

低炭素社会のシナリオとその実現の可能性

藤野 純一^{1*}・日比野 剛²・榎原 友樹²・松岡 譲³・増井 利彦¹・甲斐沼 美紀子¹

(¹ 国立環境研究所・² みずほ情報総研・³ 京都大学大学院)

* e-mail : fuji@nies.go.jp

摘 要

地球温暖化による深刻な影響を回避するためには、2050年までに世界全体の温室効果ガスを現状から半減、先進国はそれ以上の大幅削減をすることが指摘されている。そこで、日本を対象に一定の経済成長の下、国民に必要なサービスを提供しながら、2050年のCO₂排出量を1990年比で70%削減するような低炭素社会を構築する技術ポテンシャルがあるか、定量的な分析を行った。2050年の社会経済シナリオを構築し、推計したサービス需要の下で、部門別にボトムアップ的にエネルギー需要とエネルギー機器選択を行い、さらに低炭素エネルギーによる供給を行うと、現時点で知られている対策の組み合わせでも70%削減を実現できる可能性があることがわかった。

キーワード：早期の対策、低炭素社会、バックキャスティング、ボトムアップ

1. はじめに

地球温暖化対策の究極の目的は「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の濃度を安定化させること」、すなわち「温室効果ガスの大気中濃度を自然の生態系や人類に悪影響を及ぼさない水準で安定化させる」ことである。2007年に報告されたIPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change : 気候変動に関する政府間パネル) 第4次評価報告書によると、地球温暖化の原因は人為起源であることがほぼ間違いなく、今後、1990年に比べて気温が2℃～3℃上昇すると、世界のどの地域においても温暖化による便益が損失を上回ることはない、と指摘している¹⁾。また、気温上昇を2℃以下に抑えようとすると、今後20年の間に世界の排出量をピークにすること、2050年の排出量を2000年比30%～60%削減することが求められることが読み取れる²⁾。

2007年6月にドイツで行われたハイリゲンダムサミットでは、主要国の首脳が2050年の温室効果ガス排出量を現状の半減以下にすることを真剣に検討することで合意した。今後も経済成長を続ける発展途上国の事情を考えると、先進国は60%～80%、もしくはそれ以上の削減が求められよう。例えば、英国は60%削減³⁾、ドイツは80%削減⁴⁾、フランスは75%削減⁵⁾することを目標として掲げている。

そのためには、今から2050年までにエネルギー集約度(GDPを1単位得るのに投入されるエネ

ルギーの割合)と炭素集約度(エネルギーを1単位利用するときに排出される炭素の割合)の改善率の合計値を毎年3%～4%ずつ達成しなければ、60%～80%削減を実現することができない。しかし、過去に経験された改善率が最大でもせいぜい1.5%～2%だったことを考えると⁶⁾、非常に困難な課題で、技術だけでなく社会における絶え間のないイノベーションを継続していくが必要になる。

そこで、本研究では、2050年の日本を対象に社会経済像を想定し、主要な温室効果ガスであるCO₂を1990年に比べて70%削減した低炭素社会を実現させることが可能かどうかシナリオを構築して定量的に分析した。

2. 低炭素社会を定量化するための分析手法

2.1 分析のフレームワーク

将来の社会の変化の幅を前提とし、その上で低炭素社会実現の方策を検討するアプローチ法として、本研究ではバックキャスティングの方法を採用した。すなわち、①日本社会経済が2050年に向けてどのような方向に進むかについて、幅を持った社会経済像シナリオA、シナリオBを想定し、それら2つの社会経済の将来像を定性的に描く⁷⁾。②2つの社会経済像を実現する家庭生活(時間の使い方、どのようなサービスを必要とするか)、都市・交通形態(どのような都市・住宅に住んでいるか、移動が必要か)、産業構造を定量化

するため、それぞれのサービス需要(例えば、冷房・給湯カロリー、粗鋼生産トン、旅客輸送量人キロ、貨物輸送量トンキロなど)を推計したシナリオを構築する。次いで、③それぞれの社会における経済・社会活動を支え、かつ温室効果ガス排出量70%削減を満足させるエネルギーサービス需要と、エンドユース・エネルギー技術(エアコンや断熱、給湯器、製鉄プラント、ハイブリッド自動車など)、エネルギー供給の種類、エネルギー供給技術の組み合わせを、エネルギー供給可能量、経済性および政策的実現性を考慮して探索し、エネルギー需要・供給技術の種類とシェアを同定する。そして、④その時の一次および二次エネルギー量と排出CO₂量を集計した。

2.2 2050年に向けた社会経済像の構築

本研究では、低炭素社会の定量的デザインのため、AとBの2つの社会経済の将来像を設定した。シナリオAは、企業や政府などの積極的な技術開発投資を背景に技術進歩率は高く、また社会全体として経済活動は活発な社会である。地方より都心部、利便性の高い生活を好む風潮が強い。シナリオBは、経済成長についてはAよりも低位に推移するが、ボランティア活動など経済価値として表現されない活動も活発に行われ、シナリオAとは異なる種類のサービスが享受できる。地方においてもIT技術化の活用などで必要な医療や教育を受けることができ、自らのライフスタイルに合った特色のある地域(地方等)に移り住んでいく人が増加し、結果的に都心から地方への人口・資本の分散が進む。

このように、2つの社会経済像を叙述的に表現

することで、2050年日本の具体的なイメージ像を提示した。詳しくは、榎原ら⁷⁾(本誌)の論文を参照されたい。

2.3 将来像を定量化する分析ツール

次に、叙述的に記述した社会・経済シナリオから、産業、家庭、業務、運輸の各部門における活動量(業種別生産額、世帯数、床面積、旅客輸送量、貨物輸送量など)を推計する活動量算定ツールを開発した(図1)。この活動量算定ツールは、将来の経済勘定を推計する一般均衡モデル、将来の人口と世帯数を推計する人口モデル、将来の旅客輸送量や貨物輸送量を推計する輸送需要モデルなどの要素モデルから構成されている。要素モデル間は人口・経済・時間の整合性が確保されている⁸⁾。

続いて、サービス量算定ツールによって、各部門の活動量を満たすためのサービス量を算定し

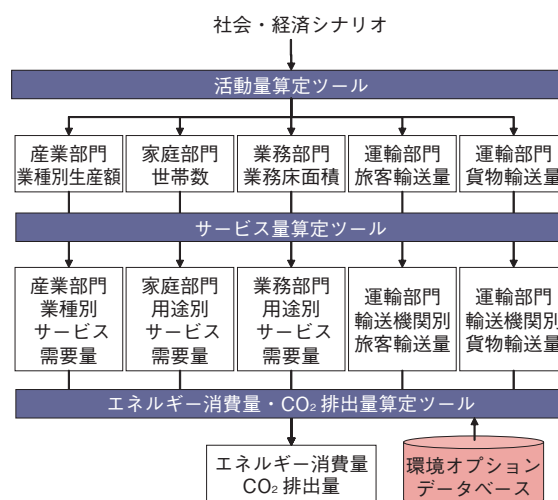


図1 定量化デザインのためのツール群。

表1 活動量やサービス量の想定。

		単位	2000年	2050年A	2050年B
人口		百万人	127	94	100
世帯数		百万世帯	47	43	42
GDP		兆円	519	1,048	670
(構成比)	第一次産業	%	2	1	3
	第二次産業	%	28	19	22
	第三次産業	%	71	80	76
業務床面積		百万 m ²	1,654	1,923	1,755
旅客輸送量		十億人 km	1,398	948	1,010
(構成比)	乗用車	%	54	40	42
	鉄道・バス	%	33	43	44
	航空・船舶	%	6	9	7
	徒歩・自転車	%	7	8	8
貨物輸送量		十億 t km	577	500	516
製造業生産指数		2,000 = 100	100	117	95
素材生産量	粗鋼	百万 t	107	74	63
	エチレン	百万 t	8	4	3
	セメント	百万 t	82	56	45
	紙板紙	百万 t	32	17	28

表 2 主な対策技術のリスト。

家庭・業務部門	高効率ヒートポンプエアコン, 高効率電気給湯器, 高効率ガス給湯器, 高効率石油給湯器, 太陽熱給湯器, 高効率ガスこまろ, 高効率電気調理器, 高効率照明, 高効率映像機器, 高効率冷蔵庫, 高効率搬送動力, 燃料電池コジェネ, 太陽光発電, BEMS(ビルエネルギー管理システム), 高断熱住宅, エコライフナビゲーションシステム, 高画質, 電子新聞・電子雑誌など
運輸部門	高効率レシプロエンジン自動車, ハイブリッドエンジン自動車, バイオアルコール自動車, 電気自動車, プラグインハイブリッド自動車, 天然ガス自動車, 燃料電池自動車, 自動車車両の軽量化, 自動車車両の空気抵抗低減, 低転がり抵抗タイヤ, 高効率鉄道, 高効率船舶, 高効率航空機, 高度道路交通システム, リアルタイム&セキュリティ交通システム, サプライチェーンマネジメント, パーチャルコミュニケーションシステムなど
産業部門	高効率ボイラ, 高効率工業炉, 高効率モーター, 高効率自家発電装置, 次世代コークス炉, 廃プラスチック原料化, エコセメント, 接触分解プロセス, メタンカップリング, 黒液ガス化発電など
エネルギー転換	高効率石炭火力発電(石炭ガス化複合, アドバンスト加圧流動床, バイオマス混焼など), 高効率天然ガス火力発電, 高効率バイオマス火力発電, 風力発電(陸上・洋上), 原子力発電, 水力発電, 副生水素, 天然ガス改質水素製造, バイオマス改質水素製造, 電気分解水素製造, 水素ステーション, 水素パイプライン, 水素タンクローリー, CCS(炭素隔離貯留)など

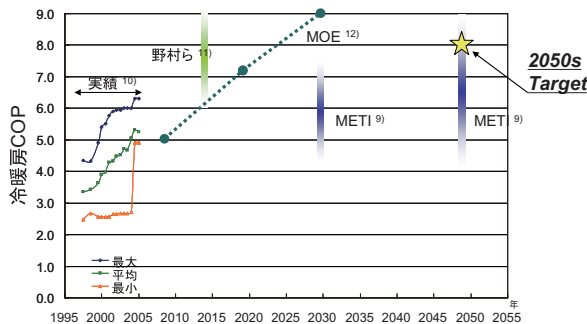


図 2 エアコンの成績係数(COP)の想定値^{9) - 12)}。

た。産業部門は製品別生産量、家庭・業務部門は冷房、暖房、給湯などの用途別サービス需要量、運輸部門は自動車、鉄道など輸送手段別輸送量を算定した。これらのツールを用いて算定されたシナリオ A、B の主な活動量やサービス量を表 1 に示す。

そして、各サービス量を満たすために必要なエネルギー量やそれに伴って排出される二酸化炭素は、エネルギー消費量・CO₂ 排出量算定ツールによって推計した。

2.4 需要を満たすエネルギー技術の選択

技術や対策については、環境オプションデータベースを構築し、費用、省エネ量、普及率などの定量的データを保有した。そこに格納されている主な技術を表 2 に示す。シナリオ A、B それぞれにおいて、各サービスを満たすために必要な技術をデータベースから抽出し、技術毎にエネルギー効率改善やエネルギーシェア変化などを想定して、エネルギー消費量・CO₂ 排出量算定ツールに入力した。各機器の技術改善の見通しについては経済産業省(METI)資源エネルギー庁の資料等を参考に⁹⁾、図 2 のような想定を行った。また、適切な技術選択については、エネルギー需給分野の専門家の助言を得ながら行った。最終需要部門のエネルギー需要を満たす技術選択を想定すると、二次エネルギー需要量が推計される。そして、そ

の需要を満たすために必要な一次エネルギー供給量を、資源の供給可能量や電源構成の想定を置くことで推計した。将来の電源構成については、原子力の新設計画や新エネルギーの資源量シナリオのデータを参照しながら想定した。

3. CO₂ 排出量 70%削減シナリオの構築

3.1 需要部門での対策の可能性

表 1 で示したサービス需要を満たしながらも、各部門における将来トレンドを想定しながら、表 3 に示したようなエネルギー機器の効率や技術構成に係る想定を実現することで、エネルギー投入の削減がどれぐらい可能になるかを分析した。

(1) 産業部門

現在の傾向を見ると、産業構造はサービス産業へと比重をさらに移すことが予想される。また、省エネルギー社会でのモノづくりによる産業競争力増強に向けて、電機・機械産業の出荷が増すだろう。エネルギー集約度の高い素材産業に関しては、2050 年までにはさらに社会資本の整備が進み、鉄やセメントなど素材製品のインフラ内ストック量が大幅に増加する。産業部門の技術イノベーションにより、こうして蓄積された製品を高品質用途に再利用できるリサイクル技術が開発され、この技術の普及により、素材製品の循環利用率が大幅に向上するだろう。

工業品製造におけるエネルギー需要の用途は、大別すると直接加熱用、蒸気用、動力用、還元用、精錬用、その他となる。これらの用途を満たす技術である、工業炉、ボイラ、モーター等のエネルギー効率は、今後の技術開発・普及に伴い、大幅に改善されるだろう。

図 3 に産業部門におけるエネルギー需要に関する定量的な分析結果を示した。

一人あたり GDP 成長率を 2% と想定しているシナリオ A においては、モノづくりによる産業

表3 最終需要部門におけるエネルギー効率・技術構成などに関する想定

部門	サービス	対策	内容	2000年	2050年 A	2050年 B	
家庭・業務	冷暖房	HEMS・BEMS	サービス量削減率	0%	10%	10%	
		家庭用電気ヒートポンプ効率向上	成績係数(COP)	2.8	8.0	8.0	
		業務用電気ヒートポンプ効率向上	成績係数(COP)	2.5	8.0	8.0	
		次世代基準住宅の普及	住宅ストックに占める割合	0%	100%	100%	
	暖房	電気ヒートポンプ	サービス構成比	0%	80%	40%	
		バイオマス燃焼	サービス構成比	0%	0%	50%	
		燃料電池コジェネ	サービス構成比	0%	10%	0%	
	給湯	魔法瓶浴槽	サービス量削減率	0%	20%	20%	
		燃焼式給湯器の効率向上	燃焼効率改善	75%	95%	95%	
		電気ヒートポンプ効率向上	成績係数(COP)	0.0	6.0	6.0	
	煮炊	燃焼式コンロの効率向上	燃料効率改善	45%	55%	55%	
		照明	HEMS・ピンポイント照明	サービス量削減率	0%	20%	20%
	運輸	自動車	照明の効率向上	エネルギー効率	100	200	200
			冷蔵庫	エネルギー効率	100	150	150
			テレビ	エネルギー効率	100	200	200
			その他家電	エネルギー効率	100	150	150
石油自動車の燃費改善			燃費(乗用車)	100	300	300	
			燃費(貨物車)	100	130	130	
水素燃料電池自動車の導入促進			普及率(軽貨物)	0%	40%	0%	
			普及率(乗用)	-	60%	0%	
電気自動車の導入促進			普及率(軽乗用)	0%	100%	40%	
			普及率(軽貨物)	0%	40%	40%	
産業	自動車		普及率(貨物)	0%	0%	20%	
		バイオ燃料の普及	混合率(乗用)	0%	50%	100%	
	鉄道		混合率(貨物)	0%	88%	100%	
		鉄道の効率改善	エネルギー効率	100	200	200	
	船舶	船舶の効率改善	エネルギー効率	100	133	133	
		バイオ燃料の普及	混合率	0%	50%	100%	
	航空	航空の効率改善	エネルギー効率	100	150	150	
		蒸気	ボイラ効率の改善	エネルギー効率	100	111	111
	直接加熱	高性能工業炉の普及	エネルギー効率	100	167	167	
		動力	モーター効率の改善	エネルギー効率	100	125	125
鉄鋼	屑鉄高付加価値製品製造技術	転炉シェア	70%	60%	40%		
	燃料転換	天然ガス比率向上	蒸気・直接加熱用石油・	-	70%	67%	
	バイオマス比率向上	石炭からのシフト率	-	0%	8%		

競争力の確保を目指すため、第一次産業と第二次産業の国内生産額合計値が増加する。しかし、製造段階でエネルギーを多く需要する素材生産の減少などの脱物質化によって、77 Mtoe(石油換算百万トン)のエネルギー需要の削減が見込まれ、さらに、エネルギー機器効率の改善で28 Mtoeが節約され、合計して2000年より26%のエネルギー削減が可能と見られる。シナリオBでは、産業構造転換や機器効率の改善により、33%の削減が可能となる。

(2) 家庭部門

我が国の住宅平均寿命は35年程度であり、2050年には現存する住宅の多くが建て替えられている。このため、今後の建て替え需要を見込

で、寒くなくて過ごしやすい省エネルギー型高断熱住宅へと誘導して行くことによって、快適性の高い居住空間と省エネルギー性能が両立した良質の住宅ストック構築が可能となる。

図4に家庭部門のエネルギー需要に関する定量的な分析結果を示した。

サービス需要の増加に伴いエネルギー需要は増加するが、その分を世帯数減少がほぼ相殺している。利便性の高い生活を追及するシナリオAが、ゆとり生活を嗜好するシナリオBと世帯当たりのサービス需要が同程度であるのは、快適な生活の追及によって冷暖房需要や家電製品利用が増える一方で、外食率や集合住宅率の増加によって、エネルギーサービス需要が抑制されるためである。

高断熱住宅など寒くない家に作り変え、住宅エネルギー管理システム(HEMS: Home Energy Management System)を導入してエネルギー利用の効率化を図ることで、約10 Mtoeの需要を削減することができる。さらにエアコンや電気給湯器のヒートポンプの効率、給湯器やコンロの燃焼効率、照明の効率、待機電力消費率を大幅に改善するような各種技術イノベーションを行うことで、2050年のエネルギー需要合計を2000年に比べて約50%にまで削減することができる。

さらに、シナリオAでは利用段階でCO₂を排出しない電気や水素の利用割合を、シナリオBでは太陽熱・太陽光、バイオマスなどの分散型再生エネルギーの利用割合を増加させることで、家庭部門からのCO₂排出量は殆どなくなる。

(3) 業務部門

産業構造のサービス化により、シナリオA、Bともに第3次産業のGDPが増加し(表1)、オフィス需要が増加する。しかし、人口減少のため、売上高の伸びほど業務部門での労働人口は増加しない。オフィス自体はより働きやすい環境を提供するため必要な機器は増加するが、高断熱化やビルエネルギー管理システム(BEMS: Building Energy Management System)、利用機器の省エネ性の向上により、需要削減が可能になるだろう。

図5に業務部門のエネルギー需要に関する定量的な分析結果を示した。

シナリオAでは活発な消費活動に伴い、単位床面積当たりエネルギー需要量の大きいホテル、レストラン、娯楽場等の活動量が特に増加する。それらの影響によって12 Mtoeのエネルギー需要量が増加する。一方、冷暖房の負荷の極めて小さい高断熱建築物に作り変え、BEMSを普及させることで、7 Mtoeの需要を削減することができる。さらに高効率空調、高効率給湯器、高効率照明などにより25 Mtoeの需要を削減することができる。これらを合計すると、2050年に40%のエネルギー削減が可能となる。

(4) 運輸旅客部門

今後、旅客交通需要は少子化による人口減少、安全安心な街づくりに向けたコンパクトシティ化による必要な移動距離の減少、交通弱者を配慮した街づくりに資する新型路面電車(LRT: Light Rail Transit)や福祉乗り合いバス導入を含むなどの公共交通機関の利用促進によるモーダルシフト等を組み合わせることで減少する。更にハイブリッド化やモーター化による自動車燃費の大幅な向上と燃料の低炭素化(電気、水素、バイオマス)により、運輸旅客部門でのエネルギー需要を大幅に

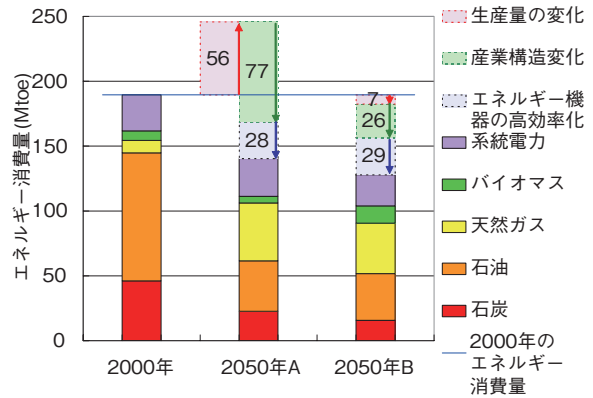


図3 産業部門におけるエネルギー需要。生産量の変化: 第一次産業と第二次産業の国内生産額合計値の変化。産業構造変化: 第一次産業と第二次産業内の産業構造変化。エネルギー機器の高効率化: 高効率工業炉, 高効率モーター等。

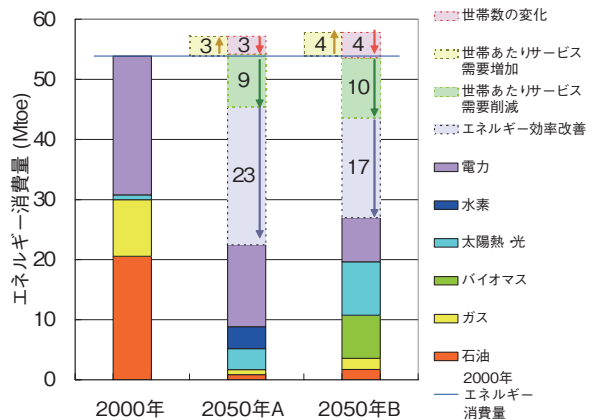


図4 家庭部門におけるエネルギー需要。世帯数の変化: 2050年に向けてAB両シナリオとも世帯数は減少。世帯あたりサービス需要増加: 利便性の高い生活の追求により増加。世帯あたりサービス需要削減: 高断熱住宅, 魔法瓶浴槽, HEMS等により節約。エネルギー効率改善: エアコンやヒートポンプ, 給湯器やコンロ, 証明の効率改善, 待機電力削減など。

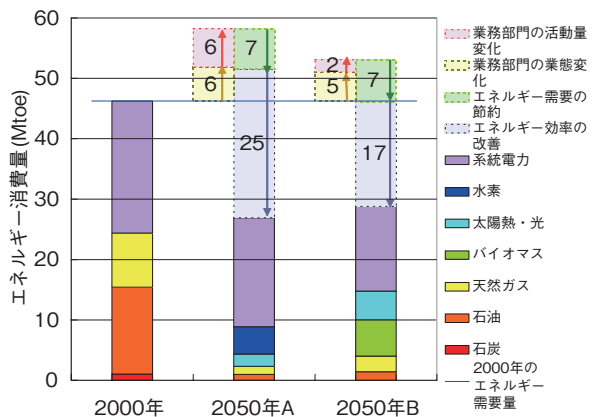


図5 業務部門におけるエネルギー需要。業務部門の活動量変化: 活動量増加に伴い必要なオフィス等が増加。業務部門の業態変化: ホテルやレストランなどエネルギー需要の多い業態の割合が増加。エネルギー需要の節約: 高断熱建築物, BEMS等により必要な需要を減少。エネルギー効率の改善: 効率空調, 高効率給湯器, 高効率照明等により少ないエネルギーで需要を充足。

削減する可能性がある。

図6に運輸旅客部門のエネルギー需要に関する定量的な分析結果を示した。

シナリオAではシナリオBと比べて都市部に住居、オフィス、商業施設が集中している。そのため、もともと移動距離が短く、かつ公共交通機関のシェアが高い。運輸旅客部門エネルギー需要削減では、集中効果は7 Mtoe、モーダルシフトの効果は2 Mtoe削減である。これに加えて、両シナリオでコンパクトシティ化を推進することで、さらに移動距離の短縮、公共交通機関シェアが向上し、エネルギー需要を8～9 Mtoe削減することができる。

ただし、公共交通機関のシェアを高めても、2050年において最も大きなシェアを占める移動体は自動車であろう。電気自動車や水素燃料電池自動車が普及、軽量化、抵抗改善、ハイブリッドエンジン搭載などの技術イノベーションによって、シナリオA・Bともに28 Mtoeのエネルギー需要を削減することができる。これらを合算することでエネルギー需要量の80%削減は可能になる。

(5) 運輸貨物部門

今後、IT技術等を活用した合理的な物流システムの構築、トラックなどの輸送機器のエネルギー効率改善等により、シナリオA・Bともに大幅なエネルギー需要の削減が可能になる。

図7に運輸貨物部門のエネルギー需要に関する定量的な分析結果を示した。

IT技術等によって、あらゆる製品の需要・供給の的確な把握、効率的な流通経路の探索などSCM(Supply Chain Management)が行われることで、廃棄品や返品品のゼロ化や積載効率が向上す

る。また、流通網の高度管理は、トラックによる小口輸送と船舶・鉄道による大口輸送の接続を容易にし、モーダルシフトを促進させる。これらの効果によってシナリオA、シナリオB、それぞれ4 Mtoe、2 Mtoeのエネルギー需要が削減される。

大幅な自動車のエネルギー効率の改善により、シナリオAでは電気自動車や水素燃料電池自動車が普及し、13 Mtoeのエネルギー需要が削減される。シナリオBでは、抵抗改善、エンジン効率改善などによって現在より5割程度エネルギー効率を高めた自動車がバイオマスエネルギーを燃焼させながら走行することで、14 Mtoeのエネルギー需要が削減される。上記の対策を組み合わせると50%のエネルギー需要削減が可能になる。

(6) エネルギー需要削減の可能性

上記の想定に基づき、最終需要部門における最終エネルギー需要量を推計した結果を図8に示す。2050年における最終エネルギー需要量はシナリオAにおいて223 Mtoe、シナリオBでは226 Mtoeであり、2000年と比較して約40%のエネルギー需要削減が可能になったことがわかった。

一人あたりGDPをシナリオAで年率2%成長、シナリオBで年率1%成長とし、表1に示したようなサービス需要を十分に供給しながら、大幅な需要削減が可能になるためには、

- ・省エネ機器の開発および普及の徹底、
- ・住宅やビル、交通システム、都市構造、国土計画など社会システムのデザインにおける低炭素化、
- ・人々が低炭素型のライフスタイルを選択し低炭素技術の選択やモーダルシフトを行うこと等が必要になる。

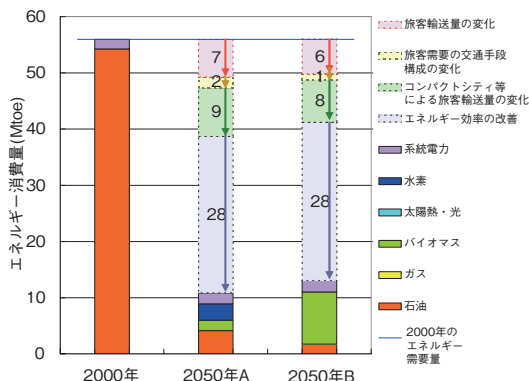


図6 運輸旅客部門におけるエネルギー需要。旅客輸送量の変化：人口減少による移動総量の減少。旅客需要の交通手段構成の変化：公共交通機関(LRTや福祉乗り合いバス含)によるモーダルシフト・コンパクトシティ等による旅客輸送量の変化：目的地が近在化することによる必要移動距離の減少。エネルギー効率の改善：自動車などの旅客輸送機器の効率改善(ハイブリッド化、軽量化等)

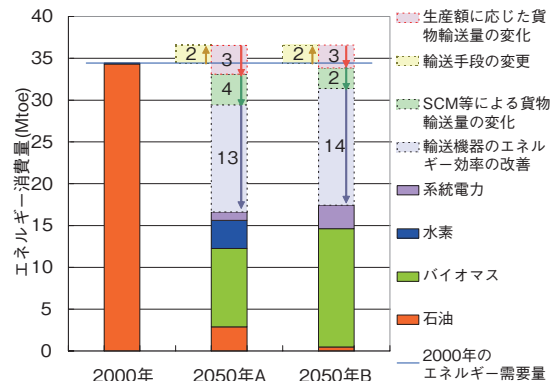


図7 運輸貨物部門におけるエネルギー需要。生産額に応じた貨物輸送量の変化：2050年の生産物を2000年と同じシステムで輸送した時の変化分。輸送手段の変化：モーダルシフト等による輸送手段の変化分。SCM等による貨物輸送量の変化：合理的な物流システムの導入により変化する分。輸送機器のエネルギー効率の改善：自動車などの貨物輸送機器の効率改善。

3.2 供給部門での対策の可能性

徹底的な対策を行えば需要側で約40%のエネルギー需要を削減することができるが、それでもCO₂を70%削減するには対策が不足している。そこで、このエネルギー需要を前提に、エネルギー供給部門における低炭素化を行ったシナリオを図9に示す。

エネルギー供給については様々な組み合わせが考えられるが、シナリオAでは、原子力、炭素隔離貯蔵(CCS: Carbon-dioxide Capture and Storage)や水素など大規模集中型のエネルギー技術が、シナリオBでは太陽光や風力、バイオマスなど比較的規模の小さい分散的なエネルギー技術が受け入れやすいと想定した。

どの一次エネルギーを供給するかは、いろいろな組み合わせが可能である。ただし、どの一次エネルギーを選択するにしても、その供給ポテンシャルと消費側から必要とされるエネルギー(ガス・水素、液体、電力、その他)の需給両面からの制約を受ける。例えば、原子力は、立地・受容・リードタイムのほかに、需要側の電力負荷率が制約になる。バイオマスは、国内資源だけでなく国外からの輸入可能性に制約があり、自然エネルギーには供給ポテンシャルおよび出力の不安定性などによる制限がある。水素供給には、まだ殆ど建設されていない水素インフラに多大な投資が必要になる。

早期の一次エネルギー供給見通し、二次エネルギー形態の検討、エネルギー供給・利用面での分散多様化による、エネルギー安全保障面と低炭素化目標達成の両立を見据えた早期の路線決定が望まれる。

3.3 低炭素社会実現のための費用

将来の対策費用は、想定する社会・経済の発展方向によって違ってくる。2050年において想定

した社会を実現させるには、産業転換や国土交通におけるインフラ投資を今から適切に誘導する必要がある。これらの投資は必ずしも温暖化対策として実施されるものではなく、国際競争力強化、将来の安全・安心で住みやすい街づくり、あるいはエネルギー安全保障などのためにいずれにしても実施され、結果的に低炭素社会の構築にも貢献すると言える。こういった投資が低炭素社会をも目指してタイミングよく行われるということを前提としており、その費用は低炭素社会実現に係る追加費用としては組み込まない。

こうした投資が当然行われることを前提に低炭素社会を実現するには、さらに低炭素技術の導入を加速していく必要がある。ここでは、2050年時点で、両シナリオでの70%削減低炭素社会実現のために低炭素技術を導入するための追加費用を、それぞれの部門でのそれぞれの技術選択において、既存技術の費用と選択された低炭素技術の費用の差として集計した。例えば、高性能工業炉やハイブリッド自動車の導入には毎年それぞれ1兆円、2,000億円の投資が必要となるが、ライフサイクルで費用を見ると、投資額がエネルギー削減費用を下回るために追加費用は0とみなす。また、太陽光発電も2050年には大量普及・価格低下しているため、追加費用は0。石炭・石油から天然ガス・バイオマス燃料へのシフト、CCSの普及、水素インフラの整備には追加費用が必要になり、2050年に必要な低炭素技術イノベーションの年間追加費用合計額は、表4に示すように、シナリオAで1兆1,000億円~2兆円、シナリオBで8,000億円~1兆9,000億円と推定される。対応する平均削減費用は、それぞれ概ね25,800円/tC~38,200円/tC、26,000円/tC~39,300円/tCと推定される。

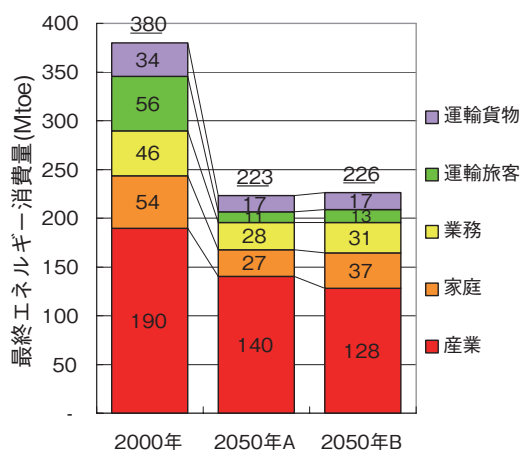


図8 低炭素社会を実現するエネルギー需要構成。

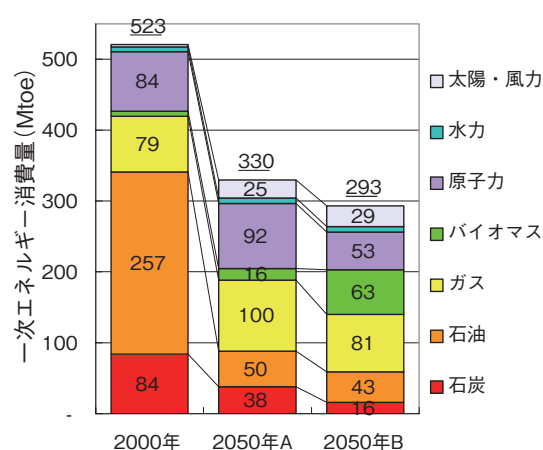


図9 低炭素社会を実現するエネルギー供給構成。

表4 低炭素社会の実現のために必要な費用。

	シナリオ A	シナリオ B
年間追加費用	1兆 1,000 億円～ 2兆	8,000 億円～ 1兆 9,000 億円
平均削減費用	25,800 ～ 38,200 円/tC	26,000 ～ 39,300 円/tC

4. 低炭素化社会実現に向けて

以上、国民が必要とするサービスレベルを維持・向上しても、2050年のCO₂排出量を1990年レベルに比べて70%削減するような低炭素社会を可能とする技術的なポテンシャルが存在することを示した。しかし、70%削減を現実のものとするには、省エネ機器の開発および徹底的な普及、適切な産業構造転換、建築物、交通システムや都市構造、国土計画などインフラを伴う社会システムの低炭素デザイン、省エネ機器の購入やモデルシフトへの協力など人々のライフスタイルの低炭素化、低炭素エネルギー供給源の開発など、低炭素社会構築に向けた様々な対策を行うことが必要である。

これらの対策を着実に実行するためには、国民の気候変化に対する危機の共有、低炭素社会への合意、温室効果ガス排出に伴う外部経済の内部化を初めとする政策措置を強力なリーダーシップの下で実行することが必要だろう。

特に早期の対策が効果的であり、経済的であることに着目すべきである。産業の転換や技術開発、利用は個々の企業の選択であるが、政府として低炭素社会に向けた早期のシグナルを明示するとともに、温室効果ガスの削減を行った企業が経済的に報われる社会システム作りが必要である。また、政府の早期の統一した方針により、これまでの高炭素排出社会構造から抜け出し、低炭素排出に向けた都市・交通関連インフラ投資を粛々と進めてゆく必要がある。

低炭素社会の実現は、後戻りできない世界的な潮流となりつつある。この現実を直視し、我が国は、低炭素社会の到来を見通した技術イノベーションの推進により国際競争力を高め、社会経済構造の再構築によってより安全で住みやすい社会を築く戦略をとるべきではないか。

謝 辞

本研究は環境省、地球環境研究総合推進費・戦略的研究開発プロジェクト「脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な

評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト(脱温暖化2050研究プロジェクト) (S-3-1)の成果の一部である。ここに共同研究者およびご協力いただいた多くの方々に心より感謝の意を表したい。

引用文献

- 1) IPCC (2007a) Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, 4th Assessment Report, Summary for Policymakers.
- 2) IPCC (2007b) Climate Change 2007 : Mitigation of Climate Change, Working Group III Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, 4th Assessment Report, Summary for Policymakers.
- 3) Department for Environment Food and Rural Affairs (defra) (2007) Final report to the consultation on the draft Climate Change Bill from 13 March – 12 June 2007.
- 4) Bundesumweltministerium (2007) Klimaagenda 2020: Der Umbau der Industriegesellschaft.
- 5) Mission Interministérielle de l' Effet de Serre (MIES) (2004) Reducing CO₂ emission fourfold in France by 2050 : Introduction to the debate.
- 6) Kawase R., Y. Matsuoka and J. Fujino (2006) , Decomposition analysis of CO₂ emission in long-term climate stabilization scenarios, *Energy Policy*, 34, 2113-2122.
- 7) 榎原友樹・藤野純一・日比野剛・松岡 譲 (2007) 低炭素社会検討の前提となる社会経済ビジョンの構築. 地球環境, 12, 145-151.
- 8) M.Kainuma, *et al.* (2007) Aligning Climate Change and Sustainability – Scenarios, modeling and policy analysis –, CGER Reports I072.
- 9) 経済産業省資源エネルギー庁 (2006) エネルギー技術戦略、技術戦略マップ.
- 10) 財団法人省エネルギーセンター (2004) 省エネルギー性能カタログ.
- 11) 野村 昇・八木田 浩史・稲葉 敦 (2002). エネルギー技術に対する予測と意識の調査. 日本エネルギー学会, 14-5.
- 12) 環境省 (2004) 地球温暖化対策技術検討会.

(受付 2007 年 9 月 6 日, 受理 2007 年 11 月 28 日)