

ブルーナーの「発見学習」 における「発見」の意味

下山 敏一

I はじめに

昭和59年から、埼玉技能開発センターでは「半自動溶接技能クリニックコース」という向上訓練コースを開設している。このコースには、当センターも内容改善、ニーズ調査などについて協力してきた。ベテランの成人在職者を対象とし、技能の診断と、自主研修からなるこのコースは、地域の業界の期待も大きく、今後の向上訓練の可能性、方向性を示すものとして注目される。この向上訓練コースの基本的特徴を我々は、「とらえなおしの向上訓練」と表現している。この意味は、講習受講者がこの訓練コースを受けることによって、自分の持っている今まで経験的に身につけてきた技能を“とらえなおし”、再認識するということであるが、この“とらえなおし”をさらに言いかえれば、自分の今まで見えていなかった自分が見えることでもある。これを“発見”と言い直してみよう。「クリニックコース」の教育的特徴を、より詳細に把握できるためには、この、受講者が自分の見えていなかった部分を「発見」することが、どのような仕組みになっているかを明らかにすることが必要である。

そのための手がかりを得る目的で、まず教育学の分野でいわゆる「発見学習」における「発見」とはどのようなものかを検討してみたい。「発見学習」については、我国にも広岡亮蔵（1967）¹⁾ や水越敏行（1974）²⁾ などの研究があるが、それらの「発見学習」に、強い影響を与えたのが、J. S. ブルーナーと、彼の提唱した「発見的学習法（heuristic）」である。³⁾

そこでこの論文では、ブルーナーの提唱した「発見学習」とはどのようなものであったのか、その中で、「発見」とはどのようなものとして理解されているのか、を明かにすることを課題とする。言い替えると、ブルーナーの言う「発見」、「発見学習」の構造を探ることによって、クリニックコースの中でおこっている「発見」を考える理論的手がかりを得ることがこの論文の目的である。

このような目的のため、ブルーナーの著作であり、教育界に大きな影響を与えた『教育の過程』を取り上げ、ブルーナーがその教育改革の提唱の中で、なぜ「発見学習」を取り上げるのか、それはどのようなものなのか、次のような順序で検討する。まず、当時の歴史的、社会的要請によって、ブルーナーの教育思想がどのように形作られていったかを見、次に、ブルーナーの教育思想のポイントを、より詳細に検討し「発見学習」がどのような位置におかれているかを見ていく。なお、本稿での『教育の過程』の引用は、The Prosess of Education Harvard University Press Cambridge , Massachusetts and London, England 1977年度版を用い、鈴木祥三 佐藤三郎訳 岩波書店 1986年度版も参照した。

II 『教育の過程』と、その「発見学習」の社会的背景

ブルーナーが、この『教育の過程』を発表したきっかけは、彼が座長をつとめた全米科学アカデミーによる“ウッツ・ホール会議”であり、この会議が開催された直接の原因は、いわゆる“スプートニク・ショック”であると言われる。このあたりの事情を簡単に記しておこう。

第二次世界大戦以後、米ソは冷戦状態になっていたが、そのため、教育政策的には1940年代後半から反共主義の教育が行われるようになった。一方、教育思想の上では経験主義の教育に対する批判があった。経験主義とは、実際の生活問題、あるいは、課題の解決に役立つ知識を重視し、子ども自身の生活経験をもとにして問題解決を図るそのプロセスを重んじるという考えで

ある。これは、社会的遺産としての客観的文化の伝承、維持を行うことが教育の目的であるという旧来の教育思想や、ヘルバルトなどからの形式主義を批判したデューイ以降の代表的なアメリカの教育思潮である。それに対し、例えばエッセンシャルイズム⁴⁾の立場をとる教育者等によって、経験主義ないし児童中心主義のもたらす弊害が1930年代頃から指摘されていた。

そのようなおり、1957年、ソ連は世界で初めての人工衛星であるスプートニクの打ち上げに成功した。この事実は、アメリカの威信を大いに傷つけ、さらに、科学技術競争におけるソ連の脅威を米国民の間に強く意識させた。そして、「国家防衛教育法」⁵⁾が成立し、コナント報告が出された。これらは、アメリカの知的教育の遅れを指摘し、科学者養成を代表とするマンパワー政策が、時代的要請であることを示している。このような背景の中で、ウッツ・ホール会議は開かれた。

こうして、ブルナーには国家的要請によって、科学技術面の教育など教育の水準を引き上げることが課題として課せられていたことになる。しかし、それではブルナーは、デューイ以降の経験主義、児童中心主義を批判してエッセンシャルイズムや形式主義に回帰することを提言しているかということ、そうではない。デューイ以前の伝統的な教育思想を越えた、新しいものを打ち出すことが必要であったと解釈できる。そうでなければ、今日までにブルナーと『教育の過程』が大きな影響力を持つことはなかったであろう。

それは、ブルナーのデューイに関する次の記述を見てもわかる。

「デューイが『信条』⁶⁾の第一論文の終わりで述べているように、教育は『児童の能力・興味・習慣に対する心理的な洞察』を出発点としておこなわなければならない。ただし、出発点がそのまま全道程を示すわけではない。

子どもをおとなの犠牲に供するのが誤りであると同じように、おとなを子どもの犠牲に供するのも誤りなのである。生活教育がいつも児童の興味に合致すると考えるのは、センチメンタリズムにすぎない。それは児童に成人社会のやり方を口まねさせるのが、空虚な形式主義であるのと何ら選ぶところがないのだ。」⁷⁾

ここで、ブルーナーは児童中心主義の教育が形式主義と同じくらい空虚なものだと批判しているが、反面、教育が児童の心理的洞察を出発点とする点においてはデューイに同調している。

また、「児童に何かを教えこんでおき、それを試験するという方法は、結局、いつも机にしがみついた生徒をつくり出すことになる。このような生徒は、自分のやっている仕事そのもののなかに学習動機をもたず、ただ先生をよろこばすため、大学へ入るため、器用に自尊心を維持するため、勉強しているのである。」⁸⁾と、形式主義の方法を批判している。

こうして見てみると、ブルーナーは、科学技術を中心とした客観的知識を教科の中心に据えるという主張（この主張は、エッセンシャルイズムに通ずるものであるが）をとりながら、なおかつデューイにみられるような、子どもの主体的な学習活動を重視するという主張をとり、二つの考えを統合しようとする立場に立っていることになる。そこから生まれてきたのが、ブルーナーの教育思想における教科構造の重視や、レディネス観であり、教育方法における「発見学習法」であったと言えよう。それでは、章を改め、この発見学習をブルーナーの教育論の全体の中に位置づけて考えてみよう。

Ⅲ ブルーナー自身の教育思想の観点から

(1) 『教育の過程』における「発見学習」

ブルーナーの「発見学習」は、先にもふれたように我国における広岡や水越などの教育方法論に影響が見られる。しかし、『教育の過程』の中では、「発見学習」は必ずしもブルーナーの教育論の中心をなしているわけではない。むしろ、教科の構造やレディネスのとらえ方などが中心的な提唱であると言える。それらの主張と「発見学習」との関係はどのようになっているのであろうか。ここでは、ブルーナーの教育論の中心と思われる教科の構造と、レディネス（及び「態度」）という問題について検討し、「発見学習」がブルーナーの教育論にとってどのような位置にあるかを考えてみよう。

① 教科の構造

ブルナーの教育論において、第一に取り上げられるべき大きな問題は、教育の内容にかかわっている。この教科内容の問題を取り上げるにあたりブルナーは、『学習の転移』ということから始めている。学習の転移とは一般に、「ある学習をしたことが、その後の学習に影響を及ぼすことをいう」⁹⁾。ブルナーは、転移には特殊的転移と非特殊的転移があるとし、前者については、反復して身についたもの (habits) あるいは観念の連合 (association) を拡張することであるとしている。この特殊的転移は、技能について有効であるとブルナーは述べているが、それ以上この特殊的転移に関しては特に関心を示していない。それに対して次に、後者は原理 (principles) や態度 (attitudes) の転移だとして次のように言う。

「原理の転移という第二の転移によっておこる学習が連続性を持つかどうかは、教材の構造を習得することにかかっている。いいかえれば、ひとが、ある観念を新しい事態に適用できるかどうかを認識し、そのことによって自分の学習の範囲をひろげることができるようになるには、いま、学ぼうとしている現象の一般的本質をはっきりと把握しなければならない」¹⁰⁾

この他に次のような記述もある。

「教科の課程は、その教科の構造を作り上げている根底にある原理について得られるもっとも基本的な理解によって決定されなければならない。」¹¹⁾

これらの記述から、ブルナーは教科の構造とは現象の一般的本質である、と考えていることになる。これはどういうことかということ、ある教科の構造を考えた時、そのもとになっている最も基本的なものを理解させることが重要であり、それが可能ならば、その教科の構造をも理解できるようになるだろうということである。構造化されたものに本質がある、あるいは、本質をとらえる時は、構造的にとらえているということでもあろう。

また、この「教科の構造」を中心とした教育課程の編成には、「いろいろな研究分野の基礎的な、つまり、その根底にある原理を明確に反映して」いなければならないので、「その分野で最高の知力をもったひとびと (best

minds) を教育課程編成の仕事に動員しなければならない」が、同時にそれは、「普通の教師が普通の生徒に教えることができる教育課程である」としている¹²⁾。

「基本的な原理」や現象の「一般的本質」が構造的であるということ自体は、特別なことではない。なぜなら、知識とは本来構造的なものだからである。例えば、科学の知識は構造化をなしており、科学上の本質的な発見によって、科学の構造全体が変容を繰り返してきたし、また、そもそも近代の科学が中世的な世界認識の構造をくつがえして生まれてきたということはよく知られている。したがって、構造と言うときにはどのような構造であるかが問題となる。上の主張からもわかる通り、ブルーナーが教科の構造と言う場合、その構造とはもちろん中世的な世界認識の構造でもなく、百科辞典的な構造でもなく、現代の科学の「最高の知力」¹³⁾が到達した認識構造をさしていることは明かである。

だが、他方では子どもは子どもなりの知識の構造を持っていると言えるのではないだろうか。この点にブルーナーはふれていない。ブルーナーは、『教育の過程』では、小、中学校の教育課程を問題にしている。小学校に就学した時点が学習の出発点であるかのように扱っている。しかし、実際には子どもにはそれ以前の数年間の生活がある。その間に、(それは科学技術の構造とは異なったものかもしれないが) 子どもは自分の体験を通して知ったことを彼らなりに構造化している。教育内容として主張されている「教科の構造」と、科学者の知識の構造との間には、「連続性」があることは言われていようが、就学前の子どもの“知識の構造”に対し、就学後に子どもが会う「教科の構造」が連続性を持つのかどうかは、『教育の過程』では問題にされない。子どもについては、ブルーナーは次項に見るように「教科の構造」という時とは別の角度から見ている。また、そういう意味では小学生の“知識の構造”と、科学者の“知識の構造”の関係も言及されないことになる。

「教科の構造」は、もっぱら科学の知識の内容構造、科学的認識の構造から決定されている。言いかえるとそれは、学習者である子どもの知識の構造

によって決まる性質のものではないと言える。では、学習者としての子どもについて、ブルナーはどのような見方をしているのだろうか。次項で述べることにしよう。

② 学習のためのレディネス

ブルナーは、『教育の過程』の第三章を『学習のためのレディネス』として論を展開する。しかし、この章でブルナーはレディネスとは何かという定義を与えているわけではない。ブルナーにとっての“レディネス”とは何であろうか。それを明かにすることを中心に検討を進めよう。まず、一般にレディネスとはどういう意味で使われているのか、事典より引用してみよう。

「ある学習に成功するために必要とされる発達の条件が学習者に備わっている状態を指し、より厳密には、ある学習に対して学習者の身体的・知的・情緒的・社会的ならびに経験的条件が十分に備わっていて、その学習が最も効果的になされ得るような最適期をも含めた意味でレディネスという。」¹⁴⁾

ここにみられるように、レディネスとは、第一に、内的条件としてすでに学習者に備わっているものである。第二に、それは（身体的・知的・情緒的・社会的ならびに経験的条件というように）いろいろな側面からとらえられるものである。それでは、ブルナーのレディネスとは何を言うのであろうか、ブルナーが第三章で述べていることを見ることにしよう。第三章の要旨は次の引用によって代表できる。

「子どもの知的発達に関する研究は、子どもは世界を観察し、それを自分自身に説明する場合に、その発達の各段階において、それぞれ特徴的な方法をもっているという事実を明かにしている。特定の年齢の子どもに、ある教材を教えるという仕事は、いわば、その子どもがものを観察する方法と結び付けて、その教科の構造を示すことなのである。それは翻訳する仕事と考えてよい。」¹⁵⁾

このような考え方にたって、ブルナーは「どの教科でも、知的性格をそのままにたもって、発達のどの段階のどの子どもにも効果的に教えることが

できる」¹⁶⁾と主張している。これらの主張からわかることは、まずブルーナーにとってもレディネスは内的条件として学習者にすでに備わっているものである。それは、どのような側面からとらえられているかということ、子どもがものを観察する方法の発達段階として問題にされている。それは、他のところでは、“思考様式 (modes of thought) ”、“思考形態 (thought form)”とも言われている。なお、ブルーナーはこの発達段階についてはピアジェの理論によりながら、前操作的段階、具体的操作段階、形式的操作段階の三段階に分けている。

さて、レディネスを、子どもの思考形態の発達段階ととらえることはブルーナーの議論においては何を意味するだろうか。第一に、ブルーナーは、教科の内容についてその構造を問題にした。しかし、子どものレディネスについては発達心理学の観点から思考の形態や、観察の方法としてとらえており、その内容である知識の構造という面は問題にしない。しかし、内容のない思考はない。レディネスを知識内容としてとらえれば、それは、子どもの社会的、経験的条件、生活経験などの面からもとらえることになる。そしてまた、ブルーナーによればその構造性が問題にならざるをえない。そうなれば、学習者の知識構造と、教科の知識構造との関係が問題になるはずである。しかし、ブルーナーは、こうしたある構造と他の構造の関係は論じていない。第二に、ブルーナーは、「どの教科でも、知的性格をそのままにたもって、発達の中のどの段階のどの子どもにも効果的に教えることができる」と述べているが、これは、教科の本質的内容が、子どもの発達段階にあらわれるさまざまな思考様式をとることができるということを前提にしているということになる。しかし、知識の内容と、思考の様式を切り離して論ずることはできないのではないだろうか。ブルーナーは、「そのような早期訓練に危険があるとすれば、それは本来めざしている観念を訓練することにならないで、それからそれた観念をうえつける結果になりはしないかということである。このことに関して役立つ証拠はない」¹⁷⁾と片付けているが、ブルーナー自身、次のように述べている箇所がある。「基礎的観念を教えるうえでもっとも重要

なことは、子どもが具体的思考からはじめて徐々に、概念的にみてさらに適切な思考様式を使用できるように進むのを助けてやることである。」¹⁹⁾これは、教えるべき内容（ブルナーによれば「教科の構造」）にはそれに適切な思考様式があると自ら前提していることになる。

（ただし、ブルナーはそれを暗黙のうちに前提としてしまっているだけで、彼の主張する「教科の構造」が、どのような思考様式に対応するものかを論じているわけではない。）

こうした問題を吐露しながらも、ブルナーの「教科の構造」-「学習者のレディネス」という議論の基本は、一方に客観的な構造として提起される教えるべき内容（これは、先に述べたように学習者である子どもから決められたのではなく、最高の知力による把握を出発点としているのであるが、）があり、他方に、それを受けとる（あるいは積極的にそれを学習する）子どもの側の思考様式が、それぞれ設定されている。そして、早期教育を主張するブルナーの前提には、「構造」と言われる教えるべき内容は、子どもの発達段階のさまざまな思考方法、思考様式に適合させることができるということがある。もしそうだとすれば教育の実践上何が問題になるのだろうか。それは教育の内容（構造）を、子どもの思考様式に合わせて提示するということにはかならない。そして、ブルナーの議論の中心をこのように理解するならば、その中には「発見学習」が必然的に位置づいているとは言えないだろう。

ところで、以上の限りでは学習する主体としての子どもについては思考の方法、様式など心理的な発達段階の問題としてしか言われていない。だが、学習に対する子どもの主体性は、思考方法や、思考様式という側面からだけではとらえきれぬものではないだろう。その子どもの興味、関心、もてる知識の構造などの全体として問題にしなければならないはずである。もちろん、ブルナーにとっても、教科の構造を子どもの思考様式に合わせて提示するという点の強調だけで、教育論が完結するわけではないから、子どもの主体性に関して、学習する主体的な姿勢、意欲ということについても問題にせざるを得ない。ブルナーは、それを“態度”という言葉で取り上げている。

それについて次章で検討することにしよう。

③ 「発見学習」と学習のための「態度」

ブルーナーは子どもが「教育の構造」を中心に据えた教育内容を積極的に、あるいは意欲的に学習するかどうかの問題を、科学者と子どもの「連続性」という問題で考えようとする。

「学者が、その学問の最前線でしていることと、子どもがはじめてそれに近づくときにしていることの間には、連続性がある」¹⁹⁾

「ちょうど物理学者が、自然のもっている窮極の秩序についての態度、つまりその秩序は発見できるものであるという確信をもっていると同じように、物理を勉強している若い生徒は物理学者のもっている態度を彼なりの形で自分のものにする必要がある。」²⁰⁾

「物理を学習している生徒はまさに一人の物理学者なのであって、その生徒にとっては、物理学者がするように物理を学習すること（知的探求自体）のほうが、ほかのなにかをするよりも容易なのである。」²¹⁾

ここに見られるように、ブルーナーは、科学者と子どもに連続性は“態度”ということにあると言う。したがって、ブルーナーの議論の中では、態度という問題が客観的な教科内容と学習主体としての子どもを結び付ける重要な役割をになっていることになる。

では、ブルーナーにとって“態度”とはどのようなものだろうか。それは、上の引用や、次の引用にも明らかなように知的探究心、知的探究の態度とも言うべきものを示している。

「ある分野で基本的諸観念を習得するということは、ただ一般的原理を把握するというだけではなく、学問と研究のための態度、推量と予測を育ててゆく態度、自分自身で問題を解決する可能性にむかう態度などを発達させることと関係がある。」²²⁾

ブルーナーの「発見学習」は、この知的探究心、ないしその態度とのかかわりで意味を持っている。「そのような態度を教育するためには、たんに基本的観念を提示する以上のなにかが必要である。そのような教育を成功させ

るために、なにをすればいいかはまだたくさんの研究を必要とするのであるが、重要な要素は、発見をうながす興奮の感覚であるように思われる。」²³⁾

このように、ブルナーの言う“態度”を形成するために、科学者が研究する時に味わう物事の“発見”を学習者も体験し、その時の感じを味わせるように教えること、これがブルナーの主張であることがわかる。こうして、態度形成とのかかわりで「発見学習」の存在が浮かび上がって来る。ここがブルナーにおける「発見学習」の位置である。

しかし、このことは「教科の構造」との関わりで言えば仮に子どもに学習の態度、意欲がある場合には必ずしも「発見学習」をとる必要がないことにもなる。言いかえると、「発見」によらなければ学習できない、「学習」＝「発見」という意味での「発見学習」ではないことに注意しなければならない。“態度”形成に適合した形で子どもの学習に対する意欲をより高める方法以上のものではない。ブルナーにとっても、教育、言いかえると学習の絶対的条件ではないのである。ブルナー自身、次のように言っている。

「発見の方法を使って数学を学習させると、一通りやらなければならないことのすべてを提示するのに時間がかかりすぎるということも指摘している。この両者（生徒に独力で、個々の数学的操作の背後にある通則を発見させる方法と、教師が最初に通則を説明し、それから生徒たちにそれを説明するように要求する「確認と証明の方法」……引用者）の間の適切な均衡をどうするかということは、すこしも明らかでない」²⁴⁾

IV む す び

本論文は、『教育の過程』をもとに、ブルナーの教育論における「発見学習」の性格、位置づけを検討してきた。そして、次のようなことを明らかにした。ブルナーの言う「発見学習」は、子どもの学習に対する主体的な態度形成のために提唱された、教育方法として位置づけられる。ブルナーは、教育の内容に関しては、「教科の構造」を言い、学習者である子どもに

関しては、レディネスとして思考形態の発達段階に注目し、教科の構造は、発達のどの段階の子どもにも効果的に教えられるとした。しかし、ブルーナーはこの「教科の構造」とレディネスの関係そのものが「発見的学習」であるとは位置づけていなかった。言いかえると、「教科の構造」とレディネスの関係そのものからは「発見学習」の必然性は見いだせなかった。それは、学習者に学習の態度、すなわちブルーナーによれば知的探求心を高めるための方法として提唱されているということである。

本論文は、ブルーナーが教育の内容としての「教科の構造」と、学習者の持つ知識の構造の関係という問題を論じていないことを指摘した。つまり、教えるべき内容（ブルーナーの言う科学的認識の到達した原理的なもの）を構造としてとらえるということと、学ぶ主体の側が持っているもの、いわゆるレディネスを思考様式、観察の方法の発達段階としてとらえることとは、それぞれ観点を異にしている、と述べたのである。この点に注目することは学習における「発見」に、ブルーナーの場合とは異なった位置と性格を与えることになる。それは、ブルーナーの表現を借りれば構造として見られた教えるべき内容と同時に、子どもの持っているレディネスも「構造」として見るということである。この時には、「発見学習」ということが教育の方法としてではなく、教育（＝学習）そのものとして位置づいている。したがって、「発見」＝学習は、生徒に独力で「発見」させるか、それとも「教師が最初に説明して」しまうかといった方法の問題としてはとらえきれないものであって、言わば、「発見」によらなければ学習できないという「発見学習」である。このような「発見」＝学習は、学習者の知識の構造が、「教科の構造」と出会うことによって新たな知識構造を生み出す過程である。それは、学習者にとっては（動揺や驚きをともなう過程であろうが）今まで自分が知っていたと思っていたものが、別のものに見えてくるという過程でもあろう。これは、学習そのものの性質といってよい。

以上のように、ブルーナーの検討を通して我々が見いだした「発見」＝学習（これはブルーナーがそれにふれていないということを通して我々がつか

んだものだが)は、我々の「半自動溶接技能クリニックコース」における議論にも、非常に重要な意味をもってくる。我々が“とらえなおし”と呼んできた「クリニックコース」における“発見”とは、自分が今まで見えていなかった自分を見ることができることであると述べたが、さらに詳しく述べれば、受講者は、職業生活の中で形成のしてきた自分の持つ技能や知識(これらはレディネスの「構造」と見なすことができる)に対して向上訓練の場で原理的に裏付けられた「正規のやり方」や「標準的なやり方」などの、技能的なものや、さまざまな知識(これらは構造的を持った教えるべき内容とみることができる)に出会う。受講者はそれらと出会い、言わばそれらを鏡にして自らを“とらえなおし”しているのである。これは、単に知らなかった教科の内容を理解したとか、標準的なやり方を知ったとかいうことにとどまらない。自分の知識構造全体(すでに持っていた知識構造そのもの)が変化することである。(その時は、慣れないものに出会い、あわてたり、動揺したりする。)「クリニックコース」の中の「発見」は確かに教育訓練の方法としての意義もある。学習者が成人であることを考慮して、指導員の側から教え込むのではなく、診断課題への取り組みの中で、また、自主研修における実験への取り組みの中で、自分から気づくように配慮しているなどはそうである。しかし、今述べた“とらえなおし”とよんでいる「発見」=学習は、単なる方法論の問題にとどまるものではない。それは「発見」によらねば学習できないものを生み出している。それは、単に学習する態度というようなものにはとどまらず、その人の認識構造、仕事観、職業観、生活観など、人格的なものにもかかわる変革を生み出しているのである。

我々にとっての今後の研究課題としては、以上に述べたことから明らかなように学習者の持っている構造と、訓練の提供するものの構造との関係を中心にして、さまざまな角度から考えられる。第一に、職業生活の中で形成されてきた技能知識を、構造的にとらえる時、それはどのような特徴を持つか。教育訓練における教科の内容構造とどのように違うのか。第二に、教えるべき内容としての構造と、学習者の知識の構造が出会うとき、どのようなこと

が起こっているか。つまり、両者がどのように関係するのか。第三に、そうした受講者の持っている技能、知識の構造に対し、我々の描いた「発見学習」を引き起こす訓練内容をどのように設計する必要があるのか。このようなことが今後の大きな課題である。

この論文をまとめるにあたって、当研究センター、小原哲郎研究員より貴重な御助言をいただきましたことに深く感謝いたします。

注)

- 1) 広岡亮蔵 『発見学習』 1967 明治図書
- 2) 水越敏行 『発見学習の研究』 1974 明治図書
- 3) 「私は、約十年前に、『課題解決学習』の名のもとに、知識の結果と過程を統一的にとらえた学習方法を着想した。そしてこの学習方式を現実化するために、社会、数学、理科の諸教科について、一連の実験研究を進めた。

ほぼ三年後に、Bruner J, S : The Process of Education, 1960 をみると、『構造』との関連のもとに“発見学習”の考えかたが登場していた。私たちがやっと思いついたにすぎなかったことを、ブルーナーが確固たる意味づけと位置づけをもって扱っているのを見て、大いに共感を感じるとともに、今後は、“発見学習”という世界的な術語にしたがうことにしたいとおもった。」

(広岡亮蔵 『発見学習』 1967 明治図書 pp. 14~15)

- 4) 「すべての人間が身につけておかねばならない一定の知識・技能等の『本質的なもの』(essentials)があるとして、これを早期から十分に習得させようとする考え方。1920年代ごろからポビット、カウンツ、キャンデル等によって主張された。」
(平塚益徳 『世界教育事典』 1980 ぎょうせい)
- 5) 「国家防衛上必要な人材を確保するための諸措置を規定したアメリカの重要な教育法令の一つ。NDEA と略称されることが多い。いわゆるソ連のスプートニク・ショックを契機として、1958年に成立した。これにより連邦政府の積極的な教育関与が始まった。貸与または給付により、教育目的のため連邦資金を支出することを正当化し、国家的関心に基づいて公・私立学校の理数教育、および外国語教育の強化のために資金の支出が行われるようになった。」
(平塚益徳 『世界教育事典』 1980 ぎょうせい)

- 6) J. デューイ 「私の教育信条」
(J. S ブルーナー 橋爪貞雄 訳 『直観・創造・学習』 1967 黎明書房)
- 7) J. S ブルーナー 「デューイの後に来るもの」
(J. S ブルーナー 橋爪貞雄 訳 『直観・創造・学習』 1967 黎明書房
p. 182)
- 8) *ibid.*, pp. 190~191
- 9) 『教育心理学新辞典』 金子書房 p. 670
- 10) JEROME S. BRUNER *The Process of Education* p. 18
(J. S ブルーナー 『教育の過程』 p. 22)
- 11) *ibid.*, p. 31
(前掲書 pp. 39~40)
- 12) *ibid.*, pp. 18~19
(前掲書 p. 23)
- 13) *ibid.*, p. 19
(前掲書 p. 23)
- 14) 『教授研究大事典』 広岡亮蔵 1975 明治図書 p. 108
- 15) JEROME S. BRUNER *The Process of Education* p. 33
(J. S ブルーナー 『教育の過程』 p. 42)
- 16) *ibid.*, p. 33
(前掲書 p. 42)
- 17) *ibid.*, p. 48
(前掲書 p. 60)
- 18) *ibid.*, p. 38
(前掲書 p. 49)
- 19) *ibid.*, pp. 27~28
(前掲書 p. 35)
- 20) *ibid.*, p. 20
(前掲書 p. 25)
- 21) *ibid.*, p. 14
(前掲書 p. 18)
- 22) *ibid.*, p. 20
(前掲書 p. 25)

70 ブルーナーの「発見学習」における「発見」の意味

23) *ibid.* , p. 20

(前掲書 p. 25)

24) *ibid.* , p. 21

(前掲書 p. 21)

(しまやま としかず 職業訓練研究センター 訓練適応研究室)

制御システム設計訓練における システムモデル化の一方法

西 見 安 則

1. はじめに

周知のように、工場における生産工程の自動化は、大規模化と同時に大量生産型から多品種少量生産型への質の転換が起き、生産ラインの段取り替えなどに柔軟に対応できるものが求められるようになってきている。この生産システムの自動制御は、シーケンス制御という制御方式によって達成される部分が多く、従って、シーケンス制御装置に対しても、大規模化、柔軟化の要求が高まり、これに対応できる新たな制御装置プログラマブルコントローラ（PC）の活用が拡大しているところである。これにつれて、PCを用いたシステム開発の機会も増加している。

ところが、シーケンス制御システム設計の理論は、体系的に整備されているかと言うと必ずしもそうとは言えず、過去から伝承されてきた経験的手法や基本回路の組み合わせ手法が部分的に採用されているのに過ぎないのが現状である。⁽¹⁾ そのため、昨今の大規模制御システムの開発や、新たな制御装置を用いたシステム開発においては、従来の経験的手法や定石だけでは対応が困難になってきている。これは、システム開発を目標にした教育・訓練においても同様である。⁽²⁾

このような状況の中で、工学的にはいくつかの理論化、体系化の新しい試みがなされている。その内、近年特に注目されているのが、西独のペトリが

1962年に提唱したペトリネット理論や、これをシーケンス制御用に修正・機能追加を施したネットモデルである。例えば、長谷川らの提唱するマーク流れ線図（1976年）、フランス生産自動化推進協会が制定したGRAFCET（1977年）、国際電気標準会議（IEC）で規格化が予定されているシーケンシャルファンクションチャート（1979年より作業開始）などがその例である。

本稿では、シーケンス制御システムの設計訓練における問題を取り扱うが、特に制御内容を確定する過程において、制御対象に要求される動作を手がかりにしながら、どのようにしたらシステムに求められている制御の諸条件を正確に効率よく表現できるかを検討した。その際、先のモデルのひとつマーク流れ線図を用いてシステムのモデル化を試みたところ、第1に、従来のタイムチャートなどを用いた表現に比べて、図的、数式的により明確な表現ができた。また、設計の概念的表現段階から詳細で具体的な表現段階まで、ひとつの表現形式が適用でき体系的考え方ができるようになった。第2に、本モデルでは時限要素を持つシステムなどを緊急停止させる場合の表現に難点を持っていたので、今回緊急停止法を考案した。そして制御装置でプログラムを実行して制御実験をしたところ目的の制御が実現でき、本モデルは設計訓練における実用レベルの問題にも有効に適用できることが確認できた。

2. 設計の各段階とその表現

2.1 設計の各段階の捉え方

シーケンス制御システムの設計には、制御対象の動作機器や検出器の構成、制御装置の規模の選定などに関する製作設計と制御内容の確定に関する機能設計とがあるが、ここで取り扱うのは後者の機能設計である。この機能設計において制御内容は、どのような段階を経て確定されてゆくのか、それぞれの段階の役割と各段階はどのような観点で捉えられているかを以下に述べる。

まず、第1段階は、制御対象にどのような一連の自動動作が求められてい

るかを明らかにすることである。即ち、制御対象の要求動作分析である。例えば、機械工業などの生産工程には、各工程それぞれの作業目的にそった機器が配置してあるが、各部の機器を要求どおりに働かすことによってその工程の目的を達成して、工程を順次進めて一連の動作を行う。これら一連の動作を分析し工程の時間、空間的関係のつながりとして表現することである。ただし、この段階は制御全体の認識からすれば、いわば感性的段階であって、これから直ちにいわば理性的段階の制御内容は確定できない。そこに至るには制御の諸条件である中間項を加味する必要がある。

次は、第2段階として制御の諸条件を明らかにすることである。具体例をあげて述べる。今、右回転をしている機械に対して同時に左回転の指令は許されない。この防止には、インタロック機構などが用いられるが、一般的に言えば機械相互の制約関係の保持に関することである。また、シーケンス制御においては、システムへの人間の操作介入があり、予期しない非常事態の発生に対しては人間からの操作で自動運転状態に介入して、機器を緊急に停止させたり、ある条件までは運転を続行させたりする機構にしておく必要があるが、このような安全上の制約に関することもこの部類に入る。この第2段階は、先の第1段階が制御の感性的、外面的認識であったのに比べると、制御におけるいわば理性的、内面的認識と言えるものである。

さて、最終の第3段階は、第1段階で明らかになった制御対象の要求動作分析・表現に第2段階で明らかにした制御の諸条件を付加して、詳細な制御内容を確定する段階である。また、制御内容は制御装置によって実現されることから、制御装置に適合した形式、PCやマイコンであればアルゴリズムに従ったプログラムに、電磁リレーを用いる場合は論理が実現できる回路(展開接続図)にすることもここに含まれる。

2.2 設計の各段階における表現の問題

設計の最終の第3段階で確定された制御内容は、コンピュータプログラムや回路図として言語的、図的な表現方式が与えられることになるが、その過

程で検討される第1段階の制御対象の要求動作も、第2段階の制御の諸条件もこれらの関係が明瞭に分る図(表)、文章で表わしておくのが一般的である。

ところで、現在シーケンス制御に用いられている図表現には、どのような種類があり、それぞれどのような機能表現に用いられているであろうか。表1は、各種の図(表)とそれが主にどのような制御機能を表示しているかの

表1 シーケンス制御の図(表)の表現する情報

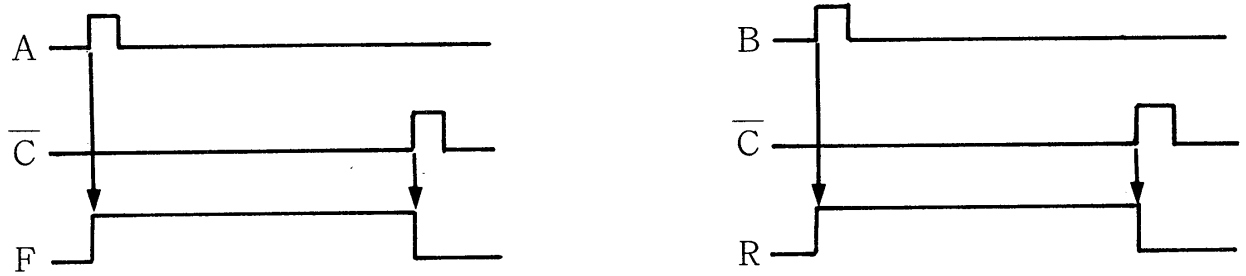
表現される 情報の種類	制御機能 (ソフトウェア)				
	a	b	c	d	e
表現に用いられる図(表)の種類	動作順序(定性的)	動作の分析(空間的)	動作の分析(時間的)	機器相互の制約関係	制御の論理的機能
フローチャート	●		○	○	○
パート図	●			○	
動作分析図(空間的)	○	●	△		
ガントチャート	○		●		
タイムチャート	○		●	△	
インタロック線図	○			●	○
入出力(相関)マトリクス			△		●
ディシジョンテーブル					●
真理値表					●
論理図	△			○	●
展開接続図(有接点)				○	●
展開接続図(無接点)				○	●

●：主要な情報、○：補助的な情報、
△：拡張すれば含め得る情報

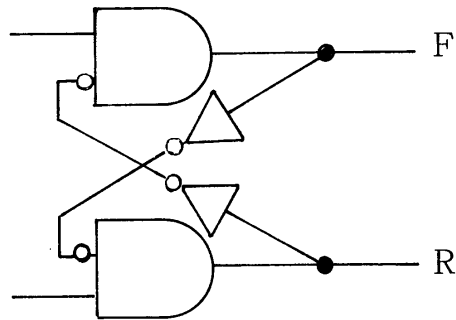
関係を示したものである⁽³⁾

表中の制御機能の各項目には、設計の各段階で検討した項目がほぼ含まれているが、主要な情報を表現している●印の配列が示すように、それぞれの制御機能には、それぞれに適した図(表)が用いられていることが分る。ただ、補助的に表現できる情報まで含めれば、フローチャートは広範囲に使用されていると言える。

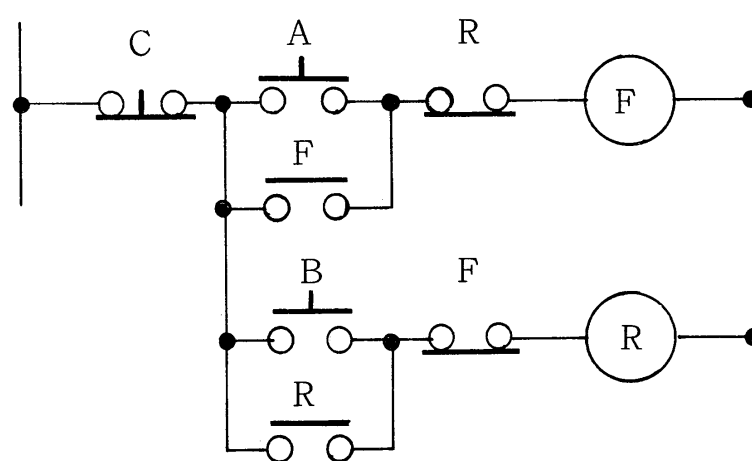
このことを更に設計過程の具体例で調べてみよう。図1には、タイムチャートから始まり、最終の目標である展開接続図(有接点)に至る設計各段階で構想されたことを表現する図が示してある。制御内容は「先着優先」



(a) タイムチャート



(b) インタロック線図



(c) 展開接続図 (有接点)

図1 設計の各段階と表現図

である。この制御は、押ボタンスイッチ A および B から指令を受けて、出力 F、R が起動する。しかし、A、B のいずれかを先に操作したら、先を優先して後は受け付けないというものである。

まず、設計の第 1 段階の制御対象の動作を手がかりにした要求動作分析であるが、同図 (a) のタイムチャートを取り上げた。タイムチャートの横軸は時間であるが、A の指令を受けて F が起動し、B の指令を受けて R が起動し、 \bar{C} の指令により停止することの時間的経過が表現されている。ここで、 \bar{C} は一般的には論理否定を表現し、この場合押ボタンスイッチ A、B の接点は常時開路となっているのに対し、 \bar{C} は常時閉路となっていることを示している。

次の第 2 段階は、制御の諸条件の検討、表現であるが、ここでは同図 (b) のインタロック線図を取り上げた。出力 F、R のいずれか先に起動した方を優先して後は受け付けない相互制約関係の論理機構が表現されている。

そして、最後の第 3 段階で、タイムチャートから構想された回路に、インタロック線図で検討された制約関係を付加して、同図 (c) の完結した展開接続図に表現されている。

さて、これら表現形式のそれぞれの関係はどうであろうか。(a) のタイムチャートから (c) の回路にするには、順序回路設計論の助けが必要である。(b) のインタロック線図で検討したことを、有接点リレー回路に実現するには、基本回路の組み合わせ手法を使って (c) の回路に織り込まなければならない。同時に表現形式は、最終目標に合わせてそれぞれ変換が必要である。ここには、設計の過程で使用される理論や手法は部分的に適用されたに過ぎず、それぞれの段階で構想されたものが、最終の表現形式に有機的關係としてつながることの弱さが示されている。

3. 制御システムのモデル化

制御システム設計の各段階で用いた表現図は、それぞれの段階で対象とし

ているシステムについて構想したことを表現した一種のモデルである。このモデルが、設計の各段階で1種類ではなく複数用いられていて、このことが設計の各段階における構想を有機的關係でつなげることを困難にする要因になっていた。そこで、ここでは、設計の各段階の構想を正確に表現でき、しかも、最終の表現形式に有機的につながる表現モデルについて調べることにする。

このモデルは、マーク流れ線図 (Mark Flow Graph、MFG) と呼ばれているもので、1976年に長谷川らによって提唱され、⁽⁴⁾ 現在改善、高機能化が行われ発展していて、制御システムのモデル化手法として注目されているもののひとつである。

具体例でそのモデル化の方法を調べてみよう。図2 (a) に搬送・加工の生産システムを示すが、これは次の工程から成り立っている。

① ワークがコンベア (CV) より搬入される。

② 搬送アームが、ワークをCVからワークステーション (WS) まで搬送する。

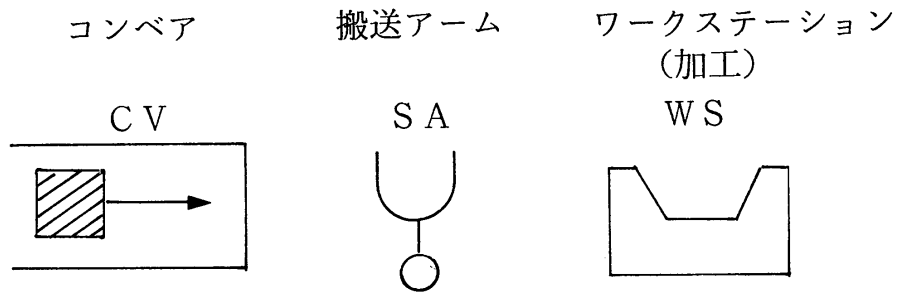
③ WSで加工する。

そして、この生産システムの全体の働きは、工程の時間、空間的なつながりとして表現される。

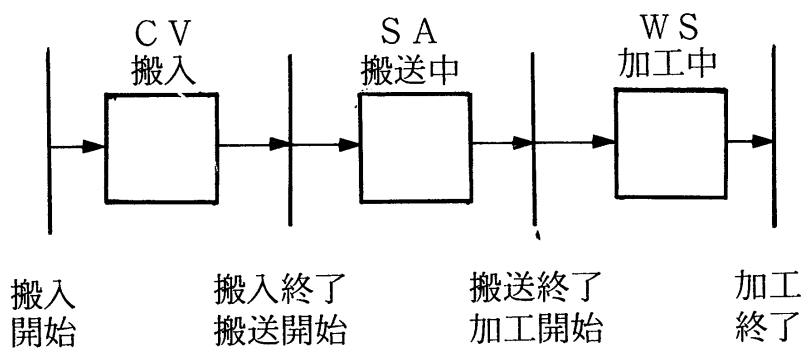
ところで、ここで工程間のつながりを注意深く観察すると、工程が、ある工程から次の工程に進むあたり、「ある工程が終了した後に次の工程が開始される」という工程間の[・][・][・]変り目が存在していることが分る。「変り目」という非連続性から、このような生産システムは「非連続生産システム」などと呼ばれている。

さて、このような非連続生産システムを制御する場合には、非連続な各工程に対して、非連続な制御の各段階が考えられる。従って、この制御を担うシーケンス制御は、制御の各段階とその間の[・][・][・]変り目のつながりとして捉えることが可能になる。

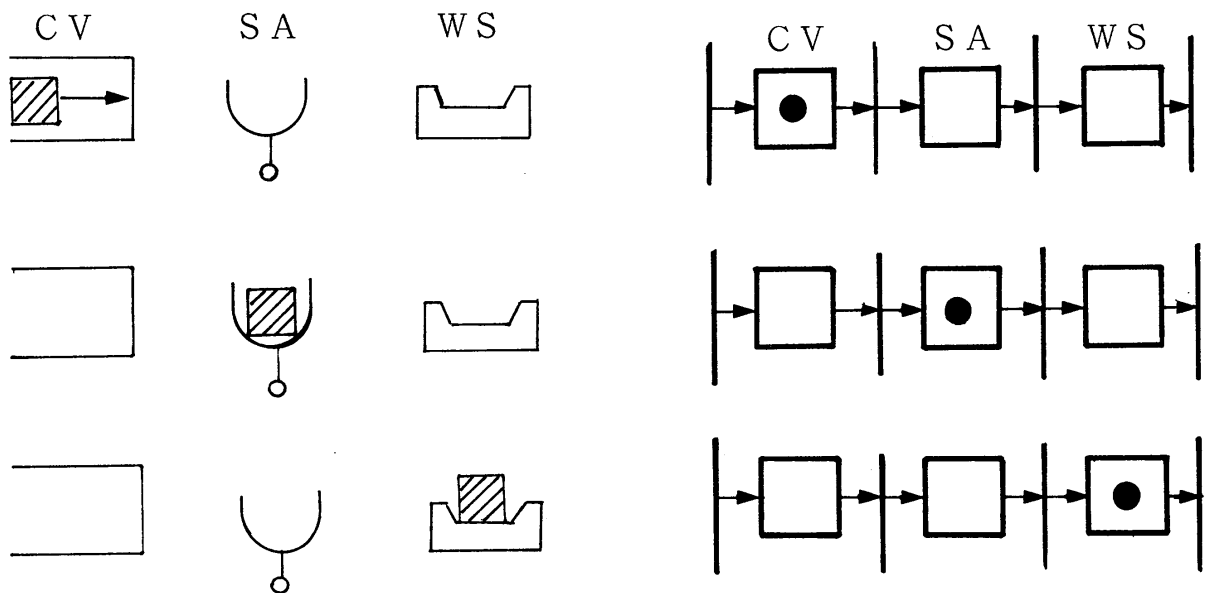
本モデルでは、同図 (b) に示すように、制御の段階の[・][・][・]状況をボックスと



(a) システムの例



(b) モデルによる表現



(c) 制御の段階とマークの移動

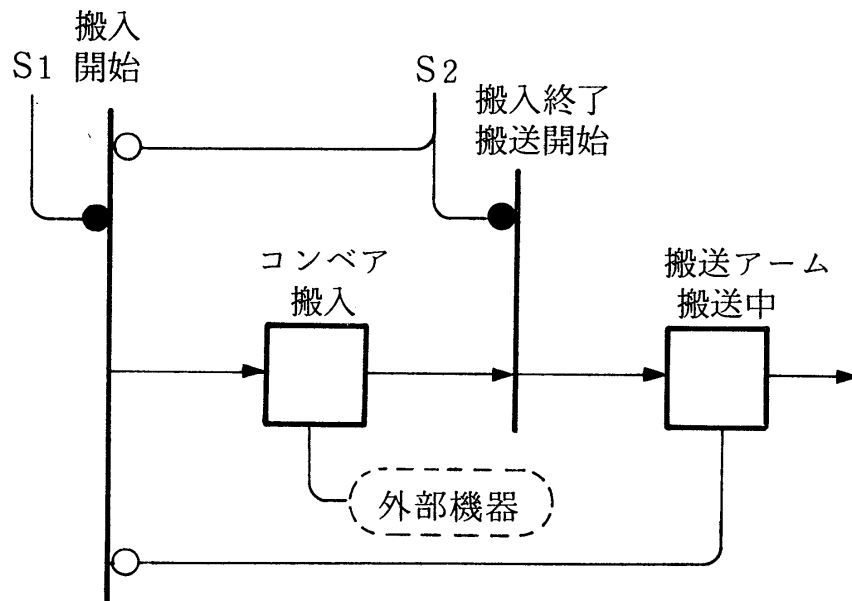
図2 搬送・加工システムの表現例

いう四角形(□)を用い、「搬送中」などと表現する。また、制御の各段階の変り目には、ワークが到着したことを検出するセンサなどの信号が発生することにより、「搬入終了、搬送開始」という事象が発生するが、これをトランジションという棒(↓)を用いて表現する。事象の発生は、次の新たな状況「搬送アーム搬送中」という状況を成立させる。そして、この状況と事象とは、その関係に従って、方向枝という矢印(→)で結ばれつながってゆく。また、同図(c)のように、ある状況が保持されていることをボックスの中にマークという黒丸(●)を付すことにより示す。このマークの移動は、制御の各段階の状況が時間、空間的に遷移している様子を表現できることになる。

次に、モデルとセンサやアクチュエータ等の外部機器との関係は、図3のように表現する。まず、外部機器からの2値信号入力であるが、これはゲート信号枝によって入力される。これには、許可枝と抑止枝とがある。許可枝は、トランジションに付く黒丸を先端に持つ枝(Lq)で示され、信号が真「1」のとき事象の発生を許可する。抑止枝は、白丸を先端に持つ枝(Lq)で示され、信号が真「1」のとき事象の発生を抑止する。また、ボックスからゲート信号枝を出すこともできるが、これにも許可枝と抑止枝とがある。

外部機器への2値信号出力は、出力信号枝によって行われる。出力信号枝は、ボックスと外部機器とをつなぐ枝である。出力信号は、ボックスにマークがあるときを「1」、ないときを「0」とする。

以上がシーケンス制御システムを非連続な制御と捉え、それを新たな考え方でモデル化する方法であるが、ここでは、モデルを構成する要素やモデルの動作、外部機器との関係についての基本的な事項を述べたに過ぎない。モデルの動作規則やタイマ等の拡張機能については、次の「4. モデルによる表現例」の中で述べる。



S_1 : ワークがコンベア入口端に到着したことの検出器
 S_2 : ワークがコンベア出口端に到着したことの検出器
 外部機器 : コンベア駆動モータ

図3 モデルと外部機器との関係

4. モデルによる表現例

4.1 先着優先の表現

制御内容「先着優先」は、先の「2.2 設計の各段階における表現の問題」において具体例として扱ったものである。ここでも本例を取り上げ、設計の各段階をMFGモデルを用いて表現してみよう。図4にそれを示す。

まず、第1段階の表現は、制御対象の動作を手がかりにした要求動作分析で、これは同図(a)のようになる。Aからの信号により T_1 事象が発生し、F状況が成立する。このF状況は、Cからの信号により T_2 事象が発生し、解除される。R側についてもF側と同様になる。

次の、第2段階の表現は、F、Rのいずれか先に起動した方を優先して後は受け付けられない相互制約関係の論理機構の表現であるが、これは同図(b)

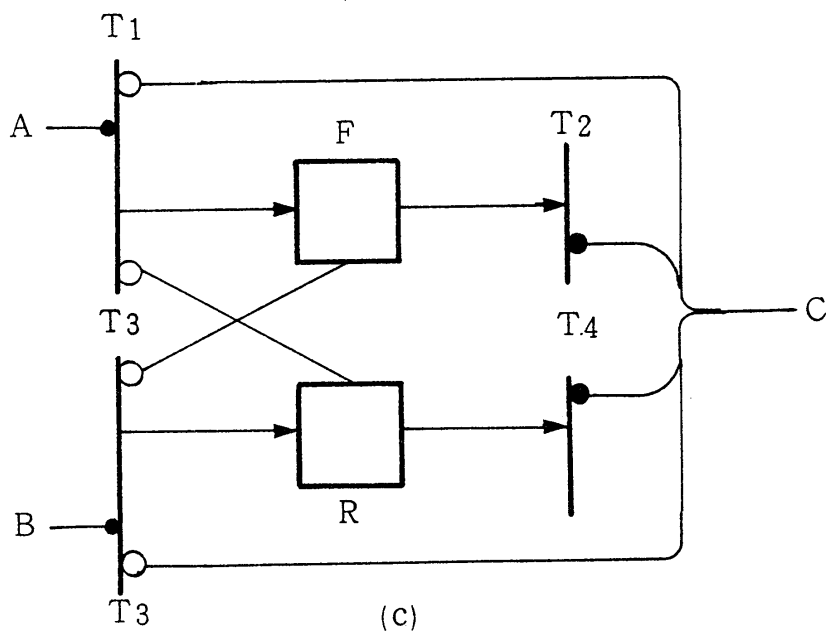
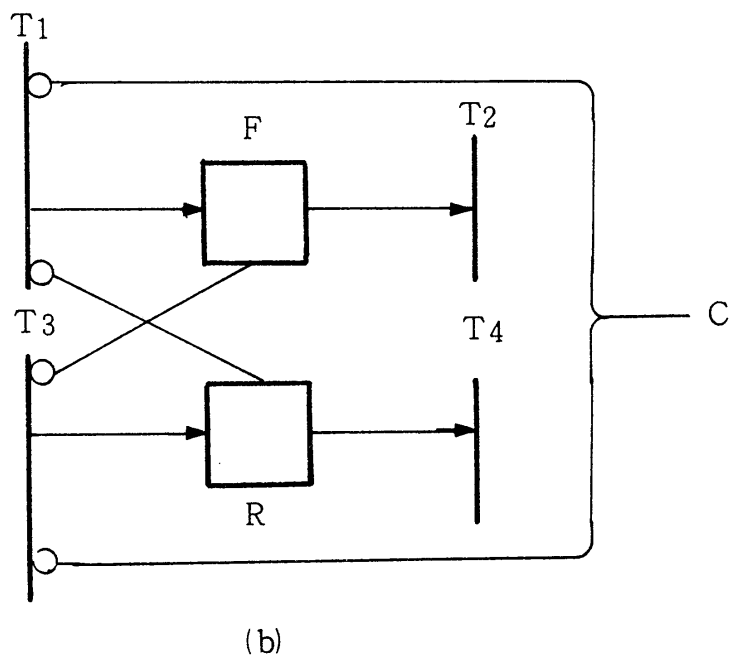
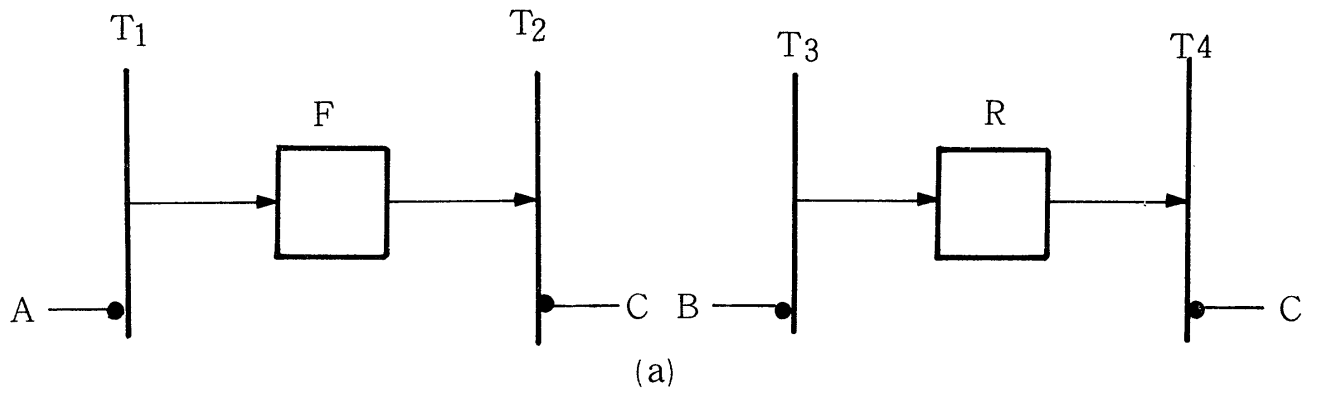


図4 先着優先のモデル

のようにする。Fからの抑止枝を T_3 に出し、Fの状態が成立しているときは、 T_3 の発生を抑止し、従ってRを成立させないようにしている。また、Rからの抑止枝の働きもこれと同様である。Cは、F、Rの状況解除信号であると同時に、この信号が真「1」のときF、Rの状況が成立しないようにしておく必要があるので、 T_1 、 T_3 に対しての抑止枝でもある。

第3段階の表現は、第1段階の表現に第2段階で検討した論理機構を付加して、同図(c)のようになる。

以上、このモデルを使用することにより、設計の各段階を一貫したひとつの表現形式で統一でき、しかも各段階の表現を有機的につなげることができた訳である。

さて、最終的なモデルに表現された制御内容は、コンピュータやPCなどの制御装置のプログラムで実現するため、その実行アルゴリズムが明確になっていなければならない。そこで、本モデルでは、制御の各段階の状況をマークの移動で示し、これに関する規則を次のように定めている。

① あるトランジションについて、その入口側ボックスにマークの入らないものがなく、出口側ボックスにマークの入ったものがなく、かつ内部許可が真「1」、内部抑止が偽「0」であるとき、そのトランジションは可点弧という。

② 可点弧のトランジションの外部からの許可が真「1」、抑止が偽「0」であれば、そのトランジションは点弧する。なお、外部からの信号枝がないトランジションは、可点弧のとき無条件に点弧する。

③ 点弧により、そのトランジションの入口側ボックスすべてのマークが消滅し、かつ出口側ボックスすべてにマークが発生する。

なお、ここで内部とは、モデル内のボックスから出される信号枝に対して用い、外部とは、信号源がモデルの外部、つまり外部機器からの信号枝に対して用いている。

従って、この規則に基づいて論理式を導き出せば、これからプログラムが作れる。いま、ボックスF、R、トランジション $T_1 \sim T_4$ 、ゲート信号A、

B、Cに対して、それぞれボックス変数を f 、 r 、トランジション変数を $t_1 \sim t_4$ 、ゲート信号変数を a 、 b 、 c とする。また、これらの変数は、2値「0、1」のいずれかを取るが、トランジション変数 t は、次のように定める。

$$t = \begin{cases} 0 : \text{可点弧でないとき} \\ 1 : \text{可点弧であるとき} \end{cases}$$

これより、図4(c)のモデルは、「 \cdot 」、「 $+$ 」をそれぞれ論理積、論理和とすると、次式で表現できる。

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= a \cdot \bar{f} \cdot \bar{r} \cdot \bar{c} \\ &\quad f : \text{SET} \\ t_2 &= f \cdot c \\ &\quad f : \text{RST} \\ t_3 &= b \cdot \bar{r} \cdot \bar{f} \cdot \bar{c} \\ &\quad r : \text{SET} \\ t_4 &= r \cdot c \\ &\quad r : \text{RST} \end{aligned} \right\} (1)$$

なお、汎用PCでSET、RST命令を持たない場合は、SET、RSTを次のように表現する（ r についても同様）。

$$\left. \begin{aligned} f : \text{SET} \cdots f_{k+1} &= f_k + t_1 \\ f : \text{RST} \cdots f_{k+1} &= f_k \cdot \bar{t}_2 \end{aligned} \right\} (2)$$

k はタイムシーケンス番号

ここでは、汎用PCを使うので、SET、RSTについては(2)式を用いる。(1)式を上から順にプログラムし、この演算が繰り返し行われるようにしておけば、モデルで表現された内容の制御が行えることになる。譜1にそのプログラムを示す。

以上、モデルに表現された制御内容は、これを実現できるアルゴリズムに表現され、PCのプログラムにすることができたが、これは、本モデルで表現された内容が他の表現形式に変換されることなく、そのままの形式で制御装置により具体化できることを示すものである。

譜1 モデルに基づくPCプログラム(先着優先)

ADDRESS	MNEMONIC	OPERAND	COMMENT
00000	LD	A	} $t_1 =$ $a \cdot \bar{f} \cdot \bar{r} \cdot \bar{c}$
00001	AND NOT	F	
00002	AND NOT	R	
00003	AND	C	
00004	OUT	T1	
00005	OR	F	} f : SET
00006	OUT	F	
00007	LD	F	} $t_2 = f \cdot c$
00008	AND NOT	C	
00009	OUT	T2	
00010	LD NOT	T2	} f : RST
00011	AND	F	
00012	OUT	F	
00013	LD	B	} $t_3 =$ $b \cdot \bar{r} \cdot \bar{f} \cdot \bar{c}$
00014	AND NOT	R	
00015	AND NOT	F	
00016	AND	C	
00017	OUT	T3	
00018	OR	R	} r : SET
00019	OUT	R	
00020	LD	R	} $t_4 = r \cdot c$
00021	AND NOT	C	
00022	OUT	T4	
00023	LD NOT	T4	} r : RST
00024	AND	R	
00025	OUT	R	
00026	END		

OPERAND値 A=00、B=02、C=01

T1=301、T2=302、T3=303、T4=304

F=305、R=306

4.2 時限遷移の表現

時限遷移とはどのようなものか、その制御内容をモデルを用いて説明してみよう。内容の概略は、設計の第1段階で表現されたものを調べれば十分である。図5(a)にこれを示す。Aからの信号により、事象 T_0 が発生し状況Xが成立することが分る。ところが、このボックスXには時限がかかっており、時間 t 秒後には状況Xが成立しなくなり、かわって状況Yが成立する。つまり、全体としてみれば、Xに成立した状況が時間 t 秒後にYに遷移したようになっているので、この内容を時限遷移と呼ぶことにした訳である。

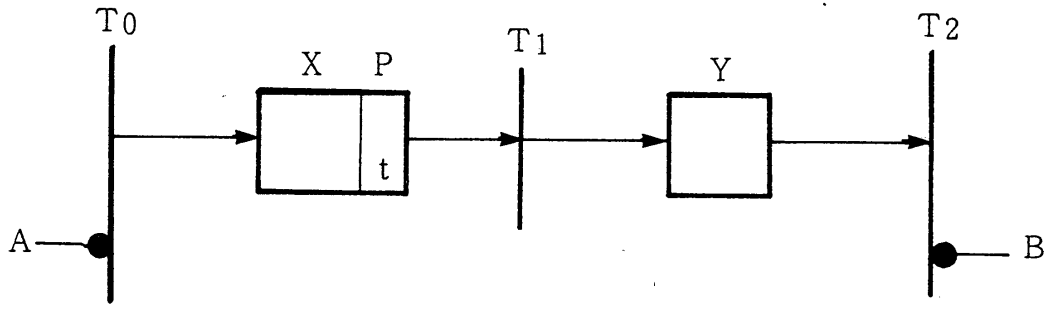
さて、このモデルには、ボックスの出口側寄りに区切り線の入ったものを用いてあるが、これが時限機能の表現である。そして、このボックスをこれまでのボックスと区別して、タイマボックスと呼ぶことにし、この機能を次のように規定しておく。

① タイマボックスに発生したマークは、このボックスの出口側トランジションに対して発生後時間 t を経過しなければ可点弧に寄与できない。

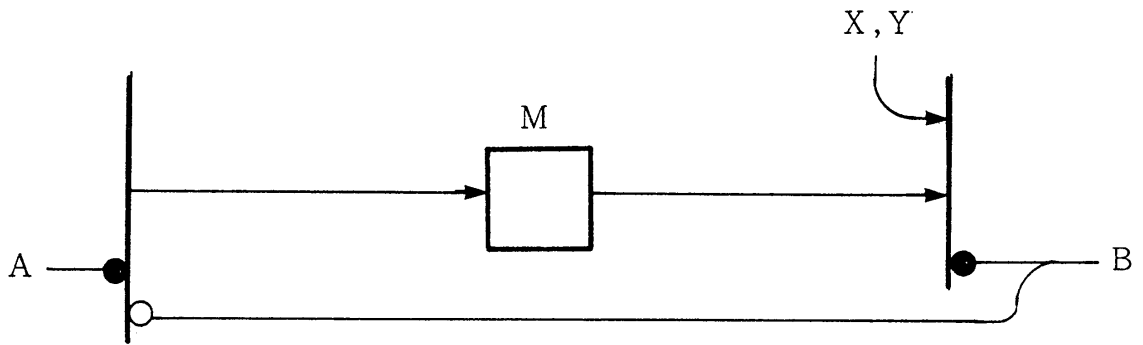
② タイマボックスに発生したマークが、時間 t を経過しない間に消滅したら、時間値はリセットされる。

さて、次にタイマボックスを用いて表現されたモデルについて、設計の第2段階の制御の諸条件を検討してみよう。図5(a)では、Xに成立した状況が、時間 t 秒後にYに遷移する。そして、YはBによって停止されることが表現されていた。ところが、Xの状況が成立していて、時間 t が経過しない間に何か非常事態が起きて、緊急にシステム全体を停止したい場合が発生したとしよう。この場合停止信号によってトランジション T_1 を点弧しXを停止させようとしても、時間条件が満たされていないと、 T_1 は点弧できず緊急停止できなくなってしまうのである。

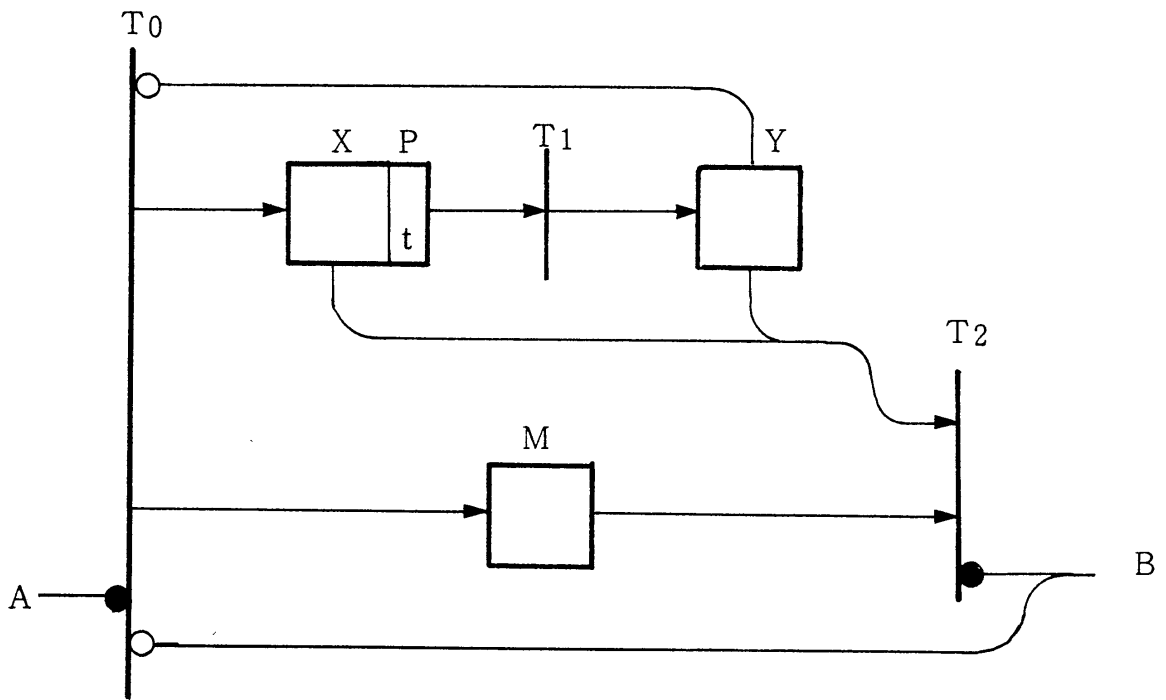
これを解決するには、時間条件に関係なく機能する図5(b)に示すようなダミーボックスを用いた停止機構を付加する必要がある。これにより、時間 t に関係なくBによりダミーボックスMを停止させ、同時にX、Yを停止できる。



(a) 第1段階表現



(b) 緊急停止用ダミーボックス



(c) 第3段階表現

図5 時限遷移のモデル

また、このシステムでは、XからYに状況が遷移しYの状況が成立しているとき、更らにXを成立させようとしてもできない機構も必要である。そのため、Yボックスからトランジション T_0 へ抑止枝を出して、これを抑止するようにしておく。先の緊急停止機構とこの抑止機構を含めて、最終的な表現、図5(c)ができています。

なお、譜2に、本モデルで表現された内容のPCプログラムを示す。本プログラムを実行して制御実験を行った結果、目的の制御ができた。

以上、時限要素を持ったシステムのモデル化とこのシステムの緊急停止の方法について考えた。また、制御実験をして表現された制御内容についての確認をしたが、目的を達成していることがわかった。このことは、本モデルが制御システム設計訓練における実用レベルの設計問題にも適切に対処できることを示すものであると言える。

5. むすび

シーケンス制御システム設計訓練におけるシステムモデル化の方法を検討し、次の結論を得た。

第1は、モデル化の手法にマーク流れ線図を用いたが、これにより設計の概念段階から詳細段階までを一貫した表現形式で統一でき、しかも、各段階で構想したことを有機的につなげることができるようになった。第2は、このモデルによる表現では、時限要素を持つシステムなどの緊急停止表現に難点があると言われていたが、今回緊急停止法を考案し、制御実験をして制御内容の確認をしたところ、目的を達成できた。これにより、本実験の範囲においては実用レベルの問題にも有効に適用できるようになった。

なお、本稿では直接言及しなかったが、設計課題の仕様表現に本モデルを用いると、従来のタイムチャートなどによる仕様表現に比べて適確な表現ができることも既にわかっている。⁽⁵⁾ また、フローチャート表現に比較しても、制御内容の構造を明確に表わせる点で優れていると言える。フローチャ

譜 2 モデルに基づく PC プログラム (時限遷移)

ADDRESS	MNEMONIC	OPERAND	COMMENT
00000	LD	A	} $t_0 =$ $a \cdot \bar{b} \cdot \bar{m} \cdot \bar{y} \cdot \bar{x}$
00001	AND	B	
00002	AND NOT	M	
00003	AND NOT	Y	
00004	AND NOT	X	
00005	OUT	T0	
00006	OR	M	} m : SET
00007	OUT	M	
00008	LD	T0	} x : SET
00009	OR	X	
00010	OUT	X	
00011	TIM	P #t	} タイマ
00012	LD	TIMP	} $t_1 = p \cdot \bar{y}$
00013	AND NOT	Y	
00014	OUT	T1	
00015	LD NOT	T1	} x : RST
00016	AND	X	
00017	OUT	X	
00018	LD	T1	} y : SET
00019	OR	Y	
00020	OUT	Y	
00021	LD	X	} $t_2 =$ $(x + y) \cdot m \cdot b$
00022	OR	Y	
00023	AND	M	
00024	AND NOT	B	
00025	OUT	T2	
00026	LD NOT	T2	} m : RST
00027	AND	M	
00028	OUT	M	
00029	LD NOT	T2	} x : RST
00030	AND	X	
00031	OUT	X	
00032	LD NOT	T2	} y : RST
00033	AND	Y	
00034	OUT	Y	
00035	END		

OPERAND 値 A=00、B=01

T0=300、T1=301、T2=302

M=304、X=305、Y=306

P=10、t=20

ート表現は、制御内容の構造を表現するというよりプログラムの処理の流れを表現したものである。⁽⁶⁾

今後の課題としては、本モデルを工夫してエレベータ制御のような条件制御システムの表現が簡単にできるようにすることである。また、表現された内容を汎用制御装置（P C）で容易に実現できる方法の検討も必要である。

最後に、日項M F Gについてご教示いただいている東京工業大学、長谷川健介氏、高橋宏治氏および長谷川研究室各位に対して感謝申し上げる。

参 考 文 献

- (1) シーケンス制御工学体系化調査専門委員会：「シーケンス制御の工学体系化に関する調査研究」、『電気学会技術報告（Ⅱ部）第138号』、1982年、P. 2
- (2) 伊藤憲治、広岡茂樹：「電子・制御技術に関する企業内教育の一例（シーケンス制御の教育について）」、『日本工業教育協会誌』、vol. 34、No. 3、1986年
- (3) シーケンス制御調査専門委員会：「シーケンス制御の工学体系化に関する予備調査」、『電気学会技術報告（Ⅱ部）第35号』、1982年、P. 24
- (4) 長谷川、増田、菊地原：「マーク流れ線図とその性質について」、第19回自動制御連合講演会、1976年
- (5) 西見安則：「シーケンス制御訓練内容の考察—自動制御のM E化に訓練内容をどう対応させるか—」、『職業訓練研究センター調査研究資料 第81号』、1987年
- (6) 西見安則：「M E化におけるシーケンス制御教材の検討—フローチャート表現の特徴と問題の分析より—」、『職業訓練研究センター調査研究資料 第74号』、1986年

（ にし み やす の り 職業訓練研究センター 電気系訓練研究室 ）

シミュレーションCAIの 構造化への指針について

～教授システムへのシミュレーション

CAIの統合をめぐる～

谷口雄治

1. はじめに

いままでに開発され、実践されている多くのCAIコースウェアは、その学習モードとして、大部分が練習演習様式および個別指導様式としている。この理由は、行動主義理論、あるいは認知理論などの学習理論の原理の応用が比較的コースウェア設計に結び付きやすいことにある。一方、CAIの一つの学習モードであるシミュレーション（以下、シミュレーションCAIという）が高等教育、技術教育にとってかなり有用であろうと思われるにもかかわらず、その原理、方法などにおいていまだ未整備と言ってよい。教授方略としての意図的なシミュレーション導入の歴史が比較的浅いこともあるが、根本的な原因として、これまでの学習理論ではシミュレーション学習を明瞭に説明し尽くしていないことにある。今後ますます教授過程の中でコンピュータの使用は増大するであろうが、シミュレーションCAIすなわち教育訓練のためのシミュレーションが豊かな可能性を実現するためには、多くの検討すべき事項が残っている。

ところで、「今日の教材研究と適用においては、その児童・生徒観はサイバネティックス的制御系とみる観点を基軸にしている。」¹⁾と中内敏夫が述べているが、CAIの基礎となる学習理論にみられるように、CAI研究においてこれは不動の原理とも言うべきかもしれない。さらに、学習者をサイバネティックス的制御系とみると、教材を情報の媒体すなわちコミュニケ

ーション手段として扱う場合が多いであろう。たとえば、認知理論の根底には情報処理のモデルがあり、その理論は情報がいかにして獲得され、効果的な行動に導くかを説明している。

シミュレーションCAIを研究するにあたっては、まず、一般で言うところのシミュレーション（たとえば、工程計画、在庫管理、待ち行列、列車運行管理などに関するもの）と教授方略としてのシミュレーションとを区別する必要があるように思われる。広義の人間の学習について説明を行おうとする学習理論には必ずしも教授者の存在を伴わなくてもよいが、学習者主体の「学ぶ」CAIであれ、教授者主体の「教える」CAIであれ、教授システムにシミュレーションCAIを教授方略として用いるかぎりにおいては、教授システムを制御する者（一般には教授者）の存在は重要とみるべきであろう。したがって、教授過程にシミュレーションを導入することの意味には明確な教授目的があり、シミュレーションによって何かを伝達するという教授者の意図が前提にあるはずである。このように見るとき、そこには教授者のメッセージ、記号現象の存在を捉えることができるのではなかろうか。Gagnéらは、中枢制御プロセス（図-1）を認知理論の重要な概念としているが、ここにあげられる長期記憶への格納における意味論的符号化は教授者のメッセージと密接な関わりがあるように思われる。また、シミュレーショ

1. 注 意 ————— 刺激の選択
2. 選択的知覚 ————— 短期記憶への格納のための符合化
3. 再 生 ————— 短期記憶へのデータの格納
4. 意味論的符号化 ——— 長期記憶への格納のための情報の整理
5. 検 索 ————— 作業記憶での情報の検索と再格納
6. 応答の組織化 ——— 作業の選択と組織化
7. フィードバック ——— 強化を伴った外界の事象
8. 中枢制御 ————— 認知的方略の選択とその活性化

図-1 中枢制御プロセス

(Gagné, Briggs, Wager, 1981)

ンCAIの作成に役立つと考えられている学習理論として、観察学習を基礎とするBanduraの社会的学習理論がある。観察学習は、「多くの人間行動はモデルの模倣によって観察的に学ばれる。他人の観察を通し、人は新しい行動がいかにおきるのかの知見を得、この符合化された情報をその後の行為の道案内として用いる。人はこのような事例を通して、すくなくとも近似した形で何をすべきかを学び、学んだ行為を実行する前につまらない失敗をしないようにする」²⁾こととされるが、観察を教授過程に組み込むとき、教授者は自分のメッセージが観察の過程で表現されることを意図しているのである。

このように、シミュレーションを教授方略として用いる場合には、そこに含まれる明確な教授目的と教授者のメッセージの存在が一般のシミュレーションとの区別される点であると考えられる。本論考の眼目とするところは、コミュニケーション手段として教材をみるとき、そこに教授者のメッセージすなわち記号現象があるとの前提で、教材研究の方法論として記号論的アプローチを採用することにある。具体的には、すなわちシミュレーションCAIがどのような特性を持ち教授システムの中で有効なものとして位置づぐためにはどうあるべきかを浮き彫りにするための手がかりとして記号論的アプローチを導入し、その妥当性を検討することにある。なお、教授過程の中で用いられるシミュレーションには、ロールプレイング学習のようなコンピュータを手段として用いないものもあるが、ここではシミュレーションCAIのようなコンピュータを手段するものについて、論を進めることにする。

2. シミュレーションCAIと一般のシミュレーションの相違

一般にシミュレーションは、その本質が事実そのものではなく、模倣もしくは、想像といった人間の思考活動に關与するものにほかならぬものであり、広義には、小説・映画といったスタイルを採るものから試行錯誤のような思考過程そのもの(ブレイン・シミュレーション)にいたるまでその領域とみなされる。ラテン語“simulo”(まねる、ふりをする)を語源とするシミュレ

ーション (simulation) は、“computer” の発明をきっかけとして、おそらくその一般的定義あるいは領域、手法において急激な変容を遂げたであろう。それは、根源的な意味での「シミュレーション=ものまね」という古衣を脱ぎ去り、代わって新しい科学技術用語「シミュレーション」として再生されたともいえる。つまり、シミュレーション世界の広がり、1940年代を起源とするコンピュータ技術の進化と密接な関わりを持って今日にいたっている。たとえば、マンデルブロ集合のような数学的宇宙のシミュレーションのみならず、自然、あるいは自然の一部でもある人間の有機的活動・精神的活動といったものまでが情報科学のシミュレーションの対象となっており、その世界は多次元的に拡大している。これには、デジタルな網の目がきわめて微細な（アナログではないハイパーデジタルと言ってよいような）精度を獲得するにいたったコンピュータ技術あるいは情報科学に支えられているという背景がある。したがって、コンピュータ技術が現在、進化の途上にあると仮定するならば、シミュレーションの一般的定義、領野は不変であろうはずがない。

技術はさらにデジタルの精度を高めるにいたるであろうが、一方、シミュレーションのトラップとも言うべき特性を無視できない。パソコン程度で行える単純なセルラーオートマタのシミュレーション³⁾があるが、これはある意味で生命世界にも比すべきドラマとしてシミュレートされて出てくるように、コンピュータのなかには予想外に豊かなシミュレーションの宇宙が内蔵されていることを示唆している。このようなシミュレーションの宇宙は、コンピュータの内部に閉じ込められているだけでなく、そこからわれわれを取り巻く現実をすっぽり包みかねない勢いを見せている。これについて、Baudrillard は、コンピュータをはじめとする電子メディアに浸透され尽くした都市の状況、そういうメディアの内と外とが絶えず反転しあっているような状況を「シミュレーション」と「シミュラクル」というタームで語っている。つまるところ、シミュレーションは《真》と《偽》、《実在》と《空想》の差異をなくしにすると指摘している。たとえば、シュミレ（模擬）

の強盗（「ホールドアップ」）を比喻として、その危険性について語る。

「本物のホールドアップは事柄の秩序や所有の権利を乱すだけだ。ところが模擬のホールドアップは現実原則そのものに危害を加えようとする。それに比べれば、違反や暴力などたいしたことではない。と言うのはそれらは実在の分配（partage）のみに抵抗するからだ。だがシミュレーションは危険きわまりない、なぜならシミュレーションは自己の目的を越えて、秩序と法律そのものが、まさにシミュレーションでしかありえないと思わせてしまうからだ。」⁴⁾

シミュレーションは、このようなパラドキシカルなトラップとともにハイパーリアル、ハイパーディジタルの技術に裏打ちされた豊かな可能性を備えており、その両義性は、まさにトリックスターとも言えるのである。

このようにシミュレーションをめぐる一般的な捉え方を試みたが、幅広い領野を持つシミュレーションの中でシミュレーションC A Iのような教育訓練を目的とするシミュレーションは、どのように位置づけられるのであろうか、またどのように異なる性格を持つのであろうか。

揺るぎない前提として、シミュレーションC A Iは教育訓練を第一の目的としていることである。そこには、予め意図された学習目標があり、コミュニケーション手段として位置づけられるシミュレーションには教授者のメッセージが含まれるのである。シミュレーションモデルによって、“未知の何か”を発見・分析することを目的とする、たとえば想定システムの性能の事前評価、施策決定のための予測、などの一般のシミュレーションとは異なる。シミュレーションC A Iでの学習の過程で、学習者が何かを発見・分析することが含まれる場合があっても、それによって引き出される情報は教授者の方で予め意図されたメッセージであると考えられるべきであろう。このときの教授者の意図は、「いわれ」であり「動機づけ」であろう。このように見ると、シミュレーションモデルに必ずしもハイパーリアルを要求するものではなく、教授者の主体を通して再現された世界である。つまり、シミュレーションの環境が構成的であれ非構成的であれ、またそこに含まれる原理・法則が明示

的であれ非明示的であれ、学習者のシミュレーションによって形成されるモデルは、教授者のモデルと一致することが求められる。

以上のように、シミュレーションCAIのような教授過程の中に用いられるシミュレーションは、コミュニケーション・メディアとしての特質をもちその中に発信者である教授者のメッセージが含まれるという点で、幅広い領野を持つシミュレーションの中で一線を画されるべきである。

3. シミュレーションCAIの問題点

シミュレーションを教授過程の中に取り入れる積極的理由として、たとえば、A. Borkは、次のような点をあげている。⁵⁾

- ① 研究の道具・手段として必須の知識
- ② 動機づけ、印象的要素がある
- ③ 経験が困難または不可能な現象の実現
- ④ 直感力、洞察力を育てる

これらは、彼が高等教育での物理学演習にシミュレーションを取り入れることから得た知見であろうが、①については高等教育レベルでは欠かせない理由ではあるものの、一般としては②、③、④が正当な理由と認められる。この他にシミュレーションを導入することの理由として、Thorsonは、抽象的な事柄の学習と学習されたことの応用とのギャップを縮めるのがシミュレーションであるとして、「シミュレーションは価値や観念が机上の美辞麗句ではなく、実際的な選択と責任的な行為の試金石であることを生徒に理解させるのに役立つのである。」⁶⁾と述べている。これは、たとえば経営学の教え方に使われるビジネスゲームなどのモデルにみられるように、そこで展開される意志決定や問題解決を重視している。同様に、Gagné (1985)についても、「シミュレーションは、意志決定における幅広い練習を用意するその能力によって、あるいは、訂正プロセスにおける統合された効果によって、このような高度な学習プロセスのための適切な教授方略であると思われ

る。」⁷⁾と述べているように、意志決定や問題解決能力のかん養をあげている。

以上のような点が、教授方略として教授過程の中にシミュレーションを積極的に取り入れることの理由とされるが、教授システムにシミュレーションを統合する場合について数々の指摘がなされている。そこには、シミュレーションが独立した個人管理の教授の性格を持ち、しばしば他のコースの要素と関連をもたないことなどが要因としてあろう。

まず、Borkはその経験から、「高く動機づけられた生徒はコンピュータの能力に見合う分の興味を示すが、入門コースの生徒はコンピュータ・シミュレーションを必要とするにはならない。」⁸⁾と指摘する。彼の研究では、おもに物理学的現象の演示により学習者に法則の発見を促すことを目的とするいくつかのシミュレーション⁹⁾が試みられている。これらから得た知見として、全体としてのコースあるいは個々のコースのシーケンスの中へのシミュレーションの統合には、十分注意を払う必要があるとしている。同様の点について、BreureとHajovyは、「学習者は、プログラムにはいる前に必要な知識を欠くことから、シミュレーションは全くしばしば不適當であることを強調する。また、シミュレーションには、必要な知識を思い出させるなかで援助や治療を提供するための方法は一つもない。」¹⁰⁾と述べている。彼らはさらに、「創造性や生産的思考や問題形成の学習（知識方略学習）」を「課題の学習」と分離して捉え、シミュレーションが知識方略の学習のための適切な方法であるかもしれないとしながらも、そのような知識方略学習が目的であるようなシチュエーションでは、シミュレーションのカリキュラムの中への統合は困難であると指摘する。その理由として、彼らは表-1のようにシミュレーションを整理し、これまで「シミュレーションは典型的に技能と関係のある特別な課題を学ぶために使われており、シミュレーションは知識方略学習のための直接的な目標を提供していなかった」¹¹⁾と述べている。このためにまず、知識方略を学習することと与えられた課題を学ぶこととの相違を考えなければならないことを強調し、これは教授システムへの統合以前

に考慮すべき問題であるとしている。そこで彼らは、教授システムへの適応性のあるアプローチの流れは、瞬間瞬間の学習ニーズに応じて教授を調整しモニタリングすることによって知識の獲得や保管を改善することができるとし、知識方略学習のための記憶訂正プロセスを改善するためのシミュレーション

表1 シミュレーションの教育上の使用；動的システムのモデル

(Breuer & Hajovy, 1987)

◀教授状況▶	デモンストレーション	訓練	モデリング	環境上の描写
学習活動	システム変更の観察	手順の適用	変わりやすいものと相互関係の変化	プログラムオリエンテッドの意志決定
学習目標	構造の知識と複合システムの動力学	はっきりとした手順の内的化 (internalization)	科学的な遭遇の方略	知識と技能の精練とヒューリスティックの開発

ョンをベースとした教授の調整とモニタリングを提案している。

シミュレーションCAIの問題点は、現象再現（演示）型から知識方略学習あるいは問題解決・意志決定へと学習モデルの広がりに応じて明らかにされつつある。たとえば、Wedekindは、「シミュレーションは、高度で強力なオンラインによるインタラクションのコンピュータツールや繰り返し処理能力を有するが、特別な状況のモデリングないし導かれない発見アプローチの中での技能の習得における現象に限定される。」¹¹⁾とシミュレーションの限界を述べているが、このような点については、Breureらが提案するようなAI手法によるチュータリング・コーチングシステムをシミュレーションの中で機能させるような具体的な改善が解決の糸口ともなろう。しかしながら、教

授システムの統合については、なお問題とされる部分が多いであろう。

一般にシミュレーションCAIの教授への導入は、より広い学習の前後関係の中に埋め込まれると考えられる。この場合のシミュレーションは、孤立した出来事ではなくて、意味ある部分である。つまり記号論的に言い換えると、シミュレーションで行われる教授内容あるいは学習モデルは、教授全体の分脈（テキスト統辞）のテキストとして位置づけられ、教授システムとしてマクロ的な整合性が要求される。したがって、教授システムのマクロな整合性に位置づけられるシミュレーションのテキストの明確化、つまりトータルな教授システムの中でシミュレーションの構造を明らかにすることは、問題とされるシミュレーションの教授システムへの統合について有用な示唆となるのではなかろうか。

4. シミュレーションCAIのテキスト

坂谷内勝は、シミュレーションCAIを教育的観点によって次のように分類している。¹²⁾

- ① 現象再現型シミュレーションCAI
- ② 誘導発見型シミュレーションCAI
- ③ 問題解決型シミュレーションCAI

この分類は、表-2のように整理されているが、シミュレーションCAIの中の構成および原理・法則などの明示性を分類化の要素としている点が注目される。メッセージの単位として「テキスト」という概念があるが、テキストの成立する基本的な条件は「情報の連続性」である。坂谷内の分類化の要素とする「構成」の度合は、シミュレーションにおける情報の連続性に置き換えて見ることができる。また、原理・法則性は、「コード」的な規定に位置づけられることがある。なぜなら、その提示法によっては教授者と学習者との了解に基づいた決まりとなるからである。したがって、このような視点は、まさに記号論的にさらに分類化を深めることができるであろうし、こ

表2 シミュレーションCAIの分類

(坂谷内 勝、1985)

	現象再現型 シミュレーション CAI (構成型、明示型)	誘導発見型 シミュレーション CAI (構成型、非明示型)	問題解決型 シミュレーション CAI (非構成型、明示型)
プログラムの目的	純粋な現象表示 可変な変数値による現象表示	要因(原理・法則 構造のしくみ)の 発見	仮説やモデルの検 証
指導	直接指導	発見できない生徒 に対し、発見の促 進・誘導を行う	生徒の思考過程に 沿った指導 「なぜ」の追求
学習活動	見る・聞く 変数値の決定	要因変数の発見・ 追求	仮設の設定 対話(相互主義)
教育的効果	興味・関心 視聴覚的印象 動機付け	直観力 洞察力 発見探求能力	問題解決能力

のようなことはシミュレーションの教授全体との関わり(シミュレーションの教授システムへの統合)のうえで重要となる。

まず、シミュレーションCAIにおけるメッセージの伝達(コミュニケーション)を考えてみることにする。メッセージは発信者が思ったり感じたりしている事柄が表現されたものであるが、ただ単に相手に知覚されるというだけでは伝達の用を成さない。それは何かを意味していなくてはならない。つまり、何かを意味するもの、すなわち「記号」により構成されていなくてはならず、したがって、そこには「意味作用」が存在しているはずである。

一般に、メッセージを構成する記号とその意味は発信者が勝手に決めるのではなくて、受信者との共通の了解に基づいた決まりに従っていかなくてはならない。そのような決まりが「コード」と呼ばれるものである。シミュレーションCAIの場合、発信者がモデルビルディングにメッセージを託し、そのメッセージを受信者が解読する際に参照すべき決まりがコードである。もしメッセージがコードから逸脱しているようなものであったら、その際の受信者の解読の決め手となるものは、そのメッセージの使用にまつわる「コンテキスト」である。コードを参照するだけでは解読できない場合、受信者はコンテキストを参照することによってメッセージの発信者の意図を汲み取ろうとする(図-2)。メッセージが全面的にコードに依存して成り立っているならばコンテキストの参照は不要であるし、逆にメッセージが全面的にコードから逸脱しているならばコンテキストを参照するより他はない。したがって、コードとコンテキストのいずれかに多く依存するかによって、コミュニケーションは性格づけられる。コミュニケーションはコード依存型とコンテキスト依存型を両極として、その中間にいろいろな段階がありうる。なお、コード依存型は受信者の機械的な「解読」(つまり、発信者主導)であるのに対してコンテキスト依存型は受信者の主体的な「解釈」といわれる。シミュレーションCAIの場合を考えてみると、メッセージ(シミュレーションのテキスト)の解読(または解釈)は、コードの参照のみによって行われるよ

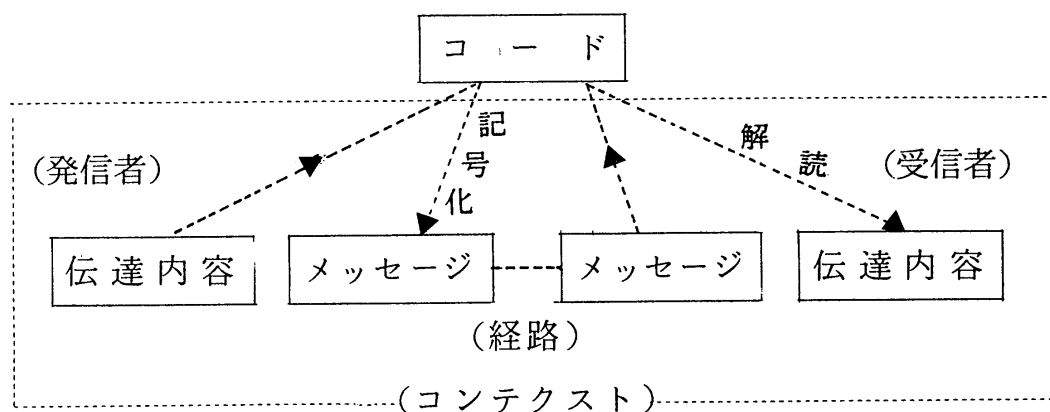


図2 コミュニケーションの仕組み
(池上 嘉彦、1984)

うなもの、つまり理想的なコミュニケーションとは言いがたく、少なからずコンテキストの参照に負うところがある。この意味で、シミュレーションCAIは、程度の差はあるものの「推論型コミュニケーション」といえる。

シミュレーションCAIを構成、つまり情報の連続性という視点でみると、情報の連続性が希薄になる（非構成的になる）に従ってコンテキストへの依存が高くなる。これを先の坂谷内の分類に従って言い換えれば、現象再現型より誘導発見型、誘導発見型より問題解決型へと、情報の連続性は希薄になり、コンテキストへの依存が高くなるといえる。またこれは、学習者（受信者）の立場からすると、「解読」より「解釈」へと主体的な推論の営みが多くなる。いわば、学習者（受信者）主体の傾向となる（図-3）。シミュレーションにおける情報の連続性が希薄であるほど、教授システムという脈絡への理解（動機づけ）が学習者にとって重要になる。Borkは、高く動機づけられた学習者と入門コースの学習者とを比較し、入門コースの学習者にはシミュレーションがあまり役に立たないと述べているが、これは学習者主体の傾向が強くなればより高く動機づけられないと興味は減衰することを示唆するものでもあろう。この意味で、先のBreureらの提案に関わる知識方略学習は、問題解決の分類に包括されるであろうが、まさにその提案のアイデアは、参照すべきコードをシミュレーションの中に適時散りばめようとするものであると考えられる。

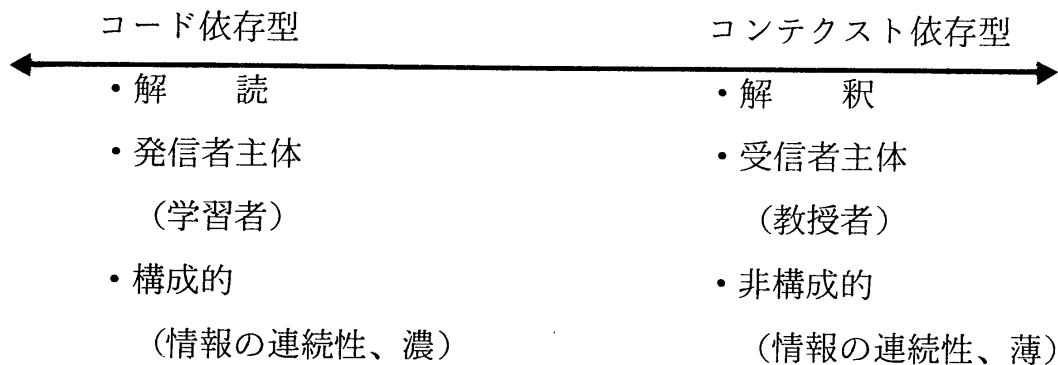


図3 シミュレーションにおけるメッセージの性格

以上のように、シミュレーションC A Iにおけるメッセージの伝達ということに視点を置いて、シミュレーションC A Iをコード依存型とコンテキスト依存型とを両極とする軸に位置づけることを試みたが、次に情報の配列の仕方で見ることにする。シミュレーションC A Iのテキストを見るとき、そこにテキストを構成する統辞的単位と見るべきものを抽出する必要がある。筆者は、テキストに関わる要素（これを統辞的単位とみる）として、次の3つをあげることにする。

- ① 規 則 シミュレーションに関わる原理・法則、手続きなど
- ② 事 例 シミュレーションに用いられる事例
- ③ 帰 結 シミュレーションの結果

この要素は、必ずシミュレーションC A Iと関わりを持ち、その配列によってシミュレーションC A Iはパターン化されると考える。なお、この要素は必ずしもシミュレーションの中に織り込まれるというものではなく、シミュレーションの前後の教授過程に存在することもありうる。たとえば、事例と帰結のみがシミュレーションに存在する場合、規則に関する要素は教授過程においてシミュレーションの前後に存在しなければならないのである。

まず一つ目は、原理・法則の明示がなされその事例が与えられることによって帰結を導く、いうなれば「演繹型シミュレーション」がある。この例として、筆者ら¹³⁾が開発した「シーケンス制御〔有接点編〕」の中の配線実習のコースや「P Cの基礎」の中の実用制御回路のプログラミングがある（図-4、図-5）。前者は、シーケンス制御の基本回路に関する原理・法則が前段のコースで明示され、基本回路の事例が与えられ、配線という帰結に導くものである。後者は、P C（プログラマブル・コントローラ）のプログラミングを学ぶものであるが、事前にプログラミングの原理・法則に関するコースの習得後このコースで事例が与えられてプログラムという帰結に達する。なお、両者は、ともに実際の実技へと導く役割を果たすものである。一般に技能と関わりのある課題を習得するようなシミュレーションは、この部類に属するものが多いであろう。よく知られているフライトシミュレーションな

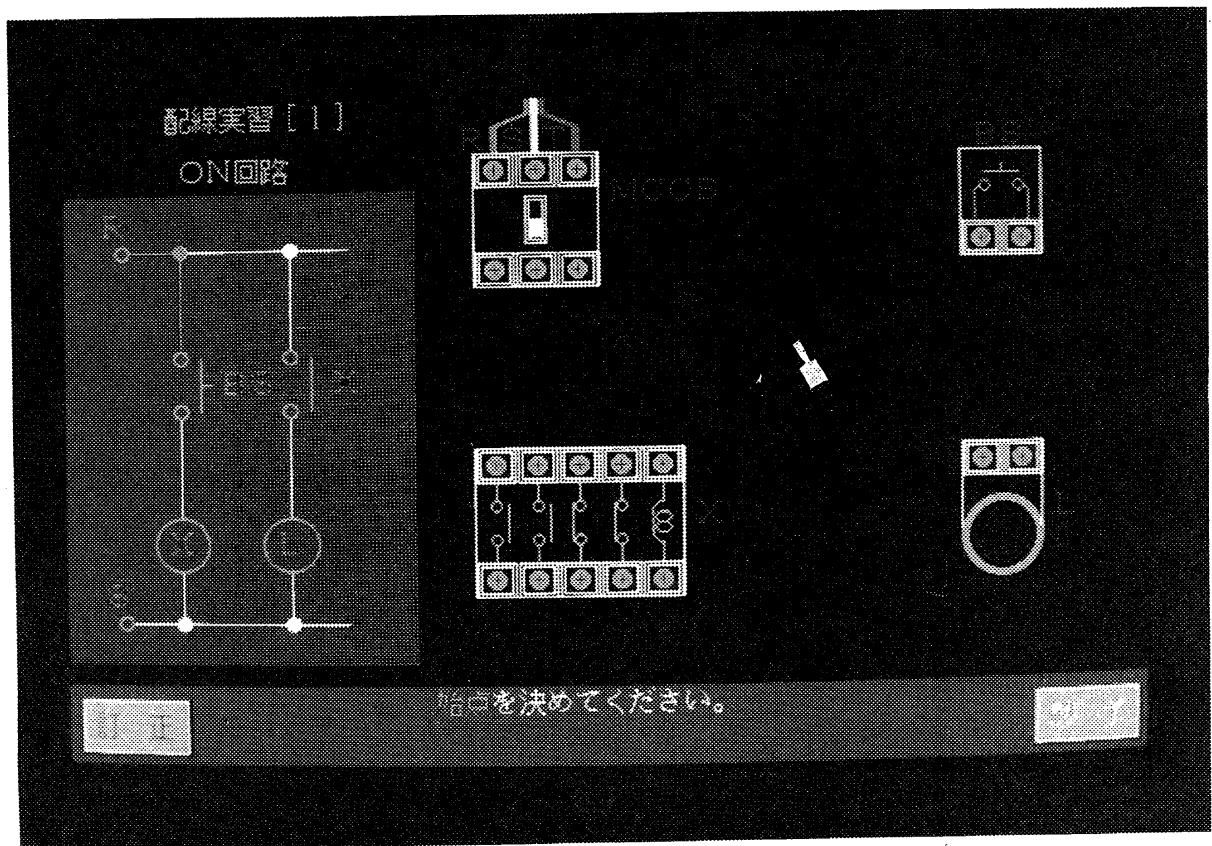


図4 シーケンス制御 ; 「配線の実習」

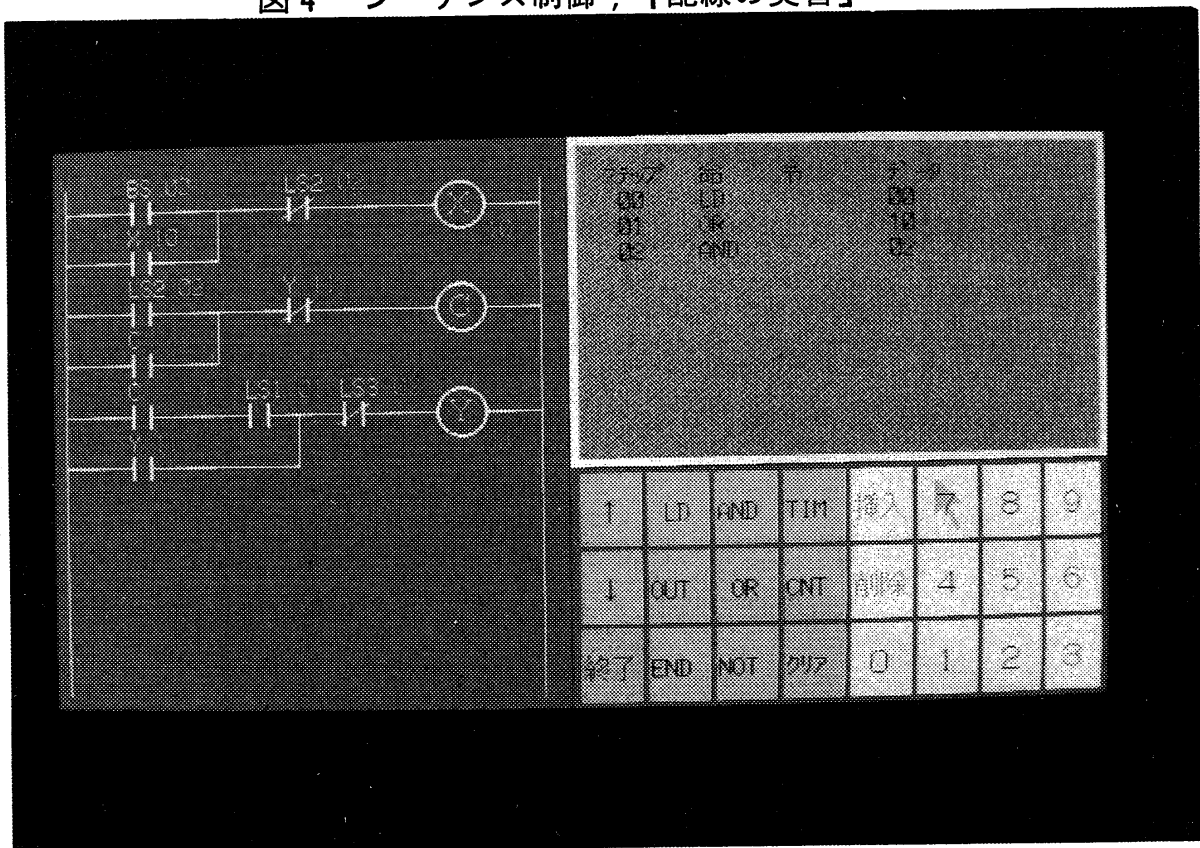


図5 PCの基礎 ; 「実用制御回路のプログラミング」

どもこれに該当するものと考えられる。

次に、事例と帰結が与えられて、原理・法則を導く、「帰納型シミュレーション」がある。この例として、木村捨雄らの確率概念を形成するシミュレーションC A Iがある。¹²⁾これは、回転している円盤が停止したとき定位置に、ある割合で赤く塗られた円盤の部分が当たる事例を与え、赤く塗られた部分の面積の割合から確率概念（原理・法則）を導くものである。問題解決を目指したものであり、確率概念の下位概念である偶然概念の形成をねらっている。物理学分野でのシミュレーションC A Iなどもこの分類に属するものが多い。

三つ目は、規則に基づいて帰結が与えられ、事例を予測する「仮説的推論シミュレーション」である。この例として、柿栖昇¹⁴⁾が開発した旋盤加工に関するシミュレーションC A Iがある（図-6）。シミュレーションには規則として実験から得た関係式が植え込まれ、経済性に関する帰結データにより最適パラメータの事例を予測する。これは、広田¹⁵⁾が実験で求めたバイト刃先の圧力と送りスピードによる加工時間、精度、バイトの損耗率などの実験値をもとに、加工損料や加工時間などの経済性に関するパラメータを体得するものである。つまり加工精度がいかに良くても経済性が伴わなくては現場の技術として不適格であることを示唆し、経済性についての認識を深めることを目的としている。

このように、シミュレーションC A Iについて、統辞的単位とみる要素によって大きく3つのパターン化を試みたが、もし教授システムの中でこの内の一つが欠けるようなことがある場合は、シミュレーションの教授システムへの統合は阻害されると考える。また、これらの要素はシミュレーションC A Iに含まれる教授者のメッセージを解釈する際の参照すべきコードとして位置づけられ、シミュレーションのテキストを規定するのである。シミュレーションのテキストが孤立することなく教授システム全体のテキスト統辞において整合性をもつかどうかは、シミュレーションのテキストを構成する要素の存在と配列に関係すると言えそうである。

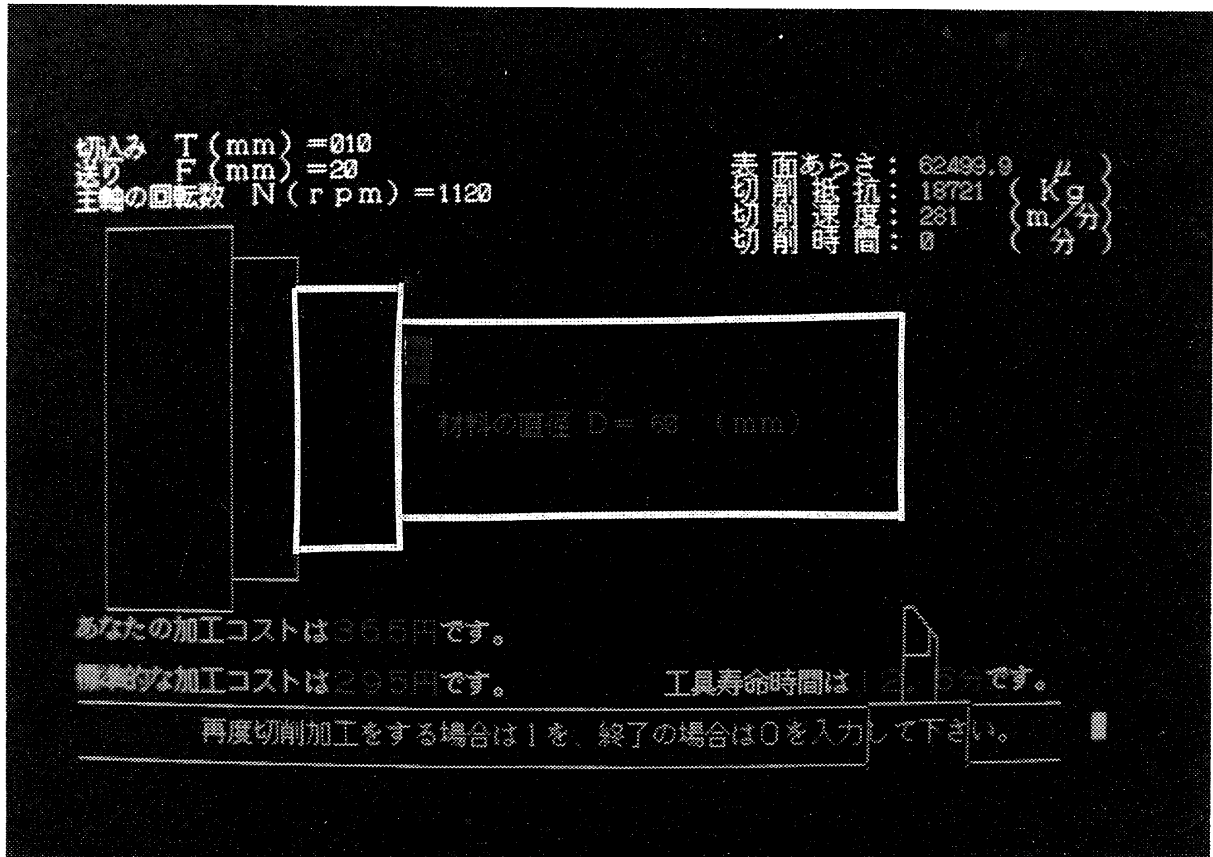


図6 旋盤加工シミュレーション (柿栖 昇 作成)

5. む す び

教授過程に組み込まれるシミュレーションCAIとその他の一般のシミュレーションとの違いは、その教授目的あるいは教授者の意図の存在にあることを唯一の手がかりとして論考を試みた。教授目的なり教育的意図を背景とする教授者のメッセージがシミュレーションによって表現される以上、シミュレーションCAIはコミュニケーション手段として位置づけられると考えてきた。この視点でのシミュレーションCAIの捉え方は、本論考での教授者のメッセージの伝達（コミュニケーション）機構およびコミュニケーションとしての性格づけによって、教授システムへの統合を図るうえで有用となるシミュレーションCAIの構造化への指針にもつながることが確認できた。

しかしながら、ここではシミュレーションをシミュレーションCAIという狭い範囲に絞って考えてきたが、教授過程に組み込まれないシミュレーシ

ョンにおいても、人の認識という広い範囲で問題にするとき、学習と関わりをもって来るはずである。もはやシミュレーションは、教授者と学習者とのコミュニケーション手段としては語れない。シミュレーションを広義の学習で捉えるとき、学習者（シミュレーションの行為者）個人の認識のプロセスとしての内的なコミュニケーションと捉えるのか、あるいは認知理論が有用な学習理論であるならば、シミュレーションに関わる学習の制御プロセスをどのように説明できるのかは、今後の問題として残されている部分である。なお、これらはシミュレーションを学習としてどのように捉えるかを問題とするものであるが、一方、学習そのものを考えるアプローチとして、ブレイン・シミュレーションという概念があるようにシミュレーション概念が問題とされ、興味深いところである。

1) 中内敏夫 「教材と教具の研究」、5

サイバネティックスの定義には様々な定義があり、たとえば「動物体、技術装置および社会における制御と通信のプロセスを研究する科学である」、「情報の伝達、処理、保存のプロセスに関する科学である」、「現実に進行する制御プロセスを記述するアルゴリズムをつくり、その構造を明らかにし、同型変換する方法を研究する科学である」、「複雑な発達をする系あるいはプロセスの目的指向的制御に関する科学である」、「種々の本性を持った制御系の機能に関する一般的な法則および原理に関する科学である」などであるが、サイバネティックスの基本概念は制御系という概念である。（サイバネティックス入門、ベ・ヴィリネル他著、益子正教訳より）

2) Bandura, A. Social learning theory, 22, 1977.

Bandura の社会的学習理論は、モデルが表す行動（示範行動）を観察して、そのモデルの行動を観察するという観察学習を基礎理論（モデリング理論）としており、観察学習に次の4つの構成要素があると考えている。

- ① 注 意 人がある行動に着目し、その中の重要な特徴を正確に知覚することをいう。何を見つめ、そこから何を引き出すかを決定する。
- ② 記憶の過程 感化を受け、模倣しようとする行動を刻み込む働きを指す。観察

者は、形象としての行動を言語に置き換えることによって、そのようにしないものよりも多く学び、また保持することができる。

- ③ 象徴的表象から適合的行為への変換 学んだことを行為に転化すること。すなわち、フィードバックをしながら自己修正を行い、より高度な行動へと引き上げていくことである。
 - ④ 動機づけ 他人の行動が自己にとって有益であるか、あるいは望ましくない結果をもたらすかという、観察学習に影響を与えることをいう。
- 3) 生物学的な繁殖に関するルールを単純なアルゴリズムによる疑似的ルールに置き換え、これによって様々な増殖パターンが表現されるというもの。
 - 4) J. ボードリヤール著、竹原あき子訳「シミュラクルとシミュレーション」、28. 彼は、この比喻について、本物の犯罪と模擬の犯罪とは客観的には全く違いはなく、両方とも同じ動作であり同じ記号であり、既成の体制にとってはどちらも実在の次元にあると述べ、実在しか調査し理解することしかできない体制の重要性について検討しなければならない、と問題を投げかけている。
 - 5) Alfred Bork. Learning with Computers ,
 - 6) Thorson, E. Simulation in higher education. JEM, University of Victoria , June 1982.
 - 7) Gagne , R. M. Conditions of Learning (4th Ed.). Holt , Rinehart , and Winston, 1985
 - 8) Alfred Bork. Learning with Computers , 106
 - 9) たとえば、Bork の前掲書に引用されている“ROPEGAME”、“HOCKEY”、“MOTION”、“FIELD” など。
 - 10) Klaus Breuer & Halyna Hajovy. Adaptive Instructional Simulations to Improve Learning of Cognitive Strategies. Educational Technology, 1987, 5, 29-32
 - 11) Wedekind, J. P. E. Computer-Aided Model Building and CAL. Computers and Education, 1982, 6, 145-151
 - 12) 木村捨雄、坂谷内勝 「確率概念を形成するシミュレーションCAI」。
木村捨雄研究室昭和59年度研究報告書
 - 13) 職業訓練研究センター、CAI プロジェクト。
「シーケンス制御〔有接点編〕」は、昭和61年度の開発で4つのコースから構成され、シミュレーションによる「配線実習」はその1つである。「PCの基礎」は、昭和62年度の開発で4つのコースから成り、シミュレーションによる「実用制御回路の

プログラミング」は、その1つである。

- 14) 職業訓練研究センターでは、従業員類型別訓練プロジェクトを設け、山梨技能開発センターとの共同研究を行っている。このシミュレーションプログラムは向上訓練（旋盤加工技能クリニック）で実施する訓練プログラムの中で使用することをねらって開発されたものである。現場の技能者に対して、経済性という視点での旋盤加工の見直しを図ることを目的とした教材である。
- 15) 職業訓練大学校機械科、広田平一教授の指導による学生実験研究「C.C.A.の実用化の研究」1978. 3

（ たにぐち ゆうじ 職業訓練研究センター 建設・木工系訓練研究室 ）