

Technical Note テクニカルノート LIB-11/1 2017-10-17

Title: 日産リーフ・EVモジュールまるごと充放電プロセスの熱量測定



Fig 1 : Nissan_Leaf_EV_module_10.0A_CC_Charge

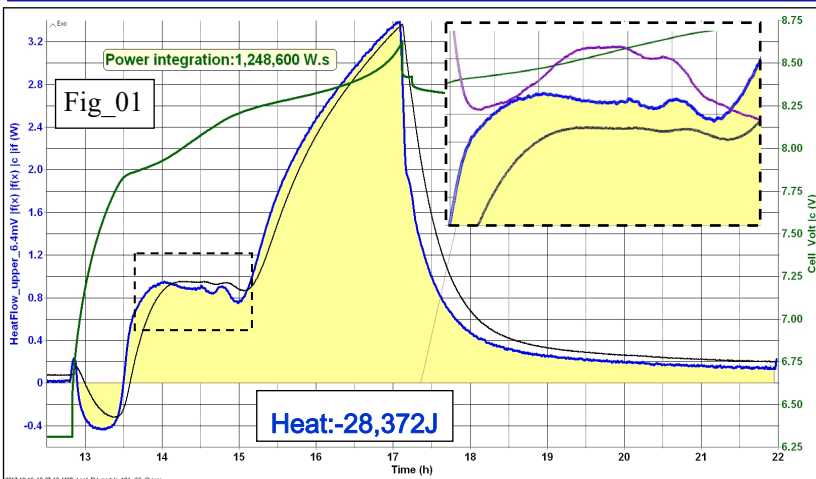
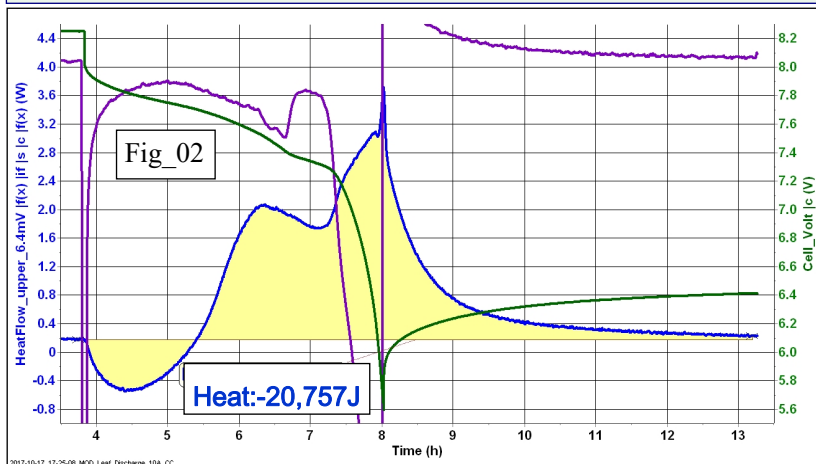


Fig 2 : Nissan_Leaf_EV_module_10.0A_CC_Discharge



日産リーフのEV用モジュールは、4枚のセルを2並列2直列に接続し、アルミケースに収めたものです。

サイズは303mm×223mm×55mmA4サイズで重量は3,768gです。メーカーのHPページによれば
 正極活物質 LMO with LNO
 負極活物質 グラファイト
 容量(0.3C) 32.5 Ah
 公称電圧 3.75 V
 長さ_290mm 幅_216mm 重量: 787 g

EVモジュールは 2並列 2直列、公称電圧 7.5V、容量65Ahとなります。

入手した前履歴は不明の中古EVモジュールは劣化がかなり進んでおり、容量が40%低下して300Wh程度になっています。また容量低下だけでなく内部抵抗も増大しているため発熱速度、発熱量の増大が予想されます。

24℃に設定されたA4_HFSモジュールにこのEVモジュールをセットし、充電プロセス時の熱流測定をしました。

Fig 1の測定データは充電電流10A一定、初期電圧 6.60V、充電終了電圧 8.62V、その結果充電容量は 42.0Ah、供給電力は 1,248,600W.s_347W.h、充電時の総発熱量は 28,372Jでした。48個EVモジュール搭載のEV車では総発熱量は約680kJとなります。

*1 実際に設定されているリーフの充放電電圧範囲は不明です。本ノートのような発熱をしているかどうかはわかりません。

EVモジュール投入電力に対する総発熱量%比率は28,370/1,248,600=2.27%です。

充電停止後、電圧は8.26Vに低下します。黒色曲線がA4_HFSモジュールのオリジナル熱流曲線、青色曲線が時定数補正した熱流曲線です。Fig 1破線枠の青色曲線のHF信号はメリハリがあり、セル電圧の微分(紫色曲線)と良い相関性があります。EVモジュール重量が3.8kgと大きく、HF信号の時定数補正は必須です。

Fig 2の測定データは放電電流10A一定、初期電圧 8.25V、放電終了電圧 5.60V、その結果放電容量は 42.0Ah、放電電力は 1,134,900W.s_31.53W.h、充電時の総発熱量は 20,751Jでした。

EVモジュールの放電電力に対する総発熱量%比率は20,757/1,134,900=1.78%です。

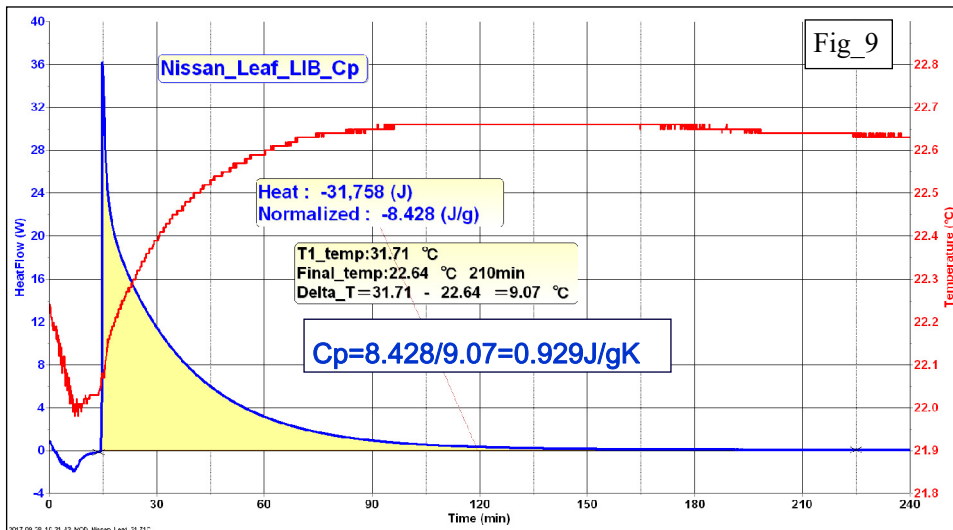


このテクニカルノートは長期間使用の劣化電池について吸発熱曲線から判断しようとする測定データです。

Technical Note テクニカルノート LIB-11/4 2017-10-17

Title: 日産リーフ_EVモジュールをまるごと比熱測定

Fig_9 Nissan Leaf EVモジュールまるごと比熱測定



A4_HFSモジュールを使ってEVモジュールの比熱測定が可能です。

①EVモジュールを32°C設定の恒温槽に収納します。

②24時間後、EVモジュール表面温度が31.71°Cとなる。

③室温22.0°CにセットされたHFSモジュールにEVモジュールをすばやく移動してセットします。2名で作業分担することが肝要です。

④測定時間はHF信号がほぼ変化なくなったところまで(約4時間)とします。

⑤落下による発熱量は $\Delta H = 31,758 \text{ J}$ が得られます。EVモジュール重量当りでは $\Delta H = 8.428 \text{ J/g}$ となります。

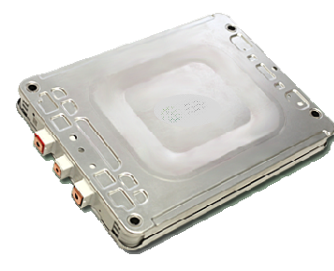
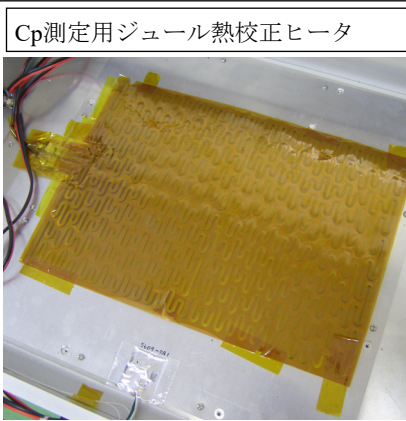
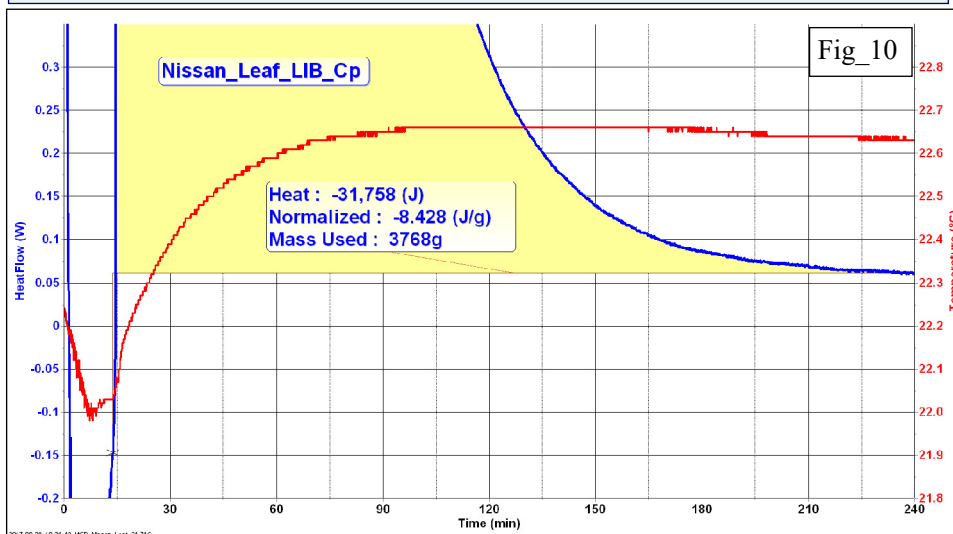
⑥ ΔH はEVモジュールが $\Delta T = 31.71 - 22.64 = 9.07 \text{ °C}$ の温度降下により放出されたものです。

⑦ $C_p = \Delta H / \Delta T = 0.929 \text{ J/gK}$

落下法のジュール熱校正はEVモジュールにフィルムヒータを全面に貼り付けて熱量校正ヒータとします。

日産リーフ・EVモジュール+HFSモジュールの熱流検出感度は898 W/Vです。

Fig_10 Fig_07のHF信号スケールを80倍 積分範囲は210分間



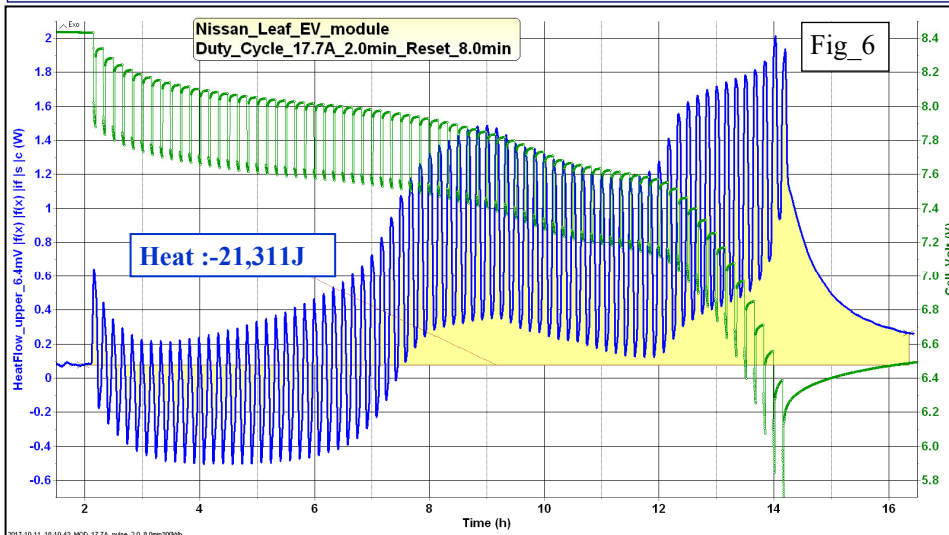
A4_HFSモジュール(熱流検出)はA4サイズ車載EVモジュールに対応するように設計されています。

PalMetrics 株式会社パルメトリクス
〒357-0038 埼玉県飯能市仲町12-9 YKS飯能駅前ビル
電話 042-978-8655 FAX 042-978-8664

Technical Note テクニカルノート LIB-11/3 2017-10-17

Title: 日産リーフ EVモジュール まるごと放電プロセスの熱量測定

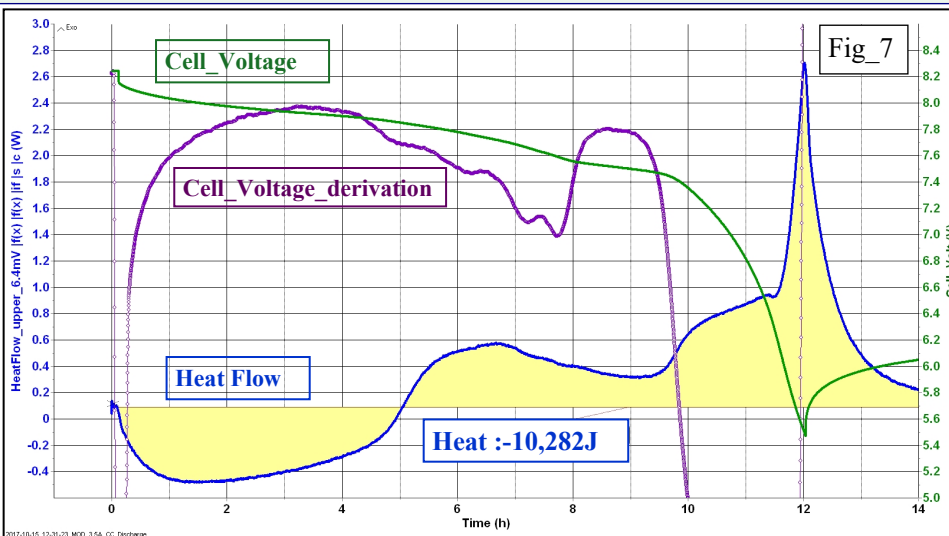
Fig_6 ; Computerized Battery Analyser_4によるDuty_Cycleモードテスト結果



電池性能試験でDuty_cycleモードで測定することがあります。この試験で同時熱流測定をしたらどのようなHF信号が得られるか？を紹介します
West_Mountain_Radio_CBA4のバッテリーアナライザーによるEVモジュール放電時の熱流測定データです。

Discharge current: 17.7A Dutyは2.0min Discharge,8.0min RESET 充電停止電圧を5.7Vとしました。12時間の測定で72回のDuty_cycleで合計 **42.48Ah** 放電量でした。平均電流値は3.5Aに相当です。CBA4の測定結果によれば放電電力量は300Whでした。新品EVモジュールの電力容量は500Whなので性能は40%低下していることとなります。

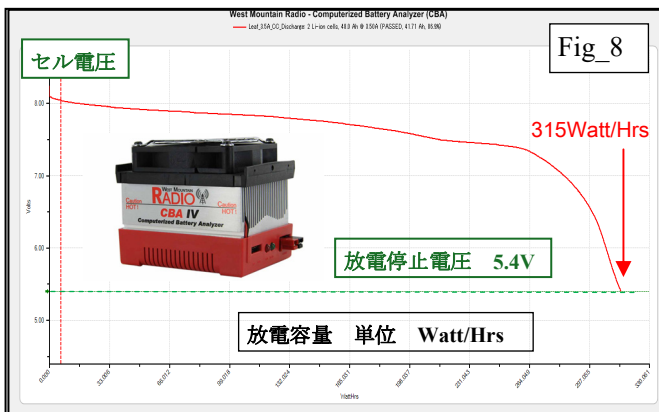
Fig_7 : 3.5A連続放電プロセスの熱流曲線



充電開始後5.5時間は吸熱反応、その後3つの発熱反応を経て放電を完了します。放電_総発熱量は21.300Jでした。

17.7Aの一定電流で放電すれば反応エントロピー変化を示す熱流信号はジュール熱でマスクされその全容は把握できません。

一方、Duty比0.2の矩形電力で発生する発熱信号は時定数補正を行うことでRESET時間の8min後にはHF信号ゼロベースラインにほぼ戻ります。熱流信号_青色曲線の下側包絡線は、Fig_4,5の測定データと良く似ており反応エントロピー変化を示すように見えます。



Fig_8はFig_7の放電容量の試験結果が315Watt/Hrsであることを示します。

CBA4 は最大電圧 55V 連続10A100W負荷が可能、オプション電源を付加すればEVモジュールのような500Wレベルの負荷まで測定可能となります。CBA4はローコストですが様々な電池性能テストと保安機能があります。

Fig_7はDuty_Cycleの下側包絡線と一定電流の放電プロセスのHF信号を比較するためFig_6の平均電流値3.5Aで測定しました。Fig_6の下側包絡線とFig_7の差は僅かですが、完全に一致するものではありません。

CBA4によれば全放電量**41.72Ah**でした。放電総発熱量は10,280Jとなり,Duty_cycle測定の発熱量の48.2%となります。

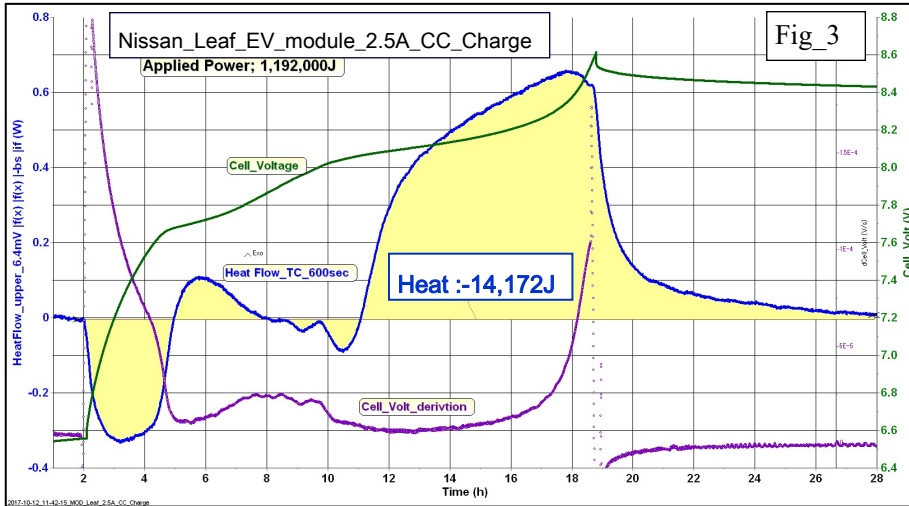


劣化した電池を分解した測定サンプルを分析機器で測定分析することなく、充放電時の吸熱発熱反応から劣化評価を可能とするのが熱量測定です。

Technical Note テクニカルノート LIB-11/2 2017-10-17

Title: 日産リーフ・EVモジュールまるごと_充放電プロセスの熱量測定

Fig 3,4,5 : 充放電電流2.5A (0.05CC相当) 室温24°C の熱流曲線



前ページ_Fig_1,2の充放電電流条件の10.0A_0.25CCは電池の反応エントロピー変化を見るには電流が大きすぎます。

電流を10Aから2.5Aにすればジュール発熱は減少し、反応エントロピー変化がクリアになります。

Fig 3,4,5の測定例が示すようにA4サイズEVモジュールのような大型電池でも0.05CCのレベルになると時定数補正をしなくてもHF信号波形の遅れは非常に僅かなものになります。なおFig 4の赤色曲線がHF信号オリジナル曲線、青色曲線が $\tau=600\text{sec}$ で時定数補正したものです。時定数はAKTSソフトウェアの機能で推定することができます。

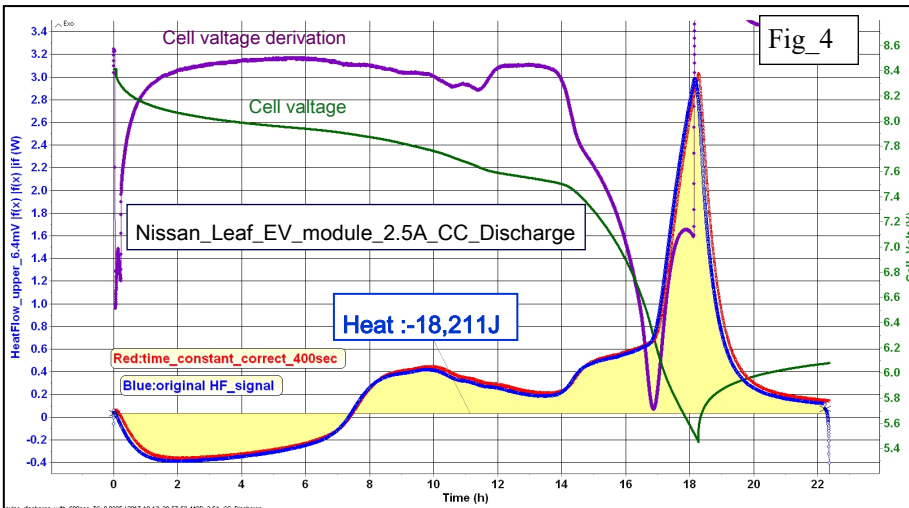


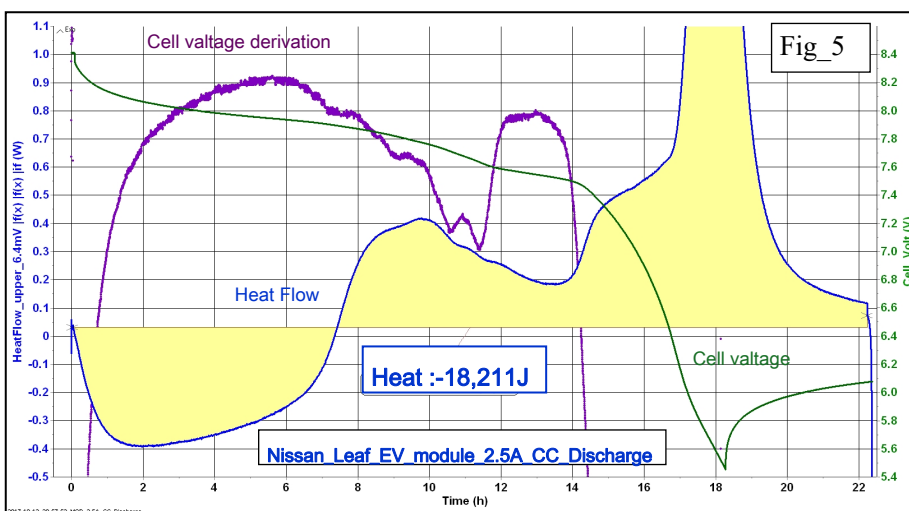
Fig 4の測定データから充電投入電力(2.5A×セル電圧)の1,192kJに対して全吸熱熱量は14.17kJであり、そのエネルギーロス比率は1.189%です。

Fig 4の放電時総出力1,240kJに対し吸熱熱量は18.21kJであり、同じくその比率は1.468%です。

廃車されたEV_moduleのエネルギー効率が97.34%あることは未だ利用価値があることを示しています。

このEVモジュールは充電開始と放電開始時ともに吸熱反応となります。

Fig 5はFig 4の測定データの熱流信号を1.6Wフルスケールとしたもので電池電圧の微分曲線とHF信号が示す反応エントロピー変化に相関が見られることを示します。



車載電池のように大きな熱容量を持つと熱流信号の熱応答がどうしても悪化します。放熱特性が優れているラミネートセルですが“重量3.8kg 厚み55mmサイズのセルでどの程度の熱流信号データが得られるか?”を調べてみました。

文献などで良く見かける18650_LIBの測定データと18650_LIBの50-60本の容量のEVモジュールでいずれも同じような熱流信号データが得られました。



3.8kg_EVモジュールは熱容量が大きいのですが放熱設計が優れており、A4_HFSモジュールと合わせて時定数は600s程度になっています。