発 行 所 日本機械学会 計算力学部門
お問合せ 03-3560-3501

ISSN 1340-6582

日本機械学会 計算力学部門

CMD Newsletter

COMPUTATIONAL MECHANICS

計算力学部門ニュースレター No. 60 December, 2018

目次

・特集「IoT，AI 時代の機械･システム･サービスを考える」

•コネクテド・プロダクツとスマート・サービスの開発を支える拡張CAE
……ダイキン情報システム（株）… 平野　徹　2

•データ駆動型異常検知技術による公共インフラの診断支援……産業技術総合研究所…… 村川正宏　7

•車両CANネットワークの再構築による前後・横運動の協調制御……マツダ株式会社…… 梅津大輔　11

・部門からのお知らせ

•第31回計算力学講演会(CMD2018)開催報告…… 徳島大学……大石篤哉　13

•2018年度年次大会の開催報告…… 関西大学……齋藤 賢一　16

※目次の表題をクリックすると、本文が表示されます。

特集「IoT，AI時代の機械･システム･サービスを考える」

コネクテド・プロダクツとスマート・サービスの開発を支える拡張CAE

平野　徹
ダイキン情報システム（株）、CAE懇話会

はじめに

筆者は、9月10日に関西大学にて開催された機械学会2018年度年次大会にて、『ＩｏＴ、ＡＩ時代の機械・システム・サービスを考える』と題した先端技術フォーラムを開催した。本フォーラムの主旨は、急速に進展するＩｏＴ、ＡＩ時代において、日本の製造業が自社の製品やシステムにＩｏＴやＡＩ技術を取り込み、新たなスマート・サービスを生み出すことによって、モノづくりからコトづくりへ、或いはハード主体からソフト主体へ事業転換するための拡張ＣＡＥ環境を議論することを目的としている。

そのために、自動車のソフトウエア制御による高度な操作性を実現した例や、公共インフラの劣化診断に「正常」データを学習することで異常検知するＡＩ技術の紹介、さらに現在世界的に普及しつつあるライドシェアのビジネスの状況を紹介頂くべく、下記の4件の講演とパネル・ディスカッションを予定したが、残念ながら最後の安永氏の講演は直前にキャンセルされた。

（１）コネクテド・プロダクツとスマート・サービスの開発を支える拡張ＣＡＥ　　平野　徹（ダイキン情報）
（２）SKYACTIV-Vehicle Dynamics：車両ＣＡＮネットワークの再構築による前後・横運動の協調制御　～クルマは何を自動化すべきか？　梅津　大輔（マツダ）
（３）データ駆動型異常検知技術による公共インフラ・診断支援サービス　　村川正宏（産総研）
（４）Uberが考えるSmart Mobility：Mobility as a Service　　安永修章（元Uber Japan）
（５）パネル・セッション：ＩｏＴ、ＡＩ時代の機械・システム・サービスの近未来を考える

本稿では、フォーラムの主旨を含めて筆者の講演の概要を述べ、さらにパネルでの各講演者の論点を要約し、最後に最近の状況の進展を鑑みた近未来の姿を論じたい。本特集では、さらに本フォーラムに参加頂いたマツダ・梅津氏、産総研・村川氏の講演に関して各氏の寄稿を頂いているので、そちらも参照頂きたい。

１．ＣＰＳを前提としたものづくりとＣＡＥの再定義

ＩｏＴの進展と共に膨大な数の機器・システムがネットワークによってクラウド・プラットフォームに接続され、機器からの運転データなどが時々刻々集約され、クラウド上の機器・システムのモデル（Digital Twin）による仮想運転データと比較して機器・システムの性能や寿命の予測を行い、さらに多数の機器群の運転データ等を総合的に学習し、予測機能や運転制御の全体最適化、効率向上を実現してゆく時代となる。筆者は、このようなＩｏＴの基本アーキテクチャであるＣＰＳ (Cyber Physical System)を前提とした、ものづくりとＣＡＥの再定義を提案してきた[1]。

本稿ではＣＰＳにつながる機器をコネクテッド・プロダクツと定義し、さらにＣＰＳによって接続された機器・システムによって実現するスマート・サービスの開発を含めた環境を拡張ＣＡＥとして再定義する。さらに、ＡＩをＣＰＳ上に取り込むために、機器エッジ側の知能化とクラウド・プラットフォーム側の知能化の役割分担を明確にする。その結果、コネクテッド・プロダクツとスマート・サービスの開発は、従来の製品単体での機能設計・構造設計に加えて、ＣＰＳとしての知能化設計とネット化設計とが必要であり、さらにその開発プロセスではそれぞれ検証システムが新たに必要となる。これは、近年自動車等の設計において広く適用されつつあるMBD（Model Based Development）に知能化設計やネット化設計のコンポーネントを組み合わせることで実現可能であり、さらにMBD開発が終了した時点でクラウド側のDigital Twin性能モデルとして適用できることになる[2]。

さらに、生産移行時に生産ラインのモデル構築とそれを用いたラインの最適設計を行うことで生産工程を設計し、ライン完成後はこれをクラウド上のDigital Twin生産モデルとして利用することで、新たなグローバル製造業のＣＰＳアーキテクチャが実現される。これは、図１に示すように製品開発から生産立ち上げに至るＥＣＭ（Engineering Chain Management）と、部品調達から生産、製品物流に至るＳＣＭ（Supply Chain Management）に加え、ＩｏＴにより得られるデータ収集と解析、及びスマート・サービスの提供管理（Big Data Analytics & Smart Service Management）機能により構成される[3]。

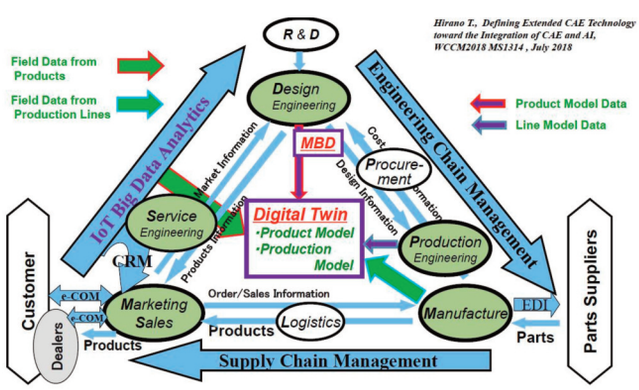

図１．製品と生産のDigital Twinを持つグローバル製造業[3]

2．機器エッジ側の知能化とプラットフォーム側の知能化

ＩｏＴ、ＡＩ時代の機器（コネクテッド・プロダクツ）とクラウド・プラットフォームは、それぞれの知能化の役割が異なる。機器エッジ側ではすべての学習を行うほどのＣＰＵパワーを持たないため、図２に示すように基本的にはプラットフォーム側で統合的学習を行う[4]。さらに、後述する「人」の限定合理性を含んだ仮想社会上の経済制度設計を考慮したビジネスモデルを用いて、全体最適化制御をプラットフォーム上にて行う必要がある。

一方、機器エッジ側では学習済のＮＮ重み係数値をローカルコントローラーにダウンロードして推論機能を実行することになる。さらに、それぞれの機器が対象とするユーザー群に局所最適化するために一部のパラメータのみを用いた学習や、SVMなどを用いた分別器のみを学習させる転移学習を行う[2]。そのために、図３に示すように通常のアルゴリズム制御を実行するＣＰＵに加えて、ＧＰＵやＭＬ用のチップセットを組み合わせて、組み込みハードウエアを設計することになる[5、6]。

プラットフォーム上のDigital Twinモデルによる計算では計算誤差の蓄積を避けるために倍精度浮動小数点演算（F64）を用いるが、機械学習においては単精度或いは半精度浮動小数点演算（F16）を用いることになる。さらに、学習済のNN重み係数値を用いた推論実行の場合は、各層において図４右に示すような重み係数の積和演算（内積）を同時に実行する必要があるが、プラットフォーム上でも機器エッジ側でも8bit整数演算（I8）を用いることで、演算速度と消費電力を極小化できることになる[7]。

3．ＣＰＳプロセスにおける不確かさの定量的評価（Uncertainty Quantification）とベイズ推論

ＩｏＴの世界では、図５に示すようにあらゆるデバイスから連続的にデータが生成され、クラウド・プラットフォームへ定期的に転送されるデータ・ストリーミングが実行される。一方、クラウド側で収集・蓄積されたデータに対し、適宜、様々な統計処理や可視化処理が施される（イベント・プロセッシング）。これは、気象予測や台風進路予測などで行われる逐次処理と同様のＣＰＳプロセスであるが、特に自然現象の仮想世界における数理モデルは、必ずしもその複雑度に見合う精度を持つものではない。さらに、時間発展形式の逐次計算を進める場合、初期条件や境界条件の不確かさやずれが、結果の予測に大きく影響を及ぼす。

この問題を解決するために、観測データとシミュレーションを統合する情報処理としてデータ同化が発展してきている[8]。データ同化では、ベイズの定理に立脚してパラメータを確率変数として取り扱い、既存の知識や経験はその確率変数の事前分布として定義する。これにより莫大な未知数の値を安定して（オーバーフィットを合理的に回避しつつ）推定することが可能となる[8]。

図５に示すようにＩｏＴのデータプロセッシングとデータ同化のＣＰＳアーキテクチャを対比することで、ＩｏＴにおける計測データやプラットフォーム上のDigital Twinモデルの不確かさの定量的評価（ＵＱ：Uncertainty Quantification）を通して、ＩｏＴのＣＰＳプロセスにおいてもベイズ推論の適用が可能と考える。

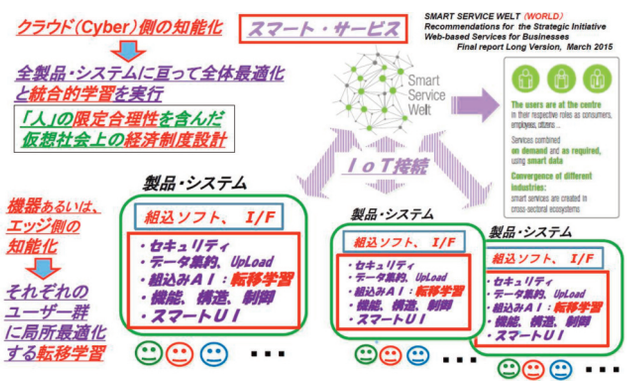

図２．ＩｏＴ、ＡＩ時代の機械・システム・サービスの知能化

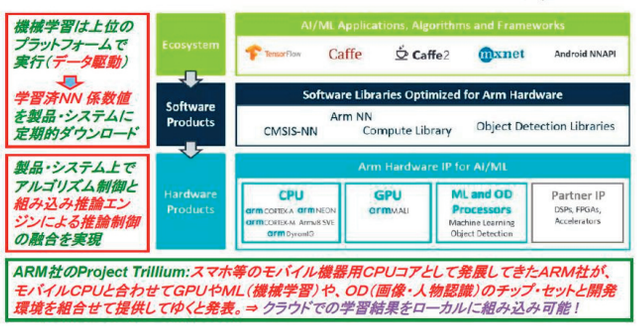

図３．学習済ＮＮのローカルコントローラーへの組み込み

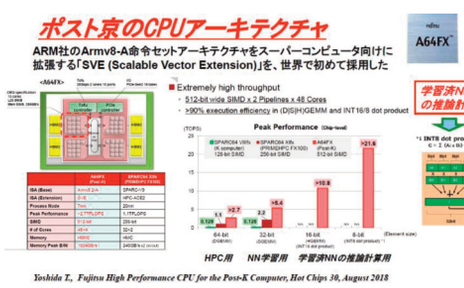

図４．新しいハードウエアによる計算力学とＡＩ処理の融合[7]

図５．ＩｏＴのデータプロセッシングとデータ同化[5]

4．スマート・サービスの概念と、モデル化

1）ＩｏＴとはＩｏＨである

スマート・サービスとは、単独の機械・システムが実現していた運用サービスのレベルを、ＩｏＴ接続されることでより総合的に効率化、高性能化、快適性向上などを実現するものである。即ち、ＩｏＴとは実際のサービスを受ける人・社

会を繋げる仕組みであり、ＩｏＨ（Internet of Human）或いはＩｏＳ（Internet of Society）ともいうべきものである。

その際に図６に示すように人と機械の相互作用を、製品の機能や属性が人間の五感に作用し結果として感情（emotion）を惹き起こすインターフェイスとしてモデル化[9]し、そのサービスが対象とする人・社会の受容・反応をモデル化する必要がある。さらに、同様なシステム群や社会システム等のサービスレベルを比較・評価することで、サービス内容の改善につなげることも可能となる。

今までのシステム・サービスの最適化では対象の評価基準等は変化しなかったが、実際の人や社会の嗜好や反応は個人差が大きく不確実性（行動経済学で言う限定合理性やバイアス）[10、11]を示すが、これを含めてモデル化することを考える必要がある。

２）「人・社会」と「システム・サービス」の関係をモデル化

これまでの計算科学における最適化は、古典経済学で言うところのホモエコノミカスと呼ぶ、感情を持たない、利己的で、頭の良い、超個人的人間を前提としたものであった。しかし、現実の人間（ヒューマン）は、感情に動かされ、他人を意識し、たびたび間違いを犯す「限定合理的」な人であり、そのことを考慮した新しい経済学としての行動経済学[10、11]に立脚してスマート・サービスを考える必要がある。過去に検討された人・社会システムのモデリングに関する３つの視点（個人、集団、社会）と、そのモデリング・シミュレーションのロードマップを図７に示す[12]。

特に、社会システムの制度設計とその効果の評価には、実験経済学[11]による検証が必要となるだろう。

３）スマート・サービスのアーキテクチャ分類

ＣＰＳによって実現されるスマート・サービスは、大きく４つのタイプに分けられる。

（１）プラットフォーム・アプリ型

例えば、PCやスマートフォン上のアプリとして提供されるサービスとして、ネット販売サービスがあげられる。Amazonは基本的にはネット販売サービスから始まり、事業拡大に合わせクラウド・プラットフォームの拡大を積極的に行い、今やITベンダーを超えるクラウド・サーバー事業者（Infrastructure as a Service）となっている。同様に、PCの検索エンジン・サービスとしてスタートしたGoogleは自社の検索エンジンを含む組込み用基本ソフト（Android）をオープン化することで、スマートフォンを自ら開発・製造することなくAppleに対抗するスマートフォンへの検索サービスを拡大（Software as a Service）することができ、日々膨大なアクセスを蓄積・分析することでアクセスした個人の特性に応じた情報表示の順位を制御し、デジタル・マーケティングの先鞭をつけた。

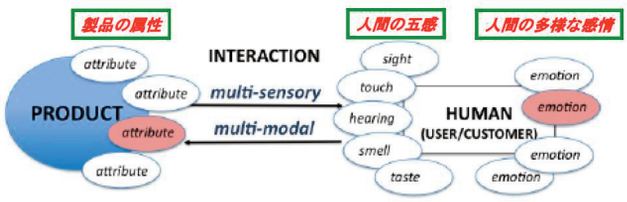

図６．ユーザーエクスペリエンスの相互作用モデル[9]

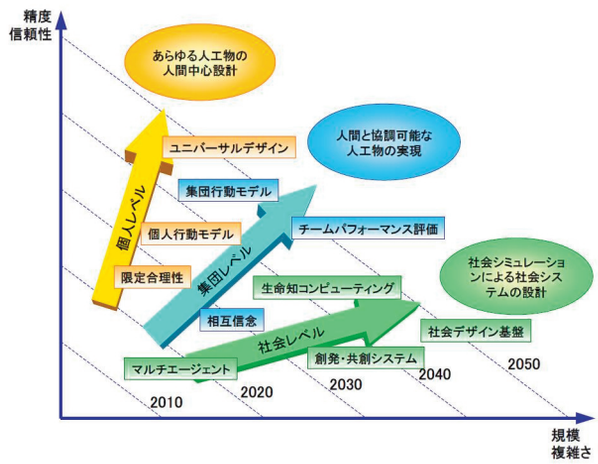

図７．人・社会システムのモデリング・シミュレーション[12]

図８．Uber社の世界と日本におけるサービス展開状況[13]

一方このタイプのアプリとして、新しいビジネス形態を提供するシェアリング・サービスが急拡大している。例えば、民泊サービスのAirbnbや、ライドシェアのUberなどがあげられる。このタイプでは、サービス提供者は直接ハードウエアを持たず、利用者とサービスを実際に提供する登録された個人（Airbnbでは宿泊場所提供者、Uberでは車のドライバー）をこのアプリでつなぐことで、サービスが提供される。従って、サービス提供の事業拡大が容易であり、世界的に急激に立ち上がりつつある。

例えば、2010年に米国サンフランシスコでライドシェア・サービスを開始したUberのグローバル市場と日本におけるサービス提供の現状を図８に示す。米欧を中心に世界

65ヶ国600以上の都市でライドシェア・サービスが提供され、月間利用者は7500万人以上でアクティブ登録ドライバーは300万人いるとのこと。翻って日本では、法規制のために都市部ではタクシー会社との契約となり、本来のライドシェア・サービスは過疎地域での展開のみとなり、世界の動向と大きく異なることがわかる。

（２）垂直統合型

例えば、スマートフォン（iPhone）の設計・(委託)生産・販売とそのうえで提供するスマート・サービスも自社提供するAppleや、自社製ジェット・エンジンや医療画像装置(MRI)を製造販売すると同時に自社プラットフォームPREDIXで遠隔監視保守から、それらのアセットをより効率的に運用するサービスまでを提供するGE社等があげられる。ただし、図9に示すようにPREDIXは他社の機器やシステムとも接続し、プラットフォーム・アプリとしての事業形態も持つ[14]。

（３）スマート・コネクテッド・デバイス型

例えば、Tesla社EVのように、定期的にソフトウエアのアップデートを行うことで、機能的向上（例えば、自動運転レベルのアップグレード等）を実施する。あるいは、スマートフォンと無線接続しGoogle検索を利用してカーナビの行先地図情報を取得したり、AmazonのAlexaをインターフェイスとして採用することでスマート化するなどが、現時点での世界の自動車業界におけるコネクテッドカー・サービスであると言える。

（４）複数プラットフォーム連携型サービス

今後、世界の自動車業界では本格的自動運転サービスの実現も含めて、ライドシェア等のプラットフォーム・アプリと連携することで新しいモビリティ・サービス（Mobility as a Service）への対応を実現してゆくことになるだろう。その意味で象徴的な事として、世界のライドシェア大手（米欧：Uber、アジア：Grab、中国：Didi、インド：OLA）に出資しているソフトバンクとトヨタが、新しいモビリティ・サービスに向けて戦略的提携に合意したことがあげられる（図10）。

5. ＩｏＴ、ＡＩ時代の機械・システム・サービスの近未来

本フォーラムでは、他に自動車の操縦性をエンジン制御モデルと車体制御モデルを高速に通信制御することで、運転者や同乗者にとって快適な操縦性を組み込みソフトで実現した例が紹介された。また、今後老朽化が大規模に進展する社会・公共的人工物の劣化状態を、「正常」データを学習することで異常検知するＡＩ技術を用いて実用的に判定するスマート・サービスが提案された。あわせて、これらの講演者とのパネル・ディスカッションによって、ＩｏＴ、ＡＩ時代の機械・システム・サービスの近未来像をディスカッションした。

筆者が最近体験したこととして、Uberのライドシェアが米国のニューヨークやサンフランシスコで現実として普及していること、特に乗車ニーズが高まる状況（雨の日や渋滞時）では料金がアップする変動料金制であることや、支払いが電子決済であることも利用を加速していると思われる。

また、今後の自動運転に向けての議論では、車に乗っている人が自動運転時の運転状態をどのように安心・安全と感じるのかという問題設定に対し、第２講演者の梅津氏から工学

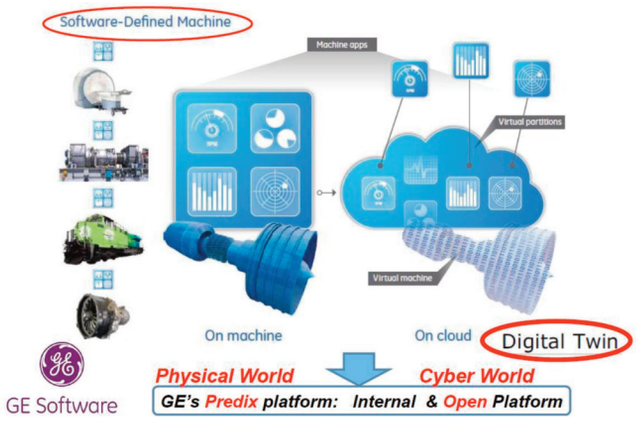

図９．GE社のCPSであるPREDIXプラットフォーム[14]

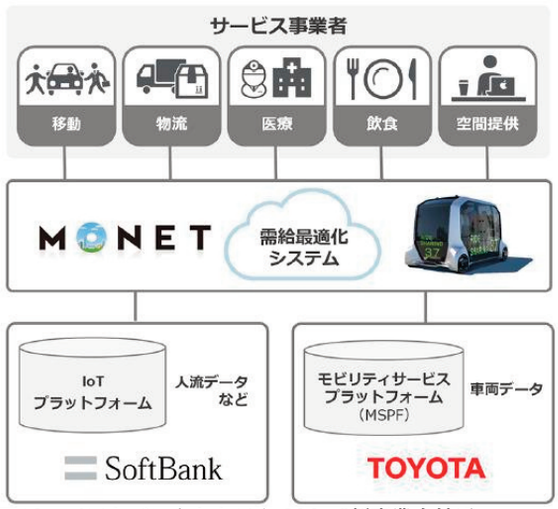

図10．ソフトバンクとトヨタのMaaS新事業会社[15]

図11．Society5.0による人間中心の社会の実現[16]

的に自動運転を実現しようとしたとき、目標モデルとしてどんな運転、運動が人にとって良いのかを決める必要があるとの意見が出された。

さらに、昨今の災害が多発する状況に対し、老朽化した道路やトンネル、橋等の公共インフラのリニューアルが喫緊の課題であるが、多数のインフラ施設に対する緊急度の優先順位付けが必要ではとの問題設定に対し、第３講演者の村川氏より『データ駆動型異常検知は比較的容易に適用ができるAI

の活用であるが、さらに人間と協調できるAIが必要』との意見が出された。

５．日本が目指すべきSociety5.0とは？

人口減少などの課題先進国である日本が、経済発展と社会的課題の解決を両立するための施策としてSociety5.0を策定した。これは図１１に示すように、サイバー空間とフィジカル（現実）空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立させる人間中心の社会を目指すものである[16]。

従って、スマート・サービスの制度設計やコネクテッド・プロダクツとプラットフォームで構成されるＣＰＳの開発環境として、既報で述べた如く設計科学、計算科学と情報科学の融合[2]に加えて、前述した行動経済学の限定合理性や利他性[11]等に基づく人・社会のモデリング・シミュレーション技術を統合した「計算情報科学基盤」の整備が是非とも必要となる。

この基盤構築を通して、ＣＰＳをベースとした人間中心の新しいスマート・サービスの設計と開発を進めることが、今後の日本の強みとなるものと信ずる。

文　献

(1) 平野、Industry4.0、IoT時代のものづくりとCAEの再定義、日本機械学会2017年度年次大会 先端技術フォーラム F011001 (2017).
(2) 平野、IoT、AI時代の製品開発と拡張CAE、機械学会第30回計算力学講演会(CMD2017)、フォーラム01、F01-1 (2017).
(3) T. Hirano, Defining Extended CAE Technology toward the Integration of CAE and AI, July 2018, WCCM2018 MS1314.
(4) 平野、コネクテッド・プロダクツとスマート・サービスの開発を支える拡張ＣＡＥ、日本機械学会2018年度 年次大会 先端技術フォーラム　F012001 (2018).
(5) 平野、計算力学とAIの融合へ向けて：ＣＰＳを前提とした計算情報科学基盤、機械学会第31回計算力学講演会(CMD2018)、フォーラム02、F02-1 (2018).
(6)https://community.arm.com/processors/b/blog/posts/ai-project-trillium
(7) Yoshida T., Fujitsu High Performance CPU for the Post-K Computer, Hot Chips 30, August 2018.
(8) 樋口、統計数理の誕生とその広がり、根幹、第８巻第1号、2014-4、pp.14-21.
(9) Bordegoni M., User-Product Experience and Emotion, Proc. of CHItaly 2013 Doctoral Consortium, Trento (Italy), September 16th 2013.
(10) 筒井、「セイラーの行動経済学、異端の学問が大活躍」、東洋経済オンライン、2017年10月16日
(11) 依田、『「ココロ」の経済学』、ちくま新書(2016).
(12) 経産省・アカデミックロードマップ第4章「社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野」2010.
(13) Uber Japan社提供資料より抜粋。
(14) N. Chauhan, Modernizing Machine-to-Machine Interactions : A Platform for Igniting the Next Industrial Revolution, GE Software, 2013.
(15) ソフトバンクとトヨタの共同プレス発表、2018年10月4日
(16) 内閣府資料・Sciety5.0とは、平成29年6月9日

データ駆動型異常検知技術による公共インフラの診断支援

村川　正宏
産業技術総合研究所　人工知能研究センター

異常検知　Anomaly detection　機械学習　Machine learning

1．はじめに

近年のセンサ技術、通信技術の進歩により、IoT(Internet of Things)とよばれるように、実世界の膨大なセンサデータが容易に取得できるようになってきた。例えば、監視カメラは比較的安価に設置できるようになり、多数のカメラがネットワーク接続され、時々刻々と映像が蓄積されている。またマイクはさらに安価であり、さまざまな機器に組み込み周囲の音響データを取得可能である。さらに、種々のセンサ類もスマートフォン等と組み合わせることで容易にデータを蓄積可能である。

これらのセンサデータは、クラウドサーバ上に蓄積されるのが一般的となっており遠隔地からもチェックすることができるが、すでに人手で確認するには不可能な量となっている。折角データを取得したものの、死蔵されている例も多く聞く。そこでこれらのデータに対して人工知能技術を使って異常を検知することができれば実用的な有用性は高い。取得したセンサデータにおいて何かおかしなことがおきている兆候を自動的に検知することで、人に気づきを与えることができる。その後は、監視員やユーザがその特定されたセンサに対して注意深く経過を観察したり、異常の原因を調査するフェーズに移行すればよい。

2．データ駆動型異常検知システム

異常検知を人工知能で行う場合には、大きく分けて２種類のやり方がある。ひとつは、正常と異常を区別するための判定基準を、専門家の知識に基づき、判定規則として人間が記述する方式である。基本的には、人間が読める形でのIF-THENルールで記述することが多く、これらを大量にためて3段論法のように推論をすることで異常を判定する。いわゆるエキスパートシステムと呼ばれるシステムであるが、これまでの研究の歴史から人間が明示的に列挙できるルールには限りがあって、この知識獲得のボトルネックが実用に供するための課題とされている。

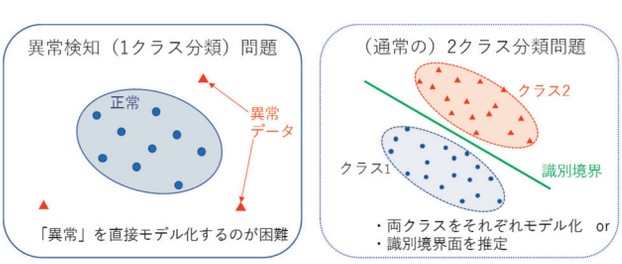

図１　異常検知問題の難しさ

もうひとつのやり方として、データから異常を区別するための判定基準を自動的に獲得する方式がある（以下ではデータ駆動型異常検知とよぶ）。すでに述べたように、膨大なセンサデータが容易に取得できるようになってきたので、これを機械学習技術により解析することで、知識獲得のボトルネックを乗り越えようとする方法である。機械学習にはさまざまな手法があるが[1]、一般には教師あり学習と呼ばれる、人間が与えた教師データ（正解ラベル付きデータ）を基にその統計的性質から判別器等の学習を行う。しかし異常検知という問題領域で特に考慮すべきは、得られる教師データの量である。つまり、異常な事例は稀にしか起こらないので、「異常」のラベル付きの教師データはなかなか集まらない（図１）。よって、センサデータからなにが異常であるかを機械学習しようにも、教師データが集まるまでなにもできないことになる。

この問題を回避するために、教師なし学習と呼ばれる学習手法を用いる。この手法では、人間が正解ラベルを与えることなく、得られたデータのすべてもしくは大部分が正常であるとの仮定のもと、機械学習を行う。正常な事例は、センサを設置した場所で大量に得ることができるので、その統計的な性質から「正常」がなにであるかを機械学習すればよい。学習した正常パターンからの逸脱として異常が検出できる。

産業技術総合研究所（産総研）人工知能研究センターにおいては、この「正常」を学習する枠組みに基づき、静止画、動画像、音響データなどに適用可能な汎用的な異常検知システムの研究開発を行っている。以下では、このシステムのインフラ診断への応用事例として、打音解析によるコンクリート構造物の損傷検知と振動データからの風力発電の故障予兆検知を紹介する。

3．打音解析によるコンクリート構造物の損傷検知

近年、社会インフラの老朽化が進み、第三者被害を防止する観点での維持管理方式が重要視されるようになった。そうした中で、国交省により橋梁等の総点検が打ち出され、2020年にかけてインフラの点検需要は急増する。しかしながら、熟練点検員の数は高齢化と労働人口の減少に伴いむしろ減少する傾向にあり、点検員の確保が難しいケースも見られるようになっている。この課題に対して我々は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」で、学習型打音解析技術の研究開発を行い（2014～2017年度）、点検員の技術に左右されず正確に

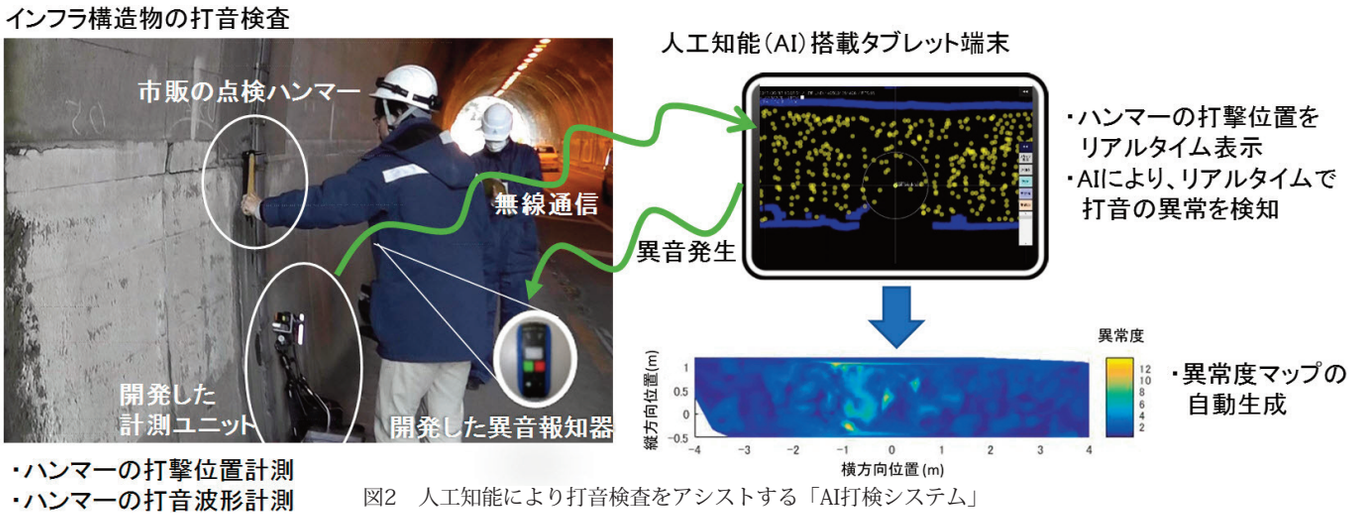

図2　人工知能により打音検査をアシストする「AI打検システム」

損傷の検出が可能な打音検査技術の開発を目指した。

具体的には、点検ハンマによる打音の違いを機械学習し、構造物の異常箇所と異常の度合いを自動検知する「ＡＩ打検システム」[2]を開発した（図２）。検知結果を点検員にリアルタイムで提示し、レーザー光による測域センサで人手によるハンマの打撃位置を簡便に取得し、打音解析結果と統合することで異常度マップを自動的に作成できる。実証試験では、人力による詳細な叩き点検を実施し内部欠陥（浮き）が確認された７つの実橋等に対して、開発したシステムによる点検を実施し、その結果の比較を行った。大まかなブロック単位ですべての場所で欠陥の見落としが無く、また打音１音ごとの正答率は、最高で93.2%、平均で84.0%という良好な結果を得た。

４．振動データからの風力発電の故障予兆検知

世界的に再生可能エネルギーの普及が進む中、国内でも「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）」が開始され、風力発電の導入拡大が期待されている。一方で、風車は内部の構成要素が多岐にわたり、専門的な知識と訓練が必要でメンテナンス作業が繁雑な点、故障要因のトラブルシューティングに多大な人的時間的労力が必要とされるなど、風車運用に関する課題も多い。特に今後は洋上風力の導入拡大が見込まれることもあり、遠隔での風車の状態監視システム（CMS: Condition Monitoring System）に対する必要性が高まっている。

我々は、NEDO事業「スマートメンテナンス技術研究開発（分析）」において、機械学習に基づくCMSの高度化を実施した（2013～2017年度）。国内の複数の事業者にご協力いただき、全国27サイト、43基の風車にCMSを設置させていただき、そこで収集された振動データから異常検知を行った。技術的なポイントとしては、風車においては、正常稼働状態であっても風速などの運転条件によってデータが動的に変化するため、正常状態を単一のモデルで学習すると精度が低下する。そこで、複数の正常状態をクラスタリングした上で教師なし学習でそれぞれモデル化した。

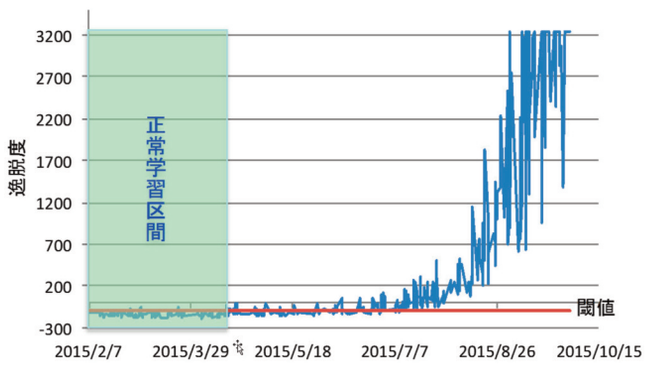

図３　発電機入力部での異常検知結果の例

開発したシステムによる発電機入力部（2013回転/分）に対する異常検知結果例を図３に示す。2015年7月10日付近で逸脱度が正常状態モデル学習時の閾値を継続して超える結果を示しており、本システムにおける異常検知の起点とみなすことができる。実際に7月10日以降の振動データの精密エンベロープ解析によれば、軸受損傷周波数にピークが確認されており、本システムにおける異常検知の逸脱度としても損傷状態を検出できたといえる。実際の現場メンテナンスにおいても8月～9月にかけて異常の兆候が確認され、その後実際に軸受が交換されていることから、早期の異常予兆検知に成功したといえる。また、主軸受（約20回転/分）を対象とした異常検知にも成功している[3]。最終的にCMSを設置した43基の風車において、交換意思決定の1～3ヶ月前での異常予兆検知を実現し、９割以上の異常検知率を達成した。これにより、計画的な部品調達や機材手配が可能となり、故障による風車のダウンタイムを削減し設備利用率向上を実現できる。

５．今後日本で取り組むべきAIの基盤技術

以上、産総研人工知能研究センターでのデータ駆動型異常検知システムの研究開発事例について紹介した。今回のフォーラムのテーマである「今後のIoT,AI時代の機械・システム・サービスを考える」ときに、日本としてどのような領域を強化すべきか、それにはどのようなAI基盤技術の研究を進

めればよいのか、最後に私見を述べたい。これについては、産総研人工知能研究センター内で議論し提言を行っている[4]ので、以下ではそれに基づきまとめる。

これまで、第三次ブームの人工知能技術は、インターネット上のサービスでビッグデータを収集し、機械学習、深層学習等を用いて学習してサービスを向上させるネット企業がけん引してきた。しかし、今後AI の利活用分野が、IoTやロボット等を用いた実世界のサービスへと拡がる中、現場のデータ・知識に関して日本が強い分野で必要とされる人工知能基盤技術に取り組むべきではないかと考えている。日本には、中国のような巨大なマーケットとそれに伴うインターネット上でのデータ収集量はない。しかしながら日本には、医療・介護・交通などのすぐれた社会システム、先端的な技術を持った製造業など、国際的にも競争力のある業界がある。このような業界では、インターネット上の膨大な数のユーザから低コストにデータを収集しその傾向を解析するようなアプローチはとることができない。個々の生産現場や、個々人の病態等に応じて良質なデータを丁寧に収集する必要がある。日本には、良質なデータを収集できる現場と、それを解釈することができる。

熟練者等の専門家集団が多くおり、ネット型のAIとは違った技術を発展させ、他の社会に先行し分野をリードできるポテンシャルがある（図４）。

この「日本型AI」を発展させるために必要となるAIの基盤技術として、産総研人工知能研究センターでは「人間と協調できるAI」「実世界で信頼できるAI」「容易に構築できるAI」の3つの方向性を検討している。

①「人間と協調できるAI」：専門家の知識を構造化し利用しやすくすることは現状難しく、構造化された知識をデータとあわせて利用する機械学習手法が未確立である。その結果、情報が不完全（得られるデータが少ない、欠測が多い、稀なイベントのデータが無い）で複雑な実世界への対応ができていない。そのため、知識構造化の自動化、人間の保有する知識・ルールに基づくシミュレーションや生成モデルを通じてレアなケースも含むデータを生成し機械学習する手法の開発、人間との対話から学習するAIなどの研究開発が必要となろう。

②「実世界で信頼できるAI」：想定しきれない状況が実世界では起こりうる。しかし、機械学習がどの範囲で、どの程度有効なのか評価する手法が存在せず、AIの製品化時に一定の品質を担保できない。また機械学習の判断根拠が分からず、リスクの高い応用に安心して使えない。そのため、機械学習結果の解釈や説明を行うことのできる手法や、学習済みAIの有効な動作範囲を推定する手法、シミュレーション等によるAIの品質保証などの研究開発が必要となろう。

③「容易に構築できるAI」：データエンジニアが慢性的に不足する中、AIの開発手順には試行錯誤が伴い、多くの無駄が生じている。また、開発したAIをモジュール化し公開したり、再利用するための技術が十分でない。そのため、機械学習プロセスの自動化を促進する技術や、汎用性の高い要素機能のソフトウェアモジュール化、公開の促進、学習済みモデルの再利用を推進するための、転移学習技術の高度化などが必要となろう。

最後に、３章４章で紹介した異常検知システムにおいて、上記で述べた方向性でどのような研究開発を現在行っているか簡単にふれて、具体的なイメージを共有したい。打音検査システムにおいては、AIによる打音検査結果が間違っていると判断された場合、それをユーザからオンサイトで教示するようなシステムを開発している。この修正情報は、貴重な学習データとなるので、モデルに随時反映させる技術もあわせ

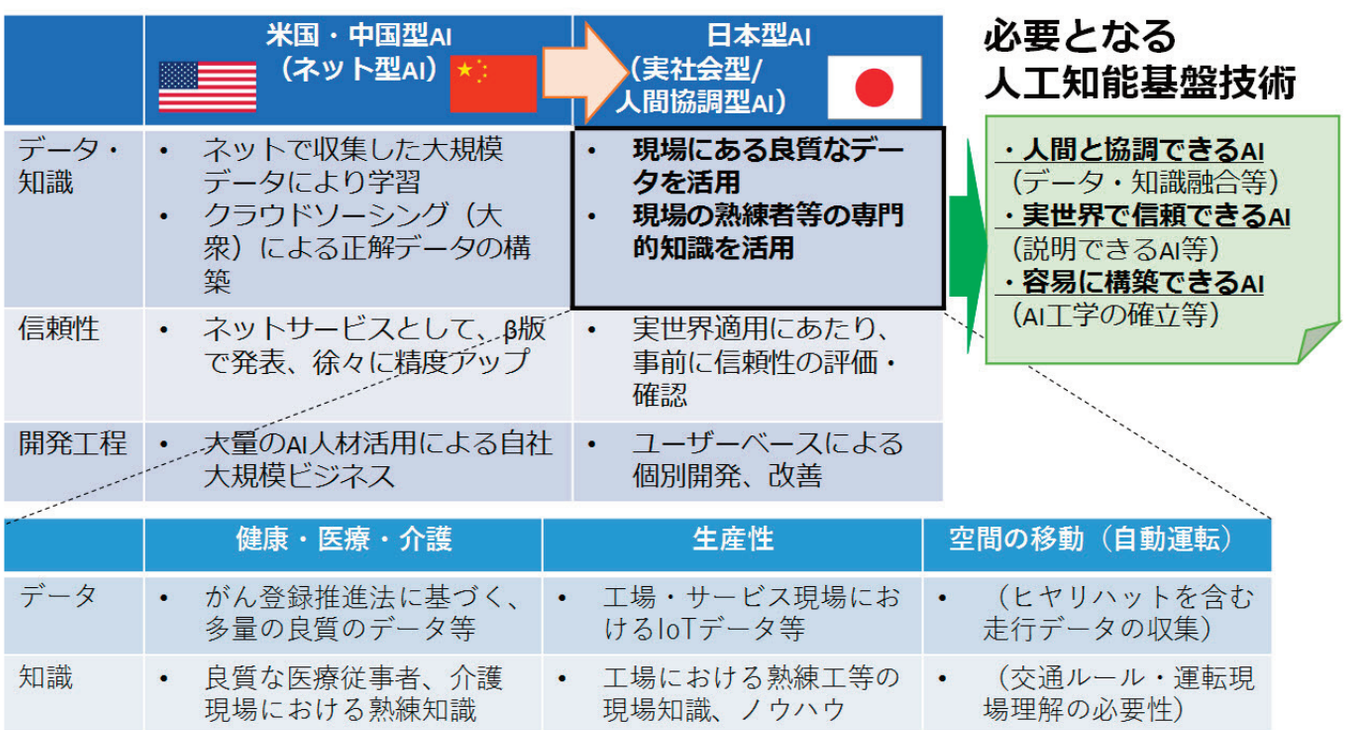

図４　日本型AIの目指すべき方向（出展　参考文献(4)）

て開発している。また、風力発電の故障予兆検知においては、AIの判断根拠を可視化する技術と、それと従来の物理モデルベースの診断手法との組み合わせを検討している。さらに、振動センサの種類が変更されたり、風車の新機種が開発された場合など、過去の学習済みのモデルを活用するための転移学習手法の研究も行っている。このような取り組みを通じて、日本型AIの発展に微力でも貢献できればと願っている。

参考文献

1）C.M.ビショップ：パターン認識と機械学習（上・下），丸善出版，2012
2）産業技術総合研究所　プレスリリース：人工知能を用いた打音検査で点検漏れを防止する装置を開発，2017年6月1日.
3）Ogata, J. et al., “Development and evaluation of vibration-based anomaly detection system using actual wind turbine data,” presented at the 15th World Wind Energy Conference and Exhibition, Tokyo, Japan, October 31-November 2, 2016, Paper C-1-6.
4）産業技術総合研究所人工知能研究戦略部：日本が取り組むべき今後のAI基盤技術の方向、
https://www.airc.aist.go.jp/info_details/docs/180523/ai_strategy180523.pdf, 2018年5月23日.

車両CANネットワークの再構築による前後・横運動の協調制御

梅津 大輔*
マツダ株式会社

1. はじめに

減速・旋回・加速という車両の運動間の連係性、すなわち「G（加速度）のつながり」は、運転の安心感といったダイナミクス性能の質感を論じるうえで重要である。一方、実際の車両は路面のアンジュレーション等の外乱による加速度変動が常に発生しており、これに対する補正はドライバの修正操作に委ねられるため、達成される「Gのつながり」は各ドライバの運転操作の精緻さに依存する。また、そもそも人が制御できない微小な変動に対しては補正そのものがなされない。今後、車両をドライバがより快適に制御しやすいものへと進化させるためには、ドライバと車両が一体となって一貫したGのつながりを担保できる車両運動制御が必要である。

2 G-Vectoring Controlの概要

G-Vectoring Control（以下GVC）は、ドライバのステアリング操作によって発生する車両の横運動に対して車両自身が前後加速度を最適に連係させる制御である。制御コンセプトの構築に当たっては、熟練ドライバがハンドル操作に応じてアクセルやブレーキを調整することで前後と横の加速度が連成し、その合成加速度が弧を描くように滑らかに推移することに着目（Fig.1）。この運転操作の分析から抽出された式(1)を前後加速度の制御指針とした。

$$G_{xc} = -\mathrm{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y)\frac{C_{xy}}{1+Ts}\left|\dot{G}_y\right| \qquad (1)$$

ここで、Gxcは車両前後方向の加速度指令、Cxyは制御ゲイン、Gxyは車両の横加速度を時間で一回微分した横加加速度、Tsは時定数である。基本的に横加加速度Gyにゲイン Cxyをかけた値を前後加速度目標として車両に指令するシンプルな制御則である。

制御の作動フローをFig. 2に示す。車両が旋回を開始するときには相対的に減速することで前輪荷重を増やして旋回応答性を改善し、定常旋回以降は加速して後輪荷重を増やすことで旋回安定性を改善する。このとき、前後加速度を縦軸、横加速度を横軸にとり、車両に発生している加速度様態を示す“G-G”ダイアグラムに表すと、乗員にとって不快な加速度変動がない、滑らかな曲線状に遷移する特徴的な運動となる。これを、前後・横の合成Gを方向づける制御という意味で「G-Vectoring Control」と呼ぶ。

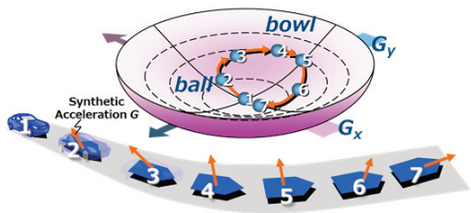

Fig.1 Ball in Bowl Image

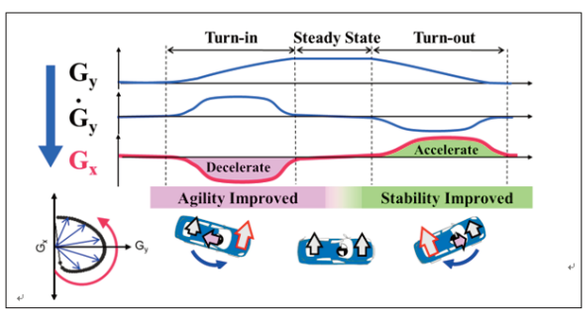

Fig. 2 Concept of G-Vectoring Control

この減速度制御の目標を0.01G程度、すなわちエンジンブレーキ以下の人が気づかない程度に細密にすることで、低速・低G域からのハンドルの据わりやバネ上姿勢安定などの自然な性能改善効果が得られた。つまり、これまでのシャシー制御技術が主な対象としてきた限界性能のみならず、日常走行シーンにおけるドライバの運転フィーリング向上が可能である。

3. エンジン制御によるシステム構成

この制御を広く普及させるためには、現在の車両の主流パワートレインであるエンジンをアクチュエータとして制御を実現するのが最適である。一方、これまでパワートレインを一般走行領域の車両横運動制御装置として用いた事例はほとんどない。

一般的に、パワートレインの制御応答性はシャシー制御システムよりも遅く、実際、従来のエンジンではGVCを実現するのに十分な減速度応答と細密さが得られなかった。そこで、目標加速度からそのときのエンジンの負荷状況を考慮して効率的に燃焼状態を決定する駆動力制御を基に、Powertrain Control Module内にGVCの制御ロジックを配置、GVCの目標減速度と駆動力制御の目標加速度を調停して最終的なエンジントルクを決定する統合制御システムを開発した。制御指令Gxcを決定するための横運動状態Gyは、ドライバのインプット情報である操舵角と車両速度等の情報から車両モデル

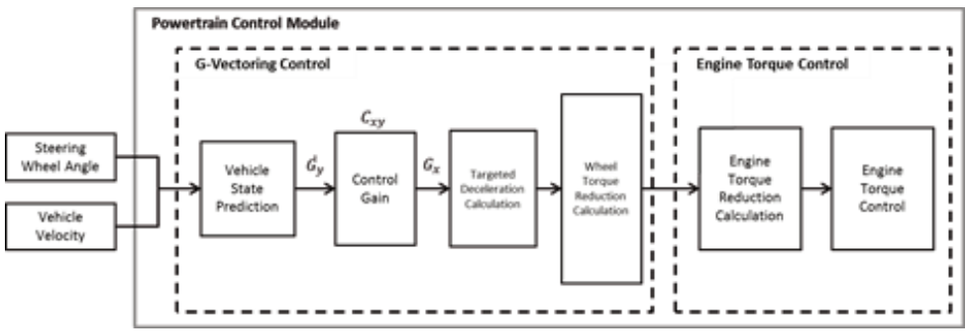

Fig.3　GVC System Configuration

を用いて推定される。システムの概念図をFig. 3に示す。

4.　GVCの効果

制御による改善効果としてG-Gダイアグラムを Fig. 4に示す。GVCによって旋回初期から前後Gと横Gが同期して遷移し、狙い通りGのつながりがスムーズに改善。車体姿勢の効果として、横加速度0.25G時点での4輪のサスストローク量をFig. 5に示す。GVCによりロール運動に対してピッチ運動が遅れなく連成するダイアゴナル姿勢を実現した。

この車両姿勢の改善によって、ドライバの運転操作そのものが安定化し、直進走行時も含め不要な修正操舵が低減される効果を確認した（Fig. 6）。これは、ドライバが制御できない微細な領域において車両自身がバランスをとることで、ドライバ自身が操作する領域においても修正操作の必要性が減少したためと考えられる。この結果、ジャーナリストやユーザーからは「リニアな応答性」「安定感のある乗り心地」「抜群の接地感」といったコメントを得ており、狙いのダイナミクス性能の質感向上が達成できたと考える。

5.　まとめ

高応答エンジンを用いた世界初の量産型 G-Vectoring Controlを実用化した。これまで横運動のみを扱ってきた車両運動制御分野において、前後運動と協調することによる新たな効果を見出せたことは、自動運転を含めた今後の車両運動の進化を議論するにあたって意義があるものと考える。また、分業化が進んだ自動車産業において、シャシーとパワートレインという二つの大きな領域を跨ぐ横断型のシステムを実現できたことは、今後の車両開発の在り方に一石を投じるものと思う。

今後も、人にとってより制御しやすい理想の車両を追求し、運転の楽しさや安心感といったダイナミクス性能のさらなる質感向上に取り組んでいきたい。

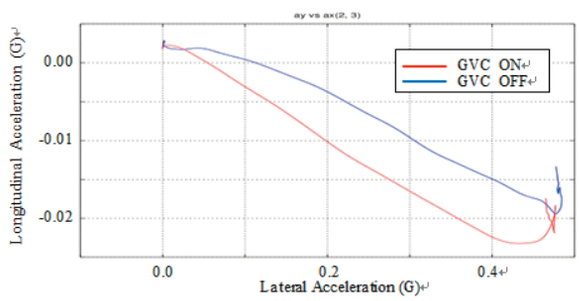

Fig. 4　G-G Diagram with/without GVC

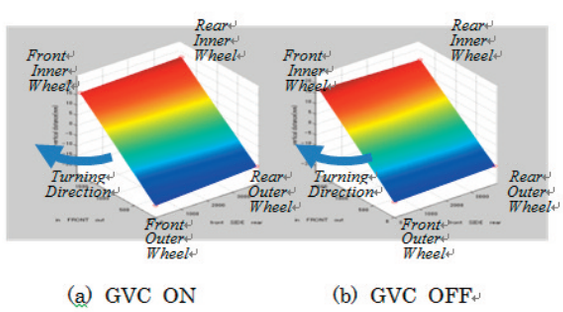

Fig. 5　Comparison of Suspension Stroke Mode

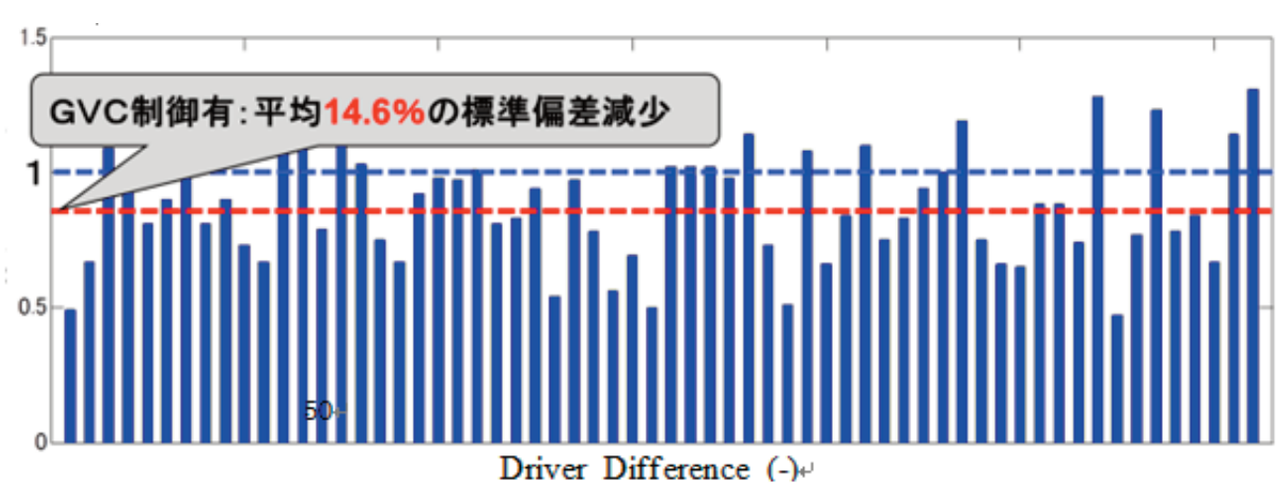

Fig. 6　Ratio of Steering Angle Standard Deviation with/without GVC at Straight Driving

部門からのお知らせ

第31回計算力学講演会(CMD2018)開催報告

大石篤哉
徳島大学大学院社会産業理工学研究部理工学域機械科学系

2018年11月23日（金・祝）から25日（日）までの3日間、徳島県徳島市の徳島大学常三島キャンパスで第31回計算力学講演会が開催されました。紅葉シーズンの３連休という開催時期と、都道府県別宿泊客数でいつも最下位を争っている徳島県での開催ということから、参加者数に不安もありましたが、結果として参加登録者数が500名を超える盛会となり実行委員会としては安堵しているところです。開催期間中、気温は若干低めながら晴天が続き、徳島の街を散策いただけたのではないかと思います。

部門の皆様のご協力により、26のオーガナイズドセッション、3つのフォーラム、さらにチュートリアルが企画されました。オーガナイズドセッションと一般セッションは、最大9つの講演室でパラレルセッションとして300件を超える発表が行われたほか、ポスターセッションも企画され24件の発表が行われました。

特別講演として、第1日には徳島大学・三輪昌史准教授より、「オープンソースからみたマルチコプタ型ドローンの発展と応用」、第2日には東京大学／東洋大学・矢川元基名誉教授より、「計算力学：その背後にあるもの」、2017年度計算力学部門功績賞を受賞されたKorea Advanced Institute of Science and TechnologyのSung-Kie Youn 教授より”On the Design of Viscoelastically Damped Structures against Dynamic Loads” と題した講演が行われました。いずれの講演も立ち見が出るほどの盛況ぶりでした。

フォーラムとしては、「企業におけるオープンCAEの活用」、「計算力学とAIの融合～最適化、ベイズ推論、深層学習、転移学習～」、「企業における革新的設計のためのCAE活用」の3件が企画されました。チュートリアル「クラウドを活用したオープンCAE実習コース」では、クラウドでプリ・ソルバー・ポストの実習が行われました。

第2日の特別講演後には部門表彰式が開催されました。2018年度は東京理科大学・岡田裕教授、京都大学・北村隆行教授が功績賞を、宇宙航空研究開発機構（JAXA)・大山聖准教授、慶應義塾大学・志澤一之教授、エムエスシーソフトウェア・橋口公一技術顧問が業績賞を受賞され、越塚誠一部門長より盾が贈られました。

第2日の夜には、恒例の懇親会が徳島大学生協食堂Kiraraで開かれました。大勢の参加者にお集まりいただき、大いに盛り上がる懇親会となりました。近海の鯛や平目の姿造りの他、徳島名産の竹ちくわやフィッシュカツもメニューに加え、好評でした。また、そばを麺にせず粒のままで食べる徳島独特の「そば米汁」は初めて召し上がった方も多いようでした。15種類の地酒を揃えた利き酒コーナーも好評をいただきました。懇親会終盤には「うずき連」の阿波踊りが披露され、多くの参加者も踊りの輪に加わり大いに盛り上がりました。

本講演会では、関係する企業等の皆様からご協力を頂き、4件の機器展示（株式会社HPCテック、サイバネットシステム株式会社、日本NAG株式会社、株式会社インサイト）と4件のカタログ展示（特定非営利活動法人CAE懇話会、エムエスシーソフトウェア株式会社、ビジュアルテクノロジー株式会社、プロメテック・ソフトウェア株式会社）を企画させて頂きました。

講演会の会場として常三島キャンパスの理工学部講義棟を使いました。3階から5階に講演室を配置し、特別講演は6階とすべて同じ建物で行ったため、講演室間を速やかに移動いただけたと思います。講演室には南側の大きな教室（収容人数100名以上）を用いたため、ゆったりとお使いいただけたと思いますが、11月は空調の使用ができず、南側の教室は少し暑く、北側の教室は若干寒く感じる方も多かったようでした。空調以外にも、運営にあたっていろいろご不便をおかけしたこともあるかと思います。併せてお詫び申し上げます。

本講演会は徳島県観光協会のサポートを受け、徳島阿波踊り空港およびJR徳島駅には徳島県のマスコットキャラクターである「すだちくん」マーク入りの「歓迎　計算力学講演会」看板を出していただきました。ご覧になった方も多いかと思います。また、参加登録時にお願いいたしました宿泊アンケートでは宿泊総数が1000泊に迫る数になりました。ご協力ありがとうございました。

以上、簡単ながら第31回計算力学講演会の開催報告をさせて頂きました。講演会実行委員、学会事務局、部門関係の方々、そして多数の参加者の皆様のご協力により、盛況のうちに講演会を終えることができました。ここに厚く御礼申し上げます。

写真1　徳島大学常三島キャンパス（講演会場）

写真2　理工学部講義棟（講演会場）

写真3　特別講演

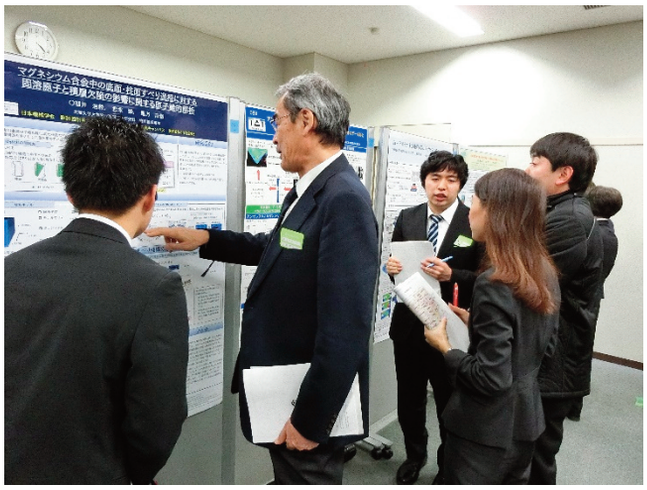

写真4　ポスターセッション

写真5　表彰式

写真6　懇親会

写真7　懇親会

写真8　懇親会（阿波踊り）

2018年度年次大会部門企画開催報告

齋藤賢一
関西大学システム理工学部機械工学科

日本機械学会2018年度年次大会が、2018年9月9日（日）から9月12日（水）までの日程で、関西大学（〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35）で開催された。大会テーマ「多様化する社会・技術への機械技術者の挑戦」をキャッチフレーズとして、「情報と機械の融合」,「社会構造変化への対応」,「革新技術への新展開」を各テーマとして、開催された。あいにく初日から大雨に見舞われてのスタートとなった（写真1）が、結果として例年にも増して多くの参加者が集まった。有料参加者数2,001名（一般会員1,167名、一般会員外110名、学生員712名、会員外学生 12名）と、本年度から新しく設定された聴講のみの無料学生も157名も加わり、二千人以上の登録があった。また、全体講演件数は1,180件であり、その他、特別企画として特別講演2件、市民公開行事17件、基調講演16件、先端技術フォーラム12件、ワークショップ20件、パネルディスカッション2件、その他の企画4件と、非常に充実した内容の年次大会となった。また、会期中に機器展示も催され、企業や研究機関などから合計27ブースの参加があった。

講演会中日となる9/11（火）の午後には関西大学ビッグホール100で、橋本 康彦 氏（川崎重工業(株)）による「ロボットと共存する日本の将来社会に向けて－少子高齢化/多様化する社会における新たなロボットのあり方－」、および、小谷 元子 氏（東北大学）による「数学と諸分野・産業との連携への挑戦」の各特別講演が行われ、大変興味深い内容で多数の参加者が見られた（写真2、3）。本年次大会の懇親会は中日の9/11（火）に関西大学100周年記念会館大ホールにて行われた（写真4）。また同日には学生交流会が企画され、企業若手技術者による講演の後、若手技術者を囲んだ立食形式意見交換会が関西大学凛風館（＝学生センター）2階食堂にて開催され盛況を呈した。企業の若手技術者や大学等教育機関に所属する学生など、今後の機械学会を担う人材の集いが成功裏に開催されたことは特筆すべきであろう。

さて、当計算力学部門では他部門とのジョイントとなるオーガナイズドセッションが9件あり、その中で「解析・設計の高度化・最適化」「安心安全な水素社会を創る流体解析と計測技術」の2件は幹事部門として開催した。さらに特別行事企画では、先端技術フォーラムとして、「IoT 基盤としての『ポスト京』工学シミュレーション」「IoT，AI 時代の機械･システム･サービスを考える」「先端的 CAE 技術の開発と展開」の3件と、ワークショップ「産業における数理科学の役割」の1件がそれぞれ企画され、各講演会場において研究講演や活発な議論が交わされた（写真5）。また、4部門合同となる部門同好会が講演会初日9/10（月）の夕刻に行

写真1：初日、あいにくの大雨の中での参加登録受付へ

写真2：橋本 康彦 氏（川崎重工業(株)）による特別講演

写真3：小谷 元子氏（東北大学）による特別講演

写真4：関西大学百周年記念会館大ホールで行われた懇親会での多川則男大会委員長（関西大）からのご挨拶

写真5：先端技術フォーラム「先端的CAE技術の開発と展開」（本部門幹事）での様子

われた。当部門から各種の企画の労をお取りいただいた方々、ご参加された皆様方には多くのご協力を賜ったことを、この場を借りて担当委員より厚く御礼申し上げる次第である。

次回の2019年度年次大会は、2019年9月8日（日）から11日（水）までの日程で、秋田大学 手形キャンパス（〒010-8502 秋田市手形学園町1-1）で開催される。

《各行事の問い合わせ、申込先》
日本機械学会計算力学部門担当　大黒　卓　E-mail:daikoku@jsme.or.jp
〒160-0016　東京都新宿区信濃町35番地　信濃町煉瓦館5F　TEL 03-5360-3503　FAX 03-5360-3508

計算力学部門ニュースレター No. 60 : 2018年12月17日発行
編集責任者：広報委員会委員長　佐々木大輔
ニュースレターへのご投稿やお問い合わせは下記の広報委員会副委員長までご連絡ください。
なお、各記事の文責は著者にあります。
広報委員会副委員長　工藤淑文 E-mail: kudo@altairjp.co.jp
アルテアエンジニアリング株式会社
〒104-0031 東京都中央区京橋2-2-1 京橋エドグラン14階
マーケティング代表　TEL 03-6225-5816　FAX 03-6225-5811

印刷：生々文献サービス／〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-36-6／TEL.03-3375-8446／FAX 03-3375-8447／E-mail: seiseibunken@nifty.com