

コンセプトマトリクスに基づいた物理学実験のための Web 学習教材の開発と実践

大 島 直 樹

要旨

物理学実験における学習指導の最適化を図るために、実験の物理的な原理やデータ分析などの知識体系の概念構造の分析を行った。さらに、分析した概念構造を基にして、学習の階層構造に対応するコンセプトマトリクスを作成した。このコンセプトマトリクスに基づいて Web 学習教材をデザインすることにより、Web 学習教材のリンク構造と学習の階層構造との融合を図ることができた。

本論文では、インストラクショナルデザイン手法などの概念構造分析を応用したコンセプトマトリクスの作成と、そのコンセプトマトリクスに基づいて物理実験用の Web 学習教材を開発およびデザインした結果について報告する。

キーワード

物理学実験，自然科学，コンセプトマトリクス，Web 学習教材，概念構造分析，インストラクショナルデザイン

1. はじめに

1.1 背景

工学部では、大学初年次における基礎実験科目として、物理学実験と化学実験を履修する。これらの基礎実験科目は工学部における専門教育を修学するための基礎であると同時に工学部の基本的な理念である「ものづくり」の基礎でもあり、工学部教育における重要な役割を担っている。(図1.1)

近年では、工学部の新入生であっても入学前の教育課程における物理科目を必ずしも履修していない場合が増えている。また、物理科目を履修していても物理学実験を実習していない場合もある。物理科目に関して多様な履修経歴をもつ学生を対象にして、個々の学力にあわせた適切な学習指導が不可欠となっている。限られた授業時間と限られたスタッ

フ数という制約の下で物理実験の内容を理解するためには、これまでの紙媒体による実験指導書 [1] を主体とする学習方法では限界がある。多様な学習経歴の学生に合わせた学習指導を行うためには、適切な支援学習システムを活用し、学習指導の効率化に取り組む必要がある。

工学部では、新入生に対してノート型パソコンの購入を義務づけている。すなわち、物理学実験を履修する学生の全員がノート型パソコンを携行している。筆者はこの点に着目し、ノートパソコンを活用することで実験指導の効率化を図ることが可能であると考えた。そこで、物理学実験の理解に必要な基礎知識や、物理的な原理、測定方法、測定機器の操作方法、測定データの分析の知識を体系化し補助教材として整備することにした。ならびに教材の形態としては、ノート型パソコンの

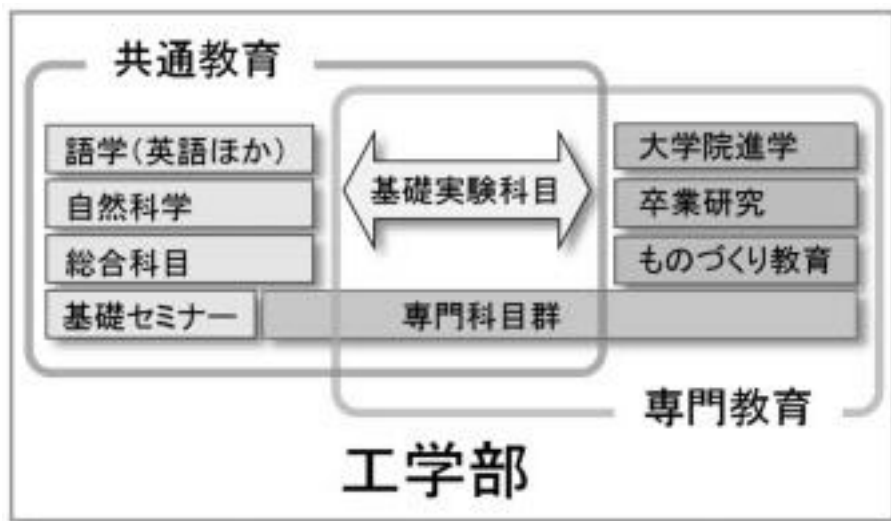


図1.1 工学部における基礎実験科目の位置づけと役割

利用を前提にしているのです、Web 学習型の教材とすることにした。また、教材の整備と共に、実験授業における指導のあり方も見直すこととした。

本論文では、概念構造 [2~5] およびインストラクショナルデザイン [6,7] による教材設計手法を応用したコンセプトマトリクスと、そのコンセプトマトリクスに基づいて開発および設計を行った物理実験用 Web 学習教材について報告する。

1.2 共通教育 物理学実験について

共通教育における物理学実験は木曜日（物理学実験 A）と金曜日の午後（物理学実験 B）の二つの授業が開講されている。筆者の担当する物理学実験 B（金曜日）では、工学部（一部学科を除く）および医学部保健学科の学生の約600名が対象であり、およそ300名ずつを前期と後期に分けて指導する。物理学実験は化学実験と平行して開講されるので、さらに150名ずつに分かれて物理学実験と化学実験を交互に行う。したがって、学生1人当たりの実験回数は、物理学実験と化学実験をそれぞれについて6回ずつになる。

物理学実験では、2名ないし3名で実験班をつくり、表1.1に挙げた実験課題の中から6課題の実験に取り組む。全体としてのべ12課題になり、1課題あたり6班が実験を行う。6名の教員スタッフで指導を行うので、スタッフ1名は2つの実験課題を担当し、12班の指導を行う。すべての実験課題が東側と西側の実験室に分かれて3班ずつ配置されているため、スタッフは都合4カ所に分散している実験班を指導することになる。授業の初めに行う出席の確認と概要の説明に必要な時間を約10分とすると、4カ所の説明に40程度の時間を要する。さらに実験の詳細な説明指導は、それぞれの実験班の進捗状況に合わせて2回から3回に分けて行うため、全ての説明に要する時間は、実に80から90分に及ぶ。現状では、指導スタッフがそれぞれのグループで説明して巡回している間の待ち時間における学習や実験の準備が、必ずしも効率的に行われていない。すなわち、実験指導の効率化を図るための1つのポイントは、この待ち時間を利用した学生の自主的な学習を促すことである。

表1.1 実験課題名一覧

番号	実験課題
A	重力加速度の測定
B	ヤング率の測定
C	表面張力の測定
D	電流による熱の仕事当量の測定
E	線膨張率の測定
F	交流の周波数の測定
G	導線とサーミスタの抵抗の温度特性
H	ダイオードとトランジスタ
I	オシロスコープによる波形観測
J	電子の e/m の測定
K	回折格子による光の波長の測定
L	ニュートンリングの実験
M	プリズムの屈折率

2. eラーニングの特徴

ノート型パソコンの利用を前提にしているので、教材の形態としてWeb学習型の教材を開発する。そこで、開発に当たって、eラーニングの特徴を整理する。

eラーニングの定義は様々であり、統一的な定義はない。Webをベースにして学習環境を構築するWBT(Web Based Training)を狭義的に意味することもあれば、WBTを含めて電子媒体および電子機器を利用する学習形態の包括的な総称として用いられることもある。包括的な意味では、Internetあるいはネットワークに限らず、衛星放送などの方法による遠隔学習も一つのeラーニング形態として扱われることもある。すなわち、広義的には、IT(情報技術)を利用した教育研修システムをeラーニングシステムとしてとらえる。

eラーニングは、Learningという単語を使っていることから、積極的に学ぶという意味が込められているとともに、学習指導を伴う。また、eが意味するのは「electronic」よりも「experience(体験)」とされることもあり、eラーニングとは知識を学ぶだけでなく、学んだ知識を活かして実際に役に立て

ることまでを意味する。

もともとカセットテープによる音声ガイドやビデオテープは、パーソナルコンピュータが広く普及する以前から自学自習用の学習教材として用いられてきた。これらの媒体による学習では、学習者のペースで学習を進めることができるものの、インタラクティブ性に欠ける。パーソナルコンピュータの性能が向上し、CD媒体を標準搭載する頃から、コンピュータで学習するCBT(Computer Based Training)が登場した。主な教材はCD-ROMで、コンパクトな形態もさることながら、映像(静止画・動画)と音声の効果的に取り入れたマルチメディア技術をふんだんに用いて、インタラクティブな学習をできる点が画期的であると評価された。学校教育をはじめ、オンライン・マニュアルやコンピュータ・シミュレーションなど、幅広い分野で採用されるようになり、現在も教育システムにCBTを活用しているケースは少なくない。この方法は、教育研修方法として市民権を得ている。

その後、インターネットの普及とともに、インターネット閲覧における技術が向上し、静的なコンテンツのみならず動的なコンテンツの表示やデータの双方向通信が可能になった。現在では、様々なメディアの中でもっともインタラクティブな通信媒体として整備されている。ネットワークを利用することによって双方向通信が可能であること、また予



図2.1 受講時間とコンテンツの伝達形態を基準にした教育システムの分類

め登録してあるコンテンツを呼び出すという方式であることから、学習する時間と場所を利用者側の都合で決めることができるというメリットが生ずる。すなわち、いつでも、どこでも、誰でも(Anytime, Anywhere, Anyone)利用できるというメリットが加わる。また、電子メールなどによる受講者と指導者との直接的な対話(質問や個別の相談など)が可能であるなど、衛星・テレビ・ラジオなどを媒体にした通信教育システムとは一線を画す。

さらにeラーニングシステムでは、データベーステクノロジーを組み入れることによって、学習者の学習履歴を記録することが可能になっている。これに学習者の習熟度や理解度の総合評価などの機能を付け加えることにより、eラーニングはさらに一歩進んだポートフォリオ教育環境に発展する。学習支援型ポートフォリオシステムでは、

- 時間と場所の制約がない
- 学習履歴が保存できる
- メールなどを使って参加者間のやりとりができる

というeラーニングシステムの特徴に加えて、

- レベルに合わせた学習ができる
- 関連情報を容易に参照、検索することができる
- 最新情報が学べる
- 学習者が自分の理解度をチェックできる

という学習者の立場から見た学習支援機能が加わる。また、学習を指導する側から見ると、

- コンテンツの更新が容易である
- 教材に対する受講者からのフィードバックが得られる
- 教材の学習内容が正確に伝わっているかをチェックできる

などの機能が働き、教育支援システムとして利用することができる。

今回開発を進めた物理学実験用のWeb学習教材は、スタンドアロンで用いる教材であると同時に、ネットワーク環境に載せて利用することも可能である。すなわち、eラーニングシステムにおけるコンテンツとして利用することを想定した構造設計を行うことにした。将来的には学習支援型ポートフォリオシステムにおいて、開発した教材が利用できることを期待したい。

3. 理系基礎実験科目におけるWeb学習教材の特徴

3.1 物理学実験における学習の特徴

Web学習という形態を導入するのに当たって、物理学実験における学習の特徴とWeb学習の特徴をそれぞれ整理し、コンテンツの表現方法を工夫するというIT技術的な側面と学習教材の活用するための学習・指導方法という二つの観点において議論する。

まず大きな特徴として、実習・体験型授業におけるWeb学習教材作りであるという点を挙げることができる。物理学実験は実習型の授業科目であり、実際に測定器具を手にする、現象を観察するなどの体験を通じて実感しながら理解することが重要である。

すなわち、Web学習というバーチャル空間による学習を通じて、現実空間における実体験の学習を行うことになる。これは、コンテンツの表現方法を工夫するという意味において、非常に重要なポイントである。物理学実験用の教材としては、仮想空間における現実性(バーチャル空間におけるリアリティ)を求めるのではなく、仮想空間ならではの特性を活かすことが鍵となる。すると、「容易に繰り返し再現する」、「2つ以上の事象を適切に比較する」などの教材コンテンツの表現方法が効果的であると考えられる。

学習・指導方法という観点からポイントを

探るためには、物理学実験における学習形態の特徴を考察する必要がある。物理学実験用Web学習教材は、予習における事前学習教材として利用すると共に、実験授業における補足教材としても用いる。事前学習と実験授業は、人数という観点では個人学習と集合学習という学習形態であり、時間という観点では非同期型学習と同期型学習という学習形態となる(表3.1)。Web学習教材作成の際には、それぞれの学習形態の特徴を考慮し、いずれの学習形態にも対応する必要がある。

表3.1 物理学実験の学習形態

学習形態	人数	時間
事前学習	個人学習が主	非同期型学習
実験授業	集合学習が主	同期型学習

事前学習に対しては、ビデオコンテンツにおけるナレーションを音声ガイドとして利用し、授業における実験の対面指導では教員スタッフによる指導を行う。このように上述の学習形態のそれぞれに合わせて、適切な方法によるインストラクション(指導とガイド)を行うことによって、学習者のモチベーションの維持を図る。

3.2 物理学実験における実験指導ワークフローの分析

物理学実験では、Web学習教材を事前学習教材として利用するとともに、実験授業中の補助教材としても利用する。一方、物理学実験は毎週1課題ずつのオムニバス形式で行うという授業形態であるため、1つの課題あたりの学習時間は2週間(事前学習と授業後の実験レポートの作成のそれぞれに1週間ずつ)である。そのため、非同期型学習と同期型学習には、シンプルな時系列的関係が認められる。Web学習教材の開発には、この点を考慮した学習の手順を明示する必要がある。



図3.1 物理学実験におけるワークフロー

そこで、これまで物理実験で行われてきた授業のワークフローチャートを図3.1に示す。このチャートでは、スタッフが授業の際に行う手順を長丸印のノードで、学生が自分で行う行程を短丸印のノードで示されている。

物理学実験は毎週1つの実験テーマをおこなうため、実験の説明と実験の準備の工程は必ず行う。また、実験内容を次週に持ち越すことができないため、その日の内に実験を完了する必要がある。すなわち、実験、測定データの分析、および誤差評価と再実験の『実験指導サイクル』は学習指導上もっとも重要な行程であると同時に、授業を円滑に進めるためのPDCA(Plan-Do-Check-Action)サイクルでもある。この行程では、スタッフに対する高度な指導技術が要求される。『実験指導サイクル』のつぎは、考察並びにレポートの作成である。

物理学実験における指導手順をフローチャートとして明示すると、学生が主体的に

進めるべき行程(矩形のノード)が多くを占めていることが判る。指導スタッフが直接行う行程は僅か3つの行程だけであり、実験指導のあり方はスタッフの指導技術に強く依存していることが浮かび上がる。すなわち、物理学実験における指導の効率化を図るためには、1.2節で述べたように待ち時間を利用した学生の自主的な学習を促すことだけでなく、ベテランスタッフの指導技術を暗黙的な経験知から形式知として体系化することが重要である。

3.3 物理学実験における学習要素分析

そこで、物理学実験のベテラン指導者に指導項目をアンケート調査し、その結果を基にして、物理学実験における実験指導ワークフローをさらに詳細に分析した。その結果、物理学実験では学生の予習が非常に重要であること、ならびに高等教育課程における物理実験を体験しているか否か、あるいは物理科目を履修していたか否かという点にも考慮すべきであるという結論を得た。すなわち、物理学実験の指導を行うためには、実験授業内における学習指導のワークフローだけでなく、予習段階における学習フローも考慮すべきであることが明白になった。そこで、ワークフローをさらに見直すために、学習要素として詳細に検討すると、物理学実験の指導における学習要素は、表3.2のように分解することができる。

ここでは、高校で物理学を履修していない履修者を想定し、「【2】基礎知識」という学習要素を用意している。また、物理定理などの実験の背景を「【3】実験原理」、実験を行うのに必要な実験機器を「【4】実験装置」、その実験と実験装置に依存した測定に関する詳細を「【5】測定原理」とした。さらに、表3.2に示すように、「【6】実験手順」、「【7】測定と誤差」、「【8】実感・体感」、「【9】考察」、「【10】文献比較」および「【11】実例・応用」

表3.2 物理学実験の学主要素

学習要素	摘要
【1】実験目的	実験の目的(学習目標)
【2】基礎知識	実験科目の履修以前に習得していることが望ましい知識
【3】実験原理	実験内容の物理的な背景と原理
【4】実験装置	実験に必要な実験装置
【5】測定原理	測定を行うための原理
【6】実験手順	実験を行うための手順
【7】測定と誤差	測定データの精度を評価する
【8】実感・体感	実験を通じて、実感あるいは体感して体得してほしいこと
【9】考察	実験全体の考察
【10】文献比較	理科年表などの文献と比較する
【11】実例・応用	実験内容が応用されている身の回りの実例や応用例を考える

という学習要素に分類した。

これらの学習要素を基にして、物理学実験における概念構造[2,8](佐藤 1987, J.D. ノヴァック1992)を解析した。表3.2で分類した学習要素を個々にみると、学習要素と学習要素の間には学習すべき順序を特定することができる。ある学習要素 F_2 を理解するためには、予め学習要素 F_1 を理解することが必要であるという順序関係が認められるとき、 F_1 を下位の学習要素(下位要素)、 F_2 を上位の学習要素(上位要素)という。表3.2に示した学習要素間における上下位関係は、学習要素をノード(丸印の番号)で、学習の順序関係を矢印で表すと、図3.2a)のように表すことができる。つぎに、下位要素を縦に、上位要素を横に配置し、マトリクスを作る。例えば、第1行第2列に成分「1」が立つと言うことは、学習要素【1】をおこなってから学習要素【2】を行うという直接的な学習関係(直接関係)に対応する。図3.2a)に示す学習関係を基にして得られた学習要素のマトリクスを図3.2b)に示す。これを直接関係マトリクスという。直接関係マトリクスを解析することによって、物理学実験における概念構造を調べることができる。



図3.2 学習要素間の(a)上下位関係と(b)直接関係マトリクス

3.4 物理学実験における概念構造

直接関係マトリクスに対応する行列を A とし、単位行列 I を加えて、

$$(A+I)^{k-1} (A+I)^k = (A+I)^{k+1} = M \quad (1)$$

が成り立つまでブール積演算を行って得られる行列を可到達マトリクス M という[3,4]。図3.2(b)に示した直接関係マトリクスに対する可到達マトリクス M を図3.3に示す。

可到達マトリクス M における * のついた『1*』は、もともとの $(A+I)$ 行列には含まれず、(1)式の演算の結果として現れたものである。もともとの $(A+I)$ 行列に含まれる成分『1』は学習の直接関係を表しているのに対し、成分『1*』は間接的な学習関係を示すものである。

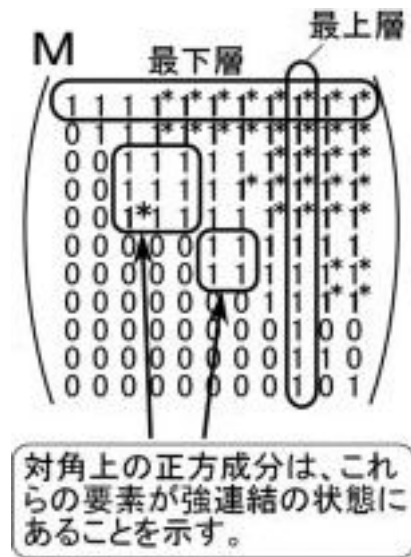


図3.3 図3.2の直接関係マトリクスに対する可到達マトリクスを示す

図3.3に示すように、行列 M の第1行の成分はすべて『1』または『1*』になっている。このことは、学習要素【1】から始めて、直接的もしくは間接的な関係を通じてすべての学習要素へ到達可能であることを意味している。すなわち、学習要素【1】が学習構造の最下位要素（もっとも最初に行うべき学習要素）であるがわかる。一方、行列 M の第9列の成分もすべて『1』または『1*』である。このことは、すべての要素から学習要素【9】まで直接的または間接的に到達すること、すなわち、学習要素【9】が最上位要素（最終的に到達する学習要素）であることを意味している。また、図3.3の中に示すように、学習要素【3,4,5】に対する9つの対角正方成分がすべて『1』または『1*』となっていることから、これらの学習要素は強連結の状態になっていることがわかる。学習要素【6,7】も、同様に強連結の状態になっている。学習要素が強連結の状態にあるということは、理解するためにはお互いの要素が必要であって特定の上下位関係をきめることのできない強

い関係になっていることを示す。

以上の結果から、学習要素【1】から始まって学習要素【9】に至る学習要素の順序関係があり、その間にある学習関係を図3.4のチャート図として表すことができる。このチャート図が物理学実験における概念構造(コンセプトマップ)である。

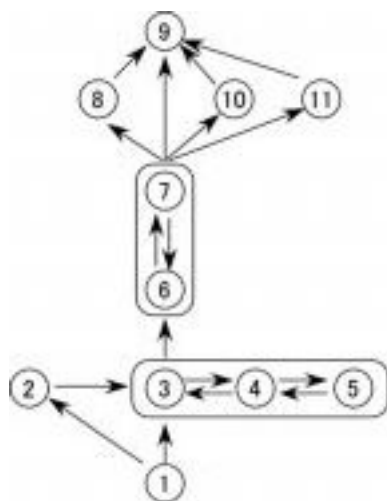


図3.4 物理学実験の概念構造チャート図

図3.4では、強連結状態にある学習要素が四角で囲まれている。学習要素【6】と学習要素【7】が強連結状態であることは、実験を正確に行うためには手順の理解と測定結果の評価の理解が不可分であることに対応している。そして、これらを理解するためには、学習要素【3, 4, 5】がすべての学習者にとって必ず必要であることを示している。一方、学習要素【2】は、分岐した学習経路として位置づけられている。このことは、基礎知識は大学に入学するまでに身につけておくべき要素であり学習者の習得状況に応じて選択される学習要素であることに対応している。

3.5 学習要素のコンセプトマトリクス

第3.1節で述べたように、物理学実験のWeb学習教材は、事前学習と実験授業のいずれにも対応させる必要がある。すなわち、事前学習として取り組むべき学習内容と実験授業の中で必要となる学習内容では、学習する時間区分がことなることを考慮した学習要素のフローの割り出しも必要となる。実験図3.4に示した可到達マトリクスに基づく概念構造チャートでは、学習要素の時間に対する依存性が含まれていない。そこで、大まかに学習の時間区分を特定すると、表3.3に示すように4つの時間区分に分類することができる。

表3.3 物理学実験における学習の時間区分

区分1	事前学習
区分2	実験準備
区分3	測定と分析
区分4	考察およびレポート作成

ここで、物理学実験では、13個の実験課題の中から毎週1課題の実験を選び、オムニバス形式で6回行うという授業形態であることを考慮する。個々の実験課題における基礎知識(学習要素【2】)について詳細リスト(図3.5)を分析すると、物理学実験において学習する内容は、ある実験課題に特有の内容と、ほぼすべての実験課題において必要となる内容の二つに大別することができる。後者をピックアップすると、表3.4に挙げるように6つの要素を挙げるができる。

表3.4 基礎知識における共通の学習要素

要素1	有効数字と計算
要素2	物理定数と単位
要素3	図と表の作成方法
要素4	作文技術
要素5	統計処理の方法
要素6	回帰直線の書き方

実験課題番号	座標、速度、加速度	運動方程式	重力加速度	重力定数	剛体と回転運動	質量と重量	力のつりあいとフックの法則	金属の種類と特徴	三角関数	図形の基本(幾何学)	ボイルシャルルの法則	電気回路と回路図	電圧計と電流計	オームの法則	仕事とエネルギー	ギョールの法則	電磁石と電磁力	ローレンツ力	フレミングの法則	常用対数と自然対数	媒体の電気的性質	キルヒホッフの法則	波の干渉	光の波動性と光子性	コンデンサの性質	スネルの法則	微小角度の表し方	有効数字と誤差	基本統計	グラフと表の書き方	散佈図と回帰直線	物理定数	作文技術					
A	●	●	●	●	●																												●	●				
B		●	●	●	●	●	●	●	●	●																				●	●	●	●	●	●	●		
C	●	●				●	●																							●	●	●	●	●	●	●		
D													●	●	●	●	●																	●	●	●		
E								●	●	●	●																								●	●		
F																			●	●	●														●	●		
G																					●	●	●												●	●		
H													●		●																					●	●	
I													●		●												●									●	●	
J	●																																			●	●	
K																																				●	●	
L																																					●	●
M																																					●	●

図3.5 学習要素【2】：基礎知識に対応する詳細リスト

これらの要素は、実験Aから実験Mまでの13テーマの実験課題に共通する学習要素であることが判明した。また、実験課題における共通要素であると同時に、11個の学習要素における共通要素としても位置づけることができる。すなわち、共通要素は上述の時間区分のいずれの区分においても学習すべき要素であり、チャート図上では時間区分の枠の外側に配置されるべきものである。以上の内容を基にした時間区分と学習要素の対応チャート図を図3.6に示す。








図3.6 時間区分と学習要素の対応

図3.6において特徴的なことは、隣り合う時間区分はお互いにオーバーラップしていることである。例えば、学習要素【4】の実験装置に関する内容は、事前学習において学習するとともに、授業における実験準備の際にも必要な学習要素である。したがって、図3.6

では「事前学習」と「実験の準備」の2つの連続する時間区分のいずれにも属している。また、共通要素として列挙した6つの学習要素は、4つの時間区分と11個の学習要素の外側に配置し、独立させている。この配置は、Web 学習教材をデザインする際に考慮される。共通の学習要素は、学習の時間区分や学習手順に依存することなく選択できるようにリンクすべきであることが判る。

図3.4と図3.6は、いずれも物理学実験における学習概念構造をチャート化したものである。図3.4に示す概念構造は実験課題を理解するための学習順序を明示し、図3.6は時間区分と学習要素の対応を示している。これらの二つのチャートを比較すると、お互いに相補的な関係にあることがわかる。

そこで、横軸に学習の時間区分を配置し、縦軸に学習要素を配置したチャートを図3.7に示す。この2次元的な『時間-学習要素チャート』を、学習要素のコンセプトマトリクスと呼ぶことにする。コンセプトマトリクスは、学習要素の学習順序と時間区分に対する情報を同時に表現する方法として利用できることがわかる。


図3.7に示すコンセプトマトリクスの特徴は、縦軸の学習要素の配置を上から順に並べていることである。それぞれの時間区分における必須の学習要素を「」印で示す。また、学習者の学習意欲に応じて、「」印の学習要素に加えて、「」印の要素まで学習する範囲を広げることが望ましい。「」印で示す学習要素は、目を通しておくことが望ましいが必ずしもその時間区分における学習要素ではない。すべての時間区分の「」印の学習要素を統合すると、すべての要素を漏らすことなく学習することになる。時間区分ごとに必須となる学習要素群を辿ると、概ね、左上から右下に向かって学習を進めるというスキームを描くことができる。コンセプトマトリクスは、図3.4に示した概念構造を包括的


に含みながら、学習の時間区分を明確に示している。

	事前学習	実験準備	測定評価	考察・レポート作成
実験の目的				
基礎知識		※		
実験の原理				
実験装置			※	
測定原理				
実験手順				
測定と誤差評価	※			
体感すべき現象	※	※		
考察		※		
文献値との比較			※	
実例と応用例			※	

図3.7 学習要素のコンセプトマトリクス

印は、それぞれの時間区分で行うべき要素

印は、印の要素に付随する要素

印は、印の学習要素に関連する要素

印は、最終的にレポートにまとめる要素

このようにして授業のコンセプトを明示することによって、暗黙的に行われがちなカリキュラムのコースデザインを形式知として表すことができる。コンセプトマトリクスに基づいて学習内容を整理することにより、個々の実験課題における学習指導を体系的に捉えることができる。

このコンセプトマトリクスに基づいて学習要素【1】実験目的のの整理を行った結果を表3.5に示す。

学習要素【3】「実験の原理」、学習要素【4】「実験装置」と学習要素【5】「測定原理」について整理した結果は、次節で述べる。

表3.5 実験目的

実験	実験目的
A	ボルダの振子を使って、山口県山口市吉田町における重力加速度を測定する。
B	弾性変形に関する弾性率（ヤング率）を測定し、物体の弾性について理解する。
C	Jolly のばねばかりを用いて、水とアルコールの表面張力を測定する。
D	ジュールの熱量計を用いて電流による仕事の仕事当量を求める。
E	いろいろな金属の線膨張率を求め、熱膨張という現象について理解する。
F	鋼鉄線および交流電流が磁場から受ける作用（固有振動）を測定し、交流の周波数を求める。
G	導線とサーミスタの抵抗の温度特性を測定し、金属と半導体の物性の違いを理解する。
H	トランジスタの静特性曲線を求め、トランジスタの電流増幅率を評価する。
I	オシロスコープの原理を学び、ダイオードを用いた整流回路の波形を観測する。
J	磁場の中を運動する電子の軌跡を観測し、これから電子の比電荷 e/m を求める。
K	分光計を用いて水銀の特性スペクトル線の波長を測定し、光の回折を理解する。
L	ニュートンリング（干渉縞）を利用して、水とアルコールの屈折率を測定する。
M	プリズムの頂角および最小偏角を測定し、プリズムの屈折率を求める。

4. コンセプトマトリクスに基づいた体系化

4.1 実験の原理

実験原理は、それぞれの実験で扱う実験課題の基となっている物理的な原理である。実験原理をリストアップし、体系化したビューシートを図4.1に示す。このビューシートは、実験課題と実験原理の対応を明示すると同時に、物理学実験における実験原理に関するデータベースを形成している。これらの関係を基にして、Web 学習教材のデータベースとして利用することができる。

実験課題番号	単振動と単振り子	ボルダの振り子	ヤング率	弾性変形と弾性体	自由エネルギー	表面張力とつりあう力	ジュールの熱量計	熱の仕事当量	熱膨張係数	交流の特徴	定常波と基本振動数	金属の電気抵抗	半導体の電気抵抗	トランジスタの動作原理	ダイオードと整流回路	オシロスコープ	磁場中の電子の軌道	電場中の電子の軌道	ホイヘンスの原理	励起とエネルギー準位	光回折格子	ニュートンリングの干渉条件	プリズムの屈折率	プリズムの頂角
A	●	●																						
B			●	●																				
C					●	●																		
D							●	●	●															
E									●	●														
F										●	●													
G												●	●											
H														●	●	●								
I															●									
J																	●	●						
K																				●	●	●		
L																						●	●	
M																							●	●

図4.1 学習要素【3】：実験原理の詳細リスト

	ブリズムの設置	分光器の調整	波長とコートリングの直径	レンズの曲率半径	遠動顕微鏡の調整	回折光と回折角	光の波長と色の関係	電子の比電荷	ヘルムホルツコイル	回路シャーシ(抵抗の設定)	内部抵抗	整流回路	ダイオードの整流作用	エミッタ接地	導方向と逆方向電圧	方対数グラフ用紙	アレークスプロット	ボルトマン定数	抵抗と温度の同時測定	ホイトストンブリッジ回路	永久磁石による共振	電磁石による共振	共振(弦の固有振動)	光てこによる精密測定	縮膨係数	精密天秤のゼロ点調整	熱量計の水当量	ネジのばね秤のバネ定数	バネの伸びの最大値	表面張力と力のつりあい	自由エネルギーと表面張力	精密天秤のゼロ点調整	たわみとヤング率の関係	周期の測定方法	光学てこ	望遠鏡の調整	ホルダ振り子の振幅	ホルダ振り子の振動面	三角鏡の固有振動		
A																																									
B																																									
C																																									
D																																									
E																																									
F																																									
G																																									
H																																									
I																																									
J																																									
K																																									
L																																									
M																																									

図4.3 学習要素【5】：「測定原理」における詳細リスト

5. 教材の開発

5.1 学習要素とリンクレベル

一般に、概念構造チャートを「時間—階層レベル」として2次元的に表現したチャートは、『学習は目標に向かって登ることである』という概念を直感的に表現するために、数学の2次元直交座標にあわせて座標の原点を出発点とし、左下から右上に向かってノードを配置する(図5.1)[3, 4, 5, 9]

一方、図3.7のコンセプトマトリクスによる配置方法は、左上から右下に学習を進める配置となっているので、一般的な概念構造チャートの配置と異なっている。したがって、図3.7では『学習目標に向かって登る』という概念を含まない。しかしながら、コンピュータにおける慣例(画面の座標は左上を原点とし、横軸の正の向きを右向き、縦軸の正の向きを下向きとすること)と一致するた

め、コンセプトマトリクスに基づくWeb学習教材の構造設計を行う際に有利に働く。

5.2 Web学習教材の画面操作の階層化

ハイパー言語とWeb技術を利用したWeb型学習教材の特徴のひとつは、書籍などのテキスト教材と比較して、学習者がハイパーリンクを辿って自在に表示画面を移動することである。通常1つの画面に、複数個のハイパーリンクを設置することが多い。すると、学習者は、リンクされた学習画面のどれにでも移動することができる。学習画面をノード、リンクを矢印として対応させると、概念構造チャートにおけるノードに複数経路の分岐が生じることになる。すると、学習の経路をチャートに表した学習構造は、教材の概念構造よりも複雑なチャートになる。

コンピュータを用いる場合には、必ずしもコンピュータを操作する手順と学習のための

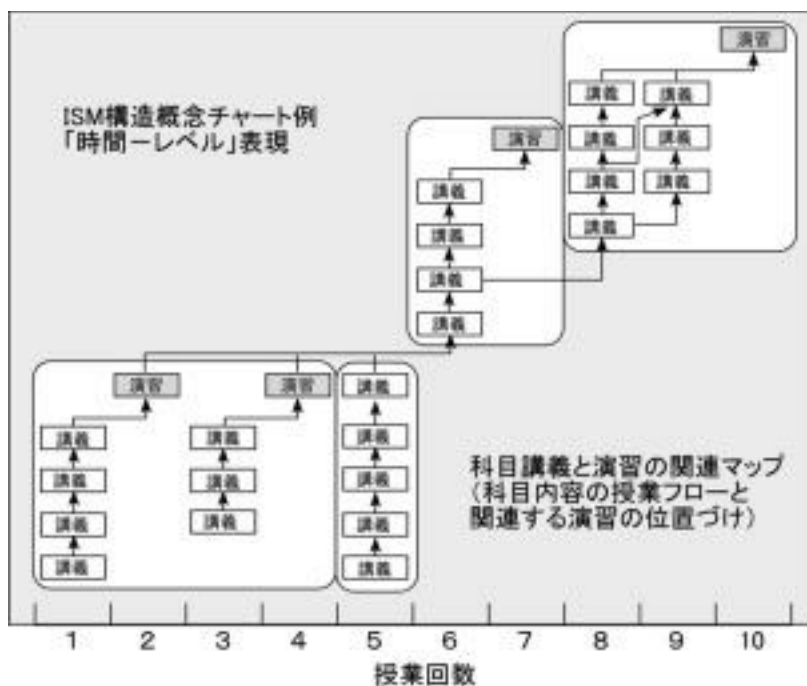


図5.1 『学習は目標に向かって登ることである』という概念に対応する右上がりのチャート

科目名	物理学実験																	
レベル1 実験課題	実験A	実験B	実験C	実験D	実験E	実験F	実験G	実験H	実験I	実験K	実験J	実験L	実験M					
レベル2 スケジュール	事前学習			実験の準備			測定と分析			レポート								
レベル3 学習項目	1. 実験目的	2. 基礎知識	3. 実験の原理	4. 実験装置	4. 実験装置	5. 測定原理	6. 実験手順	6. 実験手順	8. 体感すべき現象	9. 考察	10. 文献値との比較	11. 実例と応用例						
レベル4	詳細項目(実験課題ごとに分類される)																	
共通項目	有効数字と計算			図と表			統計処理			物理定数と単位			作文技術			回帰直線		

図5.2 学習要素とリンクレベルの対応

行動とが一致しない場合がある。これは、コンピュータ操作には、「フォルダとファイル」を管理するための独自の階層構造(ディレクトリ)に起因する手順があるためである。

したがって、教材の概念構造とコンピュータ操作の階層化構造との区別をつけずに「学習画面とハイパーリンク」をノードと矢印に対応させてしまうと、学習構造に不要な複雑さ

を生じさせてしまう。我々はむしろ逆に、コンピュータのディレクトリ構造に対応する区分け（以下、リンクレベルと表現する）を積極的に導入し、学習における概念構造と融合させる手法を試みた [10]。

学習要素のコンセプトマトリクス（図3.7）において、「」でしめす学習要素は、時間区分に対して従属的な関係があると見なすことができる。この関係に基づいて、リンクレベルと学習要素との対応を行うと、横軸の学習区分を上位のリンクレベル、縦軸の学習要素を下位のリンクレベルとして対応させることができる。

これらのリンクレベルの設定は、Web画面操作を考慮する上で、非常に重要となる。リンクレベルの階層は、表5.1のように最上位レベルからレベル4までの5段階と共通要素とに分けることができる。このリンクレベルの対応関係をもとにして、学習要素を配置した樹形図を図5.2に示す。

学習画面に表示されるリンクレベル4の詳細リストは、4節で述べたデータベースに基づいて、実験課題ごとに該当する項目だけを表示させる。

表5.1 リンクレベルと学主要素の対応

リンクレベル	項目
最上位レベル	科目名（物理学実験）
レベル1	実験課題
レベル2	学習の時間区分
レベル3	学習要素
レベル4	要素ごとの詳細学習リスト
共通の学習要素	学習要素と実験課題のいずれにも共通する学習リスト

5.3 Web 学習教材のデザイン設計

最上位のリンクレベルは、Web 学習教材のオープニングページに対応し、eラーニング・システムなどの外部からのリンク先となる。リンクレベル1では、実験Aから実験Mの13テーマの課題名を表示する。図5.3(a)に、

リンクレベル1に対応するユーザーインターフェースを示す。

実験課題を選択すると、それぞれの学習内容が表示されて、図5.3(b)に示す画面に移動する。画面構成は、左側にリンクボタンと動画コンテンツを配置し、右側に選択した学習要素のテキスト情報が表示される。リンクレベル2の4つのボタンが左上（図5.3(b)中のリンクレベル2の枠）に表示される。

それぞれのボタンをクリックすると、リンクレベル3のボタン（図5.3(b)中のリンクレベル3の枠）がプルダウンメニューとして表示される。そして、リンクレベル3の学習要素を選択すると、動画コンテンツの下に、リンクレベル4の詳細リストがハイパーリンクとして表示される。また、6つの共通学習要素は、図5.3(a)と(b)のいずれの画面でも配置し、リンクレベルにかかわらず選択できるようにしている。実験課題の学習画面では、すべての実験課題に対し共通のユーザーインターフェースを提供する。

リンクレベル4ならびに共通学習要素の詳細リストを選択すると、画面の左側中央にビデオコンテンツあるいは資料写真が表示される。また、右側には選択した詳細リストに対応するテキスト資料が表示される。物理学実験では数式を含んだテキストを表示する必要があるため、テキスト資料はTeXで編集した。以上の全てのコンポーネントは、Flashを用いて組み込んだ。

リンクレベル2と3における操作は一貫しており、すべての実験課題に対して共通のユーザーインターフェースを提供する。ただし、リンクレベル4では、個々の実験課題に応じて該当する詳細リストを表示するため、動的なリンク処理が必要になる。そこで、基礎知識、実験の原理、実験装置、測定原理、実験手順と誤差評価のそれぞれの学習要素について実験課題ごとの詳細リストをデータベース化し、Java スクリプトを用いて動的

なリンク処理を行っている。

リンクレベル4では、リンクレベル1で選択した課題に応じた学習要素の詳細リストが表示される。図5.3(b)では、実験Aの「事前学習」(リンクレベル2)において学習要素「実験装置」(リンクレベル3)に移動し、実験装置の詳細リストがリンクレベル4として表示されている。



(a)



(b)

図5.3 Web 学習教材のユーザーインターフェイス:(a)最上位レベル,(b)実験課題の学習画面

このように、コンセプトマトリクスに基づいて Web 学習教材のユーザーインターフェイスをデザインすることによって、コンピュータ操作の階層化構造(リンクレベル)と学習のための階層化概念構造との融合を図

るとともに、学習者の学習手順を自然に誘導することができる。

5.4 コンテンツ作成の指針

今回の教材開発では、Web 学習コンテンツにおける学習目標として、実験内容の事前学習に重点を置き、実験結果までは収録は行わないこととした。この方針は、最終的な実験結果は、学習者が自分の手で確認することが重要であるという基本方針に基づく。

動画の収録シーンは必要最小限にとどめ、映像の編集工程数を節約するとともに、最終成果物のファイル容量の節約を図った。動画として収録すべき内容と、テキストコンテンツとして表示すれば十分である内容とを明確に区別した。ビデオカメラで撮影する項目は、主要な測定機器の外観と操作方法、実験装置のセットアップおよび実験と測定原理に関する内容とし、事前学習と実験の準備に必要な情報を整えた。一方、測定と誤差に関する注意事項、実験レポートの書き方および物理定数と諸単位に関しては、テキストコンテンツとして編集した。

既存の実験指導書の内容をそのままテキスト化しただけの Web 画面では、Web 画面に表示されたテキストのコピーとペーストが容易に行えるため、教育効果の低下を招きかねない。そこで、Web 画面からのコピーを防止しなくてはならない。

理系科目の Web 学習コンテンツで問題となるひとつの要因は、数式の表現方法である。物理学実験では原理の説明に数式を多用するため、この問題は非常に重要である。

そこで、TeX を利用して数式を含んだテキストコンテンツを編集し、コンパイルした。さらに、コンパイルした DVI データから生成した PDF ファイルを画像ファイル(jpeg 形式)に変換した。この画像ファイルを Web として表示することにより、数式を含んだテキストを綺麗に表示するとともに、

Web画面からのテキストのコピーを防止する。

6 Web 学習動画コンテンツの編集

6.1 Web 学習用動画コンテンツの撮影

ビデオカメラによる動画の撮影では、室内照明の照度、天候と時間による外光の色温度の変化、ターゲットへの照明の写り込み、鏡面に写るカメラ自身の鏡像など、様々な条件を考慮しながらそれらの影響を最小限に抑えながら撮影した。対象物の鮮明な映像を撮るために、放送局用デジタルビデオカメラ（DV-CAM）を用いて撮影し、DV-CAMでの撮影が困難な接写撮影が必要な場合には、小型のハンディカムで撮影を行った。基本的な項目の撮影は、平成15年2月の第1週から第3週までの3週間で行った。

平成15年4月から7月にかけて、物理学実験の指導を担当するスタッフ6名が分担し、各自の担当科目に関する映像データのタイムチャートの詳細な検討を行った。このタイムチャートを基にして、撮影したビデオソースにテキストクリップを挿入、比較シーンのトリミングと合成、矢印などのエフェクトの追加などの編集、不足しているカットのリストアップと補足撮影を行った。映像の編集と並行しながら、音声ガイドのためのナレーション原稿を作成し、収録した。

以下では、表6.1「主要な測定機器」の項目について、コンテンツの撮影と編集における詳細を述べる。

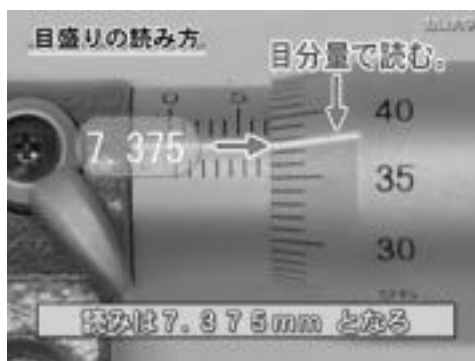
表6.1 「主要な測定機器」と「実験A」の

課題	撮影項目
主要な測定機器	マイクロメータ、ノギス、精密天秤、読み取り望遠鏡と光てこ分光器、水平水準器、ローレンツ力

6.2 マイクロメータ



(a)



(b)

図6.1 マイクロメータの目盛りの読み方を説明する場面のキャプチャー画像を示す。

マイクロメータの撮影では、スリーブとシムブルに刻まれた目盛りが判別できるように照明の位置と照度を調整した。コンテンツの編集では、各部の名称と操作方法ならびに測定値の読み取り方法について説明した。読み取り方法の説明では、スリーブ基準線の意味の説明に重点を置き、1000分の1mmの単位まで測定できる原理について解説した。

マイクロメータの目盛りの読み方を説明では、音声ガイドに加えて文字クリップと矢印などの映像効果を挿入することによって、理解し易くなるように工夫している。実際のマイクロメータを手にとって、繰り返しビデオを再生しながら納得できるまで反復して学習することができる点において、紙面による説明よりも理解しやすくなっている。

6.3 ノギス



(a)



(b)

図6.2 ノギスの目盛りの読み方を説明する場合のキャプチャー画像を示す。

ノギスの撮影では、ノギスの角度によっては照明の光や外光が全反射し、照明の反射が問題となった。そこで、ノギスを動かす際にはなるべく全反射が起こらないように角度を調節するとともに、カメラ側にも偏光フィルターを装着し、反射光の軽減を図った。

操作方法では、まず、ノギスの用途として内径、外径、深さおよび段差の測定方法を説明する。その後、副尺（パーニア）の読み取り方について解説している。ここでも、クリップと映像効果の挿入により、丁寧で正確な説明となるように編集を行った。これにより、繰り返し再生できるというメリットを最大限に活かすことができる。

6.4 精密天秤



(a)



(b)

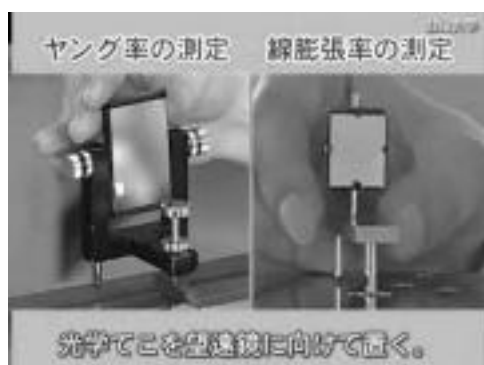
図6.3 精密天秤の目盛りの読み方を説明する場合のキャプチャー画像を示す。

精密天秤では、質量を測定する金属容器を天秤皿に載せると天秤皿が揺れる。そのため、精密天秤の撮影では、天秤の照明の角度とともに天秤皿の揺れが問題となり、天秤皿の揺れを抑えながら撮影した。精密天秤のコンテンツでは、操作方法として特にゼロ点調整の説明に重点を置いた。また、パーニア・ダイヤルの読み取り方については、クリップと映像効果の挿入を利用して解説している。

6.5 読み取り望遠鏡と光てこ



(a)



(b)

図6.4 (a)読み取り望遠鏡の各部の名称を説明する場面と、(b)光学てこの調整場面におけるキャプチャー画像を示す。

読み取り望遠鏡の撮影では、カメラの焦点深度が浅いことが原因となって、人が目で見ている実際のイメージとカメラが撮影した映像のイメージが大きく異なり、問題となった。

そこで、焦点をスムーズに移動させながら撮影し、できる限り実写イメージに近くなるように配慮した。望遠鏡の調整では、望遠鏡のセッティングと焦点の調整に加えて、観測者の視力に応じた接眼部分の視度調節が重要であることも解説している。

接眼部分の視度調節の例では、実際の作業では当事者だけが観察することができない事象をビデオ映像として表現することにより、説明者と学習者の間で映像情報を共有することができる。

6.6 分光計



(a)



(b)

図6.5 (a)分光器の各部の名称を説明する場面と、(b)パーニアの読み取り方の説明場面におけるキャプチャー画像を示す。

分光器の撮影では、特に遊動顕微鏡とルーペの撮影が問題となった。分光器の遊動顕微鏡は、分光器のメインフレームと連動して回転すること、および接眼部の形状が小さいことが制約となって、放送局 DV-CAM カメラでは接写撮影できない。そこで、小型の DV-デジタルビデオカメラを接眼部に固定し、実写イメージを忠実に撮影した。パーニアルーペの撮影も同様の手法で撮影した。パーニアの読み取りでは、微小角度の表記方法に関しても説明を加え、精密な角度測定について解説している。この例も望遠鏡の場合と同様に、実際の作業では当事者だけが体験することができない情報を参加者全員で共有することができる。

6.7 水平水準器



(a)



(b)

図6.6 水平水準器の調整の方法を説明する場面のキャプチャー画像を示す。

水平水準器の撮影では、照明や偏光の問題に加えて、水平水準器を回転させるという何の変哲もないシーンの撮影が困難であった。そこで、CDメディアとCDケースを用意し、CDメディアをターンテーブルとして利用した。水平水準器をCD媒体の上に固定し、CDを静かに回転させながら撮影を行った。水平水準器の回転とともに移動する気泡の位置を下向きの矢印（映像効果）で追従し、気泡の動き着目するように編集した。

6.8 ローレンツカ



(a)



(b)

図6.7 電子線の磁界による軌道の変化を説明する場面のキャプチャー画像を示す。

電子管では、アルゴンガスと電子線の相互作用により微かに光る軌跡として電子線の道筋を確認できる。電子線の軌跡の発光強度は微弱であるので、肉眼で見える場合には部屋の照度を落とさなくてはならない。これは、光の波長が短くなる（紫外線に近づく）につれて人間の目の感度が低くなることによる。一方、CCD素子（ビデオカメラの受光部）の短波長励起光に対する感度が高いため、ビデオカメラによる撮影では電子線の軌跡を青く光る線として明瞭に捉えることができる。そのため、肉眼で軌跡が見えるほど部屋を暗くすると、ビデオカメラでは軌跡が明るくなりすぎて強度が飽和してしまう。そこで、部屋の照度が撮影に適切になるように調節して、

撮影を行った。

この事例では、フレミングの左手の法則に対応する磁界と電流と力の向きをテロップで合成し、ローレンツ力について視覚的に理解できるように構成した。磁石の向きを反転させることにより電子線の曲がる方向が変わるという現象を映像として伝えているので、紙媒体のマニュアルと比較して「フレミングの左手の法則」という原理を直感的に理解することができる。

7 Web 学習教材を用いた教育の実践

7.1 Web 学習コンテンツの配信

制作した Web 学習コンテンツの配信は、ネットワークもしくは CD 媒体で行うことを前提としている。ネットワークを利用した Web 教材の配信システムを図 7.1 に示す。ネットワークによる配信を行う場合には、150名の学生が同時に利用した場合における負荷を最大でも5Mbps 程度にする必要がある。また、CD による配布を行う場合は、CD の容量 (700MB) を超えてはならない。一方、映像画質を確保するためには、ビットレートを大きくしなくてはならない。そこで、負荷を軽減しつつ最低限の品質を確保するために、映像再生の画面サイズを320×240ピクセルとし、ビットレートを384Kbps とした。この場合、同時アクセス数の最大数を150とすると、LAN の最大負担は約6Mbps となる。ただし、実際には全員が同時にアクセスすることは希であると思われるので、LAN への負荷は5Mbps を上回らないと考えられる。このスペックであれば、十分、CD に収まる容量の範囲で画質を確保しつつ、同時にネットワークで配信した場合の LAN への負荷を抑えることが可能であると考えられる。

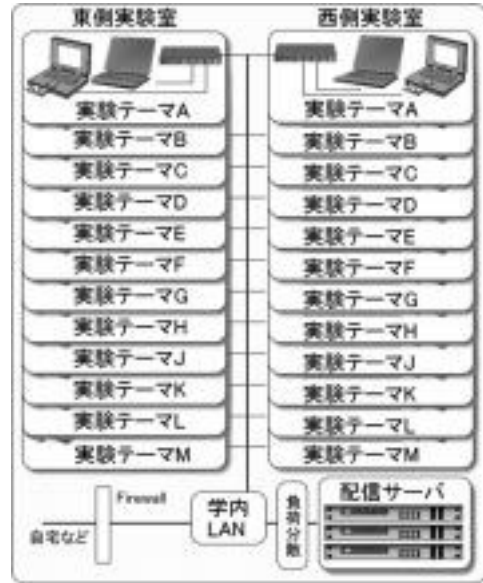


図7.1 ネットワーク環境を利用した場合の Web 学習教材の配信システム

7.2 実践例

実験課題A「重力加速度の測定」を例にして、作成したビデオコンテンツを紹介する。図7.2(a)は、実験課題A「重力加速度の測定」のオープニング画面である。オープニング画面では、それぞれの実験で用いる実験装置を背景にしている。図7.2(b)は、三角棱を乗せる水平台の調整の説明である。図7.2(c)および(d)は、三角棱のセッティングによる固有振動の比較を説明するための合成映像である。このような比較を一目瞭然に行うことができることは、とても効果的である。図7.2(e)は振動子の振動面を比較しながら説明するクリップである。静止画(図7.2(e))では表現が困難な振動子の軌跡の違いを、映像にすると容易に説明することができる(図7.2(f))。図7.2(g)は、振動子の様子を観察する望遠鏡の視野の映像である。この場合、インストラクターは、振動子の振幅の程度や周期の数え方などを学習者の全員が同時に指導することが可能となる。図7.2(h)は、振動子の長さの測定について説明を行っている場

面である。測定する箇所を明確に示すことによって、実際の作業における誤解を防ぐ。

製作した Web 学習コンテンツ(約 400MB)を、平成16年度前期の物理学実験において試験的に導入し、フィールド調査を行った。試験導入では LAN の接続トラブルなどを避けるため、CD-R 媒体で Web 学習コンテンツを配布し、各自のノートパソコンにインストールした。

学生に対しては、物理学実験のシラバスに「Web 学習コンテンツを利用した予習学習を行って実験の概要をまとめること」を「事前学習」として指示するとともに、毎回の授業の始めに事前学習の内容を確認した。また、実験終了後には、次週の実験の事前学習を行うことを口頭により指示を行った。実験授業では、従来の紙媒体による物理学実験指導書を用いながら、Web 学習コンテンツを実験内容の予習と実験授業中における補助教材として用いた。

物理学実験は、東側実験棟と西側実験棟に分かれて実験を行う。東側と西側のいずれの実験グループも、パソコンを活用しながら実験実習を行う。図7.3に、重力加速度測定を行っている実験グループの様子を示す。図7.3(a)と(b)は、授業が始まって1時間後における様子である。図7.3(a)は東側実験棟の実験グループであり、図7.3(b)は西側実験棟の実験グループである。授業開始時に行われる実験概要の説明の開始時刻が東側と西側では15分程度の時間差があるにもかかわらず、どちらのグループでもほぼ同じペースで実験を行っている様子がわかる。このことから、Web 学習コンテンツを補助教材として活用することによって、授業の進度を適切に維持することができたと考えられる。

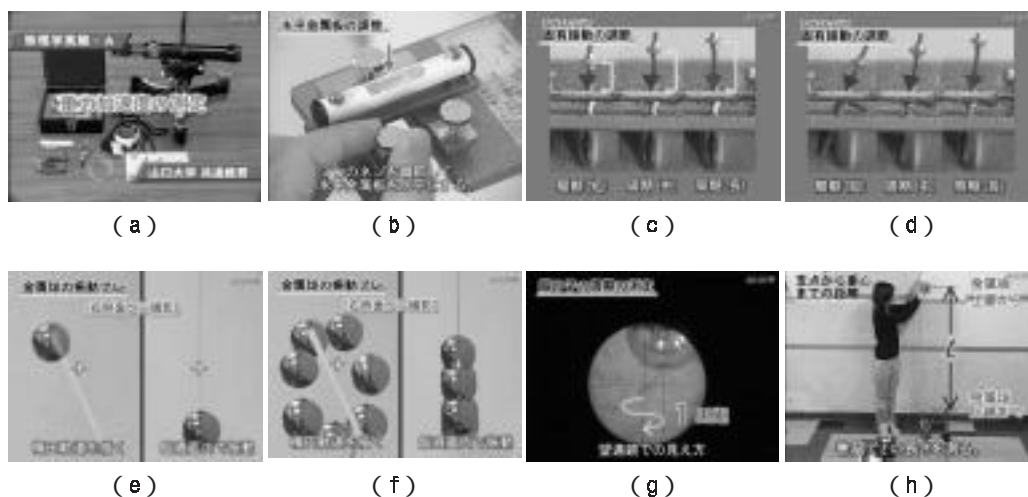


図7.2 実験課題 A「重力加速度の測定」における説明画面のキャプチャー映像を示す。

- (a) オープニング
- (b) 水平台の調整と水平水準器の説明
- (c) 三角稜の固有振動数の調整の説明
- (d) 三角稜の固有振動数の調整の比較
- (e) 振動面のぶれの説明
- (f) 振動面のぶれの比較
- (g) 望遠鏡の視野における振動の説明
- (h) 振り子の長さの測定の説明



(a)



(b)

図7.3 重力加速度の測定実験の写真を示す。授業開始後、1時間における(a)東側実験室と(b)西側実験室の様子である。

7.3 アンケート分析から読み取る教育効果

平成16年度前期における物理学実験におけるWeb学習コンテンツの導入に関して、実際にどの程度の効果があったのかを評価するために表7.1に示す項目について、アンケート調査を行った。

表7.1 アンケートの内容

番号	アンケート項目
(1)	実験テーマの予習を行いましたか。
(2)	予習にWeb教材を利用しましたか。
(3)	Web教材は予習に役立ちましたか。

前期には、工学部の三つの学科が物理学実験を履修する(他の学科は後期に履修する)その三学科を学科A, 学科Bおよび学科Cと

して、上述のアンケート項目について受講者全体に対する学科別の割合をクロス集計表にまとめた結果を以下に示す。

表7.2 アンケート1に対する回答 [%]

	合計	学科A	学科B	学科C
合計	100	41	41	17
Yes	96	37	41	17
No	4	4	0	0

表7.3 アンケート2に対する回答 [%]

	合計	学科A	学科B	学科C
合計	96	37	41	17
Yes	73	22	36	14
No	23	15	5	3

表7.4 アンケート3に対する回答 [%]

	合計	学科A	学科B	学科C
合計	73	22	36	14
Yes	70	21	34	14
No	3	1	2	0

この結果から、予習を行っている学生は、全体の約96%におよぶことが判る(表7.2)。さらに、予習の際にWeb学習コンテンツを利用している割合を分析する(表7.3)と、予習を行っている学生のうち75.8%の学生がWeb学習コンテンツを利用していることが判った。ならびにWeb学習コンテンツを利用して予習をおこなった学生の96%について事前学習を理解するのにWeb学習コンテンツが役立っていたと分析することができる(表7.4)。以上のことから、Web学習コンテンツの利用は、物理学実験の指導と学習の効率化に有効であると結論することができる。

さらに、Web学習コンテンツを利用しながら指導を行った教員スタッフに対する調査から、Web学習コンテンツを利用することで実験を説明する時間が短縮されたとともに、理解度に応じた個別指導を行いやすくなったことが判った。

一方、検討を要すべき項目として、表7.5

表7.5 検討を要すべき項目

項目	内容
1	Web 学習教材を利用した予習を行わない場合がある。
2	実写で表現できない原理の説明を行うために、アニメーションを活用してほしい。

に示した点が指摘された。特に項目1については、事前学習を徹底させるためには、Web 学習教材を体系化するだけでは不十分であり、学習の指導方法の体系化を改めて見直すべきであることを示唆している。Web 学習教材を利用する場合には、Web 学習教材の利点を最大限に活かせるように指導方法の最適化を行う必要がある。そこで、実験レポートの書式もコンセプトマトリクスに基づいてデザインし、実験における指導の体系化も行う。検討を要すべき項目2については、予算的な目処がつき次第、早急にする予定である。

7.4 コンセプトマトリクスに基づいたレポートフォーム

コンセプトマトリクスでは実験レポートの項目は、『まとめレポート』欄に 印と 印で示されている。これらの内容を書き込むための書式を対応させて学習内容をまとめることによって、実験レポートの作成を行うことができる。そこで、11個の学習要素を「事前学習」、「実験データの測定と評価」、および「考察」の3つに分類して枠組みを作成し、レポートフォームとしたものを図7.4に示す。

このコンセプトマトリクスに基づいたレポートフォームを実際の実験授業において適用し、予習を行わせた結果、学生の予習率はほぼ100%に近くなり、成果を得ている。この結果は Web 学習教材を補助教材として利用した場合の指導体系は、補助教材による学習支援を想定していない場合の指導体系と根本的に異なることを示している。

	事前学習	実験準備	測定評価	まとめレポート
実験の目的	◎			◇
基礎知識	◎	※		◇
実験の原理	◎	○		◇
実験装置	◎	◎	※	◇
測定原理	○	◎	○	◇
実験手順	○	◎	◎	◇
測定と誤差評価	※	○	◎	◇
体感すべき現象	※	※	◎	◇
考察		※	○	○
文献値との比較			※	○
実例と応用例			※	○

図7.4 コンセプトマトリクスと対応する実験レポートの書式化

8. コンセプトマトリクスの汎用性について

コンセプトマトリクスの横軸に配置する時間区分は、時間軸に沿った手順を示すものであり、手順の種類や内容にまったく依存しない。また、縦軸に配置する学習要素も、学習レベルによらずに分類することができる。学習要素をさらに細かくしたもの(目標分析、項目分析)場合であっても、時間区分と学習要素で構成するコンセプトマトリクスによる概念構造の階層化に有効である。

また、異なる学習課題や、あるいは異なる学習科目に対しても、科目の内容に依存せず適用できる汎用性を持ち合わせていると考えられる。

9. まとめ

大学における基礎工学教育の一例として、Web 学習コンテンツを利用して物理学実験の学習指導を支援するという活用事例について、筆者らが取り組んできた内容を紹介した。本報告では、マルチメディアコンテンツを利用した動的な説明を導入することによって、物理学実験の内容を Web 学習コンテンツとして整備したこと、ならびにより教育効果の高い実践学習教材として活用できることを紹介した。

平成16年前期の物理学実験授業における Web 学習コンテンツの試行導入に関するアンケート調査にもとづいて学習効果を分析し結果、Web 学習コンテンツを利用することは物理学実験の指導と学習のいずれにも効果的であるという結果が得られた。

(工学部 講師)

参考文献

- [1] 山口大学物理学実験グループ：物理学実験指導書（山口大学共通教育，2003）
- [2] 佐藤隆博：ISM 構造学習法（明治図書出版，1987）
- [3] 佐藤隆博，赤堀侃司，倉田政彦：教育情報工学の応用（コロナ社，1991）
- [4] 佐藤隆博，赤堀侃司，倉田政彦：教育情報工学（コロナ社，1991）
- [5] 瀬川武美，佐藤隆博：国語科教育における構造学習—コンセプトマッピング・アプローチ”（明治図書出版，2000）
- [6] 鈴木克明：詳説インストラクショナルデザイン（特定活動非営利法人 日本イーラーニングコンソシアム，2004）
- [7] 鈴木克明：教材設計マニュアル（北大路書房，2002）
- [8] J.J.D. ノヴァック，D.B. ゴーウィン：子どもが学ぶ新しい学習法—概念地図法によるメタ学習（東洋館出版，1992）
- [9] 出原栄一，吉田武夫，渥美浩章：図の体系—図的思考とその表現（日科技連，1986）
- [10] 大島直樹，室谷 心，増山和子，木下勝之，浜本義彦：“基礎実験科目におけるコンセプトマトリクスに基づいた e-learning 学習の試み”，日本教育工学会第20回全国大会，K06-920-5，講演論文集 pp.153-156（2004）。