

## レーザープラズマ式 3D ディスプレイにおける文字表現

石川 尋代 齋藤 英雄

慶應義塾大学大学院理工学研究科 〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail : {hiroyo, saito}@ozawa.ics.keio.ac.jp

あらまし 任意空間中にプラズマ発光体で点列を発生させる 3 次元ディスプレイのための新しいデバイスが開発されている。本システムにおいて、プラズマ発光体は 1000 個/秒で 1 つずつ生成/消失するため、何か物体を表示するときには、人が 1 度に見えていると感じるプラズマ発光体の数が限られてしまう制約がある。そこで、本研究では、文字を表示対象をとして、プラズマ発光体の数(点密度)や描き順を変えて表現し、ディスプレイ上で表示した場合の認知しやすさを実験から求めている。実験の結果、描画方法としては 1 文字の描画時間は同じでも点密度を調整して複数回描画する方が安定して認識できることが分かった。さらに、文字列についても考察し、数文字ずつ重複させて表示する手法が適していることが分かった。

キーワード プラズマ発光体, 3D ディスプレイ, 文字表現

## Representation of Characters for Laser-Plasma Scanning 3D Display

Hiroyo ISHIKAWA and Hideo SAITO

Graduate School of Science and Technology, Keio University 3-14-1 Hiyoshi Kohoku, Yokohama,  
223-8522, Japan

E-mail : {hiroyo, saito}@ozawa.ics.keio.ac.jp

**Abstract** A new device which can generate point sequence of plasma luminous bodies has been developed for a new type 3D display. In this system, the plasma luminous bodies sequentially appear and disappear, 1000 times a second. Therefore there is a restriction on the number of the plasmas which human can perceive simultaneously. In this research, we represent characters variously by changing the number of the plasmas and the drawing order and display them on our system. The easiness of recognizing characters is measured in the experiments for human. It can be seen that the way of drawing several times by reducing the density of points is stable to recognize a character, even though the drawing time is the same. Furthermore, the character string is considered, and it can be seen that the way of displaying several characters is an appropriate method. A method of representing characters is proposed in consideration of the result.

**Keyword** Plasma Luminous body, 3D Display, Character Representation

### 1. はじめに

新しい 3 次元ディスプレイのために、任意の空間中にプラズマ発光体を生成するデバイスが開発されている。プラズマ発光体を生成する現象は「Laser-induced breakdown」と呼ばれており [1][2], このデバイスでは強力な赤外パルスレーザーを用いて気体をイオン化し、図 1 に示す例のようにどのような場所でもスクリーンなしで空間中に光の点としてプラズマ発光を生成することができる。木村らはこのデバイスを用いて、空中に 3 次元イメージを描き出す革新的な 3D ディスプレイ「Free Space Display of Point Cloud by Laser-Plasma」[3]を既に開発している。現在、よ

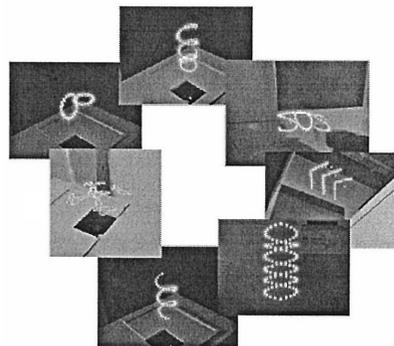


図 1 : レーザープラズマ 3D ディスプレイ デバイスの実験風景

り大きなスペースにより多くのプラズマ発光体を描画することができるデバイスが開発されており、いろいろなアプリケーションが考えられている[4].

本研究で用いるデバイスシステムは1kHzのパルスレーザーを使用し、1つずつ生成/消失するプラズマ発光体を1秒間に1000個表示することができる。このとき、xyz-スキャナでレーザービームを走査することによりプラズマ発光体の発生位置が変化し、軌跡が光の点列として観測されるため、対象物体は連続する光の点で描かれることになる。また、プラズマ発光体が輝いている時間は非常に短い、人間の視覚には残像効果があり、光刺激が終わった後にもそれが継続していると感じる。その継続時間は光の強度によって変化し、その長さは0.01~0.2[s]といわれている[5], [6]. 実際に本研究で使用するデバイスと同じ方法で1秒間に100個のプラズマ発光体を生成できる100Hzのパルスレーザーを用いて描画した場合、個人差はあるが約20個のプラズマ発光体が同時に見えていると知覚できていたことから、本システムのプラズマ発光体では残像効果は0.2[s]程度であるといえることができる。すなわち、1kHzのレーザーを用いた本システムでは人間が同時に知覚できるプラズマ発光体の数は約200個となる。現状では、1kHzより高周波数の赤外線パルスレーザーを入手することは困難であるため、同時に知覚できるプラズマ発光体の数をこの200個より多くすることはできない。

本システムを用いて文字を描くことを考えた場合、文字を描く点列の点密度と描画経路が重要となる。文字は点密度が低くなると認識できなくなることがあるため、長い文字列を表現するには前述の200点では表すことが出来ない。しかし、人間には残像効果や短期記憶[7][8]という機能が備わっており、繰り返し同じ文字を見せるなど、描画方法によっては、長い文字列も認識できると

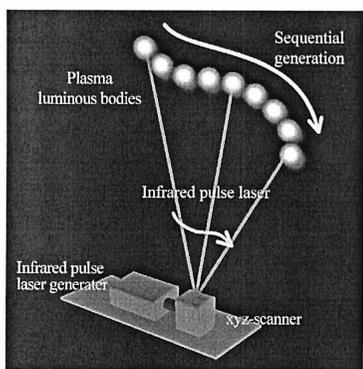


図2: Laser-Plasmaディスプレイシステムの概要

考えられる。

本研究ではアルファベットを対象にして、点密度や描画回数を変化させて、文字の見え方の違いを調査する。さらに、文字列を部分的に描画し、スリット視のように全体を認識させる手法についても検討を行う。

## 2. システム概要

使用するシステムの概要を図2に示す。システムは赤外線レーザー発生装置(Infra-red laser generator)1台と空間中を走査するxyz-スキャナ(xyz-scanner)1台から構成される。レーザー発生装置は1kHzのパルスレーザーを発生させ、同じタイミングでプラズマ発光体を生成し続ける。そして、xyz-スキャナはレーザーの方向とプラズマを発光させる位置までの距離をコントロールする。空間中にレーザーを走査させたとき、その軌跡上にプラズマが発生し、それが光の点列として描かれる。

本システムへの入力にはプラズマ発光体を表示したい位置を時系列の離散データとしている。ただし、スキャナの特性上、1つ前のプラズマ発光体の位置から極端に離れた位置には移動できないため、データには制限がある。

## 3. 文字の表現

### 3.1. 点密度と描画時間

点列を用いて文字を描画する場合、同じ形状の文字でも、点密度によって図3のように変化する。点密度によっては文字が認知できないこともあ

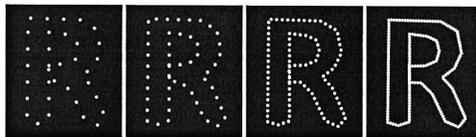


図3 点密度の違いによる文字の見え方

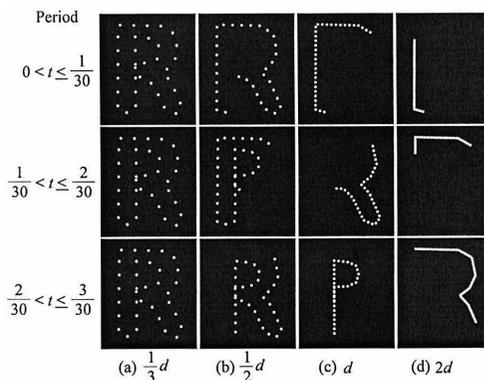


図4 点密度と描画時間の関係

するため、適切な点密度を選択する必要がある。

更に、本システムでは点密度を変化させると文字の描画時間も変化する。すなわち、点密度を2倍にした場合、一文字を描くのにかかる時間も2倍になる。例えば、図4に示すようにある一定の時間に描くことができる部分は点密度によって変化する。ここで、 $d$ は(c)における点密度を示す。1/30秒間に、(a)では1文字を描くが、(b)では2/3文字、(c)では1/3文字、(d)では1/6文字をそれぞれ描く。文字の見え方は点密度だけでなく、文字の描画時間によっても変化することが経験的にわかっている。短い時間で1つの文字を描くことができる方がいいが、点密度と描画時間は比例しているため、描画時間を短くすると点密度が低くなるため、文字形状の認知に影響する。したがって、文字の形状把握と時間的安定性の両方を実現できる点密度を調査する。

また、同じ文字を繰り返し描く回数によって描画時間が変化し、文字の明るさも変わる。これによって文字の認知しやすさが変わることも経験的に分かっている。これについても実験を行い、適切な繰り返し回数を調査する。

## 3.2. 文字列の描画

### 3.2.1. 描画手法

文字列は複数の文字を順にベースライン上で繋げて描画する。図5(a)に“LASER”という文字列の場合の例を示す。となりあう文字はベースライン上の近い点で接続する。また、ベースラインの適当な位置に start と end を設定する。本研究ではこのように設定した経路を基本経路とする。また、今回は文字ごとに描画する経路は手動で決定した。

点列を用いて文字列を描画する場合、同時にすべての文字が見えるように描くことは不可能である。文字列を描く順番によって、スリット視で見えるように、同時に見える文字数や同じ文字の繰り返し描画する回数を変化させて表示し、文字列全体の認知しやすさを調査する。ここで、文字を描く順番として、以下の2つの手法を比較する。  
**手法1**：1文字ずつ順番に描く。図5の描画経路に示されるように文字のベースラインを繋げて描く手法。

**手法2**：複数文字を1セットとして全体の文字列の一部分を重複して描画し、その描画部分を移動させていく手法。

手法2は2つのフェーズからなる。フェーズ1は文字を経路どおりに描く(drawing forward)とき、フェーズ2は経路を反対にたどる(drawing backward)ときである。同時に描画する文字数  $n_s$  と次のステップで追加して描画する文字数  $n_a$  を

設定して重複して描画される文字数を調節する。図6の例で説明する。ここでは  $n_s=3$ 、 $n_a=2$  とする。各 Step のフェーズ1では3文字を描いたあと、2文字を追加して描く。フェーズ2では3文字分経路を反対にたどって戻る。結果として経路を行ったり来たりして文字列を描いていく。 $n_s$  と  $n_a$  によって描き方が変化する。

### 3.2.2. 戻り経路

本システムでは一筆書きでオブジェクトを描く必要があるため、1つの文字列を描画し続けるには、1回描画した後に、どのように開始点に戻るか決定しなければならない。この戻り経路に関しては以下の2つの手法を比較する。

**手法1**(直線経路):文字列の最後に到達したあと、文字列の開始位置まで直線的に繋げる手法。

**手法2**(逆経路):文字列の最後に到達した後、これまでたどってきた同じ経路を逆にたどって開始位置に戻る手法。

手法1を図7(a)に示す。図中の end 位置から直線的に start 位置に繋げる。手法2を図7(b)に示す。図中の end 位置から文字列を描く経路を逆に



図5 文字列の描き方(手法1)

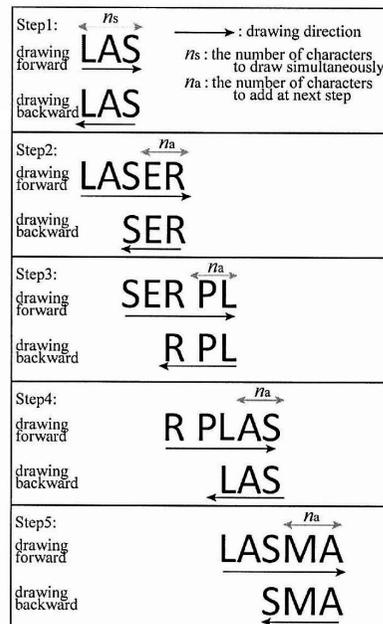


図6 文字列の描き方(手法2)

通過して start 位置に戻る。手法 2 では、経路全体の長さが手法 1 に対して長くなるが、余分な線を書き足すことなく start 位置に戻ることができる。しかし、同じ描画時間を設定した場合、手法 2 は手法 1 に比べて点密度が低くなる。

#### 4. 実験結果と考察

##### 4.1. 点密度と描画時間、

縦の大きさ約 20cm のアルファベット(A, I, M, R)の描画について以下の項目を調査した。

- 1) 点の数
- 2) 文字を描く回数

アルファベットは約 2m の高さに水平に描画するため、観測者はしたから見上げるようにして観測する。点の数については約 100 点、約 200 点と変えて描画したが、明らかに 200 点で描画した方は認識しにくかったため、100 点で描画した文字を使用する。点密度は描画されている大きさと描画結果の写真から算出した。描く回数については、1 回と 3 回と変えて描画した。結果を表 1 に示す。

各アルファベットは少しずつ回転させ、図 8 で示すように描画した。ただし、各文字を繋ぐ星型の部分は一筆書きのために必要であったが、文字の認識には影響ないと考える。

実験結果として、点密度が 1 個/cm 程度の場合が安定して文字を認識できた。このときの描画の様子を図 9 示す。

これらの実験より同じ時間で 1 文字を描画する場合、1 回で書くのではなく、複数回、同じ経路を描くことで安定して見ることができるといふ結果が得られた。

##### 4.2. 文字列

3.2 における描画手法の組み合わせについて実験を行った。6 文字の“PLASMA”の描画実験結果を表 2 に示す。文字列全体の大きさは縦方向、約

5cm、横方向、約 30cm である。11 文字の“LASER PLASMA”の描画実験結果を表 3 に示す。文字全体の大きさは縦方向、約 8cm、横方向、約 42cm である。全体の描画結果の写真を図 10 に示す。

今回の実験では、戻り経路も含めた文字列全体の描画が同じ時間になるように同じ点数で描くように設定した。そのため、3.2.1 における手法 1 と手法 2 では点密度が異なるため、認識にも差が出る場合がある。結果として、6 文字程度の短い文字列ではどの手法を用いても、多少の差はあるが、文字を認識することができた。戻り経路の違いについても、点密度がそれほど顕著に変化しないため、認識に差がなかった。しかし、11 文字と長くなると、手法 1 で描いても認識できなかったり、認識しにくかったりした。図 11 に実際に見ている映像に近い写真を示す。

##### 4.3. 考察

文字を描画する点数については点密度が 1.0 個/cm 程度で描くと認識しやすいことが分かった。しかし、実験で用いた縦 20cm くらいの A, M, R については 1 回描くのにかかる時間は、約 0.1 秒と非常に短く 1 回描いただけでは認識できない。実験では同じ経路を 3 回描くことによって認識できるようになった。これは 3 倍の時間をかけて 1 回だけ描くよりすばやく複数回描画する方が安定して認識できるということになる。

文字を描く回数としては、“I” 以外では 1 回よ

表 1 文字描画結果

表示文字	A, M, R		I	
使用点数	107		107	
点密度	約 1.0 個/cm		約 2.2 個/cm	
描画回数	1 回	3 回	1 回	3 回
結果	認識できない	認識できる	認識しにくい	認識しにくい

表 2 文字列描画結果 (PLASMA)

描画手法	手法 1	手法 2 ( $n_s=2, n_a=1$ )
戻り経路		
手法 1	認識できる	認識できる
手法 2	認識できる	認識できる

※描画点数：4000 個

表 3 文字列描画結果 (LASER PLASMA)

描画手法	手法 1	手法 2 ( $n_a=1$ )	
		$n_s=2$	$n_s=4$
戻り経路			
手法 1	認識できない	認識しやすい	認識しやすい
手法 2	認識しにくい	認識しやすい	認識しにくい

※描画点数：6000 個



図 7 文字列描画における戻り経路

り、3回重ねて描いたほうが文字を認識しやすいことがわかった。しかし、“I”の場合は点数や回数によらず認識にくい。これは観測者に事前にどのような文字を描くか知らせておかなかった為、“I”の形状が簡単であることもあり、認識しにくくなったことが原因である。

文字列の場合、6文字程度の短いものの場合、どちらの手法もすばやく描画できるため、どの手法を採用してもそれほど問題はない。しかし、11文字と文字列が長くなった場合には、同じ時間で描く場合には認識に差が発生した。描画手法2を用いると、複数の文字がスリット視のように表示されるため長い文字列全体を認識することができた。ただし、 $n_s=4$ で、戻り経路が手法2の場合には多少、点密度が下がってしまうので、認識しにくくなってしまった。このような文字列の場合には $n_s=2$ が適していることが分かった。

## 5. まとめ

レーザープラズマ式3Dディスプレイにおける文字表現について検討した。

文字の表現では点密度と繰り返し描画回数について考察し、結果として、点密度は約1.0個/cmが認識しやすく、すばやく描画できることが分かった。また、すばやく1回描画するだけでは認識しにくいことがあるため、同じ文字を複数回(3回)描くことで安定して認識ができることが分かった。これにより、プラズマ発光体を効率よく利用して、文字を描けるようになる。しかし、文字の形状によって、例えば、“I”のような簡単な形状の場合は形状によって認識することは難しい。このような曖昧な形状の文字については文脈などを考慮できるような文字列で表示しなければならない。

文字列の表現では文字を描く順序を操作し、複数文字がスリット視で見えるように描くと長い文字列でも認識できることが分かった。

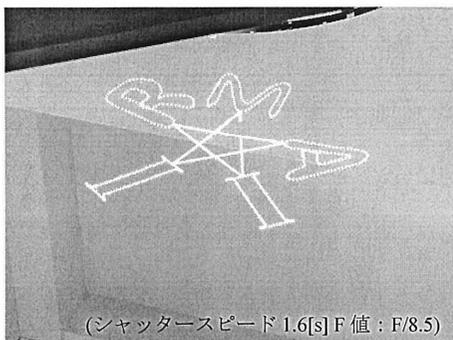


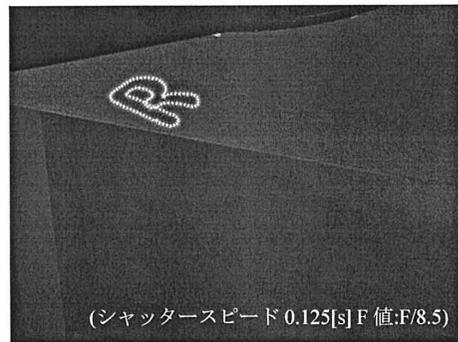
図8 文字の描画実

本研究では描画する時間を一定にして比較を行ったが、同じ手法を点密度に関して実験する必要もある。その結果を合わせて、より安定した文字列の表示が可能になると考えられる。

## 謝辞

本研究の一部は科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(CREST) 研究領域「自由空間に3次元コンテンツを描き出す技術」により行われた。

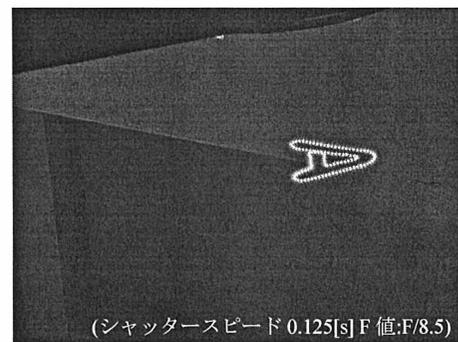
レーザープラズマ描画実験に協力して下さった木村秀尉氏、Songkran Jarusirisawad氏、石川



(A) R



(c) I



(d) A

図9 文字描画の様子

大介氏に深く感謝する。

### 文 献

- [1] C. De Michelis, IEEE J. Quant. Electron, QE5, pp. 188-202, 1969.
- [2] J. F. Ready, "Effects of High-power Laser Radiation" New York: Academic Press, 1971.
- [3] H. Kimura, T. Uchiyama, H. Yoshikawa, Laser produced 3D display in the air, Proc. Emerging technologies SIGGRAPH 2006, ACM SIGGRAPH, Boston, Massachusetts USA, July



(a) PLASMA



(b) LASER PLASMA

図 10 文字列描画の様子



図 11 文字列描画の途中経過

2006.

- [4] H. Saito, H. Kimura, S. Shimada, T. Naemura, J. Kayahara, S. Jarusirisawad, V. Nozick, H. Ishikawa, T. Murakami, J. Aoki; A. Asano; T. Kimura, M. Kakehata, F. Sasaki, H. Yashiro, M. Mori, K. Torizuka; K. Ino, "Laser-plasma scanning 3D display for putting digital contents in free space," Proc. International Symposium on Electronic Imaging, Stereoscopic Displays and Applications XIX, 6803-07, California, USA, Jan. 2008.
- [5] G. Spering "The information available in brief visual presentation," Psychological Monographs General and Applied 74, 498, pp.1-29, 1960
- [6] 渡邊淳司, 坂本憲久, 則武厚, 前田太郎, 館, "サッカーボール残像の視覚的持続時間の研究," 映像情報メディア学会誌 Vol.58, No.12, pp.1-6, 2004.
- [7] M. Coltheart, "Iconic memory and visible persistence," Perception and Psychophysics 27, 3, pp. 183-228, 1980.
- [8] 森敏昭, 井上毅, 松井孝雄, グラフィック認知心理学, サイエンス社, 1995.
- [9] 松田隆夫, 視覚覚, 培風館, 1995.
- [10] 石川尋代, 斎藤英雄, "視覚特性を考慮した 2 次元形状の効率的な点群表現手法," CVIM-161-41, pp.305-310, Jan. 2008.
- [11] 石川尋代, 斎藤英雄, "レーザープラズマ 3D ディスプレイにおけるハードウェア特性を考慮した点群を用いた 3 次元形状表現," 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2008), IS1-42, July 2008.
- [12] H. Ishikawa and H. Saito, "Point Cloud Representation of 3D Shape for Laser- Plasma Scanning 3D Display in Consideration of Hardware," Proc.34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON08), pp. 1913- 1918, Oland, USA, Nov. 2008.
- [13] H. Ishikawa and H. Saito, "Closed-Line based Representation of 3D shape for Point Cloud for Laser Plasma Scanning 3D Display," Proc. 18<sup>th</sup> International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT08), pp. 28-35, Yokohama, Japan, Dec. 2008.