

基礎物理学教育用ハイパーメディア型 CAI システムの構築 —— マルチメディア仮想情報空間「ニュートン力学の成立」——

池 村 勉

Building a Hypermedia CAI System to Teach Fundamental Physics —— Establishment of Newtonian Mechanics ——

Tsutomu IKEMURA

アブストラクト

ハイパーメディアを活用した“広義のCAI”システムのプロトタイプを構築し、「シーソー型」ハイパーメディアCAIシステム——マルチメディア仮想情報空間「ニュートン力学の成立」——と命名した。

このシステムの主な目的は、次の如くである。

- ①大学等における「物理学」の一斉授業を補うため、授業時間外で学生に有効活用される。
- ②「物理学」を独習したい人が自分のレベルとスピードで発見学習できる環境を提供する。
- ③大学等における教育の補助的手段として活用することによって、マスプロ教育等の集団一斉授業で学生が必ず被るはずの「教育工学的マイナス」¹⁾を埋め合わせる。

また、このシステムの特長は、次の如くである。

①教材知識、KR情報、案内・ヘルプ情報などは、基本的にはハイパーテキスト構造で、マルチメディア情報としてカード型データベースに記録されている。

②カード上のボタンをマウスでクリックするだけで、カード間を縦横に移動できると同時に、マルチメディア教材などをカードと同じ画面上に再生できる。

③教授戦略は、カード間のリンクの張り方によって具体化されている。また、教授戦術は、各カード上のボタンの配置構造に具体化されている。

④物理学の入門者のためツリー構造の目次「はじめに」を備えている。途中目次に戻るには、どのカードにもあるボタン【はじめに】をクリックすればよい。

⑤物理学の既学習者のため案内図「ニュートン力学形成の概念図」を備え、途中案内図に戻るには、どのカードにもあるボタン【概念図】をクリックすればよい。

⑥「システム主導型」と「学習者主導型」を融合した新しい「シーソー型」のハイパーメディアCAIシステムを提案した。この命名は、システムと学習者が、後者の力量次第で、シーソーの上下する如く、主客転倒することに由来する。

キーワード：CAI, 物理教育, マルチメディア, ハイパーメディア, マスプロ教育

1. はじめに

今日、広い意味での CAI (Computer Assisted Instruction) システムは、種々の型のものが、様々な目的のために研究・開発され、実用に供されている。³⁻⁵⁾

1.1 論文の目的

この論文では、大学等の集団一斉授業において「物理学」を基礎から学んでいる大学生等が、授業時間外に、その授業の内容を復習し、その理解を深めるために、あるいは、「物理学」の基礎を独習で学びたい人が、自分のレベルとスピードで自主的に発見学習を行うために、有効に活用されることを期待して、「ハイパーメディア (hypermedia)」を利用した新しい「シーソー型」ハイパーメディア CAI システムのプロトタイプを構築したので、その概要を報告する。

特に、この報告は、「物理学」の中でも古典物理学のバックボーンの一つを成す「ニュートン力学」の成立の歴史的過程にスポットライトを当て、学習者が主体的に楽しくかつ興味をもって歴史上の偉大な科学者達の体験した発見を再体験できるように、著者が独自の工夫を凝らして手作りした教材およびその構成 (配置構造) 等にオリジナリティを主張するものであり、本システムの随所に活用したマルチメディア技術は、ハイパーカード (Hyper Card, Ver. J-2.3.3; Apple 社製) およびその関連技術によって提供される一般的なものであることをお断りしておきたい。

1.2 ハイパーメディア型 CAI システムとは

この報告で用いる「ハイパーメディア型 CAI システム」²⁾ という表現は、一口でいえば、マルチメディア (multimedia) を利用した対話型の (interactive) CAI システムを意味する。ただし、上記の表現における“CAI”は、伝統的 CAI で想定されるような CAI の概念を超える“広義の CAI”の意味で用いていることに注意されたい。

さて、“広義の CAI”のような教育への利用における「ハイパーメディア」の特長として三つの性質が指摘されている。これら三つの性質についての説明を以下において紹介する。

①「ハイパーメディアは、音声、文字、映像 (静画と動画) などを提示する多様な情報メディアを統合し、融合して学習者に提示する。元のメディアがなんでもあれ、テレビ、映画、書物など、これらを融合して、同一画面に提示する。(融合性)」⁶⁾

②「ハイパーメディアは、学習者との対話を可能にする相互交渉性 (インタラクティブ) を備えている。もともと、ハイパーメディアは、学習者の働きかけを基本とするメディアである。(相互交渉性)」⁶⁾ …………… (相互参照性ともいう。)

③「ハイパーメディアに蓄えられている学習資料は『無構造』である。このシステムの中で、

学習者はある情報から別の情報に跳んで、必要な情報を自由に取り出すことができる。ここでも、学習者の自主的な働きかけを基本としている。(無構造的)』⁶⁾

1.3 なぜハイパーメディア型 CAI システムなのか

ここで、「なぜハイパーメディア型 CAI システムなのか。」という問いかけに対する答えとして、次の三つを挙げておきたい。

第一に、「ハイパーメディア」の教育利用においては、上記のような三つの特長を活かすことができる。

第二に、そのような「ハイパーメディア」の特長をコンピュータ上に実現できるマルチメディア技術が、それを特に専門としない普通の教師の手の届くところまで普及してきている。

第三に、著者が既に報告した「私立大学における CAI の役割、一般的方向付け」において述べたような判断ができる。⁷⁾ すなわち、手作りハイパーメディア型 CAI システムを教育の補助的手段として活用すると、マスプロ教育等の集団教育(伝統的一斉授業)で学生等が必ず被るはずの「教育工学的マイナス」¹⁾を埋め合わせることができるという効用以外に、次のような効用があると考える。⁷⁾

①AV (Audio-Visual) 機器やファミコンに馴れ親しんできた学生達の現代学生気質を逆手に取って、そのような CAI システムが提供するマルチメディア・コースウェアと連携した、より一層魅力的かつ効果的な授業を展開できる。

②授業担当教師の意欲と創意工夫次第で、様々なあるいは、あらゆる教科向けのマルチメディア・コースウェアを手作りでき、それを補助的手段として(あるいは、少人数クラスにおいては直接)活用することによって、伝統的一斉授業であっても学生等の自主性を活かした、より一層人間性豊かな授業を展開できる。

ただし、これらの効用の実証は、手作りハイパーメディア型 CAI システムの教育現場への実用化によるデータの蓄積を待たなければならない。

なお、最近では、マルチメディアに知的 CAI の技術を併用した研究も行われているようであるが、¹⁰⁾ それを特に専門としない普通の教師の手の届くところまでは普及していない。従って、知的 CAI の技術の活用は、すべての教師が手作りするという本研究の主旨には馴染まない。

その代わりに、教師自身が、各学生の理解状況を把握し、それに応じた個別指導を行うという教師本来の仕事を、まだ未熟な知的 CAI の技術に任せようとはせず、自分でやればよいということである。しかしながら、少人数クラスにおいてはともかく、マスプロ授業を余儀なくされる多数のクラスにおいては、この教師本来の仕事をまっとうすることは至難の業であろう。これが、大学等、特に私立大学等においてマスプロ授業を担当している教師にとって、永遠のテーマにならないように祈るのみである。

1.4 論文の構成

この論文では、著者の担当する「物理学」のマスプロ授業のクラスに補助的手段として導入する目的で、「ニュートン力学の成立」という主要テーマに話を絞り込んで手作りした、ハイパーメディア型CAIシステムのプロトタイプについて、次のような手順で報告する。

第2節では、マルチメディア技術をフル活用して、CAIシステムの二つの典型的なタイプである「システム主導型」と「学習者主導型」を融合して構築した「ハイパーメディア型CAIシステム」のハイパーメディア構造と一般的な特長について説明する。第3節では、著者が教材の制作やその構成(配置構造)等に独自の工夫を凝らした手作りの「シーソー型」ハイパーメディアCAIシステムについて具体的に報告する。最後の節では、まとめを行い、今後の課題について論じる。

2. ハイパーメディア構造とシステムの特長

マルチメディア技術をフル活用して、CAIシステムの二つの典型的タイプである、システムが教師の構成した教材を学習者に提示し誘導する「システム主導型」*と学習者が主体的に発見学習できる環境を提供する「学習者主導型」*を融合して、「ハイパーメディア型CAIシステム」を構築した。

さらに、このような融合システムを、上記二つの典型的タイプをミックスし、自然言語理解可能な対話インタフェースを備えたいわゆる「双方主導型」とは異なる、新しいものと位置付け、「シーソー型」ハイパーメディアCAIシステムと命名する。その命名の由来については、この節の最後で説明する。

従って、上記の表現における“CAI”は、もはや、伝統的CAIから想定されるようなCAIの概念ではなく、それを超える“広義のCAI”の意味で用いており、また、もちろん“知的CAI”でもないことに注意されたい。

2.1 システムの教育目標

ハイパーメディア型CAIシステム、あるいは、伝統的CAIを超えるハイパーメディア教材を教育現場に適用することによって、次のような教育目標を達成できるものと考えている。

*「システム主導型」は「コース作成者制御様式(Author Control Mode)」¹⁰⁾、「学習者主導型」は「学習者制御様式(Learner Control Mode)」¹¹⁾ともいわれる。⁹⁾ただし、この報告では、まだ実用化の段階にない自然言語対話可能な知的CAIシステムの機能の代わりに、マルチメディア/ハイパーメディアを利用した対話型の(interactive)CAIシステムの機能を備えたものを考えている。

《教育目標》

「学習者が能動的主体となる教育環境を実現して、学習者主体の探索的、発見的かつ疑似体験的な学習を可能にし、さらに表現力が豊かであった感性に訴える情報体系化・活用能力を習得させることによって、感性豊かな知的人材を育成する。」⁸⁾

2.2 システムのハイパーメディア構造

ここで報告する「ハイパーメディア型 CAI システム」の構築に当たっては、ハイパーカード (Hyper Card, Ver. J-2.3.3 ; Apple 社製) およびその関連技術 (Quick Time Movie など) によって提供される一般的なものを使用した。

中でも、ある任意のスタック (stack ; 複数のカードを束ねたもの)、そのスタックを構成する任意のカード (card)、および他の任意のスタックを構成する任意のカードを、各々ノード (node) とし、これらすべてのノード間を縦横にリンク (link) できるボタン (button) の技術、およびマルチメディア技術を、ハイパーメディア型 CAI システムを構成するすべてのスタックまたはカードの随所において活用した。

すなわち、上記のようにノード間をリンクするボタンの技術によって構築された「フレキシブルネットワーク (flexible network)」¹⁰⁾——ハイパーメディアの無構造化性——の各ノード (カード等) に、テキスト (文字情報等) のみならず、音声、静止画、映像 (VTR 等の動画) やアニメーション (シミュレーションを含む。) 等の「マルチモード (multi-mode)」¹¹⁾ で記録された教材知識、KR 情報 (学習者の応答に対する画面メッセージ、KR は Knowledge of Results の略)、案内またはヘルプ情報などへのアクセスポイントとなるボタンを貼り付けた。

このようなマルチメディア技術は、学習者が、カード上のボタンをマウスでクリックするだけで、カード間を縦横に移動できる (無構造化性と相互参照性) と同時に、各々のカードにおいて上記のような知識や情報をマルチモードでカードと同じ画面上に再生できる (融合性) 能力を持つ “広義の CAI” システム、具体的には、ハイパーメディア仮想情報空間「ニュートン力学の成立」の構築を可能にしてくれた。

2.3 システムの特長

一般に、CAI システムは、学習過程の制御方式から見て、二つの典型的なタイプに大別できる。一つは、システムが、教師の代わりに、教師の構成した教材を学習者に提示し誘導することに主眼を置く「システム主導型」である。もう一つは、システムが、学習者が自分の目的に沿って自由に探索し主体的に発見学習できる環境を提供する「学習者主導型」である。

ところで、CAI システムには、上記二つのタイプをミックスし、自然言語理解可能な対話インタフェースを備えた「双方主導型」もあるといわれるが、⁹⁾ この報告においては、このよう

な一般的普及にまだ時間を要する専門的なAI技術ではなく、それを専門としない教師でも手の届くマルチメディア技術を利用して、双方を融合した新しい「シーソー型」を提案したい。

すなわち、「ハイパーメディア」を利用したハイパーメディア型CAIシステムにおいて、第1節で述べた「ハイパーメディア」の三つの特長⁶⁾ なかんずく、相互参照性と無構造性をフル活用すれば、「システム主導型」と「学習者主導型」の間の境界を取り除いて、双方を融合させることができるはずである。

そこで、著者は、この点に着目し、ハイパーメディア技術をフル活用して、双方を融合した「シーソー型」ハイパーメディアCAIシステムのプロトタイプ構築を試みた。以下で「双方を融合する」ことの意味を具体的に説明する。

ただし、ここでいうプロトタイプとは、木に喩えれば、太い枝しか付いていない木のようなものである。従って、今後、その太い枝に細い枝と葉を育ててやると同時に、共存するために、この木の隣に大小何本かの木を植えてやる必要がある。具体的には、たとえば、この最初の本が「ニュートン力学の成立」であるならば、隣の木々は「マクスウェルの電磁気学」や「アインシュタインの相対性理論」などとなるであろう。

さて、当該システムのテーマについて入門的な学習者は、最初お仕着せの目次から出発すればよい。だんだんと学習が進むにつれて、主体的にボタンをクリックしてマルチメディア教材にアクセスするようになる。すなわち、学習者は、教師が提示用に構成・配置した教材の間を主体的に探索しながら学習を進めるようになる。学習者が、いわば錯綜した教材の海で漂流することなく発見的学習の航海を進めるためには、海図のようなものが必要となるであろう。

著者が構築した「シーソー型」のシステムでは、プロトタイプの段階で、既にそのような独立した海図を装備している。学習者は、発見的学習の航海において学習が進めば進むほど、その海図が、お仕着せの目次よりも重要な役割を果たす場面へ度々遭遇するようになり、最初「システム主導型」で出発した自分がいつの間にか「学習者主導型」で学習していることに気付くであろう。

この海図は、当該システムのテーマを形成する多数のラベル (label)¹³⁾ 付きブロック (block)¹³⁾ の間を、必然的流れあるいは因果関係に従って縦横にリンクしたハイパートレイル (hypertrail)¹⁴⁾ によって表現されている。これは、ハイパーメディアの無構造性の一表現である。一方、入門者向けの、お仕着せの目次は、当該システムのテーマに関する教科書を書いた場合の、いわゆる目次に相当し、階層構造 (ツリー構造) のハイパートレイル¹⁴⁾ であるとみなすことができる。

最後に、「シーソー型」の命名の由来について説明して、その特長を強調するとともに、次の節で報告する具体的なシステムの理解を深める一助としたい。

今、当該システムのテーマに関する学習者の力量 (知識プラス理解度) をLとし、当該システムの教育支援の力量 (システム構築時に決定されるレベル) をSとし、定量化できるものと仮定するとき、LがSに遥かに及ばないならば、それは主に「システム主導型」として機能し、

逆に、 L が S に迫る力量ならば、当該システムは主に「学習者主導型」として機能すると考える。さらに、それが「システム主導型」から「学習者主導型」に転じる臨界点での L の値を M とし、パラメータ $\alpha \equiv S - M$ (ただし、 $S \gg M$)を導入する。ただし、 $L < S$ であり、当該システムの教材知識等は、学習者のそれを充分超えているものとする。

そこで、“シーソー”を考え、その左端に体重 L の学習者が重さ α の錘を持って座り、その右端に体重 S のシステムが座るとき、 $L + \alpha < S$ または $L < M$ ならば、左端の学習者が上がり、右端のシステムが下がる。逆に、 $L + \alpha > S$ または $L > M$ ならば、左端の学習者が下がり、右端のシステムが上がる。当然、学習者が力量を上げれば、 L は大きくなり、システム開発者(教師等)がシステムのレベルを上げれば、 S は大きくなる。 $(L + \alpha)$ と S の大小関係、すなわち、 L と M の大小関係は、常に変化するものとしてとらえるべきである。

結局、最初、“主”であったシステムと、“客”であった学習者は、後者の力量の向上次第で、いつの間にか、シーソーの上下する如く、主客転倒するということである。

なお、上述の説明では、説明をわかりやすくするため、ある一人(同一)の学習者の力量が、学習の進行につれて上昇するとき、当該システムは「システム主導型」から「学習者主導型」に転じる状況を考察したが、実際は、同一の学習者である必要はなく、当該システムは、学習者がそのテーマに関して入門者ならば($L < M$)「システム主導型」として、一方、別の学習者があるレベルの既学習者ならば($L > M$)「学習者主導型」として機能するということである。

3. 「シーソー型」ハイパーメディア CAI システム

—— マルチメディア仮想情報空間「ニュートン力学の成立」——

ここでは、「物理学」の中でも特に、古典物理学のバックボーンの一つを成す「ニュートン力学の成立」の歴史的過程にスポットライトを当て、学習者が主体的に楽しくかつ興味をもって歴史上の偉大な科学者達の体験した発見を再体験できるように、著者が教材の制作やその構成(配置構造)等に独自の工夫を凝らした手作り「シーソー型」ハイパーメディア CAI システム(以後、本システムと呼ぶ。)——マルチメディア仮想情報空間「ニュートン力学の成立」——について具体的に報告する。

3.1 本システムの目的

本システムの直接の目的を簡条書きにすると以下の如くである。

①大学等の一斉授業において「物理学」を基礎から学んでいる大学生等が、授業時間外に、その授業の内容を復習し、その理解を深めるために、有効に活用する。

②「物理学」の基礎を独習で学びたい人が自分のレベルとスピードで主体的に発見学習できる環境を提供する。

③手作り「シーソー型」ハイパーメディア CAI システムを教育の補助的手段として活用することによって、マスプロ教育等の集団教育（伝統的一斉授業）で学生等が必ず被るはずの「教育工学的マイナス」¹⁾ を埋め合わせる。

3.2 本システムの特長

本システムの構造に触れながら、その特長を箇条書きにすると以下の如くである。

①教材知識，KR 情報，案内またはヘルプ情報などは，基本的にはハイパーテキスト構造で，マルチメディア情報としてシステムに格納されている。すなわち，教材知識などは，フレキシブルネットワークの各ノードにおけるスタックまたはカードに，マルチモードで記録されている。

②学習者は，カード上のボタンをマウスでクリックするだけで（ポップアップ・メッセージが出たときは，その内容に応じて），カード間を縦横に移動できる（無構造性と相互参照性）と同時に，各々のカードにおいて教材知識などをマルチモードで，当該カードの出ている同一画面上に再生できる（融合性）。なお，直前のカードに戻るには，下向きの矢印↓のキーを直接押せばよい。

③教授戦略は，主にフレキシブルネットワークの構造において，すなわち，カード間のリンクの張り方によって具体化されている。また，教授戦術のようなものは，主に各カードにおけるボタンの配置構造（何をいくつ何処に貼り付けるか。）によって具体化されている。

④簡単なツリー構造をした教科書の目次に相当するカード「はじめに」を備えている。学習途中で，この目次に直接戻りたいときは，すべてのスタックまたはカードに貼り付けられている，ボタン【はじめに】を，現在位置で一回クリックすればよい。物理学の入門者等は，この目次「はじめに」から始めるとよい。

⑤前節で述べた航海のための海図に相当する「ニュートン力学形成の概念図」を備えている。図から分かるように，これは，ニュートン力学の形成に寄与した重要事項を表示するラベル付きブロック間を，その形成過程における歴史的必然性の流れに沿ってリンクし，それら相互の相関関係を実線で示したものである。

学習途中で，この海図に直接戻りたいときは，すべてのスタックまたはカードに貼り付けられている，ボタン【概念図】を，現在位置で一回クリックすればよい。物理学についてある程度素養のある学習者等は，この「ニュートン力学形成の概念図」から始めるとよい。

⑥ハイパーメディアの特長を利用して，「システム主導型」と「学習者主導型」の境界を取り除き，双方を融合した新しい「シーソー型」のハイパーメディア CAI システムである。なお，「シーソー型」の命名は，物理学についての学習者の力量（知識プラス理解度）L が本システムの教育支援の力量 S に遥かに及ばないときは，本システムは「システム主導型」となり，逆に，L が S に迫るときは「学習者主導型」となり，システムと学習者が，後者の力量次第で，シー

ソーの上下する如く、主客転倒することに由来する。ただし、LがSを超えることはなく、本システムの教材知識等は、学習者のそれを充分超えているものとする。

3.3 本システムの構成と実行例

本システムの実行例を、目次「はじめに」に沿った形でアレンジした多数の図を用いて示しながら、その構成を紹介する。ここで用いた図は、実行画面におけるカードのハードコピーであり、そのオリジナルは、目次の項目ごとに色分けしたカラフルなものである。また、図の説明は、必要に応じてその下で行うことにする。なお、実際の実行画面におけるカード上のボタンは、枠のないあるいは枠付きの文字に、色分けして着色したもので、一目瞭然である。

まず、スタック“Welcome to Newtonian Mechanics”に格納されているオープニング画面と目次「はじめに」の画面を図0-1から図0-3に例示する。

次の①から⑧までは、目次「はじめに」の項目の番号に対応している。

①スタック“**What is Newtonian Mechanics?**”に具現された項目「ニュートン力学とは」の実行画面を図1-1から図1-6に例示する。

②スタック“**Formation of Newtonian Mecha**”に具現された項目「ニュートン力学形成の概念図」の実行画面を図2に例示する。

③スタック“**Newton's 3 Laws of Motion**”に具現された項目「ニュートンの運動の3法則」の実行画面を図3-1から図3-6に例示する。

④スタック“**Newton's Law of Universal Gravi**”に具現された項目「ニュートンの万有引力の法則」の実行画面を図4-1から図4-3に例示する。

⑤スタック“**Galilei's Law of Free Fall**”に具現された項目「ガリレイの落下の法則」の実行画面を図5-1から図5-3および図5-6に例示する。

⑥スタック“**Kepler's Law**”に具現された項目「ケプラーの法則」の実行画面を図6-1から図6-6に例示する。

⑦スタック“**Basic Concepts of Newtonian Mec**”に具現された項目「絶対時間空間と力学的物理量」の実行画面を図7-1から図7-6に例示する。

⑧スタック“**Quiz Master**”に具現された項目「解ったかなクイズ」の実行画面を図8-1から図8-3に例示する。

さらに、番外のスタック“**Who's Who?**”に具現された「人名辞典」の実行画面を図9-1から図9-3に、手作りシミュレーションのスタック“**Galilei's Experiment on a Slope**”に具現された「ガリレイの斜面の実験I」の実行画面を図5-4に、もう一つの手作りシミュレーションのスタック“**Galilei's Experiment on Slopes**”に具現された「ガリレイの斜面の実験II」の実行画面を図5-5に例示する。この外に、しかるべきカードに貼り付けたボタンをアクセスポイントとして、無数のポップアップ・メッセージ、無数の音声、数本のシミュレーション・プログラム、および、“**Statue of Sir Isaac Newton**”, “**Statue of Galileo Galilei**”, “**Statue of Johannes Kepler**” などのような短い Quick Time Movie を活用した。



図 0-1 オープニングのカード画面
 汽車の絵の【出発】ボタンを、あるいはカード全体(りんごの絵の【おわり】ボタンを除く。)のどこかをクリックしても、目次のカード画面「はじめに」に移動する。

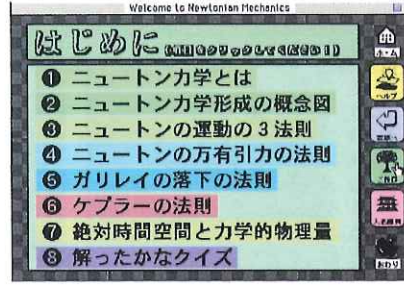


図 0-2 「はじめに」のカード画面 1
 ニュートン力学を学習するための教科書の目次のようなものである。物理学の入門者は、このカード画面から出発するとよい。

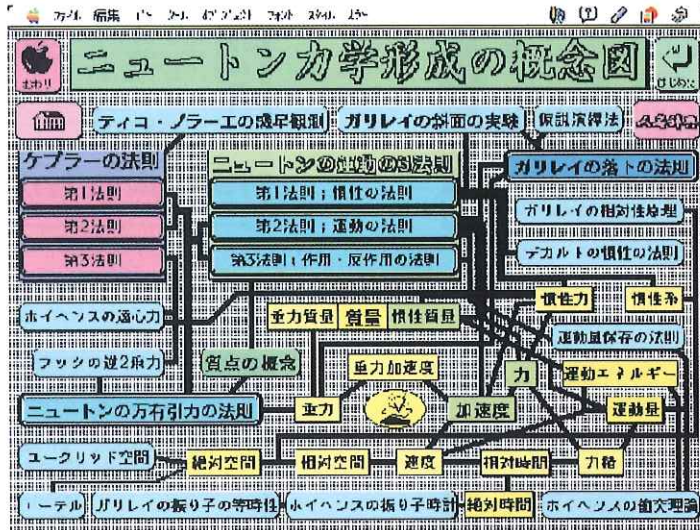


図 2 「ニュートン力学形成の概念図」のカード画面
 これが、第 2 節で海図に喩えた案内図である。カード上の着色されたラベル付きのブロックは、すべてボタンであり、それをクリックすると、ラベルで表示された重要事項のリンク先カードに移動する。この案内図に戻るには、すべてのカード上に貼り付けられている黄緑色の【概念図】ボタンをクリックすればよい。

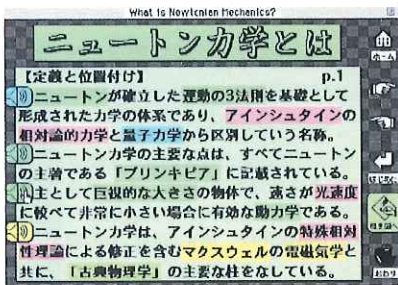


図 1-1 「ニュートン力学とは」のカード画面 1
 スピーカーの絵のボタンをクリックすると、声による解説が出る。着色された文字はすべてボタンであり、声が出たり、ポップアップ・メッセージに従って関連する他のカードに移る。



図 8-1 「解ったかなクイズ」のカード画面 1
 クイズブック「解ったかなクイズ」の表紙である。左のメモは、スクロールフィールドに書かれている。



図0-3 「はじめに」のカード画面2
 【ご挨拶】 ボタンをクリックすると、ニュートンの立像のVTR映像 (Quick Time Movie) がポップアップで現れ、声を出して挨拶をする。

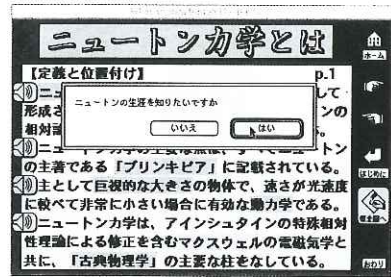


図1-2 「ニュートン力学とは」のカード画面2
 図1-1のカード画面で、黄緑色の【ニュートン】ボタンをクリックすると、ポップアップ・メッセージが出る。【はい】をクリックすると、「人名辞典」のニュートンに跳ぶ。

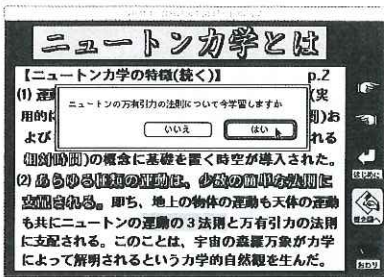


図1-3 「ニュートン力学とは」のカード画面3
 薄いブルーの【万有引力の法則】ボタンをクリックすると、ポップアップ・メッセージが出る。すべてのカードの随所に様々な着色ボタンが貼り付けられている。

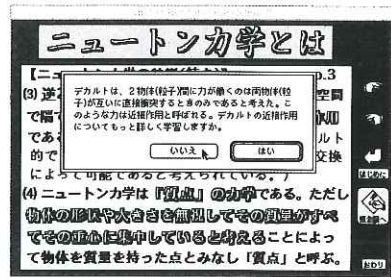


図1-4 「ニュートン力学とは」のカード画面4
 3番目のカードで、薄いブルーの【近接作用】ボタンをクリックしたときの、解説付きポップアップ・メッセージの例である。【はい】をクリックすれば、次の学習カード画面に移る。

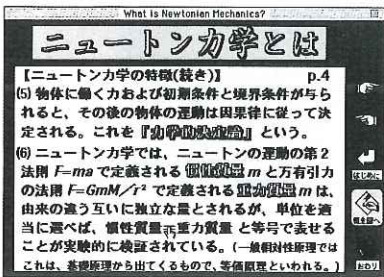


図1-5 「ニュートン力学とは」のカード画面5
 他のカードと同様、様々なボタンがある。声ボタンによる解説は、デモンストレーションでないとい、聞けない。

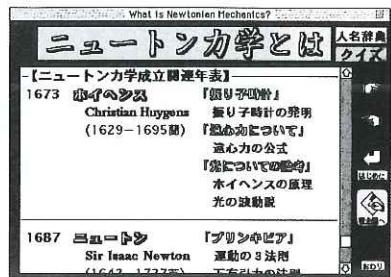


図1-6 「ニュートン力学とは」のカード画面6
 年表のカード画面は、スクロールフィールドを使った。これにはボタンを貼り付けることができない。

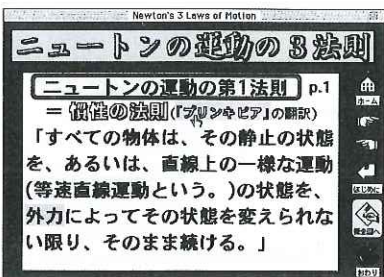


図3-1 「ニュートンの運動の3法則」のカード画面1
 ニュートンの運動の第1法則を説明するカードである。

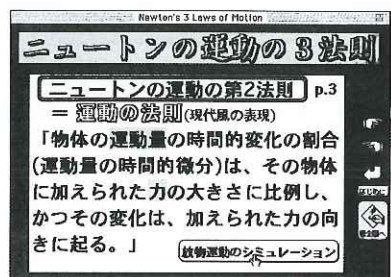


図3-2 「ニュートンの運動の3法則」のカード画面2
 ニュートンの運動の第2法則を説明するカードである。放物運動の【シミュレーション】ボタンがあり、これをクリックすると、図3-4,5のようなシミュレーションを体験できる。



図3-3 「ニュートンの運動の3法則」のカード画面3
ニュートンの運動の第2法則を微分方程式で説明するカードである。このカードにも放物運動の【シミュレーション】ボタンがある。

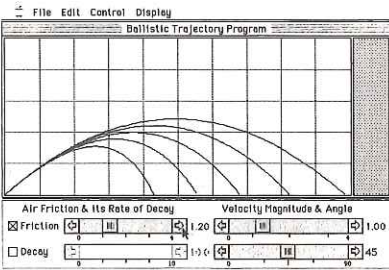


図3-5 放物運動のシミュレーション画面2*
図3-4の説明で述べた2階の微分方程式に空気抵抗の項を加えて、それを数値積分すると、この画面のように、空気抵抗を増やして行ったときの放物運動の軌道の変化をシミュレートできる。

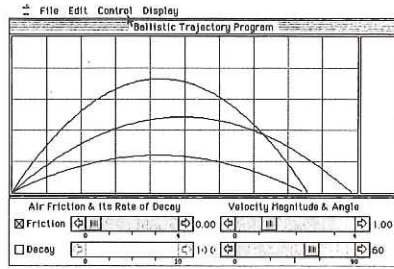


図3-4 放物運動のシミュレーション画面1*
放物運動は、水平面に対して垂直な平面内で、鉛直下向きの万有引力重力の下、運動の第2法則で記述される2階の微分方程式の解として得られる。この画面は、発射角度が45度するとき、最も速くに届くことを検証したものである。

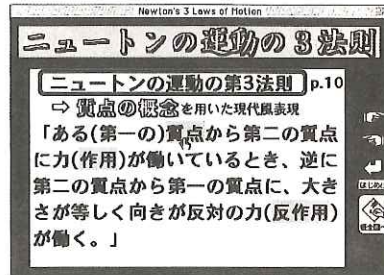


図3-6 「ニュートンの運動の3法則」のカード画面4
ニュートンの運動の第3法則を説明するカードである。着色ボタンのうち、【質点】ボタンをクリックすると、質点の学習カード両面に移る。

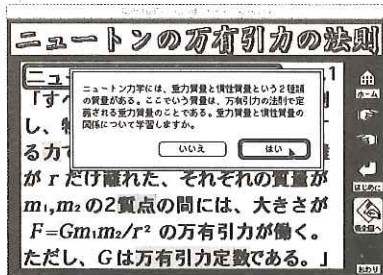


図4-1 「ニュートンの万有引力の法則」のカード画面1
黄色の【質量】ボタンをクリックしたときの、解説付きポップアップ・メッセージである。【はい】をクリックすると、重力質量と慣性質量の学習カード両面に移る。

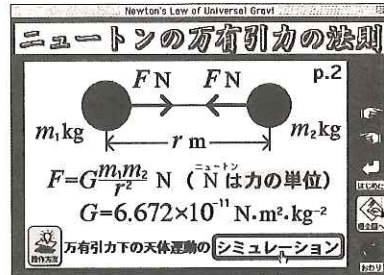


図4-2 「ニュートンの万有引力の法則」のカード画面2
【シミュレーション】ボタンをクリックすると体験できる
図4-3のシミュレーションは、運動の第2法則と万有引力の法則を組み合わせると、適当な条件下で解いた解に相当する。



図4-3 万有引力下の天体運動のシミュレーション
Educational Software for Macintosh Computers "STUDY ROOM"に納められている Gravitation_Ltd_4_0の中の"Moon"(EDUCORP Computer Services, 1991 Gazelle Technologies社)を試用して、太陽の周りを運動する地球と月の運動をシミュレートした。

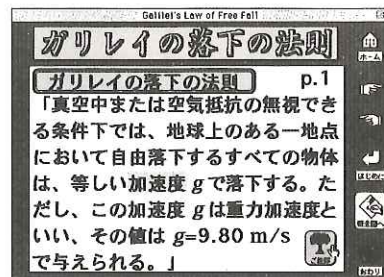


図5-1 「ガリレイの落下の法則」のカード画面1
ガリレイの落下の法則の説明用のカードである。他のカードと同様、様々な着色ボタンがある。

* 図3-4, 5で用いたプログラムは、Stanford University of Blas Carbrera氏の開発した Mechanics 中の "Ballistic" (Intelligence社, 1991) である。

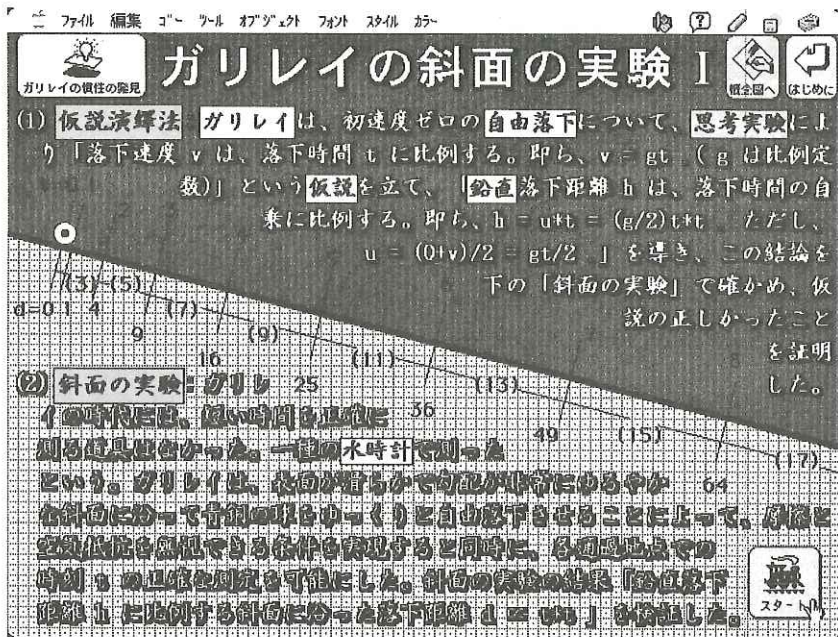


図5-4 ガリレイの斜面の実験1

有名な斜面の実験を、アニメーションで再体験できる。他のカードと同様に、着色されたボタンをクリックすると、声またはポップアップ・メッセージが出る。

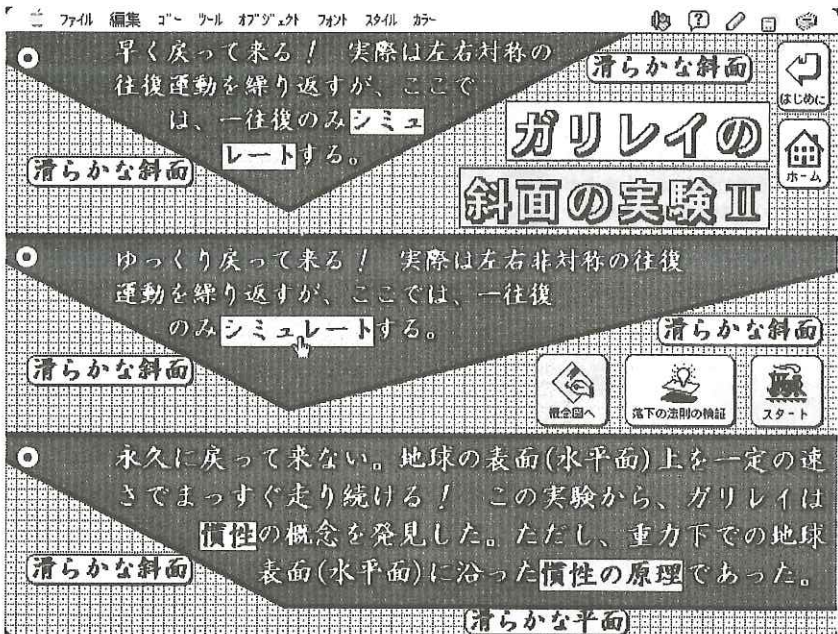


図5-5 ガリレイの斜面の実験2

ガリレイが慣性の概念を着想した実験を、アニメーションで再体験できる。このカード上にも様々な着色ボタンがある。



図5-2 「ガリレイの落下の法則」のカード画面2
【ご挨拶】ボタンをクリックすると、ガリレイの座像のVTR映像(Quick Time Movie)がポップアップで現れ、声を出して挨拶をする。

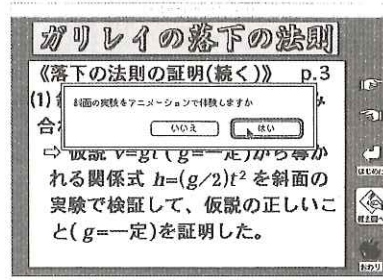


図5-3 「ガリレイの落下の法則」のカード画面3
ブルーの【斜面の実験】ボタンをクリックすると、ポップアップ・メッセージが出る。【はい】をクリックすると、斜面の実験のカード画面に跳ぶ。

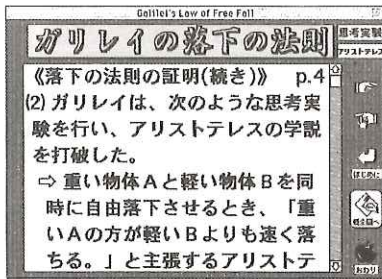


図5-6 「ガリレイの落下の法則」のカード画面4
スクロールフィールドを使ってガリレイの思考実験を説明した。

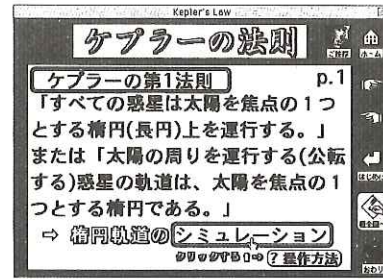


図6-1 「ケプラーの法則」のカード画面2
第1法則の説明を行った。【シミュレーション】ボタンをクリックすると、楕円軌道のシミュレーションを体験できる。



図6-2 「ケプラーの法則」のカード画面1
【ご挨拶】ボタンをクリックすると、ケプラーの座像のVTR映像(Quick Time Movie)が現れ、声を出して挨拶をする。

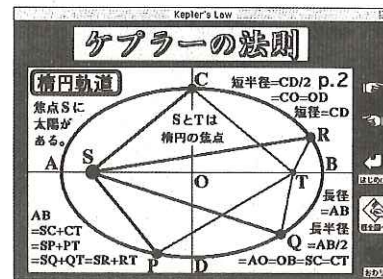


図6-3 「ケプラーの法則」のカード画面3
楕円軌道の図解を行い、楕円を幾何学的に定義したカードである。

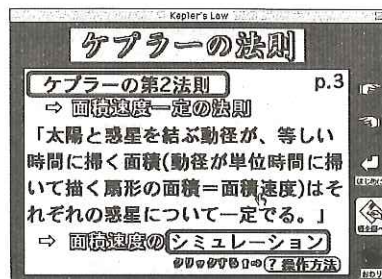


図6-4 「ケプラーの法則」のカード画面4
第2法則(面積速度一定の法則)の説明を行った。面積速度一定の法則の【シミュレーション】ボタンをクリックすると、図6-5のようなシミュレーションを体験できる。

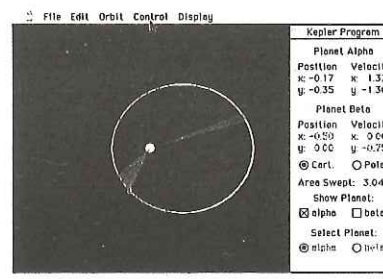


図6-5 ケプラーの第2法則のシミュレーション
惑星の初期位置と初速度を変化させて、面積速度一定の法則のシミュレーションを体験できる。ここで用いたプログラムは、Stanford UniversityのBlas Carbrera氏の開発したMechanicsの中の"Kepler"(Intelligence社, 1991)である。

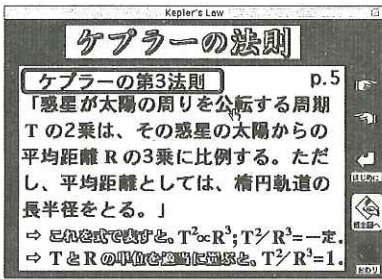


図 6-6 「ケプラーの法則」のカード画面 5
第3法則の説明カードの一枚目である。これをシミュレートできないが、運動の第2法則と万有引力の法則を連立させ得られる2階の微分方程式を解いて説明できる。

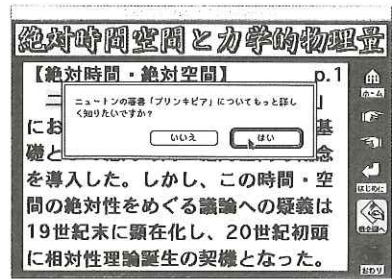


図 7-1 「絶対時間空間と力学的物理量」のカード画面 1
黄緑色の【プリンキピア】ボタンをクリックしたときの、ポップアップ・メッセージである。【はい】をクリックすると、「プリンキピア」の解説カード画面に跳ぶ。

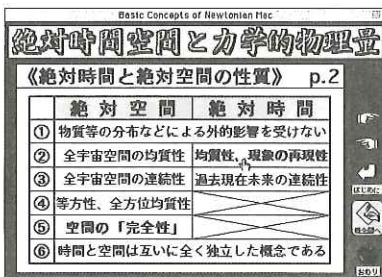


図 7-2 「絶対時間空間と力学的物理量」のカード画面 2
絶対時間・絶対空間の対照表を作った。薄いブルーの【均質性、現象の再現性】ボタンをクリックすると、図 7-3 のようなカード画面になる。

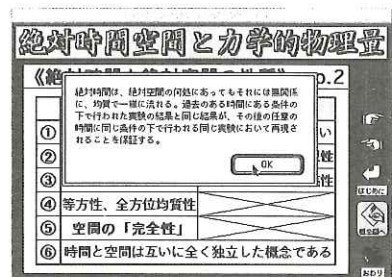


図 7-3 「絶対時間空間と力学的物理量」のカード画面 3
薄いブルーの【均質性、現象の再現性】ボタンをクリックしたときの、解説付きポップアップ・メッセージである。

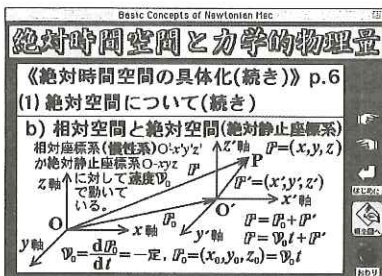


図 7-4 「絶対時間空間と力学的物理量」のカード画面 4
絶対空間の概念を数学的に具体化するカード画面の一つである。



図 7-5 「絶対時間空間と力学的物理量」のカード画面 5
MKS単位系の基本単位を導入するカード画面である。

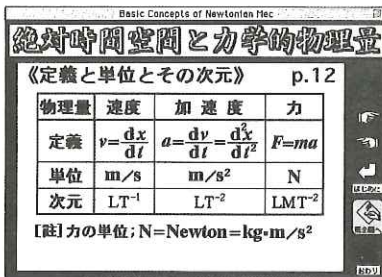


図 7-6 「絶対時間空間と力学的物理量」のカード画面 6
力学的物理量を導入する最初のカード画面である。

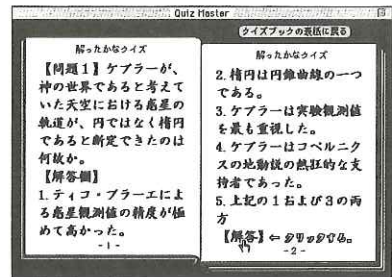


図 8-2 「解ったかなクイズ」のカード画面 2
クイズブック「解ったかなクイズ」の設問例である。

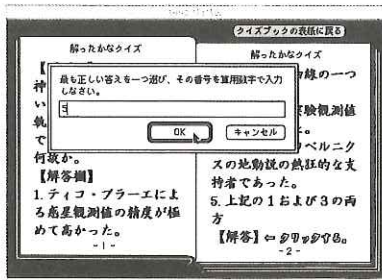


図8-3 「解ったかなクイズ」のカード画面3
 紫色の【解答】ボタンをクリックしたときの、解答用ポップアップ・メッセージである。解答の正誤に応じて、音声でKR情報を返す。

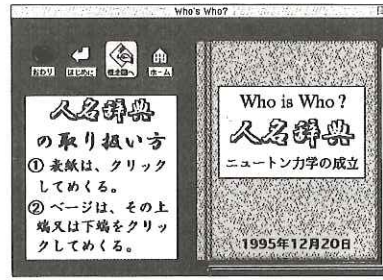


図9-1 「人名辞典」のカード画面1
 「人名辞典」の表紙である。表紙をクリックすれば、表紙はめくられる。

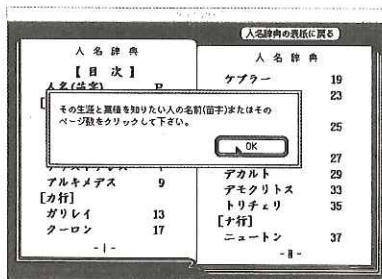


図9-2 「人名辞典」のカード画面2
 「人名辞典」の薄紫色の【目次】ボタンをクリックすると、ポップアップ・メッセージが出る。各左/右ページの上端または下端をクリックすると前ページ/次ページに移る。

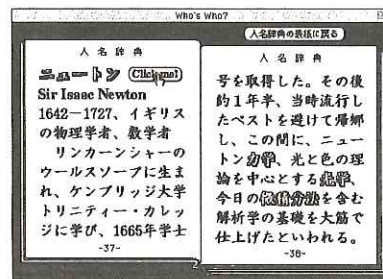


図9-3 「人名辞典」のカード画面3
 「人名辞典」の目次における【ニュートン】ボタンをクリックすると、このカード画面に移る。ニュートンの生涯についての説明の最初のページである。

4. おわりに

この節の前半で、この報告のまとめを行い、その後半で、今後の課題について論じる。

さて、まず、まとめを行うと、次のようになる。即ち、下記のような目的と特長を持った、ハイパーメディアを活用した“広義のCAI”システムのプロトタイプを構築し、「シーソー型」ハイパーメディアCAIシステム——マルチメディア仮想情報空間「ニュートン力学の成立」——と命名した。

《本システムの目的》

①大学等の一斉授業において「物理学」を学んでいる大学生等が、授業時間外に、授業の内容を復習し、その理解を深めるために、有効に活用する。

②「物理学」の基礎を独習で学びたい人が自分のレベルとスピードで主体的に発見学習できる環境を提供する。

③大学等における教育の補助的手段として活用することによって、マスプロ教育等の集団一斉授業で学生等が必ず被るはずの「教育工学的マイナス」¹⁾を埋め合わせる。

《本システムの特長》

①教材知識, KR 情報, 案内・ヘルプ情報などは, 基本的にはハイパーテキスト構造で, マルチメディア情報としてカード型データベースに記録されている。

②カード上のボタンをマウスでクリックするだけで, カード間を縦横に移動できると同時に, マルチメディア教材などをカードと同じ画面上に再生できる。

③教授戦略は, カード間のリンクの張り方によって具体化されている。また, 教授戦術は, 各カード上のボタンの配置構造に具体化されている。

④ツリー構造の目次「はじめに」を備えている。学習途中で目次に戻りたいときは, どのカードにもあるボタン【はじめに】をクリックすればよい。物理学の入門者等は, この目次「はじめに」から始めるとよい。

⑤海図に相当する案内図「ニュートン力学形成の概念図」を備えている。学習途中で案内図に戻りたいときは, どのカードにもあるボタン【概念図】をクリックすればよい。物理学の既学習者は, この案内図から始めるとよい。

⑥この報告では, 「システム主導型」と「学習者主導型」を融合した新しい「シーソー型」のハイパーメディア CAI システムを提案した。その命名は, 物理学についての学習者の力量 (知識プラス理解度) L が本システムの教育支援の力量 S に遥かに及ばないときは, 本システムは「システム主導型」となり, 逆に, L が S に迫るときは, 「学習者主導型」となり, システムと学習者が, シーソーの上下する如く, 主客転倒ことに由来する。ただし, $L < S$ で, 本システムの教材知識等は, 学習者のそれを充分超えているものとする。

一方, 今回報告した手作り「シーソー型」ハイパーメディア CAI システムを, プロトタイプから実用システムに仕上げるためには, 今後の課題として, 次のようなことが考えられる。

- ①もっとレベルの高いハイパーメディア・システム構築ツールを使う。
- ②問題の数を増やし, その内容を構造化し, KR 情報等に工夫を施す。
- ③教材知識, および案内またはヘルプ情報をもっと工夫し充実させる。
- ④カード間のリンクの張り方をもっと工夫して, 教授戦略を改善する。
- ⑤カードに貼り付けるボタンの配置を工夫して, 教授戦術を改良する。
- ⑥アニメーションの製作方法の改良, 特にそのスピードアップを図る。
- ⑦著作権等に抵触しない静止画や動画をもっと入手または手作りする。
- ⑧音楽や音声を更にふんだんかつ効果的に活用してゲーム感覚を加味する。
- ⑨「ニュートン力学の成立」の周辺テーマについてもシステムを構築する。

上に列挙した九つの課題の順序は, 実用化の観点から見た重要度および技術・改造所要時間等の観点から見た実行可能性の両方を勘案して判断したものである。

この外に, プロトタイプの段階で本システムを学習者に試用してもらい, 学習者の視点からの改良・改善を探ること, コンピュータシステム自体のレベルアップを実現することなどが, その実用化のための重要課題であるのはいうまでもない。

謝 辞

この論文で報告した「シーソー型」ハイパーメディア CAI システムの構築に際しては、阪南大学情報処理研究センターの研究プロジェクト『大学等の基礎的教育科目における CAI システムの研究開発』(1992-1994年度)に対する同センターからの補助金によって購入したコンピュータシステム(同センター所属の Power Macintosh 8100/80AV, Macintosh 13 Inch Color Display, および Sony Computer Video Deck CVD-500)を使用した。ここに、その便宜を与えていただきました関係者諸氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 池村 勉：私立大学における CAI の役割. 一般的方向付け, 情報科学研究, 阪南大学情報処理研究センター, 第7号, p. 23, 24, 35 (1993. 3).
- 2) Ibid., p. 34.
- 3) 平成7年度情報処理教育研究集会講演論文集, 大阪大学情報処理教育センター, 1995年11月発行(同研究集会, 大阪大学, 同年12月).
- 4) 平成6年度情報処理教育研究集会講演論文集, 九州大学情報処理教育センター, 1994年11月発行(同研究集会, 九州大学, 同年12月).
- 5) 平成5年度情報処理教育研究集会講演論文集, 名古屋大学情報処理教育センター, 1993年11月発行(同研究集会, 名古屋大学, 同年12月).
- 6) 中野照海：試行としてのメディアミックス教材の開発—第3年次報告書, 日本視聴覚教育協会 (1991. 3).
- 7) 池村 勉：私立大学における CAI の役割. 一般的方向付け, 情報科学研究, 阪南大学情報処理研究センター, 第7号, p. 46, 47 (1993. 3).
- 8) Ibid., p. 27.
- 9) Ibid., p. 37.
- 10) 矢野米雄：分科会 E「教育におけるマルチメディアの活用」における講演, 私立大学情報教育協会平成5年度特別懇談会(関西大学, 1993年7月2日).
- 11) 芦葉浪久：CAIの基礎事項(第2章), CAI コースウェア作成技法, 東京書籍, p. 60 (1987).
- 12) 田中博之：学校教育におけるマルチメディアの活用, multimedia WORLD, No. 8, pp. 8-11 (1993. 2).
- 13) Robert E. Horn 著, 松原光治 監訳：構造化ライティング手法 Information Mapping 法の紹介(第3章), ハイパーテキスト情報整理学, pp. 84-87, p. 92 (1991).
- 14) Ibid., 構造化ハイパートレイルでのナビゲーション(第4章), pp. 126-131.

(1996年3月11日 受理)