

# 電気自動車のエネルギーマネジメントシステムの動向\*

## Trend of Energy Management Systems for BEV

東谷 光晴 Mitsuharu HIGASHITANI 池本 宣昭 Noriaki IKEMOTO 執行 正勝 Masakatsu SHIGYO 伊東 悠太郎 Yutaro ITOH

As the demand for carbon neutrality increases, energy management becomes increasingly important to support the sustainability of mobility. In order to optimize energy use in response to the increasingly diverse needs of each vehicle user, it is important to develop applications that realize energy savings by utilizing information on infrastructure and surrounding vehicles. In addition, there is an urgent need to develop an energy management architecture in preparation for the increasing complexity of energy control when various applications are added. This paper describes specific examples of the value created by energy management of electric vehicles and the energy management architecture.

Key words :

Energy Management, BEV, Cross-Domain, Architecture, Carbon-Neutral

### 1. 序論

カーボンニュートラル要請が高まる中、2050年までに二酸化炭素排出量を80%削減するというパリ協定に基づく目標に加え、2030年に2013年比46%減といった中間目標など、さらに強化された目標が設定されている<sup>1)</sup>。カーボンニュートラル化には、エネルギーの供給側・需要側の両面で取り組んでいく必要がある。供給側については、再生可能エネルギーですべてのエネルギーを供給できれば達成可能だが、その普及にはインフラの整備など、長期的な対策が必要であり、日本においては2030年時点でも再生可能エネルギー率は30～40%程度の見通しである (Fig. 1)。

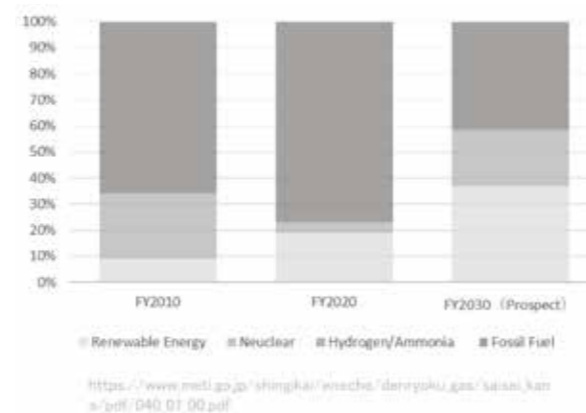


Fig. 1 Prospect of Renewable Energy

一方、需要側に目を向けると、Fig. 2に示す様に、自動車は大量のエネルギーを使用するものであるため、自動車の技術開発により、比較的短期間での省エ

ネルギー実現を期待できる。経産省においても、「電化により、電力需要が増加することが見込まれる中で、省エネ関連産業を成長分野として育成していく必要がある」と提言されている<sup>2)</sup>。加えて、電気自動車普及に向けた課題の一つに航続距離の短さがあり、たとえ再生可能エネルギーが普及した後でも、限られた電池資源でユーザーのニーズに応えるためにも、自動車の省エネルギー技術は重要な技術であり続ける。本稿では、自動車の省エネルギーに着目し、省エネルギー技術および、それを支える技術基盤について述べる。

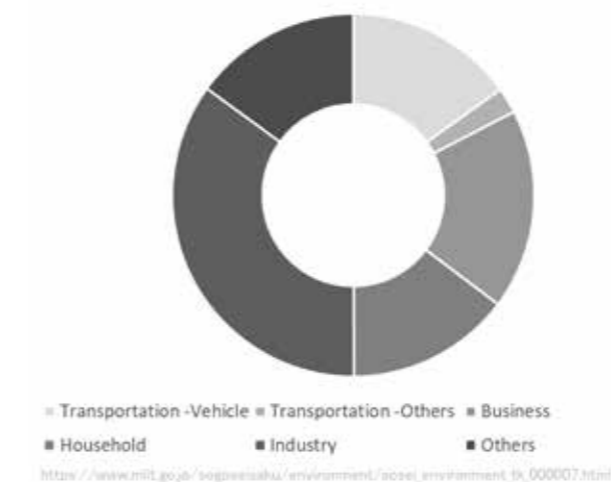


Fig. 2 CO<sub>2</sub> Emission Rate

### 2. 自動車の消費エネルギー

本章では、電気自動車の消費エネルギーについて述べる。Fig. 3に走り方、季節による消費エネルギーお

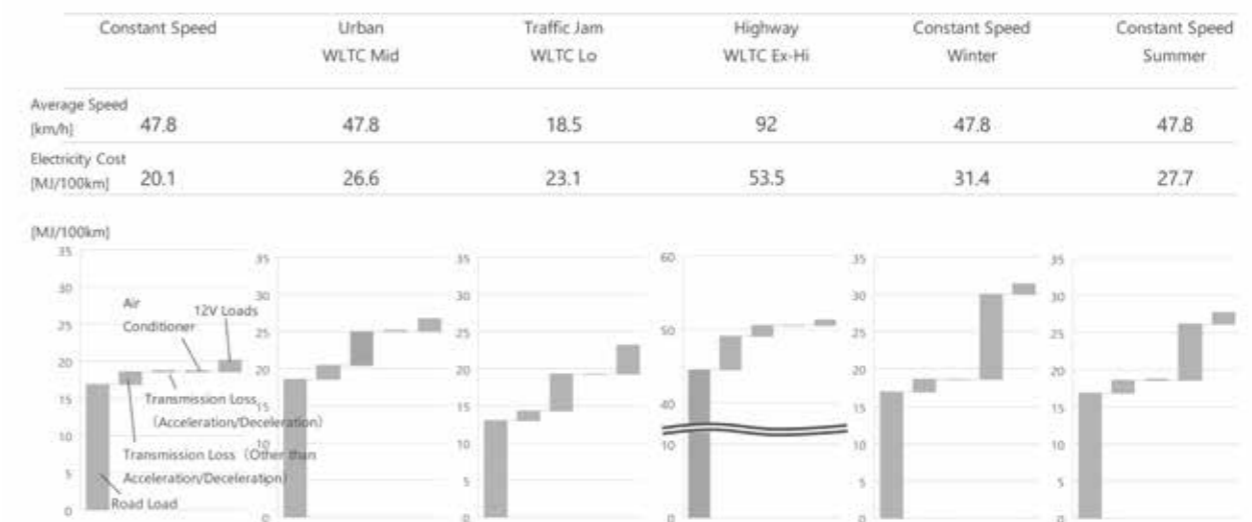


Fig. 3 Energy Consumption in Each Use Case

よびその内訳を示す。“走行抵抗”は、転がり抵抗と空気抵抗からなる。“伝達損”は、電池、インバータ、モーター、各ギヤおよび軸で発生する損失からなる。なお、損失機会の理解を深めるため、速度を維持するエネルギーに伴う損失と、加減速するためのエネルギーに伴う損失を分けて表記している。“空調”は、冷房・暖房に使われるエネルギーであり、電動コンプレッサやPTCヒータで消費されるエネルギーである。“補機負荷”は、ECU等の12V系電気負荷で消費されるエネルギーである。まず、一定速度と市街地の電費の差に着目する。平均速度が同じでも、市街地走行では頻繁に繰り返される加減速に伴う伝達損が増加する。渋滞時は、伝達損の増加に加え、平均車速が下がる分、走行時間が長くなるため、定常的に消費する補機負荷分が大きくなる。高速走行時は走行負荷が大幅に増加する。これは、空気抵抗は速度の二乗に比例するためである。冬季・夏季は空調のため、PTCヒータや電動コンプレッサを駆動するための消費電力が大きくなる。電気自動車では内燃機関の廃熱がないため、電池電力を使って温熱を作らなければならず、電費悪化が目立つ。いずれのケースにおいても車両が運動するために消費されるエネルギーが大きい。

### 3. 省エネルギーアプリケーションのアプローチ

2章で述べた通り、車両のエネルギー消費の大半を占めるのが運動に消費されるエネルギーであるため、

\* (社)自動車技術会の方の了承を得て、中部支部2022年第5回技術講習会より一部加筆して転載

高車速での走行および加減速を回避することは、自動車の省エネルギーに大きく貢献する。加減速機会の多い渋滞を回避するため、街レベルで交通流を制御する。加えて、高車速回避、加減速回避のためには、車群レベル、個車レベルでの走行制御が必要となる。本章ではいくつかアプリケーションの例を挙げる。

### 3.1 交通流制御 インフラ協調

#### 3.1.1 グリーンウェーブ

本アプリケーションは、スムーズな交通流を実現するため、交通インフラと車両が協調制御することが前提の技術である。信号機との協調制御で、グリーンウェーブ（青信号の波が押し寄せる、という意味）と呼ばれる（Fig. 4）。交通インフラ側は、各車両の位置情報を収集し、信号機を変化させるタイミングを最適化する<sup>3)-6)</sup>。一方、車両側では、信号機に合わせてドライバーに対し適正車速を提示したり、速度を制御することで、無駄な加減速や高車速での走行を回避する。



Fig. 4 Green-Wave



Fig. 5 Route Guidance for Avoiding Traffic Jam

#### 3.1.2 経路誘導案内

渋滞そのものを回避するのが本アプリケーションの狙いである。これは、街に存在する車両全体の分布を計画するもので、ある特定地域に車両が集中しないよう、目的地までの経路を分散して誘導していく（Fig. 5）。

### 3.2 車群走行制御 インフラ・周辺車両情報活用

早期に省エネルギーを実現するためには、すべての車が自動運転ではないケースにおいても省エネルギー技術を導入する必要がある。本アプリケーションは、Fig. 6 に示すように、信号機の切り替え情報や、車両の密度、各車両位置といった情報を使ってADAS（Advanced Driving Assistant System）車両を制御するものであり、ADAS 車両周囲の手動運転車両への影響を考慮している点の特徴である。ADAS 車両は、自車の挙動がきっかけとなって一定区間の他の手動運転車両の挙動に影響を与え、結果的に車群トータルとして消費エネルギーを最小化するように、自車の挙動を決定する。例えば、ある交差点において、自車と後続車3台すべてが信号を通過できる、かつ、走行エネルギーが最小となるよう、速度制御する。安心安全の技術と両立させる制御構築が課題となる。

および、運動エネルギーは運動エネルギーとして使い切ることが望ましい。そこで本アプリケーションでは、交通環境、地図情報、先行車両との相対挙動の情報から、駆動力をゼロとする惰性走行の開始タイミングを決定する。結果、この技術により、加減速に伴う伝達損の低減と、高車速における大きな走行抵抗の回避と、を実現できる。このアプリケーションを成立させる上

で重要な技術は、車両挙動の予測と、エネルギー推定、安全安心領域との両立である<sup>7)-10)</sup>。

#### 3.3.2 ドライバコーチング

より近い未来の技術として、ドライバーをコーチングするものがある（Fig. 8）。ACC が搭載されていない車両や、込み入った生活道路走行時のようなACC の

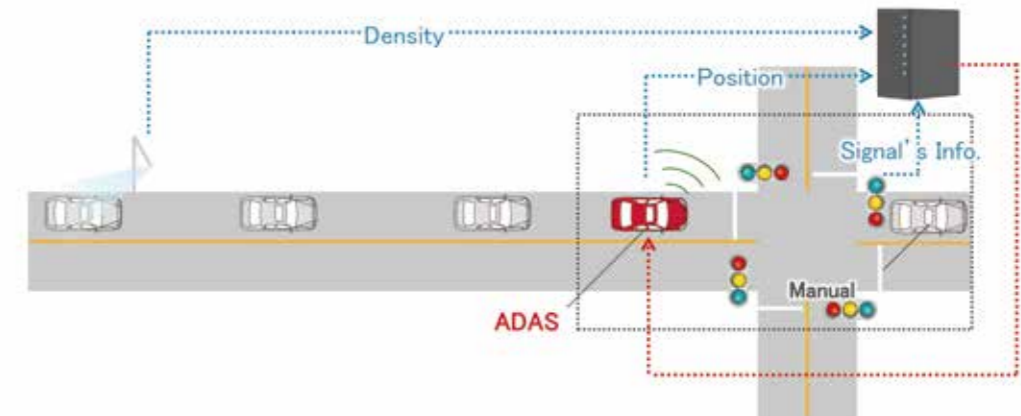


Fig. 6 ADAS Controls Surrounding Vehicles Indirectly

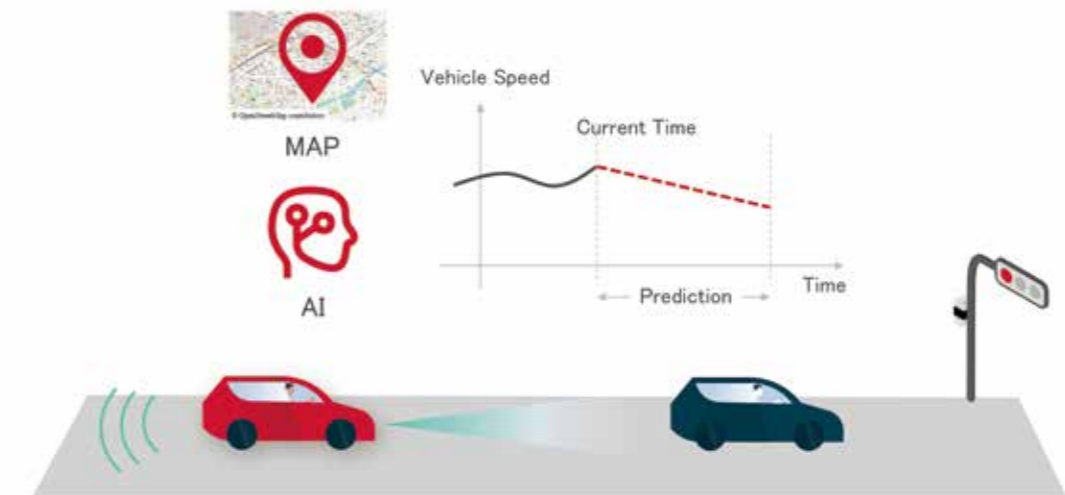


Fig. 7 Coasting based on Prediction of Surrounding Vehicles' Behavior

### 3.3 自車の走行制御 他車挙動予測制御

次に、自車が持つセンサのみで実行できる走行制御の例を挙げる。

#### 3.3.1 省燃費 ACC

本アプリケーションは、現状世に普及している先行車両の挙動の変化に対応するACC（Adaptive Cruise Control）に、省エネルギー機能を付与するものである（Fig. 7）。ほとんどの電気自動車は、減速パワーを電力に変え電池に蓄える、いわゆる減速回生機能を持つ。しかし、省エネルギーを突き詰めると、減速回生を使う、ということは、減速挙動までに不必要な加速をしている、と換言できる。当然、不必要な加速をする際の伝達損失や、高車速域での車両運動は走行抵抗が大きいため、損失が大きくなる。また、回生時に摩擦ブレーキ損や伝達損失が発生する。以上をまとめると、無駄な加速による高車速域での走行を避けること、



Fig. 8 Driver Coaching

特  
集

使用が困難なシーンにおいて、アクセルをオフするタイミングをドライバーに伝達する。これにより、駆動エネルギー、減速エネルギーをともに小さくすることができ、それらに伴うエネルギー伝達損失・変換損失を小さくできる。システム構成は、走行データやGPS、車両情報を得て、使用エネルギー推定とアクセルオフの最適タイミングを算出、スマートフォンやタブレットから出力し、ドライバーに報知する。先のアプリケーション同様、エネルギー推定がキー技術となる。

#### 4. エネルギーマネジメント基盤技術

本章では、3章で述べたような車両の省エネルギー技術を持続的に開発するためのエネルギーマネジメント基盤技術について述べる。

##### 4.1 エネルギーマネジメント基盤技術の必要性

はじめにエネルギーマネジメント基盤技術の必要性について述べる。

##### 4.1.1 なぜクロスドメイン開発か

エネルギーマネジメント基盤技術が必要になる背景に、クロスドメイン開発の必要性がある。ここで、クロスドメイン開発とは、異なるエネルギー形態や価値を扱う製品群・制御群からなるドメインを跨いで、システム全体として最適化する開発のことである。fig. 9に二酸化炭素削減目標と、各アイテムの効果を示す。電

動パワートレイン系のコンポーネント単独の効率は既に飽和状態にあり、改善による二酸化炭素削減効果は小さい。一方で、3章で述べた省エネルギーアプリケーションは、二酸化炭素削減効果が大きい。これらはいずれも、いわゆるクロスドメインにより実現されるものである。例えば、省燃費 ACC は、安全・安心系のモビリティ事業と、駆動エネルギーの省エネルギーを図る電動パワートレイン事業のクロスドメインである。つまり、効果的な省エネルギー実現のためにはクロスドメイン開発が必須である。

##### 4.1.2 クロスドメイン開発の課題

一般に、新たな機能が追加されると、機能を実現するためにエネルギーが使われる。自動車はその特性上、乗員の安全のため、いついかなる時でも安全に関わる機能へのエネルギー供給を担保する仕組みが必要である。このエネルギー成立性担保のためのエネルギー制御構築が課題となる。クロスドメイン開発においては、ユースケースの数と、今後増えていくアプリケーションの数、さらに、それぞれのアプリケーションに関わるドメインの数との掛け算で、エネルギー制御開発工数や適合工数が爆発的に増加していく。よって、クロスドメインのエネルギー制御を容易に構築する仕組みが重要となる。

##### 4.2 エネルギーマネジメントアーキテクチャ

上記の理由から、我々はクロスドメイン開発を支

えるエネルギー制御のアーキテクチャを開発している。ここではアーキテクチャの基本構想について述べる。Fig. 10にエネルギーマネジメントアーキテクチャの概念図を示す。1つ目の目的層では、アプリケーションを定義している。この層では、自動運転やクルーズコントロール、レーンキープといった、アプリケーションの各機能を調停し、エネルギーの要求を決定する。2つ目のエネルギーマネジメント層では、機能の優先順位にしたがってエネルギーを調停し、最適に分配する。例えばこの層において、長期的目線では、電欠なきことを保証するエネルギー計画を立案したり、短期目線では、バッテリーの最大出力パワー制限の超過無き事を保証する使用パワー制限を付与する。3つ目は制御層で、具体的な各ドメインの制御を実施し、コンポーネントに指令を出す。ポイントはアプリケーションとエネルギーマネジメント層の間、および、コンポーネントとエネルギーマネジメント層の間に、中間層を設けることで、エネルギー制御と目的および実現コンボを疎結合化することである。各層間のインターフェースは機能レベ

ルの物理値を用いることで、実現手段固有の特性をエネルギー制御では考慮しなくてよく、一品一様の制御構築を回避することを狙っている。新規アプリケーション導入や、新規コンポーネント導入時に、中間層で変更分を吸収させ、エネルギーマネジメント層への干渉を回避できる。

##### 4.3 アーキテクチャへのアプリケーション適用例

###### 先読み電池温調

クロスドメインで実現する代表的アプリケーションとして、先読み電池温調について説明する。本アプリケーションの狙いは、目的地到着までの時間最適化である。ある遠くの目的地にできるだけ早く移動したいとき、従来の内燃機関を持つ車であれば、高い速度ほど早く目的地に到着する。燃料が減ってきて、数分で給油が完了できてしまう。ところが、電気自動車においては、これまでの常識とは異なり、高い速度で走行すると、充電に時間がかかってしまい、かえって到着時間が遅くなる、というケースが存在する (Fig. 11)。

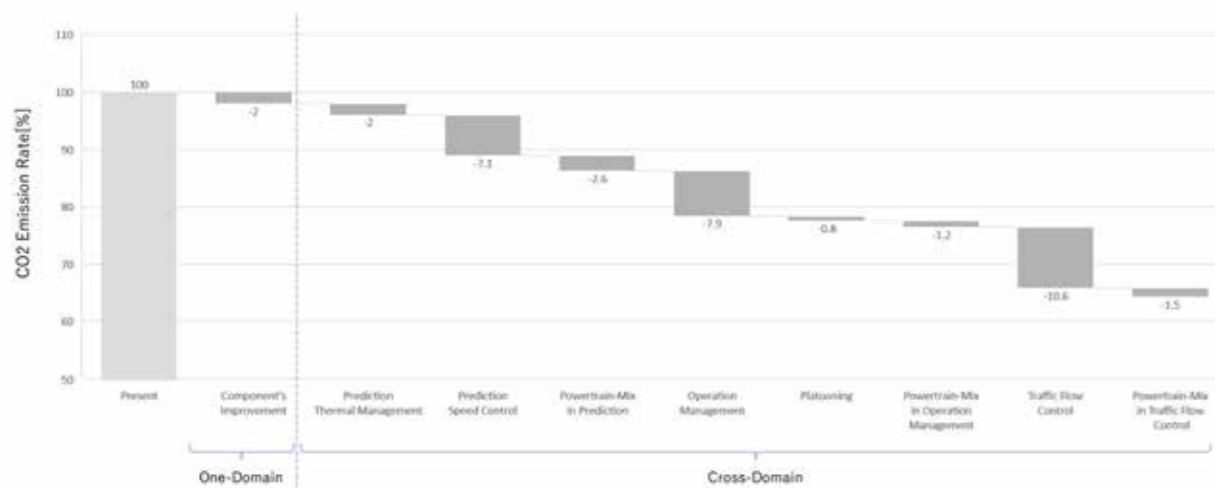


Fig. 9 CO<sub>2</sub> Reduction Effect

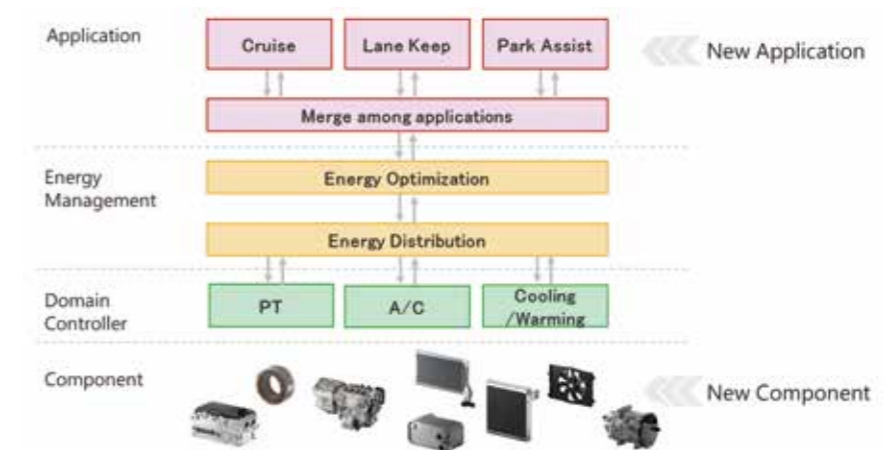


Fig. 10 Energy Management Architecture



Fig. 11 Optimized Time for Minimize Total Traveling Time

特集

理解を深めるため、目的地到着までの時間を決めるファクタを分析する。同一ルートを走行する条件下において、目的地到着までの時間は、走行時間と充電時間から成る。走行時間を決めるファクタは速度、充電時間を決めるファクタは、充電に必要な電力量および充電電力の制限である。高い速度で走れば、走行時間は短くできる。しかし、2章で述べたように、高い速度で走るほど走行抵抗が大きくなり、大量の電力を消費することになるため、充電しなければならない電力量が増え、充電時間が伸びてしまう。つまり、走行時間と充電時間はトレードオフの関係にある。また、走行用電力が増えると、電池内部を流れる電流が増え、内部抵抗により電池が発熱する。高温のまま大電力で充電すると電池が劣化するため、充電電力を制限する制御が働き、充電に時間がかかってしまう。これを解消するため電池を冷却すれば、冷却用の機器を駆動するための電力が必要になるため、その電力消費分、充電時間が伸びる。電池の温調自体にもトレードオフが発生する。以上のように、目的地到着までの時間を最短化するためには、複雑に絡み合った運動エネルギー・電気エネルギー・熱エネルギーをトータルコーディネートする必要がある。先に紹介したアーキテクチャは、具体的には上記のようなエネルギードメインを跨いで実現するアプリケーションを適用しやすくするためのものである。

## 5. 結論

本稿で、カーボンニュートラルに向け、自動車部門における省エネルギー技術を紹介した。また、加速していくであろう電気自動車の省エネルギーアプリケーション開発を支える基盤技術として、エネルギーマネジメント制御のアーキテクチャについて述べた。今後は、省エネルギーアプリケーションの開発及び、その適用を通じて、エネルギーマネジメント制御のアーキテクチャの有用性の実車検証を進めていく。

## 参考文献

- 1) 経産省, “2050年カーボンニュートラルを見据えた2030年に向けたエネルギー政策の在り方”
- 2) 経産省, “2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (資料2)”
- 3) D. I. Robertson and R. D. Bretherton, “Optimizing networks of traffic signals in real time-the SCOOT method,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 40, no. 1, pp. 11–15, 1991.
- 4) P. Lowrie, “SCATS: A traffic responsive method of controlling urban traffic control,” Roads and Traffic Authority, 1992.
- 5) P. Mirchandani and L. Head, “A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms, and analysis,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 9, no. 6, pp. 415–432, 2001.
- 6) Md Abdus Samad Kamal, Tomohisa Hayakawa, and Jun-ichi Imura, “Development and Evaluation of an Adaptive Traffic Signal Control Scheme Under a Mixed-Automated Traffic Scenario,” IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 21, NO. 2, pp.590-602, Feb. 2020.
- 7) F. Flehmig, A. Sardari, U. Fischer, and A. Wagner, “Energy optimal adaptive cruise control during following of other vehicles,” In Proceedings 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Seoul, Jun. 2015, pp. 724-729.
- 8) M.A.S. Kamal, S. Taguchi, and T. Yoshimura, “Efficient vehicle driving on multi-lane roads using model predictive control under a connected vehicle environment,” In Proceedings 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Seoul, Jun. 2015, pp. 736-741.
- 9) Y. Itoh, H. Nanjo, M. Higashitani, D. Hirano, and K. Takenaka, “Real-Time Operational Driving Energy Management with Stochastic Vehicles Behavior Prediction,” In Proceedings 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Las Vegas, Oct. 2020, pp. 2140-2145.
- 10) Y. Jia, R. Jibrin, and D. Gorges, “Energy-Optimal Adaptive Cruise Control for Electric Vehicles Based on Linear and Nonlinear Model Predictive Control,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 69, no. 12, pp. 14173-14187, Dec. 2020.

## 著者



### 東谷 光晴

ひがしたに みつはる

まちづくりシステム開発部  
車両のエネルギーマネジメント研究開発に  
従事



### 執行 正勝

しぎょう まさかつ

まちづくりシステム開発部  
車両のエネルギーマネジメント研究開発に  
従事



### 池本 宣昭

いけもと のりあき

まちづくりシステム開発部  
車両のエネルギーマネジメント研究開発に  
従事



### 伊東 悠太郎

いとう ゆうたろう

まちづくりシステム開発部  
車両のエネルギーマネジメント研究開発に  
従事