

# 医用工学の教育効果を向上する手法の検討

本間 達\*

(東京医科歯科大学大学院保健衛生学研究科)

Methods of the higher educational effects for medical engineering

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

The lectures of medical engineering on the same curriculum are carried out in A-university and B-university. The lectures between the two universities have the different contents caused by the time schedule. In addition, the past exam questions are known to only the students of A-university because the start period of the lectures on the curriculum are different from each other. The t-tests show that there is a clear significant difference on the same regular exams between the two universities. In this study, the methods of the higher educational effects for medical engineering can be proposed from the analysis of the results or the students' attitudes.

キーワード：医用工学，数学，臨床検査技師，カリキュラム

(Medical engineering, Mathematics, Medical technologist, Curriculum)

## 1. はじめに

医療の現場で病態の判断に必要な種々の患者データを専門的に検査するために、臨床検査技師は多くの検査機器を適切に使用する必要がある。この国家資格の制定時<sup>(1)</sup>は、必ずしも検査機器が独立しているわけではなく、複数のユニットを組み上げて装置を構成する場合もあり、臨床検査技師が電気回路の知識をもつことが重要であった。近年の検査機器は可能な限り一体化が図られており、また電源設備もアースを同時に接続可能なコンセントが普及するなど、通常の検査室では臨床検査技師が電気配線や設備に注意することなく、検査機器を使用することが可能になっている。その一方で、ICU など複数の医療機器が混在する環境が病院内には存在し、このような場所に外部から検査機器を持ち込む場合などは、依然として電気設備に対する使用上の注意が必要である。

これらの観点から、臨床検査技師の国家資格に関する出題基準では電気関連の知識と安全対策について学習する医用工学概論<sup>(2)</sup>が含まれている。このため、臨床検査技師の養成課程では医用工学の単位取得が必要であるが、養成所指導ガイドライン<sup>(3)</sup>では学習範囲と適正な単位数のみを定めているので、養成施設ごとに学生の能力などを考慮して、講義時間の配分を調整することが可能である。

これまでに報告したように<sup>(4)</sup>、関東首都圏の臨床検査技師

養成校の一つである A 大学では 2013 年度より医用工学概論のカリキュラムを再編成した。一方、臨床検査技師養成校の B 大学でも 2015 年度より医用工学概論の講義・実習についてカリキュラムの一部が変更になり、基礎数学と連携して構成することとなった。このために、A 大学のカリキュラムを参照して B 大学のカリキュラムを再編成し、教科書を再指定した。それらの講義の時間配分の比較を Fig.1 に示す。

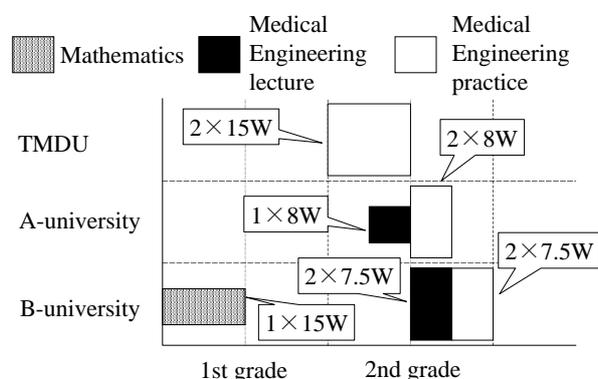


図1 医用工学関連講義の時間配分

Fig.1 Time schedule of medical engineering relevant lectures

この科目は国家試験の出題基準を基礎とするので、大学ごとの学習内容に大幅な変更はない。しかしながら、研究

能力につながることを期待して実習時間を多く配分している東京医科歯科大学と異なり、A 大学は福祉系の教養過程を重視して検査系の専門科目を最低限にとどめている。一方、B 大学は学生の質を考慮して講義時間を出来るだけ多く配分しており、演習を増加して学生の理解度を確かめながら講義を進めることが可能である。

これらの条件から、本研究では医用工学概論の講義を同一の教員が同一の手法で実施した場合の教育効果について検討する。すなわち A 大学で講義時間を大学教育における最小単位数にとどめた場合と、B 大学において関連講義も含めて講義時間を長く設定し、演習などに時間を配分した場合のそれぞれについて定期試験の成績などを詳細に分析し、両者の差を生じる要素の検討から、医用工学の教育効果を向上する手法を提案する。

## 2. 医用工学を含む臨床検査専門科目を前提とした基礎数学教育

医療の現場では個体差を考慮しながら治療効果の検討や臨床研究を行なうので、統計的手法が多用される。このため、医療系の基礎数学では、大学以前の教育内容で設定されている三角関数、指数・対数関数、微分積分、行列などの理解を深めることより、統計学の基礎を学ぶことに重点が置かれることが多い。一方、A・B 両大学を含む多くの検査技師養成大学では推薦入試や AO 入試など理系科目を必要としない入学試験を併用しているため、大学ごとに割合が一定でないが、高校 2 年生程度の理数系科目を学習していない「文系」の学生が入学することができる。このような学生は、臨床検査の業務内容に興味を持たないので、理数系科目の基礎である大学入学以前の数学の学習を最低限にとどめている場合がある。

B 大学の基礎数学では、臨床検査の専門科目を学習するために必須なので、講義の内容は臨床の事例を取り上げた例題を演習として組み込み、応用力を育成するために論理の構成に重点を置いている。具体的には統計学だけでなく臨床検査の業務に必要な数学的能力も考慮して、三角関数、指数・対数関数、微分積分、行列に加え、有効数字の計算、グラフの描画、SI 単位系、論理演算の基礎など、医用工学を学ぶうえで必要となる分野の基礎をカリキュラムに組み込んでいる。その一方で、成績評価は「文系」の学生の単位取得を考慮して計算力重視の試験による評価をおこなうので、全ての学生について応用力の習得を保証するものではない。しかしながら、B 大学の医用工学教育では、大学入学以前の教育によらず、必要な数学的能力あるいは知識について、学生が未経験ではないことを前提とすることが可能である利点がある。

## 3. 医用工学教育の内容

〈3・1〉カリキュラムの時間配分 国家試験の出題基準を念頭に構成する医用工学のカリキュラムは、義務教育で学習する電気系の知識や関連する数学・化学等の内容な

どを省略し、かつ演習などを取り入れずに一方的な講義を行なった場合、5 コマ(7.5 時間)程度の時間で一通りの内容を講義することが可能である。大学教育における単位数と厚生労働省の定める技師養成施設として法律で定められている最低教育時間の関係から、8 コマ(12 時間)、もしくは 15 コマ(22.5 時間)でカリキュラムを構成するので、学生の理解を深めるために関連知識・演習などを工夫する余地がある。

表 1 医用工学講義の内容

Table 1 Contents of lecture for medical engineering

コマ	内容
1・2	総論
3・4	電気の基礎 電気抵抗の接続
5・6	交流回路 コンデンサの機能 半導体の性質 ダイオードの特性 トランジスタ・FET の性質
7・8	フィルタ回路の特性(CR 回路) オペアンプの性質と基本回路 オペアンプを用いた演算回路
9・10	ブール代数と 2 進数の計算 さまざまなデジタル回路 サンプリングの方法 信号のデジタル化
11・12	検査機器の安全対策 電磁雑音の対策
13・14	センサの性質 表示装置
15	まとめ(試験)

A 大学では 8 コマでカリキュラムを構成した<sup>(4)</sup>が、B 大学では関連知識もからめた講義を実現するために 15 コマでカリキュラムを構成している。なお、B 大学のカリキュラムは実習と連続するように設定されたので、1 回あたり 2 コマ、8 週で 15 コマを講義する。これらの点を考慮し、A 大学のカリキュラムを基礎として、各単元に関連する項目ごとに大学以前の教育課程の学習内容まで遡って講義内容を充実し、臨床検査技師国家資格試験出題問題(過去問)を用いた演習を随時取り入れる。さらに、講義の最初に前回の講義内容に関連する過去問を小テストとして実施し、学生の復習をうながす構成とした。また学生の復習を支援するために Web-Learning<sup>(5)(6)</sup>を取り入れ、演習・小テストとの関連を強調した。なお、全容を理解しないまま各論を講義すると、それらの連携を意識せずに聞き流す場合があるので、初回の 2 コマで、臨床の検査業務なども絡めて各単元の内容との関連性を総論として講義する構成とした。一方、公式の期間に試験を実施すると、試験まで 8 週間程度のインターバルが空くので、講義の最終コマで教員自身による定期試験にすることが B 大学では推奨されている。これらを考慮して構成したシラバスを表 1 に示す。3~14 コマ(網掛け)ま

での6回12コマで設定した単元が、A大学で7回7コマで教育する単元と一致する。すなわち、B大学では大部分の学生が理解できるように時間をかけた教育を実現している。

### 〈3・2〉 テキストの選定と講義プリントの配布

2013年3月に医学書院から発刊された標準臨床検査学シリーズの「臨床医学総論」<sup>(7)</sup>を構成する章の一つである医用工学概論は、国家試験出題基準を過不足なく充足する、このため、医用工学以外の内容も多く含んでいるが、A・B両大学の講義用の教科書として採用している。

2013年度から2014年度に、この教科書を用いてA大学で講義をおこなった際は、学生がメモを取る速度を考慮して重要なポイントを板書する形態で講義を行なった。しかしながら、数名を除いた大部分の学生はノートを持参していないか、あるいは持参していてもほとんどは教科書にメモを取り、ノートに記録しない傾向が認められた。

この理由として、手書きの板書が読み取りにくいこと、不慣れた数理系の記述を整理して記録するのに時間がかかることなどが考えられたので、2015年度は講義をパワーポイントによるスライド方式に切り替えた。教科書に沿った内容を、可能な限り文章ではなくイメージで理解できるように図示するスライドを作成し、図中の文字は講義室の一番後ろからはっきりと読み取れる大きさ(28pt以上)に調節した。この講義スライド中の重要ポイントを空欄としたプリントを作成して学生に配布し、講義中にメモをとることで完成するように工夫した。なお、主として印刷経費による制限から、1枚当たり6スライド・白黒印刷の配布資料とすることを前提とした。

空欄に写し取る速度は、検査技師養成校の学生の場合、数式等の数学的記述で低下し、用語の説明など日本語による記述では低下が起りにくいことが、数学の講義を通じて経験的に判明しているので、空欄作成時にはこれらの点を考慮してメモをとる量を調整した。また、臨床検査を学ぶ学生は電気系の内容を必須の知識ととらえない傾向があるので、講義内容と関連する国家試験既出問題(過去問)を随所に挿入した。なお講義内容と関連するので出来る限り過去問の解説は簡略化したが、多くの問題では空欄を埋めるより筆記量が多くなるので、この時間を長くするように講義の進め方を工夫した。講義時間との関連から1コマあたり20枚前後のスライドで構成し、あらかじめ作成した各回の資料をまとめて配布して、印刷の損失を最小限になるように配慮した。

## 4. 教育効果の評価

### 〈4・1〉 講義の試験結果とその分析

医用工学概論の成績評価は筆記試験で行った。国家資格試験の水準に到達することが教育目標の一つであるので、問題の水準を国家試験相当に設定した。しかしながら大学の評価試験であることを考慮して、選択式である国家資格試験を、選択肢なしで正しく解答することを本試験の評価基準とした。なお、

A大学とB大学で共通の問題を使用した。2015年度の講義後に実施したA大学とB大学における医用工学概論の本試験の得点について箱ヒゲ図にまとめたものをFig.2に示す。各大学の学生の得点についてF検定で検定した結果、等分散性が仮定できることが確認できた。そこで等分散を仮定したt検定により、両者の成績に有意差があることを確認した。Table 2に示す両大学の結果の代表値および合格率から、B大学がA大学より有意に学習効果が高かったことが示された。

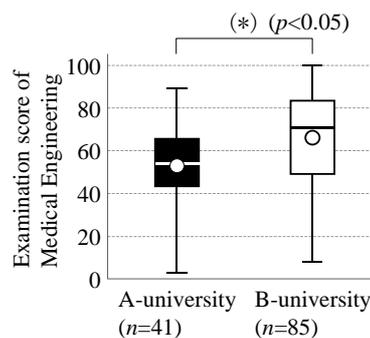


図2 医用工学講義試験の評価

Fig.2 Evaluation of medical engineering lecture exam between A-university and B-university

表2 医用工学筆記試験の結果の比較

Table 2 Comparison of results of the medical engineering exam.

	A 大学	B 大学
受験者数	41	85
最高値	89	100
最低値	3	8
中央値	54	71
平均値	52.9	66.1
最頻値	58.0	89.0
合格率	38.1%	60.0%

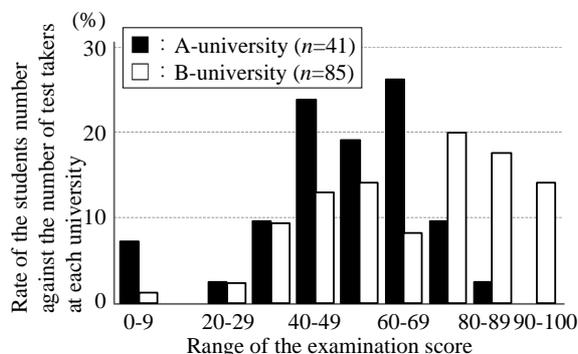


図3 医用工学講義試験の得点分布

Fig.3 Score distribution of medical engineering lecture exam for A-university and B-university.

また、試験の得点を、階級幅 10 点で区分した相対度数分布のヒストグラムを Fig.3 に示す。両大学ともに基本的には二峰性であり、得点の低い階級に離れた分布が存在することから、工学系科目に対応可能な集団、工学系科目が苦手な集団、対応不可能な集団が混在したことが確認できる。A 大学は対応可能な集団が 60 点台を中心としており、苦手な集団との差が明確ではない。さらに、対応不可能な集団が B 大学より多いことがグラフより明確である。

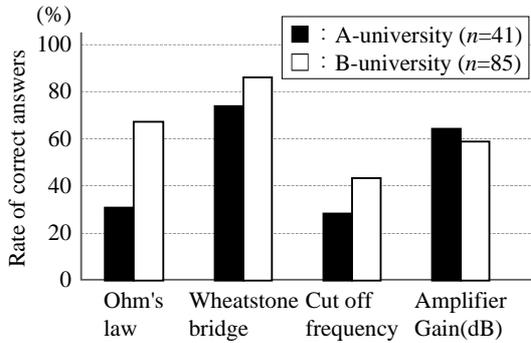


図4 医用工学分野の計算問題の正答率の比較  
Fig.4 Comparison of the correct answers rate of computational problems on medical engineering.

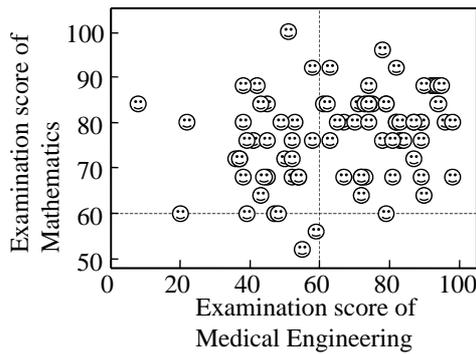


図5 B 大学における数学と医用工学の成績の相関  
Fig.5 Correlation of the scores of mathematics exam against the result of medical engineering exam in B-university.

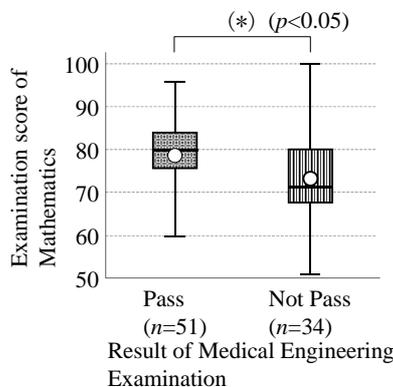


図6 B 大学における医用工学合否別の数学の評価  
Fig.6 The evaluation of mathematics against the score of medical engineering in B-university.

医用工学に対応可能な集団とそれ以外の集団を分類する

要素を検討するために、出題問題の中でも特に計算力が必要と考えられる 4 つの問題について両大学の正答率を比較したものを Fig.4 に示す。それぞれオームの法則を用いて電源の内部抵抗を計算する問題、ホイートストンブリッジの未知抵抗を計算する問題、遮断周波数を計算する問題、増幅回路の利得からオペアンプの帰還抵抗を計算する問題である。計算の手順が少なく、国家試験の過去問と類似する問題は正答率が高く、特に類似する増幅利得の問題は A 大学のほうが正答率が高かった。

また、計算能力と医用工学の成績を比較するために、B 大学の各学生について、1 年前に教養課程で実施した数学の試験の成績を縦軸、医用工学の成績を横軸にとりプロットしたグラフを Fig.5 に示す。いずれの試験も 60 点が合格点であり、医用工学の試験で合格したグループと不合格であったグループの数学の得点について箱ヒゲ図にまとめたのが Fig.6 である。この 2 つのグループについての有意差を検定するために F 検定で検定した結果、2 つのグループ間の分散が異なることが確認できた。そこで分散が等しくないと仮定した 2 標本による t-検定をおこなったところ、2 つのグループ間の数学の成績に有意差があることを確認した。

## 5. 考察

〈5・1〉 教育効果を高めるカリキュラムの構成 医用工学の教育効果の差を検討するために、A 大学と B 大学の講義環境について Table 3 にまとめた。教育効果は高い B 大学は、A 大学と比較して講義のコマ数が多く設定されているので、最初に全体の概要を把握するための総論を行なっている。また、講義時間に余裕があるので、前回の復習のための小試験を各回の開始時に行なった。講義自体も学生がしっかりと理解しながら、配布したプリントを完成することができる速度で行なった。

表3 医用工学講義環境

Table 3 The environment for medical engineering lecture

	A 大学	B 大学
講義コマ数(実質)	7	14
概論	なし	あり
小試験	なし	あり
数学的基礎知識の教育	なし	あり
学生数	41	85
Web-Learning 実施度合	25 名が使用	68 名が使用

ところで、B 大学の数学の試験結果との比較で、医用工学の合格グループは不合格グループと比較して平均値、中央値のいずれも高値であるが、Figs.5~6 に示すように最大値は不合格グループのほうが高い。また Fig.5 でプロットした散布図において相関係数が 0.20 であり、数学の成績と医用工学の成績の相関はほぼ無いと判断することもできる。

Fig.7 に示すのは医用工学の合格群(Pass)と不合格群(Not Pass)のそれぞれについて数学の試験点数を10点幅で集計したヒストグラムである。80点台の学生数が合格群で多いが、これ以外の階級では有意差があるか明確ではない。したがって、数学の試験で不合格である場合、医用工学の試験も不合格になる可能性が示唆されるが、サンプルが2名と少ないので、他の結果と合わせれば必ずしも数学の成績が医用工学の成績と相関することを示すとは言い難い。しかしながら数学の講義で対数計算や論理演算、SI単位、有効数字の取り扱いなどを学習していることを前提とした医用工学の講義が可能になる利点がある。

これらの観点から、医用工学の教育効果を高めるためには、講義のコマ数を多くとることが重要である可能性が示唆された。医用工学は講義時間と実習時間を合わせて22.5コマ(45時間)以上確保し、そのうち8コマ以上の時間を実習に割り当てれば、臨床検査技師養成カリキュラムとして、法律上の基準を充足する<sup>(2)</sup>。一方、大学としての教育単位数との関係から、8コマもしくは15コマを1セットとしてカリキュラムを構成する。また講義時間が多くあれば、講義後の質問時間なども十分に確保することが可能であり、この観点から講義時間として15コマを設定することが望ましい。しかしながら他の科目との配分比率などから必ずしも15コマを設定できるわけではなく、今後の検討課題である。

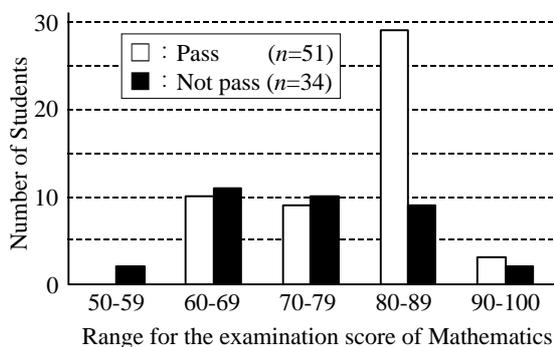


図7 B大学における学生ごとの数学と医用工学の成績の評価  
Fig.7 Evaluation between mathematics and medical engineering in B-university.

〈5・2〉 理工系科目に対する学生の水準 臨床検査技師を志す学生の大部分は、大学入学以前の教育課程で生物を中心とした勉強をする。このため論理的な思考に基づく学習手法ではなく、知識量に依存する学習を得意とする。すなわち特徴を抽出された単語を蓄える学習においては優れているが、その一方でそれらの知識を積み上げて現象を理解する能力は必ずしも得意としていない。これは数学的思考力の不足や、計算力の訓練不足などが遠因であると考えられる。例えば、オームの法則によって電流を求めるために、「式の変形」という「難問」を解いてから、「代入して計算」という複数のプロセスを経由する場合は時間がかかる傾向が認められる。また義務教育で実施されている電気

の実験を見たことのない学生はほとんどいないが、全ての学生がこれらに興味を持って積極的に体験した、あるいは体験する必要があると考えてきたと解釈するのは困難である。このため、現象を観察・解析する理工系の経験が少なく、多くの学生は医用工学の座学で学習する内容が、臨床の現場で実際に起こりうる可能性を考慮していない。さらに、実験値を取り扱ううえで単位やその接頭辞を意識しない学生も多いなど、理系の基礎的な手順に対する注意が不足しがちである。これらのことから大学入学以前の理系科目を復習するカリキュラムの構成は意味がある。

一方で、文部科学省の学習指導要綱により大学入学以前の項目として分類されている内容は、原則的に大学のカリキュラムで指導する必要はないとされる。しかし現実的には、上述したように理系分野の教育に興味を持たないまま進学した学生は、全てが必ずしも理系の水準に達しているとは言い難い。このため大学の学習内容に関連する一部の内容は、場合によっては中学校の教育水準まで遡って進める必要がある。

本講義では、電圧・電流・電気抵抗という基本的な単語を感覚的に納得できない学生に対応するために、原子モデルを示して電子の概念を説明したうえで、電圧・電流・電気抵抗を説明するところから講義を組み立てた。またlog関数や論理演算などの数学的知識などが必要な場合、その都度、それらの項目について基礎から説明したうえで、医用工学の内容を説明した。特にB大学ではこれらの関連知識の説明に費やす時間数が多かったことが、A大学と比較して良好な結果につながったと考えられる。一方、説明を遡ってもほとんど理解に至ることない学生があり、Fig.3に示すように10点未満の得点にとどまった学生が両大学でそれぞれ数名在籍することが示されている。このような学生に対する教育手法については今後の検討課題である。

〈5・3〉 学生の受講態度が及ぼす影響 大部分の学生は国家資格試験について指導されるのを待つので、受験学年以下の学生は、国家資格試験の内容について詳細を知らないことが多い。このため医用工学が国家資格試験で出題される科目であることを認識していない学生も少なくはない。さらに大学への入学対策の経験から、国家資格取得のための問題演習を中心としたカリキュラム以外の対策講義を期待する学生もいることがA・B両大学の授業アンケートから判明しており、必要な知識や技術を自分自身の努力による独学で積極的に学ぶ学生は少数である。

しかしながら、成績評価のために実施する定期試験では、例年の試験で実施された問題もしくはその類題が出題されることを期待しており、単位取得のみを目的とするので、高得点であることより不合格点とならない程度に勉強する習慣が身につけている。このため国家資格試験対策の学習時や免許取得後に臨床で勤務する場合などに必要な実力が身につかない問題がある。

A大学の学生は、過去2年分の定期試験問題を前提とし

ており、国家試験の過去問や講義プリント中の演習問題などを念頭に置いた勉強をしていなかったことが試験後の聞き取りで明らかになった。すなわち、問題の出題パターンが過去問と異なっていたことから、予想外の問題を解くことができず、得点につながらなかったことが示唆された。一方、B 大学は初年度であるので Web-Learning<sup>(5)(6)</sup>を活用して国家試験の過去問を参照し、あるいは講義プリント中の演習問題を参考にして、ある程度広範囲な対策を取った学生が多く、得点につながった可能性がある。A 大学で現行のカリキュラムに推移した 2013 年度の試験の成績<sup>(4)</sup>は、今回の試験と問題が同一ではないが、平均点が 66 点、最頻値が 89 点であり、今回の B 大学の成績と類似する。すなわち、新カリキュラムの初回となる 2013 年度の A 大学と 2015 年度の B 大学の定期試験の結果は、F 検定により分散が等しくないことが仮定されたものの、分散が等しくと仮定した 2 標本による t 検定で有意な差が認められなかった。したがって定期試験の過去問が存在すると、学生の学習範囲を狭めるか、学習量を減少する可能性がある。また、A 大学は無料で再試験を受験することができるが、B 大学は再試験の受験に申請と受験料の納付が必要であり、多くの学生は再試験を避けたいと考えていた。これらのことから、定期試験の問題は出題パターンを変化させると同時に、これを学生に通達してあらゆる問題パターンにも対応する心構えを促す必要があることが示唆された。

## 6. おわりに

首都圏にある A 大学での経験に基づいて B 大学における医用工学講義のカリキュラムを改編し、講義を実践した結果について検討した。

講義時間を 15 コマ確保し、大学入学以前の知識まで遡りながら、周辺知識との関連性などをからめた講義は成績向上に有効であることが示された。さらに学生の学習意欲を高めるために、定期試験の既出問題以外の出題パターンがありうることを明示することは有効であった。

一方で、理系以外のコースを志望していたにもかかわらず、検査系の大学に入学してきたために、臨床検査の業務内容に興味を持っていない学生は、関連科目の学習意欲が乏しいので、成績向上が困難である。このような学生の指導については今後の検討課題である。

## 文 献

- (1) 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)
- (2) 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－」，共立出版，(2003)
- (3) 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)
- (4) Satoru HONMA : "Restart of the medical engineering education in an university for medical technologist training", The Papers of Technical Meeting on Frontiers in Education , pp.59-62(FIE-14-011)(2013)(in Japanese)

本間達：「臨床検査技師養成大学における医用工学講義・演習の再立ち上げと実践」，電気学会教育フロンティア研究会資料，59-62(FIE-14-011)(2013)

- (5) 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)
- (6) 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)
- (7) 本間達：「臨床医学総論(戸塚実，小山高敏編集)，医用工学(pp.238-280)」，医学書院，(2013)