新世紀におけるパワーエレクトロニクス教育を考える

正 員 植田 明照 (愛知工業大学)

正 員 大口 國臣 (茨城大学)

正 員 松井 幹彦 (東京工芸大学)

Discussion on Power Electronics Education in the 21st Century

Akiteru Ueda, Member (Aichi Institute of Technology), Kuniomi Oguchi, Member (Ibaraki University)

Mikihiko Matsui, Member (Tokyo Institute of Polytechnics)

Power electronics is an interdisciplinary area which is interstitial to all of the major disciplines of electrical engineering including "power (static and rotating equipment)", "electronics (devices and circuits)" and "control (continuous and sampled-data)" as pointed out by Dr.W.E.Newell in 1973. Today, the covering field of power electronics has more widely spread out with the help of ever evolving micro electronics and computer science. For this reason, it has become a very important problem to find out "what are the truest essentials of power electronics?" and "what is the efficient way in teaching them?" from an educational point of view in universities and companies. This paper surveys the present status of the power electronics education in universities and companies, and try to point out some problems based on the discussions performed in the IEEJ committee on power electronics education.

キーワード: パワーエレクトロニクス、学部教育、大学院教育、企業内教育

Keywords: Power electronics, Education in undergraduate school, Education in graduate school, Education in companies

1. まえがき

地球環境、資源問題に関連して、エネルギー分野の重要性はますます高まり、中でもパワーエレクトロニクスへの期待はさらに強くなっている。しかしながら、パワーエレクトロニクスは大学、大学院の学科目としては、電気機器工学から発展的に独立した比較的新しい科目であり、その最適な授業法については、定着していない状況である。

産業界においても、パワーエレクトロニクスは比較的新しい技術分野であり、大学でこれを履修した技術者が質的、量的に十分満たされておらず、人材育成の重要分野として企業内教育が必要に応じて行われて大学での教育の不足を補っている。しかし、産業界では、全世界的な事業展開と競争の激化により、即戦力の実地的教育への期待が強くなっており、バブル崩壊後さらにその傾向は強くなっている。実務に結びつく教育の方法という面では、米国が進んでいることは否めない。

米国においては、全米科学財団(NSF:National Science Foundation)が大学における Power Engineering 教育の革新を意図して、3年間のプロジェクトを7大学に委託した。その中に「パワーエレクトロニクス教育の革新と教材開発」が含まれている。

日本の大学において、過去には研究偏重の傾向もあったが、最近は教育の重視が盛んに言われている。しかし、大学での教育法に関しては、学科目特有の事情などもあり、残念ながら米国のような具体的対策はまだ取られていない。

このような状況で、パワーエレクトロニクスへの期待が大きいことに応え、その教育法について事例調査を含めた調査研究を行い、その改善の指針を得ることを目的として、半導体電力変換技術委員会において、「パワーエレクトロニクス教育調査協同研究委員会」を設置して調査が行われた(調査期間:平成12年4月~平成14年3月)。この委員会の活動概要と構成メンバーは、D部門誌の調査研究委員会レポート^[1]に紹介されているので参照願いたい。本解説はこの委員

会の調査結果^[1]に基づいて幹事メンバーが執筆したものであることを記して、委員各位のご協力に謝意を表したい。

2. 学部におけるパワーエレクトロニクス教育

パワーエレクトロニクスの今日の発展の原点は1957年のサイリスタの登場に遡る。1973年に米国のNewellが発表した「パワー(静止器、回転機)とエレクトロニクス(デバイス、回路)とコントロール(連続、離散)の三つの技術分野が完全に融合したもの」との定義が示す通り^[2]、パワーエレクトロニクスはこれらの技術分野の発展に支えられながら進化を遂げてきた。そして今日、そのカバーする領域は一層多様化し、複雑化しつつある。これに対し、大学の学部でのパワーエレクトロニクス教育の内容も時代の流れに歩調を合わせる形で変化を遂げてきたが、限られた講義時間数の拘束の中で、「何をパワーエレクトロニクスの基礎ととらえ、どのように教えるべきか？」が問題となってきた。

<2.1> 典型的な関連カリキュラム

パワーエレクトロニクスは、カリキュラム上では電気機器学の流れの上に発展してきたため、講義もこの流れに沿って電気機器の基礎科目としての、電気機器学I, II (変圧器、誘導機、直流機、同期機、他)および、半導体電力変換の基礎科目としてのパワーエレクトロニクス(パワーデバイス、基本変換方式、応用/詳細は表1を参照)の3科目が2年~3年次に配置されることが一般的であり、ほぼ例外なく電気工学系学科のカリキュラムに取り入れられている。その理由は、パワーエレクトロニクスが電気主任技術者の資格認定上の必修科目に指定されていることにもよる。通常はこれらに加えて、電機システム制御やエネルギーシステムなど、制御やシステムの観点での講義が4年前期付近に配置されている。また、個々の大学のカリキュラム事情に応じて、既存の制御工学やシステム工学などの講義の一部でパワーエレクトロニクス制御システムを取り上げている場合もある。

表1 「パワーエレクトロニクス」の構成

Table 1 "Power Electronics" syllabus.

(愛知工業大学 工学部 電気工学科の例/3年前期)

1. パワーエレクトロニクス概説
2. パワー半導体デバイス
3. 整流回路
4. 制御整流回路
5. 他励インバータ
6. チョップパ回路
7. インバータの基礎
8. 方形波インバータ
9. PWMインバータ
10. 電力変換装置の応用
11. 直流電動機の制御
12. 交流電動機の制御
13. 電力, 交通, 産業システムへの応用

表1はパワーエレクトロニクスのシラバスの典型的な一例である。サイリスタ式変換装置の全盛期には、この例の様にパワーデバイスの説明に続いて他励変換回路(ダイオード, サイリスタ), 自励変換回路(チョップパ, インバータ), 応用例の順での説明が一般的で、他励変換回路においては自然転流の制約条件や転流時の重なり現象などの説明に多くの労力が割かれていた。しかし、自励インバータの方がより一般的となった近年では、実用的な観点と理解の容易さの理由から、自励変換回路を先に取り上げる場合も多くなってきたようである。

電気機器やパワーエレクトロニクス機器の動作原理の理解を深める上で、実験は欠かせることができない。パワーエレクトロニクスに関連する実験は一般に3年次前期/後期に実施されている。その内容は旧来の変圧器と回転機に関する電気機器の実験テーマに加え、整流回路とインバータを含むパワーエレクトロニクス変換装置の実験テーマ、制御手段を与えるマイクロプロセッサのプログラミング実験テーマ等も取り入れられている。最近では学生達が興味を持って取り組むことを意図して、倒立振り子やロボットアーム等のメカトロニクス系をDSP等で制御する最新のテーマを取り入れているケースも見られる。

<2.2> パワーエレクトロニクス教育を取りまく状況

すでに述べたように、科学技術の発展に伴い、学部で修得すべき知識や技術が増大している。また、昨今の学生の学力の多様化に伴い、多くの大学で補習教育や基礎科目に力を入れざるを得なくなっている現状がある。これらが原動力となって学部教育における、専門科目カリキュラムのスリム化が進行している。本来的にパワーエレクトロニクスは回路理論、電磁気学の基礎の上に立つ、電気機器学、電力工学、制御工学、情報理論などの学際的分野であるため、統合・整理の対象となり易く、時間数が減らされる傾向にある。実際、「電気鉄道」「照明工学」等の応用的分野の講義科目の多くはスリム化により消え、特別講義等を利用してカバーされる傾向がある。

一方、昨今の学生の理科離れ、ハードウェア離れの傾向には顕著なものがある。いわゆる、もの作りの好きな学生が減少してきている。工学部への進学動機が明確でなく、エンジニアとしての自分の夢や将来像を描けない学生が増加している。このような状況下において、パワーエレクトロニクス

は本来ハードとソフトにまたがる応用領域であるため、理論の実際面での応用やもの作りの面白さを伝え、学生の創造性を喚起する上で格好の学問領域となり得るはずである。

また、近年、大学院への進学者数は全体的には増加しているが、多くの大学では未だ学部卒の学生数の方が多い。最終教育の場としての意味を考えると、理論教育もさる事ながら、学部教育での実験・実習は特に重要な位置を占める。高等学校教育では実験・実習の機会が減少している今日、大学でのそれらの体験は益々重要な意味を持つようになってきている。このことから、実用性を重視し、理論を実験により検証するパワーエレクトロニクスの理科・工学教育における役割は、一層増してきていると言えよう。

<2.3> 魅力あるパワーエレクトロニクス教育のために

では、パワーエレクトロニクス教育を魅力あるものにするには、どのような観点が必要だろうか。以下に、委員会での議論の内容から、ポイントを拾ってみたい。

1) 何を教えるべきか

パワーエレクトロニクスはエネルギー変換の中の制御を扱う分野であるといえる。電磁気学/回路理論と数学的な素養に加え、物理的なイメージを捕らえる力、ミクロ/マクロの両面から物事を見る力を育てるべきであろう。学ぶことが多くなっているのも、カリキュラムは教える順序に配慮しつつ優先順位を付け、シラバスも同様に取捨選択して整理する必要がある。しかし実験においては、過度の合理化は禁物である。完成された装置の特性を測定するといった内容ではなく、できるだけ学生に配線をやらせるような実験内容とすることが好ましい。

2) 講義を魅力あるものにするためのアイデア

世の中の傾向をどのように講義に反映していくかが重要である。大学の講義では、どうしても原理が中心になりがちであるが、基礎だけでは不十分で、色々な応用も併せて扱うのが好ましい。学生達は図や理論のみでは興味を示さない。授業では、OHPやマルチメディアの手段を活用して、工場や現場での実際を写真で訴えたり、実物の素子等を回覧するなど、実物に触れさせる機会を多くすることが大切である。しかし、実際の工業製品等を紹介しようとしても適切な写真の入手も困難な場合が多い。そこで、このような教材を集め、利用できるようにする仕組みがあると良い。この点に関しては、先に文献(2)でパワーエレクトロニクス教育用マテリアル集の編纂と、Web等を利用しての公開について提案した。このアイデアについては、是非とも本委員会の後継委員会において雛型を実現したいと考えている。また、活きた最前線の技術を伝える意味で企業からの非常勤講師による講義は大変に有効である。最近では非常勤枠が削減される傾向にあるが、ボランティアをお願いするなどして積極的に活用すべきである。

3) ハードウェアとソフトウェアのバランスの重要性

企業において開発を行う際に全体を見ることができ人が少なくなっている。開発現場で最近活躍しているのは、ハードをいじれる人である。ソフトから入った人にはソフトに固執する傾向が見られるようである。今の学生達はハードを嫌う傾向があるが両者のバランスが重要であることを教えるべきである。

4) シミュレーションの効果的利用法

最近ではシミュレーションが容易になったため、ものを作った実験がおろそかになっている感がある。シミュレーションでは物理現象がわからなくても結果がでてくるので鵜呑みは危険である。そこで学生に対しては「波形が頭に浮かぶ

まではシミュレーションを使うな！」との禁止令を出している教員すらいる。

しかしシミュレーションを一つ的手段と捉えたと、式だけでは追いきれないところをシミュレーションで効率良く確認したり、複雑な系の全体を容易に知ることができるなどの利点がある。そこでこれらの得失の両面を理解させた上で、理論、シミュレーション、実験、そして再び理論、というサイクルの中で有効利用させることが大切となろう。

5) 欧米の大学に習うべき点

米国の修士卒は即戦力なのに対し、日本の場合、修士卒でもまだ自分の方向が見出せない学生が多いのではないかと。技術が深くなるほど基本が大切になる。米国式のように徹底して何度も問題を解かせて鍛える必要がある。また、ヨーロッパの大学の学生は就職先としてかなり広い地域を考えている。日本の学生も国際舞台での活躍を視野に入れて自身を磨くべきである。

2.4> 研究室におけるパワーエレクトロニクス教育

これまで述べてきた講義・実験を通しての教育に加え、4年次での卒業研究はパワーエレクトロニクス教育の場として最も重要な期間と言えるであろう。教職員スタッフを中心とする研究活動に学生達を巻き込むことそのものが学生達にとって教育としての重要な意味を持つからである。この意味で、指導教員には教育・研究の場としての研究室を如何に創造的雰囲気のある場に保つかが常に問われる。大学院への進学率が高い研究室環境の場合は別として、スタッフや大学院生が少ない研究室環境の場合には、教員-大学院生-学部生、といった階層的な指導体制を作りやすく、年度の変わり目における研究内容（特に実験装置の回路やソフトウェア関連のノウハウ）の伝達効率も悪くなるので、これを避けるための日常的な工夫が必要となる。

また、研究室の運営は個々の大学、研究室毎に個性豊かに行なわれており、学生にとってはたまたま所属した研究室こそが生活環境のすべてとなりがちである。しかし、ともするとそれは、「井の中の蛙大海を知らず」に成りかねない危険性をもはらんでいる。これを防止するには、積極的に外の空気に触れさせる必要がある。学部生の場合、学会や研究会で発表するには敷居が高い場合もあるが、これらを積極的に聴講する機会を与えたり、他大学の研究組織との合同輪講会、会社の研究所見学等の機会を与えることで、エンジニアの卵としてパワーエレクトロニクスを学ぶ上での視野も広がる。また同世代間の交流は良い意味でのライバル心を生み、向上心を育む上でのプラスとなろう。

パワーエレクトロニクス教育に限ったことではないが、昨今の就職活動の早期化および長期化により、研究室の学生達の就職活動がひと段落する夏休みまでの4年次前期期間中は、学生達が落ち着いて研究に打ち込む雰囲気を作りにくいというのが実情であり、これは大学教員共通の悩みとなっている。程度の差こそあれ、学生の学力低下が多くの大学において問題視されるようになった現在、本来なら高校教育で身に付けているはずの基礎学力の補償のためのリメディアル教育（補償教育）が大学の初年次でのカリキュラムを圧迫し、一方で就職活動の早期・長期化が最終年次のカリキュラムを少なからず骨抜きにしている。このような状況では学生達はじっくりと実力を培うことができない。ひとつここは20～30年昔に戻って、本格的な就職活動は夏休み以降とすることはできないものだろうか。そうすることは、結果的に企業にとっても質の良い学生を確保することにつながり、ひいては我が国の知的損失を防ぐことにもなると考えるが如何であらうか。

あろうか。

また、携帯電話の爆発的な普及は、近年の学生達の生活形態を大きく変えてしまったと言われている。研究室においても、場の作る仲間意識の希薄化が進み、アルバイト時間の増加によって研究時間が寸断される傾向が増えてはいまいか。どっふりと朝から晩まで研究室の生活に浸って仲間や教員と実験や討論を心ゆくまで繰り返すという、パワーエレクトロニクスの古き良き時代の伝統的な(?)スタイルはもはや通用しないのかもしれない。パワーエレクトロニクスに限らず、学生の興味がハードよりソフトへと向いているのは世の時流ともいえる。このことを念頭に置きつつ、常に世の中の先端技術である新しいデバイス、材料、手法を取りこみ、応用分野を開拓することによって、学生達に「時代の先端を行く格好いいパワーエレクトロニクス」の魅力をアピールする工夫が不可欠である。

パワーエレクトロニクスそのものもサイリスタの誕生から40年余りを経て、当たり前に使われる技術となっており、主回路、制御回路等もIC化、モジュール化、ユニット化が進み全体にブラックボックス化の傾向が顕著である。一方で、研究対象は個々の要素からシステムへと複雑化する傾向があるため、技術が広がった分だけ学ぶ学生の負担も増え、これが「全体像を容易に把握できない」という無力感を少なからず学生達に与えているのではないかと。仕方のない事とは言え、新たな観点でのパワーエレクトロニクスの効率的教育法の工夫が必要と言えよう。その意味で、シミュレーションは系の全体を容易に見せることができ、系全体の中での各部の働きや重要性を教える上で、うまく利用すれば極めて有効な手段となり得よう。欧米では、国際会議等に合わせて、パワーエレクトロニクス教育法についての産学交際の意見交換のためのワークショップも開催されており、元々パワーエレクトロニクスの基礎のない学生への導入教育のあり方、シミュレーション等を利用した効率的教育法等について議論されている。わが国でも、このような議論の一層の活発化を期待したい。

3. 大学院におけるパワーエレクトロニクス教育

大衆化の波が大学院まで押し寄せ、工学部では、大学院（修士課程）進学率が80%を超える大学もある。これは例外的ではあるが、しかし、それでも全国的には50～30%に達していると思われる。ここでは、東工大の例について、大学院におけるパワーエレクトロニクス教育の現状と問題点を見てみよう¹⁰⁾。

文部省による修士課程修了要件は30単位以上であり、東工大では22単位(11科目)以上を講義から取得する必要がある。そのうち4単位は他専攻あるいは他研究科の大学院講義を履修することが要求(必要条件)されている。このため、前期に開講されている「パワーエレクトロニクス特論」は30名程度と受講者が多いばかりでなく、その約2割が学部において「パワーエレクトロニクス」はもちろん、「電気回路」さえ履修していないという事態になる。他専攻などからの受講者の受講動機は「単位取得」であり、そのため、表2に示すように、学部と同様にパワーエレクトロニクス全般を講義することにならざるを得ない。この結果、パワーエレクトロニクス研究室に所属し、より高度な内容の講義を期待する学生とのギャップは大きい。このように2極化した学生を対象に、大学院らしい内容とレベルの「特論」をどのようにして行うかは、大衆化した大学院に共通した問題である。この解決策の一つは、後述のミネソタ大のように、学部と大学院の履修をリンクさせることであらう。

これに対して、後期に開講される「電力・電機システム解析」では、受講者が15名程度と半減する代わりに、受講者のレベルが精選されるので、表3のように、講義内容とその進め方も高度化できる。

わが国の企業は、大学院で何を研究してきたかを入社時にあまり問題にせずきた。しかし、いわゆるグローバル化の進展と速い変化の時代になり、大学院修了者に即戦力を期待する動きも出てきており、大学院でもパワーエレクトロニクス教育をさらに体系立って行うことが必要になるものと思われる。

4. 欧米の大学におけるパワーエレクトロニクス教育

電気電子系の学生の関心が電力系科目離れる傾向は、米国でいち早く表面化した。コンピュータや情報技術の発展がその大きな要因であるが、米国大手電機メーカーの重電機器からの撤退がその傾向に拍車をかけた。しかし、一方で、米国では省エネ化の推進が日本に比べて遅れており、将来のエネルギー・環境問題を考えたとき、電力系技術者の養成は欠かせない。このような状況に危機感を抱いたNSFが電力系教育の革新を目指した。そのプロジェクトの一つとして、パワーエレクトロニクス教育の革新がミネソタ大を中心に進められてきている。ここでは、その様子を紹介するとともに、欧州における例としてデンマークのオルボー大の試みも紹介してみよう⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾。

表2 パワーエレクトロニクス特論の構成

Table 2 "Advanced lecture on Power Electronics" syllabus.
(東京工業大学大学院 電気電子工学専攻 博士前期課程/前期)

1. パワーエレクトロニクス概説
2. 各種パワーデバイスとその特性
3. 各種整流回路とその入出力特性
4. 位相制御整流回路と特性改善
5. サイクロコンバータ
6. 交流電力調整と無効電力補償
7. 直流チョップとスイッチング電源
8. 各種インバータの回路方式と動作原理
9. インバータの各種PWM制御方式
10. インバータの応用
11. 自励式整流回路
12. アクティブフィルタ

表3 電力・電機システム解析の構成

Table 3 "Power and Electromechanical System Analysis" syllabus.
(東京工業大学大学院 電気電子工学専攻 博士前期課程/後期)

1. 解析手法の概説と基本法則
2. 単相交流と単相電力の取り扱い
3. 有効電力、無効電力、ひずみ電力
4. 三相回路の pq 理論
5. pq 理論の応用
6. 絶対変換と相対変換
7. dq 変換
8. $\gamma\delta$ 変換
9. 回転機の電圧電流方程式
10. 回転機の瞬時トルク
11. 誘導機のベクトル制御
12. 同期機のベクトル制御

図1にミネソタ大における電力系科目の関連を示す。1年次において「エネルギーと社会」という科目を置き、これによりエネルギーや環境問題に対する問題意識を持たせ、ひいては電力系の科目の履修につなげたいという狙いがある。

電力系の3科目「電気駆動入門」、「パワーエレクトロニクス入門」、「電力系統入門」は4年次に開講されている。大きな特徴は、受講生の減少から電気機器が廃止されていることである。このため、「電気駆動入門」では、表4に示すように、電気機器の予備知識を要求しない構成になっていて、さらに、基本的な電気回路も復習した上で、本論に入る内容になっている。

表5に「パワーエレクトロニクス入門」の構成を示す。インバータを重視するわが国の内容と大きく異なる点は、dc-dcコンバータを中心にし、回路とその動作ばかりでなく、制御系設計まで詳細に教えることである。ハーフブリッジ回路を基本とし、その組み合わせでインバータを実現してゆくという「building block approach」を採用していることと、メーカーの重電離れが背景にあるものと推測される。米国の教育が実際的であることはよく知られているが、パワーエレクトロニクスを履修すると、実務を行う基礎的条件が満たせるように教育が行われている。これを実現するために、講義、実験、シミュレーションの三位一体教育を徹底的に行うのが大

図1 ミネソタ大の学部・大学院における電力系科目の関係

Fig.1 Relationships between the courses on energy technology for under graduate and graduate courses of the University of Minnesota.

表4 「電気駆動入門」の構成

Table 4 "1st Course on Electric Drives" syllabus.

No.	項目	回数
1	Introduction to Electric Drive system	1
2	Understanding Mechanical System Requirements	3
3	Review of Electric Circuits	1
4	Basic Understanding of Switch-Mode Power Electronics	3
5	Magnetic Circuits	4
6	Basic Principles of Electro-Mechanical Energy Conversion	3
7	DC-Motor and ECM Drives	5
8	Feedback Controller Design	3
9	Introduction to AC Machines and Space Vectors	5
10	Sinusoidal PMAC Drives and Synchronous Machines	4
11	Induction Machines: Steady State Analysis	5
12	Adjustable-Speed Induction-Motor Drives	3
13	Reluctance Drives	1

備考：1 semester: 講義45回、実験14回、講義1回は50分、週3回、実験は2時間/週1回、シミュレーションはこの時間外に行う。

表5 「パワーエレクトロニクス入門」の構成

Table 5 "1st Course on Power Electronics" syllabus.

No.	項目	回数
1	Introduction	4
2	DC-DC Converters	8
3	Control in dc-dc Converters	5
4	Power Quality; PFC	3
5	Magnetic Design	3
6	SMPS(Isolated)	3
7	DC, AC Drives, UPS	5
8	Soft-Switching	3
9	HF AC (CFL, Ind. Heating, Weld.)	1
10	Thyristor Converters	4
11	Utility Applications of PE	1

きな特徴である。ミネソタ大の大学院教育の様子については本号の末尾に掲載されている文献(8)を参照頂きたい。

欧州でも、学生の電力系科目離れの傾向は同様である。このため、デンマークでもオルボー大を中心にパワーエレクトロニクス教育を革新して、学生に魅力ある内容にするとともに、産業界からの要請に応える努力が行われている。図2にオルボー大の電力系科目の関連を示す。図2の左側の流れに相当する学部教育では基本的なことだけを教える点ではわが国と共通している。しかし、大部分の学生は大学院に進学し、パワーエレクトロニクスを専攻する者が図2の右側コースを受講し、高度な知識を身につけた上で、修士プロジェクトを仕上げてゆくことになる。

卒業研究や修士論文に大きな比重を置くわが国の工学教育を上述の欧米の教育と単純に優劣を論ずることはできない。しかし、時代の変化の流れにすばやく対応し、学生にとって魅力ある教育を提供し、しかも、産業界の要請に応えるだけの充実した内容に変革してゆく努力におおいに学ぶべきであろう。

5. 企業におけるパワーエレクトロニクス教育

企業における教育の形態は、研修所などで行われるものとOJT(On the Job Training)によるものがあり、一般に両者を組み合わせて行われている。研修所などにおける講座のレベルとしては、入門、基礎および応用の3段階程度に分けられる。入門講座はその技術の初心者を対象とした内容で、技術部門だけでなく営業部門、生産部門などをも対象とした製品知識の習得が含まれる場合が多い。基礎講座は、その分野の技術の専門家を目指す者を対象とし、その技術の基礎理論と知識の習得を目的としている。応用講座は、その技術の専門家を対象とし、技術を実務に応用するための理論の習得や最新技術の応用例の習得を目的としている。

実施の形態としては、集合講座、事業所講座、全社セミナー、イントラネット講座などがある。イントラネット講座はITを活用した新しい試みで、WB T(Web Based Training)としてのe-Learning教育システムが、米国では3年以上前から急速に広がりを見せており、日本においても徐々に普及拡大しつつある。

パワーエレクトロニクスはカバーする範囲が広く、応用製品の開発には多くの技術を修得しなければならない。図3にパワーエレクトロニクス技術がカバーしなければならない分野を示す。基礎技術である電気電子回路分野では、交流理論、整流理論、逆変換理論などを代表とする回路技術、フーリエ変換やラプラス変換などの解析技術、PWM制御やデジタル制御などの制御技術、通信技術など修得すべき重要技術が最も多く存在する。

パワー半導体技術の分野では、素子駆動、スナバ、保護な

図2 オルボー大の「パワーエレクトロニクスとドライブ」のカリキュラム

Fig.2 Curriculum for "Power Electronics and Drives" in the Aalborg University.

どのスイッチング素子適用技術や、インバータ回路、整流回路スタックを構成する上で必要な冷却技術、低ノイズ化、などの構造技術も重要である。電力・電機技術の分野においては、変圧器、回転機、リアクトルなどの磁気部品、コンデンサ、遮断機などの技術も重要である。応用と実際では、上述の基礎技術に加えて、システム構築技術を総合して、インバータ、UPS、直流電源、SVCなどの装置が実現される。

各社では企業内講座の種類として、パワーエレクトロニクス全般、パワーデバイス、インバータ、モータ制御、電力変換、ノイズおよび製品対応技術などが行われている。

表6に「パワーエレクトロニクス総合技術講座」日程表例を示す。この講座は4日間の集合講座で、パワーエレクトロニクスの基礎から応用まで代表的な内容を包含した総合技術講座である。座学の他に、グループ討議、課題検討会、演習と復習、見学などの時間が組み込まれており、実践的な教育講座となっている。

以上、企業におけるパワーエレクトロニクス教育の状況について述べたが、パワーエレクトロニクス技術は適用分野が広く、一様に技術教育できるとは限らない。企業における教育はあくまでも基礎と応用事例の習得であり、担当製品への適用にあたっては担当者自身が良くかみ砕いてブラッシュアップする必要がある。創造性を発揮できる技術者をどうやって育てるかが重要な課題である。

6. 企業から見た問題点と要望

パワーエレクトロニクスは半導体や制御、回路網理論など、多くの要素技術より構成される学際的分野である。地球規模でのエネルギー問題や環境対策が議論される中、半導体を用いて電気エネルギーを変換・制御するパワーエレクトロニクスは、そのような問題を解決するキー技術としてますます期待が高まっている。パワーエレクトロニクスを活用するには、各々の要素技術を深く、かつ幅広くマスターしなければならないため、パワーエレクトロニクス技術者の育成には長期間を要する。

企業からは、パワーエレクトロニクス関連製品の研究開発の立場で、大学を卒業して来る人に期待したいこととして次のことがあげられる。a)電磁気、電気回路、物性、電気機械などの基礎科目を体系的に学んでいる、b)物や現象の本質を見る目をもっている、c)物事に新鮮な興味を感じ、学び取る感性を持っている、d)技術を通して社会や企業に貢献するという広い意味の経営感覚を持っている、e)国際人としての常識を持っている。

表6 パワーエレクトロニクス総合技術講座日程表例

Table 6 A schedule example for "Power Electronics General Technology Course".

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	
第1日目	オリエンテーション	パワエレ概要	パワーデバイスの原理と使い方	昼食		パワーデバイスの原理と使い方	電力変換回路の基礎Ⅰ				夕食	グループ討議 課題検討会			
第2日目	回路復習他	電力変換回路の基礎Ⅱ				インバータ設計の基本						電力変換回路演習			
第3日目	演算まとめ	モータの基本特性と制御法				ドライブシステム設計の基本						ドライブシステム演習			
第4日目	移動	パワエレ応用の実際				見学				総合討論・懇談

図3 パワーエレクトロニクス技術分野

Fig.3 Related technology field of Power Electronics

技術教育の面では、昨今の情報技術重視の傾向を受けて、若手技術者の多くは装置の性能検証をシミュレーションで済ませる傾向にあり、その結果を評価する能力は不十分である。これに対して、実験機会を増やして、物理概念を十分把握する教育を期待する。また、先端的なシステムや製品に関する技術は、企業から講師を呼んで特別講義を増やすのが有効である。

さらに、最近のパワーエレクトロニクス事業やパワーエレクトロニクス製品では、個別機器よりもシステムのアプローチを要する課題が多い。そこで、システムの思考力の育成も望まれている。

あらゆる分野で市場のグローバル化、オープン化が進んでいる。大学院の教育では、研究テーマを通したOJTの色彩が強い。パワーエレクトロニクスは多くの技術を集大成した総合学際的分野である。したがって、この分野の大学院修了者には、幅広い知識と発想の豊かさを持ち、プロジェクトリーダーを任せられる人材が期待されている。また、研究機関としての大学には、企業では手が出せないような長期的で大型のテーマに取り組むことが期待されている。

7. むすび

以上、委員会調査に基づいて、パワーエレクトロニクス教育の現状と改善の動向について述べた。パワーエレクトロニクスは進歩が速い技術分野であり、関連技術の進歩も取り入れながら教育の改革を図って行く必要がある。

企業の側からも、今回のような議論が契機となって、大学と企業が技術教育に関わる問題意識を共有し、改革のための議論が進むことを期待されている。

今後も引き続きこのような調査や議論が行われて、パワーエレクトロニクス教育、さらには電気工学教育の改革が進められることを期待したい。

(平成14年3月25日受付)

<参考文献>

- (1) 調査研究委員会レポート、電学論D、121巻、12号、p.1303、2001。
- (2) 平成13年電気学会産業応用部門大会シンポジウム、S5、2001。
- (3) W.E.Newell, IEEE Trans. IA-10, No.1, pp.7-11, 1974。
- (4) 赤木・堀:「学部と大学院のパワーエレクトロニクス教育」、平成13年電気学会産業応用部門大会、シンポジウム S5-3、2001。
- (5) 伊瀬・大口:「欧米大学におけるパワーエレクトロニクス教育革新の動向」、平成13年電気学会産業応用部門大会、シンポジウム S5-4、2001。
- (6) 大口:「学部レベルのパワーエレクトロニクス教育」に関するワークショップの報告、電学論誌 Vol.118-D, No.11, p.1336, 1998。
- (7) 大口:「パワーエレクトロニクス教育の改革—ミネソタ大の試み—」、電気学会半導体電力変換研究会、SPC-99-7、1999。
- (8) 大口:「パワーエレクトロニクス(PE)と電気駆動の教育」に関するワークショップの報告、電学論誌 Vol.122-D, No.6, 2002。

植田 明照(正員) 1965年名古屋大学工学部電気学科卒業。
(株)日立製作所勤務を経て、愛知工業大学電気工学科教授。

大口 國臣(正員) 1963年九州大学工学部電気工学科卒業。
現在、茨城大学電気電子工学科教授

松井 幹彦(正員) 1981年名古屋工業大学大学院工学研究科
電気工学専攻修士課程修了。東京工業大学工学部助手を経て、
現在、東京工芸大学工学部電子情報工学科教授。