大形ディーゼル機関用ラジアルタービン 過給機MET-SRの開発*

今給黎孝一郎**・木村昌敬***
松尾栄人****・中村誠****

Development of Radial - Turbine - Driven MET - SR
Turbocharger for Large Diesel Engine Application

By Koichiro Imakiire, Masanori Kimura, Eito Matsuo, Makoto Nakamura

In a departure from the hitherto - prevalent practice of driving large turboschargers with the axial turbine, a MET-SR series of trubochargers, 30SR, 33SR, 42SR, 53SR, and 66SR, newly developed by Mitsubishi are driven by a large-size radial turbine, each being designed capable of meeting the engine ratings of about 1500PS to 14, 200PS. The new series features an improved performance particularly in the low-load and medium-load ranges, while retaining all the design excellences of the preceding MET-SC series, e.g., non-water-cooled gas casings, inboard bearing system, slide bearing, etc. Principally the performance and structural features of the MET-SR series are herein outlined.

1. ま え が き

当社は過給機効率向上のニーズにこたえ、昭和59年効率72.5%前後を出しうるMET-SCシリーズを開発した。その多くが稼動中であり好評を得ている。このSCシリーズに続いて、大形過給機としては、世界で初めて高性能ラジアルタービンを採用したMET-SRシリーズを開発した。SRシリーズはSCシリーズの性能を凌ぎ、特に低圧力比域での効率を向上させたものである。したがって、低負荷から中負荷域で多用される主機関の性能、信頼性向上に寄与できる。高効率過給機としては、SCシリーズおよびSRシリーズが揃い、機関性能、機関上配置など機関側要求に対する自由度が増した。

MET-SRは、SCシリーズと同様、無冷却ガスケーシング、内側軸受配置、すべり軸受を採用し、省エネルギー、取扱の容易さ、メンテナンスフリーなどMETシリーズの長所は踏襲している。LOヘッドタンクも内蔵し、機装の容易化もSCシリーズと同様である。

2. 概 要

図1に三菱過給機の歴史を示す。MET-SCまでは、すべて軸流タービン形の過給機であったが、ラジアルタービン採用のMET-SRを開発、新たにシリーズとし

て追加した。表1にMET-SRシリーズの主要目を示す。MET-SRシリーズは、MET 30 SR, 33 SR, 42 SR, 53 SR, 66 SRの5機種で構成される。2000馬力前後の小形2サイクル機関および4サイクル機関にも適用できる最小形のMET 30 SRをシリーズに加えた。

図2にMET-SRの流量レンジを示す。33SR～66SRはSCシリーズと同じレンジである。一つの機種でカバーする流量レンジはそれぞれ充分な重なりをもっている。

3. 構 造

図3はMET 30 SR 過給機の断面図である。

タービンは新開発のラジアルタービンであり、タービンホイールは精密鑄造で製作されている。軸受まわりの構造は、MET-SCと同様に内側軸受配置およびすべり軸受を採用している。

ラジアルタービンを採用したのでガス入口ケーシングは渦巻形となり、過給機本体中央寄りに配置されている。ガス出口ケーシング位置は過給機端である。ガス入口ケーシングおよびガス出口ケーシングは、MET-SCと同様完全無冷却形である。ロータ軸を支える軸受台は、タービン側を水冷却している。

また、軸受台にはLOヘッドタンクを内蔵し、機装の簡易化およびブラックアウト等に対する危急対策を図っている。コンプレッサ側の羽根車、渦室および消音機等の構造は、MET-SCの構造と同様である。

* 原稿受付 昭和62年8月7日

昭和62年春季学術講演(昭和62年5月27日)

** 正会員 三菱重工業(株)長崎造船所(長崎市飽の浦町1-1)

*** 三菱重工業(株)長崎造船所(長崎市飽の浦町1-1)

**** 三菱重工業(株)長崎研究所(長崎市飽の浦町1-1)

図1 三菱過給機の歴史

表1 MET-SR主要目表

particulars	Type	MET30 SR		MET33 SR		MET42 SR		MET53 SR		MET66 SR	
		2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Max turbocharger speed	rpm	31,100	29,400	27,000	25,500	21,800	20,600	17,200	16,200	13,800	13,000
Max gas temperature before turbine	°C					550					
Air flow (at pressure ratio 3.5)	m ³ /s	2.5 ~ 4.6		3.1 ~ 5.7		4.7 ~ 8.8		7.5 ~ 14.1		12.0 ~ 22.0	
Approx. diesel engine output range (at pressure ratio 3.0)	ps	1,500 ~ 3,000		1,800 ~ 3,700		2,800 ~ 5,700		4,400 ~ 9,200		6,800 ~ 14,200	
	kW	1,050 ~ 2,200		1,300 ~ 2,700		2,000 ~ 4,200		3,200 ~ 6,800		5,000 ~ 10,400	
Net weight	kg	500		800		1,300		2,600		4,700	
Total length	mm	1,500		1,650		1,900		2,200		2,700	
Total breadth	mm	700		800		1,000		1,250		1,450	
Total height	mm	750		830		1,030		1,280		1,580

図2 MET-SR (MET-SC) 流量レンジ

図3 MET30SR断面図

4. ラジアルタービン材料

ラジアルタービンホイール材は、12Cr系鋳鋼材である。この材料は次のような特徴を有する。

- (1) 高温強度に優れている。
- (2) 延性および靱性に優れている。
- (3) 鋳造性が良好である。

これらの特徴は、実機相当の大形ホイールから採取した試験片を使用し、高温引張試験、高温クリープラプチャ試験、高温疲労試験等によって確認された。

表2および図4に一例として、常温での機械試験結果および、高温クリープラプチャ試験結果を示す。試験結果は計画値どおりの値が得られている。また、大形ホイールであるにもかかわらず、内部、表面の欠陥も出なかったことなど、総合的に本材がラジアルタービンホイール材に適していることを確認した。

表2 機械試験結果

試験項目	引張試験 (常温)				衝撃試験
	0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %	シャルピー 衝撃値 (20°C) kg-m/cm ²
計画値	70	80	15	50	2.5
実測値	75.4	87.4	21.2	62.2	4.8

5. 性 能

5.1 コンプレッサ コンプレッサにはMET-SCと同じ、高効率3次元羽根車を使用している。このコンプレッサは、2サイクル、4サイクルに多数適用実績があり、効率が高く、機関流量特性に対して、低圧力比側でも十分なサージングマージンが確保できる優れた特性をもっている。

5.2 タービン 図5はラジアルタービンホイールの外観である。翼プロファイルは完全3次元形であり、与えられた作動ガス条件に対して、翼内部流動解析技術を駆使して、プロファイルの最適化が図られている。

図5 ラジアルタービンホイール

図6は上記ラジアルタービンホイール翼内の流動解析の一例である。子午面に沿って、タービンホイール入口

図4 12Cr鋳鋼クリープラプチャ強度

図6 タービンホイール内相対速度分布

部から出口部（エクスデューサ部）へかけて、各流線の速度変化が滑らかであり、翼負荷分布が適切であることが示されている。

図7はラジアルタービンの性能試験結果の一例である。タービン効率 η は、タービン作動点 $U/C_0 \approx 0.7$ とした時の最高効率である。効率がよく、低圧力比から高圧力比までフラットな効率を有するラジアルタービンの特性がよく示されている。

図7 MET 33 SRタービン効率

タービンノズル流出角によって、特性は若干変ってくる。即ち、ノズル流出角が大きい場合は低圧力比側で比較的效率が高く、ノズル流出角度が小さい場合には高圧力比側で比較的效率が高い。また、この傾向は、タービンホイールのシュラウドラインの選び方によって変化させることができるのでディーゼル機関のレーティングに合わせて適切な効率特性を提供できる。

5.3 機械効率 図3に示されるように、コンプレッサ羽根車とタービンホイールは向い合った構造になっている。したがって、各ホイール背面のシール空気圧、およびラビリンス径の大きさを調整することによって、スラストフォースをバランスさせることができる。この結果機械効率を向上させることができた。

5.4 総合効率 図8は、小形のMET 33 SRプロトタイプ機による単独試験結果である。過給機総合効率は圧力比2.2付近で約71%の高効率である。ノズルに

図8 MET 33SR単独試験結果

ついては流出角度15°、17.5°、20°の3種類を用意して試験を行った。低圧力比側では、ノズル流出角の大きい場合が効率が高く、高圧力比側ではノズル流出角が小さい方が効率が高い。これは図7に示されるラジアルタービンの特性によって現われたものである。

本試験機は、タービンホイールの設計点をコンプレッサ圧力比2.5としたので、圧力比の高い領域での効率低下が比較的大きくなっている。圧力比の高い領域に対しては、タービンホイールのシュラウドラインを適当に調整して、効率を上げることができる。

6. 信頼性

タービンホイールの材料として、大形鋳物が作りやすく、振動減衰も優れた12 Cr系鋳鋼を開発した。振動強度計算は、輻流羽根車の振動強度解析システムを用いて検討し、十分なゆとりをもたせている。この振動強度解析システムは、空力性能を予測する輻流ターボ機械設計システムの中に包含され、強度と性能を同時に計算できる。したがって、設計者の意図を充分満足するまで繰返し計算が行われ最適化が図られている。

コンプレッサについては、MET-SCの羽根車と同じ物が用いられており、その強度については文献1)に報告されている。

7. あとがき

高効率大形ラジアルタービン過給機MET-SRの構造、性能等について概略報告した。このMET-SRを、概に高効率の評価を得ているMET-SCと共に高効率

過給機のシリーズに加え、ユーザおよび機関メーカー各社のご要求によりよくマッチするよう今後とも努力して行く所存である。

文 献

- 1) 野村他：船機誌，21-1（昭61-1），2.

〔 質 疑 応 答 〕

質問者 （財）日本造船技術センター 大江卓二

〔質問〕 これまでMET過給機の開発を成功されたことに深く敬意を表します。今回のSR型について次の二点を教えて下さい。

1. 今回開発されたSR型はSC型に比べて、同じ圧力比および同じ流量で総合効率は何の位優れていますか、
2. このSR型を開発されたのは、過給機全体の構造がSC型よりうまく収まるようにするためですか、開発の動機を教えてください。

〔 回 答 〕

1. MET-SR形のSC形に対する効率向上

(1) MET-SR形の試験機は小形のMET 33 SR形です。羽根車はMET 33 SCと同じもの（サイズとも）です。

(2) MET 33 SRでは最高効率点を低～中圧力比域において設計しました。その結果、MET 33 SCに比較して圧力比 $\pi_c = 1.5$ にて約2%、 $\pi_c = 2.3$ にて約1%向上しました。圧力比 $\pi = 3$ では若干低下しています。

なお、一つの決められた翼プロファイルに対し、最高効率点をどこにするかの選定はシュラウドライン、ノズル角度の選定によりある程度可能です。

2. MET-SR開発の動機

開発の動機としては、性能の特性、主機掃気圧力の要求値等によっては、MET-SCより機関に適合させやすいためです。即ち、比較的掃気圧力の低い機関に対しては上記1項の様にメリットが出て来ます。