

つくば発 環境にやさしい次世代エネルギーシステム ～分散エネルギー連系システム～

筑波大学システム情報系 教授 石田 政義

要 旨

筑波大学では、太陽光や風力等の再生可能エネルギーの大規模導入に絡み、それら出力の不安定性や低密度を補うべく、水素エネルギーネットワークおよび各種分散型電源の直流連系の適用に関する技術開発を進めている。需給調整可能な電力貯蔵や新規水素精製プロセス開発など要素技術を始め、地産地消エネルギーシステム構築のための連系技術開発について概説する。また、研究開発の先にある実現・普及に向けてのブレークスルーのあり方についての考えを述べる。

講 演 録

皆さん、こんにちは。本日のタイトルは「つくば発 環境にやさしいエネルギーシステム 分散エネルギーの連系システム」です。私は、大学でこのような研究をしています。

1. ホリスティック・エンジニアリングのすすめ

つくば3Eフォーラムという立場からいうと、CO₂の排出削減が非常に大事なところで、できることを実行しなければ進まないだろうと思います。それと、ドラスチックな方策、非常に革新的なものを取り入れなければ、大きな効果はなかなか得られません。例えば、いろいろなエネルギー機器の性能等は徐々に上がっているわけですが、こういう成熟した社会の中では、効率等はなかなか大きく上がってこない状況の中にいるわけです。そうすると、今までと違う発想を入れなければなかなか難しいということです。

また、責任が伴わない限り、人は行動しません。次世代に対してどういう環境を残すかを考えなければまずいのではないかと思います。われわれは、ともすると自分だけが良ければいいと考えてしまいます。先ほど鈴木町長からもお話がございましたが、新しい技術にはお金が掛かります。それを現状のモ

のと比較して安くしたいというのは、後でも少し出てきますが、実は難しいだろうと思っています。

ところが、なぜ安いかというと、逆に言うと要らないものをただで捨てているに過ぎず、それを修復することを考えると、余計にコストが掛かるわけです。従って、環境をきちんと保つ中で持続可能なエネルギーシステムをつくっていくとすると、どちらが安いのかというのは、皆さんいろいろお考えになればお分かりかと思いますが、例えば原発の問題でも、安いと言っている、廃棄物の処理にどれだけ掛かるかと考えると、必ずしも安いというのはなかなか難しいわけです。CO₂の問題も、なかなか分かりにくいところです。直接的な関係があるかどうか、私も詳しくは分かりませんが、例えば、昨年台風26号や30号は、大島やフィリピンに非常に大きな被害を与えました。これを元に修復するコストは大変なことです。そういったことをどう考えていくかは、非常に大事なことはないかと思っています。

また、わがつくば市は、立場上、国際的なリーダーシップ、模範となるような行動をしていくことが大事ではないかと考えています。ご紹介が遅れましたが、私は大学教員です。先ほど学長からも知の創造と人材育成という話がありましたが、大学の教員という普通は、例えば、七面倒くさい式をこねくり回して何かやっているとか、訳の分からない実験をやっているという感じかと思っています。私も最初はそういうものだと思っていました。ただ、私はエネルギー工学を主としておりまして、あまり意味のないことをやっても仕方ないと。特に環境では昨今いろいろな問題が起こっています。さらには20年あるいは40年という単位で資源の枯渇が言われておりますので、今できることをきちんとやらないと、全く解決になりません。100年後にできるような技術を、今、喜んで研究してもいけないということで、最近は少し考え方を変えています。

われわれの立場からいうと、エネルギーシステムでどういうものを作るかということ、例えば、これは



典型的なものです。国の一つの取り組みです。先ほど市長からご紹介がありましたが、1回目の社会システムのときに、わがつくば市もこれに提案しようということで、私も若干手伝わされました。ヒアリングまで一緒に行ったのですが、残念ながら1回目は落ちました。今回の2回目でも通り、他に、北九州市、横浜市、けいはんな学研都市（京都府）等の大都市が通りました。このときに市の担当者がおっしゃっていたのは、やはり人・物・金が集まっている、さらには情報という意味でもそうだと思うのですが、そういうところにはなかなかかなわないなということでした。それではいくら良い提案を出しても駄目だなと考えておりました。

先ほどの鈴木町長のお話を聞いていると、大都市ではない、つくばの30分の1ぐらいの人口のところ、非常に先進的な取り組みをされているというのは素晴らしいことです。実際、これの成果がどうなっているかはさて置いて、私も言いたいことはいろいろあるのですが、それほど大きな成果が出ているような感じがしません。それから見ると、先ほどの鈴木町長のお話では、数値としては非常に素晴らしいものを達成しています。大きな違いは何かと考えると、やはりフットワークの違いではないかと感じました。

ここで鈴木町長の話聞いていて思い出したのは、『八甲田山』という映画です。確か新田次郎さんの小説だったと思いますが、三國連太郎さんが率いる何とか大隊と高倉健が率いる何とか小隊が、別の場所から八甲田を越える演習をしたら、大隊の方は動きが鈍くてかなり死人が出るような被害が出たけれど、小隊の方はうまくいった。この違いが若干ダブって見えました。

では、中堅都市であるわがつくば市は一体どうなるかというのは、多分、今後の課題ではあると思うのですが、両方をうまく生かせるのか、あるいは両方の悪影響で駄目になってしまうのか。これはいろいろあるかと思えます。

私自身、変わった教員として何をを目指している

か。特にエネルギーということ言うと、従前、すなわち震災や原発事故の前は、CO₂の排出削減や一次エネルギーの消費削減という意味で言うと、実は原子力に頼ろうと思っていました。われわれが研究している分散電源の太陽光や燃料電池などは、ここをうまくフォローするような形ではないかと思っていました。

ところが、やはりああいうものを目の当たりにすると、ちょっと変えなければいけないと思いました。ここは文化が非常に変わったところで、安全・安心、エネルギーセキュリティーなどを上げていかなければいけません。大規模・経済合理性という従来の枠組みから、コンパクト・自然共生を意識していかないとまずいのではないかと。これをエンジニアリングとして取り入れるべきだろうと思うようになりました。その結果として考えているのがこういう形です。分散型電源をうまく取り入れる。特に再生可能エネルギーを入れるというのは大事なところですが、当然ながら再生可能エネルギーには欠点があります。密度が薄く、変動が大きいことです。われわれはエネルギーを自由に使いたいわけで、その辺りを工学は一体どうするかということが重要な問題になってくるのです。それを何とかしなければいけません。

そこで考えていることは、エンジニアリングはこれからホリスティックにならなければいけません。ホリスティックという言葉にはいろいろな意味がありますが、例えば、教育あるいは医療でも最近よく使われるようになってきました。要するに、ある問題に対して、対症療法でそれだけを治療するというのではなくて、全体を見ましょと。そこが大事であり、まさにエネルギーもそうではないかと理解しています。

例えば、要素技術です。今までは要素技術を一生懸命開発して、これをうまく使えばいいでしょうという感じでしたが、これがほぼ限界にきています。得意な能力は人それぞれ違います。だから機械も違うわけです。得意な能力を生かして、弱点をうまく



相互補完するシステムが重要です。だから、太陽光は太陽光、風力は風力、燃料電池は燃料電池、いろいろあるわけです。そこをうまく使うことが大事ではないかと思います。

それと震災あるいは原発事故で学んだように、巨大で複雑なシステムへの極端な依存は危険です。大停電になると町の機能はまひしてしまいます。これはやはり避けなければいけません。そういったものがないにしても、うまく生き残っていけるようなすべを獲得していく必要があるだろうと思っています。

さらに既存パラダイムや固定観念が行き詰まってきています。特に20世紀の経済成長の時代から見ると、まさに資源もお金もエネルギーも限界に来ているということに気付いたのではないかと思います。少し宗教的な言葉を持ってきましたが、世の中は変わるのが当たり前で、それをうまく認めれば極楽浄土に行けますよと。実はこれは「いろはうた」の原型で、いわゆる三法印の一つですが、これからも一歩踏み出して、積極的に変えていく必要があるのではないかと理解しています。

こういうことを考えながら出てきた、エネルギー工学の中での私のアイデアが、水素あるいは直流によるネットワーク化です。こういうものを使ってSimpleでPassiveかつRobustなシステムを構築していくべきだろうと考えました。

これで大学の中で、次世代環境エネルギー技術開発拠点をつくらうという気運が高まりました。大学というのは縦割りの組織ですが、それを横断的にして、生命環境でバイオマスからオイルを生産する。そのオイルを物質の先生がある触媒を使って水素に転換する。その水素をわれわれが再生可能エネルギーとうまくミックスして理想的なエネルギーシステムを構築していくという、横断的なプロジェクトを行うことになりました。

2. 筑波大学 CNES 実験実証設備

私がやっているのはエネルギーシステムです。

CNES (Carbon Neutral Energy System) を構築しようというプロジェクトを進めています。中身は先ほど申しましたように、一つは直流連系です。これは非常に簡単な話で、例えば、太陽電池あるいは燃料電池、リチウムイオン電池もそうですが、こういったものはみんな直流出力です。一般の方には、直流と交流というのはなかなか分かりにくいかもしれませんが、われわれが今こういう電気で使っているのは全て交流です。電気事業を始めたのは電球を発明したエジソンですが、彼が電気事業を始めたときは直流でした。彼は電球を売りたいがために、電気をつくることも始めたわけですが、直流では近くにしか送れませんでした。変電ができない、昇圧や降圧ができないからです。当時の発電所は石炭炊きが主でしたから、町中にそういうのがあって、どんどん電気をつくるようになると煤煙もたくさん出てきてしまいます。水力が発達してきたのも相まり、これはいけない、出ていってくれという話になり、遠くに発電所を置きましょうという話になりました。

ところが電圧が変えられない中、直流で送る、低い電圧で長距離を送るとなると損失が非常に大きく、ほとんどが熱になってしまうのです。その後、直流では難しいということで、彼の弟子であった社名にもなっているウエスティングハウスや、オウム事件でも有名になったニコラ・テスラたちが交流システムを開発しました。交流システムをつくと、プラスマイナスが入れ替わるので、変電がしやすいわけです。要するにコイルを二つ用意するだけで、コイルの巻数を変えるだけで電圧を上げることも下げることがもできます。これが大きなメリットでした。従って、今の電力システムはそういう形で出来上がっていて、例えば、6万ボルトぐらいで発電した電気を、高いところでは50万ボルトまで上げて、われわれの近くまで持ってくる。それを6万ボルトまで下げて、さらには6,000ボルトあるいは100ボルト、200ボルトというシステムが出来上



がりました。これは巨大システムに非常に向いているシステムです。

ところが最近は少し事情が変わり、皆さんで太陽電池を付けましょう、あるいは燃料電池を置きましょうということになってきました。つまり、発電機が需要地に戻ってきたのです。さらに、われわれが使っているいろいろな電気製品は、交流である必要があるかという、ほとんどはその必要がありません。例えば、コンピューターやテレビなどの中はほとんど直流で使っています。そうすると、発電所が近くに来たわけですし、負荷もそちらの方がいいとなれば、全体を整理し直せばいいシステムができるでしょうという簡単な発想です。

一方で、水素という話があります。水素は何なのかという、よく誤解されるのですが、例えば、石油の代わりに水素が入ると考えていらっしゃる方が多いのですが、実は電気の種類としては同じです。いわゆる二次エネルギーというもので、資源ではありません。何らかの資源から転換した、要するにわれわれが人工的に使うという意味での媒体に過ぎないわけです。それを使いましょうというのは、何となくおぼろげながら出ているわけですが、使うところだけで見ると、水素というのは単純に水にしかなりません。これはクリーンだなという話になってきます。ところが、大本はどこからつくるのか、あるいはそのときの効率はどうかと考えると、必ずしも水素がいいわけではないということになります。ただし、実は電気というのは使いにくくてためられないのですが、水素にはためられるというメリットがあります。使う方も燃料電池のようなシステムを使うと簡単に電気になる。あるいは燃焼することもできる。そうやって見るとなかなか便利なわけです。ただ、欠点は気体ですから常温では、ためることが難しいということです。

ただ、工学的に見るといろいろなメリットがあります。簡単な仕組みを通すだけですぐに電気に変えられます。そういうところをうまく使おうとしてい

ます。車などにも使えます。さらには水電解を使えば、水素をつくってためておくこともできる。他のオイルのようなものからもつくれる。要するに資源の多様性もあるわけです。そういったものを踏まえると、この組み合わせは非常に面白いのではないかとということで、中でやっているわけです。

その原型としてつくっているのがわれわれのシステムです。ただ、建屋というか、ここの中のほとんどは生命環境の渡邊先生や井上先生がされている「藻類からオイルをつくる」というプロジェクトですが、その周りにこういうエネルギーシステムを置いて、われわれもいろいろな研究をしています。

その1例をご紹介しますと、太陽電池と純水素燃料電池を組み合わせると、こういう装置を使って連系させます。

例えば、これは人工的につくった負荷ですが、太陽電池出力というのは任意に勝手にできてしまうわけです。これに対して、われわれはこれだけ使っているのですが、この間を何かで埋めなければいけません。そこに燃料電池を使うのですが、燃料電池は出す能力に限界がありますから、どうしても足りないところだけは系統に頼ろうと。こういうことができることが分かってきています。

先ほど鈴木町長からもお話がありましたが、太陽光や風力などを入れていくことは、いくらでも可能なのですが、では誰がそこをうまく埋めているかというと、実は電気事業が埋めているわけです。たくさん入れれば、われわれはハッピーになるかというと、全然そうではなくて、町長も少しおっしゃっていましたが、たくさん入れれば入れるほど別の欠点が出てきます。これは負荷調整がなかなかできないということになります。

だから、われわれがどういう研究をやっているかという非常に簡単な話で、勝手に出てくる出力と、われわれが使いたいという間をどう埋めるかが大きなポイントです。それがいろいろな貯蔵技術や、水素をうまく使いましょうという話になるわけです。



3. つくば市 DC モデルグリッド実証設備

さて、こういう研究をどのように使うかということで、われわれはエネルギーシステムをこういう形でやっています。これは震災前の2011年の正月から2月半ばまで、つくば市が主体でやったのですが、総務省の緑の分権改革事業を受けて、中央公園のレストハウスで未来型のエネルギーシステムを見せていました。これによってわれわれのことを理解してもらえるのではないかということで、そういうシステムをつくりました。

中身はこういう形で、先ほどあったようなものの簡単なシステムです。コンセプトは、できるだけ再生可能エネルギーを最大限取り入れつつ、自立できるということです。また、全体の効率を上げるために直流を使いました。例えば、LED照明や電動アシスト自転車、足湯も置いたりしたのですが、こういったものを実際に市民の方に体験していただきました。エネルギーですから、電気が付いているだけということになってしまうので、なかなか分かりにくいところではあるのですが、こういったことでクリーンなシステムができるということを皆さんに感じてもらうということで実施しました。

われわれは当然大学ですから、やりっ放しということではなくて、中がどうであったかは、裏できちんと解析しています。例えば、晴天時です。青色のカーブが太陽光の出力です。これに対して負荷が水色です。どうしても需給ギャップがあるので、例えば、それを緑色の燃料電池で埋めています。どうしても足りないところは、さらに系統から入れるということで、非常に簡単にできています。これは能動的な制御を何もせず、Passiveというか受動的に勝手に動けるシステムをつくりました。

さらに曇天時には、太陽光はほとんど出てきません。負荷は相変わらずあるわけですが、このときには水素あるいは燃料電池に頑張ってもらいます。さらに足りない分だけ系統から来ます。こういう状態で仮に系統がダウンしても、例えば燃料電池や太陽

電池など、出力があるものをうまく使うことができるわけです。そうすると、その範囲での電力供給が可能であるというシステムができました。

ただ、残念ながら、これは国の事業の関係で、2月の半ばで資産になったら困るので撤去しろという話になり、その3月に大震災が来ました。私の夢ということではありませんが、こういう簡単なシステムで、われわれは電気や熱、あるいは水は燃料電池で若干できるという話もありますが、そういったものがこういうところで手に入られます。

では、われわれは何をやっているかということ、先ほど申しましたように、こういう新しいシステムを入れようとする、CO₂を出さない分だけどうしても高くなってしまいます。見かけだけでいうと高くなってしまふ。高くなったから我慢してくださいというのはなかなか大変な話なので、例えば停電になりません、最小限は得られますという付加価値を付けて、皆さんにご理解いただこうと。例えば将来、炭素税が入ってきますというときには勝てるかもしれないということで、準備をしているところもありますが、エネルギーというのはなかなか難しく、常に敵となるのは安い石油や原子力ですから、こういうことを実現するのはなかなか難しいわけです。

ただ、できる範囲の中で簡素化するとか、いろいろあるのですが、そういったものの中でできるだけ安くしていく。これは工業製品ですから、ある程度入れていかなければいけません。大量生産のサイクルの中で安くしていくということもやはりありますし、また入っていかなければあまり意味がありません。

4. バッテリー・キャパシタハイブリッド蓄電システム (BACHES) 開発

その他の研究のご紹介ですが、例えば大型商用施設向けの蓄電池システムです。今、電気自動車が目立っています。その後は水素になるのではないかという話もあるのですが、取りあえず電気自動車が注目されています。ただ、これが一般的にたくさん



普及するかというと、そう簡単な話ではありません。みんなが充電すると一気に破綻します。電気というのは便利なようですが、大量供給には向いていません。これはガスやオイルの方がよっぽど向いています。ところが電気というのは大量に入っていきます。これが一気に充電されたらとんでもない話なので、商業施設の中でどのようにマネジメントするか、そのための技術的な課題は何があるかといったことをやろうとしています。

全体像はそういう形ですが、この中で派生している研究の一つがこちらです。バッテリーとキャパシタのハイブリッド蓄電と言っていますが、皆さんはお聞きになって「何だそりゃ」と思うかもしれませんが、簡単に言うと「ししおどし方式」を取っています。要は徐々にためておきながら、一気に移します。先ほど市長からつくば市の風車は失敗したというお話がありましたが、実はこれを考えるきっかけとなったのがつくばの風車の失敗です。うちの子どもが中学生のときに、竹園東中の中庭に風車がありましたが、ほとんど回っていませんでした。子どもと歩いていたら、子どもがたまたまテレビのインタビューを受けて「風車が回っているのを見たことはありますか」と言われて、うちの子どもは「ありません」と答えました。あのおときオンブズマンに訴えられたのは、回っていないときにインバーターが電気を食っていて、要するにマイナスになってしまうということです。マイナスなら発電装置として全く意味がありません。そのときにこれを集める方法はあるだろうと考えて使ったのがキャパシタです。当時はまだ性能が悪くて使いものにならないなと思っていたのですが、さすがに最近ほとんどロスのない、非常に良いものが出てきました。これを使うといいでしょうということです。

これは面倒な話になって、大学の教員らしいところを見せようという意図もあったのですが、回路はこのようになっています。実はいろいろなメリットが出ます。これは太陽電池ですが、並列で常に充電

しています。この間にパワーエレクトロニクスは入っていません。パワエレを入れないで、曇りでも雨でも、少しでも発電したら徐々にためています。並列で入れるメリットは、例えば太陽電池の一部が陰になっても引きずられません。太陽電池を持っていらっしゃる方がいるかもしれませんが、普通はおおむね直列でつながっています。一部が木の陰になったりすると、そこの出力に全部引きずられて、たくさん発電できるところもうまく電気を取り出せません。そういうのがこうすると解決できます。

さらに、これは並列で充電するのですが、これを直列にして出しています。そうすると昇圧もここでできて、パワーエレクトロニクスを使わなくても出せてしまいます。ただし、移動するときに若干ここにパワエレを使わなければいけないのですが、それはたまっているときに一気にやる、要するに定格運転でやると非常に効率の高いところで運転できるという方法にしました。これがうまくいっています。低いときに電源を入れて、一生懸命運転していても、ここの消費電力の方が多かったというのがつくばの風車の失敗です。もともと風境をうまく計算していなくて入れたという問題もあるのだと思いますが、そういう意味では少し勉強が足りなかったのではないかと思います。

これが結構うまくできるということを紹介しているのですが、その話は省略します。これは見ておいていただければと思います。

これを使ったのが垂直軸揚力型風車です。つくばの風車に似たような形ですが、少し違います。つくばの風車の場合、抗力を利用していますが、これは揚力で飛行機が飛ぶのと同じ原理を使っています。これを宝町駅の近くのビル12階建てのビルの屋上に設置しました。東京はつくばより風境がいいかな、結構風が吹くのかなと思ったら、実はほとんど吹かないのです。これはやはり当然で、それほど風が吹いてもらったら困ります。定格出力が出るぐらいの風は、ほぼ台風に近い風しかないので、普通



はちよろちよるなのです。それを効率よくためようと、今、実証中です。

その他、電気自動車をうまく使って需給調整をし、将来、電気自動車が必然的にある程度入ってきたら、停まっているときにうまく使おうというだけの話です。

これをいろいろ実験しています。オレンジの線はそれを使わないときです。波形が複雑に見えるのですが、電気自動車側の制約によってこのようになってしまいます。電池を保護するために、勝手に充電電させてくれないシステムになっており、そういう状況でも割と平準化ができることを表しています。制御時間をもう少し短くすると、かなりへこみ、こちらにシステムの依存率を表していますが、低減が大きくなるようになっていきます。うまくできることが、取りあえず分かりました。

それ以外に、電源というのはわれわれの生活にとって必需品になっています。減災に対応できる電源です。筑波大学も震災のときには停電になりました。このときに避難誘導などができず、当時の生命環境科学研究科長から頼まれて、最初はわれわれのシステムから電気を引っ張ってほしいということだったので、それはなかなか難しいので、もう少し近くに置けるものを用意しました。

せっかくなのでいろいろなところで使ってもらおうと、つくば市の非常用電源として、筑波西中学校に入っています。その他、茨城県内にいろいろ入っていますし、岩手県の遠野市や野田村に入れてもらうということが進んでいます。

この特徴は、非常に簡単であることです。バッテリーとインバーターの組み合わせで、誰でも使えるよう、また、日ごろ使えるようにしました。これが減災としては非常に重要だと考えています。何かというと、やはり機械ものですからどうしても壊れます。大体皆さんそうですが、震災があると災害用のものを買います。後は、平和な日が続くので放っておきます。そうすると、いざ使おうとすると壊れて

いることが多いので、それをなくそうとした、それだけの工夫なのです。それから、できるだけ安くしなければいけません。災害用ですから、これにあまりお金を掛けても仕方ありません。そういう中でいいもの、さらには直流あるいは再生可能エネルギーをうまく使ってもらおうとしました。

5. 水素活用都市プロジェクト

プロジェクトとしては、昨年、国総研主体で水素の供給実験を中央公園で行いました。私は水素や燃料電池を研究しているのでお手伝いした程度ですが、つくば市で余った燃料電池やこういうところを、ここでまた復活して使いました。国総研は二重管で水素を送るという実験だったのですが、地域冷暖房が、まだ温水供給で行われています。筑波大学もそうなのですが、これは効率が非常に悪いです。こういうものの老朽化が進むことも相まって、更新のときに新しいシステムを入れられるのではないかという検討が行われています。例えば今、官舎等も壊されて、再開発しようという時期ですので、そういう中で新しい技術をうまく使っていく。これは家庭内も同じですが、水素や直流などいろいろな先進的なものを使って、まさにホリスティックにうまくやっていきたいということです。

6. 地産地消を主としたエネルギーフローへ

冒頭に述べましたように、省エネルギー化と環境負荷低減という意味では、途中の損失を減らす、あるいは全体の使用量を下げ、原子力を増やすということを考えていたのですが、これが立ち行かなくなったので、先ほど直流と水素という話をしました。さらにもう一つ熱というのもあって、これらをうまく組み合わせることで、まさにホリスティックにうまく進める。さらには付加価値を付けるということです。一つは集中エネルギー源に頼らなければいけないという事情はあります。これはわれわれが使っているエネルギーは非常に大きいので、ここを



無視することはできません。だからこれをある程度使うのですが、さらには身の回りで使えるエネルギーはみんな取ってしまおうと。これらをうまく組み合わせることで、エネルギー供給の枠組みを考えています。これがわれわれのCNESという研究テーマではないかと思っています。

新エネルギーというのはなかなか難しいのですが、安定性やコンパクト性を考えると、化石燃料には全くかないません。さらには効率や経済性も、大きなものには全くかないません。冒頭にも申しまし

たが、市場原理での自発普及はあり得ませんので、不便、高コストを受け入れる覚悟がある程度要ります。しかし、こういったものの負担をいかに下げるかという技術的な課題もありますし、われわれ使う側の意識の問題もあるのではないかと考えています。

さらに、つくば3Eフォーラムとしては、研究成果をうまく使い、企業などにも加わっていただき、そういったものをうまく積み重ねていく、そういう行動を起こすためのインセンティブが必要ではないかと考えています。

質疑応答

(司会) 石田先生、どうもありがとうございました。ご質問等がございましたら挙手をお願いしたいと思います。

(藤倉) 私は、民間企業OBで松代に住んでおります藤倉と申します。今日のホリスティック・エンジニアリングというお話の中で、変わっていくことを前提というお話がありまして、これを私なりに読んでみると、体の中の代謝のように、常時古いものを壊して、新しいものをつくっていくようなシステムと似ているように感じています。私の立場としては、今はOBですので、市民や地域の側です。従来、日本のエネルギー政策は、どちらかというところと発電や送電にバランスが偏っています。生産と消費のバランスがちょっとどうかなという状態に会って、市民や地域の側に主導権を持ってきてバランスを取る。さらにエネルギーは重層なシステムですので、例えば今日のお話ですと分散エネルギーシステムが構成要因として認められるようなものが世の中の姿だろうと思います。今は、コメントです。質問に移りますが、井上議長は、お話の中で産学官民とおっしゃったと思います。そうした場合に、市がいろいろな政策などをつくっていくのはもちろんですが、市民の方はエネルギーの使い方などをどのようにしていくかをこれから考えていく必要があります。

それをぜひ産学官の方々にも支援してほしいということだと思います。その中で、大学およびつくば3Eフォーラムとして、市民に対してどのようなことができるか、もしくは既にやっているかというお話を賜ればうれしいと思います。

(石田) つくば3Eフォーラムとしてということになると、私は全体をカバーしているわけではないので、なかなか答えにくいところです。つくば3Eフォーラムの公式な見解というより、私個人の見解として受け取っていただきたいのですが、エネルギーの問題は、われわれはあくまでも供給する技術を主体として仕事をしています。しかし、大学から家に帰れば私も当然市民になるわけで、そういう意味でいうと、やはり使うことになるわけです。従って、使う立場で一体何をすべきだろうと考えるのではないかと、私自身は思います。そうすると、身の回りで言えば、簡単にできることは、ちょっとしたことで無駄をなくすことから始めて、いろいろあります。例えば、子どもにそれを教育するといったこともできると思います。ただ、私が市民の皆さんに一番期待したいことは、どういうものが欲しいのかきちんと言ってくることではないかと思います。話は飛びますが、昨年の夏に、県民大学というのを頼まれました。やる前に、「こんな話は誰も

聞かないでしょう。5人ぐらいしか来ないのでは」と言っておりましたところ、ふたを開けたら50人を超える人が来ていただきました。私より年配の人ばかりでしたが、非常に熱心に聞いていただき、10回ほど欠席がなく、意外に意識が高いなと思いました。そういう意味で、いろいろな情報の収集を通して、われわれは何を選択するかを言うことは、まず第一歩として非常に大事なのではないかと思えます。それは非常に大きな原動力になると、私自身は期待するところです。

(藤 倉) 今日頂いたスライドの中に、研究開発の市民への見える化に関する具体例というスライドがありました。また、つくば市非常用電源導入例の説明、それから国総研の実験の例が、市民に見える化という言葉に対応するものではないかと思いました。ぜひ分かりやすく、しかも正しく伝わるようにしていただくことが、今後、特に大切ではないかと思えます。ありがとうございました。

(石 田) それは、まさにわれわれの課題です。どうもありがとうございます。

○講演者プロフィール



石田 政義 (いしだ まさよし)
筑波大学システム情報系 教授

○略歴

1960年生まれ。
1985年3月 工学修士 筑波大学
1985年4月 (財)電力中央研究所
1990年9月～1991年9月
コネチカット大学化学部客員研究員
1993年3月 博士(工学) 筑波大学
1995年4月～ 筑波大学

○主要著書等

「家庭用燃料電池の開発と課題」(シーエムシー出版)、
「エネルギー供給システム」(機械工学便覧 γ5編)、
「水素・燃料電池ハンドブック」(オーム社)、「エネルギー用語辞典」(オーム社)

○研究テーマ

超高温用無機絶縁材料に関する研究、燃料電池を主としたエネルギー変換システムの特性向上に関する研究 など

○趣味

スキー、登山 など



平成26年1月25日 第7回つくば3Eフォーラム会議



つくば発 環境にやさしいエネルギーシステム
「分散エネルギー連系システム」

石田 政義
筑波大学 システム情報系



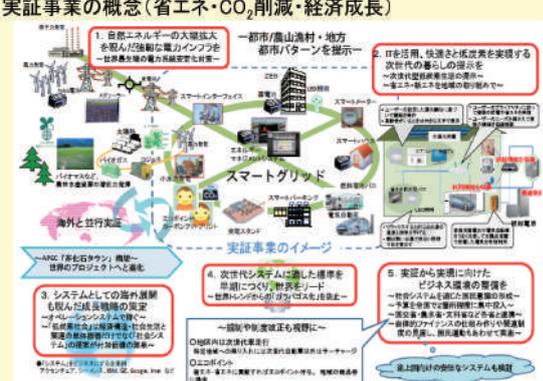
CO₂排出削減の考え方 1 / 29

- できることを実行しなければ進まない。
- ドラスティックな方策でなければ大きな効果はない。
- 責任が伴わない限り人は行動しない。
- 環境は有限で修復にはコストがかかる。
- 我々は国際的にリーダーシップを発揮すべき立場。

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会議

経済産業省次世代エネルギー・社会システム 2 / 29

実証事業の概念(省エネ・CO₂削減・経済成長)



1. 自然エネルギーの大規模化を取組んだ強靱な電力インフラを...
2. ばを活用、快速さと低コストを実現する次世代の暮らしの提示を...
3. システムとしての海外展開も取組んだ成長戦略の策定...
4. 次世代システムに適した標準を...
5. 実証から実用に向けたビジネス環境の整備を...

スマートグリッド

海外と並行実施

実証事業のイメージ

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会議

エネルギー工学は何を目指すのか ～個人的意見～ 3 / 29

☆従前: CO₂排出削減, 一次エネルギー消費削減

⇒ 原子力 ⇒ 主
分散型電源 ⇒ 従

★震災・原発事故後: 安全・安心, エネルギーセキュリティ向上

大規模・経済合理性 ⇒ コンパクト・自然共生

⇒ 分散型電源 ⇒ 主
負荷調整 ⇒ 従

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会議

“Holistic Engineering”のすすめ 4 / 29

1. 要素技術開発の寄せ集めでは限界
→ 得意な能力を活かし弱点を相互補完する
2. 巨大・複雑システムへの極端な依存は危険
→ DIO(Do it ourselves)に基づくサバイバル術を獲得する
3. 既存パラダイムや固定観念の行き詰まり
→ 諸行無常・是生滅法・生滅滅已・寂滅為楽

水素・直流によるネットワーク化
すなわち、Simple・Passive・Robust
システムの構築

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会議

次世代環境エネルギー技術開発拠点の構築 5 / 29

次世代環境技術創出センター

国内、世界中でエネルギーの地産地消を拡大

分散型のベストミックス・エネルギーネットワーク構築

多様なバイオマス資源に応じた多様な技術を用いたバイオマスの効率的な供給を実現する

5層壁にプラント実用化

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会議



筑波大学 CNES実験実証設備の概要

再生可能エネルギー直流通系システム：
カーボンニュートラルなエネルギーシステム技術の確立を目指した実証システム

再生可能エネルギー直流通系システムを使って、環境、安全、安心の時代に求められるエネルギーシステムについて各種実証実験を実施して、大規模な社会導入を目指しています。

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会場

CNES実験実証設備の外観・配置

システムの使用目的

1. 需要地（オンサイト）での需給調整
2. 直流通系および純水素を活用した需給調整
3. エネルギーネットワーク構築によるベストミックス
4. 無停電や部分的需給改善など付加価値向上
5. 低コストおよび高信頼を実現する技術開発
6. 開発を通じた人材育成と産学官・国際連携

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会場

太陽電池-純水素燃料電池との連系運用

実験設備の構成

- COA-MIB装置
- 1kW級純水素燃料電池
- 5kW級太陽光発電設備
- 模擬負荷装置

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会場

需給調整能力の検証運転

～運用条件～

- 電力負荷パターン
・2.3kW→1.0kWのステップ減少変動
- 電力系統
CV(定電圧)モード
- 燃料電池
電力系統の出力がゼロになるように電池出力電流をフィードバック制御
- COA-MIB装置
MH水素吸蔵量:1500NL
MH温度:80℃
- 太陽光発電
MPPT(最大電力点追従)モード

COA-MIBと純水素PEFCによる需給調整運転

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会場

研究開発成果の市民への見える化具体例

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会場

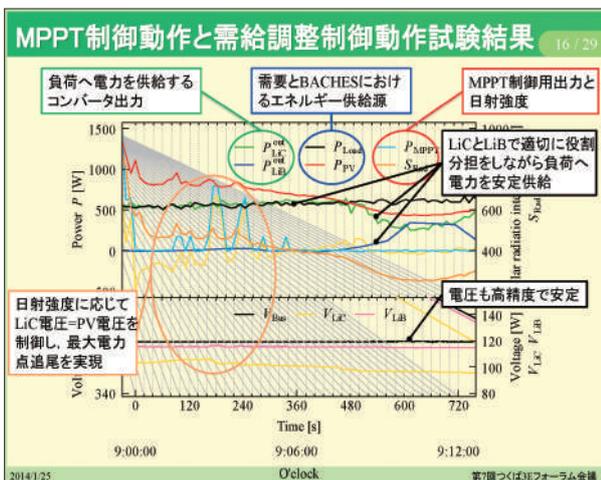
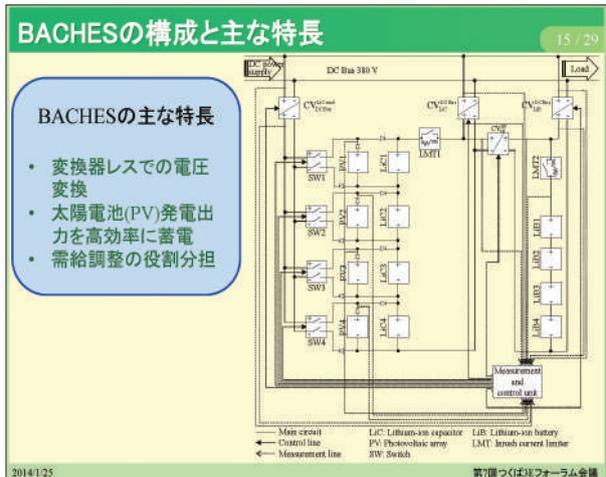
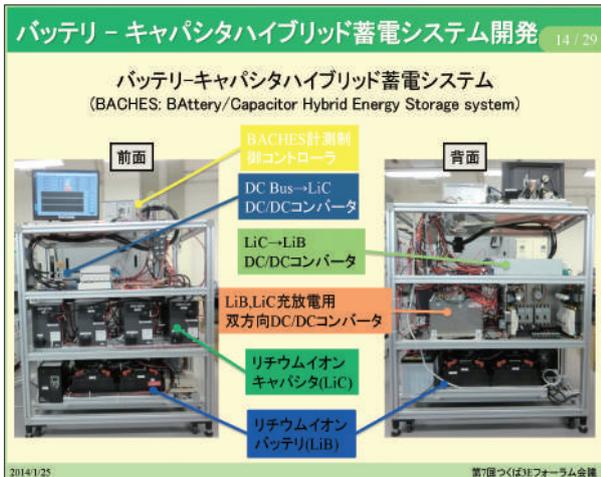
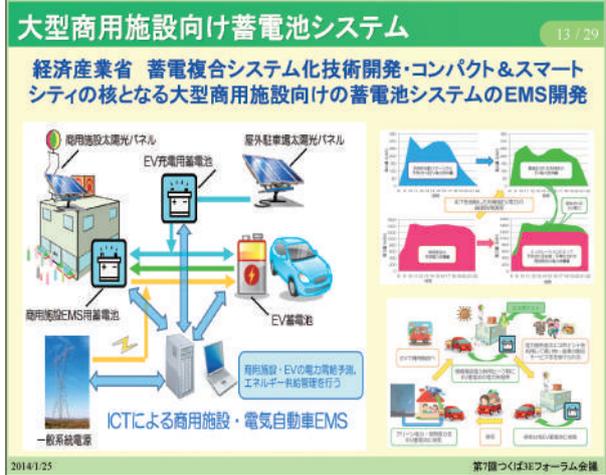
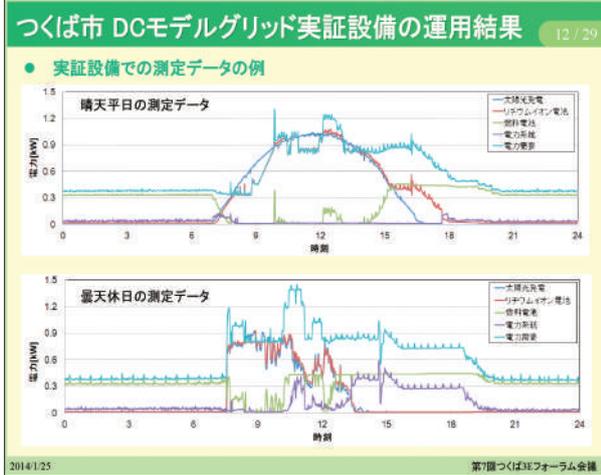
つくば市 DCモデルグリッド実証設備の概要

- 市民の環境意識の啓発を目的として、未来型エネルギーシステムの試作と運転を実施した。

「つくば環境スタイル」の一環として、未来型エネルギーシステムを市民に体感してもらおう「クリーンエネルギー展」を開催。

太陽光発電や燃料電池などを直流通系した「DCモデルグリッドシステム」による電気融通や無停電を実証した。

2014/1/25 第7回つくば3Eフォーラム会場



電気自動車を用いた需給調整実験

18 / 29



EV充電試験装置

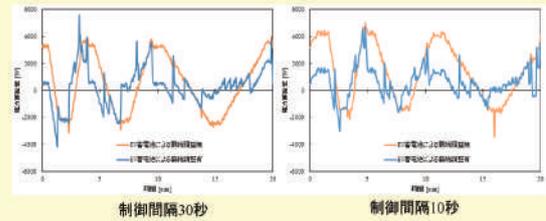
メモリハイコーダによって交流電力も高精度に測定

2014/1/25

第7回つくばEフォーラム会場

EV需給調整試験結果の一例

19 / 29



| | 制御間隔 30秒 | 制御間隔 10秒 | 系統依存電力量の低減率 |
|----------------|----------|----------|---------------|
| EV蓄電池による需給調整有り | 356 Wh | 367 Wh | 制御間隔30秒 45.1% |
| EV蓄電池による需給調整無し | 649 Wh | 787 Wh | 制御間隔10秒 53.4% |

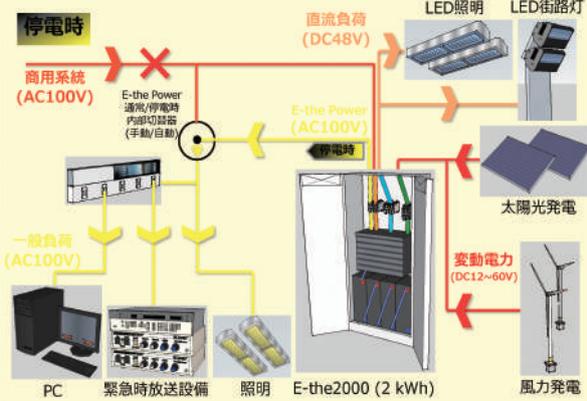
EVによる需給調整を行わない場合と行った場合とを比べると、EVによって需給調整を行う方が電力需給差が0に近づいている。このことは、電力系統に悪影響を与える割合が減少していることを示しており、EVを蓄電池として用いる際に一定の効果を得られているといえる。

2014/1/25

第7回つくばEフォーラム会場

減災対応電源を利用したシステム

20 / 29



2014/1/25

第7回つくばEフォーラム会場

つくば市非常用電源導入例

21 / 29

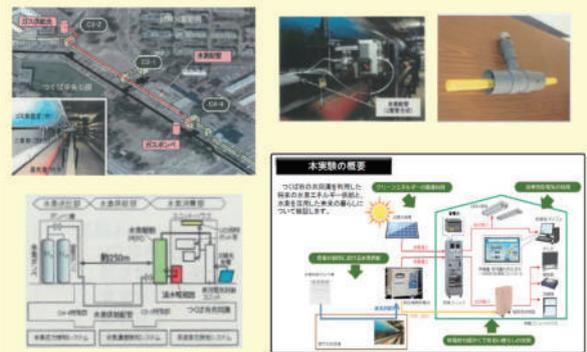


2014/1/25

第7回つくばEフォーラム会場

国総研/つくば市 水素供給実験 (本学: 技術的サポート)

22 / 29

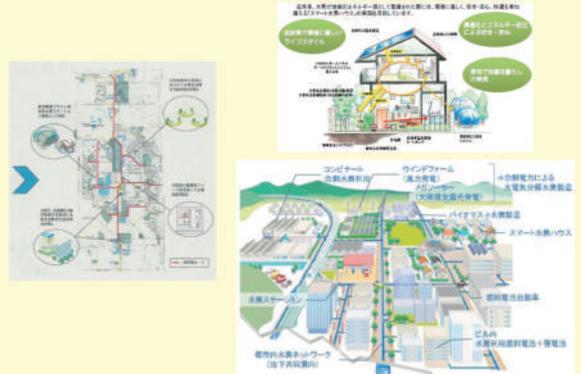


2014/1/25

第7回つくばEフォーラム会場

水素活用都市プロジェクト計画概要 (水素タウン研究会)

23 / 29

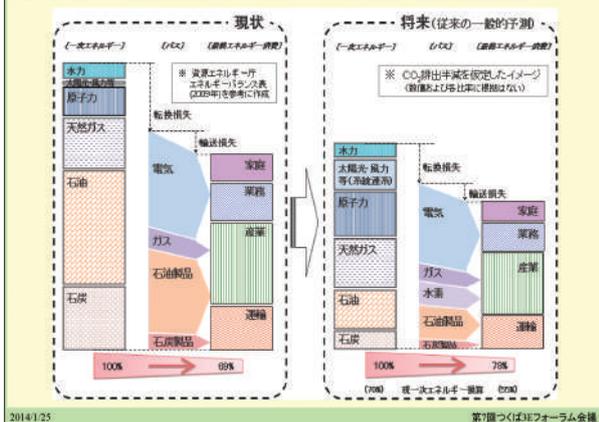


2014/1/25

第7回つくばEフォーラム会場

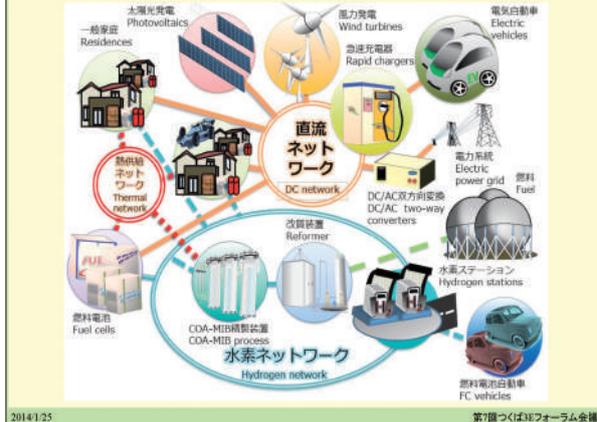
予想されるエネルギーフローの変化

24 / 29



エネルギーネットワークの適用イメージ

25 / 29



地産地消を主とするエネルギーフロースキーム

26 / 29



新エネルギーの既存技術に対する明白な関係

27 / 29

- 安定性, コンパクト性
化石燃料 > 再生可能エネルギー
- 効率, 経済性
大規模集中方式 > 小規模分散方式

市場原理での自発普及はあり得ない
→ 不便, 高コストを受け入れる覚悟

情報発信としての3Eフォーラムの役割

28 / 29

- 環境先進宣言。
- 研究開発成果の先行導入。
- 企業等先端技術の実証への協力。
- 実効的努力(行動インセンティブ)。

ご清聴、有難うございました。

