

理工系の知識共有に向けたe-Learningの実証研究

小松川 浩

日本の教育機関での理数系の基礎学力の低下は、深刻な問題とされている。これに対し、我々は高等教育でのリメディアル教育の支援のため、高大連携プログラムや学生プロジェクトと連携したコンテンツ及びシステム開発を推進し、e-Learningを介した効果的な教育改善を図った。我々のプログラムの特徴は、教員間の知識の共有に基づくe-Learningシステム及びコンテンツの実証開発にある。我々の取組は専門教育課程へと展開し、理工系の知識の共有に向けたe-Learningの実践事例を生み出している。

キーワード

リメディアル教育、e-Learning、知識の共有、理工系

1. はじめに

数学・物理学に代表されるように、理工系大学では基礎教育から専門教育課程に向けて、体系的に知識を積み上げていくことが多い。高等教育での最終目標が、自ら問題を発見し解決するための能力の育成であるにしても、中等教育課程での数学や物理の知識の活用を前提とすることが多い。一方で、近年の初等・中等教育機関での新課程導入や少子化による大学の入試形態の多様化等の教育環境の変化によって、大学入学時の学力の多様化が問題視され始めている。このため、特に私立大学を中心に、数学や物理のリメディアル教育を実践する事例も増えている。

私立の理工系単科大学である千歳科学技術大学（以下CIST）でも、平成11年度から様々なリメディアル対策を図っている。具体的には、学部1年生を中心とした数学・物理・化学系科目での補習クラスの導入、基礎教育から専門教育への学習内容の連続的な接続を重視したカリキュラム改訂等である。また専門教育課程の教員を可能な範囲で基礎教育に関与させることで、学力の多様化に対する全学的なコンセンサス作りを努めている。しかし、こうした真摯な教育改善に向けた取組は、幾つかの現実的な障害を抱えているのも事実である。

第一は、リメディアル教育に対する大学教員の指導ノウハウの不足である。本来、補習教育を必要とする学生は、何らかの原因で既習分野に躓いた・又はそもそも受講していない等、中等教育機関で学習上の問題を抱えている。これを解決するには、躓いている箇所を特定して、

反復的にトレーニングを行いながら知識の定着を図るプロセスが必要となる。しかし大学教員は、中等教育機関の教育内容自体を熟知しておらず、結果効果的な学習指導も難しい。CISTの場合、この問題が本稿で扱う高大連携プログラムを通じたe-Learningの取組のきっかけとなっている。

第二の問題点は、多様な学力に対応する教員のリソース不足である。リメディアル教育では、個々の学生が躓いている箇所は千差万別である。知識の積み上げが明確な数学を例にとると、小学校で習う分数計算から高校での微分・積分に至る幅広い知識を必要とする。こうしたことから、リメディアル教育では個に応じたきめ細かい学習支援が必要となる。しかし、大学教育の本質は専門教育への展開にあることから、学内のムードとして、補習教育に個別指導型の教育体制を充てにくい。CISTの場合では、先に述べた専門教育の教員が基礎教育の補習クラスに参加することで、状況は変わりつつある。本来学生の側では当然のことだが、今基礎教育課程にいる学生は、数年後には必ず専門教育課程に在籍することになる。このため、専門教育を教える教員が基礎教育の現状を肌身で感じることは、当事者意識を持つ意味で有効で、本学では学内全体のコンセンサス作りにも大きく寄与している。

第三に、リメディアル教育での学習の動機付けの難しさが挙げられる。リメディアル教育では、基本的には既習知識の確認・定着に向けた反復的なトレーニングが必要とされる。しかし補習を必要とする学生は、高校時代から知識の積み上げに苦手意識が強く、単に高校の延長としてのリメディアル教育を適用しても、学習意欲を向上させるきっかけになりにくい。この点を改善するには、我々教員が何らかの形で教育手法の工夫や教育内容とし

ての教材等の工夫を行う必要がある。CISTでのe-Learningの取組も、新たな教育手法及び内容による学習への動機付けの維持・促進を狙っている。

本論文では、上記のリメディアル教育での問題点に対し、e-Learningを適用した学生の学力と学習意欲の向上を図る試みを事例として報告する。また一連の取組を、e-Learningを介して専門教育課程へと繋げていく試みについても報告する。具体的な事例として、入学前教育と学部導入教育の連続的な教育内容の実現、基礎教育でのきめ細かい少人数対面教育の実現、基礎教育と専門教育での知識の共有に向けた実践事例を中心に述べていく。

2. 高大連携プログラムとe-Learning研究会

CISTでは、基礎教育課程を本学の教育理念である「理学と工学の融合」に向けた学習の流れを生み出す課程と

位置づけ、推薦入試及びAO入試合格者に対する事前学習プログラム、1年次学生の導入教育並びに補習教育プログラム等を通して、学生の学力及び学習意欲を向上させる取組を実施してきた。その中で、理工系の横断的な学問領域での既習知識の定着を効果的に図れる教育手法・内容の確立のため、独自のe-Learningを開発・活用することとした。

リメディアル教育では、当然高校の履修内容に遡る必要があるため、高大連携プログラムを通じて大学教員が高校での学習内容に積極的に関与し、大学で必要となる高校分野の既習知識の検討を行うこととした。この成果を、双方の授業で連携して活用できるe-Learningシステム及びコンテンツ群の構築に結実させるべく、平成11年より毎月、高大連携プログラムを通じたe-Learning研究会を主催している。高大連携プログラムを通じたプロジェクト全体の概念図を図1に示す。

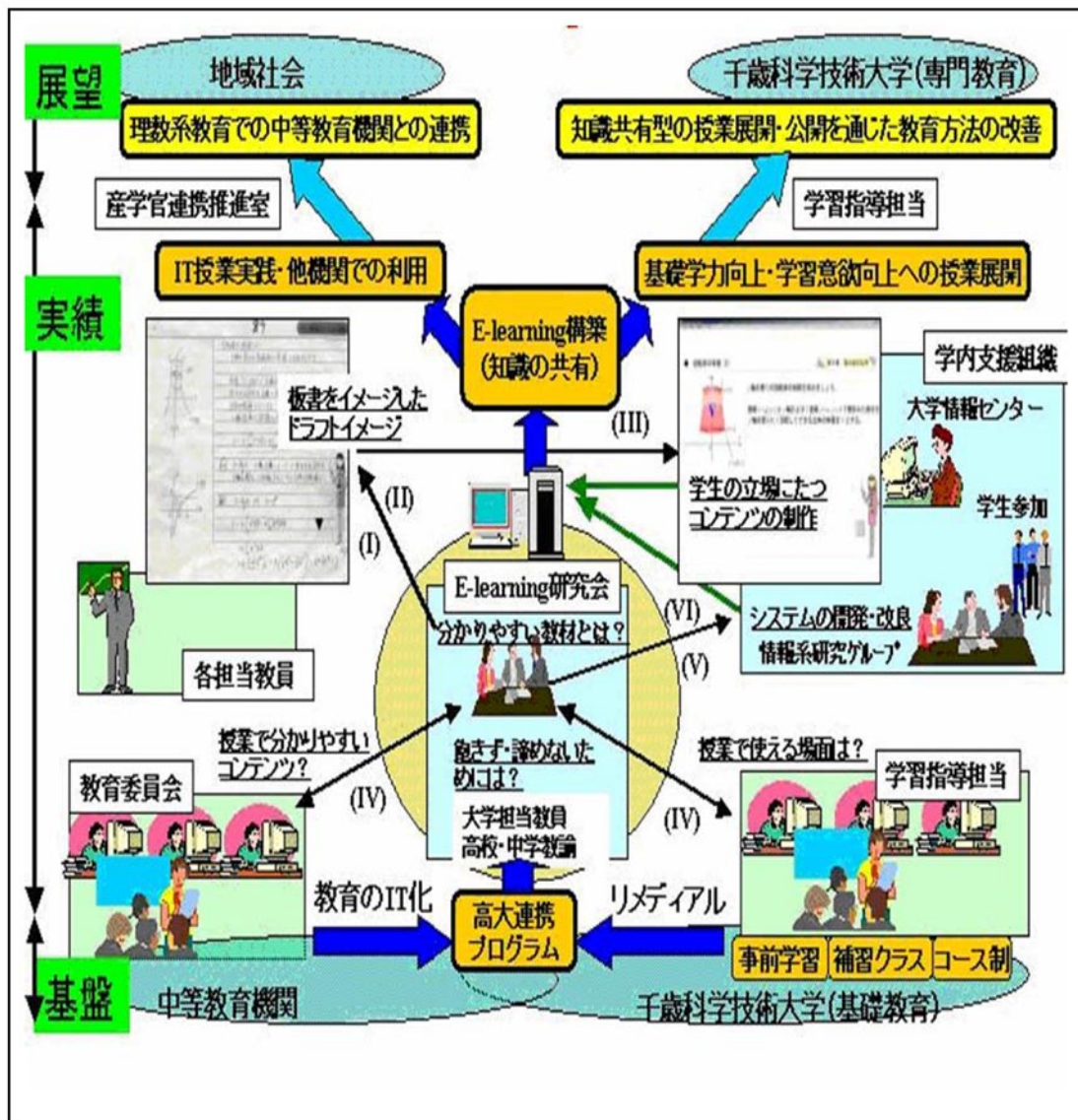


図1 高大連携プログラムの概念図

e-Learning研究会は、大学の数学科目担当者が、北海道内の高校教諭の研究組織である「数学実践研究会」と連携して発足した。この研究会に参加する高校教諭は、一連の取組が自らの教育現場に還元できる内容と個人的に判断したメンバーが中心となっている。e-Learning研究会には、中学校の教諭も参加している。中学校と大学の連携では、市の教育委員会を通じた調整を行った後、高校と同様の趣旨に賛同する個人が参画している^[1]。

平成13年からは、本学（私学）と高校（公立）の間で高大連携を締結することで、組織的な連携を始めている。具体的には、大学側で行うe-Learningのシステム及びコンテンツ開発は、大学情報センターと情報系研究グループ（教員組織）が連携し、学生参加型のプロジェクト体制で対応している。特に学習指導担当が、数学等のe-Learningを活用する科目の学生TAを配置する措置も講じている。一方高校側は、全校的にe-Learningのアカウントを配布し、授業や休み期間中の課題に適用し、公立高校の普通授業と連動したe-Learning利用を実践している。またe-Learning研究会に参加する高校教諭が本学の1年次の数学の講義に非常勤講師として教えることで、大学の教育内容を高校側に持ち帰り、高校での授業内容の幅を広げる取組も行っている。

e-Learning研究会は、約4年以上にわたって継続的に運営されている。この理由の一つに、一連の取組での学生の介在が挙げられる。当初の学生の主な役割はe-Learningのコンテンツの開発であった。しかし、プロジェクトの進行に伴い、高校教諭と大学教員の橋渡し役も担うようになってきた。本取組では、参加する学生の教育の一環で、学生自らが開発したコンテンツを、研究会に参加する教員全員（高校教諭を含む）で評価している。さらに、仕様の提示は教員から学生に与えるものの、開発の途中過程は可能な限り学生に主体的に考えさせるように配慮している。この結果、参画する学生の責任感や開発意識は飛躍的に高まった。事実、学生自ら高校教諭とメール等でコンタクトをとり、研究会での評価に向けて意欲的にコンテンツ開発に取り組む姿勢が生まれている。こうした「学生力」を通じて、月に一度しか会わない大学教員と高校教諭の間の信頼関係も維持されてきた側面は否めない。

3. 教科書コンテンツの開発

e-Learning研究会を通じて開発した教科書コンテンツは、教育課程の体系的性を視野に入れた教育現場に則したきめ細かな教材作りを心懸け、数学と物理学を中心に継続的に進められている。比較的早い時期から開始した数学では、地域の中学校教諭も参加したことから、現在では中学から大学初級までの教科書レベルの内容で約1000以上の教科書コンテンツを体系的に整備するに

ID	知識名	ID	知識名	ID	知識名
1	極限値	21	置換積分	41	和事象と積事象
2	微分係数	22	部分積分	42	余事象
3	導関数の定義	23	微分と積分の関係	43	独立試行
4	接線と微分	24	区分求積法	44	条件付確率
5	関数の増減	25	曲線の長さ	45	乗法定理と独立
6	実数の個数	26	整式の性質	46	反復試行
7	積と商の微分	27	展開公式	47	確率実数と確率分布
8	合成関数の微分	28	因数分解	48	期待値(平均)と分散
9	初等関数の微分	29	整式の除法と因数定理	49	2項分布
10	対数微分	30	実数	50	集合の性質
11	一般の微分形式・高次の導関数	31	無理数の基本性質	51	場合の数
12	平均値の定理	32	グラフと関数の関係(一般論)	52	順列
13	速度と加速度	33	2次関数とグラフ	53	組合せ
14	近似	34	2次関数の決定	54	2項定理
15	不定積分	35	グラフの移動	55	三角関数の値と相互関係
16	定積分	36	絶対値とグラフ	56	色々な角での三角関数
17	定積分の性質・偶関数・奇関数	37	2次関数の最大・最小	57	三角関数のグラフ
18	面積	38	2次関数とグラフの位置関係	58	三角方程式
19	体積	39	2次関数と不等式	59	正弦定理
20	初等関数の積分	40	確率の基礎	60	余弦定理
61	三角形の面積	81	複素数の基礎	101	相加・相乗平均
62	直線とタンジェント	82	共役な複素数	102	必要十分条件
63	加法原理	83	負の平方根	103	背理法
64	積と和の公式	84	2次方程式と解の公式	104	一般項
65	三角関数の合成	85	高次方程式	105	等差数列
66	座標と距離	86	複素数平面と絶対値	106	等比数列
67	内分点・外分点・重心	87	極座標と計算	107	和の公式
68	直線の方程式	88	ド・モアブルの定理	108	階差数列
69	円の方程式	89	複素数平面と図形	109	分数の和
70	円と軌跡	90	逆関数	110	漸化式
71	円と領域	91	合成関数	111	準線・焦点
72	指数法則	92	分岐関数	112	楕円
73	累乗根と分数の指数	93	無理関数	113	双曲線
74	指数関数とグラフ	94	極限の定義	114	双曲線の交点と移動
75	指数方程式	95	無限数列	115	媒介変数表示
76	対数の性質	96	limとその計算	116	極座標
77	底の変換公式	97	初等関数の極限	117	極方程式
78	対数関数のグラフ	98	連続と不連続	118	行列の基本と加法
79	対数方程式	99	恒等式	119	零行列
80	常用対数	100	等式の証明	120	行列の積
121	対角行列・単位行列	143	加法と減法の混じった式の計算	163	マクローリン展開
122	逆行列	144	乗法		
123	ケーリー・ハミルトン	145	除法		
124	ベクトルの和と積	146	四則の混じった式の計算		
125	単位ベクトル	147	多項式の加減法		
126	ベクトルの成分	148	多項式の乗除法		
127	ベクトルの内積	149	式の活用		
128	位置ベクトルと図形	150	いろいろな式の計算		
129	ベクトルと直線	151	連立方程式		
130	空間座標	152	連立方程式の加減法		
131	空間ベクトル	153	連立方程式の代入法		
132	空間図形とベクトル	154	いろいろな連立方程式		
133	素数分離	155	連立方程式の応用		
134	同次型	156	式の表し方		
135	1階線形	157	数量の表し方		
136	単項式と多項式	158	式の値		
139	符号のついた数	159	1次式の数の乗法・除法		
140	数の大小	160	1次式の加法・減法		
141	加法	161	数量の関係を表す式		
142	減法	162	定数係数の2階線形微分方程式		

図2 数学教材の節名リスト（抜粋）

至っている。図2に教科書コンテンツを節単位で分類したリスト（知識名）の抜粋を示す。

本取組での教科書コンテンツの開発は、各教育機関の担当教員が実際に授業で書く板書イメージの電子化と位置づけられる。具体的な研究会を通じた教科書作成は以

下の通りである。

- (I) 関係者による e-Learning 研究会を毎月開催し、授業で活用でき、学習者にとって「分かりやすい」教材の研究を行う。
- (II) その成果として、担当教師が授業で書く板書をイメージしたドラフト作成を行う。
- (III) 学内支援組織（主に学生プロジェクト）が Web コンテンツを制作する。コンテンツは、学習者のタイミングで図やグラフを動的に制御できる仕様とし、学習者の立場を重視した制作を心懸ける。
- (IV) 高校・大学双方の教員が授業で試用し、授業中の学習者の反応や授業後の授業評価アンケートを調査することで、実際の授業で活用できるコンテンツ制作を意識する。
- (V) 研究会で実証結果を検討し、システムとして採用

する教授方法に関する提言も行う。

- (VI) 提言に基づき学習者が「飽きず・諦めず」取組めるシステム開発・改良を図る。

図3(a)及び(b)に、教員作成のドラフトイメージとそれをもとに作成した教科書コンテンツの例を示す。これらのコンテンツは現場教員が実際の授業に用いる板書のイメージとなっており、図の移動、グラフの変化、立体の展開といった、実際の黒板では表現できない動きを Web アニメーションで表現している。また教科書内に、学習者のクリック動作によって式変形や詳細な説明を掲示するボタンを設置することで、学習者のタイミングに従って内容を理解させる工夫も行っている。コンテンツの開発には、Macromedia 社の Flash を用いている。Flash を利用した理由としては、開発者側が簡単なスク

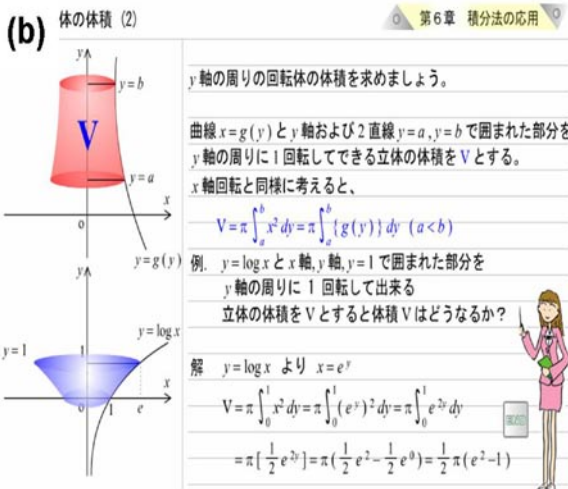
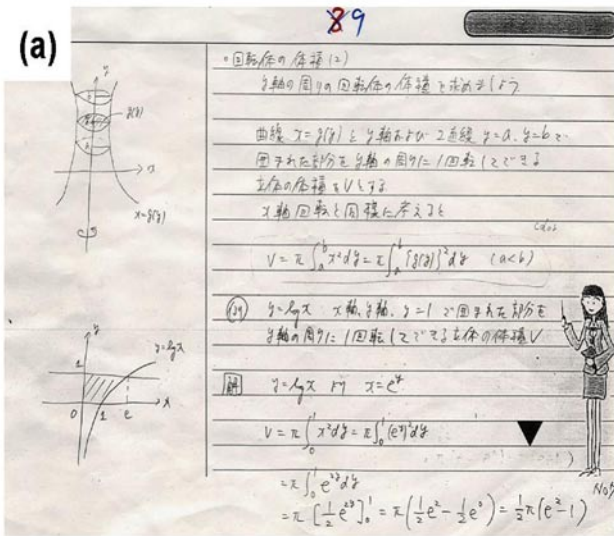


図3 教科書コンテンツ例
((a)教員が作成したドラフトイメージと(b)学生が作成した教科書コンテンツ)

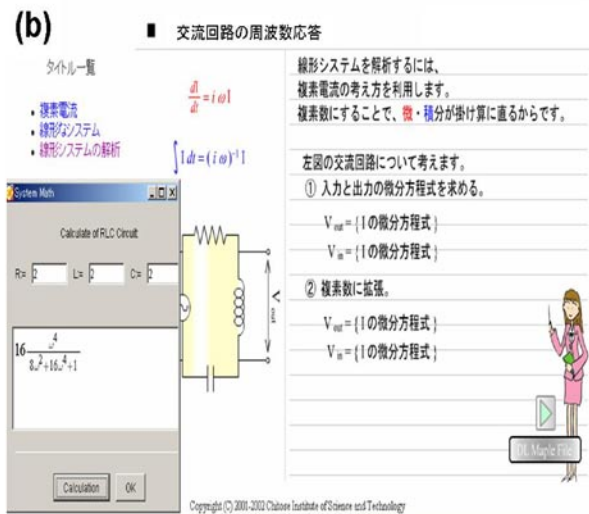
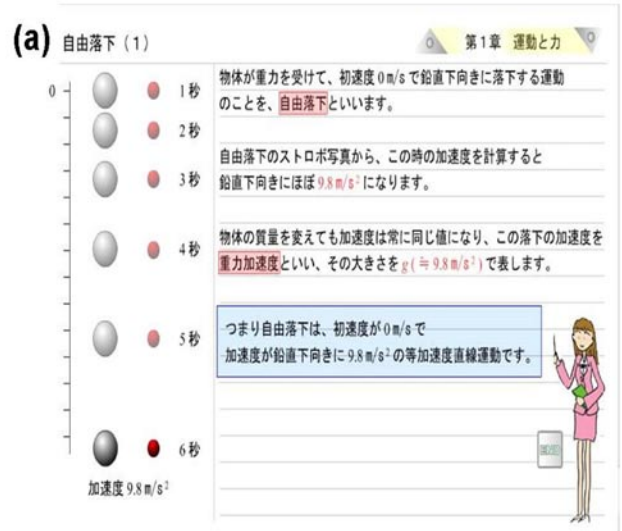


図4 物理の教科書コンテンツ例
((a)高校物理と(b)大学物理)

リプト言語程度の知識で、コンテンツを容易に作成できることが挙げられる。先にも述べたように、本取組ではコンテンツ開発は主に学生が中心に行っている。情報系の研究室の院生が約2日間講習を行うことで、初めてコンテンツ開発に参加する学生でも、簡単なコンテンツ制作は行えるようになる。また1コンテンツの平均的な制作時間は、おおよそ4時間程度と開発コストも低い。ただし、アニメーションが複雑になる傾向の物理や中学版の数学教材等は、8時間程度は見積もっている。本学では、大学情報センターと学務課及び情報系研究室が連携し、興味のある学生が学部1年次から参加できる学内公募のプロジェクト形式をとっている。平成16年7月段階では、学部生約40名が参加している。

平成14年度からは、高校の理科教諭と本学の物理系の担当教員の連携のもと、高校の物理IBを中心に教科書コンテンツの開発を行っている。図4(a)に物体の自由落下に関する高校物理の教科書イメージを示す。平成16年度からは、本学の基礎教育に携わる教員が中心となって、大学初級の力学及び電磁気学についてのコンテンツ開発も始まっている。図4(b)に電磁気学で利用する交流回路の教材の例を示す。

4. 演習コンテンツとWBT機能

本取組では、大学でのリメディアル教育に主眼を置いているため、トレーニングを行うための演習問題の整備も行っている。教科書コンテンツ同様に体系的な整備を行い、現在数学は中学から大学初級までで約2500題を制作している。

特に学習者の学習意欲を維持する工夫を施すため、学習者が「諦めずに取り組む」ための詳細な情報の提示を行えるようにしている。具体的には、各演習問題に最大で三段階までのヒント情報を付加している。学習者は問題が解けない際に、図5画面下段のヒントボタンを押すことで、適宜ヒント情報を参照できる。ヒント情報がすべて提示されると、解説情報となることで、学習者は必ずその問題の正答が分かるようにしている。また同タイプの問題を最低2題用意し、連続的に出題することとしている。

一方、演習問題を解くだけでは、問題の意味や関連する知識の習得までは至らない。そこで、本システムでは、各演習問題に知識を割り当て、演習問題の解答中に知識の提示を可能にしている。具体的には、学習者は図5画面右に設けた知識ボタンを押すことで、問題に関係する知識に対応する前述の教科書コンテンツを参照できる。

本システムを実際の授業の課題(宿題)で利用する場合、何らかの形で教師が介在することが望ましい。このため、知識ボタンの下には、先生への質問ボタンを設け、該当する問題の質問を送信できるようにしている。教師

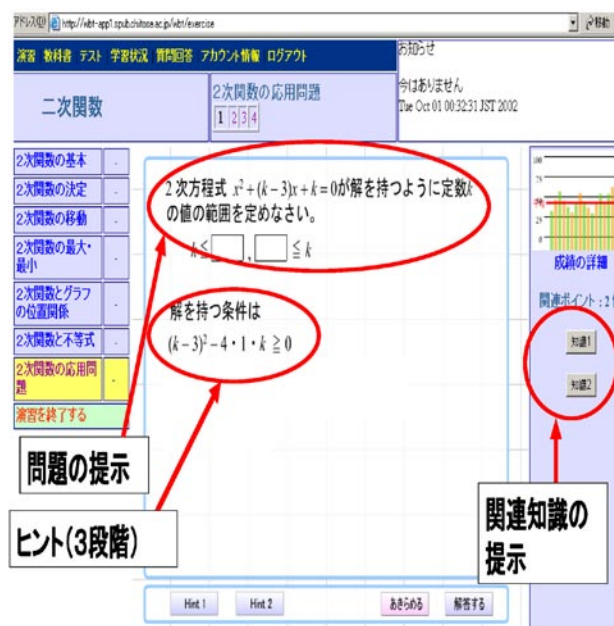


図5 演習問題のインターフェイス

側では管理者LMSを通じて、演習問題の番号、演習問題の内容、学習者からの質問事項が瞬時に確認できるようにしている。一連の質問機能は、本システムの科目作成機能を通じてグループ化された教師と学生の間での情報交流機能の一部となっている。

演習問題の仕様もFlashを利用している。特に、フォーマットファイルを事前に用意することで、ヒント情報・問題情報等のみを直接フォーマットファイルに記述するだけの仕様となっている^[2]。このためFlashの操作法が分かる学生であれば、比較的簡単に演習問題を作成できる。演習問題コンテンツ1つあたりの作成時間はおおよそ15分程度である。

リメディアル教育では、学習者に「繰り返し取り組ませる」ための工夫も重要な検討事項となる。我々は、評価基準の導入によって上記の工夫を行っている。学習者に対する達成度を定義し、この数値を時系列的に閲覧できる機能を実装している。一つの節ですべて正解した場合に達成度が100になることとし、ヒントを見る・間違えるといった場合に達成度が下がる仕組みとなっている。ただし、再度同じ問題を解いて正解した場合に達成度を戻すことで、反復的に解かせる動機付けを図っている。一方知識ボタンを通じて教科書を閲覧する場合には、達成度は変化しない。これは、ヒント情報には直接解答に結びつく内容が記述されているが、教科書からは解答情報を直接得られないためである。達成度の時系列的な変化をリアルタイムにグラフ表示しているため、多くの学習者はヒントを使わず教科書を見ながら解答を探すようになる。図6に一連の機能を表す画面構成の例を示す。

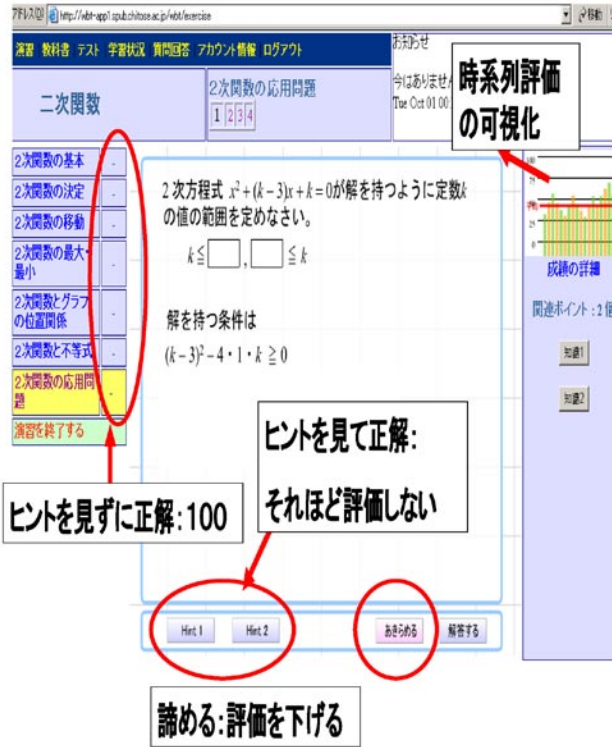


図6 達成度の表示インターフェイス

5. 教師用LMS

本システムでは、教師用のアカウントを用いることで、教師に属する学習者の成績管理を行うことができる。閲覧できる情報は、演習の正否情報、ヒント参照率、達成率、教科書閲覧回数等の市販のLMSと同等の機能を持っている。システム開発は、大学の情報系研究室を中心に独自に行われている。このため、各教育機関と連携した実証評価等を行いながら、必要な機能を柔軟に取り入れている。システムの開発環境は、Webを利用した三層モデルを採用している。クライアント層には一般的なWebブラウザを利用することとし、ミドル層ではJava Servlets技術及びJava言語を用いている。Java Servlet Containerとしては、Java Servletsのリファレンス実装であるJakarta Tomcatを使用している。サーバ層としては、フリーのRDBであるPostgreSQLを使用している。演習問題や教科書、学習履歴データはRDBへと格納し、統計処理などを行いやすくしている。ミドル層、データベース層に用いるOSとしてはDebian GNU/Linux stableを使用した。こうした仕様は、各教育機関での利用を促進すべく、極力無償の環境にてサーバの構築を可能とするためである^[2]。

資格試験対策等の達成目的が明確な学習内容では、LMS上の達成度を評価することで学習指導が成立するケースが多い。しかし教育機関全般で行われている、いわ

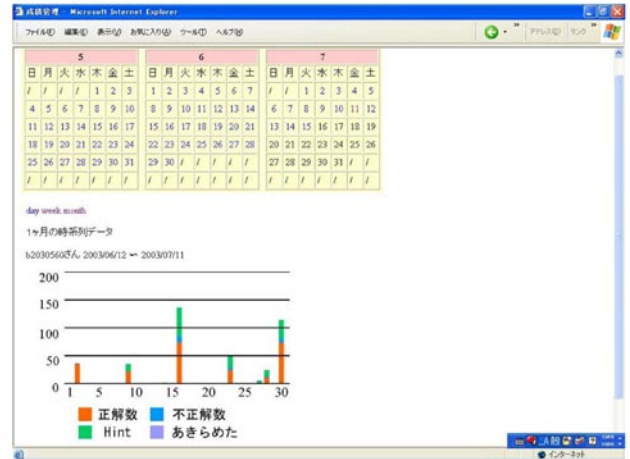


図7 時系列的な取組状況の表示

課題登録フォーム

[管理画面トップ] [課題メニュートップ]

課題名、期間を入力し、登録ボタンをクリックしてください。
年月日は、半角で西暦から入力してください。

現在日時: Nov 20, 2003

課題名:

課題開始年月日: 年 月 日

課題終了年月日: 年 月 日

※2003/1/3の場合は、2003 01 03と、10の桁を入れて下さい。

[課題システムトップ]

図8 課題設定画面

ゆる学習の動機付けが難しい教育内容では、取り組んだ結果よりも、その姿勢が重視される場合が多い。例えば、反復的に繰り返してトレーニングする必要がある学習者に対しては、我々教員は、試験の前日に一度に学習せずに、2・3日前から継続的に取り組むように指導する。こうしたことを支援するため、本システムでは図7に示すように学習者の取組状況を時系列的に棒グラフで表示する機能を実装している。グラフには、正解・不正解・ヒント参照回数等が時系列的に表示されるようになっている。特に、図7上部のカレンダーを選ぶことで、24時間・1週間・1ヶ月単位での学習期間の時系列データを閲覧することができる。後述する事例での、e-Learningを利用した個別の学習指導は、主に本機能を利用して学習者の取組状況を確認しながら行われている。

補習教育でのe-Learning利用は、概ね授業の宿題として活用することが多い。そこでは毎週の授業後に教員がLMSを通じて課題を学生に提示できる機能が必要となる。そこで、図8に示すように、教師が課題名・課題の期間・課題内容(演習・テスト・閲覧教科書)を設定す

図9は、課題の成績表示画面のスクリーンショットです。左側には「ユーザー一覧」があり、IDと名前がリストアップされています。右側には「b2030320さんの課題状況」として、3つの課題に関する詳細なデータが表形式で表示されています。

b2030320さんの過去の課題を達成度からみた一覧です。【課題3件】										
[1] 数学基礎クラス「微分方程式」2階線形 2003/12/05から2003/12/20までの課題										
2階線形(定数,非同次) 100										
2階線形(定数,非同次) 16										
取り組んだ回数	問題数	正解率(%)	不正解率(%)	ヒント数	不正解数	不正解率(%)	ヒント数	達成度100(個)	達成度100(%)	教科書参照回数
1	1	100	0	0	0	0.0	0.0	32	13	0
[2] 数学2級「フーリエ展開」2003/11/01から2003/11/14までの課題										
フーリエ展開 100										
フーリエ展開の課題 100										
取り組んだ回数	問題数	正解率(%)	不正解率(%)	ヒント数	不正解数	不正解率(%)	ヒント数	達成度100(個)	達成度100(%)	教科書参照回数
1	4	33.33	33.33	3.0	3.0	3.0	3.0	32	13	0
[3] 2回「微分方程式」テスト用 2003/11/14から2003/11/27までの課題										
変数分離型 100										
同次型 100										
1階線形 100										

図9 課題の成績表示画面

ることができる機能を実装した。教師側で設定された課題内容は、学習者がシステムにログインしたトップ画面に毎回メッセージで表示されるようにしている。一方教師側は、図9に示す管理者画面で、課題の提示されている学習者のみの成績情報を閲覧できる仕様としている。

課題期間が終了した際に、達成度・取組状況等の情報と同時に教師がある程度想定できる学習指導内容をメッセージで提示する機能を実装している。課題に対する総評をある程度学習者に提示することで、課題達成に対する学習者の意識の向上を狙っている。特に本システムでは、ある程度明確な評価項目に対するメッセージを定型で事前に用意し、自動的に学習者に提示することで、教員側の管理コストの削減を図っている。以下にメッセージ内容の抜粋を示す。

- 課題はきちんとこなしましょう
- 課題の範囲を全く取り組んでいませんね
- 自分の取り組みやすい分野を選び、とにかく達成度100の節数を増やしましょう
- もっと問題をたくさん解きましょう
- 取り組んだ問題数が多いのは大変評価できます
- 比較的正確に解けています
- 極力ヒントを見ないようにしているのは大変評価できます

6. 事例

6.1 数学の学力調査

平成12年度からe-Learningを数学の基礎教育プログラムに活用している。本学は数学を最も重要な基礎教育科目と位置づけ、大学数学のみを行うクラスを①組、高校数学の復習から入るクラスを②組としたコース制を導入している。入学直後のガイダンス期間中に全新生に導入教育を兼ねた自己診断テストを実施し、学生はこの結果に基づいて自らの意志でコースを選択できる。なお、

②組では正規の授業以外での補習クラス（単位化されていない）を設置し、受講を義務化している。①組は大学専任教員によって実施し、②組では大学専任教員と高大連携プログラムを締結している高校から派遣頂いた教諭（非常勤講師）によって実施されている。

数学は1時間目に講義を行い、2時間目に講義に関する演習を行う形式をとっている。②組で行われる補習クラスは、演習の後に引き続いて行っている。ここでは、講義と演習の復習又はそこで用いられる高校分野の復習を兼ねて行うこととし、前期（微分・積分）に関しては、三角関数・対数・指数・初等関数の微積分、後期（微分方程式）に関しては、複素数・置換積分・部分積分等の高校分野の復習とテラー展開・フーリエ級数等の大学初級を行っている。補習クラスは、2つのPC教室（合計PC160台）で、e-Learningを活用し、教員1名とTA2名が巡回しながら、質問を受け付ける形式をとっている。なお、時間内に終わらなかった学生は、次回の補習クラスまでに宿題として課し、毎週システムのLMSを用いて学習の進捗管理を行っている。

平成14年度は、e-Learningを利用した学生と利用しない学生の学力比較の調査を行った。具体的には、まず補習クラスを2つ（AクラスとBクラス）に分けた。1つのクラス（Aクラス）は、e-Learningシステムを適用し、学習者に好きな単元を取り組ませ、適宜教室内にいる教員1名が質問に応じる形式とした。また毎週個別の単元を宿題として課し、教師はe-LearningのLMSを利用して、その進捗を管理することとした。もう1つのクラス（Bクラス）は、教員1名が紙ベースの演習を配付して、演習問題を解かせ、補習クラス内で解説を行う形式とした。毎週宿題を課し、その内容は補習クラスのTA（Teaching Assistant）がチェックする形式をとった。Aクラス及びBクラスそれぞれの学生数は、ほぼ70名程度で、平成14年春学期の13週にわたって実証評価を継続的に行った。

上記2クラスに対して、紙ベースで実施した4回の中間試験の結果を比較することで、学力へのe-Learningの寄与を検証した。結果を表1に示す。表では、Bクラスの結果をゼロとして相対的なAクラスの平均点を載せている。また表1内の0回は、4月前半の講義開始前に行った自己診断テストの結果である。表が示すように、学習を始める前段階では、AクラスよりもBクラスの方が成績が良かったことが分かる。これに対して、表1の1回

表1 大学での実証評価結果

	0回 4月	1回 5月	2回 6月	3回 7月	4回 7月
A	-6.4	4.1	12.3	8.6	2.5
B	0	0	0	0	0

から4回の結果が示すように、講義が進む段階では、Aクラスの方が、平均得点が常に高いことが分かる。

上記の結果より、e-Learningシステムを活用したクラスの方が、成績の良い結果が得られた。しかし当然教える教師のスキルの差が影響する可能性も残る。そこで本研究グループでは、後期の数学の講義では、AクラスとBクラスの講義形態を入れ替えて同様の実証を行うこととした。その結果、e-Learningを活用したクラス（今回はBクラス）の方が、前期同様に行われた4回の中間試験において、いずれも平均点が良い結果が得られた。

e-Learningの有効性を示す結果は、LMSを利用した学習管理に基づく学習指導が要因と推察される。紙ベースの演習の場合、学生の在宅学習の進捗は把握しづらい。もちろん学生に提出した宿題を毎回回収し、すべての内容を整理しながら進捗の良くない学生を把握することは原理的には可能である。しかしその手間を考えると毎回行うことは時間的に厳しい。一方で、e-Learningを用いた学習では、教員は宿題の進捗を好きな時に自分の端末で確認することができる。このとき全ての学生の進捗ではなく、課題の達成度の低い学生のみを抽出してチェックすることで、学習指導をかける必要のある学生はかなりの部分網羅できる。教員は、その情報に基づき次週の講義又は演習の時間に個別に対面の学習指導をかけることも可能で、試験の行われる前に未然に学生に対する学習の動機付けを図ることができる。事実、上記の学力調査においても、e-Learningを活用したクラスでは、教員がLMSを利用した学習指導をこまめに行っていた。また成績の詳細な比較を行ったところ、試験結果の上位の学生の数や点数分布は、両クラスでそれほど変化は無く、成績の下位層の学力向上が目立った。

6.2 対面型個別指導型授業との連携

学力調査の結果に基づいて、e-Learningを効果的に活用して学生の知識の定着を図りながら、一方で対面型の個別指導授業を併設して学生の興味・関心を高める教育方法の改善の取組も始めている。具体的には、補習クラスでの従来の4クラスによる演習形式を、e-Learningを利用して主体的に学習する1クラスにまとめると共に、新たに数名規模の対面形式で基礎から応用までを学べる3クラスを併設した。特に、図10に示すような教員配置をした上で、学生が毎時間自由にクラスを移動できることとし、学生の多様な学習意欲に応じる授業形態の工夫を行った。この結果、ほとんどの学生が毎時間e-Learningを活用して主体的に学習しながらも、興味・関心に応じて適宜クラスを移動し対面を通じた指導を受ける姿が常に見られた。さらに、平成15年度春学期では、この補習クラスの受講希望者が前年度に比べて約1割増えており、学生のニーズに応じた授業形態であることを示唆している。

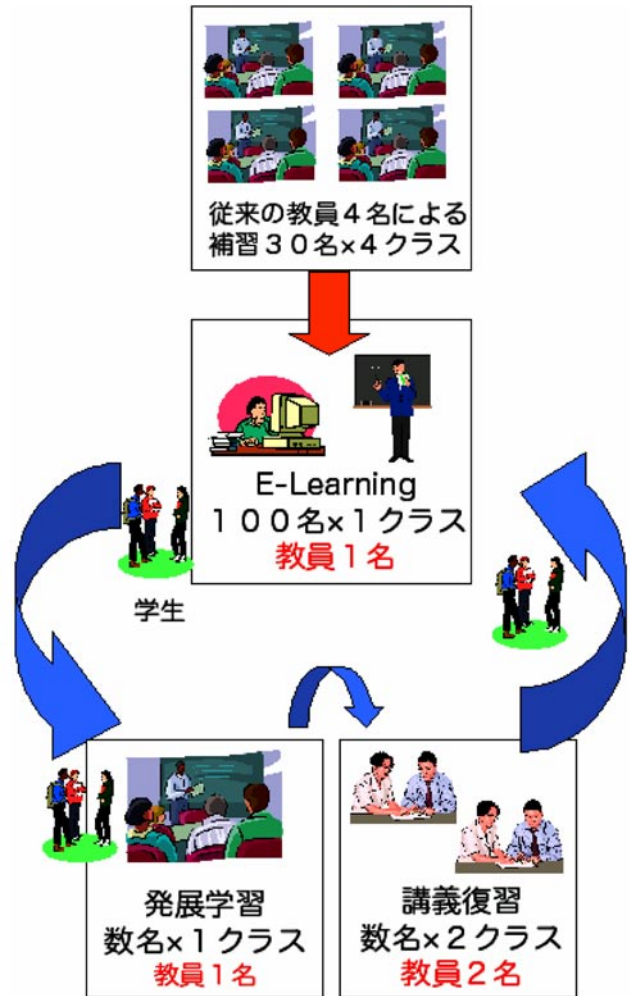


図10 授業改善の例

ただし、この取組においてe-Learningによる学習に抵抗感を示す学生が存在したことも事実である。具体的には、毎回の補習クラスでe-Learningを利用せず、常に少人数対面教育のクラスに参加する固定メンバーが約1割程度いた。こうした学生のほとんどは、e-Learningに記述されている内容自体が理解できない者と逆により高度な内容を直接教員から聞きたい学生に大別された。

平成16年度からは、e-Learningを用いた補習クラスでは、PC教室に常に学生を拘束する形式をやめ、ほぼすべてを在宅学習に切り替えた。ただし、1年次春学期の最初の5週分だけは、学生をPC教室に集めて学習させている。これは、入学時の学生にe-Learningを用いた学習方法を体得させるためである。実際、e-Learningを用いた補習クラスでは、教員が何ら指示を出さないと、ほとんどの学生が紙と鉛筆を利用せずコンピュータ画面のみを見ながら問題を解こうとする。もちろんこれでは学力の向上は期待できず、数学等では途中過程を書く習慣が損なわれかえって逆効果となる。そこで5週分の補習クラスでは、まずは紙と鉛筆を用いながら問題を解き、

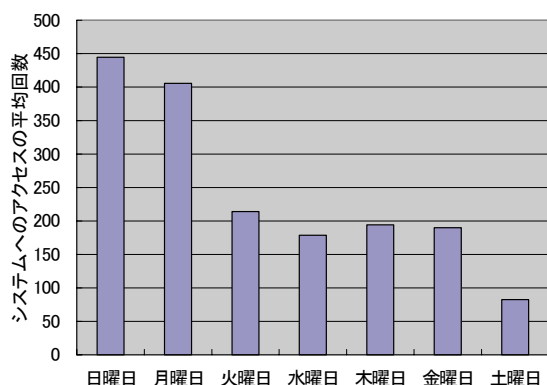


図11 システムへのアクセスログの統計情報

答えのチェックやヒント情報の提示等のツールとしてe-Learningを利用するように学生に習慣づけていく。また学習者画面に表示される達成度の意味や我々教員がLMSを通じて学生の時系列データを日頃から見ている旨も説明する。こうしたいわゆる「e-Learningを利用した導入教育」を経ることで、教員が直接関与せずともインターネット経由の課題を日常的に対応する習慣付けを図っている。

図11に学生が実際にシステムを利用して在宅学習を行っている際の時系列的な利用状況を示す。具体的には、3ヶ月間の学生のシステムに対するアクセスログの曜日ごとの平均を示す。実際の講義は火曜日に行われていることから、各学生が毎回の補習クラスで提示される宿題をインターネット経由で、日曜日や月曜日に対応している状況が分かる。また1週間を通じてアクセスが全くない状況も見られず、学生が自分の好きな時と場所に、学習している様子も伺える。

6.3 入学前教育での利用事例

本学では、リメディアル向けのe-Learningを入学前教育にも適用し、学習者の学習意欲の維持に努めている。具体的には、推薦入試及びAO入試で入学予定となる希望者を対象に12月末からアカウントを配布している。対象科目は現在整備が進んでいる高校物理（IB）と数学全般である。インターネット環境が整っていない学習者を考慮して、紙ベースの入学前教育と併用している。平成12年度から試験的に開始している。平成12年度は約2割がインターネットを利用して学習したが、平成15年度は約7割と確実に利用者が増加している。

学習範囲は各学習者に任せ、各自の弱い分野を主体的に学ばせている。学習者に対する利用説明・アカウント管理等は入試事務が窓口となり、学習状況の確認は入試関係の教員が行っている。一方、紙ベースの答えは担当教員が採点を行い、郵送で送り返している。このため、e-Learningによる人的な管理コストは確実に削減した。さらに本学では、LMSの統計情報を一年次の担当科目

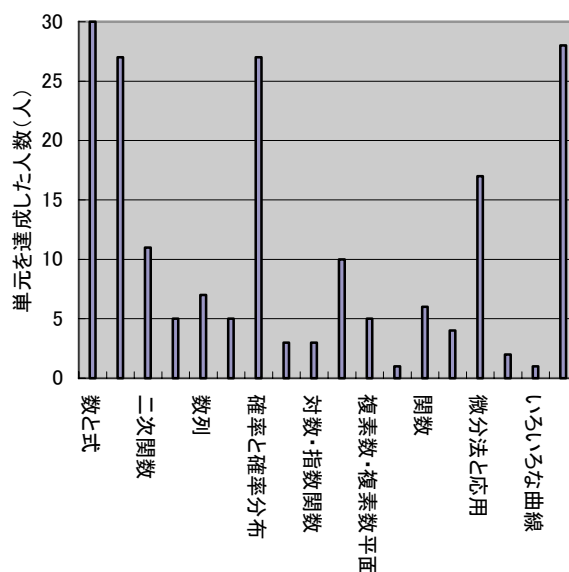


図12 入学前教育での利用節（抜粋）

教員に渡すことで、次年度の入学者の入学前の学習傾向を把握している。図12に平成14年12月から平成15年1月の2ヶ月で学生が達成した単元例を載せる。

6.4 専門教育課程での利用事例

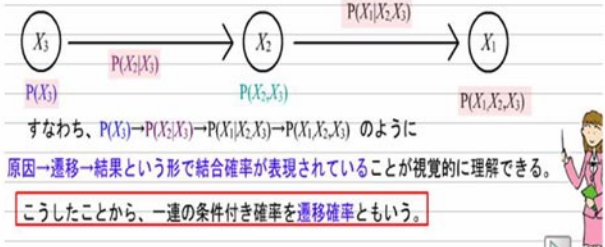
現在、中学から大学初級までの数学の既習知識を網羅したコンテンツ群が整備されているため、次のステップとして専門教育で既習知識を確認する際にもe-Learningを活用する取組を始めている。具体的には、専門教育基礎課程の講義を部分的にe-Learningで置き換える取組を平成15年度から試行している。以下、システム数学（情報数学）を事例として紹介する。

システム数学は、12週の講義の内（別途2週は中間試験計14週）、4週分は何らかの形で学部1年次の復習や当該科目の演習を行っている。講義全体で行う内容は、確率基礎、平均・分散、確率分布、条件付き確率とベイズの定理、情報とエントロピー、ベイズネットワークである。この内、高校までの復習となる確率基礎・平均・分散（1週分）と、確率分布、条件付き確率とベイズ定理、エントロピー（3週分）の演習をe-Learningを用いた在宅学習に切り替えた。図13(a)及び(b)に、大学向けの教材として作成した条件付き確率とベイズの定理の教科書及び演習問題コンテンツの例を示す。担当教員は、4週分の課題をe-Learning上で提示し、期日までに達成率を100%にするように指示を出す。LMSで管理する課題の結果は、出席点として加算している。

この講義の特徴は、e-Learningを適用した4週分を完全に休講にせず少人数対面の口頭試問に置き換えた点にある。具体的には、講義を行わない4週は、教員が個室で待機しており、学生は4週のうち必ず1回は教員に会いに来るように指示が出される。また、それまでの講義

(a) 条件付き確率と遷移確率

先の例に、アラームが鳴ると携帯に情報を転送して利用者に知らせる事象を (X_1) を追加しよう。このとき、電源が落ち、アラームが鳴ることで携帯に情報を伝える確率 $P(X_1, X_2, X_3)$ は、 $P(X_1, X_2, X_3) = P(X_1|X_2, X_3)P(X_2|X_3)P(X_3)$ (n確率変数の乗法の公式) これをグラフを用いて考えてみよう。



(b)

図13 情報数学コンテンツ例 ((a)教科書と(b)演習)

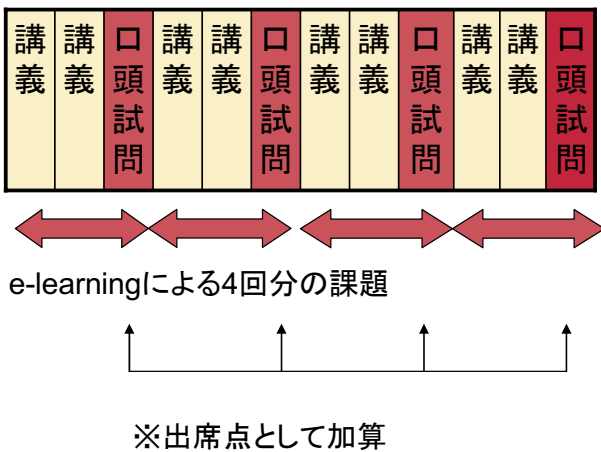


図14 12週の講義の配置図

内容の演習に相当する口頭試問を行う旨も伝えられている。ただし教員は、口頭試問の内容で学生を評価しない旨を伝え、少人数の口頭試問の機会が学生の質問の場となる配慮を行っている。図14に12週の講義の配置例を

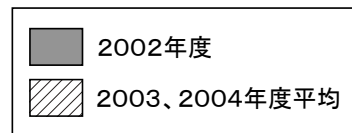
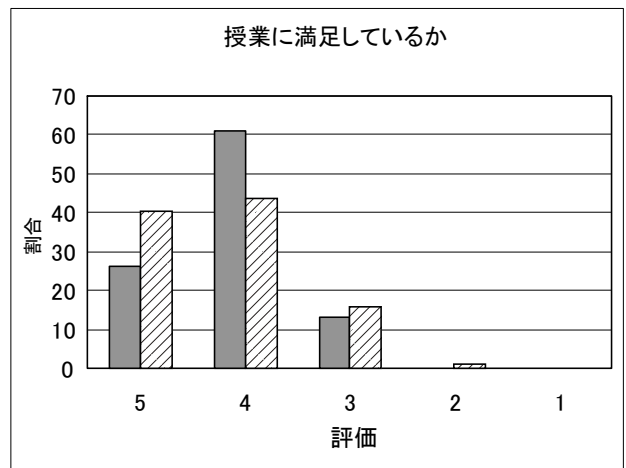
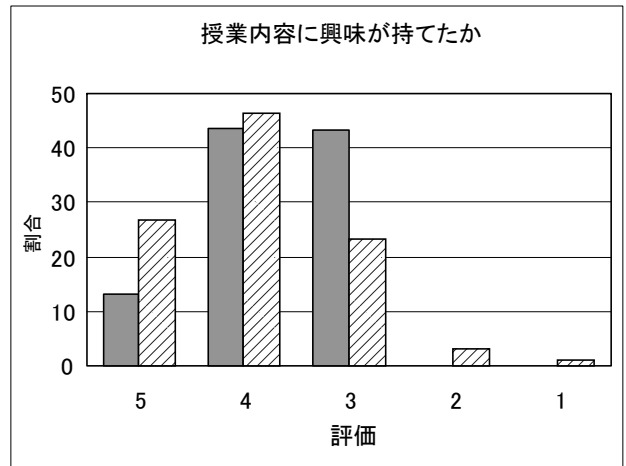
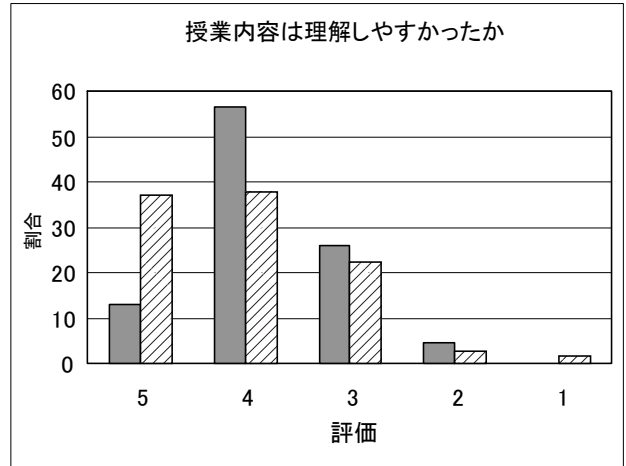


図15 授業評価アンケート抜粋

示す。

図15にe-Learningを導入前(平成14年)と導入後(平成15・16年の平均)の授業評価アンケートの統計結果を示す。対象人数は、光応用システム学科120名である。

内容は「授業は理解しやすかったか」「興味が持てたか」「満足したか」の3項目について抜粋している。4及び5の総数はそれほど変化が無いものの、e-Learning導入後の方が全体的に5の評価があがっているのが分かる。

おわりに

本学では、一連の実績を踏まえ、理工系大学における専門教育課程で必要となる数学・物理学分野での知識のデータベース構築を平成14年度以降開始した。平成15年7月段階では、数学分野（線形解析・フーリエ級数・微分方程式）、物理学分野（力学）での知識の整理とe-Learning用のコンテンツ化を進めている。また、平成14年度から専門及び基礎教育課程内容の連続性を考慮したカリキュラム変更を検討し、平成15年度からその実施に移っている。こうした体制の中で、化学・物理学・電子・情報の各教科で学習した、あるいは学習すべき知識をe-Learning上に集約すると同時に、学生と教員がこれらを共有した新しい授業展開を図っている。

平成16年度7月現在、本学学生延べ約1000名に加え、他大学学生、高校生徒など約9000名が利用している。また利用機関数も他高等教育機関4校を含め50を越えている。平成15年9月以降は、千歳市内全中学校での利用や本学が主催する個人向け一般公開講座（平成16年度申込者数60名）にも利用している。また利用者の中には、病弱養護学校や院内学級に通う生徒も含まれており、通常の形態の授業を受けられない生徒に門戸を開く取組としても期待されている。

本取組のリメディアル教育に関わる部分は、e-Learningを介した高大連携プログラムとしても特徴づけられる。実際にe-Learning研究会に参加している公立の高校や中学を中心に、自らの教育機関での通常授業や休み期間中の課題等に利用し始めている。近年の高校側でのインターンシップや単位認定といった実質的な連携内容が注視されていることから、将来的には本学でのe-Learningのコンテンツ開発を行う学生プロジェクトと

高校生の連携によるインターンシップの受け入れを検討している。これにより、e-Learningを活用して数学を学ぶ高校生が、その仕組みを理解して実際の開発に携わる経験を通じた実践教育の実施を試みていきたい。さらに大学初級の数学版e-Learningの開発が進んでいることから、こうした内容を高校生に触れてもらい、入学前教育で実施しているスクーリングと連動させることで、何らかの単位認定へ繋げたい考えである。

謝辞

本取組は、平成11年総務省「マルチメディアパイロットタウン事業」（マルチメディア学習システム）、平成12年・13年文部科学省「地域研究開発促進拠点事業」、平成15年文部科学省「特色ある大学教育支援プログラム」の財政支援によって段階的に進められてきた。平成13年までの研究プロジェクトから平成15年の教育プロジェクトへの移行を見ても、日本のe-Learningの取組がいよいよ実用的な成果を求められる時代になったことを痛感する。

最後に、こうした時代の流れの中で、常に変わらず本プロジェクトで中心的に活躍してきた学生プロジェクト諸君に敬意を表する。

参考文献

- [1] 小松川浩（2004）「中高大連携による数学e-Learningシステムの開発」、『工学教育』、第52巻第1号p82-87。
- [2] Hiroshi Komatsugawa, (2004)「Development of e-Learning system using mathematical knowledge database for remedial study」, Proc. of IASTED Int. Conf. on Computers and Advanced Tech. in Education



こまつがわ ひろし
小松川 浩

平成2年慶應：電気卒、平成7年慶應・物理博士課程修了（理学）、平成10年千歳科技大・光科学部・講師、平成13年同大・助教授
分散処理型情報システム、知的支援技術の研究に従事

Experimental Study of e-Learning To Realize Knowledge Sharing For Science and Technology

Hiroshi Komatsugawa

Japanese educational institutions have serious problems for the decline of students' basic learning ability of science and mathematics. To support remedial education, we carried out collaboration program with high school teachers and students to construct effective educational improvement through e-Learning system. The feature of our program consists in the experimental development of the e-Learning system and contents making based on the knowledge sharing among teachers. Our project is extended in the specialized course of our university and examined to realize knowledge sharing for science and technology through a case study.

Keywords

remedial education, e-Learning, knowledge sharing, science and technology