

空気潤滑のための掃気バイパス

船底に空気を流し船舶の摩擦抵抗を低減する空気潤滑は、最近実用化に向けた動きが活発化していますが、船底への空気投入に要するエネルギー消費の抑制が大型船への空気潤滑適用のキーテクノロジーです。本稿では、この課題を乗り越えるための有望な技術であるエンジンの排気エネルギーを利用した掃気バイパスについて紹介します。



福田 哲吾 FUKUDA Tetsugo

動力システム系

船用大型低速機関を専門とし、SCR脱硝装置や排熱利用の研究に従事

tfukuda@nmri.go.jp

はじめに

船底に空気を流し船舶の摩擦抵抗を低減する空気潤滑は、最近実用化に向けた動きが活発化しています。当所では、空気潤滑を対象として気泡投入による摩擦抵抗低減効果の確認、長尺平板模型船を用いた摩擦抵抗低減効果と気泡量との関係の明確化、内航セメント船での実船テスト等の基礎から実用に結びつく研究までを幅広く実施してきました¹⁾。

その中で、空気潤滑を適用する場合の課題として、特に大型船の場合に船底への空気投入エネルギーが大きくなり、摩擦抵抗低減効果による省エネを相殺してしまうことが明確になってきました。大型外航船舶は、内航船に比べ喫水が深いため船底水圧が大きくなります。つまり、船底の圧力に抗してある質量の空気を吹き出すためにコンプレッサー（ブロウ）が行う仕事が、喫水が深くなると大きくなります。さらに、摩擦抵抗の低減効果は船底に吹き出した条件での空気体積量で決まり、喫水が深くなればなるほど空気が圧縮されるので、同じ抵抗低減効果を得ようとするならば多くの空気を投入する必要があります。つまり、船の喫水増加は、喫水が浅い場合と同等の抵抗低減効果を得ようとするならば、ブロウ吐出圧増加と大気圧下での空気吸い込み量増加というふたつの投入エネルギー増加要因を招いてしまいます。このブロウが行う仕事の増大が抵抗低減効果を打ち消し、正味の省エネ効果を減じる大きな原因となるのです。空気投入技術の改善が大型外航船への空気潤滑適用にとって最

重要課題であると言えるでしょう。

この課題を解決する方法が以下で紹介する掃気バイパスです。これは、図1に示すように主機ディーゼル機関の掃気（排気ガスの熱エネルギーを利用して過給機が作る高圧空気。本来、燃料の燃焼用にエンジンに供給される）の一部を抽気し、これを空気潤滑法に利用する方法です。この方法は世界でも例が無い新たな技術開発です。

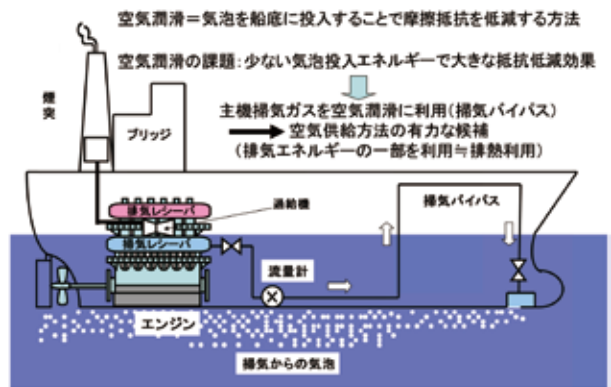


図1 空気潤滑用掃気バイパス

掃気バイパスシステムの概要

船の推進のためのエンジンを主機関と呼び、大型船ではほとんどの場合、低速ディーゼル機関です。主機関の熱効率（燃料の燃焼により発生する熱エネルギーの内のどれだけを動力として取り出すことができるかという値）は50%を超えるところまで高められており、理論的に得られる最高の熱効率に近く、さらなる効率改善は難しくなっています。一方、燃料燃焼用の高圧空気を作り出す排気ガス過給機の進歩は目覚ましく、その効率は主機関が必要とする以上に高められています。このため、排気ガスの熱エネルギーを利用して得られる動力をすべて過給機のコンプレッサーの駆動に利用する必要は無くなってきています。そこで、例えば排気ガスの一部を、過給機を通さずバイパスしてパワータービン（発電用タービン）を駆動する例や、ハイブリッド過給機と呼ばれる過給機でコンプレッサーを

駆動すると同時に直接高速発電機を駆動する例等、圧縮空気の生成以外に排ガスエネルギーを利用するターボコンパウンドシステムが各種提案されています。これらは、いずれも排気ガスの余剰エネルギーを利用する点では同じです。掃気バイパスシステムもターボコンパウンドシステムの一つと呼ばれます。図2に掃気バイパス概念図を示します。過給機のタービンが排気ガスで回り、軸でつながっているコンプレッサーを駆動し、空気を吸い込んで圧縮します。圧縮された空気の一部をバイパスし、船底に投入します。

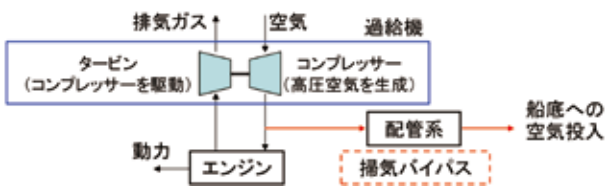


図2 掃気バイパスの概念図

掃気バイパス量（抽気する空気量）は多ければ多いほど空気潤滑による摩擦抵抗低減量が増え、省エネ効果が大きくなります。しかし、掃気バイパス量を増やしすぎると、本来主機関が必要としていた空気が供給されなくなり、その効率が低下（燃費悪化）してしまいます。結果的に、燃料消費量が増え、省エネ効果が阻害されるというトレードオフの関係があります（図3）。

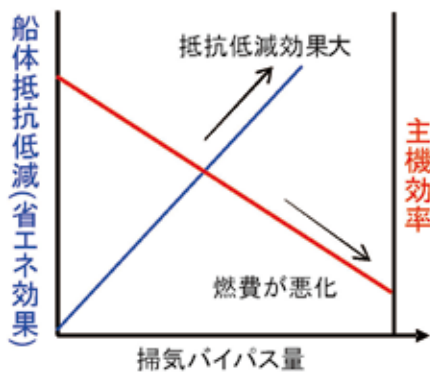


図3 抵抗低減効果と燃費悪化のトレードオフ

図では直線でおおよその傾向を示していますが、実際にはバイパス量がある程度以上に増えると主機の燃焼悪化が著しく、加えて、排ガス温度の上昇、主機の信頼性低下を招くので、掃気バイパス量（あるいは、バイパス率=掃気バイパス量/掃気ガス量）は厳密にコントロールされる必要があります。また、主機関は船の運航状態（船速、載貨条件、海象・気象条件）でその出力は決まりますが、掃気ガス量や掃気圧もそれに応じて変化し、出力が高いときはガス量や掃気圧も

大きく、出力が低くなると小さくなります。特に、主機出力が50%負荷以下程度の低負荷の運転条件下では、掃気圧（正確には配管の圧力損失を差し引いた値）が喫水圧よりも低くなり、船底に空気を送り込むことができず、掃気バイパスは使えなくなります。

掃気バイパス制御システム

空気潤滑は船舶の省エネ実現の有望な方法として実用化が進みつつありますが、一方で、空気潤滑のシステムが船の運航を阻害したり、機関の信頼性を損なうようなことにはなりません。このため、空気潤滑あるいは掃気バイパスの作動・不作動の判断や、船の運航状態に応じた掃気バイパス量の制御を行う必要があります。具体的には、船の喫水・主機の出力に応じて掃気バイパス作動・不作動（場合によっては空気潤滑そのものの作動・不作動も）を決める必要があります。さらに、掃気バイパス作動時には、主機負荷の変化に応じてバイパス量を制御し、同時に、エンジンに負担がかからないよう燃料の燃焼に必要な空気を確保するために掃気圧を適正な範囲に保つことが重要です。また、緊急時用の掃気バイパスを緊急停止機能や、緊急停止時等に掃気圧が急上昇するといったトラブルを防止する機能を備え、機関の保全を図ることが必要です。

この基本的な掃気バイパス制御システムの概念図を図4に示します。

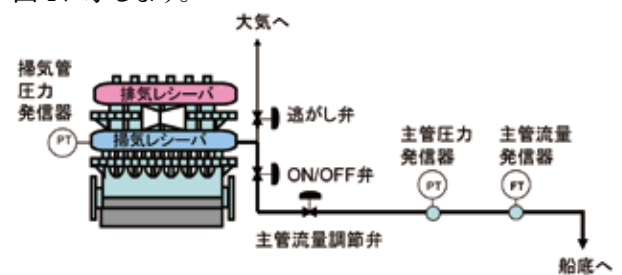


図4 掃気バイパス制御システム

空気潤滑に必要な空気量とエンジンに必要な空気量を同時に確保するために、船底への投入空気量を制御する「主管流量調節弁」があります。このバルブは「主管流量発信器」の信号を見ながらバイパス流量を調節します。ですから、掃気圧が一定（つまりエンジン負荷が一定）の条件下では、喫水が浅いときはバルブは流れすぎを防ぐために閉まり気味になり、深いときは流れやすくするために開き気味になります。これがもっとも重要な機器ですが、システム異常（例えば主管

流量調節がうまくいかなくなる等) の場合のために、システム緊急遮断用の ON/OFF 弁や、エンジンの出力の急上昇に流量調節が追いつかずに掃気圧が上がりすぎた場合等のための逃がし弁といった、システムの安全を確保するための機器も併設されています。

船によっては喫水が深くない軽荷のときなど、エンジンの燃費の変化も考慮して決められた掃気バイパス量に加えて、コンプレッサー(ブロワ)を併用し、空気量を十分確保し空気潤滑の効果を高めることが有効な場合もあります。あるいは、ブロワだけで空気を供給するような場面もあるでしょう。こういった掃気バイパスとブロワを併用するようなシステムでは、ブロワの運転切り替え等も含めた統合制御が必要となります。

配管圧力損失の解析

ここまで、掃気バイパスシステムの概要を述べてきましたが、システムを構築するためにはあらかじめ知っておくべき事があります。それが、配管系の圧力損失です。圧力損失は、流れが管壁との摩擦や曲がりや分岐の時の乱れ等によってエネルギーを失い、圧力が低下することです。

掃気バイパスでは主機関の掃気を使うため、図1に示したように、エンジンルームから船首船底まで配管が長くなり、圧力損失が大きくなる可能性があります。さらに配管には曲がりや分岐、各種バルブ、センサー等があり、これらは配管系全体の圧力損失を増加させます。上述の通り、配管圧力損失は掃気圧を実質的に目減りさせる(エンジンから出たところでは掃気圧でも、船底の空気吹き出し部では、配管系の圧力損失により圧力は低下している)ので、これを正確に見積もることが必要です。図5には、圧力損失の見積もりがエンジン負荷に応じた掃気バイパス使用可・不可の判定にどう生かされるかを示します。

図5の「出口圧力+管路圧力損失」は船底の空気吹き出し部の圧力(喫水圧)と見積もられた圧力損失の合計です。つまり、掃気圧がこの値より高い圧力であれば掃気バイパスは使えると言うことになります。エンジンが決まりエンジン負荷ごとの掃気圧が分かり、さらに船の喫水がわかれば、圧力損失の見積もりにより、どのエンジン負荷の範囲で掃気バイパスを使用できるかの目安が得られることになります。



図5 掃気バイパスの使用可能条件例

おわりに

ここでは、様々な船舶に空気潤滑を適用可能にすると期待される掃気バイパスについて簡単に紹介しました。ここでは述べませんでした。ここでは述べませんでした。掃気バイパスシステムを大型のディーゼルエンジンに繋ぎ、陸上試験等も実施しています。

さて、昨今の大型外航船の運航は減速航行による燃料消費量の低減が主流となっていますが、空気潤滑は減速航行においても必要な空気量は少なく済み、掃気バイパスとブロワを併用して更なる省エネ効果を発揮できるものと考えています。

なお、最近、ここで紹介しました掃気バイパスシステムを搭載した大型船が実運航を始めています²⁾。

謝辞

本研究は、造船等10社(IHIMU, 今治造船、MTI, 大島造船所、川崎重工、住友重機械、常石造船、三井造船、三菱重工およびユニバーサル造船)との共同研究の一部として実施しました。当該造船等10社は、国土交通省及び日本財団の支援を受けて、財団法人日本海事協会と共同研究を行ったものです。関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日夏: 空気潤滑法による船舶の省エネルギー技術について、解説記事、日本マリンエンジニアリング学会誌 第46巻第6号(2011) p 68 ~ p 71
- 2) プレスリリース:
http://www.nyk.com/release/1960/NE_120727.html