

# ペットボトルのキャップ打栓工程シミュレーション

The simulation of the PET bottle cap inserting

西村敬一\*1) 田中剛太\*2) 野村賀寿雄\*1) 三橋正典\*1)

Keiichi NISHIMURA, Gouta TANAKA, Kazuo NOMURA, Masanori MITSUHASHI

プラスチック製品の嵌合問題のシミュレーション技術を確立するため、ペットボトルキャップの打栓工程の解析を行った。嵌合問題は接触を含む複雑で困難な解析対象であったが、検証実験との比較も良好で、実用的なシミュレーション技術として確立できることが確認できた。対象製品の嵌合によって解析の難易度は異なるが、本技術を製品企画設計で有効に活用できると思われる。

## 1. 緒言

近年、プラスチック製品の高機能化、高品質化の要求から、各部品を組み合わせて最終製品にする場合が多くなってきている。このような製品では各部品間の嵌め合わせ(嵌合)が重要な特性となる。今回取り上げたペットボトルの打栓工程もボトルとキャップの嵌合をきつくすると打栓に必要とする力が大きくなり、機械の能力をオーバーする場合がある。一方、嵌合をゆるくするとキャップの脱落や漏れなどが発生しやすくなる。そこで、ペットボトルのキャップ打栓工程を接触を含む大変形問題として有限要素解析する方法を検討した。

## 2. 解析モデルの作成及び解析結果

### 2.1 供試品

供試品ペットボトル写真をFig. 1に示す。このボトルは食用油の充填用であり、キャップはポリエチレン製2重キャップになっている。写真中、左側はペットボトルで、中央は二重キャップを装着した状態、右側は外側キャップをはずした状態である。Fig. 2はボトル口部とキャップの

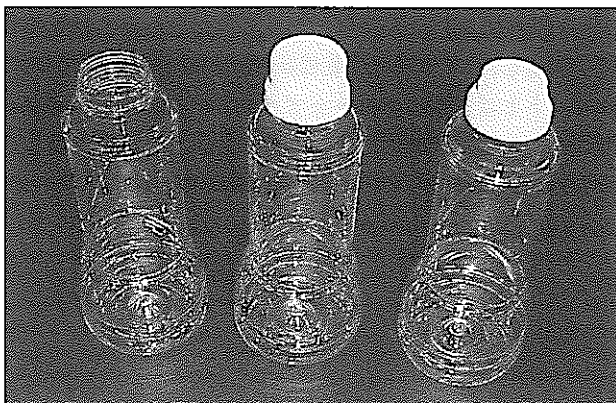


Fig.1 The picture of the petbottle and the cap

2次元図面を示したものである。

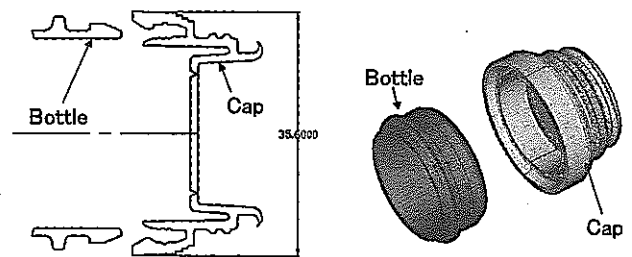


Fig.2 The geometry model of the cap and the petbottle

### 2.2 有限要素モデルの作成

Fig. 2に示す2次元図面を汎用有限要素法プログラム(MARC)専用プリポストプロセッサのMENTATに取り込み、Fig. 3に示す有限要素モデルを作成した。実際の打栓工程では、二重キャップの上部から圧板で打栓するが、ボトルとは、下側キャップのみが嵌合するため、上側キャップは省略し、図中の剛体に強制変位を与えた。なお、この形状は軸対称問題として近似できるため、X座標における負の部分は削除し、X軸を対称軸とする2次元軸対称としてモデル化した。

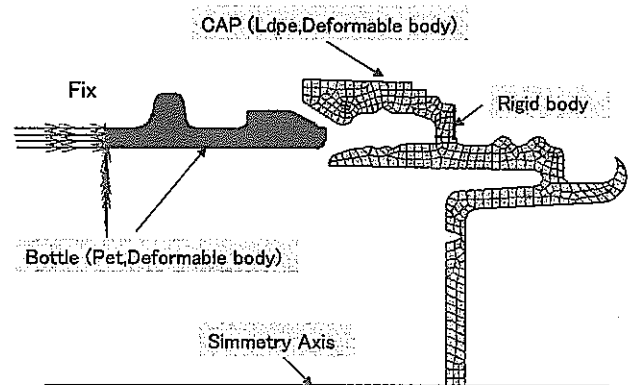


Fig.3 The finite element model of the cap and the petbottle

\*1) 高分子技術チーム

\*2) 三笠産業(株)

2.3 解析方法

3種類の接触ボディを定義し、接触を有する大変形—アップデートラグランジェ法で解析した。使用したプログラムは、汎用有限要素法プログラムMSC.MARC.2000である。キャップとボトルは変形可能な接触ボディ（変形体）として定義し、接触面にクーロン摩擦係数を設定した。上側キャップが下側キャップに接触する部分は変形しない接触ボディ（剛体）とし、各増分ごとに0.1mmの強制変位を与え、剛体が各位置で受ける荷重を打栓力とした。

キャップ用樹脂としては低密度ポリエチレン樹脂スミカセンG701（住友化学）、ペットボトル用樹脂としてユニチカポリエステルNEH-2050（ユニチカ）を使用した。なお、打栓荷重に影響を与えると思われるキャップ用樹脂は、引張弾性率と引張速度の関係をTable. 1のように求め、検証実験で採用した打栓速度100mm/分に相当する引張速度のデータを使用した。解析条件をTable. 2に示す。

Table 1 The relation between Young's modulus and tensile speed

1 mm/min	10mm/min	100mm/min
105MPA	125MPA	146MPA

Table 2 Analysis conditions and material data

Analysis conditions		Contents
Used Elements		Arbitrary Quadrilateral Axisymmetric Ring Element MARC Element No10
Materials	Cap	Resin Type Low Density Polyethylene Resin Name: Sumicasen G701 Young's Modulus: 146 Mpa Poisson's Ratio: 0.3
	Bottle	Resin Type: Polyethyleneterephthalate Resin Name: Unitika Polyester NEH-2050 Young's Modulus: 1200 Mpa Poisson's Ratio: 0.3
Analysis Method		Large-displacement Update-lagrange Method Contact Analysis

2.4 解析結果

Fig. 4はキャップとボトル間に摩擦がない状態で剛体に強制変位を与えたときに剛体を受ける荷重変化を示す。図中の上部は、各打栓位置の変形状態を示すが、キャップがボトルのテーパ部を乗り越えるときに最大荷重になっている。Fig. 5はキャップとボトルの接触面に摩擦が存在した状態の荷重変化を示しているが、摩擦係数が大きくなるにしたがって打栓荷重も大きくなっている。図中上部は、最大荷重時の摩擦係数0と0.15の変形状態を示している。摩擦係数0.15ではキャップの変形が大きくなっている。

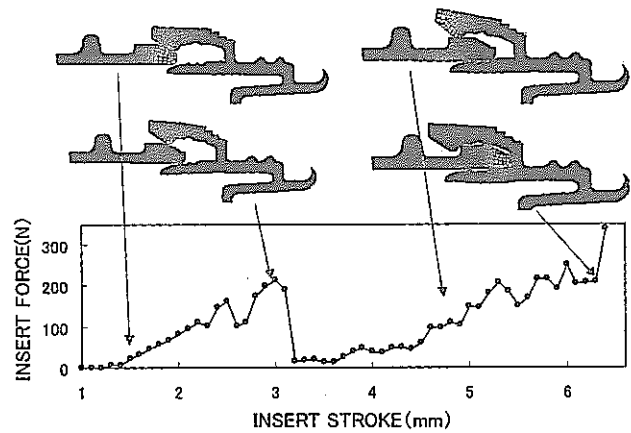


Fig.4 The displacement and force of the cap inserting analysis(friction coefficient 0)

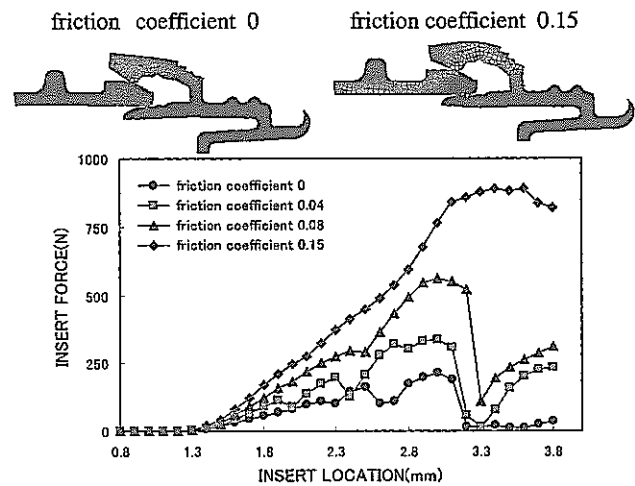


Fig.5 The force and displacement of the cap inserting analysis in the different friction coefficient

3. 検証実験

Fig. 6のようにボトル首部を固定する治具を作成し、その治具を圧縮試験機に取り付けてキャップ装着時の打栓荷重を測定した。打栓速度は100mm/分である。また、キャップを打栓する条件としてはドライとウェットの2種類の状態で測定した。ドライとは乾燥状態における測定を意味し、ウェットとは食用油をキャップとボトルに塗布した測定を意味している。実験は2回に分けて行い、測定値は押し込み力の最大値で表している。Table. 3にその結果を示すが、測定値にはかなりのバラツキが認められた。



Fig.6 The apparatus for the cap inserting test

Table 3 The peak force of the cap insert experiment

	EXPERIMENT 1st			EXPERIMENT 2nd	
	DRY	WET		DRY	WET
	[UNIT:N]			[UNIT:N]	
INSERT FORCE	447.5	179.5	INSERT FORCE	528.5	235.5
	422.0	173.5		506.0	225.5
	414.0	179.5		540.0	249.5
	418.5	178.5		513.5	239.0
	375.5	186.0		534.5	242.5
	359.5	204.5		439.5	222.0
	406.5	175.5		452.5	194.0
	462.0	176.5		463.0	248.0
	420.5	181.0		476.0	232.5
	430.5	179.5		465.5	232.5
AVG	415.7	181.4	AVG	491.9	232.1
MAX	462.0	204.5	MAX	540.0	249.5
MIN	359.5	173.5	MIN	439.5	194.0
R	102.5	31.0	R	100.5	55.5
$\sigma$	30.4	8.8	$\sigma$	36.8	16.1

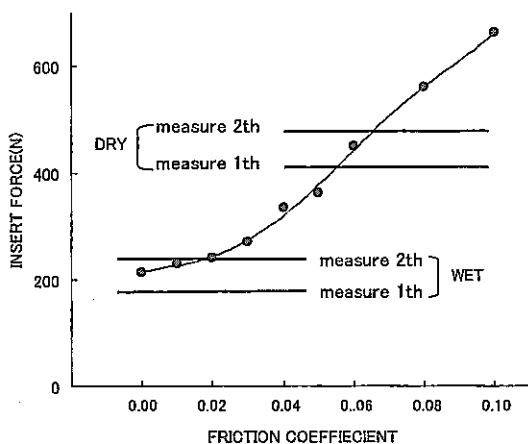


Fig.7 The Insert force of analysis and experiment. Analysis is relation of insert force and friction coefficient. Experiments is insert force of DRY and WET.

#### 4. 解析結果と実測値の比較

Fig. 7 に摩擦係数と最大打栓荷重の関係を示す。また、図中にはドライ及びウェット状態で測定した打栓荷重実測値（ピーク値）を実線の範囲で示した。ウェット状態の実測値は摩擦係数を0とした解析値と、ドライ状態の実測値は、摩擦係数0.06とした解析値と一致した。この解析手法はキャップ打栓工程を十分再現していると考えられた。

#### 5. 設計変更への対応

今回検討した解析手法が設計変更に対してどの程度の有用性があるかについて検討した。検討した内容は、ボトルテーパ部と径の変更である。なお、この解析では、キャップとボトルの摩擦抵抗を0.06として計算した。

Fig. 8 のようにボトルのテーパ部を 2° 変更したとき

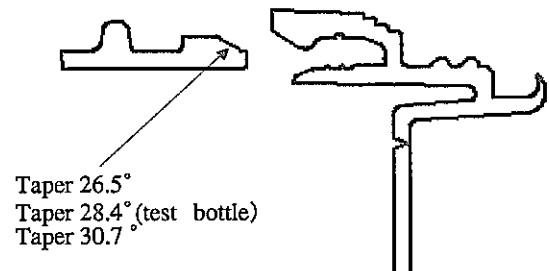


Fig.8 The diagram of the tapered modifications

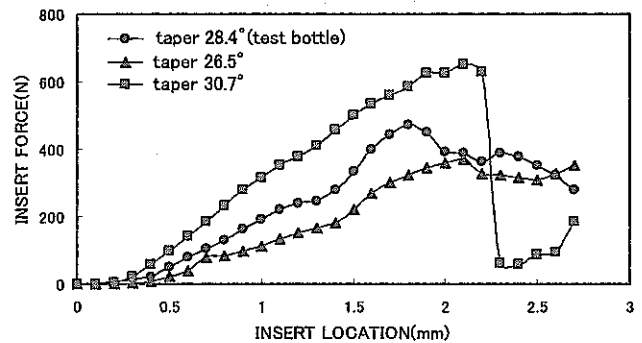


Fig.9 The force of cap inserting analysis in the different tapered angles

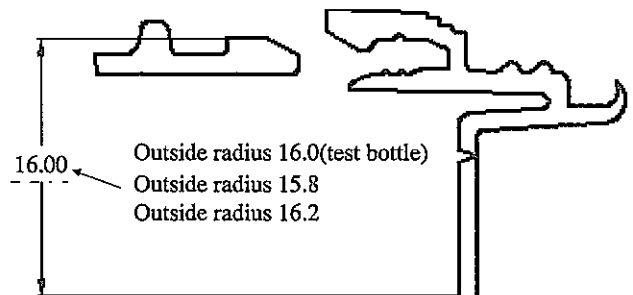


Fig.10 The diagram of the outside radius modifications

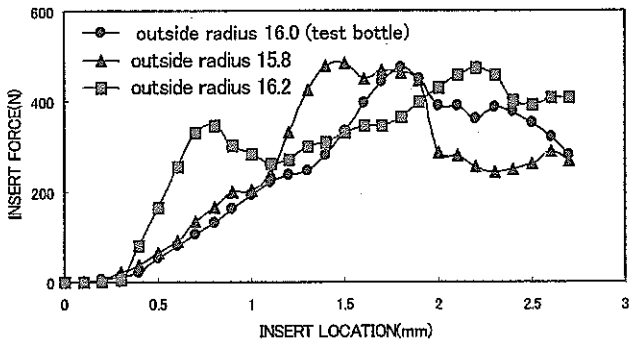


Fig.11 The force of cap inserting analysis in the different outside radius

の解析結果をFig. 9 に示す。2° 前後の角度変更であっても打栓力に大きく影響しているのが分かる。次に、Fig.10 のようにボトル形状を変更せずにボトル半径のみを0.2mm 変更した時の解析結果をFig.11に示す。ボトルとキャップの嵌合位置がずれているため、最大荷重に達する前に嵌合不良による抵抗が発生している。

## 6. 結 言

プラスチック製品の嵌合問題としてペットボトルのキャップ打栓工程を取り上げ、接触を含む大変形問題として有限要素解析する方法を検討した。本研究で開発した手法は大変形と接触を含む複雑な解析手法であるが、検証実験と良く一致し、実際の打栓工程を十分に再現していると考えられた。今後、嵌合を有する機能的なプラスチック製品が増加すると考えられ、それらに対して有効に活用できると思われる。