

WLTP における電気自動車の一充電走行距離 および交流電力量消費率試験法

Electric Range and Electric Energy Consumption Test for Electric Vehicles under WLTP

羽二生 隆宏*1

Takahiro HANIU

矢野 勝*1

Masaru YANO

乗用車などの国際調和排出ガス燃費試験法 (WLTP) に関する国連の世界技術規則第 15 号 (GTR 15) の第 6 改訂が行われた。この改訂では、常温 (23 °C) 環境における電気自動車の一充電走行距離および交流電力量消費率試験法に加えて、低温 (-7 °C) 環境における試験法が策定された。本稿では、WLTP における電気自動車の試験法について解説する。

1. はじめに

国連における乗用車など小型車の国際調和排出ガス燃費試験法 (WLTP) では、従来の内燃機関自動車 (ICEV) に加えて、電気式ハイブリッド自動車 (HEV・PHEV)、電気自動車 (PEV) および燃料電池自動車 (FCV) を対象とした排出ガス、燃料消費率、CO₂ 排出量、一充電走行距離および電力量消費率に関する試験法が定められた。

WLTP は、国際的な車両認証制度 (IWVTA) の実現に向けて、国連の自動車基準調和世界フォーラム (WP29) にて開発が進められてきた。Fig. 1 に WLTP 活動の作業工程を示す。WLTP フェーズ 1a 活動 (2009~2013 年) では、小型車用国際調和サイクル (WLTC モード) および基本となる試験手順の検討が行われ、2014 年 3 月に世界技術規則第 15 号 (GTR 15) 1) が WP29 において採択された。その後、残課題の解決や試験の効率化を目的とした議論および WLTP の国連法規化、燃料蒸発ガス試験法、低温試験法、高温試験法、OBD 試験法、耐久性確認試験法の策定などについて 2020 年まで議論されてきた。電気自動車の一充電走行距離および交流電力量消費率試験法については、フェーズ 1a 活動、フェーズ 1b 活動ならびにフェーズ 2 活動において、連続サイクル法 (Consecutive Cycle Test Procedure (CCTP))、常温試験向けの短縮法 (Shortened Test Procedure (STP))、および低温試験向けの短縮法 (Type 6 Test Procedure (Type6 法)) の 3 つの試験法がそれぞれ策定されている。

本稿では、2020 年 11 月に成立した WLTP に関する GTR 15 の第 6 改訂 2) における電気自動車に関する上記 3 種類の一充電走行距離および交流電力量消費率試験法の概要を紹介するとともに試験法の違いによる結果への影響などについて解説する。

2. 一充電走行距離および交流電力量消費率試験法

我が国における乗用車等の排出ガス・燃費試験法は、道路運送車両の保安基準 別添 42 軽・中量車排出ガスの測定方法³⁾ならびに独立行政法人自動車技術総合機構が定める試験規程 (TRIAS)⁴⁾に規定されている。現在、軽・中量車に該当する電気自動車の一充電走行距離および交流電力量消費率試験試験は、国内専用の走行モードを用いた JC08 モード法と国際調和された走行モードを用いた WLTC モード法の 2 つの試験法が定められている。いずれもシャシダイナモメータ設備を用いた試験法である。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部

* 原稿受理 2022年8月5日

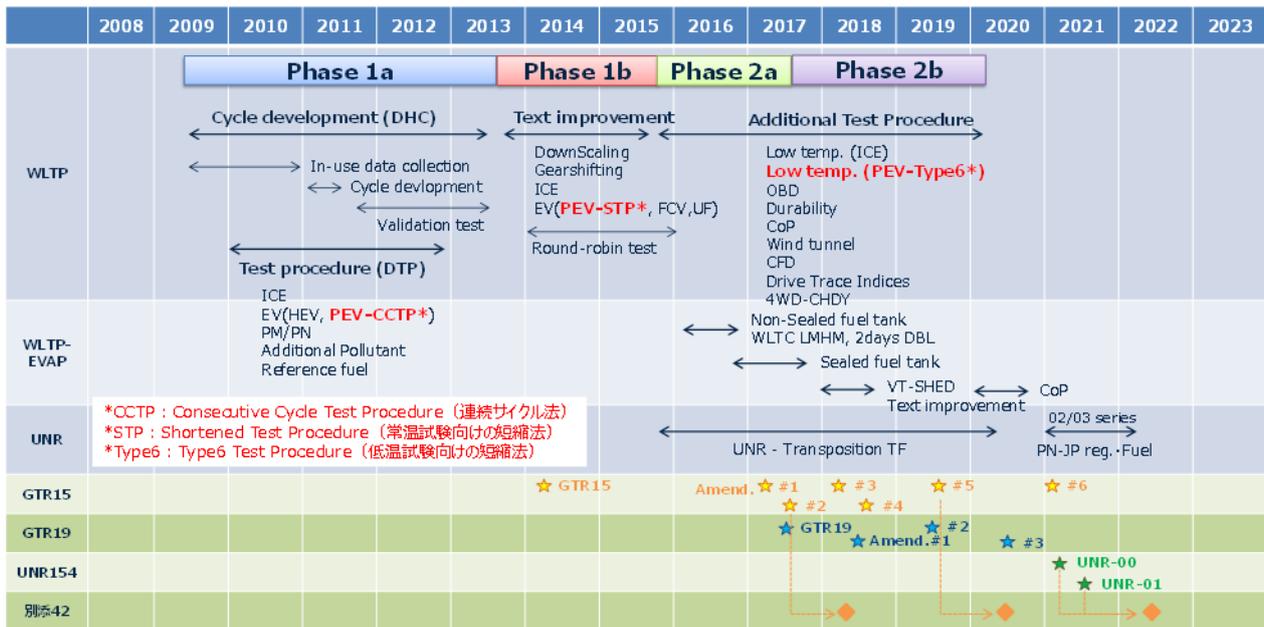


Fig. 1 Work schedule of WLTP activity

2.1 JC08モード法

JC08モード法では、Fig. 2に示すように、電気自動車を完全充電状態からJC08モードを繰り返し走行させる。電池のエネルギーがなくなり、試験サイクルの速度パターンに追従できなくなった時（基準速度の速度許容誤差（車速±2 km/h、時間±1秒）から逸脱して4秒以上経過した時）に運転を打ち切り、車両を停止させる。JC08モード法における一充電走行距離は、試験開始時から運転打ち切りとなり停止するまで走行した距離（D）と定義されている。交流電力量消費率（EC）は走行終了後に、製造業者の指定する充電器・充電方法で充電した際の交流充電電力量（E_{AC}）を、一充電走行距離（D）で割ることで求める。

電気自動車の一充電走行距離はバッテリー容量の増加に伴い走行距離が年々延びており、車両開発および型式認証における試験時間の増大が問題になっている。JC08モード1サイクルあたりの走行距離は8.17 km、走行時間は1204秒であるため、例えば、一充電走行距離が570 kmの車両では、試験終了までに70サイクル、約24時間の走行が必要となる。また、試験サイクルを繰り返して走行する場合、規定された速度パターンの許容誤差範囲内で実験車両を運転するため、アクセルやブレーキの操作に多少の自由度が存在する。運転者やアクセルやブレーキの操作によって電力を使い切るタイミングが異なる場合があり、再現性の面について課題がある方法と指摘されている⁵⁾。

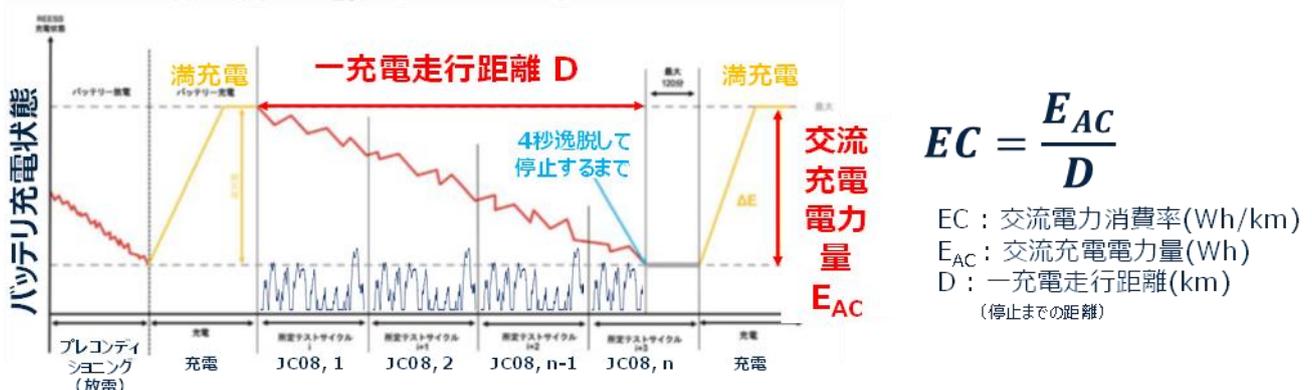


Fig. 2 Test procedure under the JC08 mode test for EVs

2.2 WLTCモード法

前述のように、JC08 モード法における試験時間の長時間化や電欠のタイミングによる試験バラツキの問題を解消するため、WLTC モード試験では一充電走行距離および交流電力量消費率は計算によって求める方法に変更された。加えて、走行距離が長い車両については試験時間を短縮する試験手順を新規に策定するなど、より合理的な試験法に改訂されている。ここでは、従来の試験法からの変更点を中心として WLTC モード試験法について解説する。

2.2.1 試験サイクルの選定

WLTP では、車両の空車重量あたりの最高出力の比と最高速度に応じて 4 つの車両クラスに分かれており、それぞれ走行する試験サイクルが異なる。Fig. 3 に車両クラスおよび適用試験サイクルを示す。WLTP 導入当初は、国内においては Class 1 に該当するような低出力車両は存在せず、Class 2 に該当する車両も極めて限定的であるため、すべての車両において Class 3 の試験サイクルが適用されていた。しかし、最近では、最高出力や最高速度を抑えた小型電気自動車や超小型モビリティ電気自動車の開発が進められていることから、このような低出力電気自動車については Class 1 および Class 2 用の速度や加速度が緩和された試験サイクルが適用できることとなった。

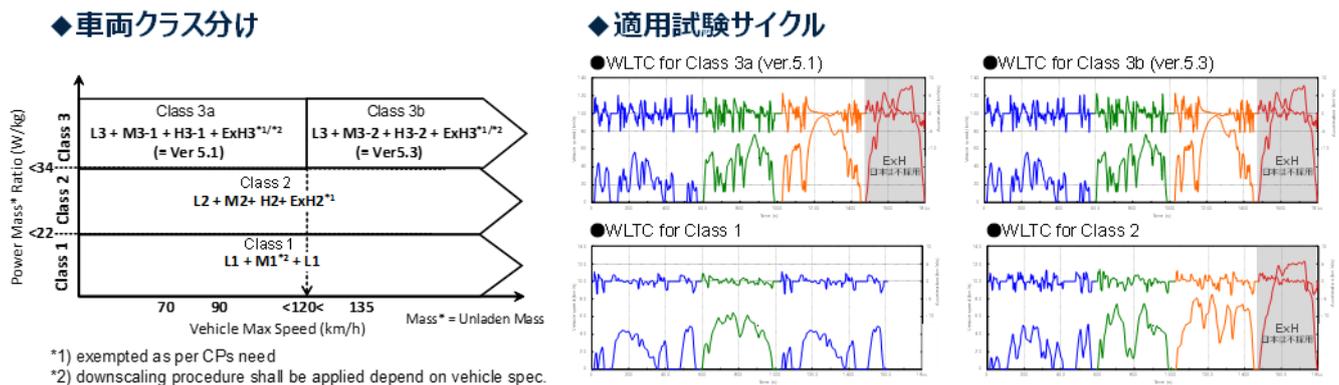


Fig. 3 Vehicle classification and applicable test cycle in Japan

2.2.2 試験手順の選定

常温（23℃）環境における WLTP 試験では、Table 1 に示すように、推定される一充電走行距離によって電気自動車の一充電走行距離の試験法が異なる。日本においては国内の走行実態に合わせ超高速（Extra high）フェーズを除く 3 フェーズでの試験が採用されている。推定される一充電走行距離が WLTC モード（3 フェーズ）4 回分の 60 km より短い車両は、連続サイクル法（CCTP）によって試験実施し、それより長い車両は短縮法（STP）によって試験が行われる。低温（-7℃）環境における試験では、後述する Type6 法を用いて試験実施する。それぞれの試験法の手順や成り立ちなどは 2.2.3 以降で説明する。

Table 1 Applicable test procedure for EVs

車両クラス	試験サイクル	推定される一充電走行距離（PER）の長さ	試験法
Class 3	超高速フェーズを含む試験サイクル（WLTC 4 phase）	3つのWLTCモードの長さより短い（PER < 69.8 km）	連続サイクル法（CCTP）
		3つのWLTCモードの長さに等しいか、より長い（PER ≥ 69.8 km）	短縮法（STP）
	超高速フェーズを除く試験サイクル（WLTC 3 phase）	4つのWLTCモードの長さより短い（PER < 60.0 km）	連続サイクル法（CCTP）
		4つのWLTCモードの長さに等しいか、より長い（PER ≥ 60.0 km）	短縮法（STP）
	市街サイクル（WLTC City cycle）	WLTCモード（4 phase）より短い（PER < 23.3 km）	連続サイクル法（CCTP）
Class 1・2*	クラス1・2用試験サイクル	-	連続サイクル法（CCTP）

※2021（令和3）年10月より、国内の電気自動車については、WLTC Class 1 および Class 2 を適用することが可能になった。試験手順は、走行距離にかかわらず、連続サイクル法を用いる。

2.2.3 試験法

電気自動車の一充電走行距離および交流電力量消費率試験には、連続サイクル法（CCTP）、常温試験向け短縮法（STP）および低温試験向け短縮法（Type6 法）と 3 つの試験法が GTR 15 第 6 改訂版にて定められている。ここでは、それぞれの試験手順、設計コンセプトや試験法の違いによる結果への影響などについて説明する。

(1) 連続サイクル法

WLTC モード法における連続サイクル法（CCTP）は、Fig. 4 に示すように、JC08 モード法と同様に満充電状態から中止基準まで走行パターンを繰り返し走行する方法であるが、電力使い切り間際の運転方法の影響を極力抑えるため、充電した駆動バッテリーから実際に使用可能な電力量から一充電走行距離を算出する方法が採用されている（JC08 モード法の一充電走行距離は実測走行距離）。

一充電走行距離（Pure Electric Range（PER））は、試験開始から中止基準（Break off criterion）に達するまで測定した使用可能バッテリーエネルギー（Usable Battery Energy（UBE））を、重み係数 k によって重みづけした直流電力量消費率（ EC_{DC} ）で除することで算出する。また、交流電力量消費率は、交流充電電力量（ E_{AC} ）を PER で除することで求める。中止基準に達した走行サイクルの直流電費は試験結果に反映されないため、計算で求めた走行距離と実際に中止基準に到達するまでの走行距離実測値の間には多少の相違が生じる場合がある。本手法は走行距離が短い車両に適用される。走行距離が短い

車両では、運転方法による結果のバラツキの影響が相対的に大きくなるため、試験再現性を優先した計算によって一充電走行距離を求める試験法が採用されている。

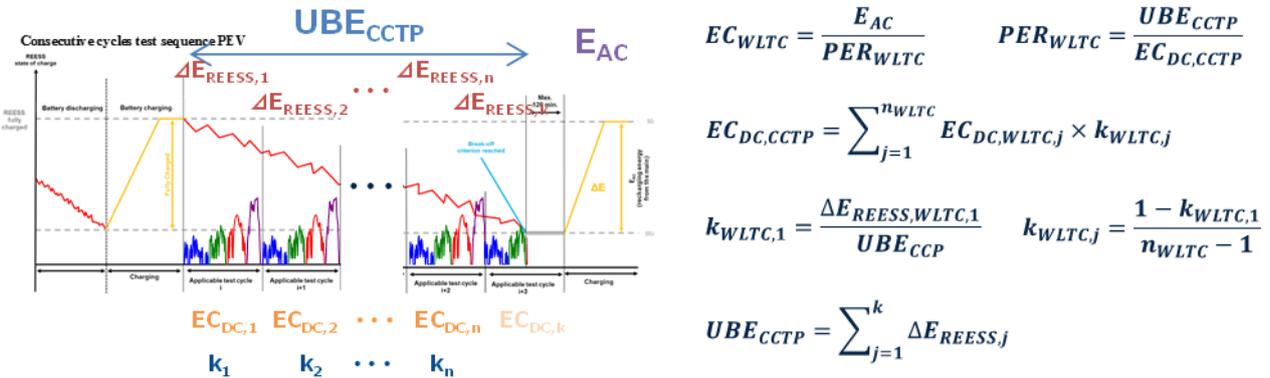
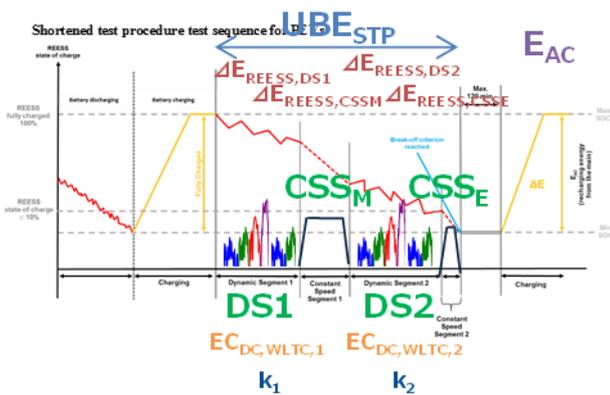


Fig. 4 Sequence of the consecutive cycle test procedure for EVs

(2) 常温試験向け短縮法

常温試験向けの短縮法 (STP) については、CCTP と同様に、UBE と EC_{DC} から一充電走行距離を算出する方法が採用されている。試験時間を短くするためには、UBE と EC_{DC} を精度を保ったまま効率的に測定する手法を考える必要がある。このため、STP では、Fig.5 に示すように、次の構成で試験が行われる。ダイナミックセグメント 1 (DS1) では、冷間始動時およびバッテリー充電率 (SOC) が高い状態での消費電力量を測定する。また、Low フェーズと Medium フェーズについては、冷機状態と暖機状態の消費電力量を反映させるため、WLTC モード走行後にもう一度繰り返す。ダイナミックセグメント 2 (DS2) では、SOC が低い状態にて消費電力量を測定する。始動直後の過渡状態と暖機完了後の安定状態における直流電力量消費率を加重平均することで連続サイクル法と同等の直流電力量消費率を算出する。DS1 と DS2 の中間にある定速セグメント (CSS_M) は、一定速走行によって WLTC モードよりも早期に電力を消費させる。DS2 後の定速セグメント (CSS_E) は、一定速において走行終了させることで試験のばらつきを抑えることを意図している。また、バッテリーが UBE の 10% 以下の状態で CSS_E が始まるように CSS_M の走行時間を調整する必要があるため、試験が失敗ないように確実に試験実施するためには試験中に高度な判断が伴う。なお、定速セグメントの速度は、WLTC 3 フェーズモードを使用する場合は 80 km/h 以上、WLTC 4 フェーズモードを使用する場合は 100 km/h 以上であることが定められている。国連 WLTP-IWG で実施された STP 検証試験の各機関から提出された結果を Fig. 6 に示す。一定速走行の速度が PER に及ぼす影響は 80~120km/h の間で概ね 1% 程度であり、STP と CCTP の差は、120km/h の一定速度までの範囲では、速度が高くなるに従い CCTP との差がやや大きくなる傾向にあった (いずれのデータも 2% 未満)。以上のことから、WLTP-IWG では、STP は CCTP と比較してほぼ同等、または、やや悪い結果 (一充電走行距離がやや短くなる) が得られる傾向にあるが、STP は再現性の向上と試験工数の削減という観点で大きな利点があると結論づけられている⁶⁾。



$$EC_{WLTC} = \frac{E_{AC}}{PER_{WLTC}} \quad PER_{WLTC} = \frac{UBE_{STP}}{EC_{DC,STP}}$$

$$EC_{DC,STP} = \sum_{j=1}^2 EC_{DC,WLTC,j} \times k_{WLTC,j}$$

$$k_{WLTC,1} = \frac{\Delta E_{REESS,WLTC,1}}{UBE_{STP}} \quad k_{WLTC,2} = 1 - k_{WLTC,1}$$

$$UBE_{STP} = \Delta E_{REESS,DS1} + \Delta E_{REESS,DS2} + \Delta E_{REESS,CSSM} + \Delta E_{REESS,CSSE}$$

Fig. 5 Sequence of the shortened test procedure for EVs

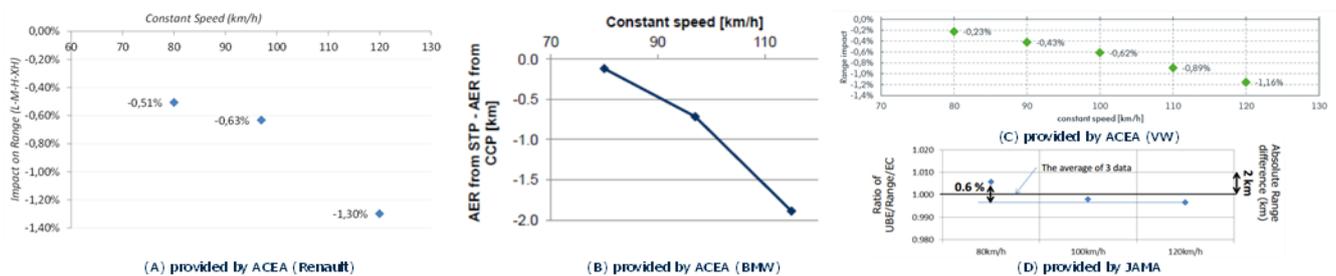


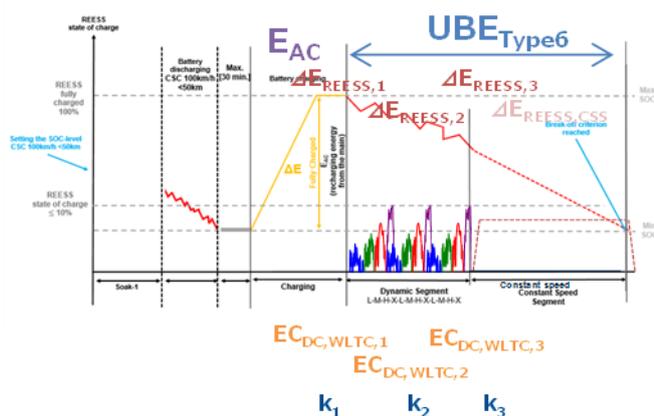
Fig. 6 Impact of the selected constant speed on the electric range

(3) 低温環境向け短縮法

低温環境向けの短縮法 (Type6 法) は, GTR 15 の第 6 改訂版において新たに追加された。当該試験では, -7°C 環境下にて暖房を使用した条件で実施される。低温環境・暖房使用条件下において試験を再現性を向上させるためには, 試験開始時の車両およびバッテリー状態を安定させる必要がある。このため, 試験前の車両条件設定を一定にするような工夫や規定が新たに導入されている。Fig.7 に Type6 法の試験手順を示す。

まず放電走行前に -7°C 環境下での車両ソーク (放置) を 9 時間以上行うことで車両やバッテリー温度を下げる。次に, 放電走行中の走行距離を 50 km 以内に制限することで車両やバッテリーの温度上昇を抑制している。そして, 充電完了から試験開始までの時間を 1 時間以内に制限することで, 試験開始時のバッテリー温度が試験毎に変動しないようにしている。試験サイクルは, 暖房やデフロスタの影響を始動直後から車室内温度が安定するまでの期間について適切に評価できるようにするため, WLTC モードを 3 回繰り返したのちに一定速走行を行う方法になっている。加えて, 交流充電電力量は上記の 2 手法で採用されている試験後の充電量ではなく試験前の充電量を用いることに変更されている。同じバッテリーを搭載する車両については, 同じ UBE の値を代用できるため, このような順番にすることで後半の定速セグメントの走行が省略可能になり, より一層の試験効率化が図れる。

本手法は国連 WLTP-IWG において検証が行われ, CCTP と比較してやや悪化する (一充電走行距離がやや短くなる) 傾向であることが日本ならびに欧米の自動車製造メーカーから報告されている 7), 8)。その他, 充電中にバッテリーヒーターが作動する車両に対する規定が新たに定められるなど, 低温環境下において電気自動車の性能を評価するための工夫がされている。



$$EC_{WLTC} = \frac{E_{AC}}{PER_{WLTC}} \quad PER_{WLTC} = \frac{UBE_{type6}}{EC_{DC,Type6}}$$

$$EC_{DC,WLTC} = \sum_{j=1}^3 EC_{DC,WLTC,j} \times k_{WLTC,j}$$

$$k_{WLTC,1} = \frac{E_{DC,WLTC,1}}{UBE_{Type6}} \quad k_{WLTC,2} = \frac{E_{DC,WLTC,2}}{UBE_{Type6}}$$

$$k_{WLTC,3} = 1 - k_1 - k_2$$

$$UBE_{Type6} = \Delta E_{REESS,1} + \Delta E_{REESS,2} + \Delta E_{REESS,3} + \Delta E_{REESS,CSS}$$

Fig. 7 Sequence of the Type 6 test procedure for EVs

4. まとめ

WLTPに関するGTR 15の第6改訂において電気自動車の一充電走行距離および交流電力量消費率に関する3種類の試験法が定められた。本稿では、各試験法の考え方や試験法に違いによる影響について解説を行った。Type 6法に関しては、試験時間を短縮した上で車両の暖機過程を評価できるため、低温環境下のみならず、常温環境や高温環境下で冷房や各種電気デバイスを使用した試験へ適用でき、電気自動車の様々な条件における環境性能を評価する用途等に適用できると考えられる。また、今後、電気自動車の環境性能を評価するにあたっては、電費性能のみならず、ライフサイクル全体（原料調達・製造・使用・リサイクル・廃棄）での環境負荷を定量的に評価する手法も求められており、今後も検討すべき項目は多い。引き続き、研究所内外の関係者と連携して電気自動車の環境性能を評価する手法について検討を重ねていきたい。

最後に、電動車の電費性能を評価するためには、従来の排出ガス・燃費試験設備に加えて、様々な設備を取り揃える必要がある。一般財団法人日本自動車研究所（JARI）では、自動車の電動化に向けて、Fig. 8に示すように、電力測定装置、データ収録装置、充電設備などを導入しており、電動車の性能を精度と再現性の高い評価ができる環境にある。また、テストコース、日射装置付環境型シャシダイナモメータ設備、モータ・インバータ評価装置、バッテリー評価装置、充電器評価装置、ワイヤレス電力伝送機器評価装置など各種電動車（xEV）を評価するための設備・装置を取り揃えている。電動車の評価に関して何か困り事などあれば、ご相談いただくと幸甚である。

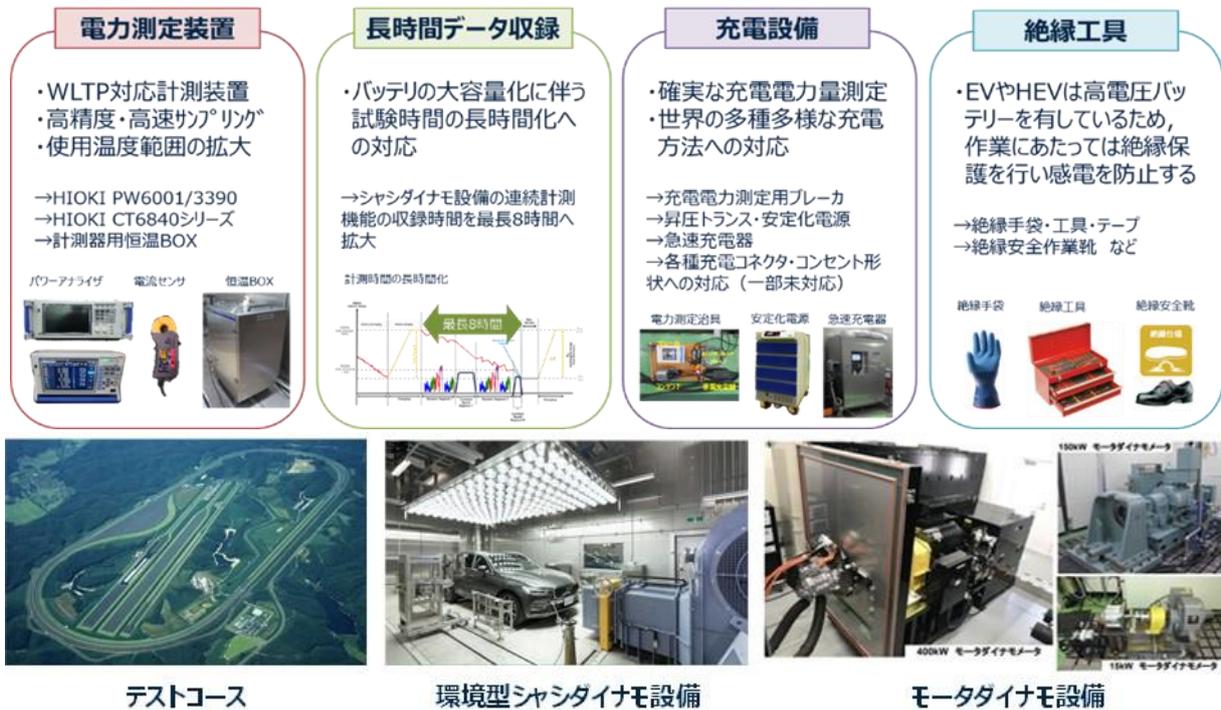


Fig. 8 JARI's efforts for EVs evaluation tests

参考文献

- 1) UNECE, UN Global Technical Regulation No.15 Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure, <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29r-1998agr-rules/ECE-TRANS-180a15e.pdf> (参照 2022.8.5)
- 2) UNECE, UN Global Technical Regulation No.15 Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure - Amendment 6, <https://unece.org/sites/default/files/2022-06/ECE-TRANS-180a15am6e.pdf> (参照 2022. 8.5)
- 3) 道路運送車両の保安基準, https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr7_000007.html (参照 2022. 8.5)
- 4) 独立行政法人自動車技術総合機構が定める試験規程, <https://www.naltec.go.jp/publication/regulation/shinsajimukitei.html> (参照 2022. 8.5)
- 5) UNECE, WLTP-SG-EV-05-10 Japan Shorten test procedure.ppt, https://wiki.unece.org/download/attachments/25264230/WLTP-SG-EV-05-10_Japan%20Shorten%20test%20procedure.ppt?api=v2 (参照 2022. 8.5)
- 6) UNECE, GRPE-72-02-Rev.1 Technical report on the development of GTR No. 15 on WLTP including phase 1b <https://unece.org/DAM/trans/doc/2015/wp29grpe/GRPE-72-02-Rev.1.pdf> (参照 2022. 8.5)
- 7) UNECE, WLTP-IMD-08e MINUTES of the intermediate WLTP IWG Meeting in conjunction with OBD and Low Temp. TF, https://wiki.unece.org/download/attachments/94046202/Draft_WLTP-IMD-08e_Minutes.docx?api=v2 (参照 2022. 8.5)
- 8) UNECE, WLTP-ITM-03e Proposals of PEV test procedures for Type VI, https://wiki.unece.org/download/attachments/94046202/WLTP-ITM-03e_PEV%20test%20procedures_JPN%20proposal.pdf?api=v2 (参照 2022. 8.5)