

モデル合成機能を備えたLSIパッケージング
金型用流動解析エキスパートシステム

杉野和宏*、赤坂信悟*、佐伯準一*、大成尚*、西邦彦**

日立製作所* 生産技術研究所、** 半導体設計開発センタ

半導体プラスチックパッケージの成形歩留の向上と金型開発期間の短縮を目的として、金型用流動解析エキスパートシステムを開発した。本報では、本システムの特長である解析モデル合成方式について述べる。解析モデル合成においては、解析対象全体をモデル化するのではなく、解析対象の部分ごとにモデル化し、全体の解析モデルを構築する。各部分のモデルには、事前に用意した標準的なプログラムを使用できるように、近似的にモデル化する。そして、解析モデルの合成過程をフレームの階層構造で表現し、形状分割、形状割当、モデル決定の3段階で、解析モデルを合成する。

Expert System with Synthesizing Analysis Model
for Plastic Package Molding of Semiconductor Devices

Kazuhiro Sugino*, Shingo Akasaka*, Junichi Saeki*, Hisashi Onari*, Kunihiko nishi**

* Production Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd.
292 YOSHIDA-CHO, TOTSUKA-KU YOKOHAMA 244, JAPAN

** Semiconductor Design and Development Center, Hitachi Ltd.
1450, JOSUIHON-CHO KODAIRA-SHI, TOKYO, 187 JAPAN

A flow analysis expert system for molding has been developed to improve the molding yield and reduce the molding development period for plastic semiconductor packages. This paper describes the analysis-model synthesis method which features this system. In analysis-model synthesis, the whole object is not modeled, but each part is first modeled locally, and then the whole analysis model is assembled. The local model is approximate so that standard programs prepared in advance can be utilized. The synthesis of the analysis model is realized in layer construction of the frame, and the analysis model is synthesized three steps; shape division, shape allotment, and model decision.

1. はじめに

半導体プラスチックパッケージは、高密度基板実装のニーズから、小形、薄形化が進んでいる。このために、パッケージを成形する金型流路が扁平化し、流路形状のわずかな違いでも樹脂の流れが大きく変化するため、高い成形性を持つ金型を開発するには十分な流動解析をする必要がある。しかし、金型形状の多様性、材料の特殊性から、多数の金型仕様案について評価する必要があり、金型仕様案に合った流動解析モデルを構築するためには、多くの専門知識と工数を必要とする。そこで、短期間に最適金型を開発できるように、各種金型仕様に対して流動解析モデルを合成できるLSIパッケージング金型用流動解析エキスパートシステムを開発した。本報では、システムの特長である解析モデル合成の考え方と知識工学の応用について述べる。

2. 流動解析の概要

プラスチック半導体は、チップ、リードフレーム、樹脂等から構成されている。図2.1に示すように、パッケージはモールド成形機によって成形され作られる。パッ

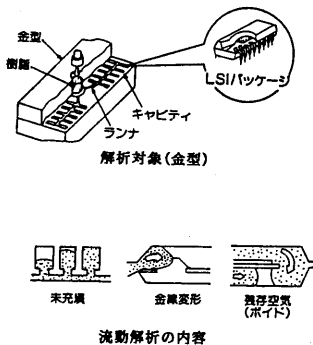


図2.1 解析対象と解析内容

ケージの外観形状をした金型キャビティ内に、リードフレームを置き、加熱された樹脂を押し出す。すると、樹脂は金型から熱を吸収し、溶解しながら金型内を流れ、キャビティを充填する。この際、樹脂の充填状況によって、チップとリードフレームを接続している金線が変形したり、ボイドが残ったりする。そこで、金型内での樹脂の流動状態をシミュレーションして、金型キャビティ内へ流入する樹脂の流速、粘度、圧力、及び温度等を予測し、金線変形、ボイド残存等の成形欠陥を評価する必要がある。

3. 流動解析システムの技術課題

3.1 技術的困難さ

第2章で述べた評価を行うには、以下に挙げる金型形状、材料特性等に関する技術的困難さがある。

(1) 金型流路形状の複雑さ

金型キャビティ内には、半導体を構成するチップ、リードフレーム、金線等があり、流路をさらに複雑にしている。そのために、複雑な流路形状を解析モデルの中に取り込んでやる必要がある。流路形状が複雑なために、樹脂流動に影響する因子をどの程度考慮したモデルを適用すれば良いのか判断が難しくなってくる。したがって、最適なモデルを決めるまでには、数多くの実験（シミュレーション）を行い、実測データと比較しながら決めなければならない。

(2) 樹脂粘度特性の変化

半導体パッケージ用の樹脂は、金型から熱を吸収し硬化反応を起こし、粘度が変化する熱硬化性樹脂である。そのために、樹脂が金型中を流動する間に、金型の熱を吸収し硬化反応が進み、樹脂の粘度が複雑に変化しながら上昇する。したがって、粘度の変化を精度良く効率的に求める手段が必

要となる。

(3) ノウハウへの依存

上記(1),(2)で述べた形状、材料特性の相互関係や因果関係は明確でないが、過去の経験から解析プログラムが決まったり、設定すべきパラメータが決まったりする。そのために、解析毎に人が判断し、プログラムを変更したり、パラメータを設定しなければならない。

3. 2 解決方法

3. 1 節で述べた技術的困難さを解決するために、以下のような考え方をとる。

(1) 複雑な金型流路形状でも、小さな部分に分けて見れば、単純な形状の集りと考えることができる。単純な形状に対する解析の場合には、支配的役割を果たす因子が明確であり、解析モデルを単純化しても、精度良く解析することができる。すなわち、小さな部分毎に適した解析モデルで計算し、それらの計算結果を総合して、全体の結果とすることで、複雑な形状に対する解析が行える。

(2) 複雑な挙動を示す粘度特性も、温度、時間等の変化範囲を限定すれば、それほど複雑な挙動を示さなくなる。すなわち、解析に必要な温度、時間等の変化の範囲に合わせて、粘度特性を表わす実験式を生成する。

(3) 形状や材料性の相互関係、過去の経験を、参照できるようにデータベース化する。解析を行う場合には、ノウハウデータを参照し、解析プログラムを選択したり、パラメータの設定を行う。

上記(1),(2),(3)の考え方を実現するためには、与えられた金型流路形状に対して、全体を考慮しながら、特徴的な形状の集まりに分割し、各分割部分毎に適した解析プログラムを割付け解析を行ない、それ

らを総合して全体の結果を得る流動解析システムが必要である。さらに、各解析プログラムは、必要な範囲に合わせた材料特性の実験式を参照できるようにすることが必要である。

4. 解析モデル合成

4. 1 解析モデル合成の考え方

第3章で述べた考え方にしたがって、解析モデル合成方式の開発を行なった。

解析モデル合成とは、解析対象全体を数式モデル化するのではなく、解析対象の構造を分割し、分割部分毎に基本解析モデルを引き当て、対象全体の解析モデルを構築することである。ここで、基本解析モデルとは、モデルの最小単位であり、実行可能なプログラムとして存在するモデルである。基本解析モデルは、物理的実験が可能(容易)なモデルであり、実験結果と良く対比されており、特定の範囲では計算結果と実験結果とが良く一致する。すなわち、解析モデル合成とは、モデル化の問題をプログラムの組合せとプログラム間の接続情報とを設定する問題に置き換えることに相当する。

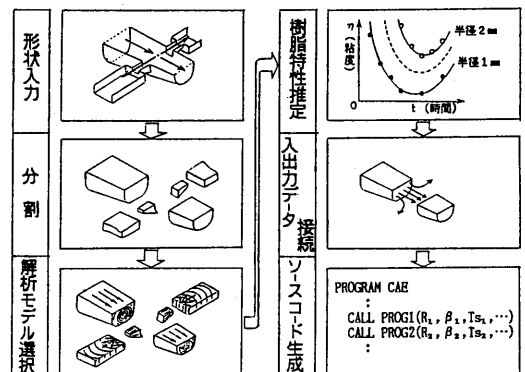


図 4. 1 解析モデル合成方式の手順

4.2 解析モデル合成の意義

解析モデル合成の意義は、次のように考
えることができる。

基本解析モデルは物理的意味、条件が明
確であり、実験による確認がとれているこ
を意味している。すなわち、ある限定さ
れた範囲、条件のもとで、定性的、あるい
は、定量的に結果が保証されることを意味
する。このために、解析対象の物理的状態
を熟知している人には、モデルの部分改造
が容易である。なぜなら、モデルの変更を
行なうということは、何等かの解析条件に
変化があり、それが、分割部分に対応する
基本解析プログラムに対する既存の判断を、
状況の変化に対応して変更するということ
に置き換えられるからである。

5 解析モデル合成への知識工学の応用

5.1 解析モデル合成過程の知識表現

第4章で述べた解析モデル合成の考え方
に知識工学を応用するために、解析モデル
合成に関連する知識の表現方法を検討した。
解析モデル合成に関連する知識には、以下
のものがある。

- (1) 基本解析モデルに関する知識
- (2) 流動分岐に関する知識
- (3) 形状タイプに関する知識
- (4) 基本解析モデルの引き当てに関する
知識
- (5) 解析モデル合成過程に関する知識

(1)～(4)の知識は、熟練解析者の
ノウハウであり、(5)の知識は、熟練者
のノウハウによって、作り出された知識で
ある。これらの知識を代表的な表現方式で
あるプロダクション方式とフレーム方式で
表現する。プロダクション方式は、IF
条件部 THEN 実行部 の形をしたル
ールによって記述するものであり、フレ

ーム方式は、Minskyの提唱したフレーム理論
に基づくフレームによって記述するもので
ある。

解析モデル合成過程を図5.1に示すよ
うに、解析対象から、分割形状化、形状タ
イプ化、基本解析モデル化までをフレーム
の階層構造で表現する。上位フレームから下
位フレームを生成するために、ルール、あ
るいはフレームで表現される(1)～(4)
に示す知識による推論から生成される。す
なわち、(2)の流動分岐に関する知識を
用いて、解析対象フレームから分割形状フ
レームを推論生成し、(3)の形状タイプ
に関する知識を用いて、分割形状フレーム
から形状タイプフレームを推論生成し、
(4)の基本解析モデルの引き当てに関す
る知識を用いて、形状タイプフレームから
基本解析モデルフレームを推論生成する。
そして、(1)基本解析モデルに関する知
識を用いて、基本解析モデルから実行可能
なプログラムを生成するのに必要な情報を、
基本解析モデルフレームに設定する。

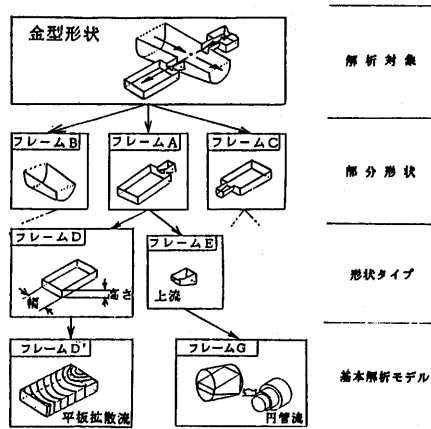


図5.1 解析モデル合成過程のフレーム階層構造

5.2 知識の内容

5.1節で示した(1)～(4)の知識の内容について述べる。

(1) 基本解析モデルに対する知識

基本解析モデルに関する知識は、全ての知識の前提となる知識である。図5.2に、本システムで用いている基本解析モデルに関する知識を示した。

基本解析モデルには、円管流モデル、平板流モデル、平板拡散流モデルの3種類がある。各モデルの流動現象上の相違は、流動方向性、すなわち樹脂が平行に流れるか、放射状に拡散して流れるか、及び、流動する形状が薄板状であるか、厚みのある立方状であるか、である。また、各基本解析モデルの前提条件は、上述した流動方向性、流動形状以外は共通であり、流動する樹脂の流量が一定で、かつ、樹脂と金型壁面の接触面積も一定である。各基本解析モデルは、上述の流動要因をとり込んだ計算座標系をもつプログラムに対応しており、図5.2に示す入力項目を設定すると、粘度、温度、圧力、流速分布を出力する。

例えば、円管流モデルの場合、入力項目

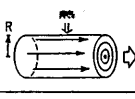
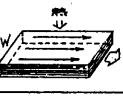
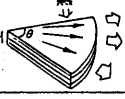
名称	円管流	平板流	平板拡散流
モデル			
前提条件	部分形状 立方状 流動方向 平行	部分形状 薄板状 流動方向 平行	部分形状 薄板状 流動方向 放射状
入力項目	樹脂ts () 流量 Q () 樹脂 R () 型予熱温度 () 圧力 () 熱拡散率 () 比熱 () 形状抵抗 () 樹脂特性 () 初期粘度 ()	樹脂ts () 流量 Q () 樹脂 W () 樹脂 H () 型予熱温度 () 圧力 () 熱拡散率 () 比熱 () 形状抵抗 () 樹脂特性 () 初期粘度 ()	樹脂ts () 流量 Q () 樹脂 W () 樹脂 H () 型予熱温度 () 圧力 () 熱拡散率 () 比熱 () 形状抵抗 () 樹脂特性 () 初期粘度 ()
出力	粘土、温度、圧力、流速 各分布		

図5.2 基本解析モデル

は以下ようになる。

- ①金型全体における分割部分の位置から決まる流量、分割部分の体積を流量で割ることによって求まる樹脂の通過時間
- ②分割部分の形状から決まる樹脂流動半径
- ③成形条件である型温、予熱温度、圧力
- ④材料特性のうち、材料により一意に決定される密度、熱拡散率、比熱
- ⑤樹脂の粘度特性値

(2) 流動分岐に対する知識

流動分岐に対する知識は、樹脂流れの流線を設定し、流線変化点で形状を分割するための知識である。すなわち、金型内の樹脂の流れの分岐点で形状分割を行うための知識である。これは、基本解析モデルの制約から、樹脂の流量が一定となるように、金型形状を部分形状に分割するためである。

(3) 形状タイプに対する知識

形状タイプに対する知識は、分割部分に形状タイプを引き当てるための知識である。形状タイプは、基本解析モデルへの引き当て可能な形状である。形状タイプが決まると、基本解析モデルを引き当てるために必要な情報、すなわち、流動半径等の形状パラメータを計算することができる。

(4) 基本解析モデルの引き当てに対する知識

基本解析モデル引き当てに対する知識は、分割部分の形状パラメータ値と分割部分間との関係から、分割部分に基本解析モデルを引き当てるための知識である。すなわち、樹脂と金型壁面の接触面積が一定(樹脂と金型の熱の収支が一定)と見なせる分割部分であるかを判断するための知識である。

5.3 解析モデル合成の処理系と処理概要

解析モデル合成の基本的な処理系を、形

形状分割、形状割当、モデル決定の3つの要素から構成することにした。以下に、その内容を示す。

(A) 形状分割…金型内を流れる樹脂の流線を設定し、流線の変化する地点で形状を分割する。

(B) 形状割当…登録してある形状タイプに分割する。

(C) モデル決定…分割部分にあてはまる基本解析モデルを決定する。

図5.3を用いて、解析モデル合成過程の処理概要を説明する。金型形状、成形条件等が入力されると、形状分割により、金型内を流れる樹脂の流線が設定され、金型形状が、流量一定な部分に分割され、分割部分を表わすフレームA, B, C, …が生成される。次に、形状割当では、フレームA, B, C, …で表わされる分割部分について、予め登録されている形状タイプを割当て、フレームDで示すように、形状特徴(形状パラメータ)を項目(スロット)にもつフレームが生成される。2つの形状タイプから成る分割部分A(フレームA)は、2つの形状タイプに再分割され、フレームD, Eが生成される。次に、モデル決定では、フレームD, Eで表される形状タ

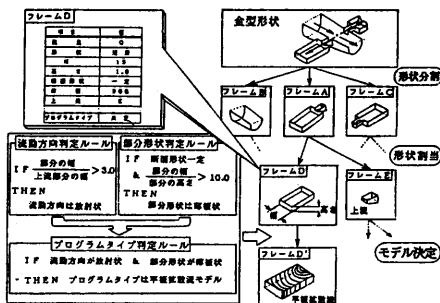


図5.3 解析モデルの合成過程

イプに応じた基本解析モデルである平板拡散流モデル、円管流モデルが引き当てられ、フレームD', …が生成され、モデル化の情報を保持する。形状タイプD(フレームD)から、平板拡散流モデルD'(フレームD)が生成されるときに、使用されたプロダクションルールの例を図に示す。

以上のようにして、金型の分割部分にあてはめられた基本解析モデルを結合することにより、金型全体の解析モデルを合成することができる。

6. 技術水準

MOLDFLOW(MOLDFLOW社)等のプラスチック流動解析システムが市販されているが、半導体プラスチックパッケージ用の熱硬化性樹脂を取り扱うことができない。さらに、本システムのように、プログラムを組合せて複雑な解析を行えるように解析モデルを合成し、プログラムを自動結合することもできない。

7. おわりに

半導体プラスチックパッケージの成形歩留の向上と金型開発期間の短縮を目的としたLSIパッケージング金型用流動解析エキスパートシステムの解析モデル合成方式の開発を行った。

(1) 金型流路形状の特徴に応じて、プログラムの組合せで、金型全体の流動解析を行える解析モデル合成方式の考え方を示した。

(2) 解析モデルの合成過程をフレームの階層構造で表現し、形状分割、形状割当、モデル決定の3段階で、解析モデルを合成する。

参考文献

- (1) 杉野, 赤坂: 「LSIパッケージング

モデル合成形流動解析システム」，精密工
学会春季学術講演会論文集，P849.

(2)J. Saeki & A. Kaneda, : "A Practical
Method for Analyzing Mold Filling
Dynamics fo Thermosels", Proceedings
1Xth International Congress on
Rheorogy, pp679-685, 1984.

(3)佐伯，金田：「流動・硬化特性解析装
置による低圧トランスファー成形用エポキ
シ樹脂の管内粘度変化」，高分子論文集，
Vol.45, No.9, pp691-679(1988).

(4)J. Saeki & A. Kaneda: "Simulation
of Balanced Filling in a Multi Cavity
Mold for Encapsulation of
Semiconductor Divices,"4th Annual
International Polymer Processing
Society Meeting, May 1988.