

中速ディーゼル機関 V28AHX の紹介

Introduction of Medium-Speed Diesel Engine V28AHX

加藤 尚次 新潟原動機株式会社 技術センター製品開発グループ チーム長
齊藤 俊之 新潟原動機株式会社 技術センター技術開発グループ チーム長

新潟原動機株式会社は、これまで 200 台以上のベストセラー機関となったニイガタ 28AHX の出力レンジ拡大のため、新たに V28AHX をシリーズに加えた。これによって出力 2 070 ~ 6 660 kW までをカバーする高効率機関ラインナップが完成した。

NIIGATA Power Systems Co., Ltd. has added the V28AHX to its NIIGATA 28AHX Series, the bestselling engine series which has sold over 200 units. The V28AHX offers an increased output range, completing a lineup of high-efficiency engines with an output ranging from 2 070 to 6 660 kW.

1. 緒 言

1.1 28AHX 型機関

新潟原動機株式会社 (NPS) は、100 年に及ぶディーゼル機関開発の歴史のなかで培った技術をもって社会の発展に貢献するため、時代のニーズにあった製品とサービスを世界中のユーザに提供してきた。NPS が 2008 年に開発した 28AHX 型機関は、従来機関 28HX の次世代高出力型機関として、世界中の船舶用主機関に多く納入されている。

本機関は IMO-NO_x 二次規制をはじめとした排ガス規制をクリアしながら従来機関より燃費を改善し、低負荷域から高負荷域の全域でスモークの発生を抑えた環境調和型の新型中速機関である。

1.2 28AHX デザインコンセプト

新型中速機関 28AHX の開発は以下のコンセプトで行われた。

- (1) 燃料消費率を悪化させずに IMO-NO_x 二次規制に適合すること
- (2) 全負荷域でスモークが見えないこと
- (3) アイドリング時の性能およびアイドリングからの加速特性を従来機関より改善すること
- (4) 同出力クラスの従来機関よりも、軽量コンパクトであること
- (5) 保守整備が容易なこと

1.3 28AHX の機関仕様および特長

28AHX はシリンダ径 280 mm、ストローク 390 mm のディーゼル機関であり、出力は 370 kW/cyl. (800 min⁻¹

仕様) もしくは 345 kW/cyl. (750 min⁻¹ 仕様) で、最大シリンダ圧力を 18 MPa に抑え機関の信頼性向上と機関の小型・軽量化を達成したことが特長である。第 1 表に 28AHX の機関主要目および第 1 図に 28AHX 機関の外観と断面を示す。

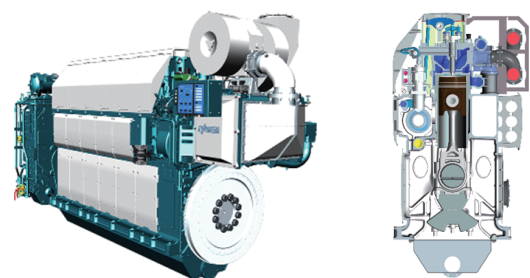
開発コンセプト達成のため、28AHX は以下に示す新技術を取り入れ、低負荷域を含む機関性能の向上、スモーク

第 1 表 28AHX の機関主要目
Table 1 Main specifications of the 28AHX engine

機 関 項 目	単 位	仕 様	
型 式	-	28AHX	
回 転 数	min ⁻¹	800	750
シ リ ン ダ 径	mm	280	
ス ト ロ ー ク	mm	390	
定 格 出 力	6 L	2 220	2 070
	8 L	2 960	2 760
	9 L	3 330	3 105
正 味 平 均 有 効 圧 力	MPa	2.31	2.30
平 均 ピ ス ト ン 速 度	m/s	10.40	9.75
燃 焼 最 高 圧 力	MPa	18	

(a) 外 観

(b) 断 面



第 1 図 28AHX 機関の外観と断面
Fig. 1 External and sectional views of the 28AHX engine

レス化、過渡特性の改善を実現している。各新技術の特長について述べる。

(1) ミラーサイクル

吸気弁早閉じのミラーサイクルを採用し、シリンダ内圧力および燃焼温度を低下させ、NO_x量を低減させる。

(2) 可変吸気バルブタイミング - VIVT (Variable Intake Valve Timing)

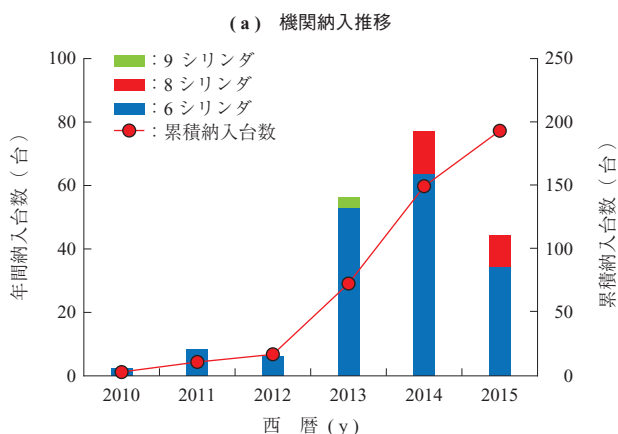
低負荷域における燃焼室内への充填空気量を適正に確保しスモークを低減させるため、吸気弁タイミングを変える機構 VIVT を採用した。低負荷と高負荷域のそれぞれに適した吸気弁の開閉時期と排気弁とのオーバーラップ期間を設定し、全負荷域にわたり高い機関性能を発揮することが可能になった。

(3) 過給システムの改良

高圧力比過給機にエアバイパスおよびウェストゲートを組み合わせ、低負荷域での機関の立ち上がり特性を改善し、低負荷域での機関性能とスモークを改善した。一方、高負荷域では高い給気圧が確保されており、全負荷域にわたり高い機関性能を達成した。

1.4 28AHX の稼働状況

28AHX シリーズは船舶の主機関向けに 200 台近くの出荷実績があり、NPS の主力商品となっている。第 2 図に機関納入台数推移を示す。納入後の稼働時間は長い機関で 10 000 時間を超えている。客先納入機関における多くのメンテナンスを通して機関性能や主要部品の時間経過に伴う状態観察をした結果、問題となる箇所はないことを確認した。今後も納入機関を継続フォローし機関の完成度を高めて行く。



第 2 図 28AHX 機関の機関納入台数推移
Fig. 2 Trends in the number of 28AHX engines delivered

2. V28AHX 開発

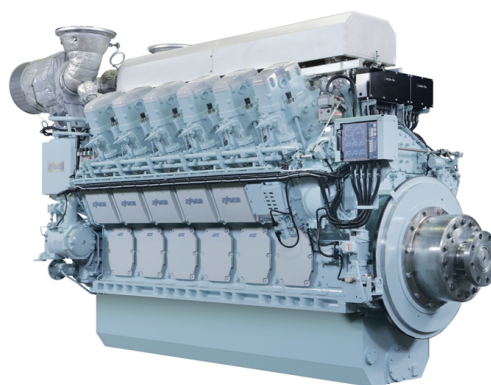
2.1 V 型機関への展開

今般、NPS では主力商品である 28AHX シリーズの出力レンジ拡大を目的として、船用主機関だけでなく、電気推進用の主発電機関や陸用発電機関もターゲットとした V28AHX (第 3 図) を開発した。機関設計には 3D-CAD システムを用い、①性能シミュレーション②構造・流体解析、などに 3D モデルをフル活用し、性能目標達成のための手段として必要な部品形状最適化および、軽量化を行った。

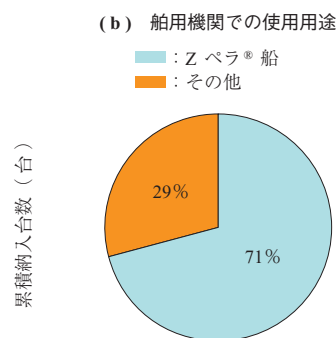
2.2 V28AHX 開発コンセプト

V28AHX の開発に当たり、次のことを設計ポイントにした。

- (1) 列型 28AHX の性能の維持・向上と高出力化を図ること
- (2) 同出力クラスの従来機関よりも、軽量コンパクトであること



第 3 図 V28AHX 機関
Fig. 3 V28AHX engine



2.3 機関仕様

主要目は列型機関と同様にシリンダ径 280 mm, ストローク 390 mm, 機関出力は 370 kW/cyl. (800 min⁻¹仕様), 345 kW/cyl. (750 min⁻¹仕様)とした。第 2 表に V28AHX の機関主要目を示す。

2.4 機関外観

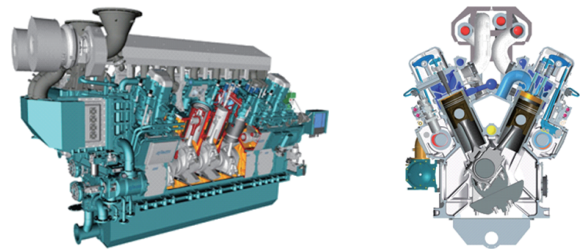
本機関は, シリンダ V バンク間に冷却水配管などの配管を配置することで機関外部配管を減らし, すっきりとした外観にまとめた。機関の反出力側に, 主要なポンプ (冷却水ポンプ, 潤滑油ポンプなど) を配置し, 船体側・プラント側への取り合いを簡素化させた。また, メンテナンス性向上のため, 電動ターニング装置を標準装着とした。排気システムは, 動圧過給方式とシングルパイプ過給方式に対応している。第 4 図に V28AHX 機関の外観と断面を示す。

2.5 機関構成部品の最適化と機関の軽量化

V28AHX では, 列型機関で実績のある主要部品を共通部品化しており, 機関性能と信頼性の確保, 設計期間の短縮を実現した。一方シリンダブロック, クランク軸などの

(a) 外観

(b) 断面



第 4 図 V28AHX 機関の外観と断面

Fig. 4 External and sectional views of the V28AHX engine

V 型専用部品に関しては 3D-CAD とシミュレーション技術を活用した強度検討や流体解析を行い, 部品の形状最適化と軽量化に加えて機関性能向上を図っている。以下にこれらの部品について詳細を説明する。

2.5.1 シリンダブロック

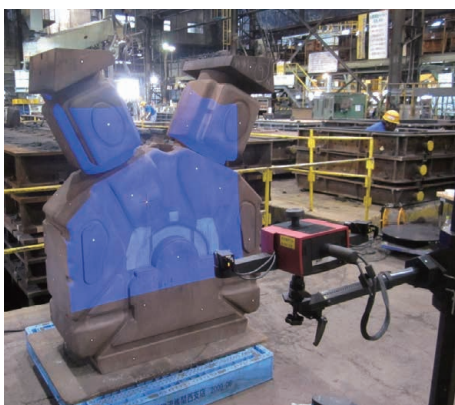
シリンダブロックは NPS 製の高強度ダクタイル鋳鉄を使用し, 高剛性なハンガータイプを採用した。シリンダブロックの設計に際しては FEM (Finite Element Method) による構造解析を行い, 構造最適化と軽量化を実現した。大型鋳造品であるシリンダブロックは, 鋳造木型の製作時に木型の三次元寸法計測を行い, 図面形状との肉厚などの相違を調査して製品精度を向上させ, 従来機関比で約 30%の軽量化を実現している。第 5 図に V28AHX 機関の鋳造木型の三次元寸法計測状況と計測結果を示す。またエアクーラを内蔵したエアクーラケースは過給機台を兼ねており, 接続ブロックを介してシリンダブロックに接続される。接続ブロックは冷却水・潤滑油および過給機からの給気のインタフェースとしても機能しており, 過給機台周辺の配管削減と構造の簡素化および組立作業の簡略化が図られている。

第 2 表 V28AHX の機関主要目

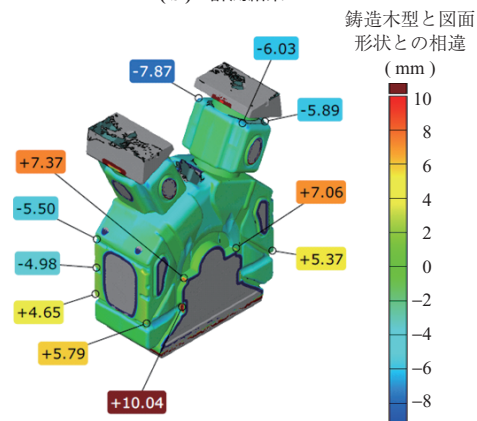
Table 2 Main specifications of the V28AHX engine

機関項目	単位	仕様	
型式	-	V28AHX	
回転数	min ⁻¹	800	750
シリンダ径	mm	280	
ストローク	mm	390	
定格出力	12 V	4 440	4 140
	16 V	5 920	5 520
	18 V	6 660	6 210
正味平均有効圧力	MPa	2.31	2.30
平均ピストン速度	m/s	10.40	9.75
燃焼最高圧力	MPa	18	

(a) 計測状況



(b) 計測結果



第 5 図 V28AHX 機関の鋳造木型の三次元寸法計測状況と計測結果

Fig. 5 3D measurement situation and measurement results of a wooden casting mold for the V28AHX engine

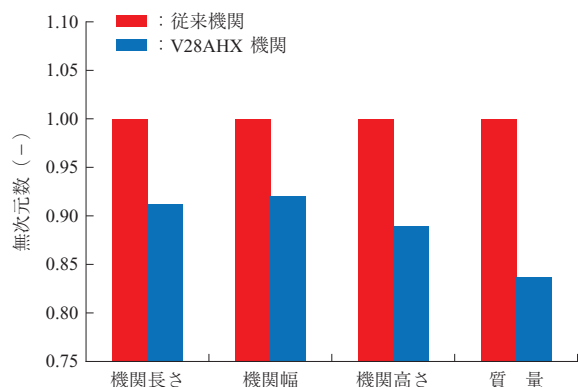
2.5.2 クランク軸

クランク軸は、クランクアームを全面機械加工とすることで、各スロー間の質量ばらつきを低減し、各スロー部に付くバランスウェイトによって、軽量で高いバランス率を達成している。また、クランクアームの形状は、FEM を用いた形状の自動最適化技術によって、必要なねじり、曲げ剛性を確保しながら、従来機関比で約 15%軽量化された。

これらの軽量化によって、V28AHX は NPS のシリンダ径 280 mm の同出力レンジ中速ディーゼル機関と比較して、約 15%の軽量化と約 10%の小型化を達成した。質量および寸法の比較を第 6 図に示す。

2.6 シミュレーション技術の適用例

機関性能向上と軽量化の両立のため、新型機関開発ではシミュレーション技術を積極的に活用している。2.5 節で説明したように、V28AHX では V 型専用部品の開発と、列型機関で実績のある主要部品の共通部品化を行って



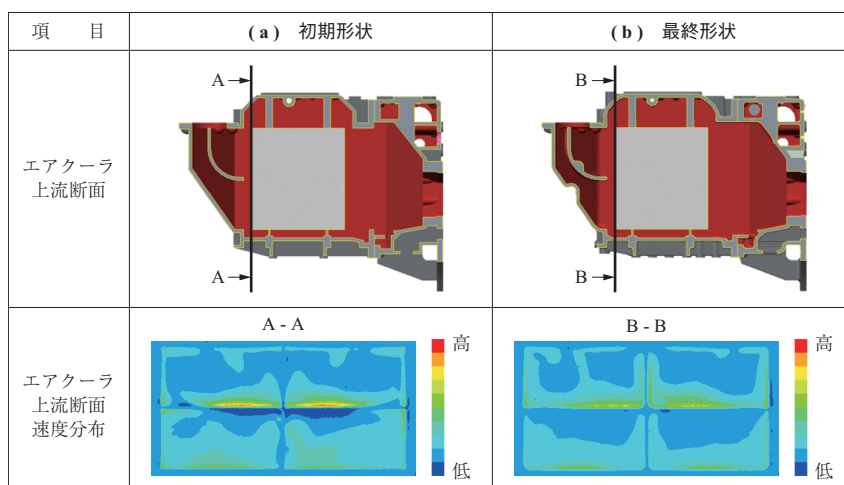
第 6 図 V28AHX 機関と NPS 従来機関との質量および寸法の比較
Fig. 6 Comparison of weight and dimensions between the V28AHX and Niigata's conventional engines

る。列型機関との共通部品を V 型機関へ適用する際に、隣接する主要部品との接続部が変更となる場合があり、その際にもシミュレーション技術を活用して検討した。

適用事例としてここでは、① V 型専用部品開発であるエアクーラケースの形状最適化 ② シリンダヘッドの吸気ポートとシリンダブロックを接続する吸気マニホールドの形状最適化 ③ シリンダヘッドの冷却水入口と冷却水主管を接続する冷却水接続管の形状最適化、について紹介する。

2.6.1 エアクーラケース形状最適化事例

一般的にディーゼル機関は出力と効率を高めるため、過給機を利用して高圧空気をシリンダ内に充填しているが、圧縮された空気は高温となっており密度が低く、そのままでは充填効率を高めることには限界がある。そこでエアクーラを過給機と機関の間に設置し、過給機からの空気を冷却して充填効率を高めている。過給機から供給される空気は、エアクーラを内蔵したエアクーラケースへ導かれ、エアクーラで冷却された後にシリンダブロックに内蔵された給気トランクへ供給される。エアクーラケースの入口ダクトには仕切板が設けられ、エアクーラへ流れる空気が偏らないよう導く役割をしている。V28AHX 開発では CFD (Computational Fluid Dynamics) を活用してエアクーラケースの入口ダクトおよび仕切板の形状最適化を行い、エアクーラケース内の流れを改善した。第 7 図に V28AHX エアクーラ上流断面速度分布を示す。初期形状 (第 7 図 - (a)) では流速の速い領域と遅い領域が存在しており、流れに強い偏りがあることが分かる。一方、最終形状 (第 7 図 - (b)) では仕切板の位置と仕切板上に設置する突起物の形状を工夫し、より均一に近い速度分布が得られるようになった。これらの改善によってエアクーラ全体で



第 7 図 V28AHX エアクーラ上流断面速度分布
Fig. 7 Velocity distribution in the upstream cross-section of the V28AHX charge air cooler core

の熱交換効率が向上し、結果的にエアクーラおよびエアクーラケースの小型化を実現できて、機関全体の小型軽量化と高性能の両立に貢献している。

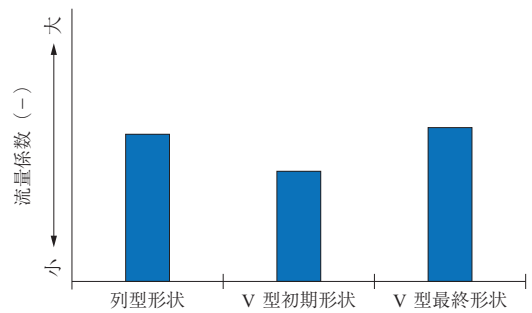
2.6.2 吸気マニホールド形状最適化事例

前項で説明したように、過給機から送られた空気はエアクーラで冷却され、シリンダブロックに内蔵された給気トランクへ導かれる。給気トランクからはシリンダごとに吸気マニホールド・シリンダヘッドの吸気ポートを通過して、燃焼室へ供給される。機関性能向上のためには吸気マニホールドおよびシリンダヘッド吸気ポートの流量係数を高める必要があり、列型機関の開発時にこれらの部品形状は最適化された。V28AHXのシリンダヘッドは列型機関との共通部品であるが、機関レイアウトが変更されるため吸気マニホールドは新規設計となる。そこでCFDを活用して吸気マニホールドの形状最適化を行い、流量係数を列型機関と同等以上とする形状を決定した。

第8図に吸気マニホールドおよび吸気ポートの速度分布を示す。V型初期形状(第8図-(b))では、列型形状(第8図-(a))に比べて吸気マニホールドの曲がり之急なため、曲がりの内側に速度の速い領域が存在する一方、曲がりの外側には速度の遅い領域が存在する。V型最終形状(第8図-(c))では曲がりがスムーズとなったことから速度の偏りは解消され、結果として第9図に示すように吸気マニホールド+吸気ポートの流量係数を列型機関以上にすることができた。

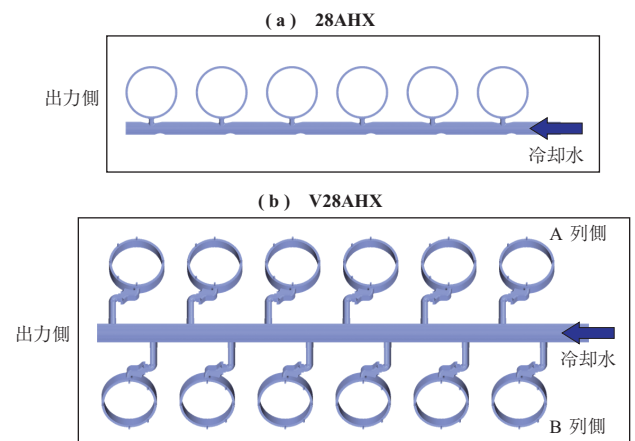
2.6.3 冷却水接続管形状最適化事例

V28AHXは水冷機関であり、燃焼室周辺の高温部品は冷却水で冷却されている。冷却水は冷却水主管から各シリンダのライナリングへ供給され、シリンダライナ上部およびシリンダヘッドを冷却して機関外側へ出て行く。V28AHXのシリンダヘッド・ライナリングも列型機関との共通部品であるが、冷却水主管と各シリンダのライナリングを接続する冷却水接続管は機関レイアウトが変更されることから新規設計となる。

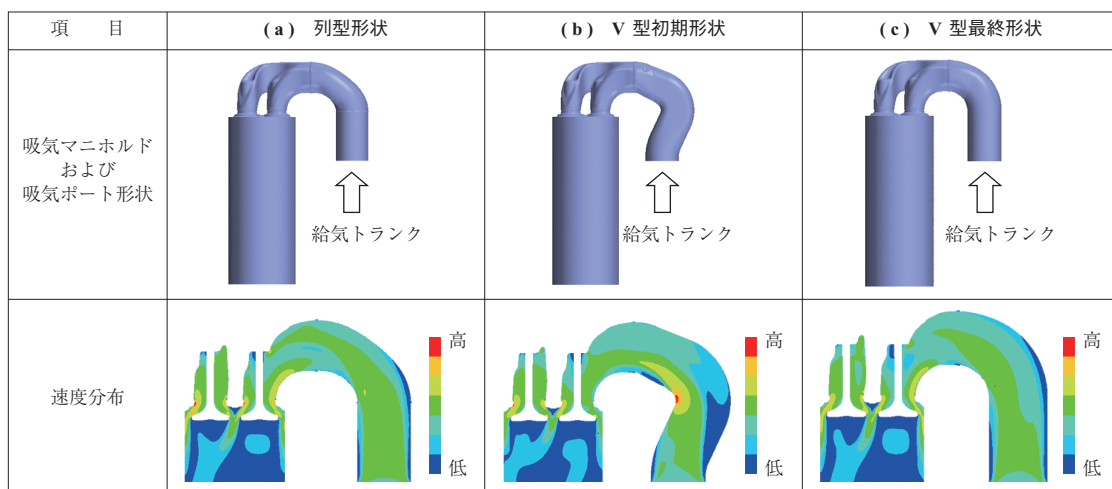


第9図 吸気マニホールド+吸気ポートの流量係数比較
Fig. 9 Comparison of the flow coefficient of the intake manifold + intake port

第10図に機関上面から見た冷却水配管システムを示す。列型機関では冷却水主管と各シリンダのライナリングが近接



第10図 機関上面から見た冷却水配管システム
Fig. 10 Coolant circuit layout (Top view)



第8図 吸気マニホールドおよび吸気ポートの速度分布
Fig. 8 Velocity distribution of the intake manifold and intake port

しているが、V型機関では冷却水主管と各シリンダのライナリングが列型機関に比べて離れている。またV型機関では冷却水主管が機関中央にレイアウトされるため、各バンクでライナリングに対する冷却水の流入方向が180度違うという特徴がある。こうした条件下においてもV型機関の冷却性能が列型機関と同等に維持できるよう、CFDを活用して冷却水接続管の流れを評価した。

第11図に冷却水主管およびライナリングの速度分布を示す。列型機関では冷却水主管から流入した冷却水は主として排気弁側へ流れ、吸気弁側に比べて高温となる排気弁側を効率良く冷却している。一方、V型初期形状では各バンクとも冷却水主管から流入した冷却水が吸気弁側に多く流れるようになった。そこで冷却水接続管の断面形状や曲がりの位置、ライナリングへの接続位置を変更して形状最適化を行った。V型最終形状では各バンクとも冷却水主管から流入した冷却水が排気弁側へ多く流れるようになり、列型機関と同等の冷却性能を確保している。

2.7 機関性能および試験結果

第12図にV28AHX機関性能とNPSのシリンダ径280mmの同出力レンジ中速ディーゼル機関との性能比較（当社従来機関を1とした相対比較）を示す。V28AHXではミラーサイクルによる燃焼温度の低下によって、NO_x排出量を削減し、また高圧力比過給機とVIVTによるバルブタイミングの適正化によって、燃料消費率の低減を同時に達成している。またエアバイパスシステムおよびウェストゲートシステムによって、全負荷域で過給機性能を有

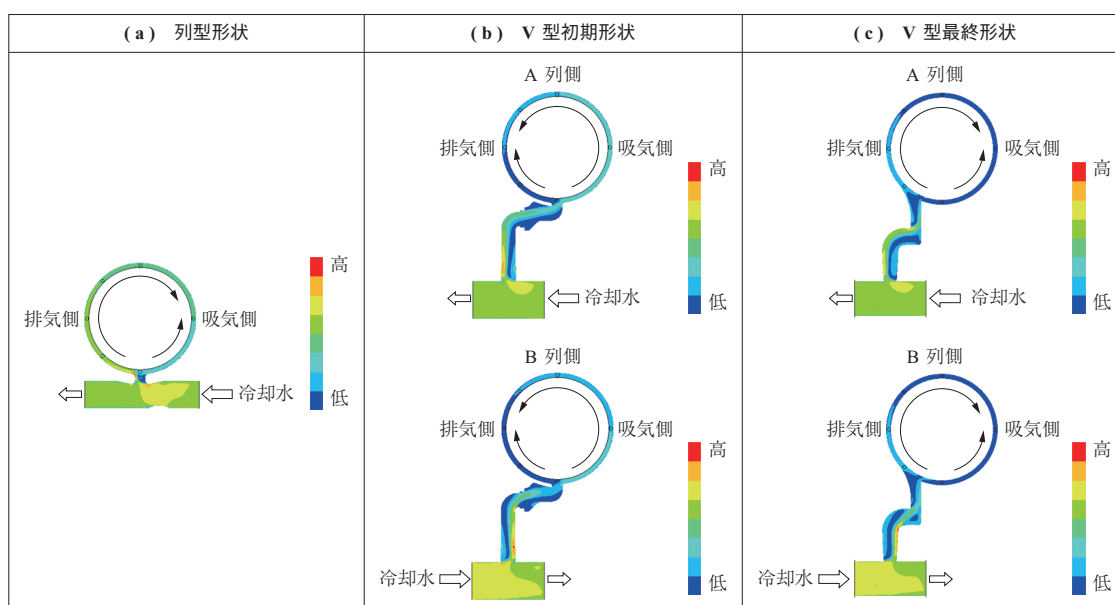
効活用し、高負荷域では従来機関より燃料消費率を約6%改善させた。一方、低負荷域ではスモークを改善し、燃料消費率を約11%改善した。

以上の結果から、28AHXの開発コンセプトとして挙げた環境対応の目標である、IMO-NO_x二次規制への適合と燃料消費率改善の両立を達成した。V型機関では、試験によって各部の最適化を行い列型機関よりさらなる燃料消費率改善を達成している。

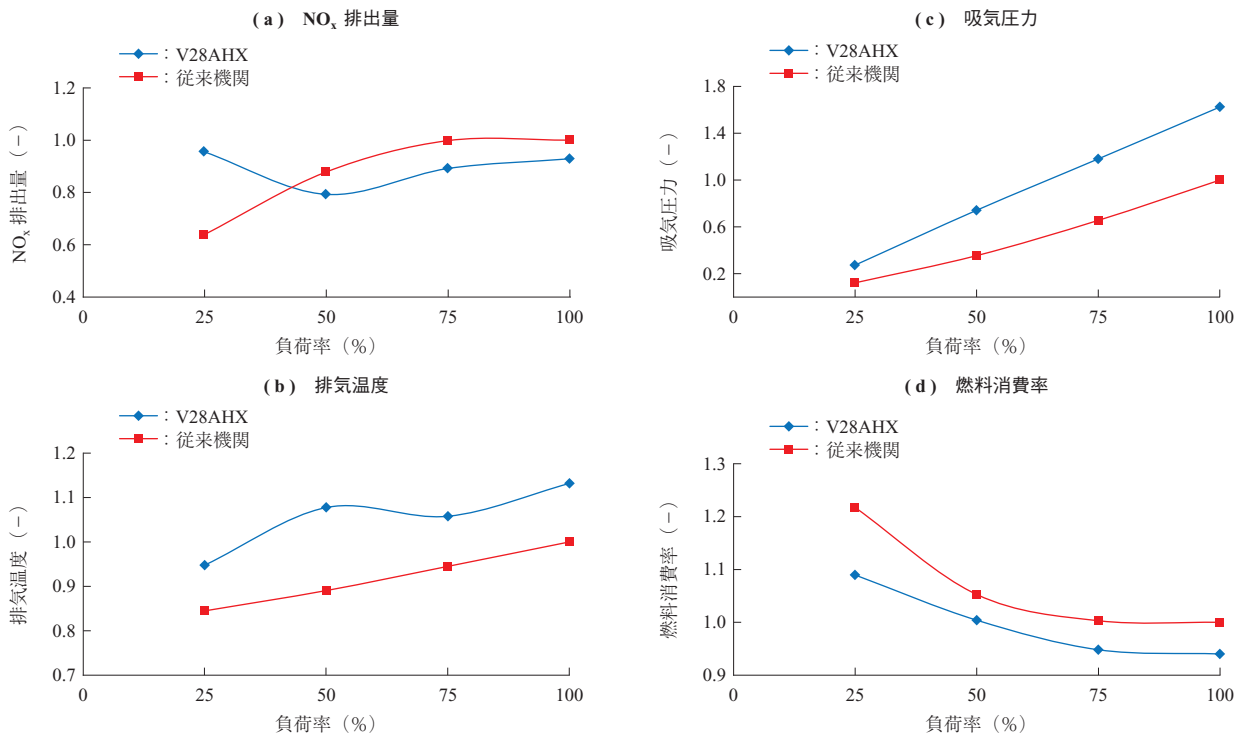
加速特性試験では、機関立ち上りの回転上昇もスムーズであり、スモークも従来機関と比較して改善されたことを確認した。試験機関では耐久運転およびサイクル試験による各 부품の健全性を確認するとともに、機関運転中の振動騒音レベルも問題ないことを確認した。またこれらの試験結果から、2.6節で紹介したシミュレーションによる各種検討結果が有効であることを確認している。

3. 28AHX に対する今後の展望

列型機関は船用主機向けとして多数の出荷実績があり、フィールドでの良好な稼働状態から、さらなる活躍が期待できる。今回V型機関を開発したことによって、28AHXシリーズとして、2070～6660kWまでの出力範囲をカバーできるようになった。これまでに12V28AHXを船用主機として、18V28AHXを陸用常用発電機関として受注をいただいたほか、12V・16V・18Vで多数の引き合いをいただいている。今後はこれまでの船用主機のみでなく、幅広い分野での活躍が期待されている。



第11図 冷却水主管およびライナリングの速度分布
Fig. 11 Velocity distribution of coolant flow from the main coolant pipe toward the liner ring



第 12 図 V28AHX 機関性能と NPS 従来機関との性能比較
 Fig. 12 Comparison of engine performance between the V28AHX engine and Niigata's conventional engines

— 謝 辞 —

V28AHX 機関開発の一部については、国土交通省の海

洋資源開発関連技術研究開発支援事業「大型サプライボート用電気推進システムの研究開発」のご支援を受けています。ここに記し、謝辞といたします。