

多板ロックアップクラッチ式 超々偏平トルクコンバータ

Super Ultra Flat Torque Converter with Multi Plate Lock-up Clutch

安部 浩也*

Hiroya ABE

鶴岡 政昭*

Masaaki TSURUOKA

高橋 徹*

Tooru TAKAHASHI

高野 博*

Hiroshi TAKANO

要 旨

三次元粘性数値流体計算に基づくトーラス断面とブレード形状の最適化、および新ステータ翼の採用により、流体性能を維持しながら、偏平率 50%となる薄型のトルクコンバータ流路を開発した。この流路の採用で創出したスペースに、従来の単板ロックアップクラッチに対し約2倍の耐熱性能を有す多板ロックアップクラッチを配置した。これにより、従来に対しトルクコンバータの全幅を増加させることなく、全域ロックアップ制御を可能とする、FF車に搭載可能な多板ロックアップクラッチ式超々偏平トルクコンバータを開発した。その結果、US06モードと実用燃費で約3%の向上と、0 km/h から 100 km/h までの全開加速時間0.2 sec短縮などダイレクト感ある走行フィーリングを可能とした。

ABSTRACT

Three-dimensional CFD was used to optimize the torus section and stator blade shape, and newly developed stator blades were also employed to develop the fluid flow channels for a thin type torque converter with a flattening ratio of 50%, while maintaining torque converter performance. A multi-plate lock-up clutch with heat-resistant performance approximately twice that of a conventional single-plate lock-up clutch has been positioned in the space created by the use of these new fluid flow channels. The developed Super Ultra Flat torque converter with multi-plate lock-up clutch enables all-area LC control without increasing the overall width compared to the previous torque converter, and can be fitted in an FF vehicle. As a result, in real-world driving, the new system increased fuel efficiency by approximately 3% in US06 mode, and enabled a more direct driving feeling by shortening the time from 0 to 100 km/h at 100% throttle acceleration by 0.2 s.

1. まえがき

近年、地球温暖化への意識の高まりから、オートマチックトランスミッション(AT)の発進デバイスであるトルクコンバータに対して、特に車両の発進時に発揮される滑らかなトルク伝達性と、燃費向上に寄与するスリップの少ないダイレクトなトルク伝達性の両立が一層求められている。同時に、衝突安全性の確保の観点から AT の軸寸法が増加しないように、トルクコンバータ全幅の設計的な制約も大きい。

トルクコンバータ流路の偏平率 80%台が一般的な中で、Honda は 2001 年モデルより世界に先駆けて偏平率 60%台の超偏平トルクコンバータの量産をおこなっているが、さ

*四輪開発センター



Fig. 1 Side view of developed torque converter

らなる燃費向上を目的として、全域ロックアップ制御を可能とするロックアップクラッチ(LC)システムと、偏平率50%となる新たな流路で構成された、FF車に搭載可能な多板ロックアップクラッチ式超々偏平トルクコンバータを開発した(Fig. 1)。

この多板ロックアップクラッチ式超々偏平トルクコンバータについての開発目標、技術的課題とその対応、および性能向上について報告する。

2. 開発目標

滑らかなトルク伝達性とダイレクトなトルク伝達性の両立のために、以下の目標を設定し開発を進めた。

(1) LC 性能の向上

従来比：LC 耐熱性能 2倍

LC 締結性能 作動範囲：0.5 < 速度比 < 1.5

応答時間：0.5 sec 以下

(2) 流体性能は従来同等

(3) トルクコンバータ全幅は従来同等

今回、燃費向上に寄与するダイレクトなトルク伝達性を達成するために採用した全域 LC 制御は、Fig. 2 のとおりであり、従来に対し高スロットル(以下Th)、低車速領域まで LC が作動する。

開発目標の LC 耐熱性能は、高 Th 領域や変速中において、自在に LC の締結と解除を可能とするために必要であり(Fig. 2 の A 領域)、LC 締結性能は、減速時の LC を確実に作動させて、燃費向上に寄与するフューエルカット時間を長くするために必要である(Fig. 2 の B 領域)。

さらに、滑らかに発進直後、LCフェーシング材に過度の熱的負担をかけることなく LC 締結走行に移行するためには、容量係数とトルク比に代表されるトルクコンバータの流体性能は従来同等レベルが必要となる。

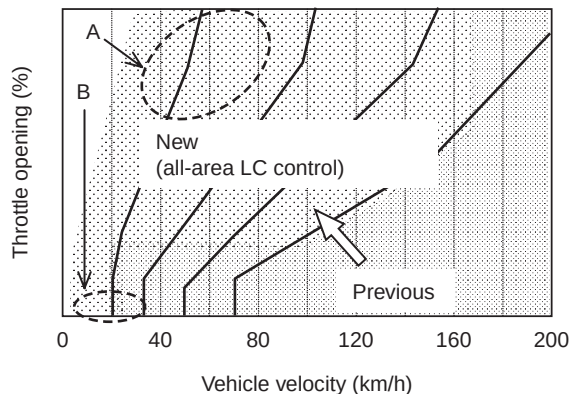


Fig. 2 Operating range of lock-up clutch

Table 1 Comparison of LC systems

	Single-plate type (previous)	Multi-plate type
Typical layout		
LC operating pressure		
Comparison	○ : Good ◎ : Very good	
(1) LC heat resistant-performance	○	◎
(2) LC response time operating range	○	◎
(3) Torque capacity	○	◎
(4) Width	◎	○

3. LC システム

開発目標の LC 性能を達成するため、Table 1 に示す観点で、LC システムを検討した。単板 LC は部品構成が簡素であることからスペース効率に優れ、FF車用のトルクコンバータに採用されている。

一方、Table 1 に示す通り、多板 LC は単板 LC に対し、LC 作動圧が閉空間であるピストン室に作用することから、フェーシング材が作動油圧をシールする必要がない。このため、フェーシング材表面への潤滑溝の設定が可能となり、耐熱性能が高くなる〔Table 1(1)〕。また、LCピストンの作動がトルクコンバータ内部流の影響を受けないことから、LC 作動範囲および作動時間も有利である〔Table 1(2)〕。またフェーシング面が複数であることからクラッチ容量も大きく、大排気量エンジンへの搭載に有利である〔Table 1(3)〕。

以上の性能比較と搭載されるエンジン排気量も合わせて考慮し、LC システムは多板 LC を選択した。しかしながら、多板 LC がピストン室や複数のディスクプレート、クラッチガイドなど複数部品で構成されるため、従来の流路幅ではトルクコンバータの軸寸法増加は避けられず、FF車へ搭載するため、ブレードとトーラス断面で構成される流路の軸寸法の短縮が必要となった。

4. 超々偏平流路の開発

トルクコンバータの流体性能は、容量係数とトルク比で代表され、容量係数が多いほど流体によるトルク伝達時のエネルギーロスは少なくなり、トルク比が多いほど発

進時の駆動力は大きい。これら流体性能は、ポンプ、タービン、ステータの各要素で流体を転向させることで作り出される流体の運動量変化により決定される。高い流体性能を得るには、回転する三次元空間の中で、遠心力と圧力勾配の不釣り合いにより発生する二次流れや、剥離など流体損失を最小限に抑えながら、流体を転向させる必要がある。

4.1. トーラス断面の偏平率とアスペクト比の設定

流路の軸寸法を短縮するには、Fig. 3 に示すとおり、各ブレード要素の入口半径 r_1 と出口半径 r_2 を変えずにトーラス断面を偏平化する方向性と、偏平率はそのままでアスペクト比を大きくしてトーラス断面全体を縮小する方向性がある。

トーラス断面を偏平化した場合は、流路の曲率が小さくなることからトルクコンバータ内部での流体損失が大きくなり、特に流体を反転させることでトルクを発生させるタービンにおいて、その傾向が顕著となる。一方、トーラス断面のアスペクト比を大きくした場合は、Fig. 3 に示すとおり、半径比 r_2/r_1 が小さくなり、ポンプ出口と入口部での流体の運動量差が作り出しにくくなることから、容量係数が小さくなる傾向となる。

流路の軸寸法を短縮するために、この二つの方向性について、軸寸法短縮の効果と流体性能の変化率の関係を検証した。比較のために用いた仕様は Table 2 に示すとおりであり、羽根角度、翼列間数、羽根枚数は同一として、トーラス断面の偏平率、アスペクト比のどちらか一方のみを変化させた場合の、燃費への影響が大きい、速度比 0.8 における容量係数の計算結果を Fig. 4 に示している。

流体性能は、離散化に有限体積法を用いる汎用ソフトによる三次元数値流体計算(CFD)から算出したものであり、乱流モデルは標準 $\kappa - \varepsilon$ モデル⁽¹⁾、解析アルゴリズムとし

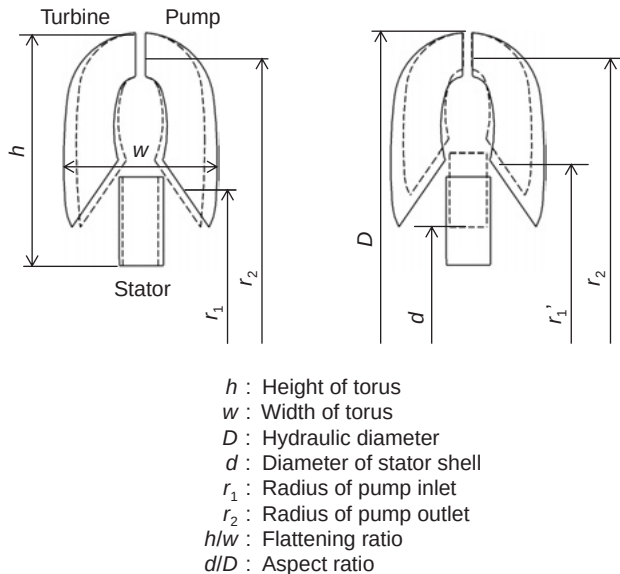


Fig. 3 Approaches to decrease axial length of torus

Table 2 Torque converter specifications and calculation conditions

Hydraulic diameter (mm)		252
Flattening ratio (%)		65
Number of blades	Pump	29
	Turbine	27
	Stator	15
Aspect ratio of torus		38
Rotation speed of input shaft (rpm)		2000
ATF temperature (°C)		85

ては SIMPLE 法⁽²⁾を使用している。

検証の結果、同一の軸寸法短縮の効果を得るには、アスペクト比を大きくするより偏平率を小さくした方が流体性能低下の割合は少ないことが確認できた。

また、Fig. 4 中の Type A と Type B の乱流エネルギーを計算した結果を Fig. 5 に示す。この乱流エネルギー κ は $\kappa - \varepsilon$ モデルを解くことで求められるものであり、 κ が大きい部位において流体損失が大きくなっていることを示す。

Fig. 5 に示すとおり、Type B は Type A に対し、内部流の流速の増加にともない乱流エネルギーも増加傾向であり、前述の検証結果も踏まえ、トーラス断面は従来に対し、流路のアスペクト比は変更せず偏平率を小さくすることとした。

以上のとおり、トーラス断面のアスペクト比と偏平率を設定後、さらにトーラス断面のコア形状とブレード形状、ステータ翼での流体損失の軽減を図った。

4.2. トーラス断面のコア形状とブレード形状の最適化

トーラス断面のコア形状とブレード形状の最適化には、

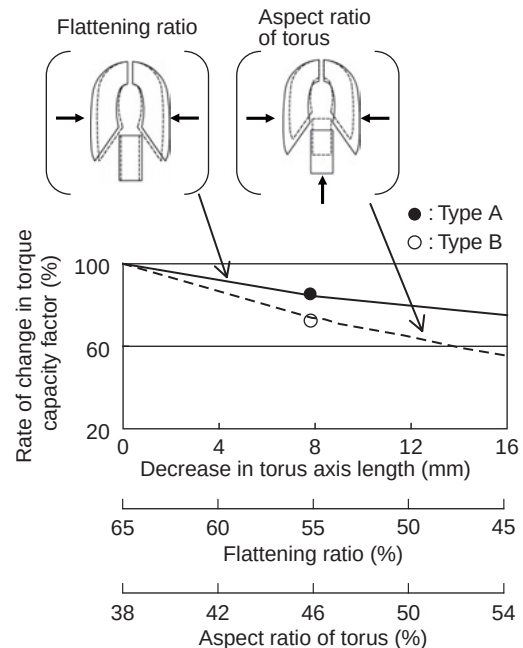


Fig. 4 Influence of flattening ratio and aspect ratio of torus

設計パラメータであるトーラス断面形状、各ブレード入口での流路面積設定、ブレード角度とブレード出入口半径、翼列間数、パイアス角度、羽根枚数など膨大な組み合わせについての検証が必要となる。

そこで一次元角運動量理論をベースに自社開発した性能予測手法⁽³⁾を活用した。本計算予測手法の特徴は以下のとおりである。

- (1) 偏平化に伴う流路内損失を仮想曲がり管モデルにて表現
- (2) ステータの損失が容量特性に与える影響をステータ流出角修正関数で表現

以上の計算予測手法により、基準となるポンプ出口における流路面積、偏平率、ブレード角度とブレード出入口半径など、ベースとなる設計パラメータの組み合わせを決定後、さらに三次元数値流体計算を用い、タービン流路内の圧力勾配を適正化する観点で、翼列間数、パイアス角度、羽根枚数を設定した。

最適化前後における、ストール状態でのタービン流路内での乱流エネルギーの変化について、乱流エネルギーの計

算値が最大となる流路断面上の比較結果を Fig. 6 に示す。Fig. 6に示すとおり、特にタービン入口付近のサクション側での流体損失の軽減効果が大きく、流路空間の平均では約13%の流体損失の軽減が確認できた。

4.3. 新ステータ翼の開発

従来より超偏平トルクコンバータのステータに採用されてきたコアリングとステータ翼のプレッシャー面が接する部分を球状の隆起形状とした翼形状を発展させ、サクション側で発生する剥離現象⁽⁴⁾による流体損失を軽減する観点で、翼形状、流路断面積、羽根枚数を新規に設定した(Fig. 7)。この隆起形状は、ステータの製造方法であるダイカストの型分割方案を複雑にすることなく、ステータのコアリング周辺で発生する流体損失を軽減できるものであり、内部流の流速が速いストール状態ではトルク比を約5%向上させる効果がある。

Fig. 8 は最適化前後での、ストール状態におけるステータ翼中央断面上における乱流強度の計算比較であり、ステータ翼の前縁と後縁部分で乱流強度が低下しているのわかる [Fig. 8(1)]。

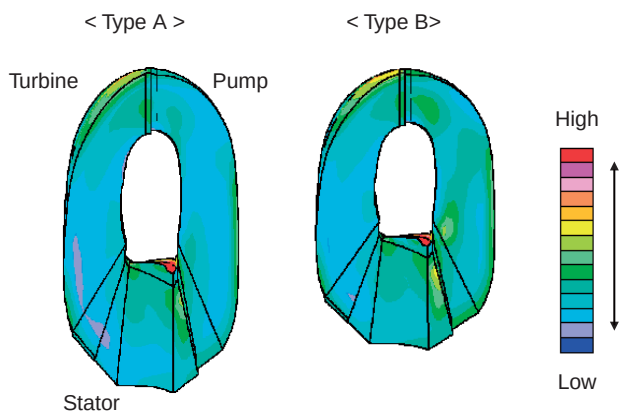


Fig. 5 Calculation results of turbulence kinematic energy

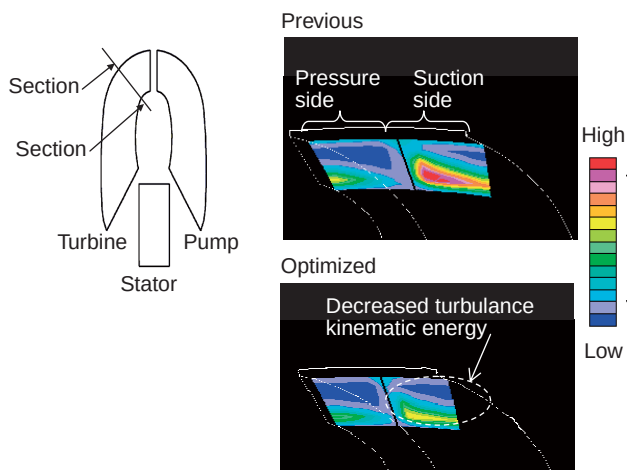


Fig. 6 Calculation results of turbulence kinematic energy at turbine inlet

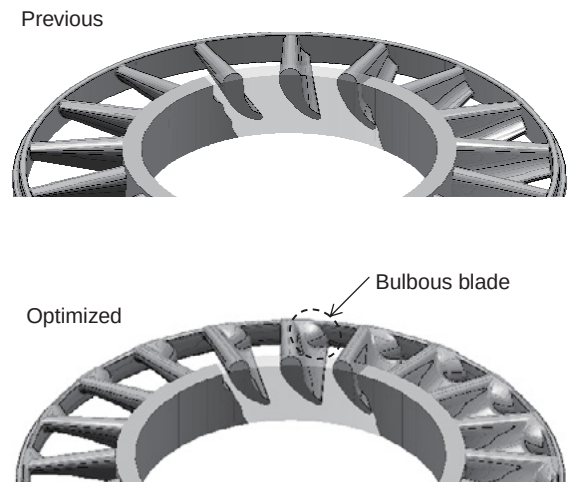


Fig. 7 Comparison of conventional and optimized stator blades

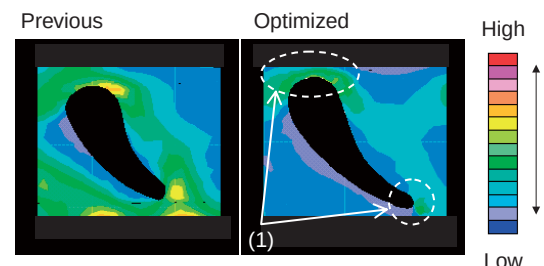


Fig. 8 Calculation results of turbulence kinematic energy at stator blades

5. 性能確認結果

5.1. LC 性能

以上のプロセスを経て開発された超々偏平流路の採用により創出したスペースに、前述の Table 1 に示す構造的メリットを有す多板 LC を配置した。LC のサイズ、フェーシング面内外径、クラッチプレート枚数は許容軸寸法と必要クラッチ容量をもとに設定し、フェーシング材表面の潤滑溝の数と形状は LC 耐熱性能とクラッチひきずりの量を考慮して設定した。

従来と新トルクコンバータについて、LC 締結性能と LC 耐熱性能についての比較をそれぞれ Fig. 9 と Fig. 10 に示す。

Fig. 9 に示すとおり、従来に対し LC 作動範囲も広域であり、LC 応答時間も安定して速いことがわかる。

Fig. 10 は Table 3 に示すテスト条件にて、LC がスリップ制御中のフェーシング表面温度を、トルクコンバータ状態で測定した結果である。LC スリップ制御中で、高負荷領域の 3100W にて、従来の単板 LC のフェーシング表面温度が 200℃を超えるのに対し、新トルクコンバータでは約 160℃と許容範囲となっていることがわかる。

さらに、確認の結果、単板 LC でフェーシング表面温度が 160℃に到達する LC 仕事量が約 1330kW であることから、新 LC は従来に対し LC 耐熱性能が 2 倍近いことが確

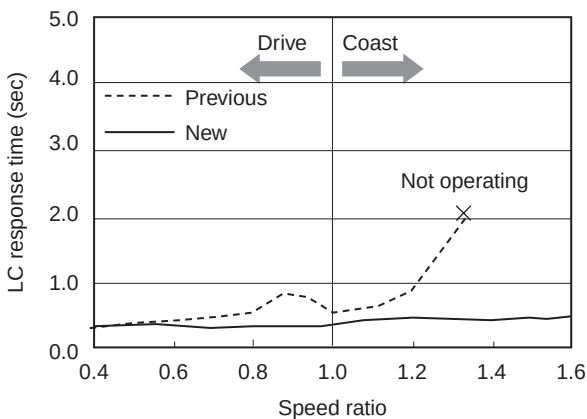


Fig. 9 Test results of LC response time

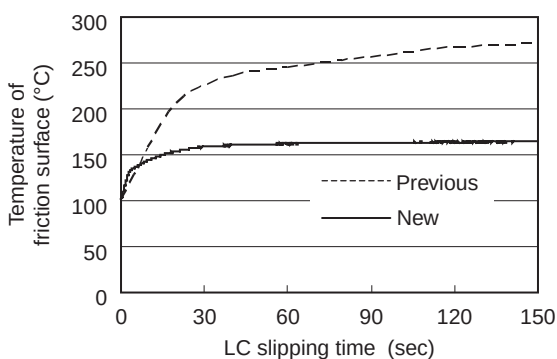


Fig. 10 Test results of facing temperature

Table 3 Test conditions

Measuring point: ●	
Single-plate type (previous)	Multi-plate type
ATF temperature (°C)	100
LC transmitted power (W)	3100
Cooling flow rate (L/min)	4

Table 4 Comparison of torque converter specifications

		Previous	New
Hydraulic diameter (mm)		252	260
Flattening ratio (%)		65	50
Number of blades	Pump	29	31
	Turbine	27	29
	Stator	15	21

認できた。

以上のように、LC 締結性能と LC 耐熱性能が向上したことから、従来では LC 締結ができなかった高 Th 領域、低車速領域まで LC が作動可能となり、実走行においては LC 締結走行頻度が約 1.5 倍に増加した。この全域 LC 化の効果により、実車において、US06 モードと実用燃費にて約 3 % の燃費向上と、0 km/h から 100 km/h までの全開加速時間 0.2 sec 短縮を可能とした。

5.2. 流体性能

新トルクコンバータと従来品の主要な諸元の比較を Table 4 に、流体性能のテスト結果を Fig. 11 に示す。3.5L エンジンに対応した流体性能は Fig. 11 のとおりであり、偏

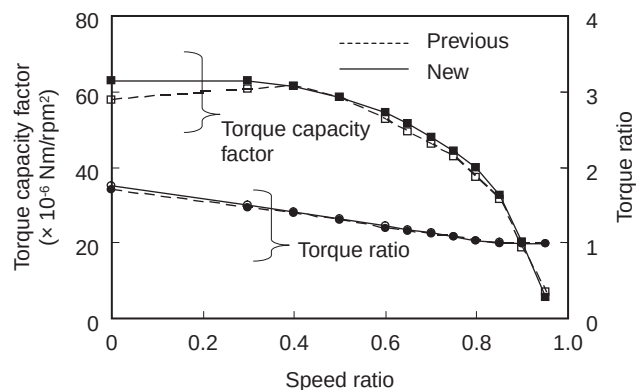


Fig. 11 Torque converter performance

平率が65%から50%に変更されたのにも関わらず、容量係数、トルク比とも同等を達成した。

6. まとめ

トルクコンバータ全幅の設計的な制約の中、車両の発進時に発揮される滑らかなトルク伝達性と、燃費向上に寄与するスリップの少ないダイレクトなトルク伝達性との両立を目指した。

偏平率 50%となる薄型の流路と、従来の単板ロックアップに対し約2倍の耐熱性能を有す多板ロックアップの採用により、全域ロックアップ制御を可能とした。その結果、US06モードおよび実用燃費で約3%の燃費向上と、0 km/h から100 km/h までの全開加速時間 0.2 sec 短縮などダイレクト感ある走りを可能とした。

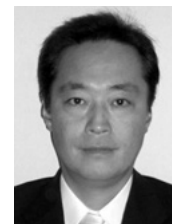
参考文献

- (1) Launder, B. E., Spalding, D. B.: The numerical computation of turbulent flows, Comput. Methods Appl. Mech. Eng., Vol.3, p.269-289(1974)
- (2) Patankar, S. V., Spalding, D. B.: A Calculation Procedure for Heat, Mass and Momentum Transfer in Three-Dimensional Parabolic Flows, Int. J. Heat Mass Transf., Vol.15, p.1787-1806(1972)
- (3) 安部浩也, 名井信雄, 山下徹, 白木川孝一: トルクコンバータにおけるステータ翼列流出角修正による簡易性能予測法, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.951, p.121-124(1995)
- (4) 安部浩也, 丸山徹郎, 坂藤征利: 三次元数値流体計算の活用による超偏平トルクコンバータの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.13, No.1, p.75-80

■ 著 者 ■



安部 浩也



高橋 徹



鶴岡 政昭



高野 博