講演時に配布された資料

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　相木孝夫

§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、原子力に対しても未だ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、今後長期に亙り緊迫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。先の国会で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可決されたことは記憶に新しい。

§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. 再生可能エネルギー法案可決により加速される新エネ社会

再生可能エネルギー（再エネ）の固定価格買取法案が成立したことは喜ばしい。ただ、割高な電力を市場に導入するわけだから、何らかの政策が必要になり、本法は全ての電力の需要家から負担金という形で徴収する。

この負担金は電力料金の一部であり、負担金拠出を拒否すれば電力供給が停止されることになる。電力は生活や産業活動にとり必需品であるため、広義に考えれば一種の目的税のようなものだ。税金ぐらい利害がからむものはなく、制度に対しては国民的議論が必須である。

本法は、菅前首相が退任三法案の一つに組み入れられたため、法案成立の最終時にはかなり慌ただしかったことは否めず、かつ当初、筆者らが考えていた骨子に大きな修正が加えられた。

固定価格買取法は、すでに世界数十カ国で採用しており、我が国では 2009 年にエネルギー・産業政策等の観点から、太陽光発電の余剰電力だけを対象に自民党政権下で始められた。今回は、買い取り対象を風力、中小水力、地熱、バイオマスにも拡大した上で、非住宅用、事業用ソーラーも含め全量を買い取ることになる。

すなわち、これまでは太陽光発電の自家発・自家消費を対象に、その余剰分だけを買い取り対象にしていたが、事業用も対象を拡張

した。余剰だけを対象にした背景には、国民負担をなるべく低減し、風力を増大させるという理念があった。エネルギー自給率の向上やCO_2排出の低減を考えると、化石から非化石への流れを加速させる中で原子力と再エネが双壁にあり、量的には原子力が圧倒的に優勢だった。

しかし、福島原発事故により事態は一変し、原子力代替として再エネの拡大が一挙に注目を集め、今回の法案成立が急がれたことは言うまでもない。この法案は、再エネ事業者側に立ったものであり、修正段階でその感が一層強まった。

今後の適切な運用に際し、課題を明確にしながら展望したい。

まず、買取価格・買取期間については、原案では、太陽光を除き一律としていたが、再エネの種別、発電設備の設置形態（屋根用や地上用など)、規模等に応じて定めることになった。

中小水力など風力等に比較し、割高な再エネに配慮したもので、国内全域で地域特性が生かされるため、公平である反面、事業用再エネ間での市場原理が働きにくいため、総導入量に対し、国民負担は増大する。

これらを考え併せると、再エネの電源別導入目標を合理的かつ明確に設定することが重要となる。物理的・経済的に精査した導入目標がなければ、買取価格等の設定も根拠がなくなる。早期に時間軸を踏まえた導入目標量の設定が必須である。

さらに買取価格の決定は、国会同意を得た「買取価格等設定委員会」の意向を尊重し、経済産業大臣が決定するが、本法案の成否は買取価格等のきめ細かな設定と、機動的な対応が必要となる。

附則第 7 条では、当初 3 年間に限り、買取価格決定には事業者が受けるべき利潤に特に配慮すべきとしており、事業創生を促している。確かにメガソーラーなどが普及すれば、太陽光パネルの価格は急激に低減し、最終的には、設置工事の割合が大きい住宅用への導入も一気に加速されるメリットもある。

いずれにせよ、電力価格上昇という悪影響や事業者への過剰な利益付与の回避を考えながら、事業参入意欲を奮起させるような買取価格の設定が最重要課題であり、この点に関しては欧州での試行錯誤を十分に参考にし、それ以上の先進的な制度運用に心がけなければならない。

さらに、電力多消費産業には負担金の軽減措置を講じることになったが、軽減分を一般電力消費者に転嫁させたのでは、公平性に欠ける。

附則で、その財源をエネルギー特別会計の負担とすることや、石油石炭税の収入を充てることを検討するとしているが、財源なき現在、本当に可能なのか。着実に公的財源を確保することが、公平性の観点から強く望まれる。

これら買取価格以外に本法案では、電力会社に再エネ発電設備の電力系統への接続義務を明記しているが、電力会社が円滑な供給確保に支障が生ずる場合には拒否できることもある。「支障」に対する開放的かつ透明性に富んだ議論を通じ、国民負担が少なく風力が最も増大できるよう、電力会社と再エネ事業者の双方が納得できる定義を明らかにしなければならない。

このエネルギー政策により、再生エネルギーが活用され新エネ社会が加速されることになるが、大規模電源を基盤に、我が国として一次エネルギー源の選択肢を減らさず、国力を増大させるための需給構造に対し複眼的な視点で国民合意を形成してゆくことが最も重要であり、本法は大きな一石を投じたことは言うまでもない。

§4. 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ディマ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、太陽電池などのディマ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ディマ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、人々に豊かさと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予測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、無電化村も一気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。

§5. 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、エネルギーマネージメントシステム（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、CO_2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、既存電力系統のスマートグリット化はもとより、これらのマネージメントシステムは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 CO_2 を削減するアドバンスト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

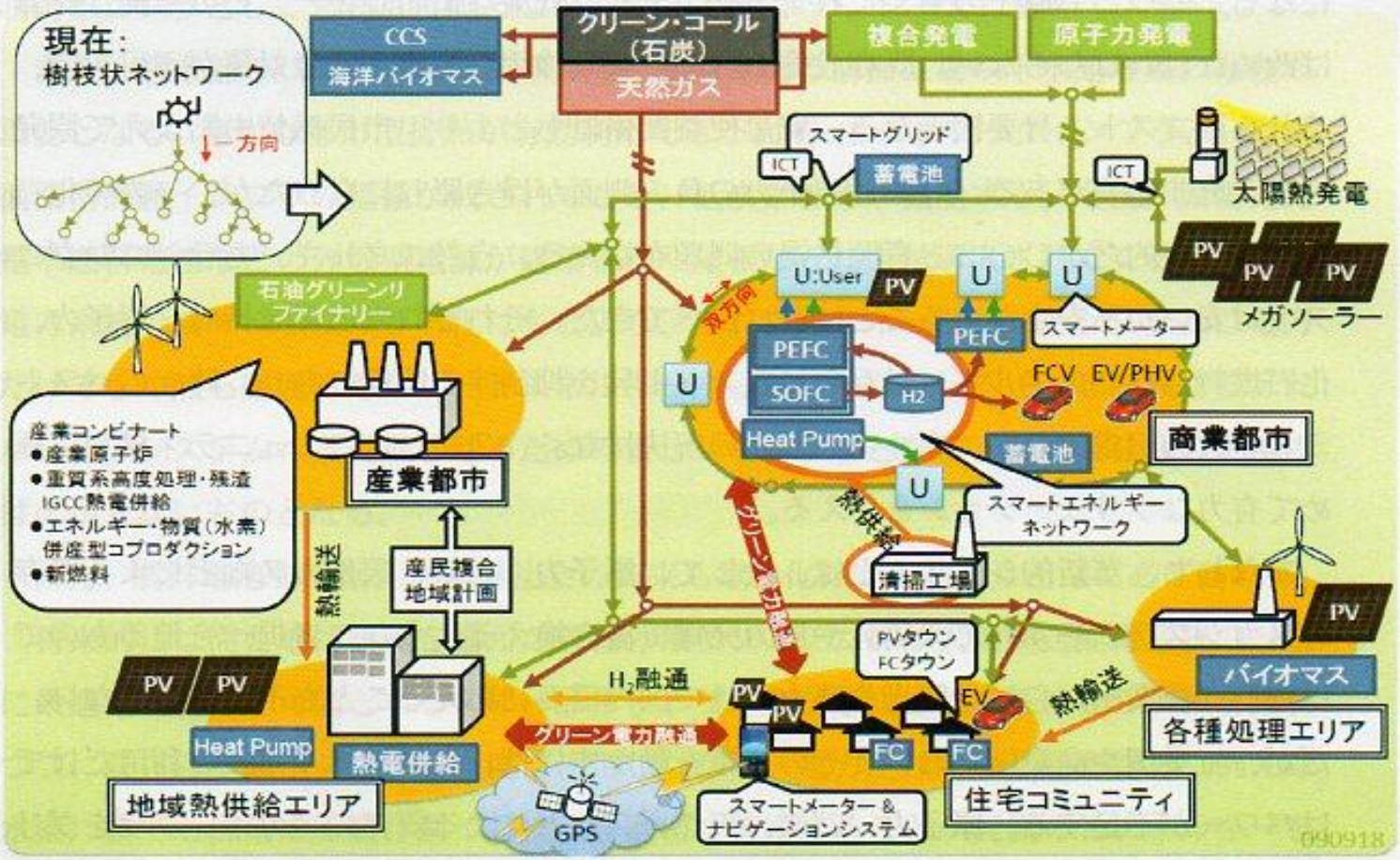
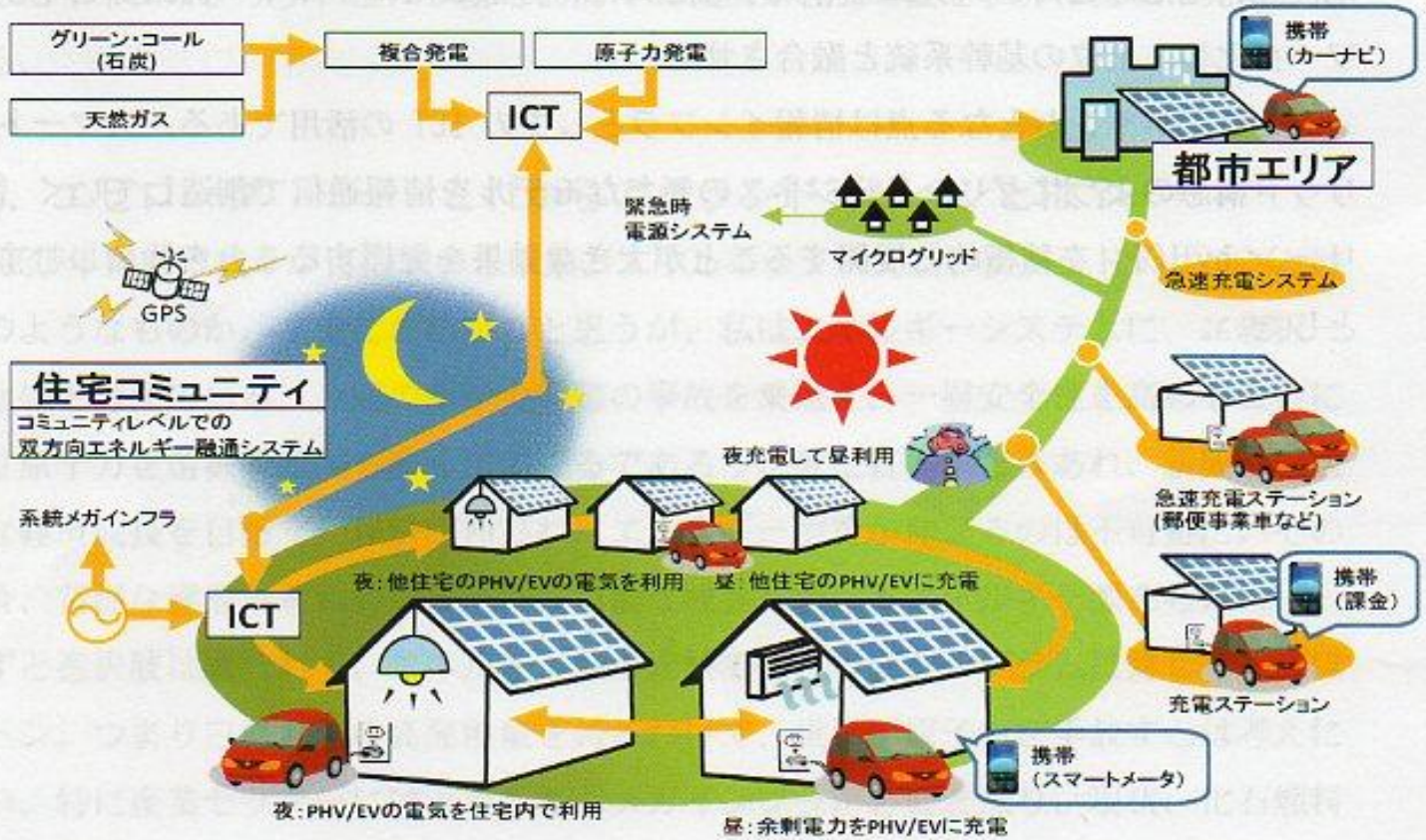
クが形成され、系統との調和を図りつつ、既存の空間インフラを高度に活用しながら、電力だけでなく熱や物質（例えば水素）までも併給する統合型インフラを適切に整備することが究極の省エネルギーを実現し、再生可能エネルギーを最大限とり込める低炭素社会の公共インフラそのものとなり、結果として社会コストミニマムを達成する。我国は愛知万博をはじめとし、すでにマイクログリッドという型で 2030 年の低炭素社会の姿を世界に先駆け発信している。

§6. 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、ウラン一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は高い。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 CO_2 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