

サステナブル建築の現状と将来について

-CASBEEを適用した新たな展開-

森川 泰成*¹・小柳 秀光*²

Keywords : *sustainable, CASBEE, factor*

サステナブル, CASBEE, ファクター

1. はじめに

サステナブル(sustainable)という言葉は近年様々な分野で聞かれるようになってきたが、その定義は必ずしも明確でなく、近年においても数多くの解釈が示されている。代表的な定義例として、例えば以下のようなものがある。¹⁾

①1987年のブルントラント委員会における定義

『後世の人々が彼ら自身のニーズを満足させる能力をいささかも減じることがないという前提にたつて、全ての人々の基本的なニーズを満たし、かつ人々がよりよき生活を求める機会を増やすこと』

②1991年のIUCN(International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources)における定義

『基盤となるエコシステムが保有するキャパシティの中で生活するという前提条件の下で、人間の生活の質を改善させるための発展』

そして、サステナビリティの最終目標は、人類を含む生物種が永続的に生存可能な地球環境を構築することであると言える。しかし、この地球環境はあまりにも大きすぎる対象であるため、サステナブルの目指す対象は「社会」、「都市・建築」、「生活」、「環境」等に分散して語られる事が多い。このサステナブル問題が捉えにくい一因はこれらの対象の境界と関連が複雑・多岐にわたるといふ点にある。

従って、サステナブルを捉える視点として“時間スケール”と“空間スケール”を尺度として採用し、人体スケール、室スケール、建物スケール、街区スケール、都市・地域スケール、広域スケール、地球スケール等、階

層的に分類しそれぞれのスケールにおいて時間スケールを対応させてサステナビリティを捉えることにより、サステナビリティの枠組みを体系的に示す事がより容易になる。

2. サステナブルの概念

2.1 「個(利己的遺伝子)」からのアプローチ

現在、世界中の大多数の人間が人間がサステナビリティの重要性を受け入れている。これは後述するように生物行動の法則つまり利己的遺伝子の法則²⁾と関連していると想像される。

1976年にイギリスの動物行動学者リチャード・ドーキングスによって「利己的遺伝子の法則」が発表された²⁾。それによると、全ての生物の全ての行動はその遺伝子の生き残り戦略、繁殖戦略による結果であるとされ、そのような利己的な行動を行う遺伝子を「利己的遺伝子」と呼んでいる。

言い換えれば、生物の全ての行動はその利己的遺伝子(=主体)の、それを取巻く環境に存在しその長期存続を阻害する要因(リスク)に対するリスクマネジメントの結果であると言え、今日の人類の環境問題に対する取り組みもこの法則に基づくものと解釈が出来る。

2.2 「全体概念」からのアプローチ

サステナブルの概念が提示される以前から環境評価・管理の研究は幅広く行われてきた。サステナブルの概念はこの従来から整理されてきた広義の環境概念と融合させて検討することが有効と考えられる。広義の環境構成・体系図の一例を図—1に示す。同図は大きく分けて3つの要素に区別されている。下段の“地球規模側面の形成要因”は、地球の3大循環(物資、水、大気)に係わる「循環要因」と、地域のスケールを規定する「区域要因」で構成される。中段の“社会システムの形因”は、

* 1 技術センター建築技術開発部ニューフロンティア技術開発室

* 2 技術センター建築技術研究所環境研究室

大きく「法規的要因」、「政策的要因」、「技術的要因」の3要素で構成される。この「法規的要因」、「政策的要因」の影響を前提に「技術的要因」が、仕様・方法・手法等で構成されている。そして最後に、個人・社会の本質的欲求から導かれる個人・社会ニーズの種類やその内容が具体的に示されるようになる。このような大局的な環境の全体概念の検討も重要である。

2.3 サステナブル建築の定義

上記の二つのアプローチを参考にして、サステナブル・ビルディングは以下のように定義されている。¹⁾

「サステナブル・ビルディングとは、地域レベルおよび地球レベルでの生態系の収容力を維持しうる範囲内で、①建築のライフサイクルを通しての省エネルギー・省資源・リサイクル・有害物質排出抑制を図り、②その地域の気候・伝統・文化および周辺環境と調和しつつ、③将来にわたって人間の生活の質を適度に維持あるいは向上させていくことができる建築物である。」

3. 当社の活動の現状

3.1 活動の全体像

上記のサステナブル建築を構築していくために当社でも幅広い活動を行っている。この一例を表-1 に示

す³⁾。表-1 では縦軸に便宜上、地球温暖化防止、循環型社会形成、環境共生、地域環境保全、化学物質等の低減に分類されているが、これらが相互に密接に関連していることは言うまでもない。一方横軸には研究・開発、計画・設計、施工、運用/リニューアル、解体にいたるまでの各ステージごとに分類されている。

これらの技術が相乗効果により大きな効果をもたらすようにするためにも数値目標（指標）が必要となる。

3.2 サステナブル建築の具体的視点⁴⁾

(1) 架構の観点から

建築空間の長寿命化のためにはまずはサステナブルな架構（Sustainable Skeleton）の構造検討が重要視される。①架構を構成する建築素材、②その素材で組み上げられた架構、③架構に影響を及ぼす荷重、④架構の耐久性、⑤最少エネルギーによる建設方法、⑥建設に要する資材量のコントロールである。

(2) 空間計画の観点から

長寿命化を阻害する大きな要因は、用途・機能の可変性・適応性が乏しいことによる、刻々変化するニーズ・需要へのフレキシビリティの欠陥があげられる。

(3) 再生・再利用容易性の観点から

これからの建築は、建築物自体を将来の資源とするという考え方が必要となる。建築自体を長寿命に使える構

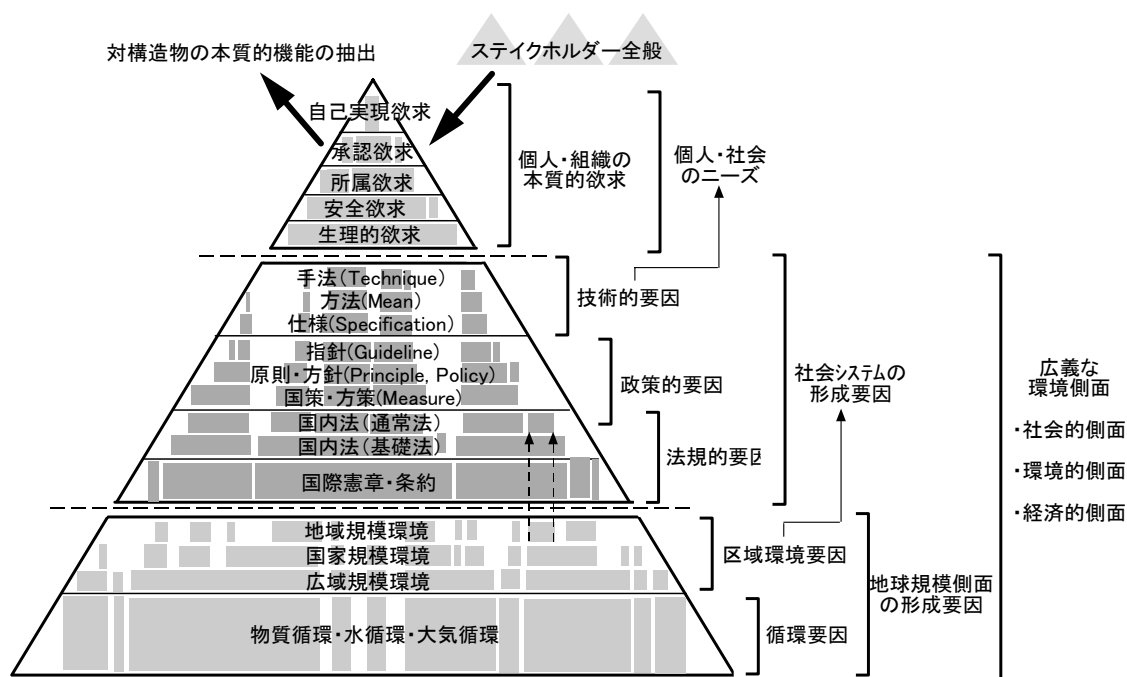


図-1 広義な環境構成・体系図¹⁾

Composition and System of the Environment

造体とするだけではなく、材料の循環性に配慮する必要がある。さらに、将来の省資源、材料循環のためには、劣化要因に対し、高耐久を有する材料選択と同時にリサイクル性を考慮した資源利用を考えるべきである。

$$\text{環境効率} = \frac{\text{生活の質 (アウトプット)}}{\text{環境への負荷 (インプット)}}$$

この概念はドイツや米国のエネルギー学者が地球資源を持続的に使うための先進国の長期目標として作られたものである。

現在の建設業が環境負荷に与えている影響の大きさを考慮すれば、このファクターの概念の導入は建設業においても極めて重要である。例えばファクター10は環境効率を10倍上げることを意味し、建設業においては以下のような例が考えられる¹⁾。

- ・同一エネルギーで建築寿命を10倍にする。
- ・環境の快適性を維持しながらCO₂排出量を1/10にする
- ・再生建材、VOC_sフリーな建材の採用率を現状の10倍にする
- ・都市の人口密度を現状に保ちつつ、人工廃熱量を現状の1/10にする、或いは都市内緑被率を現状の10倍にする。
- ・ライフサイクルの資源消費量を一定の状態に保ちつつ、国民1人あたりの住宅面積を、現状の10倍に増やす。又は現状の1/10の資源消費量で現状の住宅面積を維持する。

4. サステナビリティの評価

4.1 共通尺度の必要性

サステナブル・ビルディングを普及させる過程において、既存の建築物および新たに造られる建築物がサステナブルであるかどうかを評価する共通の尺度が必要である。即ち、サステナビリティ普及のための具体的な目標を設定する必要がある。

4.2 FACTOR の定義

その評価尺度のひとつとして、例えば、OECD（経済協力開発機構）において検討されているEco-Efficiencyが考えられる。ここでは、これを環境効率指標、単純に環境効率と呼ぶこととする。

これは、①建築に関わる全てのプロセスにおける快適さ・ゆとり・豊かさといった「生活の質」という2つの要素を関係付け、環境負荷を低減しつつ、生活の質を向上させるための指標であり、以下のように定義される。

表-1 環境対策技術の全体像³⁾

The Outline of Technologies for Solving Environmental Problems

業務段階	研究・開発	計画/設計	施工	運用/リニューアル	解体	
環境対策 地球温暖化防止 (CO ₂ 削減)	<ul style="list-style-type: none"> ・地下ダムによる砂漠化防止技術 ・耐塩成緑化植物の開発 ・砂漠緑化事業の研究 ・風力発電の最適配慮 	<ul style="list-style-type: none"> ・水蓄熱による季節蓄熱調整システム ・コンクリート住宅熱環境システム ・省エネ診断技術 ・建物緑化技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・活用による環境配慮設計 ・省エネ評価ツールによる省エネ設計 ・LCC/CO₂の算定 ・建物LCA評価技術 ・屋上緑化 	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネ工法の適用 ・省燃費運転指導、アイドリングストップ ・発生土の相互利用 ・熱帯材型枠代替工法の採用 	<ul style="list-style-type: none"> ・フロム使用機器の見直し ・コージェネレーションの利用 ・最適熱源運転支援システムの導入 ・水蓄熱+駆体蓄熱方式 	<ul style="list-style-type: none"> ・フロム回収
循環型社会形成	<ul style="list-style-type: none"> ・建材一体型ソーラーシステム ・使用済み発泡スチロールのリサイクル ・製鋼副産物のリサイクル ・家畜ふん尿メタンガス発酵システム ・有機性廃棄物による土壌改良材 	<ul style="list-style-type: none"> ・再生コンクリートの活用 ・コンクリート構造物のLCC評価システム ・超高層100年住宅の変化対応ビルシステム ・最終処分場遮水技術、最終処分場再生技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・「CFT工法」最強化設計 ・雨水有効利用システム ・環境配慮型解体コンサルティング 	<ul style="list-style-type: none"> ・ゼロエミッション施工 ・環境データ管理システムの運用 ・グリーン調達の実施 ・分別収集リサイクル ・汚泥のリサイクル ・廃棄物発生抑制 ・伐採材のリサイクル 	<ul style="list-style-type: none"> ・長寿命化補修 ・免震/制震/レトロフィット ・格子型ブロック耐震壁 ・超高層ビル免震 	<ul style="list-style-type: none"> ・文化財の保存 (半解体修理・復元) ・ゼロエミッション解体
環境共生	<ul style="list-style-type: none"> ・カルブランニング ・ピオトープ ・ミテゲーション 	<ul style="list-style-type: none"> ・発泡スチロール植生パネル工法 ・底泥置換覆砂工法 ・最終処分場クローズドシステム 	<ul style="list-style-type: none"> ・環境共生計画 ・既存緑地の保全・郷土種による景観林の創出 ・自然エネルギー利用 	<ul style="list-style-type: none"> ・ランドスケープデザインと法面緑化 	<ul style="list-style-type: none"> ・エコロジカルキャンパスの運用 ・低泥浄化工法 (湖沼河川等へのヘドロ・水質の浄化) 	<ul style="list-style-type: none"> ・樹木移植
地域環境保全	<ul style="list-style-type: none"> ・環境共生団地研究 ・TQB工法 (立体交差部超高速施工法) ・上向きシールド工法 	<ul style="list-style-type: none"> ・環境アセスメント 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域への協力 ・地下排水管の敷設による水質保全 ・建設公害対策 (低騒音・低振動建設機械の使用、排水の適正処理) 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンカーレスブレース構法 ・重曹プラスティング工法 	<ul style="list-style-type: none"> ・粉塵対策 ・騒音振動対策 ・低騒音・低振動工法 ・ローリング解体 	
化学物質等の低減	<ul style="list-style-type: none"> ・シックハウス対応 ・化学物質を低減した住宅材料の選定 ・土壌・地下水浄化技術 (VOCs、重金類、石油類等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイオキシンの抑制技術 ・ダイオキシン対応焼却炉解体工法 ・感染症医療廃棄物処理技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・地歴調査 ・使用化学物質調査 ・労働安全衛生マネジメントシステム (OHSMS) 	<ul style="list-style-type: none"> ・MSDSに関する指導 ・現場における焼却の禁止 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚染土壌/地下水浄化 	<ul style="list-style-type: none"> ・アスベスト対策 ・PCBの適正保管

4.3 CASBEEの理念⁵⁾

近年、世界的に話題になっている建築物の総合環境性能評価においては、環境負荷の削減に重点が置かれることが一般的であった。しかし、この方向のみに着目して評価の行為を推し進めると、何もしないのが最も環境負荷が少ないので最も優れた対策であるという退嬰と悲観のスパイラルに陥り、環境問題に前向きに対応する意識が希薄になる。

したがって、地球環境の視点から建築物の総合環境性能評価を行う場合には、2つの視点、すなわち「環境負荷削減」と「優良な建築資産の蓄積」という側面を兼ね備えたものが望ましい。このような背景から、国土交通省の支援を得て産・官・学の連携組織により、「CASBEE」(Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency: 建築物総合環境性能評価システム)が開発され各方面で積極的に活用が行われている。このシステムでは、環境負荷をL (Load)、建築物の環境品質・性能をQ (Quality) と表現し、両者を明確に区別して評価を行っている点が評価の理念という面で、CASBEEの最も革新的なところである。さらにCASBEEでは、環境負荷 (L) と環境品質・性能 (Q) の概念に基づいて、建築物の環境性能効率 (BEE: Building Environmental Efficiency) という簡明な指標を次式のように提案している。

$BEE=Q/L$ BEEの導入もCASBEEの独創的な点であり、BEEによって建築物の総合環境性能を、理念として明確に、かつ表現として簡明に提示することが可能になる。

4.4 CASBEEの概要⁵⁾

CASBEEは建築物のライフサイクルに対応して4つの基本的評価ツール群で構成される。4つの基本ツールは次のような役割を持つ。

(1) 「CASBEE-企画」

プロジェクトの企画(プレデザイン)の際に、オーナーやプランナーを支援することを目的とする。大きくは、以下の2つの役割を持つツールである。

- 1) プロジェクトの基本的な環境影響等を把握し適切な敷地選定を支援する。
- 2) 企画段階でのプロジェクトの環境性能を評価する。

(2) 「CASBEE-新築」

設計者やエンジニアが設計期間中に評価対象建物のBEE値等を向上させるための、自己評価チェックシステムであり、設計仕様と予測性能に基づき評価を行う。専門家による第三者評価を行えば、ラベリングツールとしても活用される。改築・建替えはCASBEE-新築で評価するが、その際、解体工事に伴う廃棄物抑制に対する取組

みも評価される。

(3) 「CASBEE-既存」

既存建築ストックを対象とする評価ツールで、竣工後約1年以上の運用実績に基づき評価する。資産評価にも活用できるものを意図し開発された。

(4) 「CASBEE-改修」

CASBEE-既存と同様、既存ストックを対象とし、今後重要性が増すESCO事業やストック改修への利用も視野に入れており、建物の運用モニタリング・コミッションングや改修設計に対する提案等に活用できるツールである。前述の「CASBEE-既存」と併用することで改修前からの改善度合い(BEE向上)を評価することができる。CASBEE-改修では改修工事に伴って大量に発生する廃材のリユースやリサイクル・適正処理などの評価も行う。

更にCASBEEはファミリーを増やしており最近では

(5) 「CASBEE-HI」

現在日本の大都市圏で社会問題化しているヒートアイランド現象への対策として評価するためのツールである。

(6) 「CASBEE-地域/街区」

単体の建築物を評価対象とする現CASBEEファミリーに対し都心の再開発や一団地の開発に見られるような、複数の集团的建築物を含む街区や地域を評価対象とする拡張ツールである。

5. 新たなサステナブル建築の考え方

5.1 リスクと対策の分類

環境は主体に対する対概念であるので、初めから体内環境や建築環境、地域(都市)環境、地球環境という言葉が存在したのではなく、リスクを認識し、対策を講じようとする際に、そのリスクを空間軸と時間軸で分類した結果生じた概念であるとも考えられる。

そうした事を前提に、まずリスクが存在する環境を空間軸・時間軸によって体内環境⇔建築環境⇔地域(都市)環境⇔地球環境と分類し、リスクをそれぞれの環境における環境問題と分類・定義する。図-2にリスクと対策の分類(主体と環境)を示す。尚、環境問題はそれぞれ入れ子構造になっており、それぞれが独立して存在するのではなく、物質的に相互に影響を及ぼしあっている場合が多いといえる。例えばエネルギーを例にとると、建築環境問題として2次エネルギー供給が不足したり停止する問題は、室内の環境調整を阻害する事に成り、体内環境問題を起こす原因となりうる。又反対にそうした状況は、地域(都市)環境における災害時のエネルギー供給インフラの断絶や復旧の遅れによって起こる事もあ

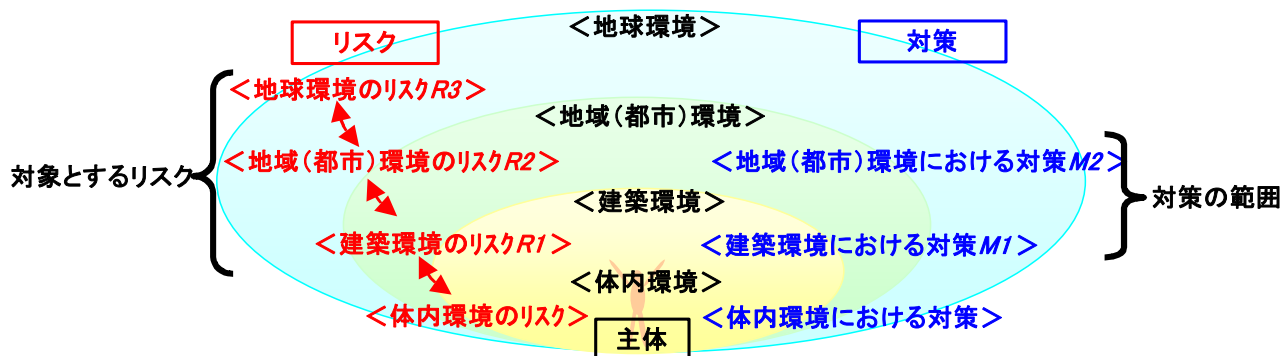


図-2 リスクと対策の分類 (主体と環境)

The Classification of the Risks and the Measures (Subject and Environment)

表-2 サステナブル建築・地域(都市)を構築する為の技術マップ

Technology Map for Creation of "Sustainable Architecture" and "Sustainable City"

対象とするリスク				リスクと対策の対応	建設工学における戦略			
空間時間軸での分類	リスクの発生主体による分類	リスク項目(建設工学で対応する主な物)	対策の分類		対策の方針	対策項目		
概してリスクが大きい 長期間 体内環境を良好に保つ事(健康)を阻害するリスク	建築環境におけるリスク(R1)	物質的なリスク	地震で倒壊する災害時逃げ遅れる室内が不快(空気が悪い、暑い、うるさい、揺れる)電気と熱の供給が止まる等	重要 重要	建築環境における対策	評価指標: 環境効率 = $Q1 / \{1 - (LR1 + LR2 + LR3 + LR4)\}$		
		生物学的リスク	害虫による健康被害(蚊に刺される等)トホーに入られる		建築環境対策 G1	室内環境の ①安全性 ②快適性 ③生産性を向上させる	①耐震技術、防災(災害の拡大防止、避難の確保)技術 ②防犯性を高める技術 ③2次エネルギーの安定供給技術 ④室内環境問題(音・振動、空気質等)改善技術	
		人対人 人対他種生物			エネルギー対策 LR1	1次エネルギーの生成速度(環境容量)内で1次エネルギーを使用し、地域・地球環境の浄化能力(環境容量)内で汚染物質を排出する技術	①需要低減技術(2次エネルギー需要) ②設備システム高効率化技術 ②2次エネルギー利用+2次エネルギー製造過程) ③新エネルギー使用技術	
	地域(都市)環境におけるリスク(R2)	物質的なリスク	ヒートアイランド現象 災害時エネルギーインフラの断絶 浄化施設の容量が足りない 都市洪水、大気汚染 水質汚濁等			資源対策 LR2	資源の生成速度(環境容量)内で資源を使用し、地域・地球環境の浄化能力(環境容量)内で汚染物質を排出する技術	①ライフサイクルでの資源投入量低減技術 ②ライフサイクルでのパッシブ材使用量抑制 = リサイクル材使用の推進技術 ③ライフサイクルの延長(長寿命化)技術 ④最終処分抑制 = リサイクルし易くする、必ずリサイクルにまわす技術
		生物学的リスク	街中で殺人にあって 街中で怪我をさせられる 景観破壊の為新設を起される 後世に教訓となる遺産を残せない 生態系の破壊等			浄化技術対策 LR3	それでも地域・地球へ排出してしまった汚染物質を直接浄化する技術及び環境の浄化能力を補う技術	①汚染物質発生源により近いところで浄化する技術 ②環境の浄化能力を補う技術
		人対人 人対他種生物			地域(都市)環境における対策	地域の景観や文化財との調和をほかり、訴訟や遺産を残す事が出来ないというリスクを回避する工夫(技術)	景観、文化財、地域の文化、生態系との調和技術	
	地球環境におけるリスク(R3)	物質的なリスク	地球温暖化現象 化石燃料の枯渇 酸性雨 オゾン層破壊 森林破壊 砂漠化減少 廃棄物の越境移動等			景観・生物環境対策 LR4	それでも地球環境へ排出してしまった汚染物質を直接浄化する技術及び環境の浄化能力を補う技術	①汚染物質発生源により近いところで浄化する技術 ②環境の浄化能力を補う技術
		生物学的リスク	-			エネルギー対策 LR1	エネルギーの生成速度(環境容量)内でエネルギーを使用し、地球環境の浄化能力(環境容量)内で汚染物質を排出する技術	①需要低減技術(2次エネルギー需要) ②地域エネルギー供給インフラ高効率化技術(1次、2次エネルギー製造過程) ③新エネルギー使用技術
		人対人 人対他種生物			地球(都市)環境における対策	地域の景観や文化財との調和をほかり、訴訟や遺産を残す事が出来ないというリスクを回避する工夫(技術)	景観、文化財、地域の文化、生態系との調和技術	

るし、地球環境問題である化石燃料の枯渇や地球温暖化現象によっても起こると思われる。

同様に対策も体内環境における対策⇔建築環境における対策⇔地域（都市）環境における対策と分類・定義できる。（尚、体内環境における対策は医者に拠るところが大きく、建設業では主に建築環境と地域（都市）環境における対策を担っているものと考えられる。）対策はそれぞれ同じ環境にあるリスクに対応するだけではなく、複数の環境におけるリスクに対応している事も多い。例えば、建築環境における設備システムの高効率化は人工排熱の削減により地域（都市）環境問題であるヒートアイランド現象の緩和に寄与するとともに、地球環境問題である化石燃料の枯渇や地球温暖化現象の改善に寄与する事などである。

5.2 新たな技術MAPの構築

建設業の環境的役割は、建築環境における対策と地域（都市）環境における対策を講じる事により、建築環境問題、地域（都市）環境問題、地球環境問題を直接改善し、間接的に体内環境問題を改善する事であるといえる。言い換えれば、建設業の目標は体内環境問題の改善（＝体内環境を長期間良好（健康）に保つ事）に寄与する建築環境・地域（都市）環境を創造し、維持していく事といえる。

又、従来より“安全”“安心”な建築・都市づくりという事が言われてきたが、“安心”とは主体が保有するあらゆるリスクが小さい時に主体が感じる感情のことで、“安全”とは主体が保有するあらゆるリスクが小さい状態と考えることが出来るので、上記の目標を達成する事と“安全”“安心”な建築・都市づくりは同様の目的を持った取組みで有ると考えられる。

このことを踏まえ表-2に示すようにサステナブル技術マップを作成した。

以下に本マップの概要を示す。

- ① 対策は建築環境における対策と地域（都市）環境における対策に分類する。
- ② それぞれの対策の評価にはCASBEEに準じて環境効率の考え方をを用いる。建築環境における対策の評価は建築環境問題の改善度に対する地域（都市）・地球環境への負荷の大きさととなり、地域（都市）環境における対策の評価は地域（都市）環境問題の改善度

に対する地球環境への負荷の大きさとなる。

- ③ 対策の優先順位はより大きいリスクに対応している対策となる。研究開発の優先順位は対策の優先順位は高いが開発が進んでいない項目であるといえる。
- ④ その為にも、現在顕在化しているリスクと将来その発生が予測し得るリスクに対するのリスクアセスメントを行い、リスクの大きさを評価する必要がある。
- ⑤ 又、改めてどの対策がどのリスクに対応するのか、明確に認識する必要がある。特にシーズ型の開発は特にその必要があると思われる。
- ⑥ 従前は建築環境における対策が建築環境工学、構造学として発達してきたが、今後は地域（都市）環境における対策となる技術開発を行い、建築環境における対策と地域（都市）環境における対策の両方をより効率的に行う事が必要であると思われる。

6. まとめ

サステナビリティ及びサステナブル建築の定義を行うと共に、現在当社が取り組んでいる環境評価と負荷低減技術について整理した。サステナビリティを発展させるためには評価指標が必要であることを示し、その例としてFACTOR&CASBEEを紹介した。最後にリスクの概念を取り入れたCASBEEに準じた新たなサステナブル技術マップを作成し紹介した。

謝辞

本論文を作成するにあたり村上周三先生（慶應義塾大学教授）から貴重な意見を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) サステナブル・ビルディングに関する国内外の動向調査と提言、日本建築学会、地球環境委員会、サステナブル・ビルディング小委員会、2001年3月
- 2) リチャード・ドーキンス著：「利己的な遺伝子」1991年、紀伊国屋書店
- 3) 大成建設、環境報告書、2003.
- 4) 藤井俊二、森川泰成 建築をつくる立場から 特集ファクターX 2004.1 RENo.141 建築保全センター
- 5) 村上周三他著 CASBEE入門 日経BP出版センター