

2.1.8 電気エネルギー利用 (エネルギーマネジメントシステム)

(1) 研究開発領域の定義

電気エネルギー利用のうち、特に分散型エネルギーマネジメントに関する科学、技術、研究開発を記述する。再生可能エネルギー拡大を背景に電気の需要家が消費者 (consumer) から自ら電気を作るプロシューマ (prosumer) に変貌し、電力エネルギーシステムを構成する重要なセクターに転換していく分散化の流れを中心とし、関係する機器、システム、センシング、ICT、データマネジメント、最適化制御等の総体を本研究開発領域とする。また、地震、台風等の被害が多発する自然環境に鑑み、災害に対するレジリエンスの高い電気利用を可能とする電力エネルギーシステムの観点を取り入れる。

(2) キーワード

変動性再生可能エネルギー (VRE)、分散型エネルギーリソース (DER)、プロシューマ (prosumer)、エネルギーマネジメントシステム (EMS)、デマンドレスポンス (DR)、バーチャルパワープラント (VPP)、柔軟性 (flexibility)、エネルギー・データサイエンス、自動車電動化とV2H (Vehicle to Home) /V2G (Vehicle to Grid)、ZEB (Net-Zero Energy Building) / ZEH (Net-Zero Energy House)、スマートインバータ、災害に対する強靱化 (レジリエンス)、トランザクティブ・エナジー / P2P

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

持続可能な世界の実現に向け再生可能エネルギーが拡大し、その大半が電気エネルギーとして提供されることから、エネルギー最終利用形態の電化は必然的潮流である。同時に需要家には、エネルギー利用効率向上、環境負荷低減に資する蓄電・蓄エネルギー機器、コ・ジェネレーションシステムの導入が進み、需要家がエネルギーを消費するコンシューマから自らエネルギーを作り出すプロシューマ (Prosumer) に変化する。電力エネルギーシステムに向かう先は、「脱炭素 (Decarbonization)」、「分散化 (Decentralization)」、「デジタル化 (Digitalization)」の3Dで特徴づけられる。

変動性の再生可能エネルギー (VRE) が増大し、需要家が保有する大量の分散型エネルギーリソース (DER) が独立に動作すると、電力ネットワークの安定な運用や周波数、電圧等の基本的品質の確保が困難になる。これを補償し電力システムを安定化するためには調整力 (欧州では柔軟性 : flexibility) が必要となる。需要家は、再生可能エネルギー自己消費やエネルギーコスト低減のために分散型エネルギー資源を導入するが、その可用性を損なわず、電力システム安定化のために分散型エネルギー資源を活用したflexibility創出の仕組みが、未来の電力エネルギーシステムの不可欠な基盤になる。

その実現には、電力システムの電流・電圧や設備情報、PV発電量等に関する気象データ等の活用による電力ネットワーク運用最適化システム (グリッドEMS : GEMS) を構築するとともに、需要家においても電気消費量や保有する分散型エネルギー資源の最適な運用のためにEMS (BEMS、HEMS) が不可欠となる。本領域は、分散して存在する個々のEMS最適化に加え、EMS間でデータを共有し、エネルギーシステム全体での効率向上、温暖化ガス排出削減、設備のスリム化・稼働率向上等の効果を創出する手法構築を目指す研究領域である。さらに、災害時にもエネルギーの利用を可能とするレジリエンスの確保や、交通システムなど他の社会インフラとの連携、人の動きと結び付けた都市レベルの多角的・包括的な最適問題など、人間活動に係る重点課題への対策検討の基礎を提供することを企図する。

[研究開発の動向]

電気利用を考える時は、料金やこれを決めるメカニズムの理解も重要となる。歴史的には世界共通に総括原価型電気料金が採用され、電力供給と料金の安定化に寄与した。研究開発もこの両面の観点から、規模拡大への対応、高電圧化による損失低減、設備のコンパクト化、コストダウンが中心であった。電気利用の観点からは、電力消費の平準化が中心的課題で、蓄熱システム・機器や蓄電池の開発が精力的に行われた。電気事業やその技術の成熟に伴い、欧米では1990年代から自由化が進められ、市場取引への移行による競争原理の導入、効率化による料金低減が追及された。現在は、第3の波が到来していると考えられている。即ち、これまでは電力システムは安定供給を前提としつつ経済原理を重視してきたが、昨今は地球温暖化防止をはじめとする社会的要請や需要家のニーズに応えることが中心になっている。具体的には、経済性の観点のみでは導入が進まない再生可能エネルギーをはじめとする低炭素技術や省エネルギー推進について、各国は政策による誘導を図っている。例えば、欧州のClean Energy For All Europeans package¹⁾、我が国のエネルギー基本計画²⁾等がある。米国ではエネルギーに関しては州毎に政策が決められ、カリフォルニア州のIntegrated Energy Policy Report³⁾やハワイ州のEnergy Policy Directives⁴⁾等が先導している。

経済原理から社会的要請へと重点が移行したことにより、技術的・政策的に様々な課題が出てきており、主要な研究開発動向もこれに付帯するものとなっている。各国のエネルギー政策は、共通して再生可能エネルギー導入拡大と需要側のエネルギー利用の高効率化、および電化促進を求めている。また多くの国の政策として建物・住宅の省エネルギー化が掲げられている。日本でのZEB/ZEH（ネットゼロエネルギービル/住宅）²⁾、米国カリフォルニア州でのグリーンビルディングでは、省エネルギー建物の定義を定量的に明確化し、断熱・高効率機器の導入による単体での省エネルギー化を基本として、再生可能エネルギーのオンサイトでの発電や外部からの購入を促進している。カリフォルニアでは、一定規模以上のビルにデマンドレスポンス（DR）への対応を義務付ける方向であり、BEMSや機器の自動制御が求められることになる。アメリカ暖房冷房空調学会（ASHRAE）は、電力系統と相互に作用しあうビルディングの概念を打ち出し、ガイドを示している⁵⁾。デマンドレスポンス普及には、ISO、TSO/DSO（日本では一般送配電事業者）、小売り事業者との通信が必要となることから、インターフェースの標準化が進められている。また、需要サイドの大きな動向として、運輸の電化、即ち電気自動車（EV）へのシフトがある。

再生可能エネルギーは、ドイツや日本では固定価格買取制度（FIT）、米国各州ではRenewable Portfolio Standard（RPS）などの政策誘導により、風力や太陽光発電（PV）といった変動性再生可能発電（VRG）の導入が急速に進んだ。風力発電の普及は、欧州北部、アメリカ中西部等、またPVについてはドイツ、カリフォルニア、ハワイ、アリゾナ等で特に顕著である。このVRGの拡大は電力貯蔵の必要性を増大させている。また、住宅太陽光発電の導入も各地で進み、同様に電力貯蔵の導入も進んでいる。EVも含めると、これらの分散型エネルギー資源は需要家内（電力メーターの内側）に設置されることからBehind-the-Meter（BTM）の資源と呼ばれる。以下に変動性再生可能発電の普及による課題を示す。

- ・ 発電量の予測や制御が困難：発電量が天候に依存して変動する。その導入は電気事業者の計画に基づかず、優遇政策等に左右される。さらに分散型エネルギー資源は系統運用者が制御できない。
- ・ 電気の流れの双方向化に伴う課題：Prosumerからの発電の増加により電気の流れの双方向化が進展し、送電網と配電網の相互作用を考慮した電力システム全体の運用の在り方や、系統混雑・電圧逸脱等の課題が顕在化している。
- ・ 系統での慣性力不足による過渡的な安定性の課題：PV、バッテリーなどのインバータ接続の発電設備・機器の総量の増加と、火力発電設備など慣性力を有する調整電源の減少に伴い、系統事故などの擾乱

に対する系統の安定性が低下する。

- ・市場における価値の検討：PV等、経済的な補助を得て導入され、発電に要する燃料費がゼロである資源を市場に取り込んだ時の経済的価値・料金の考え方について検討が必要。

これら課題に伴う各国の技術開発や取組は、変動性再生可能発電や分散型エネルギー資源をどのようにして電力システムの計画・運用に取り込み、変動の緩和・制御に貢献させ、市場に取り込んでいくかである。また分散型エネルギー資源の主要機器である蓄電池の急速な価格低下が進行中であることも考慮する必要がある。さらに、途上国の非電化地域への電力供給や、近年頻度が増している地震、台風、集中豪雨、山火事等、災害時のエネルギー確保への関心が高まっている。このような状況を踏まえた上で、以下に主要な研究開発や実装に向けた技術・制度の動向を示す。

・住宅でのPV発電電力の自家消費促進

- ・逆潮流量と電気料金を相殺するNet Meteringの廃止(ハワイなど米国)、FIT終了後の買取ルール(日本)に伴う技術導入。例えば、バッテリーの設置、PV・電力需要との協調制御、このための HEMS、クラウドコントロールシステム等。

・分散型エネルギー資源・デマンドレスポンスの活用・統合制御による flexibility の創出と系統運用サポート、および市場への統合

- ・蓄電池によるアンシラリーサービスやランピングサービス(ダックカーブ対策)、EV充放電・給湯器による周波数制御・需要シフト(電力ピークマネジメント)、需給調整市場・エネルギー市場・容量市場への参入。
- ・米国連邦エネルギー規制委員会(FERC)は、2011年10月ISO/RTO卸電力市場に、高速ランピング調整力を提供可能な電源への対価提供を義務付ける「FERC Order 755」を發布し、2018年2月には、電力貯蔵システムの容量市場、エネルギー市場、アンシラリーサービス市場参加を阻む障壁の除去を系統運用機関に義務付ける「FERC Order 841」を發布⁶⁾。

・分散型エネルギー資源統合の技術的検討

- ・需要家側にある分散型エネルギー資源・デマンドレスポンスの統合制御(VPP)のため高度な制御手法と情報通信技術・標準化の検討、分散型エネルギー資源導入可能量評価、設備計画・解析ツールの構築、スマートインバータや分散蓄電池の管理・制御手法の検討、マイクログリッド内での活用・系統連系など多岐の検討⁷⁾。

・変動性再生可能発電の発電量の予測、気象データ活用、精度評価と計画・運用への活用

・その他

- ・上記の進展と並行して、新しい機能の系統側のSCADA、EMSへの搭載、需要家のEMSとのData・情報連携、ISO・TSO・DSO・アグリゲータ・需要家の各システムのアーキテクチャ・市場との連携ならびに最適化を実現する制御手法・アルゴリズム開発等、プラットフォーム。
- ・社会的に進展するIoT、Big Dataと解析、電力エネルギー用AIの開発・活用。
- ・需要家の需要制御や保有する分散型エネルギー資源制御に対する理解促進。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

- ・世界各地で変動性再生可能発電、分散型エネルギー資源を統合したFlexibilityの創出、系統運用・電力市場での活用

- ・日本では、経済産業省が2016年1月に設置したエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネ

2.1

俯瞰区分と研究開発領域 エネルギー区分

ス (ERAB) の検討体制とVPP実証事業において、電力システム制度検討・市場設計との連携、標準通信規格の整備、計量方法、サイバーセキュリティ等の検討により、分散型エネルギー資源統合型 flexibility 創出を進めている。

- ・2001年にカリフォルニア州にて発生した大規模停電を契機に、米国において、電力位相計測装置(PMU: Phasor Measurement Unit) による監視制御システム (SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition) の高度化が進んでいる。1700を超えるPMUが米国の電力系統全域に設置され、周波数をリアルタイムで監視可能な制御システムを構築している。

・自家消費に向けたシステム構築や制御

米国では、PV導入促進策であるNet Metering制度が、電力系統利用の不公平感から廃止の動きが出ている。また日本では、住宅用10 kW以下のPV設備で、2019年からFIT切れの設備が大量に発生。このため、需要のシフトによる需要創出 (シフトデマンドレスポンスや上げデマンドレスポンスという) や蓄電池・EVへの充電など、自家消費に向けたシステム構築や利益最大化の制御等が重要になる。

・PV・風力発電のflexibility提供機能や制御技術検討、ハードウェアの設計・開発・運用

- ・PVの例：インバータに自律制御機能を持たせ、系統運用のサポートを向上させる技術、さらにはこれを最大限活用するための各制御機能を定義するパラメーター設定に関するシミュレーション検討・実フィールド試験など。
- ・風力発電の例：ブレードのピッチ角制御による出力制御や出力の増減制御・周波数制御。

・送電系統と配電系統の統合化のためモデル化、シミュレーション手法・ツールの開発

配電系統や需要家内部に分散型エネルギー資源が増加し、周波数調整のような電力系統全体のサポート機能を担うとともに、配電系統の電圧制御のために無効電力制御を常時行う状況になると、大量の無効電力が上位の送電系統に及ぼす影響や発電機脱落等の系統事故の際の系統全体の過渡的な安定性の定量的な検討が必要になる。

・サイバーフィジカルシステム (CPS) の計画・運用の制御アルゴリズム、データ処理手法等

電力系統や需要家のデジタル情報が取得可能となり、アセット管理、flexibility創出、需要家エネルギーコスト最小化、レジリエンス向上など、各目的に応じたEMSの設計や複数EMS間の相互協調することが重要になってきている。このためさまざまな目的のEMSを相互協調・連携するための制御アルゴリズム、データ処理手法等が必要。

・サイバーセキュリティ

デジタル化に伴うサイバーセキュリティ対策のガイドとして、米国ではNIST IR 7628が2010年に発行され、2014年にその改訂版が発行されている。今後、IoTが進行し、需要家に設置される小容量のシステム・デバイスも含めた“制御系”に発展していく上で、サイバーセキュリティの検討は益々重要になると考えられる。

・需要家の電力消費データの活用

需要家の電力消費データは今後の電力システム運用や新たなサービスビジネスの展開において有用性が高い。需要予測への活用など、今後の不確実性拡大、デマンドレスポンス活用、分散型エネルギー資源普及等において重要性が高まる。世界的にスマートメータの導入が進められており、15分～30分粒度の消費電力データが蓄積されていくことになる。我が国では、2020～2024年目途に全世帯のサービスメータがスマートメータに置き換わる。またサービスメータの電流センサデータ等を活用したデータ解析により需要家内の機器毎の電力消費パターンに分解する技術 (Non-Intrusive Load Monitoring: NILMまたはDisaggregationと呼ばれる) の開発が進んでおり、需要家内の個々の機器の使われ方を把握し、機器故

障検知、不在検知などのサービスへの活用が指向されている。

・トランザクティブエネルギー（Transactive energy）

電力市場の特徴である計画経済的な市場の抜本的な改革を狙いとして、市場経済的メカニズム導入による先進的なコンセプト。電力システムの動的な需給バランスを各ノード・各時刻における価格・価値の情報を元に自動的な電子商取引を行うことで電力系統全体の安定化、最適化を行う経済・制御メカニズムである。ここには個人間取引であるP2P取引も含まれる。2004年に米国DOEが検討組織として「GRIDWISE Architecture Council」を設立。またDOEによる実証試験も実施。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

<国内>

- ・2016年度から大規模なVPP実証事業⁸⁾が行われており、リソースの拡大とともに近未来に制度化される需給調整市場・容量市場の各商品メニューに対応したVPPの制御特性、確実性等の検討が進められている。2018年度より、電気自動車からのV2GをVPPリソースに加えた。
- ・風力・太陽光発電等 変動性再生可能発電の増大に向けて、気象情報や履歴データを駆使した発電予測技術、蓄エネルギー機器（蓄電池、CAES等）の制御による変動緩和技術、風力・PVの出力制御システムと技術の標準化、PV発電と需要家負荷の組合せエネルギーマネジメント・アグリゲーションによる余剰電力の有効活用、次世代の配電系統計画・運用・制御やスマートインバータの活用研究などが進められてきている。また、2019年より、系統の主要個所にPMUを配置し、慣性力を評価する研究や、将来の慣性力不足に対応するための研究開発が始まっている⁸⁾。さらに、日本においても、風力発電を対象とするグリッドコード制定が始まった⁹⁾。
- ・近年の集中豪雨や台風の災害に伴う局所的な停電長期化の事象を踏まえ、災害時にも再生可能エネルギーを供給力として稼働可能とする地域マイクログリッドの構築に向けた事業がスタートしている¹⁰⁾。また、分散型エネルギー資源を広く活用し、脱炭素化やレジリエンス強化を目指すスマートレジリエンスネットワークが創設され、活動を開始している¹¹⁾。

<国外>

- ・送電系統/高圧配電系統への再生可能エネルギー導入拡大を目的とした実証試験として、大規模再生可能エネルギーの統合（Integration of Large-scale renewable energy sources：L_RES）が米国・欧州を始めとして進められている。洋上を含む風力発電群の統合による電圧・周波数管理のための新しい制御検討、出力調整可能な電源群の統合に向けた新しい市場の検討・評価のための計算プラットフォームの構築、再生可能エネルギーの出力予測、配電事業者のデマンドマネジメント統合によるアンシラリーサービスの提供等が検討されている⁷⁾。
- ・中国西部（貴州、雲南、広西等）から東部（広東、上海、北京等）への長距離・超高压送電により、東側の電力不足を解消する計画¹²⁾「西電東送」プロジェクトが進められている。
- ・Renewable Energy Integration Demonstrator Singapore（REIDS）プロジェクト：シンガポール経済開発庁・環境水資源省の助成のもと、南洋理工大学と31の国内外の企業（2018年7月時点）が共同で実施している数百万シンガポールドル規模のマイクログリッド実証事業である。太陽光、風力、潮力発電とディーゼルエンジン、廃棄物発電、power to gasなどの技術を組み合わせたテストベッドになっている。
- ・米国ニューヨーク市ブルックリン地区で、ブロックチェーン技術を適用したP2Pにより、再生可能エネルギー

2.1

ギーの電力取引を地域内で行う実証（Brooklyn Microgrid プロジェクト）が2017年より行われている。電力取引システムはスマートメータを用いて、LO3 Energy 社によって開発されたP2Pによる新しい電力取引によって、再生可能エネルギーの余剰電力が発生した際に、電力消費の促進より需給調整が行われることや、新しいビジネスモデルの創出が期待されている¹⁴⁾。

(5) 科学技術的課題

・変動性再生可能発電 / 分散型エネルギー資源拡大に伴う電力系統との連携・協調、諸課題への対応

変動性再生可能発電 / 分散型エネルギー資源が大量に導入された電力システム（基幹系統・配電系統）で起こる諸現象の解明、蓄電池普及やパワエレ機器の高度化（スマートインバータ化）による効果、EV充電器普及による負荷の面的変動対策と評価、系統故障時の過渡現象解析や安定度評価などのための送電・配電系統モデル、各種分散型エネルギー資源や需要負荷の分散型モデル、モデルの統合解析・シミュレーション手法（T-D Interface）の開発・整備が必要。また、シミュレーション高度化・リアルタイム化のための電力系統モニタリング技術（PMU、センサ付IT開閉器、スマートメータ等による）、広域モニタリングとセンシングの時空間分解能向上。インバータ接続分散型エネルギー資源の拡大と火力発電の減少に伴う慣性力（Inertia）不足への対応（回転型調相機や電力貯蔵の活用等）、スマートインバータの次世代化、更なる高機能化（Advanced Functionality）が必要になる。

・階層型監視制御アーキテクチャ、分散システム間の情報連携・協調制御技術

電力自由化、市場化で先行する欧米型の電力システムの構成要素として、系統運用者（TSO, DSO）、発電事業者、小売り事業者、アグリゲータ（AC, RA）、電力市場、プロシューマや需要家がある。我が国の電力システムにおける分散型情報システム・運用監視制御システムのアーキテクチャ設計が必要となる。デジタルトランスフォーメーション（DX）の活用、セキュリティ対策、各構成要素間のシステム連携における、データ連携、階層化、機能分担、必要なデータ種別・粒度・交換タイミング、分散処理、システム間ネゴシエーションと分散協調最適化に関する研究が必要である。

・小規模電力の需要家間取引

電力システムにおける分散型エネルギー資源、VPP、デマンドレスポンスの仕組みが進展する一方で、市場を介さないプロシューマ間の電力融通・売買の仕組み（P2P取引、系統制約との整合問題等）、取引データの管理とセキュリティの確保（Blockchainの活用、決済との連携等）が関心を集めている。

・通信技術

5GやLPWA（Low Power Wide Area : IoT通信向けの低消費電力型長距離無線）などの最新通信技術を活用し、多数の分散型エネルギー資源を統合化するための低コスト通信技術、データモデル標準化、通信プロトコル標準化、市場への統合（要求とGrid Code）、サーバーセキュリティ確保、今後益々拡大する分散型エネルギー資源を通信で結び統合制御する管理システム（DERMS）の研究開発・実運用が始まっている。しかしながら、データモデルや通信プロトコルについてはレガシーシステムとの相互接続性が課題である。住宅用では、低価格・低リソース化とサイバーセキュリティ確保の両立のために幅広い業界標準化が必要となる。

・不確実性の予測と計画および運用への適用

変動性再生可能発電の増大により出力を予測する技術開発の重要性が増す。広域気象情報、衛星データや過去の発電実績データをもとに深層学習に代表されるデータサイエンス手法を適用し、電力システムの最適運用に役立つ精度とリアルタイム性を確保する。特に周波数安定化条件、分散型エネルギー資源の動特性から、どれくらい先の予測が必要か等の運用ニーズと必要精度を見極めた研究開発が肝要となる。

● 需要科学とエネルギー・データサイエンス

スマートメータ等のエネルギーデータとスマートフォン位置情報（GPS）、自動運転ログデータ等のビッグデータを連携活用し、エネルギー消費分析、需要家機器稼働分析、消費者行動分析、行動経済学的分析、さらに新たなサービスの提供などを実現するオープンデータベースが期待されている。他方、情報セキュリティ、プライバシー保護、トラスト管理などの課題もある。また、消費行動に基づく需要の動的挙動を考慮した電力市場価格モデル、インセンティブ設計手法などの行動経済学的研究も必要となる。さらに、IoT/ビッグデータ/人工知能技術を駆使した、膨大なエネルギーデータの高速解析技術、マルチスケールの分散型エネルギー資源アグリゲーションによる高速・高精度需給調整力の創出に関する研究も今後有用になる。

(6) その他の課題

● BCP 電力によるレジリエンシーへの貢献

- ・ 近年、大規模地震や大型台風、集中豪雨による河川氾濫などの被害、さらにはCOVID-19に至るまで、災害対策は重要な社会的課題であり、事業継続性（BCP）視点での電力供給システムのレジリエント化は重要課題となっている。また、昨今のCOVID-19感染症拡大防止策により、社会のエネルギー利用形態が大きく変化しつつあり、今後のエネルギー政策の視点でそれらの動向把握が急務である。

● エネルギー・オープンデータ・プラットフォームの構築

- ・ 需要サイドのエネルギー実データを活用した需要科学等の様々な研究が期待されるが、オープンデータの不備が課題である。結果として、高速・大容量エネルギーデータ処理・通信技術、電力システムの高速リアルタイム制御技術、需要家行動原理をモデル化した需要予測技術・電力市場の制度設計方法論など、広範な研究開発領域が未実施のまま残されている。
- ・ EMSが持つ意味としてとしてデータの収集・分析、その活用まで広がっている。このため多種多様なEMSデータを有機的に結びつけ、さまざまな分野への活用や相互連携、および異なる事業者の壁を超えたデータ共有・利活用で、新たなサービス価値を創出して社会実装にまでつなげていく仕組みが重要である。市民や事業者間（民・産）の利益相反に対し、学術領域（学）が中立公平な立場で牽引・調整役となり、行政（官）による制度設計を踏襲しながら多種多様な企業が連携した産学官連携プラットフォーム型のEMS研究開発や事業モデル研究などを推進していくべきである。
- ・ 個人情報保護とユーザの受容性を確保した上での、産業振興につながるエネルギー・ビッグデータ整備支援、データ収集の仕組み構築、国家補助事業におけるデータ提供の義務化など、研究環境整備に向けたプラットフォーム構築に政策レベルの支援が必要である。
- ・ 社会実装のためには技術のみならず制度面を含めたイノベーションが必要。

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	● JST 未来社会創造事業の一部領域、及びNEDO 事業における実証事業などにおいて 電気自動車や再生可能エネルギーの導入拡大に向けた分散型 EMSに関する技術開発や気象データを用いた予測技術、蓄電池・スマートインバータ・慣性機能付きインバータによる出力制御・系統安定化技術、ユニットコミットメントモデルなどの多岐にわたる研究が大学、研究機関を中心に実施されている。

	応用研究・開発	◎	↗	●継続的な再生可能エネルギー電源の導入、電力系統の安定化を目的とした太陽光/風力発電の出力制御技術、DR/VPP、ZEB、ZEH、配電損失最小化の実証試験など電力会社を始めとした多くの企業・研究機関・自治体が参画した実証試験が数多く進められている。またEV用電池の再利用、VPP構築、VPP/V2Gアグリゲータ、スマートインバータの他、IoT、AI技術を活用したサービス・電力ビジネス開発、ブロックチェーンに関する実証試験なども活発に行われている。また、災害に対するレジリエンス、BCPの観点から、マイクログリッドが再度関心を集めている。
米国	基礎研究	○	↘	●政府として国立科学財団（NSF）や米国エネルギー省（DOE）がつける当該領域の研究開発予算は減少傾向にあり、特にDOEの研究開発予算は計算科学・サイバー関連の基礎研究にシフトしつつある傾向がある。また、エネルギー応用・再生可能エネルギー関係の戦略的研究開発を推進・補助してきたDOEのエネルギー効率・再生可能エネルギー部（EERE）が展開する研究開発予算も大幅な削減傾向にある。
	応用研究・開発	○	↗	●州主導で民間と提携する形でのエネルギー利用に関する研究開発は地域によっては非常に活発。例えばカリフォルニア州では2030年までに電源構成の60%を再生可能エネルギーに、2045年までに全ての天然ガス火力発電の廃棄を予定しており、LS Power Group¹³⁾やVistra Energy、PG&E¹⁴⁾などの企業と連携する形で出力変動のバランスを取るためのエネルギー貯蔵設備の導入・運用が実証試験と並列する形で著しいペースで進んでいる。
欧州	基礎研究	◎	↗	【EU】 ●EUの2014-2020年の7か年計画である科学技術計画Horizon 2020において、再エネの効率的利用などに関する研究が活発に為されてきたが、その後継となるHorizon Europe¹⁵⁾（2021-2027）においてもさらに大規模な公的資金の投入が予定されている。特にSDGsの達成を見据えて想定予算の半分近くが注ぎ込まれる予定のGlobal Challenges and Industrial Competitivenessの中で、Climate、Energy and Mobilityがキーワードとして挙げられており、気象やモビリティなどとの関連を踏まえた学際的な研究開発強化の傾向が強く見られる。 【ドイツ】 ●ドイツ連邦経済エネルギー省（BMWi）は2018年に第7次エネルギー研究計画において、2022年までの研究開発における64億ユーロ程度の投資を宣言している。これは第6次計画（2013-2017年）と比較して45%程度大きな研究予算となっており、エネルギー効率や再生可能エネルギーを含めた応用指向のエネルギー基礎研究に対する大きな推進力となっている。 【フランス】 ●原子力利用にまつわる研究開発傾向が根強い一方で、政府主導で温室効果ガス排出削減のための研究開発に力を入れており、特に燃料電池システム研究の先駆的研究機関の1つであるフランス国立科学センター（CNRS）が中心となり、水素の製造・貯蔵・流通・利用に関する研究開発が進められている。 【英国】 ●政府主導の産業戦略の中で新築建物における熱・電気利用を2030年までに半減させる目標などを挙げており、関連する研究開発に対するスタートアップ投資を行うなど活発な研究開発が実施されている。特に英国の研究資金助成機関Innovate UKはエネルギーシステムや、再生可能エネルギー技術開発などに関わる産学共同の研究センター（カタパルトセンター）を設置し、研究助成額を大きくつける¹⁶⁾など、基礎研究の分野における活動促進が進められている。

2.1

俯瞰区分と研究開発領域
エネルギー区分

	応用研究・開発	◎	↗	【EU】 ●Horizon 2020における取組では、分散電源と蓄電池との統合活用や商業施設用の大規模燃料電池の実証、広域計測システムの構築や、EV・PHVのV2Gやアンシラリーサービスへの活用、電力系統における大規模蓄エネルギー設備の活用や、実際の系統監視システム、卸売市場を対象とした実証試験など実用化を見据えた応用研究が精力的に行われてきている。この傾向は後継であるHorizon Europeにおいても色濃く継承されるものと考えられる。 【ドイツ】 ●再生可能エネルギーの導入拡大、発電電力の熱利用などの観点から様々な実証試験プロジェクトがドイツ連邦経済エネルギー省（BMWi）の主導の下で盛んに実施されている。特に電力・熱を含めた種々インフラ群の総合的なサービス形態の提供において先駆的なStadtwerkeに代表されるセクターカップリングの観点から、温室効果ガス排出削減を実現するための研究開発・実証試験が盛んに実施されている。 【フランス】 ●政府主導での温室効果ガス排出削減の取り組みの一環として水素によるエネルギー貯蔵技術普及が進められており、エネルギー事業者Engieを中心としたPower to Gas実証プロジェクト（GRHYD）や燃料電池車両の普及利用の実証試験が実施されている。特にフランス国立科学センター（CNRS）は燃料電池システム研究の先駆的研究機関であり、地方自治体との協働の形で水素利用に向けた技術開発・実証試験が盛んに進められている。 【英国】 ●低炭素発電技術を対象に2014年から継続的に設けてきた補助金を踏襲する形で洋上風力に関するセクターディール政策を2019年に提言しており、再生可能エネルギーの利活用に関する研究開発・技術輸出などに大きな力を入れている。
中国	基礎研究	○	→	●十二次（2011 - 2015）、および、十三次（2016-2020）五カ年計画において、政府主導で「UHV送電ネットワーク」「送電ネットワーク」「スマートメータ」「スマート充電施設」「電力供給能力・安定性」「電力供給・ネットワーク・需要・貯蔵の開発」「スマート社会の開発促進」「分散型エネルギーとマイクログリッドの開発」などの観点から重点的な基礎研究開発計画を支援。
	応用研究・開発	◎	↗	●5Gネットワークを活用したスマートグリッド技術や、5G基地局運用におけるエネルギーマネジメント技術などの大型実証試験プロジェクト¹⁷⁾が行われ、通信技術なども含めた多角的な応用研究が実施されている。 ●「九横九縦」と呼ばれる五大陸を1.25 TWの送電線でつなぐ地球規模の「グローバルエネルギーインターネット」のためのインフラ構築など、現在非常に大きな構想を掲げた上で開発技術群の実用化を行う動きがある。
韓国	基礎研究	○	↗	●パリ協定実現に向け、国策としてスマートグリッド技術などエネルギー利用に関する研究開発を重視、2016年基準から2021年までに関連技術に対する投資を2倍にすることを目標とした研究開発推進が為されている。 ●一方、「韓国版ニューディール政策」として2025年までに160兆ウォン（約14兆円）の予算規模での政府としての投資戦略が提示されており、うち73兆4,000億ウォンの予算規模で実施されるグリーンニューディールにおいては「老朽化した公共施設のゼロエネルギー化推進」「スマートグリーン都市、および学校の推進」「電気自動車、燃料電池車の普及」「太陽光や風力、水素などの再生エネルギーの普及推進」「スマートグリーン産業団地の推進」などがキーワードとして挙げられているが、雇用の創出という観点が強く、研究開発活動を促進する新たな枠組みとなるかは現状不明瞭。

	応用研究・開発	△	→	● 応用・実用の観点からは原子力発電技術などに定評があり、関連技術のサウジアラビアや南アフリカ共和国、チェコ共和国に対する提供などを近年進めてきた実績はあるが、一方で再エネの導入促進や電気エネルギーの利用効率化に纏わる顕著な研究開発プロジェクトなどは見えていない。
--	---------	---	---	--

(註1) フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

(註2) 現状 ※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

○：顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) テレンド ※ここ1～2年の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

関連する他の研究開発領域

- ・電気エネルギー利用（電力貯蔵）（環境・エネ分野 2.1.9）
- ・エネルギーシステム評価（環境・エネ分野 2.1.14）
- ・ブロックチェーン（システム・情報分野 2.5.7）

参考・引用文献

- 1) European Commission, “Clean Energy for All Europeans”, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans> (2021年1月19日アクセス)
- 2) 資源エネルギー庁, 『第5次エネルギー基本計画』, http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf (2021年1月19日アクセス)
- 3) California Energy Commission, “Integrated Energy Policy Report 2018”, <https://www.energy.ca.gov/data-reports/reports/integrated-energy-policy-report> (2021年1月19日アクセス)
- 4) Hawaii State Energy Office, “Energy Policy”, <http://energy.hawaii.gov/energypolicy> (2021年1月19日アクセス)
- 5) ASHRAE, “Smart Grid Application Guide, Integrating Facilities with the Electric Grid”, 2020, <https://www.ashrae.org/about/news/2020/ashrae-releases-smart-grid-application-guide-integrating-facilities-with-the-electric-grid> (2021年1月19日アクセス)
- 6) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 『エネルギー情報局が発表した「米国蓄電池市場の動向」の概要』, <https://nedodcweb.org/wp-content/uploads/2018/06/EIA-Battery-Storage-Trends.pdf> (2021年1月19日アクセス)
- 7) Joint Research Centre (JRC), “Smart grid projects outlook 2017”, <https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-grids-observatory> (2021年1月19日アクセス)
- 8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 『2019年度「再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代電力ネットワーク安定化技術開発」に係る実施体制の決定について』, <https://www.nedo.go.jp/>

koubo/AT523_100089.html (2021年1月19日アクセス)

- 9) 経済産業省資源エネルギー庁第20回 総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会新エネルギー小委員会系統ワーキンググループ, 『グリッドコードの体系および進め方について』, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/020_01_00.pdf (2021年1月19日アクセス)
- 10) 環境共創イニシアチブ, 『平成30年度補正予算 災害時にも再生可能エネルギーを供給力として稼働可能とするための蓄電池等補助金 (地域マイクログリッド構築支援事業) 』, <https://sii.or.jp/microgrid30r/note5.html#A3> (2021年1月19日アクセス)
- 11) スマートレジリエンスネットワーク, <https://s-reji.com/> (2021年1月19日アクセス)
- 12) Xiaotian Chen, “The Impact of China's "West to East" Electricity Transmission Project on Energy Poverty,” *All Theses* 2286, (2015), https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.co.jp/&httpsredir=1&article=3291&context=all_theses (2021年1月19日アクセス)
- 13) Power Engineering, “Gateway Energy Storage projects brings 62MW online to California grid,” <https://www.power-eng.com/2020/07/14/gateway-energy-storage-projects-brings-62-mw-online-to-california-grid/#gref> (2021年1月19日アクセス)
- 14) Renewables Now, “Vistra to operate 400 MW/1,600 MWh battery storage system in California,” <https://renewablesnow.com/news/vistra-to-operate-400-mw1600-mwh-battery-storage-system-in-california-699537/> (2021年1月19日アクセス)
- 15) European Commission, “Horizon Europe -the next research and innovation framework programme,” https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en (2021年1月19日アクセス)
- 16) E. Gibney, “Innovation Agency Takes Centre Stage,” *Nature*, 547, no.7664 (2017) : 390-391, DOI : 10.1038/547390a
- 17) 国家电网有限公司 (国家电网) 『中国最大の5Gスマートグリッドを構築』, <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c15167571/content.html> (2021年1月19日アクセス)

2.1

俯瞰区分と研究開発領域
エネルギー区分