

**EAJ プロジェクト「社会、産業、人々の生活の変容を支える電力システムの在り方」
(略称：EAJ 電力プロジェクト)**

中間シンポジウム「電力システム移行期におけるキー技術と人材を考える」

講演・発言録

目次

目次	1
開会	4
挨拶 1 JST/EAJ 中村	4
挨拶 2 プロジェクトリーダー 荻本	5
講演 1 需要分野のキー技術とキーシステム技術（講演者 1）	6
(電力需要のマネジメント)	6
(調整力の確保に向けたデマンドレスポンス)	7
(需要家・アグリゲータにおける DR 価値)	7
(容量市場における発動指令電源 (DR 含む) 活用)	8
(低圧リソース活用の課題)	8
(日本の低圧リソース活用を取り巻く背景)	9
(需要を動かす価値はあるのか?)	9
(低圧リソースの活用に向けて)	10
(キーとなる技術、システム技術、制度)	10
(Octopus Energy による DER 制御)	11
(Load Management Standards, MIDAS)	11
(DC のデマンドレスポンス実証)	11
(需要の柔軟性を活用するしくみを)	11
講演 2 従来型電源分野のキー技術とキーシステム技術（講演者 2）	12
(カーボンニュートラルとは)	12
(第 7 次エネ基での同期機電源@2040)	12
(同期機電源に求められる役割)	13
(火力電源の稼働率低下)	14
(火力電源の稼働率低下：ストレンクス供出点の偏在化)	14
(火力電源の稼働率低下：部分負荷運転)	15
(火力電源の調整力)	15

(長期的な対応の必要性)	15
講演 3 再エネ電源分野のキー技術とキーシステム技術 (講演者 3)	16
(再エネ発電コストの低減)	16
(VRE を前提とした電力システム)	17
(技術開発にかかる国産化率)	20
講演 4 パワーエレクトロニクス分野のキー技術とキーシステム技術 (講演者 4)	21
(本発表での対象)	21
(分野イメージ 太陽光発電)	21
(求められる姿、期待される役割)	22
(キー技術)	22
(キーシステム技術)	22
(従来の IBR-Inverter Based Resources の出力制御)	23
(一般的な GFL 制御系)	23
(Phase Locked Loop)	23
(SCR が小さい系統でのシミュレーション例)	24
(GFM と期待される機能)	24
(OCCTO の慣性に関する検討、RoCoF 検証)	24
(SCR が小さい系統でのシミュレーション例)	25
(IBR 制御に起因する安定性の課題)	25
(FRT 要件、分散電源一斉脱落の懸念、インバータ離脱条件)	25
(保護関係の課題、能動的単独運転検出手法に起因する電圧フリッカ)	25
(シミュレーション技術・モデル化)	25
(まとめ)	26
講演 5 送配電分野のキー技術とキーシステム技術 (講演者 5)	26
(送配電分野の起こりつつある変化)	26
(変化により生じる課題)	27
(段階的移行のためのキー技術・キーシステム技術)	29
パネル討論 1 キー技術とキーシステム技術.....	32
(進め方)	32
(需要)	33
(従来電源)	33
(太陽光発電)	34
(パワエレ)	36
(送配電)	37
(配電)	39
(進め方)	41
(保護方式)	42
(グリッドコード)	44
(オーストラリアの戸建て PV)	45
(ビジョン)	46
(技術ニュートラル)	47

（まとめ）	48
（フロア質問：システム全体が見える人）	49
（フロア質問：コストベネフィット）	49
パネル討論 2 移行を担う人材の獲得と育成	50
（進め方）	50
（NEDO 特別講座など）	51
（電力の魅力、電力×〇〇）	53
（NEDO 特別講座、産学合同セミナー）	54
（送配電）	56
（電力工学に係る諸分野）	57
（高専と大学、必要な人材）	58
（若い人への発信）	60
（意識の変化など構造的課題）	61
（若い人への発信）	61
（産業界、これまでの取り組み）	62
（より広い発信）	63
（システム全体を見られる人材）	65
（フロア質問：ワクワク感）	66
（まとめ）	68
閉会	69

開会

司会

本日は、遠路お集まりいただき誠にありがとうございます。本日は、対面で 80 名のお申し込みをいただき、Web では 300 名強ということで、コロナ禍を過ぎて、大勢の素晴らしい方々にお集まりいただけたことをありがたく思います。意見交換会では 55 名の参加を予定しており、素晴らしい会になると思います。

今日は、電力システム移行期におけるキー技術と人材を考える、こちらのプログラムになります。閉会が 17 時 40 分の長丁場でございますけれども、非常に内容の濃い会となりますので、ぜひお楽しみいただければと思います。その後意見交換会もございますので、ぜひお時間のある方はご参加いただければと思います。

最初にお願い事項ということで、録画、録音はご遠慮下さい。なお、事務局の内部で利用させていただくために、大変申し訳ございませんが、録画、録音をさせていただきますのでご了承ください。それから資料につきましては、ご案内させていただいております通り、サイトからダウンロードできます。シンポジウム終了後は、資料のダウンロードができなくなりますので、ご了承ください。それから Zoom でご参加の方は、表示名を所属、氏名にさせていただくようお願いします。

それから、講演は一件 20 分ですので質疑はできませんのでご了承ください。パネルディスカッションでの質問は、Zoom の Q&A をお使い下さい。最初に、質問される方の所属、氏名をお書きください。可能な限りのお答えをさせていただきます。ご了承ください。

会場におられる方には、アンケート用紙をお配りさせていただいています。最後、お帰りになるときにアンケート用紙を箱に入れていただくようお願いします。

司会

では最初に、JST 名誉理事長で EAJ の顧問の中村道治様から開会のご挨拶をお願いいたします。

挨拶 1 JST／EAJ 中村

本日は EAJ プロジェクト“社会、産業、人々の生活の変容を支える電力システムのあり方”中間シンポジウム、並びに ESI 第 23 回シンポジウムに多数ご参加いただき誠にありがとうございます。本日のシンポジウムは、プロジェクトを開始後、1 年の中間段階において、技術的な知見や議論の状況など、これまでの検討状況を紹介し、それに基づく電力システムの移行期におけるキー技術とキーシステム技術、および人材の獲得と育成についての二つのパネルディスカッションを行い、本プロジェクト後半を進めるための議論を行っていただきます。

これまでプロジェクトを強力にリードしていただきました荻本和彦先生、プロジェクト顧問の横山明彦先生、蘆立修一先生、また議論・調査・執筆および成果物を閲読するメンバーとしてプロジェクトをこれまで熱心に推進してくださった委員の先生方、さらには、本日は講演、パネルディスカッションいただく先生方に、厚くお礼を申し上げます。

EAJ は、社会の重要な課題に関して政策提言を戦略的に行ってまいりました。本プロジェクトは、EAJ の大先輩である元東京電力副社長の種市健顧問から「レジリエントな電力システムネットワーク」に関する検討を行い、政策提言ができないかという話をいただきました。

長年構想を温めてきたテーマで、2023 年 5 月に荻本先生とプロジェクト構想をまとめ、プロジェクト発足に至ったものでございます。2024 年 3 月にプロジェクトのキックオフを行い、これまで 5 回のプロジェクト会議、1 回のクローズドワークショップを開催して、産学官所属の多様な委員が文理を超えた総合知で議論を深めていただきました。

私から申し上げるまでもございませんが、安全、安定供給、ゼロエミッションは我が国にとっても、最重要のテーマであり、官民挙げてこれに取り組んでいるところでございます。私達は未来社会に向けた持続的発展の道筋を作るという意味で、世代間責任を果たすことが求められています。

今の私達は未来の人々の立場に立って、行動しなければならないと考える次第です。本日のシンポジウムにご参加いただきました皆様方には、これを機にぜひ未来社会を工学する活動、未来志向の多様な人材の育成を一層リードしていただきたいと思います。

どうかよろしくお願いします。簡単ですが、開会にあたって、私からの挨拶とさせていただきます。

司会

どうもありがとうございました。続きまして開会挨拶 2、“新たな電力システムに向けて”と題しましてプロジェクトリーダーであります東京大学生産技術研究所特任教授の荻本和彦先生にお話をいただきたいと思います。よろしくお願いいたします。

挨拶 2 プロジェクトリーダー 荻本

それでは私の方から、もう少し説明をさせていただきます。私がプロジェクトリーダーを務める「電力プロジェクト」では、新たな電力システムへの段階的な移行を実現するという姿勢、視点、方法論についての提言の取りまとめを目的としております。

趣旨を文章で書くのは難しくはなかったのですが、電力にはあまりにも多様な技術、多様なシステム技術も含まれていることを再認識しつつあります。

今日は、技術的な知見や議論の状況など、これまでの検討状況を紹介させていただき、それに基づいて、キー技術・システム技術、それから人材の獲得と育成の二つのパネルディスカッションを行います。

どんな技術があるかは議論の全てのベースになりますが、そこから将来に向かってのキーは何かと、それを支えるのは人材であると考えます。我々の新しい電力システムへの移行には長い時間がかかるので、新しい方々に参加していただきたいという気持ちを、今回は表しているつもりでございます。

次こちらのスライドでは、左側にこれまで議論してきた分野を示しています。これまで需要と電源から始まりまして、5回の討議会をやってまいりました。

右側は、プロジェクトの体制で、執筆委員と閲読委員の二重構造になっており、執筆委員は、都度の議論において話題を提供いただくこと、それからそれが終わりましたら、そこから得られた知見をある程度提言に向けてまとめていただくというようなことをお願いしています。閲読委員は、それを読んで修正またはコメントをいただくという構造です。次のスライドは、残った後1年の分野を示しています。

後半1年では、電力システム全体、市場、解析手法など、横串を刺す分野となります。こういう分野の議論を通して何とか1年後にはそれまでの知見をまとめ、今日のこの場での議論も反映し、提言の取りまとめに向かって進んでいきたいと思っております。

本日はそのような趣旨で開催させていただきます。本日はどうぞよろしくお願いいたします。ありがとうございました。

司会

ありがとうございました。続きまして、講演の部に移らせていただきます。最初のご講演は、需要分野のキー技術とキーシステム技術と題して、お話を伺いしたいと思います。

講演 1 需要分野のキー技術とキーシステム技術

（電力需要のマネジメント）

皆さんこんにちは。需要分野のキー技術とキーシステム技術というタイトルで、需要に関して私の方からご説明させていただきます。まず、少し大きめに考えますと、電力需要のマネジメントという意味では、広く、デマンドレスポンス（DR）というような時間と空間に応じた調整があると思っています。

需要のマネジメントには、今日メインでお話する短期の DR 以外にも、長期の調整、例えば再エネが 1 週間あまり利用できない、風も吹かないという無風期間に対する調整ですとか、季節感の調整などもいずれ再エネが多くなるにつれて必要になってくるだろう。またネットワークの増強回避も、DR の一つの重要な役割になってくる可能性がある。電化に関してはこれから EV や熱の電化が進むことで調整可能な需要自体が増えてくる。これらの需要に対してはそれを供給するという面もありますが、調整に使える需要も増える可能性があるだろう。さらには、需要の立地誘導は、これから増えると言われているデータセンター・半導体工場の需要を、適地に誘導する、大きな意味での需要のマネジメントもあると思います。

（調整力の確保に向けたデマンドレスポンス）

今日お話の DR を短期と長期に分けて整理してみました。短期に関しては、 ΔkW と ΔkWh の調整に分けられ、その目的は、再エネを活用するためには需給バランスの確保と系統混雑の回避、手段としては蓄電池、EV、ヒートポンプ給湯器などがあると思います。1000 万台の EV は約 30GW の調整価値になる、1000 万台のヒートポンプ給湯器でも 10GW になるということです、これだけの調整できる能力が増える可能性があると言えるわけです。日本ではあまりやられていないのですが、空調によるピーク削減みたいな意味では、プレヒーティング、プレクーリングなどの手段もありうると思います。あとは大口の需要ということで産業用需要の調整があると思います。ただ産業の需要調整の多くは自家発電が含まれるので、今後自家発電がどういう形で残っていくのか、クリーンな調整力という意味で活用しにくくなる可能性もあると思っています。

長期の調整の方は、先ほどの無風期間や季節間の調整ということと言うと、 ΔkWh の調整が主になり、ここで一番注目されるのは水素でして、水素ができれば一番いいわけですが、水素は、自由度は高いがコストも高く、水電解装置などのコストの低下が必要ですし、一定の稼働率が見込めなければコスト高に繋がる問題があります。かつ水素には利用の課題があって、また発電に使うだけでは非常に効率が悪くなります。熱利用など発電以外の用途を確保し、さらにはそこへの配送という大きな問題があります。水素は非常に軽くエネルギー密度が低いので、配送にも多大なコストがかかる問題をクリアする必要があると思います。以上が、これが短期と長期のエネルギーマネジメントの整理です。今日は特に短期の DR の中でも（需要側リソースの活用に向けて）再エネ大量導入に伴う柔軟性向上、クリーンな調整力の確保のための短期の DR を考えたい。特に、一番まだ活用が進んでいない低圧接続の DR である EV、ヒートポンプ給湯器、定置式蓄電池を基に考えてみたいと思います。

（需要家・アグリゲータにおける DR 価値）

需要側リソースにどんな価値があるだろうかを整理してみました。もちろん需要家側に入るものですので需要家にとってメリットがなくてはならないわけで、一番は電気料金の削減になる。PV が屋根にあれば自家消費の拡大で、それは環境価値も取れるだろう。

さらに蓄電池機能があれば、レジリエンスの強化にも繋がる。さらにそのそれぞれの自分のリソースをアグリゲータ提供することによって対価を獲得できる可能性がある。これらが需要家メリットです。事業者あるいはアグリゲータ側のメリットとしては裁定取引によるスポット市場の調達費用の削減、時間前市場取引による利益追加、インバランス調整とは調整力提供による利益で、さらには小売事業者においては容量市場への容量拠出金の軽減があり、さらに系統側で需給上の制約緩和では、これはクリーンかつ安価な系統調整力の確保に繋がり、あとはその容量価値、上げ DR による再エネの抑制量の削減などのメリットがあります。ネットワーク上の制約緩和では、最近では東京電力管内の系統制約で PV 出力が抑制も起こっていますので、DR をうまく使えば潮流改善の効果に繋がり、長期的にはきちんとした上げ DR として期待できれば、系統増強の回避の効果も期待でき、より大きな経済的価値が得られることになります。

（容量市場における発動指令電源（DR 含む）活用）

DR にはいろんな使われ方はあると思うのですが、基本的にはマーケットという意味では容量市場における発動指令電源として活用されています。図は発動指令電源の応札容量です。現在、2024 年から 2028 年までの容量市場の取引が終わったところで、発動指令電源の比率は全応札容量の 3.7%まで来ました。これには、皆さんご承知だと思うのですが、先ほど述べた EV とかエコキュートなどの小さいものはなく、産業の大規模 DR が入っている分野になります。ここには自家発も含まれているのですが、容量市場の資料には実際の DR の割合はデータとして出ていません。ただ過去の資料を見ますと、容量市場が始まる前の 2023 年度向けの電源 I'の公募において DR が 220-230 万 kW ぐらいで、そのうちの自家発の比率が 24%という数字がありましたので、だから 4 分の 1 ぐらいが自家発だったとして、思ったよりも DR も多い。特に産業用大口の DR が含まれている状況だと思います。

ただこの絵を見てからわかるように、2026 年ぐらいからその応札容量は横ばい気味になっており、産業用のような高圧リソースだけだと量が限られてくる印象はあります。

（低圧リソース活用の課題）

ですので、ぜひここに低圧のリソースも加えていけないかが考えられます。ただ低圧リソースの活用の課題は、そもそも数が少ない。2023 年度の時点でエコキュート 900 万台、これ 1000 万台もう突破しましたという数字も最近出ていますが、そのぐらいで、定置式の蓄電池が 80 万台、BEV が 30 万台、PHEV が 25 万台と言われてます。特にこの EV が増えてない。この辺りでそもそも数を増やさなきゃいけない。そして、1 個ずつ数 kW と小容量ですので、費用対効果はどうしても悪いという問題があります。

リソース活用の方法としては、料金型によって自分の制御をしてもらうことで誘導するパターンと、インセンティブ型アグリゲータによる制御の両方あり、やりやすいのはこの料金型の自端制御です。しかし、自端制御では、通信費用も不要ですが、期待する調整量が得られるとは限らないですし、アグリゲータはマネタイズできないし、リアルタイム制御ができない。

かつこれを料金型で実施するためには何より柔軟な料金メニューが必要なのですけれども、国からそのメニュー作成というのを小売事業者に強要できないという問題があります。今はもう小売り事業者 700 社もあり、なかなか難しい。ただこういうことをやっていかないと、やっぱり料金型はあまり普及していかないと考えております。

難しい方のインセンティブ型は、需要を動かすだけの十分な対価が払えるかがポイントになると思います。

（日本の低圧リソース活用を取り巻く背景）

最近の日本の低圧リソース活用を取り巻く背景がこんな感じで整理できておりまして 2026 年からは低圧リソースも需給調整市場に入れるようになります。

機器の個別計量も開始されます。今までは受電点で例えば家全体の需要に関する取引しか認められてなかったのですが、新たに特例計量器を入れることで、機器別の計測値で市場に参加できるようになります。DRReady 制度の議論も、エコキュートが一段落し、今蓄電池のレベルに來ていると思います。

それ以外の環境変化としては、再エネがどんどん増加して特に九州とか西日本が多いのですが、スポット価格が 0.01 円になる時間がどんどん増えています。小売価格の上昇は、全体に上がるというよりは、例えば今まで安かった深夜電力の料金などがじわじわと上がる状況にあります。なので、今までは夜エコキュートを沸かすのが一番良かったわけですが、だんだんそうでもなくなってきつつあるということです。今、卒 FIT の電源の電気は買ってくれても 8 円から 10 円とかぐらいでしか売れないので、PV 設置世帯では自家消費を最大化するのがベストな選択肢になります。ただここに来て少し変わったことが、PV の FIT の買取価格のルールが若干変わります。家庭用の PV に関しては、これまで買い取り価格は 15 円まで下がってきたのですが、2025 年度、この 10 月からは 24 円に上げて、そのかわり従来の 10 年ではなく 4 年で短期回収するルールに今変更されることが調達価格算定委員会で決まりました。これは何故かと言うと 4 年で回収できれば、より戸建てに入ることを期待して、こういう制度が設けられました。ただ、回収期間が短くなるのはいいのですが、今夜間電力が 24 円より安いエリアは結構あるので結局それで逆転が起こり、せっかく昼間に PV 使ってほしいのに、やっぱり今まで通りエコキュート設置世帯が夜にお湯を沸かすような残念なことが起こることを心配しています。

料金メニューに関しては 700 社もいる小売の中でも、じわじわと市場連動料金メニューの提供は逡増をしていると思います。ただ、低圧の部門では、料金の変動リスクを取りたくないお客さんが多いので、あまりその受容性は高くない状況です。ちょっと時間が大丈夫でしょうか。

（需要を動かす価値はあるのか？）

次に需要を動かす価値があるのかということで、市場をうまく使っていくことが重要で、市場もいろんなレベルがあって一次調整力から、再エネの予測誤差対応の 3 次調整力②、また容量市場での容量価値、スポット市場といろいろあります。それぞれここに大体の価格を私がざっくりと出したのですが、どれか単独でマネタイズできるほどのところまではいかない

というのが難しいところで、こういった複数の価値をうまく組み合わせていることを、アグリゲータさんも考えていく必要があるだろうということです。

調整力市場や容量市場でマネタイズするにあたってのもう 1 つの重要な要件は、一定の入札の規模が必要ということです。入札単位が 1000kW なので、これを小さいリソースだけで作るのはかなり難しい。したがって大規模な DR とうまく組み合わせていかなきゃいけない。私は知らなかったのですが、系統用蓄電池との組み合わせってというのは駄目だということなので、本当はそのあたりも見直していく必要があると思います。

それかアメリカみたいに 100kW の入札単位を認めるとか、まだ制度的にやる余地があると思います。上げ DR の難しさはベースラインを決めるところだと思うのですが、ここは料金で対応するしかないかなと私は思っています。

ただ、系統混雑対応で PV 出力が大きいときに上げ DR してほしいというニーズは高くなっているので、もし今 NEDO プロジェクトで検討しているフレックス DR のようなマーケットができれば、追加的な価値が生じる可能性はあります。

（低圧リソースの活用に向けて）

繰り返しになりますが、DR には料金型とインセンティブ型があり、インセンティブ型は経済 DR からインバランス回避、需給調整市場と、様々なところでマネタイズしていくわけですが、ポイントになるのは、応答時間反応速度、継続時間、可用性、確実性です。機器点計量には特例計量器が必要で、取引や証明で用いる特定計量器に比べある程度簡略された一定の精度を持った計量器です。

（キーとなる技術、システム技術、制度）

今回のお題がキー技術、システム技術でしたので低圧リソースの活用に向けて必要なことを整理してみました。キー技術は通信機能付きの機器とセキュリティの適合性評価制度、今この J.C.STAR の対応機器であることというルールができたのですが、まだこれ製品が少ない状況のようです。

機器点計量のための特例計量器がキー技術かなと思います。さらにキーシステム技術としては、うまくシステム化して DR を導入するために、クラウドの API 制御システム、群制御のシステム、DR の制御プラットフォーム、あとは料金や CO₂ 原単位のデータベースなどの整備も必要だと思います。

あとはデータセンターを DR していく仕組みとか、技術じゃないんですけど、この分野、政策も非常に重要で、市場連動料金とか、エネルギーと需給調整の同時市場、地点別料金、そういうものを実現可能とするシステムも必要と思っています。

DR の制御方式に関しては、これまでゲートウェイ方式が主流でしたが、機器メーカー系のサーバー経由でダイレクトに制御する方式が一番経済的になるのではないかと思います。ここが今後どう伸びるかが技術的なポイントだと思います。

（Octopus Energy による DER 制御）

イギリスのオクトパスエナジーでは既にメーカークラウドと自社プラットフォームを API 連携した制御を実現していて、12 万台のデバイスも管理しているというような実績もございます。こういったものは日本でも必要と思います。

（Load Management Standards, MIDAS）

もう一つが料金のデータベースを作ることで、カリフォルニアでは MIDAS というデータベースが今整備されつつあり、州の 5 大電力会社は市場連動、ダイナミックな料金を作り、その料金を、MIDAS に登録するというルールができています。

こういったものを日本でも小売事業者は 700 社もあるぐらいですから、料金はここに登録する、その料金をシグナルにして機器制御する、そういう仕組みが必要ではないかと思います。MIDAS には、料金だけではなくて時刻別の使用と発電も登録される仕組みです。

（DC のデマンドレスポンス実証）

これはデータセンターの DR の実証の話です。こういう DR も、これからは考えていく必要がある。

（需要の柔軟性を活用するしくみを）

最後になります。これから重要なのは需要の柔軟性を活用する仕組みだと思っています。系統対策は時間がかかります。それに対して需要対策は柔軟性が高い。それは調整力になるという意味もあれば、リソース追加の時間遅れが小さいという両方の意味があります。ただ、導入時、柔軟性資源として使える機能を具備していることが必須の条件となります。調整力のクリーン化をどう進めるかは大きな問題で、それは国の政策で環境対策をどこまで考えるかということだと思います。

発電設備に全部 CCS がつけられるとか、アンモニアや水素発電で全部行くということであれば、わざわざ調整力に今日お話ししたちびっこリソースを使う必要はないのですが、もし蓄電池等を主力にするのであれば、やはり DR 含めて育成する必要があると思います。この柔軟性活用をどこまで本気で考えるか、このあたりに議論の余地があると思っています。

はい。早口でしたが、以上です。ありがとうございました。

司会

どうも非常に興味深いお話ありがとうございました。

講演 2 従来型電源分野のキー技術とキーシステム技術

司会

続きまして、従来型電源分野のキー技術とキーシステム技術とについてご講演をいただきたいと思います。

講演者 2

(カーボンニュートラルとは)

私の方からは、従来型の同期機電源、こういったものが、これから目指すべきカーボンニュートラルの社会に向けてどういった役割を担っていくのかということでお話をさせていただきます。

それで中身に入る前に、カーボンニュートラルについて私が学生向けあるいは専門家じゃない方に話をすると、皆さんは、再エネを中心とした社会をイメージしがちなと思います。すなわちカーボンニュートラルイコール RE100 みたいなイメージです。とかく専門家じゃない方が結構多いと思っておりますが、目指すべきは RE100 ではなく、やはりカーボンニュートラルの達成だと思いますので、その目的の中で従来型の電源がどんな役割を担っていくのか、特に今後徐々にカーボンニュートラルに向けて電力システムが変わっていく中で、どういった役割を担っていくべきなのかという観点でお話をさせていただきます。

(第 7 次エネ基での同期機電源@2040)

第 7 次エネルギー基本計画が出て、その中でいわゆる同期機電源に関する内容の説明がこちらのスライドです。火力発電について重要なポイントは、kW を維持しつつ、kWh を減らすという話になっています。発電電力量では 3 割から 4 割ぐらいまで減らすというようなことが 2040 年断面で目標にされています。

この kW を維持するというのが一つキーワードであると思っています。その中のポートフォリオとしては、非効率な石炭火力はフェードアウトを目指していくことと、LNG については脱炭素化に向けたトランジションの過程における一定期間は重要な役割を担っていくポジションであると整理されています。

燃料の脱炭素化ということで、アンモニアの活用あるいはカーボンキャプチャーも使っていくことが言われています。

また、水力発電につきましては大規模な新規の開発は条件的に難しいため 8~10%程度と想定されています。ただし大きな水力については建設からかなり年数の経つものもあるため、そういった老朽化設備をどのようにリプレースし維持していくのが問題になると思っています。中小規模の水力についても期待が集まっています。

揚水についても、老朽化設備をどう維持していくのか、これは揚水運転と発電運転でエネルギーストレージになるわけですから、系統の安定化並びに効率的な運用の両面で必要であるため、これをどう今後維持していくのがポイントになると思います。

原子力発電につきましても、社会的な嫌悪感も大きいと思いますが、安全を優先しつつ今後も使っていくと整理されていることが皆様ご承知のとおりです。

（同期機電源に求められる役割）

いわゆる RE100 にせずに、こうした同期機を使ういわゆる在来型の電源を今後も使っていかなければいけないのかという理由は、多くの方がイメージされる通り、安定した供給力を提供という点が何より大きいと思います。

一つは出力が制御できるということで、太陽光や風力のような自然変動電源とは異なり、その出力を需要に合わせて発電していくことができることが非常に大きなポイント、アドバンテージになりますので、こういった電源をちゃんと今後も使っていくということが、システムの安定性を保つ意味で非常に重要と言えるのではないかと思います。

また、化石燃料ではありますが、燃料が貯蔵できるということで、ある程度の kWh を国内に確保しておくことができる。いろんな燃料を海外から輸入してくることになるため、中長期的な意味で安定化は地政リスクも含めて考えなければいけないところではありますが、既に国内に持ってきた分については、ある程度 kWh のバッファーとして機能するという意味で、様々な地政学的なリスクに起因する、価格変動等のリスクをある程度吸収できる側面があると思っています。

また、出力の制御と関係しますが、いわゆる調整力、電力系統の中の需要と供給のバランスを取る能力にも、これまで主力として寄与してきた経緯があります。特に、出力を上げる方も減らす方も、両方とも対応できることで、自然変動電源は最大電力で発電しておいてそれを下げることはできるけれども、本来発電できる能力以上に発電することはできないわけですから、通常は片側ということになります。

一定程度出力を下げておいて上げ代を用意しておくやり方もできますが、その場合はせっかく入れた設備の利用率が下がることから実際の運用は難しいと考えられますので、そういうところを補う形でこの同期機電源さらに必要になってくると思っています。

またこうした調整力には、高速に動けるかという条件があり、既設の電源では既に持っている能力になっていて、この調整力を供出するためには電源自体を何かグレードアップすることは特に必要ないことから、少ない追加費用でこの調整力を供出できるリソースであることを認識する必要があるかと思っています。

あと、最近特に注目が集まっているシステムストレングスという話がございます。すなわち、電力系統の安定性を担保する能力のことで、これには様々なメトリックス（指標）があって、そこに同期機がどのように寄与しているかを考える必要があります。

同期機によりストレングスの供出が求められる点は、一つは物理的に保有している慣性力ということで、その同期機自体が回っていることでそこにエネルギーが溜まっており、それによって系統の中で生じた擾乱による変動を吸収することができるという話、並びに電圧の維持能力の話、この 2 点です。

これらは他のリソースに比べて同期機としては優れている特徴です。これらの特性を定量的に把握するとともにその他リソースと組み合わせて、ベストミックスの議論で考慮していくことが、将来の電力システムのビジョンを定める上では非常に重要になると考えています。

（火力電源の稼働率低下）

こちらは私が作った資料ではなくて引用してきた資料ですが、火力電源の置かれている状況です。ちょっと古い資料ですが、横軸が1年の中の日で、縦軸が各日で火力がどれぐらい発電したかを表しており、さらにその発電量の多い順に並べた「デューションカーブ」になっています。ご覧いただくポイントは、この左端の最大発電電力量、ここで言う最大値、はあまり変わっていないことです。黄色の線は2016年、オレンジ色は2022年、6年後を表しています。状況の変化によって、このカーブは下側に推移していることから、火力発電の発電電力量が減ってきていることがわかるわけですが、左端の最大値は変わっていない点で、再エネが不調な日では、火力が補わなければいけないことを意味します。冒頭の「kWを維持しつつ」というところは、まさにここに関係すると思っています。

他方、カーブ自体が下がっていることから、火力発電、火力発電の設備単位で見るとその稼働率が下がっているため、「kWを維持するためには」そこで生じる経済性の低下をどうカバーしていくのかを考えなければいけないということです。

これも私の資料ではなく引用した資料ですが、横軸年に対しまして、燃料種別の火力電源の稼働率を示しています。右下がりの傾向にあることから、前のページの議論と同様、電源の稼働率が下がることによって生じる経済性の低下をどのようにカバーしていくかを考えなければならぬと捉えています。

また、火力発電の運転台数が減っていくということは、採算性を担保することを考えなければならぬということです。いわゆる固定費をどう回収するか、あるいは発電機の起動停止の回数が増えるのであれば、それに伴う費用の増分も考えなければいけないということで、こういった採算性の低下をどのようにカバーしていくか考えなければいけないという点です。

（火力電源の稼働率低下：ストレングス供出点の偏在化）

もう一つは、同期機は、いわゆるストレングスの供出を支えるポイントになっているという話を先ほどしましたが、そういった同期機の台数が減っていくことによって、系統として持っているべきストレングスが担保できるのかということや、さらに並列して動いている同期機の場所がまばらになってきて、系統の中でスカスカになってくるとやはり地点と紐づいて評価されるストレングスは地点により問題が出てくだろうと考えます。ここでIBRとはインバータ電源、このあたりの話はこの後、講演4においても話があると思いますが、インバータからどのようにこのストレングスを供出できるかと連携した形で進めていくことが必要だと思います。あるいは、上で述べた経済性の低下に対して、ストレングスの供出に寄与している同期機電源に対してどういう形で経済性の低下をカバーするのか、何か市場メカニズムを新たに入れるのかといった議論も今後必要になるかもしれません。

（火力電源の稼働率低下：部分負荷運転）

最後の論点です。同期機電源はいわゆる部分負荷で運転することがこれまで以上に増えてくることが想像されます。すなわち、先ほどは調整力で上げ代という話がありましたけれども、出力を増やすことができるようにしておくためには、常時その分定格よりも低いところで運転しておかなければいけない。このとき、これまでは定格で運転することを想定してそこに最大の発電効率点に来るようプラントの設計をされてきたのが、部分負荷で動かすことが多くなり、そこに最適な効率点を持ってくる設計思想が多分必要になると思っています。

例えば、50 万 kW の発電機が、50 万 kW で動くことがほぼなくて 40 万 kW とか 30 万 kW で動くことが多くなれば、そこに最適な効率を持ってくるプラント設計をしないと、せっかくのリソースを非効率な形で使うことになると思います。そのため、リプレース等のタイミングに応じてそういった新たな設計思想で電源を組むこともあわせて考える必要があると思っています。

（火力電源の調整力）

先ほどの話とかぶりますが、上げ調整力の話です。これを担保するためには部分負荷運転が必要になることで前のページの話と絡んでまいります。下げの方につきましては、これ最低出力を十分に引き下げられるようにすることが必要で、運転できる範囲を今までよりも広く取れるようにすることが調整力として使える幅を広げるということになり、これは非常に重要な観点だと思っています。

また出力応答そのものの高速化もあわせて検討していく必要があるだろうと。今まで 3 台で供出していた調整力を 2 台で供出することになると、1 台あたりは 1.5 倍のスピードにも耐えられる形でアップグレードすることも検討しなければならないと考えています。

（長期的な対応の必要性）

やはりこの同期機電源につきましては、建設のリードタイムが長く、また寿命も長いということもあるため、非常にロングレンジでどのようなポートフォリオを組んでいくか考えなければいけない。他方、世界、社会の動きは非常に早いですし、再エネと競争しているわけではないですが、再エネ電源などは比較的リードタイムが短く、これ、ものすごいスピードで増やすことができ、1 基当たりのユニット容量も小さいということもあり増やしやすいという側面があります。ロングレンジで考えなければいけないものと、比較的早い瞬発力を持って構築できる可能性のある再生可能エネルギーをどのように組み合わせていくかについては、二つのタイムレンジを一緒にポートフォリオを考えてなければいけない。

そのときには、単純にそのタイムレンジの違いだけではなくて、本日これまでに説明してきた火力機ならではの特徴も踏まえながら、包括的に元のポートフォリオを今後考えたい、考えていかなければいけないですし、いかに kW を確保しながら kWh の依存度を減らすのかということ、システム技術として我々考えていかなければいけないポイントだと思っています。

以上でございます。本日はどうもありがとうございました。

講演 3 再エネ電源分野のキー技術とキーシステム技術

司会

今従来型の電源技術ということでお話をいただきましたが、次は再エネ電源分野のキー技術とキーシステム技術ということで、お願いいたします。

講演者 3

今回再エネ電源分野について、特に陸上風力の分野におけるキー技術とキーシステム技術について発表いたします。

今回は、再エネ発電コストの低減、VRE（変動性再生可能エネルギー）を前提とした電力システム、技術開発における国産化率の3点について発表したいと思います。まず1点目の再エネ発電コストの低減に関してです。

（再エネ発電コストの低減）

再エネ発電コストの低減に関する説明です。この図は陸上風力発電のLCOEの推移を示しております。赤の線が日本で、それ以外のグレーあるいは黒の線は他の国を表しています。

LCOEが年々下がっている傾向はどの国も一緒ですが、日本を見てもみると（LCOEが）結構高いところに留まっていることが分かります。設備費の低減が今後必要になることが示唆されています。

（設備費の低減：長翼機や大型機の採用） pp.4-5

先ほどはLCOEの推移でしたけれども、こちらは風力発電の単機容量（MW）の推移を表しており、図では抜けておりますが、2010年から2023年の変化を表しています。横軸は定格出力で、風力発電機は大体このぐらいの大きさ（数MW）です。縦軸は風力発電のローターの直径（m）を表しています。

色は先ほどと同じで、赤色の線が日本で、グレーの線が他の国です。日本は（風力発電機の定格出力や直径が）小さい方に入ってしまっています。今後の技術としては、青枠で囲んでいる他の国と同じぐらい翼の長い機種の採用や、緑枠で囲んでいる海外ではプロトタイプが出来上がっているさらに大容量の機種の採用が、考えられます。

長翼化について説明しましたが、日本はご存知の通り非常に山が多い国のため、大きいだけでは駄目で、輸送技術や工事技術の工夫が必要になります。具体的にはここに挙げているように、分割を前提とした設計、タワーあるいは発電機を分割して運べるようにした設計、大型の自走式クレーンがなくても工事できるようにするタワークレーン、写真（投影のみ）で写しているように、ブレードを寝かせて運ぶのではなくブレードを立てた状態で運ぶことによって、山岳地であっ

ても木にぶつけずに山頂まで持っていけるようにする工夫があり、そういった工事や輸送の技術を合わせて進化させていく必要があるのを示しております。

（O&M 費の低減：リモート点検(遠隔監視)・省人化・無人化） p.6

発電コストに関しては設備費だけではなくて保守点検の費用も重要です。現在、リモート点検、省人化・無人化による保守点検などのコストの削減も行われています。ドローンを使った点検、ひずみセンサーやローカル 5G を使ったモニタリング、SCADA（監視制御とデータ収集システム）を使ったデータ分析や予兆診断も行われています。

写真（投影のみ）で写しているのはドローンを使ったメンテナンスの様子で、左側はドローンを使ったブレードやタワーを見えています。右側はタワーの溶接部分を映しています。これらによって高所に行かず効率よく作業できることを示しています。

（VRE を前提とした電力システム）

（IEA は VRE が電力システム運用パターンに与える影響を 6 段階に分類） p.7

続きまして、IEA が公表している「Renewables」から取ってきた図です。VRE が電力システム運用パターンに与える影響を 6 段階で示しています。左上から順番に 1、2、3、4、5、6 とあり、フェーズ 1 の一番左上では本来需要と NET 需要が同じで、この状態では再エネは電力システムに対してほとんど影響がない。PV・風力の導入の増加とともにこの元需要と NET 需要が離れていって、フェーズ 3 の段階になっていわゆるダックカーが見えてくると。昼間から夕方にかけて太陽光発電の出力の低下に伴い急激に供給が必要になるといった急峻なカーブが見えてくる。さらに左下のフェーズ 4 では、先ほど説明したデュレーションカーブで描かれており、縦軸の需要に対する再エネのシェアが 100%をこえているように、需要のほぼ全てを賄う時間帯が現れてくる段階です。フェーズ 6 は年間を通じて結構な量の出力抑制が必要になる最終形態で、この再エネと蓄電池と後で出てくるディスパッチャブル（負荷配分可能）な電源と組み合わせ、安定な供給を実現する段階です。

（VRE 増に伴い、電力システム運用に与える影響が大きくなりつつある） p.8

この図は、横軸に 6 つのフェーズ、縦軸に各国の VRE のシェアを取ったものです。横軸は、（p.7 のとおり）再エネが電力システムに与える影響を表しています。各国の 2023 年から 2030 年の予測で、どの国もフェーズは上がることが描かれています。日本の位置はこれまた外れていて、右側の黄線で、赤枠で強調しています。日本は PV の比率が他の国よりも多く、再エネのシェアの割にフェーズが高い、すなわち電力システムに与える影響が大きい状況になっています。

（グリッドコード：新規に系統に接続される電源が遵守すべき技術要件） p.9

日本では再エネが電力システムに与える影響が大きい中で、現在、国の委員会で議論されている制度がグリッドコードです。グリッドコードとは、新規に系統に接続される電源が遵守すべき技術要件という定義で、2030 年を待たずに要件化するフェーズ 2'、2030 年前後に要件化するフェーズ 3、継続的に議論をしていくフェーズ 4 が議論されています。

（グリッドコード：制定された後も、定量評価を通じた検証に期待） p.10

このグリッドコードに関して、左側が風力発電に関するグリッドコードの一例です。これは、出力の変化速度の上限を示したグリッドコードで、5 分で 10%以内を規定しています。風力発電機はこのための機能は既に具備されていますがそれを適用しようとする議論がされておりました。現在はグリッドコードを新規に制定する議論がありますが、制定された後もデータ分析を通じて定量評価をして検証していくことも今後議論頂けたらよいと考えています。スライドの右側の箇条書きは、OCCTO のグリッドコード検討会の委員の先生方からのご指摘で、例えば大型化を考慮したデータ収集や定量評価、広域慣らし効果、複数箇所の再生可能エネルギーは変動が相殺しあう慣らし効果があり、それぞれの連系点ではなく広域の合計で出力変化速度を守れるか、などの切り口を指摘いただいています。こういった指摘をもし解消できるのであれば、既存のグリッドコードも見直していく、そういった、データを通じて検証する仕組みも、今後あるべきと考えています。

（実需給までの時間に対して、起動可能電源と予測誤差はトレードオフ） p.11

話は変わりまして、需給調整力の必要量について、この図は実需給までの時間を横軸にとり、起動可能電源と予測誤差を表したものです。緑色の線が予測精度、オレンジ色の線が起動可能電源の割合で、（スライドの）右に行って実需給に近づくにつれて、気象予報の精度が上がり、起動可能電源の割合が減少することが示されています。

（需給調整力の必要量削減：気象予報の不確実性を考慮） p.12

この需給調整力の必要量を削減する観点があります。スライドの上側は、需給調整力の必要量を削減する観点では、気象予測や気象予報の不確実性を考慮しつつ需給調整力の必要量を計算することが重要になることを示しています。この図は、アンサンブル予報と言われる、初期値に揺らぎを与えて複数の気象の予測データを作成しそれを統計処理して予測の信頼度を評価する様子を示しています。さらに、この信頼度に基づいて需給調整力の必要量を算出することで、（需給調整市場の商品のうち）三次調整力②の予測誤差に対応した調達量を低減する取り組みを表しています。

スライドの下側は、気象予報の高精度化による需給調整力の必要量の低減を図ることを示しています。電気学会などでも時折発表ありますが、例えば衛星画像や IoT デバイスを使って、気象予報の精度を上げるものが発表されています。

（需給調整力の必要量削減：供給と需要を合わせる動機付け） p.13

別の切り口での需給調整力の必要量削減として、供給と需要を合わせる動機付けができれば、需給調整力の必要量を低減できる可能性があると考えています。

スライド上側の供給側では、現在のフィードインプレミアム（FIP）制度では、（特に昼の）出力制御により市場価格が 0.01 円になった時間コマでは、プレミアムがもらえずに他のコマにプレミアムが配分されます。このため昼に充電して昼以外で放電する蓄電池が注目されています。

スライド下側の箇条書きでは、供給と需要を合わせる仕組みで、例えば供給と需要の時間帯ごとに CO₂ 排出量を可視化することで、供給と需要の時間帯を変えればそれだけでも CO₂ 削減できることが分かり行動変容を促す効果があります。

また、大手 IT 企業の取り組みとして、1 時間ごとにゼロカーボン電力で 100%供給する、24/7 カーボンフリーエナジーが挙げられます。こういった供給と情報を合わせた動機づけにより、需給調整力の必要量を低減できると考えています。

（再エネの需給調整力を活用できる市場設計へ） p.14

これまで既存の取り組みを挙げてきましたが、現在議論されているのが市場制度を変えて、再エネの需給調整力を活用する考え方です。現在の需給調整市場では、再エネの調整力と相性の悪い設計になっています。需給調整市場には調整力 ΔkW と調整力 kWh 市場があります。前者の ΔkW 市場に関しては下げ Δ 市場は非対象であり、また、調整力 kWh 市場に関しては、別の契約の枠組みで下げ kWh を確保できるので、再エネが対応する必要はない、などの議論がありました。

スライドの下段は同時市場に関する議論の概念図です。100 の需要に対して、50 ずつ出せる電源が 4 つ（A～D）あるとき、単価が安い電源（A と B）が落札する。そのときの上げ 25 と下げ 25 の調整力を担う電源に関して、単価が安く発電している A と B のうち単価が安い方の A が下げ ΔkW 、発電していない C と D のうち単価が安い C が上げ ΔkW を供給する、というイラストが描かれています。注目すべき点は、 ΔkW を担う電源が A と C で異なることです。もしこの市場設計が可能であれば、再エネが下げ ΔkW を担う取引ができることになると期待しています。

（技術開発にかかる国産化率）

（直近で採用された風力発電機は全て輸入品） p.15

論点三つ目の国産化率について説明します。円グラフは、日本で昨年に導入された陸上風力の新規導入量のシェアを表しています。シーメンス、GE、Vestas、Enercon の欧米のメーカーと、中国の Gold Wind です。重要なのは、この直近で採用されている風力発電機は全て輸入品であることです。

（国内メーカーも存在するが、現状は小規模の機種のみ） p.16

国内メーカーに関しては、各社のホームページ上で調べました。国内でも風力発電機を作ろうとしているメーカーがありますが、各社が開発している発電出力は、現在国内で平均的に使われている発電出力が 3MW～4 MW に対し、開発中のものですら 1MW～2MW であり、小容量の機種が開発されていることがわかります。これが現在の風力発電機の国内生産の現状です。

（規模に応じた取組が必要） p.17

こうした中で今後どんな取り組みが必要かをまとめました。スライド上側は大型の 3MW から 4 MW と現在商用で使われている機種、スライド下側は小容量の機種に対する取り組みです。スライド上側の大型の機種では、特に海外のメーカーに向けて、魅力的な市場規模を示すことが必要です。日本は非常に風が強く、地震あるいは雷などの特殊事情があるため、日本向けに改造している状況ですので、魅力的な市場規模を示して海外のメーカーを誘っていくことが重要です。国内メーカーに関して、基幹部品や施工方法を開発することが挙げられます。さらにトップダウン的に、入札や補助金の場合は現地調達計画を提出させる取り組みも挙げられます。

スライド下側の小容量の機種に関しては、欧米のメーカーは既に作っていないので、国内のメーカーに期待したいと考えています。

（海外メーカーを誘引するためには、魅力的な市場規模を示す必要あり） p.18

前スライドで、魅力的な市場規模を示すと言いました。見ていただきたいのは右側の円グラフで、2024 年時点の風力の地域別の設備容量を示したグラフです。（シェアの大きい順に）アジア、ヨーロッパ、アメリカと続きますが、日本は（アジアのうち）赤色で示している 0.5%と非常に小さなシェアであることが分かります。

このシェアのためだけに（海外メーカーが）風力発電機をわざわざ改造するのは難しい状況になっているので、そういった意味でも海外のメーカーを引き寄せるためには、大きな市場規模を示すことが必要と考えています。

以上で終了いたします。ご清聴ありがとうございました。

司会

ありがとうございました。再エネ電源分野のキー技術ときシステム技術についてご講演いただきました。

講演 4 パワーエレクトロニクス分野のキー技術とキーシステム技術

司会

続きまして、パワーエレクトロニクス分野のキー技術とキーシステム技術についてご講演いただきます。

講演者 4

（本発表での対象）

私からはパワーエレクトロニクス技術のキー技術とキーシステム技術というタイトルでお話させていただきます。パワーエレクトロニクスという言葉自身は非常に広い範囲の技術分野を示す言葉で、今回のメインの話は、俗に言うインバータ半導体電力変換装置として、交流系統と連系する電圧型の自励式変換器についてお話しします。

インバータの中身まで知っている方はあまり多くないかもしれませんので、簡単に説明します。電圧型の電力自励式変換器は、直流側に電圧源があり、電圧源は電池みたいなもので、それに対してスイッチを使って、上をつけたり下をつけたりする装置になっています。そのスイッチに半導体を使い、高速にスイッチを入り切りすることで、半導体電力変換装置は動作します。今我々が使っている交流系統と連系するときには、直流側が直流の電圧源なのに対して、交流系統の方も電圧源であることが問題です。インバータの交流側と交流の電圧は一般的には同じではないため、急速に大きな電流が流れないように途中にリアクトルが入っています。等価回路で書くと、右側が系統で左側が電力変換器で、それをリアクトルで繋いでいる構成になります。

そうすると、こういったところに技術的な課題があるのかというと、まずスイッチの部分、このスイッチがいいものがあるのかないのか、それから、回路の中でスイッチをどこに入れるかという回路トポロジーの問題、そしてスイッチをどう効率的に入り切りするのかという制御の問題、大まかに分けて三つの技術要素が入っています。

（分野イメージ 太陽光発電）

こういった電力変換器が使われているのは、先ほど来いろいろ話が出ております再生可能エネルギー電源で多く非常に使われています。特に太陽光発電ですとか風力発電で使われていますし、将来的にはバイナリー発電などそのようなところでも使われます。

また、蓄電池や EV チャージャーなどのエネルギー貯蔵デバイスにも使われていますし、自励式の変換回路が使われるのはあまり多くないのですが、需要側の整流回路などにパワエレ機器が使われています。さらに送電分野では、直流送電ですとか周波数変換所、無効電力補償などに使われており、これから新たな電力系統を築いていくところには全てこの

技術が入ってきています。講演 2 の中でも「IBR が増えて同期機が減っている」というお話がありましたが、そういう状況も分かっていただけだと思います。

（求められる姿、期待される役割）

系統に連系されるインバータに求められる姿、期待される役割について考えます。一つの考え方としては全く新しい電力システムを作り、IBR 機器に適したものにすることもあるかもしれませんが、しかし、実際にはそんなことはなかなか難しく、同期発電機がメインの電力系統から徐々にトランジション、遷移をしていくことであり、どう遷移していくかという、同期発電機が有している系統運用の安定化に資する能力や機能を、パワエレでも具現化していく必要があると思います。

一方で、こういった機能を有するために、あまりにも価格が上がってしまうとなかなか普及もしないので、どうやって低廉なシステムを作っていくのか、これも大きく期待されている部分だと思っています。

（キー技術）

そういった中でキー技術とは、先ほど概略のところでお話した、スイッチング半導体、その配置、その制御という分野になります。まずデバイスとしては大容量化、低損失化、高速化が目指す姿です。そのための手段の一つはデバイスの構造の改良で、これは我が国が得意な分野であり、IGCT ですか IEGT などが出てきていますし、MOSFET については Cool MOS などの構造が考案されて実用化に至っています。

一方デバイスの構造の改造だけでなく、材質の方も非常に大きな変革のときを迎えていて、シリコンカーバイド(SiC)も最近是非常によく使われていて、その辺を走っている電車のインバータも使っていますし、それからガリウムナイトライド(GaN)これも結構使われており、小型の直流電源に使われています。将来は、酸化ガリウムやダイヤモンドデバイスなども期待されており、鋭意研究開発が進んでいる状況です。

またスイッチについては、単に電気信号を加えて入り切りすればいいわけではなく、このゲートドライバーと書いてあるスイッチを入り切りの仕方の工夫も重要で、アクティブゲートドライブなどの技術もいろいろ考案されています。また、大容量化に向けては、一つのデバイスを大きくすることではなくて、直並列接続が昔からよく使われていて、最近はあるようなモジュラーマルチレベルセル(MMC)が主流になってきて、ある程度の容量にするためセルを縦に横に積んでいく技術も使われるようになってきたところですよ。

このように開発が進んでいるわけですが、さらにどんないいものが出てくるのも期待したいと思います。

（キーシステム技術）

システム技術としては、スイッチを役に立たせるための制御というところで重要となるのが、まず一つ目が系統の周波数と位相の検知です。

電力系統と連系する場合を考えます。大きなシステムに小さい設備が接続されている場合、小さい方が頑張っても大きなシステムに影響を与えることはありません。系統の状況に合わせて出力を変えるために、相手方の状態を検知するのは非常に重要な技術になります。

また、系統の方に大きな外乱があったときにも適切に動くことが最近求められ、フォールト ライド スルー (Fault Ride-through) と呼ばれます。また講演 2 の中でもありました慣性力もあります。それらの解決策として、最近ですとグリッド フォーミングコンバーターの研究、またそうでなくても、安定化に資するような制御が検討されています。また、安全に使うための保護保安系の分野にもキーシステム技術があります。このような中で、ある技術を導入するときにどんな効果があるのか、もしくはどんな影響が出るのかということを考えると、機器のモデル化とシミュレーションの手法をこれからどんどん開発をしていく必要があると思います。パワーエレクトロニクス技術を使っている電源は同期機技術を使うものと比べて小規模でそれが多数入ってきたときに、それをどうモデル化してシミュレーションして評価するかが重要です。力づくで小容量の変換器をシミュレーション・シミュレーターの中に入れて計算することもあるのかもしれませんが。しかし最近計算機のリソースが良くなっているとは言え、従来に比べて大変なことだと思います。そういう状況でそのシミュレーションを評価していくことも非常に大きな課題であると考えています。

(従来の IBR-Inverter Based Resources の出力制御)

それで従来の IBR の制御を少し振り返ってみます。今までのインバータは系統側が強固な電圧源、すなわちインバータ側がどんなに出力を変化させても相手方はびくともしないという前提で作られている状況です。今でも大多数の系統連系インバータは、この考え方にに基づき制御されています。この場合相手方が電圧源なので自分の電圧を変えるのですが、電圧そのものを制御するのではなく、どちらかというと連系しているリアクトルに流れる電流を制御する。例えば電力を考えると電圧×電流、さらには交流の場合力率があるので、電圧を変えられないときは電流を変える、そういった意味で電流制御をすることであたかも電流源のように見せかける制御になっています。

(一般的な GFL 制御系)

実際の実現としては、あまりにも細かいので専門家でなければ興味のないところかと思いますが、少し複雑な制御系が使われることが多いです。しかし、いずれにしても、三相交流側の電圧を計測して、それで周波数と位相を検知して制御することが多く使われ、指令値通りの電流が通電するように、フィードフォワード制御とフィードバック制御が行われるのが一般的な制御系になっています。図を見るとわかる通り、積分項とかが入ってきて次数の高い制御になっていて、下手なことをやると不安定化してしまいます。本当はさらに先にフィルターが入っていて、そのフィルター部分まで含めたマルチループ系が使われることがあり、結構動作が複雑だと言われています。

(Phase Locked Loop)

さらには、電圧の振幅はいいとして周波数を検知するためにフェーズ ロックド ループ (PLL) 技術が使われていて、これにもいろんな方式があって、単相でよく使われるレシプロカル方式、三相でよく使われる d-q 変換を使う方式がありま

す。これらの応答の動的な特性を実際にはよく考える必要があります。例えば、d-q 変換使う方式はフィードバック系が入る方式で、応答を早くするためにゲインを高めると不安定になりやすい特性です。

（SCR が小さい系統でのシミュレーション例）

これはうちの学生さんにシミュレーションしてもらった結果ですが、一機無限大系で非常にリアクトル成分が大きい場合で、わかりにくい図ですが不安定な状況が再現されていることがわかっていただけたと思います。これは、PLL のゲインを大きくしたり小さくしたりして、PLL のゲインが大きい場合、例えばこの赤のところ、パワーを変化させたときに、それに追従するのですが、その後発振してしまう。これは自分が出した電流で電圧の位相が変わり、それを過敏に検知しておかしくなる。それからゲインを小さくすると今度は追従できなくてよくわからない出力が出てくるというようなことです。特に同期機が減る、あるいは同期機から非常に遠いところだと PLL のゲインの調整だけでも結構難しくなる可能性があります。実はパワエレ機器も安定に動かすことが難しくなる可能性もあるということです。

（GFM と期待される機能）

そういった中で先ほど申し上げたグリッドフォーミング（GFM）コンバーター技術の導入が考えられ、現在 NEDO プロジェクトや世界的にもいろいろな研究が進められています。GFM については確たる定義はない状況ですが、先ほど電流源的に普通のインバータは動くと説明しましたが、GFM は交流の電圧源的に動く方式です。

そうすることによって同期機が有している機能をパワエレ機器にも具備させることができると期待されています。我が国では慣性に注目が集まっていますが、実はそれ以外の同期機の機能がいろいろあることは分かっている、そのため GFM をどううまく導入していくのかが一つの課題かと思います。一方、こういったパワエレ機器が系統にたくさん導入されてきたときに本当に大丈夫なのかということが課題です。一つはパワエレ機器がたくさん入ってきた状況で、何か事故が起こり連鎖的にパワエレ機器が脱落することが懸念されています。

（OCCTO の慣性に関する検討、RoCoF 検証）

このような懸念のもと、OCCTO（電力広域的運営推進機関）でいろいろな議論がなされています。メーカーの方から非常に異論があると言われたのですが、この OCCTO の議論は主として RoCoF（Rate of Change of frequency）に着目して連鎖脱落の可能性を検討しています。ただ、RoCoF という周波数変化率に着目する理由は、日本では使われていませんが、ヨーロッパでは RoCoF リレーがあり、系統の周波数の低下率がある値を超えると発電機などを解列します。日本ではそのリレーが使われておらず、どちらかというと周波数が大きく変動することによって内部の位相外れて同期外れか何かが起こり、それに起因する異常検知による脱落の可能性が否定できないという理由で、RoCoF や周波数の変化の議論が進んでいる状況です。

ただ、本当にそれでいいのかについてはよく分からないところがありますが、今のところまだ検討が進みきっていないため、例えば実効値の計算に基づき慣性の感度係数を使って系統の慣性を算出しているということですが、ここは私自身まだまだ検討の余地ある分野だと思っています。

（SCR が小さい系統でのシミュレーション例）

ちなみに先ほどのシミュレーションで生じた発振現象が、GFM があることで従来型の変換器の安定に動かすことができます。結局、慣性ということではなく、そういった意味で電力系統の短絡容量の小さいところで、従来型の変換器を安定に動かす効果もあるかもしれないということもあって、GFM でいろいろ面白いことができるのではないかと思います。

（IBR 制御に起因する安定性の課題）

その他、パワーエレクトロニクス機器が系統に入ってきたときに本当に大丈夫なのかという話はいろいろあります。例えば少し前に、これ IEEE の PES のタスクフォースによって電力系統の安定性が再度整理され、その中で Converter Driven Stability（コンバータ駆動安定性）が追加されました。これは系統の制御系とそれから系統の間相互干渉です。

Converter Driven Stability には、Sub Synchronous Oscillation（SSO）、Sub Synchronous Control Interaction（SSCI）、Flicker とか、いろいろありますが、それらはもう実際に世界的に起こっていて、それをどう対処していくのかは大きな課題だと思います。

（FRT 要件、分散電源一斉脱落の懸念、インバータ離脱条件）

それから、先ほど申し上げた通り、事故が起こっても今までだったらインバータの接続の合計の容量が小さく、ただ切れてくれればいいという話が、インバータ接続容量が大きくなった場合、事故が起こって大量にパワーエレクトロニクス機器が切れれば電源がなくなってしまいそれは困るということで、事故が起こっても、ちゃんと残って継続運転してくれる FRP 要件が必要となり、その検討が行われています。

（保護関係の課題、能動的単独運転検出手法に起因する電圧フリッカ）

その他、いろいろな保護関係の課題もあり、急速に普及が進んでいるインバータには多くの課題があると考えます。

（シミュレーション技術・モデル化）

時間がなくなってきました。最後にシミュレーション技術について、言及させていただきます。全ての現象を瞬時値シミュレーションで解析すべきか、すなわち非常に細かい時間刻みのシミュレーションコードを書いて実施すべきかについては、現状では困難も多いと考え、これからの議論が期待されます。

瞬時値解析はもちろんそれができれば一番いいと思いますが、パラメータとかそれから制御系も含めて正しいモデルの作成が本当に可能なのかは大きな課題です。そういった状況で、縮約などを通して危険な状況を適切に把握する技術は非常に重要になります。本来は図に示す必要十分な条件に持っていきたいのですが、今のところは安全性を考えて十

分すぎる安定な条件で運用していく。でもそれをなるべくこの黄色い十分安定な条件を赤の必要条件に近づけていく継続的な改善が必要だと思います。

（まとめ）

最後のまとめです。回転機が持っていた機能により強固に構築された系統から IBR が主体となる系統の移行が進展しており、回転系が有していた機能をいかに効率よく具現化するか、安定運用をいかに確保するのが課題だと思います。

あと人材育成という意味では、系統もわかるパワエレ技術者、もしくはパワエレもわかる系統の技術者、こういう技術者の育成がこれから非常に重要になると思います。現状ではこういった点は弱いと思っており、今後どうしていくのか、私も教育機関にいる者として考えていきたいと思っています。

以上で私からの講演を終わりにしたいと思います。どうもありがとうございました。

司会

非常に幅広いお話をいただきまして誠にありがとうございました。

講演 5 送配電分野のキー技術とキーシステム技術

司会

続きまして、送配電分野のキー技術とキーシステム技術ということで、ご講演をいただきたいと思います。

講演者 5

ありがとうございます。送配電分野のキー技術とキーシステム技術というタイトルで報告させていただきます。本日の講演内容はここに示すような内容で行います。

（送配電分野の起こりつつある変化）

送配電分野の変化についてまずこのスライドに示しております。左側が従来の送配電分野で、右側が変化後の送配電分野を表しています。例えば、従来は少数の大型電源で電力を供給していましたが、変化後は太陽光発電など、多数の分散型電源で電力を供給する形にシフトしていると思います。

また、大型電源は、講演 2 や講演 4 でもお話がありましたように、同期発電機だったのに対し、自然変動電源はインバータ電源になり、同期化力や慣性力が減少しつつあります。一方、需要は制御できないことが一般的だったのですが、先ほど講演 1 でもありましたように、デマンドレスポンスなど、制御できる需要が増えつつあります。

需給についても地域ごとで一致させていたものが、全国で一致するように市場で配分したり、蓄電池を活用したり、送電線に混雑が発生したりと、大きな変化を遂げている最中であると思います。

（変化により生じる課題）

（送電系統）

送配電分野の変化に伴う課題をいくつか述べたいと思います。まず太陽光発電について、この図は横軸が時間、縦軸が電力です。赤い線が需要を表し、昼間に太陽光がたくさん発電している絵になっています。結果として発電が需要を上回る時間がたくさん出てきて、このような場合は火力発電の出力を絞ったりあるいは停止させたり、揚水発電のポンプアップを活用したりという、電源による調整の活用が必要となります。

また、全国大の市場を介して余剰電力を有効活用することもできます。その場合は他のエリアに供給できる電力を送ることになりますが、発電電力の方向が一方向ではなくなるため送電線の混雑が発生する場合があります。

右の図は、余剰電力を他の需要地へ供給することで送電容量を超過するケースが現れることを示しています。火力の出力制限だけでは対応できない場合は、太陽光の出力制限も必要となり、近年は再給電方式で同量の下げ指令、上げ指令を行うことで混雑を解消する運用が実施されていると思います。

（配電網での再エネ電源の導入可能量）

配電網での再エネ電源の導入可能量も問題となります。検討例として実配電線データに基づく CREST126 配電線モデルを用いて、導入可能な太陽光発電の量を、PV 導入率を変えて、24 時間分の潮流計算で求めました。

電圧や電流の違反が発生しない最大の導入率をホスティングキャパシティと定義して計算したところ、左の配電線モデルの場合は対策無しでは太陽光発電の 1270kW の導入で電圧違反が発生することがわかりました。このような配電線だけに限らず、電圧や電流の対策をとらなければ、配電系統に大量の太陽光発電を導入することができない事例が出てくることを示しています。

（逆潮流と電圧変動）

このスライドでは太陽光発電からの逆潮流が著しくなると、配電系統の電圧の変化が様変わりする様子を示しています。これは実際の配電系統で測定した事例です。上の配電線は太陽光発電が 4500kW 導入されていて、太陽光側と配電用変電所側にセンサー内蔵開閉器を設置して、電圧を測定した結果を示しています。

右の図が測定結果で、横軸が時間、縦軸が電圧で、黒い線が変電所側の電圧、赤い線が太陽光側の電圧です。昼間にたくさん逆潮流しますがその時間帯で太陽光側の電圧が上がるのが分かります。これは一般的に逆潮流によって電圧が上昇すると言われている現象になります。

一方で、下の別の配電線では、太陽光発電が合計で 8000kW 入っていて、同じようにセンサー内臓開閉器で測定した結果が右の図です。黒い線の変電所側の電圧よりも逆潮流が発生する昼間に、赤い線の太陽光側の電圧が低下していることがわかります。

このような電圧低下は、逆潮流が著しい場合に配電線の無効電力損失に起因して起こる現象であることが知られています。逆潮流の大きさによっては、電圧が上がったり下がったりすることを示しており、電圧変化が複雑になることを示しています。

（電圧不平衡の拡大）

電圧不平衡の問題も起きてきます。これも、太陽光発電が 7000kW 入った配電線で実際に測定した結果です。右の上の図は各相で線電流を測った結果です。昼間にたくさん逆潮流をしていて、各相の線電流が少しだけ異なっていることがわかります。下の図は、このときの電圧を測った結果で、緑の相と赤と青の相がありますが、ここの差が高圧の線間で 200 ボルト以上の不平衡になっていることがわかります。このような現象を詳しく分析するために配電システムの計算機シミュレーションを行ったところ、このような現象を再現するためには、現場の配電線の相順を正しく模擬することでこのような不平衡を模擬できることがわかりました。すなわち配電システムレベルであっても相管理をしないと、電圧管理に影響を及ぼす可能性があることを示していると思います。

（技術者不足）

送配電分野の変化に伴って技術者不足も問題になっていると思います。例えば、電気保安人材は将来的に不足することが指摘されています。

再エネ発電設備の増加、また現在従事されている電気主任技術者の高齢化に伴うもので、2030 年度断面で第 2 種および第 3 種電気主任技術者がそれぞれ 1000 人前後不足すると言われています。電気保安分野だけではなく電力業界全体でも技術者が不足する恐れがいろいろなところで懸念されていると思います。

私は大学に所属していますので、学生に目を向けますと、現在の就活は非常に学生が売り手市場になっていて、いろいろなところに就職できる状態になっています。しかし、離職率が高いとか、あと大学入学の時点では電気系の人気がなく、私もちゃんと頑張らなければいけないと思っているのですが、将来的に電力業界に携わる人間が減ってしまうことを何とかしなければいけない状態だと思います。

（次世代型電力 NW の絵姿（送配電網協議会））

以上に示すように、送配電分野では様々な変化が生じていて、それに対応するために送配電分野の次世代化が様々な機関で検討されています。このスライドは送配電網協議会さんが書かれたロードマップを示しています。大きく分けて再エネ主力電源化に向けた系統整備、需給調整・系統安定化技術の高度化、系統混雑への対応、遠隔分散型グリ

ッドにおける再エネ比率向上の 4 分野について書かれていて、それぞれの課題に対して具体的なロードマップが示されています。

大切なのは、一気に全部新しいものに変えることができない、変わるときには部分的に、段階的に変わっていかなければいけないことだと思います。

（段階的移行のためのキー技術・キーシステム技術）

この EAJ のプロジェクトにおきましても、送配電分野の段階的な移行のためのキー技術、キーシステム技術を取りまとめようとしています。

キー技術として、いくつかいろいろ書いてありますが、例えば直流送電や送電線の運用容量拡大であるとか、キーシステム技術に関しては状態監視推定の高度化、シミュレーション技術などいろいろ挙げています。一つ一つの内容については時間の関係上ここでは触れませんが、NEDO などの国プロジェクトや様々な研究機関で研究開発が進んでいる内容だと思います。これらの中からいくつかの例についてお話ししたいと思います。

（系統整備）

まず、系統整備の内容です。広域連系系統のマスタープランは、2050 年カーボンニュートラル実現を見据えて、将来の広域連系系統の具体的な絵姿を示す長期展望と、あとこれを具体化する取り組みをまとめたものとして示されています。再エネ電源の増加を想定して将来の潮流を分析して、混雑系統を抽出して地内と連系線の増強案を提案していると思います。

また大規模蓄電所の設置も系統整備の一つと考えることができるのではないかと思います。この写真は南オーストラリア州のホンズデールに導入された大規模蓄電所です。出力が 150MW です。これは電気新聞などで読んだ話です。で詳細については把握してないのですが、グリットフォーミングインバーターであるということと、あとオーストラリアの電力市場を運営する機関によって慣性力を提供できることを認定されたというふうに書かれていました。

将来的には日本でもこのような設備が導入されることが考えられていくのではないかなと思います。

（混雑への対応）

次は送電線混雑解消の話になります。先に述べた送配電分野の変化のところで送電線の混雑が発生するというお話をしましたが、日本では 2023 年の 12 月に再給電方式を導入しました。これが全国で初めて東京電力パワーグリッドさんのエリアで 2025 年の 1 月 6 日に実施されたそうです。

1 月は冬だから寒いはずですけど気温が 17 度を超えたようでして、暖房需要があまり伸びなかったようです。変電所につながる火力発電所が計画通りに稼働した結果変電所に潮流が集中したため混雑処理を行ったと書かれていました。

このときは火力発電所の出力を下げて、他地点の電源を上げる調整をして需給バランスを確保したと電気新聞などに記載がありました。このような混雑解消は今後も様々なところで起こると思います。

（配電系統の設備形成）

次は配電系統の設備形成に関する話です。太陽光発電の導入可能量を増大させるためには、配電網では線の太線化や、無効電力制御装置の導入などが考えられます。一般的に配電線は末端にいくほど線が細くなりますので、これを太線化することで太陽光発電の導入量拡大を図ることができるのですが、必ず配電線工事が必要になります。

無効電力制御装置で定電圧制御することで導入を拡大することが考えられると思うのですが、これも STATCOM などの設備導入が必要になり、ある程度コストがかかります。

さらに太陽光発電の導入可能量を増やすための方法として、配電線の部分的な昇圧が考えられると思います。この絵では配電用変電所の 2 次側と配電線の幹線を 22KV、あるいは 33KV に昇圧して配電塔を介して 6.6kV で電力を供給する絵を描いています。この供給形式自体は九州電力さんとか関西電力さんのエリアで使われている供給方式だと思うのですが、太陽光発電の大量導入を目的として昇圧するという考え方になります。

（ホスティングキャパシティと配電損失）

これらの対策をとった場合にどれぐらい太陽光発電の導入が増えるのかを 10 年前ぐらいに計算しました。横軸方向に太陽光発電導入拡大のための工事方法をいろいろ書いています。縦軸方向にホスティングキャパシティとあと配電損失を記載しています。右端に部分昇圧したときの結果があり、部分昇圧によってホスティングキャパシティは大幅に増加しますが、損失はそんなに増加しないので、電気的には非常にいいところがいっぱいありそうです。ですが、10 年前の学会で喋ったときに、すぐコストがかかるのではないかと、なんで 22kV に電圧上げなければいけないのだとか、いろんな人に言われて、そういう問題もあるのではないかと考えています。

無効電力制御装置もホスティングキャパシティの増加に貢献しますが、計算するとやはり損失が非常に大きくなる結果が得られています。ですので、配電設備側だけの対策ではどうしてもコストがかかってしまうので、インバータ側の対策も併用するのが良いと考えています。

（系統制御の高度化）

ここではインバータ側の対策として太陽光発電用の PCS に Volt-Var 制御を適用して配電系統のホスティングキャパシティの増加を計算した結果を示します。Volt-Var 制御を低圧の PCS と高圧の PCS に適用して、電圧上昇時に電圧を低下させるように無効電力を制御することで電圧の違反を解消し、どれぐらい太陽光発電の導入量を増やすことができるかという計算をしました。

（Volt-Var 制御の適用）

ここでも CREST126 配電線モデルを使って検討しました。ここに示す配電線で計算すると、Volt-Var 制御無しではホスティングキャパシティは 1270kW だったのに対し、Volt-Var 制御を全ての PCS に適用することで 6125kW まで増やすことができる計算結果が得られました。

同じような検討を、この配電線以外の 35 個の配電線モデルに適用して、少し乱暴な計算ですが、配電系統モデルの電力需要と、あと都道府県別電力消費量の需要などから、全国の配電系統に導入可能な太陽光発電の容量を拡大推計してみました。その結果、Volt-Var 制御無しでは 76GW であるのに対し、Volt-Var 制御を適用するだけで 296GW に増やせるという計算結果が得られました。このように太陽光発電に Volt-Var 制御を適用するだけで、太陽光発電の導入容量を飛躍的に増加できるのですが、このことは逆潮流する電力量が増えることも意味しています。

（Volt-Var 制御／デマンドレスポンスの適用）

この絵は配電線の負荷需要と全 PV 出力のカーブを書いた結果です。昼間にたくさん逆潮流をするので配電系統から上位系統に電力を供給することになります。結果としてエネルギーシステム全体の再エネ電源構成比向上に貢献できるというふうに考えられるかなと思います。

実際は配電系統だけでいろんなことをしようとすると、多分難しい問題があって上の系統でどういうふうに需給を合わせるかまで考えなければいけないと思いますが、こういう効果があるのではないかなというふうに考えます。

（マイクログリッド化）

地域マイクログリッドも送配電分野の次世代化の姿の一つだと思います。地域マイクログリッドは、大規模な災害などが発生して停電してしまったときに、独立系統化して自律的に運用することで、限定的なエリアになるかもしれないですけど、電力を供給することができるシステムです。

エネルギーマネジメント、インバータのブラックスタート、短絡、地絡の検出など様々な課題があると思いますが、これらは NEDO の事業であるとか様々な研究機関で研究開発が進められていると思います。

日本はマイクログリッドの研究がとても進んでいると思いますが、マイクログリッドが実際に発動した事例も報告されています。宮古島の来間島で昨年の 4 月に訓練ではなくて実際の停電が発生して、そのときにマイクログリッドを発動させることで早期の仮復旧が実現しました。

（スマート保安）

人材不足に対応するための保安のスマート化というものも、次世代の送配電分野の姿の一つだと思います。課題のところで述べましたが、設備の高経年化、再エネ発電設備の増加あと電気保安人材の高齢化、電気保安分野への入職

者の減少、これらの課題を解決するために、今 IoT とか AI ドローンなどを活用して、電気の保安力維持向上、すなわち電気保安のスマート化というものが図られています。

ただ AI というのはとても便利なのですが、全てを AI に置き換えていくと、置き換えた後に保安力が低下してしまう状況が起きてしまうと全く意味がありません。現在の保安力を維持することをどのように評価するのが一つのポイントであると思っています。

以上でこの講演は終わりになりますが、少し散らかった内容になってしまったかなと私自身まとめていて思っております。ただ、送配電の分野はとても広くて、やれることも多岐に渡ると思います。ですので、未来に向けて夢を持てるような技術を作っていけるように、頑張らなければいけないと思ひ、自分を戒めて、これで終わりたいと思ひます。どうもありがとうございました。

司会

次のパネル討論にうまく繋がるように幅広いご講演を頂きました。これで前半のご講演を終了させていただき、後半のパネル討論に向けて 10 分休憩させていただきます。

本日のパネル討論では、熱い想いの中村先生の開会のご挨拶と、荻本プロジェクトリーダーの非常に深い知見を含めたプロジェクトの進め方ということで、電力システム移行期におけますキー技術、キーシステム技術、それから今のお話にもございました人材の獲得と育成という問題についても、幅広く議論していただけたらと思ひます。

パネル討論 1 キー技術とキーシステム技術

プロジェクトリーダー

後半は二つパネル討論を行います。

(進め方)

モデレータ 1

それではこのパネルディスカッションその 1 をスタートしたいと思います。事前に今日ご登壇いただく先生方には、三つの論点をお示ししています。先ほどご登壇いただいた先生方には既にご発表いただきましたが、一つ目はこれからの電力システムのキー技術とは、二つ目はこれからの電力システムに不可欠なシステム技術とは、それから三つ目は、段階的な移行期の中でキー技術とシステム技術をどのように電力システムに組み入れていけば良いのかという点です。結構難しい課題ですが、今日はこれについて思ひの丈をお話しいただきたいと思ひます。

それでは私の左側のパネリスト 1 様から、3 分ほどでご披露いただければと思いますよろしくお願いします。

（需要）

パネリスト 1

先ほどもお話しましたように需要側ということで大規模な DR は、基本的には下げ方向だと思うのですが、だいぶ現実的に入ってきたと思います。ただ、今後は、蓄電池のようなものがどのぐらい増えるかが一つ大きな鍵だと思いますし、それをうまく運用できることが重要な技術だと思います。それに加えて先ほど申しましたこれから需要側で増えてくるヒートポンプ給湯器、電気自動車、できればここをしっかりと、特に EV に関しては充放電まで含めて何とか系統に入れていけるようにしていくことが、将来的な再生可能エネルギー増加に向けて非常に私は重要だと思っています。

そういう意味で、DR レディ、あらかじめ機器に柔軟性を活用できるよう外部からの制御を可能とするような仕組みを入れていくことで、機器が増えることで段階的に調整できる機器も増えていくことが、段階的な移行という意味でも重要だと思いますし、今のアメリカの動向もあって特に環境の面で 3 E のうちの Environment に関して少し後ろ向きといえますか、以前ほど前向き、イケイケになっていない感じもします。

となると、どの技術オプションを取るのがいいかが分からなくなっていると思います。これから再生可能エネルギーが 50%、60% 入ることを前提にできるのであれば、他の対策もどんどん進めていけるかもしれないですが、実際そんなに進まない可能性もあるわけです。考えますと、例えば大きな送電線をたくさん張り巡らすなどコストのかかるものよりは、だんだん増えていく需要をうまく使っていくことが、マネジメントという意味でも、後悔のないオプションではないかと私は思います。それで、需要に合わせてマネジメントも一緒にしていく方向が、トランジションという意味でも費用対効果を考えると望ましいのではないかと考えております。以上です。

（従来電源）

モデレータ 1

ありがとうございました。続きましてパネリスト 2 様お願いいたします。

パネリスト 2

キー技術とキーシステム技術ということで先ほど少しスライドでも講演の際に触れましたが、まずはカーボンニュートラルの達成に向けて、燃料を脱炭素化していく根本的な技術開発はまず必要で、この辺が一つのキー技術になると思っています。この分野は、技術的には可能でも経済性が成立するはまた課題であると思いますし、低コスト化効率化は絶えることのない多分必要なキー技術であると思っています。

また発電機自体の能力拡大ということで、先ほど調整力のコンテキストでお話をしましたが、出力調整の幅をさらにどのくらい拡大できるのについては、主に最低出力の引き下げがポイントになると思います。あとは能力の速度の面など、こうい

ったところをいかに改善していくかがキー技術としてあるものの、これらのポイントは、カーボンニュートラル云々という話が話題に上がる前から、メーカーさんを含め切磋琢磨して技術開発を進められてきた結果として、現状があると思っています、これらを大きく変えられるような動きが出てくればもちろんいいのですが、なかなかそれは難しいと素直なところとして思っています。

あとはシステム技術という観点で、何が当たるかと考えていたのですが、トランジションも含め、もし在来型の電源というのが採算性の確保も含めて今後継続的な活用が難しいということであるならば、市場の制度の見直しも、あるいは今日“暴れてもいい”という話だったので、市場の制度から従来電源を外すことも含めて、総論で議論しておかないと、システムの安定性を効率的に担保することができないかもしれないとも思っております。

その辺を含めて広く議論することが必要であろうと思っています。以上でございます。

（太陽光発電）

モデレータ 1

ありがとうございました。

続きましてパネリスト 3 様、自己紹介含めてよろしくお願いします。

パネリスト 3

私の専門は太陽光発電です。先ほどの講演 3 では風力の方を中心に一部太陽光にも関係するところをお話いただきましたけど、私からも太陽光を中心にお話したいと思います。スライドをお願いします。

（CN に向けた電力システムに求められるもの）

太陽光の役割としては kWh をいかに安く提供できるかところが第一の前提になっていると思っています。それはまずはシステムの統合コストを無視したところで資本費をいかに下げるかをまずは目指さなければいけないと。その次にフレキシビリティをいかに供給できるかは、段階的にはなと思います。例えば大量に余るよりも少し手前の段階からやっていく必要があると思っています。

あと 3 番目は先ほど講演 2 でしたか、再エネは比較的短期に導入できるという話もありました。そういった分散電源として部分的に入れていくこともできると思いますし、場合によっては人口減で配電を撤退しなくてはならないことも出てくると思いますので、そういったことで機動力のある分散電源としての役割、もちろんレジリエンスの話も十分あると思いますが、そういった観点を考えているということです。

（CN な低廉エネルギー供給）

次をお願いします。それで冒頭です。簡単にだけ考えていることは、一つはどうやって安く入れるかで、今の段階で言うと、太陽光を日本はどこに入れるかが一番重要と思っています。まずは建物を中心に入れていくことですが、それで本当に足りるのか。ポテンシャル的には 400GW とかありますので、場合によっては非住宅だけでも、住宅だけでいけるのかもしれませんが、しかし、十分でなければ再び地域共生の中で土地を開発しながら導入しなくてはならない。それには LCOE が安くできるのか、O&M とか人材不足の中でできるのかななどを、太陽光としてはちゃんとやらなきゃいけないと思っています。

段階的に入れるというのはまさにどこに入れるかですので、場合によってはその土地の利用政策をどんどん余ってくる土地を太陽光に変えていって、今の段階で、この瞬間、口が裂けても言えないような地域共生の状況ですけれども、将来的には本来はそういったことも考えて、このエリアは太陽光だけとか、そういったことも考えていく必要があり、それによってコストも下げられる可能性があるということです。

（フレキシビリティの供給）

フレキシビリティに関しては、太陽光に関しては基本的に出しっぱなしになるので、いかに予測できるかがキーになると思っています。残念ながら前日の予測としてメインで運用に使われている予測手法では、なかなか予測誤差下げられない状況です。先ほど講演 3 でもありましたように、もうちょっと直近でフレキシビリティ、太陽光じゃなくて他のものも瞬間的にできて短時間の予測であれば、ある程度の確実性でできると。そういったことも期待できるしやらなきゃいけない。これは太陽光全体やらなきゃいけない事だと思っています。

あとは先ほどありました GFM とかです。また太陽光オンリーでどこまでやるかはありますが、事前に出力を下げて上げ調整力を出すこと、先ほどの kWh をしっかりと出すことと若干トレードオフはありますが、それらの技術も必要と思っています。

あとはならし効果っていうか、多数をどう群として管理するかは、変動の話も、先ほどの O&M も、ちっちゃいものを 1 台毎に誰かが管理するのは効率的ではないと思います。フレキシビリティと先ほどいわゆる LCOE を下げる段階では群として扱う必要があると思っています。

あとは、グリッドコードは早くやっぱやってほしい。太陽光どんどん入れて、場合によってはファームウェアで書き換えできるかもしれませんが、一旦入ったものをレトロフィットするのは非常に大変で、既に結構入っています。このため、機能はしっかり実装してそれをどうマネタイズするかについて、ルールは段階的に整備していただくのがよいと思っています。

（分散電源としての役割）

次お願いいたします。あとは分散電源の話です。これは太陽光だけでやるのは非常に難しいですので、エネルギーストレージ、これ何でもいいわけですが、そこに期待するしかないかなと思います。

特定事業とのセットで自立していく、これは完全に自立するパターンとマイクログリッド的に段階的にやるパターンはあるますが、そういったこともあると思いますし、場合によってはユニバーサルサービスの中で、分散電源システムを部分的にやって、その場合はそこにお金の価値をつけるのは難しいので、ルールとのセットでやっていかなきゃいけないと思っています。2030 年で 100GW はグリッドに連系すると思うのですが、2040 年、例えば 400GW とか 300GW 導入すると、連系はどうしても厳しくなると思います。そういったところと、あとは一番太陽光で考える必要があるのは事業者がものすごいいっぱいいるので、それを自由経済の中で入れてくのかは非常に議論があると思います。そういったことが議論できるのかなと。ちょっと長くなりました。

（パワエレ）

モデレータ 1

ありがとうございます。続きまして、パネリスト 4 様お願いいたします。

パネリスト 4

はい、ありがとうございます。私は先ほどキー技術などは話をさせていただきましたので、パネルディスカッション向けの議論の形で考えてみたことをお話しします。

（コモディティ化のもとでの協調）

まずパワエレ機器による連系はこれから進むということで、パワエレ機器のコモディティ化、もう現在でも太陽光の連系インバータは既にコモディティ化していて、価格競争の状態になったということでもあります。そういった意味で、低価格化が重要であると思います。

あと系統運用との協調はこれからよく考えていかないと多分大変だということは先ほどお話をさせていただきました。今までの考え方は、系統側で何かあったらインバータは切れてくれということでしたが、最近だと何かあっても可能な限り運転を継続してほしいということで、求められるファンクションが変わってきつつあるということです。そういったところで FRT ですとか GFM、それから Volt-Var 制御、F-Watt 制御などいろんなものが入ってくる状況です。ですが、そういった機能を具現化するためには、今までですと過電流なんか流さない、俺の持っている能力だけで勝負するという考え方に対し、場合によっては同期機が持っている、ちょっとした過電流耐量も入れてもらえるいいと思っていますし、その過電流対応をどう考えるのかも最近議論になっていることでもあります。

もちろん元々の容量をでかく作れば過負荷耐量を持たせることは可能ですが、それでは経済性が成り立たないので、どう低価格化するかも一つ課題ではないかということです。

それから3点目です。系統への評価、影響をどう評価し、対策を講じるのか、これも先ほどお話をさせていただきました。モデルやシミュレーション手法をどう考えていくのかは、非常に大きな問題であるということです。ただ、これはどちらかという、TSOなど系統を運用していく側の視点ですが、もう一方でパワエレ機器を作る方の視点もあるかなということで、そういった方に対してこう作ってくれ、ここではこうというような形でやってくれるということは、多分先ほどのコモディティ化のもとではなかなか難しい。そうなってくると、型式認証の形になってくるわけで、そうすると、どう試験をして規定を作り、認証するのか、そういったところが問題になってくると思います。

（詳細シミュレーションと妥協）

次のスライドをお願いします。ここは“暴れてもいい”ということで、ちょっと暴言吐かせていただきますが、全ての変換器をモデル化した詳細シミュレーションによって安定性の判定とパラメータを調整するのはなかなか難しいということで、エンジニアリングの視点からはどこかで妥協が必要だということも、最近思っていることです。

私はアカデミアの人間ということで、100%安定となる条件を出したいと思うのですが、現実問題を考えると、それを実現するのを社会全体に求め、社会に実装するのは難しいのかと思います。

どうやって妥協するのかということなのですが、昔から変換器と系統側のそのインタラクションで課題になっていたのが高調波の問題です。高調波の場合はEMCという電磁両立性という考え方で、それは系統側と高調波源の側で守るべき規定を制定して100%は無理だけでも問題を解決していこうという、ある意味妥協の産物の形で今では決まっているルールです。

ただ高調波規制も、最近インバータが増えてきて、このやり方が成り立つのかは疑問があるところであって、規定を満たしていても実は問題が発生していて、そのためにリバイスを繰り返しているということなのですから、もしかしたら同様な考え方をこの変換器の安定性の分野でも適用していかなければいけないのかということで、その中で一つ最近話題になっているシステムストレングスの概念が、もしかしたら系統側ではシステムストレングスがこれぐらいの場合に、変換器側が変化し不必要な動きをしないようにすることを決めるやり方があるのかもしれない。この辺のところはまた議論と、それから研究を進めていくのだと思っているところです。以上です。

（送配電）

モデレータ1

ありがとうございました。続きまして、パネリスト5様、よろしくお願いします。

パネリスト5

私、系統運用の出身で、系統保護、監視制御を経験し、東日本大震災以降から、需給対策や新しい需給調整市場などを担当してきました。また、広域機関におきましても需給調整市場の制度設計とかを担当しました。スライドを進めてください。

（起こりつつある変化）

1 ページの「世界観が変わっていく」というのはよくある話ですので、飛ばして 2 ページをお願いします。先ほど講演 5 様のプレゼンでもありましたが、インバータ電源が増え、需要も制御できるようになり、電力が双方向のやり取りになり、運用というよりは市場で役割が決まるということで、蓄電もできて、タイムシフトができるようになる。それから混雑もローカルでも発生していくということで、マクロで管理していたものからマーケットベースでミクロに管理していく。送配電はこんな世界に変わっていくということが想定されます。

（第 7 次エネ基を受けて）

次のスライドをお願いします。エネ基で再エネ比率、カーボンニュートラル比率が 5 割とされていますけれども、右の図は、南オーストラリアの需給シミュレーションを表しており、黄色が太陽光、緑が風力で、真中の辺り見ていただくと 1 日中カーボンニュートラル電源だけで賄っている日があるということです。オーストラリアは太陽光、ルーフトップも多いところで、日本に似ていると思うのですが、これで年間のシェアは 4 割ないぐらいということです。

ということは、我々どう世界運用を目指していくのかということで、先ほどのページの右か左かという話もかなり右にいかざるを得ない、そうじゃないと運用もままならないということですね。非常に大きなチャレンジだと思っています。

（作業員の減）

次のページをお願いします。2050 年には日本の労働人口は 3 分の 2 に減ると言われています。高度成長期から我々も設備投資が減り、労働人口も減っていて、今やもう現場で働いていただいている方も 50 歳以上が半分以上の状況で、新しい人が入ってきていません。ここに人をどう入れて、このベースの仕事をどう回していくのかは、大きな課題だと思っています。

（変化を支える構造のイメージ）

次のページをお願いします。もう 1 ページをお願いします。一番上がいろいろと先ほどのプレゼンでもありました再エネ、蓄電池、DR、それから分散電源から直流変換器にも制御系があると思っています。こういった中で同期機が減り、調相器などを入れる必要があるかもしれませんが、今言えるのはインバータ電源が増えていくという世界です。これを図の真ん中のネットワーク、交流で繋いでいくので、何か事故があったときに、電圧・周波数を維持していくことを考えると、パネリスト 4 様のプレゼンにもあったグリッドフォーミング技術とかいろんなものが必要になるわけです。しかし、今まで元々強い系統

を前提にインバータ電源の導入が考えられていたのですが、どこに境目があるのか、その強さの度合いをどう測っていくのかは、まだまだこれからだと思います。どこか境目を超えつつあるということだし、海外は先進んでいるだろうと思っています。

こういったことをどう観測していくのかは技術的な課題かなと思っていますし、インバータ電源を交流系統の中でどう使い、我々送配電としましては、いろんな電源が集まる中で全体をどう繋ぎ、全体をどううまく運用していけるのかに大きなチャレンジがあると思っています。

それから、先ほど労働人口が減るという話に関連して、図の一番下の人のところに書いてあるように、人口が減る中で従来の設備を維持し、それからシステムを作り維持するためには、ロボットや AI などの現場を支える技術も非常に必要になると思います。それからシステムという意味では、どのフェーズもそうですが運用のデータ、市場価格のデータ、設備保全のデータなど非常に大きなデータを今後は処理していくことになると思います。これらのデータを集めて、分析・解析をし、そこからより効率的なもの、もしくはマーケットに対するシグナルを出していくとか、こういうシステム、IT と OT の境目がだんだんなくなり、人をロボット・AI が支えながら、もしくはこういったシステムを介して、いろんなプレイヤーが繋がっていくという世界になっていくと思っています。

そういった世界に移っていくにあたっては、今まで私ども送配電では、どうしても電力設備、ハードの技術者が多かったのですが、それに加えて、やっぱりソフト、分析などができる技術者が必要になってくると思っています。

最後に、こういった技術の導入にあたっては、どうしてもファイナンスが大事だと思っています。再エネを入れていくに当たっては海外では系統の投資が増えて、一方燃料費が減り、合計の費用は減るというシミュレーションによるコンセンサスがあって進めているということですが、送配電投資は、カーボンニュートラル迎えるにあたって、本当に増えてもいいのか、そこまで合意がないと、なかなか設備投資に踏み切っていけないところもあります。実際、参入されるいろんなプレイヤーの方も、そこに自信がなければなかなか投資も進まないと思います。お金がきちっと回る制度設計ができることが、非常に重要と思っています。

以上でございます。

(配電)

モデレータ 1

ありがとうございました。それではパネリスト 6 様、よろしくお願いいたします。

パネリスト6

（略歴）

皆さんこんにちは。自己紹介をということでしたので、略歴も作りました。茨城大学を退職してもう既に18年になります。

こんな老人がここで喋らなくても若い方がいいのではないかとってプロジェクトリーダーにご相談したら、このプロジェクトの会合がこれまで何回かありましたが、そこで喋っているようなことを喋ってほしいということで、今回出てきている次第です。私のお話したいことは、既に先ほど講演5と講演4において大体話されていきました。

（エネルギー需給の見通し）

同じことになるかもしれませんが、復習のため、次のページお願いします。これは、経産省のエネルギー需給見通しのデータで、2040年に全電気エネルギー需要の4割から5割が再エネであることを示しています。

設備の利用率などを考えて、kWに直すと、250GWぐらいでしょうか、ピーク需要の2倍ぐらいになります。そうすると、多分、配電線の熱容量を超えるだろうというのが私の予想です。

（新しい送配電システムへの移行）

次の図はいつも私の説明に使っているのですが、またこの図かと思われる方もいらっしゃるかもしれません。現在の送電システムは遠方にある大型の発電設備から需要地まで電力を送ってくるために、長距離大容量の送電線にお金かけているのですが、2040年になると、再エネ電源、それも分散型電源で地産地消に近くなり、地産地消でも余った分が配電線の逆潮流になると予想されます。もう一つ、配電線の容量に影響を与えそうなのがEVの充電で、例えば国道沿いに配電線が走っている場合、そこにEVの急速充電所がガソリンスタンドのように多数が順番に並んでいたら、その配電線の電流容量は持つのか、ということもあります。配電線の容量が逆潮流（方向）で不足し、負荷（方向）でも不足することも考えられる、ということです。それでローカルシステムを含む配電線に多分お金かけていく必要があると思いますが、右下に書いているように配電線増強で一番簡単なのは昇圧です。高圧の6.6kVを22kVにすれば3倍ぐらいの電力を流せますので、ほとんど問題はなくなるのですが、お金はかかります。

昇圧するために配電線や関連設備を変えるのなら、先ほどGFMインバータの説明でお話があったように、GFMインバータと現状の単独運転検出方式とは相性が悪いので、保護方式そのものも変えるのがいいのではないかと考えています。

さらに、現状の日本の配電線は、通信障害予防のために非接地になっているのですが、事故電流を（インバータ停止よりも先に）もうちょっと早く検出するために、例えば抵抗接地とかに接地系も見直して、保護方式そのものを丸ごと変えることもありえます。

今の配電系統はもう 50 年以上経っていますから、新しい配電系統に見直していくのも一つの考え方かなということです。以上ですが、次のスライドを出して下さい。この絵は、私は、絵を描けないので Microsoft の Copilot に描かせたもので、2040 年の配電線は、道路で言えば自動車があふれるぐらい、電気をもうこれ以上流せないというところに来ているだろうということです。これを、「未来の混雑の無い道路を描いてください」と指示して描いてくれたのが右下の道路が立体交差しているような絵です。私はこんな絵ではなくて、配電線の場合は地中化した方が良いと思っているのですが、輻輳がない配電線にするためにいろいろ考えていかなければなりません。

先ほどの保護もそうですし、配電線増強をまとめて一度に行うのもお金がかかりますので、どういう手順で何からどのようにしていくのかということが非常に問題だと思い、その辺の議論は必要ではないかと思っております。

以上でございます。どうも、ありがとうございました。

(進め方)

モデレーター 1

パネリスト 6 様ありがとうございました。

それではこれからパネル討論です。事前に打ち合わせは何もしていませんので、これからのそれぞれ思いの丈をお話しいただきたいと思います。

私の方から、抽象的な話となり申し訳ありませんが、お話いたします。ご覧の通りカーボンニュートラルの実現が最終ゴールです。となると、よく議論が出るのですが、電気事業の公益の範囲はどこまでかという議論も重要と思っています。公益の最大化は、安定供給の堅持と脱炭素のコスト増の要因のある中で、できる限りコストを抑制して、需要家にとってメリットのあるサービスを創出できる環境を整備すること、と言われています。これはこれでご尤もですが、トランジションの時期であるので、通常とは違う。トランジションをどう考えるかもまた大事な点と思っています。

そのためには、明確なビジョンが必要です。電源構成などについては、目標が示されていますが、やはりビジョンが必要と思います。それから技術的根拠に基づく現実的な目標をそれに基づいて落とし込むこと。そのためには経済基盤、業界構造、技術の進展、あと国民負担を考えていく必要がある。系統の話が出ましたが、これを組み替えるとお金がかかります。ご案内の通り、過度な国の支援、過度な国民負担は経済的に自立できず、サステナブルではなくなるので、系統をどのように考えるか。その上でコストです。最小化が目標ですが、許容できる範囲、価格弾力性など、コストに対する考え方が必要です。

それから、ロードマップの必要性が、この EAJ の議論の中でも出ています。外国ではロードマップが作成され、アップデートされているようです。プロジェクトリーダーからお話があるかもしれませんが、日本でもしっかりやっていく必要があると思っています。

技術の組み入れにあたっては、本プロジェクトの方針では、技術的根拠に基づく実現可能なものを対象とすると言い切っていると思います。技術ニュートラルという考え方で、導入技術の包摂性を担保するというのがこのプロジェクトの意味合いです。

その上でルール化、国際標準化、グリッドコード、さらにシステム運用などを計画的に進め、世界を巻き込むことが必要とっております。技術は早く社会実装する。これは実証試験ではなくて実装です。それをオールジャパンで進めるという話はいくつも聞きますが、その実現には課題が多いと思っております。

今日の話をお聞きますと、コストに触れると、コストの話で議論が終わってしまうと思いますので、システムを最初に取り上げたいと思います。ストレングス、強いシステムの話とか、いくつかのキーワードがありました。それに伴って、データの必要性も出てきました。まず先ほど保護方式についてパネリスト6様からお話しがありましたので、それについて詳しく説明いただいてもよろしいでしょうか？

（保護方式）

パネリスト6

今の日本の配電システムが、常時開放型ループ配電系ということは、皆さんご存知だと思います。配電システムで事故があったら順送方式で事故点を検出して、復旧していく方式です。これは配電系に電源がなければとても良い方式で、このテーマで私もだいぶ論文を書かせていただきましたが、この配電系に電源が入ってくると取り扱いが非常に厄介になってきます。

この配電系で事故後に順送方式を可能にするために一旦電源を全部落とす必要があるために、単独運転検出機能を全電源に入れることになりました。ただ、電圧型の電源では単独運転検出がなかなか難しい。そのため、電圧型の電源の場合、今は逆潮が配電系の高圧の場合には可能なのかもしれませんが、低圧の場合許されていないと思います。電圧（GFM）型の電源の入った配電線の場合は、非常に保護が難しいのです。これから先、現在接続が許されている、従来のGFL型と呼ばれる、電流型のインバータだけではシステムの慣性が不足してうまく運転できないことがあるということで、GFM型すなわち電圧型のインバータがたくさん入ってくる。そうすると、配電線の保護、ひいては配電方式そのものを全面的に見直す必要があるということで申し上げた次第です。

モデレータ1

ありがとうございます。全面的に見直すとなると、設備形成の立場から言うと、パネリスト5様どうなりますでしょうか？

パネリスト5

はい、パネリスト6様のおっしゃっていることはまさにその通りです。元々電源が少数派のときには何とかしのいでいたのですが、カーボンニュートラルにぐっと舵を切り、電源が増えてきたときに行き詰まっているのは、まさにその通りです。保護方

式を変えるというのも、変電所側だけではなくて、お客様側のリレーも対象で、誘導電流もまだ残っていますのでその対策も必要です。かなり大がかりな投資が同時に必要ということで、50Hz、60Hz の統一まではいかないかもしれませんが、結構大きな投資になることは非常に悩ましいと思っています。そういった中、通信技術も発達しているので、例えば遠隔制御をする方法もあるかもしれません。何か模索は必要と思っていますが、方式をガラッと変えるのも、段階的に変えるのもなかなか難しいため、非常に難しい問題だと思っています。分散電源の導入を受け止めながら、設備の維持をしっかりやっていくのは非常に難しい問題だと思っております。すいません、あまり明確な答えにはなっていないですけど。

モデレータ 1

お聞きにくいところですが、例えばこの地域だけそれを導入せよという国からの指示があれば対応できるものでしょうか？

パネリスト 5

レジリエンスとも言われています。系統の配電系統の末端では隣の系統と繋がっていることで停電時間を回避している面がありますので、そういったところを考えるとなかなか難しいのですが、郡部の方から変えていくことはできる可能性はあるかもという気はします。マイクログリッドになっているような小さいところは変えられるかもしれませんし、少しずつでも新しいところは新しい方式に変えていくのも一つの方法としてはあるかもしれません。技術的な抜け漏れはあるかもしれない私見ですけども。

モデレータ 1

ありがとうございます。パネリスト 4 様いかがでしょうか？

パネリスト 4

はい、ありがとうございます。電力変換器による電力供給が増えてくると保護が結構いろいろ課題になってきます。分散型電源一般でもそうですし、先ほど来申し上げている通り現在の変換器の制御は GFL、電流源的な動きをすることで、実は事故が起こっても短絡電流が多分増えないことになっていて、事故検出がかなり難しくなるだろうと言われていきます。そのため、GFM を入れると電圧源的に動くからうまくいくのではないかという話もありますが、これもまた先ほど申し上げた通り変換器は自分を守るために何か起こって過電流が流れようとするのを抑え込む制御系が必ず入っています。このため、事故が起こったときの電流も増えないため、検出がかなり難しくなっていて、今は NEDO プロでもただ単に電流増加を見るのではなく、電圧を含めるなどの何か新たな検出手法を使ってマイクログリッドの中で事故を捉えることが試みられています。

そういった中で、変換器そのものの対処だけではこの問題って解決できないだろうということで、システム的な対応が絶対これ必要になってきます。一つは、これからは通信線とかで繋がるので、そこから信号を受けて先ほどお話ありました転送遮断する話も入ってくると思いますが、そのコストをどう考えるかはなかなか難しいところで、どう解決したらいいのかはな

かなかわからない。そんな中で変換器の方にも少しでも頑張って少しでもいいから事故電流を出してほしいという話もあって、先ほど申し上げた過電流対応の話もさせていただきましたが、これまたどうすればいいのか難しいところです。またコストの話になるのであまり言いませんが、技術的にもかなり難しい面があると認識しています。

(グリッドコード)

モデレータ 1

この話に続けて、グリッドコードについてパネリスト 3 様いかがでしょうか。

パネリスト 3

ありがとうございます、今は配電の話だったので、例えば太陽光は住宅用だけで 10GW ぐらい入っていて、ポテンシャルは 200GW ぐらいあって、どこまで入れるかというのは住宅用に関してはあり、他方、住宅用の方が多分経済的には入れやすい領域にある。例えば東京都が義務化している話で、今の段階の読みとしてはその分野から入れたくなくて、そうすると配電には頑張ってもらわなければならないと思っています。

実際問題、保護の話もありますが、電圧上昇で導入が抑制されている状況が知らないうちに結構は発生していると思いますし、その辺が本来気づいてないけど LCOE も下げていて、ただ住宅はあんまり気付かないということが起きていて、そういうのが本当に 200GW、たぶん住宅だけに 200GW 入れることはきつくないと思うのですが、さっきの講演 5 の話でホスティングキャパシティを倍にすることが本当に必要であれば、対策を段階的、計画的にやる必要があると思います。そのときに住宅用にグリッドコードが必要なら、今既存のものでほぼ対応できていると思っているので、GFM をどこまで入れるかは住宅用についてはあると思いますが、その必要がなければ多分今のものでいいし、その保護協調に合わせて単独運転検出の時限も長くていいよ、との話が多少あればもう少し違う話もあると思うのですが、住宅用とか配電のレベルで言えば技術はそれなりに揃っているという気がします。

モデレータ 1

ありがとうございます。強い系統という話がありました。設備形成にお金がかかるということになると、今度はパネリスト 1 様がおっしゃったように、需要の柔軟性を求めることも必要かと思います。具体的に検討を進めていくうちに、例えばデータの不足など何か困られていること、あるいはこういうものがもう少し充実すればより導入が進むなど、ご意見がありますでしょうか？

（オーストラリアの戸建て PV）

パネリスト 1

ありがとうございます。今の前の話ですが、昨日調べたときにもうオーストラリアでは戸建ての 4 割に PV がついているという話で、そういうところでは一体どうやっているのか、配電網でもどうしているのかとか知りたいと思ひまして、ご存知の方いらしたら教えていただきたいと思ひます。

やはり住宅が多分一番入れやすく、確かにオーストラリアでも PV が安くなっているのと合わせて家庭用の蓄電池も増えているということなので、そこをセットにすることで比較的早く入るのかなと思ひています。

ただ蓄電池は日本ではまだまだ高いので、おそらく PV は FIT もあるので一定程度進むが、日本の場合は新築にしか入っておらず既築への導入がやっぱり難しい。だからオーストラリアで PV がこんなに普及しているのは、既築の上に乗せやすいなど構造も違うからだと思ひます。そういう違いもありながらも、日本でも既築にも今後入れていかないと PV も増えないし、おそらく他のリソースもなかなか増えていかないという気がしています。そこで、まず一番は物を増やすことだと私も思ひていますが、そこは個人の方のご判断で、特に EV などは嗜好性もあり、状況を大きく変えることは難しいと思ひます。

その中で、政府としてもいろんな補助金等を出して数を増やそうとしているとは思ひのですが、ここをどれだけ加速させられるかがポイントと思ひています。そもそも数が少ない。かつそれを制御して、ある程度何らか増分の費用に見合うものでなくてはいけないわけで、アグリゲータさんにとって今低圧リソースとして最初に 2026 年から立ち上がりそうなのは、家庭用の蓄電池かなという気がしています。

それ以外のリソースを束ねて市場取引というのはまだ考えにくい印象なので、第一歩としてその家庭用の蓄電池の活用がどのぐらい上手いのか、ただ家庭用の蓄電池って大抵 PV とセットで入っていて、FIT のときは別として、もうその家のために、フル活用されていると、PV の余剰が出たらすぐ貯めて基本的に夕方放電する運用が自然と行われているので、その上で市場に供出できる部分がどのぐらいあるかはわからないという印象です。

ただ、そういうケースが出てくれば、また少しずつ導入は進むと思ひます。もう既に家庭用の蓄電池で先ほどの特例計量器で機能をつけた製品が販売され始めたということなので、そういうところから市場活用は進むだろうと思ひます。もう一つは、私は料金だと思ひていて、基本的にはエコキュートがなるべくお日様の出ているときに動いてほしいということで、晴れた日に安い小売り料金が出てこない限りは、なかなかうまく回らないだろうと思ひますので、技術というよりはルールが重要だと思ひます。ただ外から制御できる仕組みをきちんと入れていくってということと両輪だと思ひます。同じようなことですが、以上です。

モデレータ 1

今パネリスト 1 様からお話が出ましたが、オーストラリアの状況はわかりますでしょうか？

プロジェクトリーダー

あの一言で言うと、たくさん入って困っていますっていう状況です。それに気がついて、それに対して、公に対策を打たないといけないと言い出したのが数年前ということです。ただし、入ってしまった PV の問題は非常に大きくて、今後どういふものを求めるかを住宅用に決めるのもやはりそれなりに難しく、大きな船が方向転換するには時間かかっているというのが 2、3 年前の私の知っていることです。

パネリスト 5

オーストラリアについて少し調べたこともありますが、私も配電系統をどうしているかまでは把握していません。家庭用の変換機につきましても、遠隔で切ったり入れたりできる機能グリッドコード化するルール化を、結構速やかに問題が出始めたときにしています。これによって、本当に危ないときには、系統の危さ、系統全体の危さもあると思いますが、切ることができ、必要なときには戻すこともできるというルール化もしていると聞いています。

オーストラリアは海沿いに細長い系統で、需要も大都市に固まっていますし、一方で分散電源もある地域に固まっているので系統の強さも地点ごとにずいぶん違うようです。そういう状況を見える化することで、本当に弱いところには同期調相機を設置して電源が入ってくる、もしくはその費用を負担して電源が入ってくることで、合計のコストを一番安くするように、立地誘導するとかいろんな工夫が送電レベルではされていると聞いています。

ですので、太陽光の多い日本はオーストラリアから学ぶところが多いと思っています。

(ビジョン)

プロジェクトリーダー

はいありがとうございます。私から皆さんに質問させていただきたいのですが、これまでにビジョンというキーワードが出たのだと思います。私自身も、この国にはビジョンがないことを痛感しています。ビジョンとは何かというと、「あってほしい姿」というところまでいいのですが、この国のビジョンは裏打ちがなくて、いろんな人があって欲しいものがたくさん出てくると感じます。そうではなくて、できることから選ぶことが重要だと思うのですが、そういうビジョンを作っていくためには、どういう作り方があるでしょうか。とっても難しいかもしれないですけど、お伺いしたいのですが、いかがでしょうか。どなたからでも。パネリスト 6 様お願いします。

パネリスト 6

例えば私も学者の端くれですが、いろんな人がいろんな提案、学者なりの提案、その他の例えば実際に運用されている方の提案、とにかくいろんな提案をしています。大体学者のする提案はお金を考えていまず、結構コストが高い提

案がある。それらをどこかできちっと審議をして、これはこうだ、ここのところは取り入れられる、ここは取り入れられない、という交通整理をしながら、こういう形ならここのところに入れられるのではないか、というようなことを検討する場所が必要だと思います。それは多分、どこかの学者のグループでも駄目でしょうし、どういうグループがいいのかよく分からない。ただ、そこにはある程度のお金の裏付けが必要なので、どこからお金が出るかによりますが、国から出るのなら政府の機関が参加してなきゃいけないと思います。それから、民間のグループで出すのであれば、民間のそういうグループの何かが必要だと思います。そういうところで交通整理が必要な気がするのですがいかがでしょうか？

プロジェクトリーダー

はい全然悪くはないと思うんですけど、できるかなというところですけど。ビジョンの作り方どなたか他にいらっしゃいますか？

パネリスト2

明確な回答を持ち合わせていないのが実態ですが、特にこういうところに関心を持っている技術者の方は、それぞれ自分の中でぼんやりながらも、多分ビジョンって持っていて、それに対する裏づけができないとか、発言しにくい日本社会的な風土があって、なかなか表にアイデアが出てこないことが、多分にあると思っています。

学会で発表してあんまり質問が来ないというのも、そこに通ずるものがあるという気がしてまして。そこは我々の考え方を少し変えて、失敗を恐れずに意見をうまく出せる雰囲気作りが必要だと思います。これは多分我々の分野に限った話ではないと思うのですが、こういうビジョンの策定に向けていろんなアイデアを闘わせることが日本人的にやりにくいんじゃないかなという気がして、そこが大きな障壁になっているという気がしています。しかしそこをどうクリアできるのかは、なかなか難しいかなと感じます。

他方、インターネットとか SNS の匿名性が高いと辛辣な発言が結構出てくるのもあるので、悪い活用をされない形でうまく使っていくことで、発言しやすくするとか、何かそういう環境作りがまず必要という気がしています。

（技術ニュートラル）

プロジェクトリーダー

ありがとうございます。良いデータがあって、良い道具があって、人間の力をレベルアップしてくれば、そのようなやり方でうまくいくのではないかなと思います。あともう一つ、「技術ニュートラル」という言葉があります。これは、今は広い範囲がとても大きく、速く変わろうとしています。それで、どう変わるかということに関しては、ビジョン・英知を結集して何らかのやり方で作る必要がある、これは一つの回答だと思います。しかし、近未来または中期的にいろんな技術が出てきて、制度も含めて選択肢が出てきたときに、どれを選ぶのかというときに、特定の人間や機関が選ぶのはどうしても知識にかたよりがあるので危ないだろうと思います。技術ニュートラルという言葉は海外で結構よく使われる言葉で、多様な選択肢に対し公平な条件設定するので戦ってくださいというのが技術ニュートラルの意味です。これをもう少し日本で実施できたらよい

と思うのですが、これについてはいかがでしょうか？つまりバッテリーならバッテリーの補助金のもとでバッテリーしか入ってこないということではなくて、と言う意味です。

パネリスト1

理念としては技術ニュートラルであるべきだと思いますし、そう言うべきだと思うのですが、ただ何か今の日本の手札を見ても、十分じゃない気がします。全部やったところで足りないみたいなレベルではないかと思っていて、そもそもだから選べるほど選択肢があるのかというのが、私は正直言って疑問なのです。

もちろん、当然発電側の技術があり、需要側の技術があり、それで例えば費用対効果が綺麗に計算できれば、オプションとして、どの順番でやっていこうというみたいな話はあるうと思います、ゴールがカーボンニュートラルというものであるから難しいのですけど。今、例えば PV の目標を作ったところで、全然目標通りには入りそうにない状況の中で、一体我々にどんなオプションがあるのだろうと正直言って思います。だから技術ニュートラルにより進めるのは賛成ですが、正直そんなにオプションがないのかなという感じがしています。すいません悲観的な話で。以上です。

プロジェクトリーダー

今日の例で言うと、講演者3様のプレゼンに合ったように、風力は出力を上げるためには下げておく（デルタ制御する）必要があり勿体なさ過ぎる。下げると言われればいつでも下げられるが、下げだけが売れない。とすれば、作業分担する。再エネが発電の下げを分担し、他の発電の上げあるいは需要の下げが発電の上げを分担する。運用は複雑になると思うのですけれども、それぞれのリソースの長所を使うことができる、これが一つの形かなと。これ例に過ぎません。なにか見つからなくても、順に見つけていかないと、人間の恣意的な選択により順番に何か良くないことが起こるような気がしています。

（まとめ）

モデレーター1

時間ももうギリギリですが、どなたかいらっしゃればお願いします。

今回は中間報告との位置づけから、ご意見を頂戴しまとめないというのも一つのまとめと考えています。ビジョンについては、Watt-Bit 構想が示されましたが、異業種との連携は必要と考えます。

仲間を増やす、電力村、のキーワードがありましたが、選択肢を増やす努力をしてビジョンを広げることも必要と思いました。会場からご質問があれば、お受けしたいと思います。どなたかいらっしゃいますでしょうか。

1 名、すいません、マイクを回していただいてよろしいでしょうか？

（フロア質問：システム全体が見える人）

会場質問者 1

ビジョンの話がありましたが、司令塔が誰だろうってところがあって。結局まだビジョンもなくて、どこに向かうか分からないけれど、ミクロを主とした新しい系統安定性を求められると。ミクロだとグリッドコードに任せればそれでいいのか、本当に北海道レベルのブラックアウトが起こったときに、誰が責任もって復旧できるのかとか、新しい系統の中でどうマネジメントするなど、システム全体が見えている人は誰だろうって質問です。お願いします。

モデレータ 1

どうもありがとうございます。この EAJ プロジェクトでもご指摘の話は出ておりまして、その役割が必要だということは皆さんに認識しているのですが、誰が担うかについてまで議論は深まっておりません。

パネリスト 1

基本的にはエネ庁が考えるのが自然だと思う。国が考え一応ビジョンとして考える。ただ、そのときの議論があまりにも偏って限られた人でされているような気が私もすごくしています。私も散々いろんな委員会に出ていてこんなこと言える立場ではないのですけれども、しかも OCCTO あり電力取引委員会ありで、なかなか役割が分散している中で、意思決定する場にきちんと技術のわかる人が少ない。もちろん電力会社さんも含めてだと思うのですが、何となれば電力以外の分野の議論も含めて人を増やす必要がある。ただ、そうなるどうしても自分の業界の意思を反映させたいこととの判断も難しい気がするのですが。私は、電力に関しては特に、例えば電中研さんとかエネ研さんとか、テクニカルなことがしっかり分かる人がもっと議論の場に加われるといいなと思っています。私は電力のビジョンは国が基本的には考えることだと思いますし、先ほどパネリスト 6 様のご指摘になったような点を含めた意思決定に資する知識を出せるシンクタンク的なところがもう少し増えるといいと思っています。以上です。はい。

モデレータ 1

心強い発言ありがとうございました。残すところわずかな時間ですが、ご質問・ご意見はありますでしょうか。

（フロア質問：コストベネフィット）

会場質問者 2

シミュレーションの話がいろいろ出ましたが、最終的にはそういうものが社会的コストを含めた全体的な経済便益に反映されなければ最終的な意思決定には繋がらないのではないかと考えています。技術的検討は重要で、需要家の損失とか、供給者の損失とかいろいろあると思うのですが、それらをトータルに見てどれぐらい損失があって、大規模な影響をどうやって削減して、対策とコストベネフィットの関係がどうなっているのが最終的には一番大事なポイントだと思いました。コメントです。ありがとうございます。

モデレータ 1

ありがとうございました。先ほどのパネリスト 1 様の発言とも重複しますが広く開かれた場で、かつ関連する分野の専門家も入って社会的コストも含めてきちんと議論することが必要ですね。貴重なコメントありがとうございました。

それでは時間になりましたので、パネルディスカッション 1 を終了したいと思います。先生方、どうもありがとうございました。

パネル討論 2 移行を担う人材の獲得と育成

(進め方)

プロジェクトリーダー

それではあまり間を置かず、パネルディスカッションの 2 を始めたいと思います。

登壇いただける方々はお進みいただくようお願いします。

モデレータ 2

それでは、少し自己紹介をさせていただきます。先ほど事前の打ち合わせがあって私は部外者です、皆さんちょっと電力村じゃないですかというような話をしました。それは F-REI が置かれている立場とも関係します。福島県の浜通りでは福島第 1 原発の事故の影響がまだ深刻な状態で、その復興を目的に国が 2 年前に作った研究機構が F-REI です。その一つの研究分野にエネルギー分野があり、福島をカーボンニュートラルの先駆けの地にするべくエネルギーの研究をしており、水素の活用を考えることを今議論しています。

その中で私は EAJ のメンバーで、このプロジェクトが始まるにあたり、電力のことを学びながら福島のエネルギーの今後のあり方について考えるために参画しています。そういう中でちょっと違う視点で、今回のパネル討議のテーマにも関係しますが、技術の話もあるけど、いろんなことを実現していく上では究極は人材の問題になるということで、その議論が必要になっています。これまでの議論の中でも分野横断という分野で私は意見を言わせていただいていることから、ちょうどいいからモデレータもやれということになっていますので、皆さまが普段行っている議論とは異なった観点でこのパネルを進めたいと思います。

パネリストの方には皆さんには暴れていただくことで進めたいと思いますのでよろしくお願いします。パネルディスカッション 2 のタイトルは「電力システムの移行を担う人材の獲得と育成」です。電力システムの移行については、今日の議論ですဲ့と伺っているとカーボンニュートラルということで再生可能エネルギーの導入を意識した移行ということで皆さん議論されているというふうに思います。しかし、先ほど Watt Bit 連携に関する話も出ていましたが、カーボンニュートラルという視点だけで電力システム移行を議論していいのか、という点も少しバックグラウンドにあります。

（論点）

そういう意味で、ここで議論する内容として、次の 3 点を論点に挙げたいと思っています。

論点の 1 では、先ほど技術の観点からいろいろ議論があって、ビジョンは何かという議論にまで行きましたが、これからの電力システムを議論していく上で、意識しないといけないことは何があるのかを、まずパネリストの皆さんから、いろんな観点からお話しいただきたいと思います。

論点の 2 では、そうしたときに次はどんな人材を集めなければいけないかを考えたいと思います。人材の育成の問題もあると思うのですが、先ほどのプレゼンテーションの中では保安人材とか技術者も必要という話もありました。ICT や AI の活用の時代になってきたときに、次の電力システムを実現する上でどんな人材が必要かを考えたいと思います。

論点の 3 では、そういう人は必要だよねとなった中で、今日もずっと出ていましたように人口減少、労働力減少の中で、電力システムを担う人に入ってきてもらう、あるいは保安材が足りないという話もありましたけれど、そういった領域にもちゃんと次の世代の人たちに入ってきていただくために、これから作る電力システムは、どんな役割があって、こんな重要なことをやっています、こんな魅力がありますということをアピールしないといけないのではないかと思います。そういう意味で、電力システムに取り組む魅力は何かについてお話いただくことをお題としてお願いしています。

別にこれにだけにこだわって進めるつもりはなくて、先生方のご意見をいただいて、その中でこの点も議論してみたいというところも含めて議論を進めたいと思います。よろしくお願いします。

それでは順番に従って、まずポジショントークをお願いします。

まずパネリスト 7 様、よろしくお願いします。

（NEDO 特別講座など）

パネリスト 7

（背景）

よろしくお願いいたします。趣旨をご説明いただきましたが、それからすると、全く電力村の話をする感じになるのですが、まず一応人材育成ということで、私も電力分野はもう一つその人気がなくなったのではないかと思います。もう 10 年以上でしょうか。

ずっと人材育成に関わってまいりました。表紙にありますように、パワーアカデミーでチーフプロデューサーやっいまして、電気工学分野を中心にいろいろ盛り上げることをやってまいりました。最近やっていることを 2 点、まずご紹介して後の議論としたいと思います。

（NEDO 特別講座「将来の電力システムの計画・運用を支える人材育成」）

最初のページをお願いします。まずは NEDO に特別講座というのがありまして、後でパネリスト 9 様もお話になるかもしれませんが、将来の電力システムの計画・運用を支える人材育成が必要であると思って活動をしています。

先ほどのパネル 1 でまさに電力システムは今変遷期にある、変化が非常に大きくなっていくと考えられます。同期機が減り、分散リソースが増え、需要のいろんな特性が変わっていくということで、今までの常識がもう通じなくなる。たぶん、将来安定に運用するために、どう計画し、何をやる必要があるかについて、今までと考え方が大きく変わってくると思っています。

（特別講座設立の背景）

次のページをお願いします。人材の基盤を見てみますと、特に元々電気工学と言っていた根幹となった分野のところでは大学での取り組みも細ってきており、またベテラン層が引退時期に来ていて、企業等でも従来の電力システムを学んでこられた方が非常に少ない状況。これから新しい世界と融合していくにあたり、そういう方向をどう持ってゆくのがよいか。欧米に比べると、日本には体系的な取り組みが欠如しているのではないかと、あるいは先ほど司令塔というお話も出ていましたが、リーダー、司令塔は一体どこなのかがはっきりしていない。将来を見渡したときに新しい世界で何をやっていく必要があるのか、日本全体で見たら、今どこまでできているのかがわかってない。そのギャップを埋めることをちゃんとやっていくことが、結果として人材育成に繋がると考えて、この分野を盛り上げていき、いろんな形で、直接的には研究活動などを増やすことだと思いますが、次の時代を担う人材を育成する取り組みを始めたということです。

（特別講座の体制）

次のページは体制で、先ほど登壇されたパネリスト 2 様、パネリスト 4 様、広島大学のチームに入っていて、産総研などとも連携して進めています。特別講座は始まったばかりで、別途皆さんにぜひいろんな形で参加していただきたいと思っています。

（国際標準化活動における人材創出・継承）

次のページをお願いします。私の仕事の一つに国際標準化の活動があります。こちらは若手の方になっていただくのは難しいけれども、やはり将来見ると若い人が必要だということで、若いうちからいろいろ経験していただくことをやる必要があるということです。電力供給システムを扱う IEC の TC 8 という委員会は、今日いらっしゃるパネリスト 10 様に長く国内委員長を務めていただいています。そろそろ委員の若返りが必要という話を内々しています。まずは国際標準に若いうちに携わる機会を増やすために、やっているベテラン層が意識して次の人たちを連れてきて経験してもらうことに尽きると思っています。それをやってよかったと思ってもらう仕組みをうまく作って進めてゆきたいと思っています。これを起点に、いろいろ共同の機会とかを提供することをセットで考えたいなと思っています。

最近人材育成についてはこの辺りに取り組んでいます。最初私から以上でございます。

（電力の魅力、電力×〇〇）

モデレータ2

はい。パネリスト7 様ありがとうございました。次にパネリスト8 様お願いします。

パネリスト8

私も外側の人間といいますか、専門は環境政策、気候政策、シナリオの研究などをやってきており、IPCC の第6 次評価報告書のワーキンググループ3 の執筆も担当しました。人材ということだと、東大には公式の学生団体として、「グリーン・トランスフォーメーション、GX、学生ネットワーク」があり、そちらのお世話係もしております。

3 つの論点をいただきましたけど、順番変えて申し上げます。電力システムに取り組む魅力とは何かっていうと、それはど真ん中だからだと思うのですよね、需要側も電化をしますしグリーンな電力は脱炭素、カーボンニュートラルを進めるには決定的に重要で、中心の要素であります。もちろん熱もありますけれども、電力システムは要です。ですから、その中心になる電力システムには何が必要かという、他と繋がること、多様な視点を取り込むことが必要だと思います。どういう人材が必要かということでは、「電力システム×〇〇」だと思うのですよね。電力システムで閉じていては駄目なのだと思うのです。そこから広げてあげなくちゃいけないと。

〇〇に入るのは、若干使い古された言葉ですが、例えば「デジタル」とか「国際」とか、「女性」とか、ここは工学アカデミーということで、女性エンジニアがすごい少ないと思います。あとは電力システム×スタートアップです。スタートアップについてもう少し詳細に申し上げますと、例えば先ほど講演者1 様がDR、需要側の話をされていて、クラーケンというサービスがありオクトパスエネルギーが提供しているというお話がありましたが、あれもスタートアップですよね。世界のスタートアップのうち、環境エネルギー、クリーンテック、気候テックの領域で有望な100 社を作ったリストが2009 年ぐらいからあり、10 年以上つづいていますから1000 社以上が選ばれたわけですが、日本の会社は去年まで一社もなかったということです。気候テックとか、クリーンテックとかの領域はとて最少なくて、こういった外に出ていくとか、電力という垣根も不明ですが、とりえず取り込んで、飛び込むというような人材が必要だと思います。どうやって育てるか、獲得するかが本題だと思うのですが、それは非常に難しく、問題だけ提示して逃げてしまう感じになってしまうかもしれませんが、一つだけ構造的な問題は非常に大きいと思います。もちろんディープテックとか、そういったところに飛び込んで学生はいるのですが、やはりいかに数が少ないと。なんで、東京大学ではアントレプレナーシップ、起業家精神教育をすごい今やっているんですが、東京大学だけ伸びても仕方がないですし、日本全体で見るとやはり少ないというのがあって、それは構造的な問題があると思います。2 回目の発言があれば少し掘り下げたいと思いますが、最初のインタビューセッションは以上です。ありがとうございます。

モデレータ2

はい、ありがとうございました。では続いてパネリスト9 様、お願いします。

（NEDO 特別講座、産学合同セミナー）

パネリスト9

私の専門は電力系統へのパワーエレクトロニクス応用です。まずスライドで現在行っている人材育成活動についてご紹介いたします。先ほどパネリスト7様からご紹介がありました NEDO 特別講座ですが、我々も活動していきまして、本日の EAJ 電力プロジェクトの一部メンバーと私で NEDO 特別講座のプロジェクトを進めています。

（背景）

実はこの講座には親事業があります。ご承知の通りカーボンニュートラルを目指して洋上風力発電の取り組みがあり、ただ洋上風力発電は大容量になりますので、高信頼で大容量の電力を長距離送電する必要があります。この高圧直流送電技術事業に関して、パネリスト10様、パネリスト4様にもお世話になり、国内各社さんと一緒に進めてきた事業が母体となっています。

ただ、ご承知の通り我が国における直流送電システムは限定された実績にとどまっており、関連人材が不足しています。長期にわたって建設して次の建設までしばらく間が空くため、若年労働人口の減少ということを考えると、非常に深刻な状況になるかもしれないという課題を抱えています。

（特別講座のコンセプト）

普通は大学の3つの研究室ではそれぞれが研究活動をしますが、本事業の中ではバーチャル研究室ということで、横で連携・横断して機能を強化することを目指して、例えばハードウェア実験装置を互いに見学し、共通のソフトウェアを利用するなどして、研究室に毎年加わる新しい学生に対して学習を一緒にして問題を共有して解決を早めるなどの交流を強力に進めています。

（産学合同セミナー）

単に交流するだけではなくて、合同セミナーというのを開催して、特に特別講演では、基礎的な技術知識の習得を目的として、研究室に入ったばかりの学生に加えて、外部から聴講いただいて、オンラインで開催することで、「直流送電に興味があるが、どんな感じだろう」という方を対象にしています。また、技術講演では、ご自身の業務の技術紹介や研究の紹介を通して、意見交換をしています。

（開催形態）

直流送電に興味があれば全ての方が対象になりますので、このスライドは写真撮ってもかまいませんし、QRコードをスキャンしても構いませんので、よろしければ皆さんが産学合同セミナーを一度覗いてみてください。参加費無料です。オンラインで手軽に接続できます。

2025年度は2ヶ月に1回ずつ開催することにしており、次回は4月24日、来週開催する予定です。

再び、（背景）

ここで改めてご紹介したいのは、リアルタイムシミュレータのことです。大規模実証設備や、高度のアナログシミュレータについては、電力さん、電中研さん、産総研さんなどいろいろな機関がお持ちだと思いますが、大学で持つことはなかなか難しいです。プロジェクトリーダーからお話がありましたように、データが広く公開されてないと、学生が「なぜこれができないのか」とか、「（実用には）難しい点があるって言っていたけど、それは自分のアイディアで何とかならないのか」、と考えて、それらを試そうと思っても試す方法がないということでした。

値段はまだ高いのですが、リアルタイムシミュレータを手に入れば、まずは若い人が、自分の好きな、あるいは得意な分野で入口としての研究ができる体制を作ることができます。教育・人材育成という意味では、小学生・中学生・高校生・大学生・大学院生・社会人など、対象によって答えが全部違ってくると思うのですが、いま私が紹介しているのは大学院生あるいは大学卒研生程度を対象としたものです。そういう人たちが自分の腕を試したいときに、試す環境、例えばパワーエレクトロニクスの変換器技術が得意な人は変換器を作り、系統側はシミュレータで再現する電源で模擬することによって、予想外、例えば理想正弦波電圧ではない動きをする電源に対して性能試験ができます。自分の変換器が機能しない場合に、どうすればいいのか、何が問題なのかっていうのを片っ端から試すことができるっていう環境を作りたい。それで学生がその分野を目指してくれば、大正解ということになると思います。

いただいた三つの論点のうちの「電力システムの魅力」について、私も改めて何が好きなかを考えました。今日のお話もそうですけれども、電気工学だけでなく土木ですとか機械とか、あらゆる工学の集大成になっていて、いくら学んで、いくら研究しても新しいテーマ、未知なテーマが出てくる。なぜという疑問が増えるのですが、それがわかって説明できるようになるとドヤ顔ができるところは、電力システムが確かに多様な技術の集大成であるところから来ていると思います。

経済面からの議論でも、電気工学ならではのという特徴があると思います。考えていくと、電気工学を体系的に学ぶ必要性について、今日のシンポジウムでもひしひしと感じており、電気工学というジャンルを潰すわけにはいかないと感じている次第です。

本日の先生方のご講演の節々に、理解に時間を要する電気技術が含まれていました。例えば三相不平衡であるとか、高調波とか、これを今の学生に説明しようと思うと、この授業を受けて、あの授業を受けて、とりあえず勉強してこない、そう簡単には理解できないということがたくさんありました。（体系的な学修をしていなければ、）何かをやろうとしたときに、（理解不足のところで）引っかけりそうな気がします。講演者4様のご講演で系統がわかるパワーエレクトロニクス技術者というメッセージがありましたが、実はこれが先ほどのリアルタイムシミュレータで系統を再現してパワエレの実験をして、パワエレがどうモデル化されるかを系統側の技術者に渡して系統側の技術者にパワエレはこんな動きするけどどうだということで系統の挙動を見てもらうという、お互い成長できる環境に自分も貢献していきたいと思うし、そういうところの真ん中にいるのが、先ほどおっしゃったように、電力システム技術者であつたらいいと思っています。

（送配電）

モデレータ2

続いて、先ほどのパネルに続いてのご登場になりますパネリスト5様、お願いします。

パネリスト5

（いま起こりつつある電力システムの構造変化）

1 ページ目お願いいたします。はい。こちらの左から右の世界に変わっていくということで、今まで大きな電源が一方通行で需要家に行っていたのが、本当に太陽光・風力、分散電源、それから需要の参加により、電気の流れは双方向になり、参加者も著しく増えるということです。

そうしますと、今までハードで送変電設備を建設して、それを保守・維持できる人が必要で、お付き合いするのも重電メーカーや鉄塔材料を作っている会社さんでしたが、これから非常にプレイヤーも増えるということで、計算機でデータを処理する力も増えるということですから、設備をソフトで繋いで動かしていく。何でも設備を作るのではなくて物理的な制約を運用で解決するためにデジタル技術が必要となり、私どもお付き合いする会社も IT 企業とかベンチャーとかが加わります。新しい技術をどんどん開発して、ネットワーク需要家も多い中、これをどう最適に繋いでいくのか、活躍いただくのかという世界に変わっていくことですので、お付き合いする方も、左の世界に加えて右の世界で増えていくところです。ですので、電気の運用の世界が変わっていくということは、それだけいろんな方々にご参加いただける、そういった事業分野になってきていると思っています。

（第7次エネ基を受けて）

2 ページは飛ばしまして、3 ページ、お願いいたします。先ほどは右の図を説明しましたが、今度は左の図を見ていただきます。左の高い方のグラフが日本の総エネルギー需要で、そのうち電力は下の青い部分で、全体の3〜4割ですけれども、これからカーボンニュートラルを目指し、電気もどんどんカーボンニュートラルに変わっていくと、上のオレンジの部分の需要が燃料転換で電気に変わっていく可能性だってあるという意味では、このオレンジのところの消費者とも対話をしながら電化していくことはカーボンニュートラルに資するポテンシャルとしてあると思います。この一つは立地の話かもしれませんが、Watt-Bit にも繋がるということで、今までお付き合いしていた需要家などだけではなく、カーボンニュートラルを機にいろいろお付き合いを広げていけるところが電力分野の魅力ではないかと思っています。

（作業員の減）

4 ページお願いいたします。こちらの現場で働いている方々がずいぶん減って高齢化も進んでいるということです。一方、少し暗い話で言いますと、現実問題として、現場で設備を維持していただく方々が本当にいなくなりつつあるということがあります。なかなか入っていただけないし、入っても本当に離職が多い状況です。もう私どもの協力会社の中でも新入社

員で採用しても半分は辞めていくという話も聞いたことがあります。鉄塔の現場とか見たことないかもしれませんが、日本には山が多く、すごい3K、非常にきつい職場でもございます。

（サプライチェーン）

そういったことを考えますと、ちょっと5ページじゃなくて7ページをお願いしたいのですけれども、この一番下の人を書いてある通り、ロボットとかAIとかを使って現場の負担を減らしていくことも併せて行うことで、新しい技術を入れていくところに人を回すことができるようになる。日本の人口が減っていきますから、新しい技術を使って少ない人数で仕事していくことも必要になりますし、そういったところに新しい開発や技術入れる余地があり、もちろんベンチャーさんなどの智慧を入れる必要があると思っています。

それから少し技術的な話では、前半の議論でもありましたインバータを交流系統で繋ぐためには、パワエレと系統の両方知っている人も、改めて必要だと思います。系統工学の分野は大学でもだいぶ研究室が減っていると聞いていますが、今一度、そのパワエレを交流系と繋ぐためにはそういった技術がやはり必要になってきて、いま一度それを振り返る時期であろうとも思っております。

そして下の段、2段目にサプライチェーンと書いています。人を維持するためには、電力会社の研究だけでなく、メーカーから研究者、設備を運用する私ども、それから、工事事業者、こういったサプライチェーン全体の人をどう集めていくかっていうところがございます。

そのためにはしっかり投資が回っていくっていう中で、今申し上げた他のいろんなベンチャーとかの新しい技術も入れながら、もしくは他の燃料が熱源になっているところからも新しく需要を取りながら発展していく姿を見せていく必要もあると思っています。以上でございます。

（電力工学に関係する諸分野）

モデレータ2

はい、ありがとうございます。それでは次にパネリスト10様お願いします。

パネリスト10

私はこのスライド1枚だけです。昨夜作った資料でいい加減なところがあるのですが、私の自己紹介は38年間東大で電力システム工学の教育と研究に従事して、3年前に定年退職した者です。電力システムって何っていうのを若い頃からいろいろ教育研究に携わってきて思いますと、ここにありますように、先ほどパネリスト9様もおっしゃられたように、いろんなことを勉強しないと電力システムってわからない学問分野なのだなということです。ここにあるように、発電から始まり送配電、そして電気機器工学、ここでパネリスト4様とパネリスト9様の専門のパワエレが抜けています。それから制御工学、数理工学とは最適化の数字的な技法、システム工学、左に行きますと、高電圧工学、これは電気機器工学に

もう少し当てはまるかもしれませんが、そして材料工学、電力応用があります。それに加えて、昨今は経済学、そして社会の制度論も身につけていないと実際に電力システムを理解して、その研究開発を進めていくのは難しいと思います。電力システム工学ではコストを目的関数とし、社会コスト最小化、送配電費用最小化、燃料費最小化という最適化問題で解いてきており、電力システムを勉強・研究する人はこの経済学的な関連は昔からありました。しかし、最近の電力自由化、電力システム改革という面で、やっぱり社会制度論も頭の中に入れて電力システムを扱っていくことが大事であると思います。

それで、どういう人材が必要かということを考えると、高いところから全体を見渡せる人を考えると、先ほどの幅広い、技術、経済、社会、制度などをよく理解した上で、先ほどキーテクノロジーと言われたいろんな最先端技術の研究開発ができる、そして社会実装含めてリードできる、理想的にはこういう方をたくさん輩出していくのが日本の将来の電力システム、カーボンニュートラルに向けた電力システム、次世代の電力システムを作っていく上で、非常に必要な人材であろうと思います。

このように電力システムを扱う学問はこれからは大変だろうと思うのですが、その魅力というのは、これからのカーボンニュートラルに向け電力システムはエネルギーシステムの中の中心になります。先ほどパネリスト 8 様もおっしゃいました、電力エネルギー×X という分野であって、ここに例えば X に ICT が入りますと Watt-Bit 構想になりますし、交通が入るかもしれない、いろんな X が入ってくると思いますが、そういう電力から外に向かって様々な新しい分野またはビジネスが出てくるところに将来魅力あると思っており、そういうところを皆さん若い方にぜひアピールしていければなと思いました。以上でございます。

（高専と大学、必要な人材）

モデレータ 2

ありがとうございます。それでは、最後になりましたけれども、パネリスト 1 1 様、お願いします。

パネリスト 1 1

（自己紹介）

今呉高専の校長 4 年目になりました。広島大学を定年になり、呉高専に行き、今特任教授という形でどちらでも仕事をしております。それから、中国電力の関連会社の中電工の社外取締役も 5 年目になるところです。元々基本的に研究面では 40 年間ぐらい電力システム工学をやり、安定性、信頼性、最適化などに携わり、それからここ 10 年インバータ設計、特に GFM インバータ設計などをやっていまして、新しい事をやるのが非常に好きだということで、いろいろなところに手を出してやっています。

（これからの電力システムのために必要なこと）

本題に入って、これからの電力システムのために必要なことについてここへ書かせていただいたのが、電力事業の維持のための環境整備です。このように書かせていただいているのですが、日本にはかつては世界一の電力技術があり、私らが若い頃は本当にそういう状態でした。これは電力会社さんの設備投資に支えられていたわけで、これが現状なくなったことで、技術というか事業から撤退するところが出てきて、人がいなくなり、それで今の状況になっているという認識をしています。

基本的には企業は収益がないと事業を維持していけないということで、そこが今の一番の問題であると思っています。先ほど打ち合わせの席で発言をさせていただいたのですが、日本全体としてのビジョンがはっきりしていないのが最大の問題じゃないかと。ここがはっきりすることで、企業は安心して方向性を打ち出して、また新しい分野に参入できるとか、新しい技術開発もできると。基本的にはそれがないと技術継承もできないし、技術開発もできないというのが、私が今感じているところです。それと、人材育成のための環境整備ということで、この後に現在やっている取組を説明させていただきます。その次に安心・安全社会のための電気エネルギーセキュリティ特別調査専門委員会と書いていますが、これは当時の電力システムの状況に関して危機感を持ち、電気学会でいろいろ議論させていただいたものです。この名前でネット検索していただければ報告書も見られるようになっています。

（将来に向けどんな人材が必要か）

次に、将来に向けてどんな人材が必要かです。これは我々やっている分野だと思うのですが、どんな将来が描けるかが今本当にわからない状況で、電力システムは、インフラですから必ず維持していく必要があるため、やはり必要な人材はまず電力システム工学技術者になると思います。安定性の話、信頼性の話、先ほどシステムストレングスとかいろいろな話が出てきましたけれどもそういう話、それから最適性の話、これも非常に重要な話で、コストの話も含めた最適性、それから DX、GX こういったところは全部含めて包括的に全体が見られる人が必要です。それから電力システム技術者としては国際性、コミュニケーション能力を有して海外の技術者と渡り合うことが絶対に必要だと思います。

電力システムに取り組む魅力はまた後ほど議論させていただきたいと思います。次のページに行っていただければと思います。これは今我々が実施中の人材育成を兼ねたプロジェクトで、広島大学と呉高専の両方に私は携わっています。両校で連携して、高専の学生が大学院に進学する制度を作りました。4 年前に着手し試行錯誤を繰り返して、今年成果が初めて出て、大学院生 3 人が呉高専から進学しました。このコンセプトは、黄色で書いてある部分が大学の研究室ですが、例えばこの研究室の中で研究テーマを設定して大学の先生と高専の先生が共同研究契約を結びます。その間に高専の専攻科の学生が入ってその学生が研究室のメンバーとして共同研究に参画し、大学と高専の両方で面倒を見ます。これを半年程度実施して大学側で学生の能力を長期的に評価し優秀であれば、大学院に推薦するという制度です。

現在の課題として高専に電力システムの先生がいないので、そこも含めて一緒にやっていくということで、研究室単位で重要な分野を育てていくという考えです。これは大学の先生だけではなくて、高専の先生、それから高専の学生、その高専の学生がまた将来大学で活躍して、また研究者になるとか、そういう形で電力システム工学を支えていくビジョンです。以上は専攻科での取組ですが、これを本科に展開して、本科のプロジェクト方授業に大学院生が教えに行く取組を今年からやろうとしております。以上でございます。

モデレータ2

はい、ありがとうございます。いろいろな取り組みをされていることとか、必要な人材、こういう人たちが必要であるところはいいろいろお話しいただいたと思いますが、実際に必要な人を揃えて、本当に全体を見られる人を作っていくっていう観点で言うと、ありがたいところは先生方おっしゃったのだけど、そこまでいくステップは、やっぱりなかなかクリアになってないなっていうような印象をちょっと持ちました。せっかくの機会なのでちょっと視点を変えて、まずご意見があったらいただきたいと思うのですが、パネリスト8様がおっしゃった「電力×〇〇」ということは、今まで電力に触れてない人たちとコミュニケーションしないといけない。

それから私今日伺っていて、大学ではずいぶんいろいろな仕組みの取り組まれていると思うのですが、そもそも電力、あるいは電気工学科に入る学生さんが減っているという論点になると、若い世代に魅力を伝えることが必要になるのではないかと思います。それでビジョンの議論があって、その議論はなかなか難しいのですが、少なくとも先生方がおっしゃったような、総合的に智の集大成であったり、ライフラインを支えたりというようなことも含め、この電力システムの魅力を違う分野の人、あるいは若い人に発信する取り組みはやられているのかについて伺いたいと思ったのですが、どうか何かありますでしょうか？

（若い人への発信）

パネリスト7

これ、電気の分野に人持ってこようと思ったときに、その前の段階の人にリーチする必要があるのは全くその通りで、長年議論してきてそこを何とかしなければならないという話がございます。

電事連にパワーアカデミーという取り組みがあり、そこではまずはホームページなどでしっかり魅力を伝えることをやった上で、非常にスポット的になる部分もありますが、ロボコンなどとタグを組んで、コンテスト的なことをやるとか、少し小学生とか中学生とか見るようなところに記事を出してみるというようなことは、試みとしてやってきています。これがどれだけ効果が上がったのかを計測するのは難しいのですが、そういう努力をしてきています。

最近では YouTube とかで配信できるようになったこともあり、一部の方が電力システムにこんなことがあって、こんなところがすごく面白いというようなことを紹介する電気系 YouTuber なんていう方がいらっしゃるって、そういう方々ともコラボしてゆくことも必要だと思っています。

（意識の変化など構造的問題）

モデレータ 2

はい、ありがとうございます。他にはいかがでしょうか。

パネリスト 8 様、“x○○”について、他の分野へのアプローチという意味で何かコメントとかありますか。

パネリスト 8

ご質問、ありがとうございます。私は悲観的な人間なので、ちょっと悲観論をまた展開したいと思います。やはり構造的問題を直視すべきだと思います。電力システムだけではないと思うのですが、ディープテックの先ほどの話にも関連すると思うのですが、日本人の間で、公共心というか、公のために何かやるという意識が減っていると思います。無くなっていると言っているのではなく、減っていると言っているのです。文系、理系、今少し区分けがいい加減になってきますけど、東京大学法学部を出て一番優秀な人はまだ財務省に行っているかもしれませんが数は減っています。明らかに公務員になる人は減っています。資源エネルギー庁や経産省に行く人も減っていると思います。それって大問題です。理系も同じ状況で、例えば工学部だったら工学で社会問題を解決したいという人よりは、自分でスタートアップして AI で儲けたいという人が多くなっていると思います。

繰り返しますがそういう人がいないわけではありません。数が大事なので、イノベーションとか新しい技術が社会を変えるのは数の問題です。民主主義ですから、数も大丈夫、マーケットも何%普及するか、どれぐらいこういう技術を出すかという話で、やっぱり公共心が減っていて、電力、どなたかがおっしゃられているのですがインフラでもありますし、やっぱり公共サービスなのですかね、ぜひ安定供給が必要というのはまさにそうですよね。それを実現ための社会制度はありますが、最初に若者の心に公共心があるか、多分減っているのだと思います。大問題です。この問題への回答はもちあわせていません。

（若い人への発信）

モデレータ 2

わかりました。はい、どうぞ。

パネリスト 1 1

私の経験では、大学で電力に興味を持たせるため、例えば、面白い授業をやれば学生は興味を持ち研究室の人気を維持することができました。しかし今高専の学生に電力の話をしてても全く伝わりません。私が先ほどの制度を始めてもう 4 年目になります。電力の分野に限っては 4 年経ってやっと 1 人だけ学生を拾えたということです。結局のところ、高専に電力の先生がいない、基本的には先生がいないと魅力が伝わらないのです。高専の先生も電力の授業やりますが、本当の意味で電力が好きでやっているわけではないし、研究をやっているわけでもない、重要性や面白さが伝わっていな

いのです。やっぱり人だなと思います。ですからこの制度も今上手く行きかけてきましたが、まだ完全にうまくいっているというわけではありません。現在この制度に参画する先生や学生が飛躍的に増えています、これからいろいろなことをやりながら、学生に興味を持ってもらうことをずっと続けていくことかと思っています。

モデレータ2

私が口を挟むのはよくないのですが、雑談的になりますが、私は東大の生研と一緒に STEAM 教育というのをだいぶ前からやっていまして、それをやり始めた原点はやはり理系に行く人材がすごく減っているという、さっき先生がおっしゃった話です。そのときに、日本の場合はシステム上、高 1 のときに理系・文系がわかれてしまうので、その前に動機付けが必要ということで始めたのですが、ある学校に行ったときに高校 1 年生の女子生徒が、英語の医学の原著論文を読んでいた。どうしてって聞いたら、この前病院に行って病院の先生の話聞いて私は将来絶対基礎医学をやりたいと思い、そう思ったから英語もやるし、化学も生物も一生懸命勉強していると。これが動機付けなんじゃないかなと思っていて、そう思ったときに、電力の魅力を中学とか高校生に見せるということが結構重要で、これは大学の役割ではなくてもっと産業界とかも関与して現場のことを知ってもらいその魅力を伝えることが重要じゃないかということを、その経験から私はすごく思っています。無茶ぶりですが、パネリスト 5 様さんいかがでしょう、産業界から。

（産業界、これまでの取り組み）

パネリスト5

ご指名ありがとうございます。今いろんなお話伺って、いろいろ考えるところがあるのですが、私が小さな頃と比べると今停電はすごく減っています。私が子供の頃は家にろうそくがあって、雷が来たらろうそくで明かりをつけて、電気ついたねという電気のありがたみを感じる機会がありました。ところが、今はもう停電がほとんどない。そうすると電気って、あって当たり前で、どこの会社から電気を買っても質は変わらないので、電気のありがたみや価値を感じる機会が相当減っていると思っています。私どもの会社、ちょうど 30 年前も阪神大震災があり、あのときは神戸中が停電をして、その復旧を 1 週間ぐらいで行ったことがありました。そのときに若い、小学校、中学校、高校だった人は、その思い出を元に、私どもだけではなくて協力会社も含めて入ってきてくれています。

電気というものに触れる機会というか感じる機会がずいぶん減っていて、それは質が上がったことの裏腹であるところが非常に難しいところですが、電気のありがたみをどう感じてもらえるか、どう伝えられるかをもっと考えていく必要があると思います。例えば台風で停電したときそこを復旧すると、「やっぱりこんなに努力をしている会社があるのだね」と言ってもらえます。

そのようなところをうまく X とか YouTube 使って発信するとか、触れる機会を増やしていかなきゃいけないなと思っています。質が上がると価値を感じていただけなくなるのは、難しい世界だなと改めて思っています。

モデレータ2

そうだと思います。当たり前になったってことが、他に何かご意見ありますか。パネリスト10様。

パネリスト10

私は、パネリスト8様ほど悲観論者ではないのだけど、冷静に話をしますと、東大で電気電子工学科の中で電力工学を勉強する人って元々少ないのです。昔は学科全体で80人いたのですが、昔と言っても私がまだ学生よりもっと前の話です。私の恩師がまだ若い頃からの話ですが、電気の中に当時も情報通信、半導体もあったと思いますが、電力分野に枠を作って強制的に20人確保するということまでしないといけないほど、昔から人気がない分野でした。それでその頃から皆さんやつぱり人気をあげるために様々な方策をとっていました。

電力自由化でますます志望者が少なくなったということで、昔、政府、エネ庁と産学官で人材育成について委員会も作って議論しました。その後、産業界も取り組んでいただいて、先ほどパネリスト7様がおっしゃったパワーアカデミーも作り、産学で魅力を向上して人材を増やす取り組みが現在も続いています。現状、電力自由化もそろそろ収まり、そして再生可能エネルギーの問題や、新しいカーボンニュートラルに向けて電力システムを次世代化していかなきゃいけないというこの時期が、また何回目のトライかわかりませんが、ちょうどいい機会だと私は思っています。

モデレータ2

ありがとうございます。先ほど Watt-Bit 連携みたいな話があって、私はどちらかという通信とかをやってきたのでその観点から言うと、いわゆる ICT とか AI とかに興味を持っている人は今すごくたくさんいて、その能力を実際に展開する場として、電力ネットワークほどチャレンジングなところはなくて、面白いのではないかと思います。

でもそういう人たちが、その電力システムに目を向ける構造になっていないのではないかと。だから電力をやりたい人たちが減って、その人たちのためのプログラムは作っているのだけど、まさにパネリスト8様がおっしゃった話の通りだと思うのですが、AI に興味を持っているような人たちがここに興味を持つ、だって場としてはすごくチャレンジングなところなので思ってもらって、そういうことを何かやれないのかと思って、聞いていました。

そういう意味で NEDO プロをやられているパネリスト9様とかパネリスト7様、現状の範囲とそれをもう少し広げる観点について、何かご意見ないでしょうか。

（より広い発信）

パネリスト9

はい、ありがとうございます。今のテーマについて少し気になっていることを申し上げたいと思います。初等中等教育のときに、エネルギーとか電力システムに興味を向けてもらうかも、私は大事だと思っていて、地域のエネルギー活動にも私はお手伝いをしているのですが、今ご提案いただいた NEDO 事業はあまりにも専門の方に寄っているので、それを中学校に

そのまま持っていくわけにはいかないのですが、そのリンクは考えています。成功例としては、徳島大学では大学として夏休み理科教室を、愛媛大学さんもそうですが、四国内ですっとやっていて 20 年以上にもなりました。実はそのときに来てくれた小学生がずっと意欲を持ち続けたかどうかはわかりませんが、徳島大学の理工学部に来てくれたという実績も出てきました。そういう小中学生を見ていると、女性も多くて、エネルギーに興味持つ壁新聞とかもたくさん描いてくれるのです。この子たちが高等教育でどこいったのだろうというのはずっとと思っています。オープンキャンパスとか高校生対象にいろいろ大学は頑張るのですが、中学生にも出前授業なんかを連携できたらともっています。

ただ中学校の中で、エネルギーのベストミックスを教えるようになってきていて、これ非常にチャンスだと思っています。そういうところで話ができると面白いと思う一方で、エネルギーは「技術家庭」の時間の中で扱うということであれば、時間数が少ないのと、エネルギーを考えたらやっぱり省エネが大事となって、そこから家庭科に興味に向く場合もある。色々な科目にも関わっているということがエネルギー問題の非常にいいところである反面、若い人を逃してしまいやすいところかもしれません。社会とか理科に興味に向いていて電力に興味を持ち続ける人が少ない事情もあるので、小さいときに成功経験、例えば壁新聞とかで成功した人に、電力の面白さが伝わるような活動ができればと思っています。

パネリスト 7

はい。パネリスト 9 様がおっしゃられた話も全く同感でございまして、ちょっと別の観点からです。分野間の対話をしっかりするってことが、大事だろうと思っています。それで何か小規模の実証であっても成功例を作る、これができるっていいことがあるということを示すことが非常に重要で、それと若年層からのいろんな訴えかけとか、問いかけを並行してやっていくことが大事だと思います。EV が電力システムと大に関わりがあり、EV と電力で、最近 EV グリッドと言う取り組みが行われていますが、業界間で対話をするはずいぶん考え方が違うことが改めてわかったと伺っています。逆にそこからスタートをして求める価値を両方で認め合うプロセスが重要だということを、私自身が参加しているわけではないのですが、そういうふうに思います。

Watt-Bit の話についても単純に言うと、データセンターで大量の計算が行われるわけですが、それがいつ、どこで、どんなふうに行われているのかわかっていません。やはり電力システムを作ってこれから運用していく立場の人と、データセンターを作っていくところの両者が対話して組むことでどのように新しい価値ができるのかをはっきりさせ、例を作っていくことが重要だと思います。

モデレーター 2

私の聞きかじりの範囲ですが、AI ですごく電力使って、AI の学習は時間をずらして学習できるので、電力が余っているところで AI の学習をさせると、DR 的な部分も入れながら、今の時代と電力の組み合わせになり、相当違う世界が見えてくると思います。でもそれにはそういう人たちと連携した議論が必須で、データがないという議論もありましたが、そこをどう打ち破ることで次の展開が見いだせると思いますし、この領域に興味を持つ人もぐんと増えると思います。

(システム全体を見られる人材)

モデレータ2

そろそろ時間です。あと 10 分、もうひとつ議論したいことがありまして、電力システムは技術や科学の集大成だという話があって、それを全体見られる人が必要ということなのですが、そんな簡単には人はできなくて、でもいろんなプロジェクトマネジメントをやる人はいろんな業務をやりながら全体を見られるレベルに上がってくという形でしか人はできないだろうと思っています。そう思ったときに、今の Watt-Bit もそうかもしれませんけど、本当にシステム全体を見られる人を作るためのキャリアパスの議論ができてないと、ありがたい人について言っているだけになってしまうとすこし思ったりするのですが、パネリスト 10 様いかがでしょうか？

パネリスト 10

そういう人材を作っていくためには、企業、例えば電力会社とかメーカーさんとか、そういうところではシステムティックに教育していったらと思います。問題はアカデミックな世界においては、そういうことが難しいということで、例えば東大ではパネリスト 8 様のところとか、それから経済学部でも電力システムの自由化に関する経済学的、社会学的な講義もある。ということで、そういうところと連携をしながら、トータルとして電力システム全体を見渡す若い人の基礎的な力を養うというのも一つのやり方であると思います。

だから、一つの大学でできない場合には、いろいろな大学が集まって補っていくとか、またはパワーアカデミーがそういうところを担うとか、先ほどパネリスト 7 様のやられている NEDO の特別講座でもそういう一翼を担っていただくとか、全体で協力しながら基礎的な教育、人材育成をして、そして企業に入ってから、企業は企業で、きちとしたシステムティックなラインに乗せて、上に上がっていくというふうなことを考えています。

パネリスト 5

企業に入ってからという話もあり、少しだけお話させていただきます。今までは終身雇用、一度会社に入ったら最後まで勤めていただけることを前提に物事を考えていたので、社内のジョブローテーションの中でいろんな技能を持った人、マルチな人を育ててきました。しかし、今は長く時間かけたらいろいろ経験できるというもやとした育て方では、若い方は満足しないといえますか、仕事を変えてマルチな能力を身につけていくことを期待して転職する方が非常に増えてきている印象を持っています。そういう意味では、これではまだできてなくてこれからの課題ですが、私どもも社内でのジョブローテーションがあるのかを、仕事をジョブ化して表現していくとか、どういう経験をどう描いていけるのかを見せていくことも考えていかないと、若い人で、仕事を変えることによってその経験を得ようとする人を、どう引き留めるではないですが、会社の中でもできることをさせていくことも考える必要がある。昨今の事情を見ながら思っているところです。

モデレータ2

ありがとうございます。どうぞはい。

パネリスト8

パネリスト5様がおっしゃられたことはその通りだと思いました。やっぱりそうなのですかね。いくつか教育プログラムの話がありましたが、例えば、35才でこれまでIT畑でやってきて、いきなり温暖化の現実を直視して、大船渡の森林火災を見てやっぱり電力だと思った人を受け入れる体制が大学にありますかとか、そういう話だと思うのです。

そこら辺は大学側の問題もありまして、社会が終身雇用型システムからジョブ型雇用に変わる大きな流れで言えばそういうことだと思うのですが、それはまだまだ私の周りを見ても課題があると思います。

モデレータ2

ありがとうございます。それではフロアから何か質問。どうぞ。

（フロア質問：ワクワク感）

会場質問者3

大変興味深く、共感を持ちながら聞いていました。ですが、一方で、人材育成に対する考えが古いという感じも持っています。

一つは、若手は育成されるよりも活躍したいところがあるので、そういう人たちは工学部に入って、大企業に入って育てられるという、もうそういうルートではないのですよね。したがって学生にとって儲かる、ワクワクするっていうのは、多分違う世界の話だと思いました。

もう一つはその電力工学の人じゃなくて、電力システムに興味を持つ人を増やすべきだと思っています。結局その工学に行きたいという人って結構難しいですよ。昔は、要は工学に行っておけば就職先があると言われていたのですよね。だけど多分違うのではないかなと思います。電力システムに関係する人をたくさん集めると考えると、今の電力工学以外の、さっきの×の話の人たちで、そのフィールドを作ってそこで人材育成だと思います。そのときのその世界観はどんなになるかというのと。すいません。

もう一点は、学生だけではなくて、企業の若手も育てる必要があると思うので、そういう世界観の人材育成についてのコメントを一つ聞きたいです。お願いします。

モデレータ2

ありがとうございます。逆に質問させていただくと、その若手がワクワクする電力っていうイメージで何か具体的なものがあります。

会場質問者3

儲かることと、最先端であることだと思います。だから、電力工学って言われるとワクワクしないけど、Watt-Bit だとワクワクするとか。これが最先端ですと先生たちが自信を持って言って、それが自分 1 人ではなくてこんなにたくさん仲間いるとか、国際世界の中の最先端でこんなに戦っているんですとか、何かそういうワクワクがすごく伝わるので、そういうふうに学生にも共感を伝えるところと、儲かりますっていう話だと思いました。

モデレータ2

はい。どなたか先生方から、お答えをいただけますか。

パネリスト1 1

私も多くの学生も見えていますし、企業の中に入った方々が辞められるという現実も、いつもいろいろ議論しています。けれども、企業の場合は今のいわゆる採用スタイルは既に変えてきていて、先ほどから言っている終身雇用を考えている人はもうほとんどいなくなってきていると感じます。例えば入ってすぐに辞める人も多いですね。

それから3年とか5年ぐらいしてそこで辞める人もいます。そこで辞めた人が外を回ってきて、前の会社がよかったと言ってまた戻ってくる人もいて、今はそういう人もまた採用するようにしています。大学生もそうですが、高専の学生も人によって様々です。

今言われたような人もいますし、全然違う人もいますし、終身雇用的な安定性を求める人もいます。ケースバイケースです。いろいろな学生を結局は受け入れて育てていくというスタイルかなと思っています。

モデレータ2

はい。どうぞ、はい。

パネリスト5

私どもも募集をすると、国際、新規事業、イノベーション、こういったところはすごく人気がある。ところが、企業の立場でいきますと、やっぱり私どもはベース業務をやっていく必要があり、そういうキラキラした世界じゃない分野にも人が必要であり、全員が全員を同じ言葉では集められないのですが、今おっしゃったような魅力のある分野ももちろん集めるし、そうじゃなくて、やっぱりベースのところも集めていかなければいけない。そうじゃないと、先輩方はベースをやるけど、若い子ばかり新しい世界ばかりする。けどもそういうわけにもなかなかいかないという、バランスの中でどう人を集めていくかというところが、非常に悩みであるということです。

モデレーター2

はい、ありがとうございます。きっとそのベースの人たちに対してもどういう魅力を伝えるかはやはり重要なと。このパネルでは魅力をどう伝えるかという全体を通しての議論だったので、今いただいたことに今日の段階では答えはないと思うのですが、どういう提示の仕方をするか、場を作るかみたいなことは、多分後半の1年でプロジェクトリーダーが議論されると思います。他に質問ありますか。ネットの方は大丈夫でしょうか？それではそろそろ時間なので、無茶ぶりでプロジェクトリーダーにまとめていただこうと思います。

（まとめ）

プロジェクトリーダー

本日の議論で、とりまとめに向けたいろいろ材料を聞かしていただきました。まずこの場にふさわしくないかもしれないですけど、一つだけまず言いたいことは、この10年くらい電力があまりにも悪者になっているのではないかと思います。そこに本当に事実があるのであれば話は別ですが、安定供給に向け努力を続けている業界に対して、世の中の扱いがちょっと不当かなというところがあります。これは真摯に改めないと、理屈以前の話になってしまう。

その上で、電力側にも悪いことがあるとすると、私が一番感じているのは、まずいことを教えてくれないことです。世の中に全部うまくいっていますと言わないと、世の中が安定しないとか配慮がある、またはやっぱりその規制をしてちょっと問題があったらまずいと言われて、問題があると素直に言えないところです。

今日の議論を聞いていて思ったのは、その問題がありますということは、実際にはそれを解決してくれる人を求めているということに繋がるはずなのだけれども、問題がないって言ったのだったら、仕事ないと思われるような気がします。

この二つが一番の基本的に感じたことです。あと、私に近い分野では、日本はソフトウェアとデータのハンドリング、これが海外と比べて日本の電力の世界では落ちていると思うのです。いろんな課題が現実起こっている、いろんなソフトウェアの活用が伸びて、データの整備がフォーマットのにも進む、ということが起こっているのだけど、日本だけ別の世界になっている。ですので言葉もなかなか通じない。これは一部のローカルな話ですが、いくつか脱皮しないといけないところがあると思いました。

とても言い切れない話ですので、頑張りますということで締めさせていただきます。

モデレーター2

いいえ、あのどうもありがとうございます。今もあったようにこのプロジェクト、今中間なので、今日はインプットということで、またみんなで頑張りたいと思います。

それではこれでパネルの2を終わりたいと思います。パネリストの皆さん、感謝を込めて、皆さん拍手をお願いします。どうもありがとうございました。

閉会

プロジェクトリーダー

はい。少し時間が押していますけれども、無事にスケジュールが来ております。それでは最後に閉会の挨拶を、生産技術研究所 ESI チームの鹿園先生にお願いいたします。

閉会挨拶

今日は 300 人を超える多くの方に集まっていただき、本当にありがとうございます。ご登壇いただきました先生方そして、ご準備いただいた事務局の方々本当に感謝申し上げます。

今日は電力システムの移行ということで、カーボンニュートラルが念頭にあらうかと思いますが、いろんな紛争とか、トランプさんの話とか、ますます混迷を深めている中で、難題がより難題になってきているとは思いますが、でも今日の議論では、人と企業をどう巻き込んで、それを解決していく、そのときに、ビジョンとか、それを裏付けるデータなりシミュレーションなり、そういったことの重要性が改めて浮き彫りになったと思います。

そして人材育成に関しても、ここは電力システムに限らず、日本全体の大学も含めてだと思いますが、東大の工学研究科は来年度から講義は全部英語になります。留学生を集めるためです。もう留学生なしでは研究できないのが実情であります。ですから、特にこの電力の場合は、安全保障の問題とかいろいろ考えないといけないと思うのですが、優秀な外国人の方々に活躍してもらうことが必要です。今日の議論がそういう人たちに魅力を持ってもらえるようなところまで広がって、日本全体の活力に繋がってほしいと思います。

電力でできないと、他の分野はもっと小さいし、人も少ない。電力システムがトランジションのシナリオをうまく描いていくことが、他の分野の人たちにとっても先鞭になって、非常に参考になると思いますので、ぜひ残り 1 年でのいい成果といいますか取りまとめをしていただきたいと思いますし、ぜひお願いしたいと思います。

プロジェクトリーダー

本日はご参加いただきありがとうございました。

これで全てのプログラムを終了いたしました。本当にありがとうございました。意見交換会に出ていただける方は、この建物の 1 階のレストラン アーベです。

あと対面の方は紙でお配りしたアンケートにつきまして、ぜひ 3 分で書いていただいとお進みいただければと思います。どうもありがとうございました。

以上