

多関節ロボットで曲面に回路を印刷 アームの先端に3軸の駆動機構を追加

山形大学有機エレクトロニクスセンター教授の時任静士氏の研究チームは、3次元曲面に電子回路を形成する印刷技術を開発した。現在、2つの方法の開発を進めている。1つは、多関節ロボットにインクジェット装置を取り付ける方法。もう1つは、非常に柔らかいブランケットを用いる方法だ¹⁾。

ロボットアームの先端に3軸の駆動機構

多関節ロボットを用いた方法は、「FIJ (Free-Direction Ink Jet)」技術と名付けた。6軸の垂直多関節ロボットのアーム先端に、導電性インクを吐出できるインクジェット装置 (以下、IJユニット) を取り付ける (図1)。

FIJ技術を開発する上での課題は大きく3つあったという。まず、インクの吐出機能に関しては、さまざまな方向を向いても [1] インクを吐出

できるヘッドと [2] インクを供給できるタンクが必要だった。さらに、描画精度に関しても、ロボットのアーム先端の位置決め精度を上回るような、[3] 高い精度でのヘッドの位置決めが求められた。

これらの課題を解決するため、独自のIJユニットを開発した。ヘッドとしては、生産ラインなどにおいて横向きで使われることが多い産業用インクジェットプリンターに着目。導電性インクとの相性や精細度の高さ (着弾径の小ささ) から、コンティニュアス型 (CIJ方式) ではなく、オンデマンド型 (DOD方式) ^{*1} を選んだ。

[2] のインク供給システムに関しては、新規に開発する必要があったという。従来のインクタンクは大気圧を利用しているため開放する必要がある。しかも、インクタンクの位置 (液面の高さ) とヘッドの相対的な高さを変えることもできない。そのままロボットアームの先端に取り付けると、インクがタンクからこぼれたり、インク供給が途絶えたりといった不具合が発生してしまう。

そこで、インクタンクを完全密閉して、組み込んだピストンによって押し出す方式とした。ピストンを押すアクチュエーターは μm 単位の制御が可能で、インクの吐出量に応じて動かしていく。これにより、タンクの傾きや設置位置の制約をなくすことができた。

[3] の精度に関しては、IJユニット内にインクジェットヘッドを3軸で駆動する機構も設けた。これにより、ワークとヘッドとの距離合わせと、最大 $30 \times 30\text{mm}$ の範囲における平面方向の位

*1 DOD

Drop On Demandの略。常にインクを吐出するのではなく、印刷に必要な量のインクを必要なタイミングで吐出する。

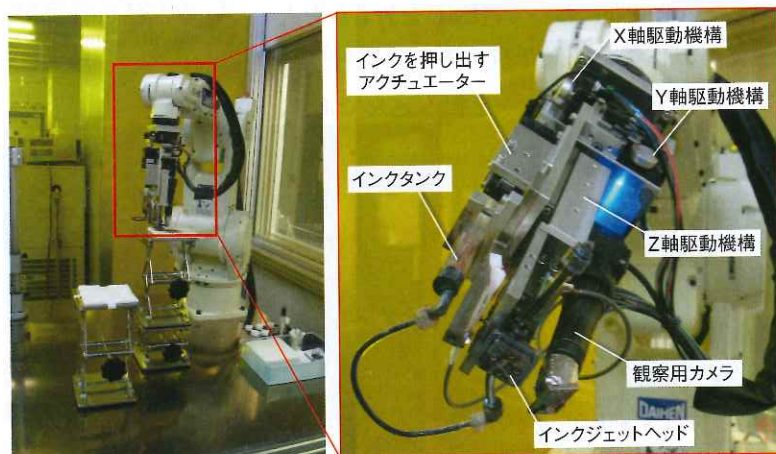


図1 曲面への印刷が可能なFIJ技術

6軸の垂直多関節ロボットのアーム先端に、ヘッドを3軸で駆動できる機構を組み込んだIJユニットを取り付けてある。同ユニットには、任意の方向を向いても確実にインクを供給する機構も含まれる。実験用に、インクの吐出状態を観察するためのカメラやストロボLEDも搭載する。



図2 FIJ技術で印刷したワイングラス
IJユニット内の3軸駆動機構と、ロボットによる動作を組み合わせ、曲面上に回路を印刷できる。

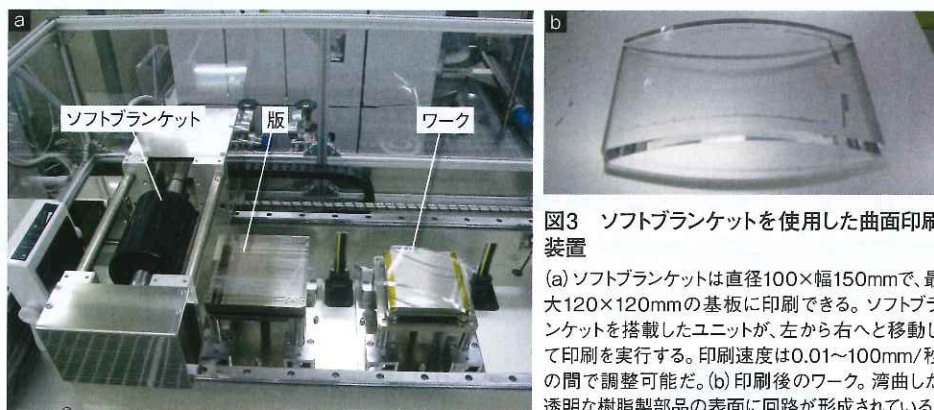


図3 ソフトブランケットを使用した曲面印刷装置

(a) ソフトブランケットは直径100×幅150mmで、最大120×120mmの基板に印刷できる。ソフトブランケットを搭載したユニットが、左から右へと移動して印刷を実行する。印刷速度は0.01~100mm/秒の間で調整可能だ。(b) 印刷後のワーク。湾曲した透明な樹脂製部品の表面に回路が形成されている。

置決めを $\pm 10\mu\text{m}$ の精度で実現できる*2。

印刷範囲が広い場合には、ロボットアームを駆動する。IJユニットの位置をロボットで変更してから、IJユニットの駆動機構で高詳細な回路を印刷するというプロセスを繰り返せば、大面積への印刷が可能だ。IJユニットの3軸駆動機構で印刷した高詳細部同士を接続する配線を印刷することも可能で、その際には湾曲部であっても面の向きに追従できる(図2)。

ソフトブランケットで回路を転写

一方のブランケットを使う方法は、グラビアオフセット印刷(凹版印刷)を応用したものだ。凹部にインクを充填した版に、柔らかなブランケット(ソフトブランケット)を回転させながら押し付けてインクを写し取る(受理)。次にブランケットを基板などのワークに押し付けて転写する方法だ。前述したロボットのように任意の方向を向いた面に印刷できるわけではないが、微細化や大面積化が可能のため生産性を高められる。

時任氏らの研究チームは、このブランケットを装着した曲面印刷装置を作製(図3)。ソフトブランケットとしては、単層構造と多層構造の2タイプを用意した*3。ソフトブランケットの材質や構造、押し込み量*4と印刷速度などの印刷条件の最適化を図った。例えば印刷条件に関し

ては、押し込み量と印刷速度の組み合わせで印刷できる範囲が決まっており、その範囲は印刷する線幅が細くなるほど狭くなっていく*5。

ソフトブランケットを使う方法では滑らかな曲面だけでなく、段差がある形状への印刷も可能だ。具体的には、最大5mmの高低差に対応し、隣接した凹凸がない場合は曲率半径0.5mm、角度90°以上のエッジ部にも印刷できる。

線幅は、最小で $10\mu\text{m}$ 。版の微細な凹部にインクが入り込むよう、粒子径が小さい「銀ナノ粒子インク」も開発した。この新しいインクでは、印刷した線の両脇(エッジ)の直進性や表面の平坦性が向上したという。

IoT(Internet of Things)の広がりによって、さまざまな対象物への回路形成のニーズが高まっている。曲面への回路印刷が可能になることで、ウェアラブル・デバイスや自動車の内装部品、食品の包装などへの応用が期待できる。ロボットを使う方法とブランケットを使う方法にはそれぞれメリットがある。改良の余地はあるものの、今後は「具体的な応用を想定した研究開発を企業などと進めていきたい」(時任氏)という。(中山 力)

参考文献

- 1) 中山, 「山形大学, 3D曲面への電子回路印刷技術, 柔軟なブランケットで導電性インクを転写」, 『日経ものづくり』, 2014年11月号, p.29.

*2

ロボットアームの位置決めには教示ポイントが必要となるが、微細な動きをIJヘッド内の位置決め機構で実現するため、ロボットに対する教示ポイントを減らせるというメリットもある。

*3

単層構造ではゴム硬度2の材料(シリコン系のエラストマー)を使う。一方の多層構造では、表面部分だけに硬度1以下とさらに柔らかい材料を配置する。ブランケットとして成立する強度の確保と、造りやすさに配慮した。

*4 押し込み量

ブランケットと版が接触する状態を0として、それよりも近づける方向に押し付けた量。押し込み量が大きいと、ブランケットを版に押し付ける圧力が大きくなる。

*5

押し込み量が大きいとインクの受理不良(欠けや細り)、小さいと気泡混入が発生する。一方の印刷速度は、速すぎると気泡が混入し、遅すぎると受理不良が生じる。