

電力・エネルギーのスマート化技術

泉井良夫* 奥田達也***
橋本博幸**
岩田雅史**

Smart Technologies for Supply & Demand of Electric Power and Energy

Yoshio Izui, Hiroyuki Hashimoto, Masafumi Iwata, Tatsuya Okuda

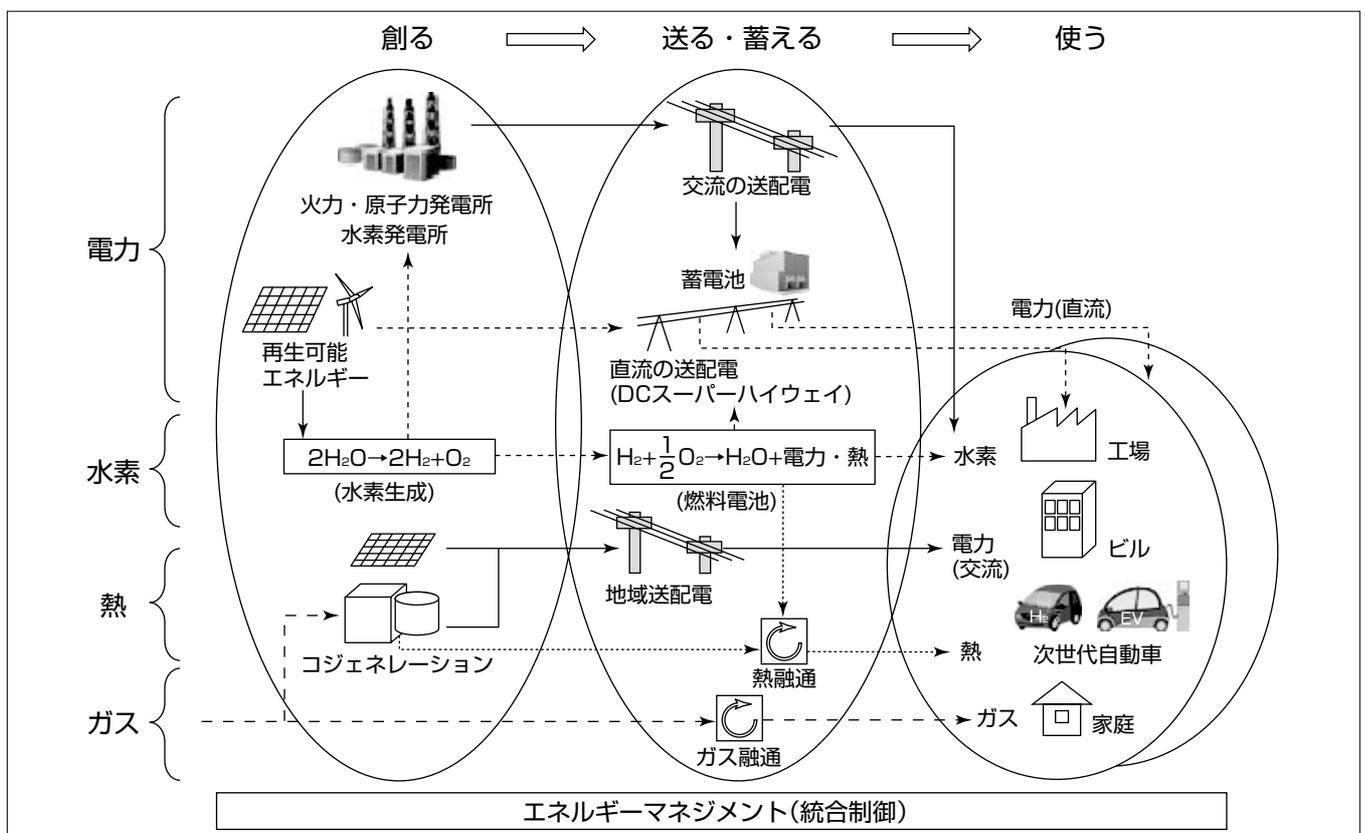
要旨

我が国における電力・エネルギー資源は、そのほとんどを輸入に頼っており、かつ、地球温暖化効果ガスの大半を排出している。このため、我が国のエネルギーの骨格を定めるエネルギー基本計画⁽¹⁾でも、3E+S(Energy Security, Economic Efficiency, Environment+Safety), すなわち、エネルギーの安定供給、経済性、地球温暖化問題への対応、及び、安全・安心がキーワードとなっており、その方向性は将来も堅持されると思われる。

そこで、今後、30年程度のオーダーで将来を想定すると、まず、国産エネルギーである再生可能エネルギーの導入拡大は疑いない。また、燃料電池車など需要家側でも水素活用が進む。電力と水素は、電気分解や燃料電池等によって

相互変換が可能なため、蓄電池と同様に水素による蓄エネルギー、また、移動する分散型電源としての燃料電池車の活用が進展する。さらに、電力やガス市場が完全に自由化され、電力・エネルギーを、創る、送る・蓄える、使うの各段階をトータルに統合してスマートに制御するエネルギーマネジメントが導入されていると想定される。

このため、三菱電機は、30年程度先までを見込み、電力・エネルギーのスマート化技術の検討を行った。これらは、まだ、DC(直流)スーパーハイウェイなど概念検討の部分もあるが、今後の研究開発によって、我が国における3E+S、及び地球規模での低炭素化社会の実現に貢献していく所存である。



スマートグリッド3.0(2050年)の電力・エネルギーのバリューチェーンとエネルギーマネジメント

再生可能エネルギーの導入量はますます拡大し、水素の利活用も進展する。同時に、電力やガスの市場自由化が実現されており、電力や水素、熱、ガスの垣根が低減する。このため、電力ではDCスーパーハイウェイなどの直流網が導入され、水素による再生可能エネルギーの出力余剰補償も導入される。創る、送る・蓄える、使うの全てのエネルギーにわたって統合的に制御するエネルギーマネジメントも導入される。

1. ま え が き

未来社会では、日本を含め人口減少に直面する国もあるが、総じて世界人口は増加を続けて2030年に83億人を突破し、2050年頃に90億人のピークを迎える。大都市圏への一層の人口集中によってメガシティが誕生し、人々は高密度空間の中で生活する社会が予想される。メガシティより小さい地方都市は、人口減少が進む中で効率的な行政サービスを提供するためコンパクトシティ化が避けられない。このような社会が想定される2050年のインフラのインフラとも言える電力・エネルギーシステムを対象に、30年先の姿にいたる発展経緯を見込み、電力・エネルギー関連機器・システムの利活用を中心にスマート化技術の検討を行った。

2. 未来の電力・エネルギーシステム

2.1 未来の電力・エネルギーシステムの姿

未来社会で人と都市の生活を支える食料、水、エネルギーの需要は現在に比べて増大する。特に電力需要の伸びは大きく、全ての地域で産業・業務・サービス部門の電化が進むことから、2040年に世界の電力需要は2012年比で約80%増加すると言われている⁽²⁾。一方、2050年に我が国で約2.1℃の気温上昇が予想される地球温暖化問題⁽³⁾を背景に、地球規模での低炭素化社会の実現を目指して各国がCO₂排出量削減に向けた取組みをあらゆる分野で進めることが要求され、環境制約がより強い社会となる。このような状況から、電力・エネルギー分野では、化石燃料を使用する火力発電所の割合は使用量(kWh)ベースで増加するものの、再生可能エネルギーは1/3以上を占めるまでに飛躍的に成長すると予想される。

このような背景のもと、未来社会の基幹インフラとなる電力・エネルギーシステムを次のように想定する。エネルギー供給安定性及び地球温暖化問題への対応の観点から、国産エネルギーとしての再生可能エネルギーの導入拡大が進み、燃料電池車の普及を背景に2020~2030年頃には家庭用燃料電池から水素活用が日常的になっていく。また、都市・地域単位の集約需要に対してはコジェネレーションによる電熱併給の高度活用が進む。さらに、系統用大型蓄電池の普及に加えて、2050年には、水素生成による蓄エネルギーと大規模水素発電所による発電を利用したエネルギーキャリア変換が有機的に連動し創・蓄エネルギーの自由度が向上する。電力系統は、長距離大容量送電に適した直流(DC)送電を基幹系統に採用して再生可能エネルギーを直流のまま接続し、多数の蓄電池や水素生成装置等によって再生可能エネルギーの出力変動抑制をDC側で実施した上で電力品質を維持してメガシティを中心に効率的に供給する。

2.2 現在から未来の姿への経緯⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

現在から未来の姿にいたるまでの発展の経緯をおよそ

10年単位に3段階に分けて述べる。

2.2.1 スマートグリッド1.0(2030年)：地産地消の実用化

現在、日本で実証実験段階にあるスマートグリッドは、まず再生可能エネルギーの導入拡大、次に電力供給力不足への対応を狙いとして段階的に実施されている。今後は、地域単位で分散型電源の導入が進んだ場合を想定し、需要家をも中心とするスマートグリッド形態となる(図1)。電力に加えて熱やガスの複数エネルギーネットワークの統合が進み、再生可能エネルギーを有効利用して電力・エネルギーの地産地消が実用化レベルに達する。これは地球温暖化問題に普遍的に親和性が高く低炭素社会実現に貢献する、広義のスマートグリッドであるスマートシティのエネルギー基盤になると考えられる。電力系統では、洋上風力などオフショア電源からの送電にDC送電の導入が進む。再生可能エネルギーの出力変動に対して、基幹系統に設置された複数の大規模蓄電池による集中型抑制制御が行われる。

2.2.2 スマートグリッド2.0(2040年)：DC化の進展

再生可能エネルギーの導入が一層進む中で、大規模な再生可能エネルギー出力を集約して変動抑制を行うDCスーパーハイウェイ(DC基幹送電系統)が構築され、高度に需要が集積したメガシティへの効率的な電力供給が実現される(図2)。例えば、日本ではDCスーパーハイウェイは、列島を縦断するとともに国土を取り囲み海外系統とも接続するように海底敷設されたループ系統からメガシティに供給し、メガシティ近隣の火力・原子力発電と連系して周辺コンパクトシティへ二次供給する構成が考えられる。メガシティからの送配電は主として交流(AC)系統が担うが、一部のエリアでは都市再開発に合わせてDC送配電ネットワークも存在する。また、安価な水素輸入による大規模水素発電所によって、エネルギーミックスの多様化が進展する。

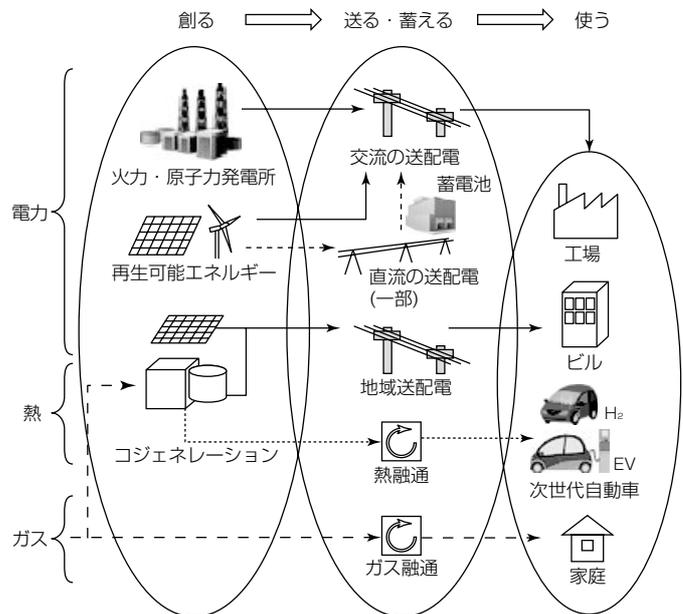


図1. スマートグリッド1.0(2030年)のイメージ

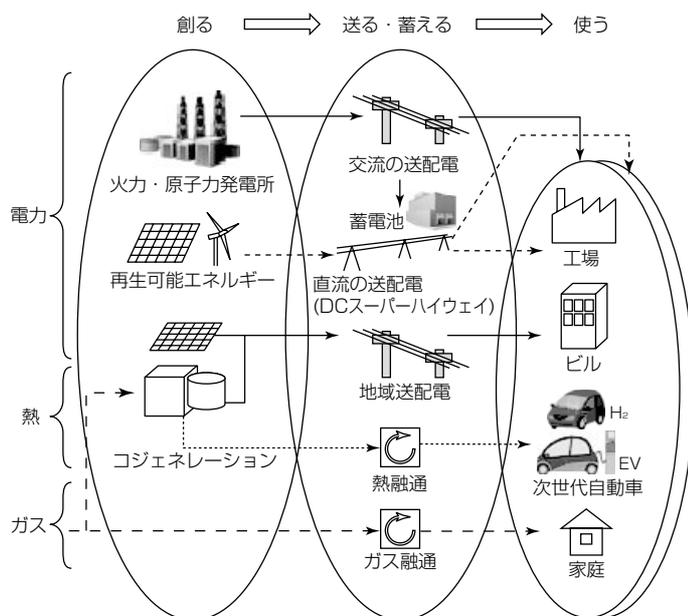


図2. スマートグリッド2.0(2040年)のイメージ

2.2.3 スマートグリッド3.0(2050年)：統合エネルギー制御の実現

2050年には、再生可能エネルギー導入による余剰電力から環境負荷の低い水素への生成が実用化され、全ての地域、需要家にCEMS(Community Energy Management System), BEMS(Building EMS), HEMS(Home EMS)等の自律的なエネルギーマネジメントが広く設置される。また、宇宙太陽光発電が一部実用化され、メタンハイドレート活用も進んでいる可能性が高い。これによって、基幹システムレベルから需要家レベルにいたるまで電力・エネルギーの“創る+送る・蓄える+使う”という環境負荷の低いバリューチェーンをレベル間で相補的に結合し、自律的かつ全体最適な統合エネルギー制御を可能にする(要旨の図)。統合エネルギー制御の実現は、再生可能エネルギー大量導入の阻害要因であった需給ギャップを解消するであろう。

各発展段階における電力・エネルギーシステムの特徴を表1に示す。

2.3 解決すべき技術課題

未来の電力・エネルギーシステムにいたるまでの発展段階(スマートグリッド1.0及び2.0)で、例えば次のような技術課題が挙げられる。

- (1) 電力・エネルギーの地産地消
- (2) スマートシティにおける電力・エネルギーによるLCP(Life Continuity Performance)
- (3) システムに多数接続した大型蓄電池の利用
- (4) 水素を含むエネルギーバリューチェーンの形成
- (5) DCシステムを構成する電力機器や超電導機器
- (6) DCシステムとACシステムの電力ネットワーク協調
- (7) DCシステム・蓄エネルギー装置を統合活用した再生可能エネルギーのスマート変動・余剰対策

表1. 未来の電力・エネルギーシステムの特徴

	特徴
スマートグリッド1.0 (2030年)	・電力、熱、ガスのエネルギーネットワークの統合 ・電力・エネルギーの地産地消
スマートグリッド2.0 (2040年)	・DCスーパーハイウェイによる再生可能エネルギー出力の変動抑制とメガシティへの効率的な電力供給
スマートグリッド3.0 (2050年)	・水素生成・発電による創・蓄エネルギーの自由度向上 ・基幹システムから需要家レベルにまでいたる電力・エネルギーのバリューチェーンの統合エネルギー制御

- (8) エネルギー供給側と需要側の双方向の高度協調制御
- (9) 再生可能エネルギー大量導入時の交直連系システムの故障波及・大停電防止
- (10) 技術開発にかかる標準化とビジネスモデル

3. 必要な要素技術

2.3節に挙げた技術課題のうち代表的なものについて、未来の電力・エネルギーシステムに必要な要素技術について述べる。

3.1 電力・エネルギーの地産地消⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

分散型電源の導入が進むスマートグリッド1.0の未来都市では省エネルギー、省CO₂の観点でのエネルギー高度利用と、エネルギーセキュリティLCPの観点からコージェネレーションによる電熱併給の活用が拡大し、2030年時点で国内の総発電量の15%程度の約1,500億kWhの発電量に達すると見込まれる。コージェネレーションのコストとしては燃料費に次いで熱導管などのインフラ整備コストの占める割合が大きく、エネルギー密度の高い人口密集地域の方が採算を取りやすい。メガシティ化や地方都市のコンパクトシティ化の進展に伴いコージェネレーションの重要性が増す。

コージェネレーションの方式としては熱需要が豊富な需要家が導入しているガスエンジン、ガスタービン方式に対して、発電効率の良い燃料電池で低コスト化・高耐久化の技術課題が解決されることによって、2030年頃には熱需要の比較的小さな需要家での利用が広がっていくと考えられる。さらに2050年頃にはトータルでCO₂フリーな水素サプライチェーン(図3)の構築に伴って、直接供給される水素を利用した純水素型定置用燃料電池の普及が見込まれる。海外での褐炭等の未利用エネルギー由来の水素製造にCCS(Carbon dioxide Capture and Storage: CO₂回収貯蔵)を組み合わせることや、再生可能エネルギー由来の余剰電力を利用した水電解による水素製造が本格化すれば、水素サプライチェーンの実現が近づく。また、輸送については、有機ハイドライドや液化水素の形での海外や国内での輸送が本格化するとともに、地域限定で水素パイプラインの整備も徐々に進む。

3.2 DCシステムネットワークの活用

DCシステムは送電ロスが小さいことから大電力・長距離送電に適している。太陽光発電や風力発電といった天候に左

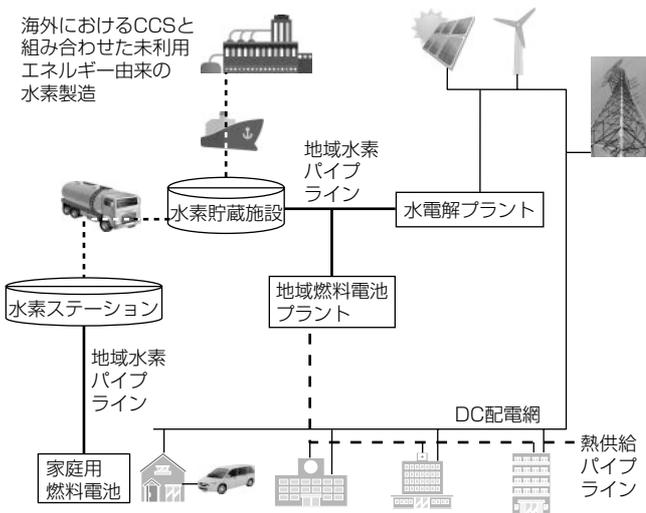


図3. CO₂フリーな水素サプライチェーン

右される再生可能エネルギー電源出力を一次側直流のままDC系統につなぎ、DC基幹系統として広域に接続して地域的な出力変動偏りの緩和を図る。このとき、DC系統に接続される大規模蓄電池を含む変換器の高速制御性を利用して再生可能エネルギー出力変動を抑制するため、DC系統上の複数変換器を使った出力変動抑制技術が重要となる。また、拡大するDC系統と既存AC系統が混在する電力系統の需給面及び系統運用面からの協調制御技術も欠かせない。

3.3 DC系統を支える電力機器

再生可能エネルギー電源からの電力注入やメガシティなど需要系統への電力供給には変換器を使用するため、大容量DC/AC・DC/DC変換技術の開発が必要である。また、AC系統と同じ基準の供給信頼性を維持するためには、故障発生時に高速に大電流が流れる故障設備の除去を可能にする大容量直流遮断器の開発も必要となる。

DC/DC変換器は、現在、MW(メガワット)級以下の低圧機器を中心に開発が進められ実用化されているが、炭化ケイ素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)、酸化ガリウム(Ga₂O₃)等を用いた10kV超級の超高耐圧半導体デバイスの実現によって、送配電関連設備にも適用できる大容量・高電圧の高効率DC/DC変換器が実用化される。次世代半導体デバイスによって、DC基幹系統とAC系統を接続するためのDC/AC変換器の高効率化も可能となる。変換器の高効率化は、省エネルギーや低炭素化社会に貢献できるだけでなく、冷却装置の簡素化による小型、軽量、高信頼性にも寄与する。未来の電力・エネルギーシステムでは、人口減少に突入する国・地域でメンテナンスコストが高くなる。高信頼性によるメンテナンスフリー化が、ライフサイクルコストの削減を実現するために重要となる。

4. 電力・エネルギーシステムの統合制御 (スマート化技術)

未来の電力・エネルギーシステムでは、様々な機器・システム群を統合する統合制御システムがスマート化技術として必要となる。それは、基幹系統から需要家レベルまでの各レベルで再生可能エネルギーを始めとする複数エネルギーを適切な形態で柔軟に出し入れし、最小ロスで供給・融通を行い、高精度な再生可能エネルギー出力予測に基づき必要に応じて供給側と需要側のコントロールを一体的に行う技術である。多数の個別システムが各々自律的にマネジメントを行いつつ、相補的に協調し合い全体として安定かつコスト最小化に向かうシステム制御技術が必要となる。これによって、エネルギーの安定供給、経済性、地球温暖化問題への対応、並びに、安全・安心(3E+S)の社会効用を最大化する基盤インフラを提供する。

5. むすび

2050年の未来社会を想定して電力・エネルギーシステムの姿、そこにいたるまでの発展段階で必要な要素技術と完成のために必要なスマート化技術について述べた。これらはまだ概念検討の部分もあるが、今後の研究開発によって、地球規模での低炭素化社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) エネルギー基本計画, 2014年4月11日閣議決定
- (2) IEA World Energy Outlook 2014
- (3) 国土交通省 国土審議会政策部会長期展望委員会:「国土の長期展望」中間とりまとめ (2011)
- (4) 泉井良夫:スマートグリッド・スマートコミュニティの現状と展望, システム制御情報学会誌, **59**, No.3, 106~111 (2015)
- (5) 横山明彦:新スマートグリッド 電力自由化時代のネットワークビジョン, 日本電気協会新聞部 (2015)
- (6) 経済産業省 資源エネルギー庁:エネルギー関係技術開発ロードマップについて, 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第14回会合) (2014)
- (7) 資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会:第30回基本問題委員会配布資料, コジェネ(熱電併給型のエネルギーシステム)の導入促進のための取組について (2012)
- (8) 資源エネルギー庁燃料電池推進室:業務・産業用燃料電池について (2014)
- (9) 経済産業省 水素・燃料電池戦略協議会:水素・燃料電池戦略ロードマップ~水素社会の実現に向けた取組の加速~ (2014)