

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車駆動系中空部品のプレス・鍛造複合成形による  
軽量・低コスト化技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 特定非営利活動法人北関東産官学研究会

## 目 次

### 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
- 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 本論

- 2-1 金型形状・潤滑等の成形条件の最適化開発
- 2-2 増肉率向上&成形荷重低減技術の開発1
- 2-3 増肉率向上&成形荷重低減技術の開発2
- 2-4 高精度スプライン成形技術開発
- 2-5 プレス・鍛造複合成形技術の開発

### 第3章 全体総括

- 3-1 軽量化について
- 3-2 コスト低減について

## 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) 研究開発の背景

省エネルギー・環境保全の社会的ニーズの高まりを受けて、自動車業界では燃費向上が重要な課題となっている。燃費向上のためには、エンジン効率の向上など様々な手段があるが、軽量化も非常に有効な手段である。また、低価格の小型車へのシフト、新興国の追い上げ等で、コスト低減も大きな課題となっており、低コストで軽量化できる技術が渴望されている。

そこで、軽量化効果は大きいが高コストのため採用が限られている自動車駆動系部品に着目し、塑性加工技術を用いて低コストで生産できる技術を開発する。

#### (2) 研究目的及び目標

軽量化及びコストの目標を以下とする。

- ・軽量化： 中実部品と比較して30%以上軽量化
- ・コスト： 従来製品と比較し30%の低減

これらを実現するために、以下の技術課題を下記の方法により解決することを研究目的とする。

### 技術的課題

- 【1】 絞り成形における増肉率向上と成形荷重低  
軽量化効果を上げるためには、薄肉鋼管を使って絞り部の肉厚を確保することが必要であり、そのためには、絞り成形時の増肉率向上が必要となる。

しかし、成形荷重が増加すると、**図1**のような座屈が発生する。

座屈を防止しつつ、増肉率向上を実現することが課題となる。

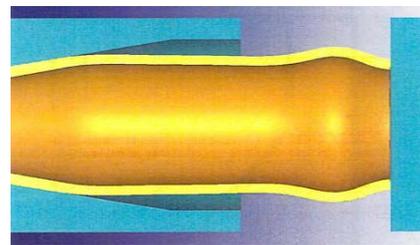


図1 絞り成形時の座屈現象

- 【2】 高精度スプライン成形

中空化したことにより、従来技術では精度確保が難しくなったスプラインの成形技術の開発が必要となる。

- 【3】 プレス・鍛造複合成形技術の確立

更なるコスト低減のために、プレス・鍛造複合成形技術の確立が必要となる。

## 解決方法

### 【1】プレス絞り加工技術の確立

#### 【1-1】金型形状・潤滑等の成形条件の最適化開発

増肉率等に影響を及ぼすと思われる要因（金型形状、成形速度、潤滑条件、背圧の有無、材料硬度・サイズ等）とその影響度を、シミュレーション解析と実験によって、データ収集する。

#### 【1-2】増肉率向上&成形荷重低減技術の開発1

成形荷重が低減することが知られている方法Aを本開発に応用し、増肉率向上&成形荷重低減効果を検証し、成形条件を確立する。

#### 【1-3】増肉率向上&成形荷重低減技術の開発2

更に、成形部分を部分的に軟化する成形方法Bを検証し、成形条件を確立する。

### 【2】高精度スプライン成形技術の開発

薄肉でも高精度が得られるスプライン成形技術を実験により検証する。

### 【3】プレス・鍛造複合成形技術の確立

#### 【3-1】金型・装置の開発

プレス・鍛造複合成形のために必要な金型・装置を、シミュレーション解析による強度解析を行い設計・製作する。

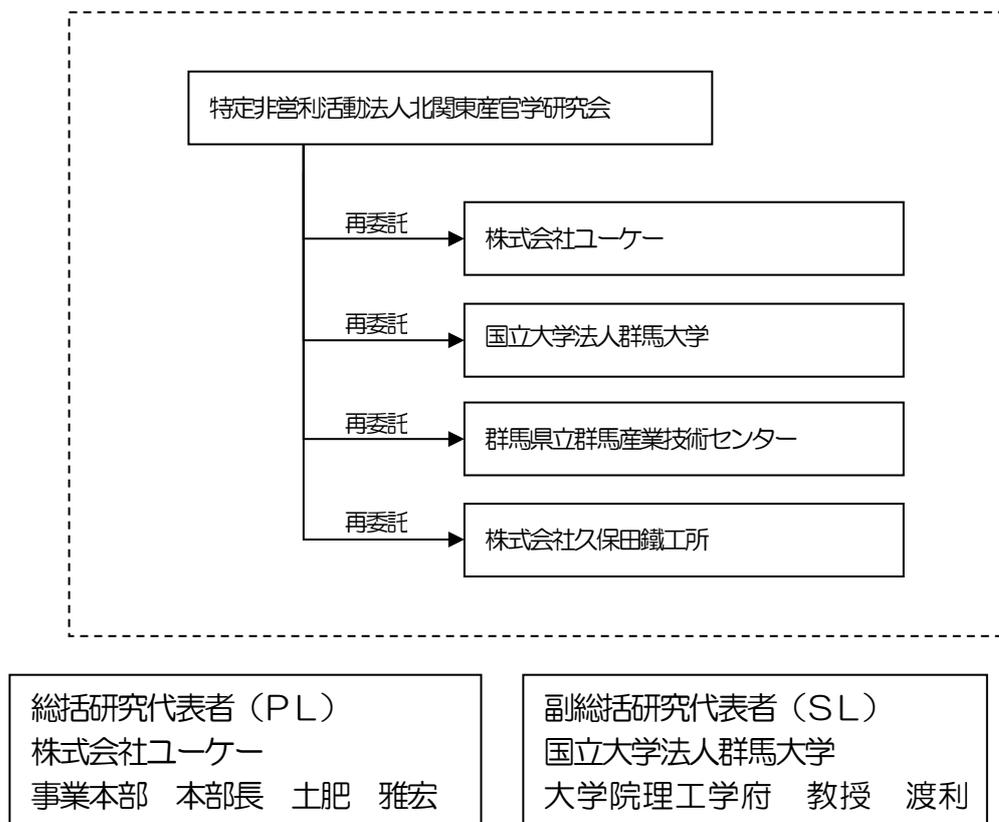
#### 【3-2】成形条件の開発

プレス・鍛造複合成形のための成形条件を実験により検証する。

## 1-2. 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

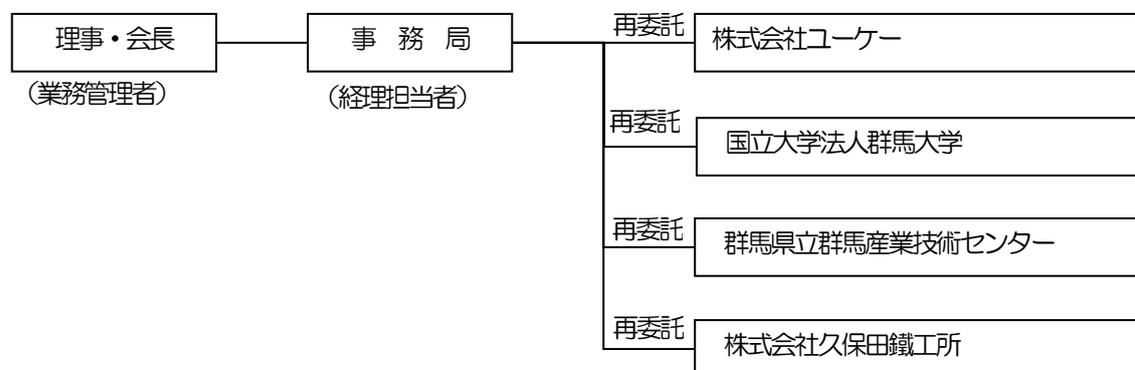
#### 1) 研究組織 (全体)



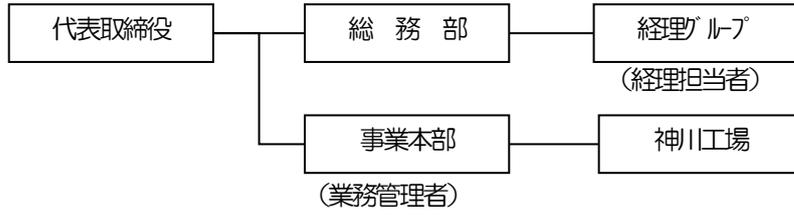
#### 2) 管理体制

##### ① 業管理機関

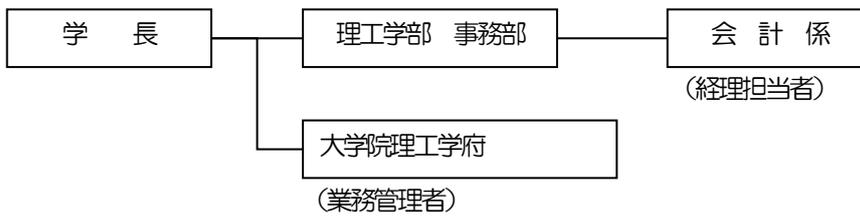
[特定非営利活動法人北関東産官学研究会]



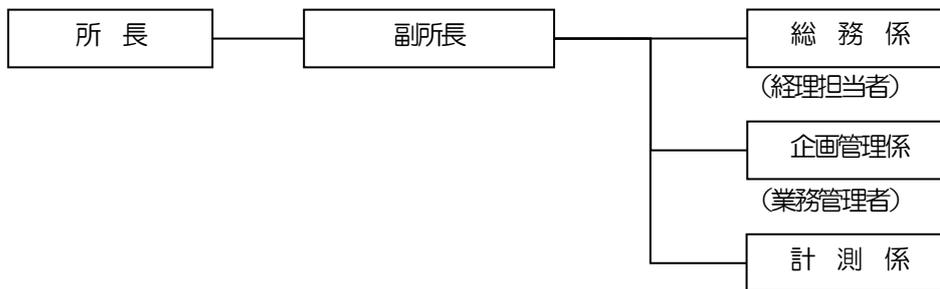
② 再委託先  
[株式会社ユーケー]



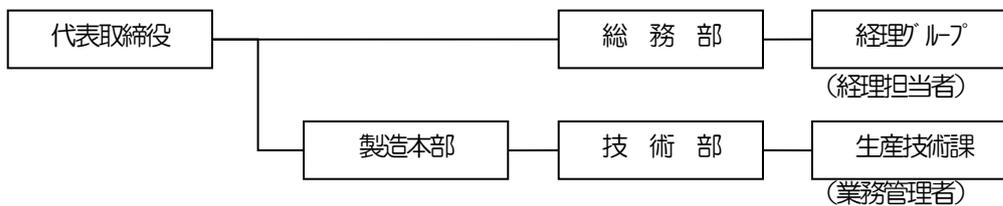
[国立大学法人群馬大学]



[群馬県立群馬産業技術センター]



[株式会社久保田鐵工所]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】(管理員)

特定非営利活動法人北関東産官学研究会

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
萩原 三男	事務局	

【再委託先】(研究員)

株式会社ユーケー

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
土肥 雅宏	事業本部 本部長	【1】 【2】 【3】
風間 健	事業本部 神川工場 工場長	
更谷 謙仁	事業本部 神川工場 技術員	

国立大学法人群馬大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
渡利 久規	大学院理工学府 教授	【1】 【2】 【3】
西田 進一	大学院理工学府 助教	

群馬県立群馬産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
横山 靖	計測係 独立研究員	【1】 【2】 【3】

株式会社久保田鐵工所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小響 昭司	製造本部 技術部 生産技術課 課長	【2】

(4) 役割分担

NO	開発項目(サブテーマ)	(株)ユーケー	群馬大学	群馬産業技術センター	(株)久保田鐵工所
【1-1】	金型形状・潤滑等の成形条件の最適化開発	○	○	○	
【1-2】	増肉率向上&成形荷重低減技術の開発1	○	○	○	
【1-3】	増肉率向上&成形荷重低減技術の開発2	○	○	○	
【2】	高精度スプライン成形技術開発	○	○	○	○
【3-1】	金型・装置の開発	○	○	○	
【3-2】	成形条件の開発	○	○	○	

(5) スケジュール

【番号】実施内容	実施者	実施時期											
		初年度				第二年度				第三年度			
		1 / 4	2 / 4	3 / 4	4 / 4	1 / 4	2 / 4	3 / 4	4 / 4	1 / 4	2 / 4	3 / 4	4 / 4
【1】 プレス絞り加工技術の確立													
【1-1】 金型形状・潤滑等の成形条件の最適化開発	(株)ユーケー 群馬大学 群馬産業技術センター		●	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
【1-2】増肉率向上&成形荷重低減技術の開発1			●	→	→	→	→	→					
【1-3】増肉率向上&成形荷重低減技術の開発2				●	→	→	→	→					
【2】 高精度スプライン成形技術開発													
	(株)ユーケー 群馬大学 群馬産業技術センター (株)久保田鐵工所						●	→	→	→	→	→	→
【3】 プレス・鍛造複合成形技術の確立													
【3-1】 金型・装置の開発	(株)ユーケー 群馬大学 群馬産業技術センター							●	→	→	→	→	→
【3-2】 成形条件の開発									●	→	→	→	→

### 1-3 成果概要

- (1) 金型形状・潤滑等の成形条件の最適化開発  
実験及びシミュレーション解析により、以下を明らかにした。
  - ① シミュレーション解析結果は実験結果と良く一致し、本研究で用いたシミュレーション解析方法により、増肉率や成形荷重の予測が可能である。
  - ② 絞り率を大きくすると、増肉率・成形荷重とも増大し、成形荷重がある限度を超えると座屈する。
  - ③ 背圧付加は、増肉率向上に効果的であるが、同時に成形荷重が増大し、座屈のリスクが増す。
  - ④ スライドモーション及び潤滑剤が増肉率及び成形荷重に及ぼす影響を調査した結果、Pulse 1 が最も増肉率が高い。
  
- (2) 増肉率向上&成形荷重低減技術の開発 1  
増肉率向上&荷重低減技術Aの増肉効果及&成形荷重低減効果は認められなかった。
  
- (3) 増肉率向上&成形荷重低減技術の開発 2  
増肉率向上&荷重低減技術Bの成形荷重低減効果は認められたが、増肉効果は認められなかった。
  
- (4) 高精度スプライン成形技術開発  
薄肉であっても一定以上の肉厚があれば、精度を満足できることを明らかにすることができた。
  
- (5) プレス・鍛造複合成形技術の開発  
プレス・鍛造複合成形により、より複雑な形状が成形可能であることを実験により明らかにすることができた。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

特定非営利活動法人北関東産官学研究会 萩原三男  
〒376-0024 群馬県桐生市織姫町2-5  
TEL: 0277-46-1061 / FAX: 0277-46-1062  
E-mail: hagiwara@hikalo.jp

## 第2章 本論

### 2-1 金型形状・潤滑等の成形条件の最適化開発

#### (1) 実験方法

##### ① 成形原理

成形原理を図 2-1 に示す。また、図 2-2 に座屈が発生した場合のイメージ図を示す。この座屈を発生させずに増肉成形することがポイントとなる。

実験は、鋼管をクランプでクランプした後、金型（パンチ）を加圧力  $F$  で押付け、絞り成形を行った。

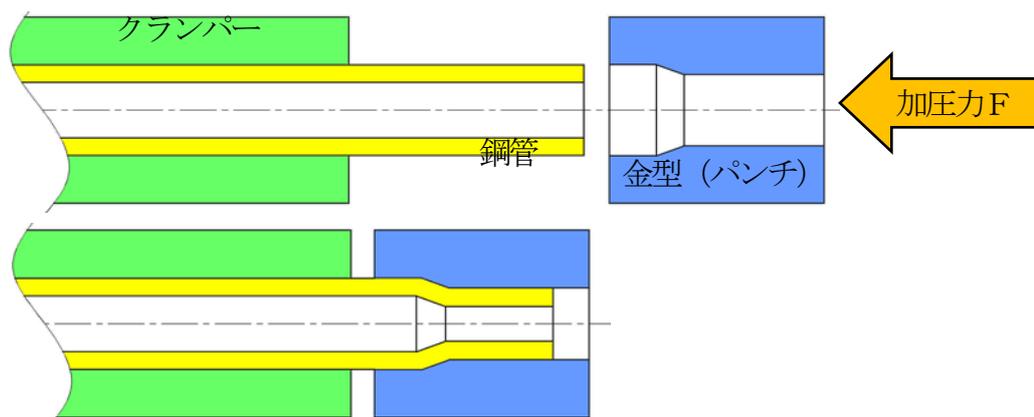


図 2-1 成形原理

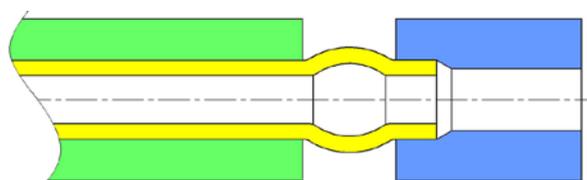


図 2-2 座屈発生イメージ図

##### ② 実験装置

実験装置は、H24年度に導入したパイプ端末絞り増肉成形装置及び 1500kN サーボプレス（図 2-3）を使用した。

パイプ端末絞り増肉成形装置には背圧を付加できる装置を取り付けた。



図 2-3 1500kN サーボプレス

③ 供試金型

実験に使用した金型（パンチ）の仕様を図 2-4 に及び表 2-1 示す。金型の内径  $\phi d$  を変えることにより、絞り率  $\gamma$  を変化させた実験及びテーパ角度  $\alpha$  を変化させた実験を行った。材質は、SKD11 を使用した。

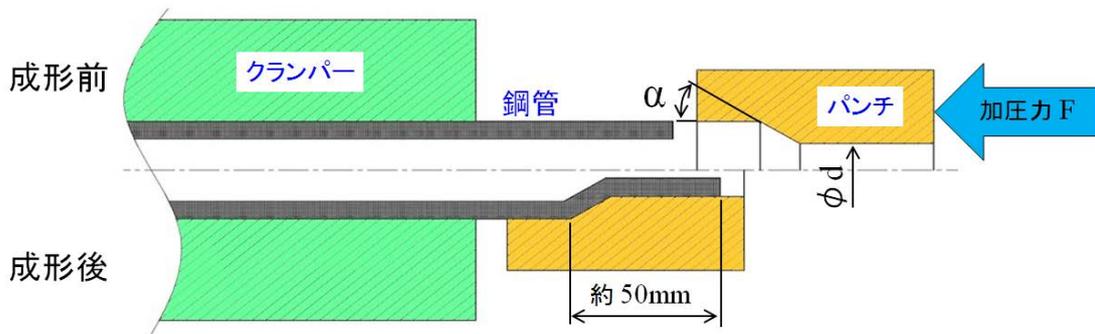


図 2-4 金型スペック

表 2-1 金型の主要仕様

d[mm]	36.7	35.5	34.5			33.5	33.0	32.5	30.7
$\alpha$ [°]	20		15	20	25	20			

④ 素管及び成形品形状

図 2-5 にサーボプレスを使った実験での素管と成形品の外観を示す。

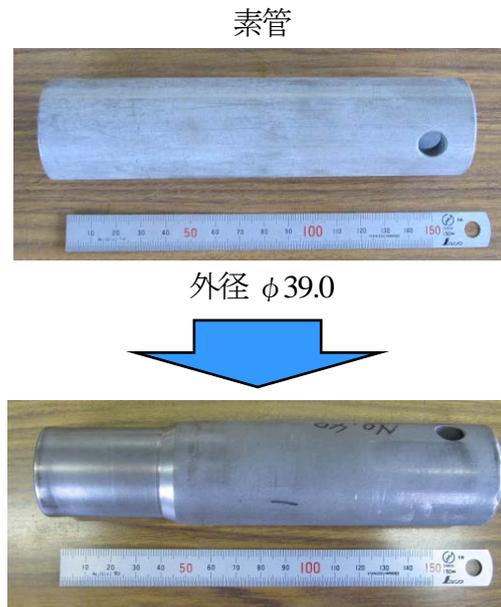


図 2-5 素管及び成形品の外観

⑤ 潤滑剤

実験には、表 2-2 に示す 3 種類の潤滑剤を使用した。

表 2-2 潤滑剤の種類

記号	種類	動粘度 [mm <sup>2</sup> /sec]
A	プレス用油性潤滑剤	70
B	プレス用油性潤滑剤	247
C	リン酸塩被膜+金属石けん (ボンデ処理)	

⑥ 肉厚測定方法

肉厚の測定は、群馬産業技術センターの三次元測定機を使用した。  
使用した三次元測定機の外観を図 2-6 に、主な仕様を表 2-3 に示す。



図 2-6 三次元測定機

表 2-3 三次元測定機的主要仕様

メーカー	ミットヨ
型式	Crysta-Apex C121910
主要仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>●本体仕様 測定範囲 1205 mm × 1905 mm × 1005 mm 最小表示量 0.0001 mm 測定物最大質量 2,500 kg</li> <li>●本体精度 最大許容指示誤差 (MPEE) * <math>2.3 + 3L / 1000 \mu\text{m}</math> (L : 測定長 mm) 最大許容ブロービング誤差 (MPEP) * <math>2.0 \mu\text{m}</math> 最大許容スキャニング誤差 (MPETHP) * <math>2.8 \mu\text{m}</math> * 使用プローブ : SP25M (スタイラス <math>\phi 4 \times 50 \text{ mm}</math>)</li> <li>●レーザープローブ 型式 LC-60D 測定範囲 幅×深さ, スタンドオフ 60 mm × 60 mm , 80 mm データ取得数 75,000 点 / 秒 (75 ライン / 秒, 1000 点 / ライン) センサ精度 (<math>\sigma</math>) <math>15 \mu\text{m}</math></li> </ul>

使用した三次元測定機は、レーザーヘッドも備えており接触・非接触の両方の測定が可能であるが、本事業においては接触式のセンサーを用いて測定を行った。

三次元測定機は、先端が球の接触子を測定対象物に接触させることで、測定対象物の寸法や形状を測定する測定機である。縮管した部分の測定は、接触子を一方向につきただけでは図 2-7 に示すように、接触子が触れることができないため測定が不可能となる。そこで本測定では、図 2-8 に示すように接触式センサーの傾きを変えることで内側と外側の測定を行った。

接触式センサーによる、ならい測定にて縮管部の内側および外側の測定を行った後、  
 図 2-9 に示すように外側の測定座標と内側の測定曲線の法線の距離を計算することによって肉厚を求めた。

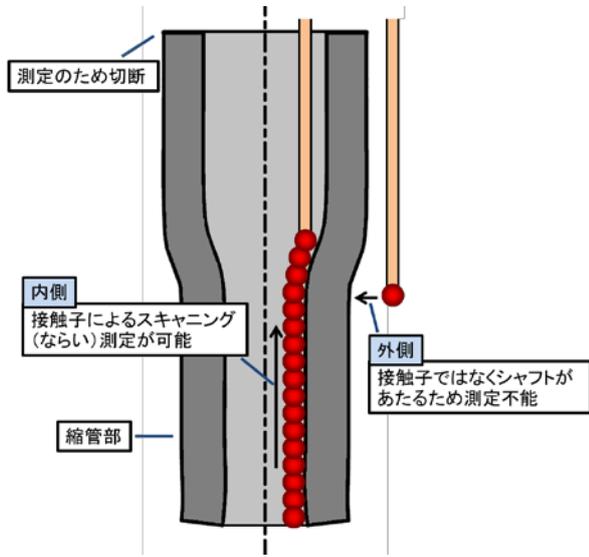


図 2-7 測定不能の例

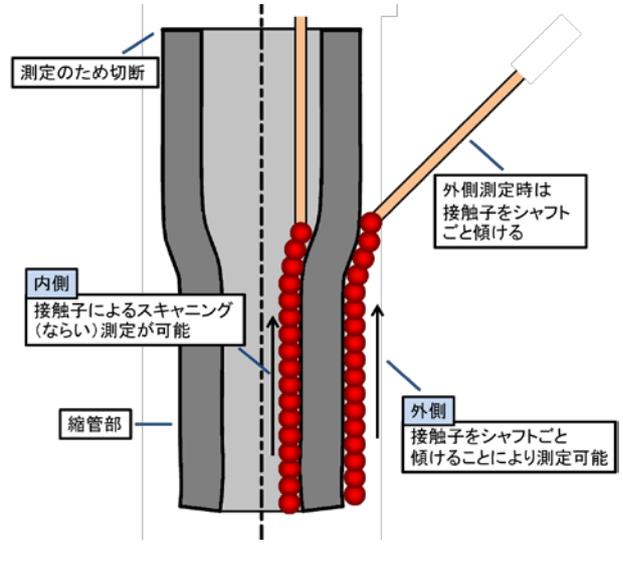


図 2-8 接触子を傾けての測定の例

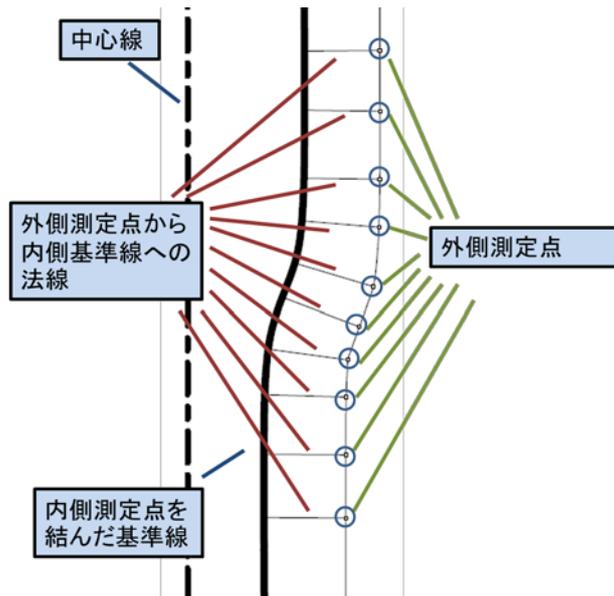


図 2-9 肉厚の計算方法

## (2) シミュレーション解析方法

### ① 使用ソフト

3Dシミュレーションソフト「DEFORM」を使用した。

### ② 解析モデル

シミュレーション解析は、四面体要素のメッシュを使用した剛塑性有限要素法を用いた。解析モデルは、**図 2-10** に示すモデルを使用した。

### ③ 解析条件

解析条件を**表 2-4** に示す。

また、シミュレーション解析に使用する材料の応力-ひずみ線図は、実験に使用した鋼管から切り出した試験片をボンデ処理し、**図 2-3** のプレスを使用してリング圧縮試験により決定した。また、摩擦係数は、リング圧縮試験によって求めた値を参考に実験値と整合が取れるよう修正した値を使用した。

また、成形速度は解析結果に影響がないため、100 mm/sec とした。

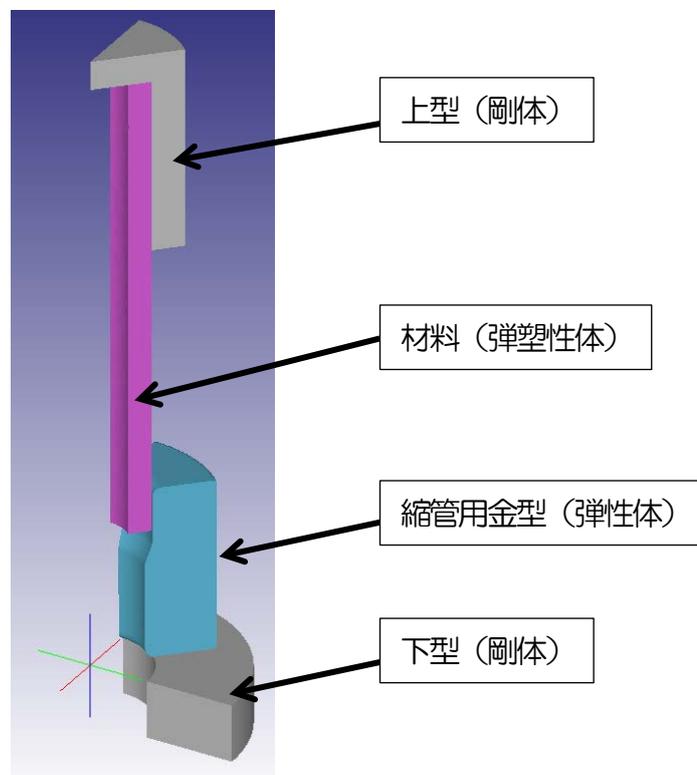


図 2-10 解析モデル

表 2-4 解析条件

素管外径 $D_0$ [mm]	39.0
素管長さ $L_0$ [mm]	160
成形速度 $V$ [mm/sec]	100
解析モデル	弾塑性体 (1/8 モデル)

(3) 実験及びシミュレーション解析結果

① 記号の説明

絞り率及び増肉率は、以下のように定義する。各記号は 図 2-11 で示す寸法を表す。

絞り率： $\gamma [\%] = \{(39 - d) / 39\} \times 100$

増肉率： $\delta [\%] = \{(t - t_0) / t_0\} \times 100$

d [mm]：金型内径

t [mm]：絞り部肉厚

t<sub>0</sub> [mm]：素管肉厚

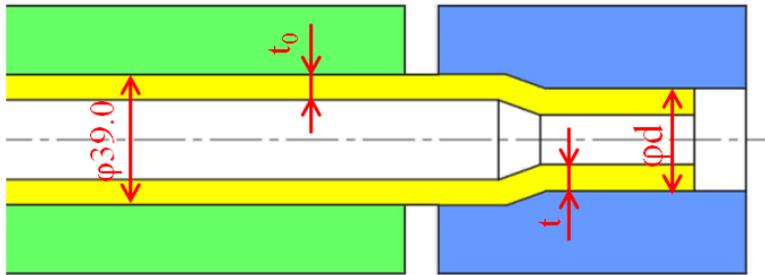


図 2-11 各寸法の記号

② 絞り率の影響

絞り率が増肉率及び成形荷重に及ぼす影響を調査した。

その結果を、図 2-12 ~16 に示す。絞り率が大きくなるに従い、増肉率及び成形荷重が増大し、成形荷重が限度を超えると座屈することがわかった。

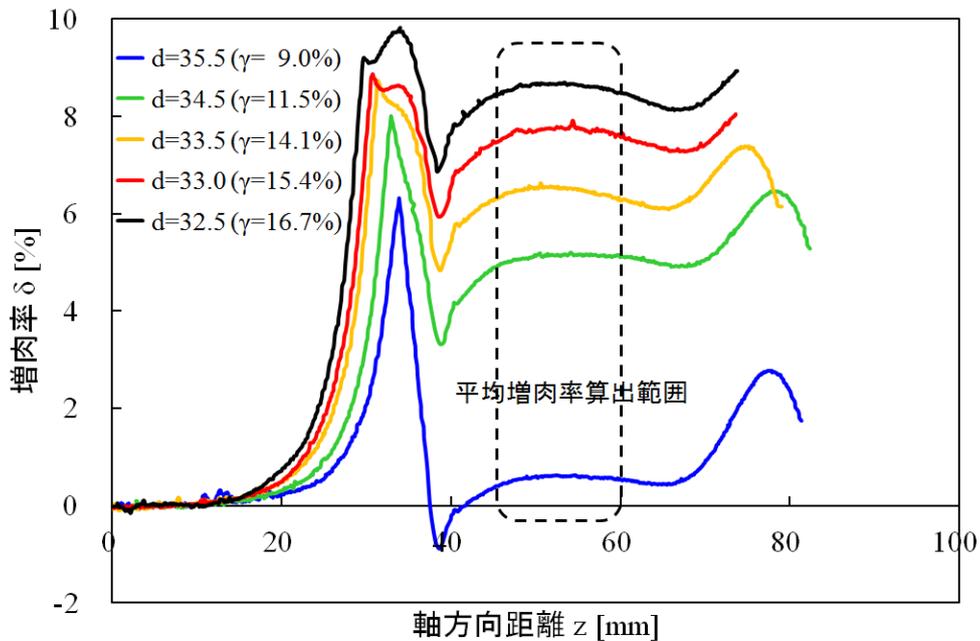


図 2-12 増肉率の軸方向分布



図2-13 成形品の断面

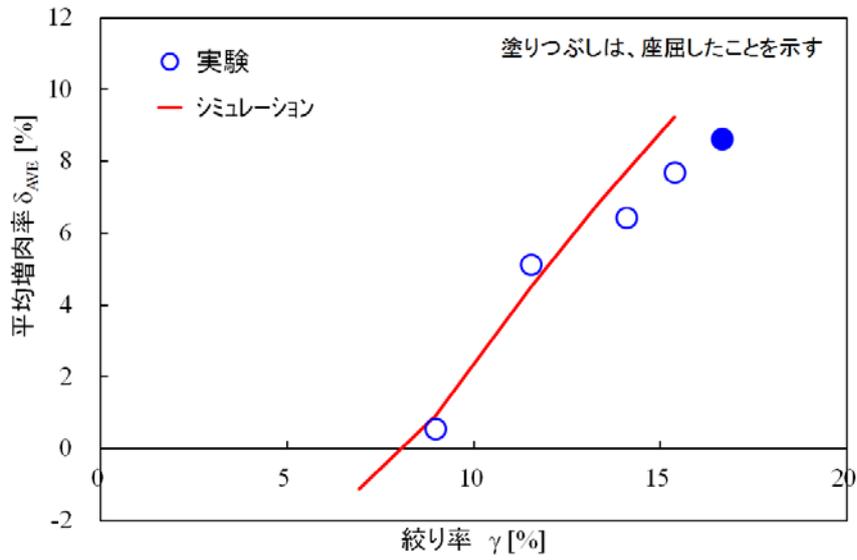


図2-14 絞り率と平均増肉率

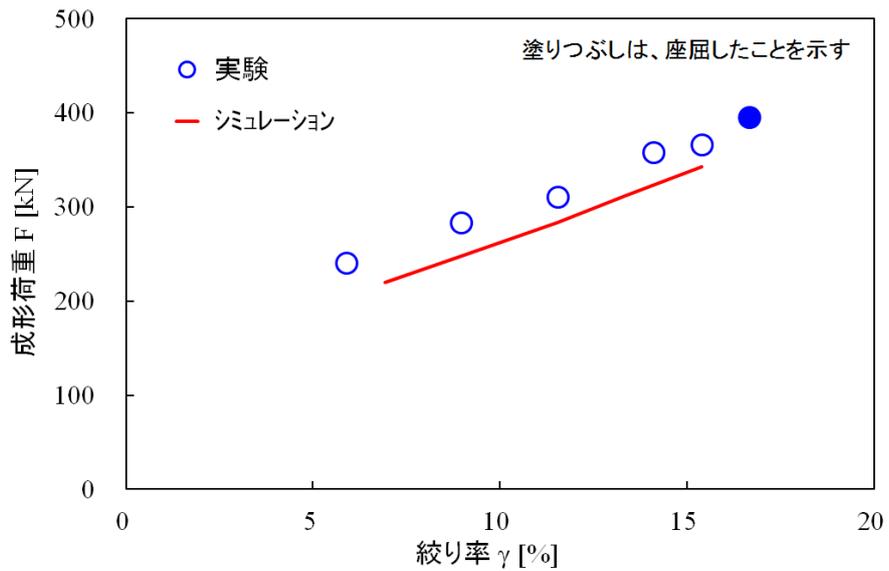


図2-15 絞り率と成形荷重

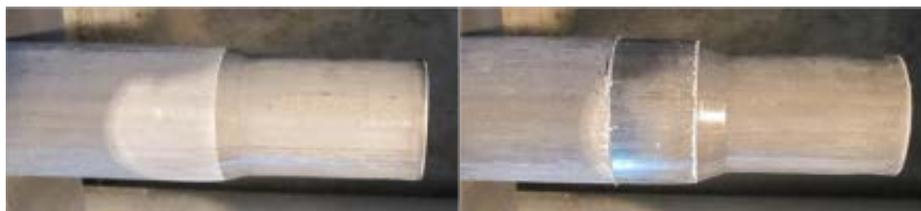


図 2-16 座屈無し (左) と座屈発生 (右)

③ 背圧の影響

背圧付加が増肉率及び成形荷重に及ぼす影響を調査した。

その結果を、図 2-17, 18 に示す。背圧付加は、増肉率向上に効果的であるが、同時に成形荷重が増大し、座屈のリスクが増すことがわかった。

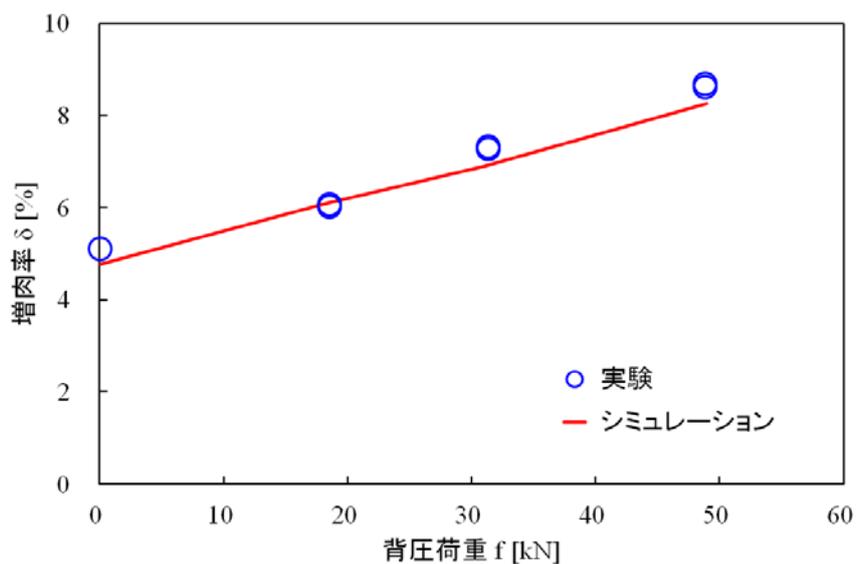


図 2-17 背圧荷重が増肉率に及ぼす影響

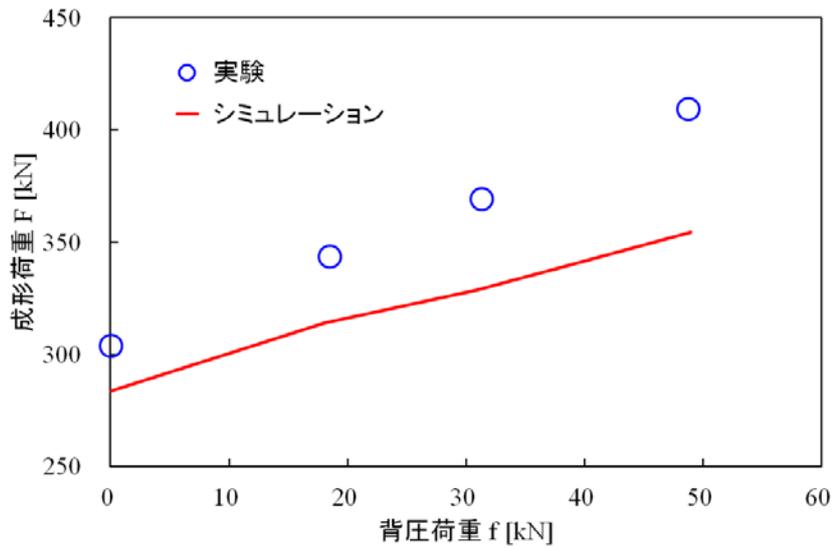


図 2-18 背圧荷重が成形荷重に及ぼす影響

④ 潤滑及び低サイクル加振の影響

スライドモーション及び潤滑剤が増肉率及び成形荷重に及ぼす影響を調査した。その結果を、図 2-19, 20 に示す。Pulse 1 が最も増肉率が大きいことがわかった。

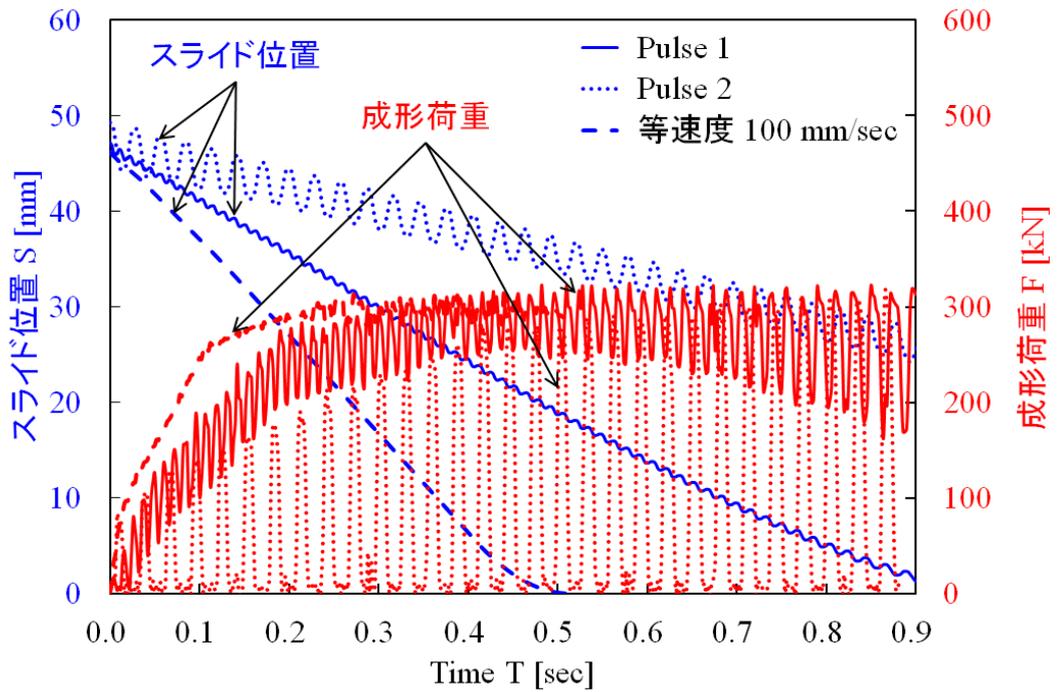


図 2-19 スライドモーション及び成形荷重の例

## 2-2 増肉率向上&成形荷重低減技術の開発1

増肉率向上&成形荷重低減方法Aの効果を実験検証した。

実験結果を図 2-21 に示す。本方法による増肉効果及び成形荷重低減効果は認められなかった。

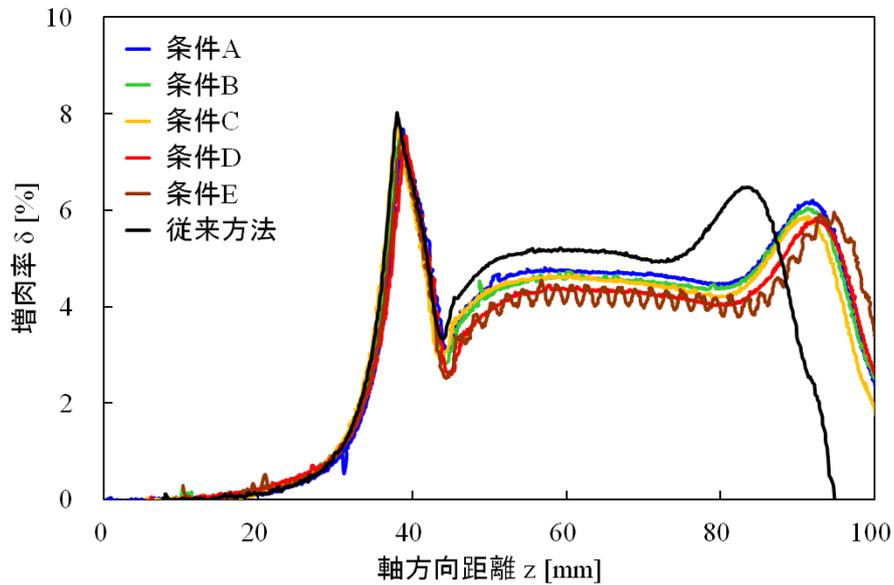


図 2-21 増肉率向上&成形荷重低減方法Aの効果 (増肉率)

## 2-3 増肉率向上&成形荷重低減技術の開発2

増肉率向上&成形荷重低減方法Bの効果を実験検証した。

実験結果を図 2-22, 23 に示す。本方法による荷重低減効果は認められたが、増肉効果は認められなかった。

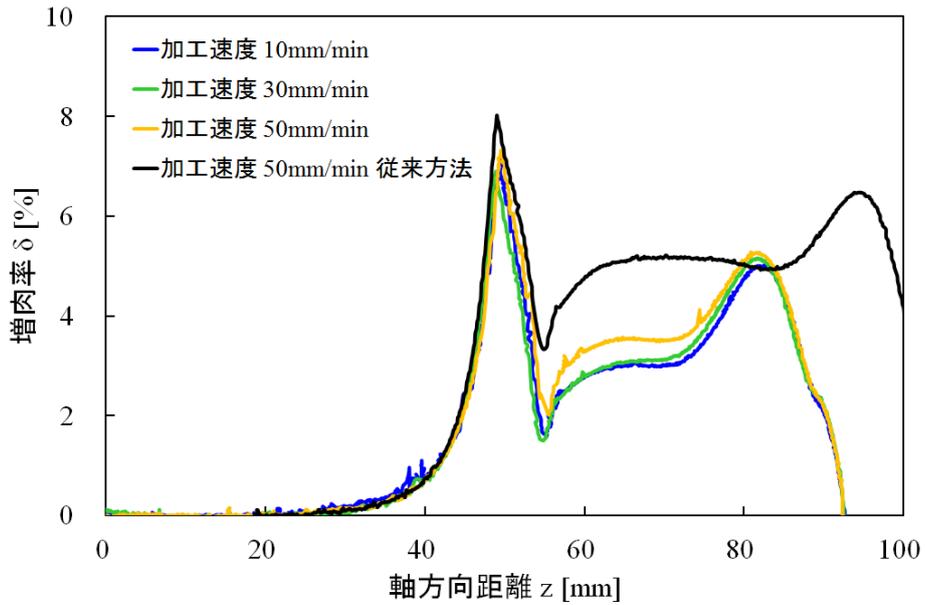


図 2-22 増肉率向上&成形荷重低減方法Bの効果 (増肉率)

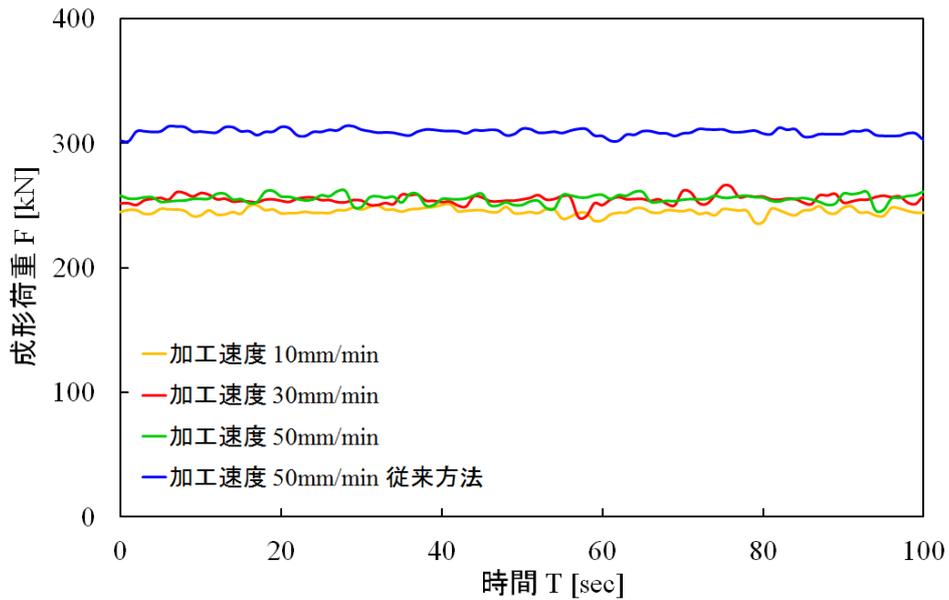


図 2-23 増肉率向上&成形荷重低減方法Bの効果 (成形荷重)

#### 2-4 高精度スプライン成形技術の開発

従来とは異なる方法でスプライン成形の実験を行い、精度を調査した。

スプライン成形品の外観を図 2-24 に示す。薄肉でも一定以上の肉厚があれば、高精度が得られることを検証することができた。

### 第3章 全体総括

本事業により、以下の成果を上げることができた。

#### 3-1 軽量化について

軽量化目標（中実比 30%）に対し、30.2% を達成することができた。（図 3-1）

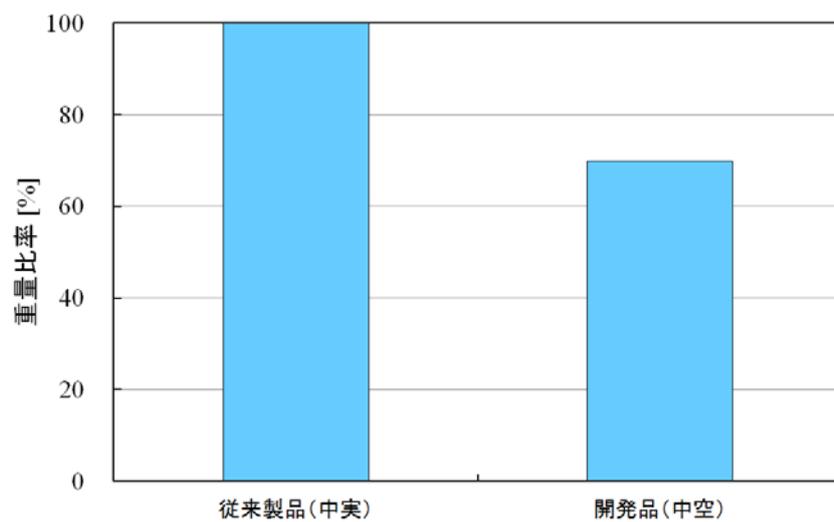


図 3-1 軽量化実績

#### 3-2 コストについて

従来技術製品に対し 30% のコスト低減を目標としたが、図 3-2 のように約 23% と若干の未達となった。

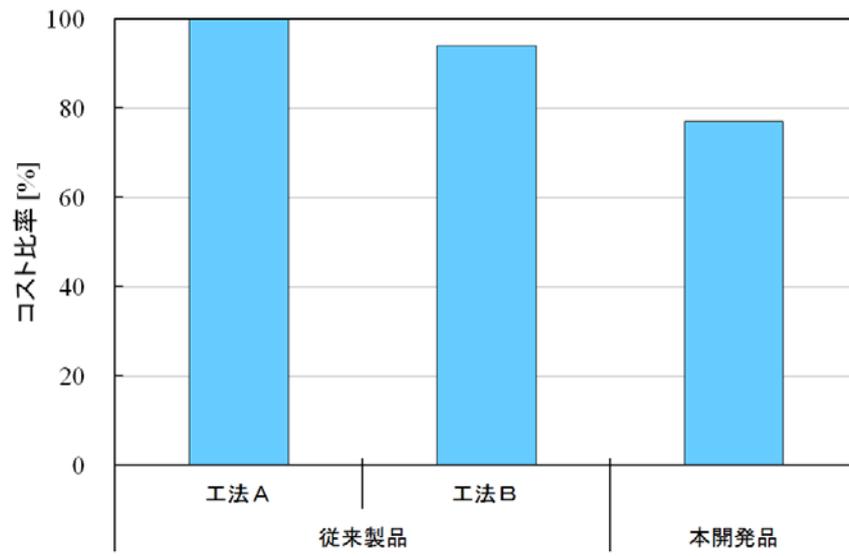


図3-2 コスト試算結果