「連峰型」原子力人材育成の取り組み

The Case Study for Human Resource Development of Nuclear Energy by
“Mountain Range Type” of Engineering Education System

大久保 恵^{※1}
Satoshi OHKUBO

武 尾 文 雄^{※1}
Fumio TAKEO

工 藤 憲 昌^{※1}
Norimasa KUDOH

濱 田 栄 作^{※1}
Eisaku HAMADA

佐 藤 勝 俊^{※1}
Katsutoshi SATOH

古 谷 一 幸^{※1}
Kazuyuki FURUYA

土 屋 幸 男^{※1}
Yukio TSUCHIYA

中 村 重 人^{※1}
Sigeto NAKAMURA

菅 原 隆^{※1}
Takashi SUGAWARA

工 藤 隆 男^{※1}
Takao KUDOH

井 口 泰 孝^{※1}
Yasutaka IGUCHI

To train the students desiring to learn nuclear engineering at Hachinohe National College of Technology with four basic departments: mechanical, electrical, chemical and civil engineering, we plan to extend “Mountain Range Type of Education” system which is the characteristic of our school to the nuclear energy field. This project is the activity to educate step-by-step according to the school age, consisting of the program for the lower grades which enlightens the energy and the nuclear power and the program for the higher grades to take the nuclear engineering subjects. The development of the education program was smoothly accomplished in relation to the drastic revision of the former curriculum. As a result, it was confirmed that the introduced nuclear-related subjects functioned in the revised “Mountain Range Type of Education” with the educational effects. And, the interests of the students could be drawn out through whole project.

Keywords : Human Resource Development for Nuclear Energy, Mountain Range Type of Education, Curriculum of College of Technology, Industry-Government-Academia Collaboration

キーワード：原子力人材育成，連峰型教育，高専カリキュラム，産官学連携

1. はじめに

地球温暖化，気候変動の難問題に直面し，低炭素社会の実現が希求されている中で，原子力エネルギーはクリーンで安定なエネルギー源として見直され，世界的な規模で急拡大している．日本では原子力発電所の建設ブームは過ぎて，現在は施設の保守・保全の時代にある．稼働中の施設の更新時期を迎える25年先にはリプレースの時代を迎えると予測されている¹⁾．またエネルギーの安定供給と温暖化対策を両立させるために発電量に占める原子力の依存度は2030年以降においても30～40%程度以上とされ，核燃料サイクル等も含めて原子力に対するニーズが高くなる傾向にある²⁾．

その一方で，原子力分野に関心を持ち，原子力関連産業に使命感にあふれて従事する若手人材は必ずしも十分とはいえず，原子力関係者および関係機関から人

材育成の必要性が説かれている^{2), 3)}．

青森県のむつ・小川原地域は，国内唯一の原子燃料サイクル施設や国際核融合炉関連施設，さらには原子力発電所などが稼動し，他に類を見ない原子力産業集積地域に変貌している．

八戸工業高等専門学校（以下，八戸高専）ではエネルギー産業立地域に隣接している高等専門学校として原子力分野の人材育成の必要性を認識し，学校の学習・教育目標の一つに「北東北の重点課題であるエネルギー，環境の問題に関心を持ち，それらの課題に積極的に取り組む進取の姿勢を身につける．」を掲げている．原子力の人材育成を充実，強化するために設けられた文部科学省の原子力人材育成プログラムに平成20年度から2年間本校提案の「連峰型原子力コア人材育成プログラム in あおもり」が採択され，学校をあげて原子力教育に取り組む機会をいただいた．折しも八戸高専では本科1年から5年生のカリキュラム全体を抜本的に見直すことを計画していたので，八戸高専の原子力教育の取組と連動することとなった．

平成22年4月30日受付

※1 八戸工業高等専門学校

八戸高専は機械工学、電気情報工学、物質工学、建設環境工学の4学科（1学年160人×5年制）と専攻科（2年制）からなっている。全学生合わせても900人程度、教員スタッフ66名の規模に過ぎない。原子力のための学科やコースを作るには規模や資源に乏しく、いかにして原子力分野で活躍できる多くの人材を育てるか、が大きな課題であった。この課題に対して放射線物理、材料、非破壊検査、核融合、制御工学等を専門とする教員スタッフの存在と地域産業界からの協力を含めて検討した結果、自分の専門を生かしつつ原子力分野に対する関心と系統的な知識をもって原子力関連産業を支える人材（「連峰型原子力コア人材」と称す。）を育成することに答を見出し、取り組んでいる。ここで「連峰型」とは、自分の専門分野（山の頂）を高めつつも周りの他分野の基礎（山の裾野）にも対応できる複合的なものづくり教育方法を意味している。本稿では過去2年掛けて行った本取組⁴⁾のあらましを述べるとともに、その成果を評価してみたい。

2. カリキュラムの改正と原子力関連科目の新設

八戸高専では、平成19年度からカリキュラムの見直し作業を始め、平成21年度からの本格実施に向けた検討を行ってきた。ねらいは、全体的に「スリム化」を図りつつ、「工学基礎科目と専門基礎科目を重視」すること、および本科における「異分野科目を強化」することである。これにより、これまで主に専攻科生を念頭においていた「連峰型教育」を、本校の多数を占める本科生にも拡大することが可能となる。平成20年度に採択された本プログラムでは、この動きにあわせて「連峰型原子力コア人材」を育成するカリキュラムを検討し、新カリキュラムに盛り込んだ。新規に導入

表1 新カリキュラムにおける原子力関連科目の位置づけ
(平成21年度以降入学学生教育課程表より抜粋)

	授業科目 (共通選択必修科目)	単位数 開設 履修	学年別配当		
			1～3年	4年	5年
A	(専)原子力工学概論	1		1	
	(専)エネルギー工学Ⅰ	1		1	
	(専)エネルギー工学Ⅱ	1		1	
B	(一)第二外国語(1)	2			2
	(一)第二外国語(2)	2			2
	(一)人文社会科学(1)	1			1
	(一)人文社会科学(2)	1			1
	(一)人文社会科学(3)	1			1
	(一)人文社会科学(4)	1			1
	(一)知的財産権	1			1
	(一)バイオメカニクス	1			1
	(一)特別講義	1			1
	(専)品質・生産管理	1			1
	(専)医工・福祉	1			1
	(専)防災・安全	1			1
	(専)原子力基盤技術概論	1			1
共通選択 履修可能合計		7	0	1	6

した講義科目は、原子力工学に関する体系的な知識を身につける「原子力工学概論」、および原子力産業が幅広い分野の技術の上に成り立つことを理解する「原子力基盤技術概論」の二つであり、それぞれ4学年前期、5学年前期の「共通選択科目」に組み入れた。(科目の取組状況と結果については次項で述べる。)表1に新カリキュラム表(平成21年度以降入学学生)から抜粋した共通選択科目の部分を示す。共通選択科目とは、「防災・安全」、「知的財産権」、「医工・福祉」などの科目群から指定された単位数を学科横断で自由に選択できる科目であり、今回の改正で新たに取り入れたものである。

本プログラムの履修を希望する学生は、4学年の前期で原子力工学について学習した後、夏季休業を利用して原子力関連企業等で校外実習を行う。5学年では、前期に各専門分野と原子力産業との関わりを学習する。これらを踏まえ、原子力関連分野とのつながりを持つテーマに関する卒業研究を実施する。以上の流れにより、連峰型原子力人材を育成することができると考えている。

3. 取組の内容

本事業では、中学校卒業後の15歳から5年間の一貫した教育を行うことができるという高専の特徴を生かし、地域のエネルギー・環境問題への興味・関心を引

図1 取組全体の流れ図

図2 1年生対象エネルギー講演会

き出す段階から原子力に関連する卒業・特別研究までの一貫したプログラムを構築し、目標の達成を図る(図1)。このように低学年の啓発プログラムと高学年の履修プログラムの組み合わせによりエネルギー全般から原子力分野まで学齢と希望に応じて段階的に学生を導いていくプログラムである。以下に主な取組と結果を述べる。

3.1 講演会の開催

1年生(174名)にはふるさとのエネルギーに関する取組を含めたエネルギー問題全般に関する講演会を行った。「エネルギーについて－これからの人類のエネルギー－」(平成20年度)や「人類社会・地球環境とエネルギー問題」(平成21年度)という演題で、人類のエネルギーとの関わり、温暖化問題、新エネルギー、再生エネルギーなど幅広いテーマでありながら初学者向けの講演で始まる。2年生には「核融合の研究開発の現状－ITER計画、BA計画－」を開催し、核融合という夢のエネルギーに向かっている内容を受講させ強い動機付けを行う。低学年の場合は講師の話方に影響を受けることが多いが、何れの講演も講師の人柄も手伝って学生の興味を引き出すに十分な内容であった(図2)。

3.2 施設見学

1, 2年生の希望者(1年目9名, 2年目16名)に対し、自分の住む青森県がエネルギー集積地であることへの関心を高めることを目的に次のような多くの取組を行っている。

電力事業者の協力を得て東通原子力発電所PR館で発電所の概要を学び、発電所内のタービン棟や压力容器上部など主要施設を見学した。燃料ペレットと制御棒についても模型ではあるが現場で説明を聞く貴重な機会を経験している。また原子力施設の管理体制や環境影響、求められる技術者像などについて活発な質疑が交わされた。見学後の学習会では、実際に見学し現場の技術者との意見交換を通して、原子力発電所に対するイメージや考え方がどのように変化したかを参加

図3 1, 2年生対象施設見学と学習会

図4 1, 2年生対象施設見学

学生が発表しあう参加型の取組も加えている(図3)。

原子力船「むつ」に関する資料が展示されているむつ科学技術館や建設中のリサイクル燃料貯蔵センターの設置の意義と必要性を学び、さらには放射性炭素年代測定等、元素の微量分析が可能な加速器質量分析装置を見学学習した(図4)。

3年生の希望者(16名)に対して行った2年目の施設見学では、国内唯一の原子燃料サイクル施設の意義を理解し、原子力産業への興味・関心を引き出すことを目的として、濃縮工場外観見学、低レベル放射性廃棄物埋設地や高レベル放射性廃棄物管理施設を実地に見学し、認識を深めている。

3.3 インターンシップの実施

平成21年度、本科4年生116名と専攻科生17名、あわせて133名が主に夏期休業中にインターンシップに参加した。このうち12%に当たる16名が電力会社、原子力関連企業で1週間から2週間の実習を行い、原子力関連技術の就業体験を行っている。後述するように原子力関連企業への就職者数が増加しているが、インターンシップ経験者の割合が高いことが一つの要因になっているとみられる。

3.4 講義の開講

カリキュラム改正の結果、新規に設けた講義科目は低学年の段階を経て原子力関連産業へ興味を抱いた学生に対して4年生以降の履修モデルを提示できる後半プログラムの中核部分である。新設科目の開講状況は次のとおりである。

(1)「原子力工学概論」

平成20年度、暫定開講した「原子力工学・原子燃料サイクル工学概論」を第4学年の共通選択科目「原子力工学概論」(1単位(大学の2単位相当))に名称を変え、正式科目として平成21年度前期に開講した(図5)。原子力発電・原子燃料サイクルの原理、放射線の特徴、安全について学習し、原子力・原子燃料サイクル技術の基礎となる知識を身に付けることを目的として、本校教員2名、および、原子力、放射線関係の専門知識を有する地域の大学および企業からの講師4名により行った。授業の中で、Ge半導体検出器を用いたγ線計測を行い、実習的な要素も取り入れている。受講生は全学科にわたり、1年目は受講4年生17名中15名、2年目は43名中39名が単位修得している。対象学年に対する修得割合は1年目9.6%、2年目は22.5%

図5 4年生原子力工学概論講義

表2 学生自身による目標達成度調査の基準と項目

【評価基準】	
5：	十分に理解できたので大いに達成したとの自信がある。
4：	理解できたので、十分に達成したといえる。
3：	達成できたといえる。
2：	理解が不十分であるので、達成したとはいえない。
1：	全く理解できなかった。達成できていない。
【質問項目】	
1.	原子と原子核、放射線について理解する。
2.	核分裂と核融合、原子炉の原理について理解する。
3.	原子力発電と原子炉の制御、安全対策について理解する。
4.	原子燃料サイクルとその技術的特徴を理解する。
5.	放射線の影響、およびその安全対策について理解する。
6.	放射線の計測およびその解析ができる。

であった。

学生自身による目標達成度調査(表2)によると評価の各項目において、5点評価で平均3.56であり、「達成できたといえる(3点)」を超えている。また、平成20年度の3.35より改善されている。

(2)「原子力基盤技術概論」

原子力産業は材料技術、測定・検査技術、制御技術など多くの基盤技術によって支えられている。これらの原子力基盤技術を分野横断的に学習し、自分の得意とする専門分野と原子力との関わりや裾野の広い原子力産業について理解することを目標として、共通選択科目「原子力基盤技術概論」(1単位(大学の2単位相当))を平成21年度より開講した。講師は本校の専門4学科の常勤教員5名が担当した。その結果、全学科から履修希望があり、21名中17名が単位修得し、全体の10.7%に相当する。

学生自身による目標達成度調査では、「原子力発電の仕組みについて説明できる。」、「原子力関連設備における非破壊検査技術の役割を説明できる。」、「コンクリートの長期耐久性について説明できる。」、「中性子放射化分析法中性子による放射化およびγ線計測技術について概略を理解している」など15項目に対していずれも3段階評価で2.1から2.5の範囲にあり、概ね目標を達成できている。この場合の評価基準は「3：完全にできる、2：大体できる、1：ほとんどできない」とした。

3.5 セミナー・卒業研究等の実施

この分野の研究を志向する学生に対しては、全4学科で卒業研究の導入科目としての「セミナー」や「卒業研究」の中に原子力分野に関連するテーマが用意されている。希望学生は卒業テーマに取り組むことに

表3 原子力関連の卒業研究等の実施状況(H21)

所属・数	関連する卒業研究・特別研究テーマ
M 1名	VAC法を応用した低放射化鋼の表面改質装置の設計
M 2名	IFMIF背面壁リップ溶接部の材料特性評価
M 1名	直流電位差法による角部のき裂深さ評価
E 1名	遠隔操作を用いた探査ロボットの開発
E 1名	遠隔制御・監視実習装置の作成
C 1名	C/Cコンポジット中の不純物が及ぼす耐酸化性への影響
Z 2名	各種コンクリートの凍結融解抵抗性に関する実験
ASM 1名	IFMIF背面壁構造体ファイバーレーザー溶接部の引張り・疲労特性
ASM 1名	円孔を有するステンレス鋼板の疲労強度に及ぼす局部塑性加工の効果
AZ 1名	コンクリート製品の耐久性向上に関する実験的研究

M：機械工学科、E：電気情報工学科、C：物質工学科、Z：建設環境工学科、ASM：専攻科機械系、AZ：専攻科建設環境系

よって原子力および関連技術分野の研究方法を修得することができる（表3）。専攻科に進んだ学生は「特別研究」を通してさらに2年間継続して研究に取り組み、その研究成果を学会等で発表することになっている。

たとえば、核融合炉工学関連研究室においては4年生で核融合炉の概要に関する文献と真空アーク洗浄技術に関する論文を教材にセミナーを実施している。また特別研究生（専攻科生）2名及び卒業研究生3名に対しIFMIFをテーマとした特別研究・卒業研究を実施し、特別研究生1名は、「第三回フロンティア材料機能工学研究発表会」で研究成果を発表した。

また平成21年度から学内に学科組織とは別にロボティクス、環境・バイオテクノロジーなど8つの学科横断的教員組織「8系」を設け、社会的ニーズの高い共通テーマを教育できる仕組みを作っている。原子力にかかわる卒業研究については希望する学生や担当教員をエネルギー系や機能性材料系が連携して支援することができる。

3.6 卒業生懇談会の開催

3年次の学生に対しては、原子力関連産業に従事している卒業生との懇談を実施した。学科毎にホームルームで地域企業から派遣いただいた若手先輩技術者から分かりやすい講話を聞くことができ、活発な質疑応答も行われていた。

3.7 運営・評価委員会と成果報告会の開催

本事業の評価と継続的な改善を目的として、運営・評価委員会を初年度2回と終了時の計3回開催し、地域の大学関係者や原子力分野の有識者から質問や意見をいただき、人材育成の方法が適当かどうかの視点から評価を受けている。次のような意見や質問が寄せられた。1) 原子力関連企業への就職者数が全体の就職者数に占める割合はどの程度か。2) 授業の試験得点と学生自身による目標達成度の相関はどうか。3) 放射線に関する実習の実施状況はどうか。4) ITERに関する興味はどの程度か把握しているか。5) 5年間の一貫教育によって人材を育成するということ、15歳という若年から原子力に関する授業・見学・実習があることに意義がある。

事業最終年度の平成22年2月、「連峰型原子力コア人材育成プログラムinあおもり」事業記念フォーラムとして成果報告会を開催した。講演は「放射線の医療応用：ヒトの命を守る放射線」と「教育機関（大学等）への期待（電気事業者における原子力分野の人材について）」であった。「原子力事業者が望む人材像・技術者像」と題したパネル討論では、「八戸高専における原子力関連技術教育の取り組み」の基調報告の後、原子力関連事業者、研究機関、教育機関からなる5名のパネラーから活発な意見が出された。なお、講演会とパネル討論会には、学外者34名を含む合計60名の他、多数の学生が参加した。

4. 成果

4.1 カリキュラムへの反映

総合工学としての色彩が濃い原子力関連科目は導入を企画し実際に運用できたことから本校の連峰型教育の仕組みに溶け込ませることが可能であることが明らかとなった。横断的な科目群の設定、一定枠内での一般と専門科目の自由選択という柔軟な仕組みの中で原子力関係の科目を受講しようとする学生に学習しやすい環境を提供できたといえる。

4.2 取組に対する学生の参加状況

前述した各取組に対する学生の参加状況を表4にまとめた。この中で低学年対象の講演会等は全員参加を前提に実施しているので参加率100%とした。全員参加を含むすべての取組を延べ人数で積算すると参加率は40%を超えている。それに対して学生の希望によって実施した取組については8.9%であった。低学年の施設見学の参加率が低かったのは冬場の学生臨休日に行ったという時期の設定が影響したのではないかと思われる。高学年で実施した基幹的講義「原子力工学概論」には40名ほどの学生が履修選択し、関心の高さが見受けられる。

4.3 学生に対する教育効果

講義・講演・インターンシップでは学科横断的な取組を生かして連峰の裾野や中腹を厚くする一方、卒業研究等では専門性を求めて連峰の頂をより高めるように努めている。

この連峰型の取組の結果、学生の興味と関心は大いに高まり、評価も高かった。例えば、原子力関連施設を見学した2年生に対して行ったアンケート調査によると、事故に対する不安や放射線に対する恐怖あるい

表4 個別の取組に対する学生の参加状況

取組	参加者／全体	割合%
1) 講演会1年生(H20, 21)	348名全員	100
2) 講演会2年生(H20, 21)	349名全員	100
3) 施設見学1・2年生(H20, 21)	25/689	3.6
4) 施設見学3年生(H20)	178名全員	100
5) 施設見学3年生(H21)	16/178	9.0
6) 卒業生懇談会3年(H21)	178名全員	100
7) インターンシップ(H21)	16/133	12.0
8) 原子力・原子燃料サイクル工学概論(H20, 4年)	15/156 (17/156)	9.6 (10.9)
9) 原子力工学概論(H21)	39/173 (43/173)	22.5 (24.9)
10) 原子力基盤技術概論(H21)	17/159 (21/159)	10.7 (13.2)
11) セミナー・卒業研究(H21)	9/159	5.7
12) 特別研究(H21)	3/24	12.5
全取組の延人数・割合	1193/2724	43.8
希望者による取組(3, 5, 7~12)の延人数・割合	140/1671	8.9

※7~12)の数値は単位修得者のデータ。()履修者のデータ

表5 原子力関連産業への就職状況

学科	機械	電気	物質	建設	全体
就職者数	23 10	27 12	13 3	15 5	78 30

上段：過去8年間の全数，下段：最近2年間の内数

は厳重な警備等について学生が抱いている原子力に対する負のイメージが払拭され、逆に安全や環境に対する努力の現状を知り、原子力発電の必要性を認識できたとある。このように学生に受け入れられた理由は、事前の講演会等で社会的背景や基礎知識を得た上で実際の施設を見学研修するという段階的なプログラムが学生に系統的な知識を与え刺激したことにある。

また、高学年プログラムで実施した二つの講義科目に対する学生の評価3.56（5段階）と約2.3（3段階）は設定した基準からみても学生が概ねよく取り組んだ結果である。また、自分の専攻分野だけに関心を持ち異分野に対する視点が弱かった学生に対して学外の講師を含む多くの専門分野の教員が本プロジェクトに携わったことによって学生の視野を広げる効果もあった。

4.4 関連産業への就職状況

各学年で同時進行的に本事業に取り組んだこととカリキュラム改正の効果が早速反映されて原子力関連産業に就職する学生数が急に増えている（表5）。直近の2年間で30名という人数は、学年の平均現員数160～170名に対して本取組に対する平均的取組選択率8.9%（表4参照）を人数換算した15名の2年分とよく符号する。調査対象年齢に多少差があるものの最近の学生の関心の度合いが就職に反映していることを示す一例である。

5. おわりに

総合産業としての原子力には機械工学、電気工学など多くの専門分野の連携が欠かせない。これにかかわる人材育成について就職してから対応することも必要であるが、学校教育段階から取り組むことが望まれてきた^{2), 3)}。それに対して本稿の連峰型教育は原子力

教育にも十分応えうる教育方法であることを示している。高等専門学校のような比較的小規模の教育機関における原子力教育の一例として提案したい。今後は専攻科をさらに充実させるなど連峰の峰を高める工夫を図っていききたいと考えている。

これらの一連の教育的取組が3. 取組の内容で記述した通り地域における産官学連携協力で実現できていることも強調しておきたい。

謝 辞

本取組は、平成20、21年度文部科学省の原子力人材育成プログラム事業の採択を受けた。また、実施に当たっては、青森県、東北大学、八戸工業大学、日本原子力研究開発機構、(財)環境科学技術研究所、青森県内原子力事業者のご協力を頂いた。ここに深甚の謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 資源エネルギー庁：原子力立国計画, 2006
- 2) 山本晋児：原子力人材育成の現状と今後の展開, 工学教育, 57-4, pp.15-21, 2009
- 3) 原子力人材育成関係者協議会：原子力人材育成関係者協議会報告書, 平成21年4月, 社団法人日本原子力産業協会, 2009
- 4) 八戸工業高等専門学校：連峰型原子力人材育成プログラムinあおもり成果報告書, 2010

.....

著 者 紹 介

大久保 恵

最終学歴 東北大学大学院理学研究科化学第二専攻前期課程修了
所属・役職 八戸工業高等専門学校・教授・専攻科長
専門分野 生物物理化学
学 位 理学博士
所属学協会 日本化学会, 化学工学会, 日本工学教育協会など
連絡先: ohkubo-c@hachinohe-ct.ac.jp