

32. 持続可能な地域社会の物的構成 ー2013年バージョンー

水谷 潤太郎

土木学会フェロー（〒222-0024 横浜市港北区篠原台町36番20号）

E-mail: QZF02502@nifty.ne.jp

東日本大震災&津波に起因する福島第一原子力発電所の事故を受け、日本のエネルギー政策は3E+S+Mの達成が求められており、原子力発電の保持が必須となっている。このように、環境上最も重要なテーマについても実は環境の視点だけでは捉えきれなくなっており、より高いパースペクティヴからレジリエンスの視座をもって、エネルギーだけでなく地域社会のインフラ総体の構成について、幅広く俯瞰する必要がある。

エネルギーインフラシステムについて今年度織り込んだ新たなポイントとしては、原子力規制委員会による新たな規制基準、統合型高速原子炉の提案、石炭利用の火力発電の提唱、水素エネルギー社会について実施の動き、などである。

エネルギー以外では、高台のコンパクトシティへの移転は南海トラフ大震災&津波の被災予定地区などでも行うべきこと、海岸部の被災した遊休地は先端農業に活用すること、下水道の新たな地震対策、BRTなどの新たな過疎地の交通方法、などを織り込んだ。

Key Words: *resilience, energy, hydrogen energy society, integral fast nuclear reactor, coal*

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災&大津波に起因する福島第一原子力発電所の事故を受け、日本のエネルギー政策の現状と課題は次のようにまとめられている¹⁾。

福島事故によりエネルギーインフラの安全性（S：Safety）の重要性が高まったのは事実だが、これはエネルギー安全保障（Energy Security）、エネルギーの経済性確保（Efficiency）、及び環境対応（Environment）の3Eの重要性を低めるものではない。総合的視点からはエネルギー・ミックスのマクロ経済への影響（M：Macroeconomic Impact）を見定めて、悪影響の少ないものを選ぶべきと考えられる。その意味で「3E+S+M」というわけである。

3E+Sの視点から見ると、化石燃料、再生可能エネルギー、原子力、そして省エネルギーの全てが完璧ではない。原子力も3Eの点からは優等生に近いが、S（安全性）における国民の信頼性の確保は未だ時間を要しうであるし、放射性廃棄物の扱いについても国民のコンセンサスが不十分である。省エネルギーは3E+Sを満たしうとされているが、一定限度を超えるとコストが飛躍的に高くなり、経済性確保上問題がある。

前政権下で整理された、原子力の比率で分けた3つの選択肢（①0%、②15%、③20-25%）も3E+Sの視点からはそれぞれ問題を孕んでいる。最後の判断は、マクロ経済への影響で考えたら良いのではないかと。すると、ケース③の場合が電力料金の上昇幅が最も小さいので、実質GDPや家計消費支出への悪影響も最も小さい。M（マクロ経済への影響）の観点からは、このケース③以上の原子力比率が求められよう。

昨年²⁾の報告でも、原子力発電の保持を、主として3Eの視点から求めたが、このことが再度裏付けられたと考えられる。

このように、環境上最も重要なテーマについても実は環境の視点だけでは捉えきれなくなっており、より高いパースペクティヴから取組む必要がある。まだ用語も未熟ではあるが、一応「レジリエンス」の視座と言うことにしよう。地球環境シンポジウムも、地球レジリエンス・シンポジウムとでも改称するのだろうか？

本文は、このレジリエンスの視座から、エネルギーだけでなく地域社会のインフラ総体の構成について、幅広く俯瞰しようとするものである。その方法論はシンセシス（統合）であり、昨年²⁾の報告で提示した。

2. 今後構築すべきエネルギーシステム

昨年の地球環境シンポジウム提出論文²⁾や、今年の第6回アジア土木技術国際会議に提出した論文³⁾で提示した、今後構築すべきエネルギーインフラシステムは、1章の問題意識に十全に対応できるものであり、今後とも基幹となるものである。さらに個々には大きな進展があった側面もあり、これらを織り込んだものに変えていく必要がある。具体的には、下記4項目である。

- (a) 原子力規制委員会による、原子力発電所の安全性に関する新たな基準、
- (b) 放射性廃棄物の処理・処分と原子力燃料サイクルに対する革新的な提案～統合型高速原子炉、
- (c) 石炭利用の火力発電の提唱、
- (d) 水素エネルギー社会について実施の動き。

(1) 原子力規制委員会による、原子力発電所の安全性に関する新たな基準

原子力規制委員会は原子力発電所の再稼働を認めるかどうかの判断の元となる新規制基準を定め、2013年7月8日より施行した。5原発・10基の原子力発電所の再稼働審査が申請された⁴⁾。

この規制基準によれば、津波対策として基準津波の算出と防潮堤の設置及び浸水を防ぐ水密扉の設置、火災対策としてケーブルの難燃化・防火扉の設置、テロ対策として遠隔操作により原子炉を冷却できる施設（バックアップの制御室や電源・注水装置）やサイバーテロ対策、過酷事故対策としてフィルター付きベント・電源車・注水車、緊急時対策所、外部電源の多重化、ポンプ・配管の多重化などが求められている⁵⁾。

ケーブルなどの難燃化、配管などの多重化、基準津波の算出と津波に耐える防潮堤、浸水を防ぐ水密扉、移動式電源車、放水車、外部電源強化などは即時に設置が求められる。フィルター付きベントは、沸騰水型軽水炉（BWR）では即時に設置が求められるが、加圧水型軽水炉（PWR）では5年間猶予される。緊急時対策所、非常用電源、非常用水源についても5年間猶予される⁶⁾。

こうした規制により原子力発電所の安全目標は、炉心（核燃料）損傷の確率が1基あたり1万年に1回以下、フィルター付きベントで排気のため放射性物質を放出する確率が1基あたり10万年に1回以下、大量の放射性物質が敷地外に拡散する確率が1基あたり100万年に1回以下にすることを目指すとしている。原子力発電所の耐震評価の際、従来は約1万年に1回の頻度で起きる規模の地震まで想定していたが、新規制基準では10万年に1回の規模まで想定することになる。竜巻は10万年に1回、火山は1万年に1回規模の災害まで想定した対策が求められる⁹⁾。

今後は基準値超過事象に対処すべく、従来の安全性に加え、新たな性能「危機耐性」の確保が求められる⁷⁾。

こうした規制強化の結果、老朽原子力発電所の中には、こうした改築を行うよりは廃炉にした方が経済的な場合もありうる。国では廃炉の会計処理方法を新たに定め、電気料金で廃炉費用を賄う方策を示そうとしている。

しかし原子力発電所は地域開発の基盤ともなるものであり、また炉以外の土木構造物や送電線などは廃炉になっても有効に利用できるものである。したがって、新たに最新型の原子力発電所を廃炉跡地に設けることが望ましく、例えばWH社のAPI1000炉などの安全設計の炉を設けることが考えられる。

活断層の上に立地する原子力発電所は運転が認められていない。新たな規制基準では、その断層のずれが生じた時期を「12万～13万年以降」としていた従来指針によっても分かりにくい場合、「40万年前以降」までさかのぼるよう求めている⁸⁾。そして、敦賀原子力発電所2号機直下の断層をこうした活断層であると、規制委員会では断定した⁹⁾。しかし施設の管理者である日本原子力発電では、自社の委託した委員会の調査によれば活断層ではないとしている¹⁰⁾。

このように当事者間で見解が分かれるのは、過去の活動の痕跡がはっきりしないケースが多いからではないか？この場合、問題の断層が本当に活断層だとしても、そのリスクはかなり低いと考えられる。原子力発電所の安全審査にあたり活断層の有無はあくまで考慮する要素の一部だが、現状では活断層か否かという入り口論に終始している。断層がどんなメカニズムでできたかをもっと突っ込んで考えた上で、動いた場合の影響を多面的に検討すべきである¹¹⁾。

活断層をことさら取り上げて対策を求めるのは、断層による「ずれ」対策技術が未確立であるからだとしてきている¹²⁾。しかし、カリフォルニア大学バークレー校メモリアルスタジアムやClyde Damのように、断層のずれに対応策を施している例もある¹³⁾。原子力発電所の場合にも、活断層の有無という議論を超えて、直下の断層活動性に対するFail-safe対策の具体化が重要なのではないか¹⁴⁾。連鎖反応停止機能保持や建屋の一体性確保及び傾斜角評価などが必須である。

原子力規制委員会の活動はようやく始まったばかりであるが、今後は、原子力発電所の再稼働だけでなく、高速炉などの新規プラントの開発までその影響下に入ってくるものと思われる。その際重要なことは、単に中立的な判断をするに留まらず、原子力発電という国民エネルギーの重要な一翼を担うのであるという自覚ではないだろうか？どうやったら安全な原子力エネルギーを国民に提供できるのか、その使命感も必要だと思料する。

(2) 放射性廃棄物の処理・処分と原子力燃料サイクルに対する革新的な提案～統合型高速原子炉

標題について、前IEA事務局長の田中伸男氏から統合型高速炉（IFR）という提案がなされている¹⁵⁾。これは米国のエネルギー省（DOE）が2001年に、学会や企業から242人の科学者のチームを作って、27項目の基準にもとづき、19の最善の原子炉案を評価した結果、第1位になったものである¹⁶⁾。ただし未だ商業炉はできていない。

統合型高速原子炉の概念図を図-1に示す。これはWikipediaの記載をもとに筆者がまとめたものである。ナトリウムプールに沈めた燃料棒の束（コア）で核分裂反応が起き、その熱が、ナトリウム流体をとおして、熱交換器で水に与えられ、蒸気となる。この蒸気でタービンを廻して発電する。燃料は（酸化物ではなく）金属体を用いる。使用後の燃料棒は、原子炉に併設した再生工場で電気精錬法により再生される（乾式リサイクル¹⁷⁾）。統合型高速炉の利点は、

- (a) ウラニウムやトリウムに含まれるほとんど全ての核分裂エネルギーを抽出でき、現在の原子炉に比して燃料資源消費量を2桁削減できる。もし海水中のウランを抽出すれば、人類のエネルギー需要を50億年支えることができ、太陽光や風力に匹敵する持続可能なエネルギー源となる¹⁸⁾。
- (b) 統合型高速炉のような増殖炉は放射性廃棄物中の長寿命放射性成分（アクチニド：原子炉グレードのプルトニウム、マイナーアクチニド）を燃やすことができる、他の主要な廃棄物成分である核分裂生成物も数百年で低レベル放射能に安定化でき、

数万年以上必要ということもない¹⁹⁾。さらに、既存の原子炉の放射性廃棄物を受け入れて、燃料として用いることができる。

統合型高速炉はほぼ常圧で運転されるので、冷却剤漏出のリスクが少ない。また非常時には、自然対流により、外部電源がなくても循環冷却が可能である。非常時に温度が上昇すると、中性子の漏出が増大して核分裂が抑制される、受動安全機構をもつ。

このように安全性は高いが、液体ナトリウムが水や酸素に触れると爆発するリスクがある。そのため図-1に示すように、原子炉と熱交換器の間はナトリウム流体でつないでおり、原子炉と水が直結しないように設計されている。さらに遷移金属ナノ粒子をナトリウム中に分散させ、化学活性を抑えて、爆発性を無くす研究が進められている²⁰⁾。

また原子炉の免震装置²¹⁾や自然循環崩壊熱除去²²⁾の安全評価などが進められている。

現在、高速増殖炉「もんじゅ」は運転停止中であり、約1万点の未点検機器があることから、再稼働は認められていない²³⁾。またその再稼働には1200～1400億円必要だと試算されている²⁴⁾。日本の高速炉サイクルを、こうした酸化物燃料と湿式再処理で進めるのか、それとも本文で述べたように乾式法（金属燃料）で進めるのか、今岐路に立っているが、統合型高速炉は核燃料や放射性廃棄物のプラント場外への持ち出しが少なく、得られるプルトニウムなどを分離して核爆弾にするのは困難であるので、核拡散防止の観点からはベターであると考えられる。

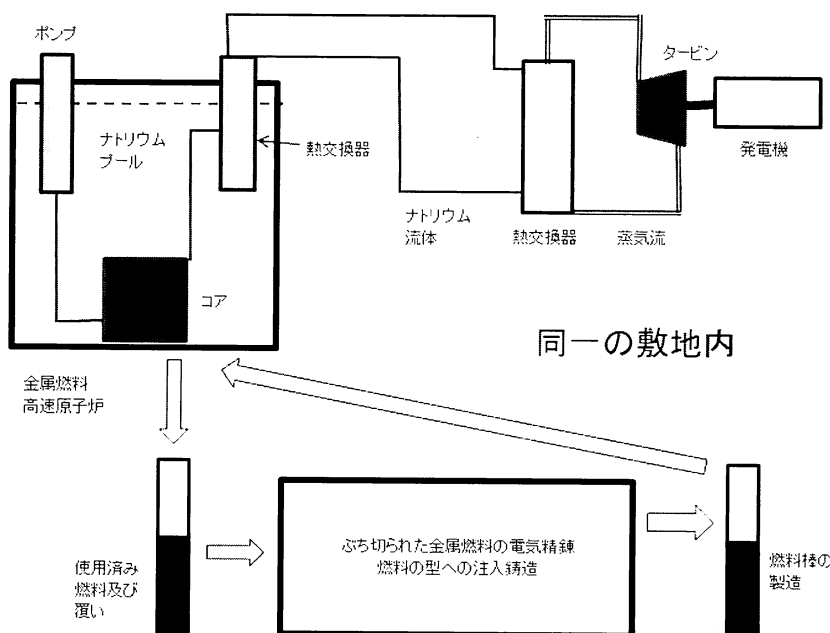


図-1 統合型高速原子炉の概念図

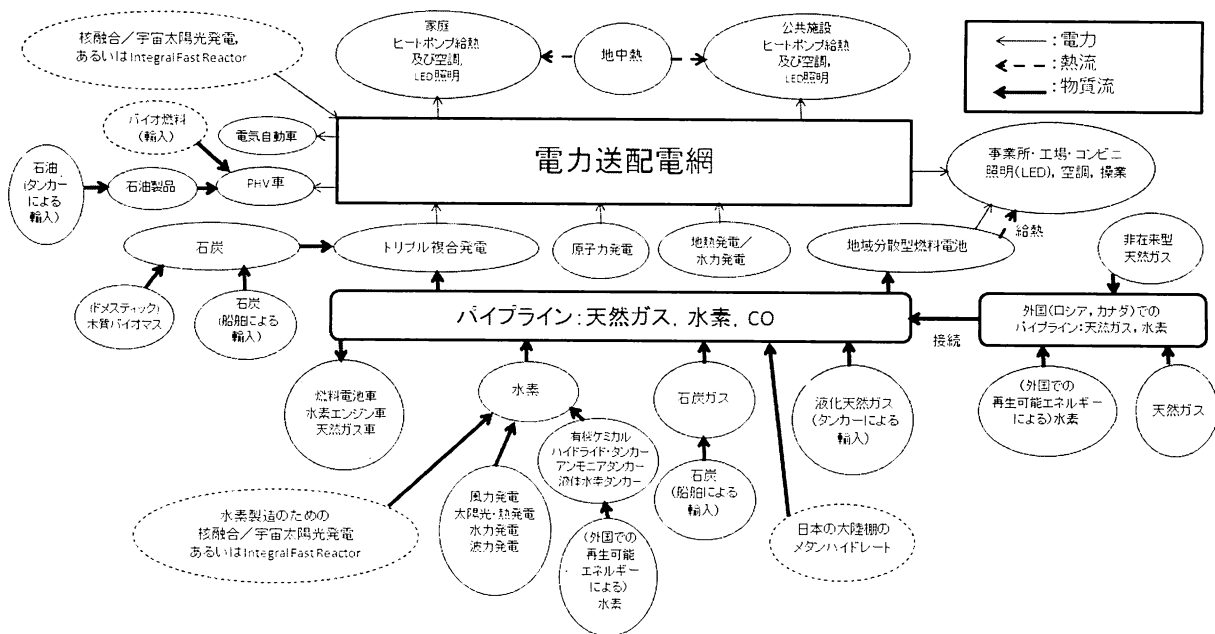


図-2 今後構築すべきエネルギーインフラシステム (2013年7月)

(3) 石炭利用の火力発電の提唱

橋本は、石炭焚き火力発電の効率向上の意義について次のように述べている²⁵⁾。地球温暖化の最大の課題は、中国とインドの二酸化炭素排出量の低減である。その為には経済性が鍵となり、経済性の高いシステムは世界的には原子力発電と高効率石炭火力発電である。だから原子力発電の早期再開が必須だが、石炭焚き火力発電にも大きな期待がかかっている。

中国とインドでは効率30%の石炭焚き発電所が主流だが、これを効率48%の石炭ガス化複合発電 (IGCC) や効率55%の石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) にリプレースすれば、両国全体で、炭酸ガス発生量は38～45%減る。中国・インド共に石炭の産出国であり、燃料資源は不足しない。石炭は日本でも経済性があり、輸入炭使用で9円/kWhの発電コストと、天然ガスの半分以下である。

金子は、日本が石炭で安定した安い電力を得ることが、天然ガスの購入交渉でも立場を強め、日本経済の好転に資すると述べている²⁶⁾。シェールガス革命の結果余剰となった米国のPRB炭を利用して、福島をIGCC特区とする構想を提案している。またこれを契機に、IGCCを日本の輸出産業にすることを提唱している。

こうした意見を受け、政府も石炭火力の新增設を再開することとし、環境アセスメントにおいても、BAT (Best Available Technology) の採用を条件として、認めることとした^{27,28)}。概ね、Jパワーの磯子火力発電所 (横浜市) が基準となるとされている。併せて、2020年の温暖

化ガス排出量を1990年比で25%削減する目標を撤回し、2013年11月のCOP19 (ポーランド) で新たな目標を提示するとしている。

たしかに石炭火力発電は、炭酸ガスの発生量が天然ガス火力発電に比して大きく、この点が懸念されるところであるが、二国間オフセット・クレジットやCDMの取得など、我が国の優れた発電技術等の国際展開による排出削減等の取組も可能であろう²⁸⁾。中長期的には、原子力と水素エネルギー～再生可能エネルギーの進展を待つところ大である。

(4) 水素エネルギー社会について実施の動き

経済産業省では2013年度から水素の低コスト製造技術や長距離輸送・長時間貯蔵の技術開発を進めるとしている²⁹⁾。水素の製造では、アルカリ水電解や固体高分子型水電解などの水電解システムの改善を進めるとともに、高温水蒸気電解の開発も行い、25万円/Nm³/時を目指す。また、水素液化システムや断熱性に優れた液体水素タンクなどの水素液化貯蔵システムの開発を行う。

液化水素の水素エネルギー社会での活用については、メーカーからも提案されている³⁰⁾。

一方、すぐに実行できる方法として、製油所や化学工場で、化石燃料由来で水素を製造し、これをトルエンと混合して、有機ケミカル・ハイドライドとして輸送・貯蔵する方法が提案されている³¹⁾。近年、石油需要の減退とともに、石油タンクが余りつつあるが、その空きスパー

(改善後)

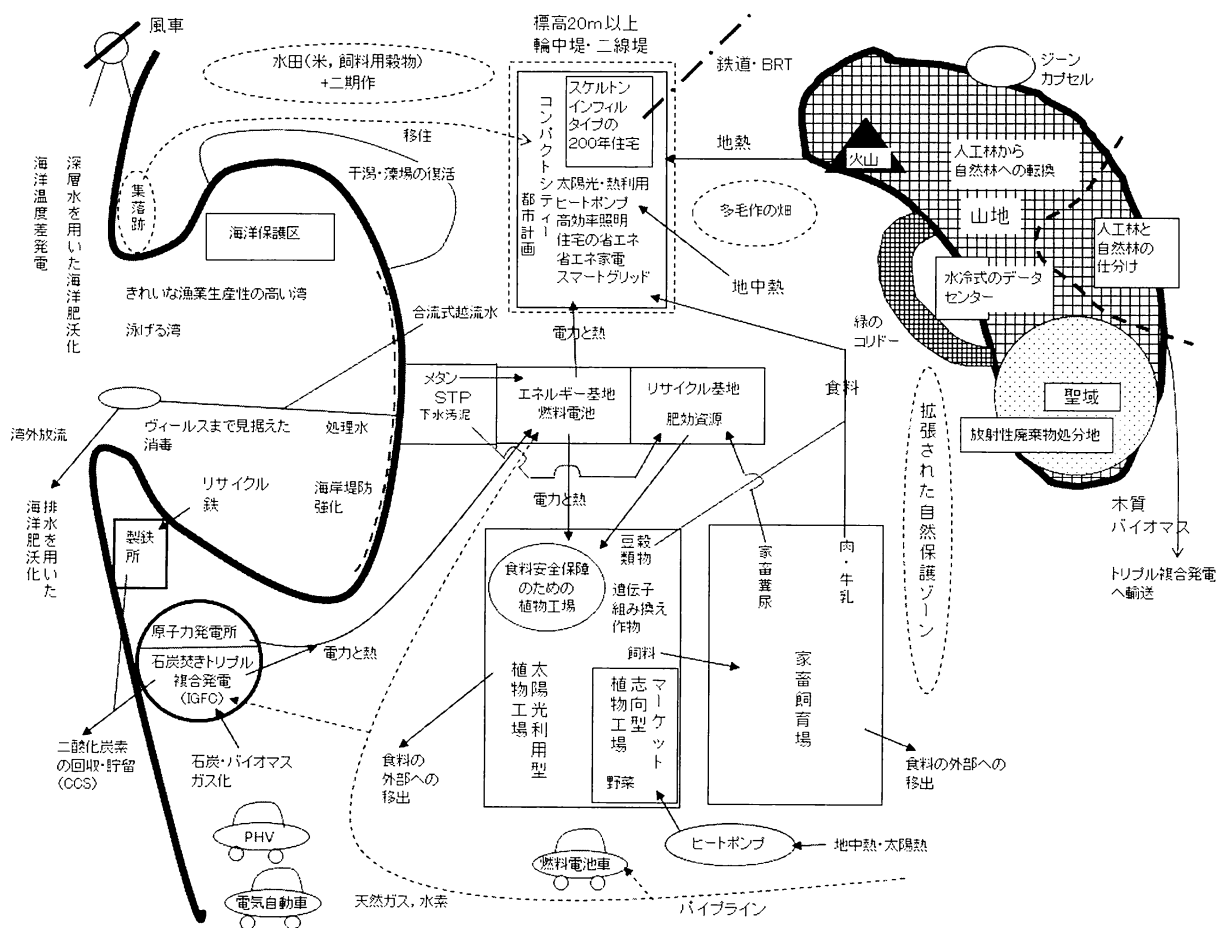


図-3 持続可能な地域社会の物的構成図（2013年7月）

スに有機ケミカルハイドライドを貯めることができ、京浜臨海部コンビナートに張り巡らされたガスパイプラインを通じて、燃料電池車や工場のコジェネあるいは水素発電所に水素供給するとしている。石油精製工場でも水素の製造装置が余りつつある³²⁾ので、当初はこの水素を活用する。有機ケミカルハイドライドは既存の石油タンカーでも運べるので、この点でも有利である。

予期されている燃料電池車の普及に向けて、水素供給ステーションの設置が始められている³⁰⁾。今後は、その設置コストの低減化とともに、国際標準との適合に配慮しながら進める必要がある。

水素輸送媒体としては、他に、アンモニアによることも考えられる。アンモニア合成のコストダウンを目指して、研究が進められている³³⁾。

このように、水素エネルギー社会については、その実施の動きが高まってきている。

以上の検討結果を織り込んだ、今後構築すべきエネルギーインフラシステム（2013年7月）を図-2に示す。

3. 持続可能な地域社会の物的構成（2013年7月）

昨年の第20回地球環境シンポジウムで提出した論文²⁾に対し、本章までの検討結果を加味したものが、図-3に示す「持続可能な地域社会の物的構成図（2013年7月）」である。そのポイントは以下の通り。

なお本文においては、地域とは数十km四方の比較的広い面積を占める領域であり、日本では「県」に相当する。地区とは地域より相当狭い領域である。

(1) 食

水田で人間の食用米だけでなく、飼料米や飼料稲などの飼料用穀物も栽培して、食料自給率を高める。残りは海外から輸入し、低廉な食料価格を享受する。なお、日本はこれから人口減少し、地球温暖化の効果で二期作可能地帯が増えるので、長期的には食料自給が可能であると指摘されている³⁴⁾。

消費者に米消費の拡大を訴える。併せて、食品残渣が減るような食生活を確立するよう働きかける。

バイオ燃料については、セルロースを用いた、食料を原料としないものを開発・普及する。

マーケット志向型の植物工場を推進し野菜や果樹などの企業的生産を行う。国内向けだけでなく輸出産業化も推進する。このさい農業用ロボットを開発し生産性の向上を図る。津波で浸水した農地についても、塩抜きせず利用できる人工土壌を用いた植物工場の活用を図る³⁵⁾。

こうした先端的な農業を進めることは、TPP対応としての、農業の強靱化に貢献するものである。

なお植物工場においても、植物の生体情報をさらに蓄積・活用するSpeaking Plant Approachが提唱されている³⁶⁾。

食料安全保障は備蓄の増強により対処できる。遺伝子組み換え技術も含むバイオテクノロジーと（太陽光利用型の）植物工場を組み合わせた先端的な農業技術を確立しておき、非常時に拡大・展開して食料安全保障を確保する方策も、併せて検討する。

植物工場の利用や二期作・二毛作などにより食料の単収を飛躍的に高め、農地の拡大を防ぎ、あるいは休耕地の一部を自然生態系や森林に戻す。

漁業資源の持続的利用を図るため、広範な魚種に対し科学的調査に基づく漁獲量の上限を定め、厳格に守らせる。特に東日本大震災&津波で三陸の漁業が壊滅している現下は、こうした改革を実施するチャンスである。長期の休漁や減船には保障を行う。

漁業資源の増殖を図るため、深層水を活用して海洋肥沃化を行う。また湾の水質を改善し干潟や藻場を復活して、内湾漁業を振興する。

下水処理水などの栄養物質に富む排水は、湾内外の栄養物質を必要としている地点に個別に配給するようにし、資源の有効利用を図るとともに、富栄養化や海洋汚染を避ける³⁷⁾。その際、衛生面に配慮する必要があり、ウイルスまで見据えた方法で排水を消毒する。塩素・紫外線・オゾンなどで消毒する方法や膜処理の採用などのオプションがあるが³⁸⁾、将来的には放射線消毒など検討することも考えられる。

(2) 住

市街地は一点集中型でないコンパクトシティ³⁹⁾にまとめる。そうなるように都市計画で誘導する。こうすれば、福祉、上下水道あるいは交通などのサービス効率がよくなり、居住のエネルギー効率も向上する。また近傍にオープンスペースを確保できるので、良好な住環境を保てる。

コンパクトシティは安全な土地を選んで立地できるので、防災（洪水・土砂災害・地震・津波・高水）の観点からも有利である。限界集落などの防災上問題のある地域から移住を進める。東日本大震災&津波の教訓に鑑

み、コンパクトシティは20m～30m以上の高度を持つ丘上、あるいは二重堤や輪中堤の内側に設ける。

特に今後は、東日本大震災&津波の被災地だけでなく、南海トラフを震源域とする大地震&津波など他の大災害が予期される地区でも、こうした高台移転を積極的に進めていく必要がある⁴⁰⁾。

地域社会に誰でも低廉に居住できるようにするため、例えばスケルトンインフィル型のアパートを整備する。スケルトン（外枠）部分は長期の利用が可能であり、随時インフィル（内装）部分を変更して居住者のニーズに応える。こうして200年住宅など、住宅の長期利用が可能となる。このアパートにはエレベーターを設置し、高齢者に便宜を図る。

高効率照明と照明制御・複層ガラスや外断熱など住宅の省エネを進める。併せて、都市計画でRC造りのアパートを促進し、一戸建てを制限する⁴¹⁾。

温暖化の適応策として堤防の強化などの護岸工事、海岸堤防の嵩上げや強化、輪中堤や二線堤の整備を進める。

(3) エネルギー

エネルギーの3E（安全保障、経済性確保、環境対応）+S（安全）を着実に推進するため、以下を進める。
原子力の継続

原子力を継続する。現在のものより格段に安全性を高めた施設を構築する。

放射性廃棄物は地域内で管理する。こうした廃棄物は自然保護区域の地下に保管する。両者とも立ち入り禁止地区である。

統合型高速炉などの先端的な原子力発電施設を開発する。将来的には、核融合を研究開発する。

電力送配電網の建設

送配電網は、原子力発電、地熱発電、水力発電、高効率火力発電から受電し、各家庭・事業所・公共施設に配電する。電気自動車・PHV車に給電する。

高効率火力発電

トリプル複合発電などの高効率火力発電を行う。燃料は天然ガスまたは石炭から得る。将来的には水素ガス主体の燃料で発電する。特に現時点では、エネルギー安全保障及び経済性確保の観点から、石炭にシフトすることもやむを得ない。

必要に応じ、炭酸ガス回収・貯留（CCSという）を行う⁴²⁾。

パイプライン

天然ガスのパイプラインを整備する。将来的にはロシア（シベリア）・アラスカ・カナダまで連結し、シベリアの天然ガスやカナダの非在来型天然ガス（シェールガス）を受け入れる。

このパイプラインには再生可能エネルギー等で造られた水素ガスも受け入れる。

パイプラインに接続しない海外からのガスは、LNGタンカーあるいは液体水素／有機ケミカルハイドライド・タンカーにて運搬する。

このパイプラインから燃料電池車・水素エンジン車・天然ガス車にガスを供給する。

またトリプル複合発電等の火力発電に燃料を供給する。

さらに、このパイプラインから地域分散型燃料電池にガス供給する。燃料電池は熱と電力をコジェネレーションし、事業所・工場・コンビニに供給する。

家庭・公共施設などの省エネルギー

LED・液晶・有機EL照明とテレビ・省エネエアコン・高効率給湯機など家電の省エネを進める。また、周辺熱源（外気・水源・浅部地下・太陽熱）を利用したヒートポンプによる空調・給湯を行う⁴³⁾。

植物工場の断熱性の向上と、ヒートポンプを用いた地中熱や太陽熱の利用を行う。

再生可能エネルギーの利用

太陽光・海洋温度差発電・風車・波力などの再生可能エネルギーは水素の製造に用い、パイプラインでこの水素を受け入れる。こうすれば、電池などを用いた電力の貯蔵を減らすことができる。

間伐材などのバイオマスは、石炭ガス化施設に送り、トリプル複合発電の燃料とする。バイオマスは食料供給と競合しないものとする。

再生可能エネルギーは、国内産だけでなく、国外からの輸入も行う。

(4) 湾の水質保全

下水処理水などの栄養物質に富む排水は、湾内外の栄養物質を必要としている地点に個別に配給するようにし、資源の有効利用を図るとともに、富栄養化や海洋汚染を防止する³⁷⁾。その際、衛生面に配慮する必要がある。ウイルスまで見据えた方法で排水を消毒する。塩素・紫外線・オゾンなどで消毒する方法や膜処理の採用などのオプションがあるが³⁸⁾、将来的には放射線消毒など検討することも考えられる。

しかし東京湾などの排水量が多い内湾では、高度処理しても十分な浄化効果は期待できない。下水処理水や合流式下水道の越流水などは湾外にバイパスし、湾への負荷を削減することも検討する⁴⁴⁾。

植物工場を利用し、循環養液を適正に管理することも、湾への負荷削減につながる。一般に、露地栽培である田畑からの排水を管理するより、植物工場の循環養液を管理の方が容易である。

さらに家畜糞尿をリサイクル基地へ回収して適正処理

すれば、農地などに放置するより肥効資源の流出が少なくなる。こうして湾の水質が保全される。

(5) 自然保護

市街地をコンパクトシティにし、農地の単収を高めると、広大な土地が空く。これを利用して干潟や藻場を復活し、また押し縮められた自然保護ゾーンを拡大する。

将来の自然生態系の復活に備えて、種地となる生態系を適宜確保し死守する。また生物のジーンカプセルを整備し、絶滅危惧種のバックアップとする。

温暖化の適応策としても緑のコリドー創出・機能強化、人工林から自然林への転換、人工林の分断を進める。

政府は国内木材供給量を50%に引き上げる目標を掲げている。自然保護の立場からは、自然生態系と造林地を適正に区別した後取り組むべきだと考える。

海洋保護区を適正に配置する。

(6) 肥効資源の循環

下水汚泥や畜産廃棄物から肥効資源を無機的に抽出して、植物工場の肥料分とする。これを露地栽培に散布することは、リン資源の損失につながる⁴⁵⁾。

また先に述べたように、下水処理水などの栄養物質に富む排水を湾内外の栄養物質を必要としている地点に個別に配給するようにすることも、肥効資源の循環を促進する。

こうして肥効資源のほぼ完全な循環が可能となる。

(7) 交通

都市間や長距離交通では、今後とも自動車・鉄道・船舶及び航空機を用いる。モーダルシフトを行い、できるだけエネルギー使用の少ない交通を利用する。

自動車は電気自動車や（プラグイン）ハイブリッド（PHV）車の普及を図る。また、水素燃料の燃料電池車も普及する。この際、高速道路などで、マイクロ波などを用いて非接触にて電力を供給し、長距離運行を可能とすることも考えられる⁴⁶⁾。

船舶においても、ハイブリッド化など化石燃料使用の抑制を図る。将来的には原子力の利用も選択肢である。鉄道も、エネルギーの回生などさらに省エネを図る。

航空機の省エネは、燃費の向上により、しだいに進展している。（藻などを使った）バイオ燃料の利用が構想されている⁴⁷⁾。テレビ会議の普及により、交通需要を抑制し、省エネするという意見もある⁴⁸⁾。

都市内の交通については、地下鉄や路面電車あるいは（電動）バスなど公共交通機関を整備する。ただ歩くことや（電動）自転車の利用も促進する。しかし交通弱者の問題は依然として残るので、低速小型自動車やモバイ

ルスーツ型車の開発が求められる。

東日本大震災&津波の被災地などでは、鉄道に拘らず、早期に地域の公共交通サービスが復旧できるBRT（バスによる鉄道敷跡地の走行）も提唱されている^{49）}。

(8) 元素戦略

以上のような各施策を遂行するためには、その基盤となる材料を確保する必要がある。特にレアメタルや銅など枯渇が懸念されているものがあり、各施策をこの隘路からも評価する必要がある。

元素に対する戦略としては、できるだけ普遍性の高い資源にシフトするとともに、希少資源を避ける製品デザインとし、用途ごとの使用量を原子レベルで減らし、効果的に用いるようにし、回収技術や非拡散設計などリサイクル戦略を向上させる等がある。このため検出・分析技術、処理・保管用材料技術などの確立が必要とされる。さらに、新たな鉱床の開発など行う必要がある。

近年、材料物性学の進展とともに、材料の電子状態を制御して、希少金属なしに同等の性能をもつ材料を作り出すことが可能になりつつある^{50）}。これは究極の元素戦略と言えるものであり、今後の進展が期待される。

現下では銅資源が逼迫しつつあり、相対的に豊富な鉄資源などに代替していく必要がある。長距離送電網ではなくガスパイプラインを敷設し、燃料電池車にシフトしていくなどの方策が考えられる。

高速原子炉やトリウム熔融塩炉を開発し、トリウムやプルトニウムの安全な有効活用を図る。中長期的なエネルギーを確保するとともに、放射性廃棄物の削減を図る。廃コンクリートのリサイクルを推進する。

炭素繊維、セルロースナノファイバーあるいはポリ乳酸バイオプラスチックなどの有機質材料の使用を増やし、鉄鋼などに代替して、自動車等移動体部材・家電筐体・住宅材料に用いる。

鉄鋼生産の原料につき、リサイクル鉄の割合を増やす。

元素戦略は世界をリードする日本発のコンセプトであり、今では欧州や米国にも広がりつつ、グローバルな流れとなっている^{51）}。今後は、資源限界を超えて持続可能な社会を目指す戦略、新たな物質材料基盤技術をひらく戦略と位置付け、さらなる発展が求められる。

(9) その他

製鉄所・セメント工場などはプロセス自体から二酸化炭素が発生するので、CCS以外に有力な対応策は見出されていない。国際的なセクター毎の合意の下に、施設の周辺でCCSを行う必要がある。

IT関連機器の電力消費は依然として増加している。発熱量の少ない半導体が開発されつつあるが、現状では十

分に開発されていない。特にデータセンターの熱対策が求められており、効率的な空冷あるいは水冷が提唱されている。一つの対応策は、発生する熱をオフィスや植物工場などの熱源として利用することである。一種のコジェネレーションであり、トータルで省エネとなり、炭酸ガスの発生量を削減する。

東日本大震災&津波により壊滅的な打撃を受けた下水道においても整備方法の見直しが進められている^{52）}。地盤の液化化対策としては、可撓性・伸縮性あるいは「ずれ防止」を持つ管路の整備が求められている。マンホールの浮上抑制として、過剰間隙水圧を逃がす弁の設置^{53）}や、マンホール重量の増加などが取組まれている。処理場・ポンプ場の耐津波対策としては、自家発電機や電気機器の高所への移設や防水化、防護壁の設置や防水扉など構造補強、プラント池の開口部の覆蓋の流出防止が取組まれている^{52）}。今後の技術開発項目としては、液化化に伴う下水道管内への土砂流入防止があげられている^{53）}。

4. 暫定的なまとめ

東日本大震災&津波に起因する福島第一原子力発電所の事故を受け、日本のエネルギー政策は、従来からのエネルギー安全保障・経済性確保・環境対応の3Eに加えて安全性（S）が課題となり、3E+Sを達成することが求められている。今後は、そのマクロ経済に対する悪影響の抑制（M）が求められ、原子力発電の保持が必須となるが、これは昨年の報告の主張^{3）}を裏付けるものであろう。

このように、環境上最も重要なテーマについても実は環境の視点だけでは捉えきれなくなってきたおり、より高いパースペクティブからレジリエンスの視座をもって、エネルギーだけでなく地域社会のインフラ総体の構成について、幅広く俯瞰する必要がある。

昨年の地球環境シンポジウム以来、政権交代もあって、エネルギー政策・環境政策も現実を重視したものに切り替わりつつある。その中で筆者の論文の内容は、その柔軟性や先見性が評価され、世の中に深く浸透しつつある。

昨年提示した今後構築すべきエネルギーインフラシステム^{2）}は今後とも基幹となるものであるが、個々には大きな進展があった点もあり、これらを織り込んだものに改訂した。具体的には、

- (a) 原子力規制委員会による、原子力発電所の安全性に関する新たな基準、
- (b) 放射性廃棄物の処理・処分と原子力燃料サイクルに対する革新的な提案（統合型高速原子炉）、
- (c) 石炭利用の火力発電の提唱、

(d) 水素エネルギー社会について実施の動き、などの諸点である。

以上の検討結果を織り込んだ、今後構築すべきエネルギーインフラシステム（2013年7月）を図-2に示した。

エネルギー以外でも下記のようにコメントすべき事項があり、これらの修正点もいれて、2013年7月時点の持続可能な地域社会の物的構成図を図-3に提示した。

(a) 東日本大震災&津波からの復興に際し、高台のコンパクトシティへの移転が進められているが、この考え方は南海トラフを震源域とする大震災&津波の被災予定地区などにも適用すべきであり、検討が始められている。

(b) その結果、海岸部に広大な遊休地ができる。その先端農業への活用などは、TPP対応としての、農業の強靱化にも貢献するものである。

(c) 下水道の新たな地震対策。

(d) 過疎地の交通について、BRTなどの新しい方法。

今年度はこうした改革が強力に推進されるものと期待される。本文がインフラについてそのベースとなることを希望している。実践の結果、さらに高いレベルのインフラモデルが来年樹立されることを希望して、今年度の暫定的なまとめとする。

参考文献

- 1) 豊田正和：日本のエネルギー政策の現状と課題，エネルギー・資源，Vol.34，No.3，pp.1-6，2013/5.
- 2) 水谷潤太郎：持続可能な地域社会の物的構成－2012年バージョン－，第20回地球環境シンポジウム講演集，土木学会，pp.1-12，2012/9.
- 3) Mizutani J.: Sustainable energy infrastructure system, *Proceedings of the 6th Civil Engineering Conference in Asian Region (CECAR-6 at Jakarta)*, 2013/8.
- 4) 日本経済新聞，2013/7/8.
- 5) 日本経済新聞，2013/6/20.
- 6) 読売新聞，2013/4/21.
- 7) 大友敬三：原子力安全土木技術特定テーマ委員会講演会「いま，原子力安全を考える」委員会報告②新たな耐震・耐津波設計およびリスク管理の提案，土木学会，2013/7/16.
- 8) 日本経済新聞，2013/4/10.
- 9) 読売新聞，2013/5/16.
- 10) 日本経済新聞，2013/7/16夕刊.
- 11) 佃栄吉：リスクを過剰に見積もり，読売新聞，2013/4/2.
- 12) 島崎邦彦：「ずれ」対策技術・未確立，読売新聞，2013/4/2.
- 13) 小長井一男：断層変位評価に関する課題，原子力土木委員会・地盤安定性評価部会・公開シンポジウム「地盤・斜面の変形量評価」，土木学会，資料4，2013/6/7.
- 14) 國生剛治：断層 Fail-safe 対策の開発・導入に向けて，原子力土木委員会・地盤安定性評価部会・公開シンポジウム「地盤・斜面の変形量評価」，土木学会，資料1，2013/6/7.
- 15) 日本経済新聞，2013/2/10.
- 16) <http://www.skirsch.com/politics/ifr/DOENuclearstudy.pdf>
- 17) 小山正史，尾形孝成：変化する将来に柔軟に対応するサイクルオプション・乾式リサイクル技術と金属燃料 FBR，日本原子力学会誌，Vol.52，No.7，pp.28-34，2010.
- 18) <http://www.sustainablenuclear.org/PADs/pad11983cohen.pdf>
- 19) 大井川宏之：長寿命放射性廃棄物の短寿命化技術の現状と展望，第16回CEEシンポジウム「原子力問題に正面から取り組む」講演要旨集，東京大学，pp.57-75，2013/1/18.
- 20) 荒邦章：ナノ粒子分散ナトリウムの高速炉への適用化技術の開発，原子力システム研究開発及び原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ資料集－平成24年度成果報告会，文部科学省・科学技術振興機構，pp.119-122，2013/2/22.
- 21) 栗坂健一：ナトリウム冷却型高速増殖炉の確率論的安全評価手法（レベル1PSA）の開発，原子力システム研究開発及び原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ資料集－平成24年度成果報告会，文部科学省・科学技術振興機構，pp.5-8，2013/2/22.
- 22) 三菱FBRシステムズ株式会社：崩壊熱除去系に対する自然循環除熱評価手法の開発，原子力システム研究開発及び原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ資料集－平成24年度成果報告会，文部科学省・科学技術振興機構，pp.87-90，2013/2/22.
- 23) 日本経済新聞，2013/5/13.
- 24) 日本経済新聞，2012/6/12夕刊.
- 25) 橋本彰：日本のエネルギー改革，低炭素社会実現のためのエネルギー工学研究会・第4回低炭素社会技術フォーラム・日本のエネルギー改革－2030年を目指して－講演資料集，東京大学，pp.169-197，2013/2/22.
- 26) 金子祥三：石炭と日本の将来，先端エネルギー変換工学寄付研究部門第4回技術フォーラム・日本のエネルギーの50年と今後－過去の経験に学び確かな未来を－講演資料集，東京大学，pp.5-1～5-52，2013/5/17.
- 27) 日本経済新聞，2013/4/25.
- 28) 経済産業省・環境省：東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議・取りまとめ，2013/4/25.
- 29) 環境新聞，2013/5/29.
- 30) 上羽尚登：来るべき水素エネルギー社会を見据えて，第7回イワタニ水素エネルギーフォーラム東京－エネルギーベストミックスに向けた水素の役割－，岩谷産業株式会社，2013/1/25.
- 31) 水素発電所実用化へ・千代田化工・燃料安く生産，日本経済新聞，2013/6/2.
- 32) 一色誠一：水素エネルギー普及に向けた取組，JX日鉱日石エネルギー株式会社，フォーラム「神奈川発水素革命・次

- 世代エネルギーの主役は水素だ」, 2013/4/19.
- 33) 御園生誠：実用触媒への期待－現状と近未来, 緊急シンポジウム Beyond Haber-Bosch Process：アンモニア合成のブレークスルーを目指して・講演資料集, 東京工業大学, pp.17～20, 2012/12/15.
- 34) 伊藤滋：国土計画は必要か？第 54 回 NSRI 都市・環境フォーラム, 2012/6/20.
- 35) 日本学術会議・東日本大震災復興支援委員会：提言・学術からの提言－今, 復興の力強い歩みを－, 2012/4/9.
- 36) 橋本康：太陽光植物工場における俯瞰的科学技术の流れ－植物生体情報 (SPA：植物学) と栽培プロセスのシステム制御 (工学)－, 植物環境工学 (JSHITA) 25(2): 57-64, 2013.
- 37) 海の栄養減りすぎ防止, 日本経済新聞, 2010/8/23.
- 38) 田中宏明：緊急事態と水質保全－震災時の下水処理緊急対応の検討－, 平成 24 年度環境工学委員会・下水道関連震災調査小委員会シンポジウム「東日本大震災の経験から次世代の下水道を考える」, 土木学会・環境工学委員会, pp.57-58, 2013/3/19.
- 39) 水谷潤太郎：エネルギー・資源基地としての下水道 (近代下水道制度 100 年記念懸賞論文・21 世紀における下水道のあり方, 下水道協会誌, Vol. 38, No. 461, 2001.
- 40) 日本経済新聞, 2013/3/19.
- 41) 伊藤滋：都市計画による低炭素化 (試案), 第 1 回 NSRI 都市・環境フォーラム, 2008/1/24.
- 42) 日本経済新聞, 2012/10/16.
- 43) 低炭素都市づくりシンポジウム・講演集, (公) 日本都市計画学会, 2013/2/8.
- 44) 水谷潤太郎：東京湾の水質保全, 下水道協会誌, Vol. 39, No. 475, 2002.
- 45) 水谷潤太郎：長期に持続可能な肥効資源の循環, 環境科学会誌, 16(2), pp. 87-96, 2003.
- 46) 日本経済新聞, 2013/5/2 夕刊.
- 47) 日本経済新聞, 2013/7/15.
- 48) 松野泰也：二つの視点で目指すグリーン IT, ITpro・グリーン IT フォーラム基調講演, 2008/3/13.
- 49) 矢島隆：復興まちづくりと公共交通復興のあり方－BRT による鉄道の仮復旧－, 土木学会主催シンポジウム・東日本大震災から 2 年－被災地の本格復興と日本再生への処方箋－講演資料集, pp.75-80, 2013/3/13-14.
- 50) 高橋雅之：文部科学省における元素戦略プロジェクトの検討経緯, 元素戦略／希少金属代替材料開発 (第 2 回シンポジウム)・我が国材料技術の新展開～レアメタル問題解決に向けて～講演要旨集, 2008/1/23.
- 51) 村井眞二：元素戦略・世界をリードする日本初のコンセプト, 元素戦略／希少金属代替材料開発 (第 7 回合同シンポジウム) 講演要旨集, p.3, 2013/3/29.
- 52) 岡久宏史：東日本大震災の経験を未来の下水道につなげる, 平成 24 年度環境工学委員会・下水道関連震災調査小委員会シンポジウム「東日本大震災の経験から次世代の下水道を考える」講演要旨集, 土木学会, pp.9-28, 2013/3/19.
- 53) 新谷康之：東京都区部の下水道事業「経営計画 2013」の取組, 第 314 回下水道新技術推進機構・技術サロン, 2013/4/11.

Basic Infrastructures of Sustainable Regional Society -2013 Version-

Juntaro MIZUTANI

Fellow of JSCE

E-mail: QZF02502@nifty.ne.jp

After the accident at the Fukushima No.1 nuclear plant at the Great East Japan Earthquake & Tsunami, Japanese energy policy is demanded to achieve the “3E+S+M” mission. Carrying on the nuclear power generation is regarded to be imperative. As just described, such most important theme in the environmental preservation field is revealed not to be adequately grasped by only the environmental perspective. We should overview the plight of basic infrastructures in the regional society, not to be limited by the energy one, from the superior resilience perspective.

Newly presented energy infrastructure matters in this paper is; new control criteria by the new nuclear regulatory body, the proposal of the integral fast nuclear reactor, promotion of the coal fired power generation, and implementation of the hydrogen energy society.

Other than energy matter, such items are also included; relocation to compact city on higher hills should be done in the expected disaster areas of the coming Nankai Trough Earthquake & Tsunami et cetera in the same way as in the disaster areas of the Great East Japan Earthquake & Tsunami, idled disaster coastal areas after these earthquake & tsunami should be tapped for the advanced agriculture, new earthquake countermeasures in the sewer technology field, and BRT an innovative transportation method in the under-populated areas.