、虹彩の断層像、立体像、そして 3D 画像から部位の特定と厚みや角度などの計測や、正常眼データからのスクリーニングも可能となり、いまや眼科医必須の診察機器である。

2 失明原因と OCT の役割

日本眼科医会が平成 21 年 9 月 17 日に報道用資料として『視覚障害がもたらす社会損失額、8.8 兆円』サブタイトル「～視覚障害から生じる生産性や QOL の低下を、初めて試算～」が公開された³⁾。この報告は日本眼科医会のホームページから入手できるので、8.8 兆円の詳細はその資料を参照していただくとして、その中で最新のデータから、視覚障害者数を図 2 のように 164 万人と報告している。

ここでいう「ロービジョン」は眼の良い方の視力 0.1 以上で 0.5 未満であり、「失明」は良い方の視力

	男性	女性	合計
ロービジョン	752,000	697,000	1,449,000
失明	98,000	90,000	188,000
視覚障害者数	850,000	787,000	1,637,000

図2 日本の視覚障害者数

0.1以下としており、米国の基準を用いて国勢調査資料や公的予想資料、疫学研究資料から視覚障害者数が推計されている。そして165万人の視覚障害者(良い方の視力0.5以下)の原因疾患を図3のように分類している。

この結果、日本における視覚障害の原因疾患は、1位が緑内障、2位が糖尿病網膜症、3位が変性近視、そして前述のAMD(加齢性黄斑変性)が11%で4位である。更に報告では、ロービジョン(眼の良い方の視力0.1以上で0.5未満)の男女別原因疾患分類では、女性は緑内障(27%) 糖尿病網膜症(24%) 変性近視(8%) 加齢性黄斑変性(3%)であり、男性は緑内障(30%) 糖尿病網膜症(9%)

加齢黄斑変性(7%) 変性近視(5%)と男性の加齢黄斑変性の割合が高まっている。また、明らかな高齢化社会への進行と、生活の欧米化により、加齢黄斑変性の高率化はこのままでは止められない状況である。

報告ではこれらの低いQOL(quality of life)のまま生き続ける視覚障害者数の推移とともに、疾病による本人と家族と社会に及ぼす経済的な負担・社会の損失(コスト)を、2007年現在で8.8兆円と試算している。またこのままでは、2030年に視覚障害者

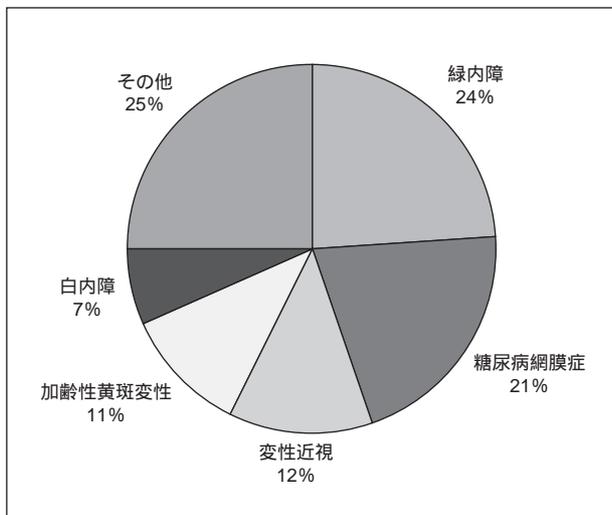


図3 視覚障害者の疾患原因

が202万人に達し社会損失は11兆円に増加するが、予防や早期診断に対する国民意識の向上、より積極的な治療、ロービジョン・ケア、そして新しい研究やテクノロジーの導入があれば、社会損失は半分の6兆円までに減らせると締めくくっている。

まさに非侵襲的に、より早期に、診断と治療ができれば、日本の社会に大きな経済効果をもたらすことになり、OCTを始めとする眼科診断・治療装置の技術面と臨床診断の進化が重要であることは明らかである。

3 眼科 OCT の機能・特徴

OCTは1996年にドイツに本社のあるCarl Zeiss社が世界で初めて眼科向けに製品化されたが、実は1990年に元山形大学教授の丹野直弘さんがマイケルソン型の光干渉計を応用して断層計を考案し特許を出願⁴⁾している日本発・世界初の技術である。また、1991年にMITのFujimotoさんが同様の原理を米国で独自に発表し、前述のCarl Zeiss社のOCTの製品化に結びつく。

最初のOCTはtime domain(TD-OCT)と呼ばれ、干渉計のミラーを機械的に動かしながら網膜の深さ方向の断層像を作っていく方法であり、検出や画像化に時間がかかったが、従来の眼底平面画像しか得られない状況から、夢のような断面像の出現であり、欧米と日本で競って高性能化の研究開発がされた。

その後の2006年、日本のトプコン社が世界で最初にspectral domain(SD-OCT)の眼底観察用OCTの発売を開始した。このSD-OCTの出現により、測定・画像処理速度や空間解像度、検出感度を飛躍的に高めることが可能となり、今現在では殆どの製品がこのSD-OCTに変わっている。

図4はSD-OCTの眼底をスキャンしている模式図であるが、様子は超音波診断装置に似ている。まず網膜にOCT装置から近赤外光が入射し、その反射光と装置内部の参照光との干渉光をフーリエ変換することにより、図4のようなA-scanの一次元の波形ができる。そして、そのA-scanを図の右方向にスキャンし、A-scanを二次元に並べ反射強度の濃淡をつける画像処理することにより、B-scan網膜断面像、OCT眼底断層像が得られる。更なる原理の詳細などは専門書や

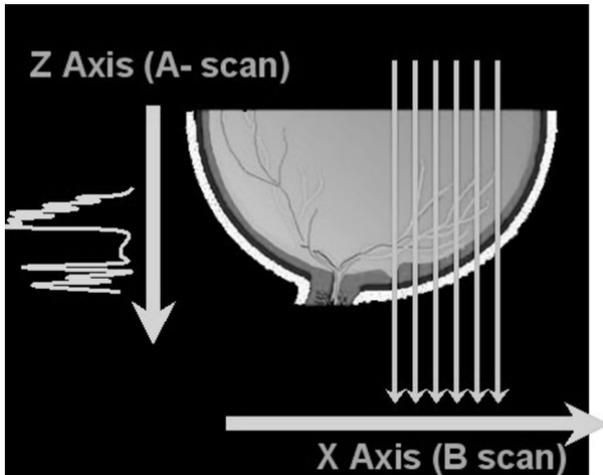


図4 SD-OCT 眼底スキャン

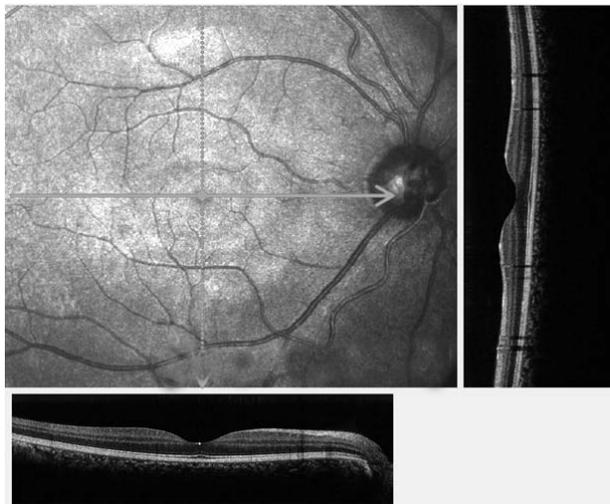


図5 実際の眼底画像と OCT 断層像

簡単にはインターネットで情報が得られる。

図5は実際の眼底の黄斑部をOCTで垂直と水平にスキャンした眼底断層像である。同時に眼底平面像が表示され、OCT断層像との部位や位置の確認、周囲の眼底の診断が可能である。図では視神経線維層が表面に白くあるのが確認できる。

網膜はわずか250ミクロン前後の厚みに視細胞や視神経など機能別に10層の組織が重なり合っており、現状のOCTではその層の分離が可能な分解能までに達している。市販のOCTは汎用な眼科検眼装置などと同様な大きさ、オートフォーカスなど補助機能の充実により、非常に簡便に断層像が得られるところまで完成されている。更に現在のOCTの特徴的なところは前述のように、単に網膜の断層像を得られるだけでなく、断層

像から各組織の形態的な厚みなどを定量測定し、健常者のデータベースと比較することにより、緑内障や黄斑などの解析が自動的に可能など、補助的な診断まで装備しているものが少なくない。

ゆえに、眼科開業医でもより高度な診断が可能となり、OCT出現から世界的な規模による進化を遂げており、いまや眼科診断に無くてはならない装置であり、黄斑疾患や緑内障など失明につながる疾患の早期発見に着実に貢献しており、日々その精度が高まっている。

眼科OCTの果たす経済効果は非常に大きい。

4 眼科OCTの症例画像

OCTで観察されている代表的な病気とその画像や解析画面をいくつか以下に示す。

(1) 黄斑円孔(図6)

網膜黄斑の中央に穴が開く疾患で、円孔が生じるとともに一気に視力低下が起きる。高齢者に多く、手術が必要になる。

(2) 黄斑前膜(図7)

黄斑の上に線維性の膜が張り、徐々に視力が低下する疾患で、高齢者の女性に起きやすい。視力低下が著しい場合は、膜を取り除く手術が必要となる。OCT画像で見ると病気の進行程度が明瞭に確認できる。

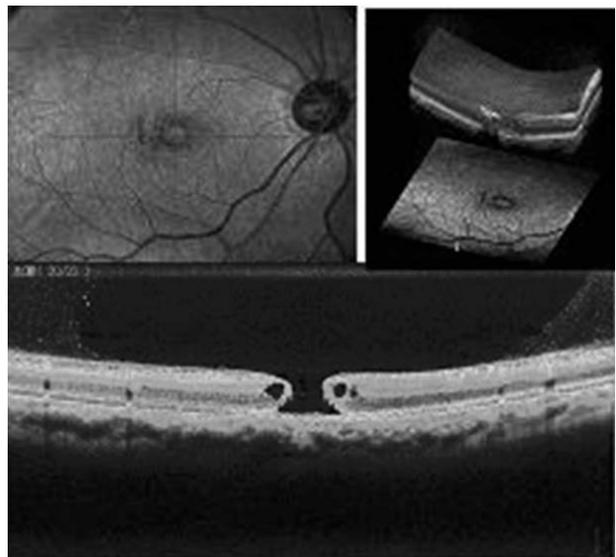


図6 黄斑円孔

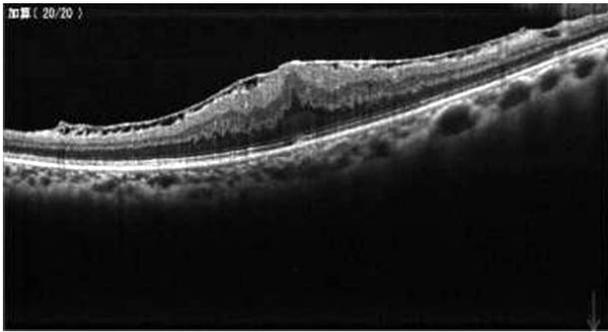


図7 黄斑前膜

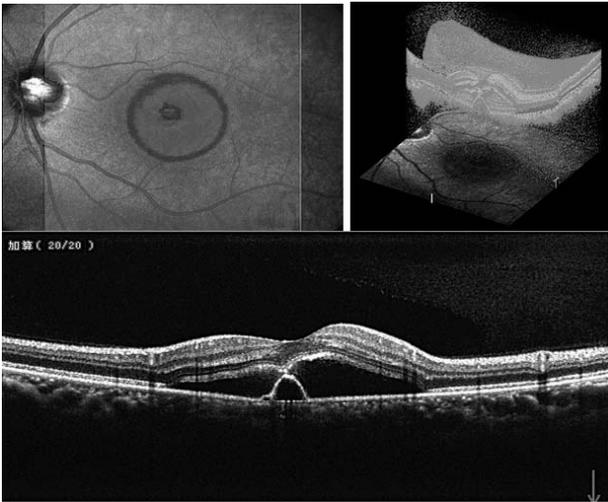


図8 中心性漿液性網脈絡膜症

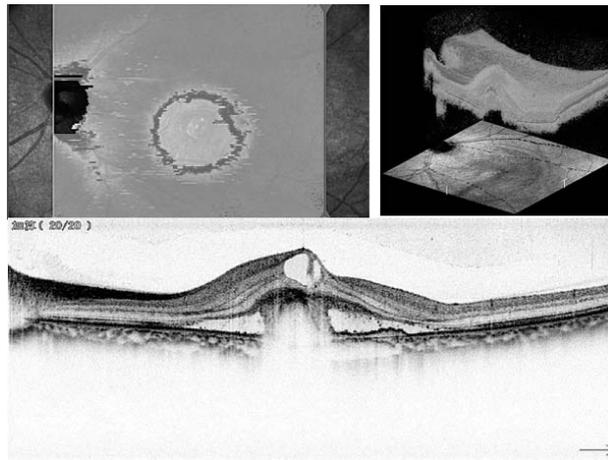


図9 加齢黄斑変性症

(3) 中心性漿液性網脈絡膜症 (図8)

黄斑に漿液性網膜剥離が発生すると、視力低下を引き起こす。中高年の男性に多く、ストレスも原因のひとつと言われている。OCTでは網膜剥離部分が明瞭に確認できる。

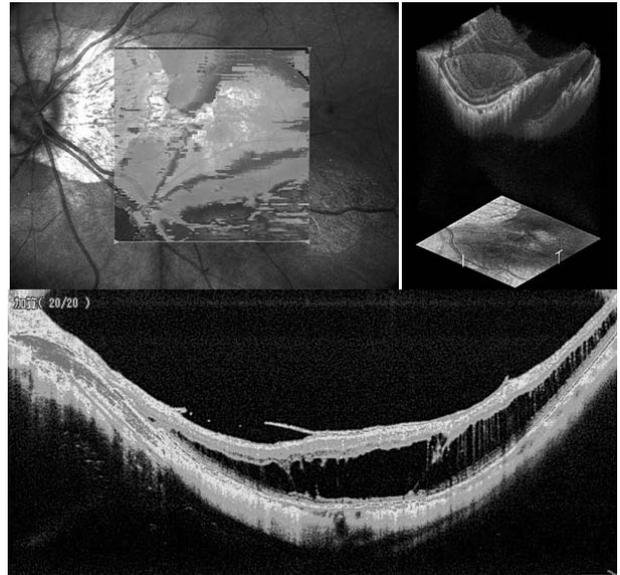


図10 近視性網膜分離症

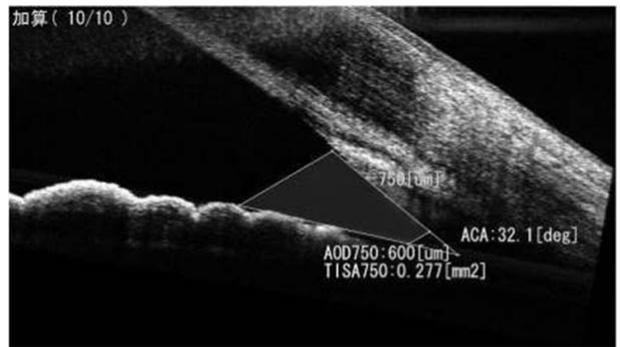


図11 前眼部隅角計測

(4) 加齢黄斑変性症: AMD (図9)

加齢に伴い、黄斑部が萎縮したり、新生血管が滲出したりして網膜が障害され、視力が徐々に低下していく。冒頭に記述したが、像がゆがんだり、進行すると暗点ができる。OCTでは萎縮型か滲出型かとその程度が明瞭に確認できる。

(5) 近視性網膜分離症 (図10)

網膜が内層間で分離した状態になり、視力低下を伴う疾患で、強度近視に多い。OCTでは、網膜内層で分離している様子が明瞭に観察できる。

(6) 前眼部隅角計測 (図11)

前眼部観察機能により角膜や虹彩、隅角などの画像から、角膜任意位置の厚みや各種パラメータが計測でき、緑内障の隅角解析に利用される。

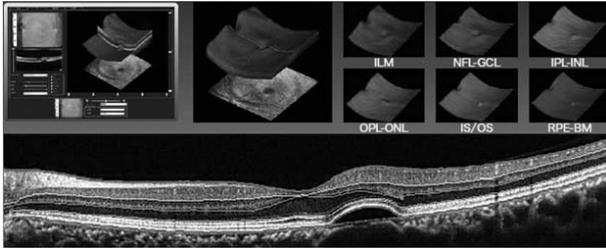


図 12 網膜セグメンテーション

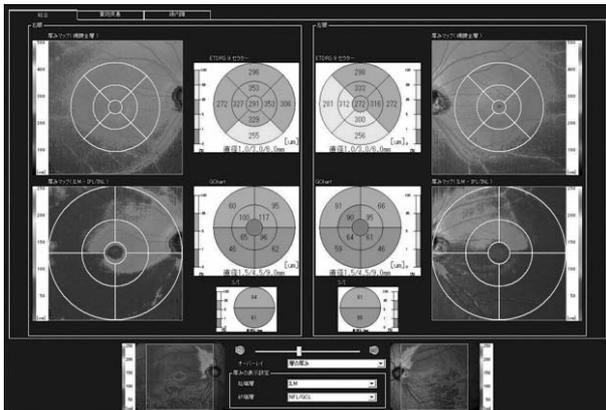


図 13 緑内障のための神経節細胞複合体厚解析

(7) 網膜セグメンテーション (図 12、図 13)

この機能は、10層の網膜から各層を自動認識させ分離することにより、図12のように各層一枚ずつを3D表示させることができ、眼底疾患の確認に利用可能である。更にこの3D解析機能や、各層の形状、厚み計測から、黄斑部解析や乳頭部解析など緑内障や黄斑疾患の診断のために用いられる。

図13は黄斑の分析から緑内障診断の補助機能である。OCT画像によって得られた各層の数値は、正常眼データベースと比較解析され、図13のように正常眼値との差として表示される。

OCTの診療報酬であるが「眼底3次元画像解析」として200点となっており、対象疾患の制限はないが、月に一回限りの算定となっている。果たす役割から見て、更なる増点が望まれる。

5 これからの OCT

いまやOCTは眼科のみならず、皮膚科、消化器外科、産婦人科、泌尿器科、血管内視鏡、耳鼻咽喉科など、研究レベルでは多岐にわたるが、眼科のよう

に一般臨床応用のレベルまではまだ達していない。最近の日本での報道では、皮膚の表皮の3D OCTをリアルタイムで観察可能とさせ、血流や感情的に反応する汗腺の動きが見事に捉えられていた。これは従来の画像処理を飛躍的に向上させた成果であるが、彼らは生体から患部を全く切り取らせない非侵襲である光バイオプシーを目指している⁵⁾。また海外の発表では、MHz(メガヘルツ)帯と超高速な眼底OCTが披露されている⁶⁾が、こちらは光掃引型OCT(SS-OCT: swept source OCT)が用いられている。もうここまで来ると、画像を捉えている感覚ではなく、顕微鏡で直接患部を覗いている感じである。

そしてOCTの目指すものは、高分解能と高速化、高解像度、高速画像処理、生体としての組織鑑別と自動診断、患部へのアプローチと患部でのスキャンニング技術であり、その進化である。

図14は黄斑のOCT断層画像と視細胞の関係を示したもの⁷⁾であるが、天体観測で知られている補償光学(AO: adaptive optics)を用いた眼科OCTも発表されており、星のように視細胞の一つひとつが観察できる日も近い。またOCTを手術部位の観察に使用し、手術部位へのナビゲーションとしての応用も考えられている。既に、眼底のレーザー光凝固の様子がOCTで捉えられ、その反応の様子も報告されていることから、診断装置と治療装置の融合も着実に近づいている。

以上、このOCTがもたらす予防医学的治療の経済効果は、一個人に当てはめても、日本の保険診療費に対しても、日本の産業にとっても、日本の技術力

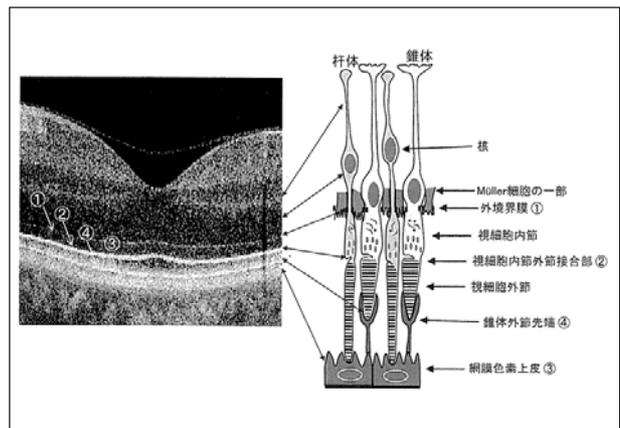


図 14 黄斑 OCT 画像と視細胞

眼科 OCT 比較表

会社名 (販売代理店)	NIDEK	TOPCON	CARL ZEISS MEDITEC	HEIDELBERG (ジャパンフォーカス)	OPTOVUE (中央産業貿易)	CANON OPTOPOL	TOMEY
機種名	RS-3000	3D OCT-2000	Cirrus HD-OCT	Spectralis HRA+OCT	RTVue-100	SPOCT-HR	前眼部 OCT SS-1000 CASIA
OCTの原理	SD-OCT	SD-OCT	SD-OCT	SD-OCT	SD-OCT	SD-OCT	SS-OCT
OCTスキャンレート A-scan/s	53,000	50,000	27,000	40,000	26,000	52,000	30,000
最小瞳孔径	2.5mm	2.5mm	2.5mm	3.0mm	3.0mm	3.0mm	-
深さ方向分解能 (Z軸)	7 μm	6 μm	5 μm	7 μm	5 μm	3 μm	10 μm
Bスキャン幅	3~9mm	3~12mm	3~9mm	4.5~9mm	2~12mm	4~10mm	8~16mm
OCT光源波長	880nm	840nm	840nm	870nm	840nm	850nm	1,310nm
眼底観察画像	SLO	IR	LSO (SLO)	SLO	IR CCD	IR CCD	-
眼底撮影画角	40° × 30°	45°	36° × 30°	30° × 30°	32° × 23°	-	-
眼底フォーカス範囲	-15D ~ +10D	-13D ~ +12D	-20D ~ +20D	-12D ~ +12D	-15D ~ +20D	-10D ~ +10D	-
アイトラッキング	有り (フォローアップ時)	有り (フォローアップ時)	有り (フォローアップ時)	有り (リアルタイム)	有り (フォローアップ時)	無し	有り (アライメント時)
Bスキャン画像 ノイズ軽減法	加算平均法 最大50枚	加算平均法 最大50枚	加算平均法 高密度スキャン法	加算平均法 最大100枚	加算平均法 最大32枚	高密度スキャン法	加算平均法 最大11枚
3Dスキャン	3D 9 × 9mm	3D 7 × 7mm	3D 6 × 6mm	3D	3D	3D 10 × 10mm	3D 16mm × 深さ 6mm
正常眼DB: データベース	搭載	搭載	搭載	搭載	搭載	搭載	無し
緑内障解析 (RNFL:乳頭周辺)	6 × 6mm 正常眼DB有り	6 × 6mm 正常眼DB有り	6 × 6mm 正常眼DB有り	6mm 正常眼DB有り	4.9mm 正常眼DB有り	有り 正常眼DB有り	隅角解析
緑内障解析 (GCC:黄斑周辺)	9 × 9mm 正常眼DB有り	6 × 6mm 正常眼DB有り	無し	後極部非対称性分析 網膜厚/正常眼DB無し	6mm 正常眼DB有り	無し	隅角解析
黄斑解析	有り 正常眼DB有り	有り 正常眼DB有り	有り 正常眼DB有り	有り 正常眼DB無し	有り 正常眼DB有り	有り 正常眼DB有り	無し
EDI-OCT: 脈絡膜観察機能	無し	有り	有り	有り	有り	無し	-
前眼部撮影	アタッチメント式	アタッチメント式	本体内蔵	アタッチメント式	アタッチメント式	無し	前眼部専用機

EDI-OCT:Enhanced depth imaging optical coherence tomography

の発展と国際競争として捉えても、将来のある非常に大きなものである。

6 眼科用 OCT の性能機能比較

今回はこのページの後に、日本国内で販売されている眼科向け OCT が、各販売先から紹介されている。それらの特徴的な詳細はそちらを参考にさせていただきたいが、基本的な部分での比較表を代表的な機種に関して販売先の方々のご協力を得て、作成してみたので参考にさせていただきたい。

比較表をご覧になればお分かりになるだろうが、市販の装置での優劣はあまりない。いささか企画倒れであったが、OCT はこれからが面白くなる。

参考文献

- 1) 眼科 PDT 研究会監修: PDT 手帳「ピスタイン療法で加齢黄斑変性症治療を受けられる患者さんへ」. 12P
- 2) 大島裕司: 加齢黄斑変性治療. あたらしい眼科 28 : 165-171, 2011
- 3) 法人日本眼科医会: 視覚障害がもたらす社会損失額、8.8 兆円!! ~ 視覚障害から生じる生産性や QOL の低下を、初めて試算 ~ . 報道資料: 平成 21 年
- 4) 丹野直弘: 「光波反射像測定装置」日本特許第 2010042 号: 1990
- 5) 科学振興機構・北里大学・(株)システムハウス: 世界で初めて生体の OCT 3 次元立体断面画像を瞬時に表示することに成功. JST 共同発表: 2011.1.20
- 6) T. Klein, W. Wieser, C. M. Eigenwilling, B. R. Biedermann and R. Huber : Megahertz OCT for ultrawide-field retinal imaging with a 1050nm Fourier domain mode-locked laser. *Optics Express*. **19** : 2011
- 7) 岸章治: 視細胞外節病. あたらしい眼科 . 28 : 213-223, 2011

太田 康夫 (おた やすお)

株式会社ニデック 医療機器開発本部 担当部長

