

視覚障害者の触読図の作成を可能にするプロッタ・システムの開発

藤芳 衛

独立行政法人大学入試センター研究開発部 〒153-8501 東京都目黒区駒場 2-19-23

E-mail: fujiyosi@rd.dnc.ac.jp

あらまし 視覚障害者用触読図プロッタ・システム BPLOT の開発は従来、重度視覚障害者にはほとんど不可能であった触読図の自立的作成を初めて可能にするものである。BPLOT は、プロッタ制御コマンド方式を採用し、コマンド行の集合として作図プログラムをテキスト・エディタで記述するため、重度視覚障害者にも自立的な触読図の作成を可能にする。

キーワード 視覚障害、触読図、プロッタ制御コマンド

The Development of Plotting System That Enables People with Visual Disabilities to Produce Tactile Graphics

Mamoru FUJIYOSHI

Research Division, National Center for University Entrance Examinations

2-19-23 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8501, Japan

E-mail: fujiyosi@rd.dnc.ac.jp

Abstract BPLOT is a plotting system for tactile graphics that first enables the totally blind produce tactile graphics by themselves, which has been almost impossible so far. Because BPLOT utilizes plotter control commands and describes figures by a set of plotter control commands that is editable by text editors, BPLOT enables not only the sighted but also the totally blind to produce tactile graphics by themselves.

Keyword visual disabilities, tactile graphics, plotter control commands

1. はじめに

視覚障害者用触読図プロッタ・システム BPLOT の開発は従来、重度視覚障害者にはほとんど不可能であった触読図の自立的作成を初めて可能にするものである。マウスの使用等、コンピュータ画面に直接図を描く GUI^{[1][2]}方式は重度視覚障害者には使用不可能である。

BPLOT は、プロッタ制御コマンド方式を採用し、コマンド行の集合として作図プログラムをテキスト・エディタで記述するため、重度視覚障害者にも自立的に触読図を作成可能である。また、実際の図の触読校正にあたる視覚障害者が作図プログラムを修正して触読図を自立的に適宜校正可能にする。

流れ図や模式図等、定形的な図だけでなく、曲線補完法により不定形の複雑な図形も容易に作成可能である。また、部品となる図形を作成すれば部品を組み合わせてより複雑な図形も作成可能である。さらに、より識別しやすい触読図を作成するため点線も設計可能

である。

作図プログラムをデジタル・データとして保存し、触読図の蓄積を可能にする。また、作図プログラムを若干修正すれば類似の新しい触読図を非常に容易に作成可能にする。

2. 触読図プロッタ・システム BPLOT の概要

2.1. システムの概要

ハードウェア・システムとして、高精細な触読図を作成可能な点字プリンタ・プロッタ ESA721(JTR 株式会社製)を使用する^[3]。ESA721 の解像度は、横方向が 73.12dpi (dot/inch) 縦方向が 80.25dpi である。通常の点字プリンタの解像度は 10~20dpi であり^[4]、約 4 倍の解像度である。

ESA721 は、プリンタ用紙を紙送り機構で縦方向に動かすと共に、ステッピング・モータとタイミング・ベルトで印字ヘッドを横方向に駆動して点字または触読図を印字する。印字ヘッドには、横 2 列立て 4 行の

計 8 本の印字ピンがある。上部の 6 本のピンは通常の 6 点点字の印字用に使用する。点字用のピンの先端の直径は約 1.4mm である。下部の 2 本の大点と小点のピンが作図専用のピンである。小点のピンの先端の直径は約 0.5mm であり、大点のピンの先端の直径は約 1.8mm である。この点字用のピン 1 本と作図用の 2 本のピンの計 3 本で大点・中点・小点の点を印字して作図する。

ESA721 にはテキストモードとグラフィックモードがある。テキストモードでは通常の 6 点点字を印字する。他方、グラフィックモードでは大点・中点・小点の 3 本のピンを使用して作図する。

ソフトウェア・システムは自己開発した。ESA721 のグラフィックモードにはわずかに 3 つのビルトイン・コマンドしかないため、多様な触読図を簡単に作図できるよう種々の作図コマンドをソフトウェアにより実現した。ビルトイン・コマンドは、印字ピンを大点・中点・小点に切り替えるコマンド、印字ヘッドを目的の位置に移動させるコマンド、及び 1 点を目的の位置に印字するコマンドの 3 つだけである。

システムは DOS または Windows のコンソール・モードで動作するフィルター形式である。C++4.51 (Borland) で記述した。

システムは、作図モードとテスト・モード及びヘルプ・モードの 3 つのモードで構成されている。作図モードは、後述する作図コマンドを処理して作図用バイナリ・コードを ESA721 に出力する。テスト・モードは、受け付けた作図コマンドから作図用のバイナリ・コードを生成するのではなく、作図コマンド名や印字する点の座標をテキスト形式でコンピュータ画面やプリンタ等、標準出力に出力し、作図する上で必要な各点の座標情報を取得したり、エラーを発見したりする際に有効である。ヘルプ・モードは、作図コマンドの書式や作図コマンドの数値パラメータの情報を表示する。

2.2. 作図プログラムの概要

作図プログラムは、プロッタ制御コマンド方式で記述する。プロッタ制御コマンド方式は 1 行に 1 コマンドを記述したコマンド行の集合としてプログラムを作成する。従来、グラフィック・プロッタで使用されていたプログラム記述方式である。

各コマンドのフォーマットは、行頭にコマンド名を記述する。コマンド名に続けて必要な数だけ数値パラメータを列記する。コマンド名としては最初の英字 2 文字だけがシステムで認識され、後の文字列は無視される。

プログラムは自由フォーマットで記述可能である。コマンド名の前を任意の文字数分空白をおいて、コマンド名を字下げできる。コマンド名及び各数値パラメ

ータの間は 1 文字以上の空白で区切れれば任意の文字数あけても構わない。このため、プログラムを構造化して記述可能である。

直線や曲線の作図コマンドの 1 番最後の数値パラメータは pitch である。pitch は描く点線の点と点の間隔、ドット・ピッチをプリンタ用紙上の実際の距離、即ちミリメートルで指定する。直線や曲線の作図コマンドで描く点線は後述の window 関連コマンドで後から拡大縮小しようとも点線のドット・ピッチは変わらず、点線の種類は変化しない。

2.3. 作図コマンド

プログラムはまず最初に window 関連コマンドを記述する。点字プリンタ用紙上に実空間座標系を想定する。また、作図する図形対象を仮想空間座標系上の存在として定義する。この仮想空間座標系と実空間座標系を対応づけ、点字用紙上に作図対象を印字可能にするため window 関連コマンドを記述する。

次に、図形対象を作図するために作図コマンドを順次記述する。作図コマンドとしては点字プリンタ・プロッタにはビルトイン・コマンドが 3 つある。定形的な図形を作図するために直線や曲線の図形を作図するコマンドを用意してある。また、不定形の複雑な図形を作図するためには曲線補完による作図コマンドの使用が最適である。

図に見出しや目盛りの数値を点字で書き入れるための点字印字関連コマンドがある。ビーカーや試験管等、図形の個々の部品となる図形を組み合わせるために作図する図形のために作図部品コマンドも用意してある。作図する点線のパターンを設計可能にするため点線設計コマンドを用意した。

さらに、プログラムには任意に注釈をつけたり、プログラムをコメントアウトする注釈コマンドを用意してある。

2.3.1. window 関連コマンド

window 関連コマンドは点字プリンタ用紙上に想定する実空間と作図をする対象が存在する仮想的空間とを結びつけるコマンドである。点字プリンタ・プロッタ上の点字プリンタ用紙には横 10 インチ、縦 11 インチ用紙をいっぱいを使用すると、縦 791 点、横 600 点の点を印字することが可能である。点と点の間隔は、横が 0.342mm 縦が 0.317mm である。解像度は 73~81dpi である。一方、作図対象は、長さの単位がミリメートルやセンチメートル及びインチであったり、地図の経度と緯度等、単位も原点も種々雑多である。このため、作図対象が存在する仮想的空間の座標系と点字プリンタ用紙上の実空間の座標系とを結びつけるために window 関連コマンドを用意した。Window 関連コマンドとしては frame, window, A4, B5 がある。

・例

(書式)

```
frame x0 x1 y0 y1 wx0 wx1 wy0 wy1
```

(解説)

frame は 4 つずつ 2 組の計 8 つのパラメータを必要とする。最初の 4 つの整数パラメータは点字プリンタ用紙上の点を印字する実空間を定義する。x0, x1 は点を印字する x 座標の範囲を指定する。プリンタ用紙の実空間座標系は、左下隅の点が (0, 0) の原点である。右上隅の点が x 座標も y 座標も最大値となる。10 インチ×11 インチ用紙の場合、「0 599 0 790」が縦横最大の広さの設定となる。もし、用紙の上半分だけに印字したければ「0 599 395 790」と指定すればよい。

frame コマンドの後半の 4 つの実数パラメータは作図対象が存在する仮想空間の座標系を定義する。wx0, wx1 は仮想空間の x 座標の範囲を指定する。また、wy0, wy1 は y 座標の範囲を指定する。

frame コマンドを活用すれば図を拡大縮小したり、任意の方向に移動したり、図の縦横の比率を変えたりすることができる。frame コマンドはプログラム中の必要な箇所何度書いてもよい。

(書式)

```
window wx0 wx1 wy0 wy1
```

(解説)

window コマンドは frame コマンドの後半の 4 つのパラメータだけを変更するコマンドである。通常、点字プリンタ用紙上の実空間さえ 1 度定義しておけば、拡大縮小、移動及び縦横比の変更等、必要なのは図が存在する仮想空間の定義の変更だけである。このため、window コマンドは frame コマンドの後半の 4 つのパラメータだけを変更する。

2.3.2.ESA721 ビルトイン作図コマンド

点字プリンタ・プロッタ ESA721 に内蔵されている作図コマンドは、作図モードと点字印字モードを切り替える begin と end の 2 つのコマンドを別にすると、dot, move, plot のわずか 3 つだけである。本ソフトウェア・システム BPLOT はこのわずか 3 つのコマンドを使用して作図機能をすべて実現している。

・例

(書式)

```
dot size
```

(解説)

dot コマンドは作図する点の大きさを変えるコマンドである。ESA721 には大点・中点・小点の 3 種類の大きさの点を打つピンが使用されている。この 3 種類の点を使用して直線や曲線を作図する。

整数パラメータ size は点の大きさを指定する。0 が小点 (直径約 0.5mm)、1 が中点 (直径約 1.4mm)、2

が大点 (直径約 1.8mm)。

(書式)

```
plot x y
```

(解説)

plot コマンドは指定された座標に点を 1 つ打つコマンドである。2 つの実数パラメータ (x, y) は点を打つ仮想空間上の座標を指定する。

(書式)

```
move x y
```

(解説)

move コマンドは指定された仮想空間上の座標に印字ヘッドを移動させるコマンドである。2 つの実数パラメータ (x, y) は仮想空間上の座標を指定する。

2.3.3.定形図形作図コマンド

2.3.3.1.直線図形作図コマンド

模式図や流れ図等、図形描画に使用する直線で描く図形を作図するため次の 10 のコマンドを用意してある。

line, hatch, arrow, dart, rectangle, box, diamond, parallelogram, xaxis, yaxis

・例

(書式)

```
line x0 y0 x1 y1 pitch
```

(解説)

line コマンドは仮想空間上の始点 (x0, y0) から終点 (x1, y1) まで pitch で指定されたドット・ピッチの線を引く。

(書式)

```
arrow x0 y0 x1 y1 head-angle head-length head-type pitch
```

(解説)

arrow コマンドは始点 (x0, y0) と終点 (x1, y1) を指定して矢印を作図する。head-angle は矢軸に対する矢尻の角度を、head-length は矢尻の長さを指定する。head-type は矢尻の形を指定する。0 は矢軸に対し左右対称な矢尻、1 は左半分の形の矢尻、2 は右半分の形の矢尻である。3 は矢尻のない矢印となり直線 line と同様な線を描く。pitch はドット・ピッチを指定する。

(書式)

```
dart x y angle length head-angle head-length head-type pitch
```

(解説)

始点 (x, y) と方向 angle と長さ length を指定して矢印を描く。その他のパラメータは arrow と同様である。

(書式)

```
xaxis x0 x1 unit pointer pitch
```

(解説)

座標平面上に座標軸を描く。軸上の x0 から x1 まで座標軸を描く。unit は x 軸上につける目盛りの間隔を指定する。pointer は x 軸上につける目盛りの長さを指定する。

2.3.3.2. 曲線図形作図コマンド

円・楕円・放物線・双曲線等、種々の 2 次曲線を 1 コマンドで描くことが可能である。また、三角関数・指数関数・対数関数・x の n 次関数等、グラフの作図等を使用する標準的関数の作図コマンドも用意してある。

circle, ellipse, vparabola, hparabola, hyperbola, rhyperbola, sin, cos, tan, pow, exp, log10, ln, weibull, f1, f2, f3, f4, f5.

・例

(書式)

```
circle x0 y0 r angle0 angle1 pitch
```

(解説)

circle コマンドは中心の座標 (x0, y0) と半径 r 及び描く円弧の始点と終点の中心角 (angle0, angle1) を指定して円や円弧を作図する。

(書式)

```
sin x0 x1 y0 y1 a b px py pitch
```

```
cos x0 x1 y0 y1 a b px py pitch
```

```
tan x0 x1 y0 y1 a b px py pitch
```

(解説)

sin, cos, tan の 3 つのコマンドは三角関数のグラフを作図する。x 座標が x0-x1, y 座標が y0-y1 の領域に、次の実定数パラメータ a, b, px, py の三角関数のグラフを描く。

$$y = a * \sin(b(x-px)) + py$$
$$y = a * \cos(b(x-px)) + py$$
$$y = a * \tan(b(x-px)) + py$$

2.3.4. 不定形図形作図コマンド

(書式)

```
spline x0 x1 y0 y1 func px py pitch
```

```
x0    y0
```

```
x1    y1
```

```
x2    y2
```

```
x3    y3
```

```
・    ・
```

```
9999  0
```

(解説)

spline コマンドは曲線補完法を使用してどのような複雑な図形も作図することが可能である。上述の直線や曲線の基本的図形以外の複雑な図形を作図する非常に汎用性のある手法である。通常の開いた図形も、閉じた図形も描くことができる。複雑なグラフ、魚や猫の絵等具象的な図形を描くときに最適である。

spline コマンドは曲線補完法として spline 関数を使

用する。このため、作図する対象から適当な点の座標を何点か読み取ってデータを作成すればその点を通るなめらかな曲線を描くことができる。

spline コマンドはコマンド行と複数のデータ行からなる。コマンド行のパラメータは 8 つである。データ行のパラメータは各行とも点の座標である。

コマンド行の最初の x0, x1, y0, y1 は作図する領域を指定する。整数パラメータ func は使用する spline 関数を指定する。1~3 は開曲線を描くときに指定する。4 は閉曲線を描くときに指定する。

パラメータ px, py は描く曲線を x 軸方向に px だけ、y 軸方向に py だけ平行移動させるときに使用する。

2.3.5. 点字印字コマンド

図に点字を印字するためコマンドが用意されている。点字印字は ESA721 の通常の 6 つの点字ピンを使用して印字する。

(書式)

```
braille x y string
```

(解説)

braille コマンドは仮想空間上の座標 (x, y) から右に、string で指定する NABCC (北米点字コンピュータ・コード) の点字文字列を印字する。

2.3.6. 図形部品コマンド

ビーカーや試験管等、図形を構成する個々の図形部品をプログラム化してファイルとして保存しておき、この図形部品のファイルを読み込んで組合せて図を作成するため part コマンドを用意してある。図形部品の大きさや縦横比、作図する位置を任意に設定可能である。

(書式)

```
part file x0 y0 ratio-x ratio-y
```

(解説)

図形部品プログラム file を読み込み (x0, y0) を原点として作図する。また、x 軸方向に ratio-x 倍、y 軸方向に ratio-y 倍、拡大または縮小して印字する。

2.3.7. 点線設計コマンド

直線や曲線の作図に使用する点線を設計可能にするため design 小窓を用意してある。

(書式)

```
design flag line0 gap0 line1 gap1
```

(解説)

点線設計コマンドは整数パラメータ flag を 1 にすれば指定された設計の点線を描く。0 は指定した設計をデフォルトに戻す。design は、line0 で指定した数だけ点を打った後、gap0 で指定した数だけ点を打つのを休む。次に、line1 の数だけ点を打った後、gap1 の数だけ点を打つのを休む。この動作を繰り返す。この結果、2 点打って 1 点休む等、点線を設計することができる。

3. 作図例

3.1. 点線の種類の印字

触読図の作図に使用する点線を選ぶために点線を印字した例である。作図プログラムを part.esa に示す。プログラム中の部品プログラム lines.esa は、12本の点線を描くプログラムである。上から小点の点線が4本、中点の点線が4本、大点の点線が4本の計12本を点線のドット・ピッチを変えて描いている。

作図例の上部の12本と下部の12本は lines.esa を部品として読み込んで印字している。下部の12本を印字する前に点線設計コマンド design を指定し、2点打つては1点休むパターンで点線を印字している。

触読図の作図にあたってはこのような点線の種類の中から互いに識別しやすいものをたかだか3本ないし4本を選んで作図する。

図1の作図プログラム

```
/// part.esa
window -10.4 10.4 -12.5 12.5

part lines.esa 0 0 1 1

design 1 2 1 2 1
part lines.esa 0 -12.5 1 1

ff
quit

/// lines.esa

dot 0
line -10 12 -1 12 1.8
line -10 11 -1 11 3.0
line -10 10 -1 10 4.8
line -10 9 -1 9 6.8

dot 1
line -10 8 -1 8 2.4
line -10 7 -1 7 3.8
line -10 6 -1 6 6
line -10 5 -1 5 8

dot 2
line -10 4 -1 4 3
line -10 3 -1 3 4
line -10 2 -1 2 6
line -10 1 -1 1 9
```

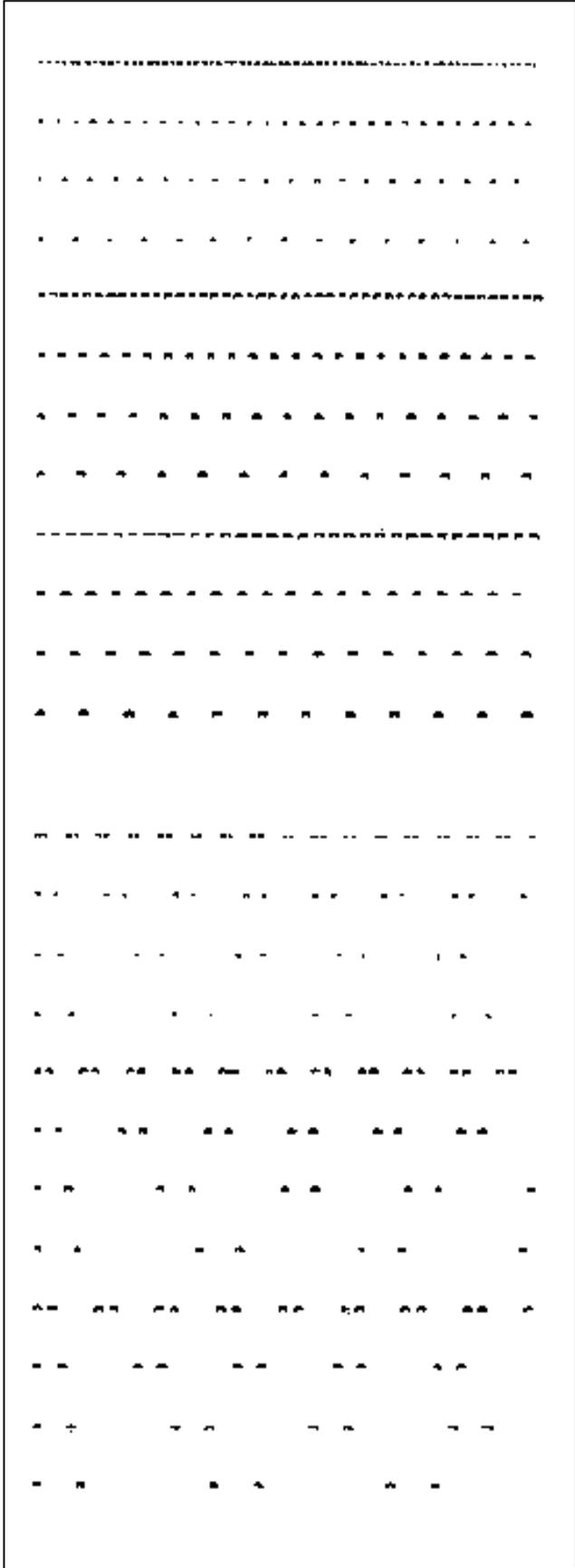


図1 触読図で利用する点線の例

3.2.グラフの触読図

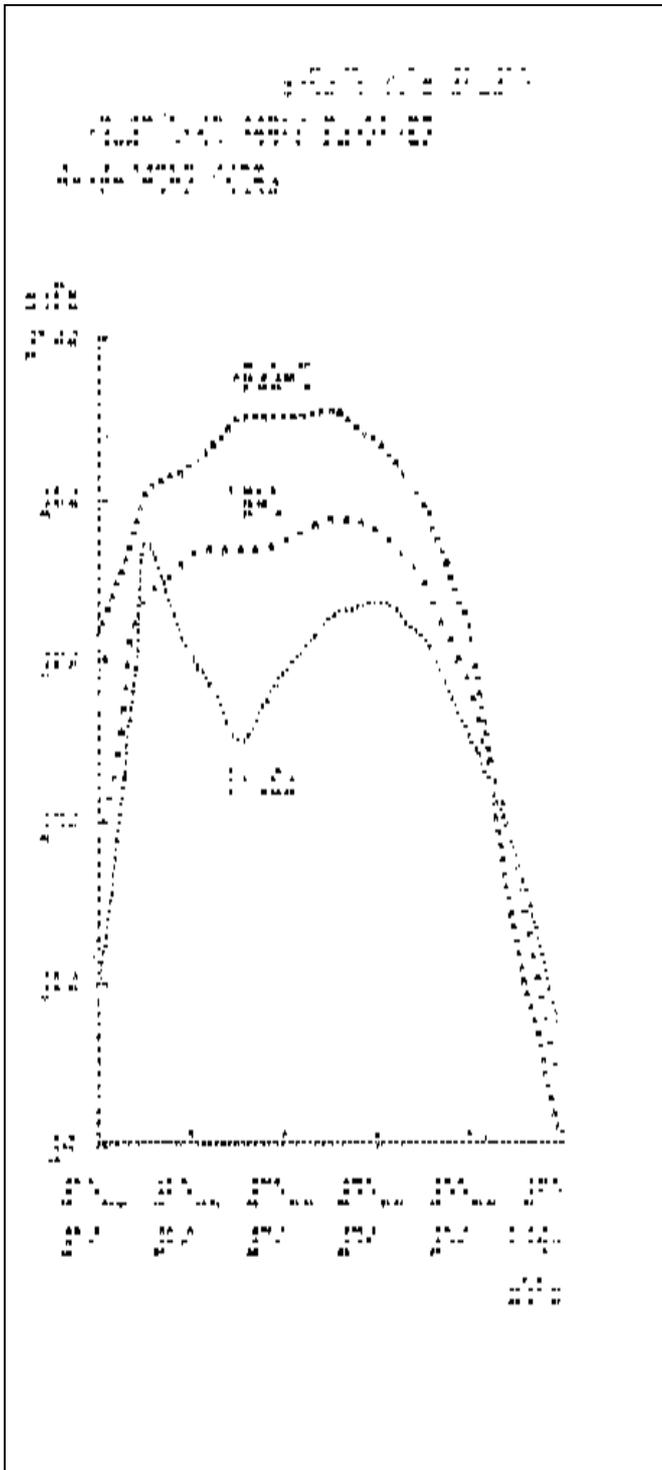


図 2 各国女性の年代別労働力率曲線

4. 結論

視覚障害者用触読図プロット・システム BPLLOT の開発は従来、重度視覚障害者にはほとんど不可能であった触読図の自立的作成を初めて可能にするものであ

る。BPLLOT は、プロッタ制御コマンド方式を採用しているためコマンド行の集合として作図プログラムをテキスト・エディタで記述すればどのような触読図でも作図可能である。マウス等を使用して画面に直接図を描く GUI 方式ではないため、重度視覚障害者も自立的に触読図を作成可能である。また、実際の図の触読校正にあたっている視覚障害者が触読校正結果に基づき作図プログラムを修正して触読図を自立的に適宜校正可能にするものである。

BPLLOT は、触読図を作成するために必要な種々の機能を実現している。流れ図や模式図等、定形的な図を簡単に作成可能であるだけでなく、曲線補完法により不定形の複雑な図形も容易に作成可能である。また、部品となる図形を作成すれば部品を組み合わせにより複雑な図形を作成可能である。さらに、触読図を描く点線の種類が設計可能であるためより識別しやすい触読図を作成できる。

BPLLOT は、作図プログラムをデジタル・データとして保存し、触読図の蓄積を可能にするものである。従来、過去の点字試験問題の問題文は多くテキスト・データとしてデジタル化されて蓄積されている。しかし、触読図はほとんどが手作りであり、デジタル・データとして蓄積されていなかった。

また、BPLLOT の作図プログラムを若干修正すれば新しい類似の触読図を非常に容易に作成可能である。たとえば、世界地図や日本地図を一旦作成しておけば、地図に関する問題が出題された折には即座に地図の一部を切り出したり、拡大縮小したり、移動させる等、作図プログラムを若干修正して、比較的容易に触読図の地図を作成することも可能である。

今後、触読図プロッタ・システム BPLLOT をさらに改良し視覚障害者と晴眼者とが共通に使用可能なシステムに改良する予定である。BPLLOT の作図プログラムを作成することによって単に触読図を点字プロッタ・プリンタで印刷するだけでなく、触読図のモニター用にコンピュータ画面やレーザ・プリンタで表示可能にし、視覚障害者だけでなく晴眼者にも使用可能にする。

現在開発が進められている点字レーザ・プリンタが実用化されれば、より高速により精細に触読図を印刷可能になり、視覚障害者用の適応型コンピュータ・テスト CAT も実用化に近づくものと期待される。

文 献

- [1] “エーデル,” <http://homepage2.nifty.com/EDEL-plus/>.
- [2] “点字編集システム 3,” <http://www.at-shop.com/>.
- [3] ジェイ・ティ・アール, ESA721 Ver.95 プリンタ・ユーザーズ・マニュアル, ジェイ・ティ・アール, 1995.
- [4] ViewPlus Technologies, Inc. Sample booklet made using the Tiger Advantage Tactile Graphics Embosser, ViewPlus Technologies, Inc., 2001.