

世界地域別の温室効果ガス排出 削減ポテンシャルおよび対策コストの評価

花岡達也¹・日比野剛²・宮下真穂³・明石修⁴・松岡譲⁵・甲斐沼美紀子⁶
・藤野純一⁷

¹正会員 研究員 (独)国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)
E-mail:hanaoka@nies.go.jp

²非会員 シニアコンサルタント みずほ情報総研株式会社 (〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-1)

³非会員 コンサルタント みずほ情報総研株式会社 (〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-1)

⁴学生会員 博士課程 京都大学大学院 地球環境学堂 地球益学廊 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

⁵正会員 教授 京都大学大学院 地球環境学堂 地球益学廊 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

⁶非会員 室長 (独)国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

⁷非会員 主任研究員 (独)国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

本研究は、2020年までの世界地域別の温室効果ガスの排出量を予測し、対策技術による削減ポテンシャルおよび対策コストを評価することを目的とする。世界を21地域に分割し、詳細な対策技術データベースを用いて限界削減費用を算出した結果、2020年における100 US\$/t-CO₂以下の総削減ポテンシャルは、先進国および途上国でそれぞれで3.4 Gt-CO₂ eq および 7.9 Gt-CO₂ eqが見込まれた。米国、中国、西欧、ロシア、インド、中東、日本の7カ国で世界の削減量の66%を占める。部門別にみると、成長著しい中国やインドでは産業部門や発電部門、化石燃料を生産する中東、ロシア、中国ではエネルギー産業部門、先進国では運輸や発電部門など、地域の社会経済の特徴によって、削減対策が重要となる主要な部門の特徴も異なる。

Key Words : greenhouse gas, emission reduction potentials, mitigation costs, global model

1. はじめに

将来の人口増加、経済発展、エネルギー供給など、様々なドライビングフォースに関する社会発展の描き方によって、エネルギー利用や土地利用などの予想が変化し、そのため、温室効果ガス（以下、GHGと略記）の排出予測も大きく異なる。近年の多くの研究者によるGHG排出予測の研究成果を見ると、ベースラインシナリオの多くが、21世紀後半にむけて世界のGHGは増加の傾向を示している¹⁾。このように、大気中のGHG濃度の増加によってもたらされる地球温暖化は、全世界の社会経済に著しい影響を及ぼすと共に、GHGの削減対策は、各国・各地域において大きな経済的負担を強いるものと予想される。特に、アジア太平洋地域や南米などの発展途上国においては、経済発展に伴うGHG排出量の増加と削減対策による経済的負担のバランスが、大きな課題となる。従って、先進国におけるGHGの削減対策だけでなく、途上国における削減対策への技術的・経済的な支援が急務とされている。

近年、各国・各地域の技術レベルに応じた公平な排

出削減分担に関する研究や、クリーン開発メカニズムによる途上国の環境改善・地域経済および世界経済への影響の研究などが注目されている。そして、それらの研究において、各国・各地域のGHGの削減ポテンシャルや削減コストの研究が必要とされている。

そこで、本研究では、2020年までの世界地域別のGHG排出量を予測し、対策技術の導入による削減ポテンシャルおよびその対策コストを評価する。そして、地域別・部門別の排出削減量および削減費用を比較することで、削減ポテンシャルの大きい国・地域や、費用対効果の高い部門および技術について検討する。

2. 限界削減費用の推計方法

(1) 地域分類

世界を複数の地域に分類する際、何に焦点を当てて分析を行うかによって、その地域分類の仕方は異なってくる。本研究では、より詳細に地域毎の削減ポテンシャルや削減費用を比較検討できるように、主要なGHG排出

国に注目し、特にアジア地域を中心に世界を21地域に分類した。その地域区分は次のようになる。1) Japan, 2) China, 3) India, 4) Indonesia, 5) Korea, 6) Thailand, 7) Other South-east Asia, 8) Other South Asia, 9) Middle East, 10) Australia, 11) New Zealand, 12) Canada, 13) USA, 14) EU-15 in Western Europe, 15) EU-10 in Eastern Europe, 16) Russia, 17) Argentine, 18) Brazil, 19) Other Latin America, 20) Africa および 21) Rest of the World.

(2) 対象ガスと対象部門

本研究では、CO₂、CH₄、HFCs、PFCs、SF₆の5つのGHGに関する削減ポテンシャルの分析結果を示す。また、HFCsに関しては、CFCs、HCFCsの代替物質として用いられ、HFCsの消費量を検討する際にCFCs、HCFCsの消費量の情報も必要となるため、分析の過程でこれらのガスについても考慮している。対象部門としては、発電部門、産業部門、民生家庭・業務部門、運輸部門、農業・CH₄排出部門、Fガス排出部門を考慮した。それらの対象部門の概要を表-1に示す。

表-1に示す各部門について、一国あるいは一地域に適用し、部門毎にシミュレーションを行う。また、部門毎の排出量を算定する際に、電力消費に伴う排出量を各部門に転嫁するかどうかについては、部門直接排出量と電力分による間接排出量を合計したものを各部門の排出量と定義した。したがって、発電部門の排出量とは、自家消費および送電ロスによるCO₂排出量を指している。

(3) 限界費用

地域毎の削減費用を推計するためにAIM/Enduse²⁾のデータベースを用いて削減費用曲線を算出した。その算出方法を下記に記述する。なお、各サフィックスを次のように定義する。*i*: 地域, *j*: サービス種, *k*: エネルギー種, *l*: 技術・機器・手法, *m*: ガス種, *t*: 年, 0: 基準

表-1 対象部門の概要

対象部門	対象業種
発電部門	石炭火力、石油火力、ガス火力、その他発電
産業部門	鉄鋼、その他産業
民生家庭・業務部門	冷房、暖房、給湯、調理、照明、冷蔵庫、テレビ
運輸部門	乗用車、トラック、バス、船舶、飛行機、旅客鉄道、貨物鉄道。(パイプライン輸送や国際輸送を除く)
農業・CH ₄ 排出部門	石炭採掘、天然ガス生産・配分、家畜反芻、家畜糞尿処理、水田
Fガス排出部門	HCFC-22の副産物、冷媒、エアロゾル、断熱材・発泡剤、洗浄剤、半導体・液晶エッチング、アルミニウム精錬、マグネシウム製造、絶縁ガス、消化剤

年(初期年), $\hat{\cdot}$: 単位技術あたりの量。

削減費用曲線とは、任意年 (*t*)、地域 (*i*)、エネルギーサービス需要部門 (*j*) にて、サービス需要技術・手法 (*l*) 別に、基準年 (*t*₀) の状況と比較し、まず、技術 *l* について、サービス供給量 1 単位あたりのGHG排出削減量 ($\Delta\hat{Q}_{l,i}^{t, \text{GHG}}$)、技術ストック 1 単位あたりの平均追加費用 ($\Delta\hat{C}_{l,i}^t$)、導入可能量 (技術ストック単位, $\Delta S_{l,i}^{\text{max}, t}$) を求め、次に、各需要部門 *j* 毎あるいは地域全体で、削減量あたりの平均追加費用 ($\Delta\hat{C}_{l,i}^t / \Delta\hat{Q}_{l,i}^t$) が小さい技術・手法順に、縦軸に削減量あたりの平均追加費用を、横軸に可能削減量 ($\Delta Q_{\text{pot}, j, i}^{t, \text{GHG}}$) の *l* に関する累積量をプロットしたものである。

ここで、 $\Delta\hat{Q}_{l,i}^{t, \text{GHG}}$ 、 $\Delta\hat{C}_{l,i}^t$ 、 $\Delta S_{l,i}^{\text{max}, t}$ 、 $\Delta Q_{\text{pot}, j, i}^{t, \text{GHG}}$ は、次の(1)~(4)式により求められる。

$$\Delta\hat{Q}_{l,i}^{t, \text{GHG}} = \sum_m GWP_m \cdot \Delta\hat{Q}_{l,i}^{t, m} \\ = \sum_m GWP_m \cdot \left(\frac{Q_{j,i}^{0, m}}{Q_{j,i}^0} - \frac{\hat{e}_{l,i}^{t, m}}{\hat{A}_{l,i}^t (1 + \Psi_{j,i}^t)} \right) \quad \dots(1)$$

$$\Delta\hat{C}_{l,i}^t = \frac{C_{l,i}^0}{D_{j,i}^0} - \frac{\hat{C}_{l,i}^t \cdot (1 + \Lambda_{l,i}^t)}{\hat{A}_{l,i}^t \cdot (1 + \Psi_{j,i}^t)} \quad \dots(2)$$

$$\Delta S_{l,i}^{\text{max}, t} = \frac{\Delta D_{l,i}^t \cdot \theta_{l,i}^t \cdot (1 + \Lambda_{l,i}^t)}{\hat{A}_{l,i}^t \cdot (1 + \Psi_{j,i}^t)}, \quad j = W^{-1}(l) \quad \dots(3)$$

$$\Delta Q_{\text{pot}, j, i}^{t, \text{GHG}} = \Delta\hat{Q}_{l,i}^{t, \text{GHG}} \cdot \Delta D_{l,i}^t \quad \dots(4)$$

ここで、

$\hat{A}_{l,i}^t$: 技術 *l* の一単位運転による第 *j* サービスの供給量

$C_{j,i}^0$: 第 *j* サービス供給の費用

$\hat{C}_{l,i}^t$: 技術 *l* の固定費、運転費を含んだ年価

$D_{j,i}^0$: 地域 *i* におけるサービス種 *j* のサービス需要量

$\Delta D_{l,i}^t$: 第 *l* 技術の削減費用より高い技術によるサービス需要量

$\hat{e}_{l,i}^{t, m}$: 技術 *l* を 1 単位運転するときの第 *m* ガスの排出量

$Q_{j,i}^{t, m}$: 第 *j* サービス供給によるガス *m* の排出量

$\Delta\hat{Q}_{l,i}^{t, m}$: 第 *t* 年での第 *l* 技術導入の 1 単位サービスあたりの第 *m* ガス排出削減量

$S_{l,i}^t$: 第 *t* 年での初期ストックの残存量

W_j : サービス種 *j* の技術 *l* の集合

$\Lambda_{l,i}^t$: 運転余裕係数

$\Psi_{j,i}^t$: 供給効率改善係数。

$\theta_{l,i}$: サービス種 *j* での技術 *l* の最大占有率

3. 将来シナリオとデータソース

(1) 基準シナリオの想定

本研究において、最終サービス需要とは、システム内のエネルギーサービス機器群の運用によってシステム外に提供されるサービスのことをいう。たとえば、民生部門における冷暖房や照明、産業部門の鉄鋼業における粗鋼生産などを指す。本研究では、将来のGHG排出量を推計するためには、まず、基準ケースにおける各部門、各業種の最終サービス需要量の将来推計値を外生的に与える必要がある。そこで、各部門の各業種における将来の最終サービス需要の推計の際には、経済成長率や将来の人口推計、各業種の基準年のシェアや成長率などの社会経済の想定に基づいて、一国あるいは一地域別に外生的に想定した。

たとえば、発電部門では、IEA Energy Balances³⁾により地域別における基準年の発電電力量を整備し、World Energy Outlook⁴⁾により将来の発電電力量増加率を設定し、また、これらの文献を元に国別・地域別の電源構成比を想定して、基準ケースにおける将来の電力需要を推計している。また、たとえば、産業部門におけるその他産業では、地域別に、IEA Energy Balances³⁾を基に、基準年における部門別・エネルギー種別のエネルギー消費量のデータを整備し、SAGE⁵⁾を参考にして、それらを用途別エネルギー消費構成比のデータに分解して、用途別エネルギー消費量のデータを整備している。そして、逐次一般均衡モデルであるAIM/CGEモデル²⁾の結果を用いて、地域別・エネルギー種別のエネルギーサービス量の伸び率を推計し（経済成長率や将来人口推移はSRES B2シナリオ⁶⁾を想定）、上記のそれら全ての結果を用いて、基準ケースにおける将来の地域別・用途別の最終サービス需要を推計している。その他、民生部門や運輸部門でも、産業部門のその他産業と類似した方法で、IEA Energy Balances³⁾やSAGE⁵⁾のデータを活用し、さらに、各部門に関連する各種統計書のデータを用いて、エネルギー消費と最終サービス需要との関係を推計している。一方で、最終サービス需要とエネルギー消費に密な関係がみられない、Fガス排出部門や、一部の農業・CH₄排出部門では、それぞれ各部門に関連する様々な統計書のデータを用いて、各業種における基準年および将来の状況を考慮して基準ケースを設定し、最終サービス需要を外生的に与えている。

各部門の各業種の最終サービス需要量の推計において、本研究では、2000年を基準年とし、分析対象年を2020年とした。そして、2020年における技術および経済の特徴が、2000年時点と同様と想定した技術固定ケース（例えば、将来の技術効率や技術シェアが基準年と同程度）を基準ケースとして設定した。そして、技術固定ケースに

対して、どれだけ対策技術が入りうるかを評価することで、地域別・部門別・ガス種別の削減ポテンシャルと削減コストを分析した。

(2) 諸データの設定

a) 割引率

本研究では、技術選択における諸費用とは、エネルギーサービス機器の固定費用、維持・管理に関わる費用などのガス排出に関わる費用を合計したものを指す。したがって、将来に削減対策を取った場合の削減費用とは、これらの全ての費用を考慮することになるが、その際に、将来の費用を現在価値換算する場合に、その割引率の設定の仕方次第で、結果が大きく変わってくる。そこで、本研究では、全地域・全部門において、一定の割引率5%/yearを設定した。

b) 対策技術

本研究では、削減ポテンシャルおよび削減費用を推計するにあたって、現在の各部門における技術の緒言および各技術の設備量を把握し、将来の革新的な技術も網羅した詳細な技術データベースを構築した。データベースに含まれる対策技術の一覧を表-2に示す。

4. 結果

以下に、2000年から2020年までのGHGの削減ポテンシャルおよび削減費用について結果を示す。

(1) 世界全体の削減ポテンシャルと限界費用曲線

図-1に、2020年における世界の削減ポテンシャルを示す。ただし、これは割引率5%/yearを用いたときのケースであり、21地域の結果を、部門別・ガス種別に途上国および先進国に分類して結果を示している。これより、削減費用が0 US\$/t-CO₂以下のケースを見ると、途上国および先進国のそれぞれで、2.1 Gt-CO₂eqおよび5.0 Gt-CO₂eqの削減ポテンシャルが見込まれる。一方で、削減費用が100 US\$/t-CO₂以下のケースでは、途上国および先進国のそれぞれで、3.4 Gt-CO₂eqおよび7.9 Gt-CO₂eqの削減ポテンシャルがある。部門別に見ると、途上国における発電部門の削減ポテンシャルが最も大きい。CO₂排出量について見ると、運輸部門や民生部門では、途上国と先進国で同程度の削減ポテンシャルが見込まれる一方で、産業部門では、途上国における削減ポテンシャルが先進国よりも非常に大きい。Non-CO₂排出量について見ると、CH₄排出部門では途上国において先進国よりも大きな削減ポテンシャルがあり、一方で、Fgas排出部門では先進国における削減ポテンシャルが大きいといった特徴が見られる。

表-2 部門別の対策技術の一覧

対象部門	業種	対象技術
発電部門	石炭火力	高効率石炭火力発電、加圧流動床ボイラ複合発電、石炭ガス化複合発電
	ガス火力	高効率ガス火力発電、コンバインドサイクル発電
	その他発電	風力発電、太陽光発電、バイオマス発電
産業部門	鉄鋼	コークス炉大型化、コークス炉ガス回収、自動燃焼装置、コークス炉石炭乾燥調湿装置、コークス乾式消火設備、コークス炉ガス顕熱回収、次世代コークス炉、点火炉スリットバーナ、焼結クーラ廃熱回収、焼結主排風顕熱回収、焼結炉高効率点火装置、高炉ガス回収、湿式高炉炉頂圧発電、乾式高炉炉頂圧発電、熱風炉排熱回収、微粉炭吹込、高炉炉頂圧ガス回収、転炉ガス回収、転炉ガス潜熱・顕熱回収、直流式電気炉、スクラップ予熱装置、連続鋳造装置、熱片装入、直送圧延、高性能加熱炉、蓄熱式バーナー加熱炉、連続焼鈍炉
	その他製造業	高効率ボイラ、ボイラ燃焼管理、コージェネレーション、リジェネボイラ、高効率工業炉、モーターインバータ制御、高効率モーター
民生家庭・業務部門	冷房	高効率エアコン
	暖房	高効率石油ストーブ、高効率ガスストーブ、高効率エアコン
	給湯	高効率石油給湯器、高効率ガス給湯器、潜熱回収型ガス給湯器、CO2冷媒型給湯器
	調理	高効率ガスクッキングストーブ
	照明	電球型蛍光灯、省エネ機能内蔵蛍光灯、インバータタイプ蛍光灯
	冷蔵庫	高効率冷蔵庫
	テレビ	高効率ブラウン管テレビ、液晶テレビ
運輸部門	乗用車	高効率エンジン、軽量化、エンジン摩擦抵抗低減、空気抵抗低減、低転がり抵抗タイヤ、ブレーキ改良、ガソリン直噴エンジン、ハイブリッドエンジン、無段変速機、可変バルブ機構
	トラック	高効率エンジン、軽量化、空気抵抗低減、低転がり抵抗タイヤ、ハイブリッドエンジン
	バス	高効率バス、低転がり抵抗タイヤ、ハイブリッドエンジン
	船舶	高効率船舶
	飛行機	高効率飛行機
	鉄道（旅客・貨物）	高効率鉄道
農業・GH4排出部門	石炭採掘	炭坑ガス抜きガスのパイプライン注入、炭坑ガス抜きガスによる発電、炭坑換気ガスによる発電、炭坑換気ガスの燃焼熱利用
	天然ガス生産・転換・配送	計器用ガスの利用、計器用ガスの低漏洩装置
	家畜糞尿処理	被覆処理池による糞尿発酵・ガス回収・発電、栓流タンクによる糞尿発酵・ガス回収・発電、機械攪拌による糞尿発酵・ガス回収・発電
	水田	水管理方法の改善、水田肥料（尿素から硫酸アンモニウムへの転換）
Fガス排出部門	HCFC-22の副産物	熱酸化処理
	冷媒	機器システム変更、代替物質（Fgas、CO2、炭化水素、アンモニア）、漏洩削減、回収処理、破壊処理
	エアロゾル	代替物質（炭化水素、LPG、不燃性ガス）、低充填化
	発泡剤・断熱材	回収処理、破壊処理、代替物質（水系、液化CO2、炭化水素）
	洗浄剤	代替物質（水系）、施設改善、高効率洗浄
	半導体・液晶エッチング	クリーン化装置（遠隔、固定）、回収破壊処理、プラズマ処理、触媒処理、熱酸化処理
	アルミニウム精錬	設備改良（PF6B、SWPB、CWPB、VSS、HSS）
	マグネシウム製造	SO2代替、高効率管理
	絶縁ガス	漏洩探知・削減、対象機器リサイクル
	消化剤	代替物質（不活性ガス）、代替物質（CO2）

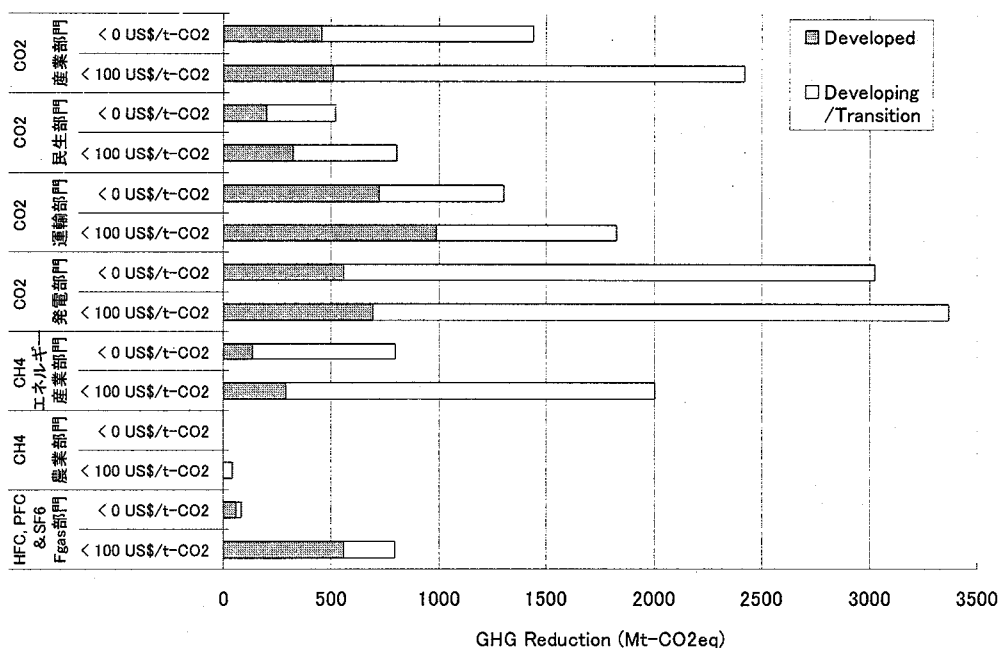


図-1 先進国および途上国における 2020 年の削減ポテンシャル (割引率 = 5%/year)

ここで、2001年の IPCC第三次評価報告書(以下、IPCC[2001]と略記)⁷⁾にまとめられている2020年における部門別の削減ポテンシャルと本研究の結果を比較する。

まず、民生家庭・業務部門について比較すると、IPCC[2001]では民生部門(建築物)における削減ポテンシャルは3667~4033 Mt-CO₂と大きく見積もられ、それらの大半はマイナスのコストで削減可能と述べている。一方、本研究の0 US\$/t-CO₂以下の結果を見ると317 Mt-CO₂と削減量は小さい。これは、本研究では、冷暖房器具、給湯器具、調理器具、照明器具、冷蔵庫、テレビの省エネ製品について削減可能性を分析しているが、一方で、IPCC[2001]では、これらに加え、住宅の立地・設計・断熱も評価対象としている。さらに、洗濯機、食器洗浄機など比較的エネルギー消費量が小さいため本研究では対象としなかったものや、HEMS・BEMS、太陽光発電などコストや技術制約から本研究では考慮できなかったものもIPCC[2001]の結果には含まれている。したがって、評価対象範囲の差異が、削減量の違いに表れている。

運輸部門について比較すると、IPCC[2001]では1100~2567 Mt-CO₂の削減ポテンシャルのうち大半は25 US\$/t-C (= 約6.8 US\$/t-CO₂)以下で削減可能であると述べているのに対して、本研究の0 US\$/t-CO₂以下および100 US\$/t-CO₂以下の結果を見ると、それぞれ1298 Mt-CO₂および1896 Mt-CO₂であり、IPCC[2001]の傾向と類似している。

また、産業部門における効率改善による削減ポテンシャルについて比較すると、IPCC[2001]では2567~3300 Mt-

CO₂の削減量が見積もられ、その半分以上はマイナスのコストで削減可能と述べているのに対して、本研究の0 US\$/t-CO₂以下の結果を見ると1440 Mt-CO₂であり、また100 US\$/t-CO₂以下の結果を見ると2421 Mt-CO₂となり、ここでも、IPCC[2001]の結果と類似した傾向がみられる。

発電部門について、IPCC[2001]では1283~2567 Mt-CO₂の削減可能量のうち、正味コストがマイナスの対策オプションは限られており、多くは100 US\$/Ceq程度であると述べているのに対して、本研究では、0 US\$/t-CO₂以下の結果が3026 Mt-CO₂と、IPCC[2001]と比べて削減ポテンシャルが大きく見積もられている。これは、ベースラインケースの想定の違いによるところが大きい。IPCC[2001]では最新の石炭火力、ガス火力の導入はベースラインに考慮されているため、最新型への置換による対策効果は削減ポテンシャルに含まれていない。一方で、本研究では3章で述べたように、基準ケースとして技術効率や技術シェアを一定とした技術固定ケースを想定しており、したがって、最新型の導入による削減効果は削減ポテンシャルとして計上されている。よって、本研究の結果は、ストック平均の設備から最新型への置換に対して、安いコストで大きな削減ポテンシャルがあることを示している。一方で、原子力発電や水力発電のシェア拡大については、IPCC[2001]では削減ポテンシャルとして計上しているが、本研究では発電構成の変化はすでに基準ケースに考慮されている。また、本研究では対象としていない炭素隔離貯留が、IPCC[2001]では削減ポ

テンシャルとして考慮されている。このように、基準ケースとしてベースラインに考慮する対象範囲が異なることが、両者の削減ポテンシャル量の違いに表れている。

最後に、農業部門について比較すると、IPCC[2001]では、1283~2750 Mt-CO₂ eqの削減ポテンシャルのうち、正味コストがマイナスの対策オプションは限られており、大半が0~100US\$/Ceqのコストで削減可能であると述べている。一方で、本研究における100 US\$/t-CO₂ 以下の削

減量をみると42 Mt-CO₂ eqと非常に小さく見積もられている。これは、本研究において、技術データベースに格納されている農業部門のCH₄に関する対策技術の情報が少なく、十分に様々な対策技術が考慮されていないためである。また、IPCC[2001]では、CH₄だけでなく、農用地の土壌や家畜の糞尿処理などのN₂O排出に対する対策も考慮されているのに対して、本研究では、N₂Oは考慮されていない点も大きい。このように、評価対象範囲の差異が結果の違いに表れている。Fgas 排出部門については、IPCC[2001]には削減ポテンシャルの記述がないため、本研究と比較検討することができない。

図-2に、途上国および先進国に分類した、2020年の限界費用曲線を示す。図より、先進国における限界費用曲線は、途上国よりも傾きが急であり、途上国の方が費用対効果が高く、より多くの削減ポテンシャルが見込まれる。従って、CDMのような先進国から途上国への技術・資金援助の枠組みが非常に重要であることがわかる。

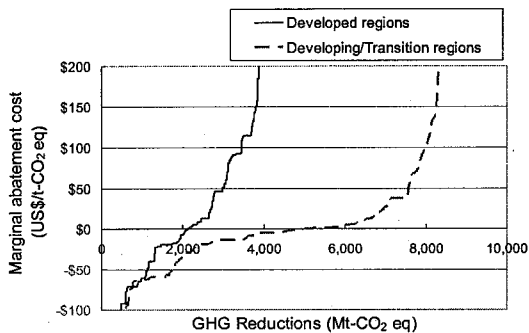


図-2 先進国および途上国における 2020 年の限界削減費用曲線 (割引率 = 5%/year)

(2) 地域別・部門別の削減ポテンシャル

図-3に、21地域別の2020年における削減ポテンシャルの結果を示す。図より、米国、中国、西欧、ロシア、イ

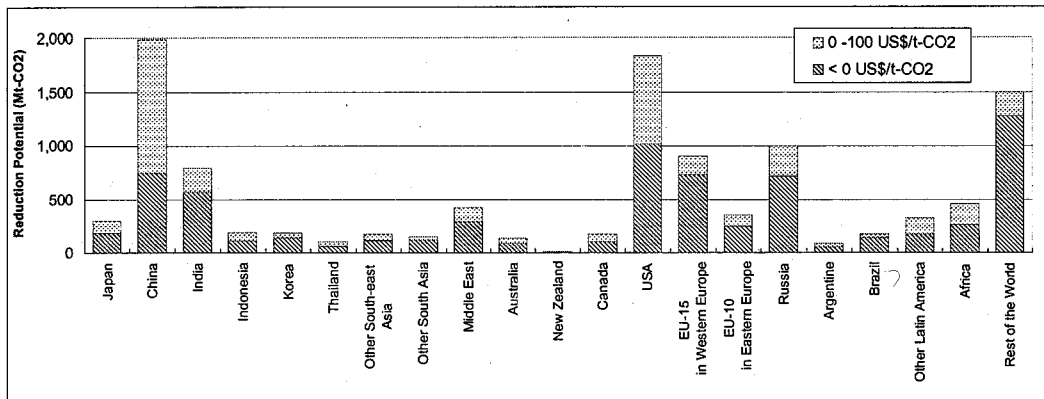


図-3 21 地域における 2020 年の削減ポテンシャル (割引率 = 5%/year)

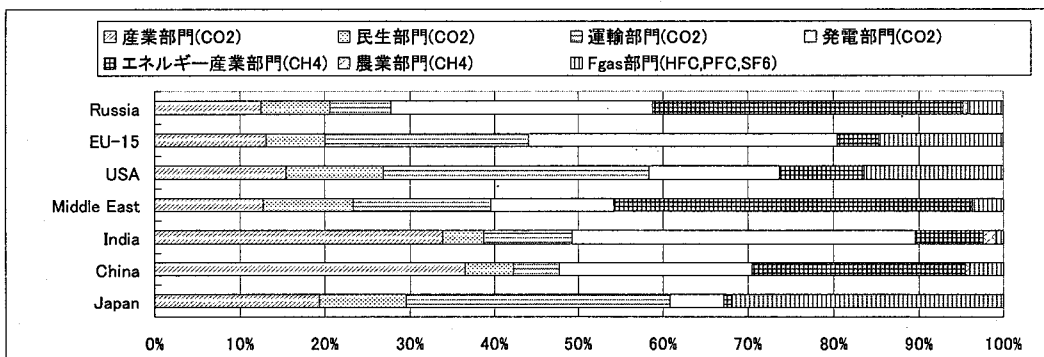


図-4 主要な7地域における 2020 年の部門別削減ポテンシャルの割合 (割引率 = 5%/year)

ンド、中東、日本の7地域が、削減ポテンシャルの大きい主要国であることがわかる。これらの7地域で、世界全体の削減ポテンシャルの66%を占めている。特に、100 US\$/t-CO₂ 以下の削減ポテンシャルを見ると、中国における削減量が最も大きい。また、インドでは、0 US\$/t-CO₂ 以下の削減ポテンシャルが非常に大きな割合を占めている。従って、中国やインドのような途上国に対して、技術移転を促進することが、有効な対策の一つであると言える。一方、先進国の中で最も削減ポテンシャルの大きい米国についてみると、0 US\$/t-CO₂ 以下の削減対策による削減ポテンシャルが非常に大きい。すなわち、米国において、積極的な気候政策が取られ、マーケット主導でより良い技術が効率的に選択されて市場に導入されることが重要といえる。

また、図-4に、図-3で示された削減ポテンシャルの大きい主要な7地域について、2020年における部門別削減ポテンシャルの割合を示す。図より、各地域の社会・経済活動の特徴によって、削減対策が重要となる部門の特徴も大きく異なってくる。例えば、経済成長の著しい中国およびインドでは、産業部門および発電部門における削減対策が重要となる。また、天然ガスや石炭など化石燃料を生産する中東、ロシアおよび中国では、これらエネルギー産業部門における対策が重要となる。先進国の特長についてみると、米国、西欧、日本のいずれにおいても運輸部門の割合が非常に大きい。また、米国や西欧

では、発電部門における削減対策が重要であるといえる一方で、すでに高効率な技術を保有する日本では、発電部門における削減量の割合は小さく、むしろ、Fgas排出部門に対する対策が重要であるといえる。

(3) 技術別の削減ポテンシャル

表-3および表-4に、先進国および途上国における、100 US\$/t-CO₂ 以下の対策費用の削減ポテンシャルを考慮した際の、費用対効果の高い上位10つの主要な対策技術のリストをまとめる。表-3および表-4より、先進国および途上国の共に、発電部門における高効率火力発電（石炭、ガス）によって、大きな削減ポテンシャルがある。さらに、運輸部門におけるガソリンエンジンの高効率化や産業部門におけるモーターのインバーター制御や高効率ボイラーの燃焼管理などの省エネ技術によって、多くの削減量が先進国および途上国において見込まれる。特に、これらの技術については、0 US\$/t-CO₂ 以下における削減量が大きいいため、マーケット主導により、より良い技術が効率的に選択されることが期待される。

一方、Non-CO₂部門についてみると、先進国と途上国で顕著な違いが見られる。例えば、先進国においては、Fガス排出部門において、冷蔵庫やエアコンなどに充填されている冷媒の回収・破壊処理技術によって大きな削減効果が見込まれるのに対して、途上国では、石炭炭鉱における採掘時のCH₄の回収や天然ガスパイプラインや

表-3 先進国における2020年の削減ポテンシャル：上位10つの主要な対策技術（割引率=5%/year, Unit: Mt-CO₂）

対策技術	排出部門	≤ 0 (US\$/t-CO ₂)	0 - 100 (US\$/t-CO ₂)
高効率ガソリンエンジン	運輸部門	446	186
高効率火力発電（石炭火力、ガス火力）	発電部門	546	0
冷媒の回収・破壊処理	Fガス排出部門	0	271
モーターインバーター制御	産業部門	216	0
軽量化	運輸部門	154	22
電球型蛍光灯	業務部門	165	0
ボイラ燃焼管理	産業部門	104	7
高効率エアコン	民生家庭部門	5	80
加圧流動床ボイラ複合発電（石炭）	発電部門	0	72
高効率ボイラ	産業部門	70	0

表-4 途上国における2020年の削減ポテンシャル：上位10つの主要な対策技術（割引率=5%/year, Unit: Mt-CO₂）

対策技術	排出部門	≤ 0 (US\$/t-CO ₂)	0 - 100 (US\$/t-CO ₂)
高効率火力発電（石炭火力、ガス火力）	発電部門	2462	0
計器用ガスの利用および低漏洩装置*	CH ₄ 排出部門	294	322
高効率工業炉	産業部門	0	449
モーターインバーター制御	産業部門	211	220
炭坑換気ガスによる発電および燃焼熱利用**	CH ₄ 排出部門	178	228
高効率ガソリンエンジン	運輸部門	189	152
高効率冷蔵庫	民生家庭部門	139	111
高効率ボイラ	産業部門	209	0
高効率エンジン	運輸部門	204	0
ボイラ燃焼管理	産業部門	107	85

天然ガス採掘時のCH₄漏洩の回収などに、大きな削減ポテンシャルがあることが分かる。

5. おわりに

本研究は、2020年までの世界地域別のGHGの排出量を予測し、世界21地域における対策技術による削減ポテンシャルおよびその対策コストを評価した。その結果、次のことが分かった。

- 1) 削減コストが100 US\$/t-CO₂以下のケースをみると、途上国および先進国のそれぞれで、3.4 Gt-CO₂eqおよび7.9 Gt-CO₂eqの削減ポテンシャルが見込まれる。
- 2) 限界費用曲線を比較すると、途上国の方が費用対効果が高いため、CDMのような途上国への技術・資金援助の枠組みの活用が重要となる。
- 3) 地域別の削減ポテンシャルをみると、米国、中国、西欧、ロシア、インド、中東、日本の占める割合が世界全体の66%を占める。部門別の削減ポテンシャルをみると、各地域の社会・経済活動の特徴によって、削減対策が重要となる部門も異なる。
- 4) 技術別の削減ポテンシャルをみると、高効率火力発電やエンジンの高効率化など、先進国と途上国の共に、大きな削減量が期待できる対策が存在する。Non-CO₂部門についてみると、先進国ではFガス排出部門、途上国ではエネルギー産業部門のCH₄に対する対策が重要となり、傾向に顕著な違いがある。

ただし、本研究では、現在時点において実用化されている技術のみが考慮され、将来の画期的な技術に関する情報は考慮していない。また、4章で述べたように、例えば、民生部門や農業部門では評価対象範囲が全業種を網羅しておらず、考慮すべき対策技術の範囲に検討の

余地が残されている。したがって、本研究の結果は、全体のGHG削減量を低く見積もっている可能性がある点に留意する必要がある。今後は、各部門における対象範囲を拡張することで、より多くの対策技術を評価できるようにし、また、今回評価できなかったN₂O排出部門についても分析を進めていく必要がある。

謝辞

本研究は地球環境研究総合推進費の支援を得て実施した。

参考文献

- 1) Hanaoka, T., Kawase, R., Kainuma, M., Matsuoka, Y., Ishii, H., and Oka, K. (2006): Greenhouse Gas Emissions Scenarios Database and Regional Mitigation Analysis, *CGER Research Report* (CGER-D038-2006), Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies (2006)
- 2) Kainuma, M., Matsuoka, Y., Morita, T. (Eds.) (2003): *Climate Policy Assessment: Asia-Pacific Integrated Modeling*, Springer
- 3) International Energy Agency (2005): *Energy Balances of OECD and Non-OECD Countries*, OECD.
- 4) International Energy Agency (2002): *World Energy Outlook 2002*, OECD
- 5) U.S. Department of Energy (2003): *Model Documentation Report: System for the Analysis of Global Energy Markets (SAGE)* [http://tonto.eia.doe.gov/FTP/ROOT/modeldoe/m072\(2003\)1.pdf](http://tonto.eia.doe.gov/FTP/ROOT/modeldoe/m072(2003)1.pdf)
- 6) Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press
- 7) Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): *Climate change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press

REGIONAL ASSESSMENT OF GHG EMISSION REDUCTION POTENTIALS AND MITIGATION COSTS

Tatsuya HANAOKA, Go HIBINO, Maho MIYASHITA, Osamu AKASHI, Yuzuru MATSUOKA, Mikiko KAINUMA and Junichi FUJINO

The purpose of this study is to evaluate greenhouse gas (GHG) reduction potentials in world regions and to estimate marginal abatement costs (MAC) through 2020. This study covers 21 geographical world regions and estimate MAC by using detailed technology selection database. In the result, it is achievable to reduce emission of 3.4 Gt-CO₂eq and 7.9 Gt-CO₂eq in developed and developing countries under the case of 100 US\$/t-CO₂ marginal abatement cost in 2020. USA, China, EU-15 in Western Europe, Russia, India, Middle East and Japan are major seven countries where there are large GHG reduction potentials, and it accounts for 66 % of world total reduction potentials. In particular as for the sector breakdown, major sectors which have large reduction potentials are very different depending on the socio-economic characteristics in each region.