

光学実験教育における e-ラーニングの導入

藤川知栄美*・稲葉利江子**・清水 賀代**・下村 恭子**・小館香椎子**

*日本女子大学理学部客員研究員 〒112-8681 東京都文京区目白台 2-8-1

**日本女子大学理学部数物科学科 〒112-8681 東京都文京区目白台 2-8-1

Introduction of e-Learning into Optics Experiment Education

Chiemi FUJIKAWA*, Rieko INABA**, Kayo SHIMIZU**, Kyoko SHIMOMURA** and Kashiko KODATE**

*Visiting Researcher of Faculty of Science, Japan Women's University, 2-8-1 Mejirodai, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8681

**Department of Mathematical and Physical Science, Faculty of Science, Japan Women's University, 2-8-1 Mejirodai, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8681

There is an imminent demand for excellent researchers in optics as one of the leading and essential fields of high-technology. However, in contemporary education system in Japan, a trend of detachment from physics among high-school students as well as science in general is increasingly visible and cause an acute problem and concern. In response, at Japan Women's University, our team proposed the introduction of e-Learning as a new method to stimulate student's interests and more easily adjust the contents according to each student's comprehension process. This paper presents a design of contents, effectively combined with multimedia teaching materials and proves the utility of the optical wireless LAN so as to create a more enduring transmission system against a larger volume of files with experiment-type contents.

Key words: optical education, physical experiment, contents, e-Learning, optical wireless LAN

1. はじめに

日本女子大学は理学部が設置されている唯一の私立女子大学である。数物科学科と物質生物科学科の2学科から構成される理学部では、2年次から物理、数学、化学、生物の4専攻に分かれ専門教育が行われている。とくに物理分野では、重要な専門科目として光学を挙げ、家政学部時代から28年にわたり非常勤講師の辻内順平東京工業大学名誉教授による「光学」「応用光学」を開講し特徴づけてきた。理学部となった1992年からは小館が担当し、2年次の「光学」から大学院の「光エレクトロニクス特論」に至る4科目の講義を選択科目として開講しているが、物理分野の学生のほぼ全員が受講している¹⁾。光学関連企業への就職率は物理分野の卒業生の17% (1995~2002年度卒)で分野として際立っている。また同じ期間の応用光学専攻分野での博士号取得者は6名、現在の博士課程在籍者は5名であり、女性研究者の育成にも大きく貢献している。

しかし最近では、高等学校での物理離れが進み数物科学科入学者の中にも物理を履修していない学生の割合が増加している。2002年度入学者101名では27%を占めている(物理IおよびII履修46%、物理Iのみ履修25%、物理IIのみ履修2%)。昨年のOptics Japan 2002におけるシンポジウム「大学における光情報教育を考える」では、「大学における光学教育の場」の確保の難しさや教育方法について活発な報告や意見交換がなされ、物理離れの現状が深刻であると改めて認識された。また、21世紀は「光」の時代といわれ、ナノテクノロジーをはじめとする光学的開発研究や先端産業では、光学の基礎を身につけた人材が求められているにもかかわらず、上記のような事態はいつそう厳しく、「光」と名のつく学部・学科が名称変更を余儀なくされている。また、コアとなる拠点大学のない現実も指摘された²⁾。

筆者らは、物理離れに伴う大学の光学教育における問題

*E-mail: chiemi@fourier.jwu.ac.jp

を打破する手段として、e-ラーニング^{3,4)}を利用した実験教育に取り組んでいる。「物理」に対し自主的学習の姿勢がみられない学生が多い理由としては、多くの高等学校では実験を取り入れた主体性のある物理教育ではなく、受験目的の記憶にたよる知識中心の受身的な授業を中心とする教育が行われているためと考えられる。一方、高等学校の「情報」教員免許取得のためのカリキュラムが始動し、コンピュータを利用した演習科目が増え、就職先を考えて、情報科目に対しては学生の積極的な姿勢がみられる。したがって、映像、音声、画像、テキストといったマルチメディア素材を複合的に用いるe-ラーニングは、「コンピューター」「情報」などに興味をもつ学生の光学に対する関心を引き出すきっかけになると期待できる。e-ラーニングを取り入れるもうひとつの利点は、高等学校における「物理」履修のレベル差を考慮し、各学生の理解度に合わせた教育が可能となることである。e-ラーニング導入は物理離れのみではなく、大学入学者の基礎学力低下という問題への対応策としても期待できる。

本論文では、2章で本学における光学教育の講義および実験内容を示すことにより、学習現場の現状を述べ、3章では今回導入した実験教育用のe-ラーニングコンテンツの紹介、さらに、4章では光無線LANを利用したコンテンツ配信システムについて紹介し、e-ラーニング教育の将来を概観して、まとめとする。

2. 日本女子大学におけるe-ラーニングの取り組み

2.1 日本女子大学の光学教育の現状

Table 1に日本女子大学における光学関連の講義と実験内容を示す。本学では、1年次の「物理学基礎実験」で修得した実験基礎知識と技術を踏まえ、2年次では「物理学実験」、3年次では「応用物理学実験」を履修する。1年次の「物理学基礎実験」は、2年次からの数理情報分野・物

理情報分野選択への影響も大きく、積極的に光学実験の内容を導入している。また、同時期に開講している「物理学概論」では、非常勤講師の神谷武志東京大学名誉教授(現：大学評価・学位授与機構教授)が、物理への導入教育として数式導出の説明を加えるなど丁寧な講義を行っている。2, 3年次の実験は専門分野の講義内容の進行と連動させており、講義で学んだ理論と実験で体得できる現象を通して、相互的に理解が深まるようカリキュラムを工夫している。例えば、2年次の「光情報処理」の講義において学んだレンズのフーリエ変換作用や空間周波数フィルタリングの概念は、「物理学実験」で光学的フーリエ変換の実験を通して体得できる。また、干渉、回折の応用技術として学んだホログラフィーは、3年次の「応用物理学実験」でのフレネルホログラム、CGH (computer generated hologram) の作製と再生を通して理論と現象の相互理解を深めることができる。

しかし、最近の実験授業では、実験内容に興味をもち、楽しいと感じている受講者であっても、自主的に考え、結果を導くねばり強さに欠け、的確な考察を行えないなどの問題が生じている。

2.2 光学教育におけるe-ラーニングの利用

e-ラーニングを取り入れることによる効果としては、①自主的に考え解決する姿勢を習得できること、②個人の能力に合わせて学習を進めることができることなどが挙げられる。光学では、理論と現象を視覚的に結びつけることによる学習効果が非常に大きく、これまでもビデオ教材、CD教材などが作成されている。e-ラーニングコンテンツは、文字、画像、VTR、アニメーションなどのメディア素材を独立に見せるのではなく、同期・連動したマルチメディア動画像として作成可能なため、ビデオ教材などの利点をそのまま生かし、前述の①および②の効果をもっと期待できる。

Table 1 Curricula of optics-related subjects at Japan Women's University.

光学関連の講義			
科目名	学 年	内 容	
光 学	2	光学の基礎, 幾何光学, 波面光学, 光学機器	
光情報処理	2	波動光学, フーリエ光学, ホログラフィー	
光エレクトロニクス	3	レーザーの原理, 光導波, 光と物質の相互作用	
光学関連の実験			
科目名	学 年	内 容	
物理学基礎実験 135分×2週	1	ニュートンリング, 分光計(プリズムの屈折率, 回折格子の格子定数), レーザー光による回折と干渉	
物理学実験 180分×2週	2	光学的フーリエ変換, モノクロメーター, 光電測定と熱放射	
応用物理学実験 180分×3週	3	ホログラフィー(フレネルホログラム, CGH), リソグラフィ, 半導体レーザーと光ファイバー, ルミネセンス, 偏光の物質と光物性, 薄膜蒸着と多重干渉顕微鏡による測定	

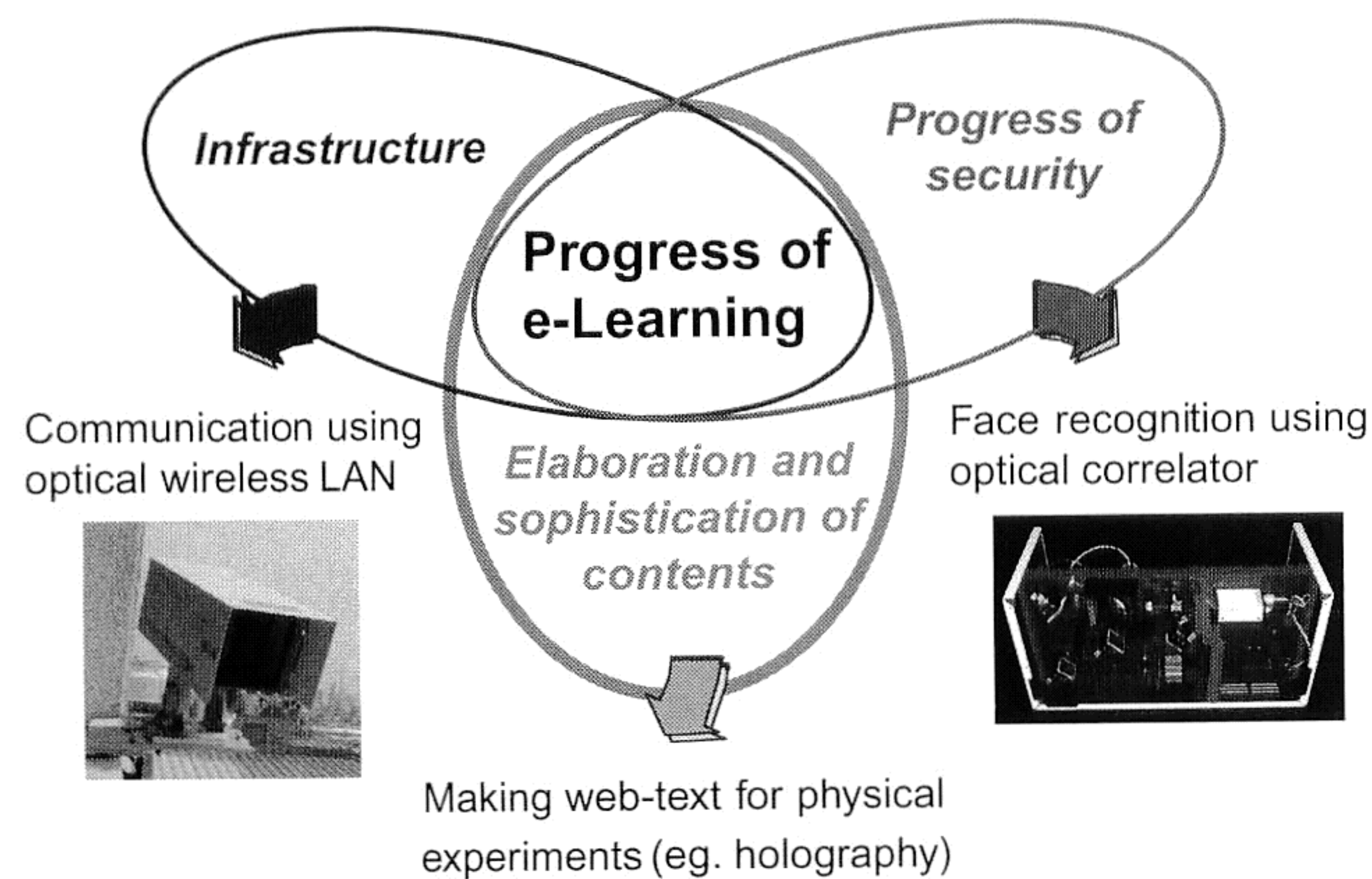


Fig. 1 Challenges for and progress of e-Learning at Japan Women's University. The web-text created from the multimedia materials is a mass file. For the mass file transfer, the optical wireless LAN is required. In turn, face recognition equipment is on demand, due to the student attestation by the network from a remote place.

日本女子大学においては、2001年度より5カ年計画で採択された通信・放送機構（TAO）の成果展開事業「次世代インターネット環境下における大学協調型教育コンテンツ配信システムの研究開発」プロジェクトが進められており、現在物理分野の教員を中心としてeラーニングの導入に取り組んでいる。本プロジェクトの目的として、

- ① 講義用教材および講義そのものの再利用を可能とする共通のプラットフォームでのコンテンツ化
- ② 無線・有線のさまざまなネットワークを統合した次世代インターネットを用いた教材コンテンツのリアルタイム・オン・デマンド方式での配信
- ③ これらの機能を有する教育システムの教師・学生による共同利用

を挙げている。上記目的を実現するための必要検討項目は、Fig. 1に示すような(a)インフラの整備、(b)コンテンツの充実、(c)セキュリティーの向上、であり実施計画に基づき研究が進められている⁵⁾。本報告で対象とする光学実験用コンテンツなどのマルチメディア教材では、実験装置、光学パーツなどの写真画像を用いた大容量ファイルを高解像度の映像として高速に配信する必要がある。筆者らは、検討項目「(a) インフラ整備」において、100 Mbpsの伝送速度をもつ光無線LANの適用を検討した。光無線LANは、システムそのものが光学の1つの教材であり、レーザーの応用技術に触れ利用することにより臨場感が生じ、学生の光学に対する興味を引き出すきっかけになると期待できる。

3. e-ラーニングを用いた光学実験教育

検討項目「(b) コンテンツの充実」では、目的を明確化

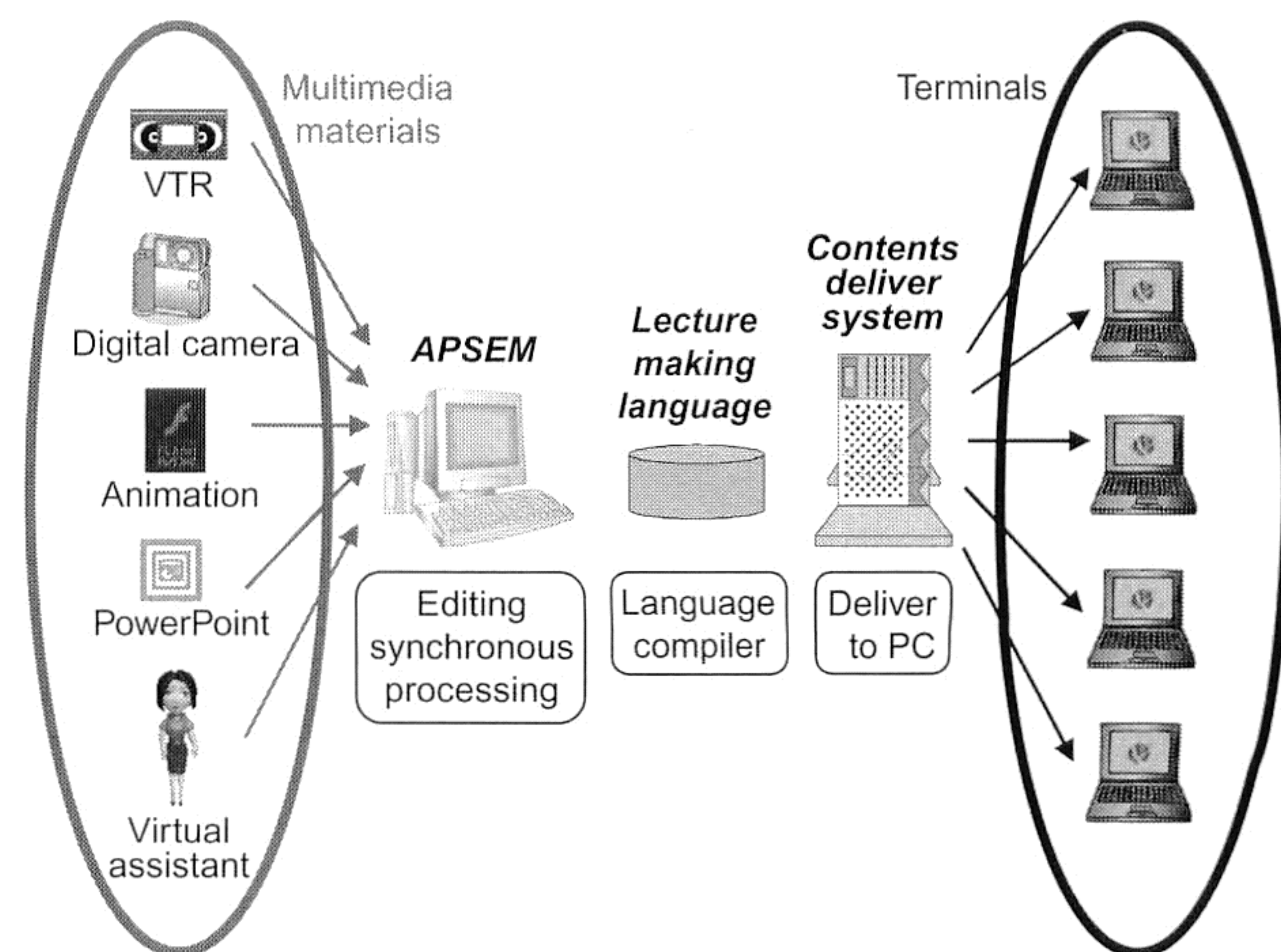


Fig. 2 Scheme of editing and delivering system of e-Learning contents. Various multimedia materials are edited into contents by the APSEM.

して受講者を引きつけ、受講者の理解度に合わせた情報を提供することが要求される。現在、マサチューセッツ工科大学（MIT）の“Open Course Ware” [<http://ocw.mit.edu/index.html>]をはじめとし、東京大学大学院情報学環・学際共同学府と文部科学省メディア教育開発センターが共同で開発している“exCampus.org” [<http://www.iii.u-tokyo.ac.jp/online/>] や、慶応義塾大学の“School on the Internet Working Group” [<http://www soi.wide.ad.jp/class/>] など各大学が魅力あるコンテンツ作成に取り組んでいるが、その主流は受講者に対し、遠隔地で講師が講義を行ういわゆる「遠隔講義」である。筆者らは自主性が求められる実験教育においてこそeラーニング利用の効果が高いと考えた。そこで、端末のみに向かう講義ではなく、実験装置を前にし補助教材として利用する実験教育用コンテンツを作成し、受講者の興味を引き出すことを目的とした。

3.1 コンテンツ作成オーサリングシステム

効果的な実験コンテンツの作成のためには、VTR、デジタルカメラ画像、スライド、アニメーションなどが欠かせない素材である。また、学生たちの自主性を育てるために、あらかじめ予想した質問に対する回答や、学生が繰り返し説明を受けたい場合への対処が要求される。したがって、コンテンツ作成には、マルチメディア素材の使用が容易であり、ヘルプ機能設定のカスタマイズ可能なオーサリングシステムが望まれる。今回は、早稲田大学浦野研究室で開発しているAPSEM (Automatic Production System of Education Materials)⁶⁾をオーサリングシステムとして用いた。APSEMはFig. 2に示すように、VTR、デジタルカメラ、PowerPoint、音声、アニメーションな

どのマルチメディア素材の導入、編集、同期処理が可能であり、さらに表示ウィンドウのサイズ・位置がコントロール可能なコンテンツ自動作成システムである。

APSEMの大きな特徴として、“バーチャル助手”の導入が可能であることが挙げられる。従来のeラーニングコンテンツでは、強調したい部分の表現が難しいという問題があったが、その部分にバーチャル助手を登場させ、「これは重要なポイントです」などの言葉を提示することで、解決が図れる。また、実験技術の習得など、単調になりがちな画面に動きを与え、わかりにくい原理の部分の理解を助けるなどの補助情報支援の役割も担わせることが可能である。バーチャル助手の導入により、従来の受身型のコンテンツから学生の興味を喚起し、自主的に考え学ぶという能動型のコンテンツへの改良が期待できる。

3.2 作成実験用コンテンツ

今回は、物づくり実験で学生に人気のある『ホログラフィー』に取り組んだ。ホログラフィー実験は、光学部品の取り扱い、干渉光学系の組み立て、乾板の切り出し、露光・現像の作製条件の最適化など、手を動かし、原理を理解して順序よく考えていく過程が多い。したがって、繰り返し再生ができ、グループごとの理解に応じて進めることが可能なeラーニングコンテンツを利用することにより、学習効果の向上が期待できる。

作成したコンテンツの実行画面の一例をFig. 3に示す。APSEMは、目次、スライド、VTR、バーチャル助手を画面ごとに自由に配置することができ、各フレームの大きさ、位置、画面切り替え、バーチャル助手の位置、身振り、話す言葉の設定も自由である。そのため、各シーンに応じて最も理解しやすいフレーム構成をとることができる。本コンテンツの構成の特徴は、実験手順をVTR化、スライド化することだけにとどまらず、ホログラフィーの歴史、応用、原理を理解するための基礎知識までを組み込んだことにある。PowerPointを利用したスライドによって、使用器具の原理および取り扱い方法などを示し、とくに重要なポイントや、通常の実験授業で質問の多い内容については、バーチャル助手を登場させ、学生の注意を促すようにした。また画面左側上のVTR画面では、具体的な実験手順を画像および音声で説明し、さらに左側下のText画面では対応した内容について情報の提供を行った。

一方、このようなeラーニングコンテンツの作成については、実際に利用する側の評価が重要なポイントとなる。そこで、従来のテキストのみを使用した実験授業を受講した学生11名に対し、今回作成した『ホログラフィー』

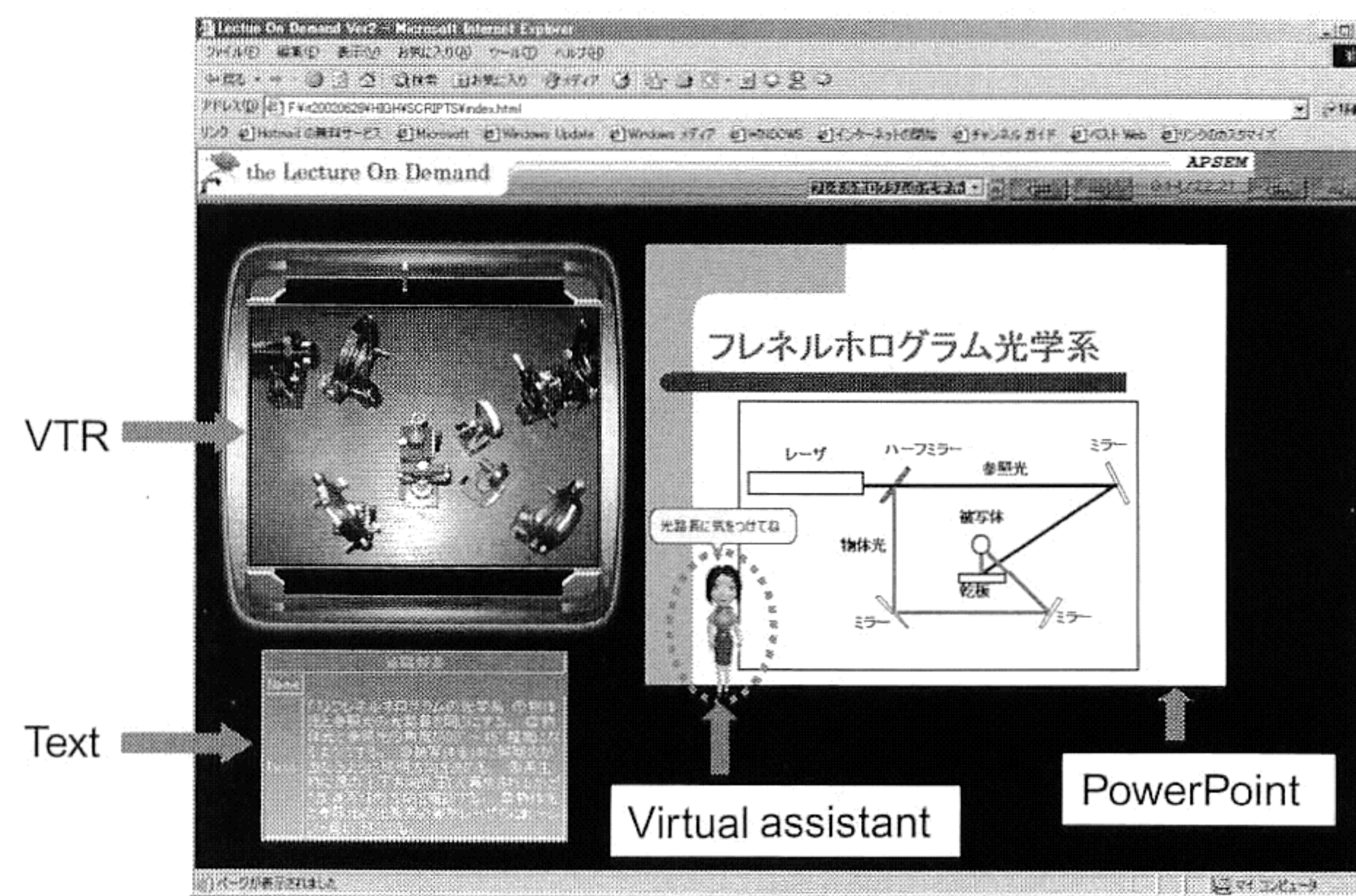


Fig. 3 Example of produced contents for holography experiment. The VTR, text, virtual assistant, and PowerPoint windows are synchronous. The windows of VTR and text advance according to the explanation of the virtual assistant.

コンテンツに関するアンケート調査を実施した。9個のアンケート項目を設けたが、その中の「従来のテキストのみに比べ実験内容が理解できたか」という設問に対しては、「できた」81%、「ふつう」18%、「できなかった」0%であり、コンテンツ作成の最大の目的である光学実験の補助教材として十分に機能するという評価が得られた。アンケートの自由記述部分からも映像や音声などのマルチメディア教材を用いることで、視覚的なインパクトがあり、実験への興味がわきやすく、学習意欲が高まるという、今後の実験授業への導入を期待する結果が得られた。しかし、「教材中の文字、および画面そのものが見にくい」あるいは「バーチャル助手の音声聞き取りにくい、話している言葉の内容がわかりにくい」などの課題も指摘された。バーチャル助手については、アンケートの評価を参考にとくに音声について改善し、またその機能を最大限に生かすためのヘルプ集の充実、参考資料や関連コメントなど補助情報の提供を加えていく予定である。

本学でのコンテンツ作成は前述のTAOプロジェクトの一環であり、光学以外にもコンテンツの充実という意味から力学、電磁気学および天文学などのeラーニング用コンテンツの作成を試みている⁷⁾。その例をFig. 4に示す。天体観測における画像処理を学生が自分たちで行い、体験することができるコンテンツである。2003年度に設置する天体望遠鏡と、試作した観測用分散素子グリズム⁸⁾による天体分光観測および取得画像の処理などを実験テーマにする予定である。本コンテンツはその補助教材としての利用を考え作成されている。

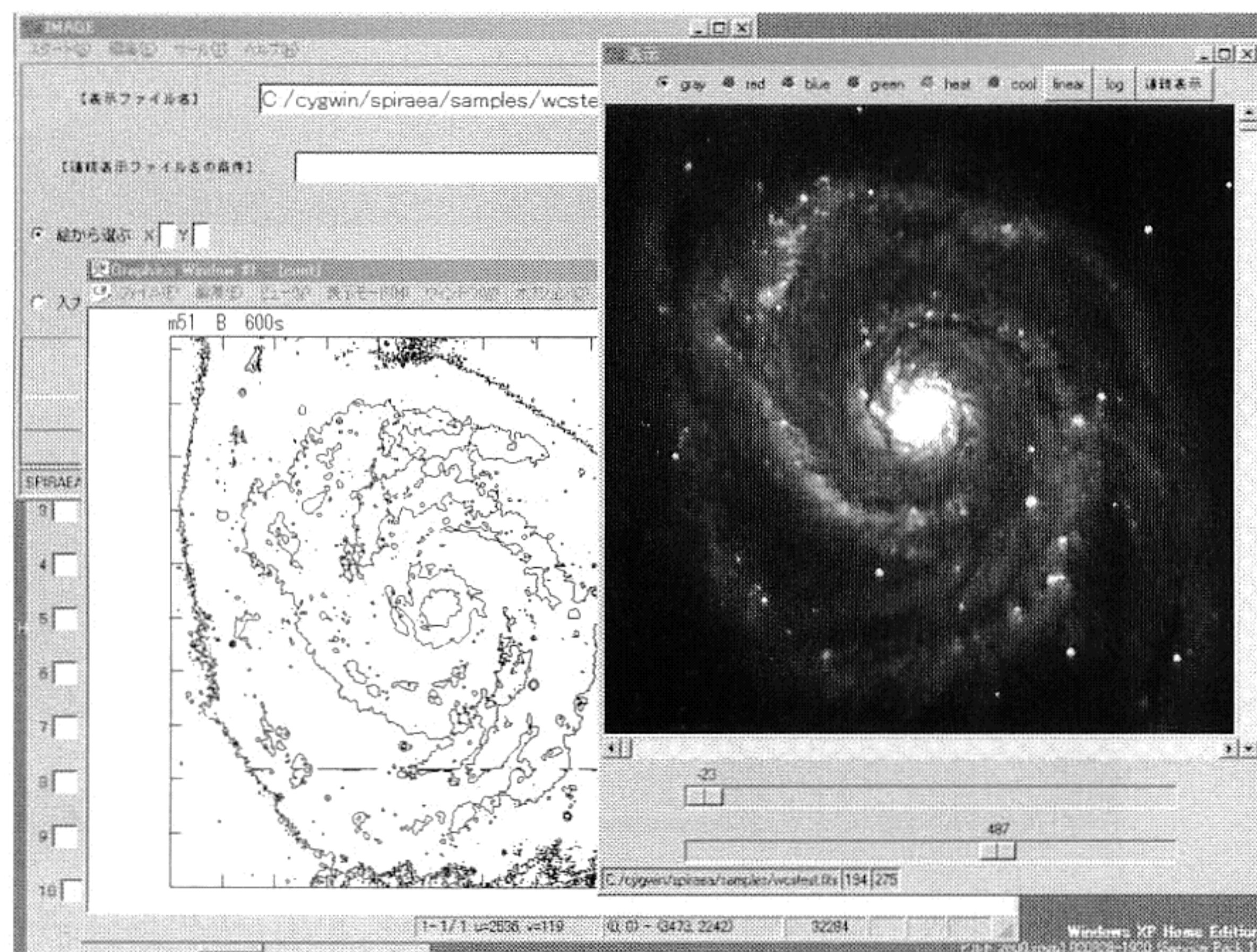


Fig. 4 Example of produced contents for image processing in astronomical observation.

4. コンテンツ配信システムへの光無線 LAN の導入

本学では学生用の物理実験室が3つの建物に点在しており、現時点ではサーバー室と実験室間に高速ネットワークが整備されていない。作成したコンテンツ配信のためには、少なくとも100 Mbps程度のスループットをもつネットワークが必要である。そこで高速光無線 LAN (デジタル光無線システム PHOTOLINER, 浜松ホトニクス製) を試験用に用い、教育用コンテンツ配信システムへの適用を検討した。

4.1 光無線 LAN の構築

光無線 LAN には Table 2 に示すような特徴があり、とくに導入の簡便性と運用コストの面から、数 km 以内において新たに高速ネットワークを構築する場合、非常に有効である。大学での教育コンテンツ配信用としては、100 Mbps 程度の高スループットおよび非干渉性によるセキュリティ対策という観点から通常の無線 LAN に比べ光無線 LAN が優位である。

教育用コンテンツ配信システムとしての光無線 LAN の導入のために、以下の項目について検討した。

- ① スループットおよび安定性： 動画・音声などを含む

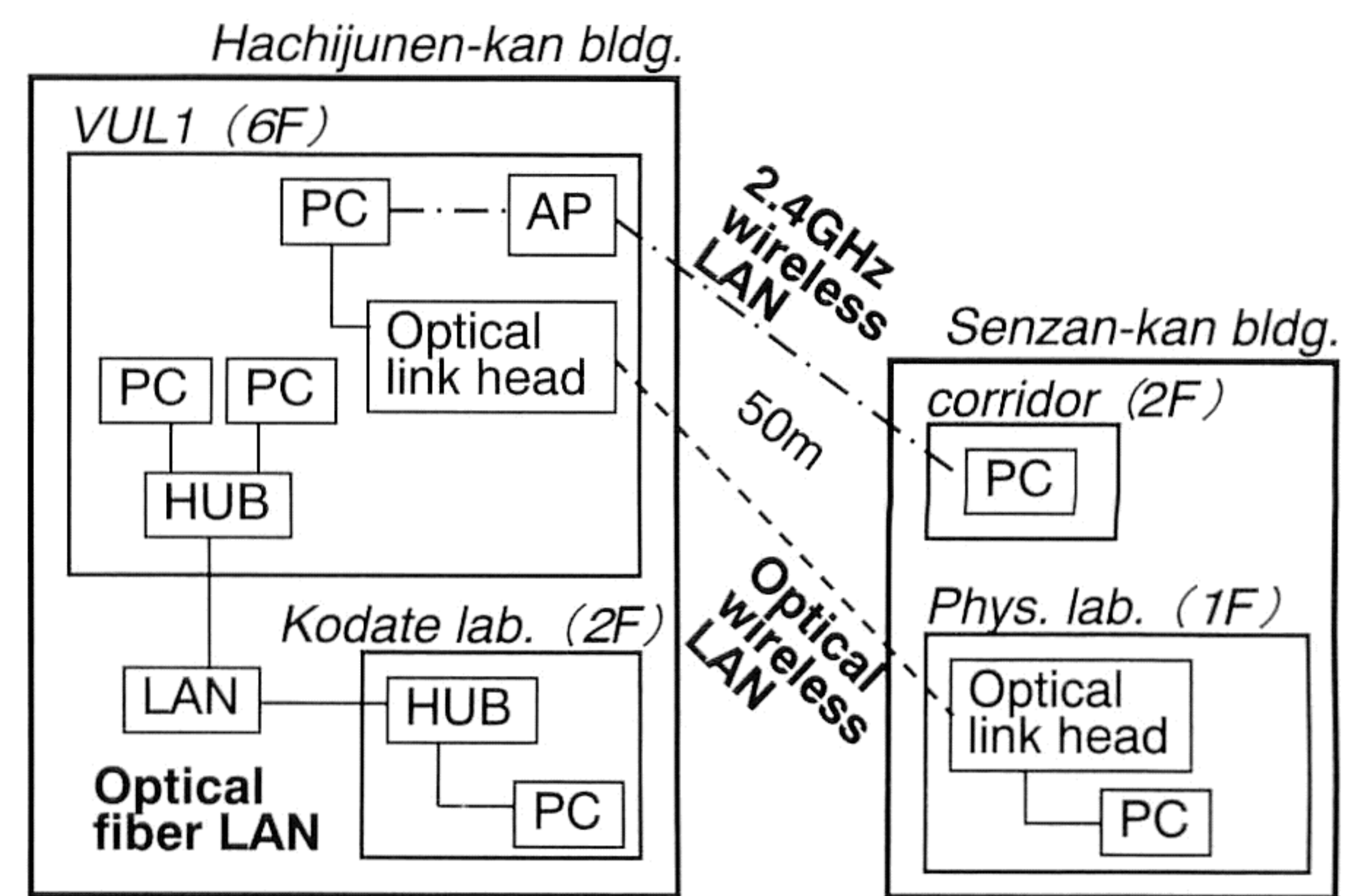


Fig. 5 Experimental layout for measurement of throughput for optical wireless LAN, 2.4 GHz wireless LAN, and optical fiber communication on the Japan Women's University.

大容量ファイルに対しても高速で安定した伝送が求められる

- ② 天候依存性： どのような天候においても通信が要求される

4.2 高速光無線 LAN を用いた実証実験

現在本学で作成中の物理実験用コンテンツは、15 MB 程度の MPEG 画像ファイルを含め、いずれも約 100 MB にもなる⁹⁾。筆者らは上記①および②の項目検討のため、約2週間にわたり、毎日同時刻 (10~18時の2時間ごと) に5~100 MBの容量のファイル送信によるスループット測定を行った。実験配置を Fig. 5 に示す。50 m 離れたサーバー室と物理学実験室に、それぞれ近赤外 LD を光源とする光リンクヘッド (PHOTOLINER DO-L1000, C7130) を設置した。IEEE802.11 b 電波無線 (2.4 GHz) および 10, 100BASE-TX 有線 LAN におけるスループット測定を同時に行った結果、光無線 LAN は天候によらず、100 BASE-TX 有線 LAN と同程度の平均 60~70 Mbps の伝送能力を有することを確認した¹⁰⁾。現在も毎日同時刻に同様の測定を続けており、雪の場合にもスループットが低下しないことを確認している。

Table 2 Feature of optical wireless LAN system.

High speed communication	100 Mbps high communication speed as same as optical fiber cable.
High security	Important digital data through wireless LAN system may be possibly trapped, however, optical wireless system has a high level of transmission security.
Cost saving	Considerable cost saving can be realized because cabling construction and cable lease are not required.
Simple set up	Optical system requires no licensing or permits by world organizations.
Not interfering in other wireless system	High density of set up. It can be used at very wide range such as place close to, place generating electric noise, high voltage wire etc.

以上のことから、光無線 LAN はとくに隣接する建物間において、新たなネットワーク構築が必要な場合の教育コンテンツ配信用 LAN として非常に有効であるといえる。

5. ま と め

本論文では光学教育における e-ラーニングの導入に関する提案を行うとともに、日本女子大学における取り組みを紹介した。e-ラーニングは、学生の興味を引き出すことおよび実験の進行状況の管理、理解度に応じた対応が可能な新しい学習のスタイルである。今回は、マルチメディア素材を効果的に組み合わせ、バーチャル助手によってポイントを明確化した光学実験用コンテンツを作成した。また、大容量のコンテンツファイルの配信システムとして、光無線 LAN を導入し、短距離の配信では、天候の条件にかかわらず支障なく配信可能であることを実験により確かめた。

今後は、この教育システムの特徴を生かし、光学実験により修得した理論および、技術の理解度チェックを行い、レベルに応じた課題の提示とともに、学生によるコンテンツ評価をフィードバックするシステムを構築し、内容のバージョンアップを目指す予定である。

一方、前述の Optics Japan 2002 のシンポジウムにおける議論のように、「光学」関連の学科、講座をもつ大学間で協力し、光学教育に有効なコンテンツを作成することが望まれている。コンテンツの内容充実を図るためには、大学間の協調が重要であり、APSEM をはじめとする共通のオーサリングシステムを用いることにより、多くの大学との連携が実現すると期待できる。現在、日本女子大学-早稲田大学間では、TAO プロジェクトとして、中距離用光リンクヘッドを設置し、800 m 間における伝送実験を開始しており、大学間におけるコンテンツの共有化を目指している。近隣大学との単位互換制度を考慮した大学間のネ

ットワークにおいては、不正アクセスを防ぐなどセキュリティ向上の必要性がある。この問題については、筆者らの一部がこれまで開発してきた光並列相関器を用いた顔認証システム¹¹⁾を e-ラーニング用サーバーに導入し、携帯電話を組み合わせたアクセス管理を行う準備を進めている。

文 献

- 1) 小館香椎子：“日本女子大学理学部数物科学科—基礎学力と応用能力の育成—”，光技術コンタクト，**37** (1999) 78-85.
- 2) 小館香椎子：“パネルディスカッション：大学における光情報教育を考える”，Optics Japan 2002 予稿集 (2002) p. 60.
- 3) 先進学習基盤協議会編：e-ラーニング白書 2001/2002 年版 (オーム社開発局，2001).
- 4) M. J. Rosenberg：*e-Learning* (McGraw Hill, 2001).
- 5) R. Inaba, Y. Yaginuma and K. Kodate：“Application of the optical face recognition system to the e-Learning,” Proc. SPIE, **4829** (2002) 35-36.
- 6) 呉 劍明，浦野義頼，住吉英樹，井上誠喜：“Lecture Making Language (LML) を用いた eXtensible Lecture On Demand (XLOD) の構築”，情報処理学会研究報告，**37**, No. 4 (2002) 23-30.
- 7) 長田昌子，大谷順子，濱部 勝：“Windows 用天体画像処理ソフト SPIRAEA の開発”，日本女子大学理学部紀要，**10** (2002) 93-98.
- 8) K. Oka, W. Klaus, M. Fujino, M. Watanabe, N. Ebizuka and K. Kodate：“Rigorous analysis of volume phase holographic grism for astronomical observations,” Proc. SPIE, **4829** (2002) 565-566.
- 9) 清水賀代，下村恭子，呉 劍明，浦野義頼，小館香椎子：“e-ラーニングにおける実験授業用コンテンツの開発”，秋季第 63 回応用物理学会学術講演会予稿集，No. 1 (2002) p. 400.
- 10) 加藤 絢，藤川知栄美，稲葉利江子，花島正昭，小館香椎子：“マルチメディアキャンパス実現に向けた高速光無線 LAN の検討”，秋季第 63 回応用物理学会学術講演会予稿集，No. 1 (2002) p. 401.
- 11) K. Kodate, R. Inaba, E. Watanabe and T. Kamiya：“Facial recognition by compact parallel optical correlator,” Meas. Sci. Technol., **13** (2002) 1756-1766.