

市民の立場からの寄稿

建築のエネルギー源として水素に期待するもの

白江 龍三

株式会社白江建築研究所

164-0003東京都中野区東中野2-19-2

人類の活動を支える基本的なエネルギー源を、化石炭素由来のエネルギー源から再生可能エネルギーや新エネルギーと言われる新たなエネルギー源へ移行させることが大きな課題になっている。しかし、再生可能エネルギーや新エネルギーと言われるものの中にも、温暖化ガスによらない方法で環境を変えるものや、一時に集中して利用されると排出物を浄化する生態系の活動が追いつかないものなど、評価に差をつけるべきものが含まれている。本稿では建築の分野から見た新たなエネルギー源の評価と、その中で水素が占める位置と期待される役割について考えた。今後のエネルギー検討の一助としたい。

1. エネルギー評価の基準

現在主流の石炭や石油、天然ガスなどの化石炭素に由来するエネルギーは、利用に際して二酸化炭素を空气中に放出する。これは生態系の物質循環から隔離されていた炭素を生態系の循環に戻す行為であるが、その量が多いため生態系の物質循環が追いつかず、空气中の二酸化炭素濃度が増大し、温暖化の原因になる。人類は地球の生態系の中で大きな位置を占めており、人類の活動は否応なく生態系の営みに影響を与える。その結果人類に好ましくない変化が起こると環境問題として顕在化する。新しいエネルギー源についても、単に二酸化炭素の増減ではなく、生態系への影響の可能性から評価すべきである。

生態系は、そこで活動する生物とその活動を支える環境（気象・海象と海底を含む地形、地表面の状況、地表面水・地下水の状況）で構成されている。本稿では筆者の知見の範囲で、これら生態系の状況を変え、人類にとって好ましくない変化や影響が予測できない変化を生む可能性があるエネルギーを不適当なものとし、状況を変えないものや悪影響を及ぼさないと予測されるものを良しとして格付けした。

2. 建築で利用するエネルギーの分類と格付け

では建築で利用するエネルギーを、環境への影響度で格付けしよう。まず優先するのは環境エネルギーである。これは建築のエネルギーを考える上での特殊性だが、太陽エネルギーをはじめとする自然の効果を直接的に利用するもので、これらは全く負荷をもたらさない。この活用を最優先し、その他のエネルギーは環境エネルギーでカバーできない量や分野を補完するために利用することとする。現在日本の社会で視野にあるエネルギーを、生態系への影響の可能性で格付けすると以下ようになる。水素は実用段階にはないので、（ ）内に表記した。

2.1. 負荷を伴わないエネルギー

- ・自然エネルギーの直接利用：環境エネルギー
- ・計画的自然換気（圧力換気、重力換気）
- ・熱のダイレクトゲイン及び放熱・蓄熱、潜熱利用
- ・自然採光、浅い地熱の簡易な利用

2.2. 微小な負荷があるエネルギー

- ・自然エネルギーの変換利用
- ・太陽熱、太陽光発電、風力、風力発電、水力、
- ・水力発電、波力発電、露頭している温泉
- ・（水素エネルギー）電気として利用、燃料として利用

2.3. カーボンニュートラルな再生可能エネルギー

植物燃料（薪や柴など）、バイオオイル、バイオエタノール、バイオガスなど。

2.4. 地球の熱分布を変える可能性のあるエネルギー

- ・深い地底の地熱、人為的に汲み出す温泉
- 海洋温度差発電、原子力発電

2.5. 化石炭素を空气中に放出するエネルギー

- ・泥炭
- ・天然ガス（天然ガスを用いた燃料電池）
- ・石油
- ・石炭

3. 各エネルギーの評価と水素の可能性

3.1. 負荷を伴わないエネルギー：環境エネルギー

建築の外内外に発生する自然現象を制御しながら直接的に自然エネルギーを利用すれば、全く負荷を伴わずに様々な生活環境を改善できる。このような生活環境の改善に役立つ自然のエネルギー的現象を総称して環境エネルギーと呼ぶ。具体的には計画的な自然換気、太陽光や熱の直接利用、蓄熱・放熱、気化熱、浅い地熱利用などである。

環境エネルギーは古くからパッシブソーラーとして使われてきたが、技術の未熟さやコストの問題で本格的な普及には至らなかった。しかし、近年の環境エネルギー技術の進化は目覚ましく、高性能な断熱と組み合わせることでゼロ・エネルギーに近い建築の実現も可能になっている。日本の建築の断熱性能はゼロ・エネルギー建築から程遠いものだが、ドイツやスイスでは既にゼロ・エネルギー建築が可能なレベルの基準になっている。このような基準をEU全域で設定する議論もなされており、いずれは日本もこれに追従する可能性が高い。従って今後導入されるエネルギーは、建築で大量に使われていた化石燃料やそれに由来する電気に代替するものではなく、環境エネルギーと相性が良いものが効率よく少量導入されることになるだろう。

図1は、パッシブソーラー的な技術を多用したカカシ米穀深谷工場オフィス棟（筆者が設計、設備設計は郷設計

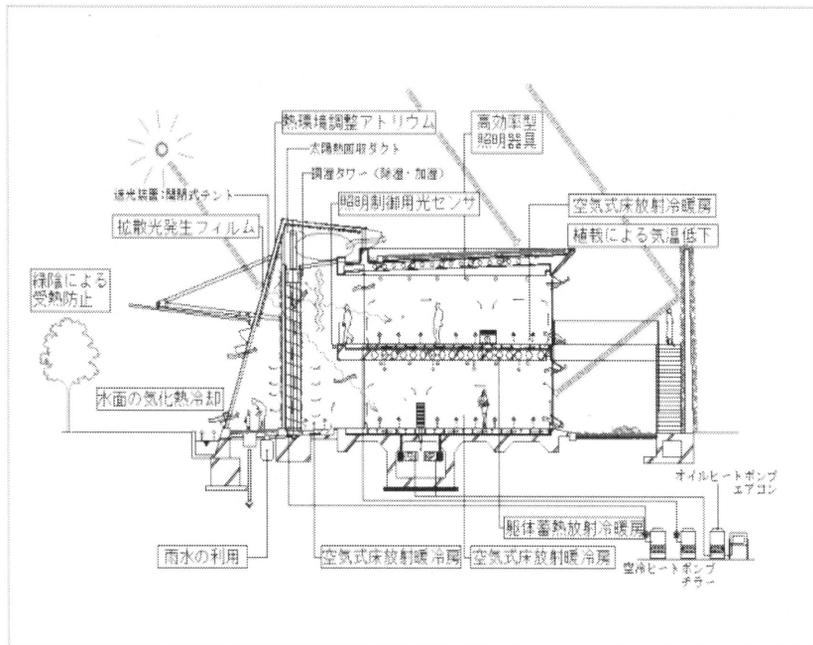


図1 カカシ米穀深谷工場オフィス棟・環境制御技術の配置マップ

研究所) の環境制御技術の配置マップ、図2は3年間の稼働実績をNEDOに報告した資料である。PAL・CECのシミュレーションでは22.2%の省エネと予想されたが、3年間の稼働実績では56%の省エネと判断された。この数字の差の多くが、シミュレーションに反映されにくい環境エネルギーを活用した結果であると思われる。この建物の断熱性能は、通常の日本の建築のレベルであり、緑化が完了していない段階だったが、高い省エネ性能を発揮した。(図2)

・事業の成果

省エネルギー効果

	計画値	H13年度実績値	H14年度実績値	H15年度実績値
エネルギー消費量 (導入前)	981,509 GJ/年	-----	-----	-----
エネルギー消費量 (導入後)	764,089 GJ/年	433,895 GJ/年	430,918 GJ/年	408,463 GJ/年
エネルギー削減量	217,420 GJ/年	547,614 GJ/年	550,591 GJ/年	573,046 GJ/年
省エネ率	22.2%	55.7%	56.1%	58.3%

図2 事業の成果・省エネルギー効果

3.2. 微小な負荷があるエネルギー

3.2.1. 自然エネルギーの変換利用

太陽熱温水、太陽光発電、風車、風力発電、水車、水力発電、波力発電、露頭している温泉や浅い地熱利用は、自然エネルギーを電気や温水などに変換して使うので、直接利用する環境エネルギーとは区別して第二段階の評価を与える。機器のメンテナンスや、ポンプやファンの駆動などで微小な負荷が発生するが、非常に環境負荷が小さいエネルギー源である。資源量も有望であり、既に国際競争が発生し活発な産業活動が展開されつつあり、急速な発展が期待できる。レスター・ブラウンのプランB3.0によれば、地球上で利用できる風力エネルギーの1/5を活用すれば、世界の総使用量の7倍の電力が生産できる。また、新エネルギーアルジェリア社の太陽光発電の潜在容量は、世界のエネルギー使用量の4倍

とのことであり、これらのエネルギーのポテンシャルは非常に高い。特に太陽光発電はエネルギー収支比（ライフサイクル中に投入されるエネルギーに対する、発電によって節約できるエネルギーの倍率を表します。これが大きいほど優秀です。）が12~21倍、単位発電量あたりの温室効果ガスの排出量は製造時のものを含めて火力発電の数パーセントであり、非常に効率が良い（独立行政法人産業技術総合研究所ホームページより抜粋）。

http://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about_pv/e_source/PV-energy Payback

写真1は筆者が意匠設計者として計画に参加した金沢駅東広場のバスターミナルの屋根に設置されたシースルー型アモルファス太陽電池である。屋根のガラスにエネルギー収支上有利なアモルファス型太陽電池を封入している。屋根のガラスはバスターミナルの機能上必要なものなので、太陽光発電のセルと電装機器だけが太陽光発電に伴う負荷増大要因である。これは建材化太陽電池と呼ばれる設置方式で、本計画の初期の案がNEDOの研究対象となった。通常の太陽光発電は、太陽光発電セルそのものよりもセルを取り付けるガラスや建具、架台などが負荷増大要因となるが、それに比べると大幅に負荷が小さい。またシースルーなので、広大な屋根の下の広場も昼間は明るく、照明負荷が削減できる。



写真1 (提供: 川端浩) シースルー型アモルファス太陽電池

3.2.2. 水素エネルギー

水素は二酸化炭素を全く排出しないエネルギー源であるが、製造負荷や搬送負荷があるので、自然エネルギーの変換利用と同じ格付けとする。今日では水素は実用段階ではないので、エネルギー収支が良好な製造方法の開発と、安全性の確保が前提である。

写真2は、石川水素研究所の水から触媒を用いて水素

を発生させる実験プラントである。500℃以下で機能する触媒を開発中であり、技術が確立されれば採算性が高い水素燃料が得られる。現状では300~500℃で稼働している。2009年よりNEDO補助事業になって、大学や企業と協力して研究を進めている。水道水を使って発生する水素は、水中の不純物の関係で94%程度の濃度であるため、石川水素研究所ではこの純度で稼働できるガスエンジンやガスタービンでの利用を想定している。起動時に必要な熱を太陽エネルギーで作成し、起動後は発生させた水素を熱源とすることで、自立的に運転できるシステムの構築を目指している。これが可能なら水さえあればどこでも電気が使えることになり、電線がない都市が生まれるかもしれない。

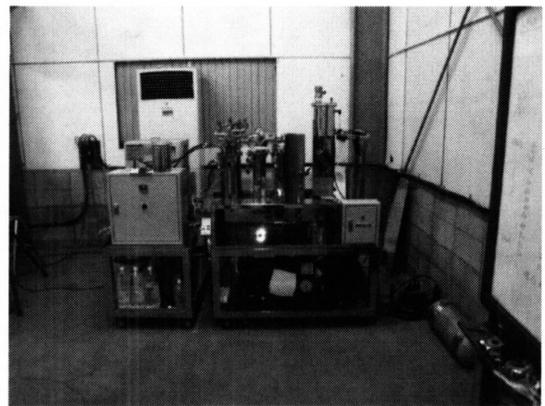


写真2. 石川水素研究所の実験プラント

3.2.3. カーボンニュートラルな再生可能エネルギー

バイオマス系のエネルギー源は二酸化炭素を発生させるが、それは元々空気中の二酸化炭素を植物系の生物が固定したものであるため、トータルではカーボンニュートラルだと言われ注目されている。しかし、世界のエネルギー消費が増加傾向にある時、バイオマスにエネルギー源が一斉に移行すると、空気中に滞留する二酸化炭素が増える可能性があるし、炭素固定に数十年かかる森林などのバイオマスに移行した場合は、短期的には空気中の二酸化炭素が増える。エネルギー源としては、竹や草本類など、炭素循環のサイクルが短いバイオマスを重視すべきである。バイオマスの中でまず重視すべきは、ごみ焼却エネルギーである。環境問題対策として、森林の適正管理や都市の緑化が行われ、これに伴って剪定された生の植物を含むごみが増加するはずで、これを有効に利用すべきである。現状では安全性の問題から都市に近い場所では発電効率が低く、発電効率を高めると都市

から離れるので低温排水が利用できないと言うジレンマを抱えているが、技術的な問題なので早急の開発を望みたい。バイオエタノールやバイオオイルは、従来の石油の利用形態を変えずに移行できるので、社会になじみやすいが、現状ではコストや製造効率、食料との競合などの解決すべき問題がある。

3.2.4. 地球の熱分布を変える可能性があるエネルギー

深い地底の地熱利用、人為的に汲み出す温泉、海洋温度差発電は二酸化炭素を発生させないエネルギー源であるが、厳密に考えれば地球の熱分布を人為的に変える性格を持っており、生態系に影響を及ぼす可能性がある。大量に普及する場合は注意が必要だ。原子力発電も同様で、冷却水などの形で多量の熱が放出される。廃熱の使い方の工夫も期待できるが、運用には配慮が必要である。

3.2.5. 化石炭素を空气中に放出するエネルギー

最も利用を控えるべきエネルギー源として、石炭、石油などの化石燃料を挙げる。これは化石炭素をもっぱら空气中へ放出することによってエネルギーを得る方法で、自然の循環のサイクルが極端に長く、人工的な循環の技術が確立されていない。天然ガスやメタンハイドレートなども同様である。泥炭などの長い炭素固定のサイクルに入りつつある物質もこれに含む。これらの中では、メタンを主成分とする天然ガスが相対的に環境負荷が小さいが、移行時期の暫定的なエネルギー源と考えるべきである。

写真3は都市ガスから水素を取り出す方式の燃料電池（NEDOフィールドテスト段階のもの）を採用した住宅の例である（筆者設計）。エネルギー効率は80%程度と高率だが、継続的に二酸化炭素を放出する。



写真3 燃料電池（NEDOフィールドテスト段階のもの）を採用した住宅

4. 理想的なエネルギー利用と水素への期待

建築における理想的なエネルギー利用の形態について考えてみよう。まず基本となるのは環境エネルギーである。環境エネルギーを効果的に利用できる建築を作り、その上で変換利用の自然エネルギーとごみ処理の副産物としてのエネルギーで補完する。調理などの特殊な用途や、天候不順や夜間などの自然エネルギーが持つ不安定要素を補完するためにカーボンニュートラルな再生可能エネルギーを使う。この状態でほとんどの建築は稼働できる。地球の熱分布を変える可能性があるエネルギーは、現在は微量なので、立地条件などの適性がある場合には積極的に利用すべきだ。化石炭素を放出するエネルギーは極力使わず、エネルギー以外の資源として利用すべきだ。

水素は環境採算性が高い製法で実用化されれば、主要な汎用エネルギーとして大いに期待できる。環境エネルギーを活用する建築に用いられるエネルギーとしては太陽光発電が先行しているので、後発の水素はこれとの競合になる。天候に左右されない点が水素の利点である。また、健康上の理由から電磁波を嫌い、燃焼式の調理にこだわる人が多くなる傾向もあるので、天然ガスやLPガスに代えて水素を利用することができれば、小型施設の個別エネルギー源として魅力的なものになる。

大型の施設や地域への電力供給などでは、燃料電池や高効率コージェネのエネルギー効率が非常に高いので、排熱による熱害が少なく二酸化炭素を出さない新たな発電所として、火力発電や原子力発電の代替となることを期待したい。火力発電に比べて小型で衛生的な発電所を作りやすいと思われるので、エネルギー消費地の近くにプラントを設けて、送電ロスを削減すると共に70℃以下の低温排水を有効に利用できる可能性がある。既存のガスや内燃機関の技術を発展的に利用できる点も有利である。また、自然エネルギーは供給が気象条件に左右されるため、大掛かりに導入するにはスマート・グリッドなどの平準化システムが必要だが、中・小型の水素プラントが発電量を容易に制御できる形式で開発されれば、スマート・グリッドの要のエネルギーとして、自然エネルギーの促進に貢献できる。この場合、多少のコスト的なデメリットがあっても普及するだろう。

水素は建築の環境対策上好ましい性格を多く持つので、早急な開発が望まれる。