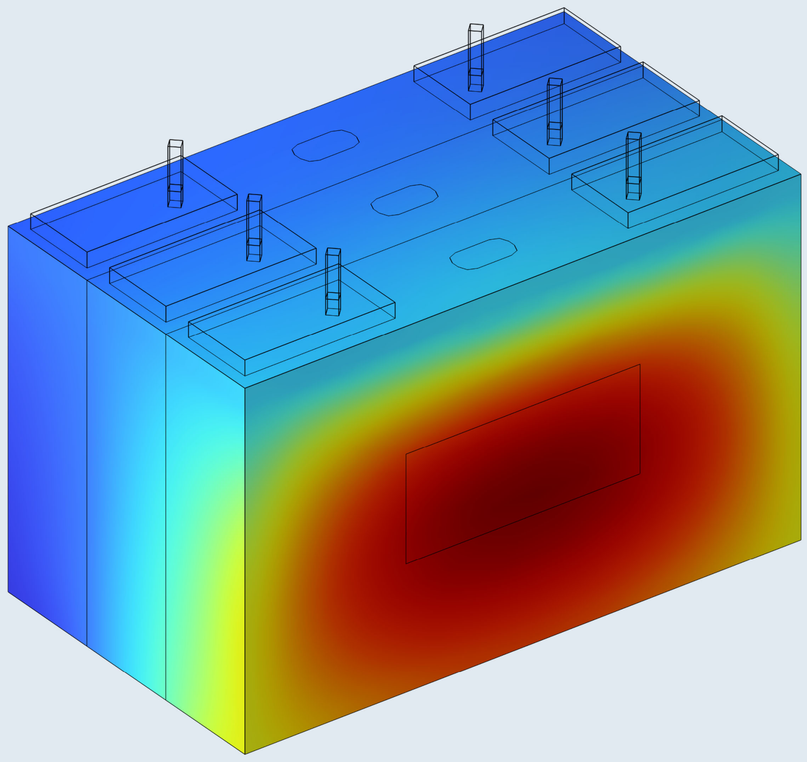


実測データばらつきを考慮した電池熱暴走シミュレーション

リチウムイオン電池モジュールを対象として、熱物性値の測定ばらつきを考慮した熱暴走・熱伝播モデルを構築し、入力データの不確かさが熱暴走発生時刻や最高温度に与える影響を定量評価した。

北川　勇人,馬場　亮平,田中　健太

株式会社コベルコ科研,技術本部　計算科学センター,〒651-2271,兵庫県神戸市西区.

背景・目的

リチウムイオン電池モジュールの熱暴走・熱伝播シミュレーションはEVや蓄電池システムの安全設計に活用されている一方、入力値となる熱物性値や熱分解反応パラメータには測定ばらつきが存在し、その不確かさが予測結果に与える影響は十分に明らかではなかった。本研究では、3セルから構成される角形電池モジュールの熱暴走伝播モデルを構築し、熱物性値のばらつきが熱暴走発生時刻や最高温度に与える影響を確率論的に評価した。更に、感度解析により、解析結果を支配する主要的な不確かさ要因を特定することを目的とした。

解析内容

3セルからなる角形リチウムイオン電池モジュールを対象に、一次元熱伝播モデルを構築し、熱伝導・熱分解反応・放熱を考慮した熱暴走伝播解析を実施した。

セル比熱容量、セル熱伝導率、熱分解反応の潜熱、活性化エネルギーを確率変数としてモンテカルロ計算を実施し、入力値のばらつきが各セルの温度履歴や熱暴走発生時刻に与える影響を評価した。さらに、計算結果を用いてガウス過程回帰（Gaussian Process Regression（GPR）によるサロゲートモデルを構築し、各入力パラメータ感度解析を実施した。

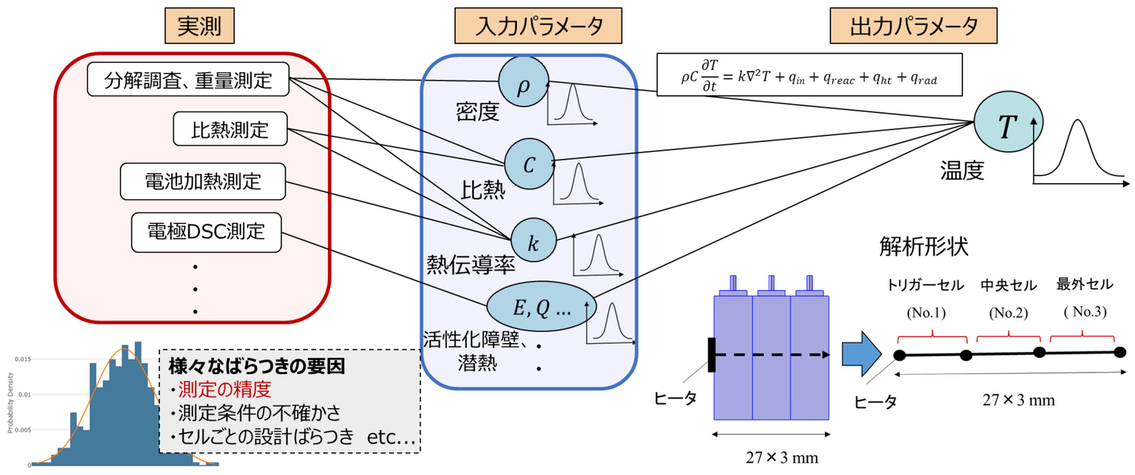


図 1.　実測データのばらつき伝播の相関概略図.

結果

物性値のばらつきに応じて各電池セルの温度プロファイルにもばらつきが生じ、ヒータから遠方セルほどばらつきも拡大している。特に、中央セルは全体の3%は熱暴走せず、最外セルについては25%も熱暴走しない結果となった。

また、感度解析の結果、最高温度には潜熱（Q）および熱伝導率（kcell）の寄与が大きく影響し、熱暴走発生時刻に対しては、特にkcellの寄与が大きいことが明らかとなった。一方、比熱容量（C）および活性化エネルギー（E）は入力となる実測精度が高く変動幅が小さいため、感度が小さく、モデル感度と実測データばらつきを反映した結果解釈が可能となる。

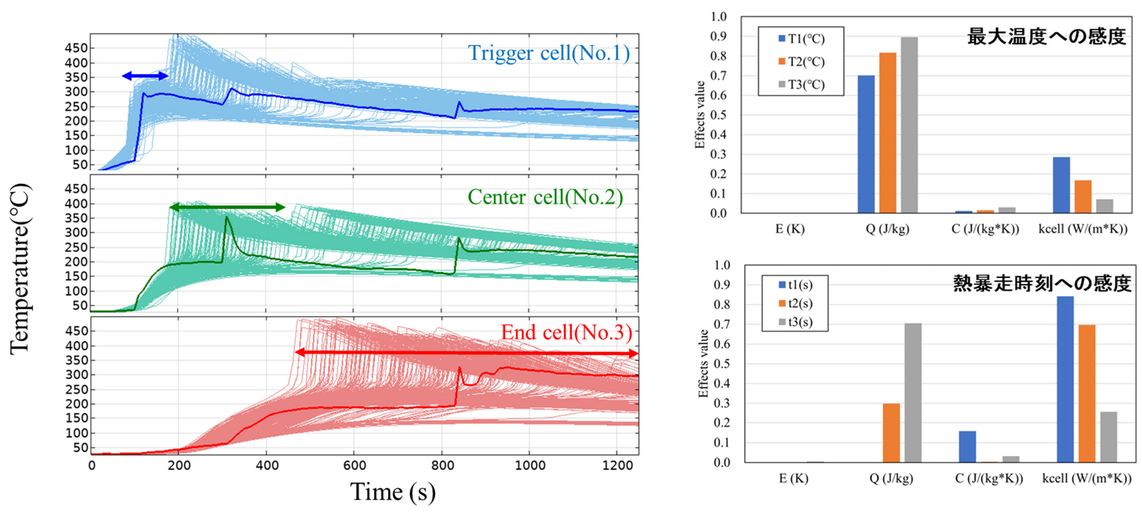


図 2.　左：各セルの温度履歴. 右：最大温度、熱暴走時刻の感度指標.

参考文献

H. Kitagawa, Y. Takagishi, M. Nishiuchi, K. Saeki, R. Baba, T. Yamaue, “Modelling of Thermal Runaway Propagation in Li-Ion Battery Cells Considering Variations in Thermal Property Measurements”, Batteries, 11 (386), pp. 1-20, 2025.

The Proceedings of the COMSOL Conference 2026 Tokyo より抜粋