

リチウムイオン二次電池(LIB)はエネルギー密度が高いことから、電気自動車(EV)などの駆動用電池として適用が進められている。電池は充電で蓄えた化学エネルギーを電気エネルギーに変換して取り出すデバイスであるが、エネルギーの一部は化学反応のエントロピー変化に伴う反応熱、開回路電圧からの分極に伴うジュール熱となり、電池の温度を上昇させる¹⁾。特にEV用の大型電池では電池体積に対する放熱面積が小さいため温度上昇しやすい。また、急速充電など大電流においては電池の温度上昇が大きくなり、電池性能の劣化を引き起こす懸念がある。特に高SOC(充電状態: State Of Charge)における高温環境下では、負極活性物質上のSEI被膜の成長が加速され、反応抵抗が増加するとともに、被膜中にリチウムイオンが取り込まれて不活性化し、容量が低下する劣化現象が起こる²⁾。従って、車載用電池の長期耐久性性能を確保するためには、電池の適切な温度管理=熱マネジメントが重要となる。本記事はEVの電池について多角的に評価した事例を紹介する。



技術本部 EV・電池プロジェクト室
たけだ しょうじ
武田 章司



技術本部 EV・電池プロジェクト室
すなみ たかまさ
角南 高匡



技術本部 EV・電池プロジェクト室
はやし よしき
林 良樹



技術本部 EV・電池プロジェクト室
つばた たかゆき
坪田 隆之

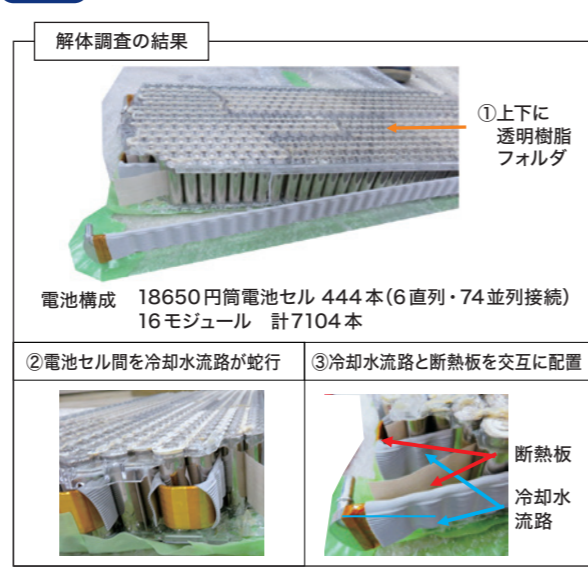
A-1 電池モジュールの充放電発熱試験

電池モジュールの解体調査から充放電試験までの流れを紹介する。初めに、電池モジュールの解体調査により材質、構造、セルの冷却方法など、電池特有の機構について詳細を調査する。解体調査の一例を第1図に示す。

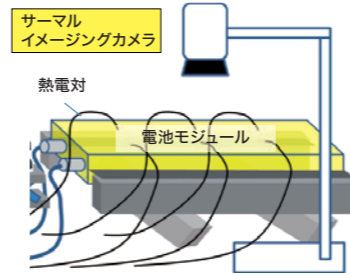
次に調査結果をもとに熱設計に関する仮説を立て、実験プランを組む。例えば「モジュール上下に透明樹脂フォルダがある」という事実に対し「上下から電池パックへの熱伝達は小さい」という仮説、「電池セル間を冷却水流路が蛇行している」という事実に対して「冷却水による熱輸送(加熱・冷却)があり、電池モジュールのコンパクト化と伝熱面積の確保を両立しており、隙間の設計精度が高い」という仮説、また「全ての電池セルと流路が直接接触し、断熱板が交互に配置されている」という事実に対しては「効率良く流路側から抜熱される」との仮説をそれぞれ立てることができる。それらを踏まえ本実験プランは、①サーマルイメージングカメラと熱電対により上面から温度分布を計測し、電池セルからの伝熱経路を検証する(第2図)、②レーザー変位計により側面から電池セル外装の膨張収縮量を計測することで電池セルと流路の接触マーヅを検証する(第3図)、③チラーとウォーターポンプにより冷却水の循環流路を構築し、冷却有無による抜熱効果を評価する(第4図)。以上の3点について、充放電試験機を用いた充放電

発熱試験により冷却機構の性能を評価する。第5図にサーモグラフィーによる外観温度分布を示した。

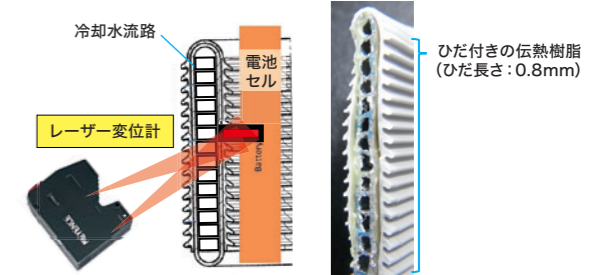
第1図 電池モジュールの解体調査結果



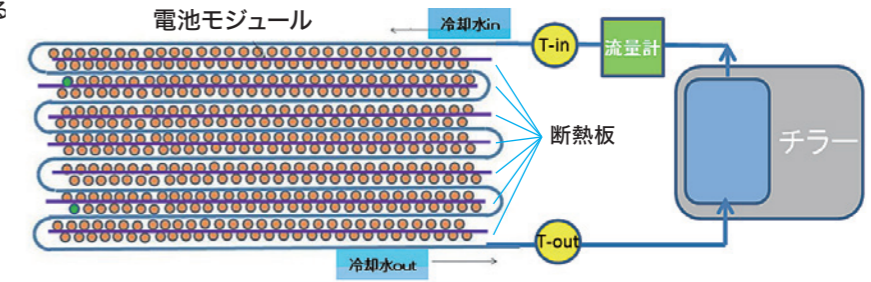
第2図 温度分布計測例



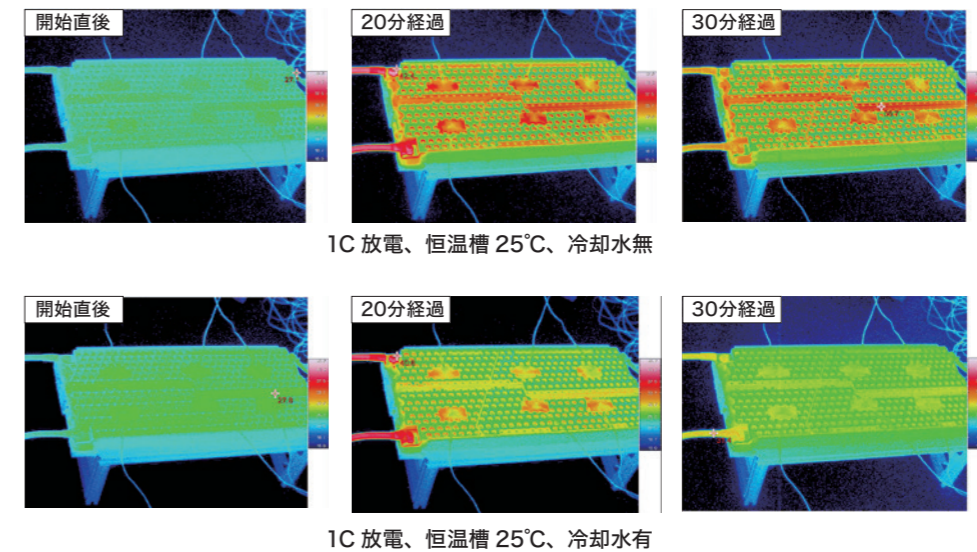
第3図 変位計測例及び実際の冷却水流路



第4図 冷却水の循環流路構築による熱抵抗評価試験



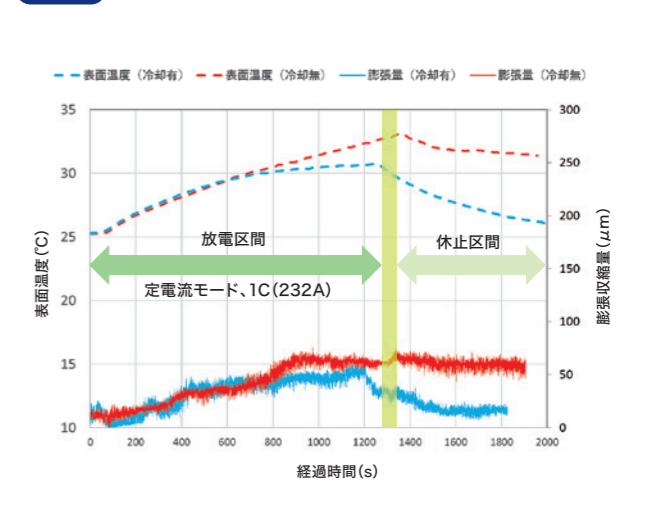
第5図 サーモグラフィーによる外観温度の経時変化



放電開始から20分経過時、冷却水無の場合ではセルから発生した熱が流路側に逃げ場がないためモジュール上面に配された電極板に伝熱している。一方、冷却水有の場合では電池セルの熱は冷却水で抜熱されるため電極板への伝熱は軽微である。

その後、放電開始から30分経過時(休止後10分)、冷却水無の場合は10分前との変化が認められないが、冷却水有の場合はさらに抜熱が進み、放電前と同等の温度レベルに冷却されている。第6図に熱電対による表面温度の測定値を示す。冷却の有無による温度差は、放電開始から20分経過時では2°C、30分経過時では5°Cと徐々に拡大しており、冷却水による抜熱効果がわかる。また、その時の膨張収縮量は冷却無で平均+47μm、冷却有で平均+30μmであり、冷却によって膨張収縮が抑制されていることが確認された。その後の分解調査結果から、50μm程度の膨張であれば、金属製のインナーチューブ表面にコーティングされたひだ付き伝熱樹脂(第3図)によって電池セルと流路の接触面が最適に保たれることがわかった。

第6図 モジュール表面温度とセル側面の膨張収縮量



A-2 電池セルと冷却器接合部の熱抵抗評価

効率的に電池の熱をマネジメントするには、冷却流路と電池セル接合部に対するさまざまな特性評価が必要で、中でも熱の伝えにくさを示す熱抵抗は、電池の冷却性能に直結する重要な要素である。これについては電池モジュールを充放電試験時の電池温度、冷却水入口と出口の温度差から算出した抜熱量により接合部の全熱通過率を求めることで評価することが可能である。充放電試験の模式図を以下に示す(第7図)。

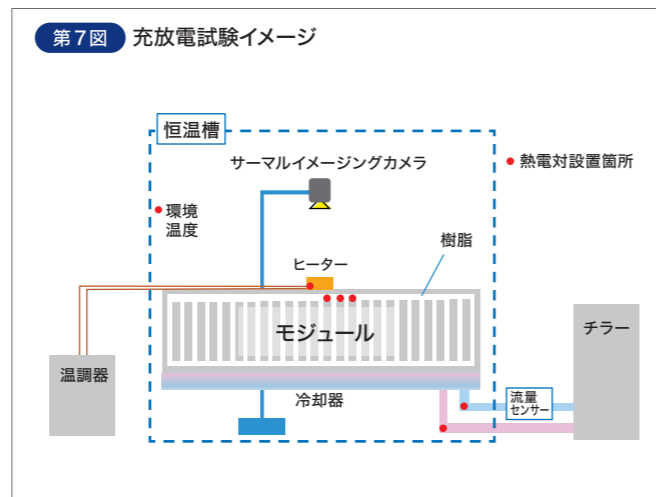
初めに、充放電によるセルの発熱が冷却水側に伝わった量、すなわち冷却水による抜熱量を(1)式にて算出する。 Q は冷却水抜熱量[W]、 m は冷却水流量[kg/s]、 C_p は冷却水比熱[J/(kg・K)]、 T_i 、 T_o はそれぞれモジュール入口、出口の温度[K]とすると、

$$Q = m \times C_p (T_o - T_i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

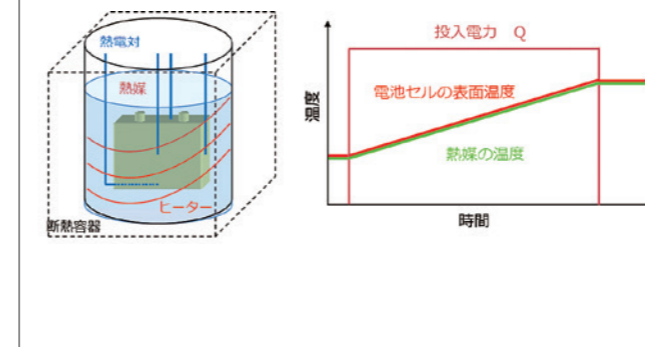
となる。次に、算出した冷却水抜熱量 Q をもとに、全熱通過率を(2)式によって算出する。

$$k = Q / \{A (T_c - T_w)\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

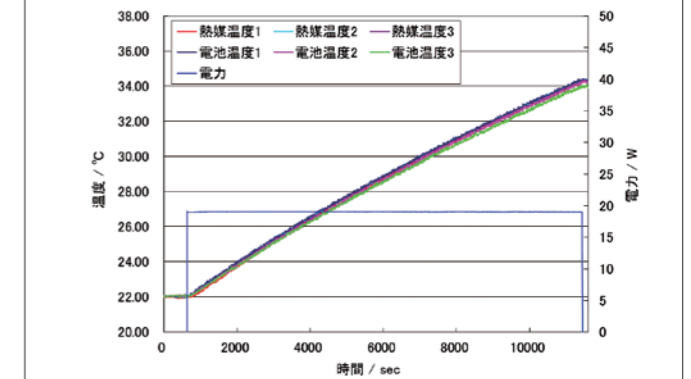
ここで、 k は電池モジュールとセル間の全熱通過率[W/(m²・K)]、 A は伝熱面積[m²]、 T_c はセル平均温度[K]、 T_w は冷却水平均温度[K]である。当社にてテスト車両の電池モジュールを対象に試験を実施したところ T_i が24.9°C、 T_o が26.0°C時の抜熱量 Q が190W程度、 T_c が29.0°C、 T_w が25.5°C時の全熱通過率が50W/(m²・K)程度であった。第8図より、ひだ付き伝熱樹脂の形状と材質から熱抵抗が大きくなると予測していたが、冷却水流路を蛇行させて全ての電池セルと接触させ接触面積を大きくとることで、十分な冷却効果を確保していると推測される。



第9図 電池の比熱測定の様式図



第10図 電池の比熱測定結果の例



環境規制の強化を背景に、多くの自動車メーカーがEVの市場投入を加速させていく中、電池パックの熱マネジメント技術は差別化の観点で引き続き重要な役割を担うことが予想される。熱マネジメントシステムとしては空気で電池を冷やす空冷システム以外に、車室内エアコンの冷媒を電池まで配して冷却に利用する液冷システム、冷却水経路とチラーによって電池を冷却する水冷システムの3種類に分類できる。電池の大容量化や充電時間短縮時に発生する、より大きな熱の回収を実現するため、熱容量を大きくしても安定させやすい水冷方式の進化が今後さらに期待できる。それに伴い部品点数の増加や冷却水流路・制御の複雑化も予想されることから、これまでに培ってきた当社の熱マネジメント評価技術が生かされれば幸いである。

参考文献 *1) V. V. Viswanathan et al. : J. Power Sources, 195 (2010) 3720.
 *2) 西内ほか：リチウムイオン電池の高温保存劣化メカニズムの解明, 第57回電池討論会(千葉), 3C05.
 *3) 山添：超急速充電対応電気自動車用電池パック冷却技術, 自動車技術会論文集, 51 (2020) 107.

A-3 電池の比熱測定

電池の冷却機構を検討するにあたり電池の比熱が必要となる。当社では電池そのままの状態での比熱測定手法を開発しており、円筒電池などの小型電池から、EV用大型電池まで測定可能である。比熱測定の様式図を第9図に示す。断熱容器内の電池を一定電力で加熱し、投入電力量と、電池および熱媒の温度上昇から、電池の比熱を算出する。投入熱量と温度上昇の関係より、電池の比熱 C_{pB} は(3)式で表される。ここで、 Q は投入電力量、 m_B は電池の質量、 ΔT_B は電池の温度上昇、 C_{pH} は熱媒の比熱、 m_H は熱媒の質量、 ΔT_H は熱媒の温度上昇、 W は装置の熱容量である。

$$C_{pB} = (Q - m_H C_{pH} \Delta T_H - W \Delta T_H) / (m_B \Delta T_B) \quad \dots\dots\dots (3)$$

第10図に、当社にて試作した5Ahのラミネート電池の比熱測定結果を示す。比熱は830.2±14.9 J/(kg・K)であった。なお、電池内部は積層や捲回電極により熱伝導率に異方向性があるが、電池の厚さ方向、面方向の伝熱試験を行い、各方向の熱伝導率を算出することが可能である。