

効率化技術による二酸化炭素削減ポテンシャルの部門別評価◆

—地球温暖化の国際枠組み構築のための評価指標の検討—

田中 加奈子* 佐々木 宏一** 工藤 拓毅***

1. はじめに

1-1 背景と目的

現在、気候変動枠組条約では、140ヶ国以上の国が京都議定書を批准し、世界が温暖化防止のために着実に協調し歩み始めている。その一方、アメリカの議定書からの脱退、途上国の実質的な削減に対する参加がない枠組みであることから、その実効性が問われている。このような中、京都議定書で規定する第一約束期間以降の議論が公開非公開の場を問わず、各国政府、国際的機関、専門家等関係者の間で始まった。また、京都議定書では2005年に同議論を開始すると規定している。

将来枠組みを、京都議定書に存在する問題点を改善し、日本をはじめとする幅広い国々が受け入れ可能なものにするために、様々なアプローチが考えられる。しかし、各国の経済事情、政治・社会的構造、産業・技術力、資源賦存量、地理的特性から、国際交渉の場では利害が対立し、なかなか公平な取り決めを実現することが困難であり、これからの将来枠組みの検討も容易でないと推測される。そのため、各国間の事情を配慮しつつ将来枠組みの議論を前進させていくためには、多種多様な情報がより正確に把握され、公平な取り決めのために活用される必要がある。例をあげれば、エネルギー技術の情報（効率、コストなど）でも、地域による様々な相違（例えば技術力、利用燃料、市場の種類と能力、各種規制、需要サイドの違い）や評価対象（設備、工場、コンビナート）のバウンダリー設定方法の相違などにより、値にばらつきがある。このため、複数の情報ソースからの値を比較する方法では誤解を招く恐れがある。また、値自体の信頼性が低い場合もあり、そのような値をもとにすることは、交渉に説得力を欠くこととなり、結果、多くの国の同意を得られないということにもなりかねない。

そこで本研究では、国際的により広い参加が見込まれ、かつ公平性が保たれるような枠組みの構築に必要な評価指標について検討を行った。特に「エネルギー消費技術」に着目し、各国毎の実績データの収集・分析を行い、国内における将来枠組みの検討に際して有用な情報の提供を試みた。

1-2 望まれる指標

国の排出量上限を設定するような国際交渉を目的にした場合と、国際間の企業、業界団体といったプレイヤーらによる協定や規制を目的にした場合では、指標は異なった性格のものが議論される。前者の指標例としてGDPあるいは人口あたりの二酸化炭素排出量(CO₂)、そして後者の例として機器効率、産業別原単位などが挙げられる。各指標の現状値、将来予測値とも、具体的な値を算出するにあたり、データの収集方法は対象によって様々であり、また、不確実性は各所に存在する。方法による違いとして、現状についての評価の場合は統計値、そし

◆ 本報告は、平成16年度に新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)より受託して実施した受託研究地球環境国際連携推進事業「地球温暖化の国際的な将来枠組み検討に関する基礎調査—新たな枠組みの検討動向と国・地域間公平性の向上のための各種指標の分析—」の一部である。この度NEDOの許可を得て公表できることとなった。関係者のご理解・ご協力に謝意を表すものである。また、本調査を実施するにあたり、議論、データ提供など多くの方にご協力をいただいた。特に、新日本製鐵株式会社 岡崎氏、高松氏、小谷氏、太平洋セメント株式会社 和泉氏、東京電力株式会社、日本製紙連合会、王子製紙株式会社 大澤氏、野間氏、社団法人日本電気工業会 齋藤氏、株式会社日立製作所 松川氏、UNICE/ICC(ARKEMA)、Campbell氏、CEPI、Hyvarinen氏、ECOFYS、Worrell氏、Reinstein & Associates International、Reinstein氏に心より感謝するものである。

* (財)日本エネルギー経済研究所 地球環境ユニット地球温暖化政策グループ研究員

** (財)日本エネルギー経済研究所 地球環境ユニット新エネルギーグループ主任研究員

*** (財)日本エネルギー経済研究所 地球環境ユニット総括 兼 地球温暖化政策グループマネージャー

† 前者であれば業界内での行動計画、後者であればトップランナー基準などがある。

て将来値ではマクロ経済モデル等による予測値といったトップダウン指標と、個別の機器や技術の効率などミクロ的指標と普及率や導入量から積み上げ計算で得られるボトムアップ指標が挙げられる。このようなことを踏まえて本調査では、効率的な技術を利用した場合の削減ポテンシャルに関する指標として、目指すべき点は以下の通りに想定した。

気候変動枠組条約の将来取り決めに向けて、公平で実効性のある内容で、かつ日本の国益に通じる国際交渉をすすめる、温暖化対策関連技術の途上国への移転、あるいは関連する資金援助、能力育成などに貢献できるような、

- ・ バックグラウンドとなる定量的検討結果
- ・ 汎用性のある温暖化対策技術の指標化手法—各種の前提条件の変化、対象とする温暖化技術の変更、あるいは検討する時間枠の変化がある場合に柔軟に対応できるもの、及び国や地域などでの評価バウンダリーの違いによる影響が定量的に把握しやすい、あるいは考慮に入れた評価が可能となるもの

を提供できること、である。

次節以降では、こうした指標化のための方法論確立をめざし、部門・業種ごとに技術を用いたCO₂削減可能量の定量化を具体的に行うことを通じ、指標化における問題点を明確することにする。

2. 削減ポテンシャル評価の考え方

2-1 評価概要

ここでは、現状のBAT(best available technology)ⁱⁱを、2020年に導入して高効率化が進展することを想定した場合のCO₂排出削減可能量（現状のままの技術で推移したと考えた場合との差分）を試算した。先進国と途上国の産業部門（鉄鋼、セメント、紙・パルプ）、発電部門、運輸部門（自家用乗用車）、民生部門（家庭用機器、建物断熱）を対象とし、将来の推計にあたっては産業は生産量の増加（あるいは減少）、民生・運輸であれば機器需要がGDPの増加に伴い増加すると仮定し推計した。発電部門は、各国・地域における発電電力量見通しから求めた。産業部門では主に、製造段階での高効率・省エネルギー技術の導入（未利用熱利用など含む）、発電部門は高発電効率システムの導入、民生部門では高効率・省エネルギー家電の利用、運輸部門では低燃費自動車の利用を想定した。なお、個々の省エネルギー技術の2020年までの効率向上度合いの定量化は、不確実性が高いため今回は考慮しなかった。

2-2 部門・業種による評価の差異

産業部門では、データ制約の違いから業種ごとに異なる方法をとった。鉄鋼業は、主要な省エネルギー可能技術の一部工程に取り入れることで、どの程度の削減が可能かを積み上げて計算した。このような技術別ボトムアップ評価は、国別の製造工程がある程度類似していても、共通の評価バウンダリーの設定が困難である場合に有効である。また、この評価の場合は、対象技術の単位生産量あたり省エネルギー可能量（CO₂削減量）や、技術の当該地域普及率のデータが必要であり、それらが入手・想定可能な業種で採用できる方法である。紙・パルプ産業とセメント産業については、マクロ指標を用いた評価を行った。

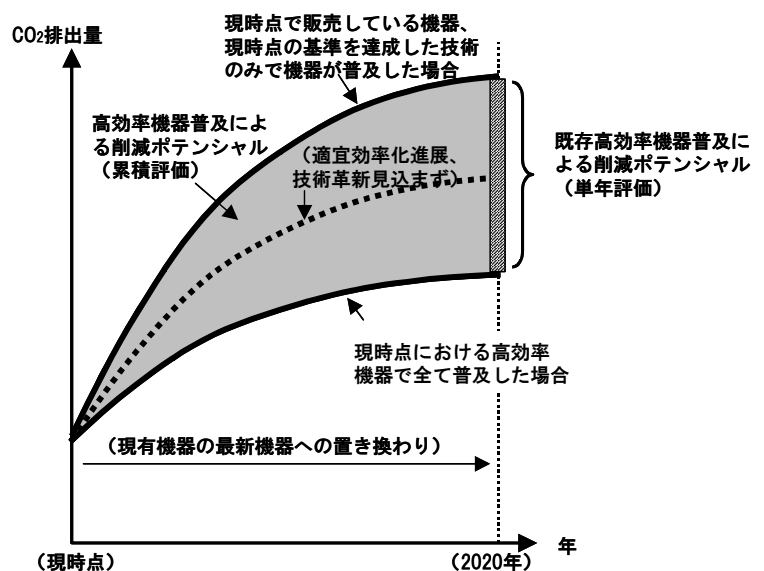


図 2-1 民生・運輸部門における計算の考え方

ⁱⁱ 「実行可能な最善・最良の技術」である。もともと、環境汚染に関連する分野において、各産業が導入する設備や施設に関して、許認可時点の排出基準を検討し環境保全のために導入すべき技術などを選択するときに用いられてきた。本報告では、「エネルギー効率性」あるいは「二酸化炭素削減可能性」を評価軸にとり最善・最良としている。

紙・パルプ産業は、国別の同業種への燃料別エネルギー投入量と生産量から各国の排出原単位を求め、日本の原単位並に各国原単位が下がった場合を想定している。セメント産業は、既存の文献における国別 CO₂ 排出原単位を用い、紙・パルプ産業と同じくこの原単位が日本並に下がった場合を想定した。

発電部門での技術導入については、今回の試算では他業種・他部門と同様に、2020年時点に全ての施設が現状で最良の発電効率を有する施設となる、と想定した。これは、削減ポテンシャルとして、技術的ポテンシャルを見積もることを第一義としたためである。しかし、40-50年の設備寿命を考慮した場合、全ての火力発電施設が2020年時に置き換わっているとするのは現実的ではない仮定である。前述の産業部門における技術導入の場合は、技術自体が一部プロセスを置換するもの、あるいは追加的に付設するものであるため、置き換えまでのサイクルは比較的短い。例えば、紙パルプ産業でBATとして想定されるのは高温高压ボイラの利用であり、ボイラ付近の工程を置き換えることとなる。製鉄では、本評価でも取り上げている炉頂圧発電、連続鋳造、乾式コークス炉の利用が挙げられ、これらも一部工程への適用となる（実際には寿命よりはエネルギーコスト節約や製品ニーズなどの目的によって導入状況が変わる）。セメント産業でも、部分的な高効率化技術は、エネルギー効率（＝経済性）が高ければ、20年を待たずして順次導入することが多い。一方で発電施設については、抜本的効率向上のためには、コンバインド・サイクル発電の利用、ガスタービンの入口温度の高温化、あるいはタービンへ送る蒸気の状態を高温高压化することが必要であるが、いずれも部分改修では不可能である。そのため発電所での効率化は発電設備全体の取替えとなり、そのサイクルはプラント寿命に相当する程度に長期となる。そういった理由により、今回は参考ケースとして設備の寿命を考慮したケースも試算した。

民生・運輸部門では、現在所有されているものの買い替え、あるいは新規需要による保有数の増加の際、最新機器への置き換わりが生じる場合を想定した（図2-1参照）。現実的には、現状販売されている機器と最も効率の高い機器の効率との幅の中に、機器の平均効率は収まるものと考えられ、将来的に技術革新等で効率が更に向上されれば、削減ポテンシャルは拡大する。本評価では、今後15年程度の時間が経過し、既存の機器がその多くが置き換わると考え、現状BATが全て普及した場合を想定した。

2-3 ポテンシャルの定義

本報告書においては、技術的ポテンシャルを試算することとしており、社会的、経済的障壁を考慮したポテンシャルではない。例えば、各国の社会的要因（規制、経済状況、パブリックアクセプタンスなど）や、エネルギーの入手可能性の相違（エネルギー源、その価格）、個々の設備の詳細な制約条件（気象、地理条件）、製品需要の相違（産業部門であれば生産工程に影響し、民生部門であれば製品の種類が全く異なる可能性あり）、文化による使い勝手の違いなどは考慮していない。この点については、考察で再度議論する。

3. 削減ポテンシャル試算

3-1 産業部門・鉄鋼

3-1-1 計算概要

鉄鋼業における製造工程は、概ね各国とも同じように整理される。しかし、各工程からの排熱利用（利用用途、量）や他産業との製品授受（高炉灰の利用、廃棄物利用など）、リサイクルの度合いなど、エネルギー使用量やCO₂排出量は、評価バウンダリーの設定の仕方によって影響を受けやすい。そのため、既存のエネルギー消費原単位などの国際比較結果は参考にはなるものの、結果の見方に注意が必要である。

ここでは、主要な省エネルギー可能技術に着目し、それらを工程の一部に取り入れることで、どの程度の削減が可能かを技術ごとに積み上げて計算した。

各地域の2020年時 CO₂ 排出削減量

$$= \sum [\text{省エネルギー原単位} \times 2020 \text{ 年生産量} \times (\text{目標普及率} - \text{現状普及率}) \times \text{エネルギー消費量あたり CO}_2 \text{ 排出量}]$$

(鉄鋼)

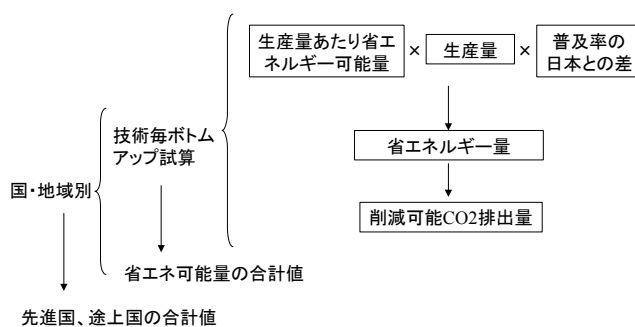


図3-1 計算スキーム（鉄鋼）

3-1-2 技術の仮定

鉄鋼部門における主要な省エネルギー対策として、現在考えられるものは数多くある。その中でも効果が高く、日本以外の国で導入が技術的には可能であると考えられ、さらに現時点で、普及率や生産量あたり省エネルギー可能量といった計算に必要な最低

限の情報が得られるものとして、CDQ（コークス乾式消火）、TRT（高炉炉頂圧発電）、炉ガス回収、CC（連続鋳造）の4技術を採用した。

現在普及率は、資料ⁱⁱⁱ (1)、(3) をもとに仮定した(表 3-1)。目標普及率として、日本以外の国の普及率が、2020 年の段階で全て日本と同じ普及率になった場合とした。ただし、韓国については日本よりも普及率が高い場合もあり、その際は計算結果では省エネルギー量をゼロとした。実際には導入には期間が必要であることや、制度的要因、燃料需給状況、経済事情などからそこまで普及率が上がらないと考えられるが、ここでは、技術的ポテンシャルの推量のため前述のように仮定した。

各技術を利用することで、単位生産量あたりに節約が可能となるエネルギー量として、技術の省エネルギー原単位を表 3-2 のように資料(2)、(3)、(4) より設定した。

各技術を利用することでエネルギー消費が低減するが、CO₂排出量算定のためには相殺されるエネルギーの燃料種を特定する必要があるため、ここでは、表 3-3 に示したように仮定した。本試算で採用したエネルギー別 CO₂排出量原単位は、表 3-4 のとおりである。燃料については資料(5)、電気については資料(6) を用いて推計した。

3-1-3 生産量の見積もり

評価に際しては、導入技術によって対象となる生産品目が異なる。TRT、炉ガス回収、CC については、粗鋼生産量あたりで省エネルギー量を評価した。CDQ に関しては、コークス量あたりで評価している。コークス量は統計データがないため、高炉により製造される銑鉄量から推計した。日本における銑鉄量とコークス量の比率は、1:0.38(2002 年、1990 年では 0.42)⁷であるが、ここでは各国の銑鉄量(IISI)から、日本の比率(0.4)を乗ずることでコークス量を求めた。

将来生産量は、GDP の増加に伴い増加すると仮定した。2002 年から 2030 年までの見通しから GDP の年平均伸び率を求め、2002 年から 2020 年までの増加率を推定した。その値と 2002 年工程製品別生産量から、表 3-5 に示した 2020 年時予測生産量を求めた。

3-1-4 結果と課題

表 3-1 現在普及率の仮定 (%)

	北米	欧州	旧ソ連	途上国 (除韓国)	韓国	日本
CDQ ³	0	30	30	10	50	90
TRT ³	2	20	20	2	100	97
CC ¹	97	92	42	91	99	98
炉ガス回収 ³	10	10	10	5	25	100

(出所) 資料(1)、(3) より IEEJ 推定

表 3-2 各技術の省エネルギー原単位

技術の種類	原単位
CDQ ³	340 Mcal/コークス-t (136 Mcal/粗鋼-t)
TRT ²	43 Mcal/粗鋼-t
CC ⁴	350 Mcal/粗鋼-t
炉ガス回収 ^{3*}	250 Mcal/粗鋼-t

*1 CDQ は蒸気発生量から計算。ボイラによる蒸気発生の場合のボイラ効率を 95% と仮定。

(出所) 資料(2)、(3)、(4) より IEEJ 推計

表 3-3 省エネルギーが可能となるエネルギー種

CDQ	ボイラによる蒸気利用量が軽減	→ 石油燃料
TRT	発電が可能	→ 購入電力
CC	インゴット鋳造のエネルギー消費が軽減	→ 石油燃料
炉ガス回収	システム内熱利用のためのエネルギー消費が軽減	→ 石油燃料

表 3-4 エネルギー別 CO₂排出量原単位

エネルギー種	地域	t-CO ₂ /TJ
石油燃料	(共通)	73.3
電力	北米	92.4
	欧州	63.1
	旧ソ連	22.9
	韓国	62.5
	途上国	92.4

(出所) 資料(5)、(6) より IEEJ 推計

表 3-5 2020 年鉄鋼工程製品別生産量予測 (Mt)

	銑鉄 (高炉による製造)	コークス	粗鋼
北米	49	20	108
欧州	116	46	207
旧ソ連	78	31	102
韓国	27	11	45
上記国合計	269	97	371
途上国	253	101	371

(出所) 資料(1)、(7)、(8) より IEEJ 推計

表 3-6 2020 年時 CO₂排出削減量

Mt-CO ₂	CDQ	TRT	CC	炉ガス回収	合計
北米	3	3	0	11	17
欧州	4	3	2	21	29
旧ソ連	4	1	11	13	28
韓国	1	0	0	4	4
上記合計	11	6	13	49	79
途上国	18	14	5	58	95
世界合計	29	20	18	106	173

(出所) IEEJ 推計

ⁱⁱⁱ 本文中の「資料()」にある数字あるいは上付きのアラビア数字は、巻末の「参考・引用文献」の番号に相当する。

表 3-6 に、計算結果を示した。今回の評価では、炉ガス回収による省エネルギー効果が高い。これは、現状における普及率の低さと、省エネルギー原単位の高さによるものである。一方、CC も同様に省エネルギー原単位が高いが、現状の普及率が比較的高いため、ポテンシャルとしては小さい。精度向上のための検討課題として、①4種の技術以外に、他に考えられる技術で効果大きい、あるいは普及率が高いと見込まれるものなど評価対象技術の拡大（例：石炭調湿、電気炉スクラップ予熱、廃プラスチック利用など）、②各技術の省エネルギー原単位について、改善された技術内容も含め再検討、③各技術の各国、各地域の普及率を調査、把握、④各技術の導入における、社会的、経済的、技術的問題や障壁について、各国各地域別に整理する（例：顧客の製品ニーズ、価格や自給率など燃料事情、リサイクルシステムの可能性など）ことなどが挙げられる。

3-2 産業部門・セメント

3-2-1 計算概要

セメント産業は、エネルギー起源のものに加え、炭酸カルシウムの分解時に発生するプロセス起源 CO₂ 排出（全ての CO₂ 排出の 6 割を占める）があり、双方を考慮する必要がある。日本では 1980 年代に当時の最新設備が建設され、1990 年のエネルギー消費原単位は 2,700MJ/t-cement であり、世界的にも高いレベルにある⁹。ここではマクロ評価を行い、他国の原単位が日本の原単位並に下がった場合のポテンシャルを試算した。具体的には、生産量あたりの CO₂ 排出量と生産量見通しから、世界全体の排出量を計算した。

世界の 2020 年時 CO₂ 排出削減量 = 2020 年の予測生産量

× (現在の世界 CO₂ 排出原単位 - 日本の原単位)

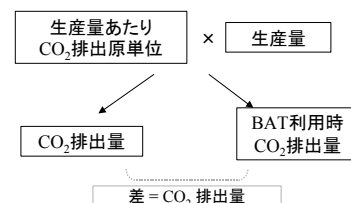


図 3-2 計算スキーム (セメント)

表 3-7 採用した CO₂ 排出量原単位

	(t-CO ₂ /t-cement)
現在の世界の原単位	0.87
将来原単位 (世界) =日本の現状排出原単位	0.73

(出所) 資料 (10)

3-2-2 CO₂ 排出量原単位と生産量

現状の CO₂ 排出量については、既存の文献 (10) から、生産量あたり CO₂ 排出量原単位を引用し試算した。また、BAT 技術の利用については、日本と同等の原単位まで効率化が進む場合を想定した。表 3-7 の値は、プロセス起源 CO₂ 排出と、エネルギー起源 CO₂ 排出の双方を考慮したものである。

生産量 (表 3-8) は、消費地と生産地が大きく離れることはないことから、各国のセメント消費量¹¹ を利用した。また、2020 年の予測生産量については、鉄鋼と同様、GDP 増加率見通し⁸ より増加率を推定し、乗じることで求めた。

表 3-8 セメントの 2000 年生産量及び 2020 年の予測生産量

		生産量 (Mt)		増加率
		2000 年	2020 予測	
欧州	西欧	229	347	52%
	東欧,FSU	85	169	99%
北米		118	186	58%
中南米		112	210	88%
中東		72	130	81%
アフリカ		86	181	111%
アジア	インド	94	194	107%
	中国	581	1,542	165%
	日本	72	107	49%
	他アジア	181	374	107%
オセアニア		10	15	49%
計		1,640	3,456	

(出所) 資料 (8)、(11) より IEEJ 推計

表 3-9 2020 年時 CO₂ 排出削減量

Mt-CO ₂	対策前 CO ₂ 排出量	対策後 CO ₂ 排出量	対策による削減量	対策前からの削減率
世界合計	3,007	2,523	484	16%
先進国計	717	601	115	
途上国計	2,290	1,921	368	

(出所) IEEJ 推計

3-2-3 結果と課題

今回の推計結果を、表 3-9 に示した。

本試算では、鉄鋼業の試算で用いたような省エネルギー技術ボトムアップ型の評価ではなく、既存文献にあった生産量あたり CO₂ 排出原単位を用いたマクロ的評価のみを行った。これは、個々の技術のデータ (技術内容と普及率) の入手制約があるからである。今後は、鉄鋼業と同様な方法を採用するかどうかも含め、セメント産業に関しての国際比較のためのエネルギー消費原単位導出の一般的手法について検討していく必要がある。

セメント産業では、省エネルギー技術導入の進み具合のほか、廃棄物燃料利用率の相違；混合セメント生産比率の相違；キルン様式 (乾式か湿式か) の相違 などが、国・地域毎に CO₂ 排出量の差が生じる要因として挙げられる^{4, 12}。また、より CO₂ 排出が少ない省エネルギー型設備を導入する際の、社会的、経済的、技術的問題、

障壁もあわせ、地域別調査分析が重要である。

3-3 産業部門・紙、パルプ

3-3-1 計算概要

1970年代のオイルショック以降、日本の紙・パルプ産業では省エネルギー型設備の導入や設備・操業の工夫・改善、古紙リサイクルとその利用などの省エネルギー対策を行ってきた。ここではマクロの評価を行い、他国のエネルギー消費原単位が日本の原単位並に下がった場合のポテンシャルを試算した。具体的には、国・地域別に統計データにある紙・パルプ業への燃料投入量から、エネルギー消費量およびCO₂排出量を計算するとともに、BAT技術を用いてエネルギー消費原単位が下がると仮定した際のCO₂排出量を計算した。

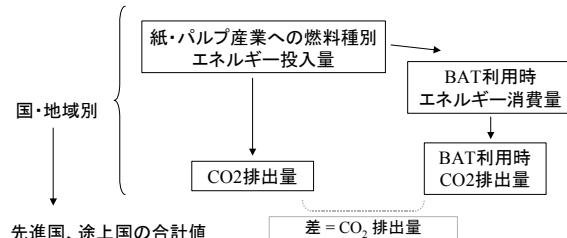


図3-3 計算スキーム（紙・パルプ）

各地域の2020年CO₂排出削減量 = 2020年CO₂排出量 × (1 - 日本のエネルギー消費原単位 ÷ 当該地域のエネルギー消費原単位)

エネルギー消費原単位 = Σ (紙・パルプ産業への燃料種別エネルギー投入量) ÷ 現在の生産量

3-3-2 生産量とエネルギー消費量

対象とする製品は紙・板紙とし、現状生産量は資料(13)のデータを用いた。

2020年の予測生産量については鉄鋼やセメントと同様に、GDPの見通し⁸より求めた。エネルギー消費量は、燃料種別燃料投入量¹⁴からエネルギー消費量を推計し、その結果から生産量あたりのエネルギー消費原単位を導出した。推計結果を表3-10に示している。

いくつかの国・地域(旧ソ連、韓国、アフリカ、中米、中東)では、エネルギー消費原単位は日本のそれよりも低い値であった。一般に紙製造工程に比べパルプ製造工程はよりエネルギー多消費であるが、比較対象国がパルプと紙の非一貫型(例:パルプは輸入し紙を生産するなど)の場合は、紙生産量あたりのエネルギー消費量は小さくなり、エネルギー消費原単位も少ないことになる(例:韓国、中米、中東)。一方、パルプ生産比率が高い国では、総エネルギー消費量が多いため、非一貫型が多い国よりも原単位は大きくなる(例:北米、南米、インド)(紙・板紙とパルプ生産量の比率は表3-10の最右列参照)。

今回、エネルギーの投入量は、IEAの統計を用いた。IEA統計には、自家発電部分への燃料投入が当該業種に計上されず、燃料転換部門に全部門合計という形で掲載されている。つまり、紙・パルプ産業における自家発電分が多い産業・国は、その業種での燃料消費は低めに見積られることとなる(各国統計データ入手が困難なため具体的にどの国がそれに相当するかは不明)。また、以上の二点だけでは結果が説明しきれない国もある(旧ソ

表 3-10 紙・板紙生産量とエネルギー消費量

		現状* 生産量 (Gton)	将来 生産量 (Gton)	現状エネルギー 消費量 (1,000TJ)	エネルギー 消費原単位 (GJ/t)	将来エネルギー 消費量 (1,000TJ)	現状 CO ₂ 排出量 (Mt-CO ₂)	将来 CO ₂ 排出量 (Mt-CO ₂)	参考: パルプ生産量 /紙板紙生産量
日本		30.7	44.7	421	13.7	573	20.0	29.1	0.36
北米	米、加	101.3	158.9	3,106	30.7	4,535	103.1	161.7	0.78
EU15		82.5	122.4	1,333	16.2	1,906	44.7	66.4	0.42
その他欧		5.7	8.4	127	22.4	185	6.1	9.0	0.54
旧ソ連		6.1	11.8	41	6.7	73	1.6	3.1	0.96
豪・NZ		3.5	5.1	82	23.3	111	4.1	6.0	0.77
アジア	中国	37.9	95.8	571	15.1	1,456	48.7	123.1	0.44
	インド	4.0	7.9	96	24.1	214	9.1	18.1	0.51
	韓国	9.3	13.6	81	8.7	164	4.6	6.7	0.71
	他アジア	14.8	29.6	63	4.3	140	4.1	8.2	0.06
アフリカ		3.0	6.1	10	3.5	20	0.5	1.1	0.79
中米		4.1	7.4	56	13.7	98	0.4	0.7	0.14
南米		10.2	18.6	371	36.2	672	8.6	15.6	1.19
中東		0.4	0.2	2	4.1	3	0.05	0.1	0.2

*先進国は2001年、途上国は2000年のデータを用いている。

(出所)資料(5)、(8)、(13)、(14)よりIEEJ推計

連、アフリカ、中米など)。今後の課題とも関連するが、統計上の問題も含め、こうしたデータの要因分析を行い、マクロデータが含有する問題を明確にしていくことが重要である。

CO₂排出量はエネルギー消費量にエネルギー源別 CO₂排出原単位⁵を乗じることで、使用化石燃料の CO₂排出量を計算した。ここでは、バイオマス、廃棄物系燃料の CO₂排出量はゼロとした。

3-3-3 結果と課題

BAT 利用時におけるエネルギー消費量、CO₂排出量を表 3-11 にまとめた。エネルギー消費原単位が日本の値になるように、各国のエネルギー消費量が削減されるとし、CO₂排出量は、燃料組成、廃棄物、バイオマスの投入割合が対策導入前と同じとして計算した。これは、各国で、同量のエネルギーを得るのに使用する燃料の供給事情が異なるためである。実際は効率化が進んだ場合、その地域の高価な燃料の利用割合が減る—例えば、バイオマスの利用量が不変であれば、結果としてバイオマスの利用割合は増える—と考えられる。

紙・パルプ産業については、製造工程での省エネルギー進展度合いのほか、前述の生産プロセス（パルプと紙の一貫型か、非一貫型か）の相違、バイオマス等を含めた燃料構成の相違（熱電併給の利用の有無を含む）、原材料の相違（国産、輸入木材か、古紙か、非木材パルプ利用か）、ボイラへの廃棄物（古紙・プラスチックなど）利用の有無といった生産構造的相違がエネルギー消費、および CO₂排出の国別差異を生む要因である。そのため、現状の評価の信頼度を上げるためには、このような要因を考慮に入れた比較分析・評価が必須である。また、顧客の製品需要、燃料価格など社会的、経済的障壁についても検討が必要である。例えば、パルプ製造では、原料が古紙か木材かで、製品の質が大きく異なる。これらの割合は製品需要により決定されるため、製品ごとの評価が必要となる。

紙・パルプ産業では、技術のボトムアップ評価は難しいとみられている¹⁵。それは、設備や適用される省エネルギー技術の多様性から、ある程度絞り込んだ省エネルギー技術についてのエネルギー削減能力についてのデータや普及率データの収集が難しいからである。そのため今回の分析では、マクロ評価を採用した。仮に、このようなマクロ評価を主に進めるのであれば、統計上の問題として、上記構造的相違が含まれているという点、自家発電分の計上方法、要因分析を行っても説明がつかない統計データについて留意し、集計方法などから信頼性の確認を行う必要がある。

表 3-11 2020 年 BAT 利用時エネルギー消費量、CO₂排出量

		エネルギー消費量 (TJ)	CO ₂ 排出量 (Mton-CO ₂)	CO ₂ 排出削減量 (Mton-CO ₂)
日本		573	29	
北米	米、加	2,176	72.2	89.5
EU15		1,677	56.2	10.1
その他欧		115	5.5	3.5
旧ソ連		162		
豪・NZ		70	3.5	2.5
先進国、EIT 計		4,813	134	103
アジア	中国	1,313	112	11.2
	インド	109	10.3	7.8
	韓国	186		
	他アジア	405		
アフリカ		84		
中米		101		
南米		255	5.9	9.7
中東		3		
途上国計		2,455	128	29

※斜線部分は、エネルギー消費原単位が日本を下回る国・地域。
(出所) IEEJ 推計

3-4 発電部門

3-4-1 計算概要

2020 年に向けて、現在の火力発電設備（石炭、石油、天然ガス；CHP（熱電併給）は除く）が、日本で導入されている最も

発電効率の良い設備（BAT）に更新されるというケースを想定し、その効率改善に伴う化石燃料消費量軽減量に相当する CO₂排出量を削減ポテンシャルとした。具体的には、

- ①現在の効率の発電設備（以下 BAU 発電設備）で新增設が行われる
- ②全発電設備が BAT 設備の発電効率となる（基本ケース）
- ③1980 年代以前に建設された設備が BAT に置換され、残りの設備は 1%の効率改善がなされる（参考ケース）

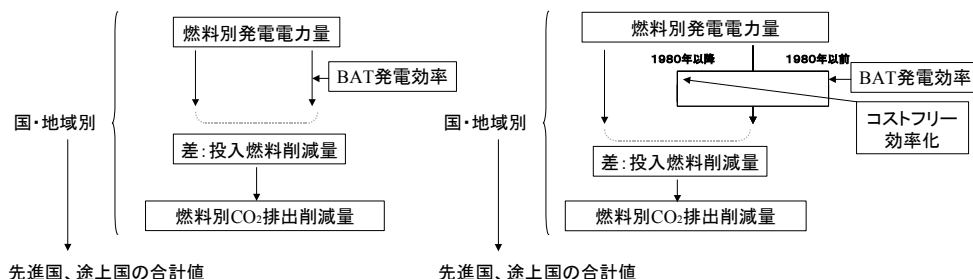


図 3-4 計算スキーム（発電・基本ケース） 図 3-5 計算スキーム（発電・参考ケース）

という 3 ケースを想定し、①→②と①→③に際しての発電燃料消費量の差分（省エネルギー分）に相当する CO₂ 排出量を、BAT 導入に伴う削減ポテンシャルと規定した。2-2 で述べたように、産業部門の各プロセスに対応する省エネルギー技術導入と異なり、発電部門においては発電効率向上のためには、付帯設備を含めたプラントの大規模な交換が必要となる。そのため、現実的にはプラント寿命は無視できない要因となる。この点から、基本ケースは、見込まれる最大のポテンシャルであり、参考ケースは、プラント寿命を考慮した、より現実性のあるケースである。また、ここでは、火力発電の化石燃料別電源構成比は将来も変わらないとした。

各地域の 2020 年時 CO₂ 排出削減量 = Σ (燃料別投入燃料削減量 (2020) × 燃料別 CO₂ 排出係数)

(基本ケース) 燃料別投入燃料削減量 (2020) = 燃料別発電電力量 (2020) × (BAT 設備の発電効率¹ - BAU 設備の発電効率¹)

(参考ケース) 燃料別投入燃料削減量 (2020)

= 1980 年以降に建設された発電所の電力量 × (コストフリー対策を講じた場合の発電効率¹ - BAU 設備の発電効率¹)

+ 1980 年以前既設および 2020 年までの新設発電所の燃料別発電電力量 (2020) × (BAT 設備の発電効率¹ - BAU 設備の発電効率¹)

BAU 設備の発電効率 (2020) = 既存設備の発電効率 (2001) + 効率向上分

既存設備の発電効率 (2001) = 燃料別発電電力量 (2001) / 投入発電燃料量 (2001)

3-4-2 将来発電電力量

現状の燃料別燃料投入量、発電量は、資料 (6) の値を用いた。2020 年の国・地域別燃料別発電電力量は、2030 年までの見通し⁸をもとに伸び率を外挿して推計した (表 3-12)。参考ケースの燃料投入量については、1980 年以前に運開した設備と、それ以降新設された発電所における発電電力量、さらに 2020 年まで新設される発電所からの発電電力量を分けて試算した (表 3-13)。また、資料 (16) から米国、中国、インドについての 1980 年までの累積発電量とそれ以降の新設発電量の比率を求め、それぞれ、先進国、中国、その他途上国を代表する値として採用した。

表 3-12 各国・地域における燃料別発電用燃料投入量・発電電力量ならびに発電効率 (発電端) (基本ケース)

	石炭					石油					天然ガス				
	2001年実績		2020年予測			2001年実績		2020年予測			2001年実績		2020年予測		
	燃料投入量 MTOE	発電電力量 TWh	発電効率 %	発電電力量 TWh	燃料投入量 MTOE	燃料投入量 MTOE	発電電力量 TWh	発電効率 %	発電電力量 TWh	燃料投入量 MTOE	燃料投入量 MTOE	発電電力量 TWh	発電効率 %	発電電力量 TWh	燃料投入量 MTOE
米国	476	1,886	34	2,322	554	27	120	39	145	31	97	438	39	890	160
その他北米	32	141	38	174	37	26	110	37	132	30	18	75	37	153	29
EU	147	648	38	782	169	26	116	38	67	14	52	300	50	643	94
その他欧州	23	85	32	104	26	3	11	35	6	1	8	43	48	87	13
FSU	2	8	31	11	3	3	6	19	7	3	19	35	16	52	18
中東欧	0	0	-	-	-	2	8	34	10	2	1	4	38	8	1
日本	52	239	40	288	59	22	117	45	71	13	46	257	48	494	75
豪・NZ・韓	74	270	31	327	84	6	26	39	16	3	11	52	42	100	17
中国	289	1,141	34	2,682	641	8	33	34	43	11	1	5	35	73	14
その他アジア	167	573	30	1,542	421	29	124	37	201	45	53	237	38	679	124
アフリカ	51	207	35	344	80	11	48	39	83	18	25	105	37	495	93
中南米	5	19	34	42	10	17	68	34	65	16	20	89	39	429	77
中東	7	33	39	57	12	45	207	39	270	57	55	223	35	525	103
合計 (平均)	1,324	5,250	34	8,675	2,097	224	994	38	1,117	245	404	1,864	40	4,627	819
効率向上分					2.0					1.4					8.8

(出所) 資料 (6)、(8) より IEEJ 推計

3-4-3 発電効率の仮定

BAU での 2020 年時の効率向上分は、2000 年と 2020 年の世界全体の発電電力量と燃料投入量⁸から推計した効率の差を効率向上分とした。BAT による発電効率は、日本の各燃料別発電設備のうち最も高い実績値¹⁷を採用した (表 3-14)。比較する BAU 効率がこの日本の現状実績値を元にした BAT よりも高い場合は、BAU 効率を採用した。参考ケースについては、1980 年以降新設された発電所の改善はコストフリー対策を講じた場合とし、BAU 設備の発電効率 +1% とした。1980 年以前既設および 2020 年までに新設される分の発電所の効率である

BAT 発電効率は、基本ケースで示したものと同一とした。

表 3-13 設備導入年による発電施設への燃料投入量の内訳 (参考ケース)

	石炭			石油			天然ガス		
	既設('80年 まで)	既設('80年 以降)	2020年まで 新設	既設('80年 まで)	既設('80年 以降)	2020年まで 新設	既設('80年 まで)	既設('80年 以降)	2020年まで 新設
	MTOE	MTOE	MTOE	MTOE	MTOE	MTOE	MTOE	MTOE	MTOE
米国	333	143	411	23	4	27	43	53	107
その他北米	22	10	28	22	4	26	8	10	19
EU	103	44	125	22	4	11	23	28	66
その他欧州	16	7	20	2	0	1	3	4	9
FSU	2	1	2	2	0	2	9	11	8
中東欧	0	0		2	0	2	0	1	1
日本	36	15	44	19	3	10	21	26	50
豪・NZ・韓	52	22	62	5	1	2	5	6	11
中国	20	269	373	2	7	4	0	1	13
その他アジア	17	150	271	4	24	21	1	52	72
アフリカ	5	46	34	2	9	9	0	24	69
中南米	0	4	6	3	14	1	0	19	58
中東	1	7	5	7	39	19	1	54	49
合計 (平均)	607	717	1,380	114	110	134	116	289	531

(出所) 資料 (6)、(8)、(16) より IEEJ 推計

表 3-15 BAT 導入による省エネルギー量の推計

	基本ケース						参考ケース					
	石炭		石油		天然ガス		石炭		石油		天然ガス	
	燃料投入 MTOE	省エネルギー MTOE	燃料投入 MTOE	省エネルギー MTOE	燃料投入 MTOE	省エネルギー MTOE	燃料投入 MTOE	省エネルギー MTOE	燃料投入 MTOE	省エネルギー MTOE	燃料投入 MTOE	省エネルギー MTOE
米国	465	89	31	0	141	19	484	70	31	0	146	14
その他北米	35	2	29	1	24	4	35	2	29	1	25	3
EU	157	12	14	0	94	0	159	10	14	0	93	1
その他欧州	21	6	1	0	13	0	22	4	1	0	13	0
FSU	2	1	1	1	8	10	2	1	2	1	13	5
中東欧	-	-	2	0	1	0	-	-	2	0	1	0
日本	58	1	13	0	75	0	58	1	13	0	75	1
豪・NZ・韓	65	19	3	0	16	1	70	14	3	0	16	1
中国	538	104	9	1	12	3	573	68	10	1	12	3
その他アジア	309	112	44	1	107	17	344	77	44	1	113	11
アフリカ	69	11	18	0	78	15	74	6	18	0	82	12
中南米	8	1	14	1	68	9	9	1	15	1	70	7
中東	11	1	57	0	83	20	11	0	56	1	92	11

(出所) IEEJ 推計

表 3-14 採用した燃料別 BAT 発電効率 (HHV 基準)

石炭	東京電力常陸那珂火力発電所 2 号の値 40.8%
石油	九州電力竜郷発電所 6 号の値 38.9%
LNG	東京電力富津火力発電所の値 49.0%

(出所) 資料 (17) より抜粋

3-4-4 結果と課題

表 3-15、3-16 に、省エネルギー量発電効率向上に

よる省エネルギー量および CO₂ 排出削減ポテンシャル推計結果を示した。ポテンシャルが最大となる基本ケースに比べ、参考ケースは 3 分の 2 程度である。発電設備は、設備更新に長期間を有する

表 3-16 BAT 導入による CO₂ 排出削減ポテンシャルの推計

		基本ケース				参考ケース			
		石炭	石油	天然ガス	合計	石炭	石油	天然ガス	合計
発電投入量	MTOE	2,097	245	819	3,162	2,097	245	819	3,162
省エネルギー	MTOE	358	7	99	464	255	6	68	330
省エネ率	%	17.1	2.7	12.1	14.7	12.2	2.6	8.3	10
CO ₂ 原単位	t-C/TOE	1.08	0.88	0.64	-	1.08	0.88	0.64	-
CO ₂ 総排出量	Mt-CO ₂	8,305	793	1,926	11,024	8,305	793	1,926	11,024
CO ₂ 削減量	Mt-CO ₂	1,419	21	233	1,673	1,010	20	161	1,191
CO ₂ 削減率	%				15.2				10.8

(出所) IEEJ 推計

ため、設備更新のタイミングは、試算結果に大きく影響することがわかる。

同方法の課題としては、①各国別の設備更新年、パターン等の検討による推計の詳細化、②欧州で主流の CHP について、熱供給との必要エネルギー量の配分方法を含む評価方法の検討と評価、③各国・地域における発電設備・発電電力量の見通しと IEA の見通しが整合的であるか、④評価結果の詳細化を図る際の確認（各国の実情をいかに反映させるか）などが挙げられる。

3-5 運輸部門・自家用車

3-5-1 計算概要

2020 年には現在の乗用車はすべて買い換えられると仮定し① 2020 年のストック乗用車の平均燃費が現在販売中の乗用車燃費と同じとした場合、②2020年のストック乗用車の平均燃費が BAT 乗用車の燃費と同じとした場合のケースについてガソリン消費量と CO₂排出量の推計を行い、①と②のケースの差分を削減ポテンシャルとした。

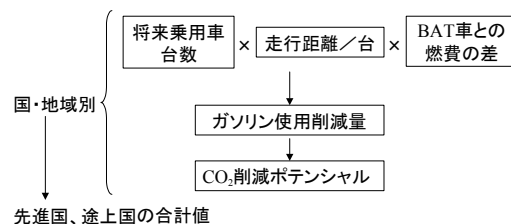


図 3-6 計算スキーム (運輸・自家用車)

各地域の 2020 年時 CO₂ 排出削減量

$$= \text{自動車普及台数 (2020)} \times [(\text{現在販売されている自動車燃費})^{-1} - (\text{BAT 車燃費})^{-1}] \times \text{一台あたり走行距離} \times \text{CO}_2 \text{ 排出係数}$$

$$\text{自動車普及台数 (2020)} = \text{一人あたり保有台数 (2020)} \times \text{人口 (2020)}$$

$$\text{一人あたり保有台数 (2020)} = \text{一人あたり保有台数の対 GDP 弾性値} \times \text{GDP 増加率 (2001-2020)}$$

$$\text{一人あたり保有台数の対 GDP 弾性値} = \text{一人あたり保有台数増加率 (1990-2001)} / \text{GDP 増加率 (1990-2001)}$$

3-5-2 乗用車の将来保有台数の推計

表 3-17 の人口および GDP の 1990, 2001 年の値 (資料 (6)) を元に、2020 年の値は 2001 年の値に対し資料 (8) の 2002/2030 の年平均伸び率を外挿し計算した。なお、アジア途上国 (中国インド除く) の 2020 年の人口見通しは、東アジアと南アジアの 2002/2030 の年平均伸び率を用いた。保有台数実績は、資料 (18) の値を用いた。米国の GDP 弾性値は、将来推計では一人あたり保有台数を横ばいとした。

表 3-17 人口、乗用車保有台数、100 人あたり保有台数、一人あたり GDP および弾性値

	人口 (億人)			保有台数 (万台)			保有台数 (台/100 人)			GDP (ドル (1995 価格) / 人)				弾性値 (Δ 保有/ Δ GDP/人)
	1990	2001	2020	1990	2001	1990	2001	増加率	1990	2001	2020	1990-2001 年増加率	2001-2020 年増加率	
北米	2.78	3.16	3.75	15,617	16,405	56.2	51.9	-0.7%	25,408	31,778	42,063	2.1%	1.5%	-0.4
EU 15	3.76	3.91	3.98	13,149	18,518	35.0	47.4	2.8%	21,178	25,495	37,128	1.7%	2.0%	1.6
豪	0.17	0.19	0.22	767	984	44.6	50.5	1.1%	18,496	24,039	32,434	2.4%	1.6%	0.5
アジア途上国*	7.97	9.72	12.19	1,026	2,881	1.29	2.97	7.9%	1,395	1,987	3,493	3.3%	3.0%	2.4
中国	11.41	12.79	13.79	166	751	0.15	0.59	13.5%	443	1,008	2,360	7.8%	4.6%	1.7
インド	8.50	10.32	12.71	248	498	0.29	0.48	4.7%	324	479	931	3.6%	3.6%	1.3
中東	1.30	1.69	2.42	656	1,001	5.03	5.92	1.5%	3,599	3,678	4,510	0.2%	1.1%	7.5
アフリカ	6.26	8.15	11.65	929	1,238	1.48	1.52	0.2%	780	768	1,091	-0.1%	1.9%	-1.6
中南米	4.34	5.19	6.27	2,181	2,938	5.03	5.66	1.1%	3,325	3,822	5,756	1.3%	2.2%	0.9

※ 中国、インドを除く。

(出所) 資料 (6)、(8)、(18) より IEEJ 推計

3-5-3 自動車燃費の仮定

(a) 現状自動車燃費

現在販売されている自動車の各地域ごとの燃費を、以下のように仮定した。計算に採用した燃費を、表 3-19 にまとめた。

● 地域別に既に普及した車の平均効率のデータ入手が困難であるため、各地で導入されている基準を利用することとした。

表 3-18 乗用車保有台数の推計 (2020 年)

	保有台数(台/100人)	保有台数(万台)
北米	51.90	19,449
EU 15	87.51	34,871
豪	58.22	1,294
アジア途上国 (除中印)	11.25	13,704
中国	2.52	3,482
インド	1.14	1,443
中東	26.12	6,314
アフリカ	0.86	1,004
中南米	8.03	5,032

(出所) IEEJ 推計

● 米国は、連邦自動車基準 (CAFE) の基準値 11.7km/l を、実測による日本の 10・15 走行モード用換算式を用いて補正した¹⁹。なお、資料(16)の DOE による新車平均燃費は、換算前で 10.2km/l であり、上記基準よりも低い値である。

● 欧州は、欧州自動車工業会自主基準の基準値¹⁹である 17.0km/l を、米国と同様、日本の 10・15 走行モード用換算式¹⁹を用いて補正した。参考までに、既存文献^{20,21,22,23}で普及車の燃費が得られたものについて、表 3-20 にまとめた。これらの値は、上記自主基準よりも低いものとなっている。

● オーストラリアは、資料 (24) にある 1997 年時点で作された 2010 年までの自主目標の値に、米国の 10・15 走行モード用換算式¹⁹を用いて補正した。なお、2002 年の新規販売車燃費の平均は、12.0km/l (10・15 走行モード換算前) である。

● 途上国の既存販売車燃費は、業界ヒアリングから、ほぼ日本のものと同じスペックのものが販売されている実態を考慮し、日本のガソリン乗用車平均燃費を採用した²⁵。

(b) BAT 自動車燃費

BAT である自動車の燃費は、日本車現販売自動車の平均値 (10・15 モード) を用いた。具体的には、トヨタ、ホンダ、日産のカタログより、1,500cc クラスの最良燃費 (km/l) の値を用いた (表 3-21 参照)。将来の導入台数の想定が難しいため、加重平均はせず、単純に算術平均とした。

(c) 走行距離

計算に採用した一台あたり走行距離を、表 3-22 にまとめている。

- 北米については、資料 (26) の推計値を利用した。
- 欧州については、資料 (18) の普及台数と平均走行距離から、加重平均した走行距離を求めた (表 3-23)。なお欧州の中で計算に用いる国が限定されているのは、データの制約による。
- オーストラリアは、北米と同じとした。
- 途上国は、資料 (18) のタイの値 (23,566km) を参考にした。

3-5-4 結果と課題

表 3-24 に、高効率自動車導入による CO₂ 排出削減ポテンシャル推計をまとめている。試算の結果、米国の CO₂ 削減ポテンシャルが途上国と比べても高いという結果となった。これは、米国は乗用車の普及台数が多く、1 台あたり走行距離も長いことに加え、米国の現在の燃費が低いことが理由に挙げられる。販売車に対する基準値をもとにした新規に販売される自動車での比較では、上記のように途上国と米国で逆転がみられるが、実際には途上国においては安価な中古車 (燃費で劣る) が先進国よりも多く利用されると予想される。市場に出回る自動車の燃費の個別把握は困難であり、それら中古車の市場シェアはデータ制約のため把握が難しい。また、途上国の自動車保有台数は、高い伸び率にもかかわらず、現状の水準が相対的に低いために、2020 年の予測値は先進諸国と比べて低い。また、

表 3-19 自動車販売車燃費の仮定

(km/l)	計算に用いた (補正後) 燃費
米国	10.3
欧州	15.9
オーストラリア	13.9
途上国	14.7

(出所) 資料 (19)、(24)、(25) より IEEJ 推定

(参考) 表 3-20 欧州における自動車燃費 (10.15 走行モード換算前)

(km/l)	新規販売車燃費	普及車 (ストック) 燃費
イギリス	13.9	11.1
ドイツ		11.5
フランス	16.3	13.3
イタリア*	13.5	

*イタリアのみ販売車の最良燃費である。(出所) 資料 (20)、(21)、(22)、(23) より抜粋

表 3-21 現販売自動車燃費 (km/l)

	ガソリン車	5MT	4AT
トヨタカローラ		18	16.6
ホンダシビックフェリオ		17.8	16.2
日産サニー		17.6	16.2
採用値			17.1

(出所) 各社カタログより抜粋

表 3-22 一台あたり年間走行距離

	計算に用いた走行距離 (km/台・年)
米国	18,900
欧州	14,100
オーストラリア	18,900
途上国	23,000

(出所) 資料 (18) より IEEJ 推計、資料 (26) より抜粋

表 3-23 欧州の普及台数と平均走行距離

	乗用車普及台数現状 (千台)	平均走行距離 (km/台・年)
イギリス	22,785	16,000
ドイツ	42,323	12,700
フランス	29,160	14,000
デンマーク	1,933	20,098
オランダ	6,051	16,110
スウェーデン	4,045	14,408
スイス	3,701	13,500
普及台数による加重平均		14,136

(出所) 資料 (18) より IEEJ 推計

表 3-24 高効率自動車の導入による CO₂ 削減ポテンシャル

	CO ₂ 削減量 (Mt-CO ₂ /年)
北米	328
EU 15	50
豪	8
先進国計	378
アジア途上国 (中印除)	69
中国	17
インド	7
中東	32
アフリカ	5
中南米	25
途上国計	155

(出所) IEEJ 推計

イギリス、ドイツは EU の中では燃費が低い乗用車が多く、オーストラリアは欧州と比べて燃費が低いなど、これら国では BAT 車の効果が期待できる。

データの制約により、下記いくつかの点で不確実性が高く、国別・地域別のデータ収集・精度向上が鍵である。例を挙げると、各国別自動車一台当たり走行距離は個別データ（多くが推計値）、一台当たり燃費（現行からの変化評価—フロー分析—は実施が困難）、自動車サイズ別データなどが少ないかいない場合が多い。また、多くのデータに関して、途上国のものが入手できない。また、今回評価に加えていない、ロシアなど経済移行国（EIT 諸国）も同様に少ない。

方法論としては、将来の普及台数を、GDP の関数としてのみとらえてよいか（例えば、道路延長、複数保有世帯比率等との関係も加味するか否かなど）検討が必要である。また、米国、あるいは、中国・インドのような大国では、さらに国内の地域別評価が精緻化のために必要である。また、自家用乗用車だけではなく、貨物車についても今後検討を広げることが望ましい。

3-6 家庭部門・冷蔵庫

3-6-1 計算概要

2020 年に向けて、現有の冷蔵庫は全て買い換えが行われると
考え、現有ならびに今後追加的に購入される冷蔵庫が、

- ①全ての冷蔵庫が現在販売されている機器に置き換わる
- ②現在の BAT の冷蔵庫に全て置き換わる

という 2 ケースを想定し、その際の電力総消費量の差に相当する CO₂ 排出量を、BAT 冷蔵庫導入に伴う削減ポテンシャルとした。

各地域の 2020 年時 CO₂ 排出削減量

$$= \text{冷蔵庫保有台数 (2020)} \times [\text{現在販売されている冷蔵庫の年消費電力} \\ - \text{(BAT 冷蔵庫の年消費電力)}] \times \text{稼働時間 (1 年)} \times \text{CO}_2 \text{ 排出係数 (電気)}$$

$$\text{冷蔵庫保有台数} = \text{一人あたり保有台数} \times \text{人口}$$

$$\text{一人あたり保有台数} = \Sigma (\text{年販売台数} \times \text{残存率}) \div \text{人口}$$

$$\text{将来の年販売台数} = \text{2001 年比一人あたり GDP 増加割合} \times \text{2001 年販売台数}$$

3-6-2 冷蔵庫の将来保有台数の推計

日本の保有台数²⁵と販売台数^{27, 28}が整合するように、機器残存率を設定した。過去の販売台数は、地域ごとの経年販売台数²⁸を用いて求めた。将来販売台数は、一人当たりの所得が増加することで購入も増えると仮定し、2001 年比一人あたり GDP 増加割合²⁶に 2001 年販売台数を乗じることで、年ごとの販売台数見込みを算出した。販売台数と機器残存率と人口見通し(表 3-17)から、2020 年の一人あたり保有台数を算出した(表 3-25)。

3-6-3 冷蔵庫の年間消費電力量及び電力の CO₂ 排出原単位

入手可能なデータを、入手できなかった類似する国・地域に適合した。BAT として、日本の最良効率である年間消費電力量 150kWh であるのは総容量 401~458 リットルの範囲で 4 機種販売されている(2004 年 12 月時点)²⁹。地域によりどのようなサイズのものが入るか特定できないため、ここでは、410 リットルの上記消費電力量のものが普及するとした。途上国は、得られた現販売品の年間消費電力量と容量の相関から外挿して、当該内容積の年間消費電力量を算出し採用した。先進国には、エネルギー消費効率に基準が設けられており^{19, 30}、ここでは当該内容積に相当する消費電力量を、その基準をもとに算出し採用した。国の独自の基準、あるいは、ISO、JIS など測定基準は国ごとに異なる。たとえば、外気温の差による消費電力量の規格間における差はおよそ 1~2 割である³¹。しかし今回は詳細な地域評価を行わないため、

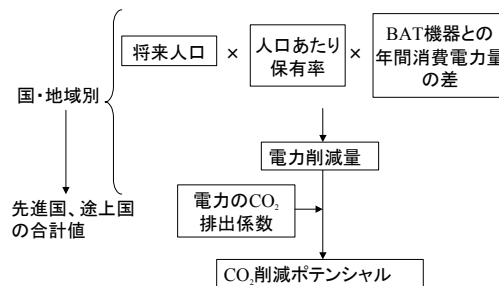


図 3-7 計算スキーム (冷蔵庫)

表 3-25 一人あたり保有台数推計結果 (冷蔵庫)

	一人あたり保有台数	
	2001年	2020年
日本	0.48 ※	0.68
北米	0.38	0.48
EU	0.42	0.57
オセアニア	0.39	0.56
アジア	0.063	0.10
中近東	0.021	0.049
アフリカ	0.010	0.018
中南米	0.20	0.21

※2001 年の統計値。

(出所) 資料 (25)、(26)、(27)、(28) より IEEJ 推計

表 3-26 計算に用いた電力の CO₂ 排出原単位

	電力CO ₂ 排出原単位 (g-CO ₂ /kWh)
北米	543
EU15カ国	302
オセアニア	401
アジア途上国※	290
中国	786
インド	967
中東	357
アフリカ	607
中南米	143

※ 中国、インドを除く。

(出所) 資料 (6) より抜粋

この違いは計算上考慮しなかった。

電力の CO₂ 排出原単位は、資料 (6) 中の 2001 年値を採用した。

3-6-4 結果と課題

表 3-27 に、今回の推計結果を示している。今後販売され普及されるものに着目するため現在の基準値から計算したものを既存品効率としたことから、基準が緩い（つまり効率が低い）EU で削減効果が高いという結果となった（北米は導入量が大きいので、削減量としては同等である）。実際に現在利用されている機器効率については、国によってデータ制約がある。例えば、米国では冷蔵庫による総電力消費が 115TWh/年であるという報告があり³²、そこからおおよそ計算する

表 3-27 BAT 冷蔵庫導入による CO₂ 削減ポテンシャル試算結果

	既存品効率 (kWh/台・年)	BAT効率 (kWh/台・年)	省エネルギー量 (kWh/台・年)	2020年CO ₂ 削減効果 (Mt-CO ₂ /年)
北米	485	150	335	33
EU 15カ国	615		465	32
豪	411		261	1
先進国合計				66
アジア途上国*	722	150	335	20
中国			465	62
インド			274	70
中東			335	2
アフリカ			465	7
中南米			274	11
途上国合計				173

※中国、インドを除く。（出所）IEEJ 推計

と約 1,100kWh/年の年間消費量になる。あるいは、EU 諸国については、イギリスの 570kWh/年²⁰、ドイツの 275 kWh/年²¹、イタリアの 450 kWh/年³³という報告があるが、基準値とは大きく異なるものである。そのため、本試算結果は、米国では過小評価であり、欧州は過大評価となっている可能性が大きい。また、地域による普及タイプの違いにも留意する必要がある。アメリカでは、内容量が 800~1,000 リットルクラスの大型冷蔵庫の普及が多いので、前述のように年間消費量が高くなっている可能性がある。途上国では、現状で販売されている機器の消費電力量が高いため削減率が高く、一人当たり保有台数の現状や見通しがともに小さいものの、人口増加が大きく見込まれることと、電力の CO₂ 排出原単位が高いために、削減量も高い結果となった。

データの制約により、いくつかの点で不確実性が高く、国別・地域別のデータ収集・精度向上が鍵である。冷蔵庫サイズ別、機能別の個別機器データ（台数、消費電力量など）がない、あるいは少ない、冷蔵庫の使い方、気温による年間消費電力量の地域による相違（BAT 効率を出せるかどうか）、途上国、ロシアなど EIT 諸国のデータがない、あるいは少ない、など挙げられる。また、国の独自の基準、あるいは、ISO、JIS など、測定基準が国ごとに異なる点や、地域区分の詳細化による地域別評価の精緻化、国・地域による購入する冷蔵庫のサイズ・機能など嗜好性の相違の扱いについて検討する必要がある。

3-7 家庭部門・エアコン

3-7-1 計算概要

2020 年に向けて、現有のエアコンは全て買い換えが行われると考え、現有ならびに今後追加的に購入されるエアコンが、

- ①全てのエアコンが現在の販売機器に置き換わる
- ②現在の BAT のエアコンに全て置き換わる

という 2 ケースを想定し、電力総消費量の差相当分の CO₂ 排出量を、BAT エアコン導入に伴う削減ポテンシャルとした。

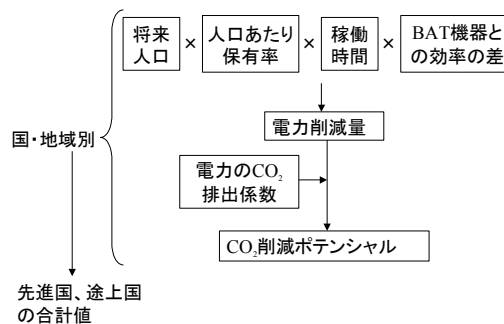


図 3-8 計算スキーム（エアコン）

各地域の 2020 年時 CO₂ 排出削減量 = エアコン保有台数 (2020) × [(現在の販売エアコンの年消費電力)

− (BAT エアコンの年消費電力)] × 稼働時間 × CO₂ 排出係数 (電気)

エアコン保有台数 = 一人あたり保有台数 × 人口

一人あたり保有台数 = Σ (年あたり販売台数 × 残存率) ÷ 人口

将来の年販売台数 = 2001 年比一人当たり GDP 増加割合 × 2001 年販売台数

3-7-2 エアコンの将来保有台数の推計

日本の保有台数²⁵と販売台数^{27, 34}が整合するように、機器残存率を設定した。過去の販売台数は、地域ごとの

経年販売台数³⁴を用いて求めた。将来販売台数と 2020 年の一人当たり保有台数は、冷蔵庫のポテンシャル評価 (3-6-2 参照) と同様の方法で算出した (表 3-28)。

3-7-3 消費電力あたりの冷房能力及び電力の CO₂ 排出原単位

入手可能なデータを、データが入手できなかった類似する国・地域に適合した。BAT として、冷房能力 2.8kW (8~12 畳用) の日本の最高効率 (COP^{iv}) は 6.15 である (2004 年 12 月時点)²⁹。地域によりどのようなサイズのものが入るか特定できないため、ここでは、上記冷房能力のものが普及すると仮定した。途上国については、得られた現販売品の COP と冷房能力の相関から外挿して求めた COP を採用した。先進国については、北米・オーストラリアはアメリカの基準値³⁵から 2.34、EU15 ヶ国は資料 (36) の空冷分離型の販売機器の平均値 (2.48-2.53) から 2.5 の値を採用した。また、電力の CO₂ 排出原単位は、資料 (6) 中の 2001 年値を採用した。

3-7-4 稼働時間の仮定

(社) 日本冷凍空調工業会規格 (JRA4046) の期間消費電力量 (kWh) の算出には、BOX 1 に示す条件の下計算されている。各地域の冷房用電力消費量のための稼働時間を算出するに当たり、この日本の指標における計算条件のうち、冷房期間、使用時間を参考に、1 台当たり基準の実稼働時間 (東京) を 3.6 ヶ月×30 日×18 時間×10%=194 時間と仮定した。

ここで、冷房が必要な期間および時間に対し、実際には在室率などから一台あたりの稼働率は低いと想定し、日本の実情 (家庭部門年間冷房エネルギー消費とエアコン普及率等) を勘案して、想定利用率 10% を乗じた。

冷房度日と世帯あたり冷房エネルギー消費量とは、線形回帰するとし、各地域の冷房度日の対「東京」比を上記東京の稼働時間に乗じる形で、年間電力消費量を算出した (値の大きいアジア途上国やインドの場合、単位時間当たりの冷房の強度が強まることにも反映されることとした)。

3-7-5 結果と課題

表 3-30 に、今回の推計結果を示した。北米はエアコンの所有台数が多く、BAT エアコンによる CO₂ 排出削減効果が大きい。EU は、イタリアなど温暖な地中海沿岸国以外では保有台数がまだ少ないが、最近では異常気象など地域気候変化による保有台数の増加があり³⁷、今後もこのような購入傾向が続くと考えられるため、効率の高い BAT エアコンの普及が効果的である。途上国では、BAT エアコン導入の効果が高いと

いう結果であった。これは、気温の高い (=冷房度日の高い) 地域が多いことと、電力あたりの CO₂ 排出量原単位が高い (中国、インド) ことなどが理由に挙げられる。米、豪、インド、中国、EU などは、国・地域のなかで大きく気象条件が異なるが、ここでは各国 1 つの冷房度日を設定し、稼働時間を計算した。実際にはエアコン

表 3-28 一人あたり保有台数推計結果 (エアコン)

	一人あたり保有台数	
	2001年	2020年
日本	0.88*	1.3
北米	0.20	0.33
EU	0.051	0.15
オセアニア	0.228	0.76
アジア	0.039	0.10
中近東	0.091	0.084
アフリカ	0.009	0.013
中南米	0.033	0.073

※2001年の統計値。

(出所) 資料 (25)、(27)、(34) より IEEJ 推計

BOX1 JRA4046 における期間消費電力量算出条件
 外気温度：東京、冷房時室内設定温度：27°C
 冷房期間：6月2日～9月21日の3.6ヶ月
 使用時間：6:00～24:00の18時間
 住宅：JIS C 9612による平均的な住宅 (木造、南向き、洋室)

表 3-29 稼働時間計算のための対「東京」比

米国	2	アジア途上国	7	中東	6
EU	1	中国	2	アフリカ	3.6
豪	1	インド	5.7	中南米	1.5

(出所) IEEJ 推定

表 3-30 BAT エアコン導入による CO₂ 削減ポテンシャル試算結果

	既存品効率	BAT効率	稼働時間	省エネルギー量	2020年CO ₂ 削減効果
	COP	COP	(時間/年)	(kWh/台・年)	(Mt-CO ₂ /年)
北米	2.3	6.15	389	288	19
EU15カ国	2.5		194	129	2
豪	2.3		194	144	1
先進国合計					22
アジア途上国*	3.1	6.15	1,361	626	22
中国	2.9		389	196	21
インド	2.7		1,108	640	79
中東	2.6		1,166	711	5
アフリカ	2.3		700	522	5
中南米	2.7		292	175	1
途上国合計					133

※中国、インドを除く。

(出所) IEEJ 推定

^{iv} COP (Coefficient of Performance) : 消費電力 1kW あたりの冷房・暖房能力 (kW) を表したものの。

の普及台数、稼働時間が大きく異なると予想され、さらに途上国では、都市部と農村部の所得格差が大きく、エアコンの普及率が異なる。そのため、分析の精度向上のためには、各国内の地域別分析が必要となる。

3-6-4 (冷蔵庫) で述べた課題と同様、エアコンの推計結果もデータの制約により不確実性が高く、国別・地域別のデータ収集・精度向上が重要である。具体的には、エアコンの冷房能力別、形式別 (集中冷房か各室別冷房か) の個別機器データ (台数、消費電力量など)、および途上国、ロシアなど EIT 諸国のデータが少ないことが挙げられる。また、エアコンの稼働時間や利用タイプ、冷房能力など地域による相違の詳細な検討、国の独自の基準あるいは ISO、JIS など測定基準の違いの検討、パラメータである稼働時間やほか COP に影響する利用タイプ、冷房能力に影響するライフスタイル、嗜好性など、気象条件のほかにも国・地域による相違の扱いについての検討が必要である。

3-8 家庭部門・照明

3-8-1 計算概要

2020 年までに現有の照明器具は全て買換えられると考え、現有ならびに今後追加的に購入される照明器具が、

①家庭内の全ての白熱灯照明が電球形蛍光灯 (CFL) に置き換わり、蛍光灯が高効率蛍光灯に置き換わる

②家庭内の全ての白熱灯照明および蛍光灯が高効率蛍光灯に置き換わる

という 2 ケースを想定し、それぞれのケースにおける電力総消費量の差相当分の CO₂ 排出量を削減ポテンシャルと規定した。①は、照明器具の大規模変更を必要としないケース、②は照明器具買い替えコストやライフスタイルなど実現の障壁は高いが、最大の効率化を目指したケースある。

各地域の 2020 年時 CO₂ 排出削減量 = 家庭の照明電力消費量 × CO₂ 排出係数 (電気)

× [白熱灯割合 × (1 - 白熱灯から①CFL②BAT 蛍光灯へ置換わった場合の省エネルギー率) + 蛍光灯割合 × (1 - BAT 蛍光灯へ置換わった場合の省エネルギー率)]

先進国 家庭の照明電力消費量 = 世帯数 (2020) × 世帯あたり照明電力消費量

世帯数 (2020) = (人口 (2020) - 人口 (2000)) / 人口 (2000) × 世帯数 (2000)

途上国 家庭の照明電力消費量 = 家庭の電力消費量 × 照明電力消費比率

3-8-2 照明用電力消費量

先進国の将来世帯数は、世帯数実績³⁸に人口 (表 3-17) の 2020 年までの増加割合を乗じて求めた。1 世帯あたりの照明に対する電力消費量は 2020 年において変わらないと仮定し、照明への電力総消費量は既存の報告にある世帯あたり電力消費量³⁹と将来世帯数を乗じて求めた。

途上国については、世帯あたり照明電力消費量のデータがないことから、家庭の電力消費量に家庭の消費電力における照明比率を乗じた。ここで照明比率は、日本の 2001 年度における家庭の消費電力における照明比率が 15.8%⁴⁰であることから、20%と想定した。2020 年における家庭の電力消費量は、2001 年の電力消費量¹⁴に、途上国のその他部門 (運輸産業以外) の 2030 年までの電力需要量見通しの 2002 年から 2020 年までの伸び率⁸を外挿して推計した。

3-8-3 照明機器効率と利用割合

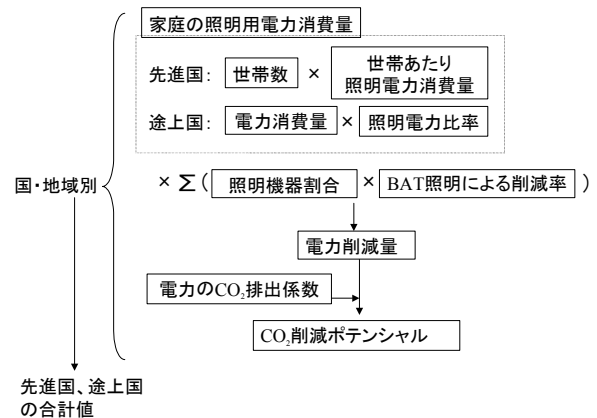


図 3-9 計算スキーム (照明)

表 3-31 2020 年の世帯数、家庭の照明電力消費量

	世帯数	家庭の照明電力消費量
	(1,000世帯)	(kWh/世帯/年)
北米	137,210	1,519
豪州・NZ	6,865	580
EU 15 カ国	137,433	574

(出所) 資料 (38)、(39) より IEEJ 推計

表 3-32 途上国の家庭電力消費量および照明電力消費量

(TWh)	2001年家庭電力消費量	2020年家庭電力消費量	2020年家庭における照明電力消費量
アジア途上国*	204	555	111
中国	184	500	100
インド	80	216	43
中東	158	430	86
アフリカ	108	293	59
中南米	209	569	113

※中国、インドを除く。

(出所) 資料 (8)、(14)、(40) より IEEJ 推計

表 3-33 各種光源のランプ効率

ランプ種類	白熱灯	電球形蛍光灯	蛍光灯	Hf蛍光灯
効率 (lm/W)	17	68	96	110

(出所) 資料 (41) より抜粋

計算に用いた各種光源の効率^{41v}を、表 3-33 にまとめた。

それぞれの地域による利用割合は、既存の文献^{42、43、44}から得られた国ごとに照明器具灯数（表 3-34）の値を参考にし使用時間を推定した（表 3-34）。実際には、器具の効率・使用時間が異なるため、器具灯数割合がそのまま消費電力量割合にはならないが、使用時間のデータ制約把握は難しいため、このような方法を採用した。

上記照明器具は、電化された地域で利用するものであるため、実際に電化されない地域によるランプ照明に対する BAT 照明器具への置き換わりはここでは考えていない。インドでは 50%がランプ照明（電気不使用）、中国では 30%という報告があり⁴⁵、これらは無電化地域であると考えられる。先進国では電化が進んでいるが、途上国では、いまだ無電化地域が多い。そのため、表 3-35 で示した途上国とは、主に電化された都市部を対象としていることになる。例えば、2002 年で先進国（EIT 含む）では無電化人口は 700 万人以下であるのに対し、途上国では 16 億人であり、そのうち 13 億人が農村部居住である⁸。

3-8-4 結果と課題

表 3-36 に、BAT 機器を家庭用照明に用いた場合の 2020 年における CO₂削減ポテンシャルを、ケース①白熱灯は CFL に置き換わり蛍光灯は高効率蛍光灯になる場合、ケース②すべての照明が高効率蛍光灯になる場合についてそれぞれまとめた。

照明の場合、白熱灯から電球型蛍光灯（CFL）にすることにより大幅な CO₂削減量が期待できる（4割～5割の削減）。しかし、さらに効率の良い BAT 蛍光灯を導入しても（ケース①から②への移行）、削減量の大幅アップには繋がらないことがわかる（1割程度の追加削減）。大規模な設備変更を伴うケース②のような蛍光灯への移行よりも、ケース①で費用対効果が高い削減が可能であることが示唆される（詳細は経済性評価必要）。

欧米では白熱灯照明が多く利用されており、本計算では高い効果が得られるという結果となった。また、先進国に比べ途上国で高い削減ポテンシャル結果が得られたが、これは効率の低い機器を代替した効果ではなく、もともとのエネルギー消費量の大きさによるものである。前者に関連して 3-8-3 で述べたように、本試算ではデータ制約もあり電力消費量のみに着目しており、ランプから照明への代替は考慮していない。電気以外の燃料も含めた照明用エネルギー消費量で試算が可能であれば、より途上国でポテンシャルが大きくなると予想される。このほか今後の課題として、データの制約により、世帯数、将来の家庭における照明電力消費量、個別照明器具の現状効率と性能向上による省エネルギー率、電力消費量における各機器利用割合、そして照明機器灯数などの点で不確実性が高く、国別・地域別のデータ収集・精度向上への努力が挙げられる。また、利用者の嗜好性（照明色、明度など）、利用箇所による器具の適合性（点灯消灯の頻度）といった利用形態など、置き換え可能性に影響する点の考慮を検討する必要がある。

3-9 家庭部門・断熱

表 3-34 各種文献中の照明器具灯数における各器具割合

	白熱灯割合	CFL割合	蛍光灯割合
イギリス	0.81	0.04	0.15
フランス	0.70		
イタリア	0.70		
ドイツ	0.79	0.07	0.14
オーストラリア	0.90	0.10	0.00
中国	0.56	0.12	0.32

（注1）太字は各文献からの値。細字は全体を100%としたときの残りとした。

（注2）中国は都市部のみ。

（出所）資料（42）、（43）、（44）より抜粋

表 3-35 計算に用いた照明電力消費における照明器具割合

	白熱灯割合	CFL割合	蛍光灯割合
先進国	0.8	0.1	0.1
途上国	0.6	0.1	0.3

（出所）IEEJ 推定

表 3-36 BAT 照明導入による CO₂削減ポテンシャル試算結果

	家庭照明利用によるCO ₂ 排出量 (Mt-CO ₂)	BAT利用の場合の2020年CO ₂ 削減量 (Mt-CO ₂)	
		ケース①	ケース②
北米	113	69	78
EU15カ国	24	15	16
豪	1.6	1.0	1.1
先進国合計	139	85	96
アジア途上国*	32	16	18
中国	78	38	43
インド	42	20	23
中東	31	15	17
アフリカ	36	17	19
中南米	16	8	9
途上国合計	235	115	128

※中国、インドを除く。（出所）IEEJ 推計

^v 照明の効率は、ここでは lm/W（ルーメン/ワット）で表した。消費電力 1W あたり光源から出る可視光線の量（lm で表す）がどれくらい出るかを表す単位。

3-9-1 計算概要

北米、日本、欧州の 2020 年に向けて建て替えが行われる世帯において、高い断熱効率に改善されるものとした場合の CO₂ 排出量を削減ポテンシャルとした。

具体的には、断熱効率基準が厳しいドイツの基準値まで、日本、北米、イギリス、ドイツ、フランスの断熱効率が向上した場合を試算した。なお、途上国は温暖な地域が多いことから、対象にしていない。

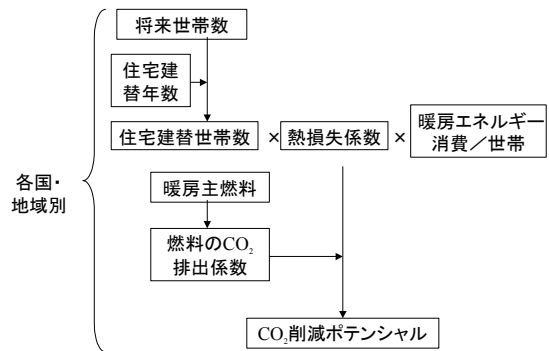


図 3-10 計算スキーム (断熱)

各地域の 2020 年時 CO₂ 排出削減量

= 世帯数 (2020) × 家庭における暖房用エネルギー消費量

× 断熱効率改善率 × 住宅建て替え世帯数 × CO₂ 排出係数 (日本 : 灯油、米・英・仏・伊 : ガス)

世帯数 (2020) = (人口 (2020) - 人口 (2000)) / 人口 (2000) × 世帯数 (2000)

断熱効率改善率 = 1 - 1 / (熱損失係数 / BAT の熱損失係数)

住宅建て替え世帯数 = 世帯数 (2020) × 15 年 / 住宅建て替え年数

3-9-2 将来世帯数および家庭における暖房用エネルギー消費量

3-8 で試算した世帯数のほか、評価に新規追加する数ヶ国の 2020 年における世帯数を試算した。2020 年の人口見通し²⁶に、平均世帯員数 (日本は資料 (38)、欧州は資料 (46) より) を乗じて求めた。

暖房用エネルギー消費量は、世帯あたり暖房用エネルギー消費量に将来世帯数を乗じてもとめた。ここで、将来の世帯あたり消費量は、現在文献で得られる数値と変化がないと仮定した。また、各値の出典は、日本・北米が資料 (47)、欧州が資料 (48) である。

暖房用エネルギーに用いる燃料は、日本では全て灯油、北米と欧州では全て天然ガスと仮定した。

表 3-37 将来世帯数、世帯あたり暖房エネルギー消費量

	人口 (2020年) (百万人)	平均 世帯員数 (人/世帯)	世帯数 (2020年) (1,000世帯)	世帯あたり 暖房エネルギ-消費量 (GJ/年・世帯)
日本	126	2.70	46,667	12.2
北米			137,210	56.5
イギリス	62	2.40	25,833	44.2
ドイツ	82	2.40	34,167	56.1
フランス	64	2.57	24,903	46.8
イタリア	54	2.80	19,286	39.2

(出所) 資料 (26)、(38)、(46)、(47) より IEEJ 推計

3-9-3 熱損失係数と断熱効率改善率の仮定

熱損失係数は、時間あたりに建物内部から外界へ逃げる熱量を床面積で除した数値である。ここでは、資料 (49) の各国の保温性に関する省エネルギー基準のデータを利用した。暖房度日は 2,500 度日 (次世代省エネルギー基準の IV 地域相当) とし、北米は米国、イタリアはフランスの値と同じと仮定した。

表 3-38 建物の熱損失係数

	熱損失係数 (W/m ² K)
日本	2.7
北米	2.0
イギリス	2.4
ドイツ	1.3
フランス、イタリア	1.6

(出所) 資料 (49) より IEEJ 推定

3-9-4 建て替え住宅数の仮定

住宅建て替え年数については、日本は資産法定年数を参考に戸建住宅 20 年、集合住宅 50 年とし、欧州、北米は日本の 2 倍と想定した。建て替え対象期間は、2005 年から 2020 年の 15 年間と想定した。また、戸建/集合比率は、日本と欧州については戸建 50%、集合 50%と想定した。

表 3-39 断熱効率改善による CO₂ 削減ポテンシャル試算結果

	BAT 利用の場合の 2020 年 CO ₂ 削減量 (Mt-CO ₂)
日本	11
北米	51
イギリス	7
フランス	3
イタリア	2
合計	73

(出所) IEEJ 推計

3-9-5 結果と課題

表 3-39 に試算結果をまとめた。ドイツは評価における基準としたため、ポテンシャルはゼロである。

年間の暖房エネルギーは、北米とドイツが大きく、このような高緯度地域で寒冷な地域ほど断熱材による導入効率が高い。日本の住宅は熱損失係数が高い

ため、断熱性能が高い断熱材を導入すれば、暖房エネルギーの削減率は大きい。しかし、年間の暖房エネルギー量が欧米各国の1/3程度であり、削減できる暖房用エネルギーの量は少ない。

本計算では熱損失係数は一定の暖房度日の基準値を利用したが、実際は注目する地域内でも暖房度日によって異なる値をとることに留意すべきである。また、実際の建築物における熱損失係数の値が不明であること、あるいは基準値のデータが限定的であること、さらには今後の性能向上による熱損失係数のデータが得られないこと、等が課題として挙げられる。その他、世帯数や住宅建替え年数、暖房に用いる燃料種のデータなど、国別・地域別のデータ収集・精度向上が重要である。

表 4-1 CO₂ 排出削減量評価結果の概要 (単位: 億トン-CO₂/年)

	先進国計	途上国計	世界計
産業部門			
鉄鋼	0.8	1	1.7
セメント	1.2	3.7	4.8
紙・パルプ	1	0.3	1.3
産業部門小計			7.8
発電部門			
石炭火力	5.1	9.1	14.2
石油火力	0.1	0.1	0.2
ガス火力	0.8	1.5	2.3
発電部門小計			16.7
参考ケース：既設発電所の熱効率を1%改善し、新設にはBATが全て入る場合			
石炭火力	4.1	6	9
石油火力	0.1	0.1	0.2
ガス火力	0.6	1	1.6
発電部門小計			11.9
交通部門			
自家用車	3.8	1.6	5.3
民生部門 (家庭)			
冷蔵庫	0.7	1.7	2.4
エアコン	0.2	1.3	1.6
照明 (白熱灯→CFL、蛍光灯→高効率蛍光灯)	0.9	1.2	2
(全てが高効率蛍光灯*)	1	1.3	2.4
断熱	0.7		0.7
民生部門小計			7.1
計	15	22	37

※小計にはこのケースの試算結果を使用した。

(出所) IEEJ 推計

4. 結果と考察

4-1 試算結果

本章で対象とした先進国と途上国の産業、発電、運輸、民生部門について、BAT 技術を導入するとした場合の試算結果を表 4-1 に示した。

CO₂ 排出削減ポテンシャルは、世界全体で 37 億トン-CO₂ となった。ただし、データ制約があり、全部門、全ての国をカバーしているわけではなく、計算結果は一部であると言える。そのため、今後のデータ整備によっては、ポテンシャルは増えると見込まれる。

2002 年の CO₂ 排出量は、産業が 43 億トン-CO₂、発電が 85 億トン-CO₂、自動車が 43 億トン-CO₂、家庭が 17 億トン-CO₂⁵⁰ である。また、2020 年まで世界全体で CO₂ 排出量は 1.4 倍程度になると見込まれている²⁶。このことから、本試算の対象部門において試算された削減量が 2020 年の CO₂ 排出量に占める割合は、自動車では 1 割弱、産業・発電部門では 1 割、家庭部門では 3 割であり、BAT 機器・設備の導入が CO₂ 排出量削減に効果的であることがわかる。今後世界の CO₂ 排出量の実質的な削減の方策として、あるいは技術移転などに関連させた温暖化対策としての新しい国際協力のシーズとして、これら効率化技術の浸透を検討していくべきであろう。

4-2 技術ポテンシャル

表 4-1 の結果は、様々な仮定がおかれたものである。技術的ポテンシャルのみをみた、つまり、技術を導入する際の社会的・経済的、あるいは制度的な制約・障壁は考慮していない。IPCC 第三次評価報告書⁵¹では、それらを考慮した場合のポテンシャルを社会経済的ポテンシャルと定義しており、温暖化緩和策の緩和ポテンシャルに関して分類している。理論的なポテンシャルから、技術的、社会経済的、経済的、そして市場ポテンシャルまで、様々な障壁によってポテンシャルが低下するが、これは同時に、より高いポテンシャルに近づけるにはどのような事を解決すればよいかといったことも示唆している。

このような視点で整理すると、本報告書における試算結果は、本来ポテンシャルの低下要因となる点、例えば高いコスト、燃料や各種資源の供給可能性・費用、製品需要、公共による受容性、嗜好性、規制の存在などを勘案していないということから、ポテンシャルは過大評価となっているということが出来る。これは、一律に技術が高いレベルの国 (例えば日本) と各国の指標が同じになった場合を想定する、といったマクロ手法で多く見られることである。一方で、マクロデータ (統計データ) は一般に、様々なポテンシャル低下要因である実情を含

有しており、マクロデータを用いる際は注意が必要となる。

技術的ボトムアップ評価では、技術的ポテンシャルのみを見ているためにポテンシャルは高くなるが、一方で、全ての省エネルギー技術や CO₂ 排出削減の機会を計上できないために、過小評価になる。これは、今回の技術的ボトムアップ評価を行った部門を例にとるならば、鉄鋼部門において 4 種類の技術に絞って試算したことや、家庭部門でエアコン、照明、冷蔵庫以外の家電の省エネルギーポテンシャルを評価に入れていないことが該当する。

今後も、以上のような「どのポテンシャルに着目しているか」を明確にしなが、一貫性のある手法をとることで、多くの地域の多くの部門、対象について、説得性のある評価を行うことが重要である。

4-3 評価方法

本評価では、結果的に、試算方法としていくつかの方式を採用した。一つは、産業部門の鉄鋼業で採用した、主要な省エネルギー可能技術を部分的に各工程に取り入れることで、どの程度の削減が可能かを積み上げて計算する、いわばボトムアップ的な方法である。また、民生部門と運輸部門においては効率のよい機器（乗用車）の普及を進めた場合を計算する方法を用いたが、考え方は鉄鋼業の方法と同様である。これらはどちらも、技術ごとの効率向上度合い（技術利用前後のエネルギー消費や CO₂ 排出量の差）に着目したものである。

二つ目には、産業部門のセメント、紙・パルプ、発電部門で採用した、国・地域の当該業種全体の効率を向上するという前提を置きマクロデータから計算する方法である。既存の国別効率性の評価は、本評価よりも要因分析面で行っているとはいえ、基本的にこのようなマクロ評価に近いものが多い（資料（52, 53, 54, 55, 56, 57, 58）など）。

なお前者の評価に先立ち、鉄鋼部門については、工程ごとにエネルギー消費原単位（注：省エネルギー原単位ではない）を、現状、将来技術ともに設定し、エネルギー消費量を求める評価を行った。産業界へのヒアリングの結果、①他工程での排熱利用など、対象工程と異なる部分で熱の受け渡しがあることもあり、工程別にエネルギー消費量を分類することが難しい、②各国毎に、一つのプロセスをとってもバウンダリーが異なり、必ずしも同じ量（エネルギー、生産量とも）を論じているとはいえないことが多い、といった理由から、採用には至らなかった。そのため、ここでの評価のような、個々の技術のエネルギー節減能力に着目した評価となった。

4-4 技術の省エネルギー可能量に着目したボトムアップ評価の意義と実行可能性

各技術の省エネルギー効果に着目した技術的ボトムアップ評価は、技術による削減効果を定量的に明確化することが出来る。さらに、経済的コストも把握しやすくなるというメリットがある。こうした結果は、先進国から途上国、あるいは先進国間の緩和対策の移転（資金の移転含む）に際しても、定量的な指標を提供することになるであろう。このような意味から、将来の温暖化対策の国際交渉において、国際的により広い参加が見込まれ、かつ公平性が保たれるような枠組みの構築に必要となる評価指標として、重要な候補の一つであると考えられる。

マクロデータから原単位などを導くトップダウンの方法では、地域による評価バウンダリーの相違—つまり国、地域、事業所など規模や、設備・プロセスなど内容の相違—を適切に扱うことは難しい。本評価の鉄鋼、交通・民生部門の試算で採用したボトムアップ評価は、個別技術について導入前後のエネルギー消費量の差をみる方法であり、バウンダリーの相違の影響を受けにくいのが利点である（4-3 参照）。

理想的には、産業別の横並びの方法をとるとすれば、対象とする全ての産業を評価に加える必要がある。しかし、どの業種も、「全ての省エネルギー技術、全ての関連する工程を取り上げ、削減可能量を 100%カバーする」ことは不可能であるため、現時点では全産業で適用可能な方法となっていない。対象設備の種類が多く、積み上げたところでその効果量総計が小さい場合は、方法論の見直しが必要となる。

鉄鋼については、効果的で代表的な技術がある程度絞られており、その効果も試算を行いやすい技術が多いが、紙・パルプ産業では、たとえば、省エネルギー対策として効果的である高温高压ボイラの普及量から試算する削減ポテンシャルは、全体の省エネルギー効果のごく一部しか評価できない。さらにポテンシャルを正確に評価しようとするれば、非常に多くの技術について調査する必要がある、それには莫大な労力がかかる。このように、国別製品別の製造工程を代表するものが取り上げにくく、省エネルギー技術が多岐に渡り種類が多い場合は、技術的ボトムアップ評価は実用的ではない。発電部門では、効率を向上させる場合、発電所全体の規模の置き換わり（ほぼ、建て替え）が必要となるため、個々の技術の採用というよりも、全体でどうか、といった本試算で採用

したような評価が現状では現実的であろう。

今後、国際比較のために技術ボトムアップ評価を行うに際しては、データの制約という問題以外に、各評価方法が、対象とする産業に適しているか否かという問題がある。業種ごとに異なる方法となることによって、比較を行う際に産業間での整合性に欠け、将来枠組み検討への情報として問題が生じる可能性があることや、データ制約からの実行可能性などについて検討していく必要がある。

本評価方法が適用できると考えられる業種については、産業界の協力を得ながら進める必要がある。実際に、どのような技術の省エネルギー効果が高く、その効果の度合いはどれほどかといった「技術の質」に関する点と、それらがどの程度導入されるかといった「技術の量」に関する点は、産業界の専門家へのヒアリングや、各業種の主要企業・協会等が保有しているデータの提供を通して情報を更新していくことが重要である。多くの場合、特にプラントレベルのデータの場合、企業の競争力に抵触するため秘匿性が高い場合は、データ拠出が困難である。

個別の企業の情報を集積して新たな制度を導入した例としては、オランダのベンチマーク・コブナント制度があげられる。これは、設備の効率を同設備の国際最高水準に向上することを企業が国に対して約束し、エネルギー利用計画書を作成し、達成に向けた努力を行うというものである。この際、第三者機関の調査を通じて、政府は企業がどの程度の効率の設備をどのくらい利用しているのかを把握することになる。この制度は日本のトップランナー制度と類似している。実際に、家電、電子機器など家庭用エネルギー消費機器に用いられるこの制度によって、日本については個別の機器効率が詳細に得られるようになった。米国やシンガポールなど、エネルギーラベル、エコラベルを導入している国でも、同様に詳細な機器仕様が公開されている。このように、本来データ提供のインセンティブが低く集積が困難なデータも、制度によっては入手可能なデータとなりうる。新しい枠組みを提案する際には、こういった国内の仕組みとの組み合わせも重要であろう。

5. おわりに

効率化技術による CO₂ 削減ポテンシャルの計算では、データの制約から全ての部門、適用可能技術、国・地域を網羅していないが、効率化技術利用により、2020 年時点で 37 億トン-CO₂ の削減が可能であるという結果が得られた。概算で、各部門において世界全体の 1 割から 3 割の削減につながることから、地球規模の有効な温暖化対策として、あるいは、先進国と途上国間のみならず、あらゆる国間の技術を中心とした新しい国際協力として、こういったポテンシャルを最大限に引き出す枠組みの検討が重要になる。

多くの場面で問題点となったのは、データの利用可能性の制限であった。それにより、得られた指標とその計算結果に多くの不確実性が残ったといえる。より一層の精度向上を目指し、データ整備、方法論の再検討も重要である。

また、実際の枠組み提案に重要であり、今回検討していない点として、経済性の評価、あるいは社会的障壁の定量的な検討も今後重要である。これらは、よりデータ制約があり、評価が困難であるが、より具体性のある提案を行うための指標を目指すためにも、対象をしばり可能な範囲で評価を進める必要がある。

引用・参考文献

-
- 1 IISI, Steel Statistical Yearbook 2003, 2004
 - 2 IISI, Energy Use in the Steel Industry, 1998
 - 3 新日本製鐵ヒアリング資料
 - 4 環境省、平成 12 年度温室効果ガス削減技術シナリオ策定調査検討会報告書
 - 5 OECD/IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion, 2003 edition
 - 6 OECD/IEA, Energy Balances of OECD Countries, Non OECD Countries, 2001-2002
 - 7 日本鉄鋼連盟 鉄鋼統計要覧 2003
 - 8 OECD/IEA, World Energy Outlook 2004
 - 9 IPCC Expert Meeting on Industrial Technology Development, Transfer and Diffusion, Tokyo, Japan, 21-23 September 2004
 - 10 Battelle, "Toward a sustainable cement industry", WBCSD, 2002
 - 11 社団法人セメント協会、「セメント需給実績 2004 年 3 月度」
 - 12 環境省、第二回地球温暖化対策技術検討会（平成 16 年 1 月）配布資料
 - 13 FAO Statistical Databases, Forestry, Pulp, Paper & Paperboard data, 2002

- 14 OECD/IEA, Energy Statistics of OECD, Non OECD countries, 2000-2001, 2003 edition
- 15 日本製紙連合会、欧州製紙連合への個別ヒアリング内容より。
- 16 Utility Data Institute (UDI, USA), World Electric Power Plants Database
- 17 社団法人日本電気協会、電気事業の現状—平成 13 年度版、平成 14 年度版
- 18 (社) 日本自動車工業会、世界自動車統計年報 2003
- 19 省エネルギーセンター「主要国におけるエネルギー消費効率基準の比較などに関する調査」H15,6
- 20 SAVE program (ODYSSE database), "Energy Efficiency in the UK (1990-2002)", Oct. 2004
- 21 SAVE program (ODYSSE database), "Energy Efficiency in Germany 1990-2002", Aug. 2004
- 22 SAVE program (ODYSSE database), "Energy Efficiency Trends in France ADEM", Sept. 2004
- 23 World Energy Council, "Energy Efficiency Policies and Indicators A Report", Oct. 2001
- 24 Australian Greenhouse Office and Environment Australia, "Inquiry into Post-2005 Assistance Arrangements for the Automotive Manufacturing Sector", Jun. 2002
- 25 EDMC、エネルギー経済統計要覧、2002
- 26 U.S. DOE/EIA, International Energy Outlook 2004
- 27 家電製品協会、家電産業ハンドブック、1995
- 28 日本電気工業会「白物家電製品の国際需給統計」1999 年 3 月～2004 年 3 月
- 29 省エネルギーセンター「省エネ性能カタログ家庭用 2004 年冬」2004 年 12 月
- 30 Department of the Environment and Heritage, Australian Greenhouse Office, Requirements for Refrigerators and Freezers – Minimum Energy Performance Standards (MEPS), March 2005
- 31 日立製作所ヒアリング内容より
- 32 Everett Shorey, Tom Eckman, Appliances & Global Climate Change, Pew Center, Oct. 2000
- 33 Stefano Faberi and Riccardo Enei, Istituto di Studi per l'Integrazione dei Sistemi – ISIS, "MURE II Project Best Available Technologies in Housing, Italian Case Study", March 2000
- 34 日本冷凍空調工業会「世界のエアコン需要について」2004 年 3 月
- 35 CLASP Collaborative Labeling and Appliance Standards Program Feb. 2001
- 36 Study for the Directorate-General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities, Energy Efficiency of Room Air-Conditioners (EERAC)", May 1999
- 37 朝日新聞夕刊記事 3 面、「仏、猛暑再び? エアコン品薄」2004.5.20
- 38 総務省統計局、世界の統計
- 39 OECD/IEA, COOL APPLIANCES Policy Strategies for Energy Efficient Homes, 2003
- 40 経済産業省、電力需給の概要 2003
- 41 ナショナル「ランプ総合カタログ 2004」
- 42 Environmental Change Unit, University of Oxford, "DELIGHT", 1998
- 43 National Appliance & Equipment Report, Energy Efficiency Program, "Greenlight Australia", Discussion Paper for Improving the Efficiency of Lighting in Australia, Sept. 2004
- 44 Brockett, B., et al. A Tale of Five Cities: The China Residential Energy Consumption Survey", Lawrence Berkeley National Laboratory
- 45 Mills, E., "The \$230-billion Global Lighting Energy Bill", Lawrence Berkeley National Laboratory, June 2002
- 46 オックスフォード環境 HP www.eci.ox.ac.uk/lowercf/countrypictures/ より
- 47 社団法人エネルギー・情報工学研究会議、「Energy and Information Technology report/quarterly」、No.34、2002 年 4 月
- 48 European Environment Agency, Indicator Fact Sheet Signals 2001
- 49 財団法人建築環境・省エネルギー機構 (IBEC)、「保温性に関する省エネルギー基準の国際比較」、<http://www.ibec.or.jp/pdf/sjuutaku8.htm> より
- 50 IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2004 edition, Sectoral Approach
- 51 IPCC 2001, "Mitigation", Chapter 5
- 52 Battelle, "Toward a sustainable cement industry", WBCSD, 2002
- 53 Lynn Price, Dian Philipsen, Ernst Worrell, "Energy Use and Carbon Dioxide Emissions in the Steel Sector in Key Developing Countries", US DOE Report, 200301, April 2001
- 54 Yeonbae Kim, Ernst Worrell, "International comparison of CO₂ emission trends in the iron and steel industry", Energy Policy, 30(10), 827-838, 2002
- 55 Ernst Worrell, Lynn Price, Nathan Martin, Jacco Farla, Roberto Schaeffer, "Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators", Energy Policy, 25(7-9), 727-744, 1997
- 56 Jacco Farla, Kornelis Blok, "The quality of energy intensity indicators for international comparison in the iron and steel industry", Energy Policy, 29(7), 523-543, 2001
- 57 C.A. Hendriks, E. Worrell, D. Jager, K. Blok, P. Riemer, "Emission of Greenhouse Gases from the Cement Industry", IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 1998
- 58 G.J.M. Philipsen, K. Blok and E. Worrell, "International comparison of energy efficiency - Methodologies for the manufacturing industry", Energy Policy, 25 (7-9), 715-725, 1997

お問い合わせ先 : report@tky.ieej.or.jp