

## 調査・研究報告書の要約

書名	平成22年度光学機器における光デバイス設計と製造技術の先端動向に関する調査研究報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・財団法人 光産業技術振興協会				
発行年月	平成23年3月	頁数	268頁	判型	A4

## [目次]

序 (会長 伊藤 源嗣)

はしがき (会長 間塚 道義)

委員会名簿

目次

序章

1. 調査概要
2. 委員会の開催状況
3. 報告書の概要

## 第1章 緒論

- 1.1 はじめに
- 1.2 日本の光産業が直面する現状と課題
- 1.3 今後の戦略

## 第2章 先端光学機器を支える光学設計技術

- 2.1 幾何光学、波面光学、非共軸・偏心光学系
- 2.2 波動光学と電磁波解析
- 2.3 電磁気学的数値解析法の応用例

## 第3章 撮像機器

- 3.1 撮像機器におけるズームレンズと要素技術
- 3.2 回折光学素子・コーティング
- 3.3 CCD/CMOS イメージセンサの技術

## 第4章 医療機器

- 4.1 顕微鏡

- 4.2 OCT (光コヒーレンストモグラフィー)
- 第5章 半導体露光装置
  - 5.1 半導体露光技術の現状と今後
  - 5.2 光露光装置
  - 5.3 これからの露光技術
- 第6章 表示機器
  - 6.1 3Dディスプレイ
  - 6.2 プロジェクタ
- 第7章 照明・集光光学系
  - 7.1 結像系の照明光学系
  - 7.2 一般照明におけるLED光学系
  - 7.3 太陽熱発電用集光光学系
- 第8章 画像処理
  - 8.1 Wave-Front Coding
  - 8.2 画像エンジンの動向
- 第9章 光通信機器
  - 9.1 マルチコアファイバ
  - 9.2 WDM フィルタおよびROADM
- 第10章 光学材料
  - 10.1 ガラス材料、セラミック光学材料
  - 10.2 プラスチック光学材料とそのデバイス応用
- 第11章 おわりに

## [要 約]

### 第1章 緒 論

本章では、本調査研究の課題、すなわち、光学機器、および、その構成要素である光デバイス分野において、欧米のイノベーション戦略と東アジアの台頭の狭間にあって、日本のメーカーが新たに遭遇している難局をいかに乗り越えるかという問題提起を行っている。そして、光学機器や光デバイスの市場シェアや技術トレンドの統計を示しながら、日本のメーカーの現状を把握し、国際競争力の一層の強化を図りこれまでの高い市場シェアをより向上するための方策を探りつつ、新たに迎えたオープンイノベーションの時代を乗り切る

ための戦略を提言している。

### 1.1 はじめに

本節では、本調査研究の問題意識を述べ、本報告書の狙いを整理している。

### 1.2 日本の光産業が直面する現状と課題

本節では、光学機器や光デバイスの市場シェアや技術トレンドの統計を示しながら、本調査研究で取り上げた光学機器、および、光デバイスの分野で、日本のメーカーが、摺り合わせ型のものづくり力を発揮し、デジタルカメラ、顕微鏡、半導体露光装置などの製品で高い市場シェアを維持してきた現状を述べている。しかし、ハイエンド製品の代表である半導体露光装置では、欧州のメーカーがEUの産学連携戦略のもと、年々シェアを増やしている。一方、ローエンドのボリュームゾーンに使われる製品のレンズ部品の大半は、東アジアで生産されており、日本のメーカーは新たな付加価値を求めて挑戦を続けている状況が述べられている。

### 1.3 今後の戦略

国際競争力の一層の強化を図りこれまでの高い市場シェアをより向上するための方策を探りつつ、新たに迎えたオープンイノベーションの時代を乗り切るための戦略を提言している。

## 第2章 先端光学機器を支える光学設計技術

近年の光学技術は著しい発展を続けており、従来と大きく様変わりした。新しい要素技術が数多く現れ、電子技術と融合し、コンピューターが設計・製造に駆使され、設計指針も多様化している。例えば性能とコストのバランスに加え、環境への配慮や、セキュリティ、ユニバーサルデザインなどへの配慮も求められる。光学技術分野が今後も発展し続けるためには、こうした近年の特徴を取り込む一方で、光学機器に関わる光学現象の本質をよく理解し、技術の本筋を見極めて必要な施策を講じる必要がある。そのために、新しい設計技術や普遍的な基本技術が種々用いられている。本章では、多くの技術の中でも、近年幅広く用いられている基本的な解析技術を中心に、その概要を報告する。

### 2.1 幾何光学、波面光学、非共軸・偏心光学系

この節ではまず、光学機器の光学設計の最も基本となる考え方である幾何光学について、幾何光学の基本法則、近軸理論、収差論という切り口で、その理論体系の概要と要点について紹介を行った。近軸理論は光学系の理想結像条件、収差論は光学系の結像性能を論じるうえで重要な理論である。次に、幾何光学と波動光学を結びつける上で大事な考え方である波面光学について、波面と光線、光線上間の光路長差として定義される波面収差についての概念と直交多項式を用いた波面収差の表現について、最新動向も含め紹介した。最

後に、新しいタイプの光学系として注目されている非共軸・偏心光学系について、新たに構築された近軸、収差解析の理論および、設計例を紹介している。それとともに、この光学系については現状の問題と今後の可能性についても論じている。

## 2.2 波動光学と電磁波解析

精密な光学系や、微細構造を持つ光デバイスの解析に必要な波動光学は、スカラーモデルとベクトルモデル（電磁波解析）に大別できる。フレネル回折などの回折公式は、グリーン関数の定理、あるいは平面波展開に基づいて導出できる。そこで仮定された条件や適用限界の理解も重要である。光学多層膜の解析手法は、光学コーティングの他、薄膜デバイス、フォトニック結晶、エリプソメトリー、表面プラズモンなどの検討にも使われる。ビーム伝搬法では、伝搬方向へ進む搬送波がゆっくり変化するものと仮定する。導波路中の光の解析などに用いられる。電磁場解析では FDTD 法と RCWA (FMM) が広く用いられる。詳細は 2.4 節で紹介される。他にも種々の電磁波解析手法がある。対象や目的に応じてこれらの手法を活用するには基礎の理解も必要である。その観点からの技術者育成が重要である。

## 2.3 電磁気学的数値解析法の応用例

光学分野において最も利用されている電磁気学的数値解析法として、時間領域差分 (FDTD) 法、およびフーリエモード法 (FMM) の二つについて、その応用例の紹介を行った。対象は過去 3 年間に評価の高い国際的な学術論文に掲載されたものに絞り、応用の可能性を示すために、たとえ典型的ではなくとも、可能な限り多くの例に目を向け、解析した結果ではなく応用する問題の紹介により重点を置いた。採用例の参考文献のほか、特に、初心者にとって重要な文献も紹介し、必要ならば読者自身がより詳細に調査できるように配慮している。また、各手法の問題点にも言及し、結果の物理的解釈の重要性、およびその能力養成のための姿勢と環境作りに関して提言を行っている。

## 第 3 章 撮像機器

近年、撮像機器分野は様相が一変した。撮像媒体が銀塩フィルムから CCD や CMOS などの固体撮像素子になり、従来のスチルカメラやビデオカメラが、カメラ付携帯電話に代表される携帯機器に変わった。こうした様相変化の第一の原因は、撮像素子の高画素化、画素ピッチ狭小化および高感度化である。同じ画角と F 値を持つ光学系のサイズは、撮像素子のサイズとほぼ比例関係にあるため、光学系の小型化には撮像素子の小型化が極めて有効である。また、感度面では、裏面照射型センサのように、高感度化・低ノイズ化が進んでいる。一方、光学系では、携帯機器用の単焦点レンズが大部分を占めるが、それ以外の機器では殆どがズームレンズ搭載である。このため、ズームレンズ設計技術の様相変化の

原因の第二として、搭載される撮像機器の多様化、手ブレ補正機能の充実、ズーム比の高倍率化など仕様の高度化があげられる。このため、ズームレンズでは、非球面、回折光学素子、コーティングといった生産技術を含む要素技術が大きく寄与している。

### 3.1 撮像機器におけるズームレンズと要素技術

光学系開発ツールが大きく進歩し、台湾や韓国などアジア勢の台頭著しい光学製品分野の中にあって、ズームレンズの開発設計には現在でも経験と勘が強力な武器となり、日本の光学メーカーに一日の長がある。各種撮像機器用ズームレンズに目を向けると、ズーム比の高倍率化や大口径化の動きが見て取れる。また、多くの製品には手ブレ補正機能やインナーフォーカス機構が採用されており、撮像機器の価値を向上させている。これらズームレンズの高機能・高仕様化には、誤差感度緩和や非球面設計等の設計技術や高屈折率ガラス等の材料技術、各種生産技術が大きく寄与している。本節では、撮像機器の製品分野ごとに、そこに搭載されるズームレンズの動向について報告し、合わせて、ズームレンズの高機能化、高仕様化を支えている要素技術の動向について紹介する。

### 3.2 回折光学素子、コーティング

デジタルカメラは従来のアナログカメラに対して、撮影画像の一部を拡大して使用する機会が多くなり、撮影画像の画質に対するユーザーの評価が厳しくなっている。更に CCD や CMOS センサの画素数の増加や感度の改善が続き、撮像光学系の性能についてもより高い性能が求められている。こうした要求を満足させるためには従来の手法では限界があり、回折光学素子やナノ微粒子の活用、SWS といった新技術が開発されて製品に搭載されている。これらの技術を使うことによって従来の技術では成し得なかったレベルの性能改善ができるようになってきている。本節においては、近年、新技術の開発が盛んに行われている、回折光学素子およびコーティング技術について報告されている。」

### 3.3 CCD/CMOS イメージセンサの技術

イメージセンサは固体撮像素子とも呼ばれ、受光映像を電気信号に変換するセンサであり、その特性自体が、機器の性能に大きく影響を与える。主として、Si ベースの半導体によって形成されており、2010 年時点では、コンシューマ用機器として、主に DSC や、デジタルカムコーダ等に用いられ、また、産業用途とし、監視用、医療用、及び自動車の安全用途等幅広く活用されている。イメージセンサは、CCD と CMOS があるが、いずれも PD が存在し、光電変換する点で共通である。しかし、一般の半導体素子に比べ、映像信号を高品質に変換して取り出すという点が異なる。特に最終的な画質が、人間の目という最もシビアな計測器にて判断されるため、通常の半導体に比べて、ばらつきや欠陥に対する許容度が厳しい。本節では、Si 技術をベースとしたイメージセンサ、特にエリアセンサ

を中心にその技術の概要が述べられている。

## 第4章 医療機器

光学的な生体計測方法は、非侵襲、非接触、高速、高分解能などの点で優れた特徴を有している。まず、最先端の生命科学研究や医療機関での各種診断に不可欠となっている光学顕微鏡について、省エネルギー、複合化、高機能化、高分解能化などの観点から技術革新を展望する。次いで、生体内部の3次元構造をほぼリアルタイムに得ることが出来る計測方法である光コヒーレンストモグラフィー（OCT）について、その原理と要素技術を紹介し、現在最も注目されている眼科応用について現状と将来展望を述べる。

### 4.1 顕微鏡

近年の光学顕微鏡は、最先端の生命科学研究や医療機関での各種診断、最先端の半導体製造検査等の産業分野に至るまで、必要不可欠な機器として広く利用されている。そのため顧客ニーズも多岐に亘り、周辺機器との融合によるシステム化及びデジタル化による機能向上と高性能化が進むと予想される。これらの現状を示す例を幾つか解説し、今後進むべき方向の提言へとつなげる。具体例として、まずは環境保護の観点から、顕微鏡にも省電力化が求められてきている内容に触れる。続いて機能向上の観点から、従来の複雑な操作を簡略化するためにパソコンのモニタ上で全ての操作を行なうボックス型顕微鏡や細胞培養を行うCO<sub>2</sub>インキュベーターと一体化した顕微鏡、そしてデジタル画像による病理診断支援システムと診断情報のネットワーク化について紹介する。一方、高性能化の観点からは、2光子励起顕微鏡による組織標本の深部観察や非線形光学現象を利用した顕微鏡、光の照射方法・検出方法を工夫し回折限界を超えた超解像顕微鏡など、試料から多くの光情報を得る技術を紹介する。

### 4.2 OCT（光コヒーレンストモグラフィー）

OCTは低コヒーレンス干渉技術を用いて生体内部の3次元構造をほぼリアルタイムに得ることが出来る計測方法である。低コヒーレンス干渉計は白色干渉計として工業分野において層構造の厚さや屈折率計測などに用いられてきた。生体は光をある程度透過するため、その後方散乱光から生体内部の三次元構造の情報を抽出することができることが1991年に示された。OCTは、X線CT、MRI、超音波断層撮像法などと比較して、非侵襲、非接触、高速、高分解能であり、光学的半透明体や組織表面付近で他の手法で観測できない微細な構造の三次元観測が可能である。本節は、特に医療用として眼底の疾病計測に欠くことのできないOCT活用の計測機器や検診装置について解説されている。

## 第5章 半導体露光装置

半導体集積回路の高集積化、高性能化への要求は、未だに衰えを知らない。この要求を

実現する最も有力な方法が、半導体素子の微細化であり、これを実現する手段がリソグラフィ技術である。リソグラフィ技術開発の歴史は、露光装置技術開発の歴史でもある。特に縮小投影型露光装置技術の発展がこれまでの半導体高集積化を支えてきた。従来は、露光波長の短縮、露光光学系の高性能化で、高解像度化を実現してきた。しかし、この露光装置技術の高度化による高解像度化は、その限界を迎えつつある。一方、半導体素子の最小寸法が、数十ナノメートル以下となった現在、半導体素子の微細化の究極の限界を考える必要にも迫られている。この状況を踏まえ、本章では、現状の半導体デバイスの微細化に対する要求と、これに対応する今後の半導体露光技術の展開について紹介する。

### 5.1 半導体露光技術の現状と今後

リソグラフィ技術の開発の歴史は、半導体露光装置技術開発の歴史といっても良く、特に縮小投影型露光装置技術の発展が、これまでの半導体高集積化を支えてきた。しかし、光源の短波長化や露光光学系の高性能化による高解像度化は、限界を迎えつつある。一方、半導体デバイスの微細化に対する要求、すなわち、半導体素子の最小寸法が、数十ナノメートル以下となり、半導体材料を構成する原子の大きさを意識して、半導体素子の微細化の究極の限界を考える必要に迫られている。本節では、半導体露光技術にまつわるこのような状況が俯瞰されている。

### 5.2 光露光装置

光露光装置は ArF 液浸で NA1.35 を実現し、技術的に飽和した状態に到達した。しかし、EUV の遅れで、液浸に代わる微細加工装置は、今後数年は現れないものと予想される。ウェハプロセスを駆使したダブルパターニング技術の導入で 20nm の微細加工に挑んでいる現状は、露光波長 193nm の 1/10 の線幅を形成することに相当する。このため露光装置には極限までの制御を行うことが必然となってきた。高 NA、短波長化という従来型の開発ではないが、他技術とのマッチングのための装置性能の向上が必要とされている。光学系による解像力改善がストップしたため、微細化への圧力は、ダブルパターニングを 2 回行って線幅を 1/4 にするチャレンジを話題にするまでに至っている。本節では液浸に至るまでの背景と液浸技術の概観、ダブルパターニングをめぐる装置側の開発状況について紹介する。

### 5.3 これからの露光技術

現状の光露光技術以降の新しいリソグラフィ技術について紹介している。従来技術の延長として位置づけられる EUV 露光技術や電子線を用いた露光技術に加え、必ずしも露光、すなわちエネルギー線を用いてレジスト中にエネルギーを潜像として堆積させ、これを現像と呼ぶプロセスで実際の像に変換する方式を採らない方法も、候補となってきている。

まず最も精力的に研究開発が進められている EUV 露光技術について、露光装置、光源をはじめ、マスク技術やレジスト材料など、そのインフラ技術を含めて紹介している。さらにマスクレス露光として期待されている E B 露光技術、そして潜像を用いない技術としてナノインプリント技術と DSA（自己整合型パターン形成技術）を紹介している。

## 第 6 章 表示機器

本章では、将来も継続的に日本が新規技術を創出しグローバルな表示機器産業に貢献し発展していく方向性を考えるために、幅広い表示機器分野の中から 2010 年より日本国内でも本格的な立ち上がりを見せ今後もアプリケーションおよびテクノロジードライバとして期待される 3D 表示機器の技術動向を概観する。さらに、表示機器全体の技術動向を概観した後、具体例として LED やレーザ光源の実用化によりモバイルディスプレイの一分野として開発が活発化している、近年ピコプロジェクタあるいはポケットプロジェクタと呼ばれるカテゴリを擁するプロジェクタ分野の技術動向について報告する。また、緑色 LD の出現により実用化がはじまった RGB レーザ光源搭載型ピコプロジェクタを起点とした今後のレーザディスプレイの開発やその方向性についても合わせて報告をおこなう。

### 6.1 3Dディスプレイ

3Dディスプレイの歴史は古く、赤青フィルムのアナグリフ方式を初めとして、様々な方式が検討されてきた。それにも関わらず、2010 年から急激に 3DTV が普及し始めた理由は、フラットパネルディスプレイ（FPD）の進歩と、3D 映画の流行にある。3D ディスプレイでは、左右の眼に異なる映像を映さなければならない。この異なる 2 つの映像を一つのディスプレイに同時に表示すると、画像の解像度が半分になってしまう。また、解像度を減らさないように 2 つの映像を交互に表示する場合、フリッカが気にならないように、非常に高速に 2 つの映像を切り替えなければならない。一方、FPD は、HDTV 化に伴う高解像度化が進み、また、動きぼけを無くすための高フレームレート化が進んでいた。つまり、この FPD の技術を流用することで、3D ディスプレイの課題を解決できた点が、3DTV 発展の大きな要因である。また、良質の 3D 映像をハリウッドが提供し、一般ユーザに 3D の魅力を示したことも、もう一つの要因である。本節では、これまで提案されている 3D ディスプレイの方式を整理し、各方式の概要と課題を述べる。また、様々なメディアにおいてデファクトとして利用されている各種 3D フォーマットについても現状と課題を述べる。

### 6.2 プロジェクタ

小型プロジェクタが LED やレーザなど新規光源の出現で注目されている。水銀フリー、低消費電、メンテナンスフリーで長寿命という特徴から UHP 光源主流であったプロジェク



タ分野にアプリケーション拡大を伴うパラダイムシフトが起こりつつある。2000年代後半からスマートフォンがヒットし、タッチパネル付表示機器分野が確立し、モバイルディスプレイの重要度が増している。ピコプロジェクタと呼ばれる新規小型プロジェクタカテゴリは、小さく軽い本体に大きな表示という矛盾した要求を解決する方法と考えられる。特に緑色直接発光 LD 技術は、RGB レーザ搭載ピコプロジェクタを実現可能とし、次世代型表示機器の一つと目されるレーザディスプレイ実現に向けたテクノロジードライバとしても大きな役割を担う。本節では、表示機器の全体トレンドを概観し、大きな変化が予想されるレーザを中心とした新規ディスプレイ動向と開発の方向性について報告する。

## 第7章 照明・集光光学系

光学機器での物体（試料）の照明、室内照明・車の前照灯・野菜工場などで用いられる直接的な照明など、様々な場面で照明光学系が使われている。また、太陽光を利用した発電や太陽電池などでは集光光学系が重要な役割を果たしている。多くの光学機器において、その性能を達成するための主体は結像光学系とみられているが、カメラレンズを除くと、照明光学系が果たす役割は非常に大きく、結像光学系と同じようにあるいはそれ以上に重要である。環境エネルギー問題の一環として、太陽光の有効利用が望まれており、太陽熱発電、太陽電池、さらには太陽光直接利用照明光学系などに用いる集光光学系の開発研究が重要になっている。また、室内照明機器の研究開発が盛んであり、純粋にあるいは直接的に照明光学系の果たす重要性が増している。「結像系の照明光学系」、「太陽熱発電用集光光学系」、「LED 集光光学系」の3つの分野について、現状分析と今後の課題と対策について述べる。

### 7.1 結像系の照明光学系

多くの光学機器で、照明光学系が果たす役割は非常に大きく、結像光学系と同じようにあるいはそれ以上に重要である。結像光学系ではいわゆる収差を小さくすれば良いので、レンズ設計の困難さはあるにしても、設計の目標・手順・指標などは明確である。これにたいし、照明・集光光学系では仕様は明確であるが、それを達成するための設計製造の評価手法が必ずしも確立はしていない。学術的にもっと議論されていく必要がある。新奇な照明光学系の開発のポイントは、光学設計とキーとなるデバイスの開発である。最近ではキーとなるデバイスはマイクロレンズや MEMS のような非常に小型のものであり、内視鏡などでは極細ファイバーの高速振動を利用した照明光学系が開発され、小型化に貢献している。このあたりの発想や製造技術において、日本は必ずしも十分な技術的優位にあるとはいえない。照明系開発における課題と対策案について言及する。

### 7.2 一般照明用 LED 光学系

LED は、白熱電球、蛍光灯、HID ランプに続く第4の光源と位置づけられ、従来光源の代替として急速に一般照明市場に普及している。東芝ライテック㈱は、CO<sub>2</sub>排出量の削減に貢献するため、東芝発祥事業の一つであり120年間にわたり継続してきた一般白熱電球の製造を2010年3月に中止したとの報道発表を行った。白色LEDの効率は白熱電球やハロゲン電球を越えて、蛍光灯やHIDランプと同等レベルに達しており、白熱電球や電球形蛍光灯に置き換えるためのLED電球・LEDユニットや従来光源を用いた器具に置き換えるための種々のLED照明器具が発売されている。本節では、現在急速に普及が広がっているLED電球・LEDユニットと、蛍光灯やHIDランプを使用した照明器具に置き換えるためのLED照明器具について、製品コンセプトと光学設計の考え方がまとめられている。

### 7.3 太陽熱発電用集光光学系

太陽エネルギーは人類の発展には将来欠かせないエネルギー源である。なかでも太陽熱発電は旧来の火力発電との親和性が良く相互に補いあって、CO<sub>2</sub>を削減しつつ安定な電力源となりえるということで、欧米を中心に、大規模なプラント建設や計画がなされ、新システムや新規材料の適用による発電効率向上やコスト低減のための実用研究も着々となされてきている。日本でも世界的に見ても早い1981年に実験プラントが建設され3年間の実験が行なわれているが、その後が続かなかつた。この節では現在の主流の集光方式や将来のシステムとして期待される集光光学系から主なもの4種を紹介し、高反射率と屋外使用での耐久性や軽量化およびコストダウンを求めて開発されてきたいろいろな鏡の構成や特長をまとめる。

## 第8章 画像処理

最近のCMOSセンサーイメージセンサーの著しい進展により、光学レンズ性能をデジタル画像処理で補うアプローチが活発化している。デジカメなどに組み込まれた画像エンジンLSIも、色補間・画像圧縮などの基本機能に加えて歪曲補正や色再現性・偽色・ノイズ対策へとその守備範囲を拡げている。フォトタッチソフトの世界では、歪曲・色収差・口径蝕・ボケなどの光学補正を行うDxOが登場しており、KodakやFujiの銀塩フィルムの画質を色調や粒状感までデジタル写真で再現している。将来、画像エンジンと融合して「ソフトウェアレンズ」と呼ぶべきものが誕生し、「レンズは不要か」、「オリジナルな写真とは何か」などと、真剣に議論される可能性も十分に考えられる。一方、コンピュータの性能も飛躍的に向上し続けており、CTのようにデジタル画像処理を前提とする新しい結像原理に基づく計算イメージングシステム、結像光学系とデジタル処理を組み合わせたハイブリッド・イメージングや計算フォトグラフィー分野などの発展もめざましく、

Wave-Front Coding のような新しい被写界深度拡大技術も注目されている。

### 8.1 Wave front coding

Wave-Front Coding (波面コード化法) は、CDM Optics 社 (OmniVision Technologies) が保有する被写界深度拡大技術であり、瞳関數位相分布のアナログ変調とデジタル画像復元処理をうまく組み合わせることにより、レンズ開口を絞らず、像の明るさや分解能を犠牲にしないで被写界深度を画期的に深くできる技術である。被写界深度を深くするために、これまでに様々な方式が提案されており、① 合焦面を光軸方向に走査しながら、各位置で得られる合焦像を合成する方法、② 焦点はずれ像の各部分に対して物体距離に応じたデコンボリューション・フィルタをかけ、それぞれの復元像を合成して画面全体をシャープにする方法、③ Wave-Front Coding (波面コード化法) などがある。本節ではここ数年前からまず産業界を中心に世界的な関心が高まっている Wavefront Coding について解説する。

### 8.2 画像エンジンの動向

デジタルカメラの画像エンジンの処理内容は、写真画像作成の基本処理に加えて、顔認識から特殊加工そしてフル HD 動画まで広範囲に渡っている。他方、計算光学の領域において、新方式の原理研究も多数なされており、一部は実用化されたが更なる発展が期待される。スマートフォンの新しい写真文化が急速な発展を見せており、この領域への取り組みは大きな課題である。画像エンジン開発には、技術視点のみならず、従来の写真文化とこの新しい写真文化とを包括する文化的な視点の取り組みが必要である。画像エンジン LSI は、光学系、AF、AE、撮像素子の制御も行うが、これらは高度な摺り合わせ技術の必要な領域である。これらの要素技術で先行し、画像エンジンの先進性を保つ事が望まれる。画像処理開発には、アルゴリズムや数学に強い人材が必要とされるが、日本はこの分野で欧米に遅れをとっていると感じる。大学教育も含めた国家的な視野による人材育成活動の強力な推進が望まれる。

## 第9章 光通信機器

YouTube や IPTV などの映像情報の増加に伴い、インターネットトラフィックは、今後とも2年ごとに2倍の伸びを続けると言われている。このように増加する情報を効率的にハンドリングするため、光通信ネットワーク分野においても、種々の新たな技術開発が進められている。光ネットワークの構成としては、これまでの Point to Point から、リングネットワーク、さらにはメッシュネットワークへ拡張していく。今後、増大する光ファイバ1本あたりの情報容量を低コスト、低消費電力でハンドリングするため、できるだけ O/E、E/O を介さず光のままルーティングする必要がある。このため、従来の波長多重伝送 (WDM) を用いたスタティックな光ネットワークから、ROADM (Reconfigurable Optical

Add/Drop Multiplexer)を用いた動的な光パスネットワーク実現に向けた研究開発も進められている。本章では、光学機器という切り口で、現状の WDM 伝送の主要受動光部品である WDM フィルタ、および光ネットワークのキーデバイスとなる ROADM デバイスについての動向について述べている。」

### 9.1 マルチコアファイバ

動画の超高精細化や 3D 化を含む超臨場感通信等の普及も考慮し、これから先 20 年のトラフィック需要を予測すると、幹線系の伝送容量の伸びは、現在に比べ 4 桁～5 桁を超えるものになるとも予想される。このため、3 つの M の技術が提唱されている。最初の M は、マルチコア (Multi-core) 構造を持ち空間分割多重伝送を実現する新規な光ファイバ (マルチコアファイバ) 技術であり、2 つ目の M は、無線の分野で導入されている MIMO 等の多入力多出力による情報量の増大技術を、光ファイバ伝送路において展開するマルチモード (Multi-mode) 多重伝送技術であり、3 つ目の M は、無線伝送で行われている高い周波数利用効率を有する多値変調方式 (Multi-level Modulation) 伝送およびそれに関連する伝送処理技術等である。本項では、上記 3 つの M の技術の中から、現在、最もその検討が進んでいるマルチコアファイバの最新技術動向について述べている。

### 9.2 WDM フィルタおよび ROADM

光ネットワークの構成としては、これまでの Point to Point から、リングネットワーク、さらにはメッシュネットワークへ拡張していく。今後、増大する光ファイバ 1 本あたりの情報容量を低コスト、低消費電力でハンドリングするため、できるだけ O/E、E/O を介さず光のままルーティングする必要がある。このため、従来の波長多重伝送 (WDM) を用いたスタティックな光ネットワークから、ROADM を用いた動的な光パスネットワーク実現に向けた研究開発も進められている。本節では、光学機器という切り口で、現状の WDM 伝送の主要受動光部品である WDM フィルタ (AWG など) および光ネットワークのキーデバイスとなる ROADM デバイスについての動向について述べている。

## 第 10 章 光学材料

新規な光学材料が開発されることで、光学設計の自由度が飛躍的に大きくなり、新しい分野が切り開かれることも少なくない。わが国は、源流である光学材料開発・製造から、川下の光学設計・光学機器製造まで、全ての分野で最先端技術を持つ数少ない国の一つと言える。光学材料においては、無機材料、有機材料の両分野において先端の研究開発が推進され多くの製造メーカーが競っている。光学機器分野においても、産業機器からコンシューマー向けまで、広範囲に渡る製品を開発・製造しているメーカーを数多く持つ。材料メーカーと光学機器メーカーが共存することで、両分野の技術的発展が加速されて来た

も言える。本節では、高度な光学機器を支える光学材料全般（ガラス材料、セラミックス材料、プラスチック材料）について、現状と今後の展望が述べられている。

### 10.1 ガラス材料、セラミック光学材料

光学機器、光デバイスにおいて、光を操作する手段は今もなおレンズやミラーが主流であり、その主力素材は無機光学材料である。その理由は、光学機器の高いスペックを実現する物性や安定性を高いレベルで両立していることにある。代表的な無機光学材料としては、光学ガラスとセラミックスが挙げられる。光学ガラス産業は成熟しているように見えていたが、更なる光学性能向上と、有害物質不使用・省エネルギー・省資源への対応が必須となり、新たなフェーズに入ってきた。本節では、一般光学機器向け光学ガラスの動向、デジタルカメラ等に多く用いられる精密モールド用ガラス、ハイエンド産業機器向け石英ガラスの動向について記述している。一方、セラミックスは開発途上にあり、広く実用化されているとは言えない。しかし、そのポテンシャルは高く、他の材料では実現できない物性が得られる可能性を秘めている。本節では、セラミックスの特徴や、実用化に向けた課題について述べている。

### 10.2 プラスチック光学材料とそのデバイス応用

汎用プラスチック光学材料としては、ポリメチルメタクリレート（PMMA）・ポリカーボネート（PC）が多用されている。また、環状ポリオレフィンと比較的高価であるが、その透明性・耐熱性・低吸水性・低複屈折などの特徴から、PMMA や PC では達成できない性能を要求される高性能レンズ等の用途に使われている。これらの透明プラスチックは、カメラ付き携帯電話・デジタルカメラ等の光学レンズや、CD・DVD等の光記録媒体として、また、FPD中で導光板や各種機能性フィルムとして加工され、情報化社会の中で、情報の記録、表示、伝送の中心的役割を担う材料となっている。今日、プラスチック光学材料は、生活を潤すアイテムとして現代社会に浸透しており、何気なく当たり前のものとして使用されているのであるが、その裏にある部材開発の技術は、どれも材料の本質を見極め、分子構造制御による究極的な物性を発現させるというものである。本節では、光学部材の新製品開発の一端を紹介するために、最近開発された低色収差屈折率分布型プラスチックレンズについて、特に、低色収差化の手法が解説されている。

## 第11章 まとめ

今後も我が国の国際競争力を強化して行くために必要なコア技術は、光学機器を支える光学設計と製造技術に基づく光デバイス技術である。本章では、「先端光学機器を支える光学設計技術」、「撮像機器」、「医療機器」、「半導体露光装置」、「表示機器」、「照明・集光光学系」、「画像処理」、「光通信機器」、「光学材料」の各章について本報告書全体を俯瞰、展

望し、報告書全体のまとめとしている。最後に、本報告書が我が国の技術水準の更なる向上、国際競争力を増強するための新たな戦略立案および研究開発加速へ寄与することの期待が述べられ、本調査研究の意義が総括されている。



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>