特集
エネルギー
効率的な利用の実現に向けて

Special Features
Energy
To achieve effective use of it

住環境
Housing environment

人と地球に優しい持続可能型住環境をめざして

環境調和型材料（エコマテリアル）、環境調和型材料設計（エコマテリアル・デザイン）、環境調和型生涯設計（エコライフサイクル・デザイン）のすすめ



福島敏夫　FUKUSHIMA Toshio
北九州市立大学国際環境工学部環境空間デザイン学科教授/エコマテリアル・フォーラム会員

Ⅰ―はじめに

建築の歴史は、人類が地球上に出現し、洞窟から抜け出して、人間には必ずしも優しくない大自然の猛威を避け、雨露をしのぐシェルターとしての住居を構えて定住し、さらに都市形成へと移行する流れの中で始まったと考えられる。また、土木の歴史も、都市形成に不可欠なライフラインとしての道路、橋、上・下水道、治水などの整備がなされる中で始まったと考えられる。その意味では、政治と並んで、建築・土木業は、太古の昔から綿々と続いている由緒ある職業であり、業種であると言える。

住居は、衣・食・住の生活空間の場としての“家”である。単体としての機能とともに、“向こう三軒両隣”としての“建築群”、さらに広くなって“町並み”の景観、さらに広くなって“都市”の環境というように、単体から集合体および地域へと階層構造をなして広がっている。住環境を論ずるには、この辺の事情に留意する必要があると考えられる。また、生活の糧を得るための職場としてのビル建築の居住性・快適性・供用性をも視野にいれる必要があると思われる。写真1と2 は、北九州市立大学国際環境工学部校舎の外観と、大学がある北九州学術研究都市に向かう道路にかかる鋼製橋の外観を示すものである。いずれも、環境に配慮した環境調和型建築物と環境調和型土木構造物の事例である。

人類は、生活を豊かにし、利便性を追求し、夢を果す諸活動の拡大のために、大量のエネルギーを消費する。また、材料・部材・製品・建造物の形で大量の資源を消費する。それにより、性能・サービスの向上を図る。

従来は、コストを最優先したエネルギー・資源多消費型であったが、今後は、コスト・環境負荷・材料投入を最小にして、最大の性能・サービスを得るという資源生産性とエコ効率の向上を目ざした形態を考える必要がある。それがエネルギー（及び資源）の効率的利用に連なるからである。

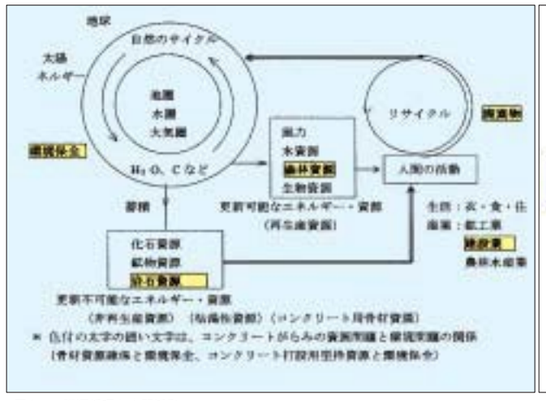
最近、持続可能社会への軟着陸が、21 世紀以降の夢と希望にあふれた人類の将来を展望する上で不可欠であると喧伝される。その中で、資源循環と環境保全に配慮した持続可能型住環境を目指すための重要な考えとなる



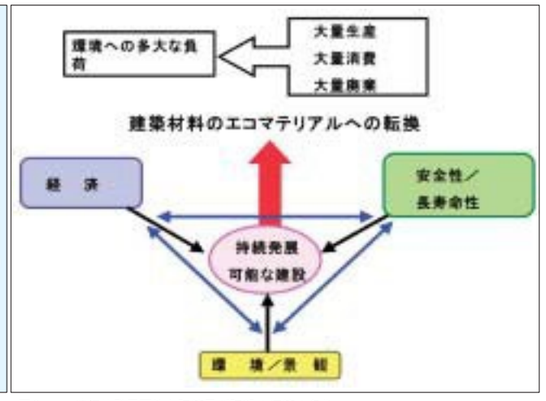
■写真１　- 北九州市立大学国際環境工学部校舎



■写真２ - 北九州学術研究学園都市に向かう道路にかかる鋼製橋



■図１　- 資源循環と人間活動



■図２　- 持続的発展可能な建築及び建設の構築の条件

環境調和型材料（エコマテリアル）、環境調和型材料設計（エコマテリアル・デザイン）、環境調和型生涯設計（エコライフサイクル・デザイン）の紹介とともに、その効用と“すすめ”を論じることにしたい。

この3つは、エネルギー・資源の効率的利用に大きく関連していると考えられるからである。

2―資源循環と環境保全に配慮した持続可能型建設業の条件

建築材料は、建築物を支える素材として、大量生産量消費・大量廃棄の近代以後の欧米型物質文明の一翼を担って発達を遂げ、更新不可能な非再生産資源（鉱物・化石・岩石）に由来するものが多い。図1は、建設業も含めた人間の諸活動と資源循環の流れを示すものである。持続可能な環境調和型・資源循環型建築・都市・社会の構築の基礎として、図の細い線で示されるように、更新可能なエネルギー・資源の利用率を上げるとともに、太い線で示されるように、非再生産資源（化石・鉱物・岩石）に由来するものの３R(リサイクル、リデユース、リサイクル（Reduce, Reuse, Recycle）の徹底を図り、大量の混合廃棄物の発生による環境負荷を低減し、地球の物質循環の再構築を図る必要がある。また、図2 は、持続可能な建設業の条件を図解したものである。「環境／景観」「経済」「安全性／長寿命性」の3つのバランスを考えた均衡型発展を目指すとともに、建築材料の環境調和型材料（エコマテリアル）への転換（エコマテリアル化）を図る必要があることを示したものである。

環境浄化による町並みの景観性の向上例として、シンガポールのシンガポール河畔の現在の景観を写真3 に示す（遠景は、国会議事堂も含めたシンガポール市庁舎の高層建築群であり、左側は、河畔のアミューズメント・センター兼カルチャー・センターの建築群）。また、写真4は、後者の一角にあるシンガポール歴史博物館の外観である（竣工後110　年も経過し、熱帯雨林気候という厳しい気候にも、先のスマトラ沖地震にも耐えた長寿命鉄筋コンクリート(RC）造建築物の例）。

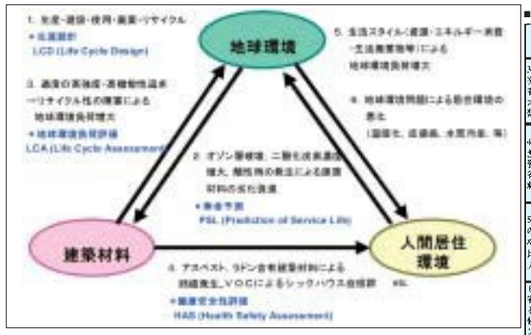
“エコマテリアル”は“光触媒”と並んで、日本を情報発信源として、世界的に普及した重要な材料技術の概念であり、従来指向されてきた材料特性であるフロンティア性やアメニティー性の他に、リサイクル性や環境負荷低減性などの環境調和性をも合わせ持つ均衡型の材料をいう。建築材料は、特に“人にも環境にも優しい”ものに転換する必要がある。図3は、建築材料と人間居住環境と地球環境との三角関係を示すものである。



■写真３　- シンガポール河畔の建築群



■写真４　- シンガポール歴史博物館



■図3 - 建築材料と人間居住環境と地球環境との三角関係（建築材料のエコマテリアル化が必要）

■表1 - エコマテリアル型建材の分類表（一部抜粋）

	生産	組立／建設	供用／維持／保全
3. 有害化学物質の発生抑制・除去と新り（フロン、ダイオキシン、重金属など）			・ポリオレフィン系内装材 ・非フロン性断熱材 ・珪藻土壁材 ・光触媒埋め込みモルタル
4. 資源・環境容量の向上（再生産資源の有効利用、省エネルギー材料）		・軽量・薄肉化材料（FRP、FRC） ・繰り返し再生可能でリサイクル化に優れたコンクリート部材（ERTP） ・許容割合板型枠	・天然木材内装材 ・天然素（ヒバ風、満長放入り風、有機抽木風） ・屋根・体型入浴式／太陽温水器 ・透明アクリル板壁 ・トップライト
5. 物質・材料効率の向上に寄与（再生材料・未利用材料、代替品、非弾性率の大きい材料）	・セコメント ・再生コンクリート ・再生プラスチック ・再生木材 ・再生繊維板…ド ・再生石膏ボード		・高強度鉄筋と軽量・高強度コンクリートの組み合わせによる軽量・高強度RC構造部材 ・高強度FRP補強筋と軽量・高強度コンクリートの組み合わせによる軽量・高強度断構造部材
6. 健康安全性に寄与（VOCによるシックハウス症候群の改善、ラドンおよびアスベストによる肺ガン発生の防止）			・非塩ビ系壁紙 ・珪藻土壁材 ・水溶性塗料／接着剤 ・天然ワックス／接着剤 ・ケナフ利用壁紙 ・天然こうぞ壁紙

3―建築材料のエコマテリアル化とエコマテリアル型建材

現存の建築材料をエコマテリアル化するにあたり、環境調和性の評価が必要になる。このため、長寿命性、資源循環性、有害物質非発生性、資源容量・環境容量改善性、物質・材料効率改善性、健康安全性の6つの環境評価項目と、資源採取、輸送、生産、組立／建設、供用／維持・保全、解体／減容化、リサイクル／再使用／再生産の8つのライフ・ステージを組み合わせた6行×8列のエコライフサイクル・マトリックスの各行列要素に対応させて建築材料を分類し（表1）、図4のようなレーダー・チャートで評価する。このうちの物質・材料効率改善性という環境調和性評価項目に関する実験的検討の結果を図5に示す。再生材料の利用による物質・材料効率の改善と性能向上現象という面白い結果が得られた。グレードアップ・リサイクルの一つの実例である。

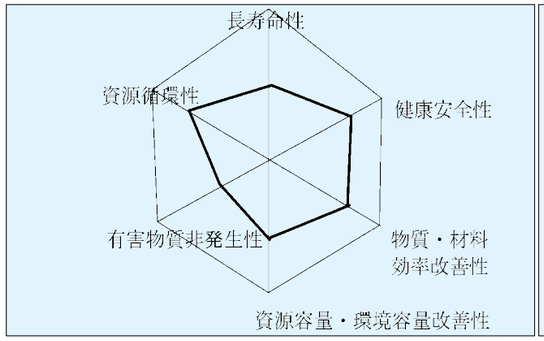
4―環境調和型材料設計（エコマテリアル・デザイン）

環境調和型材料設計（エコマテリアル・デザイン）は、仕様規定から性能規定への移行の流れの中で、建築物の想定部位の要求性能として、環境調和性を新たな性能評価項目として追加し、耐久性、力学的特性、などと共に、諸性能のバランスに配慮した建築材料の組み合わせとして、その製造・選択・評価の材料設計をする考え方である。建設分野における先端材料のひとつである短繊維補強セメント系複合材料（FRC）を対象としたエコマテリアル・デザインの手順を図6 に示す。ある環境条件下の、ある建設構造物の想定部位において、要求性能を満足させながらも、環境調和性にも配慮した材料選択を行う方法論である。

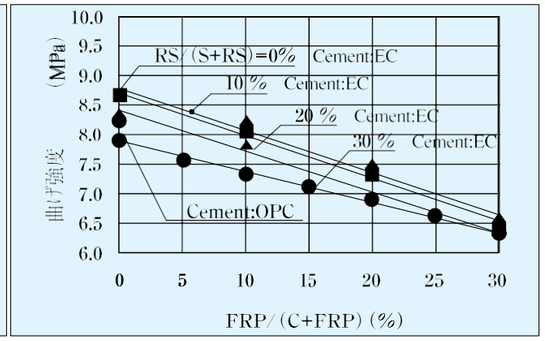
5―環境調和型生涯設計（エコライフサイクル・デザイン）

環境調和型生涯設計（エコライフサイクル・デザイン）は生産、輸送、組立／建設、使用／維持・保全、解体、リサイクル／再利用／最終処分の全ライフサイクルにおいて、事前の易解体性やリサイクル性に配慮し、物質・材料効率の向上と環境負荷低減性を配慮した環境適合型の設計をする考え方である。エコマテリアル・デザインよりも高次の概念で、ライフサイクル・アセスメント（Life-Cycle Assessment：LCA）的な評価の方法論を基礎として、全ライフサイクルでの諸々のプロセスに関連してくるもので、持続可能建築の基礎をなすものである。

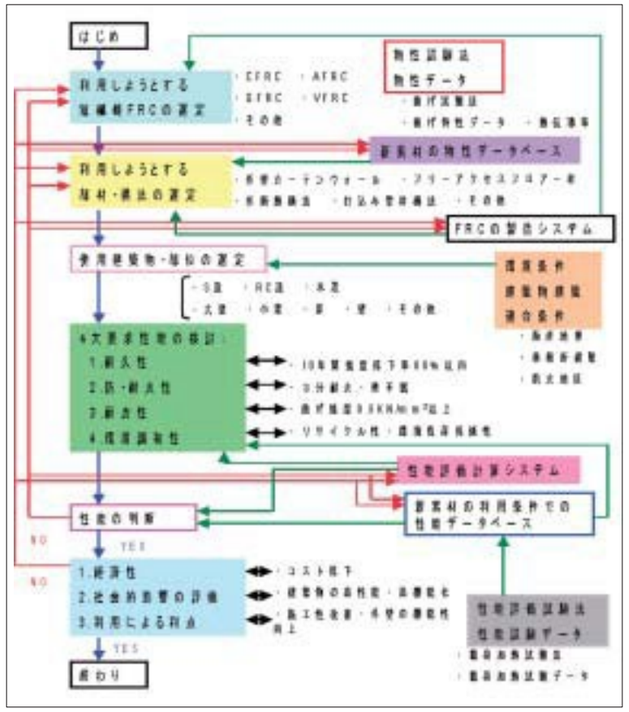
どんなに長寿命化を図っても、人工の工作物にはいつかは寿命がくる。その時には、混合廃棄物の瓦礫の山と化し、やがて最終処分場が満杯状態となって、不法投棄の源にもなり、居住環境・地域環境・広域環境・地球環境に多大な負荷を与えることになりかねない。そのために、長寿命化と省エネルギー・省資源という動脈だけでなく、事前の解体やリサイクルの容易性への配慮という静脈の流れも念頭に置いた設計が必要になる。図7 にこのエコライフサイクル・デザインの基本的考え方を示す。静的なエコマテリアル・デザインに、全ライフサイクルでの環境負荷低減と資源生産性向上の視点を加えたより動的な設計といえる。



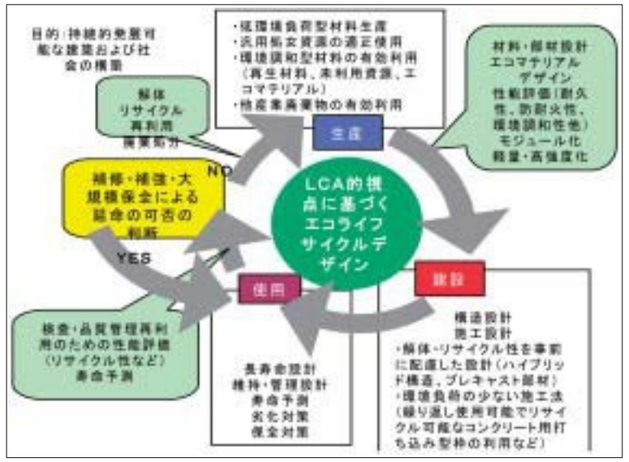
■図4 - 6角形レーダー・チャートによるエコマテリアル度の評価例（供用中での珪藻土入り土壁の場合）



■図5 - ピッチ - CFRC の曲げ強度に及ぼす微粉末化FRP 置換率の影響（EC：エコセメント、OPC：普通ポルトランドセメント、FRP：廃FRP（ガラス短繊維強化不飽和ポリエステル樹脂：GFOP）微粉末、RS：再生細骨材、S：川砂）



■図6 - 短繊維補強セメント系複合材料（FRC）のエコマテリアル・デザインの方法



■図7 - 建築材料・部材・構法のエコライフサイクル・デザインの基本的考え方

6―おわりに

有識者の人々でも、2025，2050 年に地球的規模での大破局の第一次、第二次の波が来るという悲観的な見通しを述べている。その中にあっても、夢と希望を持った将来を指向し、エネルギー消費を抑制しつつ持続可能建築・都市・地域・国土・地球・社会の形態に軟着陸させ、自然と生物の共存・共栄による千年紀を切り開くことはできる。そのためには、建設分野で、エコマテリアル、エコマテリアル・デザイン、エコライフサイクル・デザインの考え方が浸透する必要があると考えられる。

建築材料のエコマテリアル化や、エコマテリアル・デザインは、建築分野では、ようやくその重要性が認識され、その取り組みに向けての滔々とした流れができつつある。全ライフサイクルでの物質・材料効率の向上と環境負荷低減性を配慮したエコライフサイクル・デザインは、産声を上げたばかりで、ようやくその細々とした流れが形成されつつある。これらが大河の流れになってゆく暁には、省資源・省エネルギー技術やリサイクル技術とともに、資源循環と環境保全に配慮した持続可能な環境調和型・資源循環型建築・都市・社会の確立に大いに寄与するものと考えられ、今後、その重要性が認識されて、世に普及することを期待したいものである。

〈参考文献〉
1）科学技術振興調整費総合研究「材料のエコマテリアル化のための評価・設計技術の確立に関する研究」（第Ⅰ期平成5 ～ 7 年度、第Ⅱ期平成8 ～ 9年度）、同「材料の低環境負荷ライフサイクルデザイン実現のためのバリア - フリー・プロセッシングに関する研究」（第Ⅰ期：平成11 年～ 13 年、第Ⅱ期：平成14 ～ 15 年度）成果報告書, 科学技術庁研究開発局 /（社）未踏科学技術協会エコマテリアル研究会
3）福島敏夫：環境調和型材料設計・生涯設計法 - 持続的発展可能な環境調和型建築・都市の構築の基礎として - 、日本建築学会総合論文誌第1号（地球環境建築のフロンティア）、pp.74-80（2003.2）