

エネルギー・ネクストを担う人材の産学協働による育成

早稲田大学リーディング理工学博士プログラム
コーディネーター（先進理工学研究科長・教授）
西出 宏之

プログラム事務局（㈱早稲田総研イニシアティブ） 武末 出美

1. 博士課程の現状

高度成長期とその後バブル崩壊まで続く安定成長期の製造業を支えた就業人材、その育成の一翼を大学が担ってきた。特に1980年代以降の製造業においては、深い専門知識と技術をもった人材へのニーズが高まり、理学・工学系の修士課程進学者数が激増した。

時期を同じくして国は大学院重点化の諸施策を掲げ（1990年代）、その中でさらに高度な産業人材すなわち博士号もった理工系の人材の量的な拡充を図ってきた。しかし博士の専門分野が産業界の要請と必ずしも一致しなかったことや、博士課程進学者が大学教員への就職に固執した修学に終始した結果、産業界の求める人材像との齟齬を来した。一部では「博士号を取得しても就職先がない」と取り沙汰されることとなり、2000年頃から理学系・工学系ともに博士課程入学者数は減少している。

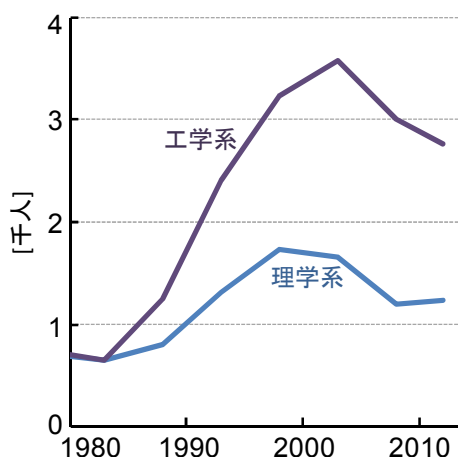


図1 理工系博士課程入学者数の推移

（出所：文部科学省「学校基本調査」から作成）

一方で（後ほど制度構築の際に比較するが）米国では理工系の博士学生数は増加している（論文博士という学位授与制度はないので、ほぼ博士号取得者数と等しい）。米国上位校の大学院制度では5年間の博士課程が設置されている。1-2年生は専門の講義・演習科目に取り組み、レポート等による課題と評価が厳しい。この間、研究実験は原則ない。2年次

の修了前に **Qualifying Examination (QE)** などと呼ばれる関門が設けられている。QE では学生自身が博士課程の後半で取り組もうとする研究について、まとめ提案する。指導教員含む関連教員との質疑応答を通して、研究活動を進めるための専門知識が身についているか、将来計画を立てられているか判定される。QE に合格して初めて博士候補生 (Ph.D. Candidate) となる。QE 不可の学生も一定数出るため、このような学生に (のみ) 修士号を出す大学院もある。3年次以降の研究活動を経た最後の関門である学位審査は時間かけて実施される。専門知識と技倆、論理的な考え方、実行力の質保証として、産業界からの信頼度も高く、米国の博士号は高度産業人材にとって不可欠な資格として認識されている。博士号取得者への期待は給与にも反映され、開拓者精神もあいまって、イノベーティブな課題を設定、実行もできる中核人材として産業界の研究開発部門等で活躍している。

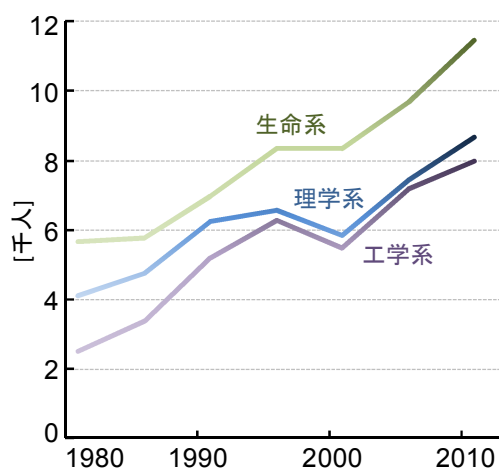


図2 米国における理工系博士号取得者数の推移

(出所：Doctorate Recipients from U.S. Universities 2011, National Science Foundation
データテーブル 12；<http://www.nsf.gov/statistics/sed/> から作成)

2. 産業界は博士人材に期待しているか？

ますます熾烈化するグローバル競争において、わが国の存在感を保ち高めるために教育が担う一つの役割はイノベーティブな人材の育成であろう。長期的にはもちろん初等～高等教育の改革が重要であるが、短期的には、従来から国も目指していた「博士課程における高度産業人材の育成」を実現することが急務であると考えている。

我々は 2006 年から博士号取得者・博士課程学生のキャリアパス開発と博士課程の改革に取り組んできた*。これらの活動のなかで「実社会に起点を置き、社会変革を惹起しうる未来技術やモデルが描け、高い専門力を武器にそれらに挑戦できる人材」を高度産業人材と定義し、その要件を挙げた。

- ・ 学術的専門知識に加えて幅広い知見、コミュニケーション能力をもつ

*一部は文部科学省「科学技術関係人材のキャリアパス多様化促進事業」「イノベーション創出若手研究人材養成」の支援を受けて実施した。

- ・自ら課題を抽出・設定し、周囲のメンバーを巻き込みながらともに挑戦できる
- ・産業界において、イノベーションを創出しようとする意志をもつ

具体的には、キャリアパス相談の窓口を産業界から雇用、博士課程への授業・演習科目設置（従来は修士課程にのみ科目が置かれていた）、博士学生の国内外企業でのインターンシップを実施してきた。

他方たとえば、経団連[†]は博士人材に求める資質として、「学術理論とエンジニアリング(実学)を結び付ける能力」を強調している。また2012年に発足した産学協働人材育成円卓会議では、新しい日本社会を牽引する（高度産業）人材として

- ・世界を舞台にリーダーシップを発揮して活躍できるグローバル人材
- ・既成概念にとらわれないアイデアやモデルで「新たな価値」や「解」を創出するイノベーション人材

を挙げ、知の拠点である大学による博士人材の育成に期待を寄せている。

このような背景のもと、新たに取り組み始めた大学院教育の改革について紹介する。

3. 文部科学省の博士課程教育リーディングプログラム

文部科学省は2011年度から、優秀な学生に俯瞰力と独創力を備えさせ、グローバルに活躍するリーダーへと導く7年間の事業を「博士課程教育リーディングプログラム」として開始した。専門分野の枠を超えて国内外の第一級の教員・学生を結集し、産業界の参画を得つつ、世界に通用する質の保証された博士学位プログラムを構築する大学院教育の抜本的な改革を支援するものである。取り組む専門分野や特徴ごとにいくつかの類型に分類され、現在44件が1.5 - 5億円/件・年の支援規模で展開されている。

文科省における制度設計にあたり主に参考にされたのは、前述した米国型の大学院教育であり、以下にまとめた前提条件と取り組みが要求されている。

- ・国際的に卓越した教育研究の資源を土台に、専門分野の枠を超えた大学院博士課程の前期（修士課程）と後期を一貫した学位プログラムとすることにより、世界に通用する質の保証された博士課程教育
- ・国内外の優秀な学生が切磋琢磨しながら主体的に研究を実践
- ・解決すべき課題に基づき、産・学・官が企画段階から参画した国際性と実践性を備えた研究訓練
- ・人類社会が直面する課題の解決に向けて、イノベーションを牽引できるリーダーの養成
- ・大学の中長期的な改革構想のもと文科省支援が終了した後も、学位プログラムが継続的に運営

これら改革の指針に沿いながら、博士教育での我々の経験と理想を取り込み「早稲田大

[†] 2007年に実施された「企業における博士課程修了者の状況に関するアンケート調査結果・要旨」。

学リーディング理工学博士プログラム」を構築し開始している。

4. 早稲田大学での取り組み

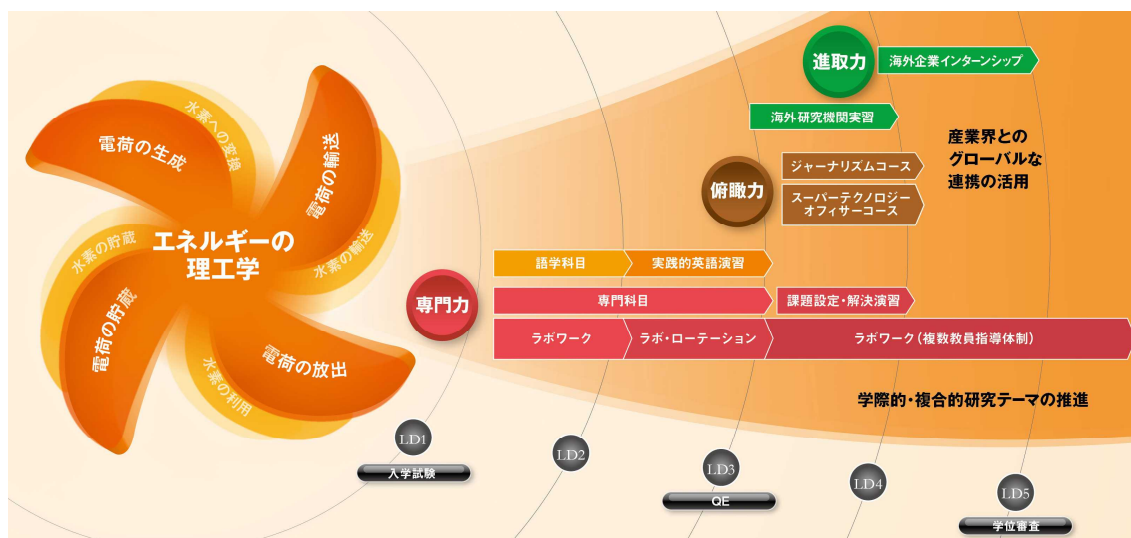


図3 早稲田大学リーディング理工学博士プログラムの概要

大学が理念のひとつとして「進取の精神」を謳っていることもあり、いわゆる「出る杭」型の学生も少なくはなく、国内最多の留学生（4,000名余り）とあわせ、熱気溢れるキャンパスである。理工系の研究室では世界で競う大型研究プロジェクトも数多く走っている。「研究の意欲／挑戦の志／資質」もつ理工系学生を募集してなる本大学院プログラムは、厳格な質保証、学内の政治学研究科ジャーナリズムコースの活用、実践的な英語教育、海外での長期実習などを特徴としている。本プログラムを修了した博士人材が、学んだ知識・スキル・方法論を活かして目を輝かせながら夢を語り、周囲を巻き込みながら社会で活躍できる、ワンランク上の素地をつけてやりたいと考えている。

4-1. 5年一貫制の博士課程

わが国においては修士課程（博士前期）2年＋博士後期課程3年からなる大学院がほとんどであるが、我々は学則に大幅な変更を加えて「博士課程5年一貫制」を敷くこととした（2014年4月正式に開設予定）。5年一貫にする利点としては、

- ・5年のタイムスパンで効率高く（欲張った）学修計画を立てられる
- ・修士論文の提出を求めないため、その作成時間を授業科目や研究実験に充てられる
- ・修士2年次での数カ月にもわたる就職活動をしないため、学業に専念できる

途中で修士号を授与しない制度のため、研究室に配属となり指導教員のもと先輩らと研究実験をはじめた学部4年次の夏に、博士号もった研究者・技術者を目指すか否か、ある意味で重い判断を、学生自身また後押しする指導教員に求めることになる。

物理、化学、電気、機械、生命など幅広い学科から学生が本専攻に進学し、博士1-2年次では固体物理・資源エネルギー化学・電力工学・生物物性など専門基礎科目について、テキスト用いた講義と演習、筆記試験で専門を深める。米国式のように3年次以降によく研究に着手するのではなく、卒業研究でわくわくして習い始めた、研究の技術や勘所を上達できるよう、1年次から研究活動いわゆるラボワークも継続する。学部4年次に研究室に加わっての卒業研究実験は欧米教員からの評価も高い。一方、専門教育自体も、年間授業計画を充実させた科目群を置くため、学生には現行のわが国、また米国型のカリキュラムと比べてもより負荷がかかることになるが、学生が乗り越えられることを期待している。続く3年次以降は専門の力を基盤としながら俯瞰的な力と進取的な力を身に付けるカリキュラムとした。講義だけではなく、社会的な問題から解決すべき課題を設定し、取り組んでいくための方法論を身に付けさせる演習科目や、英語での論文構成・記述法を学ぶ演習科目等も置いた。従来の「一方的な座学+研究主流」ではなく、「座学+演習+研究」総合スタイルとしている。



図4 実地演習（JX日鉱日石エネルギー・JX日鉱日石開発、ベトナム・ランドン油田）

4-2. 複数指導—海外教員、産業界からの支援も受けて

2年次の終わりに、第1の関門である前述のQEがある。それまでの研究活動の証として学術論文1報（投稿中を含む）を要求し、専門知識に関する口頭試験と3年次以降の研究計画の発表と質疑応答からなる。学術論文1報を課したのは、修士論文を提出する現行の修士課程学生と同等以上を保證することにもつながる。

3年次以降はより広い視野をもって研究を進めさせるため、指導の教員を複数とする制度としており、海外大学の教員や産業界から登用するコンサルティング教員（非常勤の教員）も加わる。どの教員に副指導してもらうかは他の研究室のゼミに参加したり、実験手法に触れるラボレーションで学生自身が決める。複数指導制度は米国型の良いところを導入し、タコツボとはならない博士の育成を目指す。産業界から参画の方々には、大学教員がもたない視点からの指導、叱咤激励をお願いしているところである。



図5 ノーベル物理学者
グリーンベルク先生との対談

4-3. 俯瞰力の強化—ジャーナリズムコースの活用

早稲田大学といえば政治家、そしてジャーナリストの輩出、とのイメージは定着している。政治学研究科は 2008 年に初の「修士（ジャーナリズム）」を授与するジャーナリズムコースを開設した。さらに「科学技術ジャーナリズム」の科目群が設置されており、このカリキュラムを理工系学生からなる本専攻向けにカスタマイズした。ジャーナリズムコースの修了生は国内外の屈指のマスメディア企業（NHK、時事通信社、日経新聞、読売新聞、博報堂など）に就職しており、ともすれば「おとなしい」「ディスカッション下手」である理工系の学生を同じクラスで学ばせることが狙いである。

4-4. 進取力の強化—海外連携機関での計 6 ヶ月の共同研究とインターンシップ

3 年次以降では、3 ヶ月の海外研究機関実習および 3 ヶ月の海外企業インターンシップで研鑽を積む。海外連携大学（米スタンフォード大学、豪モナッシュ大学など）に 3 ヶ月滞在し、各人の研究テーマに関連した共同研究に参加する。海外研究者と連名の学会発表や論文投稿の切っ掛けとなる。

海外企業の研究開発現場での 3 ヶ月のインターンシップもこのプログラムの目玉の一つである。国内企業の海外研究所も含め、10 社余りで受入れの内諾を得ている。専門分野と研究テーマを考慮し、受入企業担当者、指導教員の間を欧米経験あるメンターがテーラードで「博士」学生としてのインターンシップ計画を個々に設定する。秘密保持や知財取扱の契約書類も整っている。企業における研究開発とスピードを体感させ、また海外企業の文化に触れさせる機会となる。一方的に学生を派遣するのではなく、受入企業にとっても、大学での先端手法や考え方、また博士学生を介して指導教員を近くに知ることができると期待されている。

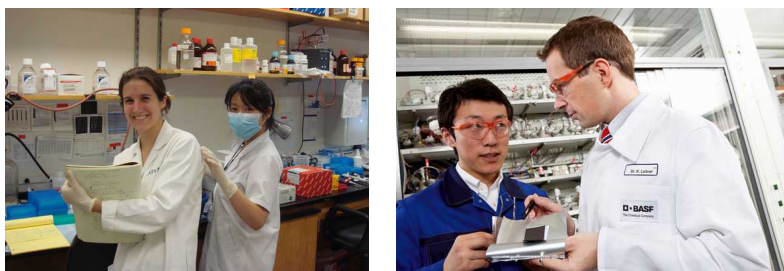


図 6 海外共同研究・企業インターンシップ

もちろん、これらの海外実習には科学技術英語の実践的な強化ののちに派遣する。学部での英語個人指導学習（チュートリアルイングリッシュ）に早稲田大学では力を入れているが、理工系ではテクニカルコミュニケーションに特化した少人数教室（Professional Communication や Advanced Technical Reading & Writing など）を大学院までシームレスに配している。さらに2年次の夏期に、テクニカルコミュニケーション教育で世界トップのミシガン大学に10日間合宿し、科学技術英語の演習を実施する。国際学術誌に自分の論文を掲載してもらうに必要な論理構成力、ノウハウを身に付けられる。例えば、魅力ある論文題目の付け方、イントロの流れと読者の関心、欧米人が好む図やチャートの描き方、自分の結論の明示と相手の説得などを、自分の研究内容で作文した原稿を元に、納得いくまで添削される。

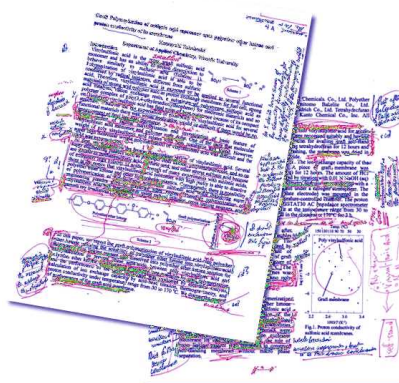


図7 添削例

4-5. 質の保証とともに社会に送り出す

最終年度では「2報以上の学術論文が印刷発表済」を前提条件に、学位論文を提出して学位審査がなされる。欧米大学教員を副査として招聘し、産業界からのコンサルティング教員も参加して、英語での公開審査である。このような審査会の一部の専攻で既に導入しており[‡]、博士研究の内容そのものだけでなく、基礎学力へのクエスチョン、結論の背景にある一般性や意義・波及を論理的に問いかける欧米式の審査会となり、国際水準を担保する手順のひとつとして効果は大きい。プロトタイプを試作や知財もポジティブな審査対象となる。5年一貫制博士課程を修了しての学位取得が、質の高い博士人材、高度産業人材である証となるよう緊張感をもって実施する。



図8 欧米副査を交えた審査

5. 新たな専門性をもった人材を—エネルギー・ネクストを旗に

「制度は分かった。一体何を専門とする人材が育つのか、物理か、電気か、化学か」との疑問をおもちと思う。我々はあえて「エネルギー・ネクスト」を専門の旗に掲げた。本専攻に進学する学生の学部時の所属学科は応用物理、応用化学、電気・情報など様々であるが、博士論文研究としては「界面での電荷の生成促進」「物質移動との共役放出」「有機

[‡] 文部科学省グローバル COE プログラム早稲田大学「実践的的化学知」教育研究拠点での成果のひとつ。

生体分子での電荷貯蔵」「スーパープロトン電導」などのテーマで着手されており、これらを“電荷の生成・輸送・貯蔵・放出の制御”に関する科学を起点とした「エネルギーの理工学」としてくり直した。カリキュラムには次々世代のエネルギーの科学と技術の基となる現在のエネルギー科学の原理・技術や開発動向について学ぶ概論や特論、社会要請や政策を学ぶ座学として「科学技術政策論」など、また発電所やエネルギー関連施設を訪問しての現地演習を置いている。

さらに、既存の専門分野に横串を通すエネルギー・ネクスト課題設定・解決演習を複数教員で熱意持って担当している。例えば課題設定・解決演習 B「次世代型蓄電デバイス・システム」では、ナノ構造をもった蓄電極での電荷の素早い出入りが、マクロな送配電の平滑化と相関することをグリッド模擬装置で実習させる。さらに、有機ウェアラブル電池で生体情報を発信し、室内電力マネジメントに繋げる、といった流れである。出どころの異なる学生が、物質、材料から省エネまで横断して学ぶことができる。

大震災と原子力発電の停止、これにともなう原油・天然ガスの輸入や消費量の増大などによりわが国が直面するエネルギーの安定確保と供給という危機・課題に立ち向かうには、岐路に立つエネルギー政策の議論とは別に、独自の新たなエネルギー技術と産業の開拓も期待されるところではないだろうか。理想的な一次エネルギー源である再生可能エネルギーによって成り立つ社会の構築はわが国の夢であることは言うまでもないが、太陽光発電におけるパネル製造を例にとっても、後発国との価格競争に追い込まれ、高品質と信頼性あるいはニッチな特性を謳うだけでは立ち位置を失いつつある事態に瀕している。最近注目のシェールガスは、米国式の開拓精神による強引とも言える技術適用ではあるが、その埋蔵規模から天然ガスのみならず原油市場に革命を予感させ、エネルギーにおけるイノベーションは難しいとする停滞感を先導して払拭している。このような情勢の中、重層的でリードタイム長く、かつ不可避の大課題に対峙して、むしろ技術と産業でエネルギー大国になるべく、まったく新しいエネルギー源の模索、忌避されてきたエネルギープロセスの組み合わせ、ライフスタイルとエネルギー活用のサイエンティフィックな提案、などにチャレンジしていく時期にきている。この新しい挑戦にこそ、産学が協働して育てる博士人材を投じてみても良いのではないだろうか。

「エネルギー・ネクスト」プログラムに参画している教員は、このような意識と危機感を持ち、研究教育を進めている。例えば化学分野からは、革新蓄電エネルギー技術拠点（文部科学省「地域資源等を活用した産学連携による国際科学イノベーション拠点整備事業」のひとつに選ばれている）を進めている逢坂哲彌教授や、エネルギーの輸送・貯蔵を可能にするキャリア分子の研究に取り組む関根 泰教授、電気分野からは独自開発のシミュレーターを使い先進グリッドシステムの構築を目指す林 泰弘教授、物理分野からはポストシリコン太陽電池の堀越佳治教授やパワーデバイスの川原田 洋教授などである。各々の教員が研究教育を進めるのは勿論のこと、複数が協働し本博士課程の学生も参画して「エネルギ

一・ネクスト」研究をデザインすることも想定している。ぜひ産業界からも、企業では取り組みにくいアイデアや大学人が知りづらい技術情報やご意見を頂きたい。

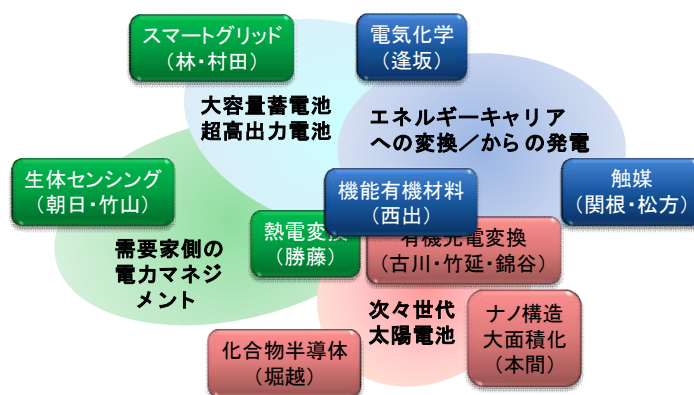


図9 教員の協働

6. 産業界と共に

以上に述べてきた研究教育を通して、エネルギーの理工学を専門とし、社会要請を睨んで広い視野で課題を設定できる力とアウェイでも互角に力強く活動できる方法論を備えもった人材を育成したい。絞ったつもりではあるものの盛りだくさんの能力を身につけさせたいという我々にとっても大変な挑戦であり、産業界からのバックアップなしには進められない。ぜひご助力をお願いしたい。そして、共に育てた人材が、企業でさらに能力を高め、世界を舞台に企画立案、実行できるリーダーとして羽ばたいてほしいと思っている。

最後に、産業界と本学が取り組んでいる博士人材育成に関する連携活動例を2件ご紹介して終えたい。ひとつは2011年から実施している日産自動車・ルノーなどとの「Zero Carbon Leaders Program」である。次世代電気自動車の開発や燃料電池・モビリティ軽量化設計をテーマとして、本学および仏 Supelec 大の理工系博士課程の学生を1年間、交換留学及び日産とルノーへのインターンシップに参加させている。学生には日産財団から研究資金が支給されている。

もうひとつは、博士学生を含む本学の理工系若手研究者を対象としたJ X日鉱日石エネルギー奨励研究助成とJ Xエネルギー優秀研究賞である。特に、エネルギー賞は学生の身分ながら自身の名義で表彰される賞であり、博士学生のモチベーションは極めて高い。

産業界のみなさまには、博士学生の能力を知る機会として本プログラムに関心を持っていただければ幸いである。このプログラムから生まれた博士が各方面で活躍し、“早稲田の青田買い”という言葉を生み出すようになれば、我々の本望とするところである。

本稿は文部科学省 博士課程教育リーディングプログラム「早稲田大学リーディング理工学博士プログラム」および関連した博士課程教育事業の実績をもとに執筆したものです。早稲田大学理工学術院教授・新専攻設置準備委員長の朝日 透先生と本プログラム事務局長代行・(株)早稲田総研イニシアティブの井川裕之氏に御礼申し上げます。また、本プログラムの実施にあたってはJX日鉱日石エネルギーを第1の連携機関として、教員派遣・演習などにおいて積極的なご意見や多大なご助力を頂いており、この場を借りて篤く御礼申し上げます。

《プロフィール》

西出 宏之

1975 早稲田大学大学院 理工学研究科 博士後期課程修了（工学博士）

1977 - 78 西独フムボルト財団研究員（ベルリン自由大学）

1978 早稲田大学理工学部助手

1982 同、助教授

1987 - 同、教授

2010 - 先進理工学部 学部長・研究科長

2006 - 08 高分子学会 会長

2012 - 日本化学連合 会長

2010 高分子科学功績賞

2013 文部科学大臣表彰 科学技術賞

武末 出美

2004 青山学院大学大学院 理工学研究科 博士前期課程修了

2005 青山学院大学理工学部 助手

2007 - (株)早稲田総研研究事業部（現、(株)早稲田総研イニシアティブ）

2013 - 同、企画室 リサーチアドミニストレーター

<JX グループから一言>

本レポートにもあるとおり、最近では理工系博士が社会にうまく受け入れられず、多くのポスドクが仕事に恵まれず不遇をかこっており、博士を目指す若者が減っている現状は技術立国を目指してきた日本にとって大変由々しき問題と感じていた。

また、2011年3月の東日本大震災とこれに続く福島第一原発の事故は日本のエネルギー問題を根底から揺るがすものとなり、多くの国民がエネルギーの重要性に思いを致し、エネルギー問題に強い関心を示すようになった。

このような時に、早稲田大学から5年一貫制のリーディング理工学博士プログラム「エネルギー・ネクスト」が起案され文部科学省の支援を得てスタートし、エネルギーを科学的、総合的に研究する場ができたのはまことに時宜を得たものとする。

私たち産業界から博士号を持った人間を見て感じることは、多くの場合、次のような点である。

1. 高い専門性を有していることは明らかであるが、自分の得意分野を冷静に第3者的な眼で見ることができなくなっている。＝俯瞰能力不足
2. 専門外の人たちも自分と同じ知識、考えに基づいて行動していると考えがちで、環境の変化に鈍感である、あるいは環境の変化を認めがらない。＝変化への対応力不足
3. 相手を丁寧に説得しようという姿勢が少なく、特に異なる言語・文化の下で育った外国人との議論は言葉のハンデもあり不得意で、ともすればタコソボになりがち＝コミュニケーション能力不足

これらの問題点については、博士号取得者や育成した大学だけの責任ではなく、博士を受け入れる産業界（企業）にも考えるべき点、改善すべき点が多々あると感じている。

私たちは、JX 日鉱日石エネルギーを始め JX グループがこの「エネルギー・ネクスト」に参画する機会を得たことは、グループの一員として非常に光栄に思うとともに大きな責任を感じている。このプログラムの中で、私たちの役割は次のようなことと認識している。

1. 「エネルギー・ネクスト」に取り組む先生・学生に対し、企業の実態・考え方をできる限り明確に伝え、研究や演習の参考に資する。
2. 「エネルギー・ネクスト」に取り組む学生に対し、種々の実地演習の機会を提供し現場に対する理解を深めることを手助けする。
3. これらを通じて先生・学生と企業の間意思疎通を深め、プログラムの中身の修正・充実に貢献する。

すなわち、大学・学生と意見交換しながら、常により良い姿を求めてゆくお手伝いをすることが最も大切なことと考えている。

私たちは、「エネルギー・ネクスト」から、次代の世界・日本のエネルギー問題をリードする人、JX グループのエネルギー戦略の中核をなす人が一日も早く出てくることを期待しています。

以上

<JX 日鉱日石リサーチ（株） 倉持 誠>