

## 模擬実験を取り入れた光学学習

金井 徳兼

神奈川県立工科大学 〒243-0292 厚木市下荻野 1030

### Lecture of Optics Supported by Simulation Experiments

Norikane KANAI

Kanagawa Institute of Technology, 1030 Shimo-Ogino, Atsugi 243-0292

Recently junior students attending university have little knowledge of basic optics, and little experience in conducting physical experiments on them in high school. Advances in optical control measuring technology, have established a closer connection optical technology and other science/engineering fields, with a corresponding increase in the importance of learning basic optics. This report introduces an example of an essential optics class for junior university students studying science, one that incorporates simulation experiments into the curriculum.

**Key words:** optics, education, lecture, experiment

#### 1. 高校での学習内容

光波長変換をテーマにする筆者の卒業研究生が、「赤外レーザーをレンズで集光し、焦点付近に黒い紙を近づけたら焦げだした」とあわてて報告にやって来た。われわれの世代では、小学校の高学年で凸レンズと黒紙を用いた太陽光の集光実験を経験している。多くの学生も、レンズはある意味で危険なものだということを常識的に理解していると思っていた。また、理学系の先生からは幾何光学によるレンズの像作図ができる学生がほとんどおらず、簡単なレンズの組み合わせができないなどといった声を聞きびっくりしたことがあった。

ある理工系大学の2学年生を対象に、高校での光学関連の学習に関してアンケート調査を行った。アンケートに回答した学生は全員、高校普通科出身学生であった。高校物理IB<sup>1)</sup>の範囲では、波動に関する単元で、光学に関する事項を学習する。波動に関する学習内容として、波と媒質、正弦波、横波縦波、波の重ね合わせ、ホイヘンスの原理、平面波の反射、回折、屈折などがある。また、光学分野に関しては、レンズによる像形成、光の反射、干渉、回折などを学習する。アンケートを集計した結果、前述の内容に関してほとんど全員が学習を行っていることが明らかとなった。集計母体が工業専門高校出身学生に変わると、

物理の学習範囲が力学中心となる傾向がある。物理IBの教科書には探求実験として、レンズによる像、回折格子、ヤングの干渉実験、スリットによる光の干渉回折、光の反射屈折などの実験が計画されている。授業内での実験経験を問う調査結果は、Fig. 1のような結果であった。講義での実験経験が少ないことがわかる。学生は、光学分野に限らず高校物理での実験の経験が少ないことが、他の教育現象からもわかる。

物理教育に関して、よく話題にのぼる「電磁気学」の存在がある。筆者の所属する電気電子工学分野の重要な基礎である「電磁気学」の大学カリキュラムでの学習の有無や、学習内容の検討などが学会などの分科会で議論されている。物理学全般の学習に関して、実験事実からの学問の形成という認識は学生に少なく、抽象的な内容の学習だけでは理論的に構築された学問であると考えられる学生が多い。また、工学分野の重要な基礎である物理学の学習方法や学問的な意義づけが重要と考える。この論文のテーマである光学学習についても、応用面だけでなく体系的で原理を重要視した学習体制が大切である。

#### 2. 授業内容の紹介

筆者が担当する光学は物理系の2学年の学生で、学科の

E-mail: nkanai@ele.kanagawa-it.ac.jp

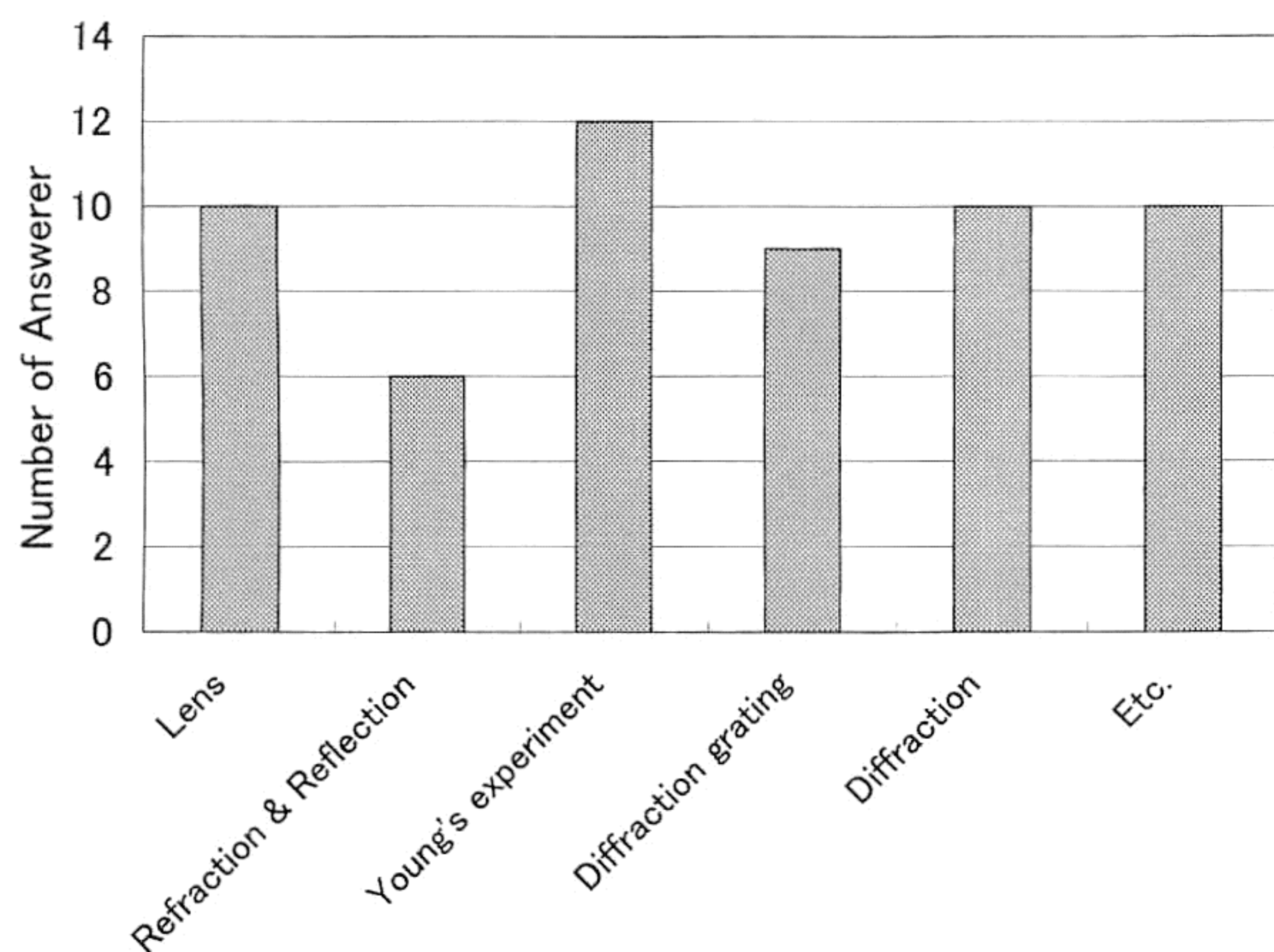


Fig. 1 Results of questionnaire for students about experiments of optics in their high school days.

研究室の構成から学部高学年で原子核や宇宙線などを専門として学習する。学生は実験などでは光学的計測をする場合も多い。また、情報数学系や光化学系などの学生の受講も多い。

分野の多様化や細分化により学部教育における開講科目にゆとりがなく、「光学」に関する授業の開講が少ない。古典光学よりも応用を重視した量子光学的な分野の応用科目が学部高学年で開講されているケースが多い。光学に関する講義は入学初年度からの教養の物理学だけであり、光波の伝搬などを取り扱う古典光学に関する講義が少ないことは一般的な現状であると思われる。

筆者は、この科目では、特に筆者の専門である光計測に関する内容をもとに半期 13 回の授業を計画している。この授業では、波動に関する基礎事項、波動光学の基礎を学習し、計測への応用に関する基礎事項と量子光学分野を中心とする光学分野のトピックを紹介する内容である。授業は、以下の 4 部の構成になっている。第 1 部として波動の基礎を学習する。正弦波、波動方程式、重ね合わせの原理など高校物理を基礎に現象の確認と数学的な定式化をつけ加える。第 2 部は、光の干渉および回折理論を学習する。正弦波の合成、干渉条件、光の干渉性などである。第 3 部では回折理論の基礎を学習する。フレネル-ホイヘンスの原理、キルヒホフの回折積分を学習する。特に回折に関しては、光情報処理と関連深い無限遠方回折やフーリエ光学の基礎を詳しく学習する。第 4 部では、応用的な内容と最近の光学について解説する。学生にとって芸術作品として身近な存在であるホログラムや、第二高調波発生を中心とした非線形光学現象について学習する。また、光放射圧による「光ピンセット」や近接場光学顕微鏡など、学生にとっては興味を引く現象を解説する。

授業終盤で行われる授業アンケートの自由記述から、受

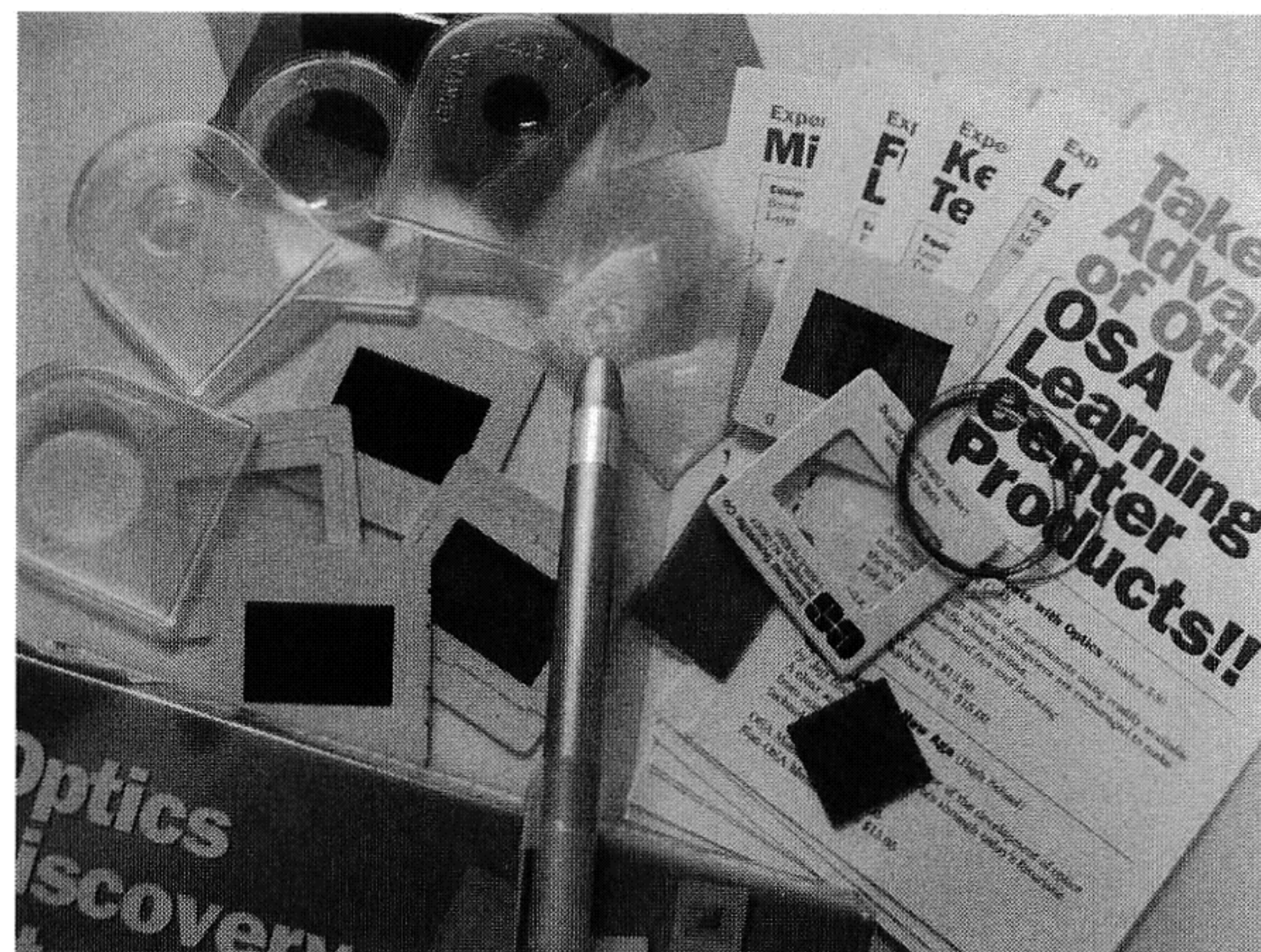


Fig. 2 Optics Discovery Kit by the OSA. Easy experiments with lens, mirrors, and prisms demonstrate properties of light.

講生の多くは、光学現象は面白いといった感想をもっている。また、一方では、現象の定式化過程での数学手法の幅広さや観測系と合致した近似の導入、また一般理論の応用など、学生にとって難しいと思われる内容が多いのは事実である。

### 3. 講義の補足実験

先ほど述べたように、物理的なイメージや現象の観測が少ない学生に対して、従来の黒板の数式と解説だけでは学習内容が抽象的になり各自の理解が高まらない。この授業では、積極的に現象の観測を授業内に取り入れる工夫を行っている。

受講クラス規模が 50 名程度と小規模であり、講義にデモンストレーション的に実験を取り入れることは比較的容易である。パソコン表示を用いたグラフィカルな説明よりも、「百聞は一見にしかず」で、簡易実験を適時織り込むことにより数式表現した物理現象に十分な理解を与える。この試みは学生からも好評を得ている。ここでは、授業で利用している実験教材を紹介する。

#### 3.1 Optics Discovery Kit

このキットは、アメリカ光学会が監修する基礎的な光学現象の実験向きのキットである。別売りのレーザーポインターを用いることにより手軽に個人実験学習が可能である。キット内の部品を Fig. 2 に示す。プラスチック成形による光学部品を組み合わせることにより、簡易レンズによる結像、ガラスを用いた反射屈折、回折格子と光の分散、光ファイバーによる光伝送を学生自らが実験システムを用いて光現象を体験できる。この学習キットは安価であり、必要台数の購入により学生への貸し出しを行えば、時間外でも個別に学習利用が可能である。

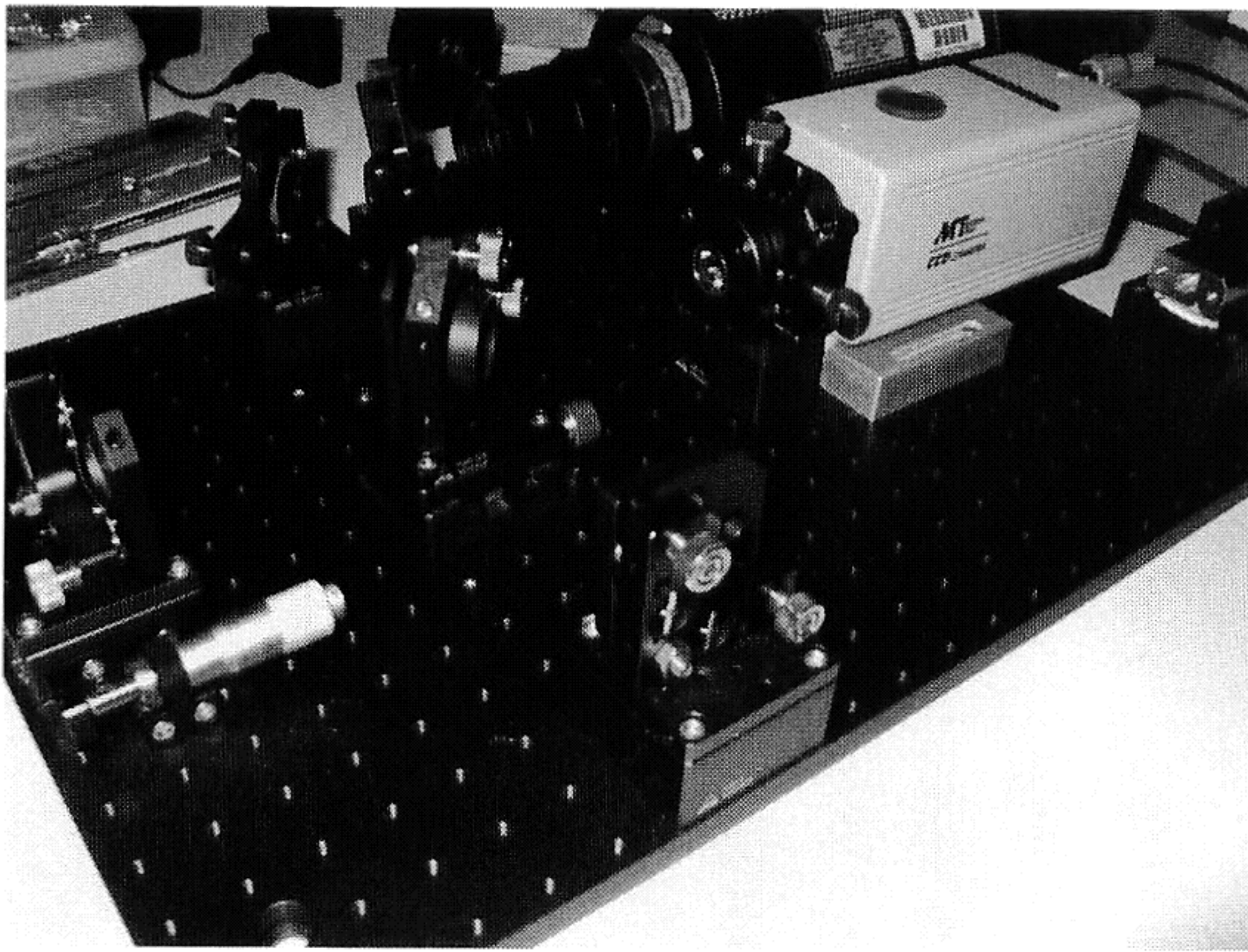


Fig. 3 Interferometer assembled using opt-station system produced by Suruga Seiki Co., LTD. We can set up the interferometer on a base plate with A4-size.

### 3.2 光干渉実験装置

光の干渉といえば、波面分割法であるヤングの干渉実験が学生にとっては印象が強い。計測応用では振幅分割干渉計が中心的である。Fig. 3 に示す駿河精機社製オプトステージによるマイケルソン干渉計を用いた模擬実験が手頃な装置と考える。理学系の学生にとっては、相対性理論との歴史的な関連でよく聞く干渉計であるが、実際に干渉縞を目にした学生は少ない。2 光束をミラー面の微動ネジを用いて調整し、CCD カメラで干渉縞を観測する。2 光波が観測スクリーン上で干渉すると干渉縞が生じる現象は学生には新鮮であり、光干渉計が「光ものさし」とよべることを実践的に体得する。さらに、光路上への位相変化試料の挿入による干渉縞の移動なども物理工学的計測との関連があり、多くの学生にとっては貴重な経験である。

### 3.3 ホログラム作製

通常のコログラフィ乾板を用いたホログラム作製は、撮影条件の厳しさや乾板現像の時間など模擬実験としては困難な点が多い。Fig. 4 に示す清水ら<sup>2)</sup>の考案した導電プラスチックを用いたホログラム作製装置は、振動や暗室などの実験条件の制約がゆるく、デモンストレーションが可能である。芸術ディスプレイとして見慣れたホログラムであるが、光干渉の結果導電プラスチック乾板を通してホログラムが数分で形成されると、多くの学生は感動を覚えるようである。

### 3.4 第二高調波発生実験装置

物性系の学生には光と物質の相互作用に興味のある学生が多い。最後の講義では、量子光学の内容としてKDP ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) による第二高調波発生実験をデモンストレーションする。LD 励起 YAG レーザーからの  $1.05 \mu\text{m}$  の赤外光を KDP によって青色光波に変換する実験である。KDP と一次光波の入射角を結晶ホルダーの微動ネジを調整する

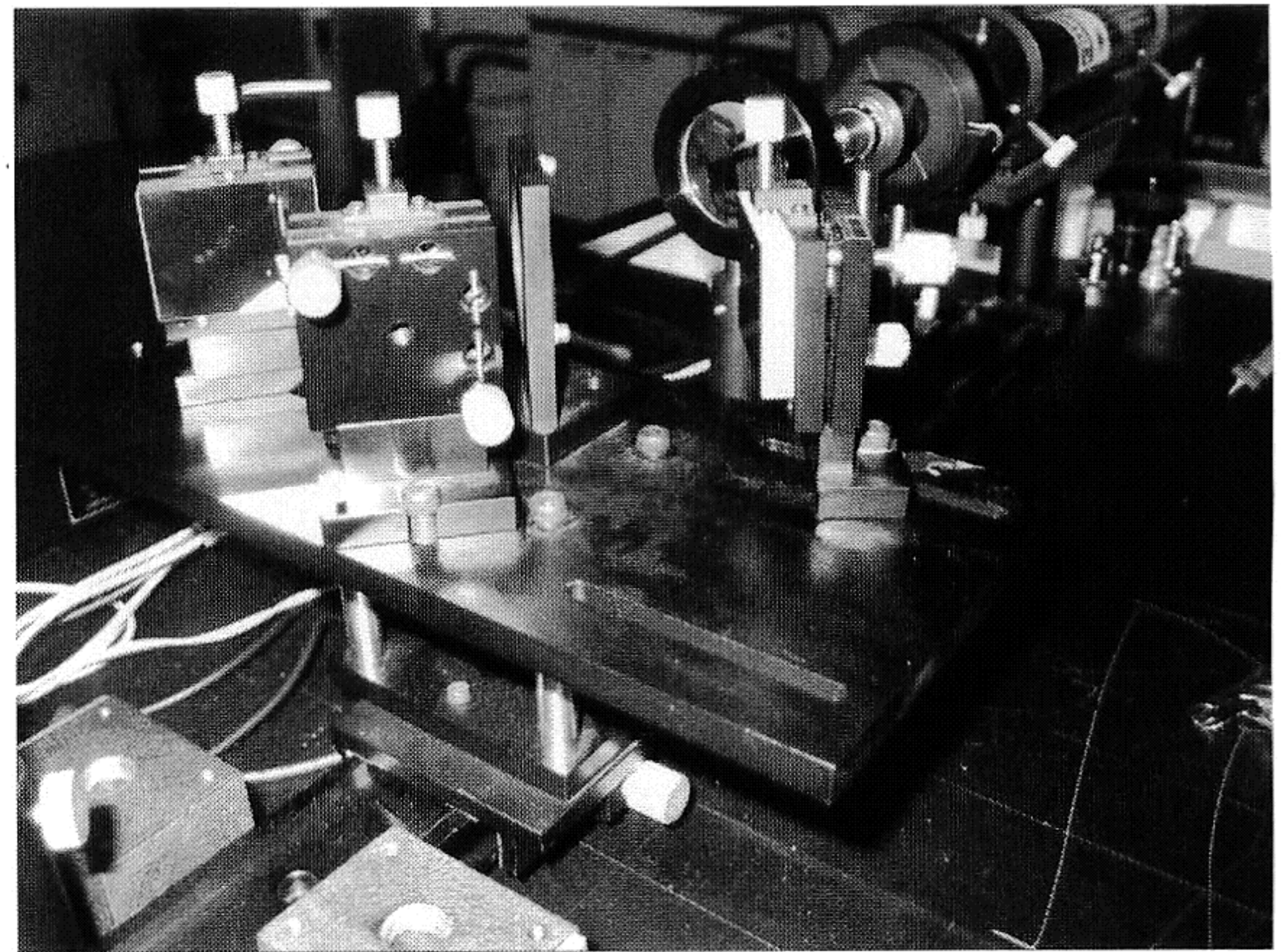


Fig. 4 Holographic interferometer. It is easy to record holograms using optical conductive plastics.

ことにより、位相整合条件が整い第二高調波の出力が変動する。赤外光波が可視光波に変換されるこの現象は、多くの学生にとっては不思議な現象であるが、将来、DVD に代用される身近なデータ記録装置に応用される技術であることをつけ加えることにより大きな興味がわくようである。ダイオードの特性と同様の非線形現象であるが、外部(光)電界と誘電体の非線形分極など学部学習の基礎科目である電磁気学に基礎をおく内容との連携もあり、光学分野の広さを学生は実感する。

## 4. e-ラーニングによる学習

高速ネットワーク技術の進展や普及にともない、大学での学習形態も様変わりする。インターネットとパソコンがあれば時間や場所を固定せず学習が可能となる。その代表的な学習形態が、e-ラーニング<sup>3)</sup>である。学習はあくまでも先生・生徒との face to face の形態が基本であるが、授業の予習や復習あるいは発展的な学習の補助として、本学大学院学生に対して試験的に利用している (Fig. 5)。学生はサーバー上におかれた教材コンテンツにアクセスし学習を進める。コンテンツとして、講義内容の解説だけでなく、演習問題やその解答解説ページを取り入れた教材を作製する。教材はテキスト情報だけでなく動画教材の作製も可能であり、模擬実験などをコンテンツ内容に含めることで効果的な学習教材の作製が可能である。教員は、学生の学習履歴や課題の正答率を参考にクラス全体や個人にメールなどでアドバイスが可能である。試験的であるが、演習問題などをより視覚的に解析するために Mathematica<sup>TM</sup> や Diffract<sup>TM4)</sup> といった数値光学シミュレーションソフトを用いることにより数式表現から数値計算、画像表現といった学生の理解が進む形への表現が可能であると考えられる。

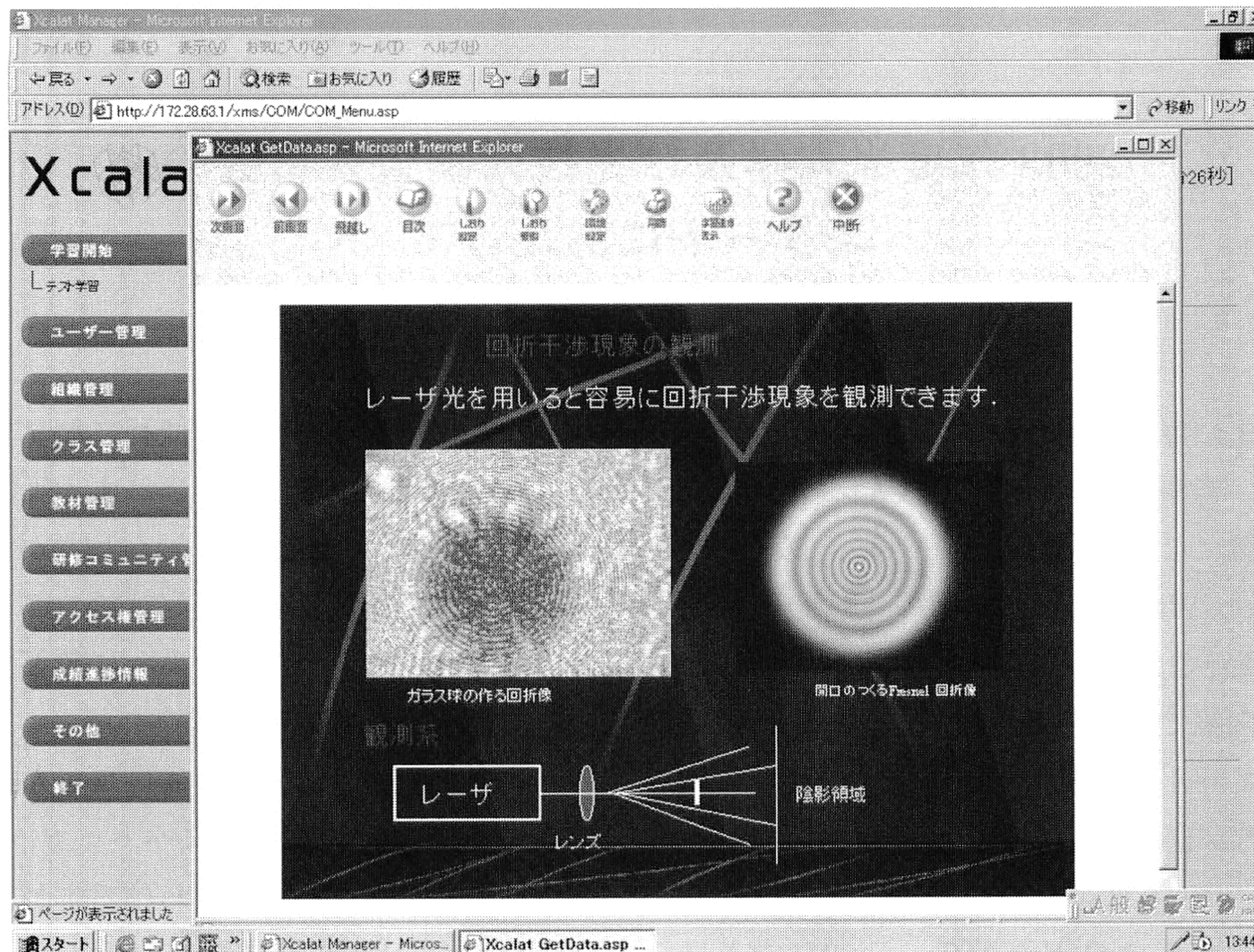


Fig. 5 Example of teaching materials using e-Learning system.

## 5. ま と め

光学は紀元前にまでさかのぼる歴史のある学問領域であり、きっちりとした学問形成と現象の数学的な定式がなされたものである。また、光学は工業製品への応用性も十分ある領域である。光学の聖書的な教科書<sup>5)</sup>がある一方、図や写真を多用した丁寧な入門者向け参考書<sup>6)</sup>も意外と多い。光学を学ぶうえで最も有効な学習手法の一例として、ここで紹介したような現象の観測がある。光波のつくる現象は容易に観測でき視覚に訴えることが可能である。この学問的な「利点」を学習の支援とし、おおいに活用することが大切である。

今後は、各大学の工学系の大学学科系統のカリキュラムで検討されている JABEE (日本技術者教育認定機構)<sup>7)</sup> の認定に向けて、技術者として光学基礎分野の学習の必要性や光を用いた計測技術の習得がどの程度議論されるかを注目する必要がある。理工学分野全般への導入などとあわせ

て、今一度工学分野での光学の学習について十分検討する必要があると考える。

## 文 献

- 1) たとえば、中村英二ほか：高等学校改訂物理 IB (文部科学省検定済教科書) (第一学習社, 2001).
- 2) 清水 勲, 砂金孝志, 加藤文武, 大橋慶勸：“ホログラム簡便自動作成装置とそれを用いた教育システム開発”, 工学教育, **49**, No. 1 (2001) 27-35.
- 3) 社団法人私立大学情報教育協会：授業改善のための IT の活用 2001 年版.
- 4) M. Mansuripur, R. Liang, 辻内順平：“光学系シミュレーションソフト DIFFRACT とその応用”, 光学技術コンタクト, **38** (2000) 147-156.
- 5) M. Born and E. Wolf: *Principles of Optics*, 6th ed. (Pergamon Press, New York, 1986).
- 6) E. Hecht: *Optics*, 2nd ed. (Addison-Wesley, Reading, 1987).
- 7) 社団法人日本工学教育協会：技術者教育の外部認定制度に対する産業界の意識とニーズに関する調査, 平成 13 年 3 月.