

バイオ燃料等の自家発電設備への適合性調査⑧

内発協では、B100燃料（バイオディーゼル燃料100%）（以下、BDF）を使用した自家発電設備について、適用する場合の条件等を明確にするため、実機による4,000時間の実証運転における随時計測及びその後の分解調査等を行った。分解調査等では、使用するBDFの性状を分析し、それら性状によるディーゼルエンジン内部のカーボンの堆積、材質劣化、潤滑油劣化等を調査し、BDF使用によるディーゼルエンジン等に与える影響について評価した。計測及び分解調査等における結果の一部を紹介する。

1. 運転中の随時計測結果

1.1 黒煙濃度

黒煙除去装置（DPF）入口、すなわちエンジン本体排気出口の濃度を見ると、常に0.5ボッシュスモークユニット（BSU）を下回る黒煙濃度で推移しているが、500h及び3,000h付近では比較的高い濃度であることがわかる。外気温度変化による空気密度・充填効率の変化が影響していると考えられ、BDF利用による黒煙排出性能の経時劣化は無いと考えられる。（表1、表2を参照）

1.2 排ガス性能

DPF入口のNO_x濃度は運転期間を通して460～660ppmで推移しており、異常もしくは経時的な濃度上昇や低下は見受けられない。運転期間中では、BDF利用に起因するディーゼルエンジンの燃焼の悪化等はなかったと考えられる。989h、1,381h時点でDPF出口のNO_xの計測を行ったところ、DPF出口と入口でその濃度に大きな差がないことが確認できた。以降はDPF入口のみを計測した（最終回のみ入口と出口の両方計測した）。初回計測時のDPF出口計測値は、計測器調整不良のため除いている。（表3を参照）

1.3 潤滑油性状

エンジンの耐久性に関連する潤滑油性状についてその分析結果と実用上のメンテナンス方針について検討した。主な潤滑油性状である動粘度（40℃）、燃料希釈率、全酸価の結果グラフを示す。エンジンの継続使用のために許容できるそれぞれの限界値を

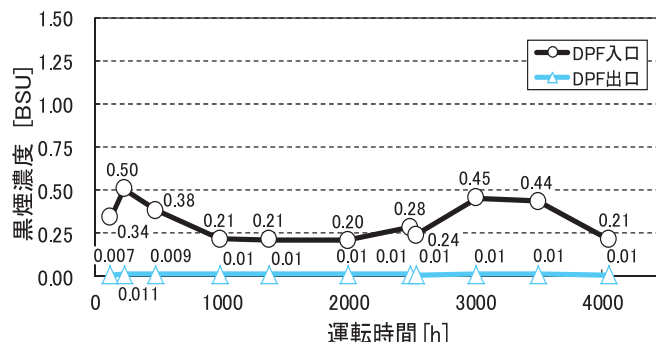


表1 黒煙濃度の推移（DPF入口／出口）

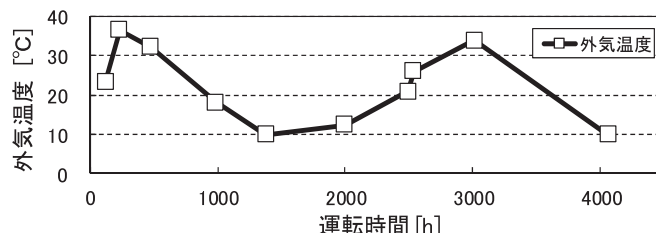


表2 外気温度の推移

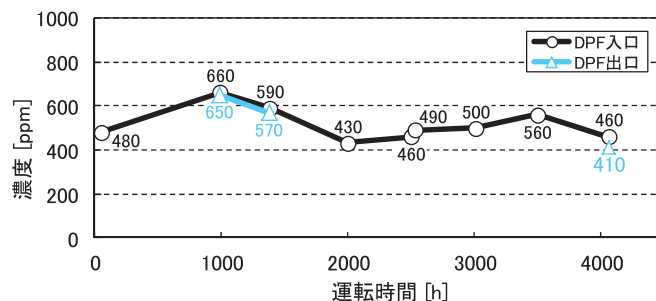


表3 窒素酸化物（NO_x）濃度（O₂=13%換算値）

グラフ上に直線で記載した。動粘度は、運転とともに徐々に低下し、2,000h程度で下限値（初期値マイナス25%）を下回ったため、潤滑油の全量交換を要した。動粘度低下はエンジン部品の異常摩耗や焼付きなど重大な不具合を引き起こす可能性がある。そのため動粘度あるいは燃料希釈率は重要な管理項目であると考えられる。

燃料希釈率は運転時間とともに増大しており、500h足らずで上限値の目安である2.5%を超え、潤滑油交換直前では希釈率は8%弱まで上昇した。希釈率は一旦、潤滑油交換によりほぼ初期値（ゼロ）まで低下するが、その後も運転時間とともに同様の

上昇傾向が見られる。これは動粘度の推移と連動している。

このことから、潤滑油に比して1割以下と低い動粘度を持つBDFが潤滑油に混入することでその動粘度低下を引き起こしているものと考えられる。

潤滑油へのBDF混入が顕著であった理由については、噴射された燃料の一部がシリンダライナに付着し、潤滑油へ混入するケースである。すなわち噴射された燃料の一部が燃焼せずにシリンダライナへ付着し、ピストンリングに掻き落とされることで潤滑油に徐々に混入する経路で考えられる。

一般にBDFは軽油に比べて蒸発温度が高い。(2015年11月号記載の蒸留特性を参照)

そのために、軽油に比べて燃焼室内に噴射された燃料の未燃割合が増加し、結果的にシリンダライナを介して潤滑油へ混入する燃料量が多くなったと推測される。長時間の低負荷運転により燃焼室内温度が低下する場合や、始動のクランキングを過度に繰り返す場合などは、燃料希釈がより進行することが考えられるため注意を要する。

酸価は、限界値に対して余裕を持っており、今回の潤滑油使用時間（最長2,496h）内では何ら問題なかった。この理由として、BDFは燃料中に硫黄分を含まないために、酸価の増加が緩やかであるためと考えられる。

以上から、潤滑油は燃料希釈に伴う動粘度低下のみが問題となることがわかった。実際の運用上は動粘度あるいは燃料希釈率の管理を重点的にを行い、潤滑性能を損なわぬよう交換を行うことが必要である。(表4、表5、表6を参照)

2. 運転後の分析調査結果

2.1 デポジット堆積

ピストン頂面や燃焼室へのデポジット堆積は運転時間(4,117h)に対しては少なく、筒内流動や燃焼、あるいは吸排気バルブの挙動を阻害することはなかったと推測される。ピストン側面についても、トップリングとセカンドリングの間にわずかな汚れが見られる程度であり、全ピストンリングについて固着も無いことから、摺動やシール性において問題ないものと考えられる。(写真1を参照)

2.2 インジェクタノズルへの影響

一般にBDFの酸化により生じた劣化物がインジェクタノズル針弁摺動不良を誘発する可能性が指摘されている。そこで実証運転後のノズルの分解調

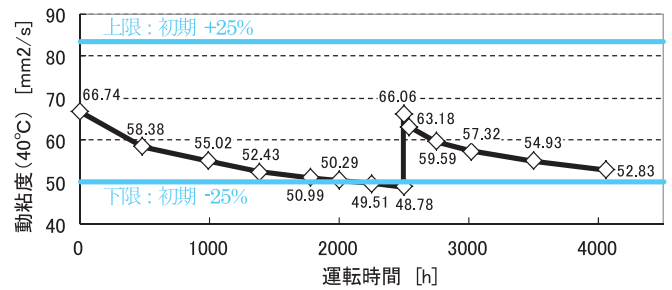


表4 潤滑油の動粘度 (40°C)

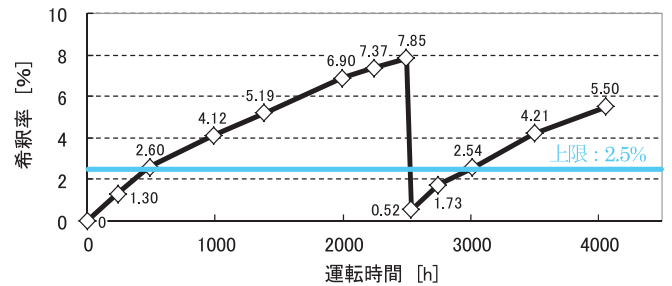


表5 潤滑油の燃料希釈率

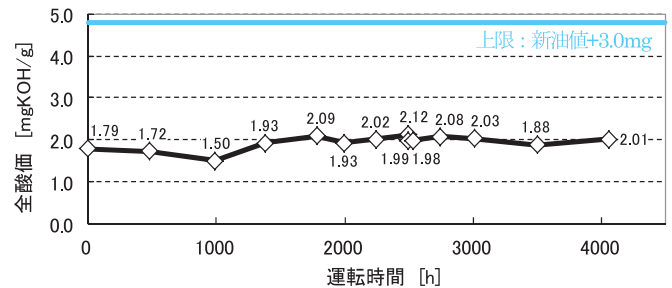


表6 潤滑油の酸価

査を行いBDFに起因する性能劣化の有無を調べた。

開弁圧低下は最大で3MPa程度であり、軽油仕様と同等であることから燃焼ガスの逆流はなく、噴霧状況についても使用時間から見て正常な噴霧形成がなされていたと考えられる。ノズル針弁シートについてもキャビテーションの発生がわずかに確認されたものの、シートの耐圧性(油密)は保持できている問題は無かった。シート摩耗状態についても軽油仕様と同等で問題は無かった。(表7を参照)

噴口流量についてはその変化率が約4%の低下であり、軽油仕様より若干大きいレベルである。試験機では出力をベース機に対して3割以上ディレーティング(発電効率0.9を仮定)しているため全く問題ないレベルと言える。流量低下については、噴口部を清掃することで復帰するので、噴口内面にバイオ燃料起因のデポジットが堆積していたものと考えられる。

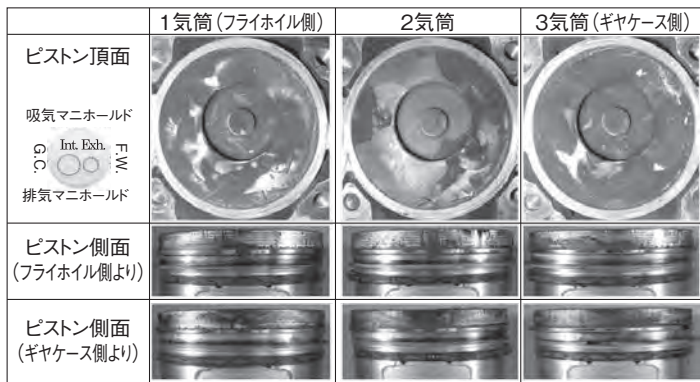


写真1 ピストンへのデポジット堆積状況

F.W.: フライホイール G.C.: ギヤケース

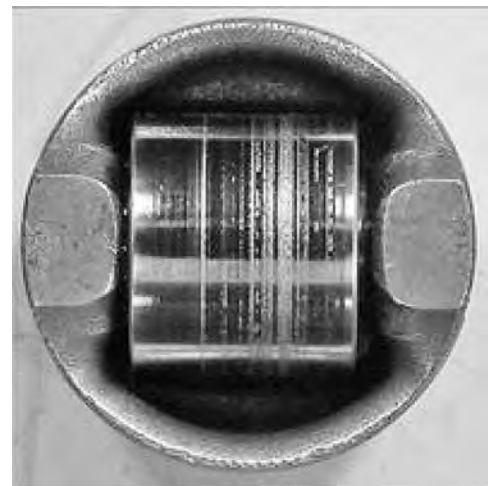


写真2 ローラタペットのローラ摺動部表面

表7 インジェクタノズル特性の調査結果一覧

		計測日	2013年12月11日		
		シリンダNo.	1cyl	2cyl	3cyl
ノズル特性	開弁圧 Mpa	出荷時 (0h)	19.6	20.0	19.5
		回収時 (4,117h)	17.1	17.0	16.5
		変化量	-2.5	-3.0	-3.0
噴霧状況	1秒/ストローク	良	良	良	
ノズル耐久性	シート部にじみ (直径φmm)		0	0	0
	シート部キャビテーション		軽微	軽微	軽微
	ガス侵		無	無	無
	噴口流量 g/min	出荷時 (0h)	628	636	631
		回収時 (4,117h)	618	613	614
変化量		-2%	-4%	-3%	

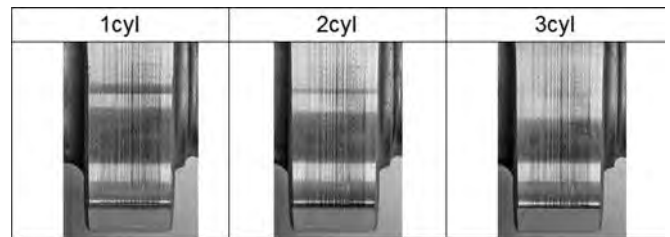


写真3 噴射内部のカム表面

耗痕が見られた。このカム—ローラタペット系は、エンジン本体の潤滑油により潤滑しているため、この摩耗痕については、潤滑油の動粘度低下による潤滑性能の低下による可能性が考えられる。今回の試験では、ポンプ焼付きは発生しておらず、エンジン性能の悪化も見られなかった。重大故障とは言えないが、潤滑油交換を適切に行わない場合、ポンプ焼付き等の不具合が発生する可能性があると言える。

(写真2、写真3を参照)

噴射ポンプ内部のシール部品、フィードポンプ及びその内部オイルシールはそれぞれ外観検査の結果、パッキン、シールワッシャ、Oリング等に膨潤などの異常は確認されなかった。オイルシールについてもリップ部に汚れが見られるが、その形状は保持されており、シール性に影響はないと考えられる。特にフィードポンプ内部のオイルシールは燃料系と潤滑油系の油密性を保持するもので、潤滑油消費あるいは燃料希釈に寄与する重要なシール箇所である。

エンジン運転条件や燃料等について、今回の実証試験の範囲内であれば、燃料噴射ポンプの内部部品に重大な不具合は発生しないことがわかった。潤滑油にて噴射ポンプ潤滑を行うエンジンでは、潤滑油性状の著しい劣化により燃料カム、タペットの異常摩耗を引き起こす可能性があることも確認された。

2.3 燃料噴射ポンプへの影響

国土交通省によると、高濃度BDFを利用する際、BDF中の不純物や酸化劣化物が燃料噴射ポンプ内部の摺動部品に析出・付着してポンプの焼付きや低寿命化に繋がる可能性が指摘されている。実証運転後の燃料噴射ポンプを分解調査し、摺動部を中心とした金属部品へのBDF影響を調べた。また、BDFはゴムに対して膨潤作用を持つため、ポンプ内部のガスケットやOリング等のシール部品についても状態を確認した。実証運転後の噴射ポンプ外観からは燃料漏れや滲みといった異常は確認されなかった。

一方、噴射ポンプ内の主要摺動部品である分配軸及びプランジャは、外観検査を行ったが、劣化物等の付着は見られずその表面は清浄であり、異常摩耗痕も見られず継続使用可能な状況と判断された。噴射ポンプ内部のカム表面は、外観検査より、摩耗状況は運転時間に対して通常レベルであり問題なしと判断された。

カムに関連する部品として、ローラタペットのローラ摺動部表面には、通常(軽油運転)より顕著な摩