

# 車両のエネルギー収支シミュレーション技術の開発

## Development of Energy Balance Simulation Method for Vehicles

角倉 盛義\*      今野 大輔\*      江崎 浩\*  
 Shigeyoshi Kadokura      Daisuke Konno      Hiroshi Ezaki

関根 和憲\*\*      勝山 千春\*\*      西澤 智博\*\*  
 Kazunori Sekine      Chiharu Katsuyama      Tomohiro Nishizawa

### 要 旨

近年、自動車の燃費向上のため、車載される様々なシステムの省エネルギー化が求められている。これらアイテムの開発のためには、車両の各部で発生、消費されるエネルギーの流れを定量化することが必要である。前報では、この課題を解決するため、車両の各システムを連携させてエネルギー収支状態を計算できる「電気自動車のエネルギー収支シミュレーション技術」の開発内容を報告したが、今回、電気自動車よりエネルギーの流れが複雑な内燃機関車両のエネルギー収支シミュレーション技術を開発した。本稿にて計算事例や実験との検証結果を紹介する。

### Abstract

In recent years, many kinds of onboard systems are required to minimize their energy consumption. To develop these items, it is important to clarify energy flow dynamics within the vehicle systems. In the previous report, we developed the “energy balance simulation method for electric vehicles”, which can calculate energy in/out flows between onboard subsystems. This time, we have developed a simulation method for internal combustion engine vehicles, whose energy flow is more complex than that of electric vehicles. This article describes the simulation method with calculation examples and experimental validation results.

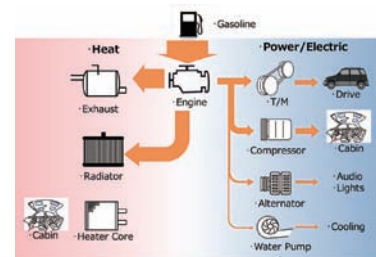
Key Word : simulation, energy management, heat management, MATLAB®, Simulink®, air conditioning

### 1. 開発の背景

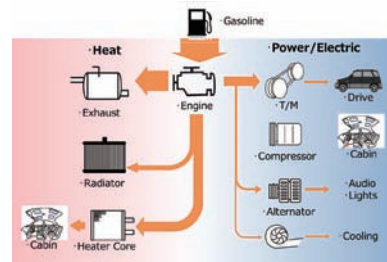
近年、自動車の燃費向上のためにエネルギーを有効利用することが期待されている。具体的には、①システム効率の向上、②捨てているエネルギーを回収して別の用途に使うこと、などである。この①と②を具現化するためには車両のあらゆる走行条件下での各々のエネルギーの定量化が必要となる。

しかしながら、車両には多数のシステムが搭載され、それらの作動状態が相互に影響し合うため、配分されるエネルギー量は環境によって変化する。例えば、Fig. 1に示すように夏季(a)と冬季(b)ではエンジンから供給されるエネルギーの配分は全く異なった状態となる。

このように車両のエネルギーの定量化を行うには外気温度や走行の仕方などを考慮した様々なシーンにおける複数のシステムの動きや状態を把握し、収支計算をすることが必要となる。



(a) Energy distribution in summer



(b) Energy distribution in winter

Fig. 1 Energy distribution of vehicle system

\* グローバルテクノロジー本部 環境技術開発グループ  
 \*\* グローバルテクノロジー本部 CAE解析チーム

## 2. 具体的な問題と解決策

前報<sup>(1)(2)</sup>では、自社製品分野の既存シミュレーションモデルに新しくモーターやバッテリーなどのシミュレーションモデルを作成し組み合わせることで、電気自動車のエネルギー収支計算が可能となったことを報告した。一方、市場では今後も内燃機関を持つ車両が需要の主流になると見込まれており、従来通り燃費向上アイテムの開発重要度は高い。

上記の電気自動車のシミュレーションモデルはエンジンに関わるコンポーネントを持っていないため、内燃機関車両の燃費向上アイテムの検討には新たにエンジンモデルを作成する必要がある。また、エンジンと複数のシステムのバランス状態を瞬時に計算する方法の検討や検証が必要であった。

Fig. 2 に電気自動車と内燃機関車両の計算方法の概念図を示す。電気自動車では各システムは必要な電力をバッテリーに個別に要求し、それらが合算され、電費が計算される。一方、内燃機関車両ではエンジンの回転数や出力は走行状態だけではなく、各コンポーネントの作動状態にも左右される。つまり、燃費はエンジンと各コンポーネントまたはシステムとの作動バランス点を求めることで計算する必要がある。例えば、ひとつのシステムの作動状態が変化した場合、エンジンを介しての車両システムの作動点すべてに変化が起こるため、電気自動車のシミュレーションモデルよりかなり複雑かつ時間の掛かる計算が必要となる。

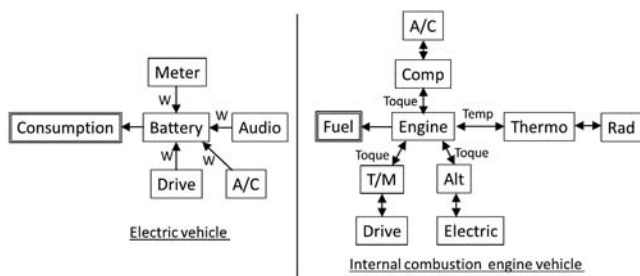


Fig. 2 Conceptual diagram of vehicle simulation

したがって内燃機関車両モデルの構築では、計算スピードに大きく関わる計算の緻密さや必要なパラメータの種類を、今後の開発アイテム検討への活用を考慮した上で決定した。

## 3. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルの構築には1次元物理解析ソフトウェア AMESim<sup>®</sup> 及び MATLAB<sup>®</sup>/Simulink<sup>®</sup> を使用した。エンジン、トランスミッション、エアコンサイクル及び補機類に AMESim<sup>®</sup>、キャビンの温湿度やエアコン風の風速計算には MATLAB<sup>®</sup>/Simulink<sup>®</sup> を使用し、両者を連成させた。

Fig. 3 にシミュレーションモデルの全体構成を示す。この構成に対し、簡易的ではあるが、エアコンやアクセル、トランスミッションなどの制御も追加している。

### 3.1. 車両モデルの全体構成

作成したシミュレーションモデルは Fig. 3 に示す様にサブシステムモデルとコンポーネントモデルの2種類のモデルによって構成されている。

コンポーネントモデルとはエンジンやトランスミッション等の部品をシミュレーションモデル化したもので、部品特性と物理現象式を組み合わせで構築されている。部品特性は部品の寸法、表面積、熱物性、質量などの静的な物理特性と、効率や風量、通気抵抗等の動的な性能特性を使用している。

サブシステムモデルはコンポーネントモデルと制御モデルによって構成される。

サブシステムモデル及びコンポーネントモデルは互いの計算結果が反映されるようにデータを授受し合い、バランス点を決定できる関係となっている。これにより、エネルギーの移動の方向やその量、システムの性能や作動時の温度等が計算可能となった。

次項で、今回の内燃機関車両モデルの中心となるパワートレインモデルについて説明する。

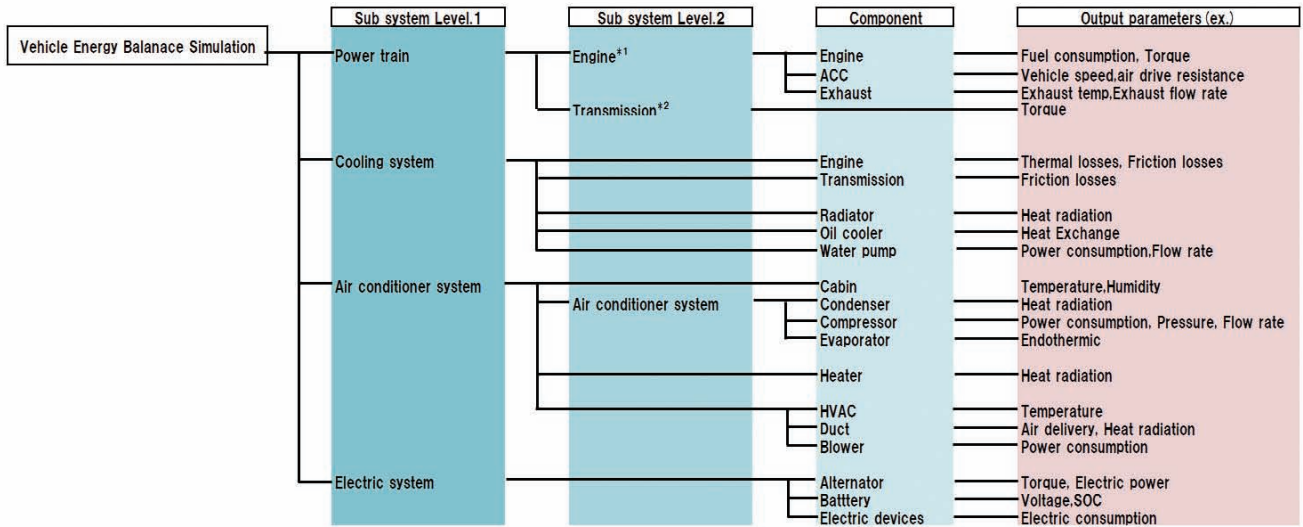


Fig. 3 Structure of energy balance simulation

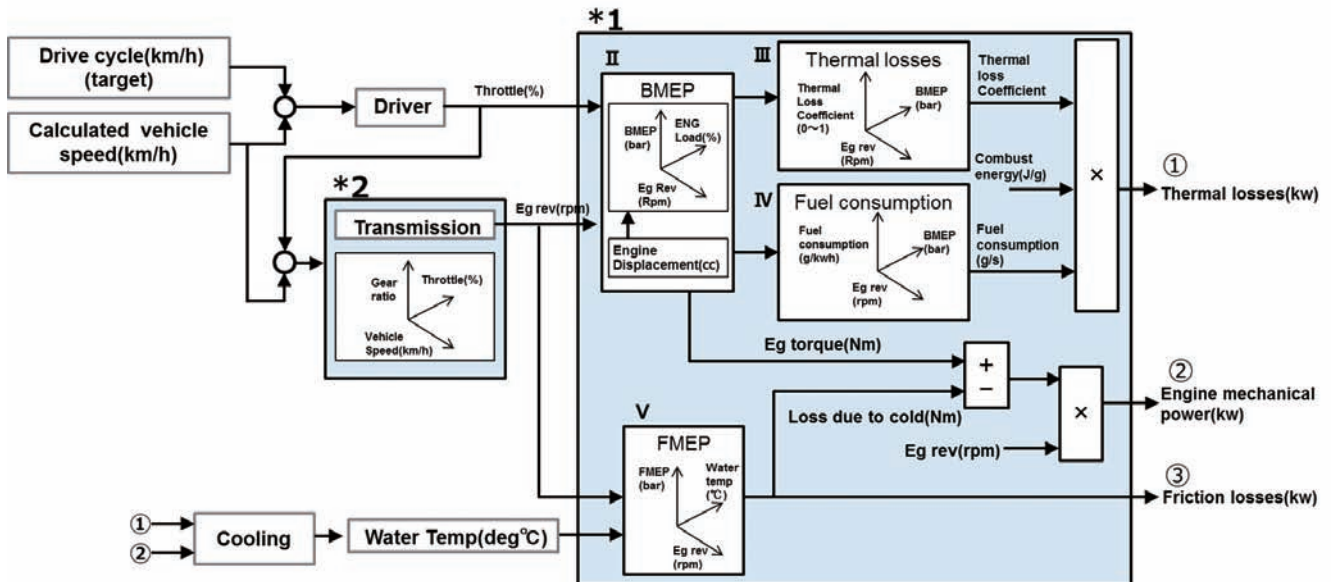


Fig. 4 Calculation diagram of engine and transmission

### 3.2. パワートレインモデルの詳細

パワートレインモデルは動力、燃料消費量を計算するエンジン、車の変速比を制御するトランスミッションによって構成される。AMESim<sup>®</sup>にはパワートレインモデルの構築に必要なコンポーネントモデルや例題となるデモモデルが標準で用意されており、モデル構築やパラメータ設定が易しいという利点がある。このモデルによって、駆動力、燃料消費量等の計算が可能になった。以下にパワートレインモデル構築の手順と使用した特性を示す。

#### (1) エンジン (Fig. 3 \*1, Fig. 4 \*1)

エンジンモデルにはマップモデルを使用した。この計算モデルはドライバーのアクセル開度や冷却水温、エンジン回転数に応じて、複数のマップを参照し出力を決定するモデルである。このモデルに必要な計算マップは以下(2)～(6)である。

#### (2) BMEP (Brake Mean Effective Pressure, Fig. 4 II)

エンジンの出力特性を表すパラメータ(正味平均有効圧力)で、回転数とアクセル開度で決定される。排気量を考慮することでエンジントルクに換算できる。今回は代表的なエンジンの特性を使用し、検証時には排気量を合わせて確認した。

(3) Thermal losses (Fig. 4 III)

全燃焼エネルギーのうち、熱として放出される割合を表すパラメータで、回転数とBMEPで決まる。走行負荷を変えた実車実験で排気温度と流量、冷却水温度と流量、エンジンルーム温度を測定し推定した。

(4) Fuel consumption (Fig. 4 IV)

エンジンの単位出力あたりの燃料消費量を表すパラメータ。やはり回転数とBMEPで決まる。車速や加速度を数パターン振った実車風洞試験の結果と合うように代表車種のマップを修正した。

(5) FMEP (Friction Mean Effective Pressure, Fig. 4 V)

エンジンの摩擦損失を表すパラメータで、エンジン回転数と水温で決まる。このエネルギーは熱として放出される。最大負荷時のエンジンの最大出力が一致するようにゲイン調整した。

(6) トランスミッション (Fig. 4 \*2)

今回の検引用車両はCVTであったため、実車走行試験を行い、トランスミッション変速比を計測した。Fig. 5に実験の結果を示す。この結果を利用して、車速とアクセル開度をパラメータとしたトランスミッションの変速比マップを作成した。

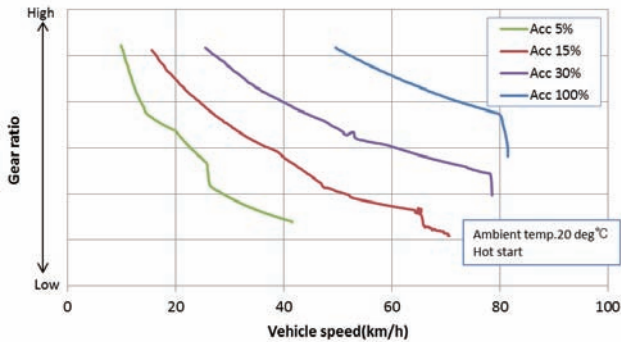


Fig. 5 Transmission gear ratio

4. モデル検証

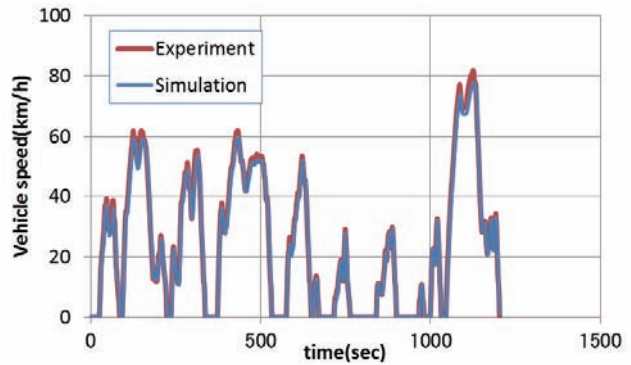
本シミュレーションモデルを使った計算結果と実験結果を比較し、有効性を確認した。検証には実車風洞試験の結果を使用した。

4.1. 走行モデルの検証

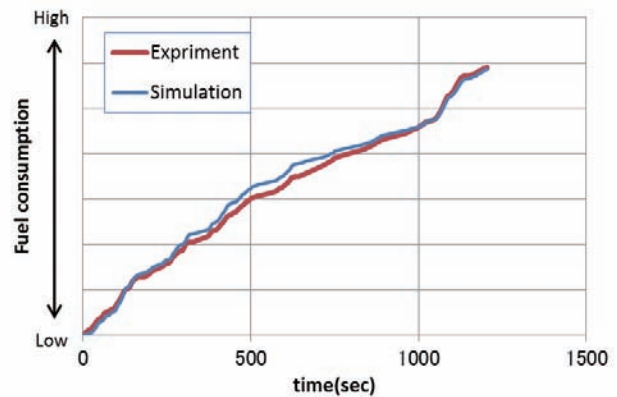
Table 1に示す条件で走行試験を行い、モデルの検証を行った。Fig. 6 (a)に走行車速、(b)に燃料消費量の計算結果を示す。実験値と計算結果がほぼ一致した結果となった。

Table 1 Test condition

Drive mode	JC08
Ambient temperature	25degC
Ambient humidity	RH50%
Vehicle weight	1040kg
Cd	0.32
Engine displacement	1.2L
Transmission	CVT



(a) Vehicle speed



(b) Fuel consumption

Fig. 6 Results of mode drive

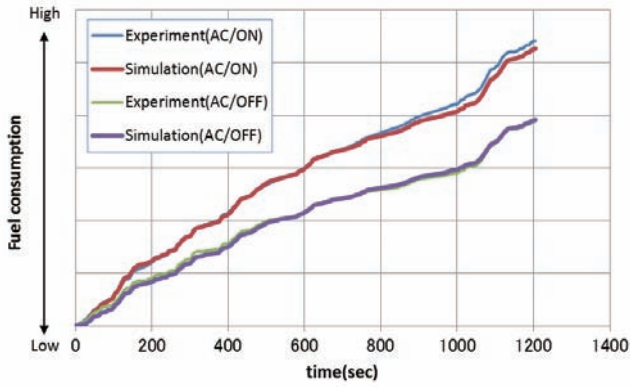
Table 2 Test condition

	Cooling test	Heating test
Ambient temperature	35degC	0degC
Ambient humidity	RH70%	RH50%
Solar radiation	With	Without
Drive mode	JC08	JC08
Air conditioning mode	Cooling/No use	Heating

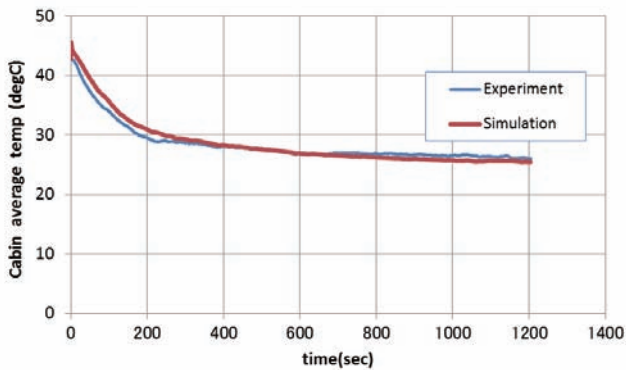
4.2. エアコンシステムモデルの検証

エアコンの使用は車の実用燃費に与える影響が大きく、重要な課題である。その課題検証の可否としてTable 2に示す条件で冷房、暖房試験を行い、エアコンシステムモデルの検証を行った。なお、本シミュレーションには人体の発熱や呼気の水分は含まれていない。

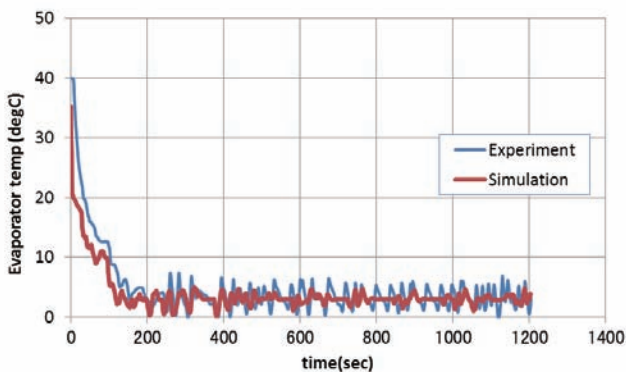
Fig. 7に冷房時の実車風洞試験とシミュレーションとの比較結果を示す。(a)は燃料消費量,(b)は車室内温度,(c)はエバポレータ温度である。燃料消費量, エバポレータ温度は実験結果とよく一致した結果となった。また, この計算においては, エアコンのON / OFFによる燃料消費量の増減もうまく再現することができている。



(a) Fuel consumption



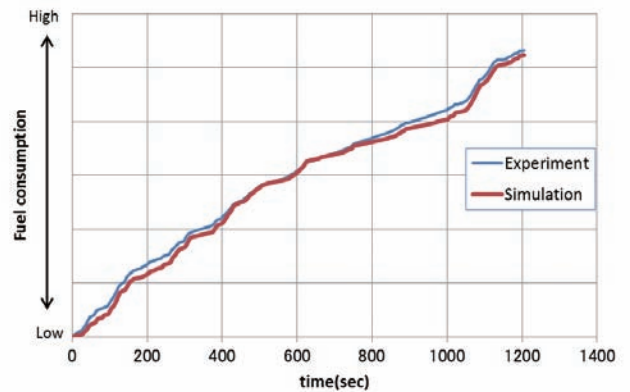
(b) Cabin temperature



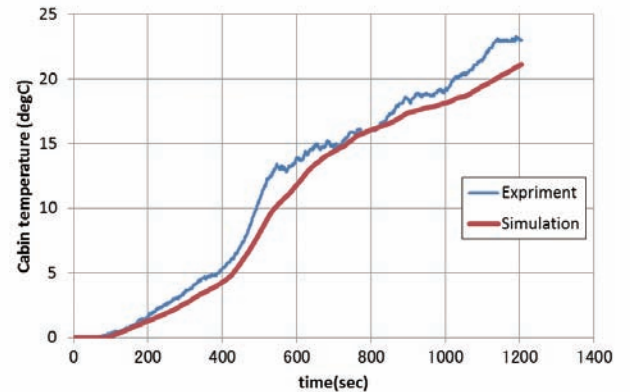
(c) Average of evaporator temperature  
Fig. 7 Results of cooling mode

Fig. 8に暖房時の実車風洞試験とシミュレーションとの比較結果を示す。(a)は燃料消費量,(b)は室内温度,(c)は水温である。ブロー風量については実車試験の結果をシミュレーションに利用した。運転開始直後から燃料消費量, 室内平均温度, 水温ともに実験とのずれが確認で

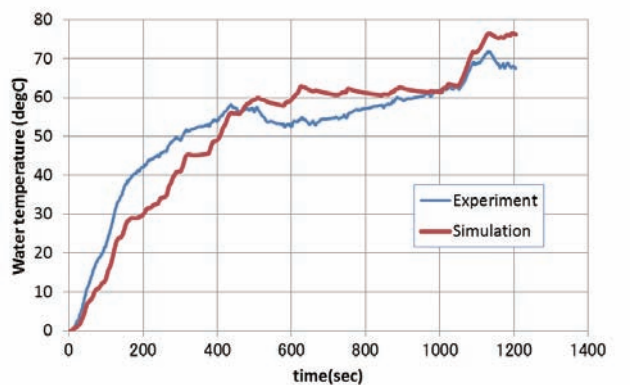
きる。これは低温走行におけるエンジン, トランスミッションの暖機を促進する変速比制御をシミュレーションに組み込めていないことが原因と考えている。この影響によって初期の水溫推移に相違が生じている。また, 室内温度の相違については人の呼吸や発熱による温度上昇を考慮していないこと, 走行時のラム圧による熱漏れが含まれていないことによるものとする。今後, 低温時のエンジン制御やそれに関連するトランスミッション制御の調査が必要である。



(a) Fuel consumption



(b) Cabin temperature



(c) Water temperature

Fig. 8 Results in heating mode

### 5. 本シミュレーション技術の活用例

各温度の絶対値には実機との相違があることを検証で確認したが、相対的な比較には使用可能と判断し具体的な燃費向上アイテムについてその効果代を検討した。

今回は排気の熱を冷却水に回収し車両の早期暖機を促進する機能を持った排熱回収システムを想定し、Table 3に示す条件で計算した。

Fig. 9に計算結果を示す。(a)はエンジン出口水温、(b)はトランスミッションオイル温度、(c)は燃料消費量である。排熱回収器により、安定水温到達までの時間が約600秒短縮され、トランスミッションオイル温度は1200秒時点で約2℃高くなった。その結果、排熱回収器なしの場合と比較して、燃料消費量は4%減少し、燃費改善に効果が高いことがわかった。この燃費改善効果は、水温上昇が早まることによるエンジンおよびトランスミッションのフリクション損失の低減によるものと考えられる。以上の結果により、排熱回収器を使用することにより、冷間時の燃費改善に効果があることが分かった。

### 6. まとめ

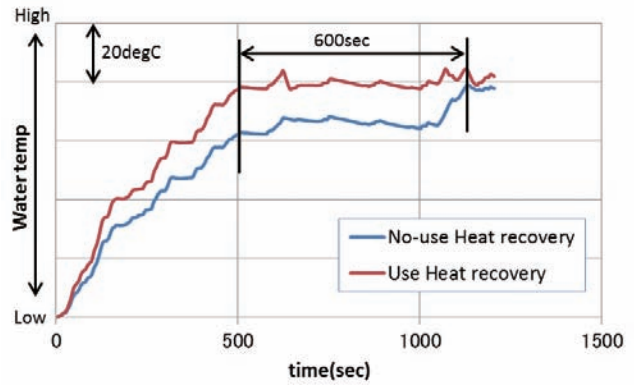
前報<sup>(1)</sup>で報告した電気自動車のエネルギー収支シミュレーション技術をベースに、エンジンやトランスミッションなどのシミュレーション技術を組み合わせることによって、エンジン車両のエネルギー収支状態を計算することが可能になった。

また、本シミュレーションを活用することによって、電気自動車から内燃機関車両まで燃費電費改善効果を狙ったアイテムを広範に効率よく検討可能となった。今後は以下の課題について取り組む必要があると考える。

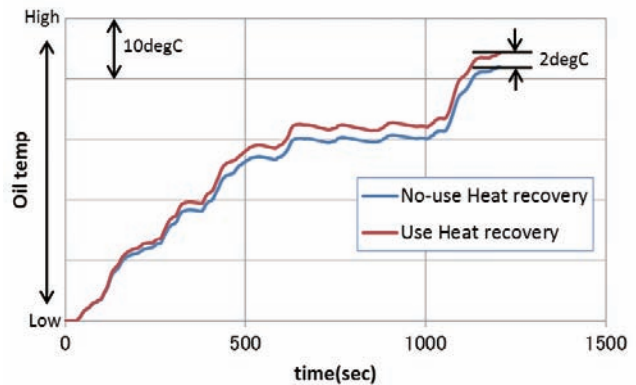
- ① 暖機制御など必要な追加調査を進める。
- ② 開発目的に応じた詳細車両シミュレーションモデルの構築を進める。
- ③ 本シミュレーションモデルと電気電装システムモデルを組み合わせ、動力回生や蓄電による燃費改善などの効果検討を可能にする。

Table 3 Test condition

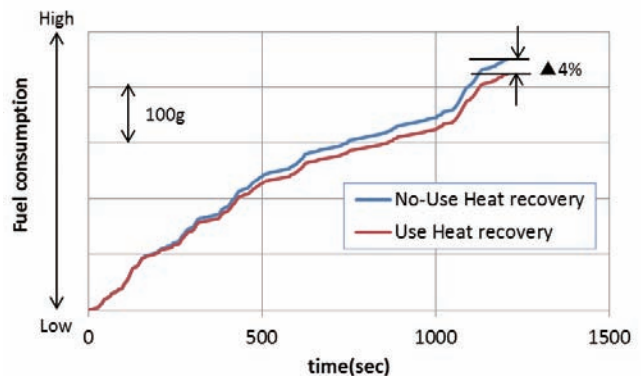
Ambient temperature	0 degC
Drive mode	JC08
Solar radiation	without
Air conditioner mode	auto
Heat recovery	Use/No-Use



(a) Engine outlet water temperature



(b) Transmission oil temperature



(c) Fuel consumption

Fig. 9 Results of heat recovery system

### 参 考 文 献

- (1) 角倉 盛義, 今野 大輔, 江崎 浩, 竹内 径, 関根 和憲, 勝山 千春, 西澤 智博: 電気自動車のエネルギー収支シミュレーション技術の開発, Calsonic Kansei Technical Review vol.9, 2012, p60-66
- (2) 江崎 浩, 宮下 徳英, 渡邊 亮, 川村 崇彰: 車室内温度分布シミュレーションの開発, Calsonic Kansei Technical Review vol.6, 2009, p34-37



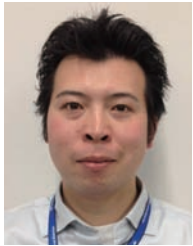
角倉 盛義



今野 大輔



江崎 浩



関根 和憲



勝山 千春



西澤 智博