

環境問題と建設産業とのかかわり (Ⅱ)

—建設産業にかかわる環境技術の評価手法について—

GLOBAL ENVIRONMENT AND CONSTRUCTION INDUSTRY (Ⅱ)

- Evaluation method of Environmental Technologies Related to Construction Industry -

弘末文紀*

相越 宏**

吉川聡雄***

フレッド・モーベンザーダー****

Fuminori HIROSUE, Hiromu AIKOSHI, Fusao YOSHIKAWA, Fred MOAVENZADEH

ABSTRACT; This report includes evaluation method of technologies in the three major areas of Hazardous waste, Solid waste, and Energy-related airborne waste. The methodology for determining the optimum environmental technology areas that should be investigated by the construction industry ought to be completed in a seven stage process that includes the following steps: 1) Initial Search, 2) Development of Detailed Hierarchy of Objectives, 3) Ranking and Weighting the Objectives, 4) Preliminary Reduction, 5) Final Analysis and Scoring for Candidates, 6) Sensitivity Analysis, 7) Choice and Justification.

KEYWORDS; Global environment, Hazardous waste, Solid waste, Energy-related airborne waste, Technology evaluation method

1. はじめに

第1回地球環境シンポジウムでは、米・欧・日の建設関連企業やそのクライアントを対象に実施したアンケート結果から、建設産業が貢献できる、または取り組むべき環境領域として、有害廃棄物分野、固形廃棄物分野、大気中廃棄物に関連するエネルギー分野がそれぞれ有望であると報告した¹⁾。

今回は、上記3つの領域において、現在開発中または適用中の多くの環境対策技術の中から、建設産業にとって有望な技術は何かを評価・選定するための方法について検討したのでこれを報告する。なお、この技術評価にあたっては、建設産業（特に、民間部門に属する企業）がこれらの環境技術に取り組むことにより、環境問題の改善に健全な企業活動を通して、積極的かつ継続的に貢献できることに重点を置いている²⁾。

2. 技術評価の手順

建設産業が取り組むべき環境対策技術を、以下の手順により評価・選定する。

- 1) 初期選択
- 2) 技術評価の項目と評価基準
- 3) 評価基準の重みづけ
- 4) 候補技術の予備削減
- 5) 候補技術の最終分析とその評価
- 6) 感度分析
- 7) 技術の選択と正当性の評価

2. 1 初期選択

技術評価を適正に行うためには、まず評価の対象となる候補技術をできる限り多くリストアップする必要がある。しかし、いたずらに候補の数を増やすことは、それらを実地・選定する手間を増大させるので望ま

* ハザマ Hazama Corporation. ** 佐藤工業(株) Sato Kogyo Co.,Ltd. *** 西松建設(株) Nishimatsu Construction Co.,Ltd. **** マサチューセッツ工科大学CCRE Center for Construction Research and Education, Massachusetts Institute of Technology

しくない。そこで、以下の初期選択基準を用いて候補技術の数を制限する。

- ①建設産業に関係がある技術を対象とする。
- ②10年以内に実用化される技術を対象とする。

この2つの基準により、多くの環境技術は評価の対象から除外されることとなる。例えば、クリーンな内燃機関そのものの技術は、建設産業が開発に携わることはなく、ただその内燃機関を持つ重機を使用するかどうかを判断するだけであるため、ここでは評価の対象とならない。また、核融合発電は、ここ10年以内に実用化される見込みがないので評価の対象から外される。

2. 2 技術評価の項目と評価基準

技術評価の目的は、初期選択の結果残された候補技術を適用した際に、環境問題が改善されると同時に収益性があるか否かを分析することにより、その技術の建設産業への適合性評価を行うことである。この全体の目的を達成するために、図-1に示す様な5つの評価項目（図-1中の太枠で示したもの）を設定した。さらに詳細な分析のため、これら5つの評価項目は、より定量的・定性的な評価が可能な15の評価基準（図-1中の網かけで示したもの）に分解される。

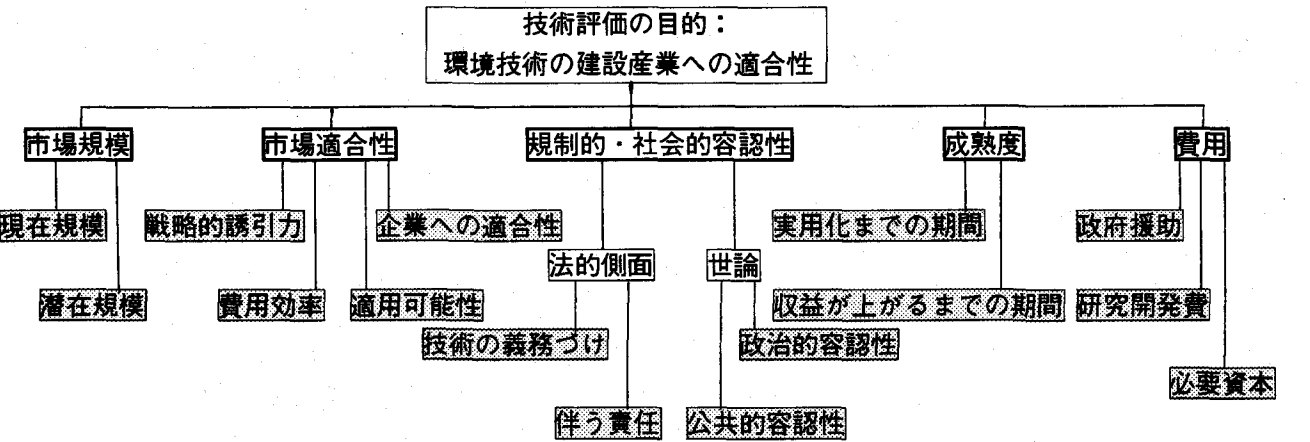


図-1 技術評価の目的と評価項目および評価基準

(A) 候補技術の市場規模

市場規模の評価基準に、候補技術の現在の市場規模だけでなく、将来の潜在的な市場規模を含めることが重要なのは明白である。例えば、米国の総環境市場は1996年以降、2,000～2,500億ドル以上になると予想されている¹⁾。多くの環境関連技術の現在の市場規模は大幅に異なっているが、長期的な戦略および企業の計画立案にとってより重要なのは、種々の技術についての将来の市場規模である。

(B) 候補技術の環境市場への適合性

(1)環境市場内における技術の競争力（戦略的誘引力）

ここでは、各候補技術の戦略的誘引力を測るため、マイケル・ポーターの「5つの競争力」³⁾を用いた単純な産業構造分析を利用する。この分析法は、市場経済で作用している5つの主要な競争力の作用と影響を分析することにより、建設産業がある特定の技術を持って参入しようとする環境市場内での競争力を評価するものである。5つの競争力とは、「新規参入者による脅威」、「技術

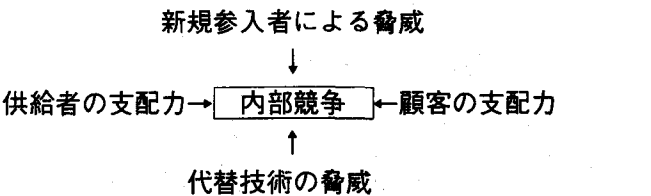


図-2 マイケル・ポーターの5つの競争力

に必要な部品・材料等の供給者が持つ支配力」、「顧客が持つ支配力」、「代替技術の脅威」、および市場内部の競争相手との「競争の激しさ」である。図-2に、これらの関係を示す。

(2)候補技術の費用とその効果（費用効率）

今日の環境関連技術の多くは、その影響の複雑さゆえに費用効率の評価の複雑さも技術毎に異なる。例えば、固形廃棄物管理技術である埋め立てと焼却の費用効率比較はさほど困難ではないが、有害廃棄物による汚染の浄化技術である微生物処理法と焼却浄化技術の費用効率の比較はかなり複雑である。（微生物処理法は、焼却浄化費用の10分の1程度で実施できるが、その技術上の問題が規制の容認性を困難にしているため、費用効率の判定を簡単には下せない。）こうした難しさは存在するものの、技術を適用する際の費用とその効果の比較は、その技術の市場性に顕著な影響を及ぼしており、将来も及ぼすと考えられるので、あえて候補技術の費用効率を市場適合性の評価基準に含める。

(3)候補技術の企業への適合性

候補技術の企業への適合性とは、中および大規模の建設企業または建設関連企業が、ある特定の市場でその技術を活用するために必要な資産をどの程度保有しているかを評価する基準である。この適合性の評価では、その企業が現在保有している資産を考慮するだけでなく、技術の活用に必要な資産が広く一般的に利用可能なものであるか、あるいはある特定の専門分野（こうした資産を提供できる他の企業など）に依存するものかを考慮する必要がある。例えば、大規模運搬設備の使用を必要とする技術と、建設プロセスの基本材料の開発や製造を必要とする技術を比較した場合、前者の方がより建設産業に適合していると言える。

(4)候補技術の適用可能性

候補技術の適用可能性とは、技術革新を行った企業がそれによりもたらされる収益を獲得する可能性を検討する指標であり、その企業が新技術を適用・普及させるために必要ないわば「ノウハウ」を保有するか否かといった基準である。適用可能性を検討するうえで最も重要なポイントは、技術の性格とその技術を保護する法的効力（特許、その他）の有無である⁴⁾。

(C) 候補技術の規制・社会的容認性

候補技術の規制・社会的容認性は、その技術を用いて事業を行うことによって、なんらかの経済的成功を収める可能性を検討する上で極めて重要な因子である。環境市場は、環境の劣化に対する公的および民間の関心によって政府の規制が制定されたために生じ、成長し続けている。環境市場ほど、公共政策および政府の規制と、市場の規模やその成長との間に密接な関係がある市場は他にあまり例がない。よって、規制・社会的容認性という評価項目を評価の枠組みに取り入れている。

(1)規制・社会的容認性の法的側面

規制・社会的容認性の法的側面は、技術の適用の義務づけと技術の適用に伴って発生する責任といった2つのカテゴリーに分類することができる。

1)技術の適用の義務づけ

有害廃棄物、固形廃棄物およびエネルギーの領域における現行の政府規制を満たすには、政府に承認された特定技術の使用を必要とする場合が多い。なぜなら、政府規制は、環境改善活動に伴う影響に対する一般市民の反対を最小限に抑え、その成功を保証し、必要な費用を迅速に回収するなどの政府目標を反映しているので、環境改善活動に指定技術の使用を要求することが多いからである。よって、政府規制の要求を満たす技術と関連知識を有する企業には、特定市場における競争上のメリットが存在することとなるため、技術の義務づけを評価基準に含める。

2)技術の適用に伴う責任

環境市場で仕事を行う際の責任および違法行為に対する損害賠償請求の可能性が極めて大きいので、候

補技術の適用に伴う責任を評価基準に含めている。特に、「最も利潤を生む環境市場は訴訟である」とも言われる米国では、様々な技術に伴う責任は、その技術にかかわる市場への参入可能性に大きな影響を及ぼす。

(2)世論（公共的・政治的容認性）

開発と環境への影響に関する一般市民の意識が高まるにつれて、NIMBY症候群（わが家の近所にはお断りNot-In-My-Back-Yard）は、NOGE症候群（地球にはお断りNot-On-God's-Earth）に急速に取って代われつつある。また、一般市民は、（特に米国では）環境問題を解決すると称するすべての新技術に対しても懐疑的になりつつある。これに伴って、一般市民はこれまで以上に強く発言し、政治家にも環境問題に対する強い代弁を期待するようになってきている。このように、技術の公共的容認性は政治的容認性と密接に関連して世論を形成しており、それらは共に規制的・社会的容認性という評価項目のきわめて重要な評価基準となる。

(D) 候補技術の成熟度

候補技術の成熟度は、本評価にとって非常に重要であり、ここでは5年以内の市場性を基準としている。

(1)実用化までの期間と収益が上がるまでの期間

実用化までの期間と収益が上がるまでの期間は、候補技術の成熟度を計る上で重要な評価基準となる。実用化および収益可能性の明確な考えなしに、新技術により環境領域に参入することは、きわめて高いリスクを伴うので、これら2つの評価基準による検討が必要である。例えば、新型の有害固形廃棄物焼却炉を設計・建造する企業の市場は、その利用に関して一般市民の感情が急激に変化したので、大幅に縮小している。新技術の市場性は、実用化に要する時間の長さに明らかに関連しており、最適な時期にその技術を提供することが収益性の点からは重要である。

(E) 候補技術の取得と利用に必要な費用

新技術の取得と利用に必要な費用は、その開発または購入に関する意思決定を行う際に慎重に検討すべき評価項目である。

(1)政府援助

多くの技術は、その開発と市場への適用を、政府の補助金や他の援助プログラムによって促進されてきた。この政府の援助は、リスクが高く資本集約的な技術の開発において非常に重要である。そのため、候補技術に何らかの政府援助があるか否かは、技術を選定する際の重要な評価基準として考慮すべきである。

(2)研究開発費と必要資本

技術の取得と利用にかかる主な費用は、研究開発費と技術を実際に適用するために必要な資本である。多くの新産業と同様に、特定の革新的技術について広範な研究開発を行う費用はきわめて重くなりつつある。

2. 3 評価基準の重み付け

候補技術の評価基準は、全体目的の達成に対する寄与度による相対的な重み付けを行うために、それぞれを慎重に比較する必要がある。重み付け係数の決定は、評価結果に最も大きな影響を及ぼすので、評価過程の最重要部分である。重み付け係数は、新技術の採用を決定しようとしている各建設企業の立場を考慮し決定される。

それぞれの評価基準に割り当てられる重み付け係数を決定するために、まず評価項目の序列化を行う。この序列化過程においては、どの評価項目が最も重要でどれがその次かを検討し、15の評価基準すべてに順位を付ける。次にこの順位に従って、最も重要な評価基準には任意値100%を与え、その他の各評価基準には100%未満の重み付け係数を与える。

2. 4 候補技術の予備削減

初期選択の結果残された候補技術が多い場合には、技術評価を行いやすい数（10程度）となるよう予備削減を行う。予備削減過程では、各々の候補を評価項目レベルで評価する。この過程は非常に重要でしかも難しい。なぜなら、評価者は評価者自身の先入観によって評価の客観性を低下させ、より詳細に検討すべき候補技術を除外することがないように、極めて慎重でなければならないからである。

評価者は、候補技術をそれぞれの評価項目ごとに5段階評価してその結果を数量化する（評価結果は、1～5の数値で表わされ、1は最も望ましくない成績を、5は最も望ましい成績を意味する）。この評点は、評価者全員が集まって論議する前に、まず各評価者により決定される。次に、評点の平均値を出して、全メンバーにフィードバックし、各評価者はその結果を検討して必要ならば各技術に関する自らの評価を再考する。その後、全ての候補技術にわたり完全な合意に達するまで、各技術について論議を行う。

2. 5 候補技術の最終分析とその評価

予備削減が完了したのち、残った候補技術を各評価基準によって予備削減よりも厳密に採点する。データ作成には、出来るかぎり公表資料を使用するのが望ましい。

米国における「市場規模」は、「現在規模」と「潜在規模」を現行米ドルで見積ることにより分析できる。「市場適合性」の検討は、確認するのが困難な技術関連特性および市場特性の主観的評価を必要とするのでより難しいが、第一の評価基準である「戦略的誘引力」は、マイケル・ポーターの構造分析法を用いて評価できる。この分析では、5つの競争力を1～3の数値（小さな脅威＝3、中程度の脅威＝2、大きな脅威＝1）で採点し、各評点を加算して総合評価を決定する。その他の「費用効率」「企業への適合性」「適用可能性」の各評価基準については、予備削減過程と同様に5段階評価を行う。「規制的・社会的容認性」も、評価の尺度が容易には数量化されないため、技術関連特性および市場特性の主観的評価が必要である。「技術の義務づけ」「伴う責任」「公共的容認性」「政治的容認性」はすべて、5段階評価を行う。「成熟度」は、「収益が上がるまでの期間」と「実用化までの期間」の具体的な年数に基づいて評価する。同様に、「研究開発費」「政府援助」「必要資本」からなる「費用」は、現行米ドルでの見積りに基づいて評価する。

専門家は、代替技術の適合性に関するよりバランスのとれた意見を示すことができるので、先入観の介入を防ぐためにこの評価のいくつかの局面は、評価を行うグループのメンバー以外の専門家によって行われることが望ましい場合もある。

2. 6 感度分析

すべての候補技術は、感度分析を容易に行えるスプレッドシートで評価する。この過程では、どの評価基準の評点が技術の評価結果に最も影響を与えているかを分析する。敏感な評点を慎重に検討し、大きな変化をもたらす評点に関してはより厳密な分析を行う。さらに、曖昧さを小さくするために、仮定変更および再明確化の結果を反映させるようにこの過程を反復する。

2. 7 技術の選択と正当性の評価

最終選択の結果残るのはただ1つの候補技術ではなく、いくつかの候補技術の集合である。これらは、その選択の理由と背景情報に基づいて正当性を評価される。ただし、これらの分析には、常に不確実性が残ることに留意する必要がある。それゆえ、これらの候補技術はさらに徹底的に研究すべきであり、上記の決定過程を再度反復することが必要な場合もあると思われる。

3. 技術評価の実施例

有害廃棄物市場に建設産業が参入するために保有すべき有望な技術について、上記評価手法に基づき分析した結果の一部を表－1に示す。（ただし、この分析は米国の現状に基づいて行ったものであり、その結果を日本へ直接対応させることは出来ない。）

有害廃棄物市場に関する技術評価の各環境基準の重み付け係数は、表－1の3行目に示す値を仮定した。

本問題の場合、最も重要な評価項目を「市場適合性」とし、その評価基準も最も重要なものから順に「戦略的誘引力」、「適用可能性」、「費用効率」とした。なぜなら、本市場は建設産業にとってはこれまでにない新たな領域に属するものであるため、その市場への適合性について十分に検討する必要がある、その重みは当然相対的に大きくなる。また、「市場規模」については、問題の性質上、現在よりも将来さらに拡大することが予想されるため、「現在規模」よりも「潜在規模」の方が重要であるとした。

表－１ 有害廃棄物分野に関する技術評価の例

評価項目		市場規模		市場適合性				規制・社会的容認性				成熟度		費用			総合評価
評価基準		現在規模	潜在規模	戦略的誘引力	費用効率	企業適合性	適用可能性	義務づけ	伴う責任	公共的容認性	政治的容認性	実用化期間	収益化期間	政府援助	研究開発費	必要資本	
重み付け係数 (%)		25	90	100	90	85	95	30	85	50	40	85	25	80	75	85	
候補技術																	
モニタリング技術 浄化技術	モニタリング技術	3	4	1 3 1	11	3	4	4	3	3	4	4	2	3	3	3	41.95
	鋼矢板等による 囲い込み処理法	1	1	1 3 3	11	3	4	1	2	2	3	3	4	4	4	3	36.60
	封じ込め処理法	1	1	1 3 3	11	3	3	1	2	2	3	3	4	4	4	3	35.75
	蒸気注入& 真空抽出法	1	2	1 3 3	11	2	2	2	3	2	3	3	4	4	4	3	36.15
	土壌洗浄法	1	2	1 3 3	11	2	2	2	3	2	3	3	4	4	4	3	36.15
	溶剤抽出法	1	3	1 3 3	13	3	2	2	3	2	3	3	4	4	4	3	39.95
	焼却・熱処理法	4	4	3 3 3	13	1	3	3	5	4	2	4	4	4	3	3	42.15
	微生物処理法	2	5	1 3 3	13	4	4	2	2	3	4	2	2	2	2	3	41.45
	脱塩素処理法	1	2	1 3 3	11	2	2	3	2	2	3	3	4	4	4	3	36.80
	化学的処理法	1	3	1 3 3	9	2	2	3	2	2	3	3	4	4	4	3	35.70
	安定化・固定化 処理法	2	3	1 3 3	9	3	3	1	4	3	3	3	4	4	4	3	37.25
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4. おわりに

以上の手順に基づく技術評価結果は、その評価を行う建設企業の現状や経済全体の動向により当然異なるが、ここで紹介した手法が、各企業の技術選定において何らかの役に立てれば幸いである。

なお、本報は、米国マサチューセッツ工科大学、佐藤工業(株)、西松建設(株)、ハザマが、建設産業による地球環境問題への貢献について研究するために設立した「地球環境問題コンソーシアム」の活動成果の一部をまとめたものである。現在、本コンソーシアムでは、環境事業を実施する場合に発生する人の健康、生態系および企業活動に対するリスクを明確にし、これらのリスクを軽減・回避するための方策について調査研究を行っている。

<参考文献>

1) 弘末文紀・相越 宏・吉川聡雄・フレッド・モベンザーダー：環境問題と建設産業とのかかわり－米・欧・日の建設関連企業へのアンケート結果をもとにして－，第1回地球環境シンポジウム論文集，1993.7.

2) Matthew W. Steele・Henry F. Taylor：Strategy for evaluating environmental technologies related to construction, CCRE, MIT, 1993.2.

3) Michael E. Porter：Competitive Strategy, The Free Press, New York, 1980.

4) Teece, David J.：Profiting From Technical Innovation -Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy-, Readings in the Management of Innovation, 2nd Ed., Ballinger, 1988.