

PDCA 機能を有する新しい講義形態の提案

A Proposal for New Lecture Style with PDCA Function

齋藤 博人^{*1}
Hiroto SAITO

中村 尚五^{*2}
Shogo NAKAMURA

In the class or lecture, the ICT Capacity Development Association (hereinafter referred to as ICTDA) develops an educational scheme based on industry-academia collaboration that analyzes and evaluates students' understanding of learning at the period of a couple of weeks during a class opening of a course period. We utilized the education scheme based on industry-university collaboration into a basic course for digital signal processing. This paper reports about the improvement results which was obtained by analyzing the educational outcome.

Keywords : Rubric, Learning Support, WBT (Web Based Testing)

キーワード : ルーブリック, 学習支援, WBT (Web Based Testing)

1. はじめに

一般的なセメスター講義について考えると、講義は14～15週で実施され、その間に講義、テスト（中間、期末など）、レポート等により当該科目がどの程度理解されたかの評価が受講生に与えられる。セメスター内に、学生の講義の理解度を取得する方法として、西中間らは、小テストの結果と出席率のデータを基にセメスター終了時の単位取得が困難になる学生を予測するデータマイニングの方法を提案している¹⁾。しかし、この手法は講義開始後1ヶ月以上経過しないと利用できない問題がある。

加藤らは、小テストマイニングによる学習つまずき検出を小テストの正答率からリアルタイムで行い、その情報を教員と学生へ提供する方法を報告している²⁾。この手法は「プログラミングの基礎・演習」で小テストの結果から、システムがつまずき項目を判断し、担当教員と学生へその情報を与える形式である。学習つまずき判定には、小テストの結果を単元、学習項目、学習内容ごとに分類してマイニング手法を適用している。しかし、専門性が高い問題では、1つの問題を解くために、関連する複数の学習項目の知識を活用する専門科目への適用には課題がある。

本取り組みでは、1～3週間毎に、専門講義科目の受講生の理解度を評価する仕組みを構築し、学期終了時に到達目標に達する仕組みの構築を目的としている。このような講義形態を「短期間PDCA組込み型講義」と定義する。短期間PDCA組込み型講義を構築し運営するには、担当教員の講義期間中の時間確保、および、学生への評価・フィードバック等への対応を物理的に可能とする必要がある。そこで、教員の現状の負荷を増やすことなく、短期間PDCA組込み型講義を実現・評価をするた

めに、学外の団体である一般社団法人ICT能力開発協会（ICTDA）の協力のもと「デジタル信号処理基礎講座」に短期間PDCA組込み型講義を2017年9月～12月に実施した。以降において一般社団法人ICT能力開発協会をICTDAと表記することとする。本論文では、この講義形態の利点と問題点を明らかにし、産学連携による新しい教育スキームの一つとしてどのように進めるべきかを示す。

2. 短期間PDCA組込み型講義

2.1 実施内容の概要

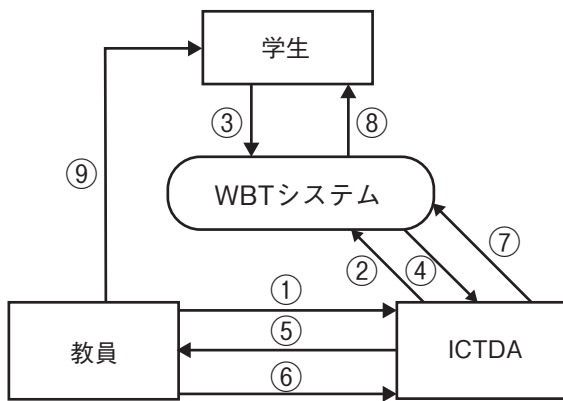
図1に、PDCA組込み型講義の流れを示す。①教員は、1～3週間の頻度で実施するWBT（Web Based Testing）の問題を作成しICTDAに送信する。問題を作成する際には、各問題がその週で学ぶ項目（キーワード）への寄与度を0から1の範囲で指定した値も付加する。②ICTDAは、WBTシステムに問題を登録し、受検可能時間を設定する。③学生は、講義時間外にWBTを受検する。④ICTDAは、学生の採点結果を基に、学ぶ項目（キーワード）への寄与度を使った全受検生の理解度を分析する。⑤ICTDAは、分析結果を教員に報告する。⑥教員は、ICTDAから提供される分析結果を基に、補助教材を作成しWBTシステムに登録するように依頼する。⑦ICTDAは、補助教材をWBTシステムに登録する。⑧個々の学生の結果とその評価は、Webシステムを通じて返却し、学生はWeb画面の“Myページ”から、自己の評価を確認する。⑨教員は、分析結果を基に以後の講義にフィードバックをかける。

これらの結果を基に、教員は、学生の理解度の低い項目について、短期間で講義内フィードバックが可能となる。フィードバックの方法は、直後の講義内での説明の他に、復習用課題（次回のWBTに復習問題として入れた）と、その項目に関連した解説資料（問題の詳細解説）を電子資料として準備した。

2018年6月19日受付

*1 東京電機大学システムデザイン工学部

*2 ICT能力開発協会



- ① 小テストの作問と項目寄与データを送付する
- ② 問題をWBTシステムに登録する
- ③ 小テストを指定された期限内にPC・タブレット等で受検する
- ④ 学生の小テストの結果から項目ごとの学習到達度を分析する
- ⑤ 分析結果を担当教員に報告する
- ⑥ 教員は補助教材をWBTシステムに登録するように依頼する
- ⑦ ICTDAは補助教材をWBTシステムに登録する
- ⑧ 理解度の分析結果を受信する
- ⑨ 分析結果を基に授業にフィードバックする

図1 PDCA組込み型講義の流れ

2.2 導入した講義で学ぶ項目（キーワード）

東京電機大学情報環境学部では、50分講義で週複数回の講義を実施している³⁾。短期間PDCA組込み型講義を導入した著者が担当する「デジタル信号処理」は、週3回（月・水・金、各50分）で講義を構成している。各週に学ぶ項目（キーワード）を以下に示す。

- 第1週・第2週
複素数，オイラーの公式，複素指数関数，数列の和， Σ 記号の扱い，逆関数（arc tan），直交座標と極座標，弧度法，正弦波状関数の表現，スペクトル表現基礎，両側スペクトル基礎，フェーザ法
- 第3週
デルタ関数，ユニットステップ関数，正弦波状関数の表現，時間推移，離散信号の周期，複素指数信号の周期
- 第4週・第5週
信号のサンプリング，エイリアシング，サンプリング定理，両側スペクトル，信号の周波数表現
- 第6週・第7週
因果システム，線形システム，線形時不変システム
- 第8週・第9週
LTIシステム，インパルス応答，たたみ込み，時間軸の逆転，LTIシステムの周波数応答，LTIシステムの周波数応答とフーリエ級数，フーリエ係数，離散フーリエ変換（DFT）逆変換（IDFT）
- 第10週・第11週・第12週
 z 変換，遅延演算子，たたみ込みの z 変換は積，指数数列の z 変換と逆 z 変換，伝達関数，極と零，ブロック図によるシステムの表現，FIRシステム，伝達関数を利用する正弦波信号発生，離散時間フーリエ変換

表1 小テストの問題に対して付与する関連項目の寄与度と尺度

関連項目の寄与度	尺度
0.1~0.2	問題内容の主題ではないが、解決する時に使用する技術要素
0.3~0.5	難易度は低いがベースになる要素
0.6~0.7	ベースになる重要な要素、難易度は中位
0.8~1.0	重要度が高い、難易度が高い

（DTFT）， z 変換とDTFTの関係

- 第13週・第14週・第15週

FIRシステム，移動平均，フィルタのシミュレーション

講義時間外に実施する小テストでは、上記の項目（キーワード）を含む問題を組み、各項目について理解度を測定する。一般の大学の講義と比べ、一週の講義頻度が多いため、小テストの結果を迅速に分析し、講義にフィードバックする必要があった。このスケジュールに沿って講義を展開することをICTDAに示し、教員が希望する小テストのスケジュールについて打ち合わせを行った。その結果、8回の小テストの問題数は毎回6問程度、制限時間を50分とした。試験終了後の1週間以内に各小テストの複数項目に関する学習理解度の情報提供を依頼した。

3 提案する理解度の分析方法

3.1 小テスト問題と関連項目の寄与度の指定

ICTDAには、小テストの各問題が講義すべき内容のどの関連項目に寄与するかを提供した。具体的には、作成した個々の問題に対して表1に示す関連項目の寄与度に基づいて、0から1の範囲の値を付与し提供した。表1からも分かるようにループリック表⁴⁾の作成ほど厳密性を要求していない。表1の基準に従って教員が評定した第1週・第2週の項目（キーワード）の評定結果を表2に示す。表2は、項目（キーワード）の各問題に対する寄与度 $c_{k,m}$ を数値化したものである。ここで、 k は項目番号、 m は問題番号を表す。第1週・第2週における項目表は、デジタル信号処理を学ぶための基礎的数学関連の10項目からなる。問題1の場合、配点は10点で、項目1（基礎計算，角度の表示）の寄与度 $c_{1,1}=0.2$ ，項目2（極座標，直交座標）が寄与度 $c_{2,1}=0.3$ ，項目4（複素数）が $c_{4,1}=0.6$ ，その他の項目は0となる。寄与度が付与された問題に対して、ICTDAが実施した分析方法を次節で示す。

3.2 関連項目（キーワード）に関する絶対評価を用いる分析

表2に示した10個の項目への寄与分を例に分析手順を示す。この例では問題数 N が6問であり、各問の素点 v_m ： $v_1=10$ 点， $v_2=5$ 点， $v_3=5$ 点， $v_4=5$ 点， $v_5=15$ 点， $v_6=5$ 点である。表内の数値は、問題番号 m の項目寄与分 $c_{k,m}$ の値を示している。したがって、全6問を正解すると、項目1（基礎計算，角度の表示）の項目寄与分の合計（Full Mark Item Total Point：FMITP）は、

表2 項目（キーワード）の各問題に対する寄与度 $c_{k,m}$ の対応

項目 k \ 問題 m	問題1 10点	問題2 5点	問題3 5点	問題4 5点	問題5 15点	問題6 5点	項目寄与分の合計 (FMITP)
項目1. 基礎計算, 角度の表示	0.2	0	0.2	0	0.2	0.2	7
項目2. 座標 (極, 直交)	0.3	0	0.2	0	0	0	4
項目3. グラフの理解	0	0	0.3	0	0	0.2	2.5
項目4. 複素数 (共役複素数)	0.6	0.4	0	0	0	0.6	11
項目5. 指数関数	0	0.5	0	0	0	0	2.5
項目6. 数列の和, Σ の扱い	0	0	0.8	0	0	0	4
項目7. 逆関数 (arctan)	0	0	0	0.8	0	0	4
項目8. 行列 (逆行列)	0	0	0	0	0.8	0	12
項目9. オイラーの公式	0	0.6	0	0	0	0	3
項目10. 三角関数	0	0.2	0	0.3	0	0	2.5

$$FMITP = \sum_{m=1}^N c_{1,m} v_m \quad \dots(1)$$

より, 1番目の項目に対するFMITPは7ポイントとなる. すべての10項目について求めた結果を表2の「項目寄与分の合計」に示す. 項目寄与分の合計 (FMITP) に対し, 個々の学生がどの程度のポイント (Item Total Point: ITP) を獲得しているかを求める. これを関連項目に関する絶対評価 (Absolute Evaluation for Relational Items: AERI) と呼び, 項目1に対する評価値は, 式(2)で求める.

$$AERI = \frac{ITP}{FMITP} \quad \dots(2)$$

3.3 復習レベルの定義

式(2)によって求めた絶対評価 (AERI) は, 学生に当該項目を復習すべきかどうかの指標を算出するのに利用する. この指標を, 復習レベルと呼び, 項目別絶対評価 (AERI) のクラス平均の値を基準に算出する. 本稿において使用した復習レベルは, 受検者グループの項目寄与分の合計の平均 (Mean of ITP: MITP) を項目寄与分の合計FMITPで正規化した値の60%とした. 個々の受検者の各項目の絶対評価 (AERI) が上記の復習レベル以上かどうかで復習すべきかどうかを定める. 復習レベルの設定値 (本稿では60%) は問題の難易度等の状況により, 教員による変更が可能である. 教員による復習レベルの設定は, 学生の学習意欲を考慮して決めるべきと考えている. 一律に高いレベルあるいは低いレベルに設定した場合, 学生の学習意欲を低下させる可能性があると考え, 今回の講義では, 項目寄与分の合計の平均の60%に設定した. 今後の講義を通して, 適切な設定法などの検討も重要と考えている.

3.4 各項目の重要度の数値化

教員は, 作問後に表1の基準に従い項目 (キーワード) の寄与分を与える. 作問に際し, 項目をどのように配分するかは, 各項目の重要度に応じて配分する. この配分は, 教員が講義中に説明に付けるウエイトを反映している. 表2では, 項目4 (複素数) のFMITP値が11, 項目8 (行列, 逆行列) のFMITP値が12と, 他の項目よりも相対的にポイントが高い. この2つの項目は, 実際の講義でもウエイトを置いて説明した項目である. した

がって, 寄与分の値が大きい問題にも関わらず, 学生の理解度が低い場合, 当該項目に対し, 復習を含む適切なフィードバックをかける必要がある. FMITPによる数値化は, 学生の復習が必要な箇所を把握する講義支援と教員への講義改善を意図したものである.

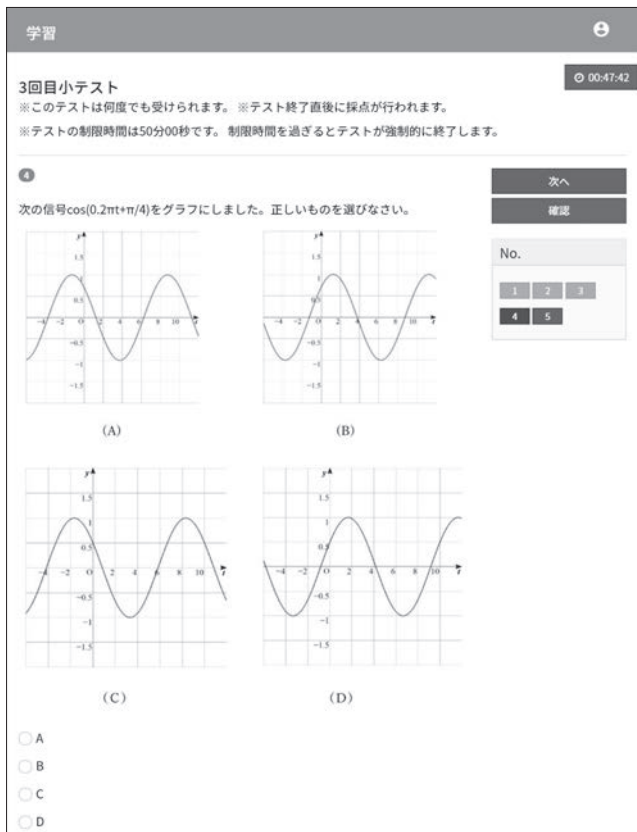
4. WBT (Web Based Test) による小テスト実施とその評価

4.1 WBTの実施環境

学生111名は, WBTによる小テストを定められた2日間の間に受検した. 受検時間は講義時間外として, 個人所有のノートPC, タブレットを用い, 学内, 自宅等で任意の時間に受検した. 小テストの問題には, 計算結果を数値で入力する問題もあるため, 答案作成時には手元に計算用紙が必要になる. この取り組みでは, 小テスト8回の受検時間は全て50分, 設問形式は選択式解答と数値入力の混合形態とした. 図2(a)には選択問題の画面表示例を, 図2(b)には数値で解答する問題の例を示す. 画面右上には, 受検開始からの経過時間が表示されており, 制限時間内で全問に解答し, ログアウト後の再受検は出来ない方式とした.

4.2 小テストの分析結果

WBTによる小テストは全8回実施した. 分析方法は, 受検回数合計が3回以上の学生と, 2回以下の学生 (一度も受検していない学生含む) でグループ分けをし, 最終の成績を比較した. 図3に最終試験を受けた111名の成績評価を示す. 図4には小テスト3回以上を受けた学生の採点結果と度数分布を, 図5には小テスト受検回数が2回以下の学生の度数分布を示す. 図4と図5の比較より, 小テストを3回以上受検した学生の成績が高いことが分かる. 表3に小テスト受検回数による違いを平均点 \bar{X} 点および標準偏差SDの結果を, 図6に受検回数と最終評価の平均点の比較結果を示す. 標準偏差が大きく異なっており分散の大きさが等質でないと考え検定を行った結果, 両条件の分散の差は有意であった (片側検定: $F(74, 37) = 0.525, p < 0.01$). そのため, 等分散を仮定しないウェルチの法による t 検定をおこなった. その結果, 両条件の平均の差は有意であった (両側検定: $t(52) = 2.67, p < 0.01$).



(a) 選択問題の画面表示例



(b) 数値で回答する問題の例

図2 WBTのブラウザ上の試験画面

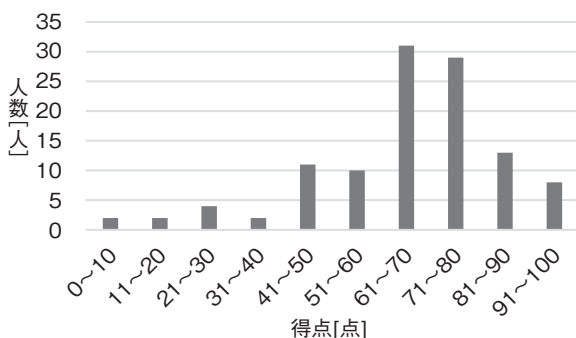


図3 全学生 (111人) の最終成績の分布

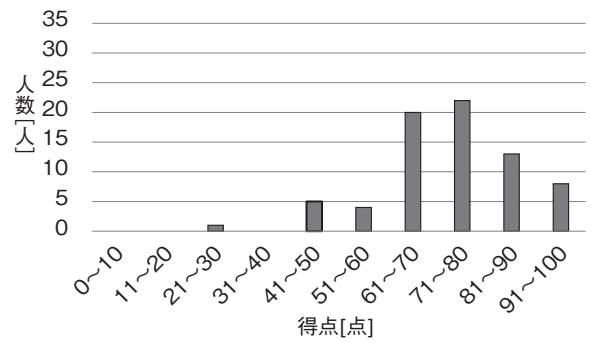


図4 小テスト3回以上受検の学生成績分布

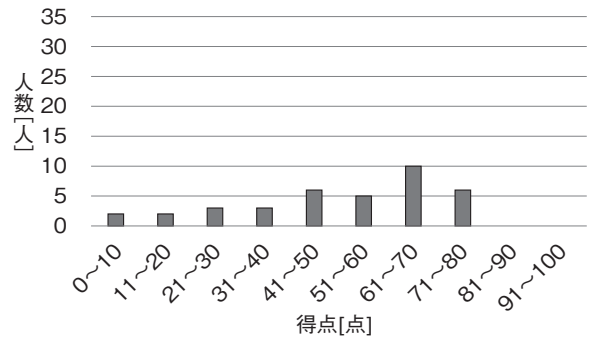


図5 小テスト2回以下受検の学生成績分布

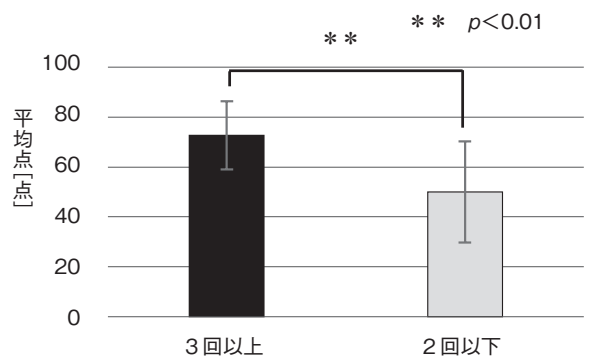


図6 小テスト受検回数と最終評価の平均の関係

表3 小テスト受検回数と平均点, 標準偏差

	3回以上	2回以下
N	74	37
\bar{X}	72.6	49.9
SD	13.6	20.2

4.3 学生と教員へのフィードバック方法

学生へのフィードバックでは、図7で示す項目の絶対評価のグラフに関連項目に関する絶対評価AERIの値を入れ、学生個人の情報を提供する。これにより、学生はどの項目を復習すべきかが明確に把握できるようになっている。図7の項目に対する絶対評価、復習レベルの表示例では、学生Aについては項目番号3を除き、項目の内容に対する理解度が良いレベルにあることが分かる。この学生の得点は100点満点換算で89点であった。図8のグラフは教員のための講義用の情報である。これは、クラスの平均的な学習成果とその目標値、教員がクラスに

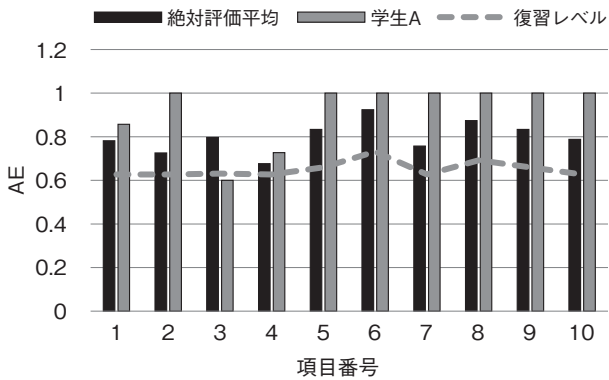


図7 項目に対する絶対評価, 復習レベル

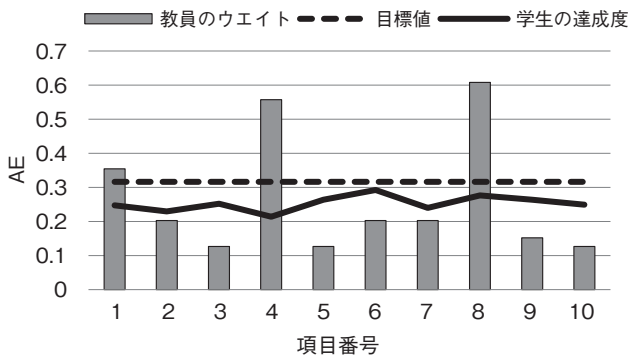


図8 教員が指定したウエイトと学習者の達成度

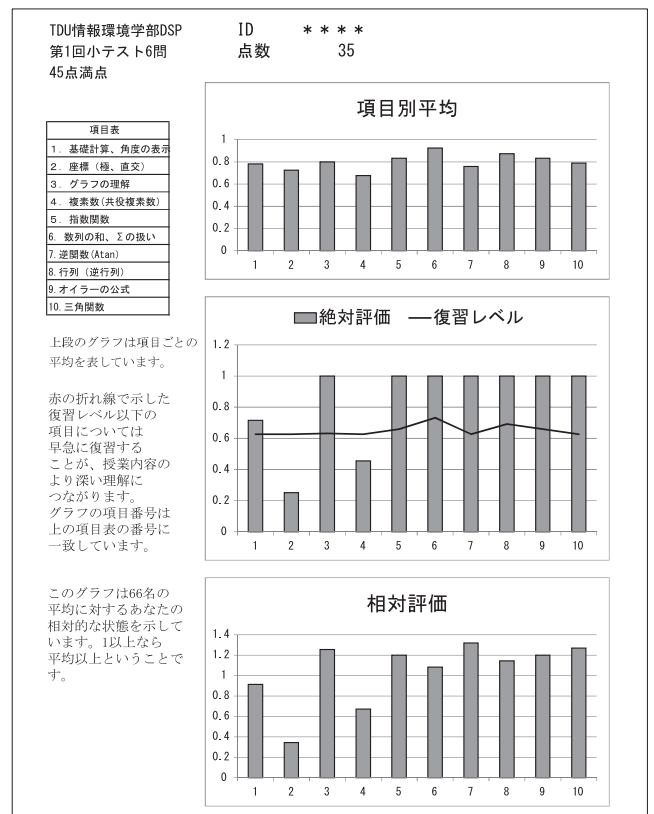


図9 学生にフィードバックする評価結果

対して補習等が必要かどうかを示す資料になっている。教員のウエイトは教員が作成した項目寄与分のデータを基に正規化処理して示してある。目標値は項目数全体で正規化している。グラフの横軸の1~10は項目表の10個の項目に対応している。この小テストの平均点は100点満点換算で78点であり、平均点としては良い。しかし、AERI評価では項目4のクラスの平均的な理解度は、教員のウエイトが高いにもかかわらず低い。この項目に対する講義方法を改善・工夫する必要があることを示唆している。図9は学生にフィードバックする評価結果の例であり、復習すべき項目の有無を示している。棒グラフが折れ線以下の項目は、復習すべき内容を示している。

5 短期間PDCA型講義実施から分かった課題

5.1 問題数と項目数の関係

この試みを実施する上での課題の一つに、問題数の設定がある。この節では、問題数と項目数の関係について考察する。問題数が多い場合、その単元のすべての項目にポイントを与えるように配置できる。しかし、問題数が少ないと、全項目にポイントを与える結果とならない場合がある。実施した8回の小テストは、平均的に7項目であった。この講義での作問では、すべての項目にポイントを与えることができた。問題数を多くすれば講義中に説明する項目をすべて評価に利用することができるが、たとえ小テストの作問とはいえ、問題数が増えると教員の作問の負荷が高くなる。一方、学生には、基礎的な問題の他に、1つの問題に複数の項目(キーワード)

を含んだ問題を取り入れる作問も必要である。むしろ、多くの要素を組み合わせる課題を解決する能力を醸成することは重要と考える。これらを考慮し、50分程度の小テストで上記のような教育効果を目指すために問題数や問題構成について、今後検討していくことが必要と考える。

5.2 小テストの制限時間の設定

この取り組みでは、小テスト8回の受検時間はすべて50分に設定した。WBTによる小テストに要した時間を分析した。8回の小テストの全受検生の平均所要時間は25分であった。今後、問題数は前回の小テスト復習分を含めて、当該試験分+2問前後(前回復習分)とする構成にしても時間的にも可能なことが分かった。前回の復習分を入れることは、復習支援の観点からも必要と考えている。試験時間は復習用の問題を含め、問題数、問題の難易度等から、試験ごとに教員が指定することが望ましいと考える。短時間で諦めほとんど解答できなかった学生への対応も今後の重要な課題と考えている。

5.3 学生へのアンケート結果

最終8回目のテスト終了後にいくつかの項目について3択でWEBアンケート調査を実施した結果を表4に示す。アンケートの結果からWEBによる数値入力部分に改善が必要であることが分かった。問題の難易度は適切という意見が多かったが、学生のテスト取組み時間は制限時間の1/2程度であった。今後、選択設問の比率を下げ、短答記述式を増やす工夫が必要と考える。また、学生にフィードバックした分析結果の説明が不足していた

表4 WEBアンケート調査

設問1	WEBテストの使い勝手について		
	良い	普通	悪い
	63%	20%	25%
設問2	テストの入力方法(数値入力の部分)		
	難しい	やや難しい	普通
	12%	63%	25%
設問3	問題の難易度		
	難しい	やや難しい	普通
	12%	63%	25%
設問4	テスト時間		
	長い	適当	短い
	0%	75%	25%
設問5	分析結果(分かり易いかどうか)		
	適切	普通	不適
	50%	12%	35%
設問6	配布補助教材		
	適切	普通	不適
	50%	38%	12%
設問7	WEBテストの使い勝手について		
	良い	普通	悪い
	63%	20%	25%

ことが分かった。

6. おわりに

教員とICTDAとの連携により、学科の基幹科目の一つである「デジタル信号処理基礎」に短期的PDCA組込み機能を有する新しい講義形態を試みた。その結果、成績評価において、提案する方法の活用の有無による効果の違いが得られたが、今後の課題や解決すべき問題も確認した。この試みでは、ICTDAからWEBテストによる関連項目の分析結果などのフィードバックを受けることが可能であった。それらに対応した講義改善へのフィードバックは、今回実施した教材資料の配布、講義内でのコメント以外に、今後の課題として検討すべきと考える。今後、他の講義に活用することで講義担当者の負

担を増やすことなく、充実した講義、講義改善等への実現⁵⁾が期待できるのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 西中間悠, 佐野 香, 小林 浩: 落ちこぼし学生の早期発見を目的としたデータマイニング分析, 日本教育工学会研究報告集2011, 3, pp.99-104, 2011
- 2) 加藤利康, 石川 孝: 授業支援システムの小テストマイニングによる学習つまずき検出, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-CE-118, No.6, pp.1-8, 2013
- 3) 土肥紳一, 中村尚五: 東京電機大学情報環境学部における学生の自主自立を目指した独創的な教育の実施, 大学教育と情報, 13-3, pp.5-7, 2005
- 4) Hambleton R.K, Rovinelli R.J: Assessing the Dimensionality of a Set of Test Items, Applied Psychological Measurement, 10, pp.287-302, 1986
- 5) 中村尚五: 多様化する学生に適合する教育を目指して~教職員の連携を重視する取組, 私工大懇話会部課長連絡協議会, 2009年4月23日

著者紹介



齋藤 博人

現 職 東京電機大学システムデザイン工学部准教授
学 位 博士(工学)
専 門 信号処理
所属学会 電子情報通信学会, 電気学会, 日本工学教育協会
連絡先 h.saito@mail.dendai.ac.jp



中村 尚五

現 職 一般社団法人ICT能力開発協会理事
学 位 工学博士
専 門 教育工学, 信号処理
連絡先 s.nakamura105@gmail.com