

4. イノベーション・フォー・サステナビリティー における技術的配意事項とその実現方策

水谷 潤太郎

上級技術者（環境&流域・都市）

〒222-0024 横浜市港北区篠原台町36-20

E-mail: QZF02502@nifty.ne.jp

NPO法人サステナビリティー日本フォーラムではイノベーション・フォー・サステナビリティー基本方針・ひな型を発表している。この基本方針では、持続可能な地域社会の物的構成を考えるにあたっての技術的配意事項として、資源の循環利用、環境の汚染受容可能量、LCAと温暖化ガス排出削減および生態系保全のため土地の供与の4箇条を掲げている。

注意しなければならないのは、この4つの価値軸は予定調和的に矛盾無く実現するものではなく、具体の局面では相互にぶつかり合うのが通例だということである。そのため社会のインフラ総体をシンセサイズする方法論が必要であり、一案を示した。その概要を物的構成図（2010年5月）として提示した。

Key Words : *innovation for sustainability, LCA, conservation of ecosystems, synthesis, eco-infrastructure*

1. イノベーション・フォー・サステナビリティー 基本方針

特定非営利活動法人（NPO法人）サステナビリティー日本フォーラムは、GRI（Global Reporting Initiative）の日本における協力団体として、CSR（Corporate / Citizens' Social Responsibility）の推進に尽力している。

当会では、多くの企業が「イノベーション・フォー・サステナビリティー基本方針」を策定されることを願い、有志によるチームを結成し、叩き台となるひな型を作成した。またこの成果を、2009年12月に開催された環境展示会「エコプロダクツ2009」で発表した¹⁾。

「エコプロダクツ2009」で提示した基本方針（ひな型）は表-1のとおりである。筆者はこの起草チームに参加したが、表-1の下線部については下記理由により削除したほうが良いと考えている。訂正後の案を表-2に掲載した。

貧困の拡大——イノベーション・フォー・サステナビリティーにおいて貧困の拡大に対処する意思を示すべきであることは理解できる。しかし、この基本方針（ひな型）ではたんなる問題の指摘に止まっており、なんら具体的な方針を示していない。また筆者自身も具体的な文

案を示せない。したがって、このひな型では貧困の拡大に関する記述は載せないほうが良いと考える。

⑤自然と生態に学ぶ「バイオミクリー技術」の研究と積極的な活用を行う——これは一つの技術アプローチであるが、環境に良い技術アプローチは他にもたくさんあると思われる。これのみをわざわざ書くのは、特定企業の製品を推薦するのと同様に、妥当ではないと思われる。削除すべきだと考える。

⑥イノベーションにあたってはハイ・テクノロジーだけでなく、伝統的な智慧（ロー・テクノロジー）との併用を常に考慮する——技術とは“もの”を作る技であり、工学とは問題解決する科学である²⁾。具体の技術にハイもローもあるわけではなく、伝統的な智慧も含んであらゆる可能性を追求するものである。したがって、こうした記述をわざわざ書き込むのは、読まれる企業の方に失礼に当たるとと思われる。削除すべきだと考える。

2. 技術的配意事項

改訂後の基本方針の第5条に示すように、イノベーション・フォー・サステナビリティーにあたっての技術的

表-1 イノベーション・フォー・サステナビリティー基本方針 ひな型

現代文明は、資源の枯渇・地球温暖化の進展・生態系の破壊・貧困の拡大など、人類自体の存続すら危ぶまれる事態に立ち至っている。

この問題は個々の技術開発や省エネ・省資源の呼びかけのみで克服できるものではなく、文明のあり方を根本から見直して持続可能なものにしていくパラダイム・チェンジが必須である。

持続可能な文明をもたらすためには、物質的な豊かさばかり追い求めるのではなく、地球の有限性を考えた上での社会システムを含むイノベーションが強く求められている。

このイノベーションすなわち「イノベーション・フォー・サステナビリティー」は、単なる技術革新に止まってはならず、社会的意義のある新たな価値を創造し、社会に大きな変化をもたらす、人・組織・社会の幅広い変革を目指すものでなければならない。

当社（グループ）は、これらの社会ニーズに積極的に応えるべく事業においてイノベーションを促進することが、持続可能な社会の実現への貢献と、自社の競争力強化につながる重要な経営課題であると考えている。

そこで、当社（グループ）の社長及び役員・全従業員が一丸となり「イノベーション・フォー・サステナビリティーへ新しい価値創造～」の推進に取り組むことをここに宣言するとともに、その基本方針を定める。

2010年×月×日 代表取締役社長 ×× ○○

第1条 基盤とするパラダイムと基本理念

地球の環境許容量（Carrying Capacity）の枠内で資源やエネルギーを循環利用する曲線の文明を基盤とし、そこへのパラダイム・チェンジに努める。

「自然を征服する」理念とは決別し、「自然を生かし自然と共生する」理念に基づき事業活動を遂行する。

第2条 事業変革

従来のやり方にとらわれることなく、サービス部門を含めすべての事業を、第1条の基本理念に照らして見直す。

この変革を担う社内起業家を多数輩出できるような環境を整える。

第3条 新しい価値の提供

社会的課題解決に役立つ新しい価値を社会に提案し、持続可能な社会の構築に資する。たとえニーズがあっても、持続可能な社会の構築に反する製品・サービスは提供せず、現に提供しているものも順次とりやめる。

当社がもたらす新しい価値は、単なる物質的な「所有」による満足感よりも、「心の豊かさ」の充足に寄与するものでなければならない。

第4条 ネットワーキング

イノベーション・フォー・サステナビリティーに当たっては、社会の様々な役割をはたしている他のアクターとのネットワーキングに心がける。ネットワーク構築に当たっては、生活者の視点を取り入れることを最も重視する。

第5条 技術イノベーション

技術イノベーションに当たっては、以下の事項に配慮する。

①資源利用に当たっては「再生可能な資源の持続可能な利用」を第一義とし、利用速度が供給源の再生速度を超えないようにする。

「再生不可能な資源」の利用は、リユース・リサイクルを促進して、順次減少させる。また「再生可能な資源の利用」へ転換するべく、技術開発を促進する。

②「汚染物質」の排出速度は、環境がそうした汚染物質を吸収し、無害化できる範囲内とし、浄化できる速度を超えない。

③調達・製造・使用（循環使用を含）・廃棄等の全ライフサイクルを通して、温暖化ガス排出量の把握と削減を最重要課題として組み込む。

④事業活動に必要となる土地面積を減らし、生態系の保全と復活に努める。

⑤自然と生態に学ぶ「バイオミミクリー技術」の研究と積極的な活用を行う。

⑥イノベーションにあたってはハイ・テクノロジーだけでなく、伝統的な智慧（ロー・テクノロジー）との併用を常に考慮する。

第6条 経営資源配分他

取締役会は長期にわたるイノベーション・フォー・サステナビリティーの基本的方向を決定し、毎年、必要な経営資源の配分を行う。

間接部門を含め各事業部長は、事業計画を立案し遂行するに当たっては、この基本方針をどのように導入したか説明する責を負う。

以上

表-2 イノベーション・フォー・サステナビリティ基本方針 訂正後

現代文明は、資源の枯渇・地球温暖化の進展・生態系の破壊など、人類自体の存続すら危ぶまれる事態に立ち至っている。

この問題は個々の技術開発や省エネ・省資源の呼びかけのみで克服できるものではなく、文明のあり方を根本から見直して持続可能なものにしていくパラダイム・チェンジが必須である。

持続可能な文明をもたらすためには、物質的な豊かさばかり追い求めるのではなく、地球の有限性を考えた上での社会システムを含むイノベーションが強く求められている。

このイノベーションすなわち「イノベーション・フォー・サステナビリティ」は、単なる技術革新に止まってはならず、社会的意義のある新たな価値を創造し、社会に大きな変化をもたらす、人・組織・社会の幅広い変革を目指すものでなければならない。

当社（グループ）は、これらの社会ニーズに積極的に対応べく事業においてイノベーションを促進することが、持続可能な社会の実現への貢献と、自社の競争力強化につながる重要な経営課題であると考えている。

そこで、当社（グループ）の社長及び役員・全従業員が一丸となり「イノベーション・フォー・サステナビリティ～新しい価値創造～」の推進に取り組むことをここに宣言するとともに、その基本方針を定める。

2010年×月×日

代表取締役社長 ×× ○○

第1条 基盤とするパラダイムと基本理念

地球の環境許容量（Carrying Capacity）の枠内で資源やエネルギーを循環利用する曲線の文明を基盤とし、そこへのパラダイム・チェンジに努める。

「自然を征服する」理念とは決別し、「自然を生かし自然と共生する」理念に基づき事業活動を遂行する。

第2条 事業変革

従来のやり方にとらわれることなく、サービス部門を含めすべての事業を、第1条の基本理念に照らして見直す。

この変革を担う社内起業家を多数輩出できるような環境を整える。

第3条 新しい価値の提供

社会的課題解決に役立つ新しい価値を社会に提案し、持続可能な社会の構築に資する。たとえニーズがあっても、持続可能な社会の構築に反する製品・サービスは提供せず、現に提供しているものも順次とりやめる。

当社がもたらす新しい価値は、単なる物質的な「所有」による満足感よりも、「心の豊かさ」の充足に寄与するものでなければならない。

第4条 ネットワーキング

イノベーション・フォー・サステナビリティに当たっては、社会の様々な役割をはたしている他のアクターとのネットワークに心がける。ネットワーク構築に当たっては、生活者の視点を取り入れることを最も重視する。

第5条 技術イノベーション

技術イノベーションに当たっては、以下の事項に配慮する。

①資源利用に当たっては「再生可能な資源の持続可能な利用」を第一義とし、利用速度が供給源の再生速度を超えないようにする。

「再生不可能な資源」の利用は、リユース・リサイクルを促進して、順次減少させる。また「再生可能な資源の利用」へ転換するべく、技術開発を促進する。

②「汚染物質」の排出速度は、環境がそうした汚染物質を吸収し、無害化できる範囲内とし、浄化できる速度を超えない。

③調達・製造・使用（循環使用を含）・廃棄等の全ライフサイクルを通して、温暖化ガス排出量の把握と削減を最重要課題として組み込む。

④事業活動に必要となる土地面積を減らし、生態系の保全と復活に努める。

第6条 経営資源配分他

取締役会は長期にわたるイノベーション・フォー・サステナビリティの基本的方向を決定し、毎年、必要な経営資源の配分を行う。

間接部門を含め各事業部長は、事業計画を立案し遂行するに当たっては、この基本方針をどのように導入したか説明する責を負う。

以上

配意事項は以下の4箇条である。

- ①資源利用に当たっては「再生可能な資源の持続可能な利用」を第一義とし、利用速度が供給源の再生速度を超えないようにする。
「再生不可能な資源」の利用は、リユース・リサイクルを促進して、順次減少させる。また「再生可能な資源の利用」へ転換するべく、技術開発を促進する。
- ②「汚染物質」の排出速度は、環境がそうした汚染物質を吸収し、無害化できる範囲内とし、浄化できる速度を超えない。
- ③調達・製造・使用（循環使用を含）・廃棄等の全ライフサイクルを通して、温暖化ガス排出量の把握と削減を最重要課題として組み込む。
- ④事業活動に必要な土地面積を減らし、生態系の保全と復活に努める。

この4箇条は、持続可能な地域社会のインフラのあり方を考えるにあたっての基本的な価値軸を示すものだと考えられる。こうしたインフラ総体を計画するエンジニアは、これらすべての価値軸の実現をめざす必要がある。

しかしここで注意すべきは、この4つの価値軸は予定調和的に矛盾無く実現するものではなく、具体の局面では相互にぶつかり合うのが通例であるということである。

そのため、持続可能な地域社会のインフラについて、これら4つの価値軸の総合的な実現方策を提示することが要請される。このためには、個々の事象のアナリシスだけでなく、それらをシンセサイズすることが求められるので、この一つの方法論を提示した。

すなわち、まず当初の構想図を提示し、各方面からチェックを受けて必要な修正を行い、かくしてシンセサイズ結果の進化と正当化を図るという方法である。

次章では、この検討結果の概要（2010年5月時点）を提示する。

3. 持続可能な地域社会の物的構成図

論文「持続可能な地域社会の物的構成－2008年夏バージョン³⁾&2008年秋バージョン⁴⁾」で提示した物的構成図について、各方面の議論に基づき、以下の4点につきさらに修正した。

(1) 修正事項

a) 社会基盤インフラのトータルな電化の必要性

物的構成図を俯瞰すると、全システムを牽引するキーとなるのは、社会基盤インフラのトータルな電化であることが分かる⁵⁾。十分な能力をもった電力供給インフラを整備することは、持続可能な社会への道を切り拓く最

重要な過程であると考えられる。

電力供給インフラ強化の第1段階は、当然、電線網の整備である。電線網が十分に張り巡らされれば、これに各種の発電機を順次接続していく。発展途上国などでは、当初の発電機は化石燃料駆動となることはやむを得ないとも考えられるが、その後順次、原子力・太陽光あるいは水力発電機などで置き換えていく。

各戸の屋上に設置される太陽光発電装置や風力発電機は電線網に接続され、そこからバックアップサポートを得ることができる。

こうした目的に供される電線網は、インテリジェントで双方向性かつ統合的な能力をもつ、次世代型のもの（スマートグリッド）でなければならない⁶⁾。また電線はリング状に配置され、高容量電池などの蓄電施設を適宜配置して、電力降下を避けるものでなければならない。

将来は電線網に超伝導電線を導入し、電気抵抗によるエネルギーロスを削減する。

アメリカのオバマ大統領も電線網の重要性に気付いており、「アメリカ再投資及び復興プラン」で、より大きく・優れた・スマートな電線網への改善を、再生エネルギー生産能力の倍化に続いて、二番目に位置づけている。

なお都市景観への配慮の視点から、電線の地中化も並行して着実に進めていかなければならない。

火力発電所や原子力発電所からは相当量の熱エネルギーが無駄に周辺環境に排出されている。こうした熱エネルギーは植物工場や住宅の空調・給湯に用いることができる。

b) 元素戦略の続き

従来、元素戦略については、主としてレアメタルなどの枯渇性資源に焦点を絞っている。しかし低炭素化が求められる現代、低炭素な材料とは如何なるものであるかさらに検討が必要である。

持続可能な社会を構築する材料で、低炭素化の観点からもっとも問題視されているのは鉄鋼とセメントである³⁾。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、この回収・貯留（CCS）以外に有力な対応策は見いだされていない。しかし鉄鋼やセメントは、発展途上国の開発に不可欠であるので、今後その需要が急増する。日本から鉄鋼業やセメント業が出ていったとしても、外国で大幅増産することになるので、世界の二酸化炭素排出削減にはつながらない。劣悪な技術で作ることになるので、かえって問題を悪化させる。恐らく世界中で協定して、温暖化ガスを回収・貯留（CCS）することになるのではないかと考察している³⁾。

しかし、2020年までに温暖化ガスの排出を25%カット（1990年比）することが求められる時代には、さら

に突っ込んだ検討が必要である。

従来、コンクリートの温暖化ガス削減対策としては、生産エネルギーの 20~30%を廃タイヤ・廃油・廃プラスチックおよび都市ごみの利用により賄うことが提唱されてきた⁷⁾。しかしより抜本的には、コンクリートを骨材と廃セメント微粉末に分離し、骨材はそのまま再利用し、廃セメント微粉末は二酸化炭素を吸収させて再び炭酸カルシウム（セメント原料の石灰石の成分）とすることが考えられる。この方法はコンクリートの完全なリサイクルであるとともに、二酸化炭素の回収・隔離技術（CCS）でもあり、コンクリートの究極の温暖化ガス削減対策となる。

高圧炭酸水処理に 2 段階の機械的処理（ボールミル処理）を組み合わせたシステムが開発されている⁸⁾。今後は、こうした方法でコンクリートを循環利用することが望ましいと思われる。

一方、廃コンクリートを建設資材としてリサイクルすることも行われており⁹⁾、この問題のもう一つの解決策であると考えられる。

鉄鋼については、日本企業により、ブラジルなど鉄鉱石の産地に製鉄所を作ることが進められている。今後は、日本の鉄鋼生産の内約 4 割を占める輸出分は、このように外国に移転していくことが温暖化対策の点からは求められよう。

国内消費向け鉄鋼の生産にあたっては、リサイクル鉄を原料とする割合を増やすことが、温暖化ガス排出抑制の点で有効である¹⁰⁾。

しかしより根本的には、物性の面から見ても温暖化対策の点からも、鉄より優れた材料を開発して利用することが求められる。こうした材料として、セルロースナノファイバーが開発された¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。これは稲わらや間伐材あるいは藻や水草などからセルロースを抽出してプラスチックを用いて強化することにより製造され、鋼鉄の 1/5 の軽さで鋼鉄並みの強度、ガラス並みの低熱膨張率を有する、サーマルリサイクル可能な成型材料である。ポリ乳酸バイオプラスチック¹⁴⁾とともに、自動車等移動体部材・家電筐体・住宅材料に用いられることが期待される。

c) 植物工場のその後の技術的進展

植物工場には完全制御型と自然光利用型の二つのタイプがある。完全制御型は、LED や蛍光灯などの人工光を用いる方法で、多段栽培が出来るなど単収を大幅に増やすことが可能であり、温度や湿度制御が比較的容易であるなどのメリットがある。日本ではレタスなどの栽培に用いられている。しかし照明に係る費用が嵩むので、経済性を確保するのが難しい。LED の技術開発など進められているが、当面、この問題をクリアするのは困難で

ある。

ただ、特殊な土を用いた多段式の立体栽培場を、断熱性の高い発泡スチロールを組み立てたドーム形ハウスに収納するシステムを中東地域に輸出する試みがなされている¹⁵⁾。一日の最高気温と最低気温の差が大きく、降水量が少ない砂漠の土地にも適した栽培方法で、野菜を輸入に頼っている国・地域への輸出を目指すとしている。

このタイプの植物工場は、水使用量が少なく、ゴボウやニンジンなどの根菜類の栽培が容易にでき、コメや小麦などの穀物も栽培可能であるとしている。

古在¹⁶⁾は、従来型園芸施設（トンネル・ハウス・温室など）よりシステムの閉鎖の程度を高め、環境と植物生育の計測に基づきより高度な環境制御と生育予測を行い、周年の計画生産が可能な、自然光利用型植物工場を提唱している。暖房・冷房・除湿・送風・蓄熱・集水・加湿などにヒートポンプを用いるとしている。

自然光利用型植物工場では、晴天時、換気することにより、多量の熱エネルギーと水を大気に捨てることで室内が過高温になるのを防いでいる。従来から大気に捨てている熱と水（顕熱と潜熱）を、換気を抑制して、ヒートポンプで効率良く回収して再利用できれば、自然光利用型植物工場は、エネルギー消費型からエネルギー（エクセルギー）創出型・水循環型に変身し得るとしている。もしこれが可能となるならば、野菜や花卉だけでなく穀物や豆類なども、自然光利用型植物工場、露地栽培よりも省エネルギーな生産が可能となると期待される。

自然光利用型植物工場における環境制御コンセプトとして、Speaking Plant Approach（SPA）コンセプトが世界的に注目されている¹⁷⁾。SPA コンセプトは、様々なセンサーを用いて植物の生体情報を計測して生育状態を診断し、それに基づいて生育環境を適切に制御するというものである。また植物工場では、生産性を向上させるため、情報収集ロボット、収穫ロボット、散布ロボット、袋がけロボット、受粉ロボットなどの開発が行われている¹⁸⁾。

ヒートポンプと重油暖房のハイブリッド暖房方式で、A 重油の使用量を重油加温機に比べ 8 割減少させたことが報告されている¹⁹⁾。

オランダの花栽培植物工場では、深さ 35m の地下に巨大な井戸を二つ作り、一つには夏場の太陽熱で暖めた温水をためて冬期の加温に使い、冬期に得られる冷水はもう一つの井戸にためて夏期の冷房に用いることにより、化石燃料に頼らずに温度管理をしている²⁰⁾。

太陽光を植物の光合成に適した波長に変換する特性を持つ蛍光染料、を混入したプラスチックシートを、ハウスで用いることが行われている。ピンクの光になる²¹⁾。

自然光利用型の植物工場でも、多段式培地を用いるこ

とは可能である。上下2段立体栽培によりトマトを50トン／10a収穫することが挑戦されている²⁹⁾。下段でトマトを収穫する間、上段では若い株を育成する。同一区画でトマトを途切れなく収穫することにより、栽培の回転効率を年8作に高め、単位面積当たりの収量を2倍にする。またイチゴの2段宙吊りにより、高設栽培に比して株数が4倍、収量は3.5倍になることが報告されている²⁹⁾。

d) 金属酸化物を用いた砂漠の太陽エネルギーの固定化と輸送

繰り返し述べてきたように³⁾⁴⁾⁵⁾、太陽光などの自然エネルギーの利用は、生態系保全や農業と土地利用の面で相互にぶつかり合う。そのため稠密な土地利用が行われている日本国内の地域社会では、これに頼り切るのは心もとない。

しかし世界には広大な砂漠地帯があり、人類が必要とするエネルギーの数千倍にも達する太陽光エネルギーが降り注いでいる。これを利用できれば、有力な持続可能エネルギー源となることが期待される。

欧米諸国では、サハラ砂漠などで太陽熱発電を行って、送電網を利用して電力を需要地に送ることが計画されている。しかし日本では、砂漠地帯とは太平洋などの海洋を隔てており、このように送電網を利用して太陽エネルギーを持ってくるのは、現状では難しい。

近年、リチウム・マグネシウムなどの金属酸化物やイオン溶液を、太陽エネルギーを利用して還元することにより、砂漠地帯で太陽光を固定し、固定物を日本に舶送し、日本で電気化学反応により発電することが構想されている²⁴⁾。

超高効率太陽電池や新規の光電気技術あるいは新規エネルギー輸送媒体などを必要とするので、その実現のためには多くの技術的ハードルを乗り越えなければならないと思われるが、もし経済的に成り立つ方法が開発されれば、環境・エネルギー問題のソリューションとなることが期待される。

(海底) 超電導電線・宇宙太陽光発電あるいは核燃料サイクル・核融合などと並んで、未来のエネルギー源として研究を進める必要がある。

(2) 持続可能な地域社会の物的構成図(2010年5月)の提示

拙論文³⁴⁾で提示した修正後の持続可能な地域社会の物的構成図(2008年10月)に対し、(1)節の検討結果を加味したものが、図-1に示す「持続可能な地域社会の物的構成図(2010年5月)」である。そのポイントは以下のとおり。

以下の文面で、下線部は今回付け加えた箇所である。

a) 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、現在40%の食料自給率(カロリーベース)を50%以上にする。残りは海外から輸入し、低廉な食料価格を享受する。

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。この際、農作業ロボットを開発し、生産性の向上を図る。

遺伝子組み換え技術も含むバイオテクノロジーと(自然光利用型の)植物工場を組み合わせた先端的な農場を、国営で、1市町村1ヶ所設置し、「食料安全保障」軍とする。通常時は一定の生産水準を確保し、単収の増大と施設の省エネ・省コストを図る。食料輸入が妨げられ、あるいは飢饉の際には、この施設をすみやかに拡大・展開し、食料安全保障を確保する。

上記のようにして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。

現況の家畜飼育場も、臭気公害がないように、配置を変更する。

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²⁵⁾。長期の休漁や減船には保障を行う。

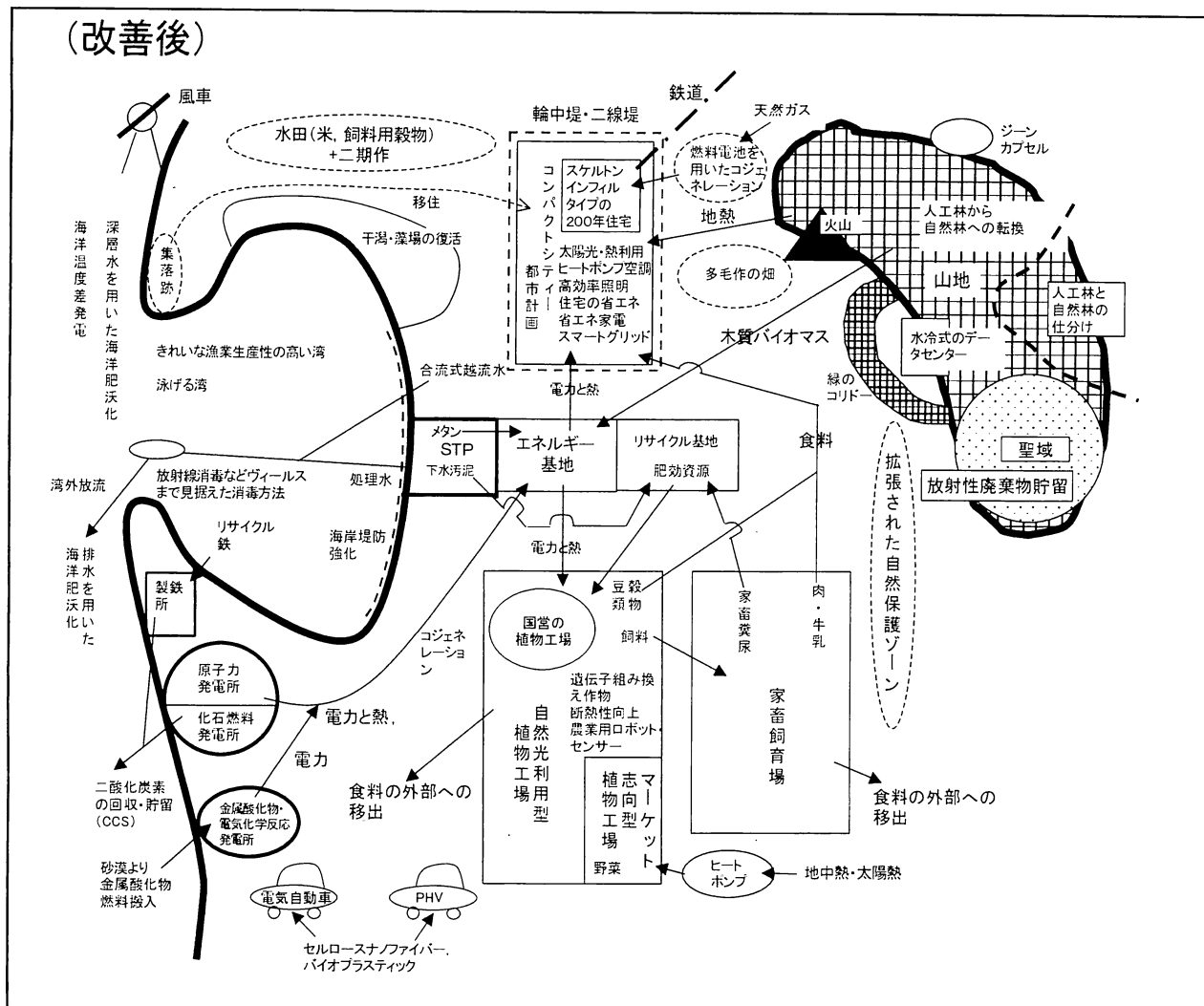
漁業資源の増殖を図るため、深層水を活用して海洋肥沃化を行う。また湾の水質を改善し干潟や藻場を復活して、内湾漁業を振興する。

下水処理水などの栄養物質に富む排水を湾外までバイパスし、水産資源の増殖を行う。その際、衛生面に配慮する必要があり、放射線消毒など、ヴィールスまで見据えた方法で排水を消毒する。

b) 住

市街地は一点集中型²⁶⁾でないコンパクトシティ²⁷⁾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。



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³⁰⁾。

- ・ 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。
- ・ スマートグリッド型電線網の整備を進める。

d) 湾の水質保全

下水処理水や合流式下水道の越流水を湾外にバイパス放流し、湾への負荷を削減する³²⁾。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。病原性微生物対策としても、排水バイパスの方が優れている。

また植物工場を利用し、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する方が容易である。

さらに家畜糞尿をリサイクル基地へ回収して適正に処理すれば、こうしたものを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。

e) 自然保護

市街地をコンパクトシティーにし、農地の単収を格段に高めると、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張する。

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分けした後取り組むべきだと考える。

f) 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³³⁾。

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外までバイパスし、水産資源の増殖を行うことも、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。

g) 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（PHEV）車の普及を図る。バイオ燃料を用いた低公害ディーゼル車も選択肢である。この際、高速道路などで非

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。

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にさらに省エネを図る。

航空機については、バイオ燃料の利用などが構想されているものの、温暖化ガス排出を抑制する方法は十分に開発されていない。したがって航空需要を抑制する必要がある。貨物輸送などは鉄道や船舶にシフトする。テレビ会議の普及により、交通需要を抑制するという意見もある³⁴⁾。

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、将来的には低速自動車型やモバイルスーツ型の電気自動車を開発する必要がある。

h) 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。特にレアメタルなど枯渇が懸念されているものがあり、各地球環境保全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共に、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となりつつある³⁵⁾。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。

廃コンクリートのリサイクルを推進する。

セルロースナノファイバーやポリ乳酸バイオプラスチックなどの低炭素型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いてリサイクル鉄の割合を増やす。

i) 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。

近年、オフィスなど業務用施設のエネルギー使用が急増しているが、これは IT 関連機器の増加が主原因である。その為グリーン IT³⁶⁾が叫ばれており、古いデスクトップ・コンピューターから新型への切り替え、あるいは

ラップトップへの切り替えが求められている。また、データセンターの仮想化による統合が提唱されている。

さらに、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。データセンターなどは必ずしも都会にある必要はなく、例えば水資源の豊富な地方や発電所のそばに移転させるのも有力選択肢である。こうすれば、都市内の熱源を減らすことができ、ヒートアイランド現象の緩和にも役立つことが期待される。

(3) 施策の評価

前節で提示した各施策について、下記の評価を行った。

a) 温暖化対策効果

本文のエネルギー関連の施策は経済産業省が2008年3月に出したCOOL EARTH—エネルギー革新技術計画をベースにしており、これが実現されれば2050年には温暖化ガスの排出が半減する。

本文ではそれ以外にも、コンパクトシティの導入、RC造りのアパートの促進と一戸建ての制限、モーダルシフト、航空需要の抑制、低炭素型材料の使用、グリーンIT、社会基盤インフラのトータルな電化などの施策の実施を求めている。実施されればさらに温暖化ガスの排出抑制につながる。

長期的にも、プルサーマル→増殖炉→核融合の開発、金属酸化物を用いた砂漠の太陽エネルギーの固定化と輸送、(海底)超電導電線、宇宙太陽光発電などの研究開発を提唱しており、恒久的な地球温暖化対策の確立を目指している。

b) エネルギー安全保障の確保

温暖化対策の推進により、省エネルギー、自然エネルギーの導入、原子力発電の導入が進むので、エネルギー安全保障も促進される。

併せて本文では、放射性廃棄物の地域内での管理、元素戦略として新たな鉱床の開発も求めている。さらにエネルギー安全保障の確保に資する。

また、プルサーマル→増殖炉→核融合の開発、金属酸化物を用いた砂漠の太陽エネルギーの固定化と輸送、(海底)超電導電線、宇宙太陽光発電などの研究開発は、エネルギー安全保障の永続的な確保に資するものである。

c) 食料安全保障

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作物も栽培して、現在40%の食料自給率(カロリーベース)を50%以上にすることは、日本政府も推進しており、財政的負担の問題はあるが、技術的には可能である。

残りは海外から輸入することを想定しており、海外で

の食料確保が課題である。

しかし、これらの在来技術を用いた施策だけでは農地面積の大幅削減は困難である。日本だけでなく世界的にも、生物多様性の確保や種の絶滅の回避には結びつかない。

生物多様性の確保や種の絶滅の回避を図るには、植物工場+遺伝子組み換え技術も含むバイオテクノロジーを組み合わせた先端的な農場を整備し、穀物や豆類の生産を行うことを、世界中で推進する以外に途はない。

しかし、この技術は現状ではコストが高く、大規模な導入は難しい。

そのため、この技術のさらなる開発が求められている。国でもこの技術開発に注力しつつあるが、まだ野菜や果樹の栽培に留まっている。

植物工場+遺伝子組み換え技術も含むバイオテクノロジーを用いた穀物・豆類生産の開発を促進するため、「食料安全保障」軍の設置を提案している。

d) 安全・安心の確保

本文では、エネルギーや食料の安全保障が確保されるので、こうしたものに関する国民の安全・安心は大きく向上する。

植物工場で農業をすれば、露地栽培に比して農薬の使用を抑制できるので、食の安全・安心は向上する。

下水処理水などの排水を湾外までバイパスし、放射線消毒など、ヴィールスまで見据えた方法で消毒することを提案しているので、内湾の水産物の安全・安心が向上する。

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、輪中堤や二線堤の整備を進めるので、防災水準が向上し、安全・安心が確保される。

限界集落など防災上問題のある地域からコンパクトシティに移住をすすめるので、この面からも安全・安心が促進される。

放射性廃棄物の適正な管理を確立するので、安全・安心が向上する。

このように、本文を実施すれば、大幅な安全・安心の向上が図られる。

e) 湾の水質保全

湾の水質保全については、陸域からの負荷削減と湾内での対策がそれぞれ別個に進められている。

湾内では、被掘削箇所埋め戻しによる青潮対策、沿岸部での干潟や藻場の復活を図り、富栄養化対策よりも生物の復活と増殖を促進する対策が進められている。一方、湾内の事情とは無関係に、陸域からの栄養物質の負荷削減が進められているが、巨額の費用が必要であり、遅々として進まない。

現在の対策で盲点となっているのが、衛生面の配慮で

ある。復活した湾の生物は衛生上安全なのか？現在の排水処理では富栄養化物質の削減は図られるが、合流式下水道の雨天時排水など、病原菌や微量有害物質は看過されている。

本文では、こうした衛生面まで見据えて総合的に対策を進めることを求めており、その有力技術が、排水の湾外へのバイパス+放射線などを用いた消毒、この排水を用いた湾口での海洋肥沃化、植物工場を利用した農業排水の循環利用であるとしている。

f) 貧困問題

1章で述べたように、本文では貧困対策などの経済問題については取り扱っていない。しかし、こうした配慮が不必要だと言っているのではない。本文とは別途に施策を考えるよう求めている。

こうした問題については、2003年に、グローバル経済と地域経済の二重経済体制を樹立して、その中で生活することを提案している³⁰⁾。地域経済では、地域通貨の使用によりグローバル経済から市民生活を隔離し、貧困を抑制することを目指す。本文の提案は食料とエネルギーの地域自立を目指すものであるので、こうした二重経済体制の樹立に資するものである。

あるいは消費税を数十兆円規模まで増税して、国民に5万円／月を配賦するなどの方策が考えられる。汚く危険で責任の重い労働に従事する人がいなくなる恐れがあるが、介護・看護・廃棄物処理・警官・自衛隊・研究者など、こうした労働に一定期間就くことを条件として、その後5万円／月を支給するなどの方策もある。こうすれば増税額は相当程度削減できる。

以上が実現すれば、貧困問題は最終的に解決する。

g) 各価値軸の実現に対する寄与

表-3は、2章で提示した持続可能な地域社会のインフラのあり方を考えるにあたっての4箇条の価値軸に対し、本文で提示した各施策がどのように寄与するかまとめたものである。

概ね各施策は、それぞれの価値軸に対しプラス方向に作用するが、中には植物工場、自然エネルギー、希少金属利用のように、プラスとマイナスの両面から作用するものもある。内部に矛盾を孕んでいる。

参考文献

1) 朝日新聞, 2009/12/15 朝刊.
2) 長井寿, 小野晃: インタビュー「工学の克復とシンセシオロジー」, Synthesiology—構成学, Vol.2, No.4, 332-337, 2009.
3) 水谷潤太郎: 持続可能な地域社会の物的構成—2008年夏バージョン—, 第16回地球環境シンポジウム講演集, 103-113, 2008/8.
4) 水谷潤太郎: 持続可能な地域社会の物的構成—2008年秋バージョン—, 第36回環境システム研究論文発表会講演集, 85-95, 2008/10.
5) Mizutani J.: Wholly electrified infrastructures as the most vital first step towards the sustainable regional society, *Journal of Global Environmental Engineering (JGEE) of JSCE*, 2010/3.
6) 小林広武: 次世代の電力系統の実現に向けて, 電力中央研究所フォーラム 2009—低炭素社会の実現に向けた電中研の取り組み—報告書, 2009/10.
7) 阪田憲次: 地球温暖化時代のコンクリート技術—荒廃する日本とならないために—, 第94回土木学会通常総会・特別講演, 土木学会, 2008/5/30.
8) 飯塚淳, 柳沢幸雄: 二酸化炭素を用いた廃コンクリートのリサイクル技術, 第23回環境工学連合講演会・講演論文集, 23-28, 2009/4/16.
9) 日本経済新聞, 2010/02/13 朝刊.
10) 小宮山宏: 基調講演「低炭素社会構築の課題とナノテクノロジーへの期待」, 第8回ナノテクノロジー総合シンポジウム講演予稿集, (独)物質材料研究機構・国際ナノテクノロジーネットワーク拠点運営室, 2010/02/19.
11) 矢野浩之: セルロースナノファイバーを用いた軽量・高強度材料, 京都大学新技術説明会資料, 科学技術振興機構, 2009/9/8.

表-3 持続可能な地域社会のインフラを考えるにあたっての4箇条の価値軸に対する各施策の寄与

	プラス事項	マイナス事項
資源の循環利用	食品残渣が減る食生活, 植物工場, 漁獲量の上限設定, 深層水や排水を用いた海洋肥沃化, スケルトン・インフィル, 肥効資源の抽出, 元素戦略, 廃コンクリートのリサイクル, リサイクル鉄	COOL EARTH—エネルギー革新計画に起因する希少金属利用
環境の汚染受容可能量	植物工場, 排水のバイパス, 家畜糞尿の回収	原子力
LCA及び温暖化ガスの削減	バイオ燃料, コンパクトシティ, 住宅の省エネ, COOL EARTH—エネルギー革新計画, 自然エネルギー, 原子力, 砂漠の太陽エネルギーの固定化と輸送, モーダルシフト, 公共交通, 徒歩や自転車, 低炭素材料, グリーンIT	植物工場
生態系保全のための土地の供与	植物工場, コンパクトシティ	バイオ燃料, 在来の農業, 自然エネルギー

- 12) 遠藤貴士：バイオ燃料を木材からナノテクで生産するセルロースの構造特性を利用した酵素糖化前処理技術，*Synthesiology—構成学*，Vol.2，No.4，310-320，2009.
- 13) H. Yano, Y. Okahisa, K. Abe and M. Nogi: Extraction of nanofibers from wood and their applications, 第8回ナノテクノロジー総合シンポジウム講演予稿集，(独)物質材料研究機構・国際ナノテクノロジーネットワーク拠点運営室，2010/02/19.
- 14) 日経ビジネス，2010/1/25.
- 15) 産経新聞@nifty ニュース，2009/8/21.
- 16) 古在豊樹：なぜ，太陽光植物工場なのか？—その課題と展望—，日本学術会議公開シンポジウム「知能的太陽光植物工場」講演要旨集，日本学術会議農学委員会・食料科学委員会合同・農業情報システム学分会，2009/7/3.
- 17) 高山弘太郎：太陽光利用型植物工場における生産性向上のための植物生体情報計測—植物生体計測からの視点—，日本学術会議公開シンポジウム「知能的太陽光植物工場」講演要旨集，日本学術会議農学委員会・食料科学委員会合同・農業情報システム学分会，2009/7/3.
- 18) 有馬誠一：ロボットによる情報化農業—機械化からの視点—，日本学術会議公開シンポジウム「知能的太陽光植物工場」講演要旨集，日本学術会議農学委員会・食料科学委員会合同・農業情報システム学分会，2009/7/3.
- 19) 日本農業新聞，2009/5/20.
- 20) 朝日新聞，2008/11/19 夕刊.
- 21) 朝日新聞，2009/6/20 夕刊.
- 22) 日本農業新聞，2009/3/4.
- 23) 日本農業新聞，2009/2/17.
- 24) 中野義昭：太陽光エネルギー利用の未来，第17回科学技術交流フォーラム資料集（東京大学産学連携協議会運営本部），125-133，2009/12/17.
- 25) 小松正之：耕論—日本の漁業は大丈夫？朝日新聞，2008/8/10.
- 26) Malone-Lee Choo : The twinning strategy: new towns with familiar places as an alternative planning strategy for Asian cities, *Abstracts for international conference on science and technology for sustainability 2004 "Asian mega-cities and global sustainability"*, 134-136, Science council of Japan, 2004.
- 27) 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.
- 28) 村上周三：生命親和建築・都市システムによる民生用エネルギー消費の削減，*慶應義塾大学理工学部・生命親和建築・都市システム寄附講座記念シンポジウム「民生用エネルギー消費の削減対策の推進と対応」*，2008/1/11.
- 29) 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.
- 30) 中上英俊：家庭部門のエネルギー消費と省エネルギー，*第22回環境工学連合講演会・講演論文集*，15-22，2008.
- 31) 岡田慎也：環境対応型ヒートポンプの取り組み，*日経環境シンポジウム「ヒートポンプが切り開く地球温暖化防止～一人ひとりが取り組むCO₂削減～」*，2008/5/29.
- 32) 水谷潤太郎：東京湾の水質保全，*下水道協会誌*，Vol. 39，No. 475，2002.
- 33) 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)，87-96，2003.
- 34) 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.
- 35) 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.
- 36) 水谷潤太郎：持続可能な地域社会のイメージ，*環境経済・政策学会 2003 年大会報告書*，2003/9.

Technical Consideration Points in the Model Form of the Innovation for Sustainability Key Principles and its Implementation Methodology

Juntaro MIZUTANI

Incorporated nonprofit organization “Sustainability Forum Japan” issues a model form of the Innovation for Sustainability key principles. This model form notices the following 4 items as the technical consideration points when the frame of basic infrastructures for sustainable regional society is considered: cyclical use of resources; environmentally acceptable capacity of pollutants; execution of LCA and continuous reduction of greenhouse gases emission; and offering of some industrial & commercial land for eco-systems rehabilitation.

These 4 points wouldn't come true without any mutual conflict, and a methodology to synthesize whole basic infrastructures in a regional society is demanded to realize all of them. Rough sketch of the obtained results is drawn up as Figure of the Basic Infrastructures (2010/5).