

## 組織的な大学院教育改革推進プログラム 平成19年度採択プログラム 事業結果報告書

教育プログラムの名称	： 実践的テクノロジスト育成プログラム（危機・限界体験実験プログラム）
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
取組代表者名	： 米田 仁紀
キーワード	： 応用光学・量子光工学、原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ、 応用物理学一般、電子デバイス・電子機器、工学基礎

## I. 研究科・専攻の概要・目的

本学は、人類の持続的発展に貢献する知と技の創造と実践を目指し、1. 万人のための先端科学技術の教育研究、2. 自ら情報発信する国際的研究者・技術者の育成、3. 時代を切り拓く科学技術に関する創造的活動と、その実践を通しての社会との連携、といった三つの理念を掲げている。この理念の下、学則91条にて電気通信学研究科の目的を以下のように定めている。

- ・総合的理工学領域における真理の探求による新しい学問の創造と、その体系化に寄与する教育と研究を行うことにより、以下の知識・能力を身に付けた人材を養成する。

- ・博士前期課程においては、専門領域分野に関する系統的専門知識を有し、産業界における中核的役割を担う人材

- ・博士後期課程においては、研究テーマ領域に関する非常に高度な知識と創造性を有し、我が国の研究開発の先導的役割を果たすべき人材。

本研究科は、通信、情報、電子、機械、物理・化学、システム、コミュニケーション科学等の専門領域に関して非常に高度な知識と創造性を有し、我が国の研究開発の先導的役割を果たす高度専門技術者・研究者を養成する。また、専門領域における知識のみならず、実践力を高めることや、国際展開にともなう異文化理解、社会科学的視点、技術者倫理なども重視している。

各専攻で習得目標としている知識・技能は、以下の通りである。

- ・電子工学専攻：物理学の基礎に立つ電子および光機能デバイス・回路から電子制御、情報通信処理システムの基盤に至る、ハードとソフトの融合した幅広い分野で国際的に活躍する研究者・技術者を養成

- ・量子・物質工学専攻：量子デバイス、新素材、バイオ技術の根幹を成す物理、化学、生物の諸分野の基礎から応用までの知識・技能を身に付け、研究開発現場で指導的役割を担う技術者・研究者の養成

- ・情報通信工学専攻：情報通信に関わる諸分野における基礎から応用にわたる幅広い知識・技能を身に付け、国際的に活躍することのできる実力を備えた研究者・開発技術者・運用技術者を養成

また、平成15年度より21世紀COEプログラム「コヒーレント光科学の展開」が開始されたことに際し、電子工学、量子・物質工学、情報通信工学専攻すべての分野を融合した光科学の教育が必要だと考え、専攻横断型の光コースを設置して、光科学の基礎から応用までの基盤と柔軟な対応力を持つ研究者を育成している。一方、平成8年度より、本学レーザーセンターを中心に大学院生自らが開発した実験を使って学部生に教える創造力開発実験プログラム：Elementary Teaching Laboratory (ETL) という新しい教育プログラムを実践してきた。このプログラムは平成17-18年「魅力ある大学院教育」イニシアティブ「問題設定型光科学教育プロジェクト」に採用され、大学院生の科学研究に対してのオリジナリティを啓発させる教育プログラムとして、上記3専攻の共通科目として正式に単位化されている。

研究科の教員数は、電子工学専攻48名、量子・物質工学専攻52名、情報通信工学専攻40名、学生数は、それぞれ博士前期課程82、50、68名、博士後期課程21、9、15名である。

## II. 教育プログラムの概要と特色

近年、大学・大学院での最先端の研究で用いるハードウェアには、ブラックボックス的な装置が多くなってきた。部品から組み立てるのではなく、あらかじめ完成された製品や実験道具を使用し、あまつさえそれらにはユーザーの操作に対しての fail safe までつけられている。事故を防ぐために、様々な安全性が大学で検討されていることもあり、この結果、いわゆる「事故」についての経験や体験をつめないまま、学生たちが技術者、研究者として、大学・大学院から一般社会に巣立つようになってきている。もちろん、教育・研究上、「事故」はあってはならないものであり、無事故で全てを過ごせばそれに超したことはない。しかし、高度なテクノロジストを育成する理工系の大学・大学院における教育では、“危ないこと”や“限界点”を教えることは重要な要素である。しかし、どこまでが安全で、どこからが危険か、また事故につながる予兆がどこに現れるかといったことを、テキストや講義のみを通じて学生に実感として認識させることは大変困難だ。身を以って体験した人間と、話や本から得た“知識”だけの人間とでは、おのずから**危機・限界**に対する認識が違って来るからだ。さらに、Fail を超えた後にどのような現象が起きるのかについての知識や経験がなければ、真の意味で**限界**に挑戦した物を作り上げることはできないし、研究開発のリーダーシップとして**危機**に関する十分な認識なしでは、他人をガイドすることに責任すら取れない。そこで、本プログラムでは将来、大学院を出て高度な専門技術者としてわが国を支える大学院生に、意図的に「**限界**」越えを体験し実験的に観測することで、**危機**を実感させることを目指している。

この教育法の発想は、日頃、教育・研究上で起きる学生の未経験から来る様々なミスや誤解を目にして来た中で生まれた。平成 17-18 年度「魅力ある大学院教育」イニシアティブで採択された「問題設定型光科学教育プロジェクト」では、大学院生が自ら開発した実験プログラムを学部学生に教え、一方、大学院生自身も自らが学部学生に教えられるようになるために学ぶという Elementary Teaching Laboratory (ETL) という博士前期課程の教育プログラムを充実させてきた。最先端の研究においても、いくつもの「失敗」の積み重ねを反面教師として、最終的な研究成果に到達しえたものも多い。失敗例についての情報は、研究者間の議論の中では頻繁に交換されているが、大学からの情報発信としてはほとんど行われていない。また、このような**危機・限界**例、失敗例を大学院生に経験させることの重要性を認識していても、実際の研究の進展を考えるとなかなかできない。そこで、本プログラムでは、大学院生にこのような**危機・限界**実験、いわゆる「意味ある失敗」を実験として経験させ、それについて議論、考察を行わせることで、実践的な教育を行うことを目的とする。

本プログラムでは、まず光科学およびレーザーを中心とする分野の教育プログラムを完成させた。レーザーは、現代科学技術の様々な分野に利用され、急速に発展している。しかし、材料科学などの材料の破壊・欠陥知識などに比べて、光科学およびレーザー分野での**危機・限界**知識はまだまだ少ない。**限界**を超えた現象や破壊過程もシステムティックな事例の収集は不十分で、教育となるとさらに不足している。大学院を出て光科学およびレーザーを利用した先端的な研究や技術開発に携わる上で、これらの技術に内包される機械要素、電気要素、電子要素、光学要素と言った幅広い基礎技術の観点からの「**危機・限界**」および「失敗」経験が必要になってくる。

以上に基づき、本プログラムでは、21 世紀 COE プログラムのもとで本学電気通信学研究所に設けられた電子工学、量子・物質工学、情報通信工学の 3 専攻横断的なコヒーレント光科学コース(以下:光コースと呼ぶ)を母体として、それぞれの専攻の教員が自らの専門とする分野の「**危機・限界**」について幅広い対象と事象の**危機・限界**体験をさせる実験プログラムを作成する。(図1参照) これに加え、「**危機・限界**」にいたるまでの機構の観測測定技術に対する実習と講義、多くの事例の原因を分析することで、共通の要因・作用を理解させる講義、fail のきっかけとなる事象の同定、さらにはその予測までも視野に入れる教育を、大学院生に対して行う。

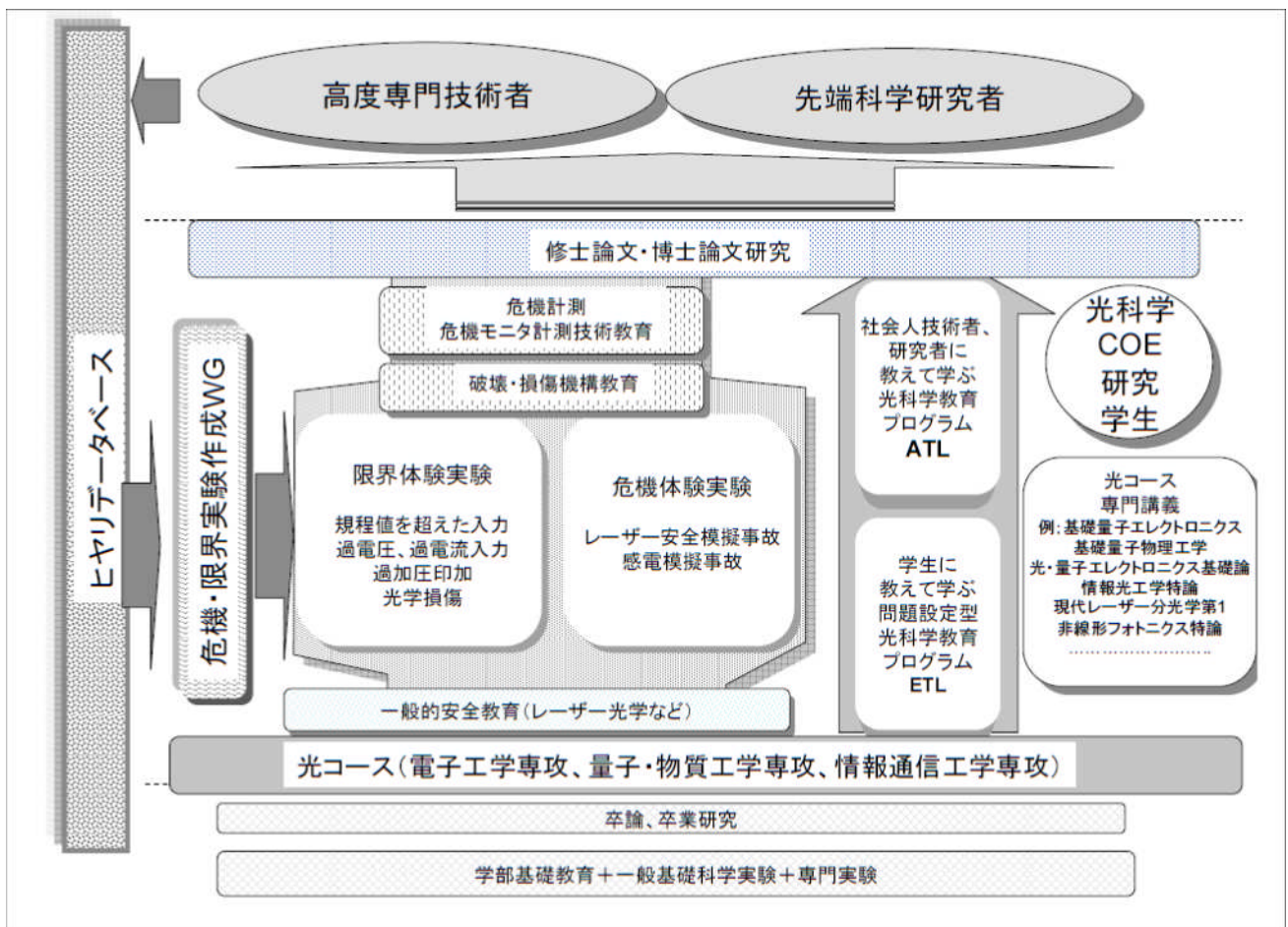


図1 専攻横断型の光コースの上で行われる実践的テクノロジスト育成プログラム

### Ⅲ. 教育プログラムの実施結果

#### 1. 教育プログラムの実施による大学院教育の改善・充実について

(1) 教育プログラムの実施計画が着実に実施され、大学院教育の改善・充実に貢献したか  
本事業における新しい改革ポイントは以下の三つである。

- (a) 危機・限界体験実験プログラムの開発: 危機を体験できるような実験や、実際にものが破壊させるような実験教育は、大学院に限らず大学では国内外を通じて行われていなかった。これらを、システムティックな教育プログラムとするために、受講生が、電界破壊、電流破壊、圧力破壊、静電気破壊、光強度による破壊など多様な破壊現象を体験できるプログラムを作成した。また、危機体験としては、感電事故、レーザー(疑似)目視事故、液体酸素発火を体験するプログラムを作成した。
- (b) 危機・限界を観測・予測するための技術習得: 表面状態に影響されないモワレ縞投影観測による変形のリアルモニター化、多点観測を短時間で作る計測システム製作研修、赤外カメラを使った限界モニタ法を行う実験プログラムを作成した。これと並行して、最近の計測装置や研究装置のブラックボックス化から脱却するために、ターボ分子ポンプ、回転ポンプ、カメラ、時計、スキャナ、ビデオデッキなどを分解し、再度組み上げ直素ことを通じて中身の詳細や、製品内部にある組み立ての巧妙さを理解させるプログラムを作成した。破壊現象に関しては、立方体箱をろう付けにより自作させ、そこに圧力をかけることで、自作部分のどこが破壊に至っているのか、どのように補修すると強度が増すのかを学ばせるプログラムを作成した。さらに、破壊・限界・突発現象をマイク

ロ台まで分解できる高速度カメラを用いて観測し、その場でその現象に含まれる要素過程を説明していく教育プログラムを作成した。

- (c) 危機・限界事例の原因追求: 共通の要因や作用に対してクラスわけし、事例の原因追及のディスカッションを実施した。また、事例を理解させる講義として、実際に社会において事故調査などを行っている方に講師をお願いした。具体的な例として、電気学会倫理委員会が最近にまとめた教本をもとに、鉄道事故を例にあげて学生間で考えさせ、グループ討論を行った。

以上のように、新しい教育手法およびそれに必要とされる実験プログラムを、試行を重ねながら実際の専門科目として運営していくところまで作り上げることができたという意味で、成功したと思われる。これらの試みや実際のプログラムについては、すでに学会講演や学会誌などで発表しており、高い関心を呼んでいる。危機・限界の持つ恐さ、危なさを学生に真に感じさせつつ、このプログラムを継続的に続けていくためには、今後も新たな危機・限界体験実験を増やしていき、教える側および教わる側の双方が新鮮味を失わないようにすることが重要だと思われる。

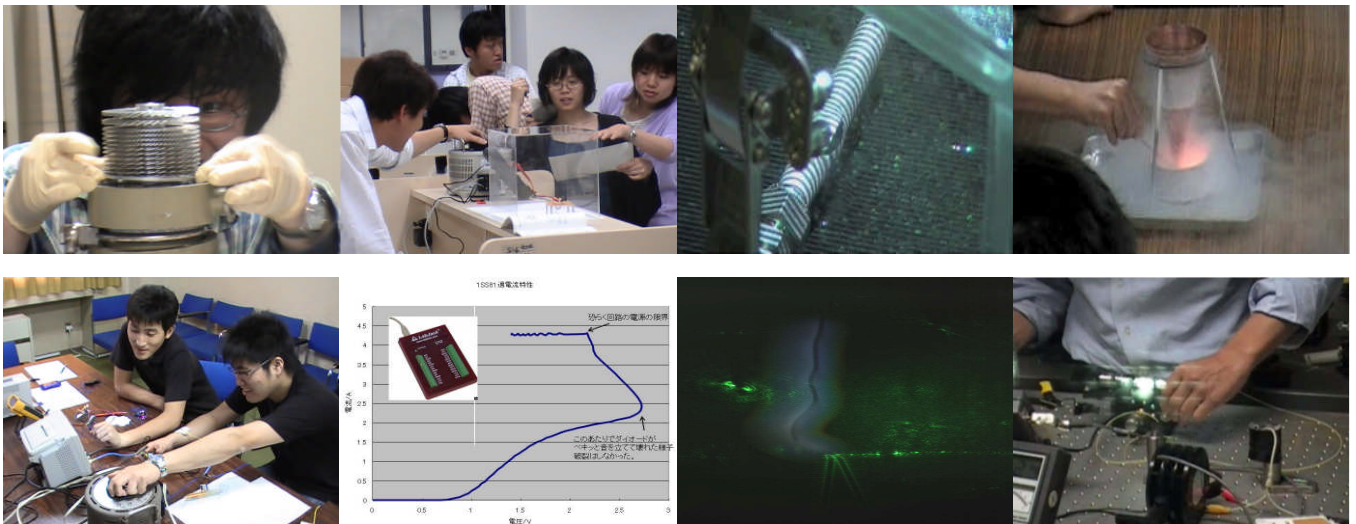


図2 危機・限界体験特別実験の様子。上段左から、分解・組み立て、コンデンサ破壊、チューブ破壊、液体酸素発火実験、下段左から、感電実験、LabView を使ったモニタ構築、高速度カメラによる破壊のダイナミクス、高出力レーザーによるファイバーヒューズ実験

## 2. 教育プログラムの成果について

### (1) 教育プログラムの実施により成果が得られたか

本事業となるプログラムにより、本学の専門科目として「危機・限界体験特別実験」という科目を設置することができた。この科目における修了条件として、最低10種類の危機・限界体験実験と、数回の安全講習、危機・限界体験特別講義の受講が挙げられている。1回あたり4時間にも及ぶ実験が多くあることにもかかわらず、2008年度入学12名、2009年度28名、2010年度入学35名と、多くの受講生が申し込む科目となった。この体験実験の重要性およびその価値を学生たちが認めていることがわかる。また、東京大学、慶應大学とともにやっているCORALプログラムにおいても、本事業で開発された出張実験を要望されたため2009年から始めている。このほかにも、大学や学会などから要望されて、講演・出張実験・レビュー記事の執筆を行った。これらを通じて、対外的にこの危機・限界を通しての教育プログラムをアピールすることができた。

これらの成果をもとに、申請代表者が2008年度「ナイスステップな研究者」に選ばれた。この受賞記

念シンポジウムにおいても、特例として「模擬実験」を依頼され、一般へのアピールも行った。

この危機・限界体験実験（特に危機体験）において、レーザーの直視についての問題が非常に困難な課題であった。たとえば、感電は実体験させても致命的な障害を引き起こすといった可能性はないが、レーザーの直視事故は、実際に起こってしまったら回復ができない。しかし、このプログラムの本質は、「本物の危機を体験すること」にある。したがって、この問題を解決するため、特殊な直視模擬が可能なヘッドマウントゴーグルを開発した。このゴーグルには、目線上に付けられた CCD カメラにより、視野と透過のイメージをヘッドマウントディスプレイで見ることができる。また、このゴーグルの脱落を安全スイッチが検出しワイヤレスでレーザー側に瞬時に伝わってセーフティスイッチが落ちる設計がなされている。これにより、通常教育現場では使用させることがほとんど不可能な産業界レベルの出力を持つレーザー（400W）を用いた体験実習型のプログラムが可能になった。このような安全機器の開発も本事業を行った成果である。

### 3. 今後の教育プログラムの改善・充実のための方策と具体的な計画

- (1) 実施状況・成果を踏まえた今後の課題が把握され、改善・充実のための方策や支援期間終了後の具体的な計画が示されているか

本事業で作られた大学院専門科目「危機・限界体験特別実験」は、平成21年度に本学が改組を行い専攻の組み合わせが変わった後も、専攻横断型の科目として継続されている。現在大学側から、オープンラボと呼ばれるスペースの提供、特別講師招聘（危機・限界特別実験では、社会での危険・事故・安全に対する考え方を学生に伝えるために、外部の専門とされる方に講師を年1回程度お願いしている。）にともなう旅費、講師料、実験遂行のための消耗品、継続的な危機・限界実験の開発のための基盤整備などの費用の支援を得ている。

そもそもこの事業は、大学院に新しい科目を設立し、継続的に運用できるようにするための準備を行ってきたので、危機・限界実験運用にともなう壊れたものの補てん、消耗品などは、事業期間中に十分整備できている。また、実験装置のブラックボックス化からの回避を目的とした「分解・組み立て実験」などに対しては、通常の研究で消耗されたり交換されたりした機器など、まさに研究現場で使用されていたものが、このプログラムに降りてくる仕組みとなっており、継続的な運用が可能となるシステムを構築している。

### 4. 社会への情報提供

- (1) 教育プログラムの内容、経過、成果等が大学のホームページ・刊行物・カンファレンスなどを通じて多様な方法により積極的に公表されたか

本事業の成果は、いくつかの形で公開されている。

- (1) 2008年文部科学省政策研ナイスステップ研究者受賞とそのシンポジウムにおける講演事業取り組み代表者である米田はこのプログラムによって、2008年「ナイスステップ研究者人材育成部門」受賞者に選ばれた。受賞内容については新聞、文部科学省 Web サイトなどでも公表された。また、受賞記念シンポジウムにおいて、デモ実験を行い、一般の参加者へのこのような教育スタイルの提案をアピールした。
- (2) 学会誌への掲載：新しい光科学における教育プログラムとして、2008年レーザー学会の学会誌「レーザー研究」に掲載された。Hitoki Yoneda, Education Program of Optical Science in

University of Electro-Communications, Rev. Laser Eng., , vol. 36 Issue 3, pp.152-157 (2008).

- (3) 学会での講演：日本物理学会 2009 年秋の分科会、物理教育領域で「危機・限界体験実験による大学院教育」米田仁紀、鈴木勝、島田宏、宮本洋子の講演をおこなった。また、2010 年第 57 回応用物理学関係連合講演会シンポジウム「光科学技術における人材育成」において、米田が「実践的テクノロジスト育成プログラム」という題目で依頼され講演を行っている。さらにこの事業のために、開発された可視化装置に関しては、別途、日本光学会 Optics and Photonics Japan 2009 において、宮本洋子、和田篤、飯塚拓郎、鈴木智也、中山智章、青木俊介、尾崎雄亮、鳥生太雅、西野哲朗、武田光夫：「グラフィックプロセッサとマルチコアプロセッサの併用によるリアルタイム 3 次元形状計測」として発表している。
- (4) 物理教育の部門へのアピール：2010 年 2 月に新潟大で行われた「理科教育力の向上を目指して」というシンポジウムにおいて鈴木が「危機・限界体験実験による工学教育」という題目で依頼され講演を行っている。
- (5) Web での公開：開発された新しい教育プログラムの様子は、本事業で開設した web ページにおいて、実験の様子を示す動画を含むものが公開されている。

([http://gt\\_ils.ils.uec.ac.jp/HyLab/GenkaiT](http://gt_ils.ils.uec.ac.jp/HyLab/GenkaiT))

## 5. 大学院教育へ果たした役割及び波及効果と大学による自主的・恒常的な展開

### (1) 当該大学や今後の我が国の大学院教育へ果たした役割及び期待された波及効果が得られたか

本事業の根幹は、「失敗事例を学生に体験させることで教育する」「実際に、危険を体験させることで危険を認識させる」「装置、素子を壊すまで動作させて、その限界を知り、壊れ方を見る」というものである。これらはすべて、これまでの「成功事例を示す大学教育、大学院教育」と全く反対向きのものであり、ユニークさを誇っている。アメリカの大学においてこのプログラムのポリシーや実態を企業の技術者・研究者に説明した時のレスポンスから見ても、多くの興味と重要性を認識してもらえたことから、新しく、革新的なものであることに間違いは無いようである。特に、アメリカの大学や研究所においては、セーフティ問題は絶対で、逆に危ないことは一切起こさない運営体制になっているため、このような危機・限界を体験させる教育が我が国に浸透すれば、絶対的な優位を学生に持たせることができると考えている。

このプログラムで懸念されたことは、「安全に迫力ある危機・限界体験実験ができるか?」「受講学生にあらかじめどうなるかということが情報として伝わってしまい、飽きられないか?」「ある程度の科学・技術範囲を網羅したプログラムとして作り上げられるか?」であった。結果として大学院の専門科目に値する 15 余りの危機・限界体験実験を開発できたことは、このような教育が可能なことを我が国も大学に向けて発信したことになり、その意味で、大きな波及効果が期待できるものと考えている。実際に、学会等で講演を行っても、「どのくらいの費用でこれはできるのか?」とか、「他大学に貸し出してやってもらうことは可能か?」と言った質問、依頼が来ると同時に、企業の研究者・技術者からは、企業内ではありえないことなのでぜひ参加させて欲しい、と言ったコメントが寄せられている。

また、前述したレーザー直視模擬実験では、新しくヘッドマウントディスプレイを駆使したビューアーを開発している。これは、受講生にレーザー目視の危険を体験させる目的で開発してきたが、逆に、レーザー直視事故の本当の危険を避けるためにはどうすればいいかを、光学メーカーと議論することになった。これは、「レーザーをあまり扱ったことがない学生にも、レーザーの怖さを体験させる」ために、突拍子

もない行動、アクシデントにも安全であり、かつ直視実験ができることを考えた中で出てきたものである。結論として、すべての参加者のゴーグルに安全装置が直列に付き、それをワイヤレスでレーザーのセーフティスイッチにつなげるという画期的なシステムが出来上がった。これは、今後、キロワットレベルのレーザーの従事が増える産業の中で大きな安全を生み出すことになる。このような開発も本事業のアウトプットとして生まれてきている。

(2) 当該教育プログラムの支援期間終了後の、大学による自主的・恒常的な展開のための措置が示されているか

前述のように、この事業で開発された本学の大学院専門科目「危機・限界体験特別実験」は、21年度改組された専攻においても専攻横断型で学内のどの研究科からも受講可能な専門科目として位置づけられている。この継続に対して、大学側からは、

- (1) 実施場所として、大学内にプロジェクト研究用に用意されているオープンラボ室(70m<sup>2</sup>強)をこのプログラム用に継続して使用できるようにした。
- (2) このプログラムが継続するために、招聘講師旅費、講師謝金、さらなる実験開発のための費用、継続的に実験を行うための消耗品費を大学側より補助することになった。

の2点の措置がなされた。これらにより、継続的にこのプログラムが本学内で続けられ、その様子は順次webサイトを通して発信されることになる。

## 組織的な大学院教育改革推進プログラム委員会における評価

## 【総合評価】

- 目的は十分に達成された
- 目的はほぼ達成された
- 目的はある程度達成された
- 目的はあまり達成されていない

## 〔実施（達成）状況に関するコメント〕

「危機・限界体験実験の実施による実践的テクノロジストを育成する」という意欲的な教育プログラムの目的に沿って、危機・限界体験実験プログラムの開発および専攻横断型カリキュラムとしての設定などの計画が着実に実施され、大学院教育の改善・充実に貢献している。特に、教育プログラムの成果については、大学院教育ではこれまで例のない危機・限界の教育を先導した形で実践している点、現実の社会での事故事例の学習の機会（外部講師による講演）を設けている点および体験実験に相当数の大学院生が参加している点は高く評価できる。

今後の取組については、概ね検討されている点は評価できるが、本プログラムの学内での位置づけを明確にし、全学的に広めることで、更なる発展が期待される。情報公開については、ホームページの開設、学会における大学院生の積極的な講演発表等により広く社会へ公表されており、その波及効果も大である。

支援期間終了後も、大学による予算面のバックアップ体制が整えられており、プログラムの自主的・恒常的な展開の観点からも評価できる。

## （優れた点）

危機・限界・失敗を、身を持って体験することで真の意味の限界に挑戦できる能力を身につけさせるという目的を具現化するために、他の大学では組織的な試みがほとんどなされていない「危機・限界体験実験」プログラムを構築し実施した点は高く評価できる。また、大学院教育の改善・充実に貢献しており、その波及効果も大きい。

## （改善を要する点）

他の科目を含めたプログラムの体系化の検討を行い、大学院の科目の中で、本プログラムがどのように位置づけされるかをより認識した形で大学院生が受講し、危機・限界事象のメカニズムをさらに掘り下げて議論できるようなプログラムに発展させることが望まれる。