

# 電気自動車の評価技術の確立

松本幸礼、泉川達哉、宮城秀康、普久原健二

電気自動車は、大手メーカーにて大量生産されているもの、個人、中小企業で製造した少量生産のものまであり様々である。また、車両の種類についても近距離移動向けの 1 人乗り、レジャー施設で使用する複数人乗りから軽自動車、普通乗用車、トラック、バスなどもある。本研究では、導入した評価設備を活用し県内で製造された自動車の動力性能、耐久性などの評価技術の向上を目指した。

## 1 はじめに

電気自動車（以下 EV）の課題として航続距離が短い、充電に時間が掛かる、価格が高い、冬場の暖房使用時に消費電力が大きく航続距離が短くなる等が挙げられる。沖縄県は他県と比較して、島しょ地域で有るため 1 日の移動距離が短い、温暖であるため冬場の暖房の使用時間が短いなど EV の普及について地理的な優位性をもっている。また、離島ではガソリンスタンドが無い地域が有り問題となっているが、EV では家庭で充電が可能のため課題の解決に繋がる。

本研究では地域産業の振興と低炭素社会の構築を目指すため、島しょ地域型電気自動車開発支援実証事業（平成 26～27 年度）にて導入した評価設備を活用し、高品質・低コストの EV 開発・製造を支援する基盤を構築する。そのなかで県内にて製造する電気自動車、コミュニティービークル、ならびに自動車を構成する部品の評価技術を確認する。図 1 に、県内で製造されている EV の種類を示す。

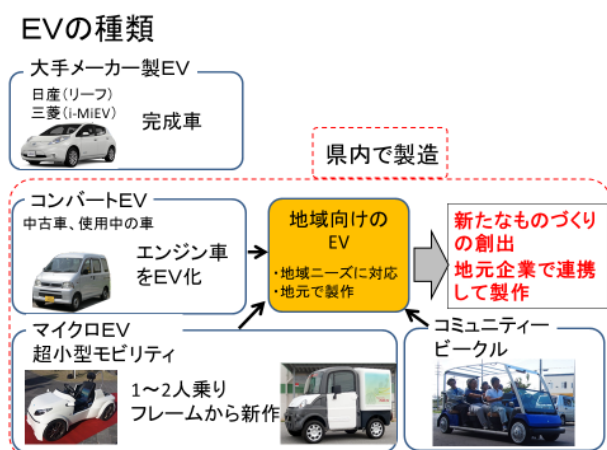


図 1 EV の種類

## 2 各種評価機器の概要、評価例

EV を評価するにあたり、H26～H27 年度に導入した複数の機器の用途、使用例、評価手法について説明する。

### 2-1 シャーシダイナモメータ概要（動力性能評価）

シャーシダイナモメータとは、車両が道路を走る状態を再現する機器である。市販されている自動車ではカタログに JC08 モードの燃費が表記されているが、この測定については国土交通省で定められており、認定された審査機関のシャーシダイナモメータにて測定されている。シャーシダイナモメータの要求諸元については JIS で規定されており、ローラーの直径は 1.2m 以上必要で表面状態、回転抵抗についても規定されている。また試験精度についての検定も必要となってくるため大がかりな装置となっている。本県では設置場所と予算の制約もあり、条件確認のための簡易的な設備を導入した。装置の仕様を表 1 に示す。

表 1 シャーシダイナモメータ仕様

メーカー	株式会社 SDS
機種	CI-2M
ローラー	小径 2 軸式(φ318mm) ※4WD 車は不可
回転数範囲	0~4000rpm(240km/h)
負荷吸収装置	吸収軸トルク:490N・m
駆動モータ	発生軸トルク:350N・m (120km/h 以下)
ローラー耐荷重	2000kg

図 2 には 1 人乗りのマイクロ EV をシャーシダイナモメータにセットした状態を示す。

セットした車両は後輪駆動車であるため後輪部を載せて前後よりラッシングベルトで固定する。前輪駆動車の場合は前輪をローラーに載せ同様に固定する。なお、本装置は 4 輪駆動車には対応していない。

装置の特徴として走行状態のシミュレーションソフトとパワーチェックのソフトを備えている。シミュレーションでは負荷を掛けたり、駆動力を掛けることが可能であるがその際の変更可能なパラメータは、

- ・車重
- ・転がり摩擦係数
- ・車体投影面積
- ・空気抵抗係数
- ・加速時、減速時の負荷係数補正

等が挙げられる。シミュレーション試験の種類には登坂条件に相当する一定負荷を与える試験、指定速度以上にならない様に負荷をコントロールする試験、加速、減速時の慣性力、空気抵抗、転がり抵抗を考慮したJC08モードの試験が有る。シミュレーションの走行抵抗のパラメータ設定画面を図3、図4に示す。車両諸元の設定により、各速度域での抵抗や加減速時の抵抗が変化する。転がり摩擦抵抗を増やした場合は全速度での抵抗が増大、車体投影面積や空気抵抗係数を増した場合は高速域での抵抗が増大する。車重を増した場合には加減速時の抵抗が増大する。



図2 マイクロEVをセットした状態(前方より)

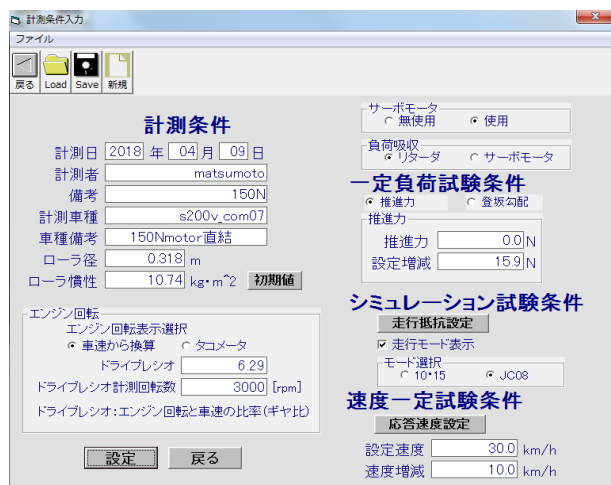


図3 計測条件設定画面

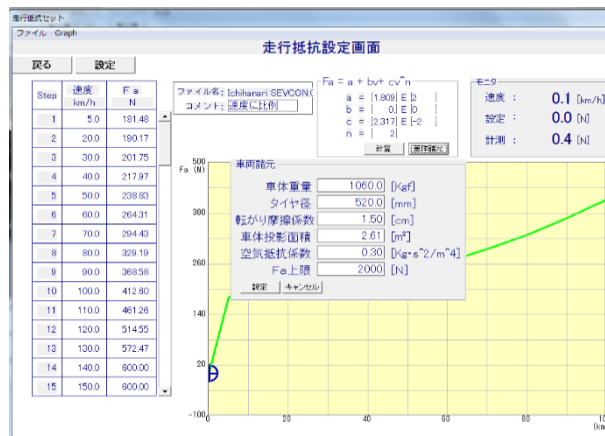


図4 走行抵抗、車両諸元設定画面

JC08モードの速度-時間の規定グラフを図5に示す。この試験は、市街地での走行も想定しており、ガソリン車でのアイドリング時間のガソリン消費量を算定するための停止時間も複数回含まれている。また、速度域は80km/h以上まで上昇させる区間もあり1回あたりの試験時間は約20分となる。シャーシダイナモメータで測定する際は、このモードの指示速度に対し±2km/h以内、時間は1秒以内、積算逸脱時間も2秒以内と定められているが、この範囲に収めるには熟練を要する。

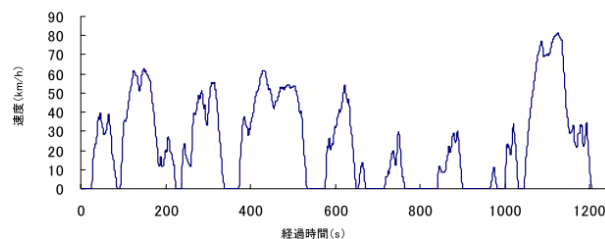


図5 JC08モード

## 2-2 シャーシダイナモメータを使用した動力性能評価例

シャーシダイナモメータにて燃費測定を行う際は設備への負荷設定が車両ごとに必要になる。車両の走行抵抗の測定は試験路を指定速度からニュートラルの状態より惰行させる惰行法とホイールトルクメータを使用したホイールトルク法が有る。本県では試験路、ホイールトルクメータ共に所有していないため路上で簡易試験を実施した。惰行法では往路、復路で減速度の差が出ているがその要因として風向き、勾配等が考えられる。試験路での試験規定では往路、復路での時間の比が1.1以下となっているが路上での簡易試験での結果は1.5となった。シャーシダイナモメータのリターダにて転がり摩擦係数で負荷を調整したところ、最も近い数値で路上の往路に対し減速度比が1.2となった。結果を図6に示す。

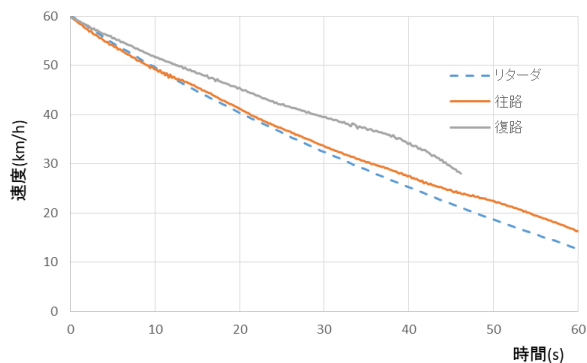


図 6 減速度比較（路上、シャーシダイナモメータ）

減速度を路上に合わせた負荷設定にて、市販の EV:三菱ミニキャブミーブバンで航続距離の測定を行った。測定状況を図 7 に示す。また、測定車両の詳細を表 2 に示す。



図 7 軽貨物 EV をセットした状態(後方より)

表 2 軽貨物 EV（ミニキャブミーブバン）の諸元

車名	三菱・ミニキャブミーブバン
規格	軽貨物自動車・最大積載量:350kg
寸法(mm)	全長 3395×全幅 1475×全高 1915
車両重量(kg)	1090
JC08・交流電力消費率(Wh/km)	125
一充電走行距離(km)	100
駆動用バッテリー	270V,10.5kw,リチウムイオンバッテリー
出力	最高出力 30kw 最大トルク 196N・m

表 3 には同車両にて 2 年間にわたり航続距離を測定したデータを示す。図 8 には電費のカタログ比率を示す。

表 3 の'15-1、'15-2 については平成 27 年に測定したデータで、車両は平成 26 年式で積算距離は 3,000km、'16-1~4 については平成 28 年に測定したデータで積算距離は 12,000km となっている。航続距離についてはパラメータを変更しているため、バッテリーの評価は直接できないが、充電量を比較すると 1 年 9,000km 経過後も充電量に変化は無いため劣化は見られないと考えられる。カタログの公称値は 10.5kw となっているが、充電量は 12.4kw で新車から 3 年経過後もカタログ値より 2 割程度プラスした値を保っている。走行抵抗のパラメータ設定について、当初の設定は減速度を路上試験を反映した値で設定しているが、その時の測定値は表 3 の'15-1 の交流充電電力量消費率に示すようにカタログ値に対し 2 割近くも電費が良い結果となった。そのため、抵抗を増やし加速、減速時の負荷を調整する  $f=ma$  係数、高速走行時により抵抗が増加する  $cd$  値、全車速域で一定の負荷を付与する転がり摩擦係数を変化させ、カタログ値に近づけた。その結果、カタログ値に対し 0.1% の範囲に抑えることが出来た。県内で製作しているコンバート EV についても軽貨物車両であり、市販の EV と寸法、車重共に近似している。鉛バッテリーを搭載したコンバート EV で電費性能を測定したところ、144Wh/km となり市販車に対し約 15% 消費電力が多い結果となった。

表 3 航続距離と走行抵抗

	航続距離(km)	充電量(kwh)	交流充電電力量消費率(wh/km)	電費カタログ比(%)	走行抵抗のパラメータ		
					f=ma係数(加速、減速)	cd値	転がり摩擦係数
'15-1	115.2	12.31	106.9	117.0	1	0.3	1.5
'15-2	112.7	12.33	109.4	114.3	1	0.36	1.8
'16-1	108.7	12.43	114.4	109.3	1.4	0.36	3
'16-2	101.9	12.44	122.1	102.4	2	0.36	4
'16-3	94.3	12.44	131.9	94.8	2.5	0.36	5
'16-4	99.6	12.44	124.9	100.1	2.2	0.36	4.4

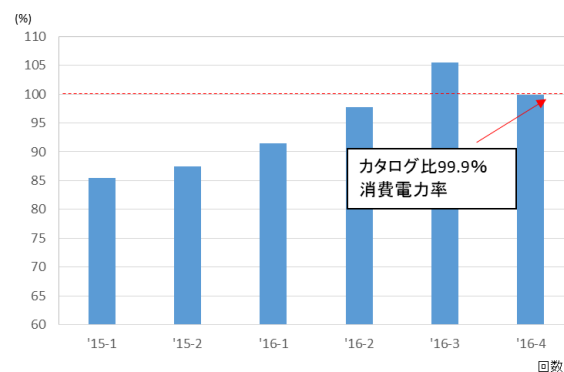


図 8 電費カタログ比率(%)

シャーシダイナモメータでは負荷や駆動を掛けることによる走行シミュレーションのほか、車両の加速時にローラーの慣性力と、加速度を測定しパワーチェックを行

うことが可能である。図 9 に測定結果の例を示す。トルク(kg・m)と出力(PS)が測定可能で、グラフ中に計測馬力、計測トルクと修正馬力、修正トルクが表示される。修正馬力、修正トルクは出力計測時に、アクセルオフからニュートラルに入れた際の速度低下より駆動系の摩擦抵抗を計算した結果である。エンジン車もしくは、ニュートラルに入れられる電気自動車については摩擦抵抗を反映できるが、モータと車軸が直結になっている車両については、モータの抵抗が発生するため修正値は正確な値にはならない。

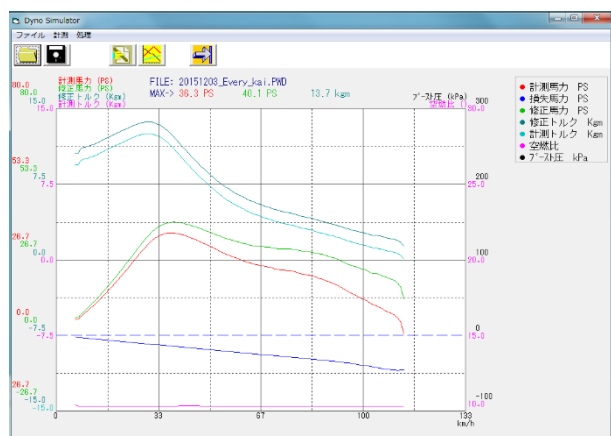


図 9 馬力、トルク計測例(シャーシダイナモメータ画面)

図 10 に軽貨物自動車ハイゼットカーゴのガソリン車(3速AT)と同車両をコンバートEVに改造した車の馬力、トルクの比較結果を示す。ガソリン車は点線で示されるが1速から3速まで変速する際にトルクや出力の変動が有るのに対し、コンバートEVでは初速でトルクが最大となり速度が増していくとトルクが落ち込んでいる。この車両ではトランスミッションでの変速は行わずにプロペラシャフトとモーターを直結しているためガソリン車と比較し、最高速度も85km/hと低い値となっている。コンバートEVにて車検取得の際には、ベースとなるガソリン車の最大トルクを超過出来ないため、コントローラでの調整が必要となる。回転数ごとにトルク設定が可能なコントローラでは、シャーシダイナモにて各速度域のトルクを許容値の範囲内で最大にすることにより、動力性能の向上を図ることが出来る。

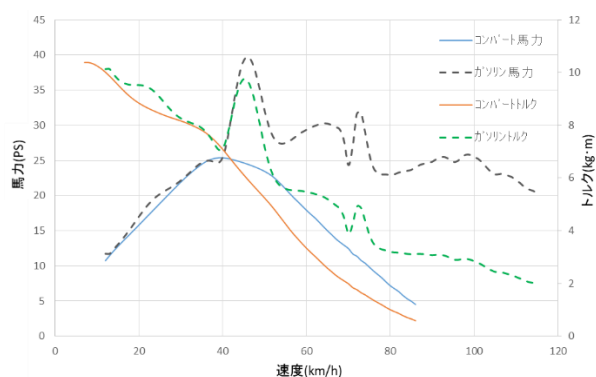


図 10 ハイゼットカーゴ・ガソリン車、EV 比較

### 2-3 充放電装置概要

EVの重要な評価項目の一つにバッテリーの評価が挙げられる。車両に使用するバッテリーの種類は主に鉛バッテリーとリチウムイオンバッテリーが有るが、鉛バッテリー単体の公称電圧は12V、リチウムイオンバッテリーは3.7Vが標準である。車両に搭載する際には直列接続で300Vを超えることもあるため、バッテリー単品の評価、車両搭載状態(直列接続状態)の評価を行うため、大型、小型2種類の充放電装置を導入した。

表4に充放電装置の仕様を示す。また、バッテリー評価の際の環境を変化させるために日測エンジニアリング株式会社の恒温槽：BCH-C5P-150も導入した。槽内寸法はH800×W650×D850(mm)で、温度範囲は-50℃～+150℃まで設定可能である。恒温槽では標準状態の25℃での評価の他、夏季の車内温度50℃を想定した評価も可能となる。図11に充放電装置を、図12に充放電スケジュール運転の例を示す。充放電プログラムでは定電圧、定電流、定電力充放電の他、段階的な電流、電圧制御を行うことが可能であり、市販の充電器のプログラムを再現することも可能である。

表 4 充放電装置(ヤマビシ・大型、小型)仕様

メーカー	株式会社ヤマビシ
機種	YRD-500-100KIX-1R5(大型) YRD-60-10KIX-1(小型)
充放電電圧、電流	0~500V,0~300A(大型) 0~60V,0~176A(小型)
最大電力	100kw(大型) 10kw(小型)



図11 充放電装置

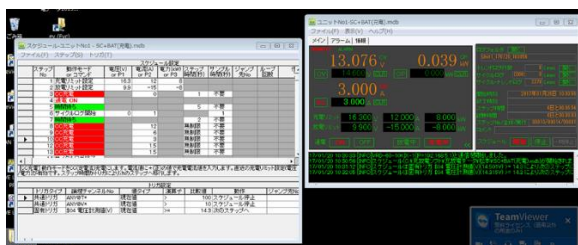


図12 充放電スケジュール例

#### 2-4 鉛バッテリーの評価

コンパクトEVに搭載して2年経過したバッテリーを車両より取り外し、充放電試験を行った。評価対象は市販の国内メーカー製ディープサイクルバッテリーで公称容量は52Ahである。搭載していた車両の使用状況は、走行が少なく過放電のまま長期間放置されていたもので使用走行距離は500km未満、充放電回数も50回以下であった。航続距離を測定した結果、新品バッテリーの状態に対し航続距離は半分以下となっていた。同様の環境で運用していた他の車両でも、電圧降下が著しく充電出来ない個体が有ったため、バッテリーの回復について検証を行った。バッテリーの電圧は、公称12Vに対し、6.5Vにまで低下していた。内部抵抗も大きくなっているため、通常の12Aの定電流充電ではすぐに電圧が上がり充電できなかったため、14.3Vの定電圧充電で予備充電を行った。初期の電流値は1Aからスタートし4時間程度で12Aまで充電電流を上げることが出来た。図13に結果を示す。予備充電後には表5に示す充電スケジュールにて充電を行った。結果を図14に示す。充電後は20Aで9.9Vになるまで放電を行った。充放電を繰り返したところ、当初30Ah程度しかなかった放電容量は増加していき11回目で放電寿命の43Ahを超え、24回目以降に54Ahで安定した。結果を図15に示す。なお、別ロットの新品バッテリーの放電容量実測値は60Ah程度であった。

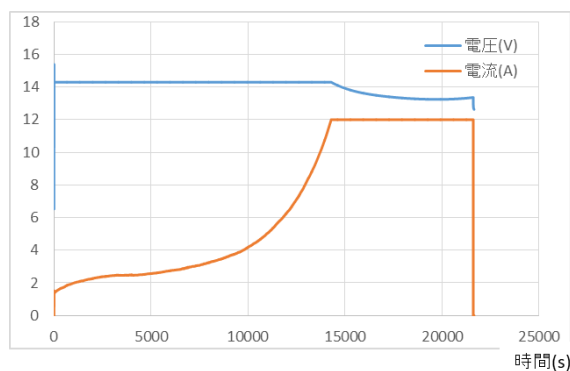


図13 過放電バッテリー回復充電

表5 バッテリー充電スケジュール

充電電流	スケジュール
12A 定電流	14.3V で次へ
6A 定電流	14.3V で次へ
1.5A 定電流	14.3V で次へ
1.5A 定電流	2.5 時間で終了

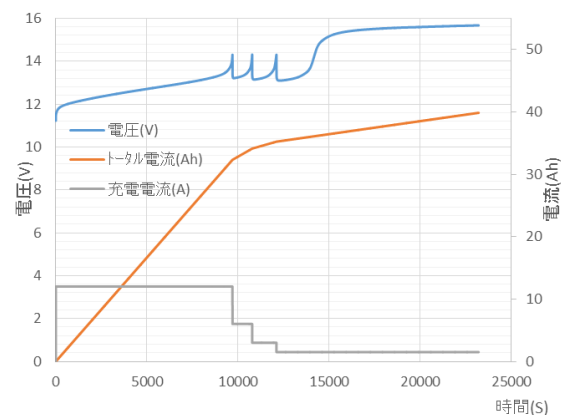


図14 バッテリー充放電:電流、電圧

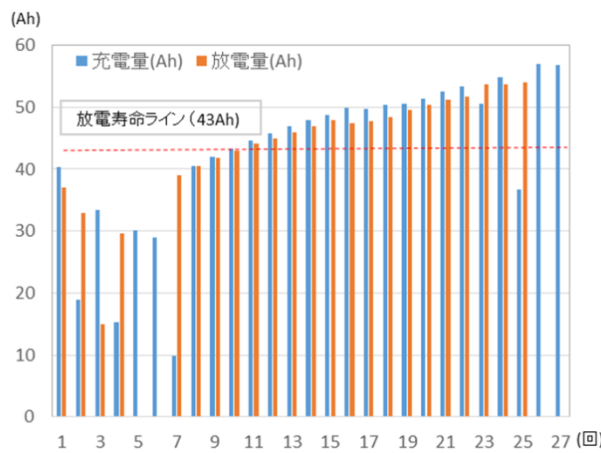


図15 バッテリー充放電繰り返し結果

過放電したバッテリー単品で充放電を繰返し、性能の回復を図ることが可能であることが分かったが、1回の充放電に約12時間を要する。回復には20回以上掛かるため、1か月程度を要する。1台分になると10個直列で10倍の時間が掛かり現実的でないため、直列での充放電の検証も行った。高電圧の危険性も考慮し、単品と同様の使用頻度の少ない過放電したバッテリーを4個直列に繋ぎ、充放電を行った。4個直列でも電圧は22.7Vと低いため、初期は1.5A定電流で流し、50Vまで回復させた。その後は、単品バッテリーと同じ充電スケジュールで電圧リミットも単品を4倍掛けた電圧:14.4V×4=57.6Vとした。12A充電で電圧リミットに達すると次のスケジュールへ移行するが、電圧は最大でも55.5Vで止まりその後は徐々に降下した。結果を図16に示す。その後も充電を続けたが、バッテリー温度が上昇するのみで、バッテリー温度40℃リミットで充電停止、その後リミットを50℃に変更したが電圧は上がらずに温度のみ上昇し充電停止した。充電停止後も温度上昇を続けバッテリー温度は60℃にまで達した。本試験では、雰囲気温度25℃の恒温槽にて試験を行ったが、実車の場合は気温も高く、バッテリーボックス内で換気も悪いため更に条件が悪くなることが予想されるため、熱暴走について考慮する必要がある。

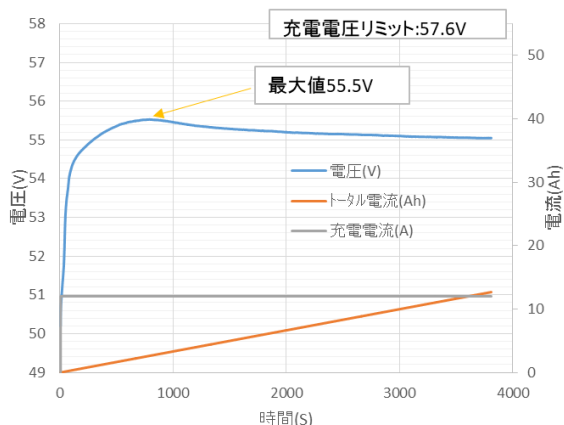


図16 4個直列充電：電圧、電流

### 2-5 内部抵抗の測定

バッテリーの状態や寿命を判断する1つの手法として内部抵抗の測定が挙げられる。新品バッテリーの内部抵抗のメーカー公表値は満充電状態で3.5mΩに対し、実測値は新品バッテリーを24個測定したところ2.9~3.0mΩとなった。測定状況を図17,18に示す。測定部位は図18に示すボルト先の測定結果はベース部に対し2倍以上の測定結果となったため、メーカーの公称値に近いベース部を測定部位とした。表6には内部抵抗の

時間ごとの内部抵抗を測定している。放電直後には内部抵抗は2倍程度になるため、寿命判断の際にも測定条件を整える必要がある。表7には過放電したバッテリーを充電前、回復充電後、数か月後に内部抵抗を測定した結果を示す。新品バッテリーに対し8割以上の容量まで回復しても、内部抵抗は1.5倍程度となっている。



図17 バッテリーテスタ(HIOKI BT3563)



図18 抵抗測定部

表6 新品バッテリー内部抵抗推移

	電圧(V)	ベース部抵抗 (mΩ)	ボルト先抵抗 (mΩ)
放電前	13.12	2.90	5.72
放電直後	11.35	5.89	6.78
放電2日経過	11.46	4.87	6.43
充電後	13.22	2.90	4.49

表7 過放電バッテリー内部抵抗推移

	電圧(V)	ベース部抵抗 (mΩ)	ボルト先抵抗 (mΩ)	放電容量
スタート前	5.74	29.94Ω	30.24Ω	
低電流充電	12.51	12.81mΩ	7.254Ω	
25回充放電後	13.23	4.49mΩ	200.33mΩ	
4か月経過後	12.67	4.74mΩ	121.57mΩ	
4か月経過7回充放電	13.20	5.22mΩ	17.12mΩ	51.0Ah
新品充電後	13.22	2.90mΩ	4.49mΩ	60.7Ah

## 2-6 車体評価概要

電気自動車を製作するうえで、使用する車体はコンパクトEVのように量産車をそのまま使用する場合、1人乗り～複数人乗りのフレームを新作する場合、既存の車体を改造する場合などが挙げられる。また、使用される環境も、公道を想定した近距離移動から高速道路で使用する車両、公園やリゾート施設で限定的に使用するコミュニティビークルなどがある。公道を走行する車両はナンバーを取得する必要があるが、車体を改造した際には構造変更の申請、強度の測定が必要となる。強度の測定には車体にひずみゲージを貼り付け、段差を乗り越えた際のひずみを測定し、応力を算出する。図19にキーエンスのデータロガーNR-500にひずみ計測ユニットNR-ST04を組み合わせて、車両に設置した状態を示す。



図19 ひずみ計測装置設置状況

## 2-7 車体評価例

今回評価した車両はゴルフカートをベースとし8人乗りに改造した車両である。ゴルフ場で使用されているゴルフカートは、2人乗り、5人乗りのラインナップが有る。県内ではゴルフ場以外のリゾート施設や観光施設、公園等でも多人数乗車可能な車両の需要が有るため、8人乗りのコミュニティビークルの開発支援を行った。ベースとなる車両はヤマハ製の5人乗りゴルフカートで、車両を延長してシートを1列増設している。車両の延長や定員を3人増やすことによりフレームへの応力が増大するため、事前に強度解析を行い設計へフィードバック、車両完成後にひずみ測定試験を行い、車両の安全性を確認した。図20に完成車両でのひずみ測定試験状況を、図21に強度解析の結果を示す。ひずみ測定試験では、解析で応力が集中している複数部位にひずみゲージを貼り付けて、8人乗車(520kg)状態でスロープの乗越え試験を行った。結果を図22に示す。応力集中位置は解析と同様の傾向であったが、安全率を満足する結果となった。



図20 コミュニティビークルひずみ測定試験状況

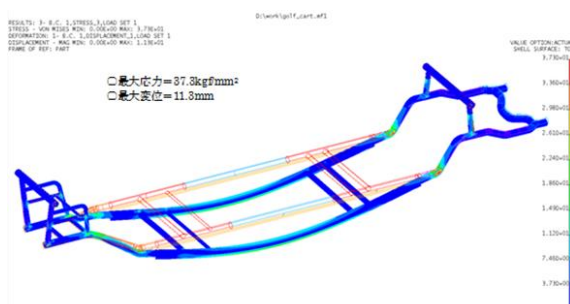


図21 フレーム応力解析

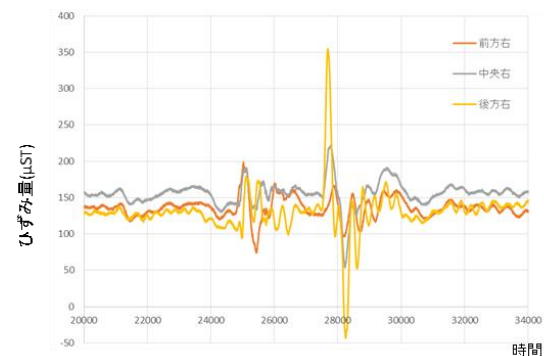


図22 ひずみ測定結果

## 3 まとめ

動力性能評価では、シャーシダイナモメータを用いて出力の測定や、電費や航続距離の測定を行うことが可能となった。従来、県内ではテストコースやシャーシダイナモメータが無く、開発車両を定量的に評価することが出来なかったが、機器の導入やテスト時の負荷条件の適切な設定により車両の評価が可能となった。また、コンパクト車両を製作するうえでベースとなる車両のエンジン出力に合わせ、モーターの出力をコントローラで調整する必要があるが、本機器を用いることにより効率的な開発が可能となった。

バッテリーの評価では、大型、小型の充放電装置を用いることによりバッテリー単品から、車両搭載状態の充放電試験、耐久試験の実施が可能となった。評価試験のなかで、使用不能となった過放電バッテリーについて、

小電流から充放電を繰返すことにより回復を図ることが可能となった。

車体の評価では、小型のコミュニティービークルをサンプルとして、強度解析からひずみ計測による強度測定を行い、効率的な製品開発に繋げた。電気自動車以外の分野でも県内で特装車やキャンピングカー、改造車両の需要があるため本技術を応用可能である。

今回の研究では、軽自動車や小型のコミュニティービークルを対象として評価を行ったが、電気自動車は需要の増加が見込まれる。今後も評価の範囲を拡大して取り組んでいきたい。

本研究は「電気自動車の評価技術の確立（2015 技 001）」で行ったものである。