

# Low Fin Tubeを適用した円筒型リチウムイオン電池 パックの強制空冷性能評価 : Alignedおよび Staggered配置の比較検討

永瀬, 太希  
九州大学大学院総合理工学府総合理工学専攻機械・システム理工学メジャー

<https://hdl.handle.net/2324/7431335>

---

出版情報 : Kyushu University, 2025, 修士, 修士  
バージョン :  
権利関係 :



# Low Fin Tube を適用した円筒型リチウムイオン電池パックの強制空冷性能評価

## —Aligned および Staggered 配置の比較検討—

熱エネルギー変換システム学研究室 永瀬太希

### 1. 諸言

脱炭素化とエネルギー安全保障を背景に EV 普及が加速し、車載用リチウムイオン電池は高出力化が進んでいる。そのため、発熱が増大し、温度上昇と不均一化が性能低下を招き、最悪の場合は熱暴走へ繋がる可能性がある。したがって、電池温度を適正範囲に保ち、温度分布を均一化しつつ、異常時リスクも抑える熱管理システムが重要である。現状、空冷、液冷、PCM などの多様な冷却方式が提案されているが、様々な制約が複合し、最適解は一意に定まっていない。

### 2. 研究目的

上記の課題に対し、本研究では円筒型リチウムイオン電池の強制空冷に Low Fin Tube (LFT) を適用し、伝熱面積の拡大と熱伝達促進によって冷却性能と温度均一性をどれだけ向上できるかを検証する。また、LFT 装着セルを複数配置したバッテリーパックを対象に、Aligned / Staggered 配置およびセル間隔が冷却性能とシステム設計指標に与える影響を比較し、配置設計の指針を提示する。

### 3. 数値解析モデル

本研究は COMSOL Multiphysics を用いた。流れ方向を x 軸、鉛直方向を z 軸とした。(図 1)

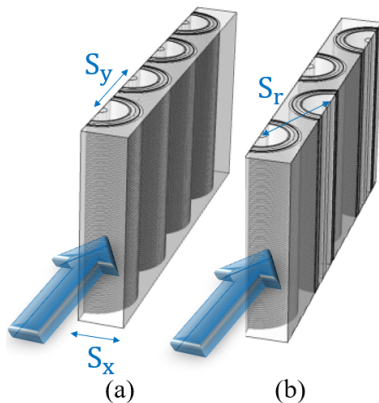


図 1 Geometry

表 1 に  $S_x=30\text{mm}$ ,  $S_y=31\text{mm}$  の時の Aligned 配置、また  $S_r=30\text{mm}$  の時の Staggered 配置の寸法を示す。また表 2 にシミュレーション条件を示す。

表 1 Geometry 寸法

Arrangement	Parameter	Value
Aligned	Width	137.6 [mm]
	Depth	15 [mm]
	Height	65 [mm]
	Battery spacing	$S_x=30[\text{mm}]$ , $S_y=31[\text{mm}]$
Staggered	Width	89.6 [mm]
	Depth	15 [mm]
	Height	65 [mm]
	Battery spacing	$S_r=30$ [mm]

表 2 シミュレーション条件

Aligned		Staggered	
	Step1	Step2	
$S_x$ [mm]	constant	28→38	$S_r$ [mm] 28→38
$S_y$ [mm]	28→38	constant	

熱伝導方程式

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q + Q_{\text{ext}} \quad (1)$$

質量保存則 (連続の式)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (2)$$

運動量保存則 (Navier-stokes 方程式)

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{F} \quad (3)$$

また本解析では、P2D (Pesudo-2D) モデルを用いて電池内部の電気化学反応を解くこと、端子電圧  $V$  と  $U_{\text{OCV}}$  を求め、式 (4) に基づいて時間依存的な発熱挙動を算出した。

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{irr}} + \dot{Q}_{\text{rev}} = I(V - U_{\text{OCV}}) - IT \frac{\partial U_{\text{OCV}}}{\partial T} \quad (4)$$

冷却空気の入口条件として初期質量流量  $\dot{m} = 5.75 \times 10^{-4} \text{kg/s}$  を与えた。電池は 5C で運転し、充電 300s、放電 300s の計 600s を 1 サイクルとして解析した。

#### 4. 評価方法

必要動力

$$P_W = \left( \bar{P}_{in} + \frac{\rho_{in} U_{in}^2}{2} \right) \cdot \dot{Q}_{vin} \quad (5)$$

冷却効率

$$\eta = \frac{\int C_p \cdot \dot{m} \cdot (T_{out} - T_0) dt}{\int P_w dt} \quad (6)$$

#### 5. 結果および考察

##### (1) Aligned 配置における最適 Sy の選定

図2は28mm~38mmの範囲でSyを変化させた時の冷却効率と必要動力の関係である。本解析において、効率低下と動力増加が過度にならず、体積増加を抑えることができるSy=31mmを最適値とする。

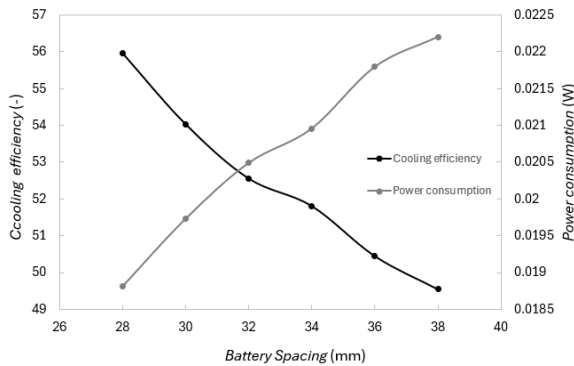


図2 冷却効率、必要動力

##### (2) Aligned 配置における最適 Sx の選定

図3は28mm~38mmの範囲でSyを変化させた時のバッテリー最大温度と温度変化量ΔTの傾向を示す。Syが小さい範囲で優位性を示す。

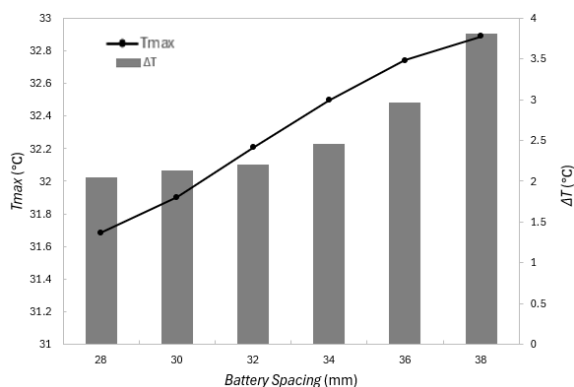


図3 最大温度、温度変化量

また、図4は冷却効率と必要動力の関係である。Sx=30mmから必要動力の減少が漸近的となる。最大温度や温度変化量の低下、またパッケージ体積拡大の抑制も考慮し、Sx=30mmを最適値とする。

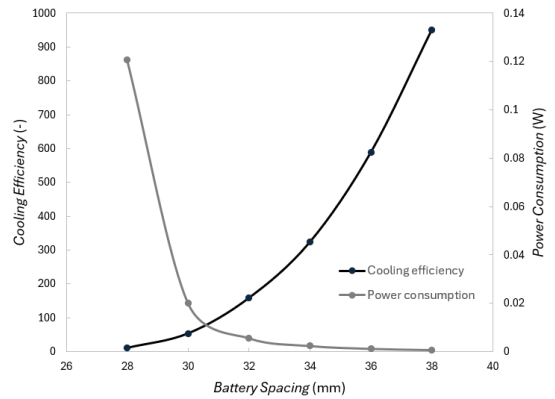


図4 冷却効率、必要動力

##### (3) Staggered 配置における最適 Sr の選定

図5は28mm~38mmの範囲でSrを変化させた時のバッテリー最大温度と温度変化量ΔTの傾向を示す。また図6は冷却効率と必要動力の関係を示す。

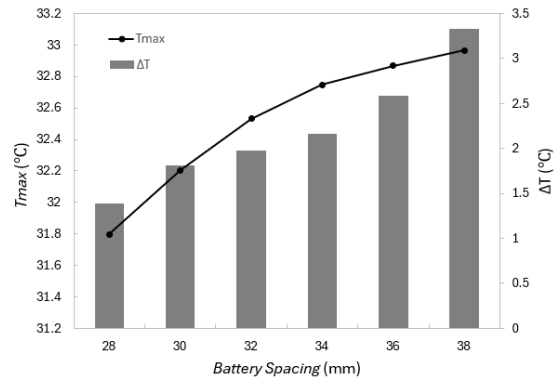


図5 最大温度、温度変化量

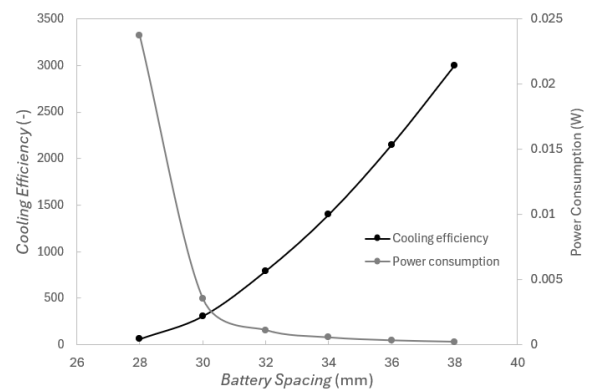


図6 冷却効率、必要動力

Aligned 配置の Sx 選定時同様の考察より、Sr=30mmを最適値とする。

#### 6. 結言

Aligned 配置における Sx, Sy の最適値を 30mm, 31mm とし、Staggered 配置における Sr の最適値を 30mm とする。