

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

Development of 7-speed Dual Clutch Transmission for SPORT HYBRID i-DCD

河 合 則 和*
Norikazu KAWAI
小 西 弘 順*
Hiromichi KONISHI

太 田 浩 司*
Koji OHTA
小 林 平 典*
Heisuke KOBAYASHI

政 岡 泰 行*
Yasuyuki MASAOKA

要 旨

ABSTRACT

小型、高効率をねらいとして 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をおこなった。小型化においては、モータをトランスミッションに内蔵し、モータの内側に、1 速を構成するプラネタリギヤを配置した。これにより 1 モータで、軽量かつコンパクトなトランスミッション構造とし、スモールカーの FIT に搭載可能とした。最大入力トルクは 190 Nm まで対応可能とした。高効率化においては、高い伝達効率を得ることができるマニュアルトランスミッションの構造を基本とし、電動アクチュエータや乾式クラッチの採用により効率向上をおこなった。走りの面でも、奇数段と偶数段用の二系統のクラッチを設け、事前に次のギヤ段を待機状態にしておき、二つのクラッチを交互に繋ぎ変えて変速することにより、変速時のタイムラグが小さく、動力を途切れなく伝達できると同時に、マニュアルトランスミッションのようなダイレクト感のある加速を実現した。

A 7-speed dual-clutch transmission was developed for SPORT HYBRID i-DCD to achieve the aims of compactness and efficiency. For compactness, the motor was built into the transmission, and the planetary gear that makes up first gear was located on the interior side of the motor. This created a lightweight and compact transmission structure with one motor, which was optimized for small-sized vehicles like the FIT. Maximum input torque of up to 190 Nm is supported. For efficiency, the structure of a manual transmission capable of high transmission efficiency is used as the base and its efficiency enhanced by using an electric actuator and dry clutch. In terms of driving, the transmission has two clutches, one for odd-numbered gears and one for even-numbered ones, and the next gear stage up from the current one is put in standby in advance. Alternating between the two clutches while shifting through the gears reduces the time lag when shifting so that power transmission is seamless, and at the same time it achieves acceleration that feels direct, as with a manual transmission.

1. ま え が き

近年は、地球規模で環境への負荷低減、環境保全の取り組みがおこなわれている。

自動車分野においても、より一層の燃費向上が求められており、高効率エンジン、駆動系のフリクションの低減、車両の走行抵抗の低減、アイドリングストップ機構の他、

ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車など多様な技術が投入されている。

Honda は 1999 年に Integrated Motor Assist (IMA) システムを開発し insight に搭載したのに続き、CIVIC、Accord、FIT への適用車種拡大をおこなってきた⁽¹⁾。CIVIC Hybrid では、減速回生による電力エネルギーを増加するシステムとして気筒休止 VTEC 機構 (Variable

*四輪 R&D センター

Value Timing and Lift Electronic Control)を採用して燃費向上を図った⁽²⁾。

従来のIMAシステムからさらなる燃費向上を達成するため、SPORT HYBRID Intelligent Dual-Clutch Drive (SPORT HYBRID i-DCD)の開発をおこなった。環境負荷低減のために、ハイブリッド車を普及させるには、スモールカーに搭載できる安価なシステムが必要である。そこで、本システムは1モータでのハイブリッドシステムとして開発をおこない、3代目FITに搭載した。新開発の直列4気筒1.5 Lクラスエンジンに、高出力モータ内蔵の7速デュアルクラッチトランスミッションとリチウムイオンバッテリーを組み合わせ、従来型の1モータハイブリッドシステムに比べて、30%以上の効率向上を実現した⁽³⁾。

燃費向上のためには、エネルギーを熱などに換えて捨てている動作の改善が必要であり、減速回生時の電力エネルギーの増加、発進時のエネルギー損失低減が重要となる。ハイブリッド車では減速時に回生ブレーキを作動させ、運動エネルギーを回生電力として回収することにより燃費を向上させることができる。従来のIMAシステムでは、エンジンとモータを切り離すことができないため、減速時に回生する電力はエンジンのフリクション分が損失となっていた。また、従来のクラッチによる発進では、クラッチを滑らせて発進するため、熱エネルギーとなって損失が発生していた。本システムにおいては、モータでの発進をおこない、従来のクラッチやトルクコンバータによる発進でのエネルギー損失を低減した。また、エンジンとモータを切り離すことにより、EV走行時と減速回生時の損失を低減した。

本稿ではSPORT HYBRID i-DCDシステムを構成するトランスミッションについて解説する。

2. 開発のねらい

SPORT HYBRID i-DCD用7速デュアルクラッチトランスミッション(DCT)開発において、開発の目的を、直列4気筒エンジン搭載機種に適用可能なサイズの1モータのハイブリッド(HEV)用トランスミッションの構築とし、下記項目を開発のねらいとした。

- (1) エンジンとモータを切り離してのEV走行および減速回生が可能なこと。
- (2) FITクラスに搭載可能な、軽量でコンパクトなサイズとする。
- (3) 高伝達効率

3. 基本レイアウトと主要諸元

SPORT HYBRID i-DCD用7速DCTの主断面図と透視外観図をFig. 1, Fig. 2に、主要諸元をTable 1に示す。

電動アクチュエータによって作動するデュアルドライクラッチ(DDC)を採用し、1速は、モータ内側に配置したプラネタリギヤによって構成した。奇数段をメインシャフト上に、偶数段をセカンダリシャフト上に配置し、カウンタシャフト上のドリブンギヤを共用する構造とした。二つのクラッチの動作により、変速動作をおこなうと共に、エンジンとモータの断続をおこなうことで、エンジンを切り離してのEV走行および減速回生を可能とした。

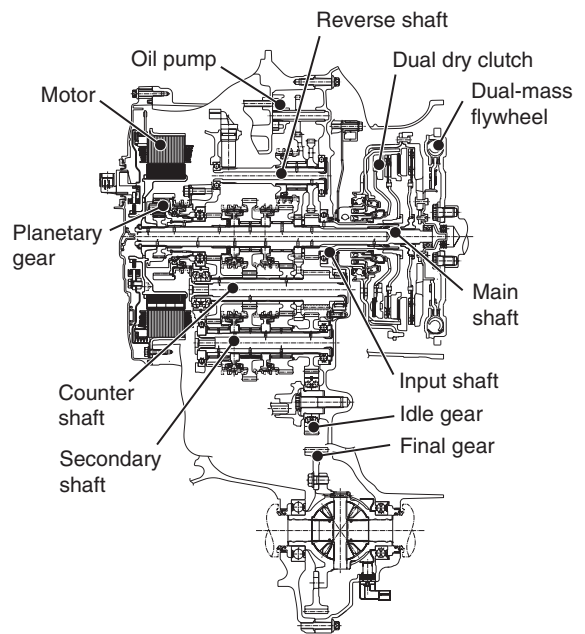


Fig. 1 Main sectional view of developed DCT

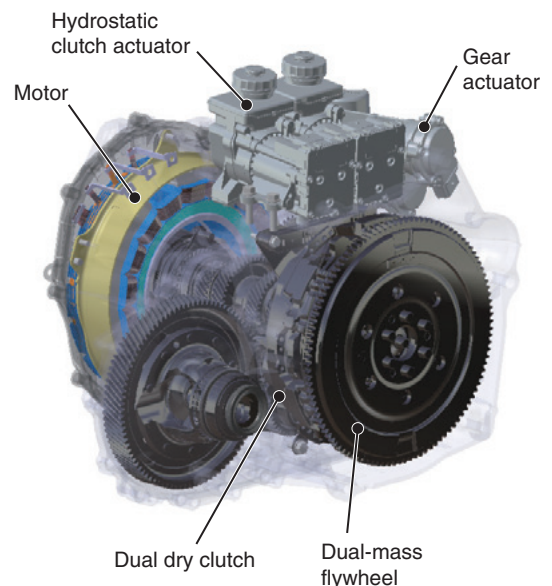


Fig. 2 Perspective view of developed DCT

Table 1 Specifications of FIT

Engine	Type		In-line 4 1.5 L Port injection
	Max. power		81 kW (6000 rpm)
	Max. torque		134 Nm (5000 rpm)
Motor	Max. power		22 kW
	Max. torque		160 Nm
Transmission	Type		7-speed DCT
	Size		420.8 mm
	Weight		70.6 kg (Without motor parts)
	Gear ratio	1st	4.148
		2nd	2.007
		3rd	1.481
		4th	1.098
		5th	0.810
		6th	0.605
		7th	0.446
Reverse		3.221	
	Final	4.842	

4. 主要技術

4.1. エンジン切り離し EV 走行および減速回生

モータはメインシャフト上に取り付けられ、デュアルクラッチの切断により、エンジンとモータを切り離す。Fig. 3 に DCT の動作の例を示す。

メインシャフトに接続されたモータおよびプラネタリのサンギヤにより、1 速にインギヤするとリングギヤが固定される。キャリアに接続された 3 速のギヤを経由して、1 速での EV 走行が可能となる。リングギヤの固定を解除し 3 速インギヤすることにより 3 速での EV 走行が可能となる。EV 走行、減速回生は奇数段ギヤを介してのみおこなわれる (EV 走行モードおよび EV 回生モード)。

EV 走行状態から、奇数段のクラッチまたは偶数段のいずれかの段を経由して偶数段クラッチを締結することにより、エンジンが始動し、モータアシスト走行が可能となる。モータが接続されていない偶数段の走行中においてもモータに接続された奇数段側からのアシストが可能である (ハイブリッドモード)。

モータによるアシストを使わずエンジンだけの走行も可能である (エンジン走行モード)。

また、シフトをニュートラル状態にして、奇数段クラッ

チを接続することにより、タイヤへの駆動を切り離した状態で、エンジンとモータを接続でき、停車中の充電を可能としている。

DCT のクラッチを変速だけでなく、エンジンとモータの断続に共用することができ、軽量かつコンパクトな構造にてエンジン切り離しの EV および減速回生をおこなうことが可能である。ギヤシフト段とクラッチを組み合わせることによって各変速段でのモータアシスト走行も可能であり、SPORT HYBRID i-DCD システムの効率向上に貢献している。また、モータの駆動および回生をおこなう奇数段は、ギヤの噛合いを最少とし、高効率なモータの駆動および減速回生が可能なレイアウトとなっている。

4.2. 軽量およびコンパクト化

直列 4 気筒エンジンに搭載するため、全長短縮、軽量化が必要であることから、下記の対応をおこなった。Fig. 4 にギヤ構造を示す。

- (1) IMA モータをトランスミッションに内蔵し、モータハウジングを廃止すると共に、モータをオートマチックトランスミッションフルード (ATF) により冷却することで、発熱を抑え、モータを小型化した。
- (2) 1 速をプラネタリギヤにより構成し、メインシャフト上にサンギヤを接続し、リングギヤを固定することで 1 速を形成する。キャリアの出力は 3 速ギヤと共用化した。モータをプラネタリギヤの外周側に配置することにより全長を短縮させた。キャリアはアルミキャリアを採用し、軽量化をはかった。

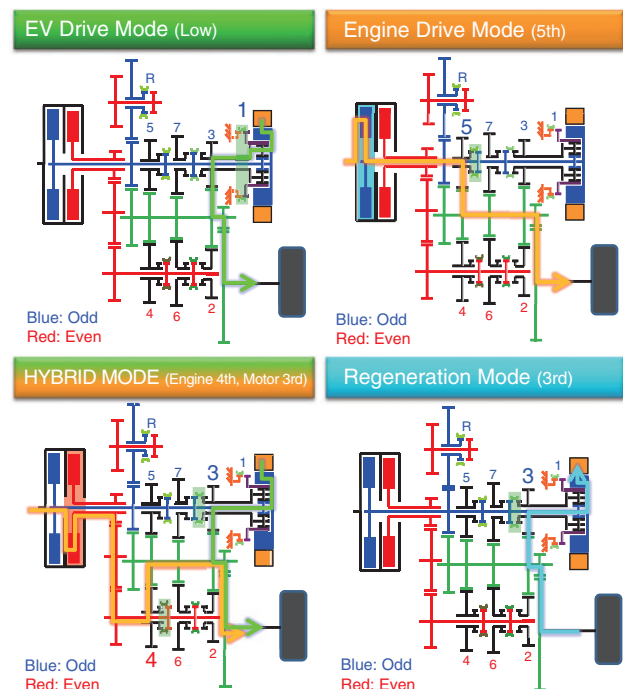


Fig. 3 DCT operation modes

- (3) 奇数段ギヤおよびモータをメインシャフト上に配置し、偶数段ギヤをインプットシャフトからアイドルシャフトを介して動力伝達されるセカンダリシャフト上に配置した。2速と3速、4速と5速、6速と7速ギヤ列で、カウンタシャフト上に配置されるドリブンギヤを共用し、全長を短縮した。
- (4) ATF 対応の高容量シンクロナイザを開発した。高容量化することで小型化し、ギヤ下への潜り込みを可能とすることで、全長を短縮した。基材をプラス熱鍛造から鉄プレス成形に、摩擦材を粉末成形からシート成形とすることで ATF 環境下での容量および耐久性を確保しながらコストダウンおよび生産時の廃棄物削減をはかった。
- (5) 小径かつ高容量の4点接触ベアリングを採用し、シャフトの軸間を小さくすることを可能とした。また、ベアリングの小型化はフリクショントルクの低減につながり高効率化にも寄与している。
- (6) アイドルギヤに高剛性片持ち支持構造を採用し、ギヤ下にベアリングを配置することにより、ベアリングの大径化を可能とした。これにより剛性を確保しながら、軸間を小さくすることができ、小型化かつ軽量化を可能とした。また、ファイナルギヤと軸方

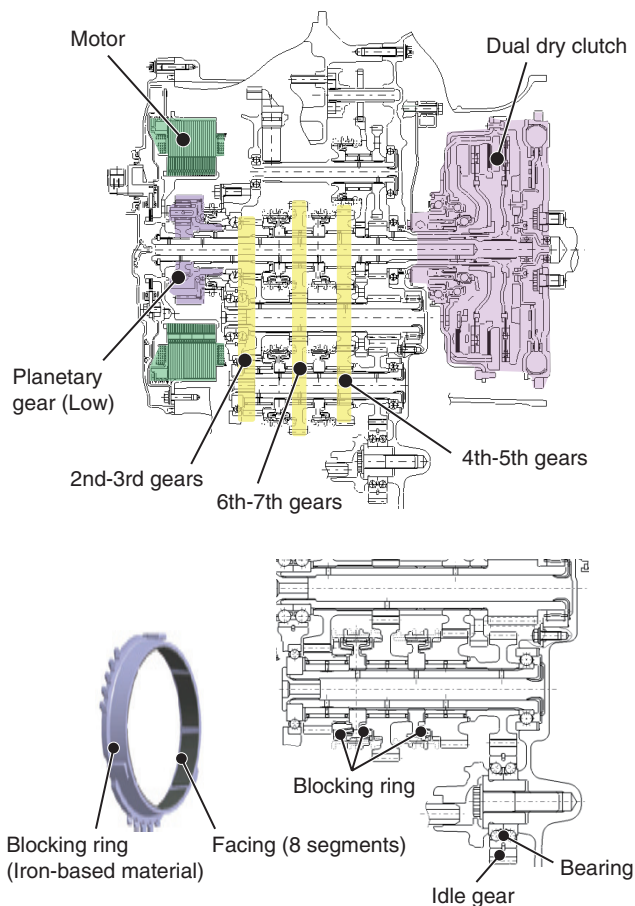


Fig. 4 Structure of gear train

向で同列に配置することで全長を短縮している。同様に、リバースギヤとパーキングギヤも同列に配置し、トランスミッションの小型化かつ軽量化を実現した。

- (7) クラッチケース (以下 C ケース) とトランスミッションケース (以下 M ケース) の締結および M ケースとサイドカバーの締結にはアルミボルトを採用した。アルミボルトの比重は従来の鉄ボルトに対して 1/3 程度と軽い。引張強度が 1/2 程度と強度的には弱くなってしまう。引張強度の低下を補うため、次の観点により設計をおこなった。アルミボルトの線膨張係数は締結部材のケースと線膨張係数が同等であるため、熱間時の軸力上昇が鉄ボルトに対して有利である。また、角度法締め付けを採用することにより、締結時の軸力ばらつきを抑えることができること、表面処理を施すことによりトルク係数が安定し、液体パッキン、オイル付着時にトルク係数の変化が小さい。

これらにより、ばらつきを考慮したアルミボルトでの残存軸力を従来の鉄ボルトと同等レベルに確保することができ、鉄ボルトでの締付けと同じ本数のボルトで、締結条件を満足させることができた。Fig. 5 にアルミボルトの締結箇所を示す。M ケースと C ケースの締結部 (M8 ボルト 17 本) および M ケースとサイドカバーの締結部 (M6 ボルト 9 本) にアルミボルトを採用することにより約 300 g のケース締結ボルト軽量化をおこなった。

- (8) モータのロータは、M ケースに片持ち支持構造とした。これによりサイドカバーは、ベアリング支持不要とし、樹脂化をおこなうことができた。サイドカバーの構造を Fig. 6 に示す。

モータ回転センサであるレゾルバのコネクタ部シール構造は、緊迫力を発生させる環状スプリングとゴムのシーリングメンバと樹脂環とで構成される。樹脂サ

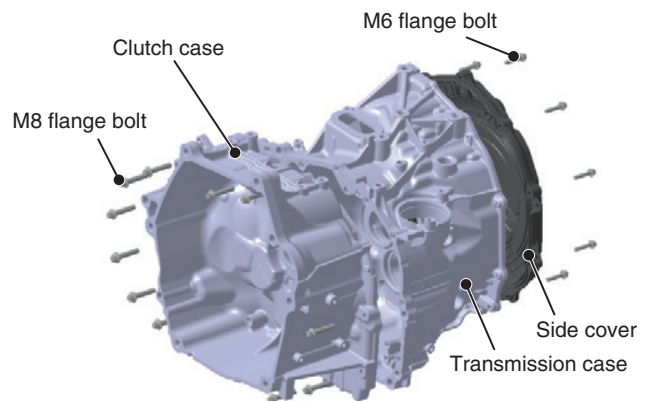


Fig. 5 Locations of aluminum bolts

イドカバーは、熱や吸水によるラジアルおよびスラスト変位が発生する。シーリングメンバの形状は、この変位を許容できるような構造とした。また、環を樹脂化することにより、樹脂カバーに溶着可能とし部品点数とコスト削減をおこなった。

オイルポンプから吐出されたオイルの油路もシール部と同様に溶着により一体成型とした。オイルポンプから吐出されたオイルは、メインシャフト軸内、プラネタリギヤ部を潤滑すると共に、樹脂カバーの油路を通じて、モータ巻き線部の冷却をおこなう。樹脂化によりモータとの絶縁距離確保が不要なことと樹脂成型によるレイアウトの自由度により、モータの冷却を効率的におこなう場所に油路を構成することができた。これにより、モータの小型化に寄与すると共に、軽量化、全長短縮を可能とした。

これらの結果、全長を従来の IMA システム（モータと CVT）同等のサイズとし、FIT シリーズへの搭載が可能な軽量かつコンパクトな構造のトランスミッションとすることができた。

4.3. 高伝達効率

本トランスミッションは、効率のより高いマニュアルトランスミッション（MT）をベースとし、クラッチとギヤが奇数段と偶数段の 2 系統に分かれており、2 系統を交互に繋ぎ変えながら変速をおこなっている。

エンジンとの断続をおこなうクラッチには引きずり低減のために乾式クラッチを採用した。クラッチは Luk 社製 DDC とクラッチ作動油圧の発生とコントロールをおこなうハイドロクラッチアクチュエータ（以下 HCA）で構成される。HCA は電動モータにより駆動される。また、ギヤチェンジアクチュエータ（GA）によりシフトフォークのシフトおよびセレクト動作をおこない、ギヤの選択をおこなう。GA の構造を Fig. 7 に示す。

GA の軸方向への動作によってシフトレールを選択し、回転方向の動作によって、シフトフォークのレールを移動

させシフト動作をおこなう。パーキング動作も GA の動作によっておこなう。HCA, GA 共に、電動モータを駆動することにより、油圧を発生させるオイルポンプを不要とし、効率を向上させている。また、これによって、シフトパイプワイヤ化が可能であり、車体側のシフト、セレクトケーブルを不要として、シフト部の配置自由度を上げ、デザイン性の向上に貢献することができる。

トランスミッションの潤滑オイルには、粘度の低い ATF を使用しフリクション低減をおこなっている。従来の MT においては、MT フルードを使用しているため、今回 ATF に対応した高容量シンクロナイズおよびシフトフォークを開発した。

シフトフォークの爪先には、耐摩耗性を考慮し、ポリアミド材をベースとした樹脂材を採用した。Fig. 8 にシフトフォークの構造を示す。鉄材のシフトフォークに樹脂爪を一体成型することにより、耐摩耗性を成立させると共に、従来のハードクロムメッキ仕様に対して、加工工程を減らすことができ、コストダウンを図ることができた。

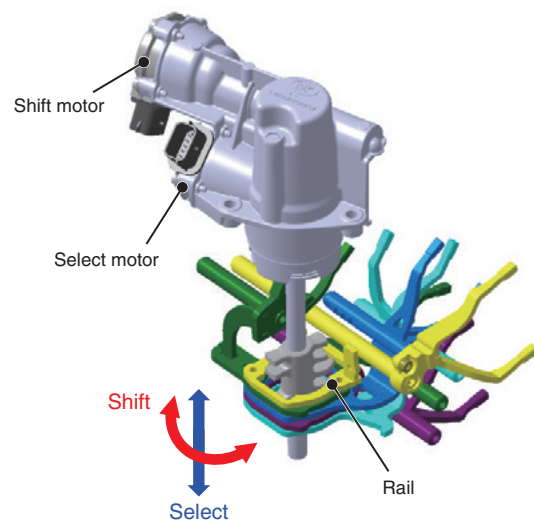


Fig. 7 Configuration of GA

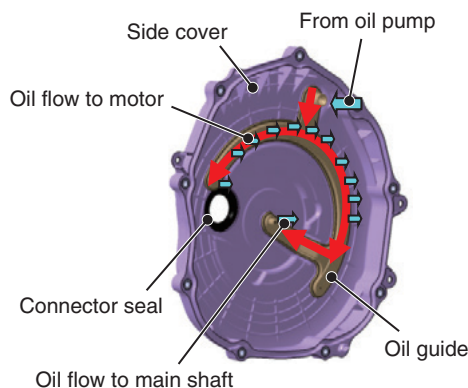


Fig. 6 Structure of side cover

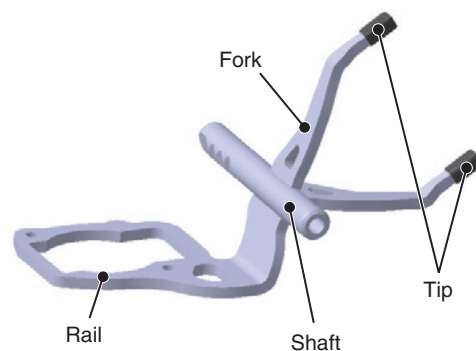


Fig. 8 Shift fork

潤滑構造を Fig. 9 に示す。フリクション低減のために、ファイナルギヤおよびセカンダリシャフトにバッフルプレートを設置してかくはん低減をはかった。デファレンシャルのベアリングにファイナルギヤの掻き揚げによる潤滑を効率良くおこなうために、ガタープレートにより効率的に潤滑をおこない低い液面での潤滑を確保している。

オイルポンプによりメインシャフト軸、モータ等への潤滑をおこなっている。しかし、オイル量を減らすと傾斜時や旋回時に油面が傾き、オイルの吸口からエアを吸ってしまう可能性がある。ストレーナの配置はレイアウトの制約を受けるため、ケースに設けた吸口部では適切な吸口位置に配置できない。オイル吸口からエアを吸わせないようにするためオイル量を増やすと、かくはん抵抗の増加や重量の増加を招いてしまう。このため、セカンダリバッフルに吸口を一体で設けることにより、追加部品無しでオイルの吸口位置を最適化した。これにより、オイル量を削減でき、かくはん抵抗を低減可能とした。

これらの対策により、伝達効率、従来の AT と比較して 5% 程度向上することができた。

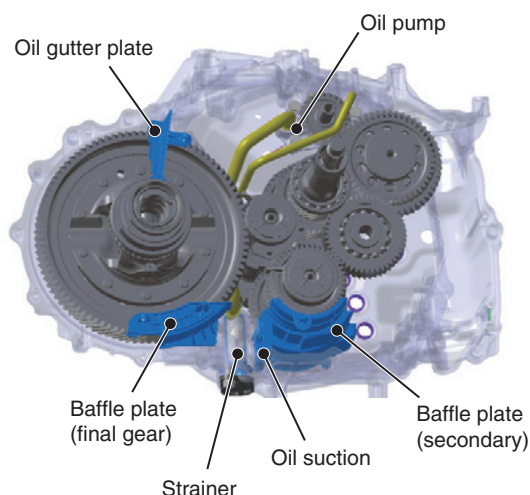


Fig. 9 Lubricating system

5. まとめ

SPORT HYBRID i-DCD 用トランスミッションとして以下の項目を特徴とする 7 速 DCT を開発した。

- (1) デュアルクラッチの採用およびモータをメインシャフト上に配置することにより、エンジンを切り離しての EV 走行および減速回生を可能とした。
- (2) モータの内側に、1 速を構成するプラネタリギヤを配置すると共に、共用ギヤ列構造等の採用および材料置換の推進により、小型化および軽量化を達成した。
- (3) ドライクラッチおよびアクチュエータの電動化とオイルかくはん低減により高い伝達効率を達成した。

参考文献

- (1) 落合志信, 内堀憲治, 原一広, 靄見隆史, 鈴木実: ハイブリッドカー「インサイト」用モータアシストシステムの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.1 p.7-14
- (2) 松木正人, 若城輝男, 神山敏宏, 佐藤利行, 賀来嘉重昭, 神田正浩: ハイブリッドカー「Civic Hybrid」用パワートレインの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1 p.39-48
- (3) <http://www.honda.co.jp/news/2012/4121113a.html>

■ 著 者 ■



河合 則和



太田 浩司



政岡 泰行



小西 弘順



小林 平典