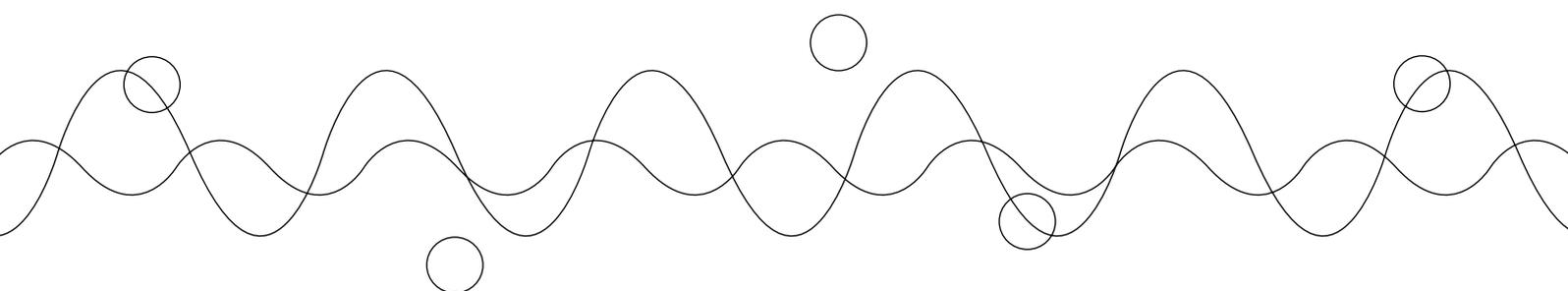


俯瞰ワークショップ報告書

**エネルギーネットワーク・統合システム
(EMS、スマートグリッド)**

平成28年1月20日（水）開催



はじめに

JST 研究開発戦略センター（CRDS）では、国家的見地に立つ研究開発戦略を検討するプロセスとして、分野の俯瞰、俯瞰した中から戦略的なスコープの抽出、抽出されたスコープの深掘の 3 つの活動を基礎としている。

その活動の一環として、ここでは、環境・エネルギー分野におけるイノベーション創出の基盤となる科学技術の専門家との意見交換や議論を通じて、最新の知見の共有や当該分野の俯瞰の新たな視座や戦略スコープ抽出などの方向性を検討するためにワークショップを下記の要領で開催した。

本報告書はこれらの活動の成果を社会・産業・行政の各関係者と共有するために発行するものである。ここで得られた知見は、来年度発行予定の環境・エネルギー分野の研究開発の俯瞰報告書に活用していく。

1. 背景

電力・ガス自由化、再生可能エネルギー導入促進、IoT による社会インフラの高度化・スマート化などエネルギー分野でも大きな変化が起きている。安定供給、低コスト、低炭素化に向け、従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信技術の活用により太陽光発電等の分散型電源や需要家の情報を統合・活用した、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システム、更に熱供給も含めてエネルギーネットワークシステムの構築の重要性が高まっている。COP21 では法的拘束力はないが大気温度上昇を 1.5°C 未満にすることが示されたが、この実現にはエネルギーネットワークシステムにおいても革新的、戦略的取り組みが必要である。

先行しているドイツ、米国でも様々な課題が顕在化しており、わが国でも系統連携、制度などの検討と共に、実証を中心としたプロジェクトが進められている。このような変動要因の大きい社会において、未来型のエネルギーネットワークの可能性とそれに向けた研究開発課題の検討を行う。

2. 趣旨・目的

環境・エネルギー分野の未来（2050 年、再生可能エネルギー50%以上、大規模集中と小規模自立分散）のエネルギーネットワークシステムのあり方とそれに向けた国家的見地に立つ研究開発戦略（科学技術テーマ）の方向性について検討すべく、有識者との意見交換や議論を行う。

なお、セミクローズドの会合であり、開催は関係府省と JST 内にのみ案内するものとする。

3. 概要

主催：JST-CRDS 環境・エネルギーユニット、システム・情報科学技術ユニット

日時：平成 28 年 1 月 20 日（水）13:00～18:00

場所：主婦会館プラザエフ B2F（東京都千代田区六番町 15 番地）

目 次

1. サマリー	1
1-1. 得られた知見	1
1-2. 各話題提供の要約	3
2. 海外動向の概要	8
緒方寛 (JST 研究開発戦略センター)	
3. 話題提供	16
将来のスマートエネルギー NW (低圧自律分散型エネルギー NW に向けて)	16
藤井康正 (東京大学)	
分散協調型エネルギー管理システム構築を目指す CREST 研究領域	26
藤田政之 (東京工業大学)	
COI: センター・オブ・イノベーションプログラムー共進化社会システム創成拠点	32
是久洋一 (九州大学)	
エネルギー分野における IoT の可能性	40
森川博之 (東京大学)	
電気事業のデジタル・ユーティリティ化に向けて	48
岡本浩 (東京電力)	
未来型エネルギーネットワークの研究開発	56
林泰弘 (早稲田大学)	
デジタルグリッド	63
阿部力也 (東京大学)	
エネルギーの情報化ー新たな科学・技術イノベーションを目指してー	70
松山隆司 (京都大学)	
“Internet by Design” に基づくオープンスマートキャンパスビルディングシステムのデザインとオペレーション	76
江崎浩 (東京大学)	
電力網に関連する研究の近況と今後の展望	83
湊真一 (北海道大学)	
次世代電力需給マネジメント: エネルギーシステム× IoT	89
浅野浩志 (電力中央研究所)	
4. 総合討論	93
付録 ワークショップ参加者リスト	99

1. サマリー

1-1. 得られた知見

- 将来期待される社会像を考えると、IoT (Internet of Things) をベースに実社会のさまざまな情報、センシングされたデータが集められ、それらをサイバー空間ですべてを共有化したビッグデータとして処理し、実社会にフィードバックする、例えば交通渋滞のない都市、人と物のモビリティ向上、エネルギー効率が高くかつ低炭素な社会、災害対応に優れる町、健康で快適な生活、過疎化や少子高齢化の効果的対策などに利用することで、豊かで活力のある社会を目指しているといえる。モビリティ、災害対応など各ドメインのプラットフォームがつながって新たな価値 (サービス) が創出されることも想定される。こうした社会では価値や競争力の源泉の所在は、モノから、モノを通じたサービスへと移行していく。
(補注)この方向性として、国のレベルでは第五期科学技術基本計画案の中で「超スマート社会」としてビジョン化され、CRDS では REALITY 2.0 (CRDS-FY2015-XR-05) として提言し、具体的なプロジェクトの例としては都市 OS (九州大学 COI) でコンセプトが打ち出されるなどされている。
- エネルギーネットワークは、上記の将来の社会像を構成する一部として、重要な位置付けとなる。まずは今後普及拡大するスマートメーターを介して、電力グリッドの配電系の需要家の膨大な資源、例えば電気自動車、家電製品、各種デバイスを ICT (Information and Communication Technology) でつなげることで、再エネ導入拡大による調整力としての DR (Demand Response)、アンシラリーサービス、さらにはバーチャルパワープラントなどの需要家資源の活用が期待されている。さらには、快適で高効率なエネルギー利用、低炭素社会、レジリエンス性のあるエネルギーネットワークへの貢献も期待されている。またその先には分散型の資源をどう使うか、分散資源につながった情報をどのように集めて、どう付加価値を生むかというようなプラットフォームに衣替えることが重要と考えられおり、そのための研究開発や制度設計が必要との認識である。また、電力ネットワークに、ガス、通信、物流などのネットワークを融合したネットワーク (統合型ライフライン) などの新しいビジネス・価値創造を期待する動きがある。
- 以上も踏まえ、長期的に考えられる将来のエネルギーネットワークの絵姿としては、超分散、双方向化、個人化、広域化が進展し、インターネットのようにエンドユーザの個々のアクセスに制約がなく、高速制御が可能、かつ分散化が進展したレジリエンスの高いエネルギーネットワークのイメージが浮かび上がった。
- 上記に対応するための研究課題や進め方について以下の提案があった。
 - 膨大な需要家側、配電側資源 (EV、PV、蓄電池、熱利用機器など) の活用するために、現状と比較して格段に高速で膨大なリアルタイムの情報を処理するための高速処理技術と制御技術が必要になる。また、データは小さいが高密度に電送するときには効率的な通信プロトコルや、通信遅延、障害に対する問題に対応する研究開発が必要。
 - 電気の持つ大域性、すなわち電力グリッドすべてがつながっている特性を緩和し、独立的に取り扱えるようなモジュール化まで踏み込んだ研究が必要との提案があった。これにつ

いては、非同期化、電力パケット、電力カラーリングなど、電力潮流制御方法を含む複数の研究テーマ例（アルゴリズム、回路技術、デバイス開発含む）が示された。対象領域は主に配電側、家庭内などであり、これにより配電側でオープンなリアルタイム自由市場を可能とし、グリッドや家庭用 PV のような需要側の再生可能変動電力の利用度を増大できることが期待される。

- 需要家資源を系統運営者の調整力とする視点（需要家資源をアグリゲータが集約し、系統運営者が調整力の一部として活用）だけではなく、配電系につながる個々が個別に高速で取引する自由市場で調整される仕組みの可能性も示された。（ノードにおけるリアルタイム価格情報をベースにした電子取引など）
- 超分散化された需要側資源の利活用に対して、IT、デバイス、エネルギー機器、エネルギー、通信、アグリゲータなどのステークホルダーが参画できる共通の場を構築し、そこでアルゴリズムや制御、技術を学が先行して研究開発する仕組みが必要との指摘があった。またエネルギー分野におけるエコシステムの研究推進のためには、ハードウェアとソフトウェア、制度、マーケットも含めたパッケージで考えていく必要性、および仕組み作りや「場」の形成の重要性の指摘もあった。
- 研究開発の進め方として、より広範な専門家が研究に参画できるように分野毎に階層構造化することが示された。また大学の施設を研究プラットフォームとして利用することの有効性などが示された。さらにオープン化にあたっては標準化の重要性も示された。

1-2. 各話題提供の要約

- 「将来のスマートエネルギーNW（低圧自律分散型エネルギーNWに向けて）」

(藤井康正・東京大学)

太陽電池などの分散電源の普及、電気事業の規制緩和、ICTによる計測・制御の可能性の拡大などにより多くの課題がある。主体間の利益相反への対応と社会全体としての最適化が必要である。電力システムの進むべき一つの方向として、競争原理を徹底的に導入することが考えられる。そのためには、ノーダルプライスを使って電力価格の評価、時間解像度、空間解像度を高め、地理的に分散配置された無数の市場における高速取引を行なう必要がある。この場合、大規模な発電所の取引は物理的に難しく、柱上変圧器以下の配電網から家電、最終利用機器に至るところで工夫の余地がある。実現するための具体例として、低圧配電網で、蓄電池などのバッファを設け、規格化された電流・電圧波形によるパルス状の電力でモジュール性を高めた送受電ができる市場取引環境を整え、高圧配電線（三相交流）とパルス回路（バッファ）の間は交直の双方向変換回路を使うことが考えられる。

- 「分散協調型エネルギー管理システム構築を目指すCREST研究領域」

(藤田政之・東京工業大学)

JST-CRESTで研究を実施している。今後はNSF (National Science Foundation) のERC (Engineering Research Center) が三層構造を示しているようなシステム統合型プロジェクト、融合研究が重要になる。エネルギー利用というよりエネルギー需要というキーワードで捉え、社会科学や経済学分野との融合が必要である。研究代表者や研究者の自主的なボトムアップとアドバイザーのトップダウンの助言で挟み撃ちする形でF/Sを3ステップ進め、現在、①太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築、②エネルギー需給システム構築のための経済モデルと物理モデルの融合に基づく設計理論及び実証・実装・提言、③エネルギー消費行動の観測と分散蓄電池群の協調的利用に基づく車・家庭・地域調和型エネルギー管理システム、④分散協調型EMSにおける地球科学情報の可用性向上とエネルギー需要モデルの開発、⑤汎用的な実証基盤体系を利用したシナリオ対応型分散協調EMS実現手法の創出の、5つの最強チームを構成して研究を進めている。また、基礎研究はグローバルに行われており、国際連携、ネットワークの構築も重要である。

- 「COI：センター・オブ・イノベーションプログラムー共進化社会システム創成拠点」

(是久洋一・九州大学)

本プログラムは、COI (Center of Innovation) プログラム中の九州大学プログラムで、“社会の多様な要素が共生し進化することのできる社会システム基盤をつくらう”というビジョンに基づき、九大、横国大、東大の3大学が連携して研究開発を実施している。これまでの社会システム、行政システムが縦割りにできていて、データやサービスの相互利用ができない状況を打破すべく、“都市OS”という都市問題解決のための情報通信基盤の構築を目指している。都市OSの中にデータ解析アルゴリズムを実装し、サイバーフィジカルシステムなる実装モデルで、新しい都市サービスの共通基盤をつくる。都市OSという統合システムにおいては、AI、サイバーセキ

ユティリティ、IoTなどをフォローする必要がある。都市 OS アーキテクチャを固め、都市サービス 標準メニューと必要となる要素技術を纏めている。新しい都市サービス実現に必要なデータを集め、解析アルゴリズムを選択し、様々な情報と重ね合わせて、最終的にユーザに対してサービス利用インターフェースを提供、サイバーフィジカルシステムとしてのフィードバックループを回す形を実現する。現在、総合特区である福岡で実証実験も進めており、研究開発、都市 OS の仕様固め、社会実装の環境づくりを同時並行で行ないながら、最終的な社会実装システムを完成、持続可能な事業として成立させることが本プロジェクトの目標である。

- 「エネルギー分野におけるIoTの可能性」 (森川博之・東京大学)

IoT 的な視点では、仕組み作りや仕掛けが重要である。IT・ICT の分野ではデータを集めたもの勝ちという流れが長く続いており、その流れの一貫でリアルなデータを着目しているのが CPS (Cyber Physical System)、IoT、M2M (Machine to Machine) である。エネルギー分野はリアルなものが膨大にあり、非常におもしろい分野である。IoT の本質は物理的資産のデジタル化と考えている。IoT が進むと、ワンウェーであったものが双方向になり、研究開発でも全てのものを双方向で考える必要がある。エネルギーの分野で今見えている近いものは、アンシラリーサービス、お金が流れるという意味ではアグリゲータがアンシラリーサービス市場に入り、高速 DR で需給制御していくというのが近いファーストステップだと考えられる。アンシラリーサービスや高速 DR で生まれてくる市場は、①ビッグデータのビジネス、②アンシラリーサービスプラットフォーム、③通信を含めた IoT、M2M、大きく 3 つあると考えている。エネルギービジネスは集中から自律分散、一方向から双方向、計画経済から市場経済、固定から多様なサービスと大きく変わっていくようになり、仮想発電所やトランザクティブエナジーなども後考えていく必要がある。そのためには、仕組み作り、データの収集・データエコシステムの形成、インターネットの「場」の形成が重要になってくる。

- 「電気事業のデジタル・ユーティリティ化に向けて」 (岡本 浩・東京電力)

経営戦略と技術戦略を融合して新しいことを行なう必要があるとの認識で検討を進めている。現在、OCCTO (広域機関) が設立され、全面自由化、アンバンドリング、さらに、もっと先へ向かうということで、日本の電気事業は変遷期をむかえており、電気事業自体をどうやってデジタルを使って変革していくかが重要と考えている。技術的な方向性として、分散化と広域化の両方が起きると思っている。今後の電気事業は人口減少にともなって需要減少が基調となるが、別のシナリオとして COP21 が採択されネットゼロエミッションということを考えると、エネルギー最終消費が減る一方で、電力需要が増加する可能性がある。今後のトレンドで考えると、IoT を初めとしてデジタル技術とエネルギー貯蔵技術が進展すると考えており、その場合、電気自動車の物流のネットワークもエネルギーの流れと等価となる。今後は、ライフラインをそれぞれで考えずに、水道、物流、通信、電気など融合して考える必要がある。全体を一種のグリッドとして考えていく、融合していく必要がある。そのためには、デバイスやハードウェアの物理的なレイヤー、サイバースペース、市場や制度の 3 層構造で考えて研究を進める必要がある。関係するステークホルダーが部分最適を行う中で、全体が最適に向かうような市場環境の整備や、需要家設備の運転や保守を最適化するアグリゲータの事業などのエコシステムが今後の研究課題であり、

ハードウェアとソフトウェア、制度、マーケットも含めたパッケージで考えていく必要がある。

- 「未来型エネルギーネットワークの研究開発」 (林泰弘・早稲田大学)

送配電ネットワーク事業者が、発電側の発電事業者と需要側の小売り事業者との間に入り、中立・公平に送配電ネットワークの需給バランスや電力の品質を調整することになるライセンス制が始まり、ネットワークの安定供給やいろいろなシステムそのものが大きく変化しようとしている。再生可能エネルギーの大量導入、需要家の消費のスマート化、デマンドレスポンス、ネガワット取引など、発電する側だけでなく消費する側を ICT でスマートにコントロールするといったことが出てくるため、これからはそれらを包含したトータルネットワークイノベーションが重要となる。電力ネットワーク全体の発電と負荷のバランスをとることは安定供給上これまで通り重要であるが、とりわけ需要家側に調整力や予備力等のポテンシャルを求められつつあり、需要家側自身にもイノベーションが多いため、ソフトやアルゴリズム等の研究開発を行い、社会実装していかなければならない。ネットワークから切り離れた分野で学へのニーズがあり、応答速度の異なる調整力や予備力、需要家側のプロシューマリーソースアグリゲーションが重要である。超分散プロシューマリーの様々なエネルギーリソースを統合した調整力や予備力の利活用に対して、IT、デバイス、エネルギー機器、エネルギー、通信、アグリゲータなどいろいろなステークホルダーが入る場 (プラットフォーム) を構築し、そこでアルゴリズムや制御、技術を学が先に研究開発しておいて、それらをメーカーが実装する展開になると考えている。プラットフォームの導入やビフォー・アフター戦略、エネルギーネットワークの階層と電力のネットワークの階層、さらに、地域の需要密度などさまざまなものを考え、エネルギーデータをもとに実世界からデータを吸い上げたサイバー世界のシミュレーションモデルの構築などが重要で、融合的・総括的な研究分野が必要である。

- 「デジタルグリッド」 (阿部力也・東京大学)

電気のマーケットは、瞬時に需給バランスが崩れると停電するなどの電氣的制約の問題がある。このため、再エネ 50%を可能にするには、エネルギーネットワーク構造の変化が必要であり、デジタルグリッドと呼んでいるインターネット型電力ネットワークを考えている。電力システムのノードに電力ルータを設置して非同期化し、エッジで追設の自営線を使って多重受電することで、多様なルートを使い、電力識別を行いながら、再エネ変動を域内で調整し切ることで、基幹系統の増強なしで再エネ 50%が可能になる。電力ルータはインバータ、周波数変換器であり、電力変換はマイクロ秒のオーダー、電力制御はナノ秒のオーダーが必要になる。電流の切りかえは遮断機の切りかえではなく、電流の位相と大きさを変えることで行う。ノードでつながるセルのサイズは数千 kW を考えている。これらの制御は、リアルタイムでやる必要があるが、取引情報もサーバに送ることができるので CO₂ 価値、デリバティブ、保険なども取引できるようになる。

- 「エネルギーの情報化 ～新たな科学・技術イノベーションを目指して～」 (松山隆司・京都大学)

エネルギーの情報化として、IoE (インターネット・オブ・エナジー)、エネルギー自身をそのまま柔軟にマネージできるような科学技術を目指している。電気の世界は大域性、すなわちモジ

ユーラ性がないため、電気の世界にモジュール性を持ち込もうとしている。電源から消費の機器までの個々の電気のフローに対して ID を振ることを考えており、電力カラーリングと呼んでいる。対象は、200V の低圧系である家庭・オフィス・工場・近隣地域内などのナノグリッドを考えている。方法としてはスイッチングネットワーク、電力をパケット、パルスにする **Store and Forward** 方式もあるが、独自のものとして **P2P** の分散協調方式、すなわち、給電側と消費側をリアルタイムに協調的に電力制御することで、仮想的に多様な電力フローパターンをつくる方式を用いている。これにより変動した電源でも蓄熱装置にリアルタイムで同期伝送して電力を使用することで、系統側が太陽光の変動に困ることが少なくなる。次に、多様な電力フローの設定はオンデマンド型電力制御システムでやっており、値段や電力品質を含んだ多様な電力要求を調整するメカニズムを使ってフローパターンの設定が実現できる。電力網にモジュール性を導入するには、コンセプトレベル、アルゴリズムレベルに加えて、回路技術の開発が必要である。また電力網のリアルタイム制御では、データは小さいが高密度にデータ伝送するときに効率的な通信プロトコルや、通信遅延、障害に対する問題に対応する必要がある。

- 「“Internet by Design” に基づくオープンスマートキャンパスビルディングシステムのデザインとオペレーション」 (江崎浩・東京大学)

オープンスマートキャンパスビルディングシステムを、いわゆるエコシステムとしてのスマート化を行っている。この結果、東大の調達はオープンテクノロジーになり、東大自体の施設をリサーチの目的で使えるようにしている。IEEE1888 などの標準化も行った。インターネットの仕組みは物流システムと同じで、パレットとコンテナが生まれたおかげで、中に入るものと伝送するものが独立になり、進歩した。同じことを電力システムに対しても適用すればいいのではないか。インターネットをアーキテクチャのサイエンスとして考えると 8 つほどの特徴がある。例えば、アーキテクチャの中に選択肢をできるだけ提供できるような形にし、最適化をあえてせず、モジュール化して入れ替え可能なシステム設計が重要なポイントである。またエンドユーザは、あるときは新しい事業者になるように自由にできることのエンド・ツー・エンドの原理が重要になる。それによって IEEE1888 として標準化し、三層構造にした。うまく抽象化すると全くハードウェアの知識がないエンジニアが参画できる。インターネットの抽象化された特徴としての透明性とエンド・ツー・エンドの原理は、共有されたエコシステムをいろんな使い方にできるようにすることである。そのために透明性を上げること、これがオープン化である。標準化である。それにより、リソースを複数の目的に使えるようにつくることであり、インターネット・バイ・デザインと言っている。またつながることを前提にしているので、セキュリティが必要である。

- 「電力網に関連する研究の近況と今後の展望」 (湊真一・北海道大学)

離散構造を使って動く処理系をつくり、応用に役立てることを行ってきた。電力網の解析や最適化にアルゴリズムの技術を使うことから始め、ZDD と呼ばれる 1993 年に私が考案したアルゴリズム技術を使って実用規模の網構成について、損失の最小化あるいは障害修復可能性判定に関する問題について、電氣的な制約と情報科学分野におけるグラフのカラーリングの問題を網羅的に調べつくし、索引化することを世界で始めて成功している。その超高速アルゴリズムを生かして現実的ないくつかの課題について取り組んでいる。電力網の解析や最適化問題の中長期的展望

であるが、重要なインパクトは、電気を安価に蓄えられるかどうかで、最適化問題の設定が大きく変わってしまう。今後の展望は、どうやって実用化していくかということである。今目指しているのは、成果技術をソフトウェアツールとして技術者に提供して、電力会社の技術者にそれを役立ててもらおうという方向が一番近いと思っている。実際にこのようなツールを開発している。コア技術を地道にやることで、実際に理論の研究者と応用の研究者をつないでいくことをやっていきたい。

- 「次世代電力需給マネジメント：エネルギーシステム×IoT」（浅野浩志・電力中央研究所）

今はエネルギーのバリューチェーンの要素技術毎に各省庁で研究をされているが、需給マネジメントを調整するところが抜けているので、需給マネジメントを、IoT をベースに国のプロジェクトとして大きく取り上げることを話した段階である。米国の配電会社 PG&E はグリッド・オブ・シングスと言っている。いろんなデバイス、電気自動車、スマートメーター、東京電力だったら 2,700 万個のスマートメーターで何十億というデバイスがつながっている。この分散型の資源をどう使うか、どう付加価値を生むかというようなプラットフォームに衣替えすることをアメリカでは考えている。問題はこの事業モデルがなく、どうつくるかである。日本でも需要家が積極的にシステムのオペレーションに参加するような形に持っていこうと変わりつつある。また国の取り組みとして、電力とかエネルギーのデータとそれ以外のデータをどうやって組み合わせるか、これは事業者を超えるので、現状では非常に難しい。また新しい付加価値を生むところをどうつくるかも重要である。課題をまとめると、一つは再エネの拡大に対応するための研究、もう一つは制度設計の話で、需要側の資源が参加可能な競争環境をつくることである。リアルタイム市場、アンシラリーサービス市場などがある。3つ目が大規模停電対策などの安全・安心である。

2. 海外動向の概要

緒方 寛 (JST 研究開発戦略センター フェロー)

海外動向の概要について簡単に説明する。言い過ぎかもしれないが、電力自由化、再生可能エネルギー導入というのは、欧米のほうが日本よりも10年以上進んでいるという認識があり、欧米の状況に関し簡単に調べた。

図1は電力グリッドの近代化とファンディングということで、米国ARPA-E取り組みについてまとめたものである。

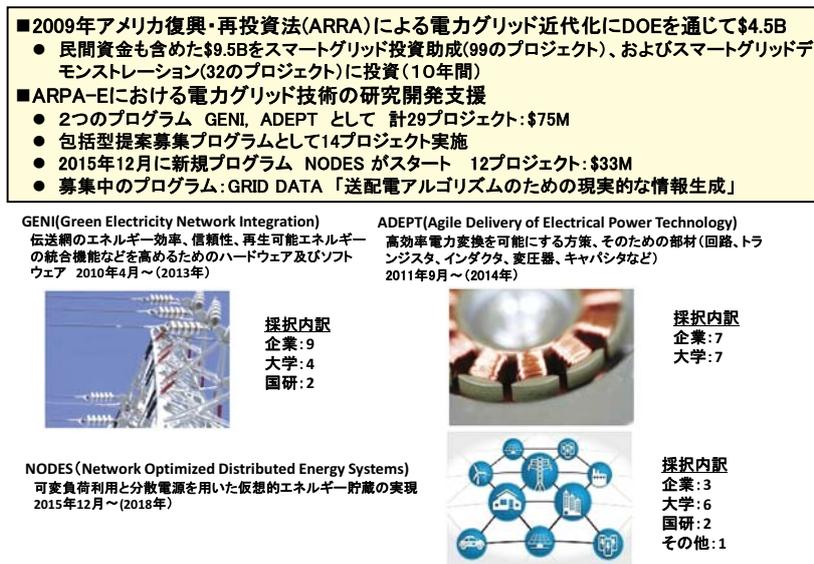


図1. DOE の取り組み (1) 電力グリッド近代化とファンディング (ARPA-E)

図2がDOEの取り組みを示している。イニシアチブとして、国研をまたいで「研究所グリッド統合設備ネットワーク」を作って進めようとした動きがある。NRELは、実証設備「再生エネルギーシステムの統合設備」を持っており研究が進んでいる。日本でもいろいろな場面、いろいろな形で表現されているが、NRELでもジェネレーション、デリバリー、プロシューマー間の双方向の情報も踏まえ、アーキテクチャの考えのもと研究を進めている(図3、図4)。後にも示すが、ドイツやEUでも同じようなスマートグリッドアーキテクチャで標準化するという将来を見据えた検討を行っている。

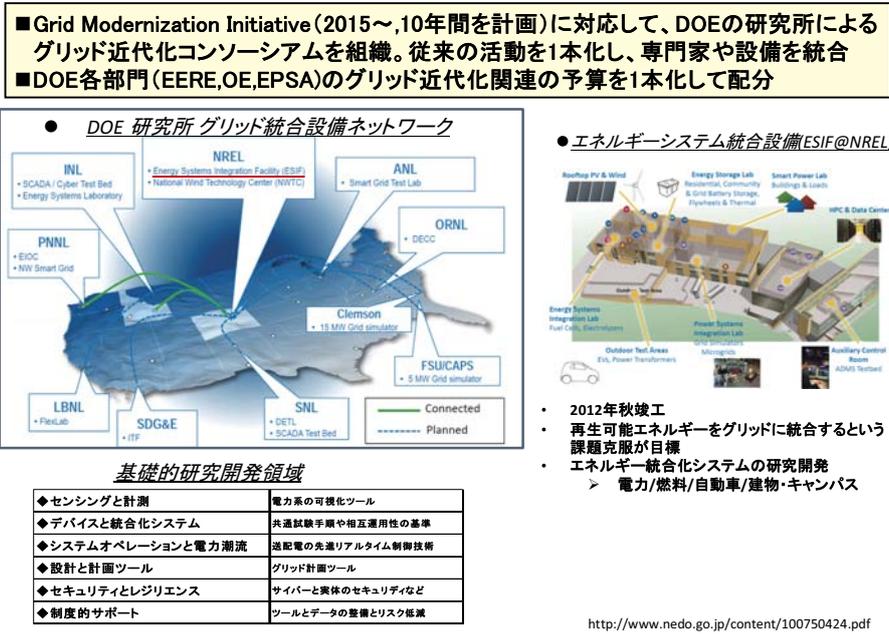


図 2. DOE の取組み (2) Grid Modernization Initiative



図 3. DOE の取組み (3) NREL の検討：エネルギーシステム融合 (1)

■EU、ドイツと同様に将来のエネルギーネットワークのプラットフォームとして、スマートグリッドアーキテクチャーを整理

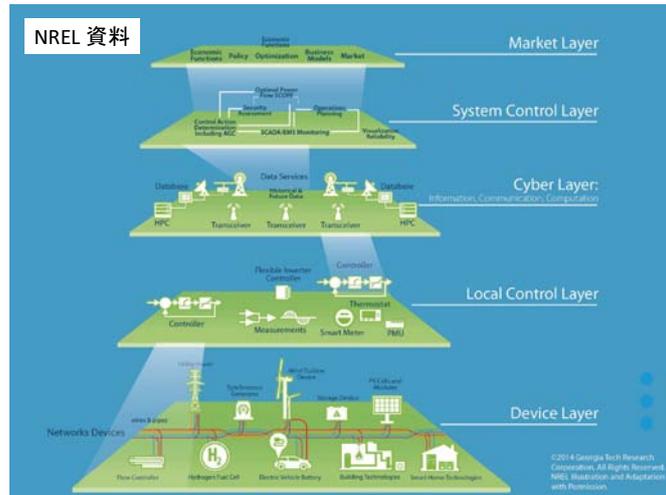


図 4. DOE の取組み (3) NREL の検討：エネルギーシステム融合 (2) System Architecture

NSFでは超広域でのレジリエントな電力ネットワークの検討を行っており（図5）、さらに Transactive Energy といった電力の商取引の検討が今進んでいる（図6）。

■NSF/エンジニアリングリサーチセンター(ERC)の一つ
 ■拠点大学:Tennessee 大学 開始年:2011年(10年間)
 ■国レベルの広域グリッド電圧位相モニターシステムを確立し、高速広域高信頼の分散制御システムを構築する
 ■システムレベルのアプローチ
 ■一部DOEの資金も活用
 ● ARPA-E(2015年包括型提案募集プログラム)のプロジェクトを獲得
 > 「低コストで規模可変のオープンソース制御によるスマートでフレキシブルなマイクログリッド」(\$2.4M)

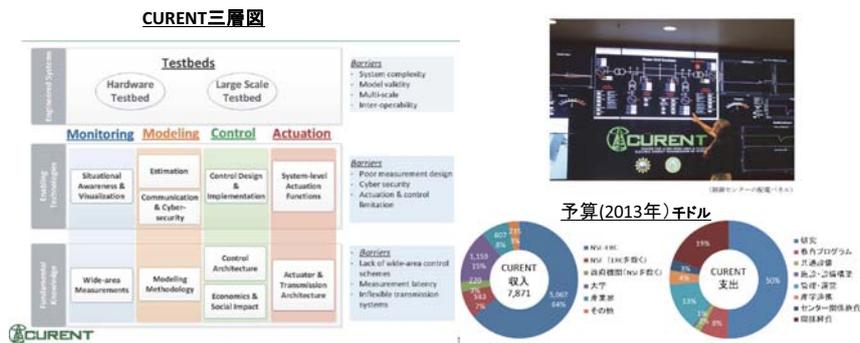


図 5. NSF の取組み CURENT：超広域でレジリエントな電力ネットワーク

- TE:商取引できるエネルギー
 - 発電、送電、配電、需要家の各機器がリアルタイムかつ自動的に情報交換することで、システム全体の最適化が行われる。
 - Smart Grid と何が違う？
 - ⇒ リアルタイムでその地点における電力価格情報を与えることで、自動的な電子商取引(先物やスポットあり)で最適化する電力システム
 - 「Smart Gridの応用技術」や「商取引できるほどグリッドはスマートではない」とのコメントも
- 現時点の実現性は不明。しかし期待は大きい
 - 関連組織：GCW,TEA,SGIP,PNNL

- 実証化試験 (DOEファンド)
 - GridWise Olympic Peninsula Project
 - ・2006年3月～1年間 112世帯で市場メカニズムによる自動的なリアルタイム価格と取引を実施。
 - ・10%の購入費削減と15%の需要ピーク削減
 - Pacific Northwest Demonstration Project
 - ・2010-2015年 11設備と6万世帯。5分毎に27のnodesを通じて価格インセンティブ情報をやり取り
 - GridSMART Program
 - ・数百世帯でのローカルスケールでの試験



参考文献：カリフォルニア州公共ユーティリティ委員会政策計画部レポート(2014年10月)

図 6. Transactive Energy (TE)

欧州では、2050年に向けて欧州全体で再生可能エネルギーネットワークを構築する、e-Highway2050構想の検討を行っている。さらに、PF7では、SuSAINABLE Projectにおいていろいろな国をまたいだ検討が行われている。

- 2020年～2050年のEUの変換ネットワーク計画をサポートするための方法論開発を目的とし、再生エネルギーの信頼性向上と市場との融合を確実にするためにEUの FP7で実施。
- 可能性のあるEUの基本的な電力供給網開発計画や、様々な将来の電力システムシナリオに基づく完全なEUグリッド構造のオプションを導くもの。
- RTE Franceによるコーディネートのもと、欧州送電系統運用者ネットワーク(ENTSO-E)のメンバーにより、ECIにより策定された「The Energy Infrastructure Package blueprint」に対して実施。

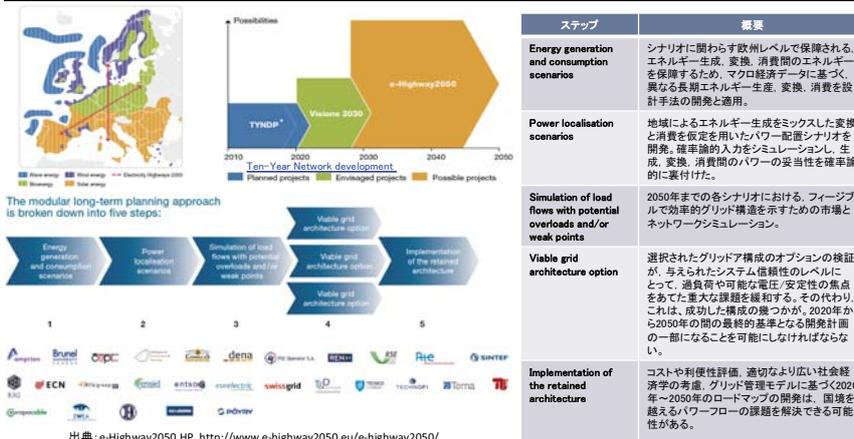


図 8. EU の取組み e-Highway2050

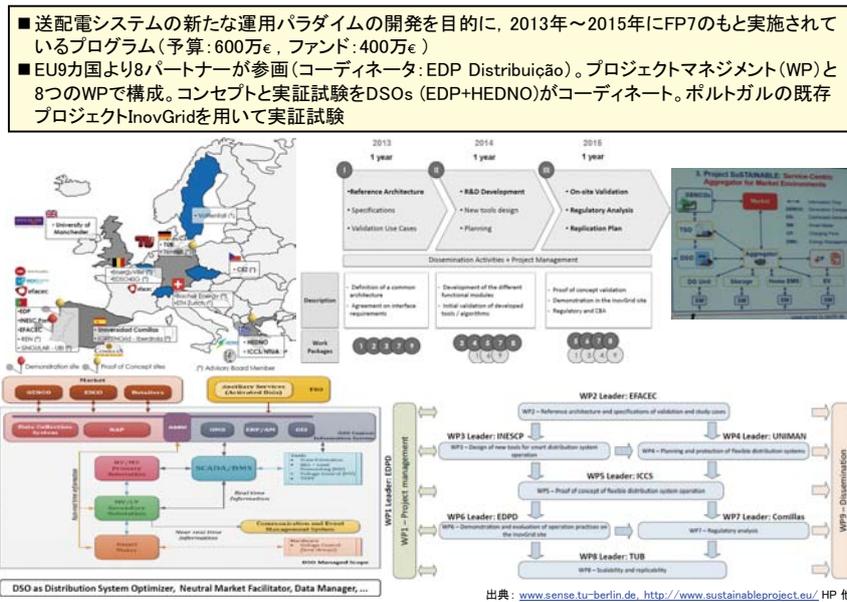


図 9. EU の取組み FP7 SuSTAINABLE Project

さらに、スマートグリッド・レファレンスアーキテクチャとして図10に示すような検討が行われている。今、ものづくり革新と盛んに言われているが、ものづくりでも同様なアーキテクチャモデルがあり、これが参考になっている。電力構成機器、制御対象、サービス機能を含めたいろいろなシステムをまとめようとしている。

■ 欧州標準化委員会 (CEN), 欧州電気標準化委員会 (CENELEC), 欧州電気通信標準化機構 (ETSI) によるレポート(アーキテクチャー, 標準リスト, 標準群更新のための手法の一つ)。

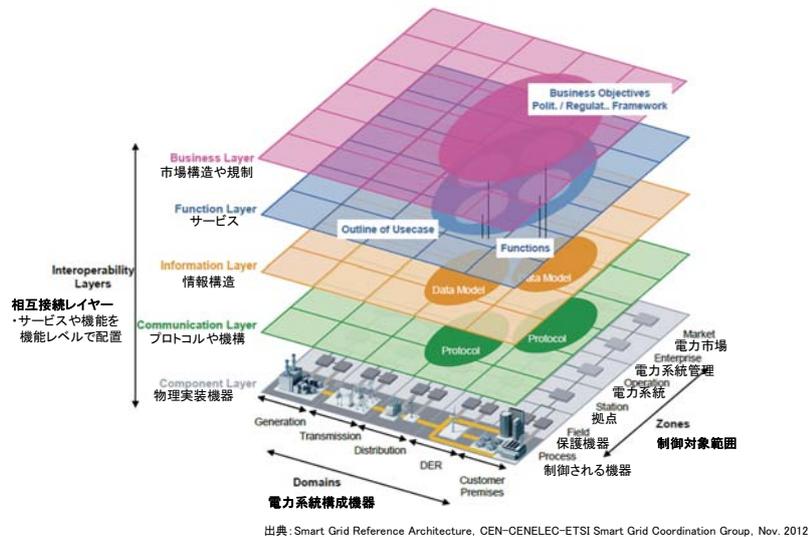
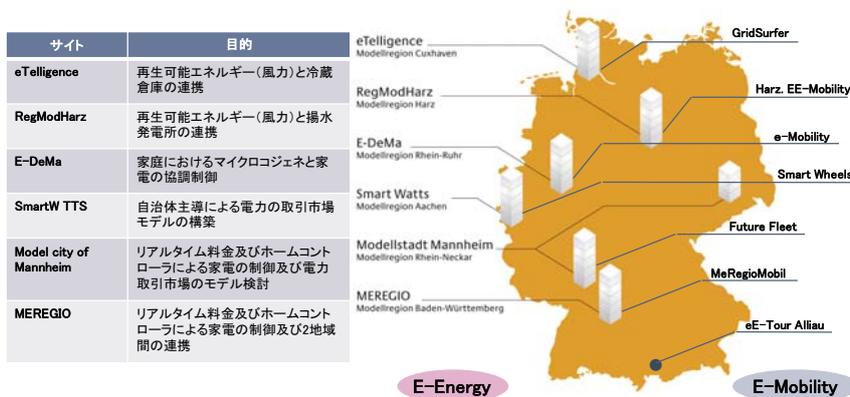


図 10. EU の取組み スマートグリッドレファレンスアーキテクチャ

ドイツでは、E-EnergyのGerman Smart Grid ProjectsでE-EnergyとE-Mobilityの実証を行っている(図11)。Power to Gas Projectでは、風力の電力を水素もしくはハイタンとして供給する検討も行われている(図12)。詳細はまだ不明だが、Design Networkプロジェクトが昨年末に報道された(図13)。また、デンマークの例を参考として示した(図14)。

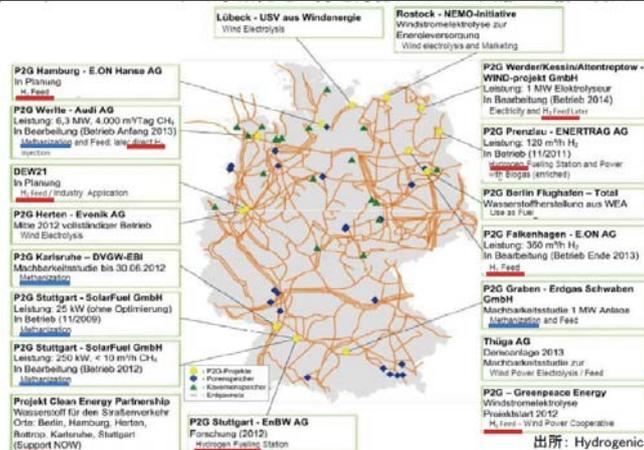
- ①再エネ導入促進, ②CO₂排出量削減, ③電力自由化促進, ④EV普及の4大目的に向け, ICT導入による電力システム最適化を進めるプロジェクト。2006年構想発表, 2008年実証開始, 2012年評価および標準化。
- 連邦経済技術省および連邦環境省の助成の下, 6地域で実証。同サイトでE-Mobility 7事業も推進
E-Energy : 140 Mile (自主予算: 80 Mile), E-Mobility: 120 Mile (自主予算: 65 Mile)



出典: E-Energy German Smart Grid Projects Overview, June 2010, e-energy HP, www.e-energy.de 他

図 11. ドイツの取組み E-Energy German Smart Grid Projects

- 再エネ導入拡大のための水素グリッドとして, Power-to-Gasプロジェクトが多数進められている。
- 再エネの余剰電力で水を電気分解して水素製造・利活用。
 - 北部は風力発電の適所で電力需要地は南部。しかし中部の電力網の容量が低く, 北部の風力発電で発電した電力を南部に流せない。
 - 解決策: 北部の風力由来の電力で水素を製造し, 水素・メタン(メタネーション)として貯蔵(Power-to-Gas)し, 水素発電で再電力化, あるいは天然ガス網に混入。



出典: Hydrogenics HP, <http://www.hydrogenics.com/> 他

図 12. ドイツの取組み Power to Gas Project

- ドイツ政府による総合的なエネルギー転換プロジェクト。経済・エネルギー省が数千万ユーロを投じ、RWE社が主導するコンソーシアムで推進。
- エネルギー分野に革新的なICT(情報通信技術)を導入し、再生可能エネルギーを中心とするエネルギーシステムへの転換を支える基盤を確立し、エネルギー転換後の現実社会における政治的なビジョンに反映させることを目的とする。
- 本プロジェクトを含む5つの実証プロジェクトを計画。大規模なモデル地域で再エネによる分散型電源を電力網に統合した際の、技術的、経済的、規制面の課題を解消(予算:2億3000万ユーロ)

ドイツの大手電力会社であるRWE社は12月8日、ドイツ政府による総合的なエネルギー転換プロジェクトに採択されたと発表した。エネルギー分野に革新的なICT(情報通信技術)を導入し、再生可能エネルギーを中心とするエネルギーシステムへの転換を支える基盤を確立する。ドイツの連邦経済エネルギー省(Federal Ministry for Economics and Energy)が、数千万ユーロを投じるプロジェクト「Designetz」で、RWE社が主導するコンソーシアムで取り組むことが決まった。RWE社は、自治体や企業、研究機関46社・団体と連携し、コンソーシアムを構成する。コンソーシアムには、自治体のユーティリティ(公共インフラ)企業、有力な研究機関、技術系の大手企業など、ドイツを代表する企業や研究機関が多く参加し、国レベルで課題を解決するプロジェクトとなる。また、RWE社の電力網は33万1000kmに及び、30万カ所以上の再生可能エネルギー発電システムが連系している。プロジェクトは、従来のエネルギーシステムに再生可能エネルギーを統合するための、「これまでで最も広範な」内容と強調している。ドイツのノルトライン＝ヴェストファーレン州、ラインラント＝プファルツ州、ザールラント州の3州で実施する。この3州の人口の合計は、ドイツの4分の1以上になる。この3州は、太陽光発電や風力発電が大規模に導入されているほか、主要な産業から農村まで、幅広い電力需要家が立地し、将来の電力供給の信頼性を検証するのに適している。農村部から都市部までの多様な地域で、分散型の発電所と需要家をつなぐ、高度なネットワーク(intelligent networking)を構築する。エネルギー転換を効果的に実現するカギを握るとしている。プロジェクトの目的は、エネルギー転換後の現実社会における政治的なビジョンに反映させることとしている。RWE社グループにとっては、グループの再編計画の意義をより高める取り組みになるという。従来のエネルギー産業では、ドイツ全土のエネルギー転換に必要な、あらゆる要素を有意義に導入するための全体的な構想が欠けていたとする。今回のプロジェクトは、こうした全体的な視点でエネルギー転換に必要な課題に取り組み、ドイツ全土のエネルギーシステムの今後の青写真を描く基礎になるという。経済・エネルギー省は、こうしたエネルギー転換に備えたプログラムの一環として、今回のプロジェクトを含む5つの実証プロジェクトを計画している。いずれも、大規模なモデル地域において、再エネによる分散型電源を電力網に統合した際の、技術的、経済的、規制面の課題を解消する目的で実施する。合計で2億3000万ユーロを投じる。

(12月24日 日経テクノロジーオンライン)

出典: Smart Grid Reference Architecture, CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group, Nov. 2012

図 14. ドイツの取り組み Designetz (Designe Network) プロジェクト

- 約30年で集中型から分散型エネルギーシステムにシフト。2050年に再エネ100%とし、化石燃料を一切使わな「脱炭素社会」を目標としている。キーワードは小規模分散型(熱電併給CHP、地域熱供給DH)
- 6,500基の風力発電(発電の40%)、1,000基のコジェネ、数千基のバイオマスがあり、7割以上は地域協同組合、農家、個人で所有。

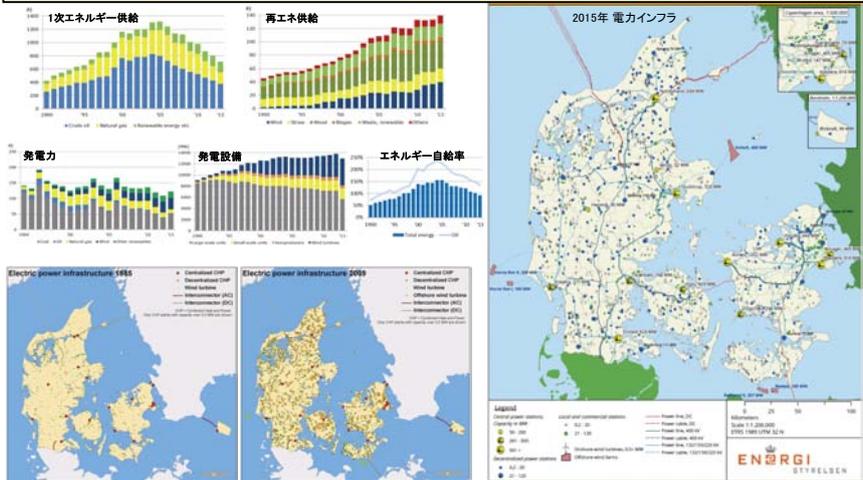
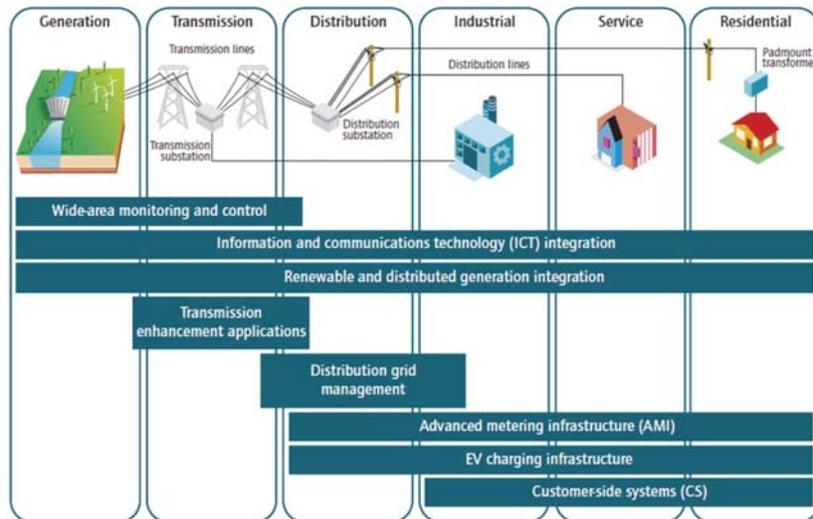


図 15. デンマークの取り組み エネルギーシステム変革

IEAは、供給と需要双方向の情報により、電力システムを最適化、高効率化し安定供給、低炭素化を達成するスマート電力システムを纏めている。ジェネレーションからレジデンシャル、電力でいえば、発電から送配電、需要家までスマートグリッドを合わせたシナリオが描かれている。技術分野としてハードウェア、システムとソフトウェア区分で研究開発項目を整理している(図16)。

■ 8つの技術領域で、ハードウェア及びシステム、ソフトウェアを開発



出典: Technology Roadmap Smart Grids, IEA, 2011

技術分野	ハードウェア	システム&ソフトウェア
Wide-area monitoring and control (広域モニタリング・制御)	<ul style="list-style-type: none"> 電源管理ユニット(PMU) センサー機器 	<ul style="list-style-type: none"> 管理制御システム(SCADA) 広域モニタリングシステム(WAMS) 広域順応保護制御自動システム(WAAPCA) 広域状況認識(WASA)
Information and communication Technology integration (ICT)	<ul style="list-style-type: none"> 情報機器(電力線, WiMax, LTE, RFメッシュネットワーク, セルラー) ルーター, リレー, スイッチ, ゲートウェイ, コンピュータ(サーバ) 	<ul style="list-style-type: none"> 企業情報統合型パッケージソフトウェア(EPR) 需要情報システム(CIS)
Renewable and distributed generation integration (再生エネルギーと分散電源融合)	<ul style="list-style-type: none"> 基幹電力やグリッド用パワコン機器 発電・蓄電用情報, 制御機器 	<ul style="list-style-type: none"> EMS 分散管理システム(DMS) 管理制御システム(SCADA) 地理情報システム(GIS)
Transmission enhancement (高効率送電)	<ul style="list-style-type: none"> 超伝導体 パワーエレクトロニクス(FACT) 高圧直流送電 	<ul style="list-style-type: none"> 系統安定解析 自動回復システム
Distribution grid management (配電グリッド管理)	<ul style="list-style-type: none"> 自動再閉路装置, スイッチ, キャパシタ 過電圧抑制分散電源, 蓄電, 配電センサー ワイヤ, ケーブルセンサー 	<ul style="list-style-type: none"> 地理情報システム(GIS) 分散管理システム(DMS) 停電管理システム(OMS) 配電作業管理(WMS)
Advanced metering infrastructure (革新的計測インフラ)	<ul style="list-style-type: none"> スマートメータ 屋内ディスプレイ サーバ, リレー 	<ul style="list-style-type: none"> メータデータ管理システム(MDMS)
Electric vehicle charging infrastructure (EV充電インフラ)	<ul style="list-style-type: none"> 充電インフラ 蓄電池, インバータ 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギービル スマートグリッド-充放電(G2V, V2G)手法
Customer-side system (需要家システム)	<ul style="list-style-type: none"> スマート電気機器, ルーター, 屋内ディスプレイ ビル自動システム 蓄熱, スマートサーモスタット 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギービル EMS スマートフォン, タブレット用エネルギーアプリケーション

図 16. IEA の取組み スマート電力システムの研究開発領域

3. 話題提供

○藤井 康正 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

「将来のスマートエネルギーNW (低圧自律分散型エネルギーNW に向けて)」

背景として、太陽電池などの分散電源の普及、電気事業の規制緩和、ICT による計測・制御の可能性の拡大などにより、課題がいろいろある。主体間の利益相反への対応と社会全体としての最適化を実現しなければならない。これを具体的にどのように実現していくかということである。また、送配電網のレジリエンスの向上に対しても震災を受けて関心が高まっている。

電力システムの進むべき方向として、何か学理がないといけないということで、競争原理を徹底的に導入するというのが一つの考えである (図 1)。完全競争市場が実現できれば社会厚生を最大化も図れるということである。いろいろ課題があるということは、ある意味、中途半端な自由化政策を行なっているためいろいろな障害が起きているということで、競争原理の導入を徹底すれば課題が解消していくかもしれない。

電力システムの進むべき方向

□電力システムにおける**競争原理導入の徹底**を図ることはできないか。

- 完全競争市場が実現できれば、**社会厚生を最大化**も実現される。
- 冒頭の課題の多くは中途半端な自由化政策が原因ともなっている。
- 現状の電力システムの改善余地の多くは、競争原理導入が遅れている小口需要家を中心とした最終需要端にあるのではないかと。
 - ・需要家には、たとえ瞬間であっても、予め市場で購入した電力しか利用させない仕組みをシステムに作り込むことが必要ではないか。
 - ・家庭も含めた需要家に「支払い意志額」を表明させることが、全体最適化の実現には必要ではないか。
 - ・市場原理導入が遅れている理由の一つに、**技術的な困難さ**もあるのではないかと。
- 社会的弱者への配慮は、補助金の支給や、太陽電池や蓄電池の現物貸与など、政府や自治体から手厚い施策を別途講じればよいのではないかと。

図 1. 電力システムの進むべき方向

特に改善余地があるのは、競争原理導入が遅れている小口の需要家、最終需要端である。これは現状の電力システムの欠点だと思われるが、需要家が使いたいときに電力が勝手に使われてしまうという課題だ。電圧がかかっている限り、負荷をつなぐと電流が流れ使われてしまうということである。たとえ瞬間であっても、あらかじめ購入した電気でないで利用させない仕組みをきちんと作り込んでいかなければならない。

また、家庭も含めた需要家に、支払い意志額をきちんと表明させることが必要である。何円払うからこの電気を使いたいといったことを曖昧にしているため、社会全体の最適化しようとした際に、優先順位がつけられなくなっている。各自がきちんと表明すれば、全体最適化に至るのではないかとということである。こういったことができてないというのは、需要家、各家庭に対して意志表明を要求するということが技術的にもできなかったということ、研究開発の対象としてこれを克服していけばいいのではないかと。競争原理を徹底的に導入すると、弱者はどうなるんだということも思

うが、競争環境下のエネルギー事業者ではなく、自治体や政府なりに別途きちんと考えて頂くことで良いかと思っている。

競争原理が不十分ということに関して現状は、時間解像度では卸電力市場にて数十分単位で取引されており、しかも積分値で行われているが、実際の物理的な電力の需給、周波数制御などは、秒単位で行われており、時間の解像度が全く違う。そのため、需給の逼迫というようなものを、市場価格、電力価格へ反映させることが不十分で、そのためいろいろな複雑な制度が補完的に用いられている（図2）。

電力市場取引の現状

□時間解像度とインバランス対応

- 市場では数十分単位での電力の時間積分値が取引対象となっている一方で、物理的需給調整は秒単位で行われている。
- 物理的需給状況の市場価格への反映は不十分で、現状では複雑なインバランス対応制度で補完されている。

□空間解像度と送電料金

- 送電料金は、総括原価方式による託送料金や、基幹系ネットワークのノードプライス（ノードごとの市場価格）の差分として定められている。
 - ・低圧配電網の託送料金は7.81～9.93円/kWhと、発電原価に匹敵する。
 - ・米国PJMでは2000地点以上のノードプライスが利用されている。
- PV等の分散電源の普及で、今後問題となるよう低圧の配電網の送電料金算定には、PJM等の先進的な市場のノードプライスであっても、空間解像度が十分ではない。

図2. 電力市場取引の現状

一方、空間解像度はどうかというと、送電料金に関係してくるが、日本では送電料金は総括原価方式（送配電の託送料金）、市場や国によっては基幹系ネットワークのノードプライス（節点ごとの市場価格）を使って、その差分で送電料金を評価することが行なわれている。日本の低圧の配電網の託送料金は、約8円/kWhや9円/kWhというオーダーであり、ほぼ発電原価等に匹敵する費用がかかっている。これはどんぶり勘定で、固定料金のような形で取られている。

PJM（米国を代表する地域送電機関）等では、域内2,000地点ぐらいのノードプライスがあることから、それらを使って送電料金を評価していると思われる。少し強引であるが、PV等の分散電源が普及していくと、基幹系の送電ももちろんのこと、多分、配電網（電圧の低い配電のところ）でも混雑等が問題になってくる。ただ、配電網の送電料金等を考えると、PJM等の2,000地点ぐらいではまだまだ不十分である。もっと桁違いにノードプライスの評価を空間的に細かくしていく必要がある。

徹底的に競争原理を導入していくと、多分、時間解像度を1,000倍ぐらい高めないといけない。数千秒単位でおこなっていた市場を1秒くらいで動かしていく、電力系統の定時数よりも短い時間間隔で市場を回していくことになる。空間解像度も、PJMと比べて1,000倍くらい、日本だと100万倍くらいに高める必要がある。極限の世界として、低圧の配電線の節点毎、極端には各節点毎に市場を設け、その価格差で送電料、配電料金なんかを考えていくということである。イメージとしては、日本国内を考えると、数百万個の節点があると考えられ、そこに市場を置いて1秒単位の高速取引を行えば、競争原理の徹底導入ができる（図3）。

理想的な電力市場取引

- 時間解像度を1000倍以上高めた市場取引
 - 物理的取引も含めて、**電力系統の時定数よりも短い時間間隔**での電力取引を行い、時々刻々の市場価格(ノードルプライス)を生成する。
- 空間解像度を1000倍以上高めた市場取引
 - **低圧配電線の節点ごと**に市場を設け、それぞれの市場価格(ノードルプライス)の差を当該節点間の送電料金(送電収入)とする。



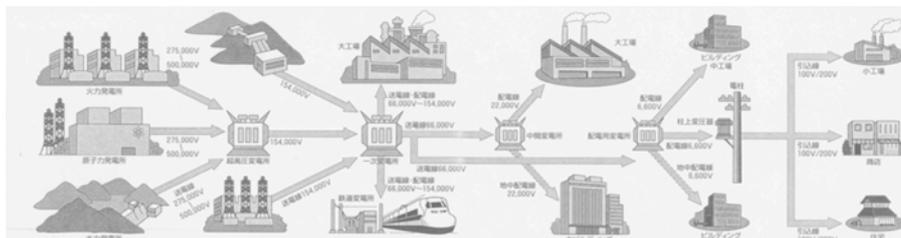
数百万個の分散型の高速取引市場？

図 3. 理想的な電力市場取引

ただし、このような高速取引をどこでやるのか考えると、大規模な発電所の秒単位での取引は非現実的だと思われる。また、三相交流による送変電は、物理的にも最も効率的なエネルギーの流通技術であり、この領域はいじることはできない。対象となる分野を考えると、柱上変圧器以下の 100 V、200 V の配電網から家電、最終利用機器に至るところで、いろいろ工夫の余地がある (図 4)。

パラダイムシフトはどこで？

- 大規模な発電所の秒単位での物理的な電力取引は非現実的
- 三相交流による送変電は物理的に最も効率的な大電力流通技術
- 柱上変圧器以下の100~200Vの配電網から家電までが対象？



電力設備の概要 (引用:「東京電力 電力設備 平成17年度版」)

図 4. パラダイムシフトはどこで？

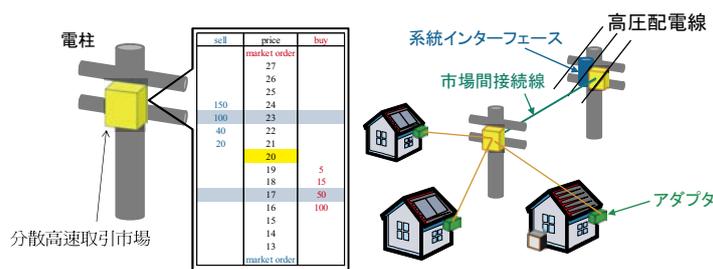
分散型の高速取引ということでは、低圧の配電網ノードに高速取引可能な分散市場を多数配置すると、家庭等の小口の需要家はもちろんのこと、低圧の送電事業者、市場間の電力を融通する事業者、さらに上位系統、いわゆる電力会社側から分散市場に参加することが考えられる (図 5)。

市場の仕組みも、今は 20 分や 30 分に 1 回開いて需要と供給の交点をとる板寄せ方式のようなことをやっているが、これを連続的に価格を決めていく証券取引のようなものにする。ザラバ方式と

いう日中の証券取引方式のような形でやっていくイメージである。電柱に置くくらいのことで、それにつなげて市場化 (黄色) する。ここに 6,600 V の高圧配電線が来ていると、高圧配電線と市場をつなぐイメージである。

分散高速取引市場

- 低圧配電網のノードに高速取引可能な分散型市場を多数配置
 - 分散高速取引市場への参加者
 - 家庭等の小口需要家、低圧送電事業者、上位系統運用者
 - ゼラバ仕法
 - 価格優先・時間優先の原則に従って、取引を非同期的に逐次約定させていく。



井上 淳, 藤井 康正, 「パケット電力取引に基づく革新的配電システムの提案」, 電気学会論文誌. B (電力・エネルギー部門誌), Vol. 131 (2011) No. 2 pp.143-150

図 5. 分散高速取引市場

秒単位で取引をするために、具体的に物理的にどのように実現するかとして1つ考えられるのは、規格化された電流・電圧波形によるパルス状の電力による取引である。高速取引が可能になるかは、実験を行っていないので疑問もあるが、多分毎秒 100 回ぐらいできるようなイメージである。

図 6 が従来の電力を送っている様子で、小電力と大電力で振幅が違う、電流がかかわって差が出てくるところが、パルスでやるとパルスの数が変わってくる。たくさん送りたいときはたくさんパルスがあり、小電力でいいときはまばらにパルスが行くイメージである。この場合、時間的に連続的な電力供給を行うためには、何かバッファが必要となる。パルスのすき間があり、瞬間的に電気を貯める必要があると考えらる。

パルス送電による高速取引

- 規格化された電流・電圧波形によるパルス状の電力による取引
 - パルス単位の **高速取引** が可能か? (1秒間に100回など)
 - 断続的な送電となるため、時間的に連続的な電力供給等のためには、短時間の **バッファ** が必要となると考えられる。
 - バッファ導入にはより大きな意義があり、これにより電気回路中の諸量を同時決定する必要がなくなるため、ネットワーク各部の電流・電圧とは無関係に、特定の送電線の送電電力を **非干渉的に独立に** 決められる。
 - 低電圧の小容量送電であれば、現状の技術でも実現可能ではないか。

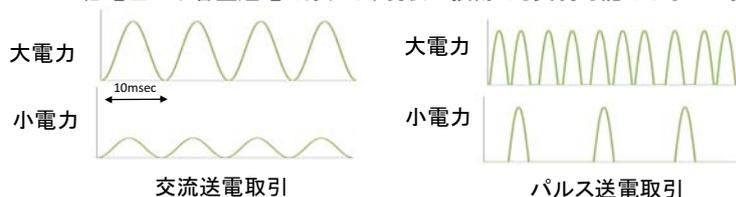


図 6. 分散高速取引市場

このようにバッファを設けると、実はほかにもっと大きな意味が出てくる。バッファがあると電気回路中の諸量を同時決定する必要がなくなってくる。大規模な配電のネットワークで、各部の電圧・電流がどうなっているかと、バッファで時間的に区切られているため、各部と無関係に特定の送電線あるいは配電線の送電電力を非干渉的に独立に決められるようになる。ある意味、モジュール化できるため全体を考えなくてよく、部分だけを見ながら送電量を決め送電を行うことができるようになる。定電圧の小容量の送電であれば、現状の技術でもどうにかなるイメージを持っている。例えば、LCの共振回路で何かパルスをつくるということである。LC共振回路から出ていく電流波形、電圧波形、掛け算で電力波形が図7に示すようになるイメージである。スイッチングをきちんとやっていくと、パルスを発生させ、反対側にも同じような回路を設けておくとそこで受電して、発生された電気が反対側に蓄えられるイメージである。パルスの送電、交番回路もつくりことができ、バッファの先に負荷をつければいいではないか (図8)。

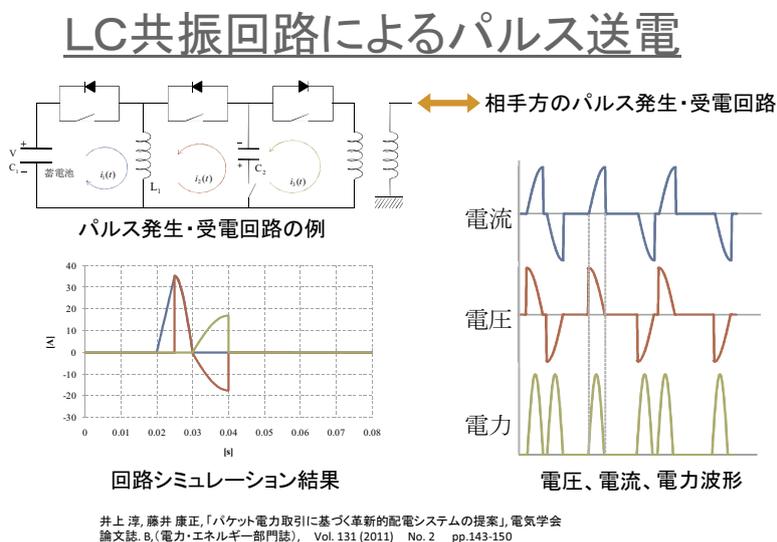


図7. LC共振回路によるパルス送電

パルス送電システムの回路例

□ 家庭と市場間

- 変圧器の極性を逆にしたパルス回路を2つ設置することでパルス送電においても電圧・電流の極性の交番を起すことができる。(電蝕の防止)
- パルス回路を複数設置することで、パルスの発生頻度も高められる。
- バッファと負荷等の間には必要に応じて交直変換器等を入れる。

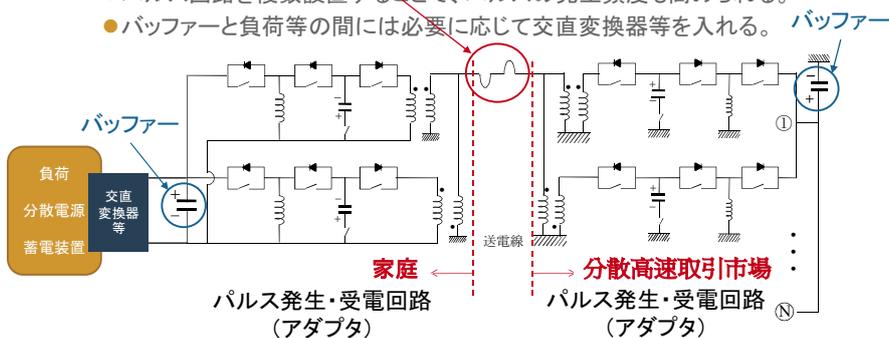


図8. パルス送電システムの回路例

プロトコルのイメージとして、パルスを送るか複数送るかにもよるが、図 9 に示すように通信を行いながら電力も送るというイメージを持っている。

パルス送電システムのプロトコルのイメージ

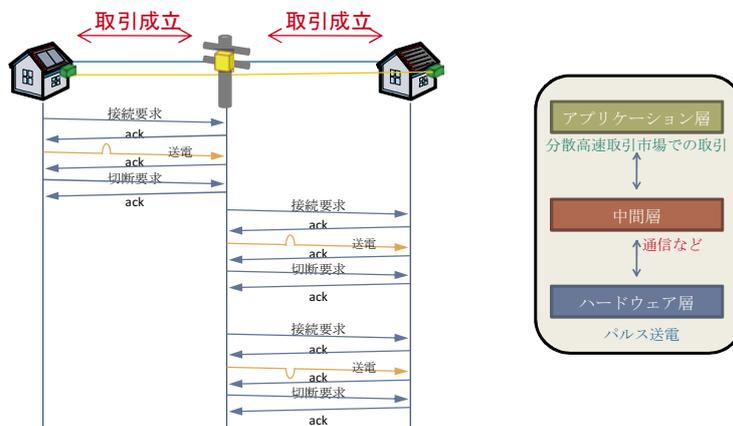


図 9. パルス送電システムのプロトコルのイメージ

この市場間の接続線ということでもおもしろいのが、市場で約定された電力しかやりとりできないため、物理現象による自然な潮流というのがネットワークの中に起きないことである。全てロジックで行われることになる。ノードルプライスがあたかも直流回路の電位のように解釈でき、ノードルプライスが安いところから高いところに向かってパルスを使い、利益を求めて人為的ロジックで電力が移っていくようなことが起きる。三相交流の高圧配電線とパルス回路の間は、図 11 のように変換回路を使ってつなげば良いのではないかな。

分散高速取引市場間の接続

□**低圧送電事業者**は、**市場間接続線の両端**の分散高速取引市場で裁定取引を行う。

- 市場で約定された電力しか送電できないため、物理現象による自然な電力潮流は発生しない。ノードルプライスは、あたかも直流回路の電位のように解釈でき(符号は反転)、ノードルプライスが安価な節点から高価な節点へ、パルス送電により、利益を求めて人為的に電力が流れることになる。

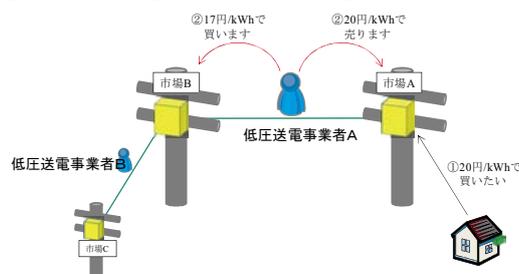


図 10. 分散高速取引市場間の接続

家庭と分散高速取引市場との関係は、家庭から出ていく情報は入札情報なので、家庭内の家電のデータなどは外に出ていかない。入ってくる情報は、家庭外からの命令ではなく、どういう約定がなされたかという情報だけが市場から入ってくる。HEMS でいろいろな制御をしなければならないが、どのような入札をするか、どういう充放電をするかなどは、確率動的計画問題、不確実な将来の需要とか市場価格を予測しながら意思決定していくことになる。イメージとしては、電力系統の 6,600 ボルトより上のところはほとんど何も変わらずに、柱上変圧器以下の部分だけが変わっていくというイメージである。

高圧配電線と分散高速取引市場

□ 系統インターフェース

- 高圧配電線 (三相交流) とバッファーの間は交直双方向変換回路で接続
- バッファーと分散高速取引市場はパルス発生・受電回路で接続

□ 上位系統側から分散高速取引市場へ電力売買の入札

- 過大な負荷と逆潮流は、取引量に上限を設けた入札で確実に防止

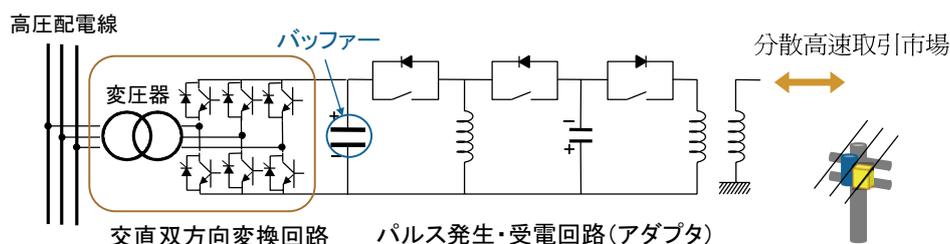


図 11. 高圧配電線と分散高速取引市場

家庭と分散高速取引市場

- 家庭内のデータは外に出さない。

- 家庭外からの指令は受けない。

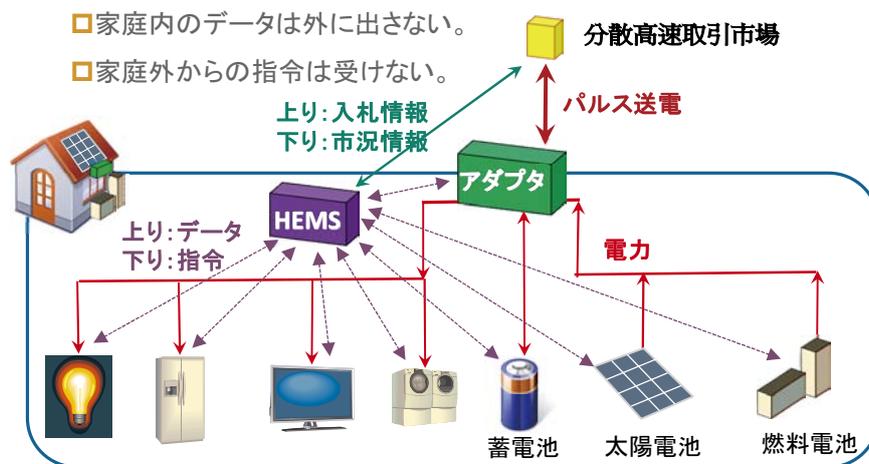


図 11. 家庭と分散高速取引市場

日本全体のイメージを図 12 に示す。60Hz 系、50Hz 系の基幹系統の下流に低圧自律分散ネットワークがつながって、インターフェースが数百万カ所、家との間は数千万カ所といったイメージということである。この自律分散で特徴的なことは、従来のスマートグリッドにはローカル給電指令所があるが、これには給電指令所が何もないということである。主な課題を図 13 にまとめて示す。

低圧自律分散型NWを含む日本の電力システム全体

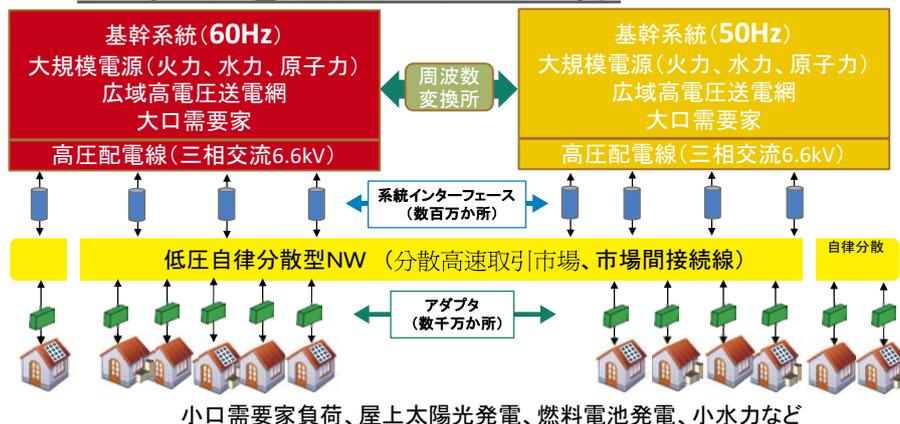


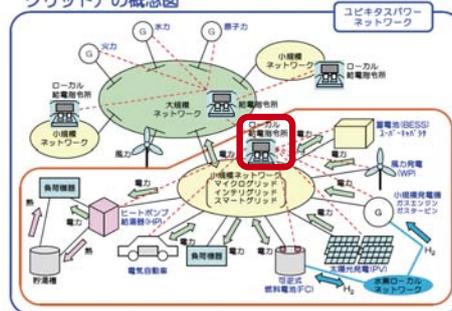
図 12. 低圧自律分散型NWを含む日本の電力システム全体

低圧自律分散型NWの特徴

□自律分散型である。

- 低圧自律分散型NWでは、配下の機器に対する指令機能は家庭内のHEMSのみに想定している。潮流はノードルプライス(分散高速取引市場の約定価格)の高低差で駆動され、**給電指令所を必要としない**。電源と負荷があれば、局所的にも動作でき、そのため耐障害性が高いと考えられる。
- 右図は代表的なスマグリの概念図であるが、**ローカル給電指令所**が当然のように中央に描かれている。世のほとんど全てのスマグリが同様の構造であり、実質的に電力会社の中のミニ電力会社となっている。

ユビキタスパワーネットワーク (日本型先進スマートグリッド) の概念図



<http://www.apet.t.u-tokyo.ac.jp/UbiquitousPowerGrid.pdf>

図 12. 低圧自律分散型NWを含む日本の電力システム全体

主な課題

□電力技術

- パルス送電や高速取引の実証、パルス幅等のパラメータの最適化
- パルス発生・受電回路(アダプタ)用の低損失半導体スイッチング素子や低損失長寿命蓄電装置(バッファ用など)の開発、それらの低コスト化

□HEMS

- 人工知能等による将来の市場約定価格(ノードプライス)や自分自身の潜在的電力需要(太陽電池出力も含む)の確率分布の推計
- 家電の消費電力の合理的制御(節電による消費者効用の損失の最小化)

□分散高速取引市場

- 市場取引の清算・決済システム
- オプション取引などの電力市場取引のリスクヘッジ商品の開発
- 高圧配電線側からの最適入札戦略(入札者の事業分類は?)

図 13. 低圧自律分散型NWを含む日本の電力システム全体

[質疑応答]

- PJM のノードプライスはネットワーク利用料金ではないと思っている。電気料金でネットワーク利用料と電気の kWh 価格から構成されているとすると、kWh 価格はノードであるが、送電線や配電線を利用した分は、PJM エリアはライセンスプレートでどこでも一律だと思う。時間的、空間的粒度を上げてそれで取引をすることがメインのところであり、おそらくそのような方向に行くのかなと思っている。物理層というか、最終的な電気回路の仕組みごと適合させるということだが、例えば、プライスシグナルといったものがある、あるいは、シグナルがノードごとに配布されていれば、あとはマッチングだけの問題なので、物理的な部分は手をつけずに上位のソフトウェアや IT のレイヤーでできる部分が結構あると感じている。最終段の低圧の領域をパルス伝送システムまで持っていかなければならないというイメージなのか教え頂きたい。
- 藤井 私も同じようなことを考えていて、パルスでなければいけないかという疑問が自分自身でもあったが、再度考えてみると、モジュール化して自由度を高めて、システム全体のほかの部分を見ずにローカルな情報、すなわち価格差だけに基づいて送るべきかどうかということ判断できるようにするには、やはりパルスにしてバッファを入れ、ほかと隔離するようなことが必要との結論に至った。連続系でやると、青森でスイッチ入れたことが東京にも微小にはあるが必ず影響が及ぶということで、そのようなことがないように切っていくこと(モジュール化)が必要だ。但し、これをやっていると電気工学者が要らなくなる可能性がある。回路計算などしなくてもモジュール化して、インターネットをソケットにつなぐような感じで簡単に工事ができてしまう状況になる。
- どのようになって、純粋な電気工学者はあまり要らないかもしれない。先ほどの JW もコンピューターが計算するだけという感じもある。
- 電力市場取引の現状というのは日本のことなのか、あるいは世界の最先端の国の現状なのか。
- 藤井 多分日本だと 30 分。世界だとどうか。
- 15 分、30 分、1 時間それぞれある。

- 藤井 短くても 10 分、15 分くらいの間隔である。
- 柱上にこのような仕掛けつくるとするのは非常に興味がある。通信の場合もラストワンマイルというので随分といろいろ議論したが、このようなおもしろい話には行かなかったように思う。どのくらいのパルス幅、どのくらいの周波数に相当するのか。
- 藤井 まだ全然具体的な検討はしていない。イメージとしてはパルス幅は 10 msec くらいだと思っている。50 Hz で送っても実際は 10 msec で脈打ちながらパワーが伝わっているのと同じような感じである。
- このシステムだと、送電網から見ると、高圧と低圧はアグリゲータみたいに低圧部分、配電網が見えるということ、送電網と配電網の間はどういうやりとりを想定しているのか。
- 藤井 送電側から配電の接続部にある分散市場へ入札するという感じ。家庭間が取引しているところに送電側から市場へ参加する。売る場合もあれば、太陽光を買い取る場合もあるなど、そのようなことが何百万カ所かで、もし全部普及すればそのような取引が分散して行われるイメージである。

○藤田 政之 (東京工業大学 大学院理工学研究科 教授)

「分散協調型エネルギー管理システム構築を目指す CREST 研究領域」

平成 24 年 2 月 10 日に文部科学省から戦略目標が発表されたのを受けて、JST が「分散協調型のエネルギーマネジメントシステム構築」という領域名の CREST を設立した。平成 23 年 8 月に CRDS でこのようなワークショップがあった。ここでは、融合展開ということを中心に紹介する。

融合展開は、よく言われることではあるが、いざやろうとするとなかなか難しい。現在、NSF (National Science Fundation) 工学部門局長である Pramod Khargonekar 先生、長くフロリダ大学のディーンを務め、ARPA-E の幹部を経て現職になっていますが、専門もスマートグリッドということで大変造詣が深く、現在、800~900 M\$以上の予算を持っていて、アドバイスの視点が非常に高いレベルの先生である。現在、21 世紀の科学技術というのはメガプロブレムを解いていかなければいけない、人口や食料、環境、エネルギー、資源、その他、そういうものに託すべきだと言っている。そのためには、あるものとあるものがロバストインターチェンジするように基礎研究を進めていかなければいけないと強く言っていた。そのあるものの一つは、このコアディシプリン・ベストリサーチということで、学問分野はディシプリンに分かれて深まっており、特に若手研究者の場合はそのディシプリンを深める方向へ一般に研究をするが、それと同時に、リサーチ・アライジン・フロム・マルチ・ディシプリナリー・コラボレーションズということで、社会的なメガプロブレムに対応するべくマルチディシプリンなものをしていかなければならないと強く言っていた。NSF でもこのようなことをますます積極的にやると言っていて、それは ERC (Engineering Research Center) のプログラムで、これは 1984 年から始まっているそうであるが、10 年の期間があり、多くの予算をかけて実施している非常にプレステージなプロジェクトである。NSF がユニークなところは、大学の先生がオンリーブで数年研究を行って戻ったりするところである。最近、ERC のディビジョンディレクターに Mario Rotea 先生が就かれた。EMS-CREST に対しても関心を持っていて、ERC とのコラボレーションを考えていきたいといわれていた。

よく言われるように材料の開発では、基礎研究、開発研究、実用化研究があり、いわゆるリニアモデルという形で日本の科学技術は推進されてきた。ERC がユニークなのは、図 1 のような三相図と呼ばれているプロポーザルを書かせて 10 年間研究を行なう形で、システム統合型のプロジェクトをどのように進めればいいのかということ、経験を持ってやっていることである。先進国のプロジェクトマネジメントのケーススタディーをしっかり吸収しながら、CREST の運営に当たっていきいたいと思っている。

融合展開においては、工学の様々な分野だけではなく、再生可能エネルギーでは気象予測が非常に重要で、理学分野の先生が必要であり、また、従来エネルギーでは、ややもするとエネルギー生成側の効率という側面がなきにしもあらずだったかもしれないが、エネルギー利用というよりエネルギー需要というキーワードで捉え、より学問的に深めていく必要があると思っている。社会科学や経済学の先生にも入っていただく試みをしている。図 2 に示す方向で実施すべきと思っている。

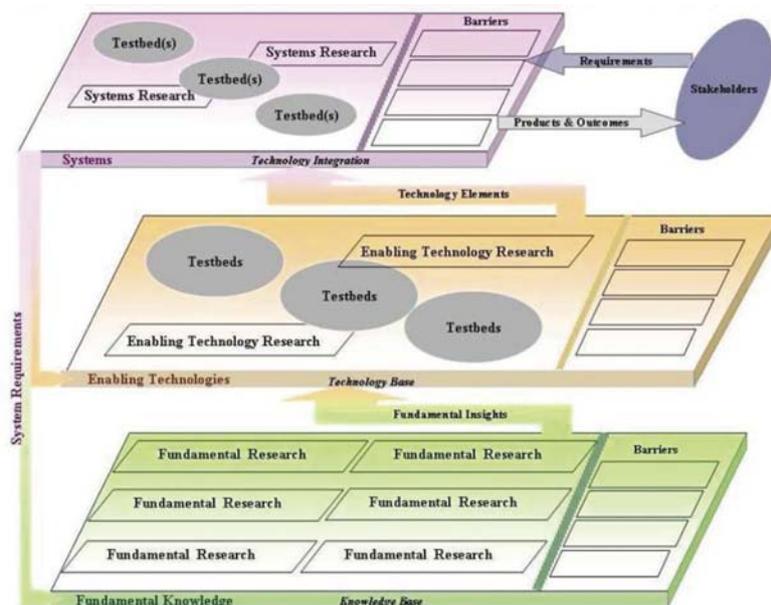


図 1. 三層図 (Three-level strategic planning chart)



図 2. 融合展開

最近、スモールスタートアップ方式やステージゲート方式と言われる領域になっており、EMSのCREST以外の領域でも始まりつつあるようである。この方式は前半のファーストステージと後半のセカンドステージに分け、前半はできるだけダイバシティーとインクルーシブであることに気をつけ、小規模のチームに集ってもらい3年間いろいろインタラクションをする。例えば、日本最北端の宗谷岬ウインドファームや経済産業省・資源エネルギー庁の実証事業地域を訪問した(図3)。国内にとどまらず、例えば、NEDOのハワイ州マウイ島のプロジェクトやNSFのERCのCURENTを見学し共有体験を促進している。さらに、例えば、環境経済・政策学会、電気学会の電力・エネルギー部門、リモートセンシング学会などいろいろな学会に参加した。研究領域が細分化されており、領域が変わるとお互いに知らないことが往々にしてある。お互いがチームに入り、それぞれ

の先生がリーダーの学会とまじり合うことによって、最初は全然通じなかった言語がだんだん通じ合うようになる効果もあった。このようにして、研究代表者や研究者の方々の自主的なボトムアップとアドバイザーの先生方のトップダウンの貴重な助言により挟み撃ちする形でフィージビリティスタディーを3ステップ進めることにより、現在5つの最強チームが構成されている。

スモールスタート方式 概要

平成27年度 第2回
JST理事長記者説明会
2015年5月20日

JST news No. 1, 2014



各分野の要素技術を研究するチームを採択し、3年以内の研究を実施。この間に、異分野間の融合を進めつつ目標を共有し、真の異分野融合チーム(最強チーム)を、3年後に再編します。

スモールスタート方式 運営

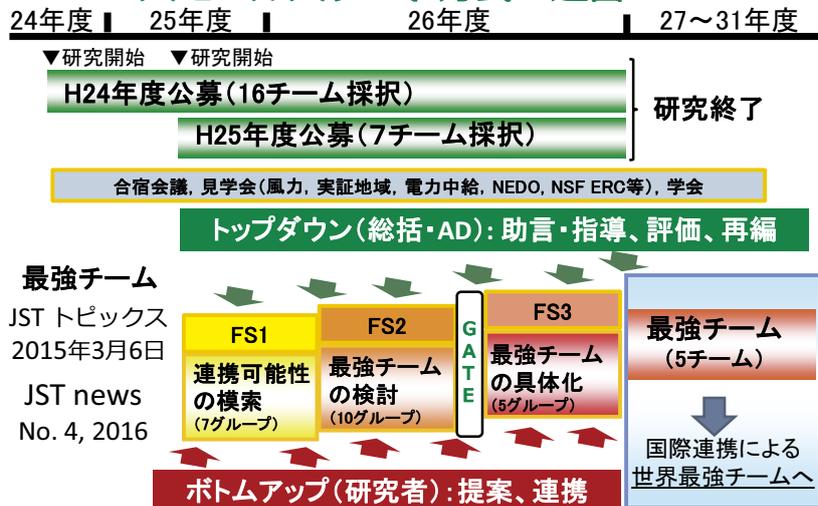


図 3. スモールスタート方式の概要と運営

図 4 が最強チームの概要である。1 番目のテーマは太陽光。太陽光電池のデバイスの開発は、世界的にいいものが出てきているが、問題はその後システム化であり、このチームは大学に加えて、産総研、電中研、気象庁の方などが参加し、系統接続に関する研究をしている。昨年春に電力広域的運営推進機関 (OCCTO : Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators, JAPAN) が設立されており、これからいろいろとインタラクションしながら、電力のデ

イスパッチなど具体的になればと思っている。キャパシティ、予算、バジェットなどに限りがあり、風力関係の学会、研究者の先生を探したが、一つの再生可能エネルギーの代表格である風力の領域をなかなか立てられない。長年、政府のファンディングがあまりなかったこともあり、アメリカ、ドイツ、ノルウェーなどと大きく水があいていて、これから基礎研究を含めて非常に大事だと思っている。

最強チーム概要

	太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築 (研究代表者: 井村順一 東京工業大学大学院情報理工学研究科 教授)
	エネルギー需給システム構築のための経済モデルと物理モデルの融合に基づく設計理論及び実証・実装・提言 (研究代表者: 内田健康 早稲田大学理工学術院先進理工学部 教授)
	エネルギー消費行動の観測と分散蓄電池群の協調的利用に基づく車・家庭・地域調和型エネルギー管理システム (研究代表者: 鈴木達也 名古屋大学大学院工学研究科 教授)
	分散協調型EMSにおける地球科学情報の可用性向上とエネルギー需要モデルの開発 (研究代表者: 中島孝 東海大学情報技術センター／情報理工学部 教授)
	汎用的な実証基盤体系を利用したシナリオ対応型分散協調EMS実現手法の創出 (研究代表者: 林泰弘 早稲田大学理工学術院先進理工学部 教授)

図 4. 最強チーム概要

2 番目のテーマは経済で、経済学の先生方が多く参加している。例えば、実証事業のデマンドレスポンスではゲーム理論の専門家もいる。2016 年 4 月からの自由化を前に、ガス会社、鉄道会社、通信会社、石油会社などが電力料金メニューを出し、エンドユーザ側から見れば、既に統合される世界が来ていて、技術的なことだけではなく人の心理というのも影響してくるので、こういう研究分野もますます進めていかなければならないと思っている。監視する規制委員会と直接、基礎連携は関連していないが、電力取引監視等委員会の八田委員長と、現在いろいろと起きていることに関連した意見交換ができるようになればと思っている。

3 番目のテーマは、名古屋大学の地の利も生かしているが、蓄電池、特に電気自動車、EV さらにプラグインハイブリッド車をどうつなげるかという研究である。輸送とエネルギーはだんだん垣根がなくなっていく心配があり、需要側として捉えるとき、1 次エネルギーの利用で考えてもそうであるが、車や鉄道なども非常に重要なファクターになってくると思っている。経済と同様、この分野も日本が水をあけられている一つである。基礎研究からしっかり打立てていくことが大事だと思っている。例えば、最近のアメリカでは、大きなスマートグリッドというよりもう少し小規模なマイクログリッドやビルディングレベルのマイクログリッド化などが進んでいる。その中に EV を何十台かチャージしてどのように動かすかという研究のような計画問題が非常に進んでいる。昨年後半に出た米国のイノベーション戦略 2015 でも、キーワードはスマートシティーズとなっており、いろいろなサービスをトータルで考える高度化が進んでいるので、そのような融合展開を進めた研究も我が国が必要ではないかと思っている。

さらに、我々の領域の特徴としては、気象学、地球科学とデマンドモデル、実証基盤体系利用した EMS 実現手法の創出の研究がある。ここでは、できるだけ社会実証の道筋をつけ、出口を意識したシステム構築型でイノベーションを起こす研究を実施している。

もう一つのトピックは国際連携である。NSF の Khargonekar 先生、DFG (German Research Foundation) の Frank Allogwer 先生と、ジョイントで国際連携をしていこうということで、ジョイントワークショップを始めている。



- ◆ 第1回目のJST-NSF(米国)-DFG(独)国際合同ワークショップを2014年1月にハワイ(米国)で開催*
- ◆ 第2回目のJST-NSF-DFG-RCN(ノルウェー)国際合同ワークショップを2015年4月にワシントンD.C.(米国)で開催*
- ◆ 第3回目の国際合同ワークショップを2016年にドイツで開催予定

*JST トピックス 2014年1月20日, 2015年5月8日

図 5. 国際関係とグローバル化

毎年秋、11月初めにファンディングエージェンシーの代表の会議があり Allogwer 先生は DFG の代表として、よく共同で議長をしている方である。1回目はハワイで、2回目はノルウェーのリサーチカウンシルも入って、NSF 本部ビルで MIT、ハーバード、バークレーなど、いろいろな先生方が参加して行なわれた。今年はドイツのハイデルベルクで開催され、DFG が全面サポートすることになっている。ファンディングエージェンシーが開く国際会議として、また、JST が主導する国際会議として活動しているところは評価することもできている。各チームは、二、三十人～五、六十人くらいで構成されているが、このような活動によってどんどん国際ネットワークもつながっており、ややもするとエネルギーはドメスティックなセキュリティ問題に陥ることもなきにしもあらずだが、基礎研究はグローバルなので、今イタリアやシンガポールともつながっているが、ネットワークで繋がるのが大事と思っている。具体例として、車のチームはデラウェア大学が Vihecle to Grid をかなり進めているので、これを進めている。林先生の EMS 実現手法創出チームは、ERC の CURENT と深く共同研究をしているので、お互いのノウハウの交換が可能になっている。最近、相界面というキーワードの「さきがけ」と CREST-EMS が、ジョイントでいろいろと検討しており、効率のいい燃料電池や水素、そのような熱電供給と我々のエネルギーマネジメントとがコラボレーションすることによって、10年、20年先の若手研究者もそろってくるのではないかと考えている。

【質疑応答】

- CRESTは5年で、短すぎるのではないかと考えている。ERCは10年で、やはり10年ぐらいかけてこのような研究をやるべきだと思う。これはむしろファンディング機関としてこれから検討すべきことである。海外との連携で、DFGやNRFといったところは、グローバルリサーチカウンシルという世界中のファンディング機関の集まりの中で、十分コミュニケーションをとれるので楽であるが、例えばDOEはJSTからアプローチできない。
- 藤田 JSTの立場で招聘しにくいのは、企業のトップクラスの先生方で、米国にも企業の非常に基礎研究のすばらしい方がいるが、事務方と相談すると呼びにくい。昨年の秋にスマートグリッドで有名な企業の研究者の方を招聘した。DOEも幾つかナショナルラボラトリーがあるので、国際会議等で相当活躍している先生をこれからも継続的に呼ぶ予定にしている。来日の際、JSTだけではなく、できるだけ産総研やいろいろな国研同士を回ってもらい、草の根の交流の中からお互いに呼び合うようにしたいと思っている。
- むしろ、NEDOの方でチャンネル持っているのではないか。
- 現在、NEDOではいろいろなプロジェクト毎にDOEとやっている。産総研とDOEの研究所として共同研究を20個ぐらいやっている。NEDOのTSCがARPA-Eと一緒にワークショップをやろうということで、2月の末に情報交換を始めようとしている。
- 藤田 昨年の末もMITのトランザクティブコントロールの大家の先生を招聘し、NEDOよりは非グループで会いたいとのことで会って頂いた。そこで縦割りにしてしまうと融合展開という看板が泣いてしまうので、できるだけ広くやっていくのがよいと考えている。
- DOEではないが、例えばスマートグリッドに関してはDOCの所管であるNIST実施していて、そこにはなかなかNEDOも入れなく、アカデミアも入っていない。そこではかなりアーキテクチャの議論から標準化までのところをやっているグループはある。そこにはIEEEとかから入るのがいいと思う。
- 藤田 NISTも標準化が主で、サイバーフィジカルシステムといったキーワードでこれから広がっていくことが大事だと思う。

○是久 洋一 (九州大学 共進化社会システム創成拠点 拠点長)

「COI : センター・オブ・イノベーションプログラムー共進化社会システム創成拠点」

本プログラムは、18の大学あるいは公的機関で実施されている COI (Center of Innovation) プログラム中の九州大学プログラムである。社会での多様な要素が共生・進化していく社会をつくろうというビジョンで、九大、横国大、東大の3大学と一緒に産学官連携で研究開発を実施している。今、最初の3年目、要素技術研究開発を経て、次の第2フェーズ、実証実験が始まろうとしている。都市 OS という都市問題解決のための情報通信基盤を、サイバーフィジカルシステムという実装モデルで実現すべく、このコンセプトを立ち上げた (図 1)。今までの行政システム、都市マネジメントシステムなどの社会システムが縦割りにできていて、データの相互活用、システム連携ができていない状況を打破しようというのがひとつの目標である。

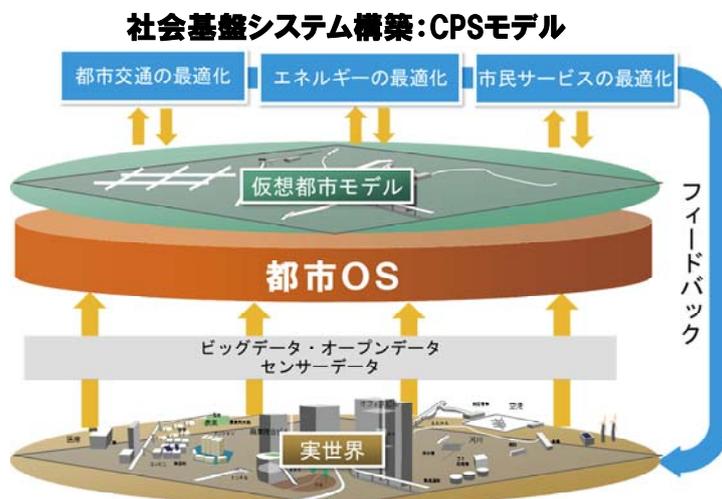


図 1. 社会基盤システム構築 : CPS モデル

もう一つのポイントは、この図の真ん中にあるサイバー空間の部分に数学の先生達が加わっていて、都市 OS の中に、解析・最適化計算アルゴリズムを実装しようとしている。



図 2. 実社会→計算機→実社会

結果として、新しい都市サービスの共通基盤をつくる、都市間のデータ・サービスを共有するというを目指している。様々な都市での活用を可能とするオペレーティングシステムを目指しているので都市規模に応じたスケーラビリティを持ちたい。さらに市民へのオープン性確保、新産業創出のためのインタフェース開示、種々の分析・解析アルゴリズムの提供、といったことを志として掲げた（図3）。

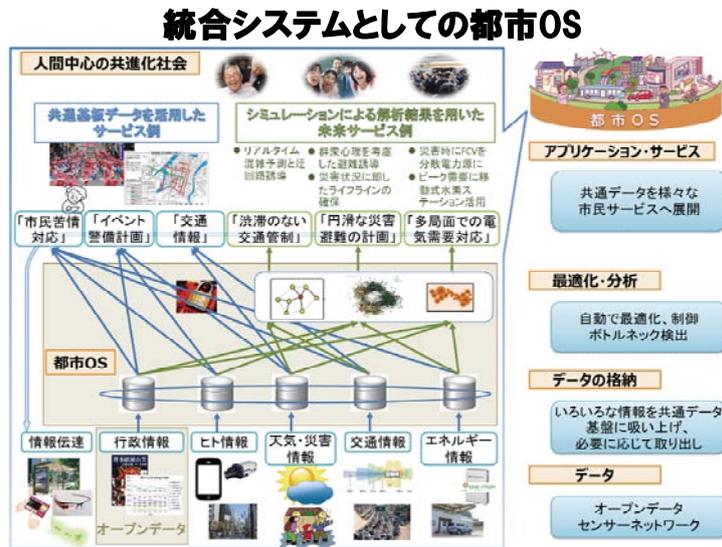


図3. 統合システムとしての都市OS

3年前にこのようなコンセプトで立ち上げたが、3年たってみると、社会システムとして成立させるには必須の要素、放っておけない技術キーワードがたくさん出てきた。AI、サイバーセキュリティ、IoTなどが3年前からするとはるかに進展し利用可能性が高まってきたので、都市OSという統合システムにおいては、これらのメニューを少しでもカバーする必要がある。しかし、これだけ多様な要素をインプリメントしようとする、なかなか今のチームではカバーできない部分もあり、どうやって技術調達していくかといった課題が出てこようとしている。

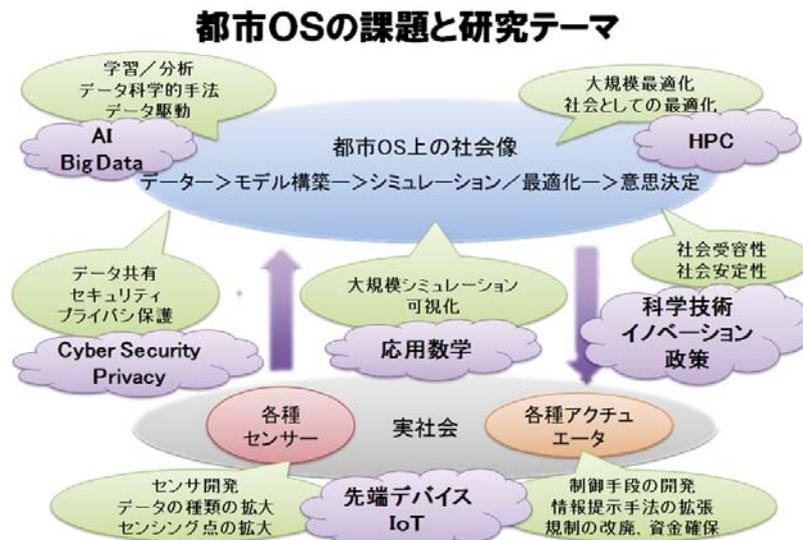


図4. 都市OSとしての課題と研究テーマ

都市 OS という言葉は、2010 年前後に登場したが、なかなか実装のイメージまで公になっている日本国内での事例を見つけたことはない。海外のいろいろな事例をベンチマークとして探り、バルセロナ、ロンドン・コペンハーゲンの事例、ブリストルの事例があったり、それぞれ尋ねて行ったり、やりとりをして、どのような出自、市場性でこういうものができ上がっているのか調べてきた。

我々も都市 OS のアーキテクチャや構成要素をリストアップすべく図 1 を描いた。横軸に、我々がプライオリティをつけて攻めていきたいサービスとして、都市交通、エネルギー、都市活力・イノベーション、健康・社会保障を並べ、縦軸に都市 OS としてのレイヤー構造を描いて、メンバーの中で調達できそうなもの、あるいは外部から持ってこなければならないもの等をリストアップし、システム構築に必要な要素を洗い出している。

都市OS標準メニュー×要素技術



図 5. 都市 OS 標準メニューと要素技術

解析アルゴリズムでは、交通系、エネルギー系に必要な基本アルゴリズムのレパートリーを揃えようとしている。都市全体をカバーして、長期軸で都市計画シミュレーションを行う大規模計算を行うようなものから、津波からの避難といった緊急性を伴い、リアルタイム性を必要とするものまで、数理アルゴリズムでどのようなものがあるかを数学の先生達に洗い出してもらっている(図 6)。

データも同様に、どのような解析を行うかによってどのようなデータが必要になるか検討している。この 2 年をかけていろいろなデータを集めてきた。多様なデータの掛け合わせが新たな付加価値を生むと言われており幅広く集めている状況である(図 7)。

都市 OS という基盤を通じて、何がしか都市問題解決のアプリをつくるという具体的な社会実装シナリオを描かなければならない。データを集め、解析アルゴリズムをピックアップし、関連する情報と重ね合わせて、最終的にユーザに対してサービス利用のためのインタフェースを提供して、再度フィードバックループを回すという実装モデルを形づくりたいと思っている(図 8)。このようなサービスやアプリケーション実装モデルは、EU の幾つかのスマートシティプロジェクトにおいて、City SDK (シティー・ソフトウェア・開発キット) というような言い方で、そのプロジェクトへのサービス開発の参画を促すべく情報開示されているような事例がある。

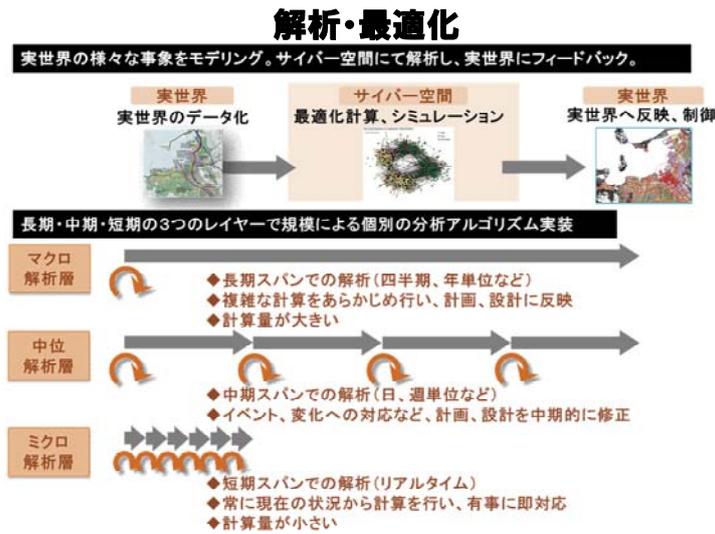


図 6. 解析・最適化

データ×解析・最適化 = 都市OSアプリ



図 7. データと解析・最適化（都市 OS アプリ）

都市OSでアプリを作る

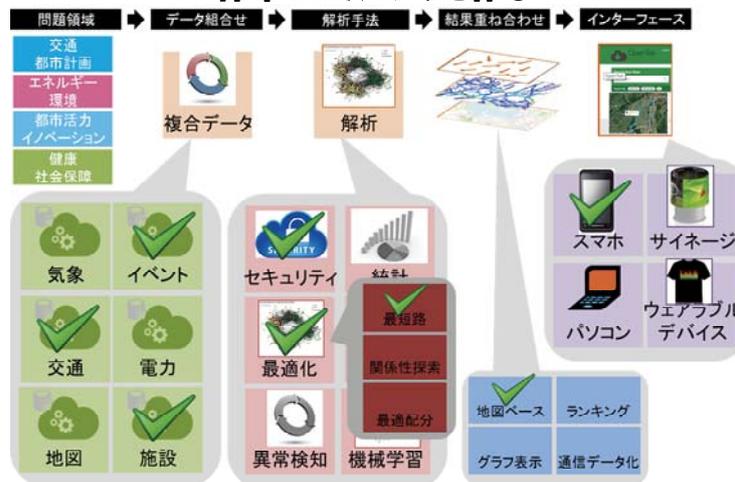


図 8. 都市 OS でアプリを作る

交通でいうと、福岡市全体の交通ネットワークを計算機に格納し、数十万の点数と枝数のデータによるグラフ探索を活用して、渋滞予測や最適化ルートの計算をやろうとしている。様々な都市問題に対して解くべき問題に応じたデータとコンピューター環境を今リストアップしている。

九大 COI チームには、伊都キャンパスの水素・燃料電池の研究者の方々が加わっている。図 9 の⑤から①に向けて、評価手法、要素技術、中核技術、実証研究、社会実装の道筋を辿っていこうとしているが、ここでのチームメンバーは主として材料、デバイスの研究者である。エネルギーの社会実装に至る道筋の電力マネジメントシステムの領域については、九州電力から九大に来られた先生を中心に、今、経産省予算でプロジェクトを立ち上げようとしている。この実証実験へ九大 COI としても参画し、東大サテライトの先生も加わって、守備範囲を広げようとしている。

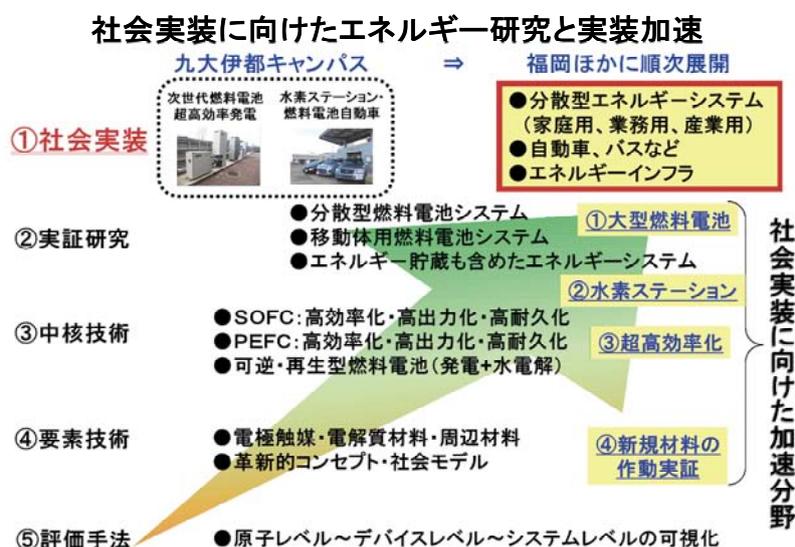


図 9. 社会実装に向けたエネルギー研究と実装加速

福岡は総合特区としていろいろな特区事業をやっている。エネルギー関係でも水素関係などいろいろな試みを行っている。伊都キャンパスでは、三菱日立パワーシステムズ製の産業用燃料電池実証実験を行っている。電気、ガス、水素などによる電力使用状況をリアルタイムにキャンパス内で表示しているが、このソフトウェアを発展させていく。水素ステーションの配置問題最適化といったアプリケーションも作った。何台の燃料電池車、何ヶ所の水素ステーションであればどのような最適レイアウトになるのかといったアプリケーションである。他にもエネルギー関係ソフトウェアでは、電気の使い方が違って電力プロファイルの異なる大学の各キャンパスを連携して、スマートキャンパス、地域防災キャンパス的な実証実験ならびに水素 EMS の開発を進めようとしている (図 10)。本来、都市 OS という社会インフラをつくるのが当初の目的である。交通分野であれば、必ずしも ITS のような交通アプリを作ることが目的ではない。エネルギー分野も、EMS では各メーカーが取組んでいる。我々はいろいろな企業に水素 EMS の提供を相談したが、その時点ではまだ、水素 EMS を出そう、やろうといった熱心なメーカーはなかった。

都市OS×エネルギー・実証実験

クリーンで経済的なエネルギーの供給拠点化のための水素活用型EMS事業

2つのキャンパス間の電力・水素の融通が可能な水素活用型EMSを構築し、電力システム安定化と新たな水素サプライチェーン構築の実現性を検証していく

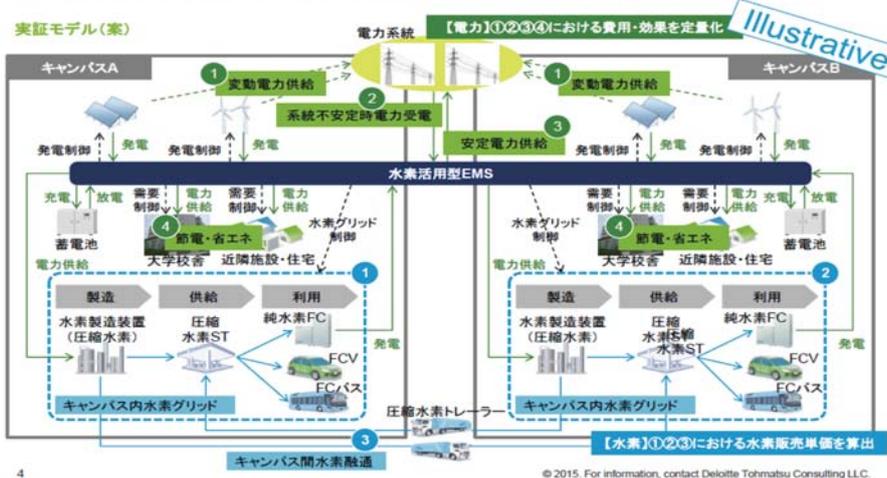


図 10. 都市 OS×エネルギー・実証実験

幾つかの九大各キャンパスと福岡県みやま市などの自治体も含めて、都市 OS というデータ活用基盤の上で、さまざまなデータを収集し解析基盤をつくり上げようとしている。みやま市では自治体を中心に電力の小売ビジネスを始めており、電力ビッグデータを入手できる環境になっている。関係機関と連携して、これらデータをどのように活用していくかという検証を始めている (図 11)。

都市OS×エネルギー・実証実験

九大の各地拠点を生かしたマルチサイト実証

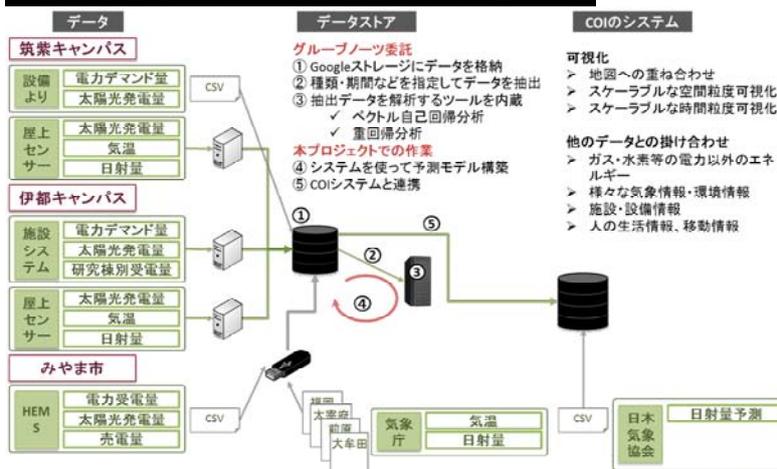


図 11. 都市 OS×エネルギー・実証実験

情報系、エネルギー系、交通系、数学また経済の先生も含めて、共進化社会システムイノベーション施設の中にアンダーワンルーフで同居し研究開発を進めている。図 11 に 9 年計画を描いた。3 分類すると、デバイス系の材料研究などは他よりも時間を必要とする部分があり、まず都市 OS の

情報プラットフォームを先行して立ち上げ、いろいろなセンサ、データ、アプリケーションを調達し、最終的な統合システムを完成させる計画である。

社会実装までの9年計画

		2013 H25	2014 H26	2015 H27	2016 H28	2017 H29	2018 H30	2019 H31	2020 H32	2021 H35	
都市OS プラットフォーム アプリケーション 開発			都市OSプラットフォーム 開発								
			都市OSプラットフォーム 開発								
デバイス 開発	燃料電池 デバイス										
	有機EL デバイス										
センサーNW Big & Openデータ 調達デバイス 調達アプリケーション											
		要素技術集中開発			デバイス/システム化、実証研究			システム化、本格実証、社会実装			

図 12. 社会実装までの9年計画

参画企業、実証実験地としての福岡市ならびに横浜市、さらにその自治体を取り巻く団体など、運営メンバーが組織と人をつなぎながら、実証実験、社会実装に向けて活動を推進している。産学連携であり、地域連携のプロジェクトである。

「共進化社会システム創成拠点」体制



図 13. 「共進化社会システム創成拠点」体制

ビッグデータ、オープンデータをどう活用していくか、データを分析モデル、アルゴリズムでどう解析し、どのように社会にフィードバックするかという部分が都市 OS のコアコンピタンスである。電力や交通など様々なデータがあるが、それらと、分析モデル・実装モデルと最終的に事業モデルを掛け合わせた形で最終的な社会実装の形をつくりたいと思っている。これまで 2 年間取組んできたが、今は、電力系が、より社会的な動きが活発で、その社会環境を利用しながら都市 OS プラットフォームと社会実装基盤を掛け合わせ、事業構造をつくり上げて、企業・自治体の参画を促す事業体を実現することを考えている。

都市 OS が目指すのは、都市 OS の仕組みを大小の都市、都市や田舎にかかわらず、あるいは世界に至るまで、プラットフォームとして普及可能な形の資産に仕立て上げることである。欧州の様々なスマートシティプロジェクトでも、ソフトウェア、情報システムと絡めた基盤づくりが進んでいられると思われ、我々としても急ぐ必要がある。

課題は山のようにある。大学が仕上げた概念的な社会システムの構想と社会実装のリアリティとの間には、まだギャップがある。これを具体化するため、地域の協力機関、関係者の理解を求めながら進めている。コンセプト固めと社会実装の具体的なイメージづくりを同時並行で行いながら、最終的な社会実装システムを完成させることが最大の課題だと思っている。

【質疑応答】

- スマートシティ、都市 OS は非常に大事で、エネルギーも一部分として見る視点が重要だと思うが、物理システムやエネルギー、交通も含んだもののサイバーセキュリティの問題の議論も米国では非常に盛んで、先生のところではどうか。
- 是久 サイバーセキュリティセンターが九大でも立ち上がった。加えて、新たなプロジェクトも申請した。採択されれば、それらを通じて、この都市 OS にセキュリティ資産を持ってこられるよう活動していく。
- 計算機の中だけのサイバーセキュリティではなく、物理制約を受けるエネルギーを持ってしまうものも含めたときのサイバーセキュリティが日本は非常に遅れているのではないかと。プライバシーもスマートメーターなども入るが、どのようにお考えか。
- 是久 まだ我々のプロジェクト全体を見渡したときに、欠けている要素というのは多分にある。これからいろいろな方の協力を仰ぎながら、また、企業からも資産を調達しながら、実装をしていきたいと思っている。

○森川 博之 (東京大学 先端科学技術研究センター 教授)

「エネルギー分野における IoT の可能性」

IoT 的な視点から具体的にこうしたらいいというよりも、仕組み作りや仕掛けが重要だということを広範に話したい。IT・ICT の分野ではデータを集めたもの勝ちという流れが 10 年、15 年、20 年続いてきている。ここで CPS (Cyber Physical System) や IoT と言われているのは、その流れの一貫であり、リアルなデータに着目しているのが IoT あるいは CPS、M2M (Machine to Machine) になると思う。そうすると、エネルギー分野というのはリアルなものが膨大にあるので、我々としては非常におもしろい分野だと思っている。

IoT の本質は何かというと、物理的資産のデジタル化ではないか。古くは、飛行機の座席 SABRE (予約システム) で、このようなものがデジタル化されていったことにより、ものすごい価値を生み出していった。アメリカンエアラインが SABRE をつくったが、最終的にはアメリカンエアラインの株を上回る時価総額になって、アメリカンエアラインから SABRE が独立した。エネルギー分野で、このような物理的資産をいかに考えていけばいいのか。最近はやりのシェアリングエコノミーも実際のところは物理的資産のデジタル化になるので、例えば、インダストリー4.0 のようなものも、もう少し先まで行こうとすると、シェアが起こってくるかもしれないと思っている。

- 座席 (航空機・鉄道)
 - » SABRE(AA)1960, Apollo(UA)1971, Galileo(BA)1987, Amadeus(AF)1987, Worldspan(Delta)1990
 - » 2000 AAがSABERを分離
- 自動車, 客室, 会議室, 倉庫. . .
- 工場? グリッド?



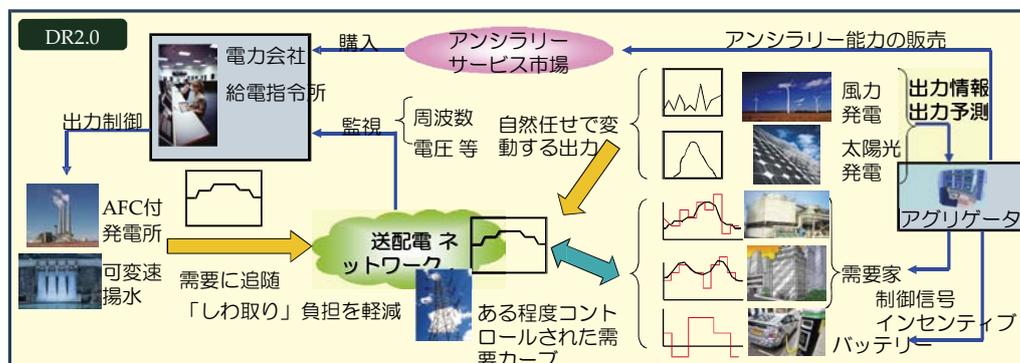
物理的資産のデジタル化

図 1. 物理資産のデジタル化

IoT が進むと、今までワンウェイだったものが双方向になっていくということで、研究開発でも全てのものを双方向で考えていかなければいけない。エネルギーシステムも双方向になってきていると思う。エネルギー分野で今見えている近いものは、やはりアンシラリーサービスとっており、お金が流れるという意味であれば、アグリゲータがアンシラリーサービス市場に入っていく、高速 DR で需給制御していくというのがファーストステップなのではないかと思っている (図 2)。

アンシラリーサービスや高速 DR で生まれてくる市場は、大きく 3 つあると思っている (図 3)。1 点目は、いわゆるビッグデータのビジネスになる。これは Google が Nest を買収したように、そこから上がってくるデータでどのようにビジネスをしていくのか、いろんな方々がこれから多分考

えていください。2つ目は、アンシラリーサービスプラットフォーム市場、3点目が、通信を含めたIoT、M2Mの市場となる。その発端となるのが総括原価主義からの脱却と見ている。



高速デマンドレスポンスとアンシラリーサービス

- 秒オーダーの需給制御可能なIoT/M2M
- 膨大な数のデバイス（EV、ヒートポンプ等含む）を収容できるIoT/M2M
- デバイス特性を加味した制御機構
- 分散型アグリゲータ

図2. 高速デマンドレスポンスとアンシラリーサービス

- ビッグデータビジネス
 - » Google の Nest 買収
- アンシラリーサービスプラットフォーム市場
 - » 需要家設備におけるアンシラリー能力ボリューム把握，対象設備への制御優先順位や制御方法の明確化，アンシラリー能力の安価な提供がノウハウ
- 新たな IoT/M2M 市場
 - » 総括原価主義からの離脱が契機

高速デマンドレスポンスが拓く市場

図3. 高速デマンドレスポンスが拓く市場

しかし、この先の動きがやはりある。図4は GridWise の図であるが、Virtual Power Plants のあたりまで現在来ている。トランザクティブエネルギーや TC と言われているが、そのあたりを我々はこれから考えていかなければいけないと思っており、これはまだかなり曖昧模糊としたものと認識をしている。

そうすると結局、スクラッチから考えていかなければいけなくなり、エネルギービジネスは集中から自律分散、一方向から双方向、計画経済から市場経済、固定から多様なサービスと大きく変わっていくようになる。あるいは、今までは単一の参加者だったものが多様な参加者、垂直から水平、

制御から複雑系へといった形で変わっていくので、これをどういうふうに加え、あるいは作り込んでいくのかということ、考えていかなければいけない。そうしたときに、いろいろな人たちと協力しながら作り込んでいくためにはどうすればいいのかというところを、3点ほど話す。仕組みづくりとデータと場の3点になる。

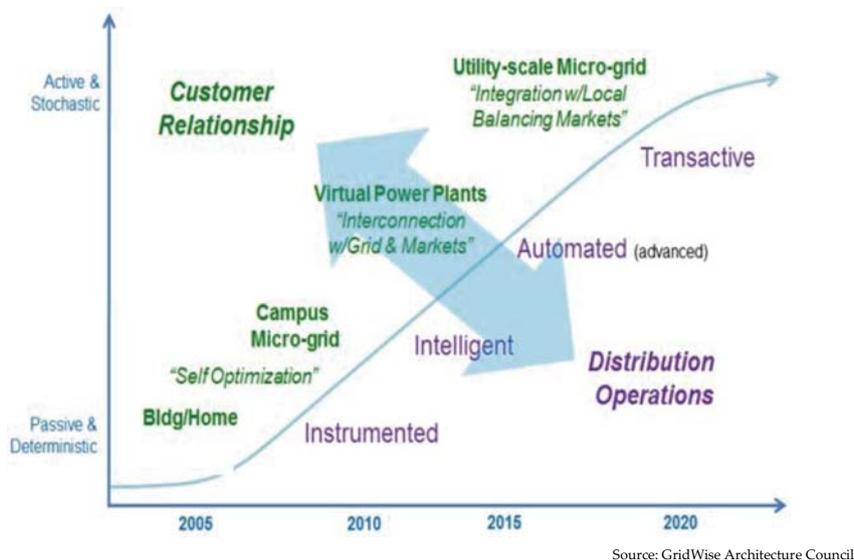


図 4. GridWise

1点目が仕組みづくりであり、ERCを初めとして、インダストリー4.0は技術というより仕組みづくりをやっていると思っている。インダストリー4.0は300億円をドイツ政府が出しているといわれているが、技術開発ではなく会合費と懇親会費と言っている人もいるくらいであり、何するかということを考えさせられる場になっている。我々は技術をもっており、産業、事業、ビジネスに展開を考えていかなければならない。

- NSF ERC (Engineering Research Center)
 - » 技術移転, 研究, 教育
 - » 課題の達成に至るプロセスをより重視 (仕組み作り)
 - » Director
- Industrie 4.0
 - » 集まる「場」にドイツ政府が資金提供
 - » 技術開発のみに資金提供しているわけではない

1. 仕組み作り



図 4. 仕組み作り

MIT と東工大は同じ規模である。MIT のプロフェッサー、東工大のプロフェッサーの講座はほとんど一緒に、大学院生の数もほとんど一緒である。学部生もほとんど一緒である。何が違うのかというと、プロフェッサー以外のスタッフの数になる。MIT はこれが 10 倍いる。そう考えると日本はプロフェッサーが多過ぎると思っており、その周りをこれからどんどんお金かけてつくっていかないと、テクノロジーだけあっても動かないと、最近、痛感している。この意味でいうと、ERC やインダストリー4.0 は、その周りを重点的にやっている。エネルギーに関して、これからどうしていけばいいのかというと、例えばアメリカでは、TE Challenge などを行っており (図 5)、プロフェッサーではなくてその周りの人がこういう場をしっかりとつくって、動かし始めている。したがって、こういう仕組みづくりのようなことに重点的に予算を投入していくことが重要だと思っている。



図 5. TE Challenge

同じように GridWise はコミュニティの形成をしており、フレームワークの資料をつくったり、ポンチ図つくったり、いろいろなことをやっている。こういう活動をしながら、大学の先生や産業界の人たちにシミュレーターやエミュレーターをつくってもらい、皆で一緒にこれから考えていこうという場をつくっている。このような場、仕組みづくりあるいは仕掛けをつくることを少し重点化していく必要があると思っている。

図 6 は ECONET を示しているが、もう 10 年～15 年前からある。実際、現在、シリコンバレーで行われている IoT は、全てのもがこの ECONET で実現されていた。しかし、ほとんど動いていなかったということを、我々は反省しなければならない。我々はテクノロジーはあるが、それをいかなる形で、いろいろな人を巻き込んでやっていくのかということにあまり労力をかけていなかったのではないか。IT・ICT 屋からすれば、いろいろな方々と一緒にやっていきたい、医療、農業、土木を含めいろんな人たちと一緒にやっていくような場をつくっていくことが重要だ。

低炭素社会の快適ホームネットワーク…スマートハウスを実現するECHONET!!

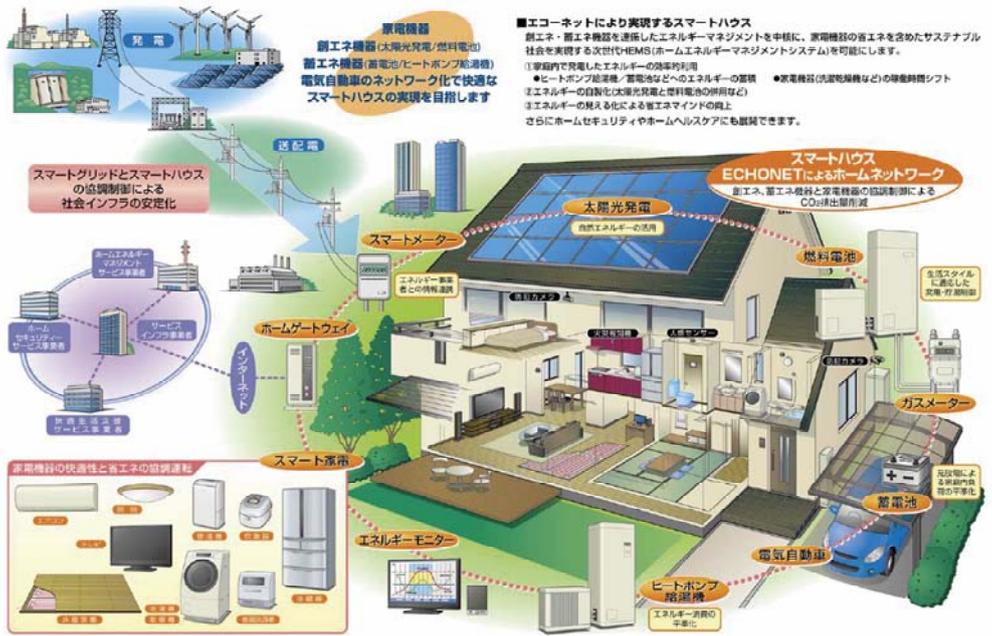


図 6. ECONET

2 点目はデータが重要であり、データを集めるプロジェクトを実施してもいいのではないかと。エネルギー分野でデータがないのであればデータをとにかく集めていく、集めていけば、そこにいろいろな研究者が集まってきて、いろいろなことを始める。また、企業等にデータがあるのであれば、お願いして出して頂くといった形で進める。データがなければ何も生まれないので、データをしっかりと集めて、それをいろいろな人たちに使ってもらいながら、いろいろアイデアを試験していくようなことが重要なのではないかと考えている (図 7)。コホート研究と記載しているが、厚労省はがんの撲滅とかいろいろなことを言いながらデータを集めている。100 万人のデータを集めるプロジェクトなど、集めるだけで予算をかけているので、データを集めることにも予算をかけていいのではないかと考えている。



- データ自身が研究開発ツール
- データが技術開発を加速
- データが新サービス創出を促進
- データの量自体が差別化要因
- データを集めるプロジェクト (コホート研究)

2. データ



図 7. データの重要性

データが集まってくればいろいろなことが可能になる。図 8 は Con Edison の事例である。Con Edison が持っているデータを使うことによって、メンテナンスを今まで以上に効率化してことも可能になる。Rejected Energy という言葉もあるが、エネルギーが全体の何処で無駄になっているかということも、データがあればわかるので、データに基づいて、このあたりが無駄だからこのあたりをやっていこうということもわかる。データは今まで以上に価値、重きを置いていくのが重要だと思っている。データエコシステムである。

- NY市の既存の配電網の予防的メンテナンスに機械学習を利用
 - » 1,500万人の配電網データでの実証
 - » 多様な情報から、どの順番にメンテナンスを行う必要かを決定
 - » 300種類の特徴情報（realtime/semi-realtime/static）
 - 過去のトラブルが記述されたトラブルチケット集
 - 各種センサからの数百種類のデータ

Con Edison

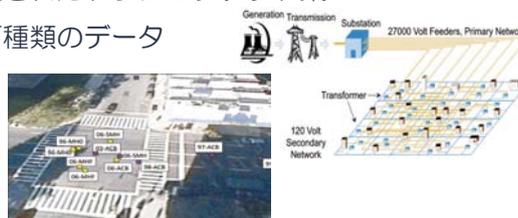


図 8. Con Edison

3 点目は場になる。エネルギーのようなものも、最終的にいろいろな人たちが集まってくる場をつくったもの勝ちかだと思っている。IT・ICT 分野では API エコノミーという言葉もある。いろいろなサードパーティが集まってくるような場をつくれれば、エネルギービジネスが活性化していくことになるので、このような視点からアーキテクチャやフレームワークのようなものを考えていくことが、外せないのではないかと考えている（図 9）。

- 1990年代前半まで、インターネットが主たるインフラになるとは誰も思ってもいなかった
- インターネットは「とてもいい加減な」ネットワークであるため、完璧な電話網/ATMの代替になるとは誰も思っていなかった
- しかしながら、インターネットの「柔軟性」が電話網/ATMの「完璧性」に打ち勝った
- スマートグリッドにおいても、このような「サードパーティが参画できる場」を作り出すことがポイント

3. インターネットの「場」

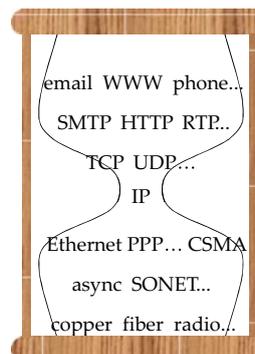


図 9. インターネットの「場」

【質疑応答】

- データを集めるという意味では、METI から B 系をつくりたいという話があり、例えば、スマートメーターの B 系つくった。電力会社にデータが集まると、データの使い道に制約を受けるのでだめだということであった。できればユーザサイドに出して、サードパーティにユーザの権利として出すようなところをつくったのが、そのときの仕掛けになる。今、農業でも同じようなことをやっていて、農期の情報は全部ベンダーの情報になっており、農家の情報になってないため、これをユーザ側の情報に持って行ってデータシェアリングをしようと話している。アカデミアからこのようなことを事業省庁に対して出すは、非常に大きなポイントになる。
- 我々もいろいろプログラムや最適化など、電力分野や EMS などで行っているが、結局は自己満足の世界で終わってしまう。海外へ発表するとすばらしいと評されるが、実際、誰が使うかという、使う方々が意外といない。仕組みづくりと場づくりが、これから本当に大事だと思っている。仕組みと場をつくって多くに先生方が集まってやれば、大きな学の知的な拠点が十分できると思う。まとめる場が今までなかったし、その座敷もなかった。ここで縦割りみたいに、ICT は ICT、エネルギーはエネルギー、都市は都市で頑張れという時代は終わったと思っている。そういう方向性のようなことをやるときには、我々がエネルギーと関係する、組もうと思えば、どうしているかを考えていけばいいか。どのようにやっていけば、学の知的の拠点の形成や知財を実作業に活かしていくための方向性が見えてくるのか、イメージがあればお願いしたい。
- 森川 方向感としては、IT・ICT 屋、あるいは IT 系の産業界も含めて、エネルギーには関心が高いし、また、もう実際にビジネスやっているのだから。仕組みや場をつくっていくことで、うまくやっているとではないかと思っている。現在、例えば、文科省、JST のプログラムだと、無理やりくっつけるプログラムもあるが、どうしても縦割りのようになる。例えば、JST が IT と農業のくっつける「さきがけ」を始めたが、テクノロジーだけになっている。したがって、何かテクノロジー以外のところもしっかりと推進して考えていく仕組みをその中に取り入れていけば、雰囲気が変わっていくのではないかと思っている。
- インターネットの柔軟性が LAN に勝ったという、1980 年代ぐらいを思い出すと、その柔軟性だけだったのかと思う。それはやはりテクノロジーになっている。そうではなくて、実際、インターネットのコンセプトが日本の中でどのように広がっていったのか。時を戻すと、1970 年代の終わりぐらいから 80 年ぐらいに、一体、アカデミアと企業の研究所の方々が何をしてきたか。それは今、江崎先生たちがやっているところに残っていてずっと継承されている。そのような活動が実は本質であり、この固い縦割りの日本でも横串を見事に通ったということをもっと語るべきだと思う。人の活動がどこから起こったかという、大学、研究所から起こっている。それが企業社会とか官公庁の方にも、やらないといけないということになってきたのが 90 年代ぐらいではないか。今ある電力系統云々とやり出した途端、てこでも動かない。それでは、できるところはどこなんだということになる。デマンドサイドの話はやはりそういうところにある。もともとインターネットの前は LAN。ローカルエリアネットワークである。あちらこちらの大学でキャンパス LAN といっているいろいろなやっていたのが 1980 年代の半ばである。そういうムーブメントをアカデミア主導で十分々やってきたではないかという意識で、そのような視点で集まる場をどうつくったらいいかというのは、考える視点として非常に重要だと思っている。
- 今、ERATO で若手をいろいろ育てたりして思っているが、ポスドクや助教授レベルの人、そうい

う分野の仕事をした人が育っていくためには、5年後、10年後にその人たちのポジションがないと結局だめである。仕事をしてポジションをとるためには、結局、論文数とかということになり、論文書けないとポジションとれないことになっている。インターネットで活躍される先生は、必ずしもインターネットで論文書いていたとも言えないところも結構あったと思う。何とか生き延びるためにいろいろ苦勞して、今、活躍されているということであるが、文科省、JST、JSPSがいろいろ考えて、そのような仕組みをつくっていくことが大事ではないかと思う。

○インターネットをやっていた人達、テクノロジーのエキスパーティがきちんとあった上で、産業界とのつながりをどうつくるか、それからデプロイするかということをやった。論文が別の分野で出てきているというように見えているのは、エキスパーティの部分はずごく深いところをやっている、その上でのデプロイメント、社会実装をやっていたというのが構造だ。

○MITと東工大の話があった。人の数で見てもそうであるが、やはり根本は大学予算が大きく違うので、結果的にはリサーチスタッフやサポートスタッフの人数が大きく違う。そういう意味では、まさに研究費の問題と直結する問題だと思う。なかなか簡単にはそういう予算をふやすことはできないが、やはり米欧の例を見ると、どこかの分野さえあれば何かできるという時代が終わってしまったことを明確に意識して、分野融合することによって研究予算をふやしているという方向だと思う。まさしく仕組みをさらにうまく考えてやっていけばいいのではないかと思う。

○岡本 浩（東京電力 常務執行役・経営技術戦略研究所長）
「電気事業のデジタル・ユーティリティ化に向けて」

昨年 4 月に東京電力社内に経営技術戦略研究所という組織を設置して、私が所長を務めている。以前は技術開発研究所と言っていたが、エネルギー事業を取り巻く環境が大きく変わっていく中で技術開発を行うだけでなく、経営戦略と技術戦略を融合し、将来の事業環境を予測して経営に提言したり、さらにエネルギー政策に提言するなど新しいことをやっていかなければならないという問題意識のもとで本研究所をつくった。本格的に稼働しはじめたのは昨年 7 月からだが、本ご紹介するのは所内で議論途上の内容である。タイトルに「デジタル・ユーティリティ」という言葉を使っている。森川先生から資産のデジタル化という話があった。我々もいろいろ考えているが、結局は電気事業全体をどうやってデジタル技術を使って変革していくのかという話になる。

電気事業はもともと日本では図 1 に示すような変遷をたどっている。

わが国における電気事業の進展

電気事業 1.0 民間による完全自由競争（明治初期～昭和初期）

- ・ エジソンから遅れること 5 年、民間による電気事業誕生（東京電灯）
- ・ エジソンの直流から交流に事業転換（分散型から大規模化、規模の経済性獲得）
- ・ 民間による完全自由競争（ネットワーク設備も重複）：電力戦

電気事業 2.0 電力国家管理（昭和初期～終戦）

- ・ 政府が発電・送電部門を一体化、日本発送電を設立
- ・ 各エリア毎に配電・小売を行う会社を設立（ex. 関東配電）

電気事業 3.0 民間 9 電力体制（終戦後～現在）

- ・ 日本発送電を解体し、地域毎に発電・送電・配電・小売を垂直統合する民間の電力会社を設立
- ・ 地域独占と総括原価による料金規制（米国の電気事業制度を参照）

電気事業 3.x 卸自由化（IPP）・小売部分自由化（新電力）

電気事業 4.0 OCCTO 設立・全面自由化・アンバンドリング

図 1. わが国における電気事業の進展

日本ではエジソンから遅れること 5 年で東京電燈という弊社の前身企業が民間による電気事業を始めた。エジソンの直流から交流に事業を転換して、このときから分散型から大規模集中電源、大容量送電、あるいは規模の経済性追求という方向へ舵が切られた。その後、民間による完全な自由競争が行なわれたが、お客さんを争奪するため、事業者毎にネットワークを引く形であった。明治時代には、同じお客さまの敷地に電気を売り込む A 電力会社と B 電力会社など複数の会社から電線が引き込まれることがあったと聞いている。当時の競争は「電力戦」と言われている。日本以外ではおそらくドイツくらいしかないかもしれないが、比較的少ない国で起きたのがこの 1.0 である。

2.0 は電力国家管理体制で、民間が好き勝手にやってはいけないということで、わが国では第二次世界大戦に向かう過程で、国家総動員法に合わせて日本発送電という国営の会社をつくって発電・送電設備をすべて集約した。配電・小売についても、エリア毎に例えば関東では関東配電という国家管理の会社をつくり、電気事業体制全体を国家管理下においた。イギリスなど国営事業として電

電気事業を始めた欧州などの多くの国では、電気事業体制はこの 2.0 から始まっている。3.0 というのは戦後に起きたもので、国営の日本発送電を解体し、地域毎に発・送・配・小売を垂直統合した民間の 9 電力会社をつくった。ここではじめてわが国では民間企業による地域独占と総括原価による料金規制が入った。アメリカの電気事業は比較的初期の段階からこの形で成り立っていたので、当時のアメリカの電気事業制度が参照されたということだと思われる。

その後、3.x といういわばマイナーチェンジがあり、卸の自由化により IPP とよばれる独立系の発電事業者が参入し、さらに小売の部分自由化により新電力が参入した。日本の電気事業の変遷課程を見ると、現在、3.x から 4.0 に移行する過程にあると捉えられる。まず OCCTO（電力広域的運営推進機関）が設立され、小売市場の全面自由化とアンバンドリングが行われ、さらに、もっと先へ向かうことになる。

図 2 は今後の電気事業のイメージを描いたものである。方向として、まずシステムの分散化が進んでいき、同時に需要の能動化が進んでいく、これは分散型電源や蓄電池が安価になっていくとすれば、非常に自然な流れである。もう一つの方向としては広域化があり、市場や系統運用の広域化が進展して、全国規模で需要と発電をマッチさせるようになる。この「分散化」と「広域化」が同時に進むというのが今後の方向であると考えている。

今後の電気事業イメージ

全面自由化や再エネ導入拡大・需要の能動化・スマートコミュニティなど分散化が進展すると同時に、市場や系統運用の広域化が進展。電化が進む一方、人口減少・省エネ進展により需要減少。

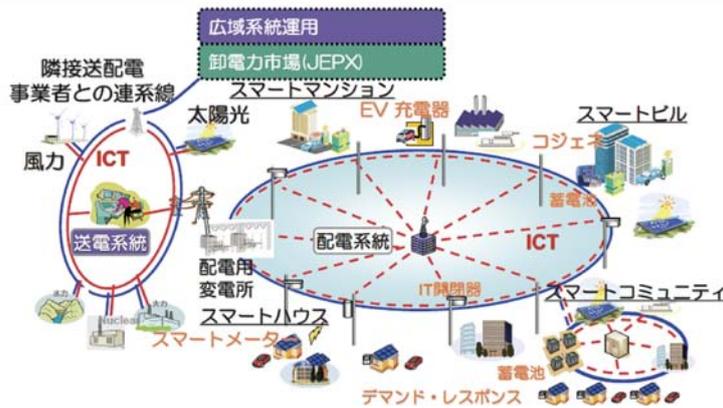


図 2. 今後の電気事業のイメージ

一方、今後の電気事業全体のパイは縮小していくと見ている。人口が減って省エネルギーが進み、その掛け算でトータルの日本全体のエネルギー消費は大きく減少する。多少電力化率が向上しても全体としては電力需要が減少するとの見方である。図 3 は今後の国内事業環境を示したものである。人口減少・省エネルギー進展に加えて分散型電源が増えていく。さらに産業構造でみれば電力多消費の産業などが国外に移転しつつあり、さらに環境政策によりエネルギーコストが上昇したり、自由化により事業者間の競争が行われる。このような環境では電気事業者は減収になる。また電気事業に限った話ではなく、鉄道・道路・ガス・水道など他のインフラ事業者も同様であるが、高度成

長期に作った大量の設備が経年していくため、そのための保全費用や更新費用が増加していく。売上げが減って費用が増えるので値上げを余儀なくされれば、お客様がもっと分散型へ移行しよう、あるいは省エネをしようと進むので、これがスパイラルで回ってしまうことになる。これを電気事業のデス・スパイラルと言っている。要するに、従来型の電気事業体制は将来的には持続可能ではなくなっていくというのが、私の認識である。

厳しさ増す国内事業環境

- 人口減少等によって構造的に減少するパイを巡って競争が激化
- 負のスパイラルによる電気事業収益の更なる減少により従来型の電気事業は継続が困難に

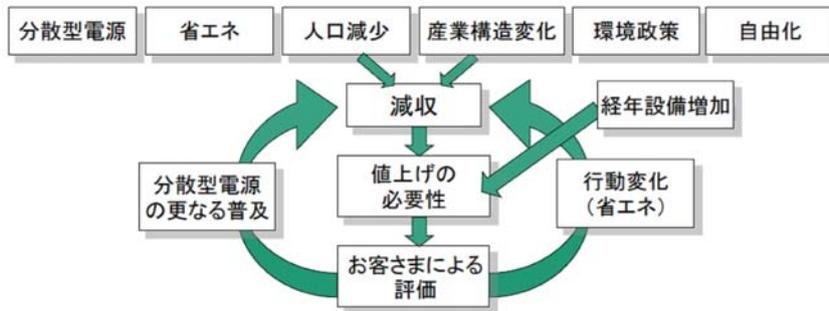


図 3. 厳しさを増す国内事業環境

グローバルな事業環境の見通し

- 今後、エネルギー資源の争奪競争により燃料価格は高騰、燃料費削減は困難な情勢に。
- 世界の電力需要は増加、日本の電力会社のグローバル市場でのプレゼンスは低下。

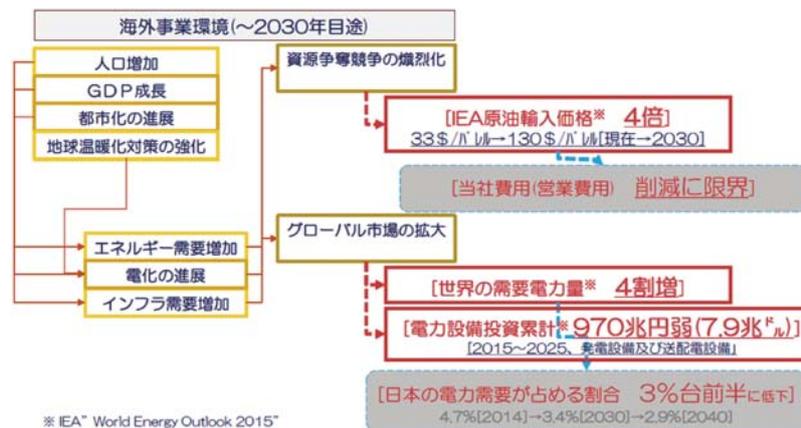


図 4. グローバルな事業環境の見通し

これとは別のシナリオも考えられる。先日 COP21 が採択されたが、二酸化炭素のネットゼロエミッションということを前提に、エネルギー最終消費で化石燃料を基本的には使わないことにすると、2次エネルギーとしての電気あるいは水素あるいはバイオ燃料を使うしかない。電気をノンカーボンの一次エネルギーからつくり、水素も何らかのノンカーボンのリソースからつくりとなると、

結局はノンカーボンの電気を利用して水を分解した水素であることになる。そうすると、このような需要側の技術革新によって最終エネルギー消費は減るが電気の需要は増えるという、別のシナリオの可能性もある。その場合も分散型電源から電気が作られるかもしれないが、どちらにしても、経営としてはこのような未来予想図をもとに、対策を考えていかなければならず、現在はシナリオの定量化をしようとしているところである。

グローバルな市場環境も同様に厳しい（図 4）。グローバルでのエネルギー需要は増えると思込まれるが、日本の占める率は低下していく。私が会社に入ったとき、東京電力は世界最大の民間電力会社だったが、今は世界 8 位、9 位ぐらい。数年内に世界 10 位から外れると思うが、日本の需要は減っていき、世界の需要は増えてくるので、このままいくと 30 位とか 40 位になるのではないかと。グローバル市場では資源の争奪競争が生じており、化石燃料をどのように安価に調達してくるのかという問題があり、我々のグローバルなポジションが劣化するほど調達が難しくなる。放っておくとデス・スパイラルが回り、世界に占めるポジションはどんどん低下していき、これがまた我々の事業環境を厳しくする。

技術的なトレンドで見ると、良い言葉がまだ見つからずに困っているが、基本的には IoT や AI が進展していくという流れがあり、その中では運輸部門をはじめとして電動化・自動化が進んでいく。その中で現在は別々に考えているインフラやネットワークが融合していくことになる（図 5）。現在でも、物流のネットワークで、プロパンガスあるいは LNG を運んだり、タンクローリーで輸送しているが、これは物流と言いながらエネルギーの流れでもある。

技術のトレンド：統合型ライフラインへ

- IoTをはじめとするデジタル技術の発達を受け、電力化・自動化が進展。
- 電力システムは、ガス・通信・物流のネットワークと融合へ。

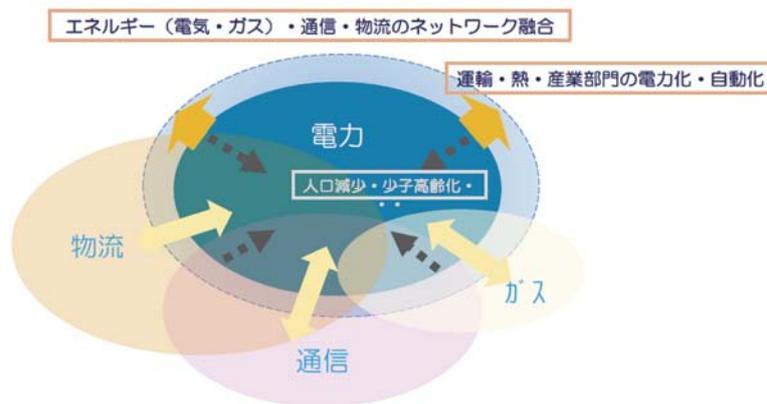


図 5. 技術のトレンド：統合型ライフラインへ

将来的には EV が道路上を走れば、電池が道路上を移動していることになるので、電力・エネルギーが運ばれているのと同じであると同じことができ、あるいはガスのパイプラインが水素を運ぶかもしれないが、電力ネットワークと物流、ガスネットワークに強い相互依存関係があることになる。

世界的にはメガ・シティの問題をどうするかというのが大きな課題になっているが、日本では

少子高齢化の進む限界集落をどうするのかという問題もある。地方の拠点をコンパクトシティ化するというのが一つの解かもしれないが、その際に必要なインフラを効率よく守っていくという観点で言えば、電気だけ、ガスだけ、あるいは水道だけ、物流だけ、通信だけというふうにそれぞれで対策を考えても、いい答えは出せないと思っている。こういったものを全部、総動員して、全体を上手く成り立たせる方策を考える必要がある。

もし分散型社会に行くのであれば、分散型の太陽光パネルがあり、電池もあり、足りないものは何か、電池を車かドローンで運べばいいとなれば配電線が要らなくなるのかもしれない。このように考えると、いろいろなものが相互に代替していくし、最適な組み合わせがあり得る。おそらく通信だけはつながっていないといけないだろうが、それ以外のものはいろいろな融合の仕方があるということを今後考えていかなければならない。このような融合が進めば、事業の担い手の産業構造も変わってくる。

今後の電気事業を考える際に、大雑把なとらえ方であるが、我々はバリューチェーンを3層構造でとらえている(図6)。通常目にしてはいるデバイスとかハードウェアが一番下の物理的なレイヤーを構成する。さらにサイバー空間上にソフトウェアやデータが蓄積される中間のレイヤーがあり、それから電気事業の場合は特にそうであるが、市場や制度という最上位のレイヤーがあって、下部構造を規定していくことになる。新しい研究所ではこれら3層の取り組みを連携させ、バリューチェーン全体を最適にするという考えをもとに、今後の研究テーマを設定していこうと考えている。

また3層構造を最適化するためには、ビッグデータ解析やIoTなど中間層すなわちサイバー空間での能力をあげることが重要になる。設備やお客様に関わるビッグデータや業務ノウハウをデジタル化して戦略的に活用し、この3層構造全体を最適化して価値創出を行うことを目指していきたいという考えから、この取り組みを「デジタル・ユーティリティ」と呼んで推進に着手したところである。

デジタル・ユーティリティへ

設備やお客様に関するデータや業務ノウハウをデジタル化し戦略的に活用、価値創出をはかるデジタル・ユーティリティへ

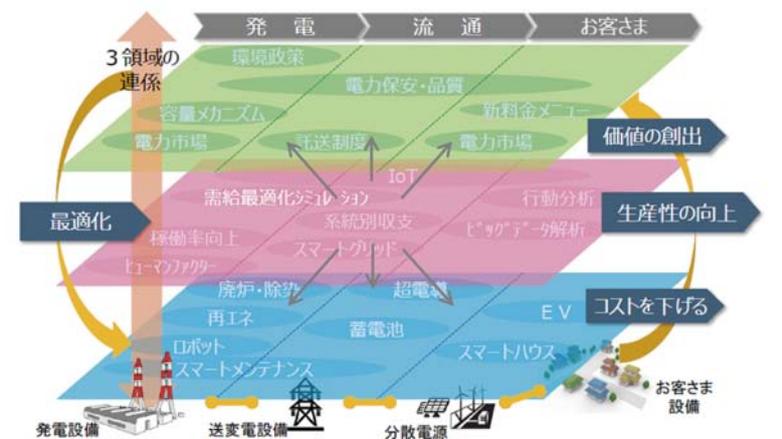


図6. デジタル・ユーティリティへ

当社グループとして今後注力しなければならない領域は論理的にはほぼ自明であり、国内の市場が縮むならば、海外にも展開しながら、国内でも我々の事業領域を広げるようにバリューチェーンを強化する方向を考えることになる（図 7）。分散型電源が普及するならば、お客様のエネルギーマネジメント、お客様設備の O&M やファイナンスなどもエネルギーサービスプロバイダー（ESP）として手がけていく。燃料調達など上流事業の統合・強化を進めながら低炭素電源の拡大を進め、海外にも出ていく。また、我々の事業会社の一つはグリッド会社になるが、グリッドは様々なプレーヤーが公平に参加する開かれたプラットフォームであるので、アメリカの電力研究機関 EPRI が提唱している Integrated Grid というオープンな概念の中で、多くの方と今後のプラットフォームのあり方を一緒に議論していこうとしている。Integrated Grid というのは、さまざまな分散型電源が統合される市場であり、IoT がベースになると思うが、分散型電源など需要側の膨大な数のデバイスが市場に参加できる仕組みを想定しており、時間的な分解能あるいは空間的な分解能を上げて、いろいろな価値がここでマッチングして取引できるような仕組みをつくらなければならない（図 8）。

また、分散するデバイスを扱うために、おそらくリソース・アグリゲータという主体も出てくると考えており、市場とやりとりしながら、デバイスの保守・管理からオペレーションなどをまとめてやっていくような主体になるのではないかと考えている。おそらく、その際には電気だけ考えるのではなく、ガス・通信・物流など全体を考えて事業を行うのではないかと考えている。

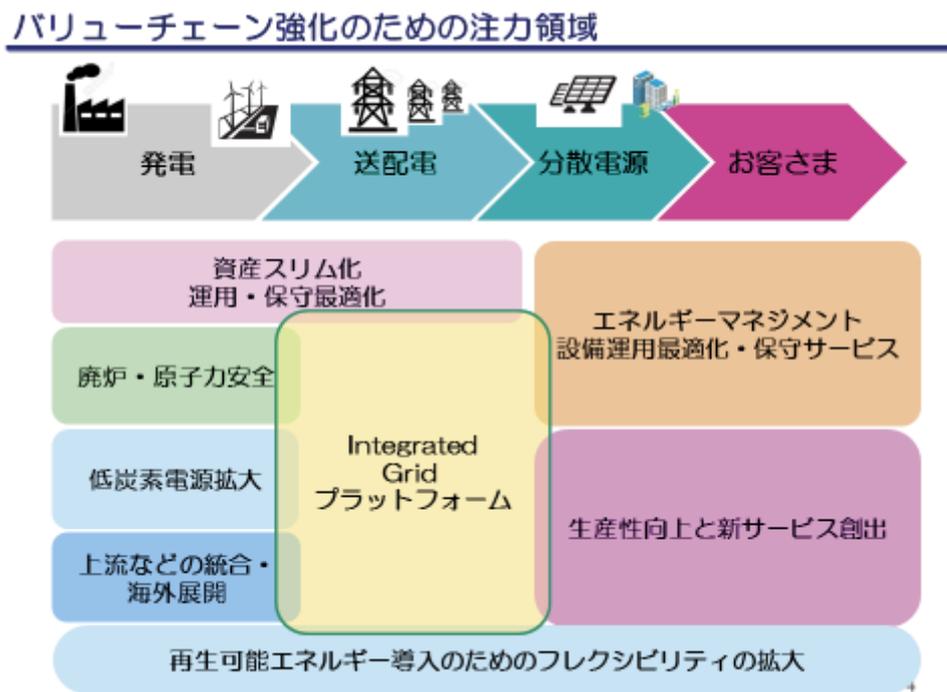


図 7. バリューチェーン強化のための注力領域

Integrated Gridプラットフォームのイメージ

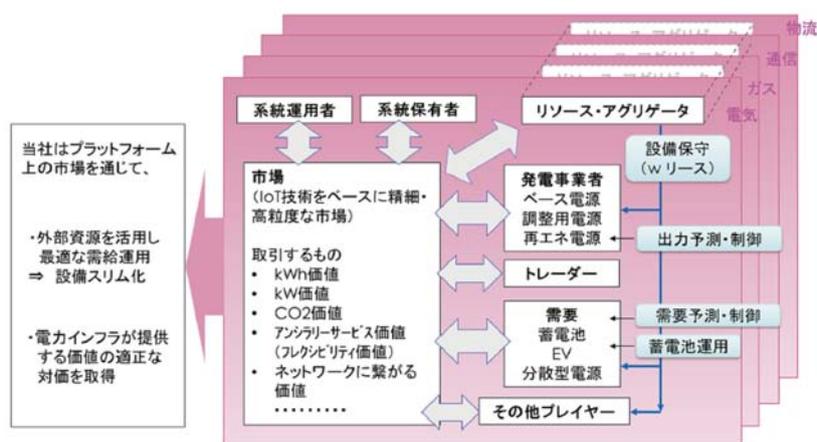


図8. Integrated Grid プラットフォームのイメージ

現在進めているデジタル化の切り口の第一は、自分たちの設備の運転と保全(O&M)を、デジタル技術を使って最適化していこうということである。結果として、自社設備をできるだけスリムにすることにつながり、さらに技術を転用してお客様側設備の O&M も事業として展開していこうということである。それらをばねに、海外でもビジネスを展開していく。デジタル化の着眼点でもあるが、サイバー空間上にノウハウやデータを蓄積していけば、場所を越えた事業展開が容易となるし、お客様や設備毎の様々なニーズにあわせながら規模の経済性を追求することができる。あわせて、お客様データなどをもとに新たな価値やサービスを創出していくことにも挑戦していきたい。

経営上の視点から見ると、バリューチェーンを俯瞰して、BS 上の資産効率性の向上、新しく価値をつくって PL の収益性を向上させるということである。スマート O&M でいえば、運転では、ロスの低減、発電効率の向上、設備利用率の向上などをおこない、設備を最適に運転できれば、設備の持ち方も最適に判断することができるようになるので、資産のスリム化が可能である。保全についても同じようなフローがあり、すでに保有しているテクノロジーと社外の技術を組み合わせてソリューションをつくらうとしている。

このようなことを行うために、私どものコア技術・ヒト・モノ・データに、社外のデータ・アナリティクス、オペレーションズリサーチ、画像処理、ロボティクスなどの技術やアイデアを組み合わせるアプリケーションやビジネスをつくっていく、いわゆる「オープンイノベーション」が必要となる。社内では現在そのための仕組みづくりを行なっている。できれば今年度中にいろいろな仕組みを立ち上げ、いろいろな方と一緒にやっていくという姿を打ち出していきたい。

「挑戦するエナジー」と題して、今年4月から全面自由化に突入していく。縮小するパイと言ったが、ここでの競争に勝っていかなければならないことはもちろんだが、中長期的に国内のライフライン・インフラをしっかりと守っていかなければならない。ライフラインを当社に任せても良いと信頼していただけること自体が我々の企業価値につながっており、そのこともあわせて考えて進めていきたい。

【質疑応答】

- 企業として当然、時間軸があると思うが、今の構想はいつごろ頭出しされるのか。
- 岡本 現状、まだフワフワとした中にあり、できれば今年度中には我々としてこのようなことをやりたいといった課題を世の中に示すことが必要だと思っている。それぞれのプロジェクトをどのような時間軸でやるかということを検討している。すぐに進めるべきものから、少し長い時間軸になるものもあると思っており、いろいろ取りまぜた形になる。
- デジタル・ユーティリティの概念を東電が考えているというのは大変驚いた。デフレスパイラルのようなことを言われていたが、通信でも、インターネットになっていくと同じようなことが起こるのではないかと同じことを言われていた。通信料金が安くなったということだが、電話の時代と比べるとマーケットは20倍くらい大きくなった。電力でそれが起きないかというと、電力価格が安くなることで、今までフィージブルではなかった生産、例えば人工燃料なども含めて、フィージブルになってくるものがあり、電気代が下がることでマーケットが極端に拡大していくということが起こると思っている。電力マーケットは、今の20兆円という世界から100兆円というレベルまで上がっていてもおかしくはない。

○林 泰弘 (早稲田大学 理工学術院先進理工学部 教授)

「未来型エネルギーネットワークの研究開発」

2020年代のエネルギーネットワークでは、電源側では再生可能エネルギー電源が大量導入され、それらが送配電ネットワークとの間で双方向通信制御される。需要側では需要家の消費のスマート化、デマンドレスポンス、ネガワットなど使う側をICTの活用でスマートにコントロールする機能が入り、こちらも送配電ネットワークとの間で双方向通信制御される(図1)。太陽光発電や風力発電などの天候に依存する発電出力変動や需要側の消費電力変動が送配電ネットワーク内で瞬時に伝播するため、送配電ネットワーク事業者の需給バランス管理や電圧管理など電力品質管理がこれまで以上に複雑化してくる。送配電ネットワーク事業者は、ポジワットやネガワットの形でこれまで以上に調整力やコントロールする能力を安く確実に調達する必要がある(図2)。これからの時代はネットワークイノベーションであると思っている。

2016年4月からの電力小売りの全面自由化や2017年のネガワット取引市場創設、2020年リアルタイム市場創設などにより、需要家側に電力ネットワークのネガワット調整力のポテンシャルが来ている。電力ネットワークの安定供給上、需給バランスを保つために、夏や冬などの電力消費の多い時には電力消費の抑制がインセンティブを付与する形で要求され、逆に春や秋の電力消費が少ない時期になると太陽光による発電電力が余るためそれらの発電電力は無償で抑制される(図3)。皆のネットワークが使う電気の品質を保つためということになると、自分たちで太陽光発電の余剰電力を自家消費する必要性が出てくるということであり、接続先の電力ネットワークに余剰の太陽光発電電力を流すから止められるだけで、需要家側の中で自家消費すれば使えば止められない。これらの状況から、需要家側での電力の自動計測制御技術の導入の必要性が増してきており、需要家側の住宅、ビル、工場などエネルギーマネジメントシステムのイノベーションがたくさん出てくる。住宅(HEMS)やビル(BEMS)や工場(FEMS)などのエネルギーマネジメントのソフトやアルゴリズムの研究開発をきちんと行い、社会に実装していかなければならない。

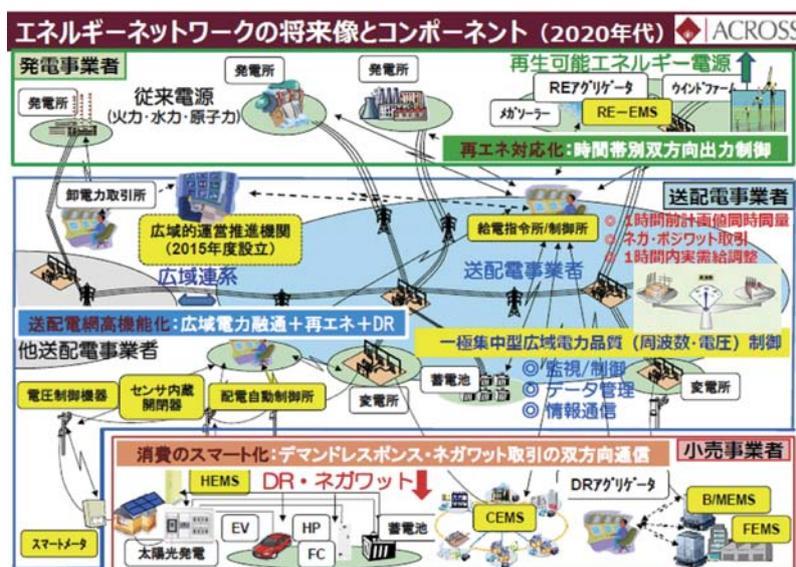


図1. エネルギーネットワークの将来像とコンポーネント (2020年代)

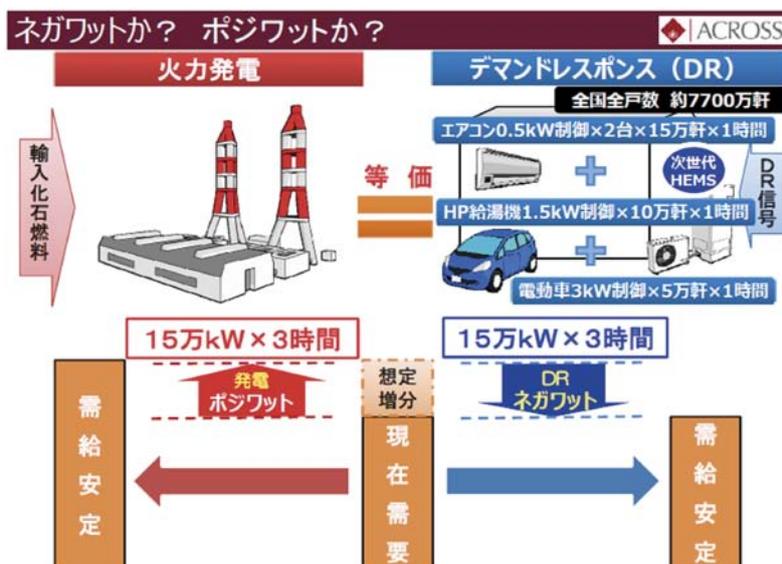


図2. ネガワットか？ポジワットか？

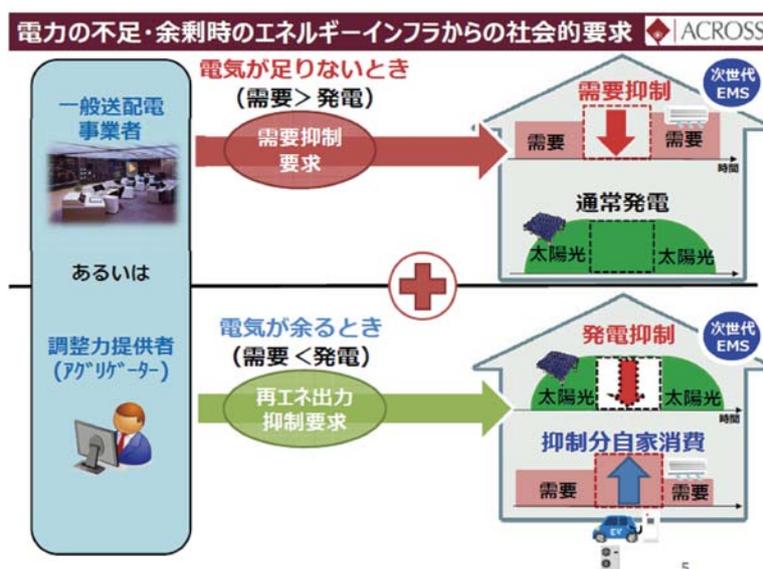


図3. 電力不足・余剰時のエネルギーインフラからの社会的要請

2050年の世界を考えた場合、送配電ネットワークが常に確保しておく必要がある予備力や調整力などは、超分散の需要家側の分散型電源・蓄エネ機器・消費機器をプロシューマー型のエネルギーリソースとして、それらをアグリゲーションして、ネットワーク事業者が利活用できる規模で用意していいのではないかと考えている。ただし、超分散のプロシューマーの予備力や調整力を用意してエネルギー事業レベルまで引き上げるには、IT企業、送配電事業者、通信事業者、エネルギー機器メーカー、通信機器メーカー、アグリゲーターなどいろいろな方々が参画できる共通の場（プラットフォーム）が不可欠である。また、実現に不可欠なアルゴリズムや方法論は、それらの研究開発を得意とする大学が開発し、それらを実装したものをメーカーに製作してもらい、それを関連するエネルギー事業者等が利用するという一連の研究開発展開の流れが必要となる。2050年というかなり先を対象とした研究開発は、民間企業では投資回収の面から極めて厳しい状況にある。であれば

学が先導し、例えば JST がトップレベルの学を支援する予算でチームを組み、プロシューマー型エネルギーリソースの頭脳部分の開発は大学が中心で、そのあと企業とコラボレーションするという形で様々な企業を巻き込み調整をすれば、研究開発のリソースをディスパッチしていけるのではないかと考えられる。ビフォー・アフター戦略で、大学という知の拠点のメンバーが考えた手法、アルゴリズムを使えば、従来よりも更によくなるという量を必ず出すようにして、それをもとに企業を巻き込んでいろいろと研究戦略を立てることは重要である。

現在、私が PI として複数の大学研究者と連携し、CREST の研究チームとして、エネルギーの都市 OS 的なことを研究しはじめている。エネルギーネットワークの階層と電力のネットワークの階層、さらに、地域の需要密度などさまざまなものを考え、エネルギーデータをもとに、実世界からデータを吸い上げたサイバー世界のシミュレーションモデルをつくっている。エネルギー関係で我々がリソースを考えて、今モデルづくりから始めている。そこには、電気、情報、建築、経済、機械など様々な分野のリーダーの先生方が研究チームの一員として参画している。2030 年、2050 年の世界を、シミュレーターをつくって描こうと思っている。ここで、特に大事になるのは配電のネットワークである。今、CREST で複数の電力会社から実際にデータをいただき、実データをそのまま使うのではなく、実データの場所などがまったくわからない形にしたモデルづくりから入っている。なるべくリアルな世界に近いモデルをつくり、実社会再現するというアプローチとしている。複数の関連企業との連携もいろいろ行なっているが、アルゴリズムの発想、ソリューションづくりを皆さんが求めている。そのニーズを方法論の中に埋め込んで戻していくことになる。こういう手法を入れると、太陽光がより導入される、需要の抑制ができる、調整力ができるといったアプローチを、頭脳としていろいろなデバイスやシステムに組み込むことができるようになり、それが我々のミッションだと思っている。そのためには、いろいろな機器やシステムが双方向通信でつながること、IoT などが大事になると思っている。

実際に場を作らなければならないということで、早稲田大学には、エネルギー・サイバーフィジカルプラットフォームという産学でのエネルギーマネジメントシステム研究開発のプラットフォームを設置している (図 4)。実際のエネルギー機器と次世代 HEMS が標準通信規格で双方向通信制御可能な 4 棟のスマートハウス、実際の配電ネットワークの制御機能が実装されて住宅やビルなどに供給する電力の電圧や潮流を自由自在に管理可能な配電ネットワークのシミュレーター、国際標準通信規格のデマンドレスポンス信号の送受信サーバ、再生可能エネルギーの調整とネガワットの調整をする双方向標準通信インターフェースを有する中立的な立ち位置でのサーバ (図 5) などがある。学外の実フィールドのエネルギーリソースとの通信連携が可能で実際の通信実績もある。これからは熱と電気を一緒に考える時代であり、早稲田大学では、東京電力、関西電力、中部電力、九州電力の実際のスマートメーターに加え、東京ガスのスマートメーターをスマートハウスに設置し、電力とガスのデータを一緒に考え、最適な制御のアルゴリズムなどの研究開発も行なっている。



図 4. エネルギー・サイバーフィジカルプラットフォーム（早大）

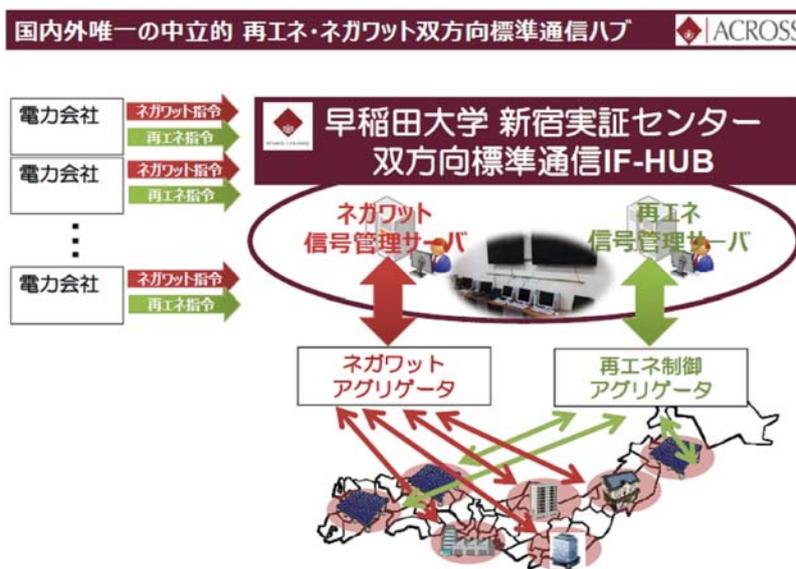


図 5. 国内外唯一の中立的 再エネ・ネガワット双方向標準通信ハブ

早稲田大学の新宿実証センターに、ネガワットの信号管理サーバと再エネの信号管理サーバを設置している（図 5）。電力会社から何時から何時に何 MW の電力消費を削減して下さいという需要抑制信号が発動されたら、このセンターのサーバがハブとなり、日本の 4 地域実証やビルや工場など色々なところにこの需要抑制信号を国際標準通信規格で届ける仕組みは既に行われている。例えば、ネガワット実証事業ということで、東京電力、関西電力、中部電力から需要抑制信号が発動されると、センターのサーバでそれを受けて各エリアの需要家に発信する。2,000 位の需要家があり、前日に発動したり、1 時間後や 10 分後に発動したりする中で、どれ位のスピードでどれくらいの確実性でネガワットとして調整力が確保できるのかを検討している（図 6）。一方、送配電事業者からの太陽光発電の出力抑制の信号を国際標準通信規格でつなげて送るという新たな実証事業にも図 5 に示すようなハブとしての立ち位置で参画している。

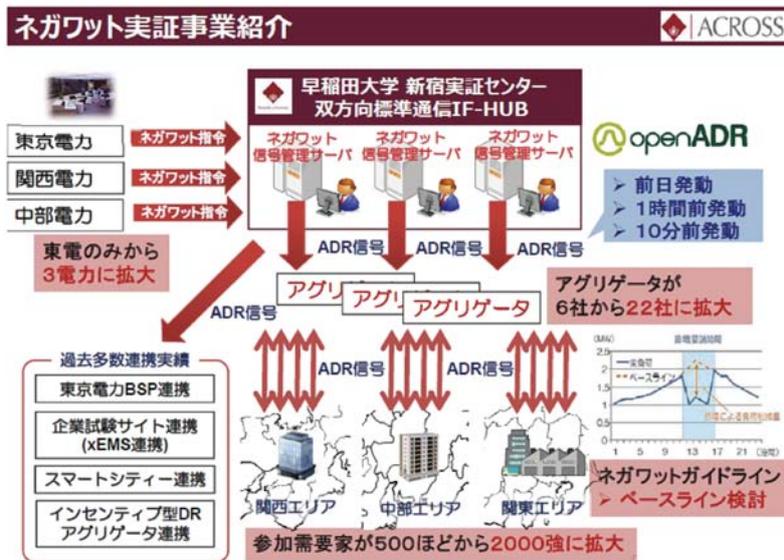


図6. ネガワット実証事業紹介

今後、大学側が特に大事にする必要があるのは、需要抑制や太陽光発電出力抑制等の信号を受け、プロシューマーの様々な種類のデータが集まった後に、それらをどのように使い、何を最適化してどれをどう動かすかというアルゴリズム開発であり、大学での研究開発が特に望まれている。我々は何をすべきかという、データを集めてアルゴリズムを開発して拠点をつなげ、いろいろな大学の先生の優れた研究リソースをつなげてシステム化し、エネルギーシステム技術の社会実装までを踏まえた研究フローを回していくことだと思っている（図7）。

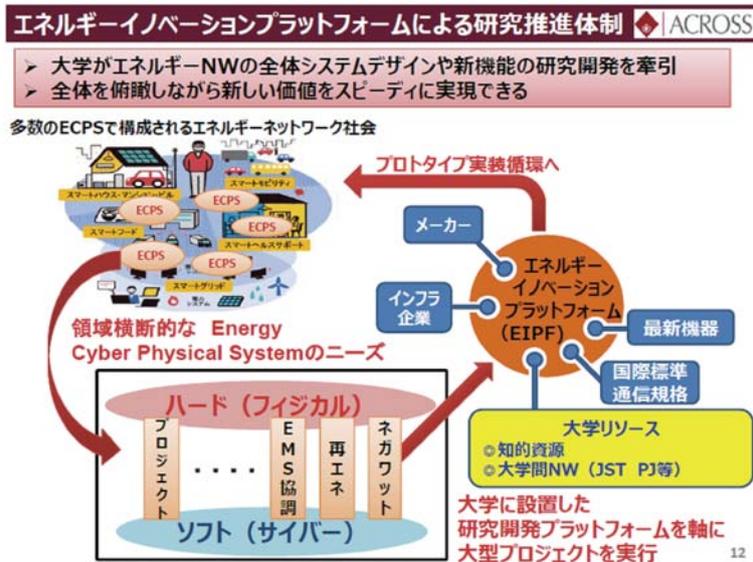


図7. エネルギーイノベーションプラットフォームによる研究推進体制

今後、2050年を見据え、プロシューマーのエネルギーリソース（ER）の研究開発を実施する場合、大学の強みというのは特定問題をモデリングする力である。課題があれば、その中で解くべき問題は何かということを確認できるので大学のセンスである。いろいろな知識も情報も先も読め

るので、それに対するソリューションを出すメソッドである解法を開発できることが大学の得意とするところである。大学が開発したアルゴリズムを活かすシステム技術、ネットワーク技術、共通要素技術、さらには、双方向の通信機能などのさまざまな機能を開発していくのが、大学としていいのではないか。例えば、ある先生が最適化機能を研究開発させて欲しいという場合、エネルギーリソースにその機能をアップして、他の機能は別の専門の先生が研究開発していけば結果として、トータルでシステムは高機能化されていく。

2050年代には、住宅やビルなどにエネルギーバッファとなる機器がたくさん出現しており、それらはすべて国際標準通信規格のインターフェースでつながっていて、双方向通信制御やクラウド技術等の進展により、同時同量制御の能力も格段に飛躍していると予想される。ハイパーセンシング、ハイパープロセッシング、ハイパーアクチュエーションなどを用いて今後どうすべきかということで、プラットフォームを構築し、データを取得しながら、大学でしかできない新たな研究領域を創出し、研究開発を展開していく必要がある。

【質疑応答】

- アグリゲータ、ある意味消費者からデータを収集し、監視して命令するという感じがする。それよりは自由経済で競争させて決めていくのがいいのではないかと思う。
- 林 例えば調整力における変動の何%は必ず需要家が知らないうちに拠出するモデルにして、その中で自由に使えるということである。市場云々を使うものではなく、むしろ技術の中で例えば、蓄電池の何%はネットワークの調整力のためにもともとシステム上に拠出しておく中での制御であり、外から制御し、生活の利便性や快適性は絶対に損なわない前提を考えている。幾ら拠出するかということだけ決めればいいと思っている。逆に市場を使ったら、素人はもっと市場がわからない。一般の主婦や高齢者は、例えば、需要家側の小さい HEMS 側の市場を使ってビットなどは絶対しない。実施するのであればその部分をハイテク技術でシンプルな形で拠出できる仕組みをつくり、それに対してハイテクに制御し、結果的にお金が戻ってくる仕組み、自動でできる仕組みがいいと思っている。
- 自動は自動であるが、人が入札はしないということ。
- 今の議論は私も大いに気になるところで、例えば、家庭はしていないと言われた。しかし、金融の世界で見ると、FX 取引をしている家庭の主婦はいる。市場のアクセシビリティが高まり、リスク管理ができるようになると、一般の主婦の人の広がり、オープンマーケットを持っていることになる。基本的に全ての方が自分が使っているエネルギーは一体何だということになる。それを経済的に理解できるような仕組みさえあれば、皆さんが主体的に取り組むというのが一番いいのではないかと思っている。インターネットの世界も同じで、今までは何か大型計算センターのサーバーの任せておいたら何でもいいと思っていたが、いろいろなところからメールが来るので、フィッシングに逆らうことを行なわなければならないといった問題となる。ポリシーの問題として、誰が主体的に行う主権を持っているのかに関して、大いに議論があると思っている。
- 林 主婦が市場を使って取引することは全然構わない。それを止めているのではなく、その背後に自分たちのシステム、自動で対応できるシステムがないとビットできないということである。市場設計ということではなく、システム開発を学が中心でやるべきだということである。世の中の動きとして IoT によりビジネスが広がっていいと思うが、そのバック、ベースにある部分の大

事なシステムをきちんと学がつくっていくべきという意味である。

- 経産省の実証など、何か供給者の論理で説明しているところがあり、どうしてもは今までのスタイルとなっている。例えば、アグリゲータ、誰が担い手なのかという意味では、個人の証券取引の話が出たが、おそらく東証で個人では取引しない。つまり必ず証券みたいな人が間に介在し、証券取引所と取引をするので、個人が直接つながるマーケットプレイスができてくれば多分そうなると思うし、その途中はアグリゲータのプラットフォームを使ってやると思う。何となくどうしても指令が家庭に行くみたいだし、何か指令されてやるものにみえる。実は、今電気は皆さんがスイッチを入れると好きに使えますよというところがあり、全然指令も何もなくきちんと価値がある。これくらいの値段であれば使うが、この値段であれば使わないといった選択が需要家側にあるべきだということであって、まさに私もそうなるべきだと思っている。それがアグリゲータと需要家の間の取り決めとして、それに基づいてやっていくというのは、多分このプラットフォームで、今考えているところの多くの部分である。将来もしかするとそれが完全に FX や株式のように、デイトレーダーのようなものがプログラムされるのであれば、それが宅内に入りマーケットプレイスダイレクトにインタラクションするかもしれないと思っている。
- 林 2050年代という意味では、住宅やビルなどの多くがプロシューマーになっていると思われる。ネットワークが全体調整する立ち位置にはあるが、もっと自立型プロシューマーとなる需要家が、需要家自身で発電と消費と蓄エネを行い、需要家自身でエネルギーを自立で供給・管理しているという形がベースにある。ネットワークの指令を受けてどうするというよりも、自分たちがある程度調整した後に、ある部分だけ助けるくらいが 2050年代にはあると考えている。現在の実証事業は 2020年代を対象としてビジネスを行なっていると思うが、今やっているステージと 2050年代の研究開発ステージでは、視点がまったく異なる。市場云々というよりも、プロシューマーである需要家自身が完全自立で立ち上がっていく中で、どうやって 2050年代のプロシューマーのエネルギーリソースを組み込みながらエネルギーネットワークの学の研究開発をどう展開していくべきかという話をしたかった。
- ネットワークの方向性は多分 2 つある。単純に土管屋といって皆さん好きにやってくださいというもの、一方で、もともと電力ネットワークはそのような成り立ちではないところもあり、ユーザの需要と需要を満たすための発電量をマッチングさせるプラットフォームだったと考えると、マーケットプレイスそのものの運用者であり、それを行なっているのがネットワーク、グリッドとなる。それをどう考えるかで少し違ってくる。アグリゲータや消費者、ユーザ側との役割分担どのように考えるのかで幾つかの方向性が出てきそうだと感じた。

○阿部力也 (東京大学 大学院工学系研究科 特任教授)
「デジタルグリッド」

電力には「マーケット」と「電氣的な制約」の二つの側面があり、様々な制約がどちらの側面から生じたものなのかが混同されやすい。電力のマーケットは、需給バランスの維持という電氣的制約のもとで初めて成立しており、この制約はとても厳しい。需給バランスが瞬時でも崩れると広範囲にブラックアウト(停電)するなどの問題がある。30分同時同量とは30分単位で需給バランスを一致させるということだが、瞬間的にバランスが崩れることは黙認しているので縛りが緩いといえる。外国では15分、さらには5分以内の同時同量というようなことも言われている。今後この縛りはさらに厳しくなっていくであろう。

そのため、この電氣的制約から解放されることからスタートしないと、真に自由なマーケットというものは構築できない。従来の電力ネットワークは、発電から消費まで一方通行で流れて行き、先端で消費されているネットワークである。消費に近づくほど細い線路になるが、再エネの様に変動が大きい電源がこの細い先端に入ってくると、そこを太くしなければいけないことになる。それができない場合は需給バランス次第で発電を停止させる必要が出てくる。これも電氣的制約の一つになる。電力業界はこのような構造を変えずに、すなわち電氣的制約の残ったまま、系統運用、発電予測などで需給調整しようとしている。

しかし、再エネ50%を超えるという目標を持つなら、ネットワーク構造を変えて電氣的制約を開放しないと達成は不可能であると考える。

では、どんな構造に変えるべきか？ おそらくインターネット型電力ネットワーク構造がその解になるだろう。非現実的な解では意味がないので、既存の大規模電源/送電網を根本的に変えるという案は意味がない。既存系統にはほとんど手を加えず、配電網が小規模自立分散可能となるような追加的な工夫を施すことでインターネット型構造となるようなものが望ましい。配電網がLAN、既存系統がWANとなるような構造である。

このようなネットワークは副次的に、柔軟性、ロバストネス(頑強性)、リダンダンシー(冗長性)といったインターネットに似た特徴を持つことになる。ノード、エッジなど、グラフ理論固有の単語が有効になる。従来系統のように一方向ルートではなく、多方向ルートでの電力のやりとりが可能となる。エッジは配電ルートを意味し、自営配電網の追設が効果的になる。ノードは受電点/電力配分点を意味し、従来のような切り替えスイッチではなく、連続的な電力配分が可能な高機能電力変換ルータ設置が効果的となる。再エネ発電は、主として小規模自律分散配電網の内側、すなわち消費者サイドに設置されるようになり、配電網内での出力変動はノードである電力ルータ出口で抑制されるようになる。消費者側が再エネを使いこなすことになるので、既存送電網は増強しなくてよい。むしろ需要サイドでの発電は、需要の減少という形で現れる。送電網の増強は時代に逆行することになる。インターネット型構造では、既存送電網との系統連系⇔小規模自律分散配電網の自立⇔既存送電網との系統連系ということがシームレスに行えるため、レジリエンスが極めて高まる。こういう形で自立分散配電網が増加していけば既存送電網を増強せずとも、再エネ50%は可能になる。(図1)

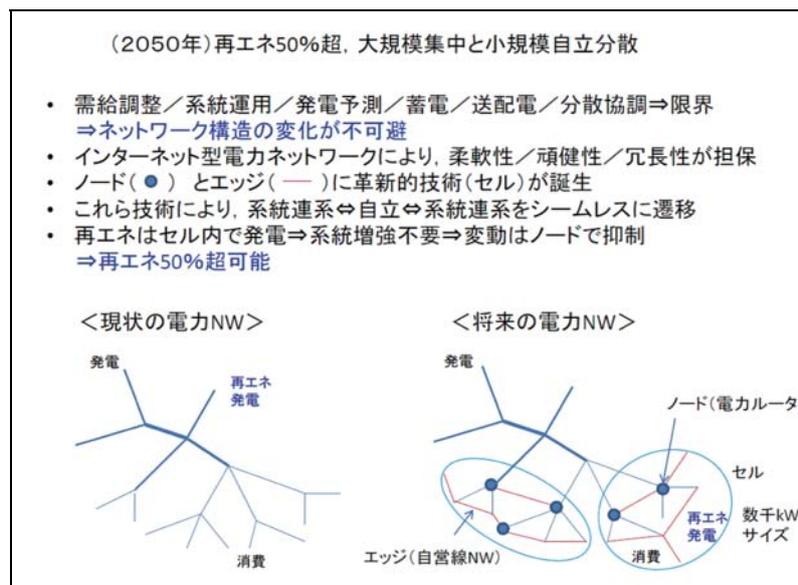


図1 再エネ50%超、大規模集中と小規模自立分散

小規模自律分散配電網をセルと呼ぶ。セルのサイズは初期段階では数千キロワット以下と考えている。これは高圧6.6kV系統(2,000キロワット以下)という範囲をイメージしているが、将来はもっと大きいサイズでも可能である。セルという言葉には「細胞」という意味もある。細胞の集まりは、1か所や2か所細胞がダメになっても全体としての臓器の機能は生き残っているという強さがある。電力系統も、従来のように上流が停電したら下流がすべて停電するような仕組みではなく、小規模な電力セルが細胞のようにしたたかに生き残って全体系統としてロバストな仕組みになるべきである。それを実現する技術を図2に示す。

グラフ理論で言う「ノード」に対応するものは、遮断器のような接続点である。従来の遮断器技術はミリ秒オーダーで動いている。ノードが例えば電カルータにおける電力変換技術の場合、マイクロ秒オーダーで動く。2050年、あるいはもっと近い将来において、電力制御はナノ秒オーダーとなる。デジタルグリッドではこの速度で制御している。このためのクロックは 10^{-13} のオーダーになる。このクロックにはGPSの電子時計を用いている。そういうレベルの制御が電力変換技術において生まれ始めている。

このくらいの短い時間になると、交流であってもその時間範囲では電圧の変化がほとんどないので直流とみなすことができる。すなわち短時間では変動のない一定値とみなせる。このため、交流・直流変換があたかも直流・直流同士での変換とみなせるようになり、電力の潮流は直流の電圧をどう上げ下げするか、だけで決まるようにみなせる。この短時間内での制御を繰り返していくことで、交流の制御が可能となる。

ノードの革新的技術⇒デジタル電力変換技術 対象技術(電力) 10 ⁻² 秒		
技術	現状	将来
電力変換	10 ⁻⁴ 秒	10 ⁻⁶ 秒
電力制御	10 ⁻⁴ 秒	10 ⁻⁸ 秒
制御理論	FB, PID, 現代制御	FF
電力工学	非線形	線形
精度	10 ⁻² 秒	10 ⁻¹³ 秒

エッジの革新的技術⇒多重受電自営線NW		
技術	現状	将来
送配電	1点受電	多重受電
電力潮流	一方向または双方向	多方向
切替	遮断切替	電力調整

図2 ノードの革新的技術 (デジタル電力変換技術)

グラフ理論で言う「エッジ」に対応するものは、配電網をイメージすればよい。しかし電力配電に関しては一つの需要家に対し、1か所のみでの受電が義務づけられている(一点受電)。安全・安心を考えると、1点ではなく、インターネットのように、多重受電するほうが良いはずだがそれは禁止されている。電力供給の選択肢も一方向ではなく双方向、さらに多方向から供給を受けたほうが、自由度が高まるはずだがこれは禁止されている。禁止の理由は、多重受電を行うと制御不能な横流という電力潮流が流れてしまうためである。しかし、このような技術的な制約は、高速制御で克服可能である。デジタルグリッドでは柔軟に電力を調整し、横流を抑制することができるようになってきている。このような技術を採用すれば将来は多重受電、多方向接続、電力調整ということが可能になると考える。

再生可能エネルギーがかなりの割合で普及している欧州に目を移してみよう。(図3)ドイツでは太陽光と風力がむしろ主役となり、火力が従属的な役割となり始めている。変動の多い再生可能エネルギーで必要な電力全部を賄うことも可能になりつつある。これはドイツがメッシュ状電力系統になっているために、変動分を他国に逃がしたり、受け取ったりできるためである。一方、スペインは他国との接続は限られており、同じことはできない。それにもかかわらずスペインは風力予測、需要予測、ガス火力の調整により、あるタイミングでは、総電力需要の50%以上を風力で賄ったりできている。しかし、常時フランスとの間の送電線で過不足分を調整している。この大きさは総需要の10-15%になっている。再エネを更に増加させるために、フランスとの間の送電線を太くする議論が始まっている。しかし、年間を通じてこの送電線の増強分が必要となるのは、わずかの数十時間でしかない。

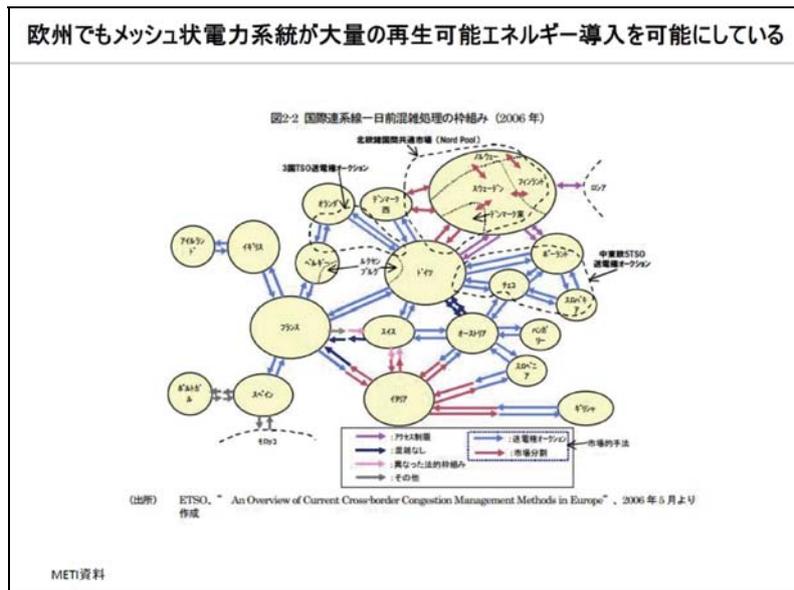


図3 欧州の電力系統図

日本の場合で考えると、メッシュ型構造ではないのでスペインと同様、わずかに数十時間/年の利用のために送電線増強があちこちに必要となる。需要は見かけ上減少していくのでこの増強は無駄である。むしろ、発想を変えてメッシュ状の電力システムを、低電圧系統において地域分割で作れば、送電線増強は不要となり、ドイツ型の様になるというのがデジタルグリッドの考え方である。

ある地域をルータで区切って、メッシュ状のルートをとくさんつくる。電力量はルータの電力変換量で調整しながら過不足分を逃がしてやる。地域内で吸収できないときはより大きな域内で調整し切る。それを調整するのはノードとなる。ノードにはルータが配備され多端子型の周波数変換所のようなものとなる。このようなノードを数キロワットから数百キロワット、数千キロワットまで様々なサイズでつくる。(図4)

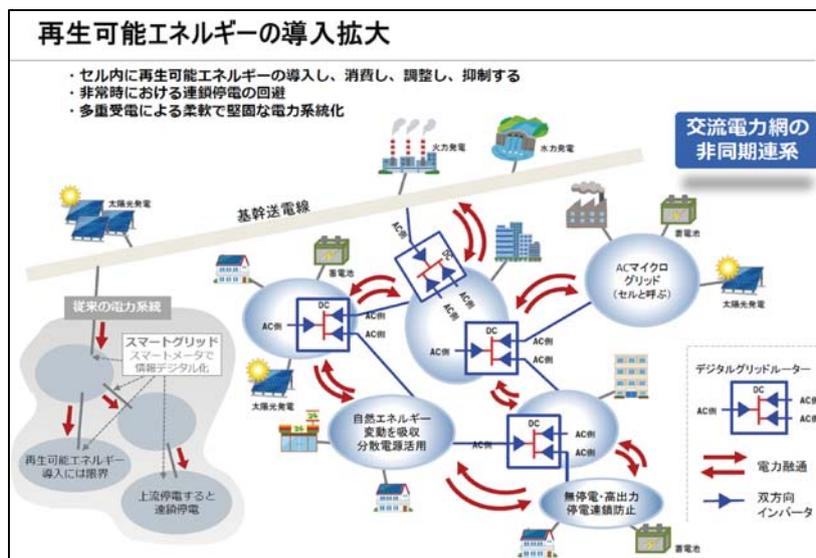


図4 デジタルグリッドによる再生可能エネルギーの導入拡大

電力ルータは多端子型の交流／直流双方向インバータで構成される。交流から直流、直流から交流の制御をコンピューターで制御する。電流の切りかえは遮断機の切りかえではなく、電流の位相と大きさを変えることで行う。このようなことを現状ではミリ秒オーダーのオーダーでできるが、将来は、FPGAやASICなどの技術と高速CPUなどを使うことによって、ナノ秒オーダーでできるようになる。電力ルータは接続先を識別するので電力そのものが識別できることになる。それにより、従来の系統全部でつながっていて識別不可能だったものが、再生可能エネルギーや、火力、水力など細かく識別できるようになる。

電力の波形制御は高速性を要求されるのでルータ内部で行われるが、電力識別はもっとゆっくりとした制御でよい。この部分をグローバルコントローラーと呼んでクラウドサーバーで行う。電力取引を行う株式市場のようなものとなる。電力だけでなく、CO₂価値、デリバティブ、保険、いろんなものが取引できるようになる。

電力を識別できるようになると、需要と供給の価格曲線が作れる。電力のログが価格情報などのプロファイルとともに保存できる。電力は何月何日何時何分にどこからどれだけの量を送ったかとか、記録できる。1キロワット1時間というような単位を1パケットというような形で表すこともできるようになる。(図5)

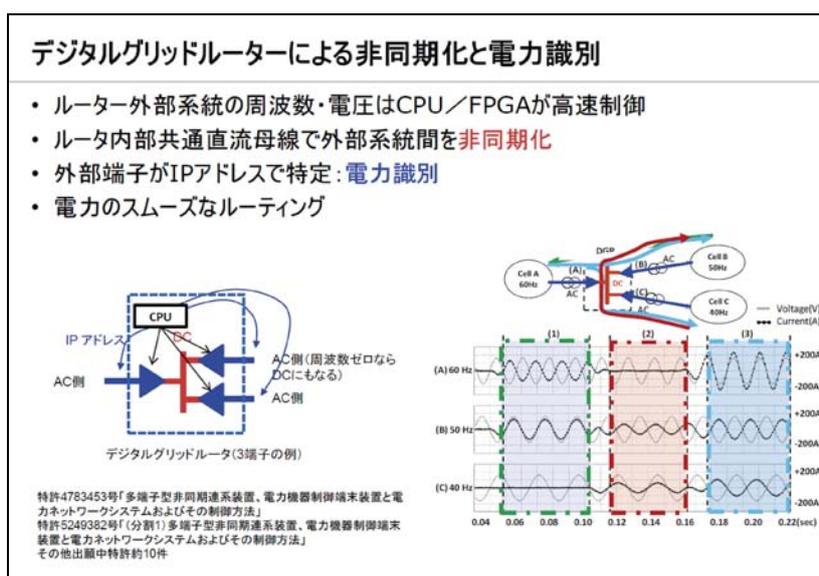


図5 デジタルグリッドルーターによる非同期化と電力識別

インターネット型の電力ネットワークを実現するには、図6の様に配電網において多重受電を実現することが一つの方法となる。

従来系統に加えて新たな配電線を追加する。ルータの一つの端子が従来系統に接続し、他の端子がこの新しい配電線に接続される。自営線のイメージは隣村やある町の需要家を配電盤の裏側からつなぎ、従来の供給系統はそのままにして二重の供給ラインを作ると考えるとわかりやすい。自営線を埋設とする場合は熱供給配管も埋設すると総合効率が高まる。このようにして多重な配電網により、ネットワークを柔軟にしていけるイメージである。

自営線ネットワークの部分はデジタルグリッドのセルにあたる。自営線の電圧は交流でも直流でもよいが、電圧をバランスさせ、横流を防ぐには精度の高い同期システムが必要である。我々は、

ここでも全く新しい同期システムを提案している。
 これは従来のようなシステムの電圧変化から同期信号を得るのではなく、宇宙空間に分布する多数のGPS衛星から高精度の時刻信号を同時並行して受信して同期信号を得るものである。
 このような時刻同期手法に基づいた多数のインバータの自立連系は電気工学的にきわめて大きなパラダイムシフトをもたらす。電力システムの電力制御は従来、非線形性があるため、複雑性が高かった。しかし、時刻同期制御方法を用いれば、電力制御が線形に変わる。
 このような電力システムにおいては、個々のインバータが正確な電圧／周波数／位相制御を行うため、再生可能エネルギーの変動はセル内で抑制され、需要を超えた過剰生産は自律的に制限されるようになる。現在議論されているような中央給電指令所から遠隔停止するなどという仕組みは必要なくなる。
 このような自律分散電力調整メカニズムが内包されているデジタルグリッドセルの仕組みを取り込めば日本において50%の再生可能エネルギー導入は十分達成可能な目標となる。

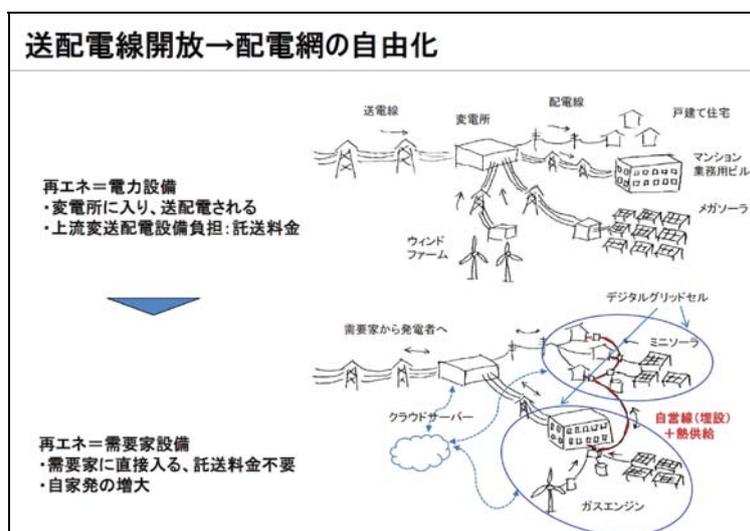


図6 送配電線開放（配電網の自由化）

電力ルータの電力融通や自立運転に関しては、2kW3端子のデジタルグリッドルータを2台、アメリカの電力研究所（EPRI）のKnoxville研究所に持ち込んで実証試験を2013年に実施して、非常に高い評価を得た。EPRIは当初懐疑的であったが、この試験以降は積極的になり現在ではIntegrated Gridというスマートインバータ／蓄電池／情報システムの統合を行った電力システムの提案をしている。本技術は日本発のものであるので（東大特許：日本、米国、中国、豪州、カナダ、インド、欧州）、できれば日本において実証を推進したい。まだどこでも実現されていないセルシステム実証試験に早期に着手し、再エネ率50%超を達成したいと考える。

GPS衛星などによる外部時刻情報電力同期システム（特許出願済み）は、電気工学的にきわめて斬新で、自立分散型電力システムに合致した重要な技術となる。この基礎技術開発を着実に実現し、日本発の、『情報電力工学』（情報と電力を結びつけた新しい電力変換工学及び電力システム工学）を構築し、世界中の研究者を招致し育成することを提案したい。

[質疑応答]

- ノードで、例えば電気の行く方向で複数の選択肢があったときに、どこに進めばいいかはIPアドレスを振るということか。
- 阿部 IPアドレスはルータやその接続先に住所を振るようなもの。マーケットで決まった行先に電力を送る。
- そうすると、電気で違いが出るとしたら値段しかないので、安いところから高いところに行くことが一番の指標と考えるが
- 阿部 値段とそれに附随する例えばCO₂価値などや先物、複数の電気を組み合わせたデリバティブなどによって決まる。
- CO₂価値も税金をかけて荷重をとればスカラー量になると思う。
- 阿部 その通り。ただ、ルートによる託送負担の違いなども出てくる。また、電気の流れをパルスで調整するというアイデアが披露されたがデジタルグリッドでも同様のことができる。例えばこのパルス、次の電流はゼロにするとか、次はまた1にするとか2分の1にすることができる。矩形波などもできるが、パルスを何個送るかもできる。電力会社が電圧を立てて、そこにどれだけの電流を何パルス送ることまで、十分できる。

- インターネットがうまくいった理由は、自分のサービスではないが、協力することでグローバルインフラができたという仕組みである。これはソーシャルネットワークの仕組みと同じ。自分が提供すると、結果的にフィードバックがかかり、得をするエコシステムをつくったおかげで、本来は自分のネットワークではないが、右から左に流すことによってでき上がっている。それができ上がった後に、ティア1クラスというクラブをつくり、それでグローバルなバックボーンをつくるという動き方をした。そこには実は金が絡んでくる。重要なことは、そういうエコシステムにおいて、プロバイダーオリエンテッドに行くときと、ユーザオリエンテッドに行くときと、行ったり来たりすることである。というのは、お金をもうけないとビジネスがまわらないので、その時はサーバーオリエンテッドになる。ところが、新しいサービスはユーザオリエンテッドに出てくるので、そのときはピアツーピアに一回落ちる。それをまた一回集約していく形で動いているのがインターネットの成功した理由である。そうすると、ソーシャルシステムをどうつくるかということと、その次にお金の話が入ってくることになる。
- 阿部 その通りである。我々も、技術だけ実証できてもだめなので、実際に社会実装する必要があると思い、会社(デジタルグリッド)をつくった。政策投資銀行や東大のユーテックに出資してもらい、動かし始めている。まずアフリカで無電化地域の電化事業を始めた。デジタルグリッド・ソリューションズという子会社で社会実装し、昨年1年間で売り上げが3,000倍に伸びた。
今は国内事業を立ち上げつつある。ビジネスベースでのユーザニーズに応えつつ、再生可能エネルギーをふんだんに取り入れられるデジタルグリッド技術の社会実装を目指している。

○松山隆司 (京都大学 大学院情報学研究科 教授)

「エネルギーの情報化～新たな科学・技術イノベーションを目指して～」

目指すのは、新たな科学・技術のイノベーションをつくることである。2004年1月にJST (CRDS) のワークショップで、21世紀の情報通信はいかにあるべきかというテーマで、私がコーディネーターとして議論したことがある。当初の情報・通信は大型コンピューター、IBM、あるいは電子交換機といったスター型のネットワークであった。インターネットが出てきて、分散化、個人化、双方向化ということがネットワークで起こった。一方、電気の世界は、依然として中央に大型発電所があり、端末に向かって一方向で電気が流されており、個人は関与する必要がない。ただ、2004年時点でも太陽光パネルが出始め、電気自動車の開発がなされ、分散化、個人化の芽生えがあった。そこで、電気の双方性送受を実現するため、情報通信ネットワークと電力ネットワークを一体的に統合しようということで、情報エネルギー統合ネットワークということを提唱した。当時は総務省で情報通信分野としていろいろやっていたが、なかなか電気の話が通じないというところもあった。そうこうしていると、2008年ぐらいにオバマ大統領がグリーンニューディール、スマートグリッドをやることになった。基本的には電力会社が需給バランスを一手に引き受けているが、増加する需要に対応するために発電所をたくさんつくるのは投資資金がかかる。しかし、需要を抑制できれば発電所をつくらなくて良いことから、需要抑制に報奨金を出すことで需給バランスがとれるのではないかというのがスマートグリッドの発想である。2010年当時、DOEに行き、スマートグリッドの話聞いてきたが、単純に言うと、従来からアグリゲータを介してデマンドレスポンス、ダイナミックプライシングをやっていたが、それをオンライン化できるようにスマートメーターをつけることである。

スマートグリッドは既存の電力ネットワークシステムを効率化しようということであり、基本的に学術研究ではなく、技術開発と思っている。私がやりたいのは、研究開発、科学である。私がやっているのは、IoTにならって掛け言葉でいくと、IoE、インターネット・オブ・エナジーである。IoEはマネージする対象がエネルギーそのものである。エアコンが使われようが炊飯器で使われようが関係なく、エネルギーをそのままマネージすることである。IoTは炊飯器をどうするか、エアコンをどうするか、ランプをどうするかを考える。そうではなくて、エネルギー自身をそのまま情報通信ネットワークを通じてマネージできるような技術あるいは科学をつくっていかうということである。(図1)

インターネット社会は、基本的には計算理論に基づいており、モジュール性が担保されている。IDが与えられて、順序がある、方向性があるというのが計算理論の世界である。具体的には、プログラムで、Write 1、Write 2という2つの関数が並列に動いて、それぞれがHelloとGood Byeと出力すると、Hello、Good Byeと出てくるのがモジュール性である。すなわち、複数の関数の実行が互いに独立に無関係にできることである。

電気のほうは大域性がある。ID付与ができない。順序がない。方向性がないというのが大域ネットワークの基本である。最大の問題はモジュール性がないことである。モジュール性のない世界で電気工学者がどれだけ苦勞しているかという話である。(図2)

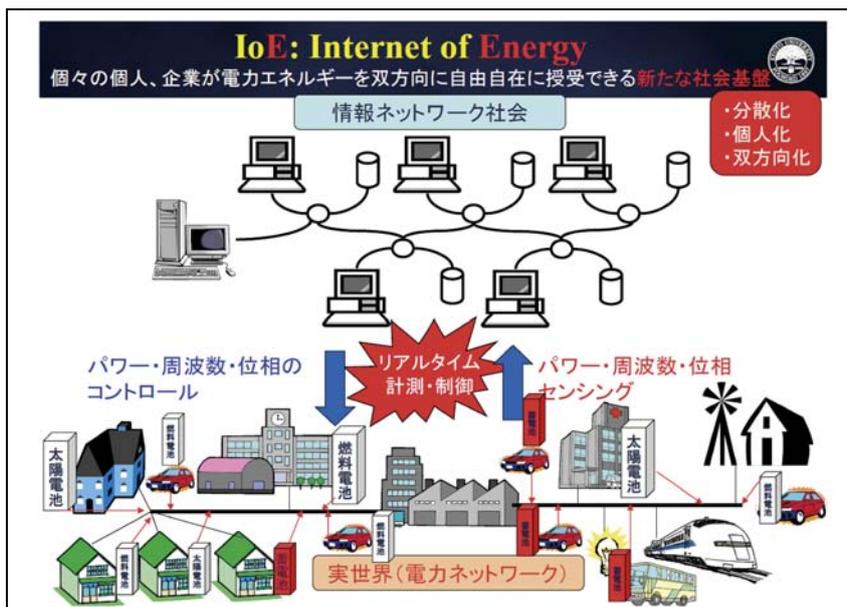


図1 IoE : Internet of Energy

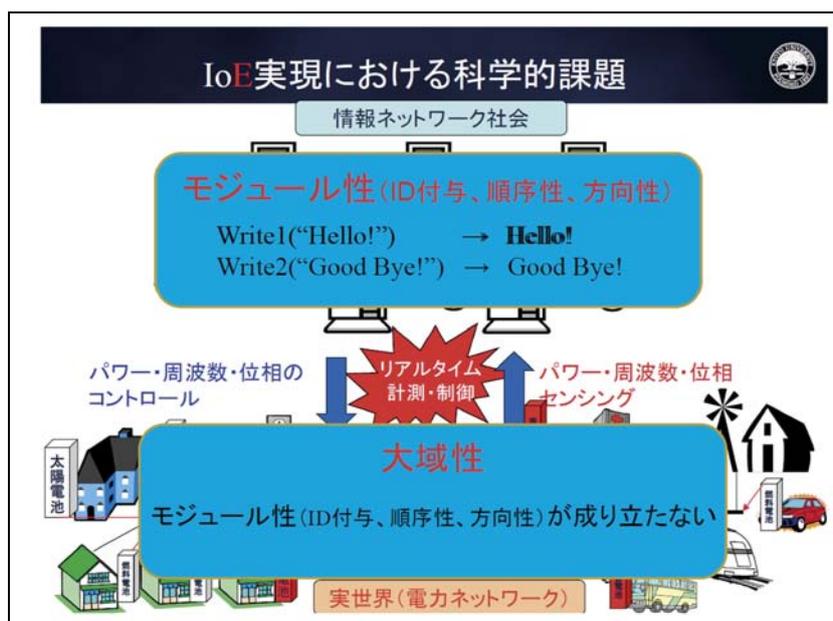


図2 IoE実現における科学的課題

例として、小学生の問題を挙げる。乾電池を並列つなぎすると、電気の豆球の明るさは変わらず、ただ2倍長持ちすると習う。では、1.5ボルトと4.5ボルトの電池を並列つなぎしたら、どうなるか。基本的には1.5ボルトの乾電池のほうに向けて電気が逆流していくが、何ボルトになるか、電球はどのぐらいの明るさになるかは、わからない。なぜかという、電池で充電方向に電流が来ると電気化学反応がどう起こるかは、アルカリ電池、マンガン電池、ニッケル水素で違うためである。また化学プロセスはゆっくりなので、電圧はふらつく。これが電気の「大域性」である。つまり、2つの電池が並列に繋がれると、個々の電池の特性が変化してしまい、モジュール性が成り立たないということである。電力ネットワークは全部つながっており、大域性の恐ろしさというのはこういうところにある。

情報プロパーの方は、こういうことが感覚的にわからない。物であるかのように電気を切って張ってできると思う人が少なからずいる。パケットでやったらすぐできると思ってしまう。そうではないところに大きな技術、イノベーションが要るということをまず理解してほしい。

このため、電力ネットワークにモジュール性を持ち込もうとしている。電気にIDをつけ、基本的にモジュール化しよう。では、モジュール化の単位は何かかというと、我々としては電気のフロー、電源から消費の機器までの流れに対してIDを振り、そのIDは電気の流れなので、カラーと呼ぶことにし、電力カラーリングと言っている。基本的には電力フローのIDは、電源IDと負荷IDとそこを流れる電気の特性である。直流、交流何Hz等々何でもかまわない。あるいは不安定なものでもかまわない。それが使えれば良いとの話になる。イメージとしては、こんな形でいろいろな電気の流れを区別して家庭内でもできるようにしようとしている。(図3)

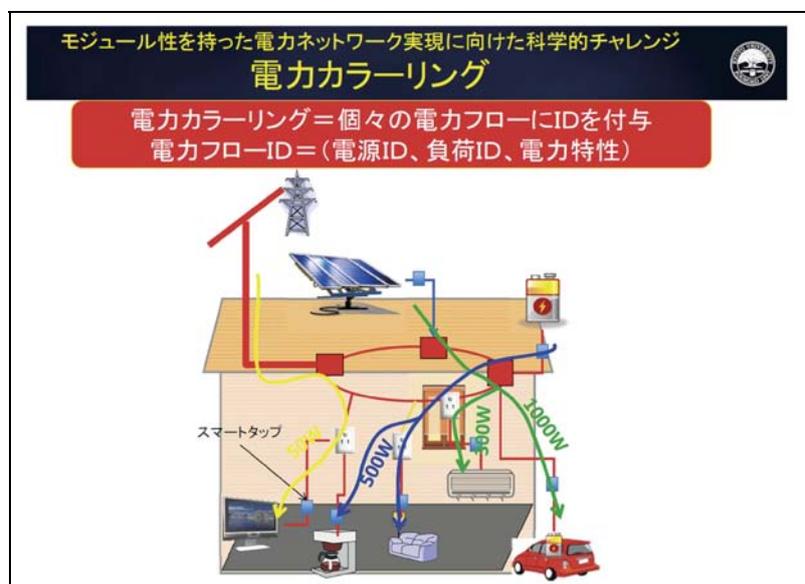


図3 電力カラーリング

スケールとしては、AC100、200ボルトぐらいの低圧系でやる。設置対象は、ナノグリッドが一番良いと思っている。ナノグリッドであればこういうことが簡単にできるという話を10年間ほど前からしており、最近では同志が増えた。京大グループでは、スイッチングネットワークとして、クロスバー交換機方式を使って、電気を分離させることを電子式スイッチでやろうとしている。また、電力をパケット、パルスにして送るStore and Forward方式もある。インターネットでもやっており、一旦貯めてフォワードするような形である。(図4)

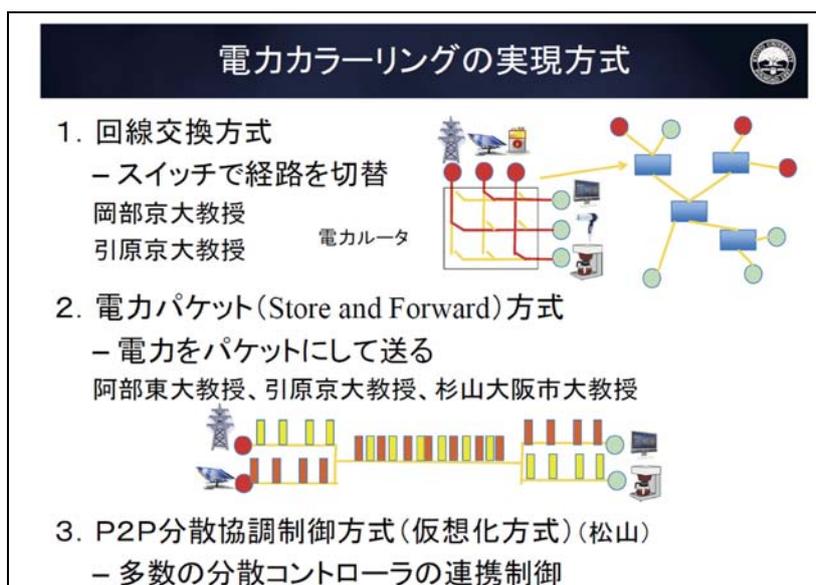


図4 電力カラーリングの実現方法

これは送電・配電のコンセプトを変えようというチャレンジである。科学技術のターゲットとして、2050年に向けてやろうと言いたい。現在の電力ネットワークをそのまま賢くすることは、当然やられており、2020年ゴールでいいと思う。しかし、それとは別にこのような長期ビジョンを立てるべきだと思っている。例えば電話の場合、電話交換機を賢くすることを目指してインターネットをやったわけではない。コンピューター同士で通信し、電子メールをやる時に使うネットワークがあったので、電話にも使っただけである。

私の電力カラーリングの実現方法は、独自性のある方式としてP2Pの分散協調方式をやっている。イメージは電力ルーターではなく、電力ディストリビュータを使い、各電源からの電力を任意にブレンディングすることである。このブレンディングも随時指定できる。この方式の良いところは、給電側と使用側を個別に電力制御することで、仮想的に電力の流れのパターンがつけられることである。実際はヘアドライヤーのスイッチを強から中にして400ワットになったら、それに合わせて給電側も電力調整をリアルタイムにおこなう必要がある。当然いろいろな機器を使用するので、電力変動を送電側でも完全にコントロールする必要がある。リアルタイムのコントロール、時間スケールとしては、我々のディストリビュータのベースはマイクロセカンドで制御している。そうすると、もう一つの良いところは、変動した電力を受けてくれる機器さえあれば、リアルタイムで同期伝送すれば良く、熱源などの蓄熱装置、エコキュートでもいいし、エアコンでも良い。蓄熱系であれば変動電源でも問題がない。プロシューマーの家庭にそれを備えたら、系統側が太陽光の変動に困ることが非常に少なくなる。つまり、電源側と負荷側でリアルタイムの負荷調整をネットワークでやれば、電気に色をつけることができる。

大きな問題は、この電力フローをどうやって誰が定めるのかということであるが、我々はオンデマンド型の電力制御システムでやっている。このシステムは機器のスイッチを入れても電気は流れず、代わりにこれだけの電気がほしいという、電力要求メッセージがサーバーに飛ぶ。電力マネジャーはいろんな電源の状態、節電要請、デマンドレスポンス、今使うと高くなる等を考えて、最適な電源として、系統がこのぐらい、蓄電池がこのぐらいという、ミックス電力を割り当てた上で、

電気を給電することで、初めて電気が流れる。つまり、オンデマンドで消費する側がどんな電気がほしいかを宣言すると、そこできちんと調整ができる。その結果としていろんなフローパターンが決まる。値段も決まる調整メカニズムを使えば、実際のフローパターンの設定もこれでできる。この2つが技術要素である。(図5)

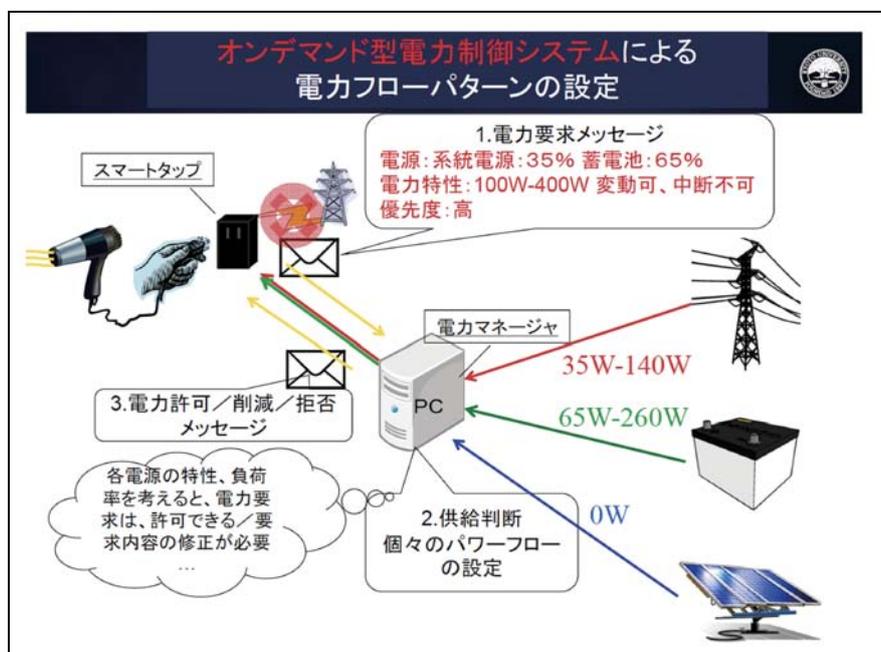


図5 オンデマンド型電力制御システムによる電力フローパターンの設定

科学的チャレンジがあることが基本的に一番大きい。インターネットでも過去、1985年の頃はプロトコルが山のようにあった。結果としてIPネットワークが残ったのであり、まず、基本的なコンセプトの下で、平行でテクニカル開発をすることである。2番目として、JSTのスーパークラスターの支援で名古屋大学と京都大学でパワーデバイス開発として、SiCやGaNをやっているが、それらを使った、回路技術をしっかりやる必要がある。もう一つは、インターネットプロトコルである。今のプロトコルは音声、映像といったストリームデータを高速にやるために最適化されたものになっている。しかし、電力ネットワークの計測・制御を行う情報通信ネットワークでは、データは小さいが高密度に電送する必要があり、そうしたときに効率的な通信プロトコルをどう考えたら良いかも考える必要がある。あと、通信遅延、障害に対する問題では、電気回路が相手だと映像や音声の場合のようにモザイクが出たりフリーズしたりすることが許される世界ではないので、通信の研究者、技術者は本腰を入れてやる必要がある。(図6)

今後(10年)の研究開発課題

1. 異なった電力カラーリング実現方式の並列的研究開発→各方式の深化と利点・短所の明確化
 - ① 電力ネットワークの規模 (National, Micro, Nano Grids)と各方式の整合性 (Scales, Scalability)→複数方式の統合化
 - ② 自然エネルギーの発電変動、消費電力の変動のマネジメント (Fluctuating Power Management)→自然エネルギーの大規模活用
 - ③ 電力フローパターンの設定、編集方式
2. 電力カラーリングシステムのハードウェア基盤の研究開発
 - ① SiCやGaNによる高効率素材、デバイスの開発→既に実施
 - ② 電力ルータ、電力ディストリビュータの効率化、耐故障性の実現 (Efficiency, Dependability, Resiliency)→新たな電気回路設計
3. 電力カラーリングシステムの情報通信基盤の研究開発
 - ① リアルタイム(小データ、高密度)通信基盤、方式の開発→テキスト、音声、画像、映像向けの通信プロトコルとは異なった新たな方式¹²
 - ② 通信遅延、障害に対する信頼性の確保→Fail Safeプロトコル

図6 今後(10年)の研究開発課題

[質疑応答]

- 全ての電力使用側の情報と双方向にやる場合、マイクロセカンドレベルでの通信量がどれくらいになるかを通信側は知っているか。
- 松山 知らないと思う。もちろん経路が問題である。家庭内あるいは隣近所のようにナノグリッドレベルのところでもまずちゃんとつくるべきである。それはインターネットで言うとローカルエリアネットワークのLANレベルであり、LANを先につくる話となる。今のマイクログリッドとかスマートグリッドの話と矛盾しているわけではない。

○江崎浩 (東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授)

「“Internet by Design” に基づくオープンスmartキャンパスビルディングシステムのデザインとオペレーション」

2009年ぐらいから我々がプロフェッショナルオペレーション(注：実証実験ではなく実運用)としてやっているのは、東大全体で全体として60メガワットぐらいで電気代が年間60億円、私が仕事をしている教育研究棟(工学部2号館)で大体1メガワットで大体1億円ぐらい、東大工学部が7メガワットぐらいで大体7億円ぐらいのスケールに対して、インターネットベースで運用することをやっている。場をどう提供するかという点では、産学連携コンソーシアム形式でやっている。基本的にはエネルギーセービングだけではなく、いわゆるエコシステムとしてのスマート化をどうするかを考えており、今のところフィンテックとどう組むかが一番のポイントになってくるような感じでリサーチを進めている。

実際のデプロイメントとしては、東大のキャンパス、(商用)ビル、さらに国内のアカデミックならば東工大にも協力している。また、産業界では例えばマイクロソフトの本社ビルのマネジメントや海外でもいろいろやっている。サイバーセキュリティに関しては、サイバーセキュリティのレファレンスガイドを設備に対して適用することをデータセンター協会 (JDCC) と連携してデータセンターを事例にして進めていくことにも着手し、ほぼ終了している。

もう一つ重要なことは(世界)標準化であり、標準化に対してのIEEE、ISO、それから中国のGB (中国国家標準規格)に入ろうとしている。さらにビジネスを支える意味において、ソフトウェア・デベロップメント・キット(=開発環境)とテストングツールを同時に提供しながら、産業界の方々が展開できるような環境を提供していくことを考えている。

実際の省エネ効果は、3.11直後のフルオペレーションで、44%ぐらいのピークカットと30%のトータルカットを(工学部2号館で)実現している。減価償却が大体2年ぐらいでできたことが実績になり、現在でもこのぐらいの数字で推移している。東大全体は66メガワットぐらいであるが、これが当時は30%ぐらい、トータルで22%ぐらいの削減が、原価償却1カ月以下でできたことも実績になる。ただ、数字よりも重要なことは、マルチベンダーでちゃんと動くということを証明できたこと、グローバルスタンダードで調達ができること、東大とコンソーシアムの資金でこれを動かしたことである。

この結果、東大として、調達とオペレーションに対してのガイドラインをつくり、これからの調達はオープンテクノロジーでないとだめということで、今は、RU11に東大総長名でディストリビューションされている。このドキュメントの背後にあるアイデア・ビジョンは、キャンパスを内部テストベットにして、いわゆるプラットフォームにしようということである。それにより東大自体の施設をリサーチの目的で使えるようにする(for 教員)。学生に関しては、教育の場としてこれを使える。実際の施設化、管財に関して、オープンシステムでちゃんと動くという証拠を出したおかげで、東大の調達は、オープンシステムを調達仕様に書き込めることができた。インターネットのときのように、ある意味普通のビジネス界とは違うオペレーションができるところが、大学の大きな財産であることを総長も理解してくれた。こういうポリシーで大学の施設を管理しようというところに来たので、今後こういうテストベットをどうつくるかということが場の提供としてどう考えるかということになると思う。

もう一つ、東工大では、フェーズ1として、伊原先生がやっている全面太陽光パネルで動いているR&Dのビルがある。中にはクリーンルーム、レクチャールームがあり、マルチエナジーソースで動いているmore than ZEBで、エネルギーを外に出すぐらいのシステムが動いている。実は相談を受けたときは、すべての装置・機器が独自技術となっていて、全く統一コントロールができなかったので、我々の技術を使って統一的にコントロールできるようにした。これにより、初めて本当の内部システムのテストベットとしてコントロールできるものになった。これがうまくいったので、今、東工大では大岡山にこれを展開するフェーズ2に入ってきている。これはPV、それから燃料等をマルチのインプットとして、アウトプットのほうも全部オープンテクノロジーでコントロールしていくシステムをつくっている。

国際的にもグローバルに動かす必要があり、我々は中国に対しては標準化などを含め、タイ、インド、シンガポール、日本、中国でテストベットの共用をしながら知識の共有をしてオープンシステムをつくる話を進めている。

インターネットにかかわった張本人として、サイエンスとしてのインターネットを考えると、結局のところ、インターネットはいわゆるソーシャルシステムとしてのアーキテクチャを技術と運用の両方に対してうまく適用しながら産業界と協力して、うまくシステムをつくったことにあると考えています。

もう一つのインターネットの重要な問題で、インターネットが電話システムと本質的に違うことは、デジタルの小包を目的地まで配送することと、デジタル化に伴ってどんなコンテンツでも運べることである。これが実はエネルギーからすると、エネルギーの抽象化になる。エネルギーを抽象化し、どんな伝送媒体でも使えるように独立的にする。EVを使ってエネルギーを伝送することはそれとほぼ同じである。つまり電流で入ってきたものを化学エネルギーに変えて車で動かすと考えれば、エネルギーを抽象化し、媒体を変えられるようにすればよいということになる。これはインターネットからするとパケットと同じものになる。つまりデジタルという情報はいろんなメディアを使えること、抽象化することであり、その一つのインプリメンテーションがパルス伝送の話とほぼ同じになるという、抽象化を考えるサイエンスである。(図1)

もう一つは、デジタルの小包を渡したら小包のことは忘れることが、インターネットがグローバルスケールで動いている大きなポイントになる。電力会社が一番苦労していることは、自分が管理している域内でのギャランティードサービスが必要であり、域内での同期が必要であることである。インターネットの場合にはバッファを持っているので、域内での同期の必要がないということが、インターネットがこれだけスケールアップした本質的な問題だとすると、エネルギーに対してバッファをどう持っていくかが一つの本筋になる。

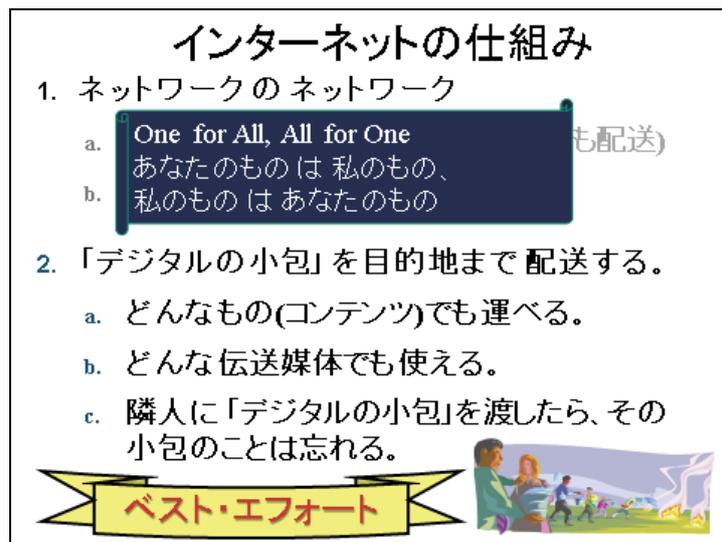


図1 インターネットの仕組み

実は物流のシステムは全く一緒で、物流が進歩した理由は、パレットとコンテナが生まれたおかげで、中に入るものと伝送するものが独立になり、このため横串の物流システムができた。インターネットは同じことをやっている。そうすると、同じことを電力システムに対しても適用すればいいのではという話になる。このインターネットの話アーキテクチャとして、サイエンスとして考えていくと、大体8つぐらいの特徴がインターネットとしてのテクニカルな、オペレーショナルな特徴になる。(図2)

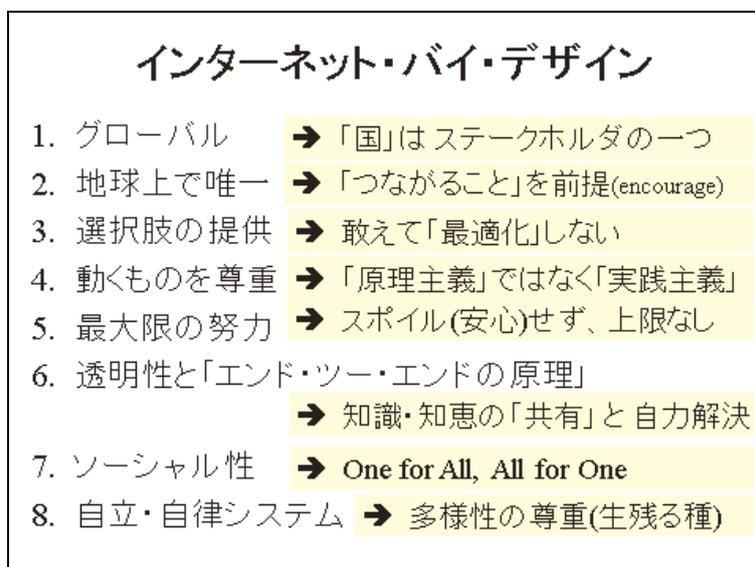


図2 インターネット・バイ・デザイン

まず、あえて最適化をせずに選択肢を提供するようなアーキテクチャにしている。これは、インターネットが柔軟にうまくいった理由である。つまりアーキテクチャの中に選択肢をできるだけ提供できるような形にするため、最適化をあえてしないようにしている。それから、動くものを尊重するため、最適化したものを最初からつくるのではなく、動きながらアーキテクチャを変えられる

ようにシステム設計を初めからしている。必ずシステムを最適化しろとの話がでるが、それをやるとうまくいかないの、(敢えて最適化を)やらないことをしている。いわゆるカオス理論と等価であるが、結局オープンシステムなので、全体最適化をやると生き残れないシステムになってしまう。そのため、外乱に対してそれを受け入れるような形にシステム的设计をしておくことが重要なポイントである。というわけで、大局から見ながら対応は小さなところでやっていく。そのときに乖離をしたものができるだけ入れかえられるように、つまり選択肢をとれるような形でモジュール化してインターフェースを決める。モジュール化することによって、オルタナティブの可能性を提供することになる。

それから、もう一つの大きなポイントはエンド・ツー・エンドの原理をどう持っていくか。これは、エンドユーザが自由にできることである。エンドユーザは、あるときは新しい事業者になる。それを区別しないようにすることが、インターネットの運用で気にしていることである。それに従って標準化 (IEEE1888) は、基本的には三層構造にしてあり、ビッグデータなりの構造ができるようにしている。これで一番感謝されたことは、新しい技術を下につけることができることである。さらにコンピューターサイエンティストを電力業界にインバイト(招待)できることである。それは、一番上のハードウェアに対しての特性を全く見せないような抽象化をすると、全くハードウェアの知識がないエンジニアがインバイト&ジョインできる。これがOSにおける抽象化となる。(図4)

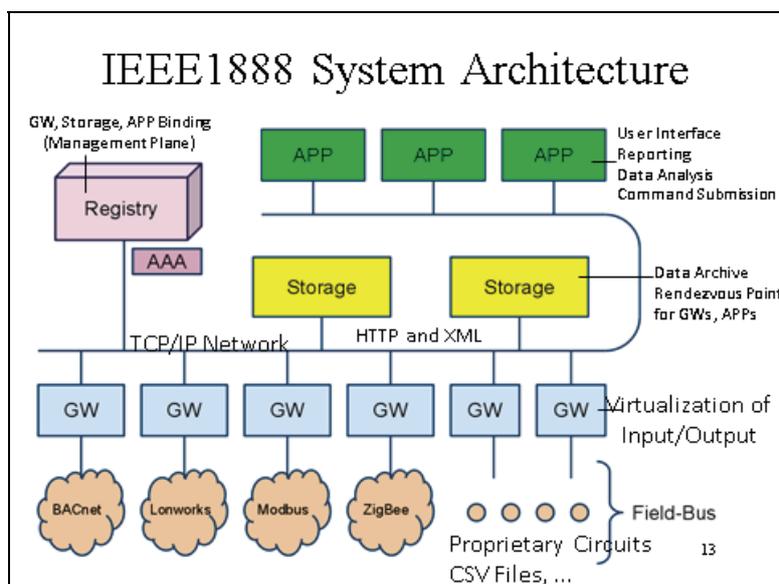


図4 IEEE1888システムアーキテクチャ

今日、OSの話が出てきたが、OSの重要な、本質的な第一のポイントは、リソースをどうやって抽象化するかである。いろんなリソースに対して抽象化されたインターフェースを提供することができれば、リソースが変わっても同じインターフェースでアクセスできる。実はインターネットのデザイン、それから、UNIXのデザインで気にしてきたインディペンデンシーをハードウェアに対して持たせないようにどうしていくかということになる。これをうまくデザインできれば、今日は電力であるが、ガスも同じインターフェースとアプリケーションから触れるようにすることが、目指しているアーキテクチャとなる。これは決して新しいアーキテクチャではなくて、単純にレイヤー

ストラクチャーにして、もともとはばらばらのデータをデータセントリックなシステムをつかっていく。そうすると、そのデータへのアクセスのインターフェースをうまく抽象化してあげる、それから、データベースと物理の動いているものの抽象化をどうするかというところをちゃんとやればよいことになる。

これができると、いわゆるビッグデータの考え方というのは、データに基づいた客観的な意思決定と制御を管理するということになるが、ビッグデータとかIoTでは、普通にやる問題は効率化と品質向上になる。スマートグリッドはこれである。これよりももうけられないのが事業継続である。これはセキュリティであり、金を投入しても金もうけにならないのでやりたくない。企業は、真ん中のものなら投入が当然ながら真水として上がってくるので、投資したいことになる。(図5)

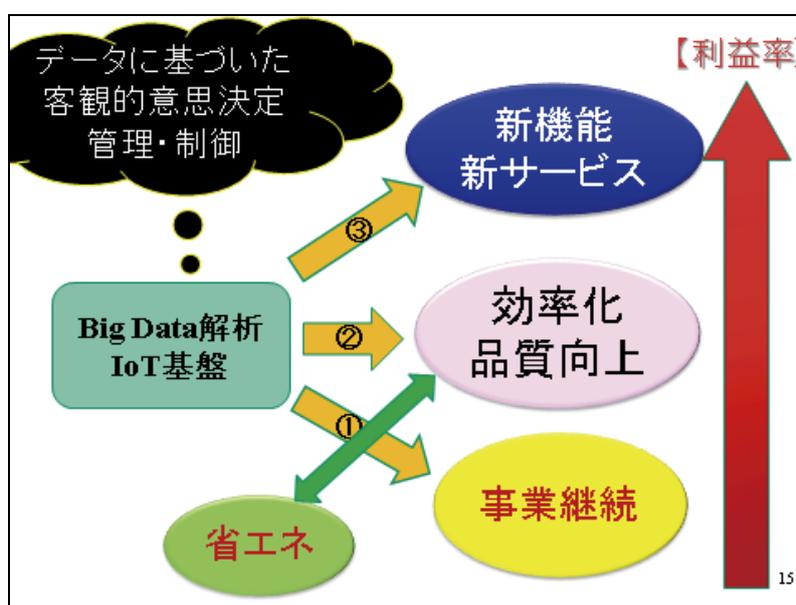


図5 データに基づいた客観的意決定管理・制御によるメリット

省エネは事業継続よりもリターン・フォー・インベストメントが悪いので、やりたくない。ところが、同じデータを使って一番うれしいのは新しいサービスで出てくることである。というわけで、一つのインフラストラクチャーで利益率の高いものから利益率の低いものまで一つのインフラで提供できるようにすることが、実はビッグデータである。そうすると、違うステークホルダーをどうやってインバイトするかが重要になる。したがって、データに対しての共通のインターフェースを提供する、それから、これまでばらばらだった人が同じデータベースにデータをちゃんと投入できるようにする。あとはアプリケーションから同じインターフェースでフィジカルデバイスに触れるようにしてあげることができれば、いろんなアプリケーションがそこから出ていくことになる。これがインターネットのやってきた構造である。したがって、インターネットの抽象化された特徴としての透明性とエンド・ツー・エンドの原理は、一つの共有されたエコシステムをいろんな使い方にできるようにすることである。そのために透明性を上げること、これがオープン化である。標準化である。それにより、リソースを複数の目的に使えるようにつくることであり、これを私はインターネット・バイ・デザインと言っている。

今日、多様性の生き残る種をどうつくるかの問題を議論したわけであるが、どういうふうにシス

テムが変遷をしていくか、どういうふうにシステムは進化していくか。(図6)

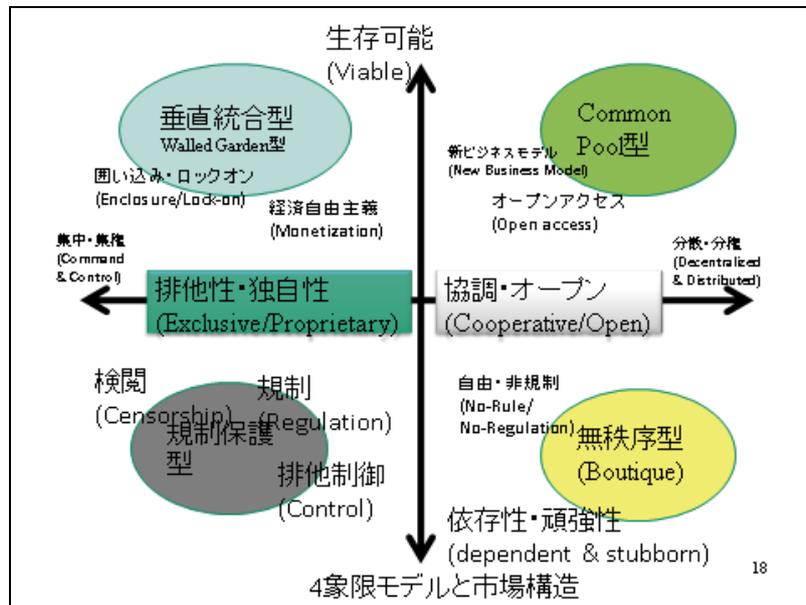


図6 4象限モデルと市場構造

第三象限はやってはいけない。国が守って産業をつくる。これは失敗する。この対極にあるのがコモンプールで、みんなばらばらにやってもいいが、これはお金を生まない。理想であるが、ビジネスを立ち上げてテクノロジーが社会に入るためには、第二象限か第四象限を持つてくる必要がある。ところが、第二象限だけでスケール(ビジネス・システムの大規模化)するのは無理であり、垂直統合型でいくものにどうやって横串を刺し、別のフェーズに持っていかを技術的に考える必要がある。この窓をあけられるのは、多分アカデミズムである。なぜなら、ビジネスは必ず垂直統合型かフリーライド(第4象限)に行く。いわゆる土管にしてくれて、あとはそれを使うのは第四象限である。第二象限は俺が全部やるから文句言うなと。しかし、それもいずれは多分うまくいかない。そうすると、このガバナンスが重要で、それを変えられるのが多分ルールである。そうすると、ルールをどういうふうにいじるか、どういう自由度を持たせるかがとても重要と思う。

それから、最後はつながることを前提にしているので、セキュリティが必要である。これは、いわゆる電力システム、特にマイクログリッドあるいはスマートグリッドにとって重要なポイントになる。それからデータセンターを上手に使うことである。データセンターはディープレアニングのプラットフォームになっている。センサネットワークのいい例である。

[質疑応答]

- データ駆動は、どうやってインプリメントするのか。
- 江崎 データ駆動は、データを集められるかが勝負になる。そうすると、アーキテクチャと運用としてのポイントはそれがいろんな出口を持たせられるようにできるかということである。ただ集めればいいものではなく、出口を幾つか見せると、あとは勝手に寄ってくる。

- データが流れる過程の中で、処理のアプリケーションのシステムの構造はどんなふうになっているか。
- 江崎 勝手にやるというスタンス。例えば、日立がやると、きっちりしたインターフェースになり、任天堂だと、Wiiのようなインターフェースになる。同じデータベースで違うものができることがわかると、瞬間に変わる。
- データ駆動というコンセプトで設計されたシステムの定義はないのか。
- 江崎 多分ない。

- インターネット・バイ・デザインとしてが、東大で省エネとしてどういうことをやったのか。
- 江崎 やったことは簡単で、TSCP室がアセット管理を全部やった。このため、温度を下げると、どのぐらいになるかは全部わかった。20%はその対応。残りの10%を見える化で実現した。
- 見える化によって競争を促して、考えさせたということか。
- 江崎 まず、トランスペアレントにデータを集めて見える化した。オープン化により自由度をユーザ側に提供できたので、ユーザ側と会話をしながらアプリケーションをつくた。

○湊真一（北海道大学 大学院情報科学研究科 教授）

「電力網に関連する研究の近況と今後の展望」

5年間ERATOプロジェクトとして、離散構造処理系プロジェクトをやってきた。離散構造とは、計算機科学、情報科学、離散数学の基礎となるような概念、数学的な概念構造である（図1）。数学の研究をするのではなく、これを使って動く処理系をつくり、それを社会に影響の大きいさまざまな応用に役立てていこうというのが基本的なスタンスである。その中に電力網の話も入っている。ERATOは昨年度に成功裏に終了し、今年度から後継のプロジェクトとして、科研の基盤（S）が採択され、あと4年間やる予定である。

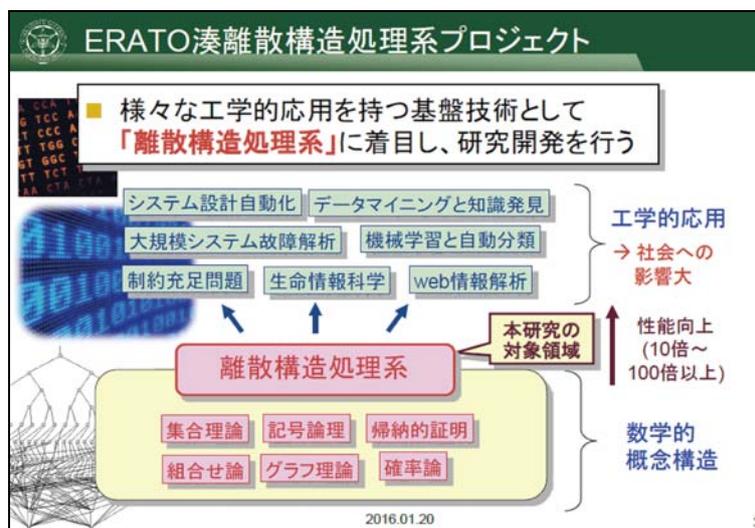


図1 ERATO湊離散構造処理プロジェクト

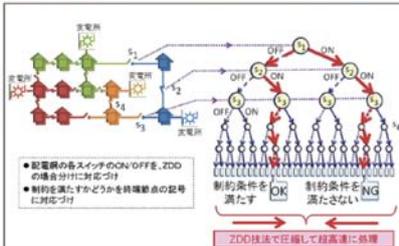
研究課題は、新しいデータ構造に基づく超高速アルゴリズム技術とそれを応用していくことである。アルゴリズムの研究者を分野横断的に結集し、サテライトラボをつくりやってきた。

電力網の件は、早稲田大・林先生のほうから電力網の解析や最適化にアルゴリズムの技術を使いたいということで学問的な興味で始めた。それが2000年以降、分散電源が入るようになり、電力網、特に配電網が非常に複雑になり、2009年くらいのERATOが始まるころに、また林先生と一緒にやりだした。震災で原発が止まり、今後再生エネルギーの分散電源が大量に入ってきて、難しいことが起こるだろうということで、情報科学分野の研究者として役に立ちたいということで始めた。一番重要な成果は、実用規模の網構成の網羅的な列挙に世界で初めて成功した。これについては、損失の最小化あるいは障害復旧可能性判定として、IEEEのトランザクション、スマートグリッドに2編論文を発表している。どういう問題を解いたかということ、配電網も3分割3連系とかいろいろ構成があり、そこを何とかしたい。変電所が幾つかあり、町内にそれぞれスイッチがあり、オンオフできる。制約として、全ての地域はどこかの変電所につながっていないといけないが、変電所同士は直結してはいけない、また直接電気が流れてはいけない。この問題は情報科学の分野で言うと、グラフのカラーリングの問題となる。ただ、電線には容量があり、その制約がある。また、電線に抵抗があるので、遠くに伝えていくと電圧が下がる制約もある。他にも三相交流のバランスなどの複雑な制約もあり、そういう電氣的な制約とグラフ的な制約を両方満たすという問題になる。その

中で、さらに電線を通る電流の損失、熱として失われる量が最小になるようにしたいという問題である (図2)。

電力網の設計・最適化への応用

- **林 泰弘 教授 (早稲田大) との共同研究**
 - 電力系スマートグリッド業界のリーダ的存在 (国の委員など多数)
 - 電力網最適化の研究で1990年代より湊と協力関係
 - 大震災後、最重要の課題に (長期的に不足する電力を、再生可能エネルギーで補うために必須の電力網解析・制御技術)
- **IF: 4.25**
■ 実用規模の網構成の網羅的列举に世界で初めて成功
 - 損失最小化 & 障害復旧可能性判定 [IEEE Trans. SmartGrid] 2編
- **林教授がEMS-CRESTの「最強チーム」メンバーに選出**
 - CREST+ERATO関係者が東京電力の研究開発部門を訪問し、協力関係を構築
 - ERATO研究成果をCRESTチームを通じて実社会 (電力会社) へ



● 配電網の各スイッチのON/OFFを、ZDDの場合分けに対応づけ
 ● 制約を満たすかどうかを判断節点の記号に対応づけ
 制約条件を満たす OK 制約条件を満たさない NG
 ZDD技法で圧縮して超高速に検索

図2 電力網の設計・最適化への応用

例題として、14カ所スイッチがあるとすると、スイッチのオン、オフの組み合わせが2の14乗で1万6,000通りぐらいある。その中で正解が210通りある問題になる。実際には、その標準的な配電網の例というのは468個のスイッチがあり、そうすると、10進数で大体140桁ぐらいの組み合わせから正解を探し出す問題になり、非常に難しい。また、そもそもベンチマークデータがあまりない。バイオインフォマティクスの分野だと、遺伝子データは山ほどあり、それがデータベースとして公開されている。他にも画像処理の分野では、画像のデータがたくさんあるし、自然言語処理の分野でも非常に多くのデータがある。そういうデータは分野の発展にとって非常に重要である。けれども、電力に関しては今までそういうデータあるいはベンチマークとしての問題データがそもそも公開されていなかった。ほとんどは電力会社と電気系の大学の先生が個別にNDAを結んで、共同研究で発表しているが、学会で発表しても、そのデータは非公開がほとんどであった。最近の林先生の大きな功績として、現実的な配電網ベンチマークが必要だと提唱されて作られたものがある。そうして出てきたものを使っている。

現実的な配電網では、組み合わせが多過ぎて人手計算はとても無理であり、今までは近似解を使って解いていた。今回の我々の成果は、ZDDと呼ばれるアルゴリズム技術を使って膨大な組み合わせを圧縮したまま全部まとめて計算し、網羅的に全て調べつくして索引化した。これは今までにはできなかったことである。このZDDは私が1993年に考案して命名したもので、膨大な場合分けが必要になるものがある規則を利用して圧縮する技術である。最大の特徴は、圧縮したまま解凍しないで、超高速に演算できる。その演算に要する時間は、圧縮したデータ量にほぼ比例する計算時間でできるところが特徴である。これはアルゴリズムのバイブルと呼ばれているクヌースの教科書で、このZDDは独立項目で解説されている。この教科書に日本人の成果としては唯一載っている (図3)。

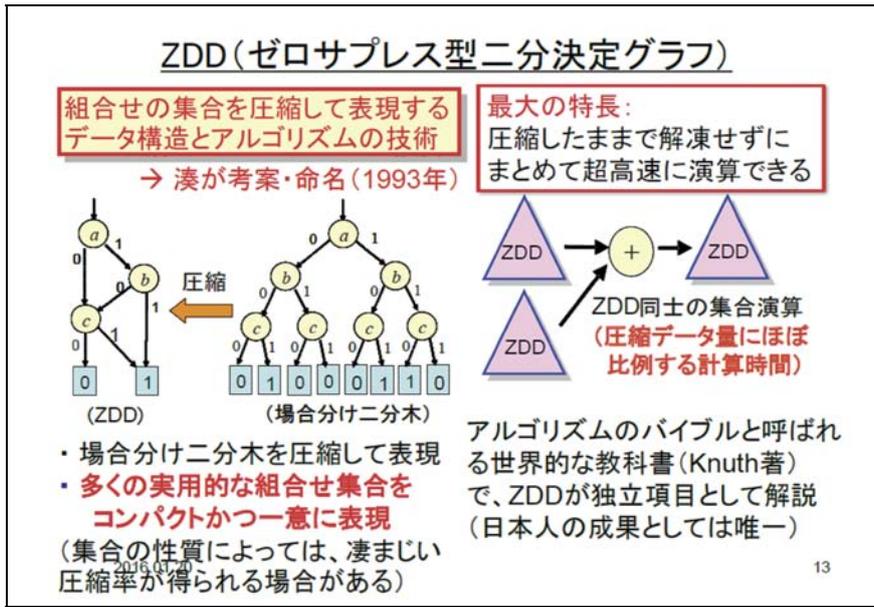


図3 ZDD(ゼロサプレス型二分決定グラフ)

先ほどの配電網の例もこれで解くことができ、スイッチのオン、オフを場合分けし、制約条件を満たすものはOKで、だめなものはNGとすることをZDDの技法で圧縮して一気に超高速に処理することをやっている。

図4は2012年2月に文科省でプレスリリースをした結果であるが、先ほどの140桁の組み合わせの中から正しい答えとして、63桁分の答えがあった。それを圧縮して索引化したものが大体CD-ROM1枚分ぐらいに入っていて、必要なものを素早く取り出すことができる。これは数分から10分程度で実行できる。このデータ圧縮率は、大体10の78乗分の1のデータ圧縮率であり、高速に計算できた。実は電力網以外にも電気、ガス、水道あるいは選挙の区割り問題とか津波の避難所の配置問題とかいろいろ応用があり、そちらもやっている(図4)。

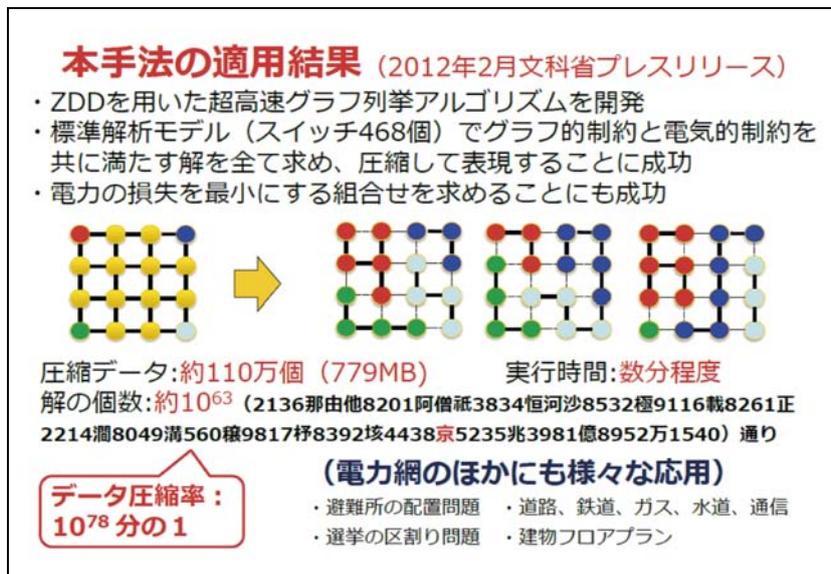


図4 ZDDを用いた超高速グラフ列挙アルゴリズムの電力網解析への適用

我々の技法は、網羅的な列挙、索引化ができるところが一番重要なので、それを生かして次の現実的な課題について取り組んでいる。1つ目は、配電網の故障パターンが幾つか考えられるが、この故障パターンが発生すると、絶対復旧できないことを判定できる。故障をどういうふうに復旧するかの可能性を全て持っているが、それが尽くされてしまうと、もう復旧できないことがわかる。なので、これを網羅的に調べることにより、この部分は増強しておかなければいけないなど、そういうことが事前にわかる。

それから、年間の需要変動に対して、配電網の構成の切りかえの最適化により、損失を最小化する研究も発表している。また分散電源はなるべく導入したいが、導入し過ぎると不安定になり、制御できなくなるので、それを最大にするための配電システムの構成法を求めており、今度の電気学会で発表する予定である。さらに、より厳密な潮流計算をして正確な配電損失を厳密に最小化するという研究も出している。



電力網解析・最適化問題の中長期的展望

- 将来のNWの構造・構成要素・装置の低価格化の進展によって問題の性質が根本的に変わる
- IP網の設計・普及で重要なインパクトがあったのは、光ファイバ・光アンプの圧倒的な低価格化・高性能化
 - ルータの技術もあるが、一見単純な物理層も重要
- 電力網の最適化問題で重要なのは、電気を安価に蓄えられるかどうか
 - 各ノードで1日分の変動を蓄電池で安価に蓄えられるなら配電網最適化の問題は大きく変わる
 - 季節的変動を水素やアルコールを生成して備蓄できるなら問題は根本的に変わる

2018.01.26 24

図5 電力網解析・最適化問題の中長期的展望

電力網の解析や最適化問題の中長期的展望であるが、今やっているのは現在の構成についてである。しかも、現実の網は電力会社の中にあり、セキュリティの関係もあり出してもらえないので、おそらくこれが近いだろうというモデルでやっている。また、需要についても、ある程度現実に基づいているが、本当にそうかどうかはわからない。それが変わってくれば、特に今後低価格化とか構造が変わってくる、問題の性質が根本的に変わる可能性がある(図5)。

インターネット網の設計普及で重要なインパクトは、もちろんルーターの技術とかがあるが、それ以外にも光ファイバ、光アンプなど物理層の圧倒的な低価格化とか高性能化は非常にインパクトがあった。ちなみにこれはNTTで出した国産技術が世界中で使われている一つである。

電力網の最適化問題でも、ここ5年ぐらい最適化問題や解析を網羅的に見ているが、電気を安価に蓄えられるかどうかで、最適化問題の設定ががらっと変わってしまう。特に例えば1日の変動が大きいので、それにあわせて網を設計しなければいけないとしても、1日分の変動を各ノードで安価に蓄えられるとすると最適化の問題は大きく変わってしまう。

それから、季節的な変動を、例えば水素とかアルコールをつくって備蓄できるとすれば、例えば北海道での大量の風力発電が送電網が不足しているので、つなげないというのがあるが、現場で例えば水素とかアルコールをつくってタンクローリーで運ぶなどができれば大きく変わってくる。

もう一つ今後の展望は、どうやって実用化していくかということである。今目指しているのは、成果技術をソフトウェアツールとして技術者に提供して、電力会社の技術者にそれを役立ててもらおうという方向が一番近いと思っている。あとはCREST-EMSの最強チームの方々との共同研究を通じて、実際に電力会社に展開していくことをやろうとしている。ERATO後の基盤 (S) は、予算規模は10分の1ぐらいなので、今までと同じことはできないが、このコア技術を地道にやることで、実際に理論の研究者と応用の研究者をつないでいくことをやっていきたい (図6)。



今後の展望：研究成果の実用化の方策

- IT系の研究者が電力会社の内部に入っていくのは、互いの意思疎通とセキュリティの面で困難
 - 成果技術をソフトウェアツールとして技術者に提供
 - 「Graphillion」: 超高速グラフ列挙索引化ツール
 - 「DNET」: 配電網操作に特化したソフトウェアライブラリ
 - 林教授らが参加するEMS-CREST「最強チーム」との共同研究を通じて、現実の電力網運用者に技術提供
 - CREST+ERATO関係者が東京電力・研究開発センタを訪問し、情報交換を実施
 - 当該分野の第一線で活躍中の研究者と組んで、着実な成果展開を目指す。

2016.01.20
23

図6 今後の展望：研究成果の実用化の方策

ただ、分野横断的にやっていると、論文の数は出ない。しかし、そういうことをしないと実用化は進まない。このため、今回はすでにポジションを獲得している准教授レベルの人が中心になってやり、これからのポスドクの人には別のことをやってもらっているが、できれば分野横断的に重要なことをやった人が報われるような仕組みや場があったら良いと思う。

[質疑応答]

- 連続と離散が電気系と情報系のギャップポイントの一つだと思うが、今日のさまざまな話を聞いて、こういうところも使えそうではないか。
- 湊 今すぐにこれというのは思いつかないが、ただ連続でも有限時間で解けるものは離散構造があると考えている。離散構造処理系でプロジェクトメンバーがいるが、連続系の人とも一緒にやっているとところもあり、それなりに成果は出てきている。
- 離散や連続として捉えるとの認識ではなく、モジュール性と大域性という捉え方と考える。デジタルであっても大域性はある。科学技術の本質は、システムの構成論としての大域性からの脱皮である。大域性の呪縛の中から何とかして逃れたいと思って苦しむ回った電気工学の歴史がある。そこへのチャレンジとしてモジュール性を持ち込むための技術ができるのではと思う。ただし物

理層のところでは連続系で大域性を持っているため、とことんできないことはわかっている。だが、電気の話、エネルギーの話をやっている限りは物理層から浮いた話をしても意味がなく、そこにやはり科学のチャレンジがある。

○浅野浩志（電力中央研究所 社会経済研究所 副研究参事）

「次世代電力需給マネジメント：エネルギーシステム×IoT」

今はエネルギーのバリューチェーンの要素技術ごとに各省庁で研究開発がされているが、需給マネジメントを調整するところが抜けている。それで私は、戦略協議会の中で需給マネジメントを、IoTをベースに国のプロジェクトとして大きく取り上げることがを話した段階である。

図1はエネルギーインフラを研究課題としてまとめたものである。物理層に総合科学技術会議中のグリーンイノベーションの要素技術が入っている。

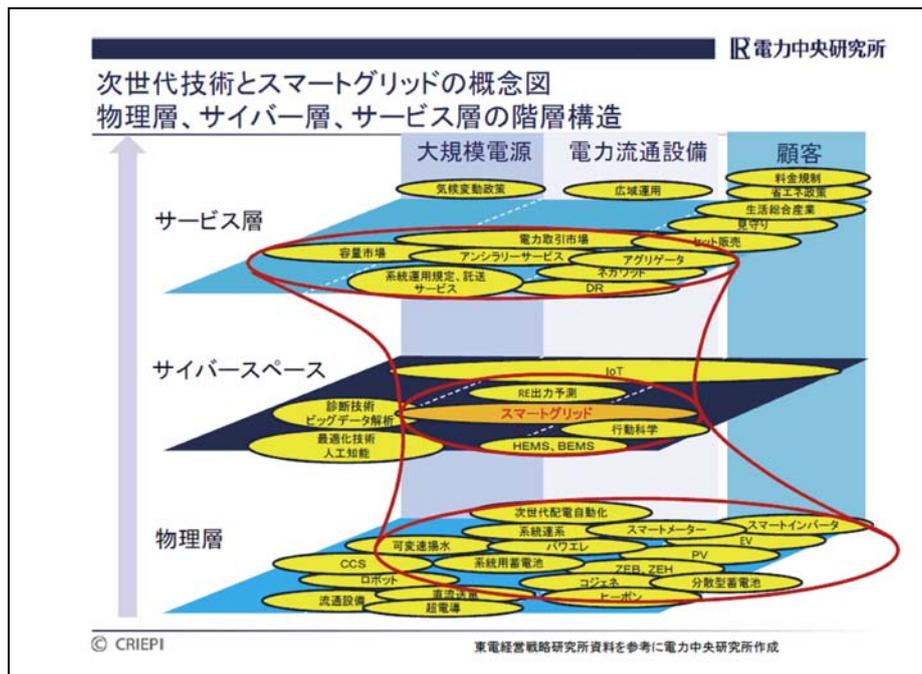


図1 次世代技術とスマートグリッドの概念図（階層構造）

だが、サイバースペースでは、IoTを使って設備の監視をして、メンテナンス費用を下げるどころ、サービス層では、新しいサービスをつくって付加価値を生み出すなどのところが抜けている。今日の議論は、サイバースペースのところ、IoTなどいろんな手法でつながるように有機的に研究プロジェクトを出してもらいたいということではないかと認識している。

図2は、アメリカのPG&Eという配電会社のものであり、配電システムはグリッド・オブ・シングスだと言っている。いろんなデバイス、電気自動車、スマートメーター、東京電力だったら2,700万個のスマートメーターで何十億というデバイスが繋がっている。この分散型の資源をどう使うか、どう付加価値を生むかというようなプラットフォームに衣がえすることをアメリカのカリフォルニアのような先端的な州では考えている。電力会社もその方向の取り組みを始めている。例えば電気自動車はグリッドのアセットで、分散型資源として系統につながっている、再エネの比率を2020年に33%で、2030年に半分にするという目標があり、そのときには火力発電所や水力だけでは賅えないので、分散型資源を、リソース・アグリゲータを通じてバーチャルパワープラント化、つまり家につながっている需給調整のバッファを系統運用に使う考え方に切りかえつつある。問題はこの事業モデルがないので、この事業モデルをどうつくるで、電力の経営者が悩んでいるところである。

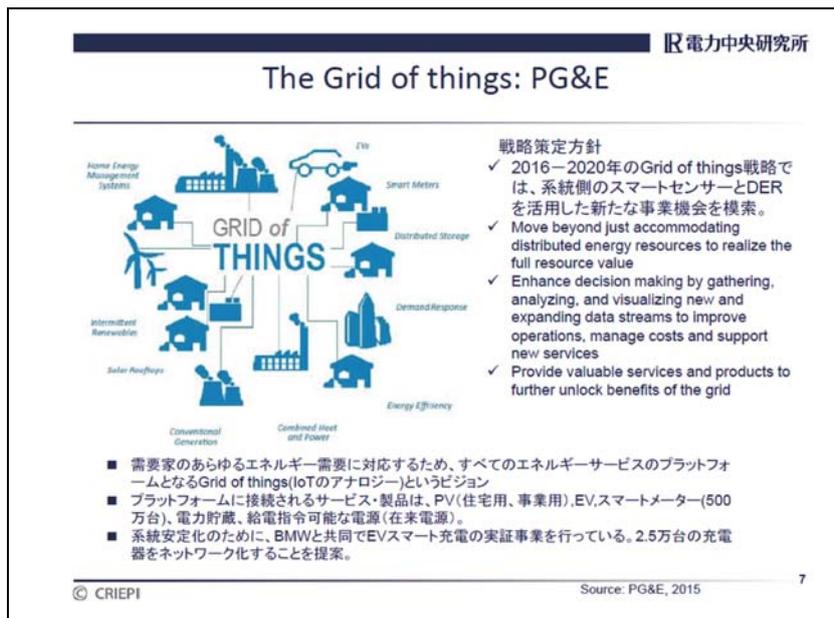


図2 グリッド・オブ・シングス

それで、日本も同じようなアプローチがあり、NEDOでは風力とか太陽光をたくさん入れるためにグリッドのオペレーション、あるいは分散型資源をどう使うかという実験を来年度ぐらいから始める段階である。要は今までは電力会社にとって、需要家はお客様であり、好きなときに使うという発想であったが、需要家が積極的にこのシステムのオペレーションに参加するような形に持っていこうというふうに日本も変わりつつある。

電中研はその準備として、10年ぐらい前から例えば太陽光をたくさん入れる場合には、余剰電力をどう吸収するかを需要家が持っている省エネ機器、エコキュートや電気自動車で、利便性を損なわないでどう使うかというアルゴリズムの開発、あるいはFAST-DR、需要家の資源をどうやって系統運用に参加できるかということも研究している。早稲田大のシステムを介して、東京電力、中部電力、関西電力の系統運用の信号をアグリゲータに入れて、業務用、産業用、需要家の自家発とかバッテリー、あるいはBEMSに信号を入れて、10分前のDRの通告で予備力がどのぐらいあるかというのを実際の需要家のデータをビッグデータとして、オープンデータ化できれば、先生方がアルゴリズムを開発して本当に使えるようなもの、予測可能性があって主要なものができると思う。今はすぐできないので、ナショナルプロジェクトで、そういうのをベースにデータドリブンのいろんな解析手法を開発していただきたい。どんなアーキテクチャがいいかも、専門家の先生に、アイデアを出してもらいたいことの1つである。

もう一つ国として取り組むのは、電力とかエネルギーのデータとそれ以外のデータをどうやって組み合わせるか、これは事業者を超えるので、現状では非常に難しい。実際に3.11のときに東北電力で、電中研の配電の復旧支援のシミュレーターのパイロットの試験をやっていた。道路の情報がわからず、実際に仮復旧の資材運搬用のトラックが通れるかどうかわからない状況の中で、3日間で90%の復電をした。しかしそのときにやはり情報連携が足りなかった。もし電力会社、警察、自衛隊、自治体がデータを共有できれば、もっと早く復旧できたのではとの教訓を持っている。今はそういう方向に内閣府も動いているかと思う。レジリエンシーとかセキュリティを確保することが一つである。

もう一つは、新しい付加価値を生むところをどうつくるかである。一つの例であるが、我々が実際に開発したのは、電力消費のデータに基づき、家庭用節電情報サービスを提供することである。情報を需要家ごとにカスタマイズして出し、しかも、飽きの来ない形での情報生成を自動生成するようなアルゴリズムをつくり、マンションで実験した。今いろんなところから引き合いが来ている。エネルギーのデータだけ見て、省エネとか節電だけというのは、一般の需要家にとって魅力的でないので、ここを広げる必要がある。見守り、セキュリティ、健康などがあるが、実際にアンケートをとってみると、美容がキロワットアワー何千円払ってくれるような付加価値があったりする。こういうところをいろんな事業者が連携して、オープンにサービスの展開が今から出てくると思っている。(図3)

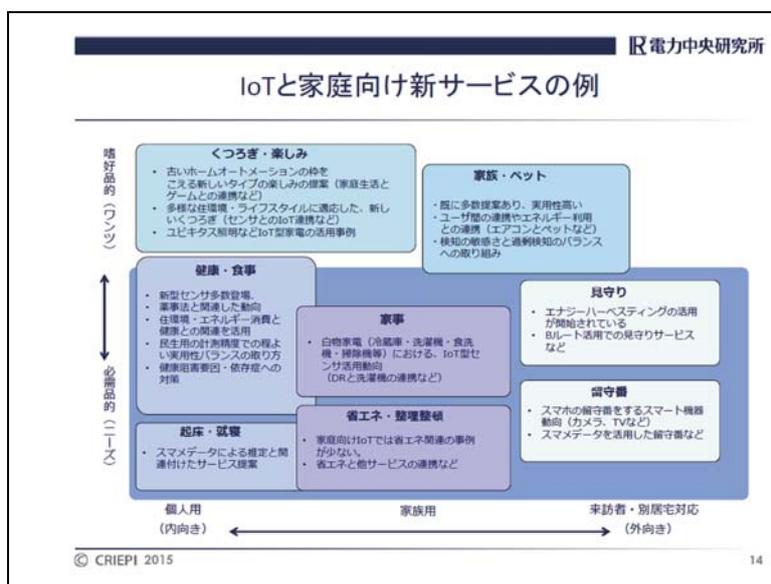


図3 IoTと家庭向け新サービスの例

課題をまとめると、一つは再エネの拡大があり、これに対応するための研究がある。あともう一つは制度設計の話で、需要側の資源が参加可能な競争環境をつくることであり、これはとりあえず2020年に向かって電力システム改革が進んでいる。そこでリアルタイム市場、アンシラリーサービス市場ができる可能性がある。3つ目が安全・安心の話である。減災や早期の復旧に使うという出口がある。また、需要レベルから系統レベルまで、自律分散的な整備が全体の最適性をどれぐらい補完できるかというような研究もあると思う。(図4)

R 電力中央研究所

需給マネジメント: 研究課題

- ◆ 再生可能エネルギー拡大など増大する不確実性への高度なリアルタイム対応策の構築
- ◆ 電源・需要側資源が参加可能な競争環境の構築
- ◆ 大規模停電対策(減災技術・早期復旧技術)
- ◆ スマートコミュニティによる地域毎の最適システムが全体システムの最適性を補完できるような仕組みづくり

- ◆ 今後の予定
H29年度以降に取り組むべき課題(超スマート社会に寄与する、エネルギー分野、共通基盤的な課題)を提案する

© CRIEPI 15

図4 需給マネジメント：研究課題

4. 総合討論

○尾山フェロー いただいた資料をもとに論点整理をした。1つは多様な未来、これは電力にかかわることを中心とした二、三十年後のシナリオとしてどういうことがあるかということ。もう一つは、必要な研究テーマが今回の中でどういうものがあつたかということ整理した。

まず、論点1の多様な未来、2030年以降のシナリオとしては、サイバーフィジカルシステム、言葉を変えれば超スマート社会。これが今日の議論のベースになる話と思う。あとは、物理的資源をデジタル化してデータ駆動型の経済というのが来るだろうと。あるいは超分散、双方向化、個人化というところでエンド・ツー・エンド、一番端、個人がつながっていく。さらには、それが広域化していくということもある。自立システム、さらに、超高速、高速デマンドさらにそれを上回るもの、リアルタイムの計測制御、電力のカラーリングがあるのではないか。あとは市場経済を活用して競争原理、高速取引、アメリカで言われているトランザクティブエネルギー。あとは統合型ライフラインがある。インターネットのコンセプトというところから来ていると思うが、所有から共有と利用の社会へというのが方向性である。

コンセプトとシナリオの具体的な事例ということで、自律分散型ネットワーク、これ低圧配電系、オンデマンド型電力、デジタルグリッド、これはインターネット型電力ネットワークかと思う。インテグレートグリッド・オブ・プラットフォームとかIoT連動超プロシューマーエネルギーリソース、都市OSなどが今日挙げた具体的な例として整理した。

ここで必要な研究開発テーマは何かということで、3階層に分けて整理した。いわゆるサイバー空間、例えばセンサネットワークのビッグデータ解析とか最適化計算あるいはリアルタイム計測とか制御、カラーリングシステム、これは識別のためのIPアドレスをつける。また超高速アルゴリズムなどがある。サイバー層の議論はよくされているが、新しいところではフィジカル層、実際動く電力、幾ら頭がよくても動かないということになるので、そこが今日のポイントとして、カラーリングにおける電力潮流そのものの高速制御が一つ大きな話かと思う。

その一方で、さらにそれを進めると非同期化技術みたいな、同時同量の原則から離れることができるというような技術もある。方式としては、回線方式とかパケット化、これパルス送電、P2P分散協調型制御方式、あとはそのシステムに用いるハードウェアがある。パワエレの研究はやられており、また非同期化となると、蓄電というか一種のバッファが要るので、そういう技術。あるいはルータのような技術も必要。サイバー空間とフィジカルを同期させる技術としてGPSを用いた技術をイメージしている。

最後にマーケット、制度では、一つは高速取引、トランザクティブエネルギー、これは全体が自然に価格によって最適化される姿になる。さらにデータを集めるプロジェクトが要るのではないか。セキュリティの話はあつたが、これは別なところでもやられているので除いている。

○総合科学技術・イノベーション会議とかJSTは、どちらかという燃料電池や蓄電池とかの物理や化学に基づいた要素技術の開発にファンディングをしてきた。これからは、燃料電池のようなテクノロジーと電気と情報で議論されたようなものをどう統合していくかというもう一つ上のレイヤーの議論があつて、2030年とか50年のエネルギーのネットワークになると思うので、もう一つ上の階層のことも検討いただければと思う。

- 今回は電力ネットワークではエネルギーネットワークであった。だから、ガス側のオペレーションと電力側のオペレーションのインタラクション、どのようにしたらガス側の情報を使ったらお互いによくなるかというところを入れると、もうちょっと膨らみが出るのではないかな。
- 日本の制度設計で電力システム改革があり、その次にガスシステム改革があって、例えば今までガス機器はガス会社が売る、ガスのためでなくて、電力会社が売るガスのためのものになってくるとなると、需要家はどっちを使ってもよくなる。これからの時代は電気と熱だと思っていて、そのトータルのエネルギーネットワークをどうデザインするかというのがある。要するに電気と熱の需要を見ながら、最適な動かし方云々とかというのは、世の中のニーズに出てくると思う。
- 熱とエネルギー総合で考えたときの熱と電気とその他のエネルギー変換みたいな話がとても重要なので、最後のところでコンプレックスの話をしたが、都市設計するときには、水とエネルギーと熱。なので、そこをどうマネジメントしてサステナブルな都市設計するかという話になる。そうすると、多分建築家の人と都市設計の人が入ってこない設計できなくなる。
- 先週、NSFのスマート・アンド・コネクテッド・コミュニティーズというワークショップがあった。ホワイトハウスがナショナルスマートシティーイニシアチブを出したので、それに対してNSFが何をやるかというのを考えようというワークショップだった。カンザスシティとかシアトル市の人に来て、いろいろ問題を言ってくれて、それに対してどんなソリューションが提供できるかというようなことを議論していた。結局市はいろんな問題がいっぱいある。交通渋滞の問題とか、駐車場の問題とか水の問題とか、もちろんエネルギーの問題もある。それがすごく複雑に絡まっていて、エネルギーだけでもなかなか解けないかなという感じがするし、逆に言うと、一つのテクノロジーがいろんな問題を軽減することもできるだろうし、双方向にいろんなものが絡まっているなという感想を持った。論点1でいろんな問題が複雑に絡まっているという話があったが、このエネルギーネットワーク以外のこともいろいろ考えたほうが、社会に対する影響を大きく持っていけると思った。そういう意味で、都市OSはいろんなリソースを全部うまくマネジメントしようというもので、フィジカルなものに対して仮想化の皮をかぶせて上から使えるようにするというような考えを持っていけばいろんな問題に同時に対処できるのではないかなという可能性を感じた。
- 尾山フェロー 我々ももともとエネルギーそのものの価値よりも情報の持っている価値のほうが大きいという議論があって、そういう意味では重々認識しているつもりではある。そういう全体を見るということは必要かと思っている。今日ではどちらかというと、例えばフィジカル層というところにどういう具体的課題があるかに着目した。
- 大域性の話で、例えば通信もかつては実時間でしかできなくて、ためられなかった。でも、それを工夫し、仮想化して、それをデジタル化と呼んでいるが、そういう少しずつ工夫を重ねることによって、サイバーの世界にインターフェースをあけるようなことはできないか。
- それができると思っていて一生懸命やっているが、同時同量の呪縛とか、基本的には大域性を持つ電力網という物理世界とのつき合い方に焦点を当てている。リアルな電線のところで起こっている物理現象をどこまでモデル化しておいたら、後はノイズとして安全だよという、その線引きはまだいろいろやってみないとわからないことがある。
- 我々のところで今農業とエネルギーという話をやっている。日本の農業は生産性が低い。1ヘクタール当たりの年収を計算したら、農業をやるより太陽光パネルを置いたほうがいい。経済原理が成

り立たない。メガソーラーをやったほうが農家にとっては収益最大、でも、それではサステナビリティに欠けるという話がある。エネルギーを考えるとときに社会のサステナビリティに対してどうなのかという視点が要る。農業とはまた別に、鉄道路線を使ってスマートコミュニティをつくろうとしている。なぜかという、都市の鉄道はいいが、地方路線がどんどん廃線になって、それがきっかけになって、限界集落から廃村になってしまうという話がある。中距離輸送の鉄道網はあるけれども、実は地方へ行けば行くほどそれがやせ細っている。けれども電化されていれば、鉄道網は実は送電網である。基本的に電車は直流で動いている。日本は高圧直流、1,500ボルトが標準、高圧の直流送電網が完備された社会である。それを電車のためだけに使っているというのが今の社会。それを直流グリッドとして考えるということをやれば全然世界が違って見えることもある。そういうふうな意味で、我々のところは鉄道網と送電網を横でつなげて、それを地域のコミュニティでやることを考えている。

○研究開発テーマということであれば、最後大学の知的なものをどう生かすかという話が必要。我々が持っている大学の知的なものをどう社会に戻していったら、それが例えば再エネに何か価値があるかとか、そういう技術に本当になるかということ。例えば経産省の話では電気に色はないという中で、分けることによって本当にそれが世の中のために、社会の誰のメリットになって、その技術開発があるということを議論して、しっかり練っていく必要がある。

○電力というのは非常に特殊な財で、まさしく色につかない。だけれども、区別はできる。同じものだが、どこで／いつ／何で発電したかとかの区別はできる。エネルギーという実体を持っているので、貯蔵した電力にはパワーがある。同様に、同じもので交換可能だけれども、区別できる他の財として何があるかという「Money」がある。この1万円もあの1万円も同じであるが、給与の1万円と借りている1万円は違う。誰から借りたか、幾ら返さなきゃいけないか、利息は幾らか。物すごく細かく社会としてルール化して経済というのをつくり上げた。「Money」という財と、電力は非常に似ている。区別はできるけれども同じものである。IPアドレスをつければ電力スワップができる。再エネと火力のスワップというようなことが実行され出すと、トランザクションフィーが発生する。これは銀行でやってきたATMで手数料をとってきたのと同じ。やっていることは情報交換だけなのに、大きな財が動かせ、ビジネスが動く。電力とお金以外にこのような特徴を持った財は見つからない。我々はアカデミックな側面から見てもとても貴重な研究対象を見つけ、まさしくたった今手をつけ始めたということだろう。

○例えば電力カラーリングやデジタルグリッドという話があって、これがどういうアプリケーションやビジネスを生み出すかと考えてしまう。少なくとも今の30分単位の計量器を使うことで、電力システムの自由化や電力取引に必要となるある種のモジュラー構造が仮想的につくられており、様々な形での新規参入がすでに可能となっている。この時間的、空間的な分解能をもっと上げていけば、さらにリアルな需給まで市場化できるという話はあるが、必ずしもここで説明されたような物理的な実装方法は必要ないと思う。もう少し仮想化ということについていろいろなものを考えるべきであって、例えば通信の世界はすでにワイヤレスの部分はかなりあるが、電力伝送でもEVへの無線給電などということがいざい出てくる。つまり目的に照らして様々な物理的な実装方法がある中で、それを絞りこまない方がよいということ。このテーマを見ると、絞り込まれすぎたかなというところがある。本日は都市OSというお話もあったが、我々としてはオペレーティングシステムはどういうたてつけで、どういう切り口で整理していったほうがいいのかなという整理をしてい

ったほうが広がりが出る感じがする。社会的な課題としていうと、限界集落の問題もあるし、あるいは日本のいろいろなもののスループットを全体で上げなきゃいけないという中に、実は相当基礎的な技術もあれば、もっと応用的な分野のものもあるが、それを組み合わせると実は二千何十年には相当大きな変革を起こしているのではないかという広がりのあるものを作ってもらえるとうれしい。

単独の企業では数年以内に実現できるものの技術開発に偏りがちであるが、ハンブルクでは、港湾の施設のスループットをどう上げるかを一生懸命検討しており、彼らは土地の制約があるから、港湾を拡張できないけれども、このままいくとオランダのほうの港と競争力が落ちてしまう。どうやってスループットを上げるかという、その町に入ってくるトラックの物流も含めて全体を見ながら、ある種モジュール化して、ここではこれだけ見るということをやると、一応それなりに全部回ってスループットが倍ぐらいに上がるだろうというのをプロジェクトとしてやっている。10年ぐらいかかるとは言っていたが、何かそういう世の中として、こういうのが見えるというのがあると、基礎的な研究といっても、その先にはそういう花が咲きますというのがあると、企業として聞いていてうれしい。

○尾山フェロー もともとはやはり大きな絵が要るだろうという前提がある中で、ただ、大きな絵だけを議論すると、では実際何をやるんだという話が残されているケースが間々あったので、今日はそういう意味で2番目のところを重点的に話したが、それが議論を誤解させてしまったところがある。ただ、基本的にこの議論は、今後もCRDS内で続ける予定にはなっているので、今後ともこういう位置付けや具体的なテーマを議論していく。

○カラーリングがだめと言っているわけではなくて、今は2020とかとやってどっちかというロードマップ型とか制度設計型で研究開発している。そうじゃなくてバックキャスト型の2050年のこういうあるべき皆さんのアイデアを入れて、そこから戻りながら、2020から2050の橋渡しのものをするみたいな研究はまさに大学がやるのにいいのかなということを書いたかった。そういう方向性を少し模索するのが大学らしいが、最後は経済の実業の方々も納得できそうな落としどころというのがいいのかなと。そこを統合化、システム化していくというのがいいのではないかと。

○最初にいただいた文書には「2050年に再エネ50%超社会を目指す」と書いてあったが、論点整理には、このような将来の姿がかかれておらず「多様な未来」となっている。ここはどう考えればよいか。達成目標を明確にすべきではないか？

○尾山フェロー それも一つのシナリオということで、シナリオは1個ではなくて、多数のシナリオがあって、それに対して2050年の多数のシナリオを描いた上で、バックキャストでいろいろ考えてみましょうということを目的とした。

○2050年に50%というのは、なかなか意味深で、まず歴史に学んでみませんかというのは最初に申し上げたとおり。通信の分野でリファーできるような事例を我が国はやった。例えば1980年に世の中はこれからの高速通信網をどう思っていたか。電電公社が、どうやったか。高速の電子交換機システムを全社挙げて、全大学も協力して、全メーカーも協力して開発していた。ところが、インターネットになって、ではDIPSはどこへ行ったのかということになっている。また、デジタル通信網、単純に言うとISDNがある。これは全国同期通信網で、NTTの総力を挙げてやった。それはある意味、アナログだった回線方式を電子化で電子スイッチにして、デジタルデータに対応するため

にデジタル交換機というのをやってきた。ロードマップも電電公社の歴史、多分総務省へ行ったら、1980年から30年後の2010年のビジョンが書いてあったと思う。もちろんそれと同じことが電力の世界で起こるとは思わない。やはり物理世界と情報通信は違う。けれども、科学技術政策のプランニングを行う J S T がシンクタンクとして、そういう過去のロードマップに対する評価をやって、では2020年はこうだ、2050年はこうだということを進めて欲しい。本当に2050年のイメージとして再生可能エネルギー50%というようなことをやるのであれば、電力網、電力制御ということに対してどこまでできる能力が期待できるかとか、何かそういうトップダウン的なスペックが決まってくると思う。そういうことを深掘されると、骨太のプランになる。単に使える、使えないとかいう議論ではなくて、こういう研究開発のプロジェクトモデルとして、J S T としては過去のプロジェクトモデルを学んで、エネルギー分野の特殊性を踏まえてやると、前提条件はこうだよとか、そういうことをやっていただければと思う。

○大学という場所は、英知が集まるところであるが、もう一つは次の世代を出すところ。そういうパイプラインの場所としては、ものすごく使える場所になっている。要は英知の方が使う技術制度特区としての性格を持たせられるのと、次のセクシーなことをやる先生の姿を見せられることよってのヒューマンリソースのパイプラインを出していく場所にできるということと、もう一つは、ほかのところに対して見本を見せるテストベットとしての意味で、3つのものを東大では目指すということにしている。例えば大きな国の政策からすると、特区というのはそのためにやっている。つまり今までの制約に関係ないような場所を決めて、そこでショーをして、そこで人を育てて外に広げましょうということなので、それを文科省がどう考えるかということに戻していくのかもしれない。

○J S T は基礎研究に責任を負っていると思うが、材料開発からリニアモデルで行くタイプではない統合型のシステム構築の基礎研究をどうするかということについては、残念ながら我が国はあまり進んでいない。なので、今日テーマを出させるようなものはまさしくそういうふうになっていくと思うので、材料開発のときのような要素のアイテムを出すだけではなくて、どんな統合型のプロジェクトとして構えるのか、その後、どんなふうプロジェクトをマネジメントしていくのかということも同時に出すことで生きたものになると思う。

○私が N T T にいた14年、物すごく右肩下がりの厳しい時代にいたが、今の電力会社もそういう時代に突入する可能性もあるかと思っている。しかし今も N T T の研究所はかなり強い状態で残っているので、それを乗り切って、それを幸せに変えるプランをぜひ立ててほしい。特に2050年にいろんなシナリオはあるかもしれないが、人口がどのぐらいになるかというのはほとんどもう変わらないし、地方にどのぐらい人口がそのころいるかというのもほぼ予測できるので、その辺は、電力会社はビジネスのほうでしっかりやられていると思うが、そこから逆算してということはやはり必要かと思う。

○島津フェロー 私の方で今いただいたご意見を振り返らせていただくと、まず1つ目は、エネルギーだけではなくて物流とかモビリティまで合わせてそういうスマートコミュニティとかスマートシティといった単位でもう少し長期的に考えていく必要があるんじゃないか、岡本様、九州大学の事例もあった。

2つ目はエネルギーのネットワークということは、電気だけではなくて熱とか化学、水素とかそ

ういった総合的なエネルギーのネットワークということを考えていかなければいけないんじゃないかという話。もう一つは、きょうは電気とITという視点で中心にやらせていただいた。そういった3つ出口があって、我々は今後どこに向かって提言していくのが最適かということをもう一度考え直したいと思う。これはまだきっかけというか始まりなので、皆様にも今後また引き続きご協力いただければと思う。

○中村JST顧問 私も通信に絡むところを少しやっていたので、通信の自由化というのを鮮明に思い出す。まず、アメリカでベル研究所が解体してベルコアになって、それがもう完全になくなってしまふということが起こって、そのかわりにベンチャーをコンポーネントとする新しいR&D体制が生まれた。今までは昔の電電公社と同じ論理で、電力は電力会社が全部やればいけないんじゃないかと。今の電力自由化が起こってきたときに、かなりの混乱がR&Dの分野であるのではないかと思っている。文部科学省でこういう企画をやると、それは電力会社ないしは経済産業省、NEDOの仕事じゃないかと今でも言う方が結構いるが、電力自由化で電力のR&Dは質的にかなり変わる可能性がある。変わらなきゃいけない。そうしたときに国あるいは大学がやるべき研究開発は、かなり比重が増えてくる。きょうは先生方すばらしい発表をされたが、今度のソサイエティ5.0のスマートエネルギーの部分が大きくなるようにコミュニティとして共同で、同じ言葉であらゆる分野に訴えるということが非常に重要じゃないかなと思っている。コミュニティとしての連携プレイ、努力が非常に重要だと思っているので、最後をお願いしたい。

○倉持上席フェロー きょうは極めて重要なご指摘があった。今、第5期の科学技術基本計画では大変革の時代だということで、何が起るかわからない時代にどう考えていったらいいのか、2050年というのはどういう世界だろうか。やっぱりそういう大きな粒度の社会像とかビジョンというのがどこかできちんと語られなければいけない。他方、個々のどういう課題にどういう意義があるのかということについて、それぞれの科学あるいは技術の進展というものを踏まえて、あるいはそれが融合というか、どこにフロントがあるのか、こういう粒度の話と幾つかの大きさのものを世の中に問うていかなきゃいけない。特に粒度の大きいものについては、我々もシンクタンクなので、そういう場で社会的な議論ができるような、そういう行動もしていかなきゃいけない。他方、科学技術ということに軸足を置いているものとして、科学がどういうふうに進化してきているのか。やっぱり大域性とそういうモジュール性というものが今まで離れていたものをどうやって乗り越えられるのか、そういったところにチャレンジできるようになっているんじゃないかと。そういったところの価値をどういうふうに見て、ではどういうふうに進めていったらいいのか、その辺が多分我々にとってのある種エキスパティーズを発揮しなければいけないところだと認識している。きょうのご指摘は受けとめさせていただき、引き続き検討を深めていきたい。きょうが始まりなので、引き続きご指導いただくように改めてお願い申し上げて、御礼も含めて閉会のご挨拶とする。

付録 ワorkshop参加者リスト

氏名	所属	役職
発表者（五十音順）		
浅野 浩志	電力中央研究所 社会経済研究所	副研究参事
阿部 力也	東京大学 大学院工学系研究科	特任教授
江崎 浩	東京大学 大学院情報理工学系研究科	教授
岡本 浩	東京電力 経営技術戦略研究所	常務執行役／所長
是久 洋一	九州大学 共進化社会システム創成拠点	拠点長
林 泰弘	早稲田大学 理工学術院先進理工学部	教授
藤井 康正	東京大学 大学院工学系研究科	教授
藤田 政之	東京工業大学 大学院理工学研究科	教授
松山 隆司	京都大学 大学院情報学研究科	教授
湊 真一	北海道大学 大学院情報科学研究科	教授
森川 博之	東京大学 先端科学技術研究センター	教授
関係府省		
長野 裕子	文部科学省 研究開発局 環境エネルギー課	課長
原田 千夏子	文部科学省 研究開発局 環境エネルギー課	行政調査員
佐々木 裕平	内閣府 政策統括官（科学技術・イノベーション担当）付 グリーンイノベーショングループ	政策調査員
矢部 彰	NEDO 技術戦略研究センター エネルギーシステム・水素ユニット	ユニット長
小笠原 有香	NEDO 技術戦略研究センター エネルギーシステム・水素ユニット	研究員
川口 忍	NEDO 技術戦略研究センター エネルギーシステム・水素ユニット	研究員
JST-CRDS		
倉持 隆雄	環境・エネルギーユニット	センター長代理／上席フェロー
緒方 寛	環境・エネルギーユニット	フェロー
尾山 宏次	環境・エネルギーユニット	フェロー
島津 博基	環境・エネルギーユニット	フェロー
鈴木 康史	環境・エネルギーユニット	フェロー
松田 一夫	環境・エネルギーユニット	フェロー
松本 麻奈美	環境・エネルギーユニット	フェロー
鈴木 慶二	システム・情報科学技術ユニット	フェロー
高島 洋典	システム・情報科学技術ユニット	フェロー
富川 弓子	システム・情報科学技術ユニット	フェロー
藤井 新一郎	システム・情報科学技術ユニット	フェロー
JST		
中村 道治	科学技術振興機構	特別主監
古賀 明嗣	環境エネルギー研究開発推進部	部長 / 研究監
嶋林 ゆう子	経営企画部イノベーション企画推進室グリーンイノベーション分野	研究監補佐
稲上 泰弘	経営企画部イノベーション企画推進室情報通信分野	研究監
土屋 裕子	経営企画部イノベーション企画推進室	主任調査員
南 裕一	低炭素社会戦略センター	副調査役
渡邊 篤	低炭素社会戦略センター	主査
松田 成信	低炭素社会戦略センター	主任研究員
井上 智弘	低炭素社会戦略センター	研究員
桜井 省一	戦略研究推進部 ICT グループ	主任調査員
澤田 寿	イノベーション拠点推進部 COI グループ	主任調査員／ビジョナリーリーダー補佐

■ワークショップ報告書 編集メンバー■

倉持 隆雄	センター長代理／上席フェロー
緒方 寛	フェロー
尾山 宏次	フェロー
島津 博基	フェロー

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いいたします。

CRDS-FY2015-WR-14

俯瞰ワークショップ報告書

エネルギーネットワーク・統合システム(EMS、スマートグリッド)
平成 28 年 1 月 20 日(水)開催

平成 28 年 3 月 March 2016

ISBN 978-4-88890-512-1

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
環境・エネルギーユニット

Environment and Energy Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

電話 03-5214-7481 (代表)

ファックス 03-5214-7385

<http://www.jst.go.jp/crds/>

©2016 JST/CRDS

許可なく複写・複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.
Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

