

電池製造工程における ロータ式 NMP 濃縮装置の低温再生化

河岡将行・高橋秀人

Low-Temperature Regeneration System of the Rotary NMP Concentrator

Masayuki Kawaoka・Hideto Takahashi

リチウムイオン二次電池製造工場で使用される NMP (N-メチル-2-ピロリドン) 回収システムの省エネルギー化を目的として、濃縮ロータの低温再生化を検討した。試験装置で 80℃、70℃でロータ再生を行った場合、濃縮装置の除去効率は 95%以上で、従来の 130℃再生と同等の性能があることを確認した。また、同等の除去性能が出る条件で、70℃再生時と 80℃再生時のエネルギー使用量を比較すると、80℃再生時の方が省エネルギーであることを確認した。低温再生の熱源に、排熱を利用することにより、従来の回収システムと比較して年間 CO₂ 排出量を 19%、約 260 ton 削減できることを示した。

1. はじめに

近年、カーボンニュートラルが世界的な潮流となっており、モビリティの EV (Electric Vehicle) 化や再生可能エネルギーの蓄電設備の導入が急速に進んでいる。蓄電池として最有力のリチウムイオン二次電池 (LIB) は、今後急激に需要が高まることが予想され、現在主流の液系のものに加え全固体 LIB への期待も高まっている。

LIB の製造工程は、図 1 に示すように、超低湿度環境のドライルームや塗布乾燥機、排気処理設備など、エネルギー使用量が多い設備が多数ある。また、今後の普及に期待が高まっている全固体 LIB では、液系よりもさらに低湿度環境が求められる場合もあり、エネルギー使用量の増加も普及展開の課題となっている。そのため、電池製造コストの低減ならびに環境負荷低減のために、製造工程での省エネルギー化、資源の再利用が強く求められている。

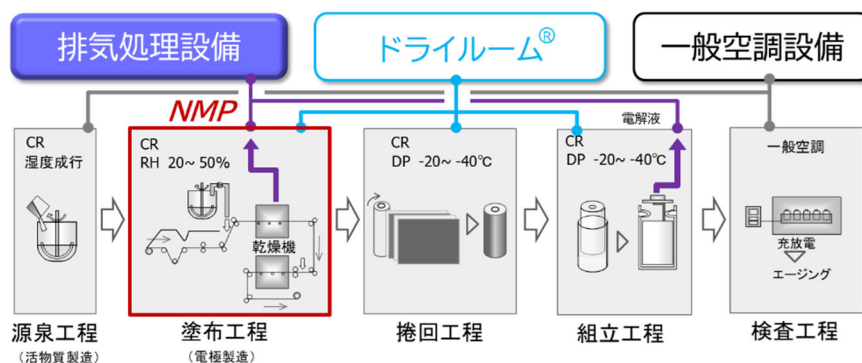


図1 LIB 製造工程

当社はこれまで、電池製造工程の省エネルギーツールとして、低温再生型の除湿機を製造販売してきた。さらなる省エネルギー、資源循環の要望に応えるべく、電極製造工程で使用される高価な有機溶剤の NMP（N-メチル-2-ピロリドン）の回収システムの省エネルギー化について検討した。

2. 電池工場における NMP 回収システム

LIB の電極製造ラインでは、高価な有機溶剤である NMP（N-メチル-2-ピロリドン）が電極に塗布する活物質とバインダーの混合物の溶媒として大量に使用されている。電極に塗布された NMP は乾燥炉で蒸発し、高濃度の NMP 蒸気を含む高温（100℃）空気が乾燥炉から排出される。環境負荷低減と経済性の観点から、排気中の NMP を積極的に回収し製造工程で再利用されている。

NMP 回収システム（図 2）は、大きく 4 つの機器群〔(I)乾燥炉、(II)排熱回収コイルユニット、(III)冷却回収ユニット、(IV)濃縮装置〕から構成されており、乾燥炉の給排気は循環再利用している。NMP の沸点は 202℃と高く、冷却によって容易に凝縮するため、(I)乾燥炉からの排気を(III)冷却回収ユニットに通して NMP を冷却凝縮させて液化回収している。冷却によって 200 ppm 程度まで下がった空気からさらに NMP を回収するために、(IV)ロータ式濃縮装置にて吸着処理し、再生ヒータで加熱した空気を用いて濃縮ロータに吸着した NMP を脱着させ、高濃度の NMP 蒸気（1,400～2,000 ppm）を含む再生排気を再度(III)冷却回収ユニットへと導いて冷却凝縮させている。

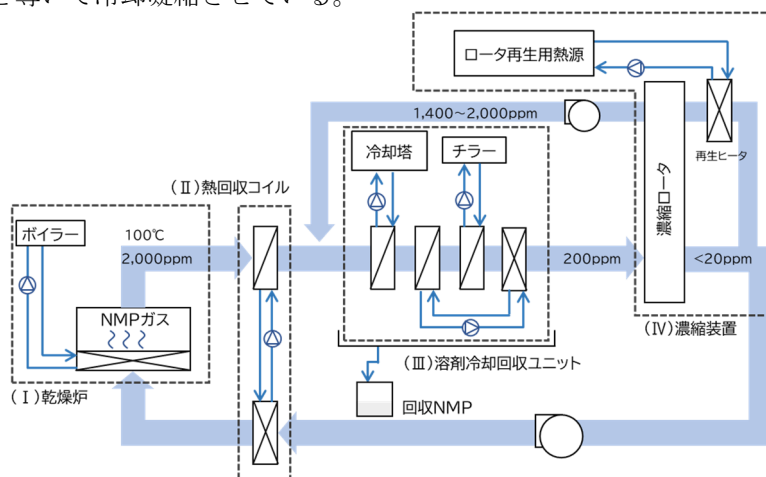


図2 NMP 回収システム

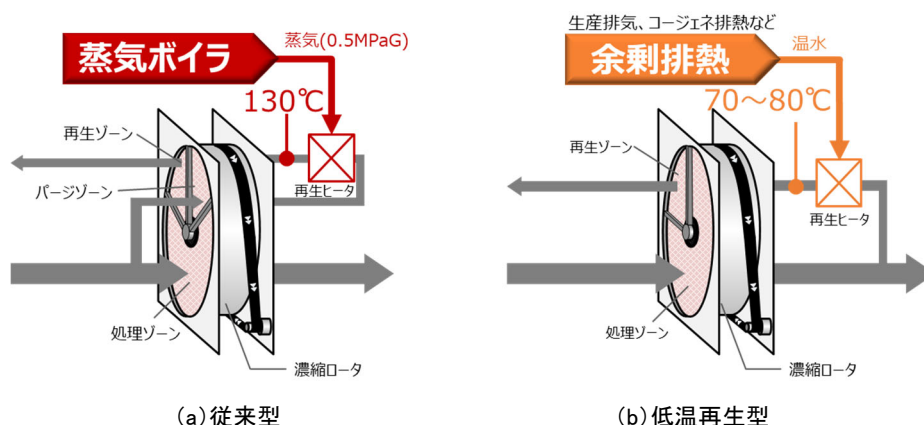


図3 ロータ式濃縮装置

NMP 回収システムでは、空気の加熱・冷却に大量のエネルギーを必要とするため、大規模な電池工場では、NMP 回収システムの省エネルギーが課題である。

図 3(a) に示す従来の濃縮装置では、濃縮ロータの再生に 130℃程度の高温空気が必要であったが、図

3(b) に示すように、80℃程度の低温でロータが再生できれば、生産設備やコージェネレーション設備等から排出される 100℃以下の排熱をロータの再生に利用できるため、濃縮装置での蒸気使用量削減による大きな省エネルギー効果が期待できる。そこで本研究では、溶剤濃縮ロータの再生温度を従来の 130℃から 80℃および 70℃に低温化した時の濃縮装置の除去性能を実験により検証するとともに、NMP 回収システムのエネルギー使用量を試算し、低温再生化と排熱利用による省エネルギー効果について報告する。

3. 低温再生時の除去性能の検証実験

再生温度 T_R が 80℃および 70℃での濃縮装置の除去性能を確認するために、図 4 に示す試験機を製作した。試験機は、処理ゾーンと再生ゾーンで構成されている。ロータの処理入口空気の NMP 濃度は、液体の NMP を流した気化メディアに空気を通気させて調整した。処理入口と処理出口の NMP 濃度は、GC-FID (GC4000SF, GL サイエンス社製) で測定した。

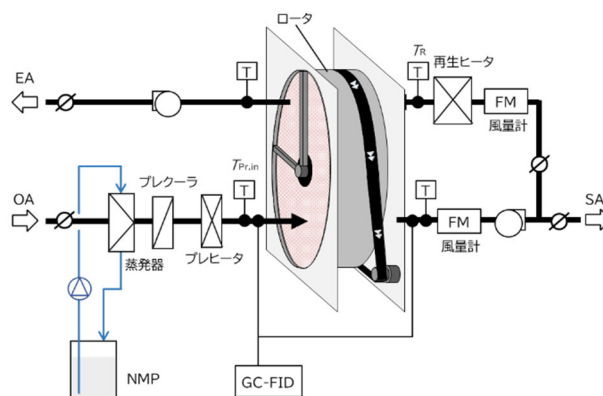


図4 NMP 濃縮試験機

実験条件は、処理入口 NMP 濃度 200 ppm、ロータ回転数 2r/h、濃縮倍率（=処理風量／再生風量）は 7 倍とした。処理入口温度（ $T_{Pr,in}$ ）と除去率の関係を図 5 に示す。一般に NMP 濃縮装置に求められる除去率は 90～95%程度である。再生温度 80℃、70℃のいずれの条件においても除去率 95%以上での運転が可能であることを確認した。また、再生温度 80℃と 70℃で同じ除去率を達成するには、再生温度 70℃では 80℃の場合よりも処理入口温度を下げる必要があることが分かった。

濃縮装置の再生出口空気は、冷却回収ユニットに戻るため、再生出口温度が高いと冷却回収ユニットの負荷になる。NMP 回収システム全体の負荷を試算するうえで、再生出口温度は重要な因子となるため、図 6 に再生温度ごとの処理入口温度と再生出口温度の実験結果を示した。

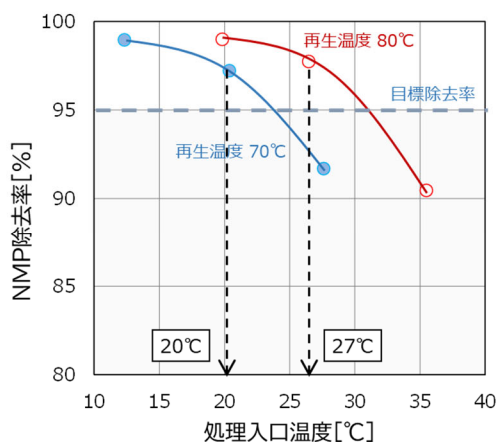


図5 処理入口温度と除去率の関係

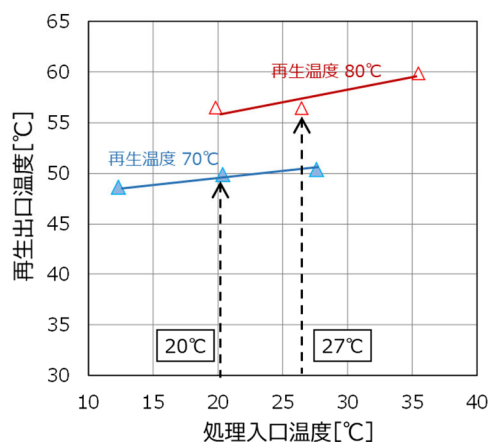


図6 処理入口温度と再生出口温度の関係

4. 低温再生による省エネルギー効果の確認

4.1 再生温度による比較

再生温度 80℃と 70℃で同等の除去率の場合、どちらの方がよりエネルギー使用量が少ないのかを確認するため、NMP 回収システムのエネルギー使用量を試算した。なお、本試算では送風動力、ポンプ動力については考慮していない。

試算には、図 5 に示した実験データのうち、ほぼ同等の除去率が得られた再生温度 $T_R=80^\circ\text{C}$ 、処理入口温度 $T_{Pr,in}=27^\circ\text{C}$ のデータと、再生温度 $T_R=70^\circ\text{C}$ 、処理入口温度 $T_{Pr,in}=20^\circ\text{C}$ のデータを使用した。濃縮倍率は 7 倍、ロータ再生出口温度は図 6 に示した実験値を使用した。

図 7 に、試算対象としたシステムの構成と各部位における風量・温度条件を示す。図中の Q1～Q6 は熱の移動を、M1、M2 は NMP の物質移動を示している。また、各コイルの熱負荷を図 8 に示す。加熱負荷をプラス、冷却負荷をマイナスで表示した。

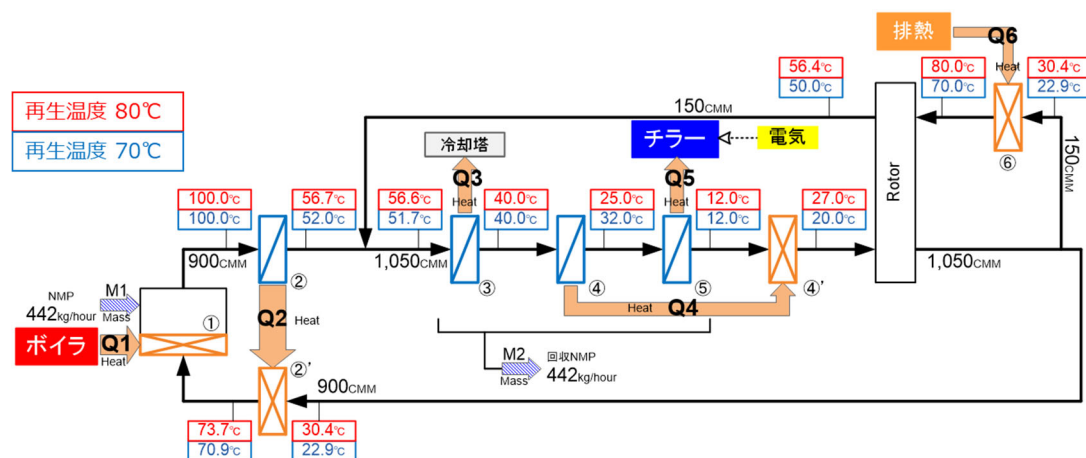


図7 各所の風量と温度 (80℃再生と 70℃再生の比較)

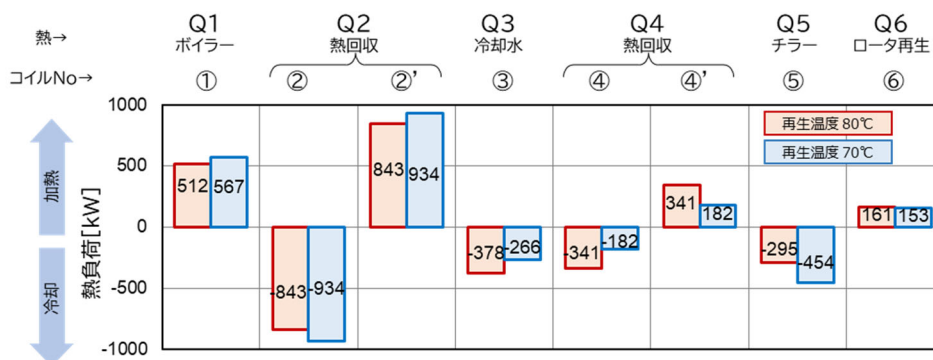


図8 コイルの熱負荷 (80℃再生と 70℃再生の比較)

全コイル負荷のうち、熱源エネルギー使用に関わるのは乾燥炉加熱量（ボイラー）Q1 とチラーの冷却熱量 Q5 およびロータ再生加熱量 Q6 である。試算結果から、再生温度 70℃と 80℃で比較すると、70℃に低温化することにより、ロータ再生加熱量 Q6 が下がるものの、乾燥炉加熱量 Q1 とチラーの冷却熱量 Q5 は 70℃再生の方が増加することがわかった。

これは再生温度 70℃の時は、処理入口温度を 20℃にすることによって、コイル④→④' の冷熱回収量が低下しチラーの冷却負荷 Q5 が増加（80℃再生時：295kW、70℃再生時：454kW）することに加えて、さらに②' 乾燥炉給気加熱コイルの出口温度が低下（80℃再生時：73.3℃、70℃再生時：70.9℃）して乾燥炉加熱負荷 Q1 が増加（80℃再生時：512kW、70℃再生時：567kW）するためである。

4.2 従来(130℃再生)システムとの比較

低温再生化により排熱を利用した場合（再生温度 80℃）のエネルギー使用量と、従来の NMP 回収システム（再生温度 130℃）と比較した。図 9 に各部位における風量・温度条件を、図 10 に各コイルの熱負荷を示す。80℃再生と同等の除去性能で比較するため、130℃再生時は、濃縮倍率を 10 倍（再生風量 100 CMM）とした。

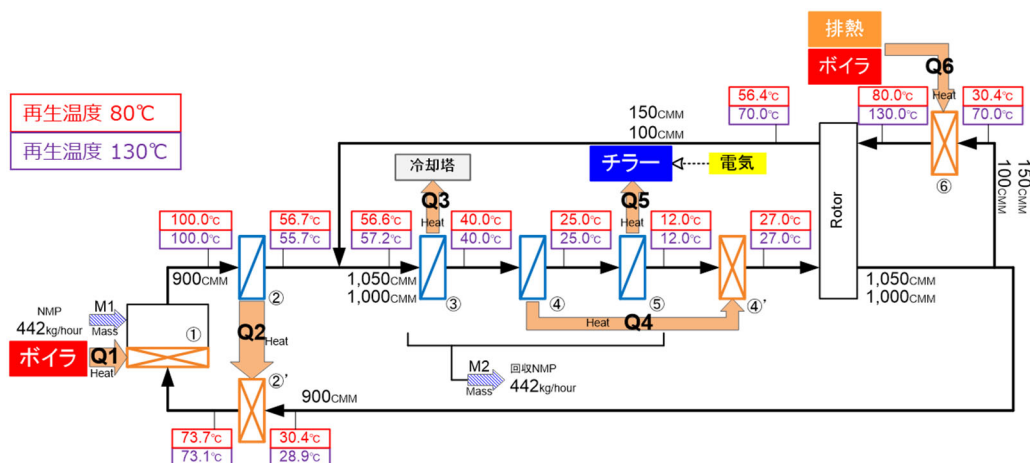


図9 各所の風量と温度(80℃再生と130℃再生の比較)

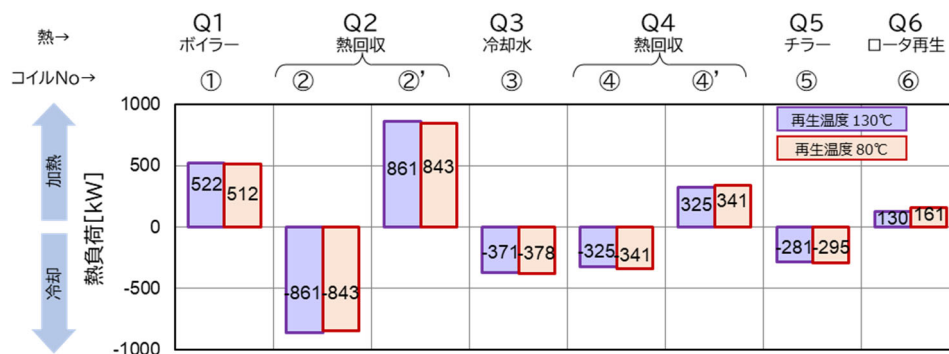


図 10 コイルの熱負荷(80℃再生と130℃再生の比較)

再生温度 130℃と 80℃で比較すると、80℃に低温化することより、乾燥炉加熱量 Q1 が下がるものの、チラーの冷却熱量 Q5 とロータ再生加熱量 Q6 は 80℃再生の方が増加することがわかった。

これは、130℃再生から温度を下げたことにより、同等の除去性能を維持するには再生風量を増加させる必要があるため、必要熱量が増えたと考えられる。また、図 10 のロータの再生加熱量 Q6 を見ると、80℃の低温で再生したことによって加熱量が減っているわけではないことが分かる。したがって、低温再生化によって省エネルギーになるのは、外部の排熱が利用できる場合のみであり、ロータの再生用加熱源として蒸気ボイラを用いるケースで単純にロータの再生温度を下げて、ほとんど省エネルギーにはならないと言える。

一方、排熱を利用した 80℃低温再生と従来の蒸気を利用した 130℃再生の場合について、表 1 の計算条件で算出した年間の CO₂ 排出量を図 11 に示す^{注 1)}。ロータの再生に排熱を利用することによって、システム全体として CO₂ 排出量が 19%、約 260 ton 減少することが分かる。したがって、100℃程度の温水等の排熱が利用できる場合は、このように低温再生システムでは従来よりも蒸気使用量が削減でき、CO₂ 排出量の削減、脱炭素化が図れる。

表1 CO₂排出量試算条件

年間稼働時間	8,760hours
CO ₂ 排出係数	
電気	0.376kg-CO ₂ /kWh
蒸気	0.06ton-CO ₂ /GJ

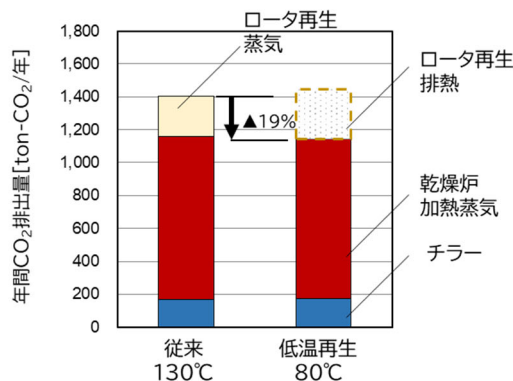


図 11 年間 CO₂ 排出量

5. おわりに

NMP 回収システムのエネルギー削減を目的として、ロータ式 NMP 濃縮装置の低温再生化を図った。その除去性能と省エネルギー性能を評価し、以下の結果を得た。

- ・実験により、再生温度 80℃および 70℃の条件で、除去率 95%以上を達成できることを確認した。
- ・試算により、ロータの再生温度 80℃と 70℃では、再生温度 70℃のときの方が NMP 回収システム全体のエネルギー使用量が多いことを確認した。
- ・試算により、濃縮ロータの再生に未利用排熱を利用した NMP 回収システムでは、従来の 130℃再生回収システムに比べて CO₂ 排出量を 19%、約 260 ton/年削減できることを確認した。

すでに上市している低温で再生可能なドライルーム用除湿機（WINDS-III）とあわせて、今回の低温再生型 NMP 濃縮装置の開発により、リチウムイオン二次電池製造工場の蒸気使用量を大幅に削減することが可能になる。今後さらに需要が高まる全固体電池製造においては、リチウムイオン二次電池以上の低湿度化、脱炭素化が求められることが予想されるため、乾燥炉排熱やコージェネ排熱などの未利用熱を最大限に活用した、省エネルギーな電池製造環境を今後も提供していく所存である。

注 1) 排熱の CO₂ 排出量はゼロとみなした。

文 献

- 1) 新永秀臣：リチウムイオン二次電池製造工程排気からの NMP 回収装置，冷凍，87（1012），36-42（2012）

ABSTRACT

In order to reduce the energy of NMP (N-methyl-2-pyrrolidone) recovery systems, which are used in lithium-ion battery manufacturing plants, we studied the performance of a rotary concentrator that works with regenerating adsorbent rotor at lower temperature than those currently in use. When the rotor is regenerated at 80 °C and 70 °C, the concentrator has a removal efficiency of >95%, which is the same performance as at 130 °C. Comparing the energy consumption during regeneration at 70 °C and regeneration at 80 °C under conditions that yield the same removal performance, it was confirmed that regeneration at 80 °C saves more energy. According to our trial calculation for a model NMP recovery system, utilization of outside waste heat for regeneration will reduce annual CO₂ emission by 19% in comparison with conventional recovery system.