

平成21年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「ダイカスト鑄造における
ハイサイクル成形金型技術開発」

成 果 報 告 書

(概 要 版)

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人 名古屋産業科学研究所

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	
1-2 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 当該プロジェクト連絡窓口	
第2章 面冷却技術の開発	6
2-1 研究目的及び目標	
2-2 実験方法	
2-3 研究成果	
第3章 負圧吸引冷却技術の開発	8
3-1 研究目的及び目標	
3-2 実験方法	
3-3 研究成果	
第4章 金型温度制御技術の開発	10
4-1 研究目的及び目標	
4-2 金型温度制御装置の構成	
4-3 研究成果	
第5章 シミュレーション解析ソフトの開発	12
5-1 研究目的及び目標	
5-2 実施内容および結果	
5-3 研究成果	
第6章 量産機試験に基づく冷却性能・耐久性等の検証	17
6-1 研究目的及び目標	
6-2 実施内容および結果	
6-3 研究成果	
第7章 全体総括	20
7-1 成果の総括	
7-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況	
7-3 今後の事業化に向けた取組み	

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

川下製造業（自動車）においては、低コスト化、短納期化、環境や燃費対応の軽量化、安全性の向上、差別化商品開発等の強いニーズがある。本研究では、ダイカスト鑄造において新構想の金型冷却システムによるハイサイクル成形金型技術開発を行う。同時に金型の耐久性向上及び製品品質を高め信頼性を向上させる為の温度制御技術、メタルと水の二相流体解析によるシミュレーション技術開発を行い、これらの実用化により低コスト化、軽量化、開発リードタイム短縮を実現する。

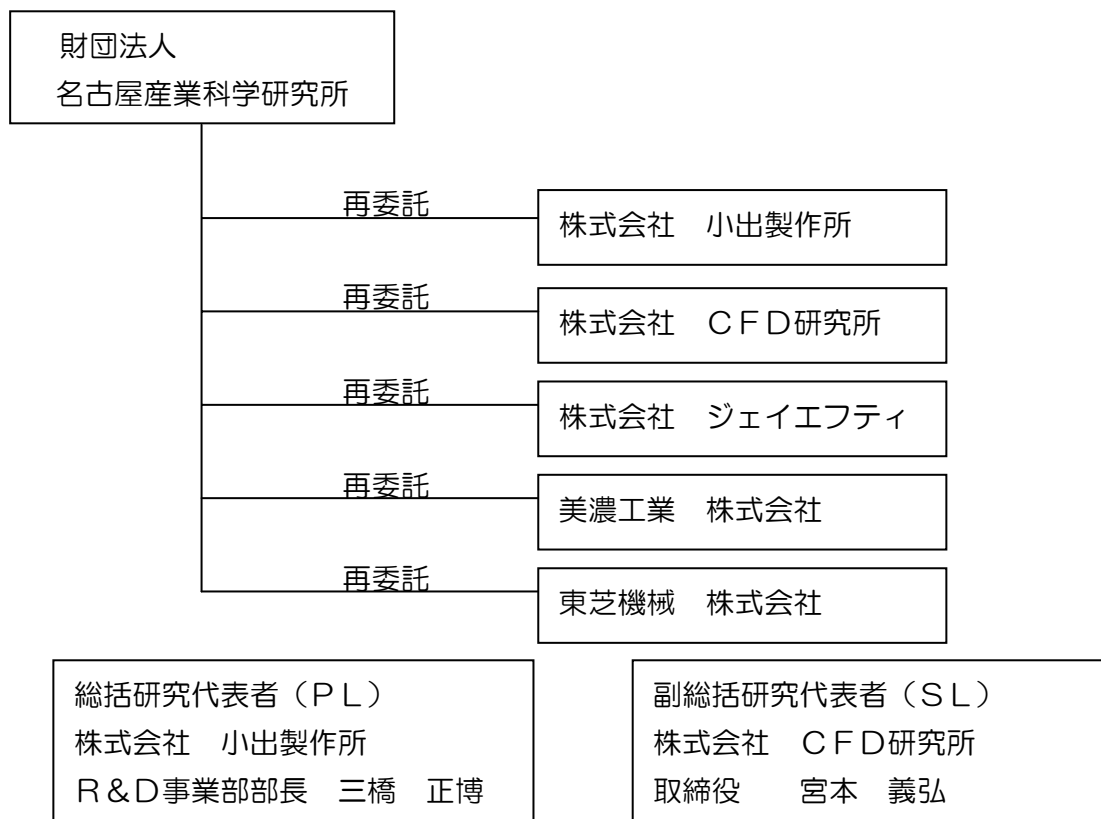
本事業では、下記の項目について研究を行い、ハイサイクルのダイカスト金型技術を開発する。

- ①金型表面直下に面形状冷却を可能とする冷却通路を確保する構造の新金型冷却技術の開発
- ②負圧吸引による金型冷却技術の開発
- ③金型表面の温度制御技術の開発
- ④メタルと水の二相流体を連成させた温度分布が解析可能な解析ソフトの開発
- ⑤実機試験に基づく冷却性能・耐久性等の検証

3年間を通し、ハイサイクル技術を金型、温度制御装置、解析ソフトの面から検証し、実用可能な技術へと確立させ、川下産業である量産分野に大いなる工法上での影響を与えるべく、実用化、事業化を最終目的として取り組みました。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

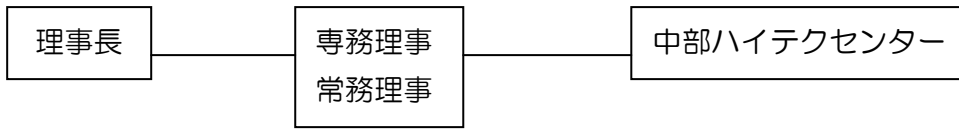
（1）研究組織・管理体制



2) 管理体制

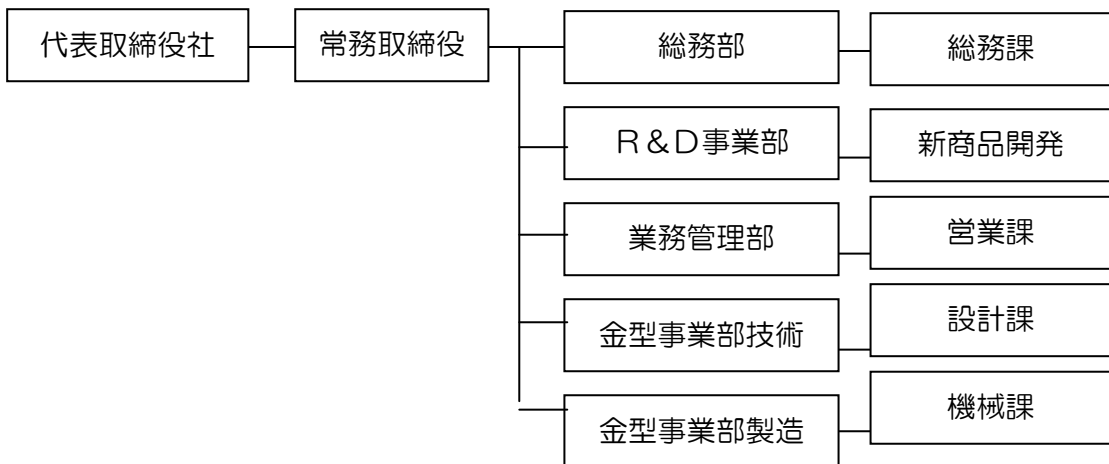
①事業管理者

[財団法人名古屋産業科学研究所]

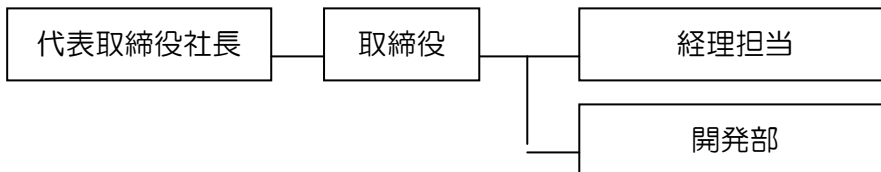


②再委託先

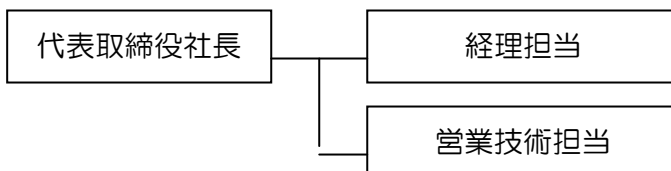
[株式会社小出製作所]

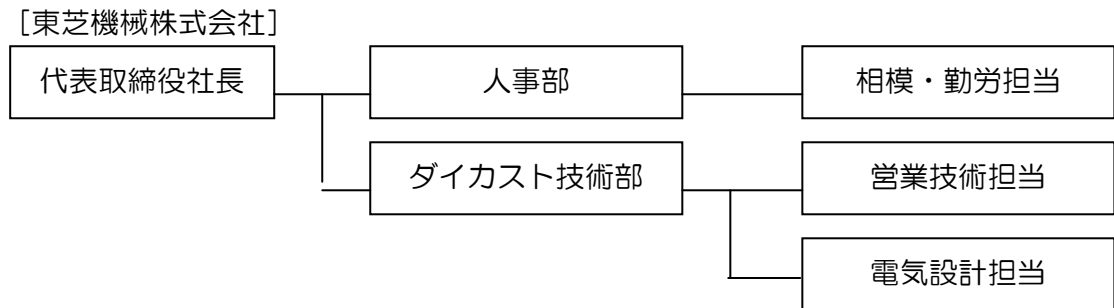
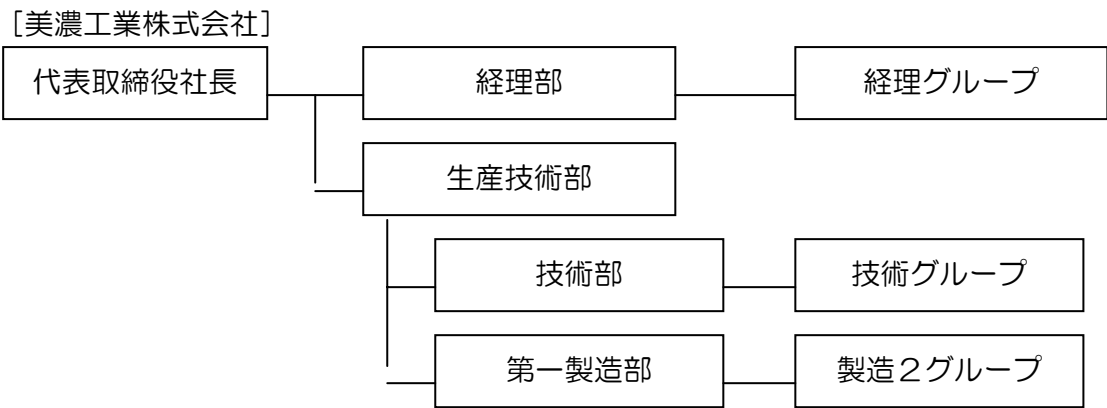


[株式会社CFD研究所]



[株式会社ジェイエフティ]





(2) 研究員及び管理員

【研究員】

株式会社 小出製作所

氏名	所属・役職
小出 悟	代表取締役社長
山田 和輝	常務取締役
三橋 正博	R&D事業部 部長
松原 学	R&D事業部 担当
武田 賢二	金型事業部 技術部長
鈴木 久雄	金型事業部 製造部長

株式会社 CFD研究所

氏名	所属・役職
宮本 義弘	取締役
馬場 周平	取締役、シニアエンジニアリング

株式会社 ジェイエフティ

氏名	所属・役職
峰本 方幸	代表取締役社長
清水 敏彦	営業技術課長

美濃工業 株式会社

氏名	所属・役職
寺田 峰生	取締役生産技術部長
大池 俊光	技術部長
水野 竜一	技術部 技術グループリーダー

東芝機械 株式会社

氏名	所属・役職
横山 宏司(~10.30)	テクニカルセンター部長
久保木 勲(11.1~)	カスタマー技術部グループマネージャー
鈴木 一弘(~9.30)	技術営業担当 主任
林 勇人	鑄造開発担当
及川文博	制御関係担当

【管理員】

氏名	所属・役職
藤根 道彦	中部 TLO 産学連携支援部長
黒畑 一志	主幹研究員(非常勤)
浅田 節子	
安部 浩二	事務局長

【協力者（アドバイザー）】

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
中村保	静岡大学工学部 教授	
中村穰治	静岡大学工学部 客員教授	

1-3 成果概要

21年度は、20年度と同様に抽出した研究課題の改善を行ってまいりましたが、現実には3年間の集大成の年であり、実用化、事業化といった観点からも活動をした。ハイサイクル化については現状が C/T=41秒のものが1/2の C/T=21秒とする半減化が実現し、概ね成果は導き出せたように思う。しかしながらその品質について生産性に耐えるものであるか否かとなれば、まだまだ改善しなければいけないことがたくさん残っているといわざるを得ない状況です。しかしながらハイサイクル化技術の面冷却方式による冷却方法で考案した一つの金型部品である分流子に関しては、ある顧客より図面指定をいただくところまで来たことは大きな成果であると考えます。しかしながらハイサイクル下での安定鑄造技術（良品生産）の開発という点ではまだまだ確認をしなければいけない品質問題を残したように思います。ただこの品質に関してももう少し時間は掛るものの改善することは可能であるといつてよいでしょう。よってハイサイクルはある程度実用化できるところまで来たものと考えます。又今回の目的の中でバリレス化、ネットシェイプ化などに関しては熱解析シミュレーション技術が開発され、そこからさらに冷却方案の最適化提案ソフトが導き出され、金型設計当初より金型に織り込むことが可能になるところまで進んだことから、現在それら解析ソフトの販売計画を立てる段階まで来た。その結果としてハイサイクル成形金型技術をより形式値化することが出来、さらに改善案を感、コツに頼らないで推し進めることが可能になったことは、今年度までに得られたもう一つの成果だと考える。

又これらの成果を得るにあたり開発した金型温度制御装置は現実を正確に知りえる資料提供に格段の成果をもたらしたことは言うまでも無く、負圧冷却機能を加えることによりさらにハイサイクル化そのものを安定化技術にさせ、実現化することが出来たのもこの装置ならではのといえる。よって報告する価値のあるものと考えます。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人 名古屋産業科学研究所
 中部 TLO 産学連携支援部長 藤根 道彦
 TEL: 052-223-6640 FAX: 052-211-6224
 E-mail: fujine@nisri.jp

第2章 面冷却技術の開発

2-1 研究目的及び目標

ハイサイクルダイカスト技術における面冷却技術の機能向上と面冷却金型から生産される品物の品質向上を研究目的とし、ハイサイクル下（生産効率の高い状況）での品質が通常生産時の品質より勝るとも劣らないことを確認するために実験を重ねました。研究の主体目的として現状量産している鑄造機械を使用し、現状の製品の品質と、面冷却金型を使用し各種サイクルにて製品を取り、その品質の確認をすることで、どの条件のものが品質的、生産効率的に優れているのかを突き止め、その状況が日常的に再現できることを実証するべく研究を重ねてまいりました。又工法に帰属する技術であるがゆえに完結ということは無いものと考え、更なる問題点の抽出を目的として最後の活動を行いました。以下にその状況を説明する。

2-2 実験方法

1) ハイサイクル金型と従来金型の対比と改善

新冷却技術を導入した金型（ハイサイクル（面冷却）金型）を製作し、現状量産状況と同一の環境にて鑄造トライ試験を行い、サイクルタイムを徐々に短縮し鑄造可能な状態までこれを繰り返すことによりハイサイクルを作り出す。

ブラケットワイパーの従来冷却方式金型とハイサイクル新冷却方式金型の熱画像比較を図2-1に示す。

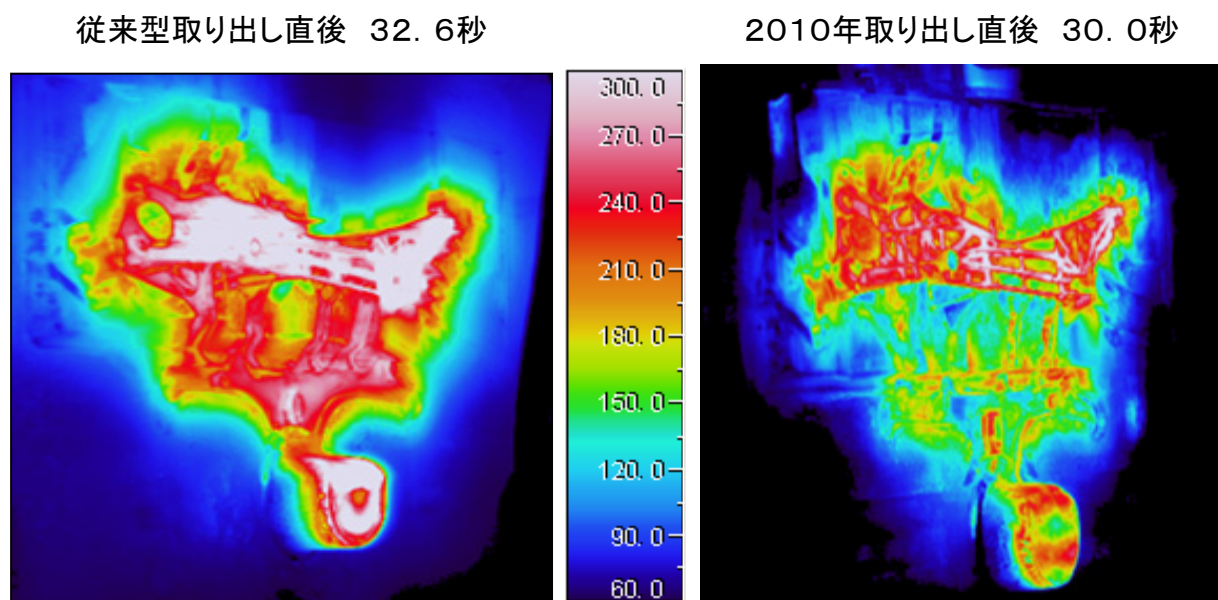


図2-1 ブラケットワイパー従来金型とハイサイクル金型の改善推移同ショット熱画像

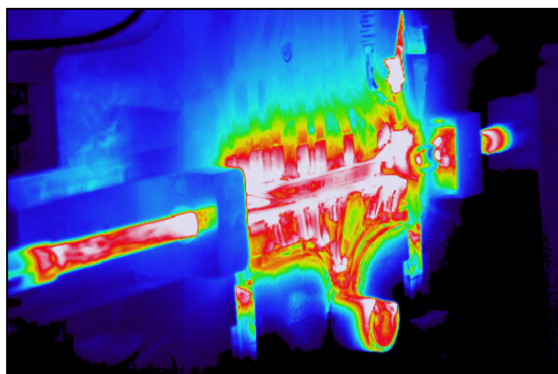
ブラケットワイパーのハイサイクル金型で、新冷却方法を採用するため金型構造を従来と異なる構造とし、冷却回路を構築いたしました結果、図2-1のそれぞれの段階による熱画像の変化が現れました。

従来型は明らかにアルミの部分がかなりの高熱状態となり、新冷却式（面冷却）金型は始

から同条件でも金型熱量が低いことがわかる、また改善工事のたびに変化が現れ2010年のものは目的としている均熱状態に近づいてきたことが読み取れる。

この状態でも生産活動的には何も問題は無く、サイクル短縮、コスト削減、バリの軽減、開発期間短縮など効果が出ている状況で、より均熱化を進ませれば前述の効果がより顕著に現れることとなります。

従来型取り出し直後 55秒



2010年型取り出し直後 40秒

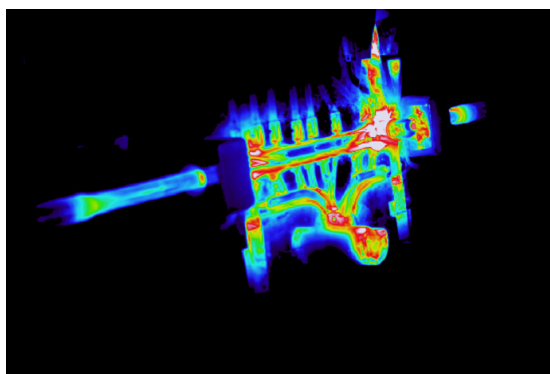


図2-3 ギヤボックス従来金型とハイサイクル金型改善推移どうショットの熱画像

ギヤボックスのハイサイクル金型も、新冷却のための新金型構造と共に、新冷却方法を施したことの結果として、図2-3の熱画像にも如実にその効果が表れている。

もともとギヤボックスの製品部面積が小さく、肉厚バランスが極端であったことから、過剰に冷えてしまう部分と、まだ異常に高温な部位とが混在し、新方式といえども難しさがあることも理解できた。

2-3 研究成果

ハイサイクル金型の冷却構造は、従来のスポット冷却のようなものでなく、製品形状に平行な水路を作ることで、アルミ製品形状の熱を限りなく形状に均一距離で吸収することで、冷却むらの少ない冷却が可能となることを特許申請しているところであり、その期待どおりの実証結果が得られたものといえます。

2製品のそれぞれの熱画像を見ても解るように、従来冷却と新冷却方式では同一サイクル、同一ショット数にてその違いがはっきりと見て取ることができ、冷却能力が格段の差で従来よりも勝っているといえる。

結果としてブラケットワイパーは目標の21秒サイクルを上回り20.3秒を記録、またギヤボックスは目標36秒のところ29.8秒を記録することができ、サイクルタイム短縮という目標は十分に結果を出すことができたものの、品質の追求と安定性の確保については、残念ながら未到達の状況であり、もう少しトライを重ね、収縮率の問題や、製品内部品質の確認を行い品質向上に努めなければ、現状のままでは市場で受け入れられないことは、はっきりと認識しなければいけないことである。

しかしながら冷却効率が良いということは、冷却方案の精度の高まりと共に金型全体をより高度に均熱化させやすいということで、そのことは結果的にネットシェイプ化の実現

へと導く事にもつながり、まさに高効率の金型冷却が実現することで、サイクル短縮が起
こり、均熱化が可能になることでバリの出ない、ネットシェイプ化された製品が取り出せ
るようになり、取りも直さず生産現場のコスト削減が劇的に進むこととなります。

そこまでの道のりはまだ少し残っている状況ですが、開発し続けることで必ず達成す
るものと確信いたします。

第3章 負圧吸引冷却技術の開発

3-1 研究目的及び目標

従来技術では冷却水は加圧圧送されているのが常識で、負荷の大きなハイサイクル鋳造
を実現するためには、冷却通水負荷条件を複雑な冷却回路にも均一化させた流れを作り出
すことは、とても重要な技術であり、金型が古くなればなるほど亀裂が入り、そのことか
ら加圧式では水漏れが発生し生産中止が避けられないが、負圧式を新型設計時の冷却レイ
アウトに利用すれば自由度をもたらすことになる。

したがって負圧吸引冷却方法を使うことにより水漏れを防ぎ、さらには吸引することの
一つのメリットである配管内壁に付着する老廃物のようなものを剥離させ、初期の冷却効
果を落すことなく生産に寄与させることができれば、負荷の大きなハイサイクルダイカス
ト生産にも大きく貢献することができることを目的として開発を進めました。

3-2 実験方法

製作した負圧吸引冷却装置の概要を写真3-1に示す。

本金型設計においては、押出ピン穴からの水漏れを極力防止する為に、横断する水路に
対して、 $\Phi 12$ 穴（上下）の精度を $\Phi 12, 0 \text{ H7}$ で加工した。

また、負圧吸引装置と金型の接続環境を図3-1に示す。

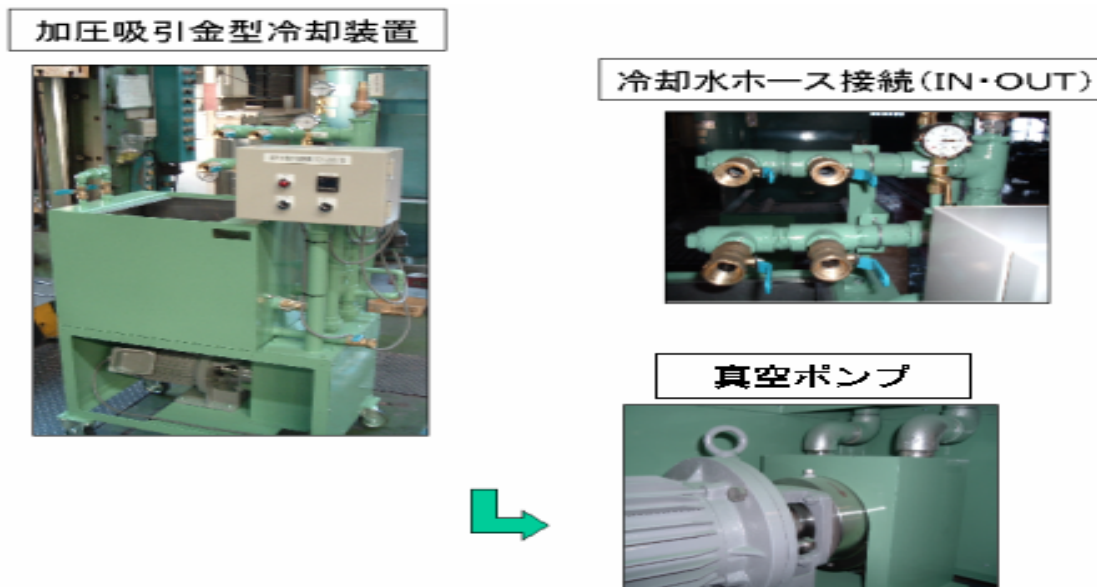


写真3-1 負圧吸引装置概要

又新冷却技術を導入した金型（実験金型）を製作し、現状量産状況と同一の環境に負圧
吸引冷却装置を接続。従来の圧送による冷却ではなく、負圧による吸引冷却で鋳造トライ
試験を行い、製品取出し時の金型表面温度状態を現状金型による量産状態と比較すること

で、冷却効率を検証する。また、鑄造時の冷却水流量・水温・水圧のデータを計測し、冷却水の状態を調べ現状量産されている金型冷却回路内の状態との比較検証も行う。

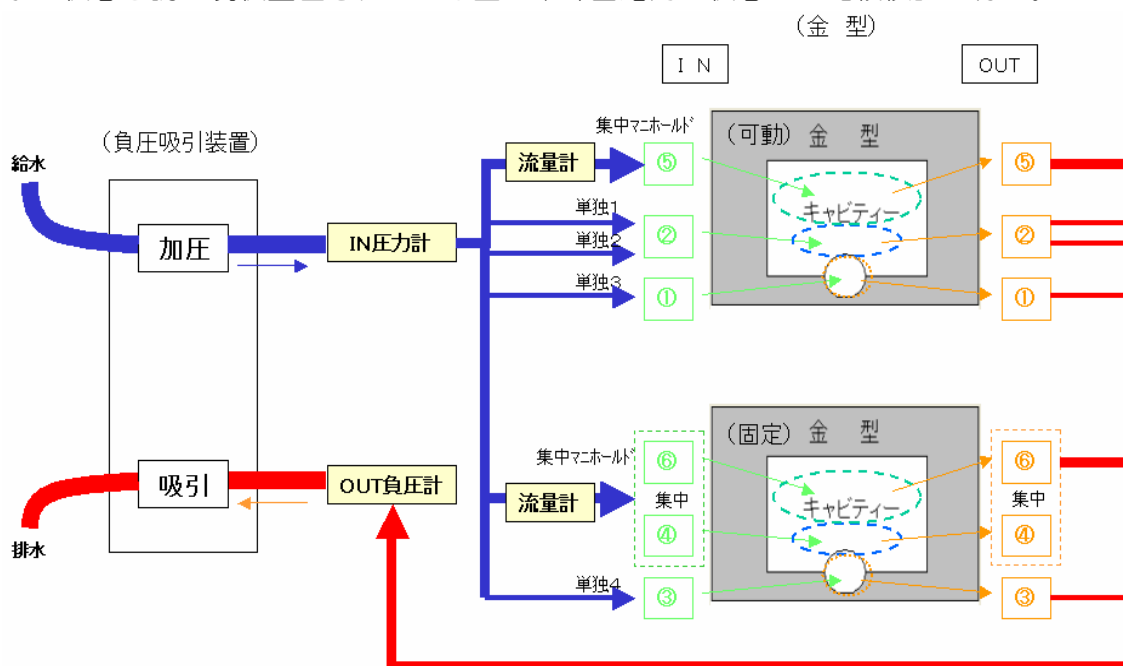


図3-1 鑄造トライを行った装置接続環境

3-3 研究成果

従来通りの圧送による冷却水供給では、必ず水漏れしてしまう状況下で、水漏れする事なく冷却水を循環させる事が出来た。これにより、面冷却金型が適用できる事が実証出来た。また実験は、負圧吸引のみの場合と圧送+負圧の場合の両方で行った。その結果、負圧のみで行った場合は、冷却水を循環している状態で押出ピンを抜いても、更にホースを抜いても、負圧側の圧力計の吸引力は下がるものの、冷却水が漏れる事はない。しかし、圧送+負圧の場合では、冷却水供給側の圧送を0.1Mpa以上にすると冷却水が漏れてしまう事を確認した。実験時の状況を表3-1に示す。

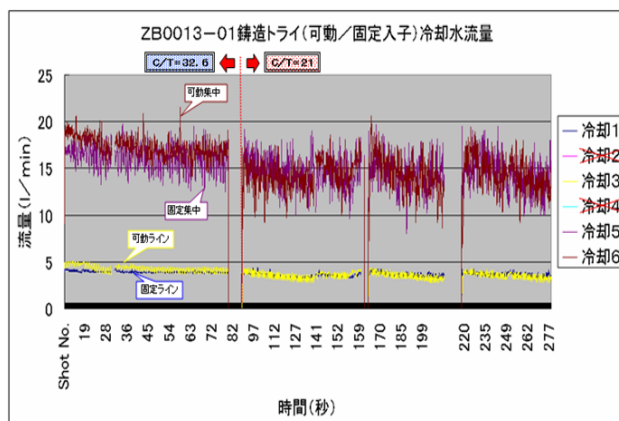
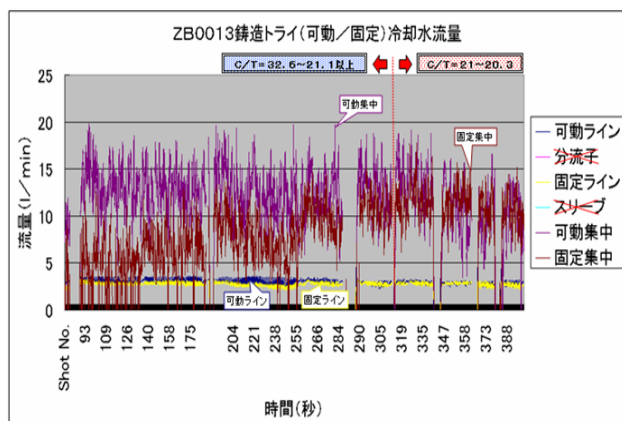
表3-1 冷却水循環状況

各種計器	実測値	備考
可動側流量計 (集中)	32.2 L/min	冷却本数7本 (押ピン穴あり)
固定側流量計 (集中)	24.3 L/min	冷却本数6本 (押ピン穴なし)
IN (加圧) 圧力計	0.0 Mpa	0.1Mpa以上の加圧状況では、 金型から水漏れが発生。
OUT (負圧) 圧力計	-0.06 Mpa	
水温計 (水槽内温度)	18℃ → 21℃	30分間のランニング

またこの実験結果から、穴明き状態の冷却構造金型で負圧吸引冷却が可能であることの検証はできたが、吸引するエア量が極端に多くなってしまうと、図3-2の通り冷却水流量のバラツキ現象が激しく安定量産が今のままではできなくなることが考えられるが、基本的には負圧吸引冷却は冷却レイアウトを容易にさせ、従来設計者を悩ませていた多くのマイナス条件を解決する糸口が見えたことは一つの優れた能力であると言って良い。

さらに負圧によるもう一つの効果として、水中溶存酸素濃度を下げる効果にもつながり、

結果として冷却内部を錆びにくくする効果から、冷却機能をより低下させなくてすむ効果も導き出したことは大きな成果であり付け加えておきたいと思う。



改善前

改善後

図3-2 実験金型による冷却水流量のバラツキ現象

(下のグラフは、隙間へのシール性強化を施した改善金型でのバラツキ)

第4章 金型温度制御技術の開発（制御装置開発）

4-1 研究目的及び目標

近年、自動車部品に使用される高品質アルミダイカスト製品は、環境問題を背景にした軽量化ニーズにより、その用途は拡大傾向にある。それに伴い生産性を向上させるために、サイクルタイムを短くする傾向にある。しかしただ単にサイクルタイムを上げるだけでは、金型温度が上がりすぎてしまったり、それを抑えるために大量の水を流し逆に金型温度を下げすぎてしまったりと、金型温度の安定性が低くなる。その結果製品に歪・変形が生じてしまい歩留まりが悪くなる結果になってしまう。そこで今回サイクルタイムを向上させ、なおかつ製品の歪・変形を抑える手段として、金型温度制御装置を開発した。本稿ではこの装置の詳細を説明する。

4-2 金型温度制御装置の構成

本装置は真空ポンプ・水量調整バルブ・冷却水計測装置・制御装置の4構成になっている。



図.1 金型温度制御装置



図.2 負圧吸引装置

4-2 1) 真空ポンプ

本装置は真空ポンプを使った負圧吸引方式を採用した。その他の機能と合体させることが今回の一つの新要素発掘のところであり、これによるメリットとして

- ・水中溶存酸素の低減（配管内の錆・垢の軽減）
- ・水冷配管内を減圧にすることにより水漏れ抑制

このように、加圧に比べより安定した生産を可能としている。

4-2 2) 水量調整バルブ

効率よく狙った部分の金型温度調整を行うためφ1インチの冷却水配管 2 本、φ3/8 インチの冷却水配管 4 本を設け、様々な箇所の冷却を可能としている。そこに冷却水を調整するために細かな開度がいつでも調整可能な電磁弁（図.3）を用いた。

4-2 3) 冷却水計測装置

冷却する際に必要な項目として、冷却水の水量だけでなく流す冷却水そのものの情報も重要となってくる。そこで本装置には各冷却水配管の戻り側に冷却水の流量・圧力・温度を計測できるセンサー（図.4）を取り付け随時目視できる可視化を行った。

4-2. 4) 制御装置

金型温度を一定に保つためには上記の説明にあるように、ただ単に水を流すだけでは非常に難しい。そこで2. 3で説明した冷却水計測装置のデータや、ダイカストマシンから得る信号により、バルブの開度をコントロールし、最適な金型温度に調整するための制御装置を開発した。

本制御装置で可能な制御は

- ・ダイカストマシンからの信号によりバルブの開度調整
 - ・金型温度によるバルブ開度の調整
 - ・冷却水タンク内の温度からタンク内冷却水を排水・注水し冷却水温度の調整
- また、冷却水をコントロールするだけでなく、計測装置より得た冷却水流量・圧力・温度のデータを 1 サイクルごとに EXCEL ファイルとして保存（保存周期：1 秒）しトレーサビリティにも活用できる。



図.3 水量調整バルブ



図.4 各計測センサー

4-3 研究成果

本装置は従来から類似装置としてあるものと異なり、金型内に数多くある冷却回路のそれぞれに対して、常に冷却水温度・冷却水圧力の監視を行い、ダイカストマシンによ

る鑄造作業の各工程上でそれぞれを数値把握することにより、それに合わせたバルブ開度による冷却水量の調整により多様な金型温度制御を可能とすることができた。

これによりサイクルタイムの更なる短縮も可能となり、金型の熱変形を極力抑えることにより、ネットシェイプ化も追求可能となりこの装置ならではと云える。

以上のようによりきめ細やか監視がより高度な生産活動に結びつくことは、今日この頃のものづくりの世界には、欠くことのできない要素であると思う。

機能上は十分でもまだ商品としての完成度は50%程度の評価に満たないものと思われませんが、個々から商品価値をあげるための開発を続けることで必ずや産業に必要な機器となるものと確信する。

第5章 シミュレーション解析ソフトの開発

5-1 研究目的及び目標

ダイカスト鑄造では、金型が繰り返し使用されるため、その温度分布は凝固現象を支配する重要な要因である。本研究では最適な冷却配置（条件）を実現するために、メタルと水の二相流体連成解析ソフトを開発し、溶湯の射出・凝固シミュレーションの把握及び溶湯と冷却水の温度シミュレーションを行い、溶湯や冷却水の温度の精度向上を図り、金型温度の予測を可能とする技術を開発する。

H19年度に基本技術を開発し、H20年度に応用検証をして、ハイサイクル金型設計の予測解析技術の確立を目指したが、当初の予想に反し鑄造トライのデータだけでは詳細入力条件が不十分なことが判明し、予測技術検証に役立たせる新たな簡易ブロックデータの採取が必要となった。H21年度は金型温度バランスの最適化技術を開発し、ハイサイクル鑄造（安定鑄造）に向けた新金型冷却のシミュレーション技術を完成する。

5-2 実施内容および結果

(1) 冷却配置の最適化

解析コードにより、ハイサイクル等の鑄造条件に対する最適な冷却配置を求める方法を考案した。これにより経験的に設計されていた冷却配置を解析コードにより最適化することで、冷却設計の補助、かつ型設計のリードタイムの短縮が期待できる。

図5-1に型表面図を示す。キャビティは溶湯の充填、凝固の過程が境界条件として与えられる。その条件のもと、型の温度は変化していく。型表面は製品形状に合わせ、多様な形

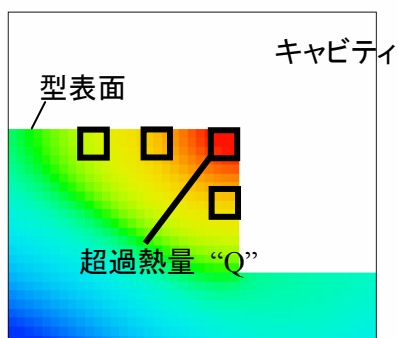


図5-1 型表面温度の例

を有し、表面温度にバラツキが生じる。図5-1は温度がばらつく典型的な例で、単位体積あたりの接触面が大きいために、コーナーの温度が上昇している様子が確認できる。この表面温度に着目し、ある制御温度に対し、高い分の熱量（超過熱量）を奪うことで、表面温度の均等化を図ることを考えた。

型表面上の各セルにおいて、制御温度を超過する熱量を求め、近接するセルに集積させる（図5-2）。このとき型から集積可能領域までの距離（厚み）は入力パラメータとする。

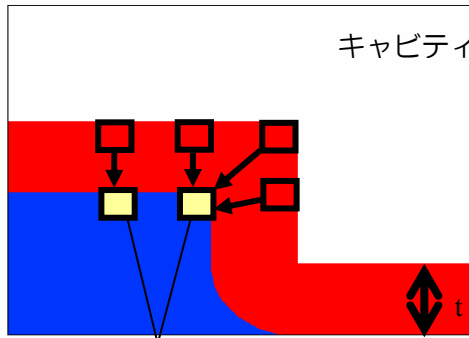


図5-2 超過熱量積算の概要図

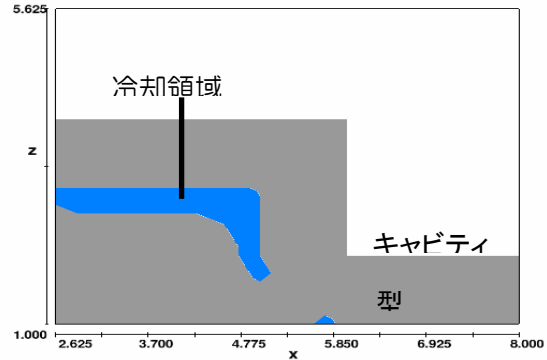


図5-3 冷却領域

図5-2の例では角近傍の超過熱量は集中的に角の位置に集積されるため、平たん部に比べ、熱量が多くなると予測される。得られた超過熱量の分布から冷却領域を決定する。

これを鋳造サイクルごとに評価し、最適な冷却配置へと収束させていく。

簡易形状にて本最適化を試みた。鋳造条件は図5-4に示す。

大気 150°C 2.7sec	溶湯保持 680°C 4.0sec	大気 100°C 8.8sec	外冷 30°C 4.5sec
型閉	射出	型開	型閉

図5-4 鋳造条件

1サイクル20secにて鋳造を繰り返す、サイクルごとに冷却配置を求めていく。図5-5に温度分布を示す。キャビティ周りに温度の低い冷却領域が現れている。この図からサイクルを通して表面の温度分布は比較的均一に保たれることが確認できた。

図5-6、5-7は型表面温度の平均温度、標準偏差を示す。サイクルを繰り返すことで、平均温度が安定し、制御温度からは10°C程の差が確認できる。標準偏差は温度のバラツキを表すが、この図からもバラツキが小さく抑えられていく様子が確認できる。

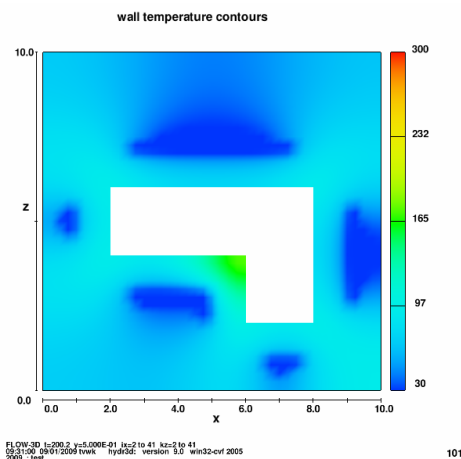


図5-5 簡易解析モデル 型温度分布[°C]

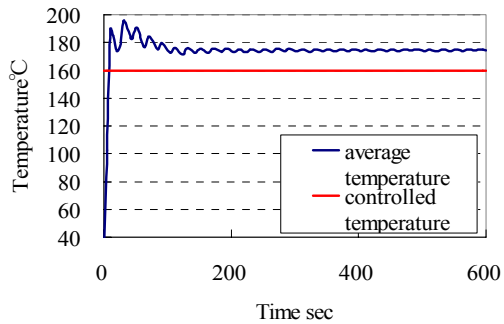


図5-6 型表面温度の平均値

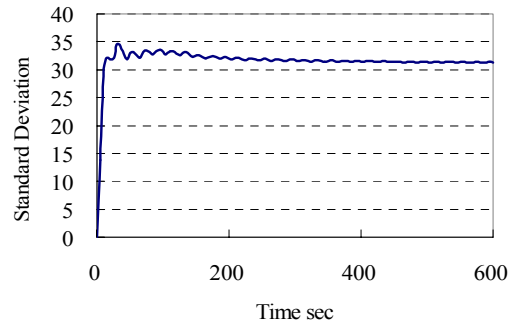


図5-7 型表面温度の標準偏差

(2) 試験片における冷却配置

提案した最適化手法の妥当性評価のため、簡易試験片による実験を行う。まずは本最適化手法を用いて冷却配置を求め、その形状に従い、試験片の製作を行う。

図5-8に試験片形状を示す。試験片表面を金型表面と見做し、バーナーで加熱、放熱を繰り返して鋳造サイクルを模擬する。バーナーで加熱する位置を変え、最適化により得られる冷却の配置を確認する。バーナーの加熱方法は1) 試験片上面、2) 角部の2箇所とする。バーナーは10sec 加熱し、10sec の放熱を行う。

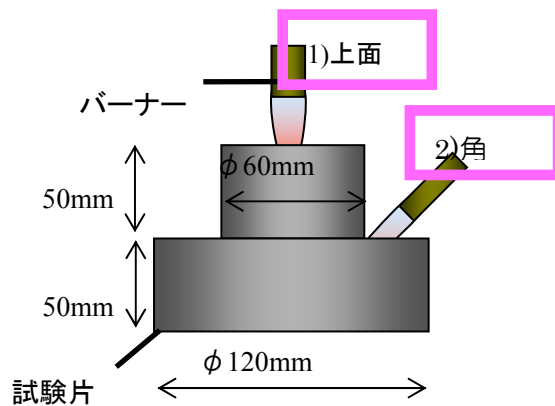


図5-8 試験片概要図

図5-9に上面を加熱した場合の冷却配置を示す。上段に冷却領域が現れており、この配置は経験的にも妥当な位置と考えられる。

図5-10に角を加熱した場合の冷却配置を示す。この場合加熱面に沿う形で冷却が現れている。上段部も肉厚が小さい分、高温になりやすく、冷却領域が現れている。

両解析とも解析上では温度のバランスがとれた結果が得られた。

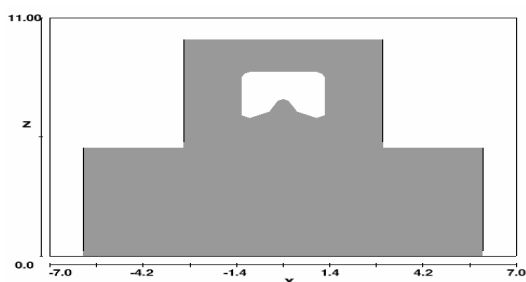


図5-9 上面加熱 冷却配置 (断面図)

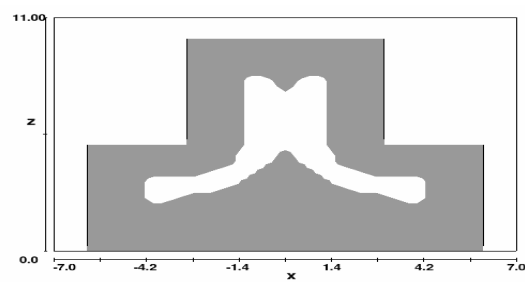


図5-10 角加熱 冷却配置 (断面図)

(3) 基礎実験

前節で得られた冷却配置に基づき試験片の製作を行い、基礎実験を行った。ここでは比較のため、図5-11の4種類の試験片を用意した。Model1は冷却なしの試験片で、各試験片との比較に利用する。Model2は上面加熱、Model3は角部加熱の結果に基づく。Model4は従来のスポット冷却を多用した試験片を用意した。

実験では各試験片で上面、角を加熱し、図の8点の温度を測定した。

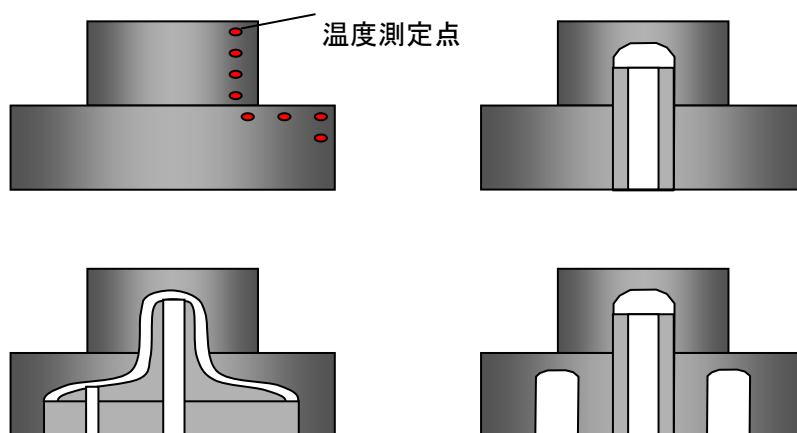


図5-11 基礎実験用試験片

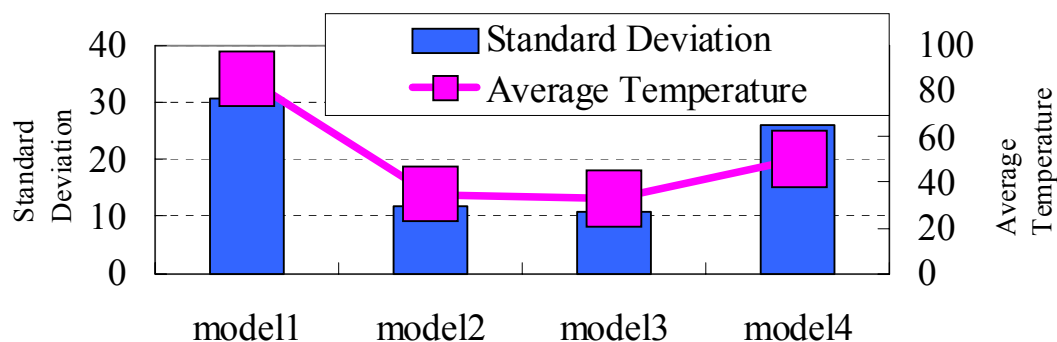


図5-12 上面加熱時の平均温度及び標準偏差

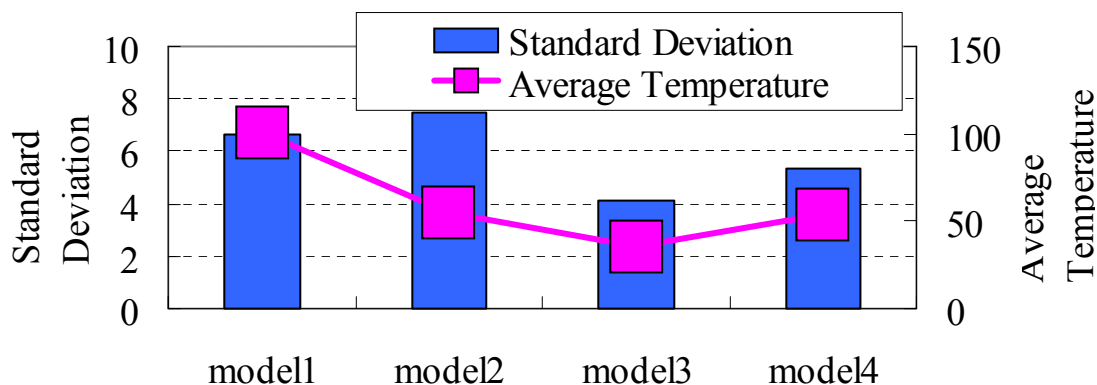


図5-13 角部加熱時の平均温度及び標準偏差

図5-12に上面加熱の結果を示す。平均温度を確認すると、冷却なしの Model1 が最も高く、Model2,3 が低いことが分かる。標準偏差においても Model1 が大きく、Model2,3 が小さい結果となった。Model3 は Model2 の領域をカバーしており、同等の冷却効果が得られているが、上面の加熱においては、Model2 の従来のスポット型の冷却でも十分な効果が見込めることが分かる。

図5-13に角部加熱の結果を示す。平均温度については、冷却なしの Model1 が大きく、Model3 が小さい結果となった。標準偏差は Model3 が小さく、解析で予測された Model3 の冷却配置が温度のバランス、冷却効果の面で有効であることが確認できた。

試験片は簡単な形状であるが、加熱位置の違いにより最適な冷却配置が異なることが分かり、実験の結果からも解析で予測された配置が有効であることが確認できた。

(4) 実製品での冷却最適化

本節では実製品形状を用いた冷却の最適化を行う。これまで casting tray を実施してきたブラケットワイパー (zb0013) の形状を用い、冷却の最適形状を求める。これまでの冷却配置と比較し、得られた冷却の妥当性を評価する。

図5-14にブラケットワイパーの最適化形状を示す。これまでの実機の冷却配置と比較すると、所々酷似した形状が確認できる。製品部左右にある穴周辺は熱が溜まり易い箇所でもあり、穴を囲うように冷却形状が再現されている。また、製品の外側においては、不要な冷却形状がなく、過剰な冷却が生じない。断面金型温度では、実機形状と同等に温度のバランスが良く、得られた冷却形状が概ね妥当であると判断できる。

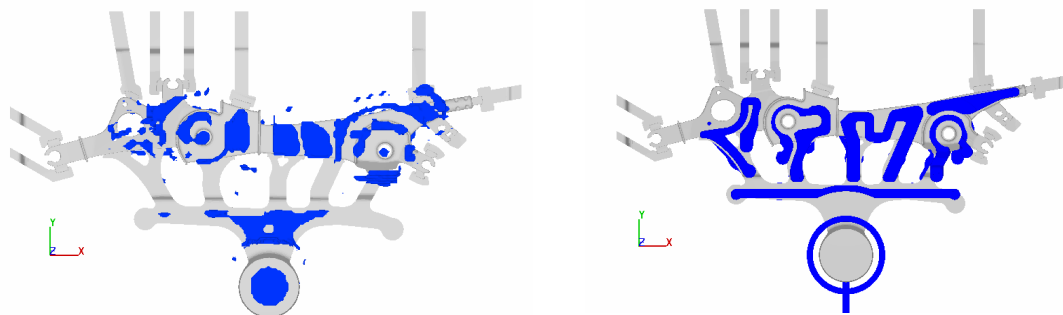


図5-14 最適化形状（左）と実機冷却形状（右）の比較

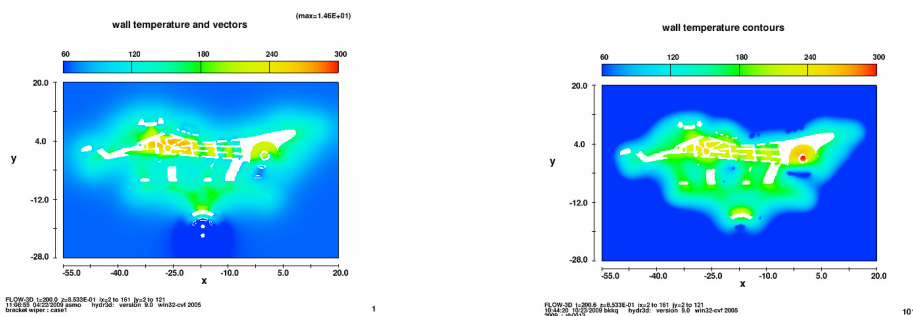


図5-15 金型温度分布 最適化（左）及び実機冷却形状（右）

5-3 研究成果

本研究では解析コードによる冷却の最適化の開発を行った。提案した手法は、金型表面温度に着目し、制御温度に対する超過熱量を評価、その熱量に応じて冷却配置を決定した。鋳造サイクルの繰り返しにより、冷却領域が徐々に修正されていくことで、解を収束させた。簡易形状においては、妥当と思われる位置に冷却が配置され、表面温度分布も概ね均一になることが確認できた。

冷却最適化の妥当性を評価するため、基礎実験の確認を行った。最適化で得られた冷却配置より、試験片を製作し、バーナーを使った加熱で、冷却特性を確認した。解析で得られた冷却配置が、温度のバランス、冷却性の面で優れていることが確認でき、本手法が有効であることが確認できた。

実機金型において冷却の最適化を行った。ブラケットワイパー(zb0013)で解析を行い、冷却配置を求めた。これまでの研究で製作した面冷却金型と比較し、概ね妥当な位置にて冷却が予測されることが確認できた。金型表面の温度分布についても、比較的均一に保たれていることが確認でき、本システムは金型設計に有効なツールとなるものと考えられる。

第6章 量産機試験に基づく冷却性能・耐久性等の検証

6-1 研究目的及び目標

量産機による試験はこの一連の開発が現実的・量産環境に適合できるのか、できないものかを検証するため、欠かすことのできないプロセスであり、これによって出来る製品を細かく調査することで、この開発の妥当性であり、正当性を実証することが目的である。

6-2 実施内容および結果

ブラケットワイパー、ギヤボックスの2製品のハイサイクル対応型を作製し、生産機を使用し生産環境を一様にしてそれぞれ複数回試験鋳造を行った。

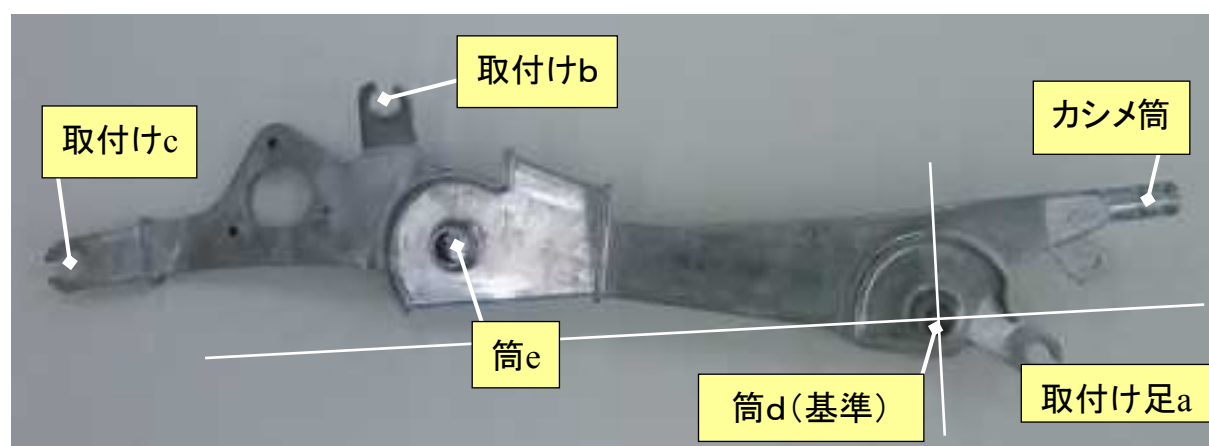


写真1 ブラケットワイパー測定解説

表1 ブラケットワイパー測定データ表

	規格	3/15 TRY		6/13 TRY		10/27 TRY			
		①32. 6S	②20. 3S	①35. 7S	②21. 1S	①35. 5S	②22. 9S	③19. 6S	
筒d-全長	67.1±0.1	↑	67.12	67.16	67.14	67.15	67.14	67.15	67.14
		↓	67.05	67.1	67.09	67.09	67.07	67.09	67.09
筒d-X	0(原点)	-	-	-	-	-	-	-	-
筒d-Y	0(原点)	-	-	-	-	-	-	-	-
筒d-Z	0(原点)	-	-	-	-	-	-	-	-
筒e-全長	38.9±0.1	↑	38.95	38.97	38.96	38.97	38.96	38.97	38.95
		↓	38.87	38.9	38.87	38.89	38.87	38.89	38.88
筒e-X	256.8±0.2		256.76	256.43	256.86	256.5	256.86	256.51	256.46
筒e-Y	65.6±0.2		65.36	65.59	65.66	65.42	65.69	65.45	65.57
筒e-Z	28.2±0.2		29.55	28.71	28.81	29.46	28.8	29.71	29.65
取付け足a									
X	55.6±0.2		55.57	55.58	55.59	55.59	55.57	55.48	55.53
Y	30.9±0.2		30.91	30.92	30.98	30.94	30.99	30.94	30.95
Z	22.4±0.2		22.47	22.52	22.36	22.28	22.38	22.28	22.44
取付け足b									
X	288.1±0.6		287.88	287.47	287.93	287.63	287.9	287.38	287.47
Y	149.5±0.6		149.16	149.53	149.63	149.32	149.64	149.4	149.44
Z	42.1±0.5				42.7	43.84	42.79	44.01	44.08
取付け足c									
X	476±0.6		475.51	475.36			475.93	475.22	475.21
Y	74.9±0.2		74.49	75.47	75.3	75.02	75.3	75.2	75.24
Z	46.3±0.5		50.13	46.11	47.54	48.78	47.57	49.5	49.21
カシメ筒 (基準軸)									
X									
Y	48.4±0.2		48.37	48.34	48.31	48.32	48.3	48.3	48.29
Z	26.9±0.3		26.9	26.91	26.93	26.97	26.95	26.94	26.97

写真1 に示す部位をそれぞれ測定した結果を表1 にまとめた結果、簡単に評価いたしますと黄色で示した部分が図面寸法に対して大きく変化しているところであり、ハイサイクル化させ短縮すればするほど寸法のずれが発生している結果が得られた。

表2 複数個での各部位における寸法変化の半定評

測定部位	a点 XYZ						b点 XYZ					
	55.6		30.9		22.4		288.1		149.5		42.1	
公差幅	0.4		0.4		1		1.2		1.2		1	
公差中心値	55.6		30.9		22.4		288.1		149.5		42.1	
No	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル
1	55.575	55.531	30.989	30.954	22.376	22.437	287.901	287.470	149.639	149.443	42.793	44.079
2	55.572	55.450	30.968	31.002	22.355	22.249	288.154	287.310	149.613	149.364	42.812	44.014
3	55.568	55.519	30.921	30.938	22.521	22.283	287.496	287.429	149.548	149.200	42.637	44.134
4	55.635	55.526	30.950	30.907	22.351	22.412	288.056	287.365	149.550	149.354	42.651	43.820
5	55.580	55.523	30.988	30.992	22.367	22.275	287.996	287.241	149.611	149.413	42.833	43.815
6												
7												
8												
9												
10												
平均	55.586	55.510	30.963	30.959	22.394	22.331	287.920	287.363	149.592	149.355	42.745	43.972
σ	0.028084	0.033715	0.028464	0.039104	0.071842	0.086361	0.254438	0.091631	0.040875	0.094119	0.093748	0.147563
最小	55.568	55.450	30.921	30.907	22.351	22.249	287.496	287.241	149.548	149.200	42.637	43.815
最大	55.635	55.531	30.989	31.002	22.521	22.437	288.154	287.470	149.639	149.443	42.833	44.134
Cp	2.374	1.977	2.342	1.705	2.320	1.930	0.786	2.183	4.893	2.125	1.778	1.129
Cpk	2.205	1.084	1.604	1.205	2.292	1.664	0.551	-0.498	4.141	1.611	-0.516	-3.100
ABS	0.0710	0.4519	0.3153	0.2930	0.0121	0.1376	0.2992	1.2281	0.1537	0.2420	1.2902	3.7445

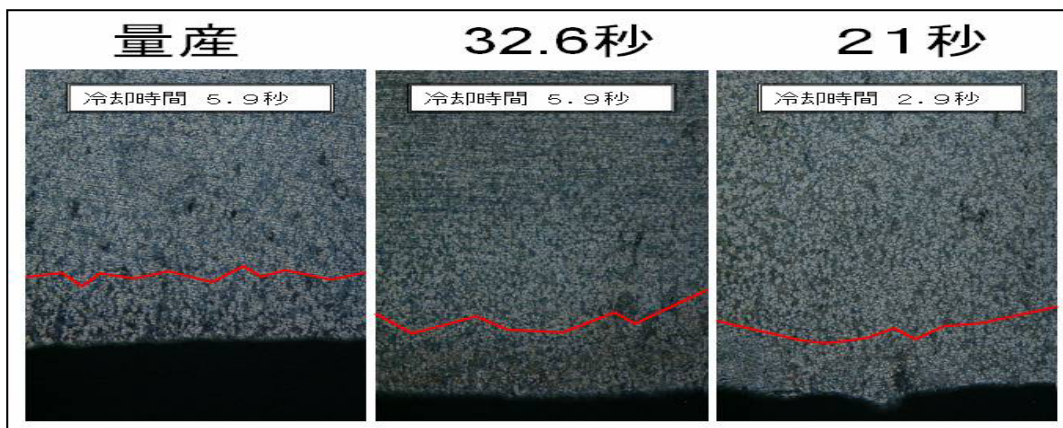
測定部位	c点 XYZ						e点 XYZ						ハイブ割合部			
	476		74.9		46.3		256.8		65.6		28.2		48.4		26.9	
公差幅	1.2		0.4		1		0.4		0.4		0.4		0.4		0.6	
公差中心値	476		74.9		46.3		256.8		65.6		28.2		48.4		26.9	
No	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル	量産	Hiサイクル
1	475.926	475.206	75.297	75.239	47.571	49.208	256.864	256.464	65.688	65.567	28.803	29.652	48.300	48.286	26.946	26.970
2	475.921	475.211	75.163	75.197	47.578	49.589	256.893	256.498	65.604	65.482	28.905	29.705	48.321	48.288	26.933	26.944
3	475.342	475.222	75.481	74.797	46.296	49.888	256.444	256.552	65.593	65.325	28.818	29.878	48.329	48.308	26.900	26.954
4	475.957	475.165	75.110	75.206	47.250	49.500	256.875	256.531	65.585	65.422	28.745	29.607	48.351	48.309	26.938	26.937
5	475.923	475.178	75.258	75.290	47.792	49.085	256.884	256.501	65.647	65.469	28.926	29.521	48.295	48.309	26.930	26.964
6																
7																
8																
9																
10																
平均	475.814	475.196	75.262	75.146	47.298	49.454	256.792	256.509	65.623	65.453	28.839	29.673	48.319	48.300	26.929	26.954
σ	0.264186	0.023761	0.143035	0.198400	0.592356	0.318307	0.194702	0.033679	0.043258	0.088737	0.075094	0.133387	0.022595	0.012155	0.017460	0.013611
最小	475.342	475.165	75.110	74.797	46.296	49.085	256.444	256.464	65.585	65.325	28.745	29.521	48.295	48.286	26.900	26.937
最大	475.957	475.222	75.481	75.290	47.792	49.888	256.893	256.552	65.688	65.567	28.926	29.878	48.351	48.309	26.946	26.970
Cp	0.757	8.417	0.466	0.336	0.281	0.524	0.342	1.980	1.541	0.751	0.888	0.500	2.951	5.485	5.727	7.347
Cpk	0.522	-2.856	-0.377	-0.077	-0.280	-2.779	0.329	-0.899	1.361	0.199	-1.950	-3.180	1.757	2.744	5.171	6.026
ABS	0.3104	1.3393	1.8087	1.2289	1.9950	6.3075	0.0397	1.4541	0.1172	0.7349	3.1969	7.3627	0.4045	0.4998	0.0971	0.1797

 大きく向上2倍以上
  向上
  低下
  大きく低下 半分以下

表2には写真1の各寸法に関して、量産品、ハイサイクル品それぞれを5個測定し表2にまとめてみました。

その結果としてC/P値の傾向より判断して表2の矢印で表現しているように、非常に良い結果となる部位と、逆に悪くなってしまいう部位が現れ、結論としてはX方向（製品長手方向）のバラつきが非常によくなくなる傾向を示し、Y・Z方向のバラつきは悪くなる傾向にあることがわかる。

製品及びサンプル品：電子顕微鏡による拡大（×250）写真



6-3 研究成果

鑄造トライ試験の際に取得したサンプル品と現状量産製品の品質検査を行った結果、寸法検査では、サイクル短縮により寸法は小さく出ていた。現段階では、金型製作時の収縮率を大きく見る必要がある。

例えば、通常量産品では5～6/1000のアルミ収縮率を使っているが、ハイサイクル鑄造によるサイクル短縮量12秒～14秒で1～1.5/1000程度の収縮率をプラスして金型設計を行う必要がある。

しかし、CT検査（鑄巣検査）では、現状量産製品が一番良い状況であるものの差ほどの差異は見受けられず、チル層検査においても、32.6秒が最も良く21秒が現状量産製品よりも若干ではあるがチル層が増していると把握でき、さらに、組織が微細となっていることも好材料であると思う。

しかしながら今回のサポインの中だけでは正直判断しようとしても、難しい面が残り、今後テストを重ね更なる完成度の高さを追及する必要がある。

一番大切である実際の生産活動での結果、結論を、まさに出さなければ本当の意味で終了したものとみなせないと結論付けます。

第7章 全体総括

7-1 成果の総括

この3年間を通して行ってきたことを総括したいと思います。まず大きなテーマである「ダイカスト鑄造におけるハイサイクル成形金型技術開発」を掲げて取り組もうとしたことの中で、川下産業のニーズの最大なものは軽量化であり、現在では省エネルギー化がそれと二人三脚のように動いているわけで、更にそれに対しての細分化した課題として特に低コスト化、短納期化に焦点を当て活動してまいりました。

いわゆるアルミダイカスト分野の更なる飛躍を遂げるため短納期化、低コスト化は避けられないものと考え、そのための道具である金型の基本的能力の向上と、ダイカスト鑄造方法の進化によって実現化させることを目的とした訳です。

そこで金型の冷却方法に新しい冷却方法を導入いたしましたのが面冷却方法で、前述でも詳しく述べてきましたが、面冷却方法を取り入れることでハイサイクル化が出来るようになり製品の価格が低く抑えられ、低コストを実現できるという成果として期待通りのものが得られたものと判断できますが、ただ残す課題としては製品品質の安定性に対してまだまだ追求をしていかなければ現実の生産活動に100%反映させることは、まだ時期尚早な技術であると判断いたします。

またダイカスト鑄造からの視点で冷却能力が高まった道具である金型を、自在にコントロールすることの出来る金型温度管理装置の開発で概ね目処が付けられたことは、今後の生産活動においてコスト削減と省エネルギー化が実現できることになります。

この二つの成果から金型の変形を最大限抑えることができることは、とりもなおさず製品のネットシェイプ化も飛躍的に進ませることができることになり、そのことはすなわちダイカスト製品の宿命のようなものであった後加工工程が削減できることにもつながる為、これもまたコスト削減に寄与することとなります。

この一連の結果は現実のダイカスト生産活動では問題点が発生することはわかっていながら対処方法が無い、つまりただ現状では金型を作りその金型で鑄造を実際に行い、その結果できた製品の良否判定する全工程を終了して初めて何が問題で、どのように改善しなければいけないのかが理解できる、その後始めて改善策が実行できるのが現状の姿であることから

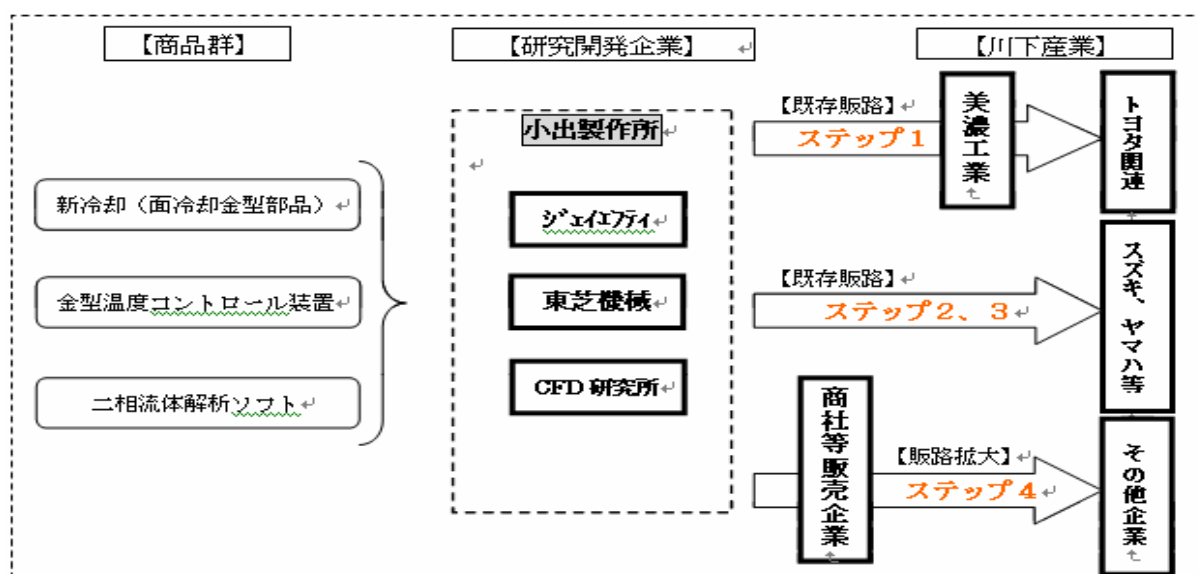
考えれば、結果が出てから対策を採るという後処理型対応になっている現状を、根底から改善する画期的なシュミレーションソフト開発に結びつくことになり、当初の開発予定より数段高いレベルで開発が行われ、結果を導くことができたことは、このサポインに取り組んだことの正しさを改めて実証できたものといっべてよいでしょう。

このように一連の開発が当初の目標がほぼ達成された状況にあるわけで、今後はそれらの技術を鋳造製品の生産工程においてトータルの技術として如何に実用化をさせ、そのことより事業化へと発展させられるかがこのサポインに化せられた最大のテーマであると思います。

そこで次に実用化、事業化について考察を加えたいと思います。

表7-1に提案書作成時当初の計画表を示す。

表7-1 実用化イメージ



7-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

シュミレーションソフトに関しては2回ほど日本鋳造工学会にて発表を致しましたが、その反響としてはますますの状況で合ったと思います。

〈学会名〉

- ・日本鋳造工学会：平成21年秋季全国講演大会
- ・講演題名：冷却管最適化モデルの検討

7-3 今後の事業化に向けた取組み

(1) 面冷却技術の開発

面冷却の冷却効果について高効率冷却方法であることはこれまでの取り組みで実証できたと確信いたしますが、今後はハイサイクルにて生産活動ができること、いわゆる従来に対してほぼ半分の時間で生産ができるとすればコスト削減に寄与することは当たり前前で、それだけでも十分事業化になる話であるが、品質的にも問題をクリアしなければ名実共に事業化が成功することにはなりません。

また金型寿命に関しても面冷却法を取り入れた金型と従来の金型とでは、どの程度

の差異が出てくるのかきっちりと数字的押さえがほしいことも事実ですので、その点を明確化しなければ事業化ができないものと判断いたします。

しかしながら金型全体と捉えると前述の状況ですが、部分的な事業化と捉えれば現在でも事業化ができる部品は完成していますことから、まずその部分は今後積極的に営業活動をしたいと考えております。

今後のスケジュール

- | | | |
|--------|------------------------------|----------------|
| 2010年度 | 金型一式 | 部品（KO-CAS分流子） |
| | ・品質の作りこみ | ・4月より積極営業開始 |
| | ・金型寿命の確認 | |
| 2011年度 | ・最終品質の作りこみ | ・初年度の倍増販売を目指す。 |
| | ・最終寿命の確認 | |
| 2012年度 | ・完全営業化する（世界各国にて特許出願し営業活動に入る） | |

(2) 金型温度制御技術の開発

現在開発してきました装置はあくまで機能的確認が完了した段階で、今後ハイサイクル鋳造化が現実に進むにつれ、更なる技術的改善をしなければいけないものと思いますが、機能の一部の負圧冷却機能に関しては現在でも単独の事業化がなされている部分です。

よって残る機能の充実を図りつつ全体としての商品化を進める必要がある。

今後のスケジュール

- | | |
|--------|-------------------------------|
| 2010年度 | ・制御機能の限度確認と能力範囲の設定 |
| | ・機能の設定を受けてのコンパクト化など含め商品デザイン確立 |
| 2011年度 | ・最終商品化 |
| 2012年度 | ・金型技術事業化とあわせて製造販売事業化 |

(3) シミュレーション解析ソフトの開発

現段階ですでに初期的解析ソフトは完成したという判断を受けて、事業化をすすめるものの、解析の技術もハイサイクル鋳造による生産技術の進歩と共に常に変化発展しなければいけないわけで、今後も技術開発が行われそのつど解析ソフトのバージョンアップを繰り返しながら、ある段階で従来の商品とは一線を引いた別の商品として販売アイテムの拡充を図る必要がある。

今後のスケジュール

- | | |
|--------|------------------------------|
| 2010年度 | ・初期の解析ソフト販売 商品名「ダイドク」 |
| 2011年度 | ・その他技術の進め方とあわせてソフトのバージョンアップ化 |
| 2012年度 | ・新しい商品の販売化 |