

「スマートシティによる日本の経済成長モデル」

東京工業大学 特命教授
東京都市大学 教授
柏木 孝夫

§ 1. はじめに

昨年来、民主党政権が大敗し、自民党に政権が交代した。民主党政権下で「原子力ゼロ社会を目指す」としたエネルギー政策も今後大きく変化することになる。筆者としては、国民の良識が機能したと考えている。

原子力に対しては、これだけのシビアアクシデントを起こした当事国として、今後しばらくは、縮原発に向かうことは不可避だとしても、一次エネルギーの選択肢を減らさず安定供給を維持するために、一定の割合で原発を維持すべきというのが、専門家としての筆者の意見である。安全はもちろん大事だが、同様に安定供給も極めて重要であるということを認識しなくてはならない。安定供給とは、必要な時に必要な量を適切な価格で供給することである。生活や産業に不可欠なエネルギーを安定供給できなくなれば、産業は勿論のこと日本国憲法第 25 条で保証されている生存権が脅かされることにもなる。

一方において、米国を中心に巻き起こっている「シェールガス革命」の影響もあり、世界的に天然ガスシフトが急激に進んでいることは、周知のとおりである。天然ガスの価格は急落し、その需要が増大するのは対照的に、石油が供給過多になり、こちらも価格が急落している。供給調整等によりいずれ、天然ガスの価格は上がり、需要も抑えられるだろう。こうした価格変動は、これからも続き、やむことがないだろう。資源を持たない我が国は、電源や一次エネルギーを自由に選べるような状況にはない。だからこそ、安定供給のためには一次エネルギーの選択肢を減らすべきではないと、筆者は主張し続けている。

我が国は、東日本大震災に伴う東京電力福島第一原発の事故という大きな危機に直面した。被災した方々をはじめ多くの方が、もう二度と原発は持つべきでないと思うのも、心情論的にはよく理解できる。しかし、だからこそ日本は、この原発事故を乗り越えるための技術開発を進め、その上でじっくり方向性を見定めるべきではないだろうか。危機を表す英語「crisis」は「分岐点」という意味も持つ。このまま何もせずに原発から撤退するか、事故を乗り越える技術開発によって世界に貢献するか、その分岐点に立たされているのである。安定供給の面からも、世界への貢献という面からも、やはり一定の割合で原発を維持すべきと考える。

§ 2. グリーン イノベーション

筆者は 21 世紀における日本の成長エンジンは原子力も含めた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。まずは速効性のある省エネルギー・省電力であり、供給側に立てば、「化石から非化石への燃料転換」と「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. 再生可能エネルギー法案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着実に成果を挙げている。ただ、割高な電力を市場に導入するわけだから、何らかの施策が必要になり、本法は全ての電力の需要家から負担金という形で割高なコスト分を徴収する。

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である。税金ぐらい利害がからむものではなく、今後の制度運用に対しては国民的議論が必須である。

本法は、菅元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ことを記憶している

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。民主党政権下で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収することになり、一挙に導入が進んだことは否めない。

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収対象にしていたが、事業用も対象を拡張した。太陽光発電の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、国際的にはげしい競争を行っている太陽光発電を増大させるという産業政策上の理念があった。エネルギー自給率の向上やCO₂排出の低減を考えると、当時は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璧にあり、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、こ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。

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配慮すべき（具体的にはIRR≒6%になるような価格設定）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今後最重要課題であり、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。

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、国民負担が少なく再生可能エネルギーの導入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系統関係のルールを明らかにしなければならない

い。参考のために 2013 年 6 月末の導入状況の表を文末に提示しておく。

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、再度強調したいことは、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. 化石燃料の高度利用・コージェネレーションへの期待

化石燃料の高度利用の切り札として確認されたシステムがコージェネレーションである。

2030 年に向け全電力の約 15%程度の導入を目標に今後推進策がとられることになる。

この方針は原発比率がどうなるにせよ変わらないと考えている。これは、発電能力にすると 2500～3000 万キロワットに達することになる。原子力の是非に関わらずこのコージェネの比率に関しては異論がないと考えている。原発だけでなく、発電効率の悪い老朽火力発電所の代替としても期待でき、熱需要も含めた総合エネルギー効率に優れ、需要地に設置するので上位系の電力システムへの負荷が小さくて済むといったメリットもある。

このコージェネシステムの導入促進のための体制強化として、2012 年の 8 月 1 日付で資源エネルギー庁、電力・ガス事業部政策課に「熱電併給推進室（通称：コージェネ推進室）」が設置された。

コージェネ導入促進の具体策は、大きく分けて 4 つある。

(1) サポート体制の強化 (2) 市場創成 (3) 設備の導入支援 (4) 燃料価格の低減——である。これら 4 つの大きな柱を促進策として具体的に打ち出せたことは、極めて大きな意義があると考えられる。

(1) のサポート体制の強化は、8 月 1 日付のコージェネ推進室の設置などによる。このコージェネ推進室は、具体的な施策を企画・立案するとともに、コージェネ導入に関する総合的な相談窓口として、各地域の経済産業局や関係部局、他省庁、電力会社、ガス会社などと連携し、ワンストップサービスを提供する。各経済産業局にも担当窓口を設置し、地方における案件なども発掘していく。

(2) では、ネガワット取引や、余剰電力の売電などの市場創成に取り組む。ネガワット取引は、需要家による節電量を供給量として見立てた「ネガワット」を取引するものである。需給逼迫が想定される場合に、需要側の負荷抑制による節電分を入札などによって確保する。すでに、関西電力などが自主的に開始している。大阪ガスと新電力（PPS）のエネット（東京・港）による取り組みでは、コージェネシステムを対象とするネガワット取引が試行されている。

余剰電力の売電に関しては、経産省のアクションは早かった。電力システム改革の方向性が明確になると卸電力取引所に「分散型・グリーン売電市場」を創設し、コージェネや太陽光発電などの分散型電源を対象に、1000 キロワット未満の小口の余剰電力などを取引できるようにした。さらに、電力システム改革が進めば、個々のコージェネの発電電力を束ねて商品価値を高めるアグリゲーションビジネスも可能になるだろう。

最新のコージェネ機器は発電効率が高まり、使用できる電力と熱の比率は、ほぼ 1 対 1 にまでなっている。旧型の機器では、その比率は 1 対 2 と、電力が小さかった。発電効率の向上により、熱需要がそれほど多くない小規模の施設などでもコージェネで十分に電力を賄え、少ないながらも余剰電力が得られる。これを束ねて売電できれば、エネルギーを余すことなく使い尽くせるようになる。

(3) の設備の導入支援は、補助金やグリーン投資減税などが主な施策となる。補助金の適用に関しては否定的な意見もあったが、基本的に“地産地消”で、上位系の電力システムへの負荷を低減でき、

新たな送配電網の整備コストを抑えられるというメリットを評価し、拡充される方向にある。

(4) の燃料価格の低減に関しては、一企業、一業界にとどまることなく、共同購入など広くエネルギー業界が協力して取り組む必要がある。さらには、外交として、政府レベルでの交渉も重要になってくる。例えば、米国と FTA (自由貿易協定) を結んでいない我が国は、安価なシェールガスを米国から輸入したくても、DOE 長官の承認なしには実現しない。安部首相や茂木経産相をはじめ、政府の働きかけが極めて重要であり、既に●さと認可されつつある。

§ 5. 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」とい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将来大幅に削減できるシステムが生まれ、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おり、現在我国の企業群も積極的なビジネス展開をはじめアベノミクスの成長戦略の要になるものと考えている。

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ダイヤモ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率津ある現在、家庭用電源として標準装備され、住宅地一帯の多く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。雨の日はほとんど発電しないし、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

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―燃料電池車が普及すると、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。特に鉄道用電力需要と民生用電力とのマッチングは極めて良好な関係にあり、システム的な対応が強く望まれる。

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。

§6. 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すなわちCEMS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、今後問題となる既存の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。

§7. 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、筆者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。事故以来原子力の負の側面が浮き彫りになっているが、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、上位の基幹システムと融合させる。

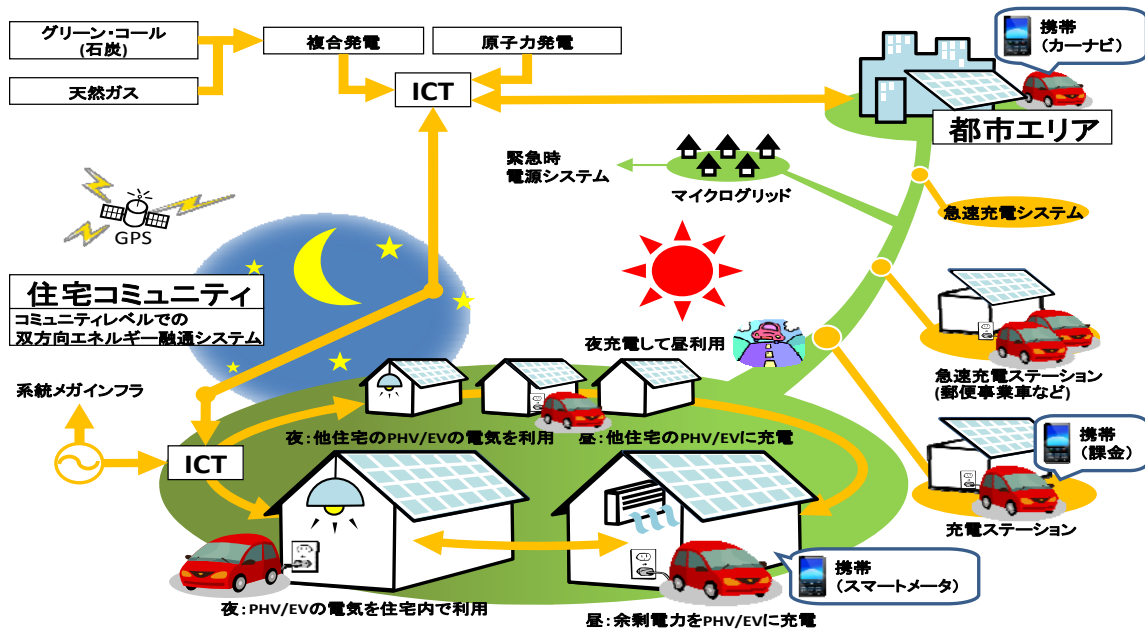
その際、ポイントとなる点は情報インフラとしての ICT の活用である。スマートコミュニティ構想のようにグリーンビジネスの新たなモデルを情報通信で創造していく「グリーン by ICT」を積極的に展開することが大きな効果を発揮する

エネルギーの視点で捉えれば、鉄道ではじめとする運輸部門と民生・産業部門との一体化の中に世界を牽引する斬新なソリューションが存在することを強調しむすびとしたい。

参考文献

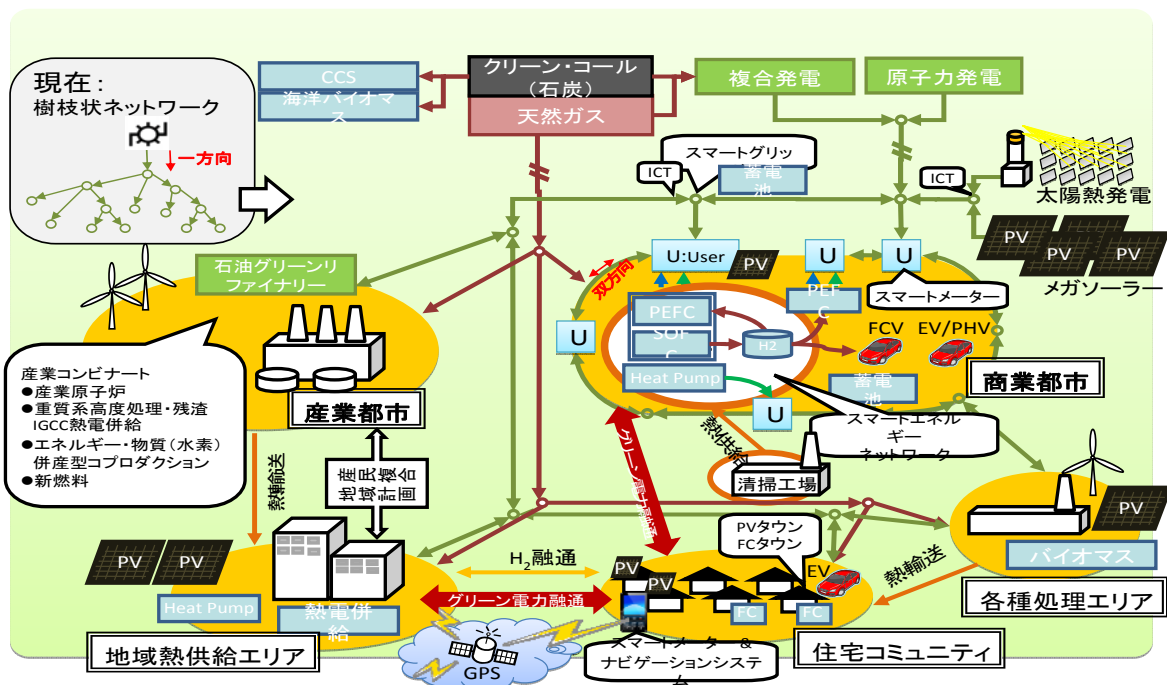
- (1) 柏木、スマート革命、日経BP、2010年7月
- (2) 柏木、エネルギー革命、日経BP、2012年2月

図 1. コミュニティ、エネルギー管理システムの概念図



kashiwagi Lab

図 2 低炭素型エネルギー需給ネットワーク



kashiwagi Lab

(参考)再生可能エネルギー発電設備の導入状況

- 平成25年6月末をもって、固定価格買取制度の導入から1年が経過。この間に導入された設備容量は、全体で約366.6万kW(うち太陽光発電設備が約9割)。

<平成25年6月末時点における再生可能エネルギー発電設備の導入状況>

	設備導入量 (運転を開始したもの)			設備認定容量
	固定価格買取制度導入前	固定価格買取制度導入後		
	平成24年7月までの 累積導入量	平成24年度 (7月～3月末)	平成25年度 (4月～6月末)	
太陽光 (住宅)	約470万kW	96.9万kW	41.0万kW	163.3万kW (前月比+9.1万kW)
太陽光 (非住宅)	約90万kW	70.4万kW	141.6万kW	1975.5万kW (前月比+38.5万kW)
風力	約260万kW	6.3万kW	0.3万kW	80.5万kW (前月比+0.9万kW)
中小水力 (1000kW以上)	約940万kW	0万kW	0万kW	6.5万kW (前月比+0万kW)
中小水力 (1000kW未満)	約20万kW	0.2万kW	0万kW	1.4万kW (前月比+0万kW)
バイオマス	約230万kW	3.0万kW※	6.8万kW	63.9万kW (前月比+6.8万kW)
地熱	約50万kW	0.1万kW	0万kW	0.4万kW (前月比+0万kW)
合計	約2,060万kW	176.9万kW	189.7万kW	2291.4万kW

※ 平成24年度に運転開始した設備容量には、上記の他、35万kWの石炭凝結発電設備を認定していますが、発電出力のすべてをバイオマス発電設備としてカウントすることは妥当でないと考え、便宜上、設備容量に含めていません。