

## 電力および電池を最大限に活用する 効率的な制御のための先端分析・計測技術

Advanced Analytical and Measurement Technologies for Efficient Control System  
to Maximize the Performance of Electric Power and Batteries Usage

### 巖 桂二郎

Keijiro IWAO

太陽光発電など変動が大きい再生可能エネルギーを使いこなすには蓄電装置と組み合わせた高度なバランス制御が求められます。エンジン／バッテリー／モーターを組み合わせたハイブリッド自動車もエネルギー効率向上のための制御技術が必要です。エネルギーをかしこく「つくる」「ためる」「つかう」ためには、電力システム全体を俯瞰し、需要と供給の時間変動を予測しながら、各ユニットすなわちサブシステム間を協調させる必要があります。2019堀場雅夫賞のテーマは、この複雑なシステムを使いこなすための技術に焦点を当てました。募集の背景とともに、精度とシンプルさを両立させた実用的なモデリングなどの受賞技術を総括します。

Advanced control technologies are required to stabilize power supply and demand especially for grid system using renewable energy such as solar power having large fluctuations. Hybrid electric vehicles combining engine / battery / motor also require system control technologies to improve energy efficiency. In order to “generate”, “store” and “utilize” the energy smartly, it is necessary to coordinate the sub-systems overlooking the behavior of entire system and predicting the time fluctuation of power supply and demand. The theme of 2019 Masao Horiba Awards focused on the technologies to manage this complex system. Along with background of theme, this paper summarize the award-winning technologies such as practical model to realize compatible accuracy and simplicity.

### はじめに

2018年4月から経済産業省が進める自動車新時代戦略会議の第2回において、2050年を見据えた長期ゴールとして、“Well-to-Wheel Zero Emission<sup>\*1</sup>”チャレンジが宣言されました。これはCASE<sup>\*2</sup>、MaaS<sup>\*3</sup>など、欧州・米国・中国を中心にした新しいモビリティ産業の覇権争いに、日本も参入する意思表示でもあるようです。この宣言は“世界最高水準の環境性能実現”、“車の使い方のイノベーション”、“世界のエネルギー供給のゼロエミッション化”の3つの柱で構成されており、低炭素・分散・強靱な自動車・エネルギー融合社会の実現、グローバルな環境改善と成長の好循環を目標に掲げています。

\*1：「油田から車輪まで排出ガスを出さない」の意

\*2：CASE：Connected(コネクテッド)、Autonomous(自動運転)、Shared & Services(シェアリング)、Electrification(電動化)の頭文字を取った、次世代自動車技術の総称

\*3：MaaS：Mobility as a Service、新しい移動の概念、自動車などの移動手段を必要とときだけ料金を払ってサービスとして利用する

HORIBAにおいても、この自動車産業の大変革時代を見据え、以下の新事業領域への投資を積極的に実施するとともに、かしこく「つくる」「ためる」「つかう」、エネルギー循環社会の実現に向けた取り組みを強化してきています(Figure 1)。

- 車両開発事業やテストコースを使った車両試験領域へ事業を拡大、さらに自動運転車など次世代モビリティ開発への貢献を目指した英国MIRA社の買収(2015年7月)<sup>[1]</sup>
- 英国HORIBA MIRA社に、先進バッテリー開発を支援する試験評価設備を開設(2018年5月)<sup>[2]</sup>
- 滋賀県大津市の研究開発拠点に、電動化車両用バッテリーや燃料電池などの評価試験室を新たに建設開始(2018年5月)<sup>[3]</sup>
- カリフォルニア大学アーバイン校の、エネルギー分野とモビリティ分野の融合を推進する新研究所の設立を支援する寄付を実施(2018年8月)<sup>[4]</sup>
- 電動化車両用バッテリーや燃料電池のテストベンチの製造販売を行う独国FuelCon AG社を買収(2018年10月)<sup>[5]</sup>

このような背景のもと2019年の堀場雅夫賞では、これから迎える新しい時代のエネルギーとモビリティ産業において必ず必要とされる基盤技術を募集テーマに置きました。本稿では2019堀場雅夫賞テーマ設定の背景および対象技術分野、また応募結果について概説します。

## 2019堀場雅夫賞の募集テーマ

### 【対象テーマ】

電力および電池を最大限に活用する効率的な制御のための先端分析・計測技術

### 【趣意書】

自動車の電動化によるエネルギー効率の飛躍的な向上や、太陽光や風力など再生可能エネルギーによる発電が再び着目されています。背景としてエネルギーセキュリティに加えて、2050年までにCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)排出を大幅削減するための国家や社会の強い意思が感じられます。例えば欧州の燃費規制や中国の新エネルギー車促進などの政策は、各国の取り組みとして自動車の電動化に向けた開発やハイブリッドを含む電動車両の普及を後押ししています。また日本やドイツ政府が進める、再生可能エネルギーを貯蔵するための水素活用など、次世代エネルギー技術の開発も急速に進んでいます。

今、自動車産業は大きく技術の潮目が変わってきています。電動車両の普及により将来全ての自動車にモーターとバッテリーが搭載されることは、新たな企業参入の機会を生みます。またモーターの持つ駆動力の制御性の高さは自動運転との相性もよく、新たな魅力品質の開拓にも貢献します。一方で航続距離を伸ばすために、内燃機関や燃料電池が併用されることで、車両を構成するシステムも大幅に複雑化していきます。その結果、全体のバランスや最適化を進めるため、自動車会社の開発工数を大幅に肥大化させていく課題も顕在化してきました。

# かしこく「つくる」・「ためる」・「つかう」

## エネルギー循環社会にHORIBAの分析・計測技術が貢献

Smart "Generation", "Storage", "Utilization"  
HORIBA's analysis and measurement technology contributes to the energy recycling society

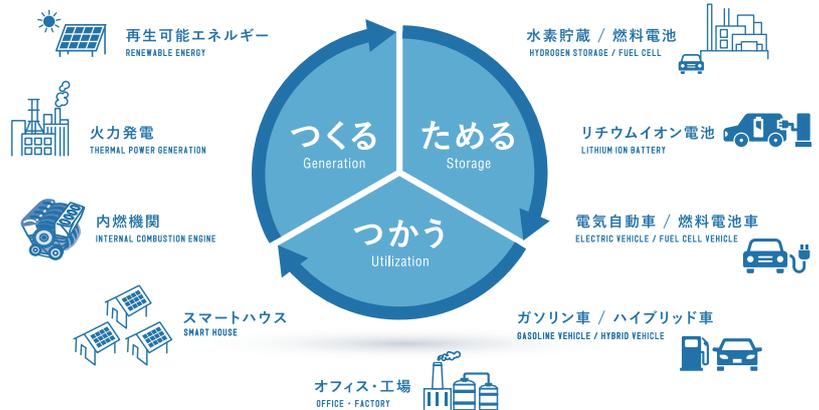


Figure 1 For smart "Generation", "Storage", and "Utilization", HORIBA contributes energy recycling society.

再生可能エネルギーの活用も新たな局面を迎えています。20%以上を再生可能エネルギーが占める九州地域では、エネルギー需給のバランスが崩れ、太陽光発電の出力を遮断せざるを得ない状況が発生しました。また北海道では、地震の影響で、複数の発電所の一箇所が停止しただけで電力系統が不安定になり、連鎖的に全発電所が一斉に停止してしまう事故も発生しました。

このような問題を解決するには、複雑で大規模なシステムの制御が必要になります。そして次の時代を見据えたとき、新しい技術の導入が必要と考えられます。例えば、エンジンを発電機として搭載したシリーズハイブリッド車の開発では、燃費や電費、排気適合、コストの3つの目標要件を、アクセルによる駆動トルクの要求、電池の充放電状態、エンジンの回転数やトルク、また環境温度など多くの設計変数を組み合わせて制御を最適化しなければなりません。この最適化には多くのパラメーターと制御則を組み合わせた実験が必要になっており、効率的な開発も強く求められています。

また再生可能エネルギーの利用でも、天候で大きく変動する太陽光や風力の発電供給に対し、季節単位での気温変化、昼夜の変動、想定外の災害など、変化する需要を予測し、蓄電池や水素エネルギーを活用しつつ、柔軟に応える電力制御の仕組みが益々必要になってきています。加えて自動車の電動化は、自動車そのものが発電や蓄電の役割を果たし、電力制御の一役を担うことも予想されます。

2019年の堀場雅夫賞では、このような背景のもと、次世代のエネルギー、すなわち電力や電池を最大限使い切るための新しい制御の枠組み、またそのための先端分析・計測技術を募集の対象とします。この新しい技術分野の開拓に、意欲的に取り組んでおられる国内外の研究者・技術者の応募を歓迎します。

#### 【対象技術】

(1) **機械、電気、化学と制御を融合させる新しい計測技術**：これからの時代のモビリティやグリッド電源を制御する上で必要となる新しい計測技術に期待します。例えば、電池稼動状態における内部状態を可視化する新しい計測手法や電力需要の予測技術、システム全体を俯瞰的にモニタリングする技術、さらには代表計測点を効果的に探索するための革新的な統計手法にも期待します。

(2) **データサイエンスを活用した新しい制御のための分析技術**：これからの時代のモビリティやグリッド電源のための、物理モデルのみならずデータ駆動による新しいモデリングアプローチやシミュレーション技術に期待します。例えば、インピーダンス法に替わる電池内部状態の精密な推定技術、機械制御と組み合わせ利用が可能な電池充放電時の電気化学反応のモデル化技術、自動車エンジンのIF-THEN場合分け制御における干渉不具合を統計的手法で帰納的に検証する技術、さらには、グリッド電源の電力を安定に、かつ外乱に強く需給バランスを維持する制御技術にも期待します。

また対象技術は共通して産業応用が可能であり、開発工数の低減やエネルギー利用の効率化に資する技術であることを条件にします。

### 2019堀場雅夫賞の応募結果

2019年2月18日から5月10日までの応募受付期間で合計36件(内14件が海外の大学もしくは公的研究機関から)の応募を頂きました。その内、11件が電気自動車を含めた複数のエネルギー貯蔵手段を利用した系統電力(発電・送配電などの

設備全体の電力)の安定制御技術に関するもの、10件が二次電池や燃料電池の電気化学反応の分析・計測技術に関するもの、7件が電池のシステム同定(数学的ツールやアルゴリズム)を含めたモデリング\*4に関するもの、残りの8件は電池の材料開発やモーター・バッテリー・インバーターの独自の制御技術などに関するものでした。

\*4：モデリング：複雑なシステムを簡略化した抽象的なモデル(数式)を作成すること

一方で公募における大きな動機の一つであった、車両システムの複雑化を背景にした自動車産業における開発工数の肥大化を解決する最適設計に関する応募はありませんでした。これは、自動車会社および部品会社の設計ノウハウに関わる領域であり、大学および公的研究機関のテーマとしては扱いづらいためと推察されます。

2019年の堀場雅夫賞は3件、特別賞2件の受賞者となりました。トータル5件の中で、3件は系統電力の安定制御に関するもの、2件がバッテリー制御のためのモデリングに関するものでした。

今年の受賞者全員に共通する視点は、車両システムに組み込まれるバッテリーの充放電特性や電力グリッドの蓄電システムなど、複数のサブシステムから構成される複雑なシステム全体を俯瞰し、解決すべき課題の位置づけと輪郭を明瞭にした上で、解決の方向性を示した点が挙げられます。このためには、演繹的に物理モデルを組み立てる視点と、統計解析やデータサイエンスを用いて帰納的にモデルを検証する視点が求められます(**Figure 2**)。例えば太陽光発電など再生可能エネルギーの利活用には、分単位、日単位、年単位で変動する需要に柔軟に対応するエネルギー貯蔵サブシステムが必要です。このサブシステムに求められる容量や性能などの必要条件のみならず、システム全体のコスト最適化など十分条件も併せて検討するなど、社会実装する上で重要な電力システム全体の必要十分条件について検討されていました。また、システム制御のためのモデリングに関しても、単にモデルの精度を高めるだけではありません。システム全体を俯瞰し代表パラメーターを明確にし、必要十分な範囲でモデル精度とシンプルさをバランスさせるモデル設計手法など、これからの産業応用が大いに期待される技術もありました(**Figure 3**)。

言い換えると「必要以上に無駄な労力はかけない制御モデルの設計手法」、「系統電力に迷惑をかけないためのサブ電力システムの設計指針」など、複雑化したシステムのサブシステム間の関係性を最適化する新しいエンジニアリング領域を開拓した若い研究者が受賞されました。

### おわりに

電動車両の普及や自動運転の実用化、さらにそれらが電力システムにつながることで社会全体のエネルギー効率を高める、そんな時代が目前に近づいてきたと考えます。実現のためには複雑化するシステムを使いこなす技術の開発が不可欠です。2019年の堀場雅夫賞は、この新しい時代を切り拓く、若い研究者をエンカレッジすることを目的に、テーマを「電力および電池を最大限に活用する効率的な制御の

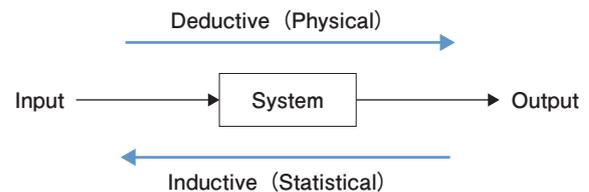


Figure 2 Modeling approach

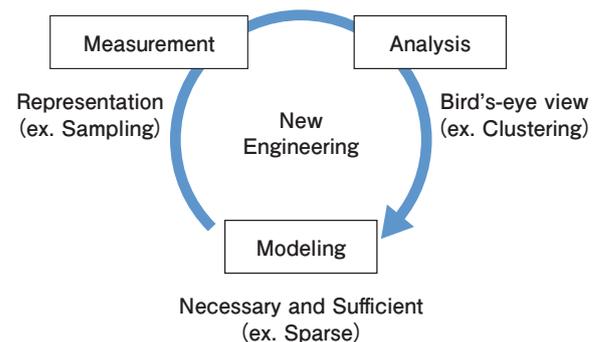


Figure 3 Necessary and sufficient modeling for new engineering

ための先端分析・計測技術」と置きました。多くの研究者から応募頂いたことに感謝致します。応募頂いた研究者の方々に共通する新しい時代の視点は、「鳥の眼」、「虫の眼」、「魚の眼」をあわせて研究することの重要性でした。見えないものを見えるようにする従来からある研究視点「虫の眼」のみならず、その研究が全体システムの中でどのような位置関係にあるか冷静に見極める「鳥の眼」、さらにシステム全体のダイナミクスつまり時間変化を見極める「魚の眼」、3つの視点の重要性に改めて気づくことができました(Figure 4)。これからの時代を担う若い研究者の益々の活躍に期待致します。

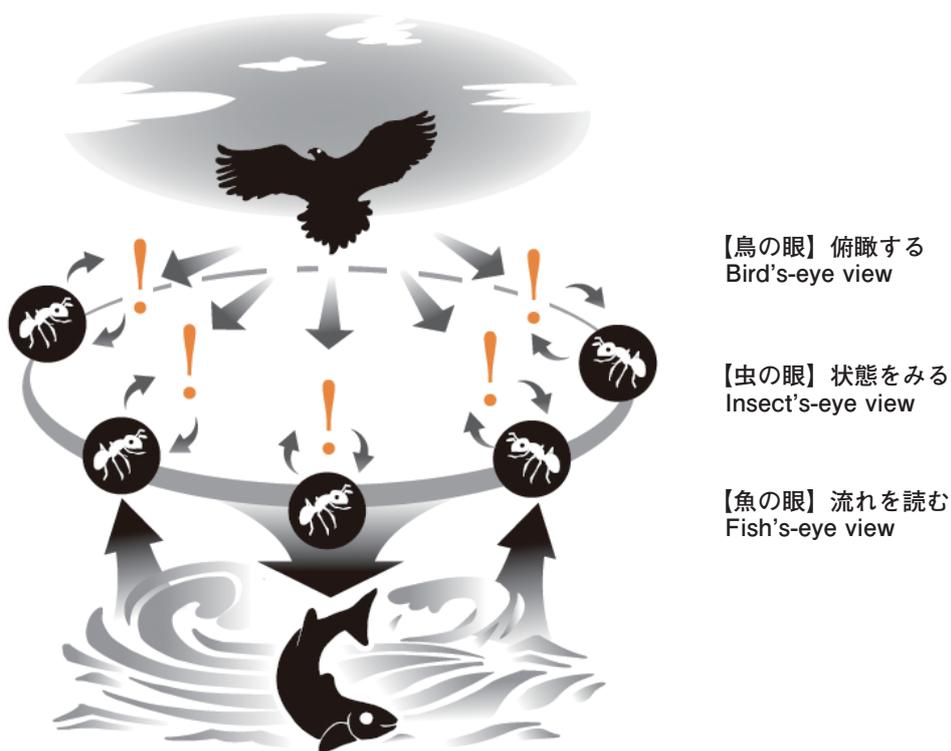


Figure 4 Three points of view for new engineering

\*本内容は特段の記載がない限り、本誌発行年時点での自社調査に基づいて記載しています。

#### 参考文献

- [1] <http://www.horiba.com/jp/corporate-news/news/article/mira-ltd-39541/>
- [2] <https://www.horiba-mira.com/facilities/advanced-battery-development-suite-abds/>
- [3] <http://www.horiba.com/jp/corporate-news/news/article/54291/>
- [4] <http://www.horiba.com/jp/corporate-news/news/article/54933/>
- [5] <http://www.horiba.com/jp/corporate-news/news/article/fuelcon-ag-55977/>



#### 巖 桂二郎

Keijiro IWAO

株式会社 堀場製作所  
自動車グローバル戦略室 電動化ビジネスオーナー  
博士(工学)  
Business Owner  
Automotive Global Business Strategy Office  
HORIBA, Ltd.  
Ph.D.

