

基礎学力に差がある学生に対する構造力学学習のための自学自習用 e-learning システムの開発

DEVELOPMENT OF A SELF-INSTRUCTIONAL E-LEARNING SYSTEM FOR STRUCTURAL MECHANICS LEARNING FOR STUDENTS HAVING DIFFERENT ACADEMIC ABILITIES

久木章江 — * 1 石川孝重 — * 2

Akie HISAGI — * 1 Takashige ISHIKAWA — * 2

キーワード:
構造力学, 教育, eラーニング, 静定力学, 学習効果, 自学自習

Keywords:
Structural mechanics, Education, E-learning, Statically determinate mechanics, Learning effect, Self-instructional

In recent years, there are a large number of real problems regarding learning structural mechanics at the University. The contributing factors are the decline in academic ability and the fact that many students do not have basic academic abilities for physics and math. To deal with this situation, a self-instructional e-learning system is needed. First, understanding the level of students and the type of error were analyzed. Next, an e-learning system for structural mechanics was developed based on the result of this analysis. An experiment for e-Learning system performance was carried out. As a result, this system is assessable as a new learning structural mechanics by self-instruction.

§ 1 はじめに

近年, 学力低下といった社会問題が指摘されているが, 建築系の大学における構造力学の教育現場でも様々な問題点が報告されている^{1, 2)}。構造力学は, 建築物の安全性を検証し, 「人命と財産の保全」(建築基準法)を確立する重要な科目である。しかし学生にとってその難易度は比較的高い場合が多い。また建築士法の一部改正(平成18年12月公布, 平成20年11月施行)に伴い, 一級建築士の受験資格を得る条件として構造力学の4単位以上の履修が義務づけられている。(平成21年度入学生より適用)

一般的にこの科目の習得には数学や物理学の基礎知識が必要とされるが, 入試の多様化による影響もあり, 構造力学を学ぶために必要な数学や物理の基礎学力を有しない状態で授業を受講する学生が少なくない。このような学生の混在率は大学によって異なるが, 多くの大学でクラス内での基礎知識や理解度合に差が生じている現状とそれによる問題点が指摘されている^{1, 2)}。このような背景もあり, 力を可視化できるソフトウェアや, 模型等による学習教材の提案などの研究成果³⁻⁷⁾も複数報告されている。しかし, 物理を履修していない, あるいは数学を2年以上学習していない学生は, これらの教材による理解が難しい。このような学生を対象にする場合は, 構造力学の理論を理解する前に, 「問題が解ける」喜びを感じさせることで, 苦手意識の払拭と学習意欲の向上が可能になると考えた。

なお, 構造力学は基本的な知識を積み重ねながら学ぶため, 授業進行上は前回の学習内容を理解しないと次の学習内容の理解が難しい積み上げ式の科目である。そのため次の授業の前に学習ができる環境が必要である。そこで構造力学教育についても e-Learning シス

テム等を使用したオンデマンド型の教育手法が有効であると考えた。学習者に対する意識調査等の研究成果^{8, 9)}も増えつつあるが, 大学差も大きく, 適切な学習方法は一つに定まらないと言える。また近年は e-Learning システムを導入した研究成果^{10, 11)}も蓄積されているが, 本研究は単にシステムを導入するのではなく, 利用する側の学生の理解度や間違える点に関する分析を行い, その結果を反映させた学習システム構築を実践した点が特徴である。

学生間の基礎知識に差がある大学を対象に, e-Learning システムのニーズ調査, 授業の理解状況の把握を行い, その結果に基づいてシステムを構築し, 評価実験を実施した結果について報告する。

§ 2 調査方法

クラスの7割が文系学生である B 女子大学の「構造力学 I」(2年前期必修 2008 年開講)受講者を対象に調査を実施した。授業カリキュラムを表 1 に示す。なお対象大学では構造力学 I, II, III の 6 単位が用意され, I は静定力学, II は静定力学(トラス)と材料力学, III は不静定力学を対象とした授業構成である。また力学学習前に構造安全に対する視覚・体験型の動機付け授業^{1, 2)}「力と形」も必修授業で導入している。調査は e-Learning 教材のニーズに関する調査と, 授業の理解度等に関する調査の 2 種類実施した。

表 1 対象授業カリキュラム

回数	講義内容
第1回	ガイダンス, 基本事項説明
第2回	片持ち梁の反力
第3回	単純梁の反力
第4回	門型フレーム・3ヒンジ梁の反力
第5回	中間テスト1 (反力)
第6回	中間テスト1 解説
第7回	曲げ応力の算出
第8回	軸力・せん断力の算出
第9回	MNQ図の作成 (1)
第10回	MNQ図の作成 (2)
第11回	中間テスト2
第12回	中間テスト2 解説
第13回	モーメント荷重および分布荷重
第14回	総括 期末試験

本稿の一部は 2008 年度日本建築学会関東支部研究報告会および 2009 年日本建築学会大会で発表した。

*1 文化女子大学造形学部住環境学科 准教授・博士 (学術)
(〒151-8523 渋谷区代々木3-22-1)

*2 日本女子大学家政学部住居学科 教授・工博

*1 Assoc. Prof., Dept. of Dwelling Environment, Bunka Women's Univ., Ph. D.

*2 Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Dr. Eng.

§ 3 e-Learning システム等に関するニーズ調査

e-Learning システム等に関するニーズや学習環境に対する調査を授業初回に実施した。有効回答数は 37 である。

回答者属性を図 1 に示す。全体の 2 割弱は再履修者である。

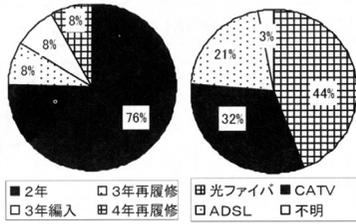


図 1 回答者属性 図 2 ネット回線状況

自宅の PC 環境については、37 人中 27 名が自分専用パソコンを保有し、10 名が家族共有のパソコンを有している。またインターネットの接続回線状況を質問した結果(図 2), 97%が高速回線であり、受講側の e-Learning 学習環境は整備されていることがわかった。

次に、WEB 講義やビデオ講義(大学でビデオを視聴)の関心度について調査した結果を図 3 に示す。

WEB 講義は約 90%が利用したい(非常に思う + 少し思う)と回答し、全く思わないという回答は無い。また

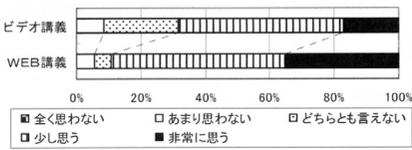


図 3 WEB 講義・ビデオ講義を利用したいか?

たビデオよりも WEB 講義への要望が高い。

さらに WEB 講義を利用したい理由に関する結果を図 4 に示す。

「復習ができる」という回答が最も多く、次いで「休んだ日の講義が受けられる」という回答になっている。

WEB 講義を利用するタイミングについても質問した結果、大部分が「理解できなかった授業をその週にみる」と回答し、授業の復習としての利用をイメージしていることがわかる。また自由回答では、以下の意見(一部)が挙げられた。

【良い点】

- ・家で集中できる環境で勉強できる。
- ・自分のタイミングで理解しながら学習出来る。
- ・必要に応じて止めたり、戻ったり出来る。
- ・授業では理解していても、時間の経過と共に忘れてしまうこともあるので、そういった場合にも便利である。
- ・体調が悪い日も安心して授業を受講できる。
- ・高校で物理や数学を勉強していないので、不安な科目だから。(WEB 講義などのシステム)があると嬉しい。
- ・留学生なので一度で全部聞き取れないが、もう一度確認できる。
- ・ノートをとると、授業を必死で聞き取るのを一緒にするのは大変だから、WEB 講義があれば便利。

【悪い点】

- ・後で講義がみられると思うと、休んでしまったり、集中力を欠くかもしれない。
- ・分からない部分があっても、すぐ先生に質問できないことにイライラしそう。

【その他】

- ・高校生の時にこのようなシステムを利用して、便利だった。

対象学生は WEB 講義を視聴できる環境を有しており、またその要望も強く、必要性を感じ

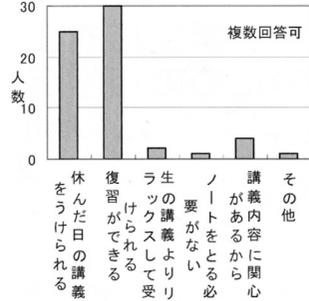


図 4 WEB 講義を利用したい理由

ていることがわかる。補助教材を用意することで授業態度が安易になり、集中力や学習意欲を欠く可能性があるという課題は残るが、積極的な導入を期待する意見が挙げられた。

また e-Learning システムを比較的利点の多い教育ツールとして認識する傾向がみられ、WEB 講義だけでなく、「演習問題」「質問コーナー」「間違えやすいポイントの説明」といった内容も含む教材を期待していることがわかった。

§ 4 学習者の授業に対する取り組みと理解度調査

授業最終回に学習内容の理解度と授業評価に関する調査を行った。有効回答数は 36 である。なお本調査は期末テスト、中間テスト等の結果と比較分析するため記名式としたが、あくまで授業改善のためのアンケートであり、成績等には影響しないことを明記し、学習者にも伝えた上で実施した。

4.1 授業内容の理解度

授業内容の理解度について、学習項目ごとに質問した結果を図 5 に示す。横軸の学習項目は学習の時系列順に左から並べている。

全体的に初期に学んだ内容の理解度は高くなり、後半になると理解度が低くなっていく傾向が明らかである。また、個人別にアンケートデータをみた結果、授業が進むに従って理解度は徐々に下がっていく傾向にあり、前の内容を理解できないと次の内容の理解ができないことが顕著であった。さらに自分が弱いと思う点について質問した結果、以下のような回答(一部)が挙げられた。

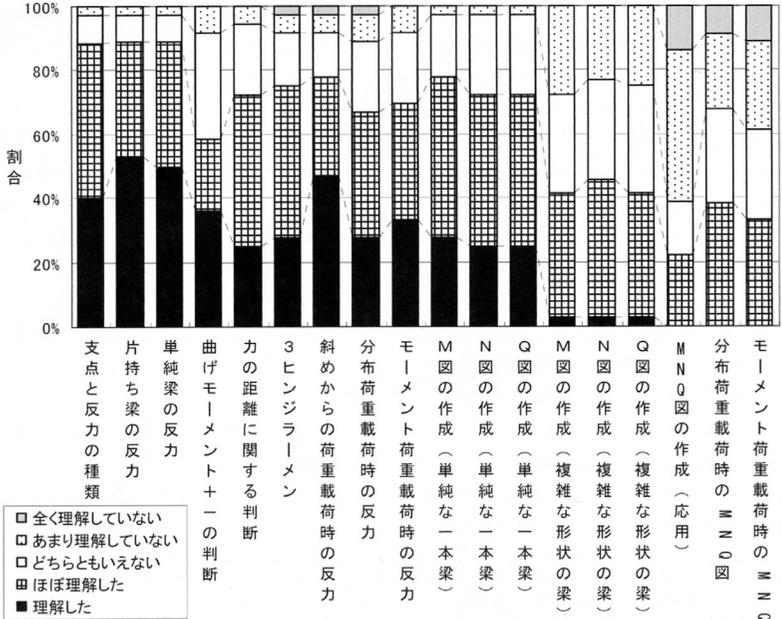


図 5 自己評価による授業項目別の理解度

【計算ミス等】

- ・計算ミス
- ・テストになると焦って単純なミスが多くなる
- ・十と一の判断
- ・勘違い

【理解度に関すること】

- ・理解力不足
- ・授業で理解したと思っても、テストになると分からなくなってしまう。
- ・授業の時は理解できたが、自分一人で解くとわからなくなる
- ・「なんとなく」でややふやになっている所がある。
- ・受けた授業の内容は理解できるが、時間がたつと忘れてしまう

【苦手なこと】

- ・基本問題はできて、応用はできない。
- ・元々物理が苦手だったので、やる気もあまりでなかった
- ・頭の回転が遅い
- ・問題を解くのに時間がかかる
- ・どういう風にかかってくるか全く想像できないこと。
- ・解いているうちに何が何だかわからなくなってしまう。

回答者の半数近くが「計算ミス」を自分の弱点としてあげた。また理解度の不足や曖昧な点が多いことも1/3程度回答された。全体的に曖昧なイメージで弱点を捉えている回答が多く、自分のわからない点を明確に認識していない。またなぜ解らなくなってしまうのか自分でもよく解らない状態にある回答者も少なくない。

また授業内容でわからない部分があった場合の対処方法について質問した結果を図6に示す。

「教員に質問」と「友人に質問」という回答が最も多く、役立った割合は「教員に質問」が最も高い。なお、「参考書で自習」という回答も多いが、役立った割合についての評価はほとんど無く、対象学生には既存の参考書等による学習効果が見込めない状況にある。

4.2 授業への取り組み状況

さらに学習者の授業への取り組み状況を質問した。授業の集中度合に対する自己評価を図7に示す。約8割が授業には集中している結果であった。

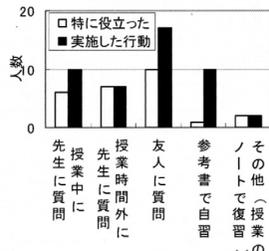


図6 解らない時の対処

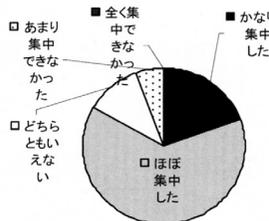


図7 授業の集中度合

また一週間あたりの学習時間について質問した結果を図8に示す。普段は1時間弱、テスト前は2時間程度の学習をしていることがわかる。

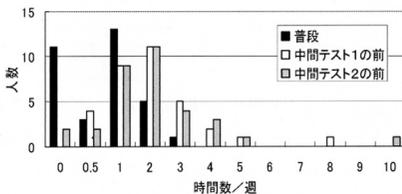


図8 毎週の学習時間

4.3 学習者による授業評価

授業に対する評価結果の一部を図9に示す。全体的に授業の進度はやや早く、難易度は少し難しく、わかりやすさは適していると評価された。授業の難易度は「少し難しい程度が望ましい」といった回答も多く、クラス全体に対する授業設定は適切であると考えられる。一方、理解度の低い学習項目も残っているため、学習者の満足度といった観点にとどまらず、教員の学習到達目標に対する課題は

残っている。

また学習者は「自宅でできる演習問題が欲しい」といった希望も出しており、演習問題により理解度を高めることを期待する傾向にある。授業で使用した演習問題の評価を図10に示す。

難易度は「少し難しい」と「ちょうどよい」が半々となった。量については大半がちょうどよいと回答したが、少ないといった回答もあるため、やる気のある学生の自学自習できる教材の必要性も感じられる。

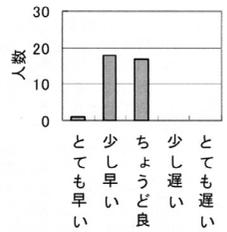
20名の学生にヒアリング調査を行ったところ、9割は市販の参考書が「難しく理解できない」「見ても解らない」と回答し、構造力学ソフトなどの利用については「答えが出て自分で解けるようにならない」と感じている結果であった。そのため、対象学生の理解度や学習意欲に応じた教材で、授業内容と連動する内容であり、演習問題での復習が可能となる教材が期待されていると考えられる。

§5 「つまずくポイント」の抽出

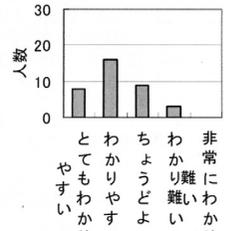
「構造力学I」における学習内容を理解出来ていない学習者は、自分が理解できないポイントやミスしやすい項目が明確でなく、「何が解らないのか分からない」という場合が少なくない。そこで、学習者の、「つまずくポイント」について調査を行った。授業時に実施した二回の中間テストと期末テストの結果を分析し、各所で発生する学習者のミスを抽出し、整理した結果が以下の38項目である。

【学習者のミス項目】

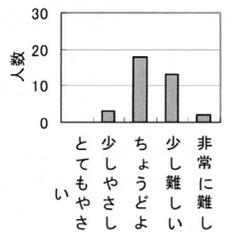
- 1) 支点別反力の種類が異なる
- 2) 斜め荷重の分解が出来ていない
- 3) 分布荷重の合力算定が出来ていない
- 4) 水平反力の釣り合い式の力が過不足
- 5) 水平反力の釣り合い式のナ－が違う
- 6) 水平反力算定時の計算ミス
- 7) 鉛直反力の釣り合い式の力が過不足
- 8) 鉛直反力の釣り合い式のナ－が違う
- 9) 鉛直反力算定時の計算ミス
- 10) 曲げモーメントの釣り合い式の力が過不足
- 11) 曲げモーメントの釣り合い式のナ－が違う
- 12) 曲げモーメントの釣り合い式で力の距離が違う
- 13) 曲げモーメントの釣り合い式の計算ミス
- 14) 算出した反力がどのように支点に作用するか分かっていない
- 15) 反力の方向が間違っている
- 16) 応力算定の基本的な方法が分かっていない
- 17) N(軸力)の算定方法が分かっていない
- 18) N(軸力)算定時の力が過不足
- 19) N(軸力)算定時のナ－が違う
- 20) N(軸力)算定時の計算ミス



a) 授業の難易度

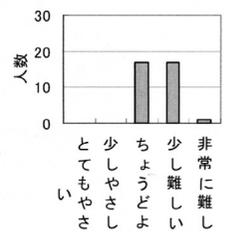


b) 説明のわかりやすさ

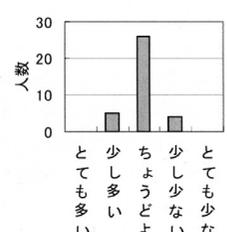


c) 授業の難易度

図9 授業の評価



a) 演習問題の難易度



b) 演習問題の量

図10 演習問題の評価

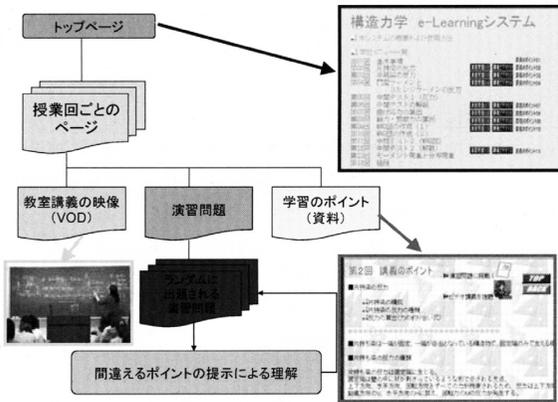


図12 e-Learningのシステム構成

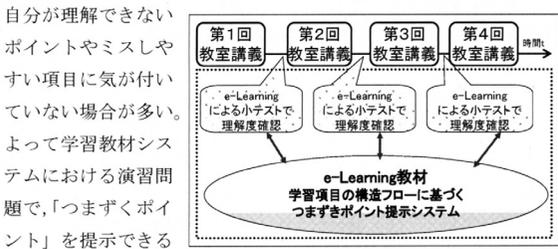


図13 ブレンドィラーニングの流れ

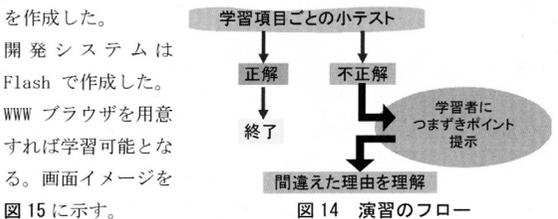


図14 演習のフロー

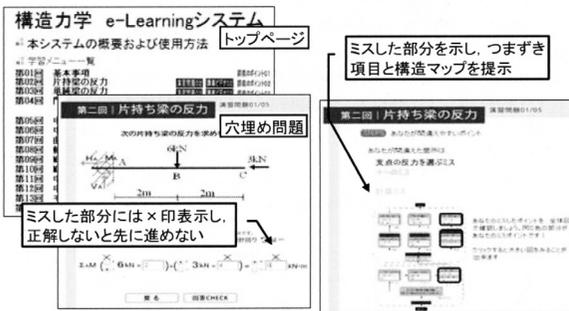


図15 システムの画面イメージ (一部)

学習者はトップページで学習項目を選択する。この項目は講義授業と連動し、「講義ビデオの視聴」「学習のポイント」「演習問題」が選択できる。本システムの特徴は「授業内容を理解しているかを確認できること、自学自習ができること」であり、一步一步理解しないと、次がわからないという授業の特徴に対応しており、演習問題によって、理解度や自分が間違える要因を確認できる。

学習者はログイン後、授業回ごとの演習問題を選択し、テストを行う。演習問題は各回10問程度用意された課題からランダムに出題される。学習者は計算の途中経過を細かく入力するが、ステップご

とに正解しないと先に進むことが出来ない。なおステップごとにヒント項目をみることも可能である。回答が終了すると、回答者が途中でどのようなミスをしたかに関する具体的な項目が提示され、構造マップとミスした箇所が同時に示される。これにより、どの段階でどのようなミスをしやすいのかといった特徴を学習者自身で理解することが可能となる。

§7 システムの評価実験

7.1 評価実験の概要

開発システムにより、自分のつまずきポイントを把握できるか、理解度が向上するかの評価実験を2008年12月に実施した。実験の流れを図16に示す。

学習前テストと理解度等に関する自己評価調査を行った後、40分間学習を行う。その後、学習後のテストと理解度等に対する自己評価調査を実施した。さらに実験群に対し、学習後にシステムの評価に関するアンケート調査を行った。なお学習項目は「反力」の範囲のみとした。実験対象は提案した学習システムを利用する実験群16名と参考書や自分のノートを使用して学習する統制群15名とし、学力差が偏らないよう、学習前テストの点数順に交互に振り分けた。

7.2 実験結果および考察

テスト(39点満点)の平均得点の結果を図17に示す。

テストの点数は実験群、統制群ともに学習後は向上したが、顕著な差はみられなかった。

次に理解度の変化およびつまずきポイントの把握割合の変化を図18, 19に示す。理解度(高まった+や高まった)は実験群の回答が多く、つまずきポイントは実験群の大部分が把握したと回答した。提案した学習システムによって学習者が自分の間違えやすいポイントを把握し、理解度の向上を感じることが少なからず示唆された。

7.3 システムに対する評価

システムに対する評価として役立つ場合や面白さについて質問した結果の一部を図20, 21に示す。

被験者の81%が「面白い」、「役立つ」と回答した。また自学教材としての評価も被験者の73%が「とても良い」「良い」と回答した。さらに自由記述で得られた評価を以下に示す。

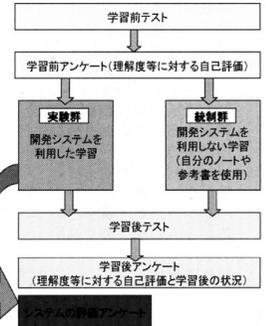


図16 評価実験の流れ

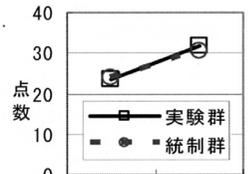


図17 実験前後の平均得点

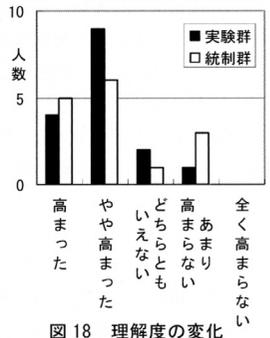


図18 理解度の変化

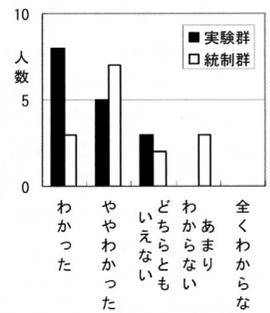


図19 つまずき点の把握

■利点

□教材としての評価

- ・問題演習ができる
- ・気軽にできる
- ・一人でも勉強できる
- ・答えがすぐわかる
- ・復習に時間がかからない
- ・テンポが良くできる
- ・間違いがすぐわかる
- ・間違った場所もすぐわかる
- ・自分の弱点がわかりやすい

□システムに対する評価

- ・やりやすい問題を選べるのが良い
- ・計算の手順がわかりやすい
- ・理解するまで先に進めないところが面白い

□パソコン利用に対する評価

- ・書かなくて良い
- ・パソコンだと「嫌」というところから入らないので良い

□その他

- ・慣れれば楽しい

■欠点

- ・操作に慣れるまで少し時間が必要
- ・ちまちました作業が大変
- ・パソコンは苦手なので、口頭での説明のほうが良い

■改善点

- ・間違えたところがわからない場合の「降参」というボタンもほしい
- ・何度か間違えた場合用のヒントがあると良い
- ・説明のページは文字が多いので、絵とかイラストの方が読みやすい
- ・メモ帳や電卓機能もほしい
- ・文字がもう少し大きいほうがよい
- ・キャラクターがあると勉強意欲が高まるのではないかな?

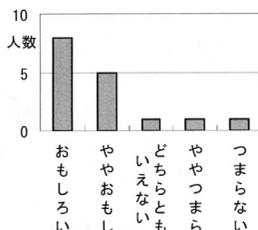


図 20 システムの評価

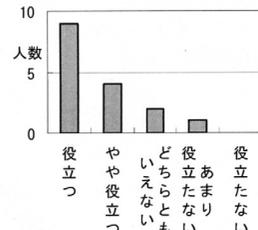


図 21 システムの有用性

「一人でも気軽に勉強できる」「間違いがすぐわかる」「自分の弱点わかる」といった意見が多く挙げられた。欠点では「理解できないと先に進めないのが困る」、改善要望では「メモ帳や電卓機能の追加」等の意見が挙げられた。また、わかりやすさ、演習問題の難易度についても適切であると評価され、全体として提案した学習システムの目的にあう評価を得られる結果となった。

本システムで目標としていた「自分の間違いがわかる」「自分の弱点わかる」といった内容も複数利点として挙げられていることから、システムの目的が被験者に認知されたと考えられる。欠点についても「慣れれば大丈夫だと思う」という意見が多いことから、長期的に考えれば解決可能なものとする。また要望については、学習に前向きに取り組むための項目が挙げられている。

本章では開発した e-Learning System に対する評価実験を行った結果を示した。その結果、提案したシステムにより、学習者に自分の理解度やつまずくポイントを提示できることがわかった。

本システムおよび教室講義によるブレンディッドラーニングを実行することにより、構造力学の学習意欲を高め、学力低下をはじめとするさまざまな問題の解消の一助となると考えている。

§ 8 今後の運用について

今回作成した本システムについて、2009 年度前期に試験運用を実施した。その結果、システム利用者の成績は非常に良かったものの、利用者は希望者のみとしたことから、成績がよい学生のみがシステムを使用した可能性もあり、システムの有効性を示す結果は明らかになっていない。そのため、来年度は全員が利用できる状況で運用し、継続的にシステムの有効性を検証していく予定である。また、

本システムの有効性が示されれば、構造力学Ⅱ、Ⅲと継続学習できるように、システムの運用を発展させる予定である。

§ 9 おわりに

近年、社会的にも構造に関する正しい知識の習得に対する要求が高まっている。一方、教育現場では学生の学力低下、やる気の不足といった問題点が議論され、教員にとっての課題は増え続けている。よって具体的な状況や対応策といった情報の共有化が必要である。

文系学生の多い大学における構造力学教育の向上を目的に、現状調査を行い、その結果に基づいて自学自習用の e-Learning システムを授業後の復習用教材として構築した。

多くの大学において、クラス内における学力差が広がっている実状を鑑みると、今後は個人個人の学力にも対応できる補助的な学習システムが必要になると考える。本研究は一大学における実験事例であるが、手法として有効性が検証できれば、各大学の問題点に応じて同様のシステムを運用することも可能であり、それを目的に継続的な運用と評価を実施していく予定である。

また現段階では比較的構造力学を苦手とする学生を対象とした学習システムに視点をあてたが、今後は授業内容を理解し、さらに実力を伸ばしたい学習者向けのシステムも必要になると考えている。

なお、本研究における調査にご協力頂いた諸氏に深謝する。また e-Learning システムの開発にあたっては、東京理科大学工学部経営工学科の赤倉貴子教授に多くの助言を頂いた。ここに深謝する。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築士制度と今後の学校教育—いま建築教育にもとめられるもの—、日本建築学会大会、建築教育部門研究協議会、2008 年 9 月。
- 2) 南宏一、他：建築構造力学教育の現状と将来的課題に関する調査研究、日本建築学会技術報告集、第 11 号、pp.105-110、2000 年 12 月。
- 3) 脇田直弥、日比野陽、早瀬友晴、市之瀬敏勝：構造力学教育ソフトウェアの開発、日本建築学会技術報告集、第 17 号、pp.525-530、2003 年 6 月。
- 4) 加藤ひとみ、村田賢：コンピュータを用いた構造力学教育用モデルの構築、日本建築学会大会学術講演梗概集（教育）、pp.781-782、2001 年 9 月。
- 5) 浅野照雄、岩井哲、皆田理、伊藤秀敏：力学現象のビジュアル化による構造力学教育、日本建築学会中国支部研究報告集第 24 巻、pp.253-256、平成 13 年 3 月。
- 6) 横井友幸、他：建築力学教育におけるパソコンの利用可能性(1)～(6)、日本建築学会大会学術講演梗概集（教育）、pp.471-472(1) - pp.651-652(6)、1999 年 7 月～2006 年 9 月。
- 7) 北川蒼紀、伊沢久：初学者を対象とした構造力学教育ソフトに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（教育）、pp.599-600、2007 年 8 月。
- 8) 浅野輝雄：構造力学の理解に関する学生の意識と実際の評価について、日本建築学会中国支部研究報告集第 28 巻、pp.317-320、平成 17 年 3 月。
- 9) 上場輝康、渡辺浩平：建築構造力学に対する学生アンケートの結果報告(その 2)、日本建築学会大会学術講演梗概集（教育）、pp.721-722、2004 年 8 月。
- 10) 牧原慎一郎、福和伸夫、他：Web 上で学習可能な振動論 e-Learning 教材の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集（教育）、pp.603-604、2007 年 8 月。
- 11) 佐野顕広、小椋紀行：構造教育における e-learning システムの活用に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（教育）、pp.605-606、2007 年 8 月。
- 12) 石川孝重：動機付け教育における視覚・体験型授業の実施とその効果—本学「力と形」の授業を通して—、日本建築学会大会学術講演梗概集（教育）、pp.655-658、2008 年 9 月。

[2009 年 10 月 19 日原稿受理 2010 年 1 月 8 日採用決定]