

技術紹介

# 自動車用ショックアブソーバ作動油に用いる 化学合成基油の有効性 環境負荷低減と乗り味性能を両立した【サステナルブ®】

加藤 慎治 ・ 安河内 直樹 ・ 石田 幸也

## 1 はじめに

近年、カーボンニュートラル（以下CN）の推進やSDGsへの対応が社会的に注目され、自動車部品にもいっそう高い環境性能が求められている。本報はカヤバの事例報告として、合成エステル基油（配合詳細は非開示）を用いた環境負荷低減の取り組みと、その走行性能検証について述べる。当社では、生物由来および循環由来の原料（例：植物油・藻類油・回収油脂由来の脂肪酸）を活用した基油設計を進めており、以下、これらを「循環由来原料」と総称する。現状は植物由来脂肪酸を主原料とする合成エステル基油を対象とするが、将来的には藻類油や回収油脂由来モノマー等への置換にも適用可能な拡張性を備えている。

環境負荷低減の具体策としては、循環由来原料の活用、製造時のCO<sub>2</sub>排出量を抑制し得る化学合成基油（本報では合成エステル基油）の採用、さらには万が一漏出した際の生分解性向上などが挙げられる。これらはライフサイクル全体の環境影響を低減し得る一方で、作動油としての基本性能の確保と両立させる必要があり、その設計と検証が課題である。

一方、ショックアブソーバの作動油（写真1）はサスペンションの摩擦特性に直接関与し、車両の乗り心地や操縦安定性に大きな影響を与える。なかでも、摩擦レスポンス特性の調整は路面入力に対するショックアブソーバの応答性を左右し、乗員の快適性や車両の安定性に直結するため、乗り味の質的向上に向けた重要な技術課題である<sup>1),2)</sup>。本報では、合成エステル基油を用いた新たな作動油設計技術について、摩擦レスポンス特性の定量評価および実車試験による乗り味改善の検証を通じてその有効性を示す。環境性能と走行性能の両立を目指す作動油設計の一例として、将来の実用化に向けた有効な技術



写真1 ショックアブソーバ作動油

的アプローチであることを示す。

## 2 技術開発の背景と目的

従来の作動油は石油由来基油を主成分としており、生分解性やCO<sub>2</sub>排出量の観点から環境負荷が懸念されてきた。そこで、循環由来原料を用いた合成エステル基油を採用することで、OECD 301Fの判定基準を満たすことを目標とし、CNにも貢献し得る作動油の開発を目指した（図1）。

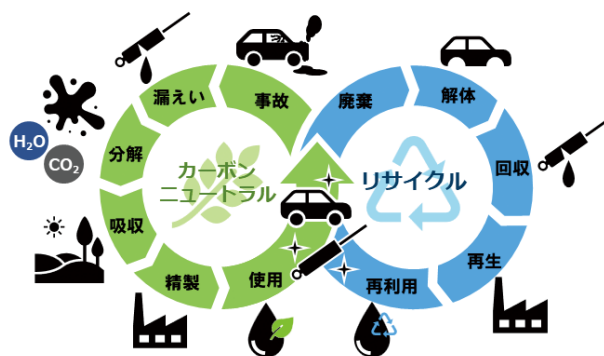


図1 作動油の環境負荷低減の取り組み

乗り味に関しては、微小入力領域（良路でしばしばピストン変位 $\pm 1.5\text{mm}$ ・ピストン速度 $\pm 30\text{mm/s}$ 以下）での応答が支配的であり、この領域では作動油の圧縮性に起因する油柱剛性の影響により、運動反転直後の油圧による減衰力が立ち上がりやすく、ヒステリシスを伴って減衰力が加速側に偏りやすい。したがって、極低速・微振幅域では全減衰力に占める摩擦の寄与が大きく、サスペンションの初期応答は「摩擦の立ち上がり方」に強く依存する<sup>1),6)</sup>。（図2、図3）

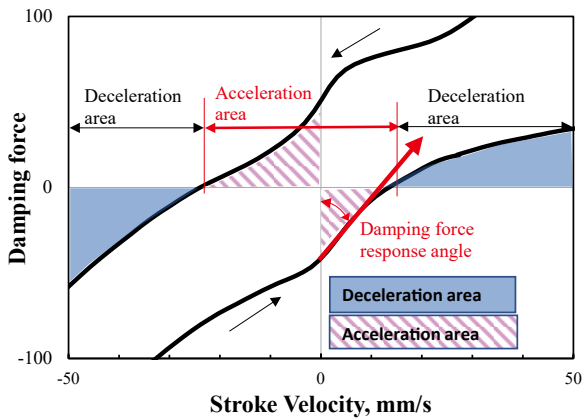


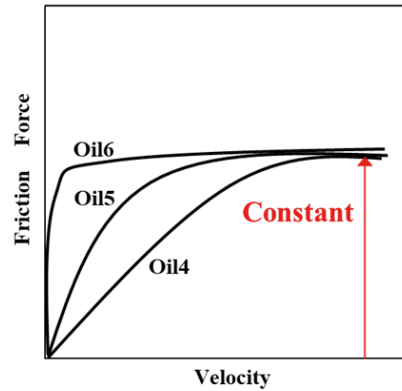
図2 ショックアブソーバ速度ゼロ近傍のF-V波形

以上のメカニズムを踏まえ、本報では環境性能と乗り味の両立を目指し、摩擦の「量」ではなく反転直後の立ち上がり勾配=摩擦レスポンス（図3 (b)）に着目した作動油設計指針を採用した<sup>4),5)</sup>。すなわち、摩擦の大きさをほぼ保持したまま勾配のみを調整し、油圧減衰が働きにくい微小入力域での初期応答を最適化することで、乗り心地の悪化を招かず縦安定性の向上を図る。従来の静特性中心の減衰力評価では捉えきれなかったこの過渡領域の改善を、ベンチおよび実車で定量的に検証する<sup>1)</sup>。さらに、氷上（低 $\mu$ ）における実走評価も実施し、微小入力・低速度域での体感傾向を確認した。

### 3 要素試験と評価指標

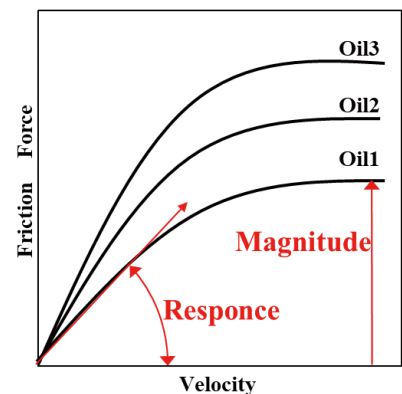
要素試験には往復動ピン・オン・ディスク型摩擦試験装置を用い、正弦波変位制御において、振幅 $\pm 0.1\sim 2.0\text{mm}$ 、最大速度 $62.8\text{mm/s}$ の往復運動条件下で微小振幅領域における摩擦挙動の変化を高精度に捉えた。

摩擦力はピン軸に取り付けたひずみゲージで計測し、油温は $30^\circ\text{C}$ に制御した（図4）。



Friction response adjustment

(a)摩擦の大きさを変える技術



Friction force adjustment

(b)摩擦の応答性を変える技術

図3 摩擦調整技術

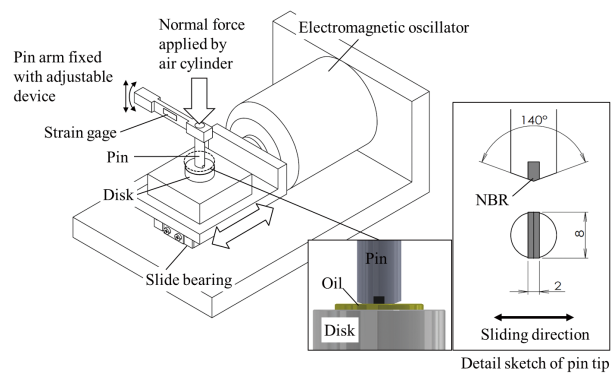
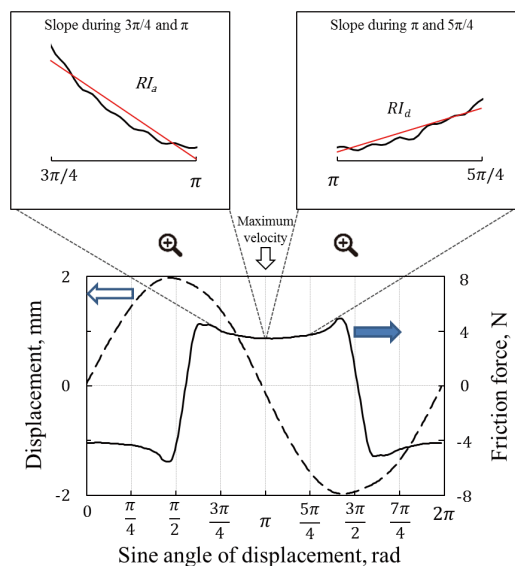


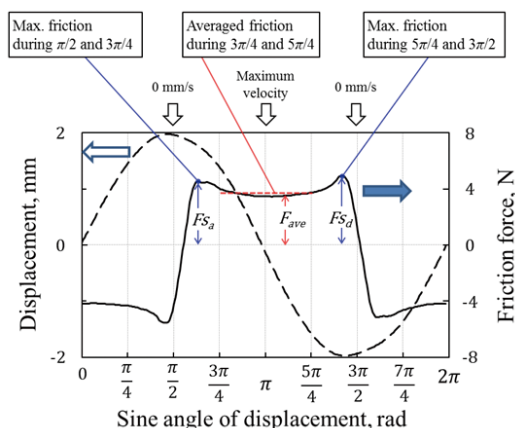
図4 動的摩擦計測システムと試験片形状の概略図

ショックアブソーバ用油の摩擦特性は、次の4指標で定量化した<sup>3), 4)</sup>(図5)。

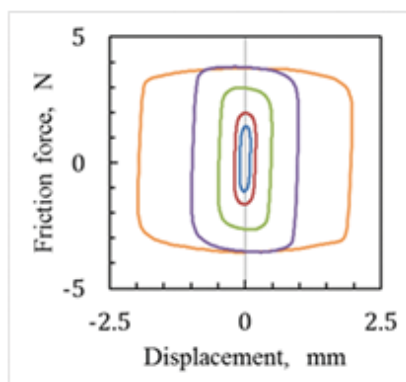
$\mu_{RMS}$  (平均摩擦),  $SI$  (摩擦レスポンス),  $RI$  (丸さ指標),  $AI$  (振幅依存性)



$SI$  (摩擦レスポンス)



$RI$  (丸さ指標)



$AI$  (振幅依存性)

図5 動摩擦特性を評価するための指標

これらにより、摩擦の「量」( $\mu_{RMS}$ )だけでなく、「摩擦レスポンス」( $SI$ )他、動的摩擦特性が乗り味に影響する要素を設計軸として捉えることが可能となる。参考文献の知見を踏まえ、本報では特に乗り心地との相関が強いとされる平均摩擦 ( $\mu_{RMS}$ )と摩擦レスポンス ( $SI$ )に焦点を絞って検討した。 $SI$ は反転直後の摩擦立ち上がりを定量化する指標であり、乗員が感じる「初期応答の素直さ」や「接地感」に強く影響することが実験的に確認されている<sup>4), 5)</sup>。

なお、摩擦調整技術(摩擦調整剤の化学種・配合量、設計手順等)の詳細および指標の導出・算出方法の詳細は参考文献1)~8)に譲り、本報では評価指標の結果と実車評価を中心に述べる。

これらの指標を用いることで、従来の減衰力評価では捉えにくかった微小入力領域での応答性を設計に反映でき、乗り味の質的向上に向けた作動油設計の新たなアプローチが得られる<sup>4), 5)</sup>。

#### 4 実車試験方法と解析技術

実車試験では、評価用路面を30km/hで定速走行する条件でショックアブソーバに加速度センサを装着し、高サンプリングレートでデータを収録した。収録データにFFTフィルタ処理を施した後、数値微分により速度・変位を算出し、サスペンションの応答挙動を評価した。(以下、ウェーブレット解析)

この手法により、従来の減衰力評価では捉えにくかった運動反転直後の高周波振動を抽出でき、摩擦レスポンスの違いが乗り味に与える影響を定量評価するための解析基盤を構築した。なお、本解析は微小入力領域における応答性の差異を高精度に把握することを目的としており、とくに $SI$ との相関検討に有効である<sup>1), 6)</sup>。

#### 5 実車試験結果と体感評価

同じ減衰力特性でも、作動油の摩擦特性 $SI$ の違いだけで、車両の応答や接地感に明確な差が出ることを確認した。 $SI$ は「大きければよい/小さければよい」といった単純な指標ではなく、適正範囲に合わせ込むことが重要となる。

##### 5.1 試験概要

本検討では、車両・ダンパ・バルブ仕様を固定し、作動油のみを変更した3処方(①②③)を比較した。各処方の平均摩擦 ( $\mu_{RMS}$ ) および摩擦レスポンス ( $SI$ ) を表1および図6に示す。

ウェーブレット解析(CWT, アスファルト)では①・

②・③の3処方と比較した。

条件：アスファルト舗装テストコース／30km/h(定速)／車両：トヨタ・カローラ スポーツ. 変更点は作動油のみとした。

実走官能評価（氷上・低 $\mu$ ）では②・③の2処方を比較した。

条件：車両：トヨタ・ヤリス（同一仕様・各一台）／外気温：-5℃／天候：晴れ／路面：氷上（低 $\mu$ ）。

表1 実車評価用作動油の摩擦特性

記号	基油・処方	平均摩擦 ( $\mu_{RMS}$ )	摩擦レスポンス (SI)
①	鉱油・従来処方	低	低
②	鉱油・最新処方	中	高
③	合成エステル基油 + 摩擦調整剤	低	中

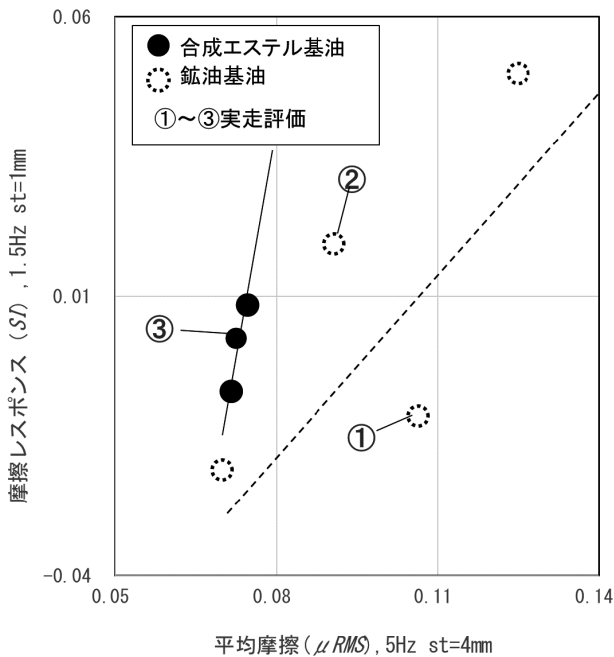


図6 平均摩擦 ( $\mu_{RMS}$ ) と摩擦レスポンス (SI) の関係

## 5.2 解析結果

図7にウェーブレット解析 (CWT, アスファルト, 30km/h, カローラ スポーツ) の結果を示す。①従来処方に対し、②最新処方および③合成エステル基油+摩擦調整剤では、100-250Hz帯域の高周波成分が低下する傾向を示した。これは運動反転直後の加速度ピークが摩擦特性、とくに摩擦レスポンス (SI) の最適化により抑えられたためと考えられる。以上より、摩擦の「量 ( $\mu_{RMS}$ )」と「立ち上がり方 (SI)」の設計が実走応答に反映されることが示された。

また、①②③の100-250Hz帯域を比較することで、摩擦レスポンスの最適化前後における特徴を整理した。

## 5.3 官能評価結果

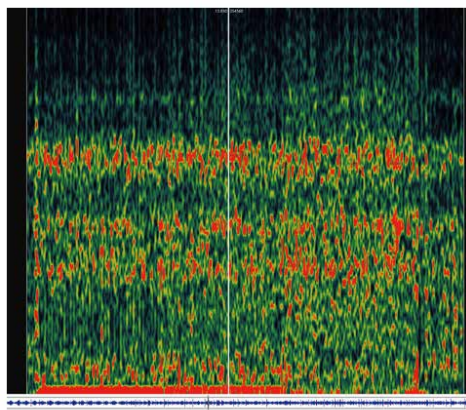
氷上は路面摩擦係数 ( $\mu$ ) が小さく、接地性能の差が官能評価に出やすい。微細な凹凸やスリップグリップの繰り返しにより高周波入力が生じる一方、ピストン速度がゼロ近傍に滞在する時間が相対的に長く、油圧減衰の立ち上がりが弱くなりやすい。結果として、反転直後の摩擦レスポンス差が表れやすい条件となる。

## 評価結果

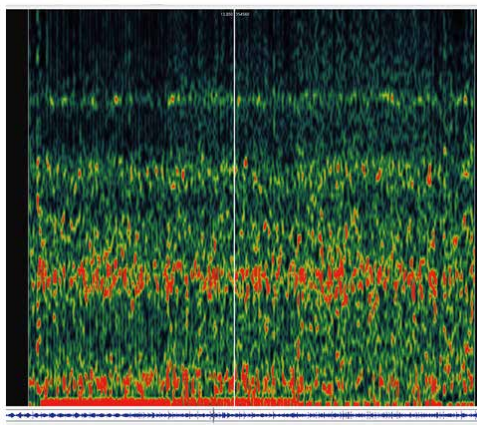
官能評価（定量計測は未実施）では、プロドライバーから「初期応答が素直」「接地感が向上」「まるで違うタイヤを履いているようだ」との評価が得られた。一般ユーザーからも「ガタガタ道がまるやか」「操作性が良い」「安定感がある」との声が得られ、摩擦レスポンス差が明確な体感差として現れた(表2)。

## 5.4 まとめ

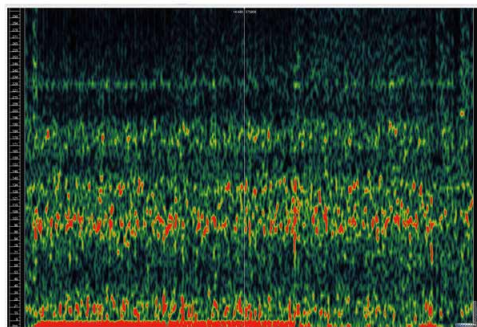
- (1)SIは「ほどよい範囲」がある：過大だと乗り心地が悪化し、過小だと接地感が薄れる傾向を示す。最適点の探索には実走での微調整が欠かせない。
- (2)平均摩擦 ( $\mu_{RMS}$ ) は「下げれば良い」だけではない： $\mu_{RMS}$ 低減は乗り心地に寄与する一方、摩擦レスポンス (SI) との同時最適化が鍵となる。
- (3)③（合成エステル基油+摩擦調整剤）の意義：低平均摩擦・中レスポンスという特性は、本組み合わせで初めて狙える設計領域である。従来は到達しづらかった摩擦レスポンスの「量×立ち上がり方」のバランス点を示し、環境面の利点に加えて走行性能面でも有意なメリットとなる。



① 鉱油 従来処方 (低平均摩擦)



② 鉱油 最新処方 (高レスポンス)



③ 合成エステル基油 (中レスポンス)

図7 実走ウェーブレット解析帯域比較 (SI 最適化前後の特徴)

表2 ドライバーコメントの整理 (低μ路)

対象	観点	代表コメント (引用)
プロドライバー (複数名)	滑らかな動き	「荷重がちゃんと移動してハンドルが効く」 「ゆっくり切っても滑らか」
プロドライバー (複数名)	応答性の向上	「初期の応答性が線形的に緩やかに出る」 「細かいところから動き始める」
プロドライバー (複数名)	タイヤ性能の向上感	「まるで違うタイヤ履いているみたい」
プロドライバー (複数名)	グリップ限界の改善	「グリップの限界をすぐ超えない」
一般ユーザー (複数名)	滑らかな動き	「ガタガタ道がまろやか」「ちゃんと反応する」
一般ユーザー (複数名)	応答性の向上	「軽く操舵した時にちゃんと反応」 「スラローム速度が上がる」
一般ユーザー (複数名)	操作性の向上	「操作性がいい」「思い通りにいく」
一般ユーザー (複数名)	振動の低減	「振動が落ち着いている」
一般ユーザー (複数名)	車両の安定感	「安定感がある」

(注: 個人名は非開示, 出典=社内評価スライド「ドライバーのコメント (低μ路での体験)」)

## 6 環境性能

開発したショックアブソーバ用作用油は、OECD 301Fに基づく評価において、生分解性を有することを確認した。基油を循環由来原料を用いた基油に置換することで、CNへの貢献が可能である。

さらに、レシピ設計段階から再生・再利用のしやすさを考慮することで、使用後の処理や再利用工程の効率化も図っており、環境負荷低減と資源循環の観点でも優位性を有する。

2024年のBAJA1000 (写真2) および2025年のRALLY HOKKAIDOにおける実車適用により、これらの環境性能を有しつつ、過酷な走行条件下でも安定した走行性能を維持したことから、実用性と持続可能性の両立が確認され、将来の社会実装に向けた重要なステップとなった。今後は作用油の普及と並行してリサイクルスキームの構築を進め、さらなるCNの実現に向けた技術基盤の確立を目指す。



写真2 BAJA1000参戦車両 (LEXUS LX600 “OFFROAD” TEAM JAOS 2024 ver.)

## 7 今後の展望

本技術は乗用車のみならず、建設機械・鉄道・船舶など多様な油圧製品への展開が可能である。摩擦レスポンス制御技術は、今後の予測モデル化や設計標準化に向けた基盤技術となり、持続可能なモビリティ社会の実現に貢献し得ると考えている。

また、油圧機器メーカーが自ら作動油の研究開発を進めることは、機械構造と材料特性の両面に通じた専門性を活かす取り組みであり、専門メーカーでなければ実現し得ない機械×材料の組み合わせ技術に基づいている。こうした背景を踏まえ、今後も環境対応と差別化技術を融合した作動油開発を継続し、製品性能と持続可能性の両立を図っていく。

## 8 おわりに

本報では、合成エステル基油を用いたショックアブソーバ用作動油の開発を通じ、摩擦レスポンス制御を中核とする設計指針を示し、乗り味と環境性能の両立を実現した。摩擦の「量」そのものではなく「立ち上がり方」に着目することで、微小入力領域の応答性を高め、実車試験でも高い評価を得ている。従来十分に解明されていなかった摩擦挙動の特性が、トライボロジー的アプローチにより明らかになりつつある<sup>7)</sup>。アスファルト舗装テストコースにおけるウェーブレット解析 (CWT, 30km/h, カラーラスポーツ) では、摩擦レスポンス (SI) を適正化した処方<sup>100-250Hz帯域の高周波成分が低減し、運動反転直後の加速度ピークが抑えられる傾向を確認した。これは、摩擦の「量」と「立ち上がり方」を設計パラメータとして扱うことが、周波数領域の評価にも明確に反映されることを示している。このことは高周波振動の低減を意味し、振動や騒音 (NVH) の低減にもつながる可能性がある。また、この特性はEV時代に求められる高い静粛性にも寄与すると思われる。</sup>

一方、氷上 (低 $\mu$ ) での実車走行 (トヨタ・ヤリス, 同一仕様・作動油のみ差し替え) では、入力が小さくピストン速度がゼロ近傍での滞在時間が長い条件下で、反転直後の摩擦レスポンス差が体感差として顕在化した。プロドライバーからは「初期応答が素直」「接地感が向上」「まるで違うタイヤを履いているよう」、一般ユーザからは「ガタガタ道がまるやか」「操作性が良い」「安定感がある」との評価が得られ、摩擦レスポンス差が明確な体感差として現れた。このような接地感の向上は、走行安定性の改善を通じて安全性向上にも寄与すると考えられる<sup>3)</sup>。あわせ

て、SIは大きければ良い／小さければ良いという単純な指標ではなく、適正範囲の設定が重要であること、さらに平均摩擦 ( $\mu_{RMS}$ ) の低減が乗り心地改善に効果的である一方でSIとの同時最適化が鍵となることが示唆された。

とりわけ、合成エステル基油と摩擦調整剤の組み合わせで実現した低平均摩擦・中レスポンス (③処方) は、従来の鉱油系では達成が難しかった摩擦レスポンスの「量×立ち上がり方」のバランス点を示し、乗り心地 (快適性) と接地性 (操縦安定性) の両立に資する新しい設計領域を切り拓いた。これは合成エステル<sup>の環境上の利点に加えて、走行性能面でも有意なメリットとなる。</sup>

本技術はショックアブソーバの摩擦制御技術とその性能向上への貢献が評価され、2022年度日本トライボロジー学会技術賞を受賞した<sup>8)</sup>。

また、この技術に基づいて開発した新たなショックアブソーバ用作動油『サステナルブ<sup>®</sup>』は、環境性能と走行性能の両立を目指し、将来の実用化を見据えた技術開発の成果であり、当社ならではの技術思想を象徴するものといえる<sup>9)</sup>。

さらに社会実装と資源循環を見据え、レシピ設計段階から再生・再利用のしやすさを考慮しており、リサイクルスキームの確立を通じて一層のCN達成を目指す。今後は実装を加速し、持続可能なモビリティ技術としての展開を図り、自動車技術におけるトライボロジーの新たな可能性を切り拓いていく。

### 参考文献

- 1) 加藤慎治:「ショックアブソーバ作動油が車両の乗り心地と操縦性能に与える影響」, 月刊トライボロジー, 35(5), 27-31, 2021.
- 2) 中西博:「ショックアブソーバの技術動向とトライボロジー」, トライボロジスト, 54(9), 598-603, 2009.
- 3) 加藤・佐々木:「ショックアブソーバにおける動的摩擦特性を特徴づける評価指標の検討」, トライボロジスト, 64(1), 55-62, 2019.
- 4) S. Kato and S. Sasaki: Effects of hydraulic oil and lubricant additives on dynamic friction properties under various reciprocating sliding conditions, Friction, 8 (2), 471-480, 2020.
- 5) 加藤慎治:「緩衝器用潤滑油の摩擦特性に関する研究」, KYB技報, 45, 22-29, 2022.
- 6) S. Kato and N. Samadi: The Power of Oil-Influence of Shock Absorber Oil on Vehicle Ride and Handling Performance, 11th International Munich Chassis Symposium, 93-107, 2020.
- 7) 加藤慎治, 佐々木信也:「ショックアブソーバの摩擦特

性が及ぼす自動車の官能特性への影響」, 設計工学, 54(4), 253-264, 2019.

- 8) 加藤慎治:「トライボロジーによる自動車用ショックアブソーバの性能向上—動的摩擦特性評価技術とその制御技術—」, トライボロジスト, 68(11), 778-781,

2023.

- 9) 加藤慎治. (2024). トライボロジーをコア技術とする「カヤバ」: ショックアブソーバ油のカーボンニュートラル展開 カヤバ株式会社 加藤慎治氏に聞く. 潤滑経済/潤滑通信社 編, (706), 29-33.

---

## 著者

---



**加藤 慎治**

1987年入社 オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品開発室専任部長, 基盤技術研究所材料研究室長を経て現職.



**安河内 直樹**

2006年入社 オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品開発室専任課長. ショックアブソーバ作動油開発に従事.



**石田 幸也**

2019年入社 オートモーティブコンポーネンツ事業本部技術統轄部製品開発室. ショックアブソーバ作動油開発に従事.