

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「超薄肉プラスチック成型を実現するエコ成形システムの開発」

研究開発成果報告書概要版

平成23年 9月

委託者 中部経済産業局

委託先 天海工業有限会社

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・・・・・・・・・・・・・・・・ P 4
- 1-2 研究体制・・・・・・・・・・・・・・・・ P 4
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・ P 6
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・ P 7

第2章 モーター駆動式プランジャーの開発

- 2-1 研究目的・・・・・・・・・・・・・・・・ P 8
- 2-2 減速機の開発・・・・・・・・・・・・・・・・ P 8
- 2-3 モーターの選定・・・・・・・・・・・・・・・・ P 9
- 2-4 モーター駆動式プランジャー耐久テスト結果・・・・・・・・ P 10

第3章 パイプ連結方式マニホールド機構の開発

- 3-1 研究目的・・・・・・・・・・・・・・・・ P 11
- 3-2 パイプ式マニホールドの基本テスト・・・・・・・・ P 11
- 3-3 パイプ式マニホールドの試作テスト・・・・・・・・ P 12
- 3-4 小型ホットランナー試作・・・・・・・・ P 12
- 3-5 量産想定金型用大型マニホールドの試作・・・・・・・・ P 13

第4章 バルブゲート開閉制御システムの開発

- 4-1 研究目的・・・・・・・・・・・・・・・・ P 14
- 4-2 モーター制御装置の仕様・・・・・・・・ P 14
- 4-3 モーター制御用タッチパネル式画面開発・・・・・・・・ P 15

第5章 量産想定金型の設計製作と実験

- 5-1 研究目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 16
- 5-2 金型の設計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 16
- 5-3 金型の製作と成形実験・・・・・・・・・・・・・・・・ P 18

第6章 650 トン、2000 トン量産成形金型

- 6-1 研究目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 20
- 6-2 650 トン製品形状金型設計と解析・・・・・・・・ P 21
- 6-3 650 トン製品形状金型成形テスト結果・・・・ P 23
- 6-4 2000 トン製品形状金型設計と解析・・・・・・ P 24
- 6-5 2000 トン製品形状金型成形テスト結果・・・・ P 27

第7章 全体総括

- 7-1 成果の総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 28

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

自動車産業は世界的環境問題の対応と、新興市場での低価格車対応のため、自動車全体の重量を100kgほど軽量化して対応しようとしている。自動車部品の約45%はプラスチック成形品である。プラスチック成形品の軽量化は、今のところ薄肉化しか方法はない。例えば、ドアトリムの肉厚を現状2.5mmから1.5mm（重量45%）に下げたいと具体的な要望がある。軽量化（目標45%減）に貢献したい。

樹脂の使用量を減らすことおよび、車の重量を軽量化することで石油の使用量も同時に削減することができ、環境問題にも貢献することができる。

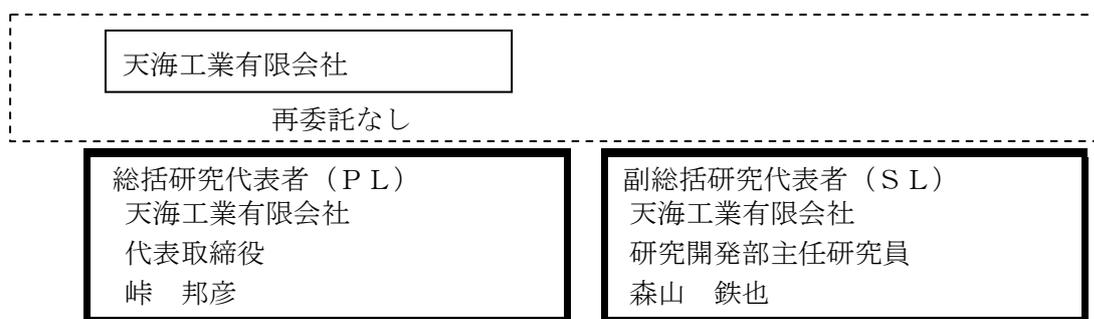
超薄肉成形技術を実現するために、成形金型にホットランナーを使用して、多点に樹脂充填ゲートを設ける方式を採用する。小型化した、まったく新規のホットランナー構造を開発して、現状のホットランナー構造に比較して、同じ面積内に約2倍のゲート数が配置できるようにする。安価なモーターを利用してバルブゲートを開発する。

モーター駆動式にする事で、多点に配置された各ゲートの充填タイミングを電氣的に制御するモーター駆動式ゲートのバルブ開閉制御システム（ハードウェア・ソフトウェア）を開発して、多点ゲート成形を可能にし、成形圧力を下げることで金型強度を下げ、金型軽量化と材料のコストダウンも同時に狙う。目標値としては、ホットランナーに掛かるコスト1/2、金型重量30%減とする。

1-2 研究体制

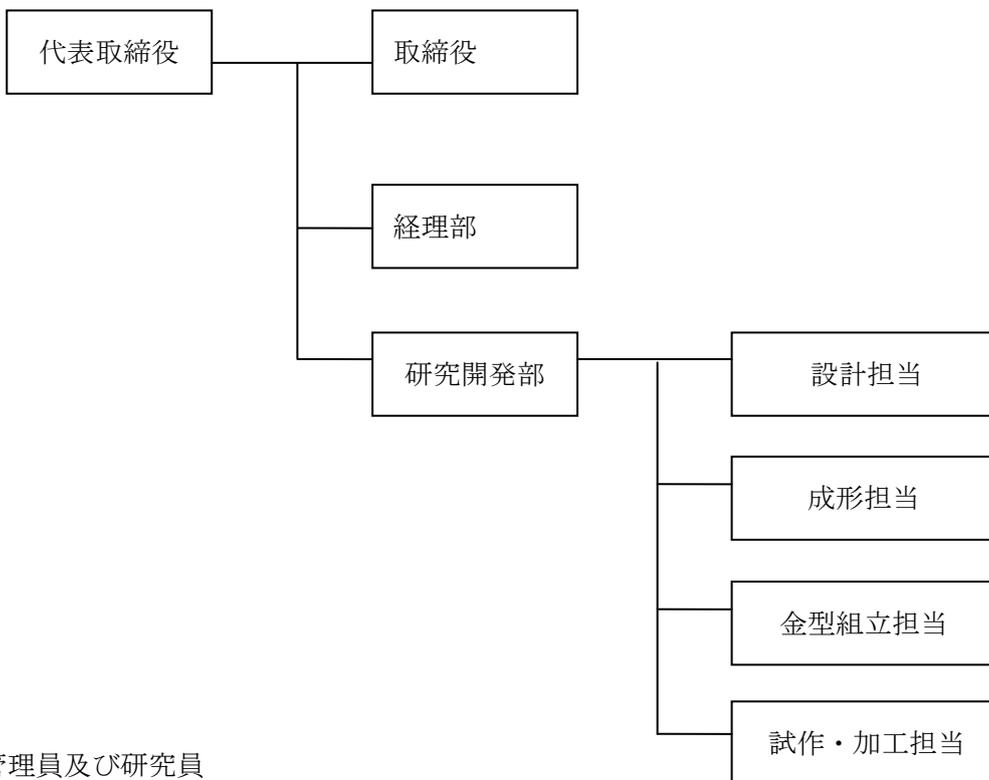
（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1) 研究組織（全体）



2) 管理体制（事業管理者）

天海工業有限会社



(2) 管理員及び研究員

天海工業有限会社

(管理員)

氏名	所属・役職
峠 邦彦	代表取締役
峠 裕子	取締役
杉村 奈保	経理部

(研究員)

氏名	所属・役職
森山 鉄也	研究開発部主任研究員
岡田 修	設計課長
中里 秀次	加工部長
安保 和之	組立リーダー
佐野 浩司	成形課長
吉岡 裕二	組立課長

植田 悦夫	担当員
寺田 朋宏	係長

(アドバイザー)

工学博士：安部 新一

准 教授：野口 裕之

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

天海工業有限会社

(経理担当者) 取締役 峠 裕子

(業務管理者) 経理部 杉村 奈保

(4) その他

なし

1-3 成果概要

本研究開発では、大型プラスチック成形部品の超薄肉成形の実現を目指して、軽量化とコストダウンの両立を図るために具体的には、ドアトリム（自動車ドアの内張）の厚みを現状の2.5mmから1.5mmまで薄肉化し、コストを下げる。

1-3-1、22年度までの研究成果

①モーター駆動式プランジャー機構開発

モーター駆動式プランジャー開発は、モーターの選定と動作機構（減速機含む）の基本的な機構開発は、解析を行いながら各部の小型化を実現し基本設計を完了させた。

②パイプ連結方式マニホールド機構の開発

新機構試作と耐圧試験を段階的に行い簡易金型による金型に搭載可能な、パイプ式マニホールド機構の基本技術の確立を行った。

また、モーター駆動の利点を生かすためにモーターの動作をさまざまなタイミングで動作させるための制御装置の設計を完了させた。

③簡易金型製作

金型として①、②の開発品を実際に組み込んだ簡易金型を設計製作し、実際に成形実験を行って、理論を実証、改良を施した。

1-3-2、23年度の研究成果

① モーター駆動式プランジャー改良

動作機構の改良と材質の改良を行いライフテストによる様々な組み合わせによる試験を行った。実際に掛かるであろう負荷を想定した実験装置を作り、目標の10万回を超えるライフを実現した。

② パイプ式マニホールドの改良

ヒーターの選定を含めたコストダウンを実現。実施にヒーター部のみの価格では1/10以下となった。

③ 量産想定実験における成形実験

量産を想定したサイズにて平面形状とし、改良されたパイプ式マニホールドおよび、新機構のモーター駆動式プランジャーを載せた形で、軽量コンパクト化を狙った最軽量で強度が十分な実験金型を製作し、圧力分布、温度ドリフトの基礎データを取ることに成功した。

④ 650トン、2000トン製品形状金型実証実験

量産想定実験金型で得られた成果をもとに、650トンの製品形状金型とさらに最終的な目標である2000トンクラスの自動車用ドアトリム金型の新機構金型を完成させ、広範囲の金型製作に問題ないことを実現した。この金型で、全体目標をすべてクリアーできた。

- ・成形品の肉厚2.5mmから1.5mmまで薄肉化を実現
- ・ホットランナーマニホールド部の重量1/5
- ・ホットランナーにかかるコスト1/2
- ・バルブゲート配置ピッチ1/2以下
- ・金型重量30%減、金型目標厚さ1/2（製品部範囲は除く）

1-4 当該研究開発の連絡窓口

天海工業有限公司

研究室取締役 (SL) 森山 鉄也 E-mail:mori@tenkai-inco.com

研究室課長 岡田 修 E-mail:okada@tenkai-inco.com

連絡先： TEL 0561-38-5460（代表）

FAX 0561-38-1358

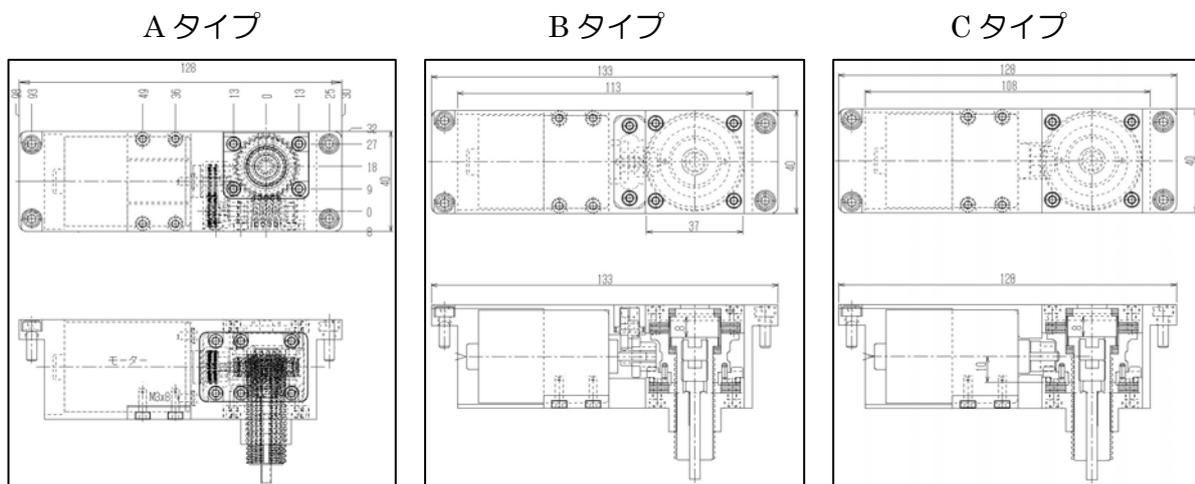
第2章 モーター駆動式プランジャーの開発

2-1 研究目的

従来のホットランナーに使用されるバルブは、空圧シリンダーや油圧シリンダーを使用して製作されている。コスト的な問題があり、金型競争力がないという問題がある。それらを解決するためにモーター駆動式プランジャーの開発を行う。安価なモーターを利用することで、大幅なコスト削減ができるだけでなく、高精度な穴明け加工が不要となり、配管に必要なガンドリル加工も不要となる。

2-2 減速機の開発

モーターの動力をバルブゲートの開閉に利用できるようにするためには、高効率な減速機構が不可欠である。特に減速比率が大きい場合、減速装置の効率が悪くなり、大型化しやすい問題がある。それらを解決する構造を3タイプ考案し、さまざまなテストを行って最終的に遊星ギアを用いた減速機構を用いた構造とした。



図一1 3タイプの減速機構

Aタイプ（図一1）、（図一2）の減速機構ではウォームギアの効率が非常に悪くまた400回ほどの動作回数により、油膜切れを歯面に起こすため、摩擦が大きく増大し、出力が大幅にダウンするという問題が発生した。

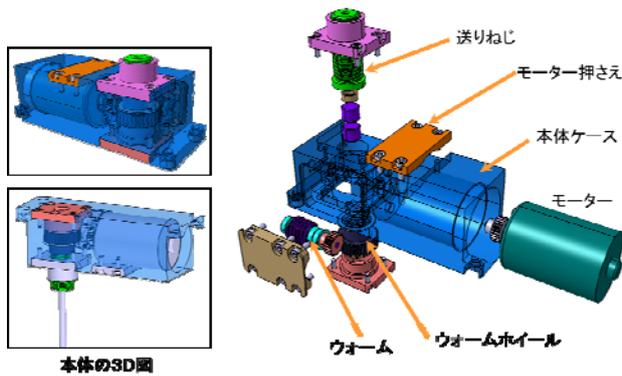


図-2 Aタイプの減速機構

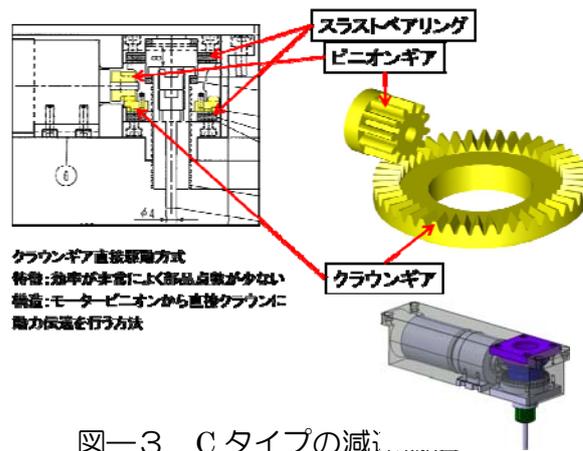


図-3 Cタイプの減速機構

また B タイプ (図-1) では、モーターの回転の比較的低回転高トルクのものを使用しなければならず、モーターの出力に限界があった、C タイプ (図-1、図-3) では、回転数を稼いで減速を大きくすることで適正なスピードとトルクを発生させることで効率も大幅に改善され、目的の推力を大きく上回ることができた。

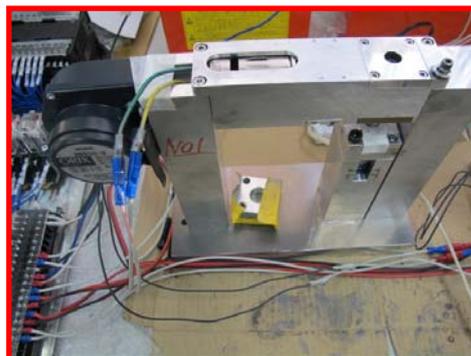
2-3 モーターの選定

モーターを選定するに当たり、(表-1) 8種類の同形状モーターの測定を行い、コスト、効率、能力の比較を行った結果、仕様を考慮すると1、2、7番のモーターが利用できる。ただし、国産モーターの利用を優先しコストを考慮した結果1番のモーターを選定した。

	1	2	3	4	5	6	7	8
メーカー	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	H社
価格	1,200	1,500	3,500	3,500	2,500	2,940	1,200	3,675
コイル巻数	27	23	23	23	25	27	27	28
適正電圧:V	7.2~12	6~12	7.2~12	7.2~12	7.2~12	7.2~12	7.2~12	7.2~12
無負荷時の回転数: rpm	16,500	20,500	23,800	25,100	17,200	16,800	17,400	25,600
最高効率時のrpm(7.2V時)	13,600	17,100	17,800	13,100	14,000	12,800	14,100	18,600
最高効率時のトルク: g・cm(7.2V時)	261	230	460	495	393	468	290	450
最高効率時の消費電流: A(7.2V時)	8.6	12	20	22.4	12.4	13.6	9	20.8
最高出力時rpm	8,200	9,800	11,800	12,200	8,300	7,800	8,400	12,200
最高出力W	73	90	134	142	119	111	87	112
最高出力時トルク	768	423	1,090	1,120	1,380	1,251	900	1,010
最大効率: % (7.2V時)	70	68	70	75	79	77	77	75.7
実測重量	162g							
エンドベル温度 (適正負荷)	41°C	44°C	83°C	85°C	68°C	56°C	47°C	58°C
フロント温度 (適正負荷)	38°C	42°C	78°C	80°C	62°C	48°C	43°C	55°C

表-1 モーターのテスト結果

2-4 モーター駆動式プランジャー耐久テスト結果



モーター駆動式プランジャー制御回路

ライフ試験機

図-4 ライフテスト制御装置

また、耐久性に関して自動車用金型でのライフサイクルを 10 万回と設定し、歯車の材質と熱処理の仕方での組み合わせ（表-2）で、加速試験装置（図-4）を用いてライフテストを行った結果無事 10 万回のライフを余裕でクリアーすることができた（図-5、図-6）。

モーター駆動式プランジャーライフテスト										
2次試作では、ライフテスト10万回をクリアーするモーター式プランジャー開発完了										
クラウン式の駆動計でのライフテスト結果										
					焼き入れ	1台NGIにてストップ				
	ピニオン	クラウン	パノール噛み合わせ	送りねじ	1段ピニオン	No.1	No.2	No.3	備考	製品納期
1	S55C	DC53	BSBM	SUS304	PA66	43	97	10	パノールの噛み合わせ	完了
2	S55C	DC53	SCM415	SUS304	PA66	98	76	71	送りねじの噛み合わせ	完了
3	S55C	DC53	SCM415	SUS304	PA66	803	854	867	送りねじの噛み合わせ	完了
4	DC53	DC53	NAK80	SUS305	PA66	2477	2484	未定	1段ピニオンの噛み合わせ	完了
5	DC53	DC53	DC53	SUS306	S55C	16381	16381	16381	クラウンの噛み合わせ	完了
6	DC53	DC53	DC53	SUS306	S56C	52993	52993	52993	送りねじの噛み合わせ	完了
7	DC53	DC53	DC54	SKD61	S55C	10			目標達成	完了

表-2 歯車の材質と熱処理の組み合わせ



10,5091回の動作を行った時点で歯車の摩耗状況を確認したが、ほとんど摩耗は見られない状態であった。3台ともに問題なしとの結果で、10万回の目標をクリアー

図-5 ライフテスト結果 10 万回をクリアー



減速内歯ギア摩耗なし



クラウンギア摩耗なし

図-6 各部の摩耗見られない

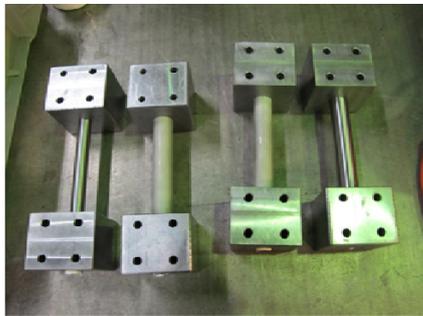
第3章 パイプ連結方式マニホールド機構の開発

3-1 研究目的

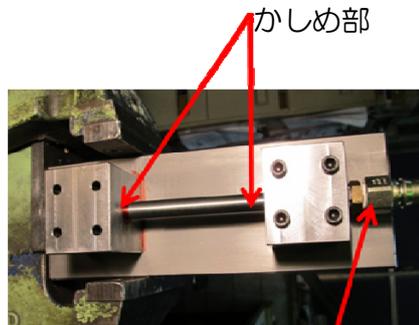
従来のマニホールドは、大きな炭素鋼プレートブロック等をくりぬいたのちに樹脂の流れる湯道、ヒーター組み込み穴加工、など深い穴あけ加工が必要で高価であった。独自のパイプ式マニホールドの開発を行い、自社製作し安価なパイプ式マニホールドの開発を行う。

3-2 パイプ式マニホールドの基本テスト

パイプ式マニホールドの耐圧試験用テストピース（図一7）を設計製作し、実施にかしめ機を利用し配管を行い、（図一8）超高压の60MPaの圧力をかけて破断テストを行った。（図一9）その結果、成形圧力を想定した圧力でも問題ないマニホールドを製作できた。



カシメたテストピース
全体画像



油圧装置に結合

図一7 耐圧試験用テストピース

●マンドレルをパイプに挿入したところ



●パイプをブロックに挿入



図一8 かしめ機による配管作業



圧力ゲージ画像
60MPを表示



ステンレスパイプの計測
60MP時点で0.02mm
拡大している。



ステンレスパイプ長さの計測
60MP時点で伸びは認められない

図一9 耐圧試験の画像

3-3 パイプ式マニホールドの試作耐熱テスト

圧力テストにおいて耐圧が確認されたため、次の段階としてこの実験では実際の温度までヒーターによる高温状態での耐圧テストを行った。温度センサーで温度確認と、温度制御装置を同時に設置し、耐圧試験を行った結果も同様に60Mpaまで問題なくテストが完了した。



温度計測をしながら圧力テスト



350℃での耐圧テスト(60Mpa)

図-10 耐熱耐圧試験の画像

パイプを受けるマニホールド本体部品のヒーター巻耐熱試験について行った。結果最大温度350℃までの耐熱試験に関して、問題なく使用できるマニホールドが完成した。(図-10)

3-4 小型ホットランナー試作

成形実験のできる小型マニホールドを設計製作し、(図-11)実際の成形を行い、実証実験を行い、温度ドリフト計測や実際に脈動する成形圧力に対しテストを行なった。

マニホールド部分は、温度を実測することができるように見開き状態とし、マニホールド部分を観察しながらの成形テストをおこなった。(図-12)

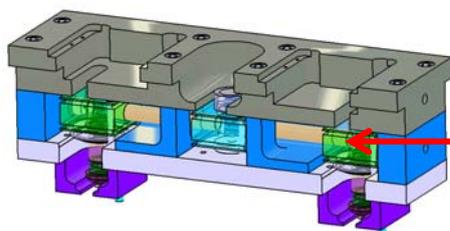
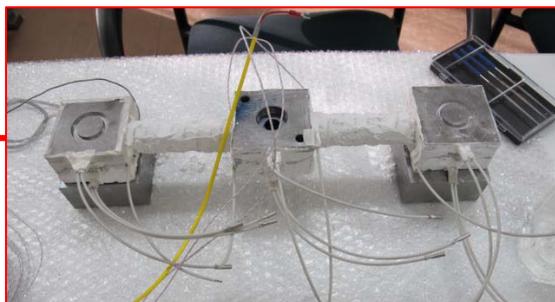
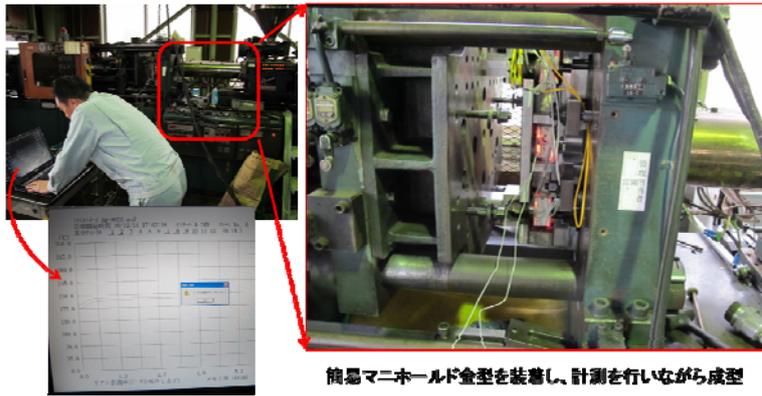


図-11 耐熱耐圧試験の画像



小型ホットランナーの試作を行っての成形テストは、最大圧力60Mpa以上の圧力をかけてテストを行ったが、問題は全く成形も順調に行うことができた。(図-13)温度ドリフトの計測も問題なく、温度制御にも高精度な温度管理ができることがこの基礎実験によってわかった。



温度計測と同時に温度センサーによる確認をおこなっているが、 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内に収まっておりきわめて安定した温度管理ができることが解った。

簡易マニホールド金型を装着し、計測を行いながら成型

図一 1 2 耐熱耐圧試験の画像



図一 1 3 小型マニホールドによる成形実験の画像

3-5 量産想定金型用大型マニホールドの試作

必要な強度を実証することができたため、次の段階として、量産金型を想定した、ドアトリムサイズの量産想定金型用大型マニホールドの試作をおこなった。絶縁材料の変更も含めノズル、マニホールドのヒーターの施工方法も改良した。(図一 1 4)は、マニホールドとノズル部の絶縁材料施工画像であるが、価格性能共に良好なものとなった。



絶縁材料の巻きつけおよび施工課程

絶縁材は、リング状に切り取りはめ込むだけ

図一 1 4 絶縁材料の施工と耐熱実験の画像

(図-15)は、温度計測を行った画像であるが、新絶縁材料の採用で、マニホールド部の温度上昇率が良くなり、また温度安定性に良好な結果となった。

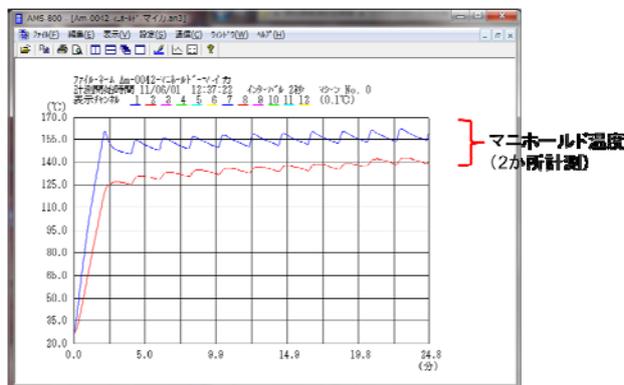


図-15 ヒーターの温度計測結果



図-16 パイプ式マニホールド施工

(図-16)は、金型へパイプ式マニホールドを実際に施工したところである。従来のマニホールド組立に比べ非常に簡単に組立ができることが特徴である。

第4章バルブゲート開閉制御システムの開発

4-1 研究目的

モーター駆動式プランジャーを動作させるための制御装置は市販されていないため、独自で開発した。モーター駆動式プランジャーは、モーターで動作するために開閉タイミングを油圧シリンダーや空圧シリンダーと比較して、安定して駆動させることが利点である。モーターの1つずつ別々に動作できるように開発することが目的である。

4-2 モーター制御装置の仕様

制御装置の主な仕様を下記の様にまとめた。

- ① 20カ所モーター駆動式モニターランプ付押しボタンスイッチ
- ② リセットキー
- ③ タッチパネル式モニター

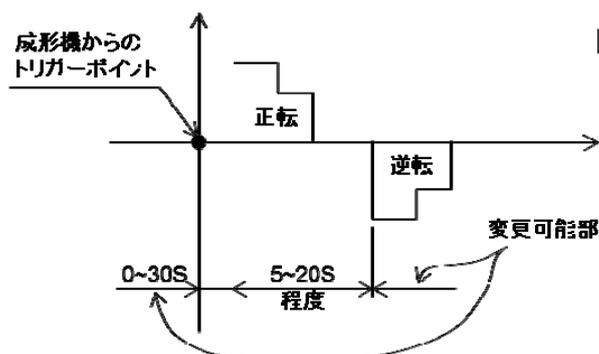


図-17にそのタイムチャートを示す。

図-17 モーター動作
タイムチャート

⑤ 出力コネクタ

- ・メタルコネクタとし、Aを12ch、Bを8chの仕様とした。

図-18に制御装置の概要図を示す。

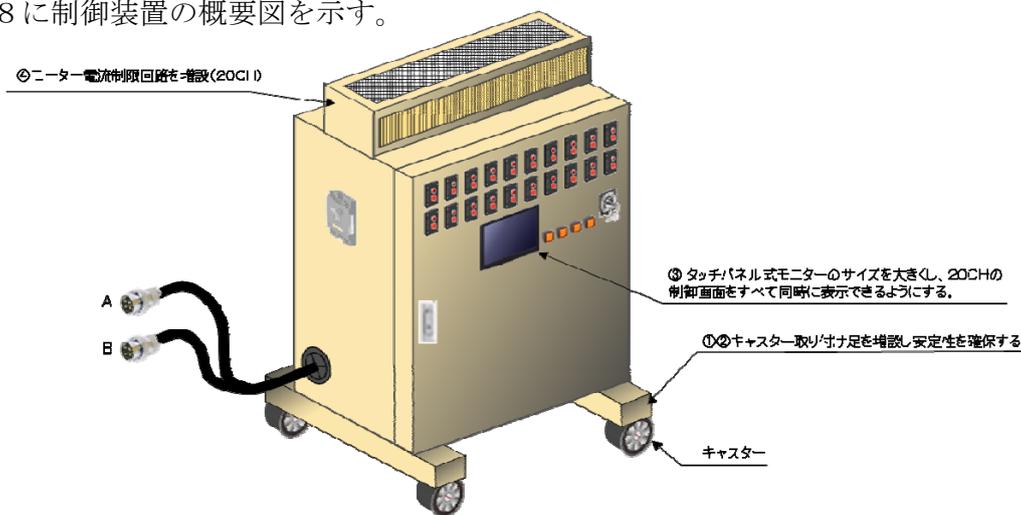
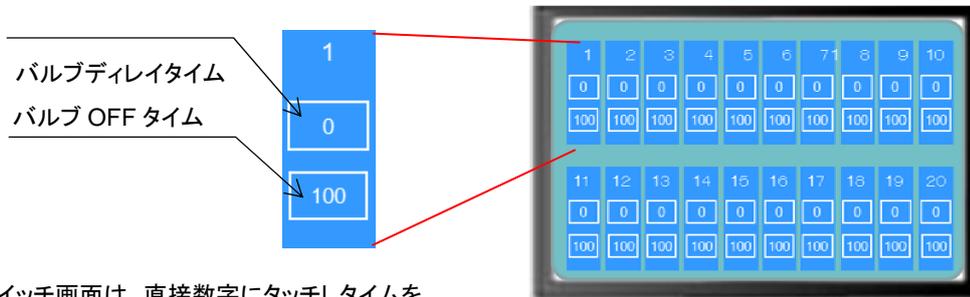


図-18 モーター制御装置の仕様図

4-3 モーター制御用タッチパネル式画面開発

タッチ画面は、(図-19)産業用タッチパネルを用いて、独自に画面を作成し同時に20点のモーター制御内容を見られる環境とした。



各スイッチ画面は、直接数字にタッチしタイムを自由に変更できる。

図-19 画面の仕様図

20CHすべての表示を行った場合の画像イメージ

上記の仕様に合わせて製作したモーター駆動式ゲートバルブ制御装置(図-20)を完成することができた。

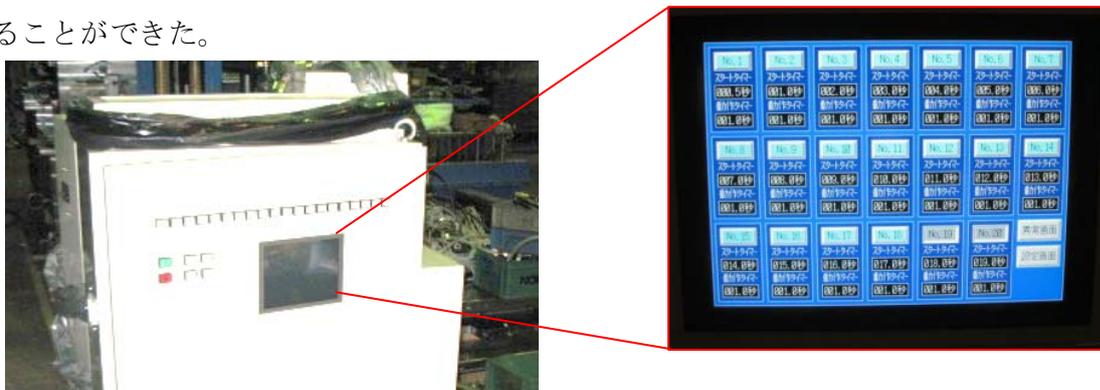


図-20 実際の制御装置の画像

第5章 量産想定金型の設計製作と実験

5-1 研究目的

複雑な製品形状を持つ金型を製作する前にドアトリム（自動車のドア内張り）に相当するサイズの平面形状金型において、薄肉成形が可能であることを基礎的なデータ取りを踏まえて、テスト金型を製作し、成形実験を行う。この実験で成形圧力の低下、マニホールドの実際の圧力測定、金型の軽量化のための低圧化が可能であるかも同時に検証するために製作するものである。

5-2 金型の設計

金型設計と同時並行にて、多点ゲートで成形するとどの程度圧力が低下する解析を行って想定圧力を求め設計し、軽量化した。

表-3は、ゲート点数ごとの解析結果をまとめたものである。2点で成形したときに比べ18点で成形した場合、成形時の最大圧力は、50.41 MPa から大幅に低下し21.53 MPaで成形できるようになるとき結果が得られたため、金型強度を25 MPaとして、強度解析を新たに行った。

ゲート点数	2点	4点	6点	8点	12点	18点
ゲートレイアウト						
ランナー体積 (mm ³)	26.28	80.78	76.18	161.87	162.38	228.86
ショートショット(発生可能性)	低	低	低	低	低	低
ジェットング(発生可能性)	低	低	低	低	低	低
外觀不良(発生可能性)	低	低	低	低	低	低
最高圧力 (MPa)	50.41	35.42	30.5	29.38	23.28	21.53
ランナー最大圧損 (MPa)	32.98	28.81	28.52	21.28	18.18	17.88
ランナー最小圧損 (MPa)	32.24	28.84	18.9	18.38	13.83	8.88
ゲート間最大圧力差 (MPa)	0.12	0.07	4.81	2.88	8.88	7.84
最高温度(°C)	222.43	228.74	226.88	228.42	227.76	227.88
最低温度(°C)	213.27	214.87	216.47	218.74	217.44	218.86

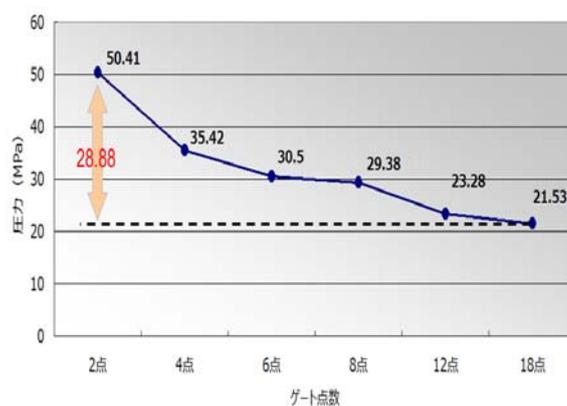


表-3 ゲート点数ごとの解析結果のまとめ表

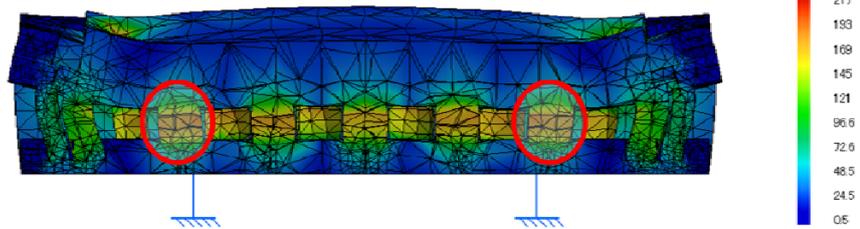
図-2-1 成形圧力をグラフ化

成形圧力のみをピックアップし、(図-2-1)にグラフ化したものを見るとその圧力差は28.88 MPaも低下することになる。

強度解析は、机上計算値にて概算し、3Dソリッドモデルを正確にモデリング解析を繰り返して、理想の金型強度に対する各プレート重量と寸法決めをおこなった。

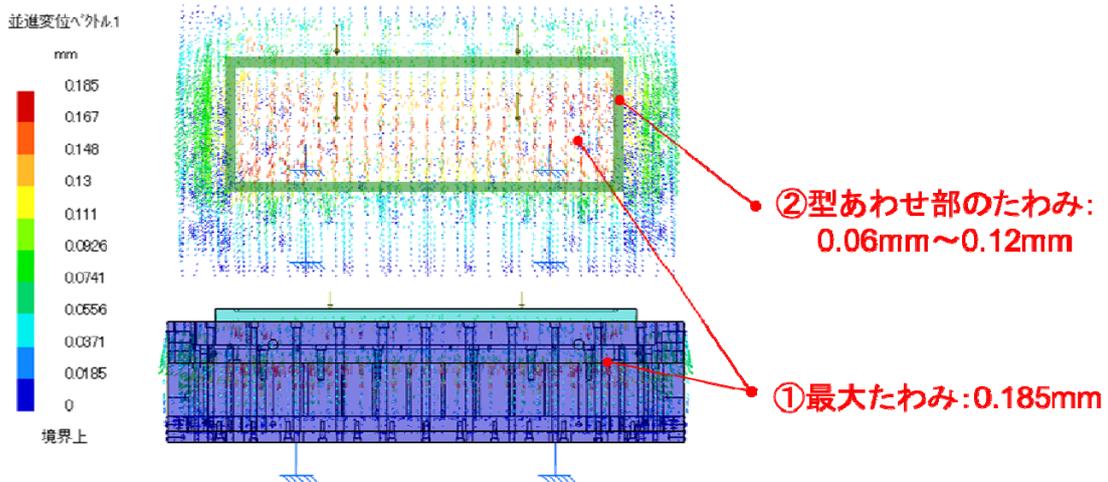
(図-2-2)は、応力解析モデルの画像であるが、ひずみを2万倍に増幅し表示。解析後サポートピラーを改善し、たわみに関して、(図-2-3)基準に適合する強度となった。

サポートピラー径
φ80



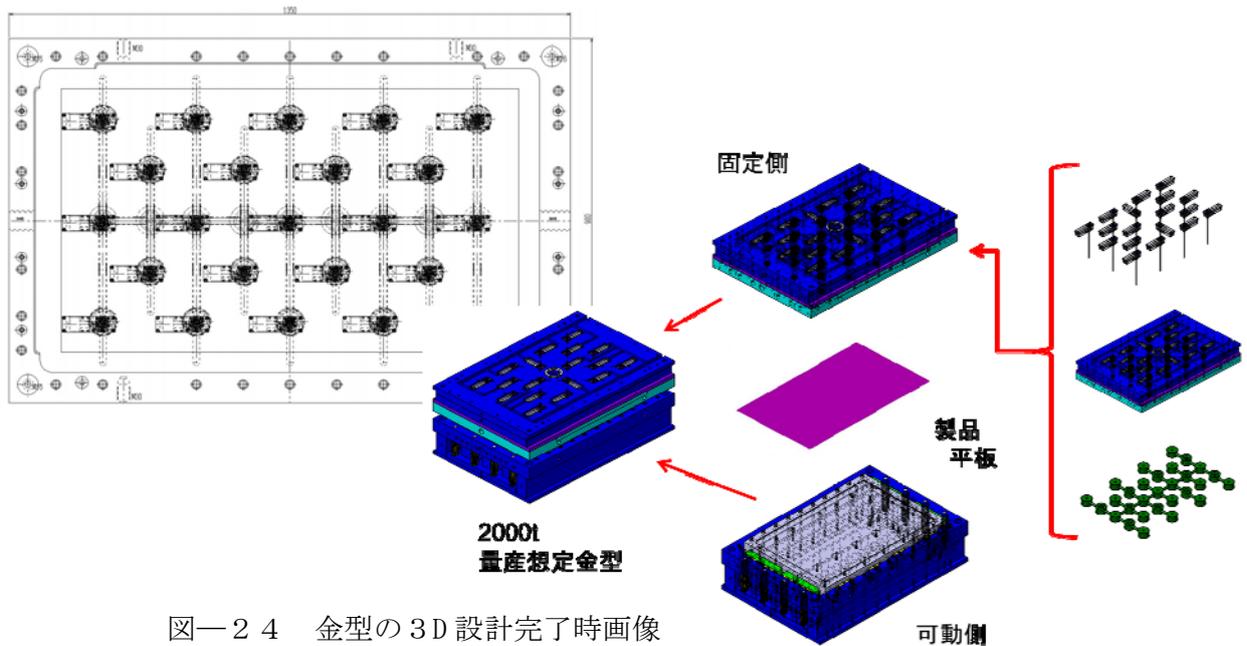
サポートピラーの径をφ60からφ80に変更したことで、最大応力は240Mpaとなり強度に問題ない構造となった

図一22 応力解析の事例



図一23 ひずみの解析結果の例

(図一24)は、必要な強度解析を行った後に、2Dで設計した平面図および3Dで金型を設計モデリングしたものである。30%以上金型の厚みを薄くできている。

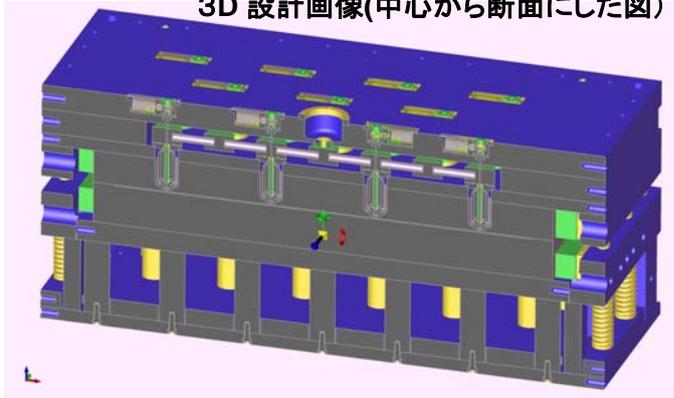


図一24 金型の3D設計完了時画像

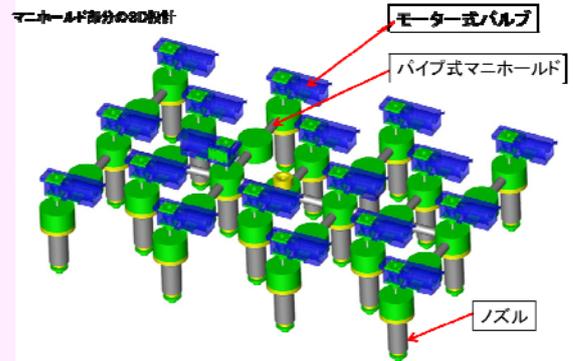
平面図で見るとドアトリムサイズの面積に18点のゲートが配置されている狭いピッチでの

レイアウトが可能となっていることがわかる。またパイプの連結方式であるため、ガンドリルの深穴加工も無いためコストも工期も大幅に削減された。

3D 設計画像(中心から断面にした図)



図一 2 5 3D 設計断面図



図一 2 6 パイプ式マニホールド部

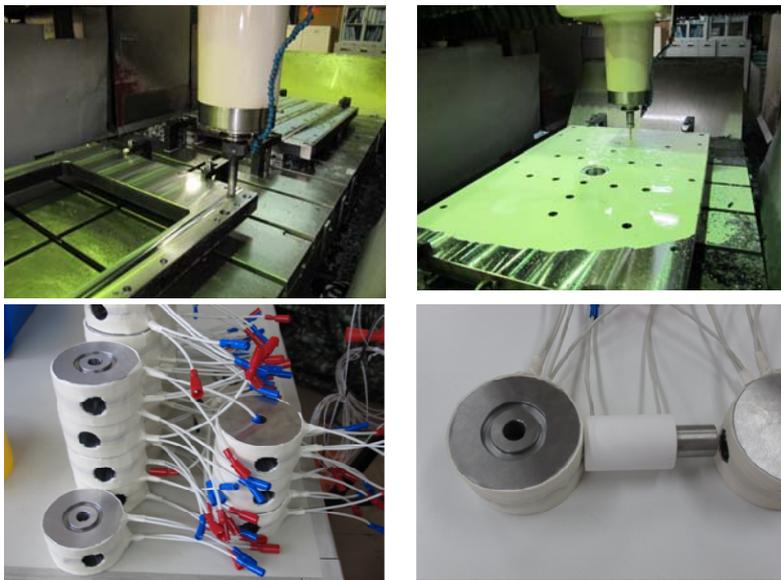
(図一 2 5) は、3D モデリングアッシーをクリップにて断面にしたところである。

(図一 2 6) は、パイプ式マニホールド部分のみを分離し、その構造をわかりやすくしたものである。パイプ式マニホールド部分は丸型マニホールド間をパイプで連結してある。モーター式バルブは、小型であり、ドアトリムサイズの面積に 18 点余裕で配置できる。

5-3 金型の製作と成形実験

(図一 2 7) は、解析を踏まえて設計したものを加工した画像である。図一 2 8 は、金型組立画像である。事前試作で得られたノウハウを生かし、組立が非常に楽になった。マニホールドの組立も従来のものと比べ分割タイプとなり、組立しやすくなっている。

また、加工も各プレートの板厚が薄くなったこともあり、マシニングセンターによる加工において、穴あけを含む貫通加工部分の加工工数もすくなくなった。



図一 2 7 金型の加工画像



パイプ式マニホールドの組立完成

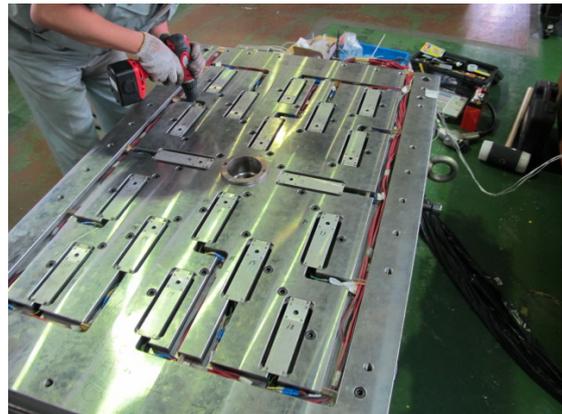


丸型マニホールド拡大画像
ヒーターを巻いてコネクタ端子
を接続することで完成する

図一 28 金型の組立 (マニホールド部)



マニホールド組込み



モーター駆動式プランジャー組込みを行っている画像

図一 29 最終金型組立工程

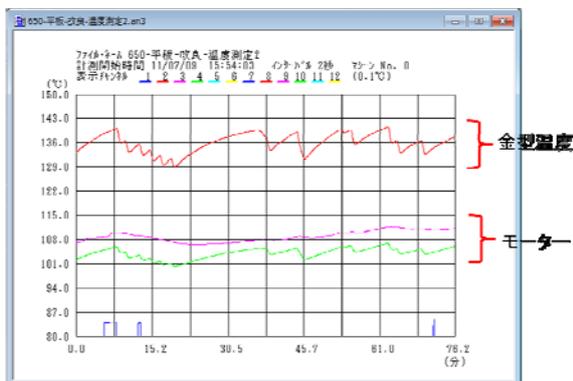
(図一 29) は、モーター駆動式プランジャーの組立を行っている画像であるが、油圧シリンダーや空圧シリンダーのようなガンドリルによる配管加工は必要ないため、電線の接続のみの作業となった。加工工数も組立工数も減少した。

(図一 30) は、200トン成形機へ金型を取り付けた所であるが、金型の厚みが非常に薄いことがわかる。多点で成形することで、超薄肉の大型サイズの成形が可能となった。



最終目標板厚1.5mmの成形を達成
成形圧力は、46Mpaであった。
十分に圧力マージンを持って成形
できた。(サイズ:1000*650)

図一30 金型を2000トン成形機へ取り付け成形



金型温度は、同時3か所について計測。

図一31 金型の各部の温度計測結果

図一31は、金型の温度ドリフトを確認するために温度センサーの組み込みを行って計測したが、温度ドリフト現状はなく、温度は規定値内に収まった。また、モーターの温度も計測したが、同様に温度ドリフトはみとめられなかった。モーターの発熱が当初懸念されていたが、運転時間が短いこと、インターバルが運転時間に比べ数倍以上の時間が取れていることで安定している。

第6章 650トン、2000トン量産成形金型

6-1 研究目的

実際の製品形状の金型にて、全体目標値であるドアトリム成形品肉厚2.5mmから1.5mmの肉厚まで薄肉化を可能にすること。ホットランナーマニホールド部の重量1/5。ホットランナーにかかるコスト1/2以下。金型重量30%減、金型目標厚さ1/2（製品部範囲は除く）を確認するために設計製作、実成形での実証試験を行うものである。

6-2 650トン製品形状金型設計と解析

図-32は、650トン級サイズのドアトリム製品形状である。このサイズに実際に15点のゲート点数の配置を行った場合、成形圧力がどこまで低下するのかを確認するとともに製品形状での問題点の確認を行う。

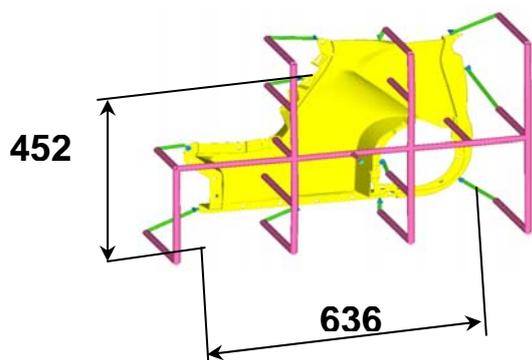


図-32 650トン製品3Dデータ

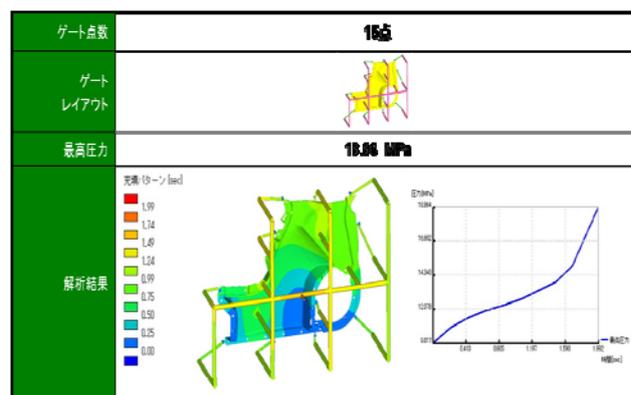


図-33 650トン製品形状流動解析

(図-33)は解析結果であるが、ゲート点数が増えるにつれて圧力分布が均一になり、製品としては内部応力が少なくなる。そのため、ひずみの少ない良品質の成形品が得られる。

今回の解析結果では、最高圧力が約18MPaとなり、従来の金型と(想定)比べ約1/3の圧力で成形できるという結果となった。また、ゲート点数が増えるとそれほどレイアウトに気を使わなくとも充填のバランスが大きく差が出ることがないため、均等に配置するだけでも問題なく十分という結果である。しかし、充填時間に大きな違いがなくなるため、樹脂を均一に冷却することが出来るようになる。(図-34)は、流動解析による成形圧力18MPaを基準に金型にかかる圧力分布の図である。

実際には、安全率をとり、最大圧力を25MPaとして解析を行う。

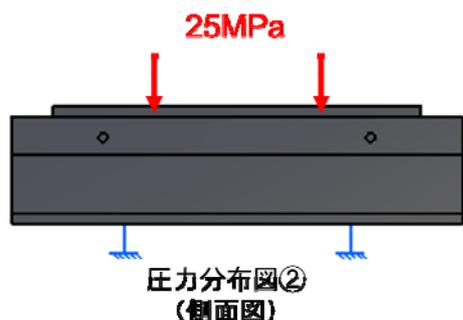
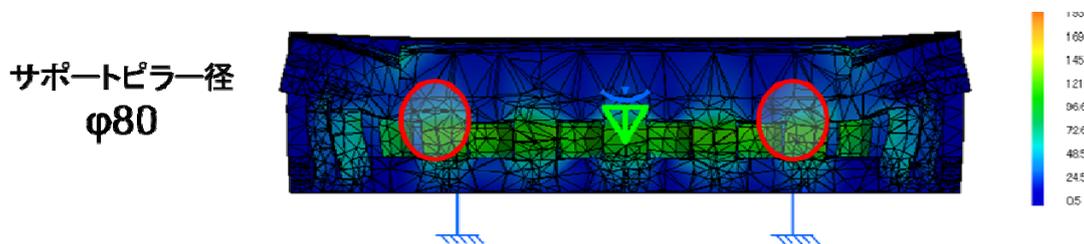


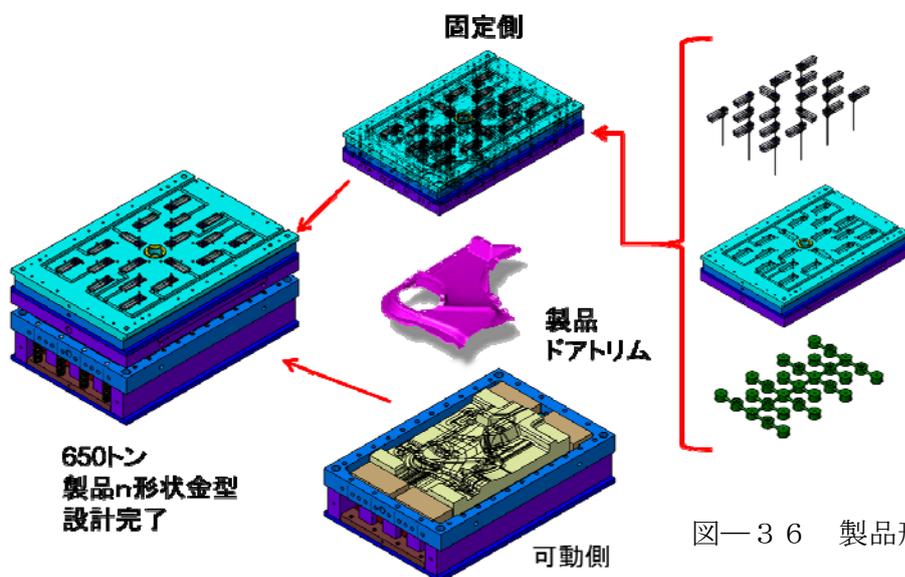
図-34 650トン製品形状金型にかかる圧力分布

(図一35)は、上記の条件で強度解析を行ったものである。

最大応力は 240.7MPa であり、サポートピラーのイールドを下回っている。サポートピラーのイールド：250MPa < 最大応力：240.7MPa よって、強度的な問題は無い形で設計を行った。その3Dデータ画像が、図一36である。



図一35 650トン製品形状金型にかかる強度解析結果

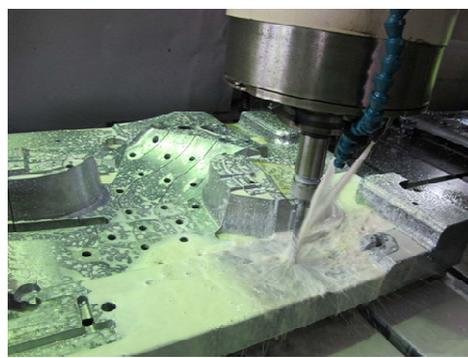


図一36 製品形状金型3D設計図

図一37は、650トン製品形状金型の加工中の画像である。キャビ側、コア側の面型部の面型部において、厚みを薄くすることができたため、貫通を伴う穴あけ加工の工数が軽減した。また固定側型板に関しても、特殊なガンドリル加工はまったくなくなり、シリンダー収納部の精密な加工も通常のポケット加工となったため、加工工数は極端に軽減された。

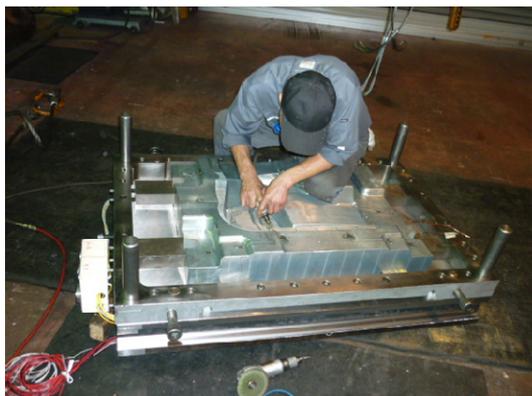


コアの仕上げ加工



コアの仕上げ加工

図一37 650トン製品形状金型加工



キャビの組立



金型のセッティング

図-38 650トン製品形状金型組立とセッティング

図-38は、金型の組立と金型のセッティングをおこなっているところである。通常金型に比べ軽量化されているため、作業性が良い。

6-3 650トン製品形状金型成形テスト結果

図-39は、650トン製品形状金型の成形実験を行ったところである。15点のゲートを設けたことで、スムーズな成形を行うことができた。

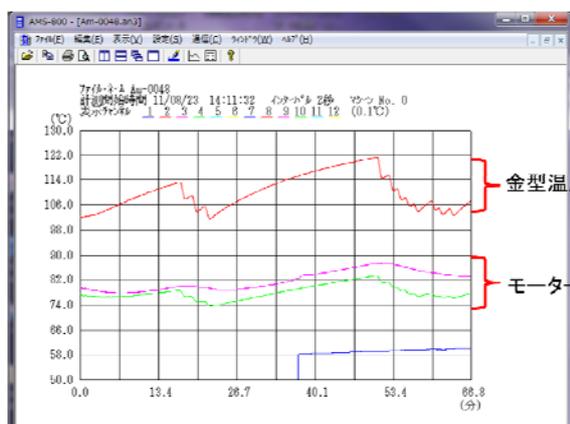


図-39 製品成形品

図-40は、金型に温度センサーを組み込み実施後温度計測を行ったものである。ベースの温度安定性、モーターの温度も安定していた。

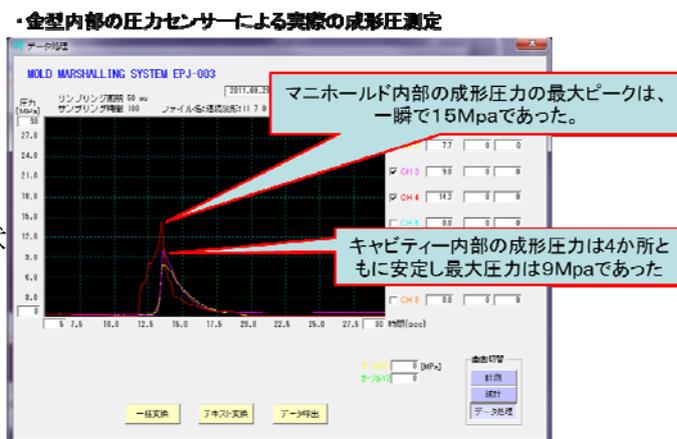
図-41は、金型内部に圧力センサーを組み込み計測したものである。当初解析によって計算を行った結果は、18.86Mpaであったため、

実際の成形圧15Mpaは、若干少ない程度であり、ほぼ解析どおりの結果になっていると思われる。ただし、今後の解析に補正を組み入れていく。



温度計測結果

図-40 製品形状金型温度計測



成形圧力測定結果

図-41 製品形状金型成形圧力

6-4 2000トン製品形状金型設計と解析

図-4 2は、2000トンサイズのドアトリム製品形状である。このサイズに実際に18点ゲート点数の配置を行った場合、成形圧力がどこまで低下するのかを確認するとともに最終目標が達成できることを実証する。

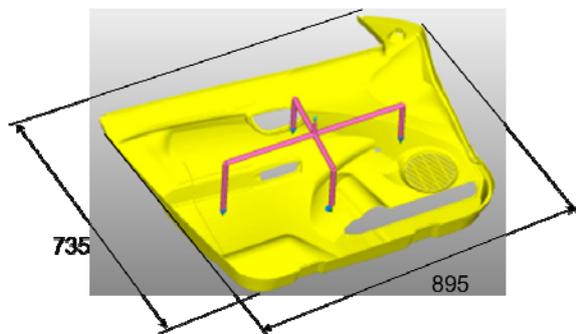


図-4 2 製品形状3Dデータ

ゲート点数	4点	6点	18点
ゲートレイアウト			
最高圧力	35.42 MPa	33.82 MPa	23.78 MPa
解析結果			

図-4 3 2000製品形状流動解析1

ゲート点数	4点	6点	18点
ゲートレイアウト			
充填時間	25 sec	27 sec	27 sec
解析結果			

図-4 4 2000トン製品形状流動解析2

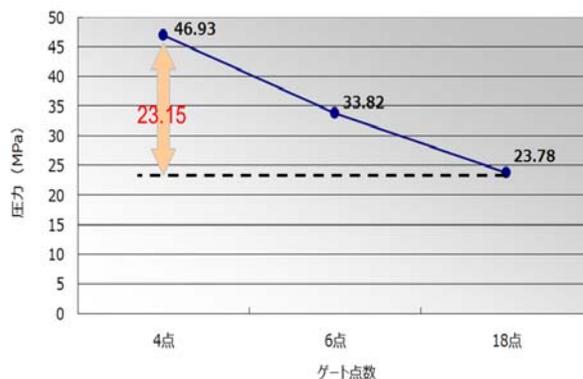


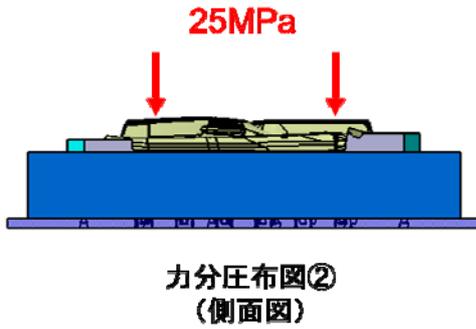
図-4 5 製品形成圧力グラフ図

図-4 3は、2000トン製品形状流動解析結果1であるが、ゲート点数が増えるにつれて充填時間に対する圧力分布が、均一になって行くため、低い圧力で充填できる。

図-4 4は、2000トン製品形状流動解析結果2であるが、充填パターンを変更した成形では、ゲート点数3倍でほぼ1/2の圧力となる。

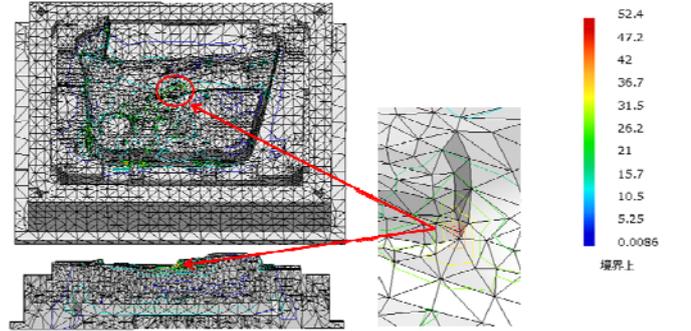
図-4 5は、ゲート点数を変更したときに成形圧力がどう変化するかグラフにしたものである。

図-4 6は、流動解析による成形圧力23Mpaで成形できることから、前回の650トン製品形状金型解析結果と実際の成形結果との差異補正を入れて25Mpaで金型強度解析を行った。



図一46 製品形状金型圧力分布

●⑦-1、2000トン製品形状金型強度解析について



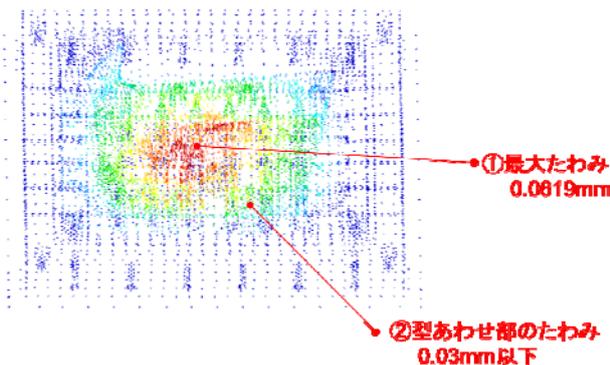
図一47 製品形状金型にかかる応力

図一47は、金型にかかる応力であるが、固定側の応力について解析を行った。

金型設計上の最低厚みでの設計においても、十分な強度が確保できている。

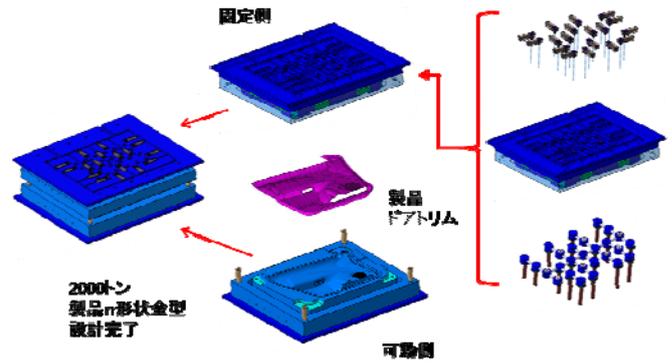
強度が不足する部分では大きくたわみキャビティ内で高圧が生ずると製品肉厚が不均一となりやすい。図一48は、金型にかかるたわみについて解析を行った結果である。中央部の最大たわみ部分においても0.06mm程度のたわみであり、問題ないと判断。

●⑦-1、2000トン製品形状金型強度解析について



図一48 2000トン製品形状金型の

・流動解析、強度解析を含めた、任意成形で成形できる最軽量の金型の設計が完了



図一49 製品形状金型の3D設計図

図一49は、2000トン製品形状金型を3D設計し、画像にしたものである。この金型は製品形状の裏側より樹脂の流し、製品の意正面にゲートあとが出ないようにした。可動側金型には、エジェクト機構がないため、特に金型厚みを薄く設計することに成功している。



コアの仕上げ加工

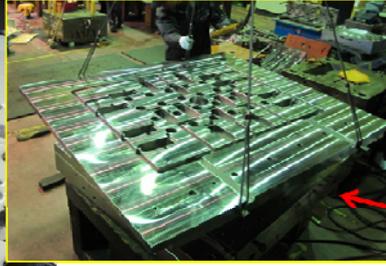


コアの仕上げ加工

図一50 (1/2) 2000トン製品形状金型材料と加工



電動エジェクタポケットの加工



モールドベースのポケット加工

図-50 (2/2) 2000トン製品形状金型材料と加工

図-50は、金型の材料と各部品の加工画像である。各プレートの厚みが3Dデータでおおよそ薄いという事がわかる。また、貫通穴の加工時間は低減し、加工も楽になる。



キャビの組立



金型のセッティング

図-51 2000トン製品形状金型セッティング

図-51は、最終組み立てとセッティング作業である。セッティング時の金型の厚みは、セッティングマシンに搭載すると非常に薄いことがわかる。成形機の最小型厚に近い寸法となっているため、セッティングマシンでも、下死点近くとなっている。

● ⑦-2. 2000トン製品形状金型製作



固定型金型のモーターエジェクター動作確認中の画像

図-52は、金型組立完了後、モーター駆動式プランジャーの動作を確認しているところである。画像の右上はモーター駆動式プランジャーの制御装置であり、各部のモーターの動作確認は、パネル状の大画面で制御を行う。

図-52 モーターバルブ動作確認

6-5 2000トン製品形状金型成形テスト結果



図一53 製品形状金型による成形



成型された成形品

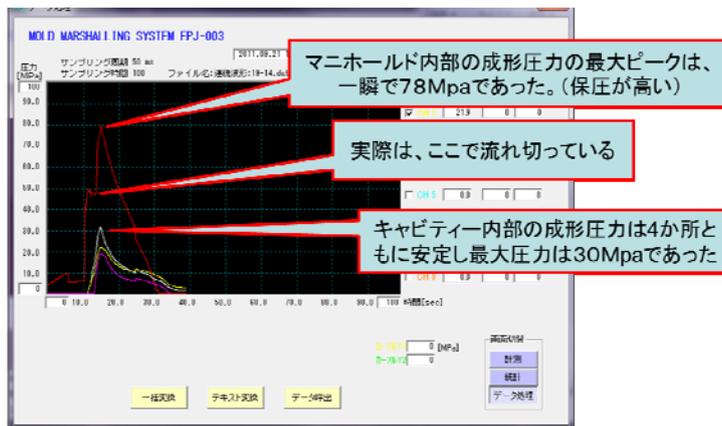
図一54 製品形状金型による成形品

図一53は、2000トン製品形状金型の成形中の画像である。安定した金型温度管理と1.5mmの成形を行うことができた。

図一54は、2000トンクラスドアトリムの成形品で1.5mm厚みで成形ができた。



図一55 製品形状金型温度計測



成形圧力測定結果

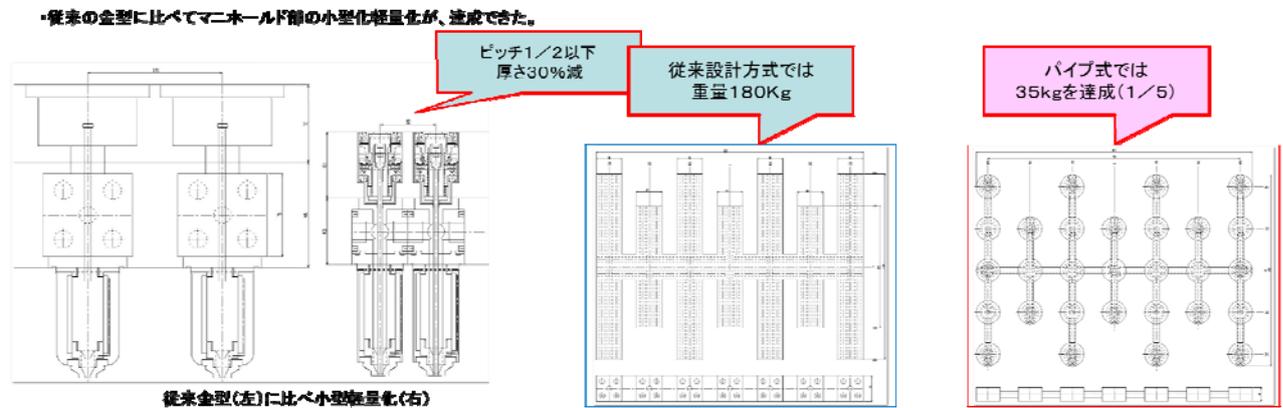
図一56 製品形状金型成形圧力計測波形

図一55は、製品形状金型内部に組み込んだ温度センサーによって計測したものである。固定側のマニホールド部分での温度は、76°C付近で安定し、温度ドリフトも少ない。

またキャブティー面付近の温度も54°C付近で安定している。

図一56は、金型内部に圧力センサーを組み込み計測したものである。解析によって求められた成形圧力は、23Mpaであったが、実際に掛かっている成形圧力は、30Mpaであった。成形品サイズが2000トンクラスにおいてゲート点数を18点にし、成形すると成形圧力は、サイズが大きいことで、先端まで樹脂が流れていく圧力損出が非常に大きくなり、マニホールド内圧力も非常に大きくなった。今回の計測では、ピーク時で78Mpaとなっているが、グラフは保圧の切換部分では48Mpaであり、ここで充填は完了している。目標の1.5mmの成形品を得ることができた。

図一57は、マニホールド部分の小型化がどの程度できたかを目視的に比較できるようにしたものである。左の従来型ホットランナーに比べ取付ピッチは1/2以下となっていることが、一目両全である。また金型厚みに関しても、30%減ずることに成功した。



図一57 ホットランナー部比較

図一58 マニホールド部比較

図一58は、2000トン製品形状金型のマニホールド部分を従来のものと比較したものである。従来の設計では、重量は、180kgであり、今回開発したパイプ式マニホールドでは、35kgと1/5の重量を達成している。

第7章全体総括

7-1 成果の総括

省力化の技術は、金型に依存されている部分も多く我々も、多くのメーカーから、この技術が望まれていると考えている。従って、この薄肉化の技術と強力なコストダウンを武器にできるよう天海工業として、真の技術追及を委託事業完了後にも続けていく。この先に真の量産に耐えうる技術に発展させ、試験受注を行い前進していきたいと考えている。

今回のエコ成形金型開発では、最終目標値をすべてクリアすることができた。我々は、この技術開発に全力で立ち向かい、多くの困難な状況と問題点を乗り越えてきた。最終年度の目標となる期日に間に合わせるという事が、新規開発にどれだけ厳しいものかは、どこの事業所においても同じであると思われるが、天海工業の創業からの信念として、目標達成と納期厳守という命題にとりくんできた信念と執念が、すべての問題をクリアし、すべての目標値を達成したと考えている。まだまだ発展途上の技術ではあるが、さらなる軽量化も追及が必要である。コストダウンのためにも部品製作体制、内製化の準備、コントローラーの小型化コストダウンも重要である。コントローラーのコストに関する問題を今後さらに追及していく。

以上、