

平成25年度

内部加熱・冷却による回転成形プロセスの最適化

株式会社タカギセイコー

1. 目的

本研究では、回転成形における物性劣化を最小限に抑えるために、劣化の原因となる成形サイクル増大を解消できる熱交換システムを構築するとともに、回転成形プロセスの加熱・冷却効率の最適化について研究開発を行う。

2. 構想概念

回転成形は、金型外部からの熱入力のみとなるため、効率的な熱交換が出来ない。密閉された金型に導通孔を設け、金型内部に加熱(冷却)された気体を送り込み、形成された樹脂膜の内部より積極的に加熱・冷却することにより、樹脂の外層、内層双方から熱入力することで効率的な熱交換が可能となる。

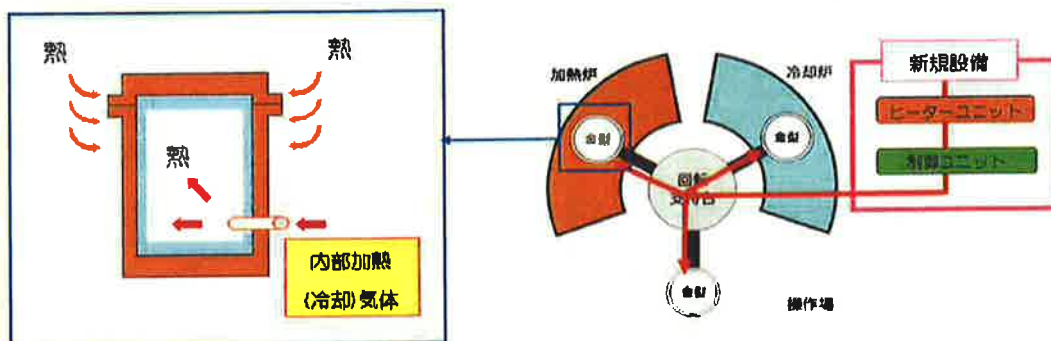


Fig.1 内部加熱冷却システムを有する回転成形機システム案

3. 研究の実施内容および成果

3-1. 装置システムの構築

(1) システム概要

下図 Fig.2に装置回路の概要を示す。酸化劣化を抑えるため加熱媒体として窒素ガスとエアの切替えが可能なシステムとし、冷却エアと合わせて3系統を配置した。

3系統の供給源には流量制御の機能を持たせ、加熱媒体の2系統の先にヒーターユニットを配置、そこで昇温された制御媒体を金型内へ送り込む。回転成形の場合、金型が2軸回転運動をするため複雑な動きをする回転アームに配管を追従させる必要があるが、アームの中空構造を利用してアーム内を媒体流路としスィベルジョイントで繋ぐことで、金型への配管接続を可能にした。

回路中には流量/圧力/温度センサーが配置され、制御盤モニターで設定/監視できるようにし、さらに時間制御によりプログラミングできるようにすることで、多様なパラメータ設定を可能にした。

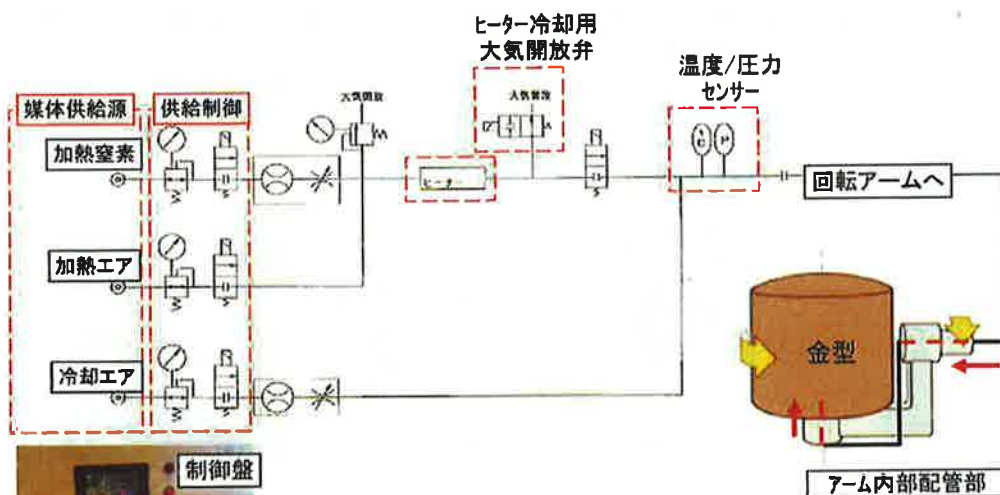


Fig.2 内部加熱冷却装置 回路図

加熱ユニットには、シェルにネジ込みヒーターを差し込んだ空気加熱用のシェル型ヒーターを採用した。(Fig.3)

流体の経路中に設置し、シェルの中を流体が通過する過程で内蔵されたヒーターにより昇温されるもので、200℃までの加熱媒体を発生させることが可能。

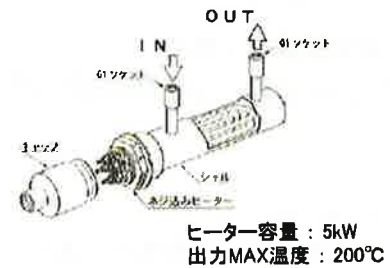


Fig.3 ヒーター構造

## (2) システムの最適化

本システムの性能検証を行ったところ、媒体の圧力損失と熱損失が大きく、狙った性能が出ていないことが判明した。

### ① 圧力損失の改善

これらは既存の回転成形機を改造して増設したシステムであるため、回転アームの構造が流体を通す仕様に沿わない部分があることによる。

回転アームの中空形状を、流体抵抗を受けにくい形状に改造した。加えて回転軸連結部の配管に補強を入れることで、連結部分のシール性を高めた。以上により、システム中の媒体圧力損失は大幅に減少し、設定値の約20%程度だった流量がほぼ設定値通りとなった。供給媒体の流量実測値をFig.4に示す。

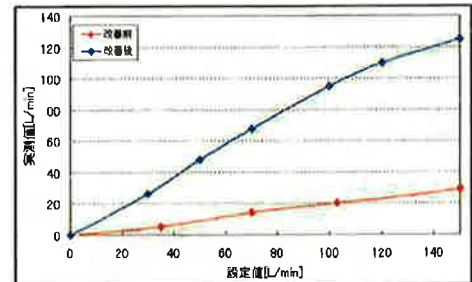


Fig.4 媒体流量実測値

### ② 熱損失の改善

加熱・冷却ともに媒体温度が回転アーム内を通過中に、アームの温度に大きく影響を受けていることが分かった。流量向上による熱損失の軽減を狙ったが、残念ながら効果は限定的であった。

そこで、外部から補助的に熱を取り入れる方策の検討を行った。アームから金型へ通ずる部分の銅配管の媒体流動長を稼ぐことで、加熱炉内の熱を取り込むようにした。それにより、回転アームで奪われた熱量以上の補填が出来た。経路中の媒体温度をFig.5に示す。

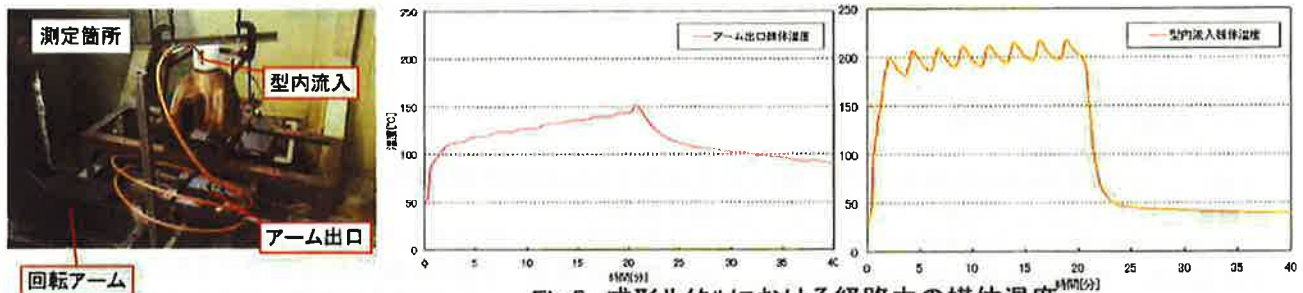


Fig.5 成形サイクルにおける経路中の媒体温度

## 3-2. 金型への供給/排出機構の検討

### (1) 1系統ベントの検討

金型内部から熱交換を行うには、加熱/冷却媒体を金型内に供給すると同時に排出し続けなければならない、いかに効率的に給排気出来るかが重要なポイントになる。

本研究では、まず1部品で供給/排出を同時に行える機構を持つベント部品で検証を行った。(Fig.6) 供給と排気を同じ箇所で行うため、排気時にパウダーや溶融樹脂もベントから排出されてしまう事象が発生した。その対策として、ベント周りにインナーパイプを設けて樹脂の流入が起きないような形状の検討を行った。樹脂の付着防止と断熱のため、材質はテフロンとした。

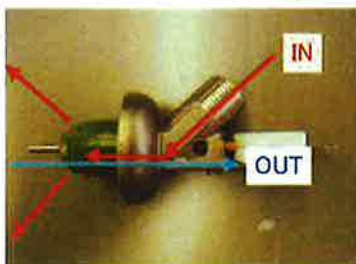


Fig.6 1系統ベントの機構



Fig.7 インナーパイプの一例

検討形状の一例をFig.7に示す。

媒体の給排気を型の中央付近で行い、形状と断熱で樹脂の流入を抑えることを狙ったが、給排気を同じ場所で行う以上、排気に伴う樹脂の流出は抑え切れなかった。また、給排気が入り混じるため、流量の限界点が低いことも分かった。

## (2) ベントの2系統化

前述の理由により、供給/排出を独立させ2系統とした。給排気それぞれのベント部品には、圧力で開閉するスリット加工がなされており、溶融前のパウダーが配管内に進入しないよう工夫されている。(Fig.8) 2系統化とすることにより、1系統で起きた樹脂流入は解消され、スムーズな給排気が可能となった。



Fig.8 2系統ベント

## 3-3. 成形検証

### (1) 型内温度検証

まず、回転成形の通常工程における炉内温度と型内温度の推移をFig.9に示す。炉内温度に対して型内温度の追従性の悪さが分かる。そこに加熱/冷却各工程全般にわたって内部からの熱を与えてやれるのが理想的な形と言える。

加熱/冷却工程ともに、温度勾配が緩やかになっている部分がそれぞれ溶融/凝固過程となり、温度カーブから型内の樹脂の状態を把握することが出来る。

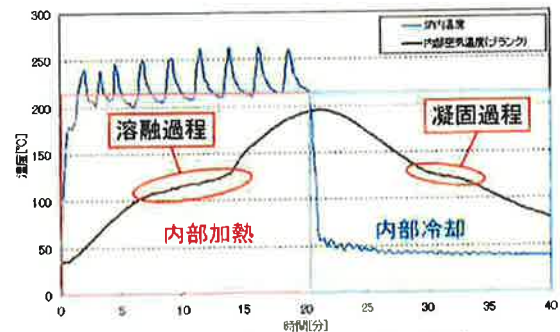


Fig.9 回転成形の型内温度

次に、内部加熱/冷却を導入した型内温度カーブをFig.10に示す。(媒体流量は70L/min)

内部加熱の流入タイミングは、14minからとなっており、それと同時に通常成形(ブランク)に比べ温度勾配が上がっているのが分かる。

加熱タイミングを14minからとしたのは、やはり未溶融のパウダー状態の場合、どうしても排気に混合してパウダーも排出される為である。また、内部冷却タイミングも10min遅らせているのは、ピーク温度付近をキープしたいためである。

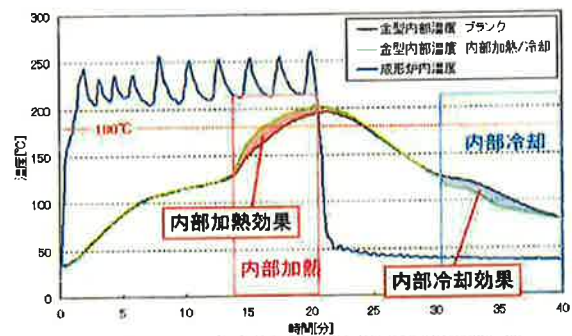


Fig.10 内部加熱/冷却の温度効果

検証には架橋ポリエチレンを供しており、180°Cが架橋反応に重要な温度目安となる。この温度域を保持することで、より優れた物性の成形物を得ることが出来る。

内部加熱の流入タイミングにおける温度立ち上がり、ブランクとの差がそのままピーク温度の差となって表れ、そのエリアが熱量のアドバンテージとなり、より物性面で有利に働くと言える。

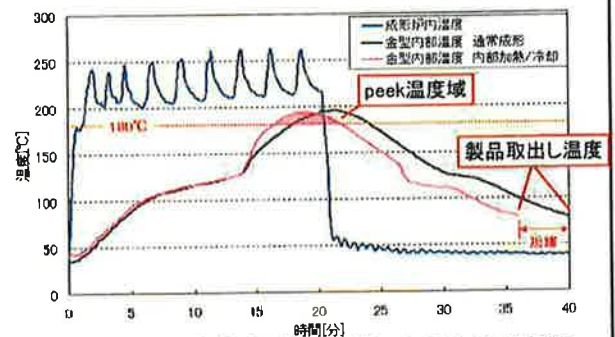


Fig.11 内部加熱/冷却によるサイクル短縮

また、内部加熱で得られた熱量アドバンテージは、そのまま加熱時間短縮へ繋げることが出来る。立ち上がり部分からのブランクとの熱量差を算出し、その熱量分、180°C以上のピーク温度域を保持したまま、加熱工程を前へシフトすることができ、加熱工程で2min短縮することが可能となった。(Fig.11)

冷却工程においても、内部からの冷却効果により製品取り出し温度を下げる事ができ、冷却タイミングを早めることで15%までの成形サイクル短縮が確認出来た。

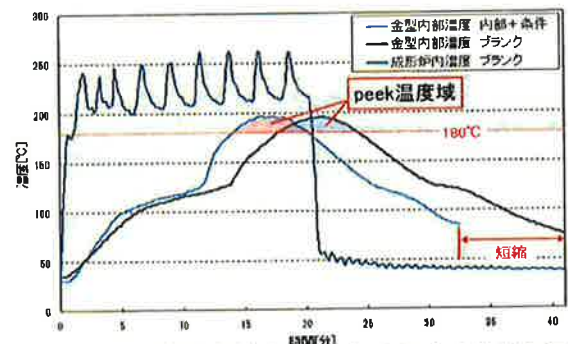
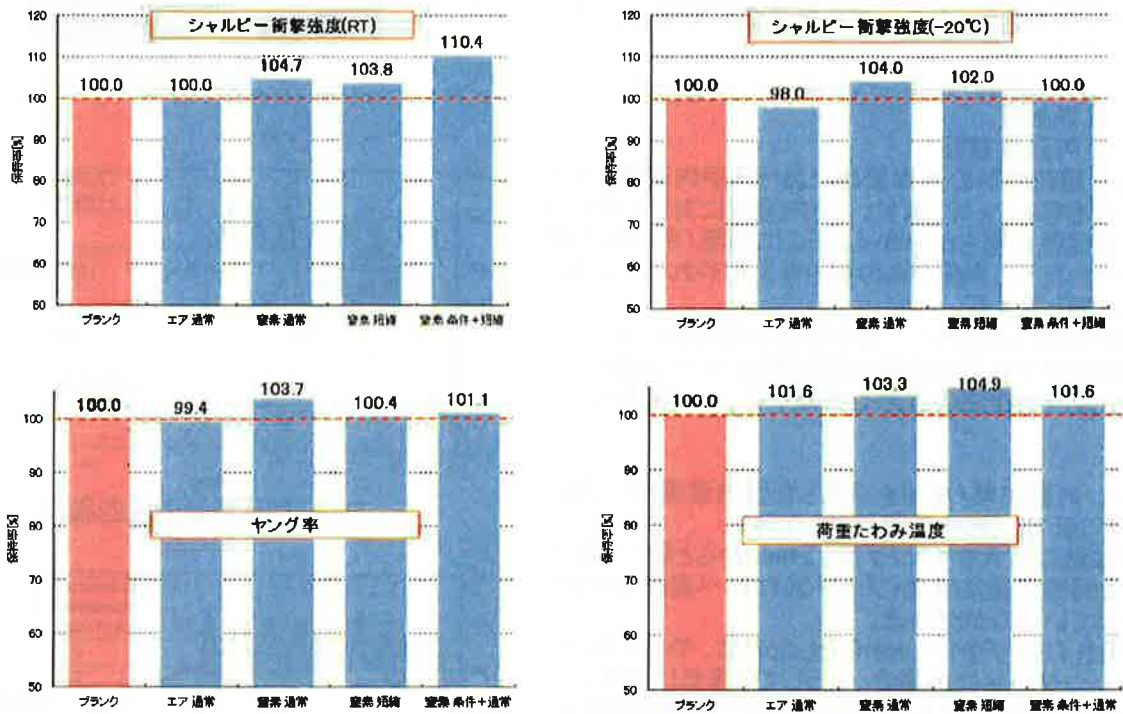


Fig.12 成形条件との組合せによるサイクル短縮

成形炉内温度との組合せを最適化することにより、さらなる温度効果を得ることが出来た。加熱工程でパウダーの溶融完了を早めることにより、より早いタイミングで内部加熱を開始することが可能となった。これにより、成形サイクル20%短縮を達成することが出来た。(Fig.12)

## (2) 物性評価

温度検証で得られた成形品の性能把握として、物性評価を行った。評価物性としては、架橋物性の度合いを図り知る代表値として、シャルピー衝撃強度と荷重たわみ温度、ヤング率の測定を行い、通常成形の物性値に対して相対評価を行った。その結果を以下に示す。



通常成形のブランクデータに対して、各水準ともほぼ同等以上の物性を保持している。上記結果について下記にポイントを記す。

- ・エア媒体の通常サイクルにおける結果から、熱量相当分の効果は認められず、酸化劣化の影響があると思われる。
- ・一方、上記同一条件で窒素媒体に置き換えた場合、すべての物性が明らかに向上しており、窒素環境が非常に有効であることが分かった。
- ・サイクル短縮をしても物性は保持しており、熱量相当の性能が発揮されていることが裏付けられ、内部加熱/冷却がサイクル短縮に有効な手段であることが確認された。

## (3) 成形外観

内部加熱/冷却による成形外観への影響としては、脱泡効果が確認された。(Fig.13)

通常成形では、製品肉厚内の気泡を取り除くため樹脂の溶融時間が長く設けられており、サイクル押し上げの大きな要因となっている。

内面から加熱することで樹脂内表面の溶融粘度が下がり、これに内圧が加わることで、溶融樹脂中の気泡を脱泡する作用が促進されると考えられる。

回転成形において、溶融樹脂中の気泡(ピンホール)は外観品質の低下、物性低下を引き起こす要因となり、日常的な課題として常に付きまとっている。このピンホールを解決できれば、回転成形品質全体の底上げが期待できる。

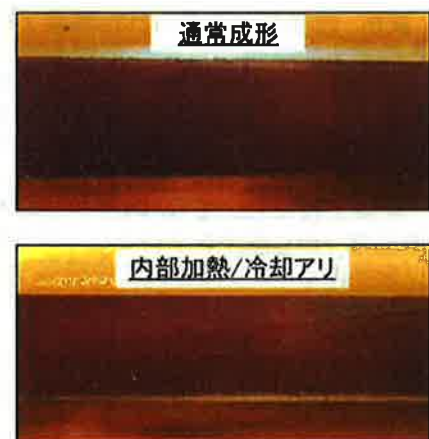


Fig.13 成形品断面比較

#### 4. 現状における課題、問題点

本研究により、回転成形プロセスに内部加熱/冷却システムを導入し、その有効性を確認することに成功した。しかし、まだ実用化レベルまでに達していないのが実状であり、実用化に向けた課題を下記に記す。

1. 内部加熱タイミングの早期化
  - ・未溶融パウダーが介在する環境での排気機構の検討
  - ・金型パーティング(型合わせ面)のシール性向上
2. 型内における熱供給の均等化
  - ・供給媒体の拡散方法の検討
3. 供給媒体の流量アップ
  - ・回転成形機の専用仕様へのカスタマイズ
  - ・供給システムのバージョンアップ
  - ・金型への給排気機構の容量アップ
4. 加熱媒体温度の更なる向上
  - ・加熱ユニットの見直しおよびシステム配置の見直し

#### 5. 今後の目標と展開

本研究の当初目標であった、成形サイクル30%削減には残念ながら届かなかった。今後は更に技術検証を行いながら装置システムの性能を高め、目標達成を目指す。

また、装置システムの見直しを含めてシステム全体の熟成を進め、実用化を視野に入れたシステムの構築を行い、事業化につなげていく。

今後の展開としては、今回成果として得られた成形サイクル短縮によるコストダウンと、物性向上、外観性向上により、回転成形の市場競争力アップと付加価値向上を図っていく。

また、装置システムの性能向上を進めていき、今回実現できなかったエンブラ等の他材質への展開を推進し、回転成形の市場拡大と新たなニーズ発掘を目指していく。

以上