

船外機直接冷却システムの2系統化による ノック限界の向上

Increase of Knock Limit in Outboard Motor Through Employment of Dual Control Direct Cooling System

福田 芳彦*
Yoshihiko FUKUDA

田 和 寛 基*
Hiroki TAWA

牧 瀬 篤 生*
Atsuo MAKISE

要 旨

海や河川の水を吸い上げて直接エンジン冷却に使用し、それを再び海や河川に戻すという形態で冷却を行う船外機エンジンにおいてノック限界向上を目的として、冷却性能を改善する研究をおこなった。

この研究では、従来の冷却形態である1系統方式と、シリンダヘッドとシリンダブロックを独立させそれぞれにサーモスタットを配して温度コントロールする2系統方式の二つの方式について試験した。

試験は全負荷運転でおこない、冷却性能はシリンダヘッドのウォータジャケット内の冷却水温度、ノック限界点火時期については点火プラグに装着するプラグ座型燃焼圧センサーによる指圧波形により測定した。

その結果、2系統方式では従来方式に比べてノック限界が約8 deg 向上することが確認された。

ABSTRACT

Cooling performance of the outboard engines, which pump the ambient water to cool the engine and discharge it to the ocean or rivers, has been improved in a direct-cooled outboard motor without a radiator in order to increase knock limit.

The research project leading to this improvement tested a conventional single control cooling system and a new dual control cooling system in which the cylinder head and cylinder blocks were made independent and each provided with a thermostat to enable temperature to be controlled.

Tests were conducted under full engine load. Measurements of the temperature of cooling water inside the water jacket were taken to evaluate cooling performance. Knock limit was evaluated through measurements of combustion chamber pressure taken using a gasket type combustion pressure sensor positioned at the spark plugs.

These measurements confirmed that the dual control cooling system increased knock limit by 8 deg against the conventional single control cooling system.

1. はじめに

近年、地球環境問題に対する関心が急速に高まる中、船外機市場においては、従来主流であった2ストロークエンジンから4ストロークエンジンへの移行が急速に進んでいる。一方ではエンジンの大きさ、出力に関して2ストロークエンジン並の小型・高出力が要求され、燃費、エミッションについても更なる改善が求められてきている。

これらの課題を克服する一手段としてノック限界向上が考えられる。ノック限界が向上すると、よりMBT(Minimum advance for the best torque：出力、燃料消費率が最良になる点火時期)に近い点火時期設定が可能となり、出力向上とともに高圧縮化による燃費改善が期待できる。ノック限界

を向上させる手法の一つとしては、シリンダヘッドの冷却性を向上し、燃焼室温度を低減させることが挙げられる。

一般的な自動車用エンジンなどの水冷エンジンは、閉塞された冷却水経路にクーラントなどの冷媒を循環させてエンジンを冷却し、その冷媒をラジエータなどの熱交換器を用いて冷却する方式(以降、間接冷却方式)である。その冷却系統は、主にウォータポンプからシリンダブロック、シリンダヘッド、ラジエータ、サーモスタットへ流れる1系統方式である。前述したノック限界向上のために、シリンダヘッドとシリンダブロックを別系統の冷却経路とし、個別に温度コントロールして積極的にシリンダヘッド温度を下げる2系統方式が既に研究されており、その効果についても報告がなされている^{(1)・(3)}。

*朝霞東研究所

自動車用エンジンに対し既存の船外機用水冷エンジンは、航行する海や河川の水を吸い上げてこれを冷媒としてエンジンを冷却し、冷却後その水を再び海や河川に排出する方式(以降、直接冷却方式)が採用されている。その冷却系統も、ウォータポンプからエキゾーストマニホールド、シリンダヘッド、シリンダブロック、サーモスタット、排出口へと流れる1系統方式が一般的である。直接冷却方式の場合、冷却水入り口水温とシリンダヘッドの温度差が間接冷却方式に比べ大きいので、上述の2系統方式を採用すれば間接冷却方式での効果以上に冷却性を向上させ得る可能性がある。

本稿では、船外機用水冷エンジンに2系統方式を適用した場合の特徴及びノック限界向上効果について述べる。

2. 従来システムの課題と狙い

船外機用水冷エンジンに採用されている直接冷却方式では、スロットル全開(Wide Open Throttle, 以下、WOT)運転時のオーバーヒート防止と、アイドル航行運転(以下、トローリング)時の過冷却によるオイルダイリューション抑制の双方を考慮する必要がある。WOT運転時のオーバーヒート防止策としては全体の温度を下げるべくサーモスタット温度を低く設定すべきだが、トローリング運転時のオイルダイリューション抑制にはシリンダブロック温度を上げるべく高く設定すべきである。

オイルダイリューションが発生すると潤滑油の性状劣化による潤滑不良が生じ、エンジン焼き付きに至る可能性がある。よってサーモスタット温度設定はオイルダイリューション抑制を優先に考え、オーバーヒートが発生しない範囲でシリンダブロック温度を高く維持する設定としている。また、冷却水をエキゾーストマニホールド、シリンダヘッド、シリンダブロックの順に流し、シリンダブロック冷却時の冷却水温度をあらかじめ上げる対応も図っている。一方、シリンダヘッド温度を下げる事は耐ノック性向上の手段である。しかし、上述の理由からシリンダヘッド温度が下げられず耐ノック性が低下して点火時期を進角できないため出力向上の妨げとなっている。

そこで、

- (1) シリンダブロック温度は現状を維持する
 - (2) シリンダヘッド温度は下げる
- という相反する要求冷却性能を満足するため、独立した温度制御が可能な2系統方式を検討した。Fig. 1に1系統方式の冷却経路を示す。

3. 2系統方式の構造と特徴

2系統方式では従来の1系統方式に対し二つの変更をおこなった。

一つは、シリンダヘッドとシリンダブロックの冷却水経路をシリンダヘッドガスケットによって、完全に分離・独立させ、二つのサーモスタットにより経路ごとに水温制御をおこなう構造とした。これにより、シリンダヘッド、シリンダブロックのサーモスタット制御温度を個別に設定することができ、それぞれに最適な制御温度設定を可能とした。

もう一つは、エキゾーストマニホールドの冷却経路をシリンダヘッド・シリンダブロックの冷却とは独立させて全

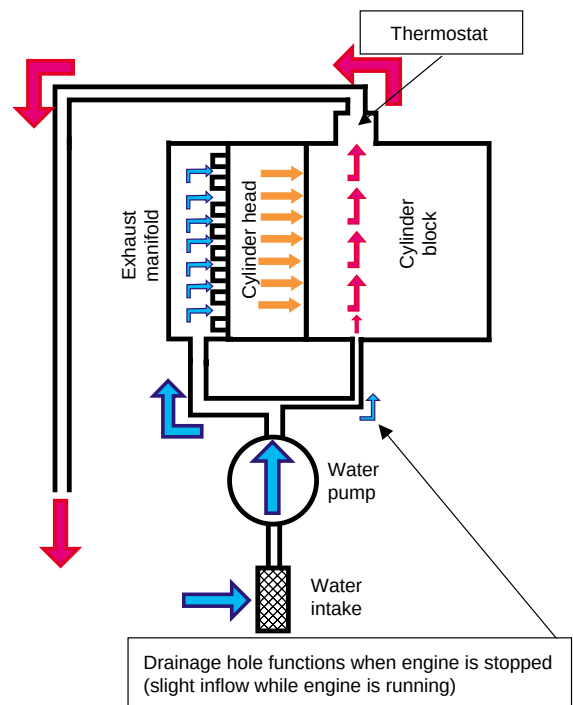


Fig. 1 Cooling water route for single control cooling system

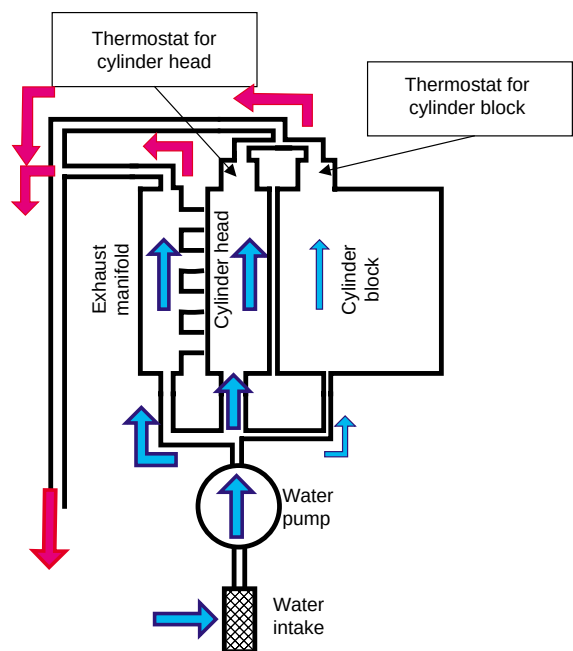


Fig. 2 Cooling water route for dual control cooling system

く別に設けた。またシリンダヘッド・シリンダブロックの最下部から冷却水を導入する経路とした。

これにより、

- (1) シリンダヘッド冷却水がエキゾーストマニホールドを経由しない経路としシリンダヘッド入り口温度を下げた
- (2) 冷却水流れを下から上への一方向として経路を簡素化し冷却水が淀み難い構造とした

なお、エキゾーストマニホールド冷却はサーモスタットによる温度制御をおこなっていない。Fig. 2に2系統方式の経路図を示す。

4. 2系統方式の影響

4.1. 試験条件

4.1.1. 供試エンジン諸元

Table 1にすべての試験に使用した供試エンジンの主要諸元を示す。

4.1.2. 運転環境条件

Table 2 に各試験での運転環境条件を示す。

4.1.3. 温度測定ポイント

Fig. 3 にシリンダヘッドの测温ポイントを示す。

4.2. 冷却性能への影響

本テストでは、1系統冷却エンジンでの試験には 60℃サーモスタットを、2系統冷却エンジンでの試験には、シリンダヘッドに50℃サーモスタット、シリンダブロックに60℃サーモスタットをそれぞれ組み込んだ。

冷却性能を比較するため、シリンダヘッド内ウォータジャケット水温を測定した。

Fig. 4 に水温 15℃、気温 20℃、WOT6 000rpm 運転における1系統方式での気筒ごとのシリンダヘッド冷却水温度、Fig. 5 に同一条件下での2系統方式の場合の温度を示す。

Fig. 4, Fig. 5 の比較結果を Table 3 に示す。

Table 3に示す通り、1系統方式から2系統方式に変更する事により、シリンダヘッドのウォータジャケット水温を8箇所の測定ポイントにおける平均で23℃低下させる事ができた。

また Fig. 6 に、サーモスタット設定温度とオイル希釈率の関係を示す。

1系統方式の供試エンジンにおけるサーモスタット設定温度と、トローリング運転50時間後のダイリューションによるオイル希釈率の関係を青線で示す。2系統方式供試エンジンに対しシリンダヘッド側に50℃設定のサーモスタット、シリンダブロック側に1系統方式と同じ 60℃設定のサーモスタットを組み込み、トローリング運転50時間後のオイル希釈率を☆印で示す。

この結果から、シリンダヘッド用サーモスタットの設定温度を 60℃から 50℃に 10℃下げてもオイル希釈率はほぼ

Table 1 Engine specifications

Engine type	4-stroke vertical L-4 cylinder
Displacement (cm ³)	2354
Bore (mm) × stroke (mm)	87 × 99
Combustion chamber form	Half-globular
Compression ratio	9.6 : 1
Valve train	DOHC VTEC 16 valve
Valve number	4/cylinder
Fuel supply system	Programmed fuel injection
Ignition system	Programmed ignition (with Plug hole coil)

Table 2 Environmental condition for tests

	WOT running	Trolling running
Air temperature	20℃	10℃
Cooling water temp at water intake	15℃	5℃

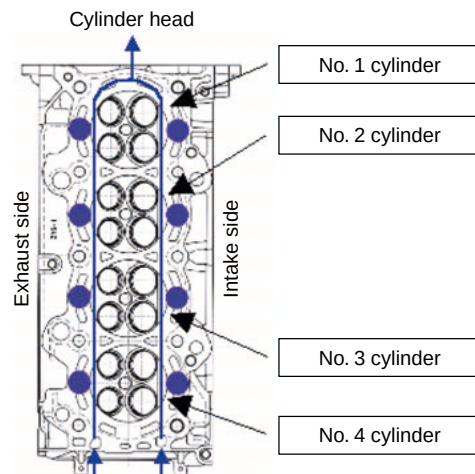


Fig. 3 Temperature measurement points

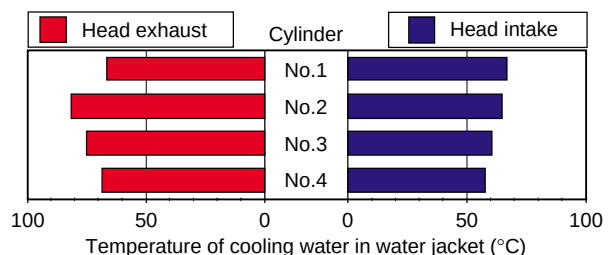


Fig. 4 Single control cooling system

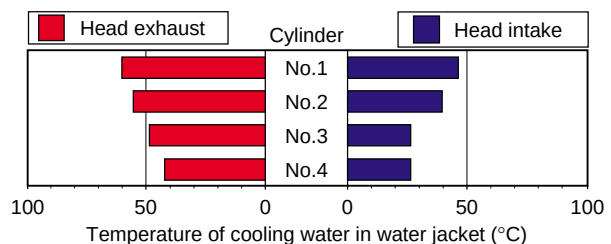


Fig. 5 Dual control cooling system

Table 3 Comparison of temperature in head

	Single control	Dual control	Mean effect
Intake side (4 points avg)	63 °C	37 °C	-26 °C
Exhaust side (4 points avg)	74 °C	54 °C	-20 °C
All 8 points avg	68 °C	45 °C	-23 °C

同等の値を示しており、この設定はダイリューションに対して悪影響を及ぼさない事が確認された。

4.3. 出力性能への影響

4.3.1. 2系統方式によるノック限界の向上

2系統方式によるノック限界の向上について評価した。

Fig. 7 に WOT にてエンジン回転数 4 500 - 6 000rpm までのノック限界を比較した結果を示す。

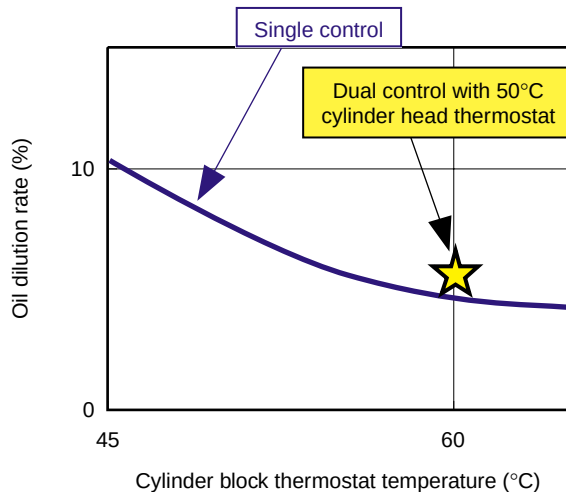


Fig. 6 Thermostat set temperature and oil dilution rate

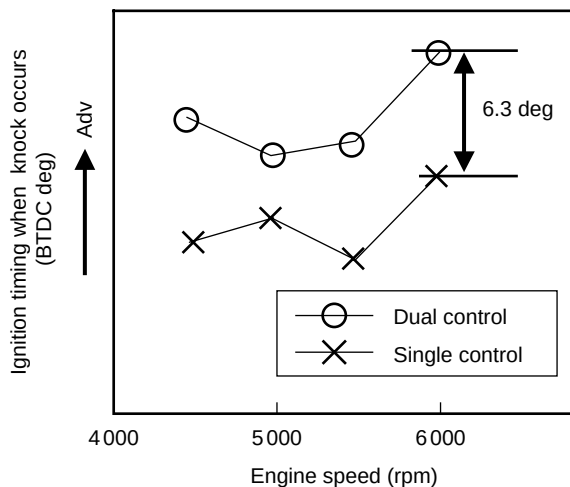


Fig. 7 Comparison of ignition timing when knock occurs single and dual control cooling systems

本テストはギヤケースを含めた完成機状態にて実施し、ノック限界に重要なパラメータである圧縮比・吸気温度・体積効率・空燃比については同一条件となるようにした。

サーモスタットの設定温度は、1系統方式は60°C、2系統方式についてもシリンダヘッド・シリンダブロック各々60°Cとした。

1系統方式から2系統方式にしたことにより、ノック限界はエンジン回転数 6 000rpm にて 6.3deg 向上している。

4.3.2. ヘッド冷却水の低水温化によるノック限界の向上
シリンダヘッド・シリンダブロックの2系統方式についてはこれまでも様々な研究がなされており、シリンダヘッド冷却水の低水温化によって、ノック限界及び体積効率が向上することは一般的に知られている。Fig. 8 に WOT 運転にてエンジン回転数 4 500 - 6 000rpm まで、シリンダブ

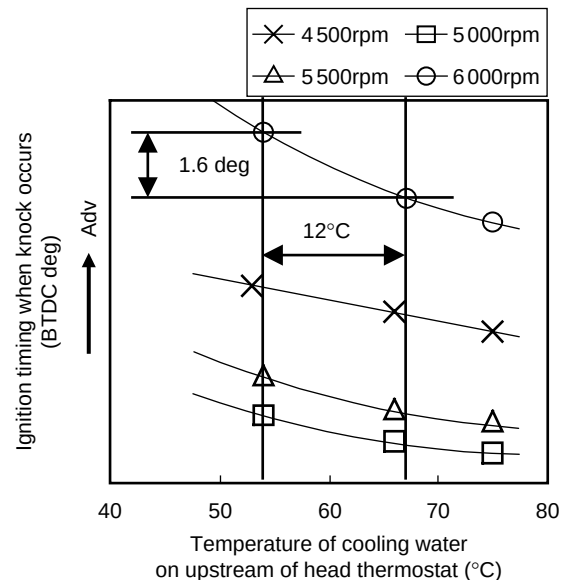


Fig. 8 Effect of cooling water temperature on ignition timing when knock occurs with WOT

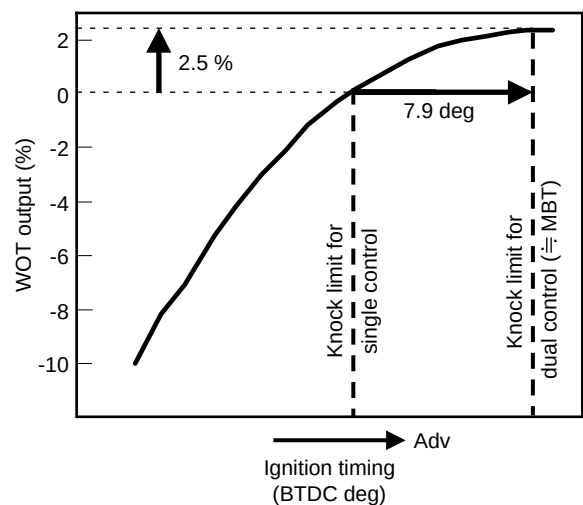


Fig. 9 Correlation between WOT output and ignition timing (6 000rpm)

ロック側サーモスタット設定温度を 60℃一定、シリンダヘッド側サーモスタットの設定温度のみを 50-70℃まで 10℃毎に変化させた場合におけるシリンダヘッド側サーモスタット前冷却水温度と、ノック発生点火時期の変化について示す。Fig. 8に示す通り、シリンダヘッド側サーモスタット設定温度を 10℃下げることによってシリンダヘッド側サーモスタット前冷却水温度は12℃低下し、その結果ノック限界はエンジン回転数 6000rpm WOT 運転時で 1.6deg 向上している。

4.3.3. ノック限界の向上に伴う最高出力の向上

以上のように2系統冷却方式によるノック限界の向上分 6.3 deg に加え、シリンダヘッド側サーモスタット設定温度を 10℃低水温化させることによるノック限界の向上分 1.6 deg をあわせ、点火時期を計 7.9 deg 進角することができた。

その結果、約 2.5 %の出力向上が得られた。

Fig. 9 に点火時期と出力の相関を示す。

5. まとめ

冷却方式を1系統方式から2系統方式に変更したことにより、ノック限界が向上し、結果として出力向上が得られた。

また間接冷却エンジンでは複雑な構造になる可能性のある2系統方式を、小規模な変更で船外機に導入可能であることがわかった。

参考文献

- (1) Kobayashi,H., Yoshimura,K., and Hirayama,T.: A study on dual circuit cooling for higher compression ratio, IMechE/SAE, International Conference on Fuel Efficient Power Trains and Vehicles London, C427/84, p151-158 (1984)
- (2) 山田敏生, 古野志健男, 神田睦美, 岩下義博, 横井豊, 片桐治郎: 冷却系改良によるノック改善, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集 902 Vol.1, p.189-192(1990)
- (3) 石田宜之: システム設計とエンジン性能, 高性能エンジンとは何か, 東京, グランプリ出版, 1991, p.210-216

■ 著 者 ■



福田 芳彦



田 和 寛 基



牧 瀬 篤 生