



インクジェットヘッド解析 —3次元非定常、固液連成、2相自由表面の計算—

研究・開発機関 : セイコーインスツル株式会社
 利用施設 : FOCUSスパコン、TSUBAME (東京工業大学)、
 Reedbush-U(東京大学)
 計算規模 : 通常100コア以下程度、数ケースを3日で計算
 利用ソフトウェア : OpenFOAM

Before

- インクジェットヘッドの開発が始められたのは2000年ごろと業界内では後発だったこともあり、開発部門では試作、評価、設計変更の繰り返しが主流でした。
- 現状でよいのかという危機感はあったものの、CAEの立ち上げは簡単ではなく、すぐに成果が出るようなものではないと考えられ、忙しい現場では取り組みが進みませんでした。

After

- これまで計算時間やハードのリソース面から諦めていたような課題にも取り組めるようになりました。
- 製造部門においてもシミュレーションが効果的な技術だと認識され、解析の依頼も開発部門によく来るようになりました。
- 現象の可視化により、新製品設計でのアイデア出しにも活用できるようになりました。

■背景と目的

セイコーインスツル(SII)においてインクジェットヘッドの開発が始まったのは2000年ごろで、業界内では後発であり、開発部門では試作、評価、設計変更の繰り返しが作業工程の主流でした。

このままで良いのかという危機感はあったものの、CAEの立ち上げは簡単ではなく、またすぐに成果が出るようなものではないと考えられ、忙しい現場ではなかなか取り組みが進みませんでした。そのような状態の中で生産技術本部において技術調査を開始しました。

インクジェットのシミュレーションに必要な要素として、3次元非定常、流体-構造の連成、2相での自由表面などに取り組む必要があり、当時、HPC環境を持たない当社において3次元解析を行うことが不可能なのは明白であり、外部機関のスパコン利用の検討を始めました。

まず、理化学研究所の「京」とコストを抑えるためにオープンソースの流体解析ソフトウェアOpenFOAMを組み合わせるの利用を検討しました。最終的にはハードについてはFOCUSスパコンの利用をベースとし、現在はセカンドリソースとして東京工業大学のTSUBAME等も利用しています。

立ち上げ時における調査や勉強に関しては、日本機械学会分科会への参加や社外の解析技術者との交流など、社外での活動が役に立ちました。分科会では、最先端の研究に取り組んでられる先生が気軽に質問に答えて下さるなど、遠い存在だったスパコンを使えようだという感触を得ることができ、社内でも外部HPC利用の計画を提案したところ、順調に実施が決まりました。

■利用成果

インクジェットのシミュレーションに必要な要素としては、液滴の最後端までの動きを捉えなければならない、多数のノズルがある、圧力波の発生も必要といった特有の条件もあります。

また、インクジェットヘッドは電圧印加により変形するので、詳細に調査するには電気、構造、流体の連成も考えなければなりません。さらに、自由表面の条件下で、細かく飛び散る様子まで把握するニーズがあります。多ノズルを考慮する場合、メッシュも増加し、相応のハードウェアも必要となります。



図1 インクジェットシミュレーションに必要な要素

■ピエゾ(圧電素子)の変形シミュレーション

ピエゾアクチュエータに電圧をかけることによって、インクが充填された空間の左右の壁がたわみ、インクが吐出されます。インクの吐出速度や飛ばされる体積は壁の変形量に関係が有るため、どの程度変形するかをシミュレーションで求めます。壁の形状や電圧のかけ方等によって壁の変形量が変わってきます。

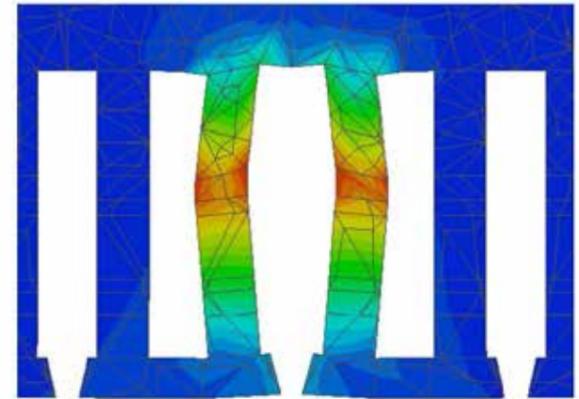


図2 ピエゾの変形シミュレーション計算結果例

■ピエゾにかかる電圧の時間長さを変えた場合の比較

インクの吐出は壁を引いたり押ししたりすると容積が変化して押し出される現象だけではなく、波の共振現象を捉える必要があります。

ピエゾに電圧をかけた瞬間、圧力波(粗密波)が生じ、その波が流路内に広がって壁や段差で跳ね返ってくるタイミングに合わせて壁を押してやると、吐出されたインクはさらに加速されます。

図3左は圧力波が戻るタイミングに合わせて壁を押した場合、図3右はずらした場合の結果で、カラーはシミュレーション(青は速度ゼロ、赤いほど高速)を、白黒はハイスピードカメラで捉えた実験画像を示しています。

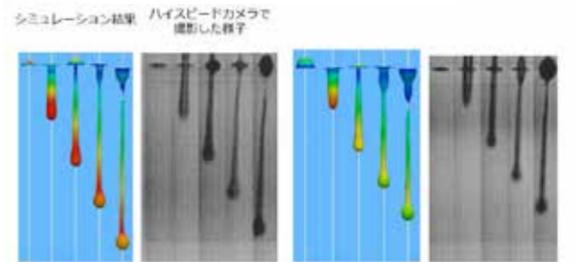


図3 ピエゾにかかる電圧の時間長さを変えた場合の比較
 左: 圧力波が戻ってきたタイミングで壁を押すと液滴の速度は加速される
 右: ずれると速度は落ちる

すなわち、圧力波が戻るタイミングで壁を押すことで、インクに与える力を効率よく増大させることが出来るため、吐出する速度を上げることが出来ます。圧力波はインクの種類が変われば速度も変化するため、インクによって壁を動かすタイミングを調整する必要があります。シミュレーションにより、圧力波の動きや吐出の可視化は実設計に有効であり、解析精度向上を図り適用範囲を増やしています。