

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「最適高真空ダイカスト法によるMg合金製カー電動コンプレッサー等
耐圧部品の開発」

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 旭東ダイカスト株式会社

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
- 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 当該研究開発の連絡窓口

第 2 章 本論

- 2-1 開発環境
- 2-2 開発試作設備と材料
- 2-3 マグネシウム合金ダイカスト CAE の開発
- 2-4 マグネシウム合金ダイカスト試作鋳造
- 2-5 マグネシウム合金製耐圧部品の耐圧評価試験の開発

第 3 章 まとめ

- 3-1 研究開発成果のまとめ
- 3-2 今後の進め方
- 3-3 事業化の方向性

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) 研究開発の背景

自動車の排気ガス等による地球環境への影響が顕在化する中、自動車業界では燃費改善の取り組みとして車体の軽量化が進められており、現在の自動車は、高強度鋼、アルミニウム合金や樹脂材料が多用されている。

しかし、今後の一層の軽量化の推進と、中国やインド等の新興国で急速な普及が予想される小型大衆車の軽量化対応等を考慮すると、資源的にも恵まれたマグネシウム合金の適用が有効である。

「鑄造に係る技術における特定ものづくり基盤技術高度化指針」との関係では、川下製造業者の抱える課題及びニーズのうち、自動車に関する事項において、「軽量化」・「低コスト化」・「環境配慮」に該当する。

(2) 研究目的及び目標

マグネシウム合金を用いた鑄造技術の実用化には、従来から多くの課題があるが、本研究ではダイカスト技術の最適化によりこれを克服することを目的とする。

研究の目標として、大衆車を主なターゲットとしたアルミニウムを用いた部品や他の金属部品をマグネシウム合金を用いた部品への置き換えを推進することにより、10%程度の重量軽減を実現する。

「鑄造に係る技術における特定ものづくり基盤技術高度化指針」との関係では、基盤技術の高度化目標、実施方法、配慮すべき事項には、下記項目が該当する。

<高度化目標>

- ・薄肉化及び軽金属化を実現するための鑄造技術の開発
- ・コスト低減に資する鑄造技術の開発
- ・環境配慮に資する鑄造技術の開発

に該当し、実施方法、配慮すべき事項としては、下記

<実施方法>

- ・マグネシウム化に係る研究開発
- ・ダイカスト技術の向上に係る研究開発
- ・ITの開発によるコスト低減に係る研究開発
- ・設備及びシミュレーションに係る研究開発

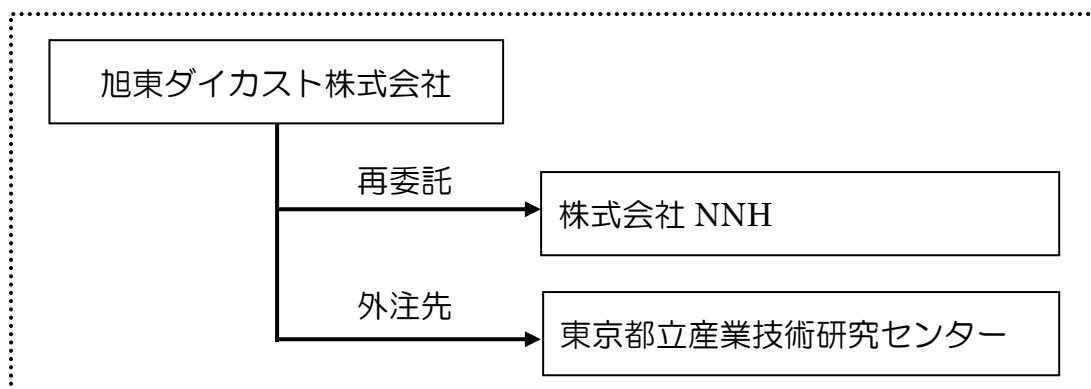
<配慮すべき事項>

- ・鑄造現象の科学的解明

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

(1) 研究組織及び管理体制

< 研究組織(全体) >



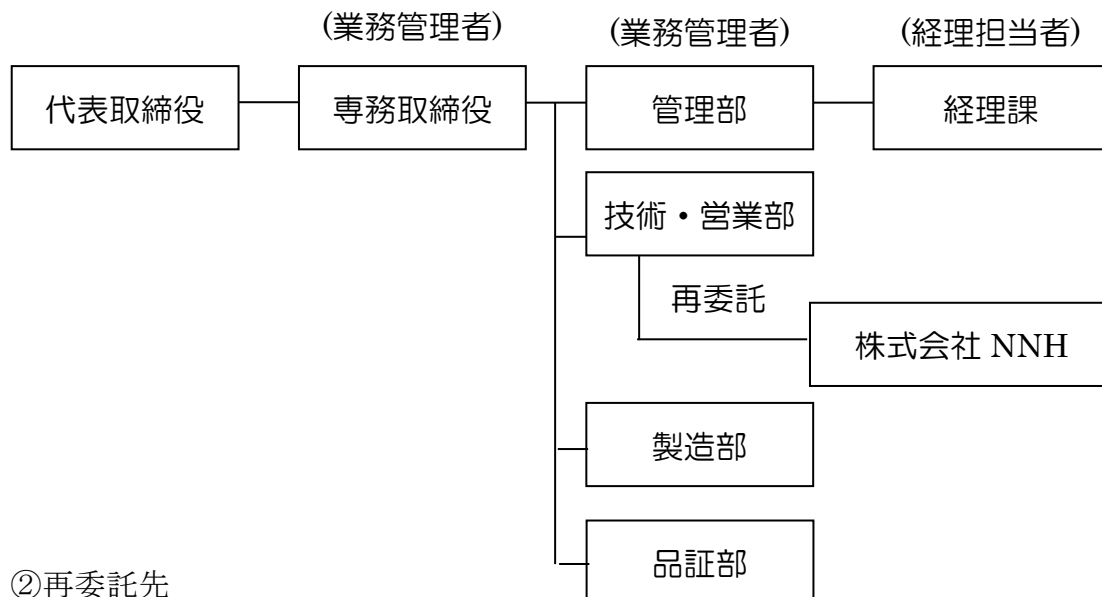
総括研究代表者 (PL)
旭東ダイカスト株式会社
専務取締役 山森勝利

副総括研究代表者 (SL)
株式会社 NNH
代表取締役社長 羽切勝利

< 管理体制 >

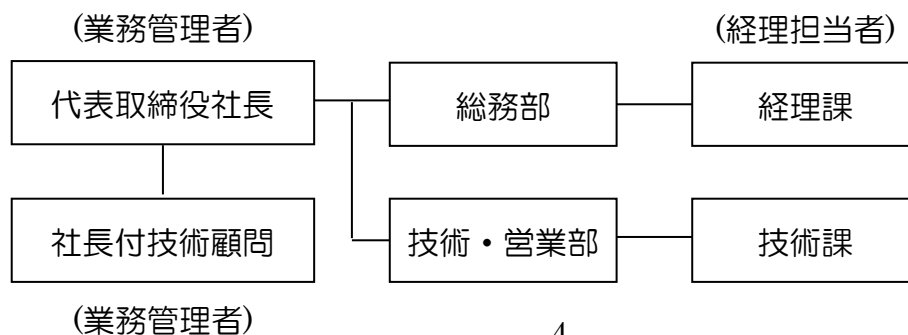
① 事業管理機関

[旭東ダイカスト株式会社]



② 再委託先

[株式会社 NNH]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 旭東ダイカスト株式会社

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容
山森 勝利	専務取締役	⑦プロジェクトの管理, 運営
森 雅人	管理部長	⑦プロジェクトの管理, 運営

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容
山森 勝利	専務取締役	②マグネシウム試作用金型の開発 ⑤金型の設計方案, ダイカスト方案
草薙 勇二	営業技術部長	②マグネシウム試作用金型の開発 ③金型内部高真空度化の開発
内洞 正成	製造部長	③金型内部の高真空度化の開発 ④金型内計測システム, ダイカスト技術 ⑤鑄造解析システムの開発
加藤 裕久	生産技術部 部長代理	①マグネシウム合金給湯システムの開発 ②マグネシウム試作用金型の開発 ③金型内部高真空度化の開発 ④金型内計測システム, ダイカスト技術 ⑤鑄造解析システムの開発
原 喜昭	製造部 グループリーダー	②マグネシウム試作用金型の開発 ③金型内部高真空度化の開発 ④金型内計測システム, ダイカスト技術 ⑥耐圧強度試験装置の開発
飯岡 秀浩	品証部 グループリーダー	②マグネシウム試作用金型の開発 ④金型内計測システム, ダイカスト技術 ⑤鑄造解析システムの開発 ⑥耐圧強度試験装置の開発
堀米 勝	営業技術部 グループリーダー	②マグネシウム試作用金型の開発 ③金型内部高真空度化の開発 ④金型内計測システム, ダイカスト技術 ⑤鑄造解析システムの開発

【再委託先】 株式会社 NNH

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容
羽切 勝利	代表取締役社長	①マグネシウム合金給湯システムの開発 ②マグネシウム試作用金型の開発 ④金型内計測システム, ダイカスト技術
鈴木 文雄	社長付技術顧問	①マグネシウム合金給湯システムの開発 ④金型内計測システム, ダイカスト技術
横山 幸一	技術営業部 リーダー	①マグネシウム合金給湯システムの開発 ④金型内計測システム, ダイカスト技術

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属・氏名

【事業管理機関】 旭東ダイカスト株式会社

(経理担当者) 管理部経理課 経理担当 北崎 文
(業務管理者) 専務取締役 山森 勝利
 管理部長 森 雅人

【再委託先】 株式会社 NNH

(経理担当者) 総務部経理課 経理担当 常盤 やよい
(業務担当者) 代表取締役社長 羽切 勝利
 社長付技術顧問 鈴木 文雄

(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
山森 勝利	旭東ダイカスト(株) 専務取締役	プロジェクトリーダー 委嘱
羽切 勝利	(株)NNH 代表取締役社長	サブリーダー 委嘱
峯岸 俊行	峯岸技術士事務所 代表	アドバイザー
佐藤 健二	東京都立産業技術 研究センター 上席研究員	アドバイザー
上島 博光	サンデン(株)開発本部 基盤技術部 部長	アドバイザー
長野 達朗	株式会社プライア 理学博士	アドバイザー
落合 成行	東海大学 工学部 機械工学科 准教授	アドバイザー

(5) 知的財産権の帰属

知的財産権はすべて当研究開発推進委員会に帰属することを希望する。

1-3 成果概要

マグネシウム合金は資源的には恵まれているが、コスト面や機械的強度、耐熱性の課題等から限定的な採用となっているのが実情である。

こうした課題に対応するため、既存技術の真空ダイカスト法やスクイズキャスト法を高度化した高真空ダイカスト技術及び最適化技術を開発する。

また従来、経験と勘に多くを依存していたダイカスト技術について、金型内の温度、圧力、真空度を計測するシステムを開発することにより、数値化・可視化を可能とし、マグネシウムダイカスト技術の高度化・安定化を実現する。

本研究では、軽量化・小型化の効果が大きいと見込まれるカー電動コンプレッサー等の耐圧部品を対象とした以下の技術開発を実施した。ここでは、各項目ごとに研究開発の成果を示す。

(1) マグネシウム合金給湯装置の開発

- ・ 給湯量のバラツキの目標数値 3%以内を達成した。

(2) 高真空ダイカストの開発

- ・ 金型内真空度の計測を可能にした。
- ・ 目標真空度 5kPa を達成した。

(3) 金型内計測システムの開発

- ・ 金型内の鑄造諸要因である溶湯圧力、金型表面温度、ダイカストマシンの射出力を計測できるシステムを開発し、鑄造現象を数値化した。
- ・ ノイズ対策を金型内計測用プログラムに組み込み、計測値の精度をあげた。

(4) 鑄造解析シミュレーションの開発

- ・ マグネシウム合金材に対応可能な仕様とした。
- ・ 現流動製品との整合性を確認中。

(5) 耐圧強度試験の開発による強度評価

- ・ 製品形状の試作品で実体耐圧強度を得た。
- ・ 更に耐久試験を実施中。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

対外的な問い合わせの担当者

所属：旭東ダイカスト株式会社

氏名：山森勝利

電話：0465-75-0625

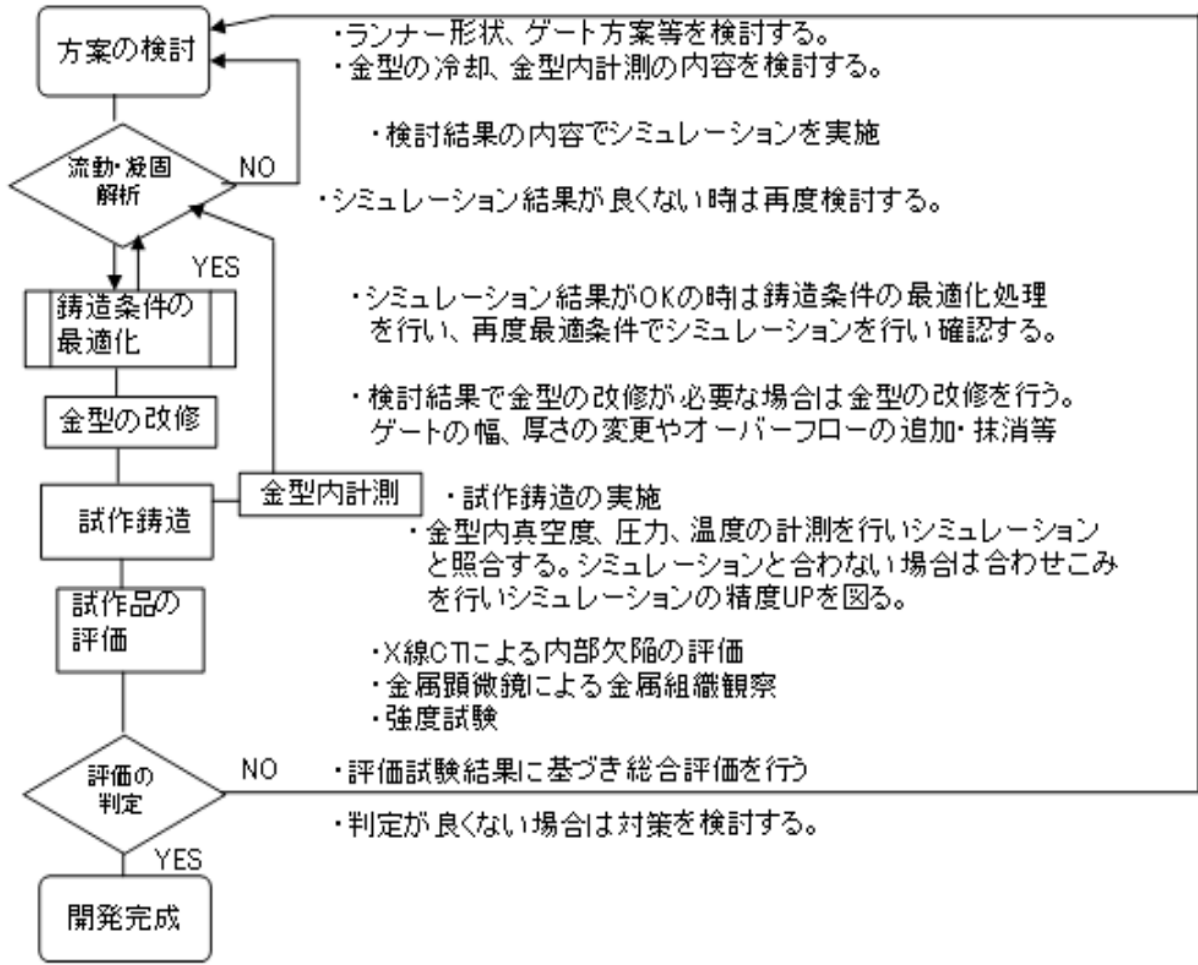
FAX：0465-76-4508

E-mail：office@kyokutodec.co.jp

2-1 開発環境

概要

開発の進め方の概要を以下に記す。



- 1) 方案の検討時はPQ²線図、鑄造理論式を使用しゲート面積等を算出する。
- 2) 方案検討の結果にもとづき流動・凝固シミュレーションを行う。
- 3) シミュレーションの結果よりランナー方案、ゲート位置、ゲート寸法、オーバーフローの寸法・形状、金型内部冷却の設定を行う。
- 4) 1)～3)にて決定した形状、寸法で金型を製作あるいは対策改修をする。
- 5) シミュレーションソフト（JSCAST）と連成して動作する鑄造条件最適化ソフト（modeFRONTIER）により最適な鑄造条件を算出する。
- 6) 最適鑄造条件を基準とし試作鑄造の実験計画を作成する。試作鑄造を行う際の鑄造条件、計測内容、試作数等を決める。
- 7) 試作鑄造を行う際には次の計測を行う。
 - ①金型に設置した温度計、圧力計、真空度計により実測する。
 - ②金型外部に設置したサーモグラフィによる金型表面温度の測定。
 - ③ダイカストマシンに設置した射出変位、射出圧力のデータ採取。
 以上の計測データを計測制御ソフト（LabVIEW）により動作する金型内計測システムに一括保存し解析を行う。
- 8) 計測データの解析からダイカストマシンの動作と金型内の溶湯挙動の関係を知らることができる。

金型内計測データを流動・凝固シミュレーションを行う際、パラメータにフィードバックし、シミュレーションの精度向上を計る。

9) 試作鑄造サンプルの評価を行う。評価内容は下記の通り。

- ① X線CTによる内部欠陥の評価（画像、数値データ）。
- ② 金属顕微鏡による金属組織観察（マクロ、ミクロ）。
- ③ サンプルより採取した試験片での強度試験。
- ④ サンプル実体での強度試験。

10) サンプルの評価結果と試作時の計測データの解析結果とを照合することにより、鑄造方案と製品品質の関係を数値で把握し開発を進める。

2-1-1 最適高真空鑄造解析システムの開発

研究内容

鑄造解析システムを使用し、今までの「経験と勘」を「数値化と可視化」にする。高真空ダイカスト法に特化した鑄造流動・凝固シミュレーションを開発する。蓄積された弊社の経験と勘の技術を数値化と可視化した技術として標準化し、かつ過去に対策できなかった課題に対して、多くのパラメータを最適化した計算によりこの技術を横展開する。

(1) 研究開発の背景

現在すでに数種類のダイカストシミュレーションが発表され、活用されている。今回の研究開発を行うにあたり、ダイカストシミュレーションの導入を検討し、数種類のソフトの検証をおこなったが、本研究開発の狙いに適合するものはなかった。

その中でクオリカ株式会社殿が本研究開発の多目的ロバスト設計最適化支援ツールとの連成によるダイカストシミュレーションの開発に着目し、開発着手の意志を表明した。

(2) 研究開発の課題

ダイカスト流動・凝固シミュレーションを行うに際しては、多くのパラメータ、物性値を設定しなければならないが、その多くは既知のデータから推測した数値を使用することが多い。そのため、実際とは異なるシミュレーション結果が出るケースが多々ある。そのような問題に対処するため、弊社の本事業では金型内の溶湯挙動の実測を行うことにより、そのパラメータに最適値を設定できるようにした。

さらに、本シミュレーションには真空吸引による溶湯の流れも可視化できるようにして、今後開発を進める耐熱性マグネシウム合金にも対応できる仕様とした。

(3) 最適高真空鑄造解析システムの製作仕様

本解析システムに要求する仕様は下記とした。

- ① 設定可能なパラメータの項目を拡大した仕様とする。
- ② 高真空ダイカスト法に対応できる仕様とする。
- ③ 耐熱合金マグネシウム材に対応できる仕様とする。
- ④ 鑄造欠陥について数値で評価できる仕様にする。
- ⑤ 多目的ロバスト設計最適化支援ツールと連成できる仕様にする。

研究内容

金型内計測システムの実データを基に最適アルゴリズムを見直しながら、多目的最適化におけるダイカスト流動・凝固シミュレーションの実用化への精度向上を図る。 casting方案や金型方案に反映し、試作開発期間の短縮化と大幅な不良率改善につなげる。

(1) 研究開発の背景

鑄造技術は熟練技術者の「経験と勘」が必要とされている。それは前述したコンピュータ・シミュレーションを使う時でさえ、設定値や条件を入力する際に熟練技術者に指示をしてもらわないとできないとされていた。この日本ならではの「経験と勘」という熟練技術者の技能を数値化、定量化できないと若手技術者に技術継承していくことができない。効率的な技術継承には試行錯誤の繰返しで工数を減らし、数値が定量的に把握できる鑄造シミュレーションの導入が不可欠である。

(2) 研究開発の課題

課題1：流動解析シミュレーションの自動実行と最適化

鑄造シミュレーションの必要性を前述したが、単にシミュレーションソフトを導入すれば良いというわけではない。なぜならば設計変数の検討、解析結果の評価、その評価が良くなければ再度設計変数の検討という工程すべてに熟練技術者が係わらなければ再計算の回数が多くなってしまいうからである。この部分を自動的に行えるようにするシステムを開発する。

課題2：多目的ロバスト最適化の自動実行

鑄造工程には多くの変数が相互に影響し合う関係にあるため、単一目的の最適化では満足したとはいえない。目的関数が複数存在するため、多目的ロバスト最適化が必要となる。

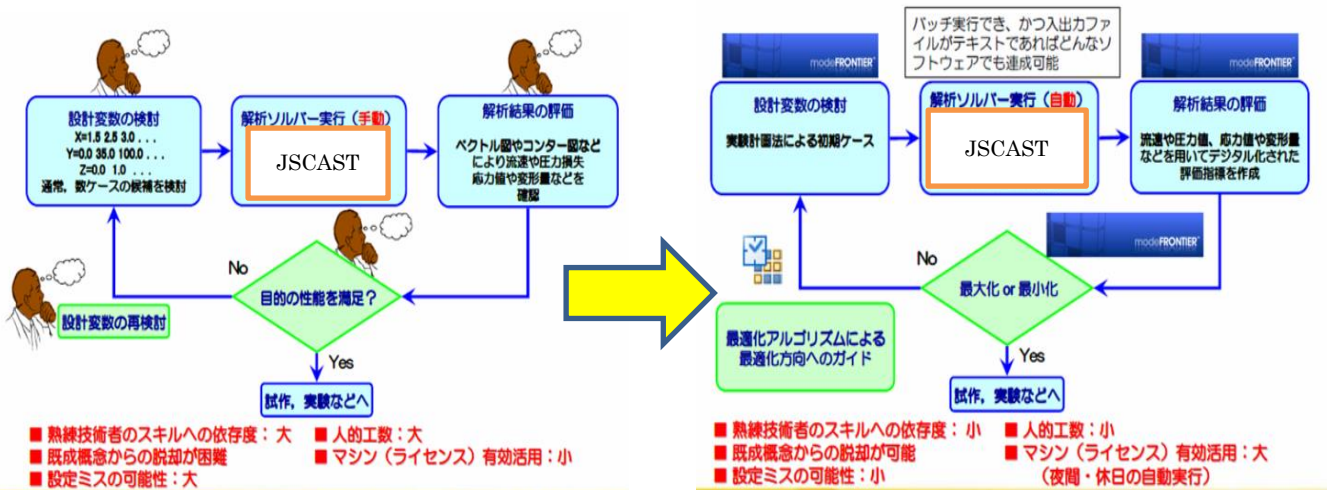


図1. 通常の CAE 業務と modeFRONTIER による自動化・最適化

● テキストファイルを介し、バッチ実行

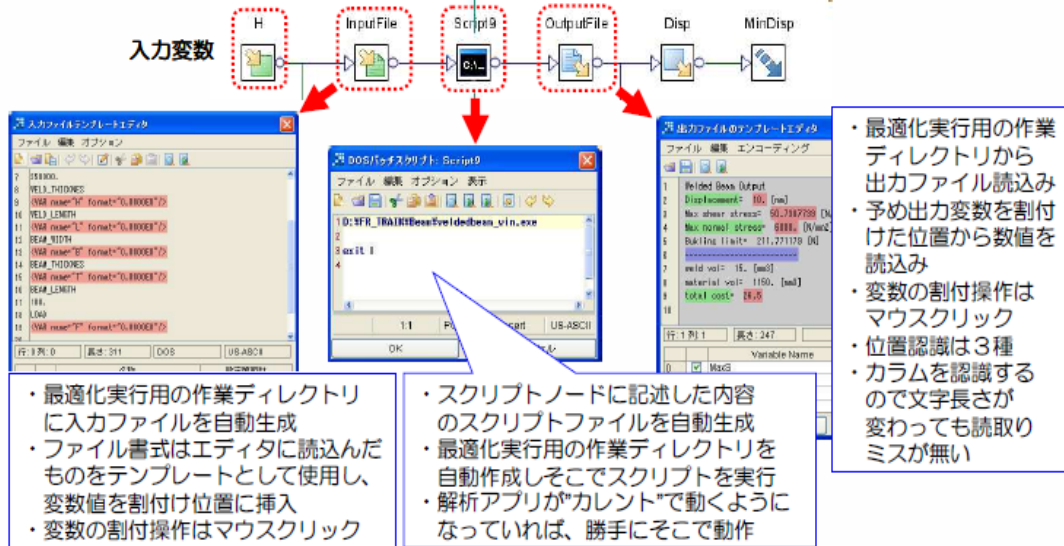


図 2. 解析ソフト自動実行の仕組み

(3) 最適高真空設計支援システムの製作仕様

本システムに要求する仕様は下記の通りである。

- ①ダイカスト流動解析シミュレーションと連成して解析自動実行ができる。
- ②解析自動実行をした結果を自動でファイルに出力できる。
- ③実験計画法によりサンプリングができる
- ④多目的最適化アルゴリズムを使用した最適化計算を実行できる
- ⑤自動実行や最適化計算により得られたデータの結果処理を散布図マトリックス、寄与度支配率、多次元解析チャートで表示できる。

(4) ダイカスト流動解析連成多目的ロバスト最適化の設定画面

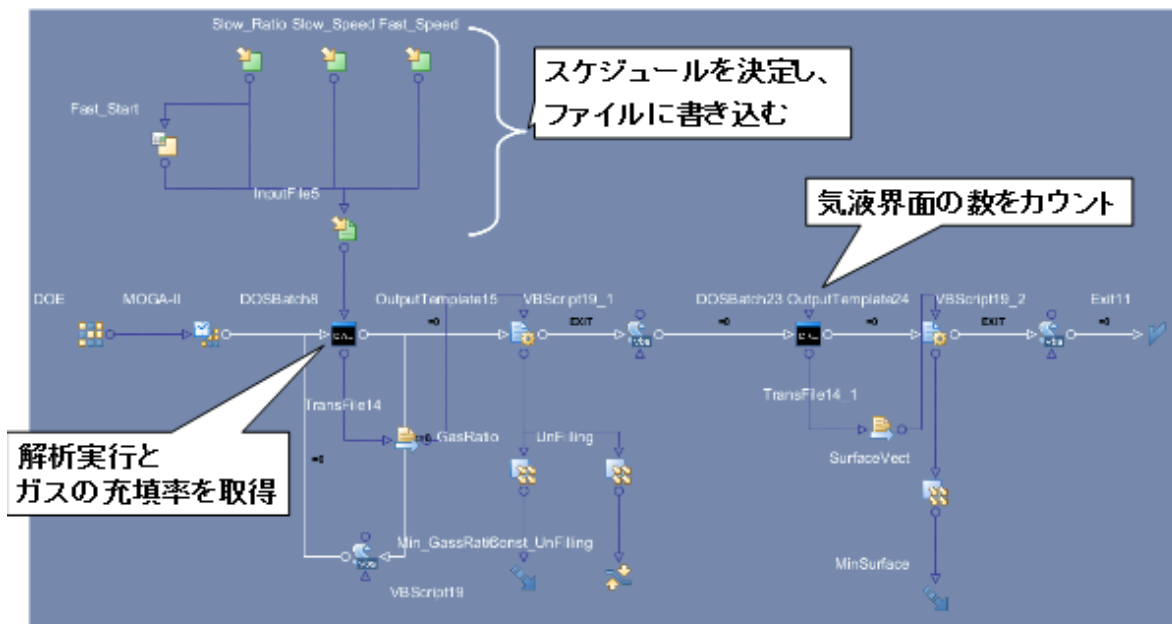


図 3. 最適高真空設計支援システムの設定画面の一例

(5)最適化計算の適用結果

鋳造条件の低速射出速度、高速切替位置、高速射出速度の3つを目的関数としてダイカスト流動シミュレーションと連成計算を行った適用結果を下図に示す。

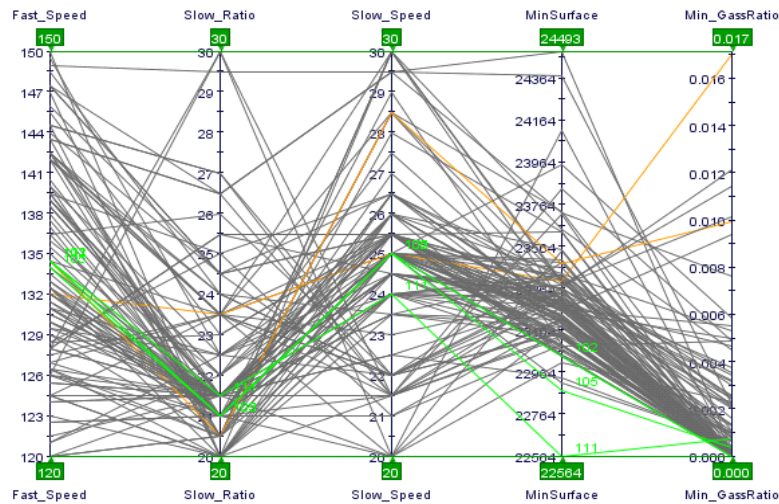


図4. 最適高真空設計支援システムの適用結果

2-2 開発試作設備と材料

本開発はマグネシウム合金ダイカストによる耐圧部品の生産を目標としている。この目標を達成するために設備仕様は以下の設定とした。

(1) ダイカストマシン

ダイカストマシンは鋳造条件の自由度および高い鋳造圧力をかけることができることからコールドチャンバーダイカストマシンとした。ダイカストマシンの能力は開発目標としているコンプレッサー部品の重量、寸法より型締力350トンを選定した。

(2) 給湯装置

マグネシウム合金溶湯は大気中の水分、酸素と反応し酸化、燃焼する。そのためダイカストマシンに給湯するまでは大気に触れないように密閉し、不燃性ガスで保護しておかなければならない。当プロジェクトではスクリー式の給湯システムを製作した。給湯量の変動すると、それは射出条件の変動となってしまう。給湯量を安定させるために給湯ポンプのモーターに回転センサーを取り付け、デジタルベクトル制御インバータとし安定化を図った。試作鋳造時の計測結果はバラツキ率（最大、最小の差と平均値から算出）1.8%であった。このバラツキ量であれば射出変位への影響は±1mmであり、鋳造条件への影響は問題ないとした。

(3) 高真空ダイカスト

耐圧部品ダイカストにするためには内部欠陥を無くさなければならない。そのために高真空ダイカスト法を採用した。金型のキャビティ(製品形状部)内の真空値の設定値は5kPa以下とした。これを実現する手段として、高速で動作する真空バルブの使用と、金型の外部とつながる部分をシールしたことにより高真空での安定した連続鋳造を行うことができた。

(4) マグネシウム合金材料

試作鋳造に使用する材料はマグネシウム合金ダイカストでは広く使用されているAZ91D(JIS記号:MDC1D)を主に使用した。この材料は高温環境下(150℃)では強度特性等が弱くなることは知られているが湯流れ、凝固の解析を行ううえでは基本となる材料でありこれを採用した。AZ91D材での試作鋳造と並行しながら他の耐熱マグネシウム合金材での試作鋳造も行い、その差異を検証しながら開発試作を行った。

2-3 マグネシウム合金ダイカスト CAE の開発

2-3-1 金型内計測システムの開発

研究内容

金型内計測システムは、計測制御ソフト LabVIEW が動作して計測条件やモニター、演算解析を行うパソコン本体部、アナログ/デジタル信号モジュールユニット、計測ユニットで構成されている。計測項目は圧力, 真空度, 温度であり、圧力 9CH, 真空度 1CH, 温度 9CH の高速同時サンプリングができる。

ダイカストマシンの動作に関する入出力信号とインターフェイスを取り入れて、ダイカスト部品の凝固時間約 0.1S 内をデータサンプリング 0.1ms にて高速サンプリングし、データを保存、解析できるシステムを開発した。

今後、マグネシウム合金製ダイカスト部品の試作時のデータを解析して、開発にフィードバックする。

実施内容

(1) ソフトウェア

LabVIEW は設計、制御、テストシステムを構築するためのソフトウェアとして使われている。LabVIEW はグラフィカルな開発環境で様々な計測デバイスと簡単に接続ができ、対話式に利用できるアシスタント機能やコード生成機能を備えて、多数のデバイスと接続して簡単にデータ収集が行える。

LabVIEW は事実上あらゆる計測デバイス, 設計ツールと組み合わせて使用できるため、最新の LabVIEW アプリケーションを既存のシステムに組み込むことにより、これまでにを行ったアプリケーション開発に有効活用することができる。

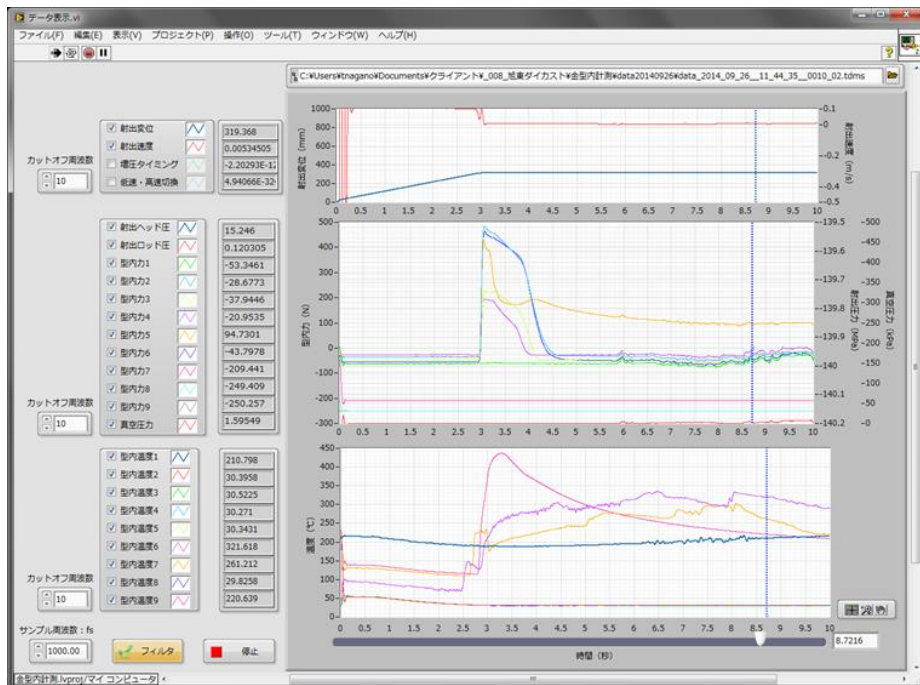


図5. 計測実行中の画面

(2) ハードウェア

NI CompactDAQシャーシは、最大8つのCシリーズI/Oモジュールと外部または内蔵コンピュータの間でのタイミングと同期してデータ転送を制御する。CompactDAQシャーシで、複数のタイミングエンジンを管理して、1つのシステムで最大7つのハードウェアタイミングによるI/Oタスクを異なるサンプルレートで実行できる。

また、USB経由で手軽にセンサからの出力信号を計測できる。8スロットのシャーシがあり、ベンチトップでも現場でも両方使用できるコンパクトなポータブル複合計測システムとして設計されている。

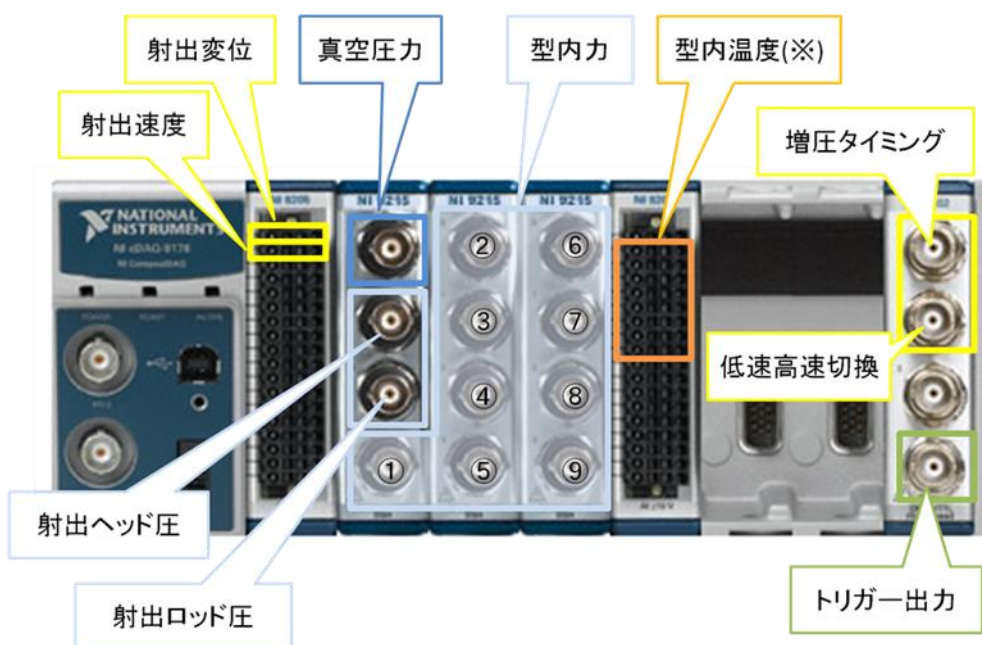


図6. スロットシャーシとデジタルアナログモジュールで構成するユニット

(3) センシングの仕様

表 1. 金型内計測システムの仕様




計測項目	型内圧力	真空度	温度
方式	水晶圧電型	水晶圧電型	熱電対
測定範囲	0~2000bar	-1~-10bar	0~800℃
測定精度	±2.0%	±1.0%	±1.5%
レスポンス	10kHz 以上	10kHz 以上	10kHz 以上
出力	0~10V	0~10V	0~10V
備考	押し力換算		高速型

(4) 計測ユニット

計測ユニットには、型内圧力、真空度、温度センサーの各種アンプがセットされる。

(5) センサー

表 2. 使用センサー

種類	写真	内容
間接式 (挿入式) 型内圧 センサー		型内圧をエジェクタピン測定ピンを介して間接的に測定するセンサーである。金型の取付専用溝にセットするタイプ。 KISTLER 社製 型式：9221A 9223A
間接式 (固定式) 型内圧 センサー		型内圧をエジェクタピンや測定ピンを介して間接的に測定するセンサーである。 KISTLER 社製 型式：9204B 9221B
直接式 型内圧 センサー		型内圧を直接受けて圧電素子に伝達するセンサー。センサー端面は温度 850℃に耐える。 KISTLER 社製 型式：9251A
真空度 センサー		金型表面に直接取り付け、キャビティ内の真空圧を直接測定するセンサー。 KISTLER 社製 型式：7261A

温度 センサー	
	<p>熱電対の種類：K 素線数：シングルエレメント 測温接点：U(#9) 非接地型 シース材質：NCF600 (インコネル600相当) クラス：2 (JIS C1605-’95) 補償導線種類：EXD-SS (一般用) EXS-3 (耐熱用熱電対線)</p> <p>超極細シース熱電対 K 型 シース外径 φ0.08～φ0.01 応答性 1ms 以下 短時間使用温度 最高 1000℃程度</p>

(6) 試作鋳造による測定結果

金型内の圧力、真空度、温度は0.1msのサンプリングが可能となる。計測速度、計測精度は単独での確認結果では仕様通り良好である。

ただし、高速データ収集においては周辺機器から発生しているノイズが混入していた。機器と工場の電源アース状態などを調査して、ノイズ対策を検討することが必要である。

2-3-2 マグネシウム合金製耐圧部品用金型の方案設計

研究内容

最適高真空ダイカスト鋳造方案解析システムの鋳造凝固シミュレーション、鋳造条件の最適化処理を行いダイカスト方案の検討を行う。検討した方案にて試作金型の変更を行い試作鋳造を実施する。試作鋳造品より方案検討結果の検証を行う。このサイクルによりカー電動コンプレッサー等耐圧部品のダイカスト技術を開発することを目標とする。

実施内容

(1) 方案の検討

上記サイクルの項目により鋳造方案の検討として鋳造流動・凝固シミュレーションを繰り返し行っている。

シミュレーションでランナー形状、ランナー寸法、ゲート位置、ゲート寸法、鋳造条件等を検討している。

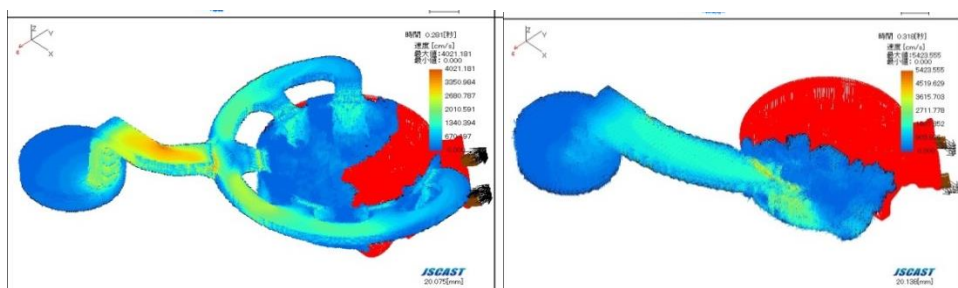
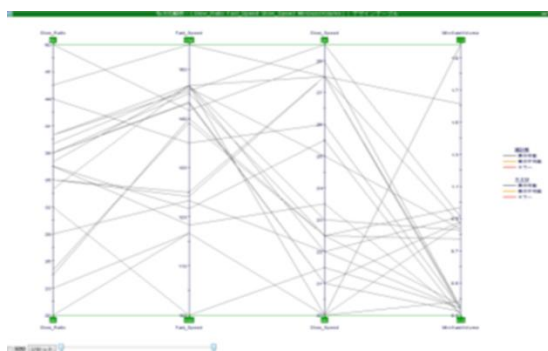


図7. シミュレーション事例

(2) 鋳造条件の最適化



- ダイカスト方案が決定すると、次に鋳造条件の最適化処理を行う。
- 低速射出速度、高速射出速度切替位置、高速射出速度を入力変数指定し、範囲内での全ての組合せ条件でシミュレーションを自動実行する。
- 計算結果としてダイカスト品中の残留ガス量を出力し、結果より試作鋳造時の鋳造条件を決定する。

図8. 最適化処理により最適鋳造条件を求めた時の処理結果例

(3) 金型内計測

決定した鋳造条件で試作鋳造を行うが、その際に各種センサーにより金型内に入る溶湯にかかる圧力、金型の温度、真空度、ダイカストマシンの射出にかかる圧力等を計測し、射出時の金型内での現象を数値で把握する。



図9. 各種センサー設置例・試作鋳造時の計測・計測時の表示画面

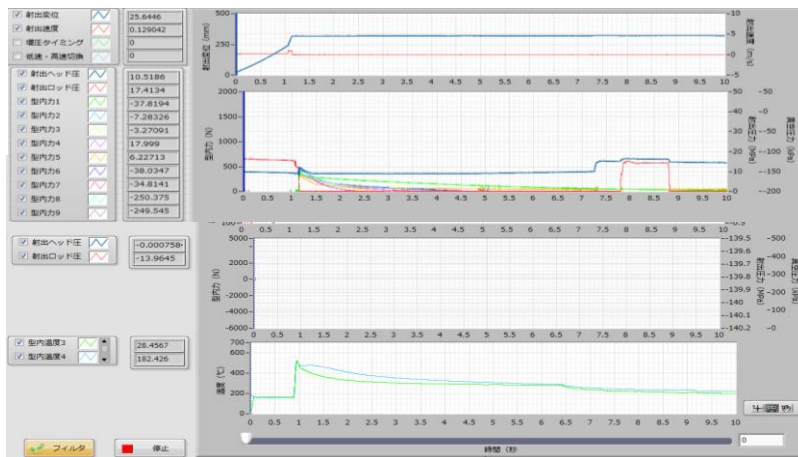
2-4 マグネシウム合金ダイカスト試作鋳造

研究内容

製作した金型により試作鋳造を行った。試作鋳造より得られる圧力、温度、真空度の波形データ、赤外線サーモグラフィカメラで撮影した金型表面温度、試作鋳造した製品よりX線CT試験、試作品より採取した試験片による強度試験、金属組織等を調査、評価する。

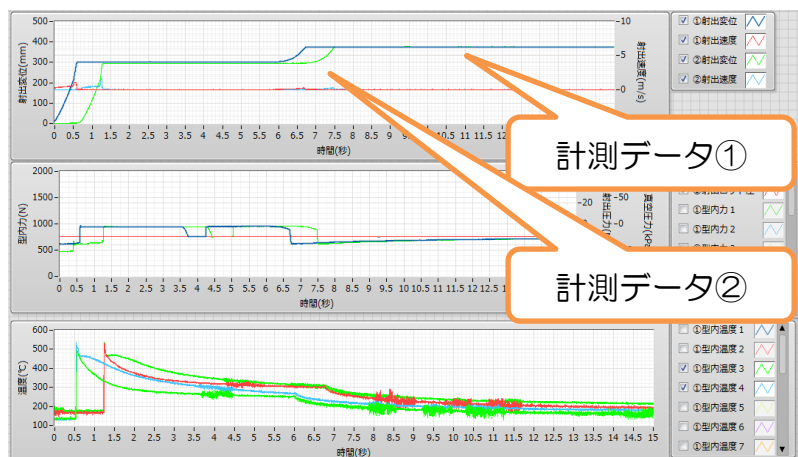
実施内容

(1) 金型内計測データ



左図に示す画面は試作鋳造時に金型内計測ソフト(LabVIEW)を使用し、圧力、温度、真空度を計測したものである。

図10. 計測データ画面



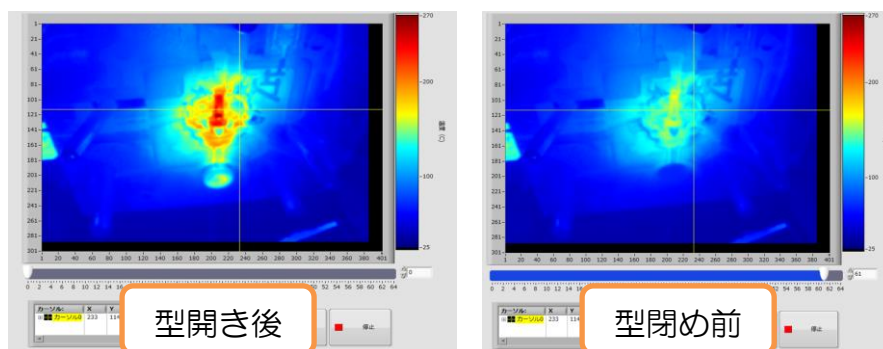
左図は試作鋳造した波形をショット毎に表示し、各パラメータ波形を比較検証する画面を示す。

計測データ①、②と比較しても、ショット毎の波形自体の変化はほとんどなく、数値上の誤差は認められなかった。

図11. データ比較用画面

(2) 金型表面温度計測

試作鋳造時に金型内計測と並行して、赤外線サーモグラフィカメラを使用し金型表面温度を計測した。表面温度は金型が開いて製品取出し直後の温度と、金型が閉まる直前の温度を比較し、どれだけの温度差が発生しているか計測・検証した。計測した画像を下図に示す。



左図を比較してみてもわかるように金型が開いた直後の表面温度と閉じる直前の表面温度に差があるのがわかる。温度降下の原因として、離型剤の塗布と、金型が開いているため熱放出が発生、金型内での冷却効果より温り温度が下がっている等が考えられる。

図12. 赤外線サーモグラフィ画像

(3) X線CT試験

試作鋳造後の製品をX線CTで撮影し、当初のランナー及びゲート方案と対策実施した方案との比較検証を行った。結果を下図に示す。

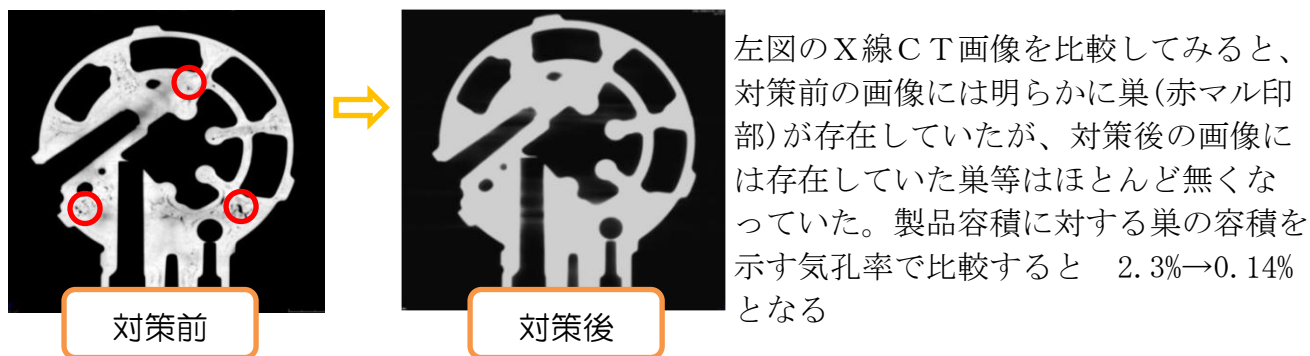


図13. X線CT画像

(4) シャルピー衝撃試験

試作鋳造した製品の内部組織を観察するべく、シャルピー衝撃試験を実施した。試験は、東京都立産業技術センター殿で実施いただいた。

《実験条件》

① 衝撃試験

試作鋳造した試作品から試験片を切出し、表面を#320 耐水研磨紙で研磨を実施。試験には、5J 計装化シャルピー衝撃試験機を使用した。

② 内部欠陥の評価

衝撃試験片の密度を水中秤量法により測定。密度は水温と大気の補正を実施。

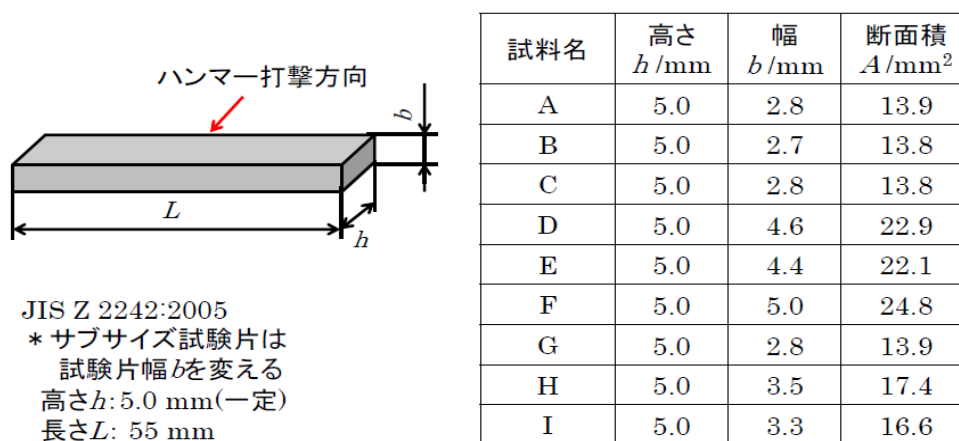


図14. 試験片形状と寸法

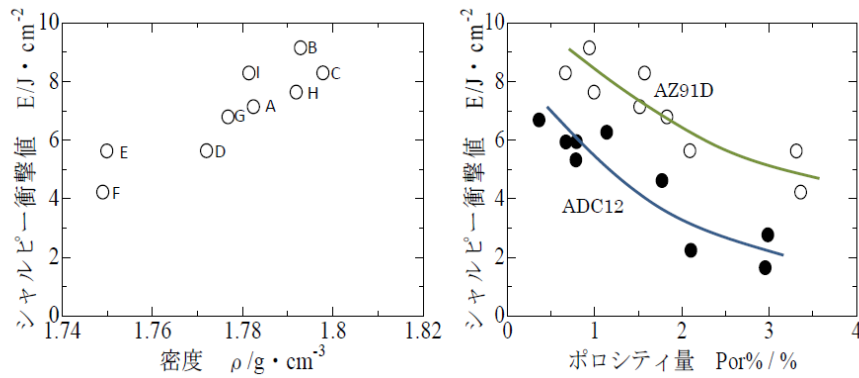


図 15. 試験片の密度と衝撃値

- * 衝撃値と製品密度には比較的良い相関関係が見られる。
- * AZ91D は ADC12 のシャルピー衝撃値に比べ、高い靱性値である。

《考察》

- ① ノッチなし試験片の衝撃値は、 $4.2 \sim 9.1 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$ である。
- ② 試験片採取位置での衝撃値の違いが現れた。
ADC12 と同様に肉厚部、リブやボスのある部分は低い。
- ③ 衝撃値は内在する欠陥に依存する。製品のポロシティ量と衝撃値の間に良い相関性が見られた。ADC12 の密度によるシャルピー衝撃値より AZ91D は高い衝撃値を示した。
- ④ ASTM 試験片での衝撃値は $3 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$ である¹⁾ 試作品からの試験片はそれよりも高い値である。

1) 日本ダイカスト協会編：ダイカストの標準 DCS M(材料編)

(4) 金属組織観察

試作鋳造後の試作品の金属組織観察を行った。当初のランナー及びゲート方案と対策実施した方案との比較検証を行った。結果を下図に示す。

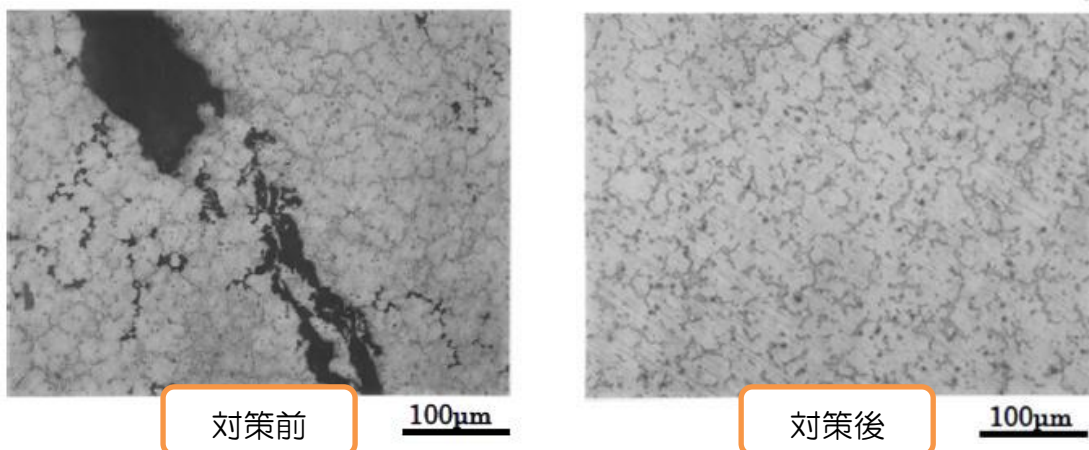


図 16. 金属組織観察

ミクロ組織で見ても巣欠陥は無くなっている。

2-5 マグネシウム合金製耐圧部品の耐圧評価試験の開発

①研究内容

最適高真空ダイカスト法により試作したマグネシウム合金製コンプレッサー耐圧部品を本試験装置にて耐圧性試験を行う。

本装置は、高圧の油圧ユニット部、テストピースに加圧する機械装置部、制御盤、操作盤、パソコンにて構成されている。常温における一発耐圧強度試験、繰返し耐圧強度試験を行う事ができる。試験によりテストピース部のひび割れ、油漏れ、異常、変形等による圧力変化を検査する。

テストピースの圧力に関するS/N特性を確認して、コンプレッサー耐圧部品としての自動車等への適応性が判断できる。

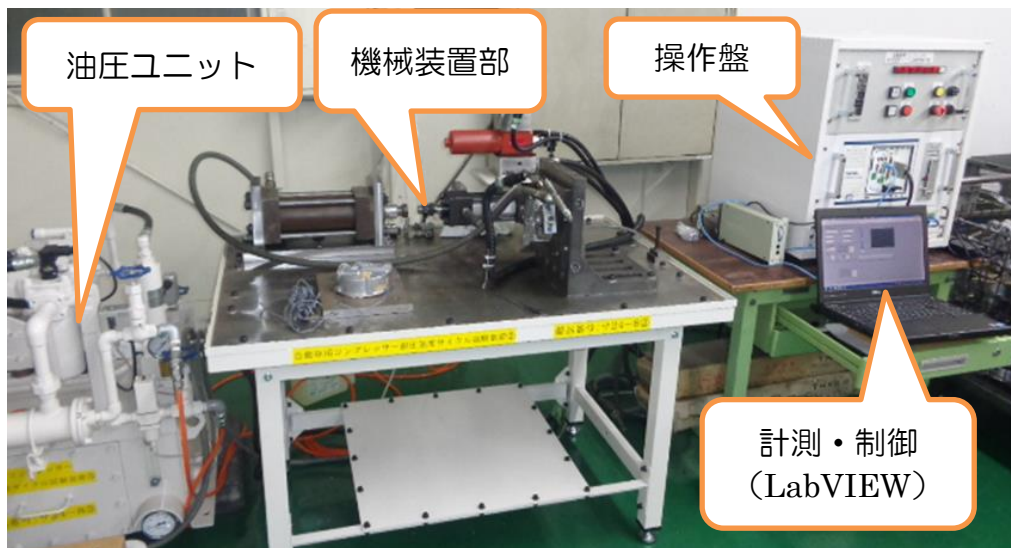


図17. 試験装置の全体

②成果

(1) 試験装置の仕様

表3. 耐圧強度サイクル試験装置の仕様

項目	仕様	備考
加圧範囲	3.5 ~ 21 MPa	
最高加圧	28 MPa	一発強度時仕様
加圧周波数	0.1 ~ 20 Hz	
加圧波形	正弦波、三角波、矩形波	
T/P雰囲気温度	常温	
制御方式	圧力PID制御方式	
測定	圧力、温度	変位：オプション
油圧サーボシリンダ変位	±0 ~ 30 mm	
電動機容量	7.5 kw	
吐出流量	0 ~ 16 l/min	

(2) 機械装置部

本体は、コンプレッサー耐圧部品(T/P)取付台、油圧サーボシリンダ部、取付架台で構成されている。試作したT/Pを取付台にセットして、油圧サーボシリンダより試験プログラムされた条件にて加圧試験を行う。

T/Pには圧力センサーを取り付けて、圧力値をモニター、保存しながら試験を行う。

(3) 油圧ユニット部

本体は、試験用T/Pに加圧するための油圧の発生装置である。電動機、高圧油圧ポンプ部、圧力制御部、水冷用電動ポンプ部、水冷式オイルクーラー部、オイルタンク、端子ボックス等から構成されている。

(4) 制御盤

本体は、装置全体の電源の入/切、油圧ユニットの各検出器信号の監視、操作盤の電源関係を受け持つものである。

(5) 操作盤

本体は、油圧制御する制御ユニット、圧力アンプ、試験運転操作パネル等にて構成されている。制御ユニットは、パソコンにインストールされた計測制御ソフト LabVIEW のアプリケーションプログラムによりコントロールされる。

(6) パソコンのプログラム

制御ユニットは、設定、モニターを行うためのホスト PC (Windows7OS 搭載) と、装置の制御を行うターゲット PC (RealTimeOS 搭載) から構成されている。ホスト PC とターゲット PC の間は、Ethernet ケーブルにて接続されている。

ターゲット PC のデータ集録ボードからのアナログ入出力、デジタル入出力が操作盤と接続されている。

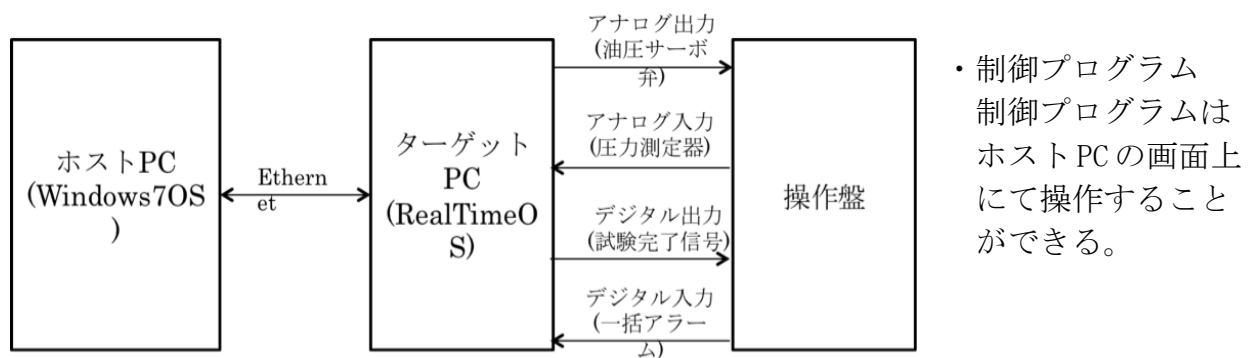


図18. 制御ユニットの構成

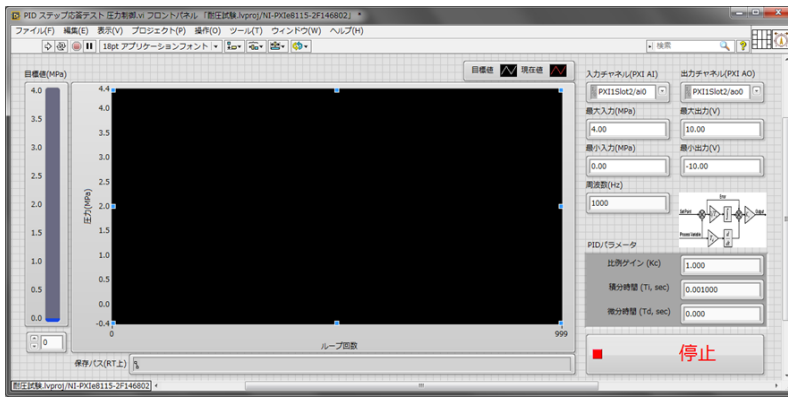


図 19. PID ステップ応答テスト 圧力制御.vi

・マニュアル運転

ターゲット PC との接続が確立された後、マニュアル運転により油圧サーボ弁への信号を出力することができる。『手動実行』タブの『手動で実行』ボタンを押し、『Pressure (MPa)』ゲージを変化させる。なお、『RateLimit (MPa/sec.)』により、圧力上昇率を調整することができる。

・自動運転

ターゲット PC との接続が確立された後に、マニュアル運転により油圧サーボ弁への信号を出力する。『制御設定』タブの『制御を実行』ボタンを押し、自動運転することができる。

自動運転時には、正弦波状に圧力を変化させて試験を行うため、『Frequency (Hz)』制御器、『Pressure (MPa)』制御器により、その正弦波を指定することができる。また、始動・終了時には、正弦波の最大値が急激に変化することを避けるため、『RateLimit (MPa/sec)』制御器にて调速することができる。また、圧力印加回数を『TargetCycle Count (cycle)』にて設定することができる。圧力印加は、PID 制御により目標圧力になるように調整されている。その際の PI パラメータや出力レンジを『制御構成』制御器にて入力することができる。『制御構成』制御器の値を反映させるためには、『制御構成を更新』ボタンを押し。自動運転時に一時停止をしたい場合には、『一時停止』ボタンを押しすることで、試験を一時停止することができる。一時停止した後に、『制御を実行』ボタンを押しすることで、引き続き試験を継続することができる。自動運転時に停止させたい場合には、『制御を停止』ボタンを押し。

・データ表示

試験の状態を確認するには、『データ表示』タブにて確認を行う。『圧力表示』チャートには、現在圧力と目標圧力が表示される。『現在サイクル数』により、現在のサイクル数を確認することができる。『目標サイクル数』により、目標サイクル数を確認することができる。『進捗状況』ゲージにより、現在サイクル数が目標サイクル数をどの程度達成できているかを確認できる。

操作盤から一括アラームが出力された場合には、『アラーム』インジケータが赤色に点滅する。なお、自動運転中のデータはすべて、ファイルに保存している。

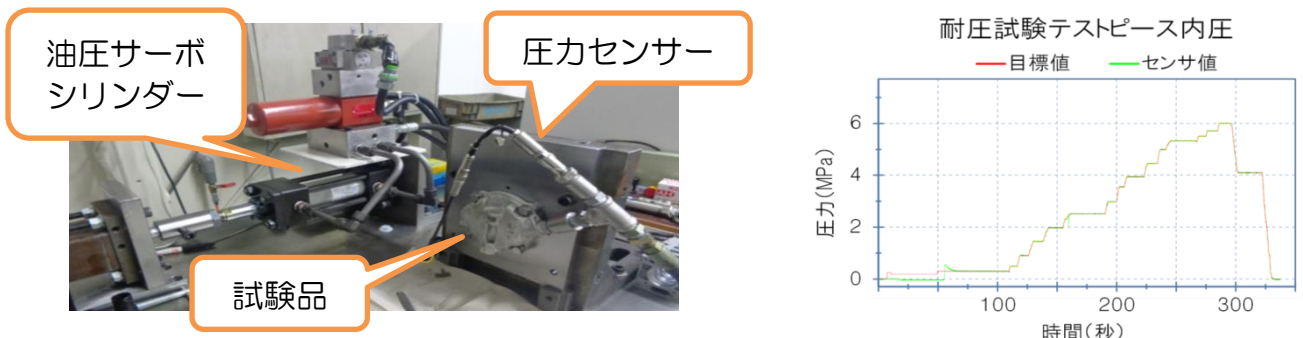


図 20. データ表示

第3章 まとめ

3-1 研究開発成果のまとめ

1, マグネシウム合金製耐圧部品用金型の開発

- (1) 試作金型による鋳造で数値的解析ができ、耐圧部品を鋳造する方案の確認ができたが、まだ内部欠陥は僅かながら存在している。この方案だけでは本研究開発の目標とする内部欠陥の無い鋳造は未達となった。さらなる内部欠陥改善の手段として金型に鋳造方式を可変する等の対策を進めている。
- (2) 本開発で得た成果は、当社のノウハウとしてアルミ合金ダイカストにも応用できるので、現行品にも応用展開を計る。

2, マグネシウム合金製耐圧部品の耐圧評価試験

- (1) 耐圧試験装置が使用できる状態になり、ダイカスト品の内部欠陥、金属組織と実体強度との関係が把握できた。
- (2) 川下メーカーより提示されている要求特性をクリアするサンプルを鋳造することができた。しかし、川下メーカー要求特性よりも更なるレベル向上のため、試作鋳造品の調査データを解析して、より安定した製造条件確立を目指す。
- (3) マグネシウム品の規格は、川下メーカーでも確定されていないので、協力して完成を目指す。

3, ダイカスト鋳造方案解析技術の開発

- (1) 金型内計測データを流動、凝固シミュレーションの計算条件に反映させ、精度向上ができた。
- (2) シミュレーションソフトと連成して自動実行をする modeFRONTIER による最適化技術は現流動アルミ合金ダイカスト品鋳造にも応用が可能である。今後、積極的に本システムの応用展開を計る。

3-2 今後の進め方

- (1) 本研究開発技術を実用化に活用し、どのようなマグネシウム合金材にも適用を可能とする。そのためには、これまで蓄積してきたデータをあらゆる角度から解析し数値化した鋳造方案を金型設計や工程設計に反映させる。
- (2) 本研究開発ではダイカストマシンの改修は行ってこなかったが、今後はダイカストマシンの仕様についても改善を計る。

3-3 事業化の方向性

本研究開発の成果として、耐圧部品のマグネシウム化には一定の評価し得るダイカスト製造技術のレベルに達した。

この応用展開として、下記3点に焦点を絞り事業化を進める。

- (1) 現行のアルミ合金部品をマグネシウム合金に逐次置き換えて行く。
- (2) 本開発技術を弊社固有技術として標準化し、更に改善を進める。

- (3) 現行のマグネシウム合金では不十分な点は素材メーカーとも協力関係を保ちながら、材料改善にも留意する。
これらの推進に際しては弊社技術だけでは商品化は難しく、常に川下、川上業社との協同歩調により事業化を進める。

以上