



## 関西地方における光学研究と 光学産業の現状

現在、光学と電子工学との結び付きは非常に密接でい  
わゆる、オプトエレクトロニクスに関連した研究が非常  
に多い。そうしたことを念頭において本稿をまとめてみ  
た。関西地区は大阪、京都、兵庫、奈良地区に大別され  
よう。その順に従い、大学、公立の研究所、産業界という  
順番で書いてみた。順不同で敬称略でお許し願いたい。

大阪大学工学部の応用物理学教室は伝統的に光学関係  
の研究が非常に盛んである。南研究室は主として光を応  
用した計測・制御に関連した研究室であり、伝統的にラ  
イフサイエンス関連の計測が強力である。たとえば半導  
体レーザーの生体試料計測への応用、バイオテクノロジー  
用菌モニタリング法、細胞内物質のパターン計測法、医  
学計測用赤外顕微鏡の開発などが現在行なわれており、  
その他レーザーを用いた形状欠陥検査法の開発などレー  
ザー応用計測、光ファイバクロノトロンを用いた蛍光寿  
命計測システムなどオプトエレクトロニックデバイスの  
計測への応用、海洋計測用分光センサーの開発など新し  
い分光計測法の開発、トモグラフィック光学顕微鏡の開  
発など画像計測の分野の研究を手がけている。三石研究  
室は物性関係の研究室であるが光に関連したものとし  
て、レーザーラマンおよびブリュアン散乱分光法、レー  
ザーアニールシリコン薄膜素子、光音響顕微鏡による半  
導体微小領域の評価、有機一次元伝導体の光物性などの  
研究を行なっている。鈴木助教授を中心とした研究室に  
おいては吉永教授（阪大名誉教授）時代から赤外、遠赤  
外の分光に関する研究が盛んで、現在、レーザーとくに  
赤外・遠赤外レーザー装置の開発、応用、レーザー散乱  
光の性質、量子光学とくに光子統計、遠赤外・サブミリ  
領域の分光装置、検知素子、回折格子による半導体レー  
ザー発振の制御に関する研究などを行なっている。なお  
同研究室出身で現在電磁エネルギー工学専攻の山中助教  
教授を中心として大出力光励起サブミリ波気体レーザー、  
超高速赤外・サブミリ波検知器に関する研究が行なわれ  
ている。一岡助教授を中心とした研究室においては光学、  
電子工学、情報処理に共通する領域の研究を行なっ  
ている。たとえば光／デジタルハイブリッド画像処理  
システムの開発など実時間画像処理システムの開発、並  
列光計算システムの開発など optical computing および

同 computer、非球面形状計測システムの開発、光導波  
路における超音波／電界の結晶光学的効果などの研究を  
行なっている。

電子工学教室においても小山、西原教授を中心として  
超高密度光メモリ、レーザー応用デバイス用微小光学素  
子、光集束回路デバイスたとえばグレーティング素子をも  
つ光集積回路、弾性表面波素子を用いた光集束回路、  
また光ファイバ直接制御デバイス、環境・生体計測用光  
ファイバセンサーなど光ファイバ応用デバイスに関する  
研究が行われている。

基礎工学部では電気工学教室の末田研究室で高速光変  
調器および偏向器、ならびにこれらの応用を中心とし  
て、次の3グループで研究を進めている。最初のグルー  
プは光導波路を利用した広帯域光変調器およびその集積  
化に関する研究を行ない、10 GHz 以上の広帯域動作が  
可能になることを示した。1981年に発表した DC-18  
GHz の変調実験（動作時間 50ps 以下）は現在でも記  
録的である。さらに、導波形変調器の集積化を進め、2  
個の変調器の並列集積による光 SSB 変調器／周波数変  
換器、直列集積による相関器、3 個の変調器の直並列集  
積によるギガビットタイムディマルチプレクサなどの試  
作および実験に成功している。また、X 分岐という新し  
い導波形光回路素子を考案している。第2のグループで  
は超高速光偏向器を用いた、光パルス発生および成形・  
高速光信号処理・ガラスレーザーの強制モード同期など  
によってピコ秒光エレクトロニクスに新しく分野を開い  
た。第3の小グループでは、導波形炭酸ガスレーザーお  
よび 10.6  $\mu\text{m}$  光変調器の研究を行なっている。最短放  
電長 2 cm まで種々の導波形レーザーの発振に成功する  
とともに、ファブリペロー形構成による高感度高速変調  
器、これを応用した同調可能炭酸ガスレーザーの実験に  
成功している。

さて大阪大学が世界に誇る研究施設としてレーザー核  
融合研究センターがあろう。同所において作られたガラ  
スレーザー激光 XII 号は大阪大学レーザー核融合研究セ  
ンターにおいて 1980 年より建設をすすめてきた、世界  
最大のガラスレーザー装置であり 1983 年 11 月 23 日よ  
り核融合ターゲット照射試験を開始するに至り、出力

47.5 TW, 核融合中性子数  $4.0 \times 10^{10}$  と世界最高値を達成した。また各種キャノンボール、および直接照射型ターゲットを開発試験した結果、キャノンボールターゲットの有効性が実証された。「激光Ⅻ号」は慣性核融合実験を行なうことを目的とした装置であり、12ビームの強力なパルスレーザー光を発射し、ターゲットを同時に正確に照射する。レーザー出力部においては、ビーム直径が各ビーム 32 cm, 全エネルギー 20 kJ となっている。レーザー光はターゲットチェンバに取り付けた大口径非球面レンズにより集光される。その成果も素晴らしいものであるが、各百数十 m に及ぶ12本のレーザー光を光路長の誤差 3 mm 以内で 10 ps 以内の時間精度で、ターゲットを 10  $\mu\text{m}$  以内の位置精度で照射する光学制御技術も驚異であり、今後の研究の進展が待たれる。

大阪府立大学においては、工学部機械工学科における干渉、ホログラフィ、光弾性などを利用した機械量の計測(永田)、電気工学科における異方性回折格子などの光回路(六島)、旋光性を利用した狭帯域フィルタ(宮内)、電子工学科におけるエキシマレーザー(佐々木)、総合科学部における画像計測と処理(長江)などの研究が行なわれている。

近畿大学理工学部電気工学科においては久保教授を中心として CO<sub>2</sub> レーザー用高出力伝送導波系の開発、銅蒸気レーザーの医療応用、レーザー核融合実験用高分子ターゲットの開発が行なわれている。なお同大学では木原が三次元光弾性法の研究を進めている。

大阪電気通信大学では、精密工学科の富永がカラー画像の計測・処理システムの開発を、森下は伝搬モードの光強度分布の測定データより屈折率分布を求める単一モード光ファイバの屈折率分布測定法の開発を、岩崎はコンピュータによって多層薄膜干渉フィルタの設計、また偏光解析法により、シリコン酸化被膜や金属の酸化・腐蝕の状況、およびガラスのヤケの成長過程などの表面被膜の研究、光音響分光法による、不透明試料の表面層の研究を、筆者(鈴木)は阪大在職中より引き続き走査型レーザー顕微鏡の開発を進めている。また応用電子工学科の橋本は、グレーデッド型光ファイバを含む不均質媒質を伝搬する光の漸近的挙動を、とくに極性を重視して調べている。

大阪北郊に位置する通産省大阪工業試験所も昔から光学に関する研究が盛んであるが、現在の研究は、(1)材料・デバイス、(2)光学システム、(3)光学計測技術に大別されよう。このうち(1)に田畑らの高強度紫外線用反射素子膜の作製、早川らによる光エネルギー伝送路に

関する研究がある。また高性能プラスチック光学レンズの製造技術ならびに同用材料の開発、石英ロッドを用いた照明光伝送路、宇宙実験用の非可視域用光学材料の開発研究が行なわれている。(2)に川井らによる衛星搭載用撮像システム、非球面研磨、高性能非球面撮像系、有機系光電池に関する研究があり、(3)に山崎らによる電子計算機を利用した光学計測、分光機能をもつイメージセンシングシステムの開発研究がある。また中島らはマイクロ-opticsの計測・加工技術の研究を行なっており、松井らは簡易型 MTF 測定機の試作を行なっている。

次に産業界に移ってみよう。まずミノルタカメラであるが同社の光学技術はカメラ、複写機などに使用される光学系の開発と、測光測色技術の展開による写真用、産業用、医療用メーターなどによって特徴づけられる。興味ある最近の光学技術を、ピックアップしてみよう。すなわち、1) AF 一眼レフ用レンズの 35~70 ミリズームレンズは、非球面の導入によって際立った小型化に成功している。この非球面はガラスのレンズ面上に成型された光学樹脂によって構成されたものである。2) ズームレンズの新フォーカシング方式を開発し 28~135 ミリズームレンズを設計した。3) ビデオカメラ用に開発された位相型回折格子焦点板は、ピッチ 16  $\mu\text{m}$ 、位相差  $\pi$  の単位格子が方眼状に分布する透過型回折格子から成り、明るくピント検出精度の高いファインダーが得られている。4) 光学位相ノイズフィルターを開発して人像用ソフトフォーカスフィルターを実用化した。5) 動脈拍動による指先の透過光のスペクトル差異を検出して動脈血酸素飽和度を非観血的高精度に測定する装置を開発した。

松下電器に関してはきわめて興味のある投射形テレビ用の大口径の非球面プラスチックレンズに限ってのべてみよう。これは同レンズを高い精度で能率よく生産できる新技術の開発を目標に掲げ、約6年の歳月をかけて最近ほぼその目標を達成したものである。投射形テレビ用レンズは、直径 100~150 mm $\phi$ 、厚さ 20~40 mm の大口径、厚肉の大型レンズエレメントから構成され、このような非球面大型レンズを軽量かつ合理的価格で製造できる材料はいまのところプラスチックに限定される。同社が目標とした新製造プロセスは、1工程でプラスチック材料から精密レンズを作りあげるもので、高生産性、高精度、高安定性、両面非球面化の実現を目指したものである。この開発の中心となった同社無線研究所の開発グループでは、射出成形法がベストと判断し、各種問題の克服に取り組み直径 120 mm $\phi$  中、中心厚さ 30 mm

のレンズで形状誤差  $\pm 5 \mu\text{m}$  以下の高精度を実現することができた。また非球面の形状測定にも多くの困難があった。これらを克服してここまでできたことは驚異的である。

三洋電機では、光と電気の相互エネルギー変換、光情報の伝送・記録技術を二つの大きな柱として研究開発・実用化を進めている。すなわち、1) アモルファス太陽電池および各種光センサー関係：アモルファス Si を用いた太陽電池は業界初の量産化に成功する一方、変換効率も現在 11.5% に達している。またアモルファス Si の他の応用として、可視光全スペクトル型光センサー、単色カラーセンサー、集積型フルカラーセンサーがいずれも小型、低コストに実用化されている。赤外光センサーである焦電型非接触温度センサーについても、ソリッドステート化を行ない、機械的回転チョップのある従来品に比して、体積で 1/20、消費電力で 1/40 と大幅な性能向上を達成した。光通信用光センサーである Pin フォトダイオード、アバランシェダイオードの開発、実用化も完了している。2 次元画像センサーとしては 2/3 インチ CCD の実用化を完了、現在は 1/2 インチ CCD の開発を進めておりほぼ実用化の域に達している。2) LED、半導体レーザー関係：赤から緑まで可変色の GaP マルチカラー LED、SiC を材料とする青色 LED、これらを組み合わせたフルカラー LED ランプとこれを用いたフラットパネルディスプレイを、それぞれ世界で最初に開発、実用化している。また前記アモルファスシリコン感光体をドラムに用いた小型・高速 LED プリンタを開発した。半導体レーザーでは、独自の BCP 構造の可視光 GaAlAs レーザーの開発に成功、コンパクトディスク用レーザーを実用化している。また面発光レーザーの開発も進めている。3) 光ディスク、光磁気記録関係：コンパクトディスクの製造技術を確立するとともに CD 用 3 ビーム光ピックアップを実用化したほかに、追記録型光ディスクメモリの開発を行ないディスク 1 枚に 36,000 枚を記録できるカラー画像ファイルシステム、A4 用紙で 40,000 枚の記録ができる文書ファイルシステムをそれぞれ実用化している。将来の高品位 TV 時代に対応した高品位光ビデオディスクも世界で初めて実用化した。光磁気記録の研究では、スイングアーム方式の光学ヘッドの開発、CD 規格を満足する光磁気ディスクの開発がおわっている。4) 光通信関係：上記文書ファイルを端末に有し、イメージデータ、コードデータの両方をとりあつかえる LAN システムを中央研究所に構築して実用化試験を完了、商品化をすすめている。

三菱電機の関西地区における光関係開発状況は、1) 大出力 CO<sub>2</sub> レーザー関係：10 kW 級 CO<sub>2</sub> レーザーおよびそれを使用したレーザー加工機を実用化している。さらに、世界最高出力の 26.5 kW CO<sub>2</sub> レーザーを開発している。2) ホログラフィ関係：ホログラフィの光学素子への応用として、POS 用ホログラムスキャナを開発を行なっている。3) 半導体レーザー関係：光ファイバー通信用 1.3  $\mu\text{m}$  帯の半導体レーザーの開発を重点的に行なっている。p 型基板を用いた新型レーザーの特性改善により高出力化に成功している。また、光通信用 1.3  $\mu\text{m}$  帯の LED、およびこれら長波長用のフォトダイオードの開発も行なっている。なお、CD、ビデオディスク用の半導体レーザーは、すでに量産化している。4) 光通信、光ファイバ関係：(1) 光通信、光ファイバセンサー用の発光、発光、集積回路の開発。(2) 光ファイバセンサーの開発。

住友電気工業(株)では、素材としての化合物半導体(無転位 GaAs 単結晶、GaP、InP、InSb 等)の単結晶育成、大出力 CO<sub>2</sub> レーザー用窓材として ZnSe 結晶、多機能誘電体結晶として Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub>、LiNbO<sub>3</sub> 等の製造を、赤外光用ファイバとして AgCl、AgBr の高純度結晶育成・加工によりファイバ化試作に成功している。これら素材をベースにして各種の光通信用デバイスの開発、BSO を用いた電界センサー、画像変換素子等の研究、さらにこれらを用いて光応用 ME 機器、各種光応用センサー装置、LAN の開発を行なっている。

次に京都地区に移ろう。京都大学における研究をテーマ別に分類すると、レーザー光学に関しては、光集積回路(中嶋・工・電気)、微細加工(川端・工・電子)、気体原子の光ポンピング、半導体レーザーの周波数安定化(小川・工・電子)、青色発光デバイス、光双安定デバイス(佐々木・工・電気)に関する研究がある。光物性に関する研究としては、アルカリハライドおよびインジウムハライドにおける励起子の緩和機構(中井・理・物理)、分子性イオン結晶における励起子とフォノンの相互作用(加藤・理・物理)、固体中における稀土類イオンのゼーマン効果(辻川・理・化学)、生体物質における高速光反応(吉沢・理・生物物理)、Ⅲ-V 族混晶半導体の光物性(佐々木・工・電気)、太陽電池用半導体材料とワイドギャップ半導体の光物性(松波・工・電気)がある。プラズマおよびイオンビーム分光光学に関する研究としては、プラズマ内での原子分子過程(藤本・工・物理工)、ビームフォイル分光光学(石井・工・物理工)、可変色プラズマ表示素子(坂谷・工・電子)があ

り、赤外分光学に関するものとして赤外線天文学（長谷川、舞原・理・物理）、固体および高温溶融物の輻射物性（国友・工・物理工）があり、ラマン分光学に関するものとして、表面界面によるラマン散乱（竹中・化学研）、カドミウムハライドの共鳴ラマン散乱（越野・教養・物理）がある。また恩地（理・化学）は光電子分光学を、端（理・物理）はレーザー分光学について研究を行なっている。

京都工芸繊維大学においては、金森（工芸・電気）らは医用放射線像の形成と評価の研究を行なっている。すなわち、(1)放射線像の画質の総合評価法として系の情報容量の空間周波数成分を使えばよいことを見いだした。(2)計算機とレンズ法とを組み合わせ、放射線像のノイズウィナースペクトルの測定法を開発した。(3)X線CT像で散乱X線の効果が大きいことを指摘した。久保田（工業短大・写真）はホログラフィおよび光ファイバセンサーに関する研究を行なっている。前者では、記録材料としての写真乳剤および重クロム酸ゼラチンの最適現像処理法について検討し、その結果をホログラフィック光学素子の作製およびディスプレイ用ホログラムの作製に応用している。後者に関しては、偏波面保存ファイバを使った遠隔干渉計の研究を行なっている。秋田（心理）らはヒトの色彩感覚・知覚についての精神物理学的研究を行なっている。

洛西には島津製作所がある。同所の最近の装置ならびに研究では、高度の情報機器として、航空機に搭載される、ヘッドアップディスプレイ、リソグラフィやイオンビームエッチング技術を導入した微細加工の研究があり、世界で初めてブレードホログラフィックグレーティングの製品化に成功している。一方、ホログラフィックグレーティングの露光条件はコンピュータにより最適化できるようになり、従来の分光器に較べると結像特性は1桁近い改良が可能となった。また、ユニークな分波・合波器を中心とした光通信関連分野への応用・開発、プリズムとグレーティングを複合した特殊な天体観測用素子、プリズムの試作や、超高真空 6.65 m イーグル型フォトンファクトリ分光器などがある。

兵庫地区には神戸大学がある。若林研究室（工計測）における光学関係の研究は光画像処理と統計光学関係があり、現在、インコヒーレント・コヒーレント画像変換素子（BSO 単結晶を用いた素子）、ホログラフィックフィルタ（計算機ホログラムも含む）による光学的アナログ画像処理、光画像処理とデジタル画像処理を複合した方式による形状認識、空間光変調素子（BSO 素子）

を用いた光並列演算素子、光子統計分光法の眼科診断への応用、動的スペックルの性質を利用した速度、粗さ、歪量などの空間分布（画像）の実時間計測法の研究が行なわれている。兵庫県立工業試験場においては、光ファイバ列空間フィルタを構成し、これを用いたイメージ速度センサー、レーザースペックル速度センサー、レーザースペックル距離センサー、レーザースペックル距離・速度センサー、エッジセンサー等を開発した。また、レーザー光の反射特性から表面粗さを検出する技術を検討している。日本板硝子中央研究所においては屈折率分布型レンズの開発を行なっている。半径方向の屈折率分布は  $n^2(r) = n_0^2(1 - h_2(gr)^2 + h_4(gr)^4 + h_6(gr)^6 + \dots)$  で現われ、従来のセルフロックでは  $h_2$  までを利用していた。しかし現在では高性能化の要求が高く収差補正が必要となり  $h_4$ ,  $h_6$  等を含めて考える必要がある。現在ではこのような高性能レンズを実現するため、1) 定数の制御に適したガラスとイオン交換方法、2) 高精度な定数の測定方法、3) 高速光線追跡のレンズ設計ソフト、4) 光軸に傾きなく加工する方法等の研究開発を行っており、すでに  $NA=0.45$  の光ピックアップ用レンズが研究室レベルであるが試作できた。

次に奈良地区に目を移してみよう。奈良県立医科大学（眼科）においては視覚光学の研究が行なわれ、眼の屈折、調節、輻輳の測定、眼鏡に関する研究（西信、魚里）がなされている。シャープにおいてはp型基板を用いた GaAlAs 可視光 VSIS レーザーの開発が行なわれている。このレーザーは量産性および信頼をより向上すべき要請に沿って開発されてきたもので、現在満足すべき状態にあるようである。

さて関西地区におけるまとまった光学研究会としては応用光学懇談会を挙げなければならない。同会は光学基礎ならびに電子工学・計算機等新しい分野と結び付いたいわゆるオプトエレクトロニクスの分野の勉強会として昭和 50 年、筆者らの提案によって発足し、毎回出席者 80~100 名を数え爾後、順調な発展を遂げ、本年 4 月を以て 50 回の講演会となる迄成長した。講演者、来聴者は光学のみならず電子工学の分野の人も多く、今後の光学の進み方にひとつの示唆を与えるものであろう。

本稿をまとめるに当たり多くの方々からご意見を賜ったが紙面の都合上割愛せざるをえなかったものも多い。この点お許しを乞うとともに、貴重な資料、ご意見をいただいた諸賢に厚く御礼申上げる次第である。

(文責 鈴木達朗)

(1985年3月1日受理)