

平成17年度「魅力ある大学院教育」イニシアティブ 採択教育プログラム 事業結果報告書

教育プログラムの名称 : 問題設定型光科学教育プロジェクト
 機関名 : 電気通信大学
 主たる研究科・専攻等 : 電気通信学研究科電子工学専攻
 取組実施担当者名 : 植田 憲一
 キーワード : 原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ、応用光学・量子光学、
 応用物理学一般、マイクロ・ナノデバイス

1. 研究科・専攻の概要・目的

本プログラムは、電子工学専攻、量子・物質工学専攻、情報通信工学専攻の3専攻横断型の取り組みである。従来までの教育研究活動では各専攻それぞれに多様な試みが行われてきているが、3専攻として特筆すべき点は、21世紀COEプログラム「コヒーレント光科学」により、3専攻横断的に「コヒーレント光科学コース」が専攻と同格で設けられていることである。このため、このコースに所属する大学院生は、光科学の講義などを集中的に選択でき、また一方、専攻を超えた教員で光科学教育を行い、光科学分野への広い視野を持った優秀な人材を輩出する使命を達成しようとしている。また、本学レーザーセンターを中心として、1996年より創造力開発実験プログラムElementary Teaching Laboratory (ETL)が行われており、この中では大学院生が、自ら実験プログラムを作り、それを学部生に教えるという取り組みを毎年行っている。今回の大学院教育イニシアティブ「問題設定型光科学教育プロジェクト」の中心的な役割を果たしているETLは、このプログラムを基礎として発展させたものである。

3専攻が所属する電気通信学研究科の人材養成の基本方針としては以下に挙げるものがある。

- 1 本学大学院の特色を活かしながら、社会の要請を考慮した学修・教育目標を設定し、国際的に通用する教育内容の強化を図り、「技術者力」のある高度技術者・研究者を養成する。
 - 2 多様な履修コース・履修モデルを設定し、社会人ならびに本学学部以外からの大学院入学生にも広く開かれた教育プログラムを提供する。
 - 3 教育研究組織を柔軟かつ横断的に活用する環境を構築し、学際的・複眼的な思考のできる人材を育成する。
 - 4 他大学や企業との連携強化、および国際化を積極的に推進し、社会や技術を先導する人材を養成する。
- また、各専攻の学生数、教員数は以下の表のようになっている。

専攻名	学生数(前/後)	教員数(前/後)
電子工学専攻	173/36	49/44
量子・物質工学専攻	110/18	52/47
情報通信工学専攻	135/35	42/37

2. 教育プログラムの概要と特色

本プログラムの大きな特徴は、これまでの“講義を受講する”+“修士、博士論文を完成させる”という大学院教育に、別軸の学部学生を自ら開発した実験プログラムで“教える”ことを加えたことである。(図1) 修士、博士論文の研究を通じた専門教育は、学会発表、学会ジャーナル誌への投稿論文掲載などを目標として、最先端の研究を経験させることで行われている。しかし、これまでの大学院教育の成果を省みると、この体制だけでは、自分の頭でゼロから問題を考え、自ら目標を設定し、解決して行くという先導的研究者・技術者に求められる能力を育てるには、必ずしも十分ではないと考えざるを得なかった。そこで、本プログラムでは、最先端性をあまり求めず、研究分野外の人たちに、自分の研究の基礎を“教える”ための実験プログラムを開発することを、学生に行わせるという取り組みを、3専攻にまたがる研究科正規科目として導入した。

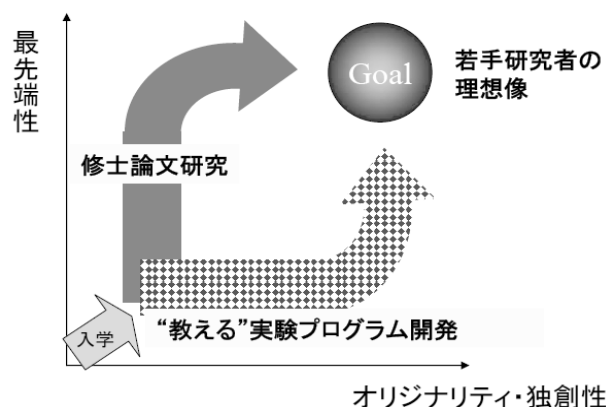


図1 本プログラムの目指す新たな教育軸

これには、1. 模倣ではない、自らが説明できる実験プログラムを作る経験ができる。2. 他の人に“教える”ためには、自分が開発した実験の基礎や本質を的確に伝える必要があり、それを認識する。3. 大学院学生側から、必要となる知識（講義）の要求が出てくる。4. 受講する学部学生は、次年度には自分が実験プログラムを作る立場になることが予想され、継続的な意識のつながりを持たせることができる。などの教育上の利点がある。

また、同時に、開発された実験プログラムを社会人に向けてオープンにし、企業からの受講を受け付けることも行った。（これを Advanced Teaching Laboratory として ATL と呼んでいる。）この場合には、受講者として企業内の光分野の技術者も対象となるため、インストラクタとしての大学院生には、より高度の知識と理解が求められ、学部生受講に比べ高いハードルを設定することができる。一方企業サイドでは、企業内における人材育成上・技術開発上の問題・課題を大学に持ち込むという形で ATL への参加がなされる場合もあり、これは大学（院）を活用した社会人教育の一つの有効なスタイルといえよう。この場合、大学院生側は、社会での生産、開発、研究での問題設定や考え方を学ぶ機会を得る。

インストラクタとなる大学院生を中心に、学部生、社会人の関係を図示すると以下の図2のようになる。

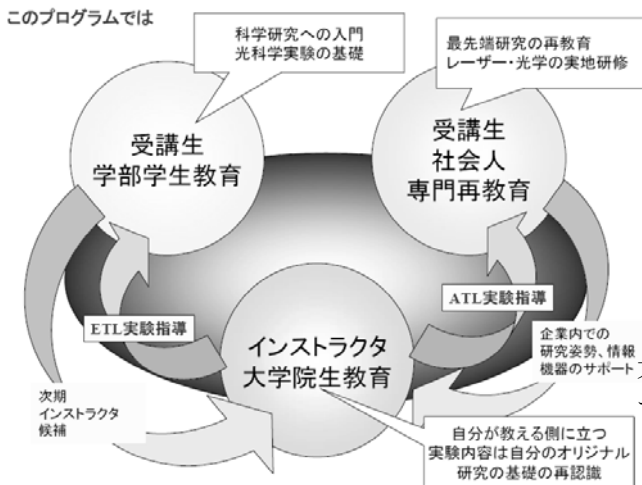


図2 インストラクタ大学院生と受講学部生、社会人受講者との関係

一見、このようなプログラムは理想のように見える。しかし、本学のレーザーセンターでは、すでに1996年から10年間このようなプログラムが実践されており、また、2005年度からは本学 COE 関連の研究室に広がりを見せ、テーマも光、レーザー、ナノデバイス、原子光学と幅広く受講できるシステムが構築されており、学生の間にも、

すでに次は自分がという思いが芽生えるほどの土壌が電通大内にあることが大きな力となっている。

学生側から見た場合の典型的な履修プロセスは以下の図3のようになっている。インストラクタとなるべき大学院生（博士前期課程1年生）は、ほとんどが ETL の実験プログラムを学部時代に受講した経験をもっており、その上で自らが行う実験プログラムを1年かけて開発することになる。その間、博士前期課程2年生の ETL は行われており、その議論や、状況を参考にしながら、自分のプログラムを作り上げていく。基本的に実験に必要なツールは自分の研究室から“借用”したもので構成される。ただし、基本となるレーザーや基本的な光学系、共用できる一般の計測器などは全体で運営、保持できるようになっている。また、今回、新たに ETL 実験用のレーザー実験室（クリーンルーム）を設置した。そのため、インストラクタの学生は、いつでも自分の研究とは別に、実験プログラム開発のための試行を行える環境が与えられている。（それらの計測器は、自らの研究にも使用するため、インストラクタの学生が使用するとき限り貸し出せるようになっている。）

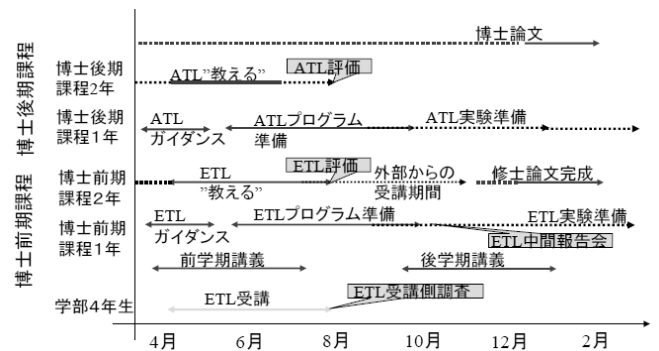


図3 ETL、ATL の履修プロセス

提案時、導入時、終了時にそれぞれインストラクタの大学院生は自らのプログラムについて報告を行い、そこでも、互いのプログラムをチェックしたり、提案をしたりすることが行われている。（図4）



図4 インストラクタミーティングでのテーマのアイデア発表の様子

3. 教育プログラムの実施状況と成果

(1) 教育プログラムの実施状況と成果

Elementary Teaching Laboratory の単位化

今回の魅力ある大学院イニシアティブへの採択を機会に、よりオリジナリティが高いものを目指して1年以上にわたる実験プログラム開発を行う過程を整備し、ETL は大学院の正式専門科目として認定されることになった。そのため、教える側の大学院生インストラクタには2年間の履修で2単位が与えられるようになっている。

基本インフラストラクチャの整備

インストラクタとなる大学院生が、その自由な発想の下で、試行を繰り返しながら、自らのオリジナルな実験プログラムを作り上げるためには、教員側のサポートだけでなく、研究用の装置とは別に、自由に試行できる実験場所、実験器具が必要になる。特に、光科学の実験の場合は、基本となる光学定盤、基本レーザー光源（パルス、CW、波長可変半導体レーザーなど）、基本光学素子（ミラー、レンズ、ステージ、ホルダーなど）を用意しておけば、スクラップアンドビルドで自由に実験を組み上げられる。そこで、電通大では150m²の部屋をレーザー実験用に用意し、そこをクリーンルーム化することで、インストラクタは誰でも利用できるシステムを作った。このクリーンルームそのものも、大学院生、受講生が協力し、その構造を把握しながら組み上げていったため、使用方法、管理を含め、大学院生主導で用意が進んでいった。用意されたクリーンブースの写真を図5に示す。



図5 ETL のため用意されたレーザー実験室

また、光学技術を体験させ、光学工作を受講生が行え

るようにするために、光学マシンショップをレーザーセンター内に設置した。そこでは、ガラス切断機、光学研磨機、光学旋盤、電子ビーム蒸着誘電体多層膜生成装置および、それらの製作物の検査ができるショップを整備した。これらの使用に関しても、関連するテーマがインストラクタから用意され、受講生はETL プログラムが終了後、自由に加工できるようになる。たとえば、誘電体多層膜では、図6に示されているようなコーティングマシンにより、様々な特性の誘電体多層膜ミラー、フィルターが製作（図7）され、その特性評価が行われた。



図6 新たに導入された光学薄膜用電子ビーム蒸着装置



図7 実際に製作された誘電体多層膜ミラー

これ以外にも、光学の検出回路やレーザーの制御回路を精度よく作り、基板をアーカイブできるNC回路基板製作機を導入した回路工作室、超伝導フォトンクスや低温での光学特性の実験が可能のように冷凍機つき光学クライオスタットなどが準備された低温光学実験室などが作られ、それぞれで、特徴ある実験プログラムの立ち上げが

可能なインフラストラクチャの整備が行われた。

ETL 2006プログラム

上述した整備後初年度となる ETL プログラムでは、
 1) ファイバーおよびミラー基板の光学研磨、2) 誘電体多層膜製作、3) NC マシンを使った光検出電子回路製作、4) 液体レンズ、5) 高出力半導体レーザー励起 YAG レーザーの発振実験、6) チタンサファイアレーザー発振実験、7) ジョセフソン素子製作、8) 低温での光学異方性発現、といった 8 つのテーマで 8 人のインストラクタにより 40 人を超える学部受講生の参加があった。1 回につき 4 人以下の受講生がグループとなり、1 テーマあたり 2 時間を目安とした実験を通して「教える」プログラムが行われた。中には、達成目標に向かって、実験をやめない受講生グループもあり、4 時間にも及ぶ実験がなされたところもある。これらは、すべて大学院生が指導、学部生が受講という形で進められたことであり、参加学生のモチベーションの高さを物語っている。

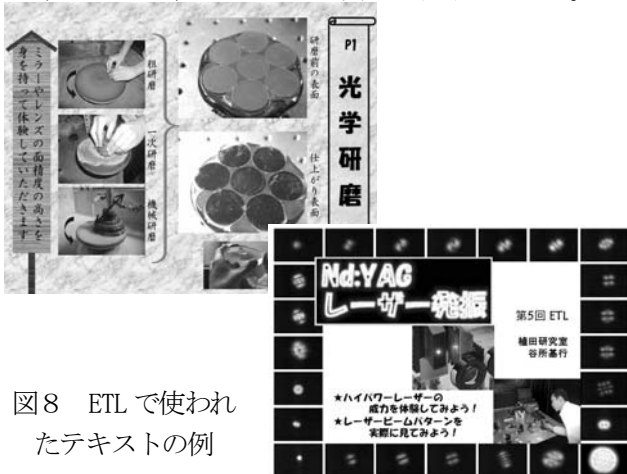


図8 ETL で使われたテキストの例

インストラクタの学生は、それぞれ自分の言葉でテキストを作ることを要求されている。図8はそのテキストの表紙の一例であるが、そのまま教科書として使えるレベルのもの、学生が教えるために、学生の疑問、失敗・誤解しそうな点をうまく押さえたテキストになっている。これらはこのプロジェクトの Web サイトから発信されており、誰でも閲覧することができる。

インストラクタの大学院生、学部受講生には、これまでも何回かアンケートと言う形でこのプログラムの自己評価につながる調査を行っている。典型的な例として、インストラクタに「ETL で自分が得たものは？」という質問をすると、以下のような回答分布になっている。人に教えることで、自分の知識がつくというこのプログラムの狙いがそのまま現れている。



図9 ETL でのインストラクタによるプログラム説明の様子

一方、受講生へのアンケートでは、「ETL 中の自分はどんな様子であったか」という問いに、以下のようなものが得られている。

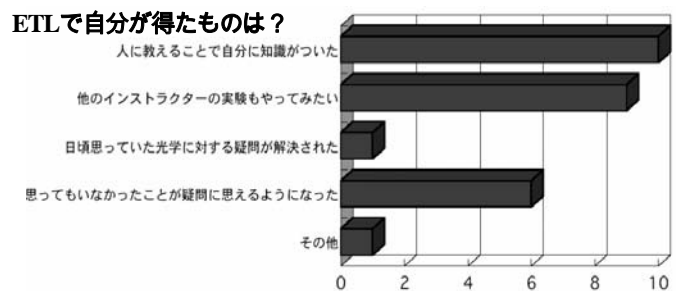


図10 インストラクタ学生へのアンケート例

よくやれたと思っている学生もいれば、もう少しできたのではないかと思っている学生も存在している。一般の学生実験とは違い、インストラクタへは、答えが決まったような、成果が毎回同じような、全員が同じ結果を得なければならないような実験を設定する必要はないし、求めない、という要請をしているため、グループ、個人により、実験の達成度はまちまちで、その後の学生間の情報交換により、「もう少しやれば」という思いが出ているものと考えている。

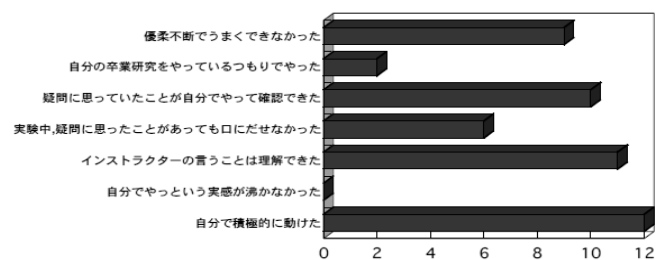


図11 受講生からのアンケートの回答分布例

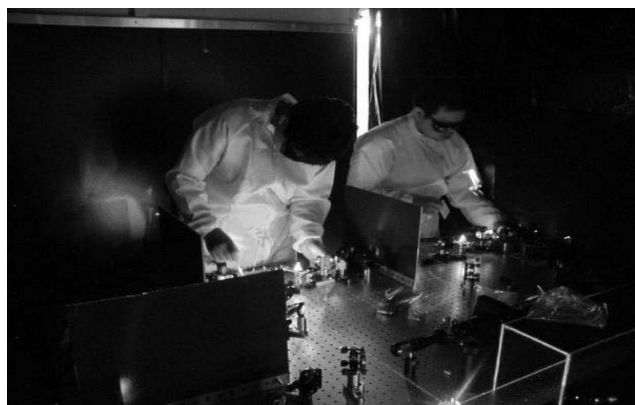


図1 2 ETL での発振実験の様子。1人1人が独立に発振にトライできる。

よりステップアップを目指したATLへ

2006年度は、学部学生に対して実施した実験プログラムをWebを通して企業に公開し、この中の希望実験プログラムへの社会人の参加(ATL)を試みた。この試みのねらいは、概要と特色の項に述べた通りである。これまでに、卒業生やETLが波及していった日本科学未来館の実験工房インストラクタを対象に、電通大にてETLを実施した経験はあった。しかし、一般の企業所属の技術者、社会人の受講を具体化する上で、考慮すべき現実的な問題点があった。たとえば、

- ・ 業務時間内に大学(院)を訪れての作業が可能か。
- ・ 逆に、業務時間外に大学(院)を訪れた場合の給与上の保証はどうか。
- ・ 大学(院)での作業時に事故があった場合の保険はどう扱うべきか。

等々。そこで、2006年度は、一つの光学機器メーカーに研修という形でのATL参加を提案し、それが認められ9人の受講者を得た。参加実験プログラムは、3) 基板加工、4) 液体レンズ、5) YAGレーザー発振、6) チタンサファイアレーザー発振であった。

この試行を行って、て認識されたことは、社会人の再教育プログラムとして、単に大学側が考えている、たとえば大学側が興味深いテーマとして用意することと、社会人側の要請とは、完全には合致せず、しかも、社会人には、様々な受講動機があることである。それらは、例えば、1) 自分の分野の技術研修は受けているが、別の最先端研究の研修も受けてみたい、2) 新しい分野へ展開することになったが、その基礎が欠けているので補いたい、3) 会社自体に研修システムが少ない、4) 部品を開発・製作しているが実使用の機会は少ない、5) 販売しているが、どのような分野でどのような実験に使われているかを具体的に知りたい。などである。

ATL 終了後にインストラクタ大学院生・受講社会人からアンケートの回答として得た感想を次に紹介する。

インストラクタ側の感想の例：

- 1) 学生とは全く違う視点からの質問、質問に関しては物理の概念よりも部分的な詳細な数値(波長別の発振効率、ミラーの面精度など)を聞かれることが多かった。
- 2) 企業の人達にとって有益になったかどうかはわからないが、少なくとも自分にとっては学生とは違う、製品を作っている人間の興味あるポイントを見せてもらい、新鮮であった。同時に今までのカリキュラムに拘らず、進め方を見直す必要もあると感じた。
- 3) 企業の中の状況を聞くことができたことがよかった。レンズ設計で使用しているソフトウェアについての情報や、レンズ検査基準について等の情報が逆に得られた。(このインストラクタは、液体レンズの実験で、自分で開発したレンズ光線追跡ソフトを使用して説明を行っていたので、どんな点を後注意すればいいのかということを議論によって見出したことになる。)
- 4) 回路設計や試作品を作っている方が受講生にいたので、実際の企業での現場の話などが聞けて勉強になった。

このように学部学生とは違い、相互に議論を進めながら、高いレベルで実験プログラムが進んでいること、学生にとっては社会人に教えるといういいハードルを利用できていることなどがわかる。

一方、受講社会人側のアンケート結果では以下のようになっている。

プログラムの難易度	難しい	やや難しい	丁度良い	やや簡単	簡単
	0	2/9	3/9	3/9	1/9
実験手法の難易度	難しい	やや難しい	丁度良い	やや簡単	簡単
	0	3/9	5/9	1/9	0
受講の有意義さ	多にあった	多少あった	どちらとも	そう無かった	あまり無かった
	4/9	3/9	0	2/9	0
インストラクタのレベル	十分高い	高い	妥当	そう高くない	あまり高くない
	4/9	4/9	0	1/9	0
参加したい実験	より先端的に	より基礎学問的に	より実製品に近く	より自社製品に近く	より新技術に関して
複数回答	1/9	1/9	2/9	2/9	7/9
受講時間	長過ぎる	長い	丁度良い	短い	短すぎる
	0	0	4/9	3/9	2/9
参加の動機	先端研究を知れる	仕事への応用、発展	基礎的知識の会得	情報収集	ここからできる
複数回答	1/9	4/9	3/9	2/9	5/9

図1 3 ATLの受講社会人からのアンケート回答

受講の高さなどをみても2極化しており、実験の機会を与えられただけでも十分という考えと、どうせなら最先端性の研究に近い内容にという期待される人とがいることがわかる。このあたりの要求を修正して次年度もATL

を推進していく。



図1 4 ETL-Web サイト

(2) 社会への情報提供

本プログラムの運営、最新の実験プログラム（年度ごとにテーマが変わるので、つねに新しいテーマを表示している）、インストラクタが作ったテキスト、実験の様子などは、すべて Web 上で公開されている。

すでに、紙ベースのテキスト配布が 96 年から、CD-ROM を含むデジタルテキスト配布が 99 年から行われており、それらはすべてアーカイブされており Web で閲覧することができる。このことは、本プログラムのように専攻横断型のスタイルや外部に社会人や他大学の受講生を持つ場合は必須であり、スケジュールの管理を含め、Web の活用がますます多くなっている。また、すでに、光科学の分野では、このプログラムが毎年運営されていることは周知であり、インターネットの検索エンジンで引いても参照できるほどである。また、すでにこのプログラムは日本科学未来館の実験工房プログラムのモデルにもなっており、社会から広く知られている。パンフレット等による啓蒙活動も行っており、多くの社会人技術者、研究者を受け入れたいと思っているので、更なる広報活動には力を注いでいる。

今年度の新しい試みも含め、電気通信大学紀要で「問題設定型光科学教育プロジェクト」という題で発表している。（電気通信大学紀要、19 巻 1 号 - 19 巻 2 号、2006 年 12 月 25 日、p.203-210 電気通信大学）また、大学広報の UEC ニュースにもインタビュー記事が掲載され一般に公表されることになっている。

4. 将来展望と課題

(1) 今後の課題と改善のための方策

ETL 自体に関する第一の課題は、常にかに学生のオ

リジナリティを引き出せるかにある。その意味で、教員は黒子に徹し、様々な例をぶつけながら、学生のオリジナリティ考案を待つ。しかし場合によって、オリジナリティを出せずに、ETL 自体を 1 年間で辞退する学生も出てくる。このような学生に対しては、単位獲得はできないのは当然であるが、それまでの試行、準備、考え方を見て、考えてきた分野の基礎技術などについて教員がガイドする形で講習を行わせたり、教員が発案する新たな実験演習プログラムの Teaching Assistant として活躍してもらうことにしている。このあたりのすみ分けが今後は問題となるであろう。

また、社会の状況や、専門分野の動向も知る必要があり、特に学外の研究所や企業などでの情報収集は、学生の実験技術のスキルを向上するのに役立つ。そのため、TA 経費などの支援を行って、積極的に情報を収集しに出向くことを推奨することになっている。

また、試行的に 1 年目に行ったが、学生に開発する実験のイメージをより明確にするために、中古機械、システムを大量に在庫している会社に出向き、その会社の協力のもとで、学生が自由に装置を動かしたり、試したりすることができる環境を与えたことがあった。これは、参加した学生のアンケートでも非常に好評で、形態は変わるかもしれないが、今後もこのような実験の具体的なイメージをつかませる努力は、オリジナルなアイデアを育てるとともに必要になってくるだろう。

ATL に関しては、社会人側が 2 極になっており、その中の先端性の教育、経験をこのプログラムに期待する部分は、本来の意味の大学院生側のオリジナルアイデアを育てることに対して隔たりがある。これらの問題に関しては、1) 現状の ETL とは並行して、教員側が同じ施設を利用して教えるプログラムを提供する。2) 博士後期課程の大学院生に、ETL より高度なプログラムを開発させる。3) ATL 開始前に、実験プログラム内容の詳細を伝えて、先方に合致しているかどうかをチェックする。

（現在では、1 テーマあたりタイトルと、その内容を意味する 1 ページのカタログのみを表示している。）4) インストラクタ大学院生に、企業・社会人側の要望を伝え、それを含んだ形で実験プログラムを変更/追加して行ってもら。などの方策が考えられる。この問題は、ケース・バイ・ケースであり、一般論として論じることはできない。担当大学院生、社会人側の状況・能力・要求を見ながら教員側が判断することになる。

その他の問題としては、学生のオリジナリティを評価

する際に、どのような基準で行うか?がある。現在は、提案時、ETLが始まる前、終了時の3回のミーティングと、プログラム内容を教員側(通常6~7人)が見て、評価を行っていると同時に、学生側にも他のプログラムの“点数”つけさせている。これは、受講する“学生”の立場に近い評価を考慮する試みであるが、現在までにこれら2つの評価はさほど違ってない。

また、学生が考えたオリジナルな実験内容を行うハードウェアは、一般的なものは、共通機器として用意されているが、新たな購入が必要になった場合に、どうするか?という問題もある。ETL自体は大学院イニシアティブの特別な予算なしで運営されてきた時の方が長く、それまでは、この問題に関しては、対応・協力する研究室・研究グループが、研究用の機器などを一時的に貸し出すことによって行われてきた。今後もこの基本的な姿勢をとるが、場合によってはATLで受講する企業側からの貸し出しの可能性も含め、検討をすることになる。事実、レーザーメーカーなどでは、デモ機の貸し出しが可能であるとの連絡を受けているところもある。

(2) 平成19年度以降の実施計画

ETL自体は、すでに10年もの間、自主的な努力のもとで行われてきたプログラムであり、その恒常的な運営は、何ら問題なく進行している。特に、平成19年度に行う実験プログラムについては、インストラクタ学生・実験内容も含め、ほぼ決定してきている。(すでにETL試行前ミーティングは今年度に入りすでに2日間の日程で行われた。)さらに、今年度、平成20年度に実験プログラムを実施する予定の新たなインストラクタ候補学生も入ってきており、研究室、グループを拡張しながらETLの運営自体は順調に進んでいる。大学側の支援として、これまで同様に、“教える”インストラクタ大学院生にはTA経費を補助することが認められている。また、現在、ETLレーザー実験室となっている部屋については、大学からオープンラボとして指定され、引き続き対価なしでの使用が認められ、本プログラムを行う場所の確保もできている。(一般のオープンラボではその使用料を求められる。)

ETLのプログラム自体は、その性質上、インストラクタの大学院生の興味に大きく依存する。このため、基本的な光学技術、レーザー技術などを、年によって受講生が受講できないことが出てくる。これに対し、教員、スタッフらがETLとは別に行う講習シリーズを用意することを考えている。すでに、昨年度も、光学系のクリーニングについて、光学メーカーOBであるレーザーセンター

技術補佐員による講習が行われた。(図15)今年、電子回路基板製作機、光学研磨技術について、得意とする大学院生、スタッフで講習を行う予定である。



図15 光学素子クリーニングの講習会

さらに、今年度、先端レーザー科学教育研究コンソーシアムとして、東大、慶応大、電通大の3校で共通の教育体制を考えるコンソーシアムが発足した。さらに、アジアンコアと呼ばれる、アジア国々のレーザー・光学技術教育プログラムも始まることになる。これらのプログラムにも、このETLをベースとした問題設定型光科学教育プログラムは展開が可能であり、今後、具体的な応用について議論・試行を行っていく。

「魅力ある大学院教育」イニシアティブ委員会における事後評価結果

【総合評価】
<ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> 目的は十分に達成された<input type="checkbox"/> 目的はほぼ達成された<input type="checkbox"/> 目的はある程度達成された<input type="checkbox"/> 目的は十分には達成されていない
<p>〔実施（達成）状況に関するコメント〕</p> <p>大学院生を、自分の研究を基礎にして学部学生の教育に積極的に関与させ、自ら「教える」ことを経験させることを目的とするインストラクター制度により、学生の主体性を引き出す教育についてひとつの形を提案し、十分な成果を上げていることは高く評価できる。新しいティーチングアシスタントのモデルとして注目に値する。</p> <p>また、Web 公開はもとより、大学の紀要や広報媒体にも記事を掲載するなど、広報にも積極的である。</p> <p>大学院の「教育面」では大きな効果があり、大学院教育の実質化に十分貢献していると考えられるが、「研究面」でのオリジナリティの育成に、今後、更なる検討を加えた上で、教育プログラムが展開されることを期待する。</p>
<p>（優れた点）</p> <ul style="list-style-type: none">・ 研究分野外の者に対し、自らの研究の基礎を「教える」ための実験プログラムの開発を通じ、自ら課題を設定し、解決していくための学生の主体性を引き出す教育における工夫等については、ひとつの形を示し、挑戦した姿勢は評価できる。・ 本取組の中心をなす創造力開発実験プログラム(ETL:Elementary Teaching Laboratory)は10年以上の実績があり、今後の具体的な計画も示されている。
<p>（改善を要する点）</p> <ul style="list-style-type: none">・ 大学院の「教育面」では効果があると考えられるが、「研究面」でのオリジナリティの育成に繋がるかは不明な点もあるため、研究面での活動との整合を時間配分も含めて検討する必要がある。