

# 超微細インクジェットにおける本格研究 産業化を見据えたナノスケールの機能付加ツール

## きっかけは個人のニーズ

ナノテクノロジーとは、何でしょうか？ 人により答えは様々でしょうが、私の結論は材料の究極利用技術です。ナノ材料は、日々新たに開発されています。それらの機能性を最大限引き出し、100%の個性を発揮させるためには、ナノ材料を必要な場所に必要な量だけ配置していく技術が必要だというのが私の結論です。

現在のエレクトロニクスを支えるシリコンテクノロジーは、露光・エッチング技術を核とした汎用性の高い技術体系です。一方、新規に開発されているナノ材料のパターニングには、こうした従来の技術体系が必ずしもベストではありません。ナノ材料の配置は機能性の配置といわば同義語です。従来の、切る・彫る・削るといった加工によって行う機能性の付与ではなく、材料を塗る・足す・付けるといった新し

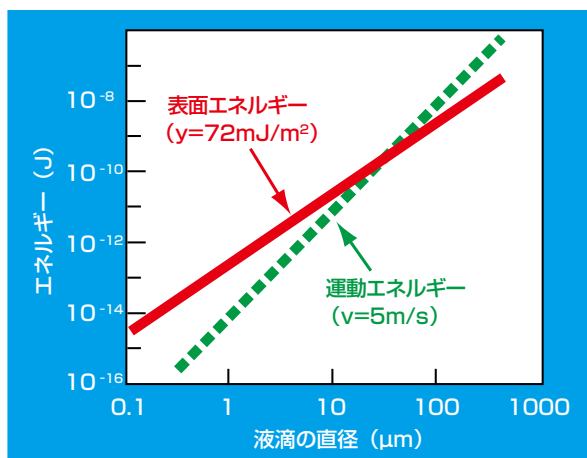


図1  
液滴の運動エネルギーと  
表面エネルギーの関係

い方法によって機能性を付与します。

このためには、微量を精密に配列することのできる技術が必要ですが、当時その様な技術がほとんどなかったため、自分で作るしかないというところからスタートしました。つまり、きっかけは完全に個人的ニーズ志向の研究でした。

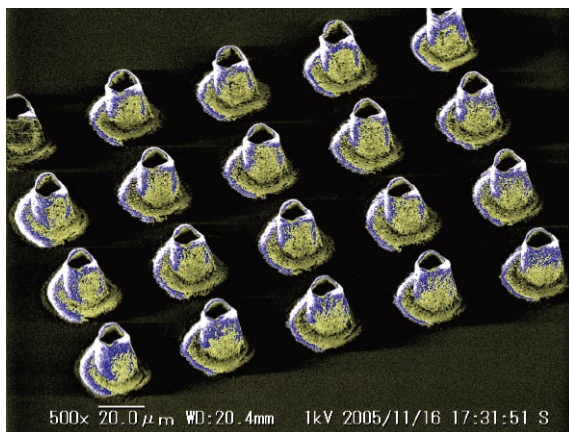
## 第1種基礎研究的要素 超微細液滴の難しさ

最初は、小さなノズルを作り大きな圧力をかけたら液体が飛び出すだろうと、簡単に考えていました。しかし、実際にはそんなに簡単ではありません。図1は、水液滴の運動エネルギーと表面エネルギーの関係をプロットしたものです。運動エネルギーとしては、インクジェットの液滴の速度として一般的速度である5m/sとしています。液滴が飛び出すためには、表面張力に打ち勝つ必要があります。しかし、表面エネルギーが液滴径の2乗に比例するのに対し、運動エネルギーは液滴径の3乗に比例するため、微小な液滴では、表面エネルギーが相対的に大きくなり、液体の吐出あるいは飛び出した液滴に対し十分な運動エネルギーを付与することが困難になります。様々な試行錯誤の結果、現在の超微細インクジェットの原型ができました。この間の研究は、応用研究というよりもむしろ第1種基礎研究に近いものでした。

## 第2種基礎研究へ 実用化への取り組み

前述の基礎研究の成果を、2002年に国際ナノテクノロジー展・技術会議で発表しました。当時の反響は大きく装置の市販化などを望む声が多いもので

図2  
超微細インクジェット  
による立体構造



1994年に電子技術総合研究所入所、2001年より産総研ナノテクノロジー研究部門。専門は磁気物性、導電性高分子、有機薄膜などを経て、現在は各種ナノ材料の直接パターニング技術の開発に従事。超微細インクジェット技術は、産総研ベンチャー化。現在、ナノテクノロジーによる生産技術革新というテーマに取りかかっている。

村田 和広 (むらた かずひろ)  
ナノテクノロジー研究部門  
分子ナノ物性グループ



図3 超微細インクジェット装置

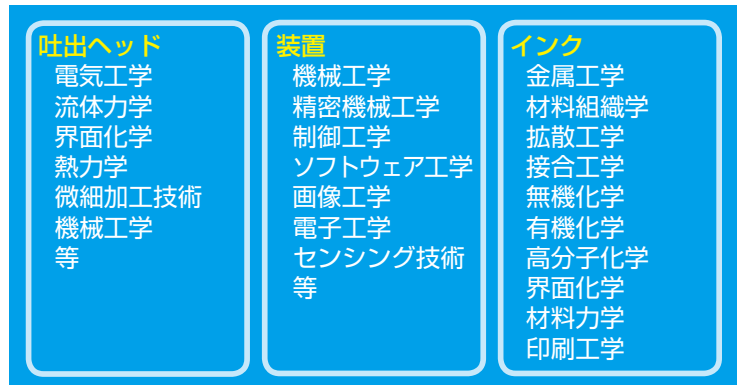


図4 インクジェットに必要な分野

した。しかし実際の装置は研究者が自分で使うための研究用ツールとして開発したものですから、必ずしも一般のニーズに合うものとは限りません。そのために、社会のニーズを取り込んだ形で目標を再設定する必要がありました。これに関しては今でも技術開発の最中で、まだ死の谷を完全に抜けたとは言えないかもしれません。

この時期の研究は、研究者自身のニーズやシーズではなく社会のニーズを組み込むことで、研究目標を再設定し、そのために使える技術を集め、足りない部分を追加したり開発したりという作業です。断片的ですが様々な技術要素を組み合わせることによって前に進む作業といえます。その中には自分でできないところも多く出てきますから、産総研内外の多くの方々のお世話になりました。

### 研究の過程で

研究の過程では、思いもかけない驚きがいくつかありました。ひとつは、微細液滴の乾燥性の高さです。通常、基板上に着弾した液体は、表面エネルギーを最小化しようと変形します。表面張力の効果は微細液体ほど顕著で、思い通りにパターンニングするのは簡単ではありません。従来は、バルジと呼ばれるこぶ状の乱れなどの発生をいかに抑えこむかがインクジェット技術の

重要な開発課題だったり、メーカーのノウハウだったりしました。ところが、我々のインクジェットでは、液滴サイズがあまりにも微細なために、着弾した液滴がすぐに乾燥します。基板上の液体のボリュームは限定的で、バルジが現れにくくなります。さらにこの乾燥性を積極的に利用すると、図2に示すような立体的な形状もインクジェットで形成できます。従来このような微細な立体形状の造形は、真空プロセスや高価な装置などが必要でしたが、超微細インクジェットを使えば、常温大気中で基板上の狙った場所に立体的な構造物を後から付け足すこともできるのです。しかもその装置は図3のように、卓上に乗るほどコンパクトなものです。これは他の技術にはないユニークな特徴です。

私にとってのもうひとつの驚きは、手作りの装置でも結構精密なことができてしまうことでした。現在の最先端の工業製品の製造装置は非常に大きなサイズで高価なものばかりです。これは、様々な機械で組み上げられたものを重ね合わせるための精度を保証する必要があるためです。しかし、もしひとつの加工テーブルの上で必要な機能の組み込みが可能なら、装置はもっとシンプルにすることも可能です。

現在、こうした研究の過程で得た新たな視点を踏まえて、再度、第1種

基礎研究に立ち返った取り組みを始めようと考えているところです。第2種基礎研究の中で見出したエッセンスを加えることで、再び行う第1種基礎研究も一味違ったものにしたいと思いません。

### 将来社会にもたらす効果

インクジェット技術は、必要な場所に必要な量の材料を配置できる技術です。インクジェットに限らず、切る・彫る・削るといった物の作り方から、塗る・足す・付けるといった手法が今後見直されてくると考えています。それは、プリンタブルエレクトロニクスであったり、ラピッドプロトタイプであったり、ニアネットシェイプと呼ばれる技術も入るかもしれません。材料をバルクとして漫然と使うのではなく、その機能性を最大限引き出すことで、高価な装置や、クリーンルームなどが必要なくなり、製品サイズの数倍程度の大きさの装置の中で省資源・省エネルギー・低環境負荷のものづくりが可能になるかもしれません。

さらに、遠い未来にはデータによって様々なものづくりができるような工場ができ、インターネットをハードウェアの設計データ(DNA)が飛び交い、ソフトとハードが同時進化するというようなSF的世界が訪れるかもしれません。