GISPRI 仮訳

Intergovernmental Panel on Climate Change

ＩＰＣＣ技術報告１

気候変動緩和のための技術・政策・措置

１９９６年１１月

目次

テクニカル・サマリー **1**

居住用・商業用・公共用建築物部門 1

運輸部門 3

産業部門 4

エネルギー供給部門 5

農業部門 6

林業部門 7

固形廃棄物および廃液の処理 8

経済的手法 8

１．イントロダクション **10**

１．１　目的と背景 10

１．２　考察範囲と組識{1} 10

１．３　情報源 11

１．４　検討対象対策 11

１．５　分析項目 14

１．６　エネルギー利用と二酸化炭素排出の予測ベースライン 14

２．居住、商業、公共機関用建築物部門{5} **17**

２．１　はじめに 17

２．２　居住、商業、公共機関用建築物部門でのＧＨＧ排出削減技術 17

２．３　居住用、商業用、公共用建築物部門でのＧＨＧ排出削減対策 20

２．４　居住用、商業用、公共用建築物部門での技術や対策による地球規模炭素排出削減 24

３．運輸部門{9} **32**

３．１　はじめに 32

３．２　地球規模炭素排出の傾向と予測 32

３．３　運輸部門でのＧＨＧ排出削減技術 33

３．４　運輸部門でのＧＨＧ排出削減対策 36

４．産業部門{11} **47**

４．１　はじめに 47

４．２　産業部門のＧＨＧ削減技術 48

４．３　産業部門でのＧＨＧ排出削減対策 50

４．４　産業部門の技術や対策を通じた地球規模炭素排出削減 53

５．エネルギー供給部門{15} 56
５．１　はじめに 56
５．２　エネルギー供給部門で GHG 排出量を削減する技術 57
５．３　エネルギー供給部門でＧＨＧ排出量を削減するための対策 67
６．農業部門{17} 78
６．１　はじめに 78
６．２　農業部門におけるＧＨＧ排出量削減技術 78
６．３　農業部門におけるＧＨＧ排出量抑制措置 82
７．森林部門{19} 86
７．１　はじめに 86
７．２　森林部門におけるＧＨＧ排出量削減技術 86
７．３　森林部門におけるＧＨＧ排出量削減措置 87
８．固体廃棄物と廃水処分{21} 98
８．１　はじめに 98
８．２　メタン排出量抑制の技術的オプション 98
８．３　メタン削減・回収措置 101
８．４　代替措置・政策の比較 103
９．　経済的手法{23} 106
９．１　はじめに 106
９．２　国内レベル経済手法 106
９．３　国際レベルの経済的手法 109
９．４　経済的手法の評価 113
９．５　取引可能認可／割当と課税制度の比較(SARIII,11.7.2,11.7.3) 114

テクニカル・サマリー

本技術報告は、国連気候変動枠組条約（ＦＣＣＣ）の下で、温室効果ガス（GHG）排出を制限・削減し、GHGの吸収を促進する技術や対策の概要と分析を提供するものである。本書は、ＦＣＣＣ付属書Ｉに掲げられた諸国での技術および対策に焦点を当てつつ、非付属書１諸国での適用に適当と思われる情報にも注目している。技術と対策は、時間的に３種類の期間に関して検討されており、短期（現在から２０１０年）と中期（２０１０年から２０２０年）に焦点を当てているが、長期（例ー２０５０年まで）的な可能性と機会についての議論も含んでいる。本書の分析では、執筆者達はＩＰＣＣ第二次評価報告書（ＳＡＲ）と、それ以前のＩＰＣＣアセスメントや報告の作成に当たって使用された資料から分析を引き出している。

本技術報告には、エネルギー供給部門、農業・林業・廃棄物処理部門と同様、エネルギー最終用途の３部門（商業／居住／公共建築物、運輸、産業）にも適用可能である技術や対策の議論が含まれる。一国の経済に影響するような幅広い対策は、最後の経済手法の章で検討される。可能性のある対策を幅広く検証しており、これには、市場本位プログラム；自主協定；規制策；研究・開発・実証（RD&D）；GHG排出税；および排出認可／割当が含まれる。手法の選択によっては、他の国へ経済的なインパクトを与える可能性があることも注意すべきである。

本書は、３種の分類をベースに多様なオプションについての認識と評価を行う。異なる技術の経済的、市場的可能性や、排出削減目標達成の上での多様な対策の効果を推定することの困難さと、同一の技術的可能性を扱う対策によって達成された成果を二重に計算する危険があることから、本書は、地球的排出削減の総計を推算することはしない。また、本書はいかなる特定のアプローチの採用をも、推奨するものではない。

居住用・商業用・公共用建築物部門

居住用・商業用・公共用建築物からの地球規模ＣＯ２排出は、１９９０年の１．９ＧｔＣ／年から、２０１０年には１．９－２．９ＧｔＣ／年、２０２０年には１．９－３．３ＧｔＣ／年、２０５０年には１．９－５．３ＧｔＣ／年に増大するものと予想される。１９９０年の排出の７５%が、付属書１諸国でのエネルギー利用に起因していたが、２０５０年までには、地球規模の建築物関連排出の５０%を多少上回る程度が、付属書１諸国からの排出になると思われる。

消費者への償還が５年以内であるような建物用機器エネルギー効率化技術は、居住用および商業用建物からの排出を、ＩＳ９２のエネルギー効率改善ベースラインと比較して、２０１０年には２０%、２０２０年には２５%、そして２０５０年には４０%の範囲で、

削減する経済的ポテンシャルがある。

（熱交換の削減と、適正な建物方位の利用、エネルギー効率化窓、そして気候に適応した建物の反射の利用による）建物外郭での改善は、ＩＳ９２における市場本位の建築物熱保全性改善のベースラインと比べ、５年以内償還での居住用建物の暖房および冷房設備でのエネルギー利用を、２０１０年で約２５%、２０２０年で３０%、２０５０年には４０%、削減する経済的ポテンシャルをもつ。

削減は、次の４項の一般的対策の利用で実現可能である：(i)消費者や製造業者に技術サポートおよび／またはインセンティブが提供される市場本位プログラム；(ii)製造時点または建築時点で適用される強制力のあるエネルギー効率基準；(iii)エネルギー効率任意基準；(iv)より高効率の製品を開発するための民間および公共の研究開発（RD&D）プログラム重視拡大。これら対策は、市場障壁を踏まえて、慎重に適応させる必要がある。対策の全てに、ある程度の実施および移行コストがかかることから、エネルギー節減に費用効果がある限りにのみ、経済への総合的影響が良好となる。

達成可能な削減の合計（市場潜在可能性）は、任意エネルギー効率基準による削減を除き、ＩＳ９２シナリオと比較して２０１０年では約１０－１５%、２０２０年では１５－２０%、２０５０年には２０－５０%になると予測されている。したがって建築物部門における地球規模炭素排出の達成可能な削減の合計は（ＩＳ９２ｃ，ａ，ｅをベースとすると）２０１０年で約０．１７５－０．４５ＧｔＣ／年、２０２０年には０．２５－０．７０ＧｔＣ／年、２０５０年までには０．３５－２．５ＧｔＣ／年の範囲になると推定されている。

ボックス１　技術、経済、市場ポテンシャル

技術ポテンシャル	－	技術またはその応用を、費用や実際の実用可能性を無視して技術的に適用可能な用途全てに利用した場合に可能なＧＨＧ排出削減またはエネルギー効率改善の量。
経済ポテンシャル	－	技術ポテンシャルの一部で、市場障壁が存在しない場合に、経済効果性を持つＧＨＧ排出削減やエネルギー効率改善の達成可能量。経済ポテンシャル達成には、市場障壁を除去する政策や対策を追加することが求められる。
市場ポテンシャル	－	経済ポテンシャルの一部で、新規の政策や対策の導入なしに既存の市場状況で現在達成可能なＧＨＧ排出削減およびエネルギー効率改善の可能性。

運輸部門

運輸部門でのエネルギー利用は１９９０年で１．３ＧｔＣのＣＯ２排出量をもたらしており、その約４分の３は付属書１諸国からのものである。１９９０年の地球規模排出のおおよそ半分が軽量荷重車両（ＬＤＶｓ）からのもので、３分の１が重量荷重車両（ＨＤＶｓ)、残りのほとんどは、航空機によるものであった。運輸部門の拡大とエネルギー集約度の削減についての幾つものシナリオでは、ＣＯ２排出は、２０１０年で１．３－２．１ＧｔＣ、２０２０年で１．４－２．７ＧｔＣ、２０５０年で１．８－５．７ＧｔＣに増加するとしている。付属書－Ｉ諸国からの排出の割合は、２０２０年で６０－７０%程度まで低下し、以後さらに低くなる。大半のシナリオでは、トラックや航空機からの排出の割合が増えるとしている。運輸部門は亜酸化窒素（Ｎ２Ｏ)、クロロ・フルオロ・カーボン（ＣＦＣｓ)、ハイドロ・フルオロ・カーボン（ＨＦＣ）を含んだ他のＧＨＧの排出源でもある。航空機からの窒素酸化物（ＮＯｘ）の排出はオゾン生成へ寄与しており、航空機からのＣＯ２と同等の放射影響をもつ可能性がある。

利用者に燃料節減の形で３－４年以内の償還を提供するようなＬＤＶｓでのエネルギー集約度節減は、２０２０年に予想されるレベルと比較して、ＧＨＧ排出を１０－２５%削減するポテンシャルがある。ＨＤＶｓや航空機でのエネルギー集約度削減の経済ポテンシャルは、２０２０年の予測レベルと比較して約１０%のＧＨＧ排出削減を達成できる可能性がある。

エアコンの冷媒漏れ制御は、車によるライフサイクルでの温暖化強制力を、２０２０年で１０%削減する技術ポテンシャルがある。Ｎ２Ｏを生成しない触媒コンバーターの開発は、車に起因する強制力に同様な削減をもたらすことができる。航空機のエンジンで現在のモデルよりもＮＯｘ生成を３０－４０%低くしたモデルは、航空運輸に起因する強制力を削減できるが、これはエネルギー効率の劣化、そしてそれによるＣＯ２排出増加で相殺される可能性がある。

ガソリンの代わりにディーゼル、天然ガス、プロパンをＬＤＶｓに使用すると、フル燃料サイクルでの排出を１０－３０%削減する技術ポテンシャルがある。再生可能資源からの代替燃料の利用は、フル燃料サイクルでのＧＨＧ排出を８０%かそれ以上削減できる技術ポテンシャルがある。

これらの技術オプションを実施するには新たな対策が必要だろう。基準、任意加入協定、そして財政的インセンティブは、車の利用者にとって経済効果のありうるエネルギー効率の改善を導入する一助になる。ＨＦＣ、Ｎ２Ｏ、および航空機からのＮＯｘ排出の削減方法を探るには、ＲＤ＆Ｄが必要であり、その後、これらは基準化によって管理することが可能であるが、その費用は現在のところ不明である。

地球規模、地域、地方での道路交通に伴う社会的・環境上コストは幾つかある。これらのコストを反映するように、道路利用料のようなマーケット手法を、特に地方・地域レベルで使用することが可能である。これらの手法は、また、交通量を削減することで、ＧＨＧ緩和に寄与することができる。燃料税は、ＧＨＧ緩和の手法としては経済的に効率のよいものであるが、地方における目標を達成するには効率が良くない可能性がある。いずれにしても、これらは行政上や単純であり、国レベルでも適用できる。運輸での社会・環境コストを利用者に完全に転嫁するような燃料価格の値上げは、多くの地域で、道路交通の予想ＣＯ２排出量を、２０２０年までに１０－２５%削減する可能性があり、燃料価格が現在かなり低い国で最も削減量が大きくなる。代替燃料使用のインセンティブは、予想ＬＤＶ排出量を２０２０年で５%まで削減する可能性があるが、長期的効果はさらに大きくなる可能性がある。

車での運送需要を削減し、それをよりエネルギー集約度の低い交通手段に転換するといった、都市および運輸インフラストラクチャーでの改革は、運輸部門GHG緩和のための長期的な戦略として最も重要な要素の一つであるかも知れない。そういった変化をもたらす政策パッケージは、関係者との協議の上、地域ベースに展開されなければならない。状況によっては、結果としての運輸部門での削減を、幅広い社会的・環境的便益を確保しつつも、２０２０年で１０%かそれ以上のGHG排出削減となる可能性がある。

産業部門

過去２０年間、付属書１諸国の産業部門の化石燃料ＣＯ２排出は、各国の経済が成長している間、低下または一定レベルで推移してきた。その理由は、効率化改善とサービス部門への転換がより大きな原動力となっている経済協力開発機構（ＯＥＣＤ）の付属書１諸国と、大規模なリストラと、重工業部門の縮小が進む市場経済移行国で異なっている。地球規模の産業部門排出は（製造、農業、鉱業、林業を含めて）２．８ＧｔＣ（全体の４７%）となっており、このうち７５%が付属書１諸国からのものである。地球規模産業部門排出は２０１０年までに３．２－４．９ＧｔＣ、２０２０年では３．５－６．２ＧｔＣ、２０５０年で３．１－８．８ＧｔＣと予測されている。付属書Ｉ諸国産業部門からの排出は、一定レベルを保持してから３３%減少するか、２０５０年までで７５%にまで増加するとみられている。（付属書Aの表Ａ１－Ａ４参照）産業プロセスでは、多くのエネルギー効率化の機会があり、原材料をより効率良く利用するような企業内・企業間におけるプロセス・ガスの排除や調整システムの利用、熱と電力の結合、そしてカスケード熱である。また、付属書１諸国間、そして付属書１諸国と開発途上国との間の協力活動においても主要な機会が存在する。

不要な排出を削減する伝統的な手法としては基準制定と規制があるが、影響される部門や企業・個人が限りなく幅広いことから、こういった手法を、市場メカニズム、任意加入協定、課税策その他の非伝統的な手法で補う必要があると示唆されている。数多くのGHG

に対し規制を実施することは政治的に困難であろうし、行政上の実施費用負担や移行コストは低く抑える必要がある。多くの企業が、持続可能な企業活動への公約を宣言していることから、アプローチの第一歩は協力協定を展開することであろう。(SARII,20.5；SARII,Chapter 1)

付属書１諸国が、単に、既存の設備やプロセスを現時点で実用化されている最も高効率の技術オプションと交換するなら（産業部門の構造が一定のものとすると）、これら諸国での産業部門ＣＯ２排出を１９９０年のレベルと比較して２５%削減することが可能だと考えられている。こういったアップグレードするような交換が通常の資本株式回転の時期に行われるなら、費用効果性もあるだろう。(SARII,SPM 4.1.1)

エネルギー供給部門

１９９０年でのエネルギー消費は、６ＧｔＣの排出をもたらした。このエネルギー消費の約７２%は最終需要家に納入されたもので、３．７ＧｔＣにのぼっている。残りの２８%はエネルギー転換や流通に利用されたもので、２．３ＧｔＣの排出に相当する。通常の投資回転時期に合わせて老朽化または旧式となったインフラストラクチャーや機器を交換することでエネルギー供給部門での相当量の排出削減を実現することは、技術的に可能である。(SARII,SPM 4.1.3)　次の５０－１００年の間では、エネルギー供給システム全体が少なくとも２回は交換されることになる。将来の排出削減に有望なアプローチには次のもの（優先度順ではない）が含まれる：化石燃料変換の効率化、低炭素化石燃料への転換、煙道ガスや燃料の非炭素化とＣＯ２保存、原子力エネルギーへの移行、そして再生可能エネルギー源への転換である。(SARII,SPM4.1.3)

発電効率は、現在の世界平均の約３０%から、２０２０年から２０５０年の間には６０%以上に向上することが可能である。(SARII,SPM 4.1.3.1)　現在、石炭および天然ガス利用最も効率の良い発電所の効率は４５%と５２%である。(SARII,19.2.1)　付属書１諸国での新規石炭火力発電所（脱硫および脱硝浄化装置付）の典型的な効率を４０%とすると、効率の１%向上は、ＣＯ２排出の２．５%削減につながる。(SARII,19.2.1.1)　これら効率向上に伴う費用は多くの要素に左右されるとはいえ、既存の工場や設備の幾つかと比べて費用効率のある先進技術は存在する。低炭素化石燃料への転換（例ー石炭を天然ガスで代替）は、５０%までの特定ＣＯ２削減を達成可能にする。煙道ガスと燃料の脱炭素化は、８５%かそれ以上という、さらに高いＣＯ２排出削減をもたらすことができ、非炭素化費用は、節減炭素トン当たり８０－１５０ドルというのが典型である。原子力や再生可能エネルギー源への転換は、実質的に全ての直接的ＣＯ２排出を排除するとともに、エネルギーシステムのライフサイクル（例ー採鉱、工場建設、休止）中に生じる他のＣＯ２排出をも削減でき、緩和コストは無視できる程の追加コストのものから節減炭素トン当たり数百ドルするものまで幅がある。(SARII,Chapter 19)　メタン排出を削減する手法も存在し、炭鉱採掘で３０－９０%、天然ガスの放出と燃焼で５０%以上、天然ガス流通システムで

８０%までの削減が可能である。(SARII,22.2.2)
これらの削減の幾つかは、世界の多くの地域で経済的に実施可能なもので、ＣＨ４のエネルギー源としての利用も含めた特定範囲の便益をも供与する。(SARII,19.2.2.1)

どれだけのポテンシャルが達成可能であるかは、将来的な費用削減、新技術の開発と実施の度合、資金や技術移転に左右され、また、環境への悪影響、社会的許容度、その他の地域・部門・国に特有な状況といった、多様な非技術障壁を克服する対策にも依存する。

歴史的には、世界経済のエネルギー集約度は、主に償却株式資本の自然な交代に伴う技術性能改善によって、平均で１%／年改善されてきた。(SARII,B.3.1)　この比率以上の改善は、対策なしでは起きないと思われる。本書で論議される対策は、次の５つの種類にまとめられており（優先度順不同）：(i)市場本位プログラム、(ii)法規制、(iii)任意加入協定、(iv)研究、開発、実証（ＲＤ＆Ｄ）、(v)インフラストラクチャー対策である。どの策であっても、単一では、緩和策オプションの時期に合わせた展開、適用、普及には十分でない。むしろ、国、地域、地方の状況に適応する複数の対策の組み合わせが求められよう。したがって、適切な対策には、各国、各地域で大きく異なる機構上、社会上、経済上、技術上、そして天然資源の保有量などの違いが反映される。

農業部門

農業部門は、予想される人為的な温室効果の約５分の１を占め、人為的に発生するメタンとＮ２Ｏの排出量全体の、それぞれ５０%と７０%を生産している。農業部門の活動（森林利用を除いて）は、人的なＣＯ２排出の約５%にのぼる。(SARII,図23.1)　農業部門による放射強制力の地球規模削減ポテンシャルの推定は、年１．１－３．２ＧｔＣ等価の範囲である。地球規模削減全体のうち、約３２%がＣＯ２排出削減によるもので、４２%が現在の耕作地からのバイオ燃料による炭素節減、１６%がメタン排出削減、そして１０%がＮ２Ｏの排出削減による。

付属書１諸国による排出削減は、地球全体へも相当な寄与となる可能性がある。ＣＯ２緩和ポテンシャル全体のうち、付属書１諸国はＣＯ２排出削減の４０%、収穫地でのバイオ燃料生産での炭素節減の３２%に寄与する。また、メタンの地球規模排出削減については、付属書１諸国は米の生産技術改善による削減の５%、反芻動物管理改善による削減の２１%に貢献できる。これら諸国はまた、窒素肥料の使用削減と効率化によるＮ２Ｏ排出削減の３０%、動物の排泄物利用改善に基づく削減の２１%に寄与できる。

不耕農作や、肥料の散布と時期の戦略化といった技術は、気候変動への考慮とは別の理由で、既に導入されている。農場経営の改善や窒素肥料使用の効率向上といった排出を削減するオプションは、環境へ良い影響を与えつつ、農業生産を維持または向上させる。

林業部門

高緯度と中緯度の森林は、現在約０．７±０．２ＧｔＣ／年の炭素実吸収量になっていると推定されている。低緯度の森林は、主に森林の伐採と劣化のために、実質１．６±０．４ＧｔＣ／年の炭素源となっていると推定される。(SARII,24.2.2)　これら炭素の吸収と発生は、１９９０年で６ＧｔＣを推定される化石燃料燃焼からの炭素排出と比較できるものである。

炭素の保全と隔離のための森林に利用可能な陸地面積は、７００千ヘクタールと推定される。これらの陸地を使って、２０５０年までに地球規模で隔離・保全できる炭素の総量は６０－８７ＧｔＣである。熱帯地域が、最大の炭素量保全・隔離ポテンシャル（８０%）をもっており、続いて温帯地域（１７%）、そして北方地域（３%）となる。

炭素保全・隔離の基本緩和対策は、森林伐採の緩和と森林再生・植林・土壌林業学への補助で構成されている。これらの中で、炭素の保全・隔離に最も高い技術的ポテンシャルをもつのは、熱帯での伐採緩和と森林再生（約２２－５０ＧｔＣ）、そして熱帯（２３ＧｔＣ）と温帯（１３ＧｔＣ）での植林と土壌林業学である。植林計画が、化石燃料ベースの製品やエネルギーの代替となりうる木材製品を生産する限り、これらの炭素便益は、隔離された炭素の４倍にまで成りうる。土地利用の機会費用と植林の間接コストを除くなら、炭素の保全と隔離のコストは平均で炭素トン当たり３．７－４．６ドルの間となるが、プロジェクトによりかなり異なる可能性がある。

ブラジルやインドといった幾つかの開発途上国政府は、伐採を停止する策を導入した。これが長期的な成功をおさめるには、伐採停止措置の実施が、伐採業者に現在の報酬に見合ったまたはそれ以上の経済的または他の便益を供与する措置を伴ったものでなければならない。先進工業国や開発途上国の多くでは、成功の程度は異なるが、国家植林計画と森林再生計画が存在する。ここでもまた、その持続性を確保する上では、森林居住者や農林業従事者へある程度の便益供与をすることが、重要だろう。民間部門も、紙の生産といった特定用途の植林で、重要な役割を果たしてきた。その活動範囲は、建材や家具産業といった材料分散用途のための植林への資源投入を通じて、開発途上国へと拡大してきている。

木材の残滓は、大半の製紙工場やゴム農園での蒸気または電力生産に常時利用されており、特殊な場合には、公共電力の発電にも使われている。農林園の木材を公共発電の主要燃料とするには、より高いバイオマス生産効率と既存の発電所に匹敵する熱効率が求められるだろう。各国政府は、木材供給や電力購入に対する規制を取り除くことで、これを助成できる。

現行の共同実施プロジェクトは、上記に論じられる緩和策オプションの３つのタイプ全てを考慮している。これらプロジェクトから学んだことは、将来の緩和プロジェクトの重要な先駆者の役割をもつであろう。それを国家規模でも適用し、繰り返さなければ、これら

プロジェクト自身の炭素保全・隔離への影響は、小さくなりかねない。地球規模の炭素排出を大幅に削減するには、各国政府が、炭素の保全と隔離を進める一方で、地域的／国家的、経済的、他の便益を供与する対策を導入する必要があろう。

固形廃棄物および廃液の処理

固形廃棄物処理施設（埋め立て廃棄地、露天廃棄地）や廃液処理施設からは、１９９０年では推定５０－８０ＭｔのＣＨ４（２９０－４６０ＭｔＣ）が排出している。排出推定には種々の理由でかなりの不確実性があるが、全体的な排出レベルは、将来的にかなり増大することが予想されている。

メタン排出を削減する技術オプションは利用可能であり、多くの場合、利益のある実施が可能である。固形廃棄物源の低減（紙のリサイクル、堆肥や焼却処理）、また埋め立て廃棄地や廃液からのメタン回収によって、メタン排出を３０－５０%削減することが可能である。(SARII,22.4.4.2)　回収されたメタンは、エネルギー源として利用され、廃棄処理コストを低減させる。場合によっては、埋め立て廃棄地や廃液から生成したメタンが、他のエネルギー代替品と比べてコスト競争力を持つ可能性がある。(SARII,22.4.4.2)　ＩＳ９２シナリオでの排出予測の範囲を使うなら、このことは２０１０年には炭素等価で５０－１４０Ｍｔ，２０２０年で８５－１７０Ｍｔ、２０５０年には１１０－２３０Ｍｔの削減となることを意味する。

メタン排出を制御するには、廃棄物管理の事前コミットメントが必要であり、またその目標に対する障壁は、次の４つの一般対策によって縮小できる可能性がある。(i)機関設置と技術援助、(ii)自主協定、(iii)法規制、そして(iv)市場本位プログラムである。特に重要な事は、これらの対策が多くの場合、環境および公共厚生福利の便益を達成するため実施されることが多く、その結果として得られるメタン削減はこれら対策の二次的な便益と見られることだ。

経済的手法

一つ以上の部門の排出に影響するような種々の経済手法が導入可能である。国内レベルでも国際レベルでも、経済手法はＧＨＧ排出を制限する上で、他のアプローチよりも費用効果のある可能性が高い。これら手法には、補助金、税金、取引可能認可／割当とともに共同実施が含まれる。これら手法は、既存政策、機関、インフラストラクチャー、経験および政治状況を含めた、地域や各国の実情により、多様な影響をもたらす。

国家レベルの手法に含まれるのは：(i)ＧＨＧ排出活動への補助金の削除やＧＨＧ排出を制限または吸収を促進する活動への補助金の提供といった、現行補助金制度の変更、(ii)

GHG排出に対する国内税、そして（iii)取引可能認可である。

国際レベルの経済手法に含まれるのは：(i)国際税または調和国内税、(ii)取引可能割当、(iii)共同実施である。

国内または国際レベルで実施される経済手法には、平等性、国際競争性、「ただ乗り」（つまり、コスト負担を負わずに緩和の便益を受ける国）や「漏れ」（加盟国での緩和策が他の国の排出増加の原因になる）に関しての不安に配慮したアプローチが求められる。

多少の例外はあるが、税金と取引可能認可の双方とも、産業界および消費者にコスト負担を課す。排出源は、排出制御の為の費用や認可購入または税金支払いのための現金支出を通じて、財政的経費負担を経験するだろう。

認可は、特定の排出目標を達成する点では、税金より効果的だが、管理コストの点では、税金の方が認可より確実性がある。取引可能認可システムが良く機能するためには、認可（および製品）の市場に競争状況が存在しなければならない。競合認可市場は、将来の認可価格の不確実さを軽減するような先物契約の成立につながる可能性がある。

GHG排出に関する調和国内税のシステムには、補完的な国際金融移転についての合意が含まれるだろう。調和国内税のシステムが効果的であるには、GHG排出を間接的に増加するような政策の実施を加盟国に認めないことが求められる。

取引可能割当のスキームは、各参加国がどの国内政策を導入するか決定することを容認している。各国への当初の割当分配では、配分に配慮がされるが、割当価格はその取引開始後で初めて判明するため、正確な分配の影響を事前に知ることはできない。そこで、好ましくない価格の上下に対抗する防護措置を講じることが必要となる可能性がある。

国際レベルでGHG排出を制限するような経済手法を導入する上では、諸国間の平等性を決定するのは、取引可能割当システムの場合は当初の割当配分、国際税の場合は交渉結果としての収入分配条約、GHG排出への調和国内税一部として交渉された転換支払である。

１．イントロダクション

１．１　目的と背景

本技術報告の目的は、国連気候変動枠組み条約の下、ＧＨＧ排出を制限および削減する、またＧＨＧの吸収を促進する技術と対策の概況と分析を提供することである。条約の第１回締約国会議（ＣＯＰ）（ベルリン、１９９５年３－４月）で合意された「ベルリン・マンデート」が本書の背景となっている。このマンデートは、政策や対策の勘案と、数量的な排出制限・削減目標の設定を目ざすプロセスを決めたものである。

１．２　考察範囲と組織{1}

本技術報告は、ＧＨＧ排出の増加を低減する技術や実践策、およびこれら技術および実践策の利用を促し加速することができる対策について、部門毎の分析を行うもので、別途幅広い経済政策手法にも検討を加える。本報告は、ＦＣＣＣの付属書Ｉに規定する諸国での技術や対策に焦点を当てつつ、非付属書Ｉ諸国での利用に適する情報にも言及している。これら技術や対策の分析は、ＩＰＣＣ－XII（メキシコシティ、１９９６年9月１１－１３日）で承認された評価基準の枠組に基づいてなされている。

技術や対策は、三つの期間について検討されており、短期（現在から２０１０年）および中期（２０１０年から２０２０年）に焦点を絞っているが、長期（例、２０５０年まで）での可能性や機会の議論も含まれている。ＳＡＲのデータの多くは、地球規模の値にまとめられている。本報告では、付属書１諸国についてのデータも、可能な範囲でグループとして、あるいはＯＥＣＤ諸国と市場経済移行国に分けてまとめられている。本報告に含まれる情報と結論の全ては、ＳＡＲや以前に発表されたＩＰＣＣ報告書と合致する内容となっている。

本技術報告は、まずエネルギーの最終用途３部門ー商業／居住／施設用建築物、運輸、産業ーの議論から始まる。これらの議論に続いて、一次エネルギーをエネルギー最終用途部門で利用する二次エネルギーに転換するというエネルギー供給・転換部門の章{2}がある。次に農業、林業、廃棄物管理部門で適用可能な技術と対策が論じられており、主に個別分野（例－運輸部門での燃料税）での排出に大きく影響する対策は、上記の部門毎の議論の中で扱われ；各国の経済に影響する幅広い対策（例－エネルギー税、炭素税）は、最後の経済手法の章で議論される。

本書では、３種の項目（ボックス２参照）に基づいて異なったオプションを認識・評価する。異なる技術のもつ経済的なあるいは市場でのポテンシャルや、対策ごとの排出削減目標の達成効果を推測することの困難さと、同じ技術ポテンシャルに関する異なった対策に

より達成された成果を二重計算する危険のあることから、本書で、地球規模排出削減の合計を推定することはしない。本書はまた、特定の策の適用を奨励することもしない。条約の各加盟国それぞれが、その必要と責務、優先度に基づいて、その国情に適したものが何かを決定するであろう。

１．３　情報源

本技術報告はＩＰＣＣ−XI（ローマ、１９９５年１２月１１−１５日）で合意され、ＩＰＣＣ−XIIでさらなる解釈を受けた、ＩＰＣＣ技術報告の作成過程規則に合わせたやり方で作成されている。ＩＰＣＣの参加国政府と資金提供者は、技術報告をＦＣＣＣ加盟国の必要性に沿う時間的枠組で完成するには、検討過程を単純化することが必要であると認識している。したがって本技術報告での採用に適していると合意された資料は、ＩＰＣＣ報告書や、これら報告書で触れられた参照文書の関連部分から導かれた情報、およびＩＰＣＣ報告書での情報用に使われたシナリオとモデルに限定している。これらの条件から、ここでの議論には、ＩＰＣＣ報告書のいずれでも参照されたり引き合いされていない情報や研究発表は含まれていない。エネルギー節減策や捕捉策での削減可能性についての重要な情報は、いつも公表文書で触れられているわけではない。そういった情報の欠乏から、特定の場合、本報告書の著者達が、これら対策の成果を評価する上で、自身の推測や専門的判断を加えたこともある。

１．４　検討対象対策

ＧＨＧ排出を緩和するような技術や実践策を、技術改善や償却資本株転換での通常のバックグラウンド比率以上の率で、実施することは、その利用を奨励する対策が取られない限り、まず起こりそうにない。国や地域によって状況が異なっており、また現在これら技術や実践策の開発や普及に種々の障害があることから､緩和策オプションを時に応じて展開、適用、普及するには、単一の手法だけでは十分でない。むしろ、各国・地域・地方の状況に応じて手法を組み合わせることが必要だろう。これらの対策には、個々の国および地域で大きく異なる組織的、社会的、文化的、経済的、技術的そして国内的な資源が反映されなければならず、その最適な組み合わせも国によって異なる。対策の組み合わせは、ＧＨＧ緩和技術の商業化、普及および移行への障壁を減らし、資金源を用意し、開発途上国や市場経済移行国でのキャパシティー・ビルディングを助成し、生活行動パターンの変化を助長させることを、目的としなければならない。幾つかの関連対策が、効率向上や地方／地域の経済・環境問題への対策といった、気候変動以外の理由で導入される可能性がある。

本報告では可能性のある幅広い対策を分析しており、これには市場本位プログラム（炭素税やエネルギー税、フルコスト価格設定、補助金の利用や段階的解消、取引可能排出認可／割当)、任意加入条約（エネルギー利用や炭素排出の基準、政府調達{3}､エネルギー効率

化製品の拡販プログラム)、法規制策（設備または建築についての強制基準、製品や慣習の禁制、取引不能認可／割当)、研究・開発・実証が含まれる。こういった対策の幾つかは、国内的にも国際レベルでも適用可能なものである。

１．４．１　情報の提供と能力増強

情報提供とキャパシティ・ビルディングは、本書で議論されている対策や政策の多くにとっての必要な要素と考えられており、一般的には別のタイプの対策として検討されない。

ＧＨＧ緩和技法や技術を広い範囲の利用者に普及することに成功するには、その技術的、管理的、経済的要素についての情報を普及する協調努力が必要である。成果のある計画の実行を確保するには、情報を利用可能にすることに加えて、教育・訓練プログラムが必要とされる。非付属書Ｉ諸国への知識の国際的な移転は、比較的すくない。援助提供国や金融機関の海外援助パッケージやローンに情報や教育を含めることは、メカニズムとして効果的である。国際連合教育訓練研究機関（ＵＮＩＴＡＲ）のような国際機関は、ＧＨＧ関連の技術移転のための情報提供・教育訓練の場として重要な役割を果たす可能性がある。国際的あるいは国内的な組織は、また、情報や訓練の提供者としても効果的である。

情報や教育対策には、行動パターンを変えさせる意図で、決定権保持者達に情報提供する努力を行うことが含まれる。これらは、既存のあるいは開発中の有望技術の経済上、環境上、そして他の特性に関する知識の不備を克服するのに役立つ可能性がある。情報対策は、国内や地域の市場における新エネルギーの需要管理や供給技術の開発・商業化に力を貸してきた。情報や教育はこれに加えて、エネルギーサービスが提供され利用される方法についての社会経済的習慣や生活行動を形成する上で、役立つ可能性がある。情報や教育プログラムがＧＨＧ排出に変化を促す力を数量化することは難しい。

教育訓練やキャパシティ・ビルディングは、気候変動に関する意思決定に向けての前提条件でありうるし、またまたこの問題に対する適切な政策や対策を作る上でも、必須事項である。教育訓練やキャパシティ・ビルディングは、社会の全てのレベルで、時に応じた情報の普及を促進することができ､新しい法規制や任意加入条約の受け入れをも容易にする。キャパシティ・ビルディングは、持続可能なエネルギー供給や利用技術の開発と応用を助け促すことにも役立つ可能性がある。

１．４．２　国際協調と組織

平等性の問題も、国際間経済競争への配慮と同様に、地域的・国際的協定への特定の対策の組み込みを求めてくるかもしれないが､他の政策は統一して実施することが可能である。結果的に重要な事は「共通行動」について、特定の対策がどれだけそれを必要としているか、またそれによってどのくらい得るところがあるかで、またそのような行動がどんな形をとるのかがである。共通行動のレベルは、幾つかの国グループが共通の対策を取り入れ、

相似する対策の実施を協調、協力して共通の目標達成することがあり、利用する技術、対策、政策には柔軟性が要る。共通行動の他の型には、有用な行動の共通メニューの開発が上げられ、各国はその状況に応じてこのメニューから対策を選択できる。また他には、排出削減の継続的なモニタリングや勘定、および国際的取引可能排出イニシアティブの施行とモニタリングに関する協調議定書の制定がある。

本報告は国際協調のレベルやタイプについてまでは論評しない。むしろ各国ごとの、あるいは国際なレベルでとられる行動の利点や欠点の可能性を示すことが分析の要素である。

ボックス２　技術および対策の評価基準

１．ＧＨＧおよび他の環境配慮

・ＧＨＧ削減ポテンシャル

－炭素相当量トン{4}

－ＩＳ９２ａベースラインの%と範囲（ＩＳ９２ｃ－ｅ）

・他の環境配慮

－他のガス／微粒子の排出変化率

－生物多様性、土壌保全、流域整備、屋内空気の質など

２．経済的、社会的な配慮

・費用効果性

－平均コストと限界コスト

・プロジェクトレベルの配慮

－資本および操業コスト、機会コスト、増分原価

・マクロ経済的配慮

－ＧＤＰ、雇用機会創造と消滅、
インフレや金利への影響、長期的発展への影響、
外国為替と貿易、その他の経済的な便益と弊害

・平等性への配慮

－国、所得層グループ、将来世代への影響の差異

３．行政上、組織上、政治上の配慮

・行政上の負荷

－必要な情報収集、モニタリング、実施、認可等での
組織的処理能力

・政治上の配慮

　　　－政治上・行政上のプロセス通過および政治的支持持続の能力
　　　－他の公共政策との整合性
・再現能力
　　　－地理的、社会・経済・文化的に異なる環境での適用能力

１．５　分析項目

執筆者たちはオプション比較用の構想やベースとして、技術や対策を分析するための分析項目の枠組を作成した（ボックス－２参照）。これらの項目では、多数の対策における主要な便益や弊害の幾つかについての議論に焦点をあてている。

執筆者たちは、主要項目（つまり、GHG削減と他の環境結果；経済的社会的影響；行政上、機構上、政治上の課題）の評価に焦点を当てており、個々の技術・対策（各関連の章の表を参照）の議論の中に前記３項目全ての要素を含めている。本報告の長さについての制限や扱う範囲の広さから、全てのオプションについて、上記の詳細な項目それぞれでの評価をするわけにはいかない。特に排出削減目標達成のための多様な手法の有効性、プロジェクトやマクロ経済レベルでの経済コスト、また他の要素、例えば多様なオプションの実施による他のタイプの環境上の影響などを、正確に判断することは困難である。ある場合には執筆達は、費用効果性を数字的に示すことができなかったし、また評価項目と記載されているその他のコスト関係の項目についても十分に評価することができなかった。そのようなコスト評価が完了できなかったのは、コストがどの技術オプションを促進するかやその実施方法によって左右されるからであり、対策コストの評価について付属書１諸国から詳しい資料がでている訳ではないし、また、現時点では発表論文も有用なものがある訳ではないからである。広範囲の技術や対策のどれであっても、その有効性を評価することをさらに複雑化する要素は、その効果に影響を与える実施上の問題を考慮する必要性のあること、異なったプログラムに組み入れることで対策の有効性も変わってくる可能性が高いことである。

技術や対策を評価する上で各国政府が使用する分析項目－そして各分析項目の置かれている優先度－は、上記のリストとは異なる可能性がある。SARに記述した技術や対策について、これら分析項目を基に為された有効性評価に関する情報は、各国政府に各オプションの選択についての情報を提供することを目的としている。

１．６　エネルギー利用と二酸化炭素排出の予測ベースライン

歴史的に見れば、地球規模エネルギー消費は平均年率２％で２世紀近くも推移してきたが、その率には時代により、また地域によりかなりの差異がある。最も知られているGHGは

二酸化炭素（ＣＯ２）で、人為的なＧＨＧ発生源からの放射強制力では、その増分の半分以上に相当する。ＣＯ２の大部分は、地球全体でのエネルギー利用合計の約７５%に相当する化石燃料の利用から発生している。

１９９０年に消費されたエネルギーから、ＣＯ２の形で炭素６０億トン（ＧｔＣ）が排出される結果となった。このエネルギーの７２%は最終需要家まで流れていて、ＣＯ２排出で３．７ＧｔＣに及んでおり、残りの２８%がエネルギー転換や流通に使われ、ＣＯ２にして２．３ＧｔＣとなっている（図１参照）。１９９０年で、直接燃料消費から排出されるＣＯ２が最大であったエネルギー最終用途３部門は、産業（全ＣＯ２排出量の４５%）、運輸（２１%）、居住用／商業用／施設用建築物部門（２９%）であった。運輸部門でのエネルギー利用や関連のＣＯ２排出は、過去２０年間にわたって最も急速な伸びを見せている。

別添Aの表Ａ３、Ａ４に示すように、付属書１諸国は、最も主要なエネルギー利用者であり化石燃料ＣＯ２の排出者でもあるが、地球規模の化石燃料起因炭素排出に占める割合は減少してきている。非付属書１諸国は、地球規模ＣＯ２排出合計に占める割合は付属書１諸国より小さいが、２０５０年までのシナリオ全てでその割合が相当増大することが予測されている。

ＩＰＣＣのＩＳ９２ "a"、"c"、"e" シナリオでの２０１０年、２０２０年、２０５０年のベースライン予測の範囲を利用して、技術や対策の多くについての緩和可能性が推定されている（別添Aの表Ａ１－Ａ４参照）。ＩＳ９２シナリオ（ＩＰＣＣ　1992、1994）は、現状での地球規模エネルギー利用やＧＨＧ排出を示すとともに、１９９１年後半での仮想・傾向情報に基づいて、一定範囲の緩和策抜きでの将来予測を行っている。エネルギー利用や関連したＧＨＧ排出の削減割合を出す上で、その比較対象となる共通かつ一定のベースラインを設けることで、各シナリオは、異なった技術や対策が排出削減に貢献する可能性のおおまかな予測をしている。幾つかの付属書１諸国の市場経済移行中の国では、１９９０年代初期の間に急速な国内経済傾向の変化があったが、このことはこれらシナリオには把握されておらず、このため本書での分析の数量的な要素には組み入れられていない。

どのＩＳ９２シナリオでも、少なくとも次ぎの世紀の前半までは地球規模エネルギー需要の成長が続くと予測されている。政策上の干渉がないならＣＯ２排出は伸びるが、その伸びはエネルギー消費の増加予想よりもゆるやかで、これはエネルギー供給での非炭素化の「通常」予測率のためである。しかしエネルギーの地球規模の非炭素化率は、２%平均の地球規模のエネルギー需要成長率と完全に相殺しはしないだろう。

脚注************************************

{1} 本報告の作成では、ＦＣＣＣ／ＡＧＢＭ／１９９５／４やＦＣＣＣ／ＡＧＢＭ／１９９６／２を含め、ベルリン・マンデートのアドホック・グループ（ＡＧＢＭ）のために用意された、ＵＮＦＣＣＣの書類を指針にした。

{2} 一次エネルギーとは化石燃料（石炭、石油、天然ガス）やバイオマスが含有する化学エネルギーで、水資源のもつ潜在エネルギー、太陽放射熱の電磁気エネルギー、原子炉から放出されるエネルギーを指す。ほとんどの場合一次エネルギーは電力やガソリン、ジェット燃料、暖房用オイルや炭のような燃料といったいわゆす二次エネルギーに転換される。エネルギーシステムの最終用途部門は、一次または二次エネルギーの形を適当に利用して調理、照明、過ごしやすい屋内気象、冷蔵保管、交通、消費者用製品、といったエネルギーサービスを提供する。

{3} 政府調達は、市場開設の影響のある可能性を持つことから、本書の章の一部ではマーケット本位プログラムとして扱っている。

{4} ＣＯ２以外のＧＨＧの炭素相当量は、ＣＯ２相当量から計算されており、地球温暖化効果ポテンシャル（GWＰｓ）１００年はCH４＝２１、Ｎ２Ｏ＝３１０を使用している(SARI、2.5、表2.9)

２．居住、商業、公共機関用建築物部門{5}

２．１　はじめに

居住、商業、公共機関用建築物部門は、１９９０年では地球規模エネルギー利用と関連する炭素排出の付属書１諸国の、または地球規模のものの、おおよそ３分の１の原因となっている。同年では付属書１諸国の建築物で一次エネルギー８６ＥＪを使用し１．４ＧｔＣを排出しており、地球規模での建築物エネルギー利用（１１２ＥＪ、関連炭素排出１．９ＧｔＣ）の７５%にのぼっている。{6}　しかし付属書１諸国に起因する一次エネルギー利用と関連の排出の割合は下がると予想されている。ＩＳ９２ａのシナリオでは、地球規模の建築物関連排出に対する付属書Ｉ諸国から排出の割合は、２０２０年で７０%、２０５０年では５０%を若干上回る程度と予想している。

建築物でのエネルギー効率を向上させる費用効果のある既存技術を最大限利用するなら、居住、商業、公共機関用建築物部門でのエネルギー利用活動に必要な化石燃料と電力を、生産、流通、利用することから生じるＣＯ２や他のＧＨＧの排出を大きく削減することにつながる。建築物部門での特徴は、そのエネルギー最終用途の多種多様なこと、また、全ての気候帯で建設される建築物の外郭のサイズも型も多様なことである。建築物でのエネルギー利用を削減するために、多数の技術や対策が開発・実施されてきており、特に過去２０年間、付属書１諸国でなされたきた。

表１に示したのは、建築物部門からのＧＨＧ排出を緩和する対策や技術オプションの概要と、各対策に関する気象上・環境上の便益や、経済的・社会的効果（対策の実施に伴うコストも含め)、および行政上、機関上、政治上の課題についての簡単な説明である。表２、表３には、それぞれ地球規模、付属書Ｉ諸国での、エネルギー効率化技術やエネルギー効率化対策に関する排出削減の推定値を示す。{7}　エネルギー効率化技術による予想削減値はＳＡＲで述べられている研究に基づいており、ＳＡＲでの研究の大半はエネルギー節減予想が２０１０年までのものだけなため、専門的な判断を加えて地球規模での状況を推定して、２０２０年および２０５０年での削減を計算している。対策によって実現されるエネルギー効率化技術による削減予想は、政策の効果についての専門的な判断に基づいている。排出に関するこれら２分野ー「エネルギー効率化技術からの削減可能性」と「エネルギー効率化を対策を通じて確保することによる削減可能性」は、累加するものではなく、むしろ、第１の分野のうち、述べられている対策で実現する部分の推定値が、第２の分野となっている。

２．２　居住、商業、公共機関用建築物部門でのＧＨＧ排出削減技術

建築物部門でのＧＨＧ排出を大きく削減する手法には、建築物機器（器具、暖冷房システテ

ム、照明、およびオフィス機器を含めた全てのコンセント荷電)、建築物の熱効率改善による暖冷房エネルギーのロス削減を目的とした技術を、より速やかに普及することが含まれる。(SARII,22.4.1,22.4.2) 他の排出削減に効果的な方法としては、低エネルギー利用パターンや都市でのヒートアイランド減少削減を容易にするような、都市計画および土地利用計画(SARII,22.4.3)；燃料切換(SARII,22.4.1, 表22-1)；地域暖冷房システムの効率改善(SARII,22.4.1.1.2,22.4.2.1.2)；持続可能な建築物技術の利用増大(SARII,22.4.1.1)；機器の取付、操作、規模選択の正確さを確かめる；建築物エネルギー管理システムの利用(SARII,22.4.1.2)などがある。非ＣＯ２のＧＨＧ排出を削減する手法として重要なものは固形バイオ燃料の燃焼向上や、液状または気体燃料への転換である。バイオマスの利用による排出はＣＯ２相当で１００ＭｔＣ／年に上ると推定されており、これは主に不完全燃焼による生成物の温暖化ポテンシャルに起因する。(SARII,Executive Summary)

建築物部門での費用効果のあるエネルギー効率改善ポテンシャルは、全ての地域、そして全ての主要最終需要で高いものとなっている。エネルギー需要の伸びは、一般に、非付属書１諸国の方が、付属書１諸国からのものよりもかなり高いと予想されており、これは、人口の伸びが大きいことと、一人当たりのエネルギーサービスの増加がより大きいと考えられているためである。(SARII,22.3.2.2) 国によって、地域によって、開発パターンは大きく異なるが、付属書１諸国中の市場経済移行国や非付属書１諸国での一般的な傾向として見られることは、都市化(SARII,22.3.2.2)、居住区域と一人当たりエネルギー利用の増大(SARII,22.3.2.2,22.3.2.3)、電力供給網の拡大(SARII,22.3.2.2)、調理用燃料のバイオマス燃料から化石燃料への転換(SARII,22.4.1.4)、家電製品の利用浸透(SARII,22.3.2.3)、エアコン利用増大(SARII,22.4.1.1)などである。単純化して考えるために、執筆者達は２０２０年には、非付属書１諸国の都市部での最終需要の配分は、今日付属書１諸国で見られるものに相似してくると仮定し、したがって大半の家電製品、照明器具、エアコン、オフィス機器でのエネルギー節減オプションや対策は、どちらのグループでも都市部では似たものとなると考えている。例外は暖房で、これは中国など非付属書１諸国中の２、３の国以外では大きなエネルギー利用につながりそうにない。(SARII,22.2.1,22.4.1.1.1) また、費用効果のあるエネルギー節減オプションの可能性は、２０２０年では付属書１諸国も非付属書１諸国も近似したものとなるだろうと考えられている。

２．２．１　建築物関連機器

エネルギー節減で最大の可能性があるのは建築物関連設備である。これら最終用途での費用効果のあるエネルギー節減は、製品やエネルギー価格によって異なるが、既存の技術をエネルギー効率化技術に転換することで、１０－７０％（最も典型的には３０－４０％）の範囲での節減が可能であり、これには、凝縮型ボイラー、大気利用電気式ヒートポンプ、地表利用ヒートポンプ、高効率エアコン、大気利用または排気ガス利用ヒートポンプ式湯沸かし器、高効率冷蔵庫、水平軸洗濯機、ヒートポンプ式衣類乾燥機、灯油ストーブ、小型蛍光灯、高効率蛍光灯、電磁抵抗器、照明調整システム、高効率コンピューター、スピ

ード変換式ドライブ、および高効率モーターなどがある。(SARII,22.4)（表１参照）

居住用建築物は、２０１０年では建築物の地球規模エネルギー利用の約６０%にのぼると見られており、２０５０年では５５%に落ちると見られている。この比率に基づいてＩＳ９２ａのシナリオは、居住用建築物では２０１０年に１．５ＧｔＣ、２０２０年で１．６ＧｔＣ、２０５０年に２．１ＧｔＣの排出を生むエネルギー利用となるとしており、商業用建築物の方に起因する排出は、２０１０年で１．０ＧｔＣ、２０２０年で１．１ＧｔＣ、２０５０年で１．７ＧｔＣとなると見られる。ＳＡＲに提供された情報を基に、著者達の推定では、消費者への５年以内償還のあるエネルギー効率化対策は、居住用・商業用建築物での炭素排出を、エネルギー効率改善のベースラインとの比較で、２０１０年で２０%、２０２０年で２５%、２０５０年で４０%の範囲で削減するポテンシャルを持つ。(表2の「エネルギー効率化技術の削減ポテンシャル」の項を参照)

２．２．２　建築物保温性

居住用建築物では、主に建物外郭（壁面、屋根、窓）を通しての熱伝導を補完するために、暖房および冷房を必要とする。米国の１９７５年以前建造の建物のレトロフィットで１９９０年から２０２０年の間に３０－３５%のエネルギー節減があると推定されているが、これらの半分だけが費用効果のあるものだ。西欧諸国や北アメリカでスウェーデン型の建築方法を採用するなら、新築建物での屋内暖房需要を、１９８０年代後半に建てられた建物と比べ推定２５%削減できる。(SARII,22.4.1.1.1)　大規模商業用建築物では、内部負荷の占める割合が大きい傾向があるとは言え、建物外郭設計にも、重要なエネルギー節減機会が存在する。(SARII,22.4.2.1.1)　新築の建物では、既設の建物よりも相当大きな節減が可能である。(SARII,22.5.1)　建築物でのエネルギー需要の伸びの大半が、非付属書１諸国でのものと予想されており、またその多くが新築の建築物であることから、これら諸国で建築物をエネルギー効率良く設計・建設するなら、このような大きな節減を確保する機会が相当あることになる。(SARII,22.4.1)

全体としてみれば、ＳＡＲに提供された情報や、専門家の判断から、著者達が推定しているところでは、建築物外郭における改善（熱損失の削減とか、建物の適正方位、エネルギー高効率化窓、気候適応の建物反射係数の利用とかによる）では、5年（以内）償還の居住用建築物の暖房・冷房エネルギー需要から生じる炭素排出を、建築物の熱保全性改善ベースラインと比較して、２０１０年で２５%、２０２０年で３０%、２０５０年で４０%まで削減する可能性がある。商業用建物では、そのエネルギー利用の２５%程だけが冷暖房によるものであり、またこれらのエネルギー負荷を削減することは居住用建築物の場合より商業用建築物の方が困難なところから、５年以内償還付きの窓や壁面の熱保全性改善による地球規模炭素排出削減のポテンシャルは、低くなっている。（表２の「エネルギー効率化技術の削減ポテンシャル」の項参照）これら削減のほとんどは、既設建築物の壁面や窓のレトロフィットは費用がかかることから、新築商業ビルだけで起きる。

２．３　居住用、商業用、公共用建築物部門でのＧＨＧ排出削減対策

建築物部門でのエネルギー効率向上を目的とし、過去２０年間以上にわたり数限りない政策が実施されてきた。本書の議論では、次の４つの一般的な政策分野に焦点をあてている。(i)需要家または生産者に技術的な支援とインセンティブを供与する市場本位プログラム、(ii)生産の時点あるいは建設の時点に適用されるエネルギー効率基準規制、(iii)任意導入のエネルギー効率基準、(iv)より効率の良い製品を開発するための民間または公的な研究開発プログラム重視強化である。これらの政策の多くには、情報・教育のプログラムが必要不可欠なものであるが、こういったプログラムがどれだけエネルギー節減に貢献しているかを直接的に推算することは困難だ。政府からの直接補助金やローンについては、政策分野として別に取り上げることはせず、むしろ民間投資コストを削減する手法として、他の政策に関連づけて取り扱う。{8}

本書で議論される対策は、複数組み合わせることで最良の効果を上げることが多い。規制や、情報、インセンティブ、他のプログラムを互に強化することは、費用効果のあるエネルギー効率化のポテンシャルを相当程度に達成する点で、最善の方法となる。(SARII,22.5.1.8)　エネルギー {資源} をより多く供給し、特に非付属書１諸国で資本を引き寄せるためには、需要家サイドのプロジェクトを「包括化」することも可能である。(SARII,22.5.1.7)　商業用建物と居住用建物、新築建物と既設建物のレトロフィット、分譲建物と賃貸建物といった建物の多様な特徴に関しての特有の課題や障壁を検討して、これら対策を注意深く練り上げる必要がある。(SARII,22.5.1)

全ての対策での、よりエネルギー効率の良い機器や建物の利用に伴う環境便益に含められるのは、発電所からの他の排出削減（特に、硫黄酸化物、窒素酸化物、粒子)、石炭採掘による土地や水資源への影響緩和、化石燃料燃焼による有毒気体の削減、そして、エネルギーの抽出、輸送と移送、転換、利用が低減される結果としての広範囲な環境便益である。（ Levine et al., 1994 ）

２．３．１　市場本位プログラム

エネルギー効率化技術や応用のより多い利用を奨励する何らかのインセンティブを提供する市場本位プログラムは下記の５つのタイプに分けられる。

－　技術サポートやマーケティングへの援助を交換条件に、費用効果のあるエネルギー効率化対策を実施することでの消費者（典型的には産業界や、大規模商業用ビルの所有者や運営者）の「任意参加合意」を得る、政府や公共企業体プログラム（例：グリーンライト、モーターチャレンジ、エネルギースタープログラムといった米国エネルギー省と環境保護庁のプログラム）(SARII,22.5.1.6)
－　大規模購入者（典型的には政府）が多数の高効率ユニットを購入する「調達プログラム」(SARII,22.5.1.1)。例としては、スエーデンのＮＵＴＥＫ技術調達プログラムや、

国際エネルギー機関の革新技術協力調達プロジェクトが含まれる。
- 高効率製品の開発／商業化に対し競争を行い相当の見返り提供する｛生産者インセンティブ・プログラム」（例：米国の超効率冷蔵庫プログラム[ＳＥＲＰ]）(SARII,22.5.1.1)
- エネルギー効率化製品の購入に対し顧客へインセンティブを提供する、「エネルギー需要側管理（ＤＳＭ）プログラム」(SARII,22.5.1.4)
- 将来のエネルギー節減部分と交換にエネルギー効率化製品へフルコストで支払う「エネルギーサービス企業」の創立で、これは、政府または公共企業体のプログラムで奨励されていることが多い。(SARII,22.5.1.4)

市場本位プログラムは製品基準の代わりに、あるいはそれにつけ加えるものとして、利用することが可能。製品基準と組み合わせれば、市場本位プログラムは、それがない時よりも先に､新規のあるいは革新的な技術の市場受け入れを促すようにすることも可能である。活発に実行中である研究開発実証プログラムと合わせると、そのような努力は、先進的でより効率の技術の有用性や実性能にもかなりの長期的な影響をもたらす可能性が高い。家電製品、照明器具、オフィス機器では、そのようなプログラムは、多数の製品のエネルギー効率に余り知識も関心もない場合の多い購入者に影響を与える可能性がある。市場本位プログラムと製品基準規制の組み合わせは、基準実施の困難をある程度克服させつつ、基準だけの場合よりも大きな影響を及ぼす可能性がある。

重要なことは、市場本位プログラムが暖冷房システムの不適切な設計や、施工、メンテナンス、操作の結果としてのエネルギー消費を削減するようなシステム構築（機器の個々の部品についてと違い）に向けられることだ。システム上の問題は数多く事例があり、喚起システムと冷房システムのミスマッチ、建物管理システム不在または不適切な実施、同一ビルの異なった部分での同時冷暖房などがある。

専門家の判断に基づき執筆者達が推定するところでは、市場本位プログラムによって達成できる地球規模炭素排出削減は、２０１０年の建築物関連の排出予想（ＩＳ９２シナリオ）の約５%、２０２０年では約５－１０%、２０５０年では約１０－２０%となっている（表２の「エネルギー効率化技術の対策実施で得られる削減可能性」）が、これは、サービス（需要）増加で相殺される節減部分の推定を見越した上である。

米国で実施されたプログラムの費用と便益の調査から、これらのプログラムが費用効果を持つことが一般的に示されている。(SARII,22.5.1.4)　しかし、分析は限定されていることと、コストや節減値が、奨励された技術が何であるかや、プログラムの実施方法に依存しているところから、一般化することはできない。

プロジェクトレベルコスト：上記に述べるようなエネルギー効率の向上は、商業用ビルに高品質のエネルギー効率改善を供与できるような民間部門を作り上げるインセンティブに相当な投資を必要とする。広範囲な教育プログラムも、特に開発途上国において必要であ

る。
居住者用、商業用建物設備器具への市場本位プログラムを実施する上での行政上、機構上、政治上の課題は次の通りである。：

- 総合システムを改善する困難さ。
- システム上の問題を解析し修整する能力を持つ熟練技術者が必要なことと、不足していること。
- エネルギー利用者が、エネルギー費支払いの責任を持つ者とは違う場合が多く、効率改善の障壁となっている事実。(SARII,22.5.1)
- 建物に関する干渉が、全ての費用効果のあるエネルギー効率改善策を達成することを目的とするように、インセンティブを構築する必要性。
- 市場本位プログラムが効果的に作用するような組織構造を構築する必要性。
- 交差補助金と、それに関連する費用負担の不公平についての理解（または現実)。

２．３．２　規制策

居住用・商業用建築物での規制オプションとして重要なものとして、エネルギー効率基準規制があり、政府はこの策を通して、生産される製品（または全製品の平均)、あるいは建設された建物がエネルギー利用の規定規格に合致するべきであるという、特定の規制要求を実施できる。そのような基準制定は、本部門で最大の節減をもたらすポテンシャルがある。(SARII,22.5.1.2,22.5.1.3)　家電製品は耐用年数が１０－２０年というのが典型(SARII,22.4.1.5)であるが、暖房・冷房器具はこれより多少長い期間取り替えられる。このように取り替えが早いことから、より効率の劣った在庫品が既設の基準に合致する効率の良い製品に入れ替わるのも比較的早く行われる可能性がある。しかし、居住用・商業用建物では、その耐用期間は５０－１００年の間であることがより一般的である。

基準レベルの厳格さに依るが、家電製品や建築物で利用される他のエネルギー使用機器に対し基準規制を導入することで地球規模炭素排出を、建築関連で予想（ＩＳ９２シナリオ）されるよりも、２０１０年で約５－１０%、２０２０年で約１０－１５%、２０５０年で約１０－３０%削減すると執筆者達は推定(専門家の判断に基づく)しており、(表２の「対策導入で実現できるエネルギー効率化技術の削減ポテンシャル」参照)、これはサービス(需要）の増加で相殺される節減部分を見越したものである。

エネルギー効率基準規制は、より高効率の製品や建物に伴う付加コストに対し、エネルギー節減上の便益の方が上回るように、費用効果性のある水準で設定されるのが典型である。したがって、そのような基準は、平均して実質マイナスのコストで、炭素排出の削減を実現する。１９９５－２０１５年の期間での米国家電製品エネルギー保全条例（ＮＡＥＣＡ）の住宅用家電製品基準の影響を例にとると、米国で既に実施されている家電製品基準での累積実質コストの現状は３２０億ドルと予想されており、現在の実質節減額は７８０億ドル（１９８７年米国ドル）と推定されている。(Levine et al., 1994)

基準規制に伴うプロジュクトレベルコストには、製品の分析、実験、評価のプログラムコストが含まれる。家電製品の性能を検証する実験所や設備は、そのような施設をもたないが、家電製品の需要が伸びている国あるいは国のグループで必要となろう。他の主要なコストには、より効率の良い製品の生産開始のための投資コスト、訓練された人員確保、そして新規の機構組織構築の費用が含まれる。

エネルギー効率基準規制の実施にともなう行政上、機構上、政治上の課題には下記のものが含まれる：

－ 種々の理由による産業部門からの反対（利益の減少になるという認識、投資額増大への政府要求、企業倒産や競争鈍化の可能性）
－ 他の悪影響を受けうるグループからの反対（例―幾つかの基準のための電気設備）
－ 望ましいことが証明された試験方法や相対基準の統一化で、各国の合意を得ることの困難さ
－ 試験機関への投資資金や、必要な試験を行うためのコストへの投資を獲得することの困難さ（特に非付属書１諸国では、その実質便益がこれらのコストよりもはるかに大きいという事実があるにも係わらず、特に急を要する問題になっている）

これらの困難を乗り越えるのには、なみなみならぬ努力が必要とされる。多くの家電製品が、異なった国々では多様なエネルギーコストや消費者の利用パターンに合わせて、設計、認可、製造、販売されることから、基準や試験機関を設定する資金の調達と組み合わせた地域的イニシアティブが、多くの機構上の障壁を克服するうえで必要になる可能性があり、特に付属書１の市場経済移行国や非付属書１諸国において、そうである。

また、エネルギー効率基準規制に伴う、行政上、機構上、政治上の便益もあり、これには、消費者や環境上の懸念への対応、将来的な発電能力要求の削減、また統一化された試験方法に基づくエネルギー効率化製品の導入を先行的に行うような生産者に対する信用供与、などが含まれる。試験方法や基準を合わせることは、種々の規制要求を満たすためにかかる生産コストを低減する可能性がある。

３．３．２．　任意基準

製造業者と建設業者が、設定されたエネルギー利用要項を満たすような製品または建築物の生産または建設で合意（政府による法規制なしに）するような任意参加のエネルギー効率基準は、基準規制の前駆あるいは代替となりうる。(SARII,22.5.1.2)　そのような基準が適用される製品に関しては、試験方法や適切な試験機器、機器や製品ラベルを認可する試験機関について合意が成されなければならず、それによって、規制基準の前提条件を満たすことができる。任意参加の基準は、居住部門よりも商業部門の方でより成功しており、おそらくこれは、商業ビル需要家の方が居住ビル需要家よりもエネルギー利用や機器効率についての知識が豊富なためであろう。

任意参加プログラムによるエネルギー利用や炭素排出の削減は、かなり多様であり、その実施方法や生産者のによる参加に左右される。専門的な判断から、著者達は、これら基準による地球規模炭素排出削減を、基準規制の場合の削減の１０－５０％の範囲ものと推定している。（他の強力なインセンティブと組み合わせるならこれ以上になりうる。）

任意基準に伴うプロジェクト・レベルのコスト（試験機器や試験機関のコストと初期投資コスト）は、基準規制のそれと同等である。しかし、より効率化された機器への投資増分は、基準規制に対するものよりもかなり低くなる。というのは、任意基準は市場への影響が低いと思われるからである。

任意基準を達成するための行政上、機構上、政治上の課題は、基準規制のものと同様であるが、家電製品や他の機器・建築物でのエネルギー効率改善分に影響する能力に比例する形で、一回り小さなスケールとなる。

２．３．４．　研究開発実践プログラム（ＲＤ＆Ｄ）

ＲＤ＆Ｄプログラムは、政策がより長期的な影響を持つことを可能にするような新技術の創造を促進する。一般的には、ＲＤ＆Ｄを遂行する資源と関心を持ち合わせているのは大企業と政府だけである。これに対し建築業界は、高度に細分化されており、業界としてＲＤ＆Ｄを遂行するだけの資源を蓄積するのは困難となっている。政府支援のＲＤ＆Ｄは、エネルギー効率化技術の多くを開発、商業化する上で重要な役割を果たしてきており、これには、低導出窓、電子バラスト、高効率冷蔵コンプレッサーなどがある。付属書１諸国でのＲＤ＆Ｄの成果は、非付属書１諸国へ技術移転されることが多いが、これら諸国では、例えば、建物設計とか、高温多湿気候での建設といった、特に注意を要する特有な状況がある。この理由から、非付属書１諸国にベースを置く研究者や、付属書１諸国と非付属書１諸国のＲＤ＆Ｄ専門家の間で、協調的なＲＤ＆Ｄ機構を作ることが重要である。

表２では、ＲＤ＆Ｄによる炭素排出削減の推定値を特定することはせず、むしろ建築物で、機器設備、絶縁物、窓、外壁そして特に建物システムでの改善を含めた、より効率的にエネルギーを利用する方法について活発なＲＤ＆Ｄを行うことが、２０１０年以降に大きなエネルギー節減を達成するには必要不可欠であるとしている。顕著なＲＤ＆Ｄ活動なしに、居住用、商業用、公共用建築物部門での排出削減ポテンシャルを実現はできないという点に注目することが大切である。

２．４　居住用、商業用、公共用建築物部門での技術や対策による地球規模炭素排出削減

表１、表２に、世界の居住用、商業用、公共用建築物で達成可能な排出削減合計の範囲を

示した。これらの削減は、ＩＳ９２のシナリオをベースにすると、２０１０年では予想排出量の１０－１５%、２０２０年には１５－２０%となり、２０５０年には２０－５０%と推定される。したがって、建築物部門での達成可能な炭素排出削減の合計は、２０１０年で０．１７５－０．４５ＧｔＣ、２０２０年で０．２５－０．７０ＧｔＣ、２０５０年には０．３５－２．５ＧｔＣの範囲となる（ＩＳ９２のシナリオと比較して）と推定されている。

本書で述べる対策は、炭素排出削減の可能性や費用効果性、実施での困難さなどで区別することができる。これら対策の全ては、エネルギー節減が費用効果のあるものである限り、経済全体に良い影響をもたらす。環境の便益はエネルギー需要の削減、つまりは炭素排出におおよそ比例する。異なる対策での行政上コストや移行コストは、相当異なる可能性がある。建築コードや基準の施行は困難な可能性があるが、現在多くの国で、新規建築に対する何らかのエネルギー効率最低基準が要求されている。市場本位プログラムの多くには、ある程度の複雑性が入ってくるが、他の策で捉えるには極端に困難な節減を獲得するように設定されていることが多い。製品基準プログラムは、原則的には、施行上最少の困難ですむが、これらのプログラムに対する政治的な合意を得ることは困難な可能性がある。

脚注*********************************

{5} 本章はＳＡＲＩＩ、第２２章「人間居住地での緩和オプション」（代表執筆者は、M. Lenive、H. Akbari、J.Busch、G. Dutt、K. Hogan、P. Komor、S. Meyers、H. Tsuchiya、G. Henderson、L. Price、K. Smith、Lang Siweri）に基づいている。

{6} 地球規模エネルギー利用と排出の値はＩＳ９２のシナリオに基づく。

{7} 表２と表３には、商業販売される燃料の利用から生じる炭素排出のみを含める。開発途上国で調理に利用される大量のバイオマス燃料は含まない。途上国で、調理用バイオマス燃料を持続可能で再利用可能なバイオガスやアルコールに切り替えることは、これら排出の削減を可能にする。(SARII,22.4.1.4)

{8} 第９章「経済的手法」も参照の事。

表１：建物部門におけるＧＨＧ排出緩和の対策と技術オプションの選択例

技術オプション	対策	気候および他の環境影響[a]	経済的・社会的効果	行政上・組織上・政治上の 配慮
建築物関連機器 暖房 －凝縮型ﾎﾞｲﾗｰ －温気利用電気式ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ －温土壌利用ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ 冷房 －高効率ｴｱｺﾝ 温水器 －高効率温水器 －空気循環ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ式温水器 －排気ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ式温水器 冷蔵庫 －高効率冷蔵庫 他の家電製品 －水平回転軸洗濯機 －洗濯機回転速度増大 －ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ式乾燥機 調理器具 －ﾊﾞｲｵﾏｽ燃料ｽﾄｰﾌﾞ 照明器具 －小型蛍光灯 －ﾊﾛｹﾞﾝ赤外線灯 －高効率蛍光灯 －電磁式ﾊﾞﾗｽﾄ －反射表面 －ｹﾛｼﾝﾗﾝﾌﾟ転換 －照明ｺﾝﾄﾛｰﾙｼｽﾃﾑ ｵﾌｨｽ機器 －高効率ｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰ －低電力ﾓｰﾄﾞ機器 ﾓｰﾀｰ －変速ﾄﾞﾗｲﾌﾞ －高効率ﾓｰﾀｰ ｴﾈﾙｷﾞｰ管理 －建物ｴﾈﾙｷﾞｰ管理ｼｽﾃﾑ －高度ｴﾈﾙｷﾞｰ管理ｼｽﾃﾑ	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －自主協定 －市場引力や市場統合 －開発ｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ －ﾕｰﾃｨﾘﾃｨｰ需要者側管理ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ －ｴﾈﾙｷﾞｰｻｰﾋﾞｽ企業	**気候便益** －2010年までに建物からの排出を2.5-4%削減 －2020年までに建物からの排出を3-5%削減 －2050年までに建物からの排出を5-13%削減 **他の影響** －強制ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様な数量効果	－強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様な数量効果(下記参照)ただし試験所機関での設備ｺｽﾄや初期生産ｺｽﾄは含まない。 －ﾓﾆﾀｰと実施ｺｽﾄ	**行政・組織要素** －統合ｼｽﾃﾑ改善の困難 －熟練人員必要 －大家と借家人へのｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ －全ｵﾌﾟｼｮﾝを扱うﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ設計 －新規の組織構造必要 **政治要素** －交換補助金
	規制措置 －強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準	**気候便益** －2010年までに建物からの排出を4-7%削減 －2020年までに建物からの排出を6-10%削減 －2050年までに建物からの排出を10-25%削減 **他の影響** －ｴﾈﾙｷﾞｰの採取、運輸、移送、転換、利用による土地、大気、水への影響削減	**経済問題** －５年以下償還予想で費用効果のある炭素削減 **マクロ経済問題** －節減は経済上益 **ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ効果** －熟練人員必要 －分析、試験、訓練ｺｽﾄ －試験所の設備ｺｽﾄ －初期生産ｺｽﾄ －新規の組織構造必要 －製品特性の変更	**行政・組織要素** －分析、試験、評価能力 －試験機関 －機器認可 －試験方法と標準水準に対する国内、地域、国際的合意 －試験用資金確保 －将来的ｴﾈﾙｷﾞｰ生産要求削減 **政治要素** －製造者の反対 －他の関係団体の反対 －環境上問題と消費者からの懸念への対応
	任意参加対策 －任意参加ｴﾈﾙｷﾞｰ効率化基準	**気候便益** －強制基準で達成可能な削減の10-50%地球排出削減 **他の影響** －強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様な効果	－数量的には強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様	－数量的には強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様

技術オプション	対策	気候および他の環境影響	経済的・社会的効果	行政上・組織上・政治上の 配慮
建築物保熱性 ーﾀﾞｸﾄ密封度改善 ー適正方位 ー断熱・密封 ーｴﾈﾙｷﾞｰ効率化窓	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** ー家庭用ｴﾈﾙｷﾞｰ評価ｼｽﾃﾑ ー対建築家/建設者ﾕｰﾃｨﾘﾃｨDSM援助 ー建築用調達ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ	**気候便益** ー2010年までに建物からの排出を1.5-2%削減 ー2020年までに建物からの排出を1.5-2.5%削減 ー2050年までに建物からの排出を2-5%削減 **他の影響** ー強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様の数量効果	ー強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様な数量効果(下記参照)試験所の設備ｺｽﾄや初期生産ｺｽﾄは含まない。 ーﾓﾆﾀｰと実施ｺｽﾄ	**行政・組織要素** ー統合ｼｽﾃﾑ改善の困難 ー熟練人員必要 ー大家と借家人へのｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ ー全ｵﾌﾟｼｮﾝを扱うﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ設計 ー新規の組織構造必要 **政治要素** ー交換補助金
	規制措置 ー強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準	**気候便益** ー2010年までに建物からの排出を1.5-2%削減 ー2020年までに建物からの排出を1.5-2.5%削減 ー2050年までに建物からの排出を2-5%削減 **他の影響** ー強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様の数量効果	ー建築機器での強制的ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準と同様の数量効果ただし訓練と実施ｺｽﾄ大の可能性	**行政・組織要素** ー施行困難 ー遵守確認が困難 **政治要素** ー建築業者の反対 ー他関連ｸﾞﾙｰﾌﾟの反対 ー環境上や消費者の懸念に対応

a.　本表の％値は、本章表-2「対策により獲得可能なｴﾈﾙｷﾞｰ効率化技術での削減ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ」での絶対値に対応する。数値を合わせるには、市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑと、建築機器と建物保熱性の双方へのｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準規制での排出削減割合を加算する。（例ー建物機器での市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑによる2010年での削減2.5-4%に建物保熱性での市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑによる削減１1.5-2%を足すと4-6%となり、これが、表-2での市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑによる削減95-160MtCに相当する。）

・　表２　地球規模建築部門年間炭素排出とＩＰＣＣｼﾅﾘｵ ＩＳ９２ａをﾍﾞｰｽに
建築部門ｴﾈﾙｷﾞｰ利用を削減する技術や対策の削減可能性（ＭｔＣ）

	建築物部門年間地球規模炭素排出（ＭｔＣ）			
	1990年	2010年	2020年	2050年
排出源ーベースライン[a]				
居住用建物	1200	1500	1600	2100
商業用建物	700	1000	1100	1700
合計	1900	2500	2700	3800
活発なＲＤ＆Ｄ活動を前提としたエネルギー効率化技術による削減可能性[b] (SARによる)				
居住用機器[c]		300	400	840
居住用熱効率[d]		150	190	335
商業用機器[c]		200	275	680
商業用熱効率[d]		65	85	170
合計削減可能性		715	950	2025
対策実施によるエネルギー効率化技術での削減可能性[e]（専門家判断）				
エネルギー効率基準規制[f]		135-225	210-350	450-1125
エネルギー効率任意基準		h	h	h
市場本位プログラム[g]		95-160	125-210	275-685
達成可能削減合計		230-385	335-560	725-1810

注：　「エネルギー効率化技術での削減ポテンシャル」と、「対策実施で実現するエネルギー効率化技術の削減ポテンシャル」は加算されるものではなく、むしろ後者は前者の一部で、記述された対策により実現される部分である。

a．2010年、2020年、2050年での商業部門と居住部門の振り分けは居住部門65%、商業部門35%という1990年の振り分けを基に推定したもので（SAR II，22.2.1）、商業部門はこの期間相当の伸びを示し2050年には45%に達すると予想されている。

b．相当なRD&D活動がなければ、2010年の削減の一部、2020年の削減では重要部分、2050年の削減の大半が不可能となる。RD&D削減は、別項としておらず、これは「エネルギー効率化技術の削減可能性」に含まれていると考えられるからである。2050年の値はRD&Dによる主要突破口の可能性が含まれている。

c．機器には家電製品、暖冷房ｼｽﾃﾑ、照明やコンセント器具（オフィス機器を含む）が含まれる。居住用機器と商業用機器での炭素排出削減可能性は、2010年では居住用、商業用排出の20%、2020年では25%、2050年では40%と計算されている。

d．居住用熱効率による炭素削減ポテンシャルは、本部門で利用される暖冷房エネルギー（居住用エネルギー利用合計の40%）に起因する排出に対し2010年25%%、2020年で30%、2050年で40%と計算されている。商業用熱効率での削減ポテンシャルは、本部門で使用される暖冷房エネルギー（商業用エネルギー利用合計の25%）に起因する排出に対し、2010年で25%、2020年で30%、2050年で40%とされている。

e．エネルギー効率基準規制での炭素削減ポテンシャルと市場本位プログラムでのそれは、加算することが可能である。というのは、ここでの推定が控えめなもので、相互干渉作用や二重計算も考えたものだからだ。炭素削減ポテンシャルは、中のｆとｈで説明されるように、2010年と2020年に関しては、計算された削減の60-100%の範囲で示しており、2050年に関しては、60-150%の範囲の数字となっている。60%は対策の部分的実施を表し、2050年の150%はRD&Dで革新的前進があることを仮定している。

f．エネルギー効率基準規制で実現する炭素削減ポテンシャルは、注のcとdに示され、本表の「エネルギー効率化技術での節減可能性」の項にあるように、2010年では、居住機器での削減の40%、商業用機器での削減の25%、居住用と商業用熱効率での削減の25%とにおよぶと計算されていおる。2020年と2050年については居住用機器での削減では50%、商業用機器では30%、居住用と商業用熱効率での削減の25%と計算されている。

g．　市場本位プログラムによる炭素排出削減は、2010年では居住用機器での削減の15%、商業用機器での削減の30%、居住用と商業用の熱効率で25%を占め、2020年と2050年では、節減値は、居住要機器で15%、商業用機器で25%、居住用、商業用熱効率削減で25%となると計算されている。

h．炭素排出削減は、 規制基準による削減の10-50%を占め、任意基準実施の方法や、製造業者の参加度合いに左右される。この不確実性から、この値は達成可能節減には含んでいない。

**表３付属書Ｉ諸国建築部門年間炭素排出とIPCCｼﾅﾘｵ IS92aをﾍﾞｰｽに
建築部門ｴﾈﾙｷﾞｰ利用を削減する技術や対策の削減可能性（MtC）**

	付属書Ｉ諸国建築物部門年間炭素排出（ＭｔＣ）			
	１９９０年	２０１０年	２０２０年	２０５０年
排出源ーベースライン[a]				
居住用建物	900	1000	1050	1100
商業用建物	500	700	750	900
合計	1400	1700	1800	2000
活発なＲＤ＆Ｄ活動を前提としたエネルギー効率化技術による削減可能性[b] (SARによる)		建築物部門年間地球規模炭素排出（ＭｔＣ）		
居住用機器[c]		200	260	440
居住用熱効率[d]		125	160	220
商業用機器[c]		140	190	360
商業用熱効率[d]		45	55	90
合計削減可能性		510	665	1110
対策実施によるエネルギー効率化技術での削減可能性[e]　（専門家判断）		95-160	145-240	245-610
エネルギー効率基準規制[f] エネルギー効率任意基準		h	h	h
市場本位プログラム[g]		70-115	90-150	150-380
達成可能削減合計		165-275	235-390	395-990

注：

「エネルギー効率化技術での削減ポテンシャル」と、「対策実施で実現するエネルギー効率化技術の削減ポテンシャル」は加算されるものではなく、むしろ後者は前者の一部で、記述された対策により実現される部分である。

a.　2010年、2020年、2050年での商業部門と居住部門の振り分けは居住部門65%、商業部門35%という1990年の振り分けを基に推定したもので（SAR II, 22.2.1）、商業部門はこの期間相当の伸びを示し2050年には45%に達すると予想されている。

b.　相当なRD&D活動がなければ、2010年の削減の一部、2020年の削減では重要部分、2050年の削減の大半が不可能となる。RD&D削減は、別項としておらず、これは「ｴﾈﾙｷﾞｰ効率化技術の削減可能性」に含まれていると考えられるからである。2050年の値はRD&Dによる主要突破口の可能性が含まれている。

c. 機器には家電製品、暖冷房ｼｽﾃﾑ、照明やｺﾝｾﾝﾄ器具（ｵﾌｨｽ機器を含む）が含まれる。居住用機器と商業用機器での炭素排出削減可能性は、2010年では居住用、商業用排出の20%、2020年では25%、2050年では40%と計算されている。

d. 居住用熱効率による炭素削減ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙは、本部門で利用される暖冷房ｴﾈﾙｷﾞｰ（居住用ｴﾈﾙｷﾞｰ利用合計の50%）に起因する排出に対し2010年で25%、2020年で30%、2050年で40%と計算されている。商業用熱効率での削減ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙは、本部門で使用される暖冷房ｴﾈﾙｷﾞｰ（商業用ｴﾈﾙｷﾞｰ利用合計の25%）に起因する排出に対し、2010年で25%、2020年で30%、2050年で40%とされている。

e. ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準規制での炭素削減ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙと市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑでのそれは、加算することが可能である。というのは、ここでの推定が控えめなもので、相互干渉作用や二重計算も考えたものだからだ。炭素削減ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙは、中のfとhで説明されるように、2010年と2020年に関しては、計算された削減の60-100%の範囲で示しており、2050年に関しては、60-150%の範囲の数字となっている。60%は対策の部分的実施を表し、2050年の150%はRD&Dで革新的前進があることを仮定している。

f. ｴﾈﾙｷﾞｰ効率基準規制で実現する炭素削減ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙは、注のeとdに示され、本表の「ｴﾈﾙｷﾞｰ効率化技術での節減可能性」の項にあるように、2010年では、居住機器での削減の40%、商業用機器での削減の25%、居住用と商業用熱効率での削減の25%とにおよぶと計算されていおる。2020年と2050年については居住用機器での削減では50%、商業用機器では30%、居住用と商業用熱効率での削減の25%と計算されている。

g. 市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑによる炭素排出削減は、2010年では居住用機器での削減の15%、商業用機器での削減の30%、居住用と商業用の熱効率で25%を占め、2020年と2050年では、節減値は、居住要機器で15%、商業用機器で25%、居住用、商業用熱効率削減で25%となると計算されている。

h. 炭素排出削減は、 規制基準による削減の10-50%を占め、任意基準実施の方法や、製造業者の参加度合いに左右される。この不確実性から、この値は達成可能節減には含んでいない。

３．運輸部門{9}

３．１　はじめに

１９９０年での運輸部門のエネルギー利用によるＣＯ２排出は、１．２５ＧｔＣにのぼっており、これは、化石燃料利用によるＣＯ２排出の５分の１にあたる。(SARII,21.2.1) 本部門からの他のＧＨＧ排出で重要なのは、触媒付き車両の排気管から排出されるＮ２Ｏ、エアコンシステムから漏洩あるいは排気されるＣＦＣやＨＦＣ、成層圏と対流圏の境界面近くを飛行する飛行機から排出されるＮＯｘ（この高度では、ＮＯｘから生成するオゾンは、非常に強力なＧＨＧである）などである。世界の運輸関連エネルギー利用は、他のどの部門よりも急速に伸びており、１９７３年から１９９０年の期間で年平均２．４%の伸びであった。(SARII,21.2.1)

旅行や商品の流通が、人間の個人的・社会的・経済的・開発上の必要を満たさせるために果たしている特殊な役割を考えると、運輸部門でのＧＨＧ緩和は、特別なチャレンジとなる。(SARII,21.2.3)　その一方で、本部門は車の設計や燃料特性といった共通要素のあることから、特殊な機会をも提供する可能性がある。運輸部門には利害関係者が多く、個人や営業上での交通機関利用者、車両の製造業者、燃料供給業者、道路建設業者、企画・計画者や運輸サービス提供者などがある。運輸部門ＧＨＧ排出の削減対策は、これら利害関係者の一方あるいは他方の利害に挑戦する場合が多い。こういった利害関係者の懸念を考慮に入れ、運輸部門が対応する需要を満たすためのより良い方策を提供するようにしなければ、本部門での緩和戦略は、失敗する危険がある。戦略の選択肢は、該当する一国または一地域の経済的・技術的能力に依る。(SARII,21.4.7)

３．２　地球規模炭素排出の傾向と予測

表４は、異なる運輸手段の１９９０年でのエネルギー利用と、２０５０年でのＣＯ２排出の２つの可能なシナリオを示している。これら２つのシナリオは、本部門では対策がGHG排出に与える影響を評価する基礎として使われている。エネルギー集約度は、１９７０年から１９９０年の間での道路交通は年率０．５－１%低下してきており、航空輸送では、１９７６年から１９９０年の間で年３－３．５%減少した。表に示した運輸部門の成長とエネルギー集約度の削減の範囲は、過去と比べ緩やかな動きになると予測されている。(SARII,21.2.5)　各文献でのシナリオの多くは、エネルギー利用の成長率が引き続き減少しているが、これら２つのシナリオは定率での成長を基にしている。従って、この表での「高い」予測シナリオは、ＩＳ９２ｅシナリオの２０５０年のよりかなり高いものとなっている。２０５０年の「低い」シナリオはＩＳ９２ｃシナリオより１０%低くなっており、市場状況での何らかの変化（例えば石油価格の急上昇）、または都市での大気汚染削減や交

通混雑の削減といった新たな政策がとられない限り、実現する可能性は低い。

運輸部門で最大のＧＨＧ排出源は、２０５０年まででは、乗用車や他の軽量荷重車両（ＬＤＶｓ）、重量荷重車両（ＨＤＶｓ）、そして航空機である可能性が大きい。これら全てで現在年間成長率が東南アジアで特に高くなっており、中欧・東欧諸国の一部では車の所有の急速な増加が見られる。二輪車、特にツーサイクル・エンジンのモペットは、南アジアや東アジア、中南米の一部で、最も急速な成長をしている個人用交通手段の一つであるが、地球規模の運輸部門でのエネルギー利用としてはその２－３％をしめるに過ぎない。(SARII,21.2.4)　これら車両は、局地的な汚染源をかなり多く排出する。

付属書１諸国は、１９９０年の地球規模運輸部門ＣＯ２排出の４分の３を占める。この割合は２０２０年には約６０－７０％に落ち(SARII,21.2.2)、非付属書１諸国での急成長が続くなら、２０５０年には更に落ち込むと見られる。

３．３　運輸部門でのＧＨＧ排出削減技術

運輸関連のシステムや技術は急速に発展を遂げている。過去には、この発展に大半の車両タイプでのエネルギー集約度減少が含まれていたが、１９９６年以前の１０年間では、比較的小さな削減しか起きていない。その代わり、近年の技術向上は、主に、性能、安全性、そして付属品の向上に使われている。(SARII,21.2.5)　可分所得が引き続きより運輸集約度の高いライフ・スタイルに使われ、生産面での付加価値の増大が、より多くの中間製品の移動や、より早くそしてより柔軟な貨物輸送システムを求めていることから、運輸部門エネルギー需要での飽和がでてくる確証は全く出ないか、あってもわずかである。

ＳＡＲで議論された技術やインフラストラクチャーでの緩和オプションは多数にのぼっている。(SARII,21.3) その幾つかは、状況によっては、既に費用効果のあるものである。(つまりそれらオプションの採用により、エネルギー節減、性能改善等を考慮すると個人運輸コストが節減できる。）これらオプションには、エネルギー効率改善、代替エネルギー源、インフラストラクチャー変更、モード変更、そして貨物車両集合管理が含まれる。これら技術オプションの費用効果性は、資源の利用可能性、ノウハウ、組織能力と技術、地域市場状況により、各利用者や各国でかなり多様である。

３．３．１　エネルギー効率改善

よりエネルギー効率の高い車の付加コストは燃料節減で相殺されることから、ある程度のエネルギー集約度節減は、車の運転者にとって費用効果がある。(SARII,21.3.1)　幾つかの研究から、これらの節減可能性が種々の理由で達成できないでいると指摘されており、その理由として特にあげられているのは、車の生産者や購買者が信頼性、安全性や性能といった他の優先要素と比較して、それら（エネルギー効率）の重要性を低くみていること

である。車の購買者の多くは、車の運転コストと車自体の購買とは別々に予算を立てるもので、特に後者がローン取得可能かどうかにかかっている場合にそうである。したがって、購買者は車の価格と運転コストを直接天秤にかけるわけではない。燃料での節減自体は、個人や企業の車購買者にかかる時間、努力、リスクに見合うものではないかもしれないが、それらの障害を最小限にしたり、回避したりする対策をとることで、達成は可能である。乗用車や他の個人用途の車両では、２０２０年の時点で利用者にとって費用効果のある節減は予測エネルギー使用量の約１０－２５％にのぼり、車両価格は５００－１５００ドル程度の上昇となるだろう。より高い価格ならより大きな節減が可能であるが、これは費用効果的ではない。(NRC,1992; ETSU,1994; DeCicco & Ross,1993; Greene & Duleep,1993)

商業用車両での費用効果のあるエネルギー節減ポテンシャルについては、乗用車よりも研究が少なく、また（節減自体も）小さい－バス、列車、中型や大型トラック、航空機については１０％程度－と考えられている。というのは商業用運転者には費用効果のある技術を利用する上で、より強いインセンティブが既に存在するからである。(SARII,21.3.1.5)

エネルギー集約度の削減は、利用者にとって費用効果のあるレベルを越えてでも可能性がある。しかし、エネルギー集約度の上で大きな削減をするような車のデザインの変更は、車の性能上の他の要素にも影響する可能性が高い。(SARII,21.3.1.5)　これらの変更を実現できるかどうかは、車の生産者や購買者の優先度に変化があるかどうか、または技術性能とコストに依る。

車体設計の改善の結果としてエネルギー集約度削減があるなら、ＧＨＧの緩和には他の大気汚染物質の排出の削減をも伴う可能性があり、この場合これらの物質は、触媒コンバーターの利用を要求する上で効果のある基準で規制されてはいない。一方、ある種のエネルギー効率化エンジン設計（例－直接燃料インジェクションやリーン・バーン・エンジン）は、ＮＯｘや微粒子の排出をやや高めることがある。(SARII,21.3.1.1)

車の技術革新は、新規の設計、技術、と生産ラインに非常に大きな投資を必要とする可能性がある。もし車の生産者における通常の製品サイクルにエネルギー効率改善を組み入れるなら、こういった短期的なコストを最小限にすることができる。乗用車やトラックについて、優先度の変化や車市場のインセンティブと、そういった変化による結果が生産車全てにわたって出現するまでには、１０年の開きの出る可能性がある。航空機では、こういった遅れはさらに広がる、というのは、航空機の使用寿命の長い事と、新技術は、長年の実験でその安全性能が十分実証でききからでないと汎用が認められないからである。

３．３．２　代替エネルギー資源

フルの燃料サイクルのベースでは、再生可能エネルギー源からの代替燃料は、車両走行（車両製造でのエネルギーを除く）からのＧＨＧ排出を８０％以上削減するポテンシャルがある。(SARII,21.3.3.1)　現状では、これらの燃料はほとんどの場合、石油製品よりも高価

なものとなっているが、液状バイオ燃料で走行する車両は、従来型の車両と比べ性能は同等で、生産コストも大量生産されれば高くない。これら燃料が広くしようされるには、新型車両、燃料生産、流通技術への転換コスト、安全性や毒性についての懸念、そして特定の気候での性能上の問題の可能性などを含めた多様な障害を克服できるかどうかにかかっている。道路交通用車両への水素燃料や電気の利用を広めるには、まだ克服しなければならない技術上、費用上の挑戦が残っている。

ガソリンに替わる化石燃料（例－ディーゼル、液化石油ガス（ＬＰＧ)、加圧天然ガス（ＣＮＧ)）は、キロメートル当たり１０－３０%の排出削減を可能にし、小型都市バスや配達用トラックといった走行距離が長いとか集団輸送といった特殊用途では既に費用効果をあげている。(SARII,21.3.3.1)　購入するにも運転するにも通常の燃料の車両より高い費用がかかる。代替車両が金銭的には節減となったとしても、その性能はガソリン車と同様とは行かず、走行距離が短くなったり、エンジンの出力や荷重能力が低かったりすることが多く、特殊なニッチ・マーケットでしか成功しないだろう。ハイブリッドの車両の利用は、代替燃料車両や電気自動車が車の利用者の大部分のニーズに応えられるようにするだろうが、単一の燃料の車両より高いコストとなる。ＬＰＧやＣＮＧは従来の汚染源の排出ではガソリンやディーゼルよりも低いため､その利用について数カ国の政府が奨励しているが､ガソリンからディーゼルへの転換は、微粒子やＮＯｘの排出を多くしてしまう可能性がある。ハイブリッド燃料車両や燃料種選択可能な車両を使えば、代替燃料や電気自動車を、利用者の大部分での運搬ニーズに対応できるようにするが、コストがかかりまた単一燃料車両よりもＧＨＧ削減が小さくなる。(SARII,21.3.4)　ディーゼルへの転換は重量車両利用者にとりさほど費用効果をもたらすとは考えにくく、またＧＨＧ排出を増大する結果となりうる。(SARII,21.3.3.2)　いずれにしても、ＮＯｘや微粒子の都市部での排出を削減するため、ＣＮＧ、ＬＰＧや液化天然ガス（ＬＮＧ）を燃料とする都市バスや配達トラックは少数ながら増えている。航空機燃料ののケロシンへの転換は、試みられているが、費用効果性は近い将来では望めそうにない。(SARII,21.3.3.3)　代替燃料を利用する対策の政治的誘因は多くの場合、ＧＨＧ緩和以外の目的をもっており、例えば都市部での大気汚染改善、農業部門雇用の維持、エネルギー安全保障などである。

３．３．３　インフラストラクチャーとシステムの変換

人がそのニーズを満たすために移動する距離やその輸送手段の選択は、都市部密度、都市部や運輸部門のインフラストラクチャー、交通システムの設計などの全てに影響される。(SARII,21.4.2)　こういった要素はまた、海外への輸送量や利用輸送手段にも影響する。こういった種々の要素の重要性については異論があるが、都市部や運輸部門のインフラストラクチャーが通常､主にＧＨＧ緩和以外の目的で作られていることは注目すべきである。

交通システムや集団輸送管理システムは、都市部で１０%かそれ以上のレベルでのエネルギー節減を達成できるポテンシャルを持つ。(SARII,21.4.2)　貨物輸送へのエネルギー利用は、トラック集団輸送管理の変更でかなりの削減が可能である。道路輸送から鉄道輸送

への切換では０－５０％のエネルギー節減が可能で、多くの場合ＧＨＧ排出も同等またはより大きな削減となり、特に鉄道が非化石燃料による電力を動力としている場合にそうである。(SARII,21.3.4,21.4.2)　鉄道による貨物輸送の費用効果性と実用性は、地域や商品に依って大きく異なる。(SARII,21.2.5)　鉄道貨物輸送の長期的ポテンシャルは、柔軟性や即応性への比重の高まりに対応できる鉄道および交通手段間の技術開発に依存する。

３．４　運輸部門でのＧＨＧ排出削減対策

運輸部門での気候（変動緩和）目的を達成するための第１のステップは、他の政策目的についても十分に正当化できるＧＨＧ緩和対策を導入することである。そのような対策は、産業の競争性を向上し、エネルギー安全保障を促進し、市民の生活の質を向上させ、環境を保護することを可能にする。(SARII,21.4)　原則的には、これらの課題全てに対応できる最も費用効果のある方法は、特定の国で道路交通に対し適用している補助金を排除し、運輸についての社会的・環境的コストを完全に反映させる価格メカニズムを導入することだ。(SARII,21.4.5)

実際には、道路利用料といった経済的に効果のある対策は、技術的・政治的理由から実施が困難な可能性がある。地域の状況で地域としての解決法が求められるので、対策戦略の成否は下記に述べるような設定をするかどうかにかかってくるだろう。

・現行システムを理解しその展開を考える
・広範囲の対策が考慮されている
・利害関係者の考えも聞く
・モニターや調整システムが取り入れられている(SARII,21.4.7)

本分析は地球規模の評価を可能にするわけではないが、対策の影響可能性の範囲を考察する。２０２０年でGHGの最大の排出源になるとみられる３種の交通手段（ＬＤＶｓ、ＨＤＶｓ、航空機）に焦点を当てる。

付属書１諸国は、世界の交通車両グループの圧倒的多数を占めており、１９９０年時点で開発途上国は世界の乗用車の１０分の１をしめるに過ぎない。一方、世界中で製造される車両のほとんど全てが付属書１諸国で製造されているか、これら諸国での設計を基にしている。(SARII,21.2.4)　したがって付属書１諸国が導入する、車の技術に影響を与えるような政策は、世界中に影響を及ぼす可能性が大きい。

３．４．１　軽量道路交通車両および都市交通に関する対策

軽量車両からのＧＨＧ排出を長期的に制御することは、幾つかの政策決定者や政府レベルにわたっての広範囲な戦略が実施できるかどうかにかかっている。(SARII,21.2.1)　こ

れらの戦略には多様な対策が含まれており、燃料経済性基準(SARII,21.3.4)、燃料税(SARII,21.4.5.2)、代替燃料利用奨励策(SARII,21.3.3)、車両利用の低減策(SARII,21.4.2)、車両および交通システム技術に関するＲＤ＆Ｄ(SARII,21.3.6)などが考えられており、これらの幾つかについて、その評価を表５に示した。政策の比較効果は、既存組織や政策といった各国の事情や基本的技術傾向に依存する。車からのＧＨＧ排出を削減する対策は、通常軽量トラック、バン、ミニバス、スポーツ用車両といった他の軽量車両にも適用できる。これらの車種は、個人用乗用車として利用されることが多くなっており、ＧＨＧ排出の増大につながっている。

表５記載の対策の多くは、ＧＨＧ緩和以外の目的でも、完全にあるいは部分的に正当化できる可能性がある。燃料経済性基準や料金還元は、費用効果性・エネルギー高効率技術の採用を阻むような市場障害を克服する手段として、認められ得る。燃料税を上げることは、社会的・環境上の多様な便益をもたらしつつ、歳入を増やし、それを運輸部門などでの優先的ニーズに還元することを可能にするが、特定の運輸サービス利用者の福利損失をもたらす可能性もある。

各国政府は、対策の幾つかを組み合わせて採用する可能性が大きい。例えば、燃料経済性基準やインセンティブは、運転のコストを低減するため、燃料税、道路料金、他の車の運転を控えさせるような対策をとらない限り、交通量が増加してしまう。再生可能エネルギー源供給は、エネルギー集約度と交通量レベルを抑えるなら、将来の運輸部門エネルギー需要に対応することを可能にする。したがって、代替燃料車両購入のインセンティブは、代替燃料の使用とエネルギー利用削減を奨励するような従来型燃料への課税によって、その効果を増大させることが可能である。

地域経済、社会、環境での優先課題に完全そして効果的に取り組むことを目的として、地域レベルで展開される政策は、運輸部門での長期的ＧＨＧ緩和戦略として最も重要な要素の中に入るだろう。(SARII,21.4.2)　こういった対策には、コンピューター化した交通管理、駐車制限と変更、通行料徴収・道路有料化・車両通行制限の採用、速度を落とさせるための道路設計変更、歩行者・自転車・公共交通の設備改善と通行優先などが含まれる。

インフラストラクチャーの開発は費用がかかり、そのコストは広い範囲の経済的・社会的・環境上・他の要因のために拘束される可能性が強い。政策決定プロセスにＧＨＧ緩和目的を組み込むことには組織的障害があるかもしれないが、組み込むことは幅広い便益をもたらす可能性があり、発動機を使わない交通手段の優先度を高くした所では、おそらく、発動機利用交通手段との比較で、低いコストにつながる可能性がある。発動機を使用しない交通手段や公共交通に合わせて都市計画を行うことは、都市環境の改善が地域の産業を刺激することから、長期的な経済便益につながる可能性がある。(SARII,21.4.2)

交通量を削減し、ＧＨＧ排出を含めた環境影響を低減する上で成功した戦略の最も知られた例としては、シンガポール都市国家、ブラジルのクリチバ市、そして欧州の幾つかの都

市で実施されたものがある。(SARII,21.4.6)　これらの市での例から、適切な対策の組み合わせを展開する上では、地域的なイニシアティブや統合された企画、そして市場本位のアプローチが重要なことが分かる。

交通量を削減し、発動機を使わない交通手段を改善する地域的交通戦略によって、幅広い環境・社会便益が出てくる可能性がある。(SARII,21.4.6)　しかし、これらの戦略は、同時に一部の交通利用者にとっての福利損失になる可能性がある。

長期的には、旅の文化やライフスタイルの変更と、都市計画の変更を組み合わせることが、北米やオーストラリア各都市での車による移動を大幅に削減することにつながる可能性が大きい。欧州各都市での削減ポテンシャルは小さい。(SARII,21.4.2)　都市計画の長期的な運輸部門エネルギー利用への影響で最も重要な短期の機会のあるのは、市場経済移行諸国と急速に発展している開発途上国で、車が依然としてマイナーな交通手段でも、急速に重要性を増している所である。(SARII, 21.4.2)

３．４．２　重量車と貨物輸送に影響する対策

表６は、重量車によるＧＨＧ排出を削減する対策で可能性のある影響の幾つかをまとめている。軽量車用の対策と重量用のそれとは異なっており、それは、トラックのデザインや目的が、乗用車と比べて多様性が大きく、エネルギー集約度基準にあったデザインをするのが難しいためであるが、速度制限装置や対荷重馬力の比を義務づけることで、エネルギー利用は削減可能である。(SARII,21.2.4.3)　一方、商業用車の運用者は、保有者の運営においても、新車の選択においても、燃料価格の動向に比較的敏感である。燃料税や任意加入条約の組み合わせ、広報活動、エネルギー高効率車購入のインセンティブ（例：免許料）は、技術革新の普及を促すに十分であるかもしれない。(SARII,21.2.4.3)

一部の国の研究では、ＨＤＶｓに期すべき道路修理費の割合の高い事を考えるとＨＤＶｓはＬＤＶｓよりも多くの助成金を使っていることがわかった。これらの費用を貨物運送者に効率よく反映させる対策は、道路運送料の費用を１０－３０％増やしてしまう可能性があり(SARII,21.4.5)、貨物運送やそれに関連するＧＨＧ排出の１０－３０％削減を達成しうる。(Oum et al.,1990による価格弾力性に基づく。)

鉄道の利用を奨励するような運送手段間接続設備の開発といった他の政策も、支持されることが多い。鉄道のインフラストラクチャーを強化することは、道路貨物輸送の利用の規制や通行料のような反奨励策と合わせるなら、実際にＧＨＧ緩和に寄与することが可能になるかもしれない。(SARII,21.4.3)　鉄道の高度利用は、長距離でもっとも実用性が上がることから、広大な国で最大の効果があり、また多数の小国のある地域を国際的に結ぶ時にも効果がある。(SARII,21.2.4)

３．４．３　航空機関連の対策{10}

表７は、航空機からのＧＨＧ排出を削減する多様な政策の効果をまとめている。ＮＯｘ排出を大きく削減することは、航空機エンジンの基準で行うことが政治的に実用可能で(SARII,21.3.1.6)、またＲＤ＆Ｄへの資金提供でも可能であるが、航空機のＮＯｘの放射影響は短命でかなり不確定なものであり、またＮＯｘの削減と燃料効率が相殺しあう可能性もある。(SARII,21.3.1.6)

国際民間航空輸送機関（ＩＣＡＯ）の委員会は、国際間の航空輸送で使われる燃料は課税対象から外すことを勧めている(SARII,21.4.5.2)が、環境目的の「料金」は除外しない。空港によっては、航空機の騒音レベルに関する着陸料のあるところもあり、環境料金を航空機ＧＨＧ排出に関して適用することも可能である（例：燃料のサーチャージ）。少なくとも地域レベルでの国際協力によって、航空会社が燃料価格をベースに、燃料補給のための空港選択や、長距離ハブ空港選択をすることを抑えることが可能である。

長期的には、航空機からのＣＯ２やＮＯｘの排出を相当量抑制するのは、ＲＤ＆Ｄおよび、低いエネルギー集約度あり(SARII,21.3.1.3)、再生可能資源の燃料(SARII,21.3.3.3)で技術や運行を開発・導入する市場インセンティブに依存する。現時点では、こういった技術を導入するには、安全性の問題を含め、かなりの組織的・技術的障害が存在する。

脚注*******************************

{9} 本章はＳＡＲＩＩ第２１章「運輸部門の緩和オプション」（代表執筆者は、L.Michaelis、D.Bleviss、J.-P.Orgeuil、R.Pischinger、J.Crayston、O.Davidson、T.Kram、N.Nakicenovic、L.Schipper）に基づいている。

{10} ＩＣＡＯやモントリオール議定書での国際オゾンアセスメントプロセスとの協力で、ＩＰＣＣは、航空機からの排出を削減する技術や対策の評価を含め、その地球大気への影響評価を行うことに同意した。この評価は１９９８年には出される予定である。**

表4　２０５０年までの地球規模運輸部門エネルギー利用ーＬＯＷシナリオとＨＩＧＨシナリオ[a]

交通手段	1990年 ｴﾈﾙｷﾞｰ[a] (EJ)	1990年 CO2排気[b] (MtC)	交通量増加[c] (%)	ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度[d] (%)	CO2排出(MtC)					
					2010年		2020年		2050年	
					LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	HIGH
乗用車、他の個人使用目的軽量品用車両	30 － 35	555 － 648	1.4 - 2.1	-1.0 - 0.0	592	989	612	1223	674	2310
重量品用車両、バス	20 － 23	370 － 426	1.9 - 2.7	-0.6 - 0.0	470	718	530	933	758	2047
航空	8	148	3.2 - 4.0	-2.0 - -0.6	187	308	210	444	297	1330
他（鉄道、内陸水上輸送）	4	74	0	-0.3 - 0.3	70	78	68	80	62	87
合計の範囲	63 － 71	1166 － 1314			1318	2094	1418	2680	1791	5774

a.　特に記載ない限りSAR II，21.2.5と21.3.1に基づく

a.　SAR II，21.2.1に基づく

b.　本表での CO2排出は、全てのﾓｰﾄﾞで18.5MtC/EJの定常排出を使ったｴﾈﾙｷﾞｰ消費量から計算している。

c.　SAR II，21.2.4に基づく

d.　車の場合は、ｷﾛﾒｰﾄﾙ当たりのｴﾈﾙｷﾞｰ利用量、貨物車鉄道、海上輸送、航空貨物ではﾄﾝｰｷﾛﾒｰﾄﾙ当たりのｴﾈﾙｷﾞｰ消費量、バス、航空機、鉄用乗客輸送なら乗客ｷﾛﾒｰﾄﾙ当たりのｴﾈﾙｷﾞｰ量。

表５　　軽量荷重車からのＧＨＧ排出緩和策の代表例[a]

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
車両ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減 －車体ﾃﾞｻﾞｲﾝ変更 －ｴﾝｼﾞﾝ設計変更 －ｴﾝｼﾞﾝ燃料室設計変更 －燃料・空気混合変更 －車やｴﾝｼﾞﾝの運行管理を改善するｺﾝﾋﾟｭｰﾀｰ技術 －車の小型化（重量と馬力削減） [推定影響はSAR II, 21.4.3; SAR II, 21.4.5.1; NRC, 1992; DeCicco& Ross, 1993; OTA, 1991; ETSU, 1994; Goodwin, 1992]	**市場本位手法** －戻し料金：新車税をL/100km当たりUS$400加算（自動車税平均は変更なし）	**2020年気象便益** －全てのｼﾅﾘｵでLDV CO2 10-20% **他の影響** －他の対策で削減しない限り交通量とその環境影響の6%までの増加	**費用効果性** －平均1-9%の新車ｺｽﾄｱｯﾌﾟは燃料節減で還元 **ﾏｸﾛ経済課題** －実施ｺｽﾄで車の販売が短期的に減少。 －戻し料金として、しかし経済的な影響は少ない **公平性問題** －消費者では、小型車所有ならﾌﾟﾗｽ、大型車所有や車をもたないならﾏｲﾅｽ －製造業者の競争力変化の可能性、が経済効率のある方法	**行政・組織要素** －政府の施行ｺｽﾄは中程度 －基準化と比べ政府の専門知識は必要でない。 **政治要素** －車製造業者からの反対 －安全上の影響への懸念
	規制措置 －燃料経済性基準や自主協定1995年ﾚﾍﾞﾙと比べ2010年の新LDVｴﾈﾙｷﾞｰ集約度を30%減。全体傾向と比較した削減はｼﾅﾘｵによる	**2020年気象便益** －LOWと比べLDV CO2の3-5% －HIGHと比べLDV CO2で22-28% **他の影響** －HIGHでは他の対策で削減しない限り3-10%の交通量増加と地域環境影響	**費用効果性** －LOWで新車ｺｽﾄ増平均<0.5% HIGHで5-15%燃料節減で還元 －自動車業界での短期ｺｽﾄ高くなる可能性、が車利用のﾗｲﾌｻｲｸﾙｺｽﾄは低下 **ﾏｸﾛ経済課題** －石油輸入削減と車運行ｺｽﾄ低下で車の販売と交通量が長期的に増加、経済活性化 **公平性問題** －消費者へは戻し金効果 －業界の競争力に対し経済的に非効率な影響	**行政・組織要素** －基準設定で政府側に専門知識が必要 －政府施行上ｺｽﾄは中程度 **政治要素** －車製造業者からの反対 －安全上の影響への懸念

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
車ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度を削減（上記）；速度低下や速度管理改善；車の荷重比増加のための集団輸送運営改善；公共輸送・非動力輸送への切換；大体ｴﾈﾙｷﾞｰ源への切換（下記） [SAR II, 21/4/5; Goodwin, 1992]	**市場本位手法** －道路燃料税：燃料価格に社会的環境ｺｽﾄを組み込むため各地で規定する ・税が既に高い所では $0.2-0.5/L ・現在の税が低いなら $0.3-0.8/L	**2020年気象便益** －既に税の高い国ではLDV CO2で 10-25% －税がかなり低い国ではLDV CO2で 40-60%[b] **他の影響** －GHG影響の半分以上は交通量削減と比例する環境便益による	**費用効果性** －道路利用者にとってのｺｽﾄ高い **ﾏｸﾛ経済課題** －車販売の落ち込み；歳入の使い方によっては影響の広がりも (SAR III, 11.3.2) **公平性問題** －研究によってはｶﾞｿﾘﾝ税は北米で逆進効果、西欧で推進効果 (SAR III, 11.5.6)	**行政・組織要素** －社会的・環境的ｺｽﾄを評価するのは困難 －政府にとって無視できる程の行政施行ｺｽﾄでの歳入源 **政治要素** －燃料生産業者や供給業者の抵抗 －運転者の団体や他の関連団体からの反対
代替ｴﾈﾙｷﾞｰ源への転換 －ｶﾞｿﾘﾝの代替としてﾃﾞｨｰｾﾞﾙ、CNG, LPG －再生可能発電源からの水素や電力 －混合燃料動力列車 [SAR II, 21.3.3.1; IEA, 1993]	**経済手法** －代替燃料や電気自動車に対する金融上優遇措置や助成金 **規制措置** －代替燃料・電気自動車利用の強制	**2020年気象便益** －CNG, LPG利用なら10-20%、5%までのLDV排出総量の費用効果ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ －ﾊﾞｲｵ燃料や再生可能発電源からの電力を使ったEVなら 80% **他の影響** －代替燃料によっては局地的大気汚染を削減、他では増大。ﾊﾞｲｵ燃料促進の場合集中農業生産による環境への影響増大の可能性	**費用効果性** －利用者費用負担はｶﾞｿﾘﾝよりも低い LPG、CNG、ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ利用車が幾つかある －ﾊﾞｲｵ燃料、EV、水素の利用者費用負担は高く、ｺｽﾄも相当かかる (回避CO2ﾄﾝ当たり $1,000まで) **ﾏｸﾛ経済課題** －国内で生産できる燃料へ石油から切り替えれば雇用促進 **公平性問題** －ﾊﾞｲｵﾏｽの利用で農村部の雇用促進	**行政・組織要素** －政府の行政負担少 －新規の安全性基準技術基準必要となる可能性 －国際協力は有用 **政治要素** －自動車製造業車の抵抗 －ﾊﾞｲｵ燃料で料金が戻る代替ｴﾈﾙｷﾞｰ燃料製造業者・再生可能燃料製造業者の抵抗
ｴｱｺﾝ他の冷房用回路の冷媒漏れ削減 [SAR II, 21.3.1.6]	**規制措置** －冷媒漏れ基準；例、HFC漏れを年間荷電量の5%に制限	**2020年気象便益** －HFC排出を 70-80%削減（LDVﾗｲﾌｻｲｸﾙ排出の7-8%に相当）	**費用効果性** －未評価	**行政・組織要素** －国際協力重要 **政治要素** －製造業者は基準化に反対する可能性

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
CO2外排気排出の削減 ー低N20触媒	R&D ー触媒ｺﾝﾊﾞｰﾀｰ向けN20生産排除を目指す	**気象便益** ー排気筒ＧＨＧ排出の10%に相当	**費用効果性** ー未評価	**行政・組織要素** ー国際協力重要
発動機車両利用削減；運輸ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減（ﾓｰﾄﾞ転換、運転ﾊﾟﾀｰﾝ変更）；車両、集団輸送、交通管理の改善情報利用；車以外交通ｲﾝﾌﾗ改善を含む居住と運輸ｼｽﾃﾑの変更；電信（自宅勤務、ﾊﾞｰﾁｬﾙﾘｱﾘﾃｨｼｽﾃﾑ） [SAR ii, 21.4.6]	**運輸・都市計画／ｲﾝﾌﾗｽﾄﾗｸﾁｬｰ** ー地域交通ｲﾆｼｱﾃｨﾌﾞ；地域規定；料金、税金、規制、計画、ｻｰﾋﾞｽ供給、教育、情報を含む	**2020年気象便益** ー長期的にはLDV排出で10%以上、ｲﾝﾌﾗが急速に発展するならもっと **他の影響** ーかなり大きな便益の可能性	**費用効果性** ー対策は通常GHG緩和以外の理由で適用される事が主GHG緩和には少額かﾏｲﾅｽのｺｽﾄ **ﾏｸﾛ経済課題** ー地域状況や対策設定によりﾌﾟﾗｽﾏｲﾅｽ **公平性問題** ー地域状況や対策設定によりﾌﾟﾗｽﾏｲﾅｽ	**行政・組織要素** ー地域の政策決定ﾌﾟﾛｾｽ重要。 ー政府の多様なﾚﾍﾞﾙや異なる政策利害間での調整重要 **政治要素** ー道路建設業界の抵抗 ー地域ﾋﾞｼﾞﾈｽから規制への反対可能性
全ｵﾌﾟｼｮﾝ [SAR ii, 21.3.6, 21.3.1.5, 21.3.3.1]	**RD&Dと情報**	**気象便益** ー2020年ではLDV GHGで20%以上、長期的（2050年＋）なら80%以上の可能性 **他の影響** ーかなり大きな便益の可能性	**費用効果性** ー本質的には予測不可能、負のｺｽﾄでの排出削減可能性 **ﾏｸﾛ経済課題** ー本質的に予測不可能、便益大の可能性 **公平性問題** ー予測不可能	**行政・組織要素** ー地方や独自のｲﾆｼｱﾃｨﾌﾞ奨励必要 ー国際協力有益

a.　ＧＨＧ効果は２つのｼﾅﾘｵでの2020年での計算；「LOW」（急速なｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減、交通量の増加は緩慢）と「HIGH」（緩やかなｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減、交通量の急速な増加）で、その排出量はIS92cとIS92eでのそれに大体対応している。（表－４参照）対策のｺｽﾄや効果の範囲は、文献や不確定要素の範囲を反映しており、状況や国情の違いについては明言している。

b.　燃料自体の価格弾力性-0.7に基づく。Goodwin (1992)は、-0.7から-1.0を示唆しており、影響はここに記すより大きくなる可能性がある。

表６　　重量荷重車からのＧＨＧ排出緩和策の代表例

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
車両ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減（表-４参照）速度低減、速度管理改善；車荷重要素増加管理；公共輸送、非自動車輸送への転換；代替ｴﾈﾙｷﾞｰ源への転換（下記参照） [SAR II, 21.4.5; Oum et al., 1990]	**市場本位手法** －ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ税値上げ：燃料価格の社会・環境ｺｽﾄを取り入れるため各地域で策定 －50%－200%の燃料価格値上げ	**気象便益** －HDV 排出 10-40%削減 **他の影響** －交通量と関連環境影響の削減	**費用効果性** －社会／環境ｺｽﾄに見合う運転者のｺｽﾄ増 **ﾏｸﾛ経済課題** －歳入の使い道により広範な経済効果 **公平性問題** －運輸他の産業での国際競争力への影響	**行政・組織要素** －微少な追加行政ｺｽﾄで政府の大きな歳入源に －国際協力も一助 **政治要素** －運送業者からの反対
	経済手法 －車両税、免許料、償還加速などによるｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減へのｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ **自主協定** －運輸会社・車両生産業者によるｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減を含めて	**2020年気象便益** －HDV排出10%間で削減 **他の影響** －NOxと微粒子排出低下の可能性 －運転ｺｽﾄ削減で交通量や他の環境影響が増大する可能性	**費用効果性** －車両価格の増大分は燃料の節減で３年以内償還可能 **ﾏｸﾛ経済課題** －運輸ｺｽﾄ削減は経済を活性化する可能性大	**行政・組織要素** －生産者や利用者との合意を見るには政府に高度の専門知識とｺﾝﾀｸﾄ先が求められる **政治要素** －運送業界は課税変更に反対する可能性

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
代替ｴﾈﾙｷﾞｰ源への転換 ーﾊﾞｲｵﾏｽからの合成燃料 ー再生可能発電源からの水素や電力 ー混合燃料動力車 [SAR II, 21.3.3.2;IEA, 1993,1994; CEC、1992]	**市場本位手法** ー代替燃料/EV助成金や税制上のｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ	**気象便益** ーﾊﾞｲｵ燃料の一部ではﾄﾝｰkm当たり排出を80%以上削減 **他の影響** ー局地的大気汚染削減 ーﾊﾞｲｵ燃料製造による環境影響増大の可能性	**費用効果性** ー補助金や過去の税金歳入のｺｽﾄが高い可能性(回避CO2ﾄﾝ当たり$1000まで)は農業他の政策で調整可能 ー施行ｺｽﾄ低い **ﾏｸﾛ経済課題** ー国内で生産できる燃料へ石油から切り替えれば雇用拡大 **公平性問題** ーﾊﾞｲｵﾏｽの利用で農村部の雇用拡大	**行政・組織要素** ー代替燃料生産者の支持 ー新規の安全性基準、技術基準必要となる可能性 ー国際協力は有用 **政治要素** ー代替燃料生産業者の支持
運輸ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減（運送管理）と交通量削減 [SAR II, 21.3.2]	**計画/ｲﾝﾌﾗｽﾄﾗｸﾁｬｰ/情報** ー貨物運送管理ｼｽﾃﾑ（例、GPS） ー道路利用を減らすｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ付きの国際輸送ｼｽﾃﾑ	**気象便益** ー貨物積載率増加でGHG/ﾄﾝ-kmで10-30%の削減 ー鉄道への移行でｴﾈﾙｷﾞｰ利用を80%削減可能、ただし長距離運送と低速度の場合に限る **他の影響** ー交通量削減で広範な環境便益が	**費用効果性** ーｺｽﾄは非GHG環境便益で正当化可能	**行政・組織要素** ー地域的意思決定ﾌﾟﾛｾｽ重要 ー政府の多様なﾚﾍﾞﾙ間や多種の政策関連の協力重要 ー国際協力有用 **政治要素** ー道路建設業界からの抵抗の可能性大
全てのﾀｲﾌﾟの技術対策 [SAR II, 21.3.6, 21.3.1.5, 21.3.3.2]	**RD&Dと情報**	**気象便益** ー2020年ではHDV GHGで10%以上で、長期（2050年＋）なら80%以上の可能性で広範な環境便益	**費用効果性** ー予測不可能 **ﾏｸﾛ経済課題** ー予測不可能 **公平性問題** ー予測不可能	**行政・組織要素** ー地方や独自のｲﾆｼｱﾃｨﾌﾞ奨励必要 ー国際協力有用 **政治要素** ー業界の支持

表７　　航空機からのＧＨＧ排出を緩和する代表対策例

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
飛行便数削減：ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減（航空機設計） －ﾒﾝﾃﾅﾝｽ改善 －ｴｱﾌﾚｰﾑ設計変更 －ｴﾝｼﾞﾝ設計変更 －飛行管理改善 －航空機積載率増加	**市場本位手法** －航空燃料税：燃料価格の10%（2￠/l税金）[SAR II, 21.4.5.2]	**気象便益** －飛行便数の短期削減で1% －航空関連GHGでの長期削減ならより大きな比率	**ﾏｸﾛ経済課題** －歳入の使い途による	**行政・組織要素** －地域的国際的合意必要 **政治要素** －航空会社の反対
排気制御	**規制措置** －航空機用ｴﾝｼﾞﾝのNOx基準[SAR II, 21.3.1.6, 21.4.1]	**気象便益** －巡航高度でのNox排出率で30-40%の削減 －長期的目標としては80%削減 **他の影響** －空港付近でのNox削減 －微粒子排出高くなる可能性		**行政・組織要素** －既存の国際基準ﾍﾞｰｽで可能 －広範な国際合意必要 **政治要素** －航空機ｴﾝｼﾞﾝ製造業者が厳しい基準に反対する可能性
ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度削減（運航上） －遅れ削減 －飛行ﾊﾟﾀｰﾝ最適化	**計画／ｲﾝﾌﾗｽﾄﾗｸﾁｬｰ** －航空管制改善 －輸送管理と航空路の改善[SAR II, 21.3.2; ETSU, 1994]	**気象便益** －GHG排出で3.5%の削減 **他の影響** －騒音低下と大気汚染削減	**費用効果性** －航空業界への経済便益 **ﾏｸﾛ経済課題** －高い政府費用負担	**行政・組織要素** －地域的・国際的協力必要 **政治要素** －航空会社の支持
ｴﾈﾙｷﾞｰ集約度と飛行便数の削減、代替燃料への転換	**RD&Dと情報** [SAR II, 21.3.1.3, 21.3.1.5, 21.3.6., 21.3.3.3, 21.3.1.6]	**気象便益** －2020年では10%、長期（2050年＋）なら80%以上のGHG排出緩和の可能性 **他の影響** －予測不可能	**費用効果性** －予測不可能 **ﾏｸﾛ経済課題** －予測不可能 **公平性問題** －予測不可能	**行政・組織要素** －国際協力有用 **政治要素** －航空会社と航空機製造会社の支持

４．産業部門{11}

４．１　はじめに

１９９０年には世界の産業部門{12}は推定９１ＥＪ分の最終用途エネルギー（バイオマスを含む）を消費し、６．７x１０^{12}ドルの経済付加価値を生産し、その結果推定１．８０ＧｔＣを排出した。これに電力の産業関連利用を加えると、産業部門に帰すべき第一次エネルギーは１６１ＥＪと２．８ＧｔＣ、つまり地球規模ＣＯ２排気の４７%にのぼっている。(SARII,20.1,表A1-A4)　エネルギー関連のＧＨＧ排出に加えて、産業部門は幾つものプロセス関連ＧＨＧ排出にも寄与しているが、その推定値は信頼度により異なっている。産業プロセス関連排気ガスには下記が含まれる。

* 石灰やセメント（か焼工程)、鉄鋼（コークス、銑鉄製造)、アルミニウム（電気炉精錬)、水素（精製所、化学工業）や、アンモニア（肥料、化学薬品）の生産から生じるＣＯ２
* 溶剤、エアロゾルスプレーガス、冷媒、発泡剤として生産されるＣＦＣｓ、ＨＦＣｓ、ハイドロクロロフルオロカーボン（ＨＣＦＣｓ）
* 種々の製造（鉄鋼、石油精製、アンモニア、水素）工程からのメタン
* 硝酸やアジピン酸（ナイロン）生産からのＮ２Ｏ；アルミニウム精錬（電解）からや半導体業界の生産プロセスで使われる四フッ化炭素また（ＣＦ４)、六フッ化エチレン（Ｃ２Ｆ６）といったパーフルオロカーボン（ＰＦＣｓ）；マグネシウムの製造からの６フッ化硫黄（ＳＦ６）

ＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国の産業部門は、エネルギー利用全体の２５－３０%を占める。非付属書Ｉ諸国エネルギー利用全体に占める産業部門の割合は、平均３５－４５%であるが、１９８８年の中国では６０%にものぼっている。市場経済移行期の付属書Ｉ諸国は、産業用エネルギーの減少を経験しており、この減少傾向は１９９０年代後半までは変わらないとみられている。各国が現在の経済状況に落ちつくまでは異なった化石燃料についての軌跡をとってきていることは明らかである。各国の産業部門割合の違いは、エネルギー集約度の違いだけでなく、非付属書Ｉ諸国の産業部門のより急激な成長、ＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国経済での製造業からサービス業への移行、製造部門でのエネルギー効率改善、および特定のエネルギー集約産業のＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国から非付属書Ｉ諸国への移転などを反映しているとみられる。(SARII,20.2.1)

１９９０年代前半では、欧州連合と米国からの産業部門炭素排出は１０－１５年前の最大レベル時より低いレベルで推移しているが、日本の排出量は比較的一定レベルにとどまっている。非付属書Ｉ諸国の産業部門ＣＯ２排出は、中国など一部の国でのエネルギー集約度が下がっているにもかかわらず、部門が成長するにつれ増え続けている。非付属書Ｉ諸

国でのエネルギー集約度改善が続くなら、またエネルギー利用の非炭素化がＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国のパターンをたどるなら、開発途上世界からのGHG排出はＩＰＣＣのＩＳ９２シナリオで予想されているよりも、緩やかなペースで成長する可能性がある。図２は一人当たり国内総生産（ＧＤＰ）と比べた産業部門ＣＯ２排出を示しており、これから、一部の国では、相当程度の経済成長があっても、エネルギー集約度改善、エネルギー非炭素化、産業構造変革などの結果として、産業部門排出を低下または一定に留まることがわかる。

４．２　産業部門のＧＨＧ削減技術

ＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国の産業部門では、現世代と同等の技術の効率化製造設備が通常の資本回転で採用されるなら、２５％のＣＯ２排出の将来削減が技術的に可能である。(SARII,SPM 4.1.1) 市場経済移行中の付属書Ｉ諸国では、GHGを削減する産業上のオプションが、経済再開発の選択肢や、産業再構築の形と強く結びついている。

４．２．１　新規技術・プロセスの導入

過去２０年間で産業プロセスの効率は相当向上してきているが、ＣＯ２排出を削減する主要な機会は、依然としてエネルギー効率改善にある。最も高い潜在的可能性のあるのは、市場経済移行中の付属書Ｉ諸国と、非付属書Ｉ諸国で、これら諸国の産業エネルギー集約度（製品のＥＪ／トンか、ＥＪ／経済価値）は、ＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国よりも２－４倍となっている。とはいっても、ＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国にもさらなる改善の機会が多く残されている。例えば、化学工業や一次金属工業では、最も高効率の産業プロセスでも、熱力学的プロセスエネルギー要求量の３－４倍高い量を使うのが典型である。(SARII,20.3)
ＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国で効率面での最大の改善のあったのは、化学、鉄鋼、アルミニウム、製紙、石油精製鉱業で、このことから推測できることは、非付属書Ｉ諸国や市場経済移行国の産業部門では、さらに大きな改善が比較的容易に達成できるはずということである。

４．２．２　燃料転換

天然ガスのような炭素集約度の低い産業用燃料に転換することは、費用効果のある方法でのGHG排出削減を可能にしており、そのような転換は、多くの地域で既に進行中である。しかし天然ガスの漏れによる排出の増加が、その効果を相殺することのないように、十分注意する必要がある。蒸気タービンやガスタービンコジェネシステムでのバイオマスの効率的な利用もまた、排出削減に寄与することができ、これは紙パルプ工業、製材工業や、一部農業関連工業（砂糖工業といった）ですでに実践されている。(SARII,20.4)

４．２．３　コジェネとカスケード熱

産業でのコジェネ導入の増加や、廃熱からのカスケード熱利用は、化石燃料やバイオ燃料

に対しＧＨＧ削減の大きな潜在的可能性をもたらす。多くの場合、熱と電力の組み合わせや熱エネルギーのカスケード利用は、幾つかの付属書Ｉ諸国で実践されているように、経済的に費用効果がある。例えば石炭集約型産業では、コジェネ導入で、燃料転換をしなくても、ＣＯ２排出を半減できる可能性がある。低温熱を適当な利用目的に連続的に捕獲・再利用することを含む、カスケード熱利用に求められるのは、いくつかの産業プロセスや、大気や水の条件化要求を結べつける産業エコロジーの考え方であり、また最大限の便益を得るには、企業内協力や共同投資活動が必要かもしれない。(SARII,20.4)

４．２．４　プロセス改善

産業用原材料は、産業部門エネルギーの推定１６％にのぼっており、そのほとんどは最終的にはＣＯ２となる。工業用水素の原料としての天然ガスを、バイオマス水素や水の非炭素電極電解と転換するなら、アンモニアや他の化学品製造での炭素排出を削減でき、もし十分安価であれば、究極的には製鉄でのコークス用石炭に代われる可能性がある。原材料としての水素を安価に生産する努力は、輸送燃料として水素を生産する努力と協調しなければならない。(SARII,20.4;SARIII,9.4)

工業プロセスを変換すれば、プロセス関連ＧＨＧの全てを大きく削減したり、完全に排除しさえできる。米国やドイツでの任意参加プログラムでは、すでに、アルミニウム精錬でのＰＦＣ排出の５０％削減や、ナイロン生産でのＮＯｘの９０％以上の削減を費用効果をもって達成している。(SARII,20.3)

４．２．５　材料転換

高いＧＨＧ排出につながる材料を同一の機能を持つ代替品に転換することは、大きな便益となる可能性がある。例えば、セメントは、セメント１トン当たり０．３４ｔＣを生成する（６０％が生産時でのエネルギー利用、４０％がプロセスガス）。このエネルギーを石炭から天然ガスや石油へ転換するなら、セメント生産でのエネルギー関連ＣＯ２排出を低下させるし、他の技法（例、散逸灰分の代替や廃棄燃料の利用）でもさらなるＣＯ２削減の可能性がある。他の建設材料への転換は、さらに大きな改善をもたらすことができる。コンクリートの床は相応の木製のより２１倍も高い含有エネルギー量を持っており、そのか焼工程でもＣＯ２排出を生じる。密度の高い材料は、また、その輸送の際にＧＨＧペナルティーを引き出してしまう。植物の化学品の原料資源としての利用は、ＣＯ２排出を削減できる。多くの大規模な木製品会社は、一次製品の材木・紙・パルプの製造に関連する化学品を既に製造している。インドでは、「光化学的」原料ベースを開発するのに大きな努力が成されている。例えば、包装の軽量化も、輸送関連排出を重量品と比べ低下させる。材料転換は必ずしも簡単明瞭なわけではなく、重要仕様の上で必要な性能・品質を持つ代替品を判別することにかかってくる。(SARII,20.3.4)

４．２．６　材料再利用

大量のエネルギーを消費して生産される材料で商品が作られている場合、それらの製品のリサイクルと再利用を行うことは、エネルギーを節約するだけでなく、大気中に排出されるＧＨＧも削減できる。鉄鋼、銅、ガラス、紙の製造では、一次原材料は二次（リサイクル）原材料の４倍ものＣＯ２を放出する。アルミニウムでは、この率は相当量高いものとなる。ＯＥＣＤ諸国でのこれら原材料のリサイクルを１０%上昇させるなら、２９Ｍｔの炭素の節減があると予測されている。リサイクルには材料を元の利用目的に使用するよう再生することや、より質の低い材料で十分な用途へ、段階的に材料を「カスケード」化することが含まれる。再生資源の質を向上するような技術革新が必要なことを強調する。(SARII,20.4.2.4)

４．３　産業部門でのＧＨＧ排出削減対策

本章や表６に簡単に議論されているような種々の部門特有の対策の可能性は、エネルギー効率を改善し、プロセス関連の排出を削減することを奨励できる。(SARII,20.5;SARIII,11)　加えて、経済全体の手法（例、エネルギー補助金の段階的解消、炭素税の導入）は、エネルギーまたは化石燃料の集約度の低いプロセスを奨励することで、本部門の排出に影響することができる。これら経済全体に関わる手法は第９章の経済的手法で扱うため、ここでは論じない。

４．３．１　市場本位プログラム

４．３．１．１　インセンティブ

ＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国の企業がエネルギー高効率あるいはＧＨＧ低排出のプロセスの開発継続することを推奨するように､税金面でのインセンティブを設定することが可能である。多くの産業プロセスはライフタイムが比較的短く、１０年かそれ以下の単位であるが、設備の方は数十年使われる。このことから、製造プロセスに通常の資本回転の一部として、低排出の技術を速く導入する大きな機会が存在する。ＧＨＧが費用化されない外部要因である現在の状況下では、企業が新規のプロセスや製品を計画する上で、ＧＨＧ排出の高いものよりも低いものを選択するには､利益拡大以外どのような強制する理由も存在しない。たとえＧＨＧ低排出の技術を導入することが費用効果的であっても、その導入には障壁がありうる。したがってＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国では、さらなる排出削減を達成するために、企業が通常の資本回転を利用して､ＧＨＧ集約度の低い技術や生産設備を導入することに、インセンティブを追加する必要がある。多分、減価早期償却税がそのような転換を奨励させるかもしれない。

これに加えて、熱と電力の組み合わせ利用（コジェネ）設備の採用や再生可能エネルギー

の利用、あういは二次原材料利用増大を産業界に奨励するような財政的インセンティブは、さらなる排出低下を加速できる。インセンティブがなくても、産業的コジェネ発電への障壁を取り除くことも有効である。

４．３．１．２　政府調達プログラム

各国政府は、製造および利用時のＧＨＧ排出を最小限にするような製品調達要求を設定することも可能である。弾力的に設定されるなら政府調達要項は、製品供給者が政府と大規模市場双方の要求を満たすようなＧＨＧ低排出製品を開発することを促す。

４．３．２　規制プログラム

４．３．２．１　排出基準と相殺

家電製品や車両へのエネルギー効率基準といった、特定の産業あるいは製品へのＧＨＧ排出基準を設定することは、その遵守をより確実にすることができる。効率基準や性能基準は、多様な障壁の克服を助け、生産活動をよりＧＨＧ排出の低い産業プロセスへと移行させる。障壁に含まれるのは、高効率製品情報の不足、投資コストを強調しすぎ、運転コストに注目しないような金融分析や投資条件規定、あるいはより効率の高い製品を供給者から入手することの難しさなどである。しかし、異なったタイプの機器の異なった利用目的に適応する基準で合意に達することは難しく、またモニタリングコストや実施コスト高いことから、消費者価格を押し上げてしまう可能性がある。さらに、規制手法の利用は、近年弾力的なアプローチの採用に重点がおかれていることと相反する。

政府は企業に対し、製造時排出基準をより効率の高い製品の製造と相殺するよう製品利用期間中の排出削減に対しクレジットを受けることを認めることで、より効率の高い製品の製造を奨励することができる。コンピューター、自動車、電球を含め製造業製品の多くは、その製造時よりも使用時にはるかに多くのエネルギーを消費し、ＧＨＧを排出する。自動車ではその比率は約１０：１である。

４．３．３　自主協定

米国や欧州での自主協定は、高効率の照明器具、コンピューター、オフィス機器、建物などの生産や設置を奨励されている特定の産業において、エネルギーやＧＨＧの削減を達成する上で効果があった。こういった協定に含まれるのは、交渉されたが参加は任意である排出削減達成目標、高効率製品やプロセスの任意採用、共同のＲＤ＆Ｄ活動、任意参加活動の下での排出削減をモニターし報告する協定である。ＩＳＯ１４０００規定で可能であったように総合的な環境の質を改善するための産業界グループとの自主協定は、ＧＨＧ削減を含むように拡張することも可能である（例：オランダの政府－産業界環境協約）{13}。国内・国際の供給者要項で低ＧＨＧ含有を規定することも、展開可能である。こういった

民間協定は、多くの電子機器会社が参加した１９９５年の段階解消以前の非ＣＦＣ化規定を参考にすることができる。排出削減の可能性は、ＨＦＣやアルミニウム関連のＧＨＧについてや、「グリーンライト」計画、エネルギースタープログラムなどについて、米国環境保護庁により、かなりの正確さで推測されている。参加企業は、広報宣伝や他の経済効果（新製品の生産・販売の可能性など）を得ることができ、またそれは、企業による任意参加活動促進の上でも欠かせないものである。

４．３．４　研究、開発、実証

新しい産業技術を創造し、市場化するため、また２０２０年や２０５０年といった時間的枠での未来排出目標を達成するには、近未来の期間でのＲＤ＆Ｄが求められてくる。例えば、水素を無炭素の材料や燃料として利用するなら、それを生産する技術と流通するシステムが確実に将来的に利用可能で、入手可能とするための努力を、今、始める必要がある。また、現在各国で既に実施されているか、提唱されている政策の効果を組織立てて評価することも、どの政策が最低のコストで最大のＧＨＧ削減を促しうるかを決める上で、必要となってくる。

４．３．５　国際的イニシアティブ

市場経済移行途中の諸国での、工業再生プロセスは、非効率で高炭素の産業を高効率・低炭素の製造プロセスに転換する大きな機会を提供している。こういった変革には、経済の再構築を含む場合が多く、重工業がそれに代わる製造業に転換される。これに加えて、これからの数十年では、産業用エネルギー利用の増大の多くが、非付属書Ｉ諸国で起きる可能性が大きいことから、将来的ＧＨＧ排出の増大率を最大限に削減するのは、これら新興工業国経済に、早めに新規の技術や工業プロセスを紹介することで、達成可能である。

取引可能認可や共同実施{14}は、エネルギー高効率の製造やプロセス技術に投資資本を提供することから、産業部門でのＧＨＧ排出を達成するには有用なメカニズムとなる可能性がある。こういった対策は、第９章でより詳細に議論される。

ＯＥＣＤ付属書Ｉ諸国の企業では、非付属書Ｉ諸国や市場経済移行中付属書Ｉ諸国の政府や企業とのＧＨＧ削減化の共同実施を行うという機会も存在している。

４．３．５．２　国際イニシアティブでの障壁

現代の産業キャパシティの非付属書Ｉ諸国や市場経済移行諸国への技術移転は、知的所有権をめぐる論争や、利用可能資金や現金の不足により妨げられる可能性がある。他の障壁には、キャパシティ不足や基礎的な環境規制、受け入れ国の組織の要素が含まれる。現在、温室効果ガスを削減する上では、企業間の共同活動実施への、法的、条約上の障壁が存在する。多くの国では、申し合わせ価格や、企業の独占行動を規制する、独占禁止法がある。

世界貿易機構においても、環境保護が自由貿易を制限する可能性についての懸念がある。どうすれば、こういった規則の意図している目的と妥協することなく、企業がGHG削減のような環境便益を達成できるかを決定する上で、こういった規制に検討を加える必要がある。民間部門が、産業部門からのGHG排出を取り扱うのにより大きな役割を負うにつれ、非政府機関（NGO）や政府、国際期間といった第三者を含めた報告・認証メカニズムを通じて、こういった活動の透明性を増すことが必要となろう。

４．４　産業部門の技術や対策を通じた地球規模炭素排出削減

ＩＰＣＣのＩＳ９２シナリオでは、付属書Ｉ諸国の産業部門でのエネルギー総量とＣＯ２総量は１９９０年の１２２ＥＪで２．１ＧｔＣから、２０１０年では１６５ＥＪ（１４１－１８１ＥＪ）の２．７ＧｔＣ（２．１－３．１ＧｔＣ）に、２０２０年では１８６ＥＪ（１５４－２１１ＥＪ）の２．９ＧｔＣ（２．１－３．５ＧｔＣ）に、２０５０年には、１９６ＥＪ（１４０－２４２ＥＪ）の２．６ＧｔＣ（１．４－３．７ＧｔＣ）に達すると予想されている。エネルギー利用や排出双方の予想平均年間伸び率は、世界全体で年１％近くかそれ以上で、非付属書Ｉ諸国の産業部門の重要性が増すことを示している。

付属書Ｉ諸国は、単に既存の設備やプロセスを、現行の最高効率の技術オプションで転換する（産業部門の構造が変わらないと仮定して）と、その産業部門ＣＯ２排出を１９９０年レベルに比べ２５％削減することが可能だ。こういったグレードアップする転換は、もし通常の資本回転時期に行われるなら、費用効果がある。ｋｌｏｒｅｈａ、技術的経済的双方での実用可能性の実現範囲のようでもある。(SARII,SPM 4.1.1)　市場経済移行中の付属書Ｉ諸国や非付属書Ｉ諸国について、ＩＳ９２シナリオと比較した排出削減ポテンシャルを予測することは困難だが、既存のエネルギー集約的設備やこれら地域が成長するにつれて、より高効率の慣行や技術を実施することでのポテンシャルを考えると、そういった削減は相当なものとなる可能性が大きい。

脚注*********************************

{11}本章はＳＡＲIIの第２０章「産業」（代表執筆者は、T.Kashiwagi、J.Bruggink、P.-N.Giraud、P.Khanna、W.Moomaw）に基づいている。

{12}ＩＳ９２シナリオ、つまりは本書でも、世界の産業部門には製造、農業、鉱業、林業関連を含めた産業活動が含まれる。

{13}ＩＳＯ１４０００は、非政府の国際規格機構により設定された、独自認定の環境管理システム。

{14}ＳＡＲ IIIの第１１章では、「共同実施」という言葉を「共同実施活動」を含めて使っており、それは本書でも引き続き使われている。

表８　　産業部門ＧＨＧ排出緩和策の代表例

技術オプション	対策	気象その他の環境影響[a]	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
新規技術・ﾌﾟﾛｾｽ －酸化金属鉱石の水素還元 －炭素ﾌﾘｰの水素生産やｱﾙﾐﾆｳﾑ精錬 －ｱﾙﾐﾆｳﾑ精錬での非反応電極 －ｱﾙﾐﾆｳﾑ精錬の非ﾌｯ素化	RD&D －低ｺｽﾄ、非炭素水素生産技術の開発 －電極の開発 －生産ﾌﾟﾛｾｽ開発	**気象便益** －2050年で、4%CO_2/年の節減 **他の影響** －ｺｰｸｽからの大気汚染削減	**費用効果性** －近未来では高価 **ﾏｸﾛ経済課題** －産業原料を石炭ﾍﾞｰｽから転換	**行政・組織要素** －研究段階では中程度 －政府、大学、企業内研究所 **政治要素** －政府資金調達
ｴﾈﾙｷﾞｰ効率化 －高効率の照明器具、ﾓｰﾀｰ、ﾎﾟﾝﾌﾟ －ｶｽｹｰﾄﾞ熱（例、用途にあわせた低温廃熱利用）	**市場ﾒｶﾆｽﾞﾑ** －ｴﾈﾙｷﾞｰ効率化、燃料転換、GHG排出削減への課税上ｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ －GHG放出製品や燃料への補助金を段階解消 －GHG排出税 －政府調達ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ －取引可能認可：内国、国際 **国際的ｲﾆｼｱﾃｨﾌﾞ** －付属書Ｉ諸国による共同実施活動 －多国間資金貸与ｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ －技術の共用と移転	**気象便益** －付属書I諸国産業部門で25% CO_2/年の節減 －開発途上国や東欧諸国ではより大きな節減 **他の影響** －大気汚染削減 **気象便益** －資金貸与と技術移転による東欧、開発途上国でのCO_2削減(AIJ) **他の影響** －東欧、開発途上国での大気汚染削減	**費用効果性** －高い **ﾏｸﾛ経済課題** －所得と資本への課税を下げる税金ｼｽﾃﾑ改正 **公平性問題** －開発途上国や東欧への技術提供手段 －高価格製品につき低所得消費者への補助の必要	**行政・組織要素** －課税ｺｰﾄﾞ変更への政府努力 －ほとんどは産業界の努力 －地域暖房ｼｽﾃﾑにはある程度の政府協調努力 **政治要素** －ｴﾈﾙｷﾞｰ供給業者からの反対の可能性 **行政・組織要素** －AIJ記録化の複雑さ －現存の組織で十分 **政治要素** －炭素吸収について受け入れ国がｺﾝﾄﾛｰﾙを持つことを確実にする必要
燃料転換 －天然ｶﾞｽへ －ﾊﾞｲｵﾏｽへ（特に林業、製紙業、農業製品） －再生可能資源へ（太陽光乾燥） －GHG排出を削減するなら電気への転換	**規制措置** －GHG排出基準 －製造・製品利用排出での相殺やｸﾚｼﾞｯﾄ －規制、貿易や協定の障壁排除	**気象便益** －産業部門で2020年には20% CO_2/年の節減 **他の影響** －大気汚染削減	**費用効果性** －高い **ﾏｸﾛ経済課題** －全燃料ｺｽﾄの内在化で転換促進 **公平性問題** －食糧と燃料用収穫との調整	**行政・組織要素** －中程度、努力の大半は産業界 **政治要素** －燃料製造業者の抵抗を除く

技術オプション	対策	気象その他の環境影響[b]	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
ｺｼﾞｪﾈﾚｰｼｮﾝ －熱と電力の組み合わせ（新規工業施設、既存施設のﾚﾄﾛﾌｨｯﾄ） －ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ/ｻｲｸﾙ組み合わせ －燃料ｾﾙ	**規制措置** －産業界で生成される熱と電力の市場確保	**気象便益** －産業部門で2020年には15% CO_2/年の節減 **他の影響** －大気汚染削減	**費用効果性** －高い **ﾏｸﾛ経済課題** －ある程度の産業構造改革	**行政・組織要素** －中程度、努力の大半は産業界 **政治要素** －地域暖房ｼｽﾃﾑ作る困難
ﾌﾟﾛｾｽ改善 －ﾅｲﾛﾝ製造でのN_2O削減 －ｱﾙﾐﾆｳﾑ精錬でのCF_4削減 －HCFC排除	**自主協定** －産業界・政府共同のｲﾆｼｱﾃｨﾌﾞ **規制措置** －条約と国内法要求	**気象便益** －2010年で2-5%CO_2当量の節減 **他の影響** －N_2O、HCFCの削減でｵｿﾞﾝ層保護	**費用効果性** －高い	**行政・組織要素** －中程度、努力の大半は産業界 **政治要素** －政府、産業、世論の好意を呼ぶ
原料代替 －金属をﾌﾟﾗｽﾁｯｸに転換 －ｺﾝｸﾘｰﾄを木材やﾌﾟﾗｽﾁｯｸに転換 －軽量材料は運輸関連CO_2を低減 －植物性材料から作られた化学品の利用	**自主協定** －GHG削減目標 －GHG吸収強化 －ｴﾈﾙｷﾞｰ効率目標 **市場ﾒｶﾆｽﾞﾑ** －税金とｲﾆｼｱﾃｨﾌﾞ －政府調達 **規制措置** －内容特定	**気象便益** －不詳 **他の影響** －対汚染削減	**費用効果性** －不詳 **ﾏｸﾛ経済課題** －既存産業の移転 **公平性問題** －ある程度の雇用移転	**行政・組織要素** －中程度、努力の大半は産業界 **政治要素** －規制に対する産業界の抵抗
材料ﾘｻｲｸﾙ/再利用 －解体用のための設計 －再利用のための設計 －原材料の質的ｶｽｹｰﾄﾞ	**市場ﾒｶﾆｽﾞﾑ** －課税ｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ －市場障壁除去 **規制措置** －使用済み材料の公的・民間な回収 －ﾘｻｲｸﾙ内容特定	**気象便益** －OECD諸国でのﾘｻｲｸﾙ率10%ｱｯﾌﾟで29Mt C/年節減 **他の影響** －固形廃棄物減少と資源消費削減	**費用効果性** －高い **ﾏｸﾛ経済課題** －一次原料利用低減 **公平性問題** －製品利用地点付近での地域的雇用新設	**行政・組織要素** －中程度、努力の大半は産業界 **政治要素** －問題解決に一般人が直接参加 －規制に対する産業界の抵抗

a. 推定削減値は、1990年の産業界製造部門構造を仮定している。各種の技術ｵﾌﾟｼｮﾝによる削減は加算とはならない可能性がある。

b. 推定削減値は、1990年の産業界製造部門構造を仮定している。各種の技術ｵﾌﾟｼｮﾝによる削減は加算とはならない可能性がある。

５．エネルギー供給部門{15}

５．１　はじめに

エネルギー供給部門は、エネルギー資源を抽出する精巧で複雑な一連のプロセスから構成されており、エネルギー資源をより望ましくて適切なエネルギー形態に変換し、需要が存在する場所にエネルギーを供給する。世界のエネルギー消費量は、ほぼ２世紀にわたって年平均約２%の割合で増加してきたが、一方でエネルギー供給量の伸びは時代や地域によって非常に大きなばらつきがある。(SARII、SPM 4.1)　過去の傾向が続くならば、エネルギーに関係したGHG排出量の伸びは、エネルギー供給の脱炭素化の傾向が緩やかながら出てきているため、一般にエネルギー消費の伸びを下回り、また特にエネルギー部門の需要の伸びを下回る可能性が高い。ＩＰＣＣのＩＳ９２の一連のシナリオ全体を通して、エネルギー関連のＣＯ２排出量は１９９０年の６ＧｔＣから２０２０年には７－１２ＧｔＣに、また２０５０年には６－１９ＧｔＣに増加すると予想されており、このうちエネルギー部門が２０２０年までに２．３－４．１ＧｔＣ（別表Iでは１．４－２．９ＧｔＣ）を、２０５０年までに１．６－６．４ＧｔＣ（別表Iでは１．０－３．１ＧｔＣ）を占める。

埋蔵化石燃料および化石燃料資源の調達可能性ならびに再生資源の可能性が長期的なエネルギー供給を圧迫する大きな要因になる可能性は低い。(SARII,B.3.3)　同様にウランとトリウムの調達可能性が、将来の原子力開発を圧迫する大きな要因になる可能性も低い。再生エネルギー資源に関しても長期的には大きな可能性があるが、その可能性の重要な部分を実現するためのコストははっきりしておらず、ＲＤ＆Ｄ活動やニッチ・マーケットでの早期技採用などから地理的に適した立地にいたるまで数多くの要因に左右される。(SARII,B.5.3.1)　表９は、エネルギーと炭素含有量の双方ならびに再生資源の可能性の面から世界のエネルギー埋蔵量および資源量を要約したものである。(SARII,B.3.3.1)

　エネルギー供給技術およびエネルギーのインフラは、本質的に長期間にわたる経済寿命を持っており、エネルギー供給部門の根本的な移行には数十年を要する。これは、技術的な措置や政策の実施には膨大な時間がかかることを意味する。しかし、５０－１００年の期間で、エネルギー供給システム全体は少なくとも２回入れ替わるであろう。老朽化に合わせてインフラや設備を交換するための通常の投資のタイミングに歩調を合わせれば、エネルギー供給部門の大幅な排出物削減を実現することは技術的に可能である。(SARII,SPM 4.1.3)

一部のオプションの実現性は互いに排他的であったり、ダブルカウンティングを含む可能性があるために、本評価で確認された個々のオプションの緩和可能性は加法的ではない。したがって、需要と供給の地域的および世界的なバランスを確保する一方で、個々の緩和措置と政策をエネルギー・システムのレベルで組み合わせることの潜在的な影響および可

能性を評価するためには体系的なアプローチが必要である。個々の技術レベルとは対照的に、エネルギー・システムのレベルで措置を組み合わせる長期的な技術可能性を評価するため、エネルギー・システムの将来に関する数多くのシナリオが作成されてきた。かかる演習の一つとして、低ＣＯ２排出エネルギー供給システム（ＬＥＳＳ）の変種がＳＡＲで分析された。(SARII,SPM 4.1.4)　ＬＥＳＳの建設は、世界中のＣＯ２排出量を２０５０年までに約４ＧｔＣに、また２１００年までに約２ＧｔＣに削減する技術的な可能性の多くの組み合わせを開拓する「思考実験」である。(SAR Syn.Rpt.,5.8)　その内容は、ＬＥＳＳ建設のエネルギー技術に関して想定される費用対効果特性を達成する可能性を強く支持しているが、さらにＲＤ＆Ｄを実施し、市場で技術が試されないかぎり不安は残るであろう。(SARII,SPM 4.1.4;SAR Syn.Rpt.,5.9)　１９９３年に行われた別のシナリオの演習として世界エネルギー委員会は、同様な排出量削減の結果が得られる「環境保全を主体」としたシナリオを提出した。(SARII,19.3.1.4)　これらの演習は、本質的に不確かであり、また緩和の可能性、長短期的な技術コスト、それらの社会経済的および環境的な結果に関する仮定を伴う。さまざまな仮定の内的な一貫性を確立するためには、エネルギー利用システムの発展、経済成長、土地利用、人口などに関係するであろう仮定間の相互作用の可能性を含め、追加的なシナリオの展開および分析が必要である。(IPCC 1994,II,SPM)

５．２　エネルギー供給部門でGHG排出量を削減する技術

将来の排出量を削減する有望な方法としては、化石燃料のより効率的な変換、低炭素化石燃料への転換、排煙と燃料の脱炭素化およびＣＯ２の貯留、原子力エネルギーへの転換などがある（順番は優先順位ではない）。(SARII,SPM 4.1.3)　これらの中の、それぞれのオプションは、社会的および政治的な容認性だけでなく、費用対効果を決定づける独特な特徴を持っている。コストおよび環境的な影響は、全体的なライフサイクルの分析に基づいて評価されるべきである。選択された緩和技術のＣＯ２排出量削減に関する技術的な可能性は、ボックス３で調査されている。

ボックス３　西暦２０２０年までのさまざまな緩和技術に関するＩＰＣＣ
ＩＳ９２のシナリオに基づくＣＯ排出量削減の技術的な可能性

これらの技術的な可能性を計算する上で、１９９０年から２０２０年にかけて付属書１諸国に新たに設置されるエネルギー変換設備の５０％は、さまざまな技術によって変わるコストにかかわりなく本論文で説明した緩和技術を用いると仮定する。次の６種類の異なる緩和技術を検討した。すなわち、天然ガスで石炭を代替し、石炭および天然ガスの排煙を脱炭素化し、石炭からＣＯ２を除去し、原子力またはバイオマスで石炭および天然ガスを代替することである。この計算は、エネルギー部門における緩和オプションの包括的は評価を示すための試みではない。ＩＳ９２のシナリオが課している制約のため、わずか６例

しか提出していない。個々の技術オプションの緩和の可能性は、ＩＳ９２ａのシナリオの感度分析およびＩＳ９２ｅからＩＳ９２ｃの間の範囲に基づいている。これらの緩和オプションの中には、相互に排他的ではあるが、加法的ではないものもある。

それぞれの計算には数多くの段階が含まれている。第一にＩＳ９２のシナリオの１９９０年から２０２０年までの間の新たな追加設備を推測する。第二に、付属書１諸国において緩和技術で部分的に代替することになっている新たな容量のプロフィールも推測し、その新たな追加容量の５０％は新技術で構成されると仮定する。第三にＳＡRIＩ第１９章からの技術特性およびＳＡRIＩ第Ｂ章からの排出量係数を用いて、ＩＳ９２の三つのシナリオすべてに関して示唆されたＣＯ２排出削減量を測定する。最後に、三つのシナリオのそれぞれについて排出削減量のパーセンテージを評価する。

技術的な可能性が達成できる程度は、将来のコスト削減、新たな技術の開発および実行の速度、融資および技術移転、さらには環境への悪影響、社会的な容認性、その他の地域、部門および国に特有の条件などさまざまな非技術障壁を克服する措置に左右される。

緩和技術	IS92aのシナリオ（およびIS92eからIS92cの範囲）に基づくCO2削減の技術的な可能性 Gt C	付属書１諸国の％	世界の％
付属書１諸国で発電用の石炭を天然ガスで代替	0.25 (0.01-0.4)	4.0 (2.0-6.0)	2.5 (1.0-4.0)
付属書１諸国で発電用の石炭の排煙を脱炭素化(脱NOxと脱SOxを使用)	0.35 (0.1-0.6)	6.0 (3.0-8.0)	3.5 (1.5-5.0)
付属書１諸国で発電用の天然ガスの排煙を脱炭素化(脱NOxを使用)	0.015 (0.0-0.05)	0.5 (0.0-0.5)	0.15 (0.0-0.45)
付属書１諸国で発電用に燃焼する前に石炭からCO２を除去	0.35 (0.1-0.6)	6.0 (3.0-8.0)	3.5 (1.5-5.0)
付属書１諸国で発電用の天然ガスと石炭を原子力で代替	0.4 (0.15-0.65)	7.0 (3.0-9.5)	4.0 (2.0-5.5)

付属書１諸国で発電用の石炭をバイオマスで代替(発電、合成燃料生産、直接末端利用) [a]	0.55 (0.25-0.85)	9.5 (5.5-12.0)	5.5 (3.0-7.0)

a：バイオマスの需要は、９－３４ＥＪ／年に達するが、これは西暦２０２０年から２０２５年までのバイオマスの可能性の範囲である７２－１８７ＥＪを下回る。これらの数字は農業に関するＳＡＲの章 (SARII,23) で評価されている数字よりも高く、農業対策を超えた措置を講じなければ達成できない。

５．２．１　化石燃料の効率的な変換

一般的に、新たな技術は化石燃料からの高い変換効率が見込める。たとえば、発電効率は、現在の世界平均である約３０%から長期的には６０%以上に引き上げることが可能である。また、適用可能な場合に発熱と発電を組み合わせれば、プロセス加熱あるいは暖房または冷房のためであれ、燃料の利用効率は大幅に上昇する。(SARII,SPM 4.1.3.1) 超高温から超低温へのエネルギー変換の統合（エネルギー・カスケーディングと呼ばれることもある）も効率をさらに高める。(SARII,20.4.2.3)

これらの効率改善に伴うコストは数多くの要因（資本取替率、割引率、研究開発の効果などを含む）に影響されるであろうが、低効率またはＧＨＧの排出量が多い既存のプラントや設備と比較して費用対効果の高い先進技術も存在する。一部の技術オプション（例えば複合サイクル発電）は、現在の市場に浸透する可能性がある。他のオプションを実現するためには、政府が統合的な対策を講じる必要がある。かかる対策としては、エネルギーに対する恒久的な補助金の廃止、外部費用の吸収、低ＣＯ２排出技術およびゼロＣＯ２排出技術の追加ＲＤ＆Ｄに対する資金提供、商業化に向けてこれらの技術が早期に市場に導入されるための一時的なインセンティブの提供などがある。(SARII,Chapter 19,Executive Summary) したがって、発電効率を世界的に引き上げることは可能であるが、これには追加コストが伴う可能性があり、また適切なＧＨＧ政策がなければ実現しない。

効率改善の論理的な可能性は非常に大きく、また現在のエネルギー・システムは、熱力学第二法則で示される理論上（理想的）の最大レベルとは大きく異なっている。多くの研究から、第二法則（またはエクセルギー）の効率を基にするとほとんどの変換プロセスが低い現在値しか示していないことがわかる。この可能性のほんのわずかでさえ実現するにあたっては、事前に社会行動、時代遅れの構造、費用、情報およびノウハウの欠如、不十分な政治的動機などの障害とともに多くの惰性を克服しなければならない。化石燃料については、効率改善の余地の大きさは、コストとは無関係に、最も大きな排出量緩和余地をもつ分野を示唆する。(SARII,B.2.2)

一般に、新しいタイプの効率的な技術の導入は、エネルギー・システムの自然な容量撤去 (capacity retirement) プロセスおよび将来の需要成長見通しに左右される。短期的には、

資本の自然な回転に基づく効率改善の割合は、経済成長率の高い国で最大になるであろう。(SARII,19.1)　したがって、市場経済への移行過程にあり、現在は非効率的なエネルギー変換システムを抱えている付属書１諸国は非常に大きな効率改善の余地を持っている。

化石燃料による発電の世界的な平均効率は約３０％であり、ＯＥＣＤ諸国の平均効率は約３５％である。付属書１諸国の新たな石炭火力発電（脱ＳＯｘおよび脱ＮＯｘ設備を備えている）の代表的な効率を４０％と仮定すると、効率が１％上がれば、結果としてＣＯ２排出量は２．５％減少する。(SARII,19.2.1.1)　長期的には、石炭を使用するより効率の高い新たな発電技術としては、超臨界圧蒸気サイクル、加圧流動床燃焼、石炭ガス化複合サイクルなどがある。これらの技術の中には、商業的に利用可能なものもあるが、他はさらにＲＤ＆Ｄが必要である。

複合サイクル発電プラントの天然ガスは、すべての化石燃料の中で最高の変換効率（現在、短期的には４５％、長期的には５５％以上）を有する。複合サイクル発電プラントの投資コストは、従来のガス蒸気を使用する発電プラントのそれよりも約３０％低い。ただし比電力コストは、通常は石炭よりも高い天然ガスの燃料コストに左右されるであろう。一方、複合サイクル発電プラントは、効率は低いが設置に要する時間が短い簡単な燃焼タービンよりもコストがかさむ。(SARII,19.2.1.1)

ＧＨＧ削減の可能性は、実現された効率改善にほぼ比例する。同じ化石燃料を使用する改良技術に関しては、効率の向上は燃料コストの削減を意味し、いくぶん高い資本需要を相殺できる場合が多い。技術改良は、他の汚染物質（たとえば、ＳＯ２、ＮＯｘ、微粒子）の削減など大きな二次利益を生む可能性がある。多くの場合、効率の向上は抜本的な技術の変更を必要としないため、追加コストは無視できる。エネルギー効率の改善も、模倣できるという利点がある。

発熱と発電の組み合わせ（ＣＨＰ）は燃料利用率を最大で８０～９０％も高めるが、これは発電と発熱を別々に行うよりもはるかに高い。(SARII,19.2.1.4)　ＣＨＰの経済面は、地域冷暖房ネットワークの利用可能性または開発ならびに十分な需要密度と緊密な関係にある。

５．２．２　低炭素化石燃料への転換

石炭から石油または天然ガス、石油から天然ガスなど、炭素対水素の比率が小さな燃料への転換は、排出量を削減する可能性がある。あらゆる化石燃料の中で、天然ガスのエネルギー単位当たりのＣＯ２排出量は最も少なく、約１５ｋｇＣ／ＧＪである。石油は約２０ｋｇＣ／ＧＪ、石炭は約２５ｋｇＣ／ＧＪである（すべて低加熱値に基づく）。一般に、炭素成分の小さい燃料は、石炭より効率の高い燃料に転換することができる。資源量の大きい天然ガスは多くの地域に存在する。(SARII,SPM 4.1.3.1)　新たな資本費用が少なくて済み、非常に効率も高い複合サイクル技術は、石炭と比較して天然ガスの価格の方が安く

なる分野があれば、電力コストを大幅に引き下げる可能性がある。

同じ燃料から電力への変換効率を維持しながら石炭から天然ガスへの転換を実行すれば、排出量は４０％も削減される。一般的に石炭よりも変換効率が高い天然ガスの変換効率を考慮すると(SARII,19.2.1)、発電された電力単位当たりの全体的な排出量は５０％の範囲に収まる。

天然ガスは豊富にあるが、世界の中には国内エネルギー源としては利用できない地域もある。したがって、天然ガスへの広範なシフトは、エネルギー輸入への依存が変化し、多くの政治的な問題を生じるであろう。輸送、流通および末端利用のための新たなインフラを開発する必要があるため、初期投資および管理コストが膨大になるおそれがある。したがって、実際に実現可能な削減の可能性は、相対的な燃料価格またはガスの利用可能性など地方特有の条件によっては、地域間で大幅に異なるであろう。

天然ガスの利用拡大によって、天然ガスの主成分であるメタンの漏出が増える可能性がある。炭坑からのメタン排出量を３０～９０％、天然ガスのガス抜きおよび焼失からのメタン排出量を５０％以上、さらに天然ガス流通システムからのメタン排出量を最大８０％削減する方法が存在する。(SARII,22.2.2)　これらの削減方法の中には、エネルギー源としてのメタンの利用を含め一連の利益をもたらし、世界の多くの地域で経済的に実現可能なものもある。(SARII,19.2.2.1)

５．２．３　排煙と燃料の脱炭素化およびＣＯ２の貯留(storage)と回収(sequestering)

化石燃料火力発電所の排煙からＣＯ２を除去および貯留することは実現可能であるが、変換効率は低下し、発電コストは大幅に上昇する。脱炭素化のもう一つの方法は、水素が豊富な燃料、たとえば水素自体やメタノール、エタノールまたは石炭から変換されたメタンなどを作る原料として化石燃料を利用することである。両方式とも、たとえば枯渇した天然ガス田または海洋中に貯留可能なＣＯ２の流れを生じる。(SARII,SPM 4.1.3.1)　このオプションはそのコストおよび技術開発の必要性のため、中短期的な用途としては限られた機会しかない（たとえば、石油回収の強化に用いられるＣＯ２源として）。(SARII,19.2.3.1)　長期的なＣＯ２の貯留オプション（例えば海洋中）に関しては、コスト、環境への影響および効果など大部分が不明なままである。(SARII,SPM 4.1.3.1)

効率が４０％の通常の石炭火力発電プラントに関しては､排煙からＣＯ２を８７％除去(２３０ｇC／kWｈｅから３０ｇC／kWｈｅ）すると効率は３０％に下がり、発電コストは約８０％上昇する。これは１５０ドル／ｔＣの回避に相当する。(SARII,19.2.3.1)

効率が５２％の天然ガス複合サイクル発電プラントに関しては、ＣＯ２排出量を約８２％削減（１１０ｇC／kWｈｅから２０ｇC／kWｈｅ）すると、効率は４５％に下がり、発電コストは約５０％上昇する。これは２１０ドル／ｔＣの回避に相当する。

(SARII,19.2.3.1)　回避炭素１トン当たりの特殊（specific）緩和原価は天然ガスの方が大きいが、これは天然ガスの比炭素成分の方が少ないため、電力１キロワット時当たりの増分原価が小さいと解釈される。

燃料脱炭素化のもう一つの方法は、石炭のガス化と合成ガスの改質によるＣＯ２の除去である。効率が４４%の本来の石炭ガス化複合サイクル（ＩＧＣＣ）石炭火力発電プラントに関してはＣＯ２排出量を約８５%削減(２００ｇC／kWｈｅから２５ｇC／kWｈｅ）すると効率は３７%に下がり、発電コストは３０～４０%上昇する。これは８０ドル／ｔＣの回避に相当する。(SARII,19.2.3.2)

調査中のコスト削減の一つの将来的なオプションとして、本質的にはＣＯ２と水蒸気である排煙を得るための燃焼に空気ではなく水素を用いる方法がある。

これに関連したもう一つのオプションは、発電およびその他の用途向けに水素が豊富なガスを生産することである。天然ガスを改質するＣＯ２回収に関しては、捕捉するコストおよび近辺の天然ガス田に貯留するコストは、３０ドル／ｔＣ回避以下であると推定されている。(SARII,19.2.3.2)　効率的に水素を利用することが可能な燃料電池など、変換技術の将来的な利用可能性がこのオプションの相対的な魅力を引き上げるであろう。最終エネルギーとしての電力および水素の供給は、実際、末端使用での排出をなくし、エネルギー部門からの炭素の除去および貯留を可能にするであろう。

回収したＣＯ２を枯渇した油井およびガス井の中に貯留することも一つのオプションである。(SARII,19.2.3.3)　油井およびガス井の世界的な推定貯留容量は１３０－５００Ｇｔ Ｃであるが、これは緩和余地が大きいと解釈される。沿岸の天然ガス田に貯留するコストは１１ドル／ｔＣ以下であると推定されているが、輸送コストは５．５MｔＣ／年の容量を持つ２５０kmのパイプラインで約８ドル／ｔＣである。(SARII,19.2.3.3)　もう一つのオプションは、世界中でさまざまな深度で発見できる塩水帯水層にＣＯ２を貯留する方法である。

深海は、最大の可能性を持つＣＯ２の貯留所である。(SARII,19.2.3.3)　ＣＯ２を直接海洋中に移動することができる。その理想的な深度は３，０００メートルか、おそらくそれよりも深い。海中に沈殿したＣＯ２は、少なくとも数世紀は大気から分離される。適当な処分技術の開発や開発費の評価だけでなく、環境に影響を与える可能性に対する懸念についてもさらに研究する必要がある。

５．２．４　原子力への転換

原子力は、原子炉の安全性、放射性廃棄物の輸送および処分、核拡散などの懸念に対して広く受け入れられる回答が見つけられれば、世界の多くの地域で化石燃料によるベースロード発電を代替する可能性がある。(SARII,SPM 4.1.3.2)　ある世論調査の報告によると、

原子力に対する国民の懸念は、経済的な必要性に関する疑念、大事故、核廃棄物の貯留、核分裂性物質の誤用または悪用などに集中している。(SARII,19.2.4)

原子力発電のコストは2．5～6セント／kWheが最低で、国ごとに異なる。廃棄物処分およびプラントの解体を含む新規プラントのコストは公定歩合5%で2．9～5．4セント／kWheから、公定歩合10%で4．0－7．7セント／kWheである。(SARII,19.2.4)　世紀の変わり目までに予想されるベースロード電力の平準化コストは、運用中および建設中のプラントを持ついくつかの国で原子力が一つのオプションであり続けることを示唆している。これらの原子力発電のコストは石炭のそれと比較できるため、特殊緩和コストの範囲は、120ドル／tC回避からごくわずかな追加コストに収まる(通常の石炭火力発電のコストを5セント／kWhe、原子力発電のコストを5．0－7．7セント／kWhe、回避排出量を230gC／kWheと仮定)。(SARII,19.2.1.1)

安全性の向上や建設に要するリードタイムの短縮および運転・保守費用の削減による経済性の向上のため、モジュラー型の高温ガス冷却原子炉のような新設計の原子炉の開発が進められている。核分裂性物質の管理および処分に利用できる可能性のゆえに、液体金属冷却炉や高エネルギー加速装置のような他の新技術に対する関心が再び高まってきている。プロセス加熱や地域暖房のような非電力用途への原子力利用を強化することを目的として他のコンセプトの開発も進められており、長期的には原子力が水素の生産に用いられる可能性もある。(SARII,19.2.4)

5．2．5　再生エネルギー源への転換

技術の進展は、再生資源のエネルギーに関して新たな機会をもたらし、そのコストも引き下げている。長期的には、再生資源が世界中のエネルギー需要の大部分を満たす可能性がある。即応できる予備供給システムや蓄電システムを備えた電力システムは、断続的な発電量の増加を調整できる。(SARII,SPM 4.1.3.2)　持続的に使用されている再生エネルギー源は、GHG排出量が少ないか、またはまったくない。持続的な利用ができないバイオマスに伴う排出量も存在する。例えば永続的なバイオマス量の削減からや、あふれた貯水池に伴うバイオマスの分解からの排出などである。(SARII,19.2.5)　他の環境問題（例えば生物の多様性に与える影響）に関する懸念およびその他の土地利用との競争に効果的に取り組める方法でバイオマス・エネルギーの開発が実施できるならば、バイオマスは電力および燃料の両市場に多く貢献できる可能性がある。(SAR II、SPM 4.1.3.2)　全般的に再生エネルギー源は、その経済性が引き続き向上し、立地の問題が生じなければ、化石燃料を使用するよりもGHGを大幅に削減する可能性がある。(SARII,19.2.5)

5．2．5．1　水力

技術的な可能性は14，000TWhe／年と推定されており、このうち社会要因、環境要因、地質要因およびコスト要因を考慮した後の経済的に開発可能な分は、長期的に見て

６，０００～９，０００TWｈｅ／年である。(SAR II、19.2.5.1)　ＧＨＧ排出量を削減するための市場の可能性は、水力で代替される化石燃料の種類による。石炭を代替する長期的な経済的可能性は年間０．９～１．７ＧｔＣの回避である（技術および効率に依存）。天然ガスに関しては、可能性は年間０．４～０．９　ＧｔＣの回避である。

１９９０年代の開発途上国７０カ国における水力事業の投資コストは、最終用途に供給された新たな水力発電電力のコストは平均で７．８セント／kWhｅであることを示唆している。長い償却期間のために融資が障壁になる可能性が高いため、実際の投資コストは高くなる可能性がある。(SARII,19.2.5.1)　ＳＡRII(19.2.1.1)に示されているように、近代的な石炭火力発電電力の代替は、結果として平均で１２０ドル／ｔＣ回避のＣＯ２削減コストになるであろう（通常の石炭火力発電電力のコストを５セント／kWｈｅ、回避排出量を２３０ｇＣ／kWｈｅと仮定)。(SARII,19.2.1.1)

小規模な水力発電は、特に費用対効果の高い場所では地域的に重要である。一方、大型水力発電プラントの建設段階では社会的重要性だけでなく、迂回水路、斜面の改造、貯水池の整備、大規模な労働力のためのインフラの整備または人間の健康への悪影響を伴う水生生態系の混乱など直接的および間接的な環境への影響がある。社会的重要性には、地域経済に与えるにわか景気や破産の影響だけでなく、住民の移動などがある。建設に伴うインフラは地域経済の発展を刺激し、また貯水池として農業にも利益をもたらす。(SARII,19.2.5.1)

５．２．５．２　バイオマス

バイオマス・エネルギーの供給の可能性としては、都市の固体廃棄物、産業廃棄物および農業廃棄物、既存の森林、エネルギー農園などがある。(SARII,19.2.5.2.1)

バイオマス・エネルギーの産出高とコストは、土地やバイオマス廃棄物の利用可能性および生産技術など地域的な条件に左右される。一般的に高品質食品の作物のエネルギー産出・投入比率は、エネルギー作物のそれと比べて低く、後者は前者の率を係数で１０を超えることが頻繁にある。バイオマス生産コストの推定値は、広い範囲にわたってさまざまに変わる。ブラジルでの商業ベースでの経験によれば、供給ウッドチップ１．７ドル／ＧＪの平均コストで１３ＥＪ／年のバイオマスの生産が可能である。コストは付属書１諸国の方が高い。付属書１諸国の発電については、将来的なバイオマスの投入コストは約２ドル／ＧＪになると予想されている。(SARII,19.2.5.2.1)

電力、熱、バイオガスまたは輸送燃料などバイオマスで供給するエネルギー形態の緩和コストの範囲は、バイオマス生産コストだけでなく特定の燃料変換技術の経済性にも左右される。バイオマスのコストは　２ドル／ＧＪで小規模な生産を前提とすると、１０－１５セント／kWｈｅで発電が可能である。さらにコストの低いバイオマス（０．８５ドル／ＧＪ）ならば、１０セント／kWｈｅ以下で発電が可能である。(SARII,19.2.5.2.2)　石

炭をバイオマスで代替する場合、緩和コストの範囲は２００～４００ドル／ｔＣ回避である。予想される効率が４０～４５％で、バイオマス・コストが２ドル／ＧＪの将来のバイオマスを統合したガス火力／ガスタービン・サイクルは、１．４－１．７ドル／ＧＪの範囲の石炭価格に匹敵するコストで発電できる可能性がある。(SARII,19.2.5.2.2)　この場合、特殊緩和コストはほとんど無視できる程度になる可能性がある。

木質原料からの先進的なバイオ燃料は、従来のほとんどのバイオ燃料よりも低いコストと少ない環境への影響でより大きなエネルギーを産出する可能性がある。エタノールに加えて、メタノールや水素も有力なバイオ燃料の候補である。

近代的なバイオマス・エネルギーは、農村地域に収入をもたらす可能性も持っている。この収入は、開発途上国の農家が農業技術を近代化し、生産力がほとんどない土地を耕すことによって産出を拡大する必要性を減らす可能性がある。工業国では、余った農地でのバイオマス生産によって､政府が農業補助金を段階的に廃止できるようになる可能性がある。(SARII,19.2.5.2)

現在、バイオマス農園だけでなく先進的なバイオマス変換技術もまだほんの初期にあり、技術的に成熟し、経済的に実現可能になるためにはさらにＲＤ＆Ｄが必要である。将来の食糧供給に関する懸念は、アフリカや付属書１に含まれない国ではエネルギー用のバイオマス生産のために土地を利用できなくなるという問題を生じている。土地利用のための競争の可能性は、付属書１諸国で得られるものと同等な産出高を達成するために、これらの国々の農業を近代化できる程度および集約化された農業生産が環境的にも経済的にも受け入れられる方法で実現するかどうかによる。

５．２．５．３　風力

大規模な送電網での断続的な風力発電は、蓄電やバックアップや負荷管理のための特別な準備をしなくても、年間発電量の推定１５－２０％を賄える可能性がある。(SARII,19.2.5.3.2,19.2.6.1)　化石燃料が支配的な電力システムでは、風力発電技術による緩和効果は化石燃料使用量の削減に相当する。西暦２０２０年までの風力発電の可能性は、７００－１，０００ＴＷｈｅの範囲であると予想されている。(SARII,B.3.3.2)　コストにかかわりなく化石燃料の代替に利用されるならば、０．１－０．２ＧｔＣ／年のＣＯ２排出量の削減に相当すると考えられる。

範囲は広いが、現在の風力エネルギーの備蓄平均コストは約１０セント／ｋＷｈである。西暦２００５年から２０１０年までに、風力は化石燃料や原子力と競合するようになり、小さな隙間市場ではなくなるであろう。普通の新技術に関して、投資コストは１，２００ドル／ｋW、発電コストは６セント／ｋＷｈであると推定されている。大規模な風力発電所ならば、さらにコストは大幅に引き下げられる可能性がある。公定歩合６％で立地条件が良好ならば、将来コストは３．２セント／ｋＷｈ程度になると試算されている。

(SARII,19.2.5.3.3)　石炭からの電力の方が高くつく場合にゼロまたはマイナスでなければ、この場合、特殊ＣＯ２緩和コストは無視できる。運用中の風力タービンを数多く持つ国は、タービンの騒音や景観に与える影響や野生動物の混乱などの要素に対する国民の抵抗を時には経験することもある。(SARII,19.2.5.3.5)

５．２．５．４　太陽エネルギー

太陽光から電力および熱への直接変換は、太陽光発電（ＰＶ）技術や太陽熱発電技術で実現できる。ＰＶは、電力会社の送電網とは別の独立した電源としてはすでに競争力がある。しかし、送電網に接続された大量の電力用途としてはまだ競争力はない。モジュールの資本費用は近年大幅に下がったが、システムの資本費用は７，０００－１万ドル／kWである。絶縁の高い分野（２，４００kWh／m２／年）でさえ、対応する電力コストは２３－３３セント／kWhである。しかし、ＰＶシステムのコストは、ＲＤ＆Ｄや規模の経済で大幅に向上すると予想されている。モジュール式であるため、ＰＶ技術は技術革新だけでなく試行錯誤によるコスト削減に向いている。(SARII,19.2.5.4.1)　ＰＶ装置は通常の運転ではまったく汚染を発生させないが、システムによっては製造、使用および処分にリスクを伴いかねない有毒物質を使用している。

西暦２０２０年から２０２５年までに、明確に定義された隙間市場における太陽エネルギーの年間の経済的可能性は１６－２２ＥＪであると評価されている。(SARII,B.3.3.2)　この可能性の実現は、太陽発電技術のコストおよび性能の向上次第である。完全に実現されれば、コストにかかわらず、ＣＯ２の削減は年間０．３－０．４ＧｔＣに達する可能性がある。設置コストが２，３００ドル／kWの１９９５年の技術に基づく５０MW発電プラントの発電コストは、絶縁の優れた分野で約８－９セント／ｋＷｈｅである。(SARII,19.2.5.4.1)　したがって、約５セント／ｋＷｈの石炭火力発電と対比した緩和コストの範囲は１３０－１７０ドル／ｔＣ回避からである。同様なコストを伴うガス火力発電と比較すると、その範囲は２７０－３５０ドル／ｔＣ回避からである。これらのコストは、蓄電の必要性またはＰＶ出力がピーク電力需要と十分な相互関係にある場合に割高なピーク電力を代替する利益などのエネルギー・システムの対価を考慮していない。

楽観的な評価によると、絶縁のレベルにもよるが将来のＰＶコストは西暦２０２０－２０３０年までに７００～８００ドル／kW、発電コストは２．２－４．４セント／kWhにまで下がるとしている。(SARII,19.2.5.4.1;表19-6)　エネルギー・システムの対価を無視すると、これらのコストでＰＶ発電を利用すれば、現在のコストでの通常の石炭技術と比べて発電コストと排出量の両方が削減される。ＲＤ＆Ｄが加速されるかどうかにもよるが、西暦２０３０年における他のＰＶコストの見積もりはこれらの数値よりも５０－１００％高い。

太陽熱発電システムは、世界の電力需要およびエネルギー需要の大部分を賄う長期的な可能性を持っている。この技術は、高温の熱を生み出すため、約３０％の変換効率を実現す

る可能性がある。(SARII,19.2.5.4.2)　パラボリック・トラフ技術は大幅なコスト削減を達成しており、現在のプラントの発電コストは、ハイブリッド・モードで　９－１３セント／ｋＷｈである。パワータワーの予想されるエネルギー・コストはさらに低い４－６セント／ｋＷｈである。(SARII,19.2.5.4.2)

発電に加えて太陽熱システムは高温のプロセス加熱も提供し、セントラルレシーバーは水素や化学物質などの先進的な燃料を処理するために利用することもできる。(SARII,19.2.5.4.2)　地方の太陽熱システムは、家庭や商工業での暖房および給湯に利用することができる。(SARII,19.2.5.5)

５．２．５．５　地熱および海洋エネルギー

２１カ国で地熱エネルギーから発電が行われている。このエネルギー源からの発電コストは推定約4セント／ｋＷｈｅであり、熱は2セント／ｋＷｈｔｈで生み出されている。地熱水の直接利用は約４０カ国で行われており、１４カ国は１００MWｔｈ以上の容量を設置している。(SARII,19.2.5.6.1)

ＣＯ２、硫化水素、水銀など地熱エネルギーにはさまざまな排出物が伴う。先進的な技術は、ほぼ閉ループであり、排出量も非常に少ない。(SARII,19.2.5.6.1)　西暦２０２０－２０２５年の地熱エネルギーの可能性は推定４ＥＪである。(SARII,B.3.3.2)　高温の乾燥した岩や他の熱水層は新たな供給資源を提供する。地域経済レベルでの重要性にもかかわらず、炭素削減の可能性は小さい。

世界の海洋の潮流、波浪、海洋の温度差および塩分濃度差のエネルギー束全体は大きいが、今後１００年間でわずかな部分しか開拓されない可能性が高い。(SARII,19.2.5.6.2)

５．３　エネルギー供給部門でＧＨＧ排出量を削減するための対策

発電でのＧＨＧ排出量を緩和するための対策および技術的なオプションを表１０に掲げた。

５．３．１　市場主導のプログラム

市場主導のプログラムは、エネルギー関連活動の相対価格を直接変える。完全な競争市場では、排出税または売買可能な排出割当量制の下で、排出当事者は、限界管理費用が排出税率または排出割当量の均衡価格と等しいポイントまで排出量を削減する。両方とも、それぞれが排出税または割当量の購入を回避するための排出削減技術のＲＤ＆Ｄを継続する動機となるため、動学的効率性(dynamic efficiency)を促す（生産要因が変わりやすく、技術変化が刺激されるときの長期的な費用極小化)。(SARIII,11.5)　かかる方法は、排出税のコストは明らかになるが、排出量削減の程度は不明である。この状況は排出量割当に

逆行する。

５．３．１．１　恒久的補助金の段階的廃止

エネルギー部門の恒久的補助金は、生産者だけでなく消費者にも同様に誤った市場の合図をもたらし、エネルギー価格が実際のコストを下回るおそれがある。したがって、資源の割当がゆがめられ、本質的には最適化されない。技術を確立するための補助金は、新たな技術の参入を妨げる人工的な市場障壁を生み出している。この理由から、ＧＨＧ排出量の少ない近代的な技術の市場参入機会を改善する手段として、ＧＨＧを増加する長期的および恒久的な補助金の限界費用価格形成および費用極小化（廃止でなければ）の採用が提案されてきた。(SARII,SPM 4.4)　これらの補助金は、多額の資本を吸収し、エネルギー効率、低ＣＯ２排出技術のＲＤ＆Ｄ、その他の経済活動などへの投資に対する融資の可能性を減らしている。従来のエネルギー技術は、世界中で年間３，０００億ドル以上の直接的な補助金の恩恵を受けている。(SARII,19.4)

しかし、恒久的な補助金を廃止する議論は、再生資源、原子力、クリーン石炭技術などのＧＨＧ緩和オプションの市場参入を支援する対策として、特定の一時的な短期間の補助金が使えないという意味ではない。たとえば、低炭素技術を利用する独立発電業者に対する価格保証は、完全に成熟していない技術の経済的リスクの低減に役立つ。

５．３．１．２　エネルギー・サービスのフルコスト価格形成

フルコスト価格形成の著述に関しては多くの議論がある。エネルギー生産およびエネルギー利用の外部費用（本当の社会費用）を貨幣化する方法に関するコンセンサスは全く存在しない。(SARIII,SPM 6)　コンセンサスの達成が可能ならば、フルコスト価格形成の実践は、すべてのエネルギー技術に関して同じ土俵を与えることに貢献する。外部費用には、政策のない市場価格には通常反映されないコストが含まれている。著述の中の例には、疾病率、死亡率、環境破壊、気候変動の影響により不利な結果を招く可能性、雇用機会、競争力、その他の機会費用などがある。

エネルギーの外部性を含めることは、低排出エネルギー利用の競争力を高める。(SARII, 19.4)　既存技術および新技術の外部費用は不明だが、国や地域によって大幅に異なると予想されるため、フルコスト価格形成を国が一方的に採用すると、短期的には国際的な経済競争力に悪影響を与える。この競争力に関する懸念を克服するためには国際協定が必要である。

５．３．１．３　売買可能な排出割当と排出権

その他可能な対策には、排出割当量の設定および排出権の発行がある。国際的なレベルでは、割当量の達成は共同で実施する活動を強化する可能性があり、かかる共同活動は付属

書１に含まれない国および付属書１に含まれる経済移行期にある一部諸国に技術と資金を同時にもたらし、最少コスト戦略の国際的な実施を支援する可能性がある{16}。

５．３．１．４　資金援助

特に開発途上国および経済移行期にある一部の付属書１諸国では、資本の不足がＧＨＧ緩和オプションの実施を阻む大きな障壁である。あるプロジェクトのライフサイクル・コストおよび排出量は少ないが、その代替オプションよりも資金需要が大きいならば、必要な資金を集められない。加えて、エネルギー供給技術は、その他の開発ニーズとも限られた資金をめぐって争わなければならない。しかし、多くの緩和オプションおよび他のエネルギーオプションは、固有の技術の提供を必要とし、地方の新たなインフラ整備および雇用を創出する可能性がある。特に、農村地域では、地方に分散した技術が開発目標を援助する。(SARII,19.Executive Summary)

先進国でさえ、エネルギー供給システムに関連したＧＨＧ削減の資金を賄うために必要な資本は、他の投資機会に比べてわずかな利益しか生み出さない。供給技術および変換技術の魅力を市場で高める対策は、リスク、不安および事前の資金需要を減らすことにより、いくつかの融資の問題を解決することに役立つ。その他の対策には、償却の加速、操業開始時の融資、譲渡可能な補助金などがある。(SARII,SPM 4.4)

５．３．２　規制措置

多くの国の環境政策に対する従来の取り組みでは、一様な基準（技術または性能に基づく）および環境向上を目的とした事業への政府の直接的な支出を用いてきた。市場主導の動機と同様に、これらの戦略は第一に、汚染者が汚染を減らす活動を実施することを義務づける。第二の戦略では、政府自体が環境の質を高めるために資源を使う。これらの両戦略とも、世界的な気候変動に取り組むための現在の対策および提案されている対策において非常に目立っている。(SARIII,11.4)

基準および規則には、一般的にＧＨＧ排出量に与える影響を演繹的に評価できるという利点がある。しかし発生したコストがしばしば不明であり、市場に基づく手段よりも高い可能性があるという欠点もある。しかし、特定の状況下では、性能基準は強い動機を与えるが、他の状況下では、取引可能な許可システムよりも技術を採用する動機はやはり弱い。(SARIII,11.4.1)

米国の規制措置の例としては、１９７８年に制定された公益事業規制政策法（ＰＵＲＰＡ）がある。これは、電力会社が長期的な回避費用で独立発電業者から電力を購入することを義務づけ、集中を排除した競争市場を創出した。天然ガスおよびバイオマスを燃料とする中小規模のコージェネレーションが技術的なアプローチとして普及した。１万ＭＷｅ級以上の再生電力発電設備が導入されたのはＰＵＲＰＡが大きな原因である。(SARII,19.4)

かかる規制措置は電力コストの増加を招くとする評価もある。

５．３．３　自主協定

自主協定とは、一般的に、参加者の自己利益のためにとった行動で、ＧＨＧ排出量削減を目的として政府が是認した行動をいう。柔軟な対策を立てるために多くの付属書１諸国でかかる協定が検討されている。協定は、国内および国際レベルで多くのさまざまな形態をとることが可能であり、目標や性能に基づく協定、共同ＲＤ＆Ｄ、一般的な情報交換、共同で実施する活動などを盛り込むこともできる。

積極的な企業は、自主的な削減がなければさらにコストが高い規制を強制されることおそれるならば、ＧＨＧ排出量を抑制する手段を講じる。これが、国内のエネルギー管理に関していくつかの自主協定が結ばれた理由である。米国の気候変動行動計画を通じて発表または拡大された行動によるＧＨＧ削減量の大部分は、たとえば、エネルギー効率の向上を目的とした自主的なイニシアチブが原因である。(SARIII,11.4.3)

５．３．４　研究開発および実証

エネルギー部門の急速な革新は、最も意欲的なＧＨＧ緩和目的を達成し、多くの技術オプションのコストを現在のレベルよりも大幅に引き下げるための必須条件である。しかし、最近の傾向として、民間部門と公共部門の両方でエネルギーＲＤ＆Ｄに対する投資が減少している。(SARII,19.4の表11を参照)　過去１０年間で、エネルギーＲＤ＆Ｄに対する公共部門の支援は3分の１も減少し、減少幅はＧＤＰの０．５%にも相当する。(SARII,19.4)　過去、国際エネルギー機関（ＩＥＡ）加盟国の政府が支援するＲＤ＆Ｄの半分以上は原子力エネルギーに、１０%以下が再生資源に充てられていた。省エネと共にＲＤ＆Ｄの８０%以上が、低ＧＨＧ排出対策またはゼロＧＨＧ排出対策に提供されている。

エネルギー部門の多くの緩和オプションはさらにＲＤ＆Ｄ支援を必要としているが、個々の技術の勝敗を決める試みではない政府の戦略を持つことが重要である。幸い、多くの再生エネルギー技術や他の低ＧＨＧ排出またはゼロＧＨＧ排出のエネルギー技術などの有望な排出量削減技術の多くは、比較的控えめなＲＤ＆Ｄ投資しか必要としていない。これは、これらの技術が小規模であることとモジュール式であることが大きく反映されている。(SARII,19.4)　結果として、ＲＤ＆Ｄの資源が限られているとしても、オプションの多様なポートフォリオの支援は可能なはずである。一連の再生エネルギー技術の研究開発は、今後数十年間に支給される金額として１５０～２００億ドルを必要とする。(SARII,19.4)

ＲＤ＆Ｄプログラムは必要であるが、市場で新技術を確立するためには不十分である。新技術の市場を刺激するためには、現実的な経済状況および組織状況に置かれた商業的な実証プロジェクトおよびプログラムも必要である。最も再生エネルギー技術や燃料電池など一連の幅広い小規模なモジュール式技術に関しては、試行錯誤の結果として、エネルギー

生産コストは累積する生産量と共に減少すると予測できる。

５．３．５　インフラ対策

５．３．５．１　制度上の障壁の撤廃

特定の状況下では、制度上の障壁の撤廃は、先進的な再生技術に対する民間部門の関心を集めることができる。規制の改革および自由化（生産者の送電網や配電網の独占の崩壊）は、独立発電業者の送電網へのアクセスを可能にし、独立発電業者の競争力を高めた。送電網への接続を容易にする設備の標準化も技術の採用を促す。最新の再生技術を採用する場合、これらの対策でＧＨＧ排出量を削減することが可能である。

５．３．５．２　エネルギー・システム計画

従来のエネルギー産業の領域は、ｋＷｈｅ、リットル単位のガソリン、トン単位の石炭の生産と販売である。焦点は、エネルギー・サービスに対する拡張および拡大しつつある需要を満たす最も効率的な方法ではなく、エネルギー供給需要の増加およびその需要を満たすための効率的な資本の拡大であった。

エネルギー単位の販売よりもむしろエネルギー・サービスの提供を含むまでに広がる幅広いビジネス・コンセプトの採用をエネルギー部門産業に求めている規制委員会もある。最も重要なことは、末端使用の効率および技術がエネルギー産業の資本割当プロセスの不可欠な部分になっていることである。エネルギー計画は、従来のエネルギー部門の境界を超えて拡大し、完全なエネルギー・システムの考え方を採用するであろう。

しかし付属書１諸国のエネルギー公共事業部門は、現在、民営化および自由化が進められている。このような変化も独立発電やＣＨＰのようなＧＨＧ緩和の機会を提供する。これらの変化は、政府も環境目標を達成するためには政策の舵取りを修正しなくてはならないことを意味している。たとえば、デマンド・サイド・マネージメントおよび資源統合計画は再検討される必要がある。

５．３．５．３　局地的および地域的な環境対策

エネルギー供給および末端使用は、多くの局地的および地域的な影響を環境に与える。局地的な影響としては、屋内および都市の汚染がある。地域的な影響には、酸性化および土地利用を巡る争いの可能性がある。局地的および地域的な環境影響を緩和する政策および対策は、気候変動を緩和するための政策に影響を与え、また互いに影響し合う可能性がある。たとえば、さらに効率の高いエネルギー変換およびエネルギー利用は、あらゆる規模で環境への影響を減らすため多様な利益をもたらす。対照的に、その他の政策は複雑なトレード・オフを伴う可能性がある。地域的な環境条件を向上する特定の対策は、ＧＨＧ排

出量を増加するかもしれない。たとえば、石炭火力発電プラントからの硫黄排出量を減らす排ガス洗浄機は全体的な変換効率を下げるため、結果として炭素排出量が増える。加えて、特定のＧＨＧは、局地的および地域的な空気の質に悪影響を与える可能性がある（たとえば、小規模なＣＨＰには本格的な脱ＳＯｘおよび脱ＮＯｘ低減設備を備えていないかもしれない）。地域的な環境への悪影響は世界的な気候変動の影響よりも確実なため、この種の汚染に対抗する行動が中短期的に世界のいたる所で発生する可能性が高い。

したがって国、地域および地方のレベルで全体的な環境への影響を減らすためには、政策および対策の統合が必要である。特に、局地的および地域的な環境影響に取り組む政策と対策は、ＧＨＧ排出量削減の目標および政策と対立する可能性について評価を行うべきである。

脚注********************************

{15}本セクションは主にＳＡＲII第１９章「エネルギー供給緩和オプション」（代表執筆者は、H.Ishitani、T.Johansson、S.Al-Khouli、H.Audus、E.Bertel、E.Bravo、J.Edmonds、S.Frandsen、D.Hall、K.Heinloth、M.Jefferson、P.de LaquilIII、J.R.Moreira、N.Nakicenovic、Y.Ogawa、R.Pachauri、A.Riedacker、H-H.Rogner、K.Saviharju、B.Sorensen、G.Stevens、W.C.Turkenburg、R.H.Williams、F.Zhou）、ＳＡRII第Ｂ章「エネルギー入門」（代表執筆者は、N.Nakicenovic、A.Grubler、H.Ishitani、T.Johansson、G.Marland、J.R.Moreira、H-H.Rogner）、ＳＡＲ III第１１章「気候変動に取り組む政策手段の経済的評価」に基づいている。また、ＳＡＲIIおよび IIIのＳPMも多少参考にしている。

{16}ＳＡRIIIの第１１章では、「共同で実施する活動」を含めるため「共同実施」という用語を用いており、その語法がここでも引き続き使われている。

表９　地球規模ｴﾈﾙｷﾞｰ埋蔵量と資源、その炭素含有量、2020-2050年でのｴﾈﾙｷﾞｰﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ、技術ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ最大値

	消費量(1860-1990)		消費量(1990)		判明埋蔵量／2020-2050年ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ		資源ﾍﾞｰｽ／ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ最大量	
	EJ	GtC	EJ	GtC	EJ	GtC	EJ	GtC
石油 従来型 非従来型	 3,343 -	 61 -	128 -	2.3 -	 6,000 7,100	 110 130	 8,500 16,100	 156 296
ｶﾞｽ 従来型 非従来型	 1,703 -	 26 -	71 -	1.1 -	 4,800 6,900	 72 103	 9,200 26,900	 138 403
石炭	5,203	131	91	2.3	25,200	638	125,500	3,173
化石燃料合計	10,249	218	290	5.7	50,000	1,053	>186,200	4,166
原子力[b]	212	-	19	-	1,800	-	>14,200	-
水力	560	-	21	-	EJ/年 35-55	-	EJ/年 > 130	-
地熱	-	-	<1	-	4	-	>20	-
風力	-	-	-	-	7-10	-	> 130	-
潮位差	-	-	-	-	2	-	>20	-
太陽熱	-	-	-	-	16-22	-	>2,600	-
ﾊﾞｲｵﾏｽ燃料	1,150	-	55	-	72-137	-	>1,300	-
再生可能ｴﾈﾙｷﾞｰ合計	1,710	-	76	-	130-230	-	>4,200	-

－　：　極少量か適用外

a.本表はSARII,B.3.3.1,表B-3,B-4参照

b.ｳﾗﾝの天然埋蔵量と資源は、高速増殖炉を利用するなら60倍となる効果がある。

表１０：発電のＧＨＧ排出量を緩和する対策および技術的なオプションの選択例

技術的なｵﾌﾟｼｮﾝ	対策	気候および他の環境に与える影響	経済的および社会的影響	管理、制度および政治的な配慮
効率の向上 －発電・熱効 率を現在の平均30%から60%に長期的に引き上げる可能性 －送電 －精製所 －合成燃料生産 －ガス配送	**市場主導ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －GHG税 －ｴﾈﾙｷﾞｰ税 －売買可能な排出権 **規制措置** －強制的な効率基準 **自主協定** －需要家との自主協定 －自家使用ｴﾈﾙｷﾞｰの削減	**気候に与える影 響** －すべての GHGおよび他の汚染物質の削減。熱変換効率を35%から40%に引き上げ、CO２排出量を12.5%削減する －排出量を最大50%削減する長期的な可能性その他の影響 －地方の大気の質を高め、地域的な汚染を減らす	**費用対効果** －ゼロまたはわずかな追加ｺｽﾄで進歩の達成は可能 **ﾏｸﾛ経済問題** －ｴﾈﾙｷﾞｰ輸入の削減 **公平の問題** －非常に公平で模倣可能な傾向	**管理／制度要因** －直接的なGHG緩和政策および対策がなくても向上の可能性を公平に分配できる －情報の普及 **政治要因** －自主協定の機会および動機をつくる
低炭素燃料への転換 －石炭から天然ガス －石油から天然ガス	**市場主導ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －GHG税 －燃料と特定したｴﾈﾙｷﾞｰ税 －売買可能な排出権 **規制措置** －強制的な燃料使用 **自主協定** －自主的な燃料転換	**気候に与える影響** －CO２および他の汚染物質の削 減。他の事情が同じなら、石炭から40% 石油から20% －加えて、天然ガスは、さらにGHGを削減する高い変換効率である場合が多い －CH４が増えるという不利益の可能性もある **その他の影響** －地方の大気の質を高め、地域的な汚染を減らす	**費用対効果** －ｶﾞｽが利用できる場合は費用対効果が高いが、ｶﾞｽ利用のためのｲﾝﾌﾗのｺｽﾄが高い －長期的なｶﾞｽ価格が不安定 **ﾏｸﾛ経済問題** －中短期的な低ｺｽﾄ電力供給の可能性 －国内に利用可能なｶﾞｽを十分に持たない国では、輸入ｶﾞｽへの依存が高まる **公平の問題** －低ｺｽﾄの天然ｶﾞｽを得るための国際的な競争	**管理／制度要因** －長期的なｶﾞｽ取引に関する取り決めの必要性 －ｴﾈﾙｷﾞｰ産業の集中排除および自由化と矛盾しない －ｺｰｼﾞｪﾈﾚｰｼｮﾝおよび自家発電の奨励 **政治要因** －供給保証の懸念、地政学

技術的なｵﾌﾟｼｮﾝ	対策	気候および他の環境に与える影響	経済的および社会的影響	管理、制度および政治的な配慮
排煙の脱炭素化 －CO２の削減（洗浄） －石炭ｶﾞｽ化および合成ｶﾞｽの改質 －水素が豊富なｶﾞｽの生産	**市場主導ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －炭素税 －売買可能な排出権 **規制措置** －排出基準 －地下貯留ｻｲﾄの規制 －海洋貯留に関する国際会議 **自主協定** －適切ならばCO２のｶｽｹｰﾃﾞｨﾝｸﾞ	**気候への影響** －比CO２削減量は1kWhe当たり最大85% －海洋貯留の見通しが不透明なままの処分／貯留 **その他の影響** －効果的な脱炭素化は大規模な脱 Soxおよび脱NOxを想定しているため、地方および地域的な大気の質が向上する	**費用対効果** －ｴｴﾈﾙｷﾞｰ部門で最小限の変化を伴う－80～150$/ t C以上の高い洗浄ｺｽﾄ －追加貯留ｺｽﾄ －発電の効率損 失 **ﾏｸﾛ経済問題** －ｴﾈﾙｷﾞｰ部門の大規模なﾘｽﾄﾗはない －国内化石燃料の抽出および/または輸入燃料の増加 **公平の問題** －CO２処分ｻｲﾄへのｱｸｾｽ	**管理／制度要因** －処分および海洋貯留のRD&D －枯渇した油田およびｶﾞｽ田へのｱｸｮｽ **政治要因** －大規模な海洋処分に関する国際協定
原子力 －原子力ｴﾈﾙｷﾞｰの利用 拡大	**市場主導ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －炭素税 －売買可能な排出権 **規制措置** －基準および規則 －非拡散 **自主協定** －原子力産業、運転者、関係国民との間の協定 RD&D －廃棄物処分および安全性のRD&D	**気候に与える影響** －すべてのGHG およびSOx,NOx,粒子などその他の汚染物質の削減 **その他の影響** －地方の大気の質の向上 －放射能漏れ事故および核廃棄物処分	**費用対効果** －特殊な条件下では費用対効果の高い緩和オプション －高い管理費および大きく増え続けるｺｽﾄの範囲 －ﾍﾞｰｽﾛｰﾄﾞ発電に限定 **ﾏｸﾛ経済問題** －燃料輸入の支 出が減少。経済的可能性に関する不確実性 －一般に受け入れられていない **公平の問題** －拡散のﾘｽｸのため技術へのｱｸｾｽが制限されている	**管理／制度要因** －一般の支持がない －拡散、廃棄物処分、安全基準などの懸念がある **政治要因** －安定した規制および政治情勢 －大規模な核廃棄物処分に関する国際協定

技術的なｵﾌﾟｼｮﾝ	対策	気候および他の環境に与える影響	経済的および社会的影響	管理、制度および政治的な配慮
ﾊﾞｲｵﾏｽ －ｴﾈﾙｷﾞｰ農園およびｴﾈﾙｷﾞｰ森林 －発電および発熱のﾊﾞｲｵﾏｽ変換 －ﾊﾞｲｵﾏｽのｶﾞｽ化および液体燃料生産 －ﾊﾞｲｵﾏｽからの水素	**市場主導ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －農業補助金の構造変化 －炭素税 －売買可能な排 出権 **規制措置** －排出規制 －農業のｿﾞｰﾝ化 **自主協定** －生産力のない土地をｴﾈﾙｷﾞｰ農園に活用 －地方のﾊﾞｲｵ燃料およびﾊﾞｲｵ変換ｲﾆｼｱﾁﾌﾞを支援 RD&D －先進的な変換ﾌﾟﾗﾝﾄのｺｽﾄ削減を支援するRD&D	**気候に与える影響** －正味炭素排出量をｾﾞﾛにする 可能性 －隔離ｵﾌﾟｼｮﾝになる可能性 **その他の影響** －他の汚染物質の削減 －生物の多様性および単一栽培に関する懸念	**費用対効果** －商業的には利用できないがRD&Dが加速されれば可能な先進的な変換ﾌﾟﾗﾝﾄ **ﾏｸﾛ経済問題** －農業とおそらくは林業のﾘｽﾄﾗ －農村地域での経済開発 **公平の問題** －ｱｸｾｽ可能な土地	**管理／制度要因** －土地使用の衝突 －ｴﾈﾙｷﾞｰ農園組合 －独立発電に関する取り決め －ｴﾈﾙｷﾞｰ産業の集中排除および自由化と矛盾しない －情報の普及 **政治要因** －安定した農業政策および農村開発政策
風力（断続的な再生資源の例） －条件の良い場所での風力ﾀｰﾋﾞﾝの使用 －送 電網からの分離 －送電網との統合	**市場主導ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －炭素税 －売買可能な排出権 **規制措置** －排出規制 －適当なｻｲﾄのｿﾞｰﾝ化 **自主協定** －電力会社との早期協定適用 RD&D －ｺｽﾄ削減を支援するためのRD&D	**気候に与える影響** －すべてのGHGおよびSOx,NOx,粒子などその他の汚染物質の削減 **その他の影響** －景観、騒音、野生動物に影響を与える可能性	**費用対効果** －ｻｲﾄの条件が良ければ費用対効果は高い －コストの範囲が広いため経済性は不透明 **ﾏｸﾛ経済問題** －農村地域での経済開発	**管理／制度要因** －ｴﾈﾙｷﾞｰ産業の集中排除および自由化と矛盾しない －情報の普及 －風力発電所のｿﾞｰﾝ化 －電力会社の送電網へのｱｸｮｽ **政治要因** －安定したｴﾈﾙｷﾞｰ政策

表１１　ＩＥＡ報告政府研究開発予算総計（１ー７項；１９９４年の価格水準と為替レートでの１０億ＵＳ＄）と
ＧＤＰ（８項；１９９３年の価格水準での１兆ＵＳ＄）

	（1）化石ｴﾈﾙｷﾞｰ	（2）核分裂	（3）核融合	（4）ｴﾈﾙｷﾞｰ保全	（5）再生可能ｴﾈﾙｷﾞｰ	（6）その他	（7）合計	（8）ＧＤＰ	（9）ＧＤＰ%
1983	1.70	6.38	1.43	0.79	1.05	1.08	12.40	10.68	0.12
1984	1.60	6.12	1.44	0.70	1.02	0.99	11.88	11.20	0.11
1985	1.51	6.26	1.42	0.70	0.85	1.04	11.77	11.58	0.10
1986	1.51	5.72	1.31	0.59	0.66	0.94	10.74	11.90	0.09
1987	1.37	4.36	1.23	0.65	0.62	1.04	9.27	12.29	0.08
1988	1.46	3.64	1.13	0.53	0.62	1.19	8.58	12.82	0.07
1989	1.30	4.42	1.07	0.45	0.57	1.33	9.13	13.23	0.07
1990	1.75	4.48	1.09	0.55	0.61	1.15	9.62	13.52	0.07
1991	1.52	4.45	0.99	0.59	0.64	1.39	9.57	13.58	0.07
1992	1.07	3.90	0.96	0.56	0.70	1.28	8.48	13.82	0.06
1993	1.07	3.81	1.05	0.65	0.71	1.38	8.66		
1994	0.98	3.74	1.05	0.94	0.70	1.30	8.72		

６．農業部門{17}

６．１　はじめに

農業部門は人為的温室効果ガス予測の約５分の１を占め、メタンと亜酸化窒素の人為的排出量のそれぞれ５０％と７０％を発生している。農業活動（森林保全を除く）はＣＯ２の人為的排出量の約５％を占めている。(SARII,図23.1)　世界の総耕作面積は約１，７００Ｍｈａと推定されている。(SARII,23.2.2,表23-3)

農業部門は、管理方式(practice)と軽減措置の実施可能なペースの双方で地域的に大きな差があるのが特徴である。さまざまな軽減措置の有効性は、基本的排出レベルとさまざまな地域の差に照らして評価する必要がある。肥料利用と作物生産が急増している非付属書１諸国では、亜酸化窒素とメタンのかなりの増加が予測されている。軽減措置が十分に実施されたとしても、こうした増加に対応しきれない。排出量と軽減要件の変化を評価するために地域レベルと地球レベルで土地利用、作付方式、軽減方式の総合的な分析が必要である。

６．２　農業部門におけるＧＨＧ排出量削減技術

表１２に、農業部門におけるＧＨＧ排出量軽減技術とＣＯ２、メタン、亜酸化窒素の排出量の潜在削減量を示す。表１２には、メタンと亜酸化窒素についてそれぞれの地球温暖化の可能性の比率に基づく炭素換算排出量の潜在削減量も示されている。(SARI,表2.9)　放射強制の潜在削減総量（炭素換算量として表示）の内訳は、ＣＯ２の削減が３２％、既存の未耕作地におけるバイオ燃料生産による炭素相殺量が４２％、メタン排出量削減が１６％、亜酸化窒素排出量削減が１０％となっている。

付属書１諸国による排出量削減は、世界の総削減量の大きな割合を占める可能性がある。削減可能なＣＯ２の総量の内訳は、付属書１諸国ではＣＯ２排出量の削減が４０％、耕作地でのバイオ燃料生産による炭素相殺量が３２％を占めている。世界のメタン排出量の総削減可能量のうち付属書１諸国が占める割合は、コメ生産技術の改善に帰せられる削減の５％と、反芻動物の管理方法の向上による削減の２１％になるだろう。付属書１諸国は、また窒素肥料の使用量削減と利用効率向上に帰せられる亜酸化窒素排出量削減の約３０％と、動物の糞尿の利用改善から生じる削減の２１％を占めている。{18}

潜在削減量の推定値は、推奨された技術の有効性と今後の世界的実施の程度の不確実性を反映して大きくばらついている。世界の所要食糧と農民による受入態勢を満たすために、技術と方式は、(i)持続可能な農業生産が達成または強化されること、(ii)農民が付加的

利益を得ること、(iii)農産物が消費者に受け入れられること－という一般的ガイドラインを満たさなければならない農民がＧＨＧ軽減技術を採用する刺激を受けるのは、その技術が収益性を改善する場合のみである。無耕懇農法や戦略的な施肥とそのタイミングなど、技術によっては気候変動問題以外の理由からすでに採用されているものもある。排出量を削減するオプション（農場管理の改善や窒素肥料利用の効率向上など）は農業生産を維持または増加し、その結果、環境に好影響を及ぼす。

こうした多数の便益は、利用可能な技術のコストを高める。短期間で投資コストを回収し、利益を生み出す方式は、投資コストの回収に長期を要する方式より優先される。期待利益を伴う確率が大きい方式は、それらの利益についての確実性の乏しい方式より望ましい。人的資源の制約または当該方式についての理解が採用の妨げになるときは、公衆教育プログラムが従業員と管理者の知識と技能を改善して採用を促進する一助になる。改良技術の知識を育み、普及するために、国家レベルおよび国際レベルの総合的な研究・教育・技術移転プログラムが必要となろう。改良方式の採用を支援するために、自然災害による不作のリスクを分担する収穫保険またはその他のプログラムが必要になろう。

６．２．１　二酸化炭素排出量の軽減(SARII,23.2)

農業からのＣＯ２排出量を削減するオプションには、現在の発生源からの排出量の削減と炭素吸収源の創出・強化が含まれる。ＣＯ２の吸収源としての農地の役割を拡大するオプションとしては、管理土壌への炭素貯蔵、余剰農地を自然の生態系に戻した後の炭素封鎖(sequestration)が含まれる。しかし、土壌有機物の新しい均衡レベルが確立されるため、土壌炭素封鎖は５０－１００年と容量が限られている。土壌炭素レベルを増加する対策には、農業生産体系の生産性と持続可能性を改善するという点で付加的利益がある。恒久休耕地指定(permanent set-aside) を受けて生産をやめ、自生植物に復帰させられた耕作物の土壌は、炭素レベルが最終的に耕作前の状態に達する可能性がある。米国、カナダ、旧ソ連、欧州、オーストラリア、アルゼンチンで現在耕作中の６４０Ｍｈａの土地を考慮し、耕作中に失われた当初の土壌が回復すると仮定すると、土地面積の１５%の恒久休耕地指定は１．５－３ＧｔＣを（５０－１００年にわたり）封鎖する可能性がある。

農地の大規模な復旧または造林(afforestation) が可能なのは、残りの区域から十分な食糧、繊維、エネルギーの供給が得られる場合である。集約農業システムを通じて現在これが可能なのは欧州連合と米国である。しかし、環境問題や政策の変更のために、農業集約度が変化するときは、この軽減オプションはもはや利用できなくなるおそれがある。

現在のところ、熱帯林の農業への転換のうち生産的耕作地の増加に寄与しているのは２分の１に過ぎない。この悪循環を断ち切るには、より持続可能な利用、既存の農地の生産性改善、本来の生態系の保護改善を通じる以外に道はない。こうした方式は、特に中南米とアフリカで、湿地帯の農業拡大（したがって森林伐採）の削減に役立つ。

土壌炭素貯蔵を増加する管理方式には、耕地面積の削減、作物の残留物のリターン、多年生作物（農林業(agroforestry))、休閑地サイクル(bare fallow frequency) の縮小が含まれる。しかし熱帯では、土壌管理の改善を妨げる経済・教育・社会学上の制約がある場合が多い。熱帯農民の多くは、肥料や農薬などの投入物を購入する余裕がないか、またはそれらの利用が限られている。家畜飼料、燃料またはその他の家庭用利用のために作物の残留物を必要とする場合が多い。改良管理方式により化石燃料消費が大幅に増加せざるを得ない限り、ＣＯ２軽減の利益は低下する。

１９７０年代以降、農業生産量１単位当たりの農業によるエネルギー利用は低下している。付属書１諸国における農業による化石燃料利用は、消費量全体の３～４%を占めているが、最低耕地面積の利用、潅漑スケジュール、作物の天日乾燥、肥料管理の改善を通じて削減することができる。

在来型の食糧・繊維作物と専用バイオ燃料作物（短期輪作の木質作物や多年生草本性エネルギー作物など）は、エネルギー供給用の供給原料として貴重なバイオマスを生産する。在来型の農業作物と同様の土壌と管理方式を必要とし、限られた資源を食糧生産と奪い合うことになる。(SARII,23.2.4)　その生産量がどの程度拡大するかは、新しい技術の開発、在来型の食糧・繊維作物に対するそれらの経済的競争力、社会的・政治的圧力に依存する。専用エネルギー植物（短期輪作の木質作物、多年生草本性エネルギー作物を含む)と一年生植物（ホールプラント(whole plant) 穀類作物またはケナフなど）は、温帯で耕作限界地ないし優良耕作地の８－１１%で持続可能な形で栽培することができる。例えば、欧州連合では１５－２０Ｍｈａの優良な農地が２０１０年までの食糧生産ニーズに対して余剰になると推定されている。これは、現在の耕地面積の２０－３０%に相当することになる。

熱帯における農業需要の増加により、エネルギー作物用に供される土地の割合が減少する見込みがあるため、妥当な推定値は５－７%になる可能性がある。しかし、全体として特に耕作限界地と復旧を要する土地からバイオ燃料を生産するためにかなりの面積の土地が利用可能になる可能性がある。大規模な世界的農業用バイオ燃料プログラムのＣＯ２緩和可能性は、かなり大きくなりそうである。世界の耕地面積の１０－１５%が利用可能になると想定すると、３００－１，３００ＭｔＣの範囲の化石燃料代替が推定される。これには、現存の(standing)木質バイオマスでの炭素貯蔵の増加または土壌炭素封鎖の増加を通じたバイオ燃料生産の直接効果は含まれない。総作物残留物の２５%が回収、転換されれば（残り７５%は土壌に戻される)、さらに１００－２００Ｍｔ化石燃料Ｃ／年を代替することができる。しかし、亜酸化窒素排出量の増加による相殺の可能性を考慮する必要がある。一般に、油脂、澱粉、砂糖のみを得るための作物は、正味エネルギー生産量が少なく、必要とする化石燃料が比較的多いため、ＣＯ２排出量削減上の価値が限られている。化石燃料の代替物としてホールプラント・バイオマスを燃焼すれば、ＣＯ２が著しく削減される。

潜在削減量の推定値の範囲は、管理オプションの有効性と今後の世界的実施の度合をめぐ

る不確実性を反映している。こうしたオプションを評価する上で最大の問題は、世界が人口増加に伴う食糧・繊維需要の増加をサポートしつづけられるかどうか、それと同時に、エネルギー用バイオマスの生産のために使用される土地の面積を拡大しつづけられるかどうかである。(SARII,23.2.5,25.3.3)。

６．２．２　メタン排出量の軽減(SARII,23.3.1.1)

農業部門で最大のメタン発生源は、管理反芻動物とコメ生産である。コメ栽培は、食糧生産を満たすために引続き現行ペースで増加しよう。冠水した稲田は、メタン排出量を発生するが、これは管理措置の改善によって削減することができる。先に示された潜在削減量の範囲は、軽減措置の有効性とたとえばコメ生産量におけるように効果の加法性をめぐる不確実性を示している。利用可能な軽減技術の実施の成否は、(i)穀物収量は増加するか、減少するか、(ii)労働、水、その他の生産量が節約されるかどうか、(iii)発生するメタン排出量の少ないコメ品種が国内の消費者に受け入れられるかどうか－に依存する。

家畜の反芻動物のメタン排出量は、生産者が高級な飼料により改良放牧システムを使用するにつれて削減される可能性がある。劣悪な放牧地に放牧される動物は、飼料消費量１単位当たりメタン発生量が多いからである。家畜を一ヶ所に閉じこめて高エネルギー飼料の消化を適正に管理するバランスのとれた配給量を利用する給餌方法も直接排出量を削減することができるが、飼料の生産と輸送からの間接排出量を増加させることがある。動物廃棄物処分システムで発生するメタンは、農場内エネルギー供給をもたらす可能性があり、このようにして利用されるメタンは大気中に放出されない。全体として、メタン排出量の世界的な潜在削減量は、農業からの排出量の約３５％（１５－５６％）に達する。

６．２．３　窒素酸化物排出量の軽減(SARII,23.3.1.2)

窒素は植物の必須栄養素である。しかし窒素は、土壌・植物・大気系で最も流動的な化合物の一部の構成要素でもある。窒素は無機肥料の主要な構成要素であるため、高投入量農業が窒素化合物を環境に負荷を与える度合に対して懸念が高まっている。窒素バジェッティングまたは投入／産出収支アプローチは、農業・家畜系の窒素管理を改善し、窒素の環境影響を軽減する政策の基礎になる。管理方式は、アンモニアの気化損失(gaseous loss)または下層土への硝酸塩の浸出を通じて環境に失われる窒素の量を削減することができる。場合によっては、肥料の使用量を減らすことによって効率が改善されることもあれば、同じ窒素レベルで収量を増加することによって効率改善を達成できることもある。

農業部門の主たる亜酸化窒素発生源は、無機肥料、マメ科植物、動物廃棄物である。土壌の物理的条件が不良なためこうした損失が加速される場合が多い。バイオマス燃焼から排出される亜酸化窒素もある。農業技術の改善（放出調節(controlled-release)肥料の使用、窒素化防止剤、窒素投与の時期、水質管理など）は、窒素利用の効率改善につながり、亜酸化窒素形成をさらに制限するはずである。亜酸化窒素排出量削減の基本的考え方は、肥

料窒素（堆肥窒素を含む）を作物でうまく利用すれば、亜酸化窒素発生量が減り、システムから漏出する窒素が減るというものである。作物需要と窒素供給との適合を改善し、動物廃棄物と作物残留物管理と作物生産との統合を緊密化することによって、亜酸化窒素排出量は約０．３６ＭｔＮ２Ｏ－Ｎ、または農業の現行排出量の約１７％（９－２６％）を削減することができる。

６．３　農業部門におけるＧＨＧ排出量抑制措置

農業部門におけるＧＨＧ排出量に大きな影響を及ぼしうる措置には、以下が含まれる。

* 市場ベースのプログラム（農業支持政策の削減と改革、窒素肥料の使用に対する課税、バイオマス・エネルギー生産・使用向け補助金など）
* 規制措置（窒素肥料の使用制限、農業支持の環境目的への相互遵守など）
* 自主的協定（農業土壌での炭素封鎖を強化する土壌管理方式など）
* 国際的プログラム（農業における技術移転のサポート）

上記の措置の多くの最大の目的は、気候変動問題だけに関係するというよりも、環境汚染と天然資源の劣化を抑えるといった目的に関係する。政府は、商品プログラムを変更し、もっと柔軟性を認めることによって商用肥料への依存度を引き下げる作物の栽培とそのような方式の採用を農民に奨励することができる。土壌劣化と環境汚染を削減する最良の管理方式を支持、奨励することが、ＧＨＧ削減のための軽減措置と矛盾することはあるまい。

改善された土地利用方式を奨励する措置は、炭素貯蔵を増加することができる。これらの措置には、耕作限界地および劣化した土地の恒久休耕地指定を含めることができる。また、既存の耕地を持続可能で環境上健全な態様で管理するためのインセンティブを提供することができる。政府プログラムは、作物収量を維持または増加し、作物収量１単位当たり排出量を削減する方式の整備をサポートすることができる。

脚注*********************************

{17}本セクションはＳＡＲII第２３章「温室効果ガス排出緩和の農業オプション」（代表執筆者は、V.Cole、K.Minami、A.Mosier、N.Rosenberg、D.Sauerbeck、J.Dunmanski、J.Duxbury 、 J.Freney 、 R.Gupta 、 O.Heinemeyer 、 T.Kolchugina 、 J.Lee 、K.PaustianD.Sampson、H.Tiessen、M.van Noordwijk、Q.Zhao）に基づいている。

{18}付属書１諸国の排出削減のシェアは、イタリア・ローマのＦＡＯ統計の４８巻、１９９４年生産年鑑の生産データに基づいている。

表１２　ＧＨＧ排出緩和のための農業技術と二酸化炭素、メタン、窒素酸化物の年間排出削減ポテンシャル

(SAR II, 表23-4, 23-5, 23-6, 23-10, 23-11)

二酸化炭素実質排出	Mt C/年	
CO2排出削減		
ー先進工業国の農業での化石燃料利用削減	10-50	
（最少耕作面積、無耕作、潅漑計画化、収穫物天日干し、		
肥料管理改善の拡大利用から期待される削減[a]）		
炭素吸収増加		
ー既存農業土壌の管理改善による土壌炭素増[b]	400-600	
ー温帯での過剰農地を恒久的な減反による土壌炭素増[c]	21-42	
ー土壌劣化地での土壌炭素再生[d]	24-240	
炭素ｵﾌｾｯﾄとしてのﾊﾞｲｵﾏｽ生産		
ー既存収穫地での収穫指定によるﾊﾞｲｵ燃料生産[e]		
・　温帯地域	85-490	
・　熱帯地域	160-510	
・　温帯地域防風林	10-60	
・　熱帯農作林	46-200	
ー収穫物残滓からのﾊﾞｲｵ燃料生産[f]	100-200	
CO2緩和ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ合計	855-2,390	
メタン排出削減	Mt CH4/年	Mt C当量[g]
反芻動物の管理改善		
ー飼料品質改善と栄養のﾊﾞﾗﾝｽ	10-35	57-202
ー飼料消化向上	1-3	6-18
ー動物遺伝学や生殖の改善	1-6	6-36
家畜糞尿の管理改善		
ー汚水用人口池にカバーをかける	2-6.8	12-39
ー消化促進剤	0.6-1.9	3-12
米の生産方法改善		
ー潅漑管理	3.3-9.9	19-52
ー栄養素管理	2.5-15	14-87
ー新規耕作他の方法	2.5-10	14-58
メタン排出低下でのﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ合計	23-88	131-504

窒素酸化物排出削減	Mt C/年	Mt C/当量[h]
窒素肥料使用効率向上		
ー窒素肥料使用削減（改善窒素散布技術利用、収穫物需要と窒素供給のﾊﾞﾗﾝｽをとる、植物生産で動物糞尿再利用を最大にする生産システム統合、生産地での植物性残留窒素保全、収穫地・潅漑・排水の最適化）	0.3-0.9	85-245
ー森林の転換利用を低減	0.06-0.17	21-47
窒素酸化物排出低下ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ	0.4-1.1	106-292

a. 先進工業諸国での化石炭素排出合計(2.8 GtC/年, OECD)のうち3-4.5%に当たる現在の使用量と、任意の削減範囲10-50%を基にしている。

b. 湿地土壌を除いた現在の耕作用土壌から過去50年間に失われた歴史的炭素量の推定の２分の１または３分の２を回収と仮定。

c. 余剰生産が現在あるか可能性としてある先進工業国で、年間伸び率と累積伸び率をそれぞれ1%と50%として、休耕地15%(-640Mhs)から百年間に隔離される炭素隔離量が1.5-3Gtとの推定に基づく。温帯地域で現在耕作地となっている旧沼地(8Mha)の10-20%が回復と仮定。

d. 中程度または高度の劣化のみられる土地(地球全体で$1.2x10^9$ha)の任意の10-50%で、50年間に1-2kgC/㎡の炭素隔離可能性を仮定。

e. 世界の耕作地の10-15%がﾊﾞｲｵ燃料への利用可能と仮定。

f. 収穫残滓の25%回収を基に、またｴﾈﾙｷﾞｰ転換や代替を仮定。

g. 100年GWPとしてCH4排出での炭素当量(SAR I, 表2.9)

h. 100年GWPとしてのN2O排出の炭素当量(SAR I, 表2.9)

表１３　農業部門ＧＨＧ排出緩和策の代表例

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
化石ｴﾈﾙｷﾞｰ利用削減 －耕作地削減 －肥料使用削減 －緩和ｽｹｼﾞｭｰﾙ －収穫物太陽光乾燥	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －農業用燃料税 **自主協定** －技術移転	**気象便益** －CO2排出を10-50 Mt C/年削減	**ﾏｸﾛ経済課題** －燃料・肥料のｺｽﾄ削減	**行政・組織要素** －省庁の協力と農場ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ統合カギ **政治要素** －税金制定
農業用土壌中炭素保全促進 －耕作地削減 －残留物管理改善 －劣化土壌の生産性回復 －温帯地域での恒久休耕地増加	**自主協定** －商品ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑを変更して柔軟性を持たせ、最善の管理手法をｻﾎﾟｰﾄ －技術移転	**気象便益** －炭素保留分を440 -880MtC/年増加 **他の影響** －土壌流出の削減 －ｵﾌﾟｼｮﾝの均衡による食糧生産の増加	**費用効果性** －労働需要削減による除草剤費用増加分の相殺 **ﾏｸﾛ経済課題** －燃料ｺｽﾄ削減	**行政・組織要素** －政府省庁の協力と農場ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑの統合がカギ －ｸﾚｼﾞｯﾄの利用可能性で制限か
炭素ｵﾌｾｯﾄとしてのﾊﾞｲｵ燃料生産拡大 －短期回転収穫木材の専用林と既存収穫地での収穫牧草ｴﾈﾙｷﾞｰ －収穫残滓からのﾊﾞｲｵ燃料	**市場本位手法** －ｴﾈﾙｷﾞｰ価格 －市場障壁除去	**気象便益** －年400-1460 Mt Cの化石炭素ｵﾌｾｯﾄ －土壌炭素保留分増大	**ﾏｸﾛ経済課題** －高い電力ｺｽﾄ －限られた収穫地での競合で土地価格上昇、食糧価格も上昇の可能性	**政治要素** －伝統的農業部門団体の一般的反対 －食料生産への負の影響可能性、政治的に微妙
反芻動物管理改善 －飼料消化能力増大 －品種改良と生殖能力改善	**規制措置** －飼育密度規制	**気象便益** －CH4排出を12-44 MtCH4/年削減 **他の影響** －栄養素汚染低減	**ﾏｸﾛ経済課題** －訓練された管理者と技術移転が必要	**政治要素** －付属書I諸国など高い飼育密度の分野で特別な配慮
CH4集積に有機肥料管理慣習を適用 －沼地を覆う事とﾊﾞｲｵｶﾞｽ発生装置	**自主協定** －技術移転	**気象便益** －CH4排出を年3-9 Mt CH4削減	**費用効果性** －地域的ｴﾈﾙｷﾞｰ利用でｺｽﾄ削減	**行政・組織要素** －国際的技術移転必要
米の生産手法改善 －水の管理 －栄養素管理 －新規の低ﾒﾀﾝ耕作	**自主協定** －技術移転	**気象便益** －CH4排出を8-35 Mt CH4/年削減	**公平性問題** －季節的水分配が困難	**行政・組織要素** －水の利用日程で地域協調が必要
窒素肥料利用効率増大 －使用方法改善 －窒素供給を収穫物の必要と調整 －最大限の有機肥料利用 －収穫地、潅漑、排水の最適化	**市場ﾒｶﾆｽﾞﾑ** －窒素肥料利用税 **規制措置** －窒素肥料利用制限	**気象便益** －N20排出を年0.4-1.1 Mt N20削減 **他の影響** －水質改善	**費用効果性** －窒素必要量削減でｺｽﾄ相殺	**政治要素** －食料生産への負の影響可能性、政治的に微妙

７．森林部門{19}

７．１　はじめに

森林は大気中のＣＯ２の吸収源であり、発生源でもある。森林は、光合成によって炭素を吸収するが、分解を通じて、また人為的・自然的原因により樹木が燃焼されると炭素を排出する。貯蔵炭素を保持するために森林を管理すれば、大気中のＣＯ２の増加率削減の増加と大気中濃度の安定化に役立つ。一部の劣化した土地が林業に適していない場合でも、他の目的と矛盾せずに炭素の保全、貯蔵、代替のための森林地管理の改善を通じてかなりの軽減の可能性がある。このセクションでは、この目標を首尾よく達成する国の森林方式および措置と国際的プロジェクトおよびプログラムを説明する{20}。

森林は世界全体で約３．４Ｇｈａの面積を占め、森林に占める各気候帯の割合は、低緯度（北緯約　０度～南緯２５度）が５２%、高緯度（北緯約５０度～南緯７５度）が３０%、中緯度（北緯約２５度～南緯５０度）が１８%となっている。(SARII,24.2.1)　世界の森林は大量の炭素を貯蔵しており、地上と地下の植生（生死を問わない）が、推定３３０ＧｔＣ、土壌（鉱物土壌プラス有機層準）中が６６０ＧｔＣとされている。(SARII,24.2.2)　未知の量の炭素が家具、建物、紙などの製品にも貯蔵されている。

高中緯度の森林は、現在約０．７±０．２ＧｔＣ／年の正味炭素吸収源と推定されている。低緯度の森林は、ほとんどが森林の開拓と劣化を原因として、１．６±０．４ＧｔＣ／年の正味炭素吸収源と推定されている。(SARII,24.2.2)　こうした吸収源と発生源は、１９９０年に６ＧｔＣと推定された化石燃料燃焼による炭素放出量に匹敵する。

７．２　森林部門におけるＧＨＧ排出量削減技術

大気中のＣＯ２の増加率の抑制を可能にする森林管理方式は、(i)炭素保全のための管理、(ii)炭素の封鎖と貯蔵のための管理、(iii)炭素代替のための管理－の３種類に分けることができる。〔保全〕方式に含まれるのは、森林伐採の抑制、保安林の保護、収穫方式の変更、その他の人為的破壊 (火災や疫病の発生など) などである。〔封鎖と貯蔵〕方式に含まれるのは、自然林・造林の面積および／またはバイオマスと土壌炭素の含有率の増加による森林生態系の拡大、耐久木材製品での貯蔵の増加などである。〔代替〕方式が目指しているのは、化石燃料ベースのエネルギーおよび製品、セメント・ベースの製品、他の木材以外の建築資材を使用する代わりに森林バイオマス炭素を製品に移転することである。

炭素の保全・封鎖のための森林管理オプションの実施に利用可能な潜在土地面積は、樹木を栽培する土地の技術的特性、社会経済的情勢の制約を受ける実際の利用可能性の関数で

ある。ＳＡＲの委託でレビューした文献(SARII,24.4.2.2)は、世界の７００Ｍｈａの土地が炭素の保全・封鎖のために利用可能なことを示している（その内訳は、人工林・林業向け３４５Ｍｈａ、熱帯林伐採の鈍化向け１３８Ｍｈａ、自然および補助再生化向け２１７Ｍｈａ)。表１４に、上記の調査に基づき、炭素の世界的な潜在的保全・封鎖量の推定値を示す。炭素の潜在保全・封鎖量が最も大きいのは熱帯（総潜在量の８０%）で、次いで温帯（１７%)、寒帯（３%）となっている。自然・補助再生と森林伐採の鈍化は、熱帯の量の２分の１以上を占めている。植林と農林業は、残りの熱帯吸収源に寄与し、こうした努力がなければとうてい再生と森林伐採の鈍化は望めそうもない。

各種のシナリオが示すところでは、上述した方式のすべてからの炭素の年間保全・封鎖率は時の経過につれて増加する。(SARII,24.4.2.2)　森林伐採の鈍化と再生による炭素貯蔵は、当初は最大であるが、最大炭素の自然生長(accretion) の最大値に達する２０２０年から人工林がほぼ同量を封鎖することになる。地球規模では、森林は２０１０年頃にはすべての気候帯で保全され、封鎖された炭素によって熱帯の森林伐採が相殺されるにつれて世界的に発生源から吸収源に転化する。

緯度別の個別オプションに関する平均確率コストまたは最初のコストを用いると、表１４に示された量の炭素を保全し、封鎖するための累積コスト（割引前）は３．７－４．６ドル／ｔＣの平均単位コストで約２，５００億－３，０００億ドル／トンＣの範囲にある。(SARII,24.5.4) 森林伐採の鈍化と再生の補助により保全される炭素が増加するにつれて、平均単位コストは増加する。年割引率を３%と想定すると上記コストは７７０億－９９０億ドルに低下し、平均単位コストは１．２～１．４ドル／ｔＣに低下する。土地のコストとインフラ整備、防護フェンス、教育・訓練に要するコストは、上記のコスト推定には含まれていない。

上記の推定値の不確実性は、きわめて大きくなりそうであるが、各オプションと緯度を通じた傾向は信頼できるようにみえる。不確実性を生じる原因は、植林プロジェクトと再生プログラムのための土地の利用可能性推定値、熱帯の実際に削減可能な森林伐採率、熱帯森林で保全・封鎖可能な炭素量である。要約すると、熱帯における軽減の促進を目指した政策は、熱帯林の炭素の保全・封鎖の大きな可能性を考えると、最大の利益をもたらす見込みがある。温帯における植林を目指した政策も重要になろう。

７．３　森林部門におけるＧＨＧ排出量削減措置

炭素の保全・封鎖の潜在力が最も大きい森林管理方式は（重要度の大きい順で)、熱帯における森林伐採の鈍化と再生の支援から熱帯・温帯における植林方式および農林業までに及ぶ（表１４)。植林・造林方式がどれくらい化石燃料ベースの資材とエネルギーに代替しうるかに応じて、こうした炭素利益は増大することになる。以下のサブセクションでは、それぞれの種類の方式の実施に関連した措置を検討する。

７．３．１　森林伐採の鈍化と再生の支援

森林伐採の原因は、農業用の森林地開拓、鉱物採取、貯水池(hydro-reservoir) から薪をとるための森林の劣化までに及ぶ。農業のために開拓された土地は、最終的にその生産力を失い、放牧地以外に適さなくなる可能性がある。生存レベルで耕作限界地に居住する住民の増加に伴うニーズがもたらす社会経済的・政治的圧力が、熱帯の多くで森林伐採を引き起す主たる要因である。(SARII,24.3.1.1)　これに対してブラジルでは、比較的裕福な投資家が森林伐採の主要な主体であり、牛の大放牧場のために土地を開拓している。これは、しばしば土地投機による利益追求の興味を引かれる一因になっている。

森林に関連した措置・政策と森林と無関係な措置・政策がともに森林伐採に寄与してきた。この種の措置・政策に含まれるのは、年間収穫量と不十分な収穫隙を規定した短期契約で、そのおかげで契約者がその権利の持続可能性を考慮することなく伐採に励むことになる。ロイヤルティの構造が、収穫後の森林劣化を防止するに十分な再植林を可能にする収入をほとんど政府にもたらさない形になっていたことも、森林伐採につながった。森林と無関係な政策が自然林を直接侵害したことも、森林伐採のもう一つの主因である。この種の政策に含まれるのは、森林伐採を通じた「改良」に基づき私人への財産権を譲渡する土地保有政策、植民プログラム、ダム建設・採鉱を促進する投資、牛の大放牧場向け税額控除または減税である。

表１５に、実施に成功すれば森林伐採を鈍化させ、バイオマスの再生を支援することになる措置を示す。こうした措置は、それぞれ炭素密度が高くなりそうなバイオマスを保全し、現在の生物多様性、土壌、分水界の面での利益を維持または改善する。こうした措置の資本コストは僅かである（資本コストの水準がリサイクル製品に依存する再生木材の場合を除く）。 最初の二つの措置は、森林伐採の抑制につれて部門（農業）の雇用を削減する見込みがある。補助金が有利に投資されれば、それらの措置は他の経済部門で雇用を創出してこの損失を相殺する可能性がある。持続可能な森林管理は、長期的にみて経済活動と雇用を創出する可能性がある。森林保全立法を実施するためには、強力な政治的サポートを必要とし、多額の行政負担を伴うことがある。補助金の廃止は、既得権益を有する側から強力な反対を受けるかも知れない。共同実施プロジェクトは、取引コストが大きく、炭素封鎖が主たる利益であるとき、融資を受けるのが困難になるため出遅れた。持続可能な森林管理は、政治的に魅力的であるが、その実施のためには、地元の参加、土地保有および権利の確立、ジェンダー(gender)と衡平性の問題への取組み、希少性を評価する制度的メカニズムの整備を必要とする。こうした要因の組合せは、多額の行政コストを招くおそれがある。

熱帯の森林伐採率を削減するのは困難なようにみえるが、潜在削減量はかなり大きく、ブラジル、インド、タイなどのようにこれ以上の森林伐採を阻止するために明確な措置と政策を採用している国がある。(SARII,24.3.1.1) 例えばブラジル政府は１９９１年6月に、

年間森林伐採率をさらに引き下げるためにアマゾン森林地域における新規牧場経営プロジェクトへの財政奨励措置の付与を停止する法令（１５１号）を公布した。（これにより、経済不況の結果として森林伐採率は１９７８－８８年の2Mｈａ／年から１９９０－９１年の1．1Mｈａ／年へと減少した）。この法令の長期的影響はまだ不明であるが、必要に応じて追加措置が適用される可能性がある。

国内措置以外に、外国政府、非政府組織、民間企業がサポートする保護プロジェクトが森林伐採を阻止し炭素を保全および／または封鎖するために形成されつつある。ベリーズにおけるリオブラボ川保全・森林管理プロジェクト（米国の共同実施イニシアチブ（ＵＳＩＪＩ）に基づく承認済み）は、隣接する２区画を農地への転換から保護するために危機に瀕した森林地の区画6，０００ｈａを購入し、3ＭｔＣを封鎖すると推定されている。プロジェクト参加者に含まれるのはウィスコンシン・エレクトリック・パワー社、自然保護協会、ベリーズ保護プログラム、デトロイト・エジソン社、シティエナジー社、パシフィコープである。ＥＣＯＬＡＮＤプロジェクトは、エスキナス国立公園における２，０００－３，０００ｈａの土地購入を通じてコスタリカ南部で森林伐採のおそれのある熱帯林を保全することになる。このプロジェクトのパートナーに含まれるのは、米国、コスタリカ、オーストリアの諸機関である。

森林伐採を鈍化するために実施されているプログラム、プロジェクト、措置を持続させるとなると、多くの課題が生じる。インドでは、農村人口増加率の低下が政策当局による森林伐採鈍化率の維持に役立った。しかし、その他の地域では、森林居住者または森林伐採者のために代りの生計手段を見つけることが基本的な課題である。そのためには、居住者を一国の都市社会構造に統合する必要があるかも知れない。森林伐採者は、土地耕作以外の理由によりその森林に出向こうとすることがあり、政策当局はこのような状況で主として森林政策以外の政策に依拠する必要がある。森林と国立公園を保護するに当ってのもう一つの課題は、この目的で配分される政府予算　－十分な森林警備隊員とフェンス、その他のインフラ土地侵害を阻止する対策を用意するには不十分なことが多い－　を増やすことである。

７．３．２　植林

植林とは、植生 (地上と地下に生息)、 死んだ有機物、中期・長期の製品に貯蔵される炭素の量を増加させることをいう。このプロセスは、再植林―最近 (ここ５０年近くの間に) 森林伐採された区域の樹木をリプレースすることをいう－と、造林－長期 (５０年以上) にわたり森林に覆われていなかった区域に樹木を植えることをいう－で構成される。温帯地域では再植林率は高くなる傾向がある。１９８０年代のカナダの再植林率は７２万ｈａ／年と報告された。(SARII,24.4.1)　米国の再植林率は１９９０－９５年に平均1Mｈａ／年であった。熱帯および温帯諸国では、共に大幅な造林活動が行われている。中国は単独で１９４９－９０年に３０．7Mｈａを植林したことを誇っているのに対し、インドは１９８９年までに１７．1Mｈａを植林した。(SARII,24.4；BOX4を参照)　米国が１９８５

年までに5Mｈａの人工林を造成したのに対し、フランスは前世紀の始めから現在までに森林面積を7Mｈａから１５Mｈａへと２倍以上に拡大した。ニュージーランドは、１９９４年までに持続的収量原則に基づき植林面積１．４Mｈａを管理している。

植林・農林業向けの措置に含まれるのは、(i)政府所有地に対する当該方式をとることを目指した政府投資プログラム、(ii)政府の農業促進事業部のサポートを得られる地域社会林業プログラム、(iii)政府が提供する資金的・その他の奨励措置による民間人工林−である（表１６)。こうした措置は生産林、農林業、保全林を対象にすることができる。保全林には、土壌侵食および分水界管理のために管理されるものが含まれる。主として炭素封鎖のために管理される保全林は、機会費用が僅かな土地でなければならず、さもなければそれらは、他の用途のために侵害されるおそれがある。政府補助金は、林業を差別しない課税制度、特定の目的を満たすプロジェクト向け減税措置、市場金利を下回る金利による銀行融資への容易なアクセスの形をとることができる。

ボックス４　インドの例

インド政府が１９８０年から実施してきた一連の政策とプログラムにより、約６４Mｈａレベルで森林面積が安定し、その結果、１９９０年に森林によって5MｔCが封鎖されたと推定されている。政府は、食糧穀物生産に供される区域を増加するために１９８０年まで食糧生産の増加を優先させ、土地を持たない貧困層への土地分配を優先した。その結果、１９５０−７５年に著しい森林伐採が生じた。その間に約４．３Mｈａが、主として農業に転用された。森林伐採を鈍化させ、再生を支援するためのインドの政策とプログラムには以下が含まれる。

1. 政策

1) １９８０年森林保全法：この強力な立法により、森林地の他の用途への転用がきわめて困難になった。
2) １９８０年代半ば以降、多くの州で国有一次林における伐採が禁止された。
3) 森林・木材ベースの産業への権利付与の大幅な削減と木材原材料向けの農地への転用の促進

2. プログラム

1) １５Mｈａの森林の保護区域（国立公園と野生生物保護区）への転換
2) 劣化した森林地を地元地域社会および森林局と共同で再植生する共同森林管理プログラム
3) １９８０−９５年に１８−２０Mｈａを再植林、５８Mｔの工業用木材と薪を収穫

上記の政策は、人口増加と食糧・バイオマス需要の増加にもかかわらず、１５年近く存続した。インド政府は、保全立法、再植林プログラム、森林保全達成に対する地域社会の意識を依り拠にするのに成功したようにみえる。

出所：SARII、第１５章（ﾎﾞｯｸｽ15.3）および第２４章（ｾｸｼｮﾝ24.3.1.1）

政府補助金は、民間人工林造成を開始、持続する上で重要であった。第二次世界大戦以来、フランスでは３．１５Ｍｈａが造林され、気候変動軽減のための１９９５年フランス国家プログラムは１９８５年以降、３万ｈａ／年の造林率を求めている。これは、７０ドル／ｔＣのコストで５０年間にわたり７９－８９ＭｔＣを封鎖するものである。過去数年間に、インドにおける興味深い進展は、民間資本市場で資本を調達した民間企業によるチーク(Tectona grandis) の植林であった。(SARII,15.3.3)　このプログラムは、現在数千ヘクタールを占めるに過ぎないが、インドの６６Ｍｈａの劣化した土地のうち４－６Ｍｈａに拡大する可能性がある。チークは、建物と家具に使用することができる。

国内プログラム以外に、他のプログラムを外国政府、非政府組織、民間企業が一部の国々で開始し、サポートしている。一例は、ＲＵＳＡＦＯＲで、これはロシアのサラトフ地域における米国IJI承認済みの造林プロジェクトである。(SARII,BOX24-2)　このプロジェクトは、５００ｈａの耕作限界地または焼かれた森林地帯の立ち木に(stands)に実生を植えることを提案している。初期の苗木生存率は６５％である。このプロジェクトは、ロシアの森林、ロシアの人工林を炭素吸収源として管理する一例として役立とう。もう一つの例は、低減影響伐採搬出(Reduced-Impact Logging)プロジェクトで、ニューイングランド・パワー社が資金を提供したものである。(SARII,BOX24-2)　このプロジェクトは木材収穫中の残留樹木と土壌への被害を半減する木質くず、炭素の分解・放出を減らすことを目的としている。

政府の植林・農林業政策を成功させるには、明確で法的異議申立てを受けず、合意を得た土地保有権に基づく調整のとれた土地利用戦略の策定と、森林製品に対する持続的需要を確保するに十分に発達した市場が不可欠であろう。

７．３．３　代替管理

代替管理は、長期的に潜在軽減力が最も大きい。この管理は森林を再生可能な資源とみなし、炭素プール自体を増加するよりも、むしろ化石燃料に代替する－またはその使用を削減する ― 製品へのバイオマス炭素の移転に重点を置いたものである。明確にエネルギーを目的とする樹木の栽培は、ブラジル、フィリピン、エチオピア、スウェーデン、その他

の国々で試みられており、その成果はまちまちであるが、バイオマス・エネルギーの潜在力はきわめて大きい。(バイオマス・エネルギーの潜在供給力の推定値についてはセクション５．２．５を参照。ボックス５も参照)

ボックス５　農村部電化のためのバイオエネルギーの可能性

非付属書１諸国では、農村部（人口の７０％以上が生活）は大部分電化されていないが、こうした地域の電力需要は増加しそうである。電力負荷は低水準で分散しており１０－２００ｋWの範囲にある。インド南部での現地実証計画は、生産者ガス発電機を用いる分散型木質バイオマス・ベースの発電システムと、畜牛糞尿ベースのバイオガス・システムを通じて農村部の電力需要を満たす、技術上・運転上の実行可能性を示している。バイオエネルギー・システムは、劣化した土地の改良、適切な林業方式による生物多様性の促進、農村雇用の創出にもつながる可能性がある。したがって、低負荷、分散型の電力需要と地元の利益を考えると、バイオエネルギー・システムは増大する農村部の電力需要を満たす「ノー・リグレット」オプションとみなすことができる。

時の経過につれて、化石燃料の代わりに低エネルギー集約型木材製品を使用することは、開発途上国で森林伐採地やその他の劣化した土地で、またＯＥＣＤの付属書１国の過剰な耕作地の人工林に炭素を封鎖するよりも、炭素排出量を削減する上で効果がありそうである。たとえば、発電において人工林の木材で石炭を代替すれば、人工林に封鎖される炭素の最高４倍の炭素排出量を回避することができる(表17を参照)。(SARII,24.3.3)　バイオ燃料の発生とバイオ電力の発電は、商業化は容易ではなく、エネルギー価格決定とマーケティング上の障害はまだ克服されていないためこれよりはるかに複雑である。都市と村落のバイオマス・エネルギー・システムは、雇用機会の提供、劣化した土地の復旧、農村部への付随の利益の提供という面で利点がある。寒冷気候帯では、集中暖房システムをバイオマス・ベースのシステムに転換して熱と電力を供給することができる。

非付属書１諸国では、農村部での電力の使用は僅かである。サハラ砂漠以南のアフリカなど多くの国々では、村落の電化率は５％未満である。インドなどの国では、農村開拓地の８０％以上が電化されているが、農村家計のうち電気があるのは３分の１以下である。必要なのは、(i)小規模自家発電業者にバイオマス電力の発電・配電を認め、(ii)国内でまたは国外から技術を移転し、(iii)有利な電力料金を設定し、(iv)木材の栽培、収穫、輸送、加工に対する制限を廃止する（おそらく優良な農地のエネルギー森林への転換制限を除く)ー適切な政府政策である。(SARII,24.3.3)

脚注*********************************
{19}本セクションはＳＡＲII第２４章「温室効果ガス排出緩和の森林管理」（代表執筆者は、S.Brown、J.Sathaye、M.Cannell、P.Kauppi）に基づいている。
{20}草原、砂漠、ツンドラからのＧＨＧ削減の緩和技術、政策、措置はまだ初期段階にあり、これらの部門における緩和オプションは十分に評価する必要があり、本報告では取り上げていない。

表１４　隔離・保全可能な地球規模炭素量とその関連コスト（１９９５－２０５０）

（１） 緯度ゾーン	（２） 対策	（３） 隔離・保全炭素量（ＧｔＣ）[a]	（４） コスト （ＵＳ＄／ｔＣ）[b]	（５） コスト合計 （１０^{9}ＵＳ＄）[c]
高緯度	植林	2.4	8　(3-27)	17
中緯度	植林	11.8	6　(1-29)	60
	農作林	0.7	5	3
低緯度	植林	16.4	7　(3-26)	97
	農作林	6.3	5　(2-12)	27
	再生林	11.5 - 28.7	2　(1-2)	
	伐採遅延	10.8 - 20.8	2　(0.5-15)	44-97[d]
	合計	60 - 87	3.7-4.6 (1-29)	250-300

飼料：SAR II，表24-5，24-8，24-9

a.　地上部、地下部植生、土壌、腐葉土炭素を含む。

b. 立ち上げコスト、当初コスト（値引きなし）。文献での報告推定値の平均。大半の推定値には土地、ｲﾝﾌﾗｽﾄﾗｸﾁｬｰ、

保護壁、教育・訓練コストは含まれない。（　）内は、推定コストの巾を表す。

c.　４項のコストは植生炭素ﾄﾝ当たり。このため、コスト合計（コラム５）は３項の炭素量に４項の炭素ﾄﾝ当たり＄をかけた数字より低くなる。

d. 森林伐採遅延と森林再生奨励策の組み合わせ。

表15　森林伐採遅延と再生支援によるＧＨＧ排出緩和策の代表例

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
林業での慣習と目標 －伐採・焼き畑農業／牧畜業削減 －野外ﾓﾆﾀｰ、衛星ﾓﾆﾀｰ増加 －山火事削減 －境界線対策充実 －伐採技術改善	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －２国間多国間金融でﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ共同実施(植林と再生管理ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄにも適用） －持続可能な森林管理 **規制措置** －森林保護法施行（伐採禁止含む） －森林後退を促進する活動への補助金排除（畜牛、採鉱、農業など）	**気象便益** －炭素密度保持、300tC/ha **他の影響** －生物多様性、土壌保護、流域便益を保持	**費用効果性** －製品販売による金銭的便益がｺｽﾄを上回る可能性 **ﾏｸﾛ経済課題** －資本ｺｽﾄ低く、機会ｺｽﾄ高い －政府歳出の削減 －外国資本投下増大 －技術移転増加 －通常の森林管理より操業ｺｽﾄ高い **公平性問題** －土地所有権侵害の懸念 －部門としての雇用低下だが雇用新設維持 －実施ｱﾌﾟﾛｰﾁにより平等な便益の可能性	**行政・組織要素** －施行負担大 －転換ｺｽﾄ大 －適切な金融手段へのｱｸｾｽ不備 －ﾓﾆﾀﾘﾝｸﾞと実証の不確実性 －地方の公約と参加必要;保有権定義づけ;性別や公平性の問題への配慮;不足を良しとする組織ﾒｶﾆｽﾞﾑ開発 －ITTOなどの地球規模ｲﾆｼｱﾃｨﾌﾞは持続可能な森林管理ｱﾌﾟﾛｰﾁを強化する可能性 **政治要素** －強力な政治的支持必要 －関係団体からの強力な反対
燃料用木材の保護と代替 －ｽﾄｰﾌﾞ改良 －炭焼き釜	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －投資促進ｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ **規制措置** －認可/基準規定 RD&D －政府による研究開発、実証、普及	**気象便益** －炭素密度保持、300tC/haまで －1.27x109㎥の薪の持続不能伐採割合を削減する可能性	**費用効果性** －高効率ｽﾄｰﾌﾞはｺｽﾄ大 **公平性問題** －持続可能な地域雇用開発 －女性の苦役削減健康促進	**行政・組織要素** －商業的に実用可能 －再現可能性大 －文化的障壁克服の必要（ｽﾄｰﾌﾞの公式市場設立が必要な可能性） **政治要素** －政治的に受け入れ可能
再生された高効率の木材製品利用	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －産業界への税金優遇 **規制措置** －製品ﾗﾍﾞﾙ RD&D －消費者意識促進ｷｬﾝﾍﾟｰﾝ	**気象便益** －炭素密度保持、300tC/haまで **他の影響** －生物多様性、土壌保護、流域便益を保持 －ﾘｻｲｸﾙでは処理済み木製品の汚染を廃棄する必要	**費用効果性** －ﾘｻｲｸﾙｺｽﾄやより効率の高い利用は製品による **ﾏｸﾛ経済問題** －より生産性の高い木材利用による金銭的便益	**行政・組織要素** －再現性大 －一定の行政ｺｽﾄ **政治要素** －政治的に魅力ある

表16　植林と農業植林の適用を通じてのＧＨＧ排出緩和策の代表例

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
林業生産／農業用植林	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －政府所有地でのﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ促進 －地域社会や民有林へもｻｰﾋﾞｽを拡大 －民間の農林園への財政的などのｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞ	**気象便益** －植生で75 t/Cha（一次林伐採回避によりさらなる炭素保全） －農業植林は炭素密度が低い可能性 **他の影響** －土壌保全と流域の便益のためには適切な植生場所と品種の選択が必要	**ﾏｸﾛ経済課題** －資本ｺｽﾄ$5-8/tC －他のｺｽﾄは土地、土壌の質、ｲﾝﾌﾗｽﾄﾗｸﾁｬｰを含めた政府干渉の程度で異なる －木材や他の材木外の製品による便益 －雇用拡大 －木材の輸入や外貨の流出を低減	**行政・組織要素** －製品市場確保と拡大ｻｰﾋﾞｽのための機関が必要 **政治要素** －曖昧でない土地所有権が必要
森林保全[a]	**規制措置** －下記の点での森林管理を目的とする政府の直接活動 ・流域保護 ・土壌保全 ・炭素隔離	**気象便益** －300tC/haまでの高いﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ、炭素隔離は成長後は止まる **他の影響** －土壌保全、流域などの便益 －土壌保全と流域の便益のためには適切な植生場所と品種の選択が必要	**ﾏｸﾛ経済課題** －資本ｺｽﾄ$5-8/tC －土地価格では高い機会可能性 －過疎地での雇用拡大 －材木以外の林業製品生産	**政治要素** －政治的に正当化が困難で長期維持も困難

a.　森林保全のための政策やﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑは主には政府所有地に焦点を当てているが、それ以外の土地での植生へも拡大ｻｰﾋﾞｽ適用も含める。

表17　代替管理の適用を通じてのＧＨＧ排出緩和策の代表例

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
利用されていない土地や荒れ地でのﾊﾞｲｵ電力生産	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －置換した化石燃料ｴﾈﾙｷﾞｰのｺｽﾄに基づく適正ｴﾈﾙｷﾞｰ価格を設定 RD&D －ﾊﾞｲｵ発電やﾊﾞｲｵｶﾞｽを含めたﾊﾞｲｵ燃料の推進と商品化	**気象便益** －農林園での炭素隔離の４倍の量の炭素排出回避の可能性 －ﾊﾞｲｵ燃料/ﾊﾞｲｵ電力は一般に非GHG排出が低い **他の影響** －土壌保全や流域の便益の可能性	**費用効果性** －便益はｺｽﾄより大 **ﾏｸﾛ経済課題** －農林園の資本ｺｽﾄは$5-8/tC －ﾊﾞｲｵｴﾈﾙｷﾞｰ設備に追加資本ｺｽﾄ －土地価格では機会可能性小さい －材木や材木外の製品生産 **公平性問題** －過疎地で持続性のある雇用拡大とﾊﾞｲｵﾏｽの機会可能性	**行政・組織要素** －再現性では高いﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ －技術のR&Dと移転が必要な可能性 **政治要素** －ｴﾈﾙｷﾞｰ価格と市場障壁の問題解決が必要
持続性のない収穫木材や非木材製品（例-セメント、鉄鋼など）を持続性のある成熟木材で置換	**市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ** －税金上の優遇策 －林業製品が鉄鋼やｾﾒﾝﾄ、石炭などの代用品よりも技術的にも経済的にも競合性をもつような林業政策を導入 RD&D －意識向上	**気象便益** －代替製品や木材の生産／収穫で回避できた排出に相当する －ﾊﾞｲｵ燃料/ﾊﾞｲｵ電力は一般に非GHG排出が低い **他の影響** －土壌保全、流域などの便益の可能性	**費用効果性** － 便益はｺｽﾄより大 **ﾏｸﾛ経済課題** －燃料輸入削減の可能性 －用具再購入や再訓練で費用負担 －当該雇用消失 －木材や材木以外の林業製品生産 **公平性問題** －過疎地で持続性のある雇用拡大とﾊﾞｲｵﾏｽの機会可能性	**政治要素** －長期の製品市場が確保されていない

８．固体廃棄物と廃水処分{21}

８．１　はじめに

メタンは、固体廃棄物と廃水の有機成分の嫌気性分解の過程で排出される。各国で使用されている廃棄物管理方式、有機廃棄物のうち嫌気性分解するものの割合、当該廃棄物が最終的に分解する度合に関する情報不足により、排出量の推定値に大きな不確実性がある。

約２０～４０Ｍｔメタン（１１０～２３０ＭｔＣ）または人為的発生源からの世界のメタン排出量の約１０%が、埋立処分場と露天のゴミ捨て場から毎年排出されている。固体廃棄物からの世界のメタン排出量のうち付属書１国が約３分の２を占め､米国が約３３%(約１０Ｍｔ）を占めている。(SARII,22.4.4.1)

家庭用・工業用廃水処分からのメタン排出量は、年間３０～４０Ｍｔ（１７０～２３０ＭｔＣ）で、同じく人為的発生源からの世界の総排出量の約１０%と推定されている。主として食品加工・パルプ・紙工業からの工業用廃水が最大の割合を占め、家庭用・工業用廃水が年間2Ｍｔメタンを占めている。固体廃棄物排出量とは異なり、廃水排出量の大部分は非付属書１国で発生していると考えられている。そこでは、家庭用下水汚物と工業用廃水ストリームは管理されず、またはメタン抑制なしに嫌気性条件下で維持される場合が多い。(SARII,22.4.4.1)

８．２　メタン排出量抑制の技術的オプション

メタン排出量は、発生源での削減または固体廃棄物および廃水からのメタン回収を通じて削減することができる。

８．２．１　発生源での削減

発生源での削減の技術的オプションで最も重要なのが、最終的に廃棄物ストリームに現われる物質の使用を減らすことである。しかし、このセクションでは、発生後の固体廃棄物に重点を置く。(SARII,22.4.4.2に即したもの)　有機固体廃棄物の量は、紙製品のリサイクル、堆肥化、焼却によって削減することができる。紙製品が固体廃棄物に占める割合は附属書Ｉ国と所得水準の高い非付属書１国の都心部で相当量に上っている－前者ではたとえば米国で４０%、後者では通常　５－２０%｡技術的複雑さに差があるさまざまなリサイクル・プロセスは、この廃棄物を原製品とは見分けのつかない物質に変えることが場合が多い。堆肥化－メタンをほとんどまたはまったく発生しない湿性有機廃棄物の嫌気性処理法　－が特に適しているのは、この種の廃棄物が全体の大きな割合を占めている非付属書１諸国

であるが、付属書１諸国でも可能性がある。(SARII,22.4.4.2)　副次的利益として、その残留物は肥料として使用することができる。利用可能な土地の減少とエネルギー回収の可能性が多くの国で廃棄物焼却の使用を拡大している。日本では、固体廃棄物の７０%が焼却されている。しかし、排煙大気汚染物質排出量と灰処分が依然として問題であり、非付属書１諸国では、水分とその組成などの特性が焼却をより困難かつコストのかかるものにしている。

こうした発生源での削減オプションの技術的複雑さは大きな差があるが、このことはその有効性には大して影響しない。人件費が設備費に比べて安価な非付属書１諸国では、労働集約型のリサイクルと堆肥化が一般的である。付属書１諸国は、より高度の運用技能を要するもっと複雑な労働節約型機械を使用するのが普通である。

コストは、システムの種類、施設の規模、局所的要因に依存する。固体廃棄物堆肥化施設の資本コストは３００トン／日（ＴＰＤ）級プラントの１５０万ドルから、もっと複雑で下水スラッジも堆肥化する５５０ＴＰＤ級プラントの４，５００万ドルまでに及んでいる。付随する運転コストは１０－９０ドル／トンの範囲にあるが、一般に、平均は２０－４０ドルである。構内廃棄物施設は比較的小型であまり複雑でないのが普通で、資本コストは２，０００－６万トン／年の廃棄物を処理する米国のプラントで7万５，０００－２００万ドルの範囲にある。運転コストは、約２０ドル／トンである。焼却の資本コストはきわめて大きく、１０－８０MW級施設で６，０００万－３億ドル、すなわちＴＰＤ容量当たり約１２万５，０００ドルである。(SARII,22.4.4.2)

８．２．２　固体廃棄物処分からのメタン回収

発生源での削減は、今後の固体廃棄物発生に適用することができる。ゴミ捨て場と埋立処分場の有機物質は１０－３０年以上にわたりメタン（埋立処分場ガスということが多い）を排出しつづけるため、メタンを既存の埋立処分場と今後の埋立処分場から回収することもできる。しばしば、2分の１以上のメタンを回収し、熱発生または発電に使用することができる－これは多くの国ですでに使用されている方式である。(SARII,22.4.4.2)　埋立処分場ガスは、純化して天然ガス・パイプラインまたは配送システムに送り込むことができる。米国には、この種のプロジェクトが何件かある。ブラジルのミナスジェライス州では、純化した埋立処分場ガスをゴミ収集トラックとタクシーの燃料として使用している。

固体廃棄物処分施設からのメタン回収に要するコストは、技術とサイト特性に大きく依存する。収集・フレア処理の資本コストは、廃棄物１００万トン規模の埋立処分場（約5万－１０万の人口に供用する）で約６３万ドルで、１，０００万トン規模の埋立処分場では、３６０万ドルに跳ね上る。年間運転コストは１０万ドル弱から２０万ドル以上に及ぶことがある。エネルギー回収の資本コスト（ガス処理を含む）は正味１kW当たり１，０００－１，３００ドルの範囲になる可能性がある。直接利用はあまりコストがかからないのが普通で、パイプライン建設費が主たるコストである。全体として、完結したシステム（ガ

ス収集とエネルギー回収）の標準的発電コストは、４－７セント／ｋＷｈの範囲にある。上記のコストは、米国の設備費と人件費に基づいているが、他の国ではこれよりばらつきが大きいかも知れない。また、多くの国で一部の埋立処分場と他の固体廃棄物処分サイトがすでにメタンを回収し、放出するかフレア処理している（安全上の理由による場合が多い）。 この種のサイトでは、発電コストは上記の水準を下回ることになる。(SARII,22.4.4.2 ; SARIII,9.4.1)

８．２．３　廃水からのメタン回収および／または削減

メタン排出量は、廃水とスラッジが嫌気性条件下で貯蔵、処理される場合にはほとんど除去することができる。廃水処理中とスラッジ処分中のメタン発生を防止するオプションには、一次・二次の嫌気性処理と地上処理が含まれる。代案として、廃水は嫌気性条件下で処理し、発生したメタンを捕獲して廃水タンクやスラッジ消化タンクを加熱するエネルギー源として使用することができる。追加のメタンが利用可能な場合は、燃料としてまたは発電に使用することができる。最後の手段として、そのガスを排出して燃やすことができる。これにより、メタンはＣＯ２に転換され、地球温暖化の可能性ははるかに小さくなる。

廃水処理コストは利用される技術的アプローチとサイト独自の条件に大きく依存する。嫌気性処理の資本コストは１日当たり廃水流量を５０万－１，０００万ガロン（２，０００－４万m^3)と想定すると、建設費が１５万－３００万ドルの範囲になる可能性がある。年間運転・保守費はこの程度の規模の場合で２万－５０万ドルの範囲と推定される。嫌気性二次処理のコストは、エネルギー要件と機器要件のためにかなり大きくなり、当該施設に流入する廃水の日量に大きく依存する。コストは選ばれた技術と処理量要件に応じて最大１，０００万ドルに及ぶことがあり、最高処理容量は日量約１億ガロン(０．４×１０^{6}m^3)である。最後に、嫌気性廃水消化装置とフレア処理または利用のコストは、日量１０万－１億ガロン（４００－０．４×１０^{6}m^3）の廃水流量を想定すると、建設費が１０万－３００万ドル、運転・保守費が１万－１０万ドルの範囲になる可能性がある。(SARII,22.4.4.2)

有機成分の大きい液体排出物（下水汚物、食品加工廃棄物など）の高率嫌気性処理法は、未抑制メタン排出量の削減に役立ち、気候が比較的温暖なほとんどの開発途上国に特に適している。たとえばブラジルとインドは、こうした技術のインフラを広範囲にわたって整備することに成功している。これは、好気性処理法より水分保持時間が短く、したがってかなり小型になり、建設費も安くなる。もっと重要なのは、空気混和(aeration)を伴わず、電力をほとんど消費しないことである。

処理容量が４，０００－１万m^3 級の逆流好気性スラッジ・ブランケット炉（日量２０－３０ｋｇ／m^3)の化学的酸素要求量を処理可能）の場合、資本コストは１００万－３５０万ドルの範囲と推定されており、年間運転コストは１００万－２７０万ドルの範囲である。こうしたコストで、メタンの総生産コストは０．４５－１．０５ドル／ＧＪに低下する－

大きい方は欧州の場合、小さい方はブラジルの場合である。こうした推定値を用いると、世界中ほぼどこでもメタンは天然ガスより生産コストが安いため、コストはすべて回収されることになる。(SARII,22.4.4.2)

８．３　メタン削減・回収措置

多くの国では、固体廃棄物処分サイトと廃水処理施設からのメタン排出量を削減する今後の行動は、環境と公衆衛生上の理由で行われることになりそうである。メタン削減は、こうした行動の副次的利益とみなされる。しかしこうした利益にもかかわらず、特に非付属書１諸国では、いくつかの障害が上述したメタン回収と発生源での削減が潜在力のごく僅かしか発揮できないようにしている。こうした障害には以下が含まれる。(SARII,22.5.3)

- 代替的技術的オプションの相対的なコストと有効性についての認識が不足している。
- 最近開発された嫌気性プロセスは、伝統的な好気性プロセスより経済的であるが、利用可能な経験が乏しい。
- 比較的小規模なごみ捨て場と埋立処分場からメタンを回収するのは経済的でない。
- 天然ガスが幅広く使用されておらず、機器が入手しにくい多くの国と地域［メキシコ・シティ、ニューデリー、ポルトープランス（ハイチ)、 サハラ砂漠以南のアフリカの多く］は、メタン利用のインフラと経験が限られている。
- 既存の廃棄物処分「システム」は、露天のゴミ捨て場または無処理の排出ストリームである可能性があり、したがって資本コストまたは運転コストがかからない。上述した障害が、提案されたサイトの不衛生な条件と相まって、メタンの回収と利用への投資資本の誘致を困難にしている。
- エネルギー生産、肥料供給、廃棄物管理に一般に責任を負うグループが異なり、またメタンの回収と利用は廃棄物処分プロセスに新しい参加者を取りこんで、地域社会内の現在の経済的・政治的な力関係のバランスを乱すおそれがある（たとえば合意が成立しないため、地球環境基金が資金を提供したパキスタンのラホールにおける埋立処分場ガス回収実証プロジェクトの発足が遅れているなど)。 この問題は、付属書１諸国と非付属書１諸国の双方に当てはまる。

メタン抑制プロジェクトの実施を成功させるためには、適切な措置を通じてこうした障害に取り組む必要がある。一般に、こうした措置は技術的オプションに特有のものではない。以下に、現在の廃棄物管理インフラがほとんどまたは全くない国で講じる必要があると思われる措置を、講じるべき順に掲げる（先進国または先進地域は後の段階でスタートすることになる)。

- 制度作りと技術援助政策
- 自主協定
- 規制措置
- 市場ベースのプログラム

８．３．１　制度作りと技術援助政策

適切な廃棄物管理インフラ（法的枠組みを含む）が前もって存在していることが、メタンを抑制するあらゆる措置の前提条件である。このようなインフラが不十分かまたは欠けているときは、各国内（進んだ地域から遅れた地域へ）または多国間もしくは二国間援助を通じて国際的にこれを強化する必要がある。たとえば、国際開発銀行は開発援助プログラムの一環として廃棄物管理インフラの確立を優先している。制度作り向けサポートには、資金援助と技術援助の双方を含めることができる。技術援助と資金供与は、米国の国別調査プログラム、共同実施イニシアチブ{22}、地球環境基金から得ることができる。

８．３．２　自主協定

自主協定も、廃棄物管理プログラムの障害を克服するために使用することができる。米国では、埋立処分場アウトリーチ・プログラムが州機関（プロジェクトを承認する）と公益事業者（埋立処分場エネルギーを購入する場合が多い）に埋立処分場プロジェクトの自主的促進とそれへの自主的参加を奨励している。この種のプログラムは、コストがほとんどかからず、主要な障害に目標を定め、それらを克服するための効果的な情報と援助を柔軟に提供することができる。例えば米国のプログラムは、候補プロジェクト・サイトの説明、経済的・技術的可能性を評価するソフトウェアを含めてさまざまな手段を提供している。

８．３．３　規制措置

リサイクルを通じて固体廃棄物の量を削減する主要な規制措置は、発生源での分離（紙、ガラス、金属、プラスチックなど）を必要とする。規制には、再生紙の使用または再生原料含有率に関する基準の設定を含めることができる。たとえば、米国では、多くの州がリサイクル目標を定めており、法定プログラムに含めている。既存のゴミ捨て場と埋立処分場については、規制措置はメタンの強制回収および燃焼から既存の規制の明確化のサポートを確実にすることを目指した行動までに及ぶことがある。米国は最大規模の埋立処分場におけるメタンの回収・燃焼を義務づける法定規則を成立させた。これにより年間約６０％（２０００年に約6Ｍｔメタン）のメタンが削減されることになる。(SARII,22.4.4.2)

８．３．４　市場ベースのプログラム

適切なインフラとともに技術的認識が存在する場合には、市場ベースのプログラムがリスクまたは多額の先行投資コストを伴うという見方の緩和に役立つことがある。国内行動には、税額控除または低コスト融資を含めることができる。例えば米国では、埋立処分場ガスエネルギー回収プロジェクトは発電量１kWh当たり約１セントに相当する「非在来型ガス」税額控除を受ける資格がある。国際的資金援助も、地球環境基金またはその他類似の基金などのメカニズムを通じて提供することができる。地球環境基金は、現在パキスタンで埋立処分場ガスをエネルギーに転換するプロジェクトに資金を提供している。これは、

同地域を通じてこのメタン削減技術の可能性を実証するはずである。

８．４　代替措置・政策の比較

メタン排出量削減の技術的オプションのほとんどは、互いに独立したものであり、相互に排除するものではない。一部の固体廃棄物とその他の構成要素のリサイクルを同時に行うことができる。残りは、土地処分コストが小さければ埋立処分場に投棄するか、または焼却することができる。埋立処分場からのメタンは、可能なときは電力量として使用することができ、回収コストが代替エネルギー源に太刀打ちできないときはフレア処理することができる。全体として、メタン排出量の３０～５０%削減が経済的に実行可能である。(SARII,22.4.4.2；SARIII,9.4.1) ＩＳ９２シナリオの排出量推定値の範囲を使用すると、これは炭素換算削減量にして２０１０年に５５－１４０Ｍｔ、２０２０年に８５－１７０Ｍｔ、２０５０年に１１０－２３０Ｍｔになることを意味する。

廃水メタン除去オプションは、伝統的な好気性処理法と、最近改善された嫌気性処理法のいずれかを選択することになる。後者は、コスト上（資本コストと運転コストの双方で）優位にあるようにみえる。

メタン削減代替案に伴う環境影響は、一般にプラスである。実はメタン削減は水質汚染と大気汚染を削減し、健康を改善するプロセスの副次的利益になる可能性がある。こうした一次の経済的利益の定量化が困難であるため、メタン削減のコスト効果は推定しにくくなる。固体廃棄物については、リサイクルのコストが小さく、堆肥化が中程度（地上処分費による）、 焼却が比較的大きい（多額の資本コストと運転コストによる）と予想されている。個別適用の実行可能性は、現地の状況に左右される。埋立処分場からのメタン回収コストは、低から中程度と予想されている。廃水の好気性処理法は中程度から高と予想されているのに対し、嫌気性処理コストは低から中程度となろう。

マクロ経済的影響も一般に有利である。廃棄物ストリームは、リサイクル製品の生産、堆肥化またはエネルギー回収の原材料源で、比較的低所得国の発展に大きく寄与しうる健康・大気汚染上の利益を提供しながら、経済的生産と雇用創出に寄与する。一部の技術についての知識の獲得は、その技術のない非付属書１諸国にとって外国為替負担を意味することがある。このため、技術援助が低所得の非付属書１諸国にとっての発展見通しと環境見通しからみて重要な措置の一つになる。

公平性の問題も、一般に各国内・各国間だけでなく世代間で有利である。貧困層の方が、不適切な廃棄物管理から被る影響が大きく、雇用創出から受ける利益が大きくなる見込みがある。将来世代は、現在の廃棄物ストリームが資源の一つとみなされる限り、一次原材料消費の削減により利益を受けることになる。

技術的オプションの場合と同じく、上記の措置は互いに排除するものではない。そのうちどれを選ぶかは、地域または国内の所与の事情に依存する。制度作りと技術援助が非付属書１諸国にとって出発点になり得るのに対し、付属書１諸国にとっては自主協定と規制イニシアチブの方が適切かも知れない。廃棄物管理インフラが十分に整備されている国では、影響を受ける業界が規制措置に反対することが予想されるが、米国の経験が示すところでは、こうした反対は克服することができる。規制措置は、ほとんどの国々で首尾よく実施するのが特に困難かも知れないが、市場ベースのプログラムは、廃棄物管理に与えられた国の優先順位と利用可能な国際的資金供与の双方に依存することになる。

脚注********************************

{21}本セクションはＳＡＲII第２２章「人間生活での緩和オプション」（代表執筆者は、M.Levine、H.Akbari、J.Busch、G.Dutt、K.Hogan、P.Komer、S.Meyers、H.Tsuchiya、G.Henderson、L.Price、K.Smith、Lang Siwei）、第２３章「温室効果ガス排出緩和の農業オプション」（代表執筆者は、V.Cole、K.Minami、A.Mosier、N.Rosenberg、D.Sauerbeck、J.Dunmanski、J.Duxbury、J.Freney、R.Gupta、O.Heinemeyer、T.Kolchugina、J.Lee、K.Paustian、D.Sampson、H.Tiessen、M.van Noordwijk、Q.Zhao）に基づいている。

{22}ＳＡＲIII第１１章では、「共同実施活動」を含めるため「共同実施」という用語を用いており、その語法がここでも引き続き使われている。

表18　　固形廃棄物処理と排水処理設備からのＧＨＧ排出緩和策の代表例

技術オプション	対策	気象その他の環境影響	経済的・社会的影響	行政上、組織上、政治上の配慮
排出源削減 ーﾘｻｲｸﾙ ーたい肥化 ー焼却 **ﾒﾀﾝ回収** ー固形廃棄物処理施設 ー排水処理工場	**組織設立と技術援助** －廃棄物処理と排水処理を管理する、国や地方行政単位の組織強化に焦点	**気象便益** －技術ｵﾌﾟｼｮﾝと機会に依り相当量のCH_4削減（70%以上)が可能 －CH_4回収ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄと焼却では化石燃料置換によるCO_2削減が関係 **他の影響** －VOC排出削減を含む地域的大気の質改善 －臭気削減 －疾病減少含む公衆衛生上の便益 －安全性向上	**費用効果性** －対策ｺｽﾄ低い **ﾏｸﾛ経済課題** －広範囲な便益 **公平性問題** －現在や未来世代での生活の質を大きく改善	**行政・組織要素** －成果の測定は困難 －力のﾊﾞﾗﾝｽを変える可能性 －広い再現性 **政治要素** －特定の組織の抵抗 －規制よりは支持が多い
	自主協定 －技術ｵﾌﾟｼｮﾝ実施を勧めるための産業界、政府、設備運転要員との協力ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ	**気象便益** －規制措置や金融ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑと比べると低い可能性、自主的には便益のある削減しか実行されないため **他の影響** －上記の地域の大気の質向上、公衆衛生上の便益	**費用効果性** －規制措置よりｺｽﾄが低い **ﾏｸﾛ経済課題** －経済的に正当性のあるﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄに対する障壁削除 **公平性問題** －上記のとおり	**行政・組織要素** －削減の確実性に限界 －組織としてのｻﾎﾟｰﾄ必要 －組織枠組みがあれば再現性は広範囲 **政治要素** －規制措置よりｻﾎﾟｰﾄが多い
	規制措置 －廃棄物処理廃水処理の管理またはCH$回収に関する基準や規定の設定	**気象便益** －その強制力のある特性から（行動ﾚﾍﾞﾙによるが）かなり確実な便益が可能 **他の影響** －上記の地域の大気の質向上、公衆衛生上の便益	**費用効果性** －規制の厳格さによってはｺｽﾄ大 **ﾏｸﾛ経済課題** －社会ｺｽﾄ大 **公平性問題** －上記のとおり、排出削減大きいと社会ｺｽﾄ大	**行政・組織要素** －削減の確実性 －組織枠組み必要 －施行のｲﾝﾌﾗｽﾄﾗｸﾁｬｰがあり政治的支持があれば再現可能 **政治要素** －産業界の反対
	市場本位ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ －望ましい廃棄物管理慣習や直接的なCH_4回収活動に対する市場ｲﾝｮﾝﾃｨﾌﾞを供与	**気象便益** －援助のﾚﾍﾞﾙによってはかなりの便益が可能 **他の影響** －上記の地域の大気の質向上、公衆衛生上の便益	**費用効果性** －ｲﾝｾﾝﾃｨﾌﾞﾚﾍﾞﾙによりｺｽﾄ大 **ﾏｸﾛ経済課題** －排出削減の社会価値反映 **公平性問題** －上記のとおり	**行政・組織要素** －削減の確実性小 －組織的支持必要 －地方の経済状況にあわせる必要 **政治要素** －ｺｽﾄのための反対がおこりうる

９．　経済的手法{23}

９．１　はじめに

本章では、複数部門からのＧＨＧ排出を管理する対策について述べる。議論される対策は、補助金、税金、取引可能割当と認可、そして共同実施を含む。{24}

気候変動政策は現行の経済の枠組みの中で考えられなければならない。現実の世界では、気候変動は多くの外象のただの一つに過ぎず、競争機能は完全でなく、情報や市場も完成したとは言えず、ひずみのある課税制度や移転が広まっている。こういう考察は重要である、というのは、気候変動政策の分析の多くが、気候変動の外象のみをひずみ要素と仮定しているからである。こういった分析の結論では、間違った方向へ導きかねないし、不正確となりかねない。(SARIII,11.3)

本章では、まず一国が独自に国内のＧＨＧ排出を削減する行動を起こしたり、他の国と手を合わせて国際条約を作り削減のための行動をしたりするのに関連した、国内レベルの経済的手法を議論する。これらの手法には、補助金、税金、取引可能認可が含まれる。次に、国際レベルの経済的手法－国際課税条約、取引可能排出割当、そして共同実施－が議論される。{25}

９．２　国内レベル経済手法

９．２．１　補助金と補助金排除

ひとつの活動に補助金を出すのには幾つもの方法がある。一国の政府は、企業に資金を提供したり、課税上の優遇措置をとったり、市場価格以下で商品を供給したり、特定の活動を助けるために競合製品に制限を加えたりすることができる。多くの国では現在、ＧＨＧを排出する活動の一部に助成がなされている。（例：化石燃料価格を低減する補助金）があげられる。化石燃料の使用を奨励するような恒久的補助金を排除することは、ＧＨＧ排出を削減し、長期的には実質所得を引き上げる。

一方、ＧＨＧ排出を制限することを目的とした特定の活動に対し一時的な補助金を提供することも可能である。そのような補助金は、排出緩和技術の適用を促したり、吸収源を追加したり、改良ＧＨＧ緩和技術の開発を刺激する方向へ向けることが可能である。

補助金を排除することは、関係するグループの所得に変化をもたらす。所得に悪影響を受けてしまうグループに対し保障を考える必要があるかもしれない。財政的な補助金の場合、

その実際の影響は、（補助金による）収入をいかに再配分するかに依る。補助金の財源としてひずみのある税金を引き上げたのでは、このオプションのコストを増大させてしまう。(SARIII,11.3.1.1)

９．２．２　国内排出税{26}(SARIII,11.5.1)

排出税システムでは、ＧＨＧ排出を行う排出源は、その排出単位相当の税金を支払わなければならない{27}。定められた排出緩和のコストを確実に最小限にするため、全ての排出に対し、気候変動への寄与度単位当たり同一の税率で課税しなければならない。特定の排出目標を達成するのに必要な税率は、何年もの試行錯誤によって見いださなければならない。

化石燃料の炭素含有度に対する課税－炭素税－は、一般に、化石燃料使用に対するＣＯ２排出税の代わりに提案されるており、それは、この方法がより単純に施行でき、かつその影響が同等だからである。ＣＯ２排出税では、化石燃料を使うあらゆる排出源に対し、その排出を監視し、相当する税金を支払うことが求められる。炭素税は同じ排出を対象としつつも、関係するのが燃料生産者か流通業者だけであり、その大半は既に他のエネルギー関連税の徴収に関わっている。実際には、エネルギー製品への既存の課税が、ＣＯ２排出に比例して価格を変える炭素税の立案を複雑化している。

他の要素たとえば燃料のエネルギー含有量やエネルギー製品の価額（エネルギー従価税）に基づく税金と比べると、炭素税は、エネルギー関連のＣＯ２排出を減らす上で、より効率的な手法でもある。米国での想定モデルでは、同程度の排出削減を得るのに、エネルギー税は炭素税よりも２０－４０％も高いコストがかかり、従価税では２－３倍もコストが多くかかることが示されている。これは、エネルギー税がＣＯ２排出に寄与していようとしまいと、全ての形のエネルギーの価格を上げてしまうのに対し、炭素税は比例費を変えるだけであり、燃料転換へのインセンティブを提供するからである。

気候変動に対応する活動には全てのＧＨＧｓ（その補熱ポテンシャルや大気中での寿命も考慮して）と炭素吸収を含めるべきだということで、研究者の意見は一致している。したがって、化石燃料に対する炭素税（または化石燃料ＣＯ２排出税）は、ＣＯ２の非エネルギー排出源への排出税、他のＧＨＧｓへの排出税、炭素隔離への税金還付や補助金などで補完することができる。こういった多様な排出源での排出（隔離）を監視する上での行政上の課題と挑戦は、ある特定のまたは全ての状況にわたって、課税（還付・補助金）制度の利用を非実際的なものとしかねない。

９．２．３　取引可能認可{28}(SARIII,11.3.2）

国内のエネルギー関連ＣＯ２排出を抑える決意をした国は､エネルギー関連のＣＯ２排出､ＣＯ２の非エネルギー源、他のＧＨＧｓ排出源、炭素隔離に対し、取引可能認可を利用す

るという政策を導入することが可能である。エネルギー関連ＣＯ２排出は、消費した化石燃料の炭素含有量に対する取引可能な排出認可制度で管理することが可能である。そういった制度では、規制を受ける排出源に、化石燃料の炭素含有量に応じた認可を与えられる（あるいは購入することが要求される)。取引可能認可はまた実際のエネルギー関連ＣＯ２排出に対しても適用可能である{29}。認可制度参加者は過剰な認可を販売し、規制要求達成のため認可を購入する自由をもつ。認可システムが遂行されたなら、その効果は炭素税に匹敵する。

非エネルギーＣＯ２排出、他のＧＨＧｓ排出、炭素隔離を規制するため、取引可能認可制度を利用することも、原則として可能である。炭素隔離で得られた認可は、排出のための認可が必要な排出源へ、販売することができる。排出（隔離）を監視する上での困難は、特定のまたは全ての状況において、取引可能認可制度の利用を、非実際的なものとしかねない。参加者の数、全排出量に対する規制対象の割合、産業構造、施行などへの配慮は、取引制度設定上での選択に影響を及ぼす。

どのような設定であろうと、排出取引制度の機能に悪影響をおよぼす可能性のある幾つかの要素があり、それには少数の参加者が認可取引市場を支配したり、少数の会社が排出市場、取引価格、非利益要素極大化行動、既存の規制環境、必要とされる監視および施行の程度を支配する可能性が含まれる。これらの要素の幾つかは、また他の政策や対策の機能にも影響する。

参加排出源への認可配分方法として、一国の政府は二つの主要方式のどちらかを選択しうる。排出源に対し、過去のある期間における排出実績といった、合意された分配規則に基づいて無料で認可が分配されるか、政府が認可を競売にかけるかであるが、後者の方式はまだ採用されたことはない。これら両方の方式の組み合わせも実行可能である。

これらの手法は、主に次の二点で異なっている。第一に、無料で認可を分配することは、規制排出源へ富が移行されるが、認可を競売することは、その富を政府に還元するという点である。第二には、認可の無料分配は既存の排出源の富を増やす可能性があり、したがって新規企業の参入の度合いが抑えられ技術革新を沈滞化させるが、そのような影響可能性を削減するようなメカニズムを設定することも可能である。

認可を後日の利用のために留保することを認めることは、取引可能認可制度の効率の面でも、政治的受け入れの面でも重要である。留保オプションがなければ、認可義務のある排出源は、より大きな期末認可価格の不確実性に直面することになる。留保制度はまた排出の上限を下げる方向での調整を容易にする。

税金も取引可能認可も、全ての関係排出源での排出緩和限界コストを同等にする傾向がある。相違点は、税金が政府により決められるもので、その排出量のレベルは関係排出源の対応如何で決まるのに対し、取引可能認可制度は政府が排出の全体量を決定し、市場が取

引価格を決めることである。

９．２．４　収入の還元と税金還付(SARIII,11.3.2）

認可競売は分配の上では炭素税と同等の影響があり、競売収入や税収がそれぞれ購買者や納税者に還元されないなら、同等の排出レベルとなる。逆に、無償配分認可が炭素税と同等の配分上の影響となるのは、税収を認可配分に利用したのと同じ規則で再配分した時である。ＧＨＧを制限する活動で影響を受けるのは、規制排出源以外でも可能性があり、それを補償する必要があるかも知れない。炭素税や認可販売からの収入をこの目的に使うことも可能である。

炭素税や同等の取引可能認可制度が経済におよぼす影響は、一部には、政府の実質収入があるならそれをどうするかにかかってくるだろう。そういった収入を、既存のひずみ課税削減に使うことも可能で、これにより排出削減のコストが大幅に下げられるという点では、広範囲な認識の一致がある。研究者によっては、収入をよりひずみの大きい既存の税金と置き換えたり、削減することに利用すれば、国の所得を増大させる可能性があるとするものもいる。しかし、他の研究者の中には、それは炭素税（または対応する取引可能認可制度）の導入論というよりも、課税制度の総合的改善論であると論じるものもいる。

９．３　国際レベルの経済的手法

地球規模の排出量目標を最低コストで達成するには国際協力が必要である。国際課税、国内税との調和課税、取引可能割当と共同実施といった経済手法は、地球規模目標達成を助けるもので、国際協力を必要としーまたその便益を享受する。

９．３．１　国際課税と調和国内税(SARIII,11.5.3）

ＧＨＧ排出税は、国際レベルでは、次の二つのいずれかの方法で実施可能である。一つは各国が同意して、加盟国にＧＨＧ排出税を課税する国際機関を設立する方法であり、もう一つは、各国が同等のＧＨＧ排出税を国内的に導入することで合意する方法である。国際ＧＨＧ排出税徴収機関を設立する協定には、税率と税収の分配方法についても規定をする必要がある{30}。

調和国内税制度では、各国が統一税率を課すことが求められる。各国における保有資源、消費パターン、気候変動の影響他の要素に差があることから、統一税率は国内の将来見通しからすると必ずしも最適なものと言えない可能性があり、したがって広範な参加を確保するには、何らかの補填が求められる可能性は高い。調和国内税制度の下では、税収の再還付に包括支払制度が導入可能だが、国際課税制度では、各国に対する国際税収入還付の割合を規定する協定を結ぶことができる。原則的には、どちらの場合も同一の国際税収配

分をもたらすよう国際移転についての交渉をすることが可能である。国際機関による課せられるＧＨＧ排出税は、国家の主権に抵触しうるため、交渉は難航するだろう。

費用効果という意味では全ての国への統一税率が求められるが、各参加国で既に導入されているエネルギー税の仕組みが異なっていることを考えると、これはかなり複雑なものになる。

９．３．２　取引可能割当{31}(SARIII,11.5.5）

各国は－任意参加または法的拘束力のある目標／割当という形で－特定期日までに達成されるべきＧＨＧ排出の国内限度につき交渉することができる。その交渉は、単一のガス、グループ化されたガス、また総合的ＣＯ２相当量について行うことができる。より総合的な手法の方が、柔軟性も大きく、費用節減も大きくできる。

各国の排出制限限界コストの違いを考えると、排出割当の国際的な取引を認めることは、当初の分配のいかんに関わらず国レベルでの排出限度を守る費用を削減できるだろう。各国は排出自体を削減するか、他国から割当を購入して、双方の合計が国レベルの排出限度の枠内に収まるようにするものと期待される。

分配上の問題に取り組み、各国を条約加入へ引き込むために、国レベルでの割当分配を利用できる。各国への排出割当の分配に関する提案のほとんどは、先進国に対しては比較的高い国内排出削減を課し、開発途上国には排出の伸びを鈍化することを考えている。したがって国際的交渉では、付属書Ｉ諸国中の市場経済移行諸国や非付属書Ｉ諸国に害をおよぼすことなく、付属書Ｉ諸国間では負担が平等に分配されることを求めている。

国際的取引可能制度は、割当が取引できる一つまたは複数の市場の存在を前提としている。排出を制限する上で取引体系が効果的であるためには、非認可排出の責任者を探し当て、罰することのできる蓋然性がある程度なければならないことは明らかである。しかしこの事は、取引可能割当制度を、他のいかなる排出削減国際条約とも、区別するわけではない。

国際的な取引可能割当制度の下では、参加国は（排出目標）達成のために望まれるならどんな国内政策でも利用可能である。例えば各国は、取引可能認可、国内税、あるいは規制を利用できる。国内的取引可能認可制度が存在するところでは、政府は認可保持者が国際市場で直接取引するのを許可することも可能である。国内炭素税が採用されるなら、当該期間の（未定）割当価格が、次の期間の効果ある税率になるだろう。

各国での取引可能認可制度の利用については、ある程度経験があるが、国際的取引可能割当制度は、いままでのところ、小規模で導入されてきたに過ぎない。（例えば国際ＣＦＣ生産割当取引や欧州連合内ＣＦＣ消費割当取引）

国際課税条約の下では、税率は分かるが排出に対する影響は不確定であり、国際的移転支払では、条約での規定次第で明確なものも、不明のものもある。炭素漏れの影響を除くと、取引可能割当制度では、排出への効果は分かるが、割当取引での割当価格と分配効果が不確定であり、このため望ましくない価格変動に対する防護策を講じることが必要かもしれない{32}。これは、取引可能割当制度で判明している排出への影響による便益が、分配のある程度の不確定さという対価で獲得されなければならないことを意味する。

９．３．３　共同実施(SARIII,11.5.5)

ＦＣＣＣ第４．２（ａ）条に規定される共同実施は、条約の目標を達成するための各国間協力・努力を含んでいる。ある国（またはその国のある企業）が、別の国の排出削減活動に資金を提供し、それがなかった場合の削減に対し追加分となる削減を生むことである。ベルリン会議（ＣＯＰ１、１９９５年3月－４月）以来、数カ国が共同実施活動のパイロット計画を現在推進中である。

共同実施提案の経済的利点・欠点の可能性については、広く議論されてきた。基本的には、共同実施には三つの役割可能性がある。それは、（i)先進国が、他の国の地域的開発需要を満たしつつ、そのＧＨＧ排出削減計画に資金を提供する上で費用効果のあるオプションとして、(ii)排出制限で明確な公約をした締結国の間で、ＧＨＧの国際的な取引可能割当制度を設立する方向へ向けての第一歩として、そして（iii)既存の国際的ＧＨＧ管理システムの中で、新規の排出源または吸収源を導入するのが費用効果があるかを探る手段、としてである。

共同実施を動かす潜在的な力は、取引によって購入側・販売側双方ともが便益を受けられることである。しかし、特に上記（i)項の場合、共同実施をかなり費用効果のあるＧＨＧ排出削減を達成する手段として利用するには、モニタリングや転換コストの高さが問題となってこよう。加えて、現行の国際条約に依ると、共同実施プロジェクトへの出資者は、これらのプロジェクトで得られた排出削減をその国の（排出削減）コミットメントと相殺することができない。

９．３．４　ただ乗りと排出の規制漏れを削減する政策

一国によるあるいは幾つかの国々による一元的な政策が、地球規模のＧＨＧ排出を緩和する上で効果があると立証できるだろうか？その答えは、協力しあう国々が採用した政策に対し、他の国々がどう反応するかにかかっている。一方で、これらの反応には、「排出漏れ」と「ただ乗り」という二つの現象が反映されてくる。ただ乗りとは、地球規模の緩和策で便益を受ける国が、受益コストに見合った寄与をしないところから生じる。排出漏れは、協力諸国による緩和策が、他の国々での排出増加をもたらす場合である。

９．３．４．１　ただ乗り削減政策

国際的な温室効果管理策への参加が任意のものである限り、ただ乗りをしようというインセンティブを各国に与えることになろう。既存の実験モデルのいずれも、ただ乗りの潜在的可能性の度合いを推測する事に使われてはいないが、全面的協力から得られる部分については一定の識見が探求されてきた。

ＧＨＧ管理を行っている諸国のグループとしての安定性は、脱退する国を罰したり、（新規）参加国に報償する点での協力諸国の能力に依存する。効果をあげるためには、そのような懲罰や報償が十分でかつ確実でなければならない。そのような懲罰の一例としては、一旦開始可能な数の国から参加の同意が得られたなら、非協力国に対する炭素ベースの燃料や製品の取引禁止という脅威を打ち出すことが上げられる。(SARIII,11.6.4.1)

９．３．４．２　排出漏れ削減政策

排出漏れは幾つもの影響の実質的な結果であって、互いに拮抗している要素が含まれている。第一に、一国あるいは一連の協力諸国による炭素緩和策の実施が、炭素集約型製品の生産を他の国々へ移転させ、これにより、それらの国々の排出を増やしてしまう可能性がある。第二に、緩和活動が炭素集約型燃料に対する世界的需要を低下させて、その燃料の世界市場価格が下がり、これによってこれら燃料の非参加国での利用（とそれによる排出）が増大する。第三に、緩和活動が、協力諸国の所得に影響を及ぼして他国からの輸入を減少させ、そのことが、ひいては相手国の所得や排出も削減してしまうことがある。第四には、投資の流れと為替レートも影響を受け、予測不能の排出影響がおきる。

漏れは、協力諸国での排出削減と比べた実質ＧＨＧ排出で計測でき、その推定値にはかなりの開きが見られる。(SARIII,11.6.4.2)

排出漏れを削減するには何ができるだろうか？　基本的な貿易の理論から（協力諸国を当事者の一方、他の国々を他の一方の当事者として扱うなら）協力国が当該緩和活動実施以前で炭素集約型製品の実質輸入国であったか輸出国であったかにより、その製品の輸入に関税を課すか、輸出に補助金を提供することがあげられる。あるいは、輸入関税（輸出補助金）の代わりに、協力諸国間で、生産者補助金（税）や消費税（補助金）を実施することも可能である{33}。

輸入関税や輸出補助金といった国境税調整の適用は、理論的には漏れを削減するのに適当であるが、幾つかの実際的な問題をもたらす。特定の製品の製造に関する排出を測定すること、これからの国境税調整は、非常に複雑なものとなる可能性が高い、というのは、異なった地域で使用される燃料の混合割合や生産技術に差があるからである。さらに、適正な国境税調整が、現行の多国間貿易の原則と合致しないこともありうる。同様に、全ての協力諸国で適正レベルでの生産・消費補助金や課税を実施することは、各国の現行課税シ

ステムが異なることから、実質的に不可能と立証される可能性が大きい。

９．４　経済的手法の評価

本章では、「はじめに」で論じた項目において、経済的手法を評価する。評価は、国内および国際的範疇における、税や取引可能認可／割当に焦点を当てる。第一に、各国の機構、経済構造および既存政策構造には違いがあり、また政策手法の選択も、それぞれの政治的な環境の中でなされるという事を認識することが重要である。結果的、異なった手法を施行する能力は、国によって大きく異なる可能性が高い。第二に、いかなる国際的手法の適用でも、国内手法が国内の富の配分に影響するのと同じように諸国間での富の配分にある影響をおよぼしうる。全ての手法は、別払いや特定の割当／認可配分といった補完的対策と結びつける事が可能であり、また、結びつけざるを得ないだろう。この点では、各手法の間に差が生じる事はない。

９．４．１　環境面での成果

取引可能認可／割当制度は、国内的／国際的なＧＨＧ排出目標を達成するように設定することが可能である。炭素／排出税で特定の排出目標を達成するには、試行錯誤による税率の調整が求められる。税金と取引可能認可／割当制度の両手法とも、その前提としてあるのは、効果的なモニタリングと施行がされることで、また、国際条約が地球規模とならない場合、炭素排出漏れが小さいということだ。

９．４．２　経済上・社会上の影響(SARIII,11.5.6)

理論的には、税金も取引可能認可／割当制度も、最も費用効果の高い削減策の実施を奨励する。特定の排出目標を達成するには、税金や取引可能認可／割当の市場価格は、同じ排出源を対象であり、転換コストが同等であって、貿易が任意に制限されないなら、等価でなければならない。

取引可能認可は、無償で分配することも、競売で販売する事も可能だ。同様に、税による収入は、取引可能認可であれば無償認可を受けられる排出源に再分配もできるし、政府の手元に残すことも可能だ。炭素税や認可販売からの実質収入をどのように還元するかは、マクロ経済上大きな影響を持ちうる。

付属書Ｉ諸国での炭素税、排出税、ガソリン税、エネルギ－税の配分影響については、相当な研究がなされている。これらの税金は通常逆進的とされているが、それは、現在の個人年間所得に対し、化石燃料消費のための支出は、所得が上がるにつれ下がる傾向にあるからである。しかし米国および欧州のデータを使った最近の研究では、炭素税は生涯所得や年間消費支出と比較するなら､年間所得と比べるより逆進性がかなり薄まるとしている。

取引可能認可制度の配分影響についての研究は極く少数である。認可が販売されるなら、配分影響は、同等の税金の場合のそれと似かよる。認可が無償で分配されるなら、当初の配分が分配上の影響を左右する。

各国間の平等性は、取引可能割当制度の場合は割当配分により決められ、国際課税では交渉された収入配分合意で、調和国内炭素税制度ではその一部として交渉された転換支払いにより、決定される。公平な割当配分や歳入分配条約で合意に達するためには、どの国の緩和活動も他の諸国へ経済的影響を及ぼすという事実に配慮しなければならない。

９．４．３　行政上、機構上、政治上の課題(SARIII,11.6.2,11.6.3)

税金の場合でも取引可能認可でも、行政上、転換上のコストにはかなりの開きがありうる。適正な設定がされるなら、これらのコストをかなり削減できる。一部の国では、既存のエネルギー税徴収システムに大きく依存する事で、比較的低いコストでの炭素税の実施が可能となると立証されている。他の国では、いかなるエネルギー関連税も導入するのに政治的な困難のあることが立証されている。政府発行の認可（米国での二酸化硫黄許容量取引システムなど）を利用する取引システムは、自主規制勘定を使ったシステムよりも低い転換コストとなる。排出目標の変更に伴う危険負担をより効率的に拡散することを可能にする未来市場の基礎を創る上で、認可制には明らかな利点があるようである。取引可能認可システムが効果的に作用するには、認可（または製品）市場に、ある程度の競合状況が存在しなければならない。一企業が認可の総数のかなりの割合を支配する場合には、認可価格を操作して（例えば認可を抑えておいて、他の企業を生産カットに追い込むとか、新規参入を妨害する）、認可や製品市場での自身の立場を良くしようと試みる可能性がある。こういった危険は、政府による認可の競売や、他のメカニズムで減らすことが可能だ。国際的な課税制度、国際調和課税、あるいは取引可能割当システムでの、監視、施行、管理に関わる行政上コストについての情報は少ししかない。

９．５　取引可能認可／割当と課税制度の比較(SARIII,11.7.2,11.7.3)

税金、取引可能認可の双方とも、産業界や消費者に費用負担を課す。排出源では、排出管理のための費用や、認可購入あるいは税金支払のための現金支出の形で財政上の経費負担が生じる{34}。何れの場合にも、企業としては、新規設備や機器への投資を通じてこれらの費用を最小限にしようとするだろう。

ＧＨＧ税では、税率は分かっていても排出への影響は不確実で、分配の効果についてもわかる場合とわからない場合がある。取引可能認可システムでは、排出への効果は分かるが、認可価格と取引を通じての分配効果は不確定である。調和国内税のシステムは、既存の課税構造との違い補償するのに必要な調整と同時に、補完する国際的金融取引についての合

意も含む可能性がある。調和国内税のシステムが効果的であるためには、また参加国に対し、ＧＨＧ排出を間接的に増大させるような政策の実施を認めないことも、必要である。

取引可能割当のスキームは、各参加国に対し、どういった国内政策を採用するか決定する事を認めている。諸国間での割当の当初の配分は分配上の配慮に基づくが、正確な分配上の影響を事前に知ることはできない。というのは、割当価格は、取引が開始されて初めてわかるからである。取引可能割当のスキームの下では、地球的排出での成果は、地球規模の合意であれば確実に判明するが、地球規模でない場合は、炭素の漏れの実態から知ることができる。

脚注*********************************

{23}本章はＳＡＲIII第１１章「気候変動と取り組む政策手法の経済的評価」（代表執筆者は、B.S.Fisher、S.Barrett、P.Bohm、M.Kuroda、J.K.E.Mubazi、A.Shah、R.N.Stavins）に基づいている。

{24}「取引可能割当」という用語は国際的に取引される排出許容量を表すのに使用し、「取引可能認可」は国内的に取引されるものを指す。ＳＡＲIIIの第１１章では、「共同で実施する活動」を含めるため「共同実施」という用語を用いており、その語法がここでも引き続き使われている。

{25}技術移転は特別報告の主題であることから、ここには含めない。

{26}経済システムの多くでは、税金は、少なくともその一部が消費者や資金・労働・他の提供者に対し、予測不可能な方法で還元されている。

{27}厳密に言えば、これは排出する権利に対する支払であることから「排出料」や「料金」という用語の方が適当であるが、「排出税」という表現の方が広く使われているため、これを使用している。

{28}理論的には、認可は排出を繰り返し行う権利（例ー無期限１ｔＣ／年）、または一定の量を一時的に排出する権利（例：１ｔ／Ｃ）と定義づけられる。

{29}炭素税の場合、実排出に基づく取引制度に移動排出源や少量排出源を含めることは、実際的でない。化石燃料の炭素含有量に基づく取引制度（課税制度）は、こういった排出も自動的に取り入れる。

{30}全てのＧＨＧ排出（それぞれの捕熱ポテンシャルと大気中の寿命で調節される）に対し、全ての国で同率の課税（および炭素隔離への助成）がされなければならない。前述するように、全ての排出源（吸収源）を対象に課税（助成）をすることは実際的でない。

{31}割当を一度に一定の量の排出をする権利と規定すると、未来の政府が認めるとは限らない。将来の排出権を現在の政府が販売することで生じる危険負担を削減することになる。これはまた、大国が割当市場をゆがめる力を得てしまう可能性も削減する。

{32}もし限られたグループの国しか参加しないなら、税金の場合も、取引可能割当の場合も、炭素の漏れを考慮に入れる必要がある。

{33}世界貿易機関の規則では、税金や管理輸入が物理的に最終製品に組み込まれるのなら、

国境での税金調整を認めている。しかし、この規則が製品の製造に伴うＧＨＧ排出に適用可能かどうか、そのような国境税調整の制度を実施する事が実行可能かどうかは明確ではない。

{34}例外としては、排出源がその排出に対し十分な認可を無償で受ける場合である。この場合でも、削減された排出でより多くの認可の販売が可能になるため、見かけ上の排出限界コストの対象となる。

表１９：ＧＨＧ排出を緩和する経済手法の選択例

対策	気象上、他の環境上の影響	経済的、社会的影響	行政上、機構上、および政治的な配慮
補助金排除	―既存の補助金の対象範囲と補助金排除の程度による。	―長期的には実質所得向上 ―所得配分変化、収入がどのように再配分されるかで効果が異なる。	
国内課税	―特定の国内／国際排出目標を達成可能にするように設定できる。	―最も費用効果のある緩和策の導入を奨励する。 ―税率は試行錯誤で決められる。 ―炭素税は逆進的だが、その効果は税収の還付方法に依存する。	―現行のエネルギ―税徴収システムと連結可能
取引可能認可	―特定の国内／国際排出目標を達成可能にするように設定できる。	―最も費用効果のある緩和策の導入を奨励する。 ―認可の市場価格と対策実施のコストは不確定 ―分配の効果は、認可がどのように割り当てられたかと、認可販売からの収入があればその処理方法に依存する。	―競合性のある認可市場が必要 ―行政上のコストは、システムの設定に依存する。 ―認可の将来契約によっては、価格変動の危険負担を拡散できる。
調和課税	―特定の国内／国際排出目標を達成可能にするように設定できる。	―最も費用効果のある緩和策の導入を奨励する。 ―税率は試行錯誤で決められる。 ―諸国間の平等性は、交渉された移転支払による。	―実施した場合の情報については　余り資料がない。 ―国内政策によって税の効果が低下する可能性がある。
取引可能割当	―特定の国内／国際排出目標を達成可能にするように設定できる。	―最も費用効果のある緩和策の導入を奨励する。 ―割当の市場価格と対策実施のコストは不確定。 ―諸国間の平等性は、割当の分配方法による。	―実施した場合の情報については余り資料がない。 ―国内政策の選択に関して、柔軟性を容認する。
共同実施	―他の場合の水準よりも排出を削減できる。	―資源や技術を受益国に移転する。	―行政上のコストは比較的大きくなりうる。 ―プロジェクトを比較的早く開始できる。