

2ストロークマリンエンジンへの触媒適合

Application of Catalytic Converter on Spark-Ignited Two Stroke Cycle Marine Engine

五十川 敦*

Atsushi Isogawa

鈴木 雄久*

Takehisa Suzuki

藤本 博昭*

Hiroaki Fujimoto

松本 直人*

Naoto Matsumoto

中山 学*

Manabu Nakayama

要旨

2ストロークマリンエンジンの排出ガス浄化を図る手段として触媒を採用する場合、従来の自動車技術に加え新たな課題として

- 1) 海水の触媒性能への影響度合い
- 2) マリンモードにおける触媒劣化のレベル

を取り上げ、特に排出量の多いHCについてV6、2.6Lの船外機を用いて検討を行った。その結果触媒への海水の直接的な接触により急激な性能低下をきたす。これは触媒表面層へのNaClの物理的付着によるものと判明した。これよりマリンエンジンにおいて触媒が海水に接触しないレイアウトが必要となる。次にマリンモードでの耐久運転の結果、劣化係数を得て生涯HC排出量からみた低減割合を示し、触媒適合の見通しについて述べる。

1 はじめに

マリンエンジンのカテゴリの中、船外機用機関として、2ストロークエンジンがその特徴である。軽量コンパクト、高出力と高い信頼性を得て、広く用いられている。

一方近年の環境への関心の高まりからマリンエンジンにおいても排出ガスの制限に向け各國で検討が進み、一部の地域では既に規制が実施されている。

2ストロークの特徴を生かしたままクリーンな排ガスを得る手段のひとつとして「触媒」がある。マリン用大型2ストロークガソリンエンジンに、触媒を用いる場合、自動車等とは異なる条件下のため、種々の問題を考慮しなければならない。それは海水雰囲気という使用環境のもとでの劣化、多大な浄化量に伴う高温化と耐久性、船外機の基本要素であるコンパクトさと浄化性能の両立、ユーザの安全性に対する配慮等々解決しなければならない課題が多い。本論文ではこれらの中、海水の触媒性能に及ぼす影響とその要因、マリンモードでの長時間運転による性能劣化についての試験結果をまとめ報告する。

(本論文はSAE Off-Highway Congressにて発表したものから、マリン特有の条件下での触媒の性能に関する項目について報告する。)

2 供試エンジン、触媒諸元

実験に供したエンジンと触媒の諸元を表1、表2に示す。

表1 エンジン諸元

ボア	90mm
ストローク	68mm
気筒数	90° V6
総排気量	2596cc

表2 触媒諸元

触媒担体	メタル(ステンレス)
貴金属量	Pt/Rh:1.0/0.2(g/I-Cat)
触媒容量	1991cc
担体セル数	100

3 海水の触媒性能への影響度

前述したように、自動車等の触媒の使用条件と大きく異なる点として、海水や真水上での運転があげられる。触媒から見た状況としては

1) 海水や真水と直接接触する。

2) 海水や真水の雰囲気中で使用される。が考えられ、それについて条件を設定し試験を行った。

3.1 触媒が水と直接接触する場合

3.1.1 テストピースでのモデルガス評価

直径30mm、長さ20mmの触媒テストピースを作製し、これらを300°C, 600°Cに加熱後、3%塩分濃度の海水、及び真水に浸漬した後、100°Cで1時間乾燥させ、以下の組成のガスを供給し、触媒性能の尺度である50%浄化温度を計測した。

ガス組成 C₃H₆ 800ppm, CO₂ 10%, SO₂ 50ppm
 C₃H₈ 200ppm, H₂O 10%, N₂ balance
 NO 300ppm, H₂ 0.2%
 CO 0.5%, O₂ λ=1

真水、海水に浸漬したもの、及び空气中冷却品の結果を比較し、図1に示す。

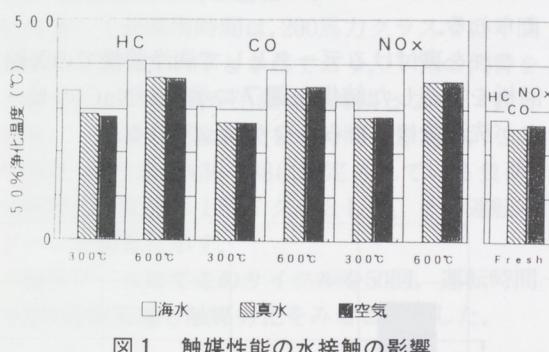


図1 触媒性能の水接触の影響

いずれの温度においても海水に浸漬した時の性能低下が他に比べて大きく、また真水では空气中で冷却した場合と同等となった。温度の影響も大きくでているがこれについては後述する。

この性能低下の要因として海水中のNaClに注目し、その影響を見るため浸漬する塩水の濃度を7%, 27%と増やしHCの50%浄化温度をみたものを図2に示す。触媒加熱温度は300°Cにて実施した。

塩分濃度に応じて性能低下が大きくなっているが海水中の塩分が性能低下の要因である。

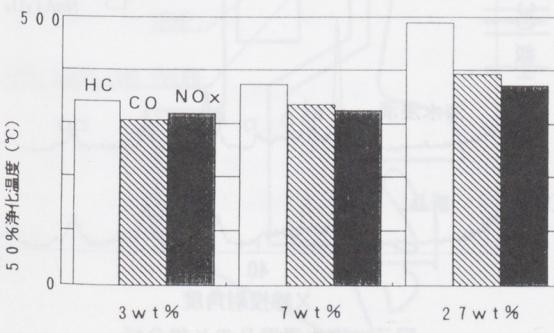


図2 触媒性能への塩分濃度の影響

3.1.2 実機による確認

テストピースでのモデルガス評価より海水の影響が確認されたが実機での影響レベルを把握すべく水没テストを実施した。触媒の中央温度を760°Cに保ち、運転中にエンジンを停止し、直ちに真水あるいは海水に触媒を浸漬する。浸漬前後の浄化性能を図3に示す。

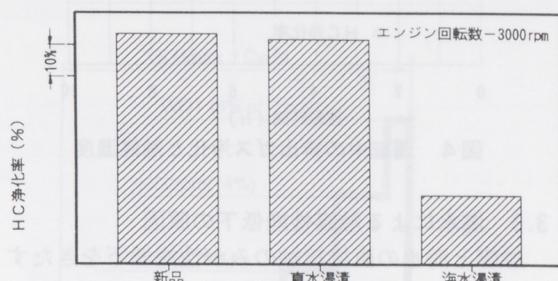


図3 海水、真水浸漬後のHC浄化率

実機において海水に水没するとHCの浄化率の大幅な低下につながる。

温度が高いにも係わらずテストピースのような真水での性能低下が見られない。これはテストピースは熱容量が小さく、急激な温度変化に伴う触媒コート層の剥離があり、それが原因と考えられる。

3.2 触媒の海水霧囲気下での性能変化

通常にエンジンを運転している時、海水が触媒に接触するのは

- 1) 排気脈動による海水の吸い上げ
- 2) 航走時巻き上げたスプレーの吸気系よりの吸引（排気系への素通り）

が想定される。

そこで、海水プールにて、超音波加湿器を使い海水を微粒化して吸気系に供給運転することで両者の影響を含めて浄化性能への影響をみた。海水の供給はエンジン側運転に支障の出ない燃料比を設定した。10時間の運転中の触媒中央温度、HC浄化率を図4に示す。

HC浄化率、触媒中央温度とも、ほぼ初期の値を維持しており、海水霧囲気下での運転が短時間では触媒の大幅な機能低下に結びつくことはないと見える。

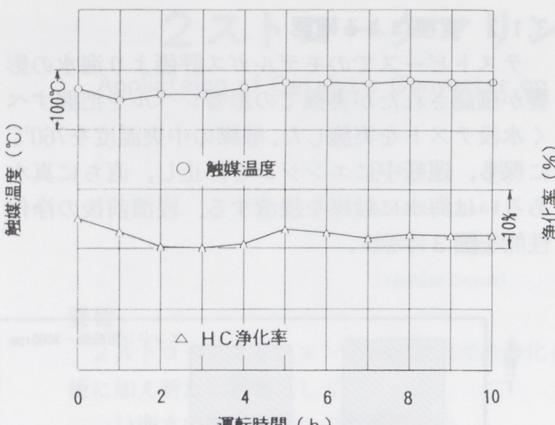


図4 運転中の排出ガス浄化と触媒温度

3.3 海水による触媒性能低下の原因

触媒と海水の直接接触のみが性能低下をきたすことを述べたが、その理由を明らかにする。

3.3.1 海水浸漬サンプル調査結果

海水浸漬サンプルの表面にどのような現象がおこっているのか調査する為、X線回析を実施した。その結果、 NaAl_2O_3 および NaCl のピークが確認された。(図5)

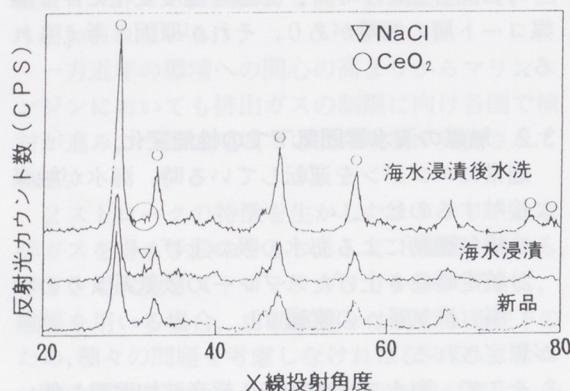


図5 海水浸漬後水洗品のX線分析

3.3.2 触媒性能低下原因推定

調査結果より、海水に直接接触した場合の性能低下原因を推測する。

- 1) アルミナ層での Na 化合物生成：化学的要因
- 2) NaCl が触媒表面細孔を閉塞：物理的要因が考えられる。

3.3.3 触媒性能低下原因究明

上記推定原因のどちらの影響が大きいのか判断するため、海水に浸漬させた触媒におのおの以下の処理を施し、実機評価を行った。

1) 化学的要因に対して

A/F 13の還元雰囲気の中、500°Cで10分間のエージングを実施した。

2) 物理的要因に対して

真水にて15分間の水洗いを実施した。

実機評価結果を図6に示す。

両者ともに変化が認められるが、水洗いを行ったほうが性能回復のレベルが大きく現れている。

これより性能低下の原因是海水中の塩分が触媒表面を覆うことにより機能しなくなったものと考えられる。

これを裏付けるデータとして洗浄前後でのX線回析を実施した結果を図7に示すが NaCl のピークが洗浄後は認められなくなっている。

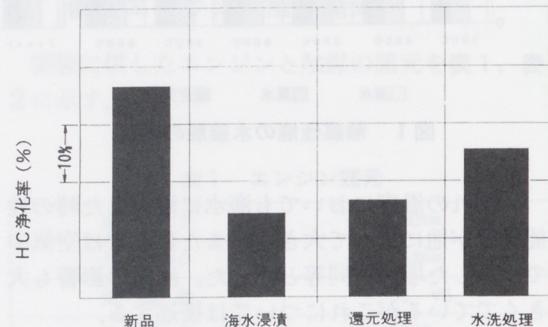


図6 触媒性能回復処理の影響

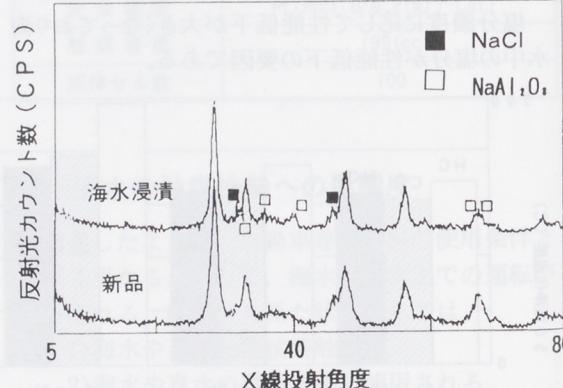


図7 海水浸漬品のX線分析

以上の実験結果より海水による性能低下は触媒表面に付着する塩分が触媒層を覆うことが主たる原因であることが判った。

従ってマリンエンジンにおいて触媒の適合には海水との直接接触を避けたレイアウトが必須の要件となる。

4 触媒劣化のレベル

排出ガスの低減は、劣化を加味した生涯排出量として考える必要がある為、触媒劣化のレベルを把握する。

4.1 生涯使用時間と運転パターン

船外機の生涯使用時間は、200馬力クラスでは年間35時間の使用で14年とされており、7%の代替を考慮すると304時間が生涯使用時間となる。(表3参照) 1日の運転時間を6時間と想定し、この6時間をICOMIA36-88に規定されている負荷、時間割合で配分し1サイクルとした。その運転パターンを図8に示す。

海水プールにてこのサイクルを50回、運転時間で300時間実施し触媒劣化をみるとこととした。

4.2 排出ガス計測方法

排出ガスの計測は、その都度、動力測定架台に搭載し実施する。

排出ガスのサンプリング、分析及び排出ガス値の算出はICOMIA36-88に準拠した。テストモード(ICOMIA Marin Duty Cycle)を表4に、触媒及びガスサンプリングプローブ等位置と排出ガスサンプリングプロセスブロックを図9に示す。

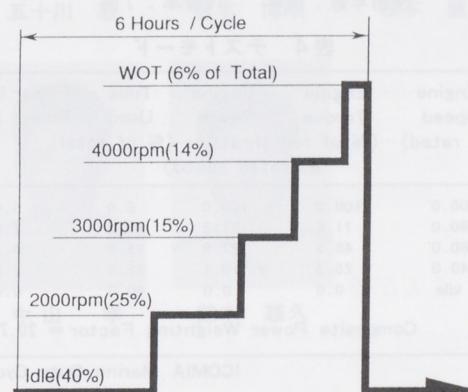


図8 運転パターン

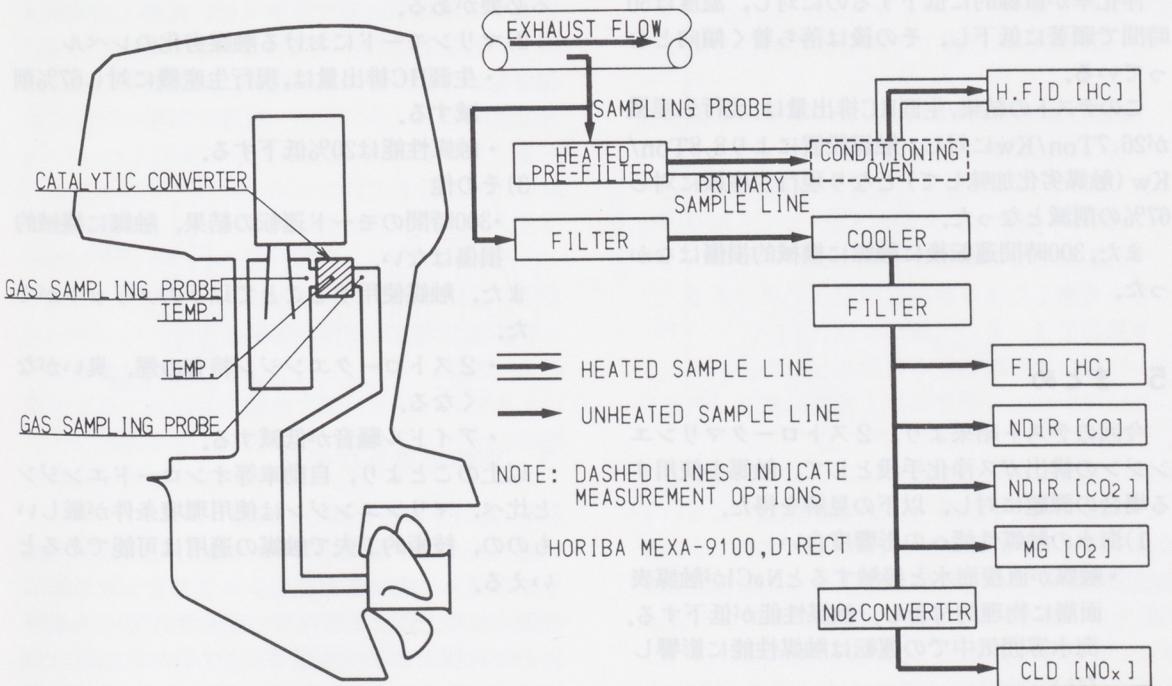


図9 触媒、ガスサンプリングプローブ等位置図及び排出ガスサンプリングプロセスブロック図

表3 生涯使用時間

年	1年間の使用時間
1年目	$34.8 \times (1.07)^{-1} = 32.5$
2年目	$34.8 \times (1.07)^{-2} = 30.4$
3年目	$34.8 \times (1.07)^{-3} = 28.4$
.	.
.	.
14年目	$34.8 \times (1.07)^{-14} = 13.5$
TOTAL	304.3時間

使用年数：14年 代替率：7%

表4 テストモード

Engine Speed (% of rated)	Engine Torque (% of full throttle at rated speed)	Engine Power (% of total)	Time Used (h)	Power Factor (%)	Factor Time
<i>(% of rated)…(% of full throttle…(% of total) at rated speed)</i>					
100.0	100.0	100.0	6.0	6.0	
80.0	71.6	57.2	14.0	8.0	
60.0	46.5	27.9	15.0	4.2	
40.0	25.3	10.1	25.0	2.5	
Idle	0.0	0.0	40.0	0.0	
Composite Power Weighting Factor = 20.7%					
ICOMIA Marine Duty Cycle					

4.3 テスト結果

初期の浄化率を1.0とした時の90時間後、200時間後、300時間後の浄化率の低下割合を図10に示す。また、触媒中央温度の変化を図11に示す。

浄化率が直線的に低下するのに対し、温度は50時間で顕著に低下し、その後は落ち着く傾向となっている。

このテストの結果、生涯HC排出量は、現行生産機が26.7Ton/Kwに対し、触媒設置により8.8Ton/Kw(触媒劣化加味して)となり現行生産機に対し67%の削減となった。

また、300時間運転後に触媒に機械的損傷はなかった。

5 まとめ

今回のテスト結果より、2ストロークマリンエンジンの排出ガス浄化手段として、触媒を使用する場合の課題に対し、以下の見解を得た。

1) 海水の触媒性能への影響度合い

- 触媒が直接海水と接触するとNaClが触媒表面層に物理的付着し、触媒性能が低下する。
- 海水雰囲気中での運転は触媒性能に影響しない

以上のことがテストにより判明した。

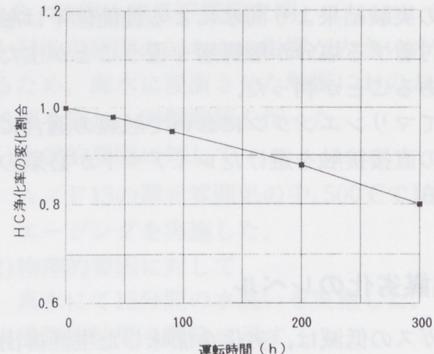


図10 運転中の浄化率変化

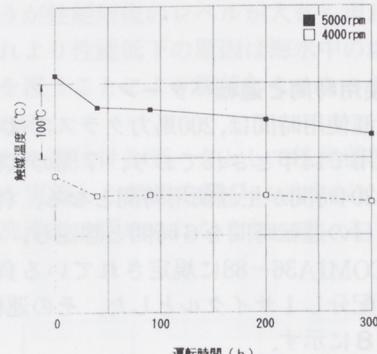


図11 運転中の触媒温度変化

従って、触媒が海水と直接接触しない構造とする必要がある。

- マリンモードにおける触媒劣化のレベル
 - 生涯HC排出量は、現行生産機に対し67%削減する。
 - 触媒性能は20%低下する。
 - その他
 - 300時間のモード運転の結果、触媒に機械的損傷はない。
 - また、触媒使用することで以下のメリットができた。
 - 2ストロークエンジン特有の煙、臭いがなくなる。
 - アイドル騒音が低減する。
- 以上のことより、自動車等オンロードエンジンと比べ、マリンエンジンは使用環境条件が厳しいものの、技術的工夫で触媒の適用は可能であるといえる。

6 おわりに

今回設定した主な課題については見通しがついたが、触媒を適合させる為にはマリンエンジンの多岐にわたる使用条件のもとでの信頼、耐久性をつくりこむことが必要であり、今後さらに開発を進めたい。

最後に触媒開発に携わった社内の方々と、特に触媒自体の調査分析に御協力いただいたキャタラーエンジニアリング株式会社の関係者の皆様方に心よりお礼申しあげる。

■参考文献

- (1) S.W.Coates,G.G.Lassanske
"Measurement and Analysis of Gaseous Exhaust Emissions from Recreational and Small Commercial Marine Craft," SAE Paper 901597, 1990

■著者



五十川 敦



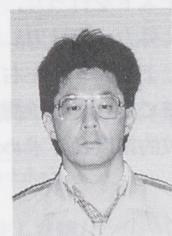
藤本 博昭



松本 直人



中山 学



鈴木 雄久