

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「食品包装機械のフィルムに傷をつけない衛生的な袋成型型の
最適設計と製造法」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社キャンパスクリエイト

第 1 章 研究開発の概要

1－1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1－2	研究体制	4
1－3	成果概要	7
1－4	当該研究開発の連絡窓口	8

第 2 章 本論

2－1	包装フィルムに傷を発生させない高精度な型形状を作成する 解析/設計の研究開発[設計]	9
2－2	高精度な型作製のデータ作成システムの研究開発 [設計生産統合データ]	17
2－3	高精度で合理的な型作製の研究開発[生産]	21
2－4	新包装機の研究開発	24
2－5	プロジェクトの管理・運営	27

第 3 章 研究総括

		28
--	--	----

第1章 研究開発の概要

本研究開発では、食品の包装機械（シート状のフィルムを円筒状の袋に折曲げて袋とし、中にお菓子などの食品を詰める装置）のフィルムを折曲げ成形する型の形状の最適設計と製造方法を確認する。包装機械は、フィルムを型でガイドして折り曲げて円筒状の袋に成形する。このためには高精度の型が必要であるが、現状では型の作製は技術者のノウハウと熟練者の技能を頼りに試行錯誤で作製しているため、精度面で限界がある。このため試作しないで高精度の型を解析計算により求める技術が必要になっている。

我々は、まずフィルムに傷を発生させない高精度な型形状を作成する解析/設計手法を確認する。この解析の対象は薄膜のシートの折曲げであり、一般的な変位の境界条件を使うと徐々に変形させても解が発散して解析ができない。また既存の大変形解析や非線形解析のシステムではキャラクターラインを曲線に適合させる条件下での計算はできない。ここで我々は、力と変位の境界条件を組合せて徐々に形状を作成する方法を研究する。

次に、高精度な型作製のデータ作成システムの研究開発を実施する。解析では、ほぼ最適な形状と折曲り線を得ることができるが、端の要素分割の粗い部分では誤差の影響から折曲り線の変形が見られ、解析での要素分割数は型データに必要なレベルまで細分化できないために、計算結果は細部では補正が必要になる。ここでは数値解析で得られたデータを、高精度の型データに変換する。またこの複雑な計算プロセスを自動化する。

また、上記で研究した設計手法を元に、合理的な型作製方法を検討する。本手法は3次元データ（前項で設計/生産統合データを作成）を現在のCAD-CAM技術に直接結び付けることができる。ここではNC加工、3Dプリンタ（Rapid Prototyping 以下RPと略す）、3次元プリンタの3通りの型作製方法を検討する。

我々は、本研究開発の成果を用い、高精度な型と新制御を用いて新たな包装機を開発する。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 「高度化指針」に基づく研究背景

本研究開発は、「高度化指針」に定める「金型に係る技術に関する事項」の中の、「高度化・微細化」「軽量化」「小型化」「短納期化」「低コスト化」を目標としている。

〔川下業者の抱える課題及びニーズ〕

包装機械はシート状のフィルムを円筒状に折曲げ袋とし、中にお菓子などの食品を詰める装置である。この技術面の課題は包装フィルムを折曲げ成形する型の形状である。型の作製は技術者のノウハウと熟練者の技能を頼りに試行錯誤で何度も作製しているため、試作しないで高精度の型を解析計算により求める技術が必要になっている。

・高精度化・微細化

昨今、中国における、食品への異物混入事件などにより、食品の安全・衛生に注目が集まっている。包装業界へは、フィルムに傷を発生させない安全な設備（鍵は成形の型）への要求が高まっている。

・軽量化、小型化

この成形型は包装する食品毎に取替えが必要である。型は複雑で大型になっている。大型で重い型の取替えは、女性作業員には困難である。

・短納期化、低コスト化

型は食品毎に数多く必要だが、実機で試行錯誤しながら確認/修正を繰り返して作製するので納期は1ヶ月以上である。型製造の合理的なプロセスが確立していないため、新たな袋形状など変化している市場ニーズに対して、対応が困難になっている。またコスト低減が現状では困難である。

1-1-2 研究開発の背景及び当該分野における研究開発動向

包装機械は大きな市場であり、米国、ドイツでは多額の輸出製品となっている。従来は日本の競争力が強く、輸出していたが、この10数年で逆転し、輸入量が増加している。欧米では包装構造の理論の研究が始まっているが、計算できるのは包装形状が簡単な型の一部分に限定され、シール部分の形状などは設計する手法がない。型をCAD-CAMの技術で合理的に作製するシステムではなく、包装業界の主流は経験を主体に型を作製している。ここで独自の合理的な型設計手法を開発すれば、日本のメーカーは再び国際的に進出できるものと思われる。

1-1-3 研究目的及び目標

[研究目的]

食品などの包装機械は包装フィルムに傷をつけないことが安全/衛生上、重要である。包装袋を成形する型は食品毎に交換するため、この型の軽量/小型/低コスト化が必要である。また変化する市場要求から短納期化が要求されている。そのため、高精度な型の設計技術と、低コスト/短納期化を可能とする製造法技術が必要になる。本研究の目的は、現在手作りしている成形型を解析により高精度の型形状の作製を行うことである。データはCAD面に変換し、NC, RP加工で短納期化を実現し、高精度で小型軽量の成形型を商品化する。

[研究目標]

1. 包装フィルムに傷を発生させない高精度な型形状を作成する解析/設計の研究開発 [設計]

・解析の実用化と解析プロセスの自動化

この解析は発散し易いので、安定的に解析できるプロセスを明確にすることを目標値とする。また解析方法は複雑で長い処理が必要である。ここでは解析プロセスの安定化と自動化を図る。

・高精度の実現

成形型の高精度化を目標とする。

2. 高精度な型作製のデータ作成システムの研究開発 [設計生産の統合データ]

・高精度な型を作製するCADデータ作成

解析結果を修正し、NURBSに基づく高精度の型形状をCAD面として作成することを目標値とする。

・計算プロセスの自動計算化

設計/作製/評価の長い計算プロセスの自動計算化を実施する。数値解析値を用いて高精度な型データを作成することを目標とする。

3. 高精度で合理的な型作製の研究開発 [生産]

前項で得られた高精度な型データを基に、以下の3通りの型を作製する技術を確立し、商品化する。また従来販売していない標準化、シリーズ化した型の商品化を検討する。

・NC加工による型の作製

高精度の型の商品化を目標とする。

・RPによる型の作製

高精度の型の商品化を目標とする。

・樹脂鑄造の型を検討し、樹脂製の型の作製

高精度の型の商品化を目標とする。開発期間の短縮化を図る。

4. 新しい包装機の研究開発

高精度の型を生かした新しい型構成の包装機の開発を目的とする。

・高精度の型の設計/作製

高精度の型を先ず作製する。

・張力の新制御方法と機構の開発

以下の設計技術まとめが目標値である。

①高張力の増大を防止する。

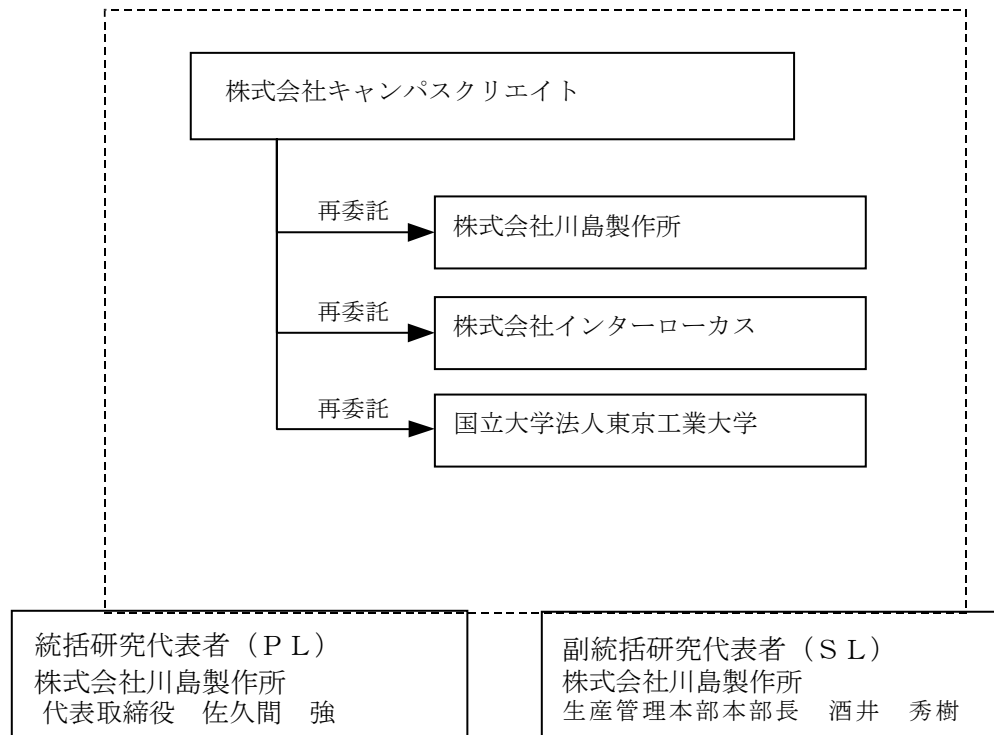
②張力付加機構を開発する事。(軽量小型機構を設計して振動応答特性の改善を図る)

・商品化

本年度は設計検討を完了する。商品化検討は次年度での完了を目標値とする。

1-2 研究体制

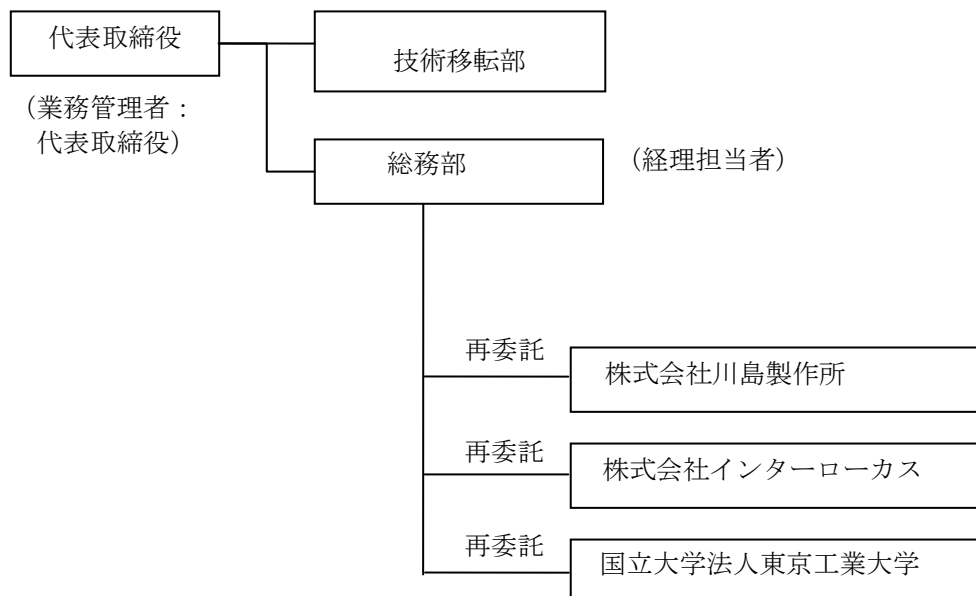
1-2-1 研究組織



1-2-2 管理体制

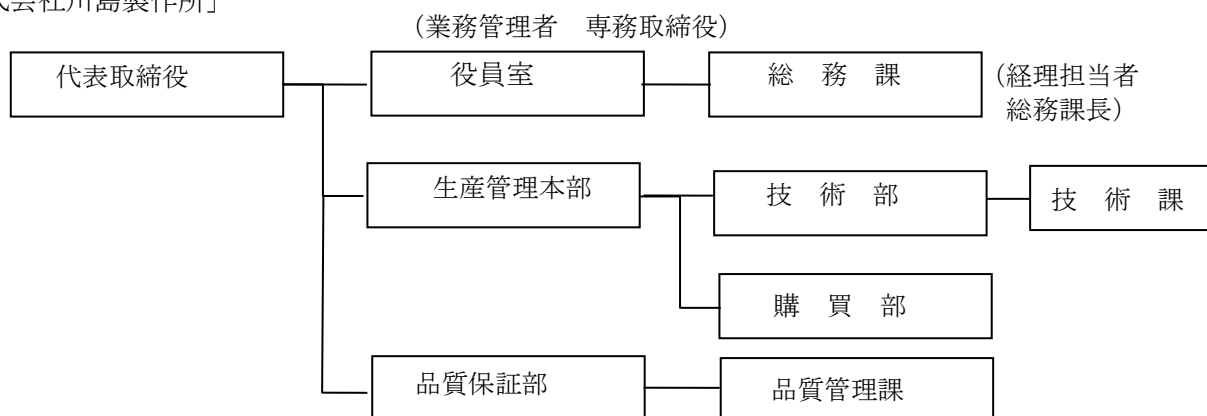
①事業管理者

[株式会社キャンパスクリエイト]

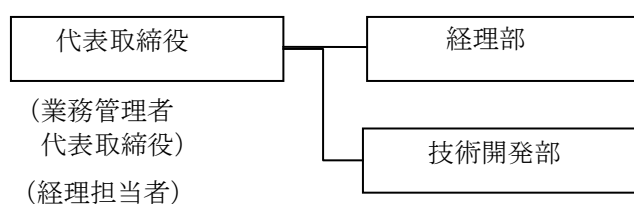


② 再委託先

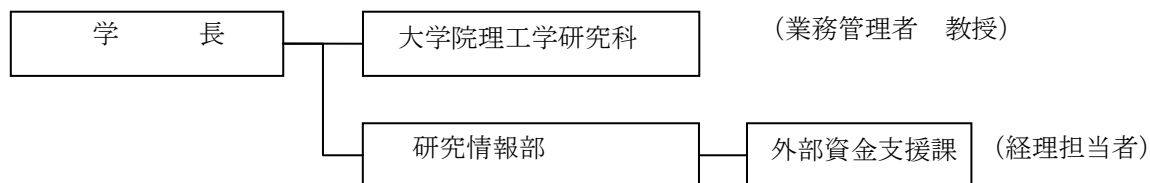
[株式会社川島製作所]



[株式会社インターローカス]



[国立大学法人東京工業大学]



1-2-3 管理者および研究者氏名

【事業管理者】株式会社キャンパスクリエイト

(経理担当者) 総務部 グループリーダー 川崎 和美

(業務管理者) 代表取締役 安田 耕平

(管理員) 技術移転部 産学官連携コーディネータ 高橋 めぐみ

技術移転部 産学官連携コーディネータ 野崎 絢子

技術移転部 園田 直美

総務部 齋藤 弘美

【再委託先】

株式会社川島製作所

(経理担当者) 総務部 総務課長

清水 明彦

(業務管理者) 専務取締役

多島 昭三

(研究員) 代表取締役 佐久間 強

生産管理本部長 酒井 秀樹

生産管理本部 購買部長 上遠野 一美

生産管理本部 技術部長 伊早坂 嗣

生産管理本部 技術部技術課 紙谷 定晃

品質保証部 品質管理課 中川 佳光

株式会社インターローカス

(経理担当者)	代表取締役	篠田	淳一
(業務管理者)	代表取締役	篠田	淳一
	技術開発部	福田	水穂
(研究員)	代表取締役	篠田	淳一
	技術開発部	福田	水穂
	技術開発部	毛利	泰裕
	技術開発部	藤田	晃子

国立大学法人東京工業大学

(経理担当者)	研究情報部	外部資金支援課	大岡山第2グループ	グループ長
	野口	寿一		
(業務管理者)	大学院理工学研究科	教授	萩原	一郎
(研究員)	大学院理工学研究科	教授	萩原	一郎

1-3 成果概要

1. 包装フィルムに傷を発生させない高精度な型形状を作成する解析/設計の研究開発 [設計]

- ・ 解析の実用化と解析プロセスの自動化

従来の技術を広く最先端まで調査して本研究の狙いを確認し、本研究が最も実用的で有用な研究になることを確認した。FEM を用いた新解析法を実用化した。プロセスを stage1、2 に分け、解析を可能とした。この解析手順を明らかにしてステップ毎に自動化し、解析するシステムの設計は完了した。

- ・ 高精度の実現

精度の優れた型を作成できた。これを安定して設計できる技術革新が今後の課題である。

2. 高精度な型作製のデータ作成システムの研究開発 [設計生産統合データ]

- ・ 高精度な型を作製するCADデータ作成

解析結果を高精度の CAD データに変換するのは重要なプロセスであり、インターローカスの既存のノウハウを元に高精度の STL データを得ることができた。

- ・ 計算プロセスの自動計算化

計算プロセスをシステム化して各プロセスの作業内容を明確にした。

この作業全体を自動化するのは自由度がなく現実的ではないので、各プロセスの作業を自動化して効率を良くするシステムをまとめた。

3. 高精度で合理的な型作製の研究開発 [生産]

- ・ NC加工による型の作製

NC加工は解析で得られるFEMデータをそのままCAD, CAMの一連のデータの流れて処理できるため試作・製品として有効であった。作製時間、コストの不利があるためRP, 3次元プリンタと使い分けることが効率的であると推定する。

- ・ RPによる型の作製

RPによる試作は有効であったが、製品としてそのまま販売するには精度が不足する。製品化は更に検討が必要ながわかった。

- ・ 樹脂鑄造の型の作製

3次元プリンタを用いて樹脂用の型作製の検討を実施した。ただし鑄造の型を作るには、精度が不十分であること、強度が不足しているなどの課題が明らかになり、樹脂鑄造型の作製を中断した。ただし3次元プリンタは、RPよりさらに短期間に安価な型を作製できることが判明した。材料が石膏であり強度面で使用範囲の制限があるが、試作品として有効でありRPの樹脂製の試作品を、補完することがわかった。今回の開発では既存の3次元プリンタを有効に活用することができた。

4. 新しい包装機の研究開発

- ・ 高精度の型の設計/製作

高精度の成形型は作製可能となったがまだ数が少なく、最適形状になったか検証ができていない。

- ・ 張力の新制御方法と機構の開発

張力が振動して大きな張力が発生するモデルを再現できた。今後制御によって張力を低減する検討を行う。

- ・ 商品化

本年度に設計検討を行い企画の纏めを予定していたが、性能の良い型をいくつか作った段階であり、設計技術としてまとまっていない。デザインレビューは正式に実施できていないが、本解析法の利点を生かした設計案として纏めることが今後の課題である。

5. 研究成果総括

本事業では論理解析に留まらず、現実型に型を試作して、課題を明らかにした。また、この解析結果を基に設計/製造を実施する研究を行い、構想-設計-生産を直結するシステムの基礎を確立した。一連の研究の結果より、今後の課題と事業化の展開は、解析でアシストする新しい物作り技術の推進による技術力の向上、CAD, CAM, CAE で直結した効率のよい型製造技術の構築による産業競争力の向上、高性能の型を活用した新しい包装機の開発が重要であると考えられる。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社キャンパスクリエイト

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1 電気通信大学共同研究センター

T E L : 042-490-5734 F A X : 042-490-5727

担 当: 高橋 めぐみ E-mail : takahashi@campuscreate.com

第2章 本論

2-1 包装フィルムに傷を発生させない高精度な型形状を作成する解析/設計の研究開発 [設計]

2-1-1 解析の実用化と解析プロセスの自動化

従来の技術を広く最先端まで調査して本研究の狙いを確認し、本研究が最も実用的で有用な研究になることを確認した。FEM を用いた新解析法を実用化した。プロセスを stage1、2 に分け、解析を可能とした。この解析手順を明らかにして各ステップ毎に自動化し、解析するシステムの設計は完了した。

1) 目的

薄い膜の解析であり、解が発散しやすいため研究開発が必要

① 発散しない解析方法の開発と、実務者が解析できる基準書を作成する。

② 標準的な解析手順自動化ソフトの開発

2) 従来技術のまとめ

・包装機械の構造

我々が購入する製品の多くは、装飾や保護のために包装されている。その中でも特に日常生活において多く目にする包装は、スナックなどを包む袋である。これらの製品は図 1-1-1 のような包装機械で包装される。まず、リール(1)に巻かれた平面状の包装用フィルム(2)が成形型(3)に運ばれ、滑らかに成形型(3)の上を滑り、反転して製品を封入できるように筒状(4)になる。(5)はフィルムを縦方向にシーム溶着する部分である。対象製品(6)は上から袋に封入され、最後に横方向にもシーム溶着(7)され、(8)で切り離される。このような直立型包装機械の最も重要な機構は成形型(3)である。この成形型(3)の例として(5)のシーム溶着側から見た写真を示す。フィルムは型に沿って移動し、反転して円筒状に変形する。本報では包装用フィルムをフィルム、成形型を型と呼ぶ。

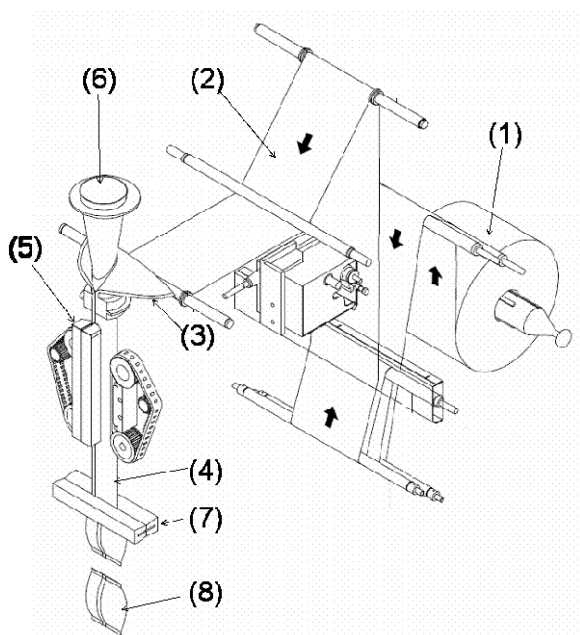
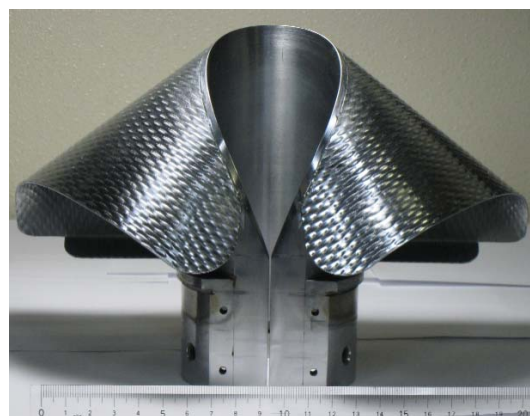


図1-1-1 A vertical form, fill and seal machine



(3)forming collar

・従来の成形型の設計

初期の型生成の試みは Monsees⁽¹⁾により行われた。彼は図 1-1-2 のような平板から、平板上の曲線を折り線として折ることで型を作る方法を示した。平板の曲げ剛性を弱め、折り線周りに折りやすくするために図 1-1-2 の Bending curve (折り線)に沿って V 字形の溝をつくり、折り線より下部を円筒状に丸め、上部を反転させて図 1-1-2 の右側の型形状を得ている。しかしこの方法では、型

自体が折り線の周りで歪むため、実際に成型型を作る際、折り線周りでフィルムに歪みが発生する。また、折紙のような材料と異なり曲げ剛性のある実際の材料を用いると成型型の幾何的形狀を正しく作成する事は困難な作業である。

次にMot⁽²⁾やZhou⁽³⁾⁽⁴⁾らによって提案された方法は、型の表面形状を幾何学に基づいて定義する方法である。しかし、フィルムを縦方向にシーム溶着する部分（本報では溶着部と呼ぶ）はモデル化できていない。

次に微分幾何学に基づいて、型の表面形状を求める方法は、Boersma⁽⁵⁾がまず円の断面形状を持つモデル、次にMcPherson⁽⁶⁾が長方形の断面形状を有するモデルに対して、折れ曲り線に制約があるが、数学的に幾何形状を提示している。これらの方法においては型の肩部は、可展面を成すという仮定のもとにつくられている。可展面は、面が伸縮しないで平面に展開することができる曲面であり、3次元空間上で、ガウス曲率が0である曲面として定義される。可展面においては、ruling lineが面全体で直線となる。ruling lineは、平面に対する垂直ベクトルが等しい点をつなぎ合わせて形成される線分である。図1-1-3のモデルは直線のruling lineで作成されている。しかし、これらのモデルも従来と同様にシーム溶着部は作成できていない。図1-1-4にMonseesの方法で一枚の紙から作ったシーム溶着部を有する型形状のモデルを示す。これらからもシーム溶着部分は直線のruling lineでは表せないことを示している。

- ・従来の成型型の加工

現在使われる多くの型の形状は、たくさんの試行錯誤と経験⁽⁷⁾⁽⁸⁾によりつくられている。多くの型は成功作を参考にして、手作業で改良して形状を決定⁽⁹⁾している。この手作業での型設計および作製プロセスが、型製造の生産性を低下させている。

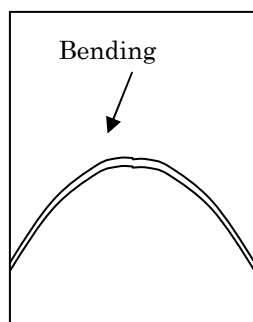


図1-1-2 Forming collar by Monsees⁽¹⁾

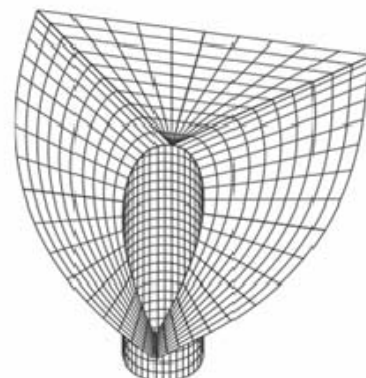
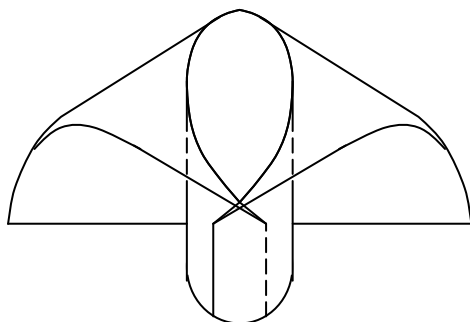


図1-1-3 Model of Boersma⁽⁵⁾



図1-1-4 Forming collar with packaging seam

3) FEM を用いた成型型の設計/製造方法の基本手順

・FEMを用いた成型型

型の表面は円筒上における図1-1-5に示すbending curveに沿ってフィルムが反転し、円筒状に折り曲った形状である。成型型はこのフィルムの形状を表面の形状として適切な厚みを付加して作成する。

ここではFEMを用いてフィルムの形状を求める方法を示す。FEMはエネルギー最小の原理に基づいており、bending curveや反転する条件など、与えられた条件の中でエネルギー最小になる変形の形状が求められる。また、このフィルムの形状を成型型に採用すると、型に沿ってフィルムが曲がり変形したときのフィルムの歪が最小になると考えられる。

以下ここでの解析方法を示す。図1-1-5は平面状のフィルムをBending curveに沿って切り離したものである。型を形成する際、上部はcollar、下部は筒状となる。まず、図1-1-5の平面状フィルムの下部を、円筒形状にする。平面状のFlattened Bending curveは円筒面上の3次元のBending curveとなる。この円筒面上の折り線の座標は、collar端面の形状であり、図1-1-5の上のFlattened collar (フィルムに相当)をcollarとしての型に変形させる時の目標となる位置である。この位置を境界条件として変形させるとcollarとなる平面の図1-1-5のFlattened collarは円筒に近い形状に変形する。ここでは成型型とするためにFlattened collarを円筒面から外側に反転させて折り曲げた形状を作成する。

下側の筒状部の形状は厳密に定義できる。円筒部分は変形しない部分であり円筒の形状を幾何的に表現すれば十分である。したがって有限要素モデルを作成して、変形形状を計算するのはcollarに限定される。

左右対称なcollar形状については半分だけをモデル化する。図1-1-6にメッシュ分割した右半分のモデルを示す。要素は四角形シェル要素を用いる。

ここで型形状を作成する面(フィルム)の材料は線形弾性材料を用いる。この対象とする変形は、材料力学的に線形であるが荷重と変位の関係は非線形、すなわち幾何学的非線形である。

・境界条件を用いた成型型の作成方法

まず変形をFEMによって解析する一般的な方法を図1-1-7に示す。(a)は最初の形状で(b)が狙いの変形形状である。(c)は変位を境界条件として与えて計算する方法で(d)は力を境界条件として与える方法である。

(c)の方法は途中段階を定義できないために、座屈のように途中で形状が反転する場合には使用できない。また大変形を扱うときには、変位を境界条件として与えると、中間の形状や荷重などの条件を求めることが形状によっては不可能になるので注意が必要である。

これに対して(d)は途中の変形状態を考慮した計算ができるために、解析プロセスを作成することが可能である。ただし、最終形状を得るための適切な力の大きさの検討が必要である。また、力の方向も形状の変化に伴って刻々と変化させなければならない。

今回の課題は図1-1-5で示すように、形状が途中で反転する大きな折曲げの変形課題であり、変位の境界条件をそのまま使用することができない。

ここでは、対象とする成型型のモデルに対して、力と変位の境界条件を組み合わせる新しい方法を提案する。

解析方法は以下のstage1、2である。

(1) Stage1 : 力の境界条件の適用

まずは図1-1-8(a)に示す様にFlattened collarを反転する側に設置する。図1-1-8(a)は平板のFlattened collarのFlattened Bending curve上の円筒に接する予定の節点と変形後にこれが円筒に接する目標点を直線で結び変形の目標方向を示したものである。このFlattened collarを最終形状へ接近させるため、適切な力をBending curve上の全ての節点に対して与える。図1-1-8(b)は力の境界条件の10%の力を加えた時の変形状況を示す。図1-1-8(c)は、100%の力を加えた時の形状である。力の方向は常にその時点での形状から最終形状の方向を向くように、刻々と変化させる。ここでは100ステップで徐々に変形させ、目標の円筒状の折り線に接近させる。

(2) Stage2：変位の境界条件の適用

Stage1によって、図1-1-8(d)に示すように最終形状に接近させたモデルに、変位の境界条件を与える。残りの強制変位が小さく、形状が反転しないのであれば、変位の境界条件を与えて解析することが可能となる。このstage1,2の手順により型の最終形状を解析によって作成する。またこの形状を用いてCAD、CAMによる製造が実現できる。

ここでのFEMを用いた成形型の設計/製造方法においては、2)で論じたような型の設計/製造過程に生じる障害を避けることができ、折れ線の制約となる数学的条件を満たす必要が無い。さらに従来の解析方法では計算できなかったシーム部分も同時に解析することができる。また従来の方法に比べこの方法は断面形状、包装用フィルムの入射角、型の平面部など全ての拘束条件を体系的に考慮に入れて設計することが可能となる。

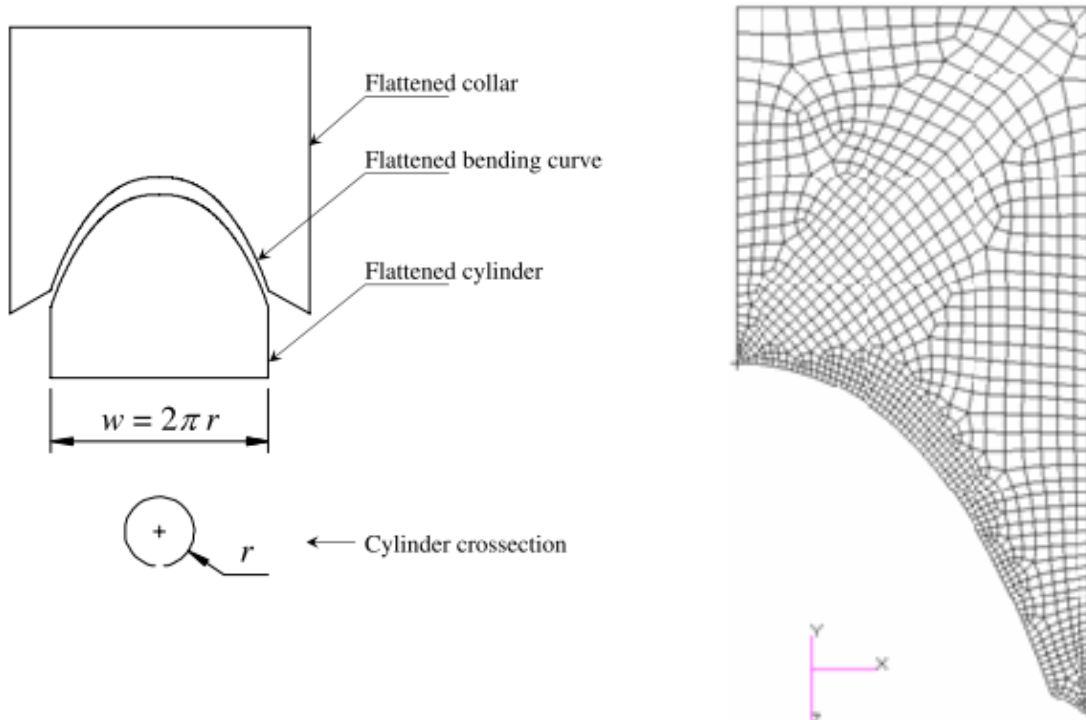


図1-1-5 Development view

図1-1-6 FEM model

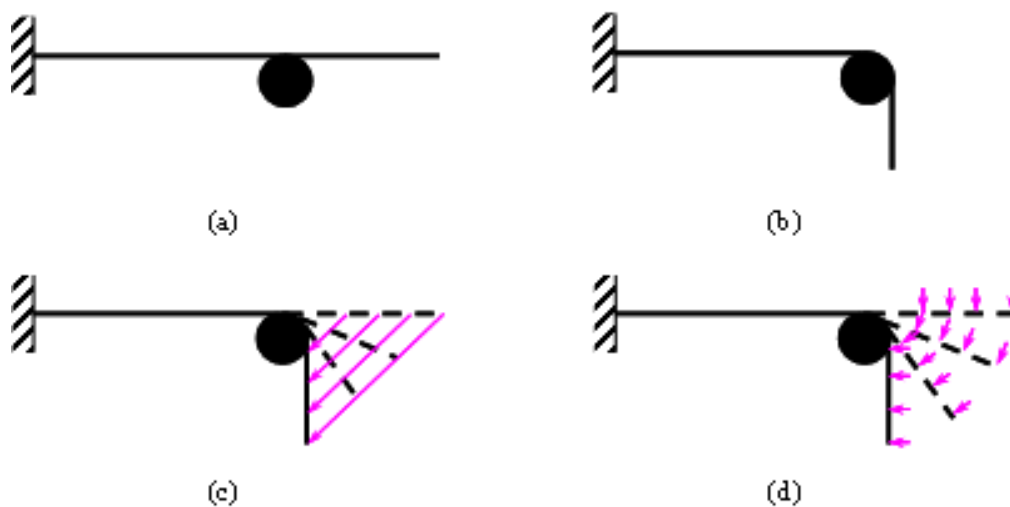


図 1-1-7 Boundary Condition (a) Initial shape (b) Target deformed shape

(c) Forming using displacement boundary condition (d) Forming using force boundary condition

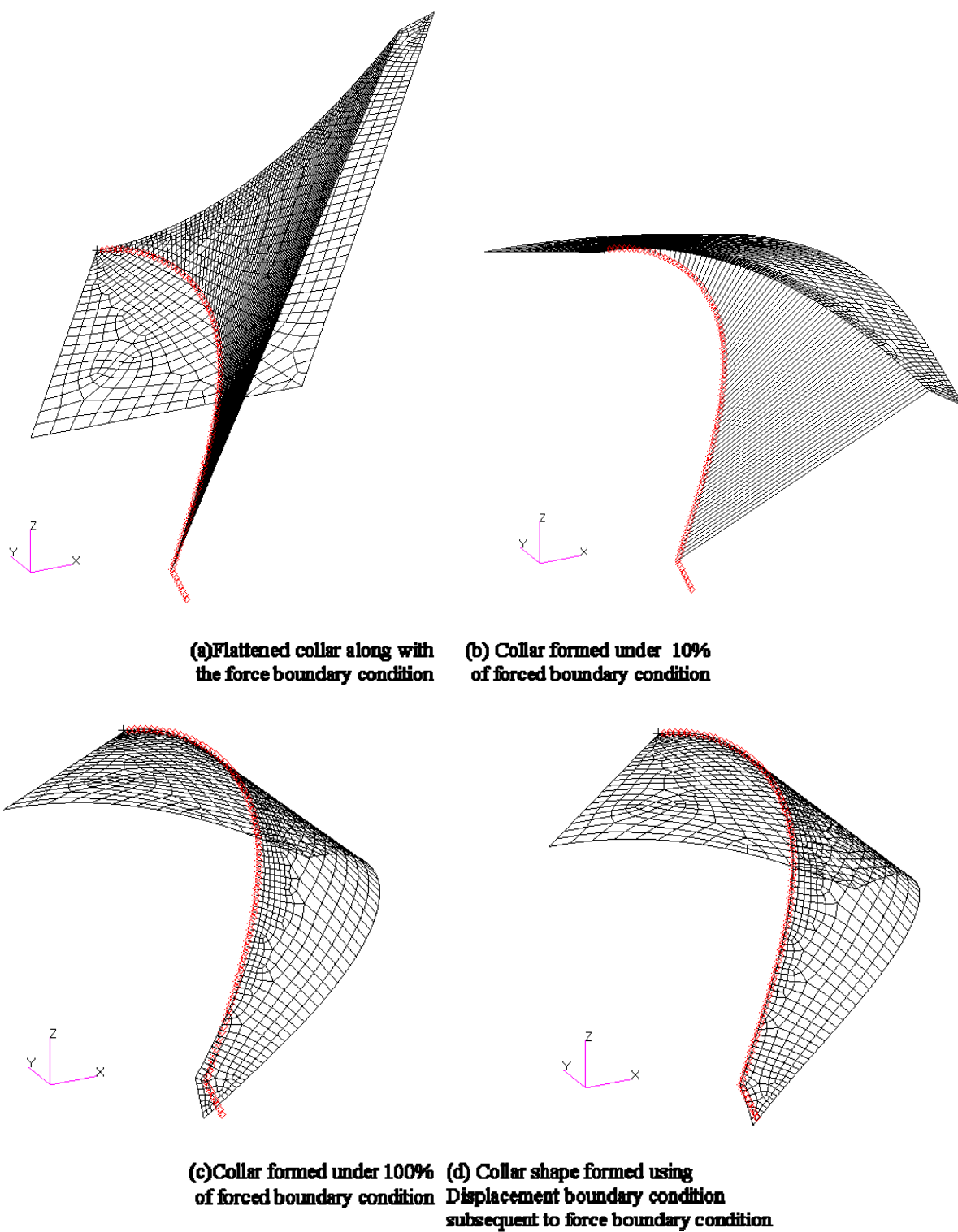


图1-1-8 Load application strategy

2-1-2 高精度の実現

新手法により型が設計できる様になり、精度の優れた型を作成できた。これを安定して設計できる技術革新が今後の課題である。

①2-1-1の新手法でFEMにより設計した型をruling lineによって検証し、精度を確認できた。

②型形状の選定に関しては課題が残っている。良い型を探し比較検討することが課題である。

1) ruling line を用いた精度の検証

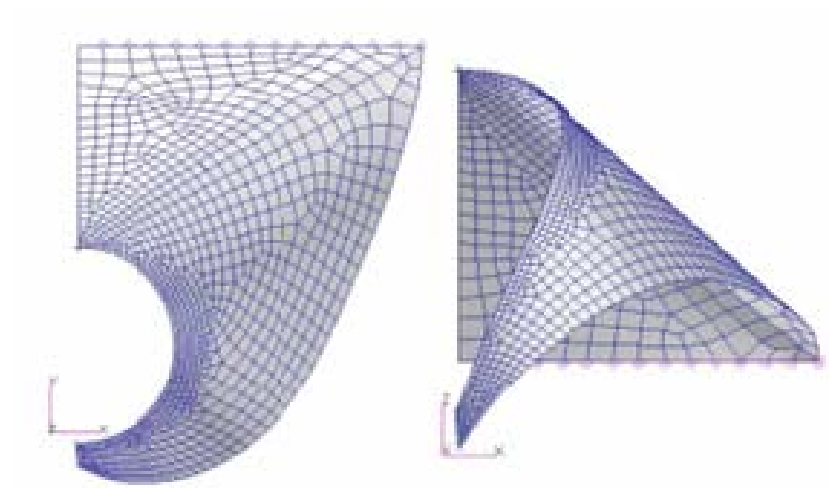
既存の方法においては、型は可展面を成すという仮定のもとにつくられている。このため直線のruling lineから型を作成している。ここでのFEMによる解析では、可展面の仮定を用いずに型を設計している。しかし、図1-2-1(b)のような可展面を仮定できる形状をFEMで解析すると、本解析で可展面を成すという条件を用いていないにもかかわらず、可展面に近い形状が得られることが以下から確認できる。

ここでは、FEM解析で得られた図1-2-1の(a)、(b)、(c)の型の形状から逆にruling lineを計算して図1-2-2に各々示す。ここで可展面が可能な(b)のruling lineは直線であり、これから、FEM解析で得られた図1-2-1(b)は、ほぼ可展面の形状であることを示している。

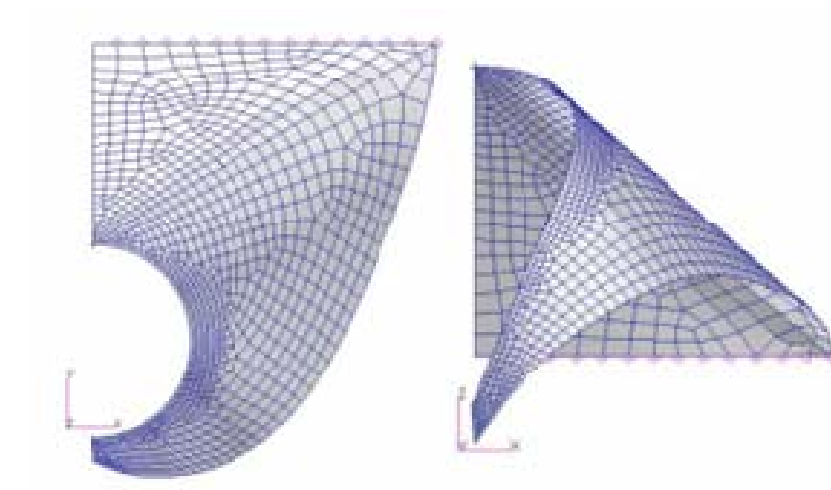
ただし端面ではruling lineのゆがみが多少見られる。これはruling line計算時の高次の補完誤差によるものであり、ギブス現象 (Gibbs phenomenon) と考えられる。

この端面の影響は分割数を増大すれば減少する。またruling lineは平滑なcollar曲面を計算するのには直接用いないため、型の精度に直接影響しない。このためFEMを活用した本研究の重大な欠陥にはならないと考えられる。

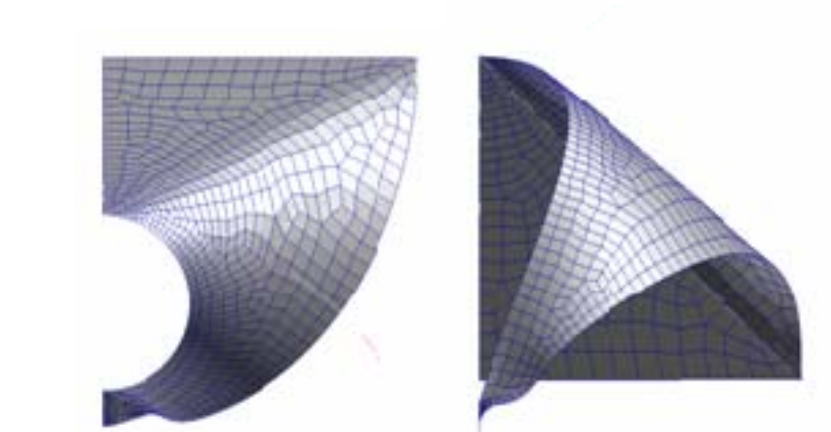
また、(c)のシーム溶着部を有するモデルのように複雑な形状を有する型においては、特にシーム溶着部付近のruling lineは単純な直線にならないことがわかる。このため(c)のような複雑形状は既存の可展面の仮定を用いる型の設計手法では解析が困難であったが、本研究の手法は柔軟性が高く、適応範囲が広いことが明らかである。



(a) Forming collar with straight edge



(b) Forming collar with triangular plane

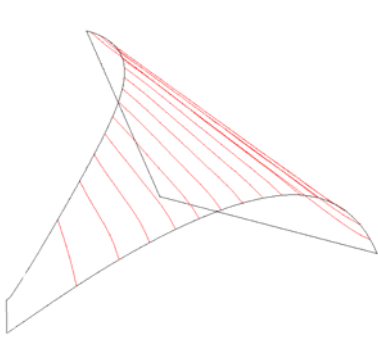


(c) Forming collar with seam

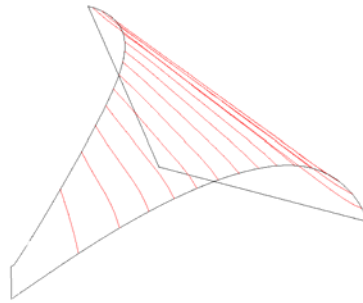
图1-2-1 forming collar designed by using FEM

Table 1-2-1 Parameters of analysis

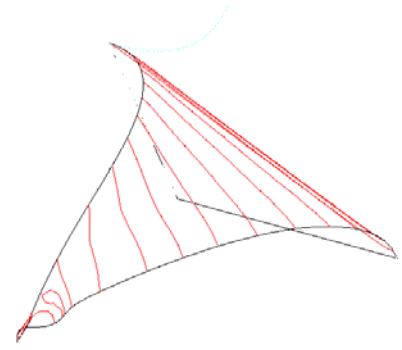
Material	Al
Young's modulus	70 GPa
Poisson's ratio	0.35
The number of steps	100×2
Initial condition β degrees	30°
Board thickness	0.5 mm



(a) Forming collar
with straight edge



(b) Forming collar
with triangular plane



(c) Forming collar with seam

图1-2-2 Ruling line

2-2 高精度な型作製のデータ作成システムの研究開発[設計生産統合データ]

2-2-1 高精度な型を作製するCADデータ作成

解析結果を高精度の CAD データに変換するのは重要なプロセスであり、インターローカスの既存のノウハウを元に高精度の STL データが得ることができた。

1) 目的

- ① 有限要素法で得られた折れ曲り線の修正
- ② 高精度な STL データ作成
- ③ NURBS での CAD 化

2) 高精度な STL データの作成

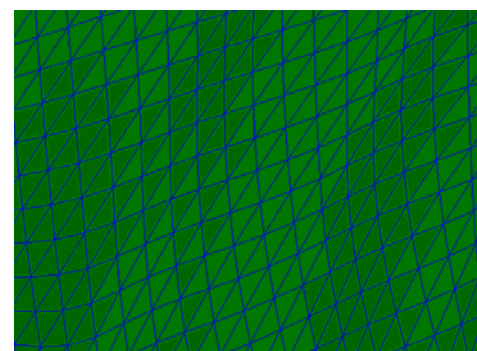
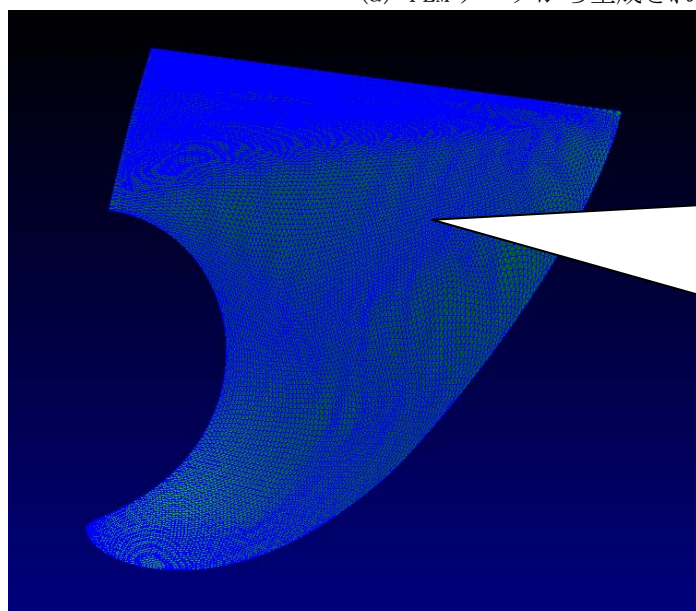
STL データを作成するためには、FEM 解析によって得られた型のメッシュをそのまま用いる方法も考えられるが、それらは一般には粗く、細密なメッシュを必要とする、後のラピッドプロトタイピングなどのデータとしては適切ではない。一方、メッシュを細かくする手法として、サブディビジョン法を用いた手法についての検討も行ったが、メッシュの密度の点で満足のいく結果が得られなかったので以下で述べる CAD データを経由する手法を取ることにした。

CAD データには B-rep (Boundary Representation) によるデータ構造がよく用いられる。一方、メッシュ生成の方法の一つにアドバンシングフロント法という手法があり、これは、対象となるモデルの境界からフロントと呼ばれる折れ線を中心方向に向かって前進させてゆく手法である。これは、上記の B-rep の構造と相性がよい。そこで、ここでは、高度な STL データを生成するために、アドバンシングフロント法を援用したメッシュ生成システムを開発した。

成形型の襟の部分の FEM データから生成された CAD データおよび、さらにそこから生成された STL データを図 2-1-1 に示す。STL データにおいては、その拡大図からもわかるように、均質で形状の良い STL データが生成されていることが分かる。



(a) FEM データから生成された CAD データ



拡大図

(b) CAD データから生成された STL データと拡大図

図 2-1-1 CAD データから STL データの生成

3) NURBS 曲面を用いた CAD 化

CAD システムにおいては、通常、自由曲面とよばれる曲面は NURBS (Non Uniform Rational B-splines) 曲面によって表現される。NURBS 曲面は、重みや制御点の変更によって、全体的な形状を変えることなく変更したい部分を局所的に変更できるという利点を持っている。

ここでは、このような NURBS 曲面の特性を利用して、成型型の羽状の部分に的を絞って CAD データ化を行う。FEM 解析によって生成される型のデータは、四角形要素によってメッシュが形成されているため、後の処理のためにまず、全ての要素を三角形化した。それが図 2-1-2 である。

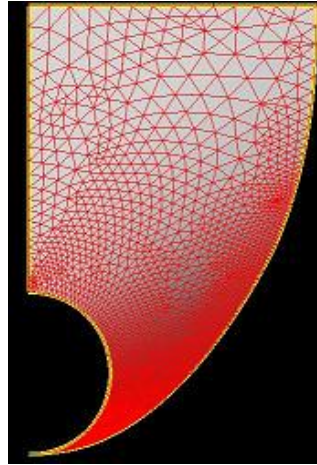


図 2-1-2 三角形化された型形状

曲面を生成させたところ、図 2-1-3 の赤丸部分に示すようにしわが発生してしまった。これを解消するために、元データであるメッシュに立ち返り、これに Laplacian スムージングを適用し、メッシュの品質を良好化し、また形状も滑らかになるようにした。その結果を図 2-1-4 に示す。左が改善前、右が改善後である。改善後のメッシュにおいては角が取れて滑らかになっていることが見て取れる。

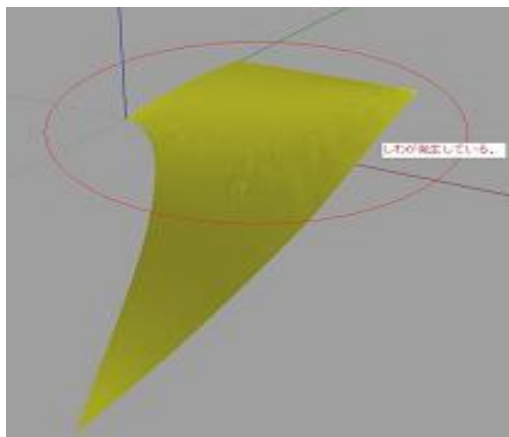


図 2-1-3 しわの発生

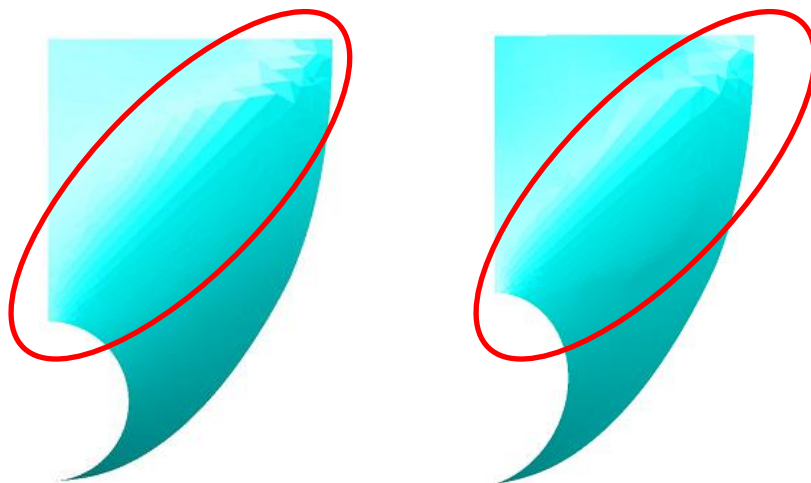


図 2-1-4 Laplacian スムージングの適用（左：適用前、右：適用後）

2-2-2 計算プロセスの自動計算化

計算プロセスをシステム化して各プロセスの作業内容を明確にした。
この作業全体を自動化するのは自由度がなく現実的ではないので、各プロセスの作業を自動化して効率を良くするシステムをまとめた。

1) 目的 (計画時)

- ① 計算プロセスのシステム化検討
- ② 設計／作製／評価の複雑な計算プロセスの自動計算化

2) 開発するシステム構成と計算フローチャート

包装機成型型の計算プロセスをフローチャートにしたものを図 2-2-1 に示す。

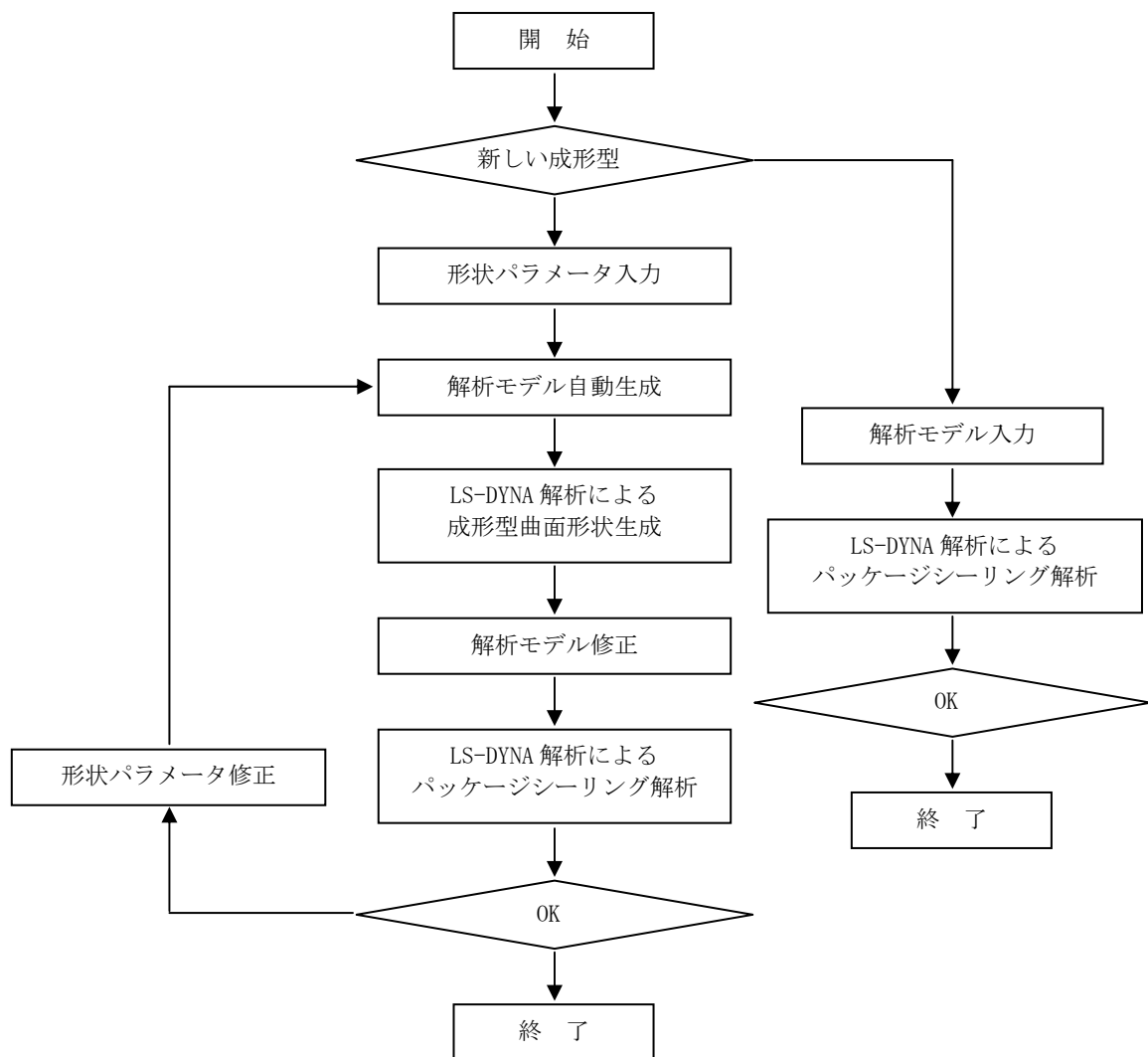


図 2-2-1 包装機成型型の設計支援ツールの構成と計算フローチャート

2-3 高精度で合理的な型作製の研究開発[生産]

2-3-1 NC加工による型の作製

NC加工は解析で得られるFEMデータをそのままCAD, CAMの一連のデータの流れて処理できるため試作・製品として有効である。作製時間、コストの不利があるためRP, 3次元プリンタと使い分けることが効率的であると推定する。

1) 目的 (計画時)

NC加工で実機に搭載可能な型を作製し、新しい解析法により作製された成型型を確認する。

- ① NC加工による型作製
- ② 実機での確認
- ③ NC加工の型のパラメータ検討
- ④ 製品化の検討---川島製作所の既存設備の有効活用

2) 実施結果 (試作検討)

成型型のデータを作製した。(図 3-1-1、図 3-1-2)

3) 結果の考察

本解析法はFEMデータが得られるのでCAD, CAMの一連のデータの流れて処理することができる。また金属であり強度耐久性の課題はない。このため試作品の評価/製品として有効なことが推定できる。

また、加工時間や経費が高いことなどの課題も推定できる。

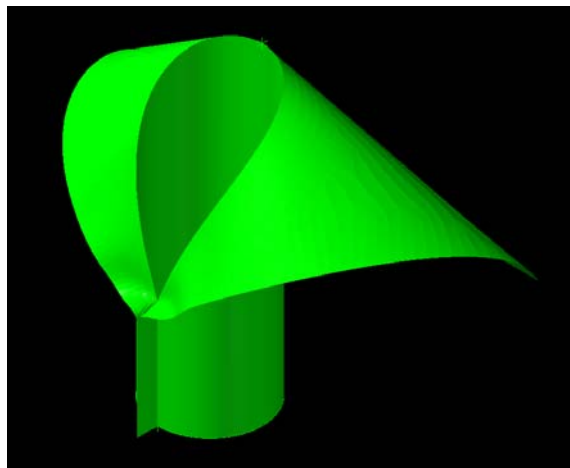


図 3-1-1

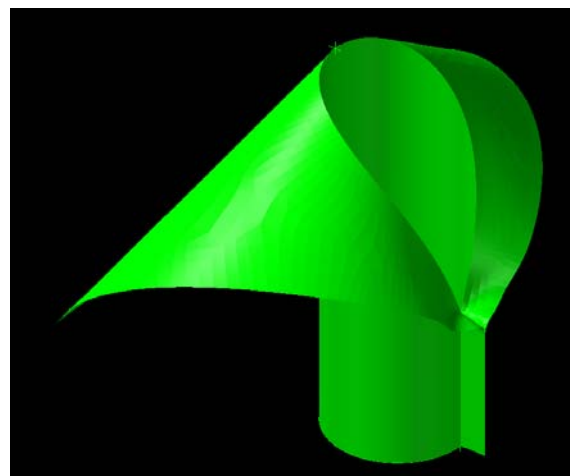


図 3-1-2

2-3-2 ラピッドプロトタイピング (RP) による型の作製

RPによる型の試作は有効であった。ただし製品としてそのまま販売するには型の精度が不足する。製品化は更に検討が必要ながわかった。

1) 目的 (計画時)

- ① RP での型の検討
- ② 量産用の設備仕様を決定
- ③ 製品化の検討

(本研究で装置 DimensionSST1200es 3Dプリンタシステム (RP) を購入)

2) 実施結果 (試作検討)

FEMデータからCADデータを経由して作成したSTLデータ (図3-2-1) を基に、RPで試作品を作製した。

試作した型の評価としては、図3-2-3に示す従来の型重量2 kg に対して試作した型の重量は0.3 kg と軽量のため、非常に扱いやすくなっている。

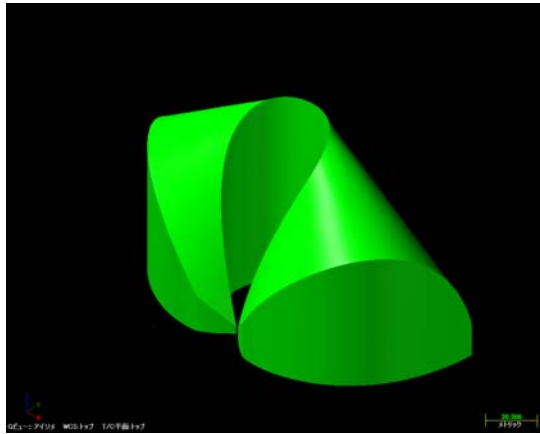


図 3-2-1

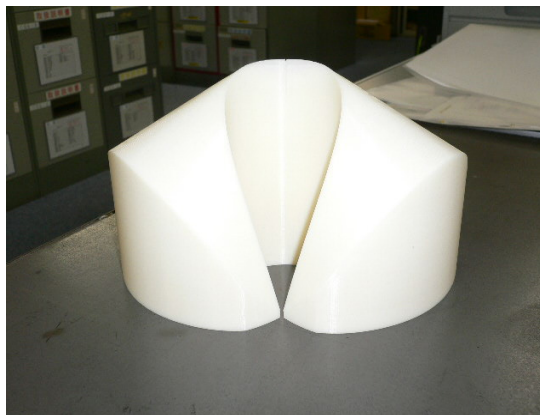


図 3-2-2



図3-2-3

3) 結果の考察

廉価版のRPであるが、使いやすく作りやすいシステムであり、試作品の確認として十分に活用できることが分かった。この成形型の試作は、検討に耐えられる程度の精度ではあるがエッジ部分など製品として出荷するのには不適當であり、そのまま製品化に適さないことが分かった。量産用の設備としてはスピードが遅く不適當なシステムとも考えられる。他の3次元プリンタシステムも含めて将来計画として検討したい。

2-3-3 樹脂鑄造の型の作製

3次元プリンタを用いて樹脂用の型作製の検討を実施した。ただし鑄造の型を作るには、精度が不十分であること、強度が不足していることなどの課題が明らかになり、樹脂鑄造型の作製を中断した。ただし3次元プリンタは、RPよりさらに短期間に安価な型を作製できることが判明した。材料が石膏であり強度面で使用範囲の制限があるが、試作品として有効でありRPの樹脂製の試作品を、補完することがわかった。今回の開発では既存の3次元プリンタを有効に活用することができた。

1) 目的(計画時)

- ① 型の樹脂鑄造化のため鑄型の作成と確認
 - ② 鑄造型パラメータ検討
 - ③ 製品化の検討
- (3次元プリンタ：萩原研究室の設備 spectrum2510 を活用)

2) 実施検討中での不具合

当初は3次元プリンタで樹脂鑄造型を作製する予定であったが以下の理由で中断した。

- ・ 計画段階ではRPではエッジ精度が必要な成形型は困難と思っていたが、試作検討には使用できることがわかった。
 - ・ 3次元プリンタによる鑄造型の作製は材料を全て変更になり、通常の物作成に使用できなくなる。(機械のオーバーホールが必要)
- 3次元プリンタは石膏製であり、割れる不具合があるが、フィルムの成形性は簡単に確認できる。なお試作スピードを考慮すると便利で、比較的安価である。

3) 実施結果 (3次元プリンタによる試作)

首の部分のサイドシールを含めた型は作製した例がないため、試作品を作成した。本解析法の試作品は自然にフィルムが曲がることが確認できた。



図 3-3-1 シール部分の型を追加した試作品

2-4 新しい包装機の研究開発

2-4-1 高精度の型の設計/製作

高精度の成形型は作製可能となったがまだ数が少なく、最適形状になったか検証ができていない。

1) 目的（計画時）

高精度の型の仕様を調査し作製する。

2) 進捗

良好な型を作成できる様になったが、包装機実機に取り付け可能な型仕様が遅れている。

このため最適仕様の範囲などが検討できていない。ほぼ良好なゾーンであるため今後数を増して、確認を実施したい。

2-4-2 張力の新制御方法と機構の開発

張力が振動して大きな張力が発生するモデルを再現できた。今後制御によって張力を低減する検討を行う。この手段は固有周期に合わせた低減方法の適応を予定している。

1) 目的（計画時）

フィルムに傷をつけない新包装機を実現させる。以下の設計技術が主な課題である。

- ① 発生する高張力の防止。
- ② 張力付加機構の特性の明確化（振動特性を明らかにして振動増加を防止）
- ③ 今回はモデルで振動が発生することをシミュレーションして、これを制御で低減することを目的とする。

2) システムの動力学モデル

システム全体の図は2-1-1章に記述されているのでここでは省略する。ただし、関連する成形型の正面の機構を図4-2-1に示す。包装フィルムはここで折り曲げられて、平面から縦円筒状になる。更に、縦方向へ下に運動し、被包装品を充填して、シールする。袋成型型の下に動力装置があり、これが張力の動力源となる。

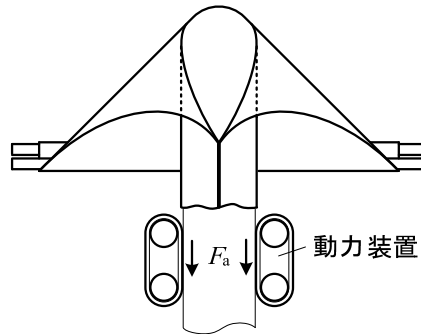


図4-2-1 袋成型の正面図

問題を研究するため、システムに対して、下記のことを仮定条件とする。

- ◆フィルム巻の偏心を考慮ない。
- ◆包装フィルムとロールの摩擦を無視する。
- ◆フィルム巻の軸はシステムに対する力のモーメントを無視する。
- ◆包装フィルムのテンションは材料の表面に均一分布とする

以上の仮定に従い、図4-2-2に示すようなシステムの動力学モデルを作成する。ここで m はフィルム巻の質量、 m_1 はロールの質量、 m_2 は材料の集中質量、 v はフィルム巻の開きスピード、 M_R はフィルム巻の制動力のモーメント、 R はフィルム巻の半径、 F はフィルム巻からテンションレバーまでのテンション、 F_g はテンションレバーから袋成型型までのテンション、 f は袋成型型の摩擦力、 F_a は動力装置の牽引力、 θ はフィルム巻の回転角度、 θ_1 はテンションの回転角度、 x_1 は引き出される材料の集中質量の回転角度、 α は袋成型型のトップの角度、 k_1 はフィルム巻からテンションレバーまでの相当弾性ヤング率、 k_2 はテンションレバーから袋成型型までの相当弾性ヤング率である。

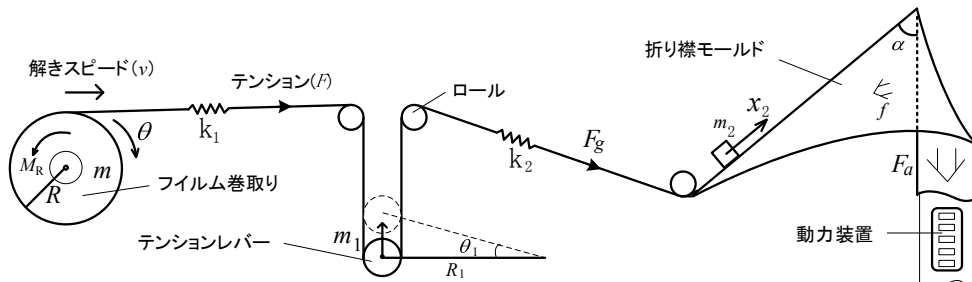


図4-2-2 システムの動力学モデル

テンションレバーはスクロールできるため、システムが2つの部分に分けられる、第1部分は連続の運動で、フィルム巻からテンションレバーまでの部分である。第2部分は間欠の運動で、テンションレバーから袋成型型までの部分である。テンションレバーはテンションを調節でき、スピードも調節できる。

図4-2-3に示すように、連続の時間と間欠の時間を分けられる。その間欠の時間は袋の口をシールする時間である。 t_0 から t_4 までは1つの周期である。

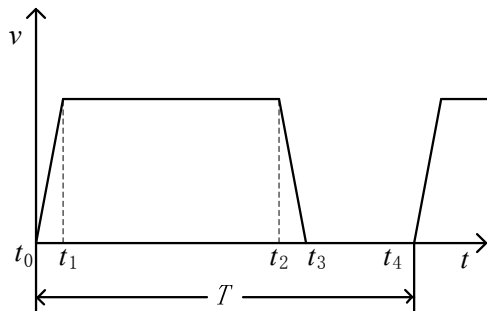


図4-2-3 質点 m_2 の運動のグラフ

3) システムのシミュレーション

パラメータを、 $m=40\text{ kg}$ 、 $R=0.18\text{ m}$ 、 $M_R=10\text{ N}\cdot\text{m}$ 、 $m_1=18\text{ kg}$ 、 $m_2=0.015\text{ kg}$ 、 $f=0.1\text{ N}$ 、 $\alpha=\pi/4$ 、 $g=9.8\text{ N/kg}$ 、 $k_1=k_2=13000\text{ N/m}$ 、 $R_1=0.8\text{ m}$ 、 $t_0-t_1=0.024\text{ s}$ 、 $t_1-t_2=1.032\text{ s}$ 、 $t_2-t_3=0.024\text{ s}$ 、 $t_3-t_4=0.27\text{ s}$ と設定して計算を行い、質点 m_1 の回転角度、回転速度及び回転加速度を図4-2-4～6のように得られ、更に時間の進行に伴う牽引力の変化も図4-2-7に示すように得られる。

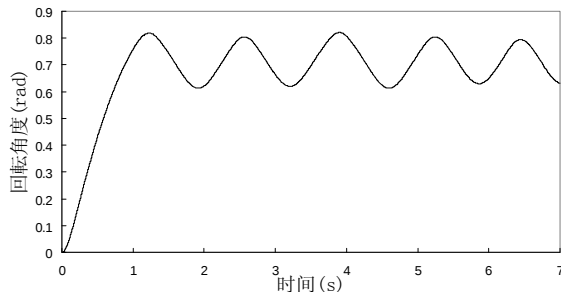


図4-2-4 質点 m_1 の回転角度の変化

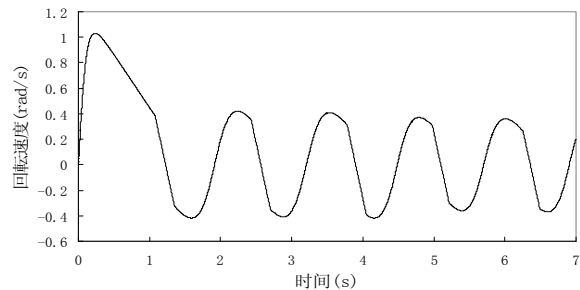


図4-2-5 質点 m_1 の回転速度の変化

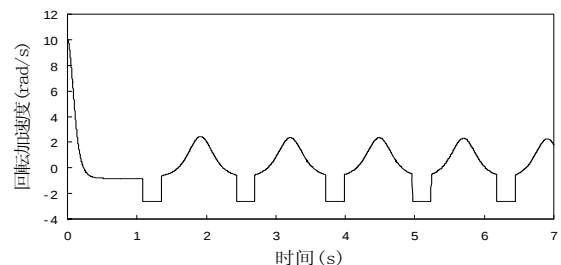


図4-2-6 質点 m_1 の回転加速度の変化

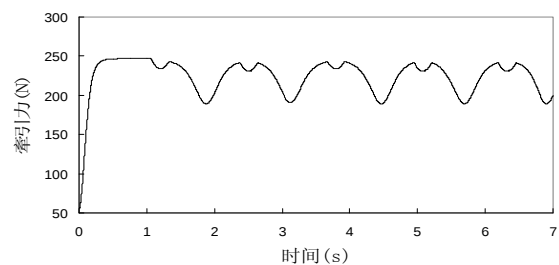


図4-2-7 牽引力と時間の関係

以上の計算結果より、包装機を起動する初期段階では、加速度が大きく、テンションも大きい。この振動レベルを低減するのがここでの目的となる。

4) 張力の低減計画

シミュレーション結果を見ると、1Hz の振動要素が大きな影響を与えている。このため次のステップで改善を計画する。

- ① この振動系の変更検討を行う
 - ② この振動系の固有値を上昇させる設計変更を行う
 - ③ 振動最小にするために周波数に合わせた制御を実施する
- 以上が適切に設定できれば振動のない低い張力が実現できる。

今回は時間の都合で、包装機の実機での検証ができていないが、今後の課題としたい。

2-4-3 商品化

本年度に設計検討を行い企画の纏めを予定していたが、性能の良い型をいくつか作った段階であり、設計技術としてまとまっていない。デザインレビューは正式に実施できていないが、本解析法の利点を生かした設計案として纏めることが今後の課題である。

1) 目的 (計画時)

目標値：23年度の商品化

本年度は設計検討を完了

次年度で新商品化まとめとして

- ① デザインレビューと試作品評価
- ② 新商品の企画・設計・製造

2) 進捗

今期は解析手法が確立することができた。この手法を用いて型の試作検討も進展できた。実際の試作では机上検討では発見できなかった不具合が見つかり、実機でのテストを行っていない。

このため新しい包装機のデザインレビューがまだ進展していない。

今後は設計、試作結果を検討し、デザインレビューを重ねて技術を構築することを今後の課題としたい。

2-5 プロジェクトの管理・運営

2-5-1 進捗管理

再委託先（株式会社川島製作所・株式会社インターローカス・国立大学法人東京工業大学）研究員、経理担当者と連絡調整をし、実施計画書の通りに研究開発が円滑に推進するように、一連の研究開発全体についての進捗を管理することはもとより、委託費の適正な運用、経済産業省関東経済産業局担当者への連絡・報告・確認を行ってきた。また、中間検査・確定検査等においては真摯な対応をこころがけ（中間調査：平成22年1月18日 確定検査：平成22年3月16日）、本委託事業の契約管理・研究開発の進捗管理・研究員労務記録の確認・取得財産管理台帳のもと資産管理を行った。

各研究開発について、研究開発計画と進捗状況の確認・調整を図り、目標到達度を進捗会議時に再委託先研究員から報告して頂くよう調整した。また、研究開発費の執行状況について再委託先と連絡を密に行い、適正な執行及び経理処理の報告を現地訪問や経理担当者と連絡しあい、確認及び指導を行った。

2-5-2 特許出願

本事業期間内では、事業成果を特許化できなかったため、今後検討する方針で進めることとなった。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

本事業は成型型の作製に関して、新しい方策で最適設計と製造を実現するものである。これは包装業界で一番苦勞している課題である。実施にあたり、国内だけでなくシェアの高い海外の情報を徹底して収集したが、型の設計は幾何学的な古典理論で計算しており、適応範囲は狭く実用的でないことが分かった。このため型は基本的に手作りになっている。ここで古典理論ではなく、新しい理論を用いて有限要素法による型形状の作製を開始した。

本事業では論理解析に留まらず、現実型に型を作成して、課題を明らかにした。またこの解析結果を基に設計/製造を実施する研究を行い、構想-設計-生産を直結するシステムの基礎を確立した。ここでは研究開発スケジュールを4段階に分けて実施した。

- ① [設計]：型作成の解析/設計の研究ではFEMを用いた解析で優れた型を作成した。これを基に最適形状を極めた解析を実施する基盤が確立した。
- ② [システム]：解析データの改良と成型型に適したCADデータ化の研究を実施した。
- ③ [生産]：NC加工、RP、3次元プリンタで型を試作した。また、これにより製造課題を明らかにすることができた。
- ④ [新開発]：新しい包装機の開発は、主要コンポーネントである型の検討ができた。

3-2 今後の課題と事業化の展開

一連の研究の結果、残された課題と事業化の展開には以下が重要と考えられる。

1. 解析でアシストする物作り技術の推進による技術力の向上

手作業では実際の金属や樹脂を自由に折曲げることはいないが本解析上は自由であり、解析でアシストする新たな物作りが実現できる。解析では無理な形状も作成可能であり、解析-机上検討-必要に応じ短時間の試作-検証という新たな方式が可能になった。この解析でアシストする物作り技術を数多く実践し、技術力を高め、ノウハウ/知恵を深めることが有効と考えられる。この解析でアシストする物作りを広く実施すれば、固有技術が向上し、高い技術競争力を持つことができる。

2. CAD, CAM, CAEで直結した効率のよい型製造技術の構築による産業競争力の向上

従来の手作りの方式に比べて解析からCAD, CAMに適したデータを使用しているので構想-設計-生産まで一連の仕事として扱うことができる。この型は特殊であるが、これに適したデータ処理システムを開発すれば競争力のある包装機産業とすることが可能である。また自由に型を作成できる利点を生かし、世界中に型を供給する新しいビジネスが期待できる。

3. 高性能の型を活用した新しい包装機の開発

高精度の型を用いて新しい包装機を検討したい。

解析でアシストする物作りは日本人技術者気質に適していると考えられ、日本が最高の技術力を獲得することが期待できる。またこの技術で包装業界全体が活性化することが予測できる。日本で新しい型作りの先鞭をつけ、世界の大市場に日本の技術力を問うことを期待したい。

＜参考文献＞

- (1) C. E. Monsees and F. H. Cooper. Tube former and method of making same. In *United States Patent Office*, number 2940408 (1960)
- (2) E. Mot. The “shoulder Problem” of forming, filling and closing machines for Pouches. *Appl. Sci. Res.*, 27:1–13, 1973
- (3) Y.-J. Zhou and Z.-W. Wang. Study on rhomb shoulders in packaging machines. *Packaging Tech. Sci.*, 17:287–294, 2004.
- (4) Y.-J. Zhou and X.-M. Qian. Non-Centrosymmetric section forming shoulders in packaging machines. *Packaging Tech Sci.*, 19:97–104, 2006.
- (5) J. Boersma and J. Molenaar. Geometry of the shoulder of a packaging machine. *SIAM Rev.*, 37(3):406–422, 1995.
- (6) C. J. McPherson, G. Mullineux, C. Berry, B. J. Hicks, and A. J. Medland. Design of forming shoulders with complex Cross-sections. *Packaging Tech. Sci.*, 18:199–206, 2005.
- (7) B. J. Hicks, A. J. Medland, and G. Mullineux. A constraint based approach to the modelling and analysis of packaging machines. *Packaging Tech. Sci.*, 14(5):209–226, 2001.
- (8) C. J. McPherson, G. Mullineux, C. Berry, B. J. Hicks, and A. J. Medland. The performance envelope of forming shoulders and implications for design and manufacture. In *Proc. Institution Mech. Engineers*, volume 218 of *Part B: J. Eng. Manufacture*, pages 925–934, 2004.
- (9) B. Hicks, G. Mullineux, J. Matthews, and T. Medland. Towards an integrated CAD/CAM process for the production of forming shoulders with exact geometry. In *Proc. Institution Mech. Engineers*, volume 221 of *Part B: J. Eng. Manufacture*, pages 1521–1531, 2007.