船用ディーゼル機関の脱硝システムに関する研究* —ハニカム担体へのばいじんの影響について—

園 田 憲 一** 山 下 尚***
中 山 信 義*** 神 社 洋 一***

NOx Reduction System for Marine Diesel Engine —Influence of Particulate Matter on Honeycomb Support—

By Kenichi Sonoda, Hisashi Yamashita, Nobuyoshi Nakayama, Yoichi Jinja

In this paper, we describe the influence of the particulate matter and in the exhaust gas on the structure of the honeycomb type catalysts in developing the shipboard NOx reduction plant.

We set the cordierite honeycomb support in the small size test equipment, flowed the exhaust gas from marine diesel engine into the test equipment and investigated the influence of the particulate matter and the pressure loss.

The test results are as follows.

- ① As the test time becomes longer, the amount of the particulate matter increases. But the rate of the increase per time gets lower.
- ② As the exhaust gas velocity becomes higher, the amount of the particulate matter increases. But the amount of the particulate matter per gas volume decreases.
- ③ In case of the honeycomb with equal opening-ratio, the amount of the particulate matter increase as opening of honeycomb becomes smaller.
- ④ As the exhaust gas temperature becomes lower, the amount of the particulate matter increases.

1. ま え が き

船用ディーゼル機関から排出されるNOxにも、地球環境保全のために世界的に規制が実施される方向に進んでいる。その対策として、比較的小さい範囲のNOx低減に関しては燃料噴射系での対策、水エマルジョン燃料の利用などが考えられており、筆者らもその研究を実施している^{1) 2)}。しかし、さら

に大幅なNOx低減を実施する必要がある場合には脱硝システムを併用する必要がある。

陸上用としては既に多くの脱硝システムが採用されているが、船舶用としては試験的に採用されている2, 3の例³⁾しかない。筆者らも既報の通り陸上用をそのまま船舶用として用いる場合の試設計を行った⁴⁾が、そこには幾つかの課題があり、その一つが装置の小型化である。小型化を行うためにはハニカム状の触媒担体（以後ハニカム担体と称す）の目開きを小さくとる必要があるが、排気ガス中のばいじんにより目詰りの恐れが生じる。こうした観点から筆者らは、船舶用として適正かつ小型の触媒構造に関する基礎データを得るために、各種目開きの

*原稿受付 平成7年7月6日

第54回学術講演（平成6年10月12日）

**正会員 川崎重工業株式会社（明石市川崎町1-1）

***正会員 川崎重工業株式会社（神戸市中央区東川崎町3-1-1）

ハニカム担体へのばいじん付着に関する試験を実施したので報告する。

2. 試験方法

2.1 試験装置 図1に試験装置の系統図を示す。この装置は、①試験用の実排気ガスを供給する供試機関、②試験用ハニカム担体を納める触媒層、③触媒層を内蔵し、通過する排気ガス温度を一定に保つ恒温槽、④排気ガスの流量をコントロールするための排気ガス吸引ユニットからなる。触媒層から下流は3系統になっており同時に3種類のハニカム担体について試験できるようになっている。表1に供試機関の要目を示す。

2.2 供試ハニカム担体 表2に主な供試ハニカム担体の主要目を示す。ハニカム担体の外形寸法は長さ125mm、断面約16mm角であり、目開きは

基準を3.2mmとし、1.0mmから5.4mmまでの6種とした。なお本試験では、セルの平均開口面積の平方根の数値を目開きとした。ガスの通路となるセル形状は四角形で、材質はコーゼライトである。セル数は目開きによって4～169であり、基準ハニカム担体の場合16とした。

2.3 試験要領 試験は供試機関の排気ガスの一部を分流して、恒温槽内のハニカム担体へ導き、約25時間通気した。1系統に2本の供試ハニカム担体を直列に装着して、3系統同時に異なる3種の条件の試験を行った。ガスの流速は各ハニカム担体の断面平均流速を約1m/s一定とした。ばいじんの付着量はガスの通気前後で担体の質量を計量して、その質量の差を付着量とした。また、触媒層での圧力損失を計測し、目詰まりの具合を評価した。供試機関の燃料にはA重油を用いた。

3. 試験結果および考察

3.1 運転時間の影響 図2は7時間、14時間、21時間、25時間（ガス通気時間）運転後のハニカム担体端面へのばいじんの付着状況を示す写真である。時間経過とともにハニカム担体へのばいじんの付着量が増加している様子が観察される。

図3は運転時間とハニカム担体に付着したばいじん量の関係を示したものである。図から分かるように時間経過とともにハニカム担体へのばいじんの付着量が増加しているが、運転の経過とともに増加の割合が小さくなっている。これはハニカム担体の表面にある気孔にばいじんが入り込むまでは時間経過とともにばいじんの付着量は直線的に増加するが、気孔がばいじんではぼ塞がるとばいじんの付着量は少なくなるためと考えられる。付着するばいじん量は、2段目より1段目の方が多いが運転時間に対するばいじんの付着状況は同様の傾向を示している。

3.2 ガス流量の影響 図4にガス流量とハニカム担体へのばいじん付着量の関係を示す。運転時間は25時間である。ばいじんの付着量はガス流量が増加すると増加するが、ある値以上になるとほとんど変わらず、流量に関係なくほぼ一定である。これはガス量が増加するとばいじん量も増加することになり、付着量も増加する。しかし、ガス量がある程度多くなると流速も速くなり、付着したものを吹き飛ばしてそれ以上付着できなくなるためと考え

図1 試験装置系統図

表1 供試機関の主要目

型 式	4サイクル直噴型ディーゼル機関
シリンダ数	1シリンダ直列
シリンダ径	250mm
ストローク	250mm
馬 力	220ps
回 転 数	1000rpm
過 給 方 式	別置電動ブロア 空気冷却器付
制 動 方 式	うず電流式電気動力計

表2 供試ハニカム担体の要目

供試体番号	1	2	3	4	5	6
目開 (mm)	1.0	1.2	1.7	2.4	3.2	5.4
表面粗さ (μm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
セル形状	四角形	四角形	四角形	四角形	四角形	四角形
寸 (縦×横×高さ) (mm)	16.5 16.5 12.5	16.7 16.6 12.5	16.3 16.3 12.5	15.7 15.7 12.5	16.6 16.8 12.5	14.0 14.1 12.5
セル数	169	100	49	16	16	4

図2 各運転時間におけるばいじんの付着状況

図3 運転時間とばいじん付着量

図4 ガス流量とばいじん付着量

られる。

3.3 目開きの影響

3.3.1 ばいじんの付着形態への影響 図5は、25時間運転後の各種目開きの1段目のハニカム担体の上流側端面へのばいじんの付着状況を示す写真である。端面の写真から判断すると、目開きが小さいものは目詰まりの可能性が高いことが定性的に分かる。目開き1mmの担体には、ばいじんの付着に均一性がない。これはハニカムのコア厚さが次に目開きの小さい1.2mmのものに比べて1/2以下と薄いために、付着・堆積したばいじんが時間経過とともに脱

落したためと考えられる。ハニカムコアの厚いものに対してもさらに長い時間運転を継続するとこの傾向はみられるものと考えられる。この脱落したばいじんは堆積して大きくなっているために、目開きの小さいハニカムでは流路内で目詰まりを生じるおそれがある。

3.3.2 圧力損失への影響 図6に運転時間の経過に対する目開き1.0mm, 3.2mm, 5.4mmのハニカム担体部分の圧力損失の推移を示す。圧力損失はばいじんの付着状況を連続的に評価する手段のひとつとして計測したものである。目開き5.4mmと3.2mmは図5の写真に示すようにハニカム担体端面に多くの

図5 各種目開きの担体へのばいじんの付着状況

図6 圧力損失の時間変化

ばいじんの付着が見られたが、本試験では排気ガスの流速を比較的小さくしているため圧力損失としてはそれほど大きな上昇には至っていない。しかし目開き1.0mmでは大きな圧力損失の上昇がみられる。また、10時間経過時点で一旦圧力損失の上昇が停滞しているが、これはこの時点でばいじんの脱落が生じたものと考えられる。

3.3.3 ばいじん付着量への影響 図7に各種目開きの担体へのばいじんの付着量を示す。なお、付着量は単位ガス流量あたりの値で示す。以後、特に断らない限り同じ表示とする。図7より判断すると、目開きとばいじん付着量には相関がないように見えるが、ばいじん付着量の多い目開き2.4mmのものは目開きに対してコア厚さが相対的に厚くまた、ばいじん付着量の少ない目開き1.0mmのものはコア厚さが薄いためである。コア厚さの影響を除くため、コア厚さと目開きの割合がほぼ等しいハニカム担体について目開きとばいじん付着量の関係を示したものが図8である。ばいじん付着量は目開きが小さくなるとほぼ直線的に増加している。これから分かるようにコア厚さによって付着、堆積、脱落の形態が異なるものと考えられる。また、目開きが大きいほど1段目と2段目のハニカム担体に付着するばいじん量の差が少なくなる。これは目開きが大きくなると1段目に付着するばいじん量が少なくなり、その結果2段目の担体を通過するばいじん量が多くなり、付着量が増加するものと考えられる。

3.4 ハニカム担体長さの影響

図7 目開きによるばいじん付着量の比較

図8 目開きとばいじん付着量

担体に対して担体の端面と流路側面にどのくらいの比率でばいじんが付着するかを把握するため、長さを約20mm、60mm、125mmに変更して試験を行った。図9にその結果を示す。この図より上流側端面には、125mmの基準ハニカム担体に付着したばいじんの約10%の付着があることが分かる。一方、端面の面積と通路壁面との面積比は、約1:250であるので面積あたりの付着量は約30倍にも達する。このため端

図9 ハニカム長さとはいじん付着比率

面におけるばいじん付着は、図5の写真からも分かるように目詰まりに対して大きな影響を与える。

3.5 排気ガス温度による影響 機関から排出される排気ガス温度がハニカム担体へのばいじん付着に与える影響を把握するために、排気ガスの温度を変更して試験した。

図10はハニカム担体を通ずる排気ガス温度を300℃、350℃、400℃に設定して25時間運転した後のハニカム担体へのばいじんの付着状況を示す写真である。(a)は1段目の上流端面の写真であり、(b)は1段目の上流の端面から約10mmの位置のハニカム担

体通路壁面の写真である。これらの写真より排気ガス温度が400℃の場合には、それより低い排気ガス温度の場合に比べてばいじんの付着量が少ないことが定性的に分かる。図11にそれぞれの排気ガス温度におけるハニカム担体へのばいじんの付着量を示す。機関から排出されるばいじん量は、400℃の場合が僅かに多い程度で各条件で差がないにもかかわらず、この図から分かるように400℃の場合のハニカム担体へのばいじんの付着量は排気ガス温度が300℃の場合に比べて約1/3に減少している。これには次の2つの理由が推測される。まず一つは、ばい

図10 各排気ガス温度におけるばいじんの付着状況

図11 排気ガス温度とばいじん付着量

じんの性状が排気ガス温度により異なり、付着しにくい性状、例えばドライな状態になり、そのためハニカム担体への付着が少なくなること、二つめの理由としては、ばいじんの粒子は1μm以下のものがかなり多いため排気ガス温度が高くなると、それがハニカム担体の気孔に取り入れられた段階で燃焼し、その結果ハニカム担体への付着が少なくなることが考えられる。このように、排気ガス温度が400℃から300℃に低下すると、ハニカム担体へのばいじん付着量が約3倍になり、低温で使用できる脱硝装置を開発する場合、ばいじんの付着が大きな課題となる。

4. あとがき

船舶用として触媒構造を検討するために、各種目開きのハニカム担体へのばいじんの影響について述べた。以下に結果を簡単にまとめる。

- ①ハニカム担体へのばいじんの付着は運転時間の経過とともに増加するが、その増加割合は時間とともに小さくなる。
- ②ガス容量を増加するとばいじんの付着量は増加するが、ある値以上になるとガス容量に関係なくほぼ一定となる。
- ③ハニカム担体の目開きを小さくしていくとばいじんの付着量は増加し目詰りが生じ、圧力損失が増加する。
- ④排気ガス温度によりハニカム担体のばいじん量は大きく左右され、温度が低いほど付着量は増加する。

以上、ハニカム担体のばいじん付着に関する多くの基礎データが得られた。今後、船舶用として適正かつ小型の触媒構造を開発するためには触媒を担持させた状態での検討が必要となる。

なお、本研究は運輸省殿の指導のもとに実施されている造船業基盤整備事業協会殿からの委託研究の一環として実施したものである。

参 考 文 献

- 1) 園田ほか4名, 舶機誌, 30-6, (1995-6), 463
- 2) 三木ほか5名, 舶機誌, 29-2, (1994-2), 208
- 3) たとえば, K. Sondergaard, P. Morsing and O. Grone, 19thCIMAC, (1991), D15
- 4) 園田ほか6名, 舶機誌, 29-3, (1994-3), 253