

数値熱流体解析を活用した SCiB™セル製造用高温エージング装置設計の適正化技術

Design Techniques Utilizing Numerical Thermal-Fluid Analyses to Appropriate to Control of Heat Transfer and Airflow in High-Temperature Aging Chamber for SCiB™ Cell Manufacturing Process

戸谷 公紀 TOYA Kiminori 板場 啓介 ITABA Keisuke 佐藤 真吾 SATO Shingo

電気自動車 (EV) などの普及に伴って蓄電池の需要が拡大する中、東芝は、高い安全性と急速充電が特長のリチウムイオン二次電池 SCiB™を開発し提供している。SCiB™セルの製造工程では、セルを一定時間高温に保つことでセルの品質を均一化する高温エージング処理を行う。目標の品質を確保し、多数のセルを同時に処理するには、恒温室内の温度分布を高精度に制御する必要がある。従来の装置では、部分的な温度上昇・低下を防ぐために、細かい改良を加えていた。

そこで、更なる温度管理精度の向上を目指し、新たな高温エージング装置を開発した。設計の初期段階から数値熱流体解析を活用することで、加熱空気の供給・排気位置や機器配置が恒温室内の温度分布に与える影響などを評価して適正化を図った。その結果、恒温室内で循環する空気の平均流速を高めたことで、セル保持温度ばらつきを従来に比べ約 60% 低減でき、SCiB™セルの生産性向上に寄与している。

In response to the increasing demand for rechargeable batteries accompanying trends such as the growing dissemination of electric vehicles, Toshiba Corporation has been developing and supplying SCiB™ lithium-ion rechargeable batteries with high safety and rapid charging performance. Heat aging in a high-temperature chamber plays an important role in achieving consistent quality during the process of manufacturing SCiB™ battery cells. In order to realize both consistent quality and improvement of productivity to enable a large number of cells to be handled, a chamber that can provide uniform temperature distribution through precise temperature control is essential. However, a critical issue with the conventional chamber is the need for detailed measures according to the conditions inside the chamber.

In order to rectify this situation, we have developed a new high-temperature aging chamber for SCiB™ battery manufacturing utilizing numerical thermal-fluid analyses of the heat transfer and airflow from the initial design phase. As a result of improving the heating air supply and exhaust positions and the layout of equipment through these analyses, we have confirmed that the new chamber achieves a reduction of about 60% in cell temperature variations compared with the conventional chamber by increasing the velocity of the airflow in the chamber.

1. まえがき

高温エージングとは、組み立て後のセルを長時間高温で保持し、電極層への電解液の含浸や電池反応以外の不可逆的な副反応を進みやすくすることで、セルの品質を均一化する工程である。含浸や副反応は、温度が高いほど促進されることから、この工程で用いる装置には、セルの温度を高精度に制御する性能が求められる。また、生産性を確保するため、多数のセルを同時に処理することも要求される。

従来の装置は、要求仕様を満たすものの、更に温度管理の精度を向上させることで品質と生産性を高めるため、新装置の開発が企画された。新たな高温エージング装置の開発では、設計の上流段階で、加熱空気の供給・排気位置や機器配置が装置内の温度分布に及ぼす影響などを数値解析で評価し、全体の構成を決定した。ここでは、これらの数値解析を活用して設計・開発した高温エージング装置について述べる。

2. 従来の高温エージング装置の課題

2.1 高温エージング装置の概要

図1に、高温エージング装置の構成を示す。恒温室内にラックが2列配置され、ラックのそれぞれの棚にセルを収納したトレーを差し込む。各棚の底面や背面には空気が流通するように開口部が設けられている。装置の床面積当たりの処理セル数を増やすため、ラックは10 m以上の高さを持つ。2列のラックの間には、セルを入出庫する際に使用するクレーンがある。ラックの背面は恒温室内の壁面に近接しており、また、ラックの両隣にはクレーンの軌道確保に必要な空間が設けられている。恒温室内には、これらのほか、入出庫扉とクレーンとの間でセルを搬送するコンベヤーや、緊急用のセル水没設備などの補助設備がある。

恒温室内の温度は、室外のプロワー及びヒーターから供給される加熱空気の温度と流量で制御する。セルの保持温度を確認するため、各棚に温度センサーを取り付けている

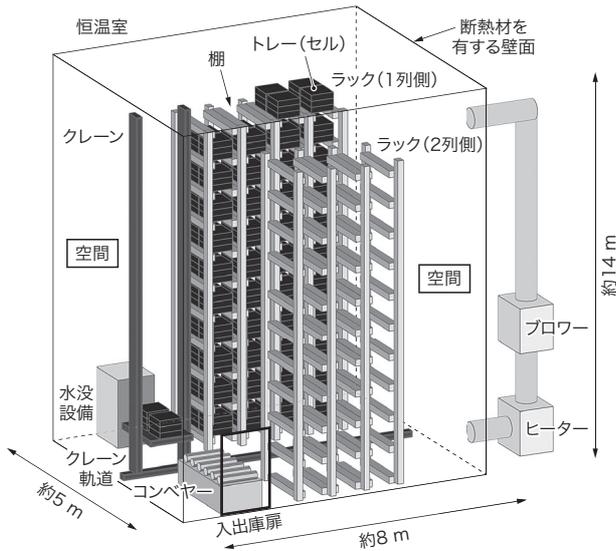


図1. 高温エージング装置の構成

セルを長時間高温に加熱するため、恒温室内の温度ばらつきを小さくする必要があります。

Configuration of general-purpose high-temperature aging chamber

が、個別に棚温度を制御することはできない。したがって、対流や壁面からの放熱などで発生する温度ばらつきを小さくすることが、空調システム設計上のポイントとなる。

2.2 従来の空調システム

図2に、従来装置の空調システムを示す。棚の位置、列(ラック)、連(ラック内横方向)、及び段(ラック内縦方向)の数値で示す。恒温室の下部には多数の加熱空気の供

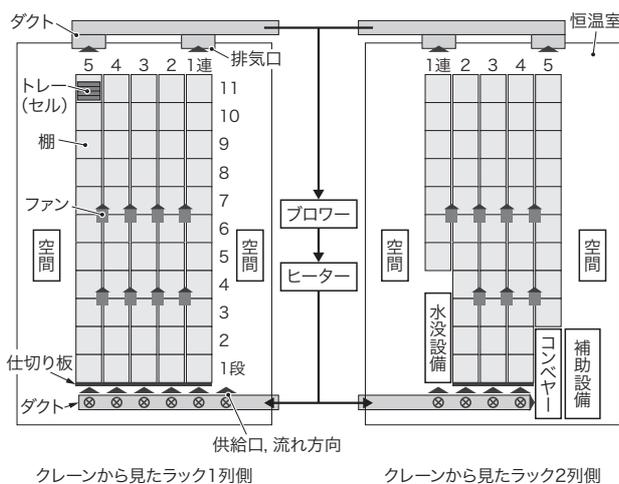


図2. 従来装置の空調システム

加熱空気を下方から上方に送るシステムで、仕切り板は供給口付近の棚温度の上昇を抑え、ファンは空気の流速を増加させて温度ばらつきを小さくする効果がある。

Temperature control system of conventional chamber

給口を持つダクトが、天井部には排気口が設けられている。これに加え、棚の温度を管理幅内に収めるため、空気の流れを遮る仕切り板と、ファンを持つ。仕切り板は、供給口付近の棚温度の上昇を抑え、ファンは、ラック内を上方に流れる空気の流速を増加させることで温度ばらつきを小さくする効果がある。

しかし、供給口が棚に近い仕切り板の効果が限定的であるとともに、壁面からの放熱による部分的な温度低下への対策が不足しているという課題が残っていた。そこで、新たな装置の開発では、空気の供給・排気位置の変更を含め、大幅に設計を見直した。

3. 新空調システムの設計

図3に、新しい空調システムの構成を示す。温度ばらつきを抑制する設計のポイントは、加熱空気が棚に直接流入することを防ぎながら室内の空気の平均流速を増加させることに加え、壁面近傍の空気を含めて室内の空気を循環させることにある。

空気の供給口は、天井部にラックを避けて床に向けて配置した。排気口は、恒温室下部に配置した。この配置により、加熱空気が、温度が低くなりやすい恒温室内壁に沿って床部まで流れる。また、従来装置と同様に、ラック内に空気を上方に送るファンを設置した。ファンは、従来装置と同じ高さにある二つの段以外に、最下段にも追加した。更に、ファンの設置角度をラック背面側に傾けることで、空気を上方に送るとき、ラック水平断面内に空気の流速の遅い部分が発生しにくいようにした。

設計案の作成にあたっては、数値解析を用いることで、

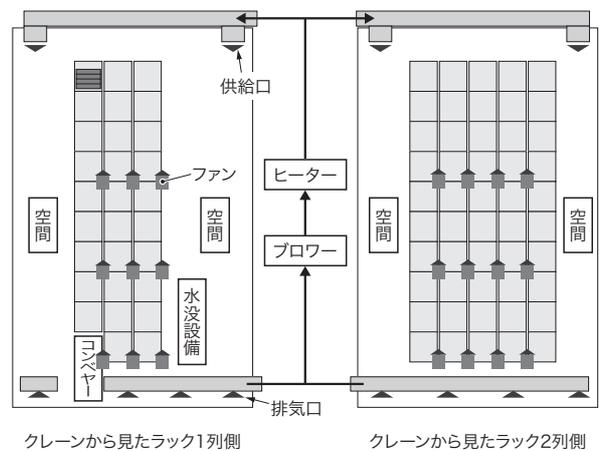


図3. 新しい空調システム

室内を循環する空気の流れを形成することで、温度ばらつきを抑えている。

Temperature control system for newly developed chamber

供給口・排気口の位置やファンの位置・姿勢などのパラメーターが温度分布に与える影響を評価し、適切な構成を見いだした。

図4に、数値解析モデルの例を示す。図4(a)に示す従来装置のモデルでは、解析対象を、空気、壁、壁の断熱材、トレー、ラック、クレーン、及びファンとしている。計算コスト低減のため、クレーン中央を対称面とするラックの1列側を計算対象とし、各部の形状を簡略化した。セルを収納したトレーには、セルとトレーの構造を詳細に再現した数値解析結果に基づいて算出した、簡略化形状に用いる巨視的な熱特性を設定した。壁と断熱材の熱伝導率には仕様値を設定し、クレーンとラックの熱伝導率には、それぞれに最も多く含まれる材質の値を設定した。多数の供給口は、各開口の空気の温度と流速の実測値を境界条件に設定することで定義し、排気口は、圧力0 Paの自由開口面とした。ファンには、定格の圧力-流量特性を簡略化した特性を設定した。また、装置外周面は、25℃の温度一定の条件とした。

図4(b)は、新しい空調システム案を適用した改良装置のモデルである。このモデルでは、室内全体の流れを評価するため、対称面を用いずに、解析対象を、空気、壁、壁の断熱材、トレー、ダクト、水没設備、コンベヤー、及びファンとした。計算コスト低減のため、ラックとクレーンは省略した。また、計算の収束性を高めるため、ファンによる空気の流速は一定とした。供給口における空気の温度と流速は、供給ダクトの入り口面の境界条件を調整して設定した。排気口は、排気ダクトの下面に設け、排気ダクトの出

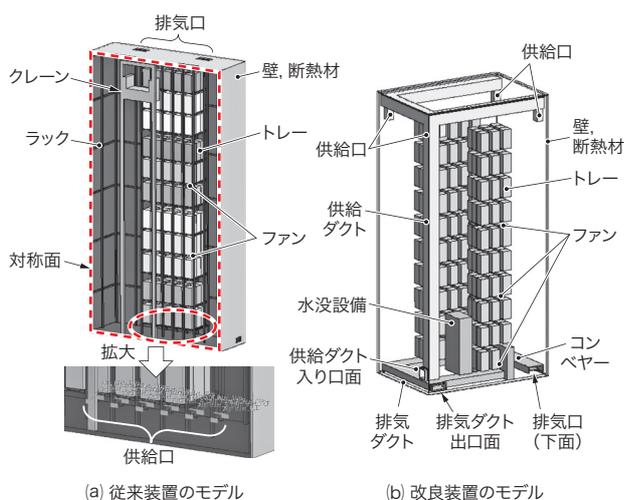


図4. 数値解析モデル

恒温室内の温度分布を予測するため、実スケールの仮想モデルを作成した。
Numerical analysis models of conventional and newly developed chambers

口面を圧力0 Paの自由開口とした。ダクトに設ける供給口・排気口のサイズは、加熱空気が四隅の供給口からほぼ均等に供給され、四隅の排気口からほぼ均等に排気されるように調整した。更に、ダクトの壁面は、薄いメッシュにより計算コストが増大しないように厚くモデル化し、供給空気流量は、従来装置の約36%とした。

4. 解析結果と考察

図5に、実験及び数値解析で得られた棚温度を示す。まず、解析結果の妥当性を検証するため、従来装置について実測値と解析値を比較した。図5(a)に、従来装置のラック1列側の実測値を、図5(b)に解析値を示す。実測値は、目標温度に対して-1.8℃から+0.4℃で、棚温度のばらつきが2.2℃となった。一方、解析値は、目標温度に対して-0.2℃から+1.3℃で、棚温度のばらつきが1.5℃となった。また、棚の平均温度は、解析値が実測値より1.4℃高くなった。温度の解析値には、入出庫扉からの放熱を考慮していないことによるオフセットが含まれると考えられる。

図5(c)に、11段目の平均温度が実測値と解析値で等しくなるように、図5(b)から1.1℃のオフセットを除去した温度を

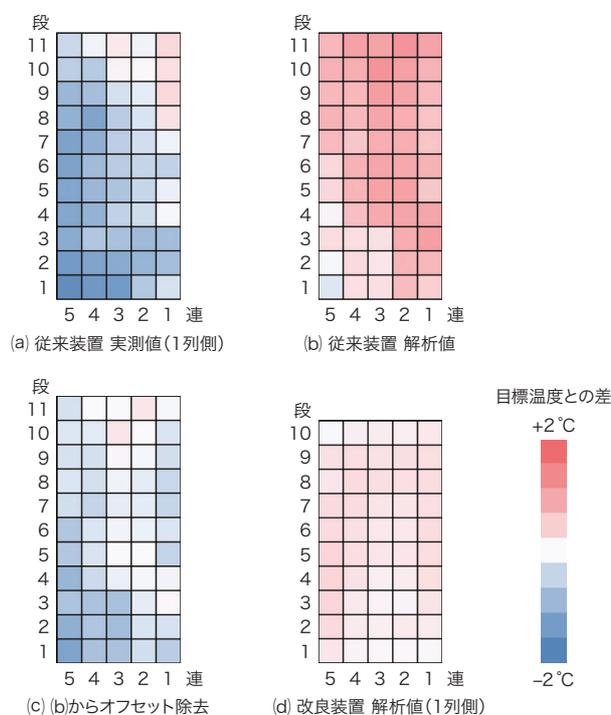


図5. 実験及び数値解析で得られた棚温度の比較

改良装置は、従来装置に比べ、棚温度のばらつきが66%低下する解析結果が得られた。

Comparison of results of storage rack temperature measurements and calculated values

示す。1連と5連の平均温度の差は、実測値の1.1℃に対して解析値は0.4℃となり、連方向両端の温度差は実測値と解析値で0.7℃の差異が生じた。一方、1段と11段の平均温度の差は、実測値の1.2℃に対して解析値は0.8℃となり、段方向両端の温度差は0.4℃の差異となった。したがって、段方向の温度差は、比較の実測値に近い結果が得られることが確認された。これらの結果から、解析結果は、装置構成を検討する上で十分な妥当性を持ち、室内の高さ方向に生じる温度ばらつきの予測に使用できると判断した。

図5(d)に、改良装置のラック1列側の解析値を示す。棚温度のばらつきは、図示していない2列側の結果を含めても、目標温度に対して0℃から+0.5℃でばらつき0.5℃となり、従来装置の解析で得られた1.5℃と比較して、66%低下した。

図6に、空気温度の解析結果を示す。図6(a)に示した従来装置では、恒温室の上部が高温であるのに対し、図6(b)に示した改良装置では、恒温室の上部の温度が低くなっている。また、恒温室の上部と下部の温度差が1.5℃から0.8℃に低下するなど、全体的に温度ばらつきが減少した。

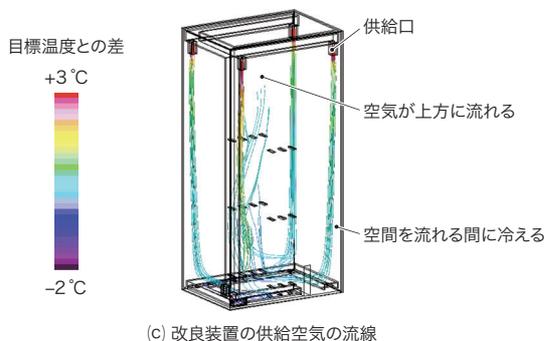
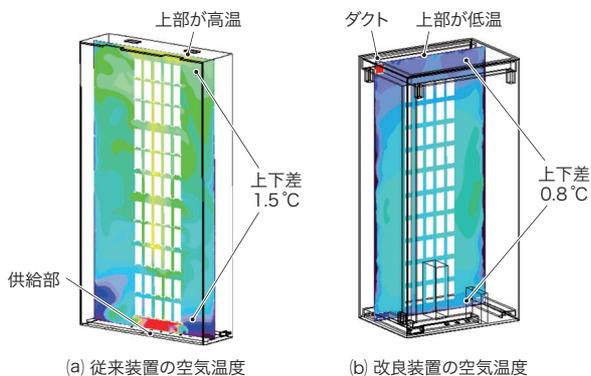


図6. 空気温度の解析結果

改良装置では、室内を循環する空気の流れが生じて平均流速が上昇し、温度ばらつきが減少した。

Results of analyses of air temperature in conventional and newly developed chambers

図6(c)に、改良装置の供給口を起点とした空気の流線を示す。供給された加熱空気は、ラック隣の空間を通過する間に温度が低下し、床部に到達して広がり、その一部がファンにより上昇した。また、改良装置の空気の平均流速は、従来装置に比べて46%増加した。

これらの結果から、改良装置では、室内を循環する空気の流れが生じて平均流速が増加し、温度ばらつきが減少していることが分かった。

5. あとがき

数値熱流体解析を用いて空調システムの改良方法を検討し、高精度な温度制御と生産性を両立する高温エージング装置を開発した。

解析の結果、セルの保持温度のばらつきは、従来装置の1.5℃から改良装置では0.5℃となり、66%改善すると予測された。また、数値解析結果に基づいて製作された新装置は、複雑な調整なしに要求仕様を満足し、短期間での稼働を実現した。更にこの装置は、従来装置と比較し、10%少ない加熱空気の供給量でセルの保持温度のばらつきを60%改善するとともに、装置起動時の昇温時間の60%短縮や、棚の稼働率100%などの良好な性能も得られた。



戸谷 公紀 TOYA Kiminori
生産技術センター
製造プロセス・検査技術領域 機械構造・製造技術研究部
日本機械学会会員 技術士(機械部門)
Mechanical Design & Manufacturing Technology Research Dept.



板場 啓介 ITABA Keisuke
電池事業部
電池生産技術センター
Production Engineering Center



佐藤 真吾 SATO Shingo
電池事業部
電池生産技術センター
Production Engineering Center