

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「鑄ぐるみによるHEV／EV駆動モーター用ウォータージャケット
の一体鑄造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 タマティーエルオー株式会社

目次(例)

第1章 研究開発の概要	3
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	9
2-1 鑄ぐるみ技術	
2-2 鑄ぐるみ結果の評価技術	
最終章 全体総括	17
3-1 3年間の開発成果について	
3-2 研究開発後の課題・事業展開	

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

【研究開発の背景】

加速度的に普及が見込まれるHEV/EV車の駆動用モーターには小型化、高出力化、高信頼性が求められている。特に駆動用モーターの高出力化に伴う温度上昇が、出力と信頼性に大きく影響することから各種冷却方法が研究されている。

冷却方法としてはアルミニウム鋳物の内部に空隙を作り、ここに冷媒（水）を流すという方法が軽量化に適しているため基本的な方法として指向されている。

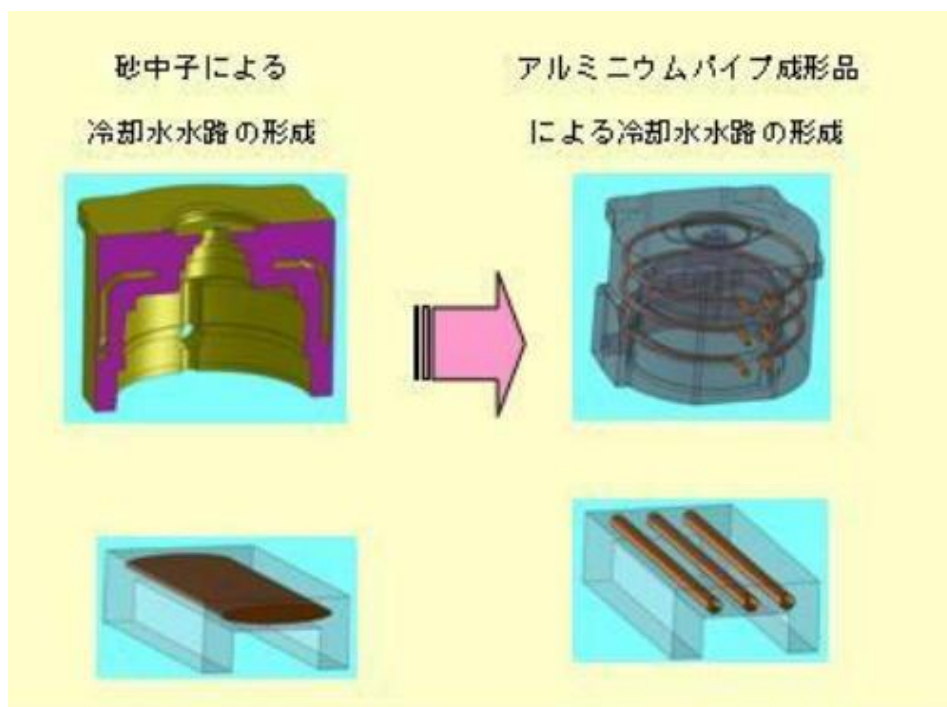
通常鋳物内部に空隙を作り出す方法として、砂中子を使用し鋳造後に砂中子を衝撃崩壊させるという方法が採用されているが、この方法は鋳造時に砂中子から発生する燃焼ガスによる鑄巣欠陥の発生や、鋳造後に中子砂を完全に除去する作業と検査に時間が掛かることや構造的な制限も大きいという欠点があり、改善が望まれている。

【研究目的及び目標】

アルミニウム鋳物の中に冷却材通路を作り出す方法として、砂中子を用いなくて、必要な内径のアルミニウムパイプを加工して製作した冷却材通路をアルミニウム母材で鑄ぐるみ、そのまま冷却材通路として利用する技術を開発する。

アルミニウムパイプを同種のアルミニウム母材で鑄ぐるむため、パイプの溶損防止や冷却機能に影響する母材とパイプの密着性を向上させる技術の開発が重要になる。

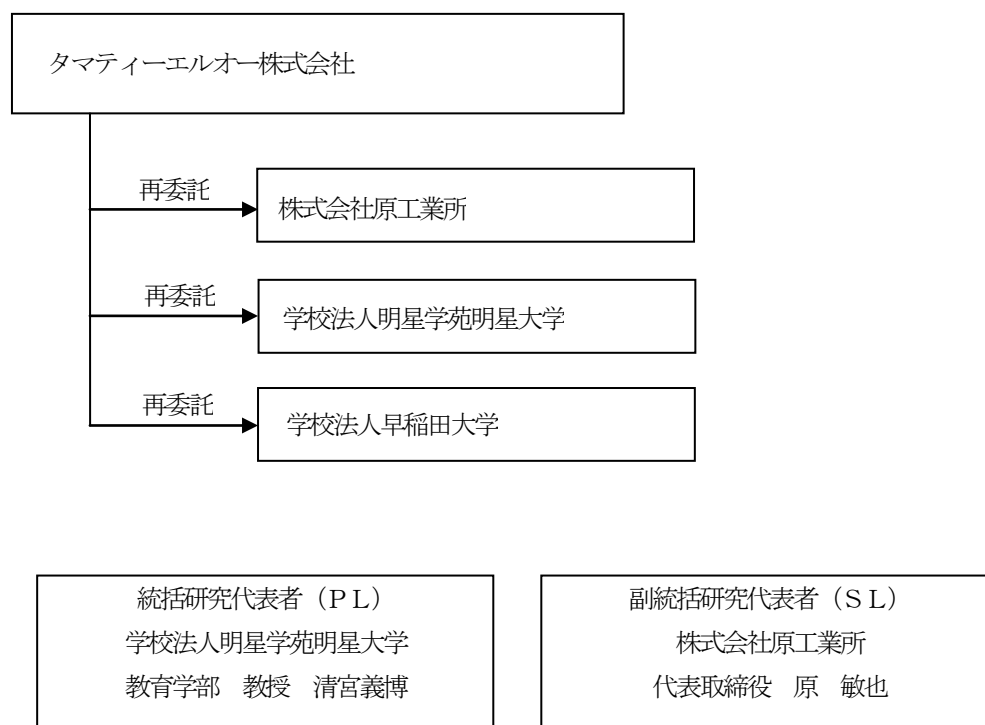
最終的な密着性の評価は実際に冷却能力を測定して評価するとともに実際の生産ラインの中で評価方法も検討する。



1-2 研究体制

1. 2. 1 研究組織及び管理体制

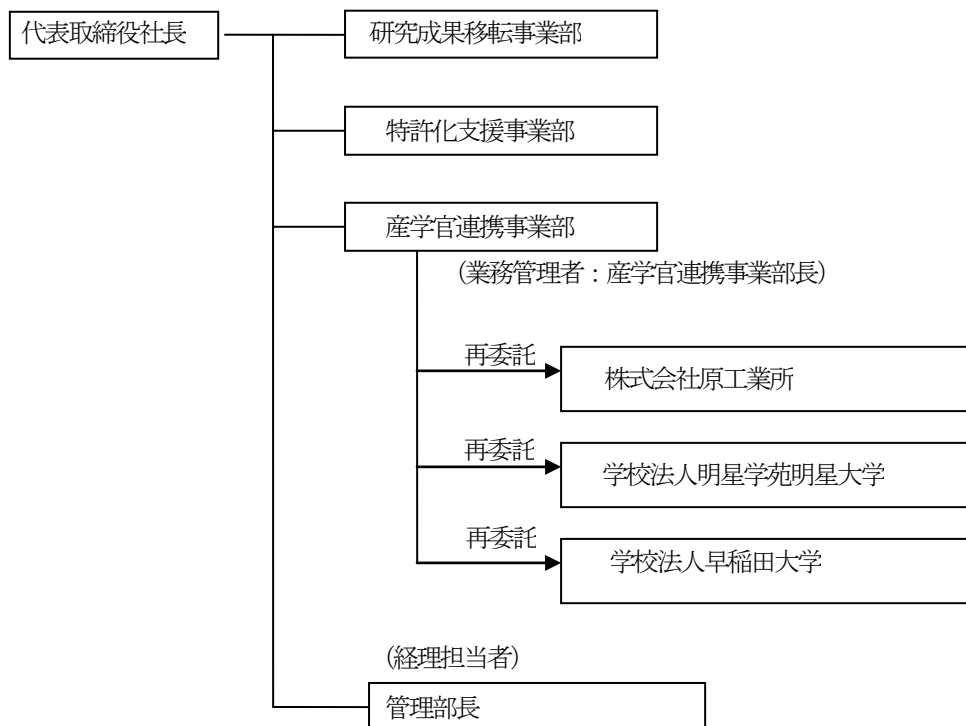
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

①事業管理機関

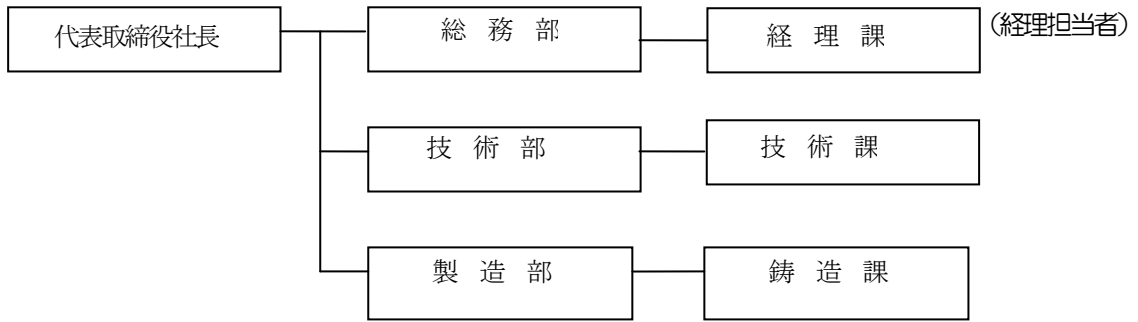
[タマティーエルオー株式会社]



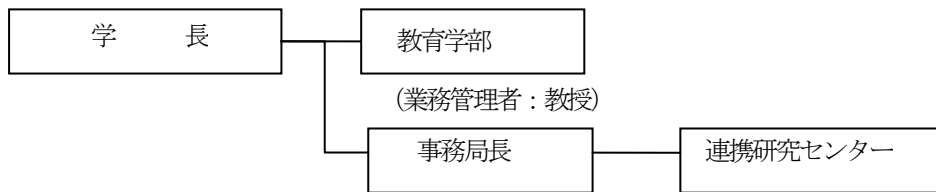
② 再委託先

[株式会社原工業所]

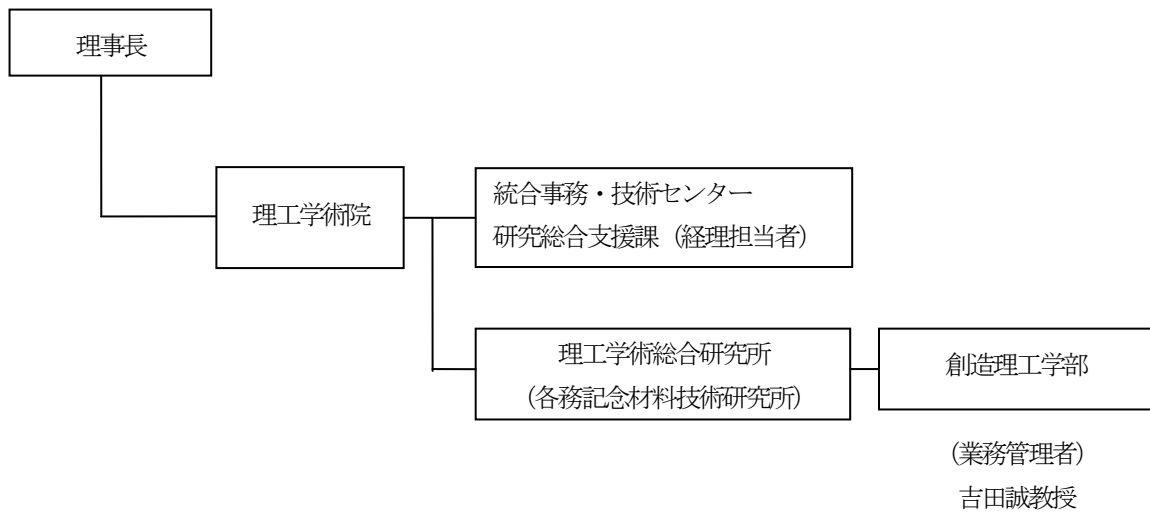
(業務管理者：取締役副社長)



[学校法人明星学苑明星大学]



[学校法人早稲田大学]



1. 2. 2 管理員及び研究員

【事業管理機関】タマティーエルオ株式会社

(管理員)

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
井深 丹	代表取締役社長	4)
山県 通昭	産学官連携事業部長	4)
晝馬 俊治	産学官連携事業部 調査専門員	4)

【再委託先】

(研究員)

株式会社原工業所

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
原 敏也	代表取締役社長	研究統括
工藤 順一	取締役副社長	研究管理
塚田 慶一	取締役技術部長	1), 2), 3)
佐久間 調一	技術部技術課課員	1), 2), 3),
山田 志功	技術部技術課課員	1), 2), 3)
青嶋 通史	技術部技術課課員	1), 2), 3)
虻川 優幸	製造部 casting 課係長	1), 2), 3)

学校法人明星学苑明星大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
清宮 義博	教育学部 教授	2), 3)

学校法人早稲田大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
吉田 誠	創造理工学部 教授	2), 3)

- 1) 鋳ぐるみ条件の検討、実験
- 2) 鋳ぐるみ結果の評価、対策検討
- 3) 冷却能力評価
- 4) プロジェクトの管理・運営

1. 2. 3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

タマティーエルオー株式会社

(経理担当者) 管理部長 吉野 正喜

(業務管理者) 産学官連携事業部長 山県 通昭

(再委託先)

株式会社原工業所

(経理担当者) 総務部 経理課課長 勝俣 出

(業務管理者) 取締役副社長 工藤 順一

学校法人明星学苑明星大学

(経理担当者) 連携研究センター 課長 森田啓之

(業務管理者) 教育学部 教授 清宮 義博

学校法人早稲田大学

(経理担当者) 研究総合支援課 柴田康太郎

(業務管理者) 創造理工学部 教授 吉田 誠

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
清宮 義博	学校法人明星学苑明星大学教育学部教授	PL
原 敏也	株式会社原工業所 代表取締役社長	SL
工藤 順一	株式会社原工業所 取締役副社長	
塚田 慶一	株式会社原工業所 取締役技術部長	委
吉田 誠	学校法人早稲田大学 創造理工学部 教授	
井深 丹	タマティーエルオー株式会社代表取締役社長	
山県 通昭	タマティーエルオー株式会社産学官連携事業部長	
晝馬 俊治	タマティーエルオー株式会社産学官連携事業部 調査専門員	委
手塚 裕康	国立大学法人東京工業大学 助教	アドバイザー (謝金、旅費)
佐々木正登	日立オートモティブシステムズ株式会社部長付	アドバイザー (謝金、旅費)

1-3 成果概要

1) 鑄ぐるみ技術

アルミニウムパイプ加工品の形状を維持した状態で、母材とパイプ加工品を密着させる鑄ぐるみ技術を開発できた。主な開発ポイントは次の通り。

- *適切な充填材の選定方法
- *充填材の充填技術
- *充填材充填後のパイプ表面の酸化膜除去技術
- *鑄ぐるみ前の予熱管理
- *使用する溶湯の温度管理
- *金型温度、鑄造時間、溶湯の流入速度（鑄造機の傾斜速度）

2) 鑄ぐるみ結果の評価技術の開発

①パイプ加工品の形状維持性の確認

- *X線写真による非破壊検査方法
- *パイプ加工品中央部まで切削しての形状確認

②パイプ加工品と母材との密着度評価

- *X線写真による隙間の確認
- *パイプ両端間の電気抵抗値による非破壊検査（接地抵抗測定原理の応用）
- *パイプ加工品中央部まで切削しての境界面のカラーチェック
- *同上境界面の顕微鏡による組織検査

③冷却用ジャケットの冷却能力評価技術

供試体と冷却水の温度差に対する冷却水によって除去されている熱量の割合を測定して、このジャケット全体としての冷却能力を熱抵抗値（ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ）として求めて評価する技術

1-4 当該研究開発の連絡窓口

タマティーエルオー株式会社 産学官連携事業部

山県 通昭

電話：042-570-7240 Fax：042-570-7241

E-mail：yamagata@tama-tlo.com

第2章 本論

2-1 鑄ぐるみ技術

1) 充填材

パイプへの充填材として中空、NaCl、中子砂、ガラスビーズ、Cu アトマイズ粉、アルミナ、ジルコニア、熔融塩（数種類）等について検討し、最終的な充填材を決定した。

2) パイプ表面の酸化膜除去技術

ガラスビーズによるブラスト処理について粒径、時間等を変更して調査したが、作業によるバラツキが発生して安定しないため化学的処理を検討し、濃度、処理時間、温度などの管理により安定的な品質を確保できることを確認した。

3) 鑄ぐるみ前のパイプ加工品の予熱管理

予熱温度を上げるとパイプ加工品の変形が発生するために、密着度への影響を考慮しながら最適な温度と時間を決定。

高温状態に保持するため酸化対策が必要になり、適当な流量の不活性ガスパージにより効果を上げられることを確認。

4) 溶湯温度

溶損を防ぎかつ密着度を上げる上で溶湯温度の管理は重要になるが、他の特性への影響や、エネルギーコストの点で特別な温度は採用せず、通常で行われている範囲の溶湯温度とし、他の条件でカバーできることを確認。

5) 鑄造条件

鑄造中の酸化防止対策、吸引方法、金型温度管理 等が密着度や湯廻り状況に影響を与えるため、対象とする製品によりある程度の修正が必要になることを確認。

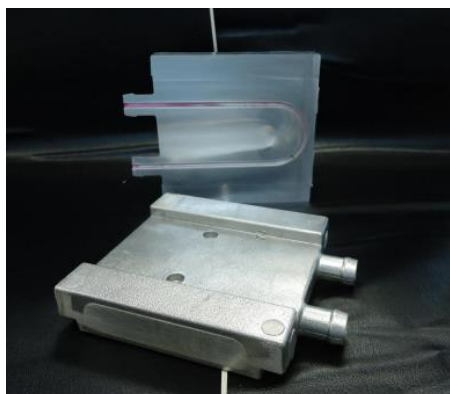
下記に最終的に製作した駆動モーター用ウォータージャケット模擬品および IGBT 取付ベース模擬品の写真を示す。



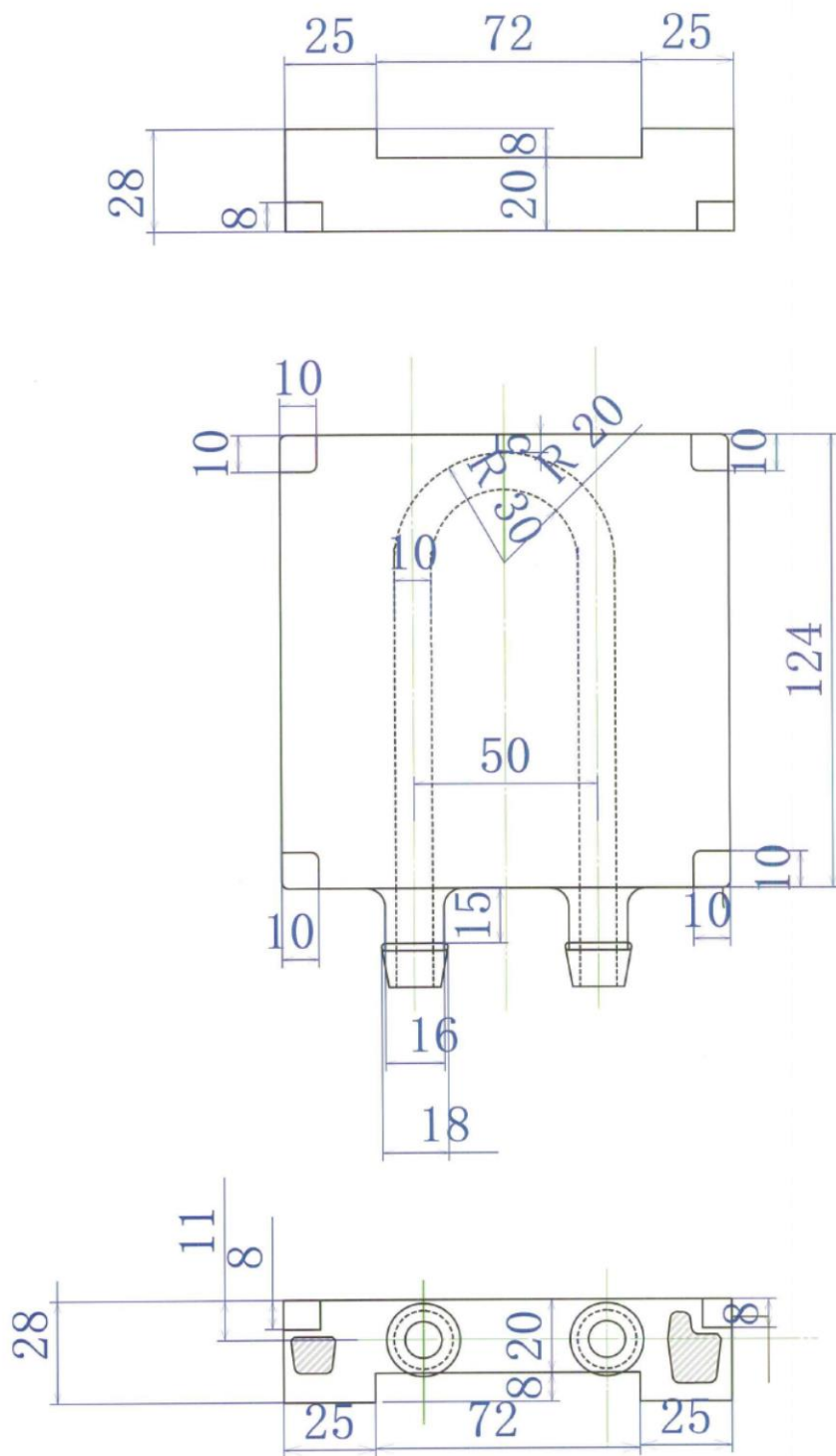
駆動モーター用ジャケット模擬品外観



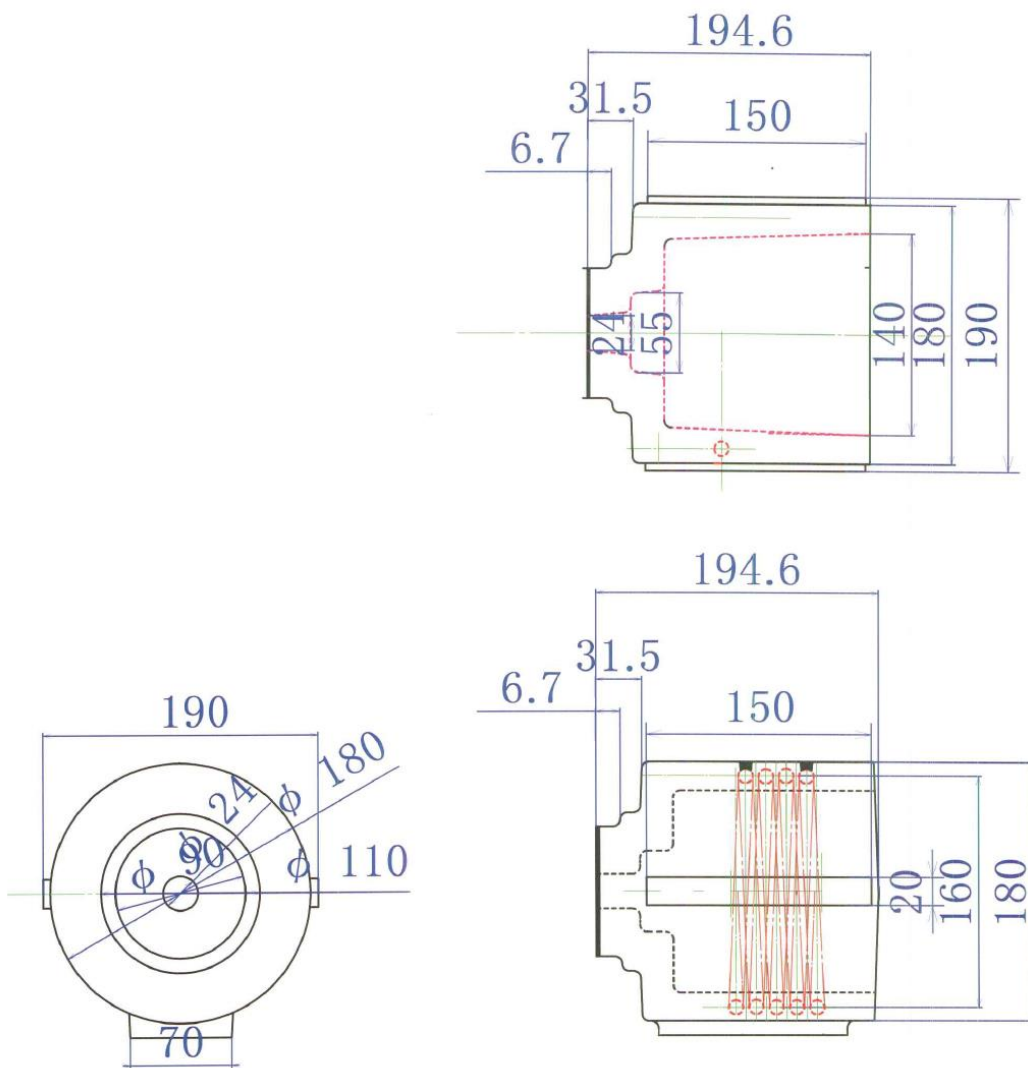
駆動モーター用ジャケット模擬品
内部切斷写真



IGBT 取付ベース模擬品外観
および 内部切斷写真



IGBT 取付けベース模擬品外形図

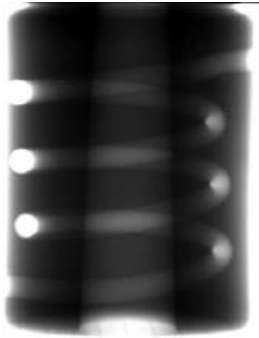


駆動モーター用ウォータージャケット模擬品外形図

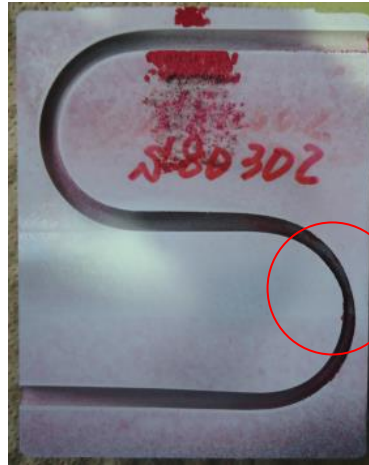
2-2 鑄ぐるみ結果の評価技術

1) パイプ加工品の形状維持特性の確認

X線写真により、鑄ぐるみしたパイプ加工品の変形状況を確認した例、およびパイプ中央付近まで切削して変形状況を確認した例を下記に示す。



X線写真によりスパイラル管上部が左に傾いていることを確認した例

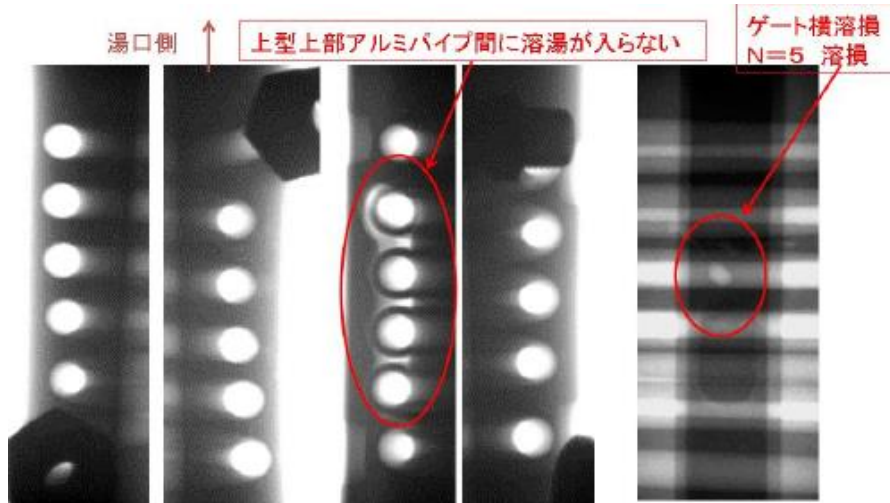


パイプ中央部まで切削し、パイプの変形状況を確認した例。
この例ではパイプが奥行き方向に歪んだため切削面のパイプが細く見える。実際のパイプそのものの径は変わっていない。

2) パイプ加工品の密着度評価

各評価の実施例を示す

*X線写真によりパイプと母材間の隙間を確認した例

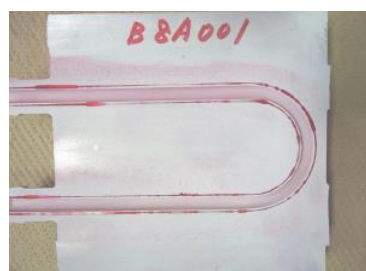


駆動モーター用ウォータージャケットジャケット上金型上部の隙間を確認した例

*切削面のカラーチェックとパイプ両端間電気抵抗値により密着度を評価した例



密着度が良い例
電気抵抗値 : 0.017mΩ



密着度が悪い例
電気抵抗値 : 0.14mΩ

*切削面の顕微鏡写真により組織検査を行った例 (S字管の錆ぐりみ例)

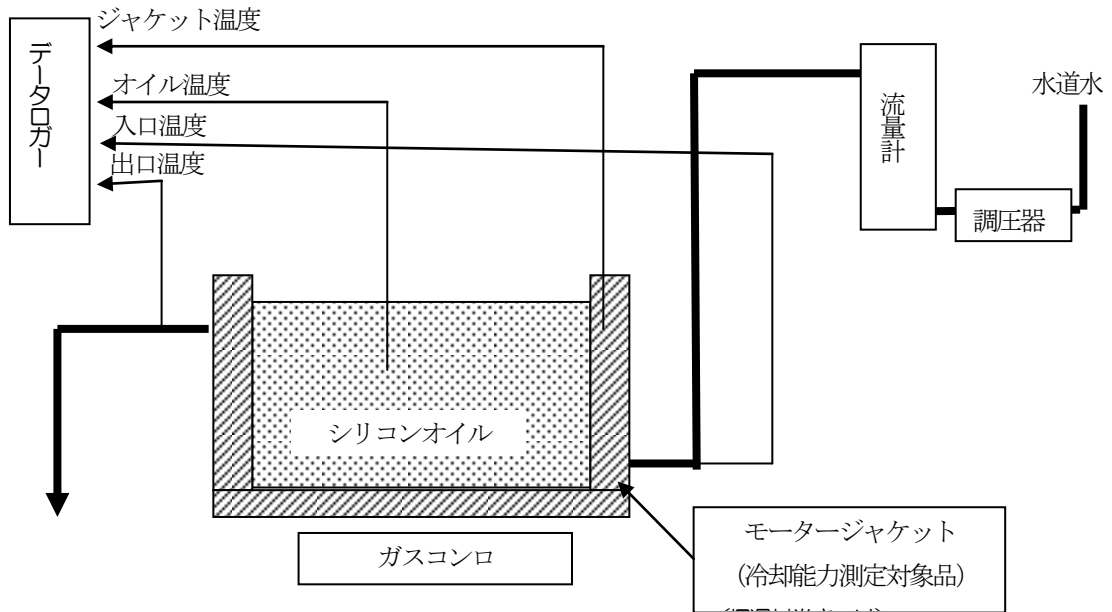


パイプと母材が良く密着していることを確認した例。

2-3 冷却用ジャケットの冷却能力評価技術

駆動モーター用ジャケットの冷却能力を評価した例を示す。

① 評価システムの構成および測定風景

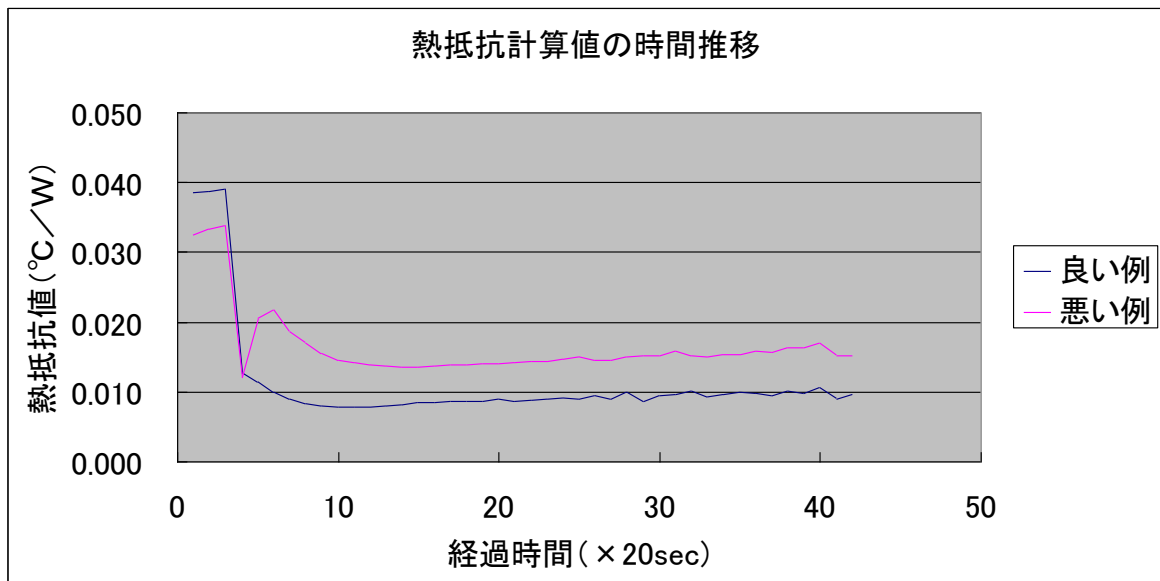
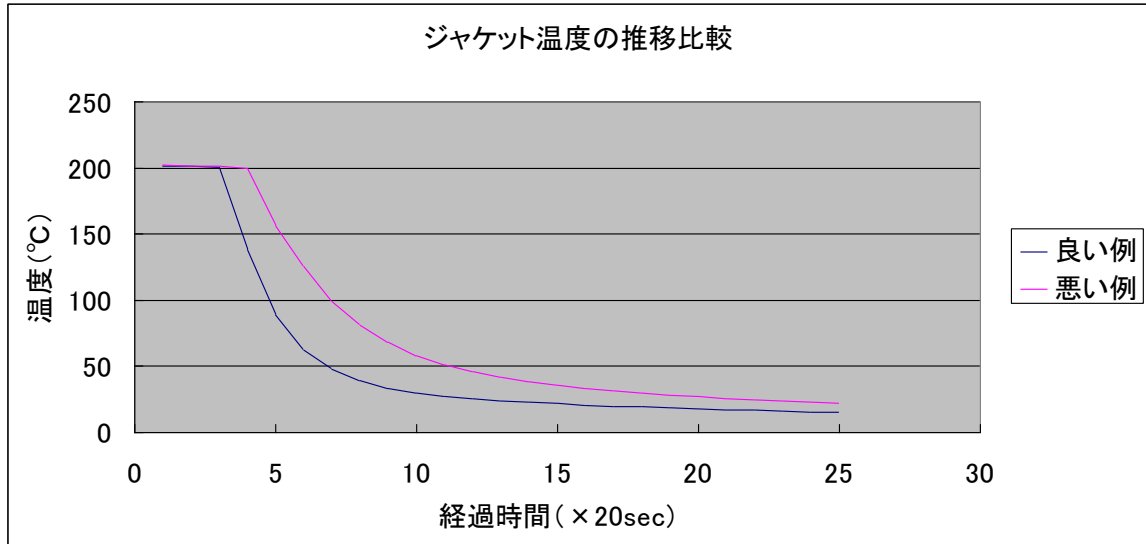


②評価方法

冷却水出口温度と入口温度の差と冷却水流量の積より冷却水により除去されている熱量を求め、ジャケット温度と冷却水温度の差をこの熱量で除する事によりジャケットから冷却水までの熱抵抗値 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) を算出し、ジャケット温度の応答曲線とともに評価。

③評価結果例

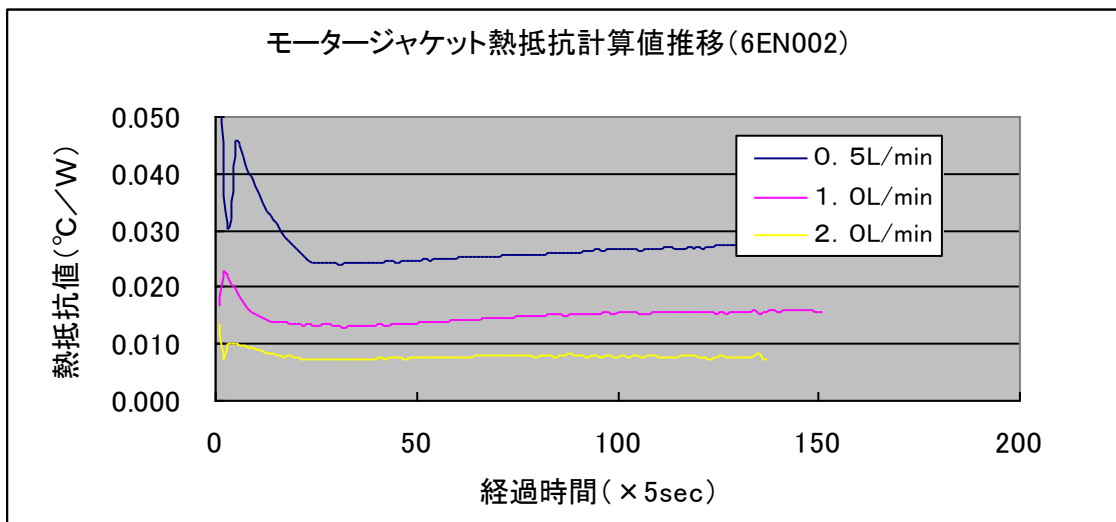
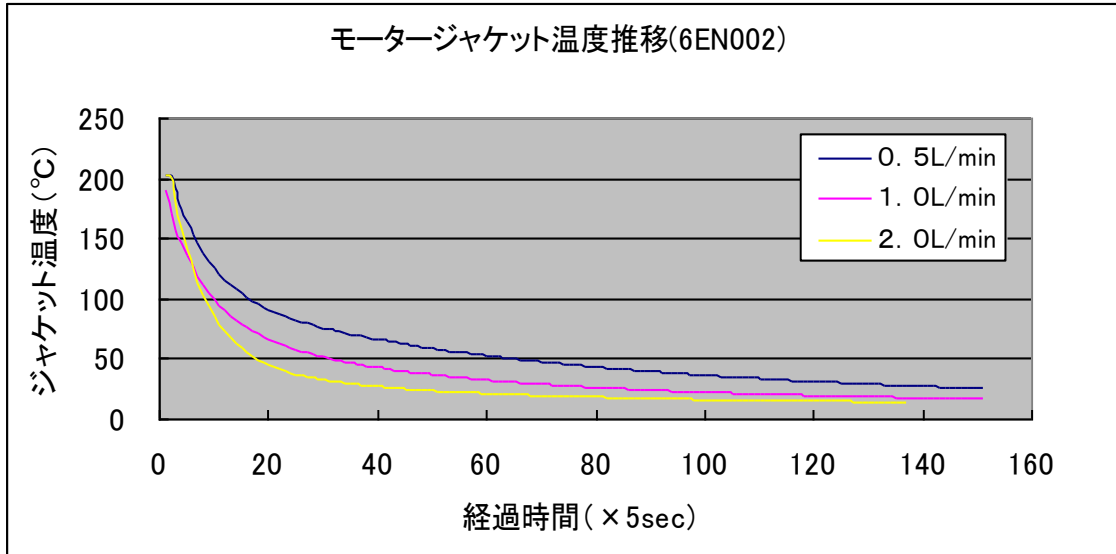
*密着度の良い例と悪い例の比較例



密着度の良い例と悪い例の充分落ち着いた状態での熱抵抗値は凡そ次のようになった。

- ・良い例 : $0.010^{\circ}\text{C}/\text{W}$. . . 5KW 処理でモータージャケット温度は 50°C 上昇
- ・悪い例 : $0.016^{\circ}\text{C}/\text{W}$. . . 5KW 処理でモータージャケット温度は 80°C 上昇

*冷却水流量による冷却性能の違いを確認した例（最終対策品で測定）



第3章 全体総括

3-1 3年間の開発成果について

アルミニウムパイプ加工品をアルミニウムの母材で铸ぐるむ上での課題の抽出から始まって、実用規模の IGBT 取付ベース模擬品や駆動モータ用ウォータージャケット模擬品を製作。冷却性能の評価も実施し铸ぐるみ結果の評価技術として確立でき当初目標とした成果が達成できた。

今回の開発は一つのアイデアにより 1 本道を進んだ分けではなく、試行錯誤を繰り返しながら達成できたもので、単に 1 本道を進んで達成できた技術に比べ、太い幹の技術として企業に残ったと考えている。

実際のビジネス展開の中で今後も種々の課題が発生してくると思われるが、今回の経験を生かして課題解決していけるものと期待している。

3-2 研究開発後の課題・事業展開

1) 実際のジャケット設計者との意見交換

実用モデルとして設計し製作した模擬品は PJT 内での考えで、铸ぐるみのモデルとしての限界仕様に挑戦する意味合いで製作したもので、駆動モーター用ウォータージャケットとして最適な条件を満たしているという保証はない。本方式の利点、欠点をよく認識した上で、どんな管路の铸ぐるみが必要であるかを詰めていき、铸ぐるみ上の課題を見つけていく必要があると考えている。

2) 応用範囲の拡大による事業展開

あくまで目標は EV, HEV 車の駆動モーター用ウォータージャケットであるが、新技術の自動車への参入はかなり高い障壁がある。

先行して他の分野での実績を積んでいくためには、より広い応用範囲を目指して行かなければならず、単に単一管路の曲げ加工だけに限定するのではなく、母材とパイプを密着させる事ができた特徴を生かして管径の異なるパイプの嵌合やプレス部品の嵌合等による複雑形状品への対応力をつけて事業展開を進めていく予定である。