

マルチメディアによる音響工学教育

Multimedia-Based Acoustical Engineering Education

三井田 惇郎* 浮貝 雅裕* 須田 宇宙*
千葉工業大学情報ネットワーク学科

〒275-0016 習志野市津田沼2丁目17番1号
TEL 047-478-0288 FAX 047-478-0582
E-mail:miida@net.it-chiba.ac.jp

Abstract: The rapid progress of multimedia technology has brought forth a lot of possibilities to improve a conventional lecture style in a classroom. Using a notebook computer with a portable liquid crystal display enables educators to introduce an interactive electronic chalkboard into a classroom for the purpose of interactive real time simulation. Compared to a text-based lecture style, it is considerably more effective for acoustical engineering education to teach students using multimedia materials, composed of text, sound, motion video, event-driven simulation programs and so forth. This paper presents the design concept of multimedia-based teaching materials for undergraduate acoustical engineering courses and its teaching strategy. The details and characteristics of teaching materials are also described. The course has been taught for two years by using devised multimedia teaching materials; in a conventional classroom last year and in the newly designed multi-purpose learning environment this year. The novel classroom is equipped with six fixed liquid crystal displays to support multimedia presentations in the large classroom, and 150 workstations for laboratory-based teaching. The reaction from students who have attended the course has been very favorable.

Keywords: acoustical engineering, multimedia, VOD, gigabit network, learning

1. はじめに

近年におけるコンピュータの小型化, 高速化, 大容量化はめざましく, 講義室でのサブノート型コンピュータの活用が現実的なものとなった. また, このようなハードウェアの性能向上に追従し, プレゼンテーション用ソフトウェアなどにも多くの改良が重ねられて操作性が向上し, 対話型教材の作成に必要な不可欠なイベント駆動型言語との親和性も増している. また一方では, 安価な高輝度液晶プロジェクターが教育機器として導入が可能になった.

これらを総合的に用いることによって, 難解な数値演算のシミュレーション結果を講義室内でリアルタイムに可視化したり, また, 動画像表示や音響のデジタル記録再生処理などを伴った, いわゆるマルチメディア教材の開発が可能となった.

一方, 音響工学の教育分野では, そこで取り扱う媒質中の波動現象を視覚的に確認することの難しさから, それらの現象をいかにモデル化して理解を深めさせるかが, 重要なテーマの一つとなっている. また, 音響工学で取り扱う多くの具体的事例が, われわれの日常生活と密接な関係にあることから, それらの関連画像や音像を効果的に収録し, 必要な信号処理を加えたりして学習者に提示することが, 教育効果を向上させる重要な要素になると考えられる.

しかし, この分野における教育研究の体系はまだまだ確立されておらず, 音響系の学会でもようやくその必要性について取り上げようとの機運が高まってきたところである^[1].

すなわち, 実際に大学課程の音響工学の教育に必要な全マルチメディア教材を作成し, それを使用して成果を上げたという報告はなされていない.

この研究では, 大学課程第3学年に開講されている科目「音響工学」(半期15週×90分)において, 先述の発想に基

づいて自作したマルチメディア化された教材を用いて, 板書をまったく用いずに行った教育内容とその効果, ならびにそのような教材活用を支援する次世代型教育環境のあり方について得られた知見を述べている.

2. マルチメディア教材開発と教育環境設計

マルチメディアはその名の通り, 文字や静止画, 動画やサウンドを記録再生し, さらに, シミュレーションプログラムによって任意のグラフィックス, サウンドなどを生成することができる. これらの特徴を考慮すれば, 多数の難解な数式とグラフ, そして微細な構造図を主体とした教育が行われてきた音響工学は, マルチメディアの活用と最も親和性の高い科目の一つであると考えられる.

1997年, 著者らは担当科目である「音響工学」を全マルチメディア化することを考え, 教材の作成指針決定の準備期間において実行に移した. 合わせて, これらのマルチメディア教材を多数に展開する汎用の大規模コンピュータ支援システムの設計を行った.

図1に示すように, このマルチメディア教育システムの要点は, 従来教科書と板書に頼っていた教材をマルチメディア化することであり, 板書の代替えとして巨大なプロジェクター投影画面, ならびに受講者の卓上に設置されたコンピュータディスプレイを想定したことにある.

作成したマルチメディア教材が, 教員による教育支援ツールとしての用途に限られることなく, 演習や復習のためにも受講生に解放しようとの意図に沿ったものである.

教材のマルチメディア化に関して最も時間を要した部分は, 教材の構図デザインと構成要素の配色であり, 次にシミュレーションプログラムであり, 動画像などの撮影編集にも多くの時間を要した. 理論に沿った記述表現などは, プレゼンテーションツールが提供している諸機能を用いて速やかに完了した. すべては自作である^[2]. また, マルチメディア教育用のコンピュータ支援システムの設計においては, 情報系専門課程のコンピュータ演習にも共用できる

*Yoshiro Miida, Masahiro Ukigai and Hiroshi Suda
Chiba Institute of Technology

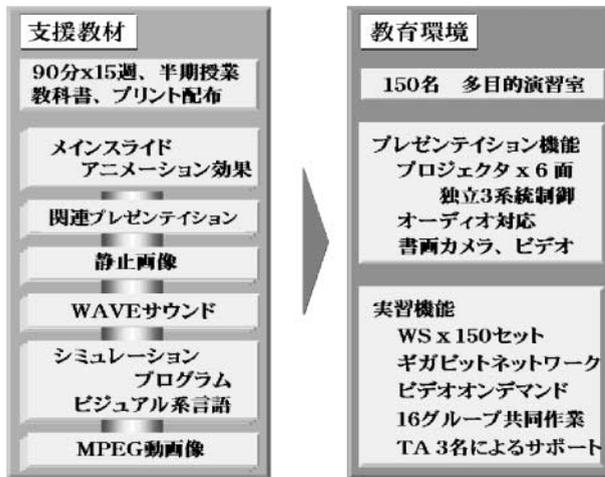


図1 作成したマルチメディア教材と設計した教育環境

ように、多目的の教育利用が可能な次世代型多目的演習室の開発を行った。

この演習室における学習者用コンピュータは、150台のワークステーションで構築した。また、演習室内ネットワークのバックボーンは、ビデオオンデマンド方式による全ワークステーションへの動画像配信などを可能とするため、ギガビットネットワークを採用した。さらに、受講者がコンピュータとの対話主体の利用のみに終始せぬよう配慮して、150台のワークステーションを16グループに分割し、共同作業やグループ学習を可能とする学習環境を創作した。

現在はこの環境の中でマルチメディア音響工学の授業が進められている^[3]。

(1) マルチメディア教材の開発

作成したマルチメディア音響工学の教材は、以下のコンセプトにしたがって構築した。

教科書「音響工学」^[4]でも予習復習ができるように、教材はこの内容に完全に準拠させる。

原則的にプレゼンテーション1画面で1テーマ（以後、この画面をメインスライドと仮称する）を表現することにより、ページめくりの少ない、視覚的に刺激の少ない表示とする。

一つの画面を数分割して、基礎方程式や参考図、演算結果などの中から重要な数項目を取り上げ、アニメーション効果を用いて表示する。

上記にもれた項目や、これらの項目に付随して必要になる動画像、シミュレーションプログラムなどはすべてリンク形式でメインスライドに張り付け、教師の自由裁量で開くことのできる構成とする。

これらの作成指針にしたがって、1998年に完成した「マルチメディア音響工学」教材の章立てと規模を図2に示す。それ以降、動画像やシミュレーションプログラムの数は、徐々に増加している。プレゼンテーションツールには、MS-Office97のMS-PowerPointを用いている。

図からも明らかのように、マルチメディア音響工学は全9章からなり、教師の必要に応じてメインスライドから解説スライドやシミュレーションプログラム、関連する動画像やサウンドにリンクすることが可能であり、受講者の反応やレベルに合わせた最適な授業を行えるように配慮した。教材規模は、各章とも40MB程度を要している。

音響工学

	メインスライド	VBasic pro.数	MPEG 動画像	WAVE 音響	記憶容量MB
1.音波とその取り扱い	10	3	0	0	33.6
2.一次元音波と伝送路	14	3	1	0	46.9
3.振動体と音波の放射	14	4	2	0	41.6
4.音波の反射現象	16	1	1	1	41.1
5.電気音響工学	17	0	1	0	38.3
6.超音波の性質	11	0	1	1	31.8
7.超音波発生と利用	14	0	1	0	43.0
8.音声と信号処理	8	1	4	2	54.1
9.聴覚と感性高揚	14	2	2	2	34.1

図2 マルチメディア音響工学の章立てと規模

図3に具体的なプレゼンテーション例を示す。これは第1章の冒頭近くにあるスライドで、音波の強さについての解説の部分である。メインスライドで音圧の物理的な意味を解説し、イベント駆動型のシミュレーションプログラムでは、波動現象を極めて緩やかにすることによって、縦波の伝搬と位相速度、振動数などの関係を可視化することができる。さらに必要であれば、論理式の展開スライドや関連動画像へのリンクを参照することによって、さらに深い理解を与えることができる。

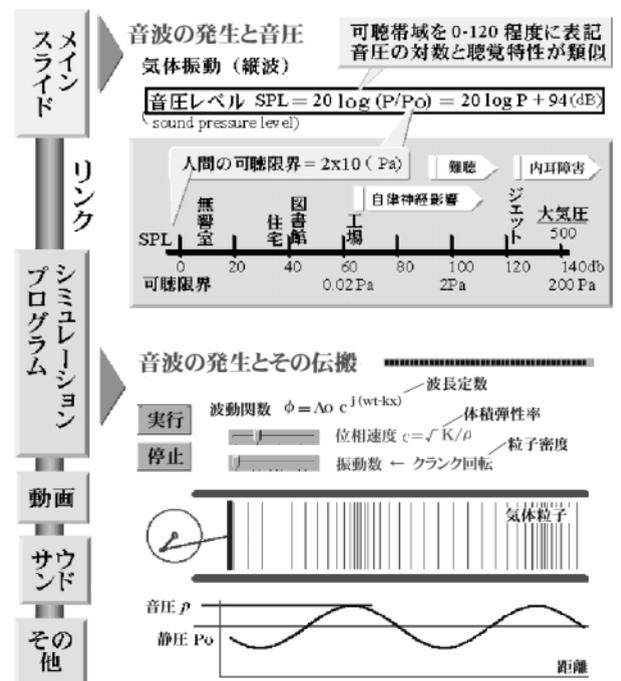


図3 音波の強さについての解説教材内容

このようなコンテンツが多数組み合わせられてマルチメディア音響工学が構成されているが、作成にあたって特に留意をした特徴的な内容を解説しながら、メインスライドとシミュレーションプログラムの対応の数例を紹介する。

教材の色調と文字数

板書を用いずに原則的にプレゼンテーションツールのみを用いて解説を行うための留意点としては、メインスライド上に基礎方程式の解説、その参考図や論理演算の結果などのすべてが表現されていることが望ましい。これにより、説明時におけるそれらの相互参照を容易にし、受講者にとっては視覚的疲労が少なく理解がしやすくなる。

音波の反射と定在波 異なる材質の境界面で音波は反射する

境界面での条件
音圧、粒子速度ともに連続
 $P_2 = P_1 + P_r$ $P_1 = z_1 V_1$
 $V_2 = V_1 + V_r$ $P_2 = z_2 V_2$
 $P_r = -z_1 V_r$ $P_1 = -z_1 V_1$

よって、反射係数と吸音率は
 反射係数 $R = \frac{P_r}{P_1} = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}$
 吸音率 $I = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = 1 - R^2$

定在波は進行波と反射波の干渉により生ずる
 $P = P_1 + P_r$
 $= j\omega \rho A (e^{-jkx} + R e^{jkx}) = j\omega \rho A \{ (1+R)\cos kx + (1-R)\sin kx \}$
 $= j\omega \rho A \sqrt{1+R^2 + 2RC\cos 2kx} e^{j\alpha}$ $\alpha = \tan^{-1} \left(-\frac{R+1}{R-1} \tan kx \right)$

図4 音波の反射と定在波のメインスライド

しかし、その反面、1画面の情報量が多くなると、視認性が低下する恐れがある。したがって、図4の例に示すようにスライド面を分割し、表現しようとする内容別に異なる背景色をつけることなどの工夫を行った。なお、それらの配色と構図については、約30名の大学院・学部生からなる被験者からの感覚調査を幾度となく行い、試行錯誤を行いながら最終の色調と構図の決定を行った。それによれば、区分面積は内容別にほぼ均等であって、明度・彩度ともに適度に低下させた背景色に、白色または灰白色の文字を用いることがもっとも視覚的に優しいとの評価結果が得られた。背景色の領域も、立体化することによって、区分がより鮮明に感じられることも明らかになった。なお、実際に用いるプレゼンテーション用のスライドは、すべて上記による配色手法を採用したフルカラー表示であるが、本論文では、印刷の関係からモノクロ背景に黒文字で表現している。

音波の反射と透過

実行 終了

媒質の異なる境界での反射条件
 入射音圧 P_i + 反射音圧 P_r = 透過音圧 P_t
 入射粒速 V_i + 反射粒速 V_r = 透過粒速 V_t

入射波+反射波→定在波

遅 位相速度 速

反射係数 R

境界面

透過波

入射波

反射波

定在波

重畳値表示
 $R = (P_{max} - P_{min}) / (P_{max} + P_{min}) = 0.40$

図5 音波反射と定在波のシミュレーションプログラム

ところで、音波の反射によって生ずる定在波は図4の結論式からも明らかのように、定性的な概念の把握が極めて難しい。そこで図5に示されるように、リンクされたシミュレーションプログラムを起動させ、実際にパラメータを変えた試行実験を行えば、入射波と反射波の合算値の時間的重畳値、すなわち定在波が明確に現れてくる様子を観察することができ、直感的な理解が容易になる。

エンターテイメント性

図6は、周端固定円膜の振動モードを解説するメインスライドである。このような膜の振動の解は余弦関数とベッセル関数が関与し、実際にはいろいろな振動モードが存在する。この状況を動画像などで定性的に把握してから、シミュレーションプログラムに移行すると理解が早まる。しかも、そこで提示される動画像が、受講者にとって興味の引かれるエンターテイメント性を含んだ内容であれば、さらに教育効果が上がるものと思われる。

周端固定円膜の振動

ドイラ演奏 (99サマルカンド国際音楽祭)

円膜の振動方程式
 弦の振動式を2次元に拡張して
 $\frac{\partial^2 Z}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 Z}{\partial t^2}$ $c = \sqrt{T/\rho}$
 これを極座標系に座標変換して
 $\frac{\partial^2 Z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial Z}{\partial r} + \frac{\partial^2 Z}{\partial X^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 Z}{\partial t^2}$

上式の一般解は
 $Z = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\theta) \cdot J_n(kr)$
 (1) 周囲連続 → n: 整数
 (2) 周囲固定 → $J_n(ka) = 0$
 (3) 基本振動数 $\frac{1}{2\pi a} \sqrt{T/\rho}$

図6 周端固定円膜の振動モードの説明スライド

そのような目的のために、我々は過去に内外に出張したおりに、多くの動画を録画してきて保有しており、これらを授業に用いている。図6右上に示されるドイラは、中央アジアでよく用いられるタンバリンに似た打楽器であり、今年7月にユネスコの文化コンサルタントとして、サマルカンドで行われる国際音楽祭の指導に行ったときに収録した映像の一部である。

この動画像からドイラの演奏には右手で叩き、左手で不必要な振動モードを抑えながら演奏していることがわかる。

周囲固定円膜の振動

第一種 BESSEL 関数 $J_n(X)$

$Z(r, \theta) = A \cos(n\theta) \cdot J_n(kr)$
 (1) 円周連続 → n: 整数
 (2) 周囲固定 → $J_n(ka) = 0$
 (3) 基本振動数 $f_{00} = (1/2\pi a) \sqrt{T/\rho}$
 (a: 半径 T: 張力 ρ: 面密度)

実行 終了

R方向モード [m]
 1 2 3 4
 θ方向モード [n]
 0 1 2 3
 $f_{21} / f_{00} = 2.917$

図7 周囲固定円形膜の振動モードシミュレーション

図7に周囲固定円形膜の振動モードシミュレーションプログラムの実行例を示す。このプログラムはモードのパラメータを設定することによって、リアルタイムで演算を行い、その結果にしたがって振動を動的に視覚化することができるため、先ほどの打楽器、ドイラのどの部分を叩いて、どこを叩くとどのような音が発生するかを立体的に検討することができる。

汎用測定計器としての設計

音響工学では複雑な時間関数をフーリエ変換によって周波数の異なった正弦波群に展開して、この周波数スペクトラムを取り扱うことが多い。基本的には、周期関数はその基本振動数と高調波群の合成で表現される。音響を学ぶ受講者の最もまどう考え方の一つである。

この定性的な概念は図8で示されているが、これらを正確に把握するには、実際の波形をフーリエ展開し、実体験によって理解を深めることが望ましい。

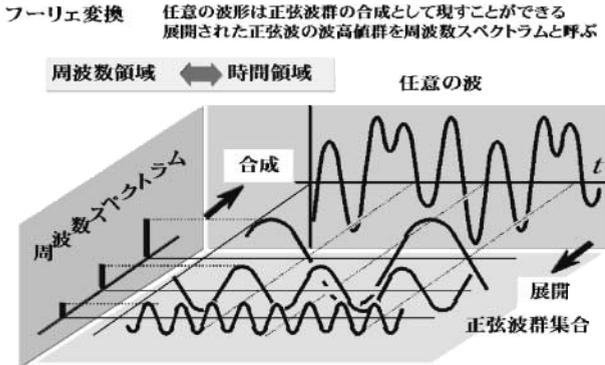


図8 フーリエ展開と周波数スペクトラムの関係図

このような場合には、図9のようなFFTアナライザプログラム（VisualBasicで開発）をリンクさせ、これを用いた周波数分析の模擬実験を行うと、速やかな理解にたどり着くことができる。入力波形やサンプリング数、また、サンプル間隔や窓関数を変えて、エイリアシングの発生などの諸現象を視覚的に把握することができることは、理解の大きな助けになる。

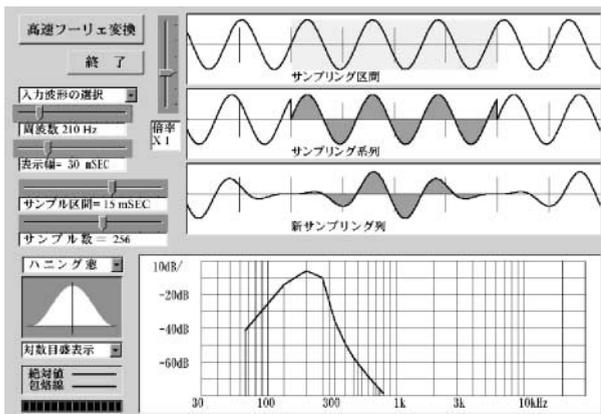


図9 VBで作成したFFTアナライザ

サウンドの取り扱い

音響工学においてサウンドを生成し、再生・録音することは、最も音響工学を理解する早道であり、また周波数スペクトラムのもつ意味を、論理と実体験を通して把握させる大切な手段になる。

図10に楽器音の音色とスペクトラムの関係についてのメインスライドを示す。この図からも明確なように、楽器の音色はスペクトラムの成分分布によって決定されてしまう。すなわち、楽器の基音に対して倍音が多いとか、奇数倍音が少ないとか、逆に偶数倍音が少ないという特徴である。

音色とスペクトラム

音色はスペクトラムの時間変動
楽器音の鳴り始めと鳴り終わりを除くと楽器の判別は難しい

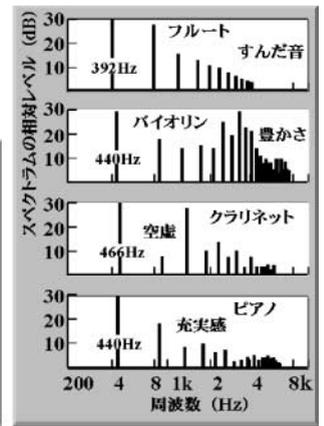
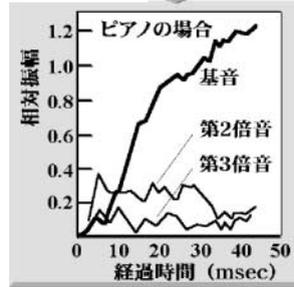


図10 楽器の音色と周波数スペクトラム

もちろん、ピアノのような打鍵楽器では、周波数スペクトラムの各成分がどのように時間変化をするかという過渡応答が音色を決定する大きな要因になる。

ところで、これらの特徴的なスペクトラムをさらに強調してサウンドを生成すればどのような音色になるのだろうか、というような観点からサウンドを生成すると興味のある結果が得られて、音色についての深い理解を得ることができる。

図11は、この発想にしたがって、楽器の特徴的な周波数スペクトラムパターンを、より強調してサウンド生成するシミュレーションプログラムの例である。

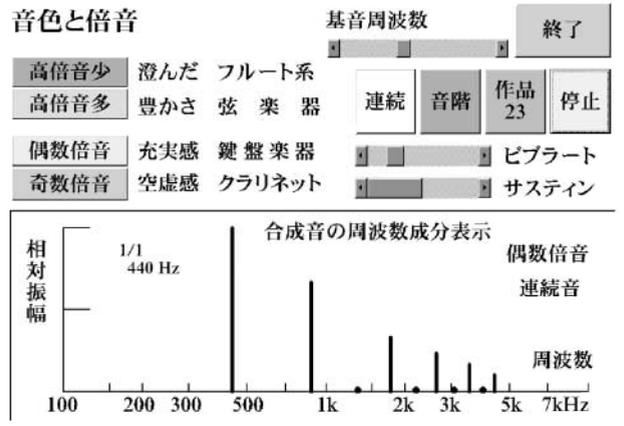


図11 倍音の分布と音色の関係シミュレーション

ところで、このプログラム開発に使用したVisualBasicにはサウンドを直接駆動する命令は存在しないため、Windows OSの保有するサウンド命令を利用することによって、wavファイルを再生する手法を用いている。具体的には、wavフォーマットにしたがって必要とする合成波形を、サウンドファイルとしてVisualBasic内で生成し、再生モジュールを用いてWindows OSに手渡す方法を採用している。教材開発が容易ではない一側面である。

以上、マルチメディア音響工学の教材について、特徴的な部分をごく一部紹介したが、このようなコンテンツが多数組み合わせられて、大学課程第3学年の90分×15週の授業大系が構築されている。

(2) 多目的演習室の環境とこれを用いた教育

授業環境としては、先にも述べた多目的演習室を設計構築して、ここに必要なコンテンツを移植してマルチメディア音響工学の教育が現在行われている。

これらの設計にあたって、マルチメディア音響工学のような授業の教育支援に必要なコンセプトは、次の二項目であると考えた。

教師がマルチメディア教材をツールとして使い、150人もの多人数に対する授業を行っても空間的なゆとりがあり、音像・映像ともに十分なプレゼンテーション機能を持つこと。

教師の指示により、または、受講者が復習等の目的で、手元のワークステーション画面にマルチメディア教材を表示して、自らが教材を操作できる機能を設けること。

これらの設計指針にしたがって構築された多目的演習室を図12に示す。プレゼンテーション機能としては、大型プロジェクターを6面分散配置した。



図12 情報系専門学科用の多目的演習室

それらへの投影パターンは複数モードが存在し、ノートパソコン、書画カメラ、VTRなどの情報ソースの中から、最大で3種類の異なる映像を同時に投影することが可能となっている。これにより、プレゼンテーションの流れを中断させずに、別の情報表示を容易に行うことができる。

この多目的演習室は、このほかに情報系学科専門課程の演習にも利用されるため、すべてをワークステーションで構築した。

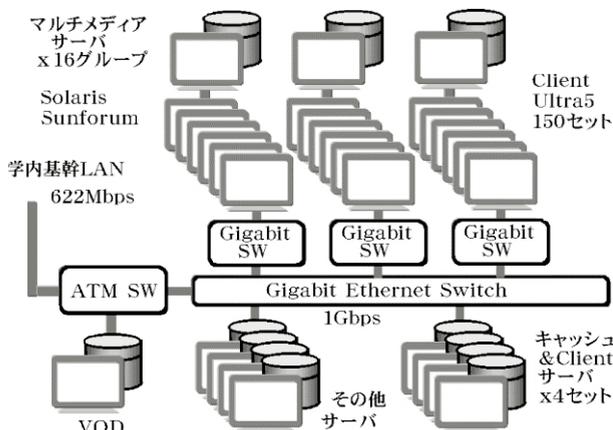


図13 多目的演習室のシステム構成

しかし、マルチメディアを利用する一般の講義利用等にも十分に耐えるよう、ワークステーション本体は一括し

て机下の架台に収納し、薄型液晶ディスプレイと省スペースキーボードを採用することによって、机上の作業環境を極めて大きくとる工夫がなされている。これは、従来のコンピュータ演習室設計には例を見ない、大きな特徴の一つである。

図13に示すように、グループ編成された150台のワークステーション群は、ギガビットイーサネットワークをバックボーンとして相互に接続され、さらに本学基幹ATMネットワークを介してVODシステムと接続されている。

マルチメディア音響工学はコンテンツとして多くの動画像を含むため、参照動画像のみはメインスライドからのリンクを切り離し、このVODシステムを利用して受講者各自に独立した映像を提供する方式をとっている。

一方、図13にも示されているように、150台のワークステーションは16組にグループ分けがされて、それぞれにマルチメディアサーバが対応付けられている。

このマルチメディアサーバ上に埋め込まれたPowerPointプレゼンテーションコンテンツは、Solaris上で稼働するコラボレーションソフトウェアSunForumを利用することによって、各グループに共同作業環境の提供が可能となる。



図14 マルチメディア音響工学のWSへの展開

したがって、マルチメディア音響工学のコンテンツを同様に埋め込むことにより、それぞれのグループごとに受講者自らがインタラクティブにアクセスするという方式で、マルチメディア教材の提供を行っている。図14は、この方式によって受講者がマルチメディア音響工学のコンテンツを取り出して、グループ内でのディスカッションを交えながら、実習を行っている状況を示している。

3. マルチメディア教材を用いた教育評価

これまで、過去10年間にわたって教科書を用いた板書型の教育を行ってきたが、平成9年度より上記のマルチメディア教材を使用する授業法に切り替えた。

受講者にはメインスライドをモノクロ印刷ではあるが、すべて配布することで、授業中の記述の負担を軽減させて講義に専念できるように配慮するとともに、教科書とプリントを併用した復習も可能な体制をとった。

変更した初年度には多目的演習室がまだ設計段階であったため、マルチメディア音響工学のコンテンツすべてをノートパソコンに入れて、1500 ANSIルーメンの液晶プロジェクタで大型スクリーンに投影するだけの簡単な講義形態であった。この授業では、前々から学生による無記名授業内容調査を行っているが、このマルチメディア音響工学実施前後の総合的な評価を図15に示す。この図からも明確なように、このマルチメディア教材を用いた授業は、受講者の総合的な評価、すなわち授業の満足度の平均値は従来の板書型の授業に比べて1ランク高い値、「満足」という評価になり、大きな成果が上がったものと考えている。

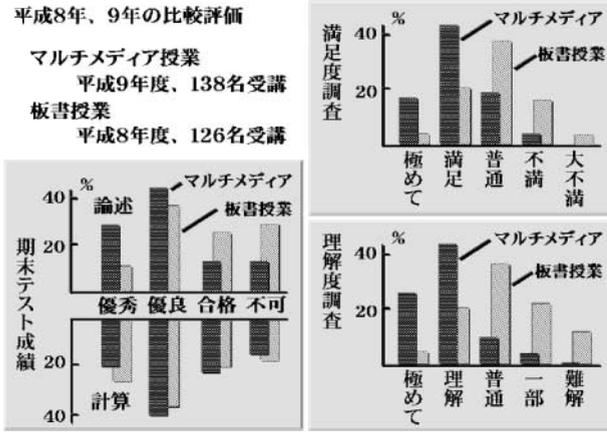


図15 授業満足度調査と期末テストの変化

次に受講者各自の授業理解度の自覚値も同様に評価が1ランク上がっている。しかし、期末テストの成績結果では、定性的な理解、すなわち論述式のテストの評価は向上したものの、数値計算能力に変化はみられなかった。

数値計算の能力は、むしろどれだけ多くの例題をこなすか、という因子に依存するものと思われる。

現在のマルチメディア音響工学の授業形態は、主として、教師が先述の6面大型プロジェクタスクリーンにマルチメディア教材を投影し、これを中心に授業を行っている。

受講生が机上のディスプレイ上でシミュレーション教材などを利用したり、あるいはVODによって動画像を取り込んで学習する方式は、現在は授業内の演習の時間など限られた時間内で行っている。この場合には、ティーチングアシスタント(TA)3名を巡回させて、アクセス方法の指導とか、個々の内容の解説に対応している。

この方式は本年度から実験的に導入して間もないが、受講生からの反応は、自分自らが実体験をしているような臨場感が得られるとして、極めて高い評価を受けている。

4. 教育実施上の問題点と今後の展開

本マルチメディア音響工学の授業形態は、インタラクティブなコンテンツを多数リンクさせたプレゼンテーションツールを用いて、教師が自在に授業を展開していく方式である。

したがって、よりよい教育効果を上げるためには、優れた教材と、それを活かす設備が必要になる。しかし教材の作成には、対象となる学問分野に深い知識を有し、加えてマルチメディア技術に習熟した教師を育てなくてはならない。また、著作権の問題から、使用するすべての映像は原則的に自前で収録しなければならない。

他方、マルチメディア設備にしても、現在の価格ではすべての教育機関が大型システムを導入できるほど安価ではない。すべてはマルチメディアの関係各位がこの分野をどのように育成しようとするのかにかかっているものと考えられる。

なお、この手法を広く他分野に展開しようとする、その方式によって大きく二つの方向性が見えてくる。まず、第一に、これらの教材は教師の教育支援ツールとして開発されたものであるから、この教材に教師の解説を文字、あるいは音声で付加することによって、この教材単独で独立した学習システムに変更することが可能である。このような教材を広くネットワーク上に展開し、あるいはCD-ROM化することによって、在宅授業や自学自習の学習方式とし

て、あらゆる分野で利用が可能になる。

また、第二の指向として、マルチメディアであるがゆえに、プレゼンテーション投影画面を巨大化することによって、多人数受講者に対して、リアリティを損なうことなく一括授業を行うことも可能になる。現在、われわれはこの方法によって、TA3名とともに「情報工学概論」(大学課程第1学年、90分×15週)についても、板書を行わない全マルチメディア授業を行っている^[5]。図16に示すように約300名に対する大画面を用いた一括授業ではあるが、受講者からは理解しやすいとの好評を得ている。



図16 マルチメディアによる多人数一括授業の例

5. おわりに

本研究では、マルチメディアの特質である、文字や動画像、サウンド、そしてシミュレーションプログラムまで、すべての技法を最大限に利用して、多角的に教育支援を行う音響工学の教材を作成し、また、この教材を利用した授業を展開するにふさわしい教育環境の整備を行ってきた。

現在、音響工学の授業を全マルチメディア化するという初期の目的はほぼ達成し、受講者からの評価についても満足のいく結果が得られている。

今後は、これらの評価分析をより深く行って、さらに教育効果の高い教育方式へと改良を加えていくとともに、他分野への展開にも努力していく予定である。

参考文献

- [1] 子安 勝：音響教育に関するシンポジウム「音響教育ツールを考える」報告. 日本音響学会誌55, pp.207-210, 1999.
- [2] 須田宇宙, 新谷泰男, 三井田悳郎：音響工学教育におけるマルチメディアの利用. 教育システム情報学会研究報告, Vol.98 No.2, pp.50-55, 1998.
- [3] 三井田悳郎：マルチメディア時代の一音教育. 電子情報通信学会技術研究報告(教育工学)Vol.99 No.236, pp.29-31, 1999.
- [4] 三井田悳郎：音響工学. 昭晃堂, 1997.
- [5] 三井田悳郎：情報工学概論. 森北出版, 1998.