

平成22年 6月 8日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760091
 研究課題名(和文)
 静電インクジェット現象を利用する電子回路・三次元造形物の直接描画技術の開発
 研究課題名(英文)
 Development of Circuit Drawing and 3D Structure Utilizing Electrostatic Inkjet Phenomena
 研究代表者
 梅津 信二郎(UMEZU SHINJIRO)
 東海大学・工学部・助教
 研究者番号：70373032

研究成果の概要(和文)：静電インクジェット現象を利用した三次元造形物の直接描画技術の開発およびこの応用展開に関する研究を行った。静電インクジェット現象は、高粘性な液体を高画質で吐出可能であるというメリットを有している。この特長を生かして、薄膜フィルム表面に焼結不要な電子回路の描画を行った。また、新しい応用展開として、細胞やゼラチンなどのパターンニングを行い、三次元状の細胞組織を作製可能なことを示した。

研究成果の概要(英文)：We studied the development of circuit drawing and 3D structure utilizing electrostatic inkjet phenomena. The electrostatic inkjet phenomena had a good merit that the liquid of high viscosity was printed precisely. By using the phenomena, we printed circuit without sintered. We applied for the bio-field. 3D cell structures were fabricated by printing living cells and gelatin.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：インクジェット、静電力、ラピッドプロトタイピング、三次元造形、除去加工、付加加工

1. 研究開始当初の背景

インクジェット技術を利用した加工技術に関する研究が盛んである。CAD イメージに基づいて、インクジェットのヘッドを動かし、ドロップオンデマンドで液滴(ペースト)を吐出し、三次元状に積み上げることで、任意

の形状のものづくりが可能になるからである。この技術は、マスクや余分な液体が不要であり、多品種少量生産が可能であるので、環境にも優しい。このような背景から、電子回路を直接描画する技術への応用展開やバイオ分野などで使用する三次元状の造形物

を作製する技術への応用展開が検討されている。

(1)電子回路の直接描画

インクジェット技術を利用した電子回路の直接描画技術は、フォトマスクを利用して半導体プロセスで作製するよりも短時間で、多品種少量生産に向いていることから、大変注目されている。

(2)三次元状造形物の直接描画

バイオ分野などで使用される三次元状造形物は、患者の病状に合わせて複雑形状であることが予想される。このような背景から、インクジェット技術を利用して、バイオ分野で使用する人工物を作製したいというニーズが根強くある。人工骨をインクジェット技術によって作製する技術が既に実用化されており、この他の臓器を作製する技術の確立が望まれている。

2. 研究の目的

上記のような背景から、本研究では以下の研究を推進する。

(1)電子回路の直接描画

フレキシブルなシートの表面に電子回路を描画すること、および耐熱性に優れない材料の表面に電子回路を描画する技術の確立を目指す。これらを達成することで、インクジェット技術を利用した電子回路描画技術の適用範囲が大幅に広がるからである。

(2)三次元状造形物の直接描画

バイオ分野で利用する人工臓器をインクジェット技術によって作製するには、高粘性な液体を高画質に吐出する必要がある。一般的なバイオマテリアルは比較的高粘性であるにも関わらず、最終的にできあがる人工造形物が高精度でなくてはならない。我々が開発している静電インクジェット技術は、市販のインクジェット技術と比較して、これらの条件を達する可能性を高く有している。そこで、細胞を生きたまま吐出し、培養可能なことを検証した上で、細胞の足場材料であるゼラチンと細胞を交互にパターンニングし、三次元状に積層することで、三次元状の人工臓器を作製できるかどうかの可能性を探る。

3. 研究の方法

静電インクジェット現象の吐出特性を把握するために、図1に示すような実験装置を構成した。すなわち、サンエイテック社製注射器シリンジ(10 ml)の先端にサンエイテック社製の導電性キャピラリーチューブを取り付けた。このシリンジにチューブ先端からの液位が10 mm~45 mmになるように水溶液を満した。液体針電極を平板電極上に空隙を介して設置した。ノズル先端から対象物までのギャップはメカニカルステージを用いて平板電極を上下させることによって調整で

きる構造となっている。液体針電極と平板電極間に電圧を印加するための高電圧電源には、松定プレジジョン社製高電圧アンプHVR-5P(-5~5 kV)を利用した。また、三永電気製作所製ライト XEF-501S をバックライトに利用し、フォトロン社製高速度顕微鏡カメラFASTCAM-MAX 120K model 1を用いて、チューブ先端から吐出される液滴の挙動を観察した。

(1)電子回路の直接描画

電子回路を直接描画するにあたり、上記の実験装置を用いた。フレキシブルシートとしてOHPを用いた。また、耐熱性に優れない材料に回路をパターンニングするにあたり、焼結不要なカーボンペーストを利用した。

(2)三次元状造形物の直接描画

三次元状のバイオ組織を直接描画するにあたり、細胞とゼラチンは下記のものを用いた。細胞は、骨の肝細胞を使用した。また、ゼラチン水溶液はSIGMA-ALDRICH社製Type Aのゼラチンを水に溶かした物を用いた。

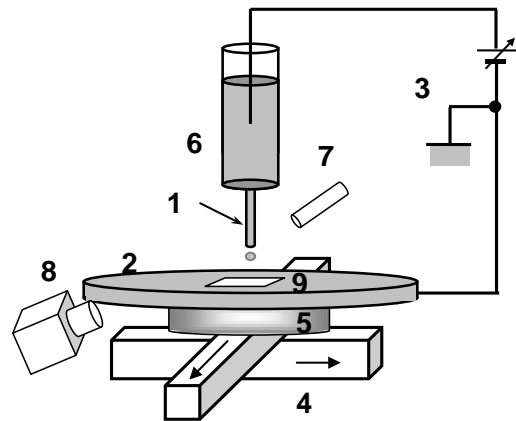


Fig. 1 Experimental set-up. (1: water pinelectrode, 2: plate electrode, 3: high voltage supply, 4: x-y linear stage, 5: mechanical z stage, 6: syringe filled with conductive liquid, 7: light, 8: high speed camera, 9: target)

4. 研究成果

それぞれの目的の研究成果を以下に示す。

(1)電子回路の直接描画

液滴の吐出される様子を高速度カメラによって観察した様子を図2に示す。チューブ先端に円錐状のテーラーコーンが形成され、このテーラーコーンの先端部分のみがちぎれて吐出された。よって、チューブ径よりも小さなカーボンペーストを含む液滴が吐出されているので、微細な回路描画が可能であることを確認した。つぎに、実験条件を変えて、カーボンペーストをライン状にパターンニングした結果を図3に示す。電極間のギャップを小さくすることで微細なラインの描画が可能であった。その理由としては、電極間ギ

ギャップを大きくすると、印加電圧が低い領域では液滴が滴下できず、また高い領域では吐出された液滴がエバポレーションによってスプレー状に吐出し、散らばってしまう。よって、良好なラインを描くためには電極間ギャップを小さくする必要があることが分かった。この結果を踏まえて、OHPシートに回路を描画したものを図4に示す。薄膜材料の表面に回路を描画可能なことを実証した。

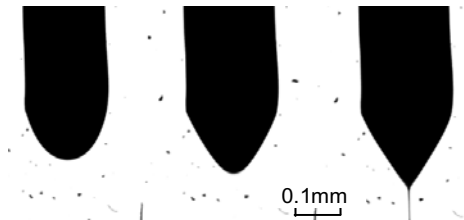


Fig.2 Ejection of carbon paste that was captured by the high speed camera. (Voltage: 2.0 kV, Density: 10 %, I. D. : 0.20 mm)

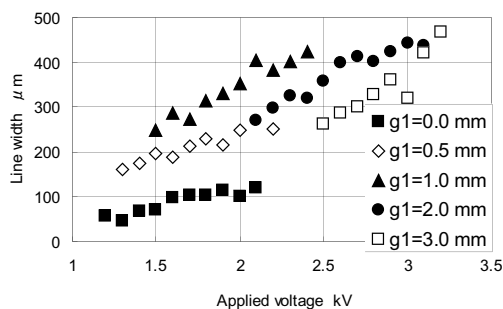


Fig.3 Width of line when air gap l was changed. (Density: 10 %, I. D. : 0.20 mm, Hole diameter: 2.0 mm)

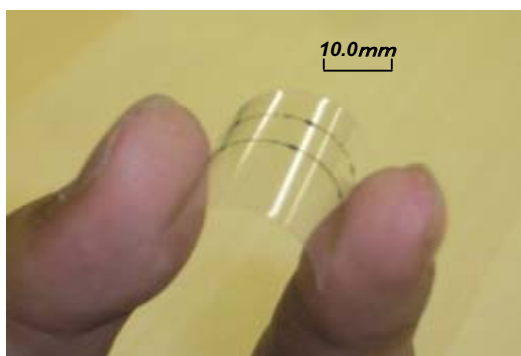


Fig.4 Circuit print on OHP film. (Density: 10 %, I. D. : 0.20 mm, air gap: 0.1 mm, Hole diameter: 2.0 mm)

(2) 三次元状造形物の直接描画

細胞を含む溶液、ゼラチンを含む溶液をそれぞれ静電インクジェット現象によって吐出させた。図2と同様に、テーラーコーンが形成され、その先端のみがちぎれて微小な液滴が吐出された。また、図5と6に示すように、高電圧を印加して細胞を含む液体を吐出しているにも関わらず、吐出後に細胞が死滅しないことを実証した。従って、本現象によって、細胞の足場であるゼラチンと細胞を交互に高画質にパターンニングすることで、三次元状の細胞組織を作製できる可能性を示せる。図7にゼラチンを高画質に描画した結果を示す。図8にゼラチンをライン状に描画した例を示す。細胞の大きさが $20 \mu\text{m}$ から $40 \mu\text{m}$ 程度であることから、数 μm のゼラチンラインは十分であると考えられる。これらの結果を元に、細胞とゼラチンを交互に同じ箇所を描画し、三次元状に造形した結果を図9に示す。現時点では、数 $10 \mu\text{m}$ の高さであり、十分な高さであるとはいえないが、吐出パラメータの最適化などを行い、繰り返し描画することによって、さらに高く、複雑な形状の細胞組織を作製できると考えている。



Fig.5 Picture of printed cells when one day passed after the print.



Fig.6 Enlarged view of figure 5.

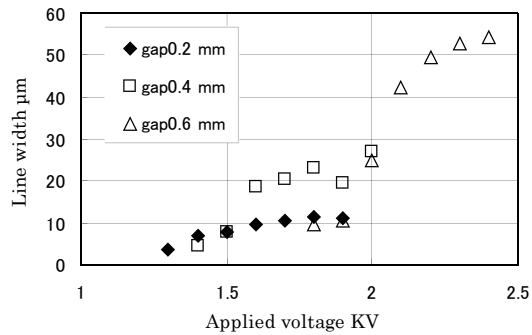
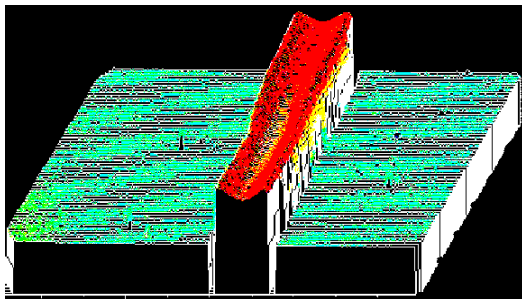


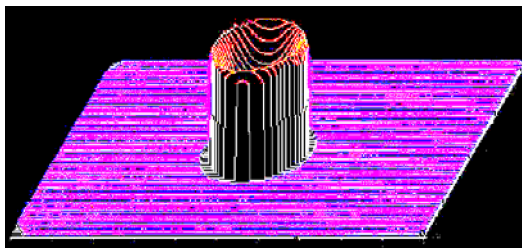
Fig. 7 Width of gelatin line when the air gap was changed.



Fig. 8 Printed line structure that contained gelatin.



(a) Wall shape



(b) Cylinder shape

Fig. 9 Printed 3D structures that contained cells and gelatin.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

1. Umez, S., Kitajima, T., Ohmori, H. and Ito, Y., Fundamental Characteristics of Printed Cell Structures Utilizing Electrostatic Inkjet Phenomena, Sensors and Actuators A: Physical (2009) (accepted).
2. Kawamoto, H. and Umez, S., Electrostatic micro-ozone fan that uti-

lizes ionic wind induced in pin-to-plate, J. Electrostatics (2008) 445-454.

3. Umez, S., Kawanishi, M., Ohmori, H., Kitajima, T. and Ito, Y., Gelatin Patterning Utilizing Electrostatically-Injected Droplet (ELID) Method, Proc. Digital Fabrication 2010 (accepted).
4. Umez, S., M. Kawanishi, Ohmori, H., Precision Micro-fabrication by Gelatin Patterning with Electrostatically-Injected Droplet (ELID) Method, conference EUSPEN 2010 (accepted).
5. Umez, S., Kitajima, T., Ohmori, H. and Ito, Y., Fundamental Characteristics of Printed Cell Structures Utilizing Micro Drop Injection, Proc. of Digital Fabrication 2009 (focal), 2009. 9.22, pp. 407-410.
6. Umez, S., Naruse, T., Katahira, K., Gong, J. S., Ohmori, H. and Ito, Y., Manufacture of Cell Fusion Device Utilizing Mechanical Fabrication and FIB Fabrication, Proc. of 11th annual meeting of American Society of Cell Biology, 2009. 06.02, pp. 297-300.
7. Umez, S. and Ohmori, H., Fundamental Characteristics of Gelatin Patterning Utilizing Electrostatic Injection, Proc. MIPE 2009, 2009. 06.20, pp. 245-246.
8. Umez, S., Kitajima, T., Murase, H., Ohmori, H., Katahira, K. and Ito, Y., Fabrication of Living Cell Structure Utilizing Electrostatic Inkjet Phenomena, Proc. of MEMS 2009, pp. 419-422.
9. Umez, S., Kitajima, T., Murase, H., Ohmori, H., Katahira, K. and Ito, Y., Patterning of Living Cells Utilizing Electrostatic Inkjet Phenomena 48th annual meeting of American Society of Cell Biology (2008).
10. Umez, S. Katahira, K. and Ohmori, H., New Micro Fabrication Techniques Utilizing Electrostatic Inkjet Phenomena, Proc. of Digital Fabrication 2008 (2008) pp. 287-290.
11. Umez, S. Katahira, K., Ohmori, H. and Kawamoto, H., New Fabrication Techniques Utilizing Electrostatic Inkjet Phenomena, Proc. of 10th anniversary meeting of American Society of Cell Biology, pp. 443-447.
12. Umez, S., Katahira, K. and Ohmori, H.,

New Micro Fabrication Techniques Utilizing Electrostatic Inkjet Phenomena, The 8th Int'l Joint Workshop on Micro Fabrication (2008) pp. 1-4.

13. Ohmori, H., Katahira, K., Mizutani, M., Umez, S., Overview on Ultra Precision Micro/Mezo-Mechanical Fabrication R&D Activities at RIKEN, Keynote speech, The 8th Int'l Joint Workshop on Micro Fabrication (2008).

[学会発表] (計 21 件)

1. 梅津信二郎、マイクロドロップ・インジェクションを利用したバイオマテリアルのパターンニング、北東北ナノメディカルクラスター研究会(2010). 2010. 3. 26
2. 梅津信二郎、Electrostatically Injected Droplet法を用いた細胞組織・バイオマテリアルのパターンニングーA-STEPの進捗状況ー、マイクロ加工懇談会(2009). 2009. 12. 8
3. 梅津信二郎、ボトムアップ材料加工(基礎編)、実戦的ものづくりエキスパート養成講座(2009). 2009. 12. 05
4. 梅津信二郎、ボトムアップ材料加工(応用編)、実戦的ものづくりエキスパート養成講座(2009). 2009. 12. 05
5. 梅津信二郎、マイクロドロップ・インジェクションを利用した三次元生体組織の作製技術、第35回臨床応用を目指した三次元臓器造形研究会プログラム、三次元臓器造形研究会(2009). 2009. 12. 12
6. Umez, S., Ohmori, H., Kitajima, T. and Ito, Y., Micro Digital Fabrication of Cell Structures and Circuits Utilizing Electrostatically-Injected Droplet Method, 1st Joint Workshop 2009 on Printed Electronics (2009) pp. 9-12. 2009. 12. 17
7. Ohmori, H., Ouchi, I., Koizumi, J., Hachisu, Y., Uehara, Y., Kasuga, H., Wada, S., Katahira, K., Umez, S. and Choi K. H., Micro-mechanical Fabrication of Micro-nozzle by Nano-precision Desktop Machine, 1st Joint Workshop 2009 on Printed Electronics (2009) pp. 53-57.
8. 梅津信二郎、生体組織作製のための静電マイクロドロップ・インジェクションおよびマイクロファブリケーション、日本エム・イー学会バイオメカニクス研究会(2008).
9. 梅津信二郎、バイオメカニカルファブリケーションによるマイクロ生体組織構築、第23回理研シンポジウム「マイクロファブリケーション研究の最新動向」(2008) pp. 54-65.
10. 梅津信二郎、バイオメカニカルファブリケーション、第一回理研シンポジウム「先進ものづくり技術によるアナライザーキーコンポーネント開発基盤の構築状況」(2008) pp. 53-55.
11. 梅津信二郎、河西素哉、矢野雄也、大森整、ELID法を用いたゼラチンの高精度パターンニング、精密工学会春大会(2010) pp. 259-260. 2010. 3. 16
12. 矢野雄也、梅津信二郎、河西素哉、大森整、薄膜材料への電子回路描画、機械学会情報・知能・精密部門(IIP部門)講演会(2010). 2010. 3. 17
13. 梅津信二郎、河西素哉、大森整、静電誘引型液滴吐出法を用いたバイオマテリアルのパターンニング、応用物理学会春大会(2010) pp. 320-320. 2010. 3. 19
14. 矢野雄也、梅津信二郎、畔津昭彦、大森整、マイクロドロップ・インジェクションを利用した電子回路描画、精密工学会秋大会(2009) pp. 229-230. 2009. 9. 10
15. 河西素哉、梅津信二郎、畔津昭彦、大森整、マイクロドロップ・インジェクションを利用したゼラチンのパターンニング、精密工学会秋大会(2009) pp. 227-228. 2009. 9. 10
16. S. Umez, T. Naruse, K. Katahira, H. Ohmori and Y. Ito, Bio-mechanical Fabrication Utilizing Mechanical Fabrication and FIB Fabrication, The 25th Sensor Symposium (2008).
17. 梅津信二郎、村瀬比左思、北嶋隆、片平和俊、大森整、伊藤嘉浩、三次元の細胞組織を造形するための静電インクジェット現象を利用した細胞のパターンニング、生体医工学シンポジウム(2008).
18. 梅津信二郎、西浦雅登、原慎孝、片平和俊、大森整、静電マイクロドロップインジェクションによる除去、精密工学会秋大会(2008).
19. 原慎孝、西浦雅登、田邊健太郎、梅津信二郎、多田一幸、川本広行、静電インクジェット現象を利用したマイクロ成膜、機械学会年次大会(2008).
20. 梅津信二郎、片平和俊、大森整、川本広行、静電インクジェット現象を利用したマイクロ加工、機械学会情報・知能・精密部門(IIP部門)講演会(2008) pp. 302-304.
21. 西浦雅登、山口識史、梅津信二郎、多田一幸、川本広行、静電インクジェット現象を利用したマイクロ三次元造形、機械学会情報・知能・精密部門(IIP部門)講演会(2008) pp. 305-308.

〔産業財産権〕

○ 出願状況（計 3 件）

名称：静電インクジェット現象を利用した三
次元構造を有する細胞組織の作製

発明者：Umezū, S., Kitajima, T. Katahira,
K. Ohmori, H. and Ito, Y.

権利者：理化学研究所

種類：国際 PCT 出願

番号：PCT/JP2009/062769

出願年月日：2009 年 6 月 27 日

国内外の別：国際

名称：形状測定プローブ

発明者：大森整，片平和俊，梅津信二郎 他 5
名

権利者：理化学研究所

種類：国内

番号：2008-279397

出願年月日：

国内外の別：国内

名称：静電インクジェット現象を利用した三
次元構造を有する細胞組織の作製

発明者：梅津信二郎，北嶋隆，片平和俊，大
森整，伊藤嘉浩

権利者：理化学研究所

種類：国内

番号：2008-186068

出願年月日：

国内外の別：国内

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅津 信二郎 (UMEZU SHINJIRO)

東海大学・工学部・助教

研究者番号：70373032

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし