

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

“スマートグリッド”とは、電力供給システムの目指す姿を表す概念的用語であるが、既存の電力供給システムの完成度や電気事業体制、目指す目的により、国や地域によってその概念は若干異なっている。しかしながら一般的には、「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・活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すもの」¹を指すものと考えられている。従って“スマートグリッド技術”とは、「高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を可能とするための新たな、または高度化された電力技術」と捉えられる。

我が国においては、太陽光発電の大量導入に伴い懸念される系統運用上の諸課題（軽負荷期の余剰電力問題や、配電線の電圧上昇問題等）に対応する目的で、スマートグリッド技術の活用が検討・期待されている。

そのため本章では、我が国の再生可能エネルギーの導入を促進するための基盤技術となるスマートグリッド技術について、技術の現状、および課題の整理・分析を行い、我が国において今後開発を進めるべきスマートグリッド技術のロードマップを策定した。

なお、スマートグリッド技術は、停電時間が短い等、世界でも有数の信頼度・品質を誇る我が国の電力技術を活かすことで、我が国の戦略的な海外展開の柱となる可能性を秘めている。従って本章では、我が国においては導入されていない、または導入する予定がない技術であっても、スマートグリッド技術として世界的に導入・研究されている技術も対象に含めている。

9.1 技術を取りまく現状

9.1.1 技術の俯瞰

(1) 各国の取組状況の俯瞰

米国や欧州での取組みを発端として、スマートグリッドへの取組みが世界的に盛んである。各国で取り組まれているスマートグリッドは、既存系統システムの完成度や、スマートグリッド化する目的の違いにより、図表 9.1 に示す 4 タイプに概ね分類できると考えられる。

図表 9.2 に世界の主なスマートグリッド関連のプロジェクトを示す。例えば米国では、ARRA（米国再生・再投資法）によるスマートグリッド関連事業への助成を背景に、多くのプロジェクトが進展している。電力自由化に伴う電力網への投資抑制により老朽化した設備が増えてきているが、IT を活用してその更新費用を抑えつつ、供給信頼度向上を目指す取組みが進められている。また IT の活用や需要家情報の取り込み等を行い、新たなビジネスを生み出す動きも盛んであり、

¹ 「低炭素電力供給システムに関する研究会報告書」（低炭素電力供給システムに関する研究会、2009年7月）

重電メーカーやIT企業などが積極的に海外にも進出し、ビジネスの拡大を目指している。

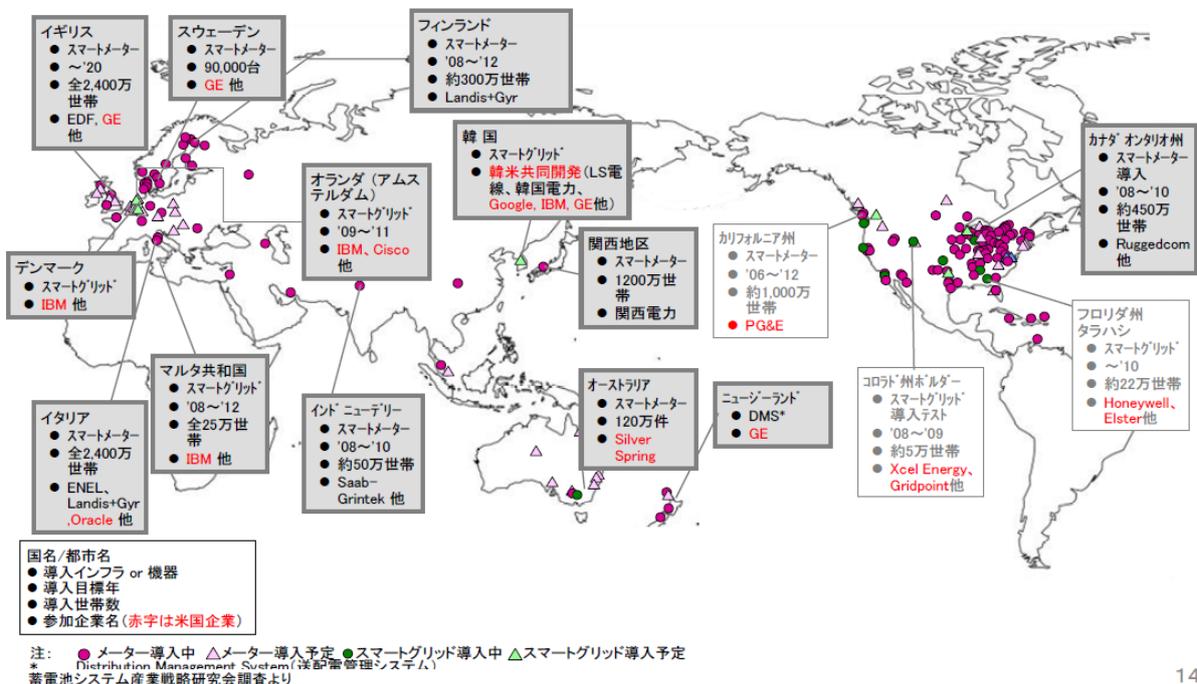
図表 9.1 スマートグリッドの4タイプ

タイプ	目的	該当地域	機能・能力
供給信頼度強化型	<ul style="list-style-type: none"> 老朽化した電力網を更新 保全コストを抑制しつつ、供給信頼性を向上 	<ul style="list-style-type: none"> 米国（東北部など） 	<ul style="list-style-type: none"> 新たな送電・配電網設備 停電監視、障害解析 系統安定化技術など
再生可能エネルギー大量導入型	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電など再生可能エネルギーを積極的に導入 低炭素型の街づくりを視野に 	<ul style="list-style-type: none"> 欧州 日本 	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電など分散電源 蓄電技術 PHEV など
急成長需要充足型	<ul style="list-style-type: none"> 急成長する新興国のエネルギー需要を充足 盗電を含むロスを削減 	<ul style="list-style-type: none"> インド ブラジル 	<ul style="list-style-type: none"> 新規電源（クリーンコール） 新たな送電・配電網 遠隔監視、遠隔操作など
ゼロベース都市開発型	<ul style="list-style-type: none"> 低炭素型の新都市をゼロベースで構築 社会システム一式の輸出も 	<ul style="list-style-type: none"> ポルトガル 中国（沿岸部） シンガポール 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーインフラだけでなく、生活、ビジネス、交通なども含む社会システム一式

出典：日経エコロジー2010.5, p27（出所：アクセンチュア）より一部改

図表 9.2 世界の主なスマートグリッド関連プロジェクト

○BRICSをはじめとした新興国の経済成長を背景に、電力、水道、鉄道、道路といったインフラ需要が旺盛。都市開発とセットのところも多い。
 ○海外では、スマートグリッドや関連するインフラ整備を含めたプロジェクトが多数進行中。
 ○米国では、国内実証とともに海外展開を積極的に推進。



出典：第7回次世代エネルギー・社会システム協議会資料（2010年1月19日）

スマートグリッドに関して積極的な取り組みを進めている欧州、米国、欧州、中国、韓国、日本の取り組み状況を整理・比較したものが図表 9.3 である。

図表 9.3 スマートグリッドに関する主要国・地域の取組み状況の比較 (1/2)

	欧州	米国	中国	韓国	日本
背景	風力発電の大量導入 大停電事故	発・送電設備のインフラ不足 大停電事故	電力供給不足の解消	新たなビジネス機会と認識	太陽光発電の大量導入
主目的	風力発電の大量導入(それに伴う産業育成) 安定運用	ピーク需要の削減 需要家情報の積極的利用による情報産業育成 供給信頼度の向上	再生可能エネルギーの有効利用、電力品質の向上、送電網の高度化	世界のスマートグリッド市場の 1/3 のシェア獲得を目指す 省エネと再生可能エネルギーの大量導入	太陽光発電の大量導入(それに伴う産業育成) 安定運用
対象	送電系と需要家を含む配電系を別々に捉える(マイクログリッドも含む)	需要家を含む配電系が中心(マイクログリッドも含む)	送電系統が中心	発送電系と需要家を含む配電系を一体的に捉える	発送電系と需要家を含む配電系を一体的に捉える
系統側制御	風力発電制御 揚水発電 圧縮空気貯蔵制御	PMU を用いた広域監視制御	PMU を用いた広域監視制御を指向	広域監視制御 蓄電池制御	風力発電制御 揚水発電 蓄電池制御
需要家側制御	スマートメーター 見える化 PHEV・EV 制御 引き込み線スイッチ制御 デマンドレスポンス スマート家電	スマートメーター 見える化 PHEV・EV 制御 引き込み線スイッチ制御 デマンドレスポンス スマート家電	—	スマートメーター PHEV・EV 制御 デマンドレスポンス	スマートメーター 見える化 PHEV・EV 制御 太陽光発電制御 蓄電池制御 ヒートポンプ給湯器

図表 9.3 スマートグリッドに関する主要国・地域の取組み状況の比較 (2/2)

	欧州	米国	中国	韓国	日本
主な政策	<ul style="list-style-type: none"> ●EU 再生可能エネルギー電力促進指令(2001) <ul style="list-style-type: none"> ・ 電力分野への再生可能エネルギーの導入量の各国割当 ●需要家側エネルギー効率・エネルギーサービス指令(2006) <ul style="list-style-type: none"> ・ スマートメーター導入の義務化 ●EU 再生可能エネルギー促進指令(2009) <ul style="list-style-type: none"> ・ 2020 年までに最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合を20%にすることを目指す ●その他、各国での取組み(スマートメーターの設置義務化など) 	<ul style="list-style-type: none"> ●DOE Grid 2030 <ul style="list-style-type: none"> ・ DOE 主導で次世代の電力システムのあるべき姿を論じた内容をまとめたもの ●Energy Policy Act of 2005 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電力系統設備の老朽化へ対応 ・ 電力需要増に対して設備利用効率を向上→デマンドレスポンスの必要性 ●Energy Independence and Security Act of 2007 <ul style="list-style-type: none"> ・ デマンドレスポンス等の技術実証予算措置 ・ 標準化の推進(NIST が担当) ●American Recovery and Reinvestment Act 2009 <ul style="list-style-type: none"> ・ 45 億ドルの予算措置 ●その他、各州、団体での取組み 	<p>政府は、2009 年 11 月に「米中クリーンエネルギー技術に関する共同イニシアティブ」を発表。米中再生可能エネルギーパートナーシップの立ち上げや、米中エネルギー協力プログラムの設置について合意。中国におけるスマートグリッドのあり方をステークホルダー間で協議する「China Smart Grid Cooperative」を設立。</p>	<p>2010 年中に、「スマートグリッド構築および支援に関する特別法」を制定予定</p> <p>2009 年 6 月に、韓国スマートグリッド協会と米国グリッドワイズアライアンスが、協力に向けた覚書を締結</p> <p>韓国知識経済部の李長官と米 DOE のチェー長官が、エネルギーに関する協力意向書に署名。済州島でのスマートグリッド実証事業に米の技術を導入することなどを確認。</p>	<p>スマートグリッドに関連する法律はないものの、経済産業省を中心に下記の取組みを実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 低炭素電力システム研究会 ・ 次世代送配電ネットワーク研究会 ・ 蓄電池システム産業戦略研究会 ・ 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会 ・ 次世代エネルギー・社会システム協議会 ・ エネルギー基本計画の改定 <p>また、官民一体の取組みとして、スマートコミュニティ・アライアンスを設立し、米国グリッドワイズアライアンスとの協定を締結。</p>
主な実証研究等	<ul style="list-style-type: none"> ・ ETP SmartGrids ・ European Smart Metering Alliance(ESMA) ・ Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy (Smart-A) ・ その他、各国における研究(ドイツ E-Energy プロジェクト) 	<ul style="list-style-type: none"> ●DOE 関連 ・ Smart Grid Regional Demos 関連 (09.11.24 決定の 16 プロジェクト) ・ Energy Storage Demos 関連 (09.11.24 決定の 16 プロジェクト) ・ Microgrid プロジェクト関連 ●その他 ・ SmartGridCity(Xcel Energy 等) ・ スマートメーター、デマンドレスポンス関連(各州) ・ Intelligrid Initiative(EPRI) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天津エコシティプロジェクト ・ 張北プロジェクト 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 済州島でのスマートグリッド実証研究 ・ 2012 年度までに、10 の IT Power 実証を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・ スマートメーター大規模実証実験事業 ・ スマートハウスプロジェクト ・ 離島マイクログリッド実証研究 ・ 米国ニューメキシコ州における日米スマートグリッド実証 ・ スマート EV チャージプロジェクト ・ 次世代エネルギー・社会システム実証事業 ・ 次世代送配電系統最適制御技術実証事業
ロードマップ	ETP SmartGrids で作成(図表 9.66)	DOEにて2030年までの開発計画を作成(図表 9.71)	国家电网会社が2009年に発表(図表 9.72)	知識経済省が2010年1月に発表(図表 9.75)	—

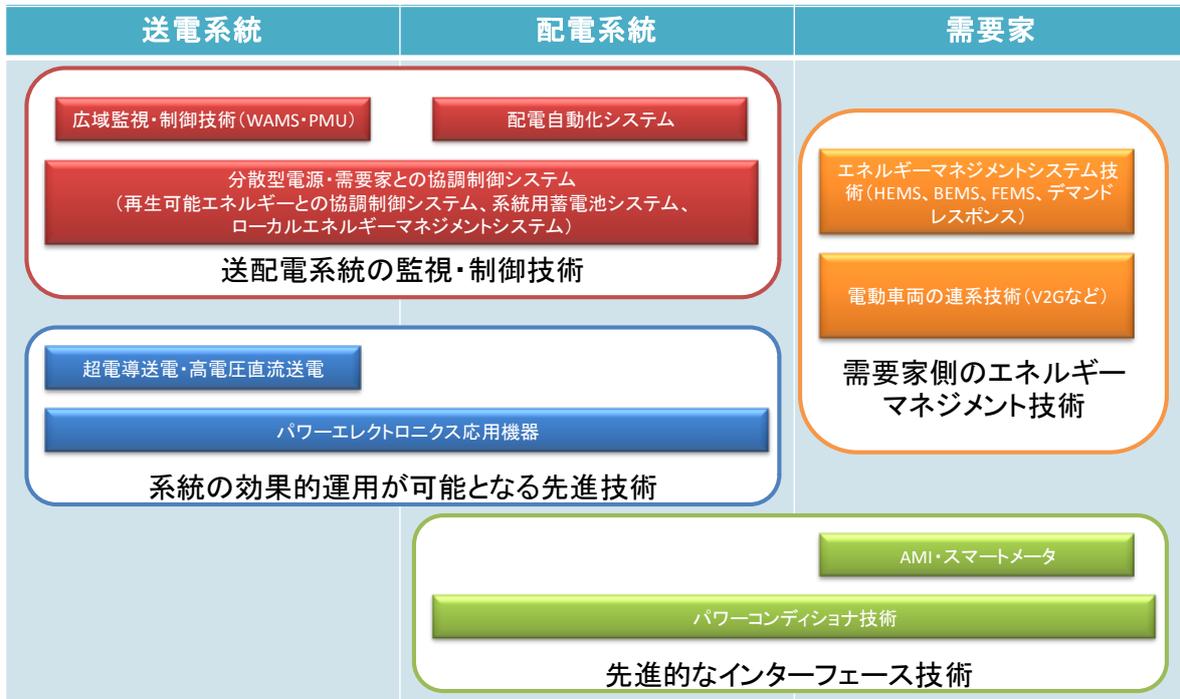
出典：横山明彦、「よりスマートなグリッドの構築に向けて (II)」(電気学会論文誌、130 巻 3 号、2010) などをもとに作成

(2) スマートグリッド技術の俯瞰

スマートグリッドとは、「従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信ネットワークにより分散型電源やエンドユーザーの情報を統合・活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すもの」であり、スマートグリッド技術とは、この概念を実現するために必要となる新たな、または高度化された電力技術とすることができる。

図表 9.4に示すように、スマートグリッド技術は送電系統、配電系統、需要家側の様々な場面で適応される技術を含んでいる。これらの技術を機能別に整理すると、「①送配電系統の監視・制御技術」「②需要家側のエネルギーマネジメント技術」「③系統の効果的運用が可能となる先進技術」「④先進的なインターフェース技術」と分類される（図表 9.4、図表 9.5）。これらの技術の導入・研究開発状況を俯瞰したものを図表 9.6 に示す。

図表 9.4 スマートグリッド技術の導入先



図表 9.5 スマートグリッド技術の機能別分類

機能	概要
①送配電システムの監視・制御技術	<p>現状の系統自動化、配電自動化システムに加え、今後導入が進展すると考えられる分散型電源（太陽光発電、風力発電、蓄電システム等）の管理、およびデマンドレスポンス、エネルギーマネジメントシステムに対して系統運用システムとして情報の授受を行う技術。</p> <p>具体的には、中央給電指令所やローカルの給電所・制御所などでの監視・制御技術であり、WAMS やその重要構成要素である PMU(Phasor Measurement Unit)、分散型電源や需要家、蓄電池との協調制御技術、地域でのエネルギーマネジメントシステム、先進的な配電自動化システムを指す。</p>
②需要家側のエネルギーマネジメント技術	<p>需要家側のエネルギー設備を制御し、省エネルギーや系統貢献を行う制御技術。系統情報・気象情報・電力価格情報に基づく制御の場合もある。</p> <p>具体的には、HEMS や BEMS、FEMS などのエネルギーマネジメントシステム、デマンドレスポンス、および電動車両による系統制御技術（V2G、G2V 等）を指す。</p>
③系統の効果的運用が可能となる先進技術	<p>送配電システムの運用効率やフレキシビリティ、セキュリティ²を向上させるための先進技術。</p> <p>具体的には、超電導送電、高電圧直流送電、パワーエレクトロニクス応用機器（FACTS 等）を指す。</p>
④先進的なインターフェース技術	<p>今後導入が進展する分散型電源の系統連系技術、および需要家機器と電力系統を結ぶ先進的なインターフェース技術。情報の授受、および系統との保護協調機能を有する。</p> <p>具体的には、パワーコンディショナ技術、AMI を指す。</p>

² ここでのセキュリティとは、落雷などで突発的な障害が発生しても系統安定度、系統周波数、系統電圧を維持できるようなシステムの強さを指す。

図表 9.6 スマートグリッド技術の概況 (1/3)

区分	技術	概要	導入・研究の状況	開発課題	
送配電システムの監視・制御技術 (540ページ)	広域状態監視・制御 (540ページ)	PMU (位相計測装置) を主要コンポーネントとし、GPS の時刻情報を用いて広域電力システムの同時刻での潮流、電圧などのシステムデータを収集し、状態の監視に用いるシステム。これらを最適管理すること、またシステム崩壊が起こる前に問題を予測し、防止・対応することを目的とする。	系統規模が大きく、運用が複雑な欧米を中心に導入が進んでいる。北米では NASPI (北米同期位相計測器イニシアティブ) を実施。200 以上の PMU が導入されている。欧州では UETE、Nordel 系統へ合計 70 以上、中国では 1000 ヶ所以上に PMU が導入されている。	<ul style="list-style-type: none"> 広域監視制御方法の検討 取得情報を活用した、監視制御の演算アプリケーション開発 (状態推定、安定度評価、最適潮流計算、制御演算等) 国内外での実証 製品の低コスト化・精度向上 	
	分散型電源・需要家との協調システム (546ページ)	再生可能エネルギーとの協調制御システム (546 ページ)	風力発電や太陽光発電による系統不安定化を防止するため、それらの出力を監視、制御する。発電量予測とも組み合わせられる。	大型風力発電を対象とした制御システムが、スペイン、ドイツ、フランスで運用されている。	<ul style="list-style-type: none"> 電力システムシミュレータの開発・検証 太陽光発電出力の全国大でのデータ収集・分析 太陽光発電、風力発電出力予測システムの開発・実証 出力抑制システムの開発・実証
		系統用蓄電池システム (552 ページ)	アンシラリーサービスの提供や、風力発電や太陽光発電に起因する余剰電力蓄電、ピーク負荷カットによる送配電投資の抑制用途などとして大型の蓄電池を活用する。	日米欧を中心に実証研究が進められている。系統運用と連動した本格的な制御は、これからの課題。	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池の最適制御技術 系統制御システムとの統合 蓄電池自体の性能向上 (長寿命化、低コスト化、大容量化、充放電ロス の低減)
		ローカルエネルギーマネジメントシステム (559 ページ)	需要家設備や分散型電源を含む電力系統の下流側の設備の監視・制御を行うとともに、HEMS や BEMS、さらに基幹系の制御システム (中給等) と協調制御を行うシステム。経済性や環境性、電力品質の維持・向上を目的とする。	日米欧を中心に様々な実証研究が進められている。	<ul style="list-style-type: none"> HEMS 等と連動した制御技術開発 系統運用と協調した制御技術開発
	配電自動化システム (565 ページ)	配電線や変電所に設置される機器の状態や電流値・電圧値等を遠隔監視しながら配電線開閉器を自動操作することで、供給信頼度の向上や保守作業の省力化を図るシステム。	日本では配電自動化システムの導入は済んでおり、さらなる高度化が図られている。欧米など諸外国における配電自動化システムの本格導入はこれから。	<ul style="list-style-type: none"> IT を活用した配電自動化の高度化 当該国の系統構成に適合した製品開発 国際規格に適合した製品開発 実フィールドでの実証 	

図表 9.6 スマートグリッド技術の概況 (2/3)

区分	技術		概要	導入・研究の状況	開発課題
需要家側のエネルギーマネジメント技術 (569 ページ)	エネルギーマネジメントシステム技術 (569 ページ)	HEMS、BEMS、FEMS (569 ページ)	施設内のエネルギー需要機器 (電化製品や給湯器等)、エネルギー供給機器 (太陽光発電や燃料電池、冷凍機等の空調システム等)、さらに電動車両等をネットワークで制御し、省エネルギーや温暖化対策を目的とする技術。	日米欧等で研究開発が進められており、スマートハウスやスマートビルの重要技術となっている。	<ul style="list-style-type: none"> 地域特性や需要家のライフスタイル、受容度を考慮した制御技術の開発 (マネジメント技術のローカライズ化) ローカルエネルギーマネジメントサービスとの連動技術 系統運用との協調制御技術 ホームサーバ、サービスプロバイダ等のアーキテクチャ仕様の検討
		デマンドレスポンス・スマート家電 (574 ページ)	経済的インセンティブによる需要家の行動変化を通じて、系統電力のピーク電力カットや供給信頼度を向上するもの。家庭の需要家を対象にする場合、制御可能なスマート家電が主要制御対象機器となる。	電力品質市場 (アンシラリーサービス市場) を有する米国の一部電力市場を中心に取組みが進められており、スマートグリッドにおいては、特に、家庭の需要家を対象としたデマンドレスポンスへの取組みが検討されている。	<ul style="list-style-type: none"> 制御対象と制御方法の検討 制御システム、制御コントローラの開発 デマンドレスポンスを前提としたスマート家電の最適設計・開発 スマートハウス等における実証 系統運用との協調方法の検討・実証
	電動車両の連系技術 (574 ページ)		系統電力を電動車両に充電するケース (G2V : Grid to Vehicle)、電動車両から系統に電力を放電するケース (V2G : Vehicle to Grid)、また電動車両から家庭等の需要施設に電力供給を行うケース (V2H : Vehicle to Home) が想定されている。	充電の時間管理技術の検討は、既に進められている。 V2G でのアンシラリーサービスの提供は、市場が整備されている欧米を中心に検討が進められている。	<ul style="list-style-type: none"> 充電時間帯の検討と、スマート充電システムの実証 系統運用と協調した充電電力制御技術 系統への放電も含めた、系統貢献技術

図表 9.6 スマートグリッド技術の概況 (3/3)

区分	技術	概要	導入・研究の状況	開発課題
系統の効果的運用が可能となる先進技術 (588 ページ)	超電導送電・高電圧直流送電 (588 ページ)	超電導送電とは、極低温下において、ある種の物質の電気抵抗がゼロになる超電導体の特徴を利用し送電を行う技術である。 高電圧直流送電(HVDC)とは、直流により高電圧送電を行う技術である。	高温超電導ケーブルは現在実用化に向け開発中であり、実証プロジェクトが国内外で実施されている。 HVDC は既に実用化されており、中国を始め世界各国で導入が盛ん。	<ul style="list-style-type: none"> ●超電導送電 <ul style="list-style-type: none"> ・ 低コスト化 ・ 冷却システムを高効率化 ●HVDC <ul style="list-style-type: none"> ・ 自励式 HVDC において、自励式変換器の低コスト化
	パワーエレクトロニクス応用機器 (592 ページ)	大容量化した半導体素子を電力システム技術に活用し、系統運用の効率化を図る。主な用途として、無効電力制御による電圧調整、送電線インピーダンスの変化による送電線潮流コントロールなどが挙げられる。	SVC、STATCOM 等の電力系統に並列に導入するような機器は、既に多くの実運用事例が存在。UPFC 等は海外での導入事例あり。 電力中央研究所においてループコントローラを開発、実証中。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低コスト化 ・ コンパクト化 ・ 信頼性確保
先進的なインターフェース技術 (596 ページ)	パワーコンディショナ技術 (596 ページ)	今後、電力系統において太陽光発電等の大量の分散型電源の導入が見込まれることから、パワーコンディショナに下記に示す保護機能や、系統側へ貢献するための機能を有することの必要性が議論されている。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 単独運転防止機能 ・ FRT ・ 出力抑制 ・ 無効電力制御 	NEDO を中心として、複数台連系時の単独運転防止機能や FRT 機能、無効電力制御機能が技術開発されている。 出力抑制機能についても、次世代送配電システム制度検討会の議論を経て、詳細な設計・開発が進められる予定。	<ul style="list-style-type: none"> ●単独運転防止機能、FRT <ul style="list-style-type: none"> ・ 能動方式の単独運転検出機能の方式の統一 ・ 機器の認証ルールの整備 ●出力抑制 <ul style="list-style-type: none"> ・ カレンダー機能を具備した太陽光発電の PCS の早期開発 ・ 将来的には通信を活用した太陽光発電出力抑制機能付き PCS の開発 ●無効電力制御 <ul style="list-style-type: none"> ・ 北杜サイトにおいて開発されている制御機能の実証
	AMI・スマートメーター (598 ページ)	電力需要等を計測し、通信技術を用いて定期的にその情報を電力会社に送信することの他、家電制御機能等を有する場合もある。	米、欧では実装が進んでいる。 日本でも、電力会社による実証試験が開始されている。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 具体的な利用方法、通信方式、セキュリティ確保方式の検討・開発 ・ それらの実証研究

9.1.2 技術開発動向

9.1.1で俯瞰したスマートグリッド技術について、国内外の最新の技術開発動向や、課題、導入状況等について、「①技術の概要とスマートグリッドでの用途」「②試験・導入の現状」「③各国における技術開発の状況および目標、課題」の観点から整理を行っている。

9.1.2.1 送配電システムの監視・制御技術

送配電システムの監視・制御技術とは、現状の系統自動化、配電自動化システムに加え、今後導入が進展すると考えられる分散型電源（太陽光発電、風力発電、蓄電システム等）の管理、およびデマンドレスポンス、エネルギーマネジメントシステムに対して系統運用システムとして情報の授受を行う技術を指す。

具体的には、中央給電指令所や給電所・制御所などでの監視・制御技術であり、WAMSやその構成要素であるPMU、分散型電源や需要家、蓄電池との協調制御技術、地域でのエネルギーマネジメントシステム、先進的な配電自動化システムなどが含まれる。

(1) 広域状態監視・制御

① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

電力会社間や州、国をまたぐ広域の系統の監視・制御を行うことは、WASA（Wide Area Situation Awareness：広域状況把握）やWAMS、WACS（Wide Area Monitoring System、Wide Area Control System）などといわれ、欧米におけるスマートグリッド技術の重要要素となっている。

広域での系統状態監視・制御は、PMU（Pharos Measurement Unit：位相計測装置）を主要コンポーネントとし、GPSの時刻情報を用いて同時刻の潮流、電圧などの系統データを収集し、状態監視を行うシステムである。主要な目的は、系統を最適管理し、また系統崩壊が起こる前に問題を予測・防止・対応することである。

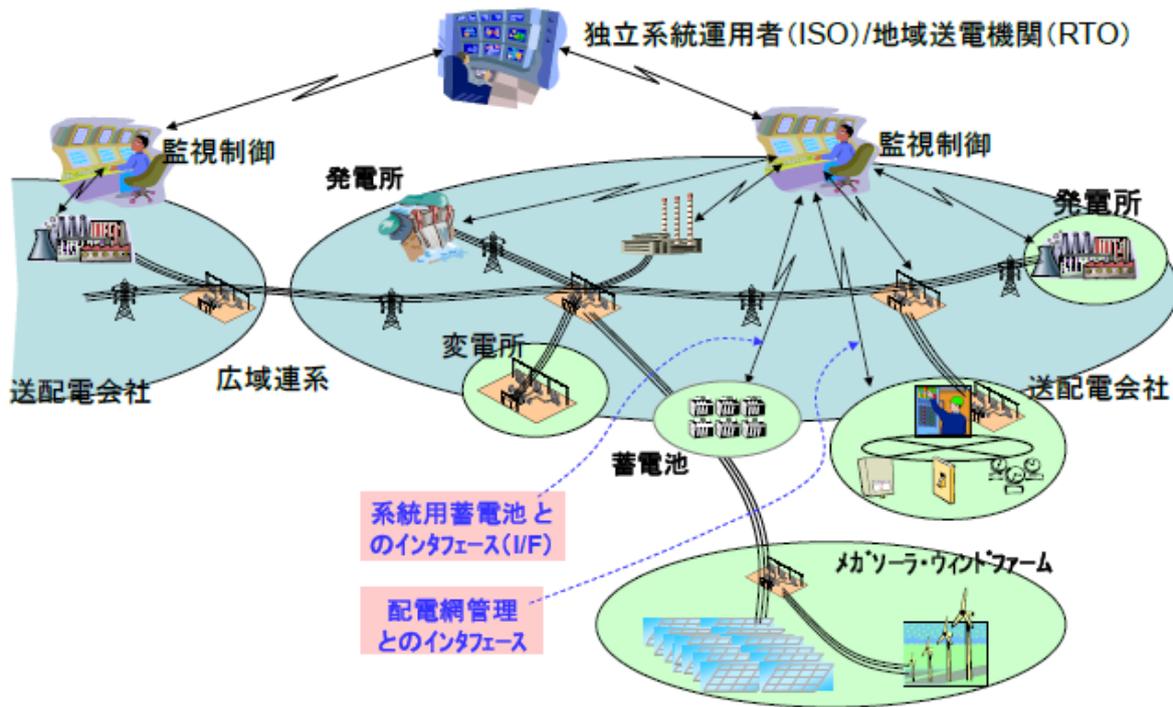
PMUとは、ある地点での電圧のフェーザ³をリアルタイムに計測する機器である。フェーザを計測することにより、各地点での電圧の大きさ、位相角がわかる。

現行の一般的な系統状態の監視はSCADAで行われているが、SCADAで把握出来る情報は電圧の大きさのみであり、位相角、その他の情報については潮流計算で求めることになり、潮流計算の時間だけ情報遅れが生じる。また、サンプリング時間も数秒オーダーとなるために時間遅れによる計測誤差を含む。そのため、定常状態の把握はSCADAで可能であるが、事故時解析などでは不十分となりうる場合がある。

一方PMUでは、電圧のフェーザをリアルタイム計測することで、系統状態をリアルタイムで把握、運用することができる。これにより需給バランス、電圧制御のみならず、系統の安定度の把握、およびその後の系統状態推定も行うことが可能と考えられている。

³ 交流電圧は大きさ、位相角を有する。これらを一つのベクトルとして表したのがフェーザである。

図表 9.7 WASA システムのイメージ



出典：「次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて」（次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会、2010年1月）

② 試験・導入の現状

i) 欧州

2008年9月に発刊されたETP SmartGridsのStrategic Deployment Documentでは、2012年までに実施する高優先度の展開計画として“システムの運用と活用の最適化”を挙げており、その中で広域の系統監視制御は、系統擾乱可能性の低減や送電容量を最大限活用するために実施するとしている。

フランスの電気事業者であるEDFは、Coordinated Defense Planにおいて、GPSを利用して同期計測された各地域システムの位相角が衛星回線とマイクロ波回線を経由して中央計算機システムに50ms毎に伝送され、系統分離などの制御内容が決定されている⁴。さらに近年では欧州系統全体でも利用されており、Nordel系統内で20程度、UCTE系統内で50程度のPMUが導入されている。

ii) 米国

北米の電力システムの信頼性向上と可視化を進めるために、NASPI（North American SynchronoPhasor Initiative、北米同期位相計測器イニシアティブ）が実施されている。

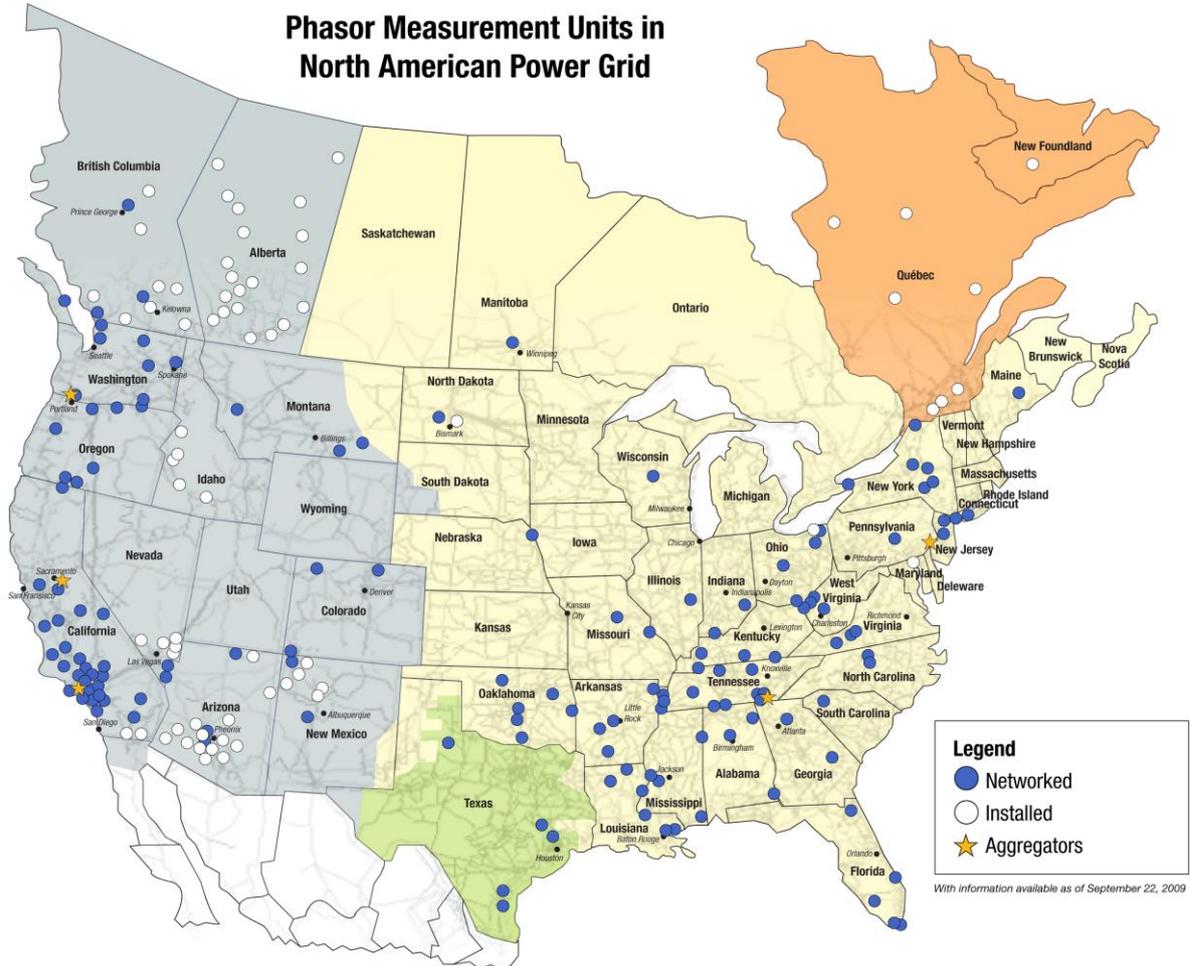
NASPIにはDOEとNERCが資金提供をしており、電力会社やコンサルタント、ベンダー、大学・国研等の研究者が参加し、PMUの設置、データのシェア、アプリケーションの開発と

⁴ 「広域系統監視・高速制御ネットワークの概念と検討課題」（電力中央研究所報告 R06013、平成19年5月）

試用、研究等を実施している。重要なアプリケーションとして、広域監視、リアルタイムオペレーション、パワーシステムプランニング、系統擾乱の解析を挙げている。

2009年3月現在、200以上のPMUが北米に導入されている（図表 9.8）。

図表 9.8 北米への PMU の導入状況



出典：NASPI ホームページ (http://www.naspi.org/images/naspi_map_20090922.jpg)

iii) 中国

中国では500kV以上の変電所、全ての発電機（位相角の検出）にPMUを設置し、それらのデータを28の制御所で監視している。PMUの設置数は1000を超えている。

PMUの用途は次のとおりであり、現在のところ状態監視利用にとどまっている。

- ・ 周波数監視（周波数が49.9Hzまでに低下した際に、発電所の発電機脱落をPMUで検知した例がある）
- ・ オンラインでの動揺監視
- ・ 故障分析
- ・ システム外乱の特定

- ・ モデルの検証（米国のBPAが開発したモデルの検証に利用）

iv) 日本

我が国においては、大学を中心に PMU を用いた広域計測システムが研究されているが、電力会社では今のところ用いられていない。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

各国の導入、実用化レベルは図表 9.9のとおりである。

現行では、WAMS・PMUは、電力系統の様々なパラメータのリアルタイム計測機能しか有していない。しかしながら本質的には、各地のPMU情報に即した安定度レベルでの制御等を行い系統運営にフィードバックしていくことが重要であり、今後そのような研究が進んでいくと考えられる。

図表 9.9 各国における PMU 導入・実用化レベル

PMU Applications	North America	Europe	China	India	Brazil	Russia
Post-disturbance analysis	√	√	√	P	T	√
Stability monitoring	√	√	√	P	P	√
Thermal overload monitoring	√	√	√	P	P	√
Power system restoration	√	√	√	P	P	P
Model validation	√	√	√	P	T	√
State estimation	P	P	P	P	P	P
Real-time control	T	T	T	P	P	P
Adaptive protection	P	P	P	P	P	P
Wide area stabilizer	T	T	T	P	P	P

T = Testing phase; P = Planning stage

出典：Saikat Chakrabarti 他、IEEE Power & Energy Magazine Jan/Feb 2008、P42

i) 米国

NASPIは、2009年3月に同期位相計測器技術ロードマップ（Synchrophasor Technology Roadmap）（案）を発表し、2014年、2019年までの導入予測と期待される用途、および課題をまとめている。概ね2014年までに系統監視技術を確立し、2019年までに系統制御技術を確立するとしている。

図表 9.10 同期位相計測器技術ロードマップ（案）の概要

	～2014年	～2019年
予測導入数（連系型PMU）※	800～1200（現在161）	1000～2000
導入先	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主要な送電線の連系点 ・ 500kV以上のすべての変電所と、200kV以上の主要変電所 ・ 500MWより大きいすべての発電所（いくつかの自家発電も含む） ・ 主要な負荷 ・ 大規模な風力、太陽光、蓄電施設 ・ その他 	左記に加え、 <ul style="list-style-type: none"> ・ 200kV以上のすべての変電所 ・ ローカルの制御に必要な箇所 ・ 配電網の必要な箇所
用途	<ul style="list-style-type: none"> ・ 系統擾乱の事後分析 ・ 相差角、電圧安定度、周波数、熱容量の監視と可視化 ・ 間欠性電源や分散型電源を含む発電所の監視と連系 ・ 系統復旧 ・ 静的モデルのベンチマーク ・ 状態推定 ・ ローカル機器の自動制御 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 動的な状態推定 ・ リアルタイム状態把握データを用いた事前警告 ・ 一日前、時間前の運転計画 ・ 系統の計画的自立運転 ・ 広域リアルタイムの自動制御と適応保護 ・ 混雑管理 ・ 広域での周波数ダンピング制御 ・ システムの健全性の保護計画 ・ 動的モデルのベンチマーク ・ 電力線のダイナミックレーティングとVARサポート ・ 単位給電 ・ 自動負荷制御による周波数・電圧制御 ・ 配電モニタリング、復旧、自己復旧

※評価者の予測の最頻値より推計。

出典：Synchrophasor Technology Roadmap, NASPI, March 13 2009

図表 9.11 同期位相計測器技術ロードマップ（案）で取り上げられている主な課題

課題	概要
データ収集と品質検証	<ul style="list-style-type: none"> ・ 継続的なデータ収集と保存を行い、PMU端末や通信、PDC（フェーザデータ収集装置）等に起因するデータ品質の悪化の検証、解決。
関連アプリケーションの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 信頼性コーディネーター（RCs）やバランシングオーソリテイ（BAs）を対象としたフェーザデータを活用した広域表示ツール（例：リアルタイムデータマネジメントシステム、状態推定、自動制御等）や計画ツール（モデル検証）などの開発等
フェーザの仕様や標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・ デバイス、データ、静的・動的計測、相互運用性に関する標準化
再生可能エネルギーへの適応	<ul style="list-style-type: none"> ・ 間欠性電源の超短時間における系統へのインパクトを見極める。また、発電予測と系統分析にも活用する。

ii) 中国

中国では、今後データ計測の品質向上や、500kV 以下の変電所にも設置し、状態監視を強化していくことが予定されており、また、PMU 情報の系統制御への利用も検討される予定である。

なお、中国での PMU の開発は 1995 年より始まり、現在は国内 3 社で製造が行われている。

iii) 課題のまとめ

PMU を用いた広域監視制御は、米国、中国を始めとして欧州でも用いられている。しかし現状では、系統の状態監視に利用されており、その情報をもとにした系統制御技術の開発が、今後の重要な課題となっている。

また、米国、中国共に、データ計測の品質向上も課題となっている。

広域監視制御技術については、国内の電力会社では利用される予定がない技術であり、海外展開を中心に技術開発を行うものとなる。そのため、実際に国内企業が開発した製品を実証し、収集データの品質等について確認・検証実績を積み上げていくことも重要となる。

従って、広域監視制御に関する今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- ・ 広域監視制御方法の検討
- ・ 取得情報を活用した、監視制御の演算アプリケーション開発（状態推定、安定度評価、最適潮流計算、制御演算等）
- ・ 国内外での実証
- ・ 製品の低コスト化・精度向上

(2) 分散型電源・需要家との協調システム

太陽光発電等の分散型電源の大量導入に伴い、適切な系統運用を行うために、系統側から出力抑制指令を行うことその他、分散型電源の発電量を監視して真の需要量を把握するシステムが必要となってくる。また、デマンドレスポンスのような需要家と協調した系統運用も考えられており、今後、分散型電源・需要家との協調システムの構築が必要となってくる。

ここでは、分散型電源・需要家との協調システムを構築するための技術として、

- ・ 再生可能エネルギーとの協調制御システム
- ・ 系統用蓄電池システム
- ・ ローカルエネルギーマネジメントシステム（ローカル EMS）

について述べる。

1) 再生可能エネルギーとの協調制御システム

① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

スペインやドイツなどでは、風力発電の増加に伴う系統運用上の諸課題が顕在化してきており、対策が急務である。そのため、系統連系されている風力発電等の再生可能エネルギーの出力をモニタリングし、制御するという再生可能エネルギー運用システムの導入が行われている。

また、風力発電の出力予測技術の開発、実用が進められており、予測に基づく系統運用がなされている。

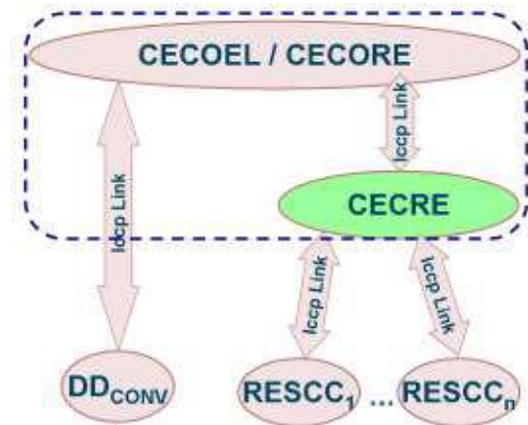
② 試験・導入の現状

i) スペイン

スペインでは近年の大容量風力発電の導入に伴い、系統運用上の諸課題が顕在化しつつある。この諸課題への対策として、スペイン唯一の TSO(Transmission System Operator)である REE 社は 2006 年 6 月より、1 万 kW 以上の再生可能エネルギー電源（風力、太陽光、小水力、バイオマス等が対象）に対して、発電電力を管理・調整する再生可能エネルギー制御センター「CECRE」をマドリッド北部近郊に立ち上げた。CECRE はスペインの送電系統全体を制御する中央制御システム「CECOEL/CECORE」に組み込まれ、系統事故に伴う風力発電の停止量を予測計算し、それにより連系線しゃ断が起こらないように、集中的に風力発電の出力を制限する機能を有している。また、リアルタイムでの再生可能エネルギーの発電電力を監視・制御ができる計算システム「GEMAS」を採用しており、REE 社は GEMAS によって、風力発電等の再生可能エネルギーの発電電力量を最大限に利用しながらも、系統の安定化に配慮した運用が可能になると考えている。

なお、CECRE では風力発電出力の予測も行っている。ここでは、48 時間先までの時間量と 10 日先までの日量を予測しており、時間量予測は 15 分更新、日量予測は 1 時間更新される。予測精度は、時間量予測よりは日量予測の方が精度はよいものの、1 日先で 12%、3 日先で 20%、5 日先で 30%の予測誤差がある。需要が低く、予測誤差が大きい場合、風力発電の出力抑制が必要となる場合があり、2008 年 11 月には 2 時間程度の出力抑制が行われた。

図表 9.12 スペイン REE 社の「CECRE」



出典：Miguel de la Torre Rodríguez, "Impact on the Power System Control", CIGRE Plenary session.(2008)

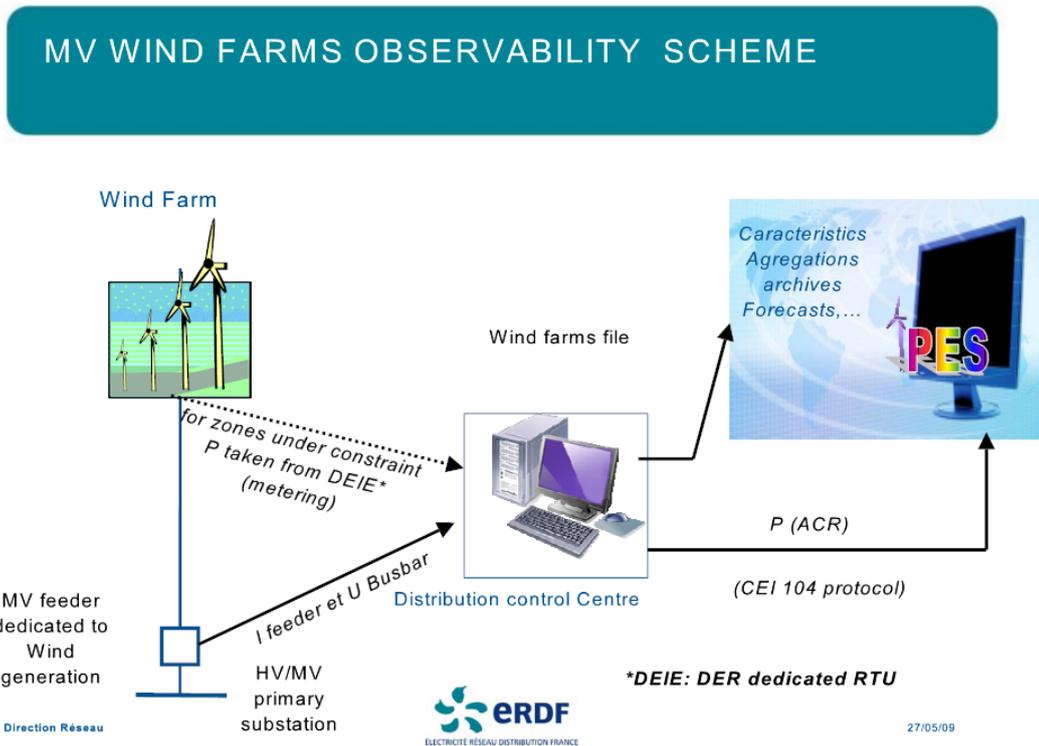
ii) フランス

スペインと同様の対策がフランスでも検討されている。フランスにおける風力発電導入量は現在 350 万 kW であり、現状では再生可能エネルギー導入に伴う問題は顕在化していない。しかし、今後も導入量は急増していくと予想されており、導入量が 1,000 万 kW 以上を超えると対策が必要となると認識されている。そのため、スペイン同様に、風力発電の系統連系要件に Fault-Ride-Through 能力、風力発電出力のリアルタイムモニタリングが必要と考えられている。

リアルタイムモニタリングに対しては、2008 年にフランスの TSO(Transmission System Operator) である RTE 社が風力発電出力の監視・予測を行う試験的なシステム「IPES」を導入しており（図表 9.13 参照）、2009 年時点で全風力発電量の 80%をリアルタイム監視している。

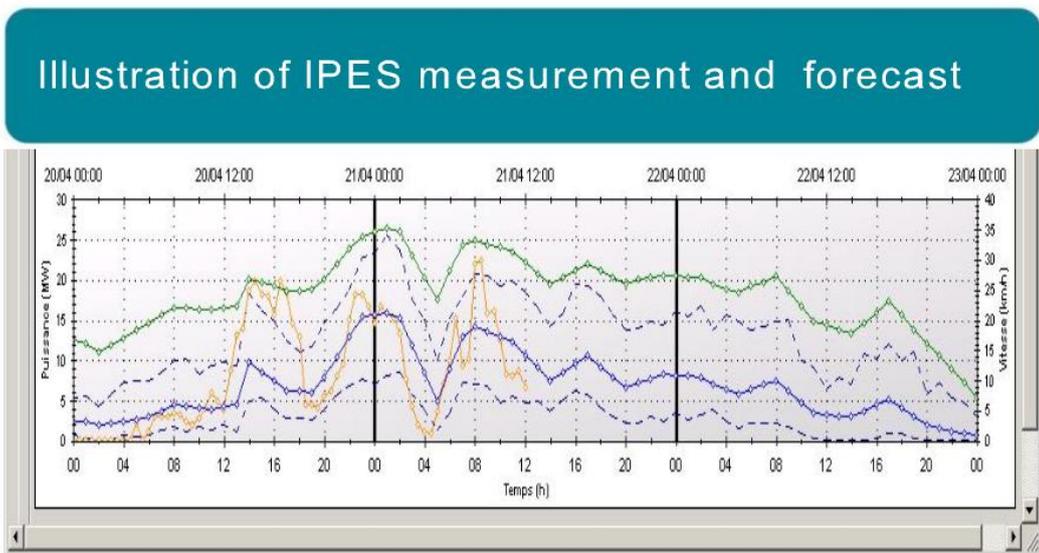
なお、IPES でも風力発電出力の予測を行っているが、図表 9.14 に示すように、誤差が大きくなる場合も見られる。

図表 9.13 IPES の概要



出典 : EDF, "ERDF an actor in RTE "IPES" PROJECT for insertion of MW wind generation in the French Electrical System Operation "

図表 9.14 IPES での風力発電予測と実績事例



— Forecast: One every 6 hours (0:00,6:00,12:00 and18:00. UTC each hour on 3 rolling days)

— Real time measurements

出典 : EDF, "ERDF an actor in RTE "IPES" PROJECT for insertion of MW wind generation in the French Electrical System Operation "

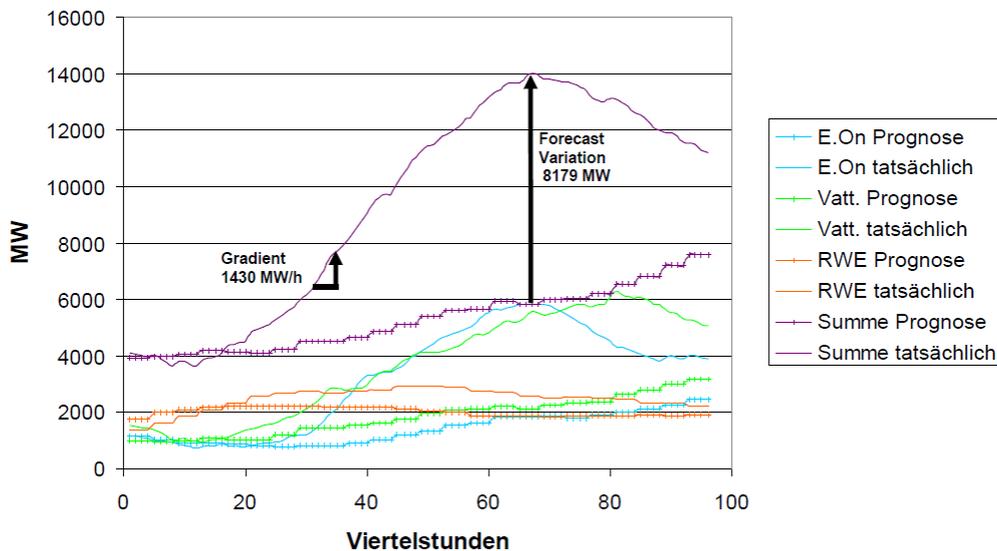
iii) ドイツ

ドイツにおいては、風力発電、太陽光発電の大量導入に伴い、2009年の EEG（再生可能エネルギー法）再改定において、100kW以上の再生可能エネルギー導入者に対して、系統側からの指令による出力抑制が可能となる方策を打ち出している。

本方策は100kW以上の再生可能エネルギー設備を所有する需要家、事業者に対し、系統運用者が緊急時に速やかに再生可能エネルギー設備を解列できるように、系統への売電出力の監視、および系統運用者の出力抑制指令に対応出来るリレーの設置を求めている。この装置は再生可能エネルギーの出力を100%、60%、30%、0%に抑制するリレーが付いているものと、100%、0%の2つのリレーのものがある。

ドイツにおいても、風力発電の発電量予測を組み込んだ系統運用が行われているが、図表 9.15 に示すように、最大約 8.2GW もの乖離が生じた事例があり、今後の精度向上が望まれる。

図表 9.15 風力発電予測値と実績値の乖離の例（2008年1月20日）
Windstromeinspeisung 20.1.2008



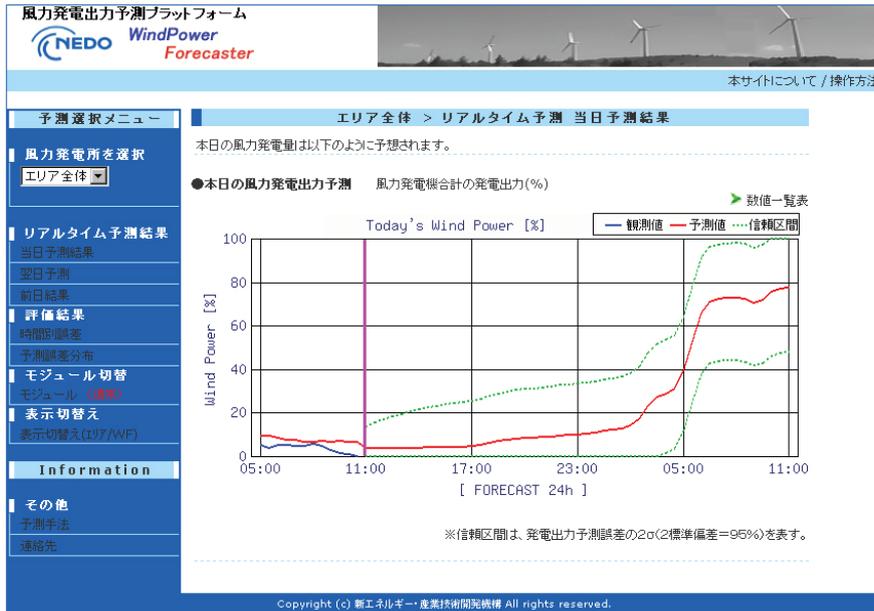
出典：FZJ 資料

iv) 日本

我が国においても、風力発電・太陽光発電等の再生可能エネルギーの発電量を予測することは非常に重要であり、NEDOを始め、様々な気象予測・発電量予測手法が提案されている。

一例として、NEDOが進めてきた「風力発電電力系統安定化等技術開発－気象予測システム－」が挙げられる。同プロジェクトでは、気象予測をベースとして風力発電の発電電力量を予測するシステムを開発しており、その成果の一部は「NEDO 風力発電予測プラットフォーム」として一般公開されている。

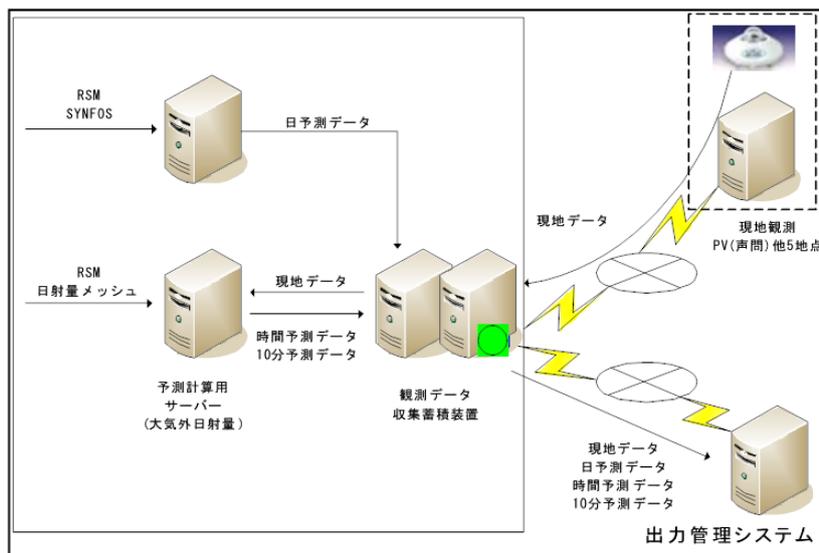
図表 9.16 NEDO 風力発電予測プラットフォーム



出典：NEDO「風力発電出力予測技術ガイドブック」

また、太陽光発電の発電量予測の技術開発についても、「NEDO 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究（稚内サイト）」において、日射量予測をもとに行われている。太陽光発電所構内や周辺に設置された日射量計、気象衛星、数値予報などのデータから、翌日および翌々日の予測を30分単位で行う日（前日）予測、6時間先までを30分単位で予測する時間予測、2時間先までを10分単位で予測する10分予測が行われている。

図表 9.17 日射量予測システム



出典：「研究年報 第40巻」（北海道電力、2009年10月）

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

i) スペイン

スペインの2020年の風力発電導入見通しは4,000万kWであり、これは現状の2倍強の導入にあたる。REEでは、2020年には風力発電に瞬動予備力機能を要求するなど、風力発電機に在来型電源の特性に類した機能を具備させる必要があると考えており、また、揚水発電等による予備力の確保も必要と考えている。

ii) ドイツ

ドイツでは、再生可能エネルギーの優先給電が規定されており、やむをえない場合を除いて風力発電の出力抑制は行えないため、出力抑制の代替策として揚水式水力などの電力貯蔵設備の導入について議論されている。これに伴い、風力発電、電力貯蔵（揚水、EV等）および制御可能需要（家庭、産業等）を組み合わせた制御実証プロジェクトが政府主導で開始されている。

iii) 日本

再生可能エネルギーの大量導入を見据えた系統制御システムについては、経済産業省による「分散型電源大量導入系統影響評価基盤整備事業（電力系統シミュレータ整備事業）」や「分散型新エネルギー大量導入促進系統安定化対策事業（太陽光発電出力等のデータを全国大で収集・分析等）」などで検討が始められつつある。また、低炭素電力供給システムに関する研究会、次世代送配電ネットワーク研究会において、太陽光発電の出力抑制、系統側および需要側への蓄電池の導入等による再生可能エネルギー制御システムについても検討されている。

iv) 課題のまとめ

風力発電などの再生可能エネルギーの導入が進む欧州では、主に系統側の指令に基づき再生可能エネルギーの出力を抑制する方法で、系統の安定化が図られている。

我が国においては、家庭への太陽光発電という、小規模分散型での再生可能エネルギーの導入が主流であり、導入軒数は数百万件にのぼると見込まれている。そのため、系統側からの指令で出力制御を行う場合には、制御対象が膨大な数にのぼることから、効率的な出力抑制システムの開発・実証が必要である。

また系統内に多数の分散型電源が導入された場合の系統の挙動の分析の他、太陽光発電や風力発電の発電量予測が精度良く行えるようになると、既存電源の効率的な活用ができるなど、最適な系統運用が実現可能となる。太陽光発電の大量導入が電力系統にどのような影響を及ぼすかを実際に分析するため、全国大での出力データの収集・分析も重要となる。

以上を勘案し、再生可能エネルギーとの協調制御システムにおいては、以下の技術開発を進める必要がある。

- ・ 分散型電源大量導入時の系統を模擬できる電力系統シミュレータの開発・検証
- ・ 太陽光発電出力の全国大でのデータ収集・分析
- ・ 太陽光発電、風力発電出力予測システムの開発・実証
- ・ 出力抑制システムの開発・実証

2) 系統用蓄電池システム

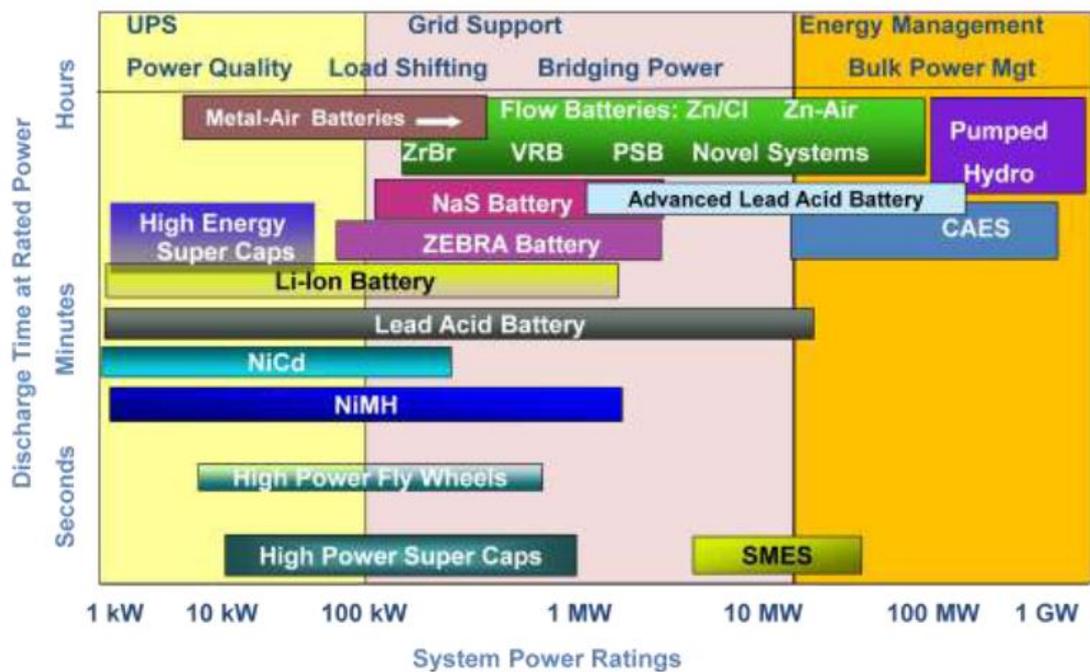
① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

系統用蓄電池とは、概ね MW 級の出力を有する大型蓄電池のことをいい、代表的なものとして NaS 電池、リチウムイオン電池、ニッケル水素電池、レドックスフロー電池、鉛蓄電池などがある（図表 9.18）。

図表 9.19 のように、系統用蓄電池は様々な用途が想定されている。地域別には、欧州ではアンシラリーサービス、離島における系統安定化用途、米国ではアンシラリーサービス、送配電投資の抑制用途、日本では太陽光発電・風力発電による余剰電力・下げ代不足対策、系統安定化電源としての活用が主要用途である。

図表 9.18 主なエネルギー貯蔵装置の比較

Figure 12: Comparison of energy storage technologies



Source: EPRI, 2008.

出典：Prospects for Large-Scale Energy Storage in Decarbonised Power Grids、IEA、2009

図表 9.19 系統用蓄電池の用途別検討状況

用途	役割	概要	時間容量	検討状況※			
				日	欧	米	中
主に再生可能エネルギー用途	余剰電力対策	再生可能エネルギー導入によって発生する余剰電力を蓄電する。	1～4h	○	△	—	□
	下げ代不足対策	(主に風力) 需要最小時に、供給力過剰(下げ代不足)にならないように調整する。	1～4h	○	○	○	△
	タイムシフト	供給側でオフピーク時の安い電力を蓄電しピーク時に放電。	1h～7h	○	—	○	△
	バックアップ電源	RE の予測と組み合わせることで kW 価値を上げる。	1h～12h	○	□	□	—
主に系統対策用途	瞬動予備力 (Spinning Reserve)	瞬時の需給変動に対応する系統安定化のための電源。予備電源が起動するまでに対応する。	10s～15min	△	○	○	□
	短偏差調整 (Regulation)	瞬時の需給変動に従って発生する偏差に対応する電力の供給力。					
	送配電投資の抑制	ピーク出力に合わせて送配電を整備する必要をなくす。1日のピークだけでなく、年間のピークにも対応。	1h～7h	なし	□	○	—
	送配電の混雑緩和	ピーク時の送配電混雑にかかる費用を軽減する。	1～4h	なし	—	○	—

※ ○：導入・実証事例あり、△：検討例あり、□：必要性が示唆されている、—：不明

出典：各種資料より作成

図表 9.20 主要電力会社における系統用蓄電池の導入状況

UTILITY	COUNTRY	TECHNOLOGY	MANUFACTURER	APPLICATIONS	INSTALLED BASE AT E02009 (MW)
AEP	USA	NaS	NGK	Capacity Deferral, Load Leveling	11
AEP	USA	Li ion	Valance/S&C	Community ES	0.1
AES	USA & Chile	Li ion	A123 & Altairnano	Frequency Regulation	19
Beacon	USA	Flywheel	Beacon	Frequency Regulation	5
Duke	USA	Zn-Br	Unconfirmed: Premium Power	Capacity Deferral, Load Leveling	1
EDF	UK	Li ion	Saft/ABB	Frequency Regulation	0.6
Ergon	Australia	Zn-Br	RedFlow	Capacity Deferral	0.1
TEPCO	Japan	NaS	NGK	Load Leveling, Backup Pwr, Power Qty	165*
Xcel	USA	Nas	NGK	Renewables Mgmt	1

* Figure for 2008

出典：GRID SCALE ENERGY STORAGE: TECHNOLOGIES AND FORECASTS THROUGH 2015, GTM RESEARCH, AUGUST 2009

図表 9.21 NAS 電池の海外導入事例

国	企業名	設置箇所	用途	規模・受注額	納入時期
米国	ニューヨーク州電力公社 (NYPA)	米ニューヨーク市都市交通局 (MTA) バスステーション内 (ロングアイランド島)	バスステーション (天然ガス補充基地) の電力負荷平準	1MW	2008年4月
	American Electric Power (AEP 社)	ウエストバージニア州チャールストン市内の変電所	当該変電所の供給地域の電力不足を回避でき、安定供給と効率的な設備形成	1MW (最大 1.2MW)	2006年7月
	Electric Transmission Texas (ETT 社) (※ AEP グループ会社)	テキサス州のゴンサレス変電所 (送電網が脆弱なメキシコ国境付近)	送電系統の安定化 (電圧制御、停電対策、緊急時のメキシコ側からの受電など、多面的な形で電力の安定供給を達成したい)	4MW	2010年4月 (稼働予定)
	Xcel Energy 社	ミネソタ州 Luverne (風力発電への併設)	11MW の風力発電に 1MW の NAS 電池を併設。低需要時に発電した電力を高需要時に買電するタイムシフトなどの実証試験	1MW	2009年初旬
フランス	EDF	La Réunion 島	再生可能エネルギー発電等による供給と、需要とのバランス調整	1MW	2009年
	EDF エネルギー・ヌーヴェル (EDF-EN)	仏領海外県離島、地中海離島および電力系統の弱い地域、欧州、米国	メガソーラーと風力発電への併設による出力の安定化とピークシフト	約 150MW	2010年から5年間
ドイツ	ユニコス社	ベルリン郊外ユニコス本社新社屋敷地内	太陽光発電の出力平滑化、系統接続評価	1MW	2009年3月 (予定)
	エネルコン社		風力発電 (6000kW) の出力安定化用途	1MW	2009年7月
英国	電力会社	英北部オークニー諸島	再生可能エネルギー発電等による供給と、需要とのバランス調整	4MW (最大 10MW)	2011年冬 (予定)
UAE	アブダビ水利電力庁 (ADWEA)	ADWEA の変電所と蓄電池ステーション (新設)	電力負荷平準 (ピークカット) によるガスタービン発電機の効率運転 中央監視制御による電力の需給調整 非常用電源	300MW (20MW×10、50MW×2)	納入開始：2009年末 納入完了：2014年 (予定)
		UAE アブダビ水利電力庁の変電所	電力負荷平準 (ピークカット) によるガスタービン発電機の効率運転 非常用電源)	50MW	納入完了 2009年7月 (予定)

出典：日本ガイシプレス発表、新聞報道より作成

② 試験・導入の現状

i) 欧州

フランスのレユニオン島やスペインのカナリア諸島、英国のオークニー諸島などの離島では、風力発電等の再生可能エネルギーの導入に伴う系統安定化電源として、蓄電池を用いた実証研究が行われている。また、Evonic/Litech がアンシラリーサービス用途として、1MW、700kW のリチウムイオン電池の開発を始めるなど、kW 価値の高いアンシラリーサービス用途での利用も検討

されてきている。これらの用途等で、既に欧州では数十 MW の大型蓄電池が導入されており、EDF-EN 社では 150MW の NaS 電池を 2015 年までに順次導入する計画もある。

また 2009 年 11 月には、産業界と欧州委員会が共同で蓄電技術に関するワークショップを開催し、蓄電技術を電力系統において効果的に利用していくため、ビジネスモデルの検討や蓄電技術の比較・検証、FP7 を通じた実証研究を行うことなどを提言した。

なお、ドイツ等において風力発電の導入に伴う軽負荷期の余剰電力問題が顕在化しており、出力抑制を行わずに系統を安定化する方法の一つとして蓄電技術の活用が検討されている。しかし主には経済的観点から揚水発電や CAES などの大型の蓄電技術の利用が現実的とされており、余剰電力対策としての蓄電池利用は、今のところ有力視はされていない。

ii) 米国

米国では、アンシラリーサービスの提供、ピークカットによる送配電設備の有効活用を主目的として、蓄電池の活用に積極的である。

これらの用途等で、既に数十 MW の系統用蓄電池が導入され、実証研究などが実施されている。

例えば AEP 社では、配電用変電所に数 MW の NAS 電池を導入することで、当該地域の供給安定性を確保することの他、電圧制御や停電対策など、電力供給システムの安定化対策に利用している。リチウムイオン電池の開発メーカーである A123 システムズ社では、図表 9.22 に示すような移動型の系統安定化用蓄電池の開発も行われている。

また再生可能エネルギーの導入が進んでいるカリフォルニア州では、カリフォルニア独立系等運用者 (CAISO) やカリフォルニアエネルギー委員会 (CEC) において、風力発電の導入進展に伴う周波数変動対策用途として、系統用蓄電池の活用を検討しており、概ね 2020 年頃から蓄電池を使った系統制御が必要になると予測している。

図表 9.22 A123 の移動型系統安定化用蓄電池 (2MW-15 分)



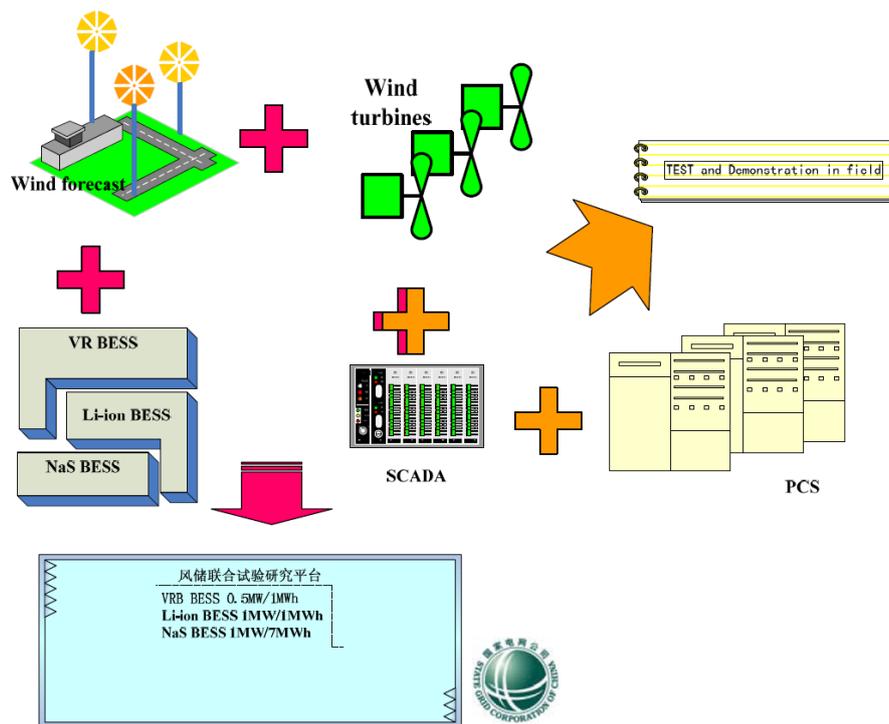
出典：A123systems ホームページ (<http://www.a123systems.com/>)

iii) 中国

中国でも風力発電の北西部への大量導入に伴い、送電系統が不安定になりつつあるため、送電系統の増強と併せて蓄電池を用いた系統安定化が検討されつつある。

また、国家电网公司是、風力発電を 500MW、太陽光発電を 100MW 導入し、110MW の蓄電池（NaS 電池、フロー電池）を活用して、それらの変動を安定化させる張北プロジェクトを計画している。

図表 9.23 張北プロジェクトの概要



出典：国家电网公司資料

iv) 日本

日本では、大型の風力発電や太陽光発電の出力安定化用途として、系統用蓄電池の実証・導入が進められてきた。これらのプロジェクトの代表例として、風力発電の出力安定化を目的とした「風力発電電力系統安定化等技術開発」、大規模太陽光発電の出力安定化を目的とした「大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究（稚内サイト）」など、NEDO が主導してきたものが挙げられる。

今後、特に太陽光発電の余剰電力対策、ならびに周波数変動対策としての電力用蓄電池導入が検討されており、次世代送配電ネットワーク研究会では、出力抑制や需要の創出などの程度に応じた、2020 年までの系統対策のシナリオを分析している。

その他、電力会社の連系要件を満たすために、風力発電に蓄電池を併設して出力変動の緩和を行っているものもある。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

i) 各国の状況

米国では、2009年11月にDOEが16の蓄電実証プロジェクトを選定した。このうち蓄電池を活用するものとして図表9.24に示す9件があり、風力発電の出力調整や系統安定化用途などが採択されている。これらの実証を通じて、経済性、技術的実現可能性が実証される。

欧州においても、アンシラリーサービス用途や離島での系統安定化用途としての実証が進められており、欧州大で蓄電技術の活用の検討が始まった状況である。

一方我が国では、民生用蓄電池やNaS電池技術で世界的に優位に立っており、大型の太陽光発電、風力発電の系統安定化用途として実証・導入が進められてきた。今後これらに加え、家庭用太陽光発電の大量導入に伴う余剰電力、周波数変動対策用途としての蓄電池の利用が必要となってくると考えられる。

このように、各国とも、系統用蓄電池を具体的にどのように活用していくか、ビジネスモデルも含めた検討が進められている状況である。

従って今後の技術開発課題としては、系統用蓄電池を系統の制御システムの中でどのように位置づけ、統合していくのか、目的に応じた最適制御技術、また、蓄電池自体の性能向上（長寿命化、低コスト化、大容量化、充放電ロスの低減）等が必要となってくる。

ii) 課題のまとめ

以上より、系統用蓄電池システムにおいては、以下の技術開発を進める必要がある。

- 蓄電池の最適制御技術
- 系統制御システムとの統合
- 蓄電池自体の性能向上（長寿命化、低コスト化、大容量化、充放電ロスの低減）

図表 9.24 米国 DOE における蓄電池を用いた実証試験の概要

	プロジェクト名、概要	実施者、実施場所
系統安定化用途	<p>「ウルトラバッテリー」を使用したアンシラリーサービスのためのグリッドスケールのエネルギー貯蔵の実証</p> <ul style="list-style-type: none"> 3 MW の鉛蓄電池 (UltraBattery) を周波数制御、エネルギー需要の管理に利用 経済的・技術的な実行可能性を実証 	<p>East Penn Manufacturing Co.</p> <p>Lyons Station, PA</p>
風力発電所等の出力調整用途	<p>Wind Firming EnergyFarm™</p> <ul style="list-style-type: none"> 25~75MW のウインドファーム出力をフローバッテリーで貯蔵し、出力調整を行う 	<p>Primus Power Corporation.</p> <p>Alameda, CA; San Ramon, CA; Modeston, CA</p>
	<p>テハチャピ風力エネルギー貯蔵プロジェクト</p> <ul style="list-style-type: none"> 8MW 実用規模のリチウムイオン電池技術を展開、評価し、グリッド性能の向上、風力発電の電力供給への統合に貢献 	<p>Southern California Edison Company</p> <p>Tehachapi, CA</p>
	<p>Notrees 風力発電貯蔵</p> <ul style="list-style-type: none"> 20MW のハイブリッドバッテリーシステムを構築、風力発電による安定供給を実証 	<p>Duke Energy Business Services, LLC</p> <p>Goldsmith, TX</p>
	<p>ペーンズビル市発電所バナジウムレドックス電池実証プログラム</p> <ul style="list-style-type: none"> 32MW 市営石炭火力発電所で 1MW のバナジウムレドックス電池 (VRB) 貯蔵システムの実証 同発電所が二酸化炭素排出量を減らしつつ日々の必要出力量をより効率よく維持できるよう貢献 	<p>City of Painesville</p> <p>Painesville, OH; Johnstown, PA; Alexandria, VA; Evansville, IN; Devens, MA; Parma, OH</p>
電池の開発	<p>系統アプリケーション用ナトリウムイオン電池の実証</p> <ul style="list-style-type: none"> 全く新しい種類の電池科学を利用する低コスト、超寿命、高効率で環境を考慮した固定型の新しいエネルギー貯蔵電池の実証 	<p>44 Tech Inc.</p> <p>Pittsburgh, PA</p>
	<p>グリッドスケールのエネルギー貯蔵のための固体電池</p> <ul style="list-style-type: none"> Seeo が独自開発したナノ構造高分子電解質をベースに 25kWh のプロトタイプバッテリーシステムを開発 コミュニティ・エネルギー・ストレージプロジェクトをターゲットとする 	<p>Seeo, Inc</p> <p>Berkeley, CA; Van Nuys, CA</p>
その他	<p>デトロイト・エジソン グリッドサポートのための A123 コミュニティエネルギー貯蔵システムの先行実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ユーティリティ向けのコミュニティエネルギー貯蔵 (CES) システムの利用とメリットを実証 各 25kW/hr の CES ユニットを 20 台インストール 	<p>The Detroit Edison Company</p> <p>Detroit, MI; Northville, MI; Fairfax, VA; Blacksburg, VA; Auburn Hills, MI; Hopkinton, MA</p>
	<p>スマートグリッド再生可能エネルギーアプリケーション用フロー電池</p> <ul style="list-style-type: none"> レドックスフロー電池を用いて、安全性、信頼性、コスト要件への適合を目指す 	<p>Ktech Corporation</p> <p>Albuquerque, NM; Sunnyvale, CA; Snelling, CA</p>

出典：DOE 資料などより作成

3) ローカルエネルギーマネジメントシステム（ローカル EMS）

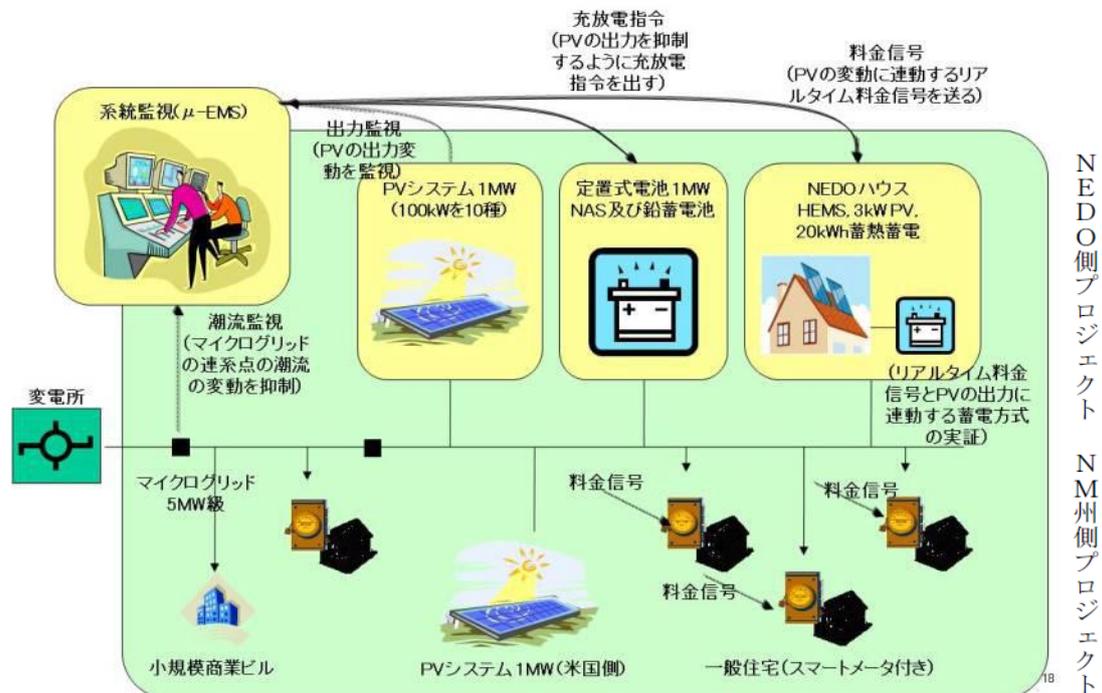
① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

ローカル EMS とは、需要家設備や分散型電源を含む電力系統の下流側設備の監視・制御を行うとともに、HEMS や BEMS、さらに基幹系の制御システム（中給等）との協調制御を行うシステムであり、経済性や環境性、電力品質の維持・向上を目的とする。

従来、マイクログリッドという概念で、配電系統に設置される分散型電源や需要家機器を協調制御することで、自然変動電源による系統への悪影響の最小化や、系統事故時に自立運転を行い配電系統の信頼度を向上させることが提案・実証されてきた。ローカル EMS の概念は、このマイクログリッドの概念をよりアクティブにしたものと考えることができ、積極的に需要家情報や系統情報を監視・制御システムに取り込むことで、より系統と協調した制御を行うシステムと言える。

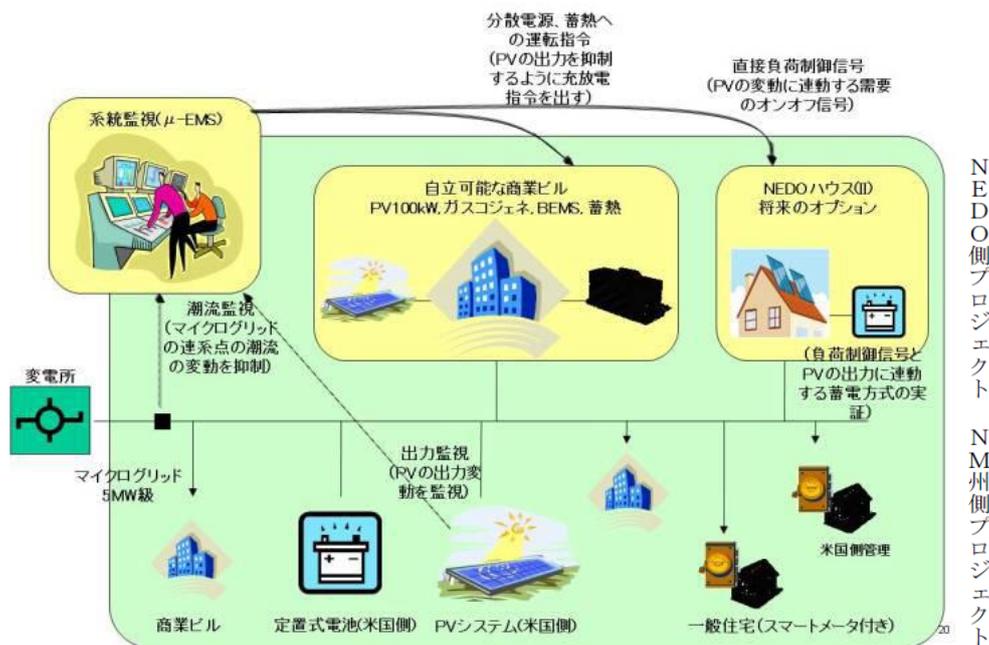
例えば日米スマートグリッド共同実証研究では、図表 9.25 に示すように、リアルタイム料金信号を配電系統の系統監視を行うローカル EMS（ μ -EMS）から発し、住宅における太陽光発電、蓄電池、HEMS が、どの程度デマンドレスポンス機能を発揮できるかの検証が行われる。さらに、図表 9.26 に示すように BEMS と連携し、太陽光発電の運転状況のモニタリング信号を受けて、 μ -EMS が太陽光発電の変動吸収量を指令し、燃料電池、ガスエンジンコージェネレーション、蓄熱槽、蓄電池などのビル側設備による変動吸収の実証も計画されている。

図表 9.25 ロスアラモス郡における実証マイクログリッド



出典：NEDO 海外レポート No.1054、2009.11.4

図表 9.26 アルバカーキ郡における実証マイクログリッド



出典：NEDO 海外レポート No.1054、2009.11.4

② 試験・導入の現状

欧米でのローカル EMS 関連プロジェクトは、配電系統運用者 (DSO)、ないし DSO とエネルギーサービスプロバイダ (ESP) が協調して実施されているものが多い。すなわち、DSO による制御の効率化や、DSO ないし ESP による顧客情報を活用した省エネルギーサービス等を行うことが目的とされている。

具体的な試験・導入事例は、下記③に示す。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

i) オランダ・アムステルダム市⁵ スマートシティ・プログラム

アムステルダム市は EU 初の「インテリジェント・シティ」の実現を目指し、「アムステルダム・スマートシティ・プログラム」、およびスマートグリッド関連プロジェクトを推進している。

このプログラムでは、持続可能、かつ経済的に実行可能なプロジェクトを企画、実行することにより、カーボン・フットプリントを削減し、EU の気候変動・エネルギーに関する政策パッケージ「EU2020 Package」で設定された、いわゆる Triple 20 (2020 年までに 1990 年比で温室効果ガスの排出量を 20%削減、エネルギー消費量の 20%を再生可能エネルギーから供給、エネルギー効率の 20%向上) への貢献を目的としている。

住宅や商業・公共施設、交通機関におけるエネルギー消費量を削減するため、スマートメーターや BEMS、船舶の充電設備の充実などの取組みが行われており、電力需要側・供給側双方の一体的な制御を行うローカル EMS 技術の開発も予定されている。具体的には、家庭用小型発

⁵ NEDO 海外レポート No.1053、2009.10.21

電設備（太陽光発電、小型風力発電、小型 CHP など）からの余剰電力の売電を可能にするシステムおよびインフラストラクチャを構築し、電力の需給制御を行う「PowerMatcher」「PowerRouter」というシステム開発が行われている。

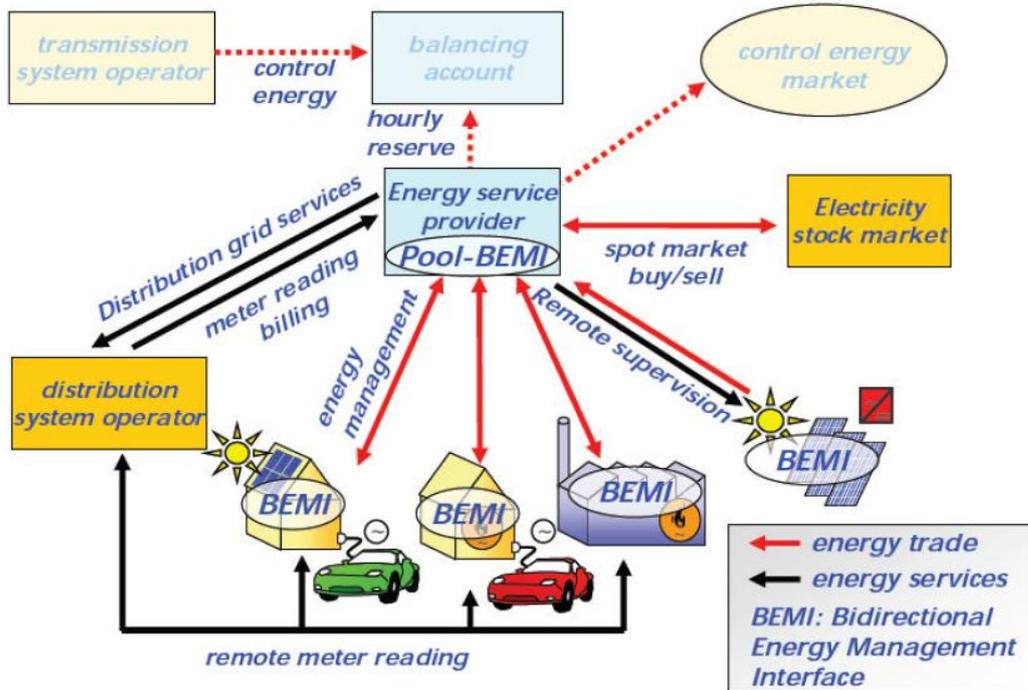
また、近接する建物間で形成される「LEN (Local Energy Network)」を構築して、相互で発電量、需要電力量を管理し、ネットワーク域内において最適な形で電力の融通が可能となるようなシステムの実現も構想されている。

ii) ドイツ・マンハイム市

ドイツ・マンハイム市では 100 軒規模の家庭を対象として、太陽光発電、コージェネレーションシステムと制御可能な負荷が統合され、電気事業者等のサービスプロバイダと需要家がリアルタイムに情報交換可能なシステムを構築・実証を行っている。この実証では、ISET が開発した「BEMI: 双方向エネルギーマネジメントインターフェース」を中心に、ローカルなエネルギーマネジメントシステムを構築している（図表 9.27）。

DSO はスマートメーターにより読み取られた情報を ESP に提供し、それをもとに ESP は各家庭と BEMI を介したマネジメントを行うことで、DSO の配電業務に資するサービスを提供するというフレームワークである。

図表 9.27 マンハイム市で考えられているビジネスフレーム



出典：Smart Houses and Smart Grid

iii) 米国の SmartGridCity プロジェクト（コロラド州ボルダー）

SmartGridCity はコロラド州ボルダーにおいて、Xcel Energy 社が中心となり、「配電系統運用の効率・信頼性の向上」「設備のエネルギー効率の向上と需要家の需要反応スキームの確立」「オン

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

「サイト再生可能エネルギー電源の高度な連系」を目指して、スマートメーターや太陽光発電、蓄電池、スマート家電等を設置した約 2.3 万件のスマートハウスを舞台とした実証研究が行われている。

実証の内容は、停電管理・顧客情報システムと双方向通信を活用し、蓄電池や風力・太陽光発電、PHEV など約 1000 ヶ所の分散型電源との統合制御を実施すること、およびローカル EMS を用いて、自動検針、停電検知や配電自動化、エネルギー消費の見える化やデマンドレスポンスプログラムの構築などである。

図表 9.28 SmartGridCity における実証内容

- ・ 市内の住宅・施設における既存の電力メーターを 5 万台のスマートメーターに変更
- ・ 自動検針システム、停電の検知など
- ・ ボルダー市内の 4 つの変電所、25 か所のフィーダをスマートグリッドに対応するように改修し、双方向の電力・通信網を確立など
- ・ 配電所業務自由化、変圧器・低圧システムのモニタリング・過負荷検知
- ・ 電力消費者がインターネットでエネルギー使用を制御・分析できるシステムを構築
- ・ 見える化ツールの提供、デマンドレスポンスプログラムの構築

図表 9.29 SmartGridCity のイメージ図



出典：SmartGridCity ホームページ (<http://smartgridcity.xcelenergy.com/media/pdf/SmartGridCity.pdf>)

iv) 日本（次世代エネルギー・社会システム実証事業）

我が国では、ローカル EMS を活用し、次世代エネルギー・社会システム実証事業を実施する 4 地域が 2010 年 4 月に採択された。

4 地域における、ローカル EMS に関する取組み・研究開発の概要を図表 9.30 示す。

**図表 9.30 次世代エネルギー・社会システム実証事業採択地域における
ローカル EMS の取組み・研究開発の概要**

地域	地域 EMS (※) の取組み・研究開発概要
横浜市	<ul style="list-style-type: none"> ・ HEMS や BEMS 等需要家側と情報通信を行い、また大型施設等に設置された地域レベルの再生可能エネルギーや蓄電装置等も活用しながら、地域内でのエネルギー利用効率の向上に資する地域 EMS の確立 ・ 複数の地域 EMS の連携のあり方や系統との役割分担の明確化 ・ 充電スタンドや HEMS 内機器を使用した電圧制御の実証 ・ 需要家データを活用した新たなサービスコンテンツの開発
けいはんな学研都市	<ul style="list-style-type: none"> ・ 家庭、学校、公的施設などにおける HEMS や BEMS などを統合、さらに電気自動車のマネジメントシステムを合わせ、トータルな地域 EMS を構築
豊田市	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域単位でのエネルギー使用の最適化／有効利用を図り、グリーンエネルギーをコミュニティ内で有効活用を目指し、HEMS をコミュニティ内でネットワーク化し、コミュニティ単位での地域 EMS を構築 ・ 大規模災害時等を想定し、次世代自動車搭載蓄電池から商業施設・公共施設等向け電力供給の可能性の検証
北九州市	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象・エネルギー需要予測、新エネルギー導入時の系統制御や蓄電池、EV を組み合わせた地域 EMS の構築 ・ 地域 EMS は DSM（デマンドサイドマネジメント）機能を中心として、CEMS と BEMS、HEMS 等と連携 ・ 大規模基幹系統等との協調運転、安定化のため、連系に必要な同時同量機能、電圧・周波数制御機能を付加 ・ 高信頼性と高度なセキュリティを実現する通信プロトコルの導入 ・ 監視装置、中央制御装置を備え、エネルギー使用状況や太陽光発電等の各種電源を監視・運用し、電力網の安定化、地域エネルギー利用の最適化を図る地域節電所の整備

(※) 次世代エネルギー・社会システム実証事業では、ローカル EMS を「地域 EMS」としている

出典：各地域の提案書より作成

これによると、ローカル EMS の主な研究開発要素として、下記の内容が挙げられる。

- ・ HEMS や BEMS など、建物単位の EMS と連携した最適マネジメント技術の確立
- ・ 基幹系統との協調した制御技術の確立、役割分担の明確化

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

- ・ 電気自動車等、モビリティとの連携、モビリティを活用した系統制御技術の確立
- ・ セキュリティの確保

v) 課題のまとめ

ローカル EMS の開発においては、ローカル EMS 系統運用上どのように活用していくのか、また HEMS 等の需要家個別のエネルギーマネジメントシステムとどのように役割分担をしていくのが主要課題とされている。従って、都市や離島等の実フィールドでの実証を進めつつ、これらの技術開発を進めていく必要がある。

- ・ HEMS 等と連動した制御技術開発
- ・ 系統運用と協調した制御技術開発

(3) 配電自動化システム

① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

配電自動化システム（DAS：Distribution Automation System）とは、配電線や変電所に設置される機器の状態や電流値・電圧値等を遠隔監視しながら配電線開閉器を自動操作することで、供給信頼度の向上や保守作業の省力化を図るシステムである。

日本では既に配電自動化システムが全国的に普及しており、遠隔操作可能な開閉器が広がっている（連系自動開閉器も遠隔操作可能）。

他方、米国や欧州、アジア等の諸外国においては、日本と異なり配電自動化システムの普及率は高くなく、配電システムの運用効率化、信頼性向上の観点から、スマートグリッド技術の一つとして取組みが進められている。

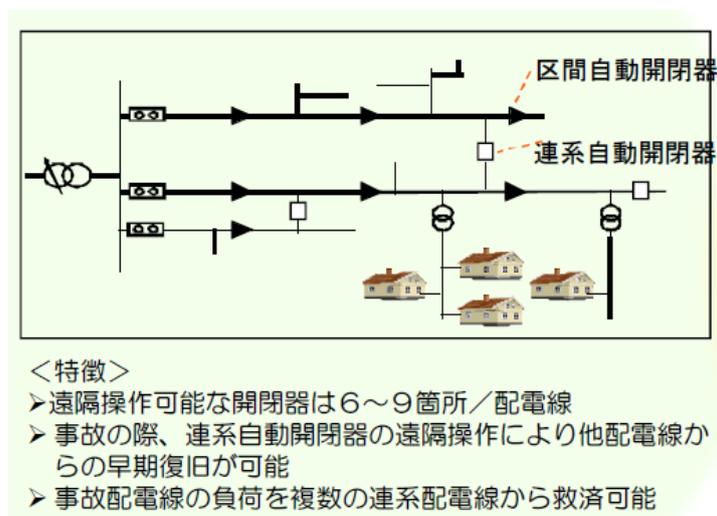
② 試験・導入の現状

i) 日本

我が国では、配電線に流れる電流値（需要家の電力需要）を把握し、電力会社の事業所からの遠隔操作により現地の開閉器を操作することで事故の早期復旧や配電線の効率運用等を図るため、情報技術を活用した配電自動化システムが普及している。

現在では、配電線の電圧負荷管理や不平衡による配電線ロスの解消等、さらなる電力品質の精度向上のため、各種現地データ（電圧、電流、力率、事故情報など）の計測を可能とするセンサー内蔵開閉器が導入され始めている。またこのセンサー内蔵型開閉器を活用して、分散型電源等による急激な電圧変化検出による電圧制御、負荷パターン認識による電圧制御、負荷パターン認識による負荷バランス制御や断線検出などリアルタイムな計測データに基づく電圧制御が検討・導入されてきている⁶。

図表 9.31 我が国における配電システムの概要



出典：低炭素電力供給システムに関する研究会（第7回）資料（2009年5月22日）

⁶ 小田切司朗、「配電自動化の変遷」、電気学会論文誌、Vol129, No.9, 2009

ii) フランス

EDF では我が国と同等の配電自動化システムが普及している⁷。EDF における配電自動化の状況は図表 9.32 のとおりである。

図表 9.32 EDF における配電自動化の状況

導入済み	<ul style="list-style-type: none"> ・ 開閉器：フィーダあたり 3.5 箇所 ・ 少数の連系開閉器 (sectionalizer)、再開路装置 (reclose) ・ 変電所における自動電圧調整器
今後導入予定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 制御所における自動化 (2007 年より導入) ・ 変電所からのアラーム信号の自動分析 ・ 故障報データの自動収集 ・ (オペレータの操作による) 事故復旧戦略の自動策定 ・ 健全なフィーダの自動復旧(2008 年) ・ 風力発電出力のモニタリング ・ 配電システムと分散型電源が協調した電圧制御 (配電所の電圧調整装置や、分散型電源からの無効電力の供給など) (2009 年)

出典：VALUE OF DISTRIBUTION AUTOMATION APPLICATIONS (CEC 500-2007-028)、California Energy Commission、2007.4 より作成

iii) 米国

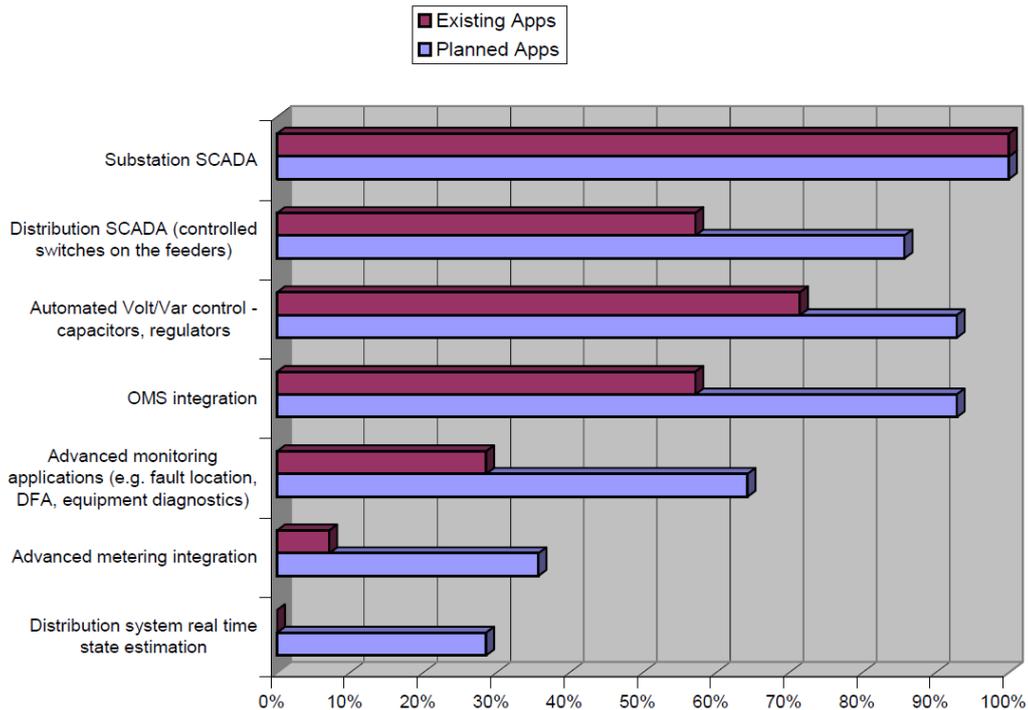
ニューヨーク市に電気を供給する Con Edison 社では、都市部はメッシュ系統、郊外は自動開閉器なしが主流であり、配電自動化システムが普及していない⁸。

米国における配電自動化の取組み状況を図表 9.33 に示す。配電所への SCADA の導入 (Substation SCADA) はほぼ 100%行われているが、開閉器の監視・制御機器 (Distribution SCADA) の導入率は 55%程度、自動電圧制御システム (Automated Volt/Var control capacitors, regulators) の導入率は 70%程度、停電自動監視システム (OMS : Outage Management System) の導入率は 55%程度、などとなっている。

⁷ 低炭素電力供給システムに関する研究会 (第 7 回) 資料 (2009 年 5 月 22 日)

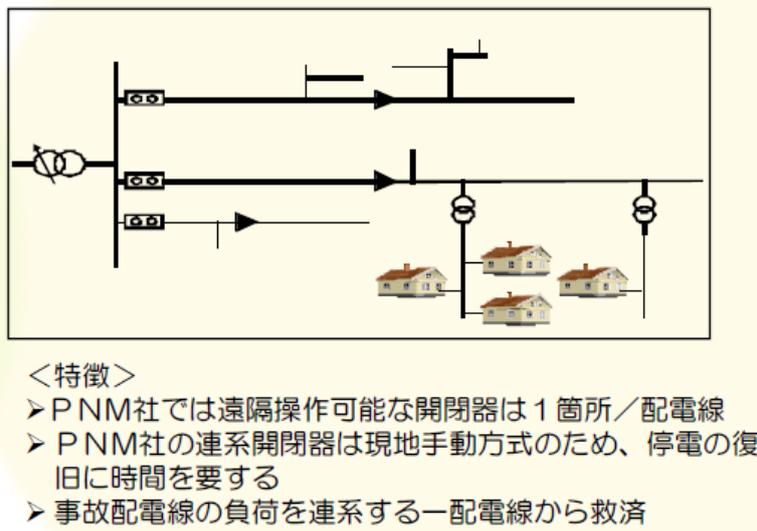
⁸ 低炭素電力供給システムに関する研究会 (第 7 回) 資料 (2009 年 5 月 22 日)

図表 9.33 米国の配電自動化アプリケーションの利用度合い（現状と計画）



出典：VALUE OF DISTRIBUTION AUTOMATION APPLICATIONS (CEC 500-2007-028)、California Energy Commission、2007.4

図表 9.34 Public Service of New Mexico 社の系統の特徴

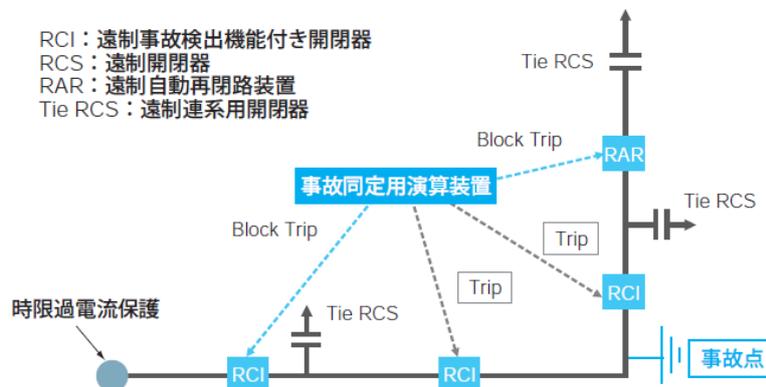


出典：低炭素電力供給システムに関する研究会（第7回）資料（2009年5月22日）

なお、SCE社（Southern California Edison）においては、San Bernardino市で通常の配電自動化導入に加え、Circuit of the Future と呼ばれる、開閉器と事故区間判定処理装置間でデータ通信を行い、最小の事故区間だけ自動的に除去して停電範囲の最小化を実現する試験的な取り組みを実施している（図表 9.35）。

またコロラドではAMIの情報通信技術を応用し、配電システムの運用を行う動きも見られる。

図表 9.35 事故区間同定システム



出典：海外電力 2009.4

iv) 中国

配電自動化システムは大都市圏にいくつかの試験的導入が進められているが、新規配電設備の置き換えや大容量化、高信頼化などの課題解決のための設備投資が膨大となることから普及はこれからと見られている⁹。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

配電自動化システムの導入は、日本が最も進んでおり、現時点での技術力は世界有数であると言える。

今後の我が国の配電自動化システムに関する技術開発課題としては、風力発電や太陽光発電などの分散型電源が今後ますます配電系統へ連系することなどにより、配電系統の電圧管理や停電時の融通操作が複雑化していくために、光ネットワークやIP通信方式等による高速・大容量伝送技術を活用し、従来の開閉器制御に加え、事故区間の早期検出、リアルタイムな電圧制御など、ITを活用した配電自動化の高度化が挙げられる。

一方、諸外国における配電自動化システムの導入はこれからであり、日本として海外市場に進出する場合、当該国の系統構成（電圧や接地方式、配電ネットワーク方式等）へ適合した製品開発、IECなどの国際規格へ適合した製品開発を行い、実フィールドでの実証を行っていく必要がある。

- ・ ITを活用した配電自動化の高度化
- ・ 当該国の系統構成に適合した製品開発
- ・ 国際規格に適合した製品開発
- ・ 実フィールドでの実証

⁹ 富士時報、Vol.81 No.3, 2008

9.1.2.2 需要家側のエネルギーマネジメント技術

需要家側のエネルギーマネジメント技術とは、需要家側のエネルギー設備を制御し、省エネルギーや系統貢献を行う制御技術のことである。系統情報・気象情報・電力価格情報に基づく制御の場合もある。

具体的には、太陽光発電や需要家用蓄電池、電動車両や蓄熱システム（給湯機器等）などを活用し、目的（省エネや省コスト等）に応じた制御を家やビル、工場などの個別の系で行う、個別需要家のエネルギーマネジメントシステム（HEMS、BEMS、FEMS）¹⁰、および系統情報を踏まえた制御を行うデマンドレスポンス、また電動車両による系統貢献技術（G2V、V2G、V2H 等）を指す。

(1) エネルギーマネジメントシステム（EMS）技術

1) HEMS、BEMS、FEMS

① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

住宅を対象とした HEMS（Home Energy Management System）、ビルを対象とした BEMS（Building Energy Management System）、工場を対象とした FEMS（Factory Energy Management System）は、施設内のエネルギー需要機器（電化製品や給湯器等）、エネルギー供給機器（太陽光発電や燃料電池、冷凍機等の空調システム等）、さらに電動車両等をネットワークで制御するシステムである。

EMS 技術の主な目的は省エネルギーと温暖化対策である。そのためエネルギー消費量を表示（見える化）することで、利用者に省エネルギーを喚起し、機器の自動制御や利用者に効果的な機器利用方法を提示するなどの機能を備えている。

また最近では、太陽光発電や蓄電池、電動車両などを活用し、停電時等の電力供給を行ったりする研究もなされている。

② 試験・導入の現状

HEMS や BEMS などの需要家の EMS 技術は、かねてより各国で研究が行われてきた。例えば我が国においては NEDO を中心に研究開発が進められ、エネルギー需要最適マネジメント事業では、HEMS の導入によりエネルギー消費量が 5.8%～17.9%削減可能と報告される等の実績がある。

スマートグリッドにおいては、家庭やビル等の閉鎖系内の最適制御に加えて、ローカル EMS や系統運用と協調した制御などの研究が進展している。これらの開発内容は、下記の③に示す。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

i) ドイツ E-DeMa プロジェクト

E-DeMa プロジェクトは、ドイツで 2008 年より実施されている E-Energy プログラム¹¹の一つ

¹⁰ 個別需要家ではなく、複数需要家や地域を対象としたエネルギーマネジメントを行うローカル EMS は、559 ページで扱っている。

¹¹ E-Energy プログラムは、最新の情報通信技術の導入によるエネルギーシステムの最適化を通して、高効率か

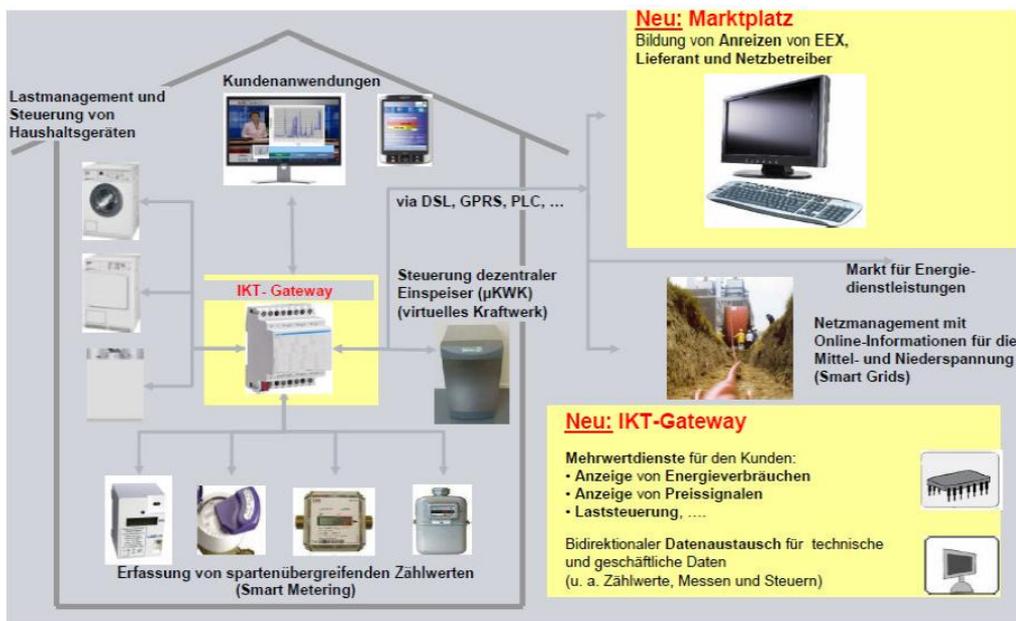
9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

である。E-DeMa プロジェクトでは、需要家はエネルギーを消費すると同時にエネルギーを作り出す「Prosumer (Producer と Consumer を合わせた造語)」として市場に参画する。Prosumer はリアルタイムの電力消費情報や価格信号を受け取ることで需要反応行動を起こし、その対価を受け取る。

このように、需要家も一取引者として、E-Energy 市場（次世代のエネルギー市場）へ参加する市場システムを実現するための統合インフラストラクチャの設計、開発を行うのがプロジェクトの内容である。

このようなスキームを可能とするために、E-DeMa では図表 9.37 に示すようなホームエネルギー管理システムが考えられている。この HEMS は IKT-Gateway (宅内ゲートウェイ) と呼ばれるゲートウェイを中心に、宅内機器 (スマートメーターやテレビ・食器洗い機の家電機器) が接続されている。IKT-Gateway を通じて、各機器の電力消費状況や、遠隔制御が可能となる。

図表 9.36 E-DeMa プロジェクトにおけるホームエネルギー管理システム



出典：“E-DeMa - Entwicklung und Demonstration dezentral vernetzter Energiesysteme hin zum EEnergy Marktplatz der Zukunft”, Konferenz: Umwelttech meets IT – Green-IT und E-Energy in der Praxis(2008)

ii) 米国の SmartGridCity プロジェクト (コロラド州ボルダー)¹²

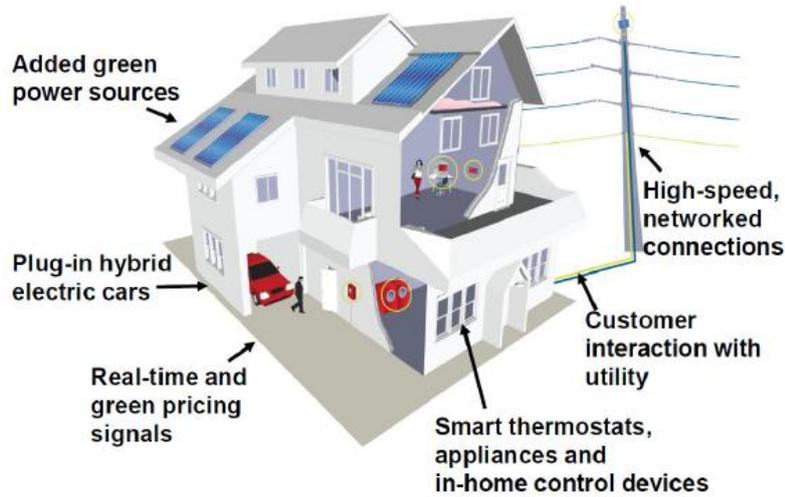
米国コロラド州ボルダーにおいて、Xcel Energy 社が中心となり、スマートメーターや太陽光発電、蓄電池、スマート家電等を設置した約 2.3 万件の「スマートハウス」を舞台とした実証研究が行われている。

つ低環境負荷なエネルギーシステムの構築、および新規雇用・市場の開拓が目的。6つの実証試験サイトが選定されている。

¹² 561 ページも参照のこと

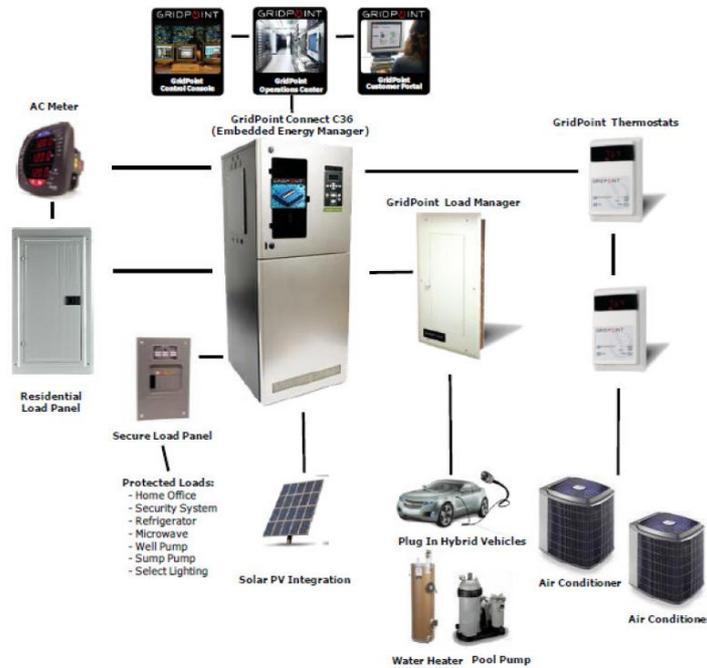
SmartGridCity プロジェクトにおけるスマートハウスは、図表 9.37 に示すように、家電製品や分散型電源、電気自動車などを HEMS で結び（図表 9.38）、家庭内の電力消費の見える化、電力消費の高効率化、家電製品の需要制御などが行われる。また、消費者がニーズに応じて、家庭で利用する電力種別（クリーンなエネルギー源、安価なエネルギー源など）を選択できるような仕組みも開発される。

図表 9.37 SmartGridCity におけるスマートハウス像



出典：”SmartGridCity - A blueprint for a connected, intelligent grid community”

図表 9.38 スマートハウスにおけるホームエネルギーネットワーク

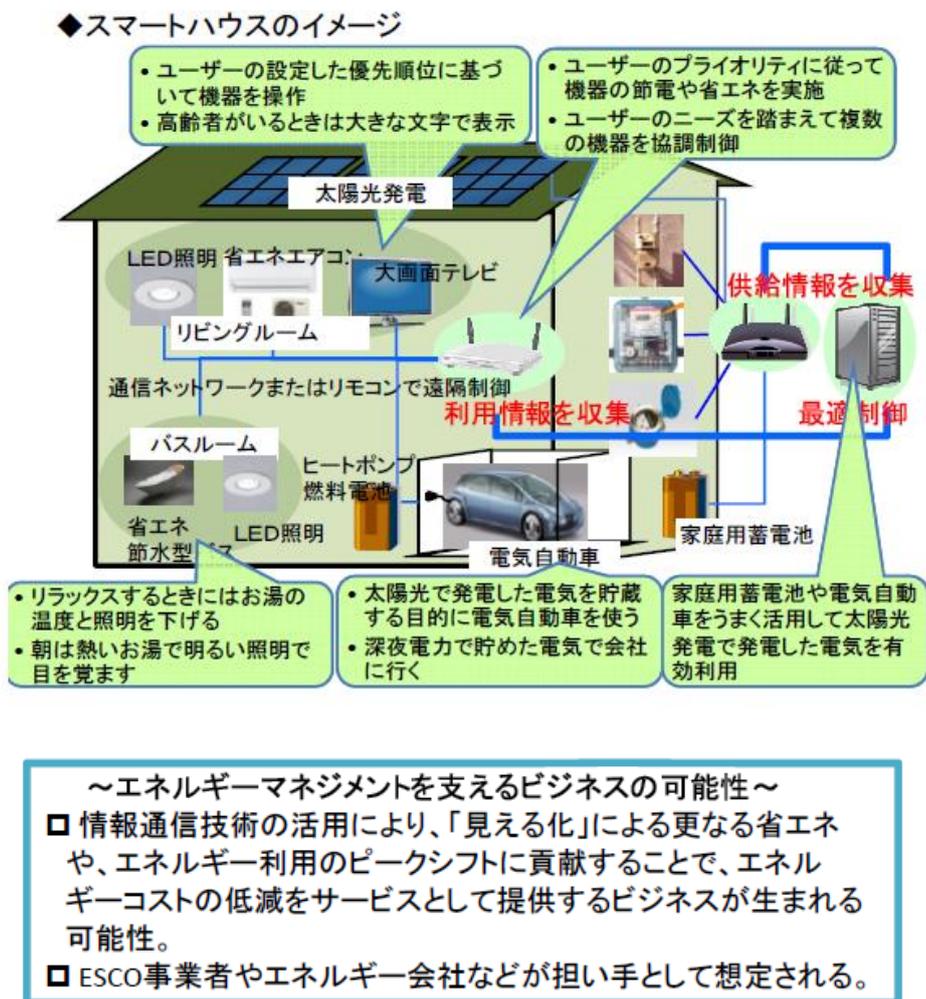


出典：”SmartGridCity - A blueprint for a connected, intelligent grid community”

iii) 日本

HEMS を用いて機器制御を行う家庭はスマートハウスと呼ばれており、563 ページで述べた次世代エネルギー・社会システム実証事業などにおいて研究が進められている。今後の実証においては、エネルギー消費量や発電量等の数値をユーザに表示し意識を高めることで、省エネ行動を促す効果の実証や、例えば省エネ優先モードや省コストモード、快適重視モードなどのユーザーニーズに応じた機器制御の実証などが予定されている。また地域特性、需要家のライフスタイルや受容度を考慮した制御技術を開発し、将来的にはローカルエネルギーマネジメントサービスと連動した制御、系統運用と協調した制御を行うことも期待されている。

図表 9.39 スマートハウスのイメージ



出典：第7回次世代エネルギー・社会システム協議会資料（2010年1月19日）

iv) 課題のまとめ

HEMS や BEMS、FEMS 等のエネルギーマネジメント技術の基礎的な技術は、NEDO 等においてこれまで開発が進められてきた。スマートハウス等において様々なビジネスモデルが国内外で検討されており、通信技術の進展によるマネジメントの高度化などが進められている。

今後は、以下の技術開発を図り、より高度化した EMS 技術を確立することが課題である。

- ・ 地域特性や需要家のライフスタイル、受容度を考慮した制御技術の開発（マネジメント技術のローカライズ化）
- ・ ローカルエネルギーマネジメントサービスとの連動技術
- ・ 系統運用との協調制御技術
- ・ ホームサーバ、サービスプロバイダ等のアーキテクチャ仕様の検討

2) デマンドレスポンス・スマート家電

① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

デマンドレスポンスとは、経済的インセンティブによる需要家の行動変化を通じて、系統電力のピーク電力カットや供給信頼度を向上するものである。電力品質市場（アンシラリーサービス市場）を有する米国の一部電力市場を中心に取組みが進められており、スマートグリッドにおいても需要家負荷制御の一方策として、特に、家庭の需要家を対象としたデマンドレスポンスへの取組みが検討されている。

家庭の需要家を対象にデマンドレスポンスを行う場合、HEMS 等により制御可能なスマート家電が制御対象機器となることから、スマート家電についての技術開発課題の整理も行う。

② 試験・導入の現状

デマンドレスポンスへの取組みは米国を中心に進められており、また欧州でも実証プロジェクトが実施されている。詳しい内容は、③で示す。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

i) 欧州 Smart-A (Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy System) プロジェクト¹³

EU の Smart-A プロジェクトでは、家電機器の電力消費をコントロールし、電力系統のピーク需要削減や風力・太陽光発電の導入等に起因する系統周波数調整への貢献可能性の確認と効果の評価を目的に実施された。プロジェクトで用いられた家電機器は、食洗機、冷蔵庫、電気温水器、洗濯機、エアコン、冷凍庫などである。

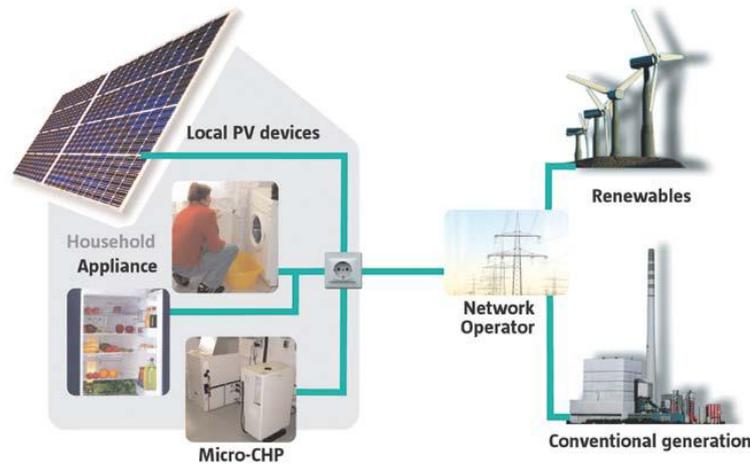
このプロジェクトの、「戦略と提言（案）」と題する報告書（案）¹⁴では、以下のステークホルダに対して、現状の制約要因とそれへの対応策を提言している（図表 9.41）。

- 家電業界
- 地域の（小規模な）エネルギー供給事業者
- 電力会社（発電、配電、小売）
- 大規模な再生可能エネルギー発電事業者
- 政策立案者
- 需要家
- 標準化団体
- スマート家電からの情報提供者やデマンドマネージャー

¹³ 2007.1 にスタートした 2 年半のプロジェクト。URL は www.smart-a.org。ドイツのエコ研究所（Oeko-Institute）欧州の 9 の大学・研究所，エネルギー供給・管理会社，家電メーカー等が共同参加

¹⁴ Draft 8.2 – September 2009

図表 9.40 スマート家電の概念



出典： Smart-A, ” Smart Domestic Appliances Supporting the System Integration of Renewable Energy”

図表 9.41 家電メーカーに対する現状の制約事項と対応策の提言

No	制約事項	対応策
1	エネルギーシステム間の通信の標準	エネルギーシステム間の接続を規定するため、欧州もしくは世界的な標準化活動を活発化すべきである。世界市場を相手にしている家電メーカーが主導すべき。
2	スマート家電の利点が明確でない。スマート家電向けの新しいタリフがないため、需要家の利益が不明	需要シフト（特に、食洗機の夜間稼働のための）のためのタイムオプションの利用を推進すべき。これにより、自動スマートオペレーションの素地が出来る。
3	スマート家電の追加のコストの消費者負担	他機能との共用等による需要家メリットの提供や、系統運用コストを削減出来る電力会社はメーカー、小売業者、消費者に対しスマートデバイス購入に際してのインセンティブを提供すべき。
4	故障時の対応	機器は消費者にとって扱いやすいものであり、故障時の修理がしやすいものでなければならない。また優れた顧客サポートも必要。
5	自動制御運転による事故に対する補償	スマート家電が自動運転される場合には、（故障、火災、水害等を防ぐため）最高レベルの安全基準を適用すべき。またメーカー保証や保険が提供されなければならない。
6	待機時の消費電力の増加可能性	通信需要を最小にするようにする。
7	騒音の影響	特に洗濯機、食洗機の夜間騒音低減が要求される。
8	大量生産	電力会社からスマート家電導入の明確な言質を得る。

出典： Strategies and recommendations (D8.2 of WP 8 from the Smart-A project), September 2009

また同報告書（案）では、スマート家電を用いた DSM を促進するため、3段階に分けた取組み内容を示している（図表 9.42）。

図表 9.42 スマート家電を用いた DSM を促進のための今後の対応の提案

時期	取組み項目	内容
1. “Ad hoc” action	1.1 温水利用に関する情報	洗濯機や食洗機に温水を利用した場合の省エネ効果を家電メーカーが Energy Label や製品マニュアルに明記。
	1.2 自動食洗機のシフト運転	タイマー機能を用いて自動食洗機を夜間運転。
2. “Short-term” action	2.1 オフピークタリフ	オフピークの電力は再生可能エネルギーによるものが多いので、オフピーク電力価格を安くし、オフピークの家電使用が消費者にとってメリットとなるようにする。
	2.2 アドバンスド・スマートメーター	エネルギー需要信号を消費者や家電に送る機能をスマートメーターが持つよう、電力会社はスマートメーターの定義を拡張すべき。また、欧州委員会は Energy Service Directive でスマートメーターの要件を決めるべき。
	2.3 再生可能エネルギーの可用性についての情報（信号）発信	再生可能エネルギーの可用性についてインターネットベースの情報（信号）を発信する。
	2.4 エネルギー効率計算におけるスマート機能へのクレジット	指令 2005/32-EC では、洗濯機、自動食洗機、衣類乾燥機に、タイマー機能付きの場合は年間消費電力に 20kWh を、リモートエネルギー管理の場合は 50kWh のクレジットを付ける。これにより、Energy Label の家電分類が変更され、タイマーとリモート機能の導入を促進。
3. “Long-term” action	3.1 業界横断的なコミュニケーション	各セクター間のコミュニケーションを強化し相互理解・協力関係を確立する。財政的なメリットを各当事者がどのようにシェアするかビジネスモデルの模索等。
	3.2 業界横断的な標準化	業界横断的な通信標準の策定。
	3.3 財政メリットの割当	財政的メリットの顧客への配分方法の検討。
	3.4 データのプライバシー保護	個人情報保護に関する欧州委員会や各国政府における規則導入。
	3.5 乾燥機付き洗濯機	夜間運転可能なように、タイマー機能や騒音や振動の少ない乾燥機付き洗濯機の開発。
	3.6 温水の更なる利用	温水利用による省エネ効果や再生可能エネルギーの更なる利用につながるかといった更なる研究。

出典：Strategies and recommendations (D8.2 of WP 8 from the Smart-A project), September 2009

ii) 米国における取組み状況

FERC では、デマンドレスポンスによるピーク電力の削減寄与分を約 41GW、ピーク需要の 5.8% と推計し、取組みを推進している¹⁵。米国で実施されている各需要反応サービス、プログラムの種類とその提供事業者数を図表 9.43 に示す。また、詳細な需要反応プログラムの例を図表 9.44 に示す。なお、これらのプログラムで行われているデマンドレスポンスは、需要規模が数十 kW～数 MW 以上の需要家を対象としていることから、原則工場や業務施設等の需要家が対象となっている。

¹⁵ 2008 Assessment of Demand Response and Advanced Metering Staff Report、FERC、2008.12

図表 9.43 需要反応サービス、プログラムの提供事業者数

需要反応サービス、プログラム種類	サービス、プログラムの提供事業者数
Ancillary Services	80
Capacity Market Programs	73
Critical Peak Pricing	88
Critical Peak Rebate	41
Demand Bidding	52
Direct Load Control	209
Emergency Demand Response Program	129
Interruptible and Curtailable	221
Real-Time Pricing	99
Time-of-Use	316

出典：2008 Assessment of Demand Response and Advanced Metering Staff Report、FERC、2008.12

図表 9.44 需要反応プログラムリスト (1/4)

プログラム名称	適格需要規模	200kW以下の削減量で参加可	>200kW以上の削減量で参加可能	基準	プログラムタイプ		
					価格	系統	価格/系統
AEP Emergency Curtailable Service Program	>3MW		○	系統に不測の事態が生じた場合		○	
AEP Market Choice Program	>1MW		○	RTP	○		
AEP Price Curtailable Service Program	>3MW		○	高市場価格	○		
Allegheny Power Generation Buy-Back Program	>1MW >3MW (場合によっては)		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Ameren Energy Energy Exchange	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Bonneville Power Administration Demand Exchange	>1MW			需給逼迫&高市場価格時			○
Central Hudson Gas & Electric Day-Ahead Demand Response Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Central Hudson Gas & Electric Emergency Demand Response Program	>100kW	○		NYISOにより緊急事態宣言があった場合		○	
Cinergy PowerShare Pricing Program	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Commonwealth Edison Energy Cooperative	不特定	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Commonwealth Edison Voluntary Load Reduction Program	>10kW または最大電力の5%	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Consolidated Edison Day-Ahead Demand Reduction Program	>100kW	○		卸電力価格が事前に定められたストライクプライスを上回った場合	○		

図表 9.44 需要反応プログラムリスト (2/4)

プログラム名称	適格需要規模	200kW 以下の削減量で参加可	>200kW 以上の削減量で参加可能	基準	プログラムタイプ		
					価格	系統	価格/系統
Consolidated Edison Distribution Load Relief Program	>50kW	○		系統信頼度がリスクに曝された場合		○	
Consolidated Edison Emergency Demand Response Program	>100kW	○		NYISO に宣言される供給力不足または緊急事態		○	
Consolidated Edison Installed Capacity Program	>100kW	○		NYISO の SCR にかかる規定に準拠		○	
Consolidated Edison Voluntary Load Reduction Program	>100kW	○		ConEd 社によって宣言される局地的な供給力不足および緊急事態		○	
Dominion Virginia Power Economic Load Curtailment Program	>1MW		○	同社の指令に従いつつでも		○	
Dominion Virginia Power Real Time Program	>5MW		○	RTP	○		
Duquesne Light Company Energy Exchange	>500kW		○	卸電力価格が事前に定められたストライクプライスを上回った場合	○		
Entergy Experimental Energy Reduction Program (EER)	>150kW	○		供給制約		○	
Entergy Market Value Call Option Service (MVCO)	不特定	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Entergy Market Valued Energy Option (MVEO)	不特定	○		需給逼迫&高市場価格時			○
First Energy Voluntary Power Curtailment Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
First Energy Experimental Real Time Pricing Program	最大 500MW まで		○	RTP	○		
Georgia Power Daily Energy Credit Program	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
Georgia Power Real Time Pricing Program	>250kW (前日市場) >5MW (前時間市場)		○	RTP	○		
Idaho Power Energy Exchange Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
ISO-NE Demand Response Program (Class1)	100kW-5MW	○		10 分間運用予備力の不測時		○	
ISO-NE Pricing Response Program (Class2)	100kW-5MW	○		卸市場価格 \$100/MWh 以上	○		
ISO-NE Day Ahead Demand Response	>1MW		○	ISO 給電司令室による指示		○	
ISO-NE Real Time Demand Response	100kW-5MW	○		ISO 給電司令室による指示		○	
ISO-NE Real Time Price Response	100kW-5MW	○		ゾーン価格が \$101/MWh 以上と予測された場合	○		
ISO-NE Real Time Profiled Response	100kW-5MW	○		ISO 給電司令室による指示		○	

図表 9.44 需要反応プログラムリスト (3/4)

プログラム名称	適格需要規模	200kW 以下の削減量で参加可	>200kW 以上の削減量で参加可能	基準	プログラムタイプ		
					価格	系統	価格/系統
Kansas City Power & Light Peak Load Curtailment Program	>200kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Kansas City Power & Light Real Time Pricing Program	>500kW		○	RTP	○		
Kansas City Power & Light Voluntary Load Reduction Program	>100kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Lincoln Electric System Load Purchase Program	>100kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Lincoln Electric Daily Curtailment	>100kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Lincoln Electric Seasonal Curtailment	>100kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Long Island Power Authority Peak Reduction Program	>50kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
NYISO Day-Ahead Demand Response Program	>1MW		○	需要家の入札結果に応じて (系統状況とは無関係)		○	
NYISO Emergency Demand Response Program	>100kW	○		運用予備力の低下およびその他緊急時		○	
NYISO ICAP/SCR Program	>100kW	○		運用予備力の低下およびその他緊急時		○	
New York Power Authority Peak Load Management Program	—	○		需給逼迫&高市場価格時			○
Otter Tail Power Real Time Pricing Program	>200kW	○		RTP	○		
Otter Tail Power Released Energy Access Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
PacifiCorp Energy Exchange Program	>1MW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
PECD Voluntary Load Reduction Program	>250kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
PECD Curtailment HT Rider	>1MW		○	系統条件		○	
Pcpco Curtailable Load Program	>50kW	○		需給逼迫&高市場価格時			○
PJM Day-Ahead & Real Time Economic Load Response Program	—			高 LMP		○	
PJM Emergency Load Response Program	>100kW	○		—		○	
Portland General Electric Demand Buy Back Program	>250kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
PPL Demand Side Initiative Rider	>1MW		○	RTP	○		
Sacramento Municipal Utility District Power Direct	>100kW	○		高需要/高市場価格			○
Sacramento Municipal Utility District PowerNet	>75kW	○		高需要/高市場価格			○
WE Energies Dollars for Power Program	>50kW	○		事前に想定される卸電力価格を超過した場合	○		
WE Energies Experimental Energy Cooperative Curtailable	>300kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○

図表 9.44 需要反応プログラムリスト (4/4)

プログラム名称	適格需要規模	200kW 以下の削減量で参加可	>200kW 以上の削減量で参加可能	基準	プログラムタイプ		
					価格	系統	価格/系統
WE Energies General Primary Service Curtailable	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時			○
WE Energies Power Market Incentive Program	>500kW		○	需給逼迫&高市場価格時	○		
Xcel Energy Peak Control (MN,ND,SD,WI,MI)	>50kW	○		—		○	
Xcel Energy Experimental Industrial Interruptible Rate Rider(TX)	>=1000kW		○	系統不可緩和の必要があるとき		○	
Xcel Energy Transmission, Primary, Secondary Interruptible Rate (CO)	>=500kW		○	系統不可緩和の必要があるとき		○	

出典：平成 17 年度電力系統関連設備形成等調査（欧米における系統支援型需要プログラムの現状調査）報告書、
経済産業省、平成 18 年 3 月

iii) Edison SmartConnect プロジェクト（カリフォルニア州）

カリフォルニア州の大手電気事業者である Southern California Edison 社（SCE 社）が実施している Edison SmartConnect プロジェクトは、大規模なスマートメーター導入と双方向の通信インフラを敷設し、需要家の省エネルギー、電気料金節約、環境負荷低減を助長することを目的としている。

このプロジェクトでは、需要家に対して時間帯別料金を設定し、需給が逼迫するようなピーク時間帯等での電力使用量を削減することで、月々の電気料金を低減出来るデマンドレスポンスプログラムを提供している。時間帯別料金の種類には、以下のようなものが含まれる。

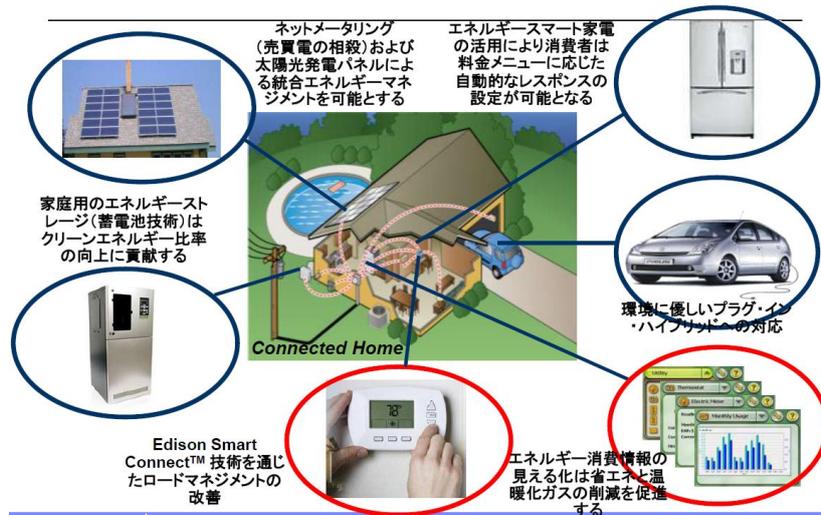
- TOU(time-of-use)：あらかじめ時間帯別の価格を設定している料金プログラム。
- RTP(Real Time Pricing)：上記の TOU をベースとして、時間帯別の料金単価を日ごとに変化させるもの
- CPP(Critical Peak Pricing)：特に電力需給が逼迫する日にピーク時間帯の電気料金をさらに引き上げ、非ピーク時間帯の電気料金は下げるといった料金プログラム
- PTR(Peak Time Rebates)：需要家ごとに典型的な電力使用プロファイル（ベースライン）を設定し、そこからの電力使用量の削減に対して対価を支払う

需要家は上記のような料金プログラムに応じて、電力消費行動を起こす。例えば料金が高い時間帯にはエアコンの使用を控える、他の時間帯に使用してもよいような家電機器は料金が安い時間帯に使用するなどである。

SCE 社ではこれに付け加え、料金が高い時間帯などに自動的に電力消費を抑えるような「スマート家電」との連携も想定している。

Edison SmartConnect プロジェクトで考えられている家庭内エネルギーのスマート化を図表 9.45 に示す。

図表 9.45 Edison SmartConnect プロジェクトにおける家庭内のインテリジェント化



出典：IBM「スマートグリッドに関する情報共有」

iv) 日本

我が国におけるデマンドレスポンスの導入実証例として、2009年より東京電力・関西電力が進めている「スマートメーター大規模実証事業」が挙げられる。本事業は、東京電力・関西電力管内の900件のモニタを対象に、スマートメーターを活用した「電力の見える化」を行い、ピーク時間帯に電力料金が高くなるような仮想的な料金単価を設定することで、料金に対するデマンドレスポンス効果を実証するものである。

図表 9.46 我が国における「スマートメーター大規模実証事業」

1. 事業の目的

✓一般家庭を対象に、電気使用量の「見える化」や時間帯別の料金設定を行う等の大規模な実証事業により、スマートメーター導入に期待される省エネルギー・負荷平準化効果について分析を行うことを目的とする。

2. 事業の内容

✓一般家庭を対象に900台程度のスマートメーター※を設置した上で、設置対象家庭を複数のグループに分け、料金プログラムや機器制御技術を活用した需要側管理※(デマンドサイドマネジメント)による省エネ・負荷平準化効果を検証する。

※以下のケースを想定

- ①消費電力量の「見える化」のみを行う場合
- ②需要がピークとなる時間帯に高い料金単価を設定する場合(その他の時間帯は割引単価)
- ③毎日の気温に連動して変動する時間帯別の料金単価を設定する場合
- ④需要がピークとなる時間帯にエアコンを直接制御をする場合

3. 予算規模

平成21年度予算額:8.2億円
平成22年度予算額:5.2億円

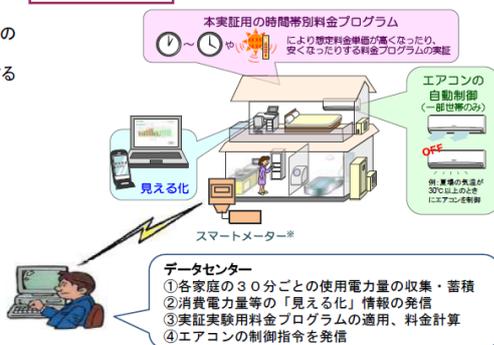
4. 事業期間

平成21年度～平成23年度(3年間)

5. 事業体制

東京電力、関西電力、等

事業イメージ



※本実証事業においては、双方向通信機器と電子式メーターを組み合わせたものを設置

出典：スマートメーター制度検討会「スマートメーターをめぐる現状と課題について」

v) 課題のまとめ

家庭におけるデマンドレスポンスを進めるにあたっては、家庭内のどの機器を対象とするか、またどのように制御するかの方法を検討し、それに応じた制御システムを開発する必要がある。また、HEMS 等と協調して制御する制御コントローラの開発、制御対象となるスマート家電の最適設計、スマートハウスにおける実証も行う必要がある。

さらには、システムの供給信頼度の向上に資するような、システム運用と協調した実施方法の検討・実証も今後の課題となる。

- ・ 制御対象と制御方法の検討
- ・ 制御システム、制御コントローラの開発
- ・ デマンドレスポンスを前提としたスマート家電の最適設計・開発
- ・ スマートハウス等における実証
- ・ システム運用との協調方法の検討・実証

(2) 電動車両の連系技術

① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

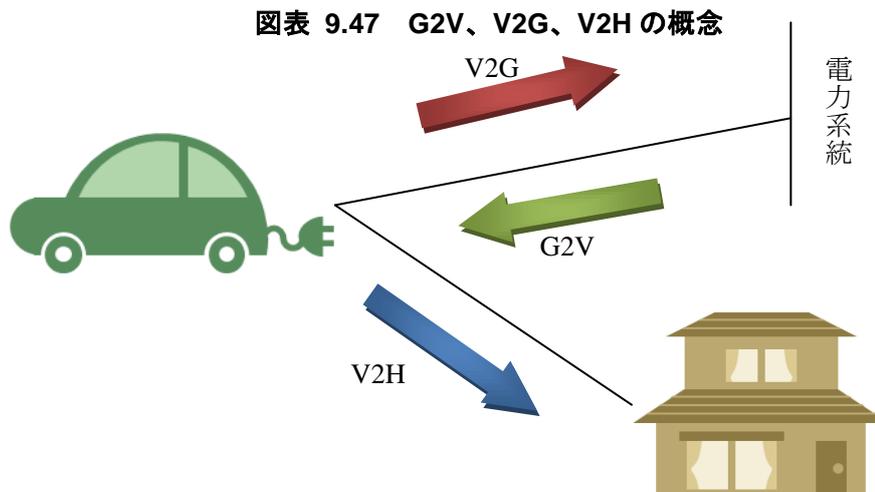
EV 等の電動車両は、従来の内燃機関をベースとした車両と比較して環境負荷が少ないこと、燃料（電気）価格あたりの走行距離がガソリンと比べて長いことなどの理由から、普及が期待されている。

電動車両を電力系統に連系する場合、系統電力を電動車両に充電するケース（G2V：Grid to Vehicle）、電動車両から系統に電力を放電するケース（V2G：Vehicle to Grid）、また電動車両から家庭等の需要施設に電力供給を行うケース（V2H：Vehicle to Home）が想定されている。

G2V の場合、多くの電動車両の充電が同時間に行われると、電力系統にとって相当程度の負荷となることから、充電のタイムマネジメントを行うことが検討されている。

V2G については、電動車両を使用していない時間帯において、系統側に電力を逆潮流させることによってアンシラリーサービスを提供しようという概念であり、電力の自由化が進展している欧米を中心に検討が進められている。

V2H も電動車両を使用していない時間帯に、家庭やオフィスビル（この場合 V2B：Vehicle to Building と呼ばれる）等の需要施設に電力を供給し、停電時の電力融通、施設の負荷ピークカット等を行うものである。



② 試験・導入の現状

電動車両の系統連系技術に関する取組みは、米国を中心に進められている。詳しい内容は③で示す。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

i) GridPoint 社における G2V タイムマネジメント（スマート充電）

GridPoint 社は 2003 年に設立されたベンチャー企業であり、本拠地はバージニア州アーリントンに位置する。家庭内エネルギーマネジメントサービス、電力貯蔵の制御システム、太陽光発電

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

の発電量マネジメントシステム、PHEV・EV等の次世代自動車の充電管理システムなど、スマートグリッドに関連するソフトウェア・ソリューション（プラットフォームシステム）を幅広く展開しており、米国の電気事業者のハードウェアに応じてシステムをカスタマイズした「Smart Grid Platform」の提供を行っている。GridPoint社の代表的な顧客は、AustinEnergy、Duke Energy、Xcel Energy、PG&E、SMUD、IPLなどの電気事業者であり、米国を代表するスマートグリッドサービスプロバイダと言える。

現在 GridPoint 社は以下の5つのサービスを提供している。

- ・ ホームエネルギーマネジメント
- ・ 負荷マネジメント
- ・ 再生可能エネルギー連系
- ・ 蓄電池マネジメント
- ・ 電気自動車のマネジメント

これらのうち電気自動車の充電マネジメントサービスの機能を図表 9.48 に示す。様々な制御モードの中から、需要家は選好するモードを自由に設定できる。また充電情報や乗車情報の見える化も可能であり、電気自動車の充放電情報を様々な観点から確認できる。図表 9.49 には電気自動車マネジメントのインターフェース例を示す。

図表 9.48 サービス機能（蓄電池マネジメント・電気自動車マネジメント）

大区分	小区分	サービス名	概要
電気自動車の マネジメント	スマート充電	Dynamically Shaping Load	リアルタイムな充電方法をいくつかのパターンから選択できる
		Price-Based Charging	時間帯別料金に応じた充電制御を行う
		Shifting Vehicle Load	電気自動車の充電する時間帯を設定できる
	データマネジメント	Powerful Data Capture	充電情報の見える化
		Detailed Trip Data	乗車情報の見える化

出典：GridPoint ホームページ（<http://www.gridpoint.com/solutions/electricvehiclemanagement.aspx>）より作成

図表 9.49 電気自動車マネジメントのインターフェース例



出典：GridPoint ホームページ (<http://www.gridpoint.com/solutions/electricvehiclemanagement.aspx>)

ii) デラウェア大学等による V2G プロジェクト¹⁶

デラウェア大学を中心とするコンソーシアム（MAGICC：Mid-Atlantic Grid Interactive Car Consortium）が、PJM のレギュレーション信号にตอบสนองして電動車両の蓄電池を用いて電力系統に充放電を行う実験を行っている。

デラウェア大学等からなるコンソーシアムチームは、2007 年 10 月に Toyota Scion xB を AC Propulsion が改造した電動車“eBox”により、PJM 系統との相互接続に成功した。システム構成は以下のとおりである。

- ・ eBox（355 volt, 35 kWh の蓄電池を搭載。PJM からのレギュレーション信号に対して、1 秒以下の応答時間で 19kW の充放電が可能）
- ・ 通信・制御機器（PJM からの信号を受け、充放電を制御）
- ・ 充放電器（デラウェア大学には 80A、208V（16.6 kW）のシステム、家庭には 50A、240V（12.0 kW）システムを設置）

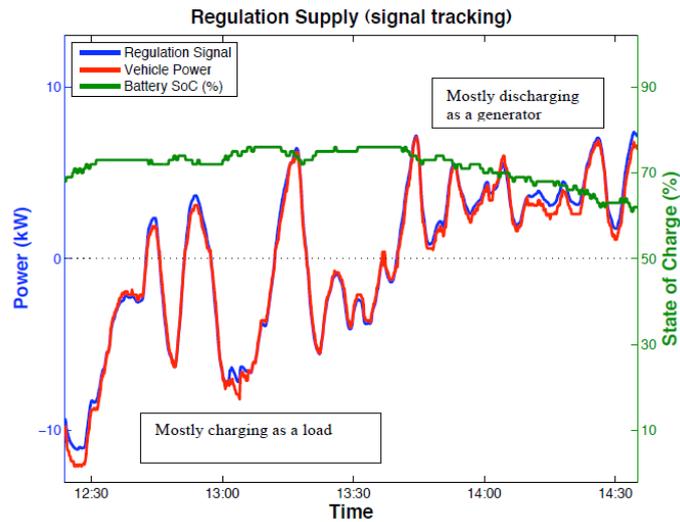
レギュレーション信号に反応して充放電を行う V2G 試験として、2 時間の短時間試験と、24 時間にわたる長時間試験が行われている。

短時間試験の結果を図表 9.50 に示す。青色で示された再生可能エネルギーレギュレーション信号に対して、赤色で示された電動車両の充放電が追従していることが示されている。

図表 9.51 には長時間試験の結果を示す。グラフ中に 3 回ある断続的な部分は、家庭と仕事場への移動に車両が利用されたものであり、その間は SOC が下がっている。概ねレギュレーション信号に追従しているものの、バッテリーの SOC が 100%に近い場面では充電方向の信号には追従出来ておらず、また 0%に近い場面では放電方向の信号に追従出来ていない。

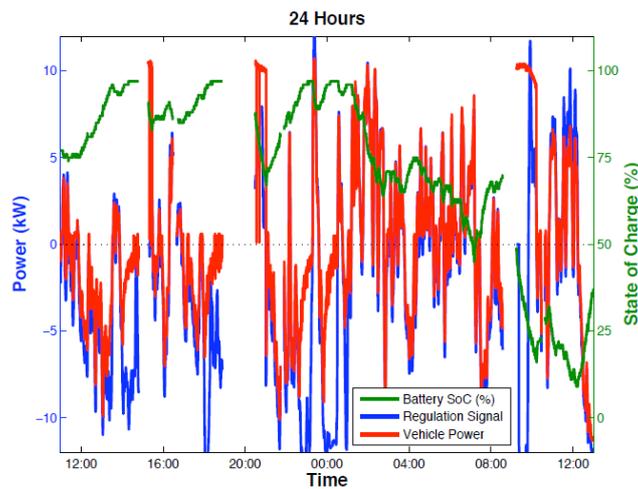
¹⁶ Willett Kempton, Victor Udo, Ken Huber, Kevin Komara, Steve Leten-dre, Scott Baker, Doug Brunner, & Nat Pearre, “A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System”, November 2008 (Clarifications and corrections added January 2009)

図表 9.50 レギュレーション信号への応答（短時間試験）



出典：Willett Kempton, et. al., “A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System”, November 2008 (Clarifications and corrections added January 2009)

図表 9.51 レギュレーション信号への応答（長時間試験）



出典：Willett Kempton, et. al., “A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System”, November 2008 (Clarifications and corrections added January 2009)

課題としては、

- V2G 用車両のコストが高い。
- レギュレーション信号の予測がつかないため、バッテリー容量によってレギュレーションサービスを提供できない場合がある。
- バッテリーの過充電、過放電を防ぐ方策を今後開発していく必要がある。

という点が挙げられており、今後は、以下の取組みを行うとしている。

- 複数の V2G 車による実証実験。大規模なレギュレーション実証試験（1MW、100-300 台の

9.1.2.3 系統の効果的運用が可能となる先進技術

スマートグリッドの主要目的の一つとして、送配電系統の運用効率やフレキシビリティ、セキュリティ¹⁷の向上が多く国・地域で挙げられている。それらを実現する先進技術として、超電導送電、高電圧直流送電、パワーエレクトロニクス応用機器（FACTS 等）が期待されている。

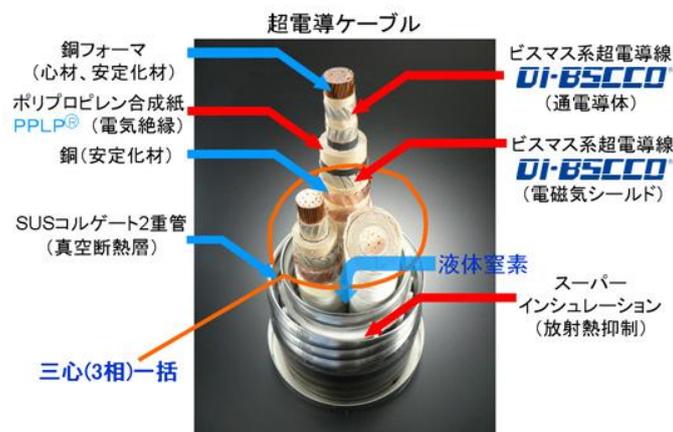
(1) 超電導送電・高電圧直流送電

① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

基幹系統での送電ロスが電力会社にとって多大な損失となる。長距離の電力輸送を高効率で行うためのキー技術として超電導ケーブルやパワーエレクトロニクス応用機器である BTB を用いた高電圧直流送電（HVDC：High Voltage DC）などがある。

超電導送電とは、極低温下において、ある種の物質の電気抵抗がゼロになるという超電導体の特徴を利用し、超電導物質を線材として電力ケーブルとして活用することで、送電を行うものである。超電導送電は、送電損失が限りなくゼロに近いために、長距離輸送時に多大な効果を発揮する。現在、ビスマス系等の高温超電導体の技術開発の進展に伴い、高温超電導ケーブルも実用化に向けた開発が行われている。

図表 9.53 高温超電導ケーブル



(注) 安定化材：事故時の電流分担

出典：住友電気工業ホームページ（<http://www.sei.co.jp/super/cable/index.html>）

また、高電圧直流送電（HVDC：High Voltage DC）とは、直流により高電圧送電を行うものであり、パワーエレクトロニクス技術である BTB を用いて系統間を非同期連系するものである。系

¹⁷ NERC ではこの供給信頼度をさらにアデカシーとセキュリティに分けて定義している。アデカシーとは、需要に対して適切な電源予備力と送電余力を確保していること、設備的な十分さの度合いを言う。それに対しセキュリティとは、落雷などで突発的な障害が発生しても系統安定度、系統周波数、系統電圧を維持できるようなシステムの強さの度合いを言う。

統を直流で連系することにより、電力あたりの電流が小さくなるために、送電損失が小さくなることの他に、供給予備力削減や事故時の系統信頼度の確保、相互応援能力の拡大などが望める。

現在導入されている高電圧直流送電の多くは、外部電源を要する他励式変換器を用いたものである。一方、無電源端でも運転できるような自励式変換器を用いた自励式 HVDC 技術も、現在技術開発が進んでおり、導入が検討されている。

② 試験・導入の現状

高温超電導ケーブルは現在実用化に向け、目下開発中であるが、実証プロジェクトが国内外で行われている。2008 年段階での世界各国における超電導ケーブルに関連したプロジェクトを図表 9.54 に示す。

図表 9.54 世界の超電導ケーブルプロジェクト

地域	プロジェクト名	主な参加社	線路条件	絶縁	相構成	端末	試験期間
日本	実用性検証プロ	東京電力、住友電工	66kV、1000A、100m	低温	三心一括	固定	2001-2002
	Super-ACE	Super-GM	77kV、1000A、500m	低温	単心×1		2004-2005
	高温超電導ケーブル実証プロ	東京電力、住友電工、マエカワ	66kV、3000A、200~300m	低温	三心一括	固定	2007-2011
米国	デトロイト	Pirreli	24kV、2400A、120m	常温	単心×3		失敗
	Southwire	Southwire	12.5kV、1250A、30m	低温	単心×3		2000-
	Albany (ph1)	住電、SuperPower, BOC	34.5kV、800A、350m	低温	三心一括	固定	2006-2007
	Albany (ph2)	住電、SuperPower, BOC	34.5kV、800A、30m部分	低温	三心一括	固定	2007-
	OHTO	Uitela, ORNL	13.2kV、3000A、200m	低温	三相同軸		2006-
	LIPA (1)	AMSC, NEXANS	138kV、2400A、600m	低温	単心×3		2007-
	LIPA (2)	AMSC, NEXANS	138kV、2400A、600m	低温	単心×3		
	New Orleans	Southwire, NKT	13.8kV、2.5kA、1760m	低温	三相同軸		2009-2010
Hydra	Southwire, AMSC	13.8kV、?A、?m	低温	三相同軸		2010-	
欧州	コペンハーゲン	NKT	30kV、200A、30m	常温	単心×3		2001-2003
	Nuon	NKT, Plexair	50kV、3kA級、6000m	低温	三相同軸		2008-2011
アジア	雲南	Innower, InnoST	35kV、2000A、33.5m	常温	単心×3		2004-
	蘭州	中国科学院	10.5kV、1500A、75m	常温	単心×3		2005-
	KEPCO	住友電工	22.8kV、1250A、100m	低温	三心一括	固定	2006-
	DAPAS	LSケーブル	22.8kV、1250A、100m	低温	三心一括		2007-

出典：広瀬正幸「高温超電導ケーブルの実用化に向けて」電気学会論文誌 B, Vol. 125, No. 3

特に我が国において、NEDO が主導しているプロジェクトを二つ列挙する。

○高温超電導ケーブル実証プロジェクト（2007 年度～2012 年度）

図表 9.54 に示される高温超電導ケーブルのプロジェクトの中でも、日本の新規プロジェクトとして挙げられているものであり、2009 年度および 2010 年度の主な実施内容は以下のとおりである。

- ・ 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究
 - 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証
 - トータルシステム等の開発
 - 送電システム運転技術の開発
 - 実系統における総合的な信頼性の検証

- ・ 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

プロジェクトメンバーは住友電気工業、東京電力、前川製作所である。

○イットリウム系超電導電力機器技術開発（2008年度～2012年度）

現在実用化に近い高温超電導体は、ビスマス系と呼ばれるビスマスを化合物に含む超電導体であるが、イットリウムを含むイットリウム系超電導体は、よりコンパクトで大容量の超電導応用電力システムが構築できることから、今後有望な技術である。本研究開発事業は、イットリウム系超伝導体を主眼に置き、以下の項目の研究開発を行っている。

- ・ 超電導電力貯蔵システム（SMES）の研究開発
- ・ 超電導電力ケーブルの研究開発
- ・ 超電導変圧器の研究開発
- ・ 超電導電力機器の適用技術標準化

プロジェクトメンバーには、国際超電導産業技術研究センター、中部電力、九州電力、住友電気工業、古川電気工業、フジクラ、前川製作所、太陽日酸、昭和電線ケーブルシステム、JFCCなどが含まれる。

また、HVDC は既に実用化されており、現在世界各国で導入が盛んに行われている。特に注目すべきは、中国における導入事例である。中国は広大な国土を有するが、水力発電所は主に西部、石炭火力発電所は主に北西部に集中しているのに対し、消費地となる大都市は北京、上海、香港など、東部、ないし南部に集中している。従って、西で発電した電力を東に送らなければならず、その融通路を確保するために、「西電東送」計画を実施している。同計画によって敷設される HVDC を図表 9.55 に示す。

図表 9.55 中国における HVDC

名称	電圧	容量	全長	プロジェクト進捗状況
Yunnan-Guangdong 線	800kV(DC)	5,000MW	1,438km	2009年7月に試運転終了。2009年に1回線、2010年に2回線運用開始を検討。
Xianjiaba-Shanghai 線	800kV(DC)	6,400MW	1,907km	2010年3月に試運転の目途。2010年に運用開始。
Jinping-Sunan 線	800kV(DC)	7,200MW	2,096km	2009年に建設開始。2012年に建設終了予定。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

超電導ケーブルの今後の開発目標・課題は図表 9.56 に示される通りである。現在、超電導線材は非常に高価であるために、まずは低コスト化が挙げられる。また、超電導体は低温化においてのみ超電導状態となるので、冷却システムが必要となる。冷却システムを高効率化することにより、今後更なる低損失化が可能となる。

図表 9.56 超電導ケーブルの今後の目標・課題

項目		内容 (例)
経済性	低価格化	<ul style="list-style-type: none"> 超電導線材の高性能化、低価格化 ケーブルシステムの最適化、簡素化
	低損失化	<ul style="list-style-type: none"> 超電導線材および超電導導体の交流損失低減 侵入熱の低減 (断熱性能向上) 冷却システムの高効率化
建設 (布設)		<ul style="list-style-type: none"> コンパクト化 施工性改善 (施工期間短縮) 施工品質実証
運用、保守 (高信頼性)		<ul style="list-style-type: none"> 事故電流対応 寿命評価 (性能維持) 保守、リペア技術 異常時対応 法規対応

出典：広瀬正幸「高温超電導ケーブルの実用化に向けて」電気学会論文誌 B, Vol. 125, No. 3

一方、HVDC については、今後更なる導入が期待される自励式 HVDC において、自励式変換器の低コスト化が鍵となる。

(2) パワーエレクトロニクス応用機器

① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

近年、半導体素子の大容量化により、パワーエレクトロニクス技術は目覚ましい発展を遂げている。特に、米国 Electric Power Research Institute の N.G. Hingorani 氏が 1988 年に提唱した「FACTS (Flexible AC Transmission System)¹⁸」という概念が提案されて以降、同分野の電力システムへの導入が進んでおり、今後の更なる発展が期待される技術である。

図表 9.57 に、現在電力システムへの適用が想定されている主要なパワーエレクトロニクス応用技術を示す。これらのパワーエレクトロニクス技術は、外部電源により素子に流れる電流を ON/OFF する他励式変換器を用いたものと、自身に流れる電流を ON/OFF できる自励式変換器を用いたものに大別される。

これらのパワーエレクトロニクス技術の主な用途として、無効電力を制御することで電圧の調整を行う他、送電線インピーダンスを変化させ、送電線潮流をコントロールすることで、電力流通の最適化を図り、低損失な電力システム運用を行うことなどが挙げられる。

図表 9.57 主要なパワーエレクトロニクス応用機器

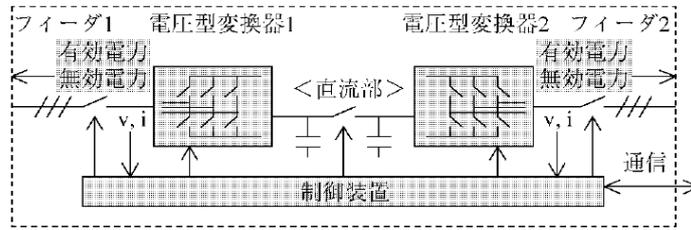
	他励式変換器応用型	自励式変換器応用型
主に電圧制御等に 用いられるもの	SVC (Static Var Compensator)など	STATCOM (Static Synchronous Compensator)など
主に潮流制御等に 用いられるもの	TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)など	UPFC (Unified Power Flow Controller)など

また、近年の分散型電源の普及に伴い、配電系統の高機能化の必要性が高まっている。このような状況を鑑み、電力中央研究所は、「ループコントローラ (図表 9.58 参照)」と呼ばれるパワーエレクトロニクス制御機器を開発した。本機器は配電線路の電圧、潮流を能動的に制御し、以下のようなことを可能とする。

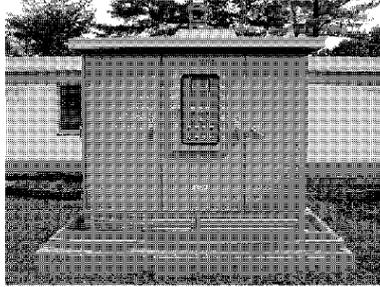
- 電圧、位相の異なる配電線路間をつなぎ、配電線をループ化することができる
- 配電線に流れる潮流や、線路電圧を能動的に制御することで、柔軟な配電系統の設備形成が行える
- ループ化に伴う事故時短絡容量の増大、事故波及区間の増大を防ぐ

¹⁸ FACTS とは、パワーエレクトロニクス技術の高速制御性に着目し、電力システムの電圧、インピーダンス等を制御することにより、送電線の送電容量を極限まで高め、既存設備の有効利用を図ることを提唱する概念である。

図表 9.58 ループコントローラ



(a) 基本回路構成



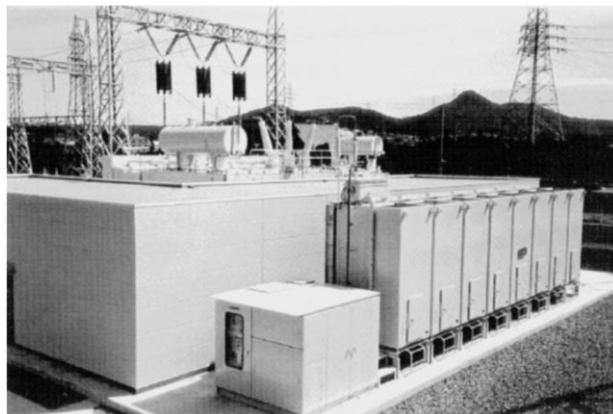
(b) 100kVA級試作機(赤城試験センター)

出典：小林広武「新たな電力供給システムの実証プロジェクトー2
新電力ネットワークシステム実証研究（需要地系統）」電気学会誌, Vol. 125, No. 3

② 試験・導入の現状

SVC、STATCOM 等の電力系統に並列に導入するような機器は、既に多くの実運用事例が存在する。これらの無効電力調整機能を有する機器は、主に電圧調整用として用いられている。STATCOM の国内導入事例は犬山開閉所、神崎変電所、新信濃変電所、手稲変電所などが挙げられる。

図表 9.59 STATCOM の導入事例（犬山開閉所）



出典：竹田正俊「自励式無効電力補償装置(STATCOM)の開発と製品化」電気学会論文誌B, Vol. 129, No. 7

また、UPFC 等については、国内での導入事例はないが、韓国での導入事例が存在する。韓国の電力会社 KEPCO (Korean Electric Power Corporation) は、Kangjin 地区の電圧低下と過負荷対策として、80MVA の UPFC を Kangjin 変電所に導入している。

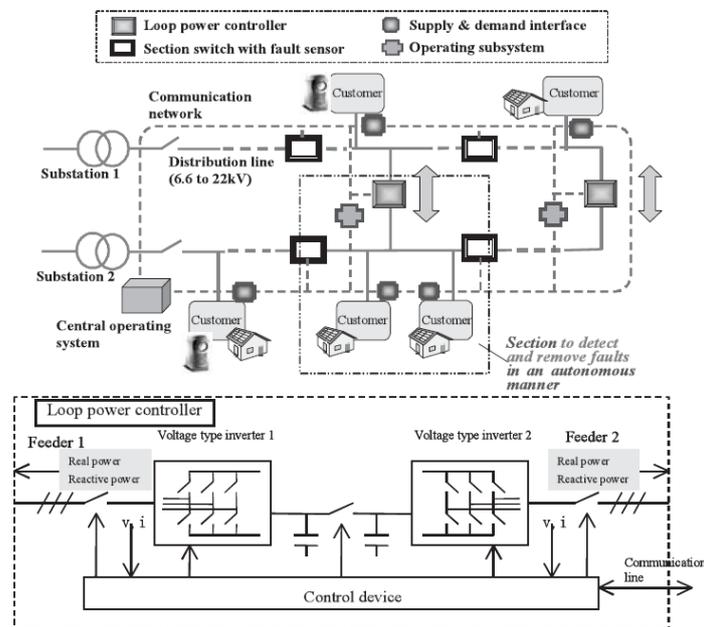
図表 9.60 Kangjin 変電所の UPFC



出典：KEPCO, "The Operation Experience of KEPCO UPFC"

電力中央研究所が開発したループコントローラは、現在電力中央研究所での赤木実証試験場において、容量 100kVA の試作機が導入されている。実証試験の概要を下図表に示す。

図表 9.61 ループコントローラを用いた実証試験



出典：小林広武「新しい配電ネットワーク技術の開発動向と課題」電気学会論文誌B, Vol. 124, No. 4

③ 各国における技術開発の状況および目標・課題

パワーエレクトロニクス応用技術における技術開発課題は、以下のようなものがある。

- ・ 低コスト化
 - ▶ 近年、技術開発が進んでいるものの、特に GTO、IGBT 等の自励式の半導体素子は依然として価格が高い。また、SVC 等のシステムも高コストであり、低コスト化はパワーエレクトロニクス応用技術の共通課題である。
- ・ コンパクト化
 - ▶ 我が国においては、配電系統での電圧上昇抑制のために、SVC を用いることが検討されているが、これらを柱上変圧器等に導入するためには、コンパクト化も重要な開発目標である。
- ・ 信頼性確保
 - ▶ TCSC、UPFC 等の直列型の FACTS 機器は、電力システムに直列に導入するために、高信頼性のものとならなければならない。今後、実証試験等で、信頼性評価を行う必要がある。

9.1.2.4 先進的なインターフェース技術

今後ますます導入が進む分散型電源の系統連系時や、需要家機器と電力系統を結ぶ際には、情報のやりとりや系統との保護協調を行う機能を有する先進的なインターフェース技術が重要となる。具体的には、パワーコンディショナ技術、AMI・スマートメーターを指す。

(1) パワーコンディショナ（PCS）技術

① 技術の概要およびスマートグリッドでの用途

パワーコンディショナは、直流と交流を変換して、分散型電源を系統に連系するためのインバータ・コンバータ装置と、保護装置を有する機器である。

今後、電力系統において太陽光発電等の大量の分散型電源の導入が見込まれることから、下記に示すような保護機能や、系統運用へ貢献する機能を有することの必要性が議論されている。

- ・ 単独運転防止機能
- ・ FRT
- ・ 出力抑制
- ・ 無効電力制御

② 試験・導入の現状

上記に示したようなパワーコンディショナ技術は、NEDO を中心として研究開発が進められている。具体的な内容は、以下の③に示す。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

i) 単独運転防止機能、FRT 機能

NEDO が実施した「集中連系型太陽光発電システム実証研」（H14～19）では、群馬県太田市の「城西の杜」において 553 軒の太陽光発電システムを連系し、住宅用太陽光発電システムが複数台連系した場合を対象とした単独運転検出方式の新技术の開発実証試験が実施された。

また同じく NEDO の「単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究」においては、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」プロジェクト等の成果を活用して、多数台連系時の単独運転検出装置の認証に資する試験技術の確立のための技術開発研究が行われている。また FRT 要件を定め、それへの適合を判定する試験方法が確立されている。

ii) 出力抑制

2009 年度に実施された次世代送配電ネットワーク研究会においては、カレンダー方式の出力抑制機能を当面の対応方策として、将来的には通信により抑制日等を制御する技術の開発が期待されている。

iii) 無効電力制御

NEDO の「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」の北杜サイトにおいては、PCS

による無効電力制御による電圧制御機能の開発が行われている¹⁹。

iv) 課題のまとめ

<単独運転防止機能、FRT 機能における課題>

- ・ 「集中連系型太陽光発電システム実証研究」などのプロジェクトで得られた知見をもとに、複数台連系対応の単独運転検出機能（能動方式）を検討
- ・ 機器の認証ルールの整備

<出力抑制機能>

- ・ 当面は太陽光発電用 PCS へのカレンダー機能の具備が現実的であることから、カレンダー機能を具備した太陽光発電の PCS の早期開発
- ・ 将来的には通信を活用した太陽光発電の出力抑制機能付き PCS の開発

<無効電力制御>

- ・ 電圧調整機能（無効電力制御も含む）をもった PCS の開発・実証

¹⁹ 内山他、「大規模太陽光発電システムの無効電力制御による電圧変動抑制」、電気学会論文誌 B, Vol.130, No.3, 2010

(2) AMI・スマートメーター

① 技術の概要とスマートグリッドでの用途

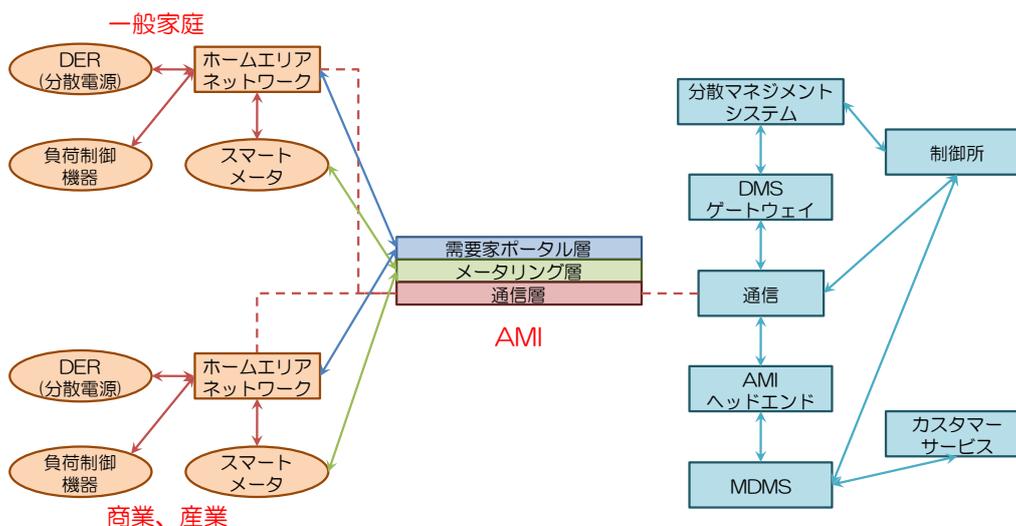
AMI とは、情報通信技術を応用することで、需要家と電力会社の双方向通信を可能とするインフラストラクチャのことである。

スマートメーターは AMI の一要素であり、概ね以下のような整理ができると考えられている²⁰。

- ・ 狭義のスマートメーターの概念：
 - ▶ 電力会社等の計量関係業務等に必要な双方向通信機能や遠隔開閉機能などを有したメーター（電力においては電子式メーターが該当）
- ・ 広義のスマートメーターの概念：
 - ▶ 狭義の概念に加えてエネルギー消費量などの「見える化」やホームエネルギーマネジメント機能等も有したもの

AMI の構築によって、電力会社の需要家情報把握が正確かつスピーディーになるのみならず、需要家のデマンドレスポンス等にも活用可能なことから、現在世界中で開発が進められている。

図表 9.62 AMI の概念



出典：NETL, "Advanced Metering Infrastructure"

② 試験・導入の現状

各国におけるスマートメーターの導入状況は以下のとおりである²¹。

²⁰ スマートメーター制度検討会（第1回）資料（2010.5.26）

²¹ スマートメーター制度検討会（第1回）資料（2010.5.26）

図表 9.63 AMI の導入計画

国・地域	計画
欧州	「第三次 EU 電力自由化指令」(09.7 月) で 2020 年までに 80%以上の需要家に対してスマートメーター導入義務
米国	08 年時点で約 670 万台のスマートメーターを導入。 2015 年頃までに 5,200 万台 (約 35%) 導入計画
中国	今後 5 年間で 2 億台を導入する計画 ²²
韓国	韓国政府は 2020 年までに、家庭および業務部門の 2,400 万軒の需要家にスマートメーターを設置する方針 ²³
日本	低圧受電の需要家(各家庭や小規模店舗等)においては、時間帯別料金などの選択メニューを適用している一部の需要家を除けば、機械式メーターが主流。最近では、東京電力、関西電力、九州電力、東北電力、北海道電力、中部電力において、スマートメーターに関する実証試験が取り組まれている。

出典：各種資料より作成

i) 欧州

<イタリア>

- ・ EEG (電力ガス規制庁) の規制により、2011 年までにイタリアの全需要家 (約 3600 万軒) への AMMS (自動メーター管理システム) 設置を義務化。
- ・ Enel 社 (シェア 9 割弱) が 2001 年から先行的に取り組み、Telegestore と呼ばれるメーターを開発、これまで 3,180 万台の設置を行っている。

※Telegestore の機能 (①遠隔検針と②自動開閉機能を有しており、全体のシステムを通じて①定期的な検針 (15 分間隔)、②契約管理、③遠隔開閉、④電力供給量のコントロール、⑤サービス・モニタリング、⑥不良顧客・前払い顧客の管理といったことが可能。

<イギリス>

- ・ 2020 年末までに全需要家 2600 万軒に設置予定。
- ・ 小売事業者の創意工夫を活かすべきとの観点から、配電網運用者ではなく、小売事業者に義務づけ。

※スマートメーターの必須機能

- ①遠隔検針、②双方向通信機能、③ホームエリアネットワーク機能 (消費電力量の見える化、家庭内機器との接続機能)、④時間帯別料金機能、⑤家庭用機器の遠隔操作に向けた機能拡張、⑥遠隔開閉機能、⑦逆潮流電流測定機能、⑧分散型電源との通信機能

<フランス>

- ・ eRDF 社 (EDF 配電子会社) は 2012 年から 2017 年にかけて需要家 3300 万軒に導入予定。

<ドイツ>

- ・ 最大手 RWE 社は、今後 3 年間で 10 万軒に対するスマートメーター導入実証事業を実施。

²² MeteringChina ホームページ (<http://www.meteringchina.com/event/meteringchina2010/en/dy.asp>)

²³ 海外電力調査会 世界の電気事業情報 2009.10.5 記事 (http://www.jepic.or.jp/2009_world.html)

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

- ・ 2010年1月から新・改築住宅への導入義務づけ。既存住宅については、置き換え費用の負担の問題が解決しておらず、100社近く存在する小売事業者も含めて議論中。

<スペイン>

- ・ 2008年から2018年にかけて全需要家に対して設置義務づけ。

ii) 米国

<ペンシルベニア州>

- ・ 普及率は23.9%（約144万台）と全米の中でも突出。ただし、自動検針のみを目的とした一世代前の通信機能付きメーターが多数含まれている。
- ・ 2008年10月に成立した州法では、今後15年以内にすべての需要家（約600万軒）に対しスマートメーターの設置を義務付け。

<カリフォルニア州>

- ・ 州当局が導入を推奨しており、複数の主要事業者が2011～12年までに数百万台の導入を計画。

iii) 日本

<東京電力>

- ・ 東芝、東光電気と3社共同で、2009年12月に計器事業における新会社を設立。
- ・ 2010年度下期から実証実験を開始予定。約2年間の実証期間中、9万世帯に設置予定。
- ・ 通信装置、Sブレーカ機能を具備した開閉器を備えた点が特徴的。

<関西電力>

- ・ 2008年4月より実証試験を開始。2009年度までに約33万台を設置。
- ・ あわせて、2009年7月より、希望する需要家に対して、インターネットによる「見える化」（使用電力量、電気料金、CO2排出量）を実施中。
- ・ 同社が採用している「ユニット式メーター」は、計量、通信、負荷開閉機能が分離しており、個別に交換可能である点が特徴。

<九州電力>

- ・ 2009年11月より実証試験を開始。2009年度までに約2万台を設置。
- ・ 関西電力と同様に、計量、通信、開閉器機能が分離した「ユニット式メーター」を採用。

<東北電力>

- ・ 2010年度下期から、約2000戸を対象に遠隔検針の実証試験を開始予定。
- ・ 実証試験は、山間部や都市部など検針環境の違いにより3つのパターンに分けて、2010年度下期から2012年度末にかけて、順次実施。

- ・ 使用する新型電子メーターは、昼・夜の時間帯別の計量に加え、30分単位での計量・記録、双方向通信や遠隔操作による開閉、停電の検知が可能。

<北海道電力>

- ・ 2010年4月16日に実証試験の開始をプレス発表。2010年度は諸課題の整理を行い、2011年度より約600戸を対象に実証試験を開始予定。メーターの仕様については検討中。

③ 各国における技術開発の状況および目標、課題

AMI・スマートメーターについては、世界中で様々な機能を持ったものの開発が進められており、標準的な機能や通信システム、セキュリティ方式等が定まっていない状況である。

従って、今後は米国 NIST や IEC を中心に進められている国際標準化動向を十分把握すると共に、

- ・ 具体的な利用方法、通信方式、セキュリティ確保方式の検討・開発
- ・ それらの実証研究

を進めていくことが必要である。

9.1.3 推進施策・関連法令

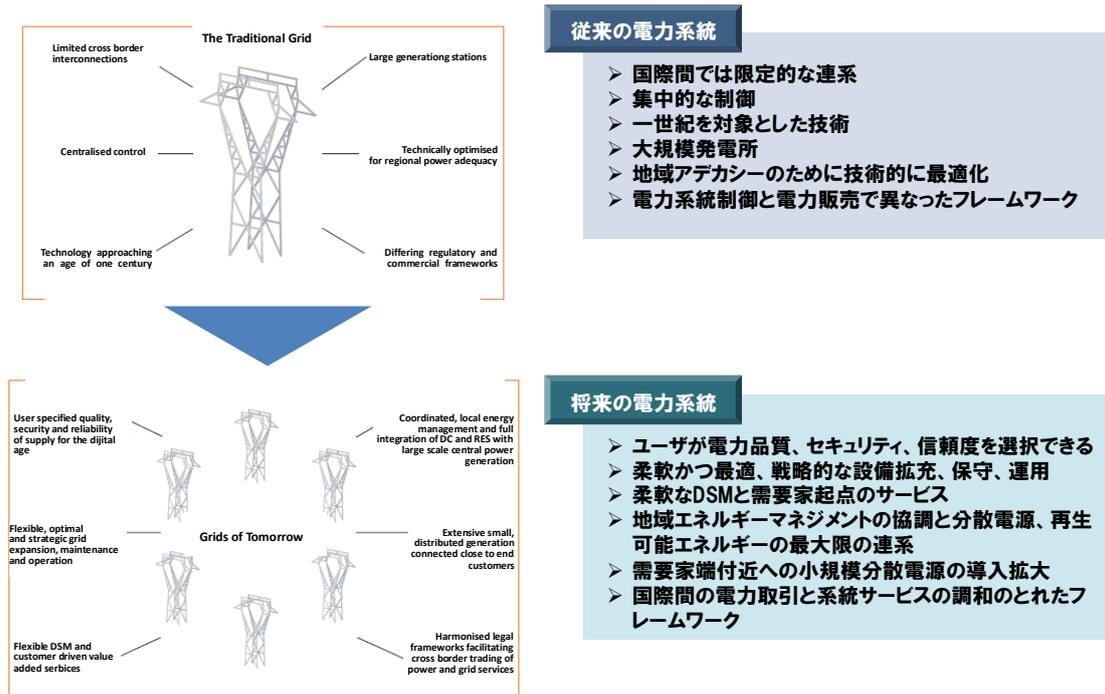
(1) 欧州

ETP SmartGrids (European Technology Platform for the Electricity Networks of the Future) は、欧州におけるスマートグリッドの研究開発を促進するために設置された組織であり、産業界、学会から様々なステークホルダが参加している。ETP SmartGrids の役割は、欧州の電力システム分野の超長期的なビジョンの策定を行い、ビジョン達成に向けた技術戦略を「戦略研究アジェンダ (Strategic Research Agenda: 以下 SRA)」としてまとめることにある。

ETP SmartGrids では、2006 年にビジョン²⁴をまとめ、2007 年に技術戦略 (SRA)²⁵を発表、またその後、2008 年 9 月に SRA の具体的な展開優先順位付け、展開スケジュールを定めた SDD²⁶のドラフトを発表した。

始めに発表されたビジョンでは、今後の欧州のスマートグリッドの向うべき方向性を図表 9.64 のように示しており、分散型電源や需要家マネジメントなどを始め、多岐にわたる技術が盛り込まれている。

図表 9.64 欧州の従来系統の特徴と今後の電力系統の向うべき方向性



出典：ETP Smart Grids, "Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future"より作成

また、SDD では、スマートグリッドの展開のために必要な技術分野を定義 (図表 9.65) し、その展開スケジュール (図表 9.66) を示している。

²⁴ Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future

²⁵ Strategic Research Agenda for Europe's Electricity Networks of the Future

²⁶ Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future

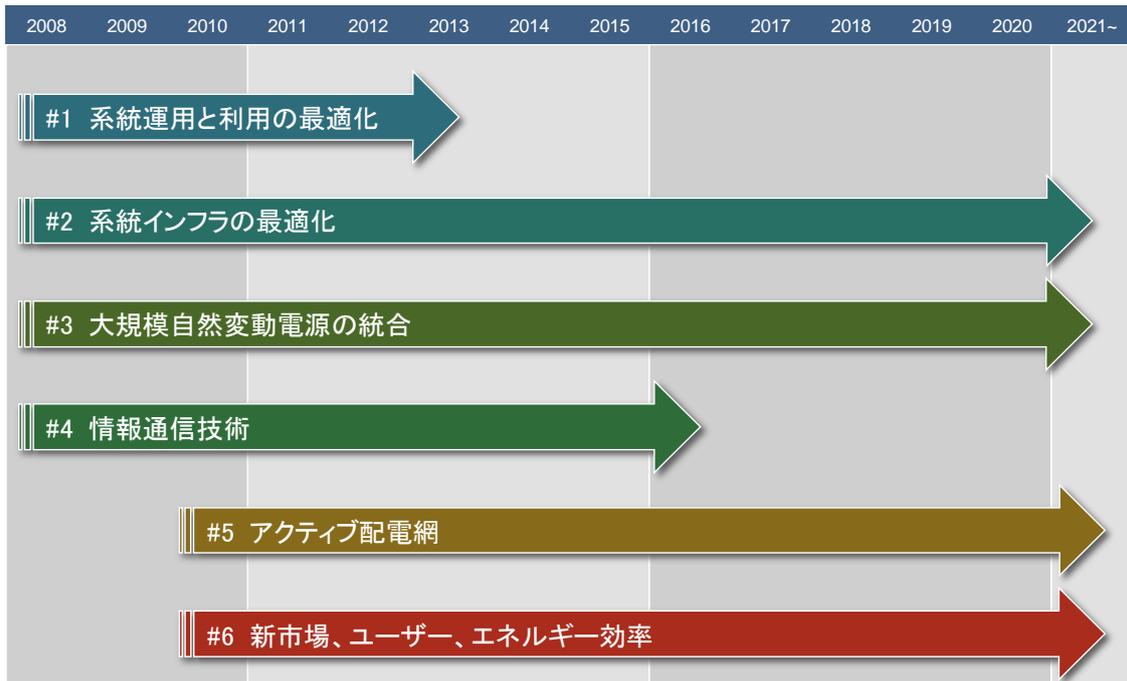
図表 9.65 欧州のスマートグリッドの技術領域 (1/2)

分野	優先度	スケジュール	キー技術	詳細
#1 系統運用と 利用の最適 化	高	2008～12年 技術開発終了	WAMs(Wide Area Monitoring system) SVC リアルタイムの系統状態把握 系統運用スタッフの訓練 EU 全体でのアンシラリー協調 RE 導入時における定常状態、 過渡状態のシミュレータ	エネルギー取引や供給安全保障のために引き続き増加する需要をマネージするために、既存の送配電網は欧州横断的に改良統合と協調が求められる。欧州横断的に、そして/もしくは国境横断的に電力潮流をコントロールするため、今日入手可能な先進的なアプリケーションとツールは、運用安全と取引の複雑な相互作用をマネージするため、そして障害の改善と積極的な予防を行うために、配置されるべきである。
#2 系統インフ ラの最適化	高	2008～20年 技術開発中	HVDC などの高電圧送電技術 新材料の送配電線 超電導ケーブル送電 新しい送配電系統設備計画	すべての関係者、EU の機関、EU 加盟国は新しい送配電インフラの拡大と建設に取り組む必要がある。欧州優先連系計画からの緊急的に必要なプロジェクトの準備は、早急に実施されるべきである。EU 送配電網のための新しくそして効率的なアセットマネジメントの解決手法が、系統インフラ計画と協調し、わかりやすくあることが求められている。決定論的であることよりも、協調した計画がシナリオのベースであるべきであり、発電機の場所とサイズ、そして自然変動電源の増加する不安定さと不確実性に対処するためにリスクマネジメントの必要な要素を含むべきである。
#3 大規模自然 変動電源の 統合	高	2007～20年 技術開発終了	洋上風力発電技術 エネルギー貯蔵技術 需要家 DR	大規模な発電機、例えばウインドファームや将来の集中型太陽熱発電は、系統が発電電力を効果的に受取り、そしてエネルギー貯蔵や従来発電機、もしくはは需要家側の参加によってシステムが平衡することを求める。洋上風力には海洋集電網が必要であり、欧州の陸上のネットワークを補強する必要がある。それ故、この展開優先はある意味経済効率を考慮しながら系統セキュリティの要求に合致するような再生可能エネルギーの大規模な統合を推進する。
#4 情報通信技 術	高	2008～15年 技術開発中 標準化継続中	スマートメーター 需要家データのオンライン収 集 DG の VPP への統合 配電自動化 データマネジメント技術	今日、ICT は送電系統、二次系統レベル、そして二次系統 (110kV) /中圧変電所の母線の終端で用いられている。様々な電圧階級で、様々な機器のために、異なる標準プロトコルが用いられている。経済的な理由から、高圧・中圧・低圧毎に、限定的な ICT によって特徴付けられている。すべての電力供給のバリューチェーンと電力供給システムのすべてのデータをやりとりするために、標準的な、オープン情報モデルとコミュニケーションサービスが必要である。

図表 9.65 欧州のスマートグリッドの技術領域 (2/2)

分野	優先度	スケジュール	キー技術	詳細
#5 アクティブ 配電網	—	2010~20年 解決策の可能 性を模索中	未開発	<p>送電網はいつも電力供給チェーンにおいてバランスとマネジメントの役割を供給してきた。一方、配電網は受動的な運用となるよう設計されてきた。課題は、送電網で見られる、例えば潮流と制約管理、偶発性解析、バランスのような様々なサービスを、配電網において供給することである。これは分散型電源の配置の増加だけでなく、住宅や商業建物でのインテリジェントビルサービスの出現や、メイングリッドにストレスがかかったときにローカルネットワークのサポートをするためローカル発電機を活用する必要性のため、そして将来の電気輸送乗り物の広範囲な利用可能性のためである。</p> <p>配電網は、これらの課題の複雑な相互作用にリアルタイムに反応するもしくは適応することができる必要が出てくる。そして改善された情報を様々な主体に対して、提供される様々なサービスのリアルタイム取引を可能とするために提供する必要が出てくる。これはまた、新たな主体、例えばアグリゲーターなどが、VPP やバランスサービスを提供するために市場に参入することを可能とするだろう。</p>
#6 新市場、ユ ーザ、エネ ルギー効率	—	2010~20年 解決策の可能 性を模索中	未開発	<p>アンシラリーサービスや系統連系とアクセスのような部分での送電と配電の違いの減少だけでなく、電力品質と供給安定性は Smart Grids の全体概念の一つの重要な特徴である。同時に、民主化と分散化は改良され強化された運用とマネジメントを求める。これは系統の安全運用が必要なだけでなく、適切なコントロールとマネジメント方法が、VPP や需要家のエネルギー・マネジメントコンセプトのような沢山の新しい概念を成功裏にそして効果的に展開するために求められる。</p> <p>将来の需要家ニーズに合致するために、例えば VPP 運用者やエネルギーサービスポートフォリオマネージャのような様々な新市場の参加者が展開される。すべての系統利用者（発電・需要家）に対して明白なそして差別のない系統アクセス・連系に加えて、この展開優先はいわゆる Smart Grids の「ラストマイル」技術の必要性に依存しており、展開優先 5 と似ている。</p> <p>需要家のニーズ、興味、利益が明確にこの展開優先焦点である。</p> <p>さらに、白物家電は電力網の効率化に将来貢献するかもしれない。しかし、それはもし系統とスマートメーターが協調するならばである。そのためには利益の流れが必要である。</p>

図表 9.66 SmartGrids 構築のためのロードマップ (EU)



出典：ETP SmartGrids, “Strategic Deployment Document (Draft)”(2008)より作成

Available: <http://www.smartgrids.eu/>

(2) 米国

米国でのスマートグリッドに関する最初の報告書は、2003年7月にDOEにより発表された「Grid 2030” A National Vision for Electricity’s Second 100 Years」である。この報告書では、近年の送配電投資の減少による設備の不足や老朽化、電力系統の状態把握の不足、増大する電力需要に対する系統整備の遅れなど、電力システム全体の脆弱性に対して、今後の100年間を見据えた電力網の構築を目指し、「ICT（情報通信技術）を用いて電力系統の運用・制御を効率化する」というスマートグリッドのコンセプトを打ち立て、効率的で信頼性の高い電力網の構築を求めている。

Grid2030では、先述した米国の電力系統が抱える問題を打破するための今後の電力系統の先進化の方向性として、以下の4点を挙げており、また図表9.67に示すような技術を用いることで電力系統を先進化することを提案している。

- ・ 全てが自動化された電力供給ネットワークであり、全ての需要家・ノードを監視・制御する
- ・ 発電プラントと各家電機器間の全ての地点において、電力と情報のやりとりが2方向で往来する
- ・ 長距離送電用には、超電導技術を応用し、高効率で電力の送電を行う
- ・ ピーク問題削減のために、電力貯蔵やDSMを活用している

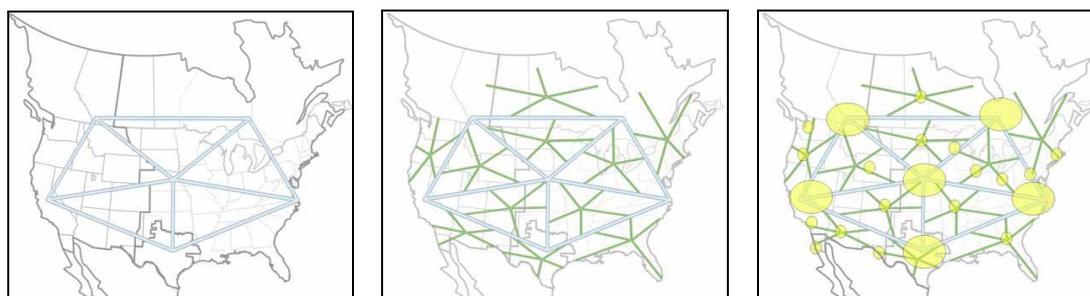
図表 9.67 電力システムへの適用が可能と考えられる新技術

技術要素	備考
IT 技術	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 送配電運用、停電回復、プライシング、状況報告、リアルタイム監視、自動制御、スマート家電に IT 技術を駆使する。 ✓ データアクセス、データマネジメントが、今後重要なビジネス分野となってくる。
新素材	<ul style="list-style-type: none"> ✓ マテリアル工学の進歩、ナノサイエンスの活用、半導体パワーデバイスの進歩により、大電流の輸送、低インピーダンス、軽量、制御容易性、低コストと言った特徴を持つ導電体素材の開発が可能となる。
高温超電導	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高温超電導技術
蓄電設備	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ピーク問題、電力品質向上への解決策となる。
応用パワエレ機器	<ul style="list-style-type: none"> ✓ FACTS や潮流制御器の活用が必要である。
分散エネルギーシステム	<ul style="list-style-type: none"> ✓ エネルギー安全保障、効率向上などの観点から、分散型電源や、電熱供給の活用が必要である。

出典：DOE, "Grid 2030" より作成

このような技術の組合せにより、Grid 2030 では、将来の電力系統は、長距離送電システムを指す「基幹電力網」と、基幹電力網から各地域に電力供給を行う「地域間連系」、そして各地域での電力供給を行う「地域配電、ミニグリッド、マイクログリッド」の3つの構成要素が、図表 9.68、図表 9.69 に示されるように形成されていくとしている。

図表 9.68 Grid 2030 における将来のスマートグリッドの3構成要素



(a) バックボーン

(b)バックボーン
+地域間連系

(c)バックボーン
+地域間連系
+地域配電

出典：DOE, "Grid 2030"

図表 9.69 Grid 2030 における将来のスマートグリッドの3構成要素

構成要素	特徴
電力バックボーン	東西の両海岸を結ぶ大容量送電線である
	需要家に、全国の電力アクセスを可能とする
	情報通信、制御技術を駆使したリアルタイム運用、国内全域での電力のやりとりがある
	コンポーネントとして、超電導ケーブル、HVDC などが考えられる
地域間連系	高温ダイヤモンド素材のような新素材の利用も検討する
	バックボーンで運ばれた電力を、各地域間に配分するネットワークである
	地域内の長距離送電には、可制御 AC 機器のみならず、DC リンクなども考える
	地域システムの計画、運用には、大型発電プラント、分散型電源、負荷のリアルタイム情報を盛り込む
地域配電、ミニグリッド、マイクログリッド	電力貯蔵の使用も考える
	リアルタイムの監視、情報交換により、全国ベースの電力市場が可能となる
	需要家は料金、環境性向、信頼性、品質などのニーズ別に電力を受け取ることができる
	分散型電源、水素エネルギー技術も有効に利用されている

出典：DOE, “Grid 2030” より作成

2007 年には自動車の燃費向上と米国の石油依存の低減を支援する「エネルギー自給・安全保障法(EISA : Energy Independence and Security Act of 2007) 」が成立し、同法案の Title XIII でスマートグリッドに関する各種取り決めが記述されている。その中で発刊が定められた「Smart Grid System Report」において、米国のスマートグリッドの特徴は以下の6つであるとしている。

1. Enables Informed Participation by Customers
 - 需要家の積極的な電力運用への参加が可能である
2. Accommodates All Generation and Storage Options
 - 様々な電源、貯蔵設備を「Plug and Play」のように容易に連系できる
3. Enables New Products, Services, and Markets
 - 新しい商品、サービス、市場が創造される
4. Provides the Power Quality for the Range of Needs
 - 様々なニーズに合わせた品質の電力供給が可能である
5. Optimizes Asset Utilization & Operating Efficiency
 - 設備の最適化と効率的な運用ができる
6. Operates Resiliently to Disturbances, Attacks, & Natural Disasters
 - 物理攻撃、サイバー攻撃、自然災害への耐久性がある

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

これらのスマートグリッドの特徴と、スマートグリッドを構成する各技術の対照表を図表 9.70 に示す。

米国におけるスマートグリッドにおいては、「送配電設備の最適化」や、「需要家の市場参加」などに重点が置かれていることがわかる。

図表 9.70 スマートグリッドの特徴とそれを支える構成技術の対照表

Metric No.	Metric Name	Enables Informed Participation by Customers	Accommodates All Generation & Storage Options	Enables New Products, Services, & Markets	Provides Power Quality for the Range of Needs	Optimizes Asset Utilization & Efficient Operation	Operates Resiliently to Disturbances, Attacks, & Natural Disasters
1	Dynamic Pricing	Emphasis	Mention	Mention			Mention
2	Real-Time Data Sharing					Mention	Emphasis
3	DER Interconnection	Mention	Emphasis	Mention		Mention	
4	Regulatory Policy			Emphasis			
5	Load Participation	Emphasis			Mention	Mention	Mention
6	Microgrids		Mention	Mention	Emphasis		Mention
7	DG & Storage	Mention	Emphasis	Mention	Mention	Mention	Mention
8	Electric Vehicles	Mention	Mention	Emphasis			Mention
9	Grid-responsive Load	Mention	Mention	Mention	Mention		Emphasis
10	T&D Reliability						Emphasis
11	T&D Automation				Mention	Emphasis	Mention
12	Advanced Meters	Emphasis	Mention	Mention			Mention
13	Advanced Sensors					Mention	Emphasis
14	Capacity Factors					Emphasis	
15	Generation, T&D Efficiency					Emphasis	
16	Dynamic Line Rating					Emphasis	Mention
17	Power Quality			Mention	Emphasis		
18	Cyber Security						Emphasis
19	Open Architecture/Std			Emphasis			
20	Venture Capital			Emphasis			

出典：DOE, "Smart Grid System Report"

またオバマ政権下で 2009 年 2 月に発表された 2009 年アメリカ再生再投資法 (ARRA: American Recover and Reinvestment 2009) では、スマートグリッド設備関連に 45 億ドルもの投資が行われることが決定され、スマートメーター整備や配電高度化システム等の投資補助事業 (合計 100 件)、スマートグリッドの地域実証 (16 件) やエネルギー貯蔵実証 (16 件) などが採択された。

図表 9.71 スマートグリッド構築に向けたロードマップ (米国)

		フェーズ I			フェーズ II					フェーズ III				
		2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
送電システム	送電システムの自動運用	システム間のリアルタイム情報融通 スマートかつ自動の系統運用の試運転												
	地域グリッド	地域グリッドの協調的な計画・運用								2つの大きな地域ネットワークの構築				
	超電導	超電導大規模送電系統の可能性調査 10マイル超電導ケーブルの実施 超電導「電力ハブ」の計画・実施			長距離超電導ケーブルの導入 超電導「電力ハブ」の都市部での導入					超電導大規模送電系統・限流器・変圧器の導入				
	外部環境	新送電線の建設			全米の50%がスマートグリッド化 電力損失を半減					全米がスマートグリッド化				
配電システム	インテリジェント配電システム (配電自動化システムを含む)	インテリジェント配電の可能性調査 停電の遠隔検知 インテリジェント自動化システムの設計			インテリジェント自動化システムの実施 リアルタイムかつ双方向の情報・電力融通									
	分散電源・デマンドレスポンス	DG/DR用のPlug&Playプロトコルの開発			DG/DR技術の配電系統運用への完全な適用									
	超電導(配電用)									配電システム用超電導ケーブル・機器の導入				
	エネルギー貯蔵システム									低コストかつ省スペースのエネルギー貯蔵装置の開発				
需要家	デマンドサイドマネジメント	DSMプログラムの拡大			大口・小口需要家の電力市場及びリアルタイム情報へのアクセスが可能					デマンドレスポンスの完全実施 需要家と電力系統の完全な連系				
	スマート家電	スマート家電の可能性実証			全ての家電がスマート家電となる能力を有する									

(3) 中国

中国におけるスマートグリッドの担い手は、中国最大の送電公社である「国家电网公司」である。国家电网公司とは、中国最大の送電会社であり、今後の中国におけるスマートグリッドの普及具合は、国家电网公司のスタンスに大きく左右されると考えられる。

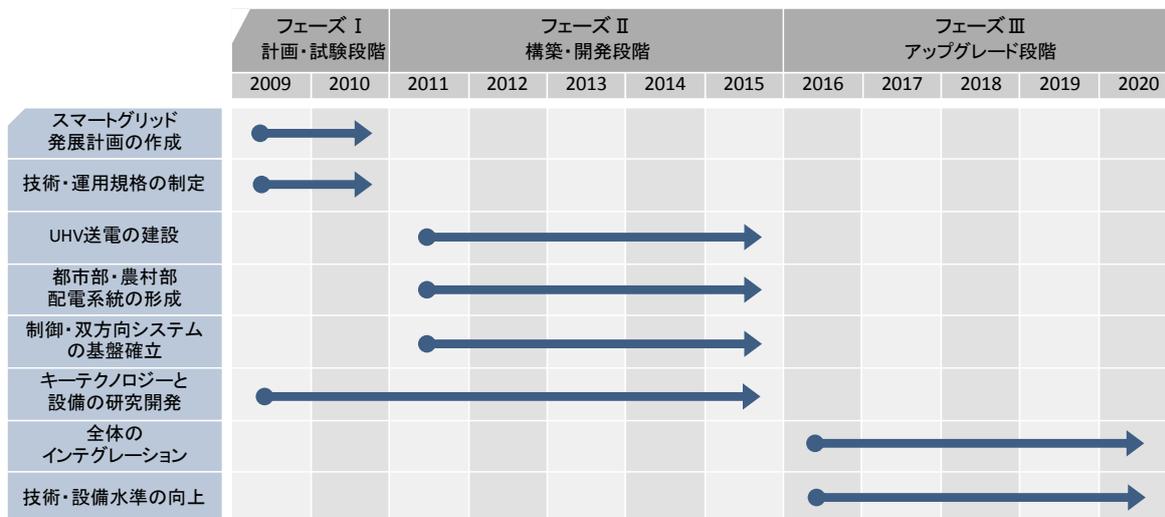
国家电网公司是、図表 9.72 に示すように、2009 年 5 月 21 日に「堅強智能電網（強いスマートグリッド）」に関する発展計画を発表した。本計画では、2020 年までにスマートグリッド構築を目指し、大きく 3 つのフェーズ（計画・試験段階、建設・開発段階、アップグレード段階）を設定している。

また、国家电网公司是、上記の計画をさらに詳細に検討し、図表 9.73、図表 9.74 のように 2 段階に分けて、スマートグリッド関連技術の研究開発を進めていくとしている。

その他、中国政府は 2009 年 11 月に「米中クリーンエネルギー技術に関する共同イニシアティブ」を発表し、米中再生可能エネルギーパートナーシップの立ち上げや、米中エネルギー協力プログラムの設置について合意した。

また中国におけるスマートグリッドのあり方をステークホルダー間で協議する「China Smart Grid Cooperative」が設立された。

図表 9.72 国家电网公司のスマートグリッド発展計画



出典：国家电网公司ホームページより作成

図表 9.73 国家電網公司のスマートグリッド関連技術の研究開発フィールド（第1段階）

Integration	Generation	Transmission	Substation	Distribution	Power Use	Dispatch
1. Shanghai World Expo Smart grid Demonstration	2. Wind, Solar Energy Storage Joint Demonstrati	4. Transmissi on line Status Monitoring Center	5. Smart Substation	6. Distribution Automation	7. Power usage Information Gathering System	9. Intelligent Dispatching Technical Support System
	3. Conventional Power Plant with Grid Integrated control				8. Electric Vehicle Charging and Discharging Station	

出典：国家電網公司資料

図表 9.74 国家電網公司のスマートグリッド関連技術の研究開発フィールド（第2段階）

Integration	Gneration	Transmission	Distribution	Power Use	Information and Communication
1. Tianjin Eco-city Smart Grid Demonstration	2. large-scale wind power Forecasting and Operational control	3. Transmission Line helicopter / UAV Inspection	5. Distributed Generation and Micro-Network Access and Operation Control	6. Provincial Call center	8. Information Platform and Security
		4. Flexible HVDC		7. smart house / Building	9. Power Fiber to the Home
Cross-area project:		10. Centralized Monitoring of Power Grid	12. Rural power management		
		11. Transmission and transformation equipment condition monitoring system			

出典：国家電網公司資料

(4) 韓国

韓国では、国の送配電系統の高度化だけではなく、新たなビジネス機会と認識して世界のスマートグリッド市場の1/3のシェア獲得を目指すなど、国家ビジネスの観点からスマートグリッドを捉えている。

韓国では図表 9.75 に示すスマートグリッドロードマップを策定しており、2030年までを3つのステージに分けて取組みを進めている。

第一ステージは済州島などのスマートグリッドシティの建設であり、第二ステージはスマートグリッドシティの都市部への展開（特に需要家サイド）、そして第三ステージは全国大でのスマートグリッドの完成を目指している。

9 スマートグリッドの技術の現状とロードマップ

政府は、2010年中に、「スマートグリッド構築および支援に関する特別法」を制定予定であり、2009年6月には、韓国スマートグリッド協会と米のグリッドワイズアライアンスが、協力に向けた覚書を締結している。

図表 9.75 韓国のスマートグリッド計画 (Korea's Smart Grid Roadmap)

Implementation Directions by Phase	First Stage (2010~2012) 'Construction and operation of the Smart Grid Test-bed' (Technical validation)	Second Stage (2012~2020) 'Expansion into metropolitan areas' (Intelligent consumers)	Third Stage (2021~2030) 'Completion of a nationwide power grid' (Intelligent power grid)
Smart Power Grid	<ul style="list-style-type: none"> - Real-time power grid monitoring - Digital power transmission - Operate optimal distribution system 	<ul style="list-style-type: none"> - Predict possible failures in power grids - Connect the power system with that of other countries - Connect the power delivery system with distributed generation and power storage devices 	<ul style="list-style-type: none"> - Self-recovery of power grids - Operate an integrated energy Smart Grid
Smart Consumer	<ul style="list-style-type: none"> - Power management of intelligent homes - Various choices for consumers including rates 	<ul style="list-style-type: none"> - Smart power management of buildings/factories - Encourage consumers' power production 	<ul style="list-style-type: none"> - Zero energy homes/buildings
Smart Transportation	<ul style="list-style-type: none"> - Build & test electric vehicle charging facilities - Operate electric vehicles as a pilot project 	<ul style="list-style-type: none"> - Expand electric vehicle charging facilities across the nation - Effective maintenance and management of electric vehicles 	<ul style="list-style-type: none"> - Make the presence of charging facilities commonly available - Diversify charging methods - Utilize portable power storage devices
Smart Renewable	<ul style="list-style-type: none"> - Operate microgrids by connecting distributed generation, power storage devices and electric vehicles - Expanded utilization of power storage devices and distributed generation 	<ul style="list-style-type: none"> - Optimal operation of the power system with microgrids - Expand the application of power storage devices 	<ul style="list-style-type: none"> - Make renewable energy universally available
Smart Electricity Service	<ul style="list-style-type: none"> - Consumers' choice of electricity rates - Consumers' selling of renewable energy 	<ul style="list-style-type: none"> - Promote transactions of electrical power derivatives - Implement real-time pricing system nationwide - Emergence of voluntary market participants 	<ul style="list-style-type: none"> - Promote various types of electrical power transactions - Promote convergence for the market of electricity-based sectors - Lead the power market in Northeast Asia

出典：Korea Smart Grid Institute ホームページ (<http://www.smartgrid.or.kr/10eng4-1.php>)

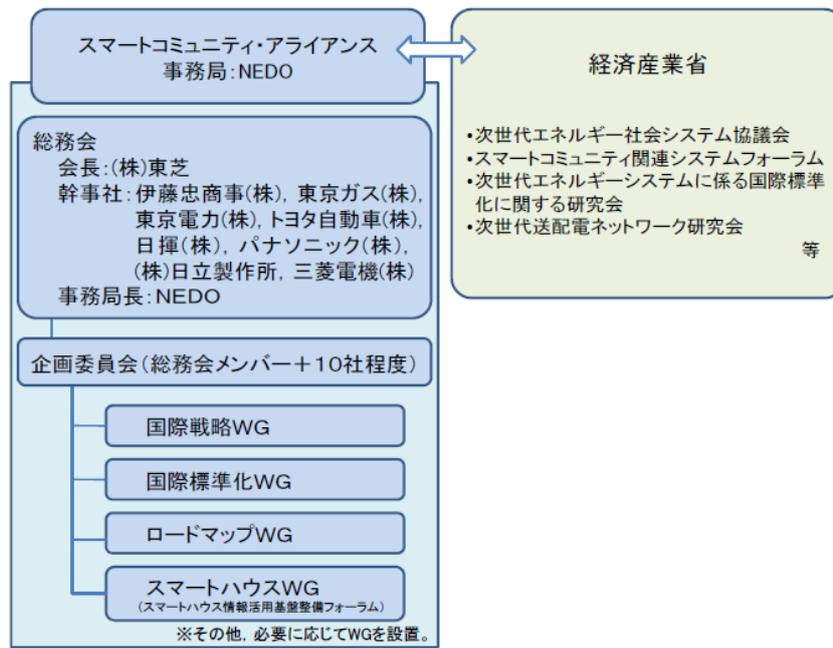
(5) 日本

我が国の場合、スマートグリッドに関連する法律はないが、再生可能エネルギーの導入目標である長期エネルギー需給見通しなどに則り、経済産業省を中心として関連する研究会が開催され、我が国におけるスマートグリッドの技術開発や標準化戦略が検討されている。またそれらの検討を踏まえ、スマートグリッド技術の多くを包含し、大規模電源から家庭までの全体制御・協調による高信頼度・高品質の低炭素電力供給システムの実証を行う「次世代送配電システム最適制御技術実証事業」²⁷など、様々な実証研究も開始されている。

さらに、官民連携によるスマート社会構築に向けた協議会であるスマートコミュニティ・ア

²⁷ 東京大学、東京工業大学、早稲田大学、東芝、日立製作所、明電舎、三菱電機、電力中央研究所、東京電力を幹事法人とする全28法人が、日本版スマートグリッドの基礎技術の確立に取り組む実証事業。実施期間は2010年度～12年度の3年間。

図表 9.78 スマートコミュニティ・アライアンスの体制



出典: スマートコミュニティ・アライアンス資料

9.1.4 ビジネスモデル

系統での蓄電池利用や、HEMSやデマンドレスポンスなど需要家側機器制御等による省エネルギー、省コスト化など、系統運用者や需要家の利益を生み出すようなスマートグリッド関連ビジネスが生まれてきている。

技術の導入場所から分類すると、スマートグリッド技術は、主に電力会社側で利用される技術と需要家側で利用される技術に大別される。

(1) 主に電力会社側で利用される技術

主に電力会社側で利用される技術としては、PMUやSVR、SVC等の系統安定化、系統信頼度向上等に資する技術、AMI・スマートメーターや系統用蓄電池など効率的な系統運用に資する技術などが挙げられる。

これらの技術は、各国の電力系統構成や電気事業制度などを背景として整備が行われていく。ここでは、現在導入や開発が議論されているスマートグリッド技術を、各国の状況別に整理を行った。

スマートグリッド技術の国際展開のビジネスモデルを検討するにあたっては、各国の状況を十分把握することが必要かつ重要である。

図表 9.79 各国の電力会社側において利用される想定されるスマートグリッド技術

スマートグリッド技術	日本	欧州	米国	中国	韓国
広域状態監視・制御	△	◎	◎	◎	◎
再生可能エネルギーとの協調制御	○	◎	—	—	—
超伝導送電	○	—	◎	—	—
高電圧直流送電	◎	◎	◎	◎	—
パワーエレクトロニクス応用機器	○	◎	◎	○	—
電圧制御機器	◎	—	—	—	—
系統用蓄電池システム	◎	◎	◎	○	◎
パワーコンディショナ技術	◎	○	—	—	—
AMI・スマートメーター	◎	◎	◎	◎	◎

凡例) ◎：導入実績・予定有り、○：導入の必要性が議論されている、△：当面導入の予定なし、—：不明

(2) 主に需要家側で利用される技術

主に需要家側で利用される技術としては、HEMSやデマンドレスポンス、V2G技術等、市場原理に基づき経済メリットを追求する目的のために導入される技術が挙げられる。

これらの技術の展開において、確たるビジネスモデルは固まっていはいないものの、概ね図表 9.80に示したような経済メリットを得るビジネスモデルが検討されている。

図表 9.80 需要家サービスによる経済メリットの例

関係者	経済メリットの例
需要家	<ul style="list-style-type: none">・ 省エネによる電気料金削減・ アンシラリーサービスの提供による対価の受領
電力会社	<ul style="list-style-type: none">・ 負荷平準化等による設備運用効率化
サービスプロバイダ	<ul style="list-style-type: none">・ マネジメントサービスの提供による対価受取・ 見える化画面等への広告掲載による広告料収入

9.1.5 我が国の競争力

スマートグリッド技術により実現が可能となる、電力系統の品質・信頼性の向上、再生可能エネルギーの普及、需要家情報の利用の3つの観点から、我が国の競争力について述べる。

(1) 高品質・高信頼性を担保する技術

我が国の電力システムは、停電時間の短さなど、世界でも最高レベルの高信頼度・高品質の電力を供給しており、既存システムの比較を行うと、十分に国際競争力を有すると言える。ただし、アメリカ、欧州等においては、今後更なる電力品質向上の為に、蓄電池、PMU等の要素技術や、システム技術の先進的な活用を目指している。これらの技術については、我が国においての技術蓄積が少ないため、国際競争力を持つためには、他国の開発動向、他国での技術利用方法を常に視野に入れつつ、研究開発を行っていくことが必要である。

(2) 再生可能エネルギー普及に向けた技術

系統容量が小さい、国内に2つの周波数を有する、配電電圧が他国と比べて低いなど、諸外国と比して独特な事情を持つ我が国の電力システムにおいては、早期より余剰電力、周波数変動、電圧上昇など、再生可能エネルギー導入に伴う課題が指摘されてきた。そのため、蓄電池、電圧制御機器、PCSなど、今後の太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの普及に資する技術は、比較的早くから技術開発が行われてきており、これら技術の我が国の水準は、機器ごとの要素技術では極めて高いレベルにあると言える。

一方、これらの要素機器を統合したシステムについても、以前より多くの実証研究開発等がなされてきているが、国際展開を見据えると、今後は他国のニーズも踏まえたシステム検討を行うことで、更なる国際競争力向上に繋がる。

(3) 需要家情報を利用する技術

電力システム分野において、情報ネットワークを用いて「需要家情報を最大限利用する」というコンセプトは、比較的最近に誕生したものである。従って、我が国のみならず、米国、欧州等の先進国も含め、その利活用方法について検討中である。

今後市場拡大が予想される当分野において、我が国が国際競争力を有するためには、通信プロトコル、インターフェースの標準化に積極的に関与していくと共に、需要家と電気事業者、およびサービスプロバイダの3者共がメリットを享受できるようなビジネスモデルを構築することが望まれる。

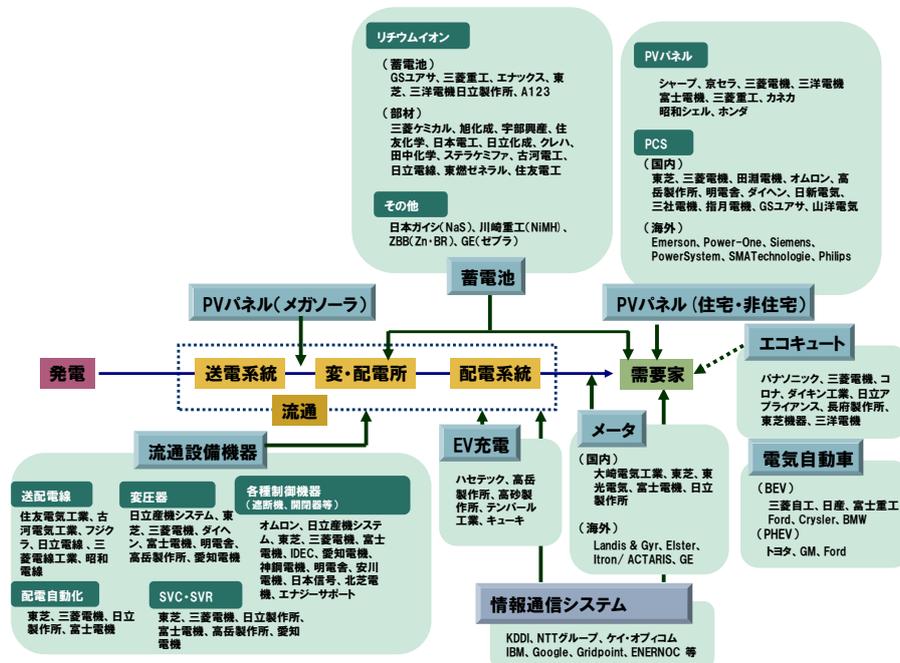
9.2 技術ロードマップ

9.2.1 目指す姿

スマートグリッドは個々の技術要素をただ単に連結させたものではなく、電力系統全体の運用効率化等を行う技術群となるよう、各々の技術の組合せ（相互運用性）により効果を発揮するものである。そのため、スマートグリッド技術の関連メーカは図表 9.81に示したように非常に幅広く、上記のシナジー効果を発揮するためには、各社の取組みのベクトルが揃う必要がある。

そのため、電力供給システム全体として今後どのようなシステムを目指すのかというビジョンを明確にし、開発に望むステークホルダ間で共有した上で、スマートグリッド全体を見通した技術開発戦略を実行しなければならない。

図表 9.81 スマートグリッド関連企業



出典：次世代送配電ネットワーク研究会 報告書（平成 22 年 4 月）

我が国としてどのようなエネルギー供給システムを目指すのか、その一つの姿を示しているのが、経済産業省の「次世代エネルギー・社会システム協議会²⁸」の中で検討された「次世代エネルギー・社会システム ロードマップ」における、2030年以降のエネルギー供給システム像である（図表 9.82）。

このようなエネルギー供給システムを可能とするためには、電力流通システムのあるべき姿である「スマートグリッド」は、以下の特徴を有する必要がある。

²⁸「次世代エネルギー・社会システム協議会」とは、環境と経済の両立が可能な低炭素社会の構築に向け、新エネルギーの大幅導入と次世代自動車等の新たな需要に対応しつつ、電力の安定供給を実現するために、経済産業省内で行われた様々な検討の取りまとめを行う省内横断的なプロジェクトチームである。

図表 9.82 次世代エネルギー・社会システム ロードマップ (2030年)

再生可能 エネルギーの 導入状況	<ul style="list-style-type: none"> ■ 化石燃料価格が現在の2倍以上に上昇し、再生可能エネルギーが相対的にコスト競争力を有する。 ■ 原子力をベースとしつつ、再生可能エネルギーを優先的に活用。集中電源と分散電源の最適MIXを実現。 ■ 再生可能エネルギーの導入状況に応じ、経済性や安定性の面で、系統側と地域が最適なバランスを有するエネルギー供給システムが確立。 ■ 一日のうち、再生可能エネルギーが余るときにはEV充電などで需要を創出し、電力需給が逼迫するときには系統に供給するなど、エネルギーマネジメントを実施。 ■ 夏には需要抑制、春・秋には再生可能エネルギーを出力抑制するなど季節毎のマネジメントも実施。 
ハウス	<ul style="list-style-type: none"> ■ フルオートメーション型HEMSの実現。 ■ 太陽熱とヒートポンプの組み合わせなど、電気と熱の総合的な有効活用が実現。
ビル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 新築建築物全体の平均でのZEB実現を目指す。
海外展開	<ul style="list-style-type: none"> ■ マスタープランの策定、個々の機器や技術の選定、プロダクトサポート等を組み込んだシステム全体で我が国のプレゼンスを発揮、世界シェアを獲得。

出典：次世代エネルギー・社会システム協議会「次世代エネルギー・社会システム ロードマップ案（国内）」

(1) 再生可能エネルギーの更なる導入が可能なシステム

我が国では、低炭素社会を構築するために、前章で見てきたようなカーボンフリーな電源である太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、未利用エネルギー等の再生可能エネルギーを今後さらに導入してゆく。これらのうち、太陽光発電、風力発電等は発電量が天候、風況等に大きく左右されるという特徴は、電力流通システムの運用・制御をより複雑なものとし、従来の設備のみでは対応が困難となる。

このような困難を解決し、再生可能エネルギーの更なる受入れを可能とする技術開発こそ、今後の電力流通システムの先進化を図るにおいて欠かせない指針の一つである。

(2) 情報通信技術を駆使したインテリジェントなシステム

再生可能エネルギーの大容量導入に加え、EV等の新たなシステムが電力流通システムに連系される。配電系統に分散して連系されるこれらのコンポーネントに加え、将来のシステムでは、需要創出、需給逼迫の際のデマンドレスポンス等、個々の需要家も、従来の「消費者」から、電力運用に資するコンポーネントを見なされ、これらを一体として運用していくためには、既存の電力流通システムの運用方法では限界があり、膨大なデータを管理し、運用するような新しいスキームが必要となる。そのため、情報通信技術を可能な限り導入することも、スマートグリッドの目指すべき一つの方針となる。

近年、情報通信技術(ICT: Information Communication Technology)は目覚ましい発展を遂げている。電力流通システムにおいては、系統保護リレー、事故波及防止リレー、配電自動化等、現在までに情報通信技術の適用を行ってきた。今後は特に、需要家情報を系統運用に活用するために、情報通信技術の適用をさらに加速しなくてはならない。

(3) エネルギーユーザのニーズを反映したシステム、および (4) 新たなエネルギーサービスの展開が可能なシステム

(2)に関連して、将来のシステムでは、従来の大規模発電所のみならず、配電系統に分散的に導入された再生可能エネルギーも、エネルギー供給上重要な役割を占める。また、需要家が所有する EV やヒートポンプなどの需要家機器も電力流通設備としての役割を果たす。さらに需要家自身も、電力の「見える化」により省エネ行動を喚起され、または流通設備運用者からの需要家制御により、自身の電力消費をマネジメントし、「デマンドレスポンス」を行うプレイヤーになる。この場合、電力流通システム運用に資する行動を取る需要家に対しては、何らかのインセンティブが付与されるべきであり、そのため、行動に応じた様々な新サービス展開が期待される。

以上のようなフレームワークを可能とするために、スマートグリッドはこのような要件を備える必要がある。

(5) 効率的かつ安定的に運用されるシステム

我が国の電力流通システムは、世界でも最高レベルの信頼度・品質の電力を供給し続けている。再生可能エネルギーが大容量連系された条件下においても、現在と同水準の信頼度・電力品質を維持する必要がある。従って、この点も、スマートグリッドが兼ね備えるべき一つの方向性である。

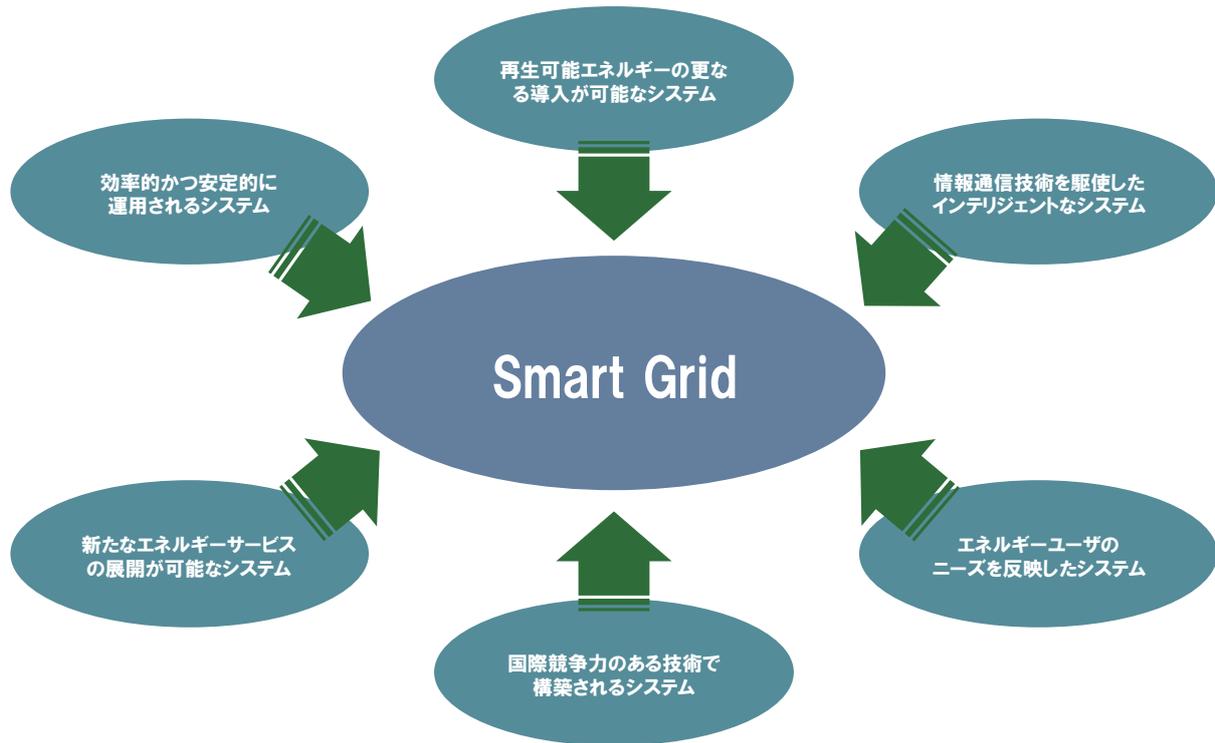
(6) 国際競争力のある技術で構築されるシステム

資源の少ない我が国は、石油・石炭・ガス・ウラン等のエネルギー源を他国からの輸入で賄わざるを得ず、その対価として、自動車、家電製品等の輸出を行うことで経済的に成立していたという経緯がある。しかし、グローバリゼーションの中、中国、インド等は目覚ましい発展を遂げており、着実に競争力を高めつつある。このような状況下において、我が国の輸出による貿易収支が悪化することが懸念されており、世界的競争力のある新産業の創出が期待されている。

また、現在世界的に電力システムへの投資が旺盛であると言われており、今後我が国の産業活力の向上のためにも、この時勢に乗じて電力システム関連技術の国際展開を行っていくことが望まれる。今後の我が国の国際競争力強化のためにも、スマートグリッドに関連した産業を進展させ、世界市場への展開を図ることは非常に重要である。以上のような戦略も、スマートグリッド開発に期待が寄せられる理由の一つである。

以上をまとめると、電力流通システムの先進化を図るスマートグリッドの目指すべき方向性は、図表 9.83 に示される通り、「再生可能エネルギーの更なる導入が可能なシステム」、「情報通信技術を駆使したインテリジェントなシステム」、「効率的かつ安定的に運用されるシステム」、「エネルギーユーザのニーズを反映したシステム」、「新たなエネルギーサービスの展開が可能なシステム」、「国際競争力のある技術で構築されるシステム」の6つがあり、今後構築されるスマートグリッドは、これらの方向性全てに合致したシステムでなくてはならない。

図表 9.83 スマートグリッドの目指すべき方向



9.2.2 目指す姿の実現に向けた課題と対応

9.2.1 で示したスマートグリッドの目指す姿を実現する上で、解決されなければならない技術的課題は、「再生可能エネルギー導入に伴う課題」「需要家情報の利用にかかる課題」の2点に集約される。

(1) 再生可能エネルギー導入に伴う課題

我が国の電力流通システムは、全項で述べた通り、現在世界の中でも最も効率的かつ安定的に運用されているシステムである。今後、太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの更なる導入を進めるにあたり、現在の電力流通システムの高効率性、高信頼性の水準を維持するためには、再生可能エネルギーの導入に伴い顕在化する諸問題を解決する必要がある。代表的なものを以下に挙げる。

① 太陽光発電による余剰電力の発生

太陽光発電の導入量が増加すると、電力需要の少ない時期（軽負荷期）に、ベース供給力（一定量の電気を安定的に供給する電源・原子力＋水力＋火力最低出力）等と太陽光発電の合計発電量が電力需要を上回り、余剰電力が発生する。また、太陽光発電の導入量が増加すると、電力系統側の電源設備・流通設備とも稼働率が低下する。

② 電力の需要と供給ミスマッチによる周波数変動

太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの出力は、天候・気候等に大きく左右され、出力が不安定である。そのため、電力系統全体の需要と供給のバランスが崩れる。この需要と供給のミスマッチは、周波数変動として現れる。

③ 需要家太陽光発電の導入による配電電圧上昇

太陽光発電の出力が設置箇所の消費電力を上回り、電力系統に電気が逆潮流した場合、配電系統の電圧が上昇する。太陽光発電から系統側への逆潮流が増大することにより、連系点の電圧が電気事業法第26条に基づく適正值（ $101 \pm 6V$ ）を逸脱する場合、太陽光発電のPCSの電圧上昇抑制機能が動作し、太陽光発電の出力が抑制される。

(2) 需要家情報の利用に係る課題

先述のとおり、「次世代エネルギー・社会システム ロードマップ」に示されたエネルギーに関する社会像を達成するためには、今後の電力流通システムは、発電から需要家まで、一体となった運用を行っていく必要がある。

① 需要家情報を活用したビジネスアイデアの実現にかかる課題

情報通信システムを用いて需要家情報を活用した様々なビジネスアイデアが出されている。その実現のためには、制度面等の課題もあるものの、例えば系統運用と協調できるEMSの実現など、技術的に克服すべき点がある。

このような技術開発を進めていくことは、ビジネスアイデアを実現する上で重要である。

② 発電から需要家まで一体となった情報通信システムの構築

現在の電力流通システムにおいても、発電所、変電所等の電力流通設備は通信システムを介して互いに結ばれ、モニタリング・制御が行われているが、今後よりインテリジェントなシステムを目指すためには、発電所から需要家までをモニタリングし、制御を行うようなシステムが必要となってくる。そのため、既存の電力用通信インフラよりも更に広範囲をカバーし、かつより複雑となるであろう電力流通インフラのマネジメントに耐えうる情報通信システムの構築が急務である。このような通信インフラを構築するために、コスト・信頼性・パフォーマンス等を比較し、最適な通信方式を決定していく必要がある。

これらの課題に対応するため、次項に示す技術開発を推進していく。

なお先に述べたとおり、スマートグリッド技術の効果を発揮するためには各々の技術を組み合わせた高い相互運用性が必要であり、そのためには関連メーカーの取組みのベクトルが揃う必要がある。

このための取組みとして、現在NEDOが事務局となり、スマートグリッドを取り巻く企業のコンソーシアムである「スマートコミュニティ・アライアンス」が発足し、スマートグリッドに関する意見交換を行っている。今後も、このような活動を継続的に実施し、より深めた議論をしていく中で、9.2.1に示した我が国のスマートグリッドが目指す姿へのフィードバックを行うなど、ローリングをしていくことは重要である。技術開発においても、単なる要素技術の開発にとどまらず、スマートコミュニティ・アライアンスの枠組みを利用して、目指す姿に沿ったシステム構築に資する開発を進めていくことが必要であり、NEDOはそのイニシアティブを執っていくことが期待される。

また、民間企業と経済産業省等の政府からなる同組織において、双方が連携した形で今後の国際展開戦略を練ることで、海外市場でのスマートグリッド関連技術における我が国のプレゼンスのより一層の向上も期待される。

また、現在世界的にスマートグリッドに関する取組みが進められているが、各国の電力供給に関する体制、制度、設備状況等は大きく異なる。そのため、各国で要求されるスマートグリッドの形は異なり、各国の市場特性を十分に分析した上で、海外展開可能な技術開発支援（例えば標準化・規格化等も含む）を行っていく必要がある。

9.2.3 技術開発目標と技術開発の内容

9.2.3.1 技術開発目標

9.2.2 で提示した課題を乗り越え、図表 9.83 のスマートグリッドの目指す姿を実現するためには、以下に示すような技術の普及が必要である。

(1) システム全体

システム全体で共通して必要となるキーテクノロジーは、「双方向通信」である。2010 年より 5 年程度実施される「次世代エネルギー・社会システム実証事業」の結果を踏まえ、2015 年頃より、既存の電力流通システムに双方向通信インフラを敷設していく。

なお、技術の国際展開に向けては、国際標準・規格への戦略的な取組みと適合が鍵を握っており、これらの動向を十分反映した技術開発を行う。

(2) 送配電ネットワーク

送配電ネットワークにおける電力流通システム安定化方策の様相は、大きく 2 フェーズに分かれる。2020 年までは、蓄電池、電圧制御装置等による安定化対策であり、2020 年以降は双方向通信システムを利活用して、分散型電源、需要家も交えた一体型管理へと移行していく。

(3) 需要サイド

需要サイドで最初になすべきことは、双方向通信ネットワークの情報プラットフォームである「スマートインターフェースの開発」である。2015 年頃からの双方向通信インフラの敷設開始までには、スマートインターフェースは開発されていなければならない。双方向通信インフラの導入開始に合わせて、「スマートメーターの市場展開・デマンドレスポンスサービスの拡充」、「家庭・ビル・工場内のエネルギー管理システムの市場展開・性能向上・ゼロエミッション化」、「次世代自動車の燃料供給インフラの整備」等が需要サイドでの開発目標となる。

9.2.3.2 技術開発内容

(1) 送配電システムの監視・制御技術

1) 広域状態監視・制御

現在のところ、9.1.2.1(1) (540 ページ) で触れたような PMU (フェーザ計測機器) を用いた WASA(Wide Area Situational Awareness)を我が国において導入・実施する予定はない。しかし、米国・欧州・中国を始め、世界的に導入を予定される本システムを、我が国においても研究・開発し、世界の電力産業市場へ展開していくことは、今後の我が国の電力産業の国際展開の戦略上、重要である。従って、当該技術は主に国際展開を見据えた開発という位置づけである。

現在のところ、当該技術の主な活用方法はオンラインによる系統状態把握であるが、今後、オンラインでの安定度計算、安定度領域での制御等、利活用分野の広がる可能性がある。従って、まず始めに監視・制御方法の検討を少なくとも 5 年程度行い、当該技術の最も有効的な利活用方法、それを実現するシステムの開発を行う必要がある。図表 9.10 (544 ページ) にある通り、米国では 2014 年に静的な状態推定等の用途を、2019 年までに動的な状態推定等の用途の達成を目

指しており、我が国においても、2019年までにはシステム全体を含めた技術開発を行わなければならない。その後、電力流通システムにおける情報インフラが整備される2020年以降に、実証試験を行い、国際展開へ向けた方策を考えていく。

また、当該技術の開発指針は、計測機器であるPMU、広域監視・制御システムの低コスト化はもちろんのこと、計測、状態推定の精度向上も重要である。

2) 分散型電源・需要家との協調制御システム

① 再生可能エネルギーとの協調制御システム

「技術開発目標」で述べた通り、2020年までの系統安定化対策は、蓄電池、電圧制御機器等が主軸となって行われるが、スペイン・フランス等では既に再生可能エネルギーマネジメントシステムの運用が開始されている。我が国においても、これらの再生可能エネルギーの出力・挙動等を的確に把握し、将来の発電状況を予測するようなシステムの導入が待たれる。そのためには、経済産業省が実施している電力系統シミュレータ整備事業、分散型新エネルギー大量導入促進系統安定化対策事業を通じて、再生可能エネルギーの挙動を的確に把握・分析することが急務である。これらで得られたデータをもとに、再生可能エネルギーの出力予測技術を確立することで、再生可能エネルギー導入による系統対策は大幅に軽減されるであろうと予想される。

以上のような機能を有する再生可能エネルギーマネジメントシステムが、系統安定化の一つの対策オプションとして有効的に運用されるためには、遅くとも2020年までに技術を確立する必要がある。その後、実系統へ導入し、実証の中で改良を加えながら、より良いシステムとしていく試みが必要である。

② 系統用蓄電池システム

系統用蓄電池は、再生可能エネルギー導入に伴う課題である余剰電力、周波数変動を解決する上で、極めて重要な技術である。「次世代送配電ネットワーク研究会」では、最も経済的な負担が少ないシナリオにおいて、2020年までは出力抑制等の対策で対応するとしており、余剰電力対策としての系統用蓄電池の利用は2020年以降と想定されている。よって、2020年までに実系統に配備するための開発・実証を終えておく必要があるため、2015年までに余剰電力対策や火力・水力との協調制御技術の開発・テストを行い、2015～20年にかけて、実フィールドで実証を行っていく必要がある。

なお、系統用蓄電池の長寿命化・低コスト化・大容量化・充放電ロスの低減は、継続的に取り組んでいくべき技術開発課題である。

③ ローカルEMS

地域のエネルギーマネジメントを行うローカルEMSは、まず宮古島で行われている「離島マイクログリッド実証」、地域での実証である「次世代エネルギー・社会システム実証事業」で開発される。これらの実証の期間は2015年までの5年間であり、2020年までの目標である地域でのエネルギーマネジメントシステムの展開にむけて、2015～2020年にかけて地域内に含まれるスマートハウス・ビル・ファクトリー等を統合したシステムの開発を進める。

2020年以降のローカルEMSの開発目標は、2030年の地域エネルギーマネジメントのあるべき姿である「系統との協調」である。従って、系統側の状況に応じ、エネルギーサービスを展開するシステムの開発が2030年までに行われる。

3) 配電自動化システム

9.1.2.1(3) (531 ページ) で示した通り、我が国の配電自動化システムの技術力は、現時点では世界の中でもトップクラスであると言える。しかし、更なる普及が予想される分散型電源の連系等を考えると、今後更なる高度化が必要である。

今後の技術開発の方針として、精度向上のために、電圧、電流、力率、事故情報等のデータの計測を行うようなセンサー内蔵開閉器の導入や、事故情報検出高速化のための光IPネットワークの活用などが挙げられる。以上のようなIT化技術を活用した配電自動化の高度化は、今後10年の間に展開されるであろう。

また、我が国の配電自動化システムは世界の中でも優れた技術を有しているものの、他国においても配電自動化システムに関する技術開発が行われており、また国際規格を策定するIEC(International Electrotechnical Commission)でも、配電自動化システムに関する規格・標準の策定に動いている。我が国の今後の国際展開を見据えると、このような世界情勢を踏まえた技術開発が必要であり、国際標準に則った配電自動化システムの技術開発は、システムの実証を含め、早急に取り組む必要がある。

(2) 需要家側のエネルギーマネジメント技術

1) EMS 技術

① HEMS・BEMS・FEMS

家庭内・ビル内・工場など需要家内のエネルギーを管理するHEMS・BEMS・FEMSにおける2020年までの10年間の技術開発課題は、2009年に経済産業省が行った「スマートハウス実証プロジェクト」によれば、「ホームサーバ、サービスプロバイダ等のアーキテクチャ仕様の検討」である。また、同プロジェクトで様々な機能を有するHEMSが開発されているが、これらの結果を集約・整理し、家庭・ビル・工場における最適なマネジメントシステムの開発を行わなければならない。また、2020年までにローカルEMSが完成するためには、2020年までにHEMS・BEMS・FEMSをローカルEMSに組み込み、EMSによるマネジメントを開始しなければならない。

2020年以降、ローカルEMSが電力系統の状況に応じた仕様へ変貌するにつれ、HEMS・BEMS・FEMSも同様の展開を行っていく必要がある。

② デマンドレスポンス・スマート家電

家電のスマート化は、「ローカルEMS」、「HEMS・BEMS・FEMS」等の開発と同時並行で行われる。まずは、早急にどの家電をどのように制御するかを検討し、制御コントローラの開発に取り組まなければならない。

次なるフェーズは、ローカルEMS、HEMS・BEMS・FEMS等、家電機器の外部より制御するシステムを開発し、並行して実証を行っていく必要がある。これらの取組みは、地域を対象とした

ローカル EMS の開発が終了する 2020 年までに行われる。その後、地域 EMS、HEMS・BEMS・FEMS 等が電力流通システムの運用に貢献することに合わせ、協調方法を模索していくフェーズへと展開される。

2) 電動車両の連系技術

電力流通システムに連系される電動駆動車両を、系統安定化に用いるための実証試験は、2009 年度に経済産業省が実施し、さらに 2010 年より開始される次世代エネルギー・社会システム実証事業で詳細検討を含んだ実証が展開される。

技術開発のステップとしては、まずは充電時間の管理方策の検討より始まるが、双方向通信インフラが敷設される時期に、充電電力の制御による電力流通システム運用への貢献方策が検討される。その後、電動駆動車両からの放電も含めた電力流通システム運用への貢献方策の検討を、2025 年より開始する。

(3) 系統の効果的運用が可能となる先進技術

1) 超電導送電・高電圧直流送電

高電圧直流送電線は、今後自励式のものが主流となると思われる。本技術は技術的には確立されており、今後実フィールドでのテストを行い、実系統へ導入されていくものと予想される。その際、自励式変換器の低コスト化等が課題となる。

また、超電導ケーブルについては、今後実用化に向けて、長尺・高電圧・大電流・低コスト化を行っていく必要がある。

2) パワーエレクトロニクス応用機器

パワーエレクトロニクスには、様々な技術が含まれ、無効電力を調整する SVC、STATCOM（自励式 SVC、SVG）等は既に技術開発され、実系統へ導入されようとしている。以下では、まだ実用化に至っていない LPC や、UPFC、IPFC 等の技術について触れる。

これらのうち、LPC は以前より電力中央研究所にて導入実証試験が行われている。継続的に実証を行うことで、今後更なるコンパクト化などの性能向上が望まれる。

一方、UPFC、IPFC 等の直列パワーエレクトロニクス機器は、現在のところ導入実績は少ない。これらのシステムも、「広域監視・制御」同様、まずは利用方法の検討を早急に行わなければならない。その後、制御システムの開発、実系統での実証と進んでゆく。

3) 電圧制御機器

太陽光発電が配電システムの末端に導入された際に問題となる電圧上昇への対策は、現在のところ柱上変圧器一台当たりの負荷を分割する負荷分割、SVC（STATCOM 含む）・SVR 等の電圧調整機器による電圧制御等が考えられている。前述のとおり、SVC・SVR 等は技術的には確立されたものであり、今後の開発指針としては、低コスト化の他に、コンパクト化が挙げられる。

また、電圧上昇のもう一つの対策オプションとして、太陽光発電システム等の PCS（パワーコンディショナ）に無効電力調整機能を具備することが、2009 年に開かれた「次世代送配電ネット

ワーク研究会」で論じられている。本技術が有効な対策オプションとなりうるためには、5年程度で技術が確立される必要がある。

(4) 先進的なインターフェース技術

1) PCS

「次世代送配電ネットワーク研究会」によれば、PCS（パワーコンディショナ）が近い将来（10年間の間に導入が目途）に具備すべき機能として、以下のものが挙げられている。

- ・カレンダーベース（予め日にちを設定）での太陽光発電の出力抑制機能
- ・FRT(Fault Ride Through)機能
- ・疑似同期化力

10年間の間に導入されるべきこれらの機能は、上記の電圧制御機能同様、遅くとも5年以内には開発・実装される必要がある。また、出力抑制については、カレンダーベースでの日にち指定方式の次に来るフェーズとして、系統に張り巡らせた通信インフラを利活用する方式の開発も望まれる。この技術の確立は、2020年までに行い、2020年代に通信インフラの整備状況と併せて導入を図る。

2) AMI・スマートメーター

需要家の電力をデジタルに計測するスマートメーターは、需要家情報を利用するスマートグリッドのキーコンポーネントと言える。スマートメーターの導入に先駆け、2009年より東京電力・関西電力による実証試験が行われており、実証試験で得られた知見を踏まえてAMI（Advanced Metering Infrastructure: 先進的メータインフラ）構築のために最適な通信方式を5年以内に決定し、2015年よりインフラ整備に取り掛からなければならない。併せて、AMIのセキュリティ問題の解決を急ぐ必要がある。

通信インフラが整備され始める2015年頃より、構築されるAMIのネットワークを最大限利活用し、新たなサービス等の検討を行っていく必要がある。

図表 9.84 スマートグリッド技術ロードマップ

