

スマートグリッド・スマートコミュニティの実現

— エネルギーシステム最適化のためのAI活用 —

寅澤 一之

(第三特別調査室)

1. 再生可能エネルギーの大量導入時代の到来
 - (1) 背景とそれに伴う問題
 - (2) 系統制約問題への対応
2. スマートグリッド等の実現
 - (1) 我が国におけるスマートグリッド等の検討経緯における位置付け
 - (2) スマートグリッドの構成
 - (3) 分散型エネルギーシステムへの展開
3. 特化型AIのスマートグリッド等への導入
 - (1) 第3次AIブーム
 - (2) 特化型AIと汎用AI
 - (3) 導入に当たっての課題
4. おわりに

1. 再生可能エネルギーの大量導入時代の到来

(1) 背景とそれに伴う問題

我が国の電力は、これまで管轄エリアごとに運営する電力会社が、発電（火力（石炭・石油が主燃料）・水力・原子力）、送配電そして小売を一体的に行うことで、需要者に高品質な電力を安定的に供給する体制が取られてきた（電力系統）。近年の地球温暖化対策の必要性の高まりを受け、地球規模での温室効果ガス削減の取組が広がりを見せている。我が国は、第5次エネルギー基本計画（平成30年7月3日閣議決定）において、温室効果ガスの排出量が大きく非効率な石炭火力は、新設の制限を含めたフェードアウトを促していく一方、天然ガスは、石油と比べて地政学的リスクが相対的に低く、化石燃料の中で温

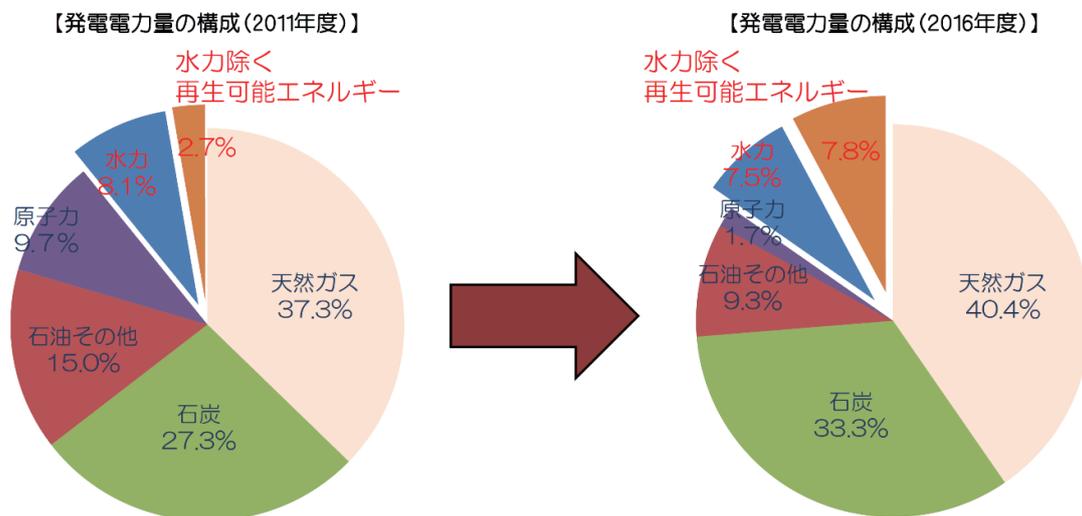
※ 人工知能分野における用語の定義・分類については研究者により考えが異なっているため留意する必要がある。

室効果ガスの排出も最も少ないことから、今後、各分野における天然ガスシフトが進行すると見通している。

そして、再生可能エネルギーを、「現時点では安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、長期を展望した環境負荷の低減を見据えつつ活用していく重要な低炭素の国産エネルギー源である。」としている

¹。我が国における再生可能エネルギーの取組は、平成 24 年 7 月の固定価格買取制度（FIT 制度）の実施を契機に拡大しており、水力を除く再生可能エネルギーの発電電力量に占める割合は平成 23 年の 2.7%から平成 28 年には 7.8%へと急速に拡大しており、現在、再生可能エネルギーの大量導入時代を迎えつつある。（図表 1）

図表 1. 再生可能エネルギーの導入状況



（出所）資源エネルギー庁『再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題と次世代電力ネットワークの在り方』（平成29年12月18日）

しかし、再生可能エネルギーの導入によって、既存の電力系統への接続等の問題が顕在化している。これは、再生可能エネルギーの多くを占める太陽光発電や風力発電が、天候や季節、時間によって発電量が大きく変動する「自然変動電源」であり、また住宅の屋根に様々な太陽光発電設備が設置されているように、様々な場所で様々な出力で電気が発電されるという「分散型電源」といった特徴に起因するものである。そのため、既存の安定した電力系統を最大限活用しつつ、上述のような特徴を有する再生可能エネルギー電源を電力系統に接続するため、様々な対応が求められている（系統制約問題）。

（2）系統制約問題への対応

こうした系統制約問題への対応として、現在、既存系統を最大限に活用しようという日

¹ 第5次エネルギー基本計画「第2章2030年に向けた基本的な方針と政策対応」（平成30年7月）17頁

本版コネク&マネージ²の導入、自然変動電源を含む電力の需給調整に向けたデマンド・レスポンス³の導入、仮想発電所（VPP：バーチャルパワープラント）⁴、各戸に整備されたスマートメーター⁵を活用した電力情報の供給側と需要側でのリアルタイム情報の共有、そしてビッグデータ⁶を活用した電力需給予測の実現に向けた取組が実現しつつある⁷。こうした取組は、地域に点在する太陽光パネル等の分散型エネルギーを用いた地域活性化にも資すると見られている。そこで、これらの取組に対してネットワークを用いて整備しようとする次世代送電網「スマートグリッド」、そして「スマートコミュニティ」、さらに「分散型エネルギーシステム」の構築に向けた取組が始まっている（以下、これらの取組を一括して指す場合は「スマートグリッド等」という）。

2. スマートグリッド等の実現

（1）我が国におけるスマートグリッド等の検討経緯における位置付け

経済産業省の次世代エネルギー・社会システム協議会は、平成22年、スマートグリッドを「再生可能エネルギーが大量に導入されても安定供給を実現する強靱な電力ネットワークと地産地消モデルが相互補完する」と、スマートコミュニティを「スマートグリッドを基盤として、電気の有効活用に加え、熱の有効活用も行うとともに、交通システムや都市計画も含め、地域の人々のライフスタイルにまで視野を広げる」と整理した。その後、東日本大震災を受けて「災害時のエネルギー供給の確保が課題となり、分散型エネルギーシステムとしてのスマートコミュニティの意義が増大」したことを踏まえ、平成23年にスマートグリッドを「再生可能エネルギーを需要家サイドで無駄なく効率的に活用し、系統への負荷を低減する。」と再整理した⁸。

そして第4次エネルギー基本計画（平成26年4月11日閣議決定）⁹は、「（スマートコミュニティとは）再生可能エネルギーやコージェネレーション等の分散型エネルギーを用いつ

² 既存システムの容量を最大限活用し一定の条件付での接続を認めるもの。（経済産業省「再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会（これまでの論点整理）」（平成29年7月）〈http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/pdf/20170713001_01.pdf〉（以下、URLの最終アクセスの日付はいずれも平成30年9月6日。））

³ DRともいう。需要家側エネルギーリソースの保有者若しくは第三者が、そのエネルギーリソースを制御することで電力需要パターンを変化させることである。需要制御のパターンによって、需要を減らす（抑制する）「下げDR」、需要を増やす（創出する）「上げDR」の二つに区別されている。（資源エネルギー庁「バーチャルパワープラント（VPP）・ディマンドレスポンス（DR）とは」〈http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/vpp_dr/about.html〉）

⁴ 市中にある電気自動車等のバッテリー（蓄電池）や燃料電池などを一体的に制御することで発電所と同等の機能を提供するもの。（前掲注3）

⁵ 毎月の検針業務の自動化やホームエネルギーマネジメントシステム等を通じた電気使用状況の「見える化」を可能にする電力量計をいう。（資源エネルギー庁「電気料金の仕組み」〈http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/fee/structure/smartmeter.html〉）

⁶ 後述3.（3）ウ参照。

⁷ 第193回国会参議院資源エネルギーに関する調査会会議録第5号14頁（平29.5.10）

⁸ 資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部「次世代エネルギー・社会システム実証事業～総括と今後について～」（平成28年6月7日）〈http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004633/pdf/018_04_00.pdf〉

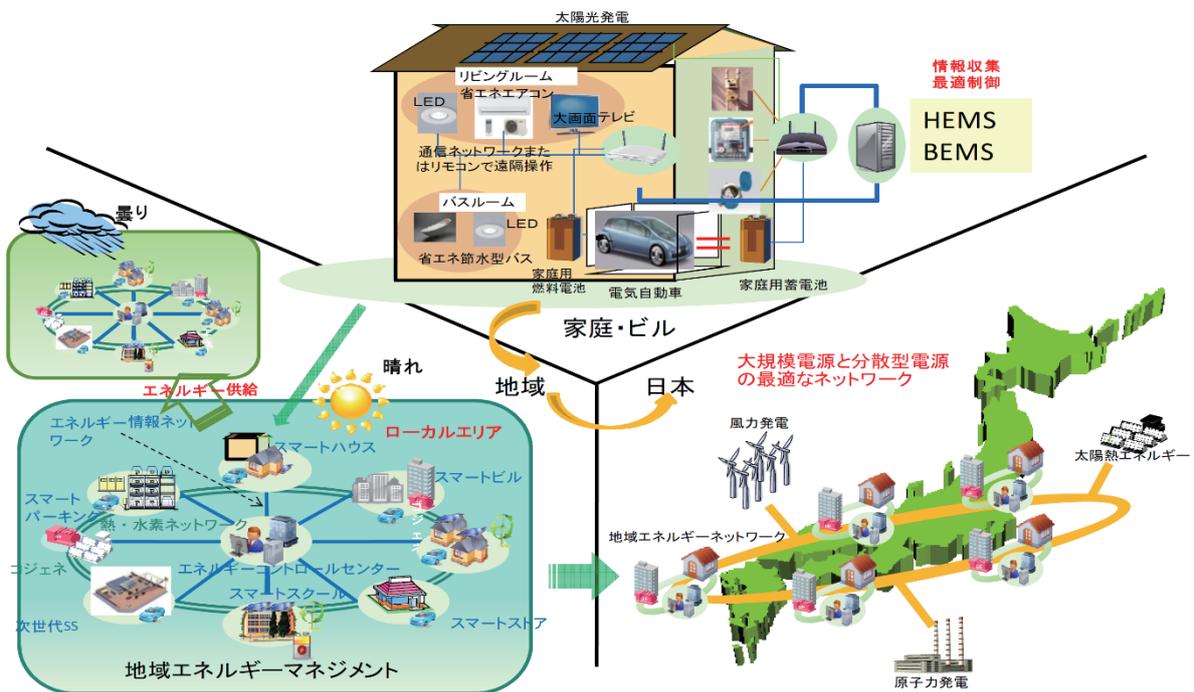
⁹ エネルギー政策基本法（平成14年法律第71号）第12条は、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るため、エネルギーの需給に関する基本的な計画を定め、少なくとも3年ごとに検討を加え、必要があれば変更するとしている。

つ、ITや蓄電池等の技術を活用したエネルギーマネジメントシステムを通じて、分散型エネルギーシステムにおけるエネルギー需給を総合的に管理し、エネルギーの利活用を最適化するとともに、高齢者の見守りなど他の生活支援サービスも取り込んだ新たな社会システムを構築したもの」とし、さらに第5次エネルギー基本計画は、「再生可能エネルギーの小型化や高効率化、蓄電池や燃料電池システムの技術革新、輸送システムの電動化、そして需給制御を地域レベルで可能とするデジタル化技術やスマートグリッド技術の進展は、これらを効果的に組み合わせることで、電力・熱・輸送のシステムをコンパクトに統合した効率的で安定、かつ脱炭素化につながる需要サイド主導の地域における分散型エネルギーシステムの成立の可能性を高めていく。」とした。

(2) スマートグリッドの構成

スマートグリッドは、太陽光発電等の供給システム、送配電ネットワーク、IoT (Internet of Things)¹⁰機器、蓄電設備、データ保存装置、機器保守管理システム、そしてこれらを管理するエネルギーマネジメントシステム (以下、「EMS」という。) 等から構成される。(図表2)

図表2. スマートグリッドの全体像

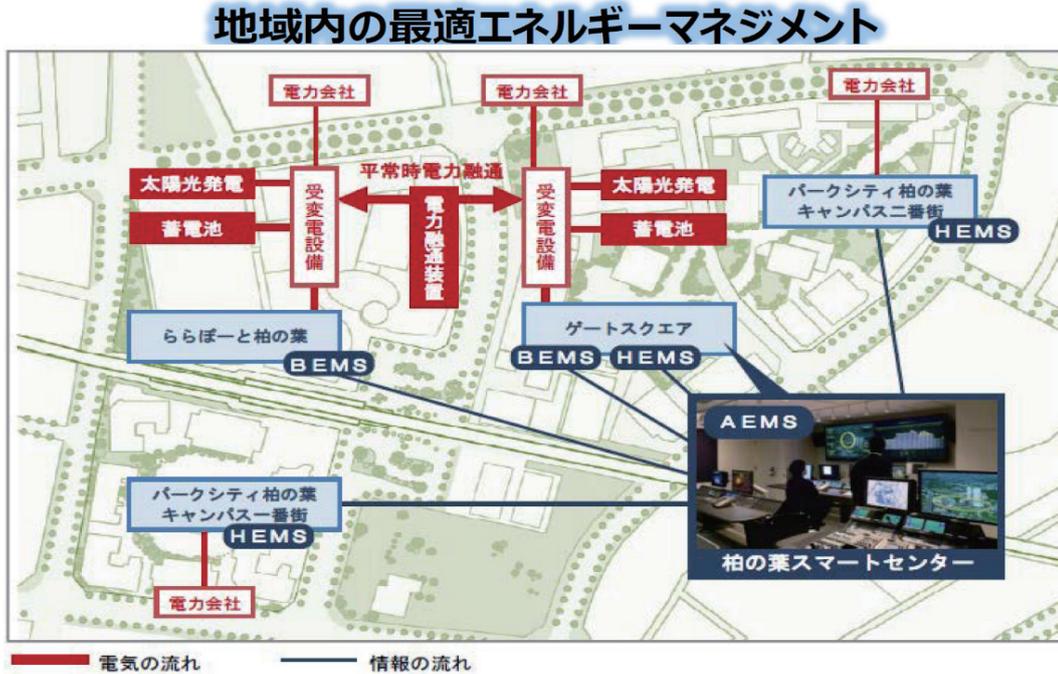


(出所) 経済産業省『次世代エネルギー・社会システムの構築に向けて』(2010年1月19日)

¹⁰ インターネットに様々なモノ(家電、自動車、住宅等)を接続することで自動的にインターネットとつながり、必要な情報のやり取りを行うことでモノのデータ化やそれに基づく自動化等が進展し、新たな付加価値を生み出すとの考え。(総務省『平成28年 情報通信に関する現状報告(情報通信白書)』430頁)

さらに電力消費予測のための道路・鉄道・上下水道等の公共インフラ情報、天候情報、交通情報、イベント時の人の移動情報等が集約されてスマートグリッドと共有されれば、より効率的で安定的な広域的電力需給の実現に資するスマートコミュニティへとつながっていくことが期待される。(図表3)

図表3. スマートコミュニティのイメージ (柏の葉スマートシティの事例)



(3) 分散型エネルギーシステムへの展開

第5次エネルギー基本計画は「再生可能エネルギーを用いた分散型エネルギーシステムの構築は、地域に新しい産業を起こし、地域活性化につながるものであるとともに、緊急時に大規模電源などからの供給に困難が生じた場合でも、地域において一定のエネルギー供給を確保することに貢献するものである。」として、スマートグリッドの広域化や複数のスマートグリッドの接続により我が国全体でのエネルギー最適化を図る「分散型エネルギーシステム」の実現を目指している。

分散型エネルギーシステムは、「CO₂を大幅に削減しながら地域の活性化や防災対策を進めるために大変有効な手段¹¹⁾」(図表4)と期待されており、そのためにも、太陽光発電や風力発電の発電量の変動や、需要の増減等をリアルタイムに収集することで電力需給状況を常時監視し、そこで得た情報をビッグデータとして集約し、膨大かつ複雑な情報の処理を可能とするAI(Artificial Intelligence:人工知能)を活用して分析、予測に用いることで、系統制約を克服するとともに再生可能エネルギーの一層の導入につなげる取組

¹¹⁾ 第193回国会資源エネルギーに関する調査会会議録第6号3頁(平29.5.10)

となることが期待される。

こうしたエネルギー分野におけるA I等のデジタル化について、資源エネルギー庁は、他の産業分野と同様、電力分野においても、ビッグデータやI o T等のデジタル技術を活用した競争力強化の取組が広がりつつあり、そうした分野では、データに基づくオペレーションの効率化と稼働率向上のサイクルが生まれており、データの経済的価値が一層高まっている中で、いかにデータ活用の効率化を進めるかが鍵となるとしており¹²、現在の第3次A Iブームと相まって期待されている。

図表4. 分散型エネルギーシステムの意義

エネルギー政策の基本的視点 = “3 E + S” (※「安全性」は前提)

安定供給	【非常時のエネルギー供給の確保】 ● 非常時のエネルギー供給の確保につながるなど、エネルギー供給リスクの分散化が可能。		
経済 効率性	【エネルギーの効率的利用】 ● 熱の有効活用による高いエネルギー効率の実現や、再生可能エネルギー・未利用エネルギーの有効活用による1次エネルギーの削減、需要地で地産地消することによる送電口スの低減等により、エネルギーを効率的に活用することが可能。		
環境適合	● これにより、エネルギーコストの削減や、環境負荷の軽減に貢献することが可能。		
付加的な 意義	【地域活性化】 ● 地域資源の有効活用や、地域のエネルギー関連産業の発展等を通じて地域経済の活性化に貢献。	【エネルギー供給への参画】 ● 需要家自らがエネルギー供給に参画することにより、エネルギー需給構造の柔軟化を実現。	【系統負荷の軽減】 ● 分散型電源を地産地消で活用することができれば、系統負荷の軽減に貢献。

(出所) 資源エネルギー庁新エネルギーシステム課『分散型エネルギーシステムの構築に向けた取組』(平成29年1月)

筆者注 「“3 E + S” (※「安全性」は前提)」とは、「エネルギー政策の要諦は、安全性 (Safety) を前提とした上で、エネルギーの安定供給 (Energy Security) を第一とし、経済効率性の向上 (Economic Efficiency) による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合 (Environment) を図るため、最大限の取組を行うことである。」(『エネルギー基本計画』(平30.7) 12頁)

3. 特化型A Iのスマートグリッド等への導入

(1) 第3次A Iブーム

1956年のダートマス会議¹³でA I (人工知能) という研究分野が確立して以降、A Iブームは起きては冷めるの繰り返しであったが、21世紀初頭からの第3次ブームでA Iの本格導入が実現しつつある。特に、ディープラーニング¹⁴等の技術が、コンピュータ高性能化とも相まって開発され、例えば、Google社の音声認識や画像検索、機械翻訳などのサービスに用いられ、その精度が飛躍的に向上している。

¹² 資源エネルギー庁「電力分野におけるデジタル化について」(平成30年5月18日) <http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/denryoku_gas_kihon/pdf/009_08_00.pdf>

¹³ 1956年7月から8月にかけて米国ダートマス大学で開催された人工知能に関する初めてのワークショップ。

¹⁴ ニューラルネットワークを用いた機械学習における技術の一つ。情報抽出を一層ずつ多階層にわたって行うことで、高い抽象化を実現する。予測したいものに適した特徴量そのものを大量のデータから自動的に学習することができる。(株式会社野村総合研究所「I C Tの進化が雇用と働き方に及ぼす影響に関する調査研究報告書」(平成28年3月、総務省調査委託) 16頁<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h28_03_houkou.pdf>)

(2) 特化型AIと汎用AI

AIには、「特化型AI」と呼ばれるAIと、「汎用AI」と呼ばれるAIがあるものと整理されている¹⁵。「特化型AI」は弱いAIとも呼ばれ、特定の用途や作業に特化され、その範囲内でのみ認識や探索や予測等を行うにすぎず、その活用は性質上、人の作業や能力支援の範囲に限定される。例えば2016年に囲碁のトッププロ棋士イ・セドル九段を破った囲碁AI「Alpha Go¹⁶」は直観力＝大局観を持ったといわれているが、実際には膨大な計算量の結果、まだ人に見付けられていなかった定石を発見したにすぎないとの声もある。この「特化型AI」は、これまでの技術の延長線上にあるものといえ、これが現在、実現されているAIであることには留意を要する。

他方、「汎用AI」は強いAIとも呼ばれており、これは学習を行っていない課題に対応できるAIで、特定の領域に限定されずに様々な領域において自律的な処理が可能とされ、既存の知識を組み合わせた新たな知識を創造し対応できるとされている。しかし、この「汎用AI」は未実現のAIであって、現在は、人の脳の働きを模倣する研究や論理的構造を解析する研究が進められている段階にある。

(3) 導入に当たっての課題

スマートグリッド等を導入しエネルギーの管理を行うには、電力に係る様々な情報をリアルタイムで収集し活用できるようにする必要がある。そのため住宅等の施設へのスマートメーターの整備、そして家電やエネファーム¹⁷などの給湯機、電気自動車、太陽光発電パネル等のIoT機器化が必要となる。ただしネットワークでの情報のやり取りとなるためセキュリティの確保が欠かせない。また、細部にわたる大量の情報を集約するためプライバシー情報をも収集されてしまう、例えば、電力利用データから在宅状況、生活行動や家族構成、家電の保有・利用実態等が判別・推定され、こうした情報が他の情報と照合されると個人の特定につながる恐れがある¹⁸点を踏まえた慎重な取組が求められる点にも十分留意する必要がある。さらにIoT機器がやり取りするビッグデータは情報量が膨大になるため、ネットワークの容量増強等を検討するとともに、通信の遅延や接続不能等の問題に即応し得る保守体制の確立も求められる。

ア セキュリティ

スマートグリッド等に一般家庭も含まれるようになれば、IoT機器化された家電等が十分なインターネットセキュリティ対策の必要なものであることを知らないまま利用される可能性がある。加えて、古いIoT機器の場合、修正情報(セキュリティパッチ)が配付されなくなり放置されることも考えられる。そこで、スマートグリッド等の健全な発展のためには、こうした事態を想定した対策を講じる必要があろう。

¹⁵ 鳥海不二夫『強いAI・弱いAI』(丸善出版 平成29年10月)

¹⁶ Google社(開発したDeep Mind社を買収)が開発したディープラーニングを用いた囲碁ソフト

¹⁷ ガスを使って発電し、発電時に発生する熱を使って、お湯も一緒につくり出す家庭用燃料電池の愛称をいう。(日本ガス協会「エネファーム(家庭用燃料電池)の概要」<<http://www.gas.or.jp/gas-life/enefarm/>>)

¹⁸ 株式会社三菱総合研究所『平成29年度電力市場環境調査スマートメーターのデータ活用の促進等に関する調査報告書』(2018年2月28日、資源エネルギー庁電力産業・市場室調査委託) 23頁～31頁

イ 保守体制

世界の2016年のI o T機器数は約173億台で、2020年にはその2倍の約300億台になると予測されている¹⁹。スマートグリッド等の実現にはI o T機器が適切に機能することが大前提であるため保守管理が欠かせない。しかしI T関連の保守要員の不足が指摘されており²⁰、I o T機器に係る保守要員の不足も深刻化するとみられる。そこで、膨大なI o T機器の万全な保守体制を構築するためにも人材育成の迅速化が求められる。

ウ ビッグデータ

ビッグデータに関しては、「データが主導する経済成長と社会変革の実現においては、ビッグデータの利活用が鍵を握る。そしてビッグデータを収集するための手段がI o Tであり、ビッグデータを分析・活用するための手段がA Iである。」と位置付けられている²¹。そして「デジタル技術の活用を進めるに際し、電力会社は様々なデータを有している一方、そのデータを解析し、競争力強化に生かしていくノウハウは必ずしも十分に有していない。このため、高度なデータ解析能力を有するA I事業者等との連携がカギとなる。また、新事業の創出を図る上では、他の事業者との協業も重要となる²²。」との指摘を踏まえた適切なデータ活用・データ共有の連携の在り方そして安全な保管方法等の確立が求められる。

4. おわりに

スマートグリッド等を整備するためには、様々な対応機器の導入が必要となる。そこで、例えば、高度成長期に整備した都市インフラの更新期を契機とした抜本導入が検討されてよいだろう²³。これは、道路、ガス、水道等の更新に合わせて送配電ネットワーク等のスマートグリッド基盤を整備したり、I o T対応機器への転換等を進めることが、スマートグリッドの導入促進につながるものと思われ、今後は、整備対象エリアを広げる中でスマートコミュニティそして分散型エネルギーシステムへとつなげていくことが重要となろう。

また、スマートグリッド等へのA Iの本格導入のためには、鳥海不二夫東京大学准教授が言うように、ディープラーニングが十分な学習データのない事象に対応できないこと、ディープラーニングがその解を出した理由の説明が困難なこと、A Iの出した解に係る安全性の検証が容易でないこと、学習データとして使用できる現実空間の情報が現状では不足していること等を解決する必要がある²⁴。他方で、スマートグリッド等への本格導入が期待されるA Iは、現時点の技術水準においては、先に記したとおり「特化型A I」、すなわち、人の作業や能力を支援するという既存の技術の延長線上にあるA Iであることを踏まえ、そのメリットを十分にいかした有効活用が図られるべきであろう。

¹⁹ 総務省『平成29年 情報通信に関する現状報告（情報通信白書）』125頁

²⁰ 経済産業省第4次産業革命スキル習得講座認定制度（仮称）に関する検討会（第1回）「I T分野について」
〈http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/daiyoji_sangyo_skill/pdf/001_06_00.pdf〉

²¹ 前掲注18、52頁

²² 前掲注11

²³ 図表3「スマートコミュニティのイメージ（柏の葉スマートシティの事例）」の柏の葉スマートシティ整備の契機は、柏市のつくばエクスプレス沿線における「土地区画整理事業」であった。

²⁴ 鳥海不二夫東京大学准教授より教示を頂いた。

エネルギー資源の少ない我が国にとってエネルギーの安定供給の確保に向けた取組は欠かせず、また利用面からは、海外から調達した燃料や再生可能エネルギーを効率的に利用することがエネルギー利用の高効率化そして省エネルギーにつながる取組となる。そのため、人が直接行うよりも安定的かつ効率的に需給調整を可能とするI o TやA Iの利活用の取組を促進していくことが、我が国の社会経済の持続的発展のために必要であり、エネルギーに関わる政府・地方自治体そして電力会社が検討するだけにとどまらず、A I関係の研究者や関連事業体さらに再生可能エネルギーに取り組む地域（住民）との協働の取組としていくことが期待される。

(とらさわ かずゆき)