

# SRRREN

ipcc

気候変動に関する政府間パネル  
第3作業部会 - 気候変動の緩和（策）

再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書  
最終版

再生可能エネルギー源と気候変動の緩和（仮訳）

# 1

---

## 再生可能エネルギー源と 気候変動の緩和（仮訳）

---

### 統括執筆責任者:

William Moomaw (USA), Francis Yamba (Zambia)

### 執筆責任者:

Masayuki Kamimoto (Japan), Lourdes Maurice (USA), John Nyboer (Canada), Kevin Urama (Kenya/Nigeria), Tony Weir (Fiji/Australia)

### 執筆協力者:

Thomas Bruckner (Germany), Arnulf Jager - Waldau (Italy/Germany), Volker Krey (Austria/Germany), Ralph Sims (New Zealand), Jan Steckel (Germany), Michael Sterner (Germany), Russell Stratton (USA), Aviel Verbruggen (Belgium), Ryan Wiser (USA)

### 査読編集者:

Jiahua Pan (China) and Jean - Pascal van Ypersele (Belgium)

### 本章の引用時の表記方法:

Moomaw, W., F. Yamba, M. Kamimoto, L. Maurice, J. Nyboer, K. Urama, T. Weir, 2011: Introduction. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs - Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

### 注意

本報告書は、IPCC「Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation」Final Release を翻訳したものです。この翻訳は、IPCC ホームページに掲載されている報告書

<http://srren.ipcc-wg3.de/>

を元に行っています。また、翻訳は 2011 年 5 月 9 日リリースの初版に基づいて行っており、その後 IPCC によって行われた修正、追加、削除等の変更には対応しておりませんので、ご注意ください。

本報告書「再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書」は上記報告書の仮訳であり、IPCC の公式訳ではありません。正本は英文のみで提供されており、本日本語仮訳を引用して問題が生じて責任を負いかねますのでご了承ください。

# 第1章：再生可能エネルギーと気候変動の緩和

## 目次

目次	2
要約	3
1.1 背景	5
1.1.1 はじめに	5
1.1.2 再生可能エネルギー源と気候変動緩和についての特別報告書	5
1.1.3 気候変動	6
1.1.4 二酸化炭素排出の駆動要因	9
1.1.5 気候変動緩和の選択肢としての再生可能エネルギー	13
1.1.6 緩和の選択肢	16
1.1.7 再生可能エネルギーに関する国際政策の傾向	18
1.1.9 メトリクス及び定義	20
1.2 再生可能エネルギー資源の概要	21
1.2.1 再生可能エネルギーの定義、変換、及び用途	21
1.2.2 再生可能エネルギーの理論的ポテンシャル	25
1.2.3 再生可能エネルギー技術の技術ポテンシャル	25
1.2.4 統合に関する再生可能エネルギーの特色	26
1.2.5 エネルギー効率と再生可能エネルギー	27
1.3 エネルギーのサービスのニーズと現状の合致	29
1.3.1 現在の再生可能エネルギー・フロー	29
1.3.2 再生可能エネルギーの現在のコスト	29
1.3.3 再生可能エネルギーの地域的側面	32
1.4 機会、障壁、問題	33
1.4.1 機会	33
1.4.1.1 社会的及び経済的発展	33
1.4.1.2 エネルギーアクセス	33
1.4.1.3 エネルギー安全保障	34
1.4.1.4 気候変動の緩和と環境、健康への影響の軽減	34
1.4.2 障壁	36
1.4.2.1 市場の失敗及び経済的障壁	36
1.4.2.2 情報・意識啓発上の障壁	37
1.4.2.3 社会文化的な障壁	38
1.4.2.4 制度的及び政策的障壁	39
1.4.3 問題	40
1.5 政策、研究、開発、普及、及び実施戦略の役割	40
1.5.1 政策の選択肢：傾向、経験及び評価	40
1.5.2 促進的環境	42
1.5.2.1 再生可能エネルギー政策及び非再生可能エネルギー政策の補完	42
1.5.2.2 再生可能エネルギーのインフラ、ネットワーク及び市場の提供	42
1.5.3 構造的転換	42
REFERENCES	44
第1章付録	53

## 要約

すべての社会は人間の基本的欲求（照明、調理、空間の快適さ、移動、通信など）を満たし、生産的なプロセスを提供するエネルギーのサービスを必要とする。発展を持続可能にするためには、エネルギーのサービスの供給を確保し、環境への影響を低減させる必要がある。

そのためには、持続可能な社会及び経済発展に不可欠なエネルギーのサービスを供給し続けるために必要なエネルギー資源が、妥当な価格で確実に利用出来ることが必要となる。これは、経済発展のさまざまな段階において、さまざまな戦略が応用されることを意味する。環境に配慮するため、環境への影響及び温室効果ガス（GHG）の排出量を削減し、エネルギーのサービスを提供しなければならない。しかし、世界経済を左右する現在の一次エネルギーの85%が化石燃料の燃焼によるものであり、化石燃料の消費は温室効果ガスの人為的排出の原因の56.6%を占めている。

**再生可能エネルギー源は持続可能な方法でエネルギーのサービスを提供し、特に気候変動を緩和する役割を担っている。**再生可能エネルギー源と気候変動の緩和に関する本特別報告書では、持続的な社会的及び経済的発展の過程に対しエネルギーのサービスを提供する再生可能エネルギー（RE）源の現在の貢献及び将来のポテンシャルを調査する。本報告には、利用可能な再生可能エネルギーの資源及び技術、コスト及び相乗便益、拡大要件・統合要件に対する障壁、将来のシナリオ及び政策オプションの評価が含まれる。

エネルギーのサービスの供給に伴う温室効果ガスの排出は気候変動の主な原因となっている。IPCC 第4次評価報告書（AR4）は「20世紀半ば以降に観測される地球の平均気温の上昇の多くは、人為的な温室効果ガス濃度の上昇が原因である可能性が非常に高い。」と結論づけた。二酸化炭素の濃度は上昇を続け、2010年末までに、産業革命以前に比べ39%以上増加し、390ppm CO<sub>2</sub>を超えている。

**AR4を再確認した長期のベースラインシナリオは、エネルギー強度の予測される減少と、推定される世界的な国内総生産の増加の影響とは相殺出来ないことを示している。**そのため、多くのシナリオでは今世紀を通して一次エネルギー供給が確実に上昇していくことを示している。気候政策が存在しない場合、圧倒的多数のベースラインシナリオが、2000年と比べて2100年は大幅に排出量が増加することを示しており、同時に二酸化炭素濃度が上昇、つまり温暖化が進むことを示唆している。

基本的な社会経済シナリオによると、また増大する不確定性を考慮すると、地球の平均気温は上昇し、今世紀末までに1980年から1990年の平均よりも1.1~6.4℃高くなると予測される。

気候システムにおける急激な不可逆変化の可能性がある水資源、生態系、食の安全、人間の健康及び沿岸域の居住地に対するそのような気候変化の悪影響を避けるため、カンクン合意において産業革命以前の値より2℃以上高い値にならないよう世界平均気温を制限することを提唱している。また、世界平均気温の上昇の割合を1.5℃までに抑えることに合意した。平衡温度上昇を2~2.4℃に確実に抑えるためには、温室効果ガス濃度を445~490ppm CO<sub>2</sub>eqの範囲に安定させる必要があるだろう。

必要なエネルギーのサービスを提供したとしても、エネルギーシステムからの温室効果ガスの排出を低減する複数の手段がある。再生可能エネルギー技術は多様性を持ち、全種のエネルギーのサービスのニーズに応えることが出来る。様々なタイプの再生可能エネルギーは電力、熱エネルギー及び機械エネルギーを供給でき、複数のエネルギーのサービスのニーズを満たすことが出来る燃料を産出出来る。再生可能エネルギーとは、消費の速度と同じ、またはそれを超える速度で自然過程によって補給される太陽や地球物理学的・生物学的資源とするあらゆる形のエネルギーのことである。化石燃料とは異なり、大部分の再生可能エネルギーでは、二酸化炭素はほとんど、または全く排出されない。

**低炭素技術のポートフォリオにおける再生可能エネルギーの寄与は、その技術間の経済的競争及び（気候変動の範囲を超えた）相対的な環境負荷に加え、安全面及び社会的側面にも大きく依存している。**

緩和オプションのあらゆるポートフォリオの総合的推定は、それぞれの緩和ポテンシャルと、関連リスク、コスト及び持続可能な開発に対する寄与の評価を含むだろう。気候変動緩和に対する動きがなかったとしても、本報告書にて分析するシナリオから、エネルギーのサービスに対する需要の高まりが、再生可能エネルギーを今日のエネルギー使用量を超えるレベルにすると期待されているということがわかる。

世界規模では、2008年の、492EJの総一次エネルギー供給の12.9%を再生可能エネルギーが占めると推定されている。発展途上国では、再生可能エネルギーに占める最も大きな寄与はバイオマス（10.2%）であり、バイオマス燃料の大部分（およそ60%）が調理及び暖房のような従来の用途に使用されていたが、近代的バイオマスの使用が急速に増えてきている。<sup>1</sup>水力は2.3%とされるが、それに対し、その他の再生可能エネルギー源は0.4%を占める。

<sup>1</sup> 非公式部門で使用される新たな伝統的バイオマスの推定値20~40%は本報告書及び公式データベースでは計上していない(2.1)。

2008年では、再生可能エネルギーは全世界の電力供給のおよそ19%（水力16%、その他の再生可能エネルギー3%）を占め、バイオ燃料は全世界の道路輸送用燃料供給の2%を占めている。また、伝統的バイオマス（17%）、近代的バイオマス（8%）、太陽熱及び地熱エネルギー（2%）を合わせると、世界の熱需要の27%を占めている。一次エネルギー供給に対する再生可能エネルギーの占める割合は国や地域によって大きく異なる。低程度の温室効果ガスのシナリオの将来像は、再生可能エネルギー、原子力と組み合わせた再生可能エネルギー、及び二酸化炭素回収・貯留を行う石炭及び天然ガスを想定している。

世界のエネルギー消費量に対する再生可能エネルギーの割合はいまだ比較的小さいが、一方で再生可能エネルギーの普及はここ数年で急速に拡大している。2008年から2009年の2年間で増加した世界における約300GWの新たな発電量のうち、140GWは新たに加わった再生可能エネルギーによるものであった。2009年における世界の再生可能エネルギーの発電能力のうち、53%が発展途上国で発電されたものである。ほとんどの場合、エネルギー構成における再生可能エネルギーの割合の増加は、エネルギーシステムの変化を促進する政策を必要とする。政府の政策、多くの再生可能エネルギー技術のコスト低減、化石燃料の価格の変化、及び他の因子は、再生可能エネルギーの消費の継続的な増加を支援してきた。これらの進展は、再生可能エネルギーが先進国及び発展途上国の両方で、今後数十年にわたり非常に大きな役割を果たす可能性を示唆している。

一部の再生可能エネルギー技術は、地方部及び都市部環境の使用場所に導入される（分散化）可能性があるが、その一方で、他の再生可能エネルギー技術は、主に巨大なエネルギー・ネットワーク内で使用（集中化）される。多くの再生可能エネルギー技術は技術的に成熟し、大規模な導入が行われているが、それ以外の再生可能エネルギー技術は技術的成熟及び商業展開の初期段階にある。

再生可能エネルギーの理論的ポテンシャルは、世界中のすべての経済圏で使用されている全エネルギーを大きく上回る。世界的な再生可能エネルギー源の技術ポテンシャルは、継続する市場の成長を抑制することもない。文献に広範囲にわたる評価がなされているが、調査は一貫して、再生可能エネルギーの世界における技術的ポテンシャルの全体は、現在及び予想される将来の世界的なエネルギー需要の両方を大幅に上回ることを発見している。太陽エネルギーの技術ポテンシャルは、再生可能エネルギー源の中でも最も高いが、すべての形式の再生可能エネルギーに大きな技術ポテンシャルが存在する。世界における再生可能エネルギー全体の無限の技術ポテンシャルは、再生可能エネルギーの普及を制約する可能性は低い。

風力及び太陽発電を含む一部の再生可能エネルギーは変動性があり、必要な時に必ず送電出来るものではない。一部の再生可能エネルギーのエネルギー密度は比較的低いので、最終消費エネルギーサービスの供給に必要な送電エネルギーを減少させることは、特に再生可能エネルギーにとっては重要であり、また全てのエネルギー形態にとっても利益をもたらす。

一部では、再生可能エネルギーはすでに経済的な競争力を持っているが、多くの再生可能エネルギー技術の均等化発電原価は、今のところ既存のエネルギー価格よりも高い。商業的に使用可能な特定の再生可能エネルギー技術の現在の均等化発電原価の幅は広く、それは、技術の特徴、コストや性能における地域的ばらつき、及び割引率の違いなどの多数の要因による。

再生可能エネルギーは多くの機会を提供し、気候変動緩和への取り組みが出来るだけでなく、持続的かつ衡平な経済発展、エネルギーアクセス、エネルギー供給の確保及び地域環境及び健康に対する影響への取り組みも可能である。市場の失敗、先行するコスト、金融リスク、データや能力の不足、公的及び制度的意識、認識する社会規範及び価値の構造、現行のインフラ及び現在のエネルギー市場の規制、不適切な知的財産法、取引規制、変化に敏感なポリシーやプログラムの不足、再生可能エネルギー電力の減少、及び土地利用紛争は、再生可能エネルギーの消費拡大に対する現存する障壁及び問題の一部である。

一部の政府では、エネルギーシステムへの再生可能エネルギーの統合の様々な要素へ取り組むうえでの様々な原因に誘引され、様々な再生可能エネルギーの政策の導入に成功している。これらの政策によりここ数年において、再生可能エネルギー技術の段階的な成長が促されてきた。これらの政策は財政的インセンティブ、公共財政支援及び規制に分類することが出来る。これらの政策は一般的に以下の2つの市場の失敗に取り組んでいる。1) 温室効果ガス排出の外部コストが適切な水準の値になっていない。2) 再生可能エネルギーは、イノベーターの想定を超える社会に対する便益を生み出すが、かかる取り組みに対する投資は過小なものとなる。いくつかの研究において、一部の固定価格買取制度は再生可能エネルギー電力の促進において、効果的かつ効率的であると結論付けられてきた。割り当て政策はリスク低減のために設計される場合に効果的かつ効率的になりうる。再生可能エネルギーを利用した冷暖房に財政的インセンティブを採用する国が増えつつある。運輸部門では、再生可能エネルギー燃料の義務または混合要件が最新のバイオ燃料産業の発展におけるキードライバーとなっている。政策は国際的なバイオ燃料取引の発展に影響を与えてきた。最も重要な課題は、再生可能エネルギー及び炭素価格政策への道を見つけ、トレードオフよりも相乗効果を利用出来るよう相互に作用することである。再生可能エネルギー技術は、「促進的」政策と連動して導入される場合に、より重要な役割を果たすことが出来る。

## 1.1 背景

### 1.1.1 はじめに

すべての社会は人間の基本的欲求（照明、調理、空間の快適さ、移動、通信など）を満たし、生産的なプロセスを提供するエネルギーのサービスを必要とする。発展を持続するためには、エネルギーのサービスの供給を確保し、環境への影響を低減させる必要がある。そのためには、持続可能な社会及び経済発展には不可欠なエネルギーのサービスを供給し続けるために必要なエネルギー資源が、妥当な価格で確実に利用出来ることが必要である。これは、経済発展のさまざまな段階において、さまざまな戦略が応用されることを意味する。環境に配慮するため、環境への影響及び温室効果ガス（GHG）の排出量を削減しエネルギーのサービスを提供しなければならない。

IPCC 第4次評価報告書（AR4）は、化石燃料が2004年において一次エネルギー全体の85%を占めており（Sims et al., 2007）<sup>2</sup>、これは2008年においても同じ値である（IEA 2010a; Table A.II.1）。また、化石燃料の燃焼は、2004年において人為的な温室効果ガス排出量全体の56.6%（CO<sub>2</sub>eq）を占める（Rogner et al., 2007）<sup>3</sup>。不可欠な商品やサービスを先進国及び発展途上国の市民に提供する能力がある持続可能な経済を維持したり、支援する地球規模の気候システムを維持したりするには、いかにエネルギーを生産し活用するかという点において大きな変化が必要となる（Nfah et al., 2007; Kankam and Boon, 2009）。しかし、化石燃料よりも大幅に二酸化炭素排出量が少ない再生可能エネルギー技術は成長している。第10章では、将来の低炭素社会の発展に寄与する再生可能エネルギーのポテンシャルを調査するための、100を超えるシナリオについて分析する。

### 1.1.2 再生可能エネルギー源と気候変動緩和についての特別報告書

再生可能エネルギー（RE）源は、持続可能な方法でエネルギーのサービスを提供し、特に気候変動を緩和する役割を担っている。再生可能エネルギー源と気候変動の緩和に関する本特別報告書は、持続可能な社会的及び経済的発展の過程に対し、エネルギーのサービスを提供する再生可能エネルギー（RE）源の現在の貢献及び将来のポテンシャルを調査する。本報告書には、利用可能な再生可能エネルギーの資源及び技術、コスト及び相乗便益、拡大要件・統合要件に対する障壁、将来のシナリオ及び政策オプションの評価が含まれる。本報告書は11の章で構成される（図1.1）。第1章は再生可能エネルギーと気候変動の概要を、第2章から7章までは、6タイプの再生可能エネルギー技術（バイオマス、太陽熱、地熱、水力、海洋及び風力）についての情報を、第8章から11章までは統合問題の処理（現在及び将来のエネルギーシステムへの再生可能エネルギーの統合、持続可能な開発の下での再生可能エネルギー、緩和ポテンシャルとコスト、政策、融資及び実施）について示している。本報告書では、必要に応じて、不確実性についても触れている。<sup>4</sup>

温室効果ガスの削減目標を満たす再生可能エネルギー源のポテンシャルについての情報を以下に示す。

- ・再生可能エネルギー資源と利用可能な技術、及びその資源に対する気候変動の影響の分析（第2～第7章）
- ・技術及び市場状況、将来における開発、及び推定導入率（第2～7章、第10章）
- ・エネルギー貯蔵、送電方式、既存システムへの統合、及びその他のオプションを含めたエネルギー供給システム。その他の市場への統合のオプション及び制約（第8章）
- ・再生可能エネルギー成長、機会、及び持続可能な開発の関連性（第9章）
- ・安全なエネルギー供給への影響（第9章）
- ・導入の経済的、環境的コスト、便益、リスク、及び影響（第9章、第10章）
- ・再生可能エネルギー資源の緩和ポテンシャル（第10章）
- ・持続可能な形で導入を早める可能性がある方法を実証するシナリオ（第10章）
- ・能力育成、技術移転、及び財政支援（第11章）
- ・政策オプション、結果、及び有効性の条件（第11章）

<sup>2</sup> AR4で提示された数字は80%であるが、本報告書ではエネルギー計算に直接等価法（direct equivalent method）を使用しているため、物理体積法（physical content method）から直接等価法へ変換している。方法の詳細については1.1.9及びAnnex II（A.II.4）を参照。

<sup>3</sup> 他の供給源やガスからのもの（Rogner et al., 2007の図1.1bを参照）は、森林減少、バイオマスの腐朽などからの二酸化炭素（17.3%）、その他からの二酸化炭素（2.8%）、メタン（14.3%）、亜酸化窒素（7.9%）、及びフッ素化ガス（1.1%）となっている。森林からのものを含む、分類項目ごとの排出量についての詳細情報は、Rogner et al., 2007の図1.3bと関連する注釈を参照。

<sup>4</sup> 本報告書では、例えば感度分析の結果の提示や、コスト値の幅及びシナリオの結果の幅を定量的に示すことにより、不確実性を表現している。IPCCの不確実性のガイダンスは本報告書の承認時点では見直し中のため、本報告書ではIPCCの公式な不確実性の用語を用いていない。

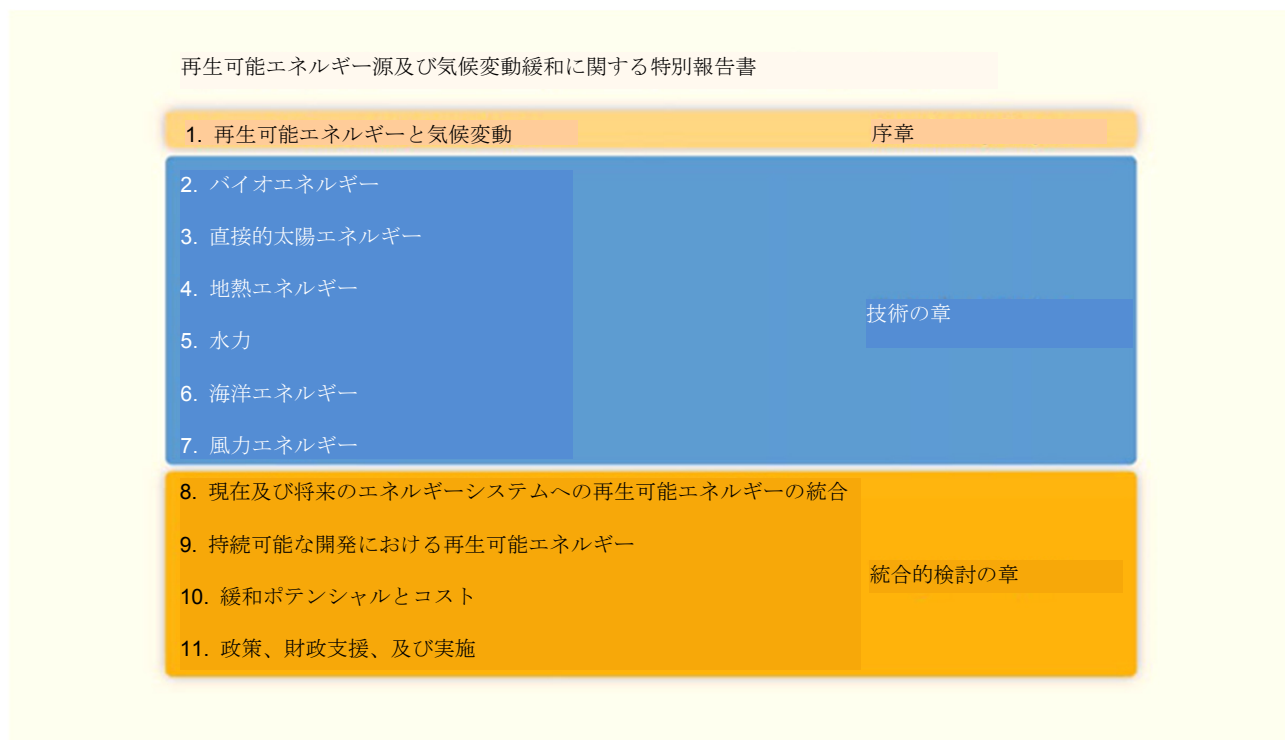


図 1.1: SRREN の構成

### 1.1.3 気候変動

エネルギーのサービスの供給に伴う温室効果ガス排出は気候変動の主な原因である。AR4 は「20 世紀半ば以降に観測された地球の平均気温の上昇は、人為的な温室効果ガス (GHG) 濃度上昇が原因である可能性が非常に高い」と結論付けている。AR4 以降、濃度は上昇を続け、2010 年末までに、二酸化炭素の濃度は産業革命以前に比べ 39% 以上増加し、二酸化炭素濃度で 390ppm を超えている (IPCC, 2007b; NOAA, 2010)。2001 年から 2005 年の間の地球の平均気温は 1850 年から 1899 年の間の気温と比べ、 $0.76^{\circ}\text{C}$  ( $0.57\sim 0.95^{\circ}\text{C}$ ) 上昇し、温暖化傾向は過去 50 年で大幅に増大している (IPCC, 2007b)。この報告書ではエネルギー部門、森林開拓と火災、及び土地利用の変化に焦点を当てているが、工業、商業及び農業からの非二酸化炭素ガスの放出も地球温暖化に寄与している (IPCC, 2007b)。

長期シナリオの広範囲にわたるレビュー (Fisher et al., 2007) は、経済成長が、21 世紀における国内総生産 (GDP) の大幅な上昇をもたらし、対応するエネルギーのサービスの需要拡大に関連すると予想されている (図 1.2 の左側を参照) ことを明らかにしている。歴史的には、人類は GDP の 1 単位を生産するのに必要な一次エネルギー投入 (いわゆる一次エネルギー強度) を減らすことが可能であった。また、将来においてはさらに減少させることが期待されている (図 1.2 の右側を参照)。

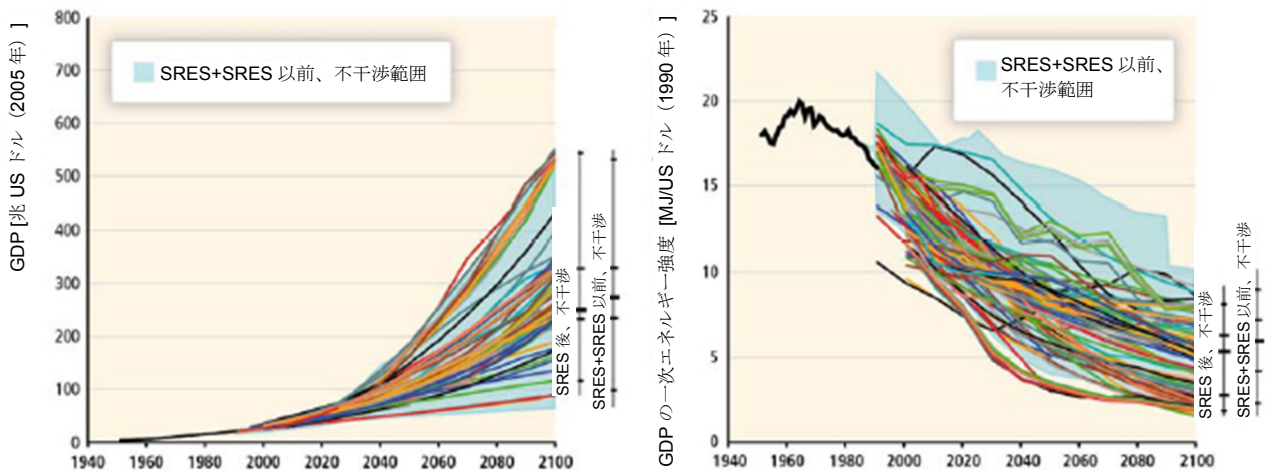


図 1.2: 左側の図：以前のシナリオにおいて使用された GDP 予測と SRES（排出シナリオについての特別報告書）後の排出シナリオにおける GDP 予測の比較。新しいシナリオの中央値は SRES 以前や SRES シナリオ文献の中央値を約 7% 下回る。右側の 2 つの縦線は 2100 年までのシナリオ分布の最小値から最大値までを示している。右側の図：GDP の一次エネルギー強度の推移。SRES シナリオ後と比較した SRES 及び SRES 以前のシナリオから得た過去の上昇と予測。Fisher et al., 2007, pp. 180 and 184 をもとに作成。

検討するシナリオにおいては、エネルギー効率の増加は予測される経済成長による補償を上回る。そのため、旧態依然なケースでは、世界の一次エネルギーに対する需要は、21 世紀に大幅に増加すると予測される（図 1.3 の左側を参照）。

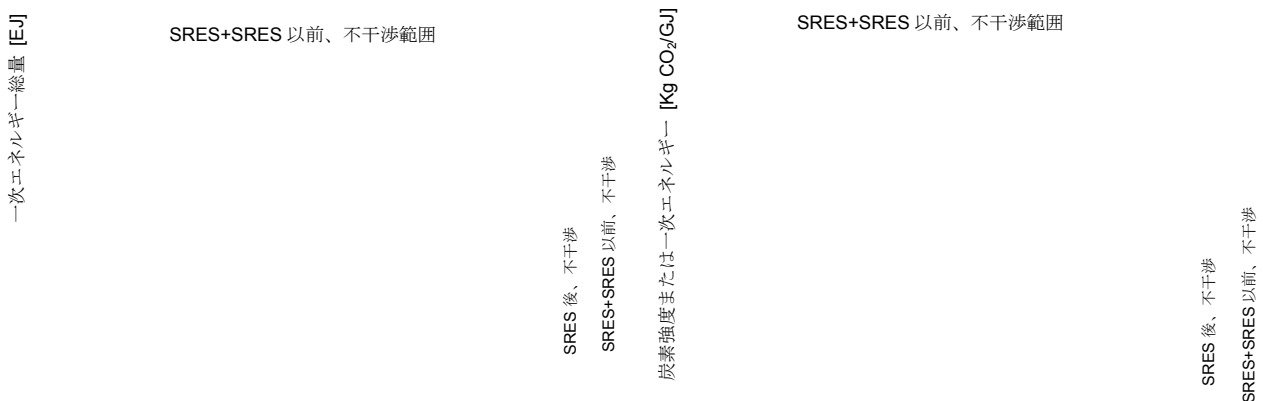


図 1.3: 左側の図：予測される一次エネルギー供給の増加。133 を超える現在の SRES 後シナリオと比較した文献中の 153 の SRES と SRES 以前のベースラインエネルギーシナリオの比較。それぞれの範囲は同程度であり、下部境界と上部境界に小さな変化がみられる。右側の図：予測される炭素強度の変化。SRES 後のシナリオと比較した、SRES 及び SRES 以前のシナリオの過去の推移と予測。Fisher et al., 2007, pp. 183 and 184 をもとに作成。

一次エネルギー強度の挙動と同様に、炭素強度（一次エネルギーの一単位当たりの二酸化炭素排出量）は、まれに例外もあるが、減少すると予測されている（図 1.3 右側の図を参照）。関連して行われる大幅な脱炭素にもかかわらず、不干涉排出予測の大多数は 2100 年において 2000 年よりも遥かに高い排出量を示している（図 1.4 左側の図のグレー部分を参照）。排出量が自然に取り除かれる量を大幅に超えるため、濃度は上昇し続け、地球の平均気温を上昇させる。図 1.4 の右図は、図 1.4 の左側の図に示されている一連の排出シナリオから得た、代表的な排出シナリオ（いわゆる SRES（排出シナリオに関する特別報告書）、IPCC (2000a)を参照）のそれぞれの変化を示している。











































































































