

特集1:日産リーフ 3代目の進化

1. 日産リーフ 3代目にいたる開発の歴史

門田 英稔*

1. はじめに

1990年代初頭は“車両の電動化の元年”と言える出来事が社内外で起こっていた。

1.1 ZEV(Zero Emission Vehicle)規制法案の可決(1990年秋)

米国カリフォルニア州で販売する車両台数の内訳として1998年時には2%、2003年時には10%を無排気車(実質BEV、FCEV)にすることを義務付ける法案が可決された。

1.2 リチウムイオン電池の商用化

1985年、吉野 彰氏が、炭素材料に格納されたLiイオンが、Li金属と同等の電位を示す事を発見し、1992年にSONYが同原理を用いてリチウムイオン電池を携帯電話向けに初めて商品化した。日産は、同電池の容量劣化の少なさや容量に対する電圧の線形性など素性の良さに着目し、車両への適用を目指して大容量化のフェーズスタディを早期に開始した。

1.3 駆動用モータの進化

東京―博多間を直通運行した新幹線「のぞみ」は、運行速度向上のために車両の軽量化と駆動系の効率改善を行い、新型300系には従来のDCモータから進化させたACモータを搭載した。日産のEVの先駆けである『たま』はDCモータを採用していたが、1990年以降、開発されたEVはすべてACモータを搭載している。このような社外の動きに対して、日産自動車社内では電動車両の開発推進体制を整えた。

2. 日産電動車開発の新組織づくり

1990年、座間工場(現・座間事業所)に電子技術本部を設立し、生産部門、研究所、設計部隊から集まった人財が一体となった組織を立ち上げた。電子部品(ECU)の内製化を軸にPDCAサイクルを素早く廻す体制を整え、ECCSの初商品化を実現している。

1996年からモータ・インバータの内製開発に着手し、2003年にリース販売したFCEVにハードウェアと制御ソフトの両方を開発、生産する能力を蓄積した。この経験は、初代リーフで実現した駆動力制御による運転性能の向上に大きな貢献をはたすことになる。

2.1 EV製品開発の歩み

1991年1月、日産テクニカルセンター(NTC)にEVの車両開発組織(技術車両開発室)を設立した。当初、技術車両開発室は鉛酸電池を既存のガソリン車(ICE)のボディに搭載したEVを開発し、限定されたお客様(電力会社や官公庁)に提供した。アベニールをEVに改造して、九州電力の営業車として運用していただくとともに、米国ではお客様の走行パターンを想定したデータを収集した(図1)。



図1 アベニールEV

* 第二製品開発部

このように、データをもとに地道に開発を進めていく姿勢は3代目リーフまで一貫して続いている。



動画1 EVターゲットユーザー



動画2 航続距離実験

その結果、鉛酸電池では航続距離 (AER) が絶対的に不足することが明らかになり、リチウムイオン電池を搭載しなければ、お客様が満足するAERを達成できないと判断した。そこで、1995年1月にSONYと共同研究契約を締結し、本格的なEVの製品開発の舵を切った。

組み電池の容量ばらつきを抑制する充放電マネージメントを行うコントローラを開発し、総電圧の上下限の範囲内を最大限に活用する解決策を得た。1995年にはリチウムイオン搭載したプレーリジョイEVを30台市場投入し、東京電力などで営業車として使用された。1999年にはルネッサをベースにEV化した“ALTRA EV”を数百台カリフォルニア州に投入しZEV規制の対応も進めた。これらのEVやHEV開発を通じて、市場の走行データを徹底的に収集し、リチウムイオン電池の信頼性確保に向けた方策を積み上げていった。また、電動車の電費(燃費)改善には、空力性能が重要であると理解し、その後のHEV、FCEVの開発においても目標性能の立案に大きく貢献している。

2.2 充電規格化の動き

2.2.1 普通充電 (6kW級)

ZEV規制法案の可決をうけて、複数の6kW級普通充電システムが登場したため、SAE (Society of Automotive Engineering) が技術の標準化を推進した。しかし、充電機能分担については、車両側と設備側のどちらが持つのか、ゼネラルモーターズが採用するInductive充電方式(図2)と、フォード・モーターが採用するConductive充電方式の対立や、さらには急速充電機の設置にかかる費用は車両メーカー・電力会社・カリフォルニア州のいずれかが負担するか、といった基本的な議論が続いた。この議論は10年にわたり続き、2001年にSAE規格(J1772)が制定され、EV充電方式はConductive方式を採用すること決着した。また、同年カリフォルニア州大気資源局(CARB)はZEVカウントの要件のなかで、対象車をConductive方式採用EVに限定している。

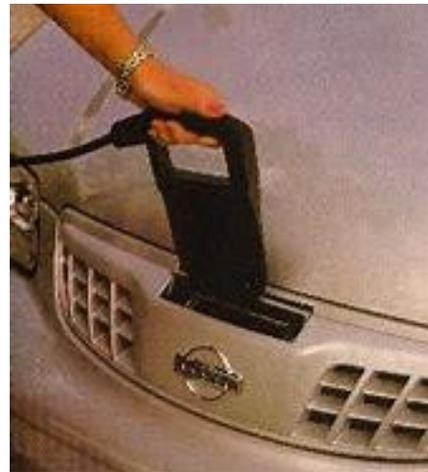


図2 Inductive充電(ALTRA EV)

2.2.2 急速充電 (50kW級)

日産は、1991年東京モーターショーでコンセプトカー『FEV』を発表した(図3)。Ni-Cd電池を搭載し、6分間で40%充電可能な「超急速充電システム」を提案し、その後の急速充電に関する議論を加速させた。具体的には、日本で発足した電動車両協会(JEVA 現JARI)において、日産も幹事メンバーとして参加し、50kWの急速充電の標準化活動を促進した。その結果、1993年にはCHAdEMO規格の前身となるJEVS規格が発行された。

日産がリーフを市場投入するという発表が刺激となり2010年3月にはCHAdEMO協議会が設立され、グローバルな充電インフラの促進へとつながった。当時のEVはAERが短く、充電作業も面倒という、負の面が強調されやすく、他社はEVからHEVや水素を燃料とするFCEV開発にシフトした。一方、日産は「他のやらぬことを、やる精神」というDNAのもと、高い目標をかかげてBEVの先行開発を継続し、技術の蓄積を進めていた。



図3 東京モーターショーにて発表されたコンセプトカー「FEV」

3. Connected の進歩

1990年代半ばから携帯電話の普及がはじまり、2007年には初代iPhone(3G)が米国で販売された。ルネッサ(ICE)をベースにEV化した前述の“ALTRA EV”では100mile(LA4)をすでに実現していて単にAERに関しては初代リーフと遜色はなかった。しかし、当時はインターネットのサポートはおろか、携帯電話さえ一般に普及していない時代であった。その後のインターネット普及によりEVと社会インフラとの距離が縮まり、運転中に充電スタンドの空き情報や現在の容量で充電スタンドに到着可能か、リアルタイムで確認できるようになった。これにより、AERが短くてもEVがお客様に満足いただける可能性が高まった。初代リーフの車両開発は2007年秋に始まり、車両と並行してEV専用のITシステムを開発し、グローバルデータセンター(GDC)も設立した。「つながるクルマ」を目指し、自宅やオフィスなどから事前に航続可能距離や途中の充電場所を考慮したルート探索機能や「乗る前エアコン」など、お客様の利便性を高める機能を初代リーフに搭載した。

4. 環境問題に対する意識の高まり

1997年に京都議定書が採択され、地球温暖化問題はエネルギーを考えるうえで非常に重要な課題となった。EVは、走行中にCO2を排出しないことや、駐車中の電力網の需給バランスに寄与できる点など、内燃機関車(ICE)では実現できないエネルギーマネジメントの一翼を担うモビリティである。

東日本大地震後に開発を加速させた、自宅とEV間の充放電が双方向に行われるV2H(Vehicle to Home)システムを展開したほか、急速充電器も日産が内製で販売するなど、車両開発の枠を越えた電気インフラの整備にも積極的に取り組んだ。日産はリーフによりEV社会の扉を開くことを“大義”としてとらえ先駆者としての努力を重ねながら未来の持続可能な社会の実現に向けて進出した。

5. 初代リーフの開発(ZE0型)



図4 初代リーフ ZE0型

開発当初、経営陣からの期待は、2010年末までにグローバル市場に投入できる、大人5人が乗車できるCセグメントのハッチバック車両を製造することであった(図4)。

各部門担当者が同じフロアに集まり、ものづくりの方針は以下の3点として開発のスピードアップを図った。

- (1) 搭載する主要なEVユニットおよび制御システムはすべて社内製とし、自ら求めるものは自ら作ること
- (2) 技術の“ブラックボックス化”を防止すること
- (3) ソフトウェア開発は Model Base 開発(MBD)でPDCAサイクルを迅速に廻すこと

過去に何度も『これからEVの時代になる』という追い風が吹いたものの、いずれも立ち消えた反省も踏まえ、『二度とガソリン車に戻れないEV』にしようと考えた。これを実現するために、車両の質量配分や重心高、ヨー慣性モーメントを適正化させるバッテリー配置を採用した(図5)。

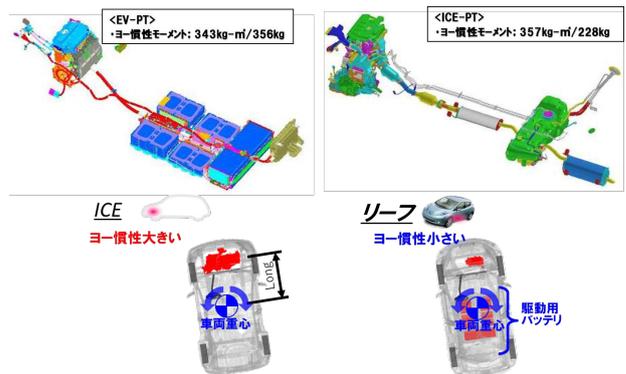


図5 ICEとリーフのヨー慣性モーメント比較

また、日産が内製を軸に独自に開発してきた制駆動力の制御技術を搭載し、シームレスな加速感やスイスイと車線変更ができる等、従来のICEとは一線を画す運転性能を有する商品にしたかった。市場投入前には、社内外の関係者に試乗の機会を設け、試乗された皆様が『リーフ Smile』を浮かべていた

ことは記憶に新しい。AER目標を100mile (LA4) モードとし、回生協調ブレーキシステムを採用した。これは従来のICEでは減速時に捨てていた運動エネルギーを、モータの回生電力により再利用するシステムであり、LA4モードにおいて約10%の伸長を実現できた。このような「もったいない精神」を掲げて挑戦した補器電力の最小化にも成功し、初期目標を達成した。

電動車は静粛性が高く、歩行者、特に視聴覚障がい者に気が付かれにくい課題に対しても、日産リーフプロジェクト開始時から車両接近通報装置(AVAS)の必要性を感じていた。そこで、日米欧の盲人協会の方々の意見を伺いながら研究を行い、歩行者・運転者・そして社会環境にも配慮したAVASを開発し初代リーフに標準搭載した。この成果は日本自動車工業会を通して国土交通省にも提供され、2010年に発行されたガイドライン発行に寄与した。その後、国内ガイドラインを基に国連で議論され、2016年に国際基準のUN-R138が発効された。

6. 新規開発の品質確保プロセス

日産は、新技術の商品化する際に品質を確保するプロセスを構築し、それを十分に活用してきた。お客様を失望させるような問題を起こしてはならないとの思いから『安心、安全な製品』とすることに努めた。

世界の基準をクリアした安全性

- バッテリセルへの衝撃を減らすためのEV・パック・モジュール設計
- バッテリセル自身の耐久性を高め、実用レベルの安全性を確保

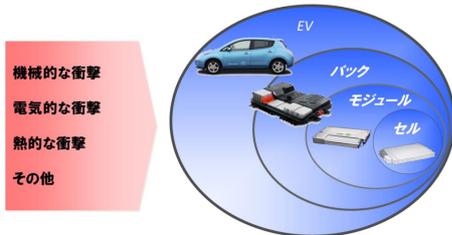


図6 バッテリ階層ごとの安全担保コンセプト

特に、高電圧のリチウムイオン駆動電池の安全性に関する検証を繰り返し、車両階層、バッテリーパック階層、モジュール階層、セル階層ごとに担保すべき要件を策定した(図6)。

市場でお客様が遭遇し得るシーンを想定し、その評価基準を厳しく定量化して、繰り返し実証試験を行った。具体的には、以下のような試験を実施している。

- 1) 氷点下になる寒冷地での始動・走行テスト
- 2) アンダーパスなど冠水した道の走行テスト
- 3) 高圧洗浄を想定したテスト
- 4) 豪雨のなかでの急速充電テスト
- 5) 衝突時のバッテリー安全性テスト



動画 雨の日の急速充電



動画 初代リーフ 衝突実験映像(前面・後面衝突)

お客様は新しい商品を積極的に購入いただく、いわゆる「アーリーアダプタ」と呼ばれる方が多い。各地域でオーナーズミーティングが自主的に開催され、『私たちがリーフという商品を育てるのだ』という気概をお持ちの彼らと交流した。私も積極的に参加させていただき、お客様の率直な要望を聞きその期待値を上回るべく、次期型での改善に邁進した(図7)。



図7 追浜で開催されたオーナーズミーティングの様子

7. 2代目リーフの開発 (ZE1 型)



図8 2代目リーフ ZE1型

初代リーフのリリース後にお客様から寄せられた要望を実現すべく、2017年のフルモデルチェンジではAERの延長のために電池搭載量を増やすとともに、充電受け入れ性についても同容量あたりで約30%向上させた(図8)。初代リーフは中速域までの加速性能は好評だったが、高速域での加速感をさらに向上させるため、モータ出力を引き上げた。また、低速域では発進・加速・減速・停止といった街中走行において、アクセルペダルだけで加減速をコントロールできる『e-Pedal』を搭載した。これはe-POWER車(ノート)と同時開発していた機能で、ペダルの踏みかえ頻度が減ることでストレスが少なくなり、全車速域で運転しやすいEVを実現した(図9)(図10)。

モータ駆動の楽しさの進化

- モータ駆動だから出来るアクセル操作の新たな楽しさ

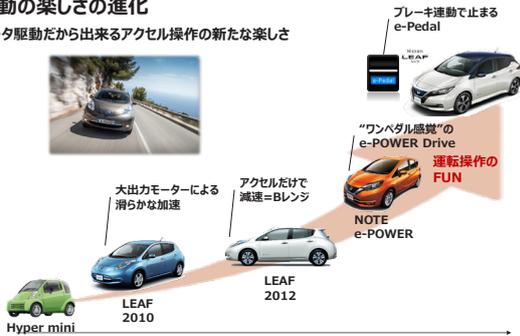


図9 e-Pedalシステムの進化



図10 e-Pedalシステム概要

AERが伸びることでお客様が高速道路を使用する頻度が高まるため、高速道路での同一車線自動運転技術「プロパイロット」を搭載し、モータ駆動制御によるシームレスな加減速を提供した。さらに、駐車作業が苦手なお客様に好評を得ていたプロパイロットパーキングを搭載し、『二度とガソリン車に戻れないEV』にすることができた。

8. 3代目リーフの開発 (ZE2 型)

初代・2代目リーフはICEプラットフォーム設計の考え方を踏襲していたため、EVの小さなパワートレインの特性を生かされていなかった。そこで、新世代のEV専用プラットフォーム(CMF-EV)を一から設計し、EVの魅力を見直した。広く静かな室内、十分なAER、フロントオーバーハングの低減による美しいスタイリング、最小回転半径の低減を実現すべく、ルノーと共同開発した(図11)。



図11 3代目リーフ ZE2型

電池搭載量を増やすために、車高をあげることなく車体骨格と電池ケースの設計を見直した。このプラットフォームは日産のエリアに先行して開発されたもので、リーフも視野に入れていた。トレッドやホイールベースは車種ごとに変えられる可変構造とし、パワートレインやバッテリー搭載部は固定構造とすることで、今後の多様なEVバリエーション展開を合理的にカバーしていくという開発コンセプトであった。小さなパワートレインと*HVACをモータールームに搭載し、HVACを前面衝突時に反力部材として活用した。これにより、フロントオーバーハングの最小化と室内空間の拡大が両立でき、画期的で目を引くデザインを実現した。これまで室内に配置されていたHVACをモータールームに移動させることで室内空間を拡大した。これらはICEでは実現することが困難なEV特有のレイアウトである(図12)。

*Heating, Ventilation and Air Conditioningの略



図12 3代目リーフのパッケージ

電池の温度調節に関しては、初代と2代目の空冷システムに対し、3代目ではバッテリー液冷システムを採用し、車両の熱エネルギーを無駄なく活用するシステムを構築した(図13)。これにより、電費の向上とともに常温環境下での15分の急速充電による回復距離は2代目から倍増し、次の充電拠点までの目安距離である250km以上(約2時間走行)まで延伸することができた。

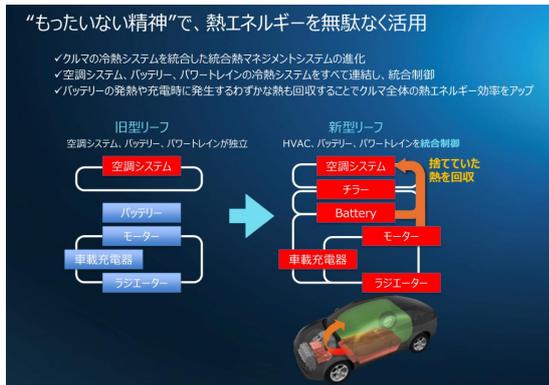


図13 熱マネージメントシステムの進化

ナビゲーションと連携したNissan Connect インフォテイメントシステムでは、ルート設定時にGoogleと連携し、走行ルートが市街路(バッテリー温度が上がりにくい)か、高速路や登坂路(バッテリー温度が上がりやすい)かを予測し、最適なバッテリー温度にコントロールすることで、充電時間の短縮と電費の向上に貢献している(図14)。

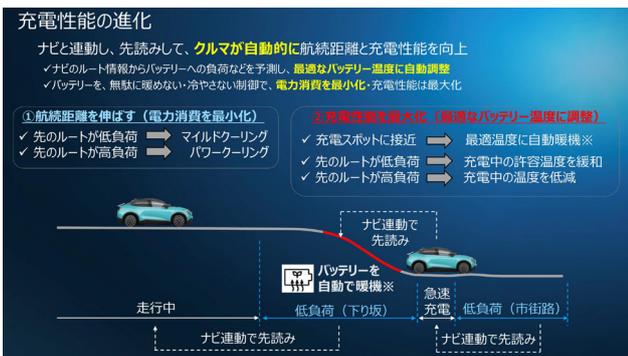


図14 ナビと連動したAER改善と充電性能の最大化

従来のナビゲーションは、地図データに基づき電力消費や到着予想時間、バッテリー残量を予測していたが、3代目リーフでは、Googleマップの予測車速や勾配情報、車両特性に合わせた走行抵抗、空調・補機電力、バッテリー損失などのパラメータを考慮し、車両の走行消費電力予測を行った。これにより渋滞や気温変化に合わせた演算が可能となり、インテリジェントルートプランナーの精度を飛躍的に向上させた。

これらの技術はお客様からの強い要望に応えるものであり、EVの活動範囲を大きく広げることに成功した。

AER拡大により、お客様が長距離走行や雪道など、さまざまな路面状況でのドライブを楽しめるよう4つのドライブモード(SPORTS/STANDARD/ECO/PERSONAL)を設定した。

さらに、インテリジェントディスタンスコントロールを搭載することで、ブレーキ操作が多い一般道でも自動で車間距離を維持し、ドライバーの負担を低減、安心・快適なドライブをサポートしている。

加えて、パドルシフトを選ばれたお客様は回生制動力を細かく制御でき、停止地点までブレーキペダルを踏む回数を減らし、運転者の意のままに走れるモビリティにすることができた(図15)。

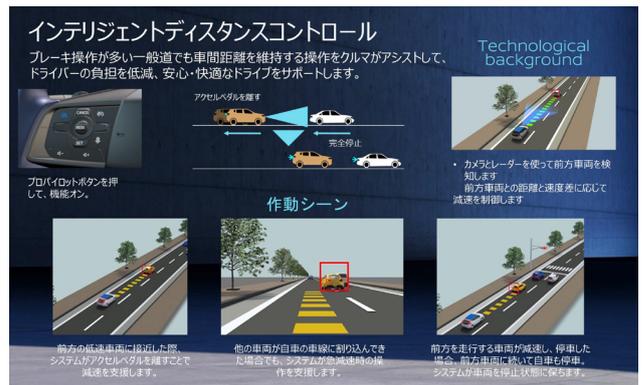


図15 インテリジェントディスタンスコントロール

最新の装備を搭載しても『安心、安全な製品』をお客様に提供する姿勢は初代から変わらず、3代目リーフも多くの実証実験を繰り返した。国内外の路上走行や衝突試験など、厳しい評価基準をクリアし目標性能を達成している(図16)。



図16 国内外の路上走行試験



動画 3代目 衝突実験映像(前面衝突)



動画 3代目 衝突実験映像(側面衝突)

9. おわりに

日産は、1990年代初頭から車両の電動化を戦略的に推進してきた。EVに関しては、急速充電の必要性を提案し、それを実現するための充電規格への参画などイニシアティブをとってEV社会を創り上げてきた。また、便利さや快適さを追求した従来の車の機能を越え、EVは運転中だけでなく、駐車中も、エネルギー管理の一翼を担うモビリティに進化している。

リーフは、初代からEVのあるMobility社会の扉を開いた商品であり、一貫してお客様の声に真摯に耳を傾け、その期待を越える進化を続けてきた。

3代目は35年以上にわたる日産の電動化技術を結集させたモデルである。

自動車を取りまく環境は激変している。今後も、EVの重要な価値のひとつである高効率化や乗員の皆様の快適性をさらに追及し『二度とガソリン車に戻れないEV』を先駆者の誇りをもってお客様に提案し続けていくよう、商品開発に取り組んでいきたい。

著者



門田 英稔