

IPCC第3作業部会 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(SRREN) 概要

SRREN (Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation) は、SPM (Summary for Policymakers: 政策決定者向け要約)、TS (Technical Summary: 技術的要約)、及び本編(個別章)により構成されています。

本資料は、2011年6月14日にIPCCから公表されたSPM及び報告書の内容をもとに作成しております。また、その他の情報源からの写真等を参考情報として使用しています。

本資料の利用に当たっては、環境省資料であることを明示の上、改編することなくページ毎にご利用ください。

目次

1 はじめに

- (1) IPCCとは 4
- (2) SRRENとは 5
- (3) 不確かさ(Uncertainty)について 6

2 再生可能エネルギーと気候変動

- (1) 温室効果ガスの増加と気候変動 8
- (2) 温室効果ガスの削減対策 9
- (3) 再生可能エネルギー導入拡大の意義と方策 10

3 再生可能エネルギーの技術と市場

- (1) 再生可能エネルギーの多様性 12
- (2) バイオエネルギー 13
- (3) 直接的太陽エネルギー 14
- (4) 地熱エネルギー 15
- (5) 水力 16
- (6) 海洋エネルギー 17
- (7) 風力エネルギー 18
- (8) 再生可能エネルギーの普及 19
- (11) 再生可能エネルギーの導入可能量 22
- (12) 気候変動による影響 23
- (13) 再生可能エネルギーのコスト 24
- (16) コスト以外の課題 27

4 現在および将来のエネルギーシステムへの統合

- (1) 既存のエネルギー供給システムへの統合 29
- (2) 既存のエネルギー供給システムへの統合時の留意点 30
- (4) 最終消費部門での統合の特性 32
- (5) 再生可能エネルギーの普及率向上のために 33

5 再生可能エネルギーと持続可能な開発

- (1) 持続可能な開発のための再生可能エネルギー利用 35
- (3) 再生可能エネルギー技術は
重要な環境上の利益に貢献する 37

6 緩和ポテンシャルとコスト

- (1) 統合シナリオ分析による再生可能エネルギーの評価 40
- (2) シナリオにおける再生可能エネルギー供給量 予測 41
- (4) 緩和策への再生可能エネルギーの貢献 43
- (5) 再生可能エネルギー供給量の拡大 44
- (6) エネルギー別の再生可能エネルギー供給量 45
- (7) 再生可能エネルギーの導入と緩和コスト 46

7 政策、実施及び財政支援

- (1) 政策の重要性 48
- (2) 政策導入におけるポイント 49

8 再生可能エネルギーに関する知見の向上

- (1) 再生可能エネルギーに関する知見の向上 52

1 はじめに

(1) IPCCとは

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル)

- **設立** 世界気象機関(WMO)及び国連環境計画(UNEP)により1988年に設立された国連の組織
- **任務** 各国の政府から推薦された科学者の参加のもと、地球温暖化に関する科学的・技術的・社会経済的な評価を行い、得られた知見を政策決定者を始め広く一般に利用してもらうこと
- **構成** 最高決議機関である総会、3つの作業部会及び温室効果ガス目録に関するタスクフォースから構成

IPCCの組織

IPCC総会

第1作業部会(WG I) : 自然科学的根拠
気候システム及び気候変化についての評価を行う。

共同議長 Thomas Stocker (スイス)
Dahe Qin (中国)

第2作業部会(WG II) : 影響、適応、脆弱性
生態系、社会・経済等の各分野における影響及び適応策についての評価を行う。

共同議長 Christopher Field (米国)
Vicente Barros (アルゼンチン)

第3作業部会(WG III) : 気候変動の緩和(策)
気候変化に対する対策(緩和策)についての評価を行う。

共同議長 Ramon Pichs-Madruga (キューバ)
Ottmar Edenhofer (ドイツ)
Youba Sokona (マリ)

温室効果ガス目録に関するタスクフォース
各国における温室効果ガス排出量・吸収量の目録に関する計画の運営委員会。

共同議長 Thelma Krug (ブラジル)
Taka Hiraishi (日本)

(2) SRRENとは

SRREN : Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation
(再生可能エネルギー源及び気候変動緩和に関する特別報告書)

- 気候変動緩和に対して6つの再生可能エネルギー源が果たす科学、技術、環境、経済及び社会的側面の貢献に関する文献の評価。
- 政府、政府間プロセスその他の関係機関に政策に関連する知見を提供。

出典:SRREN SPM

SRRENの構成

再生可能エネルギー源及び気候変動緩和に関する特別報告書(SRREN)

1.再生可能エネルギーと気候変動	序章
2. バイオエネルギー 3. 直接的太陽エネルギー 4. 地熱エネルギー 5. 水力 6. 海洋エネルギー 7. 風力エネルギー	技術の章
8. 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 9. 持続可能な開発における再生可能エネルギー 10. 緩和ポテンシャル及びコスト 11. 政策、実施及び財政支援	統合的検討の章

出典:SRREN SPM 図1

(3) 不確かさ(Uncertainty)について

- 本報告書では、例えば感度分析の結果の提示や、コストナンバー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見直し中であるため、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。

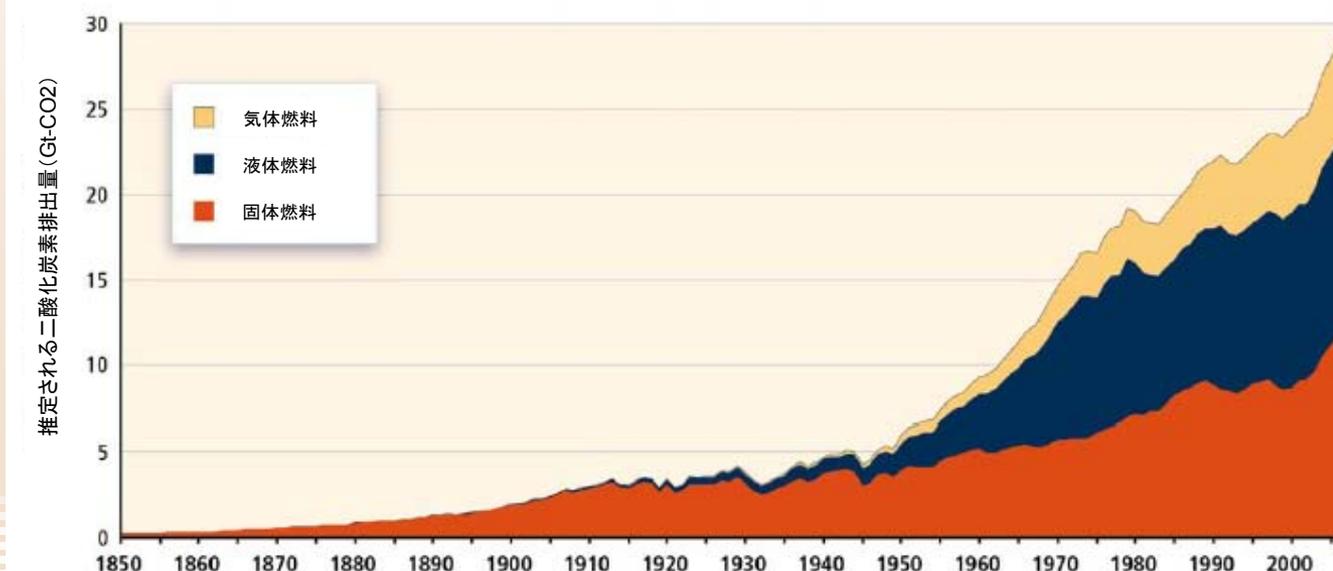
出典:SRREN SPM

2 再生可能エネルギーと 気候変動

(1) 温室効果ガスの増加と気候変動

- 人々の福利や健康、社会経済の発展のため、エネルギーとそれに関連するサービスへの需要は高まりつつある。
- エネルギー供給によって発生する温室効果ガスの排出は、大気中の温室効果ガス濃度の増加に大きく寄与してきた。
- 地球上における人為的な温室効果ガス排出の大部分は化石燃料の消費によるものであることが、近年のデータによって裏付けられている。

化石燃料の燃焼による二酸化炭素排出量



出典:SRREN

本文 図1-6

(2) 温室効果ガスの削減対策

- エネルギー供給に対する世界の需要を満たしつつ、エネルギーシステムからの温室効果ガス排出量を削減するためには、さまざまな方策がある。
- あらゆる方策を総合的に評価するには、それぞれの緩和ポテンシャル、付随するリスク、コスト、持続可能な開発に対する貢献への評価が必要である。

エネルギー供給における温室効果ガス排出削減策

- エネルギーの節約、効率向上
- 化石燃料からの燃料転換
- 再生可能エネルギーの利用
- 原子力の利用
- 二酸化炭素貯留（CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage）の活用

出典:SRREN SPM

(3) 再生可能エネルギー導入拡大の意義と方策

- 再生可能エネルギーは気候変動の緩和ポテンシャルが大きいだけでなく、社会経済、エネルギーアクセス、確実なエネルギー供給、環境や健康への悪影響の減少など、より広範な便益を供給しうる。
- エネルギーミックスの中で再生可能エネルギーのシェアを増加させるためには、エネルギーシステムの変化を促すような政策が必要である。それらの政策により、技術やインフラへの投資の増加を促すことが求められる。

出典:SRREN SPM

3 再生可能エネルギーの 技術と市場

(1) 再生可能エネルギーの多様性

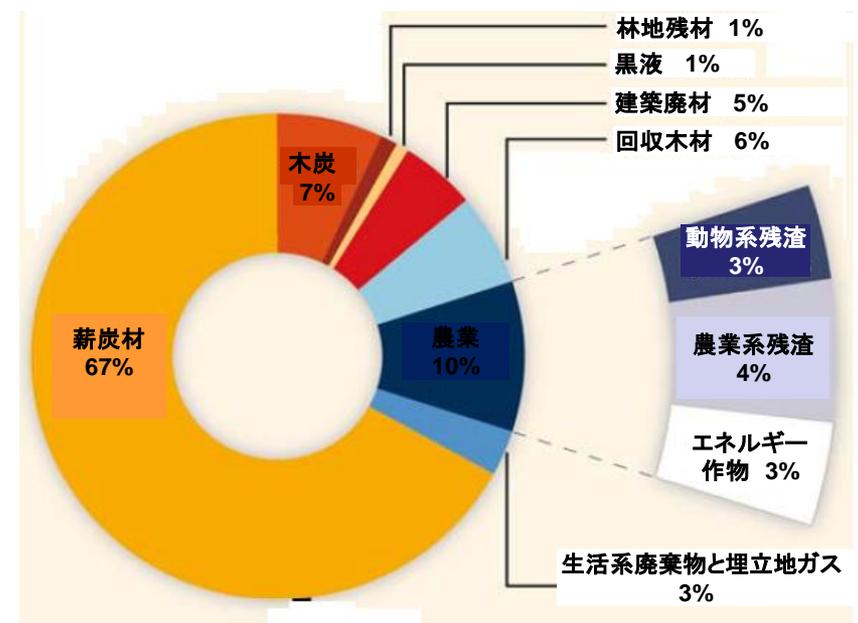
- 再生可能エネルギーは様々な種類の技術から構成されている。
- 様々な再生可能エネルギーが、電気、熱エネルギー、力学的エネルギー、燃料を提供できる。
- 農村地域及び都市において、分散的にその使用場所で普及できるものもあれば、主に大規模なエネルギーネットワークに接続して普及されるものもある。
- 技術的に成熟し、大規模に導入されている再生可能エネルギー技術が増えているが、その一方で、技術的成熟度や商業展開の点でまだ初期段階のものや、特定のニッチな市場に導入されているものもある。
- 再生可能エネルギー技術のエネルギーの出力形態は多様である。
 - 変動し、異なる時間スケール（分単位～年単位）で（ある程度）予測できない出力
 - 変動するが、予測できる出力
 - 一定の出力
 - 制御可能な出力

出典:SRREN SPM

(2) バイオエネルギー

- **多様なバイオマスから得られるバイオエネルギー**
 - 木質系、農業系、家畜糞尿、エネルギー作物、生活系廃棄物の有機成分など
- **様々なプロセスを経て、発電、熱、ガス・液体・固形燃料として利用**
- **技術の幅は広く、技術によって成熟度(開発段階)はさまざま**
 - **商用段階**
例：小型及び大型ボイラー
家庭用ペレット暖房
糖類やデンプンからのエタノール製造
 - **商用の前段階**
例：バイオマス統合ガス化コンバインドサイクル発電設備
木質セルロース系輸送燃料
 - **研究開発段階**
例：液体バイオ燃料
- **集中設備、分散設備のどちらでも利用可能。途上国の伝統的な利用方法が最も一般的**
- **一定あるいは制御可能な出力を提供可能**
- **バイオエネルギープロジェクトは、地域の燃料供給事情に左右される。しかし、最近では、固形バイオマス及び液体バイオ燃料の国際的な取引が増加**

バイオエネルギーに用いられる
世界の一次バイオマス資源の比率



出典:SRREN TS 図2.1(a)

出典:SRREN SPM

(3) 直接的太陽エネルギー

太陽放射エネルギーを利用

- 発電（太陽光発電、集光型太陽熱発電（CSP））
- 熱エネルギーの生成（暖房、冷房）
- 直接的な照明エネルギー
- ソーラー燃料の可能性

成熟度（開発段階）はさまざま

- 成熟
 - 例：太陽熱利用（パッシブ、アクティブ）
 - シリコン系太陽光発電
- 比較的成熟
 - 例：CPS
- 研究開発段階
 - 例：ソーラー燃料

集中設備、分散設備のどちらでも利用可能

- 太陽エネルギーは変動し、ある程度までしか予測できないが、状況によっては出力の日変化がエネルギー需要に相関することもある。

出典：SRREN SPM

直接的太陽エネルギー：

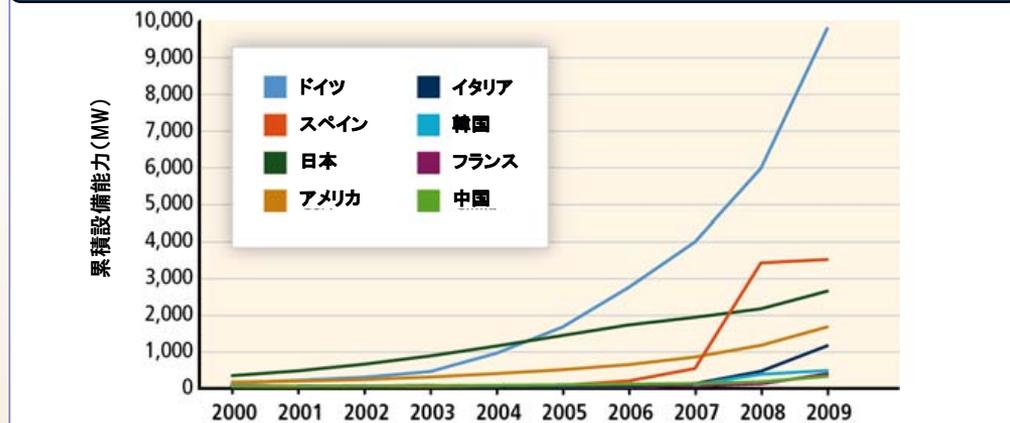
（水や土壤に吸収される前の）地球表面に到達する太陽エネルギーの利用を表す。

出典：SRREN ANNEX 1

風力や海洋熱のような再生可能エネルギーは、一度地球に吸収され、他の形に変換された太陽エネルギーを利用している。

出典：SRREN TS

上位8カ国における太陽電池設備容量の推移（2000-2009）



出典：SRREN TS 図3.2

太陽エネルギー設備容量（累積）の推移

年	低温太陽熱利用 (GW _{th})			太陽光発電 (GW)			集光型太陽熱発電 (GW)		
	2009	2015	2020	2009	2015	2020	2009	2015	2020
現在の設備容量(累積)	180			22			0.7		
シナリオ名									
EREK-Greenpeace (reference scenario, 2010)		180	230		44	80		5	12
EREK-Greenpeace ([r] evolution scenario, 2010)		715	1,875		98	335		25	105
EREK-Greenpeace (advanced scenario, 2010)		780	2,210		108	439		30	225
IEA Roadmaps (2010a, b)		該当データなし			95 ¹	210		該当データなし	148

¹2010年と2020年の成長率の平均から外挿

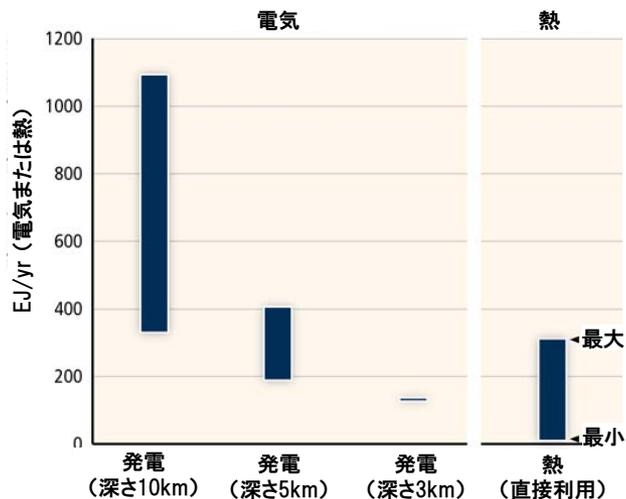
出典：SRREN TS 表3.1

(4) 地熱エネルギー

- 地球内部からの、アクセス可能な熱エネルギーを利用
- 地熱貯留層から坑井などを用いてエネルギーを取り出し、発電および直接熱として利用する
 - 熱水貯留層：天然で十分に高温で透水性がある貯留層
 - 地熱井涵養システム：enhanced geothermal system (EGS)。十分高温であるが水圧の刺激により改善。
- 成熟度
 - 成熟した技術
 - 例：熱水発電、地熱エネルギーの熱利用
 - 実証及びパイロット段階（同時に研究開発段階）
 - 例：地熱井涵養システム
- 発電では一定の電力を提供可

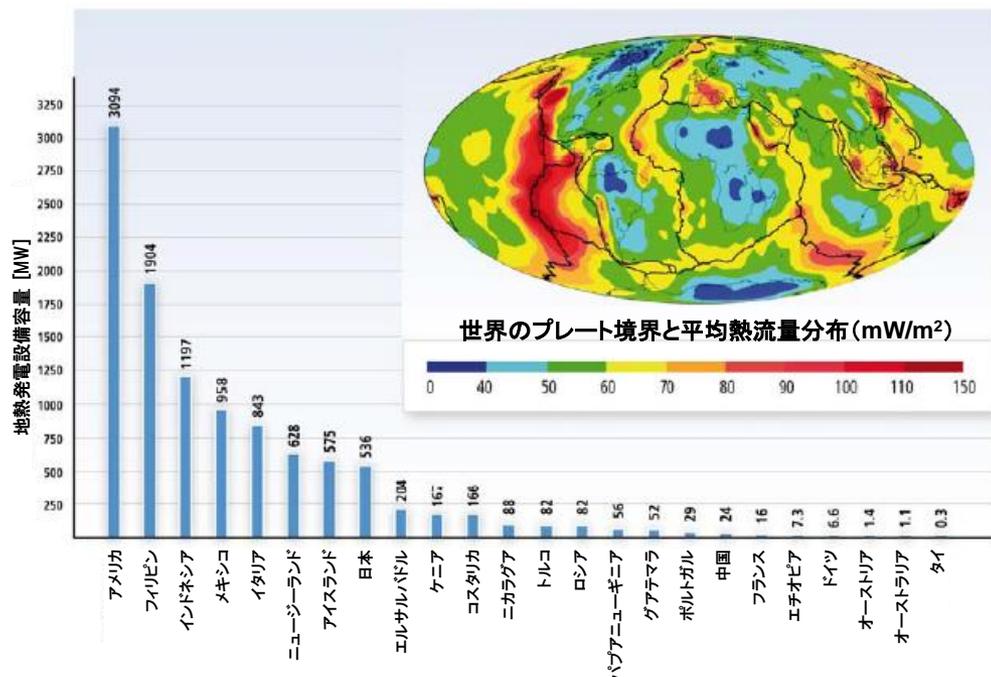
出典:SRREN SPM

発電及び直接利用(熱)について推定した地熱の技術的利用可能量



※直接利用の場合、通常は深度3km以上の開発を必要としない

国別の地熱発電設備容量(2009年)

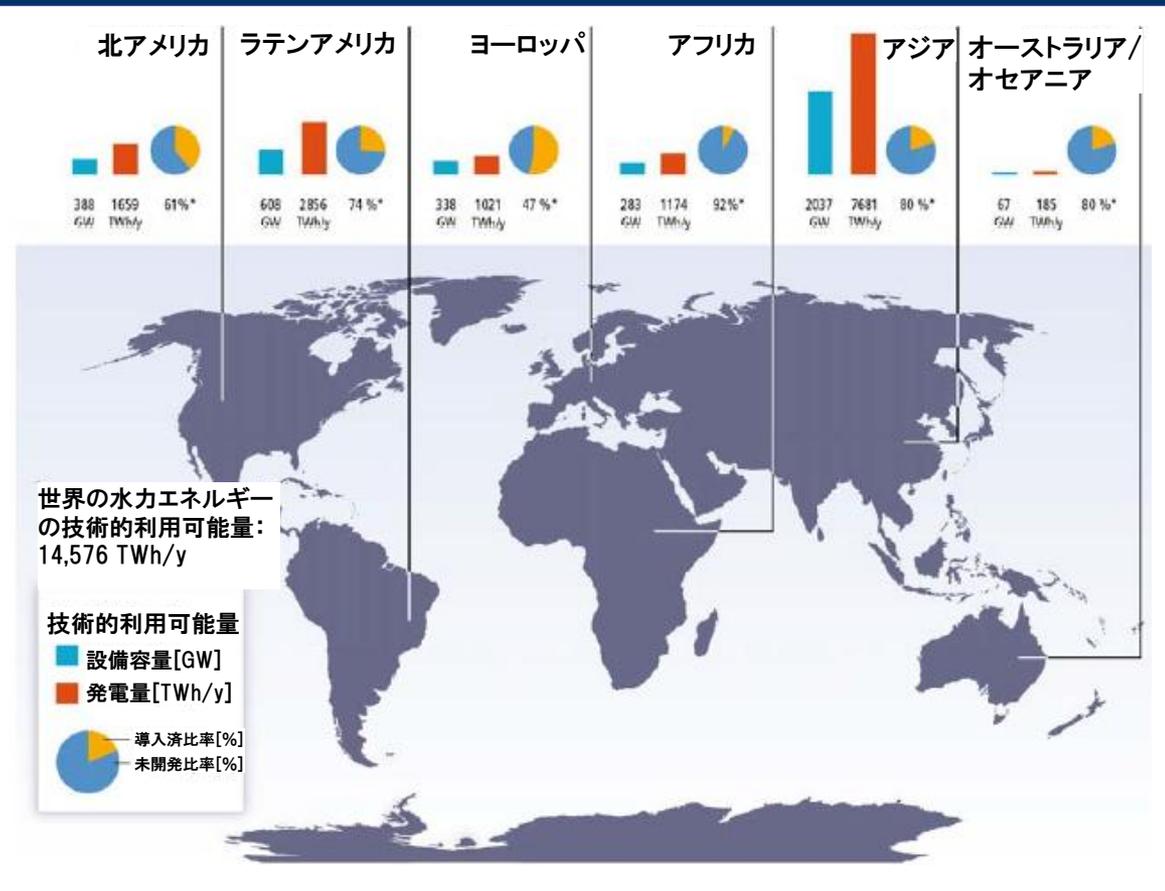


出典:SRREN TS 図4.3

(5) 水力

- 高所から低所へ落下する水のエネルギーを利用(主に発電)
- 連続的な事業スケールをカバー
 - 貯水池のあるダム、水路式発電、in-stream発電など
 - 大規模で集中的な都市ニーズだけでなく農村地域の分散的なニーズにも対応
- 水力発電技術は成熟
- 貯水池を持つ水力発電施設は出力を制御できる
 - 電力のピーク需要に対応可能
 - 出力が変動する再生可能エネルギーを大量に抱える電力系統の調整に貢献
- 水力発電用貯水池の運転は、エネルギー供給に加えて多様な用途をもたらす

年間発電量及び推定設備容量(GW)に基づいて推定した地域別の水力発電技術的利用可能量



出典:SRREN TS 図5.1

出典:SRREN SPM

(6) 海洋エネルギー

• 海洋のもつ位置エネルギー、運動エネルギー、熱エネルギー、化学エネルギーを変換し、電気や熱や飲料水を提供

• 広範な技術が可能性をもつ

例：潮汐発電

潮流・海流発電
海洋温度差発電
塩分濃度差発電
波力発電

• 海洋エネルギー技術は、潮汐発電を除き、実証段階又はパイロットプロジェクト段階

- 多くは更なる研究開発が必要

• 出力の変動

- 出力が変動するもの

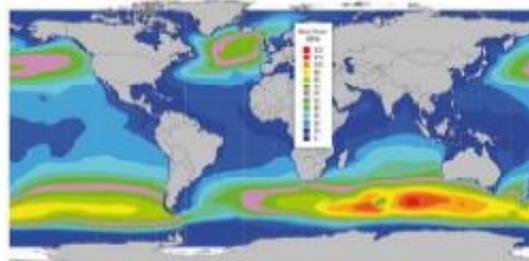
例：波力発電、潮汐発電、潮流・海流発電

- 出力がほぼ一定か制御可能なもの

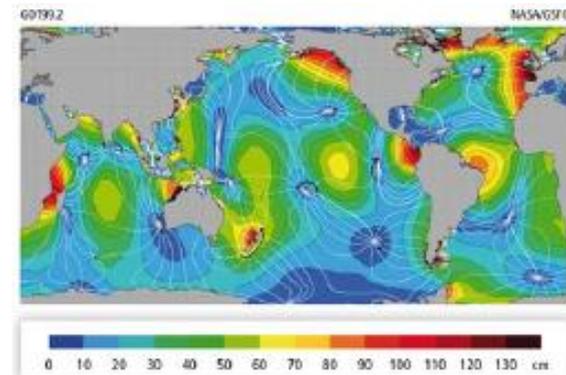
例：海洋温度差発電、塩分濃度差発電

出典：SRREN SPM

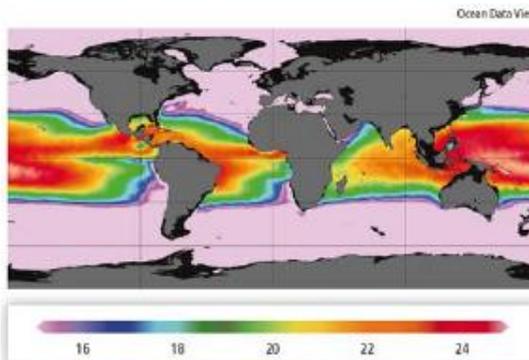
各種海洋エネルギー資源の分布



a) 沖合の年間波力レベル(kW/m)



b) 潮汐 M2分潮(主太陰半日周期)の振幅(cm)



c) 海洋熱エネルギー(深さ20mと100mの温度差°C)



d) 表層海流(暖流: 赤、寒流: 青)

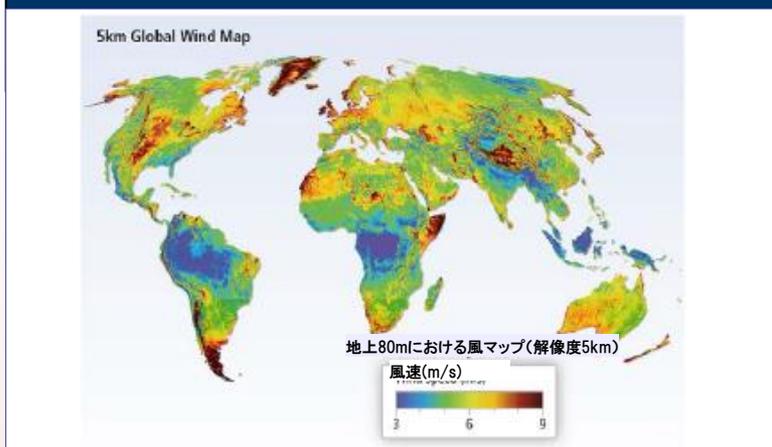
出典：SRREN TS 図6.1

(7) 風力エネルギー

- 風の運動エネルギーを利用
- 気候変動の緩和に貢献するのは、陸上(オンショア)および洋上・淡水(オフショア)の大型風力発電
- オンショア風力エネルギー技術はすでに成熟し、大規模に導入されている
- オフショア風力エネルギー技術は引き続き技術進展を遂げるポテンシャルが大きい
- 変動性があり、ある程度予測不可能な面があるが、風力エネルギーを電力系統に組み込む上で克服不可能な技術的障壁はない

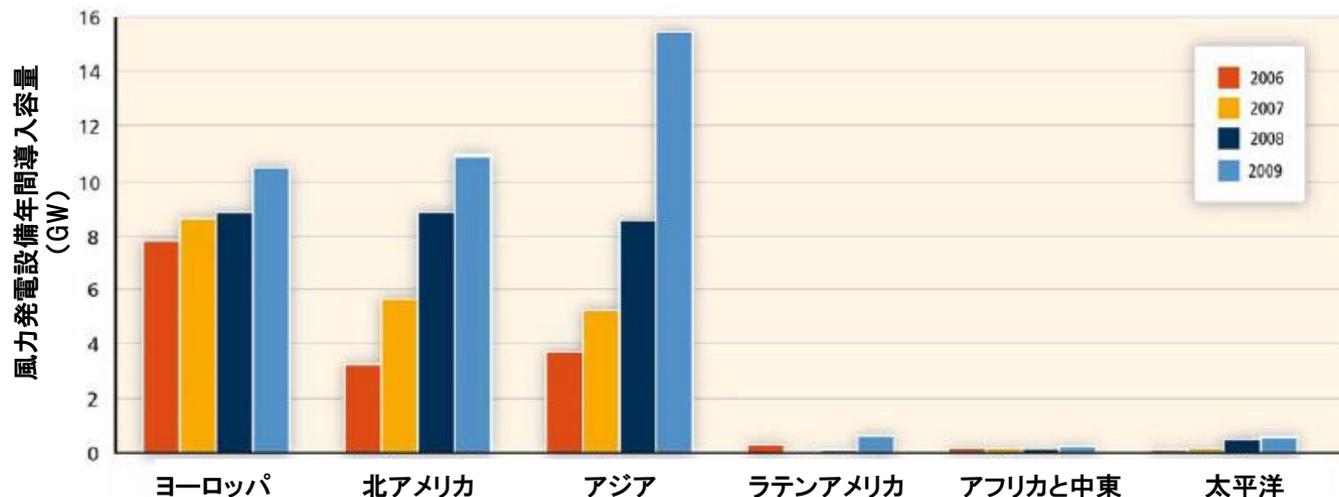
出典:SRREN SPM

世界風力資源マップの例(解像度:5 km×5 km)



出典:SRREN TS 図7.1

地域別に見た1年あたりの風力発電設備の導入容量



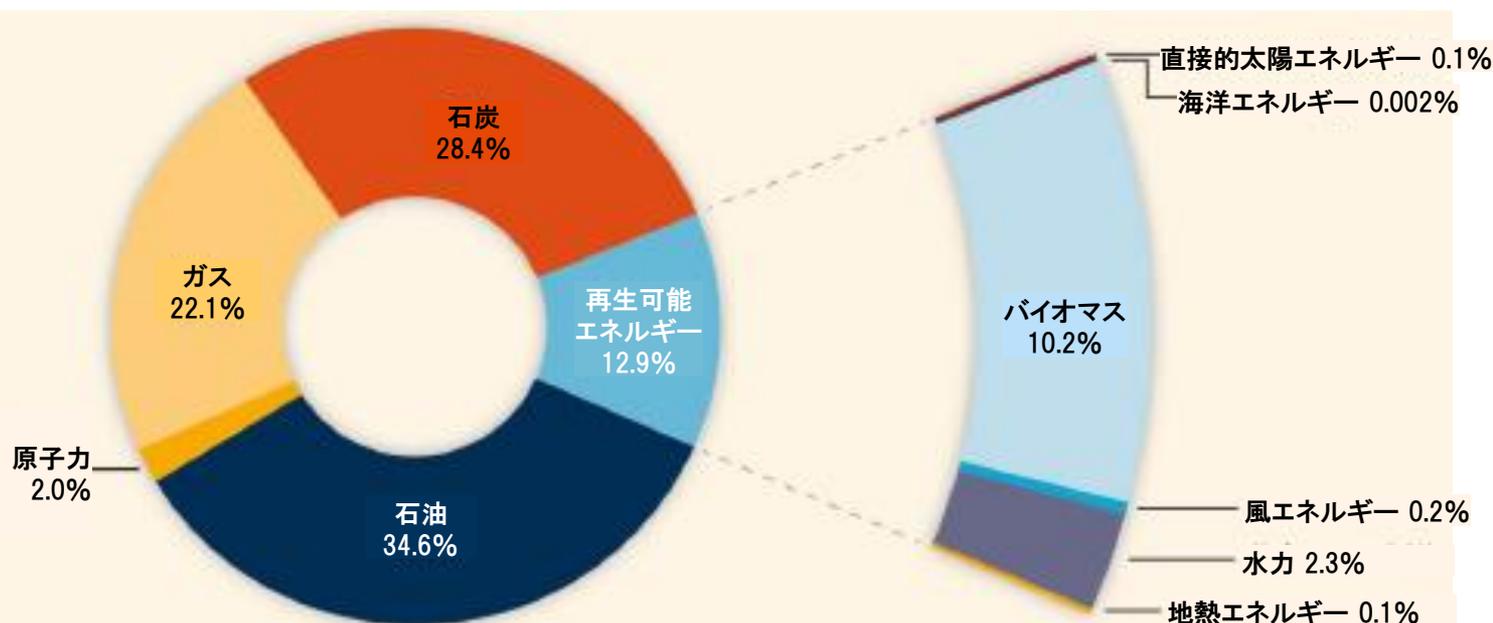
出典:SRREN TS 図7.3

(8) 再生可能エネルギーの普及-1

- 2008年の世界の一次エネルギー供給総量の492EJのうち、再生可能エネルギーは12.9%を占めると見積もられる。
- 再生可能エネルギーの主役はバイオマス(10.2%)で、その多く(約60%)*は発展途上国における調理や暖房などの用途に使われている伝統的バイオマスであるが、近代的なバイオマスも急速に普及が拡大している。
*この他に公式なデータベースに無い20-40%のバイオマス利用(畜ふん燃料、木炭、違法伐採、燃料用木材、農業残さ)がある
- 水力は、492EJのうち2.3%を占めるが、その他の再生可能エネルギーは、0.4%である。
- 2008年、再生可能エネルギーは世界の電力供給の約19%(水力16%、その他3%)、バイオ燃料は、世界の自動車燃料供給の2%、伝統的バイオマス(17%)、近代的バイオマス(8%)、太陽熱・地熱エネルギー(2%)は合計で世界の熱需要総量の27%を供給した。

出典:SRREN SPM

世界の1次エネルギー供給量(2008年)に占めるエネルギー源のシェア



異なるエネルギーの1次エネルギー供給量の計算方法は、やり方によって結果が異なり、統一的方法はない。再生可能エネルギー特別報告書で用いている方法は、同報告書Annex IIIに示されている。

出典:SRREN SPM 図2

(9) 再生可能エネルギーの普及-2

再生可能エネルギー特別報告書で用いる一次エネルギーの評価方法（direct equivalent method）の特徴

- 異なるエネルギーの1次エネルギー供給量の計算方法は、やり方によって結果が異なり、統一的な方法はない。再生可能エネルギー特別報告書で用いている方法の概要とその特徴などは以下のとおりである。
 - 燃焼を伴うエネルギー（化石燃料とバイオマス）は、その熱量（低位）で評価する。一方、燃焼を伴わないエネルギー（太陽光など燃焼を伴わない再生可能エネルギーと核燃料）は、その二次エネルギーで評価する。
 - このような方法では、燃焼を伴わないエネルギーのエネルギー量は、燃焼を伴うエネルギーと比較して、大まかにいって1.2分の1から3分の1、少なく評価される。
 - したがって、一次エネルギー供給量に占める、燃焼を伴わない個々のエネルギーと燃焼を伴う個々のエネルギーの割合にも影響する。
 - 再生可能エネルギー報告書のデータや図では、燃焼を伴うエネルギー（化石燃料とバイオマス）と、燃焼を伴わないエネルギー（再生可能エネルギーの一部と核燃料）を比較しているが、この影響を含んでいる。

なお、方法論の詳細は、再生可能エネルギー特別報告書Annex IIに記載されている。

出典:SRREN SPM

(10) 再生可能エネルギーの普及-3

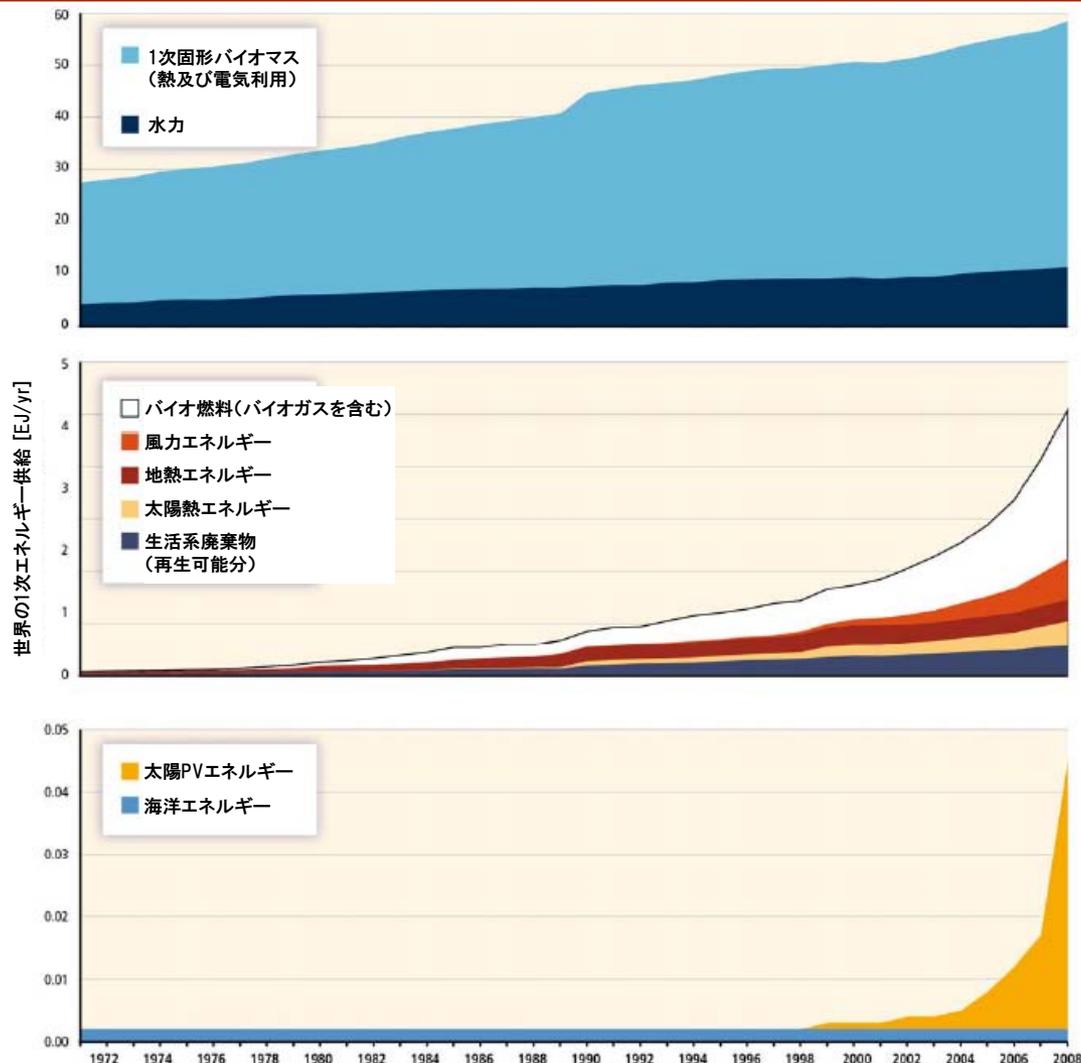
- 近年、再生可能エネルギーの導入が急速に進んでいる。

要因：政策、コストの低下、化石燃料価格の変化、エネルギー需要の増加など

- 2009年、金融危機にも関わらず、再生可能エネルギーの生産能力は急速な成長を続けた。
- 2008～2009年の2年間に世界では約300GWの発電容量が新たに追加され、そのうち140GWは再生可能エネルギーによる追加分だった。
- 発展途上国全体で世界の再生可能エネルギー発電容量の53%がある。

出典：SRREN SPM

世界の1次エネルギー供給における再生可能エネルギー供給量の変遷(1971～2008年)



出典：SRREN SPM 図3

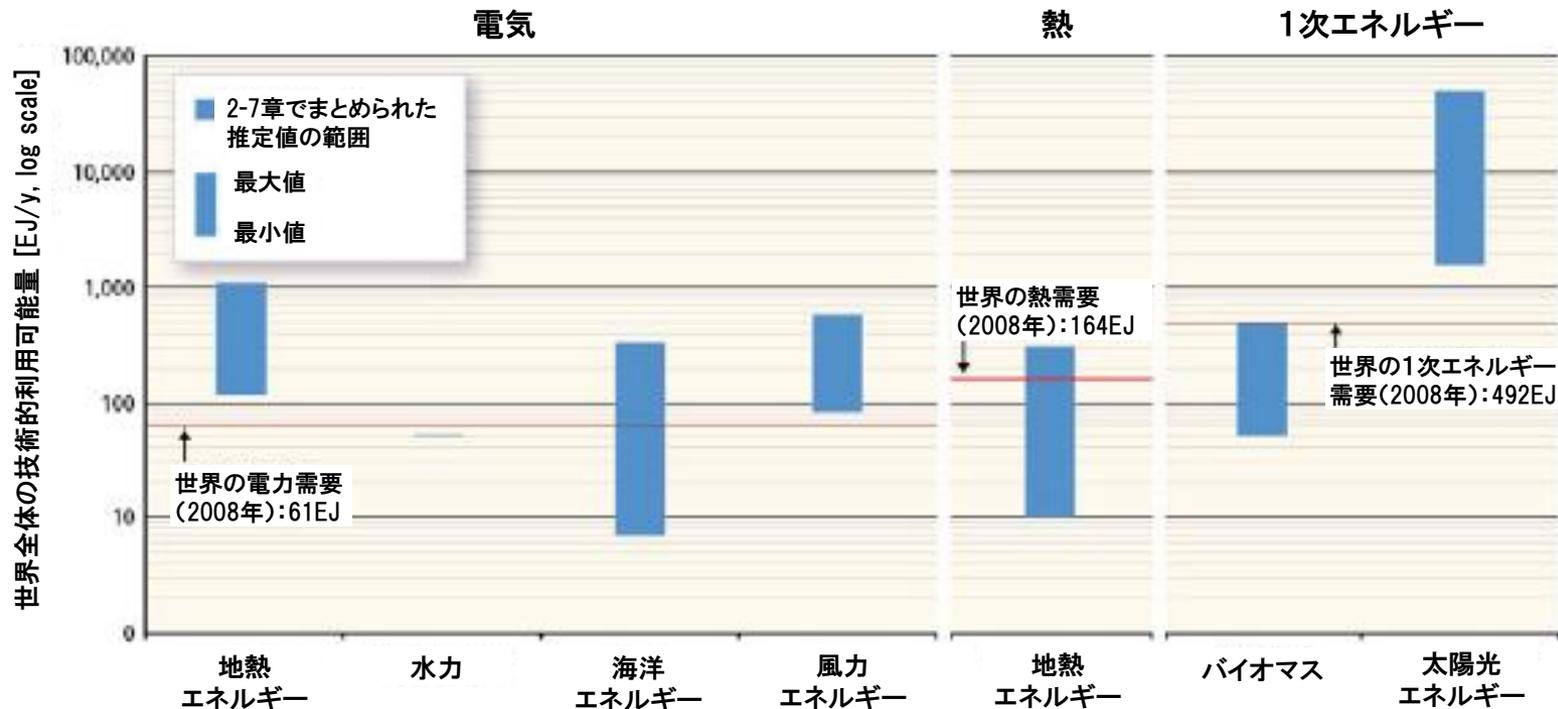
(11) 再生可能エネルギーの導入可能量

- 世界全体での再生可能エネルギー源(RE源)の技術的ポテンシャル(潜在量)*は、REの継続的な利用拡大の制限にはならないであろう。文献で示されている見積もりの範囲は様々であるが、ポテンシャルは、現在の世界のエネルギー需要よりも相当程度大きい。
- より長期および高位の発展段階においては、いくつかの再生可能エネルギー技術の寄与には限度がある。持続可能性の問題、公衆の支持、システム統合及びインフラ上の制約、経済的要因なども、再生可能エネルギー技術の発展を制限する可能性がある。

*技術的ポテンシャル:実証されている技術や実践を全て実施した場合に得られる再生可能エネルギー出力の総量。コストや障壁、政策は考慮していないが、実際の制約は考慮されている場合もある。

出典:SRREN SPM

電気及び熱に利用される再生可能エネルギー源の世界全体で合計した技術的利用可能量



*バイオマス及び太陽光は多用途であるため1次エネルギーとして示した。

出典:SRREN SPM 図4

(12) 気候変動による影響

- ・ 気候変動は、再生可能エネルギー源の技術的利用可能量の大きさ及び地理的分布に影響を及ぼす。起こりうる影響の大きさについては、研究が始まったばかりである。

出典:SRREN SPM

気候変動が再生可能エネルギー源の技術的利用可能量に及ぼす影響

- ・ 気候変動は、再生可能エネルギー源の基盤に影響を与えるが、その正確な特徴や影響の程度は不確実である。
- ・ バイオエネルギー
気候変動は、土壌条件、降水量、作物の生産性等の変化を通じて将来のバイオマス生産にインパクトを与え、バイオエネルギーの技術的利用可能量に影響を及ぼし得る。世界の平均気温の変化が2℃未満の場合、全体的な影響は世界規模では比較的小さいと予想される。しかしながら、地域差はかなり大きいと予想されており、他の再生可能エネルギーに比べて、不確実性が大きく評価が難しい。
- ・ 太陽エネルギー
気候変動は雲域の分布や変動に影響すると考えられるが、太陽エネルギーへの全体的影響は小さいと予想される。
- ・ 水力
総合的な影響により、世界規模の技術的ポテンシャルはわずかに向上すると予測されているが、地域間や国内でさえも相当の差異がある可能性も指摘されている。
- ・ 風力
世界規模の技術的利用可能量に大いに影響することはないが、風力エネルギーの地域分布が変化することが予測されている。
- ・ 地熱、海洋エネルギー
その量や地理的分布に重大な影響は及ぼさない。

(13) 再生可能エネルギーのコスト-1

・コスト評価のための手法：均等化発電原価(levelized cost of energy) 出典:SRREN SPM

均等化原価(levelized cost)は発電投資の評価に使われる考え方。

耐用年数内でのエネルギー生産システムのコストを指す。収入(価格×発電量)と費用を、ある発電事業の全期間で考えたとき、評価時の価格に換算した総収入と総費用が等しいとした場合に求められる価格(原価)が均等化発電原価である。

バリューチェーンの上流で発生する全ての民間コストを含むが、最終消費者への配送、統合コスト、環境その他の外部コストを含まない。補助金や税控除なども含まない。 出典:SRREN SPM ANNEX 2

コスト評価に当たっての再生可能エネルギーの分類

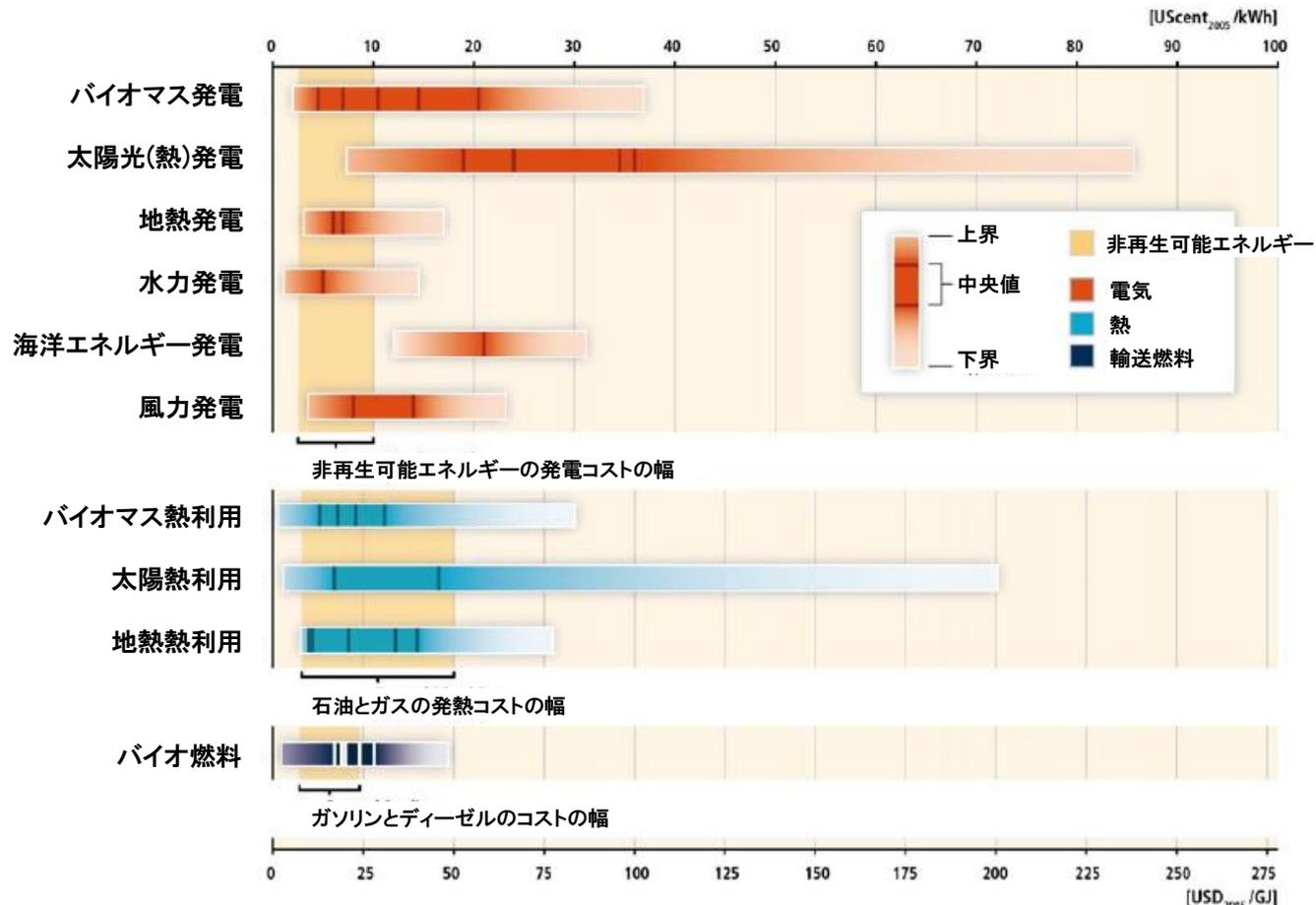
電気	熱	輸送燃料
バイオマス: 1. 混焼 2. 小規模CHP(ガス化内燃機関) 3. 専用スターカーおよびCHP 4. 小規模CHP(蒸気タービン) 5. 小規模CHP(有機ランキンサイクル) 太陽光(熱)発電: 1. 集光型太陽熱発電 2. 実用規模の太陽光発電(1軸固定傾斜) 3. 商用屋上太陽光発電 4. 住宅用屋上太陽光発電 地熱発電: 1. フラッシュサイクルプラント 2. バイナリーサイクルプラント 水力発電: 1. 全て 海洋エネルギー発電: 1. 潮汐発電 風力発電: 1. 陸上 2. 海上	バイオマス熱利用: 1. CHPベースの都市固形廃棄物 2. CHPベースの嫌気性消化(発酵) 3. 蒸気タービンCHP 4. 家庭用のペレット暖房システム 太陽熱利用: 1. 中国における家庭用の温水システム 2. (太陽熱)給湯・暖房 地熱熱利用: 1. 温室 2. 覆いのない養殖池 3. (地熱)地域暖房 4. 地熱ヒートポンプ 5. 地熱ビル暖房	バイオ燃料: 1. コーンエタノール 2. 大豆バイオディーゼル 3. 小麦エタノール 4. サトウキビエタノール 5. パームオイルバイオディーゼル

CHP(combined heat and power):コジェネレーション

(14) 再生可能エネルギーのコスト-2

- 多くの再生可能エネルギーの均等化発電原価は既存エネルギー価格よりも高いが、様々な条件下ですでに経済的競争力を持つ再生可能エネルギーもある。 出典:SRREN SPM

非再生可能エネルギーと比較した、商業的に利用可能な再生可能エネルギーの近年の均等化発電原価



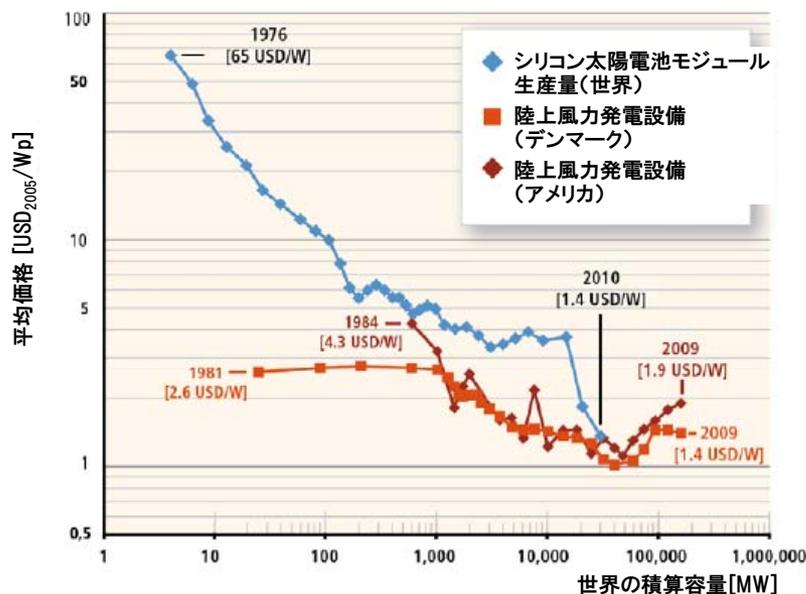
※中央値は前スライドの表のサブカテゴリーに対して示されている。サブカテゴリーは(上図の左→右の)出現順に並べられている。

(15) 再生可能エネルギーのコスト-3

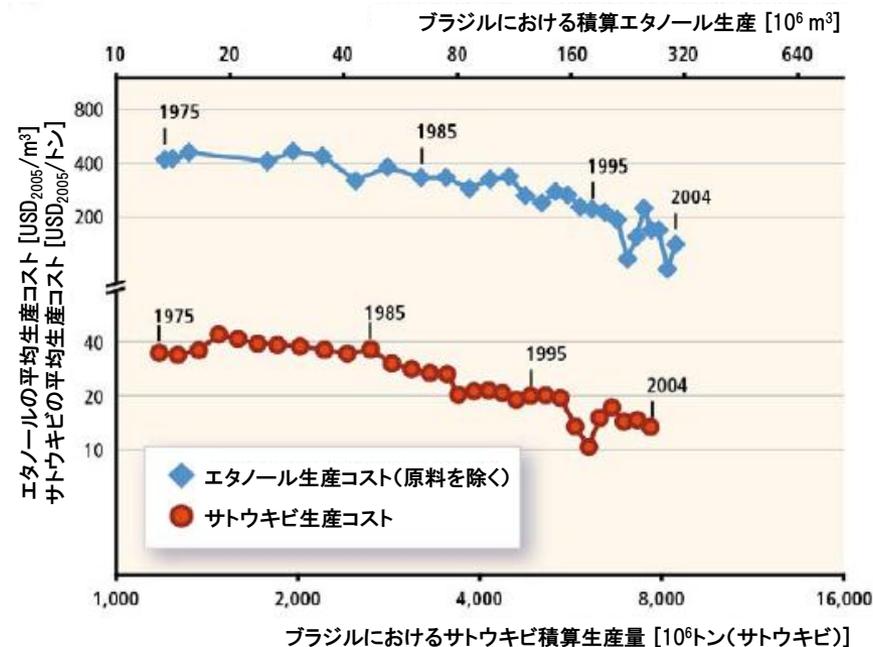
- 多くの再生可能エネルギー技術のコストは低下しており、技術進歩により、さらにコストは減少する見込み。
- さらなるコスト削減が予想され、普及ポテンシャルの増加、気候変動緩和をもたらす。
- 技術的進歩のポテンシャルが高い重要分野
次世代バイオ燃料・バイオリファイナリー、新型PV・CSP技術と製造工程、地熱井涵養システム（EGS）、複数の新たな海洋エネルギー技術、洋上風力発電の基盤とタービン設計

出典:SRREN SPM

シリコン太陽電池モジュールと陸上風力発電設備の経験曲線



サトウキビベースのバイオエタノール生産コストの経験曲線(ブラジル)



(16) コスト以外の課題

- 再生可能エネルギーにより温室効果ガスの排出を大きく削減するためには、コストに加え、各技術に特有な様々な課題に取り組む必要がある。

出典:SRREN SPM

再生可能エネルギーの活用においてコスト以外で考慮すべきこと

- ・ **バイオエネルギー**
バイオエネルギーの利用拡大と持続可能な利用のために、持続可能性の枠組みの適切な計画、実行、モニタリングが必要。
- ・ **太陽エネルギー**
系統連系や送電における規制や制度的障壁が大量の導入を妨げている。
- ・ **地熱エネルギー**
地熱井涵養システムを経済的、持続的に、広く導入できることを証明することが課題。
- ・ **水力**
新たは水力発電プロジェクトは、その場所に特有の経済的、社会的影響がある。導入拡大のためには、持続可能性の評価ツールと、エネルギーおよび水需要に取り組むための地域の多様な関係者の協力が必要。
- ・ **海洋エネルギー**
海洋エネルギーの導入には、実証プロジェクトのための試験センターや早期の導入を促進する専用政策や規則が役立つ。
- ・ **風力エネルギー**
風車の景観への影響に関する市民の受容問題のほか、送電の制約や系統連系に対する技術的・制度的解決策が特に重要。

出典:SRREN SPMを基に作成

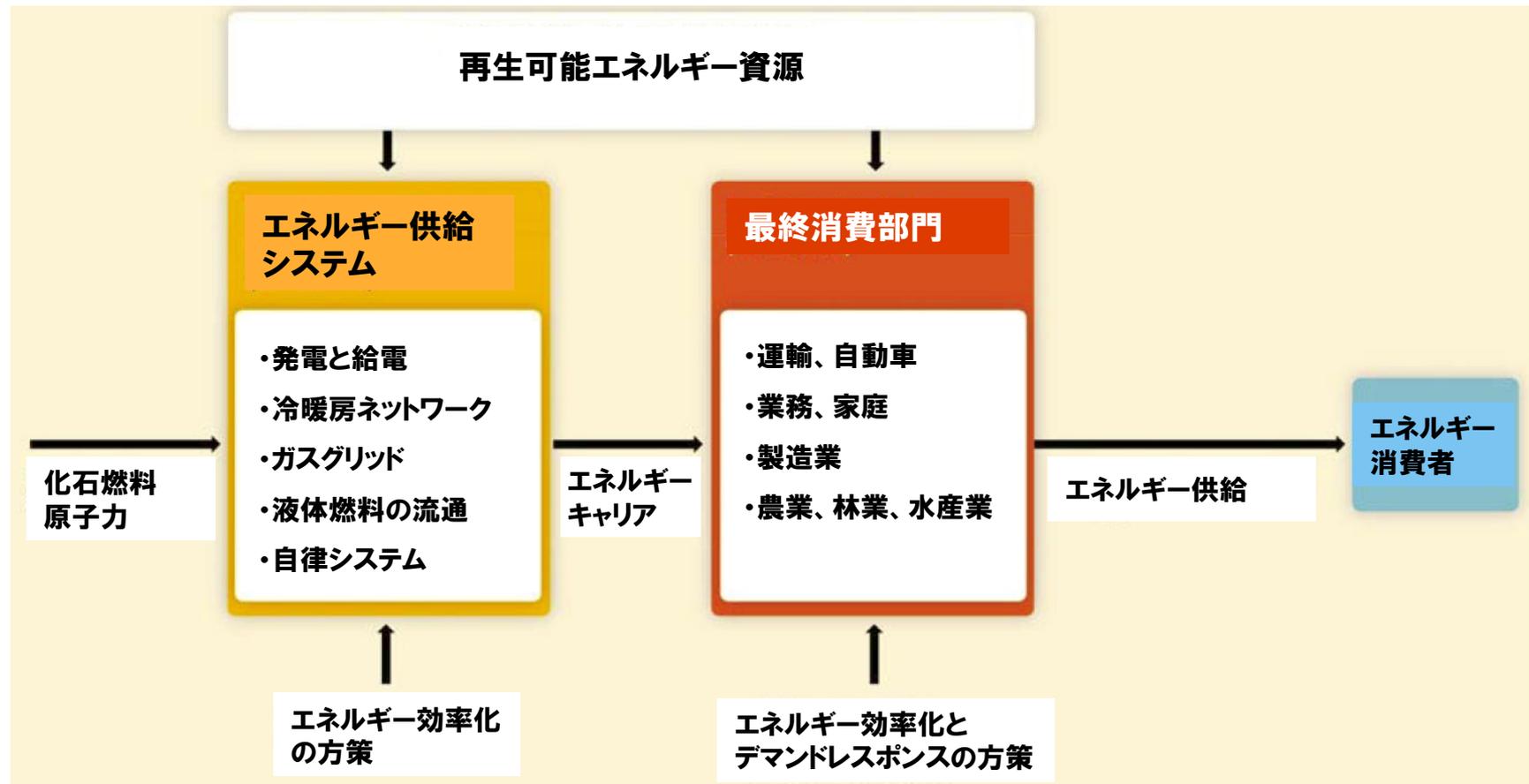
4 現在および将来の エネルギーシステムへの統合

(1) 既存のエネルギー供給システムへの統合

- 様々な再生可能エネルギー源が既に、既存のエネルギー供給システム(インフラ)と最終消費部門に統合されている。

出典:SRREN SPM

再生可能エネルギーの既存エネルギー供給システムへの統合



出典:SRREN SPM 図7

(2) 既存のエネルギー供給システムへの統合時の留意点-1

- 各々の再生可能エネルギー源の特性は、統合時の課題の大きさに影響しうる。
- 再生可能エネルギーの既存システムへの統合を加速的に進め、その高いシェアを実現することは、追加的な多くの課題を生じるが、技術的には可能である。
- 既存システムに統合するためのコストと課題は、再生可能エネルギーの現在のシェアと利用可能性と特徴、エネルギー供給システムの特徴、将来の発展の方向に依存する。

出典:SRREN SPM

再生可能エネルギーを既存システムへ統合する際の留意点

供給システム	留意点
電力	<ul style="list-style-type: none"> ・様々なタイプ・規模の電力システムシステムに統合可能。 ・さまざまな再生可能エネルギー源が浸透するにしたがい、システムの信頼性を維持することがより難しく、より高コストとなってくる。
地域熱供給	<ul style="list-style-type: none"> ・暖房用途としては、太陽熱や地熱、バイオマス、廃棄物燃料などが使用できる。 ・熱を貯蔵できることで、変動性に関する課題を克服できる。
ガス供給網	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオメタン、また将来は再生可能エネルギー由来の水素を統合可能。 ・ガスの品質基準を満たす必要がある。
液体燃料	<ul style="list-style-type: none"> ・調理用、輸送用、熱利用にバイオ燃料を統合可能。 ・純バイオ燃料やブレンド燃料は自動車燃料仕様を満たす必要がある。

出典:SRREN SPM を基に作成

(3) 既存のエネルギー供給システムへの統合時の留意点-2

再生可能エネルギーの系統連系における特性のまとめ

再生可能エネルギー技術の統合に関する特徴

技術		発電容量	可変性	送電性	地理的分布 ポテンシャル	予測可能性	容量利用率	容量クレジット	有効電力・ 周波数制御	電圧・無効 電力制御
		MW	時間スケール	下記参照	下記参照	下記参照	%	%	下記参照	下記参照
バイオエネルギー		0.1-100	季節(バイオ マスの利用可 能量による)	+++	+	++	50-90	火力発電やコ ージェネレーショ ンに類似	++	++
直接的太陽 エネルギー	太陽光発電	0.004-100 (モジュール)	分~年	+	++	+	12-27	<25-75	+	+
	集光型 太陽熱発電	50-250	時~年	++	+	++	35-42	90	++	++
地熱エネルギー		2-100	年	+++	資料無し	++	60-90	火力発電に 類似	++	++
水力	河川流水	0.1-1500	時~年	++	+	++	20-95	0-90	++	++
	ダム	1-20000	日~年	+++	+	++	30-60	火力発電に 類似	++	++
海洋 エネルギー	潮位差	0.1-300	時~日	+	+	++	22.5-28.5	<10	++	++
	潮流	1-200	時~日	+	+	++	19-60	10-20	+	++
	波力	1-200	分~年	+	++	+	22-31	16	+	+
風力エネルギー		5-300	分~年	+	++	+	20-40(沿岸) 30-45(外洋)	5-40	+	++

- 送電性/+: 送電性は低い、++: 一部送電可能、+++ : 送電可能
- 地理的分布ポテンシャル/+: 中程度のポテンシャル、++: 高い分布ポテンシャル
- 予測可能性/+: 中程度の予測精度、++: 高い予測精度

- 有効電力・周波数制御/+: かなり制御可能、++: 完全に制御可能
- 電圧・無効電力制御/+: かなり制御可能、++: 完全に制御可能

(4) 最終消費部門での統合の特性

- あらゆる最終消費部門で、再生利用可能エネルギーのシェアを高める道すじは多数存在するが、統合が容易にできるかどうかは、地域により、また部門及び技術ごとの特性により差がある。

出典:SRREN SPM

最終消費部門毎の再生可能エネルギー統合における特徴

部門	特徴
輸送	液体及び気体バイオ燃料を燃料供給システムへ既に統合しているか、あるいは統合を続けると見込まれる国は増加しつつある。統合の選択肢には、RE電力とRE水素の現場生産や集中生産が含まれ、それはインフラ及び自動車の技術開発に左右される。
建築	建物に再生可能エネルギー技術を統合することによって発電や冷暖房をおこなうことができ、特にエネルギー効率の良い設計であれば余剰のエネルギーを供給することも可能である。途上国においては、中小規模の住居にもRE供給システムの統合が適用可能である。
農業 食品産業 繊維産業	現場での直接的な熱・動力の需要にバイオマスを利用する。また余剰の燃料、熱、電気は隣接の供給システムに送ることができる。産業利用のため再生可能エネルギーの間接的統合(電気・熱技術的、RE水素利用等で)を進めることは、いくつかの業種においては1つの選択肢である。

出典:SRREN SPM を基に作成

(5) 再生可能エネルギーの普及率向上のために

- 長期的な統合には、インフラへの投資、制度や管理の枠組み修正、社会的側面への配慮、市場とプランニング、REの成長を見込んだ能力開発などが必要である。
- 再生可能エネルギーは、特に電力において将来のエネルギー供給を形作ることができ、電気自動車、電気(ヒートポンプ)を利用した冷暖房、スマートメーターなど柔軟な需要対応システム、エネルギーの蓄積技術と併せて発展していく可能性がある。
- 再生可能エネルギーの統合に向けては、再生可能エネルギー源が存在するか供給できる場所では、エネルギー需要の主要部分に應えるように再生可能エネルギー技術のポートフォリオを統合することを制限する技術上の根本的課題は少ない。しかし、実際の統合の進展と再生可能エネルギーのシェアは、コスト、政策、環境や社会的側面といった要因に左右されるだろう。

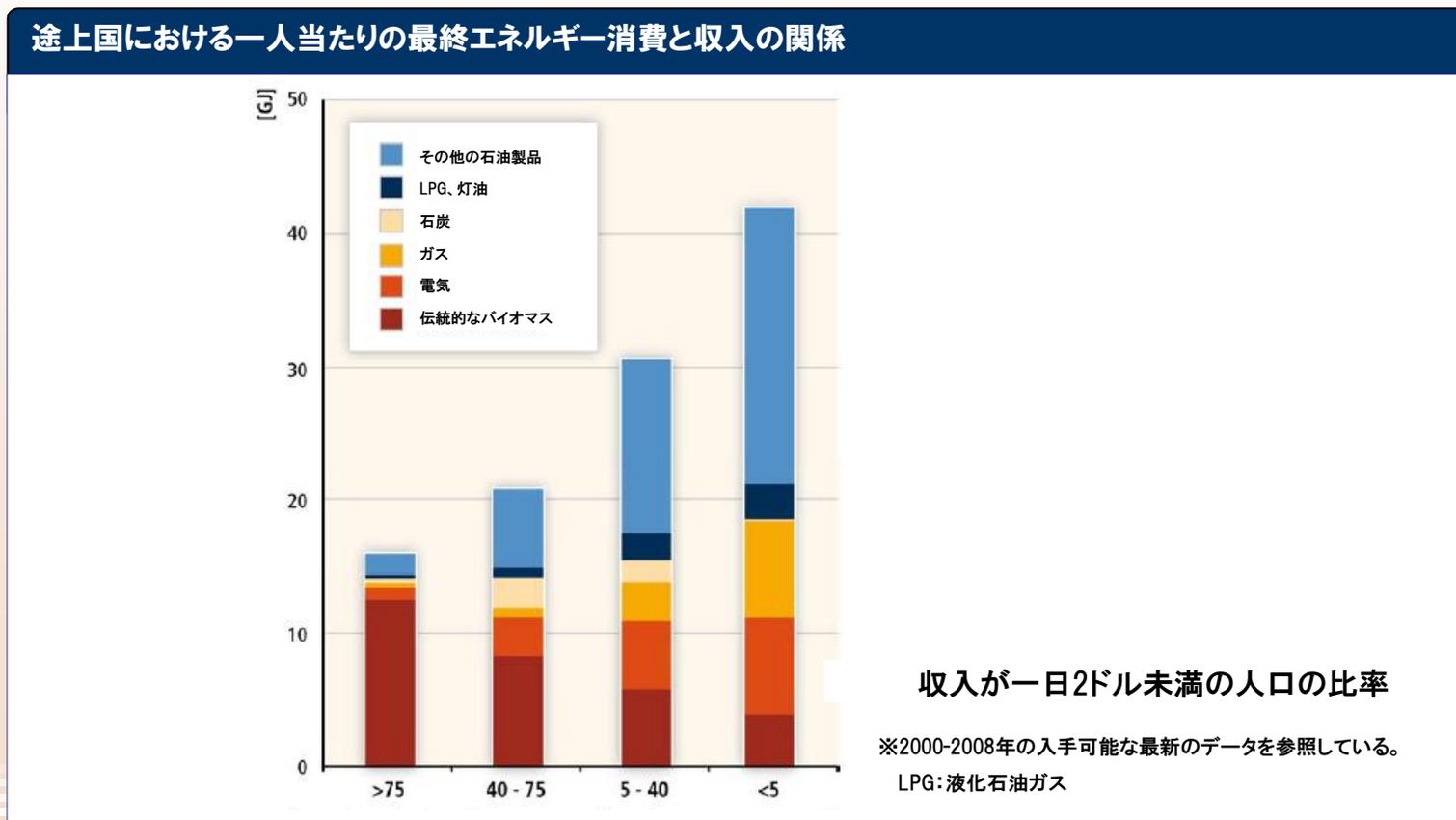
出典:SRREN SPM

5 再生可能エネルギーと 持続可能な開発

(1) 持続可能な開発のための再生可能エネルギー利用-1

- 歴史的に見て、経済成長とエネルギー消費及び温室効果ガス排出の増加との間には強い相関があるが、再生可能エネルギーは、持続可能な発展に貢献しつつ、この相関を切り離すことに役立つ。

出典:SRREN SPM



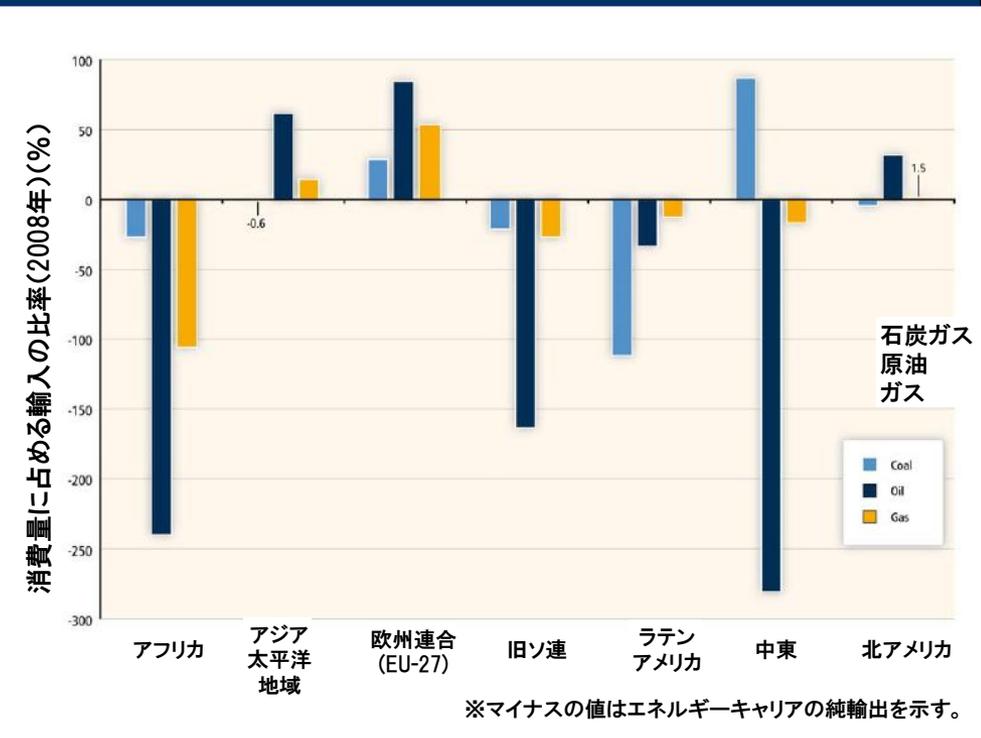
出典:SRREN TS 図9.2

(2) 持続可能な開発のための再生可能エネルギー利用-2

- 再生可能エネルギーは社会の発展と経済成長に貢献する。
- 再生可能エネルギーはエネルギーへのアクセスを容易にする。
(特に対象となるのは、電気へのアクセスのない14億の人々と伝統的なバイオマスを使っているさらに13億の人々)
- 再生可能エネルギーの選択肢は、より安定したエネルギー供給に貢献する。
(統合上の課題の考慮が必要)

出典:SRREN SPM

石炭(硬質炭及び褐炭)、原油、天然ガスの総一次エネルギー消費(%)としてのエネルギー輸入



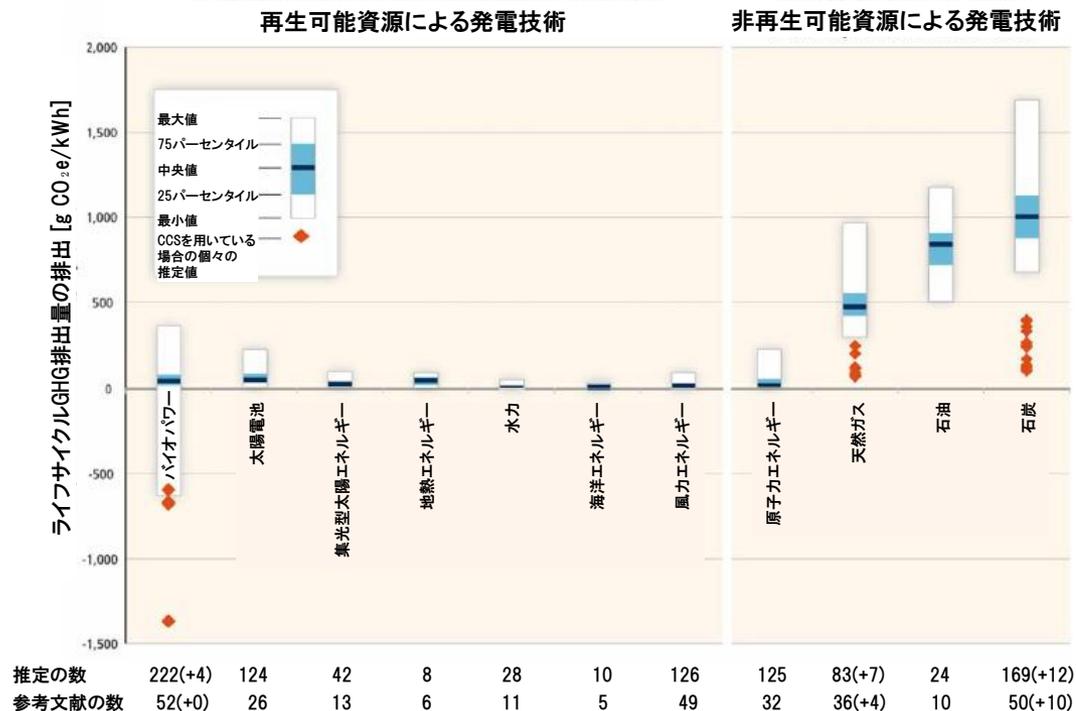
出典:SRREN TS 図9.3

(3) 再生可能エネルギー技術は重要な環境上の利益に貢献する-1

- ・ 発電に関するライフサイクル評価によれば、再生可能エネルギー技術による温室効果ガス排出量は、一般的に、化石燃料によるものより非常に低く、ある範囲の条件で、炭素回収貯留(CCS)を伴う化石燃料による発電よりも低い。
- ・ たいていの現在のバイオエネルギーシステムは、温室効果ガス削減につながり、新しいプロセスや技術を適用したバイオ燃料は、より高い温室効果ガス緩和につながりうる。温室効果ガスの収支は、土地利用変化によって影響されるであろう。
- ・ バイオエネルギーの持続可能性は、とりわけ温室効果ガス排出のライフサイクル評価に関して、土地およびバイオマス資源のマネジメントにより影響される。

出典:SRREN SPM

広範なカテゴリーの発電技術に加え、CCSを組み合わせた一部技術におけるライフサイクル温室効果ガス排出量の推定



※土地利用に関連する炭素ストックの正味の変化(バイオパワー及び貯水池からの水力が主に該当する)と土地管理の影響は除外している。
 バイオパワーの負の推定値は、埋立処分および副産物の残渣や廃棄物からの排出回避についての想定に基づく。
 丸カッコ内に報告した数は、CCSで評価した技術に関するものである。

出典:SRREN SPM 図8

(4) 再生可能エネルギー技術は重要な環境上の利益に貢献する-2

- 再生可能エネルギー技術(特に非燃焼型)は、大気汚染および関連する健康影響を軽減する。
- 水資源の使用可能性は再生可能エネルギー技術の選択に影響する。
- 生物多様性に与える再生可能エネルギー技術の影響は、場所に特有の条件による。
- 再生可能エネルギー技術は死亡をもたらす確率(fatality rate)が低い。

出典:SRREN SPM

6 緩和ポテンシャルとコスト

(1) 統合シナリオ分析による再生可能エネルギーの評価

- 再生可能エネルギーによる気候変動の中長期的な緩和ポテンシャルを評価するため、本報告書では16の大規模な統合モデルから得られた全164のシナリオについてレビュー。
- 164のシナリオは、不確実性の評価をするには意味があるが、統計的分析に適したランダムサンプリングを代表するものではなく、RE技術の完全なポートフォリオを代表するものでもない（海洋エネルギーは一部のシナリオで評価。）
- より詳細な分析のため、164のシナリオを3つの描写シナリオ群※に区分した。これらは、4つのCO₂安定化レベルごとのシナリオで、ベースラインシナリオから、どのくらいのスパンがあるかを示す。

※ここでのカテゴリー分けはAR4で定義されたものに基づいている。

出典：SRREN SPM

CO₂濃度の安定化レベルに応じたカテゴリー

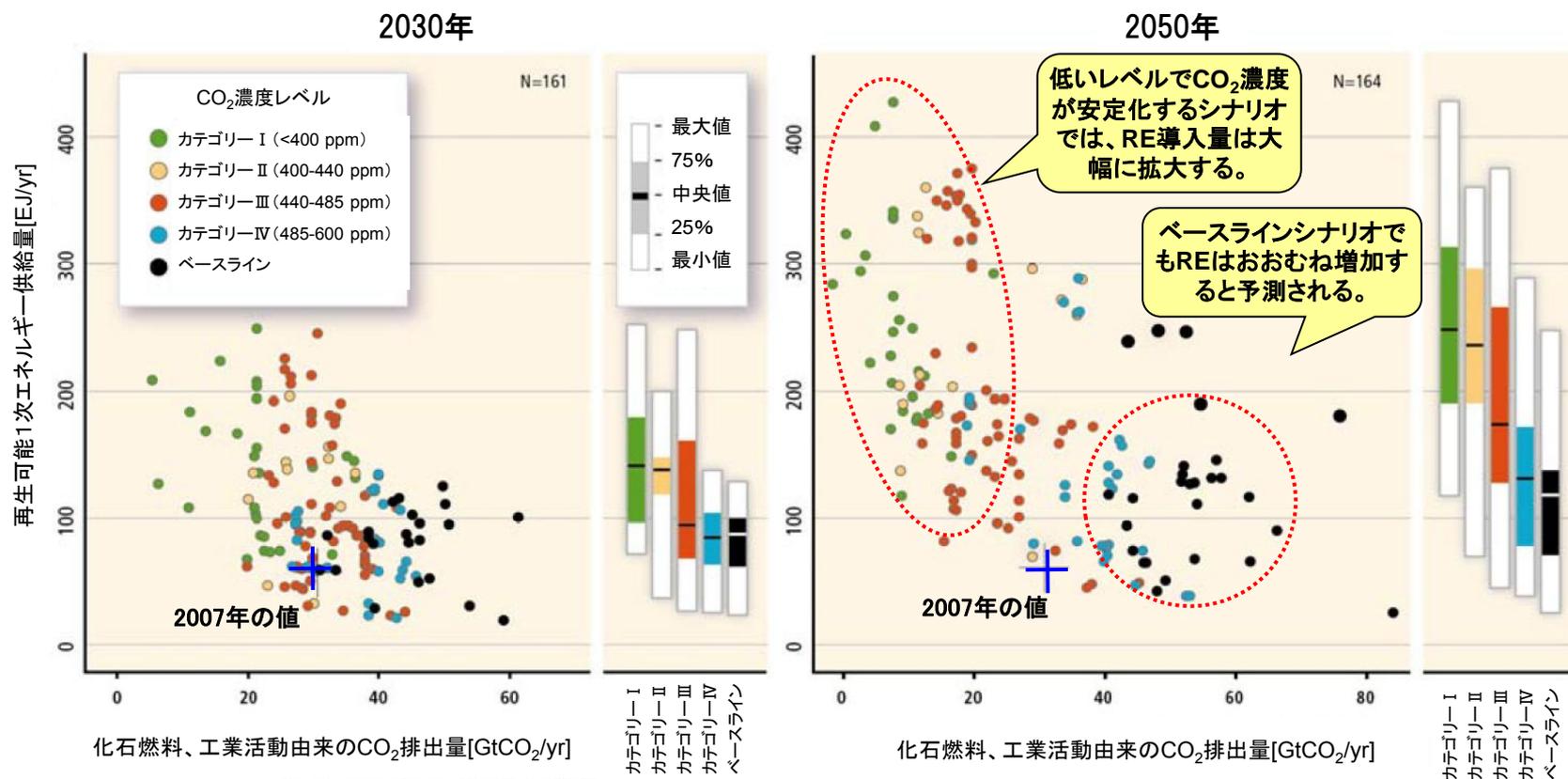
- | | |
|----------------------|---------------------|
| ● カテゴリーⅠ：400ppm以下 | ● カテゴリーⅡ：400～440ppm |
| ● カテゴリーⅢ：440～485ppm | ● カテゴリーⅣ：485～600ppm |
| ● 各モデルにおけるベースラインシナリオ | |

(2) シナリオにおける再生可能エネルギー供給量予測-その1

- 164のシナリオの大多数において、今後再生可能エネルギーの導入量が大幅に増加することが示されている。

出典:SRREN SPM

化石燃料と工業活動に由来するCO₂排出量と再生可能エネルギー供給量(1次エネルギー換算)



出典:SRREN SPM 図9

(3) シナリオにおける再生可能エネルギー供給量予測-その2

- ベースラインシナリオの下でも再生可能エネルギーは拡大すると予想される。
- 再生可能エネルギーの普及は、低いレベルの温室効果ガス安定化濃度のシナリオで、大幅に増加する。

出典:SRREN SPM

1次エネルギー供給量でみた再生可能エネルギーのシェア

◆半数以上のシナリオでは、REの一次エネルギー供給におけるシェアは2030年に17%以上に、2050年に27%以上となると示している。

◆最も高いシェアを示すシナリオにおいては、2030年に約43%、2050年に約77%となっている。半数以上のシナリオで、RE普及は2050年で173EJ/年を越え、いくつかのケースでは400EJ/年を上回る。

出典:SRREN SPM

(4) 緩和策への再生可能エネルギーの貢献

- **低炭素エネルギー供給と効率性改善の組み合わせは、その多くが低い温室効果ガス濃度レベルの実現に貢献しうる。その際多くの場合において、2050年までに再生可能エネルギーが低炭素エネルギー供給の主要なオプションとなる。**
 - ✓ シナリオの結果は、バイオエネルギーとCCSの組み合わせ、RE以外のオプション(例えば、エネルギー効率改善、核エネルギー、化石燃料とCCS)を含み、エネルギー需要の増大、REの統合の可能性など様々な過程を含んでいる。
- **本報告書でおこなったシナリオ評価は、温室効果ガス排出の緩和において再生可能エネルギーが大きなポテンシャルを有することを示している。**
 - ✓ 4つの描写シナリオ群は、2010年から2050年の間に化石燃料使用及び工業活動から排出される1兆5300億tの二酸化炭素(IEAのWorld Energy Outlook 2009のレファレンスシナリオ)に対して、RE技術による約2200～5600億tの二酸化炭素削減を想定している。

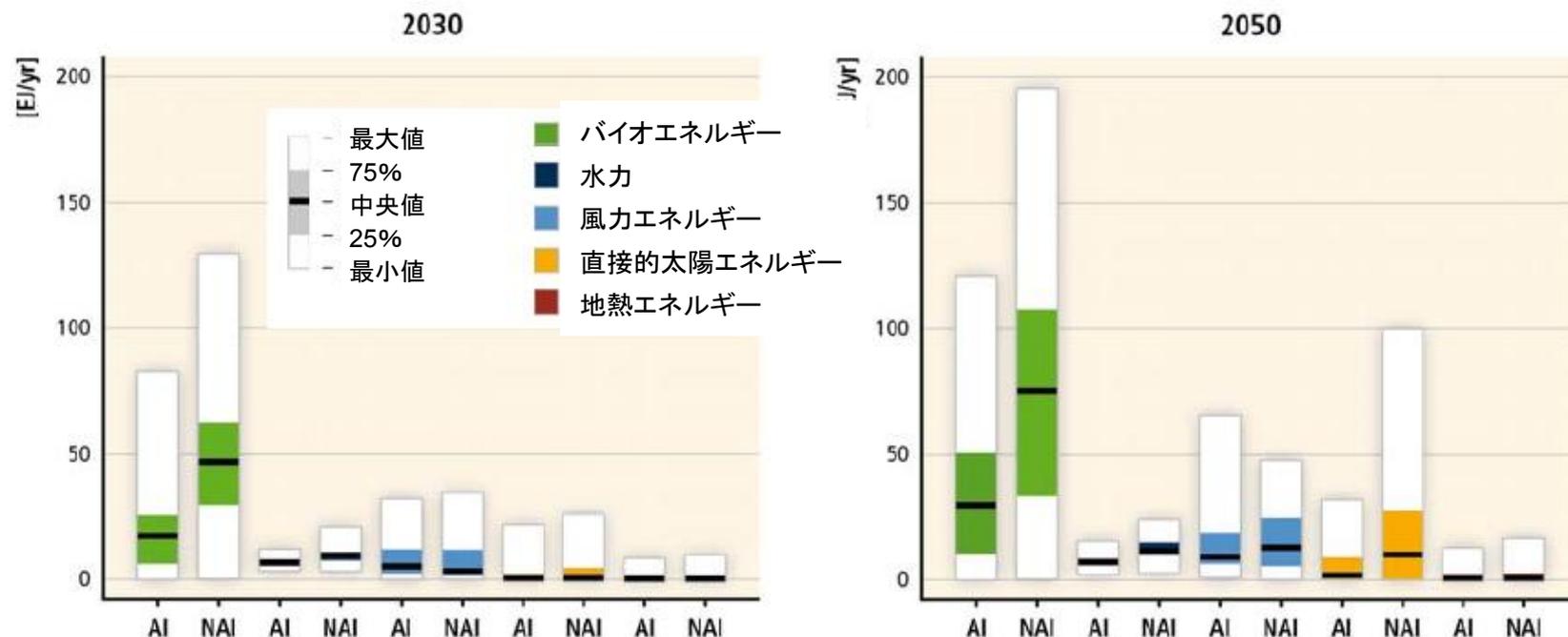
出典:SRREN SPM

(5) 再生可能エネルギー供給量の拡大

- 再生可能エネルギーの成長は世界全体に広がり、特に途上国において導入が拡大する。

出典:SRREN SPM

附属書 I 国、非附属書 I 国における再生可能エネルギー供給量(1次エネルギー換算)



- AI 国: 気候変動枠組条約の附属書 I 記載国で主に先進国と市場経済移行国 ⇔ NAI 国: AI 国以外の国
- バイオエネルギーの供給量が多くなっている理由のひとつは、直接等価法を用いて1次エネルギーの供給量を表していることによる。すなわち、バイオエネルギーは、バイオ燃料、電気、熱に変換する前のエネルギー量を表している。

出典:SRREN SPM 図10

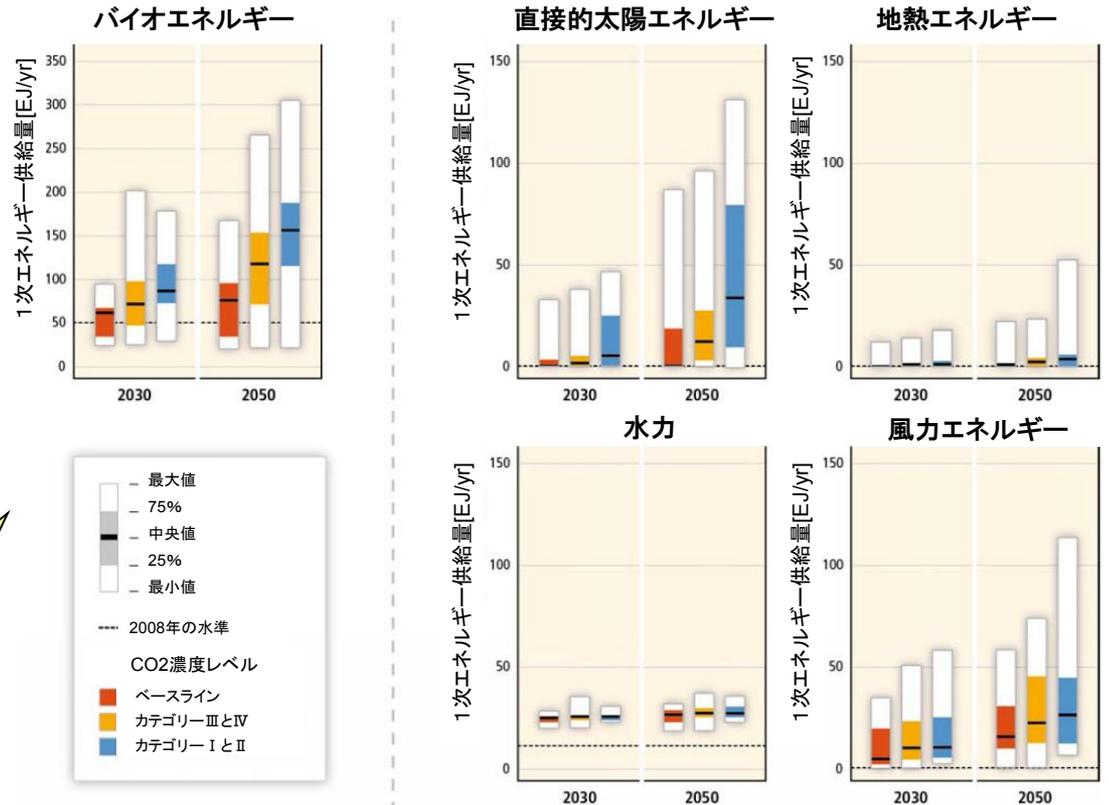
(6) エネルギー別の再生可能エネルギー供給量

エネルギー別の再生可能エネルギー供給量(1次エネルギー換算)

- 世界レベルで見ると、いずれか1つの再生可能エネルギー技術が優先するわけではない。
- シナリオ評価は、技術的ポテンシャルは、REの将来の貢献の制約にはならないことも示している。

シナリオによって異なるが、バイオエネルギー・風力・直接的太陽エネルギーの寄与が大きい。

出典:SRREN SPM



・164の長期シナリオをCO₂濃度レベルでカテゴリー分けして、2030年と2050年の再生可能エネルギーの供給量(1次エネルギー換算)を比較したものの。

出典:SRREN SPM 図11

(7) 再生可能エネルギーの導入と緩和コスト

- 再生可能エネルギーの導入が制限された場合、気候変動の緩和コストは上昇し、温室効果ガスを低濃度で安定化させることはできないだろうことが個々の研究によって示されている。
- 再生可能エネルギーが高いシェアをもつ低炭素経済への移行には、技術とインフラへの投資増大が必要となる。

出典:SRREN SPM

シナリオが予測する再生可能エネルギーの導入に必要な累積投資額（発電分野のみ、世界全

◆ 2011～2020年の10年間：1.36～5.10兆USドル（2005年）

◆ 2021～2030年の10年間：1.49～7.18兆USドル（2005年）

（4つの描写シナリオの詳細な分析による推定値）

◆ 低い数字は、IEA World Energy Outlook 2009の参照シナリオで、高い数字は、大気中CO₂濃度の450ppm安定化シナリオ

◆ 必要な投資額の年間平均値は、いずれのシナリオにおいても世界のGDPの1%未満である。

出典:SRREN SPM

7 政策、実施及び財政支援

(1) 政策の重要性

- 再生可能エネルギーに関する政策の増加、多様化は、近年の再生可能エネルギー技術の発展的な成長をもたらした。
- 政策がさまざまな障壁を克服するのを助け、再生可能エネルギー導入量の増加を促進してきた。

出典:SRREN SPM

再生可能エネルギーの展開を妨げる障壁

- 既存の産業やインフラ、エネルギーシステムの規制に関する制度上あるいは政策上の障壁
- 環境や健康に対するコストのように内部化されないコスト（市場の失敗）
- 再生可能エネルギーの展開に関する情報の欠如、技術や知見の欠如
- 社会や個人の価値、またそれによって影響される再生可能エネルギー技術への認識や受け入れに関する障壁

出典:SRREN SPM

(2) 政策導入におけるポイント-1

- 研究開発に対する公的投資は、他の政策手法、とりわけ新技術の需要を同時に強化するような政策によって補完される場合、最も効果的である。
- いくつかの政策は、急速な再生可能エネルギー導入の増加に有効かつ効率的であることが示されてきたが、万能な政策は存在しない。

出典:SRREN SPM

さまざまな政策の例

- 再生可能エネルギーを利用した電力の普及には固定価格買取制度が有効である。割り当て制（Quota policies）は、長期契約のようなリスク軽減の措置を併せることで効果的、効率的となりうる。
- 再生可能エネルギーを利用した冷暖房に対する公的な資金援助を行う政府が増えている。公的支援とは別に、再生可能エネルギーを利用した暖房の義務付けによってそのポテンシャルを高める手法が注目されつつある。
- 輸送分野における再生可能エネルギー燃料の使用義務付けは、たいていのバイオ燃料産業の発展のためのキードライバーである。政府からの補助金や減税の政策もある。これらの政策によって、バイオ燃料の国際取引の発展につながる。

出典:SRREN SPM

(3) 政策導入におけるポイント-2

- 再生可能エネルギーの発展と展開は、それを「実現可能にする」政策によって支えられる。例えば、エネルギー政策のほかに資金面・教育面などの政策を実施することによって、再生可能エネルギーにとって有利な環境が創出される。
- 市場における失敗は、仮にGHG排出市場やその他のGHG価格付け政策が存在しても、技術進歩のポテンシャルが高い革新的再生可能エネルギー技術に対する追加的な支援を行うことが正当であるという理由になる。
- 再生可能エネルギーが高い費用対効果と普及率を達成するには、長期的な目標と経験から学ぶ柔軟性が重要となる。

出典:SRREN SPM

8 再生可能エネルギーに 関する知見の向上

(1) 再生可能エネルギーに関する知見の向上

- 科学的・工学的な知見を深めることが、再生可能エネルギー技術の性能改善やコスト低減をもたらす。
- 再生可能エネルギーやその気候変動緩和ポテンシャルについての知見は広がり続けている。既存の科学的知見は重要で、政策決定プロセスを促進させることができる。

出典:SRREN SPM

今後知見を広げるべき分野

- 再生可能エネルギー導入の将来コストとタイミング
- 全ての地理的スケールで実現可能な再生可能エネルギーの技術的利用可能性
- さまざまな再生可能エネルギー技術をエネルギーシステムや市場へ統合させる上での、技術的・制度的な課題とそのコスト
- 再生可能エネルギーとその他のエネルギー技術の社会経済・環境面の総合的な評価
- 持続可能な再生可能エネルギーサービスにより途上国のニーズに応える機会
- 多様な状況下で、費用対効果の高い再生可能エネルギーの導入を可能にする政策、制度、財政的メカニズム

出典:SRREN SPM