

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「プラスチック成形に於ける

温度調整用水系のスケール、錆の除去装置の開発」

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 株式会社浜名湖国際頭脳センター

目 次

第1章 研究開発の概要	- 1 -
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	- 1 -
1-1-1 研究開発の背景	- 1 -
1-1-2 研究目的及び目標	- 1 -
1-2 研究体制	- 1 -
1-2-1 研究組織（全体）	- 1 -
1-2-2 管理体制	- 2 -
1-2-3 管理員及び研究員	- 2 -
1-2-4 他からの指導・協力者	- 3 -
1-3 成果概要	- 4 -
1-4 当該研究開発の連絡窓口	- 5 -
第2章 本論	- 6 -
2-1 電解槽の耐圧の向上及び耐水温度性を向上させる研究	- 6 -
2-1-1 電解槽の開発	- 6 -
2-1-2 電極の開発	- 8 -
2-2 金型に必ず水を供給するシステムの開発	- 11 -
2-3 装置から定期的に排出するスケール、錆を含む排水処理装置の開発	- 14 -
2-4 循環水系の水が当該装置の排水時に減少するので安全な水補給の方法	- 16 -
2-5 金型の金属の種類、流速、とスケール付着時の熱伝達効率の計算方法の確立	- 17 -
第3章 全体総括	- 18 -

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

プラスチック成形などの金型を用いて成形を行う場合、金型に水を流し込み循環させることで金型の温度制御を行っているが、金型に流れ込む水が局部的に沸騰し、循環水の中に含まれるカルシウムなどの物質の濃度が高くなると、金型の水路内にスケール（カルシウムなどを含む析出物）が付着し温度調整を行い難い状況となる。

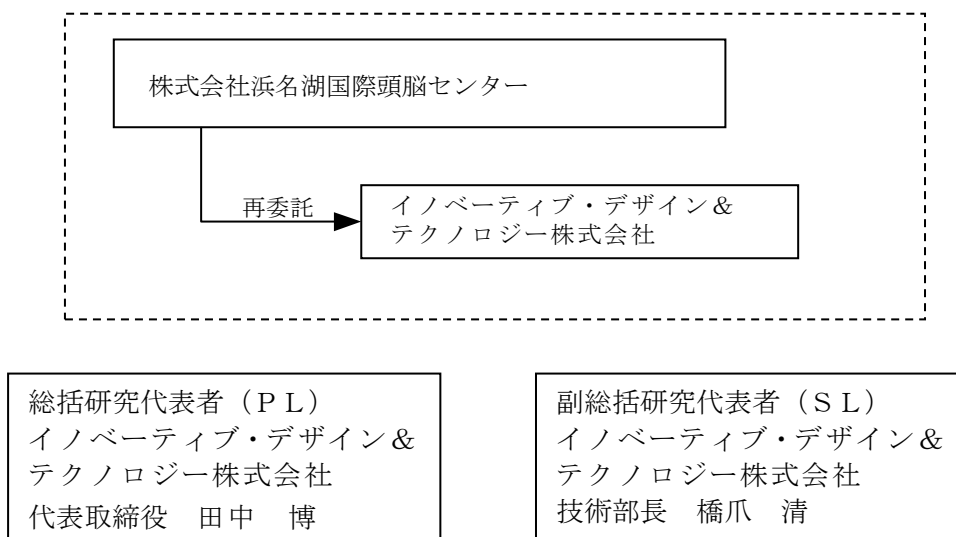
結果的に製品の「歪み」、「引け」など製品不良が多く発生するとともに精密な製品の生産が難しくなる。この対策として電解を用いたスケール除去方法を用い、金型の温度調整のための循環水系専用のスケール除去装置の開発を行う。

1-1-2 研究目的及び目標

一般的なプラスチック成形は金型に溶解した樹脂材料を流し込み金型内で材料が冷えることで凝固させ成形が行われる。この工程で金型の温度調整が悪いと製品に「歪み」などが発生し不良品となる。これは金型の温度調整用の水路にスケール（コンクリートの様な物質）が付着することが主要原因である。また、現状では優れた対応技術が無い。本開発では、電解技術を用い強いスケール除去効果を発揮する装置の開発を行う。

1-2 研究体制

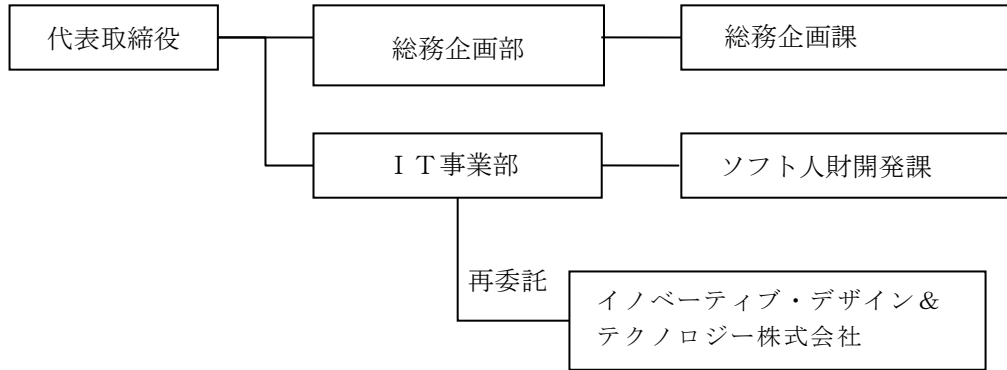
1-2-1 研究組織（全体）



1-2-2 管理体制

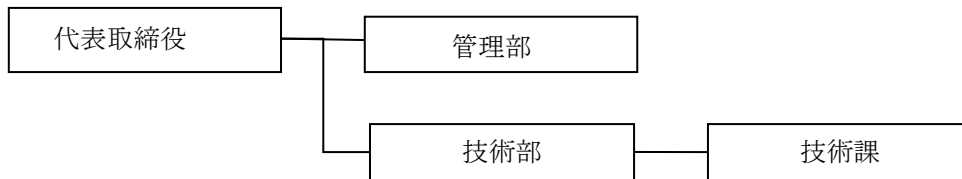
(1) 事業管理機関

[株式会社浜名湖国際頭脳センター]



(2) 再委託先

[イノベーター・デザイン&テクノロジー株式会社]



1-2-3 管理員及び研究員

(1) 事業管理機関

[株式会社浜名湖国際頭脳センター]

(管理員)

氏名	所属・役職
森田 智久	総務企画部長
鈴木 温子	IT事業部 ソフト人財開発課長
細川 佳伸	IT事業部 ソフト人財開発課 主任
夏目 和久	事業企画室長

(2) 再委託先

(研究員)

[イノベティブ・デザイン&テクノロジー株式会社]

氏名	所属・役職
田中 博	代表取締役
橋爪 清	技術部長
小林 利壽	技術部 技術課長
井口 豊彦	技術部 技術課
酒井 文香	技術部 技術課
田中 陽平	技術部 技術課
竹下 治代	取締役
小瀧 美代子	管理部 技術管理主査

1-2-4 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
中山 顕	国立大学法人静岡大学 工学部機械工学科 教授	アドバイザー
塚本 幸平	丸紅テクノシステム株式会社 産業システム事業部 担当部長	アドバイザー
三枝 則和	ヤマハ発動機株式会社 生産本部磐田製造部 推進課設備保全鑄造係 主査	アドバイザー
三石 秀司	シンセイ機販株式会社 袋井営業所 グループマネ ージャー	アドバイザー
久野 泰嗣	メガロ化工株式会社 代表取締役社長	アドバイザー
立石 哲康	浜松商工会議所 産業振興部 工業振興課 課長	アドバイザー
山田 颯二	学校法人常葉学園常葉大学 経営学部 非常勤講師	アドバイザー

1-3 成果概要

下記の各研究課題の目標に対する成果は、以下のとおりである。

- 1) 電解槽の耐圧の向上及び耐水温度性を向上させる研究については、電解槽の実験結果では、100℃で歪みを0.8mm以下に収める設計ができた。
さらにSUS3mmの補強版で補強を行うことで、98℃で0.6MPaのとき歪みを100 μ 以下にすることができた。水系水路は、循環水が100℃超になることはなく、十分な値（温度）であることを川下企業での実ライン試験で確認できた。
また、電解槽内の電極は水温が上がると水素吸蔵が増加し、変形したり消耗が激しくなるのでこれらに対応する電極を二段階で開発し耐久性（耐圧力・耐温度性）を向上させ、コストダウン仕様の電極を開発できた。
- 2) 金型に必ず水を供給するシステムの研究については、金型に0.5秒以上、循環水を停止せずに圧力損失を0.3kg/cm²以下になる装置の設計及び試作を行った。
補助ポンプの制御、装置の設置位置を工夫する事により目標を達成した。また、3年目は川下企業のアルミダイカスト工場に当該装置を設置し評価試験を行った結果、不良率の低下など大きなメリットがある事が立証された。また、当該装置は問題無くインラインで使用出来る事も立証することが出来た。
- 3) 装置から定期的に排出するスケール、錆を含む排水処理装置の研究については、30L/分以上の排水で運用するための排水方法の検討及びポンプ等の試作を行った。
問題となるスラッジ（スケール片）などが含まれる排水が水中ポンプを停止しないようにポンプ保護のメッシュ容器を作成し、川下企業の工場で評価試験を行い、ポンプの停止などの異常は発生しなかった。
- 4) 循環水系の水が当該装置の排水により標準量以下に減少しないよう安全に水の補給をする装置の研究を行った。設備の循環水圧力が0.6MPaの時、30L/分以上の水量を補給可能な装置として実現するために、水位センサーの改良等を行った。
川下企業において、調査を行った結果、供給水タンクの容量は50L～200L程度であることが解った。このような実用されているタンクに容易に後付け出来る水位センサーの選定と水補給実験を行い、川下企業から良い評価を得た。
- 5) スケール付着時の熱伝達効率の計算方法の研究について、金型の冷却課程を数学モデル化することで、スケールの除去により短縮される冷却時間等について計算方法を確立した。

事業化の準備として川下企業で当該装置によるダイキャスト用金型のスケール除去に於いて、以下のような成果が確認されている。

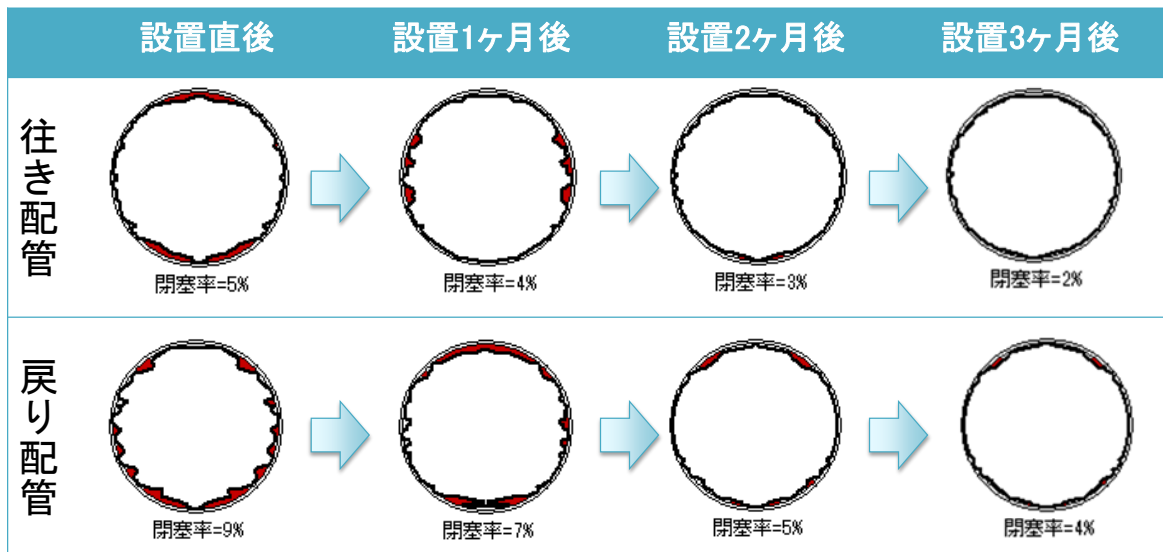


図 1-3-1 配管閉塞率の測定結果

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(1) プロジェクト全体に関すること（事業管理機関）

[株式会社浜名湖国際頭脳センター]

住所：静岡県浜松市西区村楡町 4598 番地の 9

電話：053-484-4002 / FAX：053-484-4001

e-mail：sapoin-hic@hamanako.co.jp

担当：IT事業部ソフト人財開発課 鈴木温子

(2) プロジェクトの技術内容に関すること（研究実施機関）

[イノベーティブ・デザイン&テクノロジー株式会社]

住所：静岡県浜松市浜北区中条 1123-8

電話：053-584-3636 / FAX：053-584-3637

e-mail：info@innovative-dt.com

担当：代表取締役 田中 博

第2章 本論

2-1 電解槽の耐圧の向上及び耐水温度性を向上させる研究

2-1-1 電解槽の開発

構造上の問題で、リブを付けた。(図 2-1-1) 循環水温度 100℃で 0.8mm の歪が発生した。使用上は問題が無かったが、長寿命化のため、金属補強を行うこととした。(図 2-1-2)

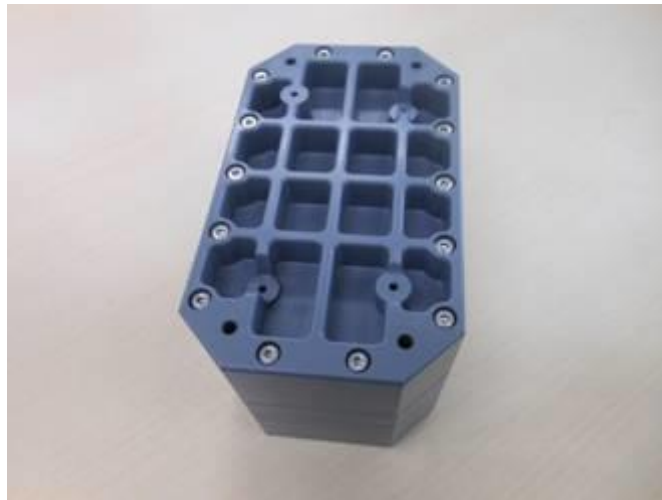


図 2-1-1

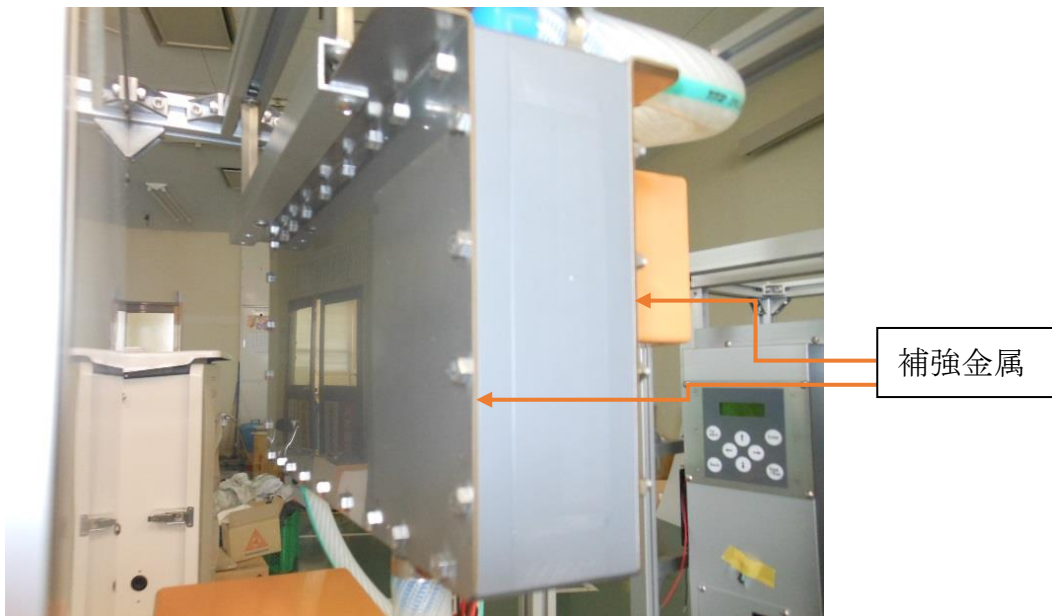


図 2-1-2

金属補強を行った電解槽（図 2-1-2）を使用し耐圧試験を行った。

電解槽は従来のソリッド型の電解槽にステンレス板（1mm、2mm、3mm）を用いて 4 種類の電解にて実験を行った。

図 2-1-3 のとおり、3mm のステンレス板により補強する事で膨らみを補強がないとの比べ 0.6MPa の時に 1/3 程度に出来る事が解った。

試験装置は 3mm のステンレス板で電解槽を補強することとした。

3mm のステンレス板で補強することで、98℃、0.6MPa の時の歪みを 100 μ m 以下にすることができた。

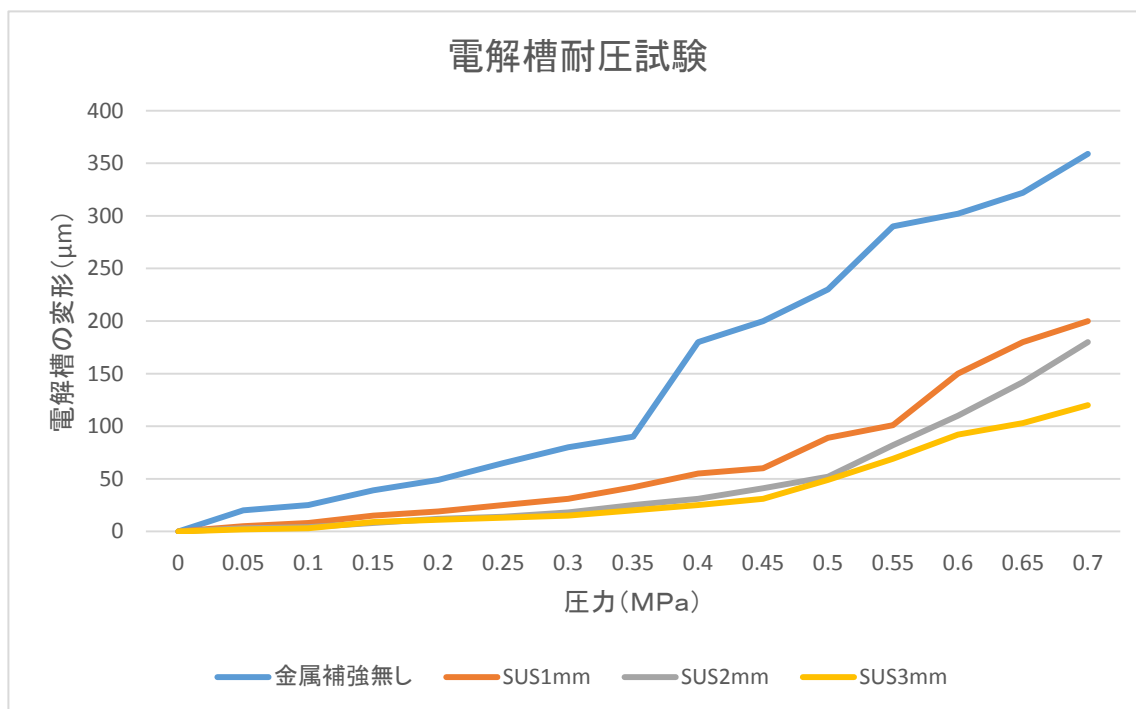


図 2-1-3

2-1-2 電極の開発

電解によるスケール技術のキーである電極についても熱膨張、熱収縮が原因で白金プレート部分に亀裂、剥離などが発生し短時間で消耗する。対策として、白金族を用いたアモルファス化電極を用いて変形が起こり難い電極の選定開発等を行うために電極の試験装置を製作し、加速試験等の評価試験を行い、高寿命で比較的安価な電極の研究開発を実施した。

(1) 電極試験装置の開発

本装置は通常の電解より 10 倍程度の電流を流し、水素吸蔵による変形や電極の消耗などを短時間で判断する事を目的とした装置である (図 2-1-4)。

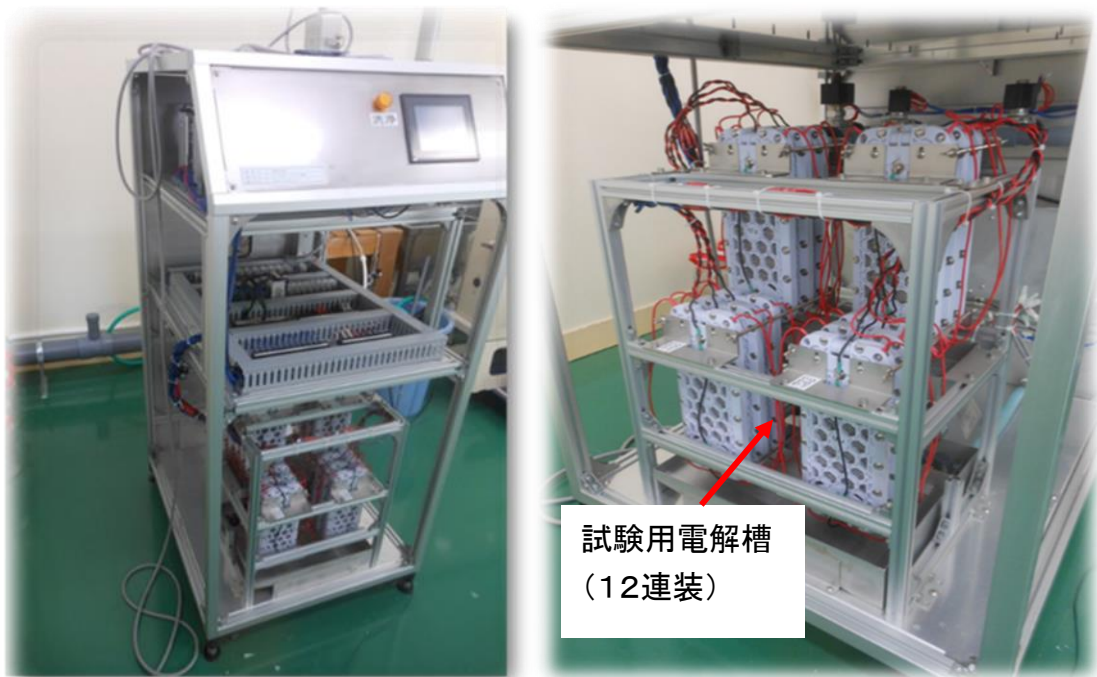


図 2-1-4

(2) 電極評価試験

2年目及び3年目に電極メーカーと共同開発したコーティング電極を用いて各種の試験を行った。

2年目の結果として、当該装置の条件下で、2万時間相当程度の耐久時間を確保出来る電極の選定を行う事が出来た。電極メーカーと共同開発した3水準のコーティング電極はいずれも比較的安価であり、実機のランニングコストが安くできることも確認出来た。

2年目の電極評価試験結果を図2-1-5に示す。2年目の耐久評価では“601”の電極は495時間を経過しても劣化傾向はあるものの他の二つとは違って電流が安定した。

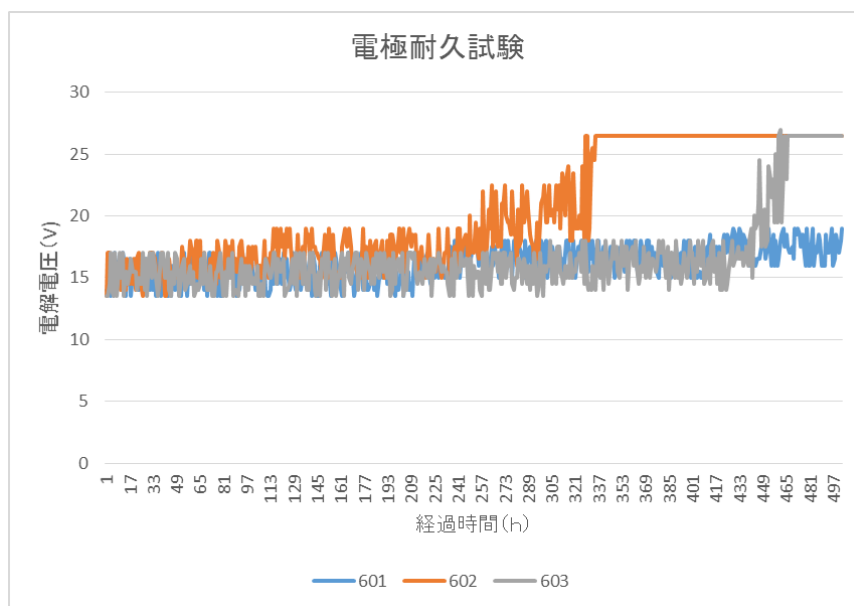


図2-1-5

また、2年目に行った試験で高耐久の“601”電極を作ることができた。3年目は“601”電極をさらに改良し“780”電極としている。

3年目は、2年目より耐久性のある電極の選定開発を行うため、“780”、“790”、“820”、“920”の電極4種類を用いて耐久試験を行った。4種類の電極は水素吸蔵しにくい電極を用いている。試験後の変形などはどの電極もなかった。

3年目の電極耐久試験の結果は、図 2-1-6 のとおりである。

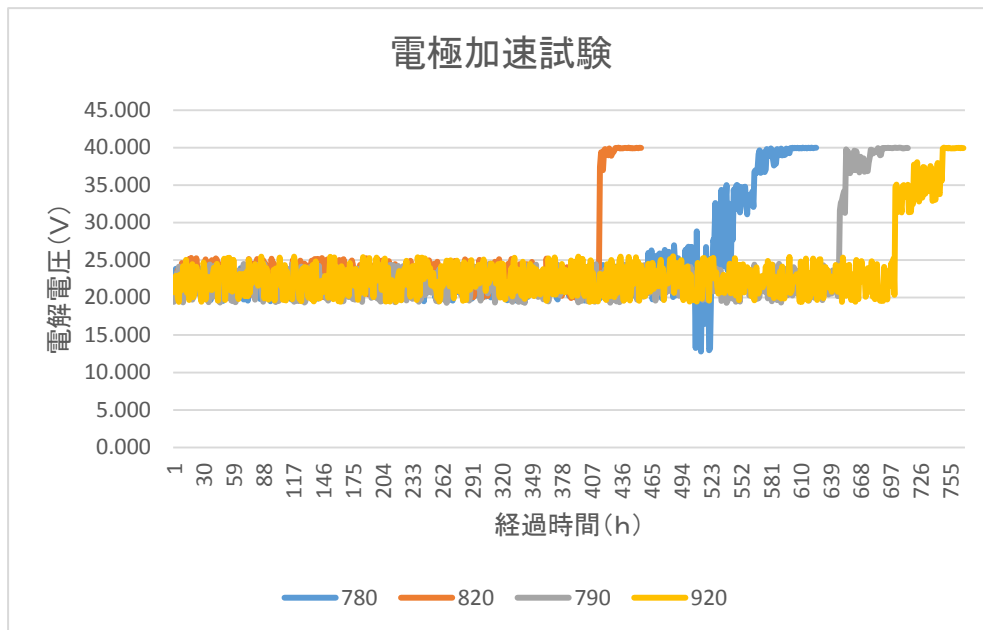


図 2-1-6

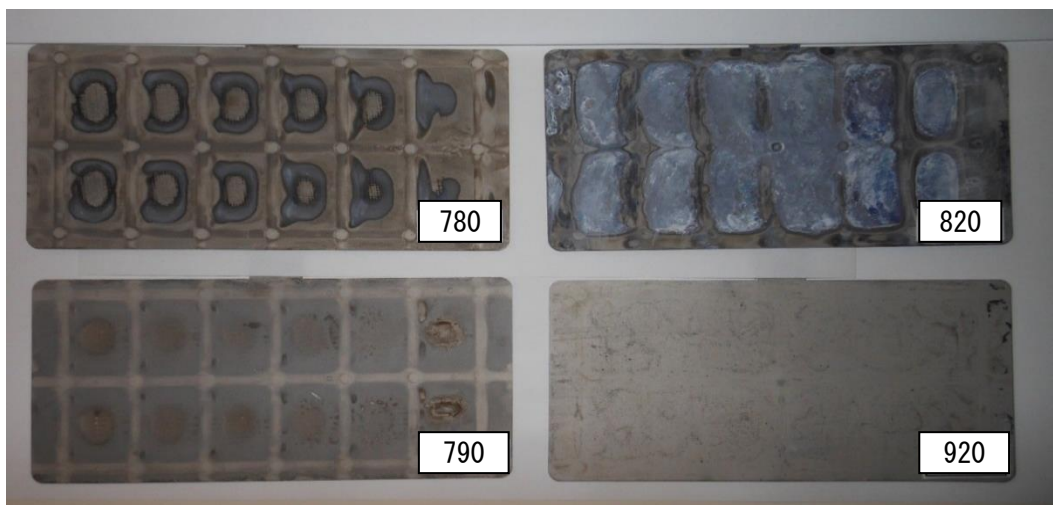


図 2-1-7

電極耐久試験後の電極を図 2-1-7 に示す。

電極耐久試験の試験結果は、図 2-1-6 の電極加速試験において“920”電極が優れていることが分かる。また、図 2-1-6 における試験後の試験片の写真（図 2-1-7）でも、ひと目で耐久性の高いことが視認できる。

昨年度選定した電極“601”との比較でコスト 5.3%ダウン、耐久性 20%アップという結果となった。

2-2 金型に必ず水を供給するシステムの開発

金型洗浄試験装置では、金型に必ず水が供給され且つ給水量が低下しないことが重要であるため、以下の開発を行った。

(1) 水路の開発

金型洗浄試験装置で、ポンプや流量センサーを利用してブレードホースの配管を変更して、メイン水路の流量変化の実験を実施した。

図 2-2-1 のとおり、従来の配置では、圧損が生じるために流量の安定化が保たれないことが判明したため、回路的に無理がない新しい配置図を完成させた。

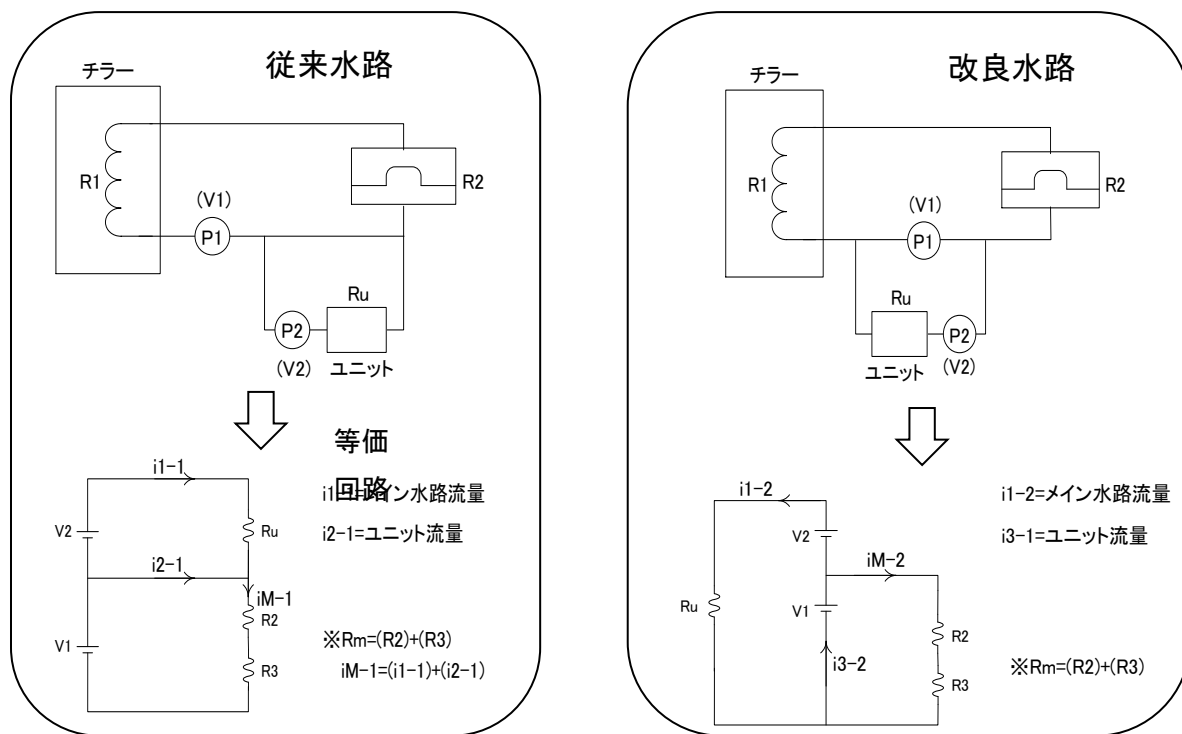


図 2-2-1

表 2-2-1

水路	メイン水路の流量式
従来 (式 1)	$(i_M-1) = (i_1-1) + (i_2-1) = (V_2/R_u) + (V_1/R_m)$
改良 (式 2)	$(i_M-2) = V_1/R_m$

水量の増加による水路抵抗を考えないという前提で式 1 より従来配置はユニットに流れる水がメイン水路に加わる。また改良配置 (式 2) はメイン水路に流れる水の量は基本的にユニットを流れる水量に影響を受けない。

(ただし、流水量が増加する事による水路抵抗の増加を考えない事が前提である。)
 上記の式を元に下記の条件でシミュレーションを行った。
 (条件) $R_u=2$ $R_m=100$ $V_1=10$ $V_2=0.1\sim 2.5$ に変化する
 従来水路と改良水路の流量のシミュレーションの結果を図 2-2-2 に示す。

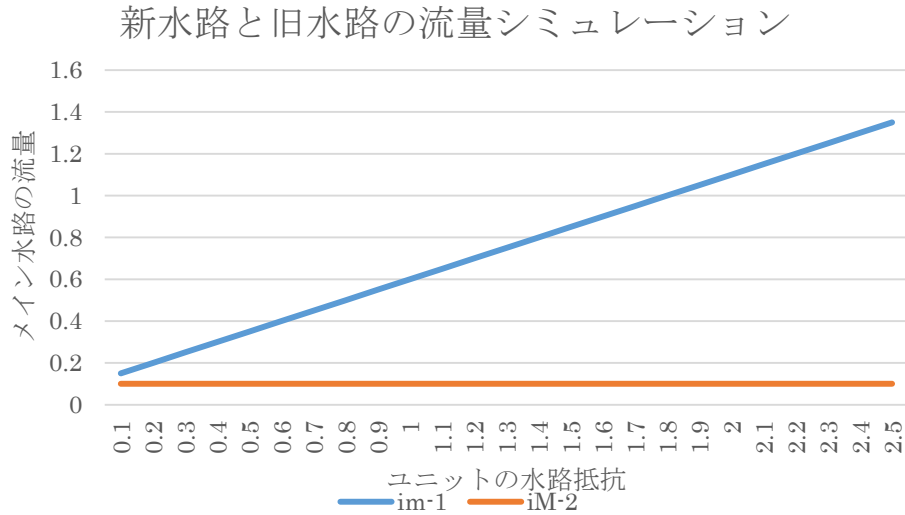


図 2-2-2

新(改良)水路にする事でユニットポンプの圧力を変えた場合でも出水量は一定になる結果となることが証明された。(図 2-2-2)

この結果を基に新(改良)水路を実際に作り実験を行った。(図 2-2-1)

ユニット(当該開発装置)に流す流量を増やした時の各(従来、改良)メイン水路に流れる流量の変化を測定した。

図 2-2-3 はメイン水路の流量の変化の測定結果である。従来水路ではユニット流量が加算されるが新(改良)水路では加算されにくい事が解った。この結果、この水路を使用して装置の開発を行う事とした。

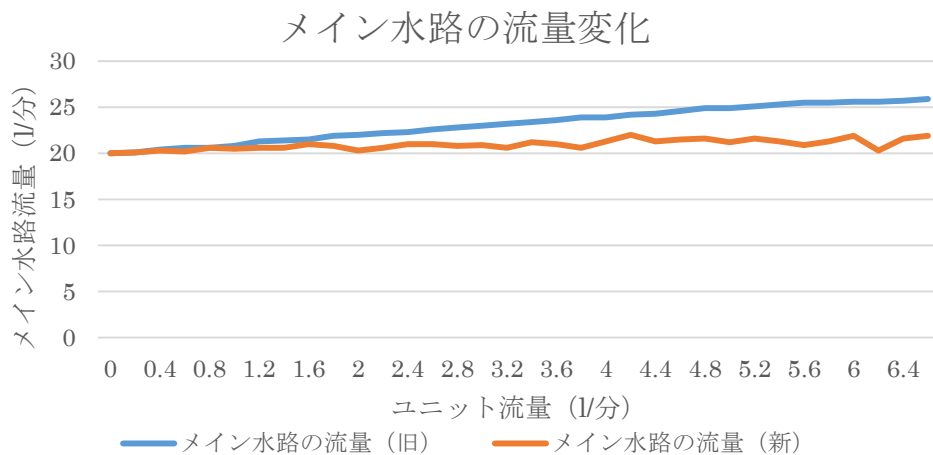


図 2-2-3

(2) 実ライン試験

3年目に実ラインでの金型洗浄試験装置の実験を実施した。

結果は図 2-2-4 のとおり、 Δt はダイカストマシンの負荷変動が大きく装置の効果は顕著に顕れていない。

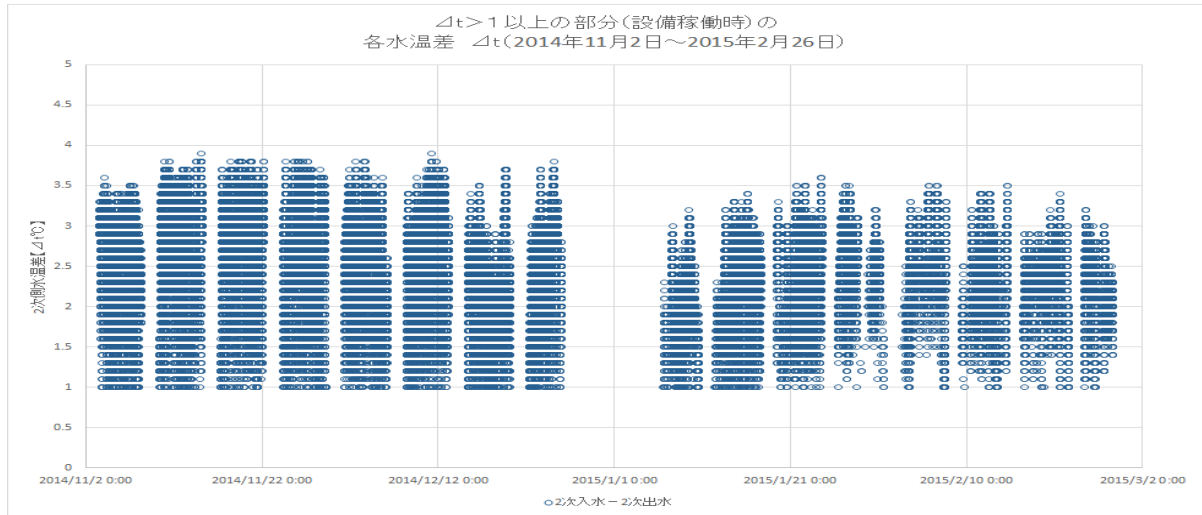


図 2-2-4

図 2-2-5 のとおり、熱交換器の効率が向上する事で循環水の温度が低下傾向になった。

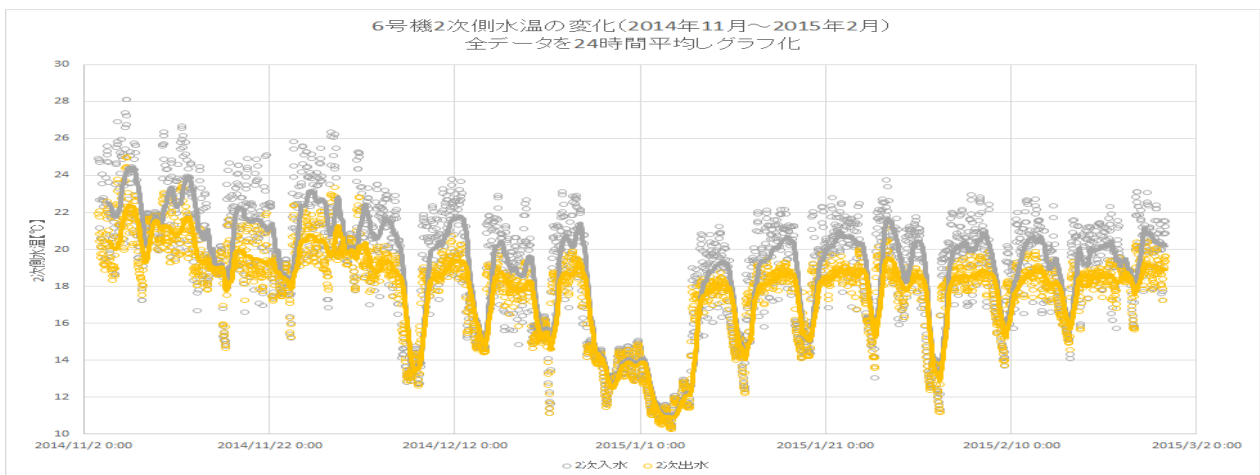


図 2-2-5

また、5 ページの「図 1-3-1 配管閉塞率の測定結果」のとおり大旨 3 ヶ月で循環配管の閉塞率は行き配管が 5%→2%、戻り配管が 9%→4%へ低下し改善がみられた。

川下企業より製品不良が 1/4 程度に減少したとの状況の報告を受けている。

2-3 装置から定期的に排出するスケール、錆を含む排水処理装置の開発

φ10mm、L=400mmの2本のサンプルを用いて実験を実施した。

図2-3-1のとおり、金型の循環水の出入り口をそれぞれ、両側からファイバースコープで撮影した結果、この装置使用することによりスケールが除去され、きれいになった。

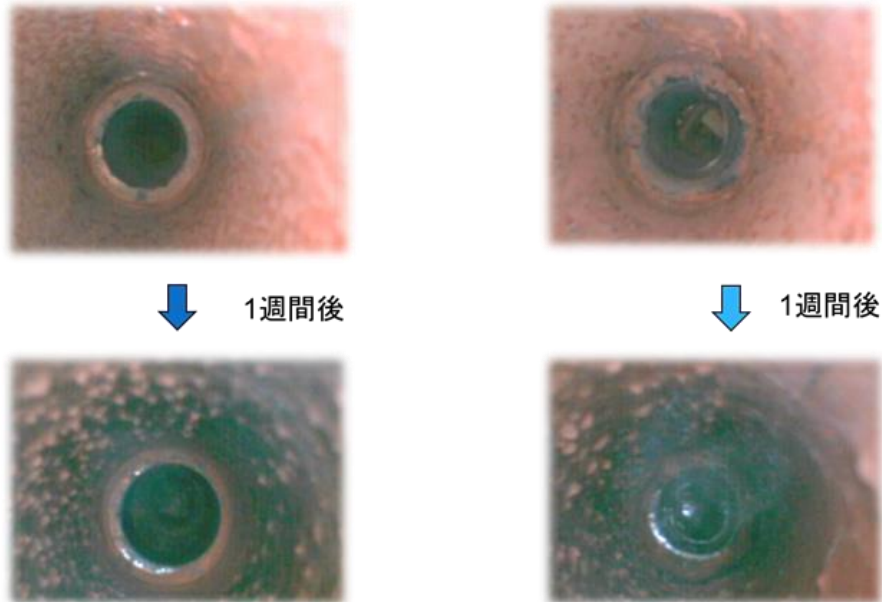


図 2-3-1

図2-3-2のとおり、配管から除去されたスケールは比重により循環タンクに蓄積される。排水の時には、このスケールが含まれるので排水処理装置の目詰まり等の対策が必要である。

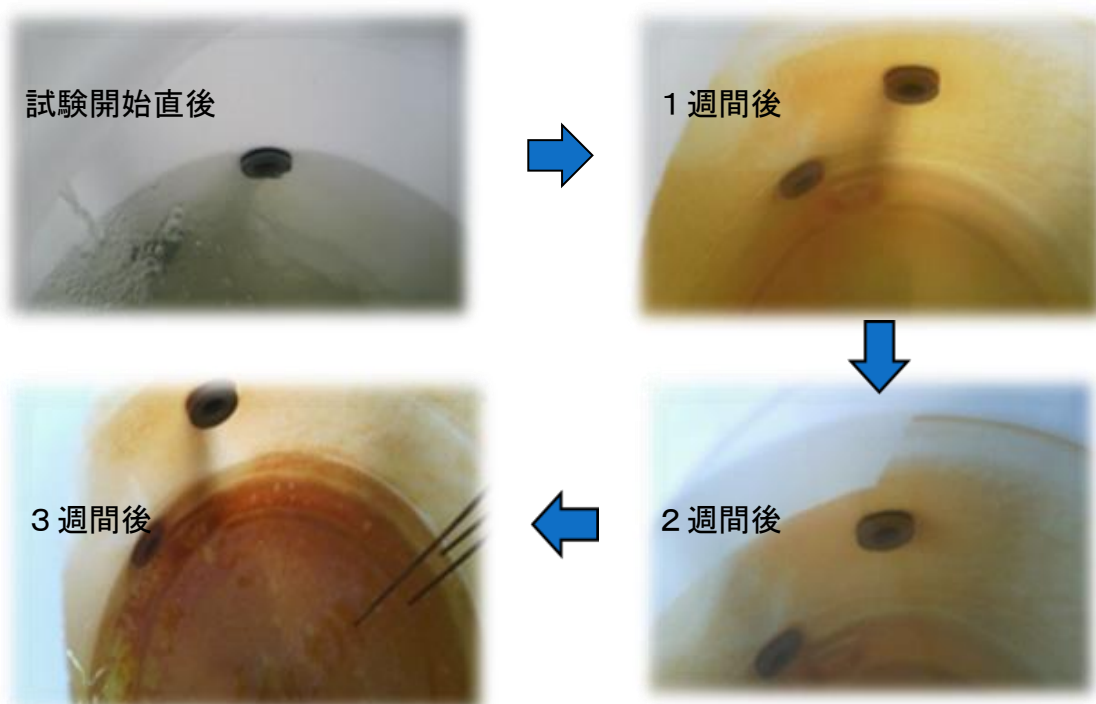


図 2-3-2

上記対策のため、図 2-3-3 の二重線で囲った部分の開発を行った。

この開発では水中ポンプから屋外へ排水を行う時にスケールなどのスラッジが水中ポンプを止める可能性があるため、これを防ぐものが成果物となる。

今回は図 2-3-4 のように水中ポンプをメッシュの箱の中に収めることで水中ポンプを保護することとした。メッシュサイズは#40 を使用したので、0.5mm 以上のスケールは吸い込まないことになる。

川下企業にてインラインで1年間の実験を行ったが水中ポンプのつまりは発生せず、問題無く稼働していることを確認した。

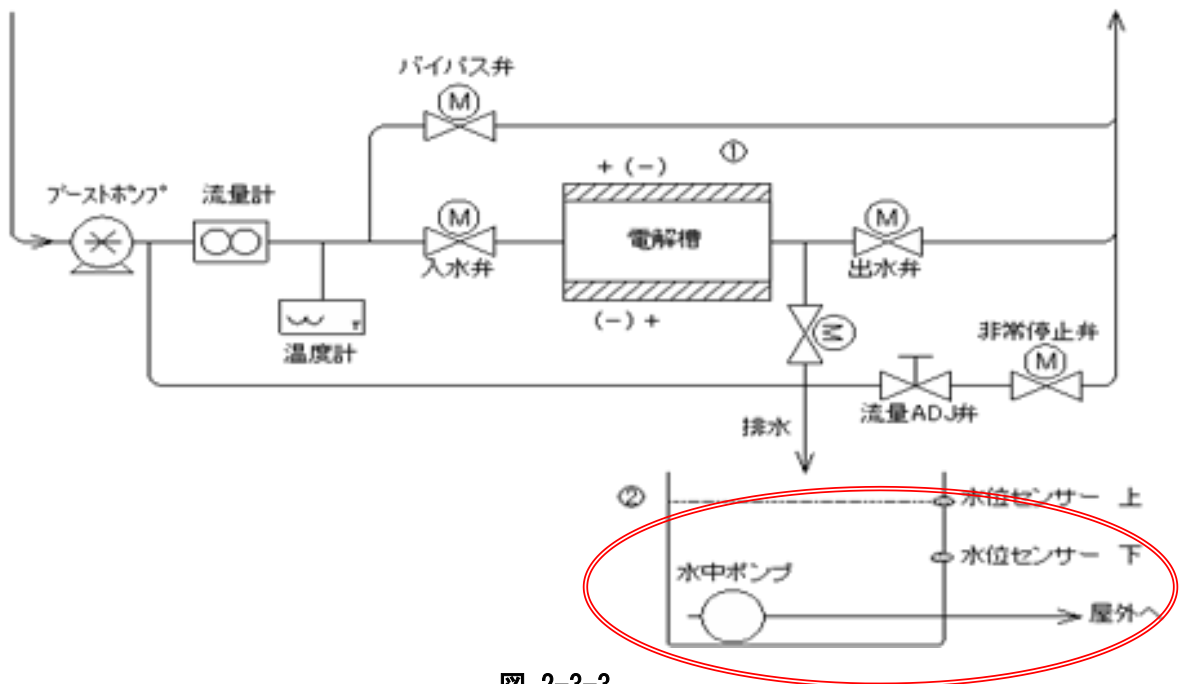


図 2-3-3

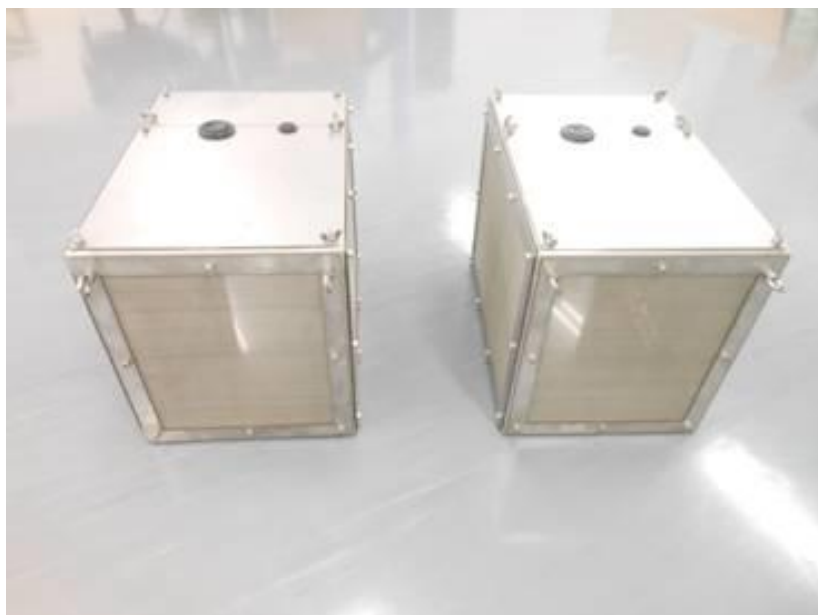


図 2-3-4

2-4 循環水系の水が当該装置の排水時に減少するので安全な水補給の方法

金型洗浄試験置から排水を行うので循環水系統の水を必要以上に少なくすることは出来ないため、以下の対策を行う事を研究した。

図 2-4-1 の囲み部分が開発の対象である。

①補給水タンクを大きく出来るか？

②後付け可能な水位計の研究

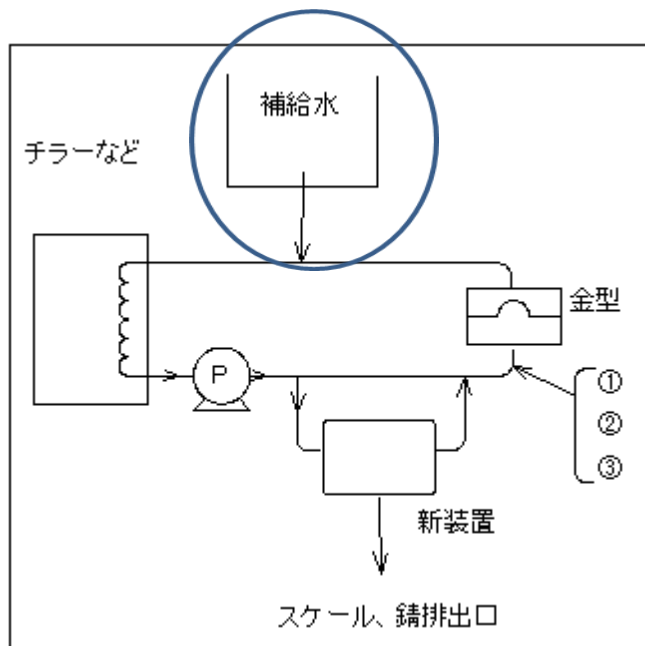


図 2-4-1



図 2-4-2

屋内において、300日間継続的に、10回/週程度の頻度で水位計まで水のある状態と無い状態を人工的に作りだし、水補給ポンプは稼働することを確認した。

またベルト式非接触水位計を設置した。(図 2-4-2)

2-5 金型の金属の種類、流速、とスケール付着時の熱伝達効率の計算方法の確立

スケール付着時の熱伝達効率の計算方法の研究について、スケールの除去により短縮される冷却時間等について計算方法を確立するために、金型の冷却課程の数学モデルを作った。

図1に示す金型を図2のような数学モデルで置き換える。ここで、金型の固定側と可動側の水路を直径 d_w 、長さ L の2本の直管路で近似する。実際には曲がっている各水路の全長を L とみなせばよい。

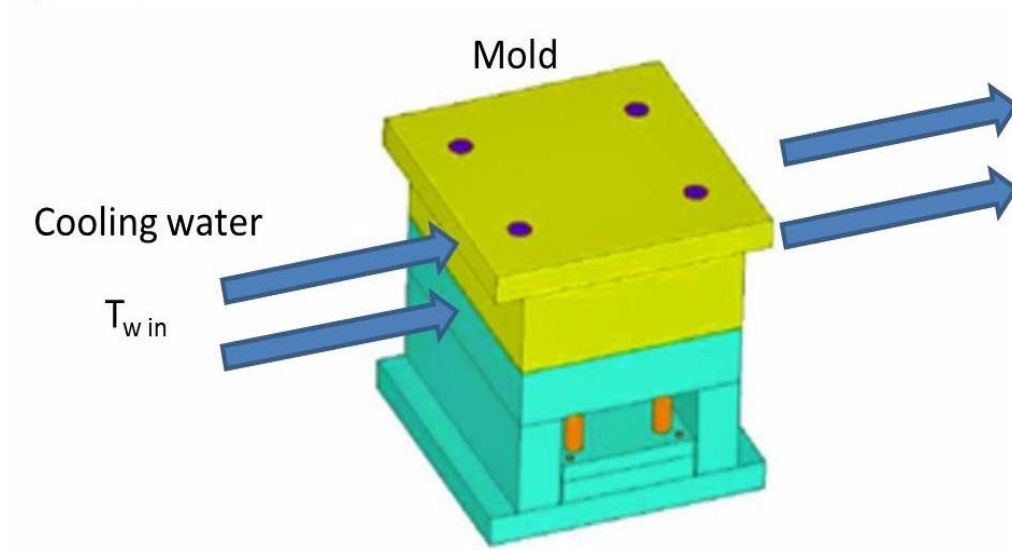


図1 典型的な金型の外観

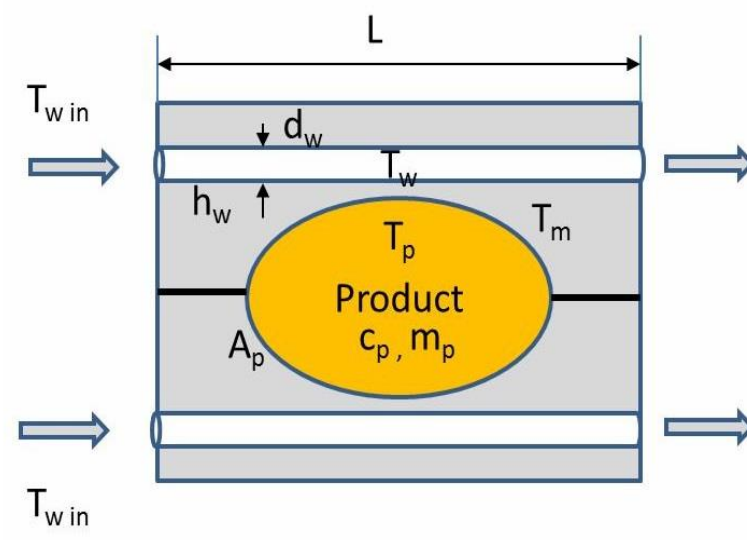


図2 金型の数学モデル

第3章 全体総括

本研究開発では、平成 24 年度から平成 26 年度までの 3 年間、金型水路に付着するスケールを除去するために、弊社が従来から行ってきた電気分解技術を応用し、効率の良いスケール除去効果を発揮する金型洗浄装置の開発を行った。

基礎技術である電気分解技術は、弊社が研究開発した技術で、現在は冷却塔などの冷却用循環水路や熱交換器に付着するスケールを薬剤等を使用せずに、効率的に除去する技術であり、ユーザーからの評価がかなり高いため、この技術を応用した金型水路に付着するスケール除去装置の開発を 3 年間で進めた。冷却塔の開放型循環水路と成形金型用循環水路では、スケール除去技術においていくつかの乗り越えるべき課題がある。冷却塔に比較し成形用循環水路は、定温水を金型の温度をコントロールする流量を供給するため閉回路で水圧が高い。閉回路のため除去したスケールを排出する仕組みが必要になる。スケール排出後の循環水不足を補い、十分な水量を金型に供給することも必要となる。また、成形用循環水は金型温度保持のための温水及び金型の冷却後高温水など回路に流れる水の温度は基本的に高い（但し、100℃以下）。

水を使用した金型温調機の吐出圧は 0.3MPa 程度であるので、水圧は 0.5MPa、60 分耐圧を目標としてきたが、電解槽を樹脂製とし金属で補強することにより 0.8MPa にも耐えた。

こうしたいくつかの課題は、多くの試験を繰り返し、課題クリアとなり、よりよい金型洗浄装置を開発し、事業レベルでの利用を目指した。各年度の研究開発成果は以下の通りである。

1 年目は、実際の金型からスケール除去を行う金型洗浄試験装置を開発した。

製作した金型洗浄試験装置

⇒



2 年目は、電極の消耗実験を行うために電極評価装置を製作し実験を行った。

また、インライン試験をするための金型洗浄試験装置（評価装置）の開発を行い実験を行った。

3年目は2年目に製作した評価装置を改造し、川下企業にてインラインの実験を繰り返しさらなる評価を行った。

3年間の研究成果は、以下のとおりである。

【金型洗浄装置の開発】

- 研究項目に分かれた、各目標はすべて達成した。
- 2年目に開発した評価装置を3年目で改造を行い、実ラインで評価できた。
- 電極評価試験において、よりパワーアップ、コストダウンした電極を選定できた。

現在市場にある射出成形機は145,000台あまりと言われており、アルミダイカスト装置やその他、樹脂成形装置を入れると20万機以上が国内に存在している。現在弊社で既に販売しているクーリングタワー向けの電解スケール除去装置の販売を通して、自動車関連、飲料関連の大手メーカーに対して販売実績があり、こうした企業の殆どで、プラスチック成形装置を保有しており、この金型洗浄装置の開発に大いに期待を寄せていただいている状況である。

今後の事業展開では、装置の製作台数を増加し、量産効果によって生まれるコストダウンを行い、量産に向けた製造方法を確立し、実用化、商業化を進めて行く。

