

電池箔の高速レーザ切断で、タブレス電池製造の生産性を向上

フィホン・チエン、ダニエル・レイテマイヤー

タブレス電池技術は、電池パックのエネルギー密度を高める手段を提供し、ガルバノスキャンシステムによるレーザ切断は、製造ソリューションを提供する。

バッテリー業界は、技術革新とコスト削減のバランスを図る必要に駆られている。次世代の電動モビリティ車両は、より高い出力とエネルギー密度を持つ電池が必要であると同時に、材料コストと製造コストを抑えなければならない。現時点では、リチウムイオン電池が自動車業界の主流である。タブレス構造の大型円筒形電池は、革新的な設計によってさらに高いエネルギー密度と出力を達成することから、市場シェアを拡大すると予想されている。

より大きなサイズの電池セル

新しい電気自動車の性能を高めるための1つの方法は、電池セルのサイズを大きくすることである。米テスラ社(Tesla)は2020年に、タブレス電極設計に関する特許を発表した。これは、「4680フォーマット」と同社が呼ぶ大

型円筒形電池である。その内部体積は約120ミリリットルで、ブレードセルを使用する他の電池方式(長さは約1メートル、体積は1.2リットル弱)と比べるとはるかに小さい。しかし、大型円筒形電池というフォームファクタは、並列接続などの電池パック設計に対して、格段に高い柔軟性を備える。

直径46mm、高さわずか80mmの4680電池は、電池特性、電池パック設計、eモビリティ設計の各側面を最適化する設計ソリューションである。従来の電池には、負極タブと正極タブがあり(図1a)、これらのタブは、電流を流すために電池カバーと接触している。タブレス電池は、図1bに示すように、電池箔全体が集電構造になっている。タブに見立てた切込みを電池箔に入れることにより、集電タブが電池箔全体に沿って伸びた構造となって

いる。

タブレス技術には、電池パックのエネルギー密度を高める2つの重要な利点がある。1つ目は、電子の移動距離は短く、集電部の放熱面積は大きくなることから、熱管理と熱安定性が向上して、全体的な安全性が高まることである。2つ目は、タブレス設計によって、電池内部の抵抗が低下し、電子の移動速度が増加するため、充電が高速化されることである。以前の21700ブレード電池と比べて、4680電池は、エネルギー密度は5倍、出力密度は6倍、航続距離は16%向上すると報告されている。

タブレス電池の製造要件

ドライコーティングによって、テスラ社の電池箔製造におけるコーティング工程は簡素化された。ウェットプロ

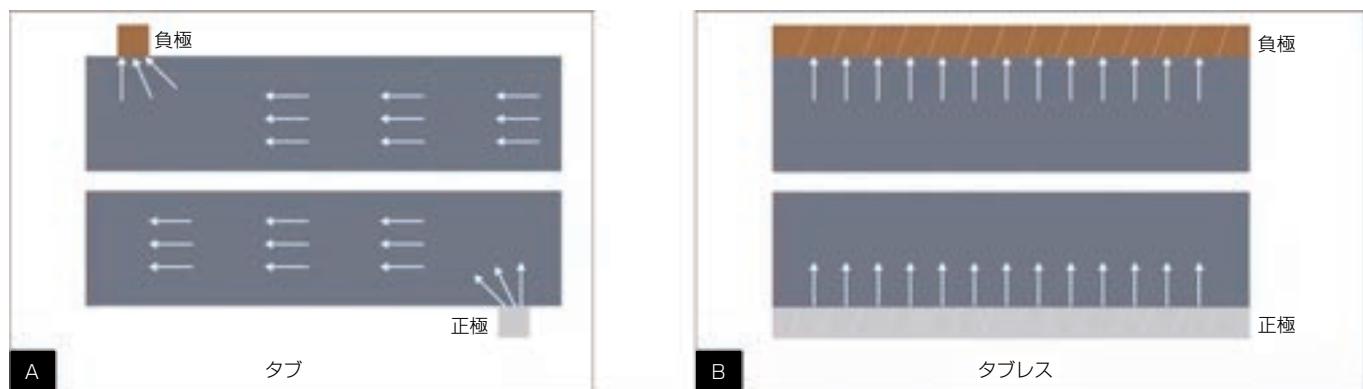


図1 (a)シングルタブ電極設計では、電子は距離全体を移動する。(b)タブレス電極設計では、金属箔全体が集電構造になっているため、電子が移動する距離は短くなる

セスがなくなったことで、生産スループットも向上した。eモビリティ業界に対するメリットは明らかで、コーティングの生産サイクルが短縮されることで、電池箔切断などの他の工程に処理時間を割くことが可能になる。

4680電池は、タブレス電池設計のリファレンスモデルだが、その集電構造を実現するには、これまでの電池モデルとは異なる形状と切断パターンが必要となる。タブレス設計の場合は、切り込みの総数が増えるため、電池箔を効率的に生産するには、より高いダイナミクスと高精度の切断が不可欠となる。現代の電池製造に対し、従来のナイフ切断に代わってレーザ切断が広く適用されているのは、そのためである。

タブレス電池製造では、最適な切断品質を維持しつつ、切断処理を高速かつ正確に行う必要があるため、ガルバノスキャンシステムを使用したレーザ切断が、最適なソリューションである。

優れた切断結果を得るには、切断速度、スポットサイズ、レーザ仕様(波長、出力、パルスエネルギー、パルス長、繰り返し周波数)といった、いくつかのプロセスパラメータを慎重に検討し、定義する必要がある。

電池箔のレーザ切断用にカスタマイズされた装置構成

独スキャンラボ社(SCANLAB)は、幅広い種類のスキャンソリューションと制御技術を提供しており、「intelliSCAN IV」スキャンヘッド(図2)は、ハイダイナミクスのスキャン用に開発されている。その防塵筐体には、産業用途向けにカスタマイズされた冷却コンセプトが採用されている。

ユーザーは、SCANhead制御によって、このスキャンヘッドを操作してダイナミクスを高めたり、軌道プラニン



図2 intelliSCAN IV スキャンシステムは、高精度なレーザ切断用途向けに設計されている



図3 テスラ社の特許US2023/0402722で公開されたタブレス電池構造のケーススタディ

グおよびシミュレーションソフトウェアであるSCANmotionControlを使用して、最適化されたプロセスパラメータを事前に定義したりすることができる。RTC6コントロールボードと組み合わせれば、最大限の柔軟性が得られるとともに、オンザフライ(OTF)モードや(完璧なコーナーを生成するため)スライライティングといった、その他の機能を利用することができる。

OTF加工は、eモビリティや電池箔製造において特に注目されており、例えば、コンベアベルト、回転プレート、ロールツーロールプロセスの可動部品の加工に適用できる。スマートなコントロールボードは、エンコーダカウンタによって間接的に、あるいは、マルチチャンネルバッファシリアルポート

(MCBSP)インターフェースを介して直接的に、加工対象物の相対位置を参照してレーザスキャナーの動きを調整する。

OTF補正を有効にすると、すべてのベクトルコマンドとArcコマンドの座標値がワークの位置に基づいて変換され、正確な処理が保証される。高い精度が求められる用途に対しては、スカイライティングを有効にすることができる。この機能は、すべてのマークベクトルがベクトル長全体にわたって一定のマーク速度で正確に実行されることを保証することにより、例えば、高精度のコーナー切断を可能にする。

シミュレーションソフトウェアによるプロセス開発時間の短縮

新しい加工処理に対して最適なプロ

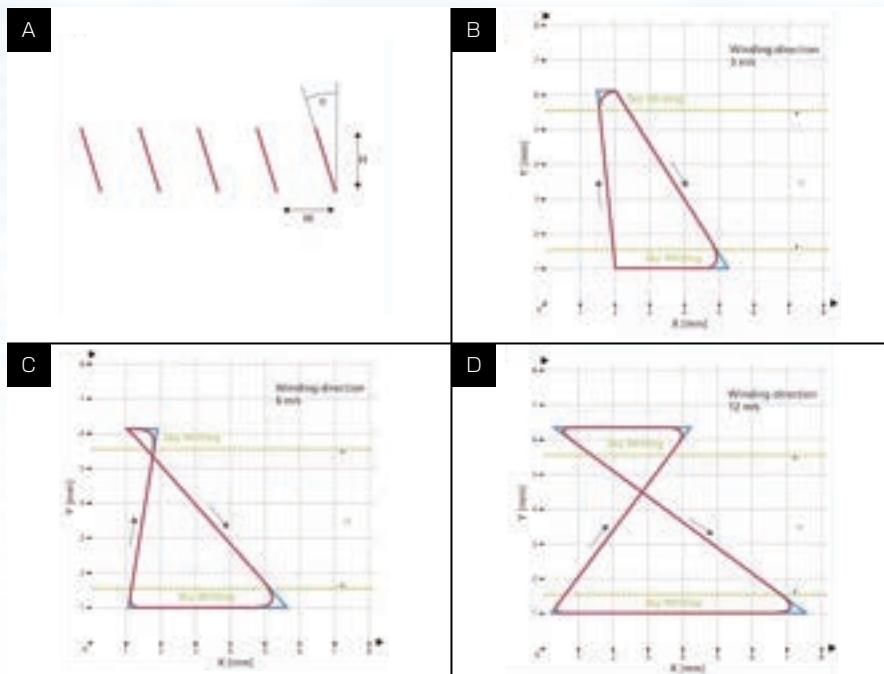


図4 (a)は、図3に示したレーザ切断の寸法($H=4\text{ mm}$ 、 $W=4\text{ mm}$ 、 $\alpha=20^\circ$)。(b)～(d)は、さまざまなベルト速度でのレーザパスと加工速度の軌道プランニング

セスパラメータを設定するのは、時間のかかる作業になる可能性がある。しかし、SCANmotionControlソフトウェアは、実際の加工の前に、レーザのスキャナパスをオフラインでシミュレーションする。スキャンシステムの物理的な特性を考慮に入れてこれを行なうため、パラメータを事前に正確に定義することができる。つまり、シミュレーション結果がそのまま、実際の加工結果となる。

テスラ社が4680電池の特許で公開したタブレス構造(図3)を参考に、 $f=340\text{mm}$ の $F\theta$ レンズを装備したintelliSCAN IV 14スキャナヘッドについて、さまざまなスキャナ速度とコンベアベルト速度のシミュレーション解析を行なった。

シミュレーションにより、双方向に垂直に切込みを入れるように設定すると、切断効率が高くなることがわかった。最良の結果が得られたのは、マークとジャンプの速度を同じ 12m/s に設

定して、不要な加速フェーズを回避する場合だった。 3 、 6 、 12m/s のロールツーロール速度でシミュレーションしたが、金属箔速度が高いほどコーナーの丸みが大きくなかった。品質要件によって、適切な金属箔速度が決まる。金属箔速度を定めた後に、マーク＆ジャンプ速度を上げることによって、プロセスと全体的なスループットをさらに最適化することができる。

軌道プランニングは、目標位置(青色)と、さまざまなベルト速度でのスキャンシミュレーション結果(赤色)を視覚化する(図4b～d)。レーザ切断プロセスの正確なサイズは、2本の緑色の破線の間で、その外側ではスカイライティングが有効化される。スカイライティング中は、レーザは停止される。コンベアベルトの最大速度は、対象用途に適用される最大イメージフィ

ールドサイズに主に依存する。ベルト速度を 12m/s にするには、約 8mm の最大イメージフィールド幅が必要である。このソフトウェアは、ベルト速度とスキャナの動きの両方を考慮に入れることができるために、スループットと精度において最良の結果を得ることができる。

最大 12m/s のベルト速度まで、変形することなくまっすぐに切断されることが示されている。スキャンラボ社のスキャナーは、一般的なベルト速度である $5\sim 10\text{m/s}$ よりもはるかに高速なコンベアベルト速度に対応することができる。このスキャンシステムは、複雑な形状に対しても、最高のベルト速度で優れた切断性能を保証するため、電池製造の厳しい要件に適したシステムとなっている。

今後の展望

近い将来の注目分野として、「バーストモード」動作のマルチパルスレーザがある。マルチパルスのバーストモードによる切断には、シングルパルス加工に勝る明白な利点がある。バーストモードには、アブレーション速度を高めて、切断品質を向上させる効果があり、それはスループットの増加につながる。スキャンラボ社の先進的な制御エレクトロニクスは既に、レーザがバーストモードを搭載しているならば、それを有効化することができる。あるいは、コントロールボードを使用すれば、半周期パラメータとパルス長パラメータを調整して所望のパルスエンベロープを定義しながら、最大 32MHz までの繰り返し周波数でパルスをトリガすることができる。

著者紹介

フィホン・チエン(Huihong Qian)とダニエル・レイテマイヤー(Daniel Reitemeyer)は、ともに独スキャンラボ社(SCANLAB)の事業開発部門に所属。