CAE

大 塚 弘 己*

1. はじめに

ハードウェアの低価格・高性能化を追い風に、CAE に対する関心と期待が高まっており、業界関連誌の特集や各種のセミナーにおいて、多くの導入事例や活用法が紹介されている。また、精密成形品¹⁾あるいは大型成形品²⁾への適用事例を見て、CAE の導入を推進するケースも多くなっている。しかし、裾野が広がる一方で、「うまく使えない」、「実測値と合わない」と頭を抱える担当者も少なくない。CAE を活用するためには多くの知識・経験を必要とされることが主因であるが^{3), 4)}、要求・期待されている精度と市販されている解析ソフトの精度との間に、隔たりがあることも無視できない。相変化を伴う複雑な近似式の確立と膨大な演算処理が不可欠であることを考慮すれば、精度向上のためには今後も多くの努力が必要と思われる。そこで、2001 年の学会発表や論文・解説記事の中から、筆者が特に興味を持ったものを紹介する。

2. 射出成形 CAE

比較的高精度な解析が可能になっている樹脂流動解析に関連して、村田ら^{5), 6)}はベンチマークテストのための検証結果(図 1, 2)を報告している。ポリプロピレン・汎用ポリスチレンの充填パターンだけでなく、樹脂流量・ノズル温度や樹脂圧力の経時変化および温度分布が開示されていることから、手持ちの解析ソフトで検証されることを勧めたい。実際にベンチマークテストを行うためには、成形条件の設定や計測方法について多くの検討が必要であり、その実施には多大な費用と時間が要求される。今後も、このようなデータベースが公開されることによって、容易にベンチマークテストを行うことが可能になることを期待したい。なお、射出開始時の応答性や圧力の切換え方法、あるいはガスの排出抵抗の影響によって、再現性に限界があることを考慮して解析結果との比較を行いたい。

近年、普及が著しい三次元流動解析について、井上ら⁷⁾はランナー部で負の曲がり損失が生じることを報告している。樹脂流動解析の三次元化によって、従来は評価が困難であった様々な流動現象に対して、理論的な解釈が深まりつつあることが感じられる。また、Ilinca ら⁸⁾は、保圧・冷却工

程を含めた三次元流動解析において、粘度・PvT モデル他の影響を報告している。これまでに報告されている流動先端の表現手法と併せて、Hele-Shaw 近似では表せなかった現象を正確に予測できることを期待したい。ガスアシストや発泡成形の分野においては三次元化が不可欠と思われるが、Haagh ら⁹⁾はリブ部における肉厚分布の検証結果を、三谷¹⁰⁾は偏肉パネルを用いた発泡流動の検証結果を報告している。

一方、期待先行の感がある収縮・そり変形解析においては、特に変形量が大きく問題となりやすい繊維強化材について、射出成形品の層構造の解析結果を山下ら^{11), 12)}が報告している。ガラス繊維で強化された PA 6 について線膨張係数の異方性を評価し、流動・繊維配向解析結果を考慮した熱応力解析結果と比較した結果(図 3, 4)から、簡易な 3 層構造の数値解析モデルでもそり変形挙動を定性的に予測できること、ガラス繊維の充填割合によって配向層の構造が変化することを立証している。また、山本¹³⁾は粒子シミュレーション法(図 5)が様々な充填材の運動解析に有効であることを報告し(図 6)、野村ら¹⁴⁾は同じく粒子シミュレーション法でガラス繊維の破断を予測している。変形に影響する層の分布と併せて、充填材の配向予測精度が向上すれば、そり変形解析の精度が大幅に向上すると思われる。また、藤田ら¹⁵⁾の力学的特性の予測や瀬戸ら^{16), 17)}の物性値予測技術、Guo ら¹⁸⁾の結晶化の影響に関する研究報告も興味深く、これらの研究成果が CAE 解析へ適用され、定量的な精度が向上することを期待したい。

図 1 検証用傾斜肉厚・障害ピンキャビティの形状⁵⁾

* Otsuka, Hiroki
ポリプラスチック(株) テクニカルサービスセンター
富士市宮島 973 (〒416-8533)
2002. 5. 13 受理

3. 押出・ブロー CAE

例年、学会発表では射出成形 CAE を上回る勢いがある押出関連の CAE は、2001 年も多くの研究成果が報告されている。スクリュー部の混練に関しては、木原ら^{19), 20)}がマーカーを用いた追跡実験の結果をもとに、二軸スクリュー押出機内の分散混合過程の三次元シミュレーションプログラムを開発し、スクリュー形状の評価を行った結果を報告している。さらに、樹脂のほとんどが溶融すると考えられるニーディングブロック部について、ミキシングエレメントの設計への活用例²¹⁾を報告している（図 7, 8）。また、ピン付スクリューの混練効果も三次元シミュレーションが可能になっており²²⁾、これらの結果を考察することによって、混練のメカニズムがさらに解明されることを期待したい。また商業的には、有限体積法を拡張した動的マルチブロック

図 2 PP の樹脂圧力測定結果⁵⁾

図 3 ガラス繊維の配向解析結果¹¹⁾

法を応用した三次元の非定常熱流体解析機能を持つソフトが開発されている²³⁾。ダイ近辺に関しては、Tubagus ら²⁴⁾が壁面のすべりの影響を考慮した三次元の数値解析を行い、ダイ設計に活用した例を報告している。また、岩田ら²⁵⁾によって、付加粘性を導入した分割型有限要素法で円管ダイスウェル流動解析を行い、その収束性を改善する独自の手法も提案されている。ブロー成形の分野では、McCullough ら²⁶⁾が検証解析・実験を行って、ダイスウェルがパリソンの肉厚分布に及ぼす影響を報告している。また、Marckmann²⁷⁾らは、取手付ボトルの肉厚分布を AMR (Adaptive Mesh Refinement) 法で予測し、実測値と比較した結果を報告している（図 9）。実際の傾向をよく予測している部分もある（図 10）ことから、ブローアップ前後の肉厚分布の相関性に着目した研究が、今後もさらに進展することを期待したい。なお、ソフトウェアの最新動向は業界誌の特集記事を参照していただきたい^{28), 29)}。

図 4 そり変形状態の比較結果（平板 3 mm, リブ 2 mm, ガラス繊維 30 wt%, 流動直角方向）¹¹⁾

図 5 結合状態の模式図 ((a)stretching, (b)bending, (c)twisting)¹³⁾

図 6 長方形粒子が分散したマイクロ構造（濃度 5 vol%）¹³⁾

4. その他

ここ数年、金型設計や成形条件の最適化へのCAE活用も多く提案されている。樹脂流動解析は構造解析と比べて計算時間が長くなりやすいことから、いかに計算回数を少なくして最適解に到達するかが重要となるため、高藤ら³⁰⁾や田村ら³¹⁾は遺伝的アルゴリズムを用いた手法を提案している。ランナーのレイアウト変更と径の最適化(図11, 12)やランナー体積の考慮など、これまで勘と経験にたよって

いた過程を、一定のアルゴリズムで代替している。解析担当者の力量に左右される現状のアウトプットが、コンピューター自身によってレベルアップできる点が興味深い。商業的にも、様々な最適化・サンプリング手法を選択できる最適化ソフトと樹脂流動解析ソフトとを組み合わせることによって、ゲート・ランナーレイアウトの最適化から³²⁾、仮想成形と実成形を統合して成形条件の最適化までも可能にする取り組み^{33), 34)}が行われている。現状の解析精度や費用対効果を考慮すると、うまく適用できるケースは限られる可能性があるものの、今後の進展と普及について注意深く見守っていききたい。

5. おわりに

「試作レスで量産型を起工する」、「コンカレントに開発をすすめる」ことを目的に、「収縮率や変形量を定量的に推定する」ためのツールとして、CAEが導入されるケースは益々増大すると思われる。解析ソフトの機能ばかりに気を取られて、解析精度の検証や基本的なアルゴリズムの理解をおろそかにすることは是非とも避けたいものである。そのためにも、これからCAEに取り組む方や、基本から勉強し直したい方には、連載講座「射出成形に及ぼす樹脂流動特性の影響」³⁵⁾を一読されることを勧める。

図7 スクリュ形状²¹⁾

図8 混合係数の計算結果例²¹⁾

図9 ブローアップ後の肉厚減少率分布²⁷⁾

図10 肉厚分布の比較検証結果²⁷⁾

図 11 目的関数と充填時間の変移³⁰⁾

図 12 ゲート・ランナーの変更過程³⁰⁾

参 考 文 献

- 1) 佐藤弘次, 柳 秀一, 首藤義人, 植田祐治, 住田 真, 東野俊一: 成形加工, **13**(1), 55 (2001)
- 2) 荻野輝明, 澤江慎一, 菅原多加志: 型技術, **16**(7), 100 (2001)
- 3) 吉野隆治: プラスチックスエージ, **47**(3), 115 (2001)
- 4) 米川 太: プラスチックス, **52**(3), 18 (2001)
- 5) 村田泰彦, 横井秀俊: 成形加工 '01, 17 (2001)
- 6) 村田泰彦, 横井秀俊: 成形加工シンポジア '01, 67 (2001)
- 7) 井上良徳, 松岡孝明: 成形加工, **13**(7), 490 (2001)
- 8) Ilinca, F. and Hetu, J. -F.: *International Polymer Processing*, **XVI**(9), 291 (2001)
- 9) Haagh, G. A. A. V., Peters, G.W.M. and Van De Vosse, F. N. and Meijer, H. E. H.: *Polymer Engineering and Science*, **41**(3), 449 (2001)
- 10) 三谷徹男: 成形加工 '01, 149 (2001)
- 11) 山下勝久, 野々村千里, 山田敏郎: 成形加工, **13**(6), 200 (2001)
- 12) 山下勝久, 野々村千里, 丹下章男, 山田敏郎: 成形加工 '01, 19 (2001)

- 13) 山本 智: *Journal of Society of Rheology, Japan*, **29**(4), 185 (2001)
- 14) 野村壮史, 山本 智, 松岡孝明: 成形加工 '01, 21 (2001)
- 15) 藤田章洋, 馬場文明, 石田 大, 仲井朝美, 濱田泰似: 成形加工, **13**(10), 700 (2001)
- 16) 瀬戸雅宏, 山部 昌: 成形加工 '01, 251 (2001)
- 17) 佐藤和人, 瀬戸雅宏, 山部 昌: 成形加工シンポジア '01, 221 (2001)
- 18) Guo, J. and Narh, K. A.: *Polymer Engineering and Science*, **41**(11), 1996 (2001)
- 19) 木原伸一, 高山徹進, 山浦将智, 辻 哲治, 船津和守: 成形加工 '01, 37 (2001)
- 20) 石川 健, 天野太郎, 木原伸一, 船津和守: 成形加工 '01, 41 (2001)
- 21) 山浦将智, 辻哲治, 木原伸一, 船津和守: 成形加工シンポジア '01, 103 (2001)
- 22) Yao, W.G., Tanifuji, S., Takahashi, K. and Koyama, K.: *Polymer Engineering and Science*, **41**(6), 908 (2001)
- 23) 吉川秀雄, 佐藤武志, 竹田 宏: “二軸スクリュ押出機内樹脂流動解析システムの開発” 情報処理進行事業協会・平成10年度情報ベンチャー事業化支援ソフトウェア等開発事業に係る発表論文集 (2001)
- 24) Nouval Haedar TUBAGUS, 塩原真由美, 島田喜隆: 成形加工 '01, 111 (2001)
- 25) 岩田修一, 新垣 勉, 森 秀樹, 石川敏志, 和気 光: 成形加工, **13**(8), 523 (2001)
- 26) McCullough, M. D. and Heid, C. A.: *Soc. Plast. Eng. Annu. Tech. Conf.*, **59**(3), 3269 (2001)
- 27) Marckmann, G., Verron, E. and Peseux, B.: *Polymer Engineering and Science*, **41**(3), 426 (2001)
- 28) 吉川秀雄: プラスチックス, **52**(3), 40 (2001)
- 29) 田中秀行, 田中 太: 型技術, **16**(2), 45 (2001)
- 30) 高藤昭夫, 久保貴裕, 山根真一, 横山敦士, 濱田泰似: 成形加工 '01, 33 (2001)
- 31) 田村 圭, 横山敦士: 成形加工シンポジア '01, 59 (2001)
- 32) 西浦光一: プラスチックスエージ, **47**(8), 129 (2001)
- 33) 田中豊喜: 計算工学, **6**(2), 277 (2001)
- 34) 春日井賢治, 金岡雅俊: 化学経済, **48**(4), 119 (2001)
- 35) 天野 修: プラスチックス, **52**(6), 118 (2001) 他