

排ガス長期規制適合機に対する 燃料・オイルについての問題・注意

2011年および2014年排ガス規制対応

吉田 史朗

2011年からの排ガス規制対応にディーゼル微粒子捕集フィルタ（DPF：Diesel Particulate Filter）の装着が必要となったが、目詰りすることが問題となる。煤は再燃焼で再生可能であるが、燃料やオイル中の金属分は灰となり目詰り原因となるため、超低硫黄燃料とローアッシュオイルの組合せ使用が必須である。

オフロードにおいては、低コスト化からA重油が規制対象外機では使用される可能性があるが、高硫黄燃料であり、酸中和能力の大きいハイアッシュオイルが必要である。

軽油とA重油がある場合、ローアッシュとハイアッシュのオイルの使い分けが必要で、組合せ不適とならないよう啓蒙するとともに、アンケートで意識調査を行ったので、その状況も報告する。

キーワード：排気ガス規制、DPF、燃料、オイル、品質、規格

1. はじめに ～排気ガス規制と燃料・オイル品質の変遷～

1970年代に、光化学スモッグ、酸性雨が問題になり、1980年代後半からエンジンの排気ガス規制が始まった。オンロード自動車から始まり、段階的に規制値が厳しくなり、オフロード自動車へと波及し、最終目標の長期規制が、2011年に3次（主に、PM：0.17⇒0.02 g/kWh）、2014年に4次（NOx：2.0⇒0.4 g/kWh）と2段階で実施されることとなった。

排気ガス規制が段階的に強化されるに従って、影響度の大きい燃料中の硫黄分（S分）が順次減らされた。燃料の低硫黄化に伴いエンジンオイルの品質も適正化が進んだ。ディーゼル用について、その経緯を図1に示す。

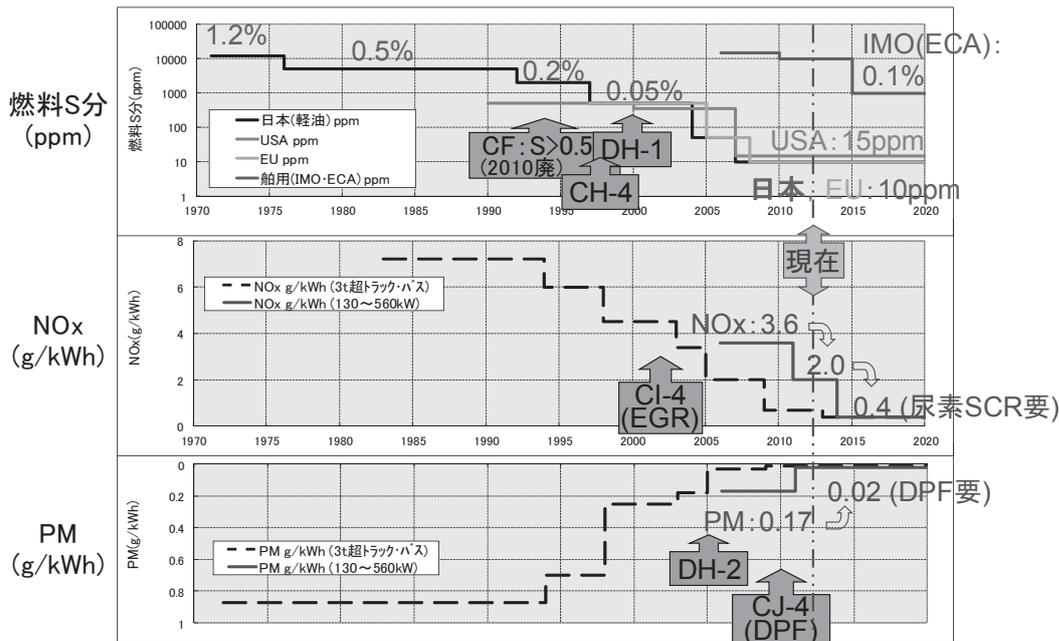
オンロードでは、燃料が軽油と規制されており、当初硫黄分は1.2%であったが、排ガス規制で0.5%になり、その後、規制強化とともに、0.2→0.05→0.0050→0.0010%（10ppm）になった。この硫黄分レベルによって、採り得る排ガス対策があり、それに適したオイル規格が作られた。例えば、API（American Petroleum Institute）のオイル規格変遷をみると、初期の対策として噴射タイミングリタードがあったが、排気ガス温度の上昇からピストントップランド高温化によるカーボン成長の防止として、清浄性を高めたCF-4（CE廃止）の設定、また、低硫黄化（0.05%）を前提に、低

NOx対策であるEGR（排気再循環）用にカーボン分散性を高めたCI-4（CG-4廃止）の設定があった。最終段階として後処理装置（DPF）装着を前提とした規制が始まったが、詰まり防止（延命化）を図ったCJ-4が設定された。

一方、オフロードに対しては、当初全体の寄与度が低いことから据置きされていたが、オンロードが対策され改善が進んだことで無視できなくなり、また、エンジンが共用されることから、後追いで規制がかけられた。

しかし、大きな問題が顕在化した。オフロードでは燃料の規制がなく、オンロード用以外の税金がかからない安価な燃料が使用されており、硫黄分規制がなく、エンジンメーカの推奨1%以下が運用されていた。そのためオフロード用としてCF（S>0.5%）が設定された。ところが、日本製CDよりもCF/CF-4の品質が劣る形となったため、日本の自工会（日本自動車工業会）が主体となって日本自動車技術会規格（JASO）：DH-1を設定し、DPF付用としてDH-2を設定した。APIでは、CF-4に対してCH-4に変更された。

米国では、燃料の硫黄分は、オン・オフともに15ppmに規制され、CFが廃止された。しかし、欧州では、定置式発電機は未定で、船舶用は、0.1%（1,000ppm）の方向であり、日本は、まだ具体的な方針はなく、オフロード法で、適正燃料を使用のことでとされている。そのため、高硫黄燃料と低硫黄燃料が混在している状況である。



図一 1 排ガス規制と燃料・オイル品質の変遷

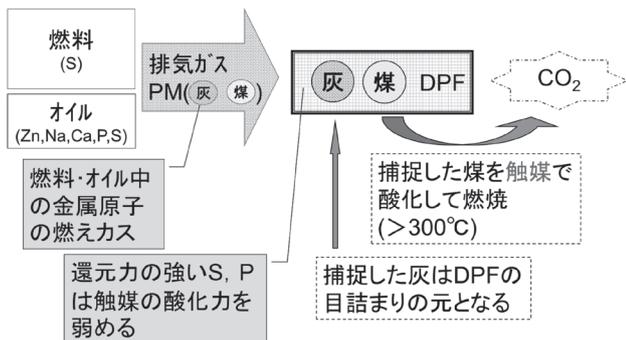
国内のオフロードでは、軽油以外に灯油，A重油が使用されている例があり，国交省・直轄工事の抜打ち燃料調査でも，硫黄分が軽油規格以上のものが21%あることが確認されている¹⁾。

これまでは，エンジンへの実害がなかったが，2011年の3次排ガス規制に対しては，規制値を守れないだけでなく，DPFの耐久性に影響し，最悪エンジンが停止するので適正燃料の使用を遵守する必要がある。国内において，現在では，適正燃料は軽油のみである。

2. 後処理装置 (DPF) への燃料・オイル品質の影響

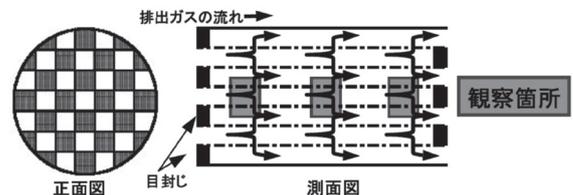
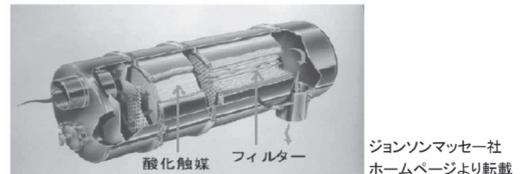
PMの大幅低減に効果のあるDPFは，セラミックの微小な空隙で，気体は通過させ，固体の微粒子を捕捉するものである。その機能説明を図一2に，構造を図一3に示す。

PMは，未燃の炭素（煤）と燃料・オイル中の金属



図一 2 排ガス規制対応・DPFの機能

DPFを切断し、上流、中流、下流でのアッシュ堆積状態を観察



図一 3 DPFの構造²⁾

原子の燃えカス（灰）である。煤は触媒による酸化でCO₂として取り除けるが，灰は固体のまま堆積し続け排ガス通路を閉塞することになる。排気ガスが排出されないと新気が入ってこないでエンジンは燃焼できずストールしてしまう。建設機械で稼働中にエンジンが止まることは人身事故に繋がる危険な事象で避けなければならない。DPFの詰りを検証した例²⁾があるので，図一4に示す。

図一4は，燃料の硫黄分が，50，10 ppm，オイルの硫酸灰分 (S. Ash) 量が，1.70 (DH-1 相当)，1.31，0.96 (DH-2 相当) g/kg，運転時間が，600，1,000 hでの詰まり状況を観察したものである。

観察位置は，図一3に示した入口 (Inlet)，中央 (Middle)，出口 (Outlet) で，白い物が堆積物である。

S. Ashが大きいものほど詰りが酷く，運転時間が長いほど詰りが酷いことがわかる。また，燃料の硫黄

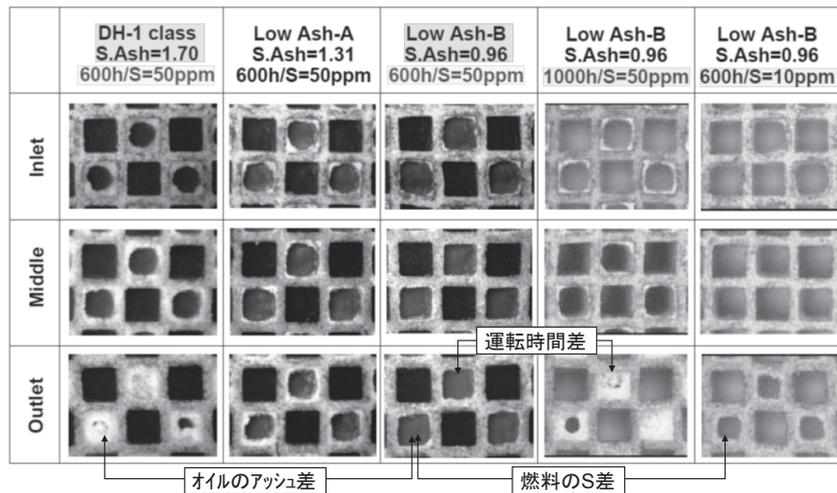


図-4 DPFの詰り検証²⁾

DPFサイズ、材質、排気温度、燃料S量に拘わらず、オイル由来の金属は、ほとんどすべてCR-DPFで捕捉されている

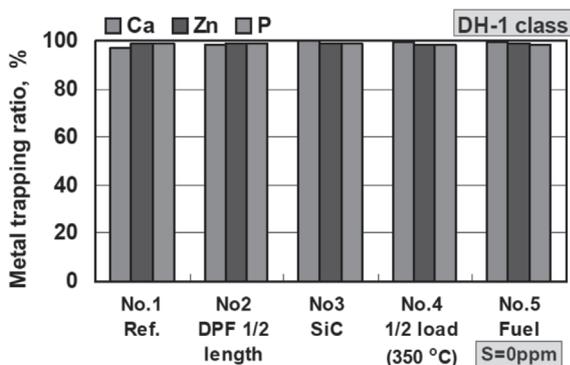


図-5 捕捉堆積物の分析²⁾

逆洗エアブローによるアッシュ除去効果

- 逆洗エアブローにより下流側のアッシュが除去された。
- 市場でのDPFメンテナンスに対しての逆洗エアブローの効果については、更に検討が必要。

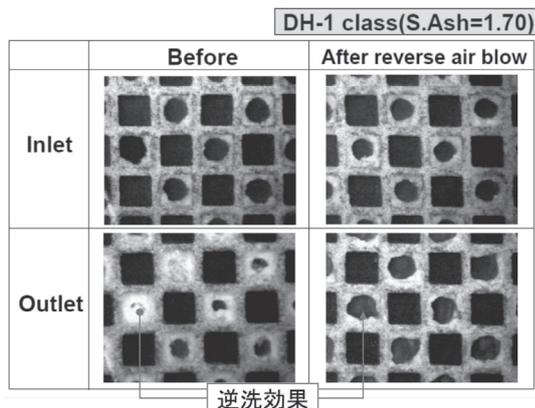


図-6 DPF逆洗エアブローの効果²⁾

分は、50ppmと10ppmでは、差が少ないことがわかる。捕捉された堆積物の分析結果を、図-5に示す。

捕捉物のほとんどは、Ca, Zn, Pといったオイルの添加剤の金属である。捕捉率は、ほぼ100%であり、

DPFの詰り寿命は、オイル中の金属量とDPFの容量で決まる。

DPFの詰りに対して、逆洗エアブローが知られているが、その効果の状況は図-6のようなのである。

大きな詰りは取れるが、壁面に付着の堆積状況には効果が見られない。延命効果は、稼働状況で異なってくると考えられるので、データを取りつつ新替え工事までの応急処置として運用が望ましいと考えられる。

3. DPF付きエンジンの燃料とオイル品質規格

DPFの詰りは、燃料硫黄分が50ppm以下では、オイル中の金属分が支配的である。オイルの金属分は、ディーゼルエンジンオイルとして重要な清浄性、分散性を確保するための塩基価の元である。そのため、ローアッシュオイルは、塩基価が小さいことを意味する。酸中和性に乏しいので、高硫黄燃料に使用した場合、オイル寿命が極端に短くなるので、注意が必要である。よって、DPF付きエンジンには、燃料は「超低硫黄軽油」で、オイルは「ローアッシュオイル」の組合せ使用が必須である。

燃料は、軽油が、硫黄分が10ppm以下と規定（JIS K-2204参照）されており、適正燃料である。

オイルは、API規格では、CJ-4（Engine-Oil-Guide-2010参照）が、JASO規格では、DH-2（M 355：2006参照）が適している。

DPF付用オイルとして、重要な項目を抜き出して比較した表を、図-7に示す。

DH-2とCJ-4では、硫酸灰分、リン、硫黄分が、規定されている。DH-1では、それらの規定はなく、高硫黄燃料対応として酸中和能力を確保するために塩基価を10.0以上（塩酸法）としている。塩基価につい

規格	JASO		API
	DH-1	DH-2	CJ-4
品質等級			
硫酸灰分 (質量%)	--	1.0±0.1	1.0 以下
塩基価 (mgKOH/g)	10.0以上	5.5以上	--
リン (質量%)	--	0.12 以下	0.12 以下
硫黄 (質量%)	--	0.5 以下	0.4 以下

図-7 JASO : DH-1/DH-2 と API : CJ-4 比較

では、DH-2は、5.5以上としているが、CJ-4にはない。清浄性、耐酸化に対して必要な事項であるので、CJ-4の場合、API認証のドーナツマーク付が品質確保の点で望ましい。

4. 軽油外燃料の動向と影響

オフロードでは、燃料として軽油以外のものを使用しても違法にならない。そのため、灯油やA重油またはバイオディーゼル燃料(BDF)が使用される場合があった。従来のエンジンでは、排気ガス性状に問題があってもエンジンが故障に至るのは稀であった。しかし、DPF付では、塩基価の高いオイルでは早期目詰まりに陥り、塩基価の低いオイルでは酸化によってオイルの早期劣化が進み摺動部分で問題が発生し易くなる。よって、軽油外燃料の使用は控えなければならない。

(1) A重油

船用や発電用に専ら使用され、自動車用のエンジンがコンバートされて稼働しているのが、同型式の建機エンジンにはA重油(JIS K-2205参照)が使用され

IMO 第57回海洋環境保護委員会 (MEPC57('10/4))の審議結果について
 [概要] http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/10/100407_.html

1. 大気汚染関係
 ■NOx 3次規制案: 80%減、地域規制を承認。実施2016年~
 ■SOx規制案
 指定海域: 2015年0.1%、
 一般海域: 2020/25年0.5%
 * 船上に処理装置を設置するか、
 硫黄分が0.5%以下のA重油に転換要

2. 温室効果ガス(GHG)関係
 ・国際海運からの温室効果ガス削減対策に関する原則について合意
 ・CO2排出指標等具体策は、次回MEPC58の合意を目指す

3. シップリサイクル関係
 4. バラスト水管理規制条約関係

図-8 IMO 排ガス規制³⁾

やすい。船用もIMO規制³⁾で排ガス規制が進んできているが、レベルは低く、燃料の硫黄分については図-8の通りで、今後もA重油は存続する。

(2) BDF

軽油の品質として、5%の混合が認められている⁴⁾。DPF付エンジンでは、触媒の酸化作用の活性化のため、300℃以上にしなければならない。そのために、ポスト噴射を行って燃焼させ排気温度を上げるようにしている。僅かではあるが、その未燃燃料がオイルに混入する。軽油は高油温によって蒸発するが、BDFの場合、オイル内に蓄積し、ダイリューションに至る。実験結果⁵⁾を図-9に示す。粘度が下がり油圧低下を招き、耐久途中でオイルの新替を余儀なくされている。BDFによる酸化も進むため、オイル寿命を半分位に考えるのが良い。

また、DPFの煤捕捉による詰りを、排気管に燃料噴射して燃焼させ煤も同時に燃焼させる再生処理が行われるが、BDFが10%を超えると不十分となり、100%では再生不可となる。実験結果⁵⁾を図-10に示す。

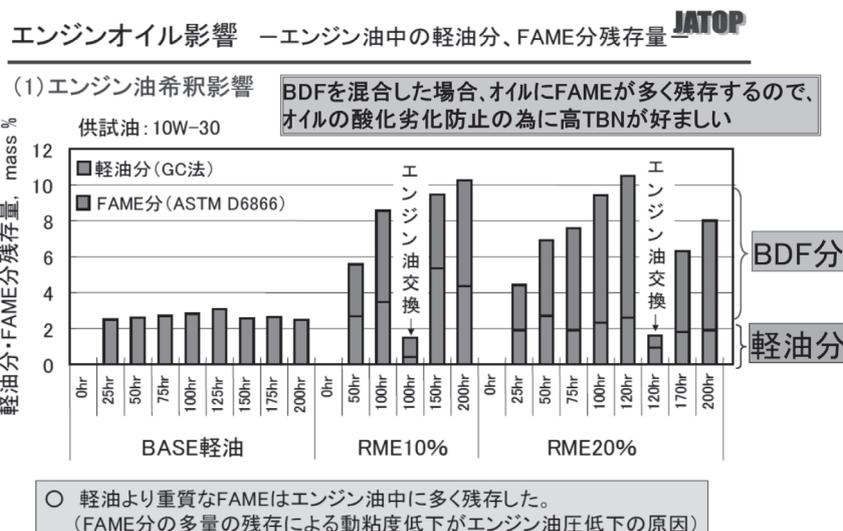


図-9 BDFのオイルへの影響⁵⁾

後処理影響 —DPF強制再生 試験結果—

JATOP

*1:RME、CME、*2:RME、*3他の混合率の結果から推定

試験項目		バイオ燃料混合率、mass%			
		10	20	50	100
DPF 強制再生	自動	○	○	○(FAME*2)	×(FAME*2)
	手動	○	○(HBD) ×(FAME*1)	×(FAME*3)	×(FAME*3)

○:Pass、×:Fail

○ FAME混合率の増加により、強制再生がFailとなる傾向がみられた。
 —自動強制再生はFAME100%混合でFail
 —手動強制再生はFAME20%混合でFail(HBD20%混合はPass)

(FAMEの発熱量や揮発性が軽油と比較して低いことに起因すると推定される)

図—10 BDFのDPFへの影響⁵⁾

5. 意識調査

以上のように、DPF付エンジンの場合は、燃料とオイルの品質が重要となり、かつ、規制対象外機や従来機との併存において、燃料とオイルの品質組合せ適否が起り得るので、建機・エンジンメーカーとユーザー側である整備・レンタル業にアンケートを行った。その結果を紹介する。

(1) 現行機の燃料・オイル品質の推奨と実際

推奨燃料と使用燃料を図—11に示す。メーカーの推奨では、軽油と100%軽油を区別しているが、使用者側は、軽油と認識していて、軽油外が少ないことから、品質について厳格にとらえていない可能性がある。

推奨オイルと使用オイルを図—12に示す。JASO:

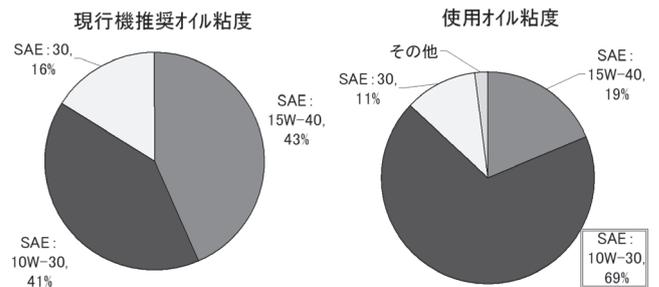
推奨燃料:	使用燃料:		
・軽油(<B5)	64%	・軽油	99%
・100%軽油	27%	・灯油	1%
・燃料成分規制*1	9%	・A重油 他	0%

*1:排ガス規制対象外機

推奨は、厳格であるが、使用者側は、軽油外の比率が小さく、そこまで認識していない可能性がある

図—11 現行機の燃料

DH-1とDH-2について、逆転現象がみられる。使用燃料が、厳格に軽油であれば問題ないが、軽油外燃料が含まれていた場合には、問題になる可能性がある。DH-2の方が新しい規格なので、旧規格DH-1を包絡していると考えているならば、それは誤解である。メーカーの推奨に戻した方が良い。また、図—13に示す粘度においても、10W-30と15W-40で比率の違いがみられる。推奨と実態で差があると考えられる。



図—13 現行機のオイル粘度

(2) DPF付機の燃料・オイル品質の推奨

推奨燃料は、図—14に示すが、現行機とほとんど変わらない。

推奨オイルは、図—15に示すが、品質においては、新たに設けられたカテゴリのJASO:DH-2あるいはAPI:CJ-4である。粘度においては現行機と同様である。

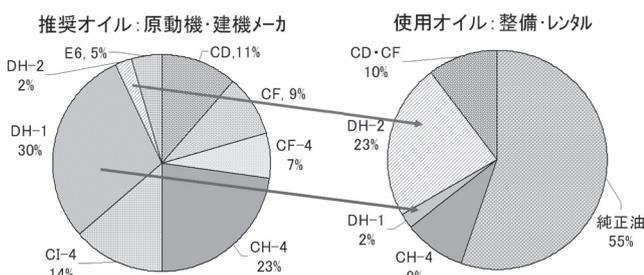
このメーカーの推奨に対するユーザー側の反応は、図—16の通りである。80%が遵守事項ととらえられており認知度としては高い方であるが、20%は必須との考

推奨燃料:	(現行機)
・軽油(<B5)	67% (64%)
・100%軽油	28% (27%)
・燃料成分規制*1	5% (9%)

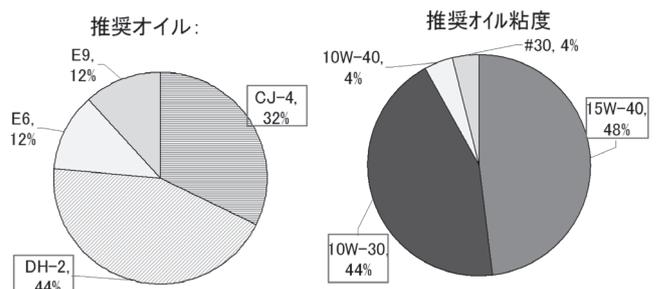
*1:排ガス規制対象外機

推奨燃料は、現行機と、ほとんど変更なし

図—14 DPF付機の燃料



図—12 現行機のオイル品質



図—15 DPF付機のオイル品質と粘度

■ 燃料:軽油, オイル:DH-2相当の使用が必須	
①認識している	80%
②知ってはいるが、推奨だと思っていた	20%
③知らなかった	0%
メーカー推奨と使用者認識にズレがあり、DPFの目詰りリスクの啓蒙が必要	

図-16 DPF付機の燃料とオイル品質

えに及んでいない。

DPFの目詰りリスクに対する啓蒙が必要である。

(3) DPF付機の燃料・オイル品質の励行

燃料・軽油, オイル・DH-2の入手性については、図-17に示すように問題なさそうである。

しかし、在来機との燃料・オイル品質の使い分けについては、図-18に示すように、80%と大半が不安視している。

■ 燃料:軽油, オイル:JASO:DH-2相当の入手性	
(軽油)	
①配給ルートがすでにあり問題ない	100%
②配給ルート不明・わからない	0%
(オイル)	
①純正油を使用	50%
②購入できる	50%
③購入できない・わからない	0%
軽油とオイルの入手性は問題なさそう	

図-17 推奨燃料とオイルの入手性

■ 在来機との燃料・オイル品質の使い分け	
①問題ない	20%
②混乱して誤使用が出そう	45%
③ユーザに徹底できない	35%
(低硫黄燃料には、ローアッシュオイル) (高硫黄燃料には、ハイアッシュオイル) の組合せ使用となることのPRが必要	

図-18 燃料・オイル品質の使い分け

燃料の品質については、適正燃料は“軽油”であると情宣されてきたが、これは排ガス性状の点からで、軽油外燃料を使用してもエンジンに大きなトラブルが発生せず問題となることがなかった。しかし、DPF付エンジンでは、軽油外燃料は、PMの増加でDPFが早期に詰り、エンジンがストールして稼働中にストップする危険性があることを認識する必要がある。

また、エンジンオイル品質については、劣化による潤滑性、清浄性不良によるエンジントラブルの経験が多くあり、そのため、指標となる塩基価が重要視されてきた。しかし、DPF付エンジンでは、塩基価の元となる金属系添加剤が灰となって、DPFの詰りの元となって寿命を短くする。それゆえ、ローアッシュのエンジンオイルの使用が必須であることを認識する必要がある。ただし、ローアッシュといっても、単に金属系添加剤の量を減らしただけのものでは、清浄・分散性の能力不足の可能性があるので使用を避け、メーカーの純正油か、品質の適正が保証された規格適合品(JASO:DH-2, または, API:CJ-4)を使用することが、重要である。

一方、高硫黄燃料の場合には、生み出される硫酸の中和をしなくてはならないため、塩基価の大きいハイアッシュのオイルを使用せねばならない。

ローサルファ燃料にローアッシュオイル、ハイサルファ燃料にハイアッシュオイルの組合せ使用が必須であり、DPF付機では、超ローサルファ燃料でローアッシュオイルを使用し、目詰り防止を図ることが遵守事項であることを認識されたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 報道発表「建設機械における排出ガス対策の一環として燃料使用状況を調査しました!」(2009.6.12)
- 2) JCAP, 第4回成果発表会「オイルWG報告:後処理装置に及ぼすオイルの影響」(2005.6.1)
- 3) 国土交通省, 「IMO 第57回海洋環境保護委員会(MEPC57)の審議結果について」(2010.4.7)
- 4) 経済産業省, 省令第3号「揮発油等の品質の確保等に関する法律施行規則の一部を改正する省令について」(2007.1.15)
- 5) 金子タカシ, JATOP, 第2回成果発表会「ディーゼル車バイオ燃料WG報告」(2012.3.9)

6. おわりに

2011, 14年の排ガス規制は、後処理装置装着を前提としたもので、これまでのように、燃料とオイルの品質について、エンジンが故障しなければ良い、ということでは済まされない世界になった。

【筆者紹介】

吉田 史朗 (よしだ しろう)
MHI さがみハイテック(株)
設計部 エンジン設計グループ

