

電子模式図システム ESD の試作

白波瀬 雅也¹⁾, 佐藤匡正²⁾

¹⁾ 島根大学大学院総合理工学研究科 数理情報システム学専攻

²⁾ 島根大学総合理工学部 数理情報システム学科

Electronic Schematic Diagram System for IT Learning

SHIRAHASE Masaya¹⁾ and SATOU Tadamasu²⁾

¹⁾ *Department of mathematics and science system,*

Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Graduate School of Shimane University

²⁾ *Department of mathematics and science system,*

Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University

Abstract

In IT education it is important to learn the principles and the ideas of the background of IT systems or devices. Although current static schematic diagrams (SSD) are effective to illustrate them, they are restricted to present static and simple ones, while IT's ones are large and have complex constructs and actions. An improvement in SSD is to be computerized with hierarchical diagrams and dynamic presentations on them. This paper discusses two experimental systems that have been continuously developed. The first one is a program that provides to draw the schematic diagrams (SD) with hierarchical sub-diagrams and simple actions. The program is limited to draw only the instruction fetch action in CPU. The next one is a language processor that enables to interpret the description in the specific language into SD. Through these experiments it has become clear an implementation method and difficulties accompanying it.

1. 序

情報技術(IT)の教育内容を大別すると、利用技能面および原理面に分けられる。利用技能面は IT 装置の操作をするための技能を習得させるものであり、原理面は IT の実現のために用いられる装置やシステムのしくみや構成法を理解させるものである。現状の教育では、利用技能面の習得が主体といえる。これは近年におけるインターネット網の急速な発展に合うよう演習・実習を中心とした PC 機(Personal Computer)上のソフトウェア操作方法の習得が重要視されているためである。

しかし、大学の情報教育として考えた場合、技能教育だけでは不十分である。技能教育は、速成教育としての効果はあるが、技術に対する理解が不十分なため、とかく応用が利かないことが危惧される。昨今の IT 技術の激しい変化において、習得した技能の陳腐化は避けられず、新たな学習が必要となる。このために、他の学問分野と同様にものの考え方、系や装置の背景にあるしくみや原理を教育することが効果的である。

本稿では、IT 教育において原理面の教育に資する様に、IT 技術における通信網から装置に至るまで、ハードウェアだけではなくソフトウェアを含む複雑な系の構成法や動作原理を表現することが重要と考え、このための一手法として模式図を電子化した電子模式図システムの試作について述べる。

2. 電子模式図と試作

IT 装置の構成や動作原理を学ぶために適した方式を探るために IT 学習上の問題点について考察し、これに基づいて電子模式図システムの概念を整理する。

2. 1 学習上の問題点

IT 装置のしくみや原理の学習における問題点は次の三項目に整理できる。

(1) 多種多様な専門知識

主として、計算機工学、電子工学、システム工学を基本とした多種多様な知識が必要となる。こうした知識は、情報を専門としない学習者にとっては馴染みがない上に、珍妙な略号で表され、体系化されていない取り決めの類が多く、理解するのに苦しみが伴う。特に、多量な暗号の略号やカナ表現の記憶が要求されることおよび、事項に軽重の区別が付き難いことが学習上の難点である。このため、余儀なく「暗号学習」となっている。

(2) 原理の記述不足

系の構成や原理についての解説書は十分とは言えない。入門書の記述は装置の構成よりも機能の説明に止まり、原理の記述は不十分である。一方、専門書では膨大な知識を前提とした記述、もしくは特定機種の具体的な事項の記述であり、専門家以外には難解である。

(3) 構成装置連携の記述不足

装置の構成として F/F(フリップ・フロップ)回路やレジスタなど構成装置や回路個々についての原理は記述されることもあるが、装置の組み立てた系としてのつながりや装置間の連携動作については不明である。現状における装置や系の原理や構成を示すために、ブロック図や回路図などの形式で模式図が利用される。しかし、複雑な系を一葉の模式図だけによって表現するのは難しい。また、静止図のみの模式図だけでは動作の原理を表現することも困難を伴う。

2. 2 電子模式図

上の問題を解決するため、模式図を基にした次の方法を考える。これを電子模式図(Electronic Schematic Diagram System : 以下 ESD)と名づける。

(1) 動作脚本の作成

複雑な構成をもつ機械の動作原理を示す方法として、その機械のひとつの外部機能に着目してこの機能が内部でどのように実現されているかを示す。この外部機能および関係する内部装置の動きを動作脚本としてまとめる。

(2) 模式図の構成

模式図のその構成を規定する方法を考案する。

模式図の構成要素を、ブロックを単位として捉える。ブロック図は箱形のブロックの結線図で通常の電子回路に用いられている。装置の構成は、ブロック図を連結および階層化によって得られる構造である。

(3) 動作の捉え方

動作は、ブロック図中の線上を動作象徴物の推移を表現することによって与える。象徴した円板を示し、これを移動させることによって表現する。

(4) 階層化

最初から複雑な内容を理解させようとするのは難しい。そこで、おおまかな内容から詳細の内容へ順に学習するのが、自然な流れと考え、段階的な詳細化の層を持つ階層の考え方を取り入れる。上位層から構成する部分システムの次位層へ移行することにより、より詳細な動作を表現する。

2. 3 試作の方針

上の考えを実現するために、教育用の映画やビデオなどの完全動画による方法が理想的であるが、その製作をする上で費用および期間のかかる点が問題となる。この問題解決策として ESD 図による方法を考えこの実現のための試作を行う。試作は二次に互って実施する。第一次では汎用プログラミング言語によって図をプログラムによって表示する方式の実現を試みる。つまり、計算機システムの命令フェッチ動作に限定した図を表示するプログラムを作成し、ESD の効果および汎用化の見直しを得ることを目的とする。第二次では、図記述の汎用化を試みる。つまり、ESD 図を表現する内容を図記述言語で記述する方式の実現を試みる。

3. 命令フェッチ ESD 図の試作

手続き型言語による ESD 図の試作を行う [1]。本試作では複雑な動作を表現することが目的であり、その動作として CPU の命令フェッチ動作を表すプログラムを作成する。

3. 1 システム構成と動作

試作対象とする命令フェッチについて、背景とする計算機システムの構成およびその動作を次に示す。

(1)システム構成

3バス方式における命令フェッチ動作のESD図を考える。この命令の実行される計算機システム構成を図1に示す。最上位層にCPU装置とMEM装置が存在し、CPUの構成装置としてPC(プログラム・カウンタ)、IR(命令レジスタ)、TCU(間合わせ制御装置)を考える。なお、制御バスについては図の簡単化のためバス線自体の表現は省略する。

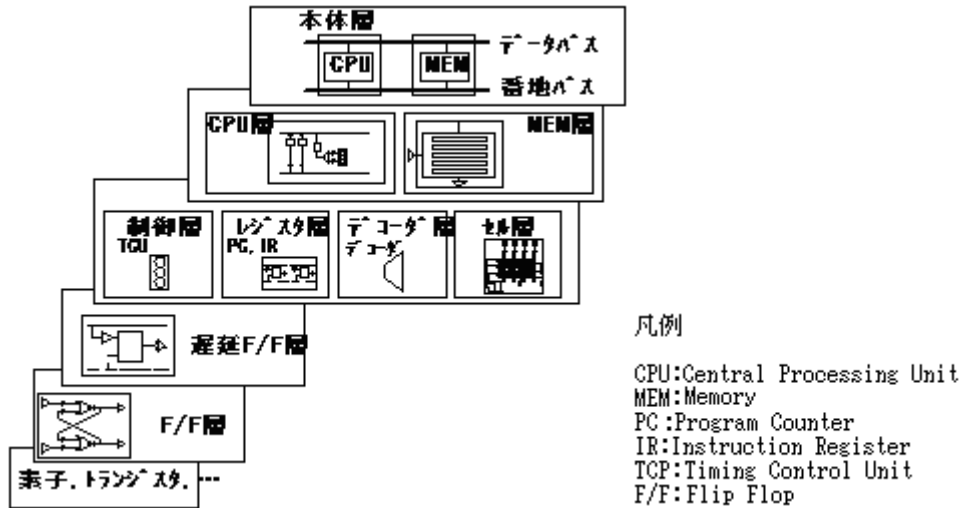


図1 命令フェッチ ESD の構成

(2)動作

CPU 命令フェッチに関わる一連の動作を示す。このための命令として、データ転送命令を想定する。この命令実行はCPUとMEMのデータのやりとりによって行われる。この様子は次の9連の処理刻みによって処理される。なお、次の記述において、→は動きの推移を示す。

- ①開始：本体層のCPU装置
- ②命令の読み取り：PC→番地番号(番地バス経由)→MEM→命令データ(データ・バス経由)→IR
- ③命令の解釈：IR→デコーダ→TCU
- ④命令の実行：TCU→PC
- ⑤オペランドの読み取り：番地番号(番地バス経由)→MEM→命令データ(データ・バス経由)→IR
- ⑥命令の解釈：IR→デコーダ→TCU
- ⑦命令の実行：TCU→対象レジスタのゲート
- ⑧データの転送：転送元レジスタ→データ(データ・バス経由)→転送先レジスタ
- ⑨ゲートの閉め

3. 2 ESD図の構成法

ESD図を実現する方法における図の構成法および動作の表現方法を述べる。

3. 2. 1 図の構成法

(1)画面構成

装置域および動作パラメータ域を設ける。装置域はCPU装置およびMEM装置の表示域であり、動作パラメータ域は電子模式図の環境を制御用パラメータ値により設定するための表示域である。

(2)CPU装置の表示

CPU装置の内部装置としてALU、AR、PC、IR、TCUを配置する。また、ARとPCは制御バスの働きを示す様にバスとの接続線の途中にゲートを設ける。

(3)MEM装置の表示

メモリ装置の内部はメモリの番地セルを模した四角を配置する。

(4)階層表現

主要な装置の詳細な内部構成は階層化による表現機能をもつ。例えば、MEM 装置においては、記憶セルおよびフリップ・フロップを階層化して表現できる。これを図 2 に示す。これは、学習者の選択により動作の独立した別窓が開かれ、詳細を見るための機能である。

(5)動作パラメータ域の設定

対象レジスタの変更や実行・停止、動作の速度調節、階層の切り替えを行うためのスイッチを配置し利用者の指定を可能とする。

(6)その他

動作時点を表示するための註釈箱を配置する。

3. 2. 2 動作表現法

動作を信号の伝播を模した円板を用いる。これを結線上を推移させることによって動作を表現する。この方法は完全動画によるものよりも実現が容易であり、動作のもつ印象を与える。また、円板を結線上に容易に描くことができるように、ブロック図でブロックの大きさを規格化し、結線の座標位置についての標準化を図り、この結果、円板の動きの様子は座標のみによって与えられる様にする。

構成装置の活性化状態を色の変化によって表現する。さらに、制御動作はゲートに限定する。矢印によって制御信号を模し、制御対象を指す。このゲートを開閉することにより制御の様子を示す。また、動的階層化機能をもち、上位層からの円盤の動きが次位層の装置へ継承される。

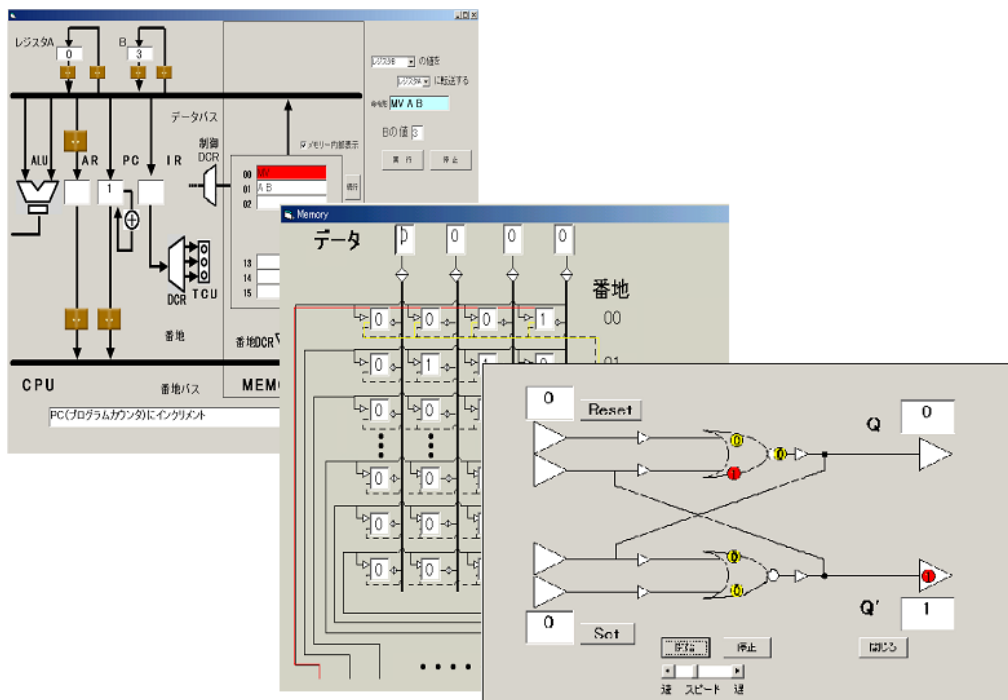


図 2 試作した命令フェッチ ESD

3. 3 試作による問題点

試作した命令フェッチ動作原理の ESD 図の試用によって次の問題点が判明した。

—装置ごとにプログラム作成が必要である。

簡単なゲート数の増加や別命令への変更などでも多大な手当を要することが分かった。

—プログラムにおいて、ブロックの配置および結線、動作表現処理の記述に手間が掛かる。

—汎用性がないため、限られたパターンしか動作表現ができない。

これらの問題を解決するため、言語で模式図・動作・階層表現を定義し、IT 装置の模式図を動作表現する方法を考え、

第二次試作を行った。

4. 言語記述による ESD

二次試作では模式図、動作および階層表現を記述する言語を考案し、汎用的な模式図表現法を実現する[2] [3]。

4. 1 言語記述による模式図の定義

ESD 図を次の三項目について記述する。なお、本言語を Cloud と呼ぶ。

(1)模式図

模式図はブロックによって構成される。ブロックについてその形状、位置、性質、およびブロック間の関係について定義する。形状、位置は **SHAPE** 文によって定義し、性質は **IOMAP** 文で定義する。また、ブロック間の関係は **DIAGRAM** 文により定義され、図では結線により表現される。

(2)動作

ブロック間の関係を示す線上に動作象徴物を移動することによって表現する。

ーブロックの入出力

ブロックの入出力は、関数として **IOMAP** 文によって入出力端子数と、入力から出力への写像を定義する。処理系はこの定義によって入出力関係を決める。

また、直接記述ではないが、間接的な次の動作記述が用意される。

ー並列動作

並列動作は、端子の数および信号線の分岐によって定義する。

ー間合わせ

ブロックの入出力へ入力信号が全て揃う時点を設け、信号伝播を表示する。

(3)階層表現

模式図における階層を事物基軸型(object-oriented)における類の構造関係(structure)と考える。つまり、ある層のブロックを類と考え、この類の下位階層における詳細図は次位層と考える。具体的な階層構造の記述は、**DIAGRAM** 文による。上位層でブロックとして記述するのは、引用する類名である。形状や性質は類で定義したものを使う。

4. 2 システム構成法

ソフトウェア開発の型として螺旋型開発方式を用いる。1 つの構成要素を簡単にするために言語解釈部、図式表示部、動作部に分割した。これにより、各構成部を変更しても他の構成部には影響が及ばない。

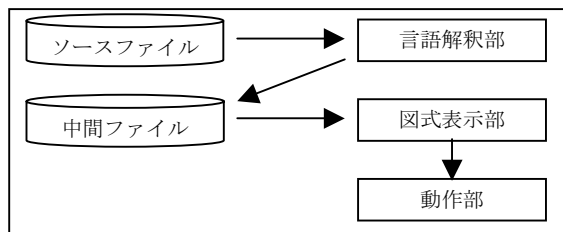


図3 システムの概略図

(1) 言語解釈部

動作原理を記述した言語を解釈し、結果を図式表示部・動作部に渡す。

(2) 図式表示部

各装置とそれらの間を結ぶ信号線を表示する。配置場所が指定されていない装置は、使用者に分かりやすいよう自動配置する。また、信号線は、装置や他の信号線に重ならないよう自動配線する。

(3) 動作部

装置の動作には、信号に模した円板を用いる。信号の種類は円板中の数値で表し、信号の流れは図式上の移動で表す。動作は図式表示部によって表示された図式から開始されるが、円板が IT 装置に入った際、動作を一時停止してその IT 装置の詳細動作を表す。

4. 3 例示

試作した ESD 図の簡単な例として NAND 素子の構成と動作を示す。図 4 の左端は NAND 素子の言語記述である。NAND 素子は AND 素子および NOT 素子から成る様子を示す。

この図における NANDMAP.cld の REFER 文では ANDMAP.cld を引用している。この ANDMAP.cld は別の類として定義する。この定義は図の右側で示す。ANDMAP.cld の記述において最下段の LAYER 文によって階層の位置づけが定義されている。下段の図は、上位層の NANDMAP.cld から階層表現によって、詳細表示された ANDMAP.cld が実行された結果の画面である。

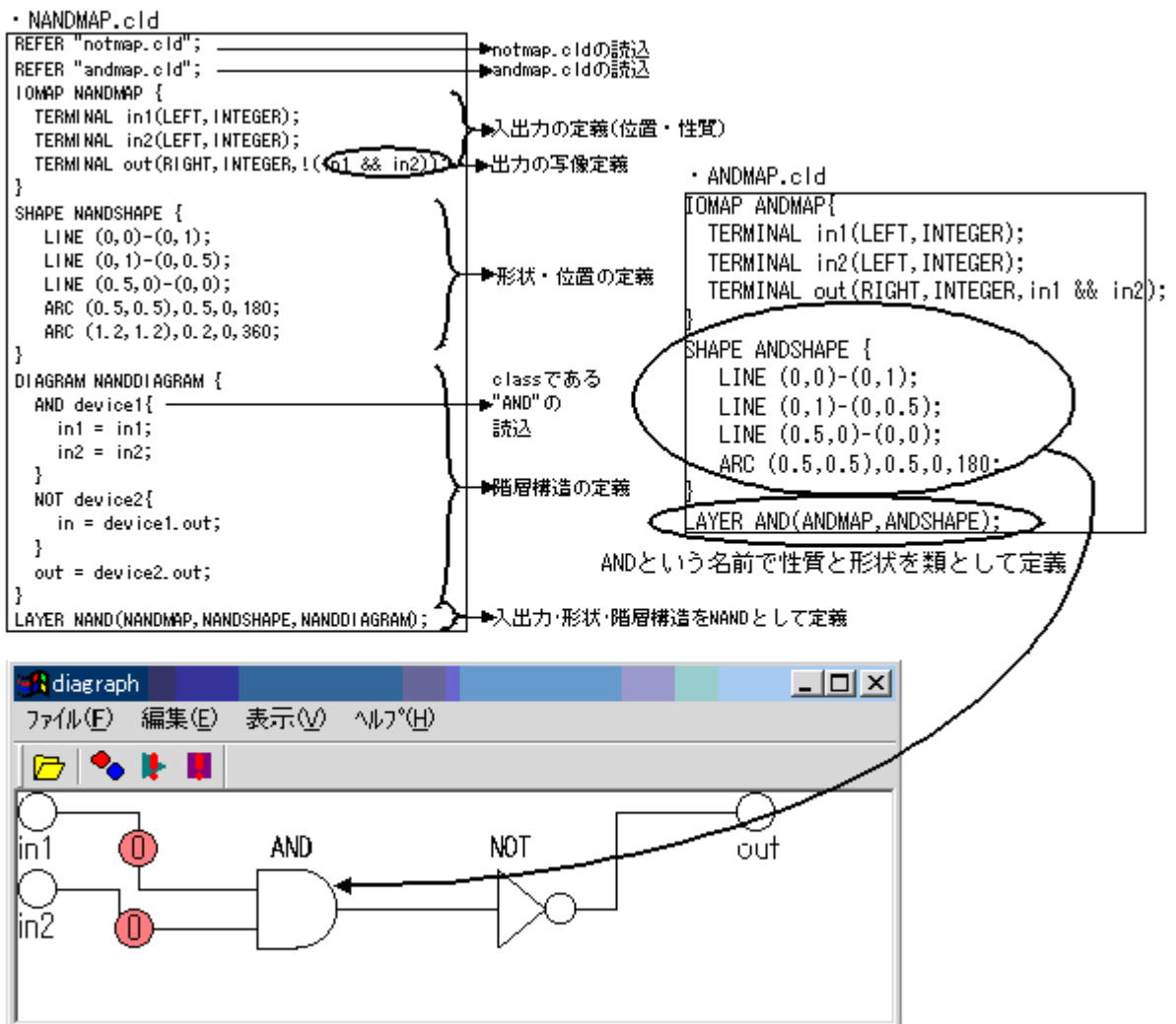


図 4 言語記述によるの表現例

4. 4 試用と考察

開発した試作システムの適用域を把握するために以下の調査を行った[4].

(1) 調査対象

適用拡大の対象域を電子、通信、機械とし、これらの専門書における図 380 葉(総 400 ページ)について調査を行う。

(2) 適用可否調査

紙面模式図に次の判断基準による適用可否について机上検査によって判断する。

L0:適用可能

L1:部分適用(紙面模式図に制限を加える)

L2:適用不能(原理上)

(3) 検査結果

表1の①～④の特性をもつ模式図中のブロック図を見つけた。適用可否の主たる理由は表1に整理する。

表1 適用可否の論拠

ブロックの特性	適/否	理由
①単一ブロック(動作のない図)	適	静止画として適用
②結線の多義性(入出力でない関係)	適	結線が入出力以外の場合入出力がないので動作ないので静止画として適用
③動的ブロック構成	否	ブロック間の関係が保てなくなるため適用できない
④動作象徴の運動法の多義性	適	動作象徴の複雑な動作に制限をもたせることによって表現できる

(4) 考察

機能の適用性については、予備的な調査から7割程度に適用可能であった。今回の検査結果では図5に示すように、適用域によって可能性は89%から51%の範囲で変化することがわかった。

この結果から通信網の模式図は動的なブロック構成が多く、本手法では適用し難いと言える。また、機械分野では表1の①と②の特性を持つものが多く、静止画として適用される。その比率は、L1に対して83%占めているので動的な効果が期待できない。電子分野ではブロック間の関係があるものが多く動作象徴物による動作表現が容易である。したがって、電子分野への適用が効果的であると言える。

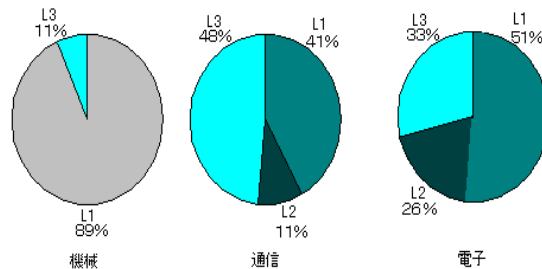


図5 分野別による適用

しかし、本手法では機械・通信分野では効果があまり期待できない結果となった。これは、模式図の構成要素の表現や動作の自由度の低さが問題であると考えられる。

5. 結論

模式図に、動作と階層表現を加えた電子模式図を実現するシステム ESD の試作について述べた。複雑な構成や動作を持つ IT 装置を一葉の静止模式図が不可能であった表現ができた。

しかし、本提案の表現方法は、改善の余地があり、適用域の偏りが見受けられる。これは、一貫した考え方で、異分野にも適用できる方式が必要であるといえる。しかし、IT 教育における電子分野において、原理やしくみの教育の一方法として有効な方法と考える。

謝辞

本試作にあたっては、米子高等学校教諭田中博幸、(株)協和エクシオ金近勇治、(株)NTT データシステムズ松永真由美、(株)日立電子サービス南裕毅各氏のご協力をいただいた。また、論文作成にあたって本学岡篤志および石田真希女両氏の助力をいただいた。皆様のご尽力に感謝の意を表します。

参考文献

- [1]佐藤, 白波瀬, 田中:「IT 装置の動作原理表現システム」, 島根大学総合理工学部紀要シリーズ A Vol.35, pp. 83-90 (2001)
- [2]松永, 白波瀬, 金近, 佐藤:「IT 装置の動作表現の一手法」, 電気・情報関連学会中国支部第 52 回連合大会, p149(2003)
- [3]白波瀬, 松永, 金近, 佐藤:「言語記述による IT 装置の動作原理図式表現法」, 工学工業教育講演会 第 50 年次大会(2003) pp. 519-520
- [4]白波瀬, 南, 佐藤:「電子模式図の適用性」, 工学工業教育講演会 第 51 年次大会(2003) pp. 229-230