

高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュールを ダカールラリー参戦の日野チームスガワラ HEV 車に搭載

High Heat-resistant Lithium-ion Capacitor Module for HINO TEAM SUGAWARA Dakar HEV

1. はじめに

ダカールラリーは世界一過酷なモータースポーツ競技とも呼ばれ、高い知名度を誇る競技大会である。1991年から参戦を続ける日野チームスガワラは、2022年からハイブリッド車両（HEV）を投入した。同車両の主電源として、ジェイテクト製高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュールが採用され、トラック部門総合22位完走に貢献した。

ダカールラリーにおいてもカーボンニュートラル社会の実現に向け、世界各国で積極的な取り組みが加速しており、持続可能な燃料を採用するチームや電動車で参戦するチームが近年増加傾向にある。

2. ダカール HEV・蓄電デバイスへの要求性能

レースカテゴリーの改訂により、日野チームスガワラ（8リットル級）は、現行規定の最大排気量である13リットル級のエンジンを搭載する大型トラックとレースタイムを競うため、競合車両とのスペック比較を実施した。2020年に参戦した同チームの車両とトラック部門で上位入賞した車両とを比較した結果、パワーウェイトレシオ（馬力/車両重量）の改善が必要と結論付けている。

競合チーム車両に対する軽量さというアドバンテージを維持しながら、エンジンパワーが出しづらい低速回転域をモーターパワーで重点的に改善することでレースタイムを短縮することをねらい、かつ減速時に電力回生してエネルギーを有効活用するため、HEVの採用に至っている。

レースタイムを競うスペシャルステージ（SS）区間では、ドライバーが頻繁に加減速操作を行っている。アクセル開度ゼロまたは100%が大半で、フル加速・ブレーキングを繰り返す運転パターンである。

HEVシステムで使用する蓄電デバイスは駆動アシスト（放電）と電力回生（充電）を頻繁に繰り返すため、きわめて高い充放電耐久性が要求される。

以上から、ダカール HEV システムの蓄電デバイスは、大電力の入出力が可能で、小型・軽量が求められる。よって、高出力型の蓄電デバイスが適しており、その中でもエネルギー密度に優れるリチウムイオンキャパシタが好適である。さらに、大電流の繰り返し充放電に対する耐久寿命、信頼性、車両横転などにおける安全性確保が不可欠である。これら要求性能は当社のリチウムイオンキャパシタの特長と合致しており、ダカール HEV システムの主電源に採用された。

3. リチウムイオンキャパシタ

3.1 構造・一般的な特長

リチウムイオンキャパシタは、リチウムイオン二次電池の黒鉛系負極と電気二重層キャパシタの活性炭正極を組み合わせた構造を有する。電気二重層キャパシタの長所である、瞬間的に大きな電力を供給・回生することができる入出力特性を有する。また繰り返し充放電耐性に優れるという特長も維持しながら、体積エネルギー密度を約3倍に増加させた蓄電デバイスであり、さまざまな産業分野での活用が進んでいる。

また、リチウムイオン二次電池で問題となる熱暴走反応が生じない材料構成のため、非常に安全な蓄電デバイスである。

3.2 当社品の特長

当社特許技術による電解液の改良と電解液と電極材料の相性制御によりリチウムイオンキャパシタの動作温度範囲を世界で初めて自動車車室内の温度要求である $-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$ に適合させた。

耐熱性の向上に伴い、充放電時の大電流による自己発熱（ジュール発熱）での性能劣化に対しても大きな抑制効果を発揮し、従来型のキャパシタでは実現不可能な優れた耐久性能を有する。

また、当社高耐熱リチウムイオンキャパシタは、高い安全性を有し、蓄電デバイスの安全性試験結果の一例と

して、米国自動車協会規格：電気自動車およびハイブリッド車の充電式エネルギー保存装置の安全試験および過酷条件試験（SAE J 2464）に準拠した圧壊試験（50% 圧壊）においても、発火・爆発は発生しない。

4. 高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュール

4.1 モジュール要求性能とベース設計の選定

ダカール HEV で高耐熱リチウムイオンキャパシタを使用する際、セルを直列したモジュールを構築し、インバーターへ所定電圧範囲で大電流を供給する必要がある。モジュールにはレース中の激しい振動・衝撃からセルを保護する堅牢性が求められるため、鉄道用に開発した耐振動・衝撃型モジュールをベースとして改良設計した。

4.2 耐振動・衝撃型モジュールの構造と機能

構造および展開図を図 1 に示す。高耐熱リチウムイオンキャパシタセル（静電容量 2 000F）を 2 枚の樹脂フレームで挟着する構造によって外力からセルを保護している。同構造により、セルの直列数を 1 モジュールあたり最大 36 直列まで任意に変更することが可能となり、さまざまな電圧要求へ柔軟に対応できる。

セルを直列接続する際の正極・負極の接合は、バスバーへ超音波溶着で直接接合し、余分な配線を省略、モジュールの内部抵抗増加を抑制している。モジュールの総正極端子・総負極端子には特殊形状端子を採用。逆接続できない構造とし、複数のモジュールを直列接続して高電圧系を構築する際の作業者の安全性を確保している。

直列接続したセル間の電圧ばらつき（蓄電容量ばらつき）を補正するためバランス回路をモジュールに内蔵し

ており、セル温度やセル電圧などの常時監視情報を外部へ伝達する通信機能を有する。

耐振動・衝撃性能については日本工業規格：鉄道車両用品—振動および衝撃試験方法（JIS E 4031: 2013）の区分 1 等級 B に準拠しており、安全性については日本工業規格：産業用リチウム二次電池の単電池および電池システム—第 2 部（JIS C 8715-2: 2019）の安全性要求事項を満足することを確認済みである。

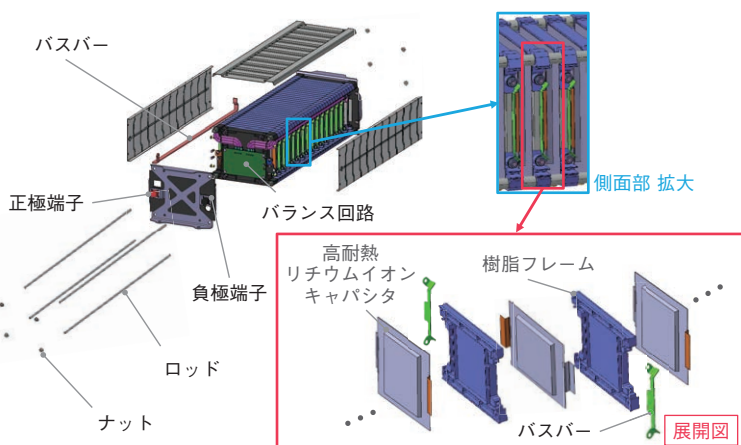
4.3 ダカール HEV 搭載に向けた改良点

標準モジュールには簡易的な防塵・防水機能を持たせているが、砂漠を走破するダカールラリーでの使用に際し、モジュール外周部のすきまをシール材で塞ぎ、防塵・防水機能を強化した。

また、簡易的な放熱機構を追加して、SS 区間走行時などの HEV システムを長時間駆使するシーンにおけるセルの過熱対策を施した。一連の改良を施した耐振動・衝撃型モジュールの諸元を表 1 に示す。

表 1 ダカール HEV 向け 高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュール諸元

項目	特性値
直列数	2 000F 33 直列
合成静電容量	60.6F
動作電圧範囲	72.6 ~ 125.4V
平均電圧	99V
寸法 (取り付けブラケット含む)	W222 × D651 × H172mm
質量	20kg 以下
バランス回路 通信方式	CAN 通信



(資料提供：株式会社協豊製作所)

図 1 耐振動・衝撃型モジュール内部構造

4.4 高電圧電源の構築

前述のモジュール 6 基をアルミフレームに組み込み、モジュール同士を直列接続して約 600V 系の電源を構築した。さらに 6 基のバランス回路の通信情報を一括集約し、HEV システム側の ECU へ CAN 通信で伝達するインターフェース回路を追加した。図 2 に車両搭載状態を示す。



(資料提供：日野自動車株式会社)

図 2 高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュール車両搭載状況

5. ダカール HEV レース車両

5.1 車両スペック

高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュールを搭載したダカール HEV の車両スペックを表 2 に示す。800 PS のエンジン出力に 280PS の HEV 出力を上乗せし、1 000PS 超の最大出力を実現させている。

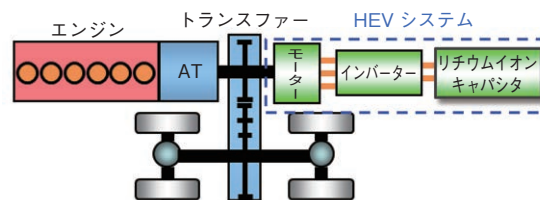
表 2 2022 年ダカール HEV 車両スペック

項目	特性値
ベース車両	HINO600 シリーズ
エンジン形式	ディーゼル 4 サイクル 直列 6 気筒
排気量	8.866L
エンジン最高出力	800PS (588kW)/2 800min ⁻¹
HEV システム最高出力	280PS (206kW)
最大出力	1 080PS (794kW)
駆動方式	フルタイム 4WD
トランスミッション	AT (前進 6 速・後進 1 速)
車両重量	8 600kg
燃料タンク	800L

(資料提供：日野自動車株式会社)

5.2 HEV 駆動システムレイアウト

HEV 駆動システムレイアウトのイメージを図 3 に示す。HEV システムに不具合が発生した場合、トランスファーを介してエンジンと HEV システムを接続しており、エンジン単独でも走行が可能である。



(資料提供：日野自動車株式会社)

図 3 HEV 駆動システムレイアウト

6. ダカールラリー本戦

ダカールラリー終了後、車両から取外した高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュールを分解し、セル単体の性能を確認した。測定条件は、国際電気標準会議規格：電気および電子機器用リチウムイオンキャパシタの試験方法－電気的特性 (IEC 62813-2015) に準拠している。

図 4 に結果を示す。静電容量、内部抵抗ともにレース前とほぼ同値であり、劣化は認められない。ダカールラリーという過酷な使用環境においても、高耐熱リチウムイオンキャパシタの優れた耐久性能が実証された。

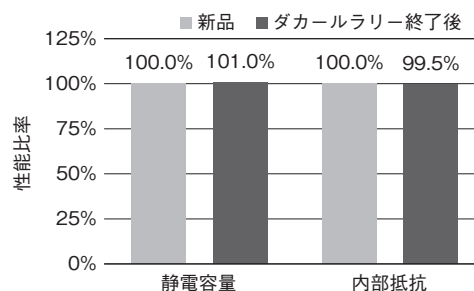


図 4 ダカールラリー前後の高耐熱リチウムイオンキャパシタの性能比較

7. おわりに

レース期間中はさまざまな車両トラブルに見舞われたが、高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュールに深刻なトラブルはなく、安定した性能を発揮し続けた。レースタイムのさらなる短縮のため、2023 年のダカールラリーに向けて高耐熱リチウムイオンキャパシタモジュールの限界性能を見極める取組みを継続していく。

(蓄電デバイス事業部)