

## 研 究

## 光産業の構造と基軸製品の生成

## ——光産業形成史Ⅰ——

鄭 致 福

はじめに

## 第1章 光産業の製品構成

## 第1節 光技術の特質

## 第2節 光産業の製品構成

## 第2章 製品構成の変化——基軸製品の抽出

## 第1節 製品構成の変化

## 第2節 基軸製品の技術的根拠

## 第3章 光技術の歴史——基軸製品の生成

## 第1節 半導体レーザー

## 第2節 光ファイバ

## 第3節 光ディスク

むすびにかえて

## はじめに

日本の光産業は現在、工業統計表の産業分類によると中分類4部門以上にわたる製品から形成されている。<sup>1)</sup> レーザー技術と、その通信利用を可能とした光ファイバ技術、これらを端緒に展開した光技術が生み出す、数多くの製品が現在の光産業を構成している。

人類が初めてレーザーを手にしたのは1960年であるが、光技術の最も革新的成果の一つである光ファイバ通信技術が実用化されるまでには、おおよそ20年かかっている。光産業は1980年代の形成期をとおして年率平均47%という急速な成長を遂げ、1990年度には生産規模が3兆円に達するであろうと見込まれている。<sup>2)</sup>

本稿では、形成期における光産業の構造を概観すると同時に、産業形成にいたるまでの過程を、おもに技術開発の歴史の中で明らかにしたい。なお、光産業は製品構成が複雑なため、分析に際して産業の形成期に基軸となった製品を抽出し、それらの研究開発

過程について具体的な検討を加えることにする。

そこで以下のような考察を試る。第1に、人工の光であるレーザーの特質と現代の技術革新に占める光技術の位置を明らかにする。そしてこのような光技術がもつ広範な応用領域と、そのうちの光産業を構成する製品について説明を行なう。第2に、製品構成の変化から形成期における光産業の構造に見られる特徴を指摘することによって、3つの基軸製品を抽出し、その技術的根拠を明らかにする。第3に、産業形成にいたる光技術の歴史を、基軸製品の生成過程として分析する。

- 1) 例えば工業統計表中分類によると、半導体レーザー、光ディスクは電気機械器具製造業、光ファイバは窯業・土石製品製造業、光入出力装置は一般機械器具製造業に属している。
- 2) 光産業技術振興協会の調査、算出による。同協会は通産省の呼びかけで、光産業に関連する民間企業が会員となり、官民協力のもとで日本における光産業形成の推進母体として1980年に発足した。

## 第1章 光産業の製品構成

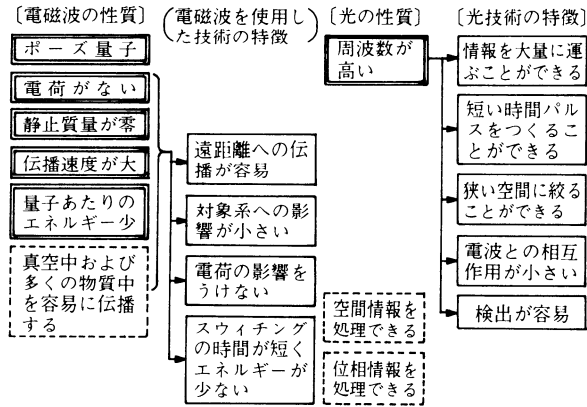
光産業の製品は従来の産業分類によると複数部門にわたるが、これらは光技術との関連にしがたい、光産業という一つの産業を構成するものとして新たに分類されている。したがってここでは、製品分類の基準となっている光技術の特質についての説明から始めたい<sup>1)</sup>。

### 第1節 光技術の特質

#### 1. レーザーの性質

電磁波の一種であるレーザーは、位相のそろった、すなわち時間的にも空間的にもコヒーレントな人工の光である。時間的にコヒーレントであるというのは、位相の時間的増加が一定であるということであり、空間的にコヒーレントであるというのは、どの波面の形も同じであるということの意味する。時間的にコヒーレントであるために一定した周波数をもつレーザーは、図1-1のように電磁波と同じ性質を、きわめて短い波長（周波数が高い）領域で実現している。また、レーザーが空間的にコヒーレントであることによる集光・直進性という性質は、大変密度の高いエネルギーを作り出す。このコヒーレントな光を人工的に作り、かつ操作できることが、レーザーによる情報とエネルギーという二大分野に広範な利用領域を作り出している<sup>2)</sup>。

図 1-1 光技術の特徴



出所) 日刊工業新聞社【NK MOOK—日本の最新技術シリーズ—光技術百科】  
1982年、15ページ、図1。

## 2. 光技術革新の評価

電磁波の一種として情報分野に利用されるレーザーは、現在のSi（シリコン）を基調にしたエレクトロニクスのデバイスに共通する応用分野をもち、代替関係におかれることも多い。情報技術革新において、マイクロ・エレクトロニクスによるデジタル化が画期的な意義を有した様に、レーザーも超短パルスを作り出せることからデジタル化には大変適している。しかも、レーザーの波長が電磁波のそれよりさらに短いので、マイクロ・エレクトロニクス技術に比して扱う情報量もその分だけ多いことになる。<sup>3)</sup>それは光通信や光ディスクの大きな特徴もこの点にある。これがエレクトロニクス技術の延長上で、それをうわまわる光技術の特質である。

レーザー本来の波としての性質を積極的に利用すると、もはやエレクトロニクス技術を超えた、レーザー本来の優位性が顕著になる。例えば、光を直接操作して情報の空間並列処理を行う光コンピュータ、コヒーレント光通信などがそれである。また、以上の情報分野のみでなく、エネルギー分野に応用領域をもつことが、エレクトロニクス技術にはない光技術の特徴である。レーザーは高精度・高出力での加工や、エネルギーの生成も行う。なかでもレーザー加工における最大の特徴は、加工作業を無接点で行なうことであり、これは人類の道具の歴史に一つの画期を記すものである。<sup>4)</sup>

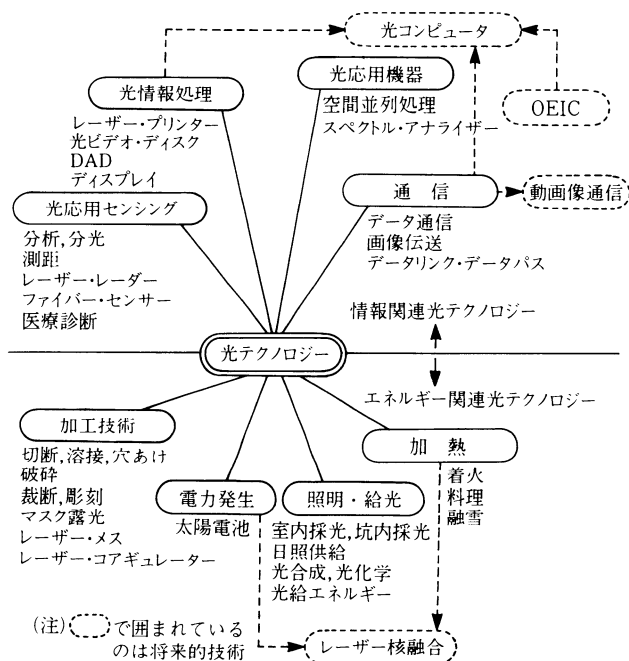
光技術による革新を、その広い適用領域が社会にもたらすインパクトから積極的に評

価する反面で、光技術をエレクトロニクス技術の延長にのみ位置づけ、その革新性を過小評価する向きも少なくない。上述の広い適用領域について、実用化段階にいたっていない領域も残されてはいる。しかし、その実現可能性をも含めるならば、光技術による革新は決してエレクトロニクスとの延長だけでは片付かない独自の意義をもっている。こうして光技術は、現代の情報技術革新を支える基盤技術の一つとして位置づいている。

### 3. 広範な適用分野

図1-2は、光技術の適用分野を具体的に示したものである。情報とエネルギーという二大分野に広く適用されることが光技術の大きな特質の一つである。適用分野には、すでに実用化している分野と、原理的に可能であるが実現にはまだ多くの課題を残している分野がある。ここでは将来的な技術について説明し、すでに実用化している分野については次節で述べることにする。<sup>5)</sup>

図1-2 光技術の適用分野



出所) 堤住辰『これが光産業革命—オプトビジュアルへの道』東洋経済新報社, 1983年, 31ページ, 図Ⅱ・1。

### （1）情報関連分野

図1-2からも明らかな様に光技術は通信・制御・処理と情報に関連する全ての分野に応用される。光応用センシング，光応用機器，通信はすでに実用化しており，一層の発展を遂げつつある。

光情報処理ではレーザーを用いることにより，電子回路の二次元処理に対する光の優位性である三次元の空間並列処理が可能とされている。通信技術と光応用機器を結んで，光情報処理の究極の姿である光コンピュータが展望されているが，その実現の方向は，エレクトロニクス技術との競合・棲み分けという現状で課題を多く残している。<sup>6)</sup>

### （2）エネルギー関連分野

エネルギー関連分野は，レーザー光をエネルギーとして利用する加工，照明・給光，加熱，それをエネルギーの生成に用いる電力発生，核融合と大きく分かれる。

レーザーによるエネルギーの生成でとりわけ将来的技術として期待されている領域が，レーザー核融合による原子力エネルギーの生成である。現在の原子力エネルギー生成における核分裂という方法には，有害な放射性廃棄物が出る上，原料がウラン，プルトニウム，トリウムなどの希少資源であるという問題が存在する。核融合は，核分裂に比して原料の獲得に利点があり，そのプロセスもクリーンであると期待されている。<sup>7)</sup>

## 第2節 光産業の製品構成

光産業の生産実績をもとに，そこにあげられている製品を分類し，その用途について整理を行う。<sup>8)</sup> 具体的な製品及びその統計資料などについては公表資料中，最も整備されている光産業技術振興協会編集のものに依拠した。<sup>9)</sup>

### 1. 光部品

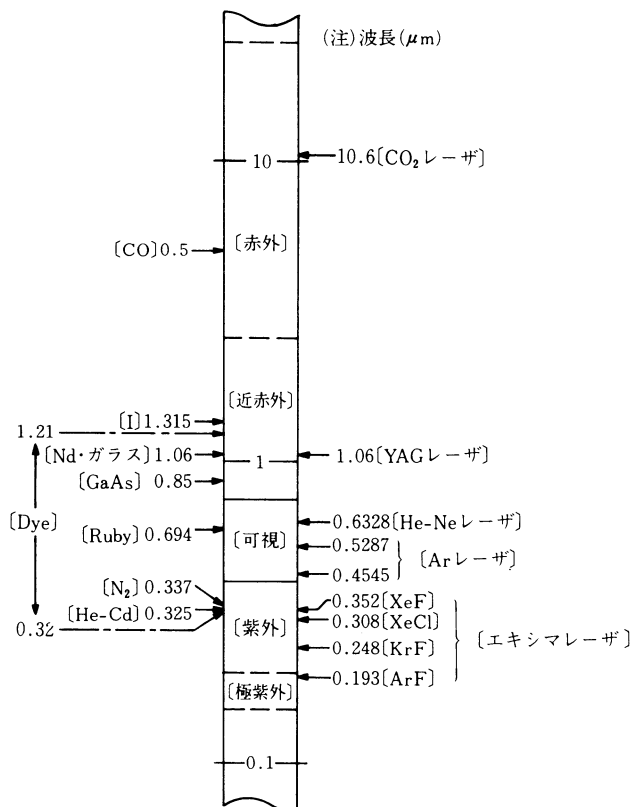
#### （1）発光素子

発光素子とは電気や熱，光等のエネルギーによって光を発生させる素子である。レーザーは，レーザー動作を行う活性の媒質と，それにエネルギーを供給する装置と反射鏡を合わせた共振器からなっており，その媒質によって半導体，固体，気体，液体に分けられる（図1-3参照）。レーザー以外に，共振器を持たない発光ダイオードも発光素子に含まれる。

#### ① 半導体レーザー

半導体レーザーは低出力のレーザーで，光通信や情報機器などの情報関連に広く需要をもち，レーザーの中でも中心的位置を占める。半導体レーザーはSi結晶ではなく，

図1-3 レーザーラインスペクトル



出所) 光産業技術振興協会編『昭和62年度光産業の動向』1988年、84ページ、図3.2.1。

Ⅲ族やⅤ族の元素による化合物半導体である。材料によって発振波長が異なり、おもに波長  $1\mu\text{m}$  以上の長波長は InGaAs (インジウム・ガリウム・ヒソ), それ以下の短波長は AlGaAsP (アルミニウム・ガリウム・ヒソ・リン) などからなるが、各元素の配分比率によっても波長は変わる。その用途も、長波長帯は主に長距離光ファイバ通信、短波長帯は光ディスクやプリンタなどの光源に用いられている。

## ② それ以外のレーザー

### a. 固体レーザー

固体レーザーの媒質は YAG (イットリウム・アルミニウム・ガーネット), ルビー, ガラ

ス等であり、中でも YAG レーザーが需要のほとんどを占めている。YAG レーザーは、半導体の製造加工分野におけるトリミング、スクライビング、マーキングに用いられている他、医療分野でのレーザー・メスや計測分野などに利用されている。ルビーレーザー、ガラスレーザーは共に大出力が得られるため、加工・エネルギー分野に需要をもち、特に大型のガラス・レーザーは核融合実験に利用されている。

#### b. 気体レーザー

気体レーザーの媒質は、He-Ne（ヘリウム・ネオン）、Ar（アルゴン）、CO<sub>2</sub>（炭酸ガス）、エキシマ、その他である。He-Ne レーザーは小型・軽量・安価な可視光であるため、計測用の光源や加工分野の位置決め用に使われる他、医療分野では眼底検査、情報分野ではプリンターや POS の光源に利用されている。Ar レーザーも可視光であるから、計測・加工・情報・医療、各分野に適している。CO<sub>2</sub> レーザーは赤外光で出力も高いことから、加工分野の精密切断・溶接・熱処理に利用されている他、医療分野ではレーザー・メス、そして計測分野にも用いられている。エキシマレーザー<sup>10)</sup>は、紫外光エネルギーを発するので超微細加工や化学反応加工の基礎研究に用いられている。

#### c. 液体レーザー（色素レーザー）

液体レーザーのほとんどは色素レーザーであり、その特徴は波長可変な点にある。したがってレーザー分光にはほとんどこの色素レーザーが利用されているが、研究用途に限られているため生産量は小さい。

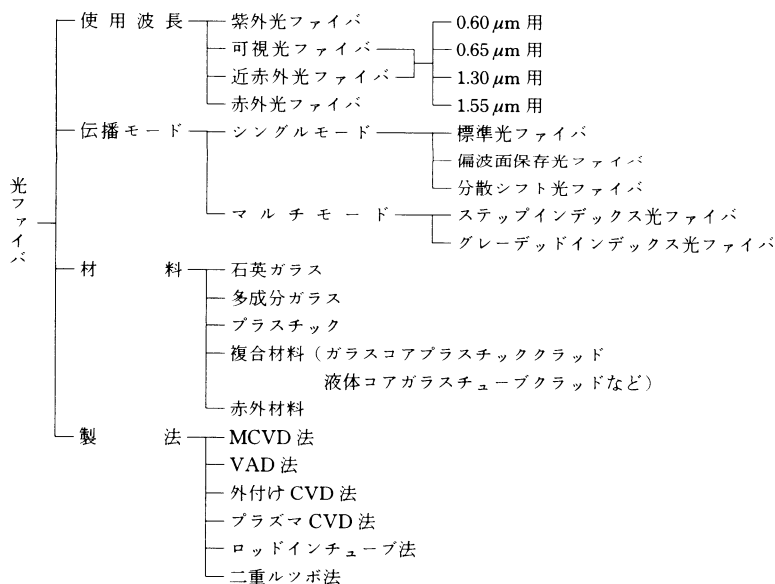
### ③ 発光ダイオード（LED）

半導体レーザーと同じ化合物半導体を材料とする発光素子に発光ダイオードがある。低消費電力・高信頼性・長寿命という特性をもつことから、家電製品や OA 機器、AV 機器、自動車の表示用光源、平面ディスプレイ向けに大きな需要を作りだした。規模は半導体レーザーに及ばないが、安価な光源として短波長・長波長ともに通信にも利用されている。

#### (2) 光ファイバ

光ファイバは、素材のコア（中心）とクラッド（外被）に屈折率差をもたせ管の中で光を全反射させながら伝送する伝送路である。表 1-1 にその種類を示し、主な用途について述べる。石英系光ファイバ<sup>12)</sup>は伝搬モードの数によって、SM（シングル・モード<sup>13)</sup>）と MM（マルチ・モード<sup>14)</sup>）に分類される。長距離大容量伝送路として最も多く利用されているのは SM ファイバであり、MM ファイバは中・短距離に用いられている。多成分ガラスやプラスチックファイバ<sup>15)</sup>の一部は、中・短距離通信に利用されている。この他に

表 1-1 光ファイバの種類



出所） 科学技術庁編『光と情報』 大蔵省印刷局，1987年，22ページ，表2-1。

非通信用では，プラスチックファイバが自動車や家電製品の照明やライト・ガイド，表示用，そして各種測定やセンサと，様々な分野に適している。石英系・多成分ガラスファイバは，心線を複数本束ねたバンドル・ファイバとして，ライト・ガイドにも利用されている。

### (3) 受光素子

受光素子は光信号を電気信号に変えたり，光エネルギーを電気エネルギーに転換する機能をもった素子で，個別受光素子と一次元・二次元のアレイ型受光素子とに分類される。個別受光素子には通信用と非通信用とがある。通信用にはピンフォトダイオードとアバランシェフォトダイオードとがあり，それぞれ短波長用と長波長用に分けられ，前者は Si，後者は Ge（ゲルマニウム）や GaAs が使われている。非通信用のフォトダイオードとフォトトランジスタはシリコンが基本で，ファクシミリや複写機のセンサに用いられている。次にアレイ型受光素子というのは，多数の受光素子を直線や平面状に組み合わせたもので，一次元素子はファクシミリやオートフォーカス・カメラに，二次元素



子はビデオカメラの固体撮像素子（CCD）に用いられる。

#### （4）複合光素子

複合光素子は発光素子と受光素子とを一つに組み込んだ素子で、フォトカプラとフォトインタラプタが含まれる。フォトカプラは、回路の雑音防止やインターフェース用に用いられており、回路間の絶縁技術には欠かせない部品である。フォトインタラプタは、物体の有無・位置・回転の検出等に用いられており、その応用機器としては、自動販売機、家電製品、カメラ、遊戯機器、自動車関連機器、OA 機器・FA 機器など多岐にわたっている。

#### （5）太陽電池

太陽電池は、太陽の光を吸収し、そのエネルギーを電気に変換する素子であり、Si の単結晶やアモルファス、GaAs などが使われている。民生用と電力用及び宇宙開発用とに大別され、民生用の主な用途は電卓などである。電力用及び宇宙開発用においては、研究用や特殊用途の大型システムだけでなく、住宅用・街路灯システムといった独立分散型での需要が伸びつつある。

#### （6）その他の光部品<sup>17)</sup>

その他の光部品として一括したものには、光の発振から受信にいたる光回路を構成するための部品の中で残ったもの、すなわち光分岐・結合器、光分波・合波器、光減衰器、アイソレーター、スイッチと、光ファイバの接続に利用されるコネクタが含まれている。

### 2. 光機器・装置

光機器・装置は、光ファイバや半導体レーザーを中心とする光技術を応用した機器・装置である。以下の(1)，(2)，(3)が光通信関連の機器類，(4)，(5)がそれぞれ光ファイバやレーザーを利用した計測・制御装置，(6)，(7)が光による情報の記録や読み取りなど，情報処理関連の機器であり，(8)と(9)はおもに光のエネルギー利用を実現するものである。

#### （1）光伝送装置

光伝送装置は文字どおり光を伝送するための装置で、基本的な構成は光源のレーザー（あるいは発光ダイオード）、伝送路の光ファイバ、受光素子で、その他回路部品などが搭載される。デジタル伝送装置とアナログ伝送装置とに大別され、それぞれについて一般伝送装置、簡易型リンク、空間伝送装置に分けられる。一般伝送装置は、第一種通信業者・電力・道路・鉄道といった公共投資に関連する設備機器であり、それらはデジタル型である。光伝送装置生産の大部分はデジタル・アナログの両簡易型リンクが占

めており、中でもデジタルリンクは、各種施設の遠隔監視、計測・制御のためのデータ伝送から、移動体の低速データ伝送、さらに最近ではCD（Compact Disk）装置にも導入されている。アナログリンクは、施設・設備の状態監視、セキュリティシステムなどに使用されている。空間伝送装置はケーブル付設の困難な場所間での利用が主である。

#### (2) 光測定器

光測定器は光源や伝送路の特性を測定する機器である。通信、電子など、電気機械器具製造業のあらゆる分野において、研究開発、システム設置、保守・運用と幅広い範囲で使用されている。

#### (3) 布設機器

布設機器は光ファイバケーブルの布設に要する機器であり、光ファイバ融着器と光コネクタ取り付けツールとに大別される。前者は石英系光ファイバの接続に、後者は融着では接続できないプラスチック・ファイバや石英系光ファイバのより容易な接続のために使用されている。

#### (4) 光ファイバ利用センサ

光ファイバ利用センサには、光ファイバの性質を直接利用するものと、光ファイバが軽く曲げ易いことから特殊環境でのセンシングにおける導波路として利用するものがある。前者は、光ファイバの伸び縮みや屈折率の変化によって生じた光の位相の変化を検出するという原理で、温度や流速、電流・電圧の測定に、また光ファイバジャイロといった、回転速度計にも利用され、近年測定対象を化学・医用・バイオ分野に拡大している。

#### (5) レーザー利用センサ

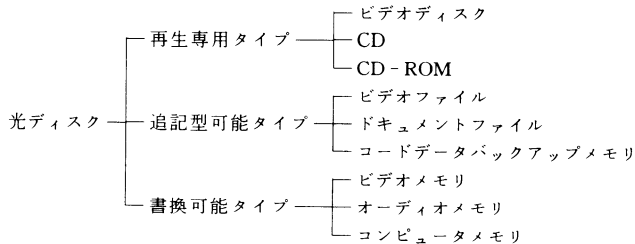
レーザー利用センサは、レーザーの①平行性・集束性（空間的コヒーレンス）、②単色性（時間的コヒーレンス）、③干渉性、④高エネルギー密度、⑤超短パルスという性質を利用した計測機器である。①は測量、レーザーレーダー、②は分光分析に、③は距離・位置決めやドップラー効果を応用した流速計に、④はレーザーレーダー、トラッキング、⑤は高速写真などを対象にそれぞれ用いられている。

#### (6) 光ディスク

光ディスクは、レーザー光を用いることで面積当り磁気記録装置を上回る情報を大量に記録、再生し、非接触で読み取るという画期的な製品である。その分類は表1-2のとおりである。再生専用型には、音楽用のCDや映像信号と音声記録されたLD（Laser Disk = Video Disk）、電子出版やコンピュータの外部記憶装置に使われている

CD-ROM (Read Only Memory) が含まれる。追記型は現在ディスク・ファイル・シス

表 1-2 光ディスクのタイプと用途



出所) 光産業技術振興協会編『光技術応用システムのフージビリティ調査報告書Ⅵ』  
光産業技術振興協会, 1986年, 7ページ, 図3-2-1。

テムとアナログビデオシステムとして商品化されているが、これらは書換え型の普及につれ、情報の大量保存といった用途に需要が限定されつつある。他方、書換え型は主として、エンジニアリング・ワークステーションのバックアップ・メモリやパソコンの外部記録装置としての普及が期待されている。

#### (7) 光入出力装置

光入出力装置には、レーザー複写機、光学式プリンタ、レーザーファクシミリ、バーコードリーダー、アレイ型受光素子応用装置が含まれる。光入出力装置は、エレクトロニクス技術の応用装置として開発された製品に光技術を応用して、従来の製品特性を向上させたものであり、その多くがレーザーの有する高周波性によって既存製品の上位機種に位置づいている。

#### (8) 医療用レーザーシステム

医療用レーザーシステムは眼科用、外科用、内科用とに分けられる。眼科用は Ar レーザーを使用した眼底検査装置、外科用は YAG レーザーを使用したコアギュレータ、CO<sub>2</sub> レーザーを使用したレーザーメス、内科用は内視鏡や半導体レーザーを使用した痛み軽減装置などである。

#### (9) レーザー応用生産装置

レーザー応用生産装置は、CO<sub>2</sub> レーザー生産装置、YAG レーザー生産装置、その他に分類され、それぞれの出力に応じ、または加工対象の材質・形状によって使い分けられている。レーザー応用生産装置の用途は、除去加工、接合加工、マーカー、表面処理、スクライビング加工等であり、YAG レーザー応用生産装置はそれ以外に、半導体用ト

リミング、半導体用パターン処理露光といった用途がある。レーザー応用生産装置は一般機械、電機、精密機械などの製造業における加工分野に広く需要をもっている。

### 3. 光応用システム

光応用システムは、大別すると通信システムとその他のシステムからなり、そのうちの9割以上は通信システムである。

#### (1) 光通信システム

光通信システムは公衆通信システムと特定ユーザー通信システムとに分けられ、公衆通信システムはインフラストラクチャを形成する。特定ユーザー通信システムは、電力・鉄道・道路関連、製造企業、大学・研究所、その他に需要を形成し、耐電磁波特性を光システムに求める電力関連需要が最大となっている。

#### (2) その他

その他に含まれるのは、太陽電池を利用したエネルギー生成システムである。その具体例については太陽電池の項目で述べたので、ここでは省略する。

- 1) 光産業を産業研究の対象とする場合、既存の産業分類との関係で、一産業としての存立根拠やその範囲を示す定義はやはり問題となる。前述の光産業技術振興協会による光産業の定義を見ると、「光を発生、伝送さらには、電気など他の形態へ変換し、光技術の利用を可能とするための光部品、これらの光部品を主要構成要素とする機器ならびにシステムの生産および利用に関わる産業である」となっている。光産業の製品を選定するのはもっぱら光技術の利用に関わる、あるいは光技術を直接応用しているという、技術的な根拠によっている。また、光技術ではなく、光エレクトロニクスやオプトエレクトロニクスという言葉が用いられることもあるが、日本の光産業を対象とする場合は、光技術を「レーザーの出現によって生じた光と電子とのかかわり合いを扱う技術である」とするのが適切で分かりよいと考える（島田潤一『光エレクトロニクス』丸善、1989年、3ページを参照）。ただし、産業の成長と共にそれを表わす定義も発展するという経過をたどっており、今後の本格的な産業発展の中で再び検討されるだろう。
- 2) 以上、レーザーの性質についての説明は、山中千代衛編『レーザーと未来社会』三田出版会、1985年・島田潤一『光エレクトロニクス』丸善、1989年・J. Hecht, D. Teresi, LASER-Supertool of the 1980s. (井坂清訳『レーザーの世界』講談社、1983年)などを参照。
- 3) この点については、伊東光晴『技術革命時代の日本』岩波書店、1989年、16～17ページを参照。
- 4) 坂本和一『現代工業経済論』有斐閣、1988年、34ページを参照。
- 5) 光技術の適用については前掲書の他に、堤佳辰『これが光産業革命』東洋経済新報社、1983年を参照。
- 6) 光コンピュータのイメージは巨大なメイン・フレームというよりも、光センサの高機能化といった個別用情報処理技術の中にあるように現在考えられている。この点については、光

産業技術振興協会編『光産業の将来ビジョン』1990年，119～122ページ参照。

- 7) クリーンなプロセスという点については，核融合技術は開発途上にあつて未確立であると同時に，どの程度クリーンなのかについての疑問を残している。山中千代衛編，前掲書，第7章を参照。
- 8) 表2-1を参照。
- 9) 同協会によって1980年から毎年度，基本的には各製造企業へのアンケート調査を通じて「光産業の生産実績」が公表されている。通産省大臣官房調査統計部による統計など，従来の分類による客観的資料が光産業を把握する上で不備な中，貴重な公表資料である。なお，製品の説明については上述の文献以外に，吉田進『光技術の応用』産業図書，1986年；科学技术庁編『光と情報』大蔵省印刷局，1987年；松田美一『21世紀光産業に携わる人の知っておきたい光用語111選』工業通信，1984年などを参照。
- 10) クリプトン・キセノン等，励起状態でのみ形成される希ガスであるエキシマの発光を利用したレーザーである。
- 11) レーザーの波長を制御することにより，特定の波長に対する吸収の違いから，分子・原子の種類や構造の分析を行うレーザー光化学分野をさす。
- 12) 石英系の光ファイバはシリコンの酸化物である $\text{SiO}_2$ （シリカ）と屈折率を高めるためのドーパント（二酸化ゲルマニウム等）からできており，他のファイバに比べ最も伝送損失が低く，機械的にも丈夫であり，屈折率分布をもたせるための加工性に優れる，といった特性をもつ。
- 13) MM ファイバに比して，伝播モードが一つになるようコア径や屈折率差が十分小さく作られており，光パルスのひずみを非常に小さくできる利点がある。
- 14) MM ファイバはさらに，ファイバ内を進行する光の伝わり方（ヨード）によって，SI（ステップ・インデックス）ファイバとGI（グレーデッド・インデックス）ファイバに分けられる。SI ファイバというのは，コア内が均一な材料で作られているもので，GI ファイバはコアに屈折率分布をもたせたものである。
- 15) 多成分ガラスファイバは石英系よりも開口数が高いので扱い易く，安価であるといった特性をもつ。
- 16) 材質はPMMA（ポリメタルメチクリレート）というプラスチックの一種。
- 17) 1987年度の統計から追加品目として，光部品にディスプレイ素子，光機器・装置に大型ディスプレイ装置が加えられた。

## 第2章 製品構成の変化——基軸製品の抽出——

第1章で，光産業の多様な製品構成は，広範な適用領域をもつ光技術の特質から導かれるということを明らかにした。本章では，製品構成とその変化を通して光産業の構造を捉え，技術的な可能性から具体的に産業としてどのように形成されていったのかを考

察する。

### 第1節 製品構成の変化

ここでは、光産業の形成にあたってその発展の牽引力となった基軸製品の抽出を試みる。そのために、表2-1を見ながら1980年代の光産業の生産実績を概観し、形成期における光産業の構造を素描する<sup>1)</sup>。1987年に統計上、品目の追加や表示上の変更が加えられた<sup>2)</sup>が、本稿では1981年度と1986年度の数値の比較によって上の課題に答えたい。

まずは光産業全体に占める光部品、光機器・装置、光応用システムの構成変化について見る。1981年度では光産業全体の過半数、55.9%を占めていた光部品の割合が、1986年度には32.4%まで低下している。これに対して、光機器・装置の割合は、1981年度の27.6%から1986年度は55.8%に伸びている。光応用システムについては1981年度の17.4%から1986年度の11.7%と若干の低下傾向を見せている。

次に光部品、光機器・装置、光応用システムと、それぞれ内部での特徴的な構成変化を見ることにする。

光部品でこの期間中、最も高い構成比を占めていたのが発光素子であり、1981年度、1986年度とそれぞれに53.9%、36.4%となっている。このうち、1981年度では発光ダイオードが88.2%、残りをレーザーが占めていたのに、1986年度にはレーザーが40.7%に対して発光ダイオードが59.3%に低下している。1970年代から表示用に大きな需要を形成していた発光ダイオードが、レーザーの成長にしたがいその割合を低くしたことが原因である。とりわけレーザーの8割を占めるようになった半導体レーザーの成長が影響しており、それは光ディスク向けに需要が増大したことによっている。光部品の中で発光素子の比率が低下した一方で、光ファイバは10.8%から20.9%に増大し、その他の光部品も6.0%から17.8%に伸びた。

次に、光機器・装置の構成変化を追って見ると、光ディスクの成長が著しい。光ディスクが光機器・装置に占める割合は、1981年度の6.4%から1986年度の55.3%、生産額で見ると、27億5,400万円から3,214億7,300万円と、117倍もの急成長である。光産業全体から見ても、光ディスクという製品が占める割合は30.8%になっている。他方、1981年度では37.6%と光機器・装置の中で最も大きかったレーザー応用生産装置が、1986年度には11.7%に、また、レーザー応用生産装置について大きな割合を占めていた光入出力装置が、26.0%から16.3%へと構成比を低くした。これら2製品は比較的早期に製品化され、その後も順調に需要を伸ばしてはいる。とりわけ光入出力装置は、光産業の中

で光ディスクについて情報関連分野に大きな需要を作り出している。しかしながらこれらは光ディスクの成長に支えられた光機器・装置全体の成長率に比べて、成長率が相対的に低くなっている。

最後に光応用システムであるが、このうち、通信システムである公衆通信システムと特定ユーザー通信システムと、非通信システムであるその他の比率に大きな変化は見られない。光応用システムは光産業全体から見ると、構成比は低下傾向にある。1981年度の17.4%から1986年度には11.7%に低下している。全システム中に非通信システムが占める率は1981年度は1.3%、1986年度は0.6%と一貫して微々たるものであった。

これらの数字から、形成期光産業の構造における特徴を描き出して見よう。第1に、1981年度は光部品が産業全体の5割以上を占めた構造が、1986年度には、これら光部品を組み込んだ光機器・装置類を基調とした構造へと、産業形成過程で構造に変化が生じたことを読み取れる。

第2に、1981年度のこのような構造をさらに具体化して見よう。光部品中、通信用途に用いられる発光素子の半導体レーザーと発光ダイオード、受光素子、複合光素子、光ファイバ、その他の光部品、そして光機器・装置中の同じく通信関連需要である光伝送機器・装置、光測定器、布設機器、さらには光応用システム中の光通信システム、これら通信関連需要が光産業全体の5割に達していた。光部品中の非通信用発光ダイオードが産業全体の26%を占めていたという事実を併せると、当時光通信事業が、光産業全体への波及効果をもたらしながら新規に需要を形成していたことが分かる。

第3に、1986年度の光機器・装置類を基調とした構造への転化を見ても、それはこのうちの55.3%を占める光ディスクの成長によっていることが分かる。というのも、これほどの多様な製品構成をもちながら、光ディスクのみで光産業全体の3割に達しており、光ディスクの成長と共に半導体レーザーや受光素子、その他の光部品、そして一部光伝送装置などへの波及効果を生み出しているからである。

以上、形成期光産業の構造から、産業形成にとって牽引力となった基軸製品を抽出して見よう。技術的に広範な応用領域をもつことが、必ずしも産業形成に直接結びつくわけではなく、とりわけエレクトロニクスという競合技術の存在は、光産業の需要開拓を困難なものにしていた。したがって産業形成のために一定規模の需要を創出し、それに関連する部品の生産を促すなど、産業全体への波及効果をもたらした製品を形成期の光産業における基軸製品とする。すなわちそれらは、光通信システムを構成する上での要である①半導体レーザー、②光ファイバ、そして③光ディスクであった。

表2-1 光産業の生産実績

|             | 年 度          | 1980   |       | 1981    |       | 1982    |       | 1983    |       | 1984    |       |
|-------------|--------------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|             | 生産額／比率       | 生産額    | 比率    | 生産額     | 比率    | 生産額     | 比率    | 生産額     | 比率    | 生産額     | 比率    |
| 1<br>光部品    | ①発 光 素 子     | 45.055 | 49.4  | 48.153  | 30.1  | 88.972  | 31.8  | 118.521 | 25.4  | 121.826 | 19.0  |
|             | ②受 光 素 子     | 5.550  | 6.1   | 11.963  | 7.5   | 17.205  | 6.2   | 21.717  | 4.7   | 21.945  | 3.4   |
|             | ③複 合 光 素 子   | —      | —     | 9.082   | 5.7   | 29.091  | 10.4  | 40.190  | 8.6   | 39.289  | 6.1   |
|             | ④太 陽 電 池     | 3.370  | 3.7   | 5.040   | 3.2   | 6.721   | 2.4   | 9.068   | 1.9   | 9.097   | 1.4   |
|             | ⑤光 ファ イ バ    | 6.455  | 7.1   | 9.652   | 6.0   | 15.125  | 5.4   | 39.918  | 8.6   | 50.525  | 7.9   |
|             | ⑥ディスプレイ素子    | —      | —     | —       | —     | —       | —     | —       | —     | —       | —     |
|             | ⑦そ の 他 光 部 品 | 975    | 1.1   | 5.390   | 3.4   | 8.184   | 2.9   | 12.072  | 2.6   | 36.060  | 5.6   |
|             | 小 計          | 62.105 | 68.1  | 89.286  | 55.9  | 165.298 | 59.1  | 241.486 | 51.7  | 278.742 | 43.4  |
| 2<br>光機器・装置 | ①光 伝 送 機 器   | 3.640  | 4.0   | 6.161   | 3.9   | 9.328   | 3.3   | 21.995  | 4.7   | 31.859  | 5.0   |
|             | ②光 測 定 器     | 420    | 0.5   | 1.570   | 1.0   | 2.949   | 1.1   | 5.223   | 1.1   | 16.698  | 2.6   |
|             | ③布 設 用 機 器   | 490    | 0.5   | 516     | 0.3   | 948     | 0.3   | 2.405   | 0.5   | 4.650   | 0.7   |
|             | ④光ファイバセンサ    | 745    | 0.8   | 368     | 0.2   | 872     | 0.3   | 1.200   | 0.3   | 1.368   | 0.2   |
|             | ⑤レーザーセンサ     | 2.800  | 3.1   | 813     | 0.5   | 2.879   | 1.0   | 4.175   | 0.9   | 6.994   | 1.1   |
|             | ⑥光 デ ィ ス ク   | —      | —     | 2.754   | 1.7   | 13.056  | 4.7   | 46.818  | 10.0  | 114.817 | 17.9  |
|             | ⑦光入出力機器      | 6.850  | 7.5   | 11.094  | 6.9   | 25.318  | 9.1   | 43.109  | 9.2   | 53.802  | 8.4   |
|             | ⑧医用レーザー装置    | —      | —     | 3.390   | 2.1   | 4.412   | 1.6   | 4.567   | 1.0   | 4.311   | 0.7   |
|             | ⑨レーザー生産装置    | 3.000  | 3.3   | 16.060  | 10.0  | 24.857  | 8.9   | 27.355  | 5.9   | 48.815  | 7.6   |
|             | ⑩ディスプレイ装置    | —      | —     | —       | —     | —       | —     | —       | —     | —       | —     |
|             | 小 計          | 18.000 | 19.7  | 42.726  | 26.7  | 84.619  | 30.3  | 156.847 | 33.6  | 283.314 | 44.1  |
| 3<br>システム   | ①公 衆 通 信     | 7.450  | 8.2   | 15.428  | 9.7   | 14.354  | 5.1   | 40.077  | 8.6   | 39.713  | 6.2   |
|             | ②特 定 ユ ー ザ   | 3.600  | 4.0   | 10.307  | 6.4   | 12.196  | 4.4   | 21.119  | 4.5   | 33.515  | 5.2   |
|             | ③そ の 他       | 55     | 0.1   | 2.109   | 1.3   | 3.167   | 1.1   | 7.176   | 1.5   | 6.867   | 1.1   |
|             | 小 計          | 11.105 | 12.2  | 27.844  | 17.4  | 29.717  | 10.6  | 68.342  | 14.6  | 80.095  | 12.5  |
|             | 台 計          | 91.210 | 100.0 | 159.856 | 100.0 | 279.634 | 100.0 | 466.705 | 100.0 | 642.451 | 100.0 |

注) 1987年以降、品目の追加及び表示上の変更がある。

- (1) 追加品目として、1. 光部品の中に⑦ディスプレイ素子、2. 光機器・装置の中に⑩大型ディスプレイ装置が加わった。
- (2) 2. 光機器・装置の⑦光ディスクに記録媒体として新たに、CD、レーザーディスクが計上されるようになった。
- (3) 表示上の変更として、光機器の④、⑤の和を光センサとして⑤に記す。

半導体レーザーや光ファイバは、光産業全体で決して大きな比率を占めるものではないが、システムとしての通信関連需要の総体で見ると、1981年度の光産業の生産実績の5割を占め、さらに通信システム構築がもたらした波及効果は、非通信系需要にも関わる光産業における部品市場の創出という、大きなものであった。光ディスクについては、1986年度の数値が示す様に、5年間で117倍という急成長を遂げ、生産額は3,214億



及び構成比率

（単位：百万円，％）

| 1985    |       | 1986      |       | 1987      |       | 1988      |       | 1989      |       |
|---------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| 生産額     | 比率    | 生産額       | 比率    | 生産額       | 比率    | 生産額       | 比率    | 生産額       | 比率    |
| 137,419 | 16.2  | 122,994   | 11.8  | 110,302   | 6.5   | 109,916   | 5.3   | 129,248   | 5.2   |
| 23,946  | 2.8   | 39,600    | 3.8   | 66,963    | 4.0   | 89,600    | 4.3   | 97,247    | 3.9   |
| 32,463  | 3.8   | 35,159    | 3.4   | 36,714    | 2.2   | 46,294    | 2.2   | 47,950    | 1.9   |
| 10,565  | 1.2   | 10,094    | 1.0   | 10,352    | 0.6   | 9,733     | 0.5   | 11,486    | 0.5   |
| 54,059  | 6.4   | 70,635    | 6.8   | 76,913    | 4.5   | 61,560    | 3.0   | 75,061    | 3.0   |
| —       | —     | —         | —     | 97,734    | 5.8   | 112,298   | 5.4   | 161,673   | 6.5   |
| 46,371  | 5.5   | 60,226    | 5.8   | 60,042    | 3.6   | 42,941    | 2.1   | 43,808    | 1.8   |
| 302,123 | 35.6  | 338,708   | 32.4  | 459,020   | 27.2  | 472,342   | 22.6  | 566,473   | 22.7  |
| 28,234  | 3.3   | 51,557    | 4.9   | 56,968    | 3.5   | 60,729    | 2.9   | 65,168    | 2.6   |
| 20,717  | 2.4   | 21,990    | 2.1   | 17,561    | 1.0   | 18,776    | 0.9   | 20,864    | 0.8   |
| 5,024   | 0.6   | 5,726     | 0.5   | 9,102     | 0.5   | 5,924     | 0.3   | 7,582     | 0.3   |
| 2,501   | 0.2   | 4,124     | 0.4   | —         | —     | —         | —     | —         | —     |
| 6,894   | 0.8   | 9,091     | 0.9   | 49,061    | 2.9   | 48,977    | 2.3   | 51,728    | 2.1   |
| 249,653 | 29.4  | 321,473   | 30.8  | 696,101   | 41.2  | 913,253   | 43.8  | 1,159,511 | 46.4  |
| 75,943  | 9.0   | 95,020    | 9.1   | 200,634   | 11.9  | 326,406   | 15.6  | 360,260   | 14.4  |
| 4,833   | 0.6   | 4,568     | 0.4   | 5,328     | 0.3   | 5,026     | 0.2   | 5,277     | 0.2   |
| 52,878  | 6.2   | 68,249    | 6.5   | 53,860    | 3.2   | 75,703    | 3.6   | 89,425    | 3.6   |
| —       | —     | —         | —     | 1,832     | 0.1   | 2,273     | 0.1   | 3,795     | 0.2   |
| 446,677 | 52.7  | 581,728   | 55.8  | 1,091,978 | 64.6  | 1,457,067 | 69.8  | 1,763,610 | 70.6  |
| 53,154  | 6.3   | 64,935    | 6.2   | 71,652    | 4.2   | 87,956    | 4.2   | 96,070    | 3.8   |
| 39,508  | 4.7   | 50,694    | 4.9   | 66,206    | 3.9   | 64,602    | 3.1   | 67,604    | 2.7   |
| 6,434   | 0.8   | 6,247     | 0.6   | 1,760     | 0.1   | 4,037     | 0.2   | 4,503     | 0.2   |
| 99,096  | 11.7  | 121,876   | 11.7  | 139,618   | 8.3   | 156,595   | 7.5   | 168,177   | 6.7   |
| 847,896 | 100.0 | 1,042,312 | 100.0 | 1,690,616 | 100.0 | 2,086,004 | 100.0 | 2,498,260 | 100.0 |

（小数点第二位以下，四捨五入）

出所）光産業技術振興協会編『光産業の中期展望Ⅱ』1984年：同『昭和61年度光産業の動向』1987年：同『昭和62年度光産業の動向』1988年：同『昭和63年度光産業の動向』1989年：同『光産業の将来ビジョン—21世紀に向けた光産業の展望』1990年，より作成。

7,300万円と光産業全体の3割に達し，半導体レーザーやその他の光部品，光伝送装置などへの波及効果と，基軸製品としての要件を十二分に満たしていると言えよう。

こうした1980年代の産業形成過程から，通信関連需要に始まり光ディスク中心の光機器・装置需要へとという光産業の構造変化について指摘した。基軸製品の抽出根拠については次節でさらに検討を重ねることにして，ここで確認しておくべきことは，この様な

3つの基軸製品を中心に需要が形成された背景についてである。

まず第1に、通信関連に需要が形成された背景として、旧電電公社が推進し、民営化後はNTTやNCC（新電電）によって担われ、「ISDN」の構築を実現するために実施された光ファイバ通信網の敷設が貢献している。「ISDN」、すなわち「サービスディジタル総合通信網」は従来、電話、ファクシミリ、ディジタル回線、と別々に張られていた通信網をディジタル信号で世界的に総合化し、政治・経済、あらゆる活動のインフラストラクチャを構築する。そのためのディジタル信号による高速・大容量通信網として、従来の同軸ケーブルを光ファイバケーブルに置き換える「日本縦貫光伝送路」の敷設計画が立てられた。すでに現場試験を経てその実施に入りつつあったのが1981年で、1982年には本格的に計画がスタートした。<sup>3)</sup>こうして、情報化社会のインフラストラクチャを構築する基幹技術として光ファイバ通信技術は、政府の積極的な参加と支援の中で、開発から実用化後の需要開拓を実現した。

第2に、光ファイバ通信網設置という、政府による需要の積極的創出が一段落した後には、光ディスクを中心にした光機器・装置など、光産業は新たな民生品需要の開拓によって成長を遂げた。いわゆる「ハイテク消費財」と呼ばれるCDの市場投入が開始されるのは1982年で、以後光ディスクの生産実績は3年間倍増を続けた。「音楽の世界におけるディジタル革命」と称されたCDがそれまでのアナログレコードを駆逐するにはさほど長くはかからなかった。<sup>4)</sup>光産業が短期間にこれだけの成長を遂げることができたのは、まさしく「ハイテク消費財」に需要を見だし得たからである。CDの展開はメモリとしての光ディスク需要の端緒であって、今後本格的な光ディスクの成長を展望させる契機ともなった。

このように1980年代光産業は、3つの基軸製品に基づいた政府関連需要から消費財の大量需要を獲得し、産業形成を果たした。

## 第2節 基軸製品の技術的根拠

第1節で製品構成の変化を通じた数量的な意味から、また需要開拓という形成期の課題との関係から、光産業における3つの基軸製品を抽出した。本節では、基軸製品の光産業における技術的な位置づけを再検討することによって、それらが基軸製品となる技術的根拠について述べよう。

### (1) 半導体レーザー

今日の光技術革新は、人工の光すなわち、時間的にも空間的にもコヒーレントなレー

ザーの発明から始まった。この人工の光は電磁波と同じ性質を、電磁波に比べ数百分の一から数千分の一という短い波長で実現する。<sup>5)</sup> レーザーの発明という最初のブレークスルーから様々な分野への応用が試みられるが、その最も重要なものがレーザーの通信への応用であった。

モールスによる電信の発明に始まる電気通信の歴史は、マルコーニの無線電信が電波を利用する道を開いて以来、一貫して「より高い周波数＝より短い波長」を求めている。なぜ高周波かといえば、一つにはより広い周波数帯域がとれる、したがってより多量の情報伝送が可能となる。もう一つは、波長が短くなればそれだけ小型で高性能のアンテナが作れるからである。

レーザーが発明された1960年代の通信技術はこのミリ波・サブミリ波の波長域で、それ以上の短波長化を前にして壁にぶつかっていた。従来の電磁波技術では扱う波長と同じ大きさの共振器が必要とされ、その微細加工技術に限界が生じていたからである。そこに、従来の電磁波技術と全く概念を異にするデバイスとして、すなわち発振波長に比してずっと大きい寸法につくことを前提にした半導体レーザーが登場した。<sup>6)</sup> ここに、通信における電磁波技術からレーザー技術への移行が生まれる契機を見いだすことができる。こうして、より短い波長の利用を求めている通信技術は、半導体レーザーと光ファイバの発明によって実現する。

半導体レーザーはレーザーの中でも小型で制御性に富み、現在の強度変調方式<sup>7)</sup>を中心にしたデジタル技術への応用にも適している。レーザーの高速・短パルス発振によって情報の高速・大量伝送や読み取りが可能なることから、光ディスクや光入出力機器などの情報関連機器・装置に搭載され、エレクトロニクス製品と競合する中で上位機種として高性能を発揮している。

## (2) 光ファイバ

半導体レーザーとともに光通信システムを構成する要となったのが、この光ファイバである。レーザー技術のみでは光通信が実現することはなかった。光領域のコヒーレント波は空気中での吸収・散乱を避けられないので、その理想的な伝送路である光ファイバが発明されなければ、レーザーの通信利用は実現しなかった。そこへレーザーと光ファイバそれぞれについて、時を同じくするように通信への応用を可能とする技術上のブレーク・スルーがあいついで生まれた。それは、1970年の半導体レーザーの室温連続発振成功と低損失光ファイバの開発であり、その後も光ファイバの最低損失波長域の記録を追う様に半導体レーザーも長波長化した。この様な過程を経て今日、石英系光ファイ

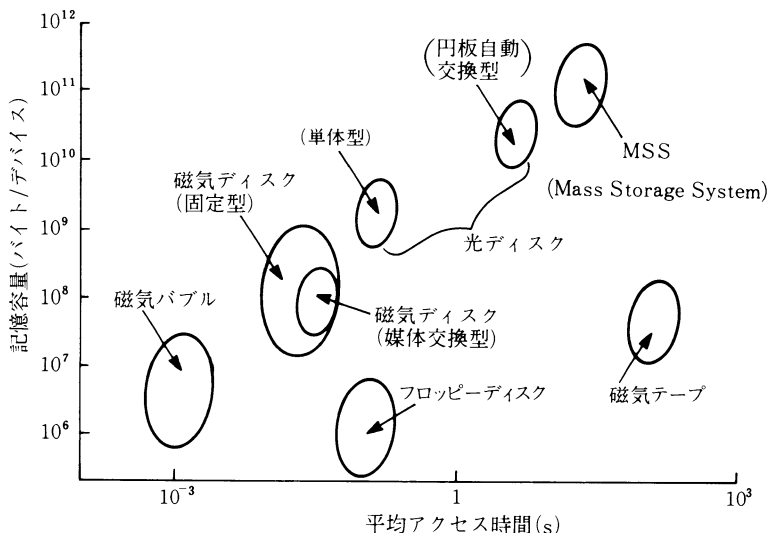
における損失度の理論的限界値を示す  $1.55\mu\text{m}$  帯で、長距離通信が実現した。

1970年代、すでに開発を終えていたミリ波導波管による通信技術にブレーキをかけ、それまでの同軸ケーブルを駆逐する形で光ファイバ通信は実用化された。低損失（ $0.2\text{ db/km}$  以下）で、髪の毛程に細く軽い光ファイバー一本は電話数千回線分の情報を伝送することが可能である。したがって同軸ケーブルよりも低コストな通信技術となる。具体的には、銅線ケーブルの40分の1の断面積で同量の情報伝送が可能であると同時に、低損失なことから中継器を20分の1以下に減らすことができる。さらに電磁誘導に強く漏話の心配もほとんどないという特性を併せもつ光ファイバ通信技術が、高度情報化社会のインフラストラクチャを構築する基幹技術となり、より一層発展することになった。<sup>8)</sup><sup>9)</sup>

### (3) 光ディスク

前述の2製品は、光技術開発の最重点課題となった光通信システムを構成するものであったが、この光ディスクについては、全く異なる需要部門の製品であり、開発目的も異なっていた。光ディスクは、非接触で情報の記録・再生を行うランダム・アクセス性に優れた大容量メモリとして注目され、様々な用途に向けて開発が行われた。<sup>10)</sup> 図2-1に見る通り、MSS (Mass Storage System) や磁気テープが比較的アクセス度の少ない保

図2-1 各種メモリの容量とアクセス時間



出所) 光産業技術振興協会編『光技術応用システムのフュージビリティ調査報告書VI』  
光産業技術振興協会、1986年、11ページ、図4.11。

存用メモリとして位置づいているのに対し、形状やアクセス方式が似ている磁気ディスクに比べて光ディスクは、メモリ容量が1ケタ以上優れているものの、アクセス時間は約1～2ケタ劣っている。データメモリとしては、このような競合技術製品の存在に後追いの形であるが、オーディオメモリとしては、アナログディスクを市場からほとんど駆逐してしまった画期的な製品である。それは音楽記録のデジタル化を実現し、さらに非接触の読み取りでディスクの摩滅を防ぎ、何よりディスクの扱いにおける煩わしさからユーザーを開放した。また光ディスクには、波長こそ異なるが通信技術の完成を見た半導体レーザーや、レーザー光の操作系である光学部品が使用されており、光技術の応用領域を拡大普及する上で貢献した。

- 1) 筆者が形成期という場合、具体的には本稿の分析にあてられている1987年までをさしている。1988年以降、光ディスクにおける追記型・書換え型の本格的な市場投入が開始されることによって、光産業は新たな期を画すと考ええる。
- 2) 表2-1, 注参照。
- 3) NTTによる「日本縦貫光伝送路」の敷設は、第一弾の幹線系が1985年2月に完成した。また同年に、NCC 2社による東京―大阪間光ファイバ通信網の構築も始まっている。「ISDN」と「日本縦貫光伝送路」の敷設については、和多田作一郎『ISDNの基礎を知る辞典』実務教育出版、1989年；北原安定『テレコム革命―電電公社のINS構想を語る』徳間書店、1983年、などを参照。
- 4) LPとCDの生産枚数比は、1986年度は50:50、1987年度で30:70となり、以後ますますCDの増大傾向となっている（日本レコード協会編『日本のレコード産業1988年版』日本レコード協会、1988年7月を参照）。また、CDの普及率は1988年度に80%を越えた（光産業技術振興協会編『昭和63年度光産業の動向』1989年、121ページを参照）。
- 5) 本稿、第1章、第1節を参照。
- 6) 通信技術における短波長化の経過については、大越孝敬『光エレクトロニクスと光通信』岩波書店、1986年、23～43ページに依拠した。
- 7) 強度変調方式とは、半導体レーザーを高速パルス発振させ、その点滅を情報の伝送や読み取りに利用する方式である。変調方式にはこの他に周波数変調方式、位相変調方式があり、感応度の面で強度変調方式より優れている。しかし、搬送波のより一層の安定が求められることや、デジタル技術との相性の良さという点で、同方式が現在主流となっている。以上変調方式について、島田潤一『光エレクトロニクス』丸善、1989年、111ページ参照。
- 8) 光ファイバ通信の特性について、大越孝敬、前掲書、73～81ページ；科学技术庁編『光と情報』大蔵省印刷局、1987年、78～80ページ、などを参照。
- 9) ISDNの基幹技術の一つとして衛星通信技術が挙げられる。長距離伝送においては海底光ファイバケーブル通信と競合し、コスト面では現在この衛星通信技術が優位にあるが、通話時に0.3秒の遅れが生じるという欠点もある。なお、コヒーレント光ファイバ通信の実用化を目前に、各々棲み分けの傾向にある。

- 10) 光ディスクの特性については、光産業技術振興協会編『光技術応用のフィージビリティ調査報告書Ⅳ』1986年、9～13ページ；真利藤雄監修・林譲二編『CD—オーディオからパソコンへ—』コロナ社、1990年、1～5ページ参照。

### 第3章 光技術の歴史——基軸製品の生成

ここでは基軸製品の生成を通して、光技術の歴史を整理する。一般に新しい産業の形成は、技術開発の段階と市場形成の段階という二つの段階として理解されるが、本章の課題はこのうちの技術開発の段階を描くことにある。

そのために、研究活動をそこで設定されている目標に従って、基礎研究、応用研究、<sup>1)</sup>開発研究に分類する。このような分類は、一連の技術開発とその成果を位置づける上で有効と考えられる。まず基礎研究とは、特別な応用、用途を直接に考慮することなく、仮説や理論を形成するため、もしくは現象や観察可能な事実に関して新しい知識を得るために行われる、理論的または実証的研究をいう。次に応用研究とは、基礎研究によって発見された知識を利用して、特定の目標を定めて実用化の可能性を確かめる研究、及びすでに実用化されている方法に関して、新たな応用方法を探索する研究をさす。最後に開発研究とは、基礎研究、応用研究及び実際の知識から得た知識の利用であり、新しい材料、装置、製品、システム、工程などの導入または既存のこれらのものの改良を狙いとする研究である（表3-1参照）。

#### 第1節 半導体レーザー

半導体レーザーに関する基礎研究というと、レーザー理論の確立までがその過程となる。レーザーとは、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation、すなわち「放射の誘導放出による光の増幅」を意味し、その頭文字をとってLASERと記す。アインシュタインが光量子という概念を提唱し、その誘導放出現象について予言したことがレーザー理論の基礎となった。<sup>2)</sup>その背景には19世紀末から20世紀にかけての量子物理学における成果がある。

1954年、当時コロンビア大学にいたタウンズ（C. H. Townes）は、アインシュタインが予言したこの誘導放出という現象をマイクロ波で実現させ、これをメーザー（MASER = Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation）と命名した。その

後、ベル研究所（Bell Telephone Lab.）に移った彼は、共同研究者であったシャロウ（A. L. Shawlow）とともにこの原理に基づいて可視光のレーザー製作を計画、1958年にその特許を申請した。この時取得された特許がレーザーに関する基本特許となる。<sup>3)</sup> タウンズの業績については基礎研究の名にふさわしく、レーザー理論確立の上で貢献したソ連のバソフ（N. G. Basov）、プロホロフ（A. M. Prokhorov）らと共に1964年度のノーベル賞が授けられた。

レーザー理論の確立を画期とし、その後のレーザー製作に向けての過程を応用研究と位置づけるなら、その最初にして最大の成果は、ヒューズ社（Hughes Aircraft Co.）のメイマン（T. H. Maiman）によってもたらされた。1960年にメイマンがルビーで最初のレーザー発振に成功した直後、ジャバン（A. Javan）がヘリウムとネオンの混合ガスを用いた気体レーザーを実現した。そして1962年にGE（General Electric Co.）、MIT（Massachusetts Institute of Technology）、IBM（International Business Machines Corp.）が<sup>4)</sup> GaAs 半導体レーザーの発振に成功した。媒質に加えて発振波長の記録も次々に塗り替えられた。様々なレーザー媒質の中から、現在の光通信やその他の情報関連機器に半導体レーザーが用いられるようになったのは、小型・軽量という特徴に加えて、低電圧で発光させることができ、光電変換効率が<sup>5)</sup>高く、かつ電気信号を光信号に直接変えられる、という優れた性質を有していたからである。

半導体レーザーの応用研究が開発研究へと進んで行く画期は、ベル研究所で林敏雄・パニッシュ（P. B. Panish）がダウル・ヘテロ構造の半導体レーザーを室温連続発振させたことである。ダウル・ヘテロ構造は、GaAs 層を AlGaAs 層ではさんで電子と光を GaAs 層に閉じ込め、発光効率を良くさせて室温での連続発振を可能とした。これによって半導体レーザーを実用化する展望が開かれた。折しも実用化光ファイバが誕生した1970年のことであった。

以後、光ファイバの低損失ピークが $1\mu\text{m}$ 以上と長波長化するに応じて半導体レーザーも長波長化するという対応を見せながら、光通信技術という明確な技術課題に方向づけられて開発研究は進展した。その過程で日本の東北大グループ、国際電電、電電公社は、現行の高速通信システムに搭載されている、長波長で単一モード発振する半導体レーザーを世界で初めて開発した。<sup>6)</sup>

## 第2節 光ファイバ

光ファイバに関する研究開発の過程では、通信用に光を導く導波路の研究がその基礎





| 開<br>発<br>研<br>究 | 1976                   | 1981                   | ベル研究所         | 1974 | MCVD 法による光ファイバの低損失化<br>タンデムダブルコート<br>による実用化光ファイバ<br>パッケージの開発<br>VAD 法の開発 | ベル研究所<br>佐友電気工業             | 1979 | CD 方式  | ソニー・フィリップス<br>国内数社 |
|------------------|------------------------|------------------------|---------------|------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|--------|--------------------|
|                  | 長波長半導体レーザー<br>室温連続発振成功 | 単一モードの長波長<br>半導体レーザー開発 | 東北大学、<br>国際電電 | 1974 |                                                                          | 電電公社、佐友電気工業、<br>藤倉電線、古河電気工業 | 1982 | CD 商品化 |                    |

出所）末松安晴・伊賀健一「光ファイバ通信入門」（改訂二版）オーム社、1987年；山中千代奇編「レーザーと未来社会」三田出版会、1985年；光産業技術振興協会編「光産業の中期展望Ⅱ」1984年・同「光技術応用のフューチャビリティ調査報告書Ⅳ」1986年；中島平太郎・小川博司「図解コンパハクテディストロ」オーム社、1988年、等より作成。

研究に位置づけられる。ガラスファイバに光を導く最初の実験は、1930年頃ドイツのラム（H. Lamb）によって行われた。またガラス・ロッドによる光通信の提案が電電公社の関壮夫、根岸博らによって成されたのは1936年だった。ガラスファイバを芯としてその周囲を別種のガラスでコートした現在の光ファイバの原型が考案されたのは、1958年イギリスのカパニー（N. S. Kapany）らによる。光通信という明確な目的のもとに推進された技術開発の過程には、光の伝送路としてガラスファイバ<sup>7)</sup>と同時に光学レンズやガスレンズの研究が行われていた。<sup>8)</sup>

光通信用の導波路という用途から出発した光ファイバの研究を、応用研究に進めたのは、ガラスの不純物を除去すれば損失が下げられることを示唆した、英国 STL（Standard Telecommunications Lab., U. K.）にいたカオ（K. C. Kao）らの論文であった。論文は、光ファイバの損失を 20 db / km まで下げれば通信への実用化が可能になるとして、実用化への理論的根拠を明らかにした。世界の光ファイバ開発はこれに大きく触発された。日本板硝子によるイオン交換技術を用いた集束性光伝送体「セルフロック」<sup>9)</sup>の開発も、そこから生まれた成果の一つである。日本電気の協力で「セルフロック」を伝送路にした光通信システムを1968年に実現させたが、改良後も 60 db / km と損失低下に限界があり、長距離通信用光ファイバの主流から退いていった。<sup>10)</sup>

1970年、CGW（Corning Glass Works＝現在は Corning Inc.）社のモウラー（R. D. Maurer）達が石英系光ファイバの損失 20 db / km を達成したことは、通信用光ファイバ研究の性格を開発研究へと進めることになった。というのも、先のカオ・ホッカムの論

文で明らかにされた理論的な実用化の可能性が現実となり、研究の課題は CGW 社が開発した光ファイバの延長上で、一層の損失低下と製法の開発・改良へと向けられたからである。この時 CGW 社が取得した数多くの特許の中に、光ファイバの基本特許である製法特許と構造特許が含まれていた。

1974年に、ベル研究所は同じく石英系光ファイバで  $1.1 \text{ db/km}$  という低損失を達成し、MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition=内づけ CVD) 法というその製法についても発表した。これは光ファイバの母材の製法で、広くは CVD (Chemical Vapor Deposition) 法といって CGW 社が開発した製法と同じ範疇に入る。CGW 社の外づけ CVD 法は、芯になるロッドの外側にコアとクラッド層を成長させ、芯棒を抜いて線引きするのに対し、MCVD 法は石英ガラス管の内側に気体を流してドーパントを含む  $\text{SiO}_2$  (シリカ) 膜を成長させコアとし、これを線引きする (図 3-1, (a), (b) 参照)。CGW 社はこの製法に関して AT & T (American Telephon & Telegraph Co.) 社とクロスライセンスを結んだ。<sup>11)</sup>

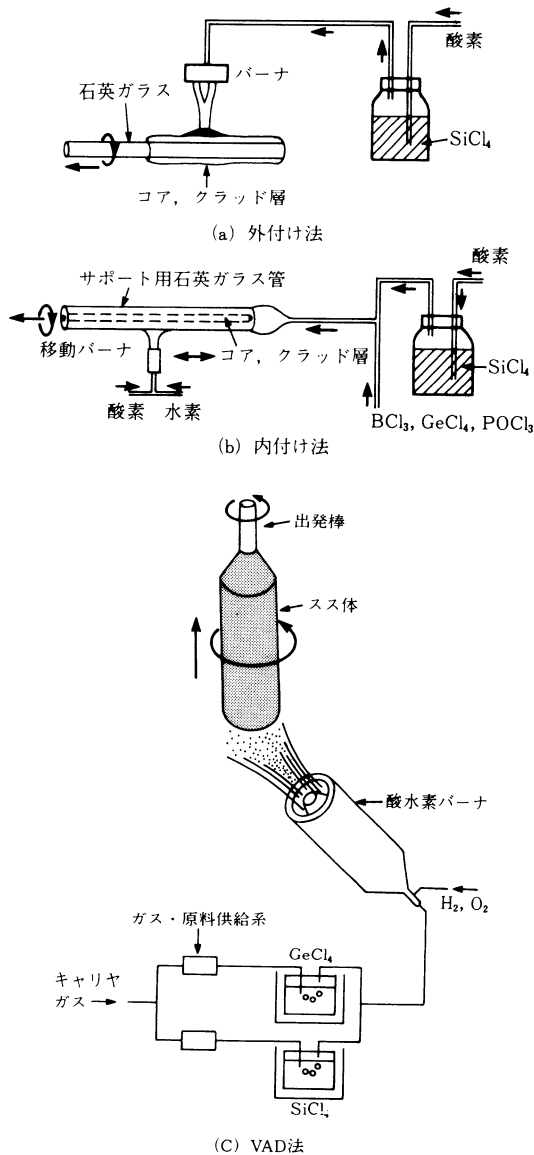
一方、日本での光ファイバ研究は「セルフロック」の多成分ガラスに代わって石英に目標が定められつつあり、その開発にはもっぱら同軸ケーブルの次世代製品を担う電線メーカーが携わっていた。日本板硝子と日本電気との共同研究に後半参加していた住友電気工業は、1969年から独自に光ファイバの研究開発に取り組み、他に日本で電線上位三社と呼ばれる古河電気工業、藤倉電線もそれぞれに研究を積み重ね、1975年の電電公社との共同開発においてはその蓄積を持ち寄る形となった。<sup>12)</sup>

この共同開発の成果は、日本独自の光ファイバ製造法である VAD (Vapor-Phase Axial Deposition) 法の開発と、それによる低損失光ファイバの発表となる。<sup>13)</sup> VAD 法は石英棒の先を種として軸方向に  $\text{SiO}_2$  層を成長させるもので、原料からファイバまで連続生産が可能であり、一度に長い母材を作ることができるという点で他の製法に比べ優れている (図 3-1, (c) 参照)。このような成果を生んだ共同開発の結果、共同開発に参加しなかった企業も後に電電公社より技術指導を受け、日本の企業における技術水準は国際的なレベルを保持することができた。

### 第3節 光ディスク

光ディスクの基礎研究は、1950年代のレコード盤に TV 画像を記録しようというアイデアから始まった。1961年からスタンフォード大学では、光を使用してレコード盤で情報を記録・再生するアイデアの研究が始められ、これが現在の光ディスクの原型とな

図 3-1 光ファイバの製法



出所) (a), (b)は, 末松安晴・伊賀健一『光ファイバ通信入門』(改訂二版)オーム社, 1982年, 165ページ, 図10.8。(c)は『光と情報』(前掲書), 28ページ, 図2.7。

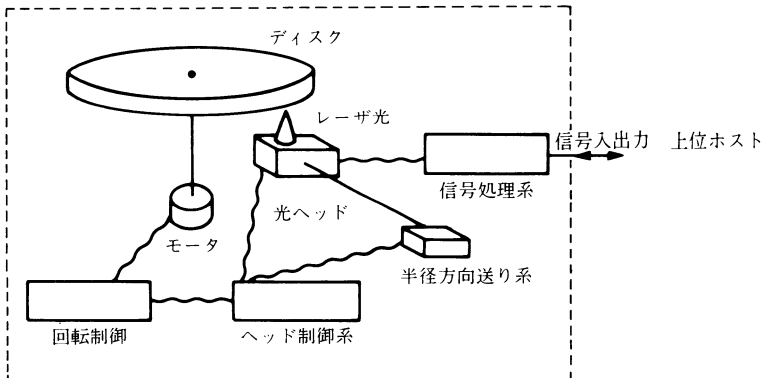
った。しかしこの後も光ディスクの実現は、当時テープレコーダーの延長におかれる磁気方式、レコード盤の延長での磁気方式、光で記録・再生する方式と、異なる三つの方向に求められていた。

1960年代後半以降、磁気記録方式に発展が見られ、これは現在の家庭用 VTR として完成された。画像記録が他の技術的原理で実現したことから、今日の光ディスクに向かう推進力として、デジタル信号の記録・再生が目標におかれた。

光ディスクの応用研究は、実用化に適する様々な方式の研究として展開された。応用研究の過程に光ディスクに関する基本特許が成立している<sup>14)</sup>。基本特許の取得となったのは以下の3方式をめぐる技術であった。1972年のオランダのフィリップス (N. V. Philips Gloeilampenfabrieken) が VLP (Video Long Play) 方式<sup>15)</sup>、米国の MCA (MCA Discovision Inc.) がディスコビジョン方式<sup>16)</sup>を発表し、1973年にフランスのトムソン CSF (Thomson CSF) が透過光読み取り方式を開発した<sup>17)</sup>。

フィリップスと MCA は透過光読み取り方式で、また MCA はガウス (Gaus Electrophysic) 社が開発していたビット方式についても特許を取得、トムソン CSF は信号検出の仕組みに関する特許を取得、これらが光ディスクの基本特許となっている。図3-2で見る様に、光ディスクの構造はディスク、光ヘッドとその周辺を構成するピックアップ部分、回転制御系、信号処理系からなり、ガウス社から MCA に委譲された特許は光ディスクの構造をほとんど覆うものであった。光ディスクの基本特許に位置づけられ

図3-2 光ディスクメモリの基本的な構成



出所) 光産業技術振興協会編「光技術応用システムのフィージビリティ調査報告書VI」  
光産業技術振興協会、1986年、6 ページ、図3.1.1。

たこれらの特許は、現在製品化されている光ディスクの基本構造を表す技術的内容を示している。<sup>18)</sup>

各社が提案する様々な方式から光ディスクの基本的な構造が定まり、早急に製品化を目指した開発研究は、レーザーディスクと光ディスクファイルシステム、CD というそれぞれの用途で進められた。中でも家電量販品として標準化が前提になった CD の製品化プロセスは、光ディスクの開発に参加した多くの企業にとって一つの方向を作り出した。ここでは、開発研究の具体的な展開を CD の標準化に絞って見て行きたい。

1978年に、「DAD (Digital Audio Disk) システムの標準化についての意見を交換し、標準規格の検討を行う」ことを目的とする DAD 懇談会が発足した。1981年にソニー・フィリップスの CD 方式はオーディオ専用、日本ビクターの AHD (Audio High Density Disk) 方式はビデオ・オーディオ共用と位置づけられた。CD は AHD に比べディスクの仕様を緩和でき、半導体レーザーの使用など小型化への対応手段があり、将来の低価格化を実現するという面が評価され、レーザーを使用した非接触で再生するという技術イメージがいまひとつの魅力となった。懇談会の評価には、各方式の現状における技術水準と、その将来性として価格低下と市場適応の可能性を重視した標準化への意向が汲み取られる。<sup>19)</sup>

- 1) 総務庁統計局【平成2年・科学技術研究調査報告】日本統計協会、による。同定義は、OECD や全米科学財団、科学技術庁との間で統一が図られつつある。
- 2) E. G. Segrè, *Personaggie e Scoperte Nella Fisica Contemporanea*, S. p. A., Milano, 1976. (久保亮五・矢崎祐二訳【X線からクォークまで—20世紀の物理学者たち—】みすず書房, 1982年)・小出昭一郎【量子力学のはなし】東京図書, 1983年, を参照。
- 3) レーザーの基本特許はこの他にグールド特許を含め、米国では二度成立している。詳細は、田幸敏治・辻内順平監修【レーザー100の知識】東京書籍, 1989年, 46~47ページを参照。
- 4) 半導体を利用したレーザー発振の可能性については、東北大の西沢が「半導体レーザー」の名で1957年に特許申請, 取得している。
- 5) 半導体レーザーの特質について、島田潤一【光エレクトロニクス】丸善, 1989年, 41ページを参照。
- 6) 以上、レーザーの歴史については、久雄英雄【オプトエレクトロニクス革命】明日香出版社, 1983年・山中千代衛編【レーザーと未来社会】三田出版会, 1985年, 第一章, 等を参照。
- 7) 西沢は、後述のベル研究所で行われていたガスレンズ方式が、保守安定性や装置の大きさといった点で実用化は困難であると指摘し、それに代わる屈折率分布をもたせた光学繊維のアイデアを考案し、1964年に固体集束性光伝送路として特許出願した。
- 8) 屈折率分布をもつ、いわゆるレンズ状媒質内を伝播する導波モードについての数学的な基礎が、この頃ベル研究所で考案されたガスレンズ方式の研究によって作られ、現在の光ファ

イバに生かされている。

- 9) CGW社のモウラーはこの点を指摘している（R. D. Maurer「光ファイバの過去・現在・未来」光産業技術振興協会編『第3回光産業技術シンポジウム—高度情報化社会と光技術—講演集』、1984年参照）。
- 10) 「セルフロック」の特許について西沢は、前述の固体集束性光伝送路に関する自分の特許を無視しているとして、その特許権をめぐって訴えた。
- 11) CGW社の基本特許とこれらを巡る紛争についての詳細は、工業通信編『光新時代』工業通信、1988年1月、No. 4、22～27ページ；日経マグローヒル編『日経ビジネス』1989年4月17日、No. 471、255～257ページ；『日本経済新聞』1989年4月15日付、12月6日付、参照。
- 12) 1974年、タンデムダブルコート法で曲げや引っ張りに強い光ファイバを実現していた（斎藤優・伊丹敬之編『技術開発の国際戦略』東洋経済新報社、1986年、第5章参照）。
- 13) このような共同開発の成果については、久野英雄、前掲書、40～57ページ；小林紀興『NTT 頭脳集団の野望』講談社、1987年、第3章、などを参照。なお、日本における光ファイバの共同開発に焦点を当て、その成功要因について考案した文献に、根本孝『グローバル技術戦略論』同文館、1990年、第Ⅵ章、がある。
- 14) 光ディスクの基本特許については、日経マグローヒル編『日経エレクトロニクス』1988年6月13日、No. 449、251～255ページ；光産業技術振興協会編『光産業の中期展望Ⅱ』1984年、153～155ページ、などを参照。
- 15) 透明プラスチックの表面から約1mm内面にあるアルミニウム反射面に信号が刻み込まれ、ディスク裏面からレーザービームをあてて信号をたどり、その反射光が信号の凹凸による光路差を読み取る。
- 16) MCAが発表したディスコビジョン方式は、マイラフィルムに金属被膜を使って1mWのレーザー光を当て、反射した光をフォトダイオードで検出する方式で、ランダム・アクセス機能をもち、早送り、低速、スチールなどの機能をもっていた。
- 17) 可透性の透明ディスクにレーザー光を透過させる方法で、レンズで絞り込んだ最も細いフォーカス部分がディスクの信号面を通過するようにし、レンズと反対側におかれた4個の光検出器で映像信号とトラッキング信号を検出する仕組みであった。
- 18) 開発競争の中で企業が申請するおびただしい数の特許には、基本特許やその周辺特許と、重要性の異なる特許が含まれ、当該製品の基本構造が定まって行くに従い、それらの位置づけも明確になっていく。
- 19) CDの標準化について、中島平太郎・小川博司『図解コンパクトディスク読本』（改訂2版）オーム社、1988年、第3章、参照。

## むすびにかえて

本稿ではまず、光技術の特質から、現代の情報技術革新を支える基盤技術の一つであ

る光技術の位置づけを示し、その適用領域がきわめて広いため、光産業が複雑な製品構成をもって形成されたことを明らかにした。

次に、光ファイバ通信関連の需要から、光ディスクを中心とした情報関連の応用機器需要へと、形成期光産業の構造が変化したことを明らかにした。光産業は情報とエネルギーという二大分野に広く適用領域をもちながらも、情報分野を中心に形成期の展開を見せている。さらにそこから基軸製品として、①半導体レーザー、②光ファイバ、③光ディスクを抽出した。

3つの基軸製品が生成する過程である光技術の歴史からは、基礎研究から開発研究までのプロセスが従来の産業形成に比して相対的に短縮され、世界的に同時進行していたことが明らかになった。したがって日本の光産業は導入技術なき産業形成を果たすことになった。これら形成期の特徴が市場構造にいかに関与し、企業の行動にいかに関与を及ぼしたのか、引き続き市場形成段階の分析をとおして明らかにしたい。