

# ドットマトリクス文字の構成要素と可読性

石川 和 夫\*

## Legible Configuration of Elements for 5×7 Dot-Matrix Alphanumerics

Kazuo ISHIKAWA

The legibility of alphanumeric characters presented by dot-matrix were psychophysically evaluated by backward masking added to tachistoscopic presentation. Considered with experimental results of subjective evaluation, the configuration improving the legibility of dot-matrix alphanumerics were discussed.

### 1. はじめに

人間は視覚、聴覚、触覚などの感覚器より刺激をとり入れ、これらの刺激情報は感覚神経系を経て大脳中枢系に至り、高度の情報処理が行われる。情報処理された刺激情報は、行動命令の信号として運動神経系を経て発声、手、足などの効果器に作用し、刺激に対応した反応を行う。このような人間の情報処理機構を探る心理物理的手法として、外部からある感覚系に刺激を入力として与え、そのときの反応を出力として測定し、その入出力関係から人間の情報処理系のメカニズムを探ることが試みられている。人間の持つ様々な感覚系の特徴や相異点を明らかにすることは、単に感覚系の基礎研究にとどまらず、ディスプレイなどのマシンインターフェースの改良やロボットなどのメカトロニクス等、多くの応用にもつながる。本稿で取り上げるドットマトリクス文字は、視覚だけでなく触覚などの点刺激として用いられているために、共通の文字概念が異なった感覚系でどの

ように処理されるか調べるのに適している。

CRT ディスプレイ、LCD、ドットインパクトプリンタなど表示素子やマイクロコンピュータの発達に伴って、我々の周辺にはドットマトリクス文字が多く見られるようになった。今後、この傾向はますます強まると考えられ、それと共に、使用される文字の可読性や観察者の疲労への影響などがディスプレイ設計時にも重要な問題となってくる。

英数字においては、画素数の少ない 5×7 ドットマトリクス文字が広く用いられ、それに対する評価もいくつか報告されているが<sup>1-8)</sup>、まだ標準化はされていない。

Maddox<sup>5)</sup> は字体、Riley<sup>7)</sup> は文字を構成する画素にそれぞれ注目し、短時間呈示にバックワードマスキングを加えた判読実験により視認性について評価している。また、Stein<sup>3)</sup> は画素の文字に占める割合 (Active Area) が文字の可読性に与える影響を調べているが、これらの要因はまだ明確に整理されていない。ドットマトリクス文字の可読性に及ぼす要因を明らかにすることは、読み易い文字の設計指針をうるための重要な基礎データ

\* 写真工学科

昭和 58 年 10 月 13 日受理

となると同時に、人間の優れた文字の特徴抽出機構の解明にもつながる。

本研究では、以上のような各感覚系の情報処理機構の究明を最終目的としているが、本稿ではその一環として、 $5 \times 7$  ドットマトリクス英数字を用い、短時間呈示、バックワードマスキング法により、呈示条件を変化された状態での可読性について実験、検討を行った。

## 2. 実験方法

### 2-1 ドットマトリクス文字の可読性に影響する要因

ドットマトリクス文字の可読性は、人間の視覚特性と文字の表示要素によって影響される。

人間の視覚系には、VIS (Visual Information Storage) と言う外界から入力した像をそのままの形で約 300 msec の間貯えておく機構があり<sup>9)</sup>、極めて短い時間だけ呈示された文字でもこの間に認識処理が行われる。従って、VIS による外界像を消去し、呈示時間をコントロールする方法として視覚マスキングの手法がよく用いられる。この手法は認識すべきパターンの直前あるいは直後に全く別のパターンを呈示する方法で、前者をフォワードマスキング、後者をバックワードマスキングと呼ぶ。また眼球は日常生活において一点を凝視することは少なく、たえず跳躍運動を行い、認識すべき像の後に見た像は一種のマスキングとなることから、この手法はある条件下での日常の視覚系の動作をモデル化していると言える。

一方、ドットマトリクス文字の可読性に関する表示要素には、

構成ドット	{	ドット数
		ドットサイズ
		ドット形状
		ドット間隔
	{	輝度→コントラスト
		色

文字全体	{	字 体
		文字サイズ
		文字の縦横比

などの変数がある。本研究では、短時間呈示とバックワードマスキング法を用いて、①文字呈示時間の変化と可読性、②マスキングサイズの変化と可読性、③視距離の変化と可読性、④ドット形状と可読性についてそれぞれ字体を変化させて実験、検討を行った。また文字の主観的心理評価と可読性の関係についても検討した。

### 2-2 実験装置

実験に使用した文字表示装置を Fig. 1 に示した。本装置では、CRT 上に  $5 \times 7$  ドットマトリクス英数字の一文字を短時間呈示し、その直後にドットパターンによるマスキングを施した。被験者には可読した文字をキーボード上で答えさせ、呈示時間の変化に対する各文字の正答率を測定した。

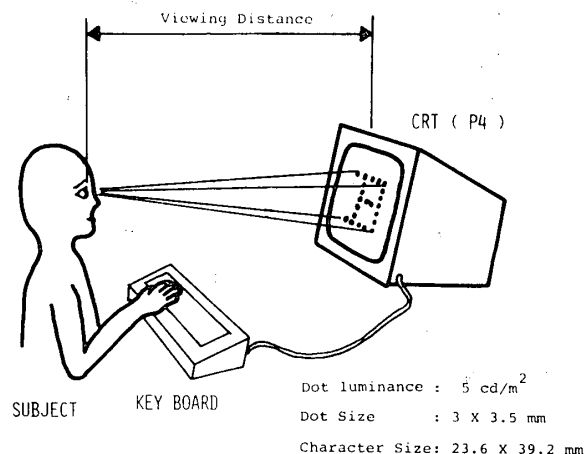


Fig. 1 Experimental apparatus.

実験は次の手順で行い、文字の呈示方法を Fig. 2 に、CRT 表示装置の属性と呈示文字、周辺輝度を Table. 1 に示した。

- ① 被験者がスタートキーを押すと、CRT 上の中央に  $36 \times 43$  mm の固視枠が 2 秒間呈示される。
- ② 固視枠が消えた後、2 秒後に被験文字 ( $5 \times 7$  ドット構成) が一定時間呈示される。固視枠

呈示後の無刺激時間は、枠によるフォワードマスキング効果をなくすために設けてある。

- ③ 一定時間呈示直後に、文字の表示域全体並に周辺部をマスキングするパターンを呈示する。
- ④ 被験者はフォースドチョイス法により、答をキー入力する。

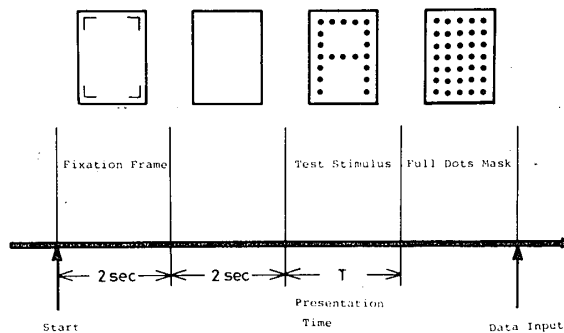


Fig. 2 A series of experiments in presenting characters. Fixation frame appears on CRT as soon as subject pushes the start key. Characters were randomly displayed with the sequence controlled by a microcomputer.

Table 1 Specification for CRT display.

Item	Value
Screen Size	9 inch
Scanning method	raster scan
Phosphor	P 4 ( $\lambda_{\max}$ 560 nm)
Character Size	23.6 × 39.2 mm
Dot luminance	5 cd/m <sup>2</sup>
Surrounding luminance	0.03 cd/m <sup>2</sup>

実験に用いた 5×7 ドットマトリクス英数字を Fig. 3 に示した。Font-1 および 2 は Maddox らによって提唱された字体<sup>6)</sup>、Font-3 は Lincoln/Mitre<sup>10)</sup> と呼ばれるものである。1セッションの実験で、これらの文字が1回ずつランダムに呈示されるが、その呈示、反応処理はマイクロコンピュータ (PET-2001) で制御した。実験は暗室内で行い、被験者は男性 5 名で視力は各自矯正し、正常視力の条件で測定した。

FONT-1 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R  
 FONT-2 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R  
 FONT-3 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R  
 FONT-4 A B C D E F G H I J K L M N O P Q R

S T U V W X Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 S T U V W X Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 S T U V W X Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 S T U V W X Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Fig. 3 5×7 dot matrix alphanumeric characters used in this experiment.

### 3. 実験結果

#### 3-1 文字呈示時間の変化と可読性

文字呈示時間を変化したときの各文字の正答率を求めて字体別および各文字毎の可読性について検討を行った。また各文字の平均正答率より偏差値を求めて、各字体別に可読性の順序と構成ドットの数および分布による影響を調べた。これらの実験に用いた文字構成ドットのサイズは、CRT 面上 3.0×3.5 mm (Fig. 11 参照, ③) で、マスキングサイズを 5×7 ドット、視距離を 0.5 m とした。

##### a. 字体別の可読性

文字呈示時間を変化したときの正答率を字体別に求めた。その結果を横軸に文字の呈示時間、縦軸に全文字の平均正答率をとり Fig. 4 に示した。

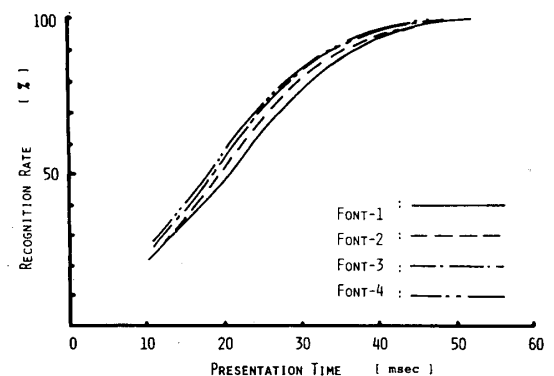


Fig. 4 Recognition rate versus presentation time.

各字体とも呈示時間が短くなるに従って正答率は一様に低下する。Fig. 4 の傾向や正答率の偏差値からは各字体間に際立った有意差は見られない。しかし、Font-4 が他の字体に比べて僅かに高い正答率を示していることや、後に述べる正答率の優れている文字の個数が多いことなどを考慮すると可読性の良い文字であると考えられる。

#### b. 各文字の可読性

文字呈示時間の変化と各文字の正答率の関係は、一定に変化するのではなく、各文字の構成成分によって異なった特性を示す。Fig. 5 (1)~(4) に代表的な文字の呈示時間変化と正答率の関係を示した。

(1) 文字Aの場合：上部の表わし方と中央横線の位置に表現差がある。上部が三角形成分で表わされている Font-2, Font-3 が高い正答率を示している。これは上部に四角形成分を持っている他の文字が多く存在するのに対して、三角形成分を持っている文字がほとんどないためと考えられ

る。従って、他の文字と共通部分を持たない文字が可読しやすくなる傾向が定量的に示されている。

(2) 文字Cの場合：角とオープンスペースの表わし方に表現差がある。角を取り除き曲線成分を強調し、またオープンスペースの間隔を広くした同形の Font-2, Font-3 が高い正答率を示している。従って、角の表現差やオープンスペースの間隔差が可読性に影響を与えていると考えられる。

(3) 文字Sの場合：曲線成分と非対称性によって表わされている Font-2, Font-3 が高い正答率を示している。文字の対称性や非対称性が正答率に影響を与えていると考えられるが、非対称性の影響については後にドット分布状態のところで検討する。

(4) 文字Vの場合：Aと同様に下部の三角形成分の表わし方に差があり Font-3, Font-4 が高い正答率を示している。これらは斜線の表現法と斜線と斜線の開き方によるオープンスペースの広がり可読性に影響を与えていると考えられる。

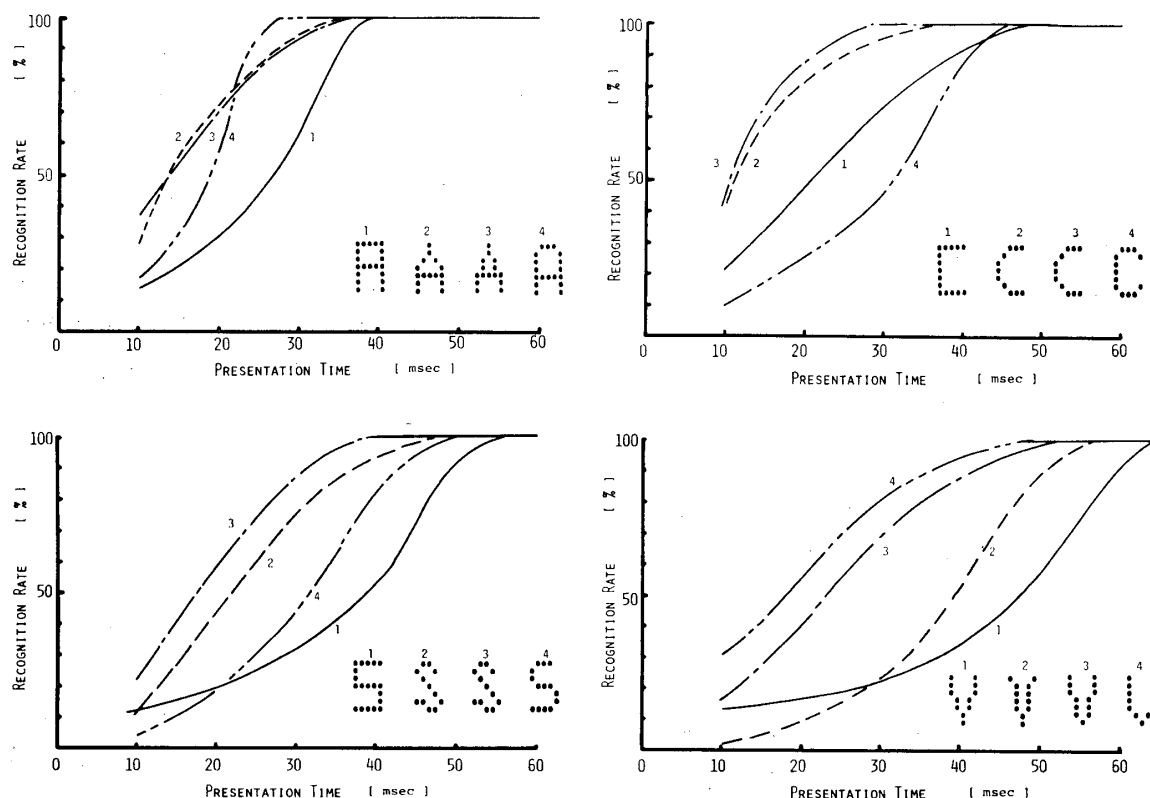


Fig. 5 Recognition rate of each font versus presentation time.

((1): A, (2): C, (3): S, (4): V)

可読性に影響を与える文字の構成成分には、上記で述べた斜線、曲線、角などの表現法、オープンスペースの広がり、対称性と非対称性、他の文字との共通部分の有無などの他に、線分の長さ、文字輪郭パターンと内部構成の複雑差、エレメントの突出などが考えられる。

#### c. 可読性の順序

各文字の平均正答率より偏差値を求め、各字体別に可読性の順序を Fig. 6 に示した。字体に関係なく、F, L, R, T, 4 などの文字は高い偏差値を示し、逆に B, O などの文字は低い偏差値を示す。前者には直線成分からなる単純な文字や特徴部を強調した文字が多く、後者には本来曲線成分からなる複雑な文字が多い。一方、字体によって V や 1 のように偏差値が大きく変動する文字もある。文字 V は、下部の三角形成分を強調することによって文字 Y と混同する傾向を示す。また文字 1 は、上部と下部のエレメントの突出が取り除かれたことによって正答率が低くなる傾向を示す。誤りが発生する際の混同傾向については、構成ドットの数や分布とも関係し、更に詳しい検討が必要である。

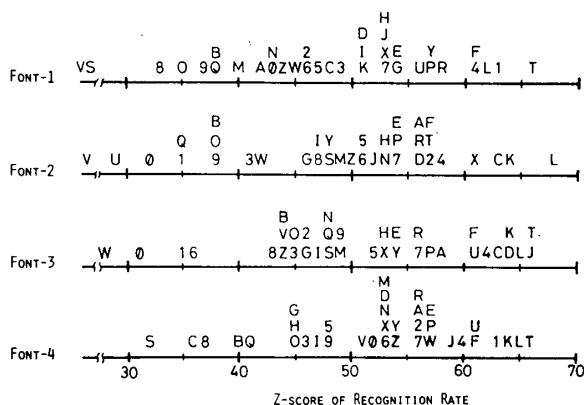


Fig. 6 Recognition rate Z-score for each character.

#### d. 構成ドットの数および分布と可読性

文字の可読性は構成ドット数とその分布にも関係すると考えられる。構成ドット数と正答率の偏差値の関係を Fig. 7 に、構成ドットの分布の非対称性と正答率の偏差値の関係を Fig. 8 に示した。

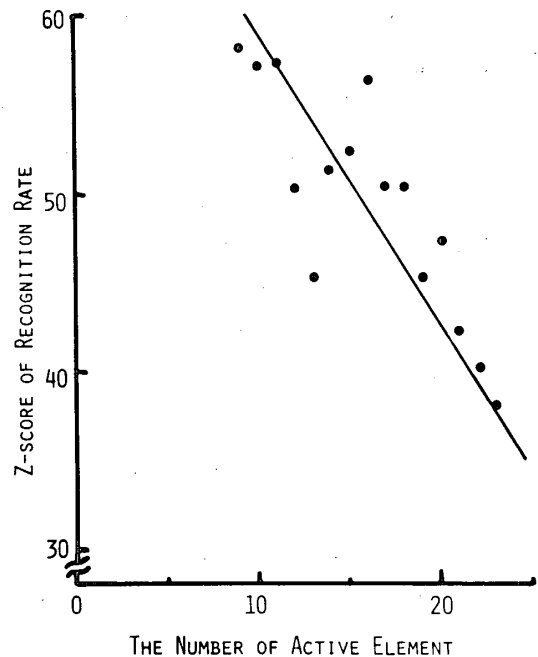


Fig. 7 The relationship between recognition rate and the number of active dot matrix elements per symbol.

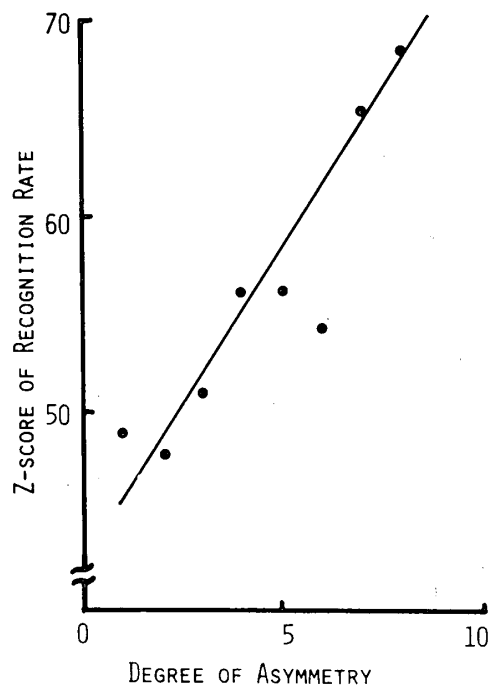


Fig. 8 The relationship between recognition rate and lateral asymmetry of the dot matrix spatial arrangement. Symmetrical axis was the center column.

Fig. 7 は、横軸に構成ドット数、縦軸に平均正答率の偏差値を示した。グラフの各点は構成ドット数の等しい文字群の平均したものである。構成ドット数の多い文字 (B, G, M, Q, W, 0 など) より、構成ドット数の少ない文字 (L, T, J など) が正答率の高い傾向を示している。

Fig. 8 は、左右の対称性を左成分から右成分で差し引いたドット数を偏り量 (絶対値) として横軸に示し、縦軸に偏り量の等しい文字群の平均正答率の偏差値を示した。左右対称な文字 (M, O, V, W, 8 など) より、非対称な文字 (F, K, L, P, R など) が正答率の高い傾向を示している。

### 3-2 マスキングサイズの変化と可読性

Maddox らは<sup>6)</sup>、 $5 \times 7$  ドットマトリクス英数字の短時間呈示後に付加するマスキングとして文字表示域全体を一様にマスキングする方法を用いている。しかしこの方法では、周縁部のドット要素を完全にマスキングしていないと考えられる。従って本実験では、文字表示域全体を一様にマスキングする  $5 \times 7$  ドットの場合と、文字表示域より広い範囲を一様にマスキングする  $9 \times 11$  ドットの場合について可読性の検討を行った。

実験に用いた被験文字とマスキングのドットサイズは  $3.0 \times 3.5$  mm (Fig. 11 参照, ③) のもの

で、視距離は  $0.5$  m とした。文字の呈示時間は、3-1 の実験結果より、 $12$  msec と  $18$  msec とした。各字体毎のマスキングサイズと正答率の関係を Fig. 9 に示した。実線は  $5 \times 7$  ドットマスキング、破線は  $9 \times 11$  ドットマスキングである。ただし、Font-2 の字体については文字の形状が特異な点や認識特性から以下の実験では省略した。

マスキングが周縁部の文字構成要素に影響を与えるのなら、周縁部に文字構成要素を多くもっている Font-1 の字体が  $9 \times 11$  ドットマスキングのとき、正答率が向上するはずである。しかし、各字体に対して  $9 \times 11$  ドットマスキングを用いたとき、正答率が若干向上しているが、顕著な差とはなっていない。一方各文字ごとに検討すると、マスキングの差によって正答率が非常に異なる文字がある。文字の正答率の偏差値をとり、2 種のマスキングで 10 以上の差をもつ文字を Table 2 に示した。Table 2 に見られる可読性が大きく異なった文字についても、その原因がマスキングサイズによる空間的並に時間的強調効果 (文字パターン呈示部以外の領域へのマスク刺激により、ネガ状の文字に見えたり、文字成分が強調されて見える効果) のみでは説明できず、さらに複雑な要因が関与しているものと思われる。

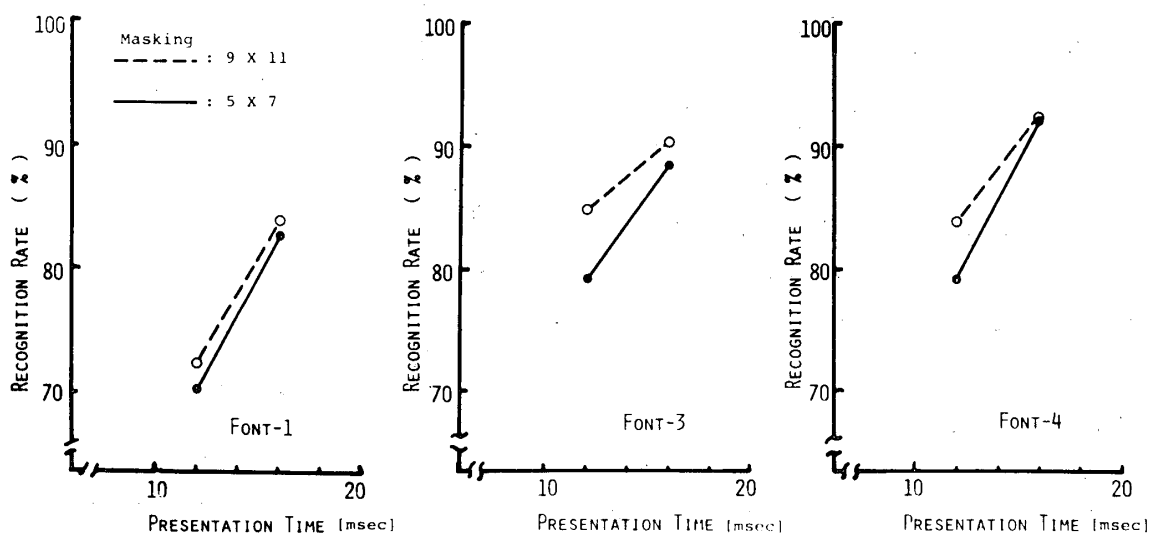


Fig. 9 Masking size effect on recognition rate.  
 $5 \times 7$  and  $9 \times 11$  full dot masking were used.

**Table 2** Characters showing a significant difference in recognition rate when the masking size is changed.

	More legible by 5×7 mask	More legible by 9×11 mask
Font-1	DZ 356	AHPY 72
Font-3	BZ 5	MP 1
Font-4	ZB	ACENS 3

Viewing Distance: 50 cm,  
Presentation Time: 12 msec.

### 3-3 視距離の変化と可読性

文字全体の大きさやドットエレメントの連続性なども可読性と密接に関連していると考えられる。ここでは文字の相対的な大きさを変えるために視距離を変化して、可読性を検討した。

視距離は、調節の影響が入るのを防ぐために 2 m と、0.5 m の近距離観察条件とした。各視距離に対する被験文字の全体視角は、それぞれ  $0.9^\circ \times 0.5^\circ$ ,  $3.7^\circ \times 2.1^\circ$  になる。実験に用いた被験文字とマスキングのドットサイズは  $3.0 \times 3.5$  mm (Fig. 11 参照, ③) で、文字の呈示時間は 12 msec と 18 msec とした。各字体毎の視距離と正答率の関係を Fig. 10 に示した。実線は 0.5 m, 点線は 2 m である。各字体に対して視距離を大きくした方が正答率が高い。特に Font-1 の字体の正答率の向上が著しい。この要因としては、文字が

相対的に小さくなることによりドット間隔が小さくなり、線成分の連続性が高くなるので、Font-1 のように直線成分の多い字体での正答率の向上が明瞭になる。また視距離を変えたときの正答率の偏差値をとり、10 以上の差をもつ文字について Table 3 に示した。

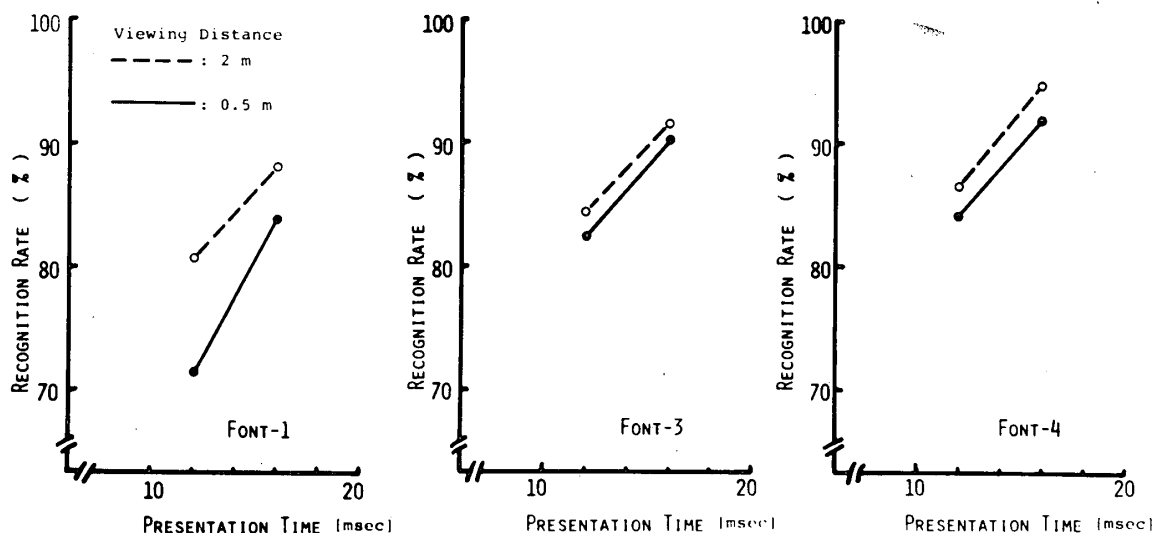
**Table 3** Characters showing a significant difference in recognition rate when the viewing distance is changed.

	More legible in 2 m.	More legible in 0.5 m.
Font-1	CIJMNSV 038	P
Font-3	BO 08	FZ 4
Font-4	MNW 08	D 4

Masking:  $9 \times 11$ , Presentation Time: 12 msec.

### 3-4 ドットの形状と可読性

文字構成ドットの形状と大きさを変化させて、可読性の検討を行った。実験に用いたドットは、マイクロコンピュータのグラフィック表示を使用しているため、1つのドットマトリクス要素は  $8 \times 8$  の微小光点から構成されている。実験に用いたドットの形状を Fig. 11 に示した。図中の百分率は、Stein によって提案された構成ドットの大きさを示す Active Area であり<sup>3)</sup>、次式によって定義される。

**Fig. 10** Recognition rate versus viewing distance.

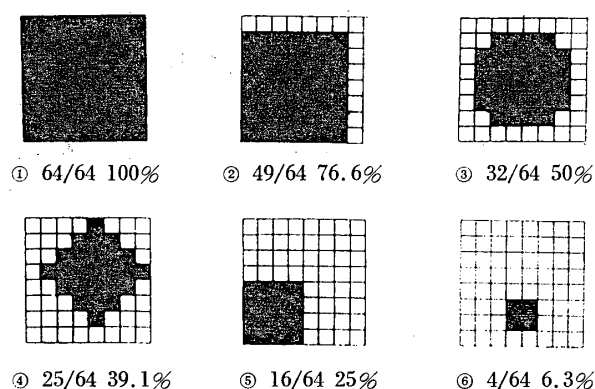


Fig. 11 Variation in dot matrix elements.

Active Area (%) =

$$\frac{\text{ドット要素中の ON の面積 (S}_{\text{ON}})}{\text{ドット要素の面積 (S)}} \times 100$$

本実験では、被験文字もマスキングも同一形状のドットを用い、視距離を 0.5 m、マスキングを 9×10 ドットとして行った。また被験文字の呈示

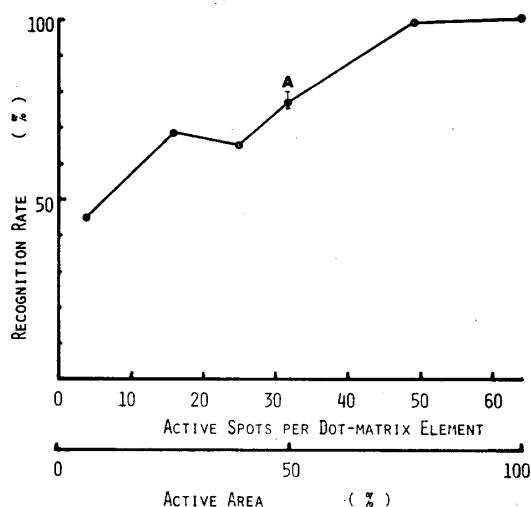


Fig. 12 Recognition rate versus dot shape and active area.

時間は 12 msec とした。その結果を、横軸に Active Area、縦軸に 3 種類の字体の平均正答率を取り Fig. 12 に示した。ドットが小さくなると共に正答率も低下する。

このような傾向が、ドット形状によるものか、あるいはまた文字表示域の平均輝度の低下に関係するのかを検証するために、光量調整用濃度フィルタを被験者に装用させ、ドット輝度を 1/10 に変化して同様に実験を行った結果、有意差は見られなかった (Fig. 12 参照、測定点 A の縦細線でその変動を示す)。従ってドット形状による可読性の変化は、ドット文字の線成分の連続性が大きい要因であると考えられる。また変形ドットが他と異なった傾向を示しているのは、線成分の方向性による連続性に差が生じるためと推測できる。

### 3-5 文字の心理評価と可読性

今までは、可読性からだけで文字形状の評価を行ってきた。しかし文字形状は、本来人間の情緒性をよりどころとする問題も多く含んでいる。そこで文字の良し悪しの評価として心理評価を行い両者の関係を調べ、見易く好ましい文字の特徴を見出す実験を行った。心理評価実験は被験者に、各字体の文字の中からそれぞれ『最も読み易く、好ましいと思われる文字』を主観的評価で選びだしてもらった。被験者は男性 10 名 (短時間呈示による可読性実験の被験者 5 名を含む) で行った。

短時間呈示実験によって求めた可読性の正答率による優良文字 (実線) と、心理評価による優良文字 (破線) の関係を Fig. 13 に示した。各文字の正答率と心理評価は必ずしも一致せず、特徴を強調し正答率の高い文字 (A, D, S, 2 など) は

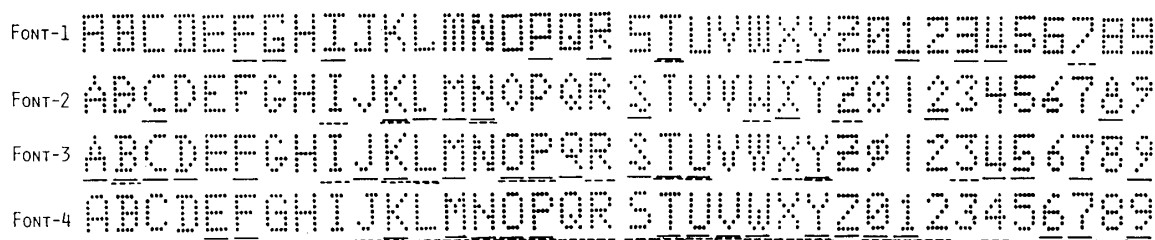


Fig. 13 Recognition rate resulting from tachistoscopic presentation and subjective evaluations. Solid and dashed underlines represent the highest recognition rate and highest subjective evaluation for the same symbol.



低い心理評価を示している。また正答率の低い文字 (C, G, Q, 3, 8 など) が心理評価では良い評価を得ている。一般に、曲線成分を多く持ち、柔らかな文字が良い心理評価を得ており、短時間呈示実験による正答率と心理評価を総合して見ると、Font-4 の字体が最もよい相関を示している。

#### 4. ま と め

今まで報告した実験結果から、ドットマトリクス文字の可読性に関して次のような傾向が見られる。

- 1) 字体による差異は、正答率の全体的傾向から有意な差として現われてこない。しかし最も正答率の良いもの、心理評価の好ましいものを総合的に見ると Font-4 が最もよい字体である。
- 2) 字体に関係なく、正答率の高い文字は D, E, F, J, K, P, R, T, X, 4, 7 で、正答率の低い文字は B, O, Q, S, 3, 8, 9 である。前者の文字群は、構成要素の単純さや特徴部の強調により高くなっている。これに対して、後者の文字群は本来の文字形状の改良により可読性を高める工夫が必要である。
- 3) 構成ドットを中心に整理すると、ドット数が少ない文字や非対称に分布している文字の可読性が高くなっている。この傾向は、誤りが発生する際の混同傾向で単純構成文字の方が優位になることとも一致している。ただし、混同傾向の詳細についてはさらに検討が必要である。
- 4) マスキングサイズを変化しても正答率に顕著な差は現われてこない。Table 2 の可読性が大きく異なった文字についても、マスキングサイズによる空間的並に時間的強調効果のみでは説明できず、さらに複雑な要因が関与していると思われる。
- 5) 視距離並に Active Area の実験結果より、文字の全体サイズと構成ドット間隔との比率による線成分の連続性が可読性に影響を及ぼ

している。

また菱形ドットの場合は、線成分の方向により連続性に差が生じるために正答率が低下していると考えられる。

以上述べた点から、ドットマトリクス文字の可読性を高める手段として、文字サイズと構成要素の関係、ドットサイズや形状を変化させ線成分の連続性などを良くすることやマスキングの空間的並に時間的強調効果を巧みに用いることが考えられる。

今後の実験計画としては、本実験で得られた結果を参考として、マスキングパターンを変形させてマスキングによる空間的並に時間的強調効果についてさらに詳しく検討すると共に、ドットの形状を積極的に変化させ文字各部分での連続性や強調性を詳しく調べて行く予定である。

最後に、本研究についていろいろと御指導いただいた本大学の畑田豊彦教授に感謝致します。また、実験等に協力された早稲田大学理工学部の久米祐一郎氏、並に本大学卒研究生渡辺佳文君、巻耕司君に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) Harry, L. Snyder, Michael E. Maddox: On the image quality of dot-matrix displays, Proceedings of the SID, vol. 21, 3-7, 1980.
- 2) C. Y. Suen, C. Shiao: An interactive technique of selecting an optimal 5×7 matrix character set for display in computer output system, Proceedings of the SID, vol. 21, 9-15, 1980.
- 3) Isidore H. Stein: The effect of active area on the legibility of dot-matrix displays, Proceedings of the SID, vol. 21, 17-20, 1980.
- 4) Michael E. Maddox: Two-dimensional spatial frequency content and confusion among dot-matrix characters, Proceedings of the SID, vol. 21, 31-41, 1980.
- 5) J. A. Roufs, H. Bouma: Towards linking perfection research and image quality, Proceedings of the SID, vol. 21, 247-270, 1980.
- 6) Michael E. Maddox, James T. Burnette, James C. Gutmann: Font comparison for 5×7 dot

- matrix characters, Human Factors, vol.19, 89-93, 1977.
- 7) Terry M. Riley, Gregory J. Barbato: Dot-matrix alphanumerics viewed under discrete element degradation, Human Factors, vol.20, 473-479, 1978.
- 8) Harry L. Synder, Gregory B. Taylor: The sensitivity of response of alphanumeric legibility to variations in dot matrix display parameters. Human Factors, vol.21, 457-471, 1979.
- 9) Sperling, G.: The Information Available in Brief Visual Presentations, Psychological Monographs, General and Applied, Vol.74, 1-29. 1960.