

次世代エネルギーとスマートコミュニティ構想

東京工業大学 柏木孝夫

§1. 低炭素社会の実現に向けた国内外の潮流

東日本大震災により我国は大変な被害となり、原子力に対しても連日緊張した日々が続いている。我国のエネルギー需給構造に対し、今後長期に亙り緊張した議論がなされることになる。低炭素エネルギー社会の構築は、地球環境問題はもとより、最近では国境を越えたエネルギーセキュリティ(安定供給)の観点から今世紀最大の課題であり、化石から非化石エネルギーへのシフトが加速されることになる

これまでは、非化石エネルギーの双璧として原子力と再生可能エネルギーが挙げられていたが、原子力に対しては、今後人工物の制御システムの高度化に向け経済性も含めて国際的な議論が展開されることになる。

一方、再生可能エネルギーに対しては総論として賛成意見が圧倒的であるが、解決すべき課題も少なくない。そのため、我国では、2009年11月から、太陽光発電からの余剰電力を売電価格の約2倍の固定価格で買い取り、電気料金に上乗せすることにより全員参画型の新エネルギー政策が開始された。現状では割高なシステムを市場に導入する訳であるから誰かがそのコスト負担をしなければならない。将来性の大きい新エネルギー市場の拡大を推進するために、最終的には政治的決断が成されることになる。国民に負担を強いることになるため、その決断は複眼的、多角的、分析的に十分な検討が必要であるが、太陽光発電に関しては、エネルギー・環境政策のみならず、産業、雇用政策上のシナジー効果も大きいことがあげられた。さらに、今国会には再生可能エネルギーからの電力を原則全種全量固定価格で買取る法案が審議されることになっている。

§2. グリーン イノベーション

私は21世紀における日本の成長エンジンが低炭素型の経済モデルを逸早く構築することにあると考えている。科学的、分析的に理論武装された国際世論が必ず低炭素社会の実現を力強く牽引する。世界は今、大きな転換点にある。今までのエネルギー社会の延長に、これからの社会の未来像はない。低炭素社会を実現していくためのパラダイムシフトが求められている。既に述べたように第一に「化石から非化石への燃料

転換」、第二に「化石燃料のクリーン化や高度利用技術の確立」が必要になっている。今後 10～20 年をかけてこれらの課題を克服することで、新たなエネルギーシステムを構築していく時期を迎えている。

そのためには低炭素社会へのパラダイムシフトを促すための技術開発、そしてイノベーションが求められる。ここで重要なことは、イノベーションとは「新たな知や技術が牽引する社会経済システムの構造改革」と定義されるが、まず「開発技術がもたらす新たな価値創造」を明確に示す必要がある。日本の場合、技術先導型のアプローチを取るケースが多く、この面では欧米の取り組みに学ぶことが多い。太陽光発電等の開発は人類に公平に与えられた自然エネルギーをうまく生活の中に取り込むことにより豊かな暮らしの実現という価値を創造するためのイノベーションである。

§3. 次世代エネルギーとスマートグリッド

最近では、「スマートグリッド」と言う新たなエネルギーインフラが注目されている。スマートグリッドとは、太陽電池や風力発電などの自然エネルギー系の電力を既存の系統制御に最大限に取り込むことができる次世代送配電システムである。現在、世界各国のいずれにおいても化石燃料系や原子力などのメガインフラが中枢を成している。中国では電力全体の 80%を石炭火力が占め、これら系統からの電力を同時同量制御システムでダイヤモンド側に流し込んでいる。これからはその系統制御が変わってくる。

日本を例に取れば、現状では電信柱に 6.6 キロボルトの送配電システムを設け、引き込み線で 100 ボルト、200 ボルトに分けて家庭に送り込んでいるが、このシステムが変わる。各家庭の太陽電池などで発電された 100 ボルトの電源が系統制御に入り込み、いわば電力に下からの噴出し口ができた形になってくる。その場合、電信柱にも ICT（情報通信技術）を装着し、どの程度の発電が成されているかを検知する必要が生ずる。各家庭にもスマートメーターと呼ばれる ICT の計器をつけて、太陽電池などのダイヤモンド側からの逆潮流をすべてチェックする。ICT を活用することでメガインフラとダイヤモンド側を双方向で管理する電力の新しい系統制御を作り出すことになる。その結果、自然エネルギーを最大限取り込むことでエネルギーコストを大幅に削減したシステムが生まれ、人々に豊かさゆとりのある暮らしがもたらされる。

欧州ではさらに進んだシステムが議論されている。例えば、オランダにナビゲーションの専門会社がある。この会社は、全世界のナビゲーションの約 4 割のシェアを握っており、事業戦略としてナビゲーションによる高度情報処理を活かした次世代インフラの構築を目指している。ナビゲーションの端末は日本が優れた機器を提供してい

るが、システム構築については米国、そして欧州が先導する状況にある。こうした中でその企画は、ナビゲーションを核とした新たなエネルギーシステムの構築を狙っている。

想定しているシナリオは次のようなものである。今までの系統制御では、メガインフラで発電した電力を上から下に流すだけだった。ところが、これからは自然エネルギー系の電力がディマンド側に入ってくる。技術開発が進み太陽電池の発電コストが化石燃料並みに下がれば、家庭用電源として標準装備され、住宅地一帯のすべての屋根に太陽電池が設置されるようになる。すなわち、各住宅団地に発電所の機能が付与される。団地は電力の消費地でもあるので、その結果、団地の発電量や消費量が全体の系統制御にかなりの影響を持つようになる。太陽電池の発電量は天候によって左右される。雨の日は発電しないし、晴れの日も日照によって発電量が変わってくる。このため、宇宙衛星の GPS を経由したナビゲーションを使って各地の発電状況を随時チェックし最適な予測を可能とするシステムが欠かせなくなり、電力需給制御全体の鍵を握るようになる。ナビゲーションとスマートメーターを連動させれば、戸別の発電出力も把握できる。携帯電話などの ICT と組み合わせることで、「家庭内の電力を無駄なく使う（例えば、冷蔵庫など常時必要な電力を上回った発電が得られた時に洗濯機を動かす）」「地域の余剰電力を他の地域に回す（例えば、日照の強い地域から雨がふっている地域に電力を融通する）」ことなども可能になってくる。つまり、エネルギーシステムそのものがスマート化する。その上で、車の電化がスマート化に拍車をかける。プラグイン・ハイブリッド車や電気自動車が普及すると、ガソリンではなく電気車で車を動かすようになるため、運輸用途にも余剰電力を回すルートが拓けるからである。

結果として、地域のエネルギーシステム全体をナビゲーションで制御しながら最適化するシステムが生まれてくる。これは「新たな知や技術が牽引する社会経済システムの構造改革」を可能とし、無電化村も一年に電化できる可能性すら秘めており、新しい価値の創造をもたらす。

§ 4. 都市エネルギー全体最適化とスマートエネルギー

我国は低炭素モデル国家として省エネ性、自律性、環境性に富んだ低炭素エネルギー需給構造のグランドデザインを明確に示す責務がある。

私は科学的検証から、電力に関して言えば、原子力・石炭・天然ガスなどのメガインフラが全体のベースを担い、その基盤の上に燃料電池、ヒートポンプなど、省エネ

ルギー性に富んだトップランナー機器群や自立性の高い地域共生型の新エネルギーが適切な規模でクラスターを形成してゆくことになるかと確信している。

低炭素社会に向けた都市エネルギーシステムのグランドデザインには、例えば都市内の商業施設・ビルなどを良質な拠点ストックとして捉え、エネルギーマネジメントシステム（BEMS）などの導入により、新たな省エネルギーをネットワーク的に達成してゆくことが必要となる。これら広域BEMSを都市集積部に構築し、最先端超省エネ ICT インフラを整備できれば、今後問題となる中小規模施設への双方向遠隔制御インフラとしても利用可能となり、CO₂削減ポテンシャルは極めて大きい。

また、都市部のバイオマス系エネルギー拠点である清掃工場や下水処理場の存在も重要となる。膨大な都市型排熱が有効利用できる面的・ネットワークインフラ、いわば循環型静脈インフラの整備が成されてこそ、低炭素都市が機能する。今後、太陽光発電や燃料電池などの分散型電源が建築物内や屋根などに大量導入されてくると、既存電力システムのスマートグリッド化はもとより、これらのマネジメントシステムは需要地に導入された分散型発電システムとエリア内に形成された電力だけでなく熱も融通するスマートエネルギーネットワークとしてCO₂を削減するアドバンスドシステムへと発展させるための新しいインフラとなり、低炭素社会の実現には欠かせないものとなる。

一方、燃料電池を見据えた水素社会の到来も電力化傾向の高まりと共に必ず訪れる。

将来的には需要地に知能を備えた各種分散型システム群が大規模送配電系統の一端に最適潮流制御を可能とするスマートネットワークが形成され、系統との調和を図りつつ、既存の空間インフラを高度に活用しながら、電力だけでなく熱や物質（例えば水素）までも併給する統合型インフラを適切に整備することが究極の省エネルギーを実現し、再生可能エネルギーを最大限とり込める低炭素社会の公共インフラそのものとなり、結果として社会コストミニマムを達成する。我国は愛知万博をはじめとし、すでにマイクログリッドという型で2030年の低炭素社会の姿を世界に先駆け発信している。

§5. エピローグ —— これからのグランドデザインとは？ ——

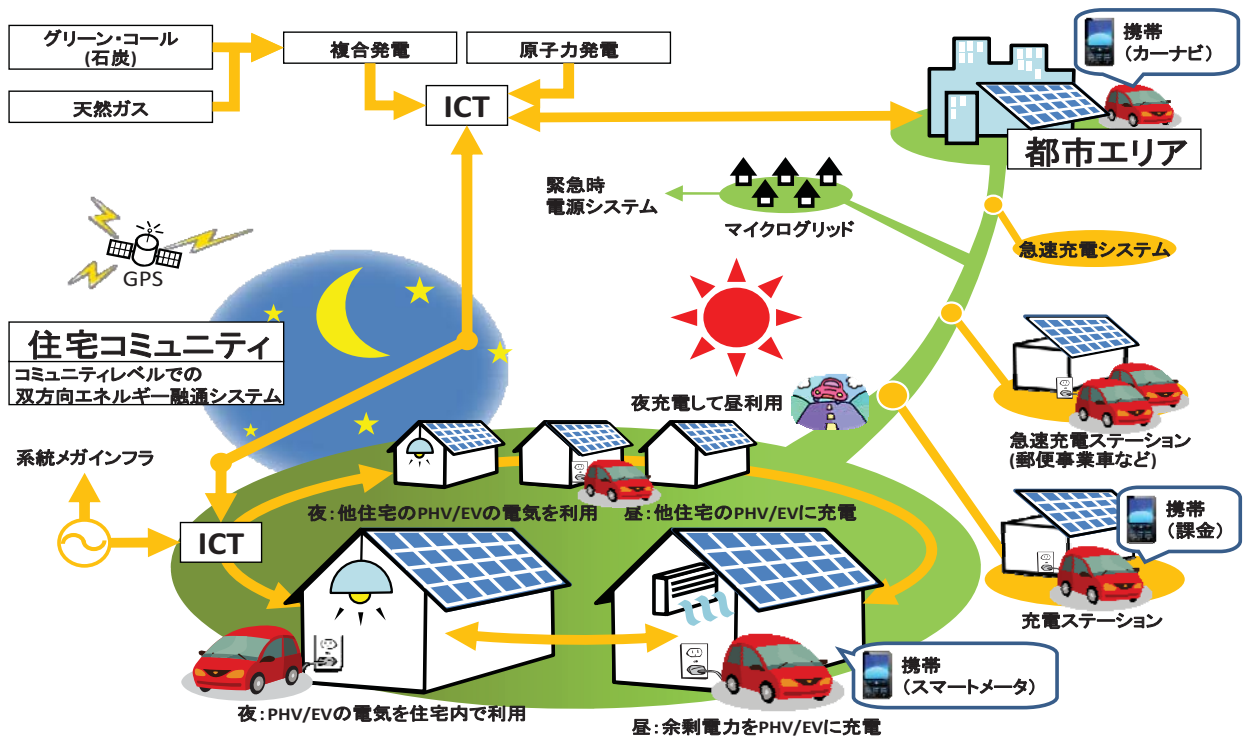
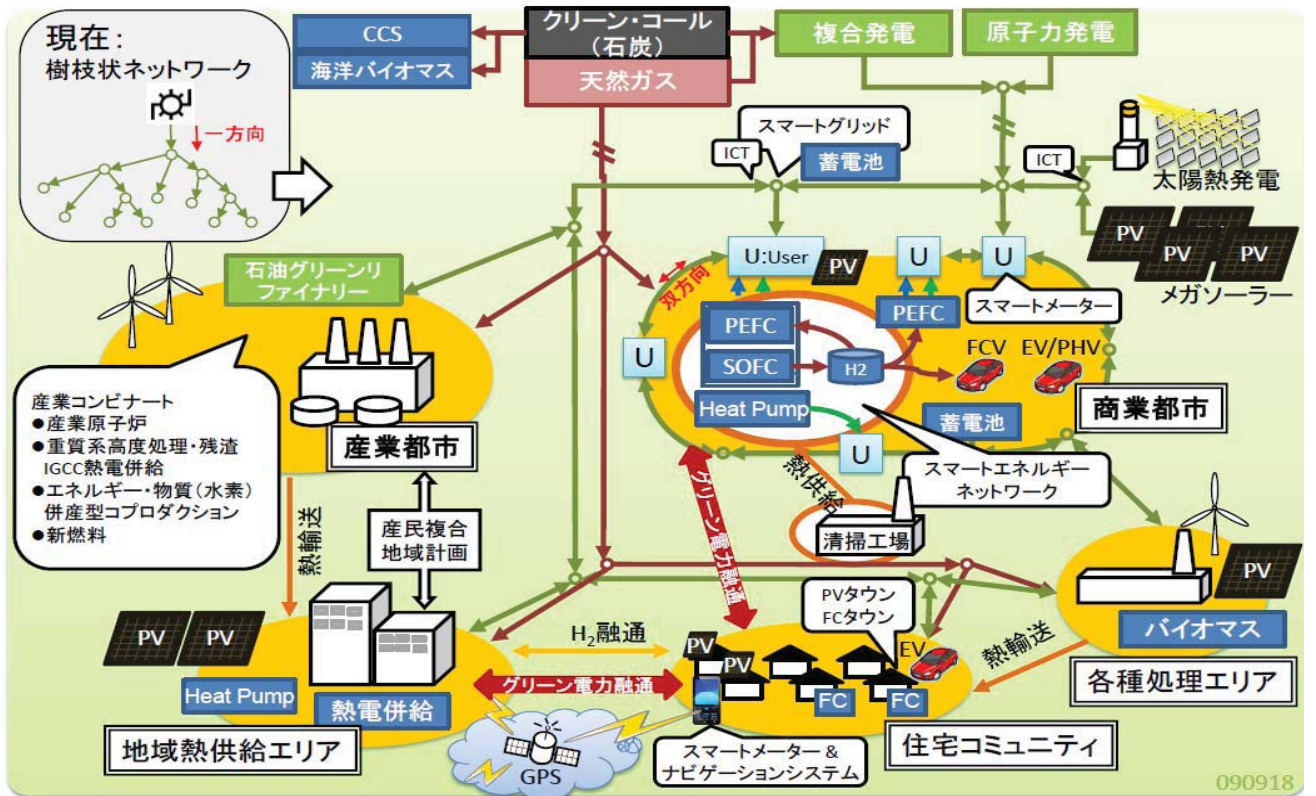
2050年に向け我々が目指すべき未来、エネルギーシステムのグランドデザインとはどのようなものか。すでにおわかりと思うが、私はエネルギーシステムに、二者択一はないと考えている、今回の原子力発電の事故を乗り越え、一層安全性を高めることにより原子力を選択する国も多く出てくるであろう。仮に日本がどうあれ、新興国は猛

烈な経済成長を目指す。経済が伸びればエネルギー消費が伸びるのは不可避だ。その場合、苛烈な資源争奪戦も抑え、持続可能な成長を助けるエネルギー源を考えれば、自ずと選択肢は限られる。エネルギー量の比較では、ウラン1グラムに対して石炭は三トン。つまり三百万倍の高発熱量を誇るわけで、世界が原子力を手放すとは考えにくい。特に産業セクターにはどうしてもメガインフラが必要となり、現状、化石燃料か原子力に頼る以外にない。割安だと判断されるうちは、世界では今後も原子力は伸びる確率が高い。世界が原子力を捨てない以上、彼らには最先端の技術で運用してもらわなければならない。その時、日本の技術・経験上の蓄積も大きな意味を持つことになる。もっとも原子力も、これまでのような「低廉なエネルギー」との単純な認識は改めなければならない。既存設備も含めてより強固な災害・安全対策が不可欠で、これらはコスト上昇要因となる。費用便益関係はもとより、市民感情も踏まえて原発を捉え直す必要がある。今回は原子力の負の側面が浮き彫りになったが、一方で化石燃料は安定的だがCO₂と資源枯渇の問題を抱える。自然エネルギーもランニングコストは安いが不安定があることは既に述べてきた。それぞれ光と影を持つ。原子力、化石燃料、自然エネルギーは互いにコスト上昇を抑制する関係にあり、時々々のベストミックスの追求でしかエネルギー問題の解決はなく、スマートコミュニティ構想は極めて有力なソリューションを与える。

すなわち、革新的システムとは、決して、原子力、石炭、天然ガスなどによる既存のメガシステムをすべて太陽光や風力発電で置き換えるような二者択一を迫るものではない。農業国ならば太陽光や風力だけで国内需要に応えることも不可能ではない。だが、工業国や商業国においてその産業を動かすには、自然エネルギーの利用だけではパワーが不足する。原子力、石炭、天然ガスなどによる既存のメガインフラをグリーン化した上で安定供給しながら、全体のエネルギー構造を低炭素型へと変革させていく必要がある。工場や事業所、住宅といった需要により近い場所に太陽光や風力発電、燃料電池などのシステムを導入すると共に、分散したエネルギー供給源をネットワーク化し、上位の基幹系統と融合させる。

その際、ポイントとなる点は情報インフラとしてのICTの活用である。スマートグリッド構想のようにグリーンビジネスの新たなモデルを情報通信で創造していく「グリーン by ICT」を積極的に展開することが大きな効果を発揮することを強調しむすびとしたい。

低炭素型エネルギー需給ネットワーク



東日本大震災 復興を問う

東京電力福島第1原発の事故を受けてエネルギー政策はどう変わる

「これだけの被害が出る
と、原子力をめぐる議論は使
うが使わないかの二者択一に
なりがちだ。だが、原油など
の化石燃料には枯渇と二酸化
炭素排出という問題がある。
風力などの再生可能エネルギ
ーは環境にはいいが供給が不
安定。いずれも光と影の部分
がある。どれか一つに特化す
るよりこれらを効率的に組み

東京工業大教授

柏木孝夫氏



合わせた体制こそが、さまざま問題にも耐えられるエネルギー供給構造だ」

——原発政策は

「現行のエネルギー基本計画では、2030年に電源に占める原発の割合を50%と定め、14基を新設し、稼働率の90%への引き上げを目指してきた。だが、この状況で原発を増設するのは難しく、何らかの見直しは必要になるだろう」

——原子力の有効利用は

「産業なしで人は住めず、

産業の大規模化に原子力は避けて通れない。だが、産業用電力需要を夜間にシフトし、昼間は住宅地で太陽光エネルギーをもっと取り入れるなど、時間帯や季節による電力需要の変動を緩和する『負荷平準化』を図れば原発依存度を低下できる」

——例えば

「津波の被害を受けた沿岸部を国が買い上げ、安全地帯に省エネと情報ネットワークを実現したスマートシティをつくることもできる。暮ら

——被災地の復興策は

「本格的なエネルギー議論と並行した都市モデルを示せるかが問われている。復興によるまちづくりが世界に認め

られて国際標準モデルとなれば、輸出面でも成長戦略につながる」

新都市モデルで原発抑制

一策
「分散型電源 3割に」

東工大・柏木教授 業界再編も

東京電力の福島第1原発の増設をめぐり、東工大の柏木孝夫教授は「分散型電源を3割に」という政策を提言している。東工大の柏木孝夫教授は「分散型電源を3割に」という政策を提言している。東工大の柏木孝夫教授は「分散型電源を3割に」という政策を提言している。

電源の電力供給に占める比率を3割まで高め、バランスをとるべきだ」と語った。現状で分散型電源を採用するのは大規模工場やオフィスビルなど一部に限られ、家庭用は太陽光発電や燃料電池などごく一部。政府のエネルギー政策づくりに携わってきた

た柏木教授は「数%にすぎない小規模の自立分散型電源は災害への耐性が強い」と指摘。さらに「低炭素型のエネルギーが多く、化石燃料枯渇の問題にも対応できる」と長期的メリットも挙げた。福島第1原発の増設が10年間は難しくなるとの見

方も示した。中長期的に「電力会社の提携やグループ形成が始まり、都市ガスなどを含んだエネルギー業界の再編が加速する」と強調した。(インタビューの詳細を9面に)

東京工業大学の柏木孝夫教授の一問一答は次の通り。(一面参照)

福島第1原発の影響はエネルギー産業に甚大な影響を与えている。

「米スリーマイル、旧ソ連のチェルノブイリとも事故から約20年間、原発新設が凍結された。日本は2030年までの原発14基の新増設を計画していたが、10年は新規が動かなくなるのは避けられない」

「ただ中国が100基の新設を考え、インドなども計画だ。原発を次のエネルギーが出てくるまでの『つなぎ役』と見る向きもあるが、世界のトレンドでは50年まで確



柏木 孝夫氏(かしかわ たかお) 1970年東工大卒。東京農工大学エネルギー学会会長。大教授、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第2作業部会の代表執筆者を経て、2007年から現職。経済産業省

東工大・柏木教授に聞く

再編、東西2つの可能性も

実に増える。積極推進か全廃か、の二者択一では議論が進まない。今後の国内対策は「東京電力の計画停電でも経験したが、大規模な配分が望ましい」

機械・素材・エネルギー

福島第1原発被災標準対処法、多国間で

「中長期にピンチをチャンスに変えられるかが問われる。福島には米仏の支援も入っている。対策を日米仏などの多国間プロジェクトとして位置付け、日本で情報を閉ざさず世界に発信すること」

「低炭素シフトは単に温暖化対策ではなく、化石燃料の枯渇を避けるエネルギー安全保障の問題だ。短期的には割安な石炭や、シェールガスなどの登場で資源量が豊富な天然ガスが関心を集めるだろう。ただ将来は(排出枠などの形で)化石燃料には温暖化ガスのコストが上乗せされ、普及にブレーキがかかる。再生可能エネルギーはランニングコストはゼロだが、出力が不安定だ。それぞれ光と影がある原子力と化石燃料、再生可能エネルギーを最適に組み合わせるしか答えはない」(聞き手は加藤貴行)

東京工業大学先進エネルギー国際研究センター
1周年記念シンポジウム

低炭素社会への道「日本の戦略と大学の役割」

本シンポジウム翌日の3月11日に起きた東日本大震災は深刻な被害をもたらした。被災地の復旧と東京電力福島第1原子力発電所の危機的状況の克服が何より急務だが、日本の将来を見据えた復興計画づくりも急がなくてはならない。低炭素社会の実現を研究課題としてきた視点から、復興の柱となるエネルギーインフラ(社会基盤)のあり方について提言したい。

今回の震災で明確になったことは、現代文明に支えられた社会が自然災害の前でいかに無力か、一方で現代社会が文明の力なしには決して成り立たないことだ。エネルギーが断たれると生産・流通・消費はたちまち立ち行かなくなる。エネルギーシステムは現代社会の生命線なのだ。

震災前、エネルギーを巡る最大の課題は、安定供給を前提に温暖化ガスをいかに削減するかとあり、省エネと再生可能エネルギー、原子力力がその答えだった。電力に占める原子力の割合は現在約30%だが、国のエネルギー基本計画では2030年までに原発14基以上を新設、50%に高めるとしている。しかし、この計画は見直さざるを得ない。今後10年以上は原発の新設が国民に受け入れられるとは考えられないからだ。

基本計画通りの電力需要を想定すると、安全性の徹底見直しで既存原発をフル稼働しても、その寄与は30%。残りの20%は他の手段で代替する必要がある。エネルギーシステムは大きく変わらざるを得ないのだ。

とすれば、震災からの復興を日本のエネルギーシステムを革新する契機にすべきだ。被災地をモデル地域にして復興に取り組めば、その経験と技術、産業の蓄積は将来必ず被災地の発展と日本の競争力につながる

◎提言◎ 先進エネルギー国際研究センター長 柏木孝夫氏

従来の枠を超えてエネルギーシステムの構築を

に削減するかとあり、省エネと再生可能エネルギー、原子力力がその答えだった。電力に占める原子力の割合は現在約30%だが、国のエネルギー基本計画では2030年までに原発14基以上を新設、50%に高めるとしている。しかし、この計画は見直さざるを得ない。今後10年以上は原発の新設が国民に受け入れられるとは考えられないからだ。

基本計画通りの電力需要を想定すると、安全性の徹底見直しで既存原発をフル稼働しても、その寄与は30%。残りの20%は他の手段で代替する必要がある。エネルギーシステムは大きく変わらざるを得ないのだ。

とすれば、震災からの復興を日本のエネルギーシステムを革新する契機にすべきだ。被災地をモデル地域にして復興に取り組めば、その経験と技術、産業の蓄積は将来必ず被災地の発展と日本の競争力につながる

定。この弱点を電源の集中と分散、供給と需要の間のきめ細かな情報のやり取りで解消する。これで、原子力などで構成される既存インフラに、再生可能エネルギーを最大限取り込むことが可能になる。

私たちの計算では、人口30万人の都市を想定した場合、こうしたシステムに熱の融通技術を組み合わせると、都市のエネルギー効率は分散電源を全体の30%にしたとき最大になる。

スマート化した分散型ネットワークでは、電力料金を需給関係で常時変動させるリアルタイムプライシングも技術的に可能になり、市場メカニズムによるエネルギー利用率化の道も開ける。今後普及する電気自動車も大きな役割を果たす。1台で一般家庭の1〜2日分の電力を貯蔵できる電気自動車の蓄電池は日中の駐車時に太陽電池の余剰電力を貯蔵すれば電力需要の平準化に役立つ。電気自動車の付加価値も高まり、別の側面から日本の産業競争力の強化を担える。

今回の震災・原発事故は巨大電源を1か所に設置する集中型のリスクを明らかにしたが、分散型ネットワークはそのリスクも軽減する。これに東西を貫いて電力を広域融通する基幹送電線を整備すれば、省エネ・低炭素化の原動力としてだけでなく、自然災害に強いインフラ実現にも貢献する。

以上はすでに様々な場で議論されてきたが、実現への歩みは遅かった。既存の制度や規制の枠の中でシステムを最適化してきたため、今後はその枠を超えて、将来の日本を担う次世代エネルギーシステムをつくり上げていくべきだ。

※本提言は黒川浩助特任教授、山崎陽太郎教授(現特任教授)と議論してまとめた。