

高回転・高効率 EV モータ向け沸騰冷却システム用軸シールの開発

Development of Shaft Seals for Boiling Cooling System in High-Rotation, High-Efficiency EV Motors

イーグル工業（正）*内山 智弘 （非）内田 健太 （正）福田 翔悟
（非）森田 直也 （非）森 浩一 （非）岡本 英司 （非）岩 俊昭

Tomohiro Uchiyama, Kenta Uchida, Shogo Fukuda, Naoya Morita, Koichi Mori, Eiji Okamoto, and Toshiaki Iwa

EAGLE INDUSTRY CO., LTD

1. はじめに

近年、地球環境問題を背景として EV の需要が高まっており、急速にシェアを伸ばしている。EV の更なる普及のために、各要素部品・ユニットの高効率化が求められている。中でも EV 駆動用モータは、効率化のため冷却性能の向上が大きな課題となっている。

モータ内部を直接冷却できる液体として低沸点流体、すなわち冷媒を使用することができれば、潜熱を利用することで冷却効率を高めることが可能となり、モータの更なる効率化が期待される。しかし、モータにおける沸騰冷却システムは確立されておらず、また、最適なシールが存在しないため、未だ市場には台頭していない。本稿では、沸騰冷却システムの検証および軸シールの開発について報告する。

2. 沸騰冷却における冷却能力検証

潜熱を利用した沸騰冷却の有効性を確かめるために、Fig.1 の装置を用い、冷却能力の基礎評価を実施した。冷媒は、低沸点（沸点：61℃）かつ絶縁性流体であるフッ素系溶剤（ハイドロフルオロエーテル、Novec7100）を使用した。モータケースを模擬したデシケータ内に発熱部（80℃）を設置し、冷媒供給時の冷却能力を評価した。発熱部を冷却した冷媒は蒸気となり、熱交換器で液化されると同時に外部に熱が捨てられる。発熱部表面と雰囲気温度、およびヒータ電力を測定し、熱伝達率＝冷却能力として算出した。冷媒の供給量は 100 ml/min で、連続滴下とスプレー噴霧の 2 種類で検証した。なお、比較のために ATF(Automatic Transmission Fluid, オートマチックトランスミッションフルード)を使用して油冷の評価を行った。

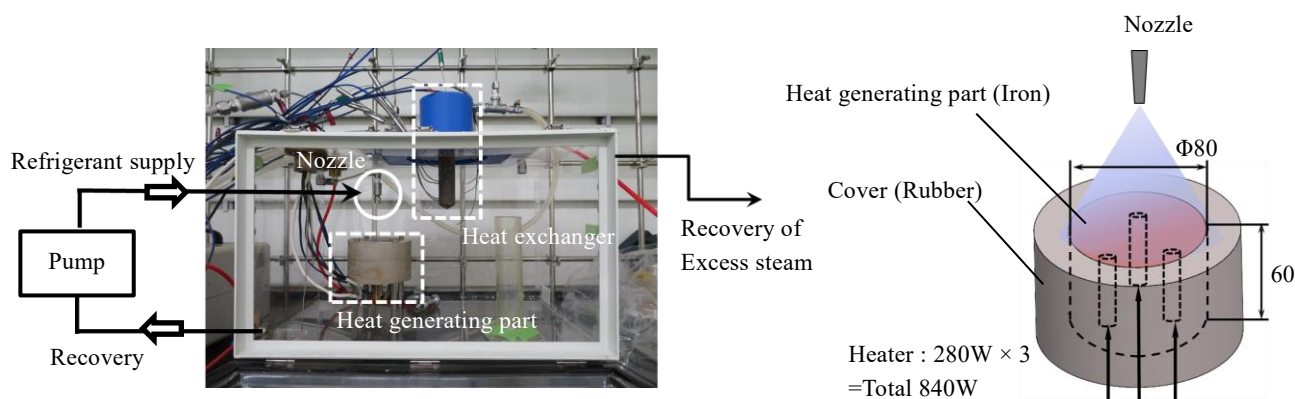


Fig. 1 Schematic drawing of experimental set up

Figure 2 に示すとおり、沸騰冷却時は油冷時と比較して熱伝達率が大きく、高い冷却能力を持つことが示された。特にスプレー噴霧時は冷却能力が高く、発熱部における冷媒の蒸発が促されていると考えられる。

当検証の他、実際の EV を用いたモータの性能評価や、モータの電磁界解析・伝熱解析を実施している。また、モータと冷却システムのモデルを連成した解析を実施し、更に、冷却能力評価で得られたデータを組み合わせ、解析精度の向上を図っている。

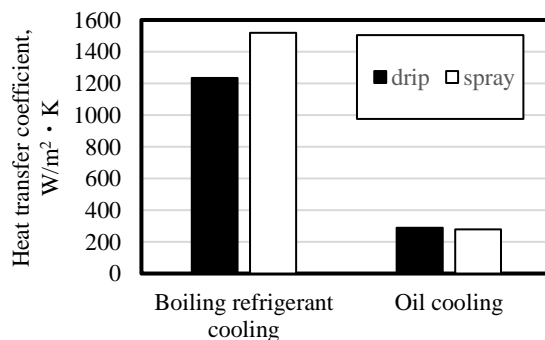


Fig. 2 Cooling capacity test results

3. 沸騰冷却システム用軸シールの開発

3.1 テクスチャ概要

現在、メカニカルシールの密封・潤滑機能の改善のため、各種の表面テクスチャ技術を適用したメカニカルシールが開発・実用化されている²⁾が、モータ内部へ充填した冷媒用のシールとしても、適用を検討している。

現在検討中のテクスチャは、冷媒を漏らさないことはもちろん、空気を吸い込みすぎないことをコンセプトとしている。これはモータ内に空気を吸い込むことによる冷却効率低下を防ぐためである。テクスチャ概略図を Fig. 3 に示す。しゅう動面への流体供給用に導入深溝(Fluid supply groove)、潤滑機構として動圧溝(Hydrodynamic groove)、密封機構として吸込み溝(Pumping groove)を、両回転対応とするために左右対称に設置している。そして内周側に円環の深溝(Circumferential groove)を追加することで、過剰な吸込みの防止を狙っている。なお、適用する軸径は $\Phi 22$ とした。

3.2 回転試験方法

シールの機能評価として、回転試験を実施した。試験装置の概略は Fig. 4 に示すとおりで、冷媒温度およびトルクを計測した。なお、トルクはシールおよび軸受の合算値を計測している。タンクに密封流体として冷媒を封入し、タンク内圧力は 0.4 MPa、冷媒温度は室温から成行きで上昇、回転数は Max. 16,000 rpm とした。

3.3 試験結果および考察

回転数とトルクの関係を Fig. 5 に示す。トルクは回転数に大きく依存せず、低い値を示した。また、16,000 rpm で 2.5 h 連続運転させた結果を Fig. 6 に示す。冷媒の温度は 70℃ 程度まで上昇したが、全域で安定した低トルク特性を示した。試験後のしゅう動面にしゅう動痕等は見られず、問題なく潤滑できていることが確認できた。

密封機能として、液体の滴下漏れは生じなかった。しかしながら、冷媒の蒸気としての漏れは生じてしまうため、今後の課題となる。

また今後は、圧力・温度・回転数等の使用条件が、トルクや漏れに及ぼす影響について検証を進めていく。

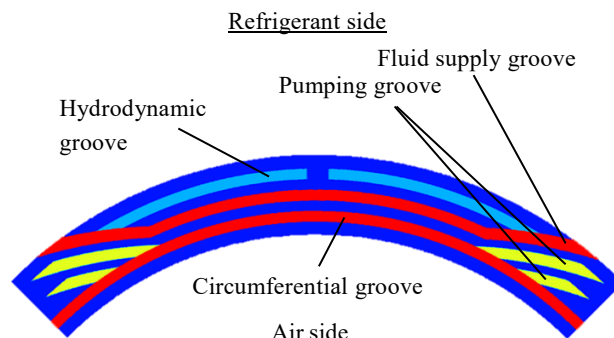


Fig. 3 Texturing structure for boiling cooling system

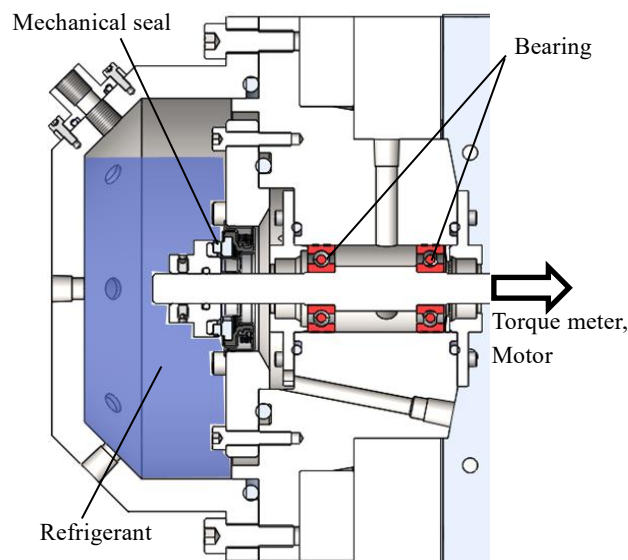


Fig. 4 Schematic drawing of experimental set up

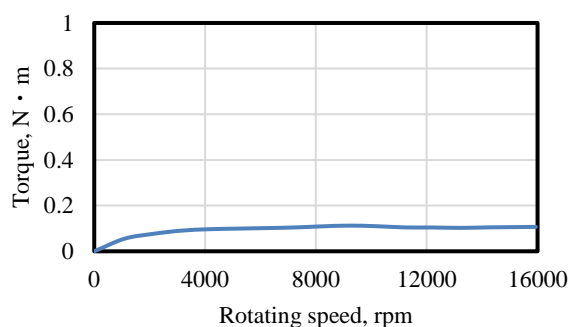


Fig. 5 Relationship between rotation speed and torque

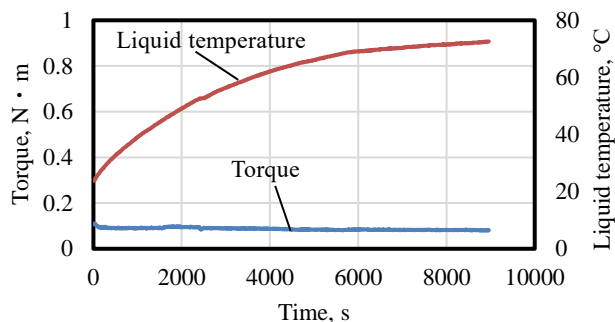


Fig. 6 Rotation test results in 16,000rpm

4. まとめ

EV モータ内部を直接冷却する方法として、低沸点流体を利用する沸騰冷却システムの成立可能性を探るため、冷却能力とシール機能の検証を行い、下記の結果を得た。

- (1)低沸点流体を使用する沸騰冷却は、従来の油冷よりも冷却能力が高いことを確認した。
- (2)テクスチャ技術を適用したメカニカルシールは、回転数や温度に大きく依存せず、安定した低トルク特性を示した。

上記の結果に基づき、低沸点流体で内部を直接冷却するモータを試作し、沸騰冷却システム全体の検証を進める。

文献

- 1) 細江・板谷：電気自動車用モータ冷却シール技術に関わるトライボロジー，トライボロジスト，65, 3(2020)140
- 2) 徳永：メカニカルシールの摩擦低減技術の最新動向，トライボロジスト，62, 4(2017)274