

# 商用車向けターボチャージャーの開発 Development of Turbocharger for Commercial Vehicles

種田 剛夫<sup>\*1</sup>  
Yoshio Taneda

\*1 エンジン事業部 技術第一部

## 要旨

新たな客先向けに新規のターボチャージャーを開発した。従来の自動車向けではなく、商用車向けターボチャージャーの開発である。商用車向けではターボ性能だけでなく信頼性が重要であり、商用車特有の使われ方も考慮して開発した。

キーワード：商用車向けターボ、性能、排気ブレーキ、翼信頼性

## Abstract

We developed new turbocharger for new customers. It is the development of a turbocharger for commercial vehicles, not for conventional automobiles. For commercial vehicles, not only turbo performance but also reliability is important, and it was developed in consideration of the usage peculiar to commercial vehicles.

Keywords: Turbocharger for Commercial Vehicles, Performance, Exhaust Brake, Blade Reliability

## 1 はじめに

開発当時の2017年は、ターボ事業拡大のためにトヨタ自動車(株)向けや産汎向け以外の外販を目指していた。

その足掛かりとして、日野自動車(株)小型トラック向けターボを開発した。



図1 ターボ事業計画(2017年当時)  
Fig.1 Turbocharger Business Plan (at the time of 2017)

日野自動車(株)は新たなターボサプライヤーを探していた。

同じトヨタグループで生産している当社製GD向けターボに着目し、日野自動車(株)向けに流用・改良で対応できないかと考えていた。両社の考えが一致し、開発を実施した。

## 2 開発の狙いとコンセプト

今回のターボが搭載されるのはデュトロ等に搭載されているN04Cエンジンの一部仕向である。



エンジン型式	N04C
排気量	4L
出力	100kW
トルク	400Nm

図2 搭載車両<sup>(1)</sup>とエンジン諸元  
Fig.2 Vehicles and Engine Specifications

エンジン出力よりターボサイズ(≒空気量)が決まり、今回は当社ターボシリーズのMサイズターボである。

TICO Turbo Series		S	M	L	LL
Impeller Size	φmm	38~43	45~51	54~61	62~70
Air Flow	g/sec	~120	100~200	160~250	200~350
Engine Power	kW	~100	90~170	140~210	170~300
Displacement	L	1.2-2.0	1.8-3.0	2.8-5.2	3.6-5.5
Diesel	Heavy Duty	●	●	●	●
	VGT	●	●	●	●
	Variable Geometry Turbocharger STD	●	●	●	●
	$\pi C > 3.5$	●	●	●	●
	$\pi C > 3.5$	●	●	●	●

●:量産中、●:今回開発

図3 ターボラインナップ  
Fig.3 Turbocharger Lineup

2015年に量産化したMサイズターボのCT8DVをベースに、性能や信頼性といった日野自動車(株)からの要求を満足するよう開発を実施した(図4)。商用車においても燃費は重要な項目であり、その要求に対して新規の高効率翼を開発した。

今回の開発で重要である、商用車特有の使われ方に対してはヒアリングし、信頼性確保のコンセプトを決定した。

1つはブレーキ力強化のために排気ブレーキが装着されており、排気ブレーキ作動においてターボの排気側(タービン側)の構成部品のストレス増加への対応である。

2つめは翼の信頼性確保である。翼が破損すると走行不能になるため、開発時には要求の安全率を確保した設計、評価では壊し切ることで設計の確からしさを確認することである。

### 3 開発内容

#### 1) ターボ概要

ベースに対して2つのコンセプトを満足するように翼や可変ノズル(VN)を開発したが、タービンハウジングやコンプレッサハウジングも搭載要件に合わせて新規設計した。

ポイント	項目	コンセプト
性能マッチング	現行エンジン同等以上の燃費	① 高効率翼設計
商用車特有の信頼性確保	高負荷	② 翼信頼性確保
	長時間	③ 高耐熱材採用
	排気ブレーキ	④ 商用車向け可変ノズル ⑤ スラストベアリング強化 ⑥ シールリング耐摩耗性向上
	オイルシール	⑦ シール機能強化
低コスト化		⑧ 部品共通化

図4 ターボコンセプト  
Fig.4 Turbocharger Concept

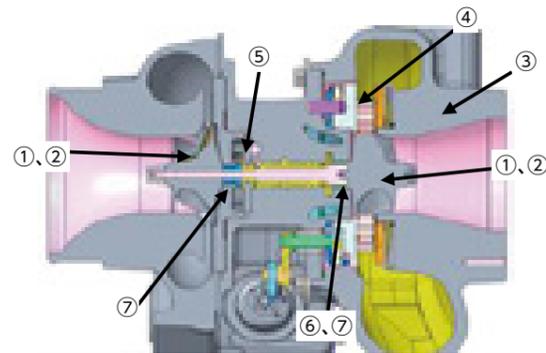


図5 ターボ断面図  
Fig.5 Turbocharger Cross Section

N04Cエンジンに搭載されるターボは、仕向地違いで他社ターボも使用している。そのためエンジン全体のコスト低減のためにコンプレッサ入口配管を共通化できるよう要求あり、それに合わせた形状とした。タービンハウジングは自動車向けに対してリブ追加等の剛性アップをした。従来はタービン入口とターボステでエンジンに拘束されていたが、今回はタービン入口のみのためハウジング剛性を上げて変形を抑制した。



図6 タービンハウジング  
Fig.6 Turbine Housing

#### 2) 性能

性能面で要求されていることは他社量産ターボより燃費を向上させることである。エンジン燃費向上にターボで貢献するためにはターボ効率を向上させ、エンジンのロス低減することである。

エンジンデータを入力し、燃費に寄与度の大きいポイントを管理点として設定し、新翼開発に着手した。

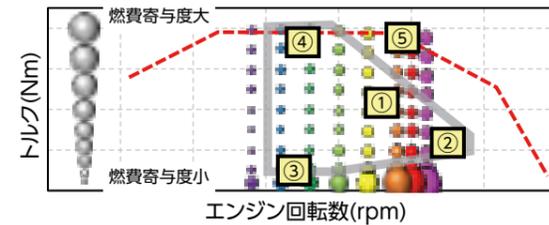


図7 性能管理点  
Fig.7 Performance Control Points

モード走行での燃費寄与度の大きい箇所を面でカバーし、出力点も加えた効率管理点で翼開発を実施した。作動範囲の全域で効率向上が必要である。そのために翼面のエネルギー分布に着目して、従来翼に対して最適エネルギー分布の翼形状を開発し、他社トップレベル(図8)と同等の効率を達成した。

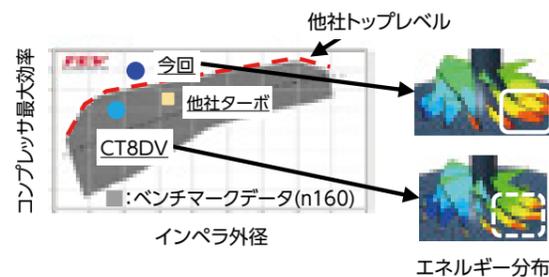


図8 効率比較  
Fig.8 Efficiency Comparison

#### 3) 商用車特有の信頼性

##### (1) 排気ブレーキ対応

排気ブレーキはエンジンのフリクションを増加させてエンジンブレーキを強化するものである。今回はターボ直後に搭載されたバルブがあり、排気ブレーキ作動時にはバルブを閉じることで圧力を高めてフリクションを増加させる、商用車特有の構造である。

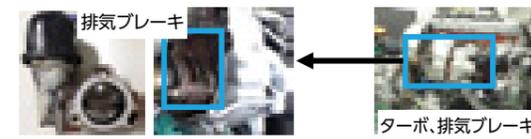


図9 排気ブレーキ  
Fig.9 Exhaust Brake

バルブを閉じた時は、タービン側の圧力上昇や脈動が増加し、各 부품の強度アップが必要である。

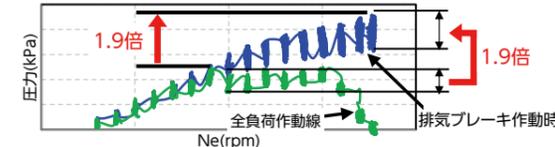


図10 排気ブレーキ作動時  
Fig.10 Exhaust Brake Activated

強化するのは可変ノズル(VN)、スラストベアリングである。ターボは排気ガスのエネルギーによって駆動する。排気ガスはエンジンの運転状態で変化する。可変ノズル(VN)はガス流量に追従するように構成部品であるベンの角度を変更してターボが効率良く駆動できるようにする機構である。



図11 可変ノズル(VN)  
Fig.11 Variable Nozzle

圧力脈動によりベーンが振動し摺動部に摩耗が発生する。

摩耗低減のためにベーンの軸径アップにより摺動部面圧低減と、ユニオンリングとベーンアームの衝撃荷重低減の設計をした。

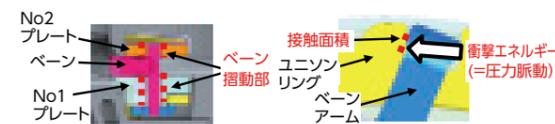


図12 可変ノズル(VN)にかかる荷重  
Fig.12 Load on Variable Nozzle

衝撃荷重低減には排気ブレーキ作動時の他社ターボでの運転データを独自評価にて取得・解析しストレスを正確に把握し、ベースターボ以外の

機種種の部品も流用することで部品質量を低減し荷重低減した。

また、部品流用もできたのでコスト低減にもつながった。

耐摩耗性が向上した可変ノズル(VN)では排気ブレーキのターボ評価、それ以外の評価でも摩耗低減を確認できた。

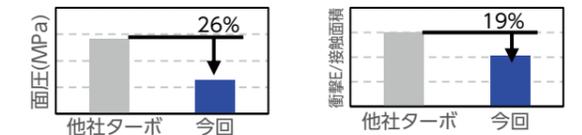


図13 面圧、衝撃荷重  
Fig.13 Surface Pressure, Impact Load

スラストベアリングはターボの軸方向の荷重を受ける部品である。軸受部はテーパ形状になっており、相手部品であるスラストカラーとのくさび効果により油圧の反力で保持する。排気ブレーキ作動時にはタービン側とコンプレッサ側の圧力差が大きくなり、スラスト荷重が大きくなる。

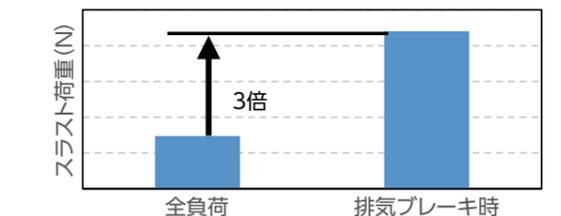


図14 スラスト荷重  
Fig.14 Thrust Load

排気ブレーキ時の荷重に耐えるために、衝撃荷重低減と同じように独自評価結果を解析し、摺動部の面圧低減とテーパ形状設計によりスラスト発生荷重を確保した。

スラストベアリングも同様に排気ブレーキのターボ評価、それ以外の評価でも不具合ないことを確認できた。



図15 スラストベアリングとスラストカラー  
Fig.15 Thrust Bearing and Thrust Collar

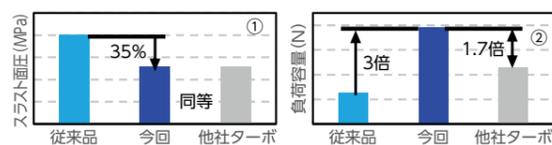


図16 面圧と負荷容量  
Fig.16 Surface Pressure and Load Capacity

(2) 翼信頼性

翼の主な破損モードはインペラの低サイクル疲労破損 (LCF) とタービンの高サイクル疲労破損 (HCF) である。

インペラLCFは従来開発手法で要求を満足でき、ここではタービンHCF対応の考え方、開発内容を述べる。

タービンHCFはベーン後流のウェークによる圧力疎密がタービン翼の固有値が共振して起こる破損モードである。



図17 ノズルウェーク  
Fig.17 Nozzle Wake

タービンHCFを回避するためには以下の2つがポイントである。

- ・ 翼の固有値を使用域に入れない
- ・ 共振が発生しても破損しない応力設計

自動車用では使用域に翼3次固有値は入れない。2次以下の固有値に対しては、共振時の応力がクライテリア以下になる設計をしてきた。

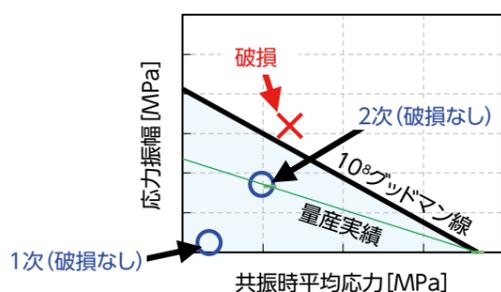


図18 HCF信頼性確保の考え方 (従来)  
Fig.18 Concept of HCF Reliability (Conventional)

しかし今回は使われ方や物のバラツキを含めて高信頼性が要求されている。設計方針 (≒

要求)は翼2次固有値がバラツキを考慮しても使用域に入らないことである。

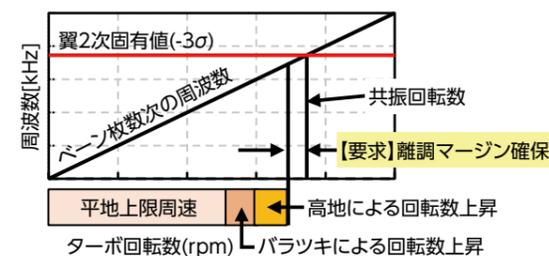


図19 HCF信頼性の考え方 (今回)  
Fig.19 Concept of HCF Reliability (this time)

翼固有値を上げるためには剛性アップが必要であるが、要求が厳しいうえに2)の性能の両立も必要のため、従来の翼やハブの肉厚アップに加えて翼枚数やディスク部剛性も含めて開発した。

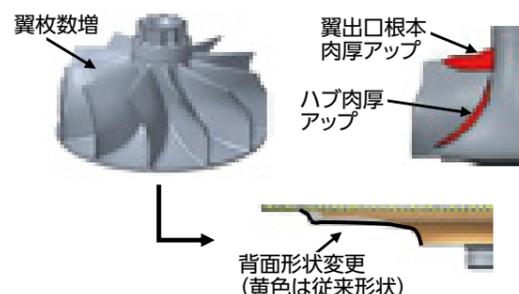


図20 固有値対応  
Fig.20 Eigenvalue Correspondence

翼枚数増加はベーンとの枚数差を1とすることで、ウェークによる翼への加振を1回転につき1回にする。

また、ディスク部は翼を支えるため従来より厚くした。

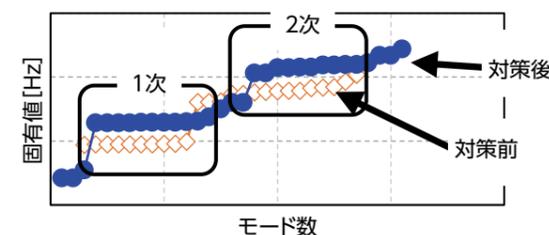


図21 固有値解析結果  
Fig.21 Eigenvalue Analysis Result

CAE (Computer Aided Engineering) によりこれらの対策で固有値向上を確認でき、実測においても使用域に対して余裕のある結果である。

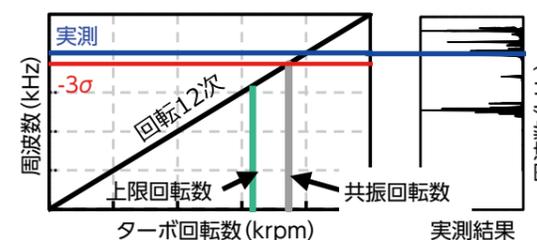


図22 固有値実測結果  
Fig.22 Eigenvalue Measurement Results

4 まとめ

今回の開発を通して当社初の商用車向けターボが完成し、今後、同じような高い信頼性が要求された時の開発のベースとする。

また、トヨタ自動車(株)以外の客先向けに進め方・考え方の違いの一つがわかったので、今後の参考にしたい。

開発の経緯と開発者の思い

商用車向けは信頼性が重要だとは聞いていたが、自動車向けの改良レベルで対応できると考えていた。実際に開発を始めると、信頼性要求を満足するために自動車用の開発の延長線のものもあったが、商用車特有の要求を満足するためにはさまざまな開発要素があり、ほぼ新規開発となってしまった。

要求仕様は受領していたが、それぞれの項目について日野自動車(株)の考え方を理解するために、コミュニケーションを密にとり意図を一つずつ確認しながら開発した。客先が変われば同じ要求でも内容が異なることを体験でき、今後さまざまな客先と付き合いにあたって貴重な経験ができた。

開発の進め方も従来のトヨタ自動車(株)向けとは異なる。トヨタ自動車(株)向けではエンジン開発の中でターボ開発も実施し完成度を上げる進め方である。それに対して他社のエンジン開発でのターボはある程度完成されたもの・実績のあるもので進める。そのため他社向けで開発する時は、従来より完成度の高いターボでスタートする必要がある。

参考文献

- [1] 日野自動車(株) ホームページ
- [2] FEV\_TC\_Scatterbands\_Update\_210322

著者紹介



種田 剛夫