

写真フィルムパトローネのCAEによる設計

Design of Photographic Film Cartridge Using CAE

伊藤 孝* 岩田 英嗣* 田尻 英彦*
Itoh, Takashi Iwata, Eiji Tajiri, Hidehiko

Recently, various photographic film formats and functions have been developed. For our development, we have used CAE(Computer Aided Engineering) to design a press punch and selected material in a shorter time than ever before, and without the need to construct a test machine.

As an example, this report presents the design of a photographic film cartridge using CAE. We simulated the press capping process, which influences the functioning of a cartridge, in order to find the most appropriate forming conditions. This was followed by confirmation of the adequacy of the simulation method and results.

1 はじめに

近年、包装形態は感光材料においても、当社の撮りきりMini用のフィルムパトローネや環境対応の樹脂缶のように、ユーザーニーズに合わせて多様化・機能向上が進んでおり、そのためこれらの設計・加工技術を短期に開発し、市場に提供することが要求されている。そこで、このような要求に対応するツールとして注目されているのがCAEであり、この活用により材料選定・金型設計などを試作無しで行うことが可能になった。

本報告では、CAEを用いた設計開発の事例として、写真フィルムパトローネの設計を取上げて紹介する。

2 写真フィルムパトローネの設計プロセス

2.1 パトローネの基本設計

包装材料の設計開発は、通常以下のプロセスを経る。

- ① 基本機能の把握
- ② 形状寸法の設計
- ③ 材料及び加工方法の選定と加工条件の探索
- ④ 量産技術の確立

パトローネの場合は、キャップ・金属胴・スプールの3部品で構成されており(Fig.1)、その基本機能はフィルムの収納・遮光・給送(カメラ内)・取出し(現像処理時)の4つである。ここでは、各部品を締結・保持して機能上の要となるキャップを例に説明する。

・基本機能の把握

パトローネの機能中、キャップ自体に関連する機能は、

- (a) 遮光性 : キャップと胴の結合部の密着性・強度、スプールとボア部のクリアランス
- (b) 取出し性 : キャップ取はずし力(現像処理時)

でありこの条件により製品品質基準を設定する。

・形状寸法の設計～量産技術の確立

* 感材生産本部 生産技術センター

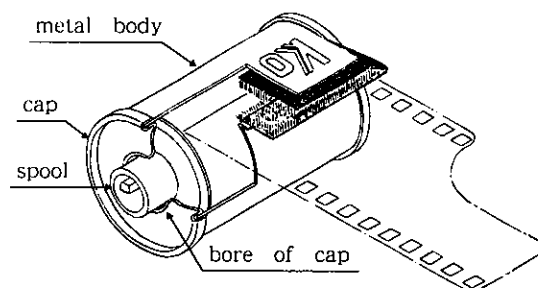


Fig. 1 Composition of cartridge

キャップの基準形状寸法は、ISO規格を前提に③項に関連する因子のパラメータ設計を行って、基本機能がロバストネスに発揮できる最適条件に絞られる。

2.2 CAEによる設計開発

材料及び加工方法の選定と加工条件の探索は前述のようにパラメータ設計を行うが、キャップの金属加工は材料変形が非線形であるため、従来の設計では経験や試行錯誤に依存せざるを得ず、短期開発が困難であった。これに対してCAEを用いた設計では、コンピュータ上にモデルを作成し、シミュレーションで③項を評価して最適条件から④項が得られる。これにより、試作装置の製作や試験時間を短縮することができる。

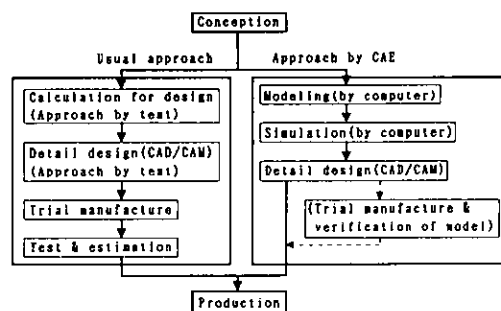


Fig. 2 Process of design by CAE

2.3 加工プロセスの評価

キャップの量産条件の確立には、成形加工（プレス加工）と組立加工（かしめ加工）の加工条件を決定する必要があり、ここではCAE（非線形構造解析）を使用してパトローネ機能により大きな影響のあるかしめ加工について、

- (a) キャップ形状と加工力の関係
 - (b) 加工力と加工ポンチに発生する応力の関係
- の最適化を図ると共に解析の妥当性も評価した。

3 かしめ加工の解析

かしめ加工における前述の(a)(b)問題をCAE解析するために、有限要素法（FEM）を用いた非線形構造解析プログラム（MARC）で加工状態の進行とキャップの変形状態の相関及びかしめポンチにかかる加工荷重の相関を求めた。また加工荷重解析結果を基にFEM線形解析プログラム（ANSYS）を用いて加工ポンチ形状を設計した。

3.1 解析プログラムの選定

加工状態の進行とキャップ変形の相関を求めるために、弾塑性・大変形問題を扱う必要があり、大変形問題を定式化するには、オイラー方式とラグランジュ方式がある。ラグランジュ方式は、空間に固定したデカルト座標系を変形前物体内の任意の点Pが占める座標を持って指定し、以後この物体が変位し変形するにつれてこの点の運動を記述する。構成則が現在の歪や変形の履歴に依存する場合及び自由曲面が存在する場合（特に自由表面に分布荷重が加わる場合）にこの方式が有効である。

MARC内部ではトータルラグランジュ法・アップデートラグランジュ法をサポートしている。前者はメッシュ分割の座標値が変形後も同じままであり、後者は各ステップでの解析終了時点でメッシュ分割の座標値が更新される。今回のキャップの加工解析では、金属薄板の大歪塑性問題となるためアップデートラグランジュ法が適していると判断した。本方法は、ラグランジュ方程式における仮想仕事式の時間微分をとり、変形した状態を基準状態としてX座標系における以下の構成則が得られる。

$$\int_V [\sigma_{ij} \delta D_{ij} + \sigma_{ij} \frac{\partial v_k}{\partial x_i} \frac{\partial \delta u_k}{\partial x_j}] dV = \int_V \dot{q}_i \delta u_i dV + \int_S \dot{c}_i \delta u_i dS$$

- σ_{ij} : コーシー応力のトルーズデル速度
- σ_{ij} : 応力
- \dot{q}_i : 体積力増分
- u_i : 変位
- \dot{c}_i : 表面力増分

また加工ポンチ形状の設計においては、ポンチ部材はフックの法則に従う弾性域での解析とし、簡便に利用で

きる点からANSYS-PCを用いる。

3.2 キャップ形状・加工力の解析

以下の仮定を設けて解析モデル（Fig.3）を設定した。

- ・軸対称問題である
- ・準静的解析を用いる
- ・ダイ・パンチ・芯押えは剛体とする
- ・摩擦係数（ μ ）を考慮する
- ・キャップは本加工以前の加工硬化履歴を無視する

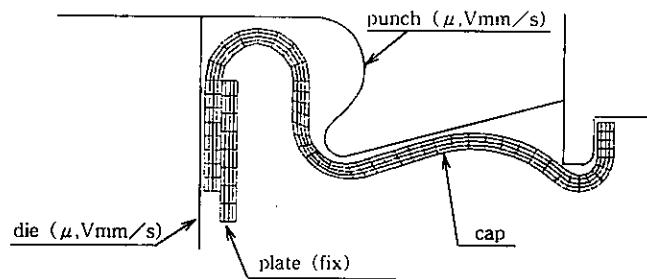


Fig. 3 FE model

キャップの加工状態を

- (1) A～B間：キャップのみを押し広げている区間でU字部の内側のみ加工される。
- (2) B～C間：キャップのU字溝部がつぶれ金属洞をはさみこみ、これらが一体となって外側へ加工される。
- (3) C～D間：パンチとダイの間でキャップU字部と金属洞が圧着される。

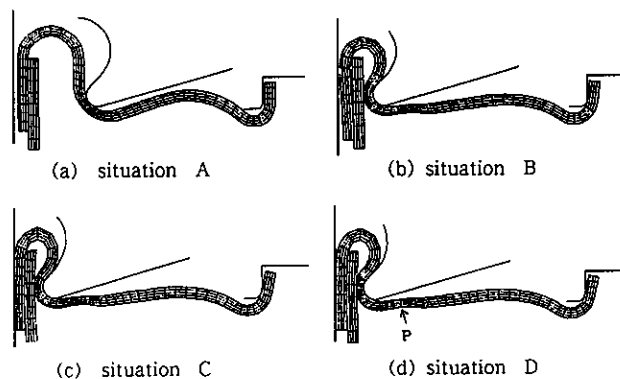


Fig. 4 Transition of process

という3区間に分けて考えた場合、キャップ形状はFig.4の様に加工程度Aから加工終了状態Dに移行する過程においてP部に若干の薄肉化が発生していることが判る。またポンチ加工力（Fig.5）は、B～C間において急激に増大していることが判る。この解析により、従来は定量化し難かったポンチストロークと加工力を把握することが可能となった。その結果、加工条件としてはストロークの安定化・過大荷重を除去する構造の付加が必要であることを確認できた。

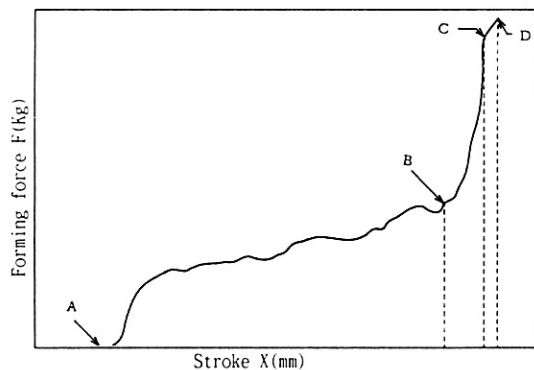


Fig. 5 Forming force of punch

3.3 加工ポンチ形状の解析

上記解析から求められたポンチ加工力を基に、ポンチ1つ当たりの角度・各ポンチに荷重を加える部位・ポンチ首細部の寸法をパラメータとしてポンチ形状モデル (Fig.6)を設定し解析を行った。解析の結果ポンチ首細部の寸法が最も加工力の影響を受けることが判ったが、キャップ加工形状はISO規格で規定されているため寸法設定には制限がある。そこで他のパラメータを調整項として再解析し加工力と耐久性のバランス点を求めた。この結果、応力解析 (Fig.7)を用いることで試作・実験を行わずに、十分な耐久性を持つポンチ形状を短時間で最適設計できることが判った。

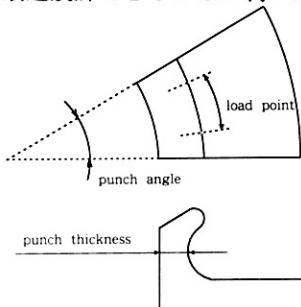


Fig. 6 FE model

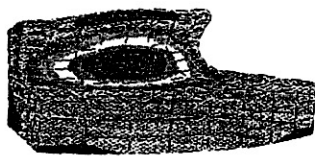


Fig. 7 Stress distribution

4 解析の検証

CAEによる解析結果を設計データとして汎用性を持たせるためには実際の加工との整合性の確認が必要である。そこで解析の妥当性の検証結果を以下に示す。

4.1 キャップ形状

実際に加工したキャップの断面形状を Fig.8 に示す。

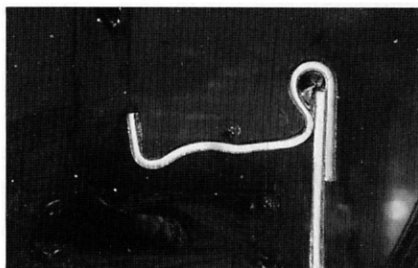


Fig. 8 Section of cartridge cap

次に Fig.9 にこのキャップの断面形状とシミュレーションによる変形後形状との比較を示す。この図より、実際の加工とシミュレーションの間に大きな違いは見られず、シミュレーション結果は実際の加工をほぼ忠実に再現していると見て良いと考えられる。

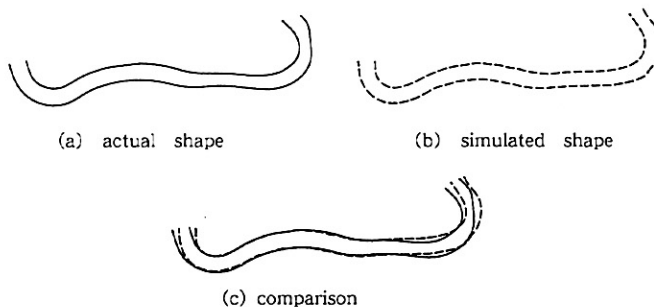


Fig. 9 Sectional shape of cartridge cap after press process

4.2 かしめポンチ

シミュレーションにより得た最適モデル条件のかしめポンチの最大応力値とポンチ材料の圧縮-引張り荷重の繰り返しによる金属疲労曲線を Fig.10 に示す。Fig.10 より最適ポンチの加工耐用回数は 10^6 以上であることが推定される。この結果に基づき設計製作したポンチで耐久テストを行なったところ 10^7 回の繰り返し負荷に耐えることが確認されたので、シミュレーション結果の妥当性が評価できた。

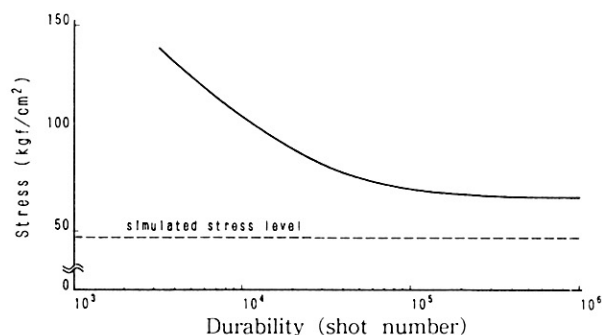


Fig. 10 Durability of punch material VS. maximum stress by press process

5 むすび

以上紹介したように、CAE (非線形の構造解析) を用いて、試作なしで短期に信頼性の高いかしめ用パトローネキャップの設計を進めることができた。さらに、加工性の検討により、パトローネの品質・機能向上に寄与するかしめ加工技術を検証することもできた。

今後も、さらに他の分野へ CAE による設計開発を広げ、市場ニーズに短期で答える技術開発を進めたい。

●参考文献

- 1) 鷲津久一郎 他: 有限要素法ハンドブック I 基礎編
- 2) 日本マーク株式会社: User Information Vol.A