

JR-EAST Innovation 2013 基調講演

「電力、鉄道分野におけるエネルギー マネジメントのスマート化」

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 教授

横山 明彦 氏

1984年東京大学大学院工学系研究科電気工学専門課程博士課程修了(工学博士)。1989年同助教授、2000年同教授を経て、現在、東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻教授。

主な研究内容:電力システムは巨大な電気・機械・経済システムであり、物理現象の解析から電力取引市場の経済的評価まで幅広い研究テーマがあり、この電力システムを対象として、計算機によるシミュレーション技術を活用し、応用数学から制御工学、電気工学、社会経済学の観点から研究に取り組んでいる。



JR-EAST
Innovation 2013

1. はじめに

本日の内容ですが、まずは電力システムを取巻く環境の変化についてです。2011年3月11日に東日本大震災があり、その後、皆さまに電力供給でご迷惑を掛けました。そのような3.11前後の電力システムを取巻く環境の変化や、太陽光発電と風力発電を含めた再生可能エネルギーを大量に導入する際の課題と対策、電力システムのエネルギーマネジメントのスマート化、そして、これと非常に共通する点のある鉄道におけるエネルギーマネジメントのスマート化についてお話をしたいと思います。

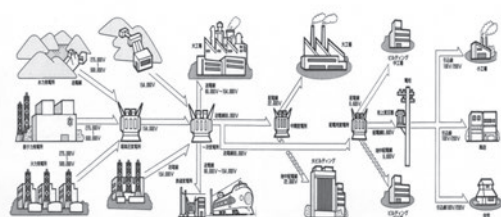
目次

1. 電力システムを取り巻く環境の変化
2. 太陽光発電大量導入時の系統課題と対策
3. 電力システムのエネルギーマネジメントのスマート化
4. 鉄道におけるエネルギーマネジメントのスマート化

2. 電力システムを取り巻く環境の変化

皆さま良くご存じだと思いますが、電力システム(電力システム)とは、発電所から送配電ネットワークを通じ、需要家まで電気を届ける一体化したシステムのことで、JR東日本で言いますと、信濃川水系の水力発電所や川崎の火力発電所から自営の送電線を使い、電車や駅などに電気を供給することです。JR東日本が一般電気事業者と異なるのは、自社で電車の負荷、駅ビルの負荷を持っているという点で、そこに特殊性があるのではないかと考えています。

電力系統(電力システム)とは

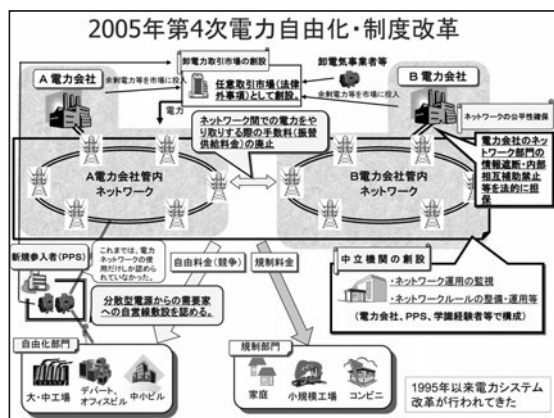


火力、原子力、水力の各発電所で発生した電気は、発電所→送電線→変電所→配電線→引込線などの電力設備を経て、需要家に届けられる。発電から需要までのすべてが組み合わさって構成されるシステムが「電力系統(電力システム)」

3.11以前の2000年あたりから、欧米の規制緩和の流れに沿って、電力自由化がわが国でも進められてきました。2005年には第4次の電力自由化制度改革が行われ、3.11以降、第5次の電力自由化が進められています。皆さまご存じのように、衆議院で電気事業法改正案が通過し、参議院で電気事業法改正案を審議している状況です。その現在の電力自由化の状況というのは、パワーポイントに示した図のようになっており、送配電ネットワークは電力会社が所有しています。ただ、発電分離の方法として、いわゆる会計分離という方法を現在採っています。新規参入者、卸電気事業者、そして他の電力会社が送配電ネットワークを公平に使うために、中立機関を作りまして、利用状況を監視しているということです。

また、新電力や卸電気事業者、電力会社の電力を取引する、卸電力取引市場というものも作られており、前日に翌日の30分ごとの電力を取引できるような市場ができています。この第4次電力自由化を3.11以降、もう少し変えていこうということで、皆さまご存じのように、発電会社と送電会社の間を法的分離し、

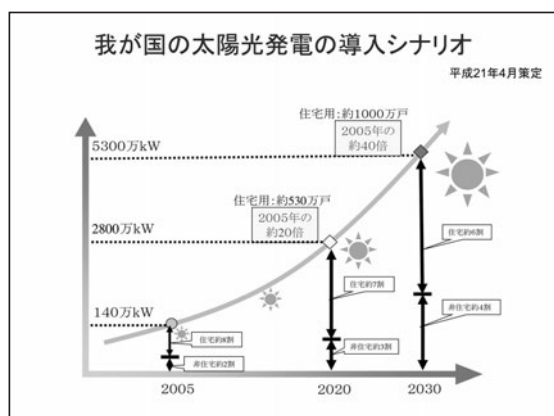
さらに需要家が自由化部門と規制部門に分かれていますが、これを完全に自由化しようとしています。一般家庭のお客さまも自由に電力供給会社を選べるようにしようという規制改革を現在行おうとしています。



また、3.11以前から地球環境問題で、CO₂の削減が言われています。特に電気事業からの温室効果ガスの直接排出量は約3割を占めています。やはりこれを削減しなければいけないということで、2008年辺りから、低炭素電力供給システムを構築していこうということで、さまざまな検討を行っています。この流れは3.11以降も変わりません。原子力発電所が全て止まり、CO₂を削減するためには再生可能エネルギーを大量に導入していく必要があるため、「低炭素電力供給システム」を今後も進めていかなければなりません。

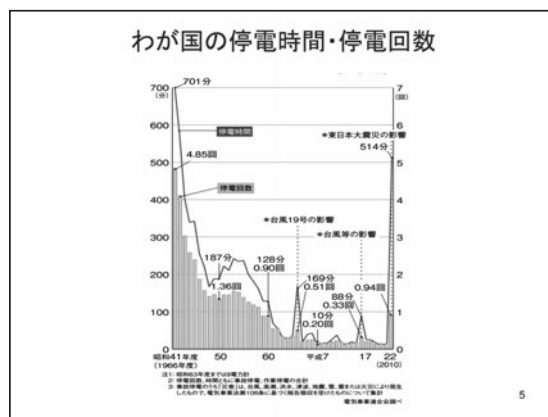
福田ビジョンは2008年に打ち出されましたが、これを受け、2009年にわが国の太陽光発電の導入シナリオが策定されています。ここに示すように、2020年には2800万キロワット、2030年には5300万キロワットの太陽光発電を導入しようというものです。

わが国の夏のピークは約1億8000万キロワットなので、その約4分の1から3分の1の電力設備量の太陽光発電を入れていこうということで、チャレンジングなテーマになっています。導入シナリオを後で説明しますが、3.11の東日本大震災以降も、この目標を堅持し進めていこうということになっています。

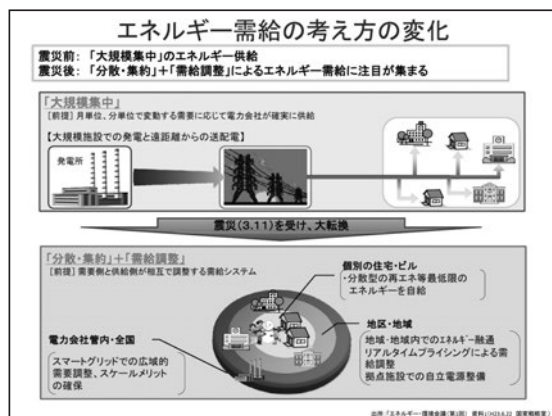


3.11に不幸にも大きな災害が発生し、電力設備も大きな被害を受けました。それ以降、原子力発電所も全て止まり、電力供給では皆さまにご迷惑をお掛けしました。この地震直後の大規模停電は、東京電力管内では、3日と5時間で復旧をしています。その後、10日間ほど計画停電があり、そこでも皆さまにご迷惑をお掛けし、その結果として電力システムの第5次の改革をしなければならないということになりました。

3日と5時間で東京電力管内が停電からはほぼ復旧したというのは、世界的に見ても非常に速いスピードで、海外の方からは、アメリカでこのような事故があると1週間はかかる、という話もいただいています。この停電時間というのは、わが国では最近まで、非常に短い時間になっていました。図の左の縦軸が1年間の需要家1件当たりの停電時間です。横軸が年度を表しており、昭和40年頃は約700分という非常に長い停電時間でしたが、だんだんと短くなり、3.11直前では約10分という、世界最高水準を達成していました。2011年は、3.11の東日本大震災で514分となったわけですが、昨年、今年と元の高水準のレベルに戻っています。ただ、電力需給の逼迫は続いており、そういう意味で震災前と震災後では電力エネルギー需給の考え方に変化が生じています。



震災前は大規模集中型電源で月単位、分単位で変動する需要に応じて電力会社が供給をしていました。しかし、3.11以降、この集約型の電源に再生可能エネルギー、コジェネレーション、その他の分散型の電源を加えること。さらに、図のような、地区、地域でのエネルギー融通、リアルタイムプライシングによる需給調整、個別の住宅ビルでのエネルギーマネジメント、ビルエネルギーマネジメントシステム（BEAMS）などを使って、需要側の調整も含めて安定供給をしていこうというように、考え方が変化しました。



3.11後、2030年に向けて、どのような電力エネルギーの供給構造がふさわしいかという議論が行われました。これは民主党政権時代のエネルギー基本問題委員会で議論されたエネルギーミックスの例です。震災から1年が経過した2012年4月後半に行われた、第20回基本問題委員会での資料です。2010年と比較して10パーセント程度節電をするということで、年間1兆キロワットアワーの電力エネルギーをどのような電源で構成するかという例です。選択肢Aが原子力ゼロパーセント、選択肢Bが20パーセント、選択肢Cが25パーセント、選択肢Dが35パーセントです。原子力の割合を増やしていきますと、再生可能エネルギーは35パーセント、30パーセント、25パーセントと、少しずつ下がっていきますが、この再生可能エネルギー35パーセントを賄うためには風力が12パーセント、設備容量にしますと約6000万キロワットもの風力発電を、2030年までに導入しなければならないということです。

また、太陽光発電はどのケースでも6パーセントで、設備容量にすると約5300万キロワットとなります。震災前に政府が設定した目標（2030年までに5300万キロワット）と同じで、太陽光発電については震災後も同じ目標を立てているということです。

火力発電所の量は、原子力ゼロの場合は当然多くなり、50パーセントのエネルギーを火力発電で賄うことになり、あとは35パーセント、25パーセントとなります。コージェネレーションは15パーセント（約3000万キロワット）を入れるという案になっています。したがって、電力起源のCO₂排出量を1990年と比較すると、原子力発電所ゼロパーセントの場合はプラス5パーセント、原子力20パーセント以上になりますと15パーセントや33パーセントの減ということになります。

この案は皆さまご存じのように、原子力15パーセントという案がその後浮上してきて、20～25パーセントという選択肢BとCが合わさった案が作られました。そして、選択肢Dの35パーセントはあまりにも多過ぎるということで廃棄されました。ただ、後で説明しますが、この案をここで出したのは、電力システムに再生可能エネルギーを入れるのにどれだけの系統対策費用が掛かるかというものが、選択肢AからDに対して試算がされており、

それを後でお示ししたいということで、この案を出しました。

2030年のエネルギーミックスの選択肢の例

2010年と比較して電力需給40%削減
全電力需給1000TWh/year(198kWh)

	選択肢 A	選択肢 B	選択肢 C	選択肢 D
原子力	0%	20%	25%	35%
再生可能エネルギー	35%	30%	25%	25%
風力	約6000万kW	12%	7%	3%
太陽光	約5300万kW	6%	6%	6%
地熱	4%	3%	3%	3%
水力	11%	11%	11%	11%
バイオマス・廃棄物	3%	3%	3%	3%
火力	50%	35%	35%	25%
LNG	18%	9%	9%	4%
石炭	25%	22%	22%	17%
石油	8%	5%	5%	5%
コージェネ	約3000万kW	15%	15%	15%
電力起源CO ₂ 排出量(1990年比較)	+5%	▲15%	▲15%	▲33%

第20回基本問題委員会資料

3. 太陽光発電大量導入時の系統課題と対策

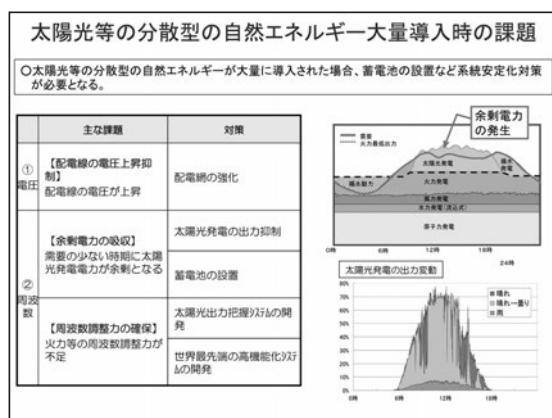
これだけの大量の分散電源が入ってくると、どのような問題が電力システムに発生するのか、また、その課題に対して、対策をとらなければなりません。

課題は3つあります。1つ目が配電線の電圧についての問題で、屋根の上の太陽光発電で皆さまの家の周りの配電線の電圧が上昇するという現象です。皆さまの家の屋根の上にある太陽光発電は、昼ごろに太陽が出ていると、たくさん出力をします。ただ、昼ごろは皆さま出勤していたり、買い物に行っていたりして、家では需要が大きくありません。その場合、たくさん太陽光発電の電力が屋根から配電線に逆に流れてきます。そうすると、配電用の変電所の送り出しの電圧は一定に維持されているので、皆さまの家の電圧が上がってしまいます。電気事業法施行規則では、101プラスマイナス6ボルト以内に電圧を維持しようということになっていますので、107ボルトを超えると、電気事業法施行規則違反になります。保安、安全の問題で高い電圧は避けようということです。電圧が規定値を超えたと太陽光発電を自動的に止める装置がパワーコンディショナーに付いていますので、太陽がさんさんと照っているのに、太陽光発電による電力を発生できないという事態になり、太陽光発電の電力がもったいないということになります。そういうことを避けるために、配電網の強化をしなければいけないということになります。

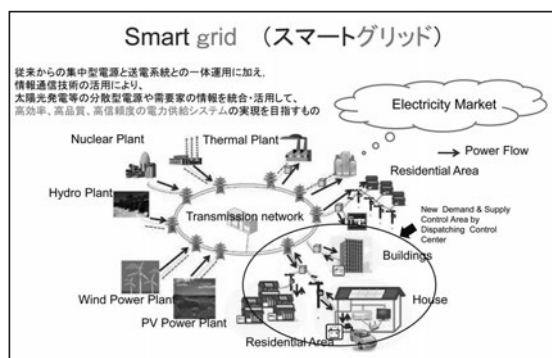
2番目は余剰電力の問題です。ゴールデンウィーク、年末年始、春秋の土日など、電気を使う量が非常に少ない時期に太陽がさんさんと照りますと、原子力発電、風力発電、流れ込み式の水力発電、最低出力の火力発電に加え、太陽光発電が出てきて、需要をオーバーするという状況となります。電力システムは消費と発電で、瞬時瞬時に電力が一致しないと安定して運用できない、周波数を一定に維持できないということがあります。たくさん電力が余りますと、安定に運用できないということで、余剰電力を何とかしなければいけないということです。

対策として、蓄電池を付ける、太陽光発電そのものを抑制する技術があります。

3番目は周波数調整能力の確保の問題です。右下の図のように、余剰電力が出ているわけではありませんが、例えば昼ごろに雲が出て、または風が突然止み、急激に太陽光発電や風力発電の出力が下がるということがあります。そのときには、それを補う火力発電所を急に立ち上げ、出力を増やさなければならないということになりますが、運転している火力発電所の容量が少なくなっていると、需給バランスを取ることができなくなり、周波数が変動します。したがって、周波数を一定にするためには、風力発電や太陽光発電の急激な変動を抑えるための調整力が必要になり、この調整力が少なくなると、周波数を一定に維持することができないということになります。

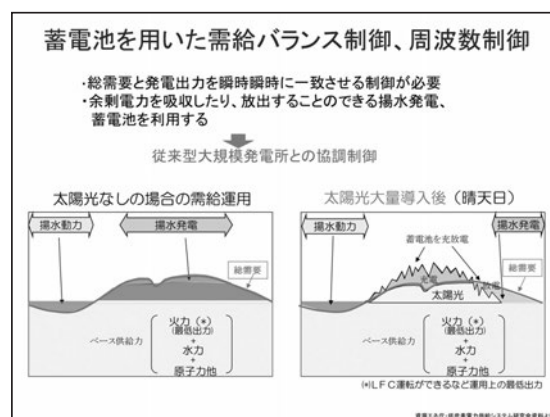


こういう三つの問題に対して対策をとる必要がありますが、そこで出てきたのが、スマートグリッドという考え方です。スマートグリッドの世界的な共通の概念は、従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信技術、いわゆる双方向の通信技術の活用により、太陽光発電等の分散電源や需要家の情報を統合活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給を目指すものです。現在の日本の高信頼度な電力システムに、大量の再生可能エネルギー電源を導入すると、先ほど述べたさまざまな問題、課題が発生します。これを需要家の設備なども含めて、双方向通信技術を使って、社会的コストを最小にして実現していこうというのがスマートグリッドの概念です。

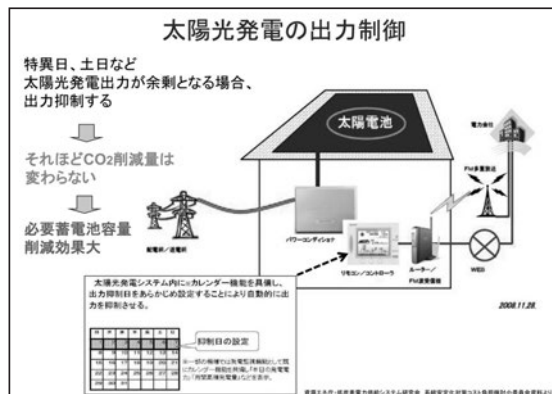


その一つのキーテクノロジーとなるのが、蓄電池です。余剰電力を吸収するのは、まずは蓄電池にためるということが一番手っ取り早く考えられることです。右側の図にあるように、蓄電池に充電したら、その電気をいつかは放電しないと、また次の余剰電力をためるときに電池が一杯となりためることができません。いかにうまく蓄電池を制御するかということが、蓄電池そのものの開発と併せて、キーテクノロジーとなっています。

また、揚水発電という電気をためる発電所も従来からありますので、ここも蓄電池と併せてうまく制御していくという技術が必要となります。



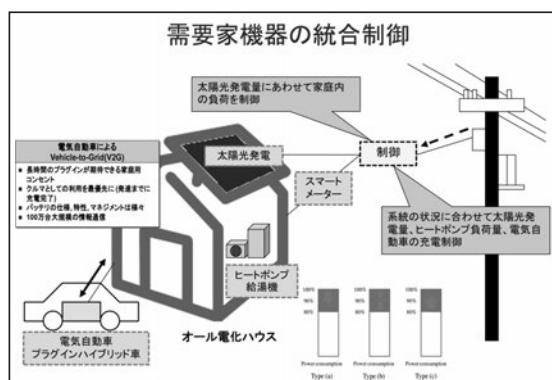
ただ、蓄電池はまだコストが非常に高く、2030年に向けて低コスト化、長寿命化、大容量化の技術開発が行われています。できるだけ蓄電池を使う量を少なくし、社会コストを最小化していくスマートグリッド技術が必要になるのではないかと考えています。まずは太陽光発電そのものの出力制御をしようという技術開発を、現在行っています。先ほど申し上げましたゴールデンウィーク、年末年始、春秋の土日、年間30日ほどあります。この30日間において、太陽光発電が余剰電力を出す場合に限りてその出力を抑制していこうということで、例えば、電力会社からあらかじめ前日に制御信号を各太陽光発電のPCS(パワーコンディショナー)に送り、翌日にその抑制制御を行ってもらい、または、あらかじめPCSに抑制のカレンダーを埋め込み、その日に制御を行うということを考えています。現在、国家プロジェクトで実証試験を行っているところで、後ほど説明をさせていただきます。



4. 電力システムのエネルギー マネジメントのスマート化

太陽光発電抑制についてですが、皆さまのご家庭等にヒートポンプ給湯器がある場合は、電気エネルギーをお湯にしていることができます。また、電気自動車があると、電気自動車の蓄電池に余った太陽光発電の電気をためることができます。そのように、家の中のエネルギー貯蔵設備をうまく利用することによって、システムに太陽光発電の電気を出す量を減らせます。家の中でうまく使ってもらえれば、太陽光発電を有効利用してもらえます。このような需要系機器の統合制御も考える必要があるということで、これも国家プロジェクトで現在実証の事業を行っており、これも後で詳しくご説明させていただこうと思います。

その制御をするものをスマートインターフェースと呼んでおり、これから紹介します。スマートメーターの中にあっても構いませんし、スマートテレビというのも最近では出てきていると聞いており、そのようなテレビの中にあっても結構です。またはホームエネルギーマネジメントシステム (HEMS) の中にこのような制御装置があっても構わないと考えているところです。



現在、スマートメーターの導入を各電力会社が一生懸命行っています。スマートメーターの目的はいわゆる遠隔検針、スイッチングの遠隔制御、電力使用量の見える化などです。電力会社から見ると、皆さまが引越をされる時などに遠隔からスムーズに素早くスイッチの入り切りができるなどの利点があります。さらに、時間帯別料金による需要家の間接的な制御、ま

たはアンペア契約等をされている東京電力管内では、使用電流の制限値を遠隔から変更することによって、節電を強制的にするということが可能になります。

蓄電池、太陽光発電抑制制御、需要家の統合制御、スマートメーターの利用などを駆使して、先ほどの太陽光発電大量導入の系統課題を解決していこうということですが、その費用は一体いくらかになるのだろうかということを試算したのがこの図です。先ほど紹介しました民主党政権時代のエネルギーミックス選択肢である、A案からD案について記載しています。余剰電力対策を、蓄電池を使わずに太陽光発電の抑制だけで済まそうとすると、2030年までに原子力ゼロパーセントで4兆円、その他の選択肢で2兆円の費用が掛かるだろうと考えられます。そして、大量の太陽光発電、風力発電が入ってきますので、それに対する送電線の増強、東北や北海道で発電した大量の風力発電や太陽光発電の電気は、北海道電力や東北電力だけでは制御ができないので、東京電力まで運んでコントロールをするということも考えられています。その送変電設備増強費用が選択肢Aで16兆円、その他で9兆円、4兆円という額になっています。これを足し合わせますと、選択肢Aで21兆円が2030年までに系統対策費用として掛かります。さらにこの額にFIT（固定価格買取制度）の費用が乗るわけですので、この費用負担をどのようにしていくかというのが、将来の課題になるのではないかと思います。

選択肢Cの原子力25パーセントの案が、系統対策費用としては6.8兆円ということで、最も少ない額になっています。

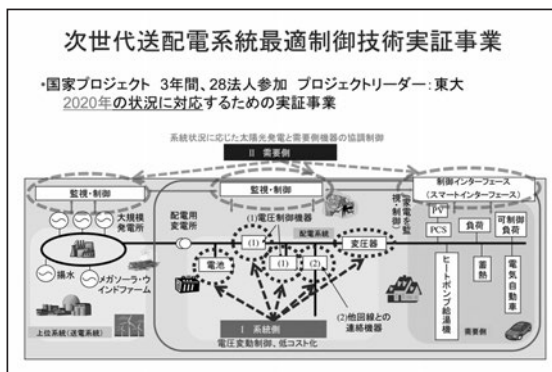
この図の一番下を見ていただきたいのですが、この余剰電力を太陽光発電抑制ではなく、蓄電池で全てためて処理をしようとする、選択肢Aでは110兆円の蓄電池が必要になってきます。選択肢Cでも60兆円という、天文学的な数字のお金が蓄電池に必要です。社会コストミナムで太陽光発電や風力発電を導入するには、蓄電池導入量を抑えるためにも、太陽光発電の抑制や、スマートグリッド的な、ヒートポンプ給湯器や電気自動車を利用した需要家の統合制御ということも必要になってくるのではないかと考えています。

2030年エネルギーミックスに対する対策費用				
<2030年までの累積対策費用>				
	選択肢 A	選択肢 B	選択肢 C	選択肢 D
	原子力 0% 再生可能 35% 火力 50% コージェネ 15%	原子力 20% 再生可能 30% 火力 35% コージェネ 15%	原子力 25% 再生可能 25% 火力 35% コージェネ 15%	原子力 35% 再生可能 25% 火力 25% コージェネ 15%
総費用 (兆円)	21.1	12.0	6.8	7.8
対策費用	需要・出力変動 対策	0.3	0.01	0
	余剰電力対策 (蓄電池不使用)	4.0	2.0	2.0
	送変電設備増強 対策	16.3	9.5	4.3
	配電電圧上昇 対策	0.5	0.5	0.5
<蓄電池のみによる余剰電力対策>				
	選択肢 A	選択肢 B	選択肢 C	選択肢 D
蓄電池のみによる余剰 電力対策 (兆円)	110.6	88.3	60.1	101.7
NaS電池使用 (1kW×7.2時間 28.8万円) 効率28.8% 耐用年数10年 2030年までに1度リプレイス				

Special feature article

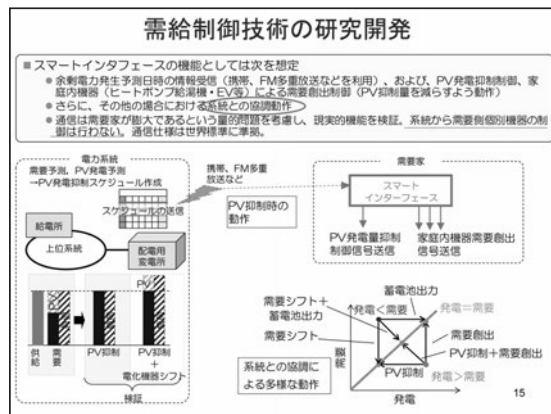
そういうことで、先ほど申し上げました太陽光発電の抑制制御、需要家の統合制御、そしてそれを電力会社側のコントロールセンターからいかに信号を作って送るかというシステムを構築するための国家プロジェクトとして、次世代送配電系統最適制御技術実証事業が、東日本大震災前の2010年から行われています。

これは3年間のプロジェクトで、2013年の3月に終了しましたが、フォローアップ研究をもう3年しなければいけないということで、現在も進行中です。日本のメーカー、電力会社を合わせた28法人が参加しています。これは2020年に太陽光発電を2800万キロワット導入のための実証事業で、図の右側が需要家の統合制御、左側がそこに信号を作るための中央給電指令所のコントロールセンターのシステムの構築、真ん中の部分は配電線の電圧上昇の対策を示しています。これらの基本的な3つの課題に対する解決策を検討するスマートグリッド実証プロジェクトを、現在行っているところです。



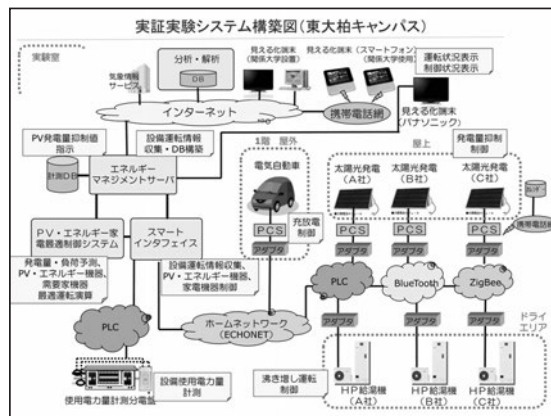
先ほど申し上げました信号が電力会社のコントロールセンターから需要家にきますと、需要家はスマートインターフェースで信号を受信します。FM一斉放送や携帯電話の一斉送信で来るかもしれませんが、また光ファイバー、小電力無線等を通じて各家庭にこの情報がやってくることも考えられます。その情報をスマートインターフェースが受けると、PV（太陽光発電）の抑制制御や家庭内機器であるヒートポンプ給湯器、EV（電気自動車）の制御を行います。

下の図ですが、電力系統会社の中央給電指令所から信号がやってくると、スマートインターフェースがそれを受け取ります。右下の図のように、発電＞需要というように余剰電力の状態で、ヒートポンプ給湯器や電気自動車を所有していない家はPVをそのまま抑制する。電気自動車やヒートポンプ給湯器を所有する家は、その太陽光発電の状況に合わせて需要創出、いわゆる電気をためるということをし、太陽光発電を抑制せずに済むように家の中でコントロールをするということです。



これが実験設備ですが、私どもの柏キャンパスに実証実験システムを導入しています。右側に太陽光発電、右下にヒートポンプ給湯器、真ん中に電気自動車というように三つの装置を置き、左側の方にスマートインターフェース、その左にPV・エネルギー家電最適制御システムを配置しています。家庭内の機器の統合制御の肝となる技術がこのPV・エネルギー家電最適制御システムです。前日に、翌日の家の中の電気の使用の仕方、太陽光発電出力の状況等を予測し、翌日の最適な家庭の中での電気の使用の仕方と、太陽光発電の出力の抑制制御を行うわけです。

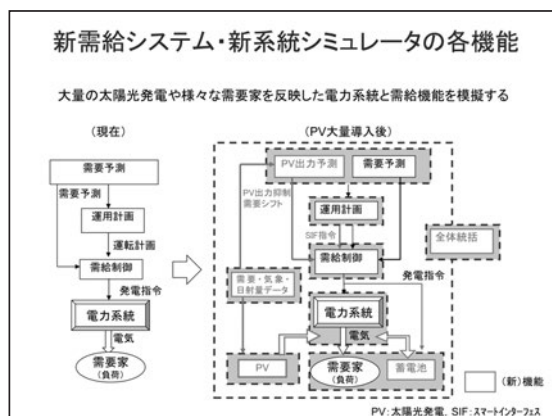
そこではPLCやBluetooth、ZigBeeなどの家庭内での通信機器の通信のメディアの実証なども行っているところです。



系統側の方ですが、電力会社の中央給電指令所では、現在は左側の図のように、需要の予測をし、コスト最小となる最適な発電所の運用計画を前日に立てます。そして、その運用計画に基づき、当日に需給制御を行います。当日は需要が前日の需要予測と異なり、誤差が出てきますが、この誤差をうまく制御をしながら当日運転をしていくというシステムです。それを、右側にあるように、PV大量導入後は、需要、気象、日射量データからPV出力予測をし、その出力予測と需要予測とを合わせて、燃料費最少となるような翌日の火力発電、揚水発電等の運用計画を立てて、当日の需給制御や、実際の火力発電所、揚水発電所の運用を行います。そして、その中

で余剰電力が出そうときには、各家のスマートインターフェースに太陽光発電抑制指令を送るわけです。

逆に、需給逼迫の際は、各家庭に蓄電池がある場合、蓄電池から放電をしてくださいという信号も送ります。



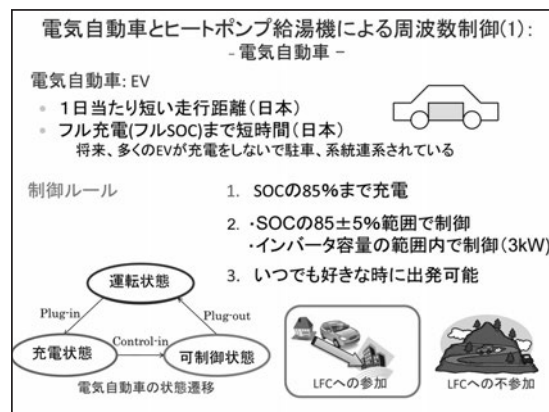
そういう機能を開発し、太陽光発電大量導入時における系統へのさまざまな影響を評価しようとしています。太陽光発電の導入量、ヒートポンプ給湯器や電気自動車の普及量をパラメータとして、CO₂の排出削減量がどうなるのか、最適な蓄電池設置量というのは一体いくらになるのか等々を評価します。さらに、できるだけPV抑制量を少なくすることが望ましいわけですが、PV出力を抑制する量はどれぐらいになるのだろうかについても評価をします。

そして周波数への影響を、蓄電池活用の方向性、低炭素化と電化社会の親和性、全体最適の有意性を明らかにしようというシステムを開発し、シミュレーションを行っています。

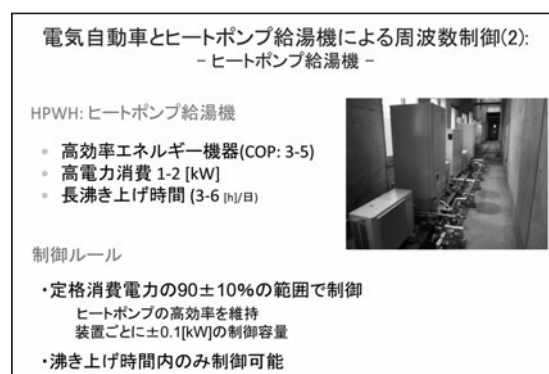
今までお話した、需要家の制御は、多くて数時間に1回の制御になっています。電力会社側から皆さまの家庭に数時間に1回の頻度で制御信号が送られてきますが、われわれ大学としてはずっと先の研究開発をやるということで、家庭と電力会社のコントロールセンターの間を、通信によって高速でコントロールできないかという、いわゆるファースト・デマンド・レスポンスを研究しています。その例を少し紹介させていただきます。先ほど申し上げた、PV大量導入の第3番目の課題である、太陽光発電や風力発電が、雲の出現や風が突然止まることにより出力を低下させ、また雲が取り除かれ、風が復活して急に出力が上がるような状況では周波数が乱れるわけです。周波数を調整するためには火力発電所をコントロールしなければいけませんが、太陽光発電や風力発電が大量に入ってきますと、火力発電そのものが減ってきます。太陽光発電や風力発電で需要が賄えるので、火力発電所そのものがだんだん少なくなり、周波数制御をする調整量も減ってきます。そうすると、蓄電池やヒートポンプ給湯器や電気自動車も利用しながら周波数調整を行うということが将来必要になるのではないかと考えています。つまり、再生可能エネルギーが大量導入された電力シ

ステムの周波数制御手法を、従来の発電所だけではなく、蓄電池、電気自動車、ヒートポンプ給湯器の協調制御によって実現し、できるだけ系統制御用の蓄電池の設置量を削減しようと考えています。そして、社会コストを最小化しようとするわけです。

電気自動車は、家庭で使われる交通手段です。したがって、運転から各家に戻ってプラグインされますと、まずはSOC（充電率）85パーセントまで充電をして、いつでも好きなときに出発できる状態にしてから、例えばそのプラスマイナス5パーセントの範囲内で制御をする。つまり80パーセント～90パーセントの充電量の間で、この周波数制御に貢献をしてもらうというような、お客さまの利便性を考慮した制御ルールが必要になってきます。そういうことを電気自動車の場合は考慮した上で、使うということになろうかと思っています。



また、ヒートポンプ給湯器につきましても、1台当たり1キロワットから2キロワットのヒートポンプ給湯器で、炊き上げ時間も1日3時間から6時間ぐらいでしかない機器です。この機器を定格消費電力の例えば90パーセントプラスマイナス10パーセント、つまり約0.8キロワットから1キロワットまでの間でコントロールをするように、また炊き上げ時間内のみでしか当然制御可能でないわけですが、ヒートポンプ給湯器を使われるお客さまの利便性を損なうことなく、負荷である機器を電力系統の周波数制御に貢献をしてもらう。このように、需要家の利便性を考慮していくのが、スマート化の大きな要素ではないかと考えています。



また、離島等では燃料の輸送コストは大変高いです。ディーゼル発電を使うと排気ガスを出し、CO₂もたくさん排出をします。ということで、離島等でも再生可能エネルギーの大量導入が図られるわけですが、やはり再生可能エネルギー電源の出力変動のために、島の中でこの再生可能エネルギー電源がうまく活用できないという状況も出てきています。島の需要家は数が少ないので、前述のように需要家設備をコントロールするのはなかなか難しいと考えられます。われわれは、例えば島に海水淡水化装置がありましたら、この装置をうまく利用して太陽光発電、風力発電の出力変動を補償できないかということも考えています。

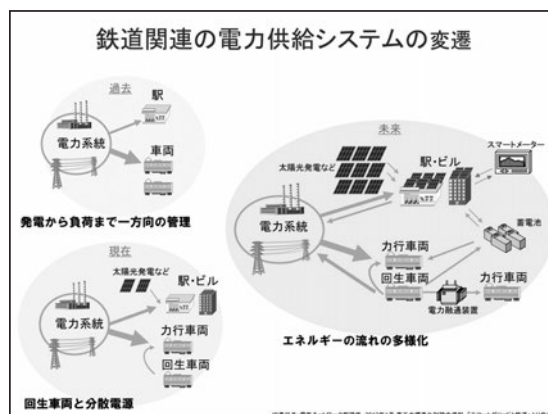
海水淡水化装置には、貯水タンクがあります。したがって、短周期の消費電力制御は施設運用にはあまり影響はないだろうと考えています。また海水淡水化装置は、離島では大型の産業用負荷ですので、非常に制御の効果が大きく出てくるだろうと。また、長期的な消費電力制御は需要家への給水に大きな影響を及ぼす可能性もありますし、消費電力の制御は機器性能や精製水の品質に影響を及ぼす可能性があります。したがって、緊急時に備えて貯水タンク内の貯水量制約などを考慮しながら、この海水淡水化装置で消費する電力の制御を行い、風力発電、太陽光発電の補償を行って、この再生可能エネルギー電源を有効利用しようとする。そういう考え方もあるのではないかと考えています。



5. 鉄道におけるエネルギー マネジメントのスマート化

ここまでは、電力システムのいろいろなスマート化についてお話をしてきたわけですが、鉄道関連の電力供給システムにおいても、スマート化が考えられるのではないかと考えております。JR東日本でも、鉄道版スマートグリッドについていろいろ検討をされています。私もその検討に協力をさせていただいたということで、鉄道版スマートグリッドについて、電力システム版スマートグリッドと少し関連づけながら話をさせていただこうと思います。

これまでの鉄道の電力供給システムでは、駅や車両に電力系統から直接電気が一方向に送られていました。現在は分散電源が駅ビルに、回生車両は力行車両に電気を供給して、余剰電力や再エネの電気を有効活用しています。将来は、この鉄道会社の送配電ネットワークを利用して、大量の太陽光発電や回生エネルギーを各所で有効利用していくということが考えられるのではないかと思います。



鉄道でのスマートグリッド技術への期待としては、ネットワークの安定と信頼度向上、再生可能エネルギーの効果的な導入、エネルギー利用を制御することによる省エネ、ピークカット等による設備のスリム化、適正化などです。JR東日本は自営電力系統を持っています。系統安定性については電力会社の系統に依存しており、自分自身の安定性はそれほど考える必要はありません。自社のネットワークの中に入ってくる大量の太陽光発電を、外の電力会社等のネットワークに擾乱（じょうらん）を与えないように自社のネットワークの中で抑制をしていくというのが一つの考え方、電力系統全体への貢献ということになるのではないかと思います。

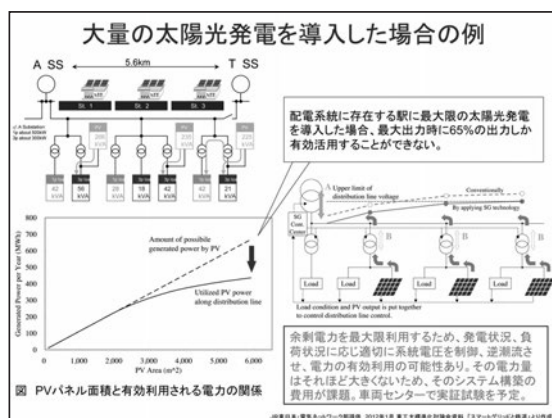
また、細く長い線路沿線の配電系統に導入された太陽光発電等の有効利用、時間的地理的ミスマッチの解消ということもやっていかなければいけませんし、回生電力の有効利用をネットワークを通じて行っていく、そういうことが鉄道でのスマートグリッドへの期待ではないかと思います。

最初に、鉄道事業者の電力ネットワークは一般電気事業者と違って少し特殊性があるという話をしました。分散型電源としての回生車両は、ネットワークその他の電力変換機器を使って、利用の可能性を一層向上させていくということが期待されています。また、鉄道沿線につながる鉄道関連用地に太陽光発電を大量に設置できる可能性があります。また、駅など、線路沿線に偏在する負荷、これは自社の負荷であるわけですが、そういうものを利用して、太陽光等の分散型エネルギーを導入して有効活用していくということ。そして、発電、送電、負荷までを統合管理し、需要を調整することによってさまざまな可能性が出てきますので、それに使うことによって設備容量の

低減、スリム化をやっていくということ、この三つの点について、話をさせていただこうと思います。

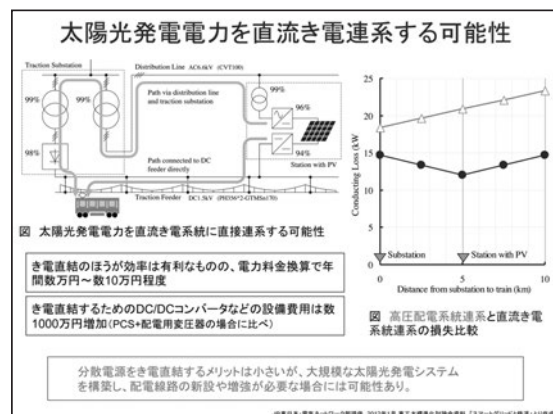
まず、大量の太陽光発電を、鉄道会社の変電所間にある駅に設置した場合に、配電系統を使って有効利用しようという検討です。駅に設置した太陽光発電をそのまま電力会社に返すのではなく、JR東日本の持っている電気ネットワークの中でうまく有効活用しようというアイデアです。その場合、右側の図にありますように、やはり配電用変電所から見て末端の方にある太陽光発電のところで、電圧の上昇が起こります。したがって、あまり電圧が大きくなると、この末端の太陽光発電は有効利用ができずに抑制しなければいけないということになるわけです。そういう意味で、左側の図にあるように、縦軸が有効利用される電力の量、横軸がPVの導入量ですが、PVを大量に導入しても、いずれ利用できる有効電力の量は飽和してくるということになります。したがって、この太陽光発電の電力を最大限利用するためには、発電状況、負荷の状況に応じ、適切に系統電圧を制御、逆潮流させて有効利用していくということが必要になってきます。そのためには当然情報をコントロールセンターに上げてくる必要があり、太陽光発電の出力の量等を集めて、配電線の電圧をコントロールしていくということです。

余剰電力の量はそれほど大きくないので、そのシステム構築、費用が課題となります。車両センター等で実証試験をすると同っております。

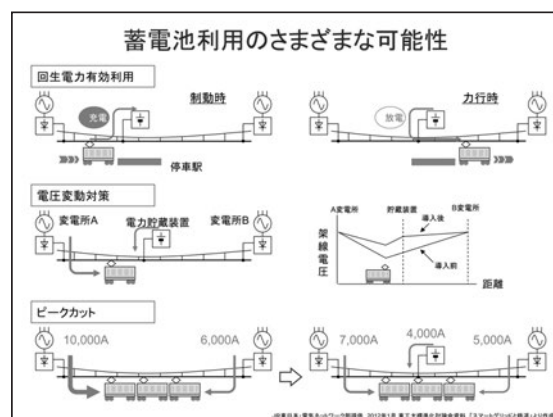


それから、太陽光発電を直流き電で有効利用する可能性が検討されています。太陽光発電から配電線を通り、交直変換所を通りまして、直流き電線に電力を持ってくると、左上のラインにあるように、たくさんの変換器を通るので損失が出てきます。これを直流・直流変換で、いきなり直流き電線に連系をして有効利用すると、どの程度ロスが減るかというのを示したのが右側の図です。縦軸がロス、横軸がその電車の位置で、電車が変電所より遠くなるとどうなるかということを示しています。電車が太陽光発電を直接直流き電線につながっているところの側を通過しますと、当然ロスが一番少なくて済むという

ことで、真ん中でロスが最小になっています。このように、直接つなぐという可能性もあり、効率的には非常に有利ですが、電力料金換算でメリットというのが非常に少ないということで、大規模な太陽光発電システムを構築し、配電線路の新設や増強が必要な場合に、太陽光発電を直接、直流き電線につなぐということも含めて検討すると良いのではないかと思います。

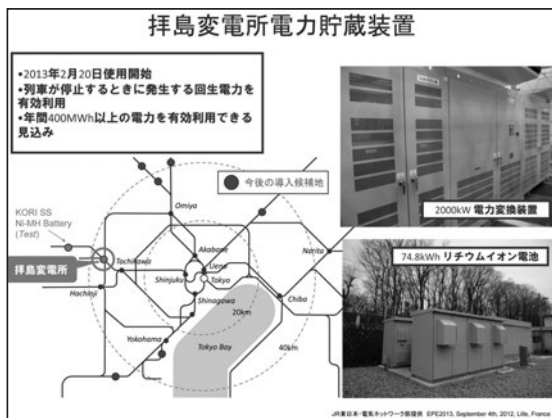


また、電力系統の対策のところで申し上げましたように、やはり蓄電池技術がキーテクノロジーになります。回生電力の有効利用で蓄電池を利用するということはもう皆さまよくお分かりのことだと思いますし、またはき電線の電圧変動対策ということでこの電池を有効利用することも可能です。また、配電用変電所の設備のスリム化という意味で、このピークをカットするという意味でも蓄電池は有効に活用できるかと思っています。蓄電池は非常に高価なのでできるだけ少なくする必要がありますが、鉄道におきましても、このようにさまざまな多目的な利用によって蓄電池の経済メリットを創出して、コスト高を補っていくということが必要ではないかと思っています。

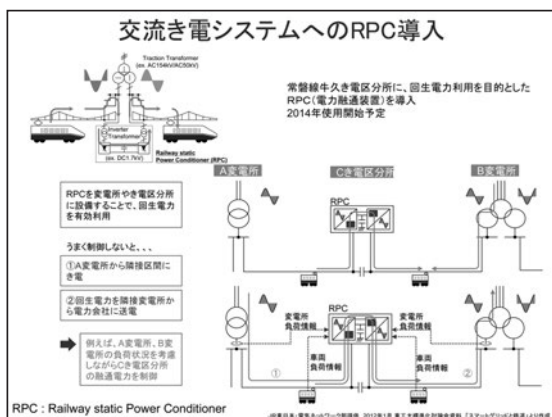


JR東日本ではご存じのように、拝島変電所において、この2000キロワットの電力変換装置と、74.8キロワットアワーのリチウムイオン電池を設置しまして、いろいろ試験を行っています。今後の導入候補地もこのようにたくさんあるようですけれども、やはり初期コストから含めまして、メンテナンスコスト、寿命、

効果、メリット等を、今後評価していく必要があるのではないかと考えています。

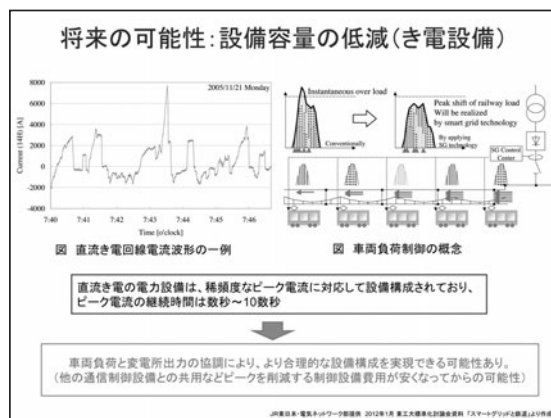


続きまして、この回生電力を有効利用するために、蓄電池ではなくて、RPC（レールウェイ・スタティックパワー・コンディショナー）を交流き電システムを導入して回生電力を有効活用することが考えられています。このRPCというのは常磐線の牛久き電区分所に導入されているときいています、右側の上の図にありますように、もし、このA変電所とB変電所の交流き電の間にこのCき電区分所にRPCを置きまして、左側のA変電所区間の電車から出た回生電力を、うまくB変電所の線内の電車に供給することができれば、有効利用できるわけです。電力会社に戻さず、自分のネットワークの中でうまく有効利用ができるわけです。ただし、この制御がうまくできないと、右下の図のように、A変電所の管内にありますが電車から発生した回生電力はB変電所管内の電車で消費されるわけですが、それでも余りまして、実はB変電所から電力会社に逆に戻すということも発生します。したがって、うまく有効活用するためには、A変電所、B変電所、そしてこの2台の電車の情報を、通信回線を使って集めて、うまくコントロールしてやるということが必要になってくると思います。ここにもICT、双方向通信技術の活用というのが必要になってくるわけです。



それから、設備容量の低減についてです。これはき電設備の設備容量の低減の例ですが、直流き電回線では、このピーク負荷に従って電力設備、変電設備が形成されているわけです。この左側の直流き電回線電流波形は、真ん中にスパイク状のピークが出ていますが、このピークの8000アンペアに合わせて設備は作らなければいけない。そうすると、このピークを一つ減らしてやることによって、設備を4000アンペアで作ることができるとか、そういうイメージです。

したがって、この区間に入っている多数の電車をうまくコントロールしてやり、このピークがなくなるように負荷をコントロールしやるということができると、非常に設備費用を少なくできるのではないかとことです。この通信設備は非常にコストが掛かりますので、他の通信制御設備との共用など、ピークを削減する制御設備費用が安くなってから、こういう設備を導入していくということも考えなければならないと思っています。



もう一つは配電設備のピーク削減ということで、典型的な近郊の駅で試算した例ですが、いわゆる三相負荷の部分、エスカレーター、エアコン、エレベーターという負荷があります。駅空間、特に地下駅空間の熱容量が非常に大きいということで、うまくこのエアコン負荷をコントロールする。そのときには当然乗客の皆さんの快適性を損なうことなく空調をうまく制御していくことが必要になってきますが、そのエアコン負荷をうまく制御することによってピークを削減することができないだろうか。また、エレベーターの先ほど示したピーク、電車のところでお話ししたスパイク状のピーク負荷が出てきますが、エレベーターの負荷発生のタイミングで設備の最大負荷が決まってくるので、そのエレベーター負荷をうまく調整できないだろうかという、駅設備のスマートな運用もキーになってくるかと考えています。



ここで示したのは、支社ビルでデマンドレスポンスを取組んでいる例です。平成24年に使用を開始しました千葉支社ビルにおいて、照明や空調機器を制御することによって、デマンドレスポンスを実現しています。受電電力を監視し、その監視は30分のデマンド電力値の瞬時電力値の常時監視を行います。その監視レベルの異常値を超えると、照明の調光制御や、空調の室外機の出力制御をしなければいけないということで、当然、室外機、空調設備の電力制御を行わなければなりません。従来のような温度の制御ですと応答が非常に遅くなりますので、新たな空調設備の開発が必要になります。

千葉支社ビルでは空調機器メーカーと一緒に、ヒートポンプの電力を直接コントロールするような技術開発も行われています。



6. おわりに

これまで電力システム、および鉄道システムの中での電力エネルギーマネジメントのスマート化ということについてお話をしてきましたが、電力エネルギーのマネジメントのスマート化を行うにあたっては、電力システムでは電力の安定供給、鉄道では鉄道の安全、安定運行が非常に大事だと思います。そして、その中で地球環境性の向上、CO₂排出量の削減をやっているかなければいけない。電力システムでは低炭素電力システムを実現しようと申し上げましたが、鉄道ではエコ鉄道システムと

いうものの構築が必要です。

そのためには、需要家設備、または蓄電池等のエネルギー貯蔵設備、鉄道ではそのエネルギー貯蔵設備の他に、駅設備、車両の活用を考えていかなければいけない。また、デマンドレスポンスの活用としましては、電力システムでは料金を使った間接的な制御、スマートメーターを利用した料金を使った間接制御というものもやろうとしています。鉄道では、いわゆる時刻で運賃を変えたりして、朝のピーク時間帯の負荷を減らしてお昼の時間帯に旅客を移動させようというような間接制御も行われています。そのような料金制御によるデマンドレスポンスの活用も非常に重要です。

最後にやはり需要家、または乗客の皆さんの利便性、メリットを考慮した上で、スマート化を進めていく必要があるということ、ここが非常に大事なところではないかと思っています。今まで申し上げましたことは、やはり制約条件だと考えています。もちろん電力は安定供給が目的、鉄道は安全、安定運行が第一の目的です。その上でデマンドレスポンス、需要家の利便性メリットを制約条件として、エコ化、そして社会コストの最小化、つまり電気料金または運賃の上昇をできるだけ抑える。太陽光発電、風力発電等、再生可能エネルギーを導入していきますと、系統対策費用、鉄道会社においては、蓄電池を導入する費用、RPCを導入する費用、その他さまざまなコストが掛かってきます。そのコストの上昇をできるだけ最小に抑えて、エコ化、安定供給を実現していくことが必要ではないかと思っています。

ということで、エネルギーマネジメントのスマート化は、さまざまな要素を考慮しながら、地道に一步一步進めていくことになるのではないかと考えています。

ご静聴ありがとうございました。