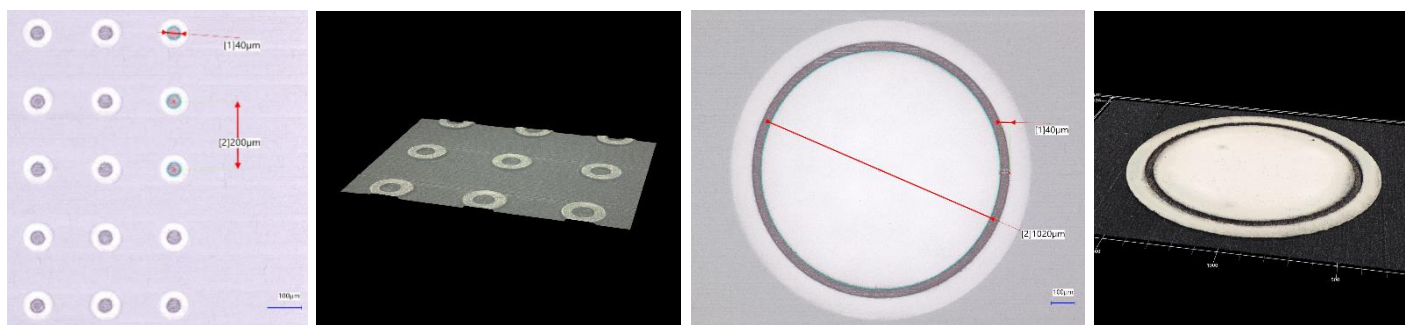


## AI技術を用いた高精度インクジェット製造技術 NeuralJet™を発表

NeuralJet™は、高度な制御技術とAI技術によって実現した、高精度インクジェット製造技術です。印刷動作の誤差、ノズル個性、ヘッド組立誤差、ノズル状態変化など多数の誤差要素を個別にモデル化せず、全て単一のAIのモデルによって吸収させることで、汎用ピエゾチップを用いながら高精度な吐出を実現し、量産普及に適した技術構成を実現しました。

エレファンテックは、当該技術を用いたプリント基板(PCB)の量産を2025年からスタートすると共に、半導体後工程やディスプレイなどPCB以外の用途にも展開していきます。



φ40µm 円形井戸への充填

φ40µm 円形井戸の 3D 撮像

40µm 幅の円形溝への充填

40µm 幅円形溝の 3D 撮像

### ■特長 1：汎用ピエゾチップを用いた超高精度インクジェット塗布技術

汎用ピエゾチップを用いた独自印刷機で、「平均着弾位置誤差 2µm 以下<sup>1</sup>」「20µm の液滴を 40µm の溝や井戸に 100%着弾<sup>2</sup>」など、極めて高い印刷精度を実現しました。

### ■特長 2：ローカルの計算資源で動作する、統合された独自 AI モデル

個別の誤差をモデル化して解決するのではなく、独自開発した統合 AI モデルが全ての種類の誤差をモデル化して吸収します。MEMS プロセスのばらつきや組付けばらつきなども AI が学習して補正することで高い精度を実現しつつ、かつローカルの計算資源で動作する軽量のモデルを構築しました<sup>3</sup>。

### ■特長 3：AI がモデル化しやすいように最適化された流体制御と機械制御

これまでのパラダイムである「絶対的精度が出るように」ではなく、「AI がモデル化しやすいように」最適化された流体制御と機械制御によって、軽量のモデルで高い精度を実現しました。

### ■特長 4：量産経験に裏打ちされた、実戦的な製造システム

世界で唯一<sup>4</sup>、インクジェット金属ナノ粒子インク印刷による PCB の量産を行っている経験を活かし、量産現場で使える実戦的な製造システムを構築しました。

<sup>1</sup> 80mm 角ワーク内にランダムに配置した 643 点の液滴に対し、計測された座標と目標座標の平均着弾誤差が 1.74µm (学習には用いていないバリデーションセット)。

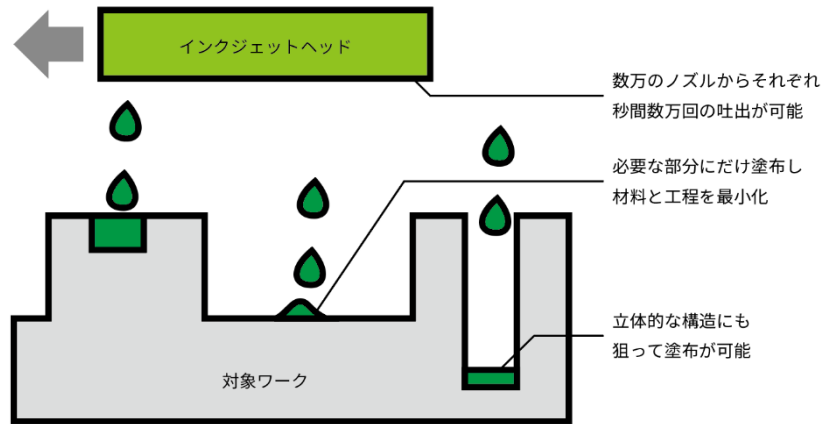
<sup>2</sup> 4.8pL 液滴を、40µm 幅の溝に 2596 点吐出し、溝外への付着なし。

<sup>3</sup> 装置規模に対応した GPU 等が必要

<sup>4</sup> エレファンテック調べ、発表日時点。

## 特長 1：汎用ピエゾチップを用いた超高精度インクジェット塗布技術

インクジェットは非接触で、数 pL の微小な液滴を、秒間数億滴を超えるスピードで、必要な部分にだけ必要な量を吐出でき、かつ対象物が平坦でなくとも塗布が可能であるなど、ユニークな強みを持つ技術です。

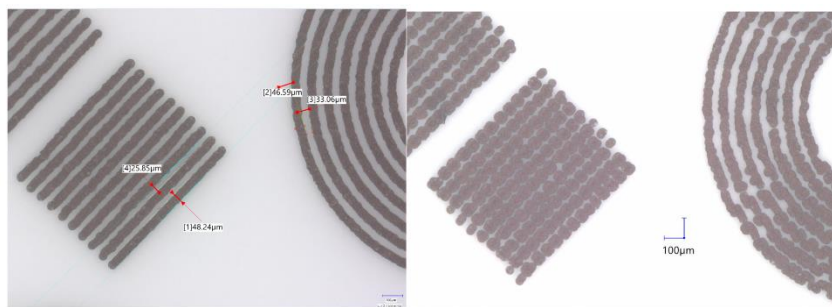


高精度インクジェットにより可能になること

ただしインクジェットにおいては、量産時の高精度化が一つの課題でした。これまでも研究レベルで、また一部商業レベルでも、5 $\mu$ m 以下の超高精度インクジェット印刷の試みは存在し、特にディスプレイ製造の分野では大きなテーマで有り続けてきました。しかし、それらの試みの多くは、特殊設計のピエゾチップを用いる必要があるか、調整が極めて難しく、いずれにせよインクジェット技術は製造現場でロバストに使える技術ではありませんでした。

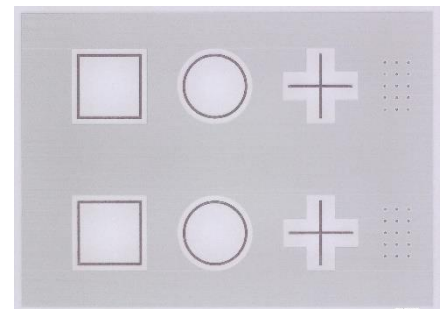
一方でエレファンテックは一貫して、PCB という高いロバスト性が求められる製造領域において、汎用ピエゾチップを用いて高精度かつ製造現場で実際に使える装置を開発し、同時に自社で PCB の量産工場も保有し量産を行うことで、「実戦で使える」インクジェット印刷技術を開発してきました。

本技術 NeuralJet™は、その量産経験を活かし、高度な流体制御と AI 技術を活用した吐出制御によって実現された、試作から量産まで利用できる高精度インクジェット製造技術です。汎用ピエゾチップを利用しながら、非常に高い精度を実現しています。既存の一般的なインクジェット、超精密インクジェット、いずれとも大きく思想が異なり、AI 活用を前提に設計し、ロバストに高精度を実現しています。



NeuralJet Conventional

同じ印刷機での NeuralJet™有り無しの  
印刷結果比較



NeuralJet™による 40 $\mu$ m 幅の四角形溝、  
円形溝、十字溝、円形井戸への充填

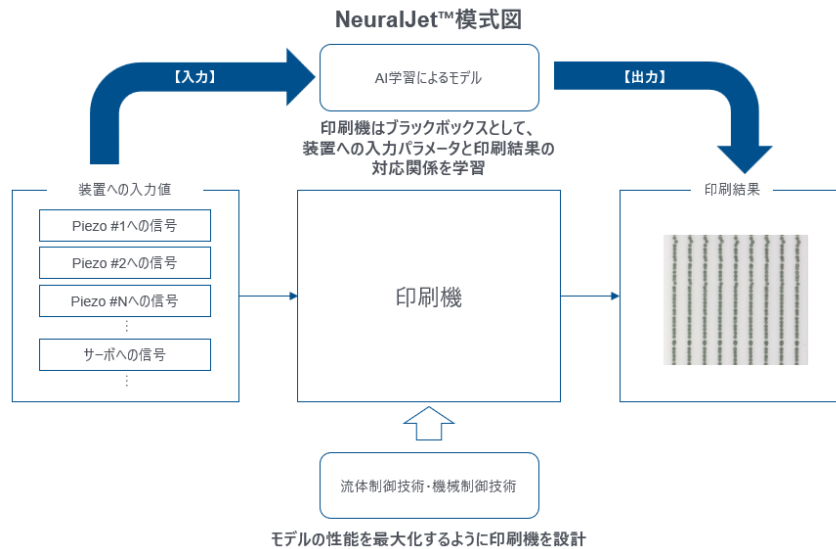
### NeuralJet™の既存技術との比較

	一般的なインクジェット	これまでの 超精密インクジェット	NeuralJet™
着弾保証	数十 μm 程度の着弾ミスを前提とした確率的描画	1 滴単位での着弾保証	1 滴単位での着弾保証
実着弾精度	数十 μm 程度	~5μm 以下	~5μm 以下
IJ ピエゾチップ	汎用	専用、少なくとも一定以下の誤差であることが通常必要。	汎用
ヘッドアライメント	最低限	非常に高精度に必要	不要(※1)
各動作軸の平行度	最低限	非常に高精度に必要	不要(※1)
装置設置時の調整	容易	非常に厳密な調整が必要	容易。モデルアップデートのみで、機械的な調整が不要。
ヘッド交換時の再調整	容易	非常に厳密な調整が必要	容易。モデルアップデートのみで、機械的な調整が不要。
デッドノズル対応の思想	周辺ノズルでの補完	別ノズルで補完するが、基本的にデッドノズルが発生しないようにする思想	AI で最適な補完方法を探索するため、一定発生しても問題ない思想
大型ワーク (0.5m~) 対応	容易	ワークが大きくなると、ワーク全域で高精度を実現するのが飛躍的に難しくなる	ワークサイズと精度に関係がなく、計測精度と計算量が許す限りいくらでも拡大が可能
インク流体制御の思想	一定の誤差を許容しつつ制御する	全ドット誤差なく吐出されるように制御する	ドット間誤差を許容し、AI が苦手とする Long Context な影響が小さくなるよう制御する
機械制御の思想	一定の誤差を許容しつつ制御する	全ドット誤差なく吐出されるように制御する	ドット間誤差を許容し、AI が苦手とする Long Context な影響が小さくなるよう制御する

※1: 吐出したいエリアでノズルが正しく駆動できるレベルの最低限の公差内に収める必要はあるものの、いわゆる調整機構は不要

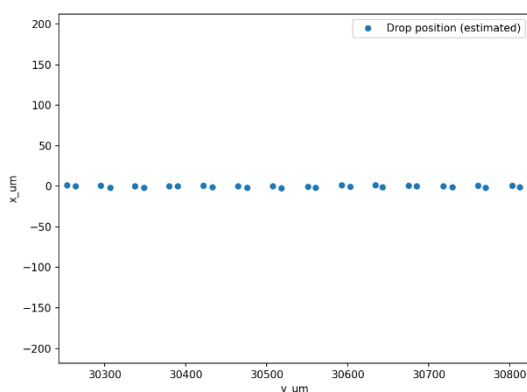
## 特長2：ローカルの計算資源で動作する、統合された独自 AI モデル

NeuralJet™では、単一のモデルが機械、電気、流体、全ての誤差要因を吸収します。これまでの高精度インクジェットでは、多くの高精度産業機械と同様、個別の誤差を特定してそれぞれ分析を行い、解決するという手法を用いてきました。それに対して NeuralJet™では、そういった個別の誤差要因をそれぞれ分析したり個別の誤差要因に対応したモデルを作ったりすることなく、単一のモデルで学習させます。



そのため、例えば高精度インクジェットでは必ず行われるノズルアラインメントすら不要になります。下図左側は、実際に印刷動作から学習させたモデルを使って、全てのノズルに同じ入力を行った場合の着弾推定位置の差をプロットしたものです（左右がノズル列方向、上下がスキャン方向）。実はこの印刷機では奇数ノズル列と偶数ノズル列の2列のピエゾチップを使っており、列ごとに着弾位置がわずかに異なります。モデルには2列のチップを使っていることは教えていないにもかかわらず、2列チップをモデル化して誤差を補正しています。こういった誤差も個別にモデル化することなく統合されたモデルが適宜学習することで、高い精度を実現しました。

当社ではこのモデルを独自開発しました。製造現場で常にオフラインでも再学習ができるよう、ローカルGPU/CPUの計算資源で学習・実行を実現できる軽量なモデルとなっています。モデル学習に用いるデータサイズによって精度と計算量は変化しますが、ローカル計算資源で処理可能な計算量で、下図右側のように学習を成功させています。平均誤差で2μm以下の真の実力値に漸近していることが読み取れます。



学習された2列チップの着弾特性

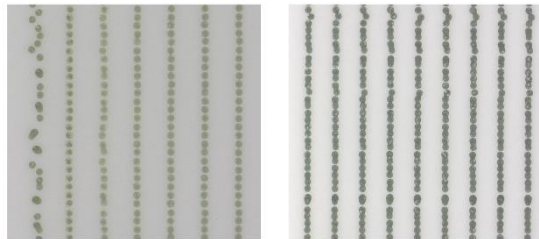


トレーニングデータサイズによる精度向上

※トレーニングデータサイズは非公開としています

### 特長3：AIによる学習に最適化された流体制御と機械制御

AIを用いるゆえに制御は不要かというそうではなく、大型ワークに対して数 $\mu\text{m}$ レベルの精度を実現するには高度な流体制御と機械制御が必要になります。ただし考え方はこれまでの制御と大きく異なり、「絶対的な誤差が小さくなるように」ではなく、「AIがモデル化しやすいように」制御し、装置自体もその前提で設計します。より具体的には、「AIが苦手とする誤差（典型的には Long Context な誤差）を小さくする」ことにフォーカスして制御を行います。例えば以下の写真は、全く同じ印刷機で、別の制御で印刷したもので、両方とも理想的な位置からはズレがありますが、実は片方はAIが苦手とする状態で、片方はほとんど完璧にモデル化できる状態となります。このように、AIによる最適化と従来の最適化が互いに協力しあって実現したのが本技術であり、当社の持つ高度な流体制御技術、機械制御技術が鍵となっています。



制御による吐出状態の違い

#### 特長 4：量産経験に裏打ちされた、実戦的な製造システム

当社は、世界で唯一、インクジェットによる金属ナノ粒子インク塗布を用いた PCB の量産に成功しているメーカーです。装置だけではなく量産プロセスも自社で保有し、多数のお客様に完成した PCB を量産供給しています。



稼働中の量産装置 ELP03

量産は研究レベルの生産とは大きく異なり、短いダウンタイムで高い工程能力を実現する必要があります。NeuralJet™では、ヘッド交換やメンテナンスの際の調整も人手での調整が不要でモデルアップデートを行うのみとなり、簡易かつ作業者に依らず一定の精度を保証できる仕組みを実現しています。

また、装置スケールを拡大しノズル数を増やすと、ノズル故障数は急速に高まります。そのため、ノズル状態変化にロバストなシステムを作る必要があります。NeuralJet™では、AI が現在のノズル状態を考慮して最適な吐出パス設計を行うため、ノズル状態変化に対して強くなります。例えば冒頭の 40 $\mu$ m 幅の溝と井戸への印刷結果は敢えて使い古したヘッドで、全体のノズルの約 2% が正しく動かなくなった状態で印刷したのですが、その状態でも全ての箇所に液滴を配置することに成功しています。

## 今後の展開とお問い合わせ先

本技術は試作から量産まで完全にスケールラブルで、既に開発用装置 NeuralJet™ L が当社ラボで稼働しており、2025 年 4 月より量産用装置 NeuralJet™ P が稼働予定です。さらに並行して、半導体後工程やディスプレイなど本技術を用いたカスタム製造プロセスの開発も行ってまいりますので、ご興味をお持ち頂けましたら当社ソリューション営業部までお問い合わせ下さい。

### NeuralJet™搭載装置

	NeuralJet™ L	NeuralJet™ P
Purpose	Laboratory use	Production use
Piezo inkjet chip	EPSON PrecisionCore	EPSON PrecisionCore
Work size	300x300mm	830x500mm
Work alignment	Arbitrary N points camera alignment <sup>1</sup>	Arbitrary N points camera alignment
Model learning	Local GPU/CPU	Local GPU/CPU
Takt time per pass	15sec for 300mm scan	5.3sec for 830mm scan
Pass scanning width	60mm	500mm
Footprint	1.2x1.2x1.6m	5.0x5.0x2.4m
Weight	500 kg	15 ton
Status	Working in our lab	Starting production from April 2025

※1: Alignment using an arbitrary number of points with arbitrary coordinates

## 会社概要

会社名	エレファンテック株式会社
設立	2014 年 1 月
本社所在地	東京都中央区八丁堀四丁目 3 番 8 号
代表	代表取締役社長 清水信哉
事業内容	プリントド・エレクトロニクス製造技術の開発、および電子部品の製造販売
URL	<a href="https://www.elephantech.co.jp">https://www.elephantech.co.jp</a>

<本件に関するお問い合わせ先>

技術・活用等について ソリューション営業部 [solution-sales-unit@elephantech.co.jp](mailto:solution-sales-unit@elephantech.co.jp)

発表・取材等について 広報担当 [pr@elephantech.co.jp](mailto:pr@elephantech.co.jp)