



曇り空でも心配無用 気まぐれな 太陽光発電を制御理論で支援

住宅の屋根に太陽光発電パネルをよく見かけるようになった。太陽の恵みを社会の電力ネットワークにうまく組み込み、無駄なく効率的に利用するための技術開発が進んでいる。天気によって左右されるだけに、発電量の予測や火力発電所の稼働計画など、関連し合う多様な課題にきめ細かく配慮し、賢く使いこなさなければならぬ。東京工業大学の井村順一教授らの研究チームは、太陽光発電を組み込んだ電力ネットワーク全体を制御する理論の構築をめざしている。

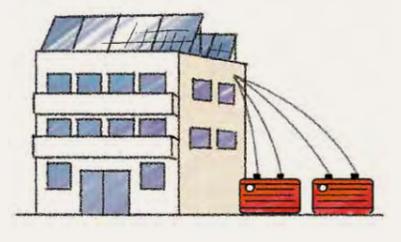
☀️ 新たな電力ネットワークを制御するシステム理論の構築

東日本大震災以降、日本では太陽光発電装置の導入が急速に進んでいる。2015年には太陽光発電の総導入容量が23ギガ(ギガは10億)ワットを超え、ドイツ、中国に次いで世界第3位になった。発電所でつくられた大量の電気は蓄えることができないの

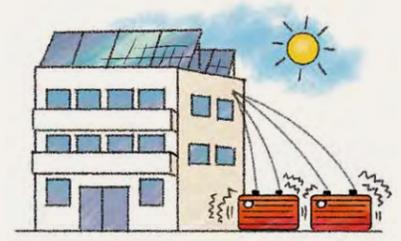
で、発電するやいなや使われる。しかし電気の需要は地域や時期、時間で大きく変わる。太陽光発電ではさらに天候にも左右される。その変化に応じ、発電所と工場やオフィス、家庭を結ぶ網の目のような電力ネットワークを通して電気をバランスよく安定的に供給しなければならない。東京工業大学教授の井村順一さんは、太陽光発電を組み込んだ新

たな電力ネットワークを想定し、それを制御するシステム理論の研究を進めている。研究内容を、野原に建つ送電線のないマンションで例えてみよう。

1 送電線がない野原の真ん中に、10世帯が住むマンションが建っていました。このマンションは、太陽光発電装置と2台の自家火力発電機の電力を使っています。

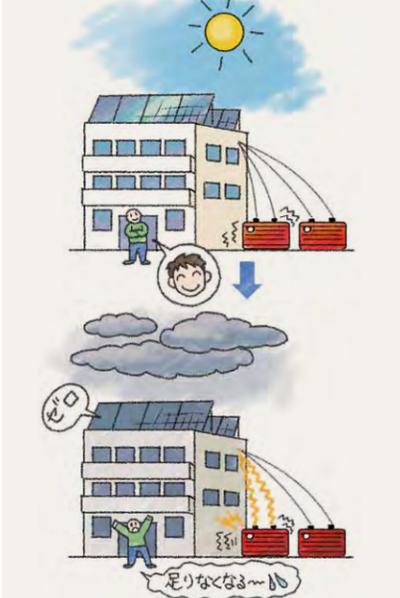


2 昼間は太陽光で発電します。日照量が少なくなったら、火力発電機で補いますが、すぐには発電できません。前もってエンジンをゆっくり動かし(アイドリング)、いざというときに最大出力で発電できるようにスタンバイさせておく必要があります。



3 ある朝の天気予報は快晴でした。マンションの発電担当者は、太陽光でたくさん発電できるだろうと、アイドリングさせる火力発電機を1台だけにしました。ところが、昼に急に雲が出てきて太陽光

発電はゼロになり、火力発電機1台では電力が足りなくなってしまいました。



4 慌てて2台目の火力発電機の準備を始めましたが、とても間に合い

そうありません。各部屋の住人に節電をお願いし、何とか停電の危機を乗り切ることができました。



「急に曇っても、火力発電機を2台ともスタンバイしておいたら慌てずに済むのですが、アイドリングは余計な燃料を消費し、二酸化炭素も排出するので、1台のみにしていただけです。現実の電力会社でも同じです。すぐに稼働できる小型の火力発電機もありますが、大型のものは前日から準備しておく必要があるのです。この段取りを間違えると、例え話のように多くの人に迷惑をかけることになってしまいます」と井村さんが説明した。

☀️ 2030年の太陽光発電量を政府目標の2倍に想定

政府が目標とする2030年度の太陽光発電の導入容量は64ギガワットだが、井村さんらが想定しているのは、そのほぼ倍の

102ギガワットだ。火力、原子力、水力などすべてを含めた日本全体での最大消費電力は170~180ギガワットなので、その半

分以上を太陽光発電が占めることになる。「日中しか発電できないので、120ギガワットの太陽光発電容量の場合、エネル



井村 順一 いむら・じゅんいち
東京工業大学工学院 教授
1992年、京都大学大学院工学研究科博士課程中途退学、博士(工学)。同年同大学工学部機械工学科助手、96年広島大学工学部助教授、2001年東京工業大学大学院情報理工学研究科助教授を経て04年より同大学院教授。16年4月より現職。12年よりCREST研究代表者。

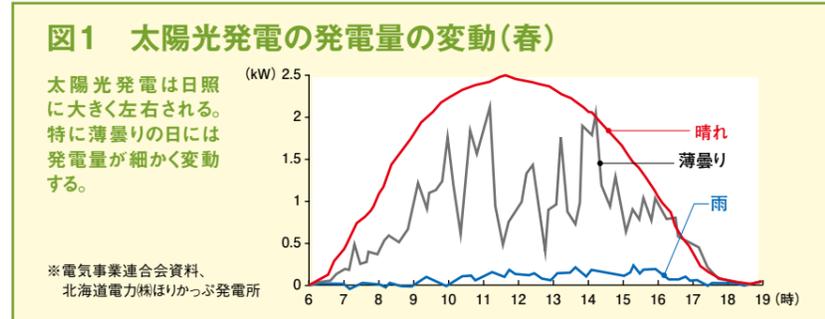
ギー値(積算値)では1日の全消費エネルギーの約10パーセントになりますが、それでもかなりの発電量です。厚い雲がかかると発電量がいきなり落ち、薄曇りのときは、発電量が細かく上下する(図1)。将来、電力ネットワークに太陽光発電が多く入ってくると、マンションの例え話のような緊急事態が、もっと広い範囲で起こる可能性があるわけです。

井村さんたちの研究目標の1つは「太陽光発電を組み入れた電力ネットワーク全体を制御する新しいシステム理論の構築」である。具体的には次のようになる。
(1) 不安定な太陽光発電を補う火力発電機をどう動かすか。

太陽光発電の予測や火力発電機のアイドリング稼働率を決定するための、精度の高い予測や無駄の少ない計画を立てる理論。

(2) 蓄電池をどう使うか。

太陽光発電は日中に多く発電するが、電力消費のピークが来るのは太陽が沈む夕方だ。日中に余った電気を蓄電池に貯めて夕方に使えるように、太陽光の発電量を考慮して蓄電池の充放電を制御する理論。マンションの例では、蓄電池があれば、火力発電機がスタンバイするまでの間は太陽光発電で貯めた電気を使うことができる。



(3) ユーザーの消費電力をどう制御するか。

それでも電気が足りなくなったら、ユーザーに節電してもらうしかない。デマンドレスポンス(需要側の対応)の仕組み(6ページ参照)を使って、ユーザーの消費電力を制御する理論。

太陽光発電の「大外れ」を予測する

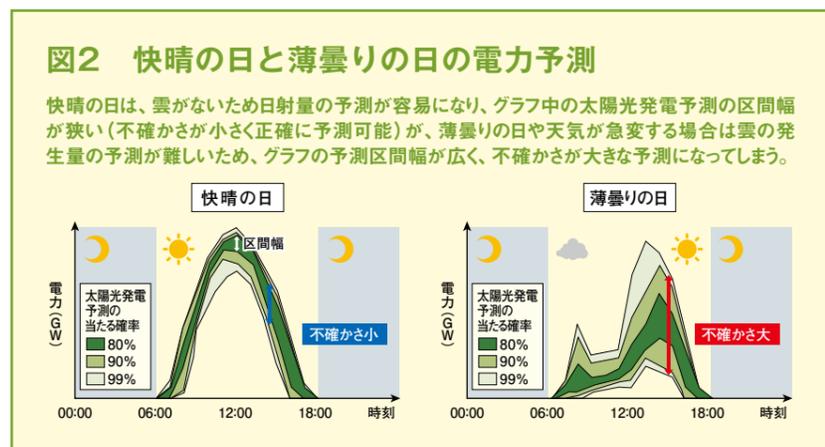
もう1つの研究目標は「精度の高い予測技術の開発」だ。太陽光による発電量の予測技術は盛んに研究されているが、その精度は十分ではなく、かなりの誤差が出る。その予測誤差を小さくすることが課題である。

「どのようにして予測の大外れをなくするか。電気は発電した瞬間に家庭のコンセントに伝わるので、発電量と消費量がいつも釣り合っていないけません。一瞬でも予測を大きく外れると、最悪の場合には大停電が起きます。そこで考えたのが「大外れ予測」です。

単純な太陽光発電予測は、「〇月〇日の〇時に何キロワット発電できる」という情報を出すだけです。太陽光発電予測の当たる確率を加えます。例えば快晴の日(図2左)は、予測発電量に対する不確かさは小さく、発電量がほぼ正確に予測できることがわかります。逆に薄曇りの日

(図2右)では、予測発電量に対する不確かさが大きく、発電量予測に大きな幅があります。

薄曇りの日の予測は難しく、大外れが起こりやすいので、火力発電機を多めに準備しておく必要があります。



山口 順之 やまぐちのぶゆき 東京理科大学工学部電気工学科 講師

2002年、北海道大学大学院工学研究科博士課程修了、博士(工学)。同年電力中央研究所研究員、03年同研究所主任研究員を経て15年より現職。この間、08年米国ローレンス・バークレー国立研究所客員研究員、12年早稲田大学先進グリッド技術研究所招聘研究員。13年よりCREST主たる共同研究者。

異分野の専門家が議論できる電力コラボレーションルーム

研究チームは12のグループで構成されており(図3)、12の個別理論を連携させて1つの大きな統合理論にすることが目標だ。「各グループが作ったコンピュータプログラムが1つのソフトウェアに統合されるイメージです」と井村さんは言う。

「しかし、12のプログラムすべてがまとまって動くことはありません。2つか3つのプログラムにデータを入力して一度に動かす形で試行錯誤しながらの作業になるので、12グループの研究者が一堂に会し、その場で検証できる場所が必要です。東京理科大学葛飾キャンパスに設けた『電力コラボレーションルーム』に、気象、電力、送電網など大規模なデータを扱える高性能コンピューターを備え、シミュレーションするための基盤を構築しているところです。」

現実の世界では、理論ではとても捉えきれないことが起こる。理論は数式で表され、理想化された条件で問題を解くので、現実に適用しても有効に使えるとは限らないのだ。シミュレーションを繰り返して有効性を確認しながら、柔軟に理論を上げていかなければならない。

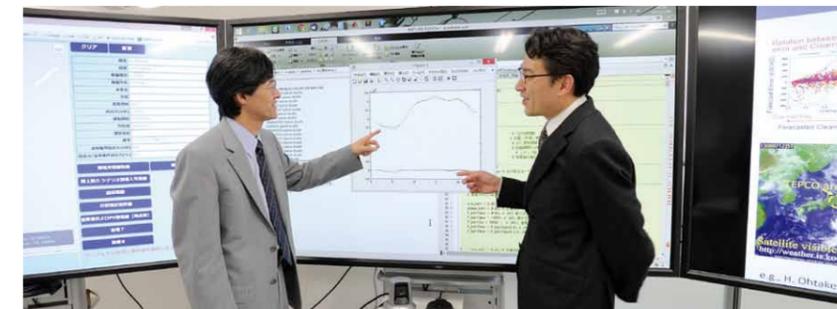
電力コラボレーションルームを担当するのは、東京理科大学講師の山口順之さんだ。「電力の専門家が気象のプログラムを見て正しいかどうかを判断することは困難です。分野の異なる専門家が意見を出し合い、個々のプログラムを修正しながら1つの大きなシステムを構築していくために、異分野の専門家が集まって作業できる電力コラボレーションルームが必要なのです。」

井村さんも「研究者同士がそれぞれの問題点を持ち寄り、全体のシステムを視野に入れながら1つ1つ問題を解決して

いく地道な作業の繰り返しがとても大切なのです」と言う。

2050年までに、現在の目標の3倍以上となる330ギガワットの太陽光発電も視野に入れて開発を進めている。膨大な

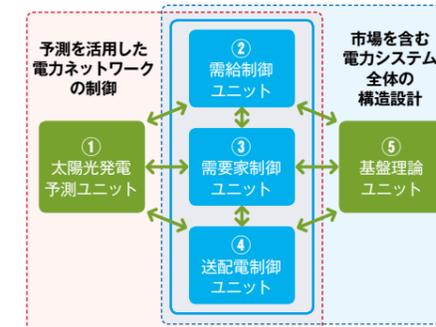
太陽光発電の電気を組み入れた新たな電力ネットワークとそれを制御するシステム理論によって、全国の家庭へクリーンエネルギーを安全かつ確実に届ける——それが井村さんたちの最終目標である。



電力コラボレーションルームの井村さん(左)と山口さん(右)。

図3 研究体制 12の研究グループは5つの研究ユニットにまとめられている。

- ①太陽光発電予測ユニット：高精度の太陽光発電予測技術の開発。
- ②需給制御ユニット：電力の需給安定させるために火力発電機をどのように制御するかの研究。
- ③需要家制御ユニット：ユーザーの消費電力や、太陽光で発電した電気を貯めておく蓄電池の制御などの研究。
- ④送配電制御ユニット：発電した電気をユーザーに送り届ける送電網、配電網の制御などの研究。
- ⑤基盤理論ユニット：電力システムの全体設計。



12の研究グループ(グループリーダー)

- ・井村 順一(東京工業大学、研究代表者)：中間層型電力システム制御基礎論
- ・東 俊一(京都大学)：需要制御基礎論の構築
- ・植田 謙(東京理科大学、ユニット③リーダー、電力コラボレーションルーム担当)：多様性を利用した調和的EMS
- ・太田 快人(京都大学)：送配電効率化・電力高品質化へ向けた理論構築と検証に関する研究
- ・児島 晃(首都大学東京)：情報更新型システム予測制御法
- ・杉原 英治(大阪大学、ユニット④リーダー)：送配電システムにおける中間層の価値評価基盤技術の構築
- ・鈴木 秀幸(大阪大学)：電力システムと太陽光発電予測の非線形科学
- ・造賀 芳文(広島大学)：パワーエレクトロニクスの高活用化によるフレキシブルグリッドの構築
- ・原 辰次(東京大学、ユニット⑤リーダー)：階層型分散アグリゲータの開発
- ・益田 泰輔(名城大学、ユニット②リーダー)：次世代電力システム需給制御
- ・村田 晃伸(産業技術総合研究所、ユニット①リーダー)：時空間領域の高精度太陽光発電予測・把握技術
- ・山口 順之(東京理科大学、電力コラボレーションルーム担当)：電力市場モデルによる中間層評価



全体会議に出席した12グループの研究者。