

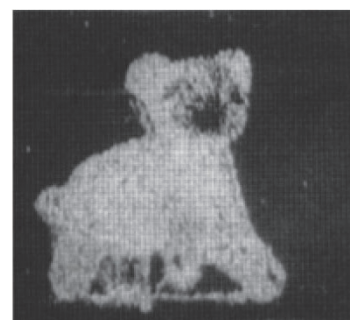
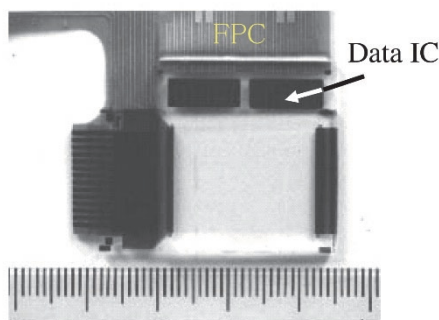
空間光変調器とイノベーション

日本女子大学 理学部 数物情報科学科／
同附属高等学校 物理探求／
SPIE Fellow, OPTICA Fellow
橋本信幸 HASHIMOTO, Nobuyuki
(当協会 光応用技術研修会 講師)

空間光変調器という言葉はあまり知られていないかもしれない。光波の複素振幅（強度や位相）そして偏光状態を電気・光などの信号を用い、空間的にダイナミックに変調する素子で SLM (Spatial Light Modulator) とも言われる。60年代頃からインコヒーレント・コヒーレント変換素子や、ホログラフィック光相関演算における複素振幅フィルターそして90年代には光ニューラルネットワークのシナプス荷重や光ロジックゲートに、更に2000年頃からはデジタルホログラフィー用のホログラム表示素子として注目されてきた。液晶 TV は光の振幅変調素子（実際は位相や偏光状態も変調している）であるから SLM の一種であると言える。

著者が液晶と出会ったのは83年にシチズン時計の研究開発部門に配属されたことによる。当時は液晶を表示素子として応用する研究がエレクトロニクスや精密機器メーカーで積極的に行われていた。著者も大学時代に応用光学研究室に所属していたこともあり、液晶表示素子の研究開発に関わることになった。はじめて液晶に触れてみると、CMOSのICで直接駆動可能で半波長電圧（光の位相を半波長変調させるのに必要な電圧）がわずかに数Vであり、電気光学結晶などと比較して圧倒的に小さいことに衝撃を受けた。たまたま卒論と修論ではホログラフィックメモリの研究を行っていたこともあり、液晶素子でダイナミックに3Dのホログラフィーを表示できれば、原理的には光波を自在に制御できることになると考えた。すなわち数百年にわたって基本的にパッシブであったレンズやプリズム、回折素子などを電子制御可能なアクティブ光学素子にすることが可能となる。そのようなことを考えながら、その後はレーザープリンターや光ディスクのプロジェクトに入り研究開発に没頭していた。しかし液晶のことが頭から離れず当時の上司の理解もありアングラで研究を進めることとなった。そして91年に画素ピッチが30 μm という当時としては非常に高精細なアクティブ型液晶空間光変調素子を開発し、3Dホログラムの電子再生に成功した(図1)。その成果をサンノゼで開催されたSPIEで報告したが、液晶を用いた世界初のホログラフィーTV装置として新聞やTVでも話題となり、また液晶のアクティブ光学素子応用への可能性が実証され、本分野の研究開発が盛んになる切っ掛けの一つとなった。現在も特に3D表示や幾何位相素子など多機能光学素子応用はAR/VR装置等に向けて、国内外で研究開発が盛んである。

91年に話題となった研究だが、当時としては応用先がなかなか見つからずアングラでの研究を続けていた。そろそろ諦めようかと思っていた矢先、DVD



640×240画素 (画素ピッチ30×60 μm)

図1 透過型液晶空間光変調器とその3Dホログラム再生像 (SPIE91)

装置やその先になる BD 装置の研究開発をしている企業から、液晶光学素子をアクティブな収差補正素子に使用したいという声がかかった。98 年頃のことである。筆者にとって長年の研究で、物理現象をほぼ知り尽くしていたので実用化には絶対の自信があった。もちろん相手先企業や日本の現場技術者の卓越性もあり、わずか一年で量産化にこぎつけ、熱の影響が厳しい車載 DVD や PC 用スリムピックアップのコマ収差補正素子として採用された(図 2)。その後は BD の高次球面収差や非点収差のダイナミックな補正素子として年間 1 千万個以上を量産した。光波を 1nm 以下の精度で空間制御できるオンリーワン技術で、デバイス特性に関するクレームも皆無であった。このとき量産はサイエンスであり物理現象が不明なものは量産しないという信念を得た。その後は退社するまでの間に 15 以上に及ぶ国内外の研究機関と共同研究及び論文発表を行い、レーザープリンター用光軸調整素子、系外惑星観測用 Null 干渉素子、インコヒーレントデジタルホログラフィー用多焦点レンズ素子、AR/VR 用素子、レーザー加工や超解像顕微鏡用の高次ラゲールガウスベクトルビーム素子などとして発展させてきた。一連の研究成果とその実用化が認められ、本年度の応用物理学会光工業績賞へとつながり、今までご指導いただいた多数の方々と共に得た賞として嬉しさが込みあげた。

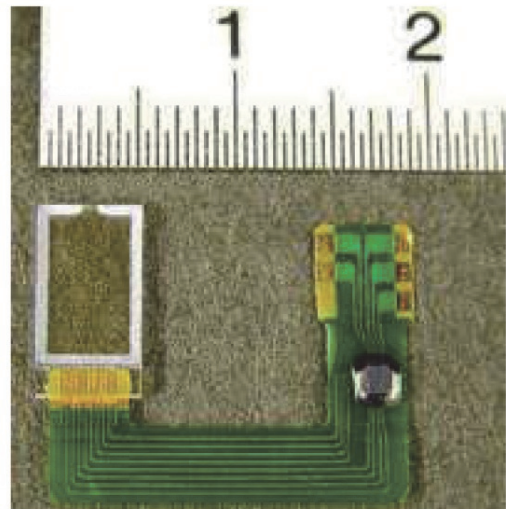


図 2 DVD 用液晶コマ収差+球面収差補正素子

この研究をスタートした 80 年代には既に液晶もホログラフィー（波面制御）技術も独立に存在した。これらを組み合わせたことが多少ではあるがイノベーションにつながった。ところで 20 世紀最大のイノベーションの一つは CPU であるのは疑いの余地はないだろう。74 年に Intel4004 が発表されたとき、やはり既に半導体もプログラミングも独立に存在していた。この二つを組み合わせたことがイノベーションとなり世界を変えた。しかし半導体は物性物理や量子物理の、そしてプログラミングは数理工学の研究成果でありこの研究無くして CPU は誕生しなかった。研究開発がイノベーションの源泉となり、イノベーションが世界を変え富が生まれる。研究開発を直接利益と結びつけ管理すると中途半端な結果に終わり、イノベーションにも利益にもつながらないことが多いようだ。研究開発は「何に使うか」ではなく、「何ができるのか」がより重要である。

日本は 95 年の科学技術基本法のもと、10 年間でおよそ 200 兆円の官民研究開発投資（国民一人当たり 200 万円、GDP 比世界最高の投資だった）を行った。いろいろ不運な要因が重なったが、近年までの俗に言う失われた 30 年が続いた。他方、中国の様子を見ると 2020 年には GDP、主要基礎論文誌の掲載数とも日本の 3 倍程度になった。その経年推移を見ると面白いことがわかる(図 3)。GDP、主要

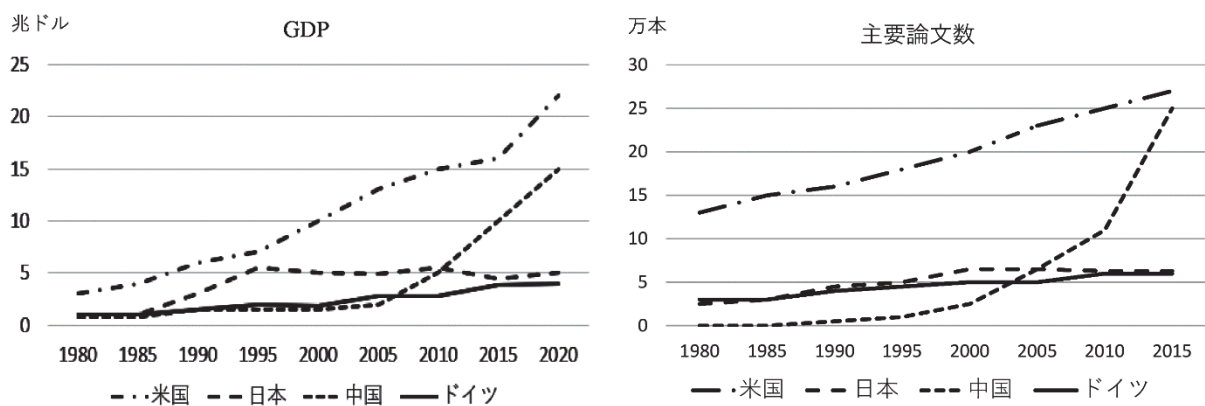


図 3 主要国における GDP と主要論文数の推移（経済産業省の資料から作成）

論文数とも 2000 年頃から急速に増えている。どうも研究開発をしたから儲かったのではなく、儲かったから研究開発をしているようだ。

現在は企業の技術アドバイザー等をしながら大学と高校で研究教育活動を行っている。もともと教えるのが好きで、企業時代から複数の大学で非常勤講師を経験していた。若くアクティブな学生たちと接していると、その柔軟な発想や行動力に驚かされる。特に最近は附属高等学校で物理探求も担当しているが、高校生たちが一年をかけて自身で探索し考えたテーマで探求研究を行っている。散乱による幾何的偏光や空気圧縮のみでの高温発光そして水のポッケルス効果とその電場制御など、チャレンジングな探索研究と実験を行い、成果を光学関連の国際会議 (MOC25 高校生セッション) でも発表した。このなかから世界で貢献するリケジョが多く現れることが期待できそうだ。