

特集 静粛性を向上するグリース開発*

Development of Grease for Improving Vehicle Quietness

榊原 功次 Koji SAKAKIBARA	池島 昌三 Shozo IKEJIMA	岡崎 末広 Suehiro OKAZAKI	日坂 幸司 Koji HISAKA
伊熊 亨介 Kiyosuke IKUMA	柿崎 充弘 Mitsuhiro KAKIZAKI	大野 信義 Nobuyoshi OHNO	

In recent years, the background noise in vehicle interiors has tended to decrease more and more with hybrid and luxury cars. Accordingly, requirements for noise reducing performance of automotive grease are increasing in addition to the original lubrication function. In this paper, we report the mechanism of noise reduction in car air conditioners and describe new grease that satisfies the two conflicting requirements of noise reduction and good operability at low temperatures. To accomplish this, we focused on the high-pressure viscosity of grease and attempted to refine a viscosity pressure coefficient (α) for the base oil. Consequently, polybutene was selected as a refiner and applied to the base oil of the new grease. By measuring the high-pressure viscosity, it was confirmed that the viscosity of PAO-polybutene oil is higher than PAO under high pressure, and by employing the steel ball test and the low temperature torque test, the new grease showed both noise reduction and excellent operability at low temperatures.

Key words: Grease, Lubrication, Noise reducing, Car air conditioner, Base oil, High pressure property, Viscosity pressure coefficient (α)

1. はじめに

近年、特に高級車やハイブリッド車において車室外部品の静粛性向上と車室内の静粛性の高まりから、従来車では問題視されなかった車室内部品より発せられる異雑音を、ユーザが感知してクレームとして打ち上げるようになってきたことから、しゅう動部を有する自動車部品では特に静粛性が重要な品質となってきている。現在静粛化の手法としてクッション材による振動低減、遮音材や吸音材による振動伝播の低減など様々な対策が行われているが、いずれも部品の追加等が必要であり、そのコストの増加が大きな問題となっている。

ところが近年、しゅう動部に塗布して使用されるグリース

において、高粘度基油を用いたものが消音効果を有することが知られてきており、コスト的に有利なことから注目を集めている。しかしその具体的な消音メカニズムは世の中でも明らかとなっていない。

そこで本研究ではエアコンユニット作動音を取り上げ、グリースによる消音メカニズムの解明と対策を通じて、製品競争力向上に寄与することを目的とする。

2. エアコンユニットの概要

Fig. 1 に本研究の対象製品であるエアコンユニット内部品のしゅう動部の例を示す。エアコンユニットは各吹出しモード (FACE, FOOT, DEF など) 内気吸い込み、外気吸

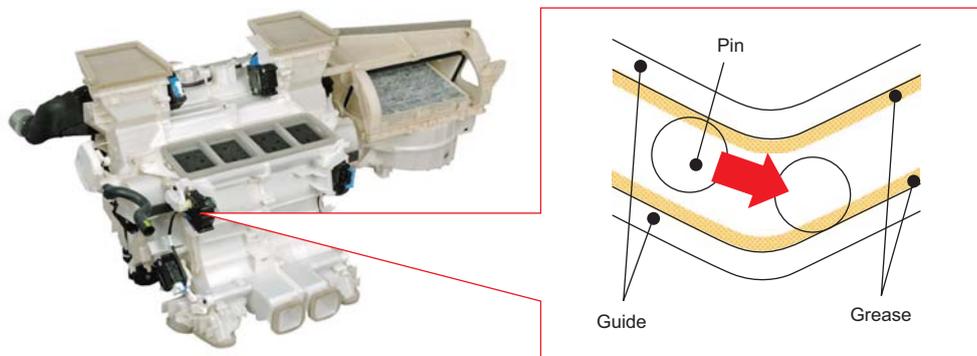


Fig. 1 Operation noise of air conditioning unit

* 2010年7月30日 原稿受理

い込みの切替えにピンとガイドから構成されるリンク機構を採用している。ここで、ピンがガイドのリンク溝の変曲点に差し掛かってリリースされた際に溝を打ち付けるため、衝突音が発生し問題となる場合がある。衝突音の発生はエアコンユニットの形状や使用環境条件など様々な要因の影響を受けるが、エアコンユニットの詳細な設計は搭載される車種毎に異なり、またしゅう動部品自体の部品精度も大きく影響するため、設計段階での事前予測は困難である。そのため実機での衝突音評価を充分実施し、基準を満たさない場合はピンへのクッション材取付けなどで対策している。

3. グリースに要求される機能

ここでエアコンユニットのしゅう動部には主として潤滑性確保を目的にグリースが塗布されている。

グリースは大きく分けて三つの成分から構成される。一つは基油でグリースの基本性能を最も支配する成分である。二つ目は増ちょう剤で、基油を保持し、半固体状にするための成分である。三つ目は添加剤で、基油や増ちょう剤で達成できない特性を改善するための成分である。

グリースは潤滑性以外にも、低温環境下でエアコンが作動するための低温作動性、エアコンユニットを構成する樹脂材料を害さないための材料適合性といった多くの機能が要求される。

今回は、これらの機能を維持したまま消音性を付与した多機能グリースを開発することにより、クッション材の廃止を検討した。

4. 評価方法

本研究の技術課題の中で消音性については既存の評価方法が無いため新たに確立が必要である。

そこでグリースメーカーと共同で鋼球落下試験を確立した。Fig. 2 に装置図を示す。これは鋼球を 10 cm の高さから四隅を支持した鋼板上に落下させ、そのときの音圧レベルを 20 cm の高さに設置したマイクロフォンで測定するもので、Fig. 3 に示す通り実機の音圧レベルと良い相関関係が認められている。ここで実機クッション材の消音効果が約 5 dB であることから、今回グリースの開発目標値として消音効果 5 dB 以上を設定した。

5. 既存グリースの調査

まず既存グリースの評価を実施した。消音グリースとしてはすでに各グリースメーカーからウインドレギュレータやドアロック用に市販されているが、実用化は極限られた製品に限定されている。

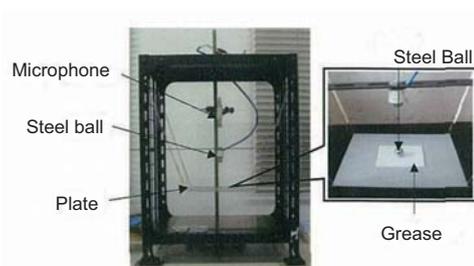


Fig. 2 Steel ball drop test

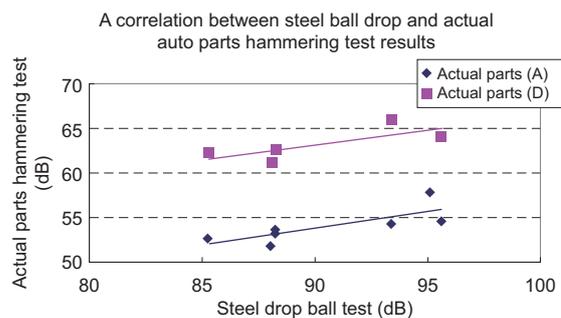


Fig. 3 Result of correlation between the steel ball drop test and the actual auto parts hammering test¹⁾

実際にこれらのグリースを入手し、消音性、低温性について調査した結果を Table 1 に示す。いずれのグリースも単に基油を高粘度化していることが特徴である。この中で特に高い消音効果が得られたグリースは、40℃での基油粘度が 1400 mm²/s を越える高粘度グリースであった。しかしその背反として低温作動性の悪化が確認された。以上の結果、エアコンユニットに適用可能なグリースは探索できなかったことから、新たに多機能消音グリースを開発することとした。

6. グリース消音メカニズムの推定

ここで、経験的にはグリースによる消音効果が基油の高粘度化によって得られることが知られているが、具体的なメカニズムは世の中でも十分解明されているとはいえない。そこで多機能消音グリースを開発するにあたり、まずグリースの消音メカニズムについて理論面より検討した。

グリースの消音機能は、衝突する物体に対しクッションの役割を果たして衝突速度を減速する機能であると考え、Fig. 4 に示す鋼球落下試験をモデルとした音圧発生メカニズムに着目し支配因子の明確化に取組んだ。このモデルでは、

- (1) 鋼球が落下し、鋼板と接触する、
 - (2) 鋼板が振動し、音源が形成される、
 - (3) 鋼板の振動が空気を伝わりマイクロフォンで音が観測される、
- といった三つの挙動を考慮している。

Table 1 Benchmark of noise reducing grease

		Grease A		Grease B		Grease C		Grease D	
Application		Air conditioner unit		Air conditioner unit		Window regulator		<ul style="list-style-type: none"> • Door lock • Sheet rail 	
Noise reduction	Sound pressure level (Steel-ball drop test)	95.6 dB	Bad	88.3 dB	Good	88.1 dB	Good	92.6 dB	Bad
Low temperature operability	Starting torque (-30 °C) (JIS K 2220)	65 Nmm	Good	376 Nmm	Bad	360 Nmm	Bad	120 Nmm	Good

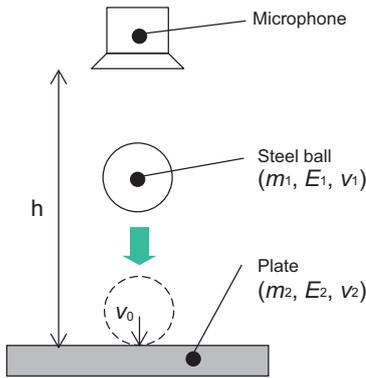


Fig. 4 Noise generation model

まず半径 \$r_1\$ の鋼球が初速 \$v_0\$ で銅板 (半径 \$\infty\$ の球と仮定) と衝突し Hertz 接触したと仮定すると変形量 \$x\$ と接触時間 \$T\$ を計算できる。

$$x = \left(\frac{5}{4}\right)^{2/5} m^{12/5} C^{-2/5} v_0^{4/5} \dots\dots\dots(1)$$

$$T = \frac{4}{5} \sqrt{\pi} \frac{\Gamma(2/5)}{\Gamma(9/10)} m^{12/5} C^{-2/5} v_0^{-1/5} \dots\dots\dots(2)$$

$$C = \frac{\frac{4}{3} \sqrt{R'}}{\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{1}{m'} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \dots\dots\dots(5)$$

またこの接触により点音源が形成されたと仮定すると音源強さ \$Q\$ と角振動数 \$\omega\$ は以下の式で表される。

$$Q = \left(\frac{\pi x}{T}\right) 4\pi r^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$\omega = \frac{\pi}{T} \dots\dots\dots(7)$$

音源と角振動数, 観測位置 \$h\$ から式 (8) に表される様に音圧を計算することができる。

$$P = \left(\frac{5}{4}\right)^{12/5} \left\{\frac{\Gamma(9/10)}{\Gamma(2/5)}\right\}^2 \pi \frac{\rho r^2}{h} m^{12/5} C^{2/5} v_0^{6/5} \dots\dots(8)$$

\$P\$: 音圧 (Pa), \$\rho\$: 空気密度 (kg/m³), \$r\$: 音源半径 (m)
 \$h\$: 観測位置 (m), \$m\$: 質量 (kg), \$v_0\$: 衝突速度 (m/s)
 \$R\$: 半径 (m), \$\nu\$: ポアソン比 (-), \$E\$: ヤング率 (Pa)

Fig. 5 に衝突速度と鋼球落下試験での音圧レベルの関係を示すが, 衝突速度の 6/5 乗と音圧に相関関係があることがわかる。

また大野ら²⁾によると, 鋼球を銅板に衝突させる衝撃実験において, 乾燥状態と比較し油膜介在時には銅板の変形量が増加する現象が確認された。このメカニズムとして Hertz 弾性接触面で潤滑油が閉じ込められ固化すること, 閉じ込められる油膜量は粘度圧力係数 \$a\$ と粘度 \$\eta_0\$ の積, \$a \eta_0\$ に依存すると報告している。

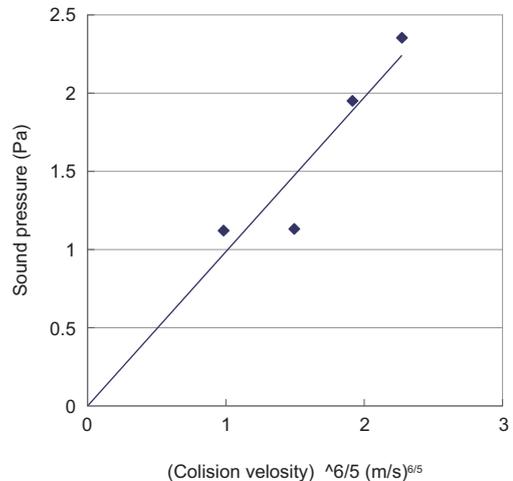


Fig. 5 Velocity dependency of sound pressure

今回エアコンユニットで対象としている音はピンが壁を打ち付ける衝突音であり、大野の報告と同様の現象が起こっていると考えた。つまりピン衝突時の粘性抵抗は高圧粘度 η に依存し、粘度圧力係数 α と常圧粘度 η_0 に支配されると考えることができる。ここで圧力 p での高圧粘度 η は Barus の式³⁾に従い式 (9) で表される。

$$\eta = \eta_0 \exp(\alpha p) \dots\dots\dots(9)$$

η : 高圧粘度 (Pa·s), p : 圧力 (Pa)

7. 消音グリース開発

7.1 基油の選定

Fig. 6 に消音性改良の考え方を示す。前述の推定メカニズムに基づき、基油の常圧粘度 η_0 は従来のグリースと同等とし、粘度圧力係数 α を大きくすることによって高圧粘度 η のみ高くすることにより、従来グリースの機能を維持したまま消音効果の付与を考えた。

具体的には第一基油はグリース基油に要求される特性から選定し、増粘剤を第二基油として添加することにより粘度圧力係数の向上を検討した。検討に当たっては前述の佐賀大学 大野教授にご指導いただいた。

Table 2 に第一基油候補材を示すが、低温性や対樹脂性の面から実績のある PAO を採用することとした。

Table 3 に増粘剤の候補材と粘度圧力係数測を示す。粘度圧力係数の高い増粘剤は、構造中に枝分かれや環状構造を持つ分子と考えられている。これは高圧下で分子同士が良く噛み合い、粘度増加に寄与するためと説明されている。そこでナフテン油やオリゴマーなどについて検討した結果、粘度圧力係数の高いポリブテンを第二基油候補剤として選定した。

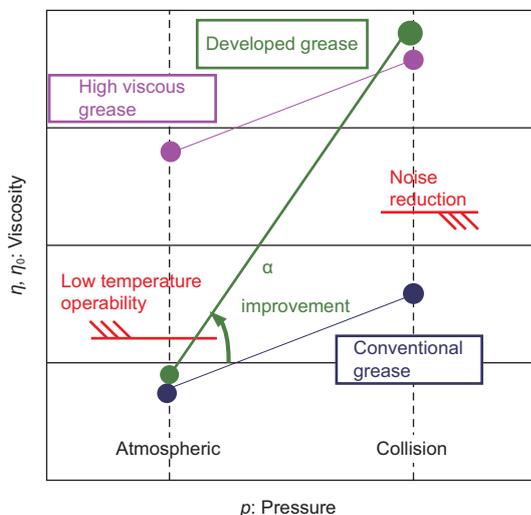


Fig. 6 Approach of the grease improvement

Table 2 Candidates of primary base oil

	Low temperature operability	Resin suitability	Cost	Evaluation
PAO	Good	Good	Good	Good
mineral oil	Bad	Good	Good	Fair
PAG	Good	Bad	Good	Fair
PFPE	Good	Good	Bad	Fair

Table 3 Candidates of viscosity improver

	α (GPa ⁻¹)	Comment	Evaluation
Polybutene	37	-	Good
Synthetic naphthene	39.2 ⁴⁾	Low heat stability	Fair
Oligomer	24	-	Fair
PAO (Primary base oil)	16.3	-	-

Fig. 7 にポリブテンと粘度圧力係数の関係を示す。また Fig. 8 に基油粘度と音圧レベルの関係を示す。

同じ基油粘度で比較すると、PAO+ポリブテン系はPAO単独と比較し音圧が低減しており、ポリブテン添加が消音性向上に寄与することがわかる。

次にポリブテンの分子量について検討した。一般にポリブテン等のポリマーの粘度は分子量が大きい程、温度の影響を受けにくい。これは低温下ではポリマーが凝集することで粘度への影響が少なくなり、逆に高温下では油への溶解性が高まり流動に対する抵抗が増加することにより粘度への影響が大きくなる特性を持つためである⁵⁾。一方消音性の支配因子である粘度圧力係数は温度と逆の影響を受けると考えられることから、分子量の大きなポリブテンを用いることでより向上することが期待できると考えた。

更に前述の通り基油を単純に高粘度化した場合は低温性

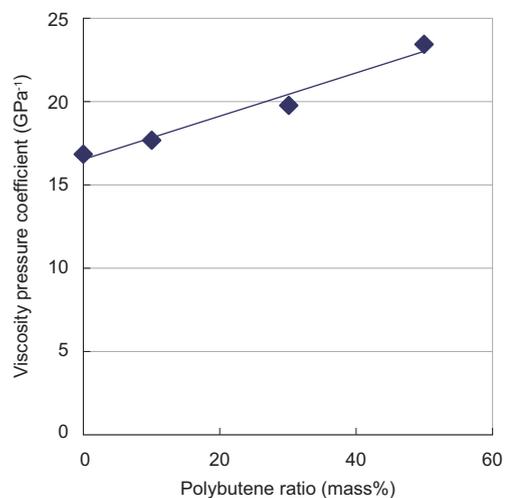


Fig. 7 α improvement by polybutene

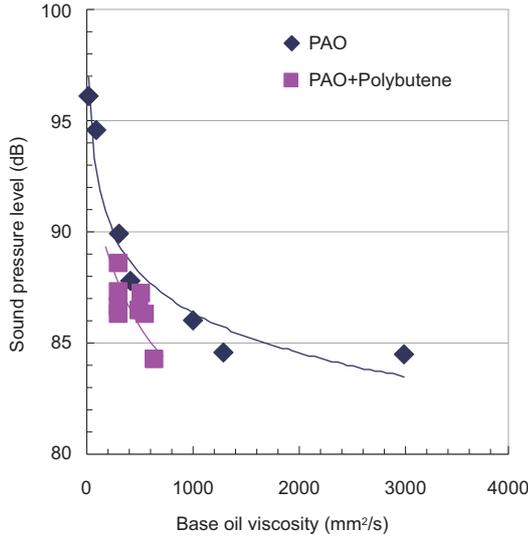


Fig. 8 Noise reduction by polybutene addition

に悪影響を及ぼすため、ポリブテンが低温性に及ぼす影響についても同時に検討した。Fig. 9に分子量を振ったポリブテンとPAOの混合基油の-30℃基油粘度と消音性の指標となる $\alpha\eta_0$ との関係を示す。この結果より高分子ポリブテンを用いることで高圧粘度を維持しつつ、低温基油粘度を低減可能なことが明らかになった。以上の結果より基油としてPAOと高分子ポリブテンを配合した混合基油を用いることで低温性と消音性の両立が可能となった。

7.2 増ちょう剤の選定

次に、基油をグリース化する際に必要な増ちょう剤についても消音性と低温性に影響を及ぼすことから、各種増ちょう剤を用いて実際にグリースを試作し、鋼球落下試験により消音性を評価すると同時に、低温作動性についても評価

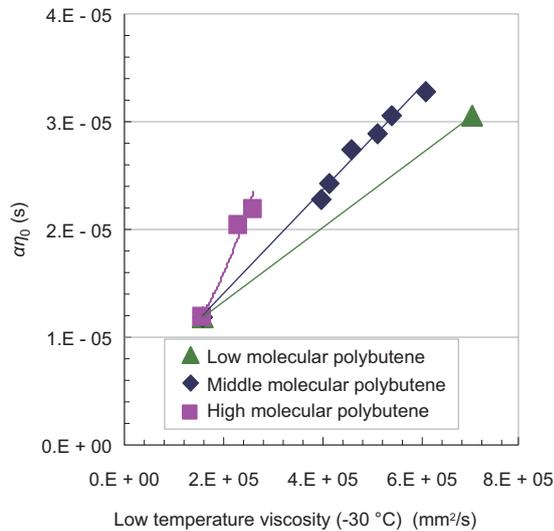


Fig. 9 Effect of polybutene molecular weight

した。その結果 Fig. 10に示す通り、増ちょう剤にシリカを選定することにより消音性と低温性の両立が可能であることが確認できた。シリカの消音効果としては、増ちょう剤の中では比重が大きく、衝突時にグリースが除かれにくいためと考えられる。

8. 開発グリースの評価結果

Fig. 11に現行グリースと他社グリースならびに今回開発したグリースの評価結果を示す。現行グリースは音圧レベルが、他社の高粘度グリースは起動トルクが劣るが、開発したグリースはこれらを含む全ての要求特性を満足しており、現行グリースの機能を確保しつつ消音性を付与した多機能化を達成していることが確認できた。

次に消音対策としてのクッション材を取り除いたエアコンユニットに開発したグリースを塗布して評価した結果、音圧

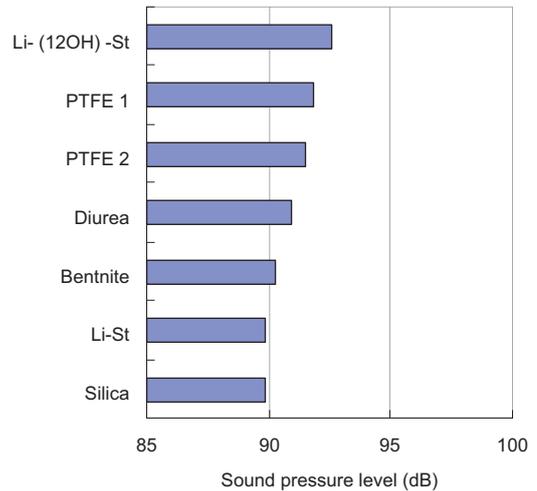


Fig. 10 Noise reduction effect of the thickener

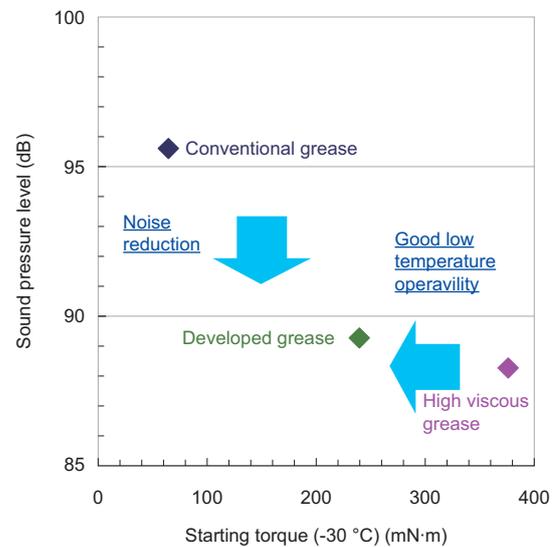


Fig. 11 Properties of the developed and conventional greases

レベルは初期ならびに高温耐久試験後も消音性目標値を達成していることが確認できた。また低温操作性は現行グリースとほぼ同等レベルであり、消音性と低温性を両立し、主要な技術課題を全て達成した優れたグリースであることが確認できた。

9. 結論

- (1) エアコンユニットのリンク機構における音圧発生メカニズムから、衝突速度が音圧レベルの支配因子であることを明らかにした。また衝突時にトラップされた基油が高圧化することに着目し、粘度圧力係数の高い基油が消音性に優れることを明らかにした。
- (2) 基油に PAO+ ポリブテン、増ちょう剤にシリカを用いたマルテンプ SG グリースを開発した。本グリースは消音性、低温作動性、対樹脂性に優れた多機能消音グリースである。
- (3) マルテンプ SG を適用したエアコンユニットは 09 年 2 月より流動を開始した。その成果として、主として固体潤滑剤削減によるグリース自身のコストダウン以外に、クッション材費とその組付け費削減、エアコンユニット実機での衝突音評価や最適クッション材選定工数などの開発経費低減等、多くの効果が得られている。

<参考文献>

- 1) Proceedings of World Tribology Congress 2009, p. 564.
- 2) Lubrication Science (2006) 18 25-36.
- 3) トライボロジー, 理工学社 p. 220.
- 4) トライボロジスト 第 44 巻 第 7 号 (1999) p. 561.
- 5) トライボロジスト 第 48 巻 第 11 号 (2003) p. 890-896.

<著 者>



榊原 功次
(さかきばら こうじ)
材料技術部
潤滑剤に関する研究・開発に従事



池島 昌三
(いけじま しょうぞう)
材料技術部
潤滑剤・燃料に関する研究・開発に従事



岡崎 末広
(おかざき すえひろ)
冷暖房技術2部
HVAC 設計に従事



日坂 幸司
(ひさか こうじ)
冷暖房技術2部
HVAC 設計に従事



伊熊 亨介
(いくま きょうすけ)
協同油脂株式会社 グリース技術部
グリース開発に従事



柿崎 充弘
(かきざき みつひろ)
協同油脂株式会社 グリース技術部
グリース開発に従事



大野 信義
(おおの のぶよし)
佐賀大学大学院工学系研究科 機械
システム工学専攻 教授 工学博士
潤滑油の高圧物性に関する研究に
従事