

医用工学の学習における基礎教育の重要性

本間 達*

(東京医科歯科大学大学院保健衛生学研究科)

Importance of basic education in medical engineering lecture

Satoru Honma* (Tokyo Medical and Dental University, Graduate School of Health Care Sciences)

Medical engineering is one of the difficult subjects for the students who will get medical technologist licence. Many students insist that the knowledge of electricity has difficulty in understanding. However, analyzing the answer pattern of a confirmation test suggests that the lack of the calculation ability and the interpretation ability of the terms cause the misunderstanding than the lack of the knowledge in electricity. Some questionnaire entries in the related-subjects suggest the similar results. The results show that some mathematical elements in the medical engineering should be lectured in detail as well as electric knowledge.

キーワード：臨床検査技師，医用工学，カリキュラム，基礎教育
(Medical technologist, Medical engineering, Curriculum, Basic education)

1. はじめに

臨床検査技師を養成する大学のカリキュラム[1]は，同国家資格について定める法律およびこれに準拠する出題基準[2]に基づいて設定される。教員の経験や大学院における先端研究を考慮した，より高度な内容を設定することができる一方で，学生の水準を考慮して大学以前の学習を復習する内容の設定は文部科学省が推奨していない。

同国家資格試験の受験科目の一つである医用工学概論[3]は，臨床検査技師が取り扱う様々な機器の基礎知識を念頭に置いて出題される科目である。具体的には，医用工学・情報科学・検査機器学の3科目で構成されており，いずれも受験資格を取得するための必修科目に設定されている。狭義の医用工学では，多くの場合，必要な学習内容と設定可能な単位数を考慮して，電気電子工学の基礎知識を全般的に学習するようにカリキュラムが設定される。

ところで，講義に関して教員に質問する学生は少数であるにもかかわらず，その内容に関連する国家資格試験の既出問題を用いた演習では，多くの場合，正答率が教員の予想を下回る。すなわち，一部を除いて，学生が質問しないことは学生が理解していることを示すのではなく，理解に至っていないために，何を質問すべきか判断がつかない可能性を示唆している。

医用工学の演習問題の多くは，電気系の知識の有無を単純に問うだけの問題ではなく，現象解析と同様に基本的な電気電子工学の知識にもとづいて数式で表現し，これを整理して題意にあう解答を得ることが必要である。このため，講義で基礎知識を学習したにもかかわらず問題演習で正答出来ない主な理由として，以下の4つが考えられる。

- (I) 基礎知識の不正確な理解・解釈
- (II) 数式の構築およびその展開に必要な数学力の不足
- (III) 各問題における到達目標を読み取る読解力の不足
- (IV) 計算や思考を段階的に組み立てる構成力の不足

これら4点のうち①は大学のカリキュラムと関連しており，学生の理解力を把握して正しく理解できるように講義内容を工夫すれば，教員の工夫で解決可能である。その一方で，②③④については，大学進学の時点で一定程度の能力を学生が有する前提でカリキュラムを設定しているので，これらを補足するような講義の構成は上述の理由により困難である。すなわち，大学のカリキュラムを十分網羅して講義をおこなった場合であっても，大学入学以前の基礎知識の不足により医用工学の既出問題を正答出来ない学生らが存在する。彼らは本科目を苦手科目とみなして以後の学習を敬遠し，学生間での理解度の較差はさらに広がる。

しかしながら，これを逆に考えれば，臨床検査技師養成大学の学生が，必ずしもこの科目に特徴的な電気の性質を

理解できないということではなく、②③④のような大学入学以前の学習に由来する、理系学生としての基礎能力の不足を、この科目特有の項目として転嫁している可能性が考えられる。

そこで本研究では、医用工学に関連する複数の科目において、講義後に寄せられた学生からの質問内容や、小テストの結果分析から、学生の理解を妨げる要因を抽出し、カリキュラム自体ではなく、その解説となる講義内容を改善する方法を検討する。

2. 小テストにおける解答パターンの分析

電気回路についての演習問題を解答するときの思考は、大まかに以下の4段階に分類できる。

- i. 問題に関連する電気工学の知識・定理・公式などを判断する。
- ii. 必要な知識を用いて、計算式を構築する。
- iii. 計算式を整理して得られた数字が、題意に合うか判断する。合わない場合、iiに戻り、得られた数字を用いて新たな計算式を構築する。
- iv. 題意に合う数字が得られた後、単位などを考慮して求められている形式で解答を作成する。

具体例として、講義中に、復習のためにおこなった小テストの一例をFig.1に示す。この問題は、臨床検査技師国家試験で実際に出题された既出問題であり、この問題を解答するために必要な知識および基本問題演習は1つ前の講義で学習済みである。しかしながら、現在進行中の中学生のカリキュラムでは直列回路と並列回路を組み合わせた回路を学習しないので、大部分の臨床検査技師を目指す学生にとっては、難易度の高い問題である。

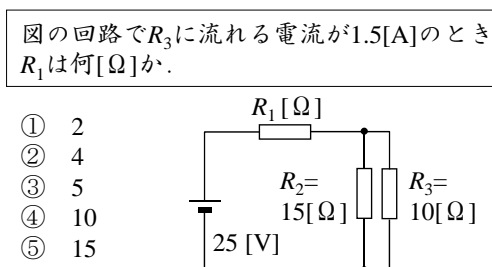


図1 小テストの例

Fig.1 Example of a confirmation test

この問題について、例えば以下の5段階の思考により、解答を得ることが可能である。

- (1) 問題文と図から R_3 のみ抵抗と電流の値が与えられているので、その端子電圧 $15[V]$ を計算する。
- (2) R_3 の電圧が R_2 の端子電圧と一致するので、この値を用いて R_2 に流れる電流 $1.0[A]$ を求める。
- (3) R_2 と R_3 に流れる電流から、 R_1 に流れる電流値 $2.5[A]$ を求める。

- (4) R_3 の端子電圧 $15[V]$ と電源電圧 $25[V]$ から、 R_1 の端子電圧 $10[V]$ を求める。
- (5) R_1 の端子電圧 $10[V]$ とこれに流れる電流 $2.5[A]$ から R_1 の抵抗値 $4[\Omega]$ を求める。

この問題の解答率を以下のTable 1に選択肢ごとに示す。正答は選択肢②であり、正答率だけをみれば全体の80名中11名であるが、正しい手順で計算して正答に至った学生はそのうち1名のみであった。

一方、選択肢によらず25名は計算無しで回答しており、計算の手順が分からなかった、もしくは計算自体試みる意思がなかったと判断できる。54名の学生は、 R_2 と R_3 の並列回路の合成抵抗 $6[\Omega]$ を算出している。しかしながら、この問題は上述したように合成抵抗を計算することなく解答を得ることができるので、この計算自体は必ずしも必要ない。これにもかかわらず学生らがこれを計算した理由は、問題文中に与えられた条件を考慮しないまま、図中に示された条件を優先して思考したことによると考えられる。

表1 小テストの選択肢ごとの回答数 ($n = 80$)

Table 1 The answering number of each choice in the confirmation test.

($n = 80$)

選択肢	段階的計算	合成抵抗の計算	計算無し	横計
①	0	1	1	2
②(正答)	1	7	3	11
③	0	9	6	15
④	0	29	12	41
⑤	0	3	2	5
選択無	0	5	1	6
縦計	1	54	25	80

合成抵抗を先に計算した場合、学生らは R_3 について与えられた条件を合成抵抗に適用して、これに流れる電流値を $1.5[A]$ とみなし、合成抵抗の端子電圧を $1.5[A] \times 6[\Omega] = 9[V]$ と計算する。ここから R_1 の端子電圧を $25 - 9 = 16[V]$ として、これを電流値 $1.5[A]$ で除すると抵抗値は $10.66[\Omega]$ となる。これに最も近い値として選択肢④に示された10という値を選択するというのが、一番多い誤答の流れである。

この流れの中で、オームの法則を用いて計算したり、電源電圧から合成抵抗の端子電圧を減じて R_1 の端子電圧を計算するなどの手順は、電気系の知識にもとづいているので一定の学習効果があると考えられる。しかし、数値についての厳密さが不足しており、数学を論理ではなく直感的に扱っている可能性が示唆される。

本来、正答以外の選択肢は、正答に至る思考の段階で出てくる数値にもとづいて作成されていることが多い。しかしながら、誤答のパターンを分析すると出題者の想定外の思考により誤答したことが示されている。

これらの観点から、検査学生は並列回路の性質について理解が不足している他、

- (A) 数値や計算に対する厳密性が不足が考えられる。さらに計算して誤答した学生については
- (B) 用語の区別をしない、あるいは問題文の読解力が不足あるいは
- (C) 論理的・段階的な思考力の不足が考えられる。

3. 関連科目における学生の質問の分析

〈3・1〉 計算能力の水準に関する問題事象

まず、増幅回路における入出力の関係について講義後に寄せられた質問の事例から、学生の計算能力を検討する。

Fig.2 に示すように、電流の流れる方向に沿って入力 x と出力 y の関係を表す数式が記述できることを解説した後、最終的に出力 y を左辺、入力 x を右辺に移項した式を講義では示す。このとき、学生から寄せられる頻度の高い質問は、増幅回路の性質についてではなく「解説中におこなわれた、式の左右の入れ替えが良く分からない」というものである。

この場合、「等号の左右は等価であり入れ替えても問題を生じない」と解説しても学生は全く理解を示さないが、図中に示したように項目の符号を反転して移行してから、両辺に -1 をかけて符号を元に戻すという段階を経ると学生は理解する。

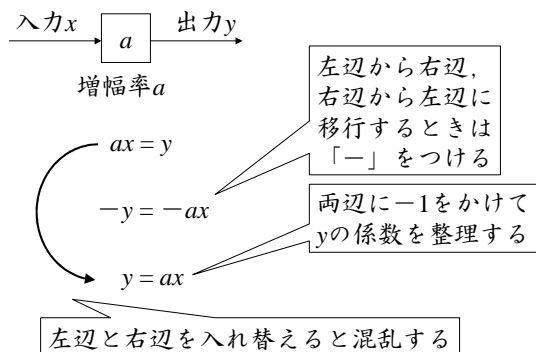


図2 左右の同時移項に関する混乱と解説

Fig.2 Confusion and explanation about simultaneous transposition of left and right terms

このことから、学生は等号がその両辺の等価を示すものであることを認識しておらず、また両辺に -1 をかけるという操作を同時におこなったために、中学教育で学んだ「移行するときは符号を反転する」という原則から外れたように見える解説が理解できなかったと考えられる。

学生が等号の意味を理解していないと考えられる事例として、関数を導出してから数値を代入するような連続的な計算処理が挙げられる。Fig.3 に示すのは、関数を微分して微分係数を求める過程について、学生が記述した一例である。本来、導関数を求めた後、 x の値を代入した計算式を記述すべきであるが、導関数と数値を代入した式を等号で接続し、さらにその値も等号でつないでいる。このことから、

一部の学生は計算を次の段階に進める区切り記号として等号を使用しており、左右が等価であるときのみ等号で接続するという規則について、厳密に理解していないと考えられる。

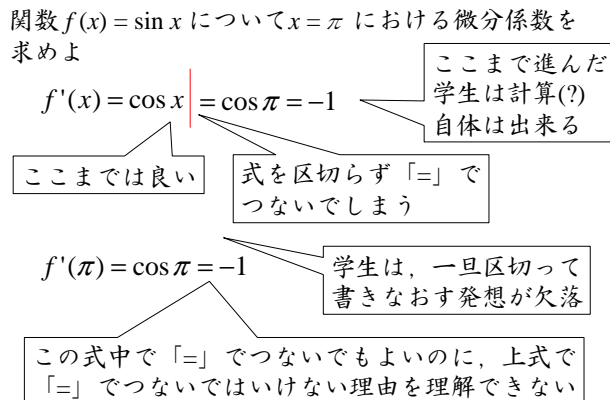


図3 等号の誤った使い方の例

Fig.3 Examples of the incorrect use of equal sign

〈3・2〉 専門用語の曖昧な認識

一部の学生は、上述したように等号の正しい使い方を理解していない。これは数学的な記号にとどまらず、専門的に定義された用語の他、一部の日常的な日本語についても語感からのイメージで曖昧にとらえる傾向がある。

例えば、Fig.4 に示したようなグラフについて、一部の学生は、同図左は比例、右は反比例と表現する。また、別の事例として、溶液を希釈する場合の計算において、原液と希釈液を等量混合する 2 倍希釈は、ほとんどの学生が解釈を間違えないが、3 倍希釈では希釈液の量を原液の 3 倍と考えて計算し、あるいは 3 倍という記述から濃縮と勘違いして計算方法が分からなくなる学生が存在する。

これらの観点から、多くの学生は日本語能力、あるいは文章読解力が不足しており、問題文で与えられる条件設定や、何を解答すべきかという目標設定を正しく理解しない可能性が示唆される。

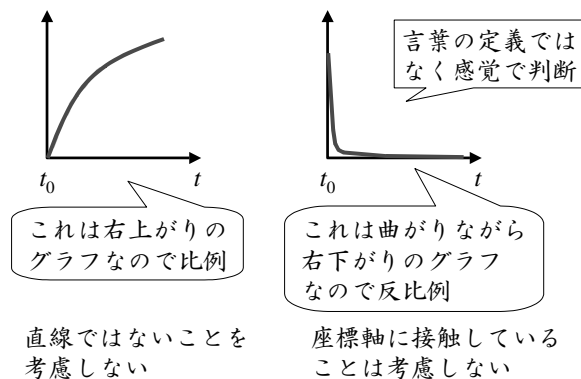


図4 数学用語の曖昧な認識

Fig.4 Ambiguous recognition of mathematical terms

4. 考察

上述の観点から、学生が医用工学の問題演習を正答できない理由を検討すると、電気系の内容に対する学習の不足、と計算力の不足に大別できる。この二つの不足に共通する原因となりうるのは、厳密に定義された科学系の用語をイメージで曖昧に認識していることであり、これにもとづいて生じる問題点の理解力の不足である。

カリキュラムで設定されている電気系の内容を講義するとき、大学入学以前の学習範囲にある基礎知識を学生が習得済みという前提でおこなうが、基礎知識が不足している学生は講義内容を正しく理解できない可能性がある。数学における基本的な用語の認識が正確でないことから考慮して、電圧・電流・抵抗といった基本的な用語ですら「電気現象」という大雑把な枠組みの中で曖昧に認識されている可能性がある。電気現象はカリキュラムで設定されており、用語の定義を含めて基礎的な知識から講義をおこなっているが、定義を厳密に考えて、正しく理解するという概念を学生が持たなければ、この区別が曖昧なまま講義が進行している可能性がある。

一方、知識を確実に習得した場合でも、それにもとづく計算を正しく進められなければ、演習問題の正しい結果にはつながらない。電気的な知識と合わせ、必要に応じて数学の知識・方法も補足として講義の中に組み込み、復習の機会を取り入れるように工夫する必要があるが、学生の多くは電気と数学を意識の中で切り離して考えており、これらを合わせて習得しようとしないので、数学的能力の向上も困難である。この結果学生は、問題演習で途中式の記述については配慮せず、かつ問題中で示された選択肢を指標とする。このため計算途中で選択肢に含まれる数字が出る」と最終結果にたどり着いたと判断し、誤答する場合がある。

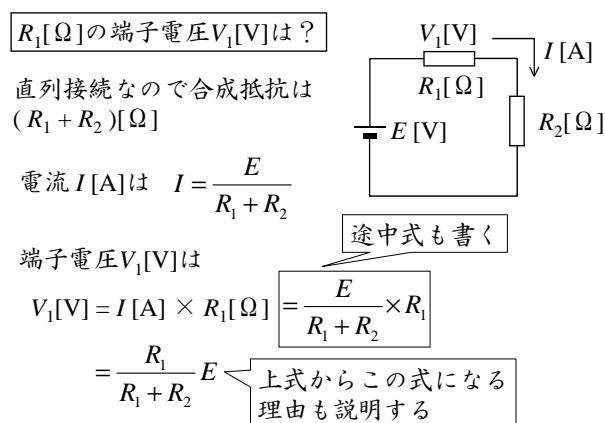


図5 学生が理解しやすい講義スライドの例

Fig.5 Example of an intelligible lecture slide for the students

これらの観点から、講義の中で問題演習をおこなうときは、用語などの知識を厳密に講義したのち、関連する内容の問題を選択し、その知識をどのように使うのかと同時に、

そこから導かれる計算式および途中経過を、Fig.5 に示すように可能な限り省略せずに表示して学生に示すのが良いと考えられる。さらに、式の変形や最終的に得られた結果の解釈が正確ではない学生の存在を前提として、それらの意味を説明するようにすべきである。

5. おわりに

検査学生は、医用工学が理解できないということを頻繁に主張する。このため、教員は電気の知識をより詳しく解説する、あるいは反復的に講義するような工夫を試みるが、必ずしも効果的であるとは言い難い。一般的に、座学と実習を交互におこなうのが知識の習得では効果的であるが、カリキュラムの構成上、座学と実習を独立しなければならない場合が多い。学生の自主学習を促す目的でWeb-Learning[4][5]を導入しているが、講義の初期段階では未習項目が多く、ほとんどの学生はカリキュラムの終盤になってからこれに取り組むので、講義の進行に合わせた学習効果は得られにくい。これを補う観点から、講義の中でおこなう演習の活用は重要である。

演習における学生の解答の分布や、関連科目における学生からの質問内容を検討し、学生が医用工学の内容だけではなく、大学入学以前に習得しているはずの基礎学力が不足している可能性が示唆された。

これらを念頭に講義や演習について、カリキュラム以外の基礎的な知識や単純な計算のステップも丁寧に教示することが、学生の理解を補助するうえで有用であると考えられる。

文 献

- (1) 臨床検査技師養成所指導ガイドラインについて、平成二十七年三月三十一日医政発 0331 第 27 号(2015)
- (2) 臨床検査技師等に関する法律施行規則、昭和三十二年七月二十一日厚生省令第二十四号、最終改正：平成二五年一月九日厚生労働省令第二号(2013)
- (3) 若松秀俊、本間達：「医用工学－医療技術者のための電気・電子工学－第二版」、共立出版、(2016)
- (4) Satoru HONMA, Hidetoshi WAKAMATSU : "Effect of Web-Learning system on Medical Engineering Education", The Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan A , Vol.130-A, No.5, pp.481-486(2010)(in Japanese)
本間達、若松秀俊：「医用工学教育における Web-Learning システムの利用効果」、電気学会論文誌、Vol.130-A, No.5, pp.481-486(2010)
- (5) Satoru HONMA, Hidetoshi WAKAMATSU, Nobue SAKAI, Kyouko ARAKAWA, Takayuki SEKI, Kiyoko SHIBA : "Web-Learning for Improvement of Medical Engineering Exercise", The Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan A , Vol.132, No.12, pp.1079-1085(2012)(in Japanese)
本間達、若松秀俊、酒井伸枝、荒川恭子、関貴行、芝紀代子：「医用工学実習拡充のための Web-Learning の活用」、電気学会論文誌 A, Vol.132, No.12, pp.1079-1085(2012)