

土交通省配布の「ディーゼル重量車用車速変換プログラム⁽¹⁾」に入力し、机上にてエンジン回転数およびトルクを算出し、実測した燃費マップに照らし合わせ燃費を算出する。排出ガスは、上記プログラムで算出したエンジン回転数およびトルクを用い、エンジン台上試験装置（エンジン単体）にて測定する。

一方、ハイブリッド車は、内燃機関に加え電動機（MG）、蓄電装置およびハイブリッド制御ユニット（HCU）を搭載し、減速時にエネルギー回生を行いつつ、回生したエネルギーを用いて加速時等に出力の一部または全部を MG により駆動することで燃費改善を図っている。ハイブリッド重量車の試験には、図 3 に示す通り、シミュレーション法で用いた計算プログラムを HILS プログラムに置き換え、車両走行時の回生エネルギーを考慮したエンジンの回転数とトルクを実時間で算出する。その後の燃費や排出ガスの評価手順は、シミュレーション法と同様である⁽²⁾。ここで、HILS プログラムは、モデル化したハイブリッド車両（ハイブリ

ッドシステム）、運転者および道路状況等から構成され、図 4 に示す HILS 装置に組み込まれている。

4. ハイブリッド重量車に WHDC を適用する際の課題

HILS 装置を用いてハイブリッド重量車の WHDC 試験を行うに当たり、「回生エネルギーの扱い」、「コールドスタートの扱い」の二点が主な課題となった。

4. 1 回生エネルギーの扱い

WHDC は、エンジン単体にて評価を行う WHTC (World Harmonized Transient Cycle) の過渡モードと WHSC (World Harmonized Stationary Cycle) の定常モードから構成される。図 5(a) に示す WHTC は、図 5(b) に示す車両ベースの試験サイクルである WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) 走行を前提とし、エンジントルクカーブ毎に「時間-エンジン回転数、エンジントルク」が標準化され、規定されている。通常のエンジン試験では、減速部分は単に無負荷状態の走行となる。しかし、ハイブリッド重量車は、減速時の走行エネルギーを回生し加速時に MG がエンジン出力をアシストするため、回生エネルギーを考慮することが必要となるが、WHVC および WHTC の負側の負荷パターンについては、共に回生を考慮した定義はない。

このことから、エンジンの運転条件が予め規定されている WHTC でハイブリッド重量車を評価する際には、車両走行時の回生エネルギーを考慮し、MG によるアシスト分の仕事を差し引いた形で、エンジンの回転数とトルクを算出する必要がある。

4. 2 コールドスタートの扱い

WHDC 試験には、コールドスタートが課せられる。現在、日本の審査で採用している重量車試験法は、コールドスタート試験は考慮していない。

コールドスタート時は、エンジンの燃焼を安定させるため、排気ガス再循環装置を停止または減少させてお

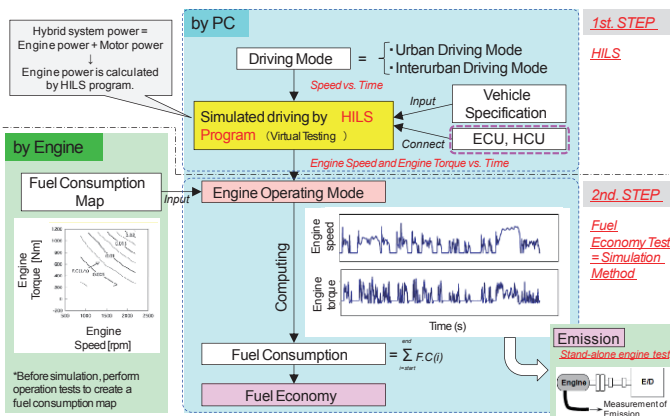


図 3 HILS 試験法の簡易フロー

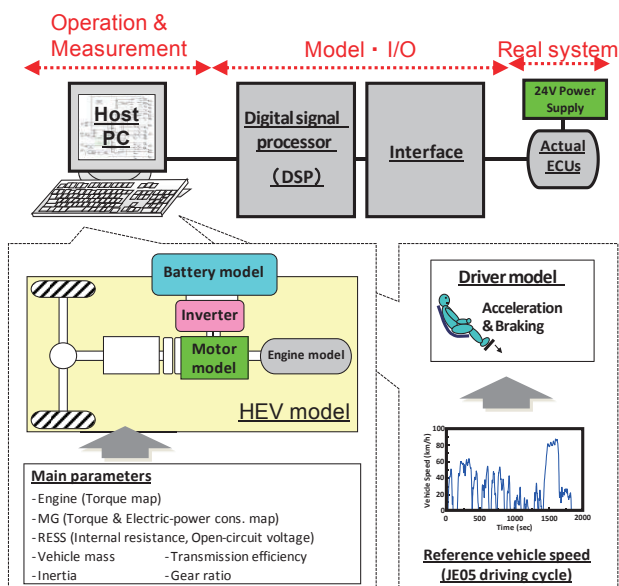


図 4 HILS 装置の概略図

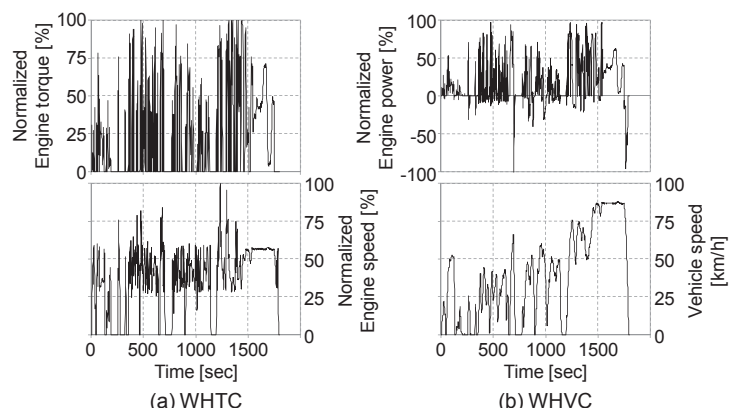


図 5 WHTC と WHVC の比較

り、窒素酸化物 (NO_x) 等の排出ガスが増加する傾向にある。排出ガスの浄化には、排出ガス後処理装置の早期活性化が必要である。ハイブリッド重量車のコールドスタート時における対策の一例として、エンジンで走行する仕事量以上の出力を発生させて MG で強制的にバッテリーを充電するといった、通常のホットスタート時とハイブリッド制御が異なる車両も考えられる。

このため、WHDC 試験に対応した HILS でのコールドスタート試験の評価手法を新たに検討する必要がある。

5. ハイブリッド重量車に WHDC を適用するための対応

5. 1 回生エネルギーの扱い

3 章で示したように、一般にハイブリッド重量車のパワートレインシステムに課せられる正側・負側出力は、車両重量、タイヤ径、ギア比などの車両パラメータを用い、車両速度サイクルを HILS 上で走行させることにより導出可能である。

今回、車両速度サイクルとして、WHVC の速度パターンを採用した。WHVC とは、日米欧、オーストラリアで 65 台の異なる実車両 (トラック、バス) が走行した際のデータを収集し、12 個のショートトリップから成る「時間-車速、出力」に整理したモードであり、このモードを基に WHTC が作成されている。しかしながら、基となったデータはショートトリップ毎に車両などが異なるため、ある 1 台の車両で WHVC を走行したとしても WHTC と等価な出力で走行することにならない。そこで、WHVC の採用にあたり、WHTC で規定される正側出力パターンと HILS 上で WHVC を走行させた際の正側出力パターンを整合させる必要がある。このため、WHVC 走行時の正側出力パターンを整合させるには、車両重量、走行抵抗および走行路の勾配による調整が必要である。その調整手順は以下の通りである。

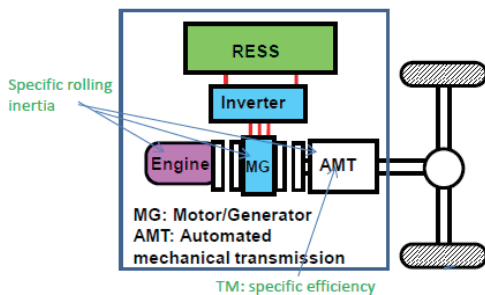


図6 パワーパターンの定義
 <15th HDH meeting 資料より>⁽³⁾

- ① 目標とする試験車両の WHTC の正側の負荷パターンは、欧州提案の計算手法を用いて求めた。その計算手法とは、代表的な従来ディーゼル車 15 台のエンジンのフルロードカーブから 15 種類の正規化されたエンジン回転数-トルクを求め、ハイブリッドシステム (エンジン+電動モータ) の最大出力に対する割合 (係数) で正側出力パターンを正規化し、それを平均化し一本化して求めたものである。ここで、従来重量車ではエンジン出力軸上に設定される WHTC の負荷パターンを、ハイブリッド重量車では車両重量、走行抵抗、勾配に置き換えて再現させるため、図6 青枠内のパワートレインシステムを含む駆動軸上に定義した。

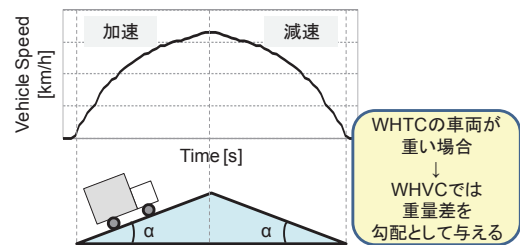


図7 勾配の扱い (イメージ)

表1 勾配の定義 (1-90 秒の抜粋)

<ECE-TRANS-WP. 29-GRPE-2014-11e より>

ECE/TRANS/WP.29/GRPE/2014/11

(b) WHVC vehicle schedule

P = rated power of hybrid system as specified in Annex 9 or Annex 10, respectively

Road gradient from the previous time step shall be used where a placeholder (...) is set.

Time s	Vehicle speed km/h	Road gradient per cent	Time s	Vehicle speed km/h	Road gradient per cent
1	0	$+5.02E-06 \cdot p^2 - 6.80E-03 \cdot p + 0.77$	46	0	↑
2	0	↑	47	0	$-1.40E-06 \cdot p^2 + 2.31E-03 \cdot p - 0.81$
3	0	↑	48	0	$+2.22E-06 \cdot p^2 - 2.19E-03 \cdot p - 0.86$
4	0	↑	49	0	$+5.84E-06 \cdot p^2 - 6.68E-03 \cdot p - 0.91$
5	0	↑	50	1.87	↑
6	0	↑	51	4.97	↑
7	2.35	↑	52	8.4	↑
8	5.57	↑	53	9.9	↑
9	8.18	↑	54	11.42	↑
10	9.37	↑	55	15.11	↑
11	9.86	↑	56	18.46	↑
12	10.18	↑	57	20.21	↑
13	10.38	↑	58	22.13	↑
14	10.57	↑	59	24.17	↑
15	10.95	↑	60	25.56	↑
16	11.56	↑	61	26.97	↑
17	12.22	↑	62	28.83	↑
18	12.97	↑	63	31.05	↑
19	14.33	↑	64	33.72	↑
20	16.38	↑	65	36	↑
21	18.4	↑	66	37.91	↑
22	19.86	↑	67	39.65	↑
23	20.85	↑	68	41.23	↑
24	21.52	↑	69	42.85	↑
25	21.89	↑	70	44.1	↑
26	21.98	↑	71	44.37	↑
27	21.91	$+1.67E-06 \cdot p^2 - 2.27E-03 \cdot p + 0.26$	72	44.3	↑
28	21.68	$-1.67E-06 \cdot p^2 + 2.27E-03 \cdot p - 0.26$	73	44.17	↑
29	21.21	$-5.02E-06 \cdot p^2 + 6.80E-03 \cdot p - 0.77$	74	44.13	↑
30	20.44	↑	75	44.17	↑
31	19.24	↑	76	44.51	$+3.10E-06 \cdot p^2 - 3.89E-03 \cdot p - 0.76$
32	17.57	↑	77	45.16	$+3.54E-07 \cdot p^2 - 1.10E-03 \cdot p - 0.61$
33	15.53	↑	78	45.64	$-2.39E-06 \cdot p^2 + 1.69E-03 \cdot p - 0.47$
34	13.77	↑	79	46.16	↑
35	12.95	↑	80	46.99	↑
36	12.95	↑	81	48.19	↑
37	13.35	↑	82	49.32	↑
38	13.75	↑	83	49.7	↑
39	13.82	↑	84	49.5	↑
40	13.41	↑	85	48.98	↑
41	12.26	↑	86	48.65	↑
42	9.82	↑	87	48.65	↑
43	5.96	↑	88	48.87	↑
44	2.2	↑	89	48.97	↑
45	0	↑	90	48.96	↑

② HILS プログラムに入力する車両重量や走行抵抗は、日本で導入している標準車両諸元を使用した。試験車両が WHVC を HILS 装置にて走行する際、試験車両の正側仕事を①で求めた WHTC の負荷パターンに合うよう、図 7 に示すように速度パターンの各ショートトリップに勾配を付与した。この際、負側の負荷パターン（減速エネルギー）は、正側で設定した上り勾配を反転させた勾配を各ショートトリップの減速時に下り勾配として与えることで、回生エネルギーを扱えるようにした。

以上の①②対応により、ハイブリッド重量車の正側の積算仕事量が、WHTC とほぼ同等になることを確認している。複雑な本手法を UN GTR に採用するに当たり、表 1 に示す通り、各ショートトリップのハイブリッドシステム出力と勾配との関係を多項式に置き換えることで上記の計算過程を簡略化し、実用化を図った。

5. 2 コールドスタートの扱い

欧州からは、車両構成要素モデルをすべて詳細温度モデルで記述する案が提案された。しかし、温度特性は車両毎に異なるため、すべての車両に適応可能な詳細温度モデルを展開することは極めて困難である。

一方、日本は、現実的に審査に使用可能な手法として、シンプルで実用的な試験方法である「予測温度方式」を提案した。この方式は、図 8 に示す通り、審査に用いる実ハイブリッド重量車走行時の排出ガス後処理装置等の時系列毎の温度プロファイルをトラックメーカー等が予め取得しておき、そのプロファイルを HILS プログラムに入力できるよう改良を施すことで、HILS 装置でコールドスタート時のエンジン運転条件を抽出する手法である。しかし、この予測温度方式を採用し排出ガス評価を行った事例はなく、実ハイブリ

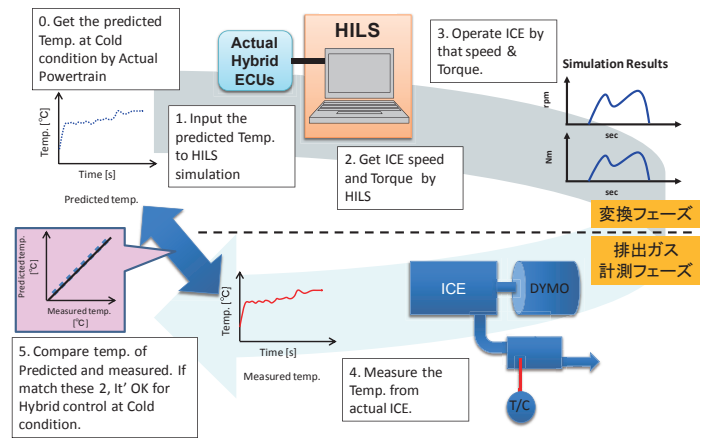


図 8 HILS 装置によるコールドスタートの評価方法

ッドシステムによる本評価手法の技術的妥当性を検証する必要がある。

そこで、交通安全環境研究所が保有する「ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム」を活用し、上記の検証を行った。

(1) ハイブリッド台上試験システムの概要

実車両を試作することなく、種々の制御手法を有するハイブリッド車両の実走行状態を再現可能な装置を考案し、新たに構築を行った。図 9 に示す「ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム（明電舎：EVREVO）」は、ハイブリッドシステムの主要な要素であるエンジン、MG、インバータは実際の装置を用い、それ以外のバッテリー、動力分割伝達機構や協調ブレーキ等の要素は、操作室内の計算機（MATLAB/simulink）上にモデル化し、リアルタイムシミュレーションと組み合わせることで仮想のハイブリッド車両を実験室内に再現することができる。ここで、実車両のハイブリッドシステムは、車両メーカーより内容が開示されることのない実ハイブリッドコントロールユニットの制御ロジック等が重要な役割を果たしている。本試験シ

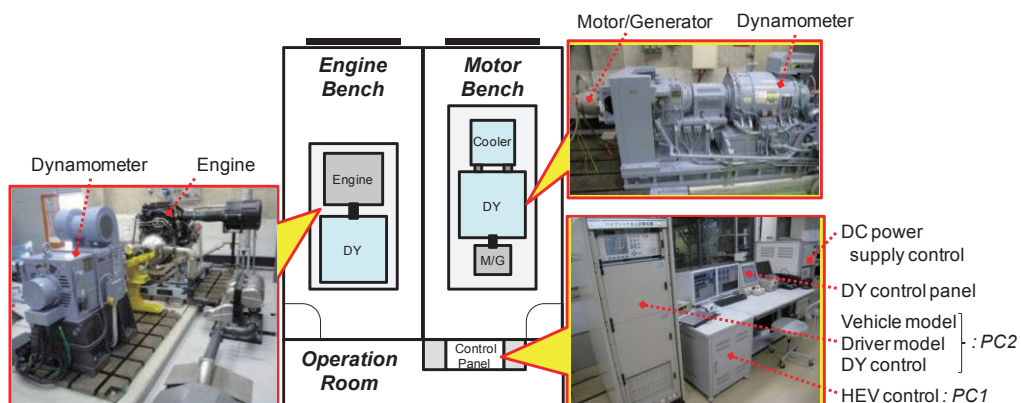


図 9 ハイブリッド・パワートレイン台上試験システム

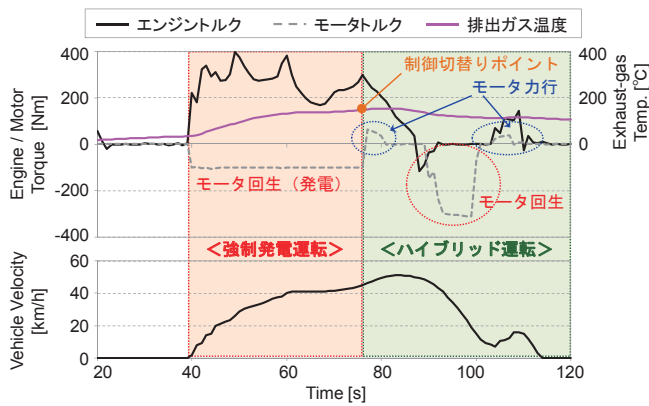


図 10 本検証に用いたハイブリッド制御によるエンジンおよび電動モータの稼働状態の一例

表 2 仮想ハイブリッド車両の諸元

Vehicle Weight		3,790 kg
Maximum Payload		4,050 kg
Height × Width		2465 × 2230 mm
Tire (radius)		403 mm
Gear Ratio	1st	6.574
	2nd	3.831
	3rd	2.274
	4th	1.385
	5th	1.000
	6th	0.729
Final-gear Ratio		4.333
Emission Devices		EGR, DPF, DOC,SCR

システムにおいては、この箇所をモデルに置き換えることで様々な制御条件を任意に組み合わせることを可能としており、ハイブリッド車両の試験法検討を多角的に行うことができる。その他のシミュレーションモデルは、HILS 試験法で用いられる同様のモデルを採用している。

(2) 検証作業

コールドスタート時にNOx等の排出ガスを早期に低減させるため、コールドスタート用のハイブリッド制御を台上ハイブリッド試験システム上に構築した。制御結果を図 10 に示す。排出ガス後処理装置が機能する温度（本条件では、排出ガス温度が 180℃に到達）まで MG にて強制発電を行い（図中の 40～75 秒の領域）、エンジンに走行負荷と一定の発電負荷を加える制御である。この制御を有する仮想ハイブリッドトラック（試験時車両重量：5,870kg）の諸元を表 2 に示す。本実験の排出ガス温度計測箇所は、図 11 に示す通り、ターボチャージャー出口直下（熱電対①）、後処理装置内の DPF と SCR 触媒の間（熱電対②）、SCR 触媒出口（熱電対③）とした。

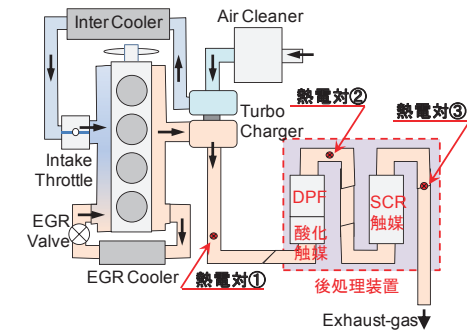


図 11 排出ガス温度の計測箇所

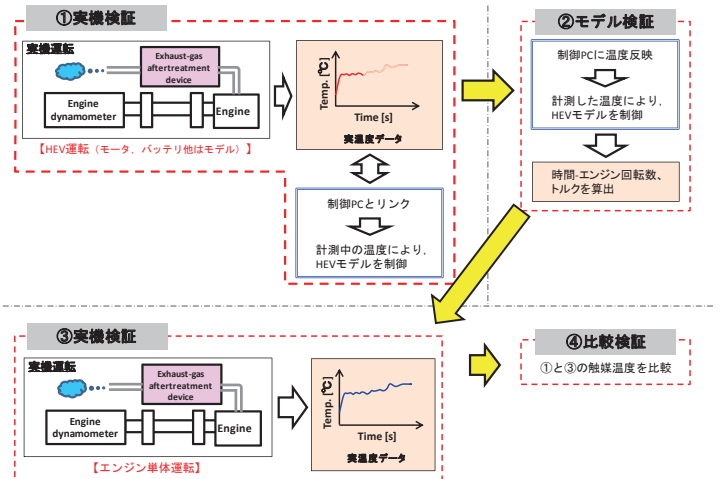


図 12 ハイブリッド台上試験システムによる検証作業

検証作業は、図 12 に示す①～④の手順にて、仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）後の温度と HILS 模擬走行（エンジン単体運転）後の温度の相関性を調べた。

- ① 仮想ハイブリッド車両走行試験でハイブリッド制御の切替情報となるコンポーネント（本実験では、排出ガス後処理装置の熱電対②）の温度を実測し、予測温度パターンとする。
- ② HILS プログラムのインターフェースモデルに①で得た予測温度パターンを入力し、HILS 装置にて排出ガス試験サイクルである「時間-エンジン回転数、トルク」を算出する。
- ③ ②で算出した排出ガス試験サイクルを用いて実エンジンを単体で稼働させ、予測温度パターンで測定した同等の個所における実温度を測定する。
- ④ ①で抽出した温度パターンと③で実測した温度の相関性を確認する。

以上の手順により得られた検証結果を図 13 に示す。図 13 (a) 上段に示す通り、赤線の仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）の温度履歴と青線の HILS 模擬走

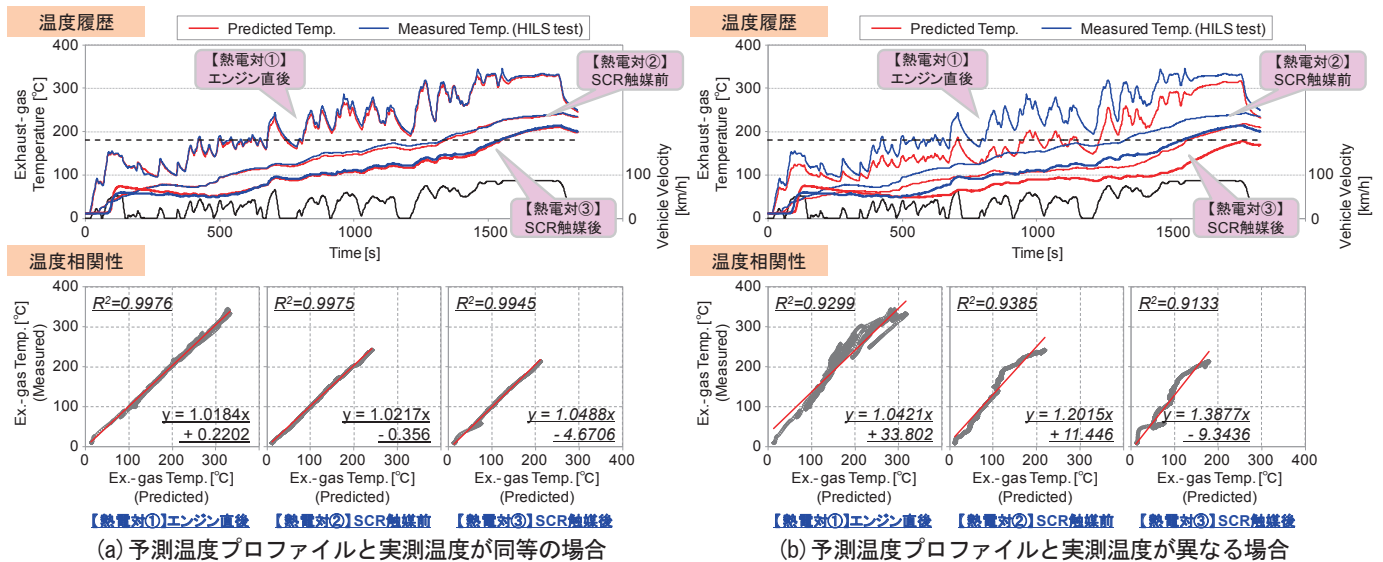


図 13 HILS 装置によるコールドスタートの評価検証結果の一例

行（エンジン単体）時の熱電対①～③の温度履歴は、ほぼ同等の値および傾向を示した。次に、図 13 (a) 下段の温度相関性を確認する。図縦軸は HILS 模擬走行（エンジン単体）から得られた各測定場所における排出ガス温度、横軸は仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）から得られた排出ガス温度を示す。本実験条件における温度は、傾きがほぼ 1 の比例関係にあることに加え、 R^2 は 0.9955～0.9973 と非常に高い相関関係を示した。

ここで、予測温度プロファイルと実測温度が異なった場合の温度相関性を調べ、本評価手法における評価条件をさらに検討した。例えば、図 13 (b) 上段に示す通り、赤線の仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）時の温度履歴と青線の HILS 模擬走行（エンジン単体）時の温度履歴は、すべての計測箇所において温度履歴が大きく異なる状態となっている。これは、仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）は、燃費を重視するために「発電なし」で設定したために走行中の温度上昇が遅れたが、HILS 模擬走行（エンジン単体）は、いち早く排出ガス後処理装置を機能させ排出ガスレベルを下げるために「発電あり」にて運転させており、温度上昇が早まったからである。この条件の下、図 13 (b) 下段の温度相関性を確認する。図縦軸は HILS 模擬走行（エンジン単体）から得られた各測定場所における排出ガス温度、横軸は仮想ハイブリッド車両走行（HEV 運転）から得られた排出ガス温度を示す。本実験条件においては、SCR 触媒前後の熱電対②、③では傾きが 1.2 を超えるほか、 R^2 は 0.9133～0.9385 と低下し

た。ただし 0.9 を超える R^2 は、設定条件の違いと比較して必ずしも低いものではなく、相関係数のみで確認すると、審査結果が不正確となる恐れがあることが分かった。

以上、上記を含めた検証結果を数例行うことで、本評価手法の技術的妥当性を明らかとした。これら結果を HDH に提出し議論され、日本が提案するハイブリッド重量車のコールドスタート対応手法が、UN GTR に採用される運びとなった。

6. まとめ

ハイブリッド重量車は、世界的に普及過程にあり、世界統一が図られたハイブリッド重量車の排出ガス試験法が求められている。本稿では、ハイブリッド重量車の排出ガス試験法に関する国際調和活動について、その概要および事例を紹介した。

今後も、ハイブリッド重量車に関する新たな課題に対応する国際調和活動やハイブリッド重量車についての WHDC の国内対応試験法の整備等の必要がある。交通安全環境研究所としても、これらに貢献できるよう取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- (1) 国土交通省、〈http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/osen/2_osenj.htm〉
- (2) 黒川陽弘、森田賢治：HILS 認証試験法の剛体系 HEV モデルの開発、自動車研究、Vol. 33、No. 7、pp. 25-28 (2011)
- (3) UNECE、〈<https://www2.unece.org/wiki/pages/viewpage.action?pageId=2523163>〉