

## 5 Ahクラス SCiB™セルを用いた 48 Vマイルドハイブリッド車の CO<sub>2</sub> 排出量評価用シミュレーション技術

Use of Simulation Technology to Evaluate CO<sub>2</sub> Emissions from 48 V Mild Hybrid Vehicles Equipped with 5 Ah-Class SCiB™ Battery Cell

嶋川 茂 SHIMAKAWA Shigeru 関野 正宏 SEKINO Masahiro

近年、世界規模で進む温暖化対策として、自動車からの排出ガス中に含まれる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の排出量削減が求められ、特に欧州では、2021年からCO<sub>2</sub>排出量規制の一層の強化が予定されている。自動車メーカーは、燃費改善に向けた取り組みの一つとして、48 Vマイルドハイブリッド技術で車両コストの上昇を抑えつつ燃費の改善を図る取り組みを行っている。

東芝は、エンジンによる発電エネルギーや減速時の回生エネルギーを効率良く回収・貯蔵し、そのエネルギーを車両走行に用いる車載用補助電源として、5 Ahクラスのリチウムイオン二次電池 SCiB™セルを開発した。この小型・小容量セルを適用した48 Vマイルドハイブリッド車に対し、WLTC (World-wide harmonized Light duty driving Test Cycle)<sup>(注1)</sup>を用いたシミュレーションを行い、CO<sub>2</sub>排出量削減に効果があることを確認した。

There is a strong need in the automotive field for the reduction of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in exhaust gases, one of the main causes of global warming. In particular, increasingly stringent regulations to reduce CO<sub>2</sub> emissions will be implemented in Europe in 2021. Automobile manufacturers are therefore making efforts to further improve fuel consumption by developing technologies to enhance the performance of 48 V mild hybrid vehicles while suppressing increases in manufacturing costs.

Toshiba Corporation has developed a 5 Ah-class SCiB™ rechargeable lithium-ion battery cell as an auxiliary power source for automobiles in order to make effective use of energy generated by the engine as well as regenerative energy produced during deceleration. We have conducted simulation tests using two models of 48 V mild hybrid vehicles equipped with the 5 Ah-class SCiB™ battery cell in accordance with the World-wide harmonized Light duty driving Test Cycles (WLTC), and verified that this battery cell is effective in reducing CO<sub>2</sub> emissions.

### 1. まえがき

気候変動枠組条約に関する京都議定書が1997年に採択されて20年以上が経過する昨今、気候変動の抑制に向けた更なる厳しい対応が必要となっている。2015年のCOP21 (国連気候変動枠組条約第21回締約国会議)での温室効果ガス削減に関する国際的取り決めへの合意を受け、欧州では、自動車の走行距離当たりCO<sub>2</sub>排出量の規制値を、2021年に、2015年規制値の約30%削減となる95 g/kmとする世界でも厳しい目標を掲げている<sup>(1)</sup>。このような背景を受け、欧州を含む自動車メーカーは、CO<sub>2</sub>排出量削減のため、これまでのアイドリングストップ (ISS) 車や12 Vマイクロハイブリッド車に対し、電気自動車 (EV) や、プラグインハイブリッド車 (PHEV)、ハイブリッド車 (HEV) の比率を上げるといった対応を取ろうとしている。

東芝のSCiB™は、環境規制強化に伴う自動車電動化の流れに沿って、ISS車や、12 Vマイクロハイブリッド車、24 Vマイルドハイブリッド車などに採用され、燃費改善に貢献してきた<sup>(2)-(4)</sup>。これらの車両のSCiB™は、減速時にモーターで生じる回生エネルギーを貯蔵し、そのエネルギーをエンジン再始動やモーターによる補助駆動力として利用するための補助電源として機能している。2021年以降のCO<sub>2</sub>排出量規制に対応するには、ISS車や12 Vマイクロハイブリッド車の比率を上げるだけでは難しいことから、自動車メーカー各社、特に欧州では、更なる燃費改善のために補助電源を48 Vとする48 Vマイルドハイブリッド車、及び60 V以上とする高電圧HEVの開発を進めている。当社は、これらへの適用性を検討し、従来のSCiB™製品群に対して高エネルギー密度と高入出力を両立させた5 AhクラスSCiB™セル(表1)を様々な車両仕様に対応できる電池として開発した<sup>(5)</sup>。ここでは、高電圧HEVよりもコスト優位と考えられる48 Vマイルドハイブリッド車に対し、5 AhクラスSCiB™セ

(注1) 世界統一試験サイクル。市街地、郊外、高速道路といった走行モードで構成された国際的な燃費の測定方法。

表 1. 5 Ahクラス SCiB™セルの主な仕様  
Main specifications of 5 Ah-class SCiB™ cell



項目	仕様
容量	5 Ahクラス
入力性能	700 W (SOC 50%, 10 s, 25°C)
出力性能	600 W (SOC 50%, 10 s, 25°C)
サイズ	63 (幅) × 14 (奥行き) × 97 (高さ) mm
質量	約 160 g
公称電圧	2.3 V

SOC : State of Charge (充電状態)

ルを適用した場合のCO<sub>2</sub>排出量削減効果のシミュレーション結果について述べる。

## 2. シミュレーション仕様と構成

環境規制による自動車電動化の流れにおいて、CO<sub>2</sub>排出量の削減効果は極めて重要であり、この効果の見積もりにはWLTCを用いた。48 Vマイルドハイブリッド車のモーター配置は、モーターがエンジンとベルト接続されるものをP0、クランクシャフトに直接接続されるものをP1、トランスミッション入力側に接続されるものをP2、トランスミッション出力側に接続されるものをP3、車輪駆動軸に接続されるものをP4として、図1のように大きく五つに分類される。P0は、

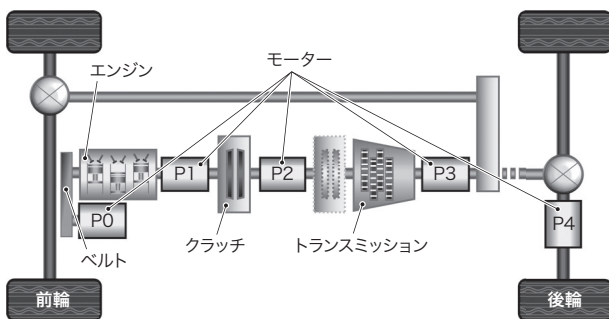


図1. 48 Vマイルドハイブリッドシステムの概要

モーター配置は、モーターが接続される位置により、大きく五つに分類される。

48 V mild hybrid systems classified into five categories according to location of electric motor (P0-P5 systems)

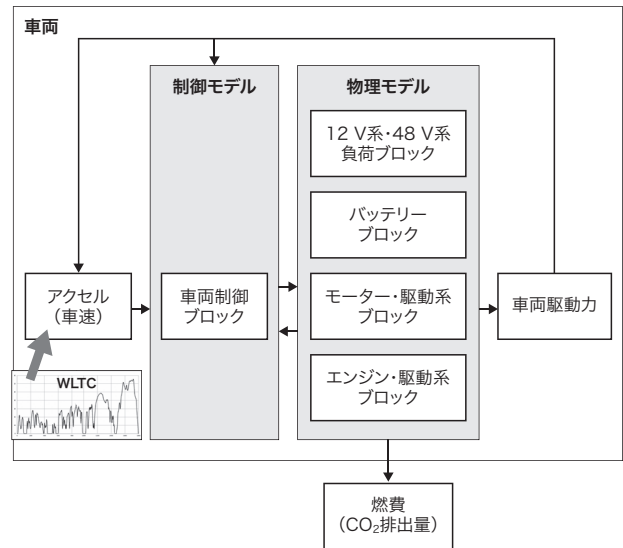


図2. シミュレーションに用いた車両モデルのブロック図

大きくは、制御モデルと物理モデルに分類される。シミュレーションでは、P0システムとP2システムのそれぞれをモデル化した。

Block diagram of vehicle model for simulation

ISS車など従来のシステム構成に対する変更点が少なく、システムコストを抑えることができるが、駆動力が十分ではないため、エンジンを補助する働きだけとなる。P2は、48 Vバッテリーに蓄えられた電力をモーターで使用し、エンジン停止状態で駆動するEV走行ができることから、大きなCO<sub>2</sub>排出量削減効果が期待できる。今回、図2に示す車両モデルブロックをベースとして、技術計算言語MATLAB<sup>®</sup>及びシミュレーション・モデルベースデザイン環境Simulink<sup>®</sup>で、48 Vマイルドハイブリッド車のP0システムとP2システムのそれぞれをモデル化した。

### 2.1 P0システム

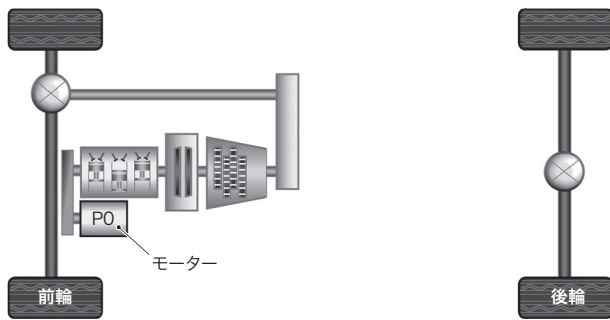
設定した物理モデルについて、主な仕様を図3に示す。制御モデルとして設定した運転モードは、次の三つである。

- (1) エンジンモード エンジントルクだけを駆動力とする通常の運転モード
- (2) 回生モード 車両減速時にエンジンを停止し、発生する減速トルクをモーター回転動力として使用してモーターで発電する運転モード
- (3) アシストモード エンジントルクとモータートルクの両方を駆動力として使用する運転モード

### 2.2 P2システム

設定した物理モデルについて、主な仕様を図4に示す。制御モデルとして設定した運転モードは、次の四つである。

- (1) エンジンモード P0システムと同じ
- (2) 回生モード P0システムと同じ



(a) 概要

(b) 車両の主な仕様

項目	仕様
車両重量	1,441 kg (Cセグメント)
エンジン	ガソリン, 1.2 L, 直列3気筒ターボ
トランスミッション	7速, DCT

DCT : Dual Clutch Transmission

(c) モーターの主な仕様

項目	仕様
出力 (最大)	15 kW
出力 (連続)	7.5 kW
最大回転数	18,000 rpm

(d) 48 Vバッテリーの主な仕様

項目	仕様
構成	5 Ahクラス SCiB™セル×20直列
公称電圧	46 V
容量	5 Ahクラス

図3. P0システムの物理モデルの主な仕様

P0システムとして適用した、車両、モーター、及び48 Vバッテリーのそれぞれの主な仕様である。

Main specifications of each part of physical model of P0 system

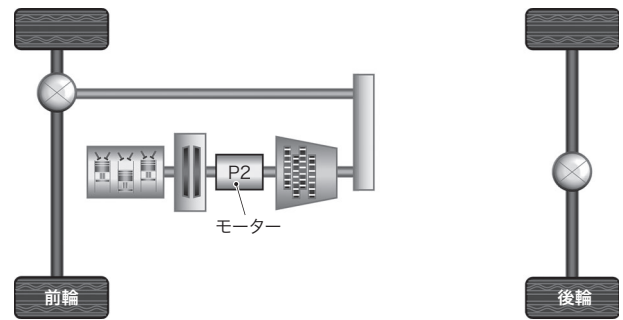
- (3) チャージモード エンジントルクの一部をモーター回転動力として使用し、モーターで発電して48 Vバッテリーに蓄電する運転モード
- (4) EVモード モータートルクだけを駆動力とする電動の運転モード

### 3. CO<sub>2</sub>排出量の削減効果

#### 3.1 P0システムでの効果

各運転モードでは、エンジントルクとモータートルクのそれぞれを、制御パラメーターとして調整する。P0システムでは、アシストモードの比率を増やすことでエンジン出力を抑えられるため、これによるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が得られる。WLTC開始時の充電状態 (SOC : State of Charge) を60%として走行した場合のシミュレーション結果として、WLTC終了時のSOCとCO<sub>2</sub>排出量の関係を図5に示す。

WLTC終了時のSOCは、開始時と同等であることが求められるので、これを満たす上で最もCO<sub>2</sub>排出量の少ない設定が、求める最適な運転モード及び制御パラメーターである。シミュレーションで得られたP0システムとしての最適な状態に



(a) 概要

(b) 車両の主な仕様

項目	仕様
車両重量	1,337 kg (Bセグメント)
エンジン	ガソリン, 1.0 L, 直列3気筒ターボ
トランスミッション	7速, DCT

(c) モーターの主な仕様

項目	仕様
出力 (最大)	15 kW
出力 (連続)	7.5 kW
最大回転数	6,000 rpm

(d) 48 Vバッテリーの主な仕様

項目	仕様
構成	5 Ahクラス SCiB™セル×20直列
公称電圧	46 V
容量	5 Ahクラス

図4. P2システムの物理モデルの主な仕様

P2システムとして適用した、車両、モーター、及び48 Vバッテリーのそれぞれの主な仕様である。

Main specifications of each part of physical model of P2 system

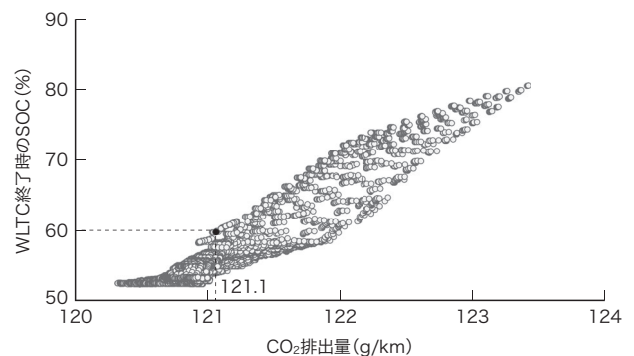


図5. P0システムにおける48 VバッテリーのSOCとCO<sub>2</sub>排出量の関係

WLTC開始時のSOCを60%として走行した場合のP0システムでの各運転モード及び制御パラメーターにおけるシミュレーション結果である。

Relationship between state of charge (SOC) of 48 V battery and CO<sub>2</sub> emissions obtained by simulation of P0 system

における運転モード、48 Vバッテリー入出力電流、及び車両のCO<sub>2</sub>排出量を図6に示す。これより、最適な状態でのCO<sub>2</sub>排出量は、121.1 g/kmとなり、ISS車における130.3 g/kmに対して約7.1%の改善が期待できる結果を得た。

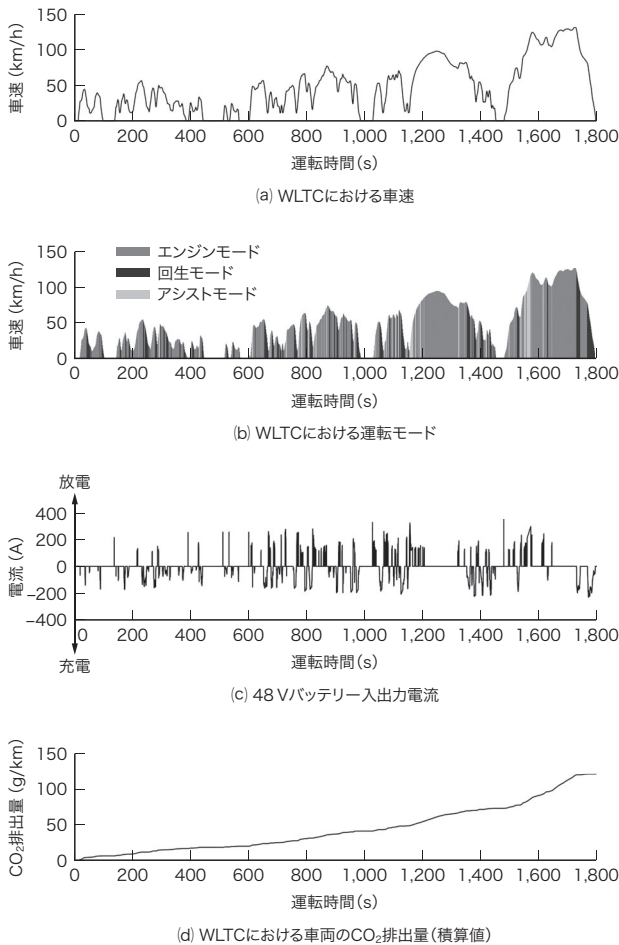


図6. P0システムで最もCO<sub>2</sub>排出量を削減した状態の運転モードと、48Vバッテリーの入出力電流、CO<sub>2</sub>排出量の変化

P0システムとして、WLTCで最もCO<sub>2</sub>排出量を削減した状態のシミュレーション結果である。

Time-series variations in driving mode of P0 system, input-output currents of 48 V battery, and CO<sub>2</sub> emissions under condition of maximum reduction of CO<sub>2</sub> emissions

### 3.2 P2システムでの効果

エンジントルク、モータートルク、及びEVモード許容トルク領域のそれぞれを、制御パラメーターとして調整する。P2システムでは、EVモードの比率を増やすことでエンジンの停止時間を増やせるため、直接的にCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が得られる。P0システムと同様に、WLTC開始時のSOCを60%として走行した場合のシミュレーション結果として、WLTC終了時のSOCとCO<sub>2</sub>排出量の関係を図7に示す。

同様に、シミュレーションで得られたP2システムとしての最適な状態における運転モード、48Vバッテリー入出力電流、及び車両のCO<sub>2</sub>排出量を図8に示す。これより、最適な状態でのCO<sub>2</sub>排出量は105.9 g/kmとなり、ISS車における120.8 g/kmに対して約12.3%の改善が期待できる結果を得た。

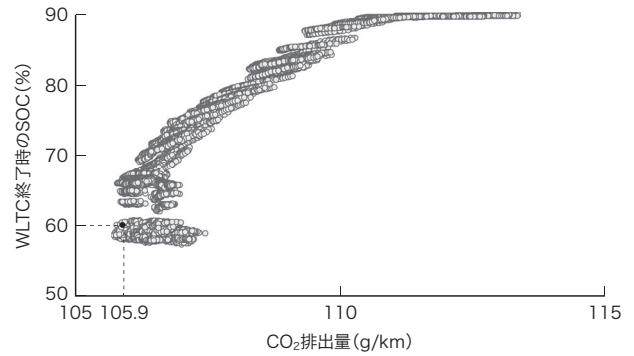


図7. P2システムにおける48VバッテリーのSOCとCO<sub>2</sub>排出量の関係

WLTC開始時のSOCを60%として走行した場合のP2システムでの各運転モード及び制御パラメーターにおけるシミュレーション結果である。

Relationship between SOC of 48 V battery and CO<sub>2</sub> emissions obtained by simulation of P2 system

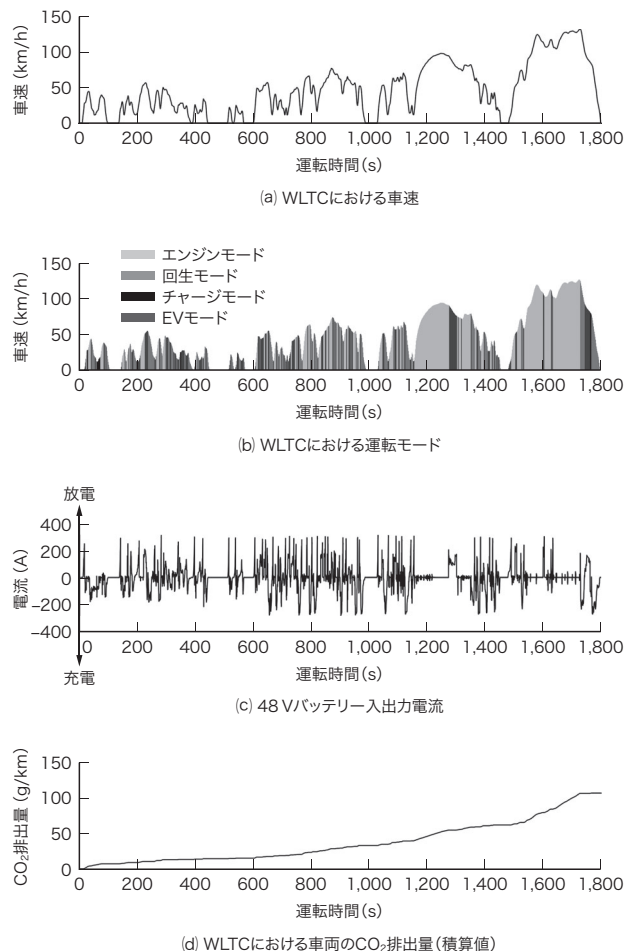


図8. P2システムで最もCO<sub>2</sub>排出量を削減した状態の運転モードと、48Vバッテリーの入出力電流、CO<sub>2</sub>排出量の変化

P2システムとして、WLTCで最もCO<sub>2</sub>排出量を削減した状態のシミュレーション結果である。

Time-series variations in driving mode of P2 system, input-output currents of 48 V battery, and CO<sub>2</sub> emissions under condition of maximum reduction of CO<sub>2</sub> emissions

## 4. あとがき

5 AhクラスSCiB™セルを用いた48 Vマイルドハイブリッド車において、WLTCにおけるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果をシミュレーションした結果について述べた。

欧州では2021年以降、自動車メーカーは、CO<sub>2</sub>排出量が規制値を1 g/km超過するごとに、95ユーロの罰金を科せられることとなる。自動車販売台数×95ユーロ×CO<sub>2</sub>超過量の巨額な罰金への対応を迫られている自動車メーカーに向け、今回のシミュレーション結果は、これらへのSCiB™の適用可能性を示した。

今後、ますます厳しくなっていく環境規制や、進化していく自動車電動化技術の中で、当社は、SCiB™の技術開発を継続し、CO<sub>2</sub>排出量の削減に向けて更に貢献していく。

## 文 献

- (1) 西野浩介, 戦略研レポート 世界の燃費規制の進展と自動車産業の対応, 三井物産戦略研究所, 2017, 戦略研レポート 2017年3月15日号, 19p. <[https://www.mitsui.com/mgssi/ja/report/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2017/03/15/170315i\\_nishino.pdf](https://www.mitsui.com/mgssi/ja/report/detail/_icsFiles/afieldfile/2017/03/15/170315i_nishino.pdf)>, (参照2020-03-02).
- (2) 猿渡秀郷, 山本 大, アイドリングストップ車・マイクロHV向け二次電池10 Ah級SCiB™, 東芝レビュー, 2016, **71**, 2, p.44-47.
- (3) 村司泰章, 矢嶋 亨, CO<sub>2</sub>排出量の削減に寄与する高入出力型のリチウムイオン二次電池 10 Ah SCiB™, 東芝レビュー, 2017, **72**, 3, p.65-68. <[https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/03/72\\_03pdf/f06.pdf](https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/03/72_03pdf/f06.pdf)>, (参照2020-03-02).
- (4) 村上 学, ほか, マイルドハイブリッド車用24 V SCiB™バッテリーパック, 東芝レビュー, 2020, **75**, 1, p.34-37. <[https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2020/01/75\\_01pdf/f02.pdf](https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2020/01/75_01pdf/f02.pdf)>, (参照2020-03-02).
- (5) 渡邊祐樹, ほか, 高エネルギー密度と高入出力を両立させた高性能HV向けリチウムイオン二次電池20 Ah・5 Ah SCiB™, 東芝レビュー, 2019, **74**, 3, p.56-59. <[https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2019/03/74\\_03pdf/f04.pdf](https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2019/03/74_03pdf/f04.pdf)>, (参照2020-03-02).

・MATLAB, Simulinkは, MathWorks, Inc. の商標。



嶋川 茂 SHIMAKAWA Shigeru  
電池事業部 電池戦略部  
Strategic Planning Dept.



関野 正宏 SEKINO Masahiro  
電池事業部 電池戦略部  
電気化学会会員  
Strategic Planning Dept.