重油中の触媒残さによる 機関摩耗について*

辻 歌男**・加藤 寛**・塩出敬二郎**

Wear of Engine Parts Caused by Catalyst Fines in Heavy Fuel

By Utao Tsuji, Hiroshi Kato, Keiji Shioda

FCC slurry bottom oil and FCC cycle oil are getting used as base stock for making a marine heavy fuel even in Japan. The marine heavy fuel which contains FCC slurry bottom oil and FCC cycle oil contains small quantity of catalyst fines, because it can not be recovered completely by a catalyst reclaiming. The catalyst fines in a fuel oil are very abrasive ones and wear engine parts such as piston rings, a cylinder liner and parts of a fuel injection pump.

But, few data concerned with the relation between catalyst fines and engine wear have been presented, especially the quantitative relations. Therefore, influence of catalyst fines on engine wear has been investigated by the engine tests with the heavy fuels contained known quantities of catalyst fines.

The five kinds of heavy fuels which contain catalyst fines of 0, 30, 60, 100 and 150 ppm, were prepared for the engine tests. The engine test of 30 hour duration was carried out for each fuel.

Main items measured included the wears of piston rings, a cylinder liner, crank-pin metals, a plunger, a barrel, a delivery valve and a needle valve, and Fe and n-pentane insoluble contents in lubricant.

From the test results, the followings are concluded.

1. Piston ring and cylinder liner wears increase in proportion to an increase of catalyst fines content in a fuel oil.
2. In the case of a trunk piston type engine, Fe and n-pentane insoluble contents in lubricant increase in proportion to an increase of catalyst fines content in a fuel oil, and crank pin metal wear increases consequently.

1. ま え が き

近年船用燃料として供給されているC重油には、接触分解装置で作られたサイクルオイルやボトムオイルが基材として使用されるようになってきている。今までは外国で生産される重油では、このようなことがなされていたが、最近では国内で生産される重油でも同じ事が行われるようになってきた。この傾向は今後とも続くことが予想されている¹⁾²⁾。接触分解装置で作られる重油基材の中には、この工程中で使用される触媒粒子が完全には回収されずにサイクルオイル及びボトムオイルに混じることもある。この触媒粒子は機関部品に対してアブレイシブな摩耗を発生させるものであり、これの混入は機関にとって非常に危険である。触媒粒子による実際の機関

故障例としてはシリンダライナや燃料ポンプの異常摩耗等が多く報告されている³⁾。

重油中に混入した触媒粒子は、燃料前処理装置である程度除去できるが、完全に除去することはできない。

また、重油中の触媒粒子が機関摩耗にとって非常に危険なものである事は、よく言われているが、重油中の触媒粒子濃度と機関部品の摩耗量との関係、許容量などについては、まだ明確にされていない。そこで、重油中の触媒粒子の濃度が機関部品の摩耗量とどのように関連しているかを調べるために小形高速ディーゼル機関を用いて実験を行った。

以下、この実験研究の概要について報告する。

2. 触 媒 粒 子

接触分解装置で使用する触媒粒子の大きさは平均粒径が60～70ミクロンであると言われている⁴⁾。この触媒粒子が分解装置内で使用中に摩滅し、粒径がだんだん

* 原稿受付 昭和60年12月16日

昭和60年秋季学術講演(昭和60年10月23日)

** 正会員 運輸省船舶技術研究所(三鷹市新川6-38-1)

小さくなり、触媒回収装置で回収できなくなると、これが燃料中に混じることになる。この触媒粒子を含む燃料は、機関に供給される前にセパレータ、フィルタなどにより処理される。そして、実際に機関に供給される時には、フィルタの目開き、セパレータの能力などによって異なるが、平均粒径が10ミクロン前後になるものと思われる。実験用に入手した触媒は廃触媒(回収装置で回収されたもの)で、平均粒径が60~70ミクロン(写真1参照)であった。この廃触媒をそのまま使用したのでは、実際の機関に入るものと比較して大き過ぎるので、これを実際の機関に供給される粒径に近づけるために、スタンプミルにより粉碎して写真2に示すような粒径の触媒を作った。このようにして作った触媒を重油に添加して実験用燃料とした。

写真1 粉碎前の触媒粒子

写真2 粉碎後の触媒粒子

3. 実験に使用したディーゼル機関、燃料油及び潤滑油

3.1 ディーゼル機関 この実験に使用したディーゼル機関は、小形高速、水冷、単気筒、直接噴射、無過給式の4サイクル機関で、その主要目は表1に示すとおりである。重油を燃焼するために、燃料加熱装置の増設及び燃料噴射率を向上させるためにプランジャ径の増大などの対策を行っている。実験に使用したシリンダライナ及びピストンリングは、大形車両用のディーゼル機

表1 実験機関の主要諸元

製 作 者	AVL (オーストリア)
名 称	AVL 502
サ イ ク ル	4
燃 焼 室 型 式	直 接
給 気 方 法	自然吸入
冷 却 方 法	強制水冷
シ リ ン ダ 数	1
シ リ ン ダ 径	115 mm
ス ト ロ ッ ク	120 mm
最 高 回 転 数	2800 rpm
排 気 量	1246.4 cc
圧 縮 比	18.0
最高爆発圧力	100 kg/cm ²
燃料噴射ポンプ	ボッシュ式
開 弁 圧	225 kg/cm ²
吸 気 弁 開	20° BTDC
吸 気 弁 閉	46° ABDC
排 気 弁 開	51° BBDC
排 気 弁 閉	15° ATDC

関に一般に使用されているものをそのまま使用した。この機関には3本組のリング(2本のコンプレッションリングと1本のオイルリング)が付いているが、いずれも表面はクロームメッキが施されている。

3.2 燃料油及び潤滑油 この実験に使用した燃料油は、日本の船舶がアメリカの西海岸で補油したものを実験用に入手したもので、分析結果ではアルミナやシリカなどの成分は検出されなかった。この燃料の主要な性状は表2に示すとおりである。この燃料に触媒粒子を0, 30, 60, 100, 150 ppm 添加した実験用の5種類の燃

表2 燃料油の性状

比 重	15/4℃	0.9501
反 応		中 性
引 火 点	℃	114
動 粘 度	cSt/50℃	175
流 動 点	℃	-2.5
残留炭素分	w%	10.0
硫 黄 分	w%	2.95
灰 分	w%	<0.01
水 分	w%	<0.1
窒 素	w%	0.20
総 発 熱 量	kcal/kg	10360

表3 潤滑油の性状

比 重	15/4℃	0.910
粘 度	cSt/40℃	108
	cSt/100℃	12.0
粘度指数		100
引 火 点	℃	256
全 塩 基 価		34.6
全 酸 価		1.06

料を作り、これによって実験を行った。また、この実験に使用した潤滑油の主要な性状を表3に示す。

4. 実験方法

一般のディーゼル機関では、燃料中の触媒粒子は燃料前処理装置である程度除去されるので、実際にはどの程度の濃度のものが燃焼室まで供給されているか分からない。この実験では、燃焼室に入る燃料中の触媒粒子濃度で摩耗量を評価するために、サービスタンクから燃焼室までの間のフィルタ、ストレーナなどは全部取り外した。これによって、燃焼室に入る触媒粒子濃度をサービスタンク中の濃度と同じに保てるようにしている。触媒粒子の濃度の異なる5種類の重油燃料を用いて、小形高速ディーゼル機関を表4に示すような運転条件で30時間の連続運転を行い、機関各部の摩耗量、潤滑油中の n -ペンタン不溶解分の増加量、鉄分の増加量などを調べた。機関各部の摩耗量としては、ピストンリング、シリンダライナ、クランクピンメタル、燃料ポンププランジャ、デリバリーバルブ、ニードルバルブについて計測した。これらのうちシリンダライナ以外のものについては、実験前後の重量を計測して、その差を摩耗量とした。シリンダライナについては、実験前後のシリンダ内径をシリンダゲージで計測して、その差を摩耗量とした。潤滑油中の n -ペンタン不溶解分の増加量は、ポアサイズが5ミクロンのメンブランフィルタを使用して測定を行い、パーセント(%)で表示した。潤滑油中の鉄分は原子吸光分析法により測定した⁵⁾。ピストンリング、ピストン、シリンダライナ、燃料ポンププランジャ、バルブ、デリバリーバルブ、及びノズルは、各実験ごとに新品と交換した。また、潤滑油も各実験ごとに十分にフラッシングを行ってから新油と交換した。

表4 機関運転条件

機 関 回 転 数	1800 rpm
正味平均有効圧力	5.07 kg/cm ²
潤 滑 油 温 度	70℃
冷 却 水 温 度	80℃
燃 料 油 温 度	100℃
吸 気 温 度	25～35℃

5. 実験結果

図1は、燃料油中の触媒粒子濃度を0, 30, 60, 100, 150 ppmと変化させた時のピストンリング摩耗量の変化を示したものである。燃料中の触媒粒子濃度が高くなると、第一リング、第二リング及びオイルリングともに摩耗量が増加する傾向を示している。触媒粒子濃度が150 ppmの燃料油でのリング摩耗量は、触媒無添加燃料油での摩耗量の約2倍になっている。図2は燃料油中の触媒粒子濃度とクランクピンメタルの摩耗量との関係を示したものである。全体的には、燃料中の触媒粒子濃度が

図1 ピストンリング摩耗量

図2 クランクピンメタル摩耗量

高くなればメタルの摩耗量も増加する傾向を示している。触媒粒子濃度が60 ppmと100 ppmの時の摩耗量が150 ppmの時の摩耗量より多くなっているが、この理由はいくつか分らない。

図3は、燃料中の触媒粒子濃度と潤滑油中の n -ペンタン不溶解分との関係を示したものである。この図から分かるように燃料中の触媒粒子濃度が高くなれば、潤滑

図3 潤滑油中のn-ペンタン不溶解分

油中のn-ペンタン不溶解分も増加する傾向を示している。しかし、触媒粒子濃度が1500 ppmの場合よりも60及び100 ppmの場合の方がn-ペンタン不溶解分が多くなっている。この傾向はクランクピンメタルの摩耗量の場合と同様である。

燃料噴射系統では、ニードルバルブ、ポンププランジャ、バレル、デリバリーバルブについて摩耗重量を0.1mgの単位まで計測したが、30時間の運転では差が見出せなかった。また、顕微鏡によって潤滑面の傷を調べたが、触媒粒子によると思われるようなものは見付からなかった。実験に使用した燃料噴射ポンプ、ノズルなどの潤滑部分の隙間は数ミクロン以下となっているので、触媒粒子でこの隙間の中に入れるものは非常に少なかったのではないかと推測している。燃料噴射系統の摩耗量が非常に小さかったのは、このためと思われる。

また、シリンダライナの摩耗については、内径を1ミクロンの単位まで計測した。図4には1例として、ピストンが上死点にある時の第一リングの位置でのシリンダライナ摩耗量と触媒粒子濃度との関係を示したものである。

この図から分かるように触媒粒子濃度が高くなれば、シリンダライナ摩耗量は大幅に増大する。特に、軸と直角方向(ピストン側圧受圧方向)の摩耗量が大きくなる。触媒粒子濃度が30 ppmでも、触媒無添加燃料の場合に比較して摩耗量は約2.5倍となっている。また、150 ppmの場合には、約7.5倍にもなっている。

燃料中の触媒粒子濃度が高くなれば、シリンダライナ、ピストンリングの摩耗量も多くなることは前述した通りであるが、これらの摩耗の増大によって潤滑油中の鉄分が増加することは充分予想できる。それで、原子吸光分析法を用いて潤滑油中での鉄分の増加の様子を測定した。

図4 シリンダライナ摩耗量

図5 潤滑油中の鉄分濃度

図5は、燃料中の触媒粒子濃度の変化に対する潤滑油中の鉄分濃度の変化の様子を示したものである。この図から、触媒粒子濃度が高くなれば鉄分濃度も増加することがわかる。また当然の事であるが、潤滑油中の鉄分濃度はピストンリングやシリンダライナの摩耗量と傾向が良く合っている。

6. ま と め

これまでに述べてきた実験結果をまとめると、次のようになる。接触分解装置で使用される触媒粒子が燃料中に混入した場合には、触媒粒子濃度が高くなればピストンリング、シリンダライナの摩耗は増大する。特に、シリンダライナでは触媒粒子濃度が30 ppmでも、摩耗量は触媒無添加燃料のそれに比較して2倍半にもなる。トランクピストンタイプのディーゼル機関では、ピストンリングやシリンダライナの他にも、潤滑油中に混入する触媒粒子によってクランクピンメタルも摩耗量が増大する。また、潤滑油中のn-ペンタン不溶解分及び鉄分も

燃料中の触媒粒子濃度が高くなれば増加する。このような事から、中小形機関に触媒残さが混入する可能性のある燃料を使用する場合には、特に充分な前処理を行うことが必要と思われる。

7. あとがき

これまで、燃料中の触媒粒子濃度が機関摩耗に与える影響についての実験結果を報告した。次に触媒粒子の粒径分布の違いが機関摩耗に与える影響について調査し、触媒粒子と機関摩耗の関係をより明確にしたいと思っている。

前述の実験に使用した触媒粒子は、モービル石油(株)の橋本高明氏のご厚意により提供して頂いたものである。また、燃料噴射系部品の提供及び噴射ポンプの整備については、ディーゼル機器(株)の寺田友彦氏に格段のご配慮を頂いた。また、この実験にたいしてモービル石油(株)の今村弘人氏より貴重な助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 野崎照雄, 他, 日本船用機関学会誌, Vol. 18, No. 7, 1983-7
- 2) 安藤秀男, 他, 船用機関, No. 50, 1984-3.
- 3) 全日本海員組合, 低質燃料に関するアンケート調査報告, 1984-7.
- 4) 日本造船研究協会, 第185研究部会報告書, 1983-3
- 5) 山岸 進, 他, 日本船用機関学会第35回講演前刷, 1984-10

〔 質 疑 応 答 〕

質問者 川崎重工業(株) 東 忠則

〔質問〕 発表者及び質問者等は、昭和57年から低質油研究委員会を組織し、現在も活動中である。この研究会におけるこれまでの情報交換を概括すると、粗悪油問題における今後の主な課題は、

- (1) 摩耗及び腐食
- (2) 安定性を含む前処理
- (3) 大形機関の低負荷における燃焼
- (4) 中小形、中高速機関における燃焼

等であることは、研究会で度々議論されてきた。

その中で、摩耗及び腐食は非常に重要であるが、研究には長期を要すると考えられるので、公的機関であり、適当な試験機関を持っている船舶技術研究所で実施してもらいたいとの要望も度々表明された。このような要望に応じて、船舶技術研究所で摩耗に関する系統的な実験研究を行い、貴重なデータを公表されつつあることに、まず敬意を表したい。

今回の実験では、触媒粒子が入るとライナの摩耗が特に多くなっているとのことであるが、これは本実験で使ったテストエンジンで、ライナ材がリング材に比べ、触媒粒子による切削、研摩作用に弱かったからではなかろうか。材質的な検討をされたのであればご教示願いたい。もし未検討であれば、今後この点も検討していただければ有難い。

〔回答〕 この実験に使用したシリンダライナ及びピストンリングは、高速ディーゼル機関に一般的に使用されているものである。

実験のために特に材質についての対策は行っていない。しかし、ピストンリングはクロームメッキを施したものを利用している。触媒残さによるアブレイシブな摩耗に対しては、材料の硬度を上げることが有効と思われるので、今後機会があれば検討してみたい。