

液浸冷却用途における誘電性流体用エステル ～電気自動車 e-axle 向け低粘度エステルの紹介～

Ester for Dielectric Fluids in Immersion Cooling Applications

～Introduction of Low Viscosity Esters for Electric Vehicle e-axles～

BASF ジャパン株式会社(正) *門田大司, BASF SE(非) Edith Tuzyna, BASF SE(非) Jan Strittmatter

Futoshi Kadonome*, Edith Tuzyna**, Jan Strittmatter**

*BASF Japan Ltd., **BASF SE

1.はじめに

液浸冷却は、ハードウェア部品を非導電性の流体(誘電性流体)に浸漬して熱を逃がす冷却方法として広く知られている。液体の粘度、密度、熱容量、熱伝導率の組み合わせとしての熱伝達効率は、一般に気体よりもはるかに高いため、空冷と比較して、浸漬冷却ではより効果的に熱管理できる特長がある。誘電性流体は、優れた熱伝達、粘度、電気特性、および広範囲の温度での安定性などの必要な流体特性を満たすように設計されている。また、近年潤滑剤の環境への影響がますます懸念されており、誘電性流体は、冷却用途の全体的なエネルギーと CO₂排出量を削減することでプラスの貢献をすることができると考えられている。

本講演では、当社において実施した液浸冷却向けの合成エステルに関する用途の事例および電気自動車 e-axle 向けの低粘度エステルに関する評価結果について紹介する。

2. 液浸冷却の用途について

以下に液浸冷却の用途について事例を紹介する。

2-1. e-ドライブトレイン

e-モビリティのドライブトレインは、主にギア、インバーター、e モーターなどの部品で構成され、減速機の効率的な潤滑と e モーターの効果的な冷却が必要である。いわゆる乾式のシステムでは、ギア面は適切なオイルで潤滑され、電気モーターは水性流体などで間接的に冷却される。一方、湿式システムでは、ギア面の潤滑と電気モーターの直接冷却のために単一の誘電性流体が適用される。現在、どちらのシステムも使用されているが、湿式のシステムは、よりコンパクトで効率的な設計を可能にする主要な技術である。先進の電動ドライブラインフルードは、達成に向けた幅広い性能要件を満たす必要がある。たとえば、高い熱安定性と酸化安定性、優れた熱管理、最適化された電気伝導率があげられる。効率と熱管理の改善には、粘度が低いことが好ましいが、ギア保護のための十分な潤滑がハードウェア保護の鍵となるため、粘度低下には制限がある。

2-2. EV バッテリー

電気自動車の普及に向けた重要な課題は、航続距離の大幅な拡大と充電時間の短縮である。超急速充電には、電気自動車のバッテリーの効率的な熱管理の課題が伴う。同時に、バッテリーの過熱は重大な安全上のリスクをもたらす可能性もある。今日、自動車 OEM の大多数は、水グリコール系流体が使用されているバッテリーの間接液体冷却に依存している。しかしながら、バッテリーシステムの直接液浸冷却は、熱管理を改善するための重要な新技術の一つと考えられる。この場合の液浸冷却とは、動作中に発生する熱を放散するために、バッテリーセルを誘電性流体に浸すプロセスである。これにより間接冷却技術と比較してより効率的な熱除去により、超急速充電が可能になる。液浸冷却の利点としては、超急速充電を実現、効率的な熱伝達性能、冷却能力の向上と熱制御の改善、潜在的な熱暴走の低減、信頼性とバッテリー寿命の向上が挙げられる。

2-3. エネルギー貯蔵システム

持続可能なエネルギー・システムへの移行には、再生可能エネルギーの大幅な増加と、再生可能エネルギーの変動に対応できる堅牢な電力網が必要である。EU だけでも、2030 年までに全エネルギーの~45%を再生可能エネルギーで賄うことを目指している (EU Renewable Energy Directive (RED))。エネルギー貯蔵により、グリーン電力を効率的に使用することができ、電力網の安定性と信頼性が維持される。電力網が直面する課題は、エネルギー貯蔵を確実かつ安全に運用および保守することである。バッテリーを効果的に動作させるには、バッテリーを最適な温度に保つ必要があるため、パフォーマンスを維持し、安全性を確保するためには熱管理が重要である。液浸冷却は、セルのすべての領域を確実に冷却し、ホットスポットのリスクを減らし、熱伝播のリスクを最小限に抑え、エネルギー効率を確保することに貢献する。その利点としては、最大のバッテリー性能と寿命、信頼性と安全性の向上、環境への影響の最小化などが挙げられる。

3. 誘電性流体に合成エステルを選択する理由

ベースオイルの選択は、誘電性流体の要件を満たし、性能バランスをとるためにも重要である。合成エステルは、最適な熱管理と電気的特性を達成するための望ましい性能と特定のニーズに合わせて製品を調整することに優れた柔軟性を有している。¹⁾また、e-ドライブライン、電気自動車のバッテリーなど、さまざまな液浸冷却用途の誘電性流体で使用するために開発がされている。高い火災安全性、効率的な冷却、持続可能性が重要な場合に常に優れた性能を発揮する独自の性能特性を備えた設計が可能である。そのため前述のような用途に使用される主要な基油として、または他の基油技術と組み合わせて使用して、重要な性能特性を改善するのに適している。Table. 1 に液浸冷却用途の合成エステルで効率的かつ持続可能な冷却が重要なケースについて示す。

Table. 1 液浸冷却用途の合成エステルで効率的かつ持続可能な冷却が重要なケース

Safety Operation	Efficient cooling	Optimal electric properties	Excellent friction performance	Eco-friendliness
<ul style="list-style-type: none"> • High flash point • High fire point • Increased protection against fire • Exceptional chemical stability 	<ul style="list-style-type: none"> • Ultra low viscosity • Exceptional heat capacity • Outstanding thermal conductivity 	<ul style="list-style-type: none"> • Low electric conductivity • High breakdown voltage • High performing dielectric fluid 	<ul style="list-style-type: none"> • Excellent lubrication critical for e-driveline • Low traction coefficients for energy efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> • Readily biodegradable • Nontoxic • High renewable content • Low global warming potential (GWP)

4. E-axle 向けの合成エステルについて

上述のように、合成エステルは効率的な冷却性能をはじめ様々な特性を有している。e-axle 向け用途としては、高次元でのギア・ペアリングの高い潤滑性や電装部品の電気絶縁性などが要求される。我々は、これら要求水準を満たし、かつ低粘度である合成エステルを選定し評価を行った。

図 1 は、異なる基油における熱伝達の有効性の指標である Mouromtseff 数と動粘度について関係を示す。Mouromtseff 数については、 $M_0 = (p^{0.40} \times k^{0.20} \times C_p^{0.40}) / \mu^{0.20}$ の計算式に基づき動的粘度 μ [cP]、密度 p [kg/m³]、熱伝導率 k [W/mK]、および熱容量 C_p [kJ/KgK] から計算した。²⁾ 粘度は基油の特性であり、熱伝達の改善にも大きく影響を与えるものである。エステルについては合成技術により様々な組み合わせで粘度をコントロールすることができるが、PAO や Group III の基油に比べより広い範囲で特定の粘度に対して熱伝達性能の異なるエステルを柔軟に調整することが可能であることを示している。

次に液浸冷却に必要な電気特性として、Table. 2 に様々なタイプの合成エステルについて、粘度と絶縁破壊電圧の測定データを示す。絶縁破壊電圧は、誘電性流体が電気的ストレスに耐える能力を示し、数値の高いものほどより優れているといえる。エステルは炭化水素系の基油と比較して高い絶縁破壊電圧を有し、高い含水率に耐えることができる。

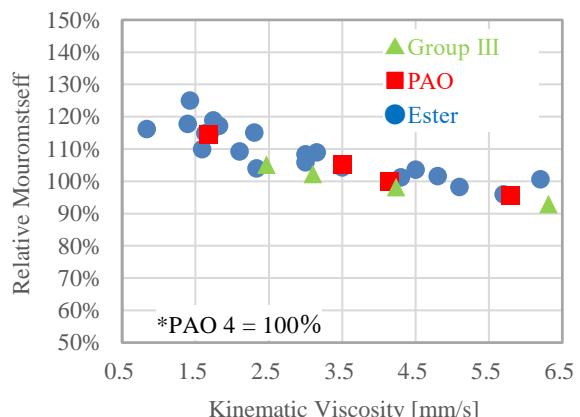


Fig1. Relative Mouromtseff for laminar external flow at 100C

Table. 2 合成エステル製の絶縁破壊電圧

Synthetic Ester	Ester1 Monoester	Ester2 Polyolester	Ester3 Diester	Ester4 Diester	Ester5 Polyolester	Ester6 Diester	Ester7 Polyolester
Kinematic Viscosity at 40°C (mm ² /s)	5.1	7.5	11	11.5	19.8	23.4	26.7
Dielectric Properties							
Breakdown Voltage (kV) [IEC 60156]	60	68	62	91	84	86	95

次に合成エステルと Group III 基油の MTM 試験結果の比較を Fig. 2 に示す。合成エステルは、効率とギア保護のための優れた潤滑性を付与することができるが、Group III 基油などの他の基油技術よりも優れていることが示唆された。

5. 文献

- 1) 月刊トライボロジー 2024. 7 「EV 向けフルードの技術動向と要求特性」 p. 17-p. 21
- 2) A. E. Bergles : "Evolution of Cooling Technology for Electrical, Electronic, and Microelectronic Equipment", IEEE Trans. Adv. Packag., Vol. 26 (2003) 6.

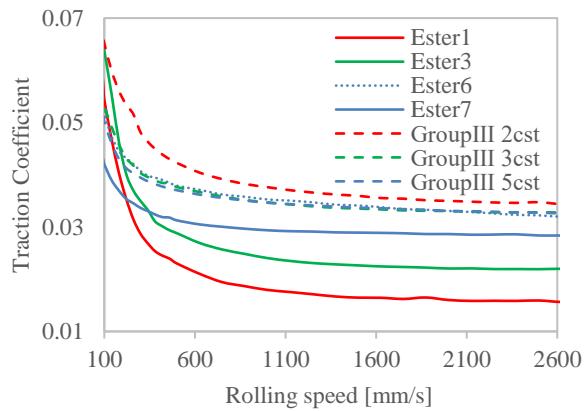


Fig2. MTM test results at 70C, 38N, 50% SRR