

海外のエネルギー事情と低炭素化対策

2017年8月2日

相澤善吾

海外（欧州・米国・中国・その他） の以下の各項目について比較

1. エネルギー・気候変動政策
2. ネットワーク
3. 再生可能エネルギー
4. 火力、CCS
5. 原子力発電

1. エネルギー・気候変動政策

◆欧州

- 気候変動対策重視で、省エネ再エネ開発に重点的に注力
- COP21：30年にGHG90年比40%削減を約束
- 20年目標「トリプル20」：GHG90年比20%削減、再エネ比率20%（電力34%）、省エネ20%の達成にまい進
- 現在制定中の30年目標の中身に注目

◆米国

- オバマ政策「全てのクリーン・エネルギー開発」、火力からのCO₂排出規制
- 石炭火力からの撤退、シェール革命で自給率を大幅改善（15年90.4%）
- COP21；25年にGHGを05年比26~28%削減を約束
- 火力からのCO₂排出規制が達成できるか。トランプ政権により気候変動対策後退の懸念、すでに動き出した州レベル民間レベルの大きな流れは変わりそうもない

◆中国

- 石炭燃焼による大気汚染が深刻化、CO₂排出量も急増
- 原子力発電の増加、最近の石炭消費量は下降気味。絶対量は依然として大（前年比2014年▲2.9%、2015年▲3.7%）
- COP21：CO₂排出（GDP原単位）を30年に05年比60~65%削減を約束
- 省エネ、海外調達を含めた天然ガスの拡大：どれだけ石炭消費を削減できるかが鍵
- 原子力発電の積極的導入

◆日本

- 「エネルギー基本計画」（14年）：省エネ、再エネ推進、原子力は重要電源と明記
- COP21：30年にGHG13年比26%削減を約束
- 30年の電源構成：再エネ22~24%、原子力20~22%、ガス27%、石炭26%
- 17年「第5次計画」：再エネ、原子力の再稼働・リプレース、石炭の位置付けに注目

1-1 各国の電源構成見通し

		2010年	2015年	2030年
欧州	石炭		24%	12%
	石油		2%	1%
	ガス		16%	20%
	原子力		27%	23%
	水力		12%	12%
	その他再エネ		18%	32%
	合計		3.2TkwH	3.4TkwH
米国				(CPPなし)
	石炭		33%	25%
	石油		1%	1%
	ガス		33%	31%
	原子力		20%	18%
	水力		6%	再エネに含む
	その他再エネ		7%	25%
合計		4.1TkwH	4.5~4.8TkwH	
中国	石炭		72%	60%
	ガス		3%	6%
	原子力		3%	8%
	水力		18%	17%
	その他再エネ		4%	9%
	合計		6.0TkwH	10.8TkwH
日本	石炭	25%	32%	26%
	石油	8%	9%	3%
	ガス	29%	44%	27%
	原子力	29%	1%	22~20%
	水力	8%	9%	8.8~9.2%
	その他再エネ	1%	5%	13.2~14.8%
	合計	1.0TkwH	0.9TkwH	1.1TkwH

1-2 欧州（EU）のエネルギー気候変動政策

◆気候変動対策の重視⇒省エネ、再エネ開発に注力

◆2020年目標

- 09年：「エネルギー・気候変動法規」（「トリプル・トゥエンティ」）を制定
 - ① 温室効果ガス（GHG）削減（強制目標）：90年比20%削減
 - ② 再エネ（強制目標）：
エネルギーで20%（実績：2005年9%→2014年16%）、
電力で34%（2005年15%→2014年28%）に引き上げ
 - ③ 省エネ：20%削減
 - ④ EU・CO₂排出量取引制度（EU-ETS）：
13～20年対象。発電部門は全量競売に移行。

◆2030年目標

- 14年10月：加盟国で合意。現在法制化中。
 - ① GHG削減：90年比40%削減。
 - ② 再エネ：エネルギーで最低27%（電力で45%）。
 - ③ 省エネ：30%削減。
 - ④ EU-ETSの見直し・強化
- GHG削減は全体、各国に目標達成を強制。省エネは全体だけ強制。
- GHG削減ではポーランドなど産炭国が抵抗。英国EU離脱の影響も懸念。
- 14年「エネルギー連合」（Energy Union）構想：
ウクライナ内戦によるロシアからのガス供給遮断懸念⇒エネルギー・セキュリティも重視へ

1-3 フランスのエネルギー気候変動政策

◆世界2位の原子力発電国

- 化石燃料資源乏しく輸入依存⇒ 73年の石油危機で原子力開発に邁進
- 原子力：一次エネルギーの40%、発電の75%を賄う重要なエネルギー
- エネルギー自給率：70年代初めの20%台から現在は50%にまで改善
- GHG削減：京都議定書目標90年比0%削減に対して12年実績11.4%減
- 電気料金：EUで最も安い国の一つ

◆現社会党政権のエネルギー政策：「再エネ拡大+現有規模の原子力維持」

- 15年8月：「エネルギー移行法」を制定
 - ①GHG削減目標：30年に90年比40%削減
 - ②省エネ：50年に12年比50%削減
 - ③再エネ：30年にエネルギー32%（14年14%）、電力40%（同18%）に引き上げ
 - ④原子力：現在の75%を25年に50%に引き下げ。
- しかし、現有6300万kWの設備規模は維持＝1基閉鎖すれば1基新規運転可能。
- その他の原子力施策：フラマンビル3号機（EPR）建設続行、高速炉ASTRIDの開発継続、海外展開推進（英国ヒンクリーポイントなど）、フェッセンハイム閉鎖決定。
- マクロン大統領の誕生で経年原子力の再エネへの転換あるか？ ユロ環境相は原子力50%まで低減を明言

◆「課題」

- 内外でのEPR建設遅延など⇒ 仏原子力企業AREVAが経営悪化⇒ フランス電力（EDF）がAREVA子会社買収などで経営再建へ

1-4 ドイツのエネルギー気候変動政策

◆原子力事故で脱原子力、再エネ開発へ

- 70年代の石油危機～：国内資源（石炭・褐炭）と原子力開発を推進
- 80年代～：TMI、チェルノブイリ事故⇒原子力開発停止、再エネ開発推進（FIT導入）
⇒02年に社民党・緑の党の連立政権が脱原子力法制定
- 10年秋：保守連立政権で脱原子力の一部見直し（運転期間延長：32年+12年）
- 11年6月：福島事故で脱原子力に回帰⇒「エネルギー革命」の加速化
 - ①原子力⇒直ちに8基閉鎖、22年までに残りの炉も閉鎖
 - ②50年目標：GHG90年比80～90%削減、再エネ発電比率80%、省エネ08年比50%削減

◆「課題」

- 再エネ大量導入による弊害と対応
 - －FITによる補助金の巨額化、小売電力価格の上昇
⇒再エネ法見直し：負担の抑制、市場原理導入の促進、負担減免制度の見直し
 - －バックアップのガス火力が不採算⇒大手電力会社の経営悪化
⇒再エネ、配電、エネルギーサービス中心の事業へ。容量メカニズムも導入。
 - －系統の不安定化：系統混雑⇒系統増強へ（建設は遅延）
 - －17年秋：総選挙の結果次第でさらに再エネ買取制度見直しも。脱原子力には変更なし。

1-5 英国のエネルギー気候変動政策

◆ガス資源枯渇懸念で再エネ、原子力開発推進へ

- 豊富な石炭、石油、天然ガスの化石燃料資源
 - ⇒ 2000年代から石油、ガスの生産量が低下
 - ⇒ 自給率56%へ
 - ⇒ エネルギー・セキュリティ、環境対策として低炭素電源（再エネ、原子力など）の開発促進へ政策強化

◆08年気候変動法、原子力白書

- GHG削減目標：20年90年比34%、50年80%削減を設定。30年目標は57%。
- 2014年実績：90年比35%減
- 低炭素電源開発目標：20年に40%（再エネ30%、原子力とCCS付き石炭火力10%）。
4,000万kW以上の再エネ、1,600万kWの原子力を新設する必要。

◆13年エネルギー法「電力市場改革」(EMR)

- 低炭素電源開発への4つのインセンティブ規定
 - ①差額支払契約・固定価格買取制度（FIT-CfD）導入：
低炭素電源（再エネ、原子力、CCS付石炭火力）に適用
 - ②容量市場制度の導入
 - ③CO₂排出量取引での下限値の設定：
CO₂取引価格の低迷を抑えることで低炭素電源の開発促進
 - ④CO₂排出量基準制度の導入：石炭火力のCO₂排出を厳しく規制
- 原子力開発：仏EDFヒンクリーポイントに続き、日立、東芝・WHのプロジェクト進行中

◆「課題」

- 巨額の原子力投資資金の調達、英国のEU離脱の影響など

1-6 米国のエネルギー気候変動政策（1）

- ◆豊富な化石燃料でも再エネ、原子力も開発推進・維持
 - 政権で大きな振れ：ブッシュ(共和)からオバマ(民主)、そしてトランプ(共和)へ
 - ブッシュ政権：01年「国家エネルギー政策」、05年「包括エネルギー法」
⇒ 石油・ガスの生産増強、原子力開発推進などエネルギー・セキュリティ向上の方針を打ち出す。原子力新設に対して債務保証などによる支援措置。
 - オバマ政権(09年～16年)：
 - 再エネ、天然ガス、原子力、クリーンコールをクリーン・エネルギーとして開発推進
 - 「シェール革命」で国内の天然ガス、石油増産
 - ⇒ 13年～：気候変動への取り組みを積極化、「気候変動行動計画」策定
 - ⇒ 15年：連邦環境保護局(EPA)が石炭火力からのCO₂排出規制規則(CPP「クリーン・パワー・プラン」)を制定、
30年に05年比32%削減が目標
 - ⇒ COP21で05年比GHG26～28%削減を約束
 - トランプ(17年～)：オバマ政権の気候変動対策は大きく方向転換の見通し
 - ー トランプ新大統領はCPP廃止の意向
 - ー 風力、ソーラーといった再エネに対し優遇税制による支援措置を継続するか不透明
 - ー ただし、再エネへの取り組みは州、地域によってばらつき。各々独自の流れは強い。

1-6 米国のエネルギー気候変動政策（2）

◆ CPPに対する各州の反応

- 係争中の既設火力のCO₂排出規制（CPP）が施行されれば石炭産業に大打撃
- 石炭依存州を中心に反対する声⇒26州
- カリフォルニア州、ニューヨーク州等の気候変動対策に積極的な州は支持⇒18州＋DC
- CPP支持州は多くが州としてGHG削減目標を設定
- カリフォルニア州
 - －GHG削減目標：20年90年比同水準、30年40%削減、50年80%削減
 - －再エネ比率：20年33%、2030年50%
 - －原子力は2025年に全基閉鎖の計画。省エネ、再エネ、電力貯蔵、輸入等で補う構え
- ニューヨーク州
 - －GHG削減目標：30年90年比40%削減、50年80%削減
 - －再エネ比率：20年29.5%、2030年50%
 - －原子力：GHG削減目標達成のため重要な電源。環境性を評価し支援。
- ハワイ州
 - －再エネ比率：2045年100%（法案通過）

1-7 中国のエネルギー気候変動政策（1）

◆基本政策

- 石炭比率の高さと急速なエネルギー・電力の消費増
⇒大気汚染（PM2.5）の深刻化、CO₂排出量の急増
- エネルギー確保に加えて環境政策も重視へ
⇒省エネ、非化石エネルギーの開発促進＋エネルギー資源の海外調達の強化
⇒COP21で「30年までに05年比、GDP原単位でCO₂排出を60～65%削減、30年頃、ピークに」を約束

◆エネルギー発展戦略行動計画(2014～2020年)(電力関連)

- 石炭火力の排出規制の強化、老朽設備の廃止、高効率石炭火力・ガス火力の導入
- 非化石燃料電源の開発推進：20年に一般水力約3.4億kW、風力2.1億kW以上、太陽光約1.1億kW以上、原子力5,800万kW（運転中）・3,000万kW以上（建設中）

◆「課題」

- 需要増に応える低炭素電源をどれだけ開発できるか
⇒できなければ石炭使用継続で環境負荷軽減やCO₂削減は困難に
- 原子力：国内、海外進出ともに巨額な投資資金確保が鍵
- 再エネ：系統拡充が不可欠。風力[棄風率](利用されない発電量)は2016年で17%。

1-7 中国のエネルギー気候変動政策（2）

◆電力発展第13次五カ年計画（2016～2020年）の概要

- 2020年までに一次エネルギー消費量に占める非化石エネルギー比率を15%にする目標
- 2020年末時点の総発電設備容量20億kW（年平均増加率5.5%）
- 構成は石炭火力11億kW以下（全体の55%）、ガス火力1.1億kW以上、非化石エネルギー7.7億kW（風力2.1億kW、太陽光1.1億kW、水力3.4億kW、原子力5,800万kW、他計39%）
- 2020年の総発電電力量6兆8,000億～7兆2,000億kWh（年平均増加率3.6～4.8%）
- 石炭火力熱効率を既設で石炭換算310g/kWh（39.6%以上）、新設300g/kWh（41%以上）に

2. ネットワーク

2-1 欧州のネットワーク

- ◆ 10年系統増強計画（欧州送電系統運用者ネットワークENTSO-E）のTYNDP
 - 安定供給、再エネ導入による持続可能な電力システム構築、低廉な電力供給に不可欠
 - 既存の整備目標10%（発電設備容量の10%の国際連携線）早期達成と30年までに15%
 - 2年ごとに見直し、域内の系統整備に関わる中心的な役割
- ◆ 送電線系統整備の必要性
 - 再エネの増加を背景に需要地への系統整備、受給バランス、流動性、価格の安定化
 - 特にバルト三国、スペイン・ポルトガル、英・アイルランド、イタリア
 - スペイン・ポルトガルについては現在の100万kWを10倍以上に
 - 独の南北間も含めて国内線とも強調整備
 - さらにデマンドレスポンス、エネルギー貯蔵などによる受給バランスの改善も
- ◆ 送電線系統整備規模と費用
 - 2030年までに48,000km（独の南北線なども含む）
 - 1500億ユーロの投資で消費者負担額は1.5～2.0ユーロ/MWh、料金上昇率は1%程度
 - 卸電力価格は1.5～5.0ユーロ/MWh程度低減、系統混雑時間は40%以上低減の見込み
 - 直流プロジェクトに遅れの予測

2-2 米国のネットワーク

◆送電投資の動向

- 再エネの拡大や需給調整範囲の拡大により送電投資の必要性は高まっているしかし、投資額は2016年をピークに減少傾向
- デマンドレスポンスや配電系統への接続電源が増加し、送電投資需要見通が不透明に、なお、この考え方は欧州でも展開されており、注目される
- またFERC(連邦エネルギー規制委員会)のオーダ1000(2011年)による設備計画策定の遅れも要因の一つ

◆FERC、NERC、RTO・ISOと各州公益事業委員会の役割

- FERCは州をまたぐ送電線と石油・ガスパイプラインの料金を規制監督
- 送電部門の公平性・中立性を維持させつつ、効率的で経済性の高い送電設備投資を促進
- RPSなどの目標達成のための必要性にも考慮するようRTO・ISOに要求
- NERC(北米電力信頼度協会)は系統信頼度基準を作成する組織で、FERCにより認定。NERCが策定した系統信頼度基準はFERCで審査承認される
- RTO(地域送電機関)・ISO(独立系統運用者)の役割は、
①系統の信頼性の維持、②卸電力市場の運営、③送電拡張計画を策定し送電システムを整備更新する。この送電拡張計画は最終的には発電事業者、送電会社、配電会社、エンドユーザーを含む理事会で承認され、正式に採択される。
- 州公益事業委員会は州内の公共料金の監視、消費者保護のための規制、託送料金の規制、電気、ガス、水道、通信、鉄道等に及ぶ

◆米国の卸電力市場について

- ①今必要な電力量(kWh)を取引するリアルタイム市場、②需要想定に基づき必要な電力量を入札する1日前市場、③需給運用に必要な供給力を確保する容量市場、④周波数調整力・予備力を調達するアンシラリーサービス市場、の4市場がある
- 容量市場では3年先の容量に対してオークション。これ以上先のオークションでは発電事業者は収入の見通しが立てやすくなるものの、不確実性が大きくなることから、3年となっている場合が多い。即ち、ガス火力か再エネということになる。
- アンシラリーサービス市場では応答速度の速い蓄電池が高い収益を得られる。
- AES Energy Storage社は同市場において商業的な運用に成功している。

2-3 米国における蓄電池

◆米国における蓄電池の成長

- 2015年から急速に増加、2016年は26万kWの新設、さらに増加傾向は続く2022年には年間250万kWの増設が予想されている
- FERCオーダ755：2011年、電力貯蔵など周波数調整能力高い電源にインセンティブ、各州も導入促す関連政策を策定

◆AES Energy Storage 社の場合

- バッテリー型電力貯蔵設備の販売、現地据付作業、メンテナンスまで全てを請け負う
- 全世界4カ国、8ヶ所に運用中13.6万kW、建設中16.8万kW、計画中22.8万kW
- 米構内での初の商用機として稼働中、採算性も問題なし
- 顧客は発電会社、送電会社、再エネディベロッパー、大口需要家
- リチウムイオン電池とパワーコンディショナからなるユニットの組合せで40～数十万kW
- 100%から80%までの容量減衰に10～12年
- 蓄電池の運用
 - ①再エネの急激な出力変動に高い応答性で対応、PJMのアンシラリー市場で大きな利益
 - ②太陽光昼間発電ピークに充電、高需要時に放電、価格差で利益（特に加州とハワイ）
 - ③住宅やオフィス密集地での火力建設困難、ビルや地下への設置で送電投資も抑制
 - ④発電設備としての設置多いが、再エネ増加と蓄電池コスト低下で送電設備とし需要拡大も
- 蓄電池の価格、現状kW 当たり1時間持続で5万円程度、数年後にkW 当たり4～5時間持続で5万円程度に

3. 再生可能エネルギー

◆欧州

- E U 指導の政策により積極的に再エネ開発を推進。中長期的には再エネが電源の中心へ。
- これまで消極的だった大手電力会社も自ら再エネ開発に乗り出す方針。

◆米国

- R P S をはじめとする導入促進策により、とりわけ風力の導入量が顕著に拡大
- さらなる再エネ導入を見据えて、電気事業の小規模分散型システムを目指す州も

◆中国

- 中央政府の後押しにより近年、風力太陽光の導入が飛躍的に拡大。
- 再エネの出力抑制の問題を解決するため、送電網の大規模な拡充に取り組み

◆日本

- 将来のエネルギーミックスにおいて再エネは一定の割合を占める重要な電源
- F I T にて特に太陽光が急増。系統制約の課題を解決しつつバランスのよい導入が必要
- 各国と比較した再エネプラントの高価格が課題

3-1 欧州の再エネ

◆EUの気候変動対策による再エネの積極的導入

- 2011年に欧州委員会の策定した「エネルギーロードマップ（2050年に電力起源GHGゼロを目指すシナリオ）ではいずれのシナリオにおいても再エネが電力供給の中心
- EUの再エネ（水力含む）導入目標

	最終エネルギー消費のうち	発電電力量のうち
2015年実績	17%	30% (1 T kWh)
2020年目標	20%	34%
2030年目標	27%	45%
2050年（ロードマップ目標）		59.1～86.4%（残りは原子力とCCS火力）

- 欧州大手電力は当初大型発電所の買収に主力、再エネ導入、受け入れに消極的
近年、再エネ開発に積極的に乗り出す姿勢
- 再エネをめぐる動向
独で再エネ改正法成立、入札制度拡大。大型以外も入札対象、導入量管理と賦課金軽減
2017年以降の新規の太陽光60万kW、陸上風力280万kW、バイオ15万kWが入札制度に
洋上風力プロジェクトの落札価格が相次いで最安値更新
 - －2016年7月オランダ（70万kW）で7.27セント／kWh
 - －2016年9月デンマーク（35万kW）で6.4セント／kWh
 - －2016年11月デンマーク（60万kW）で4.99セント／kWh
 欧州委員会、新規再エネ電源への優先的給電の制限を提案（11月）、現在各国と調整中

3-2 ドイツの再エネ事情 ーアゴラエネルギーベンデ、BDEWよりヒアリング（1）

◆エネルギー転換政策

- ・ 90年代主要電源であった原子力や石炭火力を、再エネに転換する長期エネルギー政策
- ・ 2022年には全ての原子力を停止、再エネに転換、2050年には8割以上を再エネで賄う
- ・ エネルギー効率化を進め、2020年エネルギー消費を2008年比で10%、50年に25%削減
- ・ GHGを2025年には1990年比で40%、2050年には80～90%削減目標

◆再エネの見通し

- ・ 現在、再エネのシェア（水力含む）が約3割、うち太陽光と風力で2割、バイオと水力はこれ以上は厳しい
- ・ 太陽光と風力の総容量は9000万kW、設備容量で最大需要の8200kWを上回る
- ・ 2016年は洋上風力含め500万kWが運転開始、うち太陽光100万kW（これまでの最大は700万）
- ・ 太陽光鈍化の原因はFIT価格の引き下げ、自家発自家消費、入札制度の開始、今年のPVの導入量は200万～250万kWとの見込み。

◆再エネの発電コスト

- ・ 今年の入札では、太陽光の落札価格は6.5セント/kWh、国際取引では5.4セント/kWh、最終的には2～3セント/kWhと想定されている。

3-2 ドイツの再エネ事情 —アゴラエネルギーベンデ、BDEWよりヒアリング（2）

◆ドイツのエネルギーベンデに対する疑問

- 原子力からの脱却で、原子力や石炭由来の電力輸入が増加してないか？
 - 2010年以降、原子力発電量600億kWh減、再エネ発電量800億kWh増、輸出も増加
- 経済性への影響は？
 - 電力料金の上昇による悪影響は少ない、2008年以降電力部門の投資額はGNPの2～3%で自由化前と同じ。貿易も黒字で推移。
- 家庭部門の料金への影響は？
 - 再エネコストの大部分は家庭用に転嫁、家庭用料金は倍近くまで上昇、2013年以降、再エネコストは既存電源レベルまで低減、影響は徐々に薄まる
- 産業部門への料金の影響は
 - 産業政策上、産業／業務用電力価格には再エネ賦課金の一部のみ転嫁。
- CO₂排出量はどうなっているか？
 - 原子力が段階的に閉鎖される中でもCO₂は減っている。GHGは90年比27%減少。ただしここ2年はやや増加、これは熱部門や輸送部門での目標値達成の遅れによる。

3-2 ドイツの再エネ事情 ーアゴラエネルギーベンデ、BDEWよりヒアリング（3）

◆ドイツの経験：風力やPVの増大には柔軟な電源や系統が必要。良い市場、柔軟なポートフォリオも。

①再エネを組み入れるコストの低減

再エネ導入には、設置コスト以外に様々なコスト、このコストをいかに低減するかが鍵

2008年以降、風力太陽光の設備容量3倍に、予備力調達量15%減で需給調整費用半減

市場設計、TSO間との協力、需給調整市場の活性化、風況予測の高度化などの効果

（日本の再エネの価格が下がらないのは、上記のほか、許認可、マージン、設計コスト、規格、工事期間などに改善の余地あり）

②柔軟性の確保

変動型自然エネルギーの積極的導入のために、原子力や石炭火力も負荷調整力を持たせた需要側管理やスマートグリッドを含む電力システムのインフラ拡張、さらに自然エネルギーが60%を超えた場合は電力貯蔵設備。制度や対応できる仕組みが大切
戦略的リザーブは政治的な妥協の産物。

（石炭火力はもちろん、原子力も調整力となっている、それらがなくなったら、ガス火力による調整力に期待。

カーボンプライシングでガス化力に移行させることは困難。カーボンプライシングは機能してない、政府と電力会社で石炭火力廃止計画を作成、資産保障を確保しながら進める）

③北部で発電、南部で消費という需給構造に対応するためには送電線も必要だが、新たな形の「地域市場」という考え方（南北で価格帯を分けることも。産業の海外流出より良い）

④化石燃料火力をどうすべきか

石炭火力の段階的閉鎖が必要だが、政治的にもこれがエネルギー転換のネック、大きな議題

3-3 米国の再エネ事情

◆経過と背景

- ・ 風力発電は2005年から2015年までに約10倍、太陽（光・熱）発電は約33倍に増加
普及の背景には、政府による再エネ導入促進策と再エネコストの下落
再エネ電源に関して連邦として明確な導入目標なし、州の取組みや企業の投資判断による
- ・ 再エネ促進策として、連邦レベルとして投資税額控除（ITC）、発電税額控除（PTC）による支援策
多くの州で電力会社の再エネ導入目標であるRPS制度を採用。
- ・ 再エネ導入に積極的な州は、カリフォルニア、ニューヨーク、ハワイ
これらの州では再エネ大量導入への対策として、小規模な分散型資源（蓄電池・デマンドレスポンス、分散型電源等）も重要視。周波数調整や電圧制御等の系統側資源としても検討
- ・ 3州のRPS
カリフォルニア；2050年50%、ニューヨーク；2030年50%、ハワイ；2045年100%

◆再エネをめぐる最近の動向

- ・ カリフォルニア州で太陽光発電出力が800万kWを超え過去最大
- ・ テスラ社、リチウムイオン電池を製造するギガファクトリーを開業
- ・ カリフォルニアISOのスマートインバーター実証で太陽光の送配電網調整能期待以上の機能
- ・ サンディエゴ市の電力会社SDG&E社が世界最大の位置有無イオン蓄電池の設置完了。容量は3万kW、12万kWh（蓄電池供給者はAES Energy Storage社）

3-4 中国の再エネ事情

◆経過と背景

- ・ 政府目標は、一次エネルギー消費量に占める非化石エネルギーを2020年までに15%に
- ・ 2020年までに風力設備容量を2.1億kW、太陽光・太陽熱を1.1億kWに拡大する目標
再エネ導入促進策として、電力網企業に再エネ電力の全量固定価格買い取りを義務付け
800万kW以上の発電事業者に、再エネ電源比率を2020年までに8%とするよう義務付け
- ・ 急速な再エネ電源開発により、系統容量不足から出力抑制（棄風、棄光）増加
2016年の風力発電量は2410億kWh、棄風量は497億kWhで風力抑制率（棄風率）は17%
- ・ そのため北西部から東部への直流送電線を建設（2016年の800kV線亘長12300km）

◆再エネをめぐる最近の動向

- ・ 太陽熱発電の買収料金を決定
- ・ 新疆ウイグル自治区で風力による暖房を推進
- ・ 電力発展第13次5カ年計画を発表
 - － 2020年までの発展方針や目標を提示。15年ぶりの発表。引き続き再エネ開発に注力
 - － 2020年の風力設備導入目標（全国累計2.1億kW）のうち、洋上風力を500万kW前後に
 - － 2020年の太陽光・太陽熱設備目標（累計1.1億kW）のうち分散型太陽光6000万kW
太陽熱500万kWに

3-5 太陽光発電コストの現状について

- ・ 太陽光の平均発電コストは2010年0.35ドル/kWhから2016年0.13ドル/kWhに大幅低下
従来型火力と遜色がなくなり、これが近年の太陽光発電急増の主要因。
- ・ しかし、最安ケース0.05ドル/kWhと最高ケース0.27ドル/kWhと5倍の差がある。
中国やドイツが最も安く、日本が最も高い。
- ・ モジュール価格、即ちハード部分は、各国ともに500~700ドル/kWの範囲。
ソフト部分の価格差が大きく違う
- ・ 事業用の場合でソフト部分の価格は、中国やドイツは500ドル/kW、英国やイタリアが1000ドル弱、米国が1200ドル、そして日本では1600ドル。
- ・ 日本のこのソフト部分の内訳としては、パネルの設置工事コストが諸外国の2~3倍、工事以外(土地取得、認可、ファイナンス、マージン、設計)が、独、英、伊、中国の約2倍

4. 火力発電

◆欧州

- ・ 老朽火力、新設ユニットの環境負荷低減
- ・ CO₂ 排出量低減目標のため石炭火力は削減方針
- ・ 英国など一部の国では石炭火力全廃の方針

◆米国

- ・ シェールガス革命の後押しもあり石炭から再エネとガス火力への燃料転換
- ・ CPP 制度で石炭火力はCCS 設置が必須の基準で実質的に新設禁止
- ・ トランプ政権の下、CPP 制度無くても経済的にも石炭火力は厳しい

◆中国

- ・ 石炭から原子力・再エネへ少しずつ転換
- ・ 既設設備を含んだ、先進国を上回る大幅な排出基準規制 (SO_x、NO_x、煤塵など)
- ・ クリーンコール技術 CCT 技術開発実施中

◆日本

- ・ 石炭を重要なエネルギー源として位置付ける (2030年26%)
- ・ 環境負荷の少ない CCT 開発を進めるとともに、高効率技術の海外輸出に意欲

4-1 発電電力量の化石燃料の比率 (%)

		2010年	2015年	2030年	
欧州	石炭		25	12	(減)
	石油		2	1	
	ガス		15	20	(増)
	合計		42	33	
米国	石炭		33	25	(減)
	石油		1	1	
	ガス		33	31	(減)
	合計		67	57	
中国	石炭		72	60	(減)
	石油				
	ガス		3	6	(増)
	合計		75	66	
日本	石炭	25	32	26	(対2010年 増)
	石油	8	9	3	
	ガス	29	44	27	(対2010年 減)
	合計	62	85	56	
インドネシア	石炭		53	50	(減)
	石油		11	1	
	ガス		24	24	(変わらず)
	合計		88	75	

4-1 発電電力量の化石燃料の比率 (%) (参考)

◆インド (参考)

- 2022年3月までの5年間は、建設中の約5000万kWを除き石炭火力の新設なし

その結果発電設備容量は以下の通りとなる

	2016年3月末 GW (%)	2022年3月末 GW (%)
水力	43 (14)	60 (11)
石炭	185 (61)	249 (48)
ガス	25 (8)	30 (6)
原子力	6 (2)	10 (2)
再エネ	43 (14)	175 (33)
合計	302 (100)	523 (100)

4-2 石炭火力の廃止と途上国への輸出

◆欧州で広がる石炭火力の廃止

- ・ 欧州では2010年代前半まで普及していた多くの老朽石炭火力が産業排出指令で廃止
- ・ 再エネの普及が同時期に始まり、老朽石炭火力は再エネやガス(GTCC)火力に代替
- ・ CO₂削減を目的として、さらに石炭火力の廃止は増える。
 - － 段階的に廃止：英国（25年までに）フィンランド、デンマーク、カナダ（30年までに）
 - － 石炭火力の新規建設なし：ベルギー、スウェーデン、ノルウェー、オランダ
- ・ 自国に豊富な石炭資源を有する国は石炭火力を維持、ただしガス火力の新設も検討

◆石炭火力輸出に関する状況

- ・ 自国内での石炭火力建設に加え、途上国への輸出に対しても制限を主張する国や組織が増加、これに対して日本、オーストラリア、韓国などが反対を表明
- ・ 石炭関連事業の利益割合か石炭火力の発電量が30%以上を占める企業から投資撤収する政府系ファンドも
- ・ 中国も石炭火力は減少傾向、インド、東南アジアなど途上国エリアでも石炭火力建設抑制
- ・ しかしまだ石炭火力建設の需要は多く日本の重電機関連の商機はある
- ・ OECD作業部会は石炭火力の輸出に関して、高効率の最新型（USC以上の熱効率）以外は公的な支援を制限することで基本合意

4-3 火力発電各種の性能と価格

◆性能と建設単価（円／kW）

- ・石炭火力を維持する場合はUSC（熱効率45%程度、日本でのkW建設単価は20万円前後）
IGCCは将来、55%程度の高効率が期待できるが、kW建設単価の低減と信頼性向上が課題
- ・ガスタービンによるコンバインドサイクルは最新鋭機で64%近い熱効率、機動性も高く、再エネに対する調整力が期待できる。建設単価もCO₂発生量も石炭火力の半分以下。
- ・ガスタービン単体での使用はさらに機動性が高く再エネの調整力としては強力
熱効率も40%以上、建設単価も石炭火力の4分の1以下。
蓄電池との組み合わせは新機能を具備することとなる。
- ・これらの設備は競合相手も多く、新しいシステムや運用方式での新提案が欠かせない

◆発電原価（円／kWh）（参考）

- ・火力燃料単価を2017年1～3月の価格とすると

LNGコンバインドサイクル火力発電原価	8.9円／kWh（LNG価格 400ドル／t）
石炭火力発電原価	11.8円／kWh（石炭価格 100ドル／t）

- ・なお、2015年資源総合エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループの試算では

LNGコンバインドサイクル火力発電原価	13.7円／kWh（燃料費は2014WEOによる）
石炭火力発電原価	12.3円／kWh（燃料費は2014WEOによる）
原子力発電原価	10.1～円／kWh（稼働率70% 稼働年数40年）

4-4 CCSについて

◆ CCSへの期待

- ・化石燃料（特に石炭）を使用する限り、最終的にはCCSによるCO₂削減は不可欠

◆ CO₂発生源による違い

- ・ガス田や油田から、あるいは工場からの排ガスの場合
- ・石炭火力の石炭ガス化後、あるいは燃焼後のCO₂の場合。発電所と一体運用ゆえ、CCSの信頼性に発電所の稼働率が左右され、発電所の発電コストにも影響

◆ 貯留先による違い

- ・EOR（石油増進回収）などに使用する場合は、EOR用として売却できるので、経済的にも有利
- ・地層内への貯留の場合は、安定した貯留層が必要
- ・海洋などへの放出は環境への影響が未確定で社会的な受容が難しい

◆ 初の実用機であるカナダのバウンダリーダム石炭火力の場合

- ・カナダ連邦政府は石炭火力へのCCS設置を義務化、サスカパワーはこれを受けて3号機（13.9万kW 1970年運開）へのCCS設置を決定（総額12億4000万カナダドル）
- ・CO₂回収率90%（年間100万トン）、大部分をEORに、一部を塩水滞水層への貯留試験へ
- ・2014年10月に稼働し、2015年10月までに40万トンのCO₂を回収、しかし不具合も多く、改修のための費用もかさんでいる模様。今後の成果が注目される。

◆ 日本企業による米国NRG WA Parish石炭火力の場合

- ・5号機にCCS設置。2016年12月に運開。
- ・CO₂回収率は90%（回収能力は4776t/日） EORに活用
- ・施工は三菱重工とTIC（米建設会社）

5. 原子力発電

5-1 原子力新規開発状況 (OECD/IEA2015の予測)

	廃炉	新規	計	2040年の合計容量
欧州	▲ 6.5 GW	4.6 GW	▲ 1.9 GW	11.2 GW
米国	▲ 2.4 GW	3.3 GW	9 GW	11.6 GW
中国	▲ 0 GW	8.5 GW	8.5 GW	14.4 GW
日本	▲ 1.7 GW	6 GW	▲ 1.1 GW	3.2 GW

5-2 欧州の原子力の状況

◆原子力政策は各国により異なる（EUの方針なし）

- 2015年120GW → 2050年95～106GW（EU予測）
- 建設中プラントのある国：英国、フランス、フィンランド
- 脱原子力：ドイツ、オーストリア、スイス、ベルギー
- 強い決意の脱原子力はドイツとオーストリア、イタリアは電力不足でフランスより原子力の電力を輸入
- スイス、ベルギーは揺れている

◆最近の動き

- 再エネの余剰電力流入で卸電力価格低迷し、原子力は競争力が低下。
- 既設発電所は運転期間延長を検討
- ドイツ政府、事業者のバックエンド費用負担に上限を認める
- スウェーデン、2014年9月に発足した脱原子力政権は100%再エネ路線を軌道修正、原子力発電所の新設を認める5党間合意成立
- 英国政府、欧州で約10年ぶりの新規建設となるヒンクリーポイントC建設を最終承認。160万kW EPR 2基、初号機運開は2025年頃、投資総額は180億ポンド（約2.5兆円）、固定価格買取制度（FIT-CfD）適用（92.5ポンド/MWh、約13円/kWh）
- 2016年9月、英国政府が承認した上記計画に中国が33.5%出資。ブラドウェル計画にも出資、中国は華龍一号の輸出をもくろむ。

5-3 米国の原子力事情

- ◆安価な再エネやシェールガス火力発電による卸電力価格低迷により、電力市場自由化州での新設は難しい
 - 99基が運転中。既設発電所は設備利用率90%以上維持、60年へ運転期間延長。80年運転を目指し準備する動きもある
 - オバマ政権はAll of The Above政策（温暖化対策として全ての選択肢を利用）で原子力の役割に注目。共和党は原子力推進、民主党は選択肢の一つと評価。
 - 2016年10月、23年ぶりの新設基ワッツバー2号が運転開始、現在4基が建設中。
 - －1979年TMI事故後原子力の新規建設は原則停滞、その後30年近く新規建設なし
 - －2005年ブッシュ大統領のエネルギー政策法により原子力カルネサンスを迎える
 - －2010年にシェール革命、電力需要低迷で減速
- ◆最近の動き
 - 使用済み燃料中間貯蔵施設の建設許認可申請
 - ニューヨーク州、イリノイ州が原子力経済支援策としてゼロ排出電源クレジットを法制化（ニューヨーク州は1.7セント/kWh支援）、22州が原子力支援法制化検討中。
 - 米国、原子力発電所の早期閉鎖と一部州での支援策
 - －エクセロン社は2016年6月イリノイ州の原子力発電所3基の早期閉鎖を発表
 - オマハ電力公社は2016年6月、ネブラスカ州の原子力発電所を2016年末に閉鎖と発表
 - これに関しNEIは原子力の信頼性やCO₂抑制効果を電力市場が評価するよう是正を要請
 - －イリノイ州議会は原子力救済を含む法案を成立させ、閉鎖を決めた3基他は運転継続に

5-4 中国の原子力事情

◆積極的推進、「一帯一路」、「走出去」

- 第13次5カ年計画、2015年28GW→2030年120～150GW
- 国産新型炉を含め新型炉3種世界初運開に向けて順調。沿海部は新規着工。内陸部は認可待ち。英国、パキスタン、アルゼンチン、ポーランド（交渉中）など海外進出に積極的。
- 既設発電所は設備利用率80%前後

◆中国と新型炉

- 新型第3世代炉のうち3機種が中国で初号機先行

供給国	炉型	サイト	運開時期
韓国	AP1400	新古里3号（韓国）	2016年
ロシア	VVER1200	ノボボロネジⅡ1号（ロシア）	2017年
日本	米国AP1000	三門1号（中国）	2017年
フランス	EPR	台山1号（中国）	2017年
中国	華龍一号	福清5号（中国）	2019年

6. まとめ（1）

◆欧州

- イギリス、フランスは原子力や火力をベースとした従来系統構成を指向
 - 石炭火力は中長期的に廃止
 - ベース電源には原子力を活用
 - ベース分を再エネに少しずつ移行するも限定的。調整力はガス火力に期待。
- ドイツは再エネの大量導入により、これまでのベース電源に調整力を期待。
 - 原子力発電量は2022年までに廃止、石炭火力は計画的に中長期的に廃止。
 - 分散型電源を含み、再エネを8割以上。
 - 調整力は石炭火力で、技術開発を前提にスマートグリッドを用いたデマンドレスポンスで対応。最終的には非化石ガス火力、電力貯蔵（電池・水素）も視野に。

◆米国

- 再エネ資源、水力資源の分布状況、需要密度など州のエネルギー事情等により、低炭素化の方向は二つに分かれる。
 - 原子力など大型系統電源をベース電源を中心として活用するイギリス・フランス型
 - 分散型電源、スマートグリッド、デマンドレスポンス、電力貯蔵を活用し、再エネの大量導入を図るカリフォルニア州を中心とする太平洋岸地域、ハワイ州などのドイツ型
- レベル差はあるが、再エネの導入は各州で積極的に進めている。
- 石炭火力についてはトランプ大統領の方針とは別に、環境性のみならず、経済的理由から廃止の流れは止まらず、当面の低炭素化達成には石炭火力の廃止、ガス火力への転換も見込まれる。

◆中国

- 原子力、石炭火力をベース電源としつつ、再エネの導入を積極的に進める。
- 強靱な送電網を構築し、再エネの拡大と石炭火力の移設更新を進める。
- さらに、地球規模の国際連携大送電網による再エネ電源と余剰輸出を組み合わせたエネルギー供給システムも指向

6. まとめ（2）

◆検討・フォローのポイント

- 日本の再エネ導入は固定買い取り制度により進んだが、受け入れ機能、送電機能に改善の余地大
- 再エネは海外と比較して2～3倍と高コストであり、特に設計・設置工事や認可制度の見直しが必要
- 再エネを20%以上とするには分散型電源、スマートグリッドなど新技術の開発導入を含むエネルギー供給システムの大きな見直しが必要
- ベース電源となりえるなり得る各電源（原子力、石炭火力、LNG火力）を基本から再評価
- 特に原子力の安全性と社会受容性、低炭素化効果、そして経済性を含めた政策評価と決断
 - － 「原子力依存度を可能な限り低減」と「原子力は重要なベース電源」、そして「2030年20～30%」
 - － 再稼働をする一方、経年発電所の運転延長、建設中3基・計画中8基、新規建設、リプレースなどのあり方
- 日本の石炭火力に対するスタンスのあり方（エネルギー先進国も石炭依存国も石炭減少）
- エネルギー環境問題に関する一般消費者の意識向上