

特集 2:3 代目リーフを支える技術

1. 電費・航続距離向上: 損失低減技術

原 嘉聡* 吉村 元伸** 李 曉霞** 片野 憲** 春井 聡* 土川 晴久*

1. はじめに

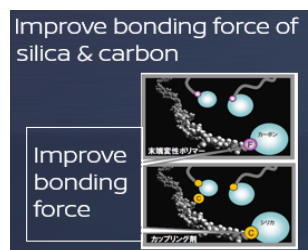
先代リーフのお客様からは、「日常使いはもちろん、たまの遠出もできる航続距離がある」と高い評価をいただいた。新型リーフは先代リーフのDNAを受け継ぎつつ、誰もが日常のあらゆる場面で快適に扱える新たなEVのスタンダードを目指した。お客様の走行・充電データを徹底的に分析した結果、さらなる電費・航続距離向上には、走行・充電あらゆるシーンでの損失低減が必要ということがわかったため、駆動系の転がり抵抗損失、車両の空気抵抗損失、および、モータインバータ・バッテリーの電気損失を徹底的に低減し、電費・航続距離を向上させた。

2. 転がり抵抗損失低減の取り組み

先代リーフと比べて、タイヤ、ハブ、ブレーキおよび、減速機それぞれの転がり抵抗損失を徹底的に低減し、お客様にとって最適な実用航続距離を訴求した。バッテリー容量の拡大により車両重量は増加したものの、低速時の車両走行抵抗損失は、先代リーフ比で8%低減した。

ゴム配合を低エネルギーロス化したのみの低転がり抵抗ゴムを採用するとタイヤのグリップ力が損なわれるため、新型リーフのタイヤは図1に示したようにカーボンとシリカの結合力を上げた耐摩耗性ゴムを採用するとともにタイヤ自体を軽くすることで、音振性能を損なうことなく、先代リーフと比べて17%高グリップ化し、操縦安定性、ブレーキ停止性を向上させつつタイヤ転がり抵抗損失を7%低減した(図1)。

HUBは低フリクショングリース採用により、先代リーフと比べてHUB転がり抵抗損失を11%低減した(図2)。



タイヤ自体を軽量化

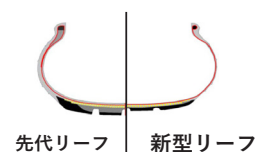


図1 タイヤゴムの耐摩耗性向上と軽量化技術

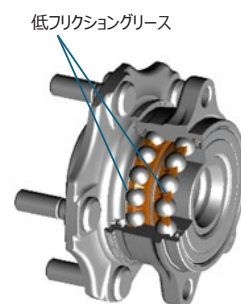


図2 HUB転がり抵抗損失低減技術

ブレーキは、ペダルをリリースした際にパッドがローターから離れやすくなるよう、パッド可動域にテフロンコーティング(図3)を施した。また、パッド戻しばね(図4)も採用している。テフロンコーティングによりパッドの動きが滑らかになり、さらに戻しばねの形状を工夫することで、路面からの入力によるラトル音を抑制している。これらの対策により、先代リーフと比べてブレーキ引き摺り抵抗損失を23%低減した。

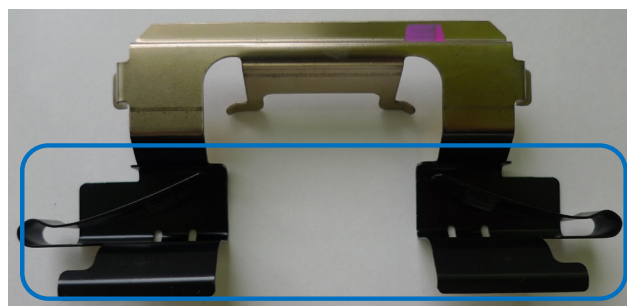


図3 ブレーキテフロンコーティング

* 車両計画・性能計画部 ** シャシー開発部

減速機は、オイル潤滑解析の結果に基づき最適なギア配置と必要最低限の油量を採用した。これにより、先代リーフと比べて減速機の転がり抵抗損失を31%低減している。



図4 プレーキパッド戻しばね

3. 空気抵抗損失低減の取り組み

高速走行時は空気抵抗が支配的になるため、空気抵抗損失の低減が重要となる。

まず車両シルエットを従来のスクエアバックからファストバック形状へと変更し、ルーフからリアエンドまでのステップ角を最適化(17°)することで、車両背面で発生する渦を抑制し、空気抵抗係数 $C_D=0.25$ (欧州仕様)を達成した。

さらに、フロント部にはグリルシャッターを採用し、冷却が不要な際はバンパー開口部を閉じることでモータールームへの空気流入を最小限に抑えた。ホイールは開口部を必要最小限とし、フラットな面構成とすることでボディサイドの流れの乱れを抑制した。フロア下にはカバーを設置し、世界トップクラスのフラット率(93%)を実現することで、フロア下の流速低下と車両背面での吹き下ろし流れを抑えた。リア周りでは、各部位からの空気流が車両後端でスムーズに合流するよう、リアデッキ長やバンパー形状、ディフューザー角度を細部まで最適化した。以上の取り組みで走行時に乱れない理想的な車体周りの空気流れを実現することにより、先代リーフに対し、高車速時の車両走行抵抗損失を14%低減した。

低外気温時にはグリルシャッターを閉じ、ePT(電動パワートレイン)とバッテリーの熱を回収する革新的な熱マネジメントシステムを採用した。これにより、エアコン消費電力の低減と空気抵抗損失の低減を両立した。

4. モータインバータ電気損失低減の取り組み

先代リーフの市場データから、あらゆる走行シーンでの損失低減が必要であることがわかったため、モータインバータ電気損失低減技術を多角的に導入した。

モータでは、ステータ巻き線に平角線を採用することで、低速域で支配的となる銅損を低減し、効率を向上させた。従来の丸線に比べ、平角線はスロット占積率が高く、同一空間内でより多くの銅を配置できるため、電流による損失を抑制できる。一方で、高速域では交流銅損が増加する傾向があるが、スロット内の平角線本数や配置を最適化することで、全回転域での効率向上を実現した。また、ロータコアの磁石配置をダブルV型とすることで、トルク密度を高めつつ、重希土類元素(HRE)の使用量を大幅に削減した。これにより、資源リスクの低減と高効率化を両立している。さらに、モータ高回転域では矩形波制御を導入し、過変調駆動による弱め界磁電流の削減を図ることで、効率悪化を抑制した。

インバータでは、両面冷却構造のパワーモジュールを採用し、熱抵抗を従来比50%低減した。これにより、最大出力電流を10%向上させつつ、出力電流密度も41%向上した。加えて、パワーモジュールと平滑コンデンサ間のインダクタンスを約23%低減し、スイッチング損失を抑制した。最新世代のパワー半導体の採用とあわせて、インバータ効率を向上させている。これらの技術により、新型リーフのモータインバータ総合効率はWLTCモードで93%を超え、先代リーフ比で0.8%向上した。

5. バッテリー電気損失低減の取り組み

先代リーフの市場データからバッテリー内部抵抗低減による電気損失低減が必要であることがわかったため、セル内部の電極反応の不均一や発熱、温度上昇による抵抗増加を抑制する技術を導入した。電極材料の粒子構造を均一化し、粒子割れや被膜成長を抑制することで、充放電時の局所的な抵抗増加を防止した。電極面積の拡大と品質管理の徹底により、セル全体の反応均一性を高め、内部抵抗の増加を抑えた。

従来の空冷方式から液冷方式へと進化させ、バッテリー内部の熱抵抗を約90%低減した。急速充電や高負荷走行時でもセル温度を適切に制御し、温度上昇による劣化(内部抵抗の増加)を抑制した。さらに、寒冷地仕様ではバッテリーヒータを搭載し、低温時の内部抵抗増加による充電性能低下も防止した。

バッテリーバックと外気の間断熱層を設け、外気温の影響を最小限に抑制した。これにより、温調効率が向上し、内部抵抗が安定化した。

6. ま と め

転がり抵抗/空気抵抗/電気損失低減と性能トレードオフの徹底追求により、電費・航続距離を大幅に向上した。これらの取り組みを通じて、より高効率・高性能なEVを実現するだけでなく、電費・航続距離向上技術をインテリジェントルートプランナーへ反映し、走行経路の消費エネルギー予測精度を向上させることで、あらゆるシーンに即した高精度な案内が実現した。お客様の航続距離や充電に対する不安を軽減し、より快適で計画的なドライブが可能となった。

著者



原 嘉聡



吉村 元伸



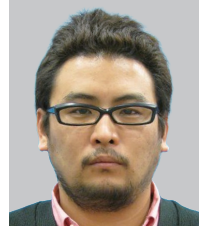
李 曉霞



片野 憲



春井 聡



土川 晴久

特集2:3代目リーフを支える技術

2. 電費・航続距離向上:効率至上主義の空力性能

谷口 圭一* 栗山 大樹**

1. はじめに

バッテリー電気自動車 (BEV) は従来のガソリン車と比較し、全体の走行エネルギーのうち空気抵抗による損失が占める割合が大きくなる (図1)。そのため、BEVの航続距離・電費性能の向上には空気抵抗低減が重要となる。一方、車の開発は車両コンセプトとしての全長・全幅・全高や室内空間、乗員位置、視界性能などを確保する必要がある為、新型リーフ (図2) では開発初期フェーズから空気抵抗低減の方策について多くの検討を行った。また、デザインの方向性決定後は実車サイズのクレイモデルを用いムービングベルト式風洞にて造形部門と多くの風洞実験を行い、形状検討を行った。これらの検討により目標とする航続距離を達成するために必要な空力性能として、同クラス車トップの空気抵抗係数 $C_D = 0.25$ (欧州仕様) を達成した。今回はその C_D 値達成に向けた検討内容と方策について紹介する。

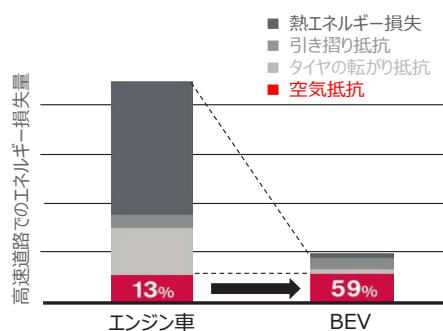


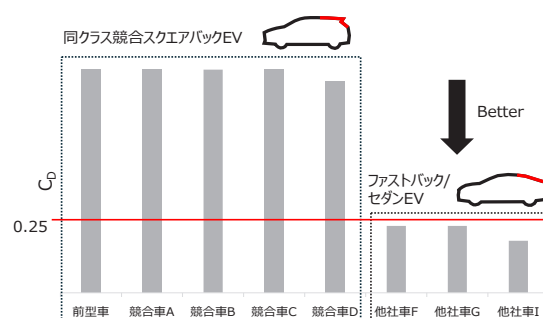
図1 ICE vs EVの走行エネルギー比較



図2 新型日産リーフ

2. $C_D \leq 0.25$ 達成に必要な流れの計画

以下に同クラス車の C_D 比較グラフを示す (図3)。航続距離目標から決定した空力目標 $C_D \leq 0.25$ を達成している前型車同様のスクエアバック車は開発当時存在せず、前型車に対し大幅な性能向上が必要であった。 $C_D \leq 0.25$ を達成している車はセダンやファストバックシルエット車であり、スクエアバックは一般的にファストバック車よりも車両背面面積が大きく、背面で生じる全圧損失領域も大きいことから空気抵抗も大きくなる。

図3 C_D 比較グラフ

* 先行車両性能開発部 ** 車両計画・性能計画部

シルエットは車両コンセプトに大きく影響するため前型車同様のスクエアバックで $C_D \leq 0.25$ の達成可否について見極めが必要であった。そこで、開発初期フェーズにおいて前型車の数値流体力学(CFD)の解析結果を基点に上屋シルエット以外のエンジニアリングでの空気抵抗最小化を検討した。具体的には、

- ① モータールームおよびクーリングドラッグの最小化
- ② ブレーキクーリングドラッグの最小化
- ③ ロアドラッグの最小化

であり、①～③を具現化する方策①フロントバンパー開口100%クローズ、②ホイール開口100%クローズ、③フロアフラット化による抵抗低減ポテンシャルを確認した(図4)。

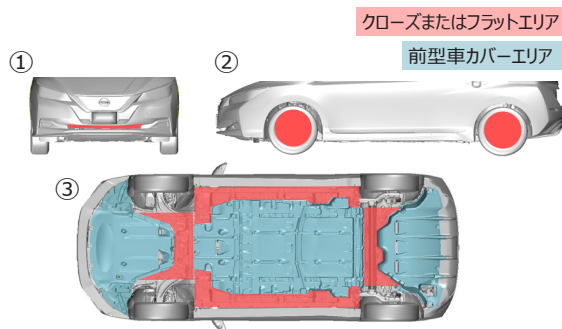


図4 エンジニアリングによる空気抵抗低減方策

これらを検討することで上屋シルエット以外の要素を理想的な流れにし、残る必要向上分がスクエアバックシルエットにて達成可能かを検討した。結果、エンジニアリングにおいて理想的な状態においても前型車の上屋で発生する抵抗を約20%改善する必要がある、その内車両背面で発生する抵抗が約70%を占めていた(図5)。通常、スクエアバック車の車両背面空気抵抗低減にはルーフアプローチ(図6)量を大きくとる事で改善できるが、シルエットキープした状態で現実的に改善できるのは20%のうち約5～7%程であるのに対し、ファストバックシルエット化では約20%の改善が確認できた。以上の検討から $C_D \leq 0.25$ にはファストバックシルエット化が必要だと判断した。

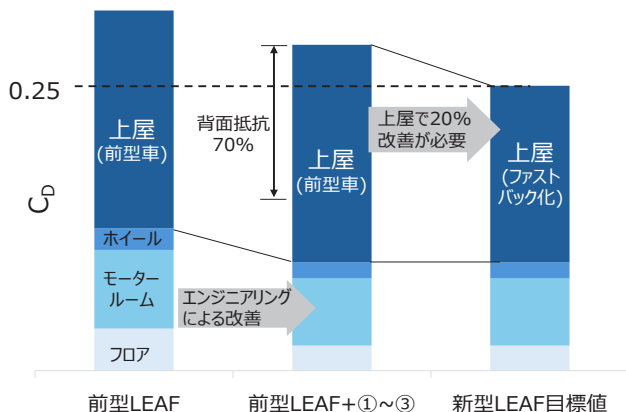


図5 前型車の抵抗分解と上屋での必要改善代

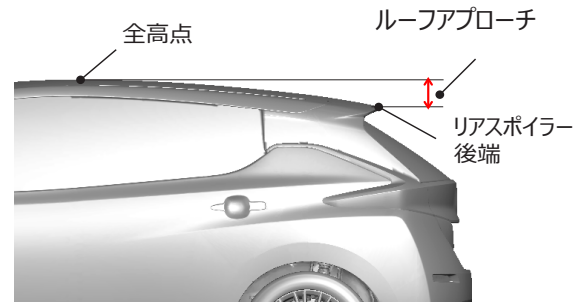


図6 ルーフアプローチ

ファストバックシルエット化において C_D 向上に重要なポイントとして車両後端からルーフに接する直線と水平線がなすステップ角がある。ステップ角が 30° 付近の場合、ルーフの流れとボディサイドの流れがスムーズに合流せず、流れ方向に軸を持つ縦渦が発生し、抵抗となる。関連部門との多くの検討により、乗員頭部とルーフの距離や荷室空間、後方視界などの車両コンセプトを確保しつつ最も理想的なステップ角 17° を実現した(図7)。

以上の検討により、①～③及びファストバックシルエット化によってCFDで $C_D \leq 0.25$ 達成の目途を確認した。

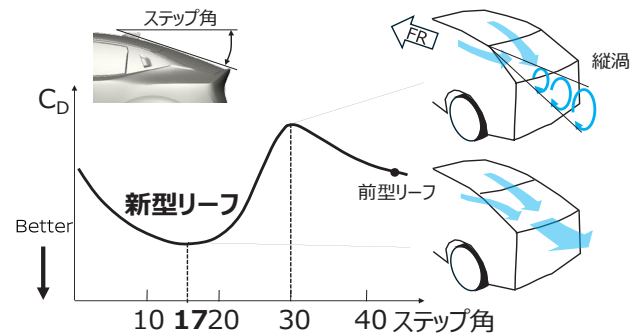


図7 ステップ角と C_D 、渦構造の関係

3. 部位ごとの $C_D \leq 0.25$ 達成方策

シルエットの方針決定後、実車サイズのクレイモデル(図8)を作成し、造形部門と合同で風洞実験を行い、細部の検討を行った。以降は $C_D \leq 0.25$ 達成に必要な各部位の流れの実現について説明する。



図8 実車サイズクレイモデル

3.1. フロント周り

モータールーム内の流れではラジエータやコンデンサ通過時の全圧損失により抵抗が生じる。新型リーフではグリルシャッターを設定しラジエータ水温冷却時などの必要時以外はシャッターを閉じ、バンパー開口100%クローズを実現した。合わせてバンパー開口とグリルシャッターエアガイドによる密閉性を設計・組立の要件を考慮しつつ極限まで高め、モータールーム内への流れの侵入を抑えることで抵抗発生を極限までに抑えた(図9)。

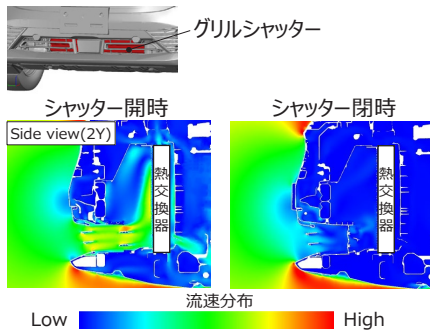


図9 グリルシャッターによる効果

フロント正面部で受ける圧力抵抗については、モータールーム部品のレイアウト及び歩行者保護、デザインの要件を満たしながらノーズ先端高さを下げることで極限までに抵抗を小さくした。また、フロントバンパーサイドからホイールアーチ、グリルからフード面にかけては流れが車両表面に沿うよう造形部門と形状の作りこみを行った。ホイールアーチを剥離した流れはボディサイドに沿うように車軸方向に剥離するよう形状を作りこみ、後述のフラットホイールによる効果と合わせボディサイドに沿う流れを実現した(図10)。

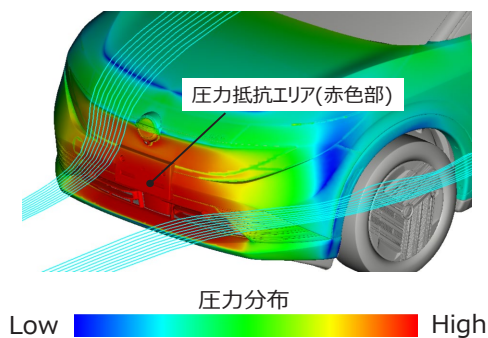


図10 フロント周り流れ

また、フロントタイヤ前にはスローブ形状を施した3Dデフレクタを設定し、デフレクタ単体の抵抗を抑えつつ流れがタイヤに当たらないよう形状を作りこみ、タイヤ回転による流れの乱れを抑制した。

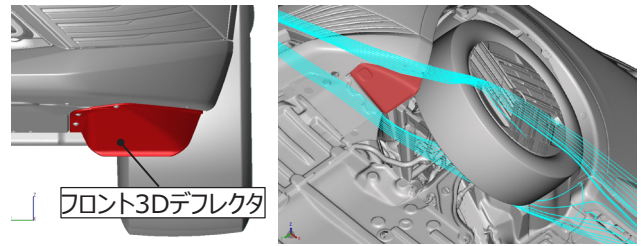


図11 フロント3Dデフレクタ

3.2. ホイール

ホイール開口から吹き出す流れはボディサイドの流れを乱し、車両背面の全圧損失(=抵抗)につながる。これを抑えるには開口を塞ぎ完全なフラット面にすることが理想的だが、ブレーキディスクの熱放出の為にホイール開口は必要になる。新型リーフではブレーキディスクの熱放出の為に必要最低限のホイール開口を設定し、吹出した流れによるボディサイド流れの乱れを極限までに抑えるため、ホイール開口をホイールの円中心方向に設置し吹出しエリアを小さくした(図12)。その結果、18インチスチールホイールにおいては理想的な完全フラット面に対し、 $C_D+0.001$ と吹き出しによる影響を極限までに抑えることができた(図13)。

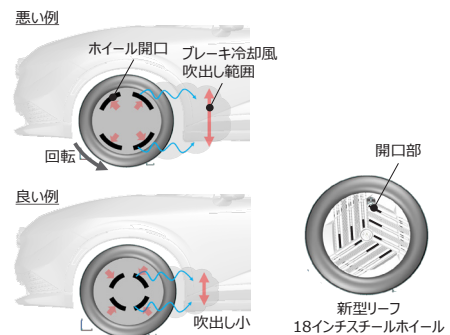


図12 ホイール流れのコンセプトと新型リーフホイール

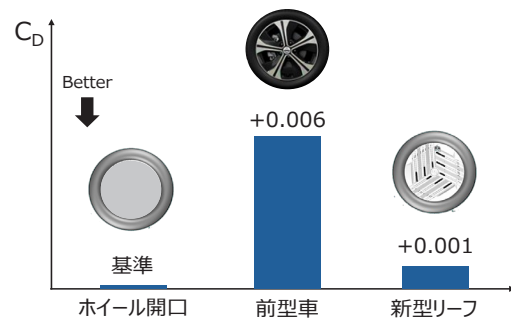


図13 完全フラットに対するホイールの C_D 影響

3.3. フロア

フロアの抵抗低減においては、フロアの凹凸により発生する抵抗を抑えるだけでなく、フロア流れの流速低下を抑えることで、車両背面で発生する吹き下ろし流れを抑える事が重要となる。新型リーフではフロアカバー（図14）により世界トップクラスのフロアフラット率93%を実現しフロアの流速低下を極限まで抑えることを実現した（図15,16）。そのためにシルのジャッキアップフランジ部には整備時に容易に脱着可能なカバーを設定しフロアフラット率を極限までに高めた。

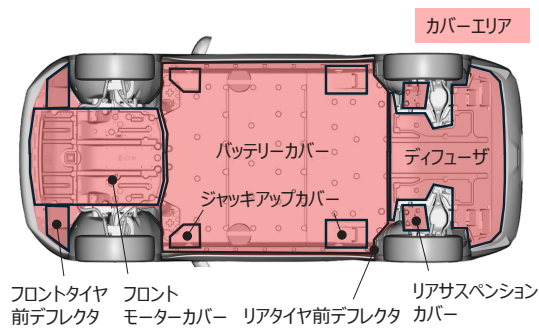


図14 新型リーフ フロアカバー

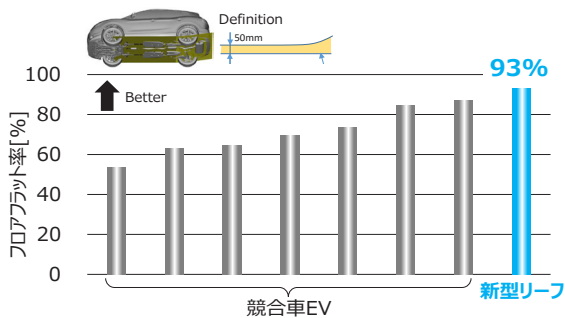


図15 フロアフラット率他車比較

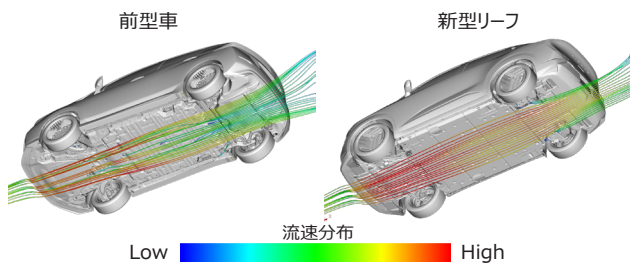


図16 フロア流速

3.4. リア周り

リア周りではルーフ流れやフロア流れ、ボディサイド流れが車両後端で剥離する際、それぞれの流速や剥離方向が異なると車両背面近傍に巻き込む渦が発生する。この渦が負圧を生み背面を車両後方に引っ張る力、すなわち抵抗となる。一方、車両背面のような風下側では流れの巻き込みは不可避である。よって抵抗低減には、それぞれの流れが剥離する際の流速、方向を揃え、背面に巻き込む渦を後方に離すことが重要となる。新型リーフでは渦の発生位置が最も後方になるよう、シルエットスタディで得られた最適なステップ角に、極限までに高めたフロア流速を活かし切るディフューザ角度を組み合わせ、リアエンドのリアデッキ長さや角度、リアバンパー側面の車両内側への絞り量と、下部の面角度の細部までチューニングを行い、スムーズな流れの合流を実現した（図17）。

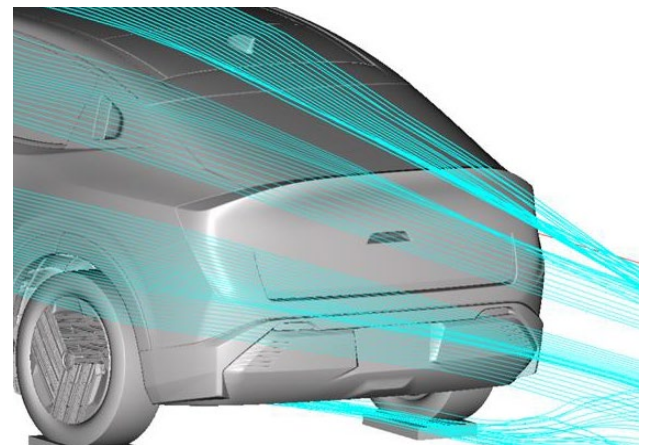
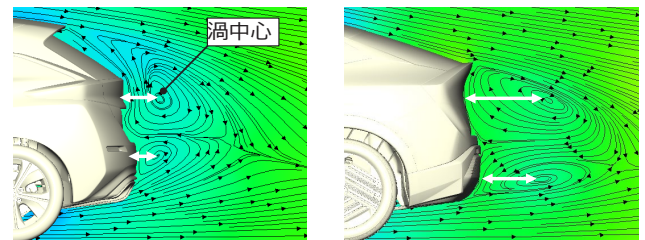


図17 リア周り流れ

4. ま と め

新型リーフの空力開発として、 $C_D=0.25$ を達成するための理想的な流れを部位ごとに決め、その流れを実現するべく、上屋スタイリングの最適化や空力パーツの開発を行った。CFD解析、フルスケール実車風洞といったツールを使用し、理想的な流れの計画と、形状の作りこみを行った。

特に前型車からのシルエット変更については乗員位置や視界性能を確保しながらの理想とするステップ角と設計成立性、デザイン成立性について多くの時間を費やした。また世界トップレベルのフラット率を誇るフロアについても整備性や路面干渉、組立工程などの要件を満たしながらカバーする方策について多くの時間を費やし、実現することができた。

今回、新型リーフで $C_D=0.25$ を実現できたのは空力性能開発に関わって頂いた全ての皆様に御協力頂いたおかげです。心から感謝の気持ちと御礼を申し上げます。

著者



谷口 圭一



栗山 大樹

特集2:3代目リーフを支える技術

3. 電費・航続距離向上: 新型リーフの熱マネジメント技術

田尻 政義* 入部 佳史* 茂木 勇悟* 山崎 祐一* 友澤 紀彦* 平井 華月*

1. はじめに

近年、熱マネジメント技術はBEV（バッテリーEV）を支える重要な技術の一つとして注目されている。

従来の内燃機関（ICE：Internal Combustion Engine）を持つクルマにおいては、エンジンから発生する燃焼エネルギーが膨大であり、運転時の温度が高いため、冷却水温度も100℃ほどで作動している。そのため、この冷却水をそのまま利用し、暖房に活用することが可能であった。しかし、BEVは動力源がモーターに替わることで排熱が減少する。また、排熱があっても、ICEと比較すると温度が低いため、直接この熱を暖房に回すことができず、熱を作り出すにはバッテリーの電気エネルギーを使って熱エネルギーへ変換しなければならない。さらに、BEVのエネルギー源であるバッテリーは、適切な温度に保たないとバッテリーが持つ性能を引き出すことができず、更にはバッテリー寿命にも影響を及ぼすことがある。そのため、BEVを構成する「モーター」「インバータ」「バッテリー」と「車室内空調」の快適性や部品信頼性、電費、充電を熱エネルギー輸送により適切に管理する熱マネジメント技術が重要となっている（図1、2参照）。

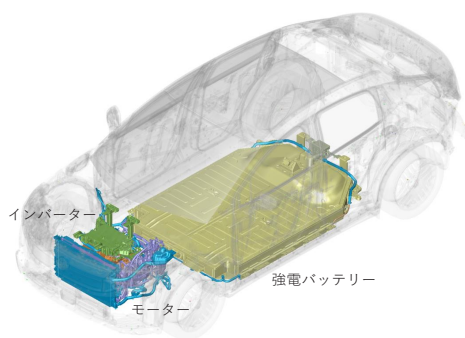


図1 BEV熱マネジメント対象構成部

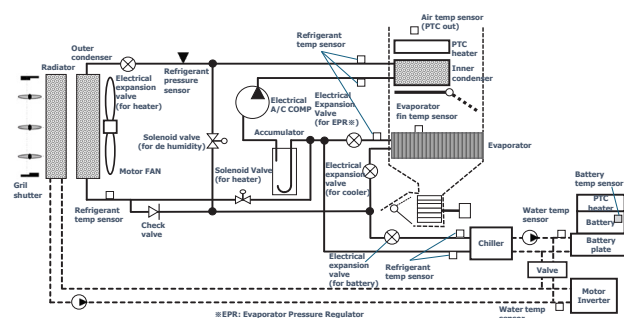


図2 冷却システム図

2. 日産歴代BEVの熱マネ技術

初代リーフは暖房に使う熱エネルギーはPTC (Positive Temperature Coefficient) 素子による電気温水ヒーターを用いて冷却水を加温し、この温水をヒーターコアへ循環することで暖房を行っていた。この電気温水ヒーターを用いることで、従来のICEの暖房方式と同じ回路を採用することが可能のため、ICEとHVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) ユニットを共用することができた。一方、電気を用いて水を加温するためにエネルギー変換効率が高くなく、ヒーターを使用することによる航続距離への影響が大きいというデメリットがあった。そのため、初代リーフのマイナーチェンジでは、ヒーター方式を刷新し、ヒートポンプ式暖房システムを採用した。

ヒートポンプ式暖房システムは、外気の熱を取り込み、エアコンコンプレッサで冷媒を圧縮することで高温にし、その熱を利用して暖房を行うというシステムである。従来の電気温水ヒーターのように、電力で直接熱を作るのではなく、外気から取り込んだ熱を移動させることで、動力源であるエアコンコンプレッサの消費電力以上の熱エネルギーを得ることが可能となり、省電力化を行うための重要な技術である。初代リーフのマイナーチェンジで、BEV量産車として世界で初めてヒートポンプシステムを採用し、BEVの課題の一つであった冬季の暖房

* 車両計画・性能計画部

使用による航続距離の低下を抑える画期的な技術として注目された(図3参照)。

仕組み

1. 室外コンデンサーで待機中の熱を取り込みます。
2. 熱を圧縮して高温の熱にします。
3. 温くなった空気をエアコンの吹き出し口から車内に送ります。
4. 高温の熱を車内の冷たい空気に当てて温度を上げます。
5. 熱を減圧して低温の熱にして車外に放出します。

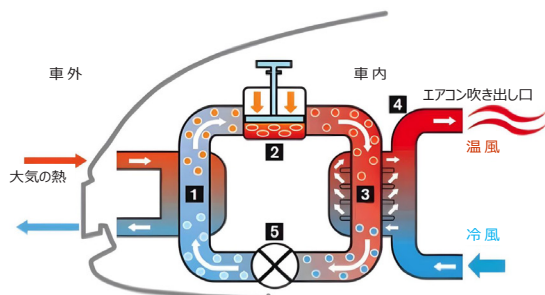


図3 ヒートポンプのしくみ (1)

BEVの熱マネで重要となるもう一つの技術がバッテリー温調技術である。初代リーフ、2代目リーフのバッテリーは空冷式(自然冷却)を採用した。日産サクラでは、省スペース化を両立するため、エアコン冷媒を用いたバッテリークーラーを採用した(図4参照)。

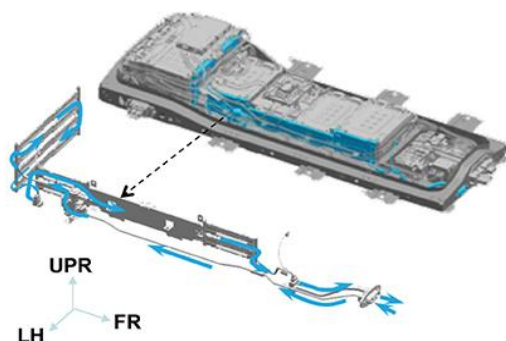


図4 サクラのバッテリー構造

さらにアリアでは、バッテリーを水冷化することで、エアコン冷媒を用いてチラーを介して冷却されたLLCをバッテリー冷却機能と、PTCヒーターを用いて加温されたLLCをバッテリーへ循環させることによる加温機能を併せ持つバッテリー温調技術を採用した(図5参照)。

バッテリー温調により、バッテリー温度を適切にコントロール(冬場は加温、夏場は冷却)することで、様々な環境下においても優れた急速充電性能を発揮することが可能となり、高速道路と急速充電を繰り返しても充電速度を低下させることなく、快適なロングドライブが可能となった(日産技報No88 特集2参照)。

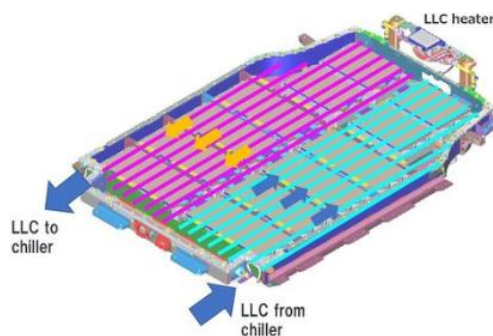


図5 アリアのバッテリー構造

3. 3代目リーフの熱マネ技術

3代目リーフは、「EV性能を磨き上げ、誰もが安心して乗れるEV」を目指し、初代から15年間積み上げた知見と経験をフル活用した熱マネ技術を採用した。この熱マネ技術は“もったいない精神”の下、従来技術をさらに高効率化するとともに、熱エネルギーを無駄なく活用することをコンセプトとした。

3.1. ヒートポンプの高効率化と省電力への対応

初代リーフのマイナーチェンジから採用しているヒートポンプシステムは、外気から熱を取り込むために、室外熱交換機内の冷媒温度を外気よりも低温化することで温度差(Δt)を確保することが必要である。ただし、外気が下がると Δt が少なくなることによって伝達できる熱が少なくなるため、暖房を維持するためにヒートポンプはより多くの仕事を行う必要がある。そのため、新型リーフではエアコンコンプレッサの作動回転数を従来比18%程度向上することで、従来のヒートポンプ下限作動温度を -10°C から -20°C まで作動することを可能にした。さらに、より多くの熱を外気から取得するために、室外冷媒熱交換機の冷媒温度制御弁をオリフィスタイプから電子膨張弁へ変更することにより、外気との Δt を確保することで、外気からの吸熱効率を向上した(図6参照、茶色線部を2代目リーフから変更)。

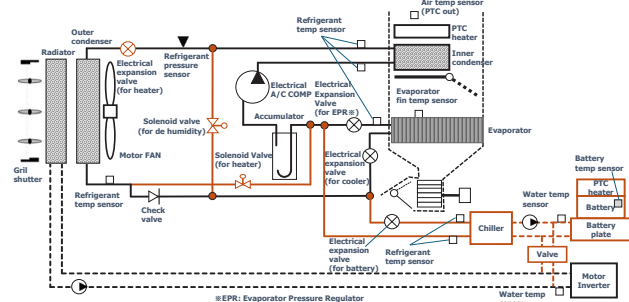


図6 新型リーフの冷却システム図

極低外気の暖房において、ヒートポンプ作動時の暖房エネルギーが不足する場合は、HVAC内の空気PTCヒーターによる暖房アシストを行う制御としている。ただし、空気PTCヒーターは電気から熱エネルギーを作るため消費電力が大きく、航続距離へ影響する。そのため、暖房快適性を維持しつつ、空気PTCヒーターとヒートポンプの作動領域の最適化が重要である。新型リーフでは、ヒートポンプ作動範囲を拡大しつつ、空気PTCヒーターによる暖房アシストを最小限にすることで、省電力による暖房を行うことが可能となった。また、従来は中外気時の雨天など、除湿と暖房が必要になる場合、除湿：クーラー、加温：PTCヒーターを組み合わせることで除湿と暖房を両立していたが、ヒートポンプサイクルに除湿暖房機能を追加することで、PTCヒーターを作動させることなく省電力な除湿暖房を行うことを可能にした(図7参照)。

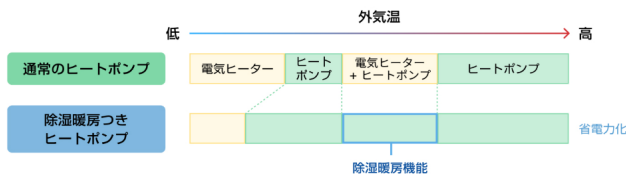


図7 除湿暖房つきヒートポンプ作動範囲 (2)

除湿暖房は、Outer Condenser（室外冷媒熱交換器）の冷媒温度がEvaporator（室内冷媒熱交換器-Cool）の冷媒温度より低い場合と高い場合で除湿モードを切り替える制御とした。

※Inner Condenser（室内冷媒熱交換器-Hot）

並列除湿モード：

Outer Condenserの冷媒温度がEvaporatorの冷媒温度より低い場合(図8参照)

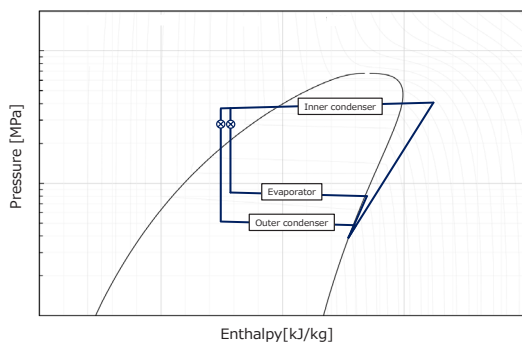


図8 新型リーフ並列除湿モードp-h線図

直列除湿モード：

Outer Condenserの冷媒温度がEvaporatorの冷媒温度より高い場合(図9参照)

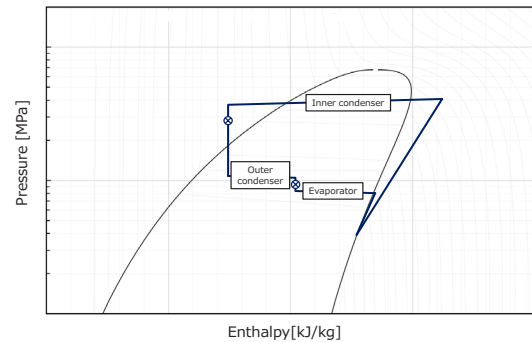


図9 新型リーフ直列除湿モードp-h線図

それにより、中間外気温(0~20℃)において、車内空調に要する消費電力を約70%低減した。

3.2. バッテリー温調

2代目リーフまではバッテリーは空冷(自然冷却)を行っていたが、昨今の急速充電の高出力化に対応するため、新型リーフでは最大150kWまでの急速充電が可能となるバッテリー温調技術を採用した。

バッテリーの発熱は、ジュールの法則より、発熱量 $Q = I^2 R$ の関係から電流の2乗と抵抗に比例する。急速充電出力に比例してバッテリー発熱量も増加するため、バッテリーの耐熱性を考慮したバッテリー冷却が必要になる。さらに、バッテリー低温時には、内部抵抗が増加するため、バッテリーの受け入れ可能電力が小さくなり、急速充電性能は低下する。そのため、新型リーフではバッテリー冷却・加温の両機能を備えたバッテリー温調システムを採用した。(標準地仕様：バッテリー冷却、寒冷地仕様：バッテリー冷却+バッテリーヒーター)

バッテリーの冷却は、LLCとチラーを用いた冷却方式、加温はバッテリー冷却水回路に搭載した水PTCヒーターを用いており、この技術はアリアで採用した技術がベースとなっているが、新型リーフではバッテリー温調回路とePT(電動パワートレイン)冷却回路、OBC(車載充電器)水回路で接続した。これにより、普通充電中のOBC発熱をバッテリー加温の熱源として使用が可能となった。急速充電時のバッテリー暖機効果は以下の通り(図10参照)。

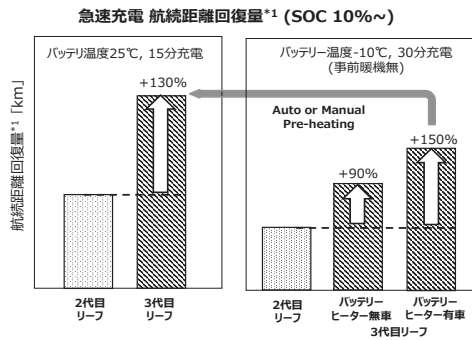


図10 バッテリー暖機の効果

※1 WLTC基準(日本・欧州)、外気温25度、SOC10%で150kW充電器を使用した場合の試算

また、バッテリーは車両の床下に配置しているため、外気にさらされると冬季は外気によりバッテリーの熱が奪われるなど、熱効率が悪化する。そのため、バッテリー下面とアンダーカバー内部に空気層を確保することによる断熱構造を採用した。(図11 参照)

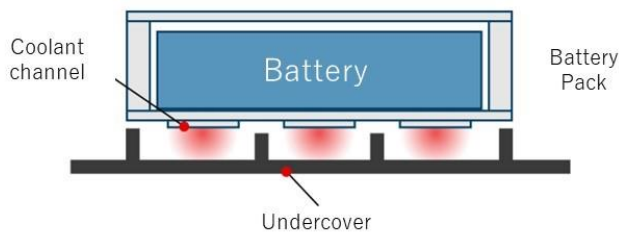


図11 バッテリー断熱構造概略図

3.3. 冷熱システム統合熱マネジメントシステム

限りある熱エネルギーを使い切るために、新型リーフではモーター、インバータなどの電動パワートレインと、バッテリー、空調を冷却水回路でつなぐ統合熱マネジメントシステムを採用した。さらに、これらの複雑に接続される冷却水回路の切り替え機能と省スペース化を両立するために、4方弁一つで制御するシステム構成とした(図12、13参照)。

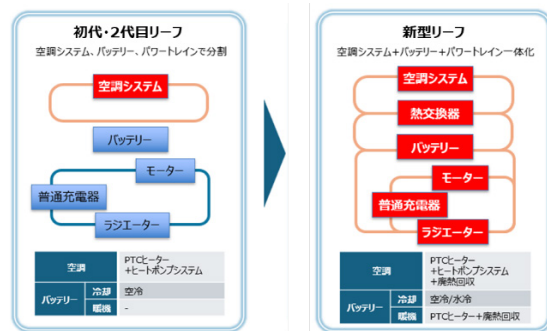
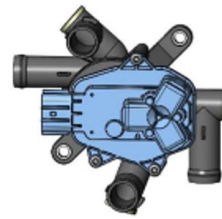


図12 水回路概略



アクチュエータにてロータリーバルブを切り替え
流路を変更する

図13 他方弁

3.4. 電動パワートレインの排熱回収

走行中はモーターやインバータが熱を発生する。この熱は冷却水を介してバッテリーやチラーへ熱輸送を行う。さらに、チラーに輸送された熱はヒートポンプにより冷媒側へ熱輸送され、ヒートポンプの暖房熱源とすることが可能となる。冬季に直接外気からヒートポンプにより熱を取り込むのではなく、チラー吸熱を行うことでヒートポンプの効率が向上し、2代目リーフに対して空調消費電力を約7%低減した(車速120kph、外気-5°C)。

さらに、チラー吸熱時には室外熱交換機からの吸熱は必要なくなるため、グリルシャッターを閉じることが可能となる。その結果、モータールームへ流入する空気量を低減することができ、空力性能をCd値で約5%向上と、モータールーム内温度の低下を防ぐことが可能となり、さらに排熱回収効率が向上させた(図14、15参照)。

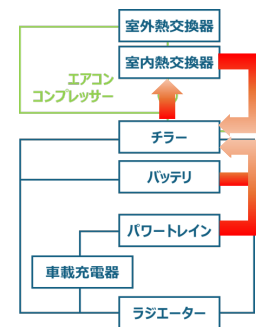


図14 排熱回収の概略図(車内空調消費電力低減)

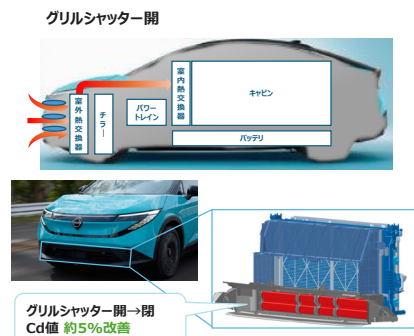


図15 排熱回収の概略図(空力低減)

3.5. 車載充電器(OBC: On Board Charger)の排熱回収

普通充電を使用する際、OBCによりAC電力をDC電力に変換する。この際にOBC自体も発熱する。新型リーフではこのOBCの熱を回収し、さらにこの熱をバッテリーへ蓄熱する機能を搭載した。

バッテリーへ蓄熱することにより、充電後の走行時にバッテリーが回生により受け入れる電力量が増加することで、電費が向上する。さらに暖房時にはこの蓄熱されたバッテリーの熱をヒートポンプでくみ上げることで暖房に活用することも可能となった。普通充電を7時間実施した時のバッテリー暖機効果は、充電出力3kW時は+7℃、充電出力6kW時は+11℃のバッテリーの温度上昇効果がある。それにより、普通充電後の回生受け入れ電流が増加し、6kW出力時には最大17%の電費向上を実現した(図16参照)。

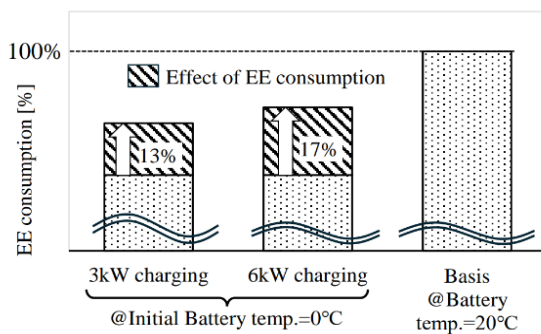


図16 OBC排熱回収の効果 (3)

(EE consumption; Electrical Energy Consumption)

3.6. ナビリンクバッテリーコンディショニング

新型リーフには、多機能な熱マネジメント技術を搭載しており、この性能を最大限に発揮するために、ナビリンクバッテリーコンディショニング機能を搭載した。この機能は、車載ナビゲーションシステムから、走行ルート上の走行負荷や急速充電器出力の情報を取得し、車両コントロールユニットから演算したデータを統合し、バッテリーの使用状態を予測することを可能にした。これにより、充電や走行に先立ってバッテリー温度を最適に制御することができ、経路上で急速充電が必要な場合、バッテリー温度を充電量が最大となる温度へ事前に温調することで、充電回復量を向上させることが可能である。また、バッテリー冷却では、必要なバッテリー冷却量を予測することでより消費電力の少ない冷却方法を選択し、より省エネ化を可能とした。

3.6.1. ナビリンクバッテリーコンディショニング

一般的にリチウムイオンバッテリーは、充電残量(SOC: State Of Charge)やバッテリー温度によって、急速充電時に受け入れられる電力が変化する。そのため、SOCや急速充電器の出力に応じて、最適なバッテリー温度は異なる。新型リーフには、車載ナビゲーションで設定したルート上に急速充電器がある場合、その充電器の出力情報をナビから取得し、さらに車両コントロールユニットと連携して到着時の予想SOCを算出し、その情報をもとに最適なバッテリー暖機目標温度を計算する機能を搭載した(図17参照)。



図17 ナビリンク急速充電前バッテリー暖機作動図

この目標温度は、バッテリーを暖めるために必要な水PTCヒーターの消費エネルギーと、急速充電で得られる充電エネルギーのバランスから導き出され、その目標温度を達成するための暖機開始タイミングを最適化する。これにより、省エネを実現しつつ、冬場でも十分な充電量を確保することを可能とした(図18参照)。

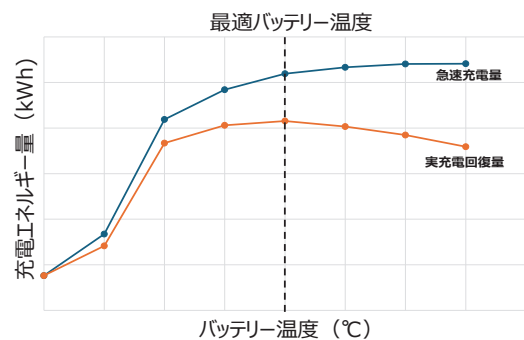


図18 最適バッテリー温度の考え方

3.6.2. ナビリンク低負荷判定時マイルドクーリング

バッテリー冷却をより少ない電力で行うため、新型リーフは、バッテリー冷却方式をチラー冷却からラジエーター冷却に切り替えるマイルドクーリング機能を搭載した。これにより、エアコンコンプレッサーの電力を使わずにバッテリー冷却が可能となり、省エネ化を可能とした。マイルドクーリングによる冷却は、主に外気温度（バッテリー冷却量）と走行負荷（バッテリー発熱量）の関係によって決まり、バッテリー冷却量がバッテリー発熱量よりも大きいときに作動するようにした。マイルドクーリングの作動頻度を増やすには、外気温度だけでなく、走行負荷も作動判定に組み込むことが必要である。そのため、新型リーフには、車載ナビゲーションシステムで目的地を設定すると、走行ルート上の走行負荷情報をもとにバッテリー発熱量とバッテリー冷却量の演算を行い、先の走行負荷が低いと判断した場合、マイルドクーリングへ切り替える制御を採用した。これにより、より省エネなバッテリー冷却を行うことを可能とした（図19、20参照）。

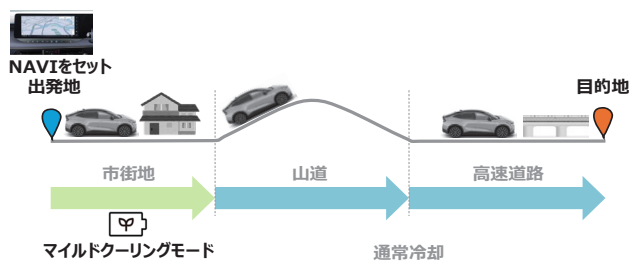


図19 ナビリンク低負荷判定時マイルドクーリング作動図

3.6.3. ナビリンク低負荷判定時急速充電制限緩和

急速充電時のバッテリー温度は、充電量を決める重要な因子である。高出力の急速充電器を使った場合、バッテリー温度が高くなりやすい。バッテリー温度の上昇を抑え、バッテリーを保護するためには、バッテリーへの充電受け入れ電力を制限してバッテリー発熱量を抑制するか、充電時のバッテリー発熱量以上のバッテリー冷却を行う必要がある。急速充電後のバッテリー温度が上昇するような走行パターンも予め想定して、急速充電受け入れ電力は、バッテリー温度に余裕をもってコントロールしている。急速充電時の充電量をより確保するために、この温度余裕度を減らすことが有効である。そのため、新型リーフは、車載ナビゲーションシステムで目的地を設定すると、その先の走行ルート上の走行負荷を予測し、走行中のバッテリー冷却量が、バッテリー発熱量よりも大きいときに、急速充電中のバッテリー温度余裕度を減らし、急速充電受け入れ電力を一時的に緩和する機能を織り込んだ。これにより、充電時間短縮（充電量確保）を可能とした（図21参照）。

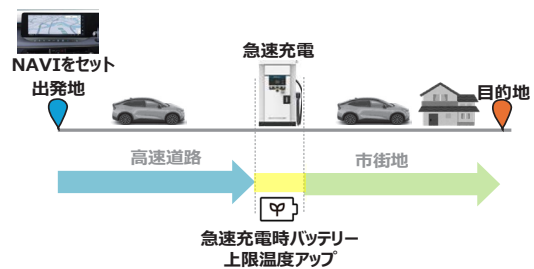


図21 ナビリンク低負荷判定時急速充電制限緩和作動図

バッテリー冷却方法（マイルドクーリング）

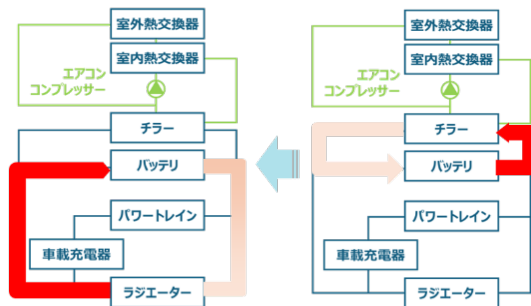


図20 マイルドクーリングの概略図

4. 熱マネ実験技術

新型リーフを世界中のお客様に安心して使っていただくために、あらゆる市場の走行を再現する必要がある。そのため、全天候型環境シャシダイナモを用いた実車実験を行った。低温から高温の温度環境、湿度、日射を再現するとともに、降雨・降雪環境も再現することが可能である。環境試験室には急速充電器も備えているため、高温・低温環境下における走行直後の充電条件の振る舞いや、それに伴う室内快適性への影響確認も可能で、リアルワールドのバッテリー温度環境や充電環境を再現することを可能とした。（日産技報No89_特集2参照）

また、ナビリンクバッテリーコンディショニングの開発には、実験検証の再現性を高く、またタイムリーに行うべく、車載ナビゲーションシステムを、実際の道路走行を伴わずに作動させる以下2つの実験環境の整備を行った。

- GPSシミュレーター：緯度、経度、標高、Yawの時系列情報をナビゲーションシステムに入力し、疑似的に自車位置を車載ナビゲーション上で移動させる。
- ドライバーシミュレーター：車速および勾配の時系列データをC/D (Chassie Dynamo) に入力し、GPSと連動した走行負荷を付与する。

これにより、走行場所や季節に依存することなく、開発段階におけるナビリンクバッテリーコンディショニングの品質を担保した(図22参照)。

6. 参考文献

- (1) 日産自動車HP、ヒートポンプとは
- (2) 日産自動車HP、冷熱システム統合マネジメントシステム
- (3) 自動車技術会 2025 秋季大会、3代目新型電気自動車向けEVパワートレイン開発
- (4) 2023 JSAE Annual Congress (Spring), Development of Bench Test Method for Powertrain Control Technologies Using Road Information from Navigation System

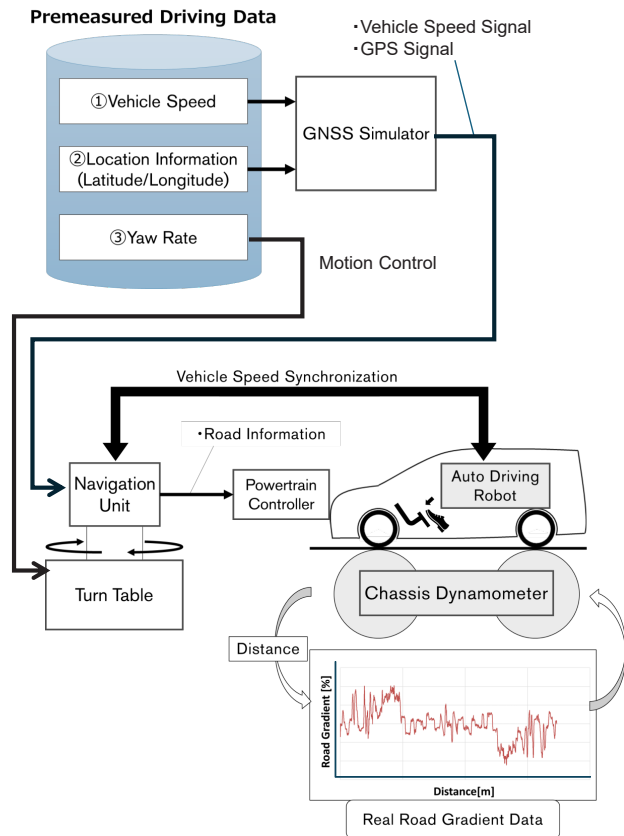


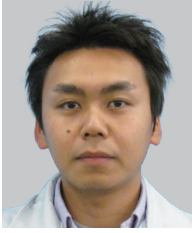
図22 実験装置のシステム図⁽⁴⁾

5. おわりに

熱マネジメント技術はBEV (バッテリーEV) を支える重要な技術である。さらなる省エネ化や充電性能向上の為に、空調消費電力低減技術開発や、ナビリンクバッテリーコンディショニングによるバッテリー温調技術の進化を進めている。また、BEVならではの価値をお客様に提供するために、V2G技術 (BEVのバッテリーを蓄電池として活用して、クルマと電力網をつないでBEVに蓄えた電力を事業者に販売する) にも、バッテリー温度コントロールが必要である。

「EV性能を磨き上げ、誰もが安心して乗れるEV」を目指し、引き続き商品力向上に向けた技術開発を行う。

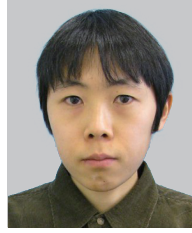
著者



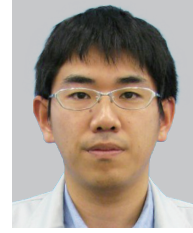
田尻 政義



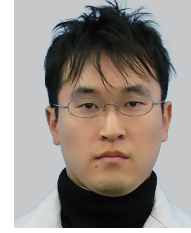
入部 佳史



茂木 勇悟



山崎 祐一



友澤 紀彦



平井 華月

特集2:3代目リーフを支える技術

4. 進化したバッテリー技術

丸山 渉* 柳原 康宏** 釣田 英恵** 脇 憲尚**
オ スンウク** 長坂 貞宏** 川村 文洋**

1. はじめに

日産自動車は「共に切り拓く、モビリティとその先へ」をビジョンに掲げ、長期ビジョン「Nissan Ambition 2030」のもと、重点取り組みの一つとして、2030年までに電動化を大きく推進し、多様な選択肢と体験を提供することに注力している。これにより、環境負荷の低減とともに、お客様に新たな価値を提案し、持続可能な社会の実現を目指している。

3代目となる新型リーフのバッテリーについては、最新の技術革新が盛り込まれており、従来モデルよりも高容量のバッテリーを搭載することで、航続距離の向上を実現している。具体的には、バッテリーのエネルギー密度を高めることで、より長距離の走行が可能となった。また、バッテリーの耐久性も向上させており、長期間にわたり安定した性能を維持できる設計になっている。さらに、充電時間の短縮にも配慮し、利便性を向上させた。これらの進化により、新型リーフはより使い勝手が良く、持続可能なモビリティの実現に貢献していくと考える。

本稿では、新型リーフに搭載した高容量リチウムイオンバッテリーの技術的特徴について紹介する。

2. 開発のねらい

新型リーフのバッテリー開発において、バッテリー技術の革新を通じて、実用性と快適性を最大化し、普及促進を図ることが重要である。初代モデルから蓄積されたビッグデータの収集と統計的な分析結果に基づき、実際のユーザーの使用状況やニーズを把握し、航続距離と充電性能の最適化を追求してきた。特に、エネルギー効率の徹底的な向上により充電時間を短縮するとともに、バッテリーの高容量化を実現し、ユーザーの満足度向上を狙う。また、バッテリーの耐久性の向上も重要な課題とし、長期間にわたる性能維持と信頼性の確保を目指す。さらに、ビッグデータを活用した設計により、バッテリーセルの配置や温調システムの最適化を行い、エネルギー効率の最大化

とともに、過酷な使用環境下でも高い性能を維持できる技術を開発している。これらの取り組みを通じて、EVの航続距離延長と充電負荷軽減を実現し、日常的にストレスフリーな運転体験を提供することを狙いとする。総じて、バッテリー技術の革新は、新型EVの普及と持続可能な社会の実現において核心的な役割を果たすものである。

3. ユニット構成

新型リーフは日産アリア同様EV専用プラットフォームを採用し、薄型で且つ高容量のリチウムイオンバッテリーを床下に搭載することにより、フラットで広々とした室内空間を実現している(図1)。また2代目リーフe+では3種類16モジュールで構成されていたバッテリー内の構造を大幅に見直し、セルの高エネルギー密度化とともに1モジュールあたりの搭載セル数を大幅に増やしたビッグモジュールを採用した。それにより2種類5モジュールをバッテリーパック内に収容することでクラストップレベルの78kWhの大容量化を達成できた。更に1種類4モジュールを搭載した、容量の異なる55kWhバッテリーの2種類の仕様を同一パッケージで実現することができた(図2)。表1に新型リーフおよび2代目リーフe+の仕様を記載する。2代目からの進化として、バッテリー水冷システムを採用することで、バッテリー容量劣化の大幅な抑制と夏場の急速充電性能の向上に大きく寄与している。また寒冷地向けバッテリーPTCヒーターの採用により冬場の急速充電性能向上に大きく寄与している。更に150kW急速充電に対応することで短時間で航続距離を回復することができ、お客様にストレスなく長距離ドライブを楽しんでいただくことが可能となった。

* パワートレイン・EV プロジェクトマネジメント部 ** パワートレイン・EV バッテリー戦略 & 製品技術開発部

表1 日産リーフバッテリーの比較

	新型リーフ B7	新型リーフ B5	2 代目リーフ e+
バッテリー総電力量	78kWh	55kWh	60kWh
システム電圧	約 400V		約 400V
最大充電電流	400A		250A
バッテリー冷却 / 昇温	水冷 / バッテリーヒータ		自然冷却

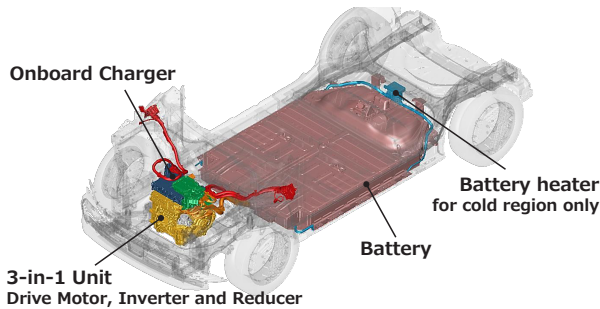


図1 電動パワートレインシステムとバッテリー

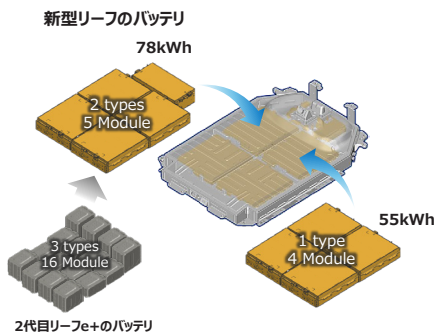


図2 新型リーフのバッテリーモジュール構成

4. バッテリー技術の進化

本章では、新型リーフのバッテリー設計において、市場分析やビッグデータを活用した容量最適化と寿命向上、充電性能の向上に焦点を当て、市場ニーズに応える技術革新を詳述する。

4.1. 最適容量設計

EVのバッテリー設計において、お客様の多様なニーズに応えるために、ビッグデータを活用した市場分析を行っている。過去に販売した初代、2代目リーフ、アリア、サクラといったEV、およびエクストレイルやノートなどのガソリン車の走行距離データを比較分析し、どの程度のバッテリー容量が必要かを明らかにしている(図3)。この解析により、市場の要求に合った航続距離から競争力のあるEVを開発することを目指している。

具体的には、長距離走行を重視するユーザーと都市部や短距離中心のユーザーそれぞれに適したバッテリーラインナップを用意した。長距離ユーザー向けには78kWhの容量バッテリーを設定し、日常的な通勤や週末のレジャー、長距離旅行に対応できるようにしている。一方、都市部や短距離利用のユーザー向けに55kWhバッテリーを採用し、コストや車両の軽量化を図りながらも十分な航続距離を実現している。

ビッグデータの詳細な分析結果から、米国市場の長距離走行データをもとに、約78kWhの容量が多くのお客様の期待に応えることができることがわかった。上記結果をもとに日常の通勤から週末のレジャー、長距離旅行まで幅広く対応できるバッテリー容量の目標値を設定した。

ビッグデータに基づく市場分析と顧客ニーズの把握による最適なバッテリー容量設定が従来のガソリン車からの移行をスムーズにし、お客様満足度の向上に寄与している。

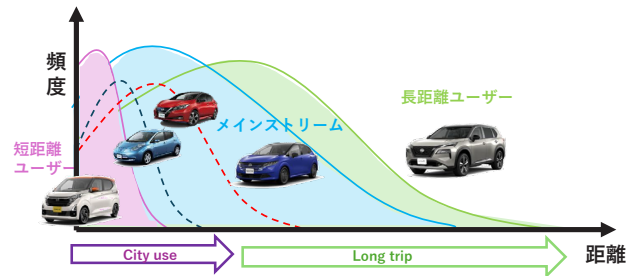


図3 日産のEVおよびガソリン車の走行距離データ

4.2. 寿命設計

3代目リーフは、初代リーフから寿命の大幅な向上を達成している。主な寿命向上方策は以下の二つ。

- ①リーフに15年間バッテリーを供給し続けてきたバッテリーサプライヤとの設計・生産連携により、長寿命な材料設計と、それを使いこなす電極・セルの均一性を担保する生産品質の向上。
- ②初代リーフからの15年に及ぶ市場データに基づく車の使われ方実績から積み上げてきた、ビッグデータを活用した冷却システムの最適化。

材料設計としては、電池容量劣化の主要因である電極の構造に着目した。劣化のメカニズムは、充放電中の電極上への被膜の成長と、電極粒子の膨張収縮で生じる粒子割れの二つがある。特に電極に対して負荷の大きい急速充電により、正極の割れが進行することが知られている。図4に示すような、均一な正極粒子を使用することで割れの起点となる界面を減らすことができ、また、負極粒子表面積を減らし、負極上で生じる副反応による被膜の成長を抑制することで、寿命性能を向上し、要求される急速充電性能も満足する高次元のバランス設計を行った。

電極設計としては、3代目リーフは、電極面積を大きくすることで、2代目リーフに比べてより高エネルギー密度を達成した。電極面積が大きくなることで、面内で不均一な電極は局部的な反応集中による電極劣化を加速させる原因となるため、電極品質の均一性も重要となり、バッテリーサプライヤの工程設計と品質管理により、長寿命な電池生産が実現している。

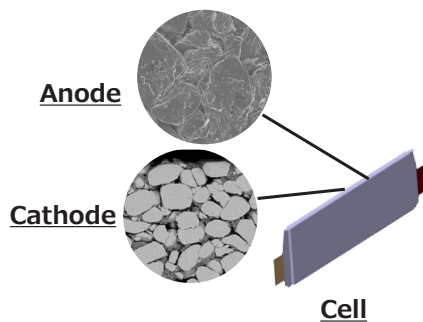


図4 電極構造

一方で、電池性能は、温度の依存性が大きく、特に高温では劣化が進行しやすい。そのため、新型リーフはバッテリー水冷システムを採用しており、ビッグデータを活用して、冷却効率を最適化している。単に電池の耐久性を向上するのではなく、過去のデータに基づき、お客様が実際に走行する距離や充電タイミングを考慮して電池設計することで、耐久性を効率よくして開発してきた。図5に示すように、温調設計の一つの要素として、温度-寿命の傾向から、冷却ターゲットを設定している。

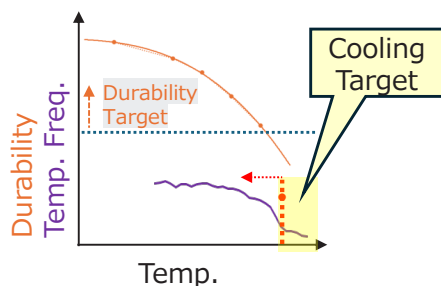


図5 温調設計

使用したデータは、例えば、図6に示すように、運転開始温度と運転終了温度の分布から、発熱・寿命目標の分析として、地域情報（走行環境）、バッテリー温度頻度、運転距離などビッグデータを参照し、温調設計に反映している。

このように、部品設計だけでなく、システム設計を融合することで、寿命性能の高い新型リーフを実現した。

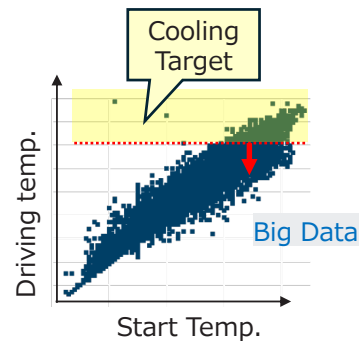


図6 バッテリー温度のビッグデータ

4.3. 充電性能の向上

充電性能の目標についてもビッグデータの活用を行った。ガソリン車の顧客の長距離走行を分析することで、休憩施設でコーヒブレイクをしている間に顧客が必要とする一回の走行距離の大半をカバーできるように航続距離回復量の目標値設定を行った。バッテリーの目標充電量については以下の式より必要となる目標値を定めた。

$$\text{残航続距離回復量 [km]} = \text{充電された電力量 [kWh]} \times \text{走行時電費 [km/kWh]}$$

その充電量に伴うバッテリーセルの発熱量より必要な冷却性能を決定した。その上で、2代目リーフでの空冷システムに対して、3代目リーフでは水冷システムを採用することでバッテリー内部の熱抵抗を約90%低減し、冷却効率の大幅な向上を実現した。これにより電費の向上と併せて常温環境下における15分回復距離は2代目リーフより100%以上向上し、次の充電拠点まで約2時間走行できる距離となる250km以上の十分な回復量を得ることができる（図7）。

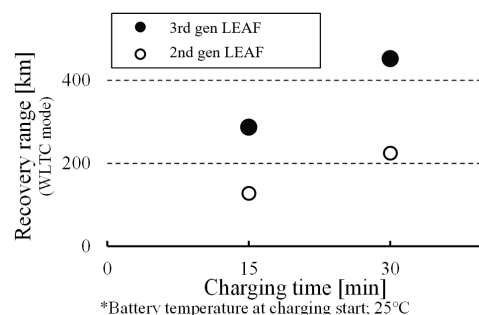


図7 残航続距離回復量の比較

3代目リーフでは急速充電時の発熱に対する冷却システムだけでなく、寒冷地仕様においてはバッテリー暖気システムを搭載した。バッテリー温度が低温状態にあるときは、急速充電を開始すると自動でバッテリーヒータをオンすることによりバッテリー冷却水を温めてバッテリーを適温にすることで、十分な充電性能を得ることができる。図8にその効果を示しており、バッテリーヒータが無い状態でもバッテリー性能の向上により2代目リーフと比較して90%の性能向上をはかるとともに、ヒータ付き車両においてはバッテリー暖気システムにより150%の向上を達成した。さらに事前昇温をすることで低外気温でも常温同等の充電性能を発揮することができる。

また、バッテリーに加えた熱が外気に放熱することを抑制するため、バッテリーパック下面とアンダーカバーの間に走行風が流入する隙間をなくし、独立した空気層を作ることでバッテリーパックと外気を断熱する構造とした(図9)。これにより外気がバッテリーの温度制御へ与える影響を減らすことができ、暖気効率の上昇に寄与している。

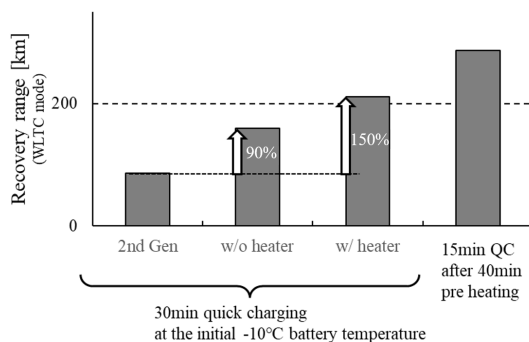


図8 低温時の残航続距離回復量比較

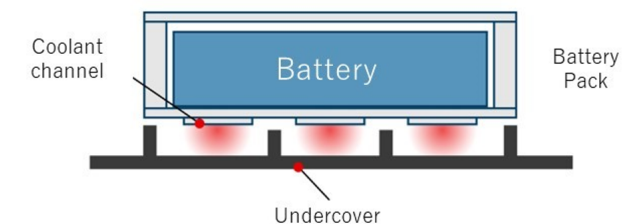


図9 バッテリーパック下面の断熱構造

5. おわりに

新型リーフに搭載されたバッテリーは、ビッグデータを活用してユーザーの実使用状況やニーズに基づき最適化されている。従来のモデルと比較して、航続距離の向上、充電時間の短縮、耐久性の改善を追求し、長期間の高性能維持を実現している。また、高エネルギー密度のセルとセル搭載効率を大幅に向上させたバッテリーモジュールを採用し、容量を78kWhと55kWhの2ラインナップとしたことで、幅広くお客様に対応できる設計とした。バッテリー温度システムも進化し、バッテリー内部の徹底した温度管理により高速充電中の発熱対策や寒冷地での充電性能も向上させている。さらに、バッテリーの劣化を抑制するため、セル材料の改良と高品質な生産工程を取り入れ、大幅な寿命向上を実現している。こうした一連の改良により、新型リーフは、長距離運転や日常利用においても高い信頼性と快適性を提供し、電気自動車の普及促進と持続可能な社会の実現に大きく寄与している。

著者



丸山 渉



柳原 康宏



釣田 英恵



脇 憲尚



オ スンウク



長坂 貞宏



川村 文洋

特集2:3代目リーフを支える技術

5. つながる車・給電技術:新型リーフの充給電システム開発

折田 崇一* 保坂 悠一* 北島 拓実* 西田 圭佑*
川口 修史** 益田 浩**

1. ま え が き

近年、カーボンニュートラル社会の実現に向けて、電動車の役割はますます重要性を増している。日産は、中期環境行動計画「ニッサングリーンプログラム2030 (NGP2030)」(図1)を2023年に策定し、「気候変動」「資源依存」「大気品質と水」の3つの重点課題に対し、具体的な技術革新と取り組みを推進している。中でもバッテリー電気自動車 (BEV) は、温室効果ガスの排出削減に大きく貢献する“気候変動”対策のキーソリューションとして位置付けられている⁽¹⁾。

こうした背景のもと、日産はBEVの更なる普及拡大に向け、充給電時の性能と利便性の向上、かつ新たな価値の創出が不可欠であると考えている。その実現に向けて、新型リーフには、その特性を活かした「V2L(Vehicle to Load)」機能を採用し、移動可能な蓄電池として電力を外部に供給することで、災害時には非常用電源として、アウトドアやキャンプなどのレジャーシーンでは電力供給源として、多様な場面で活躍の幅を広げることを実現した。さらに充電時のユーザー操作を簡素化する「Plug&Charge」システムを採用し、ストレスのない充電体験を提供することができた。本稿では、これらのシステムの概要と、それを支える主要技術について説明する。

2. 充給電システムの特徴

2.1 システム構成

日産は長年にわたり蓄積した知見を最大限活用し、充給電の基本性能を向上させた。新型リーフでは、効率的にバッテリーの温度を制御できる水冷方式を採用し、バッテリーのポテンシャルを最大化するサーマルマネジメントシステムを構築した(図2)。特に寒冷時は車載充電器(OBC)から発生する熱を利用してバッテリーを効率的に加温するなど、熱エネルギーを無駄なく活用することで、充電性能を向上させた。さらに、最大150kWの急速充電(DC充電)に対応しており、150kWの急速充電器に接続した場合、SOC(State of Charge)10%から80%まで最短35分で充電可能である。

また、適用地域ごとに充電インレットの仕様を変えている(表1)。特に米国仕様では、急速充電の利便性向上を目的として、SAE J3400 NACS(North American Charging Standard)を初採用し、変換アダプターを接続することで、CCS1(Combined Charging System 1)急速充電器も利用可能とした。普通充電(AC充電)については、各地域で最も普及しているIEC 62196-2 Type1/Type2を採用し利便性を維持している。



図1 NissanGreenProgram2030(NGP2030)

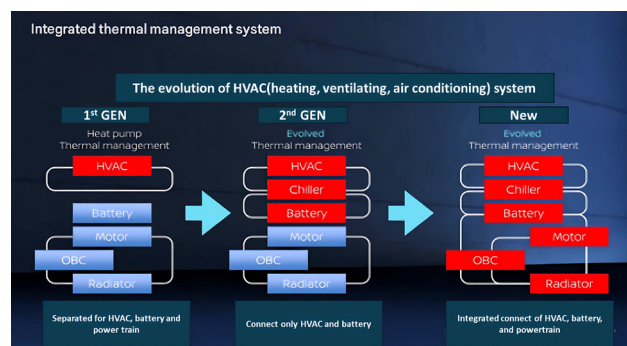


図2 Integrated thermal management system

* 車両計画・性能計画部 **EV エナジーエコシステム部

表1 Charging specifications by region

Item	Old	New		
		JPN	US	EUR
Battery capacity	60kWh	75kWh		
DC charging inlet	CHAdeMO/CCS1/CCS2	CHAdeMO	NACS	CCS2
AC charging inlet	IEC62196-2 Type1/Type2	IEC 62196-2 Type1	IEC 62196-2 Type1	IEC 62196-2 Type2
OBC	Uni-directional	Bi-directional		
AC charging maximum output	6kW	6kW	7kW	11kW
Battery cooling	N/A	Liquid cooling		

2.2 給電機能の拡充

V2Lシステムは、車両から商用電源相当の電力を供給し、オフグリッド環境での電気製品利用を一時的に可能にする。特に、2011年の東日本大震災以降、車室外への電力供給機能の普及に対する社会的関心が高まっている。また、近年のアウトドアブームにより、キャンプ等での電気製品使用ニーズも増加している。日本仕様は引き続き、DC充電インレットを介したV2LやV2H(Vehicle to Home)機能を採用し、車両のバッテリーとV2H対応機器を接続することで、太陽光発電による電力を車両のバッテリーに蓄積し、必要に応じて家屋への電力供給が可能である。しかし、DC充電インレットに接続する専用外部給電器は大型かつ高価であるため、主に災害時の非常用電源として地方自治体や公共施設などで利用されているのが現状であり、一般ユーザーへの普及は限定的である。

これらの課題や要求に対応すべく、車両から電気製品に直接給電するV2Lシステムを車室内および車室外に設置した(図3)。車室内用V2Lはバッテリーから供給されるDC電力を専用のインバータユニットを用いて、AC電力に変換し電力を供給する。

車室外用V2Lは、新たに双方向車載充電器(Bi-directional OBC)とAC 外部給電コネクタを新規開発した。双方向車載充電器を活用して電力変換を行い、AC 外部給電コネクタ(図3.right)を介してAC電力を供給する(図4)。



図3 Power supply outlet: inside (left),outside (right)

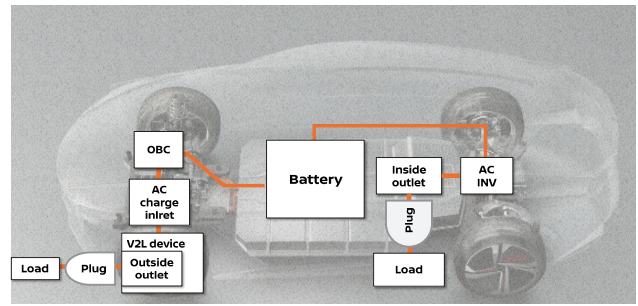


図4 V2L System configuration diagram

車室内外のV2L機能は同時使用を可能とし、多様な電力供給ニーズに対応できる点が大きな特徴である。これにより、アウトドアや災害時には、車室外の電力供給を利用してキャンプ用電源や非常用電源として活用できるだけでなく、車室内の電力需要にも同時に応じることが可能であり、ユーザーの利便性が大幅に向上する。また、複数の電力負荷を同時に供給可能とすることで、家庭や現場における多目的な電源供給や、多様化する電力利用シーンに適応し、高い柔軟性を実現している。

さらに、長時間の給電を実現するために、効率向上にも注力した。V2Lの出力は最大で数kW程度であるが、停車中の給電時には、車両の弱電系統の消費電力が相対的に大きくなる。この点を考慮し、弱電系統の消費電力が少ないパワースイッチOFF状態でも給電機能のみを利用できる仕様とした。パワースイッチ OFF状態における弱電系統の消費電力は、走行可能状態と比較して約30%削減できている。

3. Plug&Charge システム

3.1 市場における充電に関する課題

BEVの普及に伴い、充電に関する不満や課題が多く指摘されている。充電時間の長さに加え、ユーザー体験の面でもさまざまな障壁が存在する。具体的には、充電オペレーターごとに異なるモバイルアプリの仕様や決済方法の違いにより、充電開始までの準備作業が煩雑になるケースが多い。さらに、ユーザーは充電オペレーターごとに操作方法を習得しなければならず、使い勝手の悪さや操作の複雑さからストレスを感じやすい(図5)。加えて、操作画面の破損により反応しない充電器が多数存在し、充電不能といった深刻なトラブルも発生している。こうした背景から、充電インフラの信頼性と利便性の向上は今後の普及促進に向けた重要な課題である。

3.2 充電プロセスを合理化するシステム設計

これらの課題を解決する技術として、“Plug&Charge”システムを開発した。本システムによりユーザーは充電オペレーターごとに異なるモバイルアプリや決済方法を選択する必要がなく、

スマートフォンに「NissanConnect」アプリのみをインストールするだけで、充電準備の大幅な簡素化を実現できる(図6)。さらに、ユーザーは充電ステーションに到着後、充電プラグを車両に接続するだけで自動的に車両の認証、充電、決済処理が一括で完了し、ワンアクションで充電操作を完了できる(図7)。また、充電器の操作画面が破損している場合でも、画面操作を必要としないため、市場で指摘されている充電不能の問題を解決できる。

本システムの実現には、弊社のCCS(Connected Car & Services)プラットフォームと社外のeRoamingプラットフォームとの連携をいかに最適化するかが重要な課題であった。具体的には、異なる充電インフラや認証・決済システム間の相互運用性を確保しつつ、既存のアセットを最大限活用するシステムアーキテクチャの構築が求められた。このため、標準化された認証・決済プロトコルに基づき、eRoamingプラットフォームと連携し、異なる充電インフラ間での認証情報や決済情報のシームレスな交換を実現し、ユーザーは一度の認証で複数の充電サービスを利用可能となった。さらに、弊社の既存の通信インフラや認証システムを活用し拡張性の高いシステムを構築した。

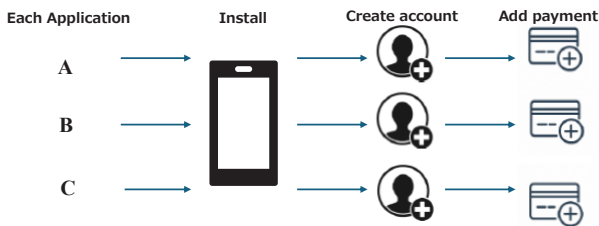


図5 Multiple App installations for different chargers

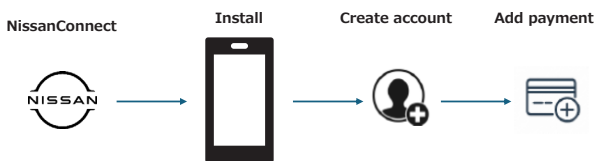


図6 Single App supporting multiple chargers

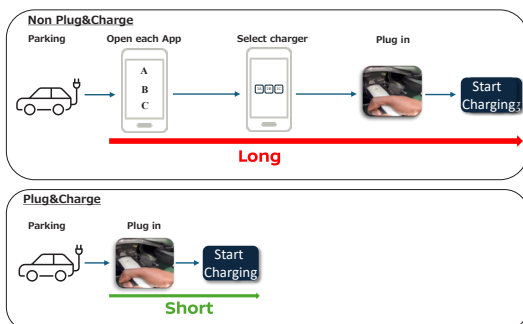


図7 Charging process comparison: Before and after Plug&Charge implementations

3.3 主要課題とブレークスルー技術

Plug&Chargeシステムでは、インターネットのセキュリティ技術として広く使用されている証明書技術を車両レベルで適用することにより、車両と充電器間の通信を暗号化し、決済に関わる認証処理を安全かつ自動的に実行可能とした。これに伴い、複数の証明書の発行と管理および車両へのインストール方法が重要な課題であった。必要な証明書は以下の3種類である(図8)。

① Provisioning 証明書

：電気自動車(EV)の識別情報を担う証明書

② V2G Root 証明書

：認証の起点となる信頼の根幹をなす証明書

③ Contract 証明書

：ユーザーの決済情報を含む証明書



図8 Certificates used in Plug&Charge

また、これら証明書と対になる鍵のペアが生成され、各鍵ペアは、公開鍵と秘密鍵と呼ばれ、暗号化通信や認証において重要な役割を果たす(図9)。

①秘密鍵：第三者に公開されず所有者のみが保持する鍵

②公開鍵：誰にでも公開されることを前提とした鍵

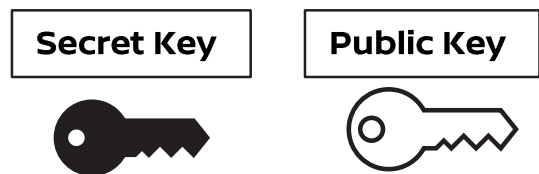


図9 Key pair

車両に3種類の証明書をインストールするために以下2つの課題があった。

課題1 eRoamingプラットフォーム発行のContract証明書の配送に関する課題

Contract証明書は様々な情報がパッケージ化された状態で車両に配送される。この証明書は秘密鍵と公開鍵が付随しているが、秘密鍵は本来通信経路上に伝達されるべきではない。これは秘密鍵が漏洩するリスクを伴うためである。しかし、充

電器と車両の認証においては、秘密鍵を用いたデジタル署名によって、車両の正当性となりすましの防止を保证する必要がある。このため、秘密鍵を保持した Contract 証明書を安全に車両に配送することが課題である。

課題2 EVCCと Provisioning 証明書のインストールに関する課題

充電器との通信を担うコントローラーであるEVCC (Electric Vehicle Communication Controller)は、工場での生産時に識別情報を含む Provisioning 証明書を発行できない仕組みになっている。通常、EVCCと Provisioning 証明書は対である必要があるが、証明書発行機関はセキュリティを確保するために独立して運用されることが一般的である。このため、工場生産された車両に搭載されるEVCCに対して、対となる Provisioning 証明書を安全かつ確実にインストールする方法が課題である。

課題1に対して、発行元の eRoaming プラットフォームで秘密鍵を特定の鍵で暗号化し、受信側の車両側において同じ鍵で復号化する手順が考えられる(図10)。しかし、暗号化に使用した鍵をそのまま送信した場合、通信経路上に悪意のある第三者が存在すると鍵の不正取得の危険性が生じる。この結果、暗号化された内容が不正に解読される恐れがある⁽²⁾。

この課題を解決するために、図11に示す Diffie-Hellman 鍵交換方式(DH 鍵方式)を採用した。DH 鍵方式は、互いに知られても問題ない公開情報を交換することで、共通の秘密鍵(DH 共通鍵)を安全に生成する技術である⁽³⁾。

図12に採用したシステムの全体アーキテクチャを示す。Provisioning 証明書に含まれる公開鍵を特定のタイミング(例:“⑤”のタイミング)で eRoaming プラットフォームと共有し、その情報をもとに DH 共通鍵を生成する。そして、生成された DH 共通鍵を用いて Contract 証明書と対の秘密鍵を暗号化する。さらに、車両側では、“⑦”のタイミングで車両に配送された Contract 証明書に含まれる公開鍵を用いて DH 共通鍵を生成し、その鍵を使って Contract 証明書に含まれる暗号化された秘密鍵を復号化する。これにより、安全に秘密鍵を車両へ配送することが可能になる。

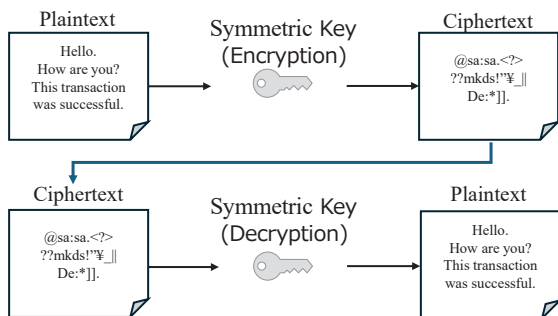


図10 Symmetric cryptography

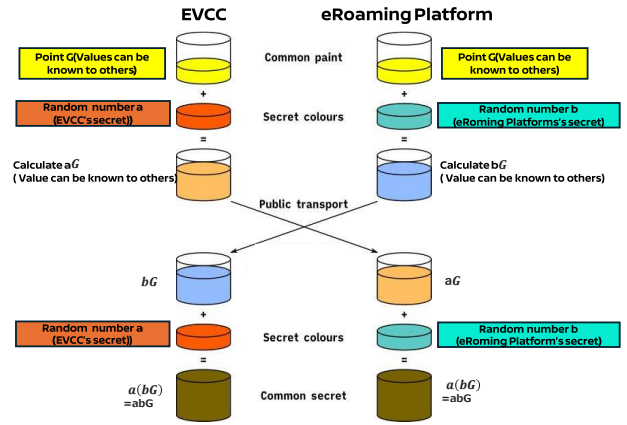


図11 Diffie-Hellman key exchange

課題2に対して、複数のエンティティが独立し、かつ証明書発行とEVCCおよび車両の生産工程が別々に進行している状況を踏まえ、合理的に証明書をインストールするアーキテクチャの設計が求められた。車両組立後に証明書の発行要求を行うための通信パスを設定すると、車両側で実装すべきテレマティクス通信の増加とシステムの複雑化が懸念される。一方、証明書発行を車両の生産前に完了させておくことにより、車両出荷後の工程を簡略化し、工程全体の効率化も可能である。これらの課題を解決するために、採用したシステム(図12)では、EVCC 生産工程から直接 OEM Certificate System に証明書発行要求を送信する仕組みを導入し、次のようなフローを採用した。

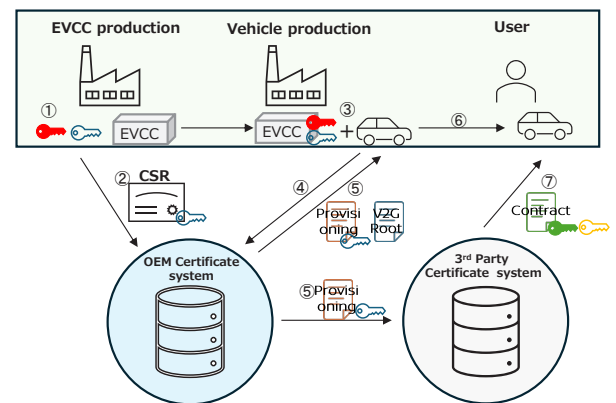


図12 Overall system architecture

まず、EVCCが生産工場から出荷される際に(“①”)、自身の識別情報とともに、Provisioning 証明書発行要求(CSR:Certificate Signing Request)をOEM Certificate Systemに送信する(“②”)。次に、CSRを受理したOEM Certificate Systemは、証明書発行のための認証・検証を行った後、Provisioning 証明書を発行する。車両の組立後(“③”)に車両側から自動的にタイミング(“④”)でOEM Certificate SystemへEVCCの識別情報を送信し、OEM Certificate SystemはProvisioning 証明書とEVCCを紐付けて管理する。

最後に、証明書のインストールタイミング(“⑤”)に合わせて、Provisioning証明書とV2G Root証明書を車両にインストールし、証明書のインストールタイミングに関する課題を解決した。また、これにより、工場での証明書インストール作業の工程短縮と効率化を実現し、全体の生産工程の合理化に貢献した。

車両納車後(“⑥”)は、ユーザーがPlug&Charge加入手続きを行うことで、テレマティクス通信を通じてContract証明書が自動的に車両にインストールされる(“⑦”)。

以上より、機密安全性を確保しつつ、ユーザーに複雑な操作を必要としないシステム設計を実現した結果、Plug&Chargeシステムの合理的な構築ができた。

5. まとめ

本稿では、電動車両の普及と多様なシーンでの活用を支える充電・給電システムの性能向上と利便性向上を実現した。

充電操作の自動化とユーザビリティの向上のためPlug&Chargeシステムを開発した。シームレスな認証・決済基盤の構築を通じて、充電インフラの多様化に対応し、既存アセットの活用と拡張性の高いシステムを構築した。証明書と鍵の暗号化技術を車両レベルに適用し、DH鍵交換方式により秘密鍵の安全な配送と管理を可能にした。また、証明書発行、インストール工程を合理的に設計し、工場での工程短縮と効率化を実現した。

移動できる蓄電池というBEVのメリットを生かし、充電した電気を外部に給電し、場所を選ぶことなく電気で遊べる給電システムを開発した。一般ユーザーが日常的に使用することを想定し、車室内外に独立して電源供給するシステムを構築した。これにより、利便性と多用途性を向上させ、次世代の電動車両の電源システムの普及に寄与し、今後の多様なシーンでの活用拡大を期待している。

今後、外部給電機能をさらに進化させ、家庭(Vehicle to Home)やオフィス(Vehicle to Building)への電力供給にとどまらず、電力系統(Vehicle to Grid)への逆潮流を実現することで、再生可能エネルギーの不安定さを補完し、電力供給の信頼性向上と電力系統の安定化に貢献することを目指す(図13、14)。その第一歩として、2026年を目標に英国を皮切りに欧州でAC V2G技術を導入することを既に発表している⁽⁴⁾。ユーザーは安価な電力の充電や電力の共有、需給バランスへの貢献を通じてインセンティブを得ることができ、新しい価値を享受できる。こうした取り組みを通じて、環境への配慮と経済性を両立させた持続可能なエネルギーライフの実現が可能となる。

日産のV2X戦略は、EVを単なる移動手段から「エネルギーの運搬者」かつ「制御者」へと進化させる革新的な挑戦である。再生可能エネルギーの普及とともに、EVを社会のエネルギーインフラの中核に位置付け、電力需給の安定化と環境負荷低減を同時に達成する。この取り組みにより、日産は持続可能な社会と豊かな未来の実現に向け、先駆者としての役割を果たし続ける。



図13 Nissan V2X Roadmap



図14 AC V2G Field Operation Test in UK

参考文献

- (1) 上条 元久, 池原 賢亮, 片村 淳二, 中田 智也: 特集 持続可能なモビリティへの挑戦~カーボンニュートラルを実現するための先進技術~, 1.2050年のCO₂排出ネットゼロに向けた戦略, 日産技報, 2025, No.91, p.3-8(2025)
- (2) 結城 浩: 暗号技術入門第3版 秘密の国のアリス, 東京, SBクリエイティブ(株), 2015年, 446P
- (3) Sivanagaswathi Lallam: Diffie-Hellman: Key Exchange and Public Key Cryptosystems, 2015年
- (4) 日産自動車ニュースルーム: 日産自動車、より手頃な価格の「Vehicle to Grid(V2G)」技術を英国で2026年に導入, URL: <https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/241011-00-j>, (2024.10.11)

著者



折田 崇一



保坂 悠一



北島 拓実



西田 圭佑



川口 修史



益田 浩

特集2:3代目リーフを支える技術

6. 新開発3-in-1 EVパワートレイン

丸山 渉* 小山 良浩** 吉田 進** 室田 浩平** 並木 一茂**
佐藤 誠一** 犬田 行宣*** 新井 和彦**** 山中 基嗣*****

1. はじめに

近年、地球規模での気候変動や環境問題への対応として、脱炭素社会の実現が世界的に強く求められており、その実現のため、自動車用パワートレインの電動化への取り組みが加速している。本稿では新型リーフに搭載されたEVパワートレインの進化について、その開発背景と技術的特徴について述べる。

表1 3-in-1基本スペック

項目		新型リーフ	前型リーフ
モーター インバータ	最大トルク	355Nm	340Nm
	最大出力	160kW	160kW
	最高回転数	13,300rpm	11,330rpm
	効率	>93% (WLTC Ave.)	>92.2% (WLTC Ave.)
ギヤ比		9.328	8.193

2. 開発のねらい

新型リーフ向けのEVパワートレイン開発にあたっては、以下の3点に注力した。

- (1) 高効率の徹底的な追求
- (2) コンパクト・軽量・低コスト
- (3) 静粛性およびレスポンスの良い高品質な走行性能

さらに、主要コンポーネントを第3世代e-POWERと共有することで、電動化技術を効率的に開発することを目的とした

3. EVパワートレイン構成

2025年新型リーフ向けに開発した新開発3-in-1 EVパワートレイン(以下、3-in-1)の基本スペックを表1、外観を図1に示す。3-in-1は、車両前方のモータールームに搭載した。(1) 駆動モーター、(2) インバータ、及び(3) 減速機の3部品をモジュール化し、EVパワートレインとしてコンパクトな機電一体構造を実現した。

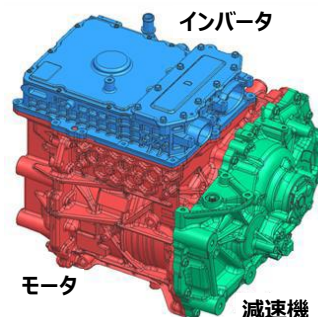


図1 新開発3-in-1 EVパワートレイン外観

また、各モジュールの構成部品を、第3世代e-POWERと共有することで、部品コストの低減および生産性の向上に貢献している。

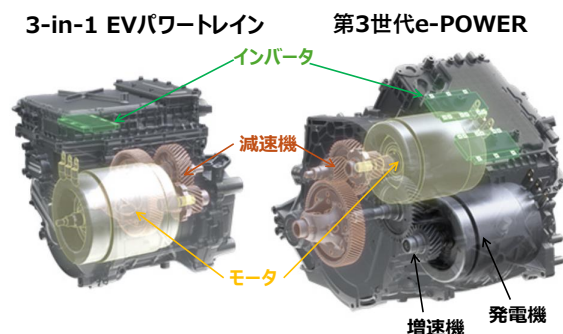


図2 モジュール設計コンセプト

* パワートレイン・EV プロジェクトマネジメント部

** パワートレイン・EV 電動技術開発部

*** ジャヤコ株式会社

**** パワートレイン・EV 実験部

***** パワートレイン・EV 性能適合開発部

3-in-1 構造を採用したことで、前型リーフに対して容量 10% 削減を達成している。また、モータ最大トルクは 4% 向上しており、パワートレインの性能を示すトルクウェイトレシオでは、前型リーフに対して、29% 向上している。

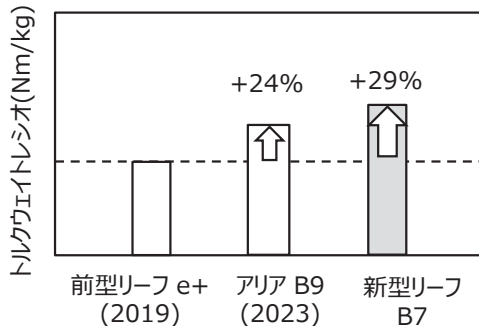


図3 トルクウェイトレシオ比較

加えて、結合剛性を高くでき、モータノイズを低減できている。また、ハウジングの分割数を減らすことで、組み立てによる芯ずれを低減し、静粛性に寄与している。

4. EV パワートレインに採用した要素技術

本章では、この 3-in-1 に採用した主要な要素技術について解説する。具体的には、モータの小型・高効率化技術、インバータの高出力・高効率化技術、減速機メカニカルロス低減技術を取り上げ、それぞれの技術的な内容と性能改善のポイントを示す。

4.1 モータ小型・高効率化技術

日産は車両電動化を推進するためにモータ小型・高効率化の取り組みを重要な技術とらえて取り組んできた。

図4にモータトルク・出力特性、図5に3-in-1のモータ部を、前型リーフと比較して示す。モータは前型リーフと同じく IPMSM (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) タイプを採用し、高い出力性能を有している。前型リーフと比較してトルクを 4%、最大出力範囲、モータ最高回転数を 17% 拡大することで車両動力性能を改善しつつ、サイズとしては 8% の小型化を達成している。

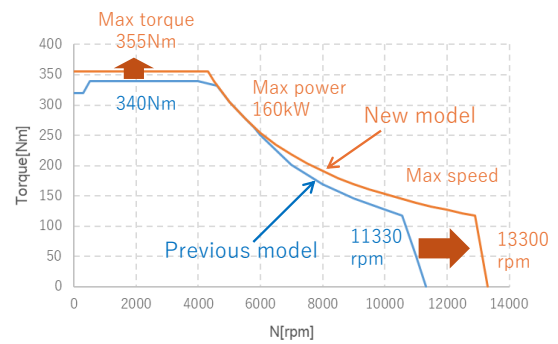


図4 回転数-トルク特性

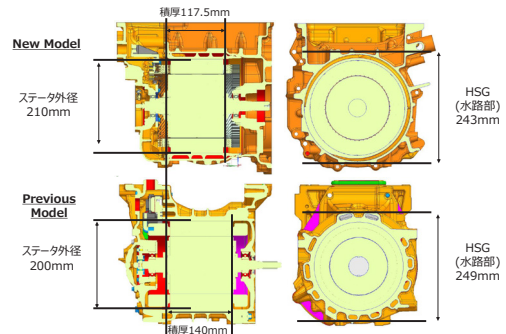


図5 モータの比較(左:前型 右:新型)

4.1.1 モータ小型化技術

従来、ハウジング(以下、HSG)構成は水路を有する HSG の両端にカバーを取り付けて冷却水路を形成する 3 ピース構造を採用していた。今回、インナー HSG とアウター HSG の圧入による 2 ピース構造を採用することで水路を薄くできている。その空間を活用することが可能となったモータはステータコア外径拡大させつつ軸長短縮を実施、モータ体積 8% 減を達成することでパワートレイン体格減に貢献した。

また、ロータコア断面形状の磁石配置を▽型からダブル V 型に変えトルク出力密度を改善するとともに、使用する磁石材料を見直すことで Heavy Rare Earth (HRE) の使用量を前型リーフ比の 85% 減、2011 年に販売した初代リーフから比較すると 96% 減を達成し、重希土類市況変動に対してロバストな設計としている(図6)。

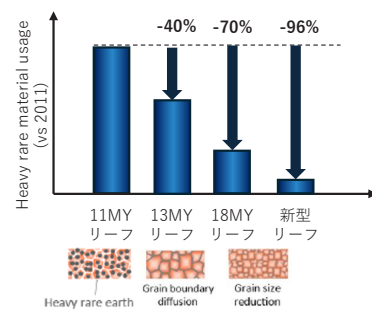


図6 HRE quantity progress

4.1.2 モータ高効率化技術

本モータではステータ巻き線に平角線を使用した。図7にステータイメージを示す。平角線は丸線と比較して空間に占める銅の面積つまりモータスロット占積率の向上が見込めるため銅損が支配的な低速域での効率向上が見込めるが、EV駆動用モータとして高速までモータ駆動する場合は高回転時の交流銅損の影響により効率が悪化する傾向があった。今回、スロット内に10本の扁平型の平角線を使用することで交流銅損の影響を抑制した。結果的にインバータモータのパワートレイン総合効率で低速域の効率改善に寄与しつつ高回転の損失悪化を抑制することで全域のパワートレイン効率改善を実現している。

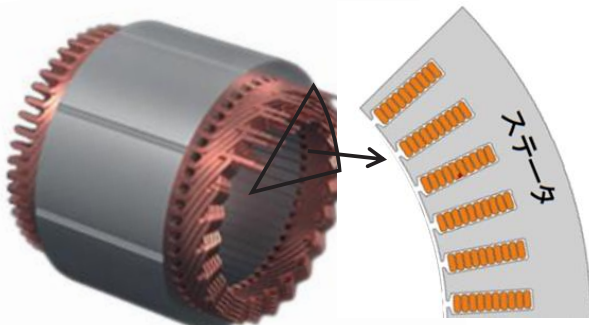


図7 ステータイメージ

4.2 インバータ高出力・高効率化技術

表2にインバータシステム仕様を、前型リーフと比較示す。インバータでは、前述のモータ特性を出す為、最大出力電流を10%向上させた。これにより、3-in-1構造による小型化と合わせ、出力電流密度を41%向上させた。インバータ効率は、同一条件下で前型リーフに対し、WLTCモード相当で0.6pt向上した。

インバータの出力電流を上げるには、電力変換を行っているパワーモジュールの放熱性能の向上が必要となる。そこで新型リーフでは、両面冷却構造のパワーモジュールを採用することで、パワーモジュール熱抵抗を50%低減した。図8に両面冷却パワーモジュールの外観図及び構成図を示す。水平方向に3つのパワーモジュールを配置することで、両面冷却構造でも低背化を実現し、レイアウト性が向上した。また、パワーモジュールと水路の間には熱硬化式TIM (Thermal interface material) を使い、パワーモジュールの厚み公差を吸収する構成とした。硬化式TIMはポンプアウト・ドライアウトによる熱抵抗の劣化を抑えることができる。水路はアルミ製ウェーブフィンを採用した。

損失低減の観点から、パワーモジュールと平滑コンデンサ間のインダクタンスは、小さい方が望ましい。図9にパワーモジュールと平滑コンデンサの締結状態、及びインダクタンス低減方策を示す。

①パワーモジュールを両面冷却構造とすることでパワーモジュール内部のPN相バスバの積層エリアを拡大、②平滑コンデンサセルを6分割し、その個々の入力端子までPN相バスバの積層エリアを拡大、③P相バスバとN相バスバの間隔を全面的に縮小、④分割した平滑コンデンサの隣り合うセルのP相入力部とN相入力部を近接配置。これらの対策により、P相バスバとN相バスバに流れる逆方向の電流により磁束変化を打ち消すため、インダクタンスを前型リーフに対し約23%低減した。インダクタンス低減によるスイッチング損失低減、及び最新世代のパワー半導体を採用することによる定常損の低減により、インバータ効率向上を達成した。

表2 インバータ仕様比較(新型・前型)

	前型リーフ	新型リーフ	Change rate
Max. current	500 Arms	550 Arms	+10%
Mass	11.5 kg	9.2 kg	-20%
Volume	9 L	7 L	-22%
Current density	56 Arms/L	79 Arms/L	+41%
Efficiency (WLTC mode)			+0.6 pt

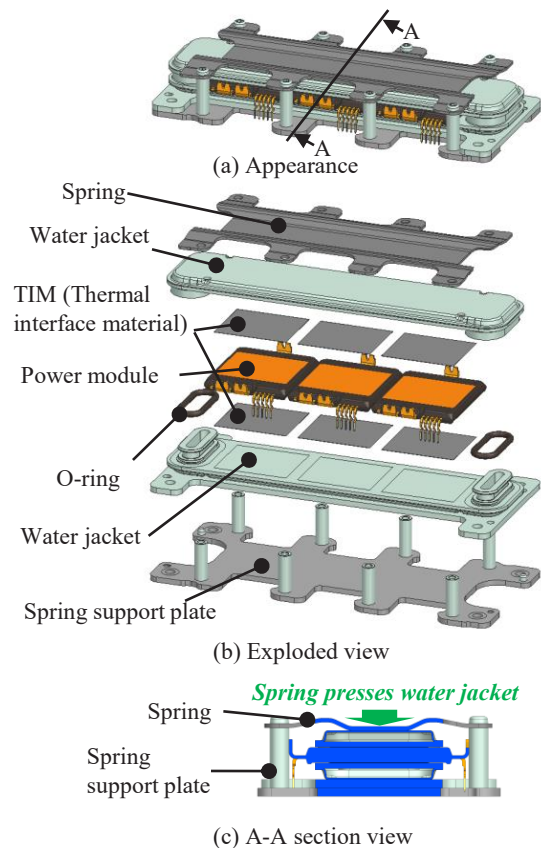


図8 両面冷却パワーモジュールの外観図・構成図

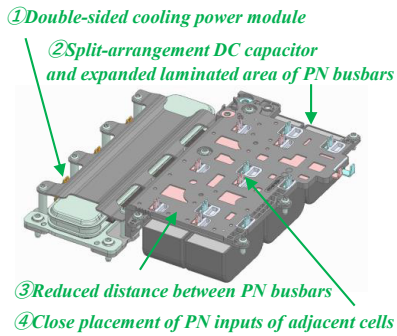


図9 パワーモジュール・平滑コンデンサの構成図、及びインダクタンス低減方策

前述のモータ・インバータ高効率化技術は、3-in-1 の効率の改善に大きく貢献している。

図10に前型リーフと新型リーフのモータ・インバータ効率MAPを示す。3-in-1、モータ・インバータに採用した新技術により低車速領域の効率向上を実現した。また、トルクとモータ回転数に応じてキャリア周波数を最適に変換制御することで3-in-1の他性能（動力性能、インバータキャリアノイズ、モータ音振やEMC）と両立させている。さらに、高車速域においては、矩形波制御を取り入れ、過変調駆動を行うこと弱め界磁電流を削減し効率改善を実現した。その結果、WLTCモードの重み平均効率としてモータ・インバータ効率が93%を超え、前型リーフと比較して約0.8%の改善をはかることができた。

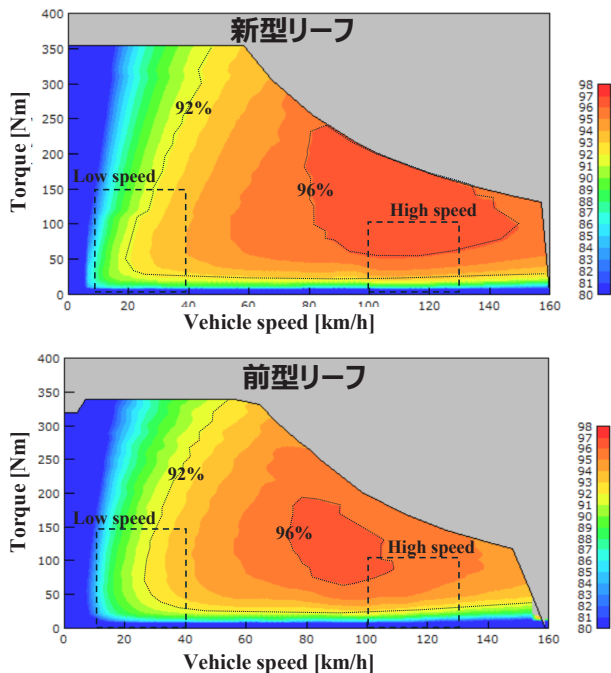


図10 Comparison efficiency map of Motor and Inverter

4.3 減速機メカカルロス低減技術

減速機においては、潤滑解析シミュレーションを活用し、シミュレーション結果に基づいたオイル攪拌低減となる最適なギア配置を設計した。具体的には、高車速電費向上のため2軸ギアを従来の下方配置から上方配置へ移動し、オイル攪拌ロスを低減した(図11)。また、2軸ギア上方配置による潤滑量不足については3D潤滑解析を用いて必要量を確保し、高速電費と強度信頼性を高い次元でバランスさせることができた。

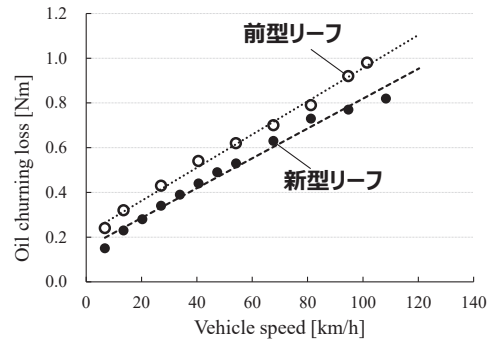


図11 Comparison data of the gear box friction

5. 新型リーフ 車両性能への貢献

本章では、新開発3-in-1の車両性能への貢献について解説する。快適性を高めるためのノイズ・振動対策、加速レスポンスや運転操作性の向上は、電動車の価値を上げる重要な要素である。以下では、まず静粛性向上技術について述べ、その後、動力・運転性の向上技術について紹介する。

5.1 静粛性の向上技術

5.1.1 静粛性対策概要

3-in-1の採用に際し、モータノイズ低減とサイドバンドノイズ抑制に対して下記のパワートレイン音振対策を採用した(図12)。

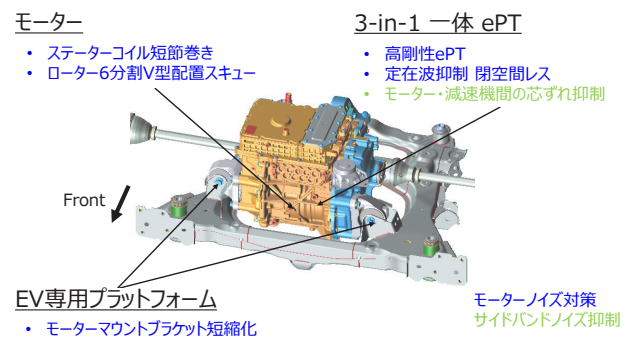


図12 3-in-1で採用したパワートレイン音振対策

5.1.2 マウント振動入力によるモータノイズ低減

5.1.2.1 3-in-1 構造対策

減速機後部横曲げ振動について、3-in-1 化に加えガセット（補剛部品）も一体化し、ガセットを用いていた前型リーフ同等以上の剛性と軽量化を実現した。（図13）。

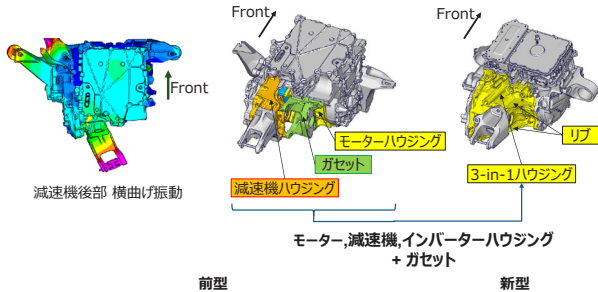


図13 3-in-1剛性対策

5.1.2.2 モータマウントブラケット剛性対策

新型リーフではブラケット短縮化のためサスペンションメンバー幅を狭くしたEV専用プラットフォームを採用し、ブラケットの短縮化、高剛性化、軽量化を実現した（図14）。

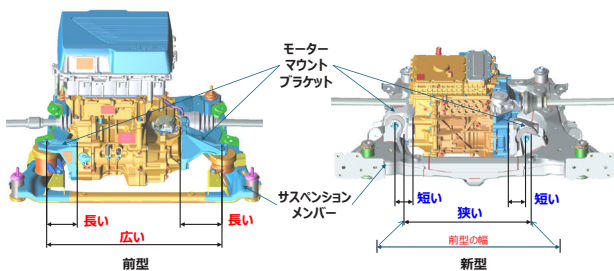


図14 モータマウントブラケット短縮化

5.1.2.3 モータ回転24次加振力対策

新型リーフではステーターコイルを短節巻とし、コイルを1スロットずらして巻くことでモータ回転24次の加振力を低減した（図15）。

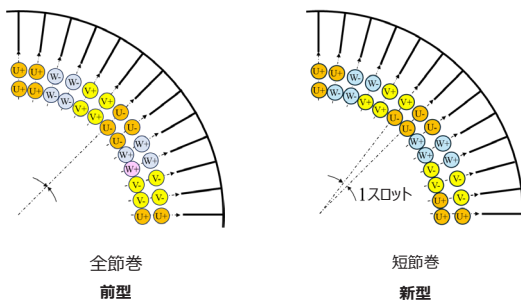


図15 ステーターコイルの全節巻と短節巻 模式図

5.1.2.4 実機確認結果 5

図16は、モータノイズ24次のモータマウントブラケット振動の実機結果で、ブラケット共振周波数向上と加振力改善により、振動を低減し、軽量化も達成した。

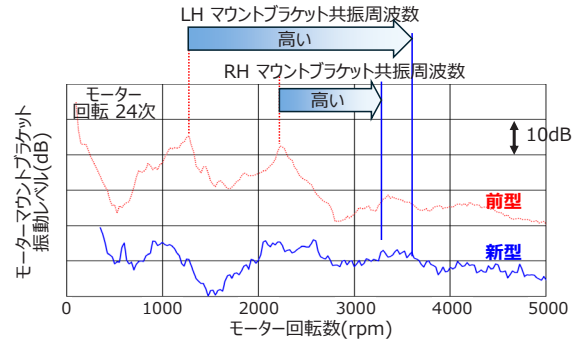


図16 モータノイズ24次 実機結果

5.1.3 放射音入力によるモータノイズ低減

5.1.3.1 3-in-1 構造対策

新型リーフは、3-in-1 構造化により吸遮音材を廃止し、また、パワートレイン剛性を向上させた。（図17）。

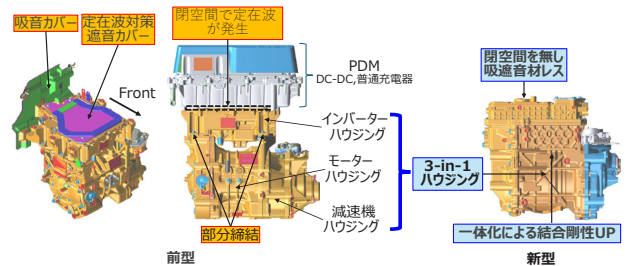


図17 3-in-1構造による吸遮音カバー廃止、高剛性化

5.1.3.2 モータ回転48次加振力

スキューは加振力をキャンセルする効果があるが、新型リーフでは6分割V型配置スキューにすることで、前型リーフで不利だった中速での捩じり共振を抑制した。（図18）。

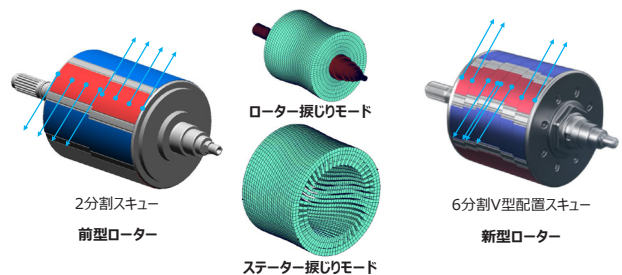


図18 ローターの分割スキュー

5.1.3.3 実機確認結果

図19は、モータノイズ48次の実機結果で、パワートレイン剛性向上と振じり共振抑制により、音響パワーレベルを低減し、吸遮音材を廃止できた。

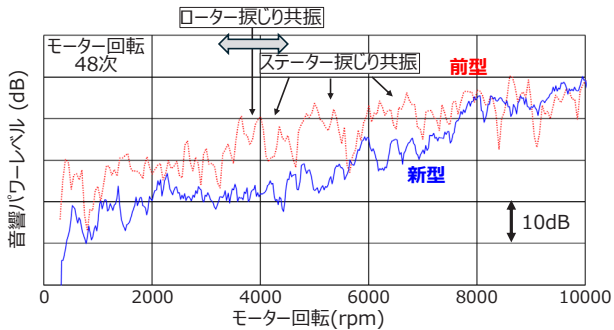


図19 モータノイズ48次 音響パワーレベル 実機確認結果

5.1.4 減速機スプライン振れ回りサイドバンドノイズ

5.1.4.1 メカニズム

ここでは設計パラメータが多い減速機スプライン振れ回りサイドバンドノイズを例に抑制設計と実機確認内容を紹介する。

図20左に示すようにローターと減速機のシャフトがスプラインで勘合している。図20右のようにスプラインがシャフトの曲がり等により円運動するスプラインの振れにより、減速機スプラインが持ち上げられることにより本サイドバンドノイズが発生する。

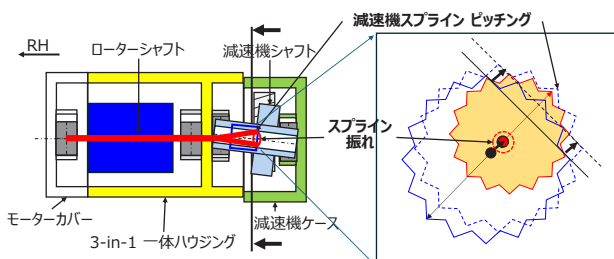


図20 減速機スプライン振れ回りサイドバンドノイズのメカニズム

5.1.4.2 3-in-1が有利な理由

減速機スプラインの持ち上がりを抑制するには、ローターと減速機スプライン位置の芯ずれの低減が必要である。

減速機のベアリング穴を基準にローター RH ベアリング穴までの寸法公差数を数えると、前型リーフ5個に対して、新型リーフは3-in-1 構造化により、3個に減るため、芯ずれが少なくなり有利である(図21)。

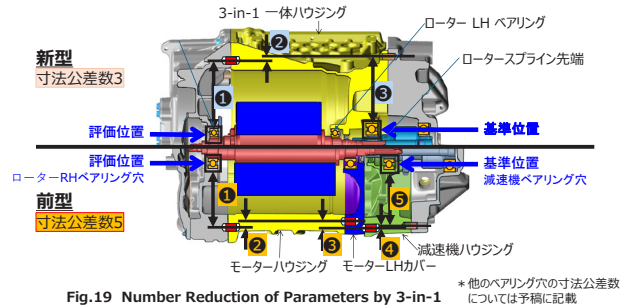


Fig.19 Number Reduction of Parameters by 3-in-1

図21 ベアリング穴位置座標を決める寸法公差数

5.1.4.3 芯ずれ寸法公差最大品 およびメカニズム検証仕様の実機検証

最も設計上不利な芯ずれ寸法公差最大品を試作し、サイドバンドノイズは発生せず、抑制できていることを確認した。

併せて寸法公差最大品よりも芯ずれが大きく、減速機スプラインが持ち上げられる3-in-1も試作したところ、想定通りサイドバンドノイズが発生し、メカニズムの妥当性が検証できた(図22)。

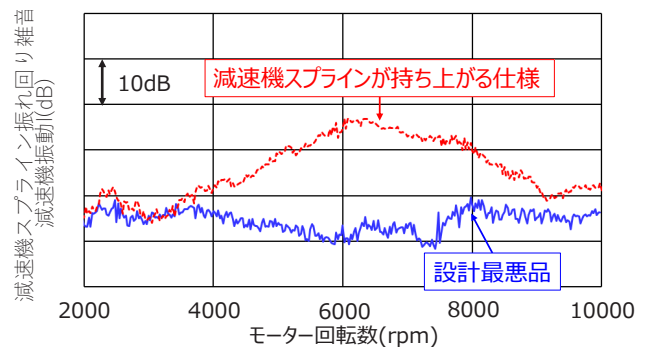


図22 減速機スプライン振れ回りサイドバンドノイズ 最悪品の達成度およびメカニズム検証 実機結果

5.2 動力・運転性の向上技術

新型リーフは、従来の電動車と同様に日産のオリジナル制御制御により業界標準を上回る卓越したレスポンスを実現している。

図23に新型リーフの加速Gプロフィールを示す。3-in-1の高トルク化により立ち上がり時の加速Gは前型リーフよりも15%向上しており、さらに、新モータにより高回転領域まで最高出力を維持できることから高い加速Gをより長く体感することができる。また、新型リーフは独自の振動抑制技術により振動のないパワフルかつスムーズな加速を実現した。

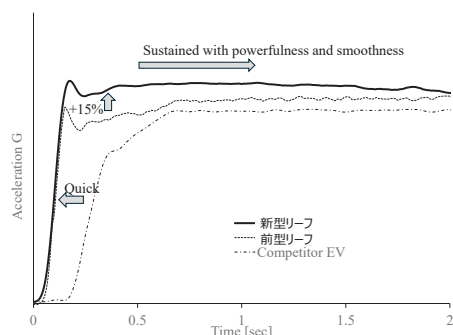


図23 Acceleration G profile comparison at standing start

さらに、新型リーフは、アクセルペダル開度に対してリニアに応答する特徴を持っている。図24にアクセル開度に対する加速度Gをプロットしたグラフを示す。ここで示す加速Gはアクセルペダルを踏み込んでから一定時間後の加速度をプロットしており、ドライバのアクセル操作量に対するGの追従性を示している。運転操作による、アクセルペダルを踏み込んだ時の加速Gの追従性が低開度からリニアな特性であることがグラフから読み取れる。これは過去の電動車で蓄積した自然なドライブフィールを体感するための指標としている領域のほぼ中央を狙って適合している。

ドライバが使用する頻度が高い25%までの領域が最も特徴的で、競合A(■)は急激に加速Gが立ち上がるためペダル操作に対して扱いづらい特性となっている。また、競合B(▲)、C(+)は、ゆっくりと加速Gが立ち上がるため踏み込む量に対して反応が緩やかであり、アクセルの踏みこみ操作頻度が多くなってしまう。それに対して、前型リーフにおいても日産独自のモータレスポンスの良い制振制御によってリニアな特性を実現してきたが、新型リーフでは高回転領域まで最大出力を維持しているため、低開度から50%付近の高開度まで広範囲においてリニアリティを確保することができた。その結果、誰もがアクセル操作がしやすくストレスフリーな運転しやすい車両となっている。

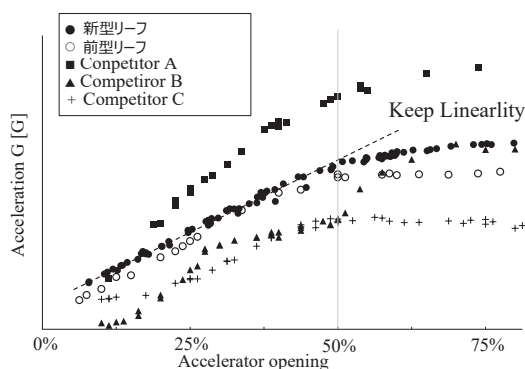


図24 Acceleration G vs Accelerator pedal opening

6. まとめ

新型リーフに搭載したEVパワートレインは、モータ・インバータ・減速機を一体化した3-in-1 構造を採用し、小型化・軽量化を実現した。また、主要コンポーネントを第3世代 e-POWERと共有することで、コスト低減と開発効率の向上にも寄与している。

モータは、全回転領域での効率改善を図ったほか、構造の最適化によりトルク密度を向上させた。また、インバータは、両面冷却構造のパワーモジュールを採用し、熱抵抗を低減するとともに、インダクタンス低減策によりスイッチング損失を抑え、インバータ効率を向上させた。さらに、減速機では潤滑解析に基づくギア配置の最適化により、オイル攪拌ロスを低減した。

加えて、3-in-1 構造により、剛性向上と芯ずれ低減を実現し、ノイズ・振動を抑制した。また、モータの最大トルクを向上したことで、発進時の加速力が強化され、より力強い走行が可能となった。レスポンスの改善は、アクセル操作に対する応答性の最適化によるものであり、ドライバビリティの向上に貢献している。

これらの成果は、新型リーフの総合的な性能向上に大きく寄与している。

著者



丸山 渉



小山 良浩



吉田 進



室田 浩平



並木 一茂



佐藤 誠一



犬田 行宣



新井 和彦



山中 基嗣

特集2:3代目リーフを支える技術

7. 高効率な車両パッケージ：
車両サイズとファストバックスタイルとの調和

足立 浩哉* 沼田 淳太郎*

1. はじめに

初代日産リーフは、量産EVとして多くのお客様に満足してもらえる様に、適度な大きさの一般的なスリーボックスのハッチバックスタイルとした。(図1)

そして、世界的な地域の違いや普及のスピードが不透明ではあっても、各自動車メーカーが多くのEVを開発する事が予測できた中、差別化が必要であった。そういった中、空力性能、車両サイズや居住性といった重要な要素を鑑みながら、他ではあまり類をみないスムーズできれいに流れるルーフラインを持つファストバックスタイルの3代目新型日産リーフを、どのように開発したか、ポイントを解説する。



図1 初代日産リーフ



図2 ファストバックスタイルのルーフライン

2. 新型日産リーフ車両パッケージングコンセプト

世界中のより多くのお客様にEVを提供したい、初代から続くこの思いから、適度な大きさに大人4人(定員5名)が無理なく乗る事ができ、必要な荷物も十分搭載できる実用的な居住空間を踏襲しつつ、より扱いやすくする為に前型より120mm短くし、一般的なハッチバックの全長とほぼ同レベルの4360mm(日本仕様)とした。また全高は日本の立体駐車場での制約になる事がある1550mmとした。(注。プロパイロット2.0仕様は大型シャークフィンアンテナの為1565mm)一方、EVでの高速走行時の電費悪化は、空力性能が大きく影響しており、短い全長の中では一般的にハッチバック形状になる中、ファストバックスタイルとする事できれいに風を流すと共に競合車に対して差別化させた。

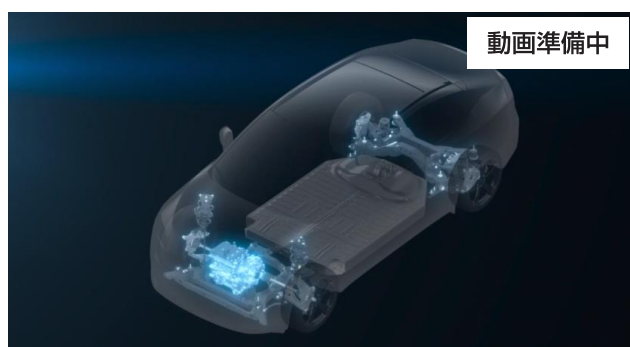
3. 車両パッケージング開発

静粛性や動性能、バッテリー容量等のEVとしての基本性能の大幅UP、そして前述のコンセプトを実現させるために、CMF-EVプラットフォームを適用した。そのプラットフォームをどの様に活用し車両をパッケージングとしたか、キーとなる具体的なポイントを紹介する。

3.1 CMF-EVプラットフォーム採用とアリアとの差別化

車両の性能に大きく影響する土台となるプラットフォームは、強電バッテリー容量UPの為のスペース確保や質量増対応、操縦安定性や音振性能の向上、さらには最新EEアーキテクチャによる自動運転やエンターテインメント機能を提供する為、現行リーフのプラットフォームの更新ではなく、すでに日産アリアで市場に投入しているCMF-EVプラットフォームを活用した。(動画1)

* 第二製品開発部



動画1 CMF-EVプラットフォーム

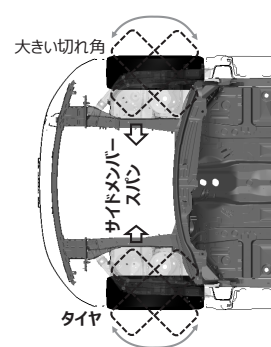


図4 タイヤ切れ角

日産アリアは新型日産リーフよりも大容量の強電バッテリーを持ち、十二分な室内空間を持っている一方、新型日産リーフは全長を200mm以上短く、全高含めてコンパクトにし、強電バッテリー容量も適切なサイズにし差別化させる事とした。

具体的にはホイールベースを日産アリアに対し85mm短縮、それに伴いホイールベース間に収める強電バッテリーの前後長も短縮させた。高さ方向では、フロントとリヤのフロアに対するシート高さを日産アリアに対して低くし、乗降性を含めたドライビングポジションを現行リーフ相当にし、十分なヘッドルームを確保しつつ、全高を1550mmとした。また、適用するタイヤサイズは、想定する車両質量に対し十分に耐えられる負荷能力を持ち、デザインやコストのバランスを考慮し、日産アリアに対し直径を50mm小さく、旧型リーフに対し45mm大きいサイズとした(図3)。通常タイヤが大きくなると、タイヤを転舵すると車体骨格と干渉し最小回転半径は大きくなる傾向だが、CMF-EVプラットフォームの場合、小型のパワートレインを最大限活用し車体骨格のサイドメンバーをより内側に配置されているため、旧型リーフの17インチホイールの場合の最小回転半径5.4mに対し、新型日産リーフは5.3mになっており、より小回りが利くようにした。(図4)

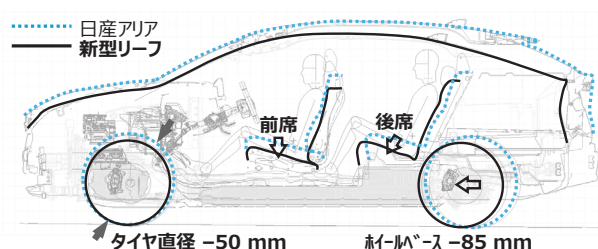


図3 日産アリアとの違い

3.2 広々さが感じられるフロント席

ファストバックスタイルによる差別化と同時に、フロント席も競合車に対して差別化を行った。CMF-EVプラットフォームのHVACの主要ユニットはモータールーム内にあり、インストルメントパネル中央部の室内への突出を抑えつつ、収納部も備える事ができる。(図5)

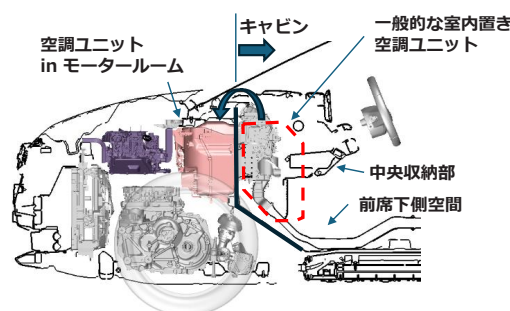


図5 空調ユニット in モータールーム

この構造を活用し、フロント席足元の車両中央部をフラットにし、上下に薄いシフトスイッチをインストルメントパネルに配置する事で、フロント席からこの部分を見た時出っ張らないようにし、視覚的に上下に薄いインストルメントパネルとした。かつセンターコンソール前側を必要最低限の高さとする事でより一層広々としたフロント席を実現させた。さらに、インストルメントパネルとコンソールの間隔を人の足を無理なく通せる隙間にする事で、座っている側のドアが狭くて開けにくい場合でも、隣の席へ移動できる利便性も付与した。(図6)



図6 薄型インストルメントパネル

3.3 車両サイズ、スタイル、各性能を調和させた設計

新型日産リーフでは、車両パッケージングコンセプトに則り、大人4人が無理なく移動できる旧型リーフと同等の適切な居住空間を目標にした。具体的には有効室内長（アクセルペダル〜リヤヒップポイントの距離）を旧型と同等とした。一方、CMF-EVプラットフォームの採用により、前側にあった充電口をフロントサイドへ移動、よりコンパクトになったモーターユニットによりフロントオーバーハングを200mm短くでき、5.3mの最小回転半径と相まってより取り回ししやすい車両とした。（図7）

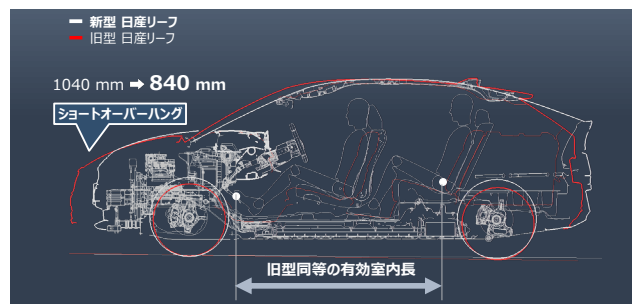


図7 前後車両パッケージング

一方、高さ方向では、日本市場での機械式立体駐車場において制限になる事を鑑みて、全高を1550mmとした（プロパイロット2.0搭載車両は1565mm）。そしてきれいに流れる滑らかなラインでファストバックスタイルを実現させつつ、以下①~④の様な各性能や要件について特に熟慮した。①必要最低限必要な直接後方視界の上下挟み角をこれまでの開発実績から6度に設定、②後席のヘッドルームは大体格の人が座れる頭上空間を確保、③空力性能としてもっとも抵抗が少なく風が流れるバックドア傾斜角を17°に設定。④目標としたねじり剛性といった車体剛性に必要な骨格やヒンジ等の構成部品の最小限のスペース。これらの要件を、リヤオーバーハング等を調整しながらすべて調和させたパッケージングを実現させた。

特に、後席は内装トリムの絞り成型限界までルーフヘッドライニング形状を深く成型し頭上空間を確保した。さらに通常のガラスルーフではなく、調光式を採用し通常ある物理的なシェードの為のロール部分無くす事で目標の全高や頭上空間を犠牲にせずにガラスルーフを設定した。（図8）

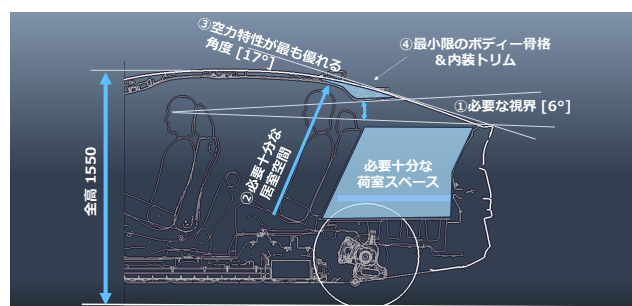


図8 後方車両パッケージング

3.4 使い勝手を向上させたラゲッジ

ラゲッジ開口形状を現行に対して広くスクエアにすることによって、積載物の出し入れし易さを向上。下部の角Rをウェザーストリップ追従限界のR150mmまで小さくし、パーティングラインの造形をコントロールすることによって達成した。

上部の角は積載性への影響が小さいため、2辺を斜めに、Rを大きく繋ぐことによりボディ剛性の向上を計った。（図9）

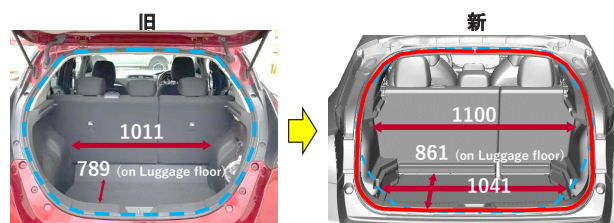


図9 ラゲッジ開口形状

また、RRシートを倒さず、9.5インチゴルフバッグを重ねずに2個横置きできることを目標に定めた。初めにヘッドを入れる左側の掘り込みを大きくするため、大きなユニット類は車両右側へ集め、左側はユニットを置かずに車体を外へ凹ませた。また、車体骨格を小さくし、開口入り口側面のトリム断面をゴルフバッグ軌跡に合わせて逆ハの字にすることで、この目標を達成している。（図10）

前型よりも使いやすく、無駄のない、効率的な荷室スペースを確保した。

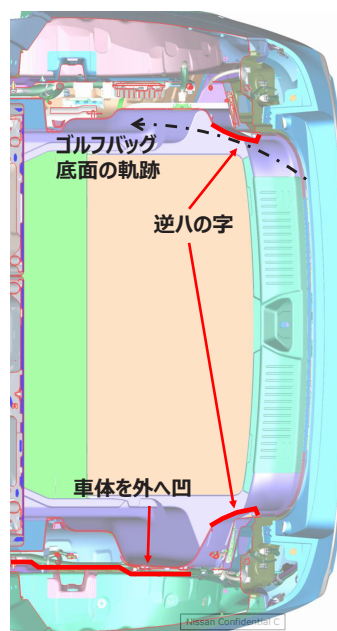


図10 ゴルフバッグ通過軌跡のミニマム化

更にRRサスペンションをトーションビームからマルチリンクにすることにより、バッテリー容量増に対応し性能を向上。

加えてショックアブソーバーの位置を下図のように配置することで荷室幅を広くでき、使い勝手が向上した。(図11)

上記の適切な計画により、ゴルフバックを重ねずに横に2個入るようにした。(図12)

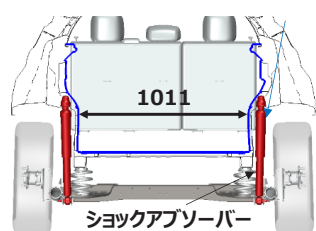
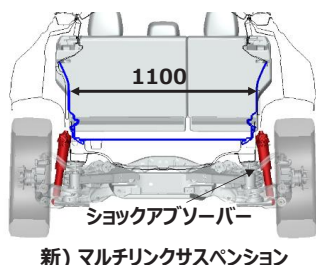


図11 荷室幅とRRサスペンション



図12 ゴルフバッグ2個積載 (フレキシブルボード有り)

4. おわりに

CMF-EVプラットフォームを採用した車両の中で、もっとも多くの方に受け入れてもらえる車両サイズと居住スペースを目指した。その場合、通常であれば、よりなじみ深い車両スタイルの方がリスクは少ない。そんな中、これから増えるであろう競合EVに対し、より空力性能を向上させ航続距離を伸ばし、違った車両スタイルで差別化する事で競合EVに埋もれない事を目指した。ルーフからバックドアへかけてきれいに流れるラインをもち、床下に必要十分な強電バッテリーを積みつつ、限られた全長、そして高くはない全高の中で必要な居住性等さまざまな要件を成立させることは大きな挑戦でもあった。プラットフォームを有効に活用し、調光ガラスルーフ等、技術的に優位な点があったものの、エルゴノミック、商品要件、技術的な理想等、それぞれが複雑に影響しあう中、ベストなバランスで調和させられたと考えている。まだまだ続くEV普及過渡期中、魅力的なEVの代表として、より多くのユーザーの方にお乗りいただけたら幸いである。

著者



足立 浩哉



沼田 淳太郎

特集2:3代目リーフを支える技術

8. 高効率な車両パッケージ： 新型リーフへの調光パノラミックガラスルーフ採用

藤崎 裕司* 中澤 達哉* 星野 遼平* 川島 直樹**

1. はじめに

電気自動車では大容量バッテリーをフロア下に配置しているため、ICE車に対して必然的にフロア位置が高くなる事で乗員の頭上空間が狭まり、乗員が圧迫感を感じてしまう。

従来のパノラミックガラスルーフは、日光を取り込み視覚的に解放感が得られる一方で、車内温度を快適に保ちつつ、眩しさを回避するためにサンシェードを設定している。しかし、サンシェードを設定する事によりそれを稼働させるレールや巻き取り装置等の機構部品が必要となり、広い頭部空間を確保する事との両立が大きな課題となっていた。

そこで、今回ガラス表面に2種類のコーティングを施すことによって外部との熱交換を最小限に抑えたパノラミックガラスルーフを使用することでサンシェードレスを実現し、開放的な車内空間と快適な車内温度を両立させる事に成功した。

新型リーフにて日産初採用となる調光パノラミックガラスルーフは、高い遮熱性能により、サンシェードレスとして車体の軽量化(≒-6kg)にも貢献している。それだけでなく、外部からの熱を最小限に抑える且つガラス自体が高温になることを抑制したことにより、車内温度上昇を防ぎ、余分なエアコン使用を抑えることで、電費改善にも貢献している。

ボタン一つで透過光を制御し、車内の光環境を調整する機能を持ち合わせる事で、お客様へ体験したことが無い新しさ、快適さ、体験価値を提供する。

2. 調光パノラミックガラスルーフの概要

調光パノラミックガラスルーフは、外板ガラスと内板ガラスの間に中間膜を挟んだ合わせガラスで構成される。

一般的な合わせガラスとは違い、中間膜に加えて Polymer Dispersed Liquid Crystal Film (以下、PDLCフィルム) が挟まれている。

PDLCフィルムの特徴としては、内部に存在する液晶が、非

通電状態では向きが揃っておらず、フィルム内を通る光が散乱することで光を通さず不透明(調光)状態となる。一方で、通電状態ではフィルム内の液晶が均一に整列し、フィルム内を通る光は散乱せず透明状態となる(図1)。

このPDLCフィルムによって、スイッチ操作で電気を通電状態/非通電状態を切り替えることで、透明/不透明の切り替えが可能となっている。

この原理を利用して、乗員は太陽光が眩しい時にはボタン一つの簡単操作で透明/不透明を調整可能となる。

調光パターンは4種類(①全て調光、②前席のみ調光、③後席のみ調光、④すべて透明)の切り替えが可能となっており、自在に車内環境に応じた快適空間を実現することができる(図2)。

さらに、本機構はメモリー機能を搭載しており、一度電源オフをした後に再度電源オンにすると、オフにする前の状態へ自動で戻る。

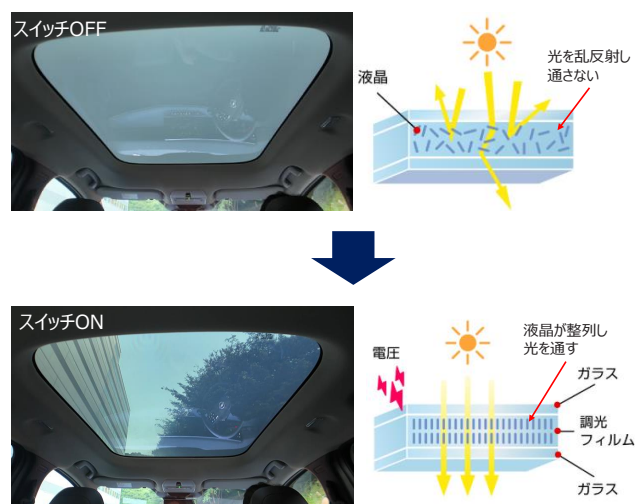


図1 調光機構仕組み

* 株式会社 日産オートモティブテクノロジー

** 車体技術開発部

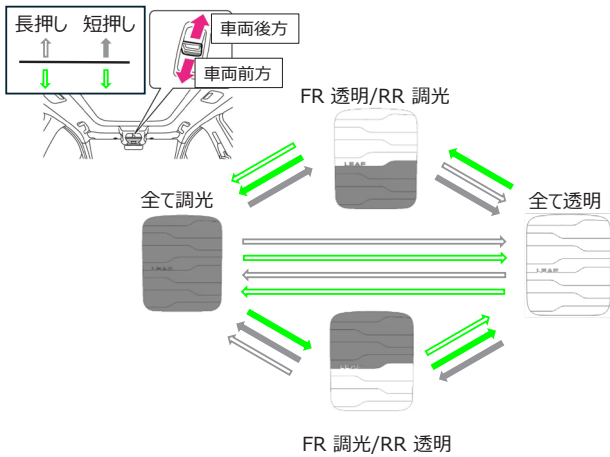


図2 4種類の調光パターン

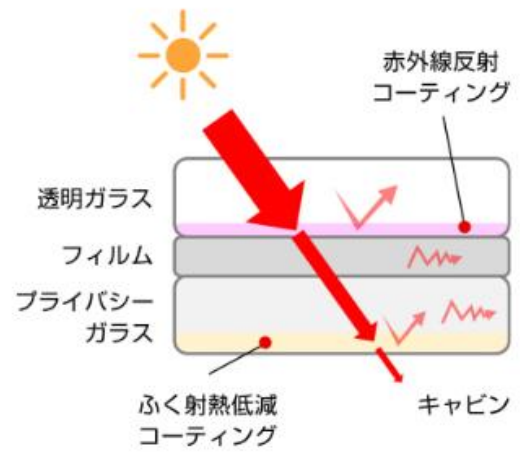


図3 2種類のコーティングによる遮熱原理

3. 調光パノラミックガラスルーフが提供する価値

3.1 快適な車内温度（高い遮熱・断熱性）

サンシェードレスとするには日射熱や外気の影響を抑制する必要があります。この問題についてガラスに施した2種類の特殊コーティングによって、調光有無に関わらず高い遮熱・断熱性を実現することで解決した。

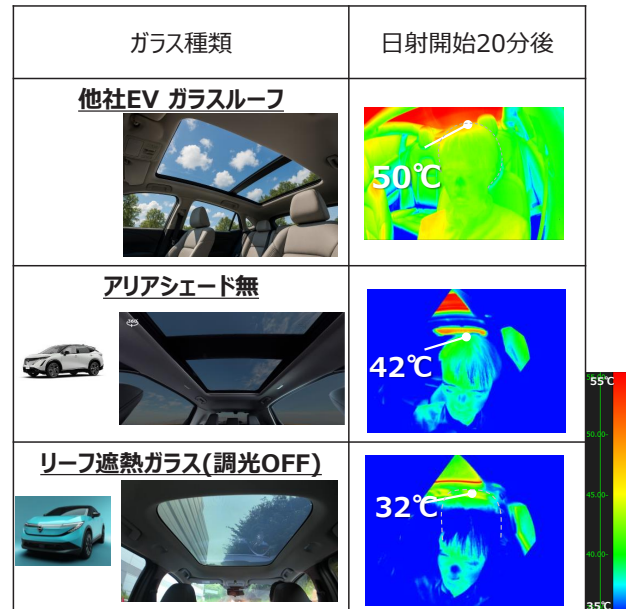
従来の日産車のガラスルーフではプライバシーガラスが太陽エネルギーを吸収するのみで、熱が車内に伝わってくると共にガラス自体が熱を吸収&放熱する為、車内が高温になる。一方、調光遮熱パノラミックガラスルーフは外板ガラスの車内面に赤外線反射コーティング（以下、IRコーティング）を施して日射熱を反射し、内板ガラス車内面にLow-eコーティングを施すことで輻射熱を低減している。これにより、車外からの熱を反射かつ低減することで車内に伝わる熱を最小限に抑えることができる。

2種類のコーティングはそれぞれ効果が異なるため、正しい順番で配置をしないと、遮熱・断熱効果を正しく発揮できない。

車外から透過してくる日射熱だけでなく、日射によるガラス自体の温度上昇が車内温度に影響を与えるため、この技術は快適な車内温度の実現に大きく貢献している（図3）。新型リーフでこの技術を採用するにあたり、遮熱性能の差が視覚的に分かるサーモグラフィーを使用した熱実験を行った。

実験条件としては北米における8月の直射日光相当である1050Wで日射し、車内はエアコンを24℃設定で行った。この実験結果では、20分後に新型リーフと他車で頭部の温度において20℃程度の差が出る事が分かっている（図4）。

この結果からも一般的なパノラミックガラスルーフに比べて高い遮熱・断熱性能を有していることが分かる。



遮熱効果比較：頭頂部表面温度

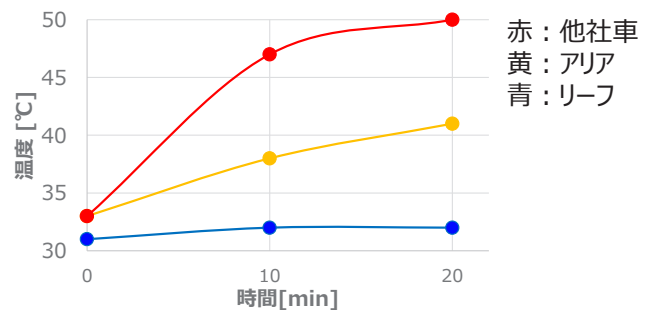


図4 遮熱・断熱性実車実験

3.2 広い室内空間

電気自動車はバッテリーがフロア下に設定されるため、ICE車に比べてシート位置が高くなり、頭部位置も高くなるため、室内空間という視点で不利となる(図5)。

さらに、そこへガラスルーフを装備する場合、暑さ回避のため、サンシェードをセットで装備する必要がある、室内空間が下からも上からも狭められることになる。

サンシェードを設定するためにはオープン/クローズ時にシェードが可動するレール及び巻き取り用の電子機構部品をレイアウトするスペースの確保が必要となる。

今回の調光パノラミックガラスルーフは遮熱・断熱性能を高めたことにより、サンシェードレスを実現した。

シェードによって取られていた頭上スペースを最大限頭部空間として活用できるため、サンシェード有り仕様に対して約30mm程度空間を拡大することができた(図6)。

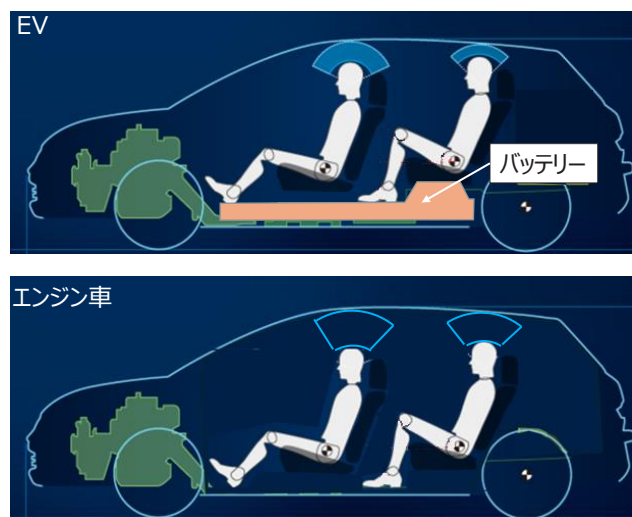


図5 エンジン車とEVとの室内空間の違い

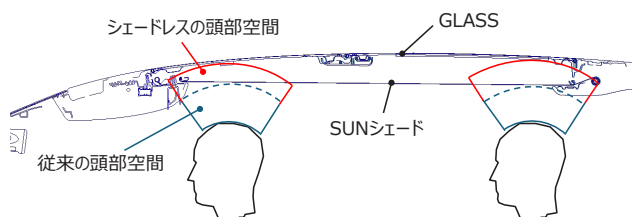


図6 サンシェード有無による頭部空間

3.3 最新技術によるワクワク感

調光機能にデザイン性を持たせることで、遮熱・断熱・防眩での快適空間だけでなく、お客様が日常使用の中でワクワクするような、高揚感や遊び心を加えることを目指した。

調光の切り替わりには9分割された調光アニメーションを採用しており、滑らかな切り替えを可能にしている。

分割された1つ1つをセグメントと呼び、このセグメントの形状にもデザインを施している。これは伝統的な和柄である霞模様をモチーフにしており、ガラスルーフだけでなくセンターコンソールなどの内装パネルにも統一感を持たせた模様がさりげなく施されている。(図7)

さらに、調光パターンの中に“リーフ”のロゴを織り込むことで、後席のみ調光とした場合は晴れた日に座席に映る“リーフ”影文字を楽しむことができる。(図8)

調光パターンのカット形状には自由度があり、車種のコンセプトに沿って様々なデザインを設定可能となっている。

そのため、この技術は今後の魅力ある車づくりにデザイン面でも貢献することができる。

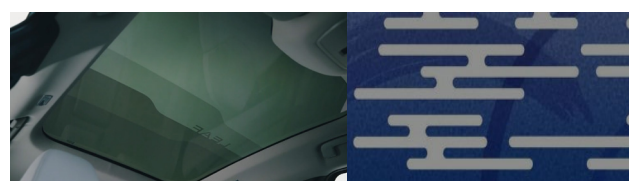


図7 調光パターンデザインと霞模様



図8 晴れた日に座席に映る“リーフ”ロゴの影

4. おわりに

今回採用した調光パノラミックガラスルーフには、デザイン性と機能性を両立させるために、多彩な工夫と技術革新が施されている。デザイン面では、霞模様や“リーフ”のロゴといった視覚的な要素を取り入れることで、見た目の美しさと遊び心を追求している。機能面では、調光パターンを4段階に切り替えることが可能で、スイッチ一つで透明・不透明の調整を実現。また、高い遮熱性・断熱性能を持つコーティング技術を採用することにより、社内外含めた他ガラスルーフ搭載車と比較しても優れた遮熱・断熱性能を有していることが分かる。それに加え、シェードレス化により頭部空間を広く確保することを実現し、車内の快適性の向上に大きく貢献している。

調光パノラミックガラスルーフの魅力的な価値を維持しつつ、機能の最適化を図ることで、より多くのお客様にご体験いただけるようリーフの車格への採用を図った。

日産は今後も技術革新を進めながら、より良いクルマづくりに取り組んでいく。

著者



藤崎 裕司



中澤 達哉



星野 遼平



川島 直樹

特集2:3代目リーフを支える技術

9. CCS(コネクテッドカー&サービス)/IVI:テレマティクスデータとMBDを活用したインテリジェントルートプランナー開発

土川 晴久* 松井 弘毅* 日置 文章* 川喜田 英士** 川村 文洋***

1. はじめに

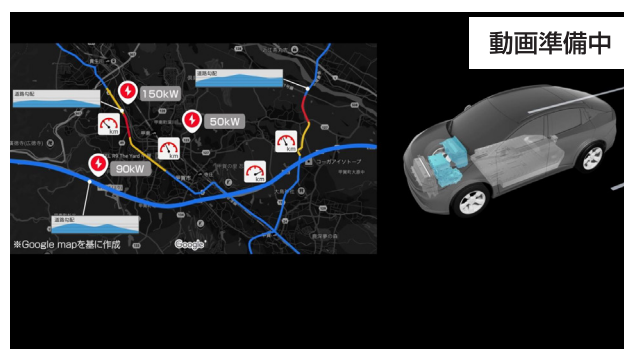
電気自動車(EV)の普及に伴い、ユーザーの安心感と利便性向上のため、目的地到着時のバッテリー残量(State of Charge :SOC)を正確に予測することが重要な課題となっている。日産では、アリアより導入されたインテリジェントルートプランナーを用いて走行経路の消費エネルギー予測を行ってきたが、近年、新技術やデータ活用により、予測精度を大幅に向上させることに成功した。

2. 3代目リーフのCCS
(コネクテッドカー&サービス) /IVI概要

NissanConnect インフォテインメントシステムは、Google 搭載となり、Google マップが利用可能なことはもちろん、ナビゲーション機能だけでなく、スマートフォンのような情報やエンタメ機能も車内でシームレスに利用できるようになっている。Google アカウントを同期することで、スマートフォンなどで使い慣れたGoogle マップの場所やお気に入りのルートなどを車内でスムーズに表示・利用できる。地図情報がオンラインで更新されるため、常に最新の地図でナビゲーションができる(OTA 地図自動更新)。Apple CarPlayやAndroid Autoへの対応に加え、ネット動画に対応するなど、充実したエンタメ機能が提供されている。

今回、Google マップと連携したインテリジェントルートプランナーを新型リーフに搭載した。目的地のルート案内に加えて、リアルタイムの交通状況やバッテリー残量に応じ、途中で立ち寄るべき最適な充電スポットを自動で案内する。目的地に到達するのに充電が必要な場合、どこで充電すれば良いかを考慮したルートを提案することで、航続距離に対する不安を軽減する。

これらの進化により、ナビゲーションの使い勝手、情報量、エンターテインメント性が向上し、より快適で便利なドライブを実現する。



動画1 インテリジェントルートプランナー

従来のインテリジェントルートプランナーは車両特性や一般的な交通情報に基づいてエネルギー消費および充電時間予測を行っていた。今回、Google マップ情報の活用により、道路勾配、混雑状況を踏まえた車速情報、充電器出力情報の利用が可能となった。それに加えて、3代目リーフのインテリジェントルートプランナーでは、テレマティクスデータとMBD (Model Based Development) を用いて目的地到達時点のSOCおよび充電時間の予測精度向上を実現した。

(1)目的地到達時点のSOC予測精度向上

到着予測SOCは車両情報を基にGoogle Automotive Services(GAS)にて演算されており、入力する車両情報の精度が肝要となる。GASの到着予測SOC演算機能に入力するパラメータを図1に示す。Googleマップの情報に基づいた予測車速、勾配情報に加え、車両特性に合わせた走行抵抗、空調・補機電力、バッテリー損失(充放電時に失われるエネルギー)等のパラメータを用いている。

* 車両計画・性能計画部 ** コネクテッドカー & サービス開発部 *** パワートレイン・EV バッテリー戦略 & 製品技術開発部

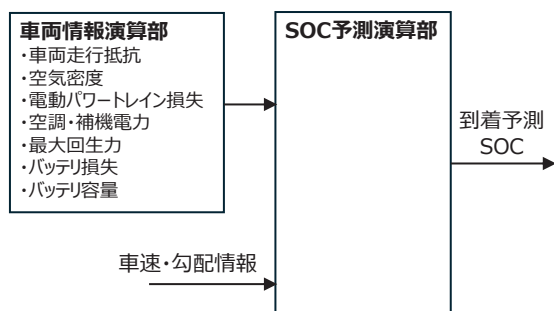


図1 SOC予測演算ブロック図

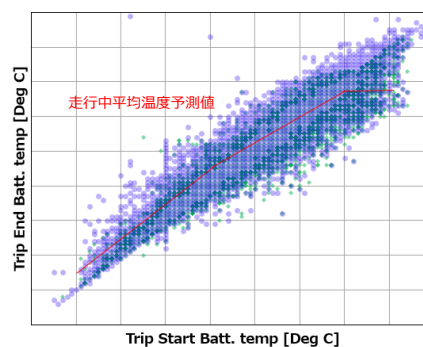


図3 Trip前後のバッテリー温度テレマティクスデータ

これらのパラメータは走行する条件に応じて変動するため、その環境変動を考慮したパラメータを演算することが予測精度向上につながる。そこで、初代リーフ発売以降8年間に蓄積した各地域の日産EV車両のテレマティクスデータを用いることで、その入力パラメータの精度を高める取り組みを行った。条件によって変動する消費電力の1つに空調電力が挙げられる。図2は、市場の空調電力のテレマティクスデータを分析した例だが、空調電力は外気温によって変動する。これらの市場で蓄積したテレマティクスデータを基に、使用される環境における温度補正を反映した高精度エネルギー予測マップにて、SOC予測演算の精度を向上させている。

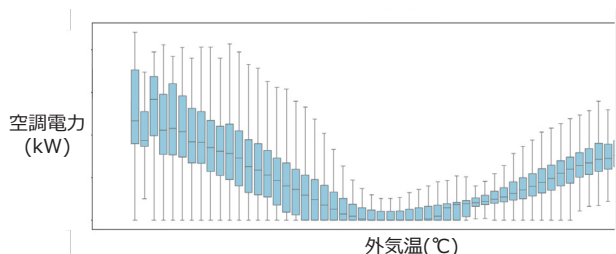


図2 空調電力テレマティクスデータ

また、バッテリー損失は、バッテリーの入出力負荷と温度に依存する。図3は、走行開始時のバッテリー温度と走行終了時のバッテリー温度を市場での使われ方を統計的に分析した例だが、この分析結果から走行時のバッテリー温度をモデル化した。さらに車速プロフィールの予測精度向上によりバッテリーの入出力電力を適正に算出することができ、バッテリー損失の推定精度が向上した。また、バッテリーは使用とともに容量劣化が生じるため、劣化容量をSOC予測演算に反映させる必要がある。バッテリー劣化要因(温度・入出力負荷・SOCレンジ・日数)と市場の使われ方を統計的に分析し、各劣化要因の寄与率を見直し、劣化後のバッテリー容量推定精度を向上させた。

このように市場テレマティクスデータを活用し、車速・勾配・外気温・空調使用、バッテリー温度・バッテリー劣化状況など複数の要素を統合した消費エネルギー演算手法を取り入れることで、走行時の消費エネルギー予測精度が向上し、目的地到着時SOC予測演算精度を向上させた。

(2) 充電時間予測精度向上

バッテリーの充電時間は充電器出力、充電開始時のSOCおよびバッテリー温度に大きく影響を受ける。上記(1)の精度向上により到着時の正確なSOCを推定し、また、図3の統計解析から充電器到着時のバッテリー温度を予測、そしてルート上の急速充電器の出力特性を反映させることにより、急速充電時間の予測精度を大幅に向上させた。

これら日産独自のテレマティクスデータを用いた新技術の導入により、実際のユーザーの走行状況や環境を詳細に反映した消費エネルギー予測と充電時間予測が可能となり、到着地点の予測SOCと到着予想時間の精度向上を実現した。

4. MBDを用いた効率的な評価手法の構築

本開発では、IVIユニット台上プラットフォームを活用し、世界各地のGoogle APIデータをリアルタイムに取得可能な評価環境を構築した。この環境により、従来の実車を用いた現地評価に依存することなく、広範な地域の交通情報や環境データを取得できる(図4)。さらにこれらのGoogle APIデータを基盤として、MBD手法を用いたSOC予測の机上シミュレーションを実現した。これにより、実車による現地調査を行わずとも、多様な環境条件や走行シーンにおける評価が可能となり、開発効率を向上することができた。



図4 IVIユニット台上評価

さらなる開発効率化の為に、新たにSOC予測精度の評価指標を策定した。評価指標の策定にあたっては、(1)走行パターンの設定、(2)評価条件の設定の2つのアプローチで取り組んだ。

(1) 走行パターンの設定

SOC予測精度にとって厳しい条件を特定するため、走行シーン別の予測難易度を分析した。その結果、高速走行シーンを最も厳しい条件と抽出した。

高速走行シーンが厳しい理由は第一に、ユーザー毎の車速予測の難しさである。高速道路では道路環境への依存度が低く、ユーザーの運転特性への依存度が高いため、地図情報から得られる予測車速に対して実際の車速の誤差が大きくなる。第二に、車速誤差による電費への影響感度である。走行抵抗のうち空気抵抗は車速の2乗に比例するため、高車速域では車速の予測精度が消費エネルギー予測精度へ与える影響が大きくなる。これらの理由から、評価指標には平均的な走行条件に加えて厳しい条件である高速走行を含めた走行パターンを、市場テレマティクスデータを基に設定した。

(2) 評価条件の設定

SOC予測の誤差要因を網羅的に抽出するため、今回のインテリジェントルートプランナーシステムのFTA (Fault Tree Analysis) の手法を用いた要因分析を実施した。SOC予測制御モデルを基に、各構成要素について誤差要因を分析し以下の3カテゴリに分類した(表1)。

表1 SOC予測誤差要因のカテゴリ

カテゴリ	誤差要因(例)
環境条件	外気温(設定時/走行中)、風向・風速、路面状態
システム条件	空調設定、アクセサリ類設定
車両条件	仕様、重量(荷物量、乗員体重)、タイヤ空気圧、車速

この分類により、シミュレーションで設定すべき評価条件の項目を体系的に定義することができた。

評価条件の検討範囲は、ユーザーの実際の使われ方をカバーするため、テレマティクスデータおよび気象データに基づいて設定した。車速誤差については、テレマティクスデータを分析し、地図情報に対する実車速のばらつき幅を設定した。風速・風向については、各仕向地の気象統計データから設定した。

これらの評価指標とシミュレーションを用いた机上検証により、各誤差要因の影響度を定量的に把握することが可能となり、さまざまな環境に対して効率的かつ体系的な検証を実施できるようになった。これらの取り組みにより、グローバルな環境条件下におけるパラメータ設定や、実車適用に向けた検証・評価の効率化に寄与している。

5. まとめ

インテリジェントルートプランナーはアリアより採用されてきた日産の技術だが、日産独自のテレマティクスデータを用いた最新のデータ解析および外部データ連携技術の導入によって、目的地到達時点のSOCおよび充電時間の予測精度を大幅に向上させた。これにより、EVユーザーが安心して走行計画を立てられ、快適に利用できるサービスとなっている。今後も技術革新や解析手法の改善を継続し、EVユーザーの利便性向上に貢献していく。

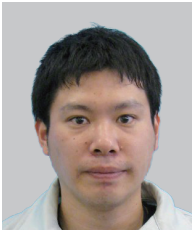
著者



土川 晴久



松井 弘毅



日置 文章



川喜田 英士



川村 文洋

特集2:3代目リーフを支える技術

10. CCS (コネクテッドカー & サービス) /IVI: EV エントランス画面

竹内 香織* 小山 裕貴**

1. はじめに

近年、スマートフォンが日常の情報ツールとなり、ユースケースやUXの変化と共に増加する車内インフォテインメントの情報や、運転支援技術の進化と共に多様化する車両システムの情報に運転中でもアクセスしやすいヒューマンマシンインターフェイス (以下HMI) として、統合型インターフェイスディスプレイと直感的グラフィカルユーザーインターフェース (以下GUI) を採用した。(日産技報 #88に論文掲載)

本稿では、新型リーフで採用した、EVに関する主要な車両情報や充電などのEVならではのコンテンツを直感的で使いやすくなるGUI技術について述べる。

2. EV 情報の統合画面

新型リーフでは、お客様の様々な充電に関するユースケースに応えるため、“充電完了とするバッテリー充電量を任意に設定できる機能”や“普通充電時に充電電流の最大値を任意で設定できる機能”を備えており、IVI画面上で操作可能とした。また、上記の新機能の他にも、タイマー充電やタイマー空調といった前型リーフも備えている機能やバッテリー充電量や航続可能距離といったEV特有の情報はユーザーが日常的に使用するため、これらの機能や情報をIVIの1つの画面に集約した統合画面 (EV エントランス画面) を開発した。



図1 EVエントランス画面



図2 充電電流の最大値設定画面

3. 進化したHMI

3.1 EV専用ウィジェット

従来、EVメニュー画面へのアクセスはアプリメニュー経由であったが、新型リーフではアクセシビリティを向上させる為、ホーム画面上にEV専用ウィジェットを新たに設定。本ウィジェットにはバッテリー充電量と後続可能距離を表示し容易な情報取得を可能とし、かつ今回新たに設定したEV エントランス画面 (EV メニュー画面) へはタップすることで到達可能とした。

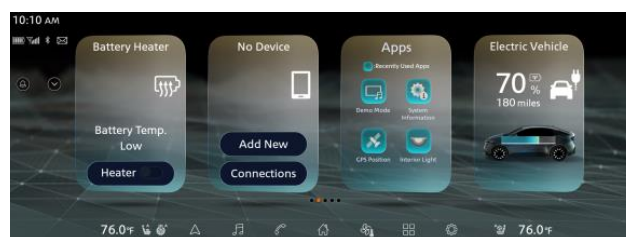


図3 EV専用ウィジェット

3.2 各種EV設定メニューへの入口スイッチ

新設したEV エントランス画面では、上部に各種設定メニューへの入口スイッチを配置した。本部位の仕様決定にあたってはユーザビリティはもちろん、今の時流に合う表現とのバランスを考慮し決定した。

下記はタイマー充電を設定することを想定した場合のHMI評価結果である。Concept Cが最終仕様である。

* コネクテッドカー & サービス開発部 ** 車両計画・性能計画部



図4 Concept A



図5 Concept B
Aに対し、スイッチ枠線を削除



図6 Concept C
Aに対し、スイッチ枠線 及び カテゴリ表示を削除

タスク評価では、カテゴリ表示がなく且つスイッチ枠線のないConcept CはA、Bと比較し分かりやすさ、見つけやすさが劣るが、印象評価(好き嫌い)ではCが勝る。操作タスクの完了率は全てのConceptで100%であること、また被験者にはスマートフォンの操作に慣れていない人が約20%を占めており、新型リーフのメインユーザー像(ITリテラシーは高い人が多い)を考慮した上で、Concept Cを最終仕様として採用した。

HMI 評価結果

タスク評価: タイマー充電を設定する

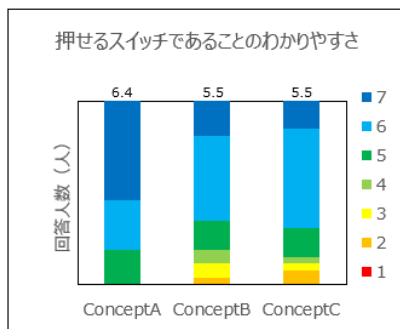


図7 押せるスイッチであることのわかりやすさ

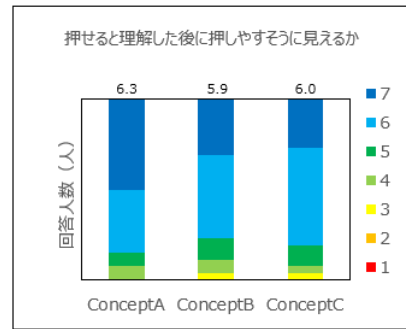


図8 押せると理解した後に押しやすそうに見えるか

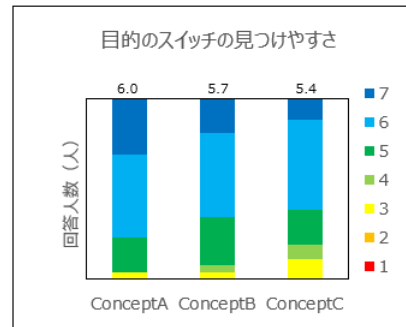


図9 目的のスイッチの見つけやすさ

印象評価: 各 Concept のランキング / スコアリング

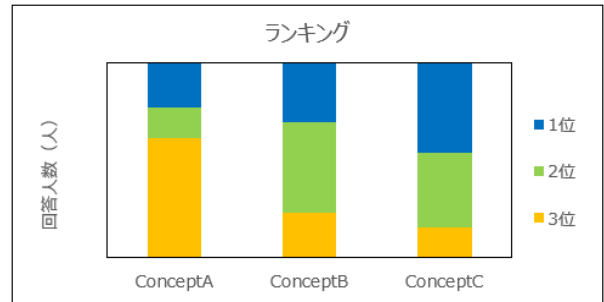
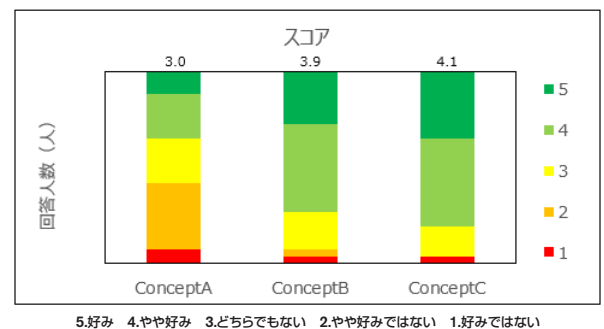


図10 好き嫌いのランキング



5.好み 4.やや好み 3.どちらでもない 2.やや好みではない 1.好みではない

図11 好き嫌いのスコア

3.3 バッテリー充電量上限設定

新型リーフより、充電効率を重視するお客さまや下り坂での回生によるバッテリー充電を考慮したいお客さまなど、充電時の使い勝手向上を目的として、バッテリー充電量上限値を設定できる機能を追加した。

上限値設定操作においては、直観的に操作を完了できるよう、充電量ゲージを画面上に大きく配置しそのゲージ上で指をスライドすることで上限値を設定可能なUI（ユーザーインターフェース）とした（図12）。

上限値を設定する操作部はゲージの下半分に配置することで、設定された値が操作中にも確認可能なレイアウトとしている（図13）。

操作部の大きさは、操作性及び市場受容性を考慮し決定した。タッチパネルスイッチ操作性実験結果より、20mm以上であれば誤操作率0%、一方で12mm以上であれば市場受容性が見込まれる。ディスプレイのサイズ、配置するエレメント数、操作性を考慮し、誤操作による不満リスクのない直径13mmの大きさに決定した（図14）。

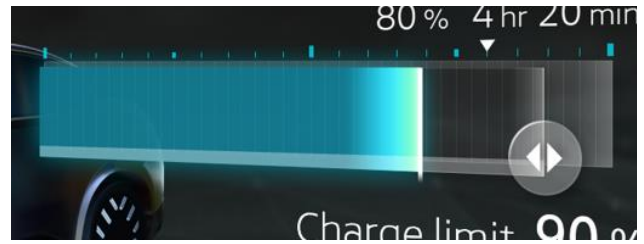


図12 バッテリー充電量ゲージ

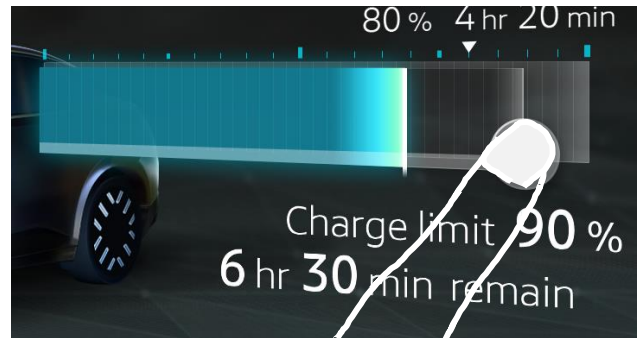


図13 バッテリー充電量上限値設定操作部

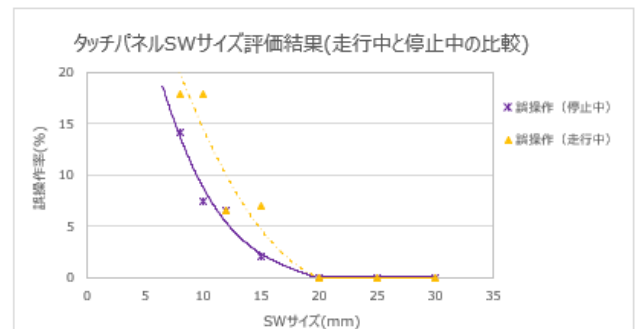


図14 タッチパネルスイッチ操作性実験結果

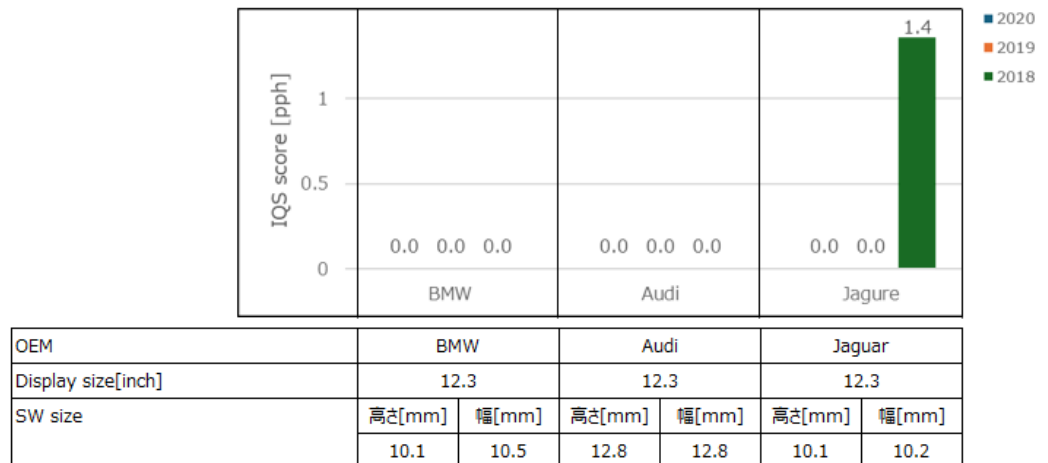


図15 スイッチサイズによる市場受容性

4. おわりに

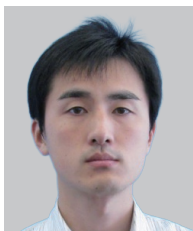
「情報への容易なアクセス」を支える技術として、視認性と操作性を両立させる統合型ディスプレイのパッケージングと、増大する情報を分かりやすく・使いやすく構造化したGUIの採用拡大と共に、HMI技術を通じたUXの充実を進めて来た。

今後は更に、EVならではの技術や機能の発展と連携させ、ユーザー一人ひとりの用途に寄り添い、楽しく便利なEVライフを実現するコックピットHMIを進化させていく。

著者



竹内 香織



小山 裕貴

特集2:3代目リーフを支える技術

11. 3代目リーフが目指す高品質な走り

林田 辰也* 三田村 歩海** 長江 新平*** 秋山 拓之**** 高島 航一*****

1. はじめに

3代目となる日産リーフは、初代、2代目オーナーから評価の高かった運転の楽しさや走りの良さをさらに進化させつつ、EVを検討しながらも購入に至らなかった方の不満・不安を払拭するために、航続距離と充電性能を大幅に進化させることを狙った「日産のメインストリームEV」として開発をおこなってきた。

そのために、EVに最適化されたCMF-EVプラットフォームを採用し、大容量バッテリーや高いエネルギー効率、居住スペースを確保しながらも、大幅な走行性能の向上を実現している。

本稿では、3代目新型リーフの走りの狙いとそれらを実現した技術について紹介する。

3代目「日産リーフ」狙い



図1 3代目リーフの狙い

2. 「3代目のリーフ」走りの狙い

初代リーフでは、バッテリーによる低重心&低ヨー慣性モメント、さらに、駆動力制振制御の採用により、従来のICE車にはない、「ドライバの思いどおりにスイスイ曲がり、余計な振動を伝えないスムーズな走り」を実現した。

2代目リーフでは、その車両横方向のスムーズさに加え、ボディモーションコントロール技術やe-Pedalによるスムーズな

加減速コントロール性の向上により、「走る・曲がる・止まる」すべてのシーンでドライバの意のままの走りを実現した。

3代目リーフでは、走りの質をさらに進化させることに加え、航続距離や急速充電性能の大幅向上によって、これまで以上に長距離ドライブや長時間運転の機会が増えることにも着目し、運転時の疲労や負担を軽減することを狙いとした。

そのため、①直進時の安定性や修正操舵量の低減による操縦安定性の向上、②不快な揺れや振動、騒音の少ない乗り心地や静粛性向上、③ドライバの意図通りにコントロールしやすい加減速性能向上等により、気持ちのよい「スーッと滑らかな走り」と「快適な移動空間」を両立する「いつまでも乗っていただくクルマ」を走りのコンセプトとおいた。

また、北米・欧州・日本を主要なマーケットとし、同時開発を進めながらも、各仕向けのお客様の嗜好や道路環境にあった仕様・特性に分けることで、ひとりひとりのお客様にとって、「いつまでも乗っていただくクルマ」を目指した。

3. CMF-EVプラットフォーム採用による走りの進化とその実現技術

3代目リーフでは、アリアと共通のEV専用パッケージCMF-EVプラットフォームを採用し、各システム・コンポーネントの性能向上をはかった。これにより、操縦安定性、乗り心地、静粛性などダイナミックパフォーマンスを大幅に向上した。

3.1 プラットフォーム構造

CMF-EVプラットフォームでは大容量バッテリーの効率的な搭載と高い走行性能実現のために、前後サスペンションと高電圧バッテリーのケース部とを結合する構造としている。

フロントサスペンションメンバーリア側締結点とバッテリーフレーム、リアサスペンションメンバーフロント側締結点とをピンステイを介して結合させることで、横剛性を27%向上させ、操舵応答性を高めた。

* 第二製品開発部 ** カスタマーパフォーマンス & 第一車両実験部 *** カスタマーパフォーマンス & 実験技術革新部 **** 車両計画・性能計画部 ***** シャシー開発部

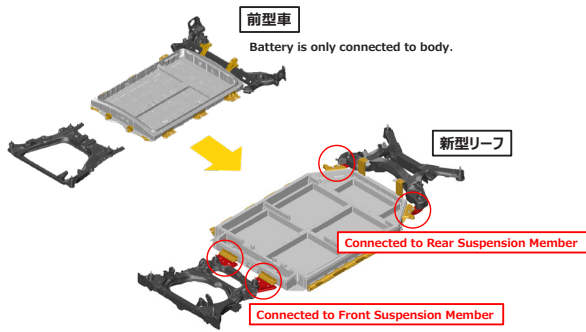


図2 サスペンションとバッテリーとの結合強化

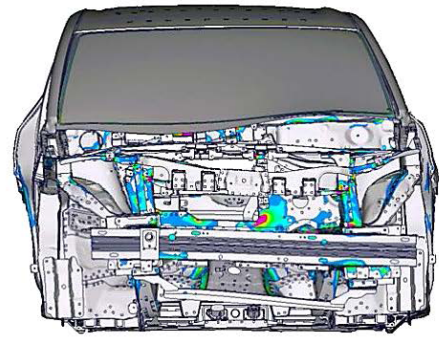


図5 レーンチェンジ時の車体変形解析

また、3in1EVパワートレインおよび空調・熱マネジメントシステムを効率よく配置し、フロントサイドメンバーとサスペンションメンバーズパンを狭くすることで、大径幅広タイヤを採用しつつも、タイヤ切れ角を大きくし、最小回転半径を5.3mとした。

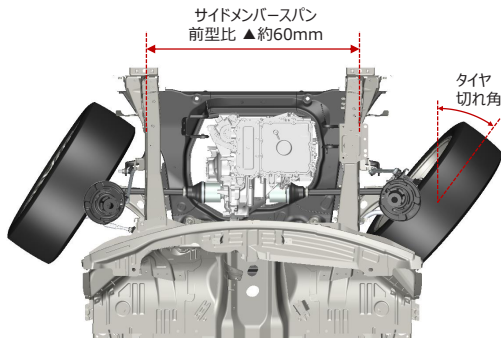


図3 サイドメンバーズパンとタイヤ切れ角

3.2 ボディ構造

新型リーフでは、バッテリーフレームを車体とともに骨格部品として一体化させることで高剛性化をはかった。また、想定するシーンごとにシミュレーションを用いた構造最適化実施し、各部位の補剛や接着剤を併用することで、軽量化と高剛性化を両立させた。

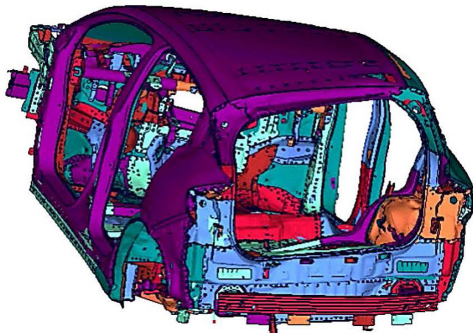


図4 車体ねじり剛性解析

3.3 リアマルチリンクサスペンション

初代/2代目リーフのトーションビーム式リアサスペンションから、上位セグメントと共用のマルチリンク式リアサスペンションを採用することで、前後剛性を28%低減し、左右方向の横剛性を66%向上した。

また、ダンパーのバルブ特性やスタビライザー、各ブッシュの最適化により、不整路でのBピラー前後加速度を30%、Bピラー左右加速度を20%、突起乗り越し時のフロア加速度を約10%、それぞれ低減し、スーッと滑らかな乗り心地を実現した。

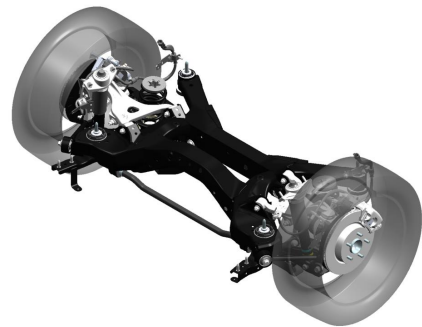


図6 リアマルチリンクサスペンション

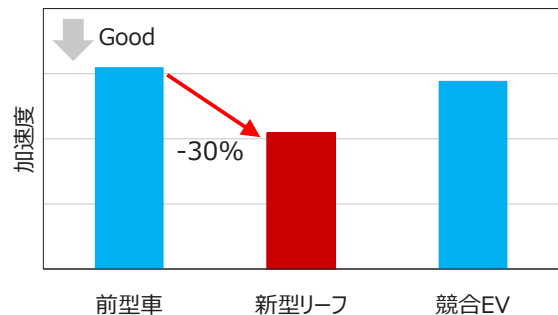


図7 不整路走行時 Bピラー前後加速度

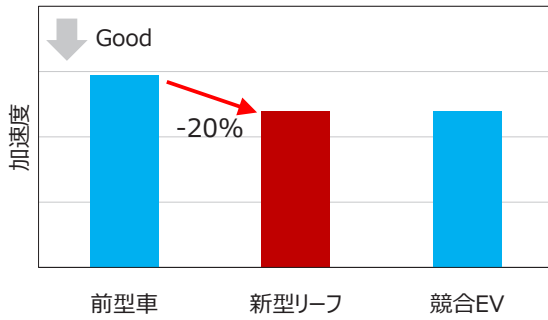


図8 不整路走行時 Bピラー左右加速度

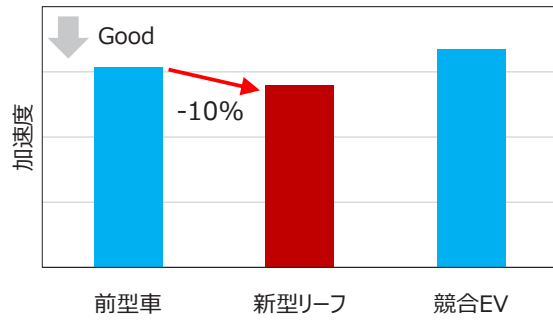


図9 突起乗り越え時 フロア加速度

加えて、リアサスペンションメンバと車体を繋ぐゴムブッシュのスグリ方向を最適化することで、旋回時の車体に対するサスペンションメンバの相対変位を低減している。車両旋回時、サスペンションメンバはタイヤ横力を各リンクを通じて受け、横方向ではなく、回転方向に変位する。これにより、リアタイヤスリップ角が損失してしまうため、ゴムブッシュのスグリ方向を20deg 傾け、入力方向とゴム方向を一致させることで、メンバ変位を抑制し、操舵応答性の向上に貢献している。

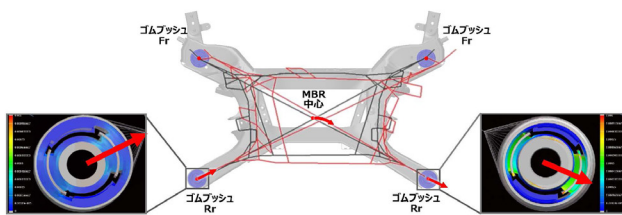


図10 旋回時のリアサスペンションメンバ挙動

3.4 ラックアシスト式電動パワーステアリング (EPS)

これまでのコラムアシスト式EPSに対し、ラックアシスト式EPSを採用することで、最大アシスト軸力をアップしながらも、約20%クイックなギヤレシオを実現、合わせてトーションバー剛性アップやインターミディエートシャフトのガタをつめることで、ステアリングねじり剛性を48%向上、微舵領域の操舵応答性の向上に貢献している。



図11 ラックアシスト式EPS

また、トルクフィードバック方式の制御ロジックを採用することで、駐車などの低速取り回し時の軽く滑らかなステアフィールと、ワインディングでの車両横Gに応じた手応えや高速走行時の中立付近の微舵領域のコントロール性など、様々なシーンで車両走行状態に合わせた狙い通りの操舵力とステアフィールを実現した。

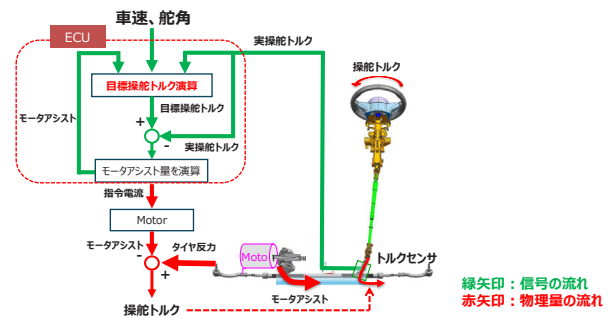


図12 トルクフィードバック方式制御ロジック

4. 世界で鍛えた骨格と各市場のお客様に合わせた気持ちの良い走りの実現

3代目リーフはこれまで同様、北米、欧州、日本を主要なターゲット市場とし、同時に開発を進めながら、それぞれの地域のお客様や環境に合わせた車両目標を設定し、プラットフォーム部品の共用化を最大化しつつも、一部の部品スペックをモディファイしている。

実験技術やシミュレーション技術の向上により、多くの評価はCAE解析、システムやコンポーネント台上実験、プルービンググラウンド (PG) 内での車両実験によって実施しているが、リアルな交通環境下における車両の運転性や操縦安定性、また、多種多様な路面入力が入り続く道路環境での乗心地評価などは公道での評価が重要となる。

主にアメリカやドイツ、イギリス、スペイン等の公道で、プラットフォーム試作車を使って狙いの車両目標を達成できていることを確認したのち、量産金型を使った試作車両では、さらに走

り込みをおこない、様々なシーンで検証をおこなった結果、今回は、主にサスペンション部品のチューニングやステアリング操舵力特性で最適化を実施した。



図13 公道評価の例

一例を紹介すると、北米、欧州、日本でそれぞれのお客様の嗜好や駐車場など構造的な違い、速度域や道路環境（高速道路やワインディング路）の差を考慮し、ステアリングの操舵力特性を分けて設定することで、様々なシーンにおいてリニアで操舵しやすく、気持ちのよい「スーッと滑らかな走り」を実現した。

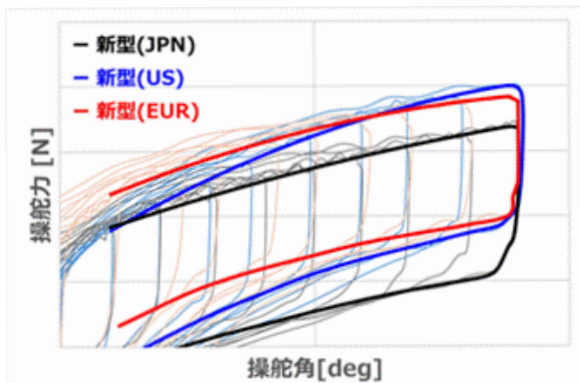


図14 ステアリング操舵力特性

5. 「いつまでも乗っていたくなるクルマ」の検証

航続距離と充電性能を大幅に進化させることで、運転時間が長くなることを想定し、主に乗り心地とシート座り心地の向上と運転して疲れないハンドリング性能＝修正操舵量の低減を目標とした。

修正操舵のメカニズムについては、日産技報NO.83の「修正操舵低減技術の紹介」を参照いただくこととし、本稿では、修正操舵量の評価結果について紹介する。

すでに述べた通り、CMF-EVプラットフォームを採用することで、車体ねじり剛性やステアリング剛性が大幅に向上し、その結果、ステアリングからタイヤの車両伝達系における応答遅れを小さくすることができた。また、操舵力特性の最適化により、

よりリニアで自然なヨーレートゲインや旋回加速度を発生させることで、ドライバの思った通りのラインでの走行が実現した。

図15はクローズドループ試験での修正操舵量の計測結果を示している。

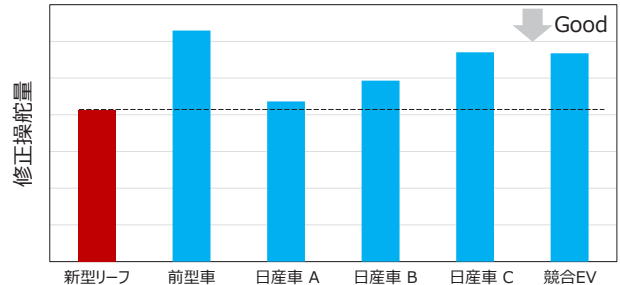


図15 修正操舵量計測結果

さらに、修正操舵によるドライバへの負担を評価するため、前腕部および上腕部の筋電図を計測した（図16）。図17は、60km/hの速度で右コーナリング中の右前腕部の筋電図である。左図の現行リーフでは、赤丸に示すような修正操舵による突発的な筋活動が頻発しているが、右図の新型リーフではほとんど見られない。また図18は別の左コーナリング中における各部位の筋電図を積分し、安静時のドライビングポジション状態を1（黒破線）として正規化したグラフである。グラフより、左コーナリング時このドライバは右腕でおおまかな舵の角度を決め、細かな修正は左手の手首で行っていることが読み取れるが、その際使用している筋活動量がどちらも大きく低減し、修正操舵を行う左前腕部においてはドライビングポジション時と同程度まで低減していることが確認できる。これらの結果から、新型リーフは無駄な筋肉を使うことなく、思い通りにコーナリングできることが示された。



図16 筋電図測定の様子

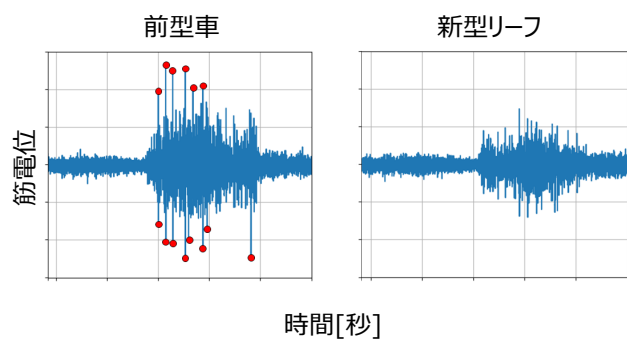


図17 ドライバの筋活動量比較1

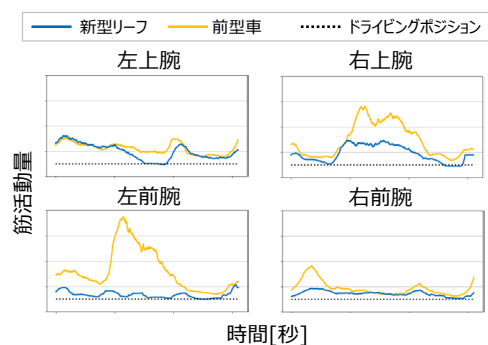


図18 ドライバの筋活動量比較2

6. まとめ

3代目新型リーフはCMF-EVプラットフォームの採用により、ひとクラス上の走りへと進化し、狙いであった運転時の疲労や負担を軽減し、「快適な移動空間」と気持ちのよい「スーッと滑らかな走り」を両立した「いつまでも乗っていたくなるクルマ」を実現することができた。

すでに北米、欧州、日本の各地域では販売が開始され、好評を得ているが、さらなる技術の向上と進化を続け、4代目リーフではさらなる高みを目指していきたい。

著者



林田 辰也



三田村 歩海



長江 新平



秋山 拓之



高島 航一