

車両過給機用可変ディフューザ付コンプレッサの開発

Development of Compressor with Variable Geometry Diffuser for Vehicular Turbocharger

丹 下 浩 史	機械事業本部車両過給機事業部設計部
池 谷 信 之	技術開発本部総合開発センター回転流体機械開発部 部長代理
穂 刈 高 志	機械事業本部車両過給機事業部品質保証部 課長
高 梨 正 祐	技術開発本部基盤技術研究所構造研究部
山 口 諭	石川島検査計測株式会社研究開発事業部研究支援部 課長

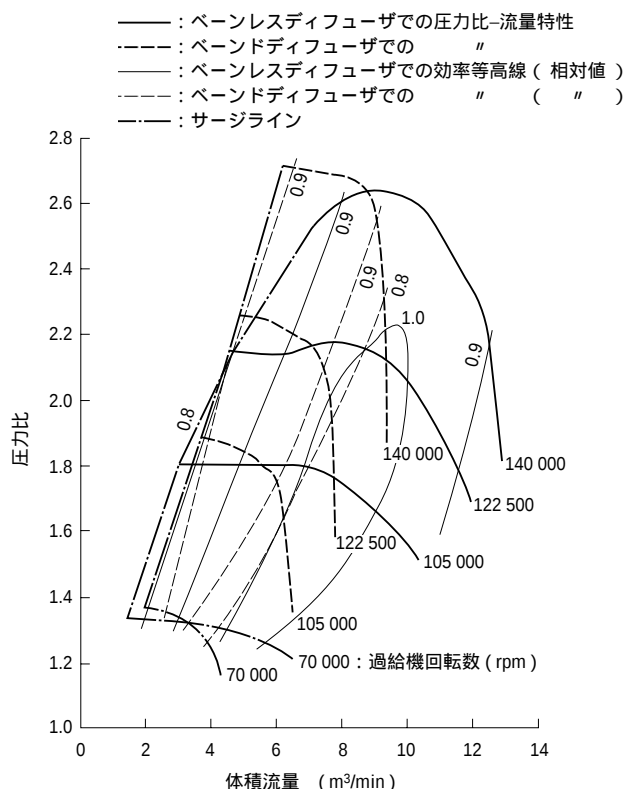
環境に対する配慮から自動車の排出ガス低減と低燃費化のために、過給機はディーゼルエンジンにとって必須の要素になっている。その多くは可変容量型タービンを用いるため、コンプレッサには高効率かつ広い流量レンジが要求される。またガソリンエンジンでも低速性能と最高出力の両立から同様のコンプレッサが求められる。この要求に対して、ディフューザ部に簡易的な可変機構を組み込んだコンプレッサを開発した。本コンプレッサは大流量を維持しつつ小流量域の効率が向上し、エンジンの低速性能が向上することを確認した。

To cope with worldwide environmental problems and fuel economy concerns, turbochargers have become essential technology for diesel engines. The number of variable geometry turbines used for the diesel engines has increased, and compressors require high efficiency and wide flow range to match the turbines. Gasoline engines also require wide range and high efficiency compressors to improve both the performance at low engine speed and the maximum output. The new variable geometry diffuser with vanes that can be expanded and contracted at the diffuser passage was developed for the turbocharger compressor. By this mechanism the compressor achieves both large capacity and high efficiency in the small flow range, and the engine performance at low speed is improved.

1. 緒 言

全世界規模での環境問題に対応するため、自動車の排出ガス低減と低燃費化が重要になっている。日米欧それぞれで排出ガス規制の強化、低燃費化対策が進められているが、特にヨーロッパでは乗用車のディーゼル化が顕著である。これらのディーゼルエンジンには過給機が必須であり、その多くは可変容量型タービンを使用するため、過給機用コンプレッサにはそれらのタービンに適応できる高効率かつ広い流量レンジが要求される。一方、ガソリンエンジンでも低速性能と最高出力を両立するため、同様のコンプレッサ性能が求められる。

コンプレッサの性能を決める空力要素の一つとしてディフューザがある。一般的にベーンレスとベンドの2種類のディフューザがあり、両者のコンプレッサ性能の比較例を第1図に示す。ベーンレスディフューザはチョーク流量が大きく広作動域となり、車両過給機に広く用いられている。一方、ベンドディフューザは流量レンジが狭くなるが、その作動域においてディフューザ部での圧力回復が増加し、ベーンレスディフューザよりも効率が上がる。



第1図 ベーンレスとベンドディフューザとのコンプレッサ性能比較例

Fig. 1 Comparison of compressor performances with the vaneless diffuser and the vaned diffuser

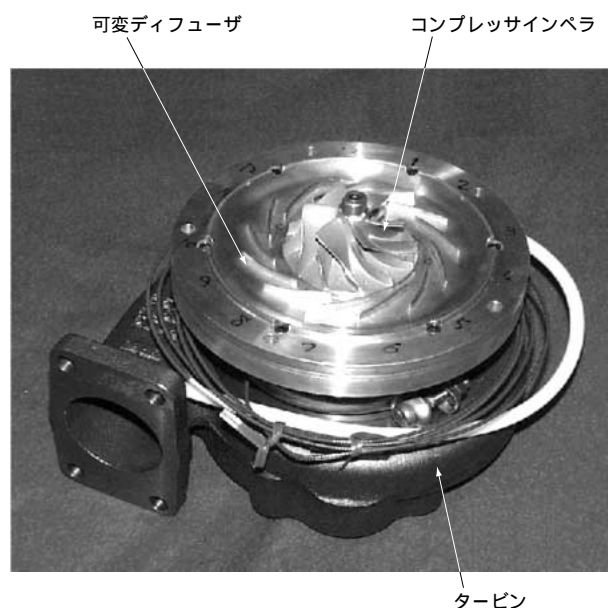
これらのベーンレスおよびベンドディフューザの性能特性を両立させた広作動域かつ高効率なコンプレッサの実現を目的として、新しい可変ディフューザ付コンプレッサを開発した。

本稿では本可変ディフューザ付コンプレッサの構造、空力性能およびエンジン性能への効果に関する各種試験、解析結果を報告する。

2. 可変ディフューザ付コンプレッサの構造

本可変ディフューザ付コンプレッサは、2 ～ 3 l クラスのディーゼルおよびガソリンエンジンを対象とし、コンプレッサインペラ径が 50 mm 前後の車両過給機用として設計した。可変機構として、コンプレッサのディフューザ部にベーンを出し入れすることで、ベーンレス状態とベンド状態の両方のディフューザ形態をとれる構造にしている。可変ディフューザ付コンプレッサ（スリットタイプ）の外観を第2図に、断面図を第3図に示す。

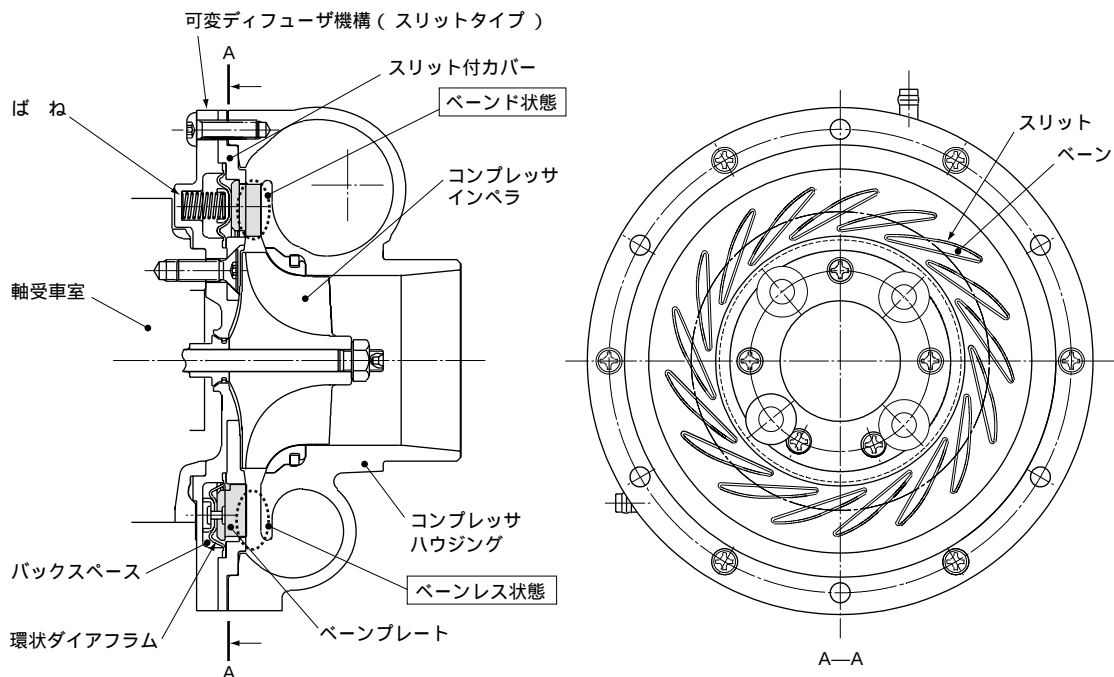
従来の過給機の基本構造を変更することなく組込め、かつコストを抑えるためには、薄型で簡易な可変構造が必要になる。このため環状ダイアフラムを用いて空気圧駆動でディフューザのベーンを動かす機構を採用した。複数枚のベーンを配したプレートが環状ダイアフラムと締結され、スリット付カバーを介して駆動される。環状ダイアフラム



第2図 可変ディフューザ付コンプレッサ（スリットタイプ）の外観

Fig. 2 Variable geometry diffuser of turbocharger compressor (Slit - type)

のバックスペースに設置されたばねが、ベーンプレートにコンプレッサハウジングのシュラウド側に押付けることでベンド状態になる。これに対して、バックスペースに外部から負圧を掛けることでベーンレス状態にすることができる。負圧は自動車がつ負圧源を利用する。環状ダイアフラム面積、与圧ばね、負圧の各仕様は、ベーンレス状態、



(注) A—A：インペラ、ハウジングを省いた状態

第3図 可変ディフューザ付コンプレッサ（スリットタイプ）の断面図

Fig. 3 Cross section of compressor with variable geometry diffuser (Slit - type)

ベンド状態を振動なく保持し、二つの形態を十分に短時間で切り替えられるように設計した。

またディフューザの空力設計として、ベーンはエンジンの低速域の作動点をカバーしつつ、チョーク流量ができるだけ大きく取れるような翼形状を選定した。スリットはベーン全周で同じクリアランスをもつ形状にした。このスリットクリアランスは空力損失の要因になるため、熱変形および量産時の加工性を考慮したうえで最小限の値にした。

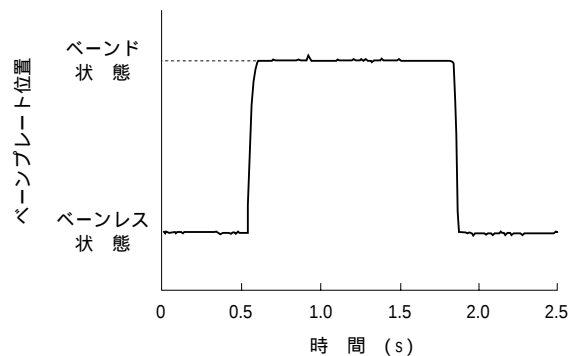
3. 試験結果および考察

3.1 機能

可変ディフューザの機能確認として、エンジンに搭載しての試験を実施した。ベーンプレートの動作計測結果を第4図に示す。ベーンレス状態、ベンド状態ともに完全に保持できており、二つの形態の切替えはスムーズかつ短時間に行えることを確認した。この結果は自動車の走行性に必要になる機能を満足できる。

3.2 空力性能

可変ディフューザの空力性能の確認として、過給機単体でのコンプレッサ性能試験を実施した。試験は可変ディフ

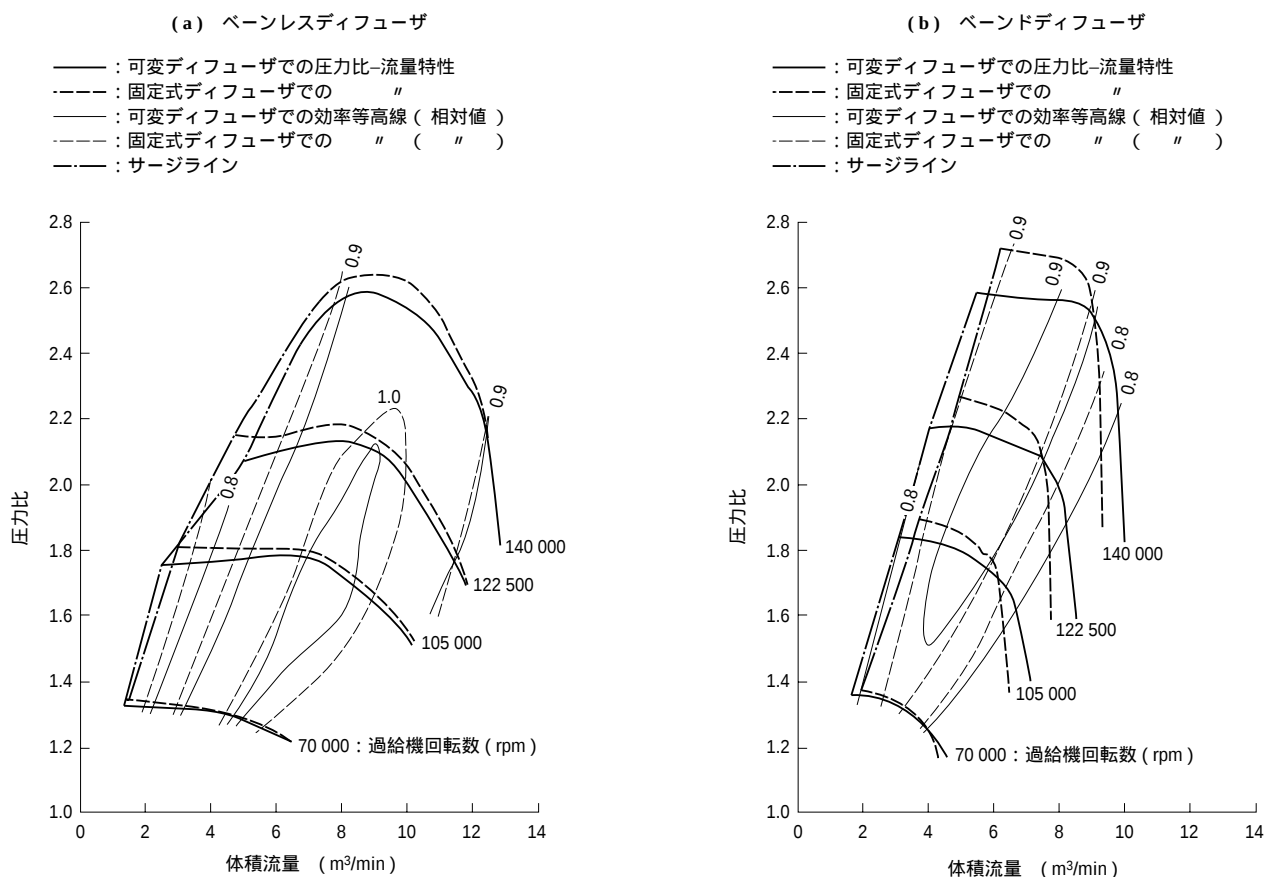


第4図 可変ディフューザのベーンプレート動作計測結果
(エンジン搭載試験時)

Fig. 4 Diffuser vane movement under engine operating conditions

ューザのベーンレス状態とベンド状態に加え、可変構造でない従来の固定式のベーンレスおよびベンドディフューザの4ケースを実施した。コンプレッサ性能計測結果を第5図に示す。

可変ディフューザの流量特性として、ベーンレス状態は固定式と同等の広い流量レンジを確保でき、ベンド状態は固定式に対して流量レンジが拡大した。また効率として、ベンド状態はベーンレス状態に対して小流量域で8%向



第5図 可変ディフューザ(スリットタイプ)のコンプレッサ性能計測結果
Fig. 5 Compressor performance of variable geometry diffuser (Slit-type)

上し、圧力比も向上した。固定式に対する効率低下は、スリットクリアランスを最小限に抑えたことで、ベーンレス状態、ベンド状態ともに3.5%以内になった。

3.3 スリットクリアランスの影響検討

可変式と固定式のベンドディフューザの性能変化はスリットクリアランスによるものである。そこでスリットクリアランスの空力的な影響を調べるため、スリットがある場合とない場合でのベンドディフューザ周囲の流れのCFD (Computational Fluid Dynamics) 解析を実施した。CFD コードとして STAR-CD を使用し、計算はベンドディフューザの最高効率点流量で実施した。解析結果として固定式 (スリットがない場合) と可変式 (スリットがある場合) のベンドディフューザ部のフローパターンを第6図に示す。

スリットがある場合、スリットクリアランス内でベーン出口から入口へ向かう逆流が生じている。このクリアランス流れがベーン入口で主流と干渉し、流れがベーンからはく離する。このはく離の発生のため圧力回復が減少し、効率が低下することが分かった。

4. 可変ディフューザの構造改良

スリットクリアランスによる効率低下を抑えるには、クリアランスを小さくするかシールすることが有効であるが、量産時の加工性やコスト面からともに困難である。

スリットクリアランスの影響を根本的に解消するため、スリットなしの可変構造への改良設計を実施した。構造改良した可変ディフューザ付コンプレッサ (クラウンタイプ) の断面図を第7図に示す。

クラウンタイプは、ベーンチップ側にクラウンプレートを設置したベーンプレートのスリットタイプ (第3図参照) と同様のダイヤフラムで駆動する構造である。ベーンレス状態では、クラウンプレートはディフューザ流路のハブ面になる。ベンド状態では、クラウンプレートはハウジングのシュラウド壁面と合わさってディフューザ流路のシュラウド面になり、ベーンプレートがハブ面になる。

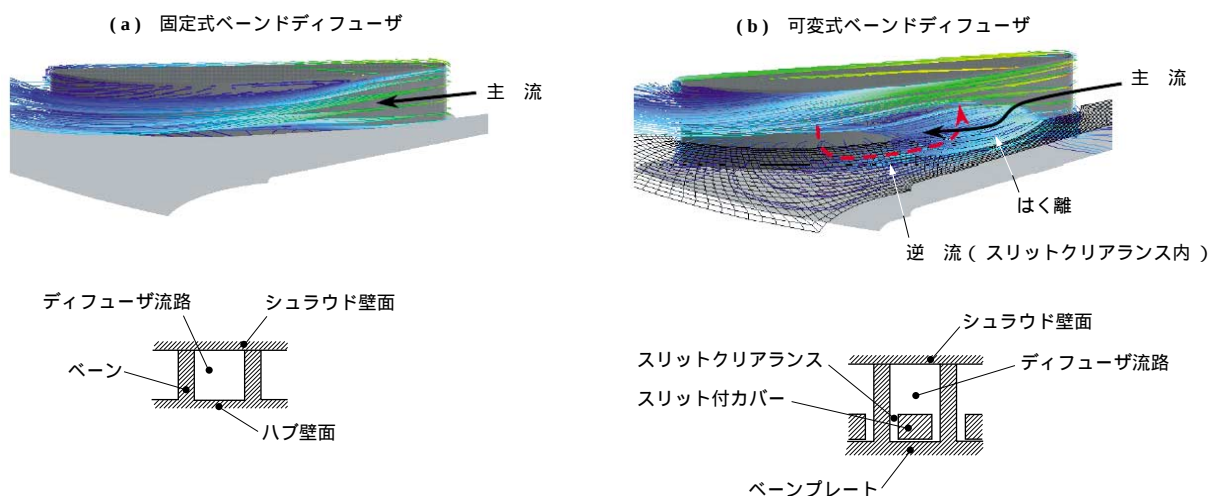
5. 改良構造の試験結果および考察

改良構造の可変ディフューザ (クラウンタイプ) のコンプレッサ性能計測結果を第8図に示す。

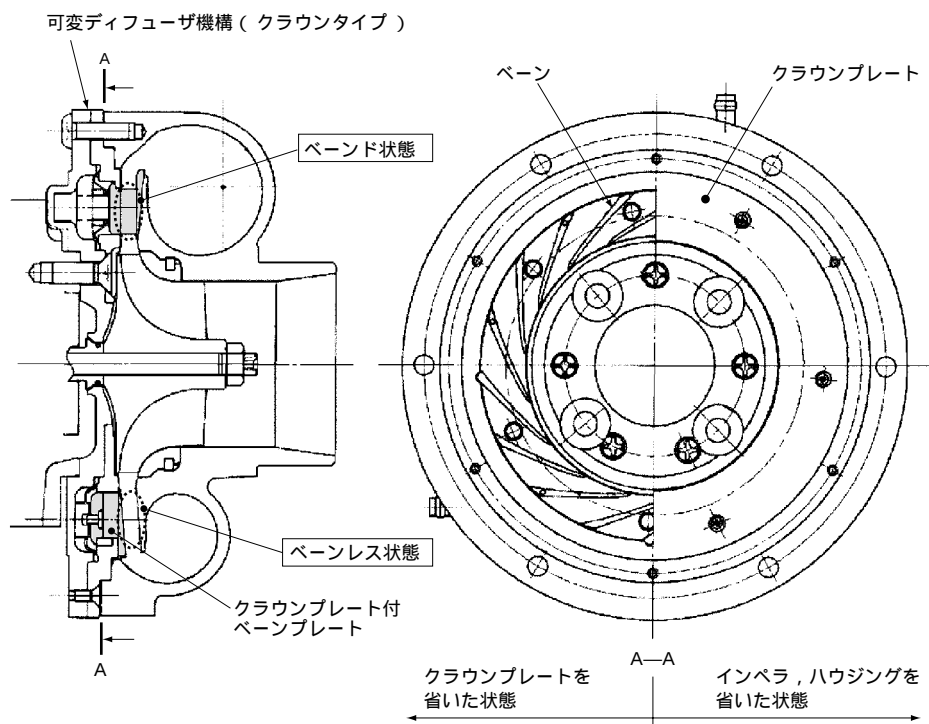
クラウンタイプは、ベーンレス状態、ベンド状態ともに固定式と同等の流量レンジとなり、ベーンレス状態は効率も固定式と同等となった。ベンド状態の効率はスリットタイプに対して1.5%向上し、固定式に対する効率低下を半減することができた。

6. エンジン性能に対する効果の確認

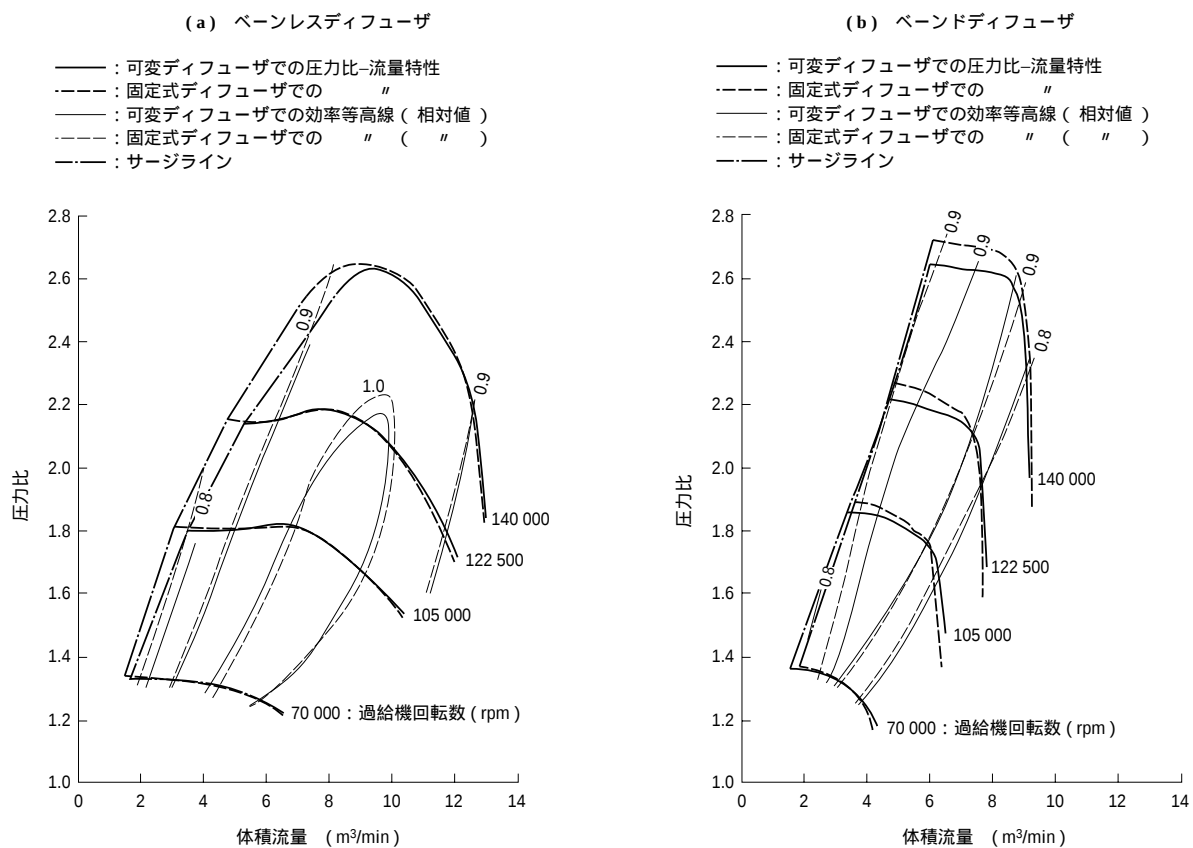
エンジン性能への効果を確認するため、3 l クラスのディーゼルエンジンに可変ディフューザ付コンプレッサ (スリットタイプ) を組込んだ過給機を搭載して、エンジン性能試験を実施した。燃料噴射量を同じとした条件におけるベーンレス状態、ベンド状態でのエンジン性能計測結果を第9図に示す。エンジン低速域において、ベンド状態はベーンレス状態に対してコンプレッサ効率が向上し、過給圧が5%増加した。このコンプレッサ性能の向上によってエンジンのトルクおよび燃料消費率が3%改善できることを確認した。



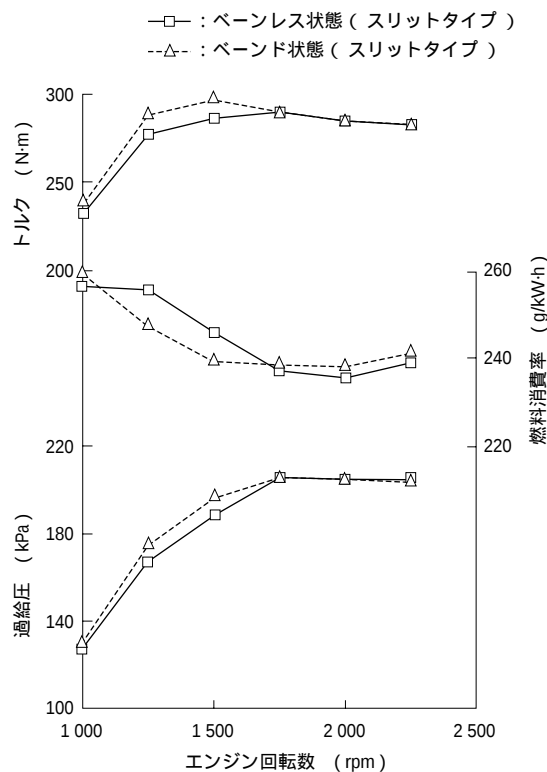
第6図 ベンドディフューザ部のフローパターン (CFD 解析結果)
Fig. 6 Calculated flow patterns in vanned diffuser by 3-D CFD



第 7 図 可変ディフューザ付コンプレッサ（クラウンタイプ）の断面図
Fig. 7 Cross section of compressor with variable geometry diffuser (Crown - type)



第 8 図 可変ディフューザ（クラウンタイプ）のコンプレッサ性能計測結果
Fig. 8 Compressor performance of variable geometry diffuser (Crown - type)



(注) エンジン低速性能を示す

第 9 図 可変ディフューザ付コンプレッサ (スリットタイプ) のエンジン搭載試験結果

Fig. 9 Engine test results of compressor with variable geometry diffuser (Slit - type)

7. 結 言

- (1) 車両過給機用に、ベーンを出し入れできる可変ディフューザ付コンプレッサを開発した。本可変機構によってベーンレスディフューザの広い流量レンジと、ベンドディフューザの小流量域での高効率を両立できることを実証した。
- (2) ベーンプレートの出し入れには環状ダイヤフラム

による空気圧駆動を採用し、小型、シンプルで、低コストとなる可変構造を実現した。

- (3) 可変構造をスリットタイプからクラウンタイプに変更することによって、可変構造に伴う性能低下 (スリットクリアランスによる空力損失) が解消され、従来の固定式のコンプレッサとほぼ同等の性能にすることができた。
- (4) 本可変ディフューザ付コンプレッサによってエンジンの低速性能が改善できることを試験結果から確認した。

— 謝 辞 —

本可変ディフューザ付コンプレッサの開発に当たり、NOK 株式会社には可変機構部の共同開発として多くのご協力をいただきました。ここに記し、深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) H. Tamaki and H. Nakao : Improvement of Flow Field in Vaned Diffuser for Centrifugal Compressor through Flow Field Calculation ASME Paper No.99-GT-435
- (2) A. Kawamoto et al. : Variable Geometry System Turbocharger for Passenger Car Diesel Engine SAE 2001-01-0273
- (3) H. Tange et al. : Variable Geometry Diffuser of Turbocharger Compressor for Passenger Vehicles SAE 2003-01-0051
- (4) 山口 諭ほか：過給機用可変ディフューザ圧縮機の開発 ターボ機械協会総会講演会論文集 2003年 5月 pp.119 - 124