

茨城工業高等専門学校

# 研 究 彙 報

第 54 号

令和元年 6 月

RESEARCH REPORTS

OF

NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY(KOSEN),

IBARAKI COLLEGE

NO. 54

JUNE 2019

茨城工業高等専門学校

茨城工業高等専門学校研究彙報 第54号

目 次

< 論 文 >

論理回路教育における講義ノート構築方法— LATEX 及び TikZ/PGF の活用  
— . . . . . 児玉 隆一郎 (1)

< 実践報告 >

タイからの高専留学生に向けた基本技術用語集の作成  
. . . . . 二田 亜弥 (12)

# 論理回路教育における講義ノート構築方法

## — L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 及び TikZ/PGF の活用 —

兒玉 隆一郎

How to Prepare Lecture Notes about Logic Circuit  
— Use of L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X and TikZ/PGF —

Ryuichiro KODAMA

**Abstract:** This paper describes how to use L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X and TikZ/PGF in writing a lecture note for logic circuit. It is well known that L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X and TikZ/PGF provide an excellent capability to express all sorts of writings. Because many documents about L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X and TikZ/PGF are found not to describe how to use them for a particular purpose like drawings in a lecture note for logic circuit, I have given classes for almost one year while collecting information about their usage to make my lecture note for logic circuit. Those collected information is summarized in this paper. I hope this paper will help the readers effectively make similar lecture notes.

### 1 はじめに

技術系の高等教育における講義ノートは、各先生方が独自に構築されるケースが多いと思う。専門性に応じた内容の掘り下げなど、各先生方の工夫が活かされる。一方、教材の共通素材は少なく、そのような素材が存在すれば素材を利用することで教材のより本質的な部分に集中することができる。本論文では、情報技術系の授業である論理回路における講義ノート素材の作り方を提供することを目指す。

素材を記述する言語として、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X [3] 及び TikZ/PGF [1] を利用している。L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X は組版 (typesetting) と呼ばれる工程のための言語体系である。古くは職人が行ってきた組版工程は、現在、計算機で効率的に行われる。この言語の歴史は多岐に渡り、[3] にも記述されている。

もう一つの言語 TikZ/PGF は高度な描画機能を有するコマンド体系であり、L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X に組み入れる形で利用することができる (パッケージと呼ぶ)。論理回路では回路図や状態遷移図やタイムチャートなど多様な図が出現する。このような多様な図柄を記述する言語として TikZ/PGF が利用できる。

インターネットの時代なので、これら言語に関する情報は多数入手することが可能である。しかし、論理回路の教材というテーマで用法をまとめた資料は見当たらない。そこで本論文では、論理回路の特徴的な図表に対応して用法をまとめた。同様の教育に関わる方々に役立つことを期待する。

本稿の構成は以下の通りである。2章で論理回路授業の構成、3章で講義資料のフォーマットを述べ、4章で回路描画方法について述べる。5章から7章にかけては、論理回路の基礎、組合せ回路、順序回路というテーマ別に特徴的な図表に絞って L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X と TikZ/PGF のサンプルコードリストを使いながら作り方を説明する。8章に結言を述べる。

### 2 論理回路シラバス

表 1 に本論文で扱う教材のベースとなる論理回路授業のシラバスを示す。教科書には [4] を使用している。本文で用いる論理回路の用語は [4] に依拠している。

本稿の主題は L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X と TikZ/PGF の利用方法なので、教科書が主題とする論理回路自体の説明は行わない。表 1 に現れるキーワードに関係する図表を扱い、その作り方を中心にして述べる。

講義ノートはそのまま講義に利用できるよう、プレゼンテーション資料として作成される。作成にあたっては L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X と TikZ/PGF の基本的なコマンドも用いるが、多数のパッケージも用いている。後に一覧するパッケージは回路素子の形状を提供するものから、論理回路に出現する特徴的な図柄を効率的に記述する新たなコマンド体系を提供するものまでである。これらの利用方法が本稿の主題となっている。

表 1 論理回路シラバス

No	テーマ	キーワード
1	論理関数の基本演算	基本的な論理演算, ド・モルガンの定理, 図示記号
2	論理関数の標準形	主加法標準形, 主乗法標準形
3	論理関数の簡単化	カルノーの図, ベイチの図, クワイン-マクラスキーの方法
4	無定義組合せ	簡単化
5	NAND・NOR 回路	完全系
6	半加算器・全加算器	加算器, 減算器
7	順序回路	状態遷移, ミーラー・ムーア形, 同期
8	記憶素子	フリップフロップの動作, タイムチャート
9	カウンタ, レジスタ	

### 3 講義資料のフォーマット

#### 3.1 Beamer

```

\documentclass[aspectratio=169,dvipdfmx]{beamer}
\usetheme{metropolis} % Beamer Theme
\addtolength{\textwidth}{-10pt}

\begin{document}
\begin{frame}\frametitle{Frame Title}
\begin{center}Description for this title\end{center}
\begin{columns}[T]
\begin{column}{0.4\linewidth}
\begin{minipage}[c][.7\textheight][t]{\linewidth}
Contents on the left half
\end{minipage}
\end{column}
\begin{column}{0.6\linewidth}
\begin{minipage}[c][.7\textheight][c]{\linewidth}
Contents on the right half
\end{minipage}
\end{column}
\end{columns}
\end{frame}
\end{document}

```

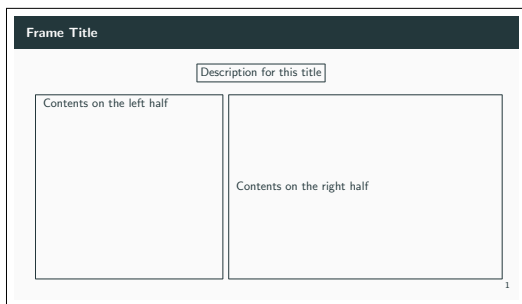


図 1 Beamer のスライド

Beamer [2] は、 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  でプレゼンテーション資料を作るためのフレームワークである。図 1 の上図に Beamer で書かれた  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  のサンプルコードリストを、下図に  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  処理系が出力した PDF (Portable Document Format) 文書を示す。PDF 文書は PDF 表示ソフトで開きプロジェクトで投影して講義に用いる。

コード先頭の `\documentclass` では文書のクラスを `{ }` に指定し、`[ ]` でオプションを指定している。オプションに見える `aspectratio=169` は横長のスクリーンを指定、`dvipdfmx` は  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  処理系の出力先を PDF に指定している。 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  文書では、`\begin{document}` から `\end{document}` の間に文章本体を書く。 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  ではこのように `\begin` から `\end` で囲まれた構造が頻出する。これを環境と呼び、例えば「文章本体は `document` 環境に記述する」のように言う。`\documentclass` と `\begin{document}` の間はプリアンブルと呼ばれ文章記述に使う定義などが記述される。図 1 のプリアンブルには、`\usetheme{metropolis}` があるが、これは Beamer の Look & Feel を指定している。これは `theme` と呼ばれ色や配置や背景などが一式として指定できる。ここでは、`metropolis` と呼ばれる `theme` を導入して使っている。指定しなければ、Beamer がデフォルトでもっている `theme` が使用される。`% Beamer Theme` のように `%` で始まる行末までの文字列はコメントとして扱われ、 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  の処理対象から除外される。

`document` 環境には Beamer のスライドが記述される。1 枚

のスライドは `frame` 環境に囲まれた範囲に記述される。この `frame` 環境を必要なスライドの枚数分書くことになる。`\frametitle{Frame Title}` はスライドのヘッダ部分に書かれるタイトルの指定である。これ以外、`frame` 環境内に書かれた文字や図柄は 1 枚のスライド内に表示される。図 1 では、`columns` と `minipage` を使ってスライドの 2 カラム構図を構成している。配置を分かりやすくするため、図では矩形を描いているが、図 1 のコードリストからは矩形描画のコマンドを省いている。

次章より説明する TikZ/PGF のコマンドを用いたコードリストをスライドに組み入れるには、コードリストをこの `frame` 環境内に記述すればよい。それによりベクタ形式の多様な図柄がスライドに埋め込まれる。

#### 3.2 使用パッケージ

表 2 使用パッケージ一覧

パッケージコマンド	用途
<code>\usepackage{tikz}</code>	TikZ 本体
<code>\usepackage{tikz-timing}</code>	タイムチャート
<code>\usepackage{amsmath, amssymb}</code>	数式
<code>\usepackage{graphicx}</code>	画像埋込み
<code>\usepackage{multirow}</code>	行結合
<code>\usetikzlibrary{shapes.gates.logic.US}</code>	回路素子記号
<code>\usetikzlibrary{fit}</code>	矩形描画
<code>\usetikzlibrary{decorations.pathreplacing}</code>	波括弧
<code>\usetikzlibrary{calc}</code>	座標計算
<code>\usetikzlibrary{automata}</code>	状態遷移図
<code>\usetikzlibrary{graphs}</code>	ネットグラフ
<code>\usepgflibrary{arrows}</code>	矢印

表 2 に、本文で紹介する図柄を記述するにあたり必要となるパッケージを一覧する。用途欄に、本文で必要とされる限りの用途をあげた。一覧には、 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  で用意された `\usepackage` 以外に TikZ/PGF で用意されたライブラリも載せた。これら必要なパッケージコマンドはプリアンブル部位に記述する。

#### 3.3 資料の開発環境

$\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  の処理系は、インターネットを経由してダウンロードして利用することができる。ダウンロード後の利用方法についてもインターネット上に多々説明があるので容易に導入できるはずである。中には  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  のエディタが付属されているものもある。エディタには文書を記述した後、PDF 変換するボタンも配置されている。筆者はそれを利用して  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  文書を書いて処理している。

### 4 TikZ/PGF による回路描画

#### 4.1 描画コマンドとサイズ指定

TikZ/PGF コマンドは通常 `tikzpicture` 環境に記述される。図 2 は、`tikzpicture` 環境の例である。

この図のように、本文では  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  のサンプルコードリスト (右図) とその実行例 (左図) を並べて表記する。コードが長い場合や図が大きい場合には上下に配置している。コードはそのままコピーして  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  処理系で処理すれば図が再現できる。

図 2 では、`tikzpicture` 環境を 3 つ書いて改行コマンド (`\`) によって並べている。`\` の後の `[12pt]` オプションにより、12

ポイント（ポイントは長さの単位）改行後縦に間隔を空けている。\\はL<sup>A</sup>T<sub>E</sub>Xのコマンドである。

tikzpicture環境の1つ目は3cmの両矢印、2つ目、3つ目は1.5cmの両矢印を描画している。線を描画するには\drawコマンドを用いる。(x, y)の形でxy座標(x軸は右がプラス, y軸は上がプラス)を2つ指定し、その間に--を書けば、両座標間に線が描かれる。[latex-latex]はオプションで、両矢印の形を指定している。オプションがなければ、矢印のない線が描画される。\\drawコマンドは;(セミコロン)が現れるまで2座標間に--を指定して何回でも線を引くことができる。

3つの例を示したのは、tikzpicture環境の縮尺指定を説明するためである。2例目は、オプションに[scale=0.5, font=\large]を指定して、全体の縮尺を0.5にしている。この縮尺は文字フォントには影響を与えない。文字の大きさを変えたい場合にはfont=\largeのように明示する。もしフォントも含めて一緒に縮尺したい場合には、3例目のようにtransform shapeを指定する。

文字列表記については、\\nodeコマンドを用いる。\\node at 座標 {文字列};により指定した座標に文字列の中心が来るように配置して文字列を描画する。aboveオプションにより、座標の上側に文字列を配置する。このようなオプションは他にbelow, left, right, below left, below right, above left, above rightなどがある。

3 cm

1.5 cm

1.5 cm

```

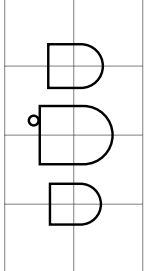
\begin{tikzpicture}
\draw [latex-latex] (0,0) -- (3,0);
\node at (1.5,0) [above] {3 cm};
\end{tikzpicture}
\begin{tikzpicture}[scale=0.5, font=\large]
\draw [latex-latex] (0,0) -- (3,0);
\node at (1.5,0) [above] {1.5 cm};
\end{tikzpicture}
\begin{tikzpicture}[scale=0.5, transform shape]
\draw [latex-latex] (0,0) -- (3,0);
\node at (1.5,0) [above] {1.5 cm};
\end{tikzpicture}

```

図2 図のスケール指定

図3は\\nodeコマンドで回路素子を描いた例である。回路素子記号は教科書[4]に倣って、図のような形状を用いている。オプションのandを変えれば別の素子記号になる。デフォルトで出力端子が右を向いているが、必要ならばrotateオプションにより向きを変えることもできる。なおTikZ/PGFにはヨーロッパ仕様の形状も用意されている。

logic gate inputs={nn}オプションは、素子の入力線が2つあることを指定している。nの部分をもとにすると、入力の端子に否定の○が描かれる(2番目の素子)。コード最初の\\drawでは大きさを確認するために2×3のグリッドを描いている。1番目と2番目の素子を比較して分かるように、入力線が増える(2→3)と自動的にサイズが大きくなっている。個別にscaleを指定することもできる(3番目の素子)。



```

\begin{tikzpicture}
\draw [help lines] (-1,1) grid (1,-3);
\node at (0,0) [and gate US, logic gate inputs={nn}, draw, line width=1pt] {};
\node at (0,-1) [and gate US, logic gate inputs={inn}, draw, line width=1pt] {};
\node at (0,-2) [and gate US, logic gate inputs={nnn}, draw, line width=1pt, scale=0.7] {};
\end{tikzpicture}

```

図3 回路素子とサイズ

#### 4.2 回路配置と結線

前述した回路素子記号を複数配置して結線すれば回路図が出来上がる。配置の方法は、体験的には以下の4つの方法がある。(1)絶対座標指定、(2)TikZ/PGFのmatrixコマンドの利用、(3)TikZ/PGFのpositioning libraryの利用、(4)相対座標指定。

```

\begin{tikzpicture}
\node [or gate US, logic gate inputs={nni}, draw, line width=1pt] (A) {};
\node at ($(A.center) + (-1.8,.5)$) [and gate US, logic gate inputs={nnn}, draw, line width=1pt] (B) {};
\node at ($(A.center) + (-1.8,-.5)$) [and gate US, logic gate inputs={nni}, draw, line width=1pt] (C) {};
\draw
(A.output) -- ++(0.5,0) node [right] {$z$}
(B.output) -- ++(0.3,0) |- (A.input 1)
(C.output) -- ++(0.3,0) |- (A.input 3)
(B.input 1) -- ++(-0.6,0) node [left] {$x_1$}
(B.input 3) -- ++(-0.3,0) coordinate (p) -- ++(-0.3,0)
coordinate (p2) node [left] {$x_2$}
(C.input 1) |- (p)
(C.input 3) -- (C.input 3 -| p2) node [left] {$x_3$};
\draw (p) [fill=black] circle (2pt);
\draw (B.output) node [right, yshift=10pt] {$x_1x_2$};
\draw (C.output) node [right, yshift=-10pt] {$x_2\overline{x_3}$};
\draw (A.output) node [right, yshift=-10pt] {$x_1x_2 + x_2\overline{x_3}$};
\end{tikzpicture}

```

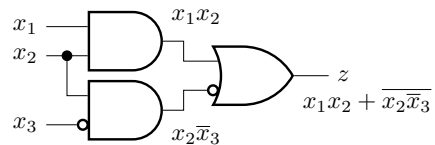


図4 回路と結線

(1)は素子や文字列の位置を絶対座標で指定し、(2)は配列の格子座標を指定するイメージで素子を配置し、(3)は基準となるノードから上下左右を指定して相対的に配置する。(4)はTikZ/PGFの座標計算機能を利用して、基準となる素子を頂点にそこから相対的に描画していく方法である。それぞれに得失があり、100%その方法を貫徹するには無理がある。経験的には、(4)を多用している。(4)の利点は再利用性が高く、配置修正が発生した場合局所的な変更で済む点である。その例を図4にあげる。

図4の回路のor gateはノード名称A、他のand gateはノード名称B, Cと定義されている。Bの位置を見れば、

$(\$(A.center) + (-1.8, .5)\$)$ となっているが、これは A の中心からの相対位置 ( $x$  軸方向に  $-1.8$ ,  $y$  軸方向に  $.5$ ) の位置に B を配置することを意味する。

結線では `\draw` コマンドを使う。 (`A.output`) は、素子 A の出力端子の座標、 (`B.input 1`) は素子 B の 3 入力端子の内、上から 1 番目の座標を指す。  $++(0.5,0)$  は直前に指定した座標に  $(0.5,0)$  を加えた座標を意味する。また、 `\draw` コマンド内に `node [right] {\$z\$}` などにより、現座標に文字列を描画することができる。  $\$ \$$  は L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X の数式指定である。このように `{ }` 内には L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X のコマンドを記述することもできる。 `\draw` コマンド内に現れる `|-` は直角線の指定である。座標  $P$   $Q$  間に指定すると、  $P$  から  $Q$  に至る直角に曲がる線を引く。 `|-` は先に  $y$  軸方向に行き  $x$  軸方向に曲がる線に、 `-|` はその逆の線になる。

`coordinate (p)` は、現在座標を  $p$  と定義している。後に `\draw (p) [fill=black] circle (2pt);` で線の交わりに黒点 (2 ポイントの円) を描画するとき座標指定に利用している。このように `coordinate` は後に利用したい座標を定義する。

最後の `\draw` コマンド 3 行では数式を図中に描いている。 `yshift=10pt` オプションは現在位置を  $y$  軸方向に 10 ポイント移動している。このオプションは文字列の描画位置を微調整するときに使われる。

### 4.3 真理値表と回路の併記

`tikzpicture` 環境を使えば回路などの図を Beamer のスライドに埋め込むことができる。スライドによっては、回路図に説明を併記したい場合がある。図 5 は、回路とその真理値表を併記した例である。

表は L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X コマンド `tabular` 環境で記述する。 `{cc|c}` は、3 列の表で、各列の文字は `center` に配置し (`c`)、2 列目と 3 列目の間に縦罫線を入れることを示す。 `\hline` は横罫線を示す。 `\multicolumn{2}{c|}{Input}` は、2 列を結合するコマンドであり、結合された列の文字列 `Input` を指定する。各行は `0&0&1\\` のように、列毎に `&` で区切り `\\` で改行する。

図 5 は `\hfill` によって挟まれて表 `tabular` 環境と描画 `tikzpicture` 環境が配置されている。 `\hfill` は、1 行内に均等な空きを作るコマンドであり `\null\\` で行末を示す。このようにして真理値表と回路を行内横に均等に配置する。縦方向も表 `tabular` と図柄 `tikzpicture` の中心を合わせたい。

その場合ベースラインを調整する。ベースラインは表示される文字の底辺位置である。一行内の縦位置はこのベースラインによって調整される。 `\begin{tikzpicture}[baseline=0cm]` はベースラインを描画域  $y$  軸座標 0 に設定している。丁度 NAND 素子の中心が  $(0,0)$  になっている。 `tabular` の場合オプション `[c]` によりベースラインは縦中央に設定されるので、表の中央と NAND 素子の中心が合わさることになる。これにより、縦方向の表 `tabular` と図柄 `tikzpicture` の中心が合わさる。もし、 `baseline=0cm` がなければ、 `tikzpicture` のデフォルトベースラインは図柄の底辺に設定されるので回路図が少し上側に表示され不釣り合いな表示となる。

```
\hfill
\begin{tabular}[c]{cc|c} \hline
\multicolumn{2}{c|}{Input} & Output \\
\hline
 $x_1$  &  $x_2$  &  $\overline{x_1 x_2}$  \\
\hline
0 & 0 & 1 \\
0 & 1 & 1 \\
1 & 0 & 1 \\
1 & 1 & 0 \\
\hline
\end{tabular}
\hfill
\begin{tikzpicture}[baseline=0cm,scale=.7]
\node[nand gate US, logic gate inputs=nnn, draw, line width=1pt]
(A) {};
\draw (A.input 1) -- ++(-0.5,0) node [left] {\$x_1\$}
(A.input 3) -- ++(-0.5,0) node [left] {\$x_2\$}
(A.output) -- ++(0.5,0) node [right] {\$\overline{x_1 x_2}\$};
\end{tikzpicture}
\hfill\null\\
```

Input		Output
$x_1$	$x_2$	$\overline{x_1 x_2}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

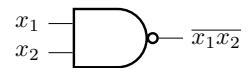
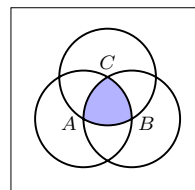
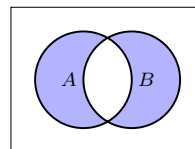


図 5 ベースラインの例

## 5 論理回路基礎の図表

### 5.1 ベンの図 (Venn diagram)



```
\def\bcka{(-2,-1.5) rectangle (2,1.5)}
\def\bckb{(-2,-1.5) rectangle (2,2.3)}
\def\circa{(-.5,0) circle (1)}
\def\circb{(.5,0) circle (1)}
\def\circc{(0,.866) circle (1)}
\begin{tikzpicture}[scale=0.7,font=
\footnotesize]
\draw[fill=white,draw=black] \bcka;
\begin{scope} % not A and B
\clip \bcka \circa;
\fill[blue!30] \circb;
\end{scope}
\begin{scope} % A and not B
\clip \bcka \circb;
\fill[blue!30] \circa;
\end{scope}
\draw [thick]
\circa ++(-0.3,0) node {\$A\$}
\circb ++(0.3,0) node {\$B\$};
\end{tikzpicture}\[40pt]
\begin{tikzpicture}[scale=0.7,font=
\footnotesize]
\def\circa{(-.5,0) circle (1)}
\def\circb{(.5,0) circle (1)}
\draw[fill=white,draw=black] \bckb;
\begin{scope} % A and B and C
\clip \circa;
\clip \circb;
\fill[blue!30] \circc;
\end{scope}
\draw [thick]
\circa ++(-0.3,-.1) node {\$A\$}
\circb ++(0.3,-.1) node {\$B\$}
\circc ++(0,0.3) node {\$C\$};
\end{tikzpicture}
```

図 6 ベンの図

ベンの図は、論理変数の関係を直感的に伝えることができる。簡単な 3 変数までの論理式であればベンの図は説明力をもつ。



図 6 はベン図の例になる。ベン図の中でも単にべた塗りだけでは描けないような例を選んだ。

上図は  $\overline{A} \cdot B + A \cdot \overline{B} = 1$  に対応する部位が色付けされたベン図である。このような図は `\clip` コマンドが必須となる。このコマンドにより領域を指定すると、うち続く描画処理はその領域内だけに対し行われ、はみ出た部分は描画されない。この領域指定の有効範囲は `scope` 環境の中（以下スコープと呼ぶ）に限られる。

コメント `% (not A) and B` のスコープでは、`\clip` コマンドに背景の矩形領域 (`\bcka`) と `A` の円領域 (`\circA`) を指定し、矩形領域から円領域を引き算した領域を描画領域に指定している。その後、`\fill[blue!30] \circB;` により `B` の円領域を色付けている。 `blue!30` は青を 30%, 白を 70% 混ぜた塗り色指定である。コメント `% A and (not B)` のスコープでは、`A` と `B` を入れ替えた塗りが実行されている。塗りが完了したところで、`\draw [thick]` に続くコマンドで線画が描かれている。以上の領域 `\bcka` や `\circA` などは、リストの先頭で定義されている。例えば、`\def\bcka{(-2,-1.5) rectangle (2,1.5)}` は、`\bcka` を `{ }` で囲まれたコマンドに定義している。このような `\def` を用いた定義により見やすい簡潔なコードになる。

図 6 の下図は  $A \cdot B \cdot C = 1$  に対応する部位が色付けされたベン図である。この場合、3 領域の積領域を描画することになる。積領域を描画領域に指定するには、対象領域の `\clip` を複数回発行すればよい。コメント `% A and B and C` のスコープでは、領域 `A` と領域 `C` の積領域を描画領域に指定してそこに領域 `B` 色付けを行っている。

以上のように、`\clip` により多様な図柄が描けるが、後に例示するように対象の論理式によっては使わなくてもいい場合も多い。

### 5.2 ブール代数 (Boolean algebra)

ブール代数では一連の公式が出現する。これらは基本的に数式であるため `LATEX` で用意された数式用の配置コマンドを使うのが一般的かもしれない。しかし、ここでは `tabular` 環境のみを使用する。コマンド知識量を抑えるためである。

```
\begin{tabular}{lcllr}
\begin{tabular}{lcllr}
$A \wedge B$ & $=$ & $B \wedge A$ & & \\
\multitrow{2}{*}{\biggr\} } & & & & \\
\multitrow{2}{*}{\sf Commutative Law}\ \\
$A \vee B$ & $=$ & $B \vee A$ & & \\
\multitrow{2}{*}{\biggr\} } & & & & \\
\multitrow{2}{*}{\sf Distributive Law}\ \\
$A \vee (B \wedge C)$ & $=$ & $(A \vee B) \wedge (A \vee C)$ & & \\
\end{tabular}
\end{tabular}
```

$$\left. \begin{aligned} A \wedge B &= B \wedge A \\ A \vee B &= B \vee A \end{aligned} \right\} \text{Commutative Law}$$

$$\left. \begin{aligned} A \wedge (B \vee C) &= (A \wedge B) \vee (A \wedge C) \\ A \vee (B \wedge C) &= (A \vee B) \wedge (A \vee C) \end{aligned} \right\} \text{Distributive Law}$$

図 7 ブール代数

図 7 はブール代数の一部の則である。  $\vee$  や  $\wedge$  は `LATEX` の数式用記号で用意されている。また `\biggr\}` は右波括弧の大き

いフォントになる。このように複数行を括弧でまとめて一行にする場合、行の結合コマンド `\multitrow` を用いる。例では 2 行を結合して、括弧と則の名称を書いている。 `\sf` は文字のフォント (San Serif) を指定している。 `\begin{tabular}{lcllr}` は 5 列の表を定義して、1 は左寄せ `c` は中央寄せ `r` は右寄せを指定する。

```
\begin{tabular}{lcllr}
$A+1$ & $=$ & $A+(A+\overline{A})$ & $\dots$ & Complement Law \\
& & $=(A+A)+\overline{A}$ & $\dots$ & Associative Law \\
& & $=A+\overline{A}$ & $\dots$ & Idempotent Law \\
& & $=1$ & $\dots$ & Complement Law \\
\end{tabular}
```

$$\begin{aligned} A + 1 &= A + (A + \overline{A}) \quad \dots \quad \text{Complement Law} \\ &= (A + A) + \overline{A} \quad \dots \quad \text{Associative Law} \\ &= A + \overline{A} \quad \dots \quad \text{Idempotent Law} \\ &= 1 \quad \dots \quad \text{Complement Law} \end{aligned}$$

図 8 公式の適用

図 8 は論理式を簡単化するときどのような公式を適用したかを右側にコメントしている。 `\dotsb` でドットの並びを表示して対応関係を示している。

### 5.3 ドモルガンの定理 (De Morgan's theorem)

```
\begin{tabular}{c}
\begin{tikzpicture}[scale=0.4]
\draw [fill=blue!30] (-1.5,-1.3) rectangle (2.5,1.3);
\draw [fill=white] (0,0) circle (1) (1,0) circle(1);
\draw (0,0) circle (1) ++(-0.5,0) node {$a$}
(1,0) circle(1) ++(0.5,0) node {$b$};
\end{tikzpicture}
\begin{tikzpicture}[scale=0.4]
\draw [fill=blue!30] (-1.5,-1.3) rectangle (2.5,1.3);
\draw [fill=white] (0,0) circle (1);
\draw (0,0) circle (1) ++(-0.5,0) node {$a$}
(1,0) circle(1) ++(0.5,0) node {$b$};
\end{tikzpicture}
\begin{tikzpicture}[scale=0.4]
\draw [fill=blue!30] (-1.5,-1.3) rectangle (2.5,1.3);
\draw [fill=white] (1,0) circle(1);
\draw (0,0) circle (1) ++(-0.5,0) node {$a$}
(1,0) circle(1) ++(0.5,0) node {$b$};
\end{tikzpicture}
\end{tabular}
```

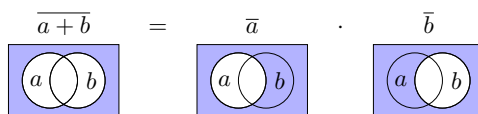


図 9 ベン図によるドモルガンの定理説明

ドモルガンの定理では、何故それが成立するかを真理値表などにより説明する。一つの説明ツールとしてベン図がある。図 9 はその例である。

ベン図については `\clip` を使った例を既に第 5.1 節に述べたが、  $\overline{a+b} = \overline{a} \cdot \overline{b}$  を図示するのであれば、 `\clip` を使うまでもない。例えば、  $\overline{a+b}$  は、背景を色付けした後 `a, b` の領域を白塗りすればよい。

また、図 9 は `tabular` を使って、式とベン図を対応させ

ている。このように LaTeX の tabular 環境には tikzpicture 環境を要素として入れることもできる。

#### 5.4 基本演算回路素子 (Logic gate)

既に回路素子はいくつか例をあげたが、ここで基本的な素子を一覧する。図 10 は否定、論理積、論理和に対応する回路素子の記号一覧である。他に、TikZ/PGF には xor gate US, nor gate US, nand gate US が用意されている。

リスト中 `\rule[-1mm]{0mm}{10mm}` が現れるが、これは tikzpicture のベースラインの下に空きを設ける指定である。 `\rule` コマンドは最初の引数がベースライン、真中の引数は幅、最後の引数が高さを指定する。幅を非 0 にすれば指定した黒い矩形が埋め込まれる。ここでは、幅が 0 なので高さベースラインが規定された tabular の行を設定したことになる。この `\rule` コマンドが無いと tikzpicture の図柄が上の罫線に張り付き上下のマージンが不釣り合いとなる。 `\rule` はこのように縦マージンの調整に利用される。

```
\begin{tabular}[t]{c|c|c} \hline
{\tt NOT} & {\tt AND} & {\tt OR} \\ \hline
\rule[-1mm]{0mm}{10mm}
\begin{tikzpicture}[scale=.7] % NOT
\node[not gate US, draw, line width=1pt](A) {};
\draw (A.input) -- ++(-0.5,0)
(A.output) -- ++(0.5,0);
\end{tikzpicture}&
\begin{tikzpicture}[scale=.7] % AND
\node[and gate US,
logic gate inputs={nn}, draw, line width=1pt](A) {};
\draw (A.input 1) -- ++(-0.5,0)
(A.input 2) -- ++(-0.5,0)
(A.output) -- ++(0.5,0);
\end{tikzpicture}&
\begin{tikzpicture}[scale=.7] % OR
\node[or gate US,
logic gate inputs={nn}, draw, line width=1pt](A) {};
\draw (A.input 1) -- ++(-0.5,0)
(A.input 2) -- ++(-0.5,0)
(A.output) -- ++(0.5,0);
\end{tikzpicture} \\ \hline
\end{tabular}
```

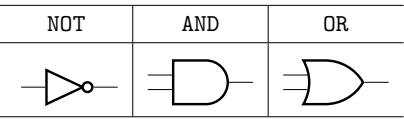


図 10 回路素子記号リスト

### 6 組合せ回路 (Combinational circuit)

#### 6.1 論理関数の標準形 (Normal form)

主加法標準形 (minterm expression) は、回路を出力側から OR, AND 素子の 2 段で構成する。図 11 はその回路例である。

主加法標準形は以下に列記するように比較的系統的に回路図を描くことができる。

- (1) 素子の配置  
コメント % Symbols からの部位
- (2) 素子間の結線  
コメント % Lines b/w syms からの部位
- (3) 入力線の配置

- コメント % Input lines からの部位
- (4) 素子端子と入力線の結線  
コメント % Connection からの部位

```
\begin{tikzpicture}[baseline, scale=.7]
\node[or gate US, logic gate inputs={nnnnn}, % Symbols
draw, line width=1pt,scale=0.6] (A) {};
\draw (A.input 3) ++(-2,3) node[and gate US,
logic gate inputs={iii}, draw, line width=1pt] (A1) {};
\draw (A.input 3) ++(-2,1.5) node[and gate US,
logic gate inputs={ini}, draw, line width=1pt] (A2) {};
\draw (A.input 3) ++(-2,0) node[and gate US,
logic gate inputs={inn}, draw, line width=1pt] (A3) {};
\draw (A.input 3) ++(-2,-1.5) node[and gate US,
logic gate inputs={nin}, draw, line width=1pt] (A4) {};
\draw (A.input 3) ++(-2,-3) node[and gate US,
logic gate inputs={nnn}, draw, line width=1pt] (A5) {};
% Lines b/w syms
\draw (A.output) -- ++(0.5,0) node (f) [right] {$z$};
(A.input 1) -- ++(-0.4,0) |- (A1.output)
(A.input 2) -- ++(-0.6,0) |- (A2.output)
(A.input 3) -- (A3.output)
(A.input 4) -- ++(-0.6,0) |- (A4.output)
(A.input 5) -- ++(-0.4,0) |- (A5.output)
% Input lines
(A1.input 1) ++(-1.5,1) coordinate (x) node (x1) [above] {$x_1$}
(x) ++(.5,0) node (x2) [above] {$x_2$}
(x) ++(1,0) node (x3) [above] {$x_3$}
(x1) |- (A5.input 1)
(x2) |- (A5.input 2)
(x3) |- (A5.input 3);
\foreach \n in {A1,A2,A3,A4,A5}{ % Connection
\draw
(\n.input 1) -- (\n.input 1-|x1)
(\n.input 2) -- (\n.input 2-|x2)
(\n.input 3) -- (\n.input 3-|x3) ;
}
\foreach \n in {A1,A2,A3,A4}{
\draw (\n.input 1-|x1) [fill=black] circle(2pt);
\draw (\n.input 2-|x2) [fill=black] circle(2pt);
\draw (\n.input 3-|x3) [fill=black] circle(2pt);
}
\end{tikzpicture}
```

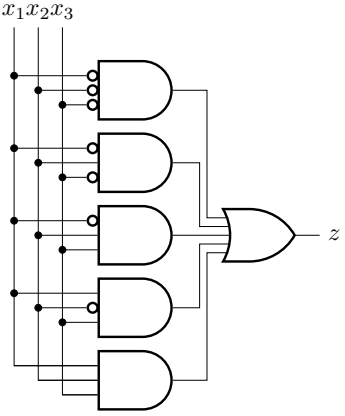


図 11 主加法標準形の回路例

`\foreach \n in {リスト} {コマンド}` は、C 言語で言うところの for ループになる。 `\n` にはリストの要素が順次割当てられ、そのたびにコマンドが実行される。実行時にはコマンド内に記述された `\n` はリストの要素に入れ替わる。これによってコード量を大幅に減らすとともに、コードの見通しが良くなり、改良も容易になる。

一般に (座標 1 -| 座標 2) により座標 1 から伸ばした  $x$



軸と座標 2 から伸ばした  $y$  軸の交点座標が得られる。(座標 1 | - 座標 2) とすれば  $x, y$  を入れ替えた座標となる。`\foreach` のコマンドに見える (`\n.input 1-|x1`) は、素子の入力端子から引いた水平線が  $x_1$  の入力線とぶつかる結点を示し、端子からその結点まで線を引くことになる。2 つ目の `\foreach` のコマンドに見える `\draw (\n.input 1-|x1)` によりその結点に黒丸を描いている。

`or gate` は入力線が 5 本になり、そのままでは記号が自動的に大きくなりバランスが悪いので、`scale=0.6` でサイズ調整している。

図 12 は図 11 に対応する真理値表である。最初の 3 列は通常の真理値表で、残りは最小項 (minterm) の解説となっている。すなわち、最小項が対応する  $x_1, x_2, x_3$  の組合せのときだけ 1 になっていることを説明している。説明にあたって強調のために色を付けている。`\colorbox{salmon!20}{ }` は、テキストの背景に色を付けて印字する。`salmon` は以下のようにプリアンブルで定義している色である。

```
\definecolor{salmon}{rgb}{1.0, 0.55, 0.41}
```

また、サイズ調整のために冒頭に `\footnotesize` により文字サイズを、`\setlength{\tabcolsep}{2pt}` により表の列間マージンを設定している。いずれもその影響がこの文書の外に及ばないように全体を `{ }` で囲っている。

```
{\footnotesize
\setlength{\tabcolsep}{2pt}
\begin{tabular}{ccc|c|cccc} \hline
 $x_1$  &  $x_2$  &  $x_3$  &  $z$  & & & & & & \\
\colorbox{salmon!20}{
 $\overline{x_1}\overline{x_2}\overline{x_3}$  &
 $\overline{x_1}\overline{x_2}x_3$  &
 $\overline{x_1}x_2\overline{x_3}$  &
 $\overline{x_1}x_2x_3$  &
 $x_1\overline{x_2}\overline{x_3}$  &
 $x_1\overline{x_2}x_3$  &
 $x_1x_2\overline{x_3}$  &
 $x_1x_2x_3$  &
} \\
0 & 0 & 0 & 1 & \colorbox{salmon!20}{1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \colorbox{salmon!20}{1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & \colorbox{salmon!20}{1} & 0 & 0 & 0 \\
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \colorbox{salmon!20}{1} & 0 & 0 \\
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \colorbox{salmon!20}{1} \\
\hline
\end{tabular}}
```

図 12 主加法標準形の真理値表例

ここでは図例をあげないが、同様の標準形に主乗法標準形

(maxterm expression) がある。図的には `and gate` と `or gate` が入れ替わった形になり、同様の手順で回路図を書くことができる。

## 6.2 ベイチの図 (Veitch diagram)

ベイチの図は論理式を簡単化するツールである。後に説明するカルノーの図とともに、簡単化する部位の発見が容易で、直感的に捉えやすい。いずれも格子状の図を用いる。

2 変数について図例を図 13 に示す。これはベイチの図のセルがどの論理積に対応するかを図示した説明図である。これによって、隣り合ったセルのハミング距離が 1 になっていることを示す。

格子は、`\draw (0,0) grid (2,2);` により描かれる。セル内の文字は座標を指定した `\node` コマンドで描く。また、`decorate, decoration` オプションにより線を波括弧に変換して格子座標を説明する波括弧を書いている。`brace` が波括弧の指定であり、`amplitude` で波の高さを指定する。

波括弧はこのように線画を変形して描画する方法以外に、数式のフォントによって描画する方法もある。既に図 7 に描画した波括弧がその例である。

```
\begin{tikzpicture}[scale=1.5]
\draw (0,0) grid (2,2);
\node at (.5,.5){ $\overline{x_1}\overline{x_2}$ };
\node at (.5,1.5){ $\overline{x_1}x_2$ };
\node at (1.5,.5){ $x_1\overline{x_2}$ };
\node at (1.5,1.5){ $x_1x_2$ };
\draw [decorate,decoration={brace,amplitude=3pt}]
(0,2.1) -- (1,2.1)node [black,midway,
xshift=0pt,yshift=8pt] { $x_2$ };
\draw [decorate,decoration={brace,amplitude=3pt}]
(-0.1,1) -- (-0.1,2)node [black,midway,
xshift=-9pt,yshift=0pt] { $x_1$ };
\end{tikzpicture}
```

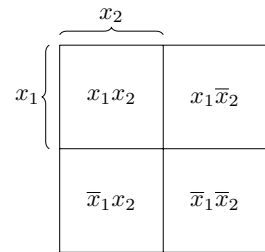


図 13 2 変数のベイチの図

図 14 は、3 変数の例でベイチの図により 6 つの最小項が 3 つの項に簡単化されることを示す。`fit={ (座標 1) (座標 2) }` のように矩形両角の座標を指定し、それを囲む丸角矩形を描いている。角の円半径は `rounded corners=5pt` により 5pt (ポイント) に指定している。丸角矩形は半透明 (`fill opacity =0.3`) で色付けされて、2 つ以上の丸角矩形が重なっても文字が消えない。

`\node at (1.5,1.5){ }` は何も描画を行わないが、格子座標を全て列記するために記述している。必要に応じて `{1}` を入れることで、別の図で使いまわしができる。

```

\begin{tikzpicture}[scale=1.]
\draw (0,0) grid (4,2);
\node at (.5,1.5){1};\node at (1.5,1.5){};
\node at (.5,.5){1};\node at (1.5,.5){1};
\node at (2.5,1.5){1};\node at (3.5,1.5){1};
\node at (2.5,.5){1};\node at (3.5,.5){};
\draw [decorate,decoration={brace,amplitude=3pt}]
(0,2.1) -- (2,2.1)node [black,midway,
xshift=0pt,yshift=8pt] {$x_2$};
\draw [decorate,decoration={brace,mirror,amplitude=3pt}]
(1,-.1) -- (3,-.1)node [black,midway,
xshift=0pt,yshift=-8pt] {$x_3$};
\draw [decorate,decoration={brace,amplitude=3pt}]
(-0.1,1) -- (-0.1,2)node [black,midway,
xshift=-9pt,yshift=0pt] {$x_1$};
\node[rounded corners=5pt, fit={(0.1,0.1) (.9,1.9)},
inner sep=0pt, draw=salmon, thick,
fill opacity =0.3, fill=salmon!20] (c) {};
\node[rounded corners=5pt, fit={(2.1,1.1) (3.9,1.9)},
inner sep=0pt, draw=salmon, thick,
fill opacity =0.3, fill=salmon!20] (b) {};
\node[rounded corners=5pt, fit={(1.1,.1) (2.9,.9)},
inner sep=0pt, draw=salmon, thick,
fill opacity =0.3, fill=salmon!20] (a) {};
\draw [draw=salmon] ($(a.south) + (-0.5,0)$) -- (1.3, -0.3)
node[below] {$\overline{x_1x_3}$};
\draw [draw=salmon] ($(b.north) + (-0.5,0)$) -- (2.3, 2.3)
node[above] {$x_1\overline{x_2}$};
\draw [draw=salmon] (c.south) -- (.3, -0.3)
node[below] {$x_2\overline{x_3}$};
\end{tikzpicture}

```

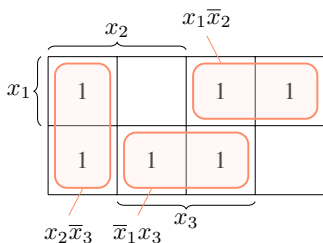


図 14 3変数のベイチの図

図 15 は別のベイチの図の例である。この例では、簡単化された  $x_1\bar{x}_3$  の項が図の左右端を跨って繋がっている。この結合を表現するには、`\clip` コマンドを使ってベイチの図を一回り大きくした領域に描画領域を設定する。その描画領域を超える大きさの丸角矩形を描けば、跨った状況を表現できる。

### 6.3 カルノーの図 (Karnaugh map)

3変数のカルノーの図を図 16 に示す。簡単化に使う半透明の丸角矩形は図例をあげないが、ベイチの図と同様の方法で描くことができる。

## 7 順序回路 (Sequential circuit)

### 7.1 状態遷移 (State transition)

状態遷移表と状態遷移図は対となって順序回路の動的な性格を表現する。両者ともに重要な図表である。

状態遷移表は `tabular` を使い、ここまで紹介してきた使用方法を使えば図 17 のように書くことができる。一つ変わった使用法は `tabular` の中に `tabular` を組み入れている点である。 `Current\state` は 2 行に渡る文字列であるが、これを中央寄せにして `tabular` の 1 要素に入れている。これにより 2 行の文字列を中央寄せにして表に組み込んでいる。

状態遷移図については、TikZ/PGF で用意された専用のライ

```

\begin{tikzpicture}[scale=1.]
\draw (0,0) grid (4,2);
\node at (.5,1.5){1};\node at (3.5,1.5){1};
\draw [decorate,decoration={brace,amplitude=3pt}]
(0,2.1) -- (2,2.1)node [black,midway,
xshift=0pt,yshift=8pt] {$x_2$};
\draw [decorate,decoration={brace,mirror,amplitude=3pt}]
(1,-.1) -- (3,-.1)node [black,midway,
xshift=0pt,yshift=-8pt] {$x_3$};
\draw [decorate,decoration={brace,amplitude=3pt}]
(-0.1,1) -- (-0.1,2)node [black,midway,
xshift=-9pt,yshift=0pt] {$x_1$};
\begin{scope}
\clip (-0.1,-0.1) rectangle (4.1,2.1);
\node[rounded corners=5pt, fit={(-1.1,1.1) (.9,1.9)},
inner sep=0pt, draw=salmon, thick,
fill opacity =0.3, fill=salmon!20!white] {};
\node[rounded corners=5pt, fit={(3.1,1.1) (5.1,1.9)},
inner sep=0pt, draw=salmon, thick,
fill opacity =0.3, fill=salmon!20!white] {};
\end{scope}
\end{tikzpicture}

```

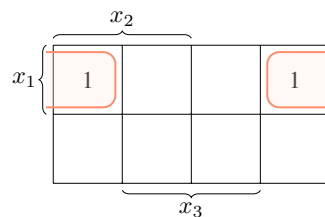


図 15 丸角矩形が端で切れるベイチの図

```

\begin{tikzpicture}[scale=.7]
\draw (0,0) grid (4,2);
\node at (0,.5) [left] {0};
\node at (0,1.5) [left] {1};
\node at (.5,2) [above] {10};
\node at (1.5,2) [above] {11};
\node at (2.5,2) [above] {01};
\node at (3.5,2) [above] {00};
\draw (0,2) -- ++(-.6,.6)
++(.3,.3) node [right] {$x_2x_3$};
++(0,-.7) node [left] {$x_1$};
\end{tikzpicture}

```

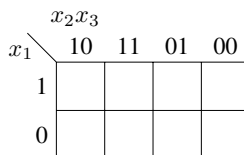


図 16 3変数のカルノーの図

ブラリである `\usetikzlibrary{automata}` を用いる。図 18 が状態遷移図の例である。状態遷移図には、ムーア形 (Moore-type) もあるが、同様の手順で作図できる。

`\node` のオプション `state` を指定すれば状態を表す円が配置される。 `\node [state,thick] (s0) {$s_0$}`; は状態  $s_0$  を配置する。 `thick` は円描画の線幅を太くする指定である。

続く状態の配置には、第 4.2 節で述べた配置方法の (3) を用いる。例えば、 `[below of = s0]` と指定することにより、状態  $s_0$  の下に配置することになる。どのくらい下かは、 `tikzpicture` のオプション `node distance=2.5cm` で指定される。これが状態配置間隔になる。比較的少ない数の状態を格子状に配置する場合このような配置方法も有効である。

`\path` は描画の基本コマンドであり、既出のコマンド `\draw` は `\path [draw]` (線を塗る)、 `\fill` は `\path [fill]` (領域を塗る) の短縮コマンドである。矢印オプション `->` は状態遷移の矢印の方向であり、以降に現れる

(n1) edge node[option]{text}(n2)

```

\begin{tabular}{c|cc|cc} \hline
\multirow{3}{*}{\begin{tabular}{c}Current\\state\end{tabular}}&
\multicolumn{2}{c}{Next state}&
\multicolumn{2}{c}{Output}&
\cline{2-5}
&
\multicolumn{2}{c}{Input}&
\multicolumn{2}{c}{Input}&
\cline{2-5}
&0&1&0&1\\ \hline
$s_0$&$s_1$&$s_2$&0&0\\
$s_1$&$s_1$&$s_2$&0&0\\
$s_2$&$s_2$&$s_3$&0&1\\
$s_3$&$s_3$&$s_0$&1&1\\ \hline
\end{tabular}

```

Current state	Next state		Output	
	Input		Input	
	0	1	0	1
$s_0$	$s_1$	$s_2$	0	0
$s_1$	$s_1$	$s_2$	0	0
$s_2$	$s_2$	$s_3$	0	1
$s_3$	$s_3$	$s_0$	1	1

図 17 状態遷移表

のコマンドにより状態  $n_1$  から状態  $n_2$  の方向に矢印が引かれ  $text$  が矢印線の途中に表示される。  $text$  の位置は  $option$  に指定する。続けて更に状態  $n_1$  から状態  $n_3$  に矢印を引く場合には  $(n_1)$  を省略できる。ループを記述するには、  $edge [loop left] node \{0/1\} ()$  のように指定する。  $left$  は  $0/1$  を矢印線の左に書く指定である。

矢印の形状指定は既に図 2 で  $latex-latex$  (両矢印  $\leftrightarrow$ ) を説明した。線のオプションに  $->$  を指定すると  $\rightarrow$  に、  $-latex$  を指定すると  $\rightarrow$  に、  $-stealth$  を指定すると  $\rightarrow$  になり、この他にも多数のオプションがある。  $->$  が標準の矢印になる。図 18 では、オプション  $>=latex$  により矢印の標準を  $-latex$  に変更している。

```

\begin{tikzpicture}[>=latex, node distance=2.5cm]
\node [state,thick] (s0) {$s_0$};
\node [state,thick] (s1) [below of = s0] {$s_1$};
\node [state,thick] (s2) [left of = s1] {$s_2$};
\node [state,thick] (s3) [above of = s2] {$s_3$};

\path [->]
(s3) edge node [above] {1/1} (s0) edge [loop left] node {0/1} ()
(s0) edge node [right] {0/0} (s1) edge node [left] {1/0} (s2)
(s1) edge node [below] {1/0} (s2) edge [loop right] node {0/0} ()
(s2) edge node [left] {1/1} (s3) edge [loop left] node {0/0} ();
\end{tikzpicture}

```

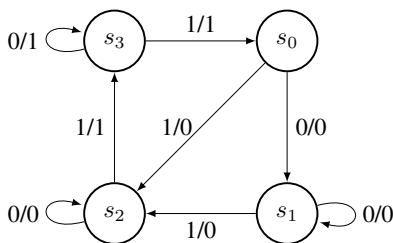


図 18 ミーリー形 (Mealy-type) の状態遷移図

$\usetikzlibrary{automata}$ により、簡潔な量の記述で状態遷移図が描けることが分かる。状態の名称も自由な長さが指

定でき、その名称を包含するように円の半径を調整してくれる。一方それが不都合となる例もある。状態の名称長が異なると円の径が変わり、大小の円が書かれてしまう。出来れば最大長に円を揃えて状態の見かけを統一したい。それを対策した例が図 19 である。

これは試験問題例であり、状態遷移を算出させた後、状態遷移図を書かせる試験である。解答すべきところは  $\fbox{(1)}$  のようにして矩形枠付きの括弧数字が描かれる。状態  $(s_1)$  にはオプション  $label=center:\$s_1\$$  があり、  $node$  の中央に文字列  $s_1$  を表示する。一方、円の大きさは  $\phantom{\fbox{(2)}}$  で指定している。これは、  $\fbox{(2)}$  と同じ大きさの空白であり、この大きさを元に円の径が計算される。このようにして、状態表示の大きさを揃えることができる。

$\framebox[length][c]{text}$  は長さを指定して  $text$  を中央寄せ、矩形枠付きで表示する。  $\fbox$  や  $\framebox$  は試験問題作成時に活躍する。

```

\begin{tikzpicture}[>=latex, scale=0.7]
\node [state,thick] (s0) at (0, 0) {\fbox{(1)}};
\node [state,thick] (s1) at ($(s0) + (2, -3)$) [label=center:
  $s_1$] {\phantom{\fbox{(2)}}};
\node [state,thick] (s2) at ($(s0) + (-2,-3)$) {\fbox{(2)}};
\path [->]
(s0) edge node [right] {\framebox[10mm][c]{(3)}} (s1) edge [loop
left] node {0/0} ()
(s1) edge node [below] {\framebox[10mm][c]{(4)}} (s2) edge [loop
right] node {0/0} ()
(s2) edge node [left] {\framebox[10mm][c]{(5)}} (s0) edge [loop
left] node {0/0} ();
\end{tikzpicture}

```

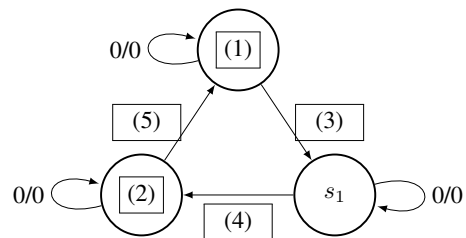


図 19 状態遷移図の試験問題

## 7.2 フリップフロップ (Flip flop)

フリップフロップの動作を表現するには、タイムチャートが好適である。パッケージ  $\usepackage{tikz-timing}$  を使えば、少ない労力でタイムチャートを描くことができる。図 20 はその例である。

オプションを説明する。  $timing/slope$  はタイムチャートのエッジの傾斜、  $timing/coldist$  はタイムチャートのグラフと左端の文字列との距離、  $xscale$  と  $yscale$  はそれぞれ  $x$ 、  $y$  方向のスケールを個別に指定する。

$tikztimingtable$  環境内はタイムチャートを記述した後  $\extracode$  で終えて、その後は、  $pgfonlayer$  環境 (オプション  $background$  付き) で、  $TikZ/PGF$  コマンドを使って任意に図柄を書くことができる。

タイムチャートは、  $L$  (Low) と  $H$  (High) を交互に使って描く。いずれも数値を前置して時間の長さを指定できる。指定しな

ければ長さは 1 となる。background では、線の色をグレー (gray) に統一して、Q の値が変化するタイミングに縦線を引いている。 \horlines{3} は 3 列目の Q のタイムチャートに横線を引いている。

```
\begin{tikztimingtable}[ scale=1.5, timing/slope =.0pt ,
timing/coldist =2pt, xscale=2, yscale=1.2, thick]
$J$ & L 1.3L .8H .7L H L .7L \\
$K$ & L H 1.5L H L H \\
$Q$ & L 1.3L 1.2H .3L 1.7H L \\
\extracode
\begin{pgfonlayer}{background}
\begin{scope}[gray]
\draw
(2.3 ,1) -- (2.3 , -4)
(3.5 ,1) -- (3.5 , -4)
(3.8 ,1) -- (3.8 , -4)
(5.5 ,1) -- (5.5 , -4)
;
\horlines{3}
\end{scope}
\end{pgfonlayer}
\end{tikztimingtable}
```

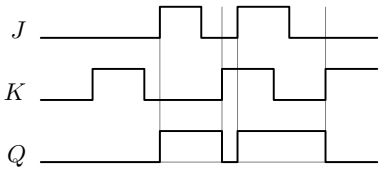


図 20 非同期式のタイムチャート

図 21 は同期式の例で、クロックを表示している。クロックのタイムチャートは G で、時間軸長さ 0 のエッジが表示される。

```
\begin{tikztimingtable}[ scale=1.5, timing/slope =.0pt ,
timing/coldist =2pt, xscale=2, yscale=1.2, thick]
$Clock$ & .5LG 5 {LG} .7L \\
$J$ & L L 0.2L 2H L .8H \\
$K$ & L H L 2H 1L \\
$Q$ & .5L L L H L L 0.5H \\
\extracode
\begin{pgfonlayer}{background}
\begin{scope}[gray]
\foreach \x in {0, ...,5}
\draw (\x ,1) ++(0.5,0) -- ++(0, -7) ;
\horlines{4}
\end{scope}
\end{pgfonlayer}
\end{tikztimingtable}
```

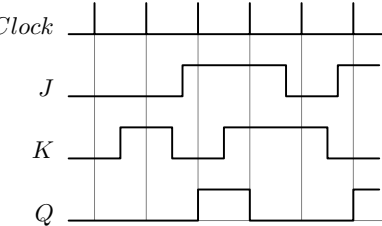


図 21 同期式のタイムチャート

7.3 カウンタ (Counter)

カウントアップのタイムチャートを図 22 にあげる。T フリップフロップを 4 つ並べて結合し、各フリップフロップの出力を表示すれば、このような図が得られる。

カウンタのように多数回同じ波形が続く場合には、18{1.2L0.3H} のように { } で囲んだ波形コマンドに回数を前

置して波形を描くことができる。また、同期の縦線を描く場合には、前述した \foreach が有効である。{1, ...,18} のように書くことで 1 から 18 まで 1 刻みで割り付けてくれる。

```
\begin{tikztimingtable}[ scale=1.5, timing/slope =.0pt ,
timing/coldist =2pt, xscale=.7, yscale=1.2, thick]
$x$ & 18{1.2L0.3H} 1.2L \\
$z_1$ & 9{1.5L1.5H} 1.2L \\
$z_2$ & 4{3L3H} 3L 1.2H \\
$z_3$ & 2{6L6H} 3L 1.2L \\
$z_4$ & 1{12L12H} 3L 1.2L \\
\extracode
\begin{pgfonlayer}{background}
\begin{scope}[gray]
\foreach \x in {1, ...,18}
\draw ($\x*(1.5,0)+(0,1)$) -- ($\x*(1.5,0)+(0,-8)$);
\end{scope}
\end{pgfonlayer}
\end{tikztimingtable}
```

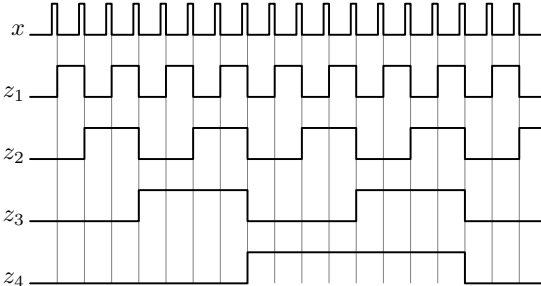


図 22 カウンタのタイムチャート

7.4 シフトレジスタ (Shift register)

シフトレジスタは一般に複数フリップフロップを順次繋げるにより構築される。フリップフロップの形状は格別には TikZ/PGF に用意されていない。よって、フリップフロップが多数出現する場合には、フリップフロップ用のコマンドを定義しておくことと便利である。その例を図 23 に示す。

先頭の \newcommand で新しいコマンド \dfflop を定義している。[2] は引数を 2 つ取るコマンドであることを示し、続く { } 内にコマンドの中身を定義する。引数は #1 などにより記述する。フリップフロップの矩形は、minimum width minimum height を指定することにより作っている。なお、この \newcommand から始まる 9 行のコードは、プリアンブルに記述する。

\dfflop{f1}{(0, 0)} から始まる 4 行がこの新しいコマンドを使用している部分になる。

8 結言

本論文に述べた用法は、実際の授業に活用したものである。筆者が 2018 年 4 月より論理回路授業を担当して以来、この用法で LaTeX 及び TikZ/PGF を使い講義ノートを作った。紙面が限られるため全てを提供することはできないので、論理回路で現れる特徴的な図表に絞って扱った。LaTeX 及び TikZ/PGF の中身は膨大であり体系的に全体を学ぶのは容易ではない。目的を絞り、その目的の範囲で有効なコマンドを体得していくと覚えも早く、実際に役立つ場面が増える。読者の文書作成に役立つことがあれば幸いである。

```

\newcommand\dfflop[2]{%
\node (#1) at #2 [draw,thick,
minimum width=1.5cm,minimum height=1.5cm] {};
\draw ($(#1.west) + (0,.3)$ coordinate (#1q) node [right] {$Q$}
$(#1.west) + (0,-.3)$ coordinate (#1qi) node [right] {
$\overline{Q}$}
(#1.east) coordinate (#1d) node [left] {$D$}
(#1.south) coordinate (#1c) node [above] {$C$};
}
\begin{tikzpicture}[scale=0.5, transform shape, font=\large]
\dfflop{f1}{(0, 0)}
\dfflop{f2}{(3, 0)}
\dfflop{f3}{(6, 0)}
\dfflop{f4}{(12, 0)}
\draw (f1q) node [above left] {\bf $Q_3$};
\draw (f2q) node [above left] {\bf $Q_2$};
\draw (f3q) node [above left] {\bf $Q_1$};
\draw (f4q) node [above left] {\bf $Q_0$};
\node at (9,.8) [xor gate US, logic gate inputs={nn},
draw, line width=1pt,scale=1.2,rotate=180] (xor1) {};
\draw (f4q) -- ++(-1,0) |- (xor1.input 1)
(xor1.output) -- ++(-0.5,0) |- (f3d)
(f4d) -- ++(0.5, 0) -- ++(0,1.5) coordinate (p1)
-- ++(-15, 0) |- (f1q)
(f3q) -- ++(-0.5,0) |- (f2d)
(f2q) -- ++(-0.5,0) |- (f1d)
(xor1.input 2) -- ++(0.3,0) coordinate (p2) |- (p1);
\draw (f1c) -- ++(0,-0.5) coordinate (p3)
-- ++(-2, 0) node [left] {\tt clock}
(f2c) |- (p3)
(f3c) |- (p3)
(f4c) |- (p3);
\draw [fill=black]
(p1 -| p2) circle (2pt)
(p3) circle (2pt)
(f2c |- p3) circle (2pt)
(f3c |- p3) circle (2pt);
\end{tikzpicture}

```

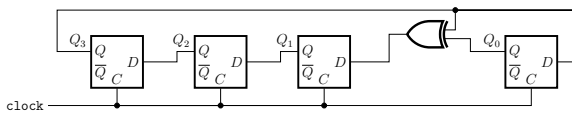


図 23 シフトレジスタの例

なお本論文では文書作成のためのサンプルコードリストを掲載している。これらのコードを利用したことにより発生したいかなる損害も一切の責任を負わない。

## 謝辞

茨城工業高等専門学校の滝沢陽三教授には、論理回路のシラバスについてご指導をいただいた。この場を借りて御礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] T. Tantau, The TikZ and PGF packages, **2008**.
- [2] T. Tantau, J. Wright, V. Miletic, User Guide to the Beamer Class, **2004**.
- [3] 奥村晴彦, 黒木裕介, [改訂] *L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X2 $\epsilon$*  美文書作成入門, 株式会社 技術評論社, **2013**.
- [4] 高橋寛, 論理回路ノート, コロナ社, **1979**.

## タイからの高専留学生に向けた基本技術用語集の作成

二田 亜弥

### Glossary of basic technical terms for international students from Thailand

Aya NITA

**Abstract:** This is the process of making a technical term glossary of Thai - Japanese - English for international students from Thailand. This glossary is a collection of basic technical terms to help Thai students understand the lectures of science and mathematics delivered in Japanese. The purpose of making this glossary is to reduce stress and pressure of Thai students who have not learned Japanese enough to understand lectures. This glossary of technical terms can be used as a learning material for preparation before studying in Japan.

#### 1. はじめに

平成 26 年に茨城高専はグローバル高専モデル校に指定され、グローバル教育体制の整備に注力してきた。その一環として平成 30 年 4 月より全国高専に先駆けてタイの留学生を 1 学年から受け入れるプログラムがスタートした。

これまでの留学プログラムで本校に入学した留学生は、母国または東京の日本語研修センター等で日本語を学び、日本語で行われる講義にある程度ついていけるレベルまで日本語を習得したのち 3 学年に編入するのが通常であった。それに対して本プログラムはタイからの留学生を高専の 1 学年へ受け入れる初めての試みである。彼らが日本人学生と同時に入学し共に過ごすことで年齢や学習のギャップを無くし学生間の絆を深めること、またクラスに留学生を迎えることで日本人学生の側にも身近な異文化理解、英語学習や留学への意欲向上などのグローバル教育の効果が期待された。

しかし本プログラムの留学生は中学卒業後すぐに高専に入学するため、母国で日本語を学ぶ機会はあるが、その修得レベルは講義理解までには至らない。そのため彼らの講義理解を助ける様々なサポート体制が設計され、そのサポートを行う中で、留学生の講義理解のために特に理数系科目に関する日本語の教育が必要であることが分かった。

#### 2. 第 1 期タイ留学生の講義理解

初年度である平成 30 年にはタイのチュラポーン王女サイエンススクールから 3 名が第 1 期生として茨城高専に入学した。彼らはほぼ日本語の勉強をしないまま来日したため、日本語で挨拶と自己紹介はできるがひらがなカタカナの読み書きもあいまいな状態であった。英語は不自由なく話せるので当初コミュニケーションは主に英語で行った。彼らは日本人学生が国語、社会、英語等の授業を受けている時間に日本語を勉強し、そのほかの教科はクラスに入り日本人学生と一緒に同じ条件で授業を受けた。その中で理数系科目（化学、物理、基礎数学Ⅰ、基礎数学Ⅱの 4 科目）については二田がサポート教員として彼らに付き添い、授業担当教員の話す内容をその場で英語で説明するウィスパリング通訳<sup>1</sup>を行った。また放課後には日本語と英語を交えた補講を行い、講義理解の手助けをした。

#### 3. 基本技術用語集作成の目的

入学から半年の時点で彼らに聞き取りを行った際「入学前にもっと準備すればよかったと思ったことは何か」という質問に対して三人とも「もっと日本語を勉強してればよかった」と答えた。また入学から十か月経過した現在、

<sup>1</sup> ウィスパリング通訳 (whispered interpreting) …同時通訳の一種で、通訳を必要とする人の近くに通訳者が位置して、聞き手に

ささやく程度の声で通訳をする方法。教室では最後列に留学生の席を配置し、通訳者が後ろに座って授業担当教員の話す内容を英語で説明した。



## (実践報告)

「一番苦労したことは何か」という質問に対して全員が「日本語が分からなくて困った」と答えている。特に入学当初は慣れない外国生活や気候の変化にとまどった上、授業の日本語が全く分からず板書を写すこともできず、焦りや大きなストレスを感じていたという。また「授業を理解するためにどんな工夫をしたか」という問いに対して「分かる単語を聞き取り、つなぎ合わせて内容を想像した。分かる単語が増えると理解できるようになってきた。」との回答が得られた。

これらの調査結果を生かし、できるだけ円滑に高専の授業に入れるよう入学前に準備するための教材を考案することにした。本プログラムで来年度入学予定の留学生はすでにタイで日本語の勉強を始めているが、理数系の授業を理解するためには日常使う言葉のほかに理数系で使われる技術用語の知識が必須である。授業で耳にする日本語、教科書や定期試験で目にする日本語の理解度は、技術用語が分かれば格段に増すと考えられる。

### 4. 用語の選定と基本技術用語集の作成

そこで今回、高専に入学するタイからの留学生を対象として来日前に覚えておきたい基本的な技術用語集を作成した。入学までに約 2000 語の日本語を覚える彼らの大きな負担にならないように、数学・物理・化学の 3 科目について 50 語ずつを選定した。この教材作成の目的は入学してすぐに受ける授業をある程度理解し日本語で行われる授業に対する抵抗感を減らすことであるため、用語の選定には実際に本校 1 学年で使用している教科書の索引を使用した。索引にある語句はそれぞれ 300~500 語である。その中から基本的な技術用語を数学 150 語、化学 350 語、物理 300 語に絞り、化学については技術用語の他に物質名を 200 語追加した。また「高さ」「速さ」など、一般的にも使われる用語ではあるが理数系科目で頻出であり講義理解に欠かせない単語を付け加え、そこからさらに各教科 50 語まで絞り込んだ。選定の基準は①頻出であること、②1 学年の早い段階で使われること、③中学生でも理解できる用語であることとした。物理では単位と物理量を優先し、化学では身近な物質名を多く取り上げた。またこの 150 語の技術用語に加え、基本的な数式の読み方を 25 項目記載した。

学習者が来日前に自習することを想定し、用語はタイ語、漢字表記、ひらがなの読み、英語の順に記した。付録として記載した「数式の読み方」については、数式を見ながら読み方を練習できるように、数式、日本語の読み方、英語の順に記した。数式は中学生でも理解できるレベルであり、

タイ語は記載しなかった。英訳は二田が行い、タイ語訳は本プログラムの第 1 期生として本校に入学したタイ人留学生 3 名に依頼した。彼らの丁寧で熱心な協力により、何度も改訂を繰り返したのち「タイ留学生のための基本技術用語集 150」が完成した。この用語集は来年度から本プログラムでタイ留学生を受け入れる全国の高専五校（八戸、仙台、長岡、津山、明石）に共有されるとともに、すでにタイのチュラポーン王女サイエンススクールにおいて来日前の学習教材として使用されている。

### 5. おわりに

今後は入学以降に使える教材として、1 学年の教科書に沿った用語集の作成を予定している。これは教科書の索引から最初の段階で選定した数学 150 語、化学 350 語、物理 300 語、化学物質名 200 語をベースとする。また、本プログラムの留学生は専攻科まで 7 年間の教育が予定されているため、さらに多くの分野を網羅した日タイ英技術用語集が必要になると考えられる。これらの教材がタイからの留学生の学習面での負担を減らし、講義理解の一助となることを希望する。

### 6. 資料

今回作成した「タイ留学生のための基本技術用語集 150」を配布したそのままの形で次ページより掲載する。(資料 1) また入学後に学習者が用語を調べるために使用することを想定して、用語集の部分を日本語の読みの 50 音順に並べかえた資料も掲載する。(資料 2)

#### 【参考文献】

- (1) 毛利貴美「講義理解過程におけるアカデミック・インターアクションに関する実証的研究」、ココ出版, 2014 年
- (2) 田上由紀子「留学生のための基礎日本語科学用語」凡人社, 1988 年
- (3) 宮城工業高等専門学校編「高専留学生のための工業基本術語集 数学・物理編 タイ語版」1986 年
- (4) 中村誠太郎監修, 東海大学留学生教育センター編, 小西久也「留学生の物理学」東海大学出版会, 2001 年

(資料 1)

# タイ留学生のための 基本技術用語集 150

Basic technical terms 150 for Thai students in Math, Chemistry and Physics

คำศัพท์พื้นฐาน วิชาคณิตศาสตร์, เคมี, ฟิสิกส์ สำหรับนักเรียนไทย

2019.6.6 茨城工業高等専門学校 二田亜弥

National Institute of Technology, Ibaraki College

Aya NITA



## 【数学 すうがく Math】

	タイ語	日本語	ひらがな	English
1	จำนวนเต็ม	整数	せいすう	integer / whole number
2	ทศนิยม	小数	しょうすう	decimal
3	เศษส่วน	分数	ぶんすう	fraction
4	ตัวเศษ	分子	ぶんし	numerator
5	ตัวส่วน	分母	ぶんぼ	denominator
6	บวก	正	せい	positive
7	เชิงลบ / ลบ	負	ふ	negative
8	สองในสาม / เศษสองส่วนสาม	三分の二 $\frac{2}{3}$	さんぶんのに	two thirds
9	ผลบวก	和	わ	sum
10	ผลต่าง	差	さ	difference
11	ผลคูณ	積	せき	product
12	ผลหาร	商	しょう	quotient
13	เก้า จุด ห้า	9.5	きゅう てん ご	nine point five
14	ตัวประกอบ	因数	いんすう	factor
15	ผลคูณ	倍数	ばいすう	multiple
16	ค่าสัมบูรณ์	絶対値 $ x $	ぜったいち	absolute value
17	ปัดเศษออก	四捨五入	ししゃ ごにゅう	rounding
18	คำนวณ	計算する	けいさんする	calculate
19	หา	求める	もとめる	find
20	เหลือ	余り	あまり	remainder
21	~เท่า	~倍の	~ばいの	times
22	เลขคู่	偶数	ぐうすう	even number
23	เลขคี่	奇数	きすう	odd number
24	ยกกำลังสอง	二乗 $x^2$	にじょう	squared

25	สัดส่วน	比例 $y \propto x$	ひれい	proportion
26	สัดส่วนผกผัน	反比例 $y \propto \frac{1}{x}$	はんびれい	inverse proportion
27	สมการ	式	しき	equation
28	สูตร	公式	こうしき	formula
29	พจน์	項	こう	term
30	ฟังก์ชัน	関数	かんすう	function
31	ค่าสัมประสิทธิ์	係数	けいすう	coefficient
32	ค่าคงที่	定数	ていすう	constant
33	ค่า	値	あたい	value
34	วงเล็บ	かっこ ( )	かっこ	bracket
35	เงื่อนไข	条件	じょうけん	condition
36	กราฟ	グラフ	ぐらふ	graph
37	พิกัด	座標	ざひょう	coordinate
38	แกน x	x 軸	えつくす じく	x axis
39	จุดกำเนิด	原点	げんてん	origin
40	เส้นตรง	直線	ちよくせん	straight line
41	ขนาน	平行	へいこう	parallel
42	ตั้งฉาก	垂直	すいちよく	perpendicular
43	มุม	角	かく	angle
44	พื้นที่	面積	めんせき	area
45	ปริมาตร	体積	たいせき	volume
46	วงกลม	円	えん	circle
47	สามเหลี่ยม	三角	さんかく	triangle
48	แผนภาพ	図	ず	diagram, figure
49	รัศมี	半径	はんけい	radius
50	เส้นผ่านศูนย์กลาง	直径	ちよっけい	diameter

(実践報告)

化学用語 50 (タイ日英)

【化学 かがく Chemistry】

	タイ語	日本語	ひらがな	English
1	ธาตุ	元素	げんそ	element
2	สัญลักษณ์ทางเคมี	元素記号	げんそきごう	symbol of element
3	ความเข้มข้น	濃度	のうど	concentration
4	ออกซิเดชัน	酸化	さんか	oxidation
5	ออกไซด์	酸化物	さんかぶつ	oxide
6	พันธะ	結合	けつごう	bond
7	สารประกอบ	化合物	かごうぶつ	compound
8	สสาร	物質	ぶっしつ	substance
9	สารละลาย	水溶液	すいようえき	aqueous solution
10	คริสตัล	結晶	けっしょう	crystal
11	สูตรทางเคมี	化学式	かがくしき	chemical formula
12	ไฮโดรเจน	水素 H	すいそ	hydrogen
13	คาร์บอน	炭素 C	たんそ	carbon
14	ออกซิเจน	酸素 O	さんそ	oxygen
15	ก๊าซไนโตรเจน	窒素 N	ちっそ	nitrogen
16	คลอรีน	塩素 Cl	えんそ	chlorine
17	ทอง	金 Au	きん	gold
18	เงิน	銀 Ag	ぎん	silver
19	ทองแดง	銅 Cu	どう	copper
20	เหล็ก	鉄 Fe	てつ	iron
21	สารแอมโมเนีย	アンモニア NH <sub>3</sub>	あんもにあ	ammonia
22	กรดไฮโดรคลอริก	塩酸 HCl	えんさん	hydrochloric acid
23	คาร์บอนไดออกไซด์	二酸化炭素 CO <sub>2</sub>	にさんかたんそ	carbon dioxide
24	พลาสติก	プラスチック	ぶらすちっく	plastics

## (実践報告)

25	แก้ว	ガラス	がらす	glass
26	โลหะผสม	合金	ごうきん	alloy
27	โลหะ	金属	きんぞく	metal
28	เพื่อตอบสนอง	反応する	はんのうする	react
29	ปฏิกิริยาเคมี	化学反応	かがくはんのう	chemical reaction
30	ไอออน	イオン	いおん	ion
31	ไอออนบวก	陽イオン	よういおん	positive ion
32	ไอออนลบ	陰イオン	いんいおん	negative ion
33	ตารางธาตุ	周期表	しゅうきひょう	periodic table
34	ไอน้ำ	水蒸気	すいじょうき	water vapor
35	อากาศ	空気	くうき	air
36	อุณหภูมิ	気温	きおん	atmospheric temperature
37	สถานะมาตรฐาน	標準状態	ひょうじゅん じょうたい	standard state
38	อุปกรณ์	器具	きぐ	instrument
39	สันดาป	燃烧	ねんしょう	combustion
40	การสังเกต	観察	かんさつ	observation
41	ความกดอากาศ	気圧	きあつ	atmospheric pressure
42	ก่อ	発生する	はっせいする	to be produced
43	พื้นผิว	表面	ひょうめん	surface
44	การจำแนก	分解	ぶんかい	decomposition
45	อนินทรีย์	無機	むぎ	inorganic
46	อินทรีย์	有機	ゆうぎ	organic
47	การเปลี่ยนแปลงทางเคมี	化学変化	かがくへんか	chemical change
48	การจัดหมวดหมู่	分類	ぶんるい	classification
49	การระบายความร้อน	冷却	れいきゃく	cooling
50	ให้ความร้อน	加熱	かねつ	heating

Translated to Thai by Sunanta Juijongrak



(実践報告)

物理用語 50 (タイ日英)

【物理 ぶつり Physics】

	タイ語	日本語	ひらがな	English
1	หน่วย	単位	たんい	unit
2	มวล	質量	しつりょう	mass
3	ความยาว	長さ	ながさ	length
4	เวลา	時間	じかん	time
5	อุณหภูมิ	温度	おんど	temperature
6	ไฟฟ้า	電気	でんき	electricity
7	กระแสไฟฟ้า	電流	でんりゅう	electric current
8	แรงดันไฟฟ้า	電圧	でんあつ	voltage
9	ประจุ	電荷	でんか	charge
10	ความต้านทาน	抵抗	ていこう	resistance
11	อะตอม	原子	げんし	atom
12	อิเล็กตรอน	電子	でんし	electron
13	โปรตอน	陽子	ようし	proton
14	นิวตรอน	中性子	ちゅうせいし	neutron
15	นิวเคลียส	原子核	げんしかく	nucleus
16	คลื่น	波	なみ	wave
17	ความร้อน	熱	ねつ	heat
18	ของแข็ง	固体	こたい	solid
19	ของเหลว	液体	えきたい	liquid
20	ก๊าซ	気体	きたい	gas
21	การเคลื่อนไหว	運動	うんどう	motion
22	วัตถุ	物体	ぶつたい	object
23	การทดลอง	実験	じっけん	experiment
24	แรงดึงดูด	重力	じゅうりょく	gravity
25	ตำแหน่ง	位置	いち	position

## (实践報告)

26	ระยะทางเคลื่อนที่	変位	へんい	displacement
27	อัตราเร็ว	速さ	はやさ	speed
28	ทิศทาง	向き	むき	direction
29	ระยะทาง	距離	きょり	distance
30	จุดหลอมเหลว	融点	ゆうてん	melting point
31	จุดเดือด	沸点	ふってん	boiling point
32	กระแสสลับ	交流	こうりゅう	alternating current
33	กระแสตรง	直流	ちよくりゅう	direct current
34	แรง	力	ちから	force
35	ความดัน	圧力	あつりょく	pressure
36	ขนาด	大きさ	おおきさ	magnitude
37	ความสูง	高さ	たかさ	height
38	ตัวเลขนัยสำคัญ	有効数字	ゆうこう すうじ	significant figure
39	คุณสมบัติ	性質	せいしつ	property
40	ความหนาแน่น	密度	みつど	density
41	พลังงาน	エネルギー	えねるぎー	energy
42	การวัด	測定	そくてい	measurement
43	ค่า	値	あたい	value
44	แรงเสียดทาน	摩擦	まさつ	friction
45	คาบ	周期	しゅうき	period
46	แอมพลิจูด	振幅	しんぶく	amplitude
47	ความถี่	振動数	しんどうすう	frequency
48	ความยาวคลื่น	波長	はちょう	wavelength
49	ค่าเฉลี่ย	平均の	へいきんの	average
50	ทันทีทันใด	瞬間の	しゅんかんの	instantaneous

Translated to Thai by Pochara Jaain

(ふろく) <sup>すうしき</sup> 数式のよみかた

数式	にほんご	English
$10 + 20 = 30$	じゅう たす にじゅう は さんじゅう	10 plus 20 equals 30.
$30 - 10 = 20$	さんじゅう ひく じゅう は にじゅう	30 minus 10 equals 20.
$5 \times 8 = 40$	ご かける はち は よんじゅう	5 times 8 is 40. 5 multiplied by 8 equals 40.
$20 \div 5 = 4$	にじゅう わる ご は よん	20 divided by 5 equals 4.
$\frac{3}{4}$	よん ぶんの さん	3 over 4
$x^2$	x (の) にじょう	x squared
$x^3$	x (の) さんじょう	x cubed, x to the third power
$x^n$	x (の) えぬじょう	x to the n-th power
$x < y$	x しょうなり y x は y より ちいさい	x is less than y
$x \leq y$	x しょうなり いこーる y x は y いか	x is less than or equal to y
$x > y$	x だいなり y x は y より おおきい	x is greater than y
$x \geq y$	x だいなり いこーる y x は y いじょう	x is greater than or equal to y
$x:y$	x たい y	(the ratio of) x to y
$x \pm y$	x ぶらすまいなす y	x plus or minus y
$\sqrt{a}$	るーと a	the square root of a
$\sqrt[3]{a}$	a の さんじょうこん	the cube root of a
$\sqrt[n]{a}$	a の nじょうこん	the n-th root of a
$x \neq y$	x のっと いこーる y	x is not equal to y
$2x + y$	に x たす y	two x plus y
$2xy$	に xy	two xy
$18/2 = 9$	にぶんの じゅうはち は きゅう	18 over 2 is 9.
$(x + y)^2$	かっこ x たす y の にじょう	(parenthesis) x plus y (close parenthesis) squared
$ x - y $	x ひく y の ぜったいち	the absolute value of x minus y
$f(x)$	f x	f of x
$6!$	ろく の かいじょう	factorial of 6, 6 factorial

(実践報告)

(資料 2)

# タイ留学生のための 基本技術用語集 150(50 音順)

Basic technical terms 150 for Thai students in Math, Chemistry and Physics

คำศัพท์พื้นฐาน วิชาคณิตศาสตร์,เคมี,ฟิสิกส์สำหรับนักเรียนไทย

2019.6.6 茨城工業高等専門学校 二田亜弥

National Institute of Technology, Ibaraki College

Aya NITA



(実践報告)

数学用語 50 (日タイ英)

【数学 すうがく Math】

	日本語	ひらがな	ภาษาไทย	English
1	値	あた	ค่า	value
2	余り	あまり	เหลือ	remainder
3	因数	いんすう	ตัวประกอบ	factor
4	x 軸	えっくす じく	แกน x	x axis
5	円	えん	วงกลม	circle
6	角	かく	มุม	angle
7	かっこ ( )	かっこ	วงเล็บ	bracket
8	関数	かんすう	ฟังก์ชัน	function
9	奇数	きすう	เลขคี่	odd number
10	9.5	きゅう てん ご	เก้า จุด ห้า	nine point five
11	偶数	ぐうすう	เลขคู่	even number
12	グラフ	ぐらふ	กราฟ	graph
13	計算する	けいさんする	คำนวณ	calculate
14	係数	けいすう	ค่าสัมประสิทธิ์	coefficient
15	原点	げんてん	จุดกำเนิด	origin
16	項	こう	พจน์	term
17	公式	こうしき	สูตร	formula
18	差	さ	ผลต่าง	difference
19	座標	ざひょう	พิกัด	coordinate
20	三角	さんかく	สามเหลี่ยม	triangle
21	三分の二	さんぶんに $\frac{2}{3}$	สองในสาม / เศษสองส่วนสาม	two thirds
22	式	しき	สมการ	equation
23	四捨五入	ししゃ ごにゅう	ปัดเศษออก	rounding
24	商	しょう	ผลหาร	quotient
25	条件	じょうけん	เงื่อนไข	condition

## (実践報告)

26	小数	しょうすう	ทศนิยม	decimal
27	図	ず	แผนภาพ	diagram, figure
28	垂直	すいちょく	ตั้งฉาก	perpendicular
29	正	せい	บวก	positive
30	整数	せいすう	จำนวนเต็ม	integer / whole number
31	積	せき	ผลคูณ	product
32	絶対値 $ x $	ぜったいち	ค่าสัมบูรณ์	absolute value
33	体積	たいせき	ปริมาตร	volume
34	直線	ちよくせん	เส้นตรง	straight line
35	直径	ちよっけい	เส้นผ่านศูนย์กลาง	diameter
36	定数	ていすう	ค่าคงที่	constant
37	二乗 $x^2$	にじょう	ยกกำลังสอง	squared
38	～倍の	～ばいの	～ เท่า	times
39	倍数	ばいすう	ผลคูณ	multiple
40	半径	はんけい	รัศมี	radius
41	反比例 $y \propto \frac{1}{x}$	はんびれい	สัดส่วนผกผัน	inverse proportion
42	比例 $y \propto x$	ひれい	สัดส่วน	proportion
43	負	ふ	เชิงลบ / ลบ	negative
44	分子	ぶんし	ตัวเศษ	numerator
45	分数	ぶんすう	เศษส่วน	fraction
46	分母	ぶんぼ	ตัว ส่วน	denominator
47	平行	へいこう	ขนาน	parallel
48	面積	めんせき	พื้นที่	area
49	求める	もとめる	หา	find
50	和	わ	ผลบวก	sum

Translated to Thai by Kamolphat Intawong



(実践報告)

化学用語 50 (日タイ英)

【化学 かがく Chemistry】

	日本語	ひらがな	ภาษาไทย	English
1	アンモニア NH <sub>3</sub>	あんもにあ	สารแอมโมเนีย	ammonia
2	イオン	いおん	ไอออน	ion
3	陰イオン	いんいおん	ไอออนลบ	negative ion
4	塩酸 HCl	えんさん	กรดไฮโดรคลอริก	hydrochloric acid
5	塩素 Cl	えんそ	คลอรีน	chlorine
6	化学式	かがくしき	สูตรทางเคมี	chemical formula
7	化学反応	かがくはんのう	ปฏิกิริยาเคมี	chemical reaction
8	化学変化	かがくへんか	การเปลี่ยนแปลงทางเคมี	chemical change
9	化合物	かごうぶつ	สารประกอบ	compound
10	加熱	かねつ	ให้ความร้อน	heating
11	ガラス	がらす	แก้ว	glass
12	観察	かんさつ	การสังเกต	observation
13	気圧	きあつ	ความกดอากาศ	atmospheric pressure
14	気温	きおん	อุณหภูมิ	atmospheric temperature
15	器具	きぐ	อุปกรณ์	instrument
16	金 Au	きん	ทอง	gold
17	銀 Ag	ぎん	เงิน	silver
18	金属	きんぞく	โลหะ	metal
19	空気	くうき	อากาศ	air
20	結合	けつごう	พันธะ	bond
21	結晶	けっしょう	คริสตัล	crystal
22	元素	げんそ	ธาตุ	element
23	元素記号	げんそきごう	สัญลักษณ์ทางเคมี	symbol of element
24	合金	ごうきん	โลหะผสม	alloy

## (実践報告)

25	酸化	さんか	ออกซิเดชัน	oxidation
26	酸化物	さんかぶつ	ออกไซด์	oxide
27	酸素 O	さんそ	ออกซิเจน	oxygen
28	周期表	しゅうきひょう	ตารางธาตุ	periodic table
29	水蒸気	すいじょうき	ไอน้ำ	water vapor
30	水素 H	すいそ	ไฮโดรเจน	hydrogen
31	水溶液	すいようえき	สารละลาย	aqueous solution
32	炭素 C	たんそ	คาร์บอน	carbon
33	窒素 N	ちっそ	ก๊าซไนโตรเจน	nitrogen
34	鉄 Fe	てつ	เหล็ก	iron
35	銅 Cu	どう	ทองแดง	copper
36	二酸化炭素 CO <sub>2</sub>	にさんかたんそ	คาร์บอนไดออกไซด์	carbon dioxide
37	燃焼	ねんしょう	สันดาป	combustion
38	濃度	のうど	ความเข้มข้น	concentration
39	発生する	はっせいする	ก่อ	to be produced
40	反応する	はんのうする	เพื่อตอบสนอง	react
41	標準状態	ひょうじゆん じょうたい	สถานะมาตรฐาน	standard state
42	表面	ひょうめん	พื้นผิว	surface
43	物質	ぶっしつ	สสาร	substance
44	プラスチック	ぷらすチック	พลาสติก	plastics
45	分解	ぶんかい	การจำแนก	decomposition
46	分類	ぶんるい	การจัดหมวดหมู่	classification
47	無機	むき	อนินทรีย์	inorganic
48	有機	ゆうき	อินทรีย์	organic
49	陽イオン	よういおん	ไอออนบวก	positive ion
50	冷却	れいきゃく	การระบายความร้อน	cooling

Translated to Thai by Sunanta Juijongrak

(実践報告)

物理用語 50 (日タイ英)

【物理 ぶつり Physics】

	日本語	ひらがな	タイ語	English
1	圧力	あつりょく	ความดัน	pressure
2	位置	いち	ตำแหน่ง	position
3	運動	うんどう	การเคลื่อนไหว	motion
4	液体	えきたい	ของเหลว	liquid
5	エネルギー	えねるぎー	พลังงาน	energy
6	大きさ	おおきさ	ขนาด	magnitude
7	音	おと	เสียง	sound
8	温度	おんど	อุณหภูมิ	temperature
9	気体	きたい	ก๊าซ	gas
10	距離	きより	ระยะทาง	distance
11	原子	げんし	อะตอม	atom
12	原子核	げんしかく	นิวเคลียส	nucleus
13	交流	こうりゅう	กระแสสลับ	alternating current
14	固体	こたい	ของแข็ง	solid
15	時間	じかん	เวลา	time
16	実験	じっけん	การทดลอง	experiment
17	質量	しつりょう	มวล	mass
18	周期	しゅうき	คาบ	period
19	重力	じゅうりょく	แรงดึงดูด	gravity
20	瞬間の	しゅんかんの	ทันทีทันใด	instantaneous
21	振動数	しんどうすう	ความถี่	frequency
22	振幅	しんぶく	แอมพลิจูด	amplitude
23	性質	せいしつ	คุณสมบัติ	property
24	測定	そくてい	การวัด	measurement
25	高さ	たかさ	ความสูง	height

## (実践報告)

26	単位	たんい	หน่วย	unit
27	力	ちから	แรง	force
28	中性子	ちゅうせいし	นิวตรอน	neutron
29	直流	ちよくりゅう	กระแสตรง	direct current
30	抵抗	ていこう	ความต้านทาน	resistance
31	電圧	でんあつ	แรงดันไฟฟ้า	voltage
32	電荷	でんか	ประจุ	charge
33	電気	でんき	ไฟฟ้า	electricity
34	電子	でんし	อิเล็กตรอน	electron
35	電流	でんりゅう	กระแสไฟฟ้า	electric current
36	長さ	ながさ	ความยาว	length
37	波	なみ	คลื่น	wave
38	熱	ねつ	ความร้อน	heat
39	波長	はちょう	ความยาวคลื่น	wavelength
40	速さ	はやさ	อัตราเร็ว	speed
41	物体	ぶつたい	วัตถุ	object
42	沸点	ふってん	จุดเดือด	boiling point
43	平均の	へいきんの	ค่าเฉลี่ย	average
44	変位	へんい	ระยะทางเคลื่อนที่	displacement
45	摩擦	まさつ	แรงเสียดทาน	friction
46	密度	みつど	ความหนาแน่น	density
47	向き	むき	ทิศทาง	direction
48	有効数字	ゆうこう すうじ	ตัวเลขนัยสำคัญ	significant figure
49	融点	ゆうてん	จุดหลอมเหลว	melting point
50	陽子	ようし	โปรตอน	proton

Translated to Thai by Pochara Jaain

令和元年6月発行

編集・発行 茨城工業高等専門学校  
総務課研究協力・地域連携係

〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根 866

TEL 029-271-2952