

電気自動車 (EV) の分野における、生成 AI と TRIZ を用いた発明創出の仮想的な対話例を以下に示します。

---

### 仮想対話例: AI-TRIZ による EV バッテリーの急速充電と長寿命化の両立

ユーザー:

こんにちは。電気自動車 (EV) の開発において、急速充電時間の短縮とバッテリー寿命の維持という、相反する要求を両立させる技術について悩んでいます。現状の技術では、充電速度を上げるとバッテリーの劣化が早まる傾向にあります。特にリチウムイオンバッテリーの劣化メカニズムを考慮しつつ、ユーザーが満足する急速充電 (例: 15 分で 10% から 80% まで充電) を実現し、かつバッテリーのサイクル寿命 (例: 1000 サイクル後の容量維持率) を最大化したいです。

この課題解決のために、TRIZ の手法とあなたの AI としての能力を組み合わせ、何か新しいアイデアは考えられないでしょうか？

生成 AI:

こんにちは。EV における「急速充電時間の短縮」と「バッテリー寿命の維持」の両立です。これは多くの EV 開発者が直面する重要な課題です。承知いたしました。TRIZ の体系的な問題解決アプローチと、私の持つ情報収集・分析能力 1 を活用して、革新的な解決策のアイデア創出をお手伝いします。

まず、問題をより深く理解するために、いくつか情報を整理させてください。

- バッテリーの仕様:** 対象としているバッテリーの種類 (例: NMC、LFP など)、容量、セルの構成などの詳細。
- 劣化要因:** 特に懸念されている劣化メカニズムは何でしょうか？ (例: 電極材料の構造変化、SEI 層の異常成長、リチウム析出、内部抵抗増加、熱劣化など)
- 既存の対策:** 現在採用されているバッテリーマネジメントシステム (BMS) の機能や、熱管理システム (冷却・加温) の概要と、それらの限界点は何でしょうか？
- 性能目標:** 具体的な充電時間目標 (例: 15 分で 10-80%) と、許容できる寿命低下のレベル (例: 1000 サイクル後の容量維持率 80% 以上) について、もう少し詳しく教えていただけますか？

これらの情報を基に、リチウムイオンバッテリーの劣化メカニズム、急速充電技術(定電流定電圧充電(CC-CV)の最適化、パルス充電など)、高度な BMS アルゴリズム、熱管理技術(液冷、空冷、相変化材料など)、AI によるバッテリー状態推定 (SoH, SoC, SoP)<sup>13</sup> に関する最新の研究動向や技術情報を調査・分析します<sup>2</sup>。

ユーザー:

ありがとうございます。

1. バッテリーは一般的な車載用 NMC(ニッケル・マンガン・コバルト)系リチウムイオンバッテリーを想定しています。
2. 劣化要因としては、特に急速充電時の高温による熱劣化と、高電流印加によるリチウム析出、それに伴う内部抵抗の増加が懸念されます。
3. 既存の BMS では、全体の電圧・電流・温度を監視し、安全マージンをとって充電電流を制御していますが、個々のセル状態のばらつきまでは十分に考慮できていません。熱管理は液冷式ですが、急速充電中の局所的な温度上昇を抑えきれない場合があります。
4. 性能目標は、15 分で 10%から 80%までの充電を可能にしつつ、1000 回の急速充電サイクル後でも初期容量の 80%以上を維持することを目指したいです。

生成 AI:

詳細な情報、ありがとうございます。課題の核心は、「充電速度(#9 Speed)を向上させようとする、バッテリーの健全性や寿命(#13 対象物の組成の安定性 (Stability of Object's Composition) や #27 信頼性 (Reliability))が悪化する」という点にあると整理できますね。これは TRIZ における典型的な「技術的矛盾」です<sup>16</sup>。

この矛盾の定義(例: #9 Speed vs #13 Stability)で問題ないでしょうか？

ユーザー:

はい、その矛盾の定義(#9 Speed vs #13 Stability)で的確だと思います。

では、この矛盾を解決するために、TRIZ の 40 の発明原理の中で、どのような原理が有効と考えられますか？ 候補をいくつか提案してください。

生成 AI:

承知いたしました。矛盾「#9 Speed vs #13 Stability」を解決するために、TRIZ の矛盾マトリクス 16 および関連知識ベースから推奨される発明原理の候補は以下の通りです 24。

- **#15 ダイナミック性 (Dynamics):** システムやプロセスを状況に応じて最適に変化させる。バッテリーの状態(温度、内部抵抗、劣化度など)に応じて充電プロファイル(電流、電圧)をリアルタイムで最適化する応用が考えられます。
- **#10 先行作用 (Preliminary Action):** 必要な作用を事前に行っておく。充電前にバッテリーを最適な温度に予熱・予冷しておく、あるいは劣化を予測して充電戦略を事前に調整する応用が考えられます。
- **#35 パラメータ変更 (Parameter Changes):** システムの物理的状态や環境を変更する。充電中のバッテリー温度をより精密に制御する、あるいは充電アルゴリズムのパラメータ(パルス幅、周波数など)を動的に変更する応用が考えられます。
- **#1 分割 (Segmentation):** 対象物を独立した部分に分割する、または時間的に分割する。バッテリーパックを複数のセグメントに分けて個別に充電制御する、あるいは充電プロセスを複数のステップに分割して各ステップで条件を変える応用が考えられます。
- **#3 局所的性質 (Local Quality):** システムの各部分に異なる条件や機能を持たせる。バッテリーパック内で温度が高くなりやすい部分を特定し、その部分だけ冷却を強化する、あるいは劣化が進んだセルだけ充電電流を抑えるといった応用が考えられます。
- **#11 事前準備・緩衝 (Beforehand Cushioning):** 信頼性の低さを補うために、事前に緊急手段を準備しておく。高度な保護機能(例:リチウム析出の早期検知と抑制アルゴリズム)を BMS に組み込む応用が考えられます。

これらの原理が、急速充電とバッテリー寿命の両立に向けた解決策のヒントになる可能性があります。

ユーザー:

提案ありがとうございます。特に「#15 ダイナミック性」、「#35 パラメータ変更」、「#3 局所的性質」の考え方が、バッテリー個々の状態に合わせて充電を最適化するというアプローチに繋がりそうで興味深いです。

これらの原理を活用して、具体的な EV バッテリー充電システムのアイデアをいくつか生成していただけますか？

生成 AI:

承知いたしました。発明原理「#15 ダイナミック性」、「#35 パラメータ変更」、「#3 局所的性質」に基づき、急速充電とバッテリー寿命の両立を目指す具体的なシステムのアイデアをいくつか生成します 1。

1. 【アイデア 1: AI 駆動型・適応型充電プロファイル制御(ダイナミック性+パラメータ変更)】

- バッテリーパック内の各セルまたはモジュールレベルで温度、電圧、内部抵抗などの状態をリアルタイムで精密に監視するセンサーシステムを導入します。
- AI(機械学習モデル)がこれらのセンサーデータとバッテリーの劣化モデルに基づき、各部の健全性(SoH)や充電状態(SoC)、許容入力電力(SoP)をリアルタイムで推定します<sup>13</sup>。
- AI は、推定されたバッテリー状態に応じて、全体の充電時間を最短にしつつ、各部の劣化(特に熱劣化やリチウム析出)を最小限に抑えるように、充電電流と電圧のプロファイルを充電セッション中に動的に最適化・調整します。過去の充電データから学習し、プロファイルを継続的に改善します<sup>15</sup>。

2. 【アイデア 2: セルレベル精密熱管理システム(局所的性質)】

- 従来のバッテリーパック全体の冷却ではなく、個々のセルまたは小さなセルグループ単位で温度を監視し、冷却(または必要に応じて加温)を独立して制御できる、より精密な熱管理システムを開発します。
- 急速充電中に特定のセル群で温度が上昇し始めた場合、その部分の冷却能力を選択的に強化し、局所的なホットスポットの発生を防ぎます。これにより、バッテリー全体の温度を均一に保ち、熱劣化を抑制します。

3. 【アイデア 3: AI 最適化パルス充電プロトコル(ダイナミック性+パラメータ変更)】

- 一定電流を流し続ける従来の CC 充電ではなく、充電電流を高速で ON/OFF するパルス充電を採用します。
- AI がバッテリーの状態(温度、内部抵抗、SoC など)をリアルタイムで監視し、リチウムイオンの拡散を促進し、かつ発熱を抑制するのに最適なパルスの周波数、デューティ比、休止時間を動的に調整します。これに

より、平均充電電流を高めつつ、劣化要因を低減することを目指します。

#### 4. 【アイデア 4: マルチフィジックス AI シミュレーション連携 BMS(先行作用+ダイナミック性)】

- バッテリー内部の電気化学的・熱的挙動を模擬する高精度なマルチフィジックスシミュレーションモデルを開発します。
- AI がリアルタイムのセンサーデータとこのシミュレーションモデルを連携させ、バッテリー内部の直接測定できない状態(例: 電極内部のイオン濃度分布、リチウム析出の兆候)を推定・予測します。
- この予測に基づき、BMS が充電電流をプロアクティブに制御し、劣化が始まる前に未然に防ぐような充電戦略を実行します(先行作用、ダイナミック性)。

これらのアイデアは、バッテリーの状態をより詳細かつリアルタイムに把握し、それに応じて充電プロセスをインテリジェントに制御することで、急速充電性能と寿命の両立を目指すものです。

ユーザー:

具体的なアイデアをありがとうございます。アイデア 1 の「AI 駆動型・適応型充電プロファイル制御」と、アイデア 2 の「セルレベル精密熱管理システム」を組み合わせるアプローチが、特に有望に感じます。個々のセルの状態に合わせて充電と熱管理を最適化できれば、安全マージンを確保しつつ全体の充電時間を短縮できそうです。

もちろん、高度なセンサー技術や複雑な AI アルゴリズムの開発、コストといった課題はありますが、次世代 EV のバッテリーシステムとして追求する価値のある方向性だと考えられます。今回の AI-TRIZ によるブレインストーミングは、非常に有益でした。

---