

高出力フェムト秒レーザーによる リチウムイオン電池電極の高速切断

リチウムイオン電池は、高いエネルギー密度、軽量なデザイン、良好な寿命を理由に、携帯型電子機器や電気自動車から、家庭用と産業用の両方の蓄電システムにいたるまでの多くの現代的な産業分野において、重要な役割を担っています。こうした様々な分野が成長し続けるにつれて、リチウムイオン電池の需要も増加しており、生産方法の継続的な改善が求められています。電池は、コーティングされた金属箔（電極）の層からなり、その加工には、高速なシングルパルスの切断と優れたエッジ品質が求められます。超短パルスレーザーは、この加工に最適です。

以前のアプリケーションノートで、ピコ秒のパルス幅とTimeShift™パルス制御機能を使用した、電池箔の切断結果を紹介しました（アプリケーションノート60）。その結果を踏まえて今回は、IceFyre® FS IR200 フェムト秒レーザーを使用した、リチウムイオン電池の正極箔と負極箔の切断結果を示します。今回の試験に使用した負極材は、厚さ約17μmのアルミ箔の両面にNMC（リチウムニッケルコバルトマンガン酸化物）をコーティングして、合計厚さを約100μmとしたものです。正極材には、厚さ約10μmの銅箔の両面を黒鉛でコーティングして合計厚さを98μmとしたものを使用しました。前回と同様に、TimeShiftテクノロジーを活用したバーストモードによる加工のメリットを、従来のシングルパルス加工と比較して示します。性能を評価するために、最大切断速度と、コーティングの「縮退幅」（切断エッジからどれだけの幅のコーティングが縮退したか）の両方を測定し、視覚的に比較できるように画像を示します。

バーストモードでは、PRF（パルス繰返し周波数）を200kHzに固定して、バーストのサブパルス数は10～80としました。一方、シングルパルス加工については、最初に複数の異なるPRFを試して、単一の最適な

切断条件を決定しました。図1は、正極箔と負極箔の両方について、バーストモードの実効切断速度とバーストパルス数の関係を示したものです。また、最適な切断速度におけるシングルパルス加工の結果が、水平の破線によって示されています。

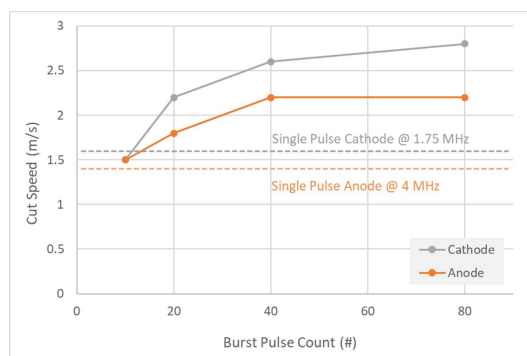


図 1. 正極箔と負極箔における、バーストパルス数に対する実効切断速度

このデータから、バーストモードがシングルパルスの切断速度を簡単に上回ることがわかります。シングルパルスの最大速度が正極と負極でそれぞれ1.4m/sと1.6m/sであるのに対し、バーストモードではパルス数が80の場合で、それぞれ2.2m/sと2.8m/sの速度が得られます。切断速度は正極で57%、負極で75%高くなっています。

IceFyre FS IR200のTimeShift機能の1つのメリットは、複数のバーストパルスの合計エネルギーが、シングルパルスよりも高くなることです。例えば、シングルパルスの最大エネルギーを約200μJとすると、5個、10個、20個のバーストパルスを使用すれば、合計でそれぞれ約550μJ、750μJ、900μJのバーストエネルギーが出力できます（エネルギー量はPRFに依存します）。これだけ高いエネルギーを「パケット化」すれば、加工速度の向上に効果的であるのは明白です。

切断品質を評価するために、各切断条件における正極箔と負極箔のコーティングの縮退幅を測定し(図2)、SEM(走査型電子顕微鏡)画像を撮影して、切断エッジの金属残渣(スミア)を定量的に検査しました(図3)。切断エッジの縮退幅は小さいほど望ましく、切断品質が高いことを表します。

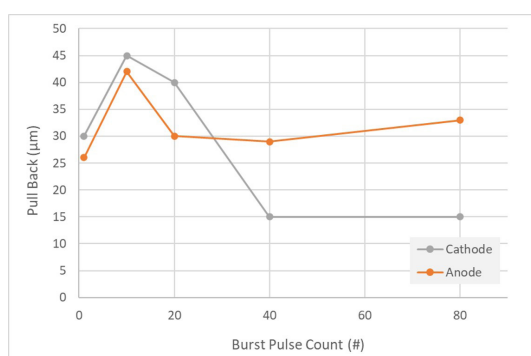


図 2. 正極箔と負極箔における、バーストパルス数に対するコーティングの縮退幅

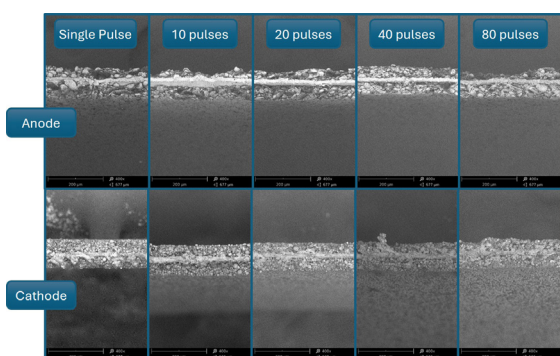


図 3. シングルパルスから80個のバーストパルスまでの様々なパルス数による、電池の正極箔と負極箔の切断エッジのSEM画像

どちらの電極箔でも、パルス数10のバーストモードでは、シングルパルスで加工するよりも縮退幅が大きくなりましたが、パルス数がそれよりも多くなると、縮退幅は改善されます。しかし、正箔については、シングルパルスの場合が、全試験条件の中で最も縮退幅が小さいという結果になりました。

SEM画像からは、正極箔では、どの条件下においてもほとんど残渣がなく、パルスが40個の場合に特にクリーンであるように見えます。一方、負極箔の品質はそれよりも曖昧です。シングルパルス加工では明らかに残渣があり、パルス数が10と20の場合は改善が見られます。しかし、パルス数が40と80になると、コントラストが低下していて残渣の程度が評価しづらいものの、軽微な残渣があるように見えます。

今回は、以前の電池箔切断試験結果を拡張する形で、シングルパルス加工と比べた場合のバーストモード加工のメリットとして、正極箔と負極箔の切断のスループットが高くなり、正極については切断品質が明らかに高くなることを、新たに確認しました。IceFyre FS IR200は、バーストパルス出力を使用することにより、2m/sを超えるシングルパス切断速度で、良好な加工品質を達成することができます。ほとんどのケースで、シングルパルス加工よりも高い品質が得られました。

IceFyre FS IR200は、200Wを超えるIRフェムト秒パルスを高いPRFで出力し、リチウムイオン電池箔を本質的に高速に切断します。これに加えてTimeShift機能を搭載しており、切断品質を高めつつ、電池箔切断の生産性をさらに向上させることができます。

製品

IceFyre® FS UVおよびIRフェムト秒レーザー

IceFyre FSファミリーは、産業用フェムト秒レーザー技術の飛躍的な進歩により、業界をリードするパフォーマンス、汎用性、信頼性、維持コストを実現します。IceFyre FSフェムト秒レーザーは、要求の厳しい家庭用電化製品、クリーンエネルギー、医療用デバイス、および産業用アプリケーションに使われる、ガラス、ポリマー、金属、半導体、

薄膜、複合材料などの難加工材料に対して、高いスループットと最高級の品質が求められる微細加工に最適です。Spectra-Physics の It's in the Box™設計により、レーザーと制御エレクトロニクス部分が、簡便なインストールができる単一のパッケージに一体化されています。

	IceFyre FS UV50	IceFyre FS IR200
波長	343 ±2nm	1030 ± 6nm
出力	>50W @ 1MHz and 1.25MHz	>200W @ 1-50MHz
最大パルスエネルギー	>50μJ @ 1MHz	>200μJ @ 1MHz
繰返し周波数	シングルショット - 3MHz	シングルショット - 50MHz
パルス幅, FWHM	<500fs	
パルスエネルギー安定性	<2% rms	
出力安定性 (ウォームアップ後)	<1% rms, 8時間以上	
空間モード	TEM ₀₀ , (M ² <1.3)	
偏光	100:1 (垂直)	