

カーボンニュートラルに貢献するグリース技術 Grease Technology Contributing towards Carbon Neutrality

シェルジャパン(株) (正) *三上 寛翔 (正) 田中 啓司

Hiroto Mikami, Keiji Tanaka

Shell Japan Limited

1. はじめに

地球温暖化対策として、温室効果ガスである CO₂ の削減が求められている。近年では、CO₂ を見える化する仕組みとして、「製品のライフサイクルアセスメントに基づき、当該製品が排出した温室効果ガスと除去・吸収した温室効果ガスの合計を CO₂ 排出量相当(CO₂e)に換算したもの」と定義されるカーボンフットプリント(CFP)の算出が各産業分野において関心を集めつつある¹⁾。IEA の調査によると、中型エンジン車のライフサイクルにおける CO₂e は 1 台あたり 46.1 t CO₂e であり、車両生産時には原料やその加工によってライフサイクル全体の約 8%、車両運用中には燃料生産やその燃料燃焼によってライフサイクル全体の約 92%の CO₂e が排出すると推定されている²⁾。また、Holmberg らは代表的なエンジン車であれば、燃料の全エネルギーの内、33%を摩擦損失していることを試算している³⁾。したがって、温室効果ガスの削減には車両の一原料に位置するグリースそのものの CFP 低減だけでなく、車両運用中の燃料消費を抑えるため、摩擦損出を低減させ、機械の効率化に貢献し得るグリースの設計も検討に値する。

ここではグリース製造過程における CFP 算定の一事例と、機械の高効率化に資する可能性のあるグリース組成の報告事例について紹介する。

2. グリース製造工程が CFP に与える影響

シェルはグリース製造時の CFP を把握するため、グリース製造工場にて、製造時に使用する各エネルギー使用量を測定した。Fig.1 にはエネルギー使用量を基に、リチウムグリース(Li)を 100 としてウレアグリース(PU)、カルシウムグリース(Ca)、リチウムカルシウムグリース(LiCa)、金属複合セッケングリース(Complex)、クレイグリース(Clay)といった増ちょう剤種別に算出されたグリース製造時の CFP を示す。一般にリチウムグリースは脂肪酸と水酸化リチウムを基油に加えた後、けん化反応によって生成された水分を脱水させ、さらにリチウム石けんを溶解もしくは半溶解させるために 200℃前後までの加熱を要する⁴⁾。一方、ウレアグリースはイソシアネートとアミンを基油に加えた後、化学反応によって生成したウレア化合物を基油に分散させることで得ることができ、比較的低い温度での製造が可能である⁵⁾。増ちょう剤種によって CO₂e が大きく異なるのは前述の通り、グリースの反応プロセスの違いによって生じていることが示唆される。また、Fathi - Najafi らの検討より、同一増ちょう剤であっても使用する基油の違いや、製造プロセスの違いによって温室効果ガス排出量が異なることが指摘されており、製造工程の改善によって、これまでよりも、更に環境負荷の低減が期待されるグリース製造が実現する可能性がある⁶⁾。

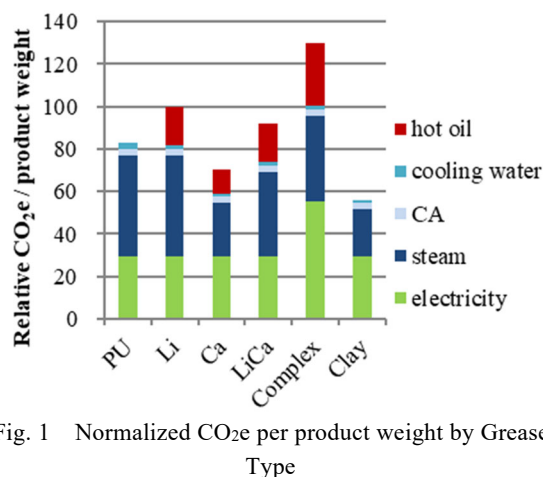


Fig. 1 Normalized CO₂e per product weight by Grease Type

3. 高効率化に寄与する低トルクグリースの検討

車両には多くの軸受が使用されており、軸受は、玉やころなどの転動体を用いて、転がり摩擦により機械の回転部を支持する部品である。グリースはチキソトロピー性と非ニュートン性の流動特性を有する潤滑剤であることから、漏れにくい潤滑剤として軸受に広く使用されている。しかし、その特異なレオロジー特性により、回転を伴う軸受のグリース流動挙動の理解は非常に複雑になる。

グリースのレオロジー特性と軸受のトルク特性の関係を検証するため Table1 に示すグリースを用意した。供試グリースは、まず基油に高度精製油を用い、混和ちよう度を 250±10 に統一し、異なる増ちょう剤を有するグリースを試作した。尚、グリース A とグリース B はいずれも脂肪酸アミンと 4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネートとの反応により合成されたジウレア系増ちょう剤である。両者の違いは使用されたアミンの炭素鎖長にあり、グリース A では比較的短鎖の脂肪酸アミンを用い、試作グリース B ではより長鎖の脂肪酸アミンを用いた。試作グリースのレオロジー特性の測定は ISO 13227:2025 に準拠し、レオメーター装置(TA instruments 製 DHR-2) を用いて実施した。試作グリースの回転トルクの測定は非接触シール付き 6202 軸受に 7.5 g ±0.1 g のグリースを封入し、トルクメーター(菅原研究所製 ATP-100MN-200NR, ETM-GM04, ADM-102)を用いて実施した。試験条件は、室温雰囲気においてアキシアル荷

Table 1 Composition and properties of the test grease samples

Sample code		A	B	C	D	E
Thickener	Type	Aliphatic diurea (A)	Aliphatic diurea (B)	Alicyclic diurea	Aromatic diurea	Lithium soap
	Concentration, mass%	12.0	17.0	17.0	30.0	7.8
Kinetic viscosity of base oil, cst@40°C		44.00				
Worked penetration		248	243	251	259	257
Yield point(τ_y), Pa@25°C		95	358	236	151	134
Flow point (τ_f), Pa@25°C		877	1650	518	508	776
The yield-flow transition index (τ_y/τ_f)		9.20	4.60	2.19	3.36	5.81
Stirring loss energy, N·m·s		8.2	16.3	18.5	16.8	14.3

重を 29.4 N 負荷し、内輪回転速度を 1800min^{-1} で一定とし、30 分間の試験を実施した。各グリースのトルク性を評価するため、測定期間の回転トルクを時間積分することで攪拌損出エネルギーとして算出した⁷⁾。試験回数はそれぞれ $n=2$ 以上測定し、その平均値を用いた。

Table 1 には測定によって得られた試作グリースの各レオロジー特性と攪拌損出エネルギーの結果を示した。ここで the yield-flow transition index (FTI)は流動応力(τ_y)を降伏応力(τ_f)で除算し得られる指数であり、FTI が 1 に近く、値が小さなグリースとは、流動応力と降伏応力が近似し、増ちょう剤ネットワークのような内部構造が外部応力によって変形した直後に持続的な流動を開始する脆い材質であることを意味する。Fig.2 では FTI と攪拌損出エネルギーの間で相関が確認でき、FTI が 1 に近く、脆いグリースほど攪拌損出エネルギーが高いことを示した。S. Chatra らによると、高速せん断速度に適応できるような柔軟性を有するグリースはより早期にチャーニングを終え、チャーニングへ移行することが報告されており、FTI が大きいグリースもそのしなやかさによって、軸受の回転部への過度なグリース流入をすることがなく、攪拌抵抗を抑えることができているのではないかと述べている⁸⁾。このことから、同一の基油粘度であってもグリースのレオロジー特性を改良することで、従来よりも優れたトルク特性を発現するグリースが得られることが期待される。

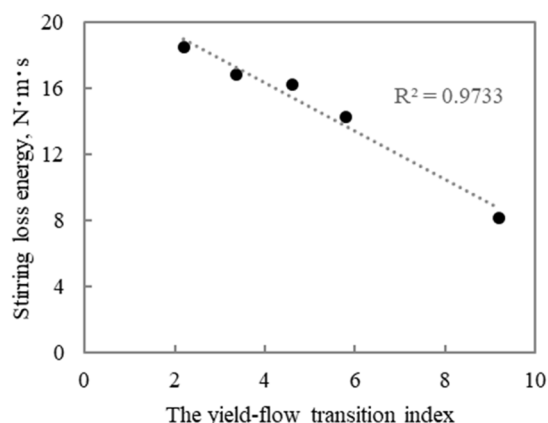


Fig. 2 Relationship between stirring loss energy and the yield-flow transition index

4. おわりに

グリース製造過程における CFP 算定の事例と、機械の高効率化に寄与するグリース組成の報告事例について調査した結果、グリース製造過程では反応プロセスに由来して、増ちょう剤種毎に CFP が異なる傾向を示した。一方、製造過程での環境負荷が比較的低い傾向を示すウレアグリースもグリース組成に依ってはリチウムグリースよりも高いトルク特性を示した。従って、カーボンニュートラルの達成には原料やその加工工程だけでなくライフサイクル全体にわたってグリース組成を検討が重要となる可能性があり、製造工程改良やグリースの流動特性の解明によって、より持続可能な社会の実現に向けた一歩になることが期待される。

文献

- 1) International Standard: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification, ISO 14067:2018 (2018). (<https://www.iso.org/standard/71206.html>)
- 2) International Energy Agency: Global EV Outlook 2024.(2024) (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/a9e3544b-0b12-p4e15-b407-65f5c8ce1b5f/GlobalEVOutlook2024.pdf>)
- 3) K. Holbmerg & A. Erdemir: The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars, Tribol. Int., **135**, (2019) 38
- 4) W. Harold A & P. Jacobus M: Lithium soap grease, US Patent 2351384, (1944)
- 5) 松沢, 尾崎, 倉橋, 安藤, 一丸: ウレアグリース組成物, 特許第 1480329, (1989)
- 6) M. Fathi-Najafi, A. Dodos, G. Dodos & J. Kay: Grease Production, CO2 emission...a New Relationship!, NLGI Spokesman, **84**, 2(2020) 6.
- 7) 津田, 山下, 吉崎, 黒川, 新井: 転がり軸受の攪拌損失エネルギーに及ぼすグリースのレオロジー特性, トライボロジスト, **66**, 8 (2021) 646
- 8) S. Chatra K R & P. M. Lugt: Channeling behavior of lubricating greases in rolling bearings: Identification and characterization, Tribol. Int., **143**, (2020), 106061