

安全・安心社会の 電気エネルギーセキュリティ

安全・安心社会の電気エネルギーセキュリティ特別調査専門委員会編

目		次	
1.	はじめに	1	
1.1	特別調査専門委員会設置の目的	1	
1.2	本特別調査専門委員会の活動実績	2	
1.3	技術報告の概要	2	
2.	安全・安心社会の電気エネルギーシステムを考 える	4	
2.1	バランスのとれたエネルギー利用を目指して	4	
2.2	日本の電力自由化	5	
2.3	イギリスにおける電力自由化後の実態と課題	6	
2.4	大停電を起こさないために	8	
2.5	太陽光発電にどこまで頼れるか	10	
2.6	消費者はどのような協力ができるか	11	
2.7	大災害時にも電気を届けるには	12	
2.8	電力技術の継承にかかわる問題点と 人材育成	13	
3.	安全・安心社会に向けての課題と将来の取組み	14	
3.1	日本のエネルギーベストミックスについて	14	
3.1.1	はじめに	14	
3.1.2	エネルギー資源・供給方式の評価	14	
3.1.3	長期エネルギー需給見通し	18	
3.1.4	おわりに	19	
3.2	日本の電力自由化	20	
3.2.1	はじめに	20	
3.2.2	自由化と電力システム改革	20	
3.2.3	広域取引と競争環境の整備	20	
3.2.4	電源確保と流通設備の整備	21	
3.2.5	環境変化と新しい政策目標	22	
3.2.6	おわりに	23	
3.3	イギリスにおける電力自由化後の実態と課題	24	
3.3.1	はじめに	24	
3.3.2	電源構成の変化と電力市場改革の推進	24	
3.3.3	国際連系線強化による安定供給の模索	24	
3.3.4	配電会社の自然災害対応と顧客満足度	24	
3.3.5	小売供給市場の競争と「困惑独占」	25	
3.3.6	料金値上げは「政府の失敗」にも起因	26	
3.3.7	新型原子力をめぐる不確実性の増大	27	
3.3.8	おわりに	27	
3.4	電力システムの信頼性維持の課題	29	
3.4.1	はじめに	29	
3.4.2	電力システムの信頼性維持	29	
3.4.3	再生可能エネルギーに関連する課題	31	
3.4.4	課題と将来展望	35	
3.4.5	おわりに	37	
3.5	再生可能エネルギー電源はどこまで頼れるか	39	
3.5.1	はじめに	39	
3.5.2	PV の出力特性	39	
3.5.3	PV 出力のならし効果	39	
3.5.4	PV の供給力としての価値	40	
3.5.5	PV の接続可能量	41	
3.5.6	おわりに	41	
3.6	電力システム運用における需要側資源の活用	43	
3.6.1	はじめに	43	
3.6.2	需要側資源の活用	43	
3.6.3	情報通信およびサイバーセキュリティ に関する技術検討課題	44	
3.6.4	自動デマンドレスポンスシステムと インセンティブ型デマンドレスポンス 実証試験	45	
3.6.5	Fast-DR のための制御対象機器と 制御システム	46	
3.6.6	おわりに	47	
3.7	大災害時における電力システム運用	49	
3.7.1	はじめに	49	
3.7.2	自然災害による電力システムの被害	49	
3.7.3	電力システムのレジリエンス	49	
3.7.4	分散電源を活用したレジリエンス 向上方策	50	
3.7.5	あとがき	52	
3.8	電力技術の継承にかかわる問題点と 人材育成	53	
3.8.1	はじめに	53	
3.8.2	日本の優秀な電力技術	53	
3.8.3	電力技術継承の実態と問題点	55	
3.8.4	人材育成について	60	
3.8.5	おわりに	67	
4.	おわりに	70	

1. はじめに

1.1 特別調査専門委員会設置の目的

【エネルギー環境の歴史・背景】

資源小国である我が国は、多くを海外に依存する国際関係の中で、技術立国を基調として経済発展を遂げてきた。そのためには、基盤となる技術力の蓄積と、それを支える安定的なエネルギー調達、およびインフラの整備は不可欠であった。電力システムは、このような流れの中で国の発展を支えるインフラとして、エネルギー供給安定性、環境性、経済性を重視して戦略的に構築されてきた。すなわち、エネルギーの不足や価格変動のリスクを分散するためベストミックスの考えに基づく様々な種類の発電所を建設し、一方でユニバーサルサービスと呼ばれる地域や条件の異なる全ての需要家に同じレベルで電力供給を行うシステムを構築した。この過程において、信頼性と経済性を両立させるシステム計画がなされたことから、人工物としての利便性を論ずる工学の視点では、長期的に効率的なエネルギー環境が構築されたといえる。

【震災前後でのエネルギー環境の激変】

しかしながら、東日本大震災とそれに伴う原子力事故以降、エネルギーに関連する環境が激変した。エネルギーの供給や利用に対する従来の枠組みに対して疑問が投げかけられ、これらの問題を解決する手段として、従来のエネルギー政策の抜本的な見直しとともに、電力システム改革が進行した。まず、原子力発電の信頼が大きく揺らぎ、その後国内の全ての発電所が停止する状況となった。そして、原子力の是非については、現在も世論を二分する状況が続いている。

また、需給逼迫が続き、首都圏で2週間にわたり輪番停電を経験したことは非常に大きな影響があったと考えられる。国民の不満や不安感が高まり、マスコミにおいても盛んに関連する報道がなされた。その真偽や効果は別として、需給逼迫やエネルギー問題に関連するあらゆる見解、提案、問題意識が紹介された。とりわけ、震災の影響がない西日本地域からの電力融通が限定的であり、供給力の広域的な活用に限界があったことなどが問題視された。また、再生可能エネルギー（以降、再エネ）を含めた多様な供給力への期待、デマンドレスポンスやネガワット取引といった新たな手法が目されるようになった。

【再エネ導入・電力システム改革】

再エネの導入については、平成15年のRPS法、平成21年の住宅用太陽光「余剰買取制度」の導入などと段階的に進められてきたが、震災を経てにわかに脚光を浴び、平成24年7月に固定価格買取制度（FIT）が実施された。将来にわたって買い取り価格が保証されたことから爆発的に普及が進み、平成26年の年度末時点で大規模水力を除く再エネの全設備容量がすでに約2955万kW、そのうち、太陽光発電は1,431.5万kWと非常に勢いで導入されている⁽¹⁾⁽²⁾。一方、電力システム

改革については平成25年4月の閣議決定「電力システム改革に関する改革方針」において3段階からなる改革の全体像が示され、それぞれの措置を定めた電気事業法改正案が成立済みである。その一環として平成27年4月には「電力広域的運営推進機関（OCCTO）」⁽³⁾⁽⁴⁾が発足した。

【工学的視点によるリスクと課題】

しかしながら、以上の全体の流れについては、工学的な視点から不合理性を含み、リスクをはらんでいると言わざるを得ない。将来のある時点で検証が必要になるとしても、現段階で考えられるリスクについては、広く認識されるべきであろう。エネルギーの選択は、いわゆる一般に言われるエネルギー問題以上に、技術立国としての日本の将来に多大な影響を及ぼす。産業技術は常に生産に結びついていないと、長い年月をかけて蓄積した技術そのものが危機に瀕する。さらに、人類の作った最大級の複雑システムといわれる電力システムでも、社会インフラを維持する上で設備形成の課題に直面している。このようなシステムには、技術的に適正な使用方法があり、それに反する非効率な使い方には代償が伴うことは、理解されるべきである。課題の理解には、工学あるいは電気工学の専門領域に関する知識も必要となるが、電気エネルギーシステムという枠組みで考えると、より明確になる。

工学あるいは電気工学の視点とは、考察対象に内在する因果関係に基づく特徴の把握と確度の高い予見性である。この意味で、数年前の将来的課題は、既に一部が現実となりつつある。

例えば、太陽光発電に関する現在の状況は、当初国民が描いていた考えに沿うものであろうか。再エネは将来の重要なエネルギー源になると考えられるが、これは相当に先の話であり、その限界やコストなど負の側面については当時あまり認知されることはなかった。現在、太陽光発電の導入量は電力システム設備や運用面から限界に近づき、発電の遠隔制御を含めた追加的な設備投資が必要となり、システムの経済運用にも大きく影響しつつある。事実、九州ではこれが大きなニュースとなり⁽⁵⁾、資源エネルギー庁による緊急実証事業が開始されている⁽⁶⁾。さらに、FITによる賦課金が急激に増加し、設備の導入者とそうでない者との不公平感が広がっていることも事実である。

一部の再エネの電力システムへの悪影響は、専門家の間では当初より理解されていたので、現在の状況は制度設計の議論において電気工学の視点が重視されなかったエビデンスとも言える。電気工学の視点を尊重し、電力システムの設備計画と合体した低コストで無理のない、より効率的な導入法が制度設計において当初より検討されるべきであった。

電力システム改革を含むエネルギー政策については、まさに将来の問題である。社会インフラとしての信頼性を担保することは重要であり、現在の環境変化を考えると、工学的視点から様々な課題がある。将来、エネルギー政策の影響がいろいろな形で現れてくる可能性がある。

このような背景から、本委員会では電気エネルギーシステムが我が国の極めて重要な社会インフラであるとの認識に基

づき、「セキュリティ」をキーワードに課題を整理し、工学的視点で正確な情報として提示することとした。社会インフラとしての電気エネルギーシステムを、安心・安全な社会の実現に向けてどのように次世代に引き継ぐかを真摯に考え、工学の視点での現実性を重視した情報提供を行うことを目的としている。

1.2 本特別調査専門委員会の活動実績

本委員会は、電力・エネルギー部門を代表する委員により構成し、震災後のエネルギー環境の転換期において 2012 年 12 月に初回の会合を持ち、その後約 1 年間にわたる 5 回の準備会合を経て 2013 年 10 月に正式に設置した。「広く社会に電気および電気エネルギーに関する情報を発信するとともに、災害の復旧・復興を最大限に支援し、将来社会のあり方を社会とともに提言し、行動する」という電気学会の方針のに対応し、学会本部直轄の「電気システムセキュリティ特別技術委員会」の一翼を担って独自の活動を行ってきた。本特別調査専門委員会の委員構成を表 1.1 に、傘下の作業部会については表 1.2 に示す。

表 1.1：委員会構成および調査活動期間

役職	氏名	所属
委員長	餘利野 直人	広島大学大学院工学研究科 教授
委員	藤井 康正	東京大学大学院工学系研究科 教授
	浅野 浩志	電力中央研究所エネルギーイノベーション創発センター 研究参事, 東京大学大学院新領域創成科学研究科 客員教授
	大山 力	横浜国立大学大学院工学研究院 教授
	斎藤 浩海	東北大学大学院工学研究科 教授
	舟橋 俊久	名古屋大学未来材料・システム研究所 教授
幹事	造賀 芳文	広島大学大学院工学研究科 准教授
調査活動期間	平成 25 年 (2013 年) 10 月～ 平成 29 年 (2017 年) 3 月 (3.5 年間)	

表 1.2：作業部会 (WG) 構成

再生可能エネルギー大量導入に向けたデマンドレスポンスと需要側対策技術作業部会 (DR-WG)		
役職	氏名	所属
主査	浅野 浩志	(委員)
幹事	山口 順之	電力中央研究所, 早稲田大学
幹事補	坂東 茂	電力中央研究所
WG 委員	太田 豊	東京大学
	池上 貴志	東京農工大学
	吉永 淳	早稲田大学, 東京電力
	工藤 耕治	日本電気(株)
	境野 哲	NTT コミュニケーションズ(株)
	野間 節	azbil(株)
	木内 舞	(株)サイバーディフェンス研究所
	新谷 隆之	インターテックリサーチ(株)

加えて、活動の一環として一般向けのシンポジウムを開催し、情報発信を行ってきた (表 1.3)。委員会の趣旨に沿って、重要事項を分かりやすく提供する努力をしながら、説明の方法についても試行錯誤を繰り返してきた。さらに、その場でアンケートを実施し、参加者の興味や理解度を確認することにも努め、これらの結果は本技術報告の編集方針にも反映さ

れている。

表 1.3 委員会活動の概要

	開催日	開催地	講師
シンポジウム開催	2014 年 4 月 23 日	広島大学	委員 3 名
	2014 年 7 月 2 日	東北大学	委員長 1 名
	2014 年 9 月 12 日	同志社大学 (電気学会 B 部門大会)	委員 6 名
	2014 年 11 月 22 日	名古屋大学	委員 5 名および加藤丈佳准教授(名古屋大)
	2015 年 3 月 24 日	東京都市大学 (電気学会全国大会)	委員 6 名および野村宗訓教授(関西学院大)
委員会および WG 開催	委員会：計 11 回, WG：計 8 回		

1.3 技術報告の概要

本委員会では、工学的な視点に基づき、当面考えられるリスクを議論し、これを機会に他分野の専門家を含めて広く一般に伝達すべき課題も抽出した。これらは、既に専門家の間では知られているが、一般にはあまり認知されていない事柄をはじめ、通常では議論されることがない相当に専門家的な内容も含んでいる。この中から、日本の将来にとって重要な課題を選び、分かりやすく伝えることが本委員会の役割であると考えた。

本技術報告では、調査すべきキーワードとして

- エネルギーセキュリティ
- 再生可能エネルギー大量導入に向けた技術課題
- 電力システムのロバストセキュリティ
- デマンドレスポンスと需要側対策
- リスク管理
- 供給信頼度レベルとコスト
- レジリエントシステム
- 技術継承

などを挙げている。これらは相互に関連しており、最終的には電気エネルギーシステムの全体像、ひいては国のあり方の根幹にも関わる項目である。例えば、原子力発電のリスクは広く実感されているが、これを不要とした場合のエネルギーセキュリティ、産業の衰退、技術の喪失と言ったリスクは、あまり知られていない。これは原子力発電の是非ではなく、正しい判断材料が一般に分かりやすく提供されているかどうかに関わる問題である。本技術報告では、広い意味で電気エネルギーシステム全体に亘るこのような重要な課題について、工学的に客観的かつ包括的な整理を試み、それぞれ専門の立場で解説している。

また、本技術報告の対象とする読者は通常の技術報告とは異なり、いわゆる専門家ではない一般の方々も含まれる。よって、項目としては上記のとおりであるが、第 2 章を一般の読者向け、第 3 章を技術者向けとし、第 2 章についてはできるだけ平易で簡潔な表現を試みた。

まず、第 1 節 (第 2.1/3.1 節) は日本のエネルギー源を考えるうえで重要な「経済性」、「環境性」、「エネルギー供給の安定性」、「持続可能性」、「安全性」という 5 つの評価指標を軸として、各種のエネルギー資源や供給方式の特徴を整理し、

ベストミックスについて述べている。次に、第2節(第2.2/3.2節)および第3節(第2.3/3.3節)では日本と英国の電力自由化について整理し、課題について述べている。一次エネルギー、制度設計それぞれの課題を受け、第4節(第2.4/3.4節)では電力システム全体の供給信頼度について整理・議論している。続いて、注目を浴びている再エネ電源について一体どこまで頼ることができるのか、その特性と系統接続時の問題点について第5節(第2.5/3.5節)にて解説を試みている。さらに、今後は需要家も電気システムセキュリティの維持に参加することが期待されており、第6節(第2.6/3.6節)にて需要側資源の活用として説明している。第7節(第2.7/3.7節)では、震災後に特に注目を集めた大災害時でも機能する頑健な電力システム運用について、また第8節(第2.8/3.8節)では、日本が技術立国として持続可能な社会を維持するために重要な技術継承についての実態や問題点とともに人材育成の観点から何をすべきかについて議論している。

一般の方々には、まず第2章を読んでいただき、より専門的な内容に興味があれば第3章に進んでいただければ理解が容易になると思われる。

参考文献

-
- (1) 経済産業省・資源エネルギー庁:「再生可能エネルギーを巡る現状と課題」, 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 新エネルギー小委員会 (第1回) 配布資料,
<http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/pdf/001_03_00.pdf> (2014.6)
 - (2) 経済産業省・資源エネルギー庁:「再生可能エネルギー発電設備の導入状況を公表します(平成26年3月末時点)」, 平成26(2014)年6月17日ニュースリリース (2014.6)
<<http://www.meti.go.jp/press/2014/06/20140617003/20140617003.html>>
 - (3) 経済産業省・資源エネルギー庁:「電力システム改革について」,
<http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/system_reform.html> (2013.2)
 - (4) 電力広域的運営推進機関: <<http://www.occto.or.jp>>
 - (5) 九州電力株式会社:「九州本土の再生可能エネルギー発電設備に対する接続申込みの回答保留について」,
<http://www.kyuden.co.jp/press_h140924-1.html>
 - (6) エネルギー総合工学研究所:「再生可能エネルギー接続保留緊急対応補助金(次世代双方向通信出力制御緊急実証事業)」に係る間接補助事業者の公募の結果について」
<http://www.iae.or.jp/2015/05/22/pvconpj_20150522/>

4. おわりに

本委員会で実施した一般向けのシンポジウムでのアンケートでは、偏りなく様々な話題が印象に残り、興味を持たれたようであった。周波数調整力の重要性や供給信頼度の概念、デマンドレスポンスなどを初めて知り、内容が理解できて有意義だったといった感想に加え、このような内容を広く一般に知らせるべきだという意見が少なからず寄せられたことが印象的であった。

これより、工学の専門的な内容についても、ポイントをうまく説明すれば、正確に理解され得るという実感を得て、このような活動の意義や必要性を改めて感じた。

本技術報告では、電気エネルギーシステム全体にわたる重要な課題について、工学的に客観的かつ包括的に整理し、解説した。エネルギーミックス、電力自由化、再エネの特性、電力システムの信頼性、デマンドレスポンス、災害対策、人材育成について、それぞれの委員による専門の立場から解説を試みた。この中で、特に関西学院大学経済学部・野村宗訓教授には、電力自由化に関する海外事例研究の第一人者として、本委員会の趣旨に賛同され、寄稿頂けたことに感謝している。

現在、我が国のエネルギー自給率はわずか6%であり、ほとんどを海外に依存している。そして、電力化率と呼ばれる電力向けに投入されるエネルギーの割合は、一次エネルギー全体の45%に達し、電力供給の重要性と電力システムのインフラとしての役割はさらに高まりつつある。電力システムを含む電気エネルギーシステムの課題は、日本の将来の姿に大きく影響し得るため、国家像を決める重要な要因となる。国民全体が関心を持ってエネルギーについての知識と課題を共有し、その上で冷静に議論することが望まれる。将来にわたって、日本が技術立国として持続可能な安全・安心社会を維持できるよう、本技術報告が少しでも助けとなれば幸いである。