

研究論文

民生用熱源システムの環境影響総合評価手法に関する研究

Life-Cycle Impact Assessment of Heat Source Equipment in Building

下田吉之*・中津浩平**・水野稔***・田中敏英****
Yoshiyuki Shimoda Kouhei Nakatsu Minoru Mizuno Toshihide Tanaka

(原稿受付日2002年12月10日, 受理日2003年4月22日)

Abstract

A method of life cycle impact assessment of heat source equipment for heating and cooling in buildings is proposed. Firstly in this paper, the set of impact categories that describe the total environmental performance of heat source equipment are proposed. In the inventory phase, we use the two different environmental load units for electric power consumption and these results are compared. In the impact assessment phase, the distance-to-target method is adapted. From the result of case study for four kinds of typical heat source system, it is concluded that the selection of environmental load unit for electric power consumption and evaluation method of waste heat greatly affects the result of valuation.

1. はじめに

建物の冷暖房用熱源システムには、主として建物の遠方で発電した電力を消費するシステム、建物内で燃料を消費するシステム、燃料を消費し熱とともに電力を製造するシステム等エネルギーソースが全く異なる代替案が存在し、発生する環境インパクトの種類と量が大きく異なる。従って、それらの環境影響を評価する際には一次エネルギー消費量やLCCO₂といった単一の指標で比較することができず、各熱源システムが発生する各種環境インパクトを個々に定量化したうえで総合的に評価することが必要となる。

また一方、熱源システムはそのライフサイクル中大半の負荷が発生する運用のフェーズにおいてその使用場所が固定されるので、電力などエネルギーソースの環境負荷特性及び環境負荷発生状況や削減目標などその地域固有の特性を考慮した評価を行なう必要があると考えられる。

そこで本報では、熱源システムの環境インパクトを総合的に評価するために必要と考えられる指標群を示し、その定量化手法を整理・提案したのち、総合評価手法の中で客観性に優れる基準値比較法の一つであるEDIP(Environmental Design of Industrial Products)法¹⁾を基に、熱源シス

テムに対する総合評価手法を示す。

民生用熱源システムを対象とした多目的評価の実例としては統合化係数を評価者の主観から求めた辻ら²⁾や著者ら³⁾によるものがある。一方、基準値比較法については松野ら⁴⁾が一般的な局地的インパクト評価の手法を提案しているが、熱源システムに対する適用においては上述のような特性を考慮した手法の検討が必要である。本研究では大阪府内に位置する建物熱源システムを対象に、その地域特性を考慮した重みを用いて、地球環境指標と地域環境指標の統合を試みる。

2. 評価指標の選定とその定量化

2.1 評価指標

民生用熱源システムの環境インパクト評価に必要な指標群として、本研究では「地球環境」と「地域環境」の2つのスケール毎に表1に示すような計6種の指標を選定した。表1にはそれぞれの指標値の計算に必要なインベントリー項目を併せて示した。一般のLCAの評価指標と比較した特徴は、民生用熱源システムの廃熱が都市ヒートアイ

表1 民生用熱源システムの評価指標体系

評価指標		インベントリー項目
評価スケール	評価カテゴリー	
地球環境	地球温暖化	CO ₂ , CFCs, CH ₄
	オゾン層破壊	CFCs
	酸性化	NO _x , SO _x
地域環境	大気汚染	NO _x , SO _x
	光化学オキシダント	(NO _x), HC
	廃熱影響	8月の顕熱・潜熱

*大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻助教

E-mail: shimoda@env.eng.osaka-u.ac.jp

** 〃 〃 〃 大学院生

(現在富士通株)

*** 〃 〃 〃 教授

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

**** 大阪ガス(株)エネルギー技術研究所企画管理チーム副課長

〒554-0051 大阪市此花区西島6-19-9

ランド現象に影響を与えていることから「廃熱影響」を含めた点にある。なお、エネルギー資源や金属資源など非再生資源の枯渇に与えるインパクトはEDIP法では環境インパクトとは別に評価することになっている。著者の一部はこの統合方法についても検討している⁵⁾が、評価に種々のバリエーションがあるため本論文では省略する。

2.2 評価対象

本研究では、大阪府内に位置する床面積30,000m²（CGS等多様な熱源が設置される規模）の事務所建物における熱源システムを評価対象とする。冷暖房熱負荷は空調和・衛生工学会⁶⁾の原単位を使用し、給湯負荷は他に比べ小さいため無視した。ここでは、発生する環境インパクトの特徴が異なる熱源システムを比較することを念頭に、以下の4システムを評価対象とした。

- 1) CGS（コージェネレーションシステム）：ガスエンジン（110kW）2台を熱負荷追従運転させる。冷熱は廃熱吸収式冷凍機、ガス直炊き冷温水機で製造する。
- 2) 吸収式冷温水機システム：ガス直炊き冷温水機とガスボイラーによる冷暖房システム。
- 3) EHP（空気熱源ヒートポンプ）システム：電動スクリーヒートポンプチラーによる冷暖房システム。
- 4) 氷蓄熱システム：電動氷蓄熱ヒートポンプを使用し夜間に蓄熱する。

表2に各システムの構成機器概要を示す。

2.3 インベントリー分析

上記4システムに対してシミュレーションにより得られた年間エネルギー消費量を表3に示す。CGSの発電電力で熱源以外に使用されたものは系統電力の発電を回避したとして負の値となる。なお、表3の値（表2の設定）によって以下の評価結果は大きく影響を受けるが、本論文では評価手法の開発を目的としており、各システムの一般的な優劣を示すことは目的でないため、ここではあくまでも一つ

の事例として用いた。この値と、使用機器の容量・台数より各種環境負荷排出量のインベントリー分析を実施した。インベントリーは主として運用時のエネルギー消費に起因するエネルギー系のインベントリーと、設備の製造に起因するインベントリーに分類できるが、それぞれに使用する原単位は以下のように求めた。

(1) エネルギー系原単位

電力に関しては、大阪府内での消費を前提としていることから関西電力管内を対象とし、文献⁷⁾を基に1999年度の発電量に対する使用燃料の種類と量を求めた。次に、燃料の直接燃焼によるCO₂排出量は外岡⁸⁾による原単位を使用し、SO_x、NO_x排出量は文献⁹⁾に記載の1999年度実績値を用いた。各燃料の海外採掘、海上輸送時のCO₂、NO_x、SO_xの排出量に関しては本藤ら¹⁰⁾の値を、発電所の建設に伴う環境負荷排出は内山ら¹¹⁾の値を使用した。

都市ガス（13A）に関しては、大阪ガス管内を対象とし原料の燃料消費量はガス事業便覧¹²⁾から求めた。都市ガス燃焼に伴うCO₂排出量は田村ら¹³⁾の計算値を使用し、SO_x排出量は付臭剤に使用されている硫黄分から算出した。NO_x排出量に関しては、排出濃度をガスエンジン50ppm、ガスボイラー・ガス吸収式冷凍機60ppmとして計算した。また、CGSのガスエンジンについては炭化水素（CH₄、C₂H₆、C₃H₈、C₄H₁₀）の排出量を計算した。

以上のプロセスにより設定した電力・ガス消費に伴う環境排出原単位を表4、5に示す。

(2) 電力消費に伴う環境負荷の考え方

表4に示したように、電力消費に伴う環境負荷原単位の算出方法には以下の2通りがある。

- 1) マージナル電源（火力平均値）：新規に運転を開始する熱源システムを評価するとき、その運転による電力負荷の増（CGSの場合は減となる場合もある）をまかなう発電所の種類（マージナル電源）を特定しその原単位を使用す

表2 各システムの構成機器概要

CGS	・ガスエンジン（発電効率31.4%、温水回収率53%） ・廃熱吸収式冷凍機(COP _c =0.702) ・ガス吸収式冷温水機(COP _c =1.108, COP _h =0.927)
吸収式冷温水機	・ガス吸収式冷温水機(COP _c =1.108, COP _h =0.927)
EHP	空気熱源ヒートポンプ（定格 COP _c =3.217, COP _h =2.670）
氷蓄熱	空気熱源ヒートポンプ（非蓄熱時 COP _c =2.52, COP _h =2.92, 蓄熱時 COP _c =2.48） 放熱ロスを夜間全蓄熱量の10%と仮定する。

表3 評価に使用した各システムの年間エネルギー消費量算出結果

		CGS	吸収	EHP	氷蓄熱
電力消費量	MWh	-507.0	234.0	1420.0	1619.0
都市ガス消費量	Nm ³	411.9	291.8	0.0	0.0
一次エネルギー消費量	MJ	13,767	15,836	14,563	16,604

表4 電力の消費に伴う環境負荷排出原単位

	負荷の 種類	単位	国外 生産	船舶 輸送	国内 生産	発電所	合計
火力発電平均 1MWh当 たり	CO ₂	kg-CO ₂	73.8	15.2	5.2	566.1	660.3
	CH ₄	kg	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0
	NO _x	g-NO _x	52.6	102.2	11.1	167.1	333.0
	SO _x	g-SO _x	42.7	21.3	5.3	89.1	158.4
全電源 平均 1MWh当 たり	CO ₂	kg-CO ₂	30.6	4.9	4.2	184.0	223.8
	CH ₄	kg	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6
	NO _x	g-NO _x	19.4	33.2	6.9	54.3	113.9
	SO _x	g-SO _x	15.8	6.9	3.2	29.0	54.9

表5 都市ガスの消費に伴う環境負荷排出原単位

	負荷の 種類	単位	国外 生産	船舶 輸送	国内 生産	直接 燃焼	合計
都市ガ ス13A 1GJ 当たり	CO ₂	kg-CO ₂	8.79	1.68	0.00	51.15	61.62
	CH ₄	kg	0.23	0.00	0.00	0.07*	0.29
	NO _x (ガス エンジン)	g-NO _x	5.36	5.83	0.01	21.94	33.15
	NO _x (上記 以外)	g-NO _x	5.36	5.83	0.01	26.33	37.53
	SO _x	g-SO _x	0.82	0.32	0.01	0.26	1.40

*: ガスエンジンのみ

る。現状の電力システム運用および近い将来の電源計画に基づけば新規需要の変動は火力発電所の発電量の増減に結びつくとし、シミュレーションにより推定されている^{14), 15)}ので、火力発電所平均の環境負荷排出量原単位を用いるとする考え方。

2) 全電源平均値：現状で運用されている熱源システムを評価する場合、その消費電力は特定の電源と関連づけることはできないので現状の系統電力を構成している全電源の環境負荷排出量の平均値を原単位として用いる考え方。

表4からわかるように例えばCO₂排出原単位には両者で約3倍の差が生じる。後述のように、電力を主たるエネルギーソースとするシステムと都市ガスを主たるエネルギーソースとするシステムを比較する場合、この原単位の取り方によって優劣が逆転するケースが多い。原単位に関する考察は別稿¹⁶⁾で述べているが、本研究では両原単位による結果を併記して原単位による結果の差異を見ることとする。なおいずれの場合でも時間毎に原単位は変化するが、その変化を正確に定量化する情報がないため本論文では年平均値を使用する。

(3) 設備系原単位

熱源システムを対象とし、建築学会地球環境委員会⁸⁾の産業連関表により計算した原単位（設備を構成する素材の製造原単位のみで組み立て加工時等の負荷を含まない。海外波及分を含む。電力は全電源平均値）を使用した。ただし、同書で得られないガスエンジンに関しては機器の素材構成を調査し、別途計算した。

なお、フロンの排出量に関しては機器容量より充填量を推定し、漏洩率をメーカーへのヒアリングより年間1%として計算した。

2.4 各指標の計算方法

1) 地球温暖化：インベントリー分析で得られたCO₂, CH₄, フロンの排出量にGWP（地球温暖化ポテンシャル）100年値を乗じてCO₂相当量の地球温暖化インパクトとした。

2) オゾン層破壊：ヒートポンプではHCFC-123を使用するとして漏洩量をODP（オゾン層破壊ポテンシャル）値を用いてCFC-11相当量に換算した。

3) 酸性化：SO_x 1に対してNO_x0.7の酸性化ポテンシャル¹⁾で排出量を合計し、酸性化インパクトとした。

4) 大気汚染：熱源システムにおける燃焼および火力発電所で発生したNO_xとSO_xのインベントリー集計結果を用いる。両者の重みは従来のLCA手法間でも大きな差がある¹⁶⁾が、本研究では光化学オキシダント以外の直接吸入による健康影響とし、WHOガイドライン¹⁷⁾における長期暴露に対する指針値よりSO_x 1に対してNO_x 1.25を用いた。

5) 光化学オキシダントの生成：炭化水素（ガスエンジンから排出）のインベントリー結果を光化学オキシダント生成ポテンシャル¹⁾によりC₂H₄当量に換算した。係数は年平均NO_x濃度0.02ppmを境に変わるが、大阪府（1999年度平均0.037ppm¹⁸⁾）を対象とするため高濃度に対する係数を用いた。

6) 廃熱影響：冷凍機から放出される廃熱はヒートアイランド現象の原因の一つとなっているが、蒸発式冷却塔から

表6 各システムの8月の1日当たり廃熱量（単位GJ/日，冷房負荷分除く）

		CGS	吸収	EHP	氷蓄熱
昼間（7-18時）	顕熱	-48.2	-53.9	69.2	20.2
	潜熱	161.7	163.5	-32.7	-32.7
夜間（19-6時）	顕熱	0.0	-0.3	0.6	61.0
	潜熱	1.1	1.2	-0.3	-0.3

主として放出される潜熱と空冷式の放熱器から放出される顕熱は大気環境に与える影響が大きく異なるので区別して取り扱う必要がある。潜熱と顕熱を区別した人工廃熱のインパクト評価手法としては、①気温に直接影響を与える顕熱のみを環境インパクトとして取り扱う考え方、②人間の温熱感覚の面では湿度上昇も影響があるので気温・湿度の変化が人体温熱感覚に与える影響の大きさを評価する考え方、③冷暖房負荷の変化を通じたエネルギー消費量の変化で評価する方法等が考えられるが、本論文では②の考え方に立ち温感指標 ET^* ¹⁹⁾を用いた評価を試みる。なお、大気の拡散性状は顕熱と潜熱の差あるいは排出時間により異なるがここでは無視した。1 m³の大気に対して顕熱1 kJの排出は0.85℃の気温上昇となり、潜熱1 kJの排出は0.381 g/kg'の絶対湿度上昇となる。大阪における8月の昼間（7～18時）、夜間（19～6時）の平均温湿度を基準とし、風速0.5 m/s、着衣量0.6 clo、代謝量2.5 met、平均輻射温度は昼間40℃、夜間は気温に等しいとの条件下での ET^* の変化量として重みを計算すると昼間顕熱0.238 K- $ET^*/(kJ/m^3)$ 、潜熱0.192 K- $ET^*/(kJ/m^3)$ 、夜間顕熱0.365 K- $ET^*/(kJ/m^3)$ 、潜熱0.195 K- $ET^*/(kJ/m^3)$ となる。インベントリーには夏期のヒートアイランドのみが人間環境に影響を与えていると考え、8月の1日当たり顕熱・潜熱廃熱量を使用する。また、ここでは冷却塔等から排出される廃熱の総量でなく、熱源機器の消費エネルギー相当分のみを評価の対象とし、換気・貫流で建物を取り込んだ熱と内部発熱をそれぞれ廃熱量から差し引いた。以上のようにして求めた各システムの廃熱量を表6に示す。

3. 総合評価

3.1 EDIP法の概要

EDIP法¹⁾は基準値比較法の一つで、各カテゴリーの指標値より標準化と統合化のプロセスを経て各システムの総合評価値を求める手法である。同法ではインパクトを環境インパクト、資源消費、労働環境インパクトの3種別に統合し、これら3種のインパクトの統合は実施していない。本論文ではこのうち環境インパクトのみを計算する。

3.2 標準化

標準化は次元の異なる各カテゴリーの評価値をある基準値（標準化係数）で除して等しい次元に変換する過程である。EDIP法では標準化係数として対象地域における一人

当たりの当該インパクトの発生量を用いる。すなわち、

$$NEP(j) = \frac{EP(j)}{T \times ER(j)_{ref}} \dots\dots\dots (1)$$

上式において、 $NEP(j)$ ：標準化されたカテゴリー j のインパクト指標値、 $EP(j)$ ：カテゴリー j のライフサイクルでのインパクト指標値、 T ：熱源システムの寿命（年）、 $ER(j)_{ref}$ ：参照年の対象地域全体の活動による一人当たりのカテゴリー j のインパクト指標値である。

3.3 統合化

統合化では標準化されたインパクト指標値を各カテゴリーの重要度で重みを付けて合計し、評価対象の総合的な環境性能として指標化する。重み係数として、EDIP法では対象地域における当該インパクトの現状と将来目標との乖離度が用いられる。カテゴリー j の重み係数 $WF(j)$ は、

$$WF(j) = \frac{EP(j)_{ref}}{ER(j)_{tar}} \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここで $ER(j)_{ref}$ ：参照年（現状）の対象地域における総排出量から計算した指標値の実績値、 $ER(j)_{tar}$ ：目標設定年の各インベントリー物質排出目標から計算した指標値となる。また、重み付けが行なわれたカテゴリー j のインパクトポテンシャル $WEP(j)$ は、次式で表される。

$$WEP(j) = WF(j) \times NEP(j) = \frac{EP(j)}{ER(j)_{tar}} \times \frac{1}{T} \dots\dots (3)$$

各環境インパクトカテゴリーについて（3）式の総和をとり統合化された環境インパクト指標値を求める。

3.4 標準化・統合化における対象地域の考え方

上記の標準化・統合化における「対象地域」の定義として、本研究では以下の2つの考え方を比較検討した。

1) 評価カテゴリー別に地域を決める考え方

地球温暖化はそのインパクトの大きさが世界全体の排出量に比例するため、世界全体で評価するべきであると考えられる。一方、大気汚染では同じ排出量であっても地域のバックグラウンド濃度によってインパクトが異なるので、排出場所を区別した地域単位での評価が必要である。従って環境インパクト毎に対象地域を設定する。この場合はインパクト毎に対象地域での評価対象システムの寄与の度合いを評価することとなり、科学的な評価に近いといえる。EDIP法ではこの考え方が用いられている。

2) 対象地域を統一する考え方

地球温暖化において京都議定書で国別の排出削減目標が

課せられているように、科学的には排出場所にかかわらず同じインパクトを生じる指標であっても地域により異なる目標が設定されていることも多い。この場合は、各インパクト（環境負荷物質）に関する政策目標を定める主体が同一で、その政策目標に対する評価対象の寄与度を評価することになり、政策的な評価に近いと言えることができる。本研究では日本全体および大阪府を対象地域とした。

3.5 計算結果と感度解析

(1) 指標値の計算結果

図1に地球温暖化インパクトの計算結果を、電力消費の環境負荷原単位に火力平均値を用いた場合と全電源平均値を用いた場合のそれぞれについて示す。温暖化に寄与するインベントリーとしては、熱源機器を構成する素材の製造に要するCO₂、エネルギー消費に伴うCO₂、天然ガス消費に起因するCH₄の排出、冷媒に使用されるHCFC-123の漏洩の4種があるが、エネルギー消費に伴うCO₂排出の割合が90～97%を占めている。また、電力の環境負荷原単位による差は、電力を主たるエネルギーソースとするEHPシ

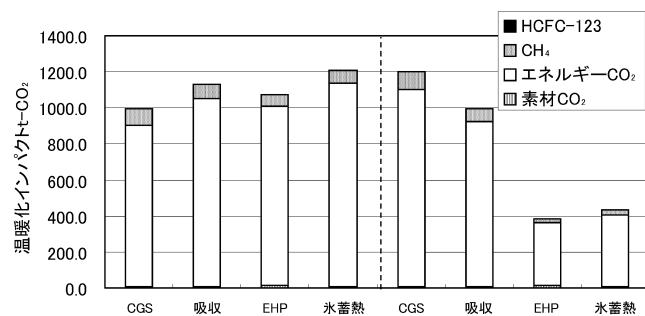


図1 温暖化インパクトの計算結果
(左：火力平均値、右：全電源平均値使用)

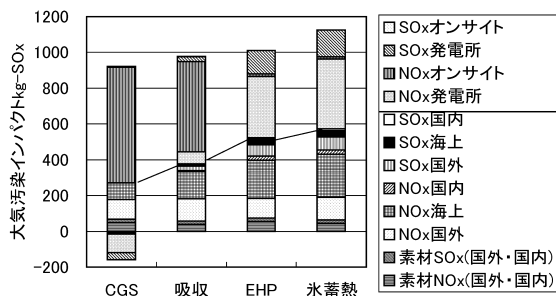


図2 大気汚染インパクトの計算結果(火力平均原単位使用)

ステム、氷蓄熱システムで特に大きく、約2.7倍の差となる。この結果、4システム間の温暖化インパクトの大小順位は原単位の取り方によって逆転が生じている。

図2には、大気汚染インパクトの計算結果（電力には火力平均値を使用）を示す。エネルギー消費に伴うオンサイトや発電所でのNO_x排出とともに、海外や海上でのNO_x、SO_xの排出量も大きい。大気汚染物質の排出によるインパクトは排出後の拡散性状及び周辺の人間や生態系に対する暴露等によって異なる。EDIP法においてはインパクト毎に定めた対象地域内のみでの排出を評価するため、大気汚染の対象地域を大阪府域と定めた場合には、国内、海上、海外および素材製造に起因する排出（図2の点線より下の部分）は大阪府内での排出量と同等の大きさがありながら無視されてしまうことになり、注意を要する。

(2) 標準化係数と結果

評価カテゴリー別に標準化・統合化の対象地域を定める場合の標準化係数の根拠と値を表7に、標準化値を電力消費による環境負荷原単位の与え方別に表8に示す。

標準化結果は「人」の単位となり、対象地域の平均的な一人当たり排出量で見て何人分に相当するかを示す。カテゴリー別では熱汚染の標準化値が最も大きく、次いで地球温暖化となっている。熱汚染の値の大きいことは、地域（大阪府）における8月の人工廃熱の中で建物の熱源システムが大きな割合を占めることを示しており、また、地球温暖化の値が大きいことは、標準化値として途上国を含めた全世界の人口当たり排出平均値を取っていることに基

表8 標準化結果 単位 [人]

	CGS	吸収	EHP	氷蓄熱
地球温暖化 (火)	134.4	152.9	145.4	164.0
(全)	162.5	134.5	52.4	58.4
オゾン層破壊	0.0	0.0	1.9	1.2
酸性化 (火)	13.4	18.2	19.1	21.1
(全)	16.9	15.9	7.4	8.0
大気汚染 (火)	62.1	74.7	62.1	70.2
(全)	74.5	66.6	21.3	23.9
光化学オキシダント	12.7	0.0	0.0	0.0
熱汚染	314.8	297.3	164.6	330.2

注：2段の数値は（火）が火力平均、（全）が全電力平均を示す。

表7 標準化係数の設定値（対象地域を評価カテゴリー別に定めた場合）

インパクトの種類	対象物質	対象地域	現状のインパクトポテンシャル	対象地域人口（人）	標準化係数
地球温暖化	温室効果ガス	世界	$4.50 \times 10^{13} \text{ kg-CO}_2/\text{年}$	6.09×10^9	$7.39 \times 10^3 \text{ kg-CO}_2/\text{人} \cdot \text{年}$
オゾン層の破壊	オゾン層破壊物質	世界	$5.43 \times 10^5 \text{ kg-CFC11}/\text{年}$	6.09×10^9	$9.61 \times 10^{-2} \text{ kg-CFC11}/\text{人} \cdot \text{年}$
酸性化	NO _x , SO _x	日本	$2.27 \times 10^9 \text{ kg-SO}_x/\text{年}$	1.27×10^8	$1.83 \times 10 \text{ kg-SO}_x/\text{人} \cdot \text{年}$
大気汚染	NO _x , SO _x	大阪府	$7.10 \times 10^7 \text{ kg-SO}_x/\text{年}$	8.81×10^6	$8.06 \text{ kg-SO}_x/\text{人} \cdot \text{年}$
光化学オキシダント	炭化水素	大阪府	$4.90 \times 10^7 \text{ kg-C}_2\text{H}_4/\text{年}$	8.81×10^6	$5.56 \text{ kg-C}_2\text{H}_4/\text{人} \cdot \text{年}$
廃熱	廃熱	大阪府	$5.47 \times 10^{14} \text{ K-ET}^*/\text{日}$	8.81×10^6	$6.22 \times 10^4 \text{ K-ET}^*/\text{人} \cdot \text{日}$

現状の排出量は、大阪府¹⁸⁾、IPCC¹⁹⁾、環境省²⁰⁾の資料より、2000年あるいは最も近い年のデータを選んだ。なおオゾン層破壊物質については回収・処理を無視し、排出量＝生産量と仮定している。

表9 統合化係数の設定

インパクトの種類	対象地域	現状のインパクトポテンシャル	目標値の根拠	統合化係数
地球温暖化	世界	$4.50 \times 10^{13} \text{kg-CO}_2/\text{年}$	1990年の5%減	1.11
オゾン層の破壊	世界	$5.86 \times 10^8 \text{kg-CFC11}/\text{年}$	生産量をGDP比で先進国と途上国に分け各削減目標を適用	22.95
酸性化	日本	$2.27 \times 10^6 \text{kg-SOx}/\text{年}$	現状維持	1.00
大気汚染	大阪府	$7.10 \times 10^7 \text{kg-SOx}/\text{年}$	自動車NOxのみ1990年→2000年の削減目標率で削減	1.21
光化学オキシダント	大阪府	$4.90 \times 10^7 \text{kg-C}_2\text{H}_4/\text{年}$	1994→2001年の目標削減率を10/7倍	1.12
廃熱	大阪府	$5.47 \times 10^{11} \text{K-ET}^*/\text{日}$	現状維持	1.00

表10 対象地域を日本、大阪府に変更した場合の標準化係数と目標値

対象地域	インパクトの種類	標準化係数	目標値の設定根拠	統合化係数
日本	地球温暖化	$10.3 \times 10^3 \text{kg-CO}_2/\text{人} \cdot \text{年}$	1990年の6%減	1.14
	オゾン層の破壊	$2.08 \times 10^{-1} \text{kg-CFC11}/\text{人} \cdot \text{年}$	先進国に対する削減率	14.1
	大気汚染	$2.88 \times 10 \text{kg-SOx}/\text{人} \cdot \text{年}$	現状維持	1.00
	光化学オキシダント	$5.84 \text{kg-C}_2\text{H}_4/\text{人} \cdot \text{年}$	現状維持	1.00
大阪府	地球温暖化	$6.75 \times 10^3 \text{kg-CO}_2/\text{人} \cdot \text{年}$	大阪府目標値	1.09
	オゾン層の破壊	$2.36 \times 10^{-1} \text{kg-CFC11}/\text{人} \cdot \text{年}$	先進国に対する削減率	14.1
	酸性化	$4.26 \text{kg-SOx}/\text{人} \cdot \text{年}$	大気汚染と同じ目標	1.20

オゾン層破壊インパクトについては、世界全体の値から各地域のGDP比で割り振っている。

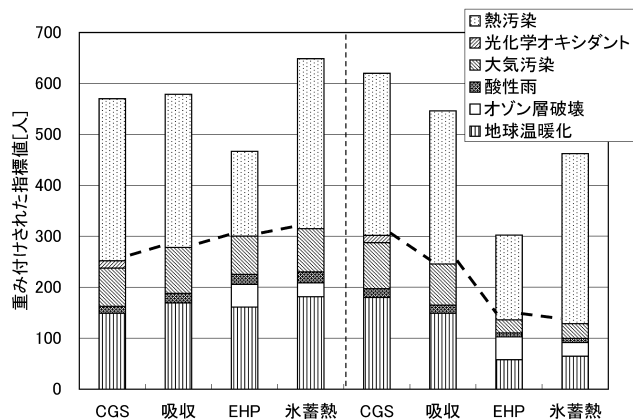


図3 統合化結果(左：火力平均値 右：全電源平均値使用)

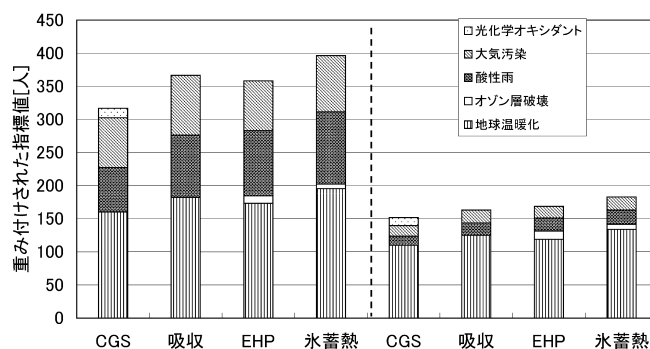


図4 大阪府(左)、日本(右)を対象地域とした統合化結果(火力平均値使用)

く、また、地球温暖化、酸性化、大気汚染の各カテゴリーでは電源原単位の取り方が結果に大きな影響を及ぼしている。なお、各インパクト間の相関をみると、地球温暖化・酸性化・大気汚染の間には若干の相関が見られるが、廃熱、オゾン層破壊、光化学オキシダントは他のインパクトとの相関が見られず、指標間の重複が少ないことを示している。

(3) 統合化結果

統合化係数は2000年を参照年、2010年を目標設定年として文献、行政機関のヒアリング等により表9に示す目標値、重みを設定した。なお公的な削減目標値が定められていな

いものに関しては「現状維持」と定めた。統合化の結果を図3に電源の環境負荷原単位の与え方別に示す。重みの差が小さいため、標準化値の大きな廃熱カテゴリーの評価結果の影響が強く、廃熱カテゴリーを除いた場合(図の点線より下)とは評価結果が大きく異なることになる。なお、廃熱の評価方法を2.4.6)で①として示した顕熱のみをインパクトとする手法にすれば、外壁や換気を通じて外気から顕熱を吸収し蒸発式冷却塔で潜熱を排出するCGSや吸収式ではインパクトが負値となり、統合化結果も大きく変わる。他のカテゴリーでは地球温暖化のウェイトが高く、次

いで大気汚染となっている。この2者は電源の環境負荷排出原単位に強く影響を受ける指標であるため、評価の優劣は電源原単位の取り方に大きく影響を受け、順位が完全に逆転してしまうことになる。なお、大気汚染インパクトの評価でインベントリー分析の対象範囲をオンサイトから海外まで全域に広げた場合は大気汚染インパクトのウェイトが地球温暖化と同等になるが、優劣順位に与える影響は小さい。

(4) 評価地域による差

3.4で述べたように評価地域を日本、大阪府で固定した場合(係数を表10に示す)の評価結果をそれぞれ図4に示す。廃熱については日本を評価対象とすることは意味がないので、両方の図から省く。図3の評価結果と比べて大きく値の変化するカテゴリーはオゾン層の破壊、酸性化、大気汚染の3者であるが、これは標準化係数の変化によるところが大きい。温室効果ガスや大気汚染物質は都市の方が一人当たり排出量が小さくなるため、インパクト評価値は都市単位で評価すると大きくなる。しかし、各システム間の相対的な大小関係はあまり変わらず、総合評価の優劣順位もほとんど変化しない。

4. 結論

本論文では建物の冷暖房用熱源システムの総合的な環境影響を評価するための指標群と、その基準値比較法による評価方法について検討をおこなった。特にヒートアイランドの一要因である廃熱に関しては顕・潜熱の違いを考慮した指標の定量化手法を提案した。結果は以下の通りである。

- ・総合評価において地球温暖化や大気汚染などのインパクトは大きなウェイトを占めるが、燃料と系統電力をそれぞれ主体とするエネルギーシステムを比較する場合、系統電力の環境負荷の評価においてマージナル電源と全電源平均のいずれの考え方をとるかによって総合評価結果に大きな影響を与える。
- ・各指標値の関係を見ると、地球温暖化に対して酸性化、大気汚染の相関はやや認められるが、特定の熱源システムのみがインパクトを持つ指標もあり、総合評価の結果はLCCO₂の結果と異なる可能性が高い。

なお、本研究のベースとしたEDIP法では対象地域の排出量の目標値と現状値の乖離の度合いで各カテゴリーの指標値に重みを付けているが、目標値に主観が入りやすいこと、廃熱のウェイトが大きくなっているように目標値が達成できなかった場合の被害の重大性について配慮し難いこと等

が問題である。生態系や人間の健康への影響で統合評価するエンドポイント評価の適用を含め、今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) Henrik Wenzel, Michael Hauschild and Leo Alting ; Environmental Assessment of Products, Volume 1, (1997), Chapman & Hall.
- 2) 辻穀一郎, 朴柄植, 鈴木胖; 階層分析法による高層集合住宅用エネルギーシステムの評価, エネルギー・資源, 6-6 (1985), 63-70.
- 3) 下田吉之, 内海巖, 水野稔; 環境保全型地域熱供給システムの総合評価手法に関する研究 第2報-各指標の重みに関するアンケート結果と多基準分析法による総合評価, 空気調和・衛生工学会論文集, 74 (1999-7), 113-120.
- 4) 松野泰也, 稲葉敦, 水野建樹; 排出地域および排出形態を考慮した局地性インパクトカテゴリーのインパクトアセスメント手法の開発, 日本エネルギー学会誌77-12 (1998) 1128-1138.
- 5) 岡村智仁, 中津浩平, 下田吉之, 水野稔; 民生用熱源システムの環境影響総合評価手法に関する研究 (3), 第18回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, (2002), 607-612.
- 6) 空気調和・衛生工学会; 都市ガスによるコージェネレーションシステム 計画・設計と評価, 空気調和・衛生工学会 (1994), 138.
- 7) 通産省資源エネルギー庁; 平成11年度電力需給の概要, (2000).
- 8) 日本建築学会; 建物のLCA指針 (案), (1999).
- 9) 関西電力(株); 地球環境アクションレポート, (2000).
- 10) 本藤祐樹, 内山洋司, 外岡豊; 化石燃料の国内消費に伴い海外で誘発される環境影響物質CO₂, NO_x, SO_x排出量, エネルギー・資源, 20-6 (1999).
- 11) 内山洋司, 山本博巳; 発電プラントのエネルギー収支分析, 電力中央研究所報告 (Y90015), (1990).
- 12) 日本ガス協会; ガス事業便覧 平成10年度版 (1998).
- 13) 田村至他6名; 都市ガス及びLNGのライフサイクルCO₂分析, エネルギー・資源, 20-6 (1999).
- 14) 鶴崎敬大, 佐川直人, 中上英俊; 地球温暖化対策評価におけるCO₂排出原単位の検討, エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, (2002), 385-390.
- 15) 岩船由美子, 山地憲治; 業務用建物における各種省エネルギー施策の総合評価, 電気学会論文集B, 121巻5号 (2001), 581-589.
- 16) 下田吉之, 中津浩平, 水野稔; 民生用熱源システムの総合評価手法に関する研究 (3) 総合評価の必要性和枠組みについて, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, (2000-9), 981-984.
- 17) World Health Organization ; Guidelines for Air Quality, 2000, 32-35.
- 18) 大阪府; 大阪府環境白書 (2000), 7-9.
- 19) ASHRAE ; Chapter 8 Thermal Comfort, ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS (2001).
- 20) IPCC ; <http://sres.ciesin.org/index.html>
- 21) 日本国; 「気候変動に関する国際連合枠組み条約」に基づく第3回日本国報告書, (2002).