

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車配管部品の樹脂化技術の開発」

研究開発成果報告書

平成23年9月30日

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社ジュンコーポレイション

# 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	
1-1-1 研究開発の背景	3
1-1-2 研究目的及び目標	3
1-2 研究体制	
1-2-1 研究組織	5
1-2-2 管理体制	6
1-2-3 管理員及び研究員	7
1-2-4 協力者	7
1-3 成果概要	
1-3-1 設備選定及び改造・開発	7
1-3-2 試作金型の製作	8
1-3-3 最適成形条件の確立	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	
2-1 設備選定及び改造・開発	
2-1-1 ヒートアンドクール手法の選定と改造	9
2-1-2 ガスアシスト装置の開発	9
2-1-3 射出成形設備一式	10
2-2 試作金型の製作	
2-2-1 成形品形状の決定	11
2-2-2 流動解析	11
2-2-3 金型構造の設計	12
2-3 最適成形条件の確立	
2-3-1 ヒートアンドクール装置、試作金型の検証	13
2-3-2 最適成形条件の確立	14
2-3-3 試作品の評価	21
第3章 全体総括	
3-1 研究開発の成果	21
3-2 研究開発後の課題	21
3-3 事業化展開	21

## 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

#### 1-1-1 研究開発の背景

自動車における軽量化は燃費性能の向上につながる重要なニーズとなっている。小型乗用車の場合、10%の軽量化により燃費性能が4%程度低減と言われており、消費燃料が少なくて済むことで枯渇資源の保護、さらに排出ガス量が減少するため地球温暖化防止に有効となるため近年においても自動車必須のニーズとなっている。

軽量化には比重の軽いプラスチック化（樹脂化）が最も有効であり、30年以上前から鉄や銅などの金属からプラスチックへの変更がされてきた。プラスチックには軽量化だけでなくデザインの自由度、二次加工性、軽衝撃エネルギー吸収性、耐摩耗性、低コスト性、リサイクル性などのメリットがあり、時代の要求に応じて急速に普及してきた。

以上のことから、自動車におけるプラスチックの構成比は急拡大を続けており、日本車では8～9wt%となっている。ところが、欧州車は2倍に近い15wt%を超える構成比を形成している。欧州車が高いプラスチック採用レベルにあるのは、内外装部品にとどまらずエンジンルーム内部部品や機能部品などにプラスチックを積極的に採用してきた歴史がある。なかでもエンジンルーム内のエアの吸排気系部品は樹脂化が進められてきたが、冷却水等の流体の輸送系配管部品は-40℃～150℃の耐熱性能やエンジンの耐振動、雪道の耐塩カル性など過酷な条件に対する品質要求があり、確立された成形方法がなかった。

欧州ではすでにガス（または水）アシスト成形による製法により事業化が開始され、国内においてもガス（または水）アシスト成形法の確立が急務となっている。

エンジンルーム内の流体輸送用配管部品の樹脂化は欧州が先行し、BMW やVW をはじめアウディ、ポルシェなどのドイツ車で採用が始まっている。しかし、わが国での採用実績はまだ無い。こうしたなか当社は2008年以降、国内自動車メーカーや自動車配部品メーカーへの提案活動を継続的に行った結果、各メーカーとも樹脂化の検討に入っているが、国内メーカーの品質基準は欧州メーカーよりも数段高く、あと一步の品質改善を求められている。



#### 1-1-2 研究目的及び目標

自動車産業では多くの部品が樹脂化されてきた。しかしながら、屈曲した流体用の配管部品の形成する技術がなかったため、その樹脂化は未達成のままである。当社のガスアシスト成形技術により形成が可能になったが、我が国の品質基準は欧州より数段高く、これをクリアしなければならぬ。先行している欧州を世界最高品質の我が国の技術で追随することを目的とする。

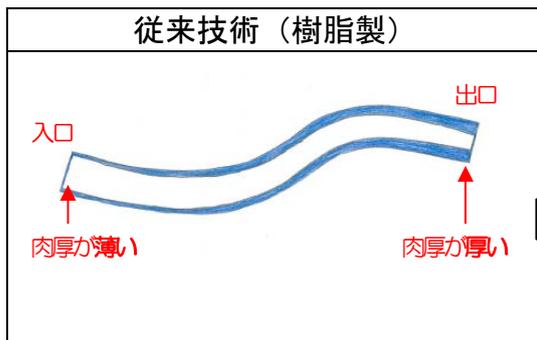


- 【課題】**
- ・重量重い
  - ・加工工数多い
  - ・コスト高い

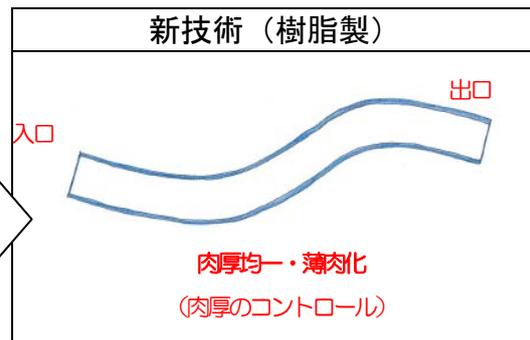


- 【特徴】**
- ・重量軽い
  - ・工数一体成形
  - ・コスト安い

上記のように樹脂化が可能になると、その要求はさらに高度になり、耐熱、耐薬品、耐振動などの要求や内径の維持（肉厚のバラツキ）への要求へと変わってきた。配管入口側と出口側の肉厚のバラツキを均一化することと、肉厚をコントロールし薄肉化することが必須の課題となった。



- 【課題】**
- ・肉厚バラツキ大
  - ・平均肉厚厚い
  - ・軽量化不十分



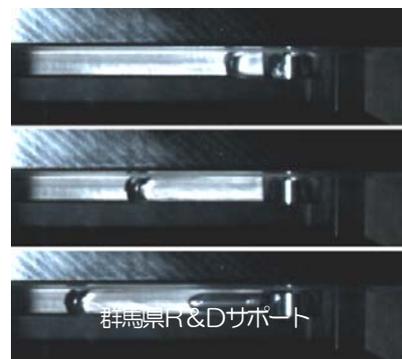
- 【特徴】**
- ・肉厚バラツキ小
  - ・平均肉厚薄い
  - ・軽量化

ガスアシスト成形技術の限界を超えた品質の要求に苦慮していたが、かつての試作研究から、ひとつの兆しを得た。それは金型温度を樹脂温度同等の高温にすることと、樹脂充填速度および窒素ガス注入速度を超高速にし、一瞬で形成する手法である。

そこで、ガスアシスト成形技術だけにとらわれず、他の技術との融合を模索する中で、ヒートアンドクール技術（金型温度を急速に加熱し急速に冷却する技術）により課題解決が可能であると推察した。ヒートアンドクールの技術もその手法は多数あり、どれにも長所・短所があり、ガスアシスト成形の肉厚コントロールのために最適な手法を選択し、設備の改造をすることで目的を達成する。そのためにサイクル時間が延びてしまえば競争力が低下するため、ガスアシスト装置も高度化して冷却支援することで、サイクル短縮及びコスト削減を実現する。

具体的には①肉厚のバラツキと②薄肉化であり、この解決が最大のポイントである。そこで、当社が一番の強みであるガスアシスト成形技術に、ヒートアンドクール技術を加えた複合技術により、ガスアシスト成形における最終かつ最大の課題を解決し、自動車用配管部品の樹脂化を目指すものである。

当社はガスアシスト成形の世界 No.1 企業を目指して、群馬県 R&D サポート（H19年度）採択されたほか、JST 科学技術振興機構（H20年度）、中央会ものづくり補助金（H21年度）等の研究開発補助を活用して技術を蓄積。民間初の可視化金型作成などによって、ガスアシスト成形に関する多くの課題を解決してきた。本研究開発はこうした当社の保有技術を基礎として、事業化に向けた研究に取り組むものである。



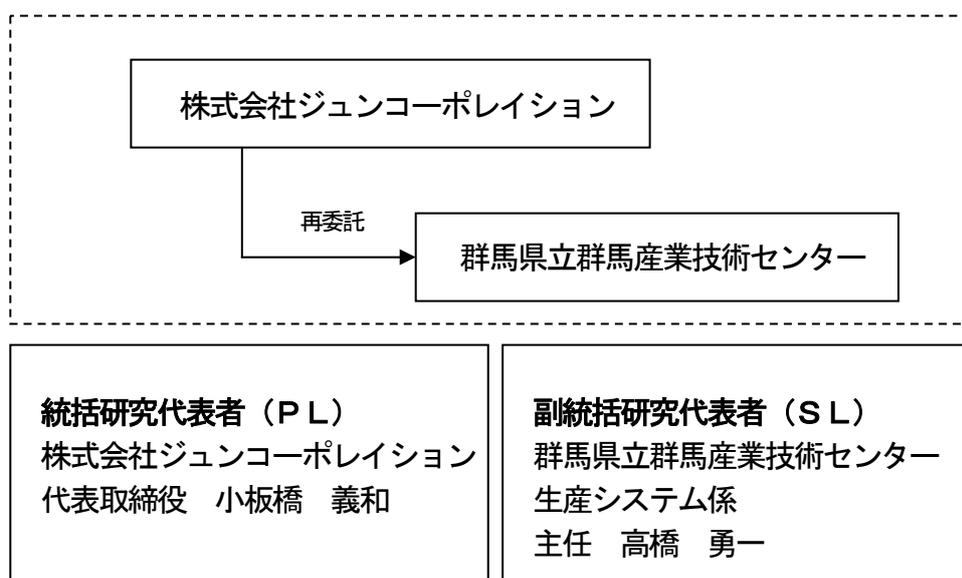
軽量化のため、金属配管部品の樹脂化を行い、肉厚を均一にし、より薄く形成する手法を開発し、50%以上の軽量化を実現する。

「金属製配管部品」樹脂化の課題である、①配管部品の入口と出口における肉厚のバラツキの解決と、②配管部品全域における薄肉化を目指す。薄肉化により50%以上の軽量化を図るとともに、窒素ガス注入方法の開発により成形サイクルタイムを25%以上短縮し生産性の向上を目指す。

さらに、金属製配管（パイプ）における「曲げ」「溶接」「プレス等」という複数の工程を、「樹脂成形」に一元化することでコストダウン（50%）も実現する。

## 1-2 研究体制

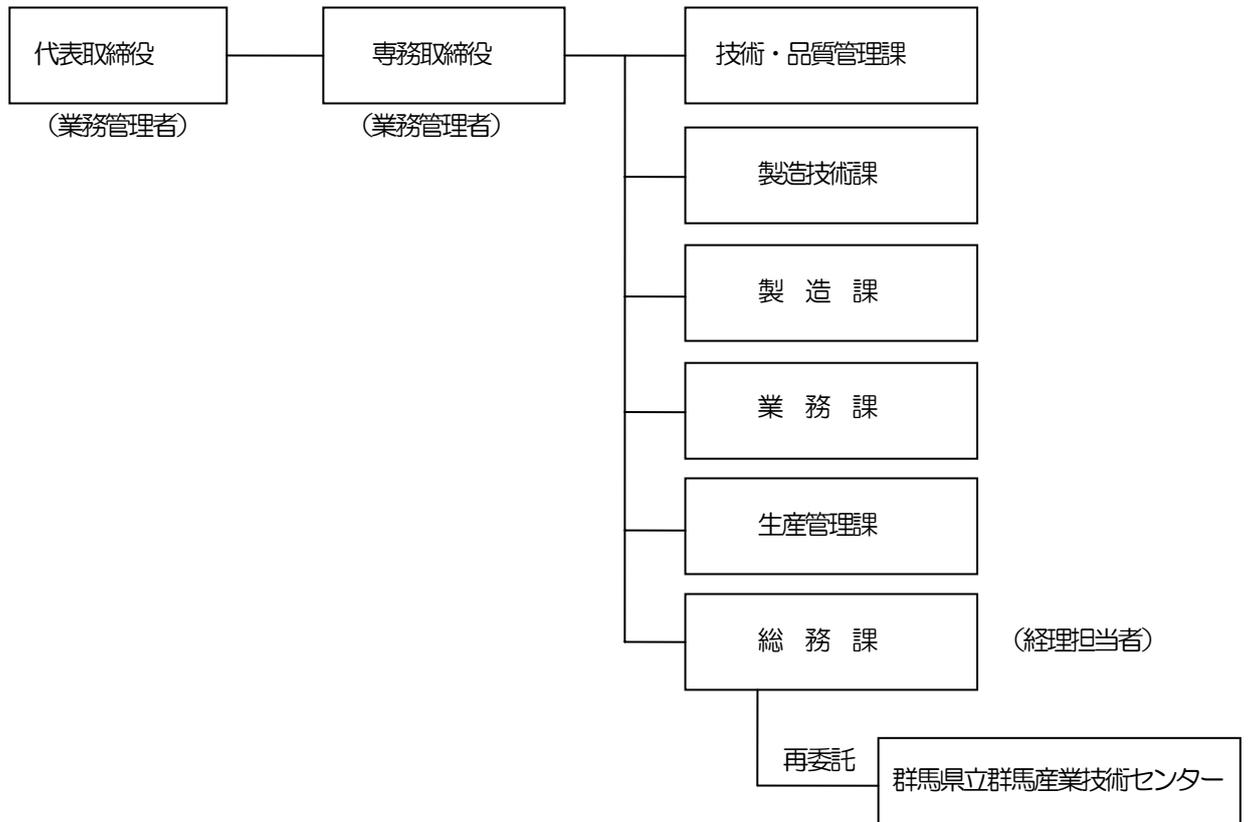
### 1-2-1 研究組織（全体）



## 1-2-2 管理体制

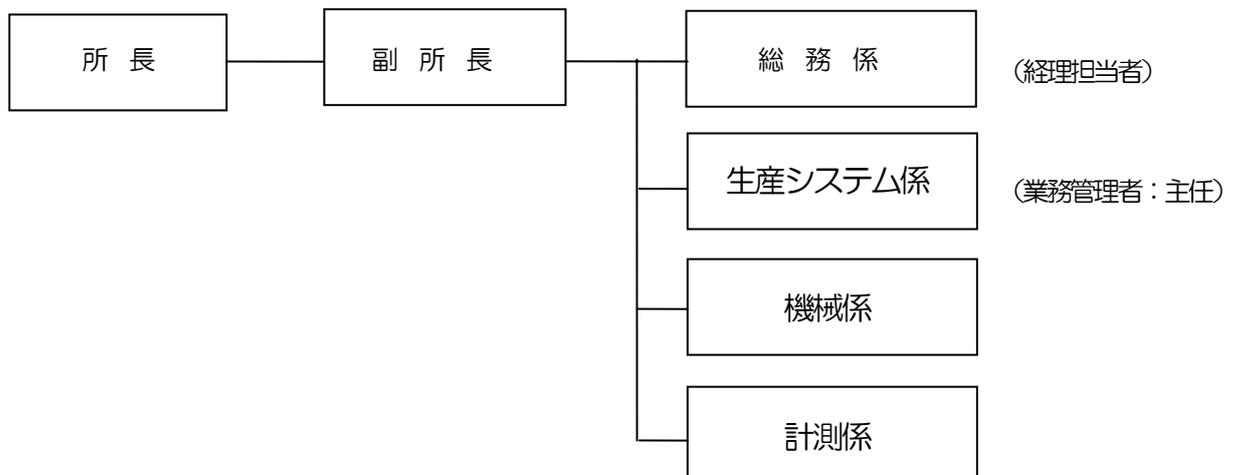
### ①事業管理機関

[株式会社ジュンコーポレイション]



### ② 再委託先

[群馬県立群馬産業技術センター]



### 1-2-3 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社ジュンコーポレイション

#### ① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
小板橋 義和	代表取締役	4
小板橋 広明	専務取締役	4
多胡 美千子	総務課 係長	4

#### ② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
小板橋 義和	代表取締役	1-1 1-2 1-3 2-1 2-2 2-3 3-1 3-2 3-3
小板橋 広明	専務取締役	1-1 1-2 1-3 2-1 2-2 2-3 3-1 3-2 3-3
宮田 延之	技術・品質管理課 課長	1-1 1-2 1-3 2-1 2-2 2-3 3-1 3-2 3-3
渡邊 勝吉	製造技術課 課長	1-3 2-1 3-1 3-2 3-3
町田 繁美	製造課 課長	1-1 1-2 1-3 2-1 2-2 2-3 3-1 3-2 3-3
秋山 豊	業務課 課長	1-1 1-2 1-3
横関 富嗣	生産管理課 課長	1-1 1-2 1-3 3-1 3-2 3-3

【再委託先】群馬県立群馬産業技術センター

#### ① 研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
高橋 勇一	生産システム係 主任	2-2 2-3 3-1 3-2
須田 高史	機械係 独立研究員	2-2 2-3 3-2
中村 哲也	計測係 独立研究員	2-1 2-3 3-2
小宅 勝	機械係 係長 主任研究員	2-2 2-3 3-1 3-2

### 1-2-4 協力者

氏名	所属・役職	備考
海塩 光男	三桜工業株式会社 グローバル研究開発部長	アドバイザー
八木 正博	特定非営利活動法人北関東産官学研究会	アドバイザー
富山 勝敏	財団法人群馬県産業支援機構	アドバイザー

### 1-3 成果概要

#### 1-3-1 設備選定及び改造・開発

ヒートアンドクール装置は開発目標である昇温時間とランニングコストを考慮し石油を燃料とするボイラーのタイプを選択し、能力を維持したままよりコンパクト

トに設計・製作した。しかしながら、150℃への金型昇温時間を10秒以内という目標にはおおよばなかった。

新規開発ガスアシスト装置は多段圧入（6段切替）のコントロールを可能とし、ガスの出し入れによる製品内部からの冷却の効果により、成形サイクル短縮を実現した。

ヒートアンドクール手法、ガスアシスト手法、フローティングインジェクション手法を制御するための改造を盛り込んだ。肉厚自動測定は可能に出来たが、肉厚測定データを自動で良否判定する等のしくみは、それぞれのインターフェイスの違いなどから達成まで至っていない。

### 1-3-2 試作金型の製作

成形品の形状はニーズの分析から、①適度なカーブを有する②直径φ30程度とし、③長さ1m程度、さらに、④断面形状を真円から楕円に変化させ、⑤リブ構造を形成する等をすべて盛り込んだ製品形状を決定した。さらに、将来のプレゼン活動におけるインパクトを与える形状という観点から、ステアリング（自動車のハンドル）の形で作成した。

この形状に対して流動解析を実施し事前検討により、1回目の試作から成形品を形成することができた。しかしながら、試作中に流動解析をしながら成形条件をタイムリーにフィードバックするという目的は、現在の流動解析のレベルでは、ガス注入に係る樹脂の分子配列や粘度分布までを正確に解析することが出来ず、タイム比較検証することはできなかった。

金型構造は、ヒートアンドクールにおいては、急加熱・急冷却において金型破損の無いこと。水または水蒸気の漏洩の無いこと。ヒートアンドクール装置の稼働に支障の無いこと。ガスアシストにおいては、装置の窒素ガス多段圧入に対応など各特殊成形対応で設計した。

### 1-3-3 最適成形条件の確立

品質工学手法を用い成形条件と肉厚の相関関係を確認した結果、ヒートアンドクールによる金型温度のコントロールにより肉厚を制御する目的であったが、別の条件である窒素ガスの圧力に大きく左右されることを確認した。目標肉厚を欧州の半分である3mm以内という目標は残念ながら達成できなかった。

また、入口と出口の肉厚バラツキが50%以内という目標にもヒートアンドクールの効力は無く、窒素ガスを注入するポイントが重要であることが分かり、その手法で目標は達成した。

アドバイザーや川下メーカーへの評価確認では、肉厚バラツキについての課題解決は、現段階では完ぺきではないが、それでも弊社の実力が日本最先端である認識は変わっていない。3年以内の実車採用を目標としているが、その可能性は高い。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社ジュンコーポレーション

代表取締役 小坂橋 義和

TEL 027-393-1375 FAX 027-393-4331

E-mail yoshikazu@jun-corporation.com

## 第2章 本論

### 2-1 設備選定及び改造・開発

#### 2-1-1 ヒートアンドクール手法の選定と改造

(実施：株式会社ジュンコーポレイション)

表1 ヒートアンドクール手法の長所と短所

	昇温速度	導入コスト	ランニングコスト	備考
(1) ボイラーによる水蒸気	○	×	×	消防法適用
(2) 電気による高圧水	×	○	○	
(3) セラミックヒーター	○	×	×	金型破損リスク
(4) 電気による水蒸気	△	△	△	

ヒートアンドクール手法の選定に関して最も重要視したのは昇温速度であり、知見者の情報を整理した上で、昇温速度という観点から(1)ボイラーによる水蒸気を利用する手法を選定した。その際のデメリットと考えられた導入コストは図1及び図2のようにヒートアンドクール装置本体と水蒸気分離サテライトに分割することにより設備を簡素化し、よりコンパクトな設計により低コスト化を実現した。さらに、分割したことにより金型に近接することが可能になり、能力のレスポンスも向上している。ランニングコストについては灯油を選択出来るという事実が分かり、灯油を選択した。これによりプロパンガスや電気に対して低コストランニングを可能にした。また、消防法の適用という法令は遵守し対応した。



図1 ヒートアンドクール装置本体  
(小型コンパクト化)



図2 水蒸気分配サテライト  
(金型に近接可能)

【既存】

(幅) 500× (高) 1470× (奥) 1050



【新規設計】

(幅) 500× (高) 1100× (奥) 780

#### 2-1-2 ガスアシスト装置の開発

(実施：株式会社ジュンコーポレイション)

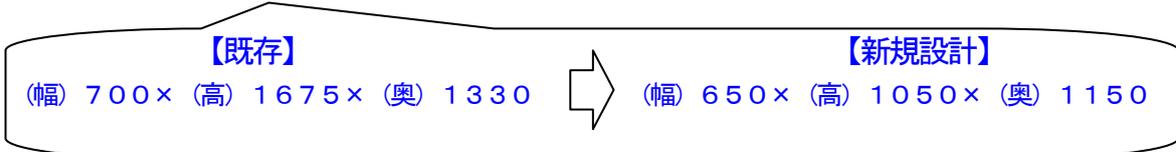
窒素ガス発生装置を新たに設計しコンパクト化を実現。サテライトボックスも機能を2つにわけることで大幅なコンパクト化に成功した。また、サテライトボックス(コントローラ)は、現行1段注入を6段注入が可能な設備を新たに開発し、取り扱いやすいように液晶画面による設定方法とした。



図3 窒素ガス発生装置本体  
(コンパクト化)



図4 サテライトボックス  
(6段注入)



### 2-1-3 射出成形設備一式

(実施：株式会社ジュンコーポレイション)

射出成形設備については当初予定していた450トンから350トンにランクダウンして改造費用の充実を図った。



図5 射出成形設備一式

ヒートアンドクール手法及びガスアシスト成形の特殊装置の接続及びインターフェースの改造を行った。失敗したのは、射出成形機のランクダウンをしたため、製品の体積に対して、射出能力が不足してしまうという初歩的なミスをおかした。急遽、射出能力の不足した分を、計量過程において金型内に垂れ流し、その後一般的な射出を行うという、30年くらい前にはこんな方法もあったという設備商社の案から考案し、特殊改造を行った。仮にこの工法をフローティングインジェクションと命名する。

肉厚の自動測定の手法については超音波やレントゲン等検討したうえで超音波を選定しオリンパスアメリカから入手。このシステムを取出し機のコントローラとつないで肉厚の自動測定及び良否判定をめざしたが、取出し機と測定機とのやり取りが互いのインターフェースの違いから困難であり、自動測定のみで良否判定に関しては断念した。

## 2-2 試作金型の製作

### 2-2-1 成形品形状の決定

(実施：株式会社ジュンコーポレイション)

形状について例えば、明らかに樹脂パイプという形状を作成し、川下ユーザーや展示会で宣伝活動しても、「いいね」「すごいね」という言葉はあっても、記憶に残らず、営業展開が進まないことで大変苦慮してきた。そこで、先に行った全国中小企業団体中央会の補助金事業でパイプの世界最長に挑戦した際、鈴鹿サーキットや富士スピードウェイの形を模したところ、インパクトも抜群で、記憶にも残り、引き合いが大幅に増えたという結果を得た。プレゼンにおいてインパクトのある形状は大変重要であるという認識のもと、アドバイザー及び川下メーカーより改めてニーズを入手して検討した。

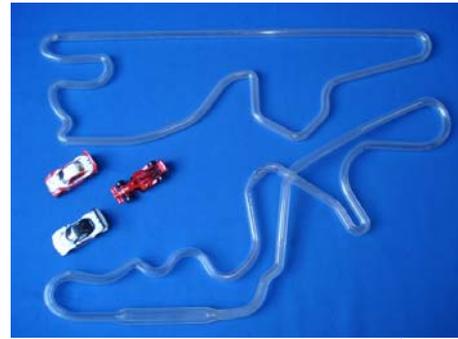


図6 サーキット形状のパイプ

- ① 適度なカーブを有する
- ② 直径φ30程度
- ③ 長さ1m程度
- ④ 断面形状を真円から楕円に変化
- ⑤ 取付用リブの形成
- ⑥ プレゼンにおけるインパクトのある形状

計画書段階から⑤の変更、⑥の追加により、自動車のステアリングの形状を発案し実行することとした。上記のニーズを全て網羅していることと、ステアリングの形状は誰が見ても一目で分かること、さらに、樹脂製のステアリングは現在存在しないことなどから選定した。

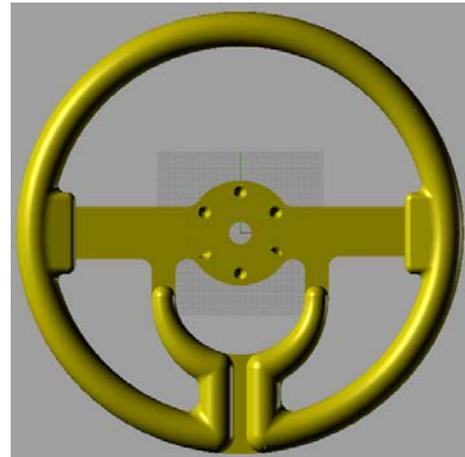


図7 ステアリング構想図

### 2-2-2 流動解析

(実施：群馬県立群馬産業技術センター、株式会社ジュンコーポレイション)

群馬産業技術センターによる樹脂流動解析により、リブの肉厚や形状、パイプのカーブなどを考慮し、製品形状を作成した。流動解析においてポイントとして注意した点は以下のとおりである。

- ① ゲート口からリブ側へ樹脂が流れないような肉厚構成にし、最終段階でリブを形成すること。
- ② パイプ同士をつないでいるリブを超えて反対側のパイプに樹脂が流入しないように、あくまでも一本のパイプとして形成すること。
- ③ ①②を満たした上で、製品全域に過度な圧力分布を残さないこと。
- ④ パイプ部の収縮が過大で、リブとの収縮差により、大きな変形をしないこと。

このシミュレーションにより、流動解析の効力により最低限のリードタイムで、目標とした試作の第一回目から試作品を形成することは達成した。

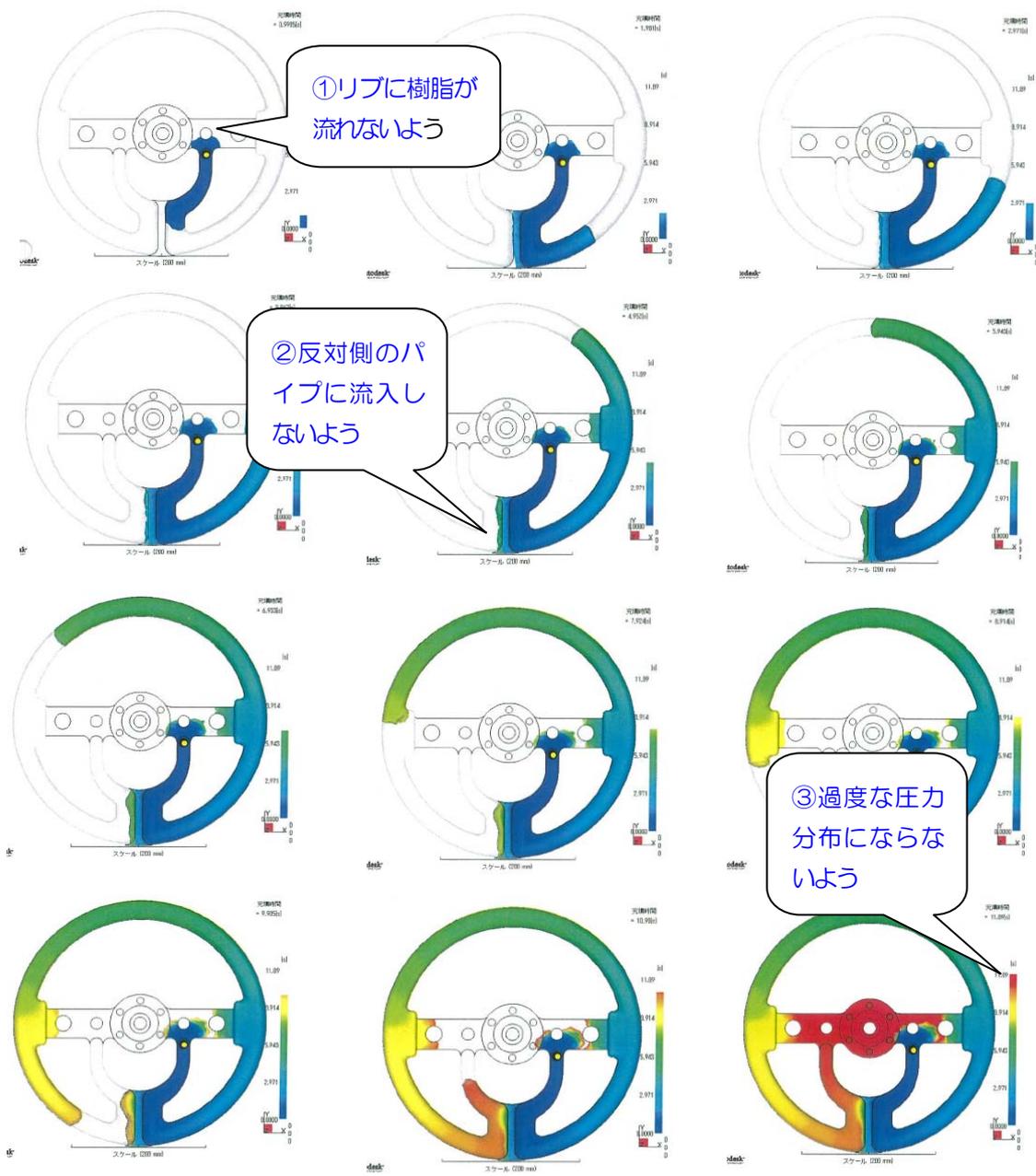


図8 流動解析

しかし、流動解析と成形条件（実態）をタイムリーに比較し検証するという目標はうまくいかなかった。これは、窒素ガスの注入経路は、樹脂流動による分子配列や粘度分布などに左右されるが、現在の流動解析ソフトの実力ではそこまで細かい解析まで対応出来ておらず、良い効果が得られなかったため断念した。

### 2-2-3 金型構造の設計

(実施：群馬県立群馬産業技術センター、株式会社ジュンコーポレイション)

ヒートアンドクール手法の効果を最大限に発揮できる冷却配管を有する構造の設計、ガスアシスト成形に重要な注入形状やパイプ形状へのゲートランドの配置設計などの技術ノウハウを導入した金型設計を行った。また、最適成形条件の確立を検証するための各種センサーの配置など総合的に成り立つための検証を行い金型の設計を行った。



図13はヒートアンドクール工程モニタであるが、緑丸印の120℃くらいまでは10秒程度で昇温出来ていることが分かる。150℃となる上昇速度が急激に鈍化し目標であった10秒での達成にはならなかった。100tクラスの金型であれば達成していたはずであったが、350tクラスの大きな試作金型を製作したため、熱が逃げたことや、昇温すべき金型の体積が過剰になってしまったことから昇温能力が発揮出来なかったためと思われる。また、媒体が水蒸気である点に原因があるかもしれない。

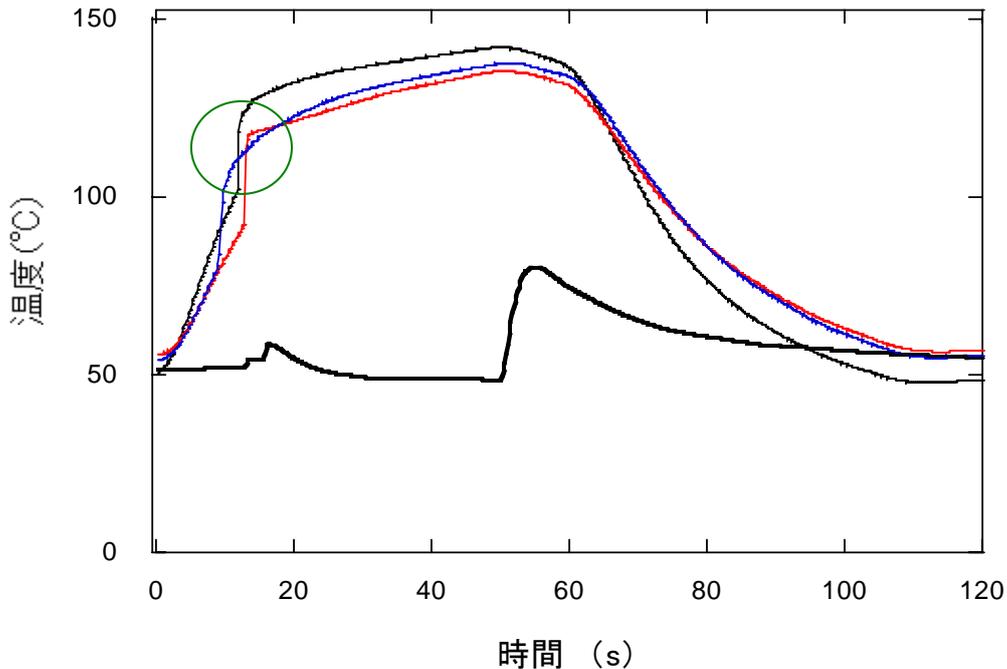


図13 ヒートアンドクール金型温度変化

### 2-3-2 最適成形条件の確立

(実施：群馬県立群馬産業技術センター、株式会社ジュンコーポレイション)

簡潔に結果から述べると、成形条件と肉厚との相関関係については、ガス圧力が最も影響することが分かり、入口と出口の肉厚バラツキの改善には樹脂充填とは反対からのガス注入することが有効であることがわかった。また、窒素ガスの出し入れによる製品内部からの冷却も効果がみられた。

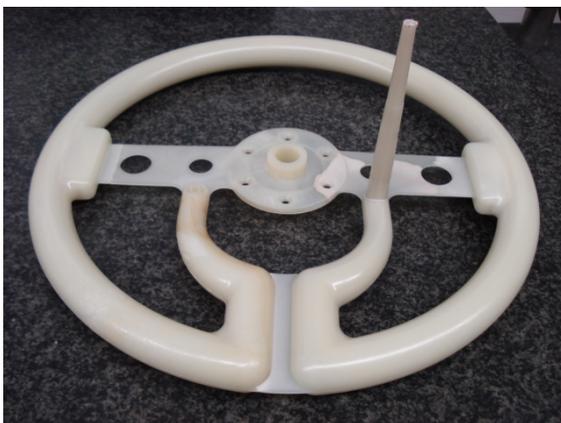


図14 試作品外観



図15 試作品断面

ここからは品質工学的手法を用いて実験した内容を記述する。

誤差因子について図 10 のようにコーナー部、ガス注入口、パイプの末端部の樹脂の最厚寸法および最薄寸法を誤差因子に定め、制御因子について表 2 に制御因子、表 3 に直交表を示す。

表 2 制御因子

	水準 1	水準 2	水準 3
A ヒートアンドクール	あり	なし	—
B ガス遅延時間	短	中	長
C ガス圧入時間	短	中	長
D ガス保持時間	短	中	長
E ガス圧力	低	中	高
F 樹脂温度	低	中	高
G ガス遅延時間	短	中	長
H サックバック量	少	中	多

表 3 直交表

	制御因子								誤差因子	
	A	B	C	D	E	F	G	H	N1.....	Nk
1	1	1	1	1	1	1	1	1	Y11.....	Y1k
2	1	1	2	2	2	2	2	2	Y21.....	Y2k
3	1	1	3	3	3	3	3	3	Y31.....	Y3k
4	1	2	1	1	2	2	3	3	Y41.....	Y4k
5	1	2	2	2	3	3	1	1	Y51.....	Y5k
6	1	2	3	3	1	1	2	2	Y61.....	Y6k
7	1	3	1	2	1	3	2	3	Y71.....	Y7k
8	1	3	2	3	2	1	3	1	Y81.....	Y8k
9	1	3	3	1	3	2	1	2	Y91.....	Y9k
10	2	1	1	3	3	2	2	1	Y101.....	Y10k
11	2	1	2	1	1	3	3	2	Y111.....	Y11k
12	2	1	3	2	2	1	1	3	Y121.....	Y12k
13	2	2	1	2	3	1	3	2	Y131.....	Y13k
14	2	2	2	3	1	2	1	3	Y141.....	Y14k
15	2	2	3	1	2	3	2	1	Y151.....	Y15k
16	2	3	1	3	2	3	1	2	Y161.....	Y16k
17	2	3	2	1	3	1	2	3	Y171.....	Y17k
18	2	3	3	2	1	2	3	1	Y181.....	Y18k

樹脂厚の評価方法は、図 16 のような非破壊検査装置であるマイクロフォーカス X 線 CT 検査装置（島津製作所；SMX-225CT）を用いた。

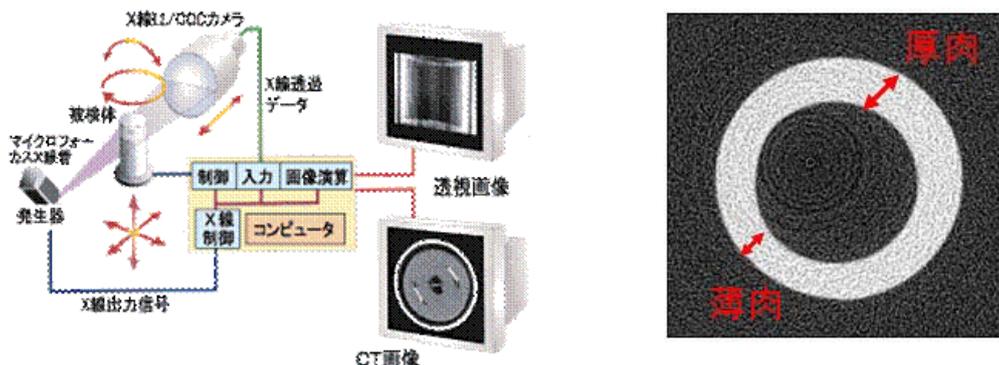


図 16 マイクロフォーカス X 線 CT

マイクロフォーカスX線CT検査装置による断層撮像によって得られた三次元データを、スライスして二次元データ化し、これに画像処理をかけて計測を行う。

表3直交表に基づいて品質工学手法の18種類の実験を行った。図18に成形時間に対する金型内部および窒素ガス注入口の温度を示す。青線はポイント1の金型温度、黒線はポイント2の金型温度、赤線はポイント3の金型温度、太線は窒素ガスの温度である。型締完了を0sとして型締め完了後120s間データを収集した。ヒートアンドクールの水蒸気により150°C近くまで金型が昇温し、切り替わって水により50°Cまで急激に冷却がなされていることが分かる。

図19は成形時間に対する金型内部の圧力を示す。青線はポイント1の圧力、黒線はポイント2の圧力、赤線はポイント3の圧力である。

図20にサンプルのポイント1、2、3の断層データを示す。

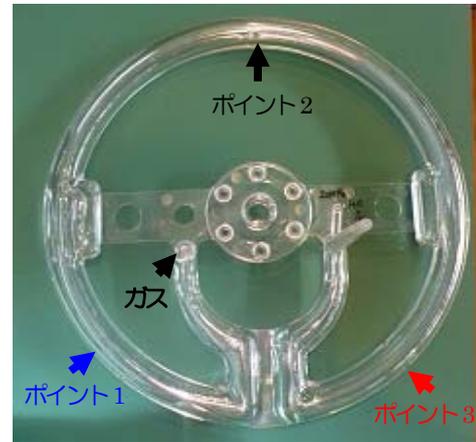


図17 (図10) 圧力および温度測定位置

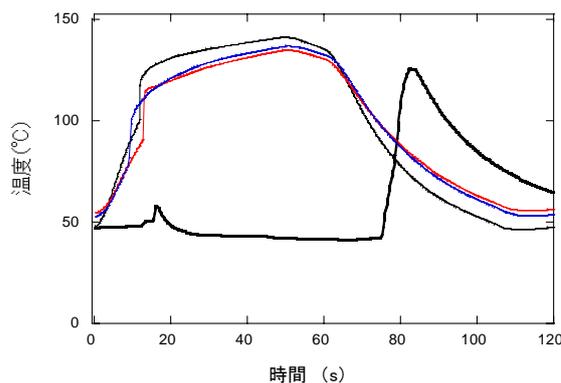


図18 温度・時間特性

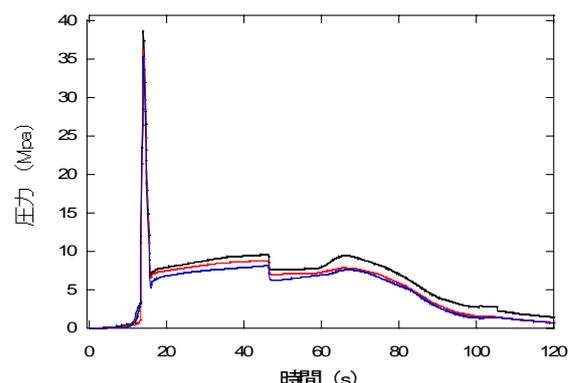


図19 圧力・時間特性

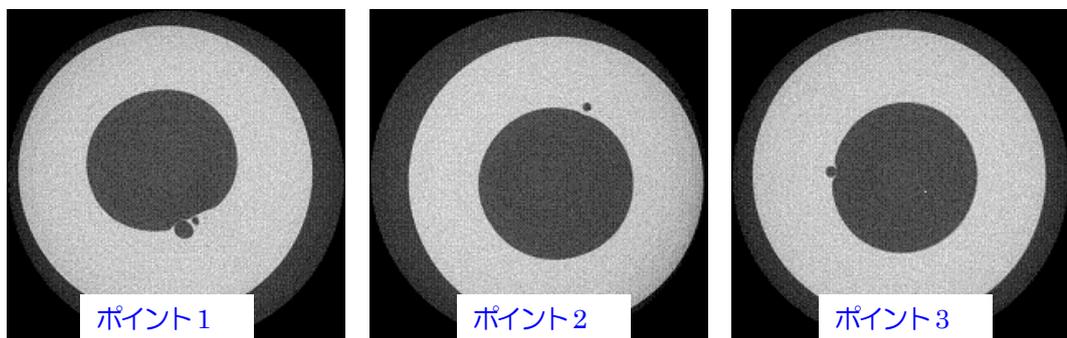


図20 サンプルの断面

各実験のデータから、SN比と感度を計算した。表4に結果を示す。解析結果から得られたSN比の要因効果図を図21に、利得の要因効果図を図22にそれぞれ示す。

表4 実験番号ごとのSN比と感度

実験No.	SN比 (db)	感度 (db)
1	8.650308	20.14502
2	12.39604	17.50978
3	14.59791	17.59504
4	17.66192	17.81279
5	20.11956	17.49226
6	7.817695	20.02128
7	10.71252	22.00937
8	15.35571	17.78179
9	15.42112	17.65061
10	19.09152	18.00935
11	9.018974	20.23694
12	23.16549	17.83283
13	13.07217	17.89315
14	11.39	22.0863
15	20.47084	18.15248
16	9.783747	20.56083
17	21.52166	17.71343
18	10.06786	20.61253

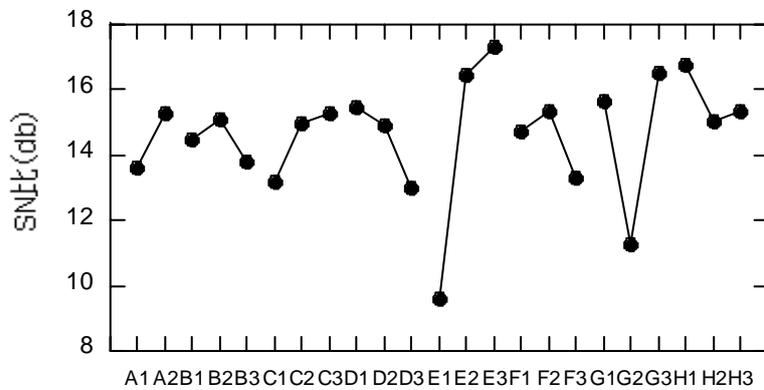


図21 要因効果図 (SN比)

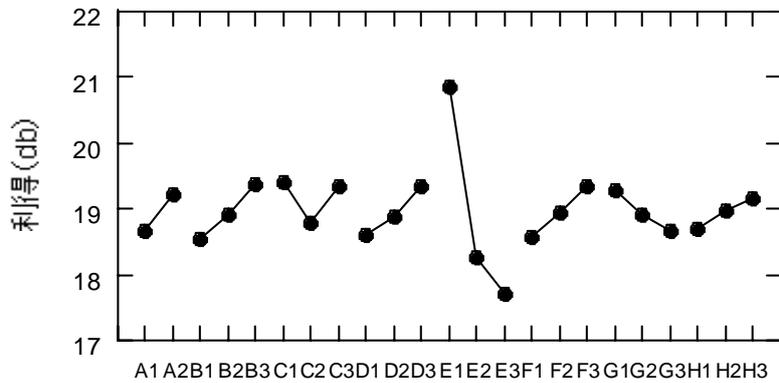


図22 要因効果図 (感度)

【確認実験】

上記の結果から、最適条件は $A_2, B_2, C_3, D_1, E_3, F_1, G_2, H_3$ と決定した。

これと標準条件 $A_1, B_1, C_2, D_2, E_2, F_1, G_1, H_1$ を比較した確認実験の結果を表 5 に示す。表 4 より、利得は 5 倍以上の改善が見られたが、感度より薄肉化の確認は難しいという結果となった。図 23 に標準条件における断層データを、図 24 に最適条件における断層データをそれぞれ示す。

表 5 確認実験結果

	SN 比 (db)		感度 (db)	
	推定	確認	推定	確認
最適条件	23.93	24.02	16.93	17.98
標準条件	16.55	17.52	17.22	17.20
利得	7.38	6.5	-0.29	0.78

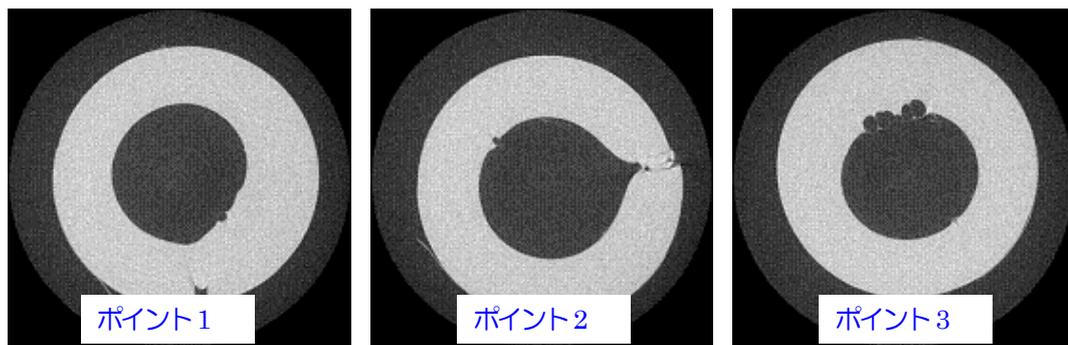


図 23 標準条件

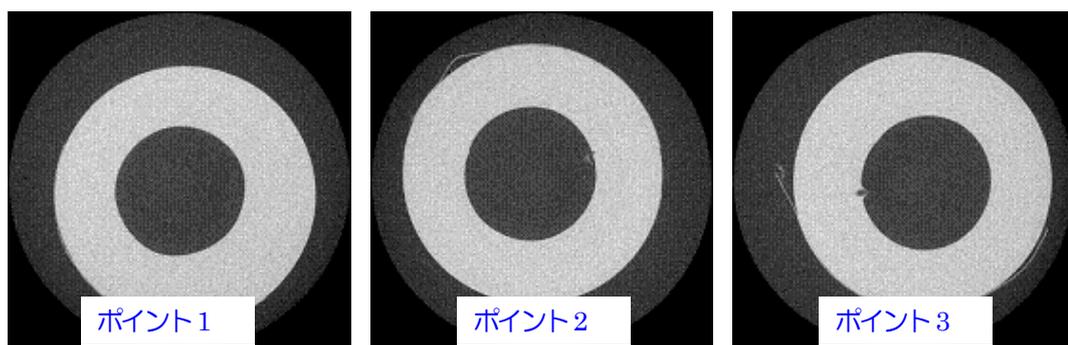
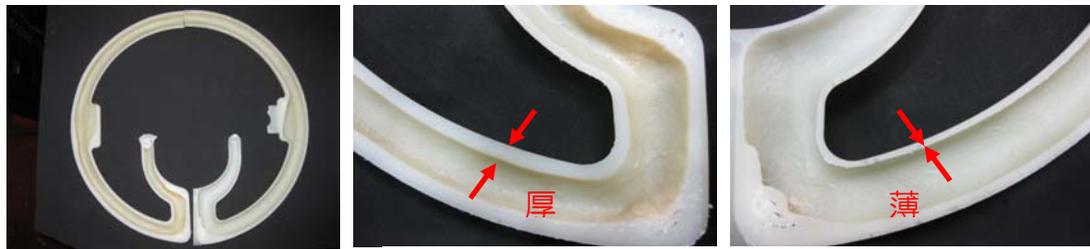


図 24 最適条件

以上、品質工学手法の結果をふまえ本研究開発により次のことが分かった。

配管部品入口側と出口側の肉厚のバラツキについて、図 25 のように通常では樹脂注入後または同時に樹脂注入側から窒素ガスを追いかけるように注入していくため、溶融樹脂の高温側から注入されることになる。そのため、樹脂入口側から遠くなるに従い金型表面からの冷却固化により、遠くなるほど肉厚は厚くなってしまふ。そのため、ヒートアンドクールにより金型温度を高温にすることで冷却固化を防止

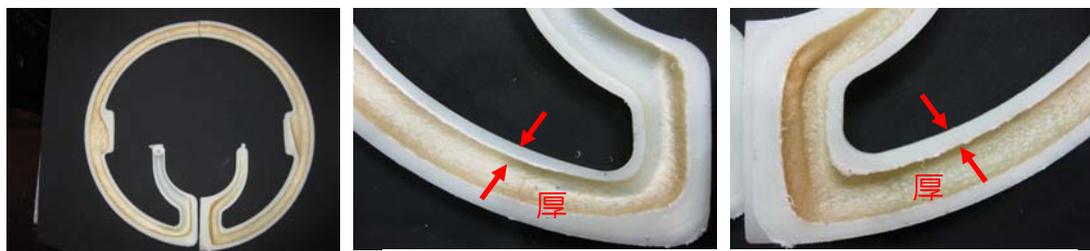
しながら瞬間的に樹脂を充填し、瞬間的に窒素ガスを注入する計画であったが、入口側と出口側のバラツキに対しては効果は得られなかった。むしろ、図26のように樹脂注入側と反対側から窒素ガスを注入することで、冷却固化の早い方から注入されるため、肉厚は均一になることが実験から証明された。ただし、薄肉化にはスピードが必要であることも事実。



樹脂出口側（ガス出口側）

樹脂入口側（ガス入口側）

図25 入口出口肉厚バラツキ（樹脂入口とガス入口同じ）



樹脂出口側（ガス入口側）

樹脂入口側（ガス出口側）

図26 入口出口肉厚バラツキ（樹脂入口とガス入口反対）

肉厚のコントロール（薄肉化）について、当初ヒートアンドクールによる肉厚コントロールを目指したが、樹脂の熔融温度と同等に出来なければ効果が無いことが分かった。ナイロンやポリカーボネートのような300℃にちかい高い樹脂温度で成形する場合、ヒートアンドクールの昇温150℃では温度差がありすぎて金型からの固化が進んでしまい効果がでない。図27のようにポリアセタール（POM）のような180℃程度の低い樹脂温ではヒートアンドクールの有無だけで肉厚を変化させる効果があったのも事実である。



H&C 無 肉厚6.5mm



H&C 有 肉厚5.5mm

図27 ヒートアンドクール効果によるPOM樹脂の場合の肉厚変化

このことから、ヒートアンドクールの能力を目的の樹脂温度同等まで昇温出来得るシステムにすること、または、樹脂のガラス転移点を下げる等により低温で成形するなどが必要である。200℃以上のヒートアンドクールシステムは現在入手できるものは存在しない。ただし、実験的に電磁誘導を利用した加熱システムの開発は存在する。また、樹脂のガラス転移点を下げる手法も、樹脂に炭酸ガスを溶解す

ることで可能にする超臨界発泡技術の存在もあるが、どちらも現実的とは言えない。よって、ヒートアンドクールによる肉厚コントロールの可能性は確認されたが、その実現性は非常に低いと判断せざるを得ない。しかしながら、薄肉化への最大の因子はガス圧力であること、入口と出口の肉厚バラツキはガス注入口で対処できることなど、ガスアシスト成形単体の技術の追求で解決出来得ることが分かった。

次にサイクル短縮についての実験では、ガスアシスト装置の高度化により複数回窒素ガスの出し入れを行い、中空部内壁面から冷却を試みた。通常1段圧入で行っているときに比べ2回の出し入れを行った場合と3回の出し入れを行った場合とで比較してみた。図28は成形品を金型から取り出してから40℃までの冷却に要した時間を示したものである。

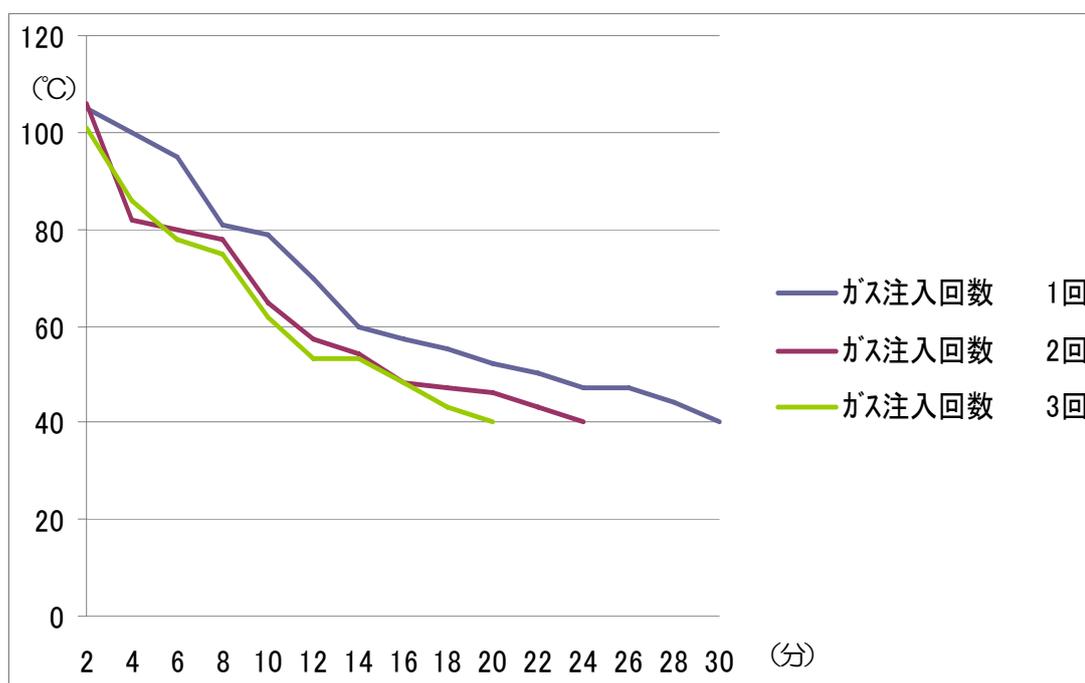


図28 ガスの注入回数における表面温度の変化

40℃までの所要時間は、ガス注入回数1回の場合は30分かかっているが、ガス注入回数3回の場合は20分で完了していることから10分の短縮となっている。ガスを途中で排出することで、製品内部の熱を放出出来ることが立証できた。さらに、タイミングや回数を詳しく検証出来ればより効果を導き出せる可能性が高い。

金型取出し直後が105℃前後と同等であるのは、肉厚が厚いため、金型からの冷却（外面）とガスによる冷却（内面）双方から冷却してもその間に余熱が残っているためであり、肉厚をいかに薄くできるかにより、大きな効果が想定できる。

目標としたサイクルタイム60秒までは今回の結果では到達できず、90～120秒のところまで試作した。これは、目標にしていた薄肉化（3mm）が完全把握できなかったことや内部発泡などの問題が発生したためであるが、窒素ガスの出し入れによる冷却効果は立証でき、薄肉化が条件となるが将来的にはサイクル60秒の達成は、可能であると確信する。

### 2-3-3 試作品の評価

(実施：株式会社ジュンコーポレイション)

本委託事業における試作品の評価は非常に高く、ステアリングという形状にしたことが功を奏し見る人に大きなインパクトを与える。本委託事業で達成出来なかった薄肉化はそのまま川下メーカーのニーズとなっており、さらなる改善が必要である。本研究の樹脂化技術で前進した部分も高い評価を得ており、要求品質の度合いによって採用される可能性も垣間見えている。エンジンへの入口側はハードルが高いが排水やエア経路に関しては可能性が高く、また、同様の技術で水平展開すると、ペダル、ワイパー等にも樹脂化のニーズが存在している。

## 第3章 全体総括

### 3-1 研究開発の成果

配管部品の入口側と出口側の肉厚のバラツキの低減及び全体肉厚のコントロール要因を、ヒートアンドクール手法をガスアシスト技術に取り入れることで解決しようとしたが、ヒートアンドクール手法による効果はあまり得られず、さらなる課題をよんだ。

入口側と出口側の肉厚のバラツキには、樹脂注入方向とは反対側からガスを注入する方法で解決できることが分かった。また、薄肉化にはガス圧力が関与していることが導き出された。配管部品の究極のテーマであった課題は完全解決までは至らなかったが解決への糸口がはっきり見えたことは大きな成果である。

また、サイクル短縮に関しては、窒素ガスを出し入れすることで内部からの冷却効果により、冷却時間の短縮が立証できた。このガスアシスト成形におけるサイクル短縮技術及び設備の完成により、ウォーターアシストで冷却効果をうたう欧州に対して、ガスアシストで大きくリード出来ると判断する。

### 3-2 研究開発後の課題

本研究開発にて完全な達成が出来なかった課題である薄肉化が、自動車産業におけるニーズであることは変わらない。肉厚のコントロールについてガス圧力が関与していることを見つけたものの、その数値的な相関関係については把握できていない。要求肉厚に対する適正なガス圧力を明確に答えられる領域には至っていない。今後のトライアンドエラーにより実績を積んでいくことでしか見極められないと考える。

### 3-3 事業化展開

3年以内の実車採用を目標に、川下自動車メーカー（T社）（H社）には試作サンプルの提示によりニーズの確認や採用への評価を引き続き行う。さらに本年度中に、自動車メーカー（N社）（M社）、電機メーカー（H社）（T社）への展示商談会への参加を計画しており自動車産業の横展開やその他の産業（OA・家電・半導体）へのプレゼンも予定している。共同研究開発などの話も多く持ち上がってきており、着実に形にしていく。