

二次電池の評価と評価装置の品質

The evaluation of the secondary cell and the quality of the measurement system

正木 英司 佐川 弘美 丹野 諭
Eiji MASAKI Hiromi SAGAWA Satoshi TANNO

要 旨 : 二次電池は、自動車のエンジン始動用の鉛電池や非常照明のニカド電池など、特定用途向けがほとんどであったが、ポータブル機器の発達とともにその用途が広がった。また、市場の広がりとともに二次電池に要求される性能は高くなり、かつ、開発速度も求められるようになった。その市場の変化に対応するため、計測機器への要求も年々、高度化している。弊社は、リチウムイオン二次電池の登場とほぼ同じ時代に起業し、二次電池の発展と共に活動を続けている。その過程で得られた評価装置に対する要求品質、さらには評価結果に対する品質保証といった観点から、二次電池の評価に必要な評価装置の品質について報告する。

Abstract : While second batteries were used for specific purpose such as lead-acid batteries for automobile engine starter and nickel cadmium batteries for emergency lights, application of second batteries was expanded as portable device progressed. Performance required for second batteries has been improved as the market has expanded and the development speed has been increasingly required. The demands for measurement device are becoming more sophisticated year by year to respond to change of its market. Our company started a business when second battery appeared in the world. We continue our efforts along with the second battery's development. I report the quality of measurement system necessary for evaluation of second batteries from the point of view of required quality for measurement system and quality for evaluation result.

キーワード : 二次電池、評価計測、リチウムイオン電池、エネルギー、品質

Keywords : Secondary Battery, Measurement System, Lithium Ion Battery (LIB), Energy, Quality

正木 英司、佐川 弘美、丹野 諭

東洋システム株式会社 〒972-8316 福島県いわき市常磐西郷町銭田 106-1

e_masaki@toyo-system.co.jp hiromi_s@toyo-system.co.jp stanno@toyo-system.co.jp

2014.5.15 受付, 2015.8.5 受理

社会技術革新学会第 8 回学術総会(2014.9.26)にて発表

1. はじめに

二次電池は当初、自動車のエンジン始動用の鉛電池や非常照明のニカド電池などの特定用途向けが殆どであった。その後ポータブル機器やコードレス機器の発達とともに用途が広がった。そして、市場の広がりとともに二次電池に要求される性能の水準は高くなり、かつ、開発速度も求められるようになった。その市場の変化に対応するため、二次電池の性能などを計測する機器への要求も年々、高度化している。

東洋システムは、リチウムイオン二次電池の登場と同じ時代に起業し、二次電池の発展とともに活動を続けている。その過程で得られた評価装置に対する要求品質、さらには評価結果に対する品質保証といった観点から、二次電池の評価に必要な評価装置の品質を報告する。

1.1. 会社概要

東洋システム株式会社は、1989年11月創業した。資本金一億円、従業員は108名(2014年6月)で、本社を福島県いわき市に構える。また、国内に4カ所の事業所・営業所を有し、2013年からアメリカにも事業所を展開している。

創業の翌年の1990年に充放電評価装置を発売した。2年後の1991年にソニーエナジーテック(現在のソニーエナジーデバイス)にて世界初のリチウムイオン二次電池の量産が行われたのを契機に、同年にはリチウムイオン二次電池対応充放電評価装置を発売した。

その後、1996年にはハイブリッド自動車(Hybrid Electric Vehicle : HEV)用充放電評価装置を発売した。翌年には世界初のハイブリッド自動車プリウスが発売された。このように、二次電池の市場動向と合わせて二次電池の開発市場の要求に適した製品を投入してきた(図1)。

近年では、電池市場の多様化に伴い評価項目も多様化しているために開発メーカー単独では評価しきれないことから、電池生産者や電池使用者の開発評価業務の一部を行う受託業務も行っている。



図1 会社業績と世の中の動き

1.2. 製品とサービス

東洋システムの業務は大きく以下の4つに分けられる。

- ① 二次電池の各種電気的性能を評価するための充放電評価装置の提供
- ② 電池を試作するための研究開発用試作装置や電池の安全性を評価する安全性試験装置の提供
- ③ リチウムイオン二次電池パックやニッケル水素電池パックの設計と製造
- ④ 電池生産者や電池使用者に代わって電気的性能と安全性能を評価する受託評価業務

これらの業務を通して電池関連業界に幅広く係っており、上流工程の材料評価などの基礎開発向けから、下流工程の品質管理向けの検査装置や電池パックの設計・製造を取り扱っている(図2)。



図2 製品とサービス

2. 電池の変化と開発の重要性

2.1. 二次電池への市場要求の変化

二次電池の市場は鉛電池、ニカド電池からニッケル水素二次電池、そしてリチウムイオン二次電池と変化している。二次電池の当初の市場は主にエンジンの始動用、非常照明用や商用電源のバックアップ用であった。生活が高度化するに伴い二次電池への要求も高くなってきた。当初から市場要求はより高容量でより軽く、より小さくであったが、それでもエネルギーが大きくなるにつれて市場での事故も確認されるようになってきた。そのため最近では、容量などの電気的性能の他に、安全性も重要な要素となっている（図3）。



図3 市場要求の変化

2.2. リチウム二次電池への市場の変化

現在、二次電池の主流となっているリチウム二次電池は、当初、負極に金属リチウムを用いたリチウム金属二次電池として市場に登場した。当時の日本電信電話株式会社(NTT)が世界で初めて携帯電話用バッテリーとして採用したものの、電池に由来する人身事故を起こしたために事実上リチウム金属二次電池の市場はなくなった。その後リチウムをイオンとして使用するリチウムイオン二次電池がソニーエナジーテック(現在のソニーエナジーデバイス)より発売され、このリチウムイオン二次電池が主流となり現在に至っている。

現在、リチウムイオン二次電池はスマートフォ

ンやノートパソコン、デジタルオーディオなどの携帯機器や電動自転車、ハイブリッド自動車などの大型製品にも使用されている。今後はウェアラブルデバイス、パワードスーツ、電動車両(Electric Vehicle)や蓄電システム(Energy Storage System)などのキーデバイスとなり、更なる需要が見込まれる（図4）。

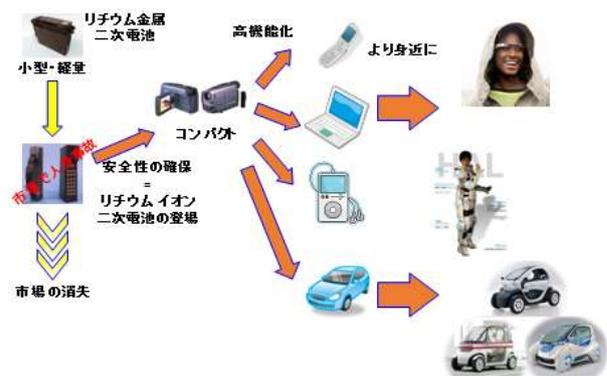


図4 リチウム二次電池の市場の変化

2.3. 電池開発の重要性

リチウムイオン二次電池は今や生活には欠かせないキーデバイスとなっている。車や家電にもリチウムイオン二次電池が搭載されている。特に携帯電話に関しては世界中の人が使用しており、人々にとって最も身近な二次電池の一つである。

しかし、国内外での携帯機器のバッテリーの膨れや爆発事故などの報道が示す通り、電池自体が危険な物であることも事実である。電池は、過度な充電と放電、加熱、そして衝撃などの負荷を与えることで、急激に劣化するだけでなく、最悪の場合は破裂や発火をおこす恐れもある。今後、二次電池、特にリチウムイオン二次電池は社会基盤や日常生活に深く関わっていくため、全ての人が満足する電気的性能と電池の危険性から人々を守るための安全性能の向上のために日々の弛みない電池開発が重要である。

2.4. 規格化の動き

リチウムイオン二次電池が日常生活に欠かせないキーデバイスになるにつれ、電気的特性や安全

性能に関する規格作りの動きも活発化してきた。電池メーカーは電池工業会で策定されている基準や鉛電池やニカド電池の規格を遵守する様に開発・製品化を進めていた。しかし、市場の拡大と共に従来の基準だけでなく様々な用途に合わせた基準が必要となった。

最近では、携帯電子機器向けのリチウム二次電池の規格として JIS C 8714 が策定され、日本国内で販売されているリチウムイオン二次電池に適應されている。ただし、機器組込型は対象外となっていることもあり、実行力について疑義がある。一方、電動車両などの大型リチウムイオン二次電池向けでは国内及び海外で規格作りが盛んに行われており、IEC 62660:2011 や SAE 2462:2009、DIN VDE V510-11、QC/T 743:2006、UN ECE R100-2 など組電池も含めた安全性能を中心に規格化が進んでいる。

なお、組電池とは電気エネルギー源として使用できるよう単電池を単数又は複数用いて組み立てられたもので、電圧、寸法、端子配列、容量及び放電性能によって特徴付けられるもののことである¹⁾。

3. 評価装置の性能

3.1. 評価装置への要求の変化

最近の市場の要求を満たすため、リチウムイオン二次電池は高容量、長寿命、安全性能などを高い水準で確保しなければならず、電池を評価する装置も高い水準が必要となっている。例えば、ハイブリット自動車に搭載される電池では、道路状態や気象条件の変化、運転者の違いなどによって全く違う負荷が二次電池にかかることを想定した大電流試験や、充電と放電を高速で切り替える入出力試験が行われている。また、人を運ぶ中で想定される様々な事故による危険(エラー)状態においても人身に影響を与えない安全性能の確認試験も行われる。

こうした状況の中で電池の電氣的性能を評価するための充放電評価装置には、広範囲で正確な電

流を出力する性能およびその測定性能、さらには電流波形の正確さと高速の応答性が要求される。また、開発途中の電池では不安定な要素も多いことから、評価中の電池が危険状態(エラーモード)となった際にも発火や破裂などの事態に移行しないための評価装置の安全機能、さらには長期の評価試験に耐えるために24時間365日動作し続ける耐久性も要求される(図5)。

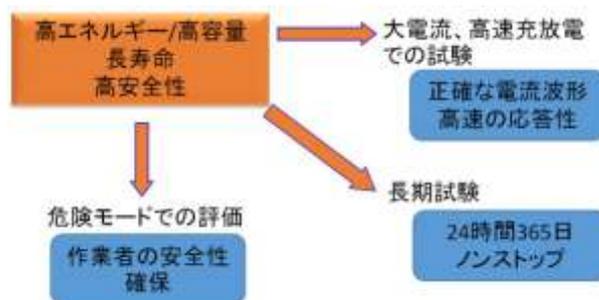


図5 評価装置への要求

3.2. 評価装置の性能に対する基本的考え方

評価装置が具備すべき基本的な性能とは、電池に要求される性能を、①効率的に②再現性よく③正確に④安全に測定できることである。これらの4点を満たした高精度・高機能・高安全性の評価装置を提供することで二次電池メーカーの多種多様で高品質な評価が可能となる。これによって最終的に高品質で高安全性の二次電池が市場に出ることになる(図6)。

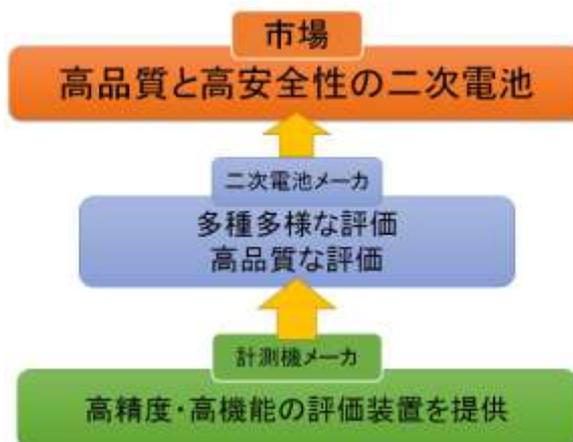


図6 評価装置の性能と電池品質の関係

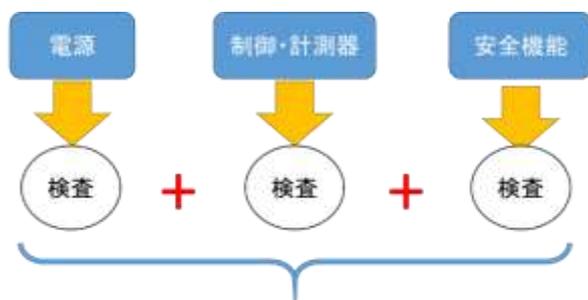
3.3. 高精度・高機能化の試み

電池の評価試験の内容は、研究機関、大学、材料メーカー、電池ユーザーメーカーなどで多岐にわたり、評価装置への顧客要求もその都度変化している。常に変化し続ける顧客の要求仕様を満足し、高精度で高機能な評価装置を提供するために、機能単位での性能向上はもちろんであるが、そこにとどまらずシステム全体での検査と性能保証が重要である。

例えば、充放電評価装置は「電源」「制御・計測器」「安全機構」「付帯設備」の4つの独立した機器の組み合わせで構成されており、個々の機器に仕様精度が設定されている。まず個々の機器の仕様精度の保証が必要であるが、それにとどまらず機器の組み合わせ、すなわちシステム全体の性能を保証し高性能・高機能な評価装置を提供することにより電池評価の品質向、更には高性能電池の開発へ繋がる（図7）。

また、実際に顧客が行う試験条件を用いて電池を接続した検査も行っている。何故、電池を接続した検査を行うのか。その理由は個々の機器、又はシステムの検査では、設定値に対する電流の出力精度や測定値の精度などの静的な性能しか把握できない。一方、電池を接続した検査は、電圧、内部抵抗など電池そのもの自体の状態が変化するため、評価装置の性能がその変化にどの様に追従しているかの動的性能の検査となる。

一例として、電池未接続時の電流特性（図8）と電池接続時の電流特性（図9）とを比較する。



「システム全体の性能」を検査・保証

図7 検査と保証の範囲

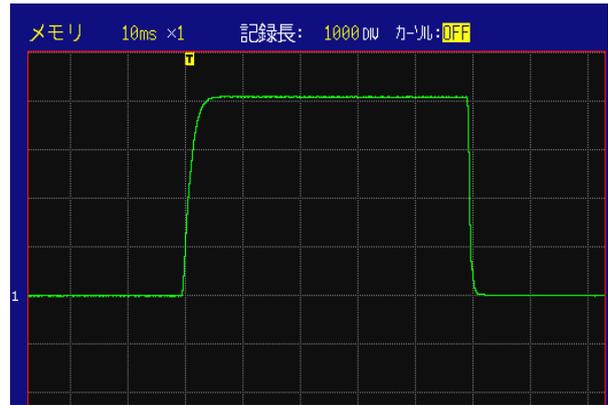


図8 電池未接続時の電流特性

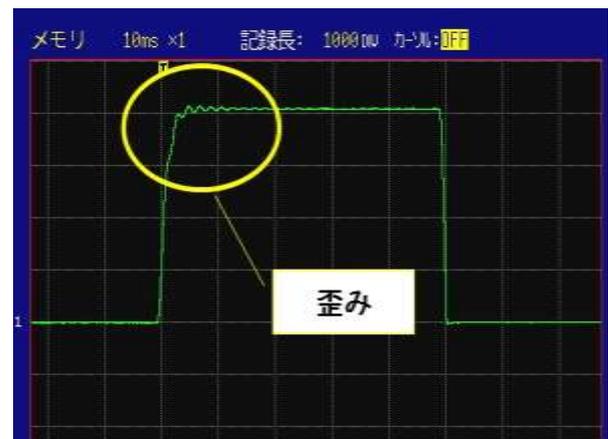


図9 電池接続時の電流特性

電池未接続時、つまり静的性能の出力特性には出力波形に乱れがなく問題は無いが、電池接続時、つまり動的性能の出力特性には電流に歪みが生じているのが確認できる(図9 黄色枠内)。この電流の歪み一つ一つは電池評価に大きな影響を与える程の大きさではないが、長時間の評価ともなると歪み分の差が積算されるために大きな誤差となり、そのまま評価結果に影響することもあり得る。

例えば、出力特性において動的性能で見られる歪みによって0.001%の誤差が発生しているとする。電動車両用の寿命試験においては電流の入出力を数千から数十万回繰り返して実施する。10,000回繰り返して実施したとすると歪みの誤差が0.001% × 10,000回の積算となるため、試験終了時には10%の誤差となる。このように一つ一つは極めて小さい誤差であっても積み重なることにより評価結果に影響を及ぼす誤差になる。

検査工程においては、静的性能は仕様書に記載

されているために、良否の判断は容易である。一方、動的性能については、精度の様に数値として表せない箇所も多い。そのために検査工程では過去の経験と実績を持つ検査員により、評価装置として静的性能と動的性能を最大限発揮するようにシステムを構成する機器の性能を調整している。各器機のバランスを調整する作業はマニュアル化できない難しさがある。高品質の製品を提供するために動的性能の確認と調整を行うことが重要である。

4. 評価装置の品質向上のための取り組み

評価装置を熟知している担当者が、直接に顧客の意見や要望などの顧客の「声」を聞くため製品検査担当者が検査後の顧客への納品作業、取扱説明、アフターサービスを一貫して行っている。顧客の「声」は、製品検査担当者から開発担当者へフィードバックし、新規製品や既存製品の品質の向上に活かす。顧客の「声」を反映した既存製品や新規製品が、検査担当者そして顧客へと流れ、評価装置の品質維持向上のサイクルを作っている（図 10）。

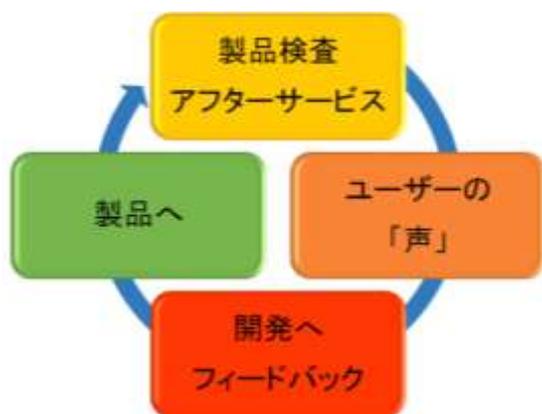


図 10 品質向上サイクル

顧客からの「声」を製品にフィードバックした事例を示す。

4.1. 事例 1

装置間で評価の結果が異なると電池の性能差が

判らなくなる。

顧客が行う電池の評価試験は、同種の電池について一度に複数個を同じ評価条件で行う。電池の状態が全て同じと仮定した時、評価条件が同じであれば理論上、全ての装置で同じ結果が得られるはずであるが、機械であるため実際には装置ごとに多少の誤差はある（図 11）。

例えば、評価装置の保証精度が $\pm 0.1\%$ とした場合、一般的には精度 $\pm 0.1\%$ の範囲で装置間にバラツキがあることになる。リチウムイオン二次電池の電気的特性である充放電効率 99.98% を示した場合に寿命試験では初期容量の 80% に達するには $1,000$ サイクルの充放電を繰り返すことになる。保証精度内の精度 $\pm 0.1\%$ であってもサイクル数が約 666 サイクルから $2,000$ サイクルと結果に差が生じてしまう。このように、装置それぞれの精度が保証仕様範囲内であったとしても、装置による少しの精度のバラつきが評価結果に影響を及ぼしてしまうことがある。

そのために保証精度より厳しい検査規格を設け、装置毎の誤差が小さくなるよう調整してより高精度な製品を提供している。

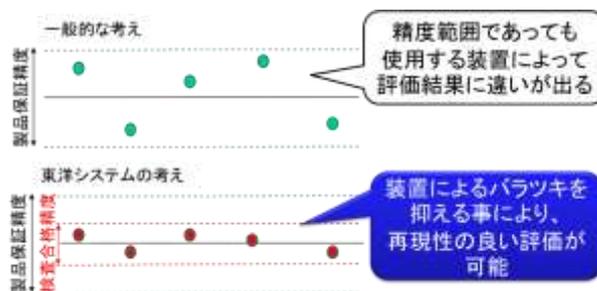


図 11 精度に対する考え

4.2. 事例 2

充放電サイクル毎の充放電効率がバラつきいたり、 100% を超えたりすることがあると正確なデータとは言えない。

リチウムイオン二次電池では充電方式に定電流定電圧制御方式(CC/CV方式)が用いられている。本方式では定電圧時の電流制御が重要である。東洋システムで採用している電源方式(シリーズド

ロッパー方式)と一般的な電源方式(スイッチング方式)での電流制御の違いを示す(図 12)。

図 12b に示すスイッチング方式電源も保証精度内の装置であるが、図 12a に示すシリーズドロップパー方式に比べて定電圧時の電流制御(電流が小さくなっていた時)に電流にふらつきが生じている。その結果として評価電池の充放電効率にばらつきが生じ、更に寿命試験結果にもばらつきが生じてしまう。その為、電流のふらつきが小さいシリーズドロップパー方式を採用している。

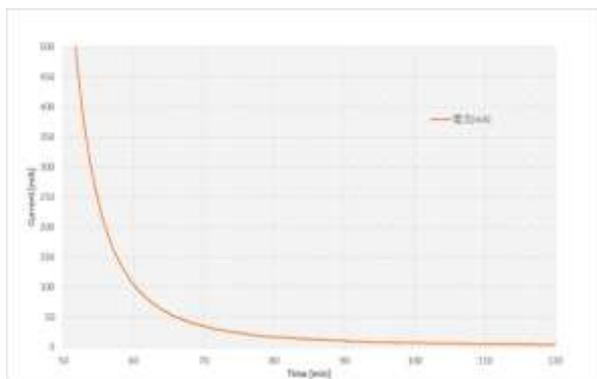


図 12a 定電圧制御時の電流挙動
(シリーズドロップパー方式)

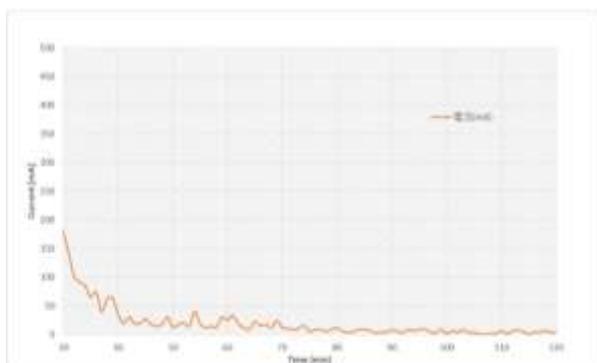


図 12b 定電圧制御時の電流挙動
一般的な電源 (スイッチング方式)

4.3. 事例 3

出来る限り実機と近い環境、使用状況での評価を行いたい。

蓄電システム(Energy Storage System)を模擬した寿命試験で充放電を 1,000 サイクル繰り返し行った場合、1 日に 1 サイクルで 1,000 日(約 3 年)の試験期間が必要となる。この試験を実施している

間に評価装置の精度が変化した場合、初期の結果と後期の結果が異なってしまう。また、途中で精度を校正することは連続試験を中断することにもなる。つまり実機と近い環境や、使用状況を模擬できていないこととなるため、長期使用においても精度のズレが少なくなるように構成する電子部品などにより精度が高く、安定性があり、長寿命な部品を用い、それらを高次元でバランスする様にシステムを構成している。その一例として同一の顧客が使用している装置の電圧精度をモニタリングした結果を示す。(図 13)

精度は装置の使用環境、使用状況により変化すると思われるが、保証期間の数倍の期間で保証精度内に収まっていることが判る。

これらの事例のように、各々の装置が保証精度の範囲内であっても評価装置によって評価結果が異なるとのユーザーの声を反映し、二次電池を評価する上で重要な要素を製品に取り入れ、ユーザーの立場に立った製品検査を行い、保証仕様書以上の品質の製品を提供している。

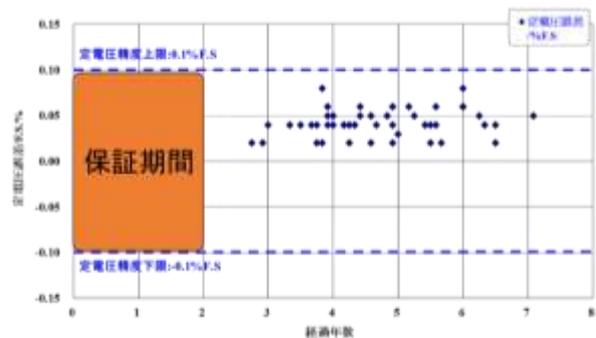


図 13 電圧精度の経過年数

5. おわりに

年々、二次電池市場は多様化が進んでいる。市場の多様化に伴い、電気的性能・品質・安全性を高い次元で発揮する二次電池の開発が必要とされ注目されている。その二次電池の開発と品質管理に必要なのが、充放電評価装置である。充放電評価装置の動的性能と動作安定性の向上は、二次電池の電気的性能や安全性の向上に繋がる。評価装

置の品質の維持向上のためには、これらのことを常に意識し、保証精度より厳しい検査規格を設定することなどが必須である。こうした評価装置の品質の維持向上を実現するためには、製品検査担当者が顧客への納品作業、取扱説明、アフターサービスを一貫して行うことにより、個々の顧客の要請を的確にとらえ、これを評価装置の仕様や設計・製作にいかしていくことが重要である。

引用文献

- 1) 日本工業規格「密閉型小型二次電池の安全性」, 財団法人日本規格協会, 2006, p2.