

## 第2世代 NSX 用縦置き 9速デュアル・クラッチ・トランスミッション

Longitudinal 9-speed Dual Clutch Transmission for 2nd-generation NSX

栗原 大\*  
Masaru KURIHARA  
片岡 隆平\*  
Ryuhei KATAOKA

上野 隆雄\*  
Takao UENO  
加茂 俊二\*  
Shunji KAMO

野田 辰也\*  
Tatsuya NODA  
武藤 彰男\*  
Akio MUTO

### 要 旨

### ABSTRACT

新時代のスーパースポーツにふさわしいデザインフォルムと加速性能、運動性能の実現に加え、市街地や高速道路でのスムーズで快適な走りを創出するために、世界初の縦置き9速デュアル・クラッチ・トランスミッションを第2世代NSX用に開発した。1速ギヤのシフト機構廃止と変速ギヤの共用化により、これらを適用しない場合に対して全長を120 mm短縮し、他社スーパースポーツの7速デュアル・クラッチ・トランスミッションに対して35 mm短いリアオーバーハングを達成した。高出力化の対応として、クラッチ室、ギヤ室それぞれに最適なオイルを適用し、高容量デュアル・ウェット・クラッチと高強度ギヤ材および高強度ケース材の採用により、550 Nmの高容量化を達成した。また、サーキットなどの高負荷走行に対応するために、クラッチ室とギヤ室それぞれの冷却、潤滑システムを4基の熱交換器とクラッチを完全に覆うバッフルカバーにより最適化した。さらに、各変速段のギヤレシオの最適化とシフトフォークの高剛性化および2速から5速へのダブルコーンシンクロナイザの採用により、高速クルーズでの静粛性を保ちながら高い変速応答性を実現した。

The world's first longitudinal nine-speed dual clutch transmission was developed for the second-generation NSX. Its purpose is to realize the design, acceleration performance, and dynamic performance that are appropriate in a supercar for the new era, as well as to provide smooth, comfortable driving on city streets and on expressways. By eliminating the shift mechanism for first gear and sharing the transmission gears, the total length was reduced 120 mm relative to these measures not being applied, achieving a rear overhang that is 35 mm shorter than other manufacturers' supercars with seven-speed dual clutch transmission. In order to deal with the higher power output, the optimal oil was respectively used for the clutch and gear rooms, while the adoption of a high-capacity dual wet clutch, high-strength gear material, and high-strength case material increased capacity to 550 Nm. In order to deal with high-load driving on the circuit and under other such conditions, the respective cooling and lubrication systems for the clutch and gear rooms were optimized by the use of four heat exchangers and a baffle cover that completely encloses the clutch. The gear ratio was optimized for each shifting stage, the rigidity of the shift fork was increased, and a double-cone synchronizer was adopted for second to fifth gears, thereby realizing high gear change response while retaining quiet cruising at high speeds.

### 1. まえがき

操る喜びをさらに追及したいというドライバーの普遍的な思いを形にするべく、これまでの車にない全く新しい操る喜びを実現する新時代のスーパースポーツとして、「New Sports eXperience」をキーワードに第2世代NSXを開発した。

第2世代NSXは、縦置きミッドシップV6 3.5 L ツインターボエンジンとクランクシャフト直結のdirect drive

motor および9速デュアル・クラッチ・トランスミッション(DCT)により後輪を駆動する。また、車両前軸に搭載のTwin Motor Unit(TMU)と合わせた四輪駆動システムであるSPORT HYBRID SH-AWDにより、高いシステム出力による高応答の加速性能を発揮することが可能となっている。第2世代NSXに搭載しているパワートレインシステムの諸元をTable 1に、搭載レイアウトをFig. 1に示す<sup>(1)</sup>。

従来のスーパースポーツは、サーキット走行での圧倒的

\*四輪 R&D センター

Table 1 Specifications of power train system

|                    |                                                                                                                     |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Power train system | SPORT HYBRID SH-AWD<br>Maximum power 427 kW<br>Maximum torque 646 Nm                                                |
| Engine             | Twin-turbocharged DOHC V6 3493 cm <sup>3</sup><br>373 kW at 6500-7500 rpm<br>550 Nm at 2000-6000 rpm                |
| direct drive motor | Water-cooled motor and generator<br>directly connected to crankshaft<br>35 kW at 3000 rpm<br>148 Nm at 500-2000 rpm |
| Transmission       | 9-speed DCT                                                                                                         |
| TMU                | Twin traction motor and generator unit<br>27 kW at 4000 rpm × 2<br>73 Nm at 0-2000 rpm × 2                          |

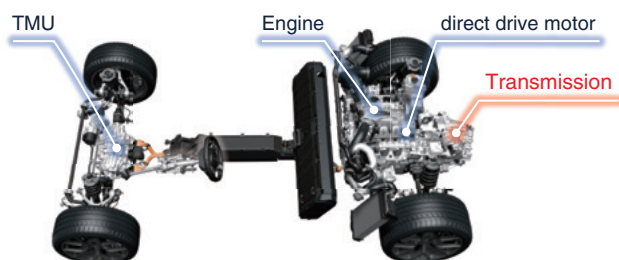


Fig. 1 Power train system components

な加速を実現する6速から7速の縦置きDCTを搭載していた。第2世代NSX用のトランスミッションは、スーパースポーツのさらなる性能向上と一般公道におけるスムーズで快適な走行を両立することが求められた。これらを実現するために、各変速段を最適なギヤレシオとするための多段化とコンパクト化を両立する縦置き9速DCTを必要とした。

## 2. 開発のねらい

第2世代NSX用縦置き9速DCTを開発するにあたり、以下の項目を開発のねらいとして設定した。

- (1) 変速段の9速化とコンパクト化を両立させる。
- (2) スーパースポーツの高出力を伝達可能とする高容量化を達成する。
- (3) サーキット走行などの高負荷走行時における熱成立性を達成する。
- (4) 俊敏な発進と途切れのない加速性能および静粛な走りを高次元で達成する。

## 3. 基本構造と主要諸元

第2世代NSX用縦置き9速DCTの主要諸元をTable 2に、主断面図をFig. 2に示す。

### 3.1. 並行多軸縦置き構造

エンジンとdirect drive motorからの出力は、デュアル・

Table 2 Transmission specifications

| Transmission type          |             | 9-speed DCT |
|----------------------------|-------------|-------------|
| Torque capacity [Nm]       |             | 550         |
| Maximum engine speed [rpm] |             | 7500        |
| Power capacity [kW]        |             | 373         |
| Overall gear ratio         | 1st         | 13.754      |
|                            | 2nd         | 8.719       |
|                            | 3rd         | 6.370       |
|                            | 4th         | 5.116       |
|                            | 5th         | 4.341       |
|                            | 6th         | 3.720       |
|                            | 7th         | 3.156       |
|                            | 8th         | 2.677       |
|                            | 9th         | 2.272       |
| Reverse                    |             | 8.580       |
| Ratio range                |             | 6.055       |
| Overall length [mm]        |             | 633         |
| Oil                        | Clutch room | ATF         |
|                            | Gear room   | Gear oil    |

ウェット・クラッチ (DWC) を介して各シャフトにトルクを伝達する構造とした。各変速ギヤは、奇数段のドライブギヤをメインシャフト上に、偶数段のドライブギヤをインプットシャフトおよびアイドルシャフトを介したセカンダリシャフト上に配置し、ドリブンギヤをカウンタシャフト上で共用する平行多軸構造を採用した<sup>(2)</sup>。また、ハイポイドギヤにより出力軸を直角に変換することで縦置き構造のトランスミッションとした。

### 3.2. クロスレシオ設定

1速は、SPORT HYBRID SH-AWDとして俊敏な発進を達成するローレシオ設定とした。一方、最高変速段は静粛な高速クルーズ走行を達成するハイレシオ設定とした。その間を刻むギヤレシオは、最高速までエンジン回転数を高回転領

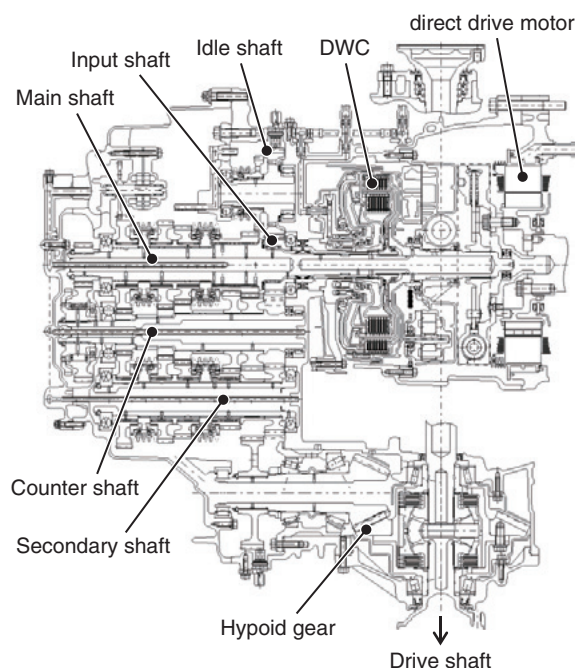


Fig. 2 Main sectional view of developed DCT

域 (6000 rpm) のパワーピークゾーンに保持した状態での加速を可能とする7段のクロスレシオ設定とした (Fig. 3)。

### 3.3. 2種類のオイル

オイルは、9速DCTの性能を最大限発揮するように2種類とした。クラッチケースとインプットシャフト、インプットシャフトとメインシャフト間にそれぞれ2個のオイルシールを配置してクラッチ室とギヤ室のオイルを分離する構造とした (Fig. 4)。

ギヤ側は、高出力に対応するために、高温かつ高面圧条件下において油膜保持性の高い、高粘度の新規開発ギヤオイルを採用した。一方、クラッチ側はDWCのトルク伝達性能および耐ジャダー性を両立するために、添加剤の最適配分によりオイル特性に優れたオートマチック・トランスミッション・フルード (ATF) を採用した (Fig. 5)。

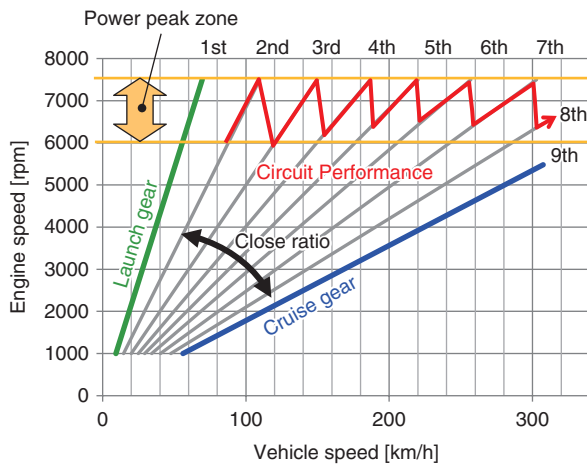


Fig. 3 Speed diagram of 9-speed DCT

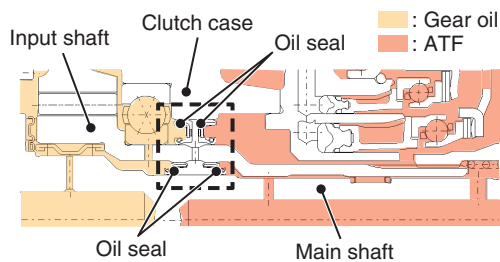


Fig. 4 Oil seal for oil separation

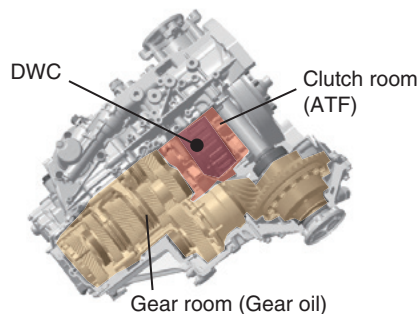


Fig. 5 Separation of clutch and gear room oil

## 4. 対応技術

### 4.1. 多段化とコンパクト化

縦置き9速DCTは、リヤオーバハング抑制による旋回時のヨーモーメント低減と車両リヤデザインの自由度を向上するために、車両前後方向の全長短縮が求められた。

多段化による全長拡大を抑制するために、1速には他の変速段で採用しているシフト機構を廃止するかわりにワン・ウェイ・クラッチ (OWC) を採用し、1速ドリブンギヤとパーキングギヤを共用する構造とした。4速と5速、6速と7速、8速と9速のギヤ配列を同列に配置し、カウンタシャフト上のドリブンギヤは共用する構造とした。また、アウトプットドライブギヤとリバースドリブンギヤは3速のドリブンギヤを共用する構造とした (Fig. 6)。これらのコンパクトレイアウトにより、これらに対応しない場合に対して全長を120 mm短縮し、9速化と同時に他社スポーツの7速DCTに対して35 mm短いリヤオーバハングを達成した (Fig. 7)。

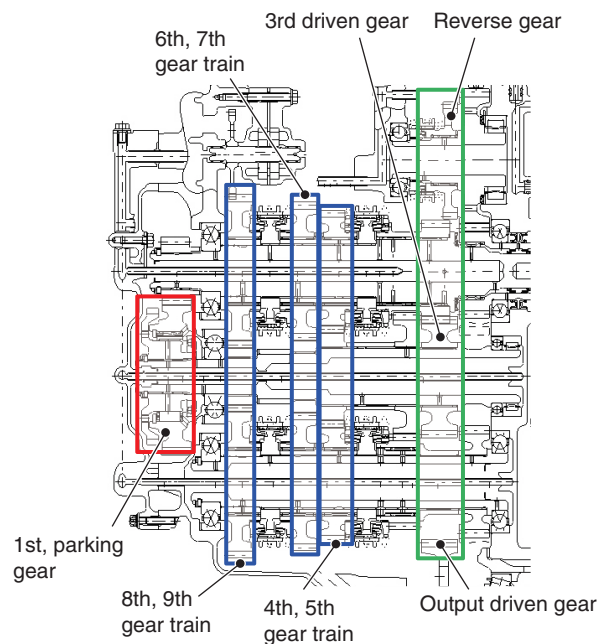


Fig. 6 Structure of gear train

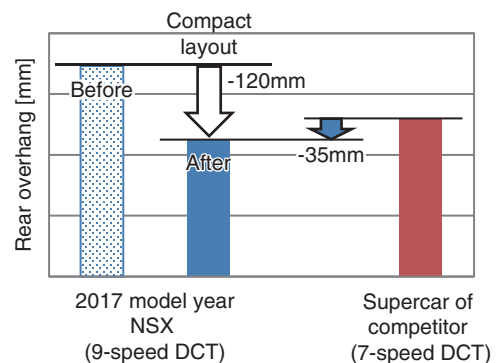


Fig. 7 Rear overhang

## 4.2. 高出力対応

9速 DCT は、エンジンと direct drive motor からの高い出力を伝達することが求められた。

クラッチは 2015 年モデル Acura RLX に採用されたトルク容量 370 Nm の DWC をベースに高容量化した。奇数段、偶数段それぞれのスチールプレートの厚さを最適化し、フリクションディスクの枚数を増やした。潤滑の最適化と合わせることで、寸法を維持したままトルク容量 550 Nm を達成した (Fig. 8)。

トランスミッションの全長を拡大することなく高容量化するために、すべての変速ギヤは高強度鋼を採用し、モジュール諸元を最適化した。ハイポイドギヤは歯面表面研磨に加え、精密表面加工処理をおこない耐久性を向上させた。トランスミッションケースの材質は、耐摩耗性に優れた高シリコンアルミニウムを採用し、2015 年モデル Acura RLX に対してトランスミッションケース疲労強度を 20% 向上させた。

これらの技術と先に述べた 2 種類のオイルを適用することで、スーパースポーツの高出力を伝達可能とする 550 Nm の高容量化を達成した。

## 4.3. 高負荷走行における熱成立性

### 4.3.1. 冷却、潤滑システム

高車速連続走行や加減速連続走行などの過酷な使用環境に対応した冷却性能を実現するために、クラッチとギヤそれぞれに冷却、潤滑システムを設けた。4 基の熱交換器を搭載し (Fig. 9)、各部の発熱状態に対して適切な冷却、潤滑となるようにそれぞれシステムを最適化した (Fig. 10)。

クラッチ側は、エンジン回転数が高い状態でエネルギー吸収する時に DWC の発熱が高くなるために、エンジン回転に応じてオイルポンプを駆動する構造とした。また、

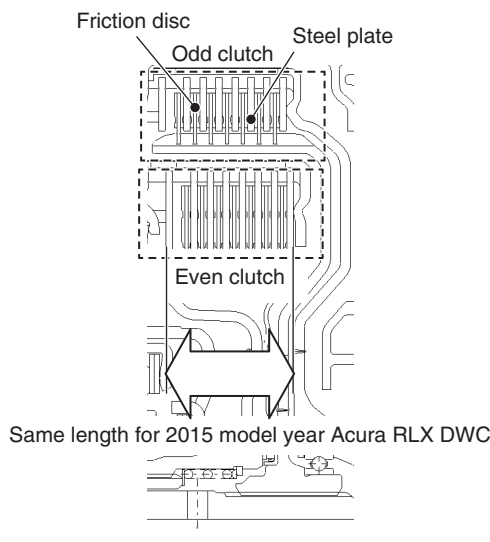


Fig. 8 High capacity DWC

DWC の温度や動作状態に応じた最適な潤滑量とするために、流量調整機構を採用した。冷却性能を高めるために、従来の水冷式熱交換器 (1) と空冷式熱交換器 (2) に加え、ATF とギヤオイルが相互に熱交換をおこなう熱交換器 (3) を備えた。水冷式熱交換器 (1) と熱交換器 (3) は、圧損を低減する並列回路とした。一方、ギヤ側は車速が高い状態でギヤの発熱が高くなるために、車速に応じてオイルポンプを駆動する構造とした。冷却効率を高めるために、車両前方左側に空冷式熱交換器 (4) を配置し、特に発熱に対して厳しいハイポイドギヤの噛み合い部には、空冷式熱交換器 (4) を通過したオイルを直接供給する構造とした。

### 4.3.2. 潤滑オイルマネジメント

加減速時、旋回走行時の揺動や DWC、ギヤのかくはんにより、潤滑オイルのエアレーションが発生する。これによりオイルポンプの吐出量が低下し冷却効率の低下を招くため、エアレーションの抑制が求められた。また、トランスミッション内部の圧力上昇を抑制するブリーザ管からのオイルの吹き出しの防止が求められた。これらに対応した潤滑オイルマネジメントを実現するために、クラッチ室、ギヤ室それぞれの潤滑構造を最適化した。

クラッチ室では、DWC 回転によるオイルのかくはんの抑制と DWC 軸芯から供給されるオイルの排出を整流す

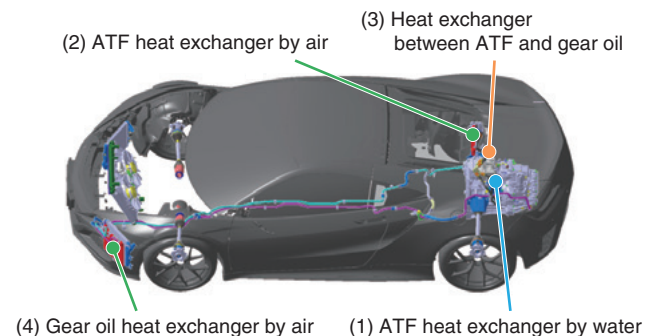


Fig. 9 Heat exchanger layout

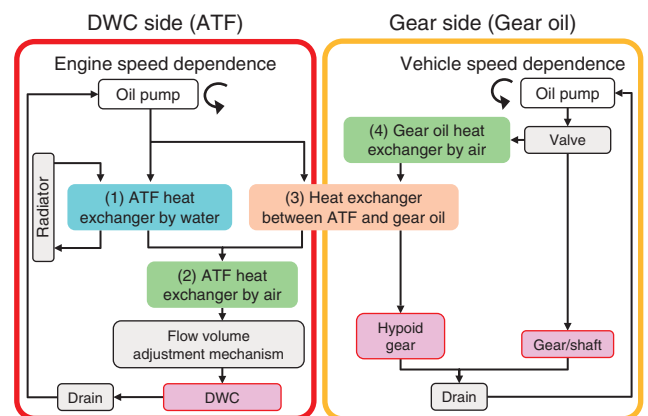


Fig. 10 Lubrication and cooling system

るために、DWC を完全に覆うバッフルカバーを採用した (Fig. 11)。コンパクトな空間でのオイルの揺動に対して液面上昇を抑制するために、バッフルカバーの形状とオイル排出口の位置を最適化した。一方、ギヤ室ではギヤ歯面への安定した潤滑供給を実現するために、各シャフトからギヤへオイルを供給する軸内給油に加え、変速ギヤの噛み合い部に直接オイルを吹き付ける強制潤滑構造を採用した (Fig. 12)。

これらの技術により、高い冷却性能と安定した潤滑マネージメントを実現し、高負荷走行時における熱成立性を達成した。結果の一例として、ニュルブルクリンクサーキット1周走行における冷却効果を Fig. 13 に示す。9速DCTの性能を発揮可能とする冷却性能を満足していることを確認した。

#### 4.4. シフト機構の高応答化

シフト機構は、加速性能の向上とスムーズな走りを実現するために、高い変速応答性が求められた。変速中のギヤシフト時間を短縮するために、高容量ダブルコーンシンクロナイザと高剛性シフトフォークおよびギヤ・アクチュエータ (GA) を組み合わせた高応答ギヤシフトシステムを採用し (Fig. 14)、それぞれ最適化した。

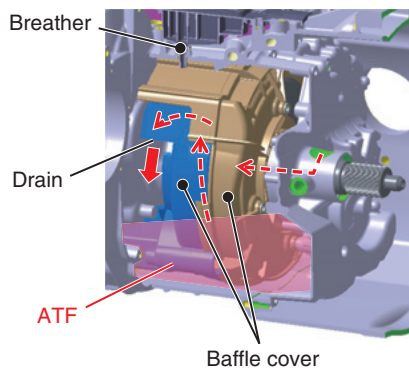


Fig. 11 Oil flow in baffle cover

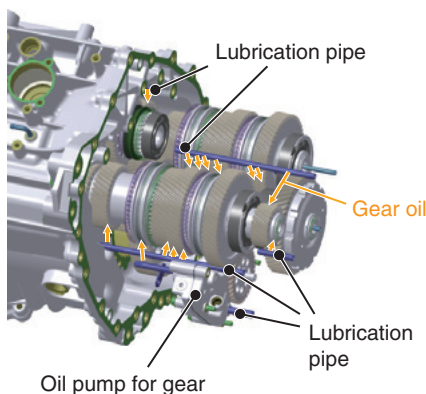


Fig. 12 Direct lubrication of gears

シンクロナイザは、ギヤシフトの同期時に吸収するエネルギーが大きい2速から5速までを高容量化するために、ダブルコーンシンクロナイザを採用した。また、ギヤシフト荷重を高く設定して同期時間を短縮するために、2速から9速すべてのブロッキングリングの材質は2015年モデル Acura RLX に採用された冷間圧延鋼に対して硬度の高いクロモリブデン鋼を採用し、耐久性を向上させた。

シフトフォークの材質は形状自由度に優れる高強度鋳鉄を採用した。レール部とシフトフォーク部を鋳造一体成型とし (Fig. 15)、高剛性化により GA からの入力荷重に対するシフトフォークの爪先変位を低減した。さらに、形状

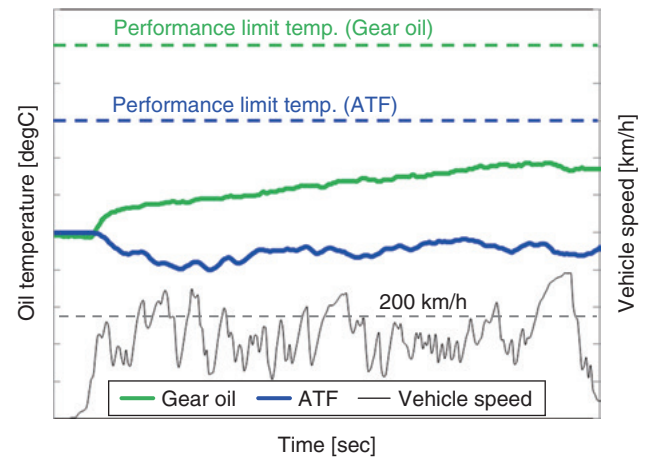


Fig. 13 Oil temperature behavior on circuit drive

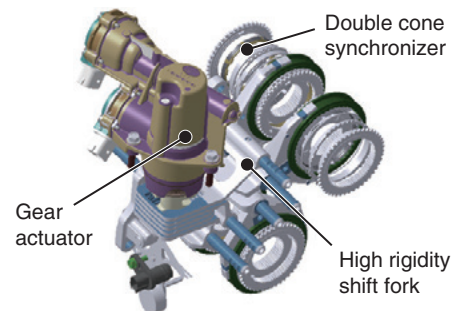


Fig. 14 High response gear shifting system

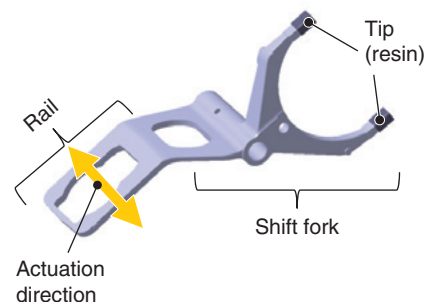


Fig. 15 High rigidity shift fork

最適化により同期時のシンクロナイザを押し付けるシフトフォーク左右の爪先荷重のバランスを向上させた。GAのシャフト長短縮による高剛性化と合わせて、2015年モデル Acura RLX に対してギヤシフトシステム剛性を 40% 以上向上させ、GA からの入力荷重に対するシフトフォーク爪先の出力荷重損失を低減した。

これらの技術により、同期時のギヤシフト荷重を GA 採用の Honda 従来機種に対してさらに高く設定することが可能となり、シンクロナイザの高容量化と合わせて、同期時間を最大 65% 短縮した (Fig. 16)。

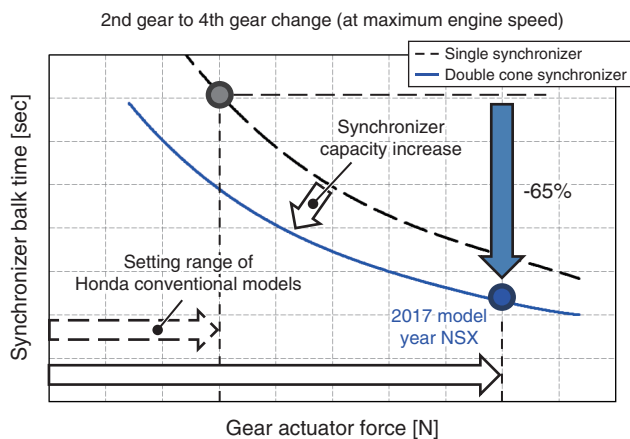


Fig. 16 High response gear shifting

## 5. 加速性能と静粛性の両立

### 5.1. 加速性能の向上

先に述べたギヤレシオの最適化により、2速から8速までの公比は、他社スーパースポーツの7速DCTに対してさらに低いクロスレシオ化を実現し (Fig. 17)、加速性能の向上に貢献している。

SPORT HYBRID SH-AWD の高いシステム出力に対して9速DCTの最適なギヤレシオと高い変速応答性を組み合わせることにより、俊敏な発進と途切れない加速性能を実現した。Launch control 時の加速を Fig. 18 に示す。他社スーパースポーツの7速DCTに対して最大50%短い変速時間を達成している。これらは、3秒台の0 km/h-100 km/h 加速と中間加速性能の向上に貢献している。

### 5.2. クルーズ走行時の静粛性

9速をハイレシオ設定することにより、高速クルーズ走行時のエンジン回転数を低減している。100 km/h クルーズ走行では、2015年モデル Acura RLX 同等のエンジン回転数 1800 rpm 以下を達成し、静粛な高速クルージングを実現した。

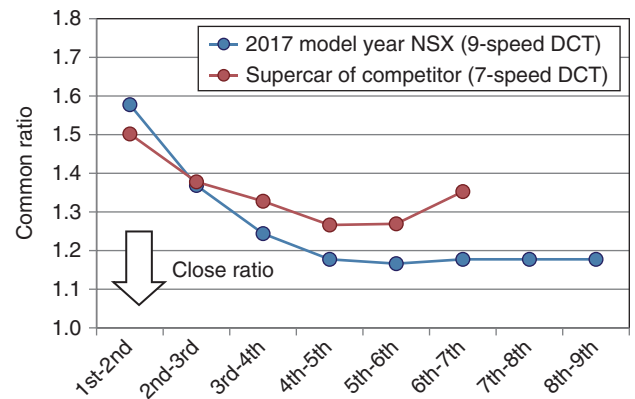


Fig. 17 Sport close ratio

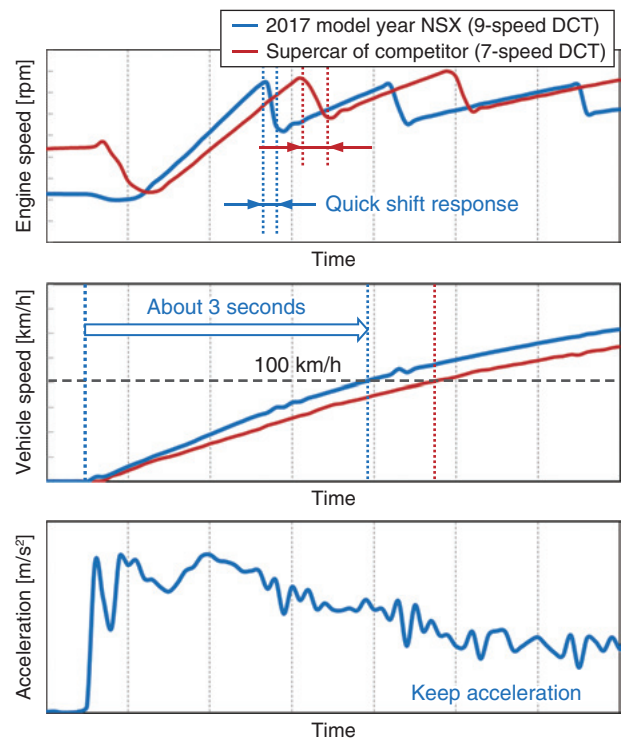


Fig. 18 Acceleration at launch control

## 6. まとめ

第2世代 NSX 用縦置き 9速DCTを開発し、以下の項目を達成した。

- (1) 1速ギヤのシフト機構廃止と変速ギヤの共用化により全長を 120 mm 短縮し、9速化と同時に他社スーパースポーツの7速DCTに対して 35 mm 短いリヤオーバハングを達成した。
- (2) クラッチ室、ギヤ室それぞれに最適なオイルを適用し、高容量DWCと高強度ギヤ材、高強度ケース材の採用により、550 Nmの高容量化を達成した。
- (3) クラッチ室とギヤ室それぞれの冷却、潤滑システムの

4基の熱交換器とDWCを完全に覆うバッフルカバーおよびギヤ潤滑の最適化により、サーキットなどの高負荷走行時における熱成立性を達成した。

- (4) 各変速段のギヤレシオ最適化と高剛性シフトフォークおよび2速から5速へのダブルコーンシンクロナイザ採用により、高い変速応答性を実現し、3秒台の0 km/h-100 km/h 加速性能と100 km/h クルーズ走行時のエンジン回転数1800 rpm以下の静粛性を両立した。

### 参考文献

- (1) 高橋広一, 漆原圭輔: 第2世代 NSX 用の高出力に貢献するハイブリッドシステムの熱マネジメント, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 2, p. 73-78
- (2) 河合則和, 太田浩司, 政岡泰行, 小西弘順, 小林平典: SPORT HYBRID i-DCD 用7速デュアルクラッチトランスミッションの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 26, No. 1, p. 27-32

### ■ 著 者 ■



栗原 大



上野隆雄



野田辰也



片岡隆平



加茂俊二



武藤彰男