

低炭素社会を実現するスマートグリッド

リーダー 財団法人電力中央研究所、東京大学 浅野浩志
東京大学 荻本和彦
東京大学 坂東茂

1. 将来社会の姿

(1) 大きな鍵となる事項

グリーン社会インフラとして、スマートグリッドの技術開発と国際的な普及を図る。我が国は、低炭素型電力需給システムづくりをリードし、世界の温室効果ガス(GHG)削減および新産業振興、雇用創出、地域活性化に寄与する。

(2) 約 30 年後(2040 年頃)の将来の姿

スマートグリッドは、図1に示すように、風力発電や太陽光発電(PV)などクリーンではあるが、発電出力が変動する再生可能エネルギー電源の大規模導入に向けて、高速通信ネットワーク技術等を活用し、住宅用PVシステムなどの分散型電源、さまざまな場所に設置される蓄電池や需要側の情報を統合して、需要側と集中形大規模電源と送配電網などの供給側の一体運用により、高効率、高品質、高信頼度のエネルギー/電力供給システムの実現を目指す次世代電力システムである。我が国では、特にPVなど分散型電源の大量連系への対応が重視され、需要地系統など能動的な配電系統と需要側二次電池(定置用、電気自動車など移動用)や蓄エネルギー機器(ヒートポンプ(HP)給湯機など)との統合制御など需給両サイドが連携した考え方が注目されている。

欧米を中心に、既存系統のスマートグリッド化を国が主体となって政策的に推し進めており、産業界は大きなビジネスチャンスとして期待している。中国等の新興国においても経済発展を支える新たな社会インフラ整備の一環として、基幹系統から需要家系まで上流から下流まで全ての電力需給チェーンで今後の市場の拡大が期待されている。先進国、新興国の多くの地域で 2030 年頃までにスマートグリッド化することを目指しているが、実際に国レベルで導入・普及が完成するのは 2040 年頃と想定される。

(3) 中間点である約 15 年後(2025 年頃)の姿

スマートグリッド化をグリーンニューディールと呼ばれる産業政策の一環として強力に推し進めようとしている米国においては、スマートメーター(遠隔検針を含め双方向の情報通信機能を持つ電力量計)が本格的に普及し、双方向通信ネットワークを活用する新しいタイプのデマンドレスポンスプログラムが効果を持ち始め、需給バランスを維持し、風力発電や太陽光発電を中心に再生可能エネルギー電源がある一定の供給力として寄与しはじめているであろう。ここで、デマンドレスポンス

スプログラムとは、系統運用側から需要家に価格などのシグナルを送り、PVの余剰電力が大量に予想されるとき、分散エネルギーマネジメントシステム(HEMS,BEMS)などを介してヒートポンプ給湯機や電気自動車などのエネルギー貯蔵機能により、電力負荷の時間帯を調整し、系統の需給バランスを図るものである。また、バッテリーを搭載した自動車との間で充電制御(G2V)、二次電池の耐久性向上などの技術進歩によっては充放電制御(V2G)が実現している。

我が国では、再生可能エネルギー電源として、太陽光発電(PV)が大量連系(約 40GW)している頃であり、現状の電力系統のままでは、配電電圧の制御問題や、一部地域では、余剰対策が必要になってくることが予想される。そのため、PVの集中連系など問題が生じようとしている一部の地域では、需要サイドのスマートグリッド(供給サイドはすでにスマートグリッド化)が構築され始めているであろう。

また、プラグインハイブリッド車(PHV)、電気自動車(EV)の本格的普及時期であり、自動車へのバッテリー充電が集中すると、電力系統に大きな影響を与えるため、いかにピーク負荷を増加させないで、走行したいときに十分な蓄電池の残存容量(SOC)があるというユーザーの利便性を両立させるスマート充電が導入されよう。

スマートメーターを含む先進計量システム(Advanced Meter Infrastructure, AMI)の導入により、需要家の電力使用状況をリアルタイムで把握することが可能になり、プライバシー保護などを十分配慮した上で、ホームセキュリティや単身高齢者などの見守りサービスにも応用可能である。

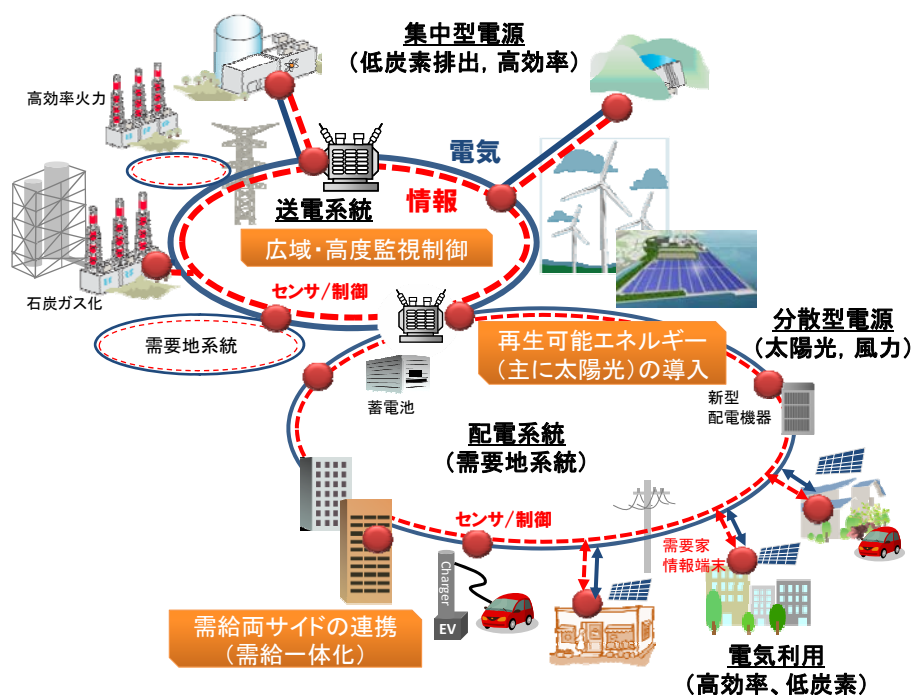


図1 日本におけるスマートグリッドのイメージ

出典: 電力中央研究所

2. 目標とする将来への到達の道筋

(1) 重点的に取り組むべき研究開発課題

スマートグリッド化のための最大の課題は、PV や風力発電などの本格利用を円滑に行うことである。そのためには、PV など分散型電源やリチウムイオン電池などの要素技術と、多様な分散型エネルギー資源を連携させる双方向通信技術および分散エネルギーマネジメントなどの制御技術に重点的に取り組む。近年、技術革新が目覚ましいセンシング技術と無線ネットワーク技術が融合したセンサネットワークは、情報家電やEVなど需要家系のスマートグリッド化の基盤となる。需要と供給の時間的ミスマッチを解消するため、あるいは大きく変動するエネルギーの出力を安定化するためには、需給制御技術およびエネルギー貯蔵装置はキーテクノロジーである。一方、低炭素電力供給のためには、スマートグリッドの基盤技術として従来から進められている原子力発電、火力発電等の高効率化のための技術開発も着実に進められる必要がある。以下に主な重点課題をあげる。

①太陽光発電(PV)システム

住宅屋根設置式では、限られた設置面積を活かすには、効率向上が重要である。メガソーラーなど非住宅向けも含めて、現在、市場で主流となっている結晶シリコン系やアモルファスシリコン以外の太陽電池、例えば、色素増感、有機薄膜など次世代の太陽電池を用いた次世代 PV システムの研究開発が進みつつある。現行システムより高効率、長寿命、信頼性向上、低コスト、柔軟な設置性(フィルム状など)などの特徴を有するシステムが期待される。また、スマートグリッドの要件として PV など気象依存型発電の出力の変動緩和が挙げられ、仮にエネルギー貯蔵性を有する PV が開発されれば、出力安定化の負担が減少する。

②低コスト、高安全二次電池システムの開発

リチウムイオン電池などを中心に、住宅用から系統設置用までさまざまな規模の定置用電力貯蔵装置が開発されつつある。配電用変電所等電力系統側に設置される大規模な電力貯蔵装置には将来、週間運用(電力需要の少ない週末に PV の発電電力を貯蔵し、平日に放電する)に耐える低電力損失と設備費のコストダウンが望まれる。また、EV、PHV の本格的な普及を図るには、車載用など移動体用の低コスト二次電池(重量エネルギー密度 100Wh/kg 以上、出力密度 2000W/kg 以上、コスト 3 万円/kWh 以下)の開発が求められる。

③ 高効率高周波電力変換技術

パワーエレクトロニクスは、半導体による電力変換や電力開閉を行う技術分野で、その適用範囲は、電力の生産、流通、利用の様々な用途で使われ、スマートグリッドの主要技術である。PV用パワーコンディショナー、ヒートポンプ給湯機、エアコン、二次電池、自動車用バッテリーなど数多くの機器の電力のインタフェースとして必要であり、これらの機器の省エネルギー

ギー化、高機能化、コンパクト化に寄与する重要な技術である。研究開発課題として、低損失パワー半導体である炭化ケイ素(SiC)の単結晶膜の低欠陥・結晶成長の高速化、低損失・高周波素子に基づく、スイッチングモジュール、電力変換回路の開発などがあげられる。

④ 高速大容量でセキュアな情報通信制御技術

広範囲に散在する制御所や系統各所に設置されるセンサーとの広域ネットワークは、スマートグリッド化により、より大量の設備監視情報が伝送されることが想定され、大容量で高速の通信を可能とする方式が求められる。また、配電やアクセス系ネットワークにおいて、需要家には遠隔からの検針・情報提供(スマートメーター)やPV余剰電力対策のための需給一体的な連携、エネルギーマネジメントなどを実現する需要家ゲートウェイが設置される。このゲートウェイと電力系統との双方向の情報交換を高いセキュリティと低コストで実現できる情報通信網を構築される必要がある。光・無線融合型通信ネットワークの構成法、IP ベースの標準通信プロトコル、アクセス容易なネットワークへの情報セキュリティ対策、機能モジュール型の需要家ゲートウェイなどの開発が行われつつある。

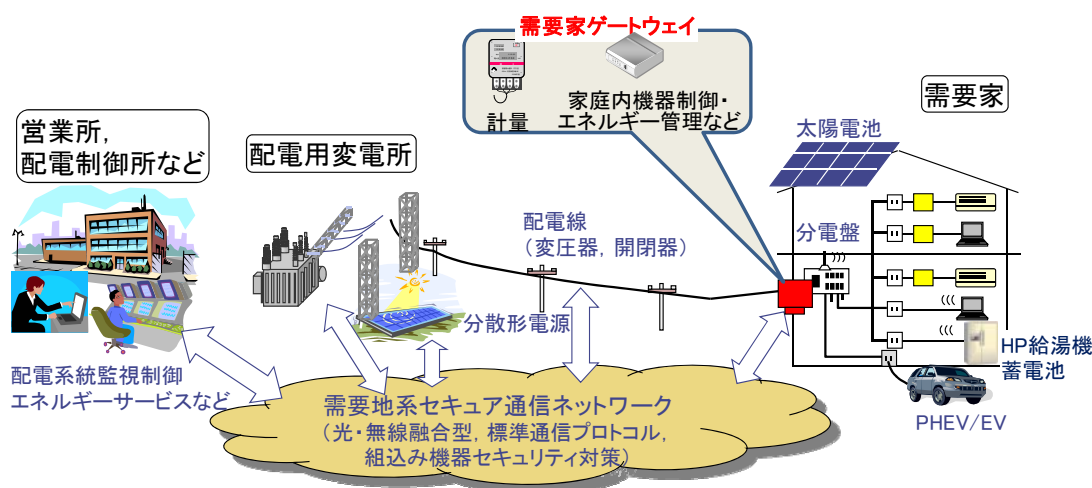


図2 需要地系セキュア通信ネットワーク

出典：電力中央研究所

⑤ 分散エネルギーマネジメントシステムと自動化デマンドレスポンスシステム

建物の需要予測、PV による電力や太陽熱による温熱などの供給予測、省エネルギーおよび低コスト化、エネルギーシステム全体との協調のもとでの最適スケジューリング、実際の建物のエネルギー需給バランスの下での最適制御など分散エネルギーマネジメント技術が重要な研究課題である。これまで、HEMS などその基盤技術はある程度開発されてきたが、スマートグリッドの基本的な考え方であるシステム全体最適化の観点から、連携されたエネルギーシステムはまだ完成していない。特に PV や風力発電など自然変動電源が大量に普及すると、正確な気象情報・予測が必要であり、時間別電力使用量などの需要側情報も個人情報保護

の観点からその利用方法には課題があり、セキュアな利用方法が研究され始めている。

電力需要の価格弾力性を活用して、一時的に購入電力を調整する「デマンドレスポンス (Demand Response, DR)」は、電力系統の状態に応じた需要家側機器の自動制御を支援し、太陽光発電の有効利用に寄与することが期待できる。自動化デマンドレスポンスシステム (Automated Demand Response) とは、電力会社 (電力系統運用者) が送信する DR 制御シグナルに対して、ビルや工場の設備管理者など人を介在させることなく、需要サイドの機器を自動的に制御し、需要家の電力消費パターンを変更する DR システムである。

自動化デマンドレスポンスには、室内の温度・湿度等環境計測、人感センサー等のセンサネットワークを組み込んだ分散エネルギーマネジメントシステム (HEMS、BEMS) が技術の基盤になりうる。

系統運用者からみたとき、自動化デマンドレスポンスシステムは、確実な需給調整効果を可能とし、供給力と同様に評価可能なものにする。特に、災害時や系統事故時など緊急時の需給調整に活用できることが大きな利点である。

また、長期的な研究課題として、PV や風力発電の出力変動抑制技術としても DR プログラムが研究され始めている。プラグインハイブリッド車や電気自動車 (EV) の充電は、基本的には安価な深夜電力を使い、高効率のヒートポンプ給湯機は、CO₂ 排出係数の低い原子力発電の比率が高い深夜に貯湯するが、将来、PV が大量普及すると、周波数調整が困難になり、余剰電力対策として、EV やヒートポンプ給湯機の昼間運転により、PV の出力抑制を回避でき、また、スマート充電も併用することで、電圧や周波数の制御を支援する。

⑥ 再生可能エネルギー出力予測技術

再生可能エネルギー電源導入の最大の課題は、PV、風力などの時間、天気による出力変動であり、これを含めて電力需給計画を策定するためには、一週間前、前日、12 時間前、6 時間前、3 時間前、1 時間前など、需給計画業務と整合した時点での確度の高い出力予測が必要となる。

現在の気象予測技術、数値シミュレーションは、降雨、大風など、災害としての気象予測に重点が置かれている。気象予測と間欠性電源の発電実績の関係を分析するなどにより、PV や風力発電の出力予測が可能となると考えられる。

今後、多数地点の必要頻度における発電実績の蓄積を早期に開始し、長期のデータ蓄積を確保するとともに、データの蓄積により、発電特性解析、発電予測技術の開発を行うことが必要である。

⑦ アプリケーション技術

スマートグリッドによる電力需給に関する情報の活用としては、主たる目的である再生可能エネルギー電源の出力変動を含めた電力需給の高度化以外にも、以下に示すように電力需給関連、それ以外に様々な応用が想定されており、ニーズに応じた技術開発を進めることが必

要な分野である。

A) METER DATA MANAGEMENT SYSTEM (MDMS)による、様々なシステムへの情報提供

- ・顧客情報システム (CIS)、請求システム
- ・停電管理システム (OMS)
- ・電力品質管理と需要予測
- ・配電作業管理(Mobile Workforce Management (MWM))
- ・地理情報システム(GIS)
- ・変圧器需要管理 (TLM)

B) 次世代の系統運用のゲートウェイとなる

- ・次世代配電運用 - Advanced Distribution Operations (ADO)として、配電管理、自動化、事故復旧、分散電源運用、配電地理情報システム、マイクログリッド運用、その他
- ・次世代送電運用 Advanced Transmission Operations (ATO)
- ・次世代資産管理 Advanced Asset Management (AAM)として、需要家サービス、システム運用、設備状態の情報管理、送配電計画の最適化、設備設計と建設、資産運用、状態ベース保全、作業、資材管理、モデリングとシミュレーションなど

⑧ 一般生活支援アプリケーション

電力の使用量を、家庭の合計あるいは機器毎に、リアルタイムあるいは1分～10分程度の頻度で記録して参照できれば、家の中の生活、機器のパフォーマンスなどを想定することができ、見守り、省エネ診断・アドバイス、機器の買い替えの推奨などを行うことができる。ニーズとシーズの組み合わせにより、順次多様なアプリケーション技術の開発が求められる。

⑨ 高効率発電技術

原子力発電の場合はプラントの信頼性確保を図るため、環境・構造強度評価技術の開発が必要である。ガスタービンではタービン翼冷却技術の発展による高効率化、バイオマス発電に関しては、組成が安定していない燃料の高効率燃焼技術の開発が求められる。

(2) 重点的に取り組むべき基礎研究課題

ここでは、(1)よりもさらに基礎的な研究により、ブレークスルーが期待される課題を挙げる。

① 二次電池の材料開発

一回の充電で500kmの走行距離を可能とする低価格の電気自動車を実現するためには、現在のリチウムイオン電池の電池材料や構造では到達できないため、新しい原理の次世代電池の開発が迫られている。また、大量普及時には、希少資源に依存しない材料の開発が望ましい。

② 次世代高効率太陽電池のための新材料技術

長期的には、シリコンや GaAs を用いた太陽電池を凌駕するエネルギー変換効率、例えば、50-70%の変換効率をもつ究極の太陽電池が期待される。これは現状延長の技術では困難と考えられ、量子ドットを用いる太陽電池や中間バンド太陽電池など物性論の基礎研究から始める段階にある。

③ 再生可能エネルギー発電出力予測に向けた気象予測技術

気象の数値シミュレーションにおける再生可能エネルギー向けの対応としては、例えば太陽光発電用の日射予測を行うなど、基本的な構造や機能を向上させる余地があると考えられる。これらの新しいニーズを踏まえ、気象シミュレーションの再開発などを検討する余地は大きい。

④ 高効率高周波スイッチングデバイス

Si を超えた低損失、耐熱特性を持つ SiC、GaN パワーデバイスは、今後 10 年間で大幅な省エネルギー効果を見込めるため、重点的な研究開発が必要である。実現に向けては、高品質で低価格の基盤の量産化に向けた技術開発が鍵となるとされている。さらにその先には更に優れた特性が期待されるダイヤモンドデバイスも研究対象となっている。

⑤ 情報通信のセキュリティ技術

需要家内やアクセス系ネットワークの情報収集に ZigBee など無線センサネットワークが使われようとしているが、ネットワークを通じた攻撃に対する脆弱性などセキュリティ上の懸念があり、制御信号の伝送にはより頑健な方式の開発が必要である。電力系統の全ての範囲でネットワーク化により、データやアプリケーションの連携が進むと、システムのみスや外部からの不正アクセスなどによりシステム障害が引き起こされる懸念が増大する。系統側は外部ネットワークから隔離されているが、需要家側でインターネットによる接続が増えると、暗号化、侵入検知システム、認証などシステムの安全性を高める技術の開発を進める必要がある。

⑥ 原子力・火力発電、バイオマス発電等の高効率化のための超高温耐性材料開発

本項目はスマートグリッドには直結しないが、電力供給の低炭素化を目指す上で、重要な基礎研究課題である。火力発電の高効率化には、サイクルの高温化が欠かせないが、そのためにはさらなる高温耐性材料の開発が必要である。原子力に関しては、高強度、耐熱性、耐照射性を持つ材料と共に、同様のコーティング・ライニング材料の開発が必要である。

(3) 必要とする人材と育成・確保の方策

我が国はこれまで、電力技術分野の人材は豊富で、すでに海外における技術協力やビジネスを展開している。しかし、1990 年代の電力自由化や電力需要の停滞による設備投資抑制等により、多くの若手研究者を惹き付ける分野ではなくなってきており、再活性化の取組みが行われていると

ころである。スマートグリッド分野の研究開発は改めて、電力分野、情報技術分野、再生可能エネルギー、二次電池等の研究を活発にする絶好の機会であり、国際競争に勝ち抜くために、人材の結集、育成が緊急の課題である。

特に人材面で、我が国で欠けているのは、スマートグリッドのようなシステム統合化が必要な分野のリーダー層であり、電力、家電、住宅、通信など個別分野の専門家であると同時に、新規研究開発プロジェクトを戦略的に先導できる洞察力を備えることが重要である。なお、スマートグリッドには、以下の専門分野が関連する。

電力系統工学、送配電工学、電力機器工学、材料科学、機械工学(ヒートポンプなど熱機器関係)、制御工学、システム工学、建築工学、都市工学、気象、情報・通信、心理、行動科学、制度設計、等々

(4) 融合・連携の必要性と融合・連携すべき分野・領域、融合の方法

電力技術を中心に、情報・通信技術、建築・都市工学、制度設計など総合的な研究が必要である。方法としては、家庭、業務用ビル、コミュニティなどに対して、電力供給に限らず、生活支援や他のサービスを含めた総合的なソリューションの提供を目指す。例えば、家庭であれば、世帯、気候などの条件に基づき、住宅の構造・機器の選択、運用、メンテナンスなどをカバーし、快適性、省エネ性、経済性、安全性、エネルギーシステムとの協調を追求できるものがあげられる。

(5) 改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等

現在、我が国の電力供給事業は、電気事業法などの規制に基づき、公正・公平・低廉な電気料金のもとで安定供給が図られている。電力供給の低炭素化には、住宅用PVからの逆潮流を制御するなどこれまでとは異なる事業環境となり、現行の規制が必ずしも最適なものではなくなる可能性がある。そのため、新エネルギーや二次電池、ICT などスマートグリッドに関連するさまざまな技術進歩やその普及状況、社会経済環境の変化に応じて、安全規制や料金設定方式の見直しが必要となることが予想される。例として、分散型電源の系統連系基準、電池や電源を設置する際の建築基準法や消防法、電力使用データなどプライバシーにかかわるものに関しては消費者保護の規制が関わってくる。

(6) 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

スマートエネルギーコミュニティなどは、住宅、都市インフラにかかわる政策、再生可能エネルギーの導入政策など産業政策、エネルギー政策、環境政策、送配電ネットワークにかかわる電力政策などと関連する。また、スマートメーターやスマート機器などに無線通信が多用されるため、通信規制が関連する。

(7) 産業・ビジネス・雇用の創出への効果と促進方策

スマートメーターへの投資や PV、二次電池にかかわる産業の成長、雇用増が期待される。米国

のみでスマートグリッド化により、2030 年までに年間 5000 億円の経済的便益があるとされている。中国など新興市場を含めると莫大な市場創出効果が期待される。異なる業種の産業が参画するため、相互連携を図るコンソーシアムや国際標準など政府も積極的に支援する促進策が有効である。

(8) 目標到達に向けた価値観やライフスタイルの変更

一般の人の環境意識が変わることがスマートグリッド化へのドライビングフォースである。ただし、米国では政府の説明不足により、スマートメーター導入初期において消費者からのクレームなど問題が発生している。スマートグリッドのユーザーへのメリットを明示し、政府による需要家教育が必須である。スマートグリッドの主要なメニューであるダイナミックプライシングに対応するため、家電機器の使用時間帯を変更するなどライフスタイルへの影響が予想される。スマートメーターなどの計測情報を活用して、電力使用状況や CO₂ 排出状況を需要家が把握でき、エネルギーの効率的利用などが促進されることが期待されている。高コストの再生可能エネルギー利用およびそのインフラであるスマートグリッドを、環境意識を強く持つ層や高所得者層のみが受け入れるのではなく、すべての国民がそのメリットを享受するような動機付けが必要である。

(9) 目標到達に必要な国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点等)

国ごとの電力事情や理想とする将来ビジョンが異なるため、今後、取組むべき内容も当然異なる。また、スマートグリッドは、グローバルなGHG削減、途上国の社会経済開発等社会的な便益が大きい。

製造事業者が国外市場をターゲットとする場合、国際標準化策定のための、国際協調が不可欠であると同時に、政府は、どのようなアライアンスを組むかなど戦略的な科学技術外交の推進が求められる。

現段階では、欧米の主要製造事業者と競合しており、価格競争力の面で韓国、中国などからの参入が増加し、国際競争は、激化することが見込まれる。

日本だけのニーズではなく、世界のニーズを取り込んだ、建物の分散エネルギーマネジメントとそれを支える需給技術の体系に関するビジョンの策定が待たれる。これにもとづく、技術開発の方向性を示し、家電製品レベルの大量生産に適した技術の選択と開発が必要である。

(参考)

新たな技術開発という位置づけではないが、スマートグリッド構築に向けて注目度が高いものを下記に示す。

・エネルギー面的利用システムの開発

都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用(建物間で電力・熱・水などを融通)し、物質循環と一体となった面的利用エネルギーシステム(都市部のヒートアイランド現象を緩和し、都市部でも郊外でも低炭素コミュニティづくりに寄与する)

【参考資料】

- [1] 八太啓行、他、需要地系統における蓄電池と給湯負荷を用いたエネルギー運用の検討、平成 20 年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集、2008 年
- [2] 芹澤善積、Smart Grid プロジェクトにおける ICT の動向と次世代グリッド(TIPS)のための通信ネットワークの課題、電力中央研究所報告 R08028、2009 年
- [3] 高橋雅仁、上野剛、高山正俊、浅野浩志、オフィスにおけるデマンドレスポンス制御試験:需要調整効果と居室内快適性の分析、第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、2010 年 1 月
- [4] エネルギー総合工学研究所、平成17年度経済産業省資源エネルギー庁委託調査 超長期エネルギー技術ビジョン、2006 年 5 月
- [5] エネルギー総合工学研究所、平成 20 年度経済産業省資源エネルギー庁委託調査 エネルギー技術戦略 2009、2009 年 5 月
- [6] 日本機械学会技術ロードマップ、日本機械学会誌, Vol.110 No.1067, 付録

グリーンイノベーションにより持続的に成長する日本

低炭素社会を実現するグリーン社会インフラ

世界で低炭素エネルギー供給を実現するスマートグリッド

重点課題

- ・太陽光発電システムの高度化
- ・低コスト、高安全な二次電池システム
- ・高効率高周波電力変換技術
- ・高速かつセキュアな情報通信制御技術
- ・分散エネルギーマネジメント技術とデマンドレスポンスシステム
- ・再生可能エネルギー出力予測
- ・スマートグリッドに付随して開発されるアプリケーション技術

基礎研究

2次電池、太陽電池のための材料開発
物理気象モデル・気象予測技術
高効率高周波スイッチングデバイス用材料開発
情報通信
原子力・火力等高効率化のための超高温耐性材料開発

政策間連携

エネルギー政策(特に再生可能エネ)/電力政策/環境政策/産業政策/通信規制

人材育成策

関連する分野の個別要素技術の専門家でありながら、全体最適の形を見通す洞察力のあるリーダー層の育成

改革 or 導入が必要な社会システム・概念

電気事業法、建築基準法、消防法
電気料金制度

国際競争・国際協調

我が国産業競争力を強化する国際標準化策定のための国としての戦略
戦略的科学技術外交の推進