

# 光技術の展開 — 光干渉計をベースにデバイスから医療へ —

京都府中小企業特別技術指導員の春名正光氏より上記テーマで寄稿いただきました。

## ■光技術の変遷

1970年代後半に、時を同じくして、わが国で室温連続動作の半導体レーザ(LD)と超低損失光ファイバが創出され、光エレクトロニクス(OE)が華々しく幕開けした。大容量光通信網の開発を軸に、光集積回路(光IC)や光計測、光コンピューティングの研究が盛んに行われた。しかしながら、1980年代後半から光通信を除くシーズ指向の強いOE研究は適当な出口を見出せず、一時の勢いを失ってきた。

21世紀を迎えようとする頃、1980年代に培ったOE技術をもとに光技術を異分野に応用しようとする機運が高まってきた。そして、今や光技術は構造物の疲労診断を含む光センシングを始め、バイオ・医療、農業、照明、セキュリティ、グリーンエネルギー等々、種々の分野で活躍の場を拡げている。

筆者は大学でも稀有な経歴の持ち主で、上述の光技術の変遷に呼応するかのように、工学部から医学部へ転任し、デバイスから医療へと軸足を移しながら、光技術の開発研究を行ってきた。光技術が異分野で活躍の場を拡げようとしている昨今、技術者の方々にとって筆者が体験した研究の経緯が参考になるのではないかと考え、本稿をまとめることにした。但し、紙面の都合上、光干渉計をベースとした研究に限らせて頂く。

## ■光集積デバイス

1973年筆者が助手に採用された時に与えられた研究テーマが光ICである。電気光学(EO)効果をもつニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>:LN)を基板として、Ti拡散で低損失な単一モード導波路を作製するまでに約8年を要した。このTi:LN導波路で分岐スイッチやマッハツェンダー(MZ)干渉計タイプの光強度変調器を作製した。現在、40GHzで動作する広帯域LN光変調器が実現され、大容量光通信のキーデバイスとして利用されている。

1980年代前半はTi:LN光デバイス研究の全盛期で、この頃に熱による屈折率変化(TO効果)を利用した光変調・スイッチングを提案した。ガラス基板上にK<sup>+</sup>イオン交換導波路でMZ干渉計を構成し、信号光と参照光の両アームの導波路上にTi薄膜ヒーターを置く。片方のヒーターに通電すれば1ミリ秒以下の応答速度で光変調が行える。当時、このTO導波光変調に対する国内外の学会での評価は低く、筆者だけがTO効果の実験を行っていた状態である。その後10年近くが経過して、国内外で実用的な石英系光回路やプラスチック光導波路の光位相変調にTO効果が利用され始めた。TO効果はようやく陽の目を見たといえる。

TO効果の提案が学会で評価されなかったことをバネに、Ti:LNでレーザドップラ速度計やナノメータの変位測定精度をもつヘテロダイン干渉光学系の全集積化を試みた。このため

に、企業の協力を得て、分岐や交差、曲がり、方向性結合器を含む幅3~4μmの導波路を10×10cm<sup>2</sup>の大面積で0.1μm精度でパターンニングできるレーザビーム直接描画装置を開発した。LN光ICには、偏光ビームスプリッター、波長板や光周波数シフター機能を果たす導波形素子を含むヘテロダイン干渉光学系が全て集積化されており(図1)、1986年の発表当初から国際会議で大いに注目された。しかし、これらの高機能LN光ICはまさにシーズ指向の高度な研究であり、実用化のニーズに合わせてデバイス性能を改良するまでには至らなかった。

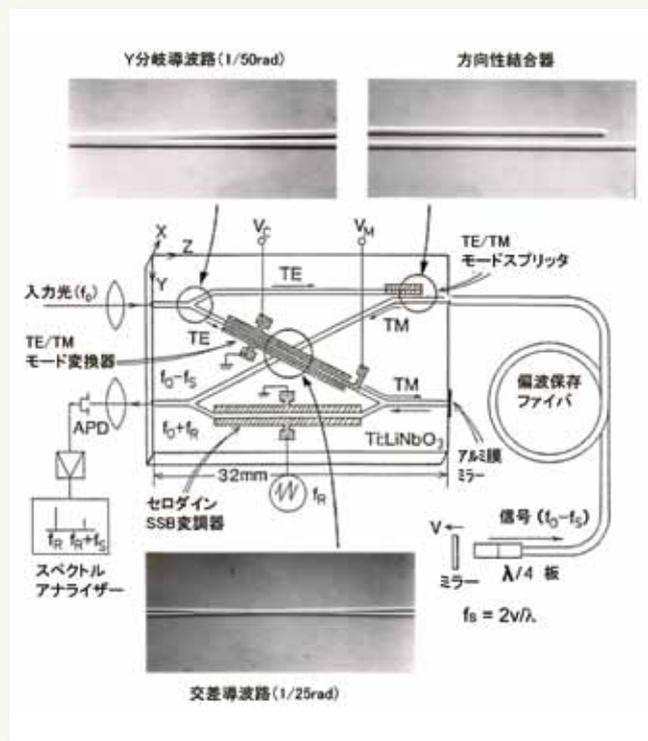


図1 ファイバレーザドップラ速度計の光集積化 (図中の顕微鏡写真は幅3μmのTi拡散導波路パターン)

## ■光コヒーレンストモグラフィ(OCT)

1992年に工学部から医学部への転任が決まり、20年に渡る光集積デバイスの研究に終止符を打ち、医学部では新たな医用光学機器の開発研究が求められていた。研究テーマを模索しているとき、1991年Scienceに掲載されたMITグループの提案によるOCTの論文に遭遇した。これはコヒーレンス長がわずか10μm程度の高輝度発光ダイオード(SLD)を光源とするマイケルソン干渉計を用いて、眼底からの反射光の中から散乱の影響を受けない直進反射光を選択的に抽出して、眼底網膜の高分解能な断層イメージを構築するものである。

光で10μmの分解能で生体の断層イメージをとれるというのは大変な魅力で、何とか医学部でこの技術をものにしたいと考え、研究に着手した。工学部の元の研究室から光学部品をお

借りし、メーカーからSLDをご提供いただき、医学部で低コヒーレンス干渉計を組み立ててスライドガラスの厚さと屈折率を測定した。位相屈折率と群屈折率の測定に苦労しながらも、各種の生体組織や光学材料の屈折率を精密測定できる実用装置を開発した。この成果で研究費を獲得して医学部で力を蓄え、低コヒーレンス干渉計に断層イメージを構築するための光学部品と画像ソフトを付加した。医学部で研究室を立ち上げてから4年目に待望の生体表皮下の断層イメージ取得に成功した。

引き続き、光源をTi:Sフェムト秒レーザに置き換えてイメージ分解能 $3\mu\text{m}$ を実現し、そしてハロゲンランプを光源にしてサブミクロンのOCTイメージを取得した。21世紀に入り、レーザの発振波長を高速で直線的に掃引するタイプのSS-OCT装置を研究室に備えて、ヒト表皮下の汗腺や小動脈の生理機能の動的解析を行った。図2に全光ファイバSS-OCTの装置構成を示す。このSS-OCTを用いて、 $>20$ フレーム/秒でヒト指先のエクリン汗腺のOCTイメージをコマ撮りし、250枚のOCTイメージをボクセル化して汗腺の3次元イメージを構築した(図3)。これは精神性発汗の動態を初めて可視化したもので、皮膚科学会や発汗学会で注目を浴びた。また、2年前にはNHKの「ためしてガッテン」で交感神経の動きに深く関わる汗腺や小動脈のダイナミックOCTイメージが放映された。

臨床診断では、眼科で加齢黄斑変性などの網膜疾患のOCT診断が順調に普及し、また循環器科では冠動脈内に付着したプラークのOCT診断が行われている。

前述のSS-OCTの高速光波長掃引レーザやSN比 $>90$ dBの信号検出・処理などに、OCTは最先端のOE技術を駆使して発展してきた。MEMS共振器付面発光レーザに続いてフーリエドメインモードロック(FDML)ファイバレーザを用いて、実時間で3D-OCTイメージの取得が可能となり、またOCTに補償光学を持ち込んで細胞レベルの断層イメージングが期待できる。

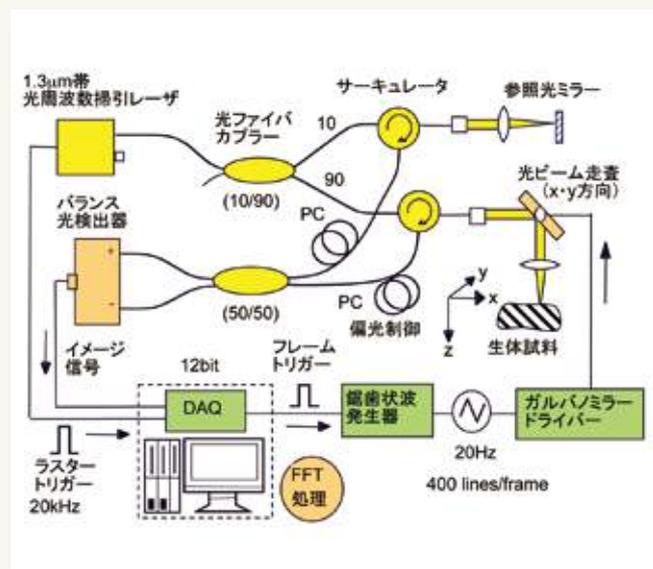


図2 光周波数掃引OCT(SS-OCT)の構成

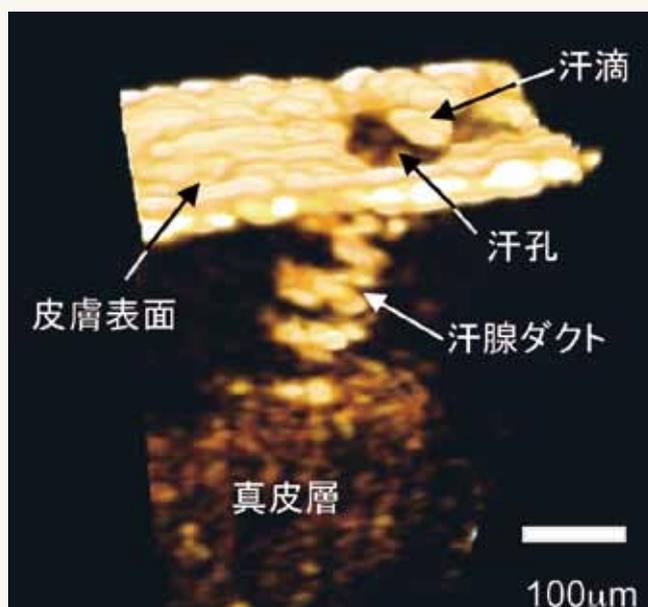


図3 ヒト指エクリン汗腺の3次元OCTイメージ

### ■異分野における光技術の展開

以上、工学部と医学部において、筆者自身が歩んできた研究の経緯を紹介させて頂いた。医学部へ転任するときにOCTにめぐり合ったのは実に幸運であった。断層イメージを取得するまで数年苦労したが、医学部では、このような研究の過程は全く問題にされず、教員も学生も得られた断層イメージがどのような新たな診断につながるのか、という結果だけを評価する。ある意味で、異分野での技術評価は単純で大変厳しい。

今になって考えると、医学部へ移って、何もなかった状況の中から新たにOCTの研究を開始したのは、研究者としてかなり無鉄砲であったかもしれない。しかし、幸運なことに、医学部での研究室の立ち上げに際しては、工学部の元研究室の西原教授のご好意で、6年間に渡り、電子工学科の院生・学生を筆者の研究室に送り込んで頂き、また、医学部の同僚からは終始OCTの研究を温かく見守って頂いた。筆者が医学部で研究を継続できたのは、学内・学外における多くの方々のおかげである。

どこまでお役に立てるかわからないが、これから医療以外の異分野での光技術の展開にも積極的に挑戦していきたいと思っている。

### 春名 正光 氏

1973年大阪大学大学院工学研究科博士課程単位修得退学(1974年工博). 同年大阪大学工学部電子工学科・助手、1988年同助教授、1994年大阪大学医学系研究科保健学専攻・教授、2009年退職、大阪大学名誉教授・特任教授、現在に至る。



お問い合わせ先

京都府中小企業技術センター 企画連携課 企画・情報担当 TEL:075-315-8635 FAX:075-315-9497 E-mail:kikaku@mtc.pref.kyoto.lg.jp