

液滴形成流動計算とそのアニメーション表示

(株) エス・イー・エイ 宮本 義弘[○], 原田 昌人

A Flow Analysis accompanied by Formation of the Liquid Droplets
shown with an Animation Display technique

Yoshihiro MIYAMOTO*, Masato HARADA*

A transient flow analysis accompanied by the formation of a liquid droplet using the fluid dynamic program FLOW-3D^[1] and the use of an animation display technique are described. The numerical example includes the inkjet analysis and the transient flow analysis of the melting solder to fasten the leads of LSI chips to the printed wires. FLOW-3D has the feature of giving a precise numerical solution scheme to solve the transient flow considering the complex free surface motion which is based on a Volume of Fluid (VOF) algorithm^[2]. Especially the VOF is effective for the transient analysis of the dynamic process in the formation of a liquid droplet from continuous liquid. Each picture of the numerical results displayed on the screen of an EWS using the graphic program FLIPS is converted into a bitmap file. The animation display of the bitmap files is performed using an animation program on a PC.

1. はじめに

インクジェットノズル部あるいは、LSIチップのはんだ付けの様な微小空間内の自由表面の液体の挙動は、概して表面張力がその作用力として卓越した流動現象を呈する。この種の解析には、表面張力、壁付着効果を含む自由表面を考慮した精度よい非定常解法が要求される。3次元流動解析コードFLOW-3D^[1]がこれらの要求を満たす故、著者らは、FLOW-3Dを用いてインクジェット流動計算及び溶融はんだの過渡流動計算を行なった。過渡流動解析解の理解を容易にするための道具として計算結果のアニメーション表示技術を利用した。以下では、今回用いた数値計算手法、アニメーション表示方法、インクジェット計算2例、及び溶融はんだの計算例を述べる。

2. 数値計算手法

FLOW-3Dは差分法を用いた3次元流動計算プログラムでその自由表面計算は、任意形状の自由表面の扱いに適用可能なVolume of Fluid (VOF) 法^[2]に基づく。複雑な障害物に対する幾何形状は、体積率技法の一種のFAVOR (Fractional Area Volume Obstacle Representation)^[3]関数を用いて認識される。今回の計算では、流体は非圧縮性と仮定し、連続式、運動量式、流体率輸送式を基礎とする。

3. アニメーション表示方法

一定の時間間隔で出力された計算結果を図形処理プログラムFLIPSでEWS画面上に描画すると共に、画面イメージをBitmap形式に変換する (Fig.1)。そのBitmap FileをPCに転送し、アニメーションプログラムでPC画面にアニメーション表示を行なう。ビ

* SEA corporation, Tawaramachi City BLDG., 2-10-13, Kotobuki, Taito-ku TOKYO

ビデオ録画はEWS画面をスキャンコンバータでNTSC信号に変換し、コマ撮りコントローラを介して行なわれる。PC画面でアニメーション表示されたものをビデオ変換器を介して直接ビデオ録画する方法も用いる。ビデオ録画は後者の方が安価で作業時間が短く効率的である。そのほかPostscript fileを作成して、それを変換プログラムを介してBitmap fileに変換する方法も用いる。

4. インクジェット計算

インクジェットプリンタの設計計算では、液滴の吐出速度、吐出するタイミング、吐出量、吐出するときの液滴形状等に注目される。これらを最適化するためのノズル設計条件を知る必要がある。数値計算では、インク供給系を含めて、ノズルヘッド部の詳細計算が要請される。圧力室内の粗密波の伝播を考慮することも必要である。以下では、軸対称2次元モデルを用いた2つの計算例を述べる。最初の計算例は、機械的な振動を与えたときのモデル解析 (Fig.2, 3) である。プランジャーは移動障害物としてモデル化され、正弦波の運動が与えられた。プランジャーの運動によって、ノズル吐出口からインク滴が尾を引いて吐出する様子が計算されている (Fig.3)。

2つ目の計算例は、高圧気泡を与えたときのモデル解析 (Fig.4, 5) である。高圧気泡は、断熱ガスとしてモデル化した。下部に置かれた初期高圧ガス気泡の膨張によって、インク滴の吐出する様子が計算されている (Fig.5)。ガス気泡の収縮時に、空気の巻き込み現象が見られる。巻き込まれた気泡は下部の初期気泡と合体している。吐出後尾を引く主滴の尾部でサテライト滴の形成が見られる。

5. 溶融はんだの過渡流動計算

プリント基板の銅線の上に板状に塗布されたはんだが固相状態にある。その上にLSIチップを置き加熱処理することによってリードと銅線の接合を行なう。すなわち、加熱溶融はんだを表面張力作用でリードに付着させる。はんだ付け強度要求を満たすための最適なはんだ量を知る必要がある。FLOW-3Dを用いた3次元計算例を以下に示す。厚さ0.02mmの板状の溶融はんだが初期に静止状態にあると仮定し、400 μ secの過渡流動計算を行なった。リード間隔は0.4mmとした。400 μ sec後において、溶融はんだがリードに引上げられて付着している様子がy-z断面の自由表面形状プロット図 (Fig.7)に見られる。溶融はんだがリード壁近傍で千切れる様子がx-z断面の自由表面形状プロット図 (Fig.8)に見られる。溶融はんだは、リード壁に表面張力付着すると共に、分離した孤立液滴がリード間に形成されている (Fig.9)。

6. まとめ

FLOW-3Dによって得られた過渡流動解析結果をアニメーション表示することによって数値解の理解を容易にすることができる。それ故、ここに述べたアニメーション表示技術が有用な道具である。

参考文献

- [1] FLOW-3D Computational modeling power for scientists and engineerings, Flow Science inc. Technical Manual

- [2] C. W. Hirt and B. D. Nichols, "Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries," *J. Comp. Phys.* 39 201, 1981
- [3] Hirt, C. W. & J. M. Sicilian 1985. A porosity Technique for the Definition of Obstacles in Rectangular Cell Meshes. Fourth Inter. Conf. Ship Hydrodynamics, Wash. D. C. Sep. 1985

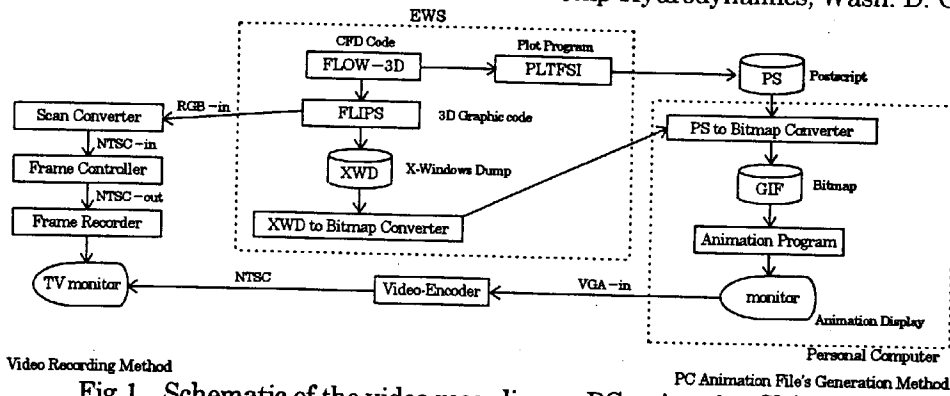


Fig. 1 Schematic of the video recording or PC animation file's generation

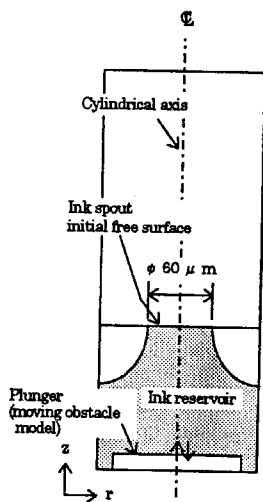


Fig. 2 Schematic of the inkjet problem due to the plunger motion

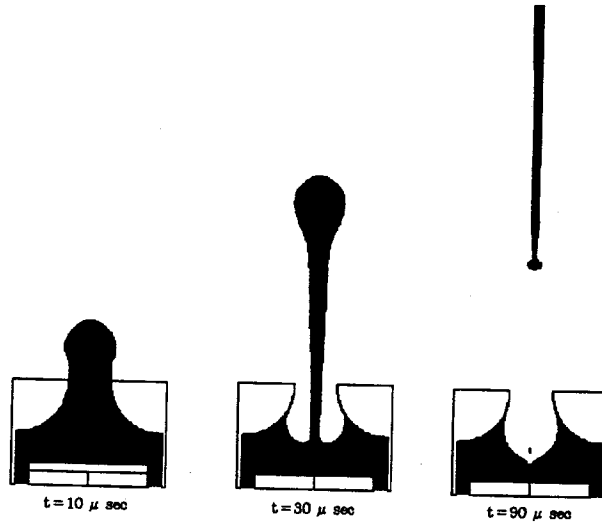


Fig. 3 Free surface geometry at each time (due to plunger motion)

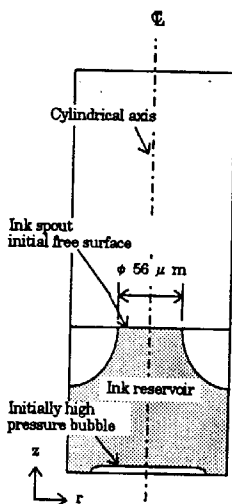


Fig. 4 Schematic of the inkjet problem due to the high pressure bubble

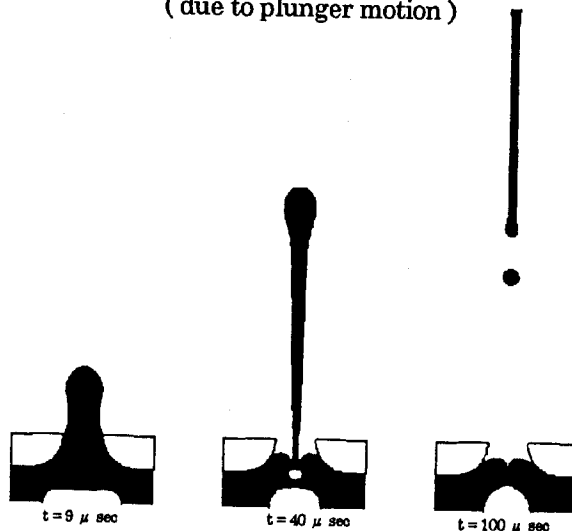


Fig. 5 Free surface geometry at each time (due to high pressure bubble expansion)

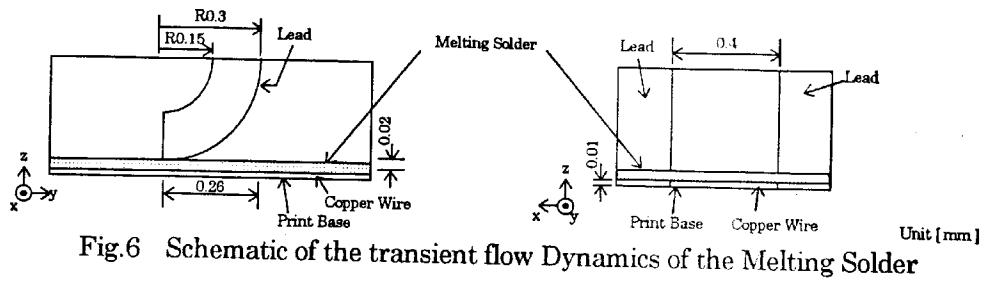


Fig.6 Schematic of the transient flow Dynamics of the Melting Solder

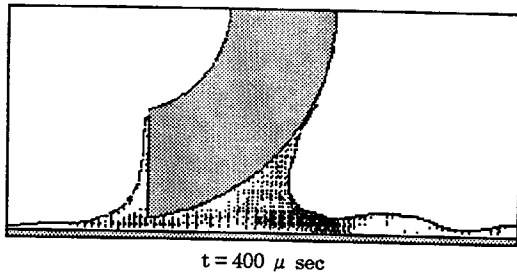


Fig.7 Free surface geometry at $y-z$ plane (the liquid solder is pulled up by the wall adhesion)

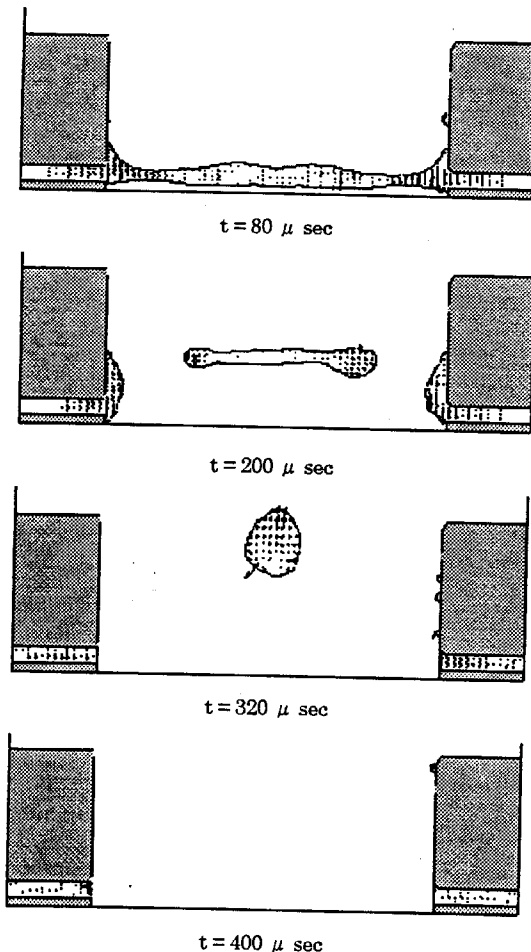


Fig.8 Free surface geometry at $x-z$ plane (the continuous liquid is pinched off by the surface tension force)

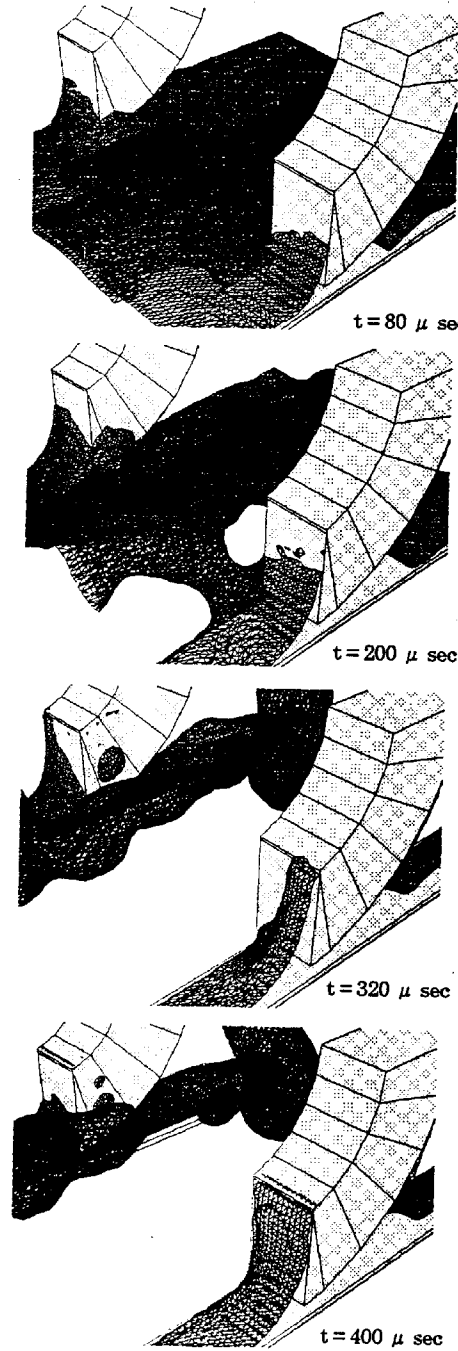


Fig.9 Free surface perspective plot (the liquid solder is pinched off and the free surface geometry changes dramatically due to surface tension force)