

## 光技術者育成に関する現状考察

藤本 靖<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>千葉工業大学(〒 275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)

<sup>2</sup>大阪大学レーザー科学研究所(〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-6)

### Examination on Current Situation in Training Optical Engineers

Yasushi FUJIMOTO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino, Chiba, 275-0016

<sup>2</sup>Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6 Yamada-oka, Suita, Osaka 565-0871

(Received April 1, 2021)

This paper aims to understand the current situation of the training of optical engineers necessary for the development of advanced optical research and industry, and to propose solutions. Firstly, the current situation of efforts in the United States was investigated based on presentations at ETOP 2019. We also investigated the current situation of the supply-demand balance of optical engineers based on a survey of efforts to train optical engineers in Japan and the results of a questionnaire at the “Science Photonics Fair 2019”. The questionnaire survey said the same shortage feeling of domestic optical engineers as the United States, and it was understood that the technical level for the shortage feeling of domestic optical engineers was well consistent with the technology transfer stage indicated by AIST’s technology readiness levels. Based on these current situations, the education system, securing human resources, and maintaining employment were discussed.

**Key Words:** Optical education, Shortage of optical engineers, Training optical engineers, Technology readiness levels

#### 1. はじめに

光技術は身近には光通信や DVD, ディスプレイ, バーコードをはじめ, 先進的な加工, 計測, 医療などの分野で産業応用, 研究に利用されている。これら光技術の発展には 1960 年にメイマン(T. H. Maiman)により発明されたレーザーが大きな役割を果たしている。レーザーの発明以来, 光・レーザー技術は日進月歩で発展し, 常に新しい技術が生まれ, それに伴い, 光技術は様々な分野に浸透し利用されている。また, 光に関する国際学会(CLEO Europe)を例に, Conference proceeding の presentation file から国名をキーワードとして発表件数を調べてみると次の様になる。

##### 1) CLEO Europe 2019(総数 2000 件)

発表件数: 米国 194 件, 中国 119 件, 日本 115 件

##### 2) CLEO Europe 2021(総数 1455 件)

発表件数: 米国 162 件, 中国 75 件, 日本 82 件

以上の様に, 日本の大学等研究機関における光研究は非常に活発であり世界をリードする研究も多いと言える。

一方で, 光技術者不足について良く聞く事がある。国内産業における人手不足については有効求人倍率を基に議論されることがあり, 厚生労働省が公開している一般

職業紹介状況<sup>1)</sup>の開発技術者における有効求人倍率の年推移を見ると, 2012 年から 2021 年における有効求人倍率は常に 1 を越えており, 開発技術者における人手不足が理解される。この統計は光技術者の不足を直接示しているものではないが, 私の光研究者としての実感とも一致している。

一般に, 技術水準の評価に技術成熟度(Technology readiness levels: TRL)が用いられている。技術成熟度は 1974 年, NASA により提唱され, 当初は 7 段階であったが, 現在では 9 段階に拡充され<sup>1,2)</sup>, 様々な分野へ広く普及している<sup>3-5)</sup>。例えば, 日本では宇宙航空研究開発機構が宇宙技術の成熟度の尺度として<sup>4)</sup>, また, 産業総合技術研究所(産総研: AIST)が先端技術の「橋渡し」の尺度として利用している<sup>5)</sup>。Fig. 1 に TRL の指標を基に光技術シーズとニーズ及び, 教育レベル(Educational grade: 第 3 章にて後述)の関係を示す。例えば, 先端光科学を研究する大学等の研究機関はそれぞれが持つシーズを社会の持つデマンドに合わせて応用したいと思うが, 多くの場合はシーズ候補の研究テーマを複数抱えており, 時間的にも人的にもその様な余裕がないのが実情である。一方で, 当然のことであるが, シーズ開発側が常識と考えている基礎物理等の知識をニーズ側が持たない場合も

<sup>1)</sup> 厚生労働省発表, 職業安定業務統計一般職業紹介状況より (<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/114-1b.html>)

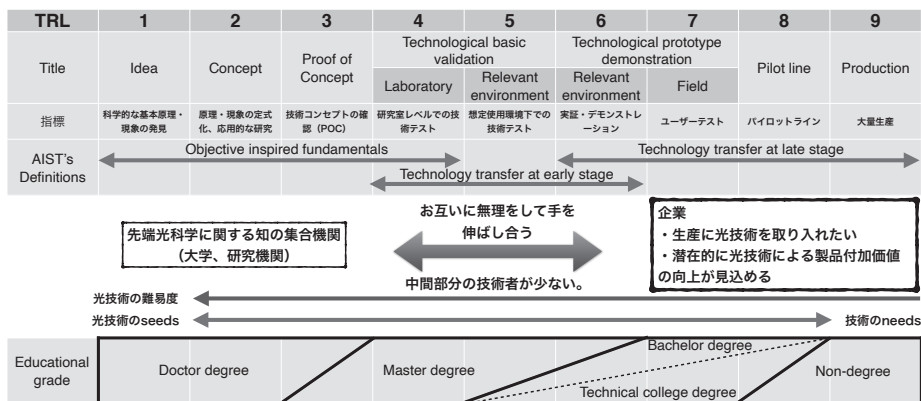


Fig. 1 Technology Readiness Levels (TRL) applied to educational grade and relation between seeds and needs in optical technology

少なくない。つまり、スマートフォンを使うのに電子技術の知識が必要無いのと同じである。この場合、社会のデマンドを解決する優れたシーズがあっても意思疎通がお互いに思った通りには行かず、もしお互いのデマンドを結びつけようとする場合、かなり無理をして協力し合うことになる。この時、中間層を形成する十分な数の光技術者がいれば、このような問題生じないと考えられるが、実体から考えると Fig. 1 に示すような中間層の光技術者の絶対数が少ない事が考えられる。この点において、産総研は光技術に限らず様々な産業分野における先端技術の「橋渡し」の仕組みを提案しており<sup>5)</sup>、その手法に習えば効果的な「橋渡し」が可能と考えられるが、その実働全てまでを産総研がカバーするのは土台無理な話であり、やはり中間層を形成する十分な光技術者の存在は必須であり、その育成のシステムを検討する事は重要と考えられる。

本論文は、日本の先端光研究と産業界を繋ぎ、光技術を発展させるために必要な光技術者の育成について現状を把握し、解決策の提案をする事が目的である。本章で現状の問題点を明確にした上で、第2章において、光技術者を取り巻く環境について、2019年5月にCanada, Québecにて開催されたETOP2019(Education and Training in Optics and Photonics 2019: OSA)での講演を基に米国での取り組みの現状を、そして、日本国内における光技術者育成に関連する取り組みについての現状調査を示す。次に第3章で、光技術者に関する現状把握のために「光とレーザーの科学技術フェア2019」で行ったアンケート調査の結果を紹介し、現状の分析を行う。最後に第4章において光技術者育成の促進について考察する。

## 2. 光技術者を取り巻く環境

### 2.1 ETOP2019でのトピック<sup>6)</sup>

ETOP2019にて“Your precious engineers will be increasingly disabled by a shortage of optics technicians. What can be done?”というややショッキングなタイトルにて光技術者不足の問題とその解決に関する取り組みが招待講演にて報告された。講演者の所属するMonroe Community College(MCC)はNew York州Rochesterにある。MCCは

米国初の光業界で働く技術者を教育する短大である。New York州のFinger Lakes Area(北部)では、年間の光技術者需要は実に574名ある。しかしながら、その需要に対し、MCCからは12名(需要の2%)の卒業生を供給するに止まる。また、今後経験豊富な技術者の20%が退職に近づいているという業界レポートがあり、光技術者の必要性は膨大である。また、ドイツの中小企業1700社を対象とした調査では、その約3/4が熟練労働者不足のため、十分な開発が出来ないと回答しているとの報告もあり、光技術者不足は日本だけの問題ではないと言える。

では、別の手法で光技術者を供給する必要があるが、どの様に解決しているかを以下に紹介する。

#### 1) 社内トレーニング

Optimax Systems Inc. は、アーティスト、ミュージシャン、ゲーマー、シェフ、自動車整備士と言った手先が起用と考えられる人を雇い社内トレーニングを施している。

#### 2) Technician Pipeline Program

Corning Inc. はMCCと共同でTechnician Pipeline Programを開始している。このプログラムにはMMCでの2年間の奨学金、プログラム中の職業紹介、プログラム中のフルタイムの給与、プログラムの完了までにCorning Inc.においてフルタイム技術者任務への転換等が含まれている。

#### 3) Apprenticeship

New York州はPrecision Optics Manufacturing Technician Apprenticeshipという光技術者の見習い訓練プログラムがある。登録された見習いは6000時間の実地経験と、年間144時間の関連指導が必要であり、光技術関連会社での実地経験とMCCでの技術コースを受講する事により指導要件を満たすようになっている。このような見習い訓練は労働者が企業で必要な知識を有する事を保証できるため、幾つかの企業で見習いプログラムが設立されている。

#### 4) 光学に関する高大連携(OPT IN!)

日本で言うところの高大連携に相当する取り組みであるOPT IN!(Optics & Photonics Technology INnovation)がMCCにて2017年4月スタートしている。高校生への教育は近隣の11校で進められている。光学に限定してい

る点で光技術者不足への対応が期待できる。

#### a) 精密光学二重登録コース設立

光学に関し、専用のカリキュラムにより高校生が高校とMCCの両方のコースを取得できるシステム。資格のある高校の理科教師が高校のMCC入門コースを高校生に教え、その高校教員の専門能力開発をMCCが提供する。

#### b) 4年制大学との単位互換

スムーズな4年生大学カリキュラムへの移行が可能。(Rochester Institute of Technology's Imaging Science BS degree, University of Rochester's Institute of Optics)

以上の様に、米国では光技術者の育成において個別の取り組みはもちろんのこと、光産業界、大学、高校と公的サポートが一体となった仕組みの構築を進めている。

1)~4)に挙げた全ては光技術者輩出を目的とした教育システムに関するものであるが、1)~3)は光技術者育成とその雇用をセットにしており、光技術者の卵がその学習をする意義を明確にしている。また、同論文にはリソースの増大を目的とし、女性、退役軍人、アフリカ系米国人、ラテン系米国人、低所得者等、歴史的に過小評価された集団を対象とした募集及び支援活動の有用性が議論されている。この様に、米国のシステムを見たときに教育システム、人材リソースの確保、雇用の維持が重要なポイントとして考慮されていることが推察できる。

### 2.2 日本国内での取り組み

日本の大学における光学教育は電気電子工学科、物理学科及びそれに関連する学科の教員が担っている場合が多い。一方で、少ないながらも光学技術教育を目的とする学科を持つ大学もある。以下に、光技術教育機関、光関連学会、光技術者の求人サイトを示す(著者調べ)。

#### 1) 光技術教育に関する大学の学科・専攻等

宇都宮大学(工学部情報電子オプティクスコース、大学院先端光工学専攻、工農総合科学専攻光工学プログラム)電気通信大学(III類(理工系)光工学)、徳島大学理工学部(光系(情報光システムコース))、高知工科大学(学部電子・光工学専攻、大学院電子・光工学コース)、東海大学(工学部光・画像工学科)、公立千歳科学技術大学(システム工学群：電子・光工学専攻、大学院：電子・光工学コース)、光産業創成大学院大学(光技術に関する博士課程のみの大学、起業家の育成)

#### 2) 光関連学会(産業と学術の融合)

レーザー学会、日本光学会、応用物理学会(フォトリニクス分科会)、日本レーザー医学会、日本レーザー治療学会、レーザ加工学会、レーザセンシング学会

#### 3) 光関連学会若手の会

レーザー夏の学校

#### 4) 人材育成プログラム

レーザー加工人材育成(レーザプラットフォーム協議会)、レーザ安全スクール、レーザ機器取扱技術者試験(光産業技術振興協会)、光応用技術研修会(日本オプトメカ

トロニクス協会)、光検定(光検定協会)、OPIC展示会での入門講座(オプトロニクス社)、レーザーによるものづくり中核人材育成講座(光産業創成大学院大学)、YAGレーザ溶接実務講習会(日本溶接技術センター)、レーザー照射処理施工士・管理技士資格認定試験(レーザー施工研究会)

#### 5) 光技術者の求人サイト

オプトキャリア(オプトロニクス社)、人材マッチング(光響)

以上、日本国内においても光学における教育、産学融合、人材育成、求人サイトなど様々な取り組みは既にある。これに、米国の様な光産業と光技術者の育成を有機的に結びつけ、お互いにその利益を共有する有効なシステムが存在すれば、光技術者の育成に貢献するものと考えられる。

### 3. 光技術者に関するアンケート調査

産業界において光技術者の需給バランスの現状や、要求される光技術者の技術レベルについて「光とレーザーの科学技術フェア2019」(開催日2019年11月12~14日、来場者数：5193人(海外200人)、出展社数：145社(海外4社))<sup>12</sup>にてアンケート調査を行った。アンケート内容は所属と職種(Fig. 2)の他、Q1~Q5の質問(Fig. 3)であり、結果を以下に示す。有効回答数は79であった。

(出展者の所属と職種の調査)

所属：(1) 商社、(2) メーカー、(3) その他

職種：(1) 開発、(2) 技術、(3) 営業、(4) その他

Q1：貴社の事業展開を考える上で光技術者の数についてお答え下さい。

(1) 多すぎる、(2) ちょうど良い、(3) 不足している、(4) 全く足りない。

Q2：Q1にて(1)(2)とお答えの方に質問です。

光技術者の数が十分又はそれ以上いる理由は何の理由にお考えでしょうか？

(1) 自前で教育するシステムを持っている、(2) 大学、研究機関との提携により十分な光技術者の

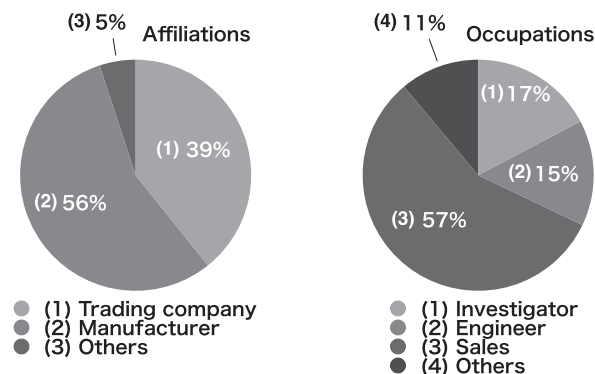


Fig. 2 Questionnaire results (exhibitor affiliation and occupation).

<sup>12</sup> 日本貿易振興機構(JETRO)データより(<https://www.jetro.go.jp/j-messe/tradefair/detail/110190>)

供給が受けられる。

- (3) 光技術に関しそれほど詳しい人は必要無い。
- (4) その他

Q3：Q1にて(3)(4)とお答えの方に質問です。

光技術者の数が不足している理由はどの様にお考えでしょうか？

- (1) 自前で教育するシステムがない。
- (2) 大学、研究機関とのつながりがあまりない。
- (3) 光技術者を輩出する教育機関がない。
- (4) その他

Q4：要求する光技術者の技術レベルはどの様にお考えでしょうか？

- (1) 大学院博士コース修了程度(社会ニーズに対し光技術の応用を検討し、新たな解決方法を提案する製品を開発できる能力)
- (2) 大学院修士コース修了程度(的確に光技術を応用し、製品の設計・製作及び改善等の提案が出来る能力)
- (3) 大学学士コース修了程度(習得した光技術を基に、製品の製造・製造及び修理・設置等の実務が出来る能力)
- (4) 特に光の技術的知識は必要無い。
- (5) その他

Q5：何か、ご意見御座いましたらお聞かせください。

〈頂いたご意見〉

- ・ 大学、工業高専にて光とその応用を主にした学科の設置が必要。
- ・ 中小企業に入ろうと考える人が少ないし、いない。
- ・ 光応用が広範囲かつ専門的なため全てのニーズとその変化に対応できていない。
- ・ 光および電気の技術者不足を感じており、求職者が少ないため採用活動が困難である。
- ・ 光・電気、レンズ設計の知識を持つ即戦力が欲しい。
- ・ 人材雇用の流動性が低いように思える。

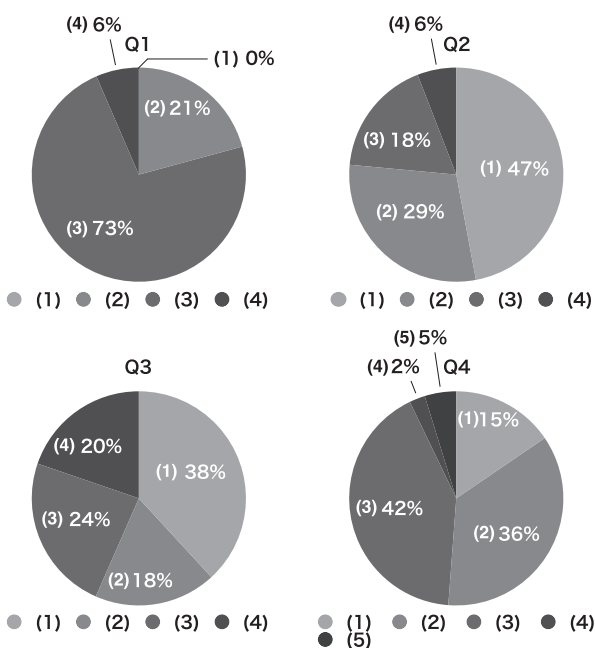


Fig. 3 Questionnaire results (Q1~Q4).

Q1において、予測通りおよそ8割の企業が光技術者の不足を認識している。「ちょうど良い」と答えた2割企業は、Q2にて自社に教育システムがあるもしくは、大学や研究機関とのつながりがあると回答している。一方Q1にて、「不足している」、「全く足りない」と回答した残り8割の企業はQ3にて自社に教育システム及び大学や研究機関とのつながりがないと回答している。

次にQ4にて「要求する光技術者の技術レベル」に関して尋ねたところ、アンケート結果の8割が大学学士・修士程度を望んでいることがわかる。なお、Q4の設問にある「要求する光技術者の技術レベル」の分類を基に大学の博士、修士、学士等の Educational grade を決定し、Fig. 1に挿入した。これを見ると、今回のアンケートから、「要求する光技術者の技術レベル」と産総研の示す技術的な「橋渡し」を行うための技術レベルがよく一致していることがわかる。さらに、Q5の回答と合わせて考察すると、規模の小さな企業は光技術者の確保に苦労していることが推察される。また、15%は博士程度の技術レベルの要求があり、光技術応用の専門性の高さが伺える。

#### 4. 光技術者育成の促進ために

光とレーザーの科学技術フェア2019における光技術者に関するアンケート調査にあったように、約8割の出展者から光技術者不足の認識が示されている。ここでは、光技術者の不足感及び、その育成に絞って、2.1節で述べた米国での取り組みを参考に、教育システム、人材リソースの確保、雇用の維持の3点について考えてみたい。

##### 4.1 教育システム

先の2.2節でも述べたように光学教育を行っている大学の学部は電気電子工学科や物理学科である事が多い。電気電子工学科がカバーする技術分野は非常に広範囲であると共に、B to C(Business to Consumer)の企業も多く、テレビのCM等で目にする機会も多い。一方で、光技術分野はB to B(Business to Business)の企業が多いため、優良な企業は沢山あっても、研究室に配属されるまでお目にかかることがほとんど無い。学生にとって最も身近な電子系の機材は携帯電話であり、それらの会社を「かっこよい」と感じてしまうのも致し方なく、せっかく光技術を教えても、電気電子系の企業に就職する学生が大半である。一方で第3章におけるアンケート調査(Q3)において、「光技術者を輩出する教育機関がない」と回答した出展者が24%あったことも憂慮すべき事実と考える。これは、偏に情報の流通(教育機関と光関連企業)の不足であり、特色のある研究室も個別に対応しては、人材供給のマッチングは取れない。この情報の流通をスムーズにするために、方策として次の4つが考えられる。

1) バーチャルネットワーク光学部(VN 光学部)

例えば、現在レーザー学会の編集委員会で進められている研究室紹介の資料を光技術によって分類し、HP等で公開し、VN 光学部として機能させる。これにより、

日本全国の光関連研究室がどのような技術を持っているのかが一目瞭然となる。了解の取れたVN光学部を通してマッチングの良い研究室が光技術者育成のための見習い制度を担当する。ここに、人材育成プログラムを含めても良い。

#### 2) バーチャルネットワーク光関連企業(VN光関連企業)

VN光学部と同様なやり方で情報を集め、主に光関連研究室の学生や、光技術者向けに公開し、光学系を志望する学生にその魅力をアピール出来る様にする。

#### 3) レーザー夏の学校の拡大活用

レーザー夏の学校は学生有志によってスタートし、20年以上の歴史を持つ。主には、他大学の学生同士の研究交流イベントであるが、光学技術者育成を目的とした高大連携として、高校生に開放したり、最先端では無いがベースとなる光技術の情報交換の場として、光技術を学びたい企業研究者等の交流の場としたりしても良いかも知れない。

#### 4) 技術ベースコミュニティ

ある光技術分野に特化したコミュニティに教育機能を持たせる事で、学生、光技術者、光関連企業、先端研究機関との技術融合を図る。例えば、筆者がこれまでに示した相互ベネフィット共有体<sup>7)</sup>が、相互の人材、知見の流通媒体となるイメージである。

### 4.2 新たな人材リソースの確保

男女共同参画局の「女性が職業を持つことに対する意識変化」という調査<sup>13)</sup>によれば、子供が出来ても、「ずっと仕事を続ける方がよい」と言う意見は、1984年に20.1%(女性)、15.7%(男性)であったものが35年後の2019年には63.7%(女性)、58.0%(男性)と大きく変化している。この様に女性の社会進出に対する意識はずいぶん向上しているにも関わらず、光学系の女子学生の数は少なく、例えば千葉工業大学電気電子工学科の女性の割合は2~3%であり、私の研究室に配属されるのは年1名あるかどうかである。従って、女性が光学に興味を持ち、光学技術者になろうと思うのはどういう時かを様々な考慮することは、人材リソースの確保に関して極めて意味がある。「光できらめく理系女性たち」<sup>8)</sup>と言う著書に女性が科学技術分野で活躍するための課題が以下の通り記述されている。

- ① 出産・育児、介護等との両立支援
- ② 多様なライフサイクルに対応する柔軟な制度
- ③ ワーク・ライフ・バランスを可能にする働き方
- ④ 採用・昇進・評価の公平性の確保
- ⑤ 自然科学系への女性の進路選択の促進
- ⑥ 女性科学者・技術者の多様なロールモデル提供
- ⑦ 政策・意志決定過程への女性の参画の促進

以上の課題は、社会全体で解決される必要がある。又、その著書の中にある次の記述も興味深い。

- 1) 自然科学分野で学位を取る女子学生の比率は女子大

の方が高い。(男性の目を気にする必要が無い。)

- 2) 理系に進む女性が少ないのはその魅力に触れる機会が少ないことが一因である。
- 3) 理工系の進路を選んだら両親や先生が喜んでくれると考える女子中学生は、男子中学生よりずっと少ないという内閣府の内閣府の調査結果がある。
- 4) 理系に進もうと思った時期(小館研究室2007年度新入生調査)では小・中学生時代が86.5%である<sup>8)</sup>。

上記は、小中高の女子学生を対象とした光技術の魅力に触れさせることと、理系の研究はその成果を客観的に評価され、良い成果は喜んでくれる人が必ず居ることを積極的に伝える事が重要と考える。栃木県立宇都宮女子高等学校はスーパーサイエンスハイスクールに参加し、宇都宮大学の研究者との共同研究(光学)により科学的探求体験をさせる取り組みを行っている<sup>9)</sup>。このような取り組みが広がりを見せることを期待したい。

その他、考えられる新たな人材リソースとしては退官後の自衛官や外国人などが考えられる。特に自衛官は定年が52~54才と一般の企業等に比べ早いため、電子機器機材の運用経験者や、手先の器用な方に対する教育プログラムがあっても良いかも知れない。

### 4.3 雇用の維持

光技術者の雇用の維持も重要な問題である。2.1節で紹介した米国の教育システムは育成した光技術者の雇用に念頭に置いている。つまり、せっかく光技術教育を受けたが働く場所が無い、もしくは、例えば電気電子工学科の学生の場合、電機系の求人条件が良ければ、学んだ光技術を生かす事無く、そちらへ就職するであろう。また学生本人、特に、そのご両親が大手を望む傾向が強ければ、2.3のQ5の回答「中小企業に入ろうと考える人が少ないし、いない。」の認識とも一致する。これを解決するには、VN光学部やVN光関連企業にて光技術、関連企業の魅力を地道かつ丁寧に伝えて行く必要がある。また、小中高校生に光科学研究の魅力を伝える活動も必要である。いずれにせよ、この施策は年月のかかる地道な作業が必要であり、長期的な解決策である。

一方で、現時点で不足しているという問題に対する短期的な解決策も必要である。これに対する一つの案は、電機技術系人材派遣会社とのコラボし、光技術教育を施すものである。例えば、光関連企業において必要とされる技術を収集・整理し、幾つかのカテゴリー(例えば、光学設計、シミュレーション(CODE-V, Zemax等)、光学機構、光軸調整等)で光学技術検定を設定し、上記電機技術者に一定の訓練や試験を経た上で、光学技術検定資格を認定することが考えられる。但し、欠点として光技術のプロパーが育たない・育ちにくい事や、複雑な問題の解決策を依頼しにくい事、新卒にとっては魅力がない事が挙げられ、長期的な教育システム構築が立ち上がるまでの補完システムと考えるべきであろう。

<sup>13)</sup> 男女共同参画局の「女性が職業を持つことに対する意識変化」という調査より ([https://www.gender.go.jp/about\\_danjo/whitepaper/r02/zentai/html/zuhyo/zuhyo01-00-15.html](https://www.gender.go.jp/about_danjo/whitepaper/r02/zentai/html/zuhyo/zuhyo01-00-15.html))

## 5. まとめ

光技術者の不足感を問題提起し、国内外での光技術者育成の取り組みの調査と「光とレーザーの科学技術フェア2019」におけるアンケートを基に、その現状考察を行い、光技術者育成の促進について議論した。アンケート調査から国内光技術者の不足感を示す結果が得られた。米国やドイツにおいても同様のことが認識されており、日本だけのことではない事が理解される。また、不足感の高い技術レベルが先端技術の「橋渡し」を担う重要な技術レベルである事も見逃せない。日本の企業研究者からも熟練技術者の退職後、それを引き継ぐ若い世代が居らず、技術の継承が危ぶまれていることを聞いた。若手が興味を持ち、技術者が順調に育つ環境を持たない分野は衰退し、いずれ減びてしまう。光技術の分野がその様にならないように、皆さんの力を借りて、より良い形にして行ければと願っている。

## 謝 辞

オプトロニクス社セミナー事務局には「光とレーザーの科学技術フェア2019」におけるアンケート調査にご快諾・ご協力頂きこの場を借りて謝辞を申し上げます。

## 参考文献

- 1) J. C. Mankins: Technology Readiness Levels, A White Paper (1995, Edt. 2004)
- 2) Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, NASA: 2004. (1995).
- 3) G. A. Buchner, K. J. Stepputat, A. W. Zimmermann, and R. Schomacker: Ind. Eng. Chem. Res. **58** (2019) 6957.
- 4) 宇宙科学プログラム室, JAXA 技術成熟度 (TRL) 運用ガイドライン, BDB-06005 A (2008).
- 5) Y. YASUNAGA: J. Japan Society Intellectual Production **12** (2015) 25 (in Japanese).  
安永 裕幸: 産学連携学 **12** (2015) 25.
- 6) A. Vogt: Proc. SPIE (2019) 11143U.
- 7) Y. Fujimoto, K. Wakita, and K. Suizu: Proc. SPIE (2019) 11143V.
- 8) 小館 香椎子(監修): 光できらめく理系女性たちー理想のワークライフバランスを目指して(オプトロニクス社, 2007).
- 9) Y. Suzuki, N. Hagen, and Y. Otani: Proc. SPIE (2019) 111432L.