エネルギーの面的利用がもたらす間接的便益（NEB）に関する研究 ステークホルダーの多面的便益の抽出とその配分に関する研究

STUDY ON NON-ENERGY BENEFITS (NEB) BY AREA-WIDE ENERGY UTILIZATION Identification and allocation of stakeholders' benefits

工 月 良 太*, 伊香賀 俊治**, 村 上 周 三***

Ryota KUZUKI, Toshiharu IKAGA and Shuzo MURAKAMI

In the building field, for the purpose of further energy saving and lower carbon intensity, area-wide energy utilization is expected to play an important role in Japan. But such projects require agreement among stakeholders belonging to the area, which is one of the major hurdles of the realization. This paper describes the promotion measures to motivate agreement among stakeholders as below;

1. Indicating the further improvement of the cost-benefit ratio (B/C) to be shared among stakeholders in consideration of a variety of non-energy benefit (NEB)
2. Identifying B/C for each stakeholder in consideration of the revert of each cost and benefit belonging to some specific stakeholders
3. Expression of the risk caused by the uncertainty of cost and benefit estimation in the early planning phases of projects, and seeking proper allocation of cost and benefit, depending on the difference of the risk preference among stakeholders

The effectiveness of the concept above is verified through a case study based on an actual project.

Keywords: Area-wide energy utilization, Non-energy benefit, Cost benefit ratio, Stakeholders, Risk allocation

エネルギーの面的利用, 間接的便益, 費用対便益, ステークホルダー, リスク配分

1. はじめに

2005年4月の京都議定書目標達成計画¹⁾の策定以来、我が国の低炭素化目標は加速化の傾向を強め、特に民生部門におけるCO₂削減対策は喫緊の課題である²⁾。こうした中で建築分野では従来の対策を超えたさらなる省エネルギーが求められており、特に有望な対策として、隣接する建物間のエネルギーの融通を通じ、建物単位ではなし得ない省エネルギー、CO₂削減を図る「エネルギーの面的利用」が期待されている。これは京都議定書目標達成計画において対策の冒頭に位置づけられているのをはじめ、各種の国の報告書や既往の調査研究^{3),4)}でも言及されている。

また、2008年5月の省エネルギー法の改正により、省エネ措置の届出義務の対象が中小規模の建物まで拡大するとともに、事業所単位から事業者単位への規制が導入され、より多くの建物が省エネ法の対象となった。これにより街区内で隣接する建物間でのエネルギーの面的利用はより重要な対策となることが考えられる。

さらに2009年9月には、政府は2020年の中期目標として、1990年比で25%のCO₂削減目標を打ち出すに至った。この鍵となる対策には再生可能エネルギーや未利用エネルギーの大量導入が含まれる

が、その方針に対してもエネルギーの面的利用は、変動の大きい再生可能エネルギーを柔軟に受入れ、導入拡大に貢献することが考えられる。これは既往研究⁴⁾にも示されている。

これまでのところ、我が国ではエネルギーの面的利用が必ずしも期待通りに進展しているとは言い難い。文献^{4),5)}でも述べられている通り、その導入促進には、低炭素化対策を通じ享受される光熱費削減のような直接的便益(EB: Energy Benefit)のみならず、対策によってステークホルダーにもたらされる多様な間接的便益(NEB: Non-Energy Benefit)についての認識を浸透させることが重要と考えられる。

そこで本研究では、エネルギーの面的利用の推進に資する方策を提案するため、以下のような課題に焦点を当てる。

- (1) エネルギーの面的利用がもたらす多様なNEBの明確化と、その貨幣価値換算を通じた費用対便益(B/C)の評価
- (2) ステークホルダー間の費用、EB、NEBの配分方策
- (3) B/Cの不確実性に伴うステークホルダーごとのリスクの定量化と調整

さらに、実際のエネルギーの面的利用のプロジェクトの成立過程

* 東京ガス(株)エネルギー企画部 工修

** 慶応義塾大学理工学部システムデザイン工学科
教授・工博

*** 独立行政法人建築研究所 理事長・工博

Energy Strategy Planning Dept. Tokyo Gas Co., Ltd., M. Eng.
Prof., Dept. of System Design, Faculty of Engineering and Science, Keio University, Dr. Eng.

President, Building Research Institute, Dr. Eng.

を用いたケーススタディを行い、提案する方策の検証を試みる。建築分野における省エネルギー・CO₂削減に伴う便益に関する調査研究は海外でいくつかの事例が存在するものの^{9,10,11}、ステークホルダーごとの NEB の帰属や不確実性を考慮した分析例はない。また本研究では B/C の不確実性を高める要素として、再生可能エネルギーや、民間の所有者の異なる建物間での熱融通を含む面的利用を取り上げる。我が国におけるさらなる低炭素化の要請を背景として、本研究ではこうしたプロジェクトにおけるステークホルダーごとの B/C や合意形成問題を扱い、今後の様々なケースに対し適用範囲の広い知見を得ることを目指す。

2. エネルギーの面的利用がもたらす NEB

2.1 エネルギーの面的利用に関わるステークホルダー

エネルギーの面的利用では、その成立過程で建物単体の場合と比較して多様なステークホルダーが関わる。図 1 に、エネルギーの面的利用に関わるステークホルダー間の関係を整理する。また各ステークホルダーの特徴を以下に示す。

図1 エネルギーの面的利用に関わるステークホルダー

1) 建物所有者・管理者

建物所有者は光熱費をはじめ、維持管理費や建物の資産価値の変化に敏感であり、資産価値を左右する環境規制の強化等に対するリスク回避にも関心が高い。

2) 建物ユーザー

建物ユーザーは主に常駐者を想定するが、テナントとして賃借している場合と、建物所有者である場合とに大別され、省エネへの関心は所有形態により異なる。一方で健康快適性や知的生産性など、居住環境の変化には敏感である。

3) 街区エネルギーサービスプロバイダー（街区 ESP）

エネルギーの面的利用システムを建設・運用し、建物間の熱融通の精算や CO₂削減効果、グリーンエネルギー創出効果等を計量し契約者に還元する。エネルギー供給事業者がその役割を担うケースもある。

4) 自治体

自治体は低炭素化対策の推進や地元経済の活性化の機会を求めており、民間の自主的な取組みや啓発に繋がる対策に関心が高い。

5) 国

民生部門のさらなる低炭素化対策を必要としており、建物単体を越えた対策としてエネルギーの面的利用や再生可能エネルギー・未利用エネルギーの利用拡大等の啓発・推進に関心が高い。

エネルギーの面的利用が成立するためには、こうしたステークホルダー間で価値観の異なる状況の調整が重要となる。

2.2 NEB の分類と貨幣価値換算要領の提案

文献⁹等によれば、省エネルギーに伴う光熱費削減等の直接的便益（Energy Benefit: EB）とは別に、対策によって触発される間接的な経済効果や環境保全上の便益等、対策を評価する際に見落されがちな様々な便益があり、これらは間接的便益（Non-Energy Benefit: NEB）と総称される。

以下では、エネルギーの面的利用に関わるステークホルダーのおかれた立場、価値観を踏まえ、各ステークホルダーが認識すべき NEB と、その貨幣価値換算について述べる。

本研究では、環境省の環境会計ガイドラインの参考資料集⁸や、自治体の経済対策と波及効果に関する分析事例^{9,10}、環境配慮型建築と不動産価値との関係に関する調査事例¹¹等を参考として、NEB の貨幣価値換算要領の観点から以下の a～e の 5 つの分類を設けた。

a. 環境価値創出に対する NEB

低炭素化対策により実現する省エネルギーの量や再生可能・未利用エネルギーの利用量に応じて創出される、市場等で取引可能な価値を便益と考える。それぞれの市場価格を想定して試算する。

b. 地域経済への波及に伴う NEB

対策の実施に要するインフラ建設投資や、事業運営のための費用支出に応じた地域経済への波及効果を便益と考える。既往の経済波及効果の計算事例等を参考に、波及倍率を想定して試算する。

c. リスク回避による NEB

対策を実施しなかった場合に、偶発的事故、環境規制強化等が生じた時に被る損失相当額で、それが回避されることを便益と考える。リスク回避に対する支払意思額等から推定する。

d. 普及・啓発効果としての NEB

対策の実施による啓発・教育効果、広告宣伝効果など、本来、別途コストを負担して実施した時と同等の効果があるとみなせるコストを便益と考える。特に先導性のある技術への投資額と影響範囲（期間、人数等）を想定して試算する。

e. 執務・居住環境の向上による NEB

対策の実施により、知的生産性の向上や健康増進など、執務者や居住者にとっての住環境の向上を便益と考える。アンケート等に基づく支払意思額等から推定する。

以上の a～e の分類に沿って、EB, NEB の評価項目と貨幣価値の試算要領を表 1 に示す。

2.3 不確実性を考慮した費用、便益の評価と配分方策

2.3.1 費用対便益（B/C）の評価

本研究では、低炭素化対策のプロジェクトに係るイニシャルコスト、ランニングコストの合計を C とし、既に述べた EB と NEB を用い、次式によりプロジェクト全体ならびにステークホルダー別の費用対便益の評価を行う。ここでは C, EB, NEB のいずれも一年あたりの数値とする。

表1 直接的便益（EB）、間接的便益（NEB）の貨幣価値換算要領

便益	貨幣価値換算要領	文献等に基づき設定する数値
<直接的便益(EB)>		
光熱費削減	光熱費削減(円/年) ＝[エネルギー削減量(MJ/年)]×[エネルギー単価(円/MJ)]	【エネルギー単価】都市ガス事業者、電力事業者の供給約款、選択約款に基づき設定
<間接的便益(NEB)>		
a. 環境価値創出に対する便益		
a1. CO ₂ 削減価値	CO ₂ 削減価値(円/年) ＝[CO ₂ 削減量(t-CO ₂ /年)]×[CO ₂ 設定価格(円/t-CO ₂)]	【CO ₂ 設定価格】Point Carbon「Carbon 2009(2009.3)」 ¹²⁾ の将来予測値(45%の回答者が2020年の価格を35ユーロ(約4,700円)以上と予測)を参考に設定(例:4,000円/t-CO ₂)
a2. グリーンエネルギー創出価値	グリーンエネルギー創出価値(円/年) ＝[グリーンエネルギー利用量(MJ/年)] ×[グリーンエネルギー単価(円/MJ)]	【グリーンエネルギー単価】「カーボン・オフセットに用いられるVERの認証基準に関する検討会」関係資料 ¹³⁾ 等のグリーン電力証書価格(最大約15円/kWh(太陽光発電))を参考に設定(例:15円/kWh)
b. 地域経済波及に伴う便益		
b1. 事業設備投資の波及効果	事業設備投資の波及効果(円/年) ＝[建設初期投資額(円)]×[経付加価値率] ÷[波及効果の期間(年)]	【経付加価値率】自治体の各種の産業連関分析 ^{9), 10)} による公共投資の経付加価値の試算例等を参考に設定(例:0.5) 【波及効果の期間】事業設備の耐用年数の7割として設定(例:10.5年～31.5年)
b2. 街区ESP事業の波及効果	街区ESP事業の波及効果(円/年) ＝[事業支出額(円/年)]×[波及倍率]-1	【波及倍率】自治体レベル各種の産業連関分析 ^{9), 10)} による公共事業の波及倍率の試算例等を参考に設定(例:1.3)
b3. 不動産価値上昇効果	不動産価値上昇効果(円/年) ＝[標準地価(円/m ²)]×[対象土地面積(m ²)] ×[不動産価値上昇率(%)]/100 ÷ [上昇効果の期間(年)]	【標準地価】総務省統計局「統計でみる市区町村のすがた2009」 ¹⁴⁾ の数値を利用 【不動産価値上昇率】「CASBEE不動産活用マニュアル(暫定版)(09.7)」 ¹¹⁾ の賃料上昇率を参考に設定(例:0.5%) 【上昇効果の期間】事業設備の耐用年数の7割として設定(例:10.5年～31.5年)
c. リスク回避による便益		
c1. BLCP(業務・生活継続計画)への貢献ーエネルギー供給停止時の損失回避効果	BLCPへの貢献ーエネルギー供給停止時の損失回避効果(円/年) ＝[供給停止被害額(円/kW・時間)]×[分散型電源容量(kW)] ×[供給停止時間(時間/回)]×[被害発生確率(回/年)]	【供給停止被害額(円/kW・時)】電力中央研究所「需要家から見た供給信頼度の重要性和停電影響(07.3)」 ¹⁵⁾ を参考として設定(例:2,800円/kW・時) 【被害発生確率(回/年)】BLCPに関する既往研究 ⁹⁾ を参考として設定
c2. 法規制強化に伴うリスクの回避効果	法規制強化に伴うリスクの回避効果(円/年) ＝[光熱費(円/年)]×[リスク回避費用率(%)]/100	【リスク回避費用率】住友信託銀行「環境配慮型ビルに関する企業の意識調査結果概要について(09.7)」 ¹⁶⁾ を参考に設定(例:環境に対する法制度の厳格化を考慮し光熱費の1～3%相当の対策コストを許容する企業の荷重平均)
d. 普及・啓発効果としての便益		
d1. 先導的・モデル的事業による啓発・教育効果	先導的・モデル的事業による啓発・教育効果(円/年) ＝[対象人口(人/年)]×[啓発・教育に要するコスト(円/人)] ×[影響係数(年/年)]	【対象人口】対象街区に居住する人口 【啓発・教育に要するコスト】非営利団体が実施するセミナーを参考に設定(例:3,000円/人) 【影響係数】ESCO事業事例等における国の補助事業等の報告義務期間を参考に先導性・モデル性がある期間の、街区ESP事業期間に対する割合とする(例:3年/10年)
d2. 先導的・モデル的事業による広告宣伝効果	先導的・モデル的事業による広告宣伝効果(円/年) ＝[対策費用(円/年)]×[広告宣伝効果係数] ×[影響係数(年/年)]	【対策費用】街区ESPに支払うサービス費用とする 【広告宣伝効果係数】環境省環境会計ガイドライン2005年版参考資料集 ⁹⁾ 掲載企業の実例を参考に設定(例:環境関連総コストに対し2%相当の効果) 【影響係数】ESCO事業事例等を参考に、街区ESP事業期間に対し、先導性・モデル性があると考えられる期間の割合とする(例:3年/10年)
e. 執務・居住環境の向上による便益		
e1. 執務者の知的生産性向上効果	執務者の知的生産性向上効果(円/年) ＝[人件費(円/人・年)]×[影響人数(人)]×[生産性向上係数]	【影響人数】当該街区における執務者数 【生産性向上係数】執務者を対象とするアンケート調査等に基づき設定する
e2. 居住者の健康増進効果	居住者の健康増進効果(円/年) ＝[対象人数(人)]×[支払意思額(円/人・年)]	【対象人数】当該街区における居住者数 【支払意思額】居住者を対象とするアンケート調査等に基づき設定する

$$\text{費用対便益 (B/C)} = (\text{EB} + \text{NEB}) / \text{C}$$

B/C は公共事業等の中・長期的な投資案件でしばしば用いられ、1 を超えることが求められる他、B/C の大小が案件の採択優先度を左右する。

2.3.2 NEBの帰属先の違い

表1 にあげた各種の NEB は、全てのステークホルダーが均等に得られるわけではなく、それぞれ個々に帰属先が異なる点も考慮する必要がある。例示として図1 に示した各ステークホルダーに対する主な EB, NEB の帰属先を表2 に示す。

2.3.3 ステークホルダーへのNEBの配分

エネルギーの面的利用には多様な便益が存在するが、表2 に示したとおりステークホルダーごとに便益の帰属先が異なるため、プロジェクト全体として B/C が良好なことをもって直ちに合意が成立するとは限らず、コストや便益の適切な配分が必要と考えられる。特にプロジェクトの計画段階では、コストや便益の想定額には不確実性が含まれ、これがリスクとなること、ならびにステークホルダーごとに B/C の許容範囲が異なることに配慮する必要がある。

このような不確実性を含む要素と、意思決定事項、目的関数との関係を図2 に示す。

表2 EB、NEBの主な帰属先の違い（例）

便益	主な便益の受け手				
	建物 ユーザー	建物 所有者	街区 ESP	自治体	国
<直接的便益(EB)>					
光熱費削減	○	○	○		
<間接的便益(NEB)>					
a. 環境価値創出に対する便益					
a1. CO ₂ 削減効果	○	○	○		
a2. グリーンエネルギー創出価値	○	○	○		
b. 地域経済波及に伴う便益					
b1. 事業設備投資の波及効果				○	○
b2. 街区ESP事業の波及効果				○	
b3. 街区価値上昇効果		○			
c. リスク回避による便益					
c1. 地域のBLCP※)への貢献	○	○	○	○	
c2. 法規制強化リスク回避	○	○			
d. 普及・啓発効果としての便益					
d1. 啓発・教育効果				○	○
d2. 広告宣伝効果	○	○	○		
e. 執務・居住環境の向上による便益					
e1. 執務者の知的生産性向上効果	○				
e2. 居住者の健康増進効果	○				

※)BLCP: Business and Living Continuity Plan

図2 エネルギーの面的利用に関わる要素間の影響関係

3. ステークホルダーの多面的便益に関するケーススタディの設定

以上に述べた評価方法を、具体的事例に適用する。以下に、所有者の異なる2つの建物間の熱融通が実現したプロジェクトを参考として行った、ケーススタディについて述べる。

3.1 ケーススタディの概要

ケーススタディの対象とするプロジェクトの概要を図3に示す。

図3 ケーススタディの概要

モデルビルは竣工後25年を経過した事務所ビル（地上3階建、延床面積1,400m²）で、熱源システムの大規模改修が計画されたビルである。モデルビルの所有者は2008年5月の省エネ法改正により、2000m²未満の建築物として本モデルビル自体が新たに規制対象となったことに加え、事業者単位の省エネ目標達成のため、熱源改修を機に大幅な省エネ、CO₂削減が求められている。

本モデルビルはセントラル空調システムを採用していること、また南面が国道に面し、終日良好な日射が得られる立地特性を活かし、熱源改修のタイミングに合わせて、太陽熱利用による冷暖房システムを導入することとし、街区ESP事業者がこれを設計した。

太陽熱利用は、オンサイトで冷熱・温熱需要が多ければ、太陽光発電に比べて単位面積あたりのエネルギー利用効率が高く有利である。しかし需要のピークに合わせて太陽熱集熱パネルの設置面積を増やすと、同ビルは典型的な事務所ビルであることから、土・日・祝日ならびに春・秋の中間期では、集熱しても使いきれず余剰となる量も増えることが予想された。太陽熱利用

量と余剰量の予測結果を図4に示す。

図4 モデルビルにおける太陽熱利用量と余剰量（集熱面積：150m²）

そこで、モデルビルに隣接して給湯需要が大きいホテル（以下「隣接ビル」と記す）が立地している街区の特性を活かし、以下の方針で建物間熱融通が計画された。

- 1) モデルビルで集熱した太陽熱の余剰分を隣接ビルに融通する（熱媒温水を循環させ、隣接ビル側に設けた熱交換器を介し温熱を融通する）
- 2) 隣接ビルでは、この熱を給湯に利用する
- 3) 熱融通導管が公道を横断する箇所については、公道を管理する自治体に対し敷設許可を得る

提案されたシステムの概要を図5に示す。

図5 太陽熱利用冷暖房ならびに熱融通システムのフロー

用途の異なるビルが隣接する場合、負荷変動とは無関係に供給量が変動する太陽熱のような再生可能エネルギーの利用拡大を図るうえでは、年間を通じて熱需要の大きい隣接ビルとの協働によるエネルギーの面的利用は有効な対策である。年間の省エネルギー効果およびCO₂削減効果を図6に示す。

モデルビル単体で面的利用を行わない場合は、図4で示された太陽熱の余剰分は省エネ、CO₂削減に貢献しないが、隣接ビルとの連携によってこれを有効利用でき、本ケースの場合は約3倍の省エネ、CO₂削減が図れると予想された。

<省エネルギー量、CO₂削減効果の試算条件>

- ・太陽熱集熱効率:50% 集熱ポンプ運転時間(月平均)1日平均4h
- ・中間期の平日および年間の土・日・祝日にモデルビル側で余剰熱が発生
- ・代替ボイラの効率:80%、放熱ロス:10%
- ・CO₂排出係数—温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル¹⁷⁾に基づき設定

図6 面的利用の有無による省エネ、CO₂削減効果の比較

3.2 プロジェクト全体のB/C

本ケースにおけるプロジェクト全体のB/Cの試算結果を図7に示す。図7には比較のため太陽熱集熱パネル面積の違い、およびエネルギーの面的利用の有無による違いも示している。

コスト計算に必要な各種の建設費は、実際のプロジェクトを通じて把握した値や既往文献をもとに標準的な単価を設定している。また便益(EB,NEB)については表1の貨幣価値換算要領に基づくが、e.執務・居住環境の向上によるNEBについては、熱源改修主体のプロジェクトでは影響がないと考え、本ケースでは対象外とした。

図7 エネルギーの面的利用の有無および太陽熱集熱面積とプロジェクト全体のB/Cとの関係

モデルビル単体で面的利用を行わない場合は、得られるEB, NEBがともに小さく、この傾向は集熱パネル面積を増やしても同様である。一方、隣接ビルへの熱融通を行う場合は、特に環境価値創出によるNEBとリスク回避によるNEBが増加し、それに伴いEB, NEBともに一貫して増加

するが、集熱パネル面積が150m²のときにB/Cが1.22で極大となった。これは、本モデルビルの場合、150m²以上を設置しようとすると架台工事が躯体にも及ぶ分だけ、施工費が不連続的に増加し、B/Cが減少に転ずるためである。

3.3 ステークホルダーごとのコスト・便益の配分とB/C

以上の分析から本ケースではエネルギーの面的利用によりB/Cが1を超えることが確認されたが、ステークホルダーの合意形成にあたっては、コストと便益の配分方針が了解される必要がある。

そこで、2.3で述べた各種便益の帰属先に配慮し、ESCO事業の実態をふまえつつ、CおよびEB, NEBの配分における考え方を以下に示す。

- 1) 各ステークホルダーのB/Cがプロジェクト全体の期待値(1.22)に概ね一致するようにCおよびEB, NEBを配分する
 - 2) イニシャルコスト関係
 - ・自治体と国は、経済波及効果のNEBが得られることの見返りとして、初期投資の一部を助成金として負担する。
 - ・モデルビルと街区ESPがイニシャルコストを負担し、事業契約期間中に投資回収する。
 - 3) ランニングコスト関係
 - ・モデルビルと隣接ビルが街区ESP料金としてランニングコストを負担するが、その負担割合に応じてEBおよび環境価値創出に対するNEB、リスク回避によるNEBを配分する。
 - ・国と自治体は、ランニングコストは負担しない。
- 以上の方針に基づくコスト、便益の配分例と各ステークホルダーのB/Cの試算結果を表3に示す。

表3 ステークホルダー間のコスト・便益の配分例とB/Cの計算結果

	全体	ステークホルダー				
		モデルビル	隣接ビル	街区ESP	自治体	国
コスト(C)の配分割合						
<イニシャルコスト>						
太陽熱利用システム、熱源改修※1)	1	1/4		1/4		1/2
熱融通導管※1)	1			1/3	1/3	1/3
<ランニングコスト>						
街区ESP支払額※2)	1	2/3	1/3			
便益(B)の配分割合						
<直接的便益(EB)>						
光熱費削減※3)	1	2/3	1/3			
<間接的便益(NEB)>						
a. 環境価値創出に対する便益※4)	1	7/8	1/8			
b. 地域経済波及に伴う便益※5)	1				1/5	4/5
c. リスク回避による便益※4)	1	2/3	1/3			
d. 普及・啓発効果としての便益※6)	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5
B/C試算結果	1.2	1.0	1.6	1.4	1.4	1.0

※1) 補助金事業^{18), 19)}を参考として、国は初期投資総額に対し1/3~1/2を負担、自治体は熱融通導管のみに1/3負担とした

※2) 街区ESPの事業期間はエネルギーの面的利用の実施例²⁰⁾等を参考として10年間とした

※3) ランニングコストの負担割合に応じて配分

※4) 総コストの負担割合に応じて配分

※5) 自治体の自給率に応じ国と配分

※6) 各ステークホルダーが相当額を享受

表3から、イニシャル、ランニングコストの負担者の制約やNEBの帰属に違いがある現実のケースでも、各ステークホルダーにとりB/Cが概ね均等となるような配分が可能であることが示された。

4. ステークホルダーごとのリスク許容度の違いを考慮したEB, NEBの配分の検討

以上のケーススタディで用いた各種の想定値はある幅をもった不確実性を含み、リスクとなる。通常、ステークホルダーごとに許容するリスクの範囲は異なることから、これを可視化することが、合意形成上重要と考えられる。この考えをケーススタディで検証する。

4.1 本ケースにおける不確実性をもつ要素間の関係

まず図2で示した不確実性を持つ要素の影響関係の考え方を本ケースに適用し、B/C への影響関係を整理した。結果を図8に示す。

図8の中で、矢線はそれぞれ始点の数値に対し何らかの演算を行うことを意味している。始点となっている各種の想定値(太陽熱集熱パネル収率、グリーン熱単価、等)の不確実性については、文献や専門家へのヒアリングを通じて変動幅を想定し、それぞれの値の変動に対する B/C の振れ幅を計算することにより感度分析を行った。

図8 プロジェクト全体の B/C に対する各種要素の影響関係

次に各変数が推定される範囲で単独で変動した場合に、プロジェクト全体の B/C の振れ幅が大きい順に並べた結果を図9に示す。

図9 プロジェクトの B/C に対する、不確実性を持つ各要素の感度

図9から、本ケースでは、地域経済波及倍率、太陽熱パネル収率、グリーン熱単価、工事費用が、B/C に対し特に大きな感度を有することが分かった。その一方で、CO₂削減の市場価格、地価上昇率等は、推定される範囲内での変動による B/C に対する感度は小さいことが分かった。

4.2 ステークホルダー別のリスクの可視化

以上の結果をふまえ、特に影響の大きい要素(地域経済波及倍率、太陽熱パネル収率、グリーン熱単価、工事費用)について、その確率分布を設定した。表4と図10に、設定した確率分布を示す。

これらの確率分布をもとに、モンテカルロシミュレーションを行い、ステークホルダーごとの B/C の振れ幅をリスクとして求めた。モンテカルロシミュレーションは、Crystal Ball™を用い、最大試行回数は10,000回とした。結果を図11に示す。

表4 不確実性を持つ要素の確率分布の設定

不確実性要素	確率分布	変動幅の想定
太陽熱パネル収率	正規分布	平均値 μ = 50%, 標準偏差 σ = 10%
地域経済波及倍率	正規分布	平均値 μ = 150%, 標準偏差 σ = 20%
グリーン熱単価	三角分布	4円/MJを最尤値として2~8円/MJ
工事費用	三角分布	当初想定値を1として90%~120%

正規分布による想定(イメージ)

三角分布による想定(イメージ)

図10 確率分布の定義

図11 各ステークホルダーのリスク

図11はステークホルダーごとの B/C の累積確率分布で10~90%にあたる変動域をリスクとして図示したものである。表3でみたようにステークホルダーごとの B/C の期待値は全体の B/C (1.22) に近いが、リスクについてはステークホルダーごとに異なり、これは振れ幅の違いとして図11のように現れている。

4.3 ステークホルダー別のリスクの許容範囲を考慮したコスト、便益の配分

表3に示した配分は B/C の期待値の観点からは公平なように見えるが、それぞれのステークホルダーは様々な投資案件を持ち、投資総額や財政上の制約から、期待する B/C やリスクの許容範囲に違いがあるため、必ずしも合意に至るとは限らない。

そこで、次に C および EB, NEB の配分を見直すことにより調整が可能かどうかについて検討する。

実際のプロジェクトの成立過程を参考として、本ケースではステークホルダー間で以下のような条件を満たすことを想定した。

- (1) 隣接ビルは、自身の B/C が 90% の確率で 2.0 を超えることを希望
そのため、他のステークホルダーがランニングコストの一部を負担し、その見返りとして、ある割合で環境価値創出の NEB を得る。ここでは国と自治体がランニングコストを一部を負担することとした。
- (2) 自治体は、自身の B/C が 90% の確率で 1.2 を超えることを希望
そのため、熱融通導管のイニシャルコストへの助成の見返りとして、ある割合で環境価値創出の NEB を得る。

以上の方針に沿って、C および EB, NEB の配分の見直し案ならびに B/C の試算結果を表5に示す。

なお、この見直しに伴い街区 ESP のイニシャルコスト負担が軽減された分、資金調達コストが軽減したため、全体の B/C が 1.22 から 1.24 に若干向上し、各ステークホルダーの B/C も現状維持ないし若干向上している。

表5 C および EB, NEB の配分の見直し案と B/C の試算結果

	全体	ステークホルダー				
		モデルビル	隣接ビル	街区ESP	自治体	国
コスト(C)の配分割合						
<イニシャルコスト>						
太陽熱利用システム、熱源改修	1	1/2				1/2
熱融通導管	1			1/3	1/3	1/3
<ランニングコスト>						
街区ESP支払額	1	2/5	1/10			1/2
便益(B)の配分割合						
<直接的便益(EB)>						
光熱費削減	1	2/3	1/3			
<間接的便益(NEB)>						
a. 環境価値創出に対する便益	1	3/5			1/10	3/10
b. 地域経済波及に伴う便益	1				1/5	4/5
c. リスク回避による便益	1	2/3	1/3			
d. 普及・啓発効果としての便益	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5
B/C試算結果	1.2	1.0	2.8	2.1	2.0	1.1

※)表3で示した配分例と異なる箇所を破線の枠で示した。

リスクの試算結果を図12に示す。隣接ビルと自治体については、リスクの許容範囲（下限値でそれぞれ 2.0、1.2）を満足する一方、B/C の振れ幅は拡大した。他のステークホルダーの B/C の振れ幅についてはあまり変わらなかった。

以上の結果から、ステークホルダーごとの C および EB, NEB の配分割合を工夫することにより、リスクの調整が可能であることが示された。

図12 配分見直し前後の各ステークホルダーのリスク

4.4 ケーススタディから導かれる考察

本ケーススタディを通じての考察として、より多様なケースでエネルギーの面的利用の合意形成を促進する観点から、ステークホルダーごとに帰属が異なる NEB や、リスクの許容範囲の違い等に配慮した以下のような方策が有効と考えられる。

- (1) ランニングコストに対する助成策—国や自治体が街区 ESP 事業主体のランニングコストの一部を負担し、その見返りとしてグリーン熱証書や CO₂削減クレジットの一部を得ることで、事業主体のリスクの調整を図ることが有効と考えられる。諸外国の例から国に代わり NPO がこうした役割を担うことも考えられる。
- (2) 再生可能エネルギーの不安定さに起因するリスクの軽減—集熱効率を高める技術開発の推進、十分長い期間の集熱性能の保証や、不安定さを補完するシステムが有効と考えられる。
- (3) グリーン熱単価の固定化—グリーン熱単価を市場メカニズムに委ねるのではなく、一定期間の固定化もしくはエネルギー価格連動とし、事業主体のリスクを軽減することが有効と考えられる。

5. まとめ

本研究では民生部門におけるさらなる低炭素化対策として期待の大きいエネルギーの面的利用の推進のため、対策がもたらす間接的便益 (NEB: Non-Energy Benefit) に着目し、以下の研究を行った。

- (1) エネルギーの面的利用に係る NEB の貨幣価値換算の考え方を提案し、NEB を考慮した費用対便益 (B/C) がエネルギーの面的利用の有効性を評価可能なことを示した。
- (2) ステークホルダーの合意形成上重要な、コスト (C) および EB, NEB の配分に関し、ステークホルダーごとの NEB の帰属の違いに配慮しつつ、B/C が概ね均等となる配分の考え方を示した。
- (3) C および EB, NEB の試算における各種の想定値の不確実性に伴う B/C の変動リスクと、ステークホルダーごとにリスクの許容範囲が異なることに配慮した配分案を示し、ステークホルダー間のリスクの調整が可能であることを示した。

また、ケーススタディでは、低炭素化政策として再生可能エネルギー

の導入拡大が目指されていることを踏まえ、太陽熱の熱融通のケースを扱った。こうしたケースは NEB の不確実性が特に大きく、リスクの高いプロジェクトである。ケーススタディを通じ、ランニングコストに対する助成策、再生可能エネルギーの不安定性を補完する手段、グリーン熱単価の固定化等が、プロジェクトのリスク軽減に特に有効であるとの示唆を得た。

本研究の今後の方向として、以下のような課題に対し有効な考え方や方策の提案を目指していく。

- 1) より多様なステークホルダーが関わるケースを対象とした NEB の抽出
- 2) さらなる事例分析を通じた NEB やリスクの推定精度の向上
- 3) 各ステークホルダーのリスクの許容範囲内での費用、便益、の配分の最適化手法の検討

謝辞

本研究は一般社団法人日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアムを事務局として設置された「カーボンマイナス・ハイクオリティタウン調査委員会」^{注1)}の活動の成果の一部であり、関係各位のご協力に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 内閣官房地球温暖化対策推進本部：京都議定書目標達成計画，2005.4
- 2) 内閣官房地球温暖化対策推進本部：低炭素社会づくり行動計画，2008.7
- 3) 内閣官房都市再生本部事務局、国土交通省、資源エネルギー庁：エネルギーの面的利用の促進について，2005.6
- 4) 工月、村上、佐土原他：分散型エネルギーシステムの面的利用による街区のサステナビリティ向上に関する研究，日本建築学会技術報告集，第28号，pp.497～502，2008.10
- 5) Bement Dawn, A. Skumatz Lisa : New Non-Energy Benefits (NEBs) results in the commercial/ industrial sectors , ECEEE 2007 Summer Study proceedings, pp.1551～1559, 2007.6
- 6) Diana Urge-Vorsatz1, Mark D. Levine, et. Al : Mitigating CO₂ emissions from energy use in the world's buildings, Building Research & Information, Vol.35,, Issue 4, pp. 379～398, 2007
- 7) Bruce Tonn, Jean H. Peretz : State-level benefits of energy efficiency, Energy Policy, Vol.35, Issue 7, pp.3665～3674, 2007
- 8) 環境省総合環境政策局環境経済課：環境会計ガイドライン 2005 年版参考資料集, 2005.2
- 9) 安田秀穂：自治体の経済波及効果の算出，学陽書房刊，2008.2
- 10) 川崎市産業連関表と経済波及効果の測定方法
<http://www.city.kawasaki.jp/20/20tokei/home/io/honbun/6.html>
(アクセス日 2009.11.10)
- 11) 日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム，CASBEE 不動産活用マニュアル（暫定版），2009.7
- 12) Point Carbon : Carbon 2009 (fourth annual carbon market survey), 2009.3
- 13) 環境省「カーボン・オフセットに用いられる VER の認証基準に関する検討会」参考資料：グリーン電力の発電・証書販売の現状と課題，2008.6
- 14) 総務省統計局：統計でみる市区町村のすがた 2009，2009.6
- 15) 蟻生俊夫、後藤久典：需要家から見た供給信頼度の重要性和停電影響一国内需要家調査および首都圏停電調査にもとづく分析一，(財)電力中央研究所報告書，No.Y06005，2007.3
- 16) 住友信託銀行：「環境配慮型ビルに関する企業の意識調査結果」概要について，2009.7
- 17) 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル 第三編，
<http://www.env.go.jp/earth/ghg/santeikohyo/manual/chpt3.pdf> (アクセス日

2009.11.10)

18) 国土交通省：住宅・建築物省 CO₂ 推進モデル事業募集要領(平成 21 年度第 2 回)，2009.7

19) 国土交通省：先導的都市環境形成総合支援事業
<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sigaiti/shuhou/ecomachi/ecomachi.htm>
(アクセス日 2009.11.10)

20) (財)省エネルギーセンター，ESCO 事業普及のための資金調達手法拡大に関する調査事業報告書，2003.1

注

注 1) カーボンマイナス・ハイクオリティタウン調査委員会：
委員長 村上周三（慶應義塾大学）、委員（順不同）：秋澤淳（東京農工大学）、足永靖信（国土技術政策総合研究所）、伊香賀俊治（慶應義塾大学）、坂本敏幸（経済産業省）、佐藤信孝（日本設計）、佐土原聡（横浜国立大学）、高原光吉（都市再生機構）、徳田博保（環境省）、橋本公博（国土交通省）、福島朝彦（日本環境技研）、藤野純一（国立環境研究所）、松縄堅（日建設計）、水石仁（野村総合研究所）、村木茂（東京ガス）、山本健司（東京ガス）

（2009年12月6日原稿受理，2010年4月12日採用決定）