

iPERC2017

—平成 29 年度活動報告—

国立大学法人 電気通信大学
i-パワードエネルギー・システム研究センター



目次

1	ご挨拶	1
2	主要研究成果	3
2.1	スマートエネルギーシステムの最適化における最先端人工知能手法の応用と量子アルゴリズムの開発 (曾我部 東馬准教授)	3
2.2	蓄電と信頼性工学の融合研究 (横川 慎二准教授)	16
2.3	制御系セキュリティに関する研究 (澤田 賢治准教授)	31
2.4	再生可能エネルギー・ソリューションプラットフォームの研究 (市川 晴久特任教授)	47
3	活動一覧	54
3.1	外部発表	
3.2	知的財産	
3.3	産学官連携実績	
3.4	競争的資金	
3.5	主な共同研究・受託研究・科研テーマ一覧	
3.6	主な教育	
3.7	表彰	
4	外部発表一覧	58
4.1	一般論文	
4.2	国際会議プロシーディングス等	
4.3	国内会議・学会口頭発表等	
4.4	著書	
4.5	解説記事	
4.6	招待講演	

1. ご挨拶

センター長 新 誠一

2017年4月よりセンター長を務めております新 誠一と申します。振り返れば2017年度は、専任教員として曾我部准教授、横川准教授、澤田准教授が揃い、センターとして連携した活動が始まった年度であったと思います。一つは、横川先生が代表者となった科学研究費補助金による共同研究が始まりました。もう一つは、株式会社明電舎との共同研究が立ち上がりました。並行して、全学で受けた日本科学技術振興機構による超スマート社会のプロジェクトにも三専任教員が参加し、それぞれの貢献をおこなっております。

これらの研究活動を通し、曾我部准教授は人工知能の実システムへの応用、横川准教授は信頼性解析、澤田准教授は制御系モデリングとセキュリティというように、研究の方向性が明確になってきたと思います。それぞれ、明日の日本を背負う気概に溢れていると見受けま

す。これらの専任教員に加えて、市川初代センター長は退職後、特任教授として、バッテリーによる電源運用のプロジェクト立ち上げに専念いただきました。また、機械知能システム学専攻の金子修教授には協力教員として、本センターの活動を支援していただいております。客員教員として参加いただいている石王先生には、始まったばかりの京都大学農学部のエネルギーマネジメントのプロジェクトを支援いただく予定です。

以上のように、指導したiPERCとして実りの多い1年だったと思います。それを受けて、年度末の三月には、100周年記念の募金で2017年4月に竣工したUECアライアンスセンターで本センターの研究成果報告をかねたシンポジウムを開催させていただきました。このシンポジウムには、本センター関連の多数の方々に参加いただき、盛会となりました。以上の活発な活動をおこなっていただいた関係者の皆様に熱く御礼を申し上げます。お詫び申し上げますなければならないこととして、私が2018年4月から情報理工学域長を拝命し、iPERCセンター長を続けられなくなったことです。センター活動が活発化して、これからという時に残念です。

もっとも、エネルギー技術の専門家である機械知能工学専攻の大川 富雄教授が三代目センター長として、本センターを引っ張って頂けることを感謝します。私も、本センターの運営委員の一人として、さらなる発展のお役に立ちたいと思っています。

以上のように、設立して間もない本センターにとって激動の一年でした。この間の活動を本冊子で報告させていただきます。引き続き、さらなる発展に向けてご支援を賜れば幸いです。

2017 年度

【iPERC 運営委員】

センター長・教授	新 誠一	機械知能システム学専攻
理事	中野 和司	
理事	田中 勝己	
理事	木野 茂徳	
教授	石橋 孝一郎	情報・ネットワーク工学専攻
教授	桐本 哲郎	機械知能システム学専攻
教授	崎山 一男	情報学専攻
教授	山口 浩一	基盤理工学専攻
准教授（専任）	澤田 賢治	機械知能システム学専攻兼務
准教授（専任）	曾我部 東馬	基盤理工学専攻兼務
准教授（専任）	横川 慎二	情報学専攻兼務
特任教授（専任）	市川 晴久	
助教	川喜田 佑介	情報学専攻

【協力教員】

教授	金子 修	機械知能システム学専攻
教授	沈 青	基盤理工学専攻
准教授	木寺 正平	情報・ネットワーク工学専攻
准教授	小木曾 公尚	機械知能システム学専攻

【客員教授】

石王 治之	石王治之技術事務所 代表
-------	--------------

2.主要研究成果

2.1 スマートエネルギーシステムの最適化における最先端人工知能手法の応用と量子アルゴリズムの開発

曾我部 東馬 准教授

情報理工学域 III 類/基盤理工学専攻 電子工学プログラム 兼務

I. 平成 29 年度計画概要

再生可能エネルギー分野においてはスマート化が求められている。エネルギーをより効率的に活用するために、最適化計算・発電量予測・モデリング制御技術といった3つの要素の構築が肝要といえる。加えて、従来の集中型エネルギーシステムにおいては、制約条件と目的関数を要素とする線形計画問題として扱う最適化計算が主流であったが、近年の分散型再生可能エネルギーシステムにおいては、条件の不安定性、システムの動的複雑さ、そして制約条件の非線形などの要因でヒューリスティック手法が主流になっている。平成 29 年度は、昨年度の研究結果に基づき、従来のヒューリスティック手法を拡張し、「物理モデルに“思考力”を賦与するヒューマンライク手法」を独自に提唱した。さらに深層ニューラルネットワークを駆使したマルチエージェント型深層強化学習手法の構築に取り組んだ。また我々は、人工知能の基幹である機械学習分野において難題とされていた非画像データの畳み込みニューラルネットワーク(CNN)の応用として、変数や関数間の高次相関の表現不可能問題に対して距離行列を導入した有効手法を独自に開発した。また、従来の独立近似に基づく機械学習モデルに量子アルゴリズムを導入して変数や関数間相関を考慮した新しい学習手法も開発した。具体的には下記のような研究内容を遂行した。

(1) 物理モデルを用いたエネルギーシステムの深層強化学習手法の応用

当研究内容は主に NEDO「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」事業期間：平成 27 年度～平成 31 年度」実施内容の一環として研究内容を組み立て実行してきた。

太陽光発電システムをはじめとする再生可能エネルギーシステムの最適化は太陽光発電コストを直接左右する。再生可能エネルギーシステムは下記の特徴を持つため、現在、主流の最適手法である混合整数線形計画問題 (MILP) 計算法には多くの問題点があり、有効に活用できないがわかっている：①エネルギー最適化の特徴として、パラメーターや制約条件が多く、電力需要や太陽光発電量が刻々と変化している；②また現場の運用ルールなど数式では表すことのできない条件が多く存在すること；③目的とする出力が線形関数や微分可能な関数では記述できないという問題があること。我々は、このような複雑・非線形そして変動型環境を得意とするニューラルネットワークを用いた強化学習手法について、混合整数線

形計画手法と比較しながら、スマートエネルギーシステムの最適化における有効性を検証した。

(2) 特徴グラフを用いた汎用型 CNN 深層学習手法の開発

当研究内容は主に、産学連携における企業との共同研究の一環として、機械学習の基礎開発を主眼に電気通信大学と株式会社グリッドにおいて実施してきた。

近年、発展目覚ましい人工知能の分野の中でも畳み込みニューラルネットワーク(CNN)は画像処理、パターン認識、言語処理など多くの分野で成功を収めている。しかし、CNNは画像などの低次元グリッド構造の幾何学的特性を利用しているため、分散型再生可能エネルギーシステムの最適化に必要とされる非画像データや時系列データに対しては正しい特徴認識が行えず、適応することが出来ない。そのため本研究では非画像データに対してのCNNの応用を研究目的とし計画推進した。

(3) 量子相転移を駆動した量子アニーリング学習器の設計と開発

当研究内容は主に産学連携における企業との共同研究の一環として、機械学習の基礎開発と3者共同プロジェクト（東京大学、電気通信大学、株式会社グリッド）として実施した。

背景としては、近年、組み合わせ最適化問題を解く量子力学的な計算手法として量子アニーリング(QA: Quantum annealing)が注目を浴びている。QAは、横磁場を使った量子揺らぎによる量子相転移を用いる事で莫大な組み合わせの数を持つ最適化問題を解く、または近似解を得る事を可能にしている。現在、このQAを用いた計算手法を機械学習の分野へ応用しようとする研究が盛んに行われている。そこで、この量子アニーリング(QA)を用いた新しい学習器の設計、および開発を研究目的として計画推進した。

II. 研究実施状況

(1) スマートエネルギーシステムの深層強化学習手法の開発実施状況

本研究の結果は、2018年 WCPEC-7,人工知能学会全国大会 (JSAI2018) にて発表予定

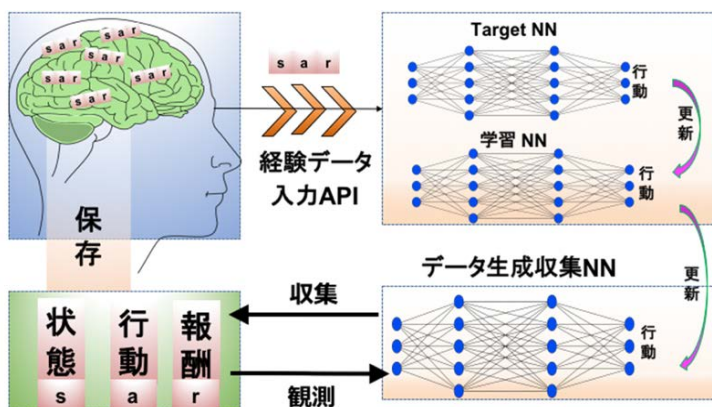


図 1: DQN アルゴリズムの概略図

である。2018年第32回人工知能学会全国大会 (JSAI2018) にて発表予定である

強化学習アルゴリズムのベースとなっているアルゴリズムは学習エージェントが出力する Q 値に基づく Q 学習である。 Q 値は環境から与えられた状態量 s と、それに対応する行動 a の関数 $Q(s, a)$ と定義される。 $Q(s, a)$ の値はエー

ジェントが行うことのできる行動の数だけ出力される。今回の研究ではエージェントは 2 通りの行動を選ぶことができ、 $Q(s, a_1)$ と $Q(s, a_2)$ を出力する。この Q はそれぞれの行動 a_1, a_2 を取ったときに、将来も含めて得られる報酬の期待値を表している。学習初期の Q 値は正しくないが、学習が進むにつれて Q 値の近似が徐々に近い値へと収束していく。学習後は常に Q 値が大きい行動を選択することで、エージェントは得られる報酬を最大化することができるというアルゴリズムである。アルゴリズムの概略図を図 1 に示す。学習初期、エージェントは環境に対してランダムな行動を取り、その結果に対する報酬と変化したあとの環境を受け取る。状態、行動、報酬のデータを人間の記憶のように蓄積する。その記憶領域からランダムに取り出して、経験データ入力 API を通して学習を進める。学習が行われたら、その学習結果を用いて更に環境に対して行動を取るというアルゴリズムになっている。このアルゴリズムにより人間が教師となる必要はなく、エージェントはデータ収集から学習まですべて自律的に行動する。

(2) 特徴グラフを用いた汎用型 CNN 深層学習手法の開発実施状況

本研究の結果は、2018年第32回人工知能学会全国大会 (JSAI2018) にて発表予定である。

Hechtlinger らが 2017 年、相関を用いて非画像データの順番に意味を持たせる Correlation GraphCNN[2] という非画像データに対する CNN の応用手法が報告された。

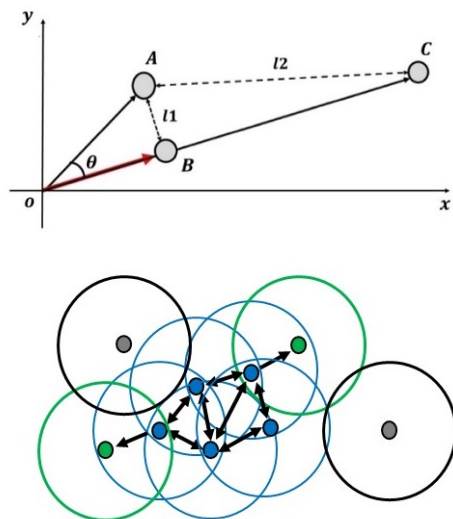


図 2: (上):相関と距離によるクラスタリングの違い(下): DBSCAN によるクラスタリング例

Correlation GraphCNN では、非画像データの順番に意味を与える手段として相関係数を用いていたが、この相関係数には、ある欠点がある。ここで図 2 (上) のような 3 つのデータ点がある場合を考える。相関係数 r は 2 つのベクトルのなす角度 θ の余弦で表されるため、ベクトル OA とベクトル OB の相関係数は $\cos \theta$ となる。同様に、ベクトル OA とベクトル OC の相関係数もまた $\cos \theta$ で表される。つまり、相関係数を基準に考えたとき、点 A, B, C は同じクラスに分類される。一方、データ同士の距離を基準に考えたとき、点 C は点 A, B から離れているため、一般的に点 A, B と同じクラスと見なすことは出来ない。相関係数には、こうした

データ間の実際の距離を考慮せずに関係性を決めてしまう特性があるため、データの関係性を表すのに最適とは言い切れない。そのため、本稿では非画像データの順番に意味を与える手段として相関係数ではなく、距離をコンセプトとした Distance GraphCNN という手法を 2 つに分けて提案する:(1) 全てのデータ間の距離を計算する Kernel GraphCNN と(2) 部分距離空間をマッピングする DBSCAN GraphCNN(図 2 (下))。

(3) 量子相転移を駆動した量子量子自己符号化器の設計と開発に関する実施状況

本研究の結果は、2018 年第 32 回人工知能学会全国大会 (JSAI2018) にて発表予定である。

画像データに対して、従来の自己符号化器は出力画像が入力画像を再現するようにニューラルネットワークのウェイトを更新し、画像データの特徴を学習する。本研究ではこの従来の自己符号化器のプロセスを量子アニーリングを用いて行う。

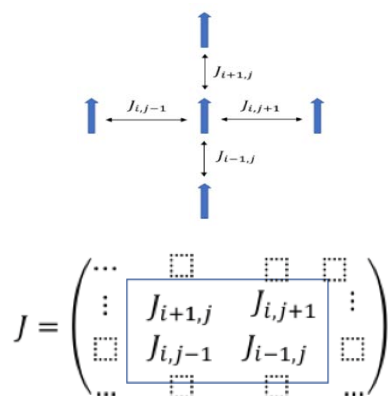


図 3:量子アルゴリズムの概要

量子アニーリングを用いた最適化では(2) 式で表される系のエネルギーを最小化する事によって解を得た。量子アニーリングを用いて画像データの特徴量を取るためには画像データを ± 1 の二値に変換し、 $+1$ を上向きスピン、 -1 を下向きスピンの対応させ、初期状態を作る必要がある。その後、なるべく元画像を再

現するように系のエネルギーを最小化していく。本研究ではこのエネルギーを最小化する過程の中に $J_{ijk} = J_{ijk} - \varepsilon E'$ のようなスピン間相互作用定数 J の更新を組み込む事によって画像データの特徴量を取るモデルを考案した(図 3)。ただし, J の初期値は $[0,1)$ の乱数である。ここで, ε は学習率であり, E' は(2) 式を J_{ijk} で微分したもので, 次式のようになる: $E' = 1/m \sigma_{i,k}^z \sigma_{j,k}^z$

図 4 に MNIST の元画像(2 値に変換済み)と SA, QA 双方での学習後の画像を示した。SA を用いた場合は学習後の J 値に負の値が出てきているのが分かる。一方, QA を用いた場合は負の値が出てきていない。この結果から, SA を用いて学習した方が QA を用いて学

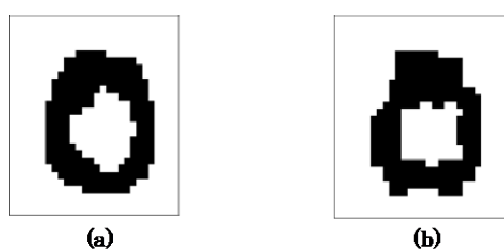


図 4:MNIST を用いた実験結果、(a)SA で学習した結果; (b) 量子自己符号化器で学習した結果

習した場合に比べて画像の境界付近の特徴を取れていると言えた。図 4 から QA は境界付近の特徴をうまく取れていないと言える。また, ノイズ除去後の画像を見比べると QA を用いて学習した方が良い結果が得られているのが分かる。この結果から, SA を用いた場合は局所的な画像の特徴を, QA を用いた場合はより大域的な画像の特徴を取っているのではないかと考えられた。

III. 業績・成果一覧

学術論文:

- 1 S. Oikawa A.Makaino T. Sogabe K. Yamaguchi, “Growth Process and Photoluminescence Properties of In-Plane Ultrahigh-Density InAs Quantum Dots on InAsSb/GaAs(001)”, 255, p Physica Status Solidi B: Basic Solid State Physics (2017)
- 2 Bernice Mae Yu Jeco, T.Sogabe, N. Ahsan, R.Tamaki and Y. Okada, “ Impact of optically nonuniform luminescence coupling effect to the limiting cell conversion efficiency in InGaP/GaAs/Ge triple junction solar cell”, 7(3) 035501, J. Photon. Energy (2017).
- 3 Bernice Mae Yu Jeco, T.Sogabe, N. Ahsan, and Y. Okada, Temperature Dependence of Luminescence Coupling Effect in InGaP/GaAs/Ge Triple Junction Solar Cells J. Photon. Energy (in press)

国際会議：

- 4 R.Sugiyama, N. Akimoto, T. Sogabe and Koichi Yamaguchi, “Evaluation of In-Plane Ultrahigh-Density InAs Quantum Dots on GaAsSb/GaAs(001) for Solar Cell Applications”, 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference(PVSC44) (2017).
- 5 T.Sogabe, K. Nii, K. Sakamoto, K. Yamaguchi, Y. Okada, “Hot Carrier Transportation Dynamics in InAs/GaAs Quantum Dot Solar Cell”, 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference(PVSC44) (2017).
- 6 Y.Okada , Y.Shoji, C-Y, Hung , D.J. Farrell, T. Sogabe, “High density quantum dot solar cells for concentrating photovoltaics (CPV)”, IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe) (2017)
- 7 A. Makaino, K.Sakamoto, T.Sogabe and K.; Yamaguchi, “Self-formation of in-plane ultrahigh-density InAs quantum dots and their photoluminescence properties”, Compound Semiconductor Week (2017)

招待講演

- 8 T. Sogabe, Light Interference Integrated Device Simulation in Thin Film InAs/GaAs Quantum Dot Solar Cell, International Symposium on Novel Energy Nanomaterials, Catalysts and Surfaces for Future Earth (2017)

国内会議

- 9 杉山 涼、立木 象、曾我部 東馬、山口 浩一, GaAsSb/GaAs(001)上の 高密度 高密度 InAs 量子ドット 量子ドット 層の発光特性, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017)
- 10 鈴木 亮介、杉山 涼、加藤 智恵、曾我部 東馬、山口 浩一, 面内超高密度 InAs 量子ドット層を導入した太陽電池における Urbach tail の影響, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017)
- 11 杉山 涼、秋元 直己、曾我部 東馬、山口 浩一 GaAsSb/GaAs(001)上の高密度 InAs 量子ドット層の発光特性, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会) (2017)

12 黄川田 優太, 武石 将知, 曾我部 東馬、スマートエネルギーネットワークの最適化における深層強化学習の応用 第 60 回 自動制御連合講演会(2017)

解説記事

13 曾我部東馬、横川慎二、深層学習・深層強化学習を応用したエネルギーシステムの最適化、日本信頼性学会 (2018 年)

知的財産権、特許の出願、

14 「スマートエネルギーの最適化制御に適応した物理型深層強化学習人工知能の手法」
2017/12/1：特願 2016-245925, 特願 2017-075545 国際出願番号：PCT/JP2017/43366

産学官連携・競争的資金実績：

- 1 NEDO プロジェクト, 超高効率・低コスト III-V 化合物太陽電池モジュールの研究開発, 平成 29~平成 32(分担) (平成 29 年度金額：1600 万円)
- 2 科研挑戦的研究(開拓)：協調給電による再生可能エネルギー指向自律分散グリッドの開発と実証(平成 29~平成 32) (分担)
- 3 共同研究 (株式会社グリッド), 太陽光発電量予測における機械学習に関する基礎研究, 2017/3-2017/7 (代表) (平成 29 年度金額：500 万円)
- 4 共同研究 (株式会社グリッド), 太陽光発電量予測における機械学習に関する基礎研究, 2017/7-2018/6 (代表) (平成 29 年度金額：500 万円)
- 5 共同研究プロジェクト (東京大学, 電気通信大学, 株式会社グリッド), エネルギー環境分野における数理モデルと人工知能融合, 2017/1-2017/12 (代表) (平成 29 年度金額：100 万円)
- 6 共同研究プロジェクト (東京大学, 電気通信大学, 株式会社グリッド), エネルギー環境分野における数理モデルと人工知能融合, 2018/1-2019/3 (代表：曾我部東馬) (代表、継続) (平成 29 年度金額：100 万円)
- 7 共同研究プロジェクト (明電舎、電通大) 下水運転操作の深層強化学習を前提とした AI 技術開発 FRAM を用いたレジリエンス分析、2017/10-2018/3 (分担) (平成 29 年度金額：300 万円)

その他 (招待講演、セミナー等)：

- 1 人工知能フレームワーク ∞ ReNom の共同開発チームリーダーとして GitHub に学術無料利用環境を構築した。

- 2 ∞ReNom を開発主体として AI ビジネス推進コンソーシアム(伊藤忠・丸紅・富士通等 30 社参加)を設立した。
- 3 東京大学先端研所主催の講演会にて基調講演を行った。題目：量子物理と深層学習を合した量子人工知能の開発 (2017.4.13)
- 4 スタンフォード大学 Encina Hall にて Stanford Silicon Valley New Japan Project 主催の公開講座が開催され講演を行った。題目：「GRID Inc: Deep learning framework for industrial and engineering optimization application～産業最適化のための深層学習フレームワーク～」 (2017.5.26)
- 5 情報機構社主催のセミナーにて1日コース講師を担当。題目：強化学習入門～基本アルゴリズムから深層強化学習・応用まで (2017.9.19)
- 6 川崎市主催のセミナーにて、招待公演を行った。題目：ディープラーニングフレームワーク"ReNom" による製造業における人工知能の活用 (2016.9.6)
- 7 (株) R&D 支援センター主催のセミナーにて1日コース講師を担当。題目：強化学習入門～基本アルゴリズムから深層強化学習・応用まで (Python を用いて) ～(2017.11.24)
- 8 (株) トリケップス社主催のセミナーにて1日コース講師を担当。題目：強化学習入門～基本アルゴリズムから深層強化学習・応用まで (Python を用いて) (2017.11.13)

IV. 主な業績の詳細

○ 分散型再生可能エネルギーシステム物理モデルにおける深層強化学習の応用：

物理モデルおよび強化学習プログラムをソフトウェア上で実装し、シミュレーションを行った。シミュレーションツールとして MathWorks 社の MATLAB R2017a を用いた。また

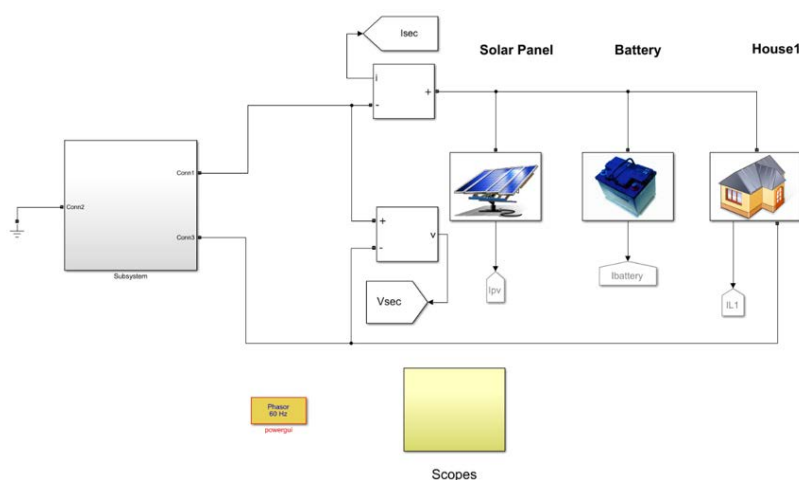


図5: Simscape Power Systems で構築した電力システムのブロック図

MATLAB に含まれるパッケージである Simlink と Simscape Power Systems を用いて物理モデルの実装を行った。またシミュレーションを行ったコンピュータの OS は Windows 10 Pro 64 ビットであり、CPU は Intel Core i7-6800K であった。また搭載メインメモリは 64GB であった。エネルギーシステムの概略図を図5に示す。このエネルギーシステムでは電力会社の送電網に繋がれ

た1軒の家と、その家に設置された太陽光パネルと蓄電池をシミュレートしたものである。発電量及び電力消費量は外部の表から入力している。今回の検証実験ではどちらも実際のデータに基づいて作成した疑似プロファイルを用いた。Scopes ブロックの内部でスイッチの制御や太陽光パネルの発電量、家庭での電力消費量、バッテリーにおけるパラメーターなどのデータを処理している。

太陽光発電設備は常に電力消費と接続される。ここで発電量と消費量の差分が発生する。

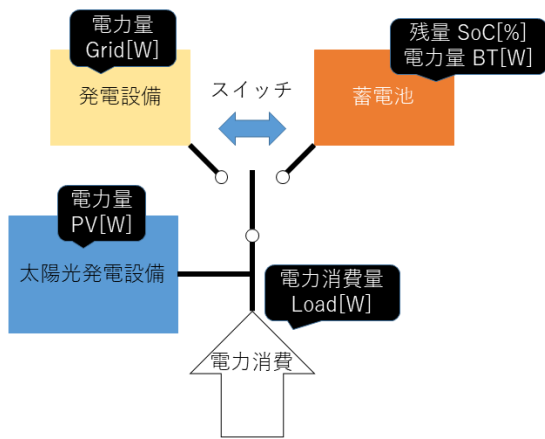


図 6: 学習エージェントの制御行動の概略図

このエネルギーの差分をグリッドとやり取りするか、蓄電池とやり取りするかを選ぶ必要がある。この選択を行うためにスイッチを構築した。このスイッチの模式図を図6に示す。このスイッチを制御することで電力のやりとりを制御することができる。蓄電池と発電設備のどちらかに常に接続されるようにし、差分を充電や給電、受電や売電とした。例えば昼間、発電量が電力消費量を超えたとき、蓄電池に充電する

るか、電力会社に売電するか選ぶことができる。夜間は太陽光発電設備からの給電だけでは電力消費を賄うことができない。したがって外部からの給電に頼ることになるが、この給電を蓄電池から行うか、発電設備から行うかを選ぶことができる。このスイッチの操作をエージェントが行う。またエージェントはこのモデルから5つの変数を受け取ることができる。5つの変数はそれぞれグリッドからの電力供給 (Grid[W])、バッテリーからの電力供給 (BT[W])、太陽光パネルからの電力供給

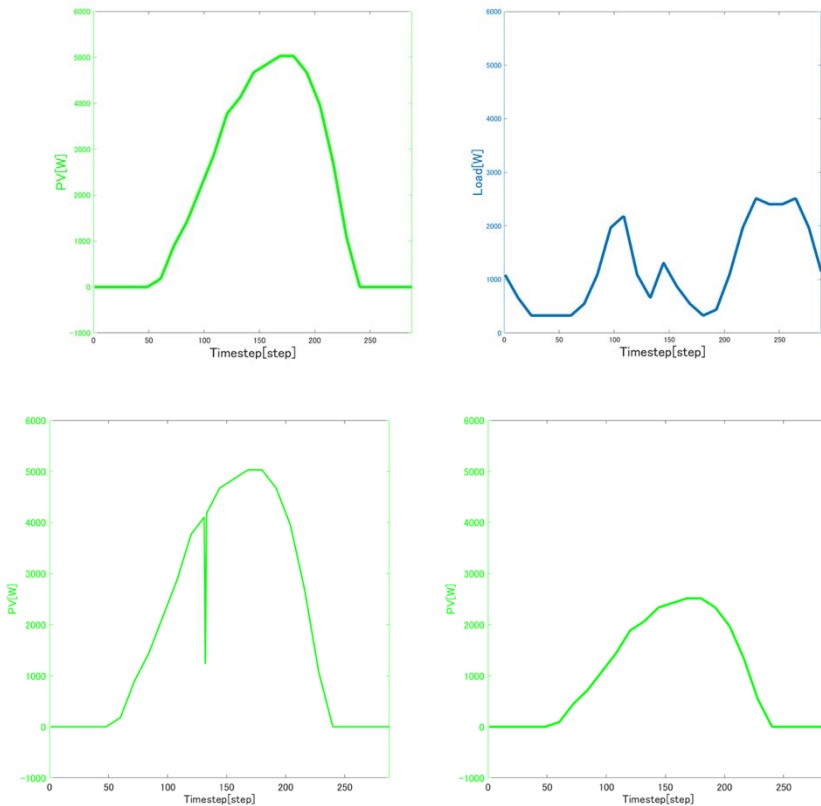


図 7: 学習環境の設定：三種類気象状況（緑線で示すグラフ）を想定した発電量供給データと電力消費需要データ（青線で示すグラフ）、

(PV[W])、家庭での電力消費量(Load[W])、バッテリーの残量(SoC[%])である。

強化学習エージェントが実際にこのエネルギーシステムから行動を学習するということを確認する必要がある。初めに最も簡単なモデルで検証するため、発電量と電力消費量は毎日同じ変化を行うように入力した。特定の環境で実際にエージェントがリワードの高くなる行動を取るよう学習することができるのかを検証し、深層強化学習手法の有用性を確認した。バッテリーの容量は 1000Ah、初期残量は 80% とした。検証実験は 3 度行った。

入力した発電量と電力消費量は図 7 に示した。1 日の日照量の疑似データを発電量として入力した。また電力消費量についても 1 日の疑似データを入力した。一般的な起床直後および帰宅してから寝るまでの時間に電力消費のピークが存在する、現実の電力消費量に似せたデータと成っている。これらのデータには実際に測定したデータを用いて検証することも可能である。Timestep はシミュレーターからデータを入出力する最低ステップであり、今回は 5 分に設定した。つまり 5 分おきにデータを取り出し、行動を行い、また 5 分シミュレーションを行う、という繰り返しをするということである。

この検証では 2 種類の環境を用意し、異なる環境からそれぞれリワードが高くなるような行動を学習するかどうかを検証し、深層強化学習手法の有用性を検証した。今回の環境は、発電量を 2 種類用意したものである。検証 1 で用いた発電量のデータにノイズを加えたものと、半分にしたものを用意した。グラフは図 7 に示した。現実世界でのパラメーターは 1 日として同じものは存在しないため、複数の環境において学習できることは必要条件である。この検証は 2 度行い、1 回は ϵ に下限を設けずに、残りの 1 回は ϵ に下限を設けて検証した。前述の検証目的に加え、与えられるリワードに局所解が存在するように設定し、 ϵ への下限の設定で局所解からの脱出に関する行動を検証した。

「報酬関数」エージェントが人間の希望通りに学習を行う上で与えるリワードの設定は非常に大きなウェイトを占める。今回作成した報酬関数は次のように設定されている。例えば、SoC が 80% であり、昼間の余剰電力はバッテリーの充電にあてるとき、50 ないし-100 ポイントの報酬が与えられる。それに対し、グリッドに売電するときは常に 50 ポイントの報酬が得られる。このように、SoC の値と時間帯によってエージェントの行動を評価する関数を設計した

「実験結果」試行では ϵ の値に下限を設けずに試行した。Timestep の経過と共に、最大報酬を得るための行動を常に取りようになる。ある程度行動が収束したあとの探索を行わな

$$R \equiv \sum_{n=1}^{288} \text{reward}_{\text{sell},n} + \text{reward}_{h\text{-soc},n} + \text{reward}_{m\text{-soc},n} + \text{reward}_{\text{others},n}$$

ただし

$$\text{reward}_{\text{sell}} = 50 \text{ (SoC} > 70, P_{PV} - P_{\text{Load}} > 0, \text{ and } P_{\text{Grid}} < 0)$$

$$\text{reward}_{h\text{-soc}} = -50 \text{ (SoC} > 70, P_{PV} - P_{\text{Load}} < 0, \text{ and } P_{\text{Grid}} > 0)$$

$$\text{reward}_{m\text{-soc}} = -70 \text{ (SoC} > 70, P_{PV} - P_{\text{Load}} < 0, \text{ and } P_{\text{Grid}} > 0)$$

$$\text{reward}_{\text{others}} = -100 \text{ (otherwise)}$$

P_{PV} : 太陽光パネルの発電量[W]
 P_{Load} : 電力消費量[W]
 P_{Grid} : グリッドと授受する電力[W]

いため、求まった解が局所解である可能性はあるが、学習が行われるかどうかを確かめる試行であるのでより単純なモデルとして実験を行った。

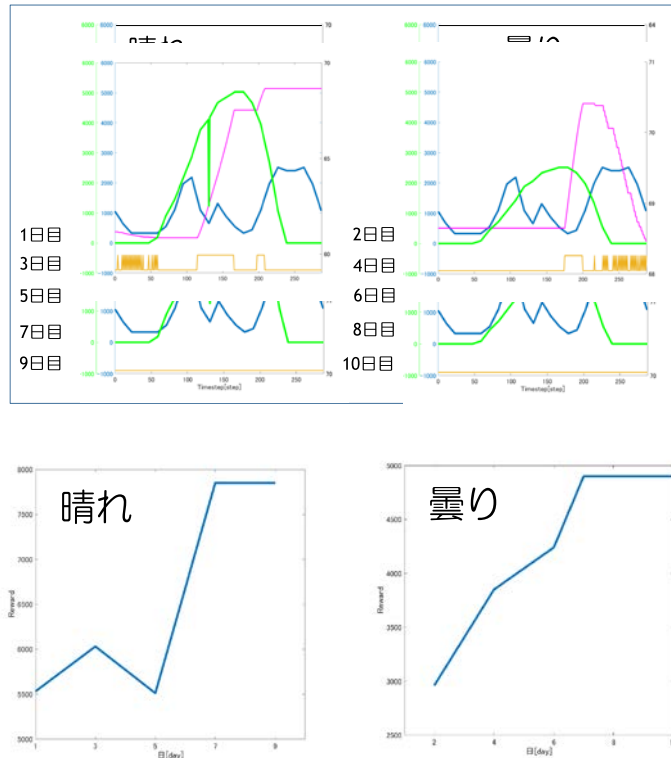


図 8: 実験結果

試行結果のグラフを図 8 に示す。この試行では SoC の初期値を 60% に設定した。学習初期は様々な行動を取り試行錯誤をしていることがわかる。6 日目には学習が進み昼間は余剰電力をバッテリーに充電し、夜間は電力会社から供給を受けるという行動を行うよう学習が進んでいる。実際に SoC の推移を見ると 1 日を通してバッテリーが減少傾向になることはほとんどなく、蓄電池の容量を増やそうとする行動を取っていることがわかる。6 日目終了時について SoC が 70% を超え、9, 10 日目では 70% 以下のときとは異なり、バッテリーの充放電を行わず、常に電力会社と電力のやりとりを行うようになっている。

これは図 8 に示すように、エージェントが得られる報酬が最大となる行動をとることになっている。したがって SoC が 70~85% のときも学習が進んでいるということがわかる。またここでは SoC が 70~85% の状態のときに行動が収束してしまったため、SoC が 85% 以上の場合の探索や、40% 以下の場合の探索が行われることはなかった。つまり今回の実験ではエージェントが局所解にトラップされてしまったということである。様々な環境での行動を学習し、全体としてどの状態を維持することが高い報酬を得られるか、大域解が得られるか、という点についての学習に課題があると考えられる。

V. 平成 30 年の方針と計画

平成 29 年度までの研究結果を元に、平成 30 年以降は下記の 4 点を主目的として研究活動を推進する。

- 1) : 再生可能エネルギー電力システムの物理モデルプラットフォームの構築
- 2) : ヒューマンニック最適化計算手法の開発
- 3) : 企業との共同研究推進
- 4) : 学生育成と社会人向けセミナーの開催

以下に各項目について詳細を述べる。

前述したように、分散型再生可能エネルギーシステムにおいては、現在の最適化計算手法はシステムの不安定性、動的複雑性、そして制約条件の非線形性や非数学的表現などの要因でヒューリスティック手法が主流になっている。昨年度の研究結果に基づき、今年度は従来のヒューリスティック手法の先にあり、我々が独自に提唱したヒューマンニック計算手法の開発と検証を推進していくことを計画している。また、大規模スマートエネルギーに適した Matlab™(Simulink, Simscape Power system) を駆動した深層強化学習フレームワークの構築に取り組んでいく。

図 9 に中期計画の要約として今後研究方針を示す。平成 29 年度は、深層学習/強化学習の実社会問題への応用を主目的として、グラフ理論・トポロジー学を用いて実社会のデータの空間局限性の問題を解決する手法を確立した。具体的には、距離行列空間で特徴ランキングにより、非画像データに適した Feature-CNN という新しい畳み込み特徴抽出を開発した。今年度は当手法を用いて Kaggle の回帰問題や MNIST そして OpenAI 上での強化学習などベンチマークテストを行い、電力エネルギーシステムの深層強化学習手法に取り組んでいき、従来の浅型ニューラルネットワーク手法を凌駕する結果を写像し、その有効性を検証する。

平成 31 年度は、深層強化学習アルゴリズムを主目的として、現行の深層方策勾配法を改良し、変分ベイズや状態間相関を扱う量子アニーリングアルゴリズムを応用し、新型方策勾配法の開発に取り組んでいく。

フィールド検証システムの一環として、平成 28 年度に構築した i-REMS（電通大構内）にサーバ機能と IoT 機能をさらに充実し、i-REMS プラットフォームを拡張することを計画している、具体的にはキャンパス（建物、学内電力管理など）エネルギーシステムの最適化に

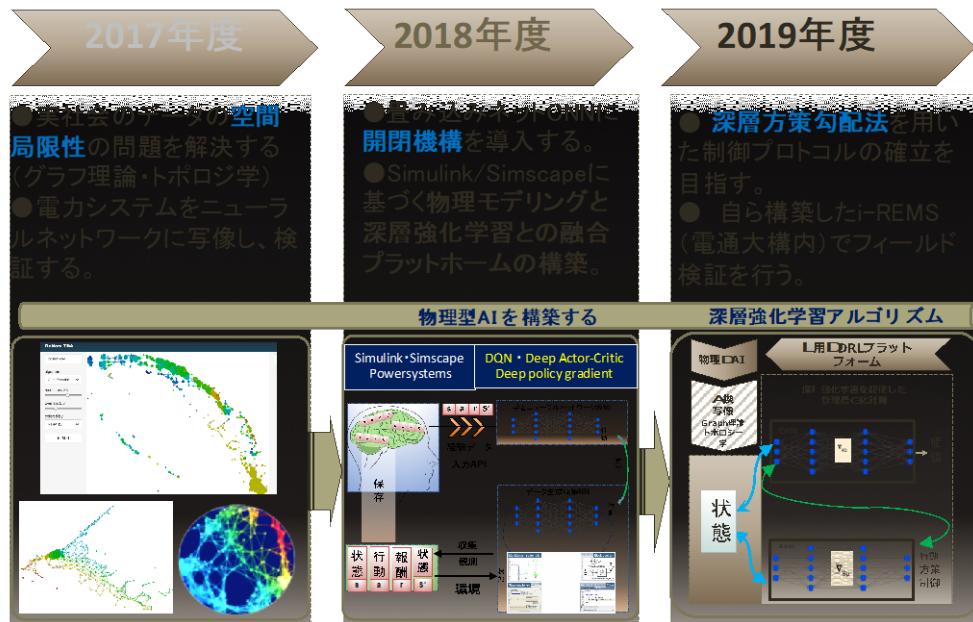


図 9: 年度別研究計画実施内容

活用し、構内にある複数の太陽光発電システムを統合し、前述した物理モデルプラットフォーム上に強化学習アルゴリズムで最適化制御の検証を行う。

スマートエネルギーシステムは Smart Society5.0 の一環として実施されている研究テーマでもある。本研究で構築したプラットフォームをより多くの人々が利用できるように、企業との連携をさらに強化していく。そして学生への研究指導や社会人向けセミナーの定期的開催により、知識を広め社会貢献に努める。

2.主要研究成果

2.3 蓄電と信頼性工学の融合研究

横川 慎二 准教授

情報理工学域 I 類/総合情報学科/情報学専攻 経営・社会情報学プログラム 兼務

革新的なエネルギーシステムを主軸に据えたシステムレジリエンス、電池寿命予測、信頼性・安全性の理論と応用に関する研究を行なっている。

平成 29 年度には、平成 28 年度に設定した以下に示す 3 つの課題について研究を継続的に推進した。

- ① システムにおける創発的不具合の現状把握と、システムレジリエンスを評価する手法の確立。
- ② 機械学習・深層学習を用いたエネルギー設備の劣化予測と、新技術・新製品開発への応用。
- ③ システムにおいてエネルギー効率化と高信頼化を実現するためのデバイス信頼度を評価する統計手法の開発。

以下に、これらの詳細を示す。

I. 平成 29 年度計画概要

3 課題の研究テーマについて、それぞれ以下の目的の下、平成 29 年度の計画をして研究を遂行した。

① 創発性不具合の現状把握およびシステムレジリエンス評価手法の研究

社会インフラシステムのレジリエンス（回復力、堅牢性）を評価、付与するための基礎概念の確立と評価指標の構築を目標とし、社会インフラ事故の事例分析研究を実施する。この結果に基づいて、今後開発するエネルギーインフラに対してレジリエンスを付与し、アベイラビリティを確保するのみでなく、ユーザーに信頼、安心を担保するための構造、要素を設計する指針を明らかにすることを目的とする。

平成 29 年度は、システムの設計において創発的な不具合が生じる現状を調査し、その分析方法を検討した。駆動系や電装品の導入比率が増加し続ける自動車のリコール情報として、国土交通省が公開したデータベースを用い、レジリエンスエンジニアリングの分野で注目される機能共鳴分析法（Functional Resonance Analysis Method: FRAM）を用いた分析の適用可能性と有効性を検証した。

② 機械学習・深層学習を用いたエネルギー設備の劣化予測に関する研究

研究室の主たる研究テーマとして、競争的資金や共同研究による研究（業績・成果一覧 [6, 7]）を主体として遂行している。

i-パワーエネルギー・システムにおいては、リチウムイオン二次電池を主体とする蓄電設備や再生可能エネルギーによる創電設備が、自律分散システムとしてネットワーク化されたものが基盤となる。また、この基盤の上に共通の電力制御プロトコルと API を構成したプラットフォームが構築される。このプラットフォーム上では、運用条件や可動履歴の異なるエネルギー設備の状態を、逐次監視しながら将来予測することが必要となる。この基盤技術としての予測を機械学習・深層学習を用いて実施する。

平成 29 年度は、H26, 27 年度に実施した市販の 18650 型リチウムイオン二次電池を用いた充放電サイクル劣化、及びカレンダー劣化（待機劣化）の複合実験の結果に基づいた物理化学モデルによる予測モデルを完成し、信頼性試験データ、市場運用データの両者における有効性を検証した。また、複雑な運用が行われる電源設備の市場におけるオンラインモニタリングデータについて、正確な劣化予測と寄与の大きい“使い方”の特微量を、畳み込みニューラルネットワークを用いて抽出、可視化する方法について検討、検証した。

③ 半導体デバイスの超長期信頼化に関する研究

再生利用エネルギーの利用効率向上を加速する AC/DC コンバータの実現や、デジタルデータの長期保管のためのデータセンターの低消費電力運用を実現するため、先端パワーデバイスやストレージデバイスの信頼性向上技術を研究テーマの一つとしている。莫大なデータを長期に保管することを目的とする大容量ストレージデバイスでは、低消費電力と超長期信頼性が重要な要求特性となる。中でも、半導体チップの内部、パッケージ内部、基盤接続とのインターフェイスなどに用いられる配線の信頼性を確保することは、最も困難かつ重要な課題の一つである。誤り訂正回路や抵抗変化メモリの技術の併用により、フラッシュメモリそのものの超長期信頼性は設計の視点から、現在すでに達成している信頼性をベースにして検討しうるのに対し、シリコンと外部の信号通信を担う配線は、従来の 10 倍以上の耐湿・耐保管信頼性を確保する必要がある。

平成 29 年度は、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST の「デジタルデータの長期保管を実現する高信頼メモリシステム（研究代表者：竹内健教授，中央大学，平成 27 年度採択分）」における、芝浦工業大学，筑波大学，九州大学と共同して研究を加速し、国際会議及び学術論文を中心に成果を報告した（業績・成果一覧 [1-3, 13-16]）。

また、超高信頼を保証する信頼性理論と実践における検証を、パワーデバイスの初期故障寿命分布の推定とバーンインスクリーニング理論の構築を主題として、競争的資金による研究（業績・成果一覧 [8]）を主体として開始した。

II. 研究実施状況（現在までの達成度を含む）

① 創発性不具合の現状把握およびシステムレジリエンス評価手法の研究

1099 件のリコール情報を分類，分析し，システム設計における創発的不具合発生 の現状について調査した．抽出された 76 件の創発的不具合について，FRAM を用いたレジリエンス分析（図 1）と，数量化とクラスター分析による特徴検討を行った．

また，エネルギー分野におけるシステムレジリエンスの課題明確化を目的として，信頼性・保全性シンポジウムにおいて，一般財団法人電力中央研究所エネルギーイノベーション創発センター，プライムアースEVエナジー(株)，(株)アイテス 製品開発部と当センターの市川晴久特任教授を講演者とする特別企画セッション「ネットワーク化された再生可能エネルギーの活用における信頼性・安全性」をコーディネーターとして開催した．

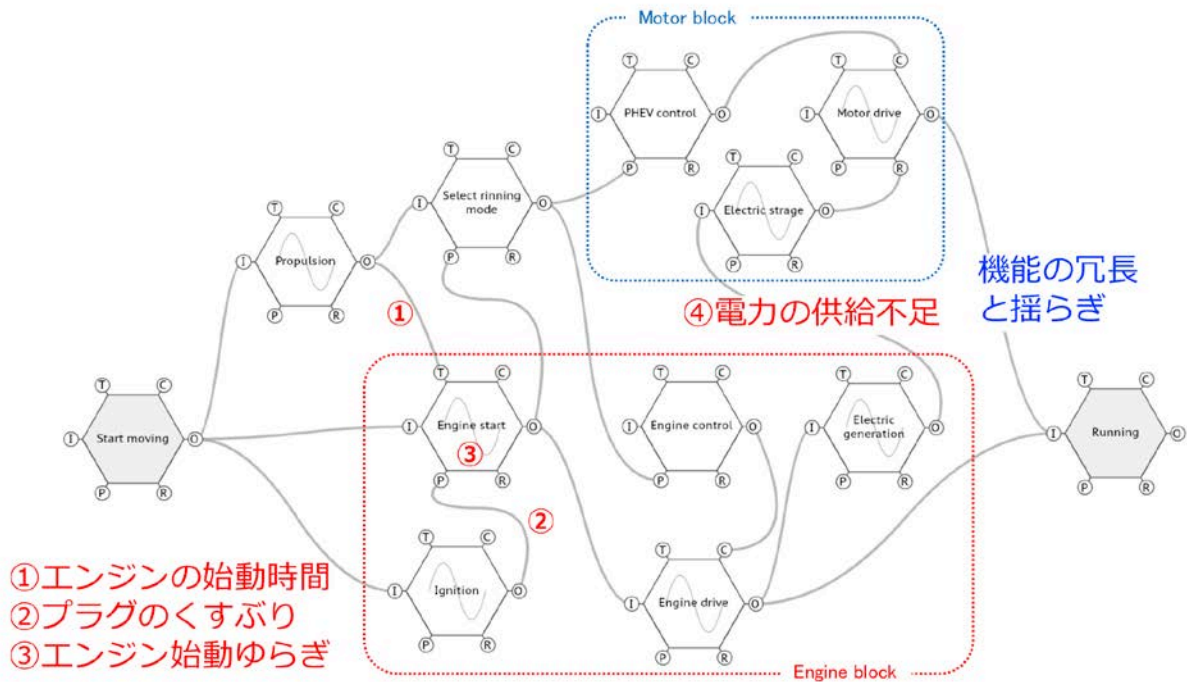


図 1，FRAM による創発的不具合の構造分析結果 [19, 20].

② 機械学習・深層学習を用いたエネルギー設備の劣化予測に関する研究

平成 29 年は，平成 26，27 年に実施した市販の 18650 型リチウムイオン二次電池を用いた充放電サイクル劣化，及びカレンダー劣化（待機劣化）の複合実験の結果に基づいた物理化学モデルによる予測モデルを完成し，信頼性試験データ，市場運用データの両者における有効性を検証した．

また，畳み込みニューラルネットワークを用いた電気設備のオンラインモニタリングデータの分析では，特性劣化に寄与する運用プロファイルをグラフしたデータの学習を通じ

て抽出し、可視化して考察した（図2）。その結果を活用し、設備劣化を大きく抑制する運用方法を提案することが出来た。

これらの研究成果を、iPERC の目指す i-パワードエネルギーシステムの実現に向けた研究課題の一つである、バーチャルグリッドのシステム設計に実装することを想定して推進する。その基盤を確立するため、協調給電による再生可能エネルギーに指向した自律分散グリッドの確立を目的とした科研費・挑戦的研究（開拓）に代表として応募し、採択となった（業績・成果一覧 [4]）。

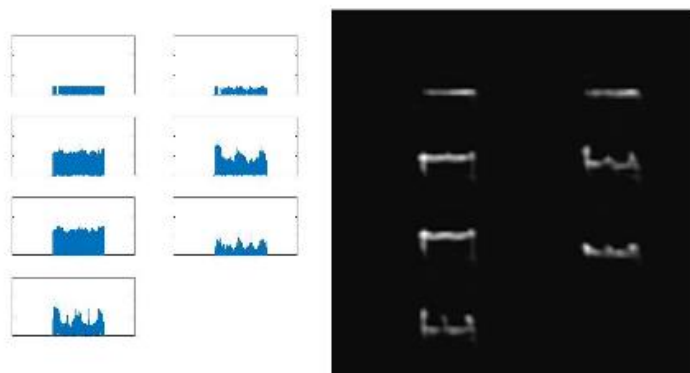


図2， グラフ化した電気設備の運用データと CNN による学習結果の可視化結果 [18]。

③ 半導体デバイスの超長期信頼化に関する研究

平成 28 年度に実施した CREST 共同研究のセミナー、研究会での議論を通じて、超長期メモリの配線信頼性の確保に必要な要素技術とそのリスク評価を、故障物理モデルと未然防止フレームワークを基礎とした Fault tree analysis (FTA) によって分析完了した。透湿性の高い低誘電率層間絶縁膜を用いる最先端デバイスでは、チップ周辺にガードリングを配置することによって誘電率の変化や経時絶縁破壊不良（Time-dependent Dielectric Breakdown: TDDB）の劣化を防止しているものの、その構造及び性能の完全性がクリティカルパスとなる（業績・成果一覧 [2, 15]）。この耐湿性を長期に渡り確保する技術として、微細配線構造のグラフェンラッピング構造を提案し、その耐湿性の実験的実証と、耐湿性の故障物理モデルの代表である Peck モデルを基盤とした予測モデルの構築を開始した（業績・成果一覧 [13]）。

さらに、平成 28 年度に確立した、開発中の技術や製品の信頼性試験において考慮すべき必要な欠陥密度の分布を前提とした寿命分布解析に、試験規模の軽減を実現するためのサドンデス法の適用と、加速試験のための加速モデルを導入する方法について提案し、配線層間へ混載した DRAM 容量素子の TDDB 試験結果への適用により実証し、有効性を示した（業績・成果一覧 [1, 14]）。また、生産品質における欠陥密度が異なる母集団の混

合と、複数故障モードの競合の両者を、同一故障メカニズムを前提として説明する寿命分布モデルを提案し、国際会議にて報告、議論を行った（業績・成果一覧 [12]）。

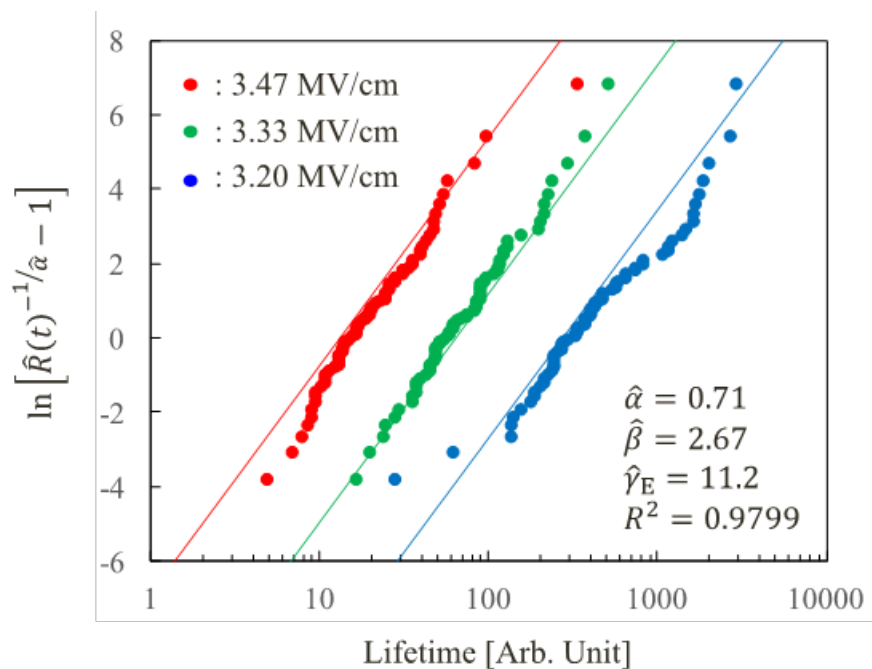


図3，熱化学 E モデルを導入した 2 ステップ確率プロット [1, 14].

III. 業績・成果一覧

学術論文：

- [1] K. Tate and S. Yokogawa; "A statistical evaluation method for lifetime distribution in field accelerated time-dependent dielectric breakdown by using two-step probability plot and multi-link test scheme", Japanese Journal of Applied Physics, accepted.
- [2] S. Yokogawa and K. Kunii; "A survey of critical failure events in on-chip interconnect by using fault tree analysis", Japanese Journal of Applied Physics, accepted.
- [3] S. Yokogawa; "Two-step probability plot for parameter estimation of lifetime distribution affected by defect clustering in time-dependent dielectric breakdown", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.56, pp. 07KG02-1-6 (2017).

産学官連携・競争的資金実績：

- [4] 協調給電による再生可能エネルギー指向自律分散グリッドの開発と実証（科研費・挑戦的研究（開拓）、17H06293、2017-2020、代表：横川慎二）。
- [5] リスクモードとオンラインモニタリング技術高度化に着目した未然防止体系の新展開（科研費・基盤研究(A)、15H01786、2015-2020、代表：鈴木和幸）（分担）。
- [6] カシオ科学振興財団研究助成，機械学習・深層学習を用いたリチウムイオン二次電池の市場信頼性予測の研究，2016/11-2017/10（代表：横川慎二）。
- [7] 共同研究，リチウムイオン電池に関する劣化要因及び運用条件を考慮した統計的容量劣化予測技術の研究，2017/4-2018/3（代表：横川慎二）。
- [8] 共同研究，パワー半導体の信頼性におけるスクリーニング技術と予測に関する数理モデルの研究，2017/9-2018/3（代表：横川慎二）。
- [9] 共同研究，水環境分野における AI 等の適用方策に関する研究，2017/10-2018/3（代表：新誠一）（分担）。
- [10] 共同研究，エネルギーバーチャルグリッドに関する共同開発，2017/12-2018/3（代表：市川晴久）（分担）。
- [11] 学術相談，民生コンポーネントの宇宙適用に向けた信頼性手法の調査・検討支援，2017/9-2018/2（代表：横川慎二）。

国際会議：

- [12] S. Yokogawa and K. Tate; "Reliability Evaluation of Defect Accounted Time-Dependent Dielectric Breakdown with Competing-Mixture Distribution", IEEE International Reliability Physics Symposium, P-GD.2 (2018. 3), accepted.
- [13] P. Gomasang, T. Abe, S. Ogiue, H. Ura, S. Yokogawa, and K. Ueno; "High

Temperature and High Humidity Accelerations to Estimate the Lifetime of Cu Metallization for LSIs", Proc. of 13th International Conference on Ecomaterials (2017. 11).

- [14] K. Tate and S. Yokogawa; "Statistical evaluation of lifetime distribution with defect clustering by using two-step probability plot and multi-link test scheme", Proc. of Advanced Metallization Conference 2017: 27th Asian Session 2017 ADMETA plus, pp.78-79 (2017. 10).
- [15] S. Yokogawa and K. Kunii; "Application of fault tree analysis for interconnect reliability assessment ", Proc. of Advanced Metallization Conference 2017: 27th Asian Session 2017 ADMETA plus, pp.80-81 (2017. 10).
- [16] S. Yokogawa; "Impacts of Censoring on Lifetime Analysis by 2-step Probability Plot in Defect Clustered TDDDB", IEEE International Reliability Physics Symposium, DG-3.1-6 (2017. 4).

国内会議：

- [17] 武田健吾, 澤田賢治, 横川慎二, 新誠一; "風力・太陽光・蓄電池複合システムにおけるグルーピング最適化の検証", 第 30 回自律分散システム・シンポジウム, 1B1-3 (2018. 1).
- [18] 横澤成望, 横川慎二; "畳み込みニューラルネットワークを用いた設備特性劣化のオンラインモニタリングデータ分析", 第 30 回日本信頼性学会秋季信頼性シンポジウム発表報文集, pp.91-94 (2017. 12).
- [19] 横川慎二, 國井喬介; "テキストマイニングと機能共鳴分析法を用いた自動車のリコール情報の分析", 第 30 回日本信頼性学会秋季信頼性シンポジウム発表報文集, pp.119-122 (2017. 12).
- [20] 横川慎二; "システムの不具合における創発性の影響について", 第 60 回自動制御連合講演会, FrB3-3 (2017. 11).
- [21] 市川晴久, 横川慎二, 川喜田佑介; "IoT ソリューション基盤としての電力エネルギー制御プラットフォーム", 第 60 回自動制御連合講演会, FrB3-4 (2017. 11).
- [22] 横川慎二, 國井喬介, 横澤成望; "リチウムイオン二次電池の劣化における二変量ストレスの交互作用に着目した統計モデリング", 2017 年電気化学秋季大会予稿集, 2D05 (2017. 7).

教育系論文：

- [23] 山下雅代, 横川慎二, 鈴木和幸; "日常の問題場面を用いた教材開発への一考察 - 問

題解決事例の分析による目的設定の方法―”, 教材額研究, Vol.28, pp.35-46(2017).

講演：

- [24] 横川慎二；“信頼性マネジメント手法の最新事例”，加賀東芝社内教育セミナー（2017.12）.
- [25] 横川慎二；“信頼性の物理学－故障物理モデルとの関連を中心に－”，加賀東芝社内教育セミナー（2017,12）.
- [26] 横川慎二；“未然防止に向けた信頼性・安全性の理論と各手法のフレームワーク”，富士電機社内教育セミナー（2017.11）.
- [27] 第47回信頼性・保全性シンポジウム特別企画セッション；“ネットワーク化された再生可能エネルギーの活用における信頼性・安全性”（2017.7），セッションコーディネーター.

解説記事：

- [28] 曾我部東馬，横川慎二；“深層学習・深層強化学習を応用したエネルギーシステムの最適化”，日本信頼性学会誌，Vol.40，（2018）in press.
- [29] 横川慎二；“社会インフラの事故・不具合の未然防止における視点”，日本品質管理学会誌，Vol.47，pp.15-20（2017）.

IV. 主な業績の詳細（業績・成果一覧 [19, 20]）

複雑な構造を有するシステムの不具合として、既存のプロセス解析や事象展開にそぐわないケースが、近年増加している。対象となる不具合事象を一方向の観点のみから説明することが難しいためである。いいかえれば「部分からの全体の予測不可能性」としての創発性によって不具合に至るのが、複雑なシステムの特徴の一つである。このような「複数の信号の日々の変動が、意図しない相互作用をすることで発現する検出可能な信号」は機能共鳴と呼ばれる(Hollnagel 2013)。設計されたシステムが、この創発性を有するか否かは、シナリオ解析や時系列のタスク解析で評価することが難しい。そのため、フォールトアポイダンス、フォールトトレランスなどの方策を、システムの設計に有効に組み込むことが難しくなる。

この創発性の発現による機能共鳴の理論は、限られたリソースの条件のもとで人間が、完全とはいえないながらも最良の調整を行いながら運用するシステムによく適合すると言われる。近年、その発生構造の記法として機能共鳴分析法（Functional Resonance Analysis Method: FRAM）(Hollnagel 2013)が提案されており、鉄道分野（福田ら 2016）や医療安全分野（中島 2017）などにおいて活用されている。

本研究では、創発性に誘発されたものと考えられるシステムの不具合事例を、テキストマイニングと FRAM を用いて分析し、設計段階における潜在的なリスクの抽出と不具合の未然防止への応用について議論した。システムの設計において創発性が包含されて機能共鳴に至る不具合の傾向と、その構造記述への FRAM の適用を検討した。

本研究では、システムの不具合事例として、公開されている自動車のリコール・改善対策の情報を用いた。自動車のリコールは、欠陥車による事故を未然防止してユーザーを保護することを目的としているため、重大事故のみでなく、インシデントに基づいた未然防止情報が数多く含まれる。また、機械、電気・電子、制御など多岐の分野にわたる情報である。加えて、個々の事例に関する固有技術情報を得ることも容易である。したがって、本研究の結果は他のシステムにも応用することが可能と考えられる。本研究では、特に電子制御の導入による機能の複雑化とその影響を反映するため、2001年1月から2017年7月初旬までに報告された1,099件の「リコール届出一覧表」及び「改善箇所説明書」を調査した。調査の手順は以下のものである。

- (1) 「リコール届出一覧表」より、届出者（メーカー）、製作国、不具合の部位、不具合件数、事故の有無、発見の動機などの情報を抽出する。
- (2) 「基準不適合状態にあると認める構造、装置又は性能の状態及びその原因」「改善措置の内容」等の記述を精査し、発生した不具合を、①製造起因、②設計起因、③創発性が伺える不具合、④その他、の4区分に分類する。
- (3) テキストマイニングや統計解析によって、発生する不具合と開発フェイズとの関係进行分析、考察する。
- (4) 創発的不具合に分類された事例について、不具合発生要因や、システムを構成する機能の関係性を FRAM により記述、考察する。

対象としたリコール・改善対策データの分析より、報告された事例の大部分が設計に起因するものであること、さらに創発的不具合も数多く報告されていることがわかった。上記の手順(1)(2)を通じて、分類した結果を図4に示す。創発的不具合は常態として不具合が発現するものではないため、設計起因の一部と考えられる。すなわち、65.8%の事例が設計に起因すると考えられる。設計に起因する不具合の比率は、1993年から1997年までは約11%、1998年は約16%、さらに1999年は約35%であったとされており、電子制御システム化によってその傾向がさらに強くなっていることが示唆される。

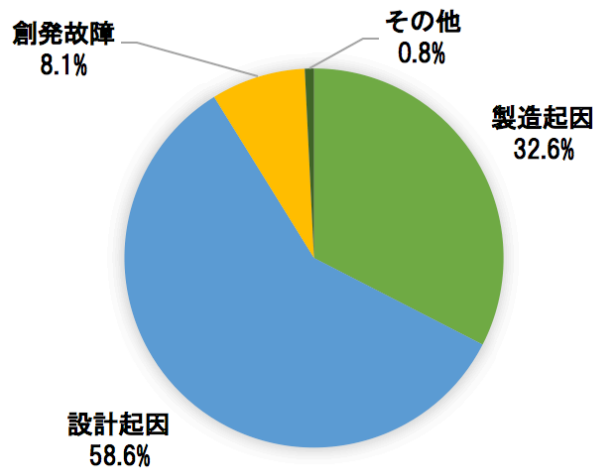


図4，リコール不具合の要因内訳（2001年1月～2017年7月） [20].

また，創発性の有無に依らず，不具合はハードウェア設計，ソフトウェア設計，製造の段階で主に作り込まれている．創発的不具合においても製造の影響が現れるのは，製造のゆらぎを要因の一つとして創発性が発現するためと考えられる．また，製造やハードウェア設計の段階における創発的不具合の比率は5～7%であるが，ソフトウェア設計における創発的不具合の発生比率は約4倍の22%となる．

ソフトウェア設計とは，厳密には要求分析，仕様記述，アーキテクチャ設計，実装，評価，文書化を含むものである．ほとんどすべてのソフトウェア関連の事故は，コーディングエラーではなく要件仕様の欠陥にまで遡ることができる（Leveson 2004）ため，現物をもって検証（verification）と妥当性確認（validation）を行うハードウェア設計や製造と比較して，機能の組み合わせに関する発想が難しく，創発的不具合を潜在しやすいものと考えられる．この機能の組み合わせを明確に可視化し，分析する方法として FRAM の適用が期待される．

FRAM における機能は「目的を達成するために必要な手段」として定義され，それぞれ6つの側面を有するとされる．それらの状態を図5に示されるような六角形に図示し，6つの頂点に側面を割り当てる．この側面はそれぞれ，入力（Input：機能を開始するもの），出力（Output：機能の結果として生じる実態または状態変化），前提条件（Precondition：機能が実行される前に存在すべき条件），資源（Resource：機能が実行されるときに必要な実行条件，または出力を提供するために消費されるもの），時間（Time：機能の実行に影響を与える時間的制約），制御（Control：機能を実行している際の制約条件）であり，多くの機能の結びつきを，頂点同士を線で結んだグラフによる FRAM 図で表現する．

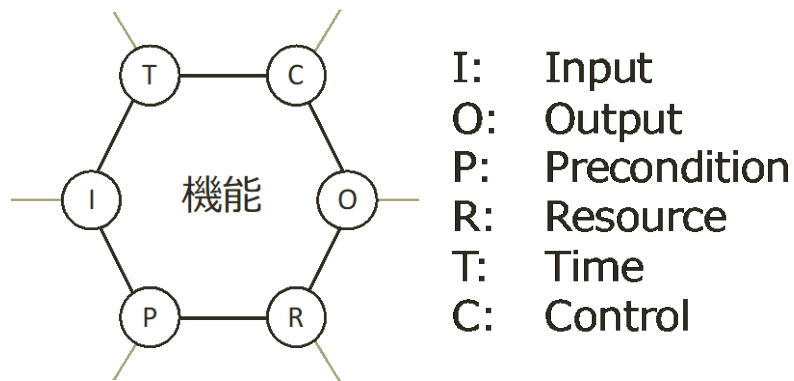


図5, FRAM 基本要素 [19, 20].

図1は、プラグインハイブリッド式自動車 (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) のリコール事例に関する FRAM 図を示す。この事例では、エンジンの始動時間が短い状態でモーターによる EV 走行を繰り返すと、エンジンの点火プラグにくすぶりが発生し、エンジンが始動しないために EV バッテリーが充電されない状況が生じるというものである。そのまま EV 走行を続けるとバッテリー残量が尽きて走行不能となるものである。この事例も、FTA などを用いてリスク評価することは当然可能であり、その際には確率論的な定量評価を行うことも可能である。ただし、エンジンの始動時間という時間側面 (図1の①) と点火プラグのくすぶりという前提条件側面 (図1の②) によってエンジン始動にゆらぎが生じ (図1の③)、走行に必要な電力というリソースの供給が途絶える (図1の④) という状況は、比較的遠い関係にある機能間の直接及び関節的な繋がりによるものであり、既存の手法で導くのが困難なものである。FRAM はこれらの関係を明確に記述し、図形として可視化できる。

自動車のリコール情報の分析を通じて、複雑化が進むシステムにおいては、創発性による不具合の発生が増加する懸念があることがわかった。また、テキストマイニングの手法を用いた分析より、リコール情報には数多くの故障モード、故障メカニズムに関する情報が含まれることがわかった。これらに着目した共起ネットワークを用いることは、複数のストレスやアイテムを抽出し、それらの創発性を考慮する一助となるものと考えられる。

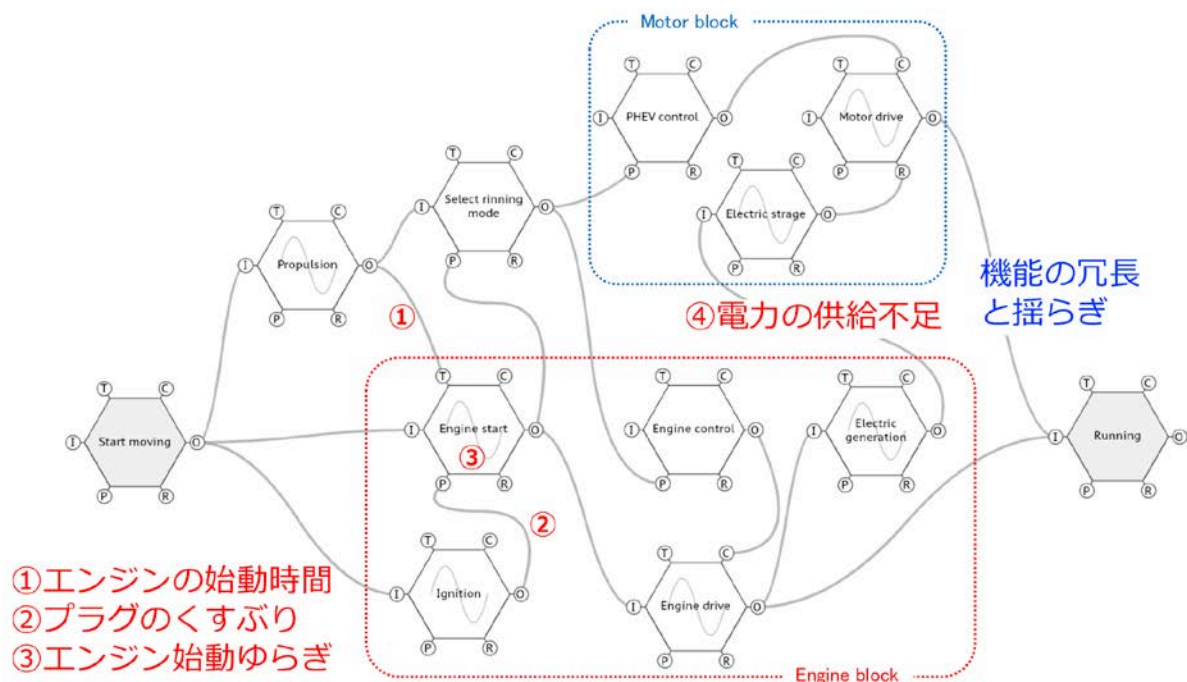


図6, FRAM による創発的不具合の構造分析結果 [19, 20]. (再掲)

また, FRAM による不具合構造の記述は, 複雑な機能間の繋がりや揺らぎの影響を可視化することが出来る. 今後は, この記述のパターンより, システム設計時に創発的不具合を予測, 回避する方法論を確立することが重要である.

VI. 平成 30 年度方針と計画

平成 29 年度から平成 31 年度までの個別研究の推進方針を図 7 のように想定している. 各年度のテーマとして,

- ✓ 平成 29 年度: 予測
- ✓ 平成 30 年度: 評価
- ✓ 平成 31 年度: 異常検知

を挙げて段階的に研究を進める. また, 平成 30 年度には, iPERC として進めている研究課題であるバーチャルグリッド研究 (業績・成果一覧 [10]) や, 水環境分野における研究 (業績・成果一覧 [9]) に適用し, 社会実装を進める.

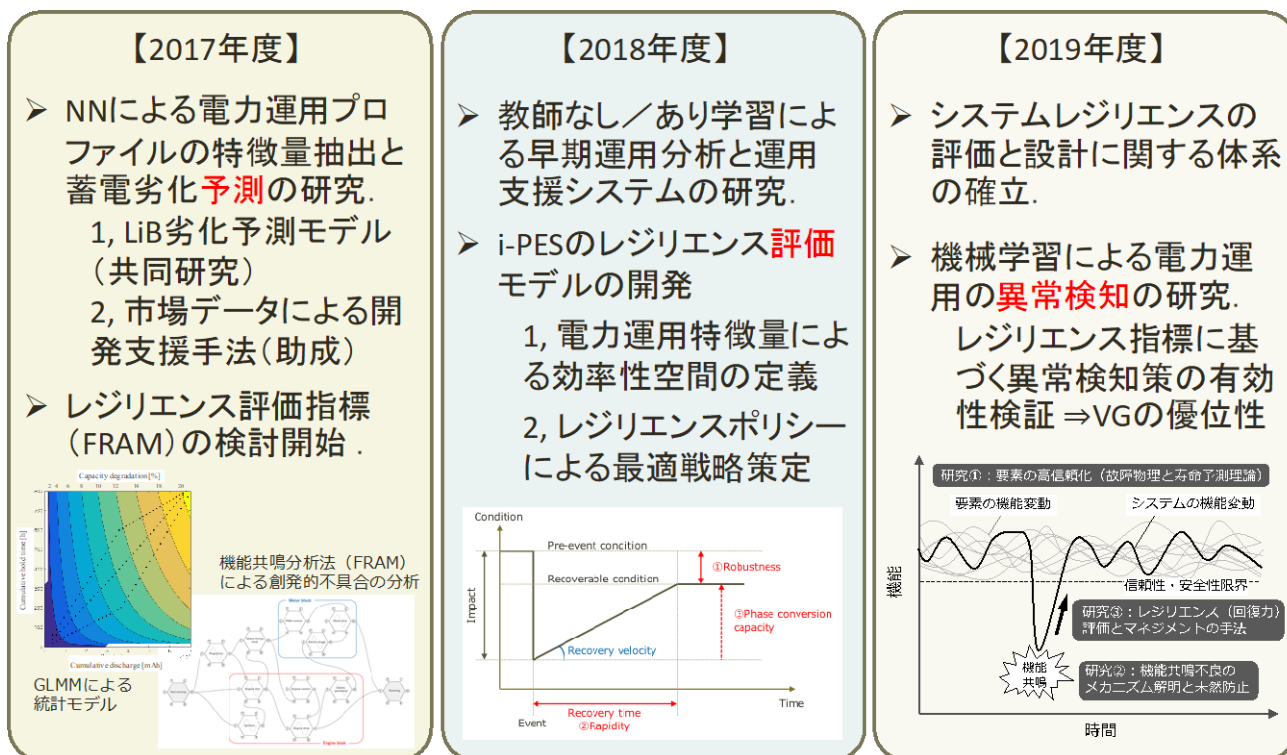


図7, 平成29年度以降の研究方針 (中期計画).

以下, 個別の研究テーマ毎に平成30年の研究計画を示す.

① システム設計におけるレジリエンスの評価手法に関する研究

レジリエンスをシステムに付与するには, (1)システムのモジュール化, (2)ネットワークの構成, (3)オープンプロトコルによるモジュール連携, (4)構成要素へのAI実装, (5)情報と動機の教育・普及, が必要となる. バーチャルグリッドなど, 新たなエネルギーインフラのレジリエンスを検討する際には, 上記の要素が実装, 実現され, 能力が適切に発揮されているか否かの評価が必要となる. このレジリエンス能力の指標として図8の①～③の項目が挙げられる. 平成30年度には, システム設計時点で, これらの構造が作り込まれていることを分析する方法としてのFRAMを用いたシステム分析について, 平成29年度の結果の数量化により確立する. 並行して, 平成30年度以降のバーチャルグリッドシステムのレジリエンス特性評価に適用する.

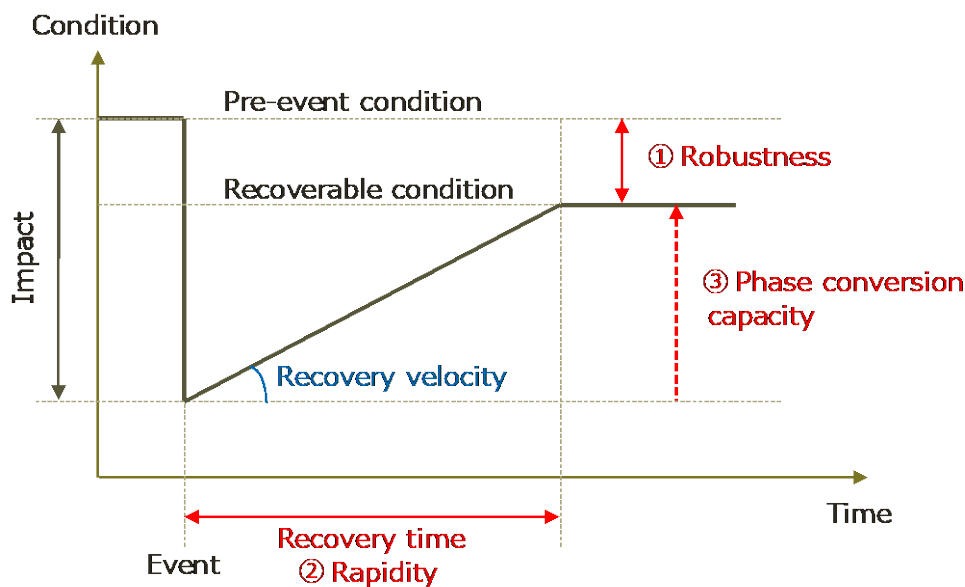


図 8, レジリエンス評価指標の概念図.

② 機械学習・深層学習を用いたエネルギー設備の劣化予測と、新技術・新製品開発への応用に関する研究

平成 29 年度に実施した、多層ニューラルネットワークによる深層学習を用いて、市場運用のオンラインモニタリングデータから、劣化や不具合につながる特徴量をグラフから学習、解釈する方法を効率化する。新製品開発時の信頼性試験の結果から得られる故障物理モデルを基盤としたシミュレータを基盤として、市場における稼働の実績が少ない対象に対して、市場での劣化や不具合の発生を短期間かつ早期に評価・予測することを実現する。

これらは、画像・音声認識の分野で発展してきた深層学習・強化学習の技術を、産業界における新技術実用化や新製品開発の際の信頼性品質保証に応用する試みといえる。この研究を、平成 29 年度に獲得した科研費（業績・成果一覧 [4]）および協議中の共同研究の課題として実行、推進する。その成果は論文、学会発表などを通じて公表する。

③ 半導体デバイスの超長期信頼化に関する研究

平成 30 年度には、開発した信頼性データ解析法である 2 ステップ確率プロット法を応用した実験計画を、芝浦工業大学、筑波大学、九州大学との共同研究におけるグラフエングラフエンラッピング配線（チップ内銅配線や接続パッド部をグラフエンで皮膜することにより、耐湿性を確保する新規技術）の有効性の理論検証と、実験による実証に展開する。この研究を、引き続き CREST のプログラムの中で推進する。

また、パワーデバイスの TDDB 特性における欠陥密度分布に対応した寿命分布モデル

を、信頼性試験結果と生産プロセスからのビッグデータに基づくスクリーニング最適化技術に適用し、その有効性を実証する研究を、企業との共同研究によって進める。

V. その他

- [1] IEEE International Reliability Physics Symposium, Dielectric Reliability Session Program committee.
- [2] Advanced Metallization Conference, Program Committee Chair.
- [3] Japanese Journal of Applied Physics, Guest editor for special issues.
- [4] 日本信頼性学会, 論文審査委員.
- [5] 日本品質管理学会, 信頼性・安全性計画研究会委員.
- [6] 日本品質管理学会, TQE (Total Quality Education) 特別委員会委員.
- [7] 一般社団法人電子情報技術産業協会半導体信頼性技術小委員会, 客員.
- [8] 一般財団法人日本電子部品信頼性センター故障物理委員会委員.

以上

2.主要研究成果

2.3 制御系セキュリティに関する研究

澤田 賢治 准教授

情報理工学領域 II 類/知能機械工学科/機械知能システム学専攻

計測・制御システム 兼務

I. 平成 29 年度計画概要

分散型エネルギーシステムの安全安心な運用のための、分散協調技術とシステム更新技術の研究を目的とする。都市を繋ぐエネルギーインフラから家庭レベルのマイクログリッドまで、制御システムの2つの共通課題を考える。

- ① 分散協調技術：1つのシステムに様々なセキュリティ技術を導入すると、機能競合するため、相乗効果をもたらす分散協調技術が必須である。
 - A) 制御システムにおける学習型ホワイトリスト
 - B) 制御システムにおけるホワイトリストの自動生成
 - C) ホワイトリスト運用のための制御状態分割
- ② システム更新技術：制御システムを止めない更新技術とは何なのか、冗長構成、仮想技術、通信技術の観点から新しい更新技術が必須である。
 - A) 制御プログラムの無瞬断更新技術
 - B) 性能劣化抑制と耐故障性を考慮したグルーピング最適化アルゴリズム

II. 研究実施状況

① 分散協調技術

- ① -A) 制御システムにおける学習型ホワイトリスト（関連業績：[11],[14],[16],[18],[20],[24],[30],[32]他）

重要インフラの制御システムでは、PLC (Programmable Logic Controller) の規格の統一化、制御ネットワークの標準化プロトコル採用、インターネット接続などが進められている。これらを契機に制御システムに対するサイバー攻撃やウイルス感染などのセキュリティ上の脅威(インシデント)が報告されている。そのため巧妙化するインシデントに対して、制御システムでは監視端末、通信機器に加えて PLC の防衛技術が必須となっている。PLC はシーケンス制御(予め定められた順序又は手続に従って制御の各段階を逐次進めていく制御、JISZ8116 参照)が主機能であり、一般家電製品、自販機、信号機、ビル、工場、発電所、変電所などの身近なものから重要インフラまで様々なシステムの自動化・省力化を果た

す中心的制御機器である。PLC のセキュリティ性能向上は社会全体の安全安心の向上に繋がることから、本プロジェクトではホワイトリスト方式の PLC 防御技術の開発を行っている。

ホワイトリスト方式は通常動作をリストとして登録し、リスト以外の動作すべてをインシデントと判断する。本手法は新たなインシデントもリストを更新せず検知可能である。機能は以下の3種に分類できる。

- リスト機能：正常状態のリスト化
- スキャン機能：リストと実振る舞いの照合に基づく状態監視
- ブロック機能：異常検知後の異常振る舞いの抑制

照合するリストは通常動作だけであるため、リスト照合時の負荷が少なく制御システムのリアルタイム性への影響も少なくなる。またリストの更新タイミングは通常動作が大きく変化するシステムメンテナンス時のみであるため、メンテナンスコストも少ない利点がある。このホワイトリスト方式を PLC に適用することにより、センサ、アクチュエータで発生するインシデントを検知することを目指している。これにより、Stuxnet や PLC Blaster のように正常な制御コマンドを乗っ取り PLC の制御プログラムの一部改変するインシデントも検知が期待できる。

本プロジェクトでは、制御システム内のネットワークスイッチや SCADA に実装されたセキュリティ技術との連携を考え、単一としても複数としても機能する自律分散防御システムを目指している。その諸端として、ホワイトリスト機能は通常のアнтиウィルスソフトのようにオペレーションシステムとアプリケーションソフトを介在するようなものではなく、図1に示すように制御アプリケーション上に実装する。このとき、監視対象は制御アプリケーションによって駆動するフィールド機器（センサ・アクチュエータ）の振る舞いである。また、自律分散防御の観点から、提案するホワイトリスト機能は PLC 以外のセキュリティ機器との連携も考慮している。具体的には、PLC への不正アクセスや異常検知時のブロック機能は HMI や ネットワークスイッチなどに実装された汎用的なセキュリティ機器に任せることが出来る。これにより、我々は PLC のホワイトリスト機能としてブロック機能を除いた下記を実現することに注力している。

- リスト機能：ファームウェアやハードウェアのアップデートをすることなく、現行の PLC に実装できる形式であること。
- スキャン機能：PLC のメイン制御機能への影響が低いこと。

H29 年度では、H28 年度に開発したラダー型ホワイトリストの実装検証と PLC 用の学習型ホワイトリストの開発である。ラダープログラムは現在多くの PLC に使用される制御言語である。ラダープログラムに変換することで、PLC の制御アプリケーションの種類に

依存することなくホワイトリストを PLC に実装することが出来るようになる。H28 年度はシーケンス制御を主軸としていたが、H29 年度ではフィードバック制御も視野に入れ、フィードバックループのオンライン学習アルゴリズムをラダープログラムで実現する。

コントローラにホワイトリスト式検知技術の導入

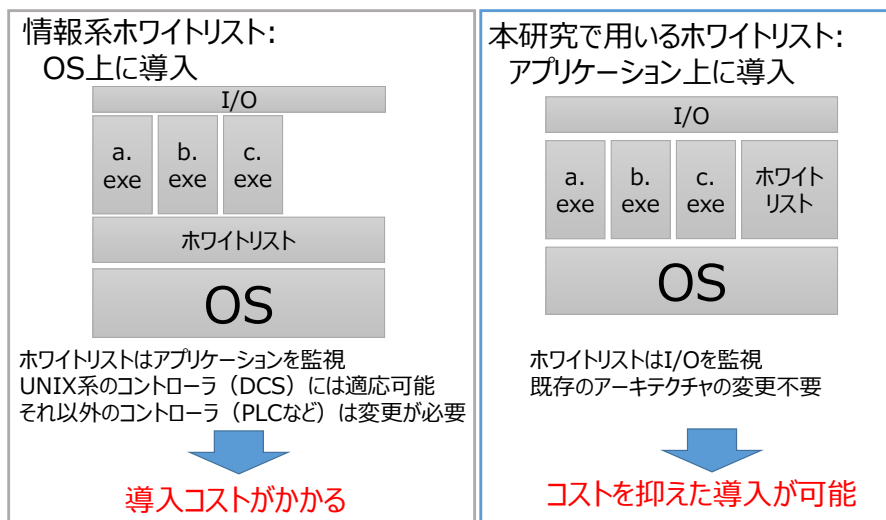


図1, コントローラのホワイトリスト

①-B) 制御システムにおけるホワイトリストの自動生成 (関連業績: [13],[22],[31],[36], 他)

①-A では、PLC のシーケンス制御とフィードバック制御における検知機能開発を主軸としているが、ホワイトリストの作成自体も重要な開発課題である。先のプロジェクトにおける PLC ホワイトリストとは、PLC の I/O の正しい実行順序をリストとして登録し、リスト外の I/O の振る舞いを異常と検知する。I/O の正しい実行順序をペトリネットというモデリング手法でモデル化し、ペトリネットから PLC の制御プログラム形式の 1 つであるラダープログラム (LD) に変換している。これにより、LD を利用できる PLC ならば、ファームウェアやハードウェアの変更や改造の必要も無くホワイトリストを実装できる。

ペトリネットから LD へのホワイトリスト変換方法は構築できているが、I/O の実行順序からペトリネットを自動生成する方法が検討段階にある。本プロジェクトでは LD と記述の相互変換が可能な Sequential Function Chart (SFC) を利用することで、ホワイトリストを自動生成する手法を検討する。本手法では、PLC の LD などの制御プログラムから SFC へ変換し、SFC からペトリネットを自動生成することになる。

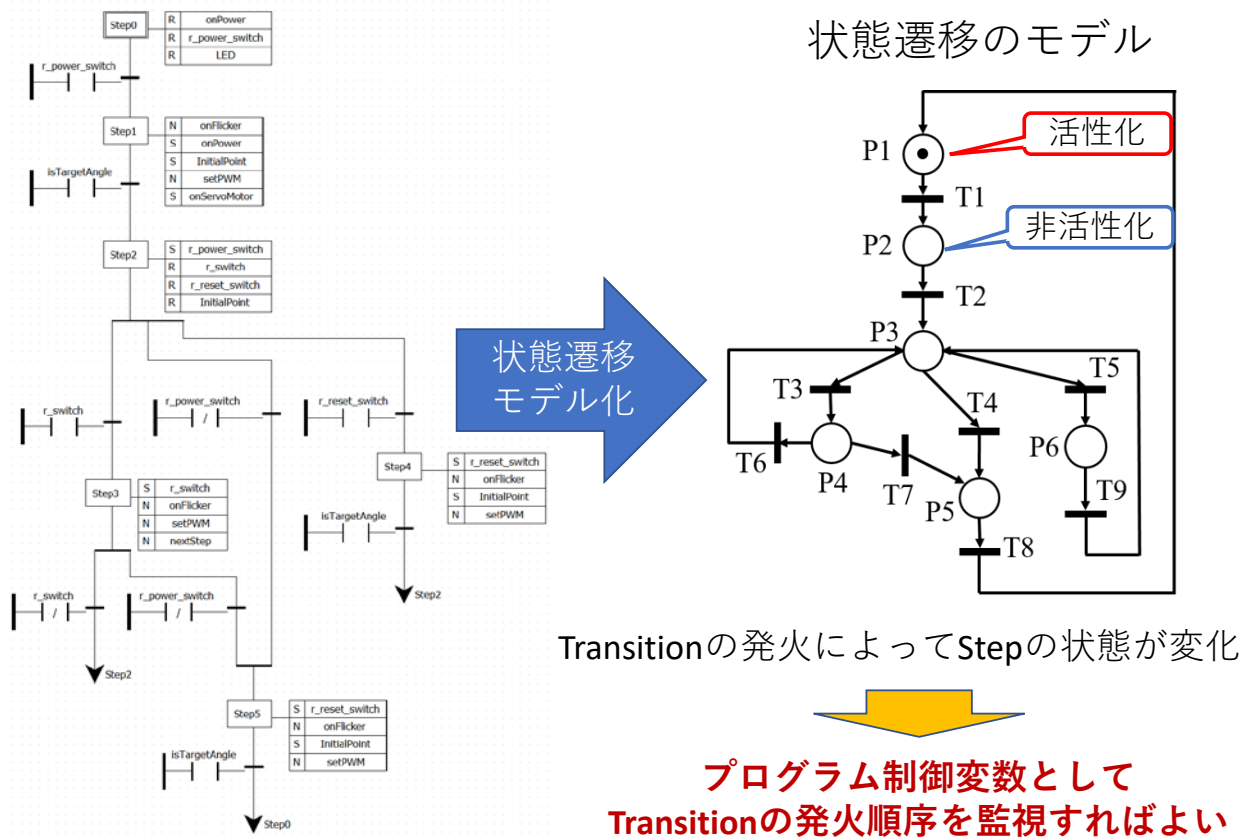


図2, ホワイトリストの自動生成

また、技術開発の信頼性確保のため制御機器やフィールド機器を含む実環境を想定したテストベッドを使用したセキュリティ技術検証が必要となる。そこで本プロジェクトでは、制御機器として PLC (Programmable Logic Controller) を使用した制御システムのテストベッド構築も行っている。この際、ベンダ製 PLC の代替としてオープンソースソフトウェアの OpenPLC を利用することで、利益相反や情報開示などの制約を受けることなくセキュリティ技術の開発が可能となっている。図3にその構成を示す。

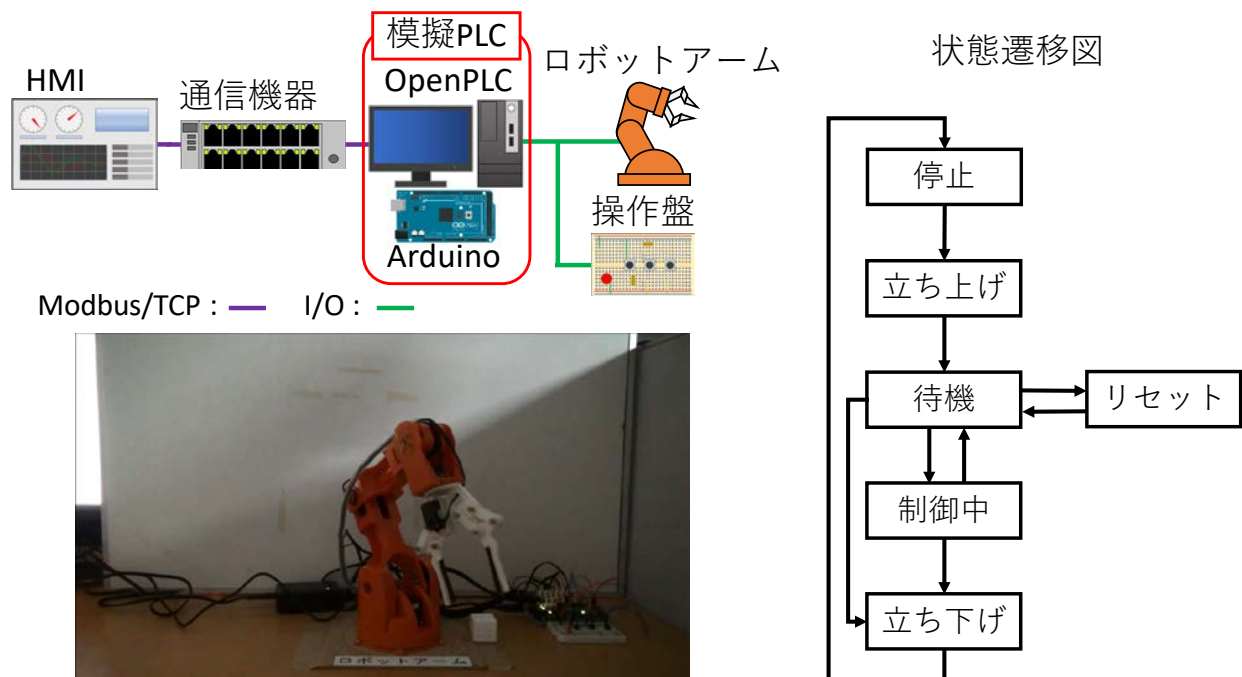


図3，オープンソースソフトウェアによるテストベッド

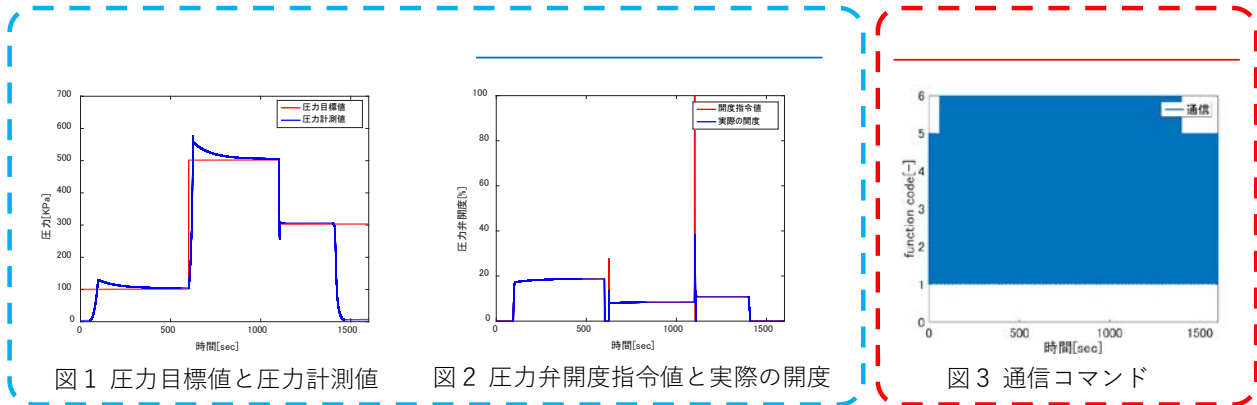
①-C) ホワイトリスト運用のための制御状態分割 (関連業績：[6],[16],他)

産業用制御システム (ICS) には「停止」や「制御中」などの各運転状態において許可される通信内容がそれぞれ異なるという特徴がある。運転状態を考慮しない単一のホワイトリストでは不十分であり、各運転状態に対応したホワイトリストを作成し適用する必要がある。そこで先行研究では運転状態に応じてホワイトリストを切り替える手法 (運転状態別ホワイトリスト) を提案している。一方、この手法では運転状態の異常な遷移を検出することができない。異常な遷移が発生した場合にも、遷移後の運転状態に対応したホワイトリストが適用されるのみである。

そこで本研究プロジェクトでは、運転状態別ホワイトリストが導入されたネットワーク監視装置 (監視装置) に対して、ICS の異常な運転状態遷移の検出機能を追加する。ここで、監視装置は ICS の運転状態に対応したホワイトリストを選択するため、ICS の運転状態を取得する必要がある。一方で、ネットワーク経由で受信した情報は改ざんされている危険性がある。そこで本研究では、ICS の正常な運転状態の遷移を表現したモデルを利用して運転状態を推定する機能 (運転状態推定機能) を作成する。さらに、運転状態推定機能と運転状態別ホワイトリストの併用を実現する。本手法を、ホワイトリスト型異常検出アルゴリズムとよぶ。運転状態推定機能を利用することにより、ICS で生じた運転状態の異常な遷移を検出できるため、より堅牢な運転状態別ホワイトリストの運用が可能となる。

H28 年度は運転状態の仕様が予め与えられている状況を想定していたが、H29 年度では

制御対象の稼働情報から運転状態を決定する制御状態分割アルゴリズムに着手した(図4)。すなわち、これまでの制御システムのセキュリティ機能が「制御システムの特徴に併せて情報システム技術を転用する」という観点をとっていたのに対して、本プロジェクトは「ホワイトリスト機能が適用しやすいように制御システムの運転状態を分割する」という逆方向の考え方である。ホワイトリスト機能が活用できるように運転状態を分割出来れば、リスト作成時の技術者の負荷を下げられるだけでなく、サイバー攻撃への耐性向上にも繋がる。



有限運転状態分割

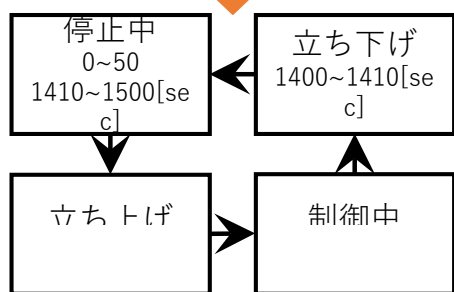


図4, 有限状態分割

② システム更新技術

③ ーA) 制御プログラムの無瞬断更新技術 (関連業績: [2],[15],他)

制御システムが動作状況の変化により制御プログラムを更新する場合、システムの再起動を伴うオフライン更新は動作の中断に繋がる。これを防ぐための手段の一つとして更新対象の制御機器をオフライン更新できるように、更新対象のタスクを別の制御機器に移行するクラウド制が提案されている。この制御システム組では、センサ・アクチュエータがクラウドサーバに接続されるネットワーク制御システムならば、システムの一部は停止してもシステム全体としてはオンライン更新が可能になる。また、自動車では制御機器のソフトウェア

更新が必要な場合は有線によるオフライン更新が行われてきた。しかし、自動運転車の登場により頻繁にソフトウェアの更新を行う必要があり、無線通信（OTA: Over The Air）によるソフトウェアの更新が普及し始めている。

制御システムにとって最も相応しい更新とは、更新によるシステム動作中断時間が最小化される状況である。本プロジェクトでは、動作を中断せずにプログラムをオンライン更新する無瞬断更新技術として、本プロジェクトではプログラムを部分的に更新していくことを考える。部分的に更新をする際は、更新箇所を誤るとアクチュエータなどの動作に影響を与えてしまう恐れがある。そこで、本研究では適用対象をアクチュエータとセンサが接続された組込制御システムとし、更新対象を制御に関わるプログラムのソースコードとしている。

本研究の特徴は、プログラムに対してペトリネットに基づく制御フロー解析とカルマン正準分解に基づく構造解析を同時に適用することにある。プログラムに対するペトリネットの利用は、順次処理についてのみ既に行われている。これに対して本研究では、分岐処理を含むより複雑なプログラムの制御フロー解析に適用する。また、別の先行研究ではソフトウェアの改変検出にカルマン正準分解に基づく構造解析を利用している。これに対して、本研究はこの構造解析をプログラムの更新可能な部分の判別に利用する。

H28 年度はロボットランサーの制御プログラムを対象に、無瞬断更新のためのプログラム解析を研究した。H29 年度では、主に学術論文としてまとめることを主軸とした。プログラム更新期間に関して、非動作のタスクを更新可能タスク、動作するタスクを更新不可能タスクとして、提案する無瞬断更新解析方法の適用対象を明確化した。

②-B) 性能劣化抑制と耐故障性を考慮したグルーピング最適化アルゴリズム（関連業績：[12],[21],[28],[33]他）

分散型電源を複数有するような大規模電力システムにおいては、集中制御と分散制御が混在する。集中制御においては各サブシステムの静的情報を管理し、分散制御では動的情報や発電機器の制御を管理する。分散制御においてカバーする電力エリアや機器は地域的な問題や建設時期など物理的な制約によって決まることが主であるが、超スマート社会のような高度に情報通信技術が発達した社会では、物理的な制約を超えて情報的な繋がりに注目した分散制御システムの運用が必須となる。また、大規模システムにおいては、管理機器の老朽化による性能劣化や故障対応が必須である。この2つの要因によって、電力供給性能や発電性能に影響を与えるのは相応しくない。機器故障や性能劣化による影響を局在化するために、分散制御でカバーする機器の調整も重要である。

上記を鑑み、本プロジェクトでは、1つの分散制御システムで管理する機器の組み合わせ（グルーピング）の最適化に焦点を当て、性能劣化や機器故障にロバストなスマートグリッドシステムのアルゴリズム構築に取り組んでいる。現在、対象としているのは、火力発電な

どの既存電力系統，分散型電源として太陽光パネルと風力発電，電力動揺としての蓄電池からなる複合発電システムである．特に，蓄電池はこれからのスマートグリッドシステムにおいて，省エネと動揺対策，さらには自然災害時の復旧活動に重要な役割を果たす機器である．そこで，本プロジェクトでは，蓄電池を主軸とした分散制御やグルーピング最適化に注力している．

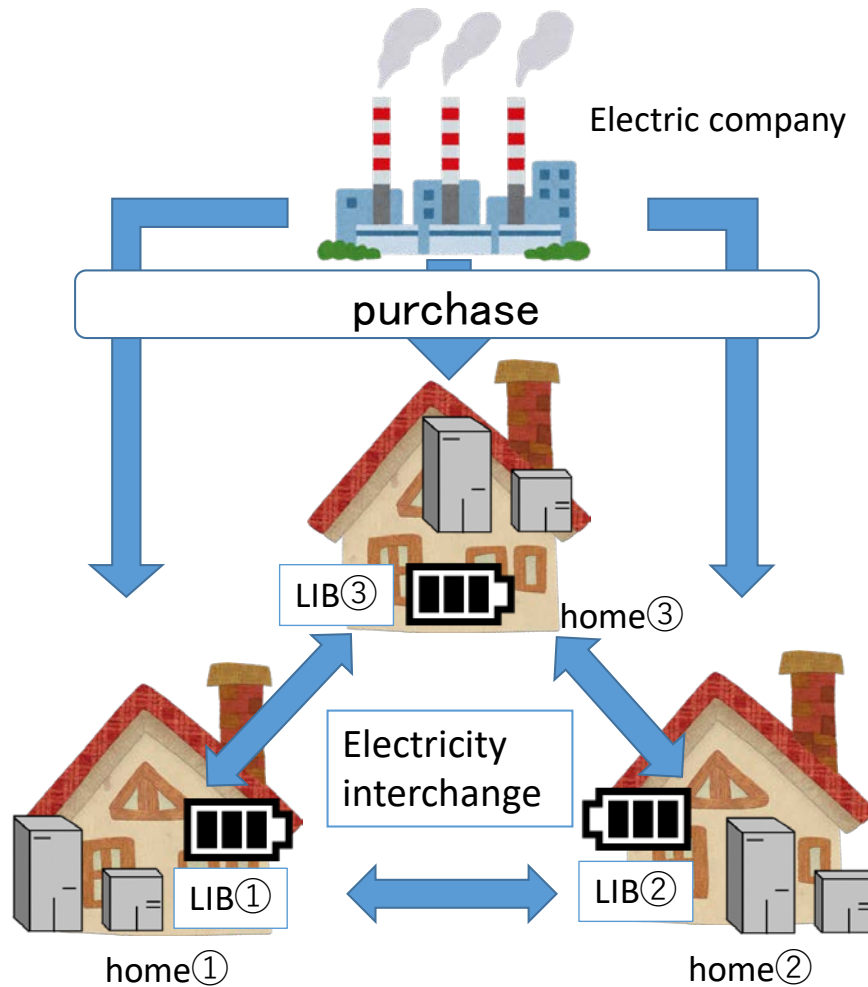
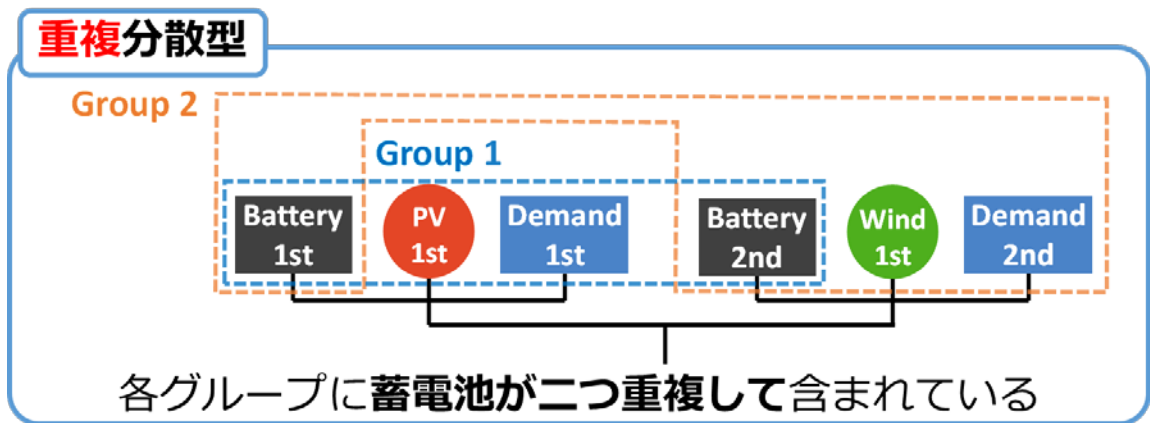
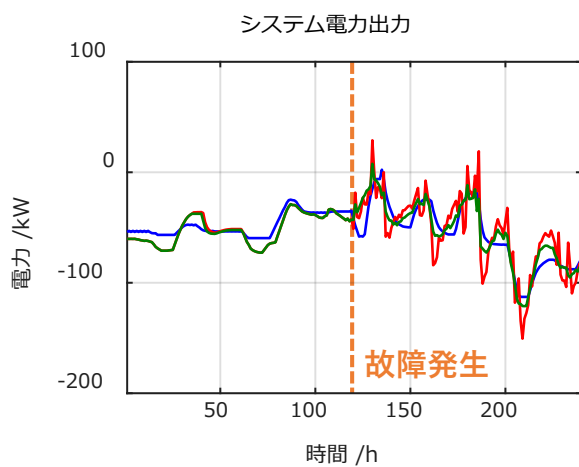


図5，自律分散エネルギーシステム

分散制御に関しては，エネファームなどの SOFC を有する家庭が複数連携することで省エネ化を実現する自律分散エネルギー運用アルゴリズムを開発している（図5）．アグリゲータのようにある程度の家屋数が揃わないと効力を発揮できないようなものではなく，アパートのような小規模システムを想定している．家屋連携のための家庭間共有情報をリチウムイオン蓄電池の充放電情報に置き換えることで，電力需給情報のような個人情報を利用することなく，省エネ化を実現する．



13



	目的関数値 ($\times 10^{-4}$)	
	検知 できない 故障時	検知 できる 故障時
集中型	-1.85	-1.32
完全分散型	-1.70	-1.70
重複分散型	-1.70	-1.43

図6, グルーピング最適化

グルーピング最適化に関しては、グルーピングが与えられたときの分散制御アルゴリズム（連続最適化）とグルーピング自体の最適化（離散最適化）、さらにその2つを組み合わせた多段階最適化に着手している。連続最適化の研究では、分散制御のグループ同士が完全に独立した完全分散グルーピングに対して蓄電池が重複した重複分散グルーピングが耐故障性に優れることをフェイルセーフとフェールソフトの観点から明らかにした（図6）。離散最適化の研究においては、電力システムにおける完全分散グルーピングの候補を全列挙するためのシステム表現を与えている。全列挙表現により、ある評価関数を最適化するようなグルーピング候補を列挙する部分列挙アルゴリズムも提案できるようになった。

Ⅲ. 業績・成果一覧

学術論文(2017/4/1-2018/3/31)：

- [1] 望月優加理, 澤田賢治, 新誠一, 「通信可能範囲を考慮した分散協調制御システムに基づく迷路探索」, システム制御情報学会論文集, Vol. 31, No. 4, pp. 167-176 (2018/4).
- [2] 岸田貴光, 塚田健人, 澤田賢治, 新誠一, 「組み込みシステムの無瞬断更新のためのカルマン正準分解に基づくプログラム解析」, 計測自動制御学会論文集, Vol. 54, No. 2, pp. 227-237, <https://doi.org/10.9746/sicetr.54.227> (2018/2).
- [3] Tsubasa Sasaki, Kenji Sawada, Siichi shin, Shu Hosokawa, “Model Based Fallback Control for Networked Control System via Switched Lyapunov Function”, The IEICE Transactions on Fundamentals, Vol. E100-A, No. 10, pp. 2086-2094, DOI: 10.1587/transfun.E100.A.2086 (2017/10).
- [4] 山藤 勝彦, 山本 建, 澤田 賢治, 「電磁比例弁内のスプールに作用するクーロン摩擦力に起因した不安定振動の解析と安定化させるための設計法」, 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 852, p.16-00553, <https://doi.org/10.1299/transjsme.16-00553> (2017/8).
- [5] 田村健太, 澤田賢治, 新誠一, 「自動車の前後制動力配分のシミュレーションモデルベース最適化」, システム制御情報学会論文集, Vol. 30, No. 5, pp. 197-208, <https://doi.org/10.5687/iscie.30.197> (2017/4).

産学官連携・競争的資金実績：

- [6] 科学研究費助成・基盤研究 C (代表)：事象駆動型量子化制御に基づく通信制御系の縮退運転アルゴリズム, 2015/4/1-2018/3/31
- [7] 共同研究：戦略的イノベーション創造プログラム (SIP), 重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保, (a3) 制御・通信機器およびシステムの防御技術, コントローラのホワイトリスト, 2017
- [8] 共同研究：スリップ制御開発, 2017
- [9] 共同研究：スマートインバータシステムに対するセキュリティ検証基盤の構築に係る研究, 2017
- [10] 共同研究：システムモデルを利用した攻撃検知技術に関する研究, 2017

国際会議(2017/4/1-2018/3/31)：全 9 件

- [11] Takahisa Saito, Shion Nasukawa, Shu Hosokawa, Makoto Kiuchi, and Kenji Sawada, “A prototype of cooperative whitelist protection for control systems considering plant life cycle”, AROB 23rd 2018 (2018/1).

- [12] Shunsuke Kuwana, Kenji Sawada, Seiichi Shin, “On autonomous distributed operation of LiB combined type SOFC system”, AROB 23rd 2018, pp. 809-814 (2018/1).
- [13] Shintaro Fujita, Kousuke Hata, Akinori Mochizuki, Kenji Sawada, Seiichi Shin, Shu Hosokawa, “OpenPLC based control system testbed for PLC whitelisting system”, AROB 23rd 2018 (2018/1).
- [14] Akinori Mochizuki, Kenji Sawada, Seiichi Shin, Shu Hosokawa, “Model-based Anomaly Detection Method for PLC Whitelist”, AROB 23rd 2018 (2018/1).
- [15] Takanori Kishida, Kenji Sawada, Seiichi Shin, “On Software Update Analysis via Kalman Decomposition”, The 11th Asian Control Conference 2017, pp. 2496-2501 10.1109/ASCC.2017.8287567 (2017/12).
- [16] Akinori Mochizuki, Kenji Sawada, Seiichi Shin and Shu Hosokawa, “On Experimental Verification of Model Based White list for PLC Anomaly Detection”, The 11th Asian Control Conference 2017 (2017/12).
- [17] Kenji Sawada, “Model-based Cybersecurity for Control Systems: Modeling, Design and Control”, SICE Annual Conference, pp. 724-727 (2017/9).
- [18] Tsunato Nakai, Teruyoshi Yamaguchi, Sachihiko Ichikawa, Nobuhiro Kobayashi, Kosuke Hata, Kenji Sawada, “Simulation and Evaluation of Whitelisting Intrusion Detection Systems according to Life cycle in Industrial Control Systems models”, IWSEC2017 (2017/8).
- [19] Tsubasa Sasaki, Kenji Sawada, Seiichi Shin, Shu Hosokawa, “Fallback and Recovery Control System of Industrial Control System for Cybersecurity”, IFAC World Congress2017 (2017/7).

国内会議：全 21 件

- [20] 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, 新誠一, 細川嵩, “PLC のためのホワイトリスト式異常検知技術”, 第 4 回制御部門マルチシンポジウム予稿集／計測自動制御学会, 第 4 回制御部門マルチシンポジウム (2018/3).
- [21] 武田 健吾, 澤田 賢治, 横川 慎二, 新 誠一, “風力・太陽光・蓄電池複合システムにおけるグルーピング最適化の検証”, 第 30 回自律分散シンポジウム／計測自動制御学会, 第 30 回自律分散シンポジウム (2018/1).
- [22] 藤田慎太郎, 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, 新誠一, 細川嵩, “産業用コントローラに対するホワイトリストの自動生成手法の検討”, CIS2018/SCIS2018 予稿集 (2018/1).
- [23] 中井綱人, 市川幸宏, 小林信博, 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, “制御システムのテスト

ベッド構築と制御特性に着目した攻撃検知手法の提案”, SCIS2018/SCIS2018 予稿集 (2018/1).

[24] 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, 中井綱人, 市川幸宏, 小林信博, “ホワイトリスト運用を目的とした制御システムの状態分離アルゴリズムの検討”, SCIS2018/SCIS2018 予稿集 (2018/1).

[25] 川上重太, 澤田賢治, 新誠一, “合意制御における誤り訂正符号を用いた改ざん検知のための検査ビット共有化”, システム・情報部門学術講演会 (SSI2017) 予稿集/計測自動制御学会, システム・情報部門学術講演会 (2017/11).

[26] 望月優加理, 澤田賢治, 新誠一, “分散協調制御型探索システムにおけるデッドロック解決のための通信手段の検討”, システム・情報部門学術講演会 (SSI2017) 予稿集/計測自動制御学会, システム・情報部門学術講演会 (2017/11).

[27] 渡井 翔太, 澤田 賢治, 市原 裕之, “ペトリネットを用いた渋滞現象のモデル化と動特性解析”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).

[28] 武田 健吾, 澤田 賢治, 新 誠一, “ZDD を用いた風力・太陽光・蓄電池複合システムのグルーピング最適化”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).

[29] 望月 優加理, 澤田 賢治, 新 誠一, “マルチエージェントシステムによる迷路の協調探索における流量解析”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).

[30] 望月 明典, 澤田 賢治, 新 誠一, 細川 嵩, “PLC に対するホワイトリスト式攻撃検知技術の開発”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).

[31] 藤田 真太郎, 秦 康祐, 望月 明典, 澤田 賢治, 新 誠一, 細川 嵩, “OpenPLC を用いた制御システムへのホワイトリスト式検知技術の実装と検証”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).

[32] 細川 嵩, 茄子川 慈苑, 木内 誠, 市川 幸宏, 澤田 賢治, “プラントライフサイクルによる協調ホワイトリスト防御の検討”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).

[33] 武田健吾, 澤田賢治, 新誠一, “風力・太陽光・蓄電池融合システムの重複分散運用の検討”, 電子・情報・システム部門大会予稿集/平成 29 年電気学会電子・情報・システム部門大会 (2017/9).

[34] 桑名俊輔, 澤田賢治, 新誠一, “複数の家庭における LIB 併用型 SOFC の自律協調エネ

ルギーシステムの一考察”，電子・情報・システム部門大会予稿集／平成 29 年電気学会
電子・情報・システム部門大会 (2017/9).

- [35] 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, 中井綱人, 山口晃由, 小林信博, “ホワイトリスト運用のための複数の制御機器情報に基づいた運転状態の推定”, DICOMO2017/DICOMO2017 予稿集 (2017/6).
- [36] 藤田真太郎, 秦康祐, 澤田賢治, 新誠一, 細川嵩, “OpenPLC を用いたロボットアーム制御システムの構築について”, 電気学会制御研究会/制御研究会予稿集 (2017/6).
- [37] 永谷禎貴, 澤田賢治, 新誠一, “多重解像度補間メッシュに基づく経路探索手法”, 第 163 回アルゴリズム研究会／電子情報通信学会技術研究報告 (2017/5).
- [38] 植田 雄太, 澤田 賢治, 新 誠一, “場を介した情報共有による自己組織化ロボットの役割切替”, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集／システム制御情報学会, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2017/5).
- [39] 塚田健人, 岸田貴光, 澤田賢治, 新誠一, “Graphillion に基づく制御ソフトウェアの可用性検査”, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集／システム制御情報学会, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2017/5).
- [40] 望月 優加理, 澤田 賢治, 新 誠一, “通信可能範囲を考慮した分散協調制御システムに基づく迷路探索”, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集／システム制御情報学会, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2017/5).
- [41] 川上 重太, 澤田 賢治, 新 誠一, “誤り訂正符号を用いたリーダー・フォロワー合意におけるビザンチン将軍問題”, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集／システム制御情報学会, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2017/5).

講演：

- [42] 制御システムのホワイトリスト：多階層検知と協調動作, 計測自動制御学会制御部門 MSCS2018, 2017/2/21
- [43] 制御系のサイバーセキュリティのための協調型ホワイトリスト 計測自動制御学会産業応用部門 2017 年度大会, 2017/11/10
- [44] Society5.0 時代に向けたサイバーセキュリティの動向、現状と課題, 環境装置部会環境ビジネス委員会, 2017/10/20

IV. 主な業績の詳細

本節では 5 つのプロジェクトの内, 「①-B) 制御システムにおけるホワイトリストの自

動生成」について述べる。本プロジェクトでは、本研究では、ホワイトリストの自動生成手法としてモデルベースホワイトリストとモデルベース監視の2つの手法を提案する。

モデルベースホワイトリストは、制御プログラムの状態遷移順序を登録したホワイトリストを作成する手法である。ここで、テストベッドの制御プログラムはSFCを用いて状態遷移に基づいて作成している。SFCとペトリネットの1対1対応関係を定義することで、状態遷移に着目したペトリネットモデルを生成できる(図2)。図2では各プレースが制御システムの6種類の状態を表し、トークンの位置によって現在の状態を表す。そしてトランジションの発火によるトークン移動が制御システムの状態遷移を表す。これがSFCの状態遷移順序を登録したホワイトリストである。そしてトランジションの発火条件がプログラム制御変数に対応することにより、PLC内のホワイトリスト機能はSFCのTransition情報から制御システムの状態遷移を監視することになる。

ここで、状態遷移の監視にはペトリネットのプレース情報とSFCのTransition情報の両方が必要となる。そのためTransition情報のみでは発火条件が重複するトランジションのうち、どのトランジションが発火したのかを区別できない。そこで、発火条件が重複するトランジションの発火を区別するためにはプレース情報を推定する必要がある。

これを解決するためにモデルベース監視を提案する。モデルベース監視は、トランジションの発火の時系列情報を用いることで現在の状態(プレース情報)を推定する。時刻 k における状態ベクトル $\mathbf{x}[k]$ とトランジションの発火による入力ベクトル $\mathbf{u}[k]$ を用いて発火の制約条件は

$$\mathbf{x}[k] - \mathbf{B}^- \mathbf{u}[k] \geq \mathbf{0} \quad (1)$$

と表される。ここで \mathbf{B}^- は後向き接続行列と呼ばれるプレースとトランジションの接続関係を表した行列である。また、SFCをペトリネットに変換しているため、トークン数やトランジションの発火に加わる制限事項から

$$\mathbf{x}[k+1] = \mathbf{B}^+ \mathbf{u}[k] \quad (2)$$

が成り立つ。ここで \mathbf{B}^+ は前向き接続行列と呼ばれるトランジションとプレースの接続関係を表した行列である。(2)式は前向き接続行列 \mathbf{B}^+ と入力ベクトル $\mathbf{u}[k]$ によって時刻 $k+1$ における状態ベクトル $\mathbf{x}[k+1]$ が推定できることを表している。そして、(1)式に(2)式を代入することで

$$\mathbf{B}^+ \mathbf{u}[k-1] - \mathbf{B}^- \mathbf{u}[k] \geq \mathbf{0} \quad (3)$$

が得られる。(3)式は入力ベクトル $\mathbf{u}[k]$ が一つ前の入力ベクトル $\mathbf{u}[k-1]$ によって決定できることを示している。つまり、(3)式を用いることによって同一の発火条件を持ったトランジションを判別することができる。

モデルベースホワイトリストによって作成したペトリネットモデルとモデルベース監視

によって求めた制約条件 ((3)式) を用いることにより制御プログラムからホワイトリストを生成することができる。なお、ホワイトリストとモデルベース監視は両者共にラダープログラムで表現することができる。

VII. 平成 29 年の方針と計画

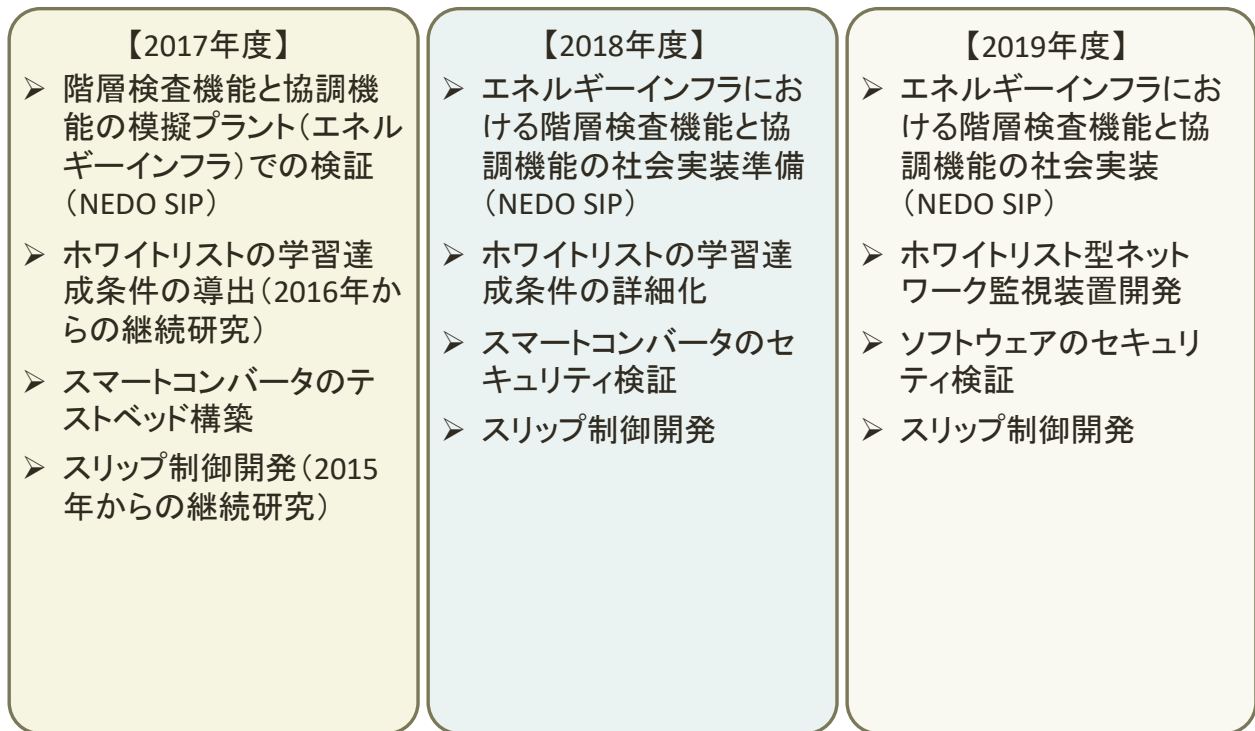


図 7, 3 年間のマイルストーン

図 7 において 3 年間のマイルストーンを示しているが、ここでは H30 年度の研究計画について述べる。

①分散協調技術：

A) 制御システムにおける学習型ホワイトリスト

社会実装活動が中心となる。技術課題としては、ホワイトリストが適用された複数の PLC と他の制御機器との協調連携である。協調連携動作自体が本来の制御機能の通常動作に影響を与えたり、サイバー攻撃対象になったりするのは相応しくない。ホワイトリスト運用の安全性を高めるために、ホワイトリストの協調動作アルゴリズムに従事する。

B) 制御システムにおけるホワイトリストの自動生成

自動生成アルゴリズムの一般化を目指す。

C) ホワイトリスト運用のための制御状態分割

侵入検知システムへのプロトタイプ実装を目指す。また、汎用性を高めるために、制御工学で提案されてきたカルマンフィルタや部分空間同定法との融合を目指す。

②システム更新技術：

プロトタイプシステムの作成を目指す。

A) 制御プログラムの無瞬断更新技術

これまで、更新前後のプログラムサイズがほぼ変わらない無瞬断更新を対象にしていたが、今後はプログラムサイズが大きくかわるような状況に対応できるようにする。プログラム更新前、更新中、更新後の安全な状態を担保する検証アルゴリズムを開発する。

B) 性能劣化抑制と耐故障性を考慮したグルーピング最適化アルゴリズム

H29 年度は重複分散グルーピングの列挙アルゴリズム、さらには電力システムのレジリエンスを高めることの出来るグルーピングの列挙アルゴリズムを構築する。

V. その他

- IEEE Control Systems Society Japan Chapter, Treasurer
- SICE Annual Conference, Track Chair
- SICE Annual Conference 2018, Organizing Committee
- 計測自動制御学会 計測自動制御学会論文集 論文集・編集委員会 制御分野 アソシエイトエディタ
- 計測自動制御学会制御部門「SICE 超スマート社会実現のためのシステム制御技術調査研究会」 委員
- 計測自動制御学会制御部門「IoT 時代に向けたイベントベース制御調査研究会」 委員
- IFAC TC 3.1. Computers for Control, Member
- 計測自動制御学会 計測と制御 特集号「産業オートメーションにおけるシステム連携の最新動向」 ゲストエディタ
- 計測自動制御学会 産業応用部門 計測・制御ネットワーク部会 委員
- 電気学会 Cyber Physical Systems Security 特別調査専門委員会（第 II 期） 委員
- 技術研究組合制御システムセキュリティセンター 顧問
- 電気学会電気システムセキュリティ特別技術委員会 1号委員
- 公益財団法人日本適合性認定協会製品技術委員会 サイバーセキュリティ機器専門委員

2.主要研究成果

2.4 再生可能エネルギー・ソリューションプラットフォームの研究

市川 晴久 特任教授

本研究では、当研究センターメンバが参加する科研費挑戦的研究（開拓）を推進し、その成果を活用して、産学連携で再生可能エネルギー・ソリューションプラットフォーム確立を狙うソリューション研究を展開する。

I. 平成 29 年度計画概要

新しい産業プラットフォームは、技術革新の波に乗って長期的な社会ニーズ・課題に取り組む活動から誕生する。課題取り組みの連鎖をプラットフォーム確立に結び付けることが重要である。平成 29 年度は、科研費研究と並行して、企業との連携により、企業が理解する社会ニーズの解決に取り組む研究を立ち上げた。そのために下記を実施した。

(1) エネルギーソリューションプラットフォーム成立をドライブする技術動向の調査

電力供給技術と電力活用のための ICT 技術の動向調査を継続した。電力供給に関しては、電力供給の仕組みを構造的に変革する可能性を持つ技術として、再生可能エネルギーからの発電技術、特に太陽光発電技術、蓄電技術、直流給電技術を調査した。電力活用に関しては、電力活用を情報処理によって制御する観点から、IoT デバイス情報を収集するためのネットワーク技術、IoT サービスを実現するためのソフトウェアプラットフォーム技術を調査した。

(2) エネルギーソリューション課題の調査

プラットフォームは、ソリューション群に共通して有用な基盤サービスを提供する。ソリューションはエンドユーザとサービス提供者の課題を解決し、価値を創造する。このため、プラットフォーム設計には、基盤サービスを共有し得る課題分野を調査、抽出することが必要である。政府、産業界の課題認識、企業との共同研究を通じた課題調査を行った。

(3) IoT エネルギーソリューションプラットフォームの研究

新たなソリューション領域として、IoT サービスの開発に多大な投資が行われている。IoT サービスソリューションには、EV のような大電力を必要とするものから、センサーネットワークアプリケーションのような小電力のものまでである。上記 (2) により絞り込まれるソリューション分野への適用を想定しつつ、多様なソリューションに電力サービスを提供する

プラットフォームを具現化する研究を推進した。この研究を通じて、科研費研究の研究対象である「ポリシーアウェア DC ネットワーキングによる協調給電技術」の設計を進めた。

II. 研究実施状況（現在までの達成度を含む）

（1）エネルギーソリューションプラットフォーム成立をドライブする技術動向の調査

再生可能エネルギー発電、特に太陽光発電は、マイクログリッドなどの構想でも言われているように、消費者の近くで分散発電し消費する適用形態に向かうと言われている。太陽光発電パネルの価格低減が著しく、太陽光発電は、発電コストが買電価格を下回り、いわゆるグリッドパリティを達成している。しかし、発電パネルやパネル設置コストのさらなる低減、発電量拡大に寄与するエネルギー変換効率向上、パネル設置自由度拡大などの課題は残されている。これらの課題を飛躍的な性能で解決する可能性から、ペロブスカイト太陽電池への注目が高まっている。ペロブスカイト太陽電池は、近い将来、GaAs 系太陽電池並みの高効率発電（25%程度）を、現在最も普及している Si 系太陽電池の 1/5 の価格で実現できると見込まれている。変換効率を落とさずに軽くて曲がる樹脂シートを基板とできるため、太陽電池設置場所の自由度も大きい。ペロブスカイト太陽電池の実用化はエネルギーソリューションプラットフォームの構成に大きなインパクトを与える可能性がある。

再生可能エネルギー発電の有用性を高めるためには、発電量の変動を吸収する蓄電池が極めて重要である。加えて環境問題への対応から EV シフトに向けて巨大投資が続いており、蓄電池の飛躍的なコスト低減と性能向上が進んでいる。中でも全固体電池と金属空気電池は蓄電池性能を飛躍的に向上させると期待されている（図 1 参照）。電解質に固体材料を使う全固体電池は、電解液を用いるリチウムイオン電池に比べて、発火リスクが低い、出力密度、充電速度、重量エネルギー密度、体積エネルギー密度が共に高く、充放電サイクル寿命が長く、低温特性が良い。トヨタは 2022 年から 2025 年には製品化を予定しており、さらに早期の製品化を狙う企業もある。金属空気電池は、放電時に負極で金属が酸化され金属イオンになって正極に移動し、正極で酸素と結合する。金属が燃焼するのと同じ現象であり、ガソリンなどに匹敵する非常に高いエネルギー密度を実現できる。燃料電池は、正極でできる酸化した材料である水を捨ててしまうが、金属空気電池では酸化した材料は正極側に保管され、充電時に還元される。例えば、Li 空気電池では放電反応の進行に伴って Li_2O_2 が正極に堆積し、充電時に還元される。堆積した Li_2O_2 が Li イオンと酸素との接触を妨げ、放電を止めてしまう、 Li_2O_2 が大量に堆積した状態で充電しようとするると過電圧が非常に大きくなるなど、課題が山積しているものの、期待は大きく、業界は全固体電池の次の電池として開発ロードマップを設定している。課題解決も進展しており、2016 年、物質・材料研究機構が正

極（空気極）にカーボンナノチューブシートを用いることで理論値に近い重量放電容量密度（標準的なリチウムイオン電池の 15 倍の $30\text{mAh}/\text{cm}^2$ ）を達成している。

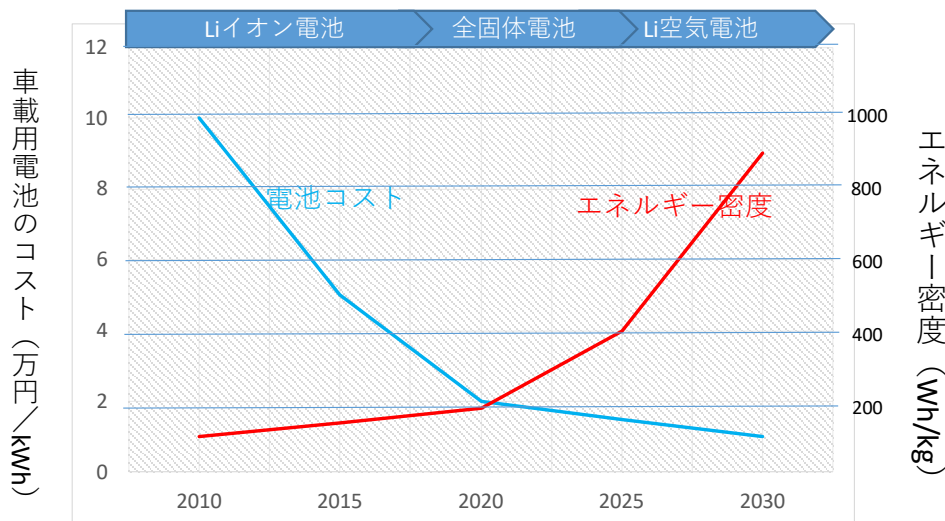


図 1 2次電池のコスト及びエネルギー密度の動向

「直流」は「発電、蓄電、消費」技術との親和性が高い。太陽光発電、燃料電池、地熱発電など、直流出力の電源が増え、蓄電池も直流で動作する。電力負荷も直流で動作するものが増えている。情報機器やEVはもちろんのこと、モーターを内蔵するエアコン、冷蔵庫などの家電機器も交流入力を内部で直流に変換してからモーターを制御している。交流・直流変換のエネルギー損失とコストを減らし、機器の信頼性を高めるために直流給電への移行が検討されている。本研究が目指すIoTエネルギーソリューションプラットフォームでは、100Wを供給可能で普及が拡大中のUSB PDを活用し、情報処理に基づく電力制御を目指しており、このようなプラットフォームと、直流給電に移行するグリッドとの関係を検討するため、直流給電に関する検討状況を調査した。NEDOの実証実験や直流給電アライアンスなどによれば、屋内配線は、400V程度の高電圧直流配線、24V~48V程度の低電圧直流配線、交流配線を併用することが有力とみられる。USBやPoEのような情報伝送と電力供給を同時に行う配線と親和性の高い低電圧直流配線を、高電圧直流配線とは別に配線することが想定されていることは注目される。

IoTサービスソリューションにおける電力活用を情報処理によって制御するためには、IoTデバイス情報を収集するためのネットワーク、IoTサービスソリューションの一部として電力活用を実現するソフトウェアを実装するためのプラットフォームが必要になる。L2ネットワークについては、従来からある携帯網、無線LAN、Bluetooth/BLE、ISO14543などに加え、インフラ型の低電力無線ネットワークであるLPWAの開発、導入が活発である。

これらのネットワーク技術を使い分けるために動向を調査した。

IoT サービスソフトウェアを実装するためのクラウドプラットフォームは、アマゾン、マイクロソフト、IBM、Google などの有力企業が激しく競争している。各種の比較で上位に挙げられるのが AWS IoT であることから、本研究では AWS IoT を当面の実装用プラットフォームとして採用することとした。ただし、比較指標として、スケーラビリティ、帯域、プロトコル、システム応答性能、セキュリティ、耐障害性、必要とするシステムとの接続性、サポートの継続性、サードパーティのサービスとの相互接続性などを考え、他のプラットフォームもレビューを継続していく必要がある。

(2) エネルギーソリューション課題の調査

CPS、IoT への注目に高まりに対応し、政府、経団連は、Society5.0 超スマート社会を政策目標として掲げている。この政策は、グローバルな環境問題の深刻化、少子高齢化による労働人口の減少に対処するための労働生産性向上、限られた数のプラットフォームが産業をリードする産業構造へのシフトにおける日本の立ち遅れなどの課題認識を背景としている。CPS、IoT を指向する動きを、システム、組織横断的に情報収集し、AI などの情報処理技術を駆使して、従来は困難であった全体最適化を実現しようとする動きととらえて設計された政策である。実現すべき社会目標を設定して、目標実現に求められる多様な課題解決の社会横断的な達成において世界に先駆けることで、社会的課題の解決と産業競争力向上の両方を狙っている。多数の多様な取り組みが展開されつつあるので、今後、それらが解決しようとする具体的な取り組みを継続的に調査することによって、各ソリューションにおけるエネルギー課題の所在や研究開発連携するパートナー候補調査の参考とする。

企業との共同研究を開始し、IoT エネルギーソリューションプラットフォームを具現化すべく、具体的な社会・事業課題とそこでのエネルギー課題を検討する活動を行った。企業の関心は幅広いが、特に、エンドユーザとしてオフィスユーザが関係する課題の検討を行った。ノート PC、スマホ、タブレット等を使い、カフェなどオフィス以外の場所で仕事をする、ノマドワーカーと呼ばれる人々が増え、彼らに対するカフェやオフィスサービスなども増えている。この動きには、エンドユーザ主導のみならず、働き方改革の一環での企業からの動きもある。検討に当たっては、顧客課題にイノベーションの起点を求める「ジョブ理論」の適用も試みた。

(3) IoT エネルギーソリューションプラットフォームの研究

USB PD で供給可能な電力で動作する IoT ソリューションのための基本電源サービスとして「バーチャルグリッドサービス」の設計を進め、バーチャルグリッドサービスを提供す

るプラットフォームプロトタイプの開発に着手した（図2参照）。IoTソリューションは、上記（2）で絞ったオフィスユーザ向けを想定して具体的に検討しつつ、多様なニーズを想定して検討を進めた。

IoTシステムは、センサやアクチュエータ、制御装置などがネットワーク接続されたシステムでIoTサービスを提供する。バーチャルグリッドサービスとは、IoTサービスの実現に関わるデバイスに電力を供給するサービスであり、IoTサービスアプリケーションソフトウェアは、電力確保に関する制御をバーチャルグリッドサービスに委ねることができる。バーチャルグリッドとは、電力供給のために負荷デバイスにACアダプタ、蓄電池、発電機などの電源デバイスを接続して構成される一時的な「電力網」である。通常の電力網と異なり、電源は複数あり、網として連結しているとは限らない。蓄電池は出力、容量が統一されていないように、各電源デバイスが提供する電源サービスは負荷デバイスが必要とする電源サービスと必ずしも一致しない。バーチャルグリッドは、これをUSB PD インタフェースで統一し、ポリシーウェア DC ネットワーキングにより、電源と負荷を継続的にマッチングさせる協調給電を実現する。マッチングのツールとして、バーチャルグリッドハブ(VGハブ)を考案し、特許申請した。VGハブは、接続する複数の電源デバイスからの電力を合成した上で負荷デバイスに分配する。協調給電制御を行うソフトウェアシステムをバーチャルグリッドコントローラ(VGコントローラ)と呼ぶことにし、クラウドシステムとして設計に着手した。

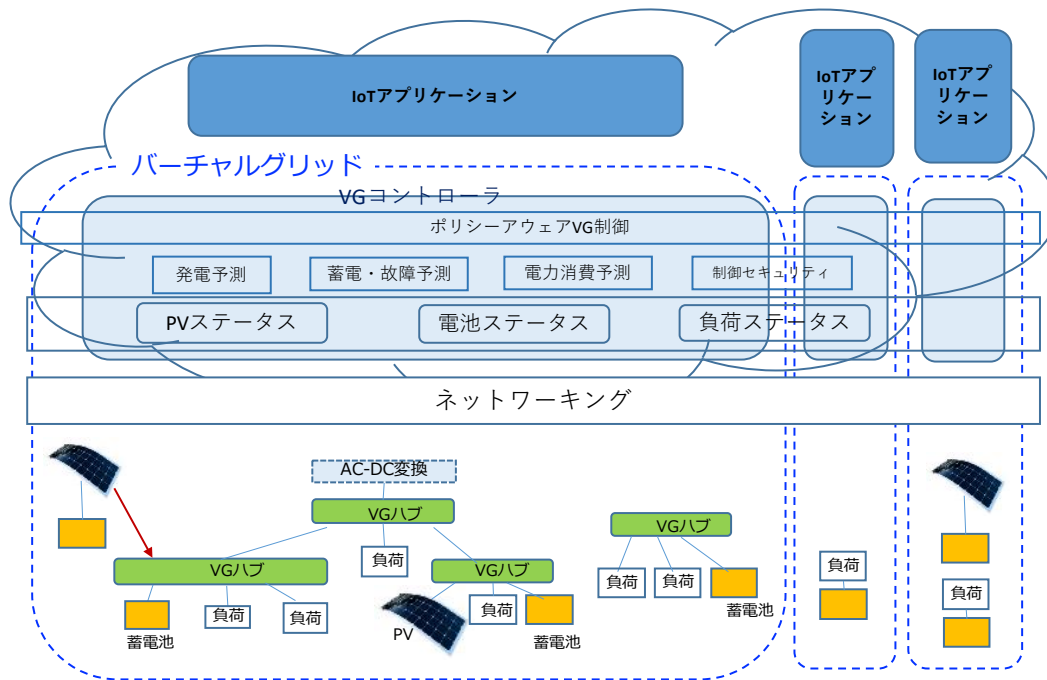


図2 バーチャルグリッド

プラットフォーム実装基板として（1）で選択した AWS IoT では、インターネットに接続されたモノ（センサー、アクチュエータなどのデバイス）と AWS クラウドとのセキュアな双方向通信を実現し、モノからの情報を収集、保存、処理してモノを制御することができる。モノのクラウド上のイメージである「シャドウ」の状態を変えることにより、実体のモノの状態が一致するように制御できる。この通信は MQTT プロトコルを用いて行われる。MQTT は大量の非力なデバイスとの通信を想定し、パブリッシュ・サブスクライブモデルで通信する。大量の情報は AWS でスケラブルに蓄積、検索、処理できる。これらの仕組みの練習として、ラズベリーパイに LED をつけ、Web インタフェースで設定したロジックで LED を点灯させるプログラムを開発した（図 3 参照）。

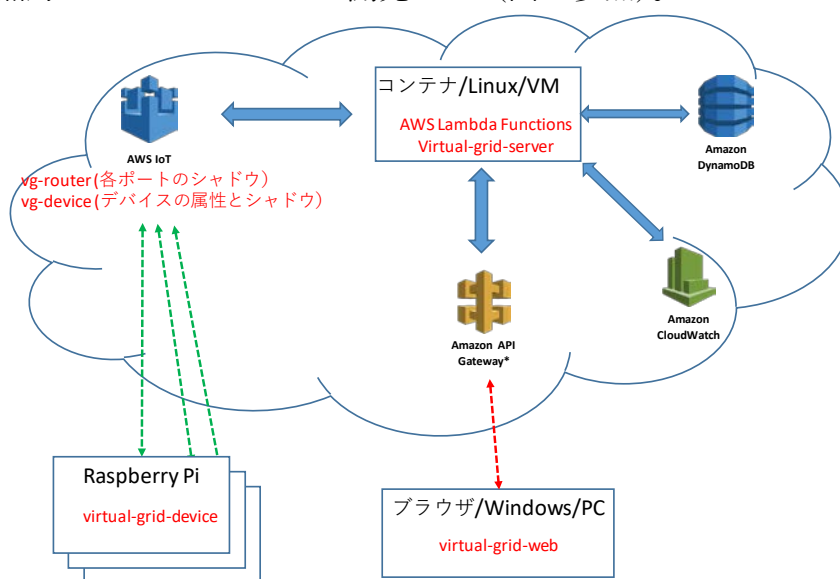


図 3 AWS IoT 実装技術の調査

Ⅲ. 業績・成果一覧（詳細は 4.外部発表一覧のリストにあるので、主要なものに限定）

国内会議：

市川晴久："再生可能エネルギー指向自律分散グリッド," 第 47 回信頼性・保全性シンポジウム (2017.7)

市川晴久, 横川慎二, 川喜田佑介, "IoT ソリューション基盤としてのエネルギー制御プラットフォーム," 第 60 回自動制御連合講演会 (2017.11)

特許:

市川晴久, 横川慎二, 川喜田佑介, "給電制御システム," 出願番号：2017-214821 (2017.11)

IV. 平成 30 年の方針と計画

ポリシーアウェア DC ネットワーキングによる協調給電構想をバーチャルグリッドシステムとして具現化し、グローバルなエネルギー問題解決につながる産業プラットフォームに成長させるためには、直近の課題取り組みから将来の課題取り組みにつながる連鎖を構築することが求められる。このことを念頭に平成 30 年度は、下記を推進する。

(1) バーチャルグリッドプロトタイプの開発

共同研究パートナーである企業や関連業界が事業化期待を持てる用途と実装を目指し、平成 29 年度に設計したバーチャルグリッドを CEATEC2018 展示システムとして実装する。これにより技術的詳細の検討を進めると同時に社会実装の可能性を探る。

(2) 協調給電のための要素技術のバーチャルグリッドへの組み込みインタフェースの開発

科研費研究において進行中の要素技術研究の成果を(1)で開発するバーチャルグリッドに組み込むための研究を進める。要素技術の組み込みにより、バーチャルグリッド内の電源デバイス、負荷デバイスの情報に基づき、発電量、蓄電量、電力消費に関する状態変化を予測し、給電の継続性を確保するための充電、保全、調達戦略を実行し、故障やセキュリティ攻撃などのインシデントに対する安全確保と復旧制御を可能にする。

V. その他 (学内外の活動の特記すべきものなど)

- ・一般社団法人 電気通信協会 企画委員会 委員長
- ・一般社団法人 電気通信協会 コンテンツ・アプリケーション調査会委員長

3. 活動一覧

3.1. 外部発表

iPERC 教員が関連する 2017 年度の外部発表（論文、国際会議、学会口頭発表、著書、解説、招待講演等）の件数は下記の通りである。発表一覧は 4 節に掲載。

論文	国際会議	学会口頭発表	著書	解説記事	招待講演
32	51	63	2	11	17

3.2. 知的財産

iPERC コアメンバー（新、横川、曾我部、澤田、市川）が関連する知的財産権、特許の件数は下記の通りである。

特許出願件数 3 件

- ・“給電制御システム”
- ・“無線通信システム”
- ・“スマートエネルギーの最適化制御に適応した物理型深層強化学習人工知能の手法”

3.3. 産学官連携実績

iPERC コアメンバー教員（新、横川、曾我部、澤田、市川）が関連する産学官連携研究（新規および継続分）の件数と金額（2017 年度受入額）は下記の通りである。研究テーマの一覧は 3.5. に掲載。

2017 年度分のみ

	共同研究	受託研究	寄附金	合計
実施件数	13 件	2 件	2 件	17 件

3.4. 競争的資金

iPERC コアメンバー教員（新、横川、曾我部、澤田、市川）が関連する競争的資金の件数は下記の通りである。科研費と 3.3 の産学連携実績の合計の件数は 19 件、研究テーマの一覧は 3.5 に掲載。

2017 年度分のみ

	科研費研究	産学官連携	合計
実施件数	2	17	19

3.5. 主な共同研究・受託研究・科研テーマ一覧

《創エネルギー》

「超高効率・低コスト III-V 化合物太陽電池モジュールの研究開発」山口浩一、曾我部東馬

「太陽光発電量予測における機械学習における基礎研究」曾我部東馬

《蓄エネルギー》

「リチウムイオン電池に関する、劣化要因及び運用条件を考慮した統計的容量劣化予測技術の研究」横川慎二

「パワー半導体の信頼性におけるスクリーニング技術と予測に関する数理モデルの研究」横川慎二

《活エネルギー》

「協調給電による再生可能エネルギー指向自立分散方グリッドの開発と実証」

横川慎二、市川晴久、川喜田佑介、曾我部東馬、澤田賢治

「エネルギーバーチャルグリッドシステムに関する共同開発」

市川晴久、横川慎二、川喜田佑介

「水環境分野における AI 等の適用方策に関する研究」

新誠一、澤田賢治、曾我部東馬、横川慎二

「エネルギー環境分野における数理モデルと人工知能融合の研究」曾我部東馬

《制御系セキュリティ》

「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）/重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保/制御・通信機器およびシステムの防御技術（制御・通信機器およびシステムの防御技術の研究開発）」に係わる業務委託契約のうち、(3)コントローラに関するホワイトリスト機能の研究開発 澤田賢治

「システムモデルを利用した攻撃検知技術に関する研究」澤田賢治

「スマートインバータシステムに対するセキュリティ検証基盤の構築に係る研究」

澤田賢治

「スリップ制御開発」澤田賢治

「事象駆動型量子化制御に基づく通信制御系の縮退運転アルゴリズム」澤田賢治

《電通大・JST 超スマート社会プロジェクト/機械・人間知とサイバー・物理世界の斬新融合プラットフォーム》

「AI・Deep Learning」 曾我部東馬、横川慎二

「制御・社会セキュリティ」新誠一、澤田賢治

3.6 主な教育

i-PERC 関連のシンポジウム・セミナー等は以下の通りである。

2017.7.4 第1回 iPERC セミナー

石橋孝一郎教授による「Best Sensor と省エネルギー応用の可能性」についての講演、および曾我部東馬准教授による「深層学習と深層強化学習のスマートグリッドへの応用」についての講演。

2017.10.17 さくらサイエンスプラン「低炭素・低エネルギーの将来社会に向けた先端科学技術の考え方と実際を学ぶ」交流プログラムにて、ASEAN 諸国とインドの6カ国からの留学生にセミナー。

2017.11.12 自動制御連合講演会 オーガナイズドセッション

「情報通信を基盤とした電力ネットワーク制御技術」と題して情報通信によって制御されたエネルギーネットワークの創発的価値と、その基盤技術の研究開発の状況についての報告。特に、ソリューション研究の対象として設定した課題とその課題解決に向けた技術シーズの関連及び動向について議論。

2017.11.30 第2回 iPERC セミナー

「Society5.0 へ向けたサイバーセキュリティの現状と対策」と題し、市野正嗣准教授による「トラフィックデータをを用いたマルウェア感染検知手法」についての講演、および澤田賢治准教授による「制御系のサイバーセキュリティのための協調型ホワイトリスト」についての講演。

2018.3.8 電気通信大学 iPERC シンポジウム

「スマートエネルギーと情報通信」と題し、i-PERC3 年間の研究成果発表を行った。基調講演は、東京工業大学先進エネルギー国際研究センター長柏木孝夫特命教授による「超スマート社会 Society5.0 とスマートエネルギーシステムの展望」について。招待講演は、NTT スマイルエナジー社長小鶴慎吾氏による「NTT スマイルエナジーの“情報×エネルギー”ビジネス」について、および、株式会社明電舎水・環境システム事業部戦略企画部専任部長中島満浩氏による「下水管路 IoT と今後の展望」。研究発表は、曾我部東馬准教授「物理モデルに“思考力”を賦与する：最強人工知能アルゴリズムを駆動したエネルギーシステムの最適化」、横川慎二准教授「エネルギーシステムにおける信頼性、安全性、レジリエンス」、澤田賢治准教授「制御系のサイバーセキュリティのための協調型ホワイトリスト」、市川晴久特任教授「電力エネルギー制御プラットフォーム“バーチャルグリッド”」

3.7 表彰

1. 横川慎二准教授が日本信頼性学会年次総会において「リチウムイオン二次電池の劣化における充放電サイクル数と待機時間の影響」が優秀賞を授賞。
2. 新誠一 iPERC センター長が、経済産業省が決定する「情報課促進貢献個人等表彰」において経済産業大臣賞を授賞。高度な情報処理技術の研究・開発、高度 IT 人材の育成、IT の活用が遅れている企業への IT 活用の導入、情報処理の安全確保等について、先導的役割を果たし又顕著な成果をあげたと認められる個人を表彰するもの。

4. 外部発表一覧(2017.4~2018.3)

4.1. 【一般論文】

1. K.Tate and **S.Yokogawa**, “A statistical evaluation method for lifetime distribution in field accelerated time-dependent dielectric breakdown by using two-step probability plot and multi-link test scheme”, Japanese Journal of Applied Physics (in press).
2. **S.Yokogawa** and K. Kunii, “A survey of critical failure events in on-chip interconnect by using fault tree analysis”, Japanese Journal of Applied Physics (in press).
3. **S.Yokogawa**, “Two-step probability plot for parameter estimation of lifetime distribution affected by defect clustering in time-dependent dielectric breakdown”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol56 (2017/7).
4. Bernice Mae Yu Jeco, **T.Sogabe**, N. Ahsan, and Y. Okada, “Temperature Dependence of Luminescence Coupling Effect in InGaP/GaAs/Ge Triple Junction Solar Cells” , J. Photon. Energy (in press).
5. S.Oikawa, A.Makaino, **T.Sogabe**, K.Yamaguchi, “Growth Process and Photoluminescence Properties of In-Plane Ultrahigh-Density InAs Quantum Dots on InAsSb/GaAs(001)”, Physica Status Solidi B: Basic Solid State Physics (2017).
6. Bernice Mae Yu Jeco, **T.Sogabe**, N. Ahsan, R.Tamaki and Y. Okada, “ Impact of optically nonuniform luminescence coupling effect to the limiting cell conversion efficiency in InGaP/GaAs/Ge triple junction solar cell”, J. Photon. Energy (2017).
7. 望月優加理, 澤田賢治, 新誠一, 「通信可能範囲を考慮した分散協調制御システムに基づく迷路探索」, システム制御情報学会論文集 31 (2018/4).
8. 岸田貴光, 塚田健人, 澤田賢治, 新誠一, 「組み込みシステムの無瞬断更新のためのカルマン正準分解に基づくプログラム解析」, 計測自動制御学会論文集 (2018/2).
9. Tsubasa Sasaki, **Kenji Sawada**, **Siichi shin**, Shu Hosokawa, “Model Based Fallback Control for Networked Control System via Switched Lyapunov Function” , The IEICE Transactions on Fundamentals (2017/10).
10. 山藤 勝彦, 山本 建, 澤田 賢治, 「電磁比例弁内のスプールに作用するクーロン摩擦力に起因した不安定振動の解析と安定化させるための設計法」, 日本機械学会論文集 (2017/8).
11. 田村健太, 澤田賢治, 新誠一, 「自動車の前後制動力配分のシミュレーションモデルベース最適化」, システム制御情報学会論文集(2017/4).
12. Nitish Rajoria, Hiromu Kamei, Jin Mitsugi, **Yuusuke Kawakita and Haruhisa Ichikawa**,

- “Performance Evaluation of Variable Bandwidth Channel Allocation Scheme in Multiple Subcarrier Multiple Access”, IEICE Trans (2018/2).
13. Nitish Rajoria, Yuki Igarashi, Jin Mitsugi, **Yuusuke Kawakita and Haruhisa Ichikawa**, “Concurrent Backscatter Streaming from Batteryless and Wireless Sensor Tags with Multiple Subcarrier Multiple Access”, IEICE Trans. Commun (2017/12).
 14. 中野遥平, 藤原辰起, 三次仁, **川喜田佑介, 市川晴久**, 「マルチサブキャリア多元接続を用いた構造ヘルスマモニタリングにおける SDR 処理遅延実測システムの開発」, 計測自動制御学会論文集 (ショート・ペーパー) (2017/10).
 15. 宮沢真賢, 三次仁, **川喜田佑介, 市川晴久**, 「普及型ソフトウェア無線を用いたモノパルススイッチングによる電波到来方向検知」, 電子情報通信学会論文誌 (通信) (2017/9) .
 16. 丹保 征哉, **川喜田佑介, 市川晴久**, 「RSSI 系列類似性比較による発信源の近接関係における離散フーリエ返還を用いた距離関数の適用効果」, 電子情報通信学会論文誌 (通信) ・研究速報 (2017/8).
 17. Masaya Tanbo, Ryoma Nojiri, **Yuusuke Kawakita and Haruhisa Ichikawa**, “Active RFID Attached Object Clustering Method with New Evaluation Criterion for Finding Lost Objects”, Hindawi Mobile Information Systems (2017/1).
 18. Guanghao Sun, Nguyen Vu Trung, Takemi Matsui, **Koichiro Ishibashi, Tetsuo Kirimoto**, Hiroki Furukawa, Le Thi Hoi, Nguyen Nguyen Huyen, Quynh Nguyen, Shigeto Abe, Yukiya Hakozaiki, Nguyen Van Kinh, “Field evaluation of an infectious disease/fever screening radar system during the 2017 dengue fever outbreak in Hanoi, Vietnam”, A preliminary report, Journal of Infection,(2017).
 19. Oyama Ryo, Shouhei Kidera, **Tetsuo Kirimoto**, “Surface Height Change Estimation Method Using Band-divided Coherence Functions with Fully Polarimetric SAR images”, IEICE Trans. Commun (2017/11).
 20. Yuta Sasaki, Fang Shang, Shouhei Kidera and **Tetsuo Kirimoto**, “Accurate 3-dimensional Imaging Method by Multi-static RPM with Range Point Clustering for Short Range UWB Radar”, IEICE Trans. Commun (2017/8).
 21. Masanari Noto, Akira Moro, Fang Shang, Shouhei Kidera and **Tetsuo Kirimoto**, “Noise-robust Compressed Sensing Method for Super-resolution TOA Estimation”, IEICE Communication Express (2017/5).
 22. Risa Yashiro, Takeshi Sugawara, Mitsugu Iwamoto, and **Kazuo Sakiyama**, “ Q-class Authentication System for Double Arbiter PUF ” , EICE Trans. Fundam. Electron. Commun. Comput. Sci (2018/1).

23. Makoto Nagata, Daisuke Fujimoto, Noriyuki Miura, Naofumi Homma, Yu-ichi Hayashi, and **Kazuo Sakiyama**, “Protecting cryptographic integrated circuits with side-channel information”, *Electronic Express, IEICE* (2017/1).
24. **S.Kidera**, L.Maria.Neira, Barry.D.Van Veen and S.C.Hagness, “TDOA-Based Microwave Imaging Algorithm for Real-Time Microwave Ablation Monitoring”, *International Journal of Microwave and Wireless Technologies* (2018) .
25. Ayumi Yamaryo, Tatsuo Takatori, **Shouhei Kidera**, and **Tetsuo Kirimoto**, “Range Points Migration Based Image Expansion Method Exploiting Fully Polarimetric Data for UWB Short Range Radar”, *IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing* (2018).
26. Masanari Noto, Fang Shang, **Shouhei Kidera** and **Tetsuo Kirimoto**, “Super-Resolution Time of Arrival Estimation Using Random Resampling in Compressed Sensing”, *IEICE Trans. Commun* (2018).
27. Takahiro Ishikawa, Yu Nishiyama, **Kiminao Kogiso**, “Characteristic Extraction for Model Parameters of McKibben Pneumatic Artificial Muscles”, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration* (2018) .
28. 横山浩一郎, **小木曾公尚**, 「収縮率推定による McKibben 型空気圧ゴム人工筋の位置決め制御実験」, 計測自動制御学会 (2017/11).
29. Jin Chang, Yuhei Ogomi, Chao Ding, Yao Hong Zhang, Taro Toyoda, Shuzi Hayase, Kenji Katayama and **Qing Shen**, “Ligand-dependent exciton dynamics and photovoltaic properties of PbS quantum dot heterojunction solar cells”, *Phys.Chem.Chem.Phys* (2017) .
30. Motoki Hironaka, Taro Toyoda, Kanae Hori, Yuhei Ogomi, Shuzi Hayase, **Qing Shen**, “Photovoltaic Properties of CdSe Quantum Dot Sensitized Inverse Opal TiO₂ Solar Cells”, The Effect of TiCl₄ Post Treatment, *Journal of Modern Physics* (2017).
31. Motoki Hironaka, Taro Toyoda, Kanae Hori, Yuhei Ogomi, Shuzi Hayase, **Qing Shen**, “Photovoltaic Properties of CdSe Quantum Dot Sensitized Inverse Opal TiO₂ Solar Cells”, The Effect of TiCl₄ Post Treatment, *Journal of Modern Physics* (2017).
32. Zhang Yaohong, Wu Guohua, Mora-Sero Ivan, Ding Chao, Liu Feng, Huang Qingxun, Ogomi Yuhei, Hayase Shuzi, Toyoda Taro, Wang Ruixiang, Otsuki Joe, and **Shen Qing**, “Improvement of photovoltaic performance of colloidal quantum dot solar cells using organic small molecule as hole-selective layer”, *The Journal of Physical Chemistry Letters* (2017).

4.2. 【国際会議プロシーディングス等】

1. **S. Yokogawa** and K. Tate, “Reliability Evaluation of Defect Accounted Time-Dependent Dielectric Breakdown with Competing-Mixture Distribution ” , IEEE International Reliability Physics Symposium, P-GD.2-1-4 (2018).
2. **S. Yokogawa**, “Impacts of Censoring on Lifetime Analysis by 2-step Probability Plot in Defect Clustered TDDB”, IEEE International Reliability Physics Symposium (2017).
3. **S. Yokogawa** and K. Kunii, “Application of fault tree analysis for interconnect reliability assessment”, Proc. of Advanced Metallization Conference 2017: 27th Asian Session 2017 ADMETA plus (2017).
4. K. Tate and **S. Yokogawa**, “Statistical evaluation of lifetime distribution with defect clustering by using two-step probability plot and multi-link test scheme”, Proc. of Advanced Metallization Conference 2017: 27th Asian Session 2017 ADMETA plus, pp.78-79 (2017).
5. P. Gomasang, T. Abe, S. Ogiue, H. Ura, **S. Yokogawa** , and K. Ueno, “High Temperature and High Humidity Accelerations to Estimate the Lifetime of Cu Metallization for LSIs”, Proc. of 13th International Conference on Ecomaterials (2017).
6. R.Sugiyama, N. Akimoto, **T. Sogabe and Koichi Yamaguchi**, “Evaluation of In-Plane Ultrahigh-Density InAs Quantum Dots on GaAsSb/GaAs(001) for Solar Cell Applications”, 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference(PVSC44) (2017).
7. **T.Sogabe**, K. Nii, K. Sakamoto, **K. Yamaguchi**, Y. Okada, “Hot Carrier Transportation Dynamics in InAs/GaAs Quantum Dot Solar Cell”, 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference(PVSC44) (2017).
8. Y.Okada , Y.Shoji, C-Y, Hung , D.J. Farrell, **T. Sogabe**, “High density quantum dot solar cells for concentrating photovoltaics (CPV)”, IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe) (2017).
9. A. Makaino, K.Sakamoto, **T.Sogabe and K. Yamaguchi**, “Self-formation of in-plane ultrahigh-density InAs quantum dots and their photoluminescence properties”, Compound Semiconductor Week (2017).
10. Takahisa Saito, Shion Nasukawa, Shu Hosokawa, Makoto Kiuchi, and **Kenji Sawada**, “A prototype of cooperative whitelist protection for control systems considering plant life cycle”, AROB 23rd 2018 (2018/1).

11. Shunsuke Kuwana, **Kenji Sawada, Seiichi Shin**, “On autonomous distributed operation of LiB combined type SOFC system”, AROB 23rd 2018 (2018/1).
12. Shintaro Fujita, Kousuke Hata, Akinori Mochizuki, **Kenji Sawada, Seiichi Shin**, Shu Hosokawa, “OpenPLC based control system testbed for PLC whitelisting system”, AROB 23rd 2018 (2018/1).
13. Akinori Mochizuki, **Kenji Sawada, Seiichi Shin**, Shu Hosokawa, “Model-based Anomaly Detection Method for PLC Whitelist”, AROB 23rd 2018 (2018/1).
14. Takanori Kishida, **Kenji Sawada, Seiichi Shin** and Shu Hosokawa, “On Software Update Analysis via Kalman Decomposition”, The 11th Asian Control Conference 2017 (2017/12).
15. Akinori Mochizuki, **Kenji Sawada, Seiichi Shin** and Shu Hosokawa, “On Experimental Verification of Model Based White list for PLC Anomaly Detection”, The 11th Asian Control Conference 2017 (2017/12).
16. **Kenji Sawada**, “Model-based Cybersecurity for Control Systems: Modeling, Design and Control”, SICE Annual Conference (2017/9).
17. Tsunato Nakai, Teruyoshi Yamaguchi, Sachihiko Ichikawa, Nobuhiro Kobayashi, Kosuke Hata, **Kenji Sawada**, “Simulation and Evaluation of Whitelisting Intrusion Detection Systems according to Life cycle in Industrial Control Systems models”, IWSEC2017 (2017/8).
18. Tsubasa Sasaki, **Kenji Sawada, Seiichi Shin**, Shu Hosokawa, “Fallback and Recovery Control System of Industrial Control System for Cybersecurity”, IFAC World Congress2017 (2017/7).
19. Hiroki Kobayashi, **Haruhisa Ichikawa, Yuusuke Kawakita**, “Analysis on Data Compression of Two-stage Sensing for Cognitive Radio”, Proc. IEEE 14th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), (2018/3).
20. Hayato Nomura, **Haruhisa Ichikawa, Yuusuke Kawakita**, “Reference Node Selection for Range-based Localization Using Hierarchical Clustering”, Proc. IEEE WF-IoT 2018 (2018/2).
21. Kenta Asakura, **Haruhisa Ichikawa, Yuusuke Kawakita**, “Normalization Method for Online Learning on Radio Access Technology Identification in Cognitive Radio”, Proc. APCC2017 (2017/12).
22. Tatsuki Fujiwara, Yohei Nakano, Jin Mitsugi, **Haruhisa Ichikawa, Yuusuke Kawakita**, “SDR processing delay estimation applying correlation detection for Structure Health

- Monitoring using Multi-Subcarrier Multiple Access”, Proc. IoT201(2017/10).
23. Masahiro Otani, Tomoaki Matsuda, Nitish Rajoria, Jin Mitsugi, **Haruhisa Ichikawa**, **Yuusuke Kawakita**, “Inter-Zone Interference Avoidance Using Channel Reservation in Multiple Subcarrier Multiple Access Scheme”, Proc. IoT2017 (2017/10).
 24. Yu Yao, Guanghao Sun, **Tetsuo Kirimoto**, Takemi Matsui, Michael Schiek, “Online State Space Filtering of Biosignals using Neural Network-Augmented Kalman Filter”, The 10th Biomedical Engineering International Conference (2017/8).
 25. Mai Kobayashi, Guanghao Sun, Toshikazu Shinba, Takemi Matsui, **Tetsuo Kirimoto**, “Simple and Objective Screening of Major Depressive Disorder by Heart Rate Variability Analysis During Paced Respiration and Mental Task Conditions”, The 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (2017/7).
 26. Takeshi Sugawara, Natsu Shoji, **Kazuo Sakiyama**, Kohei Matsuda, Noriyuki Miura, and Makoto Nagata, “Exploiting Bitflip Detector for Non-Invasive Probing and its Application to Ineffective Fault Analysis”, Workshop on Fault Diagnosis and Tolerance in raphy(FDTC'17) (2017/9).
 27. Momoka Kasuya, and **Kazuo Sakiyama**, “Improved EM Side-Channel Authentication Using Profile-Based XOR Model”, International Workshop on Information Security Applications(WISA'2017) (2017/8).
 28. Eito Miyamoto, Takeshi Sugawara, and **Kazuo Sakiyama**, “Efficient Software Implementation of Modular Multiplication in Prime Fields on TI's DSP TMS320C6678”, International Workshop on Information Security Applications(WISA'2017) (2017/8) .
 29. Tatsuhiro Kawaguchi, Ryo Tanabe, Ryohei Takitoge, **Koichiro Ishibashi**, “Implementation of Condition-Aware Receiver-Initiated MAC Protocol to Realize Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks”, CCNC2018 (2018/1).
 30. Xiaofeng Yang, **Koichiro Ishibashi**, Toshiaki Negishi, Tetsuo Kirimoto, Guanghao Sun, “Short Time and Contact-Less Virus Infection Screening System with Discriminate Function Using Doppler Radar”, BIC-TA 2017 (2017/12).
 31. Ryohei Takitoge, Masataka Kishi, **Koichiro Ishibashi**, “LOW-POWER ENHANCED TEMPERATURE BEAT SENSOR WITH LONGER COMMUNICATION DISTANCE BY DATA-RECOVERY ALGORITHM”, IEEE SENSORS2017 (2017/10).
 32. Shinya Nii, **Koichiro Ishibashi**, “A 0.148nJ/conversion 65nm SOTB Temperature Sensor LSI Using Thermistor Defined Current Source”, S3SConference/ 2017 (2017/10).

33. S. Momose, J. Ida, T. Mori¹, T. Yoshida¹, J. Iwata¹, T. Horii¹, T. Furuta¹, K. Itoh¹, **K.Ishibashi**, “Gate Controlled Diode Characteristics of Super Steep Subthreshold Slope PNBody Tied SOI-FET for High Efficiency RF Energy Harvesting”, S3S Conference2017 (2017/10).
34. **Koichiro Ishibashi** , Makoto Serizawa, Ryohei Takitoge, Shohei Ishigaki , Tsuyoshi Ishige, “DC Current Beat: Wireless and Non-Invasive DC Current Sensing Scheme”, MDPI journals (2017/9).
35. Jiro IDA, Kenji ITOH, **Koichiro Ishibashi**, “Review of Steep Subthreshold Slope Devices and its possibility for High Efficiency RF Energy Harvesting”, VJMW2017 (2017/6).
36. **Koichiro Ishibashi**, Ryohei TAKITOGI, Shohei ISHIGAKI, “Power Beat and Temperature Beat Sensors— Precise, Low Cost, and Energy Harvesting Sensing Scheme for IoT Applications —”, VJMW2017(2017/6).
37. Hnin Si and **Osamu Kaneko**, “Positioning Control and Model Estimation of Vibrating System in 2DoF-FRIT Control Architecture with Kautz Expansion”, Proceedings of 2017 11th Asian Control Conference (2017/12) .
38. Hnin Si and **Osamu Kaneko**, “FRIT of Feedforward Controller Approximated by Kautz Expansion in 2DOF for Linear Time Delay System” , Proceedings of SICE Annual Conference 2017 (2017/9).
39. **Osamu Kaneko** and Takeo Nakamura, “Data-Driven Prediction of 2DOF Control Systems with Updated Feedforward Controller”, Proceedings of SICE Annual Conference 2017 (2017/9).
40. Huy Quang Nguyen and **Osamu Kaneko**, “Fictitious Reference Iterative Tuning of Cascade Control Systems for Non-minimum Phase Systems”, Proceedings of The 6th International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes (2017/5).
41. Tatsuo Takatori and **Shouhei Kidera**, “Permittivity Imaging Method by Incorporating Range Points Migration and Ellipsometry for UWB Short Range Radar”, Proc. in 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017) (2017/11).
42. Masafumi Setsu and **Shouhei Kidera**, “Super-resolution Doppler Velocity Estimation by Gaussian-kernel Based Range-Doppler Conversion for UWB Radar”, Proc. in 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017) (2017/11).
43. **Shouhei Kidera** and Shuto Takahashi, “Accurate Boundary Extraction Method by Range Points Migration for Microwave Non-destructive Monitoring”, Proc. of 2017 Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2017) (2017/10).

44. Yoshiki Akiyama and **Shouhei Kidera**, “Acceleration of RPM-based Microwave Imaging for Non-destructive Testing”, Proc. of 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2017) (2017/10).
45. Kazuki Noritake and **Shouhei Kidera**, “Accurate Breast Surface Imaging Method with FDTD-based Waveform Correction for Microwave Mammography”, Proc. of 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2017) (2017/10).
46. Shuto Takahashi and **Shouhei Kidera**, “Acceleration of RPM-based Microwave Imaging for Non-destructive Testing”, Proc. of 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2017) (2017/10).
47. **Shouhei Kidera** and Kazuki Noritake, “Boundary Extraction Based Imaging Method by Incorporating FDTD Based Wavefront Analysis for Microwave Mammography”, Proc. of International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 2017) (2017/9).
48. Koji Kitagawa, Mingyu Guo, **Kiminao Kogiso**, Hideaki Hata, “Utility design for two-player normal-form games”, Asian Control Conference (2017/12).
49. Takahiro Ishikawa, Yu Nishiyama, and **Kiminao Kogiso**, “Parameter extraction for identifying product type of McKibben pneumatic artificial muscles”, IEEE Conference on Control Technology and Applications (2017/8).
50. Atsushi Okabe, Takahiro Ishikawa, **Kiminao Kogiso**, and Yu Nishiyama, “Efficient PSO-based algorithm for parameter estimation of McKibben PAM model”, IEEE Conference on Control Technology and Applications (2017/8).
51. Takashi Kodama and **Kiminao Kogiso**, “Applications of UKF and EnKF to estimation of contraction ratio of McKibben pneumatic artificial muscles”, American Control Conference (2017/5).

4.3. 【国内会議、学会口頭発表等】

1. 横川慎二, “半導体集積回路配線の信頼性課題と寿命予測”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, (2017).
2. 横川慎二, 國井喬介, 横澤成望, “リチウムイオン二次電池の劣化における二変量ストレスの交互作用に着目した統計モデリング”, 2017 年電気化学秋季大会予稿集, 2D05 (2017).
3. 市川晴久, 横川慎二, 川喜田佑介, “IoT ソリューション基盤としての電力エネルギー制御プラットフォーム”, 第 60 回自動制御連合講演会, (2017).
4. 横川慎二, “システムの不具合における創発性の影響について”, 第 60 回自動制御連合講演会, (2017).
5. 横川慎二, 國井喬介, “テキストマイニングと機能共鳴分析法を用いた自動車のリコール情報の分析”, 第 30 回日本信頼性学会秋季信頼性シンポジウム発表報文集, (2017).
6. 横澤成望, 横川慎二, “畳み込みニューラルネットワークを用いた設備特性劣化のオンラインモニタリングデータ分析”, 第 30 回日本信頼性学会秋季信頼性シンポジウム発表報文集, (2017).
7. 杉山 涼, 立木 象, 曾我部 東馬, 山口 浩一, “GaAsSb/GaAs(001)上の 高密度 高密度 InAs 量子ドット 量子ドット 層の発光特性”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017).
8. 鈴木 亮介, 杉山 涼, 加藤 智恵, 曾我部 東馬, 山口 浩一, “面内超高密度 InAs 量子ドット層を導入した太陽電池における Urbach tail の影響”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (2017).
9. 杉山 涼, 秋元 直己, 曾我部 東馬, 山口 浩一, “ GaAsSb/GaAs(001)上の高密度 InAs 量子ドット層の発光特性”, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会) (2017).
10. 黄川田 優太, 武石 将知, 曾我部 東馬, “スマートエネルギーネットワークの最適化における深層強化学習の応用”, 第 60 回 自動制御連合講演会 (2017).
11. 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, 新誠一, 細川嵩, “PLC のためのホワイトリスト式異常検知技術”, 第 4 回制御部門マルチシンポジウム予稿集/計測自動制御学会, 第 4 回制御部門マルチシンポジウム (2018/3).
12. 武田 健吾, 澤田 賢治, 横川 慎二, 新 誠一, “風力・太陽光・蓄電池複合システムにおけるグルーピング最適化の検証”, 第 30 回自律分散シンポジウム/計測自動制御学会, 第 30 回自律分散シンポジウム (2018/1).
13. 藤田慎太郎, 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, 新誠一, 細川嵩, “産業用コントローラに対するホワイトリストの自動生成手法の検討”, CIS2018/SCIS2018 予稿集 (2018/1).

14. 中井綱人, 市川幸宏, 小林信博, 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, “制御システムのテストベッド構築と制御特性に着目した攻撃検知手法の提案”, SCIS2018/SCIS2018 予稿集 (2018/1).
15. 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, 中井綱人, 市川幸宏, 小林信博, “ホワイトリスト運用を目的とした制御システムの状態分離アルゴリズムの検討”, SCIS2018/SCIS2018 予稿集 (2018/1).
16. 川上重太, 澤田賢治, 新誠一, “合意制御における誤り訂正符号を用いた改ざん検知のための検査ビット共有化”, システム・情報部門学術講演会 (SSI2017) 予稿集/計測自動制御学会, システム・情報部門学術講演会 (2017/11).
17. 望月優加理, 澤田賢治, 新誠一, “分散協調制御型探索システムにおけるデッドロック解決のための通信手段の検討”, システム・情報部門学術講演会 (SSI2017) 予稿集/計測自動制御学会, システム・情報部門学術講演会 (2017/11).
18. 渡井 翔太, 澤田 賢治, 市原 裕之, “ペトリネットを用いた渋滞現象のモデル化と動特性解析”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
19. 武田 健吾, 澤田 賢治, 新 誠一, “ZDD を用いた風力・太陽光・蓄電池複合システムのグループピング最適化”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
20. 望月 優加理, 澤田 賢治, 新 誠一, “マルチエージェントシステムによる迷路の協調探索における流量解析”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
21. 望月 明典, 澤田 賢治, 新 誠一, 細川 嵩, “PLC に対するホワイトリスト式攻撃検知技術の開発”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
22. 藤田 真太郎, 秦 康祐, 望月 明典, 澤田 賢治, 新 誠一, 細川 嵩, “OpenPLC を用いた制御システムへのホワイトリスト式検知技術の実装と検証”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
23. 細川 嵩, 茄子川 慈苑, 木内 誠, 市川 幸宏, 澤田 賢治, “プラントライフサイクルによる協調ホワイトリスト防御の検討”, 第 60 回自動制御連合講演会予稿集/計測自動制御学会, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
24. 武田健吾, 澤田賢治, 新誠一, “風力・太陽光・蓄電池融合システムの重複分散運用の検討”, 電子・情報・システム部門大会予稿集/平成 29 年電気学会電子・情報・システム部門大会 (2017/9).

25. 桑名俊輔, 澤田賢治, 新誠一, “複数の家庭における LIB 併用型 SOFC の自律協調エネルギーシステムの一考察”, 電子・情報・システム部門大会予稿集/平成 29 年電気学会電子・情報・システム部門大会 (2017/9).
26. 秦康祐, 望月明典, 澤田賢治, 中井綱人, 山口晃由, 小林信博, “ホワイトリスト運用のための複数の制御機器情報に基づいた運転状態の推定”, DICOMO2017/DICOMO2017 予稿集 (2017/6).
27. 藤田真太郎, 秦康祐, 澤田賢治, 新誠一, 細川嵩, “OpenPLC を用いたロボットアーム制御システムの構築について”, 電気学会制御研究会/制御研究会予稿集 (2017/6).
28. 永谷禎貴, 澤田賢治, 新誠一, “多重解像度補間メッシュに基づく経路探索手法”, 第 163 回アルゴリズム研究会/電子情報通信学会技術研究報告 (2017/5).
29. 植田 雄太, 澤田 賢治, 新 誠一, “場を介した情報共有による自己組織化ロボットの役割切替”, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集/システム制御情報学会, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2017/5).
30. 塚田健人, 岸田貴光, 澤田賢治, 新誠一, “Graphillion に基づく制御ソフトウェアの可用性検査”, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集/システム制御情報学会, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2017/5).
31. 望月 優加理, 澤田 賢治, 新 誠一, “通信可能範囲を考慮した分散協調制御システムに基づく迷路探索”, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集/システム制御情報学会, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2017/5).
32. 川上 重太, 澤田 賢治, 新 誠一, “誤り訂正符号を用いたリーダー・フォロワー合意におけるビザンチン将軍問題”, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集/システム制御情報学会, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2017/5).
33. 小林寛樹, 市川晴久, 川喜田佑介, “圧縮センシングを用いた 2 ステージセンシングの構成”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集 (2017/9).
34. 朝倉健太, 市川晴久, 川喜田佑介, “逐次学習による無線規格識別のための正規化手法”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集 (2017/9).
35. 松尾 太郎, 孫 光鎬, 榛葉 俊一, 桐本 哲郎, “ニューラルネットワークを用いた HRV 解析によるうつ病判定”, 第 56 回 日本生体医工学会大会 (2017/5).
36. 小林 茉以, 孫 光鎬, 榛葉 俊一, 松井 岳巳, 桐本 哲郎, “呼吸統制時と精神負荷時の心拍変動解析による客観的うつ病スクリーニングシステム”, 第 56 回 日本生体医工学会大会 (2017/5).
37. Tatsuhiro Kawaguchi, Ryo Tanabe, Ryohei Takitoge, Koichiro Ishibashi and Koji Ishibashi, “Implementation of Condition-Aware Receiver-Initiated MAC Protocol to Realize Energy-

Harvesting Wireless Sensor Networks”, IEEE-CCNC 2018 (2018/1).

38. Ryo Tanabe, Tatsuhiro Kawaguchi, Ryohei Takitoge, **Koichiro Ishibashi**, Koji Ishibashi, “Energy-Aware Receiver-Driven Medium Access Control Protocol for Wireless Energy-Harvesting Sensor Networks”, CCNC2018 (2018/1).
39. Xiaofeng Yang, **Koichiro Ishibashi**, Toshiaki Negishi, Tetsuo Kirimoto, Guanghao Sun, “Short Time and Contact-Less Virus Infection Screening System with Discriminate Function Using Doppler Radar”, BIC-TA 2017 (2017/12).
40. Ryohei Takitoge, Masataka Kishi, **Koichiro Ishibashi**, “LOW-POWER ENHANCED TEMPERATURE BEAT SENSOR WITH LONGER COMMUNICATION DISTANCE BY DATA-RECOVERY ALGORITHM”, IEEE Sensors2017 (2017/10).
41. S. Momose, J. Ida, T. Mori, T. Yoshida, J. Iwata, T. Horii, T. Furuta, K. Itoh, **K. Ishibashi**, Y. Arai, “Gate Controlled Diode Characteristics of Super Steep Subthreshold Slope PNBody Tied SOI-FET for High Efficiency RF Energy Harvesting”, IEEE S3S CONFERENCE (2017/10).
42. Shinya. Nii, **Koichiro. Ishibashi**, “A 0.148nJ/conversion 65nm SOTB Temperature Sensor LSI Using ThermistorDefined Current Source”, IEEE S3S CONFERENCE (2017/10).
43. **K. Ishibashi**, M. Serizawa, R. Takitoge, S. Ishigaki, T. Ishige, “DC Current Beat: Wireless and Non-invasive DC Current Sensing Scheme”, Eurosenors 2017 (2017/9).
44. 百瀬 駿, 井田次郎, 森 貴之, 吉田貴大, 岩田潤平, 堀井隆史, 古田貴大, 山田拓弥, 高松大地, 伊東健治, **石橋孝一郎**, 新井康夫, “急峻な SS を持つ PN-Body Tied SOI FET を用いた高効率 RF エネルギーハーベスティング用 Gate Controlled Diode の特性”, 電子情報通信学会、集積回路研究会 (2017/7).
45. Xiaofeng Yang, Guanghao Sun, **Koichiro Ishibashi**, “ Non-contact Acquisition of Respiration and Heart Rates Using Doppler Radar with Time Domain Peak-detection Algorithm”, EMBC '17 (2017/7).
46. Nguyen Van Trung, **Koichiro Ishibashi**, “RF Characteristics of SOTB Devices for GHz Frequency Applications”, TJMW2017 (2017/6).
47. 楊 小鳳, **石橋孝一郎**, “ドップラーレーダを用いた時間領域ピーク検出アルゴリズムによる呼吸と心拍の非接触測定”, 第 56 回日本生体医工学会大会 (2017/5).
48. 横山浩一郎, **小木曾公尚**, “圧力情報と UKF を用いた空気圧ゴム人工筋の位置決め制御実験”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
49. 横山浩一郎, 小玉隆志, **小木曾公尚**, “空気圧ゴム人工筋に対するオンライン状態推定の精度検証”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).

50. 小玉隆志, 小木曾公尚, “模擬環境下での地上-月面間通信による遠隔制御系の構築”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
51. 石川貴大, 小木曾公尚, 浜本研一, “パラメータの変動と劣化の関係性に関する考察”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
52. 飯島優司, 北側紘史, 小木曾公尚, Guo Mingyu, 畑秀明, “標準型ゲームに対するユーティリティデザインの数値的考察”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
53. 飯島優司, 朝日亮輔, 小木曾公尚, “ベイジアンゲームの均衡アセスメントに関する一考察”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
54. 江浦, 相澤, 西山悠, 富田, 小木曾公尚, 小泉憲裕, “患部追従超音波プローブを用いた次世代型生体モニタリング装置の開発プロジェクト”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
55. 三木, 大橋, 加藤, 土屋, 小泉憲裕, 小木曾公尚, 西山悠, 戸澤, 田口, 小林, 和田, 井原, “エヒケノム解析用検体自動調製システムを用いた生命科学実験の自動化”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
56. 小泉憲裕, 西山悠, 小木曾公尚, 和田洋一郎, “医療・バイオ分野のデジタル化を加速する医学デジ化コア技術”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
57. 小木曾公尚, “暗号化制御: 自動制御システムの秘匿化”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
58. 日下雅博, 馬場陸名, 小木曾公尚, “暗号化制御系の計算時間に関する評価”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
59. 馬場陸名, 日下雅博, 小木曾公尚, “オブザーバを用いた暗号化制御系および実機検証”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
60. 鈴木崇司, 小木曾公尚, “動的鍵管理による暗号化制御系”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
61. 朝日亮輔, 小木曾公尚, “ベイジアンゲームにおける完全混合戦略均衡と信念の遷移モデル”, 第 60 回自動制御連合講演会 (2017/11).
62. 中川真実, 橋本卓弥, 菊池直樹, 小木曾公尚, “上肢筋力トレーニング装置による目的別トレーニングの実践と筋の特性評価”, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会 (2017/9).
63. 日下雅博, 馬場陸名, 鈴木崇司, 小木曾公尚, “公開鍵暗号方式による DC モータの位置決め制御システムのサイバーセキュリティ強化”, 電気学会 制御研究会 (2017/6).

4.4. 【著書】

1. 孫 光鎬, 桐本哲郎, 「生体情報センシングとヘルスケアへの最新応用 ～ウェアラブル、非侵襲・非接触計測、連続モニタリング～」, 技術情報協会 (2017/6).
2. 小木曾公尚, 「オーグメンテッド・ヒューマン:AI と人体科学の融合による人機一体, 究極の IF が創る未来」, エヌ・ティー・エス (2018/1).

4.5. 【解説記事】

1. 曾我部東馬, 横川慎二, “深層学習・深層強化学習を応用したエネルギーシステムの最適化”, 日本信頼性学会誌, Vol. 40 (2018) .
2. 横川慎二, 市川晴久, 曾我部東馬, 澤田賢治, 川喜田佑介, “再生可能エネルギー指向自律分散グリッドーバーチャルグリッドー”, 日本信頼性学会誌, Vol.39 (2017).
3. 横川慎二, “社会インフラの事故・不具合の未然防止における視点”, 品質 Vol.47 (2017).
4. 澤田賢治, 総論“産業システム連携のこれからー特集号発刊によせて”, 計測と制御 (2018/1).
5. 新誠一, “産業応用”, 計測と制御, vol. 56 (2017).
6. 新誠一, “ワイヤレス通信と未来の工場”, 計装, vol. 60 (2017).
7. 新誠一, “センサによるエネルギー管理の実際と可能性”, 省エネルギー, vol. 69 (2017).
8. 新誠一, “重要インフラにおけるIoTセキュリティ”, 機能材料, vol. 37 (2017).
9. 新誠一, “iPERC: 情報とエネルギーの連動”, 電気通信大学同窓会誌「調布ネットワーク」, vol. 29 (2017/11).
10. 木寺 正平, “超広帯域近距離レーダのための高精度画像化法”, 計測と制御 (2017/11).
11. 小木曾公尚, “McKibben型空気圧ゴム人工筋のモデル化とパラメータ推定”, 計測と制御 (2017/4).

4.6. 【招待講演】

1. 曾我部東馬, “GRID Inc: Deep learning framework for industrial and engineering optimization application～産業最適化のための深層学習フレームワーク～”, Stanford Silicon Valley New Japan Project公開講座 (2017/5).
2. 曾我部東馬, “量子物理と深層学習を融合した量子人工知能の開発”, 東京大学先端研究所, 基調講演 (2017/4).
3. 澤田賢治, “制御システムのホワイトリスト: 多階層検知と協調動作”, 計測自動制御学会制御部門MSCS2018 (2018/3).

4. 澤田賢治, “制御系のサイバーセキュリティのための協調型ホワイトリスト”, 計測自動制御学会産業応用部門 2017 年度大会 (2017/11).
5. 澤田賢治, “Society5.0 時代に向けたサイバーセキュリティの動向、現状と課題”, 環境装置部会環境ビジネス委員会 (2017/10).
6. 新誠一, “自動車産業と航空の蜜月 -電動化と自動化, そして安全安心 -, 板橋区産業振興公社航空産業参入支援事業板橋セミナー” (2018/3).
7. 新誠一, “制御システムセキュリティへの道程とこれから”, 第 5 回SICE制御部門マルチシンポジウム基調講演 (2018/3).
8. 新誠一, “自動運転とビッグデータ処理”, 日黒会北陸支部第二回総会 (2017/11).
9. 新誠一, “モデルベース開発の適用事例と今後の動向”, 「モデルベース開発と最新シミュレーション技術」 全社セミナー富士電機株式会社 (2017/11).
10. 新誠一, “止めない工場, 喫緊のサイバーセキュリティ対策”, 危機管理産業展(RISCON TOKYO 2017)セミナーCW-5 (2017/10).
11. 新誠一, “技術がひらくCPS/IoT 社会におけるコミュニケーション”, TC シンポジウム 2017 基調講演 (2017/10).
12. 新誠一, “下水道と情報化”, 日本下水道技術開発機構主催新技術セミナー (2017/8).
13. 新誠一, “制御システムの背景・歴史”, 産業サイバーセキュリティセンターCoE講義 (2017/7).
14. 新誠一, “自動運転とビッグデータ処理”, 電気通信大学ホームカミングデイ全体会 (2017/7).
15. 新誠一, “自動運転技術の現状と未来”, 第 1 回産業セミナー「自動運転技術と中小企業の可能性」基調講演 (2017/6).
16. 小木曾公尚, “公開鍵暗号方式を用いた制御システムのサイバーセキュリティ強化技術”, スマート QOL (Quality Of Life) 新技術説明会 (2017/9).
17. 小木曾公尚, “モノの制御からヒトの制御へ”, NEOMAXエンジニアリング 開発技術討論会 (2017/6).