埼玉大学機能材料工学科での学際・融合複合教育

Interdisciplinary Education in Department of Functional Materials Science, Saitama University

鎌田 憲彦^{※1}

Norihiko KAMATA

1. はじめに

埼玉大学工学部では、平成4年に機能材料工学科を設立し、物質科学の物理・化学的基盤の上に、バイオを含む先端材料科学技術への糸口を得ることを意図した教育研究が進められている。現在の先端的研究開発の動向からは必然的、かつ合理的な領域設定ではあるが、従来型の学部教育の区分けからすると、学際・融合複合教育の典型例と言えよう。これまでの17年間を通して、従来の枠組みにとらわれないカリキュラム編成と運用体制を整備し、教育改善の努力を継続してきた。その過程で、特長点と問題点も浮かび上がってきている。学際・融合複合教育特集に際して、ここでは一事例として、機能材料工学科の教育体制と教育実績、特色の概要を紹介したい。

2. 機能材料工学科の設立と経緯

2.1 設立の背景

人類の文化史は石器、青銅器、鉄器と、使用した道具の材料と不可分に語られる。今日の社会を支える科学技術は、こうした人類の飽くなく探究心と不断の努力の蓄積によって進展してきた。世界中がインターネットの情報網で結ばれ、エネルギー、生産、物流、医療・福祉や娯楽等の複雑な機能が組織化された現代社会システムにおいて、物質自体が高度な機能を持った機能材料や、それらを用いた機能デバイスを創出する物質科学の果たす役割はますます増大している。これを教育的観点から眺めると、原子・分子の自然法則である量子力学に立脚して、物質のふるまいを原子レベルで理解し設計する量子物性工学と、生命現象をDNAを主体として分子レベルで解き明かす分子生物学的な素養が、今後は高等専門教育として重要な位置を占めることがわかる。

2.2 設立の目的、目標と経緯

こうした認識から、物質科学の基盤を身につけ、高度な機能を持った物質、機能材料を新たに創出し応用できる技術者、研究者を輩出するためには、従来の枠

組みにとらわれず、物理と化学の基盤を理解し、バイオ工学の視点をも備えた新たなカリキュラムの整備が望まれた。こうした目的の下に、電気電子工学科、応用化学科の教員が母体となって、機能材料工学科が平成4年に設立された。学生定員は発足時50名で、平成20年度の環境共生学科の設立に伴い48名となった。現在の教員は、主に数学、物理学科目を担当する機能量子工学講座と、主に化学、バイオ科目を担当する機能生体分子工学講座とに所属する教授5、准教授・講師7、助教3の15名体制である。

重厚長大な「構造材料」に対し、精緻・微細で材料自体が高度な機能を持つ「機能材料」を主対象とし、その開発に従事する高度技術者および研究者の養成を目指すこと、物性論の手法を使って、原子分子レベルで物質を設計・制御することにより、機能材料とその応用デバイスを創出する原理を体系的に教育すること、分子バイオテクノロジーが今後の重要な機能材料を生み出すという認識から、バイオ教育を積極的に取り入れることが、設立時の教育方針となっている。これらは、既存産業や、近未来における新たな産業の多様なニーズと、新素材の技術発展に柔軟に対応できる人材、さらに、物性科学を基盤とする学際的専門性を持つと同時に、科学技術全体に対する広い視野と科学技術者の社会的責任を自覚し、また、国際社会で活躍できる人材を養成することを目指して設定されたものである。

年次進行に伴い教育体制が整備され、平成8年度には博士前期課程機能材料工学専攻が設立された。部局化した現在は博士前期課程物理機能系専攻機能材料工学コースとなり、博士後期課程物質科学コース（物質機能領域）へと接続されている。また平成17年度には日本技術者教育認定機構（Japan Accreditation Board for Engineering Education, 略称JABEE）の工学（融合複合・新領域）関連分野としての認定を得て今日に至っている。設立目的を達成するための教育目標は、

- (1) 独創的な科学技術が、科学技術者の豊かな教養に裏付けられた先見性あるビジョンによってこそ生まれることに鑑み、科学技術者としても、社会人とし

平成21年9月28日受付

※1 埼玉大学大学院理工学研究科

表1 機能材料工学科の分野別要件

1. 修得すべき知識・能力

(1) 基礎工学の知識・能力

- ①設計・システム系科目群（工学基礎実験等）、
 ②情報・論理系科目群（情報処理演習、情報基礎等）、
 ③材料・バイオ系科目群（材料無機化学、材料有機化学、生物物理化学、分子生物学Ⅰ・Ⅱ等）、
 ④力学系科目群（量子力学演習等）、
 ⑤社会技術系科目群（技術倫理、特別講義）の5群からなり、各群から少なくとも1科目、合計最低6科目

(2) 専門工学の知識・能力

- a) 専門工学としての機能材料工学（結晶物理学、磁性材料、高分子科学、物性計測工学、構造解析、応用電磁気学、光物性工学等）
 b) 基礎的な知識・技術を駆使して実験を計画・遂行し、データを正確に解析し、工学的に考察し、かつ説明・説得する能力（機能材料基礎演習Ⅰ・Ⅱ、機能材料工学実験Ⅰ等）
 c) 工学の基礎的な知識・技術を統合し、創造性を発揮して課題を探索し、組み立て、解決する能力（機能材料工学実験Ⅱ・Ⅲ、卒業研究等）
 d) (工学) 技術者が経験する実務上の問題点と課題を理解し、適切に対応する基礎的な能力（卒業研究、基礎電子回路、電子回路、インターンシップ等）

- ても、時間的および空間的に大局的な視点から自ら批判的に考える力を持つように、教養を涵養する
- (2) 機能材料工学が社会において果たしている役割や、その社会および自然に及ぼす影響・効果に関する理解力や責任など、科学技術者としての社会的責任を自覚する能力を涵養する
- (3) 科学技術者として自立するために必要なリテラシー能力を涵養する
- (4) 機能材料工学が物性物理・材料化学・電子工学・生物工学の境界に広がる学際科学であり、確立された伝統的工学分野と異なることに鑑み、数学、基礎物理、基礎化学・生物の各領域の基本的理解力を涵養する
- (5) 機能材料工学の基盤としての物質・生命現象とその数理・発現メカニズムを、実験および演習を含めて体系的に学習する。機能材料工学は学際的な先端科学技術領域であることに鑑み、卒業生の過半数が大学院博士前期課程へ進学し、さらに研鑽を積むことが可能となるような学力を身に付けることを専門工学教育の到達目標とする
- (6) 課題探求型科目や卒業研究を通して、現状の分析、課題の発見、問題解決の経験を積むことにより、自ら課題を設定し、それを基礎および専門工学に基づき、創造的に解決する力を涵養する
- の6項目に整理されている。

3. 機能材料工学科の教育カリキュラム

3.1 学際・融合複合分野としての位置付け

機能材料工学科の学問基盤は、原子・分子のレベルで物質、材料を理解し、設計、合成するための物質科学の物理、化学的基礎であり、その上にバイオ工学の視点を取り入れている。広い視野を身につける教養教育と並んで、こうした原子・分子レベルでの自然法則を理解し、工学応用を図るための科目は、従来の区分では工学部電気電子システム工学科、情報工学科、応用化学科、また理学部物理学科、基礎化学科、生体関連学科にまたがっている。しかし新たな枠組みで整理することにより、学問体系の面から必然的、かつ合理的な教育カリキュラムに近づけることが可能と考えている。

ここで注意すべきなのは、学際・融合複合分野の教育とは、学問体系の枝葉に近い部分の各論を網羅すればよいというものではない点である。こうした各論の網羅主義は実際にも不可能だろうが、それより以前に、我々としてはより本質的な観点から避ける必要があると考えている。今後とも変容する学際領域で活躍し、次の新たな領域を切り拓く原動力は、第一に学問基盤に根ざした優れた科学的思考力であり、第二にそれと一体化した実験技術を含む実行力と考えられるからである。もちろん第三に、工学部としてのリテラシーを身

に付ける必要がある点は言うまでもない。

したがって学部レベルで重視すべきなのは、あくまで根幹となる基礎学力である。そして複数の切り口から進む個々の科目の学習を通して、科目の枠を越えた物質科学の共通基盤を見出す機会を得られる点が、従来の枠組みにはない特長のひとつと自負しているところである。これらの観点から、分野別要件として卒業までに修得すべき知識・能力の条件を定めている(表1)。

3.2 物質科学の基盤と専門科目

設立前に、従来の枠組みに慣れた教員から「物理と化学を両方やらなければならないのは大変でしょう」と言われたことがあった。一方企業の研究開発職の方々からは「材料の物理と化学ができるのは素晴らしいですね」と言われることが多い。これらの発言に象徴されるように、学際・融合複合教育には各々の立場からの多様な反応が得られる。

原子・分子レベルでの自然法則が物質、材料の根本基盤であるから、そのうちの共通性に着目した物理的な科目、各原子・分子の個性とそれらの結合論に着目した化学的科目は、お互いのアプローチの差はあっても本源的な部分は共通である。化学を突き詰めていけば物理になるし、物理を実現しようとすれば化学になると言っても過言ではない。さらには原子・分子の量子力学的なふるまいを土台に、DNAによる遺伝情報の伝達過程があり、究極の機能材料とも言える

表2 学科専門科目の履修スケジュール

1 年次		2 年次		3 年次		4 年次
線形代数 I	応用数学		確率統計学			
微分積分学 I	微分積分学 II	微分方程式 I				
		基礎量子力学	量子力学 I	量子力学 II		
			量子力学演習		光物性工学	
				結晶物理学	半導体工学	
基礎物理学 I	基礎物理学 II	電磁気学	応用電磁気学			
		熱力学 I		統計力学		
物理化学 I	物理化学 II	金属・セラミックス材料		磁性材料	電子機能材料	
		基礎化学 II	材料無機化学	薄膜・表面工学		
	基礎化学 I	基礎化学 III	材料有機化学	有機機能材料	高分子科学	
					生体分子デバイス	
		分子生物学	生物物理化学	分子生物学 I	分子生物学 II	
			物性計測工学	構造解析		
			基礎電子回路	電子回路		
	情報基礎*	情報処理演習				
	科学技術作文			科学技術英語	特別講義	
機能材料工学概論						技術論理
工学基礎**						科学技術と知的財産
機能材料基礎演習 I	機能材料基礎演習 II	工学基礎実験	機能材料工学実験 I	機能材料工学実験 II	機能材料工学実験 III	卒業研究
					※卒業研究 A	※卒業研究 B
		インターンシップ				
		(ソフトウェア工学) (基礎流体力学) (材料力学 I) (システム創成学概論) (固体物性論) (電子デバイス) (センサ工学) (ロボット制御) (環境アセスメント) (化学反応速度論) (分析化学 I) (プロセス工学 I)				

A 群 B 群 C 群 E 群

* 「情報基礎」は埼玉大学教養教育科目・情報系として開講される。

** 「工学基礎」は留学生向け

※ 「卒業研究 A」および「卒業研究 B」は早期卒業対象者のみ履修可。

生体高分子等、新たなバイオ工学の可能性が拓かれつつある。こうした物質科学の学問体系のエッセンスを反映させ、相互の連関を考慮しながら、学部教育としての機能材料工学科の専門科目が構成されている（表2）。詳細は学科ホームページ（<http://www.fms.saitama-u.ac.jp/>）を参照されたい。以下特徴的な科目について説明する。

3.3 自ら考え行動する能力の涵養

(1) 機能材料基礎演習 I（必修）

近年の理科離れの風潮に対して、小学校、中学、高校での理科の学習時間の不足も一因として挙げられている。どちらが先かの問題もあるが、過去の履修範囲が年とともに外されるといった事例は複数挙げることができる。これらを反映して、高校卒業時点での物理、化学の実質的履修状況には有意な個人差がある。物理、化学を共に基盤とする本学科では、出発点として高校卒業程度のレベルを新入生全員が満たす必要がある。一方で既にこのレベルをクリアしている学生には、知的刺激を与えて大学での能動的学習を促すことが望まれる。こうした多面的要求を満足するため、1年次前期に「機能材料基礎演習 I」（必修）を設け、習熟度別の少人数演習を実施している。

物理、化学の習熟度はセンター入試の得点分布で代

用し、学生12～15名程度の「物理・化学補強」クラス、「物理補強」クラス、「化学補強」クラス、「アドバンス」クラスの4クラス編成とする。「物理・化学補強」クラス、「物理補強」クラス、「化学補強」クラスでは、各々の高校での不得意事項を解消し、大学での勉学のスタート地点を確保することが目的である。高校の教科書を用いて演習問題を解き、理解を確認する作業が主体となる。各クラスにつき教員4名が輪番となり、TAの院生と共に課題の出題と採点、解説を行っている。一方アドバンスクラスでは、大学生としての知的な刺激を与え、創発的な学習の契機とすることが目的である。教員3名が輪番でやや挑戦的なレベルの物理、化学の論文輪講や数学的扱いに関する演習を行っている。

(2) 機能材料基礎演習 II（必修）

図1 基礎演習 II の発表会

1年次後期に開講し、学生が自分たちで材料に関するテーマの設定から実験計画、準備・試行と対策、最終成果発表までをデザインする演習である。自ら考えて行動し、問題設定と解決を試みることによって、大学での能動的な学習態度を体得させることが目的である。担当教員は折にふれ安全面からのアドバイス、学生実験室の手配等をするが、学問的内容に関してはヒントや着眼点の示唆に留め、可能な限り学生に委ねることにしている。学生は中間発表では計画や試行実験について、また最終発表では結果の検討、考察等について、全教員の前で発表し、厳しくも温かい指摘やアドバイスを受ける。

(3) 学生実験（必修）

2年次前期の工学基礎実験（図2）、後期の機能材料工学実験 I、3年次前期、後期の機能材料工学実験 II および III（図3）が必修となっている。物質科学の基礎的実験技術をマスターし、理論を実際の現象で体得すること、物理、化学、バイオの広い視野と深い洞察力を涵養することが目的である。なるべく履修年次に合わせて、授業と関連深い現象や物質を実験的に扱っている。

図2 酢酸イソアミルの合成（工学基礎実験）

図3 量子力学的トンネル効果（機能材料工学実験Ⅱ）

(4) 卒業研究（必修）

卒業研究履修条件を満たした学生は、4年次の1年間、研究室に配属され、教員の個別指導や大学院生を含めた研究室ゼミ、輪講等に参加しながら、各々のテーマに関する研究を行い、卒業論文を執筆する（図4）。1教員あたりの卒研生は4～5名である。また4月の本配属に先立ち、3年次後学期期末の3月中旬に仮配属を行い、3月末卒業・修了者との引継や準備の期間としている。

特に本学科は学際領域のため、研究対象は広く社会的に話題となっている事例が多い（図5）。また個々の教員の研究活動実績が豊富で、たとえば科研費を除いた経産省、NEDO、文科省、科学技術振興機構等のプロジェクトだけでも2007～2009年度間で年平均7件を推進している。博士前期・後期課程院生、設備面も充実しており、卒業研究は学生に最も大学生としての実感をもたらすという、重要な役割を担っている。

授業での言わば受け身の学習から、未踏領域へ自ら踏み出すという能動的な研究活動が必要となり、容易ではない経験を積みながらも、研究生活の充実感に魅せられて大学院進学を志す学生も多い。意欲的な4年生にとっては良い研究生活のスタートが切れることになる。卒業研究の成果で3月末に学会発表する学生や、卒業研究が契機となり、大学院で国際会議や論文発表

図4 研究室での研究風景

機能材料工学科の研究分野

図5 研究分野と研究対象の例

表3 教員免許取得のための単位表

機能材料工学科における中学・高校理科教員免許取得のための単位数概略			
・教員の免許状取得のための必修科目（選択必修科目の単位数を含む）：22単位			
・教員の免許状取得のための選択科目：44単位			
免許法施行規則に定める科目区分	開講授業科目数		備考
	必修科目数	選択科目数	
物理学	4	22	機能材料工学科開設科目
物理学実験（コンピュータ活用を含む）	3		
化学	4	14	
化学実験（コンピュータ活用を含む）	3		
生物学	2	8	
生物学実験（コンピュータ活用を含む）	3		理学部開設科目
地学	2		
地学実験（コンピュータ活用を含む）	1		

に至る例が続いている。

4. 学際・融合複合教育の体制と課題

4.1 JABEE認定

機能材料工学科では、平成14（2002）年度入学生から、国際的に認知されて活躍する技術者（研究者を含む）を養成するための教育プログラムに対応し、前述のとおり、平成17（2005）年度にJABEEの「工学（融合複合・新領域）」を受審して認定された。従って全ての機能材料工学科卒業生はこの教育プログラム修了者として認定され、技術士の第1次試験免除の資格を得ている。

4.2 高校理科教員免許

物理と化学の教育体制を備える機能材料工学科では、高等学校および中学校教員免許取得に必要な理科専門科目が学科カリキュラムに複数含まれている。従って専門科目としては地学のみを履修することによって条件を満たす（表3）。この特色を活かして、教職科目などの所定の単位を修得すれば、平成20年度より高等学校および中学校教諭1種（理科）の教員免許を取得できるようになった。

4.3 教育体制の整備と改善

埼玉大学では、工学部の働きかけにより教養教育を含めた全学の教務連絡体制が構築されている。学科としてもその中で教育体制、教育改善体制を整備し（図6）、また計画、実行、検証、改善のPDCAサイクルを円滑に進める学科内ネットワークを組織して、定常的に活動を行っている。これまで述べてきたカリキュラムも、こうしたサイクルを通して検討され、実行されてきたものである。こうしたサイクルに学生の声が反映される点は重要であり、授業評価の高い教員の顕彰の他、学生の要望に応じた自習室、無線LANの整備等をこれまでにやっている。

4.4 学際教育の特長と課題

(1) 学際性による広い視野

学際性に基づいて物理、化学、バイオの基礎を勉強する学生にとっては、必然的に広い視野での思考が求

図6 機能材料工学科の教育体制

められる。程度問題ではあるが、「私は化学（物理）が得意だが物理（化学）は苦手」等とは言っていられない面がある。しかし、このような環境下で4年間を過ごした結果、当初物理や化学が不得手であった学生が、専門科目が増すにつれて興味を持ち始め、初めは得意科目であった科目を得意科目として卒業研究を仕上げるといった例が多数出ている。またそこまで至らないにしても、狭いこだわりなしに物理、化学、バイオの基礎的実験手法を身につけ、一見異なる領域の実験にも躊躇せずに取り組むことのできる能力は、社会に出てから大きな知的推進力となることが予想される。

(2) 高い大学院進学率

卒業研究を通して研究の面白さに開眼する学生が多く、博士前期課程物理機能系専攻の機能材料工学コースに進学する者が約6割、他大学院に進学する者を合わせると、約7割に上っている。このため機能材料工学科、機能材料工学コースが実質的に6年一貫制に近い形で運営され、効果を挙げている。特に博士前期課程修了生の就職先は大手製造業が多く、この点も進展が著しい学際領域の特徴を直接反映していると思われる。

(3) 広報、社会的認知度の課題

その一方で、「機能材料工学科」という名称に対す

る社会的認知度はまだ低く、この点が学科の入試対策にとって最大の問題点となっている。高校の進路指導担当教員からは「この名称では高校生にわかりません」と指摘され、高校生や父母からも学科の内容についてよく質問を受ける。化学、物理を共に履修できる高校生は限られる上に、その両方が得意でなければ入れないという先入観を与えがちである。どちらかに興味を持てる学生であれば学問基盤の共通性を理解できるはずであり、出張講義、サイエンススクール、サイエンスパートナーシッププロジェクト（SPP）等の活動を通して、積極的に広報活動を継続している。こうした努力を継続しつつ、より効果的な対策の検討を進めていく必要があると思われる。

(4) 学力、進路選択の課題

広範囲の学習を効率的に進めるには、カリキュラム自体が十分な連関を考慮したものであり、かつ学生がそれらを咀嚼する能力を持っている必要がある。これまで機能材料工学科では、高い進学率からもわかるように、広い視野を持った卒業生を輩出してきた。しかし同時に、少数ながら授業について行くことのできない学生も存在する。定員の厳格管理が求められる中で、こうした学生に対する個別指導、転学部等の進路アドバイス、メンタルなケア等が必要となっている。

機能材料工学科では、入学時から3名の教員が担任として定まり、卒業までの4年間、ガイダンス、行事やこうした個別の指導を担当し、効果を上げている。今後も学力、進路、生活指導は重要な課題であり、そ

の結果として留年率の低下とその保持が期待される。

5. 今後に向けて

学際、融合複合領域としての機能材料工学科の教育について概説してきた。教育は常に現在進行形であり、実際新たな中期計画に向けて教養教育、専門教育の垣根を取り払った新たな方式が検討されている。本稿で述べた事項も徐々に変更される点が増えると思われる。しかしながら、学際領域であることの利点を活かし、従来の枠組みにとらわれない広い視野と柔軟な応用力の涵養を目指す点は変わらないであろう。この目標を実現するためには、教職員一同さらに努力を継続することが必要と考えられる。本稿が読者諸賢の何らかのご参考になれば幸いである。

.....

著 者 紹 介

鎌田 憲彦
昭和58年3月 東京大学工学系研究科博士後期課程電子工学専攻修了、工学博士。
同年4月 日本放送協会放送科学基礎研究所、昭和63年11月 埼玉大学工学部、専門は光物性工学。
現在埼玉大学大学院理工学研究科物質科学部門教授、博士前期課程物理機能系専攻機能材料工学コース長、工学部機能材料工学科長