

効果的な IT 教育のための電子模式図システムの実現法

門田洋太郎*、白波瀬雅也*、佐藤匡正**

(*島根大学大学院総合理工学研究科、**島根大学総合理工学部)

Implementation Method of an Electronic Schematic Diagram System for Effective IT education

Youtarou KADOTA, Masaya SHIRAHASE and Tadamasa SATOU

Abstract

In IT(information technology) education learners should acquire systematic knowledge about construction schema and fundamental behavior in an IT system. Generally, as for an IT system, it is not so easy to learn those internal principles deeply because they are large and complicated for learners. It would almost be the only method under the present situation to use conventional schematic diagrams to illustrate the principles of IT systems with preparing a set of diagrams. In applying the method, we should consider problems in learning. There is the fear that learners would be confused by the configuration order of schematic diagrams when learned due to their numbers and could not hold the behaviors of an IT system drawn in a schematic diagram.

This paper shows an electronic schematic diagram system(ESD) to solve these problems. This system enables to improve understanding of learners by constructing hierarchical diagrams detailing in a top-down fashion and by presenting actions which make highlight to limit the viewing range within a specific portion in a diagram. A diagram in ESD describes in a specific language with four kinds of description components ; a block, a terminal, connection, and action. ESD can also help to create diagrams by a reuse of schematic diagrams.

1. 序論

近年、情報処理 (Information Technology : IT) 教育は中学および高等学校における「情報科」の新設必修化に見られる様に重視されている。また、この充実は生涯学習の観点からも重要である。これは、IT 装置の普及により、仕組みや原理に関心がもたれていることや、学習者の技術的な知識が高学歴化に伴って高まってきたことにより、生涯学習の対象も技術的なものにも関心が広がりつつあるためである。この学習対象として IT 技術は大切となる。

IT 教育では、計算機の操作を主体とした技能教育が中心となっている。このような教育方法では促成教育としての効果はあるが、技術内容に対する理解が不足するため、とかく応用が利かないことが危惧される。本来は他の学問分野と同様に基本として、背景の考え方を教えるのが正当である。

この応用の利くための一つの教育方法として、複雑な系や装置の動作原理を学ぶことが効果的である。この視覚的な方法として、書物および板書などにおける模式図の利用が考えられる。

模式図は、複雑な装置や系の原理や構成について不要な詳細を省き、学習者に伝えるべき基本的な事項に絞ることができるという特徴をもつ。しかし、この一方で現実味のある動作や構成の変化を表現することは難しい。一葉の紙面に盛りだくさんの内容を表現すれば模式図本来の特徴が失われる上、紙面媒体では使用可能な図の数に制限がある。

そこで、紙面上の模式図の一改善策として電子化を考える。図を PC 機の画面に表示することによって表現能力の強化を図る。例えば、図の一部のハイライト表現や、抽象化表現のための階層化機能および動的な変化の表現のためのアニメーション機能を備える。

この実現の試みとして、「電子模式図 (ESD : Electronic Schematic Diagram System)」が考えられ、その発展形として、ESD 図を専用の図記述言語によって記述する方法が考えられた [1] [2] [3] [4]。ESD 図の作成は、原理上から言えば階層および動作の記述機能をもてば可能である。この様なソフトウェアは数多く存在し、例えば、発表用スライド作成ソフトウェア、動画作成ソフトウェア、および電子学習 (E-learning) の教材作成支援ソフトウェアなどがある。しかし、これらは汎用製品であり、適用を ESD 図に限定した場合に購入や作成費用および改版を伴う専用機能化の点で問題になる。このため、実現方法が簡易でしかも学習効果のあがる方法の実現が望まれる。

本稿では、ESD 図を図記述言語で作成するシステムについて、その実現方法および記述支援について述べる。

2. 電子模式図作成システム

2.1 構成法

(1) ESD 図とブロック図

ESD 図は紙面に記述される模式図を電子的に画面上に表示するものであり、静的な図表示機能に加え、動作および詳細化の階層を表現する機能をもつ。これは、複雑で大規模な IT に関する系や装置の構成を表現するための図式表現方法である。

ESD 図では一つの系や装置全体を一つのブロックとして定義する。この系や装置は複数の構成要素からなるため、これらをそれぞれブロックとする。つまり、装置全体およびその部分装置をブロックで抽象化して表示する。したがって、系や装置はブロックとその関係によって定義される。これをブロック図と言う。

ブロックを表示する基本形状は箱で表し、他ブロックとの関係は線によって結ぶ。これを結線という。つまり、一葉のブロック図は図式表現として、いくつかの箱と結線によって構成される。このブロックは箱以外に論理回路で用いられる MIL 記法や写真などを用いることができる。

図 1 に計算機システムの構成例のブロック図を示す。本図では 3 個のブロックである鍵盤装置 (KEYBOARD)、本体装置 (HARDWARE)、表示装置 (DISPLAY) に対して画像を貼付けて具体的な意味合いを表現している。

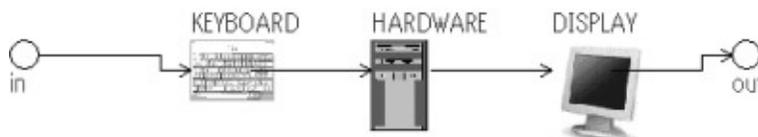


図1 計算機システムの構成

(2) 図構成法

ESD 図は詳細化の刻み（層）による階層構成をとる。ブロック図のそれぞれのブロックを更に詳細化した次位層のブロック図として表示する。つまり、装置全体の構成を部分装置によって描き、部分装置を段階的に詳細化するために個々の装置毎に階層的なブロック図を描く。例えば、計算機システムでは、本体装置の部分装置として CPU（Central Processing Unit）装置と記憶装置を考え、CPU 装置の部分装置として、ALU（Arithmetic and Logical Unit）、PC（Program Counter）、IR（Interaction Register）、DEC（Decoder）などを考えると、これら全てが一葉のブロック図で構成され、全体としては複葉の階層的なブロック図から構成される。

階層表現機能は、教材（ESD 図）作成者においても、学習者においても有効な考えである。作成者は、記述の対象とする系や装置について降下式（top-down）に考えることができる。つまり、最初に微細かつ複雑なものを考えるのではなく、全体を捉え、これを記述してから段階的に詳細な記述に移ることができ、教材作成の一つの指針（guideline）とすることができる。

一方、学習者には段階的な詳細化という一つの学習方針を与えることができる。つまり、全体を理解した後に一段階詳細なものへと進む。もちろん、状況によってはある層の全てについて理解できていなくとも、大きく全体を捉えることによって理解は深められる。また、知識に応じた詳細化の水準の選択も可能となる。

詳細の階層化の例として基本電子回路であるフリップ・フロップ（F/F）を図2に示す。最上位のブロック図は F/F が 2 個の NAND で構成され、その関係が示されている。この次位層にはその構成要素である NAND ブロックを、またその下位階層としてこの構成要素である AND および NOT ブロックを MIL 記法によって示されている。

図2 フリップ・フロップ

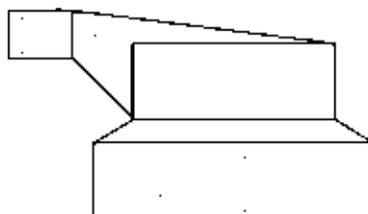


図2 階層の例

(3) 動作表示

ESD 図における動作の表示方法について述べる。

● 基本表示

動作表現は、ブロック図の結線の上を小円盤の移動によって与える。小円盤はデータの推

移を象徴するために設ける。ここで、データとしたのは一般的な言い方のためである。電子回路においては信号のことである。ブロック図におけるデータの推移は個々のブロックの状態によって変化したり、複数のデータが同時に発生したりする場合がある。このため、動作表現に関係する項目としてブロックの入出力関係、動作の並列性、間合わせが重要となる。

- 値の変化

値はブロックに入力すると、ブロック自身の働きによって変化し出力となる。この働きは後述のようにブロックの定義において定義する。この出力の変化を色によって表示する。つまり、入力の小円盤がブロックに入った時点で隠し、出力時点で別の色によって出現させる。したがって、出力が変化しない場合（例えば、中継器（repeater）やダミー）では同色である。

- 間合わせの表示

ブロックによって複数の入力が必要となる場合がある。簡単な例は F/F の入力における出力からの帰還値である。この間合わせを始めとする時間的な推移についての理解は学習者にとって大切であるのでこの表示機能を備える。これは、ブロックと円盤の軌跡によって表示する。

ブロックに到達する複数の円盤は一般に到達する時刻がバラバラである。その最後が到達する時点で出力に円盤を出現させることによって間合わせを行う。つまり、ブロックからの小円盤の移動の開始を遅らせる。また、円盤の軌跡を結線の色を変えることによって残せば、過去の経緯との関係が表示されるので、間合わせの理解に役立つ。

- 階層間の動作の引継

階層間に互る連携動作を表示するために上位層の動作は間合わせして下位層に引き継がれる。下位層の窓が開いている場合はこの様子が表示される。

2.2 電子模式図記述言語

(1) 概要

ESD 図は新たに考案する図記述用の言語によってその定義を記述する。本処理系は、大別して言語の翻訳部と画面表示部からなる。ESD 図の記述内容は、言語処理部が翻訳して中間言語としてファイルに出力する。画面表示部はこの出力された内容を解釈して、まず画面に静止画を表示し、続いてこの図の上に動作要素を表示する。

ESD 図の記述は大別してブロック図、動作、および階層から成る。これらについて次に述べる。

(2) ブロック図記述

ブロック図の記述対象はブロック単体およびブロック間の関係の定義である。

- 単体の定義

ブロックの機能、形状および配置の定義を与える。**機能**は入出力端子の数と名前の定義およびこれらの関係（関数）を定義する。**形状**は、線、円弧、矩形の組み合わせを定義する。また、ブロックに具体的な意味を与えるために、その形状として MIL 記号、あるいは指定する写真等のビット・マップ形式の画像が使用できる。

- ブロック間の関係の定義

一葉の図におけるブロック間の関係は、基本的には、①定義されたブロックについての配

置順および②定義された端子名の指定（名前の参照）によって記述される。この記述によって配置および結線は自動的に行われる。まず、一意の配置順によって処理系が画面上におけるブロックの配置を自動的に決定する。この後にブロックと端子名を識別することによって関係を表す結線を確定する。この結線の線種として直線、矢印、および点線が指定できる。

(3) 階層の記述

階層を設けるためには、対象のブロックに対して下位ブロックをブロック図として定義する。下位層のブロック定義において既定義の上位ブロック名を指定する。このとき、最下層に位置するブロックは下位ブロック図を定義しない。

また、基本的なブロックとしてよく用いられる AND や OR などの論理ブロックは部品として用意している。

(4) 動作の記述

動作は、基本的には処理系が入出力端子および入出力関係の記述を自動的に解釈することによって与えられる。これは、処理系の動作表示部によって行われ、次の規則に従って解釈される。

- 小円盤は必ずブロック図の入力端子から右方向にのみ結線上を移動する。
- ブロックに入るとその姿を隠し、出力端子には入出力関係によって指定された色変化をさせた姿を出現させる。
- 結線が分岐する場合、その数と同数の小円盤を出現させ、同時に移動させる（並列動作）。
- 入力値の間合わせは各ブロックにおいて必ず合わせる。

(5) 構文規則

以上の記述をする図記述言語の構文規則（一部）を拡張 BNF 記法によって図 3 に示す。

<pre> <Cloud 言語> ::= <上位類> <装置名> { { <入力端子の定義> } + { <ブロックの定義> } + { <出力端子の定義> } + [<形状の定義>] <上位類> ::= Composition Primitive <入力端子の定義> ::= Terminal <端子名> { INPUT <出力端子の定義> ::= Terminal <端子名> { OUTPUT = <入力と出力の写像>; <ブロック間接続の定義> <ブロックの定義> ::= <装置類名> <端子名> { <装置名> . <端子名> = <装置名> . <端子名>; <形状の定義> ::= Shape { { <線描画> } { <円弧描画> } { <矩形描画> } * </pre>	<p>凡例</p> <pre> ::= ... 左項の定義 < > ... 非終端記号 { } ... 囲み ... 選択 [] ... 省略可 英字列 ... 鍵語 *, + ... クリーネの閉包 </pre>
---	--

図 3 図記述言語の文法（一部）

図において最上位行から<上位類>の直前の行は図記述全体として記述すべき項目およびその記述順を表す。<上位類><装置名>は、この記述項目がこの順でかつ必須である規則を意味する。次行の{}+は<入力端子の定義>が1回以上記述される意味である。最後の項目[<形状の定義>]はこの項目の記述が省略可能であることを意味する。

2.3 記述支援機能

言語による図記述の場合、図作成者は一般のプログラミング言語と同様に、言語についての

学習および技能の習得が必要となる。本システムの教育現場での利用を拡大してゆくには、記述支援機能の装備が必要とされる。本システムではこの手段として、GUI*機構による操作および既存図の再利用を可能とする支援システムを備える。

(1) 基本機能

本支援系の基本機能は ESD 図の作成者に言語を意識させない図記述機能を提供することである。言語記述の代わりに GUI 操作環境を設け、作成画面上においてブロック図の作図を行う。この作成画面上での操作状況は図記述言語のソース文として解釈され出力される。この仕組みによって作成者は言語の煩雑な構文規則や制約から解放される。

本基本機能を応用した部品作成および再利用を行う支援機能を次に述べる。

(2) 新部品作成

模式図に記述されている構成要素は、論理回路の論理素子記号やファイル、PC 機などのシステム構成図の記号など典型的なものが少なくない。ESD 図でもこれらはブロックとして定義される。

これらを部品として用意しておくことによって利用者の同種作業の反復という作業負担の軽減が図れる。このために部品作成窓を設ける。この窓に付随する部品ライブラリ窓を設ける。これには既存部品を表示する。全く新たな部品はこのライブラリとは別個に作成する。一方、新たな部品を既存部品の変形や組合せによって作成する場合には部品ライブラリ窓の部品をクリックして選択し、部品作成窓にドラッグして運んで必要とする加工を加え完成させ、新部品としてライブラリに追加する。

(3) 再利用支援

本記述支援システムは既作成図に基づいてその一部を手直しする機能をもつ。例えば、模式図編集窓に、指定された模式図を表示させ、その構成ブロックについて内容の編集、削除、追加等の操作を行う。また、ブロック間の結線についての編集機能、および、階層の編集機能を設け、枠組みの層水準の変更、移動、削除の操作を行う。

3. 実行例

3.1 電子模式図表示システム

電子模式図表示システムの実行例を図 4 および図 5 に示す。

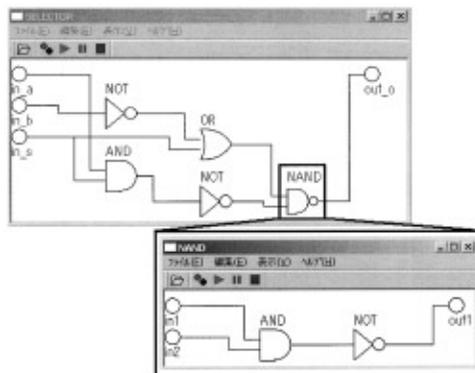


図 4 実行例 1

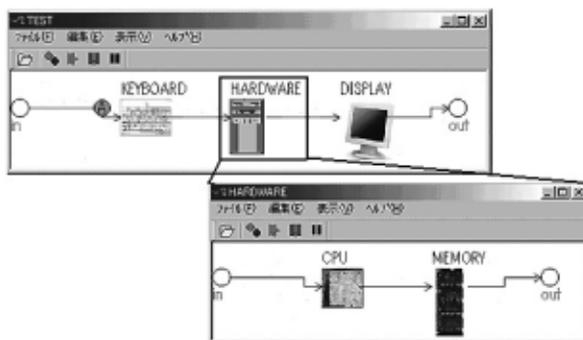


図5 実行例2

図4はセクタのブロック図である。本図では部品として用意されているMIL記号による論理記号をブロックとして使用して、セクタ装置の構成を示している。また、階層を示すために、次位層の窓を開いてNANDブロック図を表示している。

なお、動作は三入力端子を始点として小円盤が同時に出現し、右方向へ移動して行く。この様子は本紙面上では表現できない。

図5は図1で示した簡単な計算機システム図に本体装置の階層を加えたものである。次位層として、CPUとメモリがある。

3.2 記述支援システム

図6は上の図4のセクタ装置を記述支援システムによって作成した例である。本図の画面は記述支援システムの実行画面であり、グリッド内に描かれた模式図が作成者によって描かれた図である。このシステムによって作成した模式図は図記述言語のソース・コードとして保存されるので、それを電子模式図システムによって表示させると図4のように表現される。

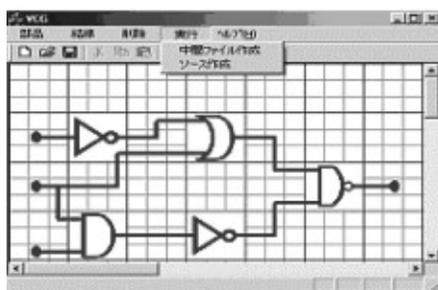


図6 記述支援システムの利用例

4. 評価

4.1 適用性調査

(1) 調査対象

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。

- L1：適用可能
- L2：部分適用可能（紙面模式図に制限を加えた場合）
- L3：適用不能

(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。適用可否とその主たる理由を整理する。

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動作が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

(4) 考察

今回の検査結果では図7に示すように、適用対象によって表現の可能性は89%から41%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、本方式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の特性をもつものが多く、静止画として適用される。その比率は、L1の89%中において83%を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。

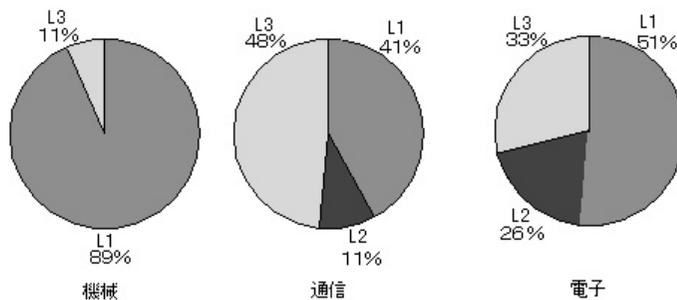


図7 分野別による適用

これらのことから、最終的な適用可否について次のことが言える。

- ・電子模式図として適用することができるのは、構成要素の位置が固定されており、動作順序が確定しているものである。
- ・電子模式図として適用することができないのは、構成要素の位置が変動するものである。このような適用範囲外の表現は、アニメーションなどの動画による表現が適していると考えられる。
- ・構成要素の位置が固定で、動作順序が不確定なものについては、動作に制限を与えることによって表現することができる。

4.2 記述支援機能

記述支援システムの評価として、単純な NAND 回路の作図を例題として図記述言語ソースの作成時間および誤り数を比較する。比較対象は、電子模式図表示システムの開発者を A、多少の経験のある者を B、一度も作成経験の無い者を C とし、本記述支援システムを利用した場合を D とする。以下にその結果を示す（表 2）。この結果から、本支援システムの利用による誤りおよび作成時間の減少化の可能性が推定される。

表 2 作成時間と誤り数

作成者	時間(分)	誤り数	要因
A	14	3	スペルミス
B	40	6	スペルミス
C	35	7	数値入力ミス、スペルミス
D	3	0	—

5. 結論

本稿では、生涯学習における教育用支援具として使用できる電子模式図の図記述言語による記述方式の実現方法について、本体の処理系の機能および記述支援システムの試作について述べた。また、これらのシステムの評価を行い、それぞれ電子分野の模式図への有効性、作図の労力・ミスの低減効果の見通しを得た。

しかし、その一方において適用経験から次のような課題が発見された。

- ・ IT 分野全体への適用に対応できない。
- ・ 表現は可能であるが、模式図本来の情報を十分に示せないものが多い（動きの制限が必要）。
- ・ 電子模式図表示システムと記述支援システムの連携が不十分。
- ・ 部品の管理・追加・編集機能が不十分。

今後の研究においては、これらの課題の改善を行い、実用性の高いシステムの開発を目指す考えである。

謝辞

本システムの試作にあたっては、協和エクシオ株式会社金近勇治氏、株式会社 NTT データシステムズ松永真由美氏、日立電子サービス株式会社南裕毅各氏のご協力をいただいた。また、本論文作成にあたって本学佐藤研究室の学生諸氏に助力をいただいた。皆様のご尽力に感謝の意を表します。

註

- *) 画像による利用者インタフェース (Graphical User Interface)

参考文献

- [1] 白波瀬雅也、田中博幸、佐藤匡正：「PC 機動作原理の一表現」、平成13年度 電気・情報関連学会中国支部連合大会、pp. 147-148 (2001)
- [2] 松永真由美、佐藤匡正：「IT 装置の動作原理表現法の一手法」、平成13年度 電気・情報

- 関連学会中国支部連合大会、p149 (2001)
- [3] 金近勇治、佐藤匡正：「IT装置の動作原理表現言語 Cloud の設計」、平成13年度 電気・情報関連学会中国支部連合大会、p140 (2001)
- [4] 白波瀬雅也、金近勇治、佐藤匡正：「言語記述による IT 装置の動作原理図式表現法」、工学・工業教育研究講演会、第50回年次大会 (平成14年度)、講演論文集 pp.519-520 (2002)
- [5] 門田洋太郎、白波瀬雅也、佐藤匡正：「電子模式図システム Cloud における再利用支援機構の実現」、平成15年度 電気・情報関連学会中国支部連合大会、p345 (2003)