

CAE による鉛蓄電池用格子の最適設計

Optimization of Grid Design for Lead-Acid Batteries by CAE

飯塚 博幸*

Hiroyuki Iizuka

Abstract

Performance and reliability are ranked as ever ongoing priority for the automotive battery along with reduced mass for higher fuel economy, in which one of key issues is due to the design of electrode grids. In order to optimize it, considerations must be taken into not only electrical resistance but also matters on reliability like corrosion and productivity like casting process, for which CAE (computer-aided-engineering) is a powerful method to forecast and compromise effects of relevant design factors. In this report the relationship between electrical performance and mass of grids were simulated to find out design optimization through the analyses of casting and solidification, mechanical strength and corrosion growth as well.

1. はじめに

鉛蓄電池における極板のベースとなる格子は、集電体および活物質の保持体として働き、その形状の違いが電池特性を大きく左右するため、以前より CAE 等を用いて、最適な格子形状を摸索する試みが行なわれてきた^{1)~6)}。

格子の製造方式には、重力铸造方式 (BM 铸造)、連続铸造方式、エキスパンド方式、打ち抜き方式等があるが、特に高性能・高耐久性が要求されるハイグレードタイプの電池には、正極格子として集電特性・耐腐食性に優れた BM 方式の格子が使われることが多い。

一方、近年では環境問題から、自動車の主要部品のひとつである鉛蓄電池にも軽量化の要求が高まってきており、格子も軽量化する必要がある。格子を軽量化するには、電池性能・耐久性への影響を考慮するのはもちろんのこと、電池の製造段階に起こりうる問題を予測し、対策を講じる必要がある。

本稿では、設計段階における電気特性 (極板の電位分布) や寿命特性 (グロス) の予測だけでなく、製造段階における铸造性 (湯流れ、凝固) や組み立て時のハンドリング性 (強度) を CAE を用いて多角的に解析し、最適な格子形状を求めるためのシミュレーションシステムの構築を行なった事例について報告する。

ユレーションシステムの構築を行なった事例について報告する。



図1 自動車用鉛蓄電池と格子
Fig.1 Lead-Acid Battery for automobile and grid

2. 格子の抵抗値解析

2.1 解析の目的

電池性能を落とさずに、格子を軽量化するには、

* 技術開発部 いわき開発センター

格子体質量の削減と集電性能を向上させるという、二つの目的（目的関数）を同時に達成する必要がある。格子の電気抵抗をシミュレーションにより求め、格子デザインの最適化検討を行なった。

2.2 解析結果

一定の大きさの格子について、格子デザインの違いによる電気抵抗（電位分布）の違いを求めた結果を図2に示す。Cのエクスパンド方式格子では、A及びBのBM 鋳造方式と比べ、格子内での電位差が大きく、電気抵抗が大きい格子であることを示している。

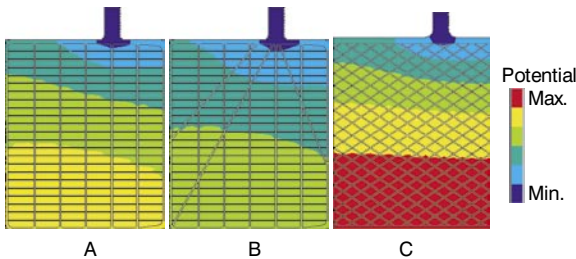


図2 正極電位分布解析結果
Fig.2 Calculation results of electro potential distribution on positive grids

これらの格子について、横軸に格子体の質量、縦軸に電気抵抗値をプロットすると図3に示すような分布となり、図の左下に近い格子が、軽量かつ電気抵抗の小さな、効率的な格子デザインであることを示す。また分布図からは、ライン A を境に格子の存在範囲が分かれており、効率化には一定の限界があることが見て取れる。このライン A がパレート曲線と呼ばれるもので、曲線上の格子はそれぞれ特徴をもった最適化された格子を示している。

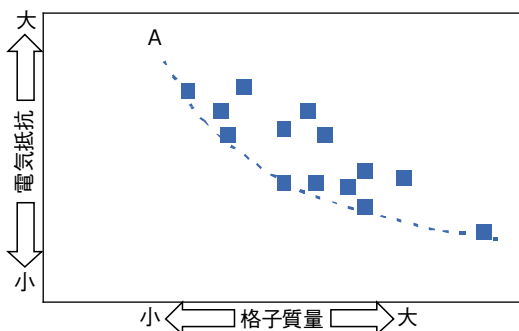


図3 格子質量と電気抵抗のパレート曲線
Fig.3 Relationship between electro resistance and mass of grids (Pareto curve)

パレート曲線上の最適化格子と、パレート曲線から右上に外れた最適化されていない格子の最も大き

な違いは、格子密度分布の違いである。格子は、極板の活物質（電気伝導度小）で発生した電気を、耳と呼ばれる集電部までバイパスする役目を持っており、電気の流れる量（電流密度）に合わせて格子の太さ、格子位置を細かく設定することが、格子デザインの最適化には必要となる。電流密度は耳付近で大きくなり、耳から離れるほど小さくなる傾向を持ち、その差は最大で数十倍にもなることがある。この電流密度分布に合わせて格子の密度を設定した場合には、格子の密度が極端に高く活物質が入りうる隙間が無い個所が発生したり、逆に格子の密度が極端に低く、構造的に弱い個所が発生したりといった不具合を生ずることがある。或いは格子自体の製造が不可能な場合も起こりうる。

そういった問題が起こらないよう、これまでは格子密度の設計自由度を、主に従来データを基に規定し、その範囲内でのみ格子デザインの最適化を行なってきた。しかし、より一層の格子軽量化をしようとした場合には、設計自由度のパラメータであるパレート曲線を図の左下にシフトさせる必要がある。そこで、次項以下では、製造段階から CAE を用いて格子の評価、改善検討を行ない、格子体の設計自由度の向上を目指すことを試みた。

3. 格子の製造（鋳造）解析

3.1 解析の目的

鋳造技術にて製造される格子を軽量化しようとする際に大きな問題となるのが、格子を細くすることによる、鋳造性の悪化がある。格子が細くなると、湯が鋳型のすべてに行き渡らないうちに凝固してしまう『目切れ』が発生しやすく、また、凝固する際に引け巣の発生や、焼き折れといった鋳造欠陥も生じることがある。これらの発生を抑えるため CAE を用いて、鋳造技術の底上げ検討を行なった。

3.2 湯流れ解析

鋳造シミュレーションソフト Conifer CAST を用い、鋳型内に溶融鉛合金（湯）が注入されてからの、湯の流れと温度変化（凝固状態）の計算を行なった。

鋳型に湯が注入されてから、鋳型に充填されるまでの湯の充填状況と温度変化を図4に示す。湯は、

鋳型上部の湯口から重力にしたがって注入され、時間が経過するごとに、左右の太い外格子から先に充填され、最後に中格子の下部が充填される様子が伺える。これらの結果は、実際の鋳造で充填不良が起こりうる箇所と近似しており、シミュレーションの妥当性が確かめられた。

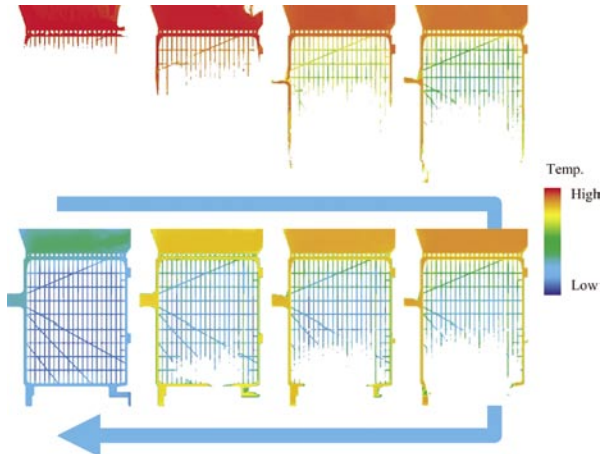


図4 鋳造湯流れ解析結果
Fig.4 Calculation result of lead-melt flow

鋳型に湯が充填されてから、凝固完了までの、湯の存在分布の変化を図5に示す。凝固は、中格子から始まり、枠格子から最後に耳と押し湯が凝固する。これらの結果から予想される、凝固収縮に伴う欠陥の発生箇所と、実際の引け巢の箇所が近似しており、ここでもシミュレーションの妥当性が確かめられた。

これらのシミュレーション結果を用いることで、湯流れ性を改善し、凝固特性を改善した鋳型設計が可能となった。

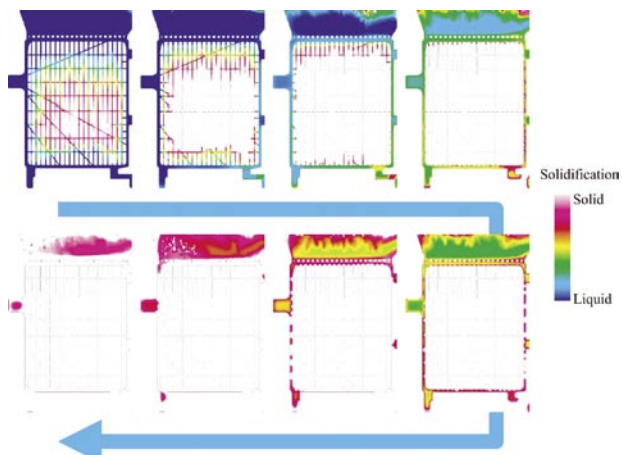


図5 鋳造凝固解析結果
Fig.5 Calculation result of lead-melt solidification

3.3 鋳型の温度分布解析

鋳型の温度分布解析を行なった結果を図6に示す。鋳型の熱作用は、ヒータによる加熱、湯からの熱移動、冷却水への放熱、鋳型表面からの放熱等がある。従来技術では、図6-Aに示すように非常に大きな温度分布が鋳型内に生じてしまっており、不均一な状態であった。その結果、ある種の鋳造欠陥が偏って生ずるといった問題があった。

そこで、加熱器形状、放熱機構を見直すことで、図6-Bに示すような、均一な温度分布とすることができた。その結果、鋳造欠陥を大幅に減らすことが出来た。

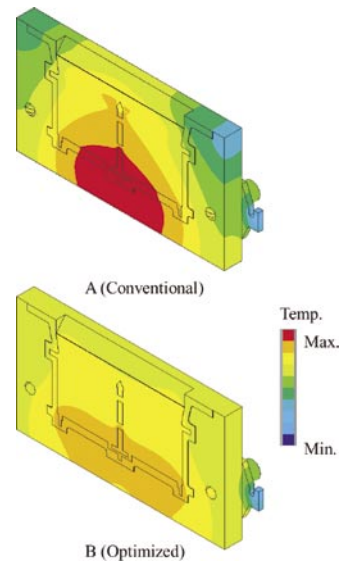


図6 鋳型の熱解析結果
Fig.6 Calculation result on temperature distribution of casting molds

4. 格子の強度（ハンドリング）解析

4.1 解析の目的

格子を軽量化しようとしたときに、電池の製造工程にて問題となるのが、ハンドリング強度が不足し、格子変形等の不具合を生ずる事があることである。そこで、格子の強度解析を行い、軽量化と強度を両立できる格子形状の検討を行なった。

4.2 解析結果

格子モデルを三次元にてモデル化し、両端耳を支持したときの、重力によるたわみ量を求めた。

格子を水平方向に支持したときの解析結果を図7

に、格子を垂直方向に支持したときの解析結果を図8に示す。格子の断面形状の変更により、同一質量にて約15%の強度アップを達成した。

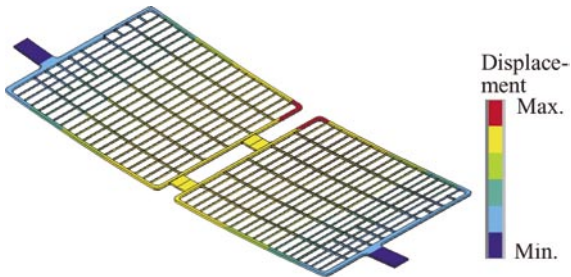


図7 自重たわみ解析 (水平方向)
Fig.7 Calculation result of bending deformation by gravity in the horizontal position of double-grid cast

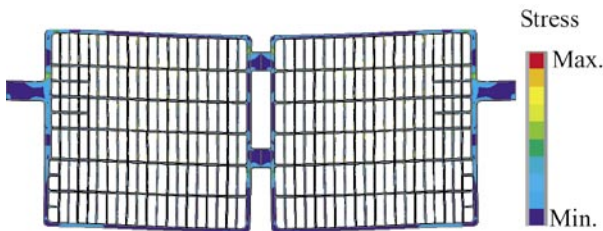


図8 自重たわみ解析 (垂直方向)
Fig.8 Calculation result of bending deformation by gravity in the vertical position of double-grid cast

5. グロス解析

5.1 解析の目的

格子を軽量化した場合に、格子表面腐食による伸びが増加し、電池の寿命性能が悪化することが考えられる。これらの伸びをシミュレーションによって予測し、伸びにくい格子の形状を求める試みを行なった。

5.2 解析結果

解析では、格子と格子表面の腐食層を三次元にてモデル化し、腐食層のみを一定の割合で体積膨張させたときの変形量を求めた (図9)。格子耳と足部分のみを完全位置拘束として解析を行なった。

格子伸びの解析結果を図10に示す。格子の伸び形状は、実際の電池での極板変形形状とよく一致しており、シミュレーションの妥当性が確かめられた。

格子のデザイン (形状、配置、太さ) の適正化により、同一質量にて約10%のグロス抑制を達成した。

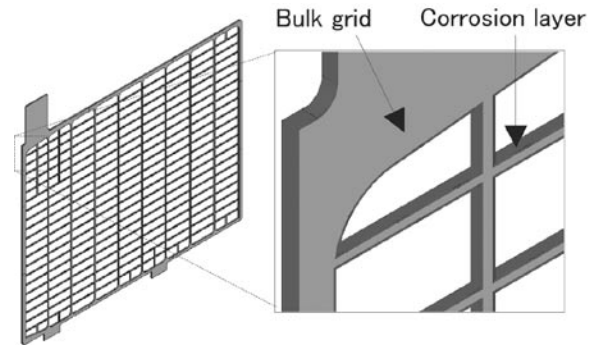


図9 正極格子伸び解析モデル
Fig.9 Calculation model for corrosion growth of positive grid

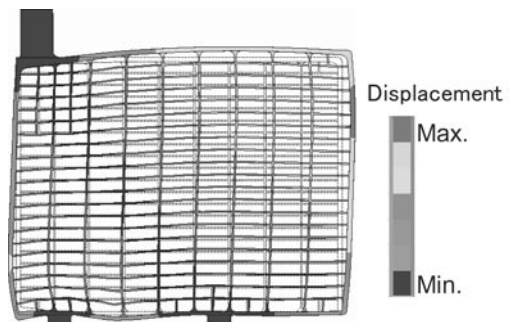


図10 正極格子伸び解析結果
Fig.10 Calculation result of grid growth

6. パレート曲線

3~5項の検討結果を基に、格子密度分布の設計自由度の拡大を行い、格子質量と電気抵抗のパレート曲線を求めた結果を図11に示す。従来のパレート曲線Aに比べ、格子密度分布範囲を広げた最適化格子でのパレート曲線Bは、質量で約15%小さくすることができた。また、このときの、铸造性、ハンドリング強度、耐グロス性は従来と同等以上となった。

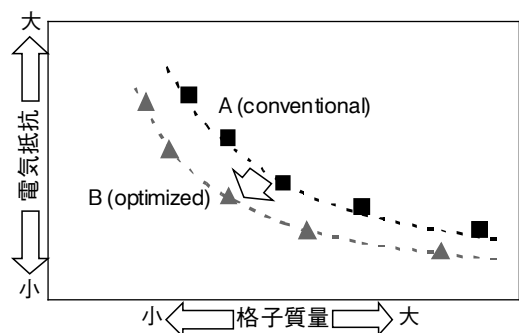


図11 最適化格子のパレート曲線
Fig.11 Pareto curve of conventional and optimized grids

7. まとめ

鉛電池用の格子の設計に CAE 技術を多角的に用いることで、電池性能（放電性能、寿命性能）を落とすことなく、鋳造性やハンドリング強度の低下といった製造面での問題を生じさせることなく、軽量化を達成することができた。

今後は、本報にあるような CAE を用いた開発プロセスの自動化を推し進め、更なる開発のリードタイムの短縮を図っていく予定である。

(参考文献)

- 1) 大塚正久、FB テクニカルニュース、No.59、1 (2003)
- 2) 飯塚博幸、FB テクニカルニュース、No.58、19 (2002)
- 3) 野口博正、菊地大介、高田利通、松本正幸、萬ヶ原徹、飯塚博幸、根兵靖之、FB テクニカルニュース、No.57、13 (2001)
- 4) Milan Calabek, Karel Micka, Petr Baca, Petr Krivak
“Influence of grid design on current distribution over the electrode surface in a lead-acid cell” Journal of Power Sources 85, 145 (2000)
- 5) W. Tiedemann, J. Newman and F. DeSau, “Power Sources 6” , D. H. Collians, Editor, P.15, Academic Press, London (1977)
- 6) C. W. Tobias and R. Wijsman, j. Electrochem. Soc., 100, 459 (1953)