

新型 NSX 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

Hybrid System Heat Management that Contributes to High Performance for New NSX

高橋 広一*

Koichi TAKAHASHI

漆原 圭輔*

Keisuke URUSHIHARA

要 旨

新型 NSX の車両コンセプトである高いパワートレインシステム出力と動力性能を実現するために、三つのモータを有するハイブリッドシステムを開発した。ハイブリッドシステムの各コンポーネントは小型、高出力をねらい、冷却性能向上でそれらの両立を図った。従来のハイブリッドシステムに対し高い冷却性能を達成するために、direct drive motor はエンジン冷却水による直接冷却化、Twin Motor Unit はオイルクーラの追加、Power Drive Unit は専用ラジエタの大型化、Intelligent Power Unit はエアコン協調バッテリー冷却システムを採用した。

その結果、高負荷走行時におけるハイブリッドシステムの熱成立性を達成した。エンジンと三つのモータシステムの組み合わせからなるパワートレインシステムは 427 kW の高出力を達成し、ハイブリッドシステムのモータアシストにより、過給エンジンの課題であるターボラグを補完し、高応答な加速を可能とした。また、ハイブリッドシステムによる前後および左右駆動配分制御により、旋回性能と高速安定性を高次元で両立した。

ABSTRACT

A hybrid system with three motors was developed to realize the high power train system power and vehicle dynamic performance that are the vehicle concepts of the new NSX. Efforts were made to enhance the cooling performance in order to simultaneously reduce the size and increase the power of each hybrid system component. To achieve high cooling performance compared to that of the conventional hybrid system, the direct drive motor is directly cooled by the engine cooling water, an oil cooler has been added to the Twin Motor Unit, the size of the dedicated radiator for the Power Drive Unit has been increased, and the Intelligent Power Unit uses an air conditioner cooperative battery cooling system.

As a result, thermal feasibility of the hybrid system during high-load driving was achieved. The power train system, which consists of the engine and three motor systems, achieved the high power of 427 kW. In addition, the motor assist of the hybrid system compensated the turbo lag, which is an issue for supercharged engines, enabling rapid response acceleration. Furthermore, the longitudinal and lateral driving force allocation control performed by the hybrid system realized a good balance between cornering performance and high-speed stability.

1. まえがき

現在は地球的視点で環境、エネルギー、食糧問題等々を捉えるべきと叫ばれて久しい。その中で、環境諸問題に対して CO₂ 排出量の削減、石油依存度の低減が急務であり、自動車会社としては、自動車の燃費性能向上が世界的におこなわれている。

新型 NSX では、それらを前提としつつ、新規パワートレインの開発をおこなった。それは高出力エンジン、

トランスミッションと三つのモータ、Power Drive Unit (PDU)、Intelligent Power Unit (IPU) からなるハイブリッドシステムで構成される。この新開発のパワートレインの高いシステム出力とトルクによって高応答の加速性能を発揮する。また、三つのモータから構成される四輪駆動システムである SPORT HYBRID SH-AWD による前後および左右駆動配分制御により、高い運動性能を発揮することが可能となっている。一方、ハイブリッドシステムにより高い燃費性能も実現している。

*四輪 R&D センター

Table 1 Specifications of power train system

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

新型 NSX に搭載しているパワートレインシステムについて、Fig. 1 と Fig. 2 に搭載レイアウト、Table 1 に諸元を示す。V6 3.5 L ツインターボエンジンは縦置きミッドシップとし、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 (9DCT) により後輪を駆動する。車両前軸には、左右前輪を個別のモータで駆動する Twin Motor Unit (TMU) を搭載している。高圧バッテリーおよび高圧配電部品を有する IPU はシート背面に搭載し、シート間のセンタコンソール下には三つのモータへの電力供給および制御をおこなう PDU を配置し、車両センタ近くに主要コンポーネントをレイアウトしている。

新型 NSX のハイブリッドシステム各コンポーネントは小型、軽量化と平均出力の向上を図りつつ低重心を目指した配置をおこなった。平均出力の向上により、相応の冷却性能達成が課題となった。本稿では新型 NSX に搭載されているハイブリッドシステムの冷却および出力向上と、車両システムについて紹介する。



Fig. 1 Overview of layout

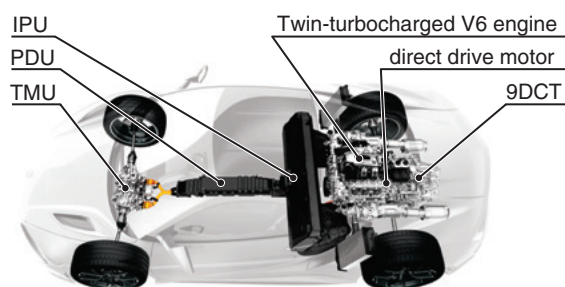


Fig. 2 Power train system components

2. ハイブリッドシステム

ハイブリッドシステムは、Fig. 3 に示すように direct drive motor, TMU, PDU, IPU の主要コンポーネントで構成されている。direct drive motor は、エンジンに直結され発電、回生、駆動をおこなう。TMU は左右前輪を個別のモータで駆動、回生する。IPU は主に高電圧バッテリーで構成され、電力を充電、放電する。PDU は三つのモータと IPU の間に接続され AC-DC 電力変換、制御をおこなう。

2.1. direct drive motor

direct drive motor は、エンジンとトランスミッションの間に配置され、クランクシャフトにロータが直結された構造を採用した (Fig. 4)。これはエンジンと協調しモータのリニアなトルク特性を生かすためであり、ターボラグを補い高応答な加速を得ている。Fig. 5 に示すように、冷

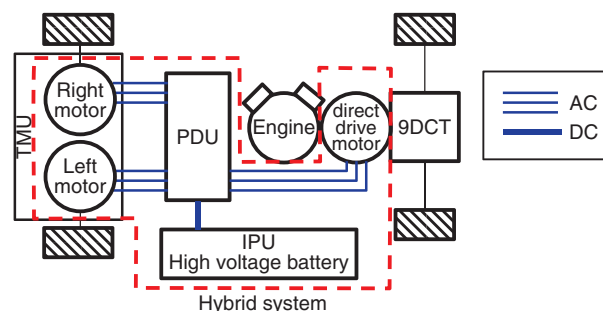


Fig. 3 Hybrid system components

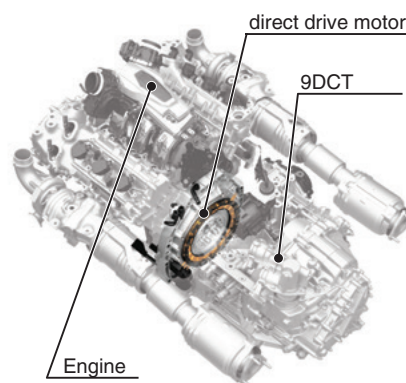


Fig. 4 Location of direct drive motor

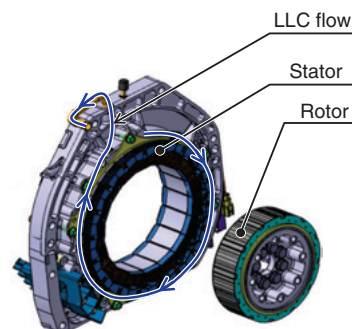


Fig. 5 Structure of direct drive motor

却性能確保のためエンジン冷却水 (LLC) を用いたステータウォータジャケット構造による冷却を採用した。また、Fig. 6 に示すように、発熱部位であるコイルと伝熱経路であるステータコアへの熱抵抗を低減するため、インシュレータは、従来の組立式からモールド式へ変更をした。Fig. 7 に、平均出力と平均車速の関係を示す。燃費モードに代表される市街地走行モードおよび高速道路を含む走行モードを City mode、サーキットでの高負荷走行モードを Heavy load mode とする。各点は本システムでの動作点を示し、従来ハイブリッドでは City mode が包含できる冷却性能を有するように設定している。本システムでは、Heavy load mode において従来ハイブリッドシステムと比較し 40% の平均出力向上を実現し、冷却性能を満足していることを確認した。高負荷走行においても十分な性能を発揮することを可能とした。

2.2. IPU

高いシステム出力と低燃費を実現するためには高圧バッテリーは高出力で高容量であることが求められる。しかし、バッテリーの搭載量が増えると車両重量の増加を招く。したがって、車両の動力性能を向上させるための出力向上と同

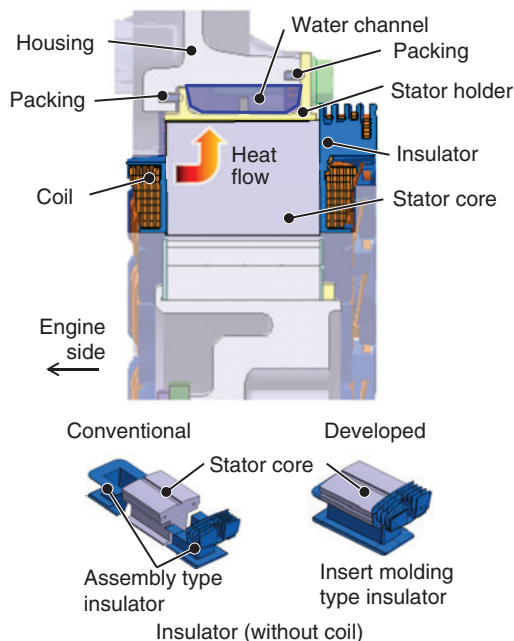


Fig. 6 Section view of direct drive motor

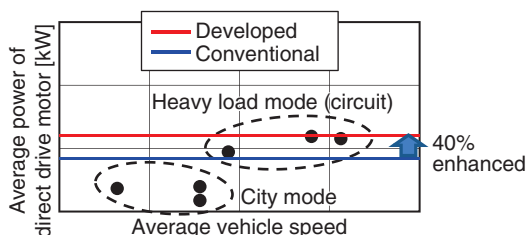


Fig. 7 direct drive motor performance

時に軽量化も必要である。従来方式のキャビン内の空気によるバッテリーセル冷却に加え、高負荷走行時にはバッテリーセルの温度を適温に保ち出力性能を向上させるために、エアコン冷気を導入し、バッテリーセルを冷却するシステムを採用した (Fig. 8)。一方、従来ハイブリッドシステムに比べ小型軽量化したリチウムイオンバッテリーセルおよびモジュールを開発した (Fig. 9)。それらにより、従来ハイブリッドシステムに対し最大 15% の出力向上を実現した。本システムでは、Heavy load mode での高負荷走行において、従来ハイブリッドシステムに対し 80% の平均出力向上を実現し、冷却性能を満足していることを確認した。

2.3. TMU

車両フロントに配置した TMU は二つのモータとギヤボックスを内蔵し、左右前輪を駆動だけでなく制動方向にも個別にトルク制御をすることが可能である。左右輪のトルクコントロールにより、効果的にヨーモーメントを発生させることができる。その結果、機械式 SH-AWD の左右輪の駆動トルク差によるヨーモーメントを活用するよりも高い旋回性能を引き出すことが可能となった (Fig. 10)。

冷却性能確保のために TMU クーラの設置 (Fig. 11) と走行風を TMU 本体に当てることで高熱負荷に対応している。Fig. 12 に TMU 左側のモータ構造を示す。Fig. 13 に平均出力向上結果を示す。平均出力特性曲線は走行風による

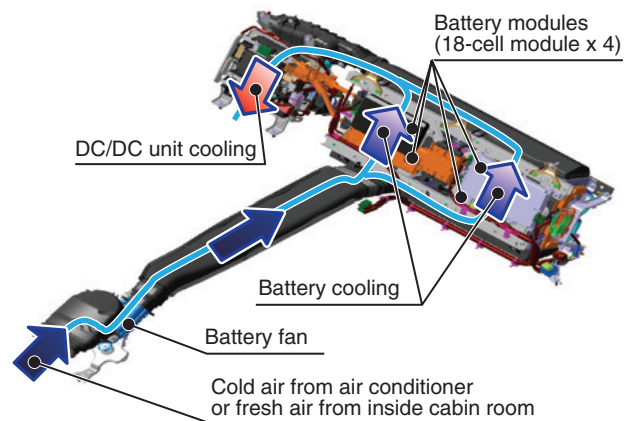


Fig. 8 Overview of IPU cooling system

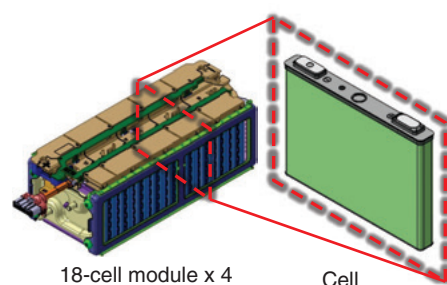


Fig. 9 Structure of battery module and cell

冷却のため、車速依存性を有する。本システムでは、Heavy load modeでの走行において、従来ハイブリッドシステムに対し、95%の平均出力向上を実現し、冷却性能を満足していることを確認した。

2.4. PDU

direct drive motor および TMU の合計三つのモータを制御する PDU (Fig. 14) について、インバータ発熱増加を専用ラジエータの大型化によって冷却能力の向上をおこ

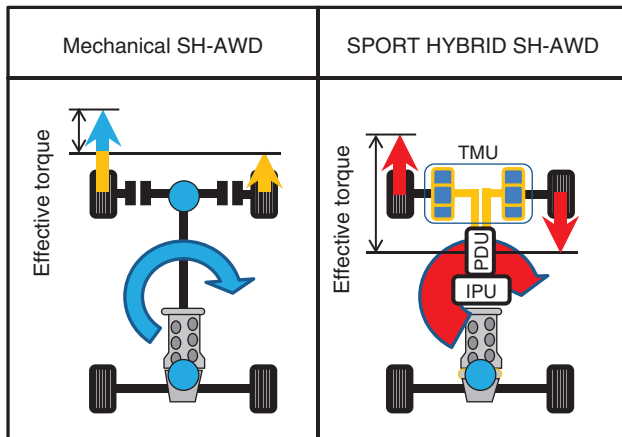


Fig. 10 Difference between SH-AWD systems

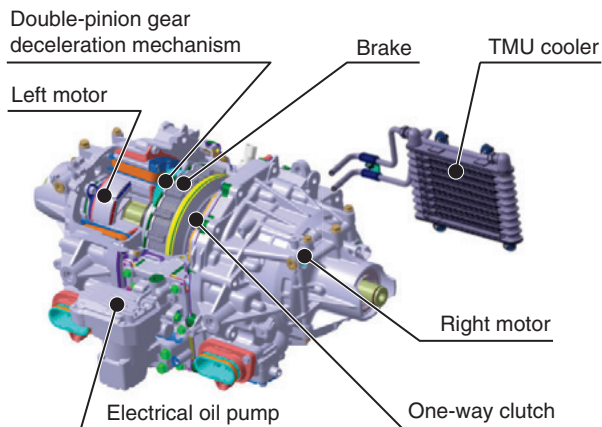


Fig. 11 Overview of TMU

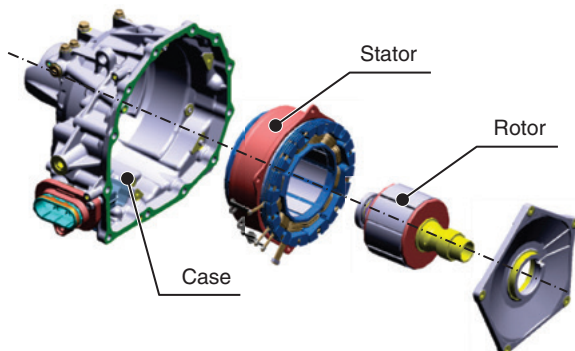


Fig. 12 Structure of TMU left motor

なった (Fig. 15). PDU 専用ラジエータの配置は、フロントバンパから導入した空気の利用効率を向上させるために、エンジンラジエータおよびエアコンコンデンサへの導入空気量の最適化をおこなった。シミュレーション結果を Fig. 16 に示す。本システムは、Heavy load mode 走行において、従来ハイブリッドシステムに対し、80%の平均出力向上を実現し、冷却能力を満足していることを確認した。

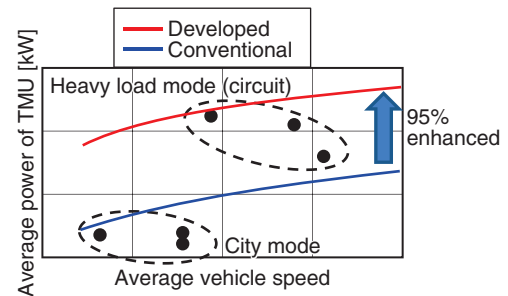


Fig. 13 TMU performance

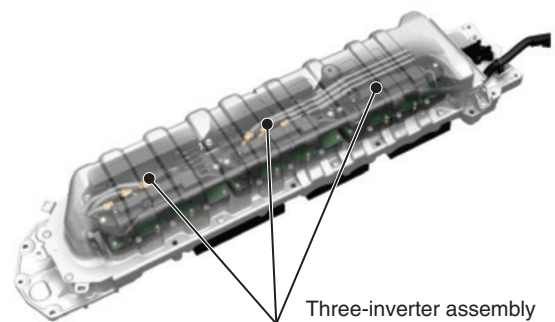


Fig. 14 Overview of PDU

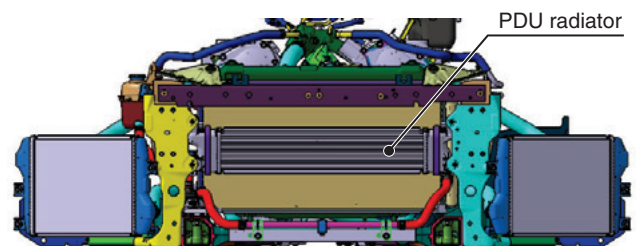


Fig. 15 Section view of PDU radiator

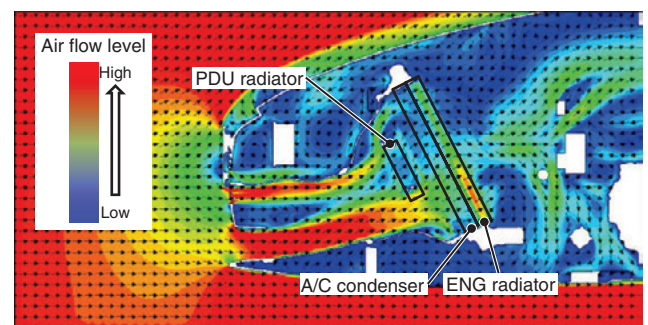


Fig. 16 Air flow for PDU radiator (simulation)

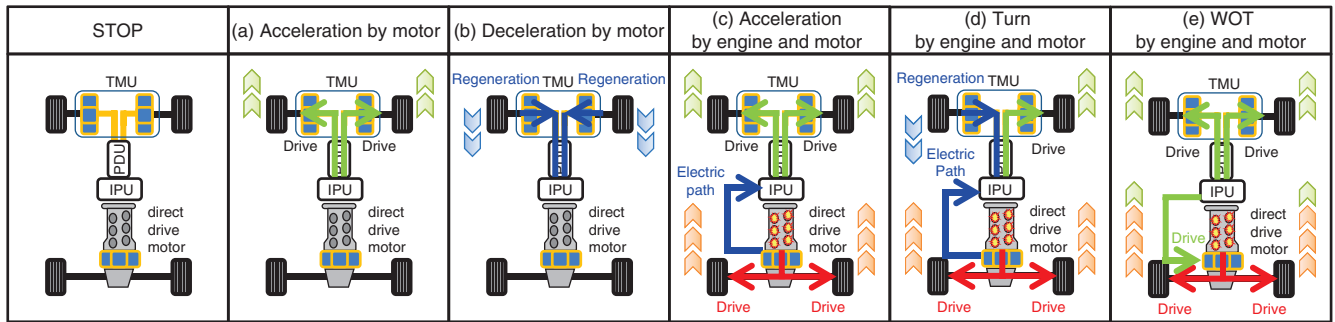


Fig. 17 System operation

3. システムオペレーション

3.1. 通常オペレーション

Fig. 17 に SPORT HYBRID SH-AWD システムの代表的な走行モードを示す。EV 走行において後輪はエンジンから切り離され、TMU による前輪駆動のみとなる [Fig. 17(a)]。

減速時は、TMU の回生ブレーキにより発電し、バッテリーへ充電する [Fig. 17(b)]。ハイブリッド走行モードではエンジンで直接後輪を駆動し、バッテリーの充電状態に応じて適宜 direct drive motor で発電および充電する [Fig. 17(c)]。旋回時は TMU の旋回内輪側モータで回生したエネルギーにより外輪側モータを駆動し、先述の駆動トルク差によりヨーモーメントを発生させる [Fig. 17(d)]。

3.2. WOT(wide open throttle) オペレーション

高い駆動力が必要な時はバッテリーにチャージされた電力で TMU と direct drive motor を駆動させ、エンジンと三つのモータによる高応答な加速を生み出す [Fig. 17(e)]。200 km/h 以上の車速では、過回転からモータを保護するため、TMU はクラッチにより切り離す。Fig. 18 にシステム出力について示す。WOT 時の車速とトランスミッション段とパワートレイン各コンポーネント出力を示し、システムとして 427 kW の最高出力を達成した。

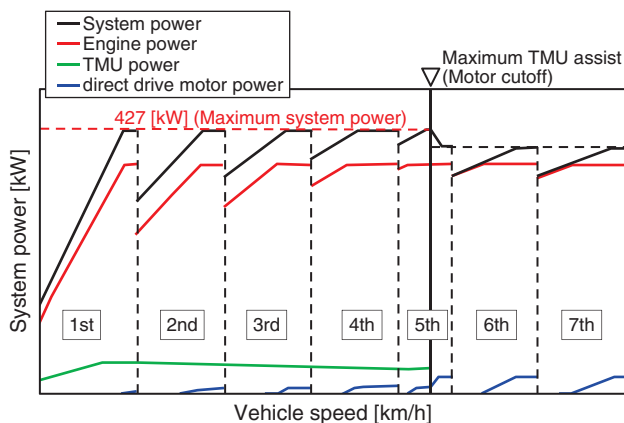


Fig. 18 System performance at WOT

4. 高負荷走行と熱成立性

4.1. 高応答加速性能の実現

Fig. 19 に WOT 発進時のハイブリッドシステムの動作状態を示す。TMU と direct drive motor によるターボラグ補完アシストおよび定常アシストにより、WOT 加速時の出力立ち上がり率が 57% 向上した (Fig. 20)。それらは 0 km/h -100 km/h 加速および、中間加速性能向上に寄与している。

4.2. 高旋回性能の実現

ハイブリッドシステムによる左右駆動力配分制御により、高い旋回性能を実現している。30R (R0) 旋回での横方向加速度に対する US/OS 特性のシミュレーション結果を Fig. 21 に示す。前後および左右駆動力配分制御により、アンダステアが抑制され横方向加速度限界が向上し、その結果として旋回性能も向上している。

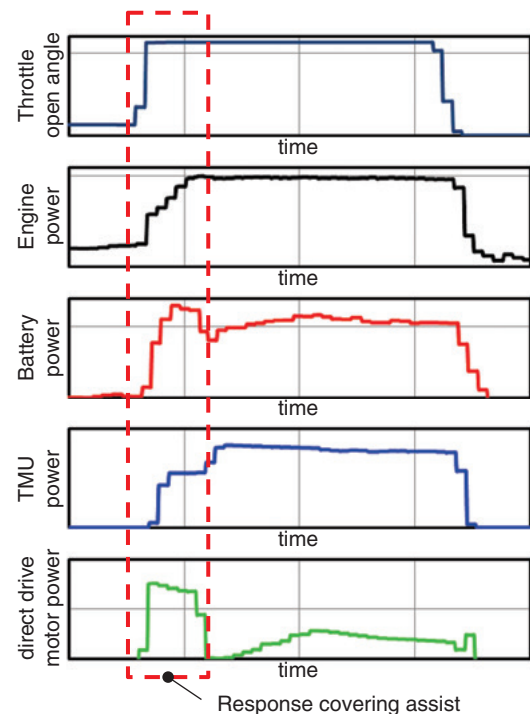


Fig. 19 Power of power train system

4.3. 高負荷走行における熱成立性の実現

ハイブリッドシステム各コンポーネントの冷却性能向上により、高負荷走行においても、ハイブリッド出力を抑制することなく走行可能となった。結果の一例として、Heavy load mode 走行におけるハイブリッドシステムの効果を Fig. 22 に示す。前述した高応答加速性能向上と旋回性能向上により、1.8% のラップタイム向上をシミュレーションにて確認した。

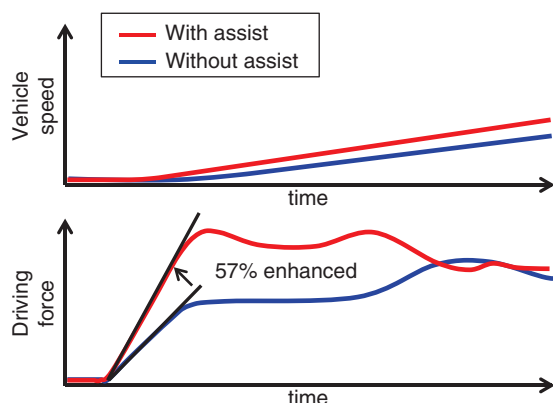


Fig. 20 Effect of motor assist on driving force at WOT

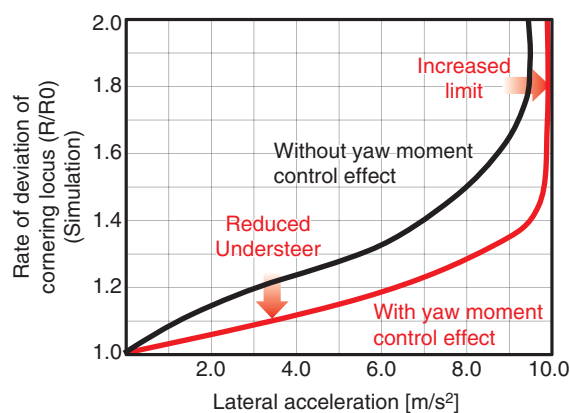


Fig. 21 Effect of hybrid system on US/OS Characteristics

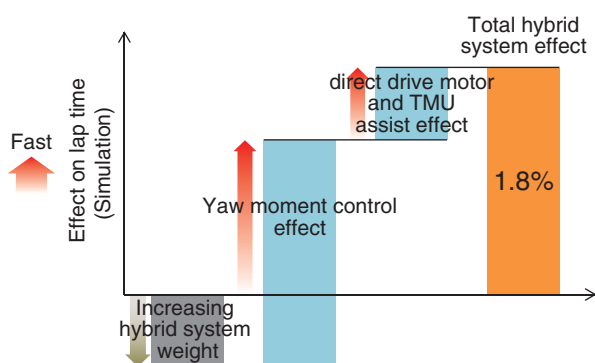


Fig. 22 Effect on lap time

5. まとめ

新型 NSX 用ハイブリッドシステムにおいて、以下の項目を達成し、高出力で高レスポンスなパワートレインを開発した。

- (1) Heavy load mode 走行時におけるハイブリッドシステムの熱成立を達成した。
- (2) 3 モーターとエンジンの組み合わせにより、システム最高出力 427 kW を達成した。
- (3) 過給エンジンのターボラグを direct drive motor のアシストにより補完し、WOT 加速時の立ち上がりを 57% 向上した。
- (4) ハイブリッドシステムによる左右駆動配分により、旋回性能と高速安定性を高次元で両立した。

参考文献

- (1) Toyoshima, H.: 3-motor HEV Powertrain for super sport, Internationaler Motorenkongress 2016, p.23-30, (2016)
- (2) Fukuda, K., Mitani, M., Matsuzawa, Y., Kawata, M., Uetake, J.: Development of Battery System for the New NSX, EVTeC & APE Japan, 20169074, (2016)
- (3) Tamura, S., Yoshinari, T.: Development of Electric Drive system for New Model Super Sports Hybrid Vehicle, SAE Technical Paper, 2016-01-1685, (2016)

■ 著 者 ■



高橋 広一



漆原 圭輔