

平成 30 年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「二酸化炭素排出削減に貢献する
超小型・軽量、高効率な電動ウォーターポンプの開発」

研究開発成果等報告書

令和元年 5月

担当局 中国経済産業局
事業管理機関：公益財団法人 ひろしま産業振興機構
補助事業者 株式会社久保田鐵工所

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	-----p3
1-2 研究体制	-----p3
1-3 成果概要	-----p4
1-4 当該研究開発の連絡窓口	-----p5

第2章 本論

2-1 【課題1】 プラマグー体インペラの接合強度向上	-----p6
2-2 【課題2】 消費電流の低減	-----p10
2-3 【課題3】 プラマグの耐熱性向上	-----p13
2-4 【課題4】 シリーズ展開	-----p16

最終章 全体総括

3-1 補助事業の成果	-----p18
3-2 研究内容総括	-----p18
3-3 補助事業後の技術課題	-----p18
3-4 電動ウォーターポンプの事業化見通し	-----p18

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

(背景)

自動車の二酸化炭素排出量削減の対応として、電動車両の増加と共に主流となりつつある過給ダウンサイジングエンジン向けに、水冷インタークーラ冷却用の電動ウォーターポンプの需要が急増している。

(研究目的)

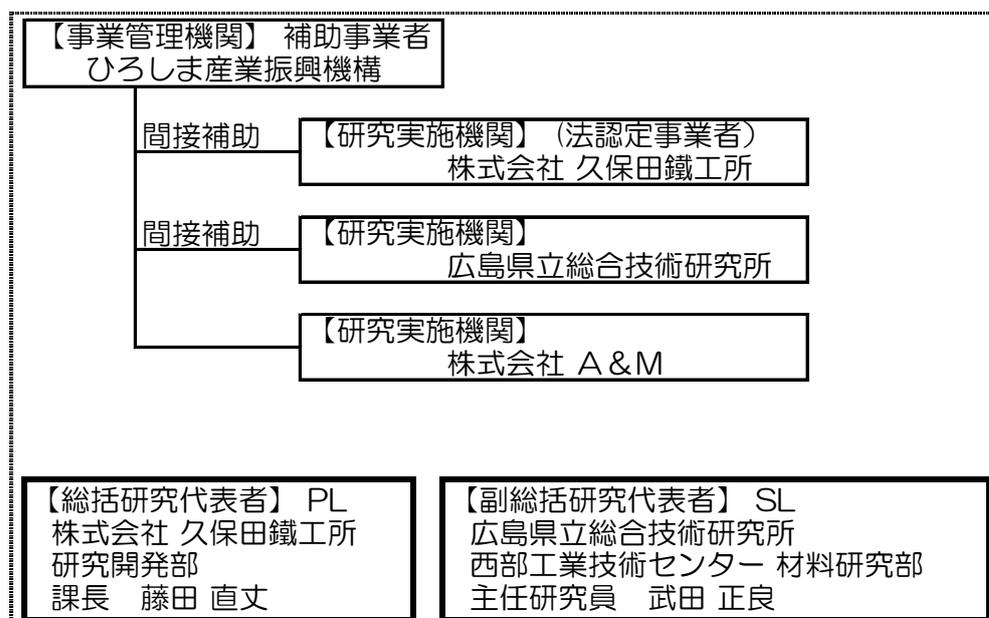
先行研究において、アキシアルギャップ式のモータを採用する当社独自方式の電動ウォーターポンプは、現行品に対して圧倒的な小型、軽量化が実現する見通しが得られた。この実用化、事業化に向けた研究開発を行うことを目的とする。

(目標)

- 【課題 1】 プラマグー体インペラの接合強度向上 (目標 72N)
- 【課題 2】 消費電流の低減 (目標 2.2A 以下)
- 【課題 3】 プラマグの耐熱性向上 (目標 100℃)
- 【課題 4】 電動ウォーターポンプのシリーズ展開 (他用途への技術応用)

1-2 研究体制

研究組織・実施体制



1-3 成果概要

【課題 1】 プラマグ一体インペラの接合強度向上(72N)

【1-1】 樹脂、金属間の接合方法確立

レザリッジ法の採用で、インペラの PPS 材とモータ側のプラマグ材ともに、バックヨークとの間の接合強度：72N を満足することを確認した。

【1-2】 プラマグ一体インペラの製法と信頼性の確立

レザリッジ法による異種材結合技術を織り込んだプラマグ一体インペラの低コストな製法を確立し、その試作品で信頼性の問題がないことを確認した。

【課題 2】 消費電流の低減（目標 2.2A 以下）

【2-1】 消費電力の低減

現行品の定格電流：2.29A に対して、1.98A(約 16%減)となる製品仕様を確立し、目標を達成した。

【2-2】 EMC 性能の確立

自動車メーカーが定める EMC 性能を満足する製品仕様を確立した。

【課題 3】 プラマグの耐熱性向上（目標 100℃）

【3-1】 耐熱性を有するプラマグ材の材料開発

「100℃×1000 時間の浸漬試験後の減磁率 5%以下」の仮目標に対しては未達であったが、現行品よりも減磁率が低いため、水中 100℃の耐熱性の目標を達成と判断した。

【3-2】 製品での信頼性の確認

【1-2】で取り組んだプラマグ一体製法でインペラを試作し、製品状態での信頼性が確認できた。

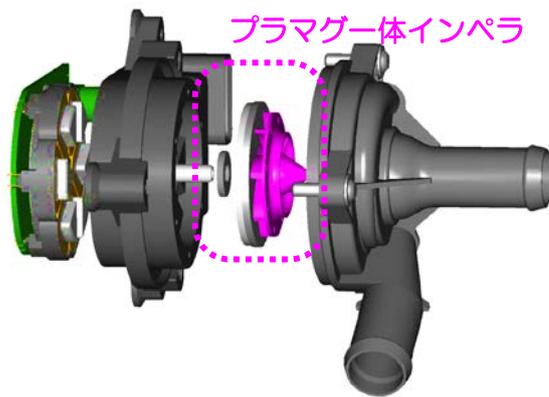
【課題 4】 電動ウォーターポンプのシリーズ展開

【4-1】 インバータや過給機の冷却用の 50W 製品の開発

25W 級の製品をベースに、モータ部の寸法見直しと、ポンプ部の新設により、現行品と同等性能で圧倒的に小型な 50W 級の製品が成立する見通しを得た。

【4-2】 エンジン冷却用の 160W 製品の開発

シングルロータ構造の 25W、50W 製品で確立した技術をベースに、ツインロータ構造の 160W の製品を設計、評価し、既存現行品に対して圧倒的な小型、軽量の製品が成立する見通しを得た。



プラマゲー体インペラを採用する
25W 級電動ウォーターポンプ

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人ひろしま産業振興機構

研究開発支援センター 神田敏和

〒730-0052 広島市中区千田町 3-7-47

TEL : 082-240-7712 / FAX : 082-242-7709

E-Mail : t-kanda@hiwave.or.jp

株式会社久保田鐵工所

研究開発部 藤田直丈

〒739-0321 広島県広島市安芸区中野 1丁目 6番 1号

TEL : 082-893-1121 / FAX : 082-893-1214

E-Mail : n.fujita@kubota-iron-works.co.jp

第2章 本論

2-1【課題1】 プラマグー体インペラの接合強度向上

2-1-2【1-1】 樹脂、金属間の接合方法確立

(1) はじめに

現行品に対して圧倒的に小型で低コストな電動ウォーターポンプを成立させるためには、当社独自のアキシアルギャップ式モータを採用するとともに、そのロータ部に樹脂と金属間の異種材接合の技術が必須となる。性能、信頼性とコストの面で選定したレザリッジ法による接合が、実際の製品で使用する樹脂材でも金属との間で十分な接合強度を有することを確認する。

(2) 目標

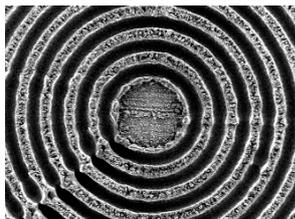
接合強度：プラマグ側、羽根側ともに製品状態で 600N

運転中に接合面にかかる荷重：60N に対し、研究着手当初は 72N(安全率：1.2)を接合強度の目標としていたが、レザリッジ処理や、樹脂成形のばらつきなどを考慮して、目標値を 600N(安全率：10)に変更した。

(3) 方法、結果

1) プラマグ材とバックヨーク(①)、インペラのPPS材とバックヨーク(②)の接合強度を、それぞれ以下に示す方法で成形したテストピースで計測した。

〈金属側に施したレザリッジ処理〉



〈射出成形したテストピース〉

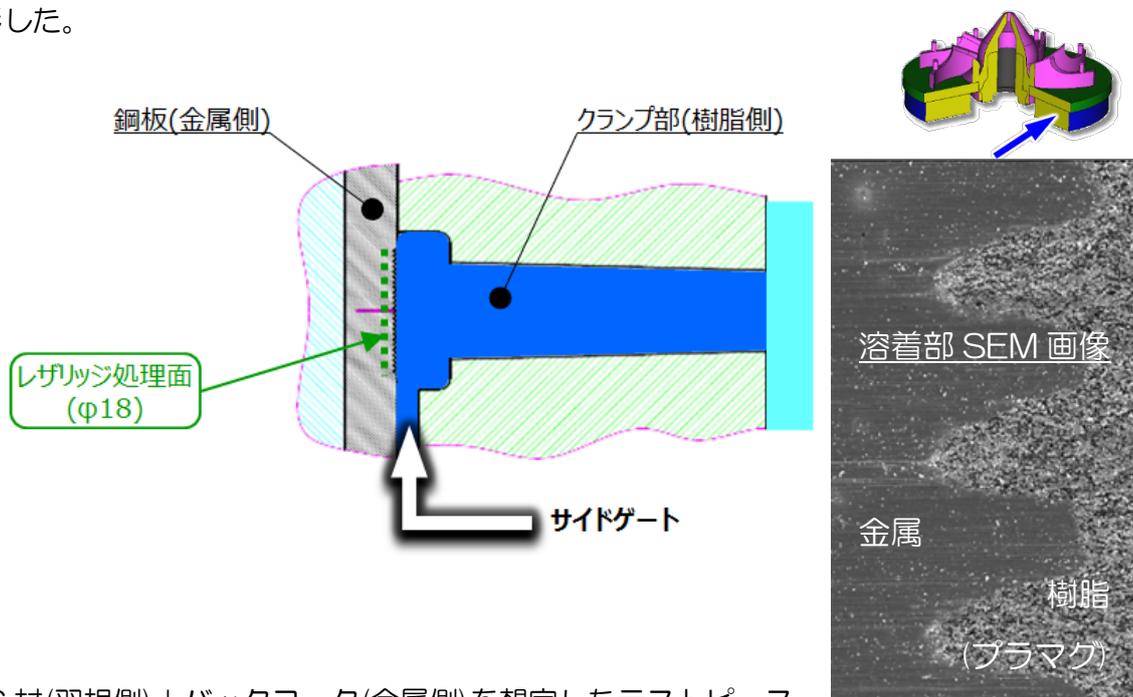


〈テストピースを引張試験機に装着した状態〉



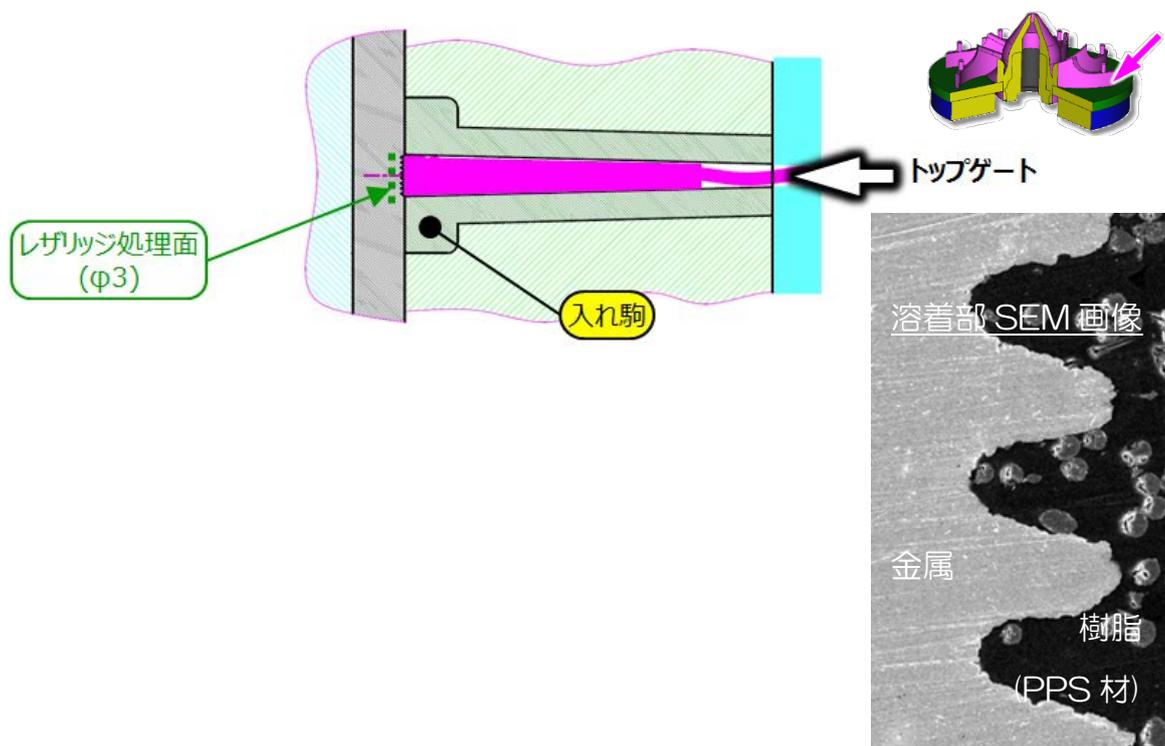
① ブラマグ側+バックヨーク(金属側)を想定したテストピース

ブラマグ材は、バインダー樹脂の強度とその含有率がともに低いことから金属との間の溶着強度が低いと思われるため、広いレザリッジ処理面(φ18)を確保できるテストピースを成形した。



PPS 材(羽根側)+バックヨーク(金属側)を想定したテストピース

射出温度が高い PPS 材を、できるだけ高温のままレザリッジ面に到達させるため、「入れ駒」を用いて小さいキャビティ(クランプ径が小さい)のテストピースを成形した。また同時に、高強度で流動性が良好な PPS 材はブラマグ材と比較して金属との間の溶着強度が高いと思われるため、レザリッジ処理面も小径化(φ3)した。



2) 上記テストピースで接合強度を計測し、下記の結果を得た。

• プラマグ+金属 : 20.1 MPa

• PPS+金属 : 5.61MPa

3) 上記の各部位における接合強度に対して、運転中に接合面にはたらく荷重(実測で最大60Nに対して安全率：10を加味した600N)に相当する接合力を生む接合面積から、製品仕様であるレザリッジの処理面積を得た。

2-1-2 【1-2】 プラマグー体インペラの製法確立

(1) はじめに

【1-1】で樹脂と金属間の接合方法としてレザリッジ法を採用することで、製品寸法内で十分な接合強度を確保できることが分かった。レザリッジ法によるプラマグー体インペラの製法を確立する。

(2) 目標

- ・「サイクルタイム：1分以内」を実現する製法を確立する。
- ・その製法で試作した部品で信頼性の評価項目をクリアする。

(3) 方法、結果

1) プラマグー体成形の製法確立

本研究開始当初に、ダイスライド成形法によるワンショット成形を考案し、特許出願した。しかしながら、実際の生産予定数量と設備投資額などを考慮してコストを算出した結果、プラマグ側の成形とインペラ側の成形を個別に成形する方法がコスト面で有利であることが分かった。

2) プラマグー体インペラの試作と評価

評価内容と結果については、「2-3-2【課題 3-2】製品での信頼性の確認」で述べる。

2-1-3 考察

テストピースでのテスト結果から、また十分な安全率を考慮してレザリッジ処理面積を導き出したが、テストピースの成形～引張試験の中で、金属側の予備加熱が溶着強度に大きく影響する重要な成形条件の一つであることも分かった。量産で溶着品質を安定化させるためには、成形条件やレザリッジ処理の品質だけでなく、予備加熱温度の安定化が必要である。

2-2【課題 2】消費電流の低減

2-2-1 【2-1】消費電力の低減

(1) はじめに

自動車において効率向上や快適性の向上の要求の高度化から、電子部品が増加の一途にある。この背景から、本研究で開発した 25W 出力の電動ウォーターポンプも今後、その消費電力が無視できない状況になりつつあり、消費電力の低さが今後、重要なアピールポイントの一つとなる。先行研究における原理試作品で樹脂材の切削で製作していた筐体類を、本研究では量産前提とした射出成形で試作するとともに、シャフト廻りの支持剛性向上や振動対策を経て、目標性能を満足する製品仕様を確定した。

(2) 目標

定格点(10L/分@40kPa)の電流値：2.2A 以下

(3) 方法、結果

1) 筐体類の射出成型による試作、評価(1 次試作／平成 28 年度)

原理試作品をベースに量産前提とした射出成形で筐体類を試作した。

- ・高速連続耐久試験と HALT 試験により製品仕様に致命的な欠陥がないことを確認した。
- ・一方で、高温の環境下でのシャフト廻りの支持強度剛性の不足が原因する変形が発生した。

2) シャフト廻りの剛性向上、コストダウン(2 次試作／平成 29 年度)

・筐体に対してモータのステータ部品(コイル、コア)を組み付ける構造であった 1 次試作に対して、シャフト廻りの支持強度、剛性向上のため、ステータ部品を筐体(ボディ)にインサート成形する構造に変更し、高温環境下における変形の対策効果を確認した。

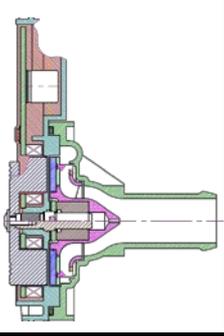
- ・一方で、特定の運転領域において、インペラの挙動不安定による、異常な振動を確認した。
- ・さらに量産化を見据えたコストダウンのため、ガスケットとボルトを使った筐体間の締結を、これらの部品を廃止できるスピン融着方式が選択できる形状に変更し、十分な接合強度を確認した。

3) 振動対策とモータ仕様の最適化(2.5 次試作／平成 30 年度)

・2 次試作で確認したインペラの不安定挙動の対策として、軸受け部にスラスト方向の運動を規制する構造変更と、ラジアル方向のクリアランスの縮小を施した。

- ・これに加え、信頼性向上を目的としたコイルの仕様の変更により、現行品同等レベルの振動加速度と、目標の電流値を達成した。

25W級の仕様比較

		原理試作 (先行研究)	1次試作 (H28年度)	2次試作 (H29年度)	2.5次試作 (H30年度) 【最終仕様】
					
筐体構造	筐体の製法	樹脂材の切削	射出成形	←	←
	ボディとハウジングの締結	ボルト+ガスケット	←	スピン融着が選択可	←
	その他		50Wへのシリーズ展開可能な構造		
ロータの運動規制	ラジアル方向	クリアランス大	←	←	クリアランス縮小
	スラスト方向	吸い口側に規制なし	←	←	吸い口側への運動規制構造追加
モータ仕様		(ベース)	←	←	コイル仕様最適化

2-2-2 【2-2】 EMC 性能の確立

(1) はじめに

昨今の自動車における電子部品増加に伴い、各々の電子部品に対して今後ますます高い EMC 性能が求められる。ポンプ性能と消費電力の目標を達成すると同時に、最低限の追加コストで自動車メーカーが定める EMC 性能を満足する必要がある。

(2) 目標

自動車メーカーの信頼性規格の評価基準を満足する。

(3) 方法、結果

1) エミッション性能の把握(1 次試作／平成 28 年度)

未対策の状態、20～300MHz 帯域におけるエミッション性能が自動車メーカーの基準に対して大幅未達であることを確認した。

2) エミッション対策の効果確認とイミニティ性能の確認(2 次試作／平成 29 年度)

- ・回路シミュレーションの結果を元に制御回路を改良でエミッション性能の改善効果を確認するも、依然として 20～300MHz 帯域において基準未達であった。

- ・イミニティ性能の計測で、多くの計測周波数のポイントにおいての誤作動が確認された。

3) エミッション対策、イミニティ対策の効果確認(2.5 次試作／平成 30 年度)

- ・制御基板のさらなる仕様変更と筐体の材料などの変更により、エミッション性能、イミニティ性能ともに現行品同等性能を実現する仕様を確認した。

- ・イミニティ性能については、対策後も作動停止する周波数ポイントが残るも、現行品と同等のポイント数で、外部からの電界を解除すると正常作動に復帰することから、対策は十分であると判断する。

2-2-3 考察

25W 級の電動ウォーターポンプで、現行品に対して、約 16%低い消費電力と同等の EMC 性能を謳える製品仕様を確定した。ただし、EMC 性能については、自動車メーカーの基準を完全にクリアするために対策部材をすべて採用するのはコスト面で困難である。事業化に際には、川下企業のコストの要求と EMC 性能の要求を両立する仕様を採用する必要がある。

2-3 【課題3】 プラマグの耐熱性向上

2-3-1 【3-1】 耐熱性を有するプラマグ材の材料開発

(1) はじめに

25W 級のウォーターポンプは従来、電動車両のインバータやモータ冷却の用途に使われており、その冷却水中で使用されるロータマグネットには 80℃の耐熱性が求められていた。一方で、エンジン車の高効率化のために採用が増加している水冷インタークーラの用途では、100℃の耐熱性が求められる。コーティングなどによるプラマグ表面の保護はコストとモータ性能の面で採用困難であり、プラマグ自身に 100℃の耐熱性が求められる。

(2) 目標

100℃×1,000 時間の浸漬試験において、磁束密度の低下が 5%以下(仮目標)

(3) 方法、結果

1) 材料の選定、試作

原理試作で採用した 80℃の耐熱性の特殊材プラマグに対して、材料メーカーとの共同開発で 100℃の耐熱性目標のプラマグを開発し、製品状態に成形した。

2) 高温浸漬試験後の減磁率の確認

現行品のマグネットロータと上記試作品を、100℃の高温槽における 1,000 時間浸漬をし、試験前後のプラマグの表面磁束密度の低下率を計測したところ、現行品(8%)に対して、当社試作品(7%)の優位性を確認した。

〈高温浸漬試験装置〉



2-3-2 【3-2】 製品での信頼性の確立

(1) はじめに

レザリッジ法を採用するプラマグ一体インペラの製法が確立し【1-1】、それに使用する耐熱性を有するプラマグ材の基礎評価を完了した【3-1】。また、目標性能を満足する製品の構造も確定した【2-1】、【2-2】。これらの最終確認のため、製品状態での信頼性を確認した。

(2) 目標

自動車メーカーが求める信頼性評価項目をクリアする。

(3) 方法、結果

1) 25W 級最終仕様を確定した。既存の現行品との比較を以下にまとめる。

- ・製品コスト : 現行品同等以下
- ・製品サイズ : 現行品比 25%低減
- ・製品重量 : 現行品比 5%低減
- ・消費電流 : 現行品比 16%減
- ・振動加速度 : 現行品同等
- ・EMC 性能 : 現行品同等

2) 信頼性の確認

【1-2】で述べる成形方式でプラマグ一体インペラを試作して、【2-1】で述べる構造変更を施した製品で、熱衝撃耐久試験(2,000 サイクル)と高速連続耐久試験(1,000h)を実施し、以下の結果を得た。

- ・プラマグ一体インペラにおける、樹脂+金属の接合部分に損傷無し。
- ・試験前後での製品性能の劣化は基準以内でありプラマグの耐熱性の問題は無い。
- ・制御基板とその電子部品ならびに半田付け部に損傷は無い。

〈高速連続耐久試験後のインペラ〉



〈熱衝撃耐久試験後の制御基板〉



2-2-3 考察

昨年度までの信頼性評価に加え、本年度の信頼性の評価結果から、ブラマグ本体及び、バックヨークとの接合部において不具合が確認できなかったことから、4 部品一体インペラとそれを採用する 25W 級製品が水冷インタークーラ冷却の用途での信頼性基準を満足することを確認した。

2-4 【課題4】シリーズ展開

2-4-1 【課題4-1】50W 級電動ウォーターポンプの開発

(1) はじめに

本題として開発を進めた 25W 級の製品は、ガソリンエンジン車の水冷インタークーラ用として使われる車種が多い。一方で、ディーゼルエンジン用には 50W 級の製品の要求がある。25W 級のシリーズ展開で競争力のある 50W 級の製品が成立することを確認した。

(2) 目標

- ポンプ性能：現行品同等
- 製品サイズ：現行品の 1/2
- 製品コスト：現行品の 2/3

(3) 方法、結果

1) 25W 級モータの磁石外径(φ40mm)を維持したまま、コイルの巻き線スペースを拡大した 50W 級のモータを設計、試作した。

2) 現行品の定格ポンプ性能(20L/分@70kPa)と同等性能となるインペラを設計、試作した。

3) 製品状態でポンプ性能を確認し、既存の現行品との比較で目標を達成した。

- ポンプ性能：現行品同等の 20L/分@70kPa を達成
- 製品サイズは、現行品比で約 1/3
- 製品コストは、現行品比で 2/3 の見込み

〈50W 試作品の外観とポンプ部〉



2-4-2【課題 4-2】160W 級電動ウォーターポンプの開発

(1) はじめに

主に先進国で電動車両が増加する一方で、全世界的には今後もエンジンが動力源の主役であり続けることが確実と予測される中、エンジンの高効率化のメニューの一つとしてエンジン冷却用ウォーターポンプの電動化が急激に進んでいる。

これまでの 25W、50W 級での研究成果と、過去の開発経験を生かして、160W 級の製品が競合力のある形で成立することを確認した。

(2) 目標

- ・ポンプ性能：現行品同等
- ・製品サイズ：現行品の 2/3
- ・製品コスト：現行品同等

(3) 方法、結果

1) 以下の基本コンセプトで製品を設計、試作した

- ・ツインロータ化(効率向上)
- ・制御基板の水冷構造(信頼性向上)
- ・EMC 特性に優れたシールド構造

2) 現行品と比較で目標を達成した。

- ・ポンプ性能：現行品同等の 80L/分@55kPa を達成見込
- ・製品サイズは、現行品比で約 1/2
- ・製品コストは、現行品同等の見込み



<160W 製品の外観>

2-4-3 考察

25W/50W 級に対し、160W 級ではロータの構造の違いと、それに伴うシール、軸受の構造の違いがあるものの、同じアキシヤルギャップ構造を採用することで、現行品と同等の性能とコストで大幅に薄型化できる仕様を確定した。

第3章 全体総括

3-1 補助事業の成果

研究開発の成果については、「3-1 成果概要」で述べる。

3-2 研究内容総括

本事業で挙げた4つの研究課題をクリアし、25W級の製品については、コスト、サイズ、性能の面で十分な競争力を持つ製品の仕様を確定した。また、50W級、160W級へのシリーズ展開が可能で、特にサイズの面で現行品に対して競争力がある製品が成立する見通しである。

3-3 補助事業後の技術課題

(1) 25W級製品のEMC対策

25W級製品では、現行品並みのEMC性能の仕様、もしくは自動車メーカーの基準をクリアする仕様を導き出すことができた。自動車の電動化とともに今後電子部品が増加の一途である状況から、必要な対策を最低限のコストとサイズの変動で採用する必要がある。

(2) プラマグの耐熱性のさらなる向上

新しい用途で、さらなる耐熱性向上のニーズがある。本事業の成果を活用しながら、新たな知見も取り入れて、このニーズに対応する設計変更を行う。

3-4 電動ウォーターポンプの事業化見通し

25W級の製品で、すでに複数の引き合いがある中で、最早の案件については、2021年からの量産に向けた情報交換を始めている。その他の案件も含めて以下の売り上げを見込んでいる。

- 2021年：1,500万円
- 2022年：5億5,000万円