

燃料電池自動車用リチウムイオン電池システムの開発

Development of Lithium Ion Battery System for Fuel Cell Vehicle

山 本 康 一*

Koichi YAMAMOTO

姉 川 彰 博*

Akihiro ANEKAWA

要 旨

燃料電池自動車 Honda FCX クラリティ用のリチウムイオン電池システムを開発した。

本システムは従来の Honda FCX へ搭載されていたウルトラキャパシタを超える出力を達成すると共に、エネルギー回収率を向上させることで、発進加速、燃費性能の向上を実現した。また電池に対し適切な冷却、制御を実施することで耐久信頼性においても十分に満足している。

車両搭載においては従来の Honda FCX に対し重量で40%減、容積で50%減を達成し、車両フロア下へのシステム搭載を実現した結果、キャビンスペースの拡大といった、車両の商品性を向上させた。また水や埃における耐環境性向上も実現している。

ABSTRACT

A lithium ion battery system was developed for the fuel cell vehicle Honda FCX Clarity.

This system achieves output power better than the ultra-capacitor mounted in the previous Honda FCX, and enhances both starting acceleration and fuel economy performance by increasing the energy recovery rate. In addition, durability and reliability requirements are also satisfied by performing appropriate battery cooling and control.

Regarding mounting in a vehicle, this system is 40% lighter and 50% smaller by volume than the previous Honda FCX system, and mounting the system under the vehicle floor results in expanded cabin space, which increases vehicle appeal. In addition, the new system also realizes increased resistance to environmental factors such as water and dust.

1. まえがき

環境対応が求められる今日、環境対応車として期待される燃料電池自動車には燃費性能、加速性能向上のために、燃料電池と同様に高性能なエネルギーストレージが求められる。2002 年 12 月に世界初の米国政府による燃料電池車販売認定を取得した Honda FCX⁽¹⁾を納車した。Honda FCXにはウルトラキャパシタ^{(2), (3)}を搭載し、ハイブリット車を上回る加速性能を実現した。同時にエネルギー容量を増やし、回生エネルギー回収率を向上させることで、さらなる燃費向上へ繋がることもわかった。

FCX クラリティには従来の加速性能を損なうことなく燃費向上をさせるため Honda 初となるリチウムイオン(以下 Li-ion という)を採用し、電池性能を発揮させるための冷却、制御を含んだ Li-ion 電池システムとして搭載した。

車両搭載においては車両フロア下に配置することでキャ

ビンスペース、トランクルームの拡大といった商品性向上を実現した反面、水や埃などから高電圧部品を守るために車室外環境対応の検討が必要となった。

本稿では Li-ion 電池性能、耐久性並びに Li-ion 電池システムを実車に搭載するうえでの車室外環境対応技術について解説する。

2. リチウムイオン電池の採用

FCX クラリティに搭載するエネルギーストレージには、加速性能に関わる出力密度と燃費に関わるエネルギー密度の大きく二つの性能を求めた。いくつかのエネルギーストレージのエネルギー密度と出力密度を Fig. 1 に示す。

民生機器に用いられる Li-ion 電池は、機器の長時間駆動が求められるため、エネルギー密度が高い。一方、出力密度については内部抵抗が低いウルトラキャパシタが優れてい

*四輪開発センター

る。本開発においては要求性能を実現するエネルギーストレージとして出力密度、エネルギー密度に優れている内部抵抗の低い Li-ion 電池を採用した。この Li-ion 電池は民生用の Li-ion 電池に対して正負極材料及集電構造を変更することで、ウルトラキャパシタを超える出力密度と、ハイブリッド車に搭載されているニッケル水素電池を超えるエネルギー密度を達成している。結果ハイブリッド車に対して約3倍の電池出力を達成している。また前モデルで採用したウルトラキャパシタよりも高エネルギーとなり、加速状態の持続時間が伸び、車両発進加速時間は40%向上している。減速時の回生エネルギーの回収量は高エネルギー化と回生とブレーキの配分を制御する協調回生ブレーキシステムを搭載し、10・15モード走行において13%向上し、燃費向上に繋がっている。

単電池あたりの定格電圧はニッケル水素電池の約3倍、ウルトラキャパシタの約1.5倍と高く、システム電圧が同一であれば Li-ion 電池は使用本数を抑えられ小型化が可能となるうえニッケル水素電池のようなメモリー効果が無く、電圧で充電状態が把握できることから制御システムの簡素化も可能である。

これらの理由からFCX クラリティのエネルギーストレージとしてエネルギー密度および出力密度の両面に優れた Li-ion 電池を採用した。

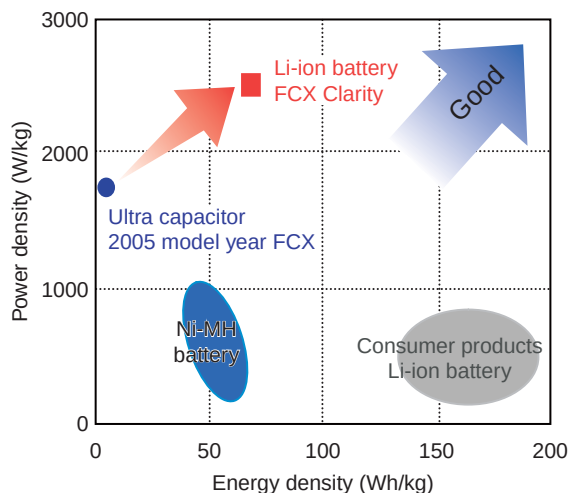


Fig. 1 Battery performance comparison

3. システムのねらい

Li-ion 電池システムの開発において以下2点をねらいとした。

(1) 電池の耐久性確立

(2) フルキャビンセダンスタイルの達成

複数の電池を用い長期間車両性能を維持するためには、電池自体の耐久性確立が重要になり、耐久性向上のために複

数の電池が常に同じ環境下に置かれるように冷却を含めたシステム構築をおこなう必要がある。

また搭載においては FCX クラリティの特徴であるフルキャビンセダンスタイルを達成するために Li-ion 電池システムの小型軽量化に重点を置き開発をおこなった。居住性と搭載性の向上をねらいキャビンスペースおよびトランクスペースをより大きく確保可能な後席フロア下に Li-ion 電池システムを搭載している。

4. 電池の耐久性

4.1. 性能低下因子と推定

Li-ion 電池は、電池充電状態(State Of Charge, 以下SOCという)や温度の影響で容量の低下や抵抗の上昇といった性能低下が発生する。特に高SOC状態や高温状態で使用を継続すると性能低下が進行する。充放電サイクル試験における環境温度違いでの容量変化を Fig. 2 に示す(以下 Fig. 2 から Fig. 7 および Fig. 9 における横軸は FCX クラリティ耐久年数を1と定義した場合の時間を示す)。環境温度が高い状態で試験をおこなうと容量低下が大きくなることがわかる。

次に放置試験による容量変化を Fig. 3 に示す。

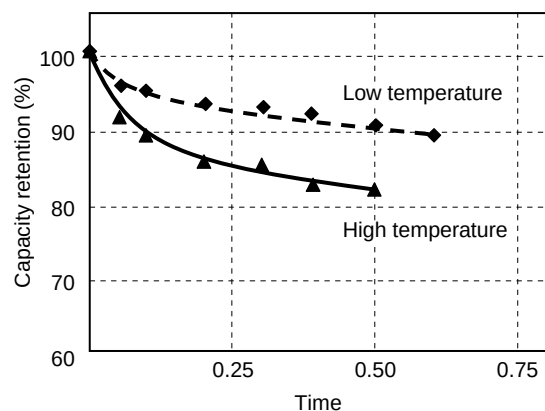


Fig. 2 Capacity retention in charge-discharge test

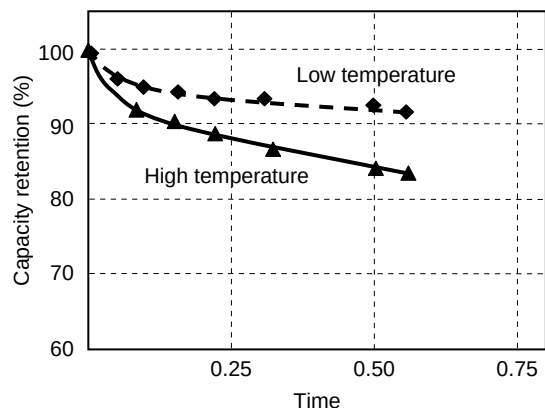


Fig. 3 Capacity retention in shelf test

充放電サイクル試験同様、環境温度の高い状態で放置すると容量低下が大きくなる。

この環境温度の違いによる性能低下の進行の違いは容量だけでなく抵抗でも同様の事象となる (Fig. 4)。

環境温度が同一でも SOC が異なることで、抵抗が変化している状態を Fig. 5 に示す。

このように Li-ion 電池の性能変化は、温度や SOC を含めた電池状態により影響を受けるが、その変化の割合は時間の 1/2 乗則⁽⁴⁾を用いることで整理可能である。放置試験での一例を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。温度や SOC の条件を変化させた試験結果から、性能低下係数が算出可能であり、その係数を基に車両運用期間中の Li-ion 電池の性能変化が推定できる。

Li-ion 電池は充放電および放置状態においても性能低下が進行するため、性能低下係数を算出し、条件設定することで加速試験が可能となる。長期間での車両運用に対し短期間で性能変化がわかることは開発において有効である。

4.2. 使用温度, SOC 範囲の設定

運用される地域の環境温度, 路面からの輻射熱, 走行時の電流入出力による電池自体の発熱とさまざまな熱影響を

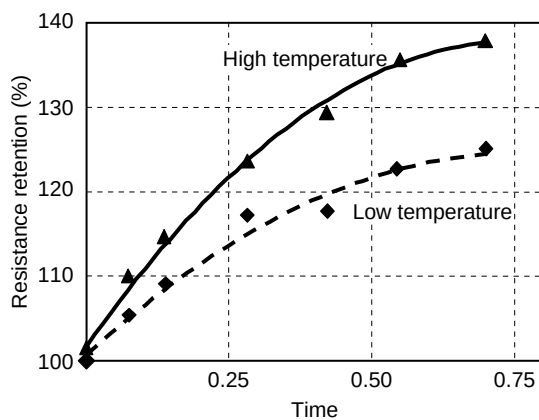


Fig. 4 Resistance retention in charge-discharge test

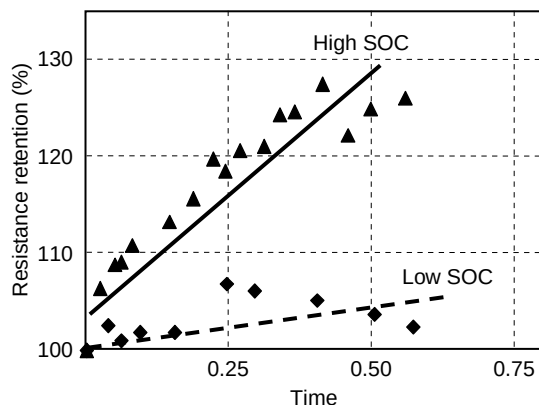


Fig. 5 Resistance retention in shelf test

想定して電池使用温度範囲並びにSOC使用範囲を取り決めなければならない。環境温度については外気温45℃といった酷暑から-30℃といった極寒地域まで想定した。電流入出力による電池自体の発熱は走行状況により変化するため、過去のガソリン車やハイブリッド車の走行データおよび前モデルの走行データを参考にし、運用データとして取り入れた。これらのデータを組合せ、評価を繰り返すことで、車両運用期間における要求性能を満足できる電池使用温度および SOC 範囲を取り決めた。

4.3. 冷却システムの構造と性能

冷却構造においては、すべての電池に対して効率良く冷却をおこなえるように、シミュレーションを繰り返しおこなった。前モデルのキャパシタシステムでは2ボックス化し、各ボックスに対して冷却をおこなっていたのに対し、本システムはすべての電池を1ボックス化して冷却をおこなうことで小型化をしている。冷却構造を Fig. 8 に示す。吸気ダクト上部より吸気された外気をダクト内で分配し、バッテリーボックス左右より冷却をする、空冷サイドフ

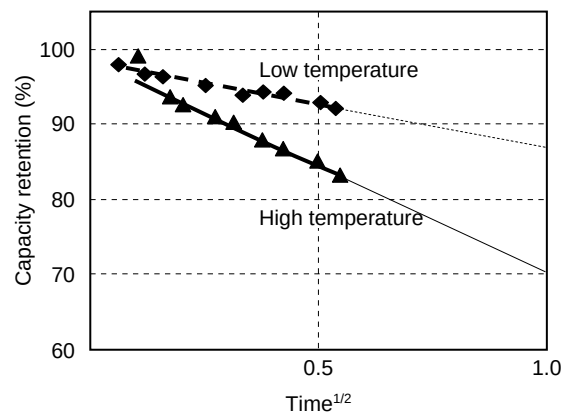


Fig. 6 Capacity retention in shelf test (acceleration test)

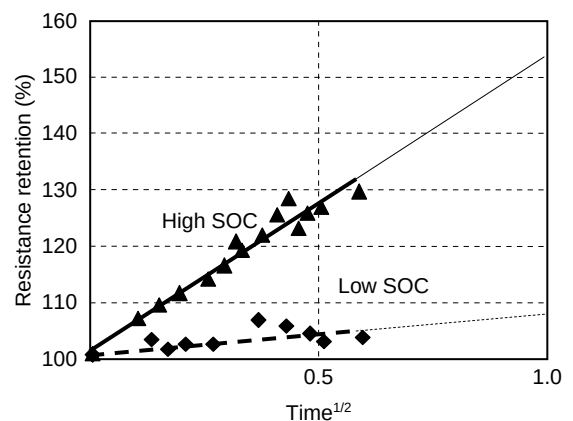


Fig. 7 Resistance retention in shelf test (acceleration test)

ローを選択した。さらにバッテリーフレームに排気ダクトを内設した。ボックス側面に構造体となるサイドプレートを設置しプレートへ開口部を作り外気導入口としている。またバッテリーフレーム中央部にも開口部を設定し排気口とした。これらの開口部面積を調整して流量調整をおこなうことで、電池温度のばらつきを低減させている。またボックス内部を前後に分け、前側の電池温度が後側の電池温度よりも数度高くなるように設計した結果、前側の電池温度に重点を置いて計測でき、電池温度検出サーミスタの本数増大を抑えることが可能となった。設定したSOC使用範囲および本冷却構造を用いた耐久試験結果を Fig. 9 に示す。想定した使い方での運用年数においてエネルギー、出力共に必要性能を満たしていることが確認できた。

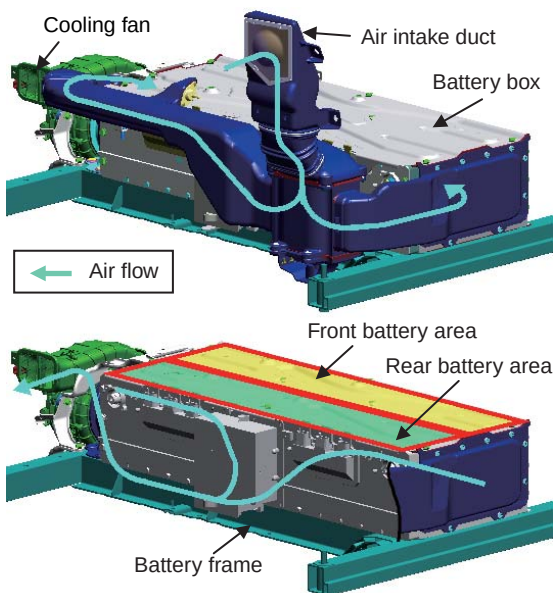


Fig. 8 Battery cooling air flow

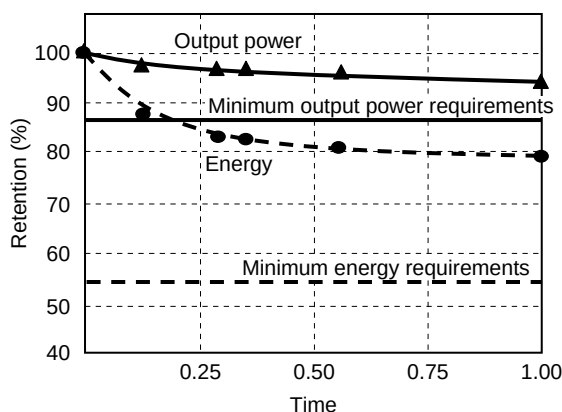


Fig. 9 Life test of Li-ion battery system

5. 車両パッケージの特徴

Li-ion 電池システムの搭載構造を Fig. 10 に示す。

後席フロア下に搭載した本システムは電池本体を取り囲むボックスを中心に、上部へバッテリー ECU、側面に冷却ファン、後方へコンタクトボックスを配置した。

先に述べたように冷却は空冷を選択し、キャビンスペースを広く確保するために構造高さを抑えられるサイドフロアとし性能と軽量の両立を図った。これは前モデルに対し、重量で 40%減、容積で 50%減を達成している。

一方、エネルギーストレージを車室外環境下に配置することは水や埃といった外的要因に対しての配慮が不可欠となり、本開発における技術課題となった。

5.1. 車室外配置構造

車室外環境下への配置、車室外吸排気といった構成を具現化するために、重要なのが水浸入対策である。高電圧を常時有する電池にとって水浸入は最終的に電池短絡まで達する危険があるためである。車室外吸排気の選択により冷却風自体に水分が含まれるため、電池個別の防水とした。本開発においては電池自体を樹脂被覆保護することで防水性や絶縁性を確保すると同時に直接冷却風をあてることを可能とした。端子部については耐候性に優れた合成ゴムによる面シール構造と接着剤による封止構造とを併用し、信頼性を確保した。バッテリー ECU や冷却ファン電気部は量産ガソリン車 ECU で採用されている接着剤シール技術を適用することで水浸入対策をおこない、バッテリーモジュール全体が没水しても絶縁性能を確保できる高い信頼性を確保した。これらの構造の長期間安定した品質を保つためには水だけではなく異物や塵埃に対する配慮が必要となる。

基本的に枯葉など大きな異物の侵入を防ぐ構造と、塵埃など細かな粒径のものを捕捉する構造の二つに切り分けた。

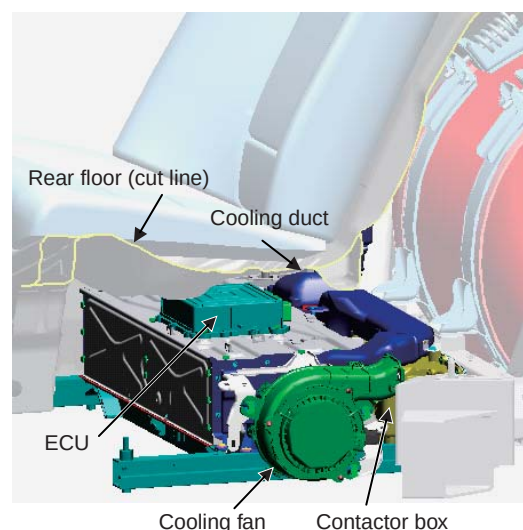


Fig. 10 Battery module placement

前者は吸気口にメッシュを採用し、後者はエアフィルタによりそれぞれ異物と塵埃の侵入防止並びに捕捉をおこなった。メッシュが取り付く吸気口は車両進行方向に対し反対となる後方へ向け、バッテリーモジュールよりも高い位置へ設置した。これは量産車エアインテーク高さとはほぼ同一となる高さであり巻き上げられた異物、水の浸入を低減させた。

吸気構造を Fig. 11 に示す。

エアフィルタは冷却能力とのバランスを考え、捕捉能力の設定をおこなった。先に述べたように電池は防水構造を有しているため、ある程度の塵埃耐性を持ち合わせているが、塵埃が与える影響として下記の3点に着目した。

- (1) 電位差と水分含有塵埃による短絡(トラッキング)
- (2) 塵埃の電池衝突による構造浸食(エロージョン)
- (3) 腐食性生成物による構造腐食(コロージョン)

各塵埃粒径における塵埃捕捉能力と3点の影響についての関係を Fig. 12 に示す。

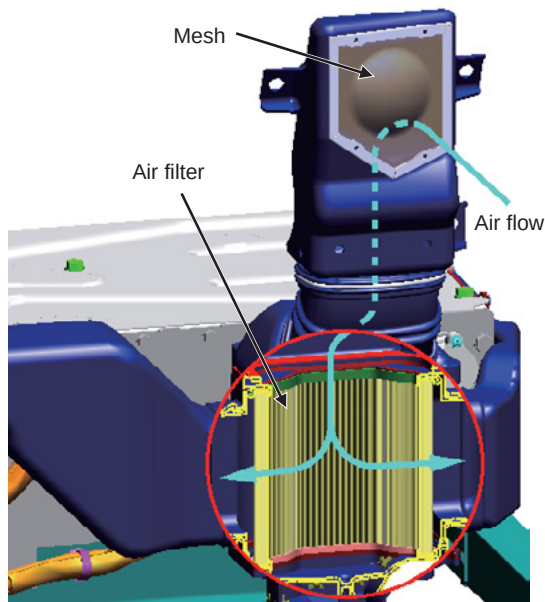


Fig. 11 Cooling duct structure

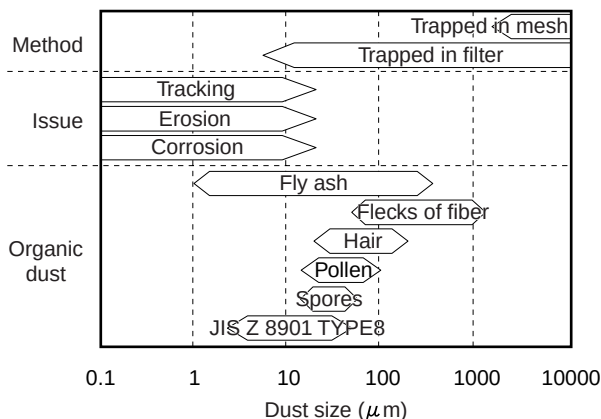


Fig. 12 Dust catching ability and issues

絶縁破壊に至るトラッキングにおいては車室外配置を考慮しJIS C0704⁽⁵⁾に定められた、導電性の汚染が存在する環境を表す汚染度3を想定し、電位差は電圧スパイクノイズを考慮し2000 V以上の耐性を確保することとした。耐性を満足するために、端子間最短距離を16.5 mmとし、トラッキングの起こしにくさを示す値である比較トラッキング指数が600以上となる樹脂材料を選定した。

エロージョンは関東ローム層(JIS Z8901 TYPE8)⁽⁶⁾をベースにダクト長、風量などから衝撃値を試算し、30 μm以下の粒径ならば問題ないことを導いた。

コロージョンは関東ローム層のような無機系主体の塵埃や花粉のような有機系塵埃まで幅広く存在する中、有機系塵埃と水分影響などによるコロージョンに重点を置いた。一般的に花粉や孢子など小さな粒子径で10 μm程度であること、エロージョンの観点でも30 μm以下の粒径は問題ないことから、10 μm程度の塵埃捕捉能力を有したエアフィルタを選定した。10 μm以下の侵入塵埃に対しては車外環境やエンジンルーム内に用いられる耐環境性に優れた樹脂材料を冷却流路に採用しコロージョン耐性を確保した。

防水と塵埃に対応できる構造とすることで車室外配置を可能とした。

6. まとめ

FCX クラリティに向けて開発したLi-ion 電池システムについて紹介した。本システムの開発において以下の結論を得た。

Li-ion 電池は他のエネルギーストレージと比較しても高密度、高出力な電池である。

電池の性能変化推定を可能とし、市場の使われ方を踏まえた耐久モードの設定並びに冷却システムの構築により、本システムは車両運用期間に渡って安定したエネルギーを供給可能なことが確認できた。

車室外配置を考慮した環境対応をおこなったことで、搭載自由度があり、室内居住性を高くすることが可能なLi-ion 電池システムである。

このように FCX クラリティに搭載されたLi-ion 電池システムは性能および信頼性も高く、FCX クラリティのトルクフルで伸びのある加速を持ち合わせた走り、ゆとりある室内空間といった魅力向上に寄与している。

参考文献

- (1) 川崎聡志, 内堀憲治, 村上義一, 清水潔, 藤本幸人: 次世代燃料電池スタックを搭載した New Honda FCX の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.45-50
- (2) 為乗浩司, 山本康一, 姉川彰博, 田口剛, 久保田真也,

- 川原誠：燃料電池自動車用電気二重層キャパシタシステムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.25-30
- (3) 沖尚彦, 松本謙治, 佐藤健児, 池尾充, 松本康弘, 安部直行：燃料電池自動車用高出力電気二重層キャパシタセルの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.31-36
- (4) 吉田浩明, 今村文隆, 井上剛文, 駒田周美：宇宙用リチウムイオン電池の容量低下メカニズムとその寿命予測方法, Electrochemistry, Vol.71, No.12, p.1018-1024 (2003)
- (5) 日本工業規格 JIS C0704:1995, 制御機器の絶縁距離・絶縁抵抗及び耐電圧
- (6) 日本工業規格 JIS Z8901:2006, 試験用粉体及び試験用粒子

■ 著 者 ■



山本 康一



姉川 彰博