

## 教材作りにおける CAI から e-learning への変遷

吉村 忠与志\*<sup>1</sup>、青山 義弘<sup>2</sup>

福井工業高等専門学校 <sup>1</sup>物質工学科、<sup>2</sup>電子情報工学科 (〒916-8507 鯖江市下司町)

\*tadayosi@fukui-nct.ac.jp

### Creating Teaching Materials: Moving from CAI to E-learning

Tadayosi YOSHIMURA<sup>1</sup>, Yoshihiro AOYAMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry and Biology Engineering,

<sup>2</sup>Department of Electronics and Information Engineering,

Fukui National College of Technology (Geshi, Sabae, Fukui 916-8507, Japan)

(Received June 1, 2012; Accepted July 1, 2012)

#### Abstract

Computer-assisted instruction (CAI) systems evolved from the computer version of the Programmed Logic for Automated Teaching Operations (PLATO) system that was originally developed in the United States. With the advent of 8-bit personal computers, it became possible to present teaching materials in graphical format. Once 16-bit computers became available in Japanese, teachers could begin to create new types of teaching materials, in addition to using a conventional blackboard. Furthermore, with the advent of the Internet, it became possible to transmit, coordinate, and share teaching materials, thus enabling teachers to provide an educational system that allows students to prepare for classes and review what they have learned. Teachers could also transmit video materials to students via the Internet.

On the other hand, the widespread availability of high-speed internet connection has made it possible to provide a complete e-learning solution as well as deliver coordinated teaching materials for strategic engineer training programs. Lectures can be delivered to students at all sites by using a teleconference system via the internet network, allowing students to register for teleclasses and receive credits for them.

This paper explores how the evolution of computer technology has led to technological innovation in the use of computer-aided techniques for the development of teaching materials.

**Key words:** CAI, e-learning, teaching materials, teleconference system, video materials, teleclasses

#### 1 はじめに

CAI システムづくりはパソコン 8 ビット時代から始まり、教材のグラフィック表現を実践した。パソコン 16 ビットで日本語が使えるようになり、板書に加えた教材作りを可能にした。インターネット時代になると教材の発信と協働・共有化ができるようになり、事前・事後学習ができる教材システムを提供できた。そして、本格的な e-learning となり、戦略的技術者育成のために協働教材を

発信できた。さらに、インターネット網を介してテレビ会議システムによる一斉講義を可能にし、遠隔授業の単位化を実現することができた。

本報で、パソコン発達の変遷の中でコンピュータ支援による教材開発における技術革新史を探る。

#### 2 CAI の黎明期

コンピュータは、本来数値計算をする目的で迅速かつ正

確に計算を実行する機械として開発利用されてきた。そして、教育工学においてもコンピュータ利用の研究が 1960 年代から進められ、教育の質的強化と効果的改善を図る目的で CAI システム (computer assisted instruction system) の開発が始まり、マイコンの急激な普及とともに CAI の様相が大きく変わった[1]。クラス単位の集団形態の学習活動において、マイコンによる個別化が進み、個々の学習者がコンピュータと対話的に学習を進め、学習や教授方法の最適化が検討された。学習評価や教授活動を強化する目的では CMI (computer managed instruction) なるコンピュータ管理教育システムの開発も進んだ。マイコンが 8 ビット時代に、画像出力の可能な CRT ディスプレイとライトペンを使用したシステムが開発された[2]。

1970 年代の CAI は、コンピュータ支援教育の実践というよりも実験的な要素が多く、レッスンや演習形式によるものがほとんどであった。代表的なものでは、イリノイ大学の PLATO VI があり、当時、大規模 CAI システムとして日本にも導入された[3]。PLATO 教育訓練システムは 10,000 時間のレッスンが作られており、化学教育では、一般化学、有機化学、分光化学、生化学、分析化学、結晶学入門、高分子化学入門の分野項目のレッスンが構築されていた。PLATO システムでの蒸留実験のシミュレーションの画面を図 1 に示す。さらに、図 2 に 8 ビットマイコンで稼働する PLATO ネットワーク端末を示す。

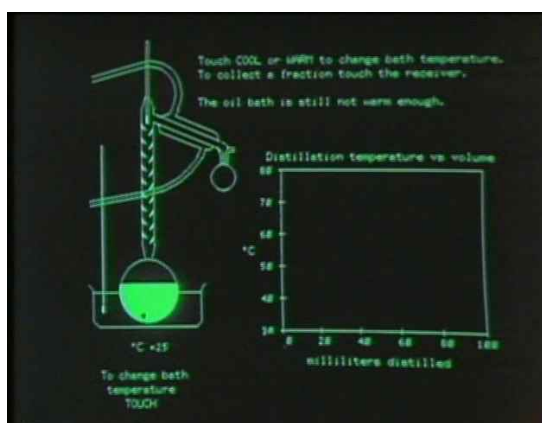


図 1 PLATO running a fractional distillation simulation

マイコン CAI が普及する中で、より安価な CAI システムが求められ、NSF の援助を受けて SERAPHIM プロジェクトが発足し[4]、ムーア教授 (John W. Moore) の下で化学教育の分野で CAI システムが開発され[5]、さらに多くの CAI ソフトが登録され無償配布された。

日本では、米国にやや遅れて国立教育研究所が中心となって CAI 研究が開始された。化学教育においては、下沢隆教授らが高校化学の「物質の探求」を CAI 学習できるようにシステムを開発し、マイコン CAI システムの実践が試みられた[6]。



図 2 Using the CDC Plato network, circa 1979-1980, with an IST-II terminal

筆者はほぼ同時に下沢教授のサポートを受けて、マイコン CAI システムの構築を開始した。8 ビットパソコン (NEC, PC-8001) の日本語がカタカナしか使えなかったので、図 3 に示すようにグラフィックによる化学実験の演示・図解を中心に CAI システムを開発した。そして、CAI システムの促進・普及のために、共立出版より「化学ドライラボ入門」を発行した[7]。それは、20~30 行の BASIC プログラムを紙面で公開することによってコンピュータ・ユーザの教師が自力で CAI 教材を開発できるように工夫した啓蒙書である。BASIC 言語はグラフィック機能が優れており、ステップごとにアニメーション機能を付加することで化学実験のドライラボを演示することができた。この頃から、コンピュータのことをマイコンといわず、パソコンと呼ぶようになった。

カラーグラフィックスによる実行結果

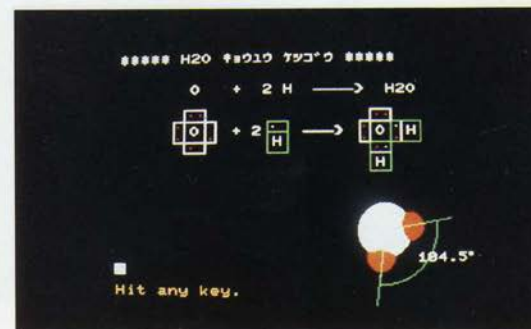
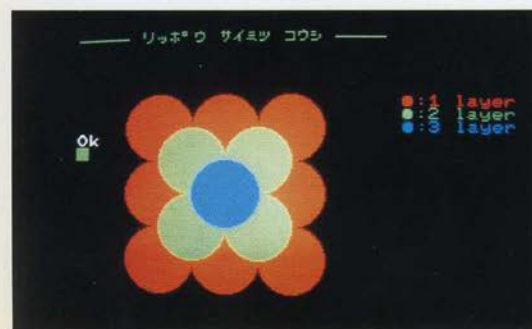
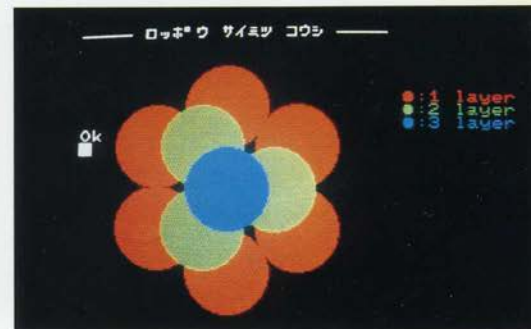
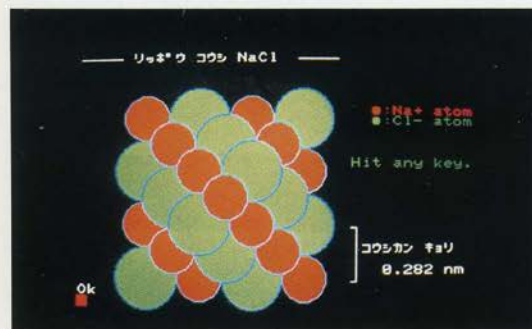
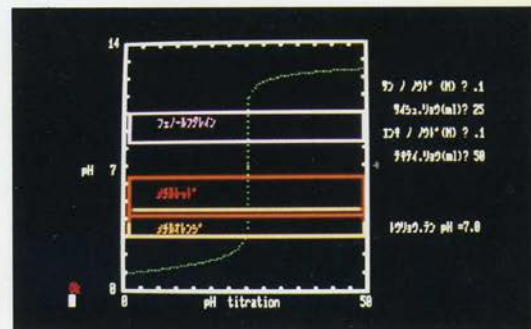
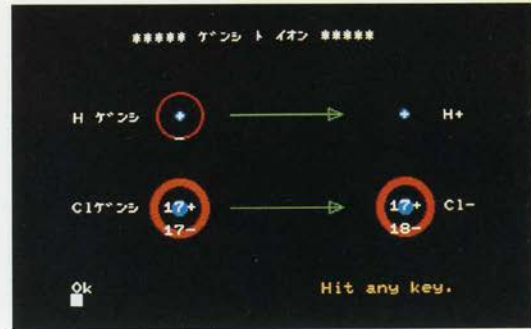


図3 「BASICによる化学ドライラボ入門」のグラフィア

その後、多くの CAI システムが開発され、無償、有償を問わず教育市場を賑わせ、コンピュータ支援教育は定着していった。筆者らは、日本でのコンピュータ化学の発展を目指して、1982年に「化学 PC 研究会」を立ち上げ、1986年から「無償利用ソフトウェア年鑑」を発行して、登録された無償利用ソフトウェアを FD 配布し普及に貢献した[8]。この頃の日本でのシステムは FD(floppy disk)を中心に利用されており、HD(hard disk)による利用は少なかった。

化学 PC 研究会は 1992年に化学ソフトウェア学会と改組して日本学術会議に学術団体登録を行い、学会活動を推進した。さらに、2002年に日本コンピュータ化学会と改組して、現在約 1,000名の会員で学会活動を行っている。

1990年代になると、HDでのシステム利用が本格化し、CAIのメモリ容量も大きなものとなっていった。

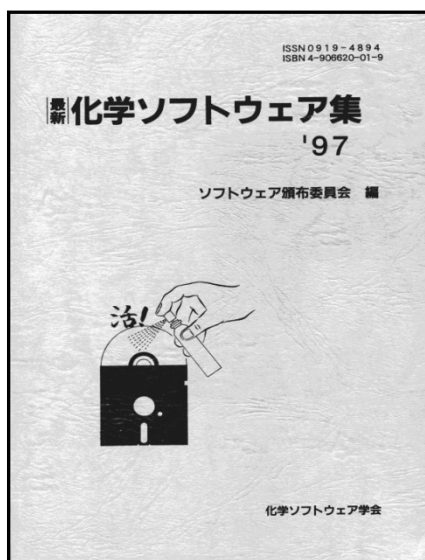


図4 「最新化学ソフトウェア集'97」の表紙

### 3 動画の導入期

筆者(吉村)がSERAPHIMプロジェクトを主管するムーア教授の研究室を1991年に訪米した際、そこではビデオディスクをパソコンでコントロールしながら動画で化学実験の各操作と手順を学習するドライラボ演示が行われていた[9]。ムーア教授らは動画演示によるインタラクティブ学習を実践し教育効果を上げていた。例えば、金属ナ

トリウムが水に触れて激しく反応し燃え上がる現象をビデオ動画で演示して危険な実験をバーチャルに模擬実験させ、極めて有効な機器の導入による画期的な教育方法であった。このような危険性を伴う化学実験や直接見ることができない分子構造を立体的に可視化するビデオ動画は現在でも極めて有効な教材である。

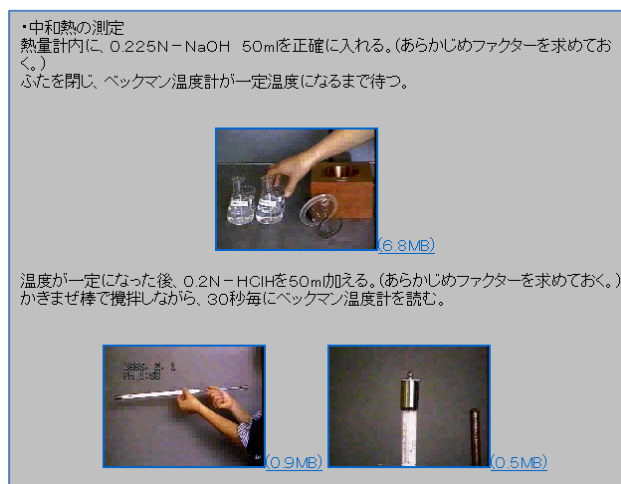


図5 数分間のビデオ動画を貼りつけた画面(中和熱の測定)

日本でもビデオデッキをパソコンでコントロールするシステムが開発され、教育現場で試用されたが[10]、ビデオ再生に長時間を要するビデオ学習はデメリットが多く学校現場では実用化されなかった。ビデオ映像による学習効果は見始めてから5分程度しか集中できない[11]ということがわかったので、ビデオ映像の内容を精査してテレビコマーシャル時間が数分なのを参考にして視覚集中できる時間、数分間のビデオ動画を作成し、それらを文書に貼り付けてビデオ学習するシステムを開発した。数分間のビデオ学習は極めて模擬体験の学習効果があり、初めて目にする具体的な実験操作は体験学習に次ぐ教育効果が得られた[11, 12]。図5に中和熱測定の実験方法の操作をビデオ動画で演示するシステム画面を示す。図中の写真の右下の数字は動画のメモリサイズである。当時のパソコン性能では、適量なビデオサイズとして10MBが最大限度であった。





図 6 動画サイト YouTube 「金環日食」

インターネット網が高速化し、LAN による VOD (video on demand) が一般化する中で、DVD 動画をネットワークに置き、ビデオ学習する教育システムが学校現場で試行されたが、当時のネットワークの脆弱さから実用化することはなかった。しかし、動画の配信では、現在のインターネット上での動画サイト YouTube の普及はコンピュータの性能アップに加えて教育的な動画活用に大きな貢献をしている。図 6 に 2012 年の 5 月 21 日の金環日食の動画を動画サイト YouTube より示す。日食の初めから終わりまでの動画は天体科学ショーを記録したものであり、このような動画がインターネット上で配信されることは極めて教育的な科学効果の高いものである。

科学的図解における科学現象の動画は静止画像や 2D の平面図に比べて極めて教育効果があり、これに勝る教科書はないものとする。

#### 4 インターネットによる教育システム

インターネットの高速化が普及し、システムの利用環境が個々でのパソコン単独利用ではなく、ネットワーク上にある教育システムにアクセスして教育を実践できるよう

になると、コンピュータ支援学習は CAI から e-learning と呼び名が変わり、インターネットにぶら下がる形式で教育システムが公開され利用されるようになった。

筆者らもパソコン中心の教育システムからインターネット公開のものに切り替えて、物理化学実験システムをインターネット公開し[13]、現在も継続している[14]。図 7 に中和熱測定の実験の目的と理論のページ画面を示す。

インターネット配信では、システムは HTML テキストで作成・配信するので、教材のシステム構成は文字情報、図形情報、動画情報の 3 つに分けて作成し、それらを電子出版作成シェルで統合化することによって簡単にメディア教材を作成できるようになった[15]。

筆者らは、福井高専物質工学科 4 年の物質工学実験Ⅲで物理化学課題を 18 テーマ用意して、学生にこのシステムで事前学習した後、本実験を実行させて実験実習を行っている。この実験課題では、実験書を用意していないので、学生は必ずインターネット学習しないと実験の内容を把握できないようにカリキュラム化している。

インターネットで教材を公開できるようになり、いろいろな教育機関で開発された教材情報の共有化が拡大し、世

界の共有財産となっている。インターネットは世界中と繋がっており、言語は別として Google などの検索エンジンでほしい情報を瞬時に確保することができる。以前は、教材探しに図書館や本屋に出かけたものであるが、今やインターネットで検索をかければ得られない情報がないくらい、あらゆる情報が得られる。逆に情報の内容が誤っていたり、無責任にパクリ情報であったり、している。なので、公開情報をそのまま鵜呑みにするのではなく、得られる情報の真意を判断する能力を必要とするようになった。

インターネット端末として携帯電話を利用する学生が多くなったが、当時の携帯電話のディスプレイの表示では限界があった。そこで、限られるディスプレイ画面に表現できる教材内容を精査して携帯電話用のインターネット教材を作成した[16]。

化学の知識を精査するために図 8 のような携帯電話向けの教材作成システムを構築して、図 9 のような教材中の文章の内容を精査した。化学式の表示には必須な上付き、下付き表示を止め一行表記するなどして表記文字数を精査した。パソコンなどの大きなディスプレイでは表示したい文書を化学知識に従って記述することができますが、図 9 に示すように、携帯電話のような限られた画面表示を要求される場合は文書の精査は有用なことである。それは図 8 の文書情報の書き出しの段階で行う。

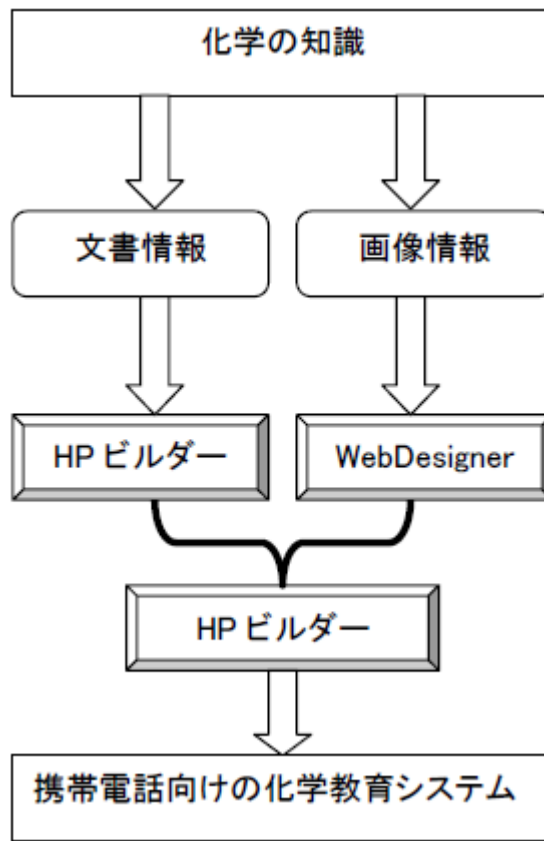


図 8 携帯電話向けの教材作成フロー[16]

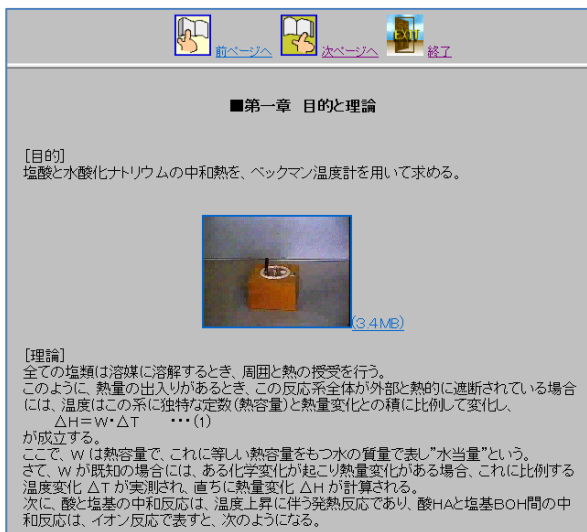


図 7 中和熱測定の目的と理論の画面



図 10 携帯電話シミュレーションのメニュー画面

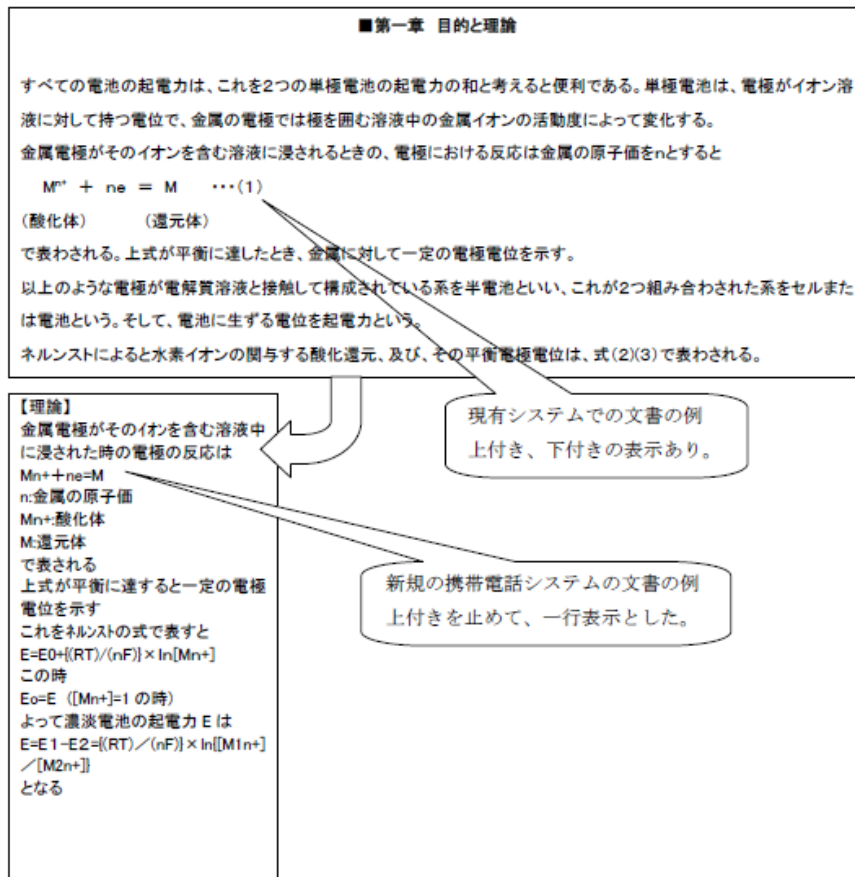


図 9 現有システムからの文章の短文化処理の一例[16]

- ☆楽しい物理化学実験☆
1. 中和熱
  2. 希釈熱
  3. ビケル・マヤー法
  4. 凝固点降下法
  5. 水蒸気蒸留法
  6. 溶解度・溶解熱
  7. 分配率
  8. 電離定数
  9. 物性値の測定
  10. エステルの酸加水分解
  11. エステルのアルカリ加水分解
  12. ショ糖の転化反応
  13. 吸着
  14. コロイド
  15. 電池の起電力
  16. 分解電圧
  17. 輸率
  18. 電位差滴定

図 11 物理化学実験のメニュー画面

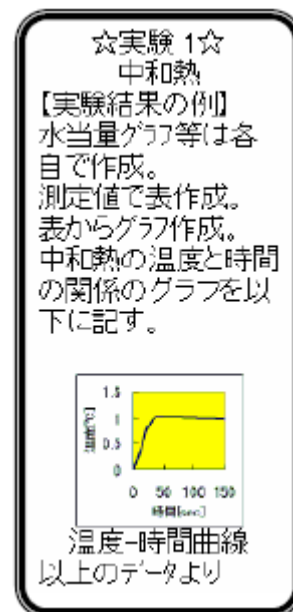


図 12 中和熱測定の実験 1 画面

図 10 に物理化学実験の e-learning 教材の目次を表示した携帯モニターを示す。初期の携帯電話のモニターは情報量が少ないことがわかる。さらに、図 11 にその目次画面を、図 12 に中和熱測定の実験 1 項目の画面を示す。当時の携帯電話ではインターネット教材として有用であった。

現在の携帯電話事情はスマホの利用によって、パソコンディスプレイサイズの大きなものでも指先で拡大して可視出来るようになり、視覚的に便利な機能になっているものの、表示内容を精査することは重要な学習条件であることには変わりはないと考える。

### 5 e-learning と教育実践

板書を基本とする授業を実践する中で、コンピュータ支援学習 e-learning はあくまで補助的な教育システムである。授業中の教員の音声と時系列に記入された板書が電子化されてサーバーに格納され、インターネットで公開することにより、受講した学生が授業内容を繰り返し復習することが可能になり、授業中に理解できなかった学生がそれで再履修・再学習することができるようになった[17]。さらに、都合で授業を欠席した学生が教員の音声による授業雰囲気自学履修することが可能になった。このような授業風景の記録構築は学校教育のアーカイブスとなり、知的財産の構築でもあり重要な課題である。

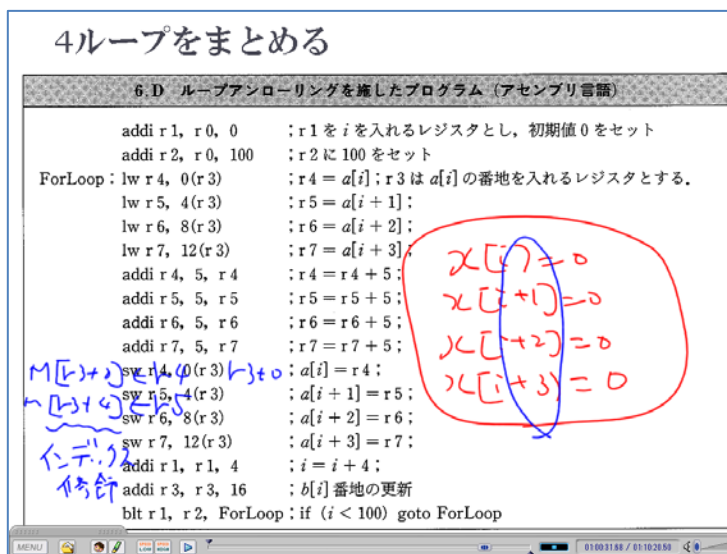


図 13 「コンピュータアーキテクチャ」を担当した青山義弘の講義風景画

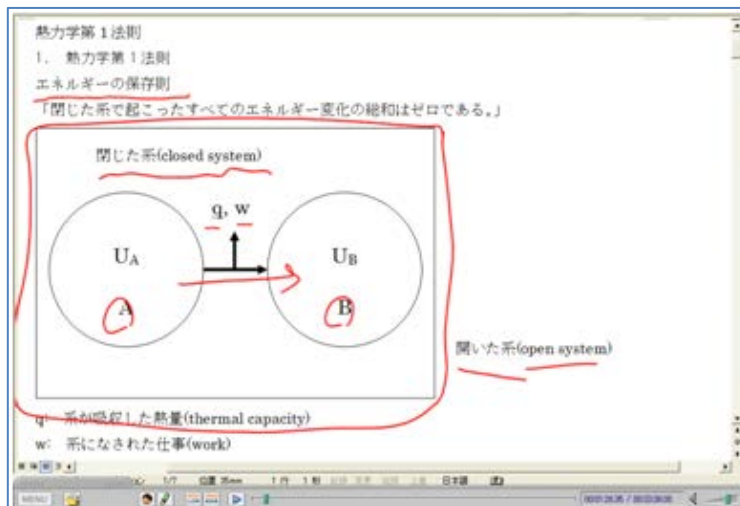


図 14 物理化学「熱力学第1法則」を担当して吉村忠与志の講義風景画面



この教育ではメディク・クエスト㈱の”EduCanvas”を利用したもので、福井高専電子情報工学科のサーバーにファイルを格納し、インターネットで公開し学生の利用を推進した。「計算機アーキテクチャ」を担当した青山義弘の講義風景画面を図 13 に、物理化学「熱力学第 1 法則」を担当した吉村忠与志の講義風景画面を図 14 に示す。

受講しなかった学生はこの e-learning 教材で補講することで授業内容を把握していたようであった。その成果は、学期末試験で確認できた。

長井らは FD 教材であった”化学計算演習”を e-learning 教材に加工する研究を実施した[18]。Web サーバーには LinuxOS を用いて構築し、自己採点処理のできる機能を付加して、学生使用のアンケートも自動収集できるシステムを開発し、インターネット公開している。

## 6 テレビ会議システムによる遠隔授業

インターネット網の高速化が教育機関ごとに現実化していく中で、日本では大学審議会による答申「グローバル化時代に求められる高等教育の在り方について」によって双方向でコミュニケーションが可能な遠隔授業で単位が修得できるようになった[19]。2003 年度に福井高専と福井大学間に遠隔授業可能な双方向教育システムの教室設備を整備し、両方向からの遠隔授業を実施した[20]。本システムは桜井哲真手作りのエンコーダとデコーダを福井県情報ネットワーク網(2.4Gbps)の専用回線に接続して遠隔授業を試行したもので、2003 年当時は画期的なシステムであった。

テレビ会議システム(ViewStationSP)がポリコム社から販売され、2005 年に福井高専と福井県立大学間で遠隔授業ネットワークを構築し、遠隔授業を試行した[21]。遠隔授業は筆者(吉村)が福井県立大学の開講科目「情報処理 B」の非常勤講師を勤める傍ら、福井高専から遠隔授業を実施したものである。その内容は、「VAB プログラミングによる創造教育」と「ゴールシークとソルバーによる方程式の解法」であり、いずれも Excel を用いたコンピュータ実践の授業であったので、福井県立大学のコンピュータ演

習室にはチュータを配置して学生への懇切な指導も欠かさなかった。

授業の風景を双方向リアルタイムで通信を行った。ポリコム社の ViewStationSP は Web サーバー機能およびイーサネットハブ内蔵のため、リモートでのシステム管理、診断、ソフトウェアの拡張ができる。それによって PowerPoint スライドをネットミーティングで配信した。教授風景の映像と教材資料に配信をリアルタイムで行った。板書を必要とする教材の提示にネットミーティングのアプリケーション共有を行ったことで遠隔である欠点を十分にカバーすることができた。遠隔地間でのファイルやデータをリアルタイムに共有することができたことは意義深かった。

テレビ会議システムがいろいろなメーカーから販売されているが、システムが 1 つにまとまっているポリコム社のものが使いやすく普及しているようである。

いろいろな高等教育機関では仮想大学(Virtual University)が開校されており、インターネットによる開校科目を履修できるコースが実現している。インターネット上での高等教育機関として仮想大学というキーワードが使われたのは 1996 年頃であり、現在では、オンラインキャンパス(online campus)や遠隔授業(distance education)などの形式でコンピュータ支援教育が行われている。

長岡技術科学大学が高専と協働する戦略的技術者育成アドバンスコースはオンラインキャンパスの一例である。図 17 に長岡技術科学大学の事例を示す。学生と教員との間に相互交流的な環境を整備することがこの教育システムのポイントである。長岡技術科学大学によるこのコースで 2012 年 2 月 17 日に福井高専で開講された「技術を支える数学」の講義風景を図 18 に示す[22]。ここでは、メディアサイト社の Mediasite システムが使用され、授業風景が動画で記録され、授業の時系列のパワーポイント資料が記録されてサーバー管理されている。授業をライブまたはオンデマンドで配信している。



図 15 発信側の教師風景



図 16 県立大学側の受講風景

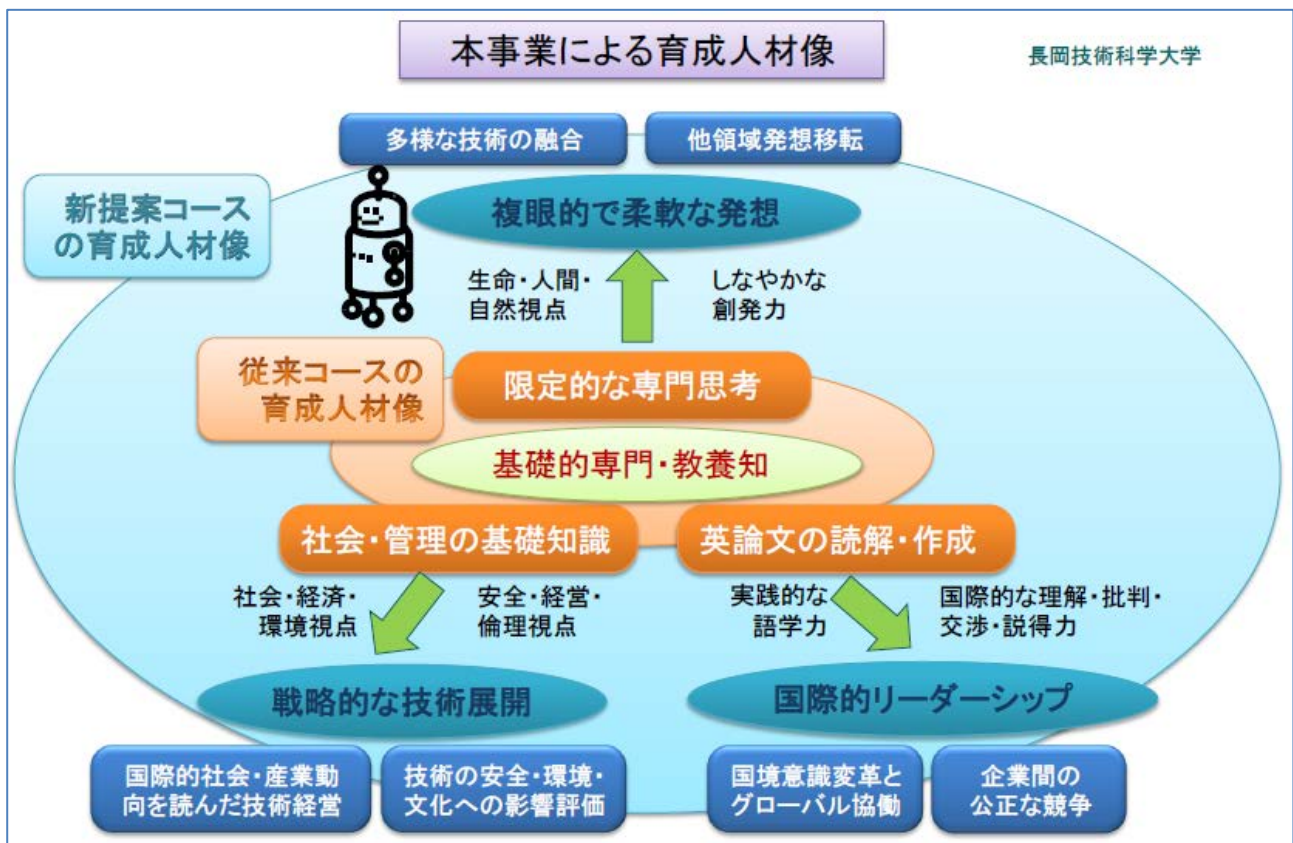


図 17 長岡技術科学大学の戦略的技術者育成アドバンストコースのイメージ図

mediasite

Slide 28 of 83

mediasite

**正規分布の裾確率のMC法による推定**

$X \sim p_0 = N(0, 1)$

希少事象として  $P(X > c), c > 0$  を考える

$$\hat{P}_{MC} = \frac{n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 1(x_i > c)$$

15

図 18 長岡技術科学大学平成 23 年度開講「技術を支える数学」2012 年 2 月 17 日中川健治先生[22]

オフラインでもコンテンツとして配布できる。このように板書に加えて講義風景と教授音声の動画と授業資料が時系列で組み込まれたコンテンツがサーバー管理されて配信されるようになり、遠隔授業の必要性が今後ますます増大するものと思われる。

本報は、長岡技術科学大学主管の戦略的技術者育成共同事業におけるアドバンストコースで平成24年度開校科目「技術革新史」の中でテーマである。

いまだに通信教育で学位の単位を取得している大学がある一方、インターネットを活用した在宅学習(テレビ会議システム設備が必要)で単位が取得できる教育システムが充実している。

#### 引用文献

- [1] 木村捨雄, "CAI システム", 東洋編, "教育のプログラム", 共立出版(1977).
- [2] 司馬正次, "教育とコンピュータ", 培風館(1972).
- [3] 脇健, 山本米雄, 化学教育, vol.29, No.2, p.132(1981).
- [4] Project SERAPHIM,  
<http://www.chem.wisc.edu/people/profiles/Moore.php>
- [5] J.W. Moore, R.W. Collins, *J. Chem. Education*, vol.56, p.781(1979).
- [6] 下沢隆, 化学教育, vol.29, p.128(1981).
- [7] 吉村忠与志, "BASIC による化学ドライラボ入門", 共立出版(1984).
- [8] ソフトウェア頒布委員会編, "最新化学ソフトウェア集'97", 化学ソフトウェア学会(1997).
- [9] Available Issues, *J. Chem. Education: Software*, p.18(1993).
- [10] Y. Sasamura, K. Yamaguchi, K. Fuji, B.T. Newbold, "The Dynamic Representation of Organic Chemical Reaction by a Small Scale Broadcasting System", *Chemistry and Software*, vol.15, pp.157-165(1993).
- [11] T. Yoshimura, Y. Aoyama, H. Ohtake, Y. Sasamura, J.T. Shimozawa, B.T. Newbold, "Development of Software for Chemical Education using Multimedia Techniques", *J. Chem. Software*, vol.3, No.2, pp.73-82(1996).
- [12] T. Yoshimura, A. Kawasaki, Y. Aoyama, "Educational Effect of Multimedia Type of Computer-Aided Learning on Chemical Experiments", *Research Report of Fukui National College of Technology*, No.30, pp.27-32(1996).
- [13] N. Ashida, Y. Aoyama, T. Yoshimura, B.T. Newbold, "Development and the Use of Chemistry Teaching Video Materials by Internet Browser", *J. Chem. Software*, vol.4, No.2, pp.51-56(1998).
- [14] <http://bigjohn.ce.fukui-nct.ac.jp/butsuka/>
- [15] 吉村忠与志, "コンピュータ・ケミストリー入門", サイエンスハウス(1999), p.188.
- [16] T. Yoshimura, Y. Nakayama, A. Uejima, "Development and Testing of Chemistry Education Resources for a Mobile Phone", *J. Comput. Chem. Jpn.*, vol.3, No.1, pp.35-40(2004); 吉村忠与志, 中山裕介, 上嶋晃智, "携帯電話向けの化学教育システムの開発", *J. Technology and Education*, vol.10, No.2, pp.103-108(2003).
- [17] 吉村忠与志, 斎藤徹, 青山義弘, 蘆田昇, 井上昭浩, "板書と音声電子化した授業記録の構築と教育実践", *J. Technology and Education*, vol.14, No.1, pp.5-10(2007).
- [18] 吉村忠与志, 長井昭太郎, 高久有一, 上嶋晃智, "化学計算演習における e-ラーニングのための教材開発とシステム対応", No.38, pp.7-12(2004).
- [19] 大学審議会答申書"グローバル化時代に求められる高等教育の在り方について", 11月, 2000年.
- [20] 上嶋晃智, 蘆田昇, 桜井哲真, 吉村忠与志, "遠隔授業可能な双方向教育システムの教室設備の整備と授業の試行", *J. Technology and Education*, vol.11, No.1, pp.51-58(2004).
- [21] 上嶋晃智, 山川修, 菊沢正裕, 吉村忠与志, "テレビ会議システムにネットミーティングを組み合わせた遠隔授業の実施と教育的効果", *J. Technology and Education*, vol.12, No.1, pp.15-22(2005).
- [22] 平成23年度後期開講「技術を支える数学」2012年2月17日中川健治先生の福井高専での授業.