

VRLA 電池設計への CAE 適用の検討

Application of CAE for VRLA Battery Design

飯塚 博幸 *
Hiroyuki Iizuka

Abstract

CAE (Computer Aided Engineering) focused onto computer simulation technique was applied to VRLA (valve-regulated lead-acid) battery development and design. Reliability problems relating to stationary VRLA batteries and battery groups were analyzed and optimization measures were made for the designs of positive grid and strap. In case of 36V automotive VRLA battery, it was demonstrated that there was a relationship between container geometry and plate-group pressure working effectively on high-rate discharging.

1. はじめに

新製品開発のリードタイムの短縮および開発コストの削減を目指し、弊社では CAE (Computer Aided Engineering) を用いた開発手法を積極的に活用している。本誌上ですでに、二輪車用鉛電池の端子溶接の熱解析を行なった事例¹⁾、組電池架台の振動解析を行なった事例²⁾、極板の電位解析を行なった事例³⁾について報告し、更に自動車用 36V-VRLA 電池のサーマルマネージメント^{4) 5) 6)}において活用し、電池開発における CAE が、非常に有効な手段であることを実証してきた。

弊社での電池開発における CAE の適用事例を、未発表のものを含め表 1 に示す。流体・鋳造・塑性加工といった、多岐に亘る分野で CAE を適用している。

本報では、CAE の適用範囲を更に広げ、信頼性向上を目指した据置 VRLA 電池の構造設計を検討した事例と、36V-VRLA 電池の性能向上のため、電槽の形状検討に活用した事例について報告する。

表 1 電池開発への CAE 適用例
Table.1 Examples of CAE application in battery development

分野	適用先	引例
プロセス	二輪車用鉛電池端子溶接	1
振動	据置 VRLA 電池	2
電気	サイクル用 VRLA 電池	3
熱	36V-VRLA 電池	4 ~ 6
電気-熱	鉛電池極柱溶断	-
流体	Ni-MH 組電池空冷	-
鋳造	鉛電池用 BM 基板	-
塑性加工	鉛電池用エキスバンド基板	-

* NPチーム

2. 事例 1 据置 VRLA 電池

2.1 解析の目的

据置 VRLA 電池では、一般に 10 年以上の長寿命が要求される。更に非常時のバックアップ用電源としての用途から、使用期間中は常に機能を確実に維持している必要がある。従って、これら電池には、特に高い信頼性が求められている。ところが、これらバックアップ用途の電池では、長期間に及ぶフロート充電により、電池内の正極板の格子が徐々に酸化腐食していき、酸化に伴う体積増加により、極板自体が変形膨張していくことが知られている⁷⁾。従って、長い使用期間の間、その機能を維持するには、これらの極板の膨張を何らかの形で吸収し、電槽の変形や破壊といった現象を回避させる必要がある。また、電池内部で吸収させた場合でも、ストラップ部分での変形・破壊が起り、電池性能を維持できなくなることも考えられる。

従って、据置 VRLA 電池を設計するには、使用期間中に起こりうる現象を定量的に予測し、対策を立てておくことが重要である。本解析では CAE を用いた電池の強度解析を行なうことにより、これら現象を予測することを試み、電池の信頼性を更に向上させるための検討を行なった。

2.2 解析方法

解析に用いた VALA 電池の有限要素モデルを図 1 に示す。正極の極板群を 3 次元でモデル化し、モデル化した電槽に収納した。極板の膨張は、極板に膨張率と仮想的な温度を与え、熱膨張させることで表現した。解析には、有限要素法 (FEM: Finite Element Method) による解析プログラム ANSYS Multiphysics を用いた。

解析に用いた物性データは、図 2 に示す各種試験を行ない、電池を構成する各材料について強度を測定し用いた。

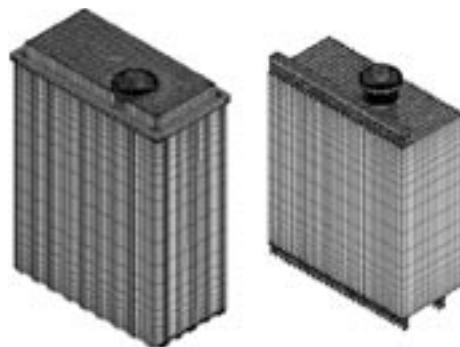


図 1 解析モデル
Fig. 1 Analysis model

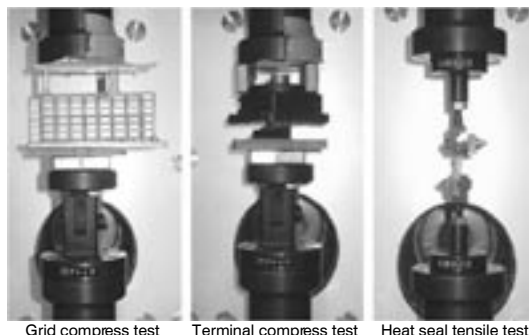


図 2 物性値測定試験
Fig. 2 Measurements of mechanical strength

2.3 解析結果

極板群が膨張したときの電池と電池内極板群の応力分布を図 3 に示す。応力は、極柱の樹脂封口部分とその近傍の電槽蓋部分に集中することが示された。

コンピュータシミュレーションによる変形・応力分布と、実電池を用いたモデルシミュレーションによる変形・破壊試験での結果を比較して、図 4 に示す。このモデルシミュレーションは、電池内の極板群を強制的に上方に変位させ、電池破壊までの挙動を観測したものである。両者の変形の挙動は良く一致した。また、応力が高い個所で電槽の白化・破壊が発生することが確認でき、コンピュータシミュレーションの有効性が確認された。

このコンピュータシミュレーション、モデルシミュレーションの結果は、極板に想定している最大の膨張率である 5% を超えても電槽の破壊は起こらないことを示し、この電池の安全性が確認された。

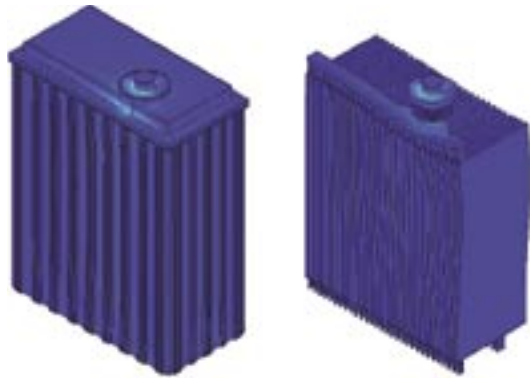


図3 応力分布解析結果
Fig.3 Distribution of stress

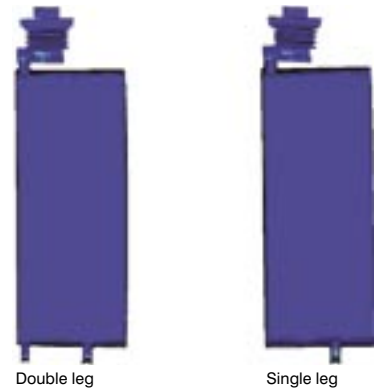


図5 極板群応力分布比較
Fig.5 Comparison of the stress on plate groups

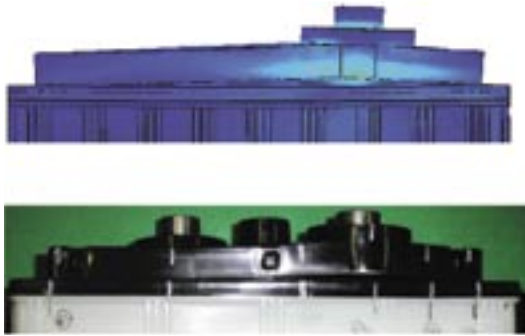


図4 コンピュータシミュレーションとモデルシミュレーションとの比較
Fig.4 Comparison of computer simulation and model simulation

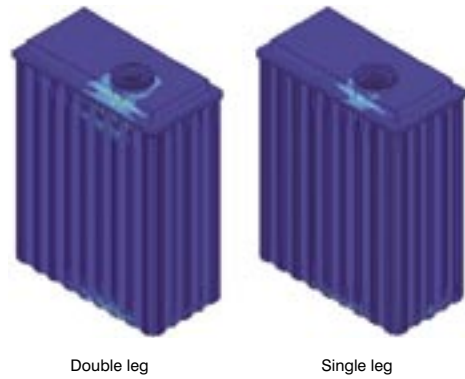


図6 電槽応力分布比較
Fig.6 Comparison of the stress on battery containers

2.4 信頼性向上検討

電槽に掛かる力を更に低減させる試みとして、極板の足を二本から一本に削減する効果を調べた結果について図5、6に示す。解析結果を比較すると、足の数を一本にすることで、電槽にかかる最大応力を40%減らすことができ、より信頼性を高めることが可能となることを示した。

電池内部のストラップへ掛かる応力を低減させる試みとして、ストラップの形状を検討し、従来の形状と極柱に近いところの幅を広くした新形状について応力分布を求め、結果を図7に示す。また、ストラップの長手方向の応力状態を比較したグラフを図8に示す。両者を比較すると、これまで破壊の起き易いとされた図の矢印の部分で、応力を最大50%減らすことができ、信頼性向上に有効であることを示した。



図7 ストラップ応力分布比較
Fig.7 Comparison of the stress on battery straps

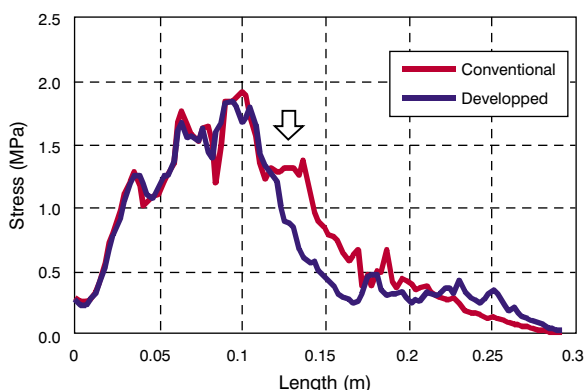


図8 ストラップの長さ方向の応力分布
Fig.8 Stress distribution along strap length

3. 事例 2 36V-VRLA 電池

3.1 解析の目的

36V-VRLA 電池（以下 36V 電池という）は、その使用条件から鉛電池としては非常に高い性能が要求されている⁴⁾。その高率放電性能は極板とセパレータを積層した極板群を圧迫する力（以下群圧という）に強く依存することが知られている。ところが、36V 電池のような多セルモノブロック構造とする電池では、セルの位置により群圧が変わり、セルの性能にバラツキが生じる。その結果、性能の低いセルが電池全体の性能を左右する。

そこで、CAE を用いた 36V 電池の構造解析を行うことにより、電池構造が性能に及ぼす影響について定量的に把握し、性能向上のための幅広い知見を得ることを試みた。

3.2 解析方法

解析に用いた 36V 電池の有限要素モデルを図 9 に示す。図では、対称条件により電池全体の 1/8 を 3次元でモデリング化し、電槽内には極板とセパレータからなる極板群のモデルを挿入した。

実際の電池では、極板群は圧縮された状態で電槽内に挿入されるため、極板群には常に群圧が掛かった状態にある。この群圧を与えるため、解析モデルでは極板部分を実際よりも薄くモデル化しておき、極板部分だけを膨張（仮想的に熱膨張）させ、所定

の極板厚みとなるようにした。こうすることで、電槽内には常に群圧が掛かった状態とすることができた。

解析に用いた極板群の物理特性は、実際の極板群での圧縮試験により求めた。

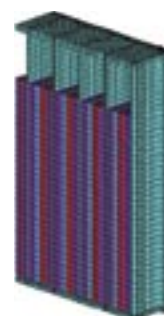


図9 解析モデル
Fig. 9 Analysis model

3.3 解析結果

初期状態（極板群を電槽に挿入した状態）での、電槽に掛かる応力の分布を図 10 に示す。群圧で電槽が膨張変形し、コーナー部に応力が集中するのが確認された。

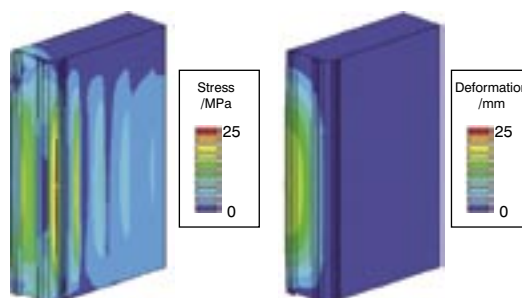


図10 応力と変形量の分布
Fig.10 Distribution of stress and deformation

極板群が初期状態から次第に膨張したときの電槽の変形量推移を図 11 に示す。膨張率が大きくなるにつれ、変形量も徐々に大きくなっているが、膨張率が 20%を超えると急激に変形量が大きくなることが確認された。これは、膨張率が小さい範囲では、セパレータの圧縮により膨張を吸収できていたのが、20%を超えた付近でセパレータの弾力性が無くなり、極板群の剛性が増したことで、電槽側に膨張の影響がそのまま表れたためである。

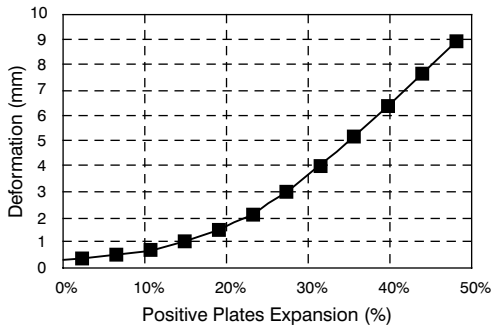


図 11 極板群の膨張率と電槽変形量
Fig.11 Relationship between plate expansion and container deformation

セルの位置別変形量を図 12 に示す。両端の 1,9 セル目では、他のセルに比べ変形が大きくなっており、特に膨張率が 20%以下の範囲では、電池全体の変形の 90%以上が 1,9 セル目に集中するのが確認された。

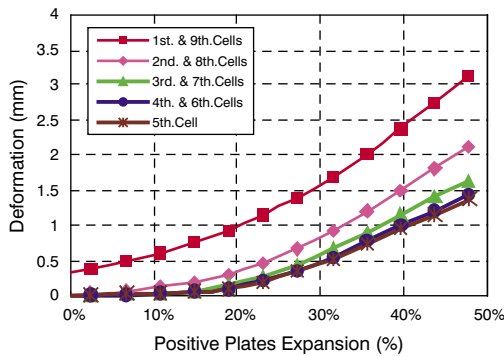


図 12 極板の膨張率と各セルの変形量
Fig.12 Relationship between plate expansion and cell deformation

極板群と電槽の内壁面との間に生じた圧力分布を図 13 に、セルごとに求めた平均の圧力値 (= 群圧) を図 14 にそれぞれ示す。端のセルでは、他のセルに比べ圧力が小さくなっているのが判る。

実際の 36V 電池で高率放電試験を行ない、各セルの放電電圧を測定した結果を図 15 に示す。図 14 と図 15 のグラフの傾向は概ね一致し、放電性能が群圧に強く依存することが確認された。

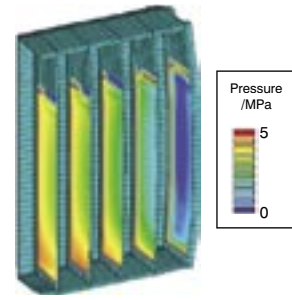


図 13 電槽内壁への極板群からの圧力分布
Fig.13 Distribution of inside container pressure arising from plate groups

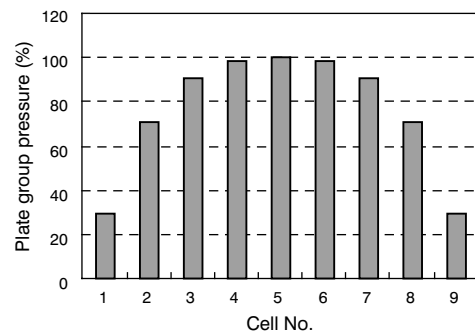


図 14 各セルの群圧
Fig.14 Plate group pressure on each cell

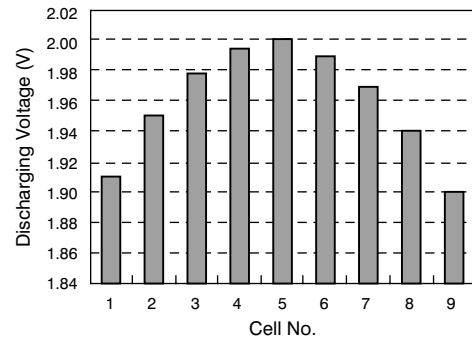


図 15 各セルの放電電圧
Fig.15 Discharging voltage on each cell

3.4 電槽構造検討

電槽の短側面のリブ形状を変えたときの電槽変形量を図 16 に示す。変形量の比較では、横方向リブの方が縦方向リブよりも変形が少ないことが示された。これは、セル形状が縦長であり、短側面が外側に膨らんだときには横方向の曲率が縦方向に比べ大きくなるので、横方向のリブが効果的である。

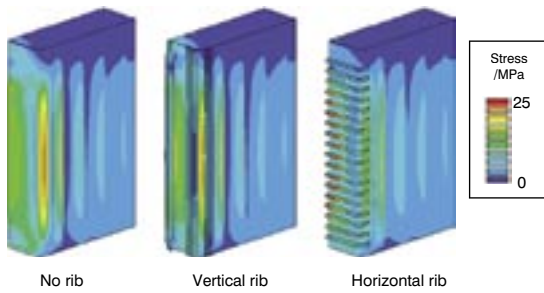


図 16 電槽形状による応力分布比較
Fig.16 Stress distribution on containers with and without rib structures

4. まとめ

CAE を用いた開発手法は、電池を開発していく上においても非常に有効な手段であり、開発期間の短縮・コスト削減に大きく寄与するものであることが確認できた。

弊社では、本報告以外にも CAE の適用範囲は更に広がっており、より一層の開発活動の効率化を進めている。

(参考文献)

- 1) 飯塚博幸, FB テクニカルニュース, No.56, 35 (2000)
- 2) 大出康樹, 若尾将士, 河内英樹, 細谷俊明, 飯塚博幸, FB テクニカルニュース, No.56, 42 (2000)
- 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) 古川淳, 坂本光, 飯塚博幸, FB テクニカルニュース, No.58, 3 (2002)
- 5) J.Furukawa, H.Sakamoto, H.Iizuka, H.Sho, K.Mashimo "Development of 36V VRLA Battery and Thermal Management," 2nd Advanced Automotive Batteries Conference, Feb.2002, Las Vegas.
- 6) H.Iizuka, H.Sakamoto, J.Furukawa, M.Yamamoto, T. Shimura "Development of 36V VRLA Battery and Thermal Management," MIT/Industry Consortium Program Review Meeting June 2002, Kyoto.
- 7) D. Berndt, Maintenance-Free Batteries, 2nd Edition, 153 (Research Studies Press LTD., 1997)