

# **IPCC AR6 WGIIIの概要**

## **エネルギーシステムのこれから**

2022年4月22日

RITE システム研究G 和田 謙一

# はじめに

- IPCC第56回総会（2022年3月21日-4月4日）において第3作業部会（WG3）第6次評価報告書の政策決定者向け要約（SPM）が承認され、報告書本体が受諾された。
- エネルギーシステム（6章）を中心にWG3レポートを概説する。
- IPCC AR6 WGIIIの意義：
  1. 第5次評価報告書（2014年）以降の情報のアップデート→低炭素技術の進展
  2. グローバルストックテイク（GST）への情報源
  3. 政策に関連する情報提供→ネットゼロ排出
- IPCCレポートからの引用は（ ）内にセクション番号を記載し、個人的なまとめは箇条書きで記す。

# IPCCとUNFCCCの関係

- 1990年 第一次評価報告書 (FAR)
  - 1992年 気候変動枠組み条約 (UNFCCC) 採択
- 1995年 第二次評価報告書 (SAR)
  - 1997年 COP3 京都議定書採択
- 2001年 第三次評価報告書 (TAR)
  - 2001年 COP7 マラケシュアコード (京都議定書の運用ルール) 採択
- 2007年 第四次評価報告書 (AR4)
  - 2009年 COP15 コペンハーゲン
- 2013-14年 第五次評価報告書 (AR5)
  - 2015年 COP21 パリ協定採択
- 2021-22年 第六次評価報告書 (AR6)
  - 2023年 第1回グローバルストックテイク

パリ協定では、目標の提出→最新科学からの情報→GST→強化した目標の提出サイクルが5年で回っていく

# WGIIIレポートの構成

	AR5	AR6
Chapter1	序章	序章と枠組み
Chapter2	気候変動政策のリスクと不確実性の統合評価	排出傾向と駆動要因
Chapter3	社会・経済・倫理的概念と方法	長期目標に整合した緩和経路
Chapter4	持続可能な発展と衡平性	短期・中期の緩和と開発経路
Chapter5	駆動要因、トレンド、緩和	需要、サービス、緩和の社会的側面
Chapter6	移行経路の評価	エネルギーシステム
Chapter7	エネルギーシステム	農業、森林、そのほか土地利用
Chapter8	運輸	都市システムとそのほか居住地
Chapter9	建物	建物
Chapter10	産業	運輸
Chapter11	農業、森林、そのほか土地利用	産業
Chapter12	人間居住、インフラ、空間計画	分野横断事項
Chapter13	国際協力：合意と手段	国・地域の政策と制度
Chapter14	地域開発と協力	国際協力
Chapter15	国・地方自治体の政策と制度	投資と資金
Chapter16	分野横断、投資と資金問題	イノベーション、技術開発・移転
Chapter17	—	持続可能な開発の観点からの移行の加速

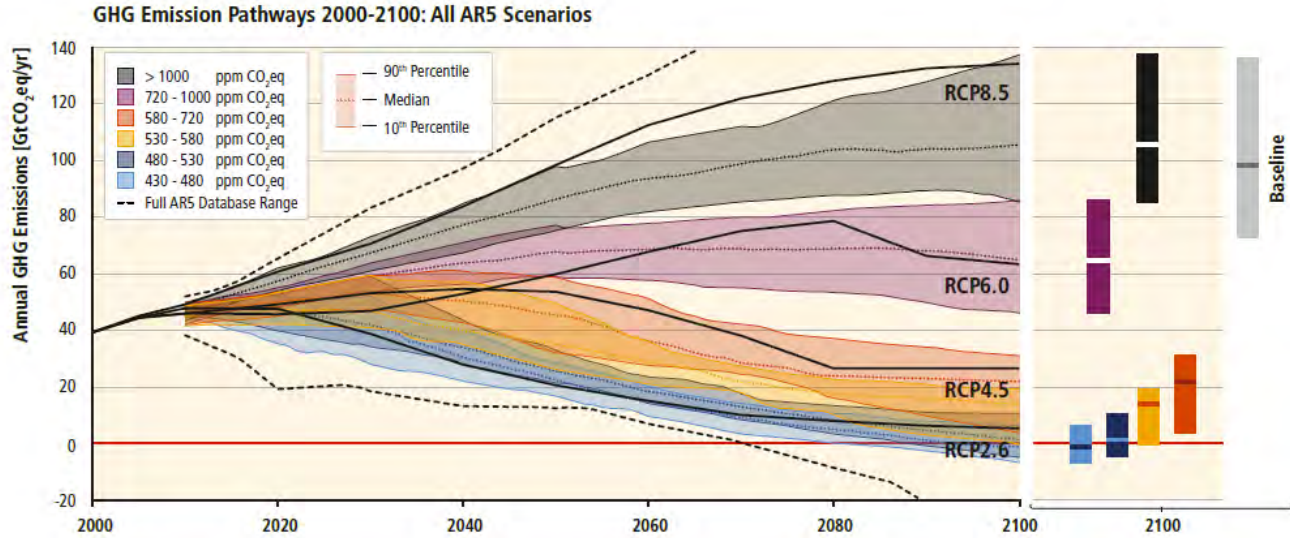
# エネルギーシステム章の構成

Section	AR5 (7章)	AR6 (6章)
1	イントロダクション	イントロダクション
2	エネルギー生産、転換、伝送、分配	エネルギーシステムのスコープと進化の可能性
3	排出傾向と駆動要因の新展開	最近のエネルギーシステムのトレンドと展開
4	資源と資源の利用可能性	緩和オプション
5	緩和技術オプション、慣行、行動的側面	気候変動がエネルギーシステムへ与える影響
6	インフラとシステムの観点	ネットゼロエネルギーシステムの主な特徴
7	気候変動フィードバックと適応との関係	短中期的な低炭素エネルギーシステムへの変革
8	コストとポテンシャル	FAQ
9	コベネフィット、リスク、スピルオーバー	
10	障壁と機会	
11	移行経路のセクター別インプリケーションと持続可能な発展	
12	セクター別政策	
13	知識ギャップとデータ	
14	FAQ	

# 排出シナリオの分類

AR5, Figure SPM. 4

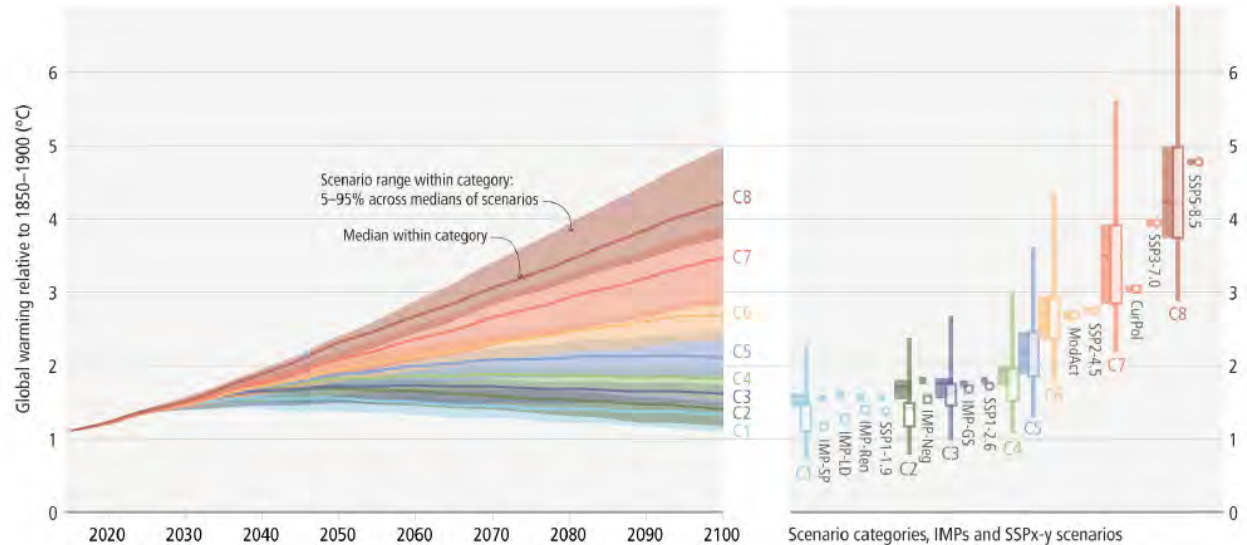
- シナリオの評価軸が濃度から気温となり、排出シナリオの分類も細かい
- SSPに加え、様々な緩和戦略を示す5つの例示的緩和経路 (IMPs) も含まれる



AR6, Box SPM.1, Figure 1

AR6のシナリオカテゴリー

C1	1.5°C-低オーバーシュート
C2	1.5°C-高オーバーシュート
C3	2°C (> 67%)
C4	2°C (> 50%)
C5	2.5°C
C6	3°C
C7	4°C
C8	> 4°C



# 排出シナリオの特徴

オーバーシュートしない又は限られたオーバーシュートを伴って温暖化を1.5°C(>50%)に抑えるモデル化された経路では、GHG排出量は2030年までに34～60%、2050年までに73～98%削減となる。(C.1.1)

オーバーシュートしない又は限られたオーバーシュートを伴って温暖化を1.5°C(>50%)に抑えるモデル化された経路では、世界全体としてCO2排出量正味ゼロ(ネットゼロCO2)に2050年代前半に達し、温暖化を2°C(>67%)に抑える可能性が高い経路では、ネットゼロCO2に2070年代前半に達する(C.2)

【パリ協定4条】今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡を達成する

【日本の長期戦略】2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す

低排出シナリオの主要指標 Table SPM.1抜粋

シナリオ		GHG排出 (2019年比削減率)		GHG排出 ピーク年	ネットゼロ達成時期	
		2030	2050		CO2	GHG
C1	1.5°C-低オーバーシュート	43 (34-60) %	84 (34-60) %	2020-2025	2050-2055	2095-2100
C2	1.5°C-高オーバーシュート	23 (0-44) %	75 (62-91) %	2020-2025	2055-2060	2070-2075
C3	2°C (>67%)	21 (1-42) %	64 (53-77) %	2020-2025	2070-2075	-

# 排出経路とNDC目標との関係

2020年末までに実施される政策がさらに強化されなければ、GHG排出量は2025年以降も増加し、2100年までに3.2 [2.2~3.5] °Cの地球温暖化をもたらす (C.1)

NDCsの実施による2030年の世界全体のGHG排出量では、21世紀中に温暖化が1.5°Cを超える可能性が高い。温暖化を2°Cより低く抑える可能性を高くするためには、2030年以降の急速な緩和努力の加速が必要 (B.6)

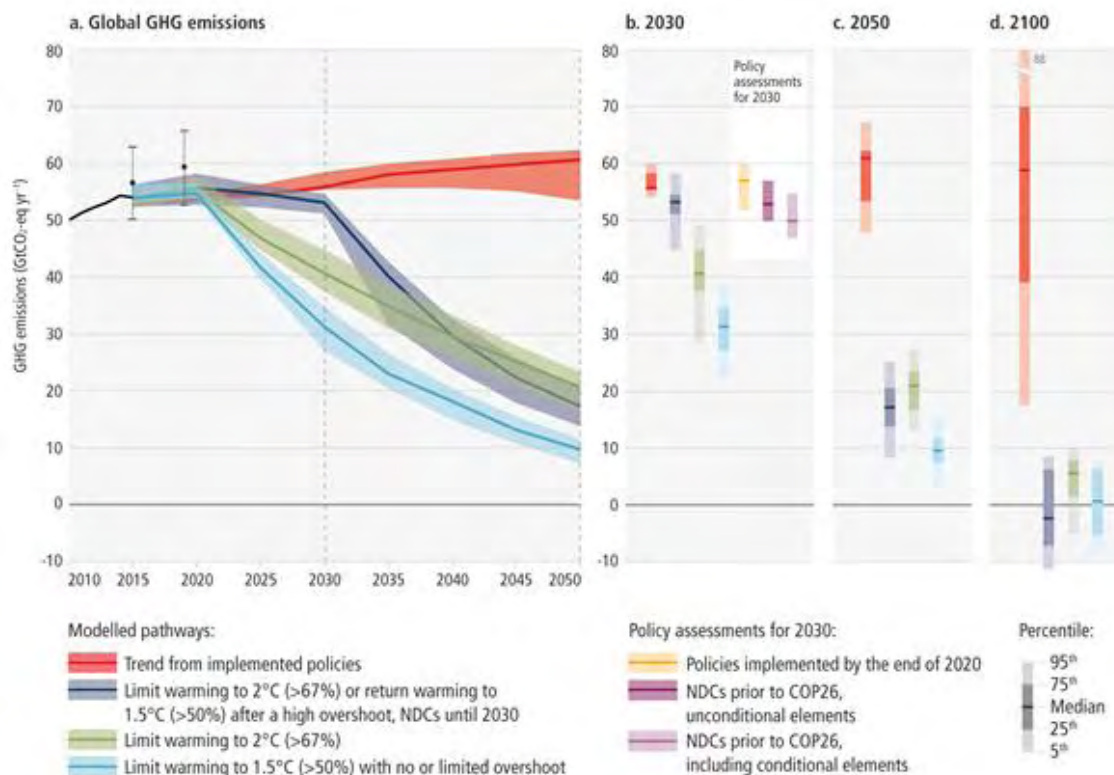
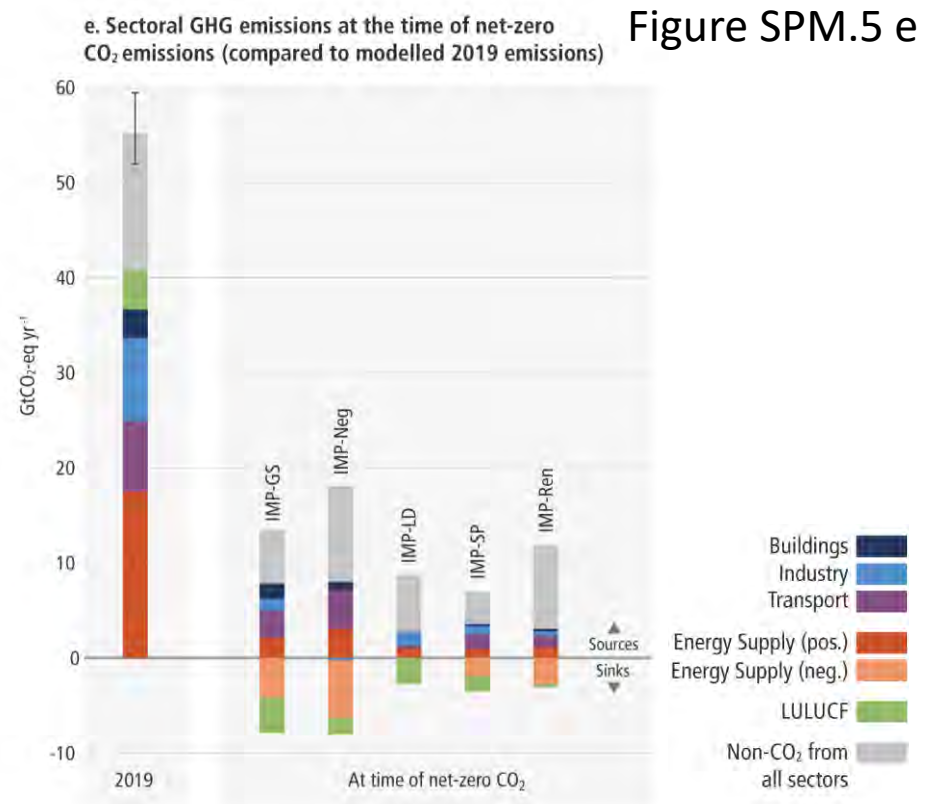
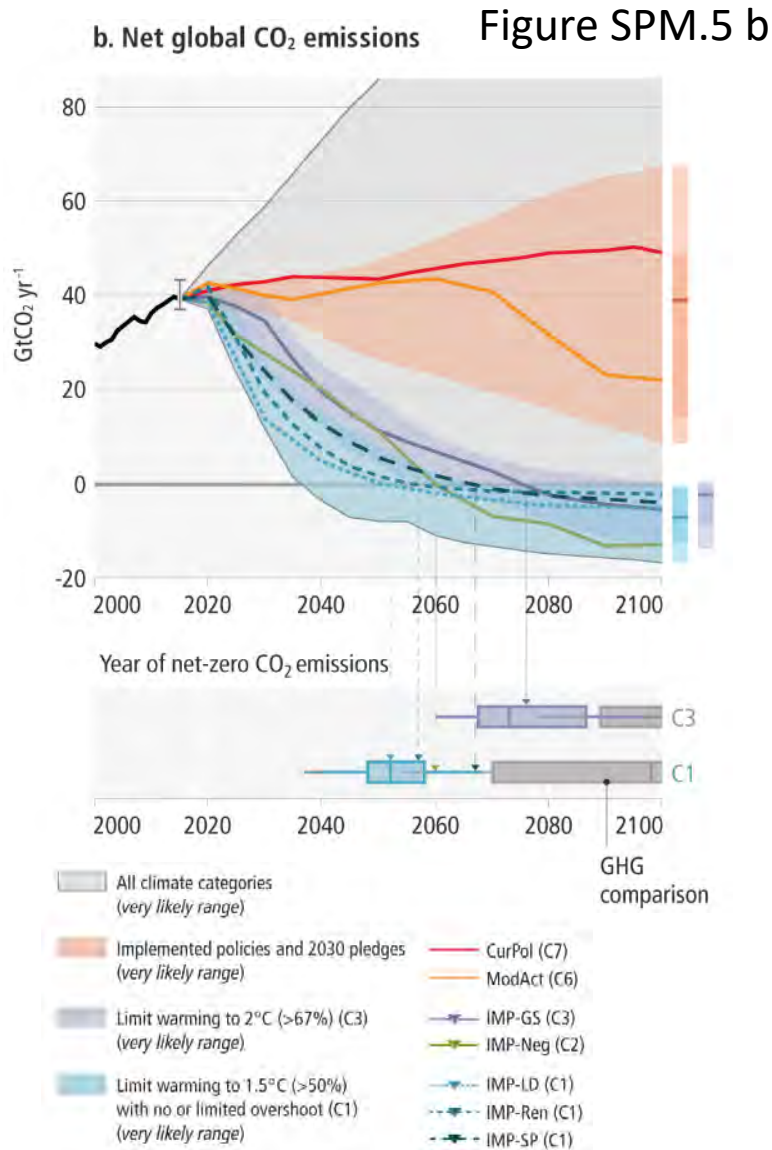


Figure SPM.4



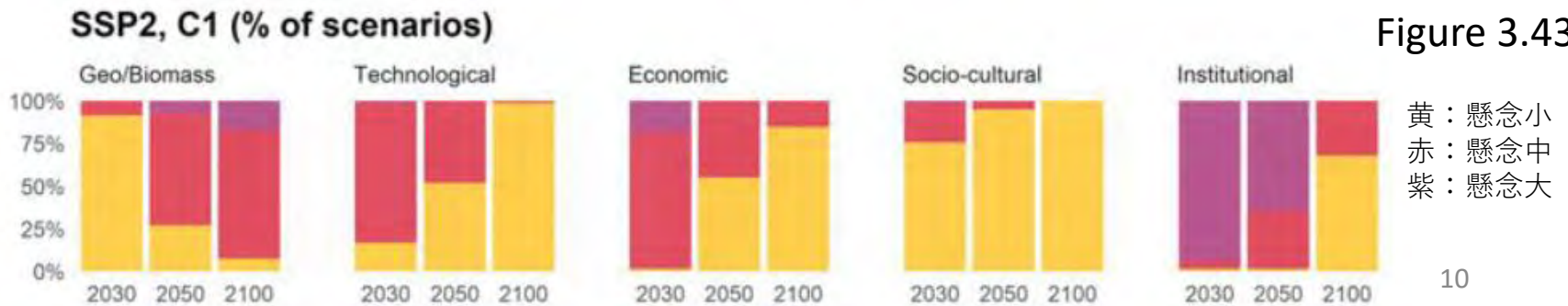
# 例示的緩和経路 (IMPs)



IMP-GS	段階的な削減強化
IMP-Neg	大規模ネガティブ排出
IMP-LD	低需要
IMP-SP	持続可能な開発経路
IMP-Ren	再生可能エネルギー重視

# シナリオの実現可能性

- シナリオの実現可能性を「特定の期間において社会が変化できる能力の範囲内にシナリオがあるかどうか」と定義し、多角的に評価（3.8.2）。
- 評価軸は①地球物理学的実現可能性（バイオマス、太陽光、風力の発電量）、②経済的実現性（炭素価格、GDPロス、エネルギー投資、座礁資産化した石炭火力発電）、③技術的実現可能性（BECCSの拡大速度を含む、発電部門や運輸部門の変革速度）、④社会・文化的実現可能性（主要セクターにおけるエネルギー需要の削減、食料需要の削減、森林や牧草地の被覆の変化）、⑤制度的実現性（政府のガバナンス水準、一人当たりCO2排出量）の5要素。
- とりわけ制度的側面の実現可能性については懸念が大きい。緩和努力の水準と緩和能力の間にミスマッチがある（政府のガバナンス水準が低い途上国においても大きな排出削減が必要となる）ことが示唆されている。



# ネットゼロ・エネルギーシステムの構成

ネットゼロ・エネルギーシステムの構成は地域によって異なるが、いくつかの共通した特徴がある（6.6.2）。

1. 化石燃料の限定的利用（6.6.2.1）
2. 電力部門からのゼロ/ネガティブ排出（6.6.2.2）
3. 最終消費部門における電化の普及（6.6.2.3）
4. 電化に適さない部門での代替燃料の利用（6.6.2.4）
5. より少ないエネルギーの、より効率的な利用（6.6.2.5）
6. エネルギーシステム全体の物理的/制度的/運用面の統合性向上（6.6.2.6）
7. 二酸化炭素除去（CDR）（6.6.2.7）

ネットゼロ・エネルギーシステムの課題として、急速な技術変化、経験やデータが限られた中での行動変容、政策変化と相互作用、経路依存性などがあげられる。技術的コストと一般市民の受容性も影響する（6.6.2）。

# ネットゼロ排出のタイミング

- ゼロまたはネガティブエミッション技術のオプションが比較的多くある電力部門からのCO<sub>2</sub>排出は早いタイミングでネットゼロとなり、続いてエネルギーシステム全体からのCO<sub>2</sub>排出がネットゼロ（Carbon Neutral）となる。
- CO<sub>2</sub>排出がネットゼロになった時点でも、農業部門などからCO<sub>2</sub>以外のGHG排出などが残るため、最終的にはこれをなんらかの形で削減・相殺し、GHG排出をネットゼロ相当にする（Climate Neutral）取り組みが必要となる。

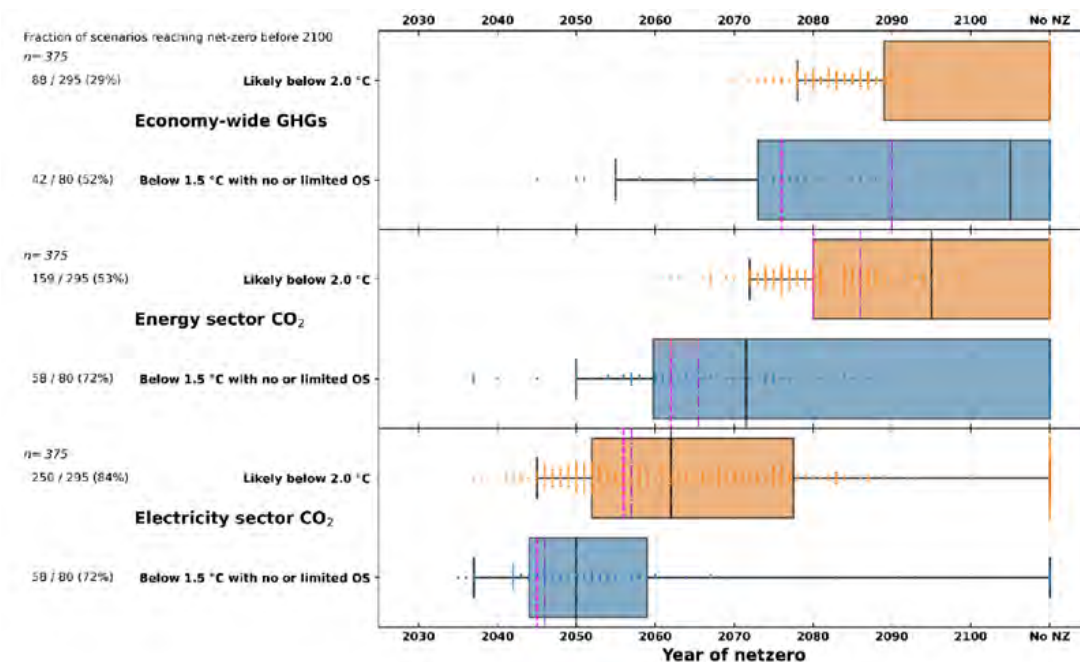


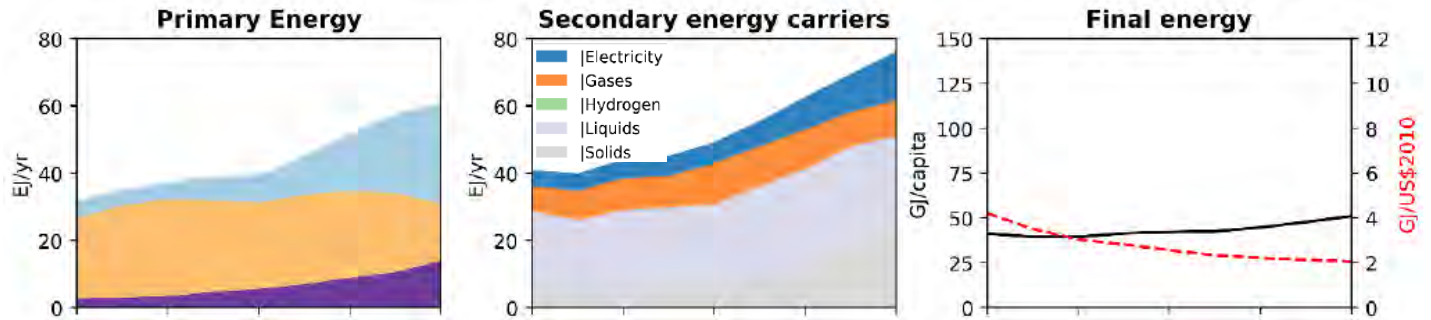
Figure 6.28

縦の破線は、シナリオの排出量がそれぞれ95%（ピンク）、97.5%（紫）に減少したときの中央値

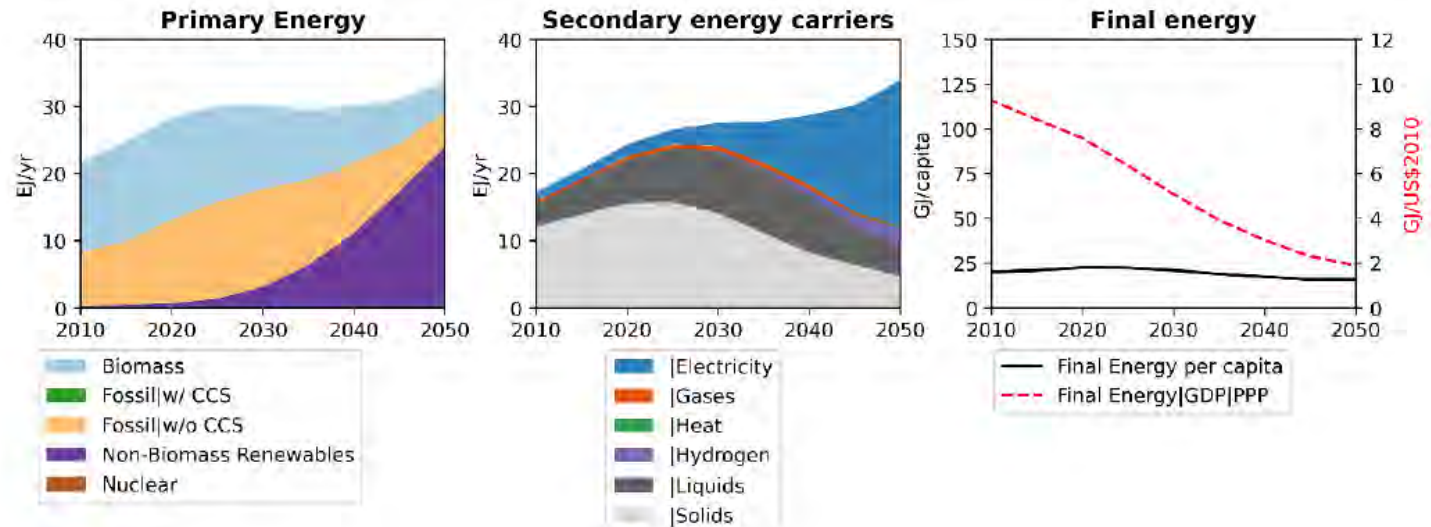
# 低炭素エネルギーシステムへの移行例（Box6.11）

ネットゼロ・エネルギーシステム実現に向けて各国は、自国の状況に応じて最も理にかなった選択肢を追求する柔軟性を持っている（6.6.4）。

Box 6.11, Figure 1  
ラテンアメリカ  
CDR, AFOLU重点



Box 6.11, Figure 2  
アフリカ  
VRE拡大、電化促進

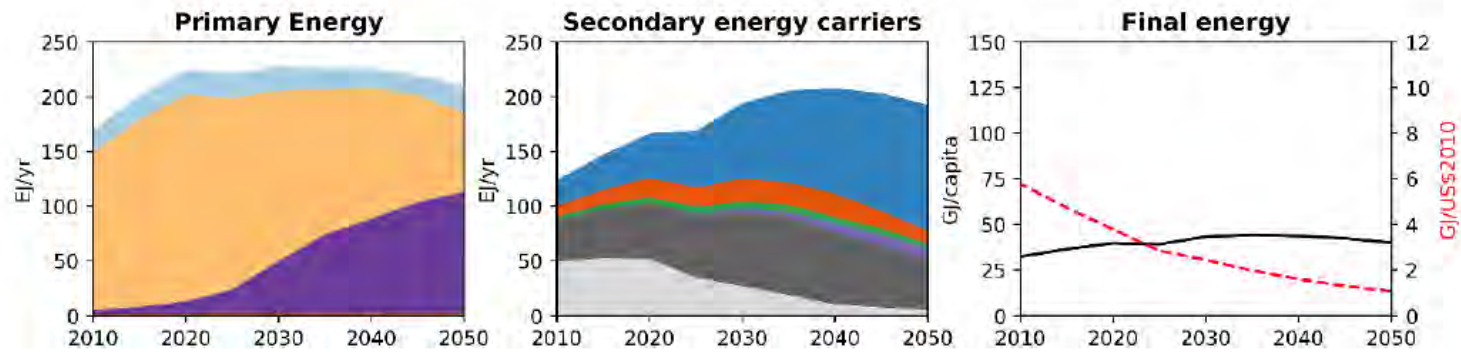




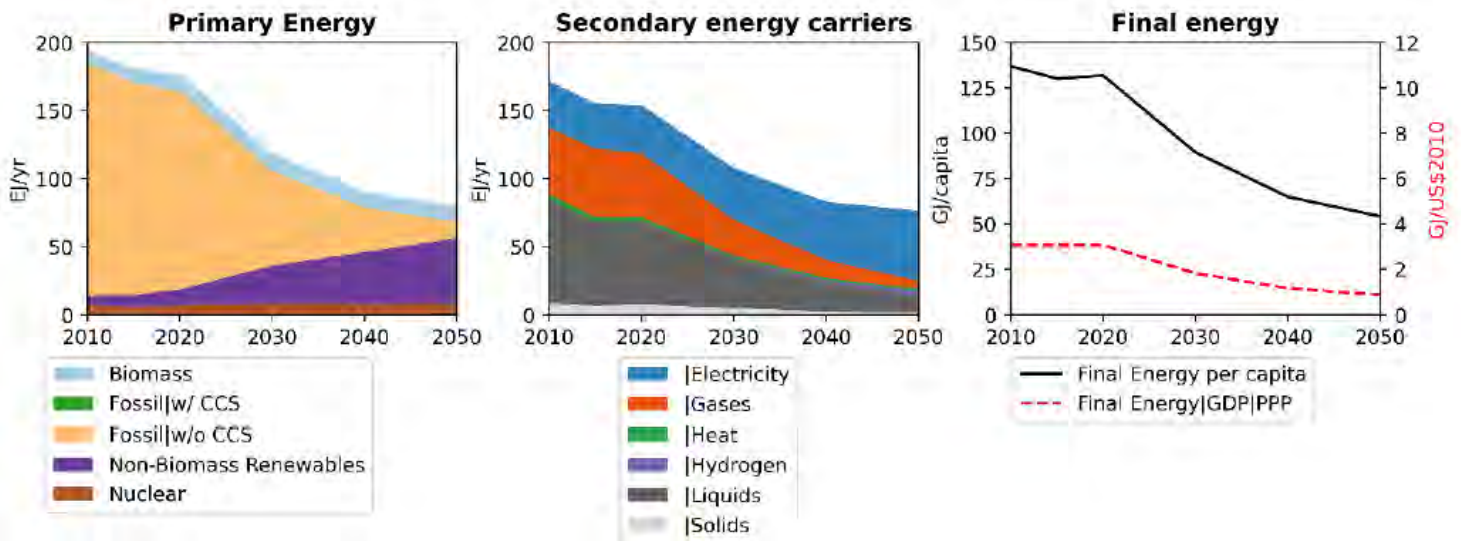
# 低炭素エネルギーシステムへの移行例

- 国や地域によって資源の賦存、経済水準、産業構造、吸収源のポテンシャル、政策の優先順位などが異なり、低炭素エネルギーシステム実現に向けた戦略には自ずと違いが生ずる。

Box 6.11, Figure 4  
アジア途上国  
遅めのゼロ排出



Box 6.11, Figure 3  
先進国  
エネ需要の低減



# セクター別のCO<sub>2</sub>排出

- シナリオ別のセクター別CO<sub>2</sub>排出削減割合（2020年比）
- 電力部門からのCO<sub>2</sub>排出は1.5°C/2°Cシナリオのいずれにおいても2050年までにゼロ、もしくはネガティブにする必要がある
- 運輸、産業、民生部門からのCO<sub>2</sub>排出も大きな削減が求められるが、2050年までにゼロにはならない

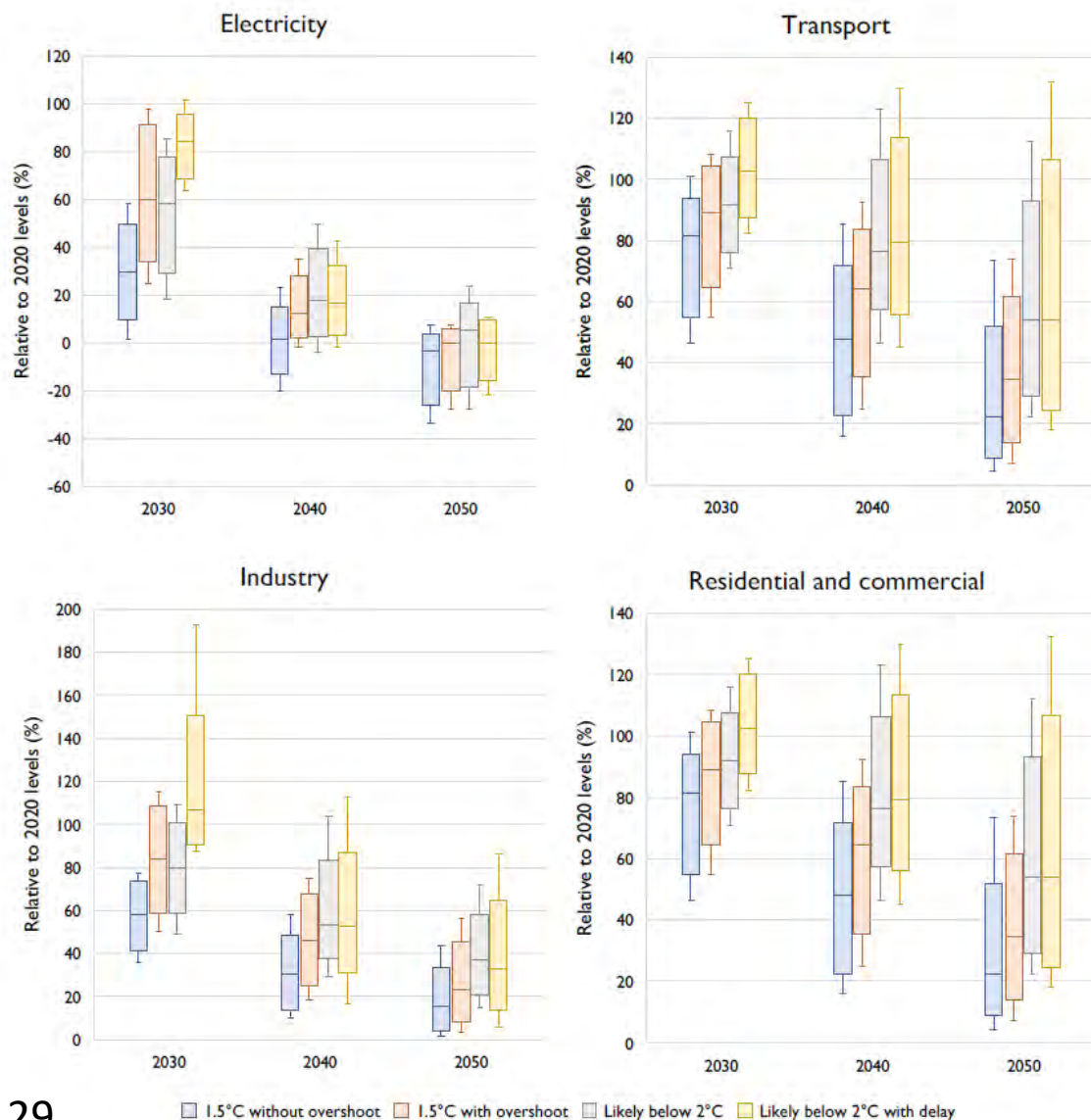


Figure 6.29

# 電源別のシェア

- 太陽光+風力の割合は大きく増え、いずれのシナリオにおいても2050年には現在の約5~10倍のシェアに拡大にする。
- CCSは今後拡大していくと見込まれるが、どの程度拡大するかについては評価の差が大きい。
- 原子力も引き続き一定の役割を果たすと考えられるが、研究によって評価に大きな差がある。

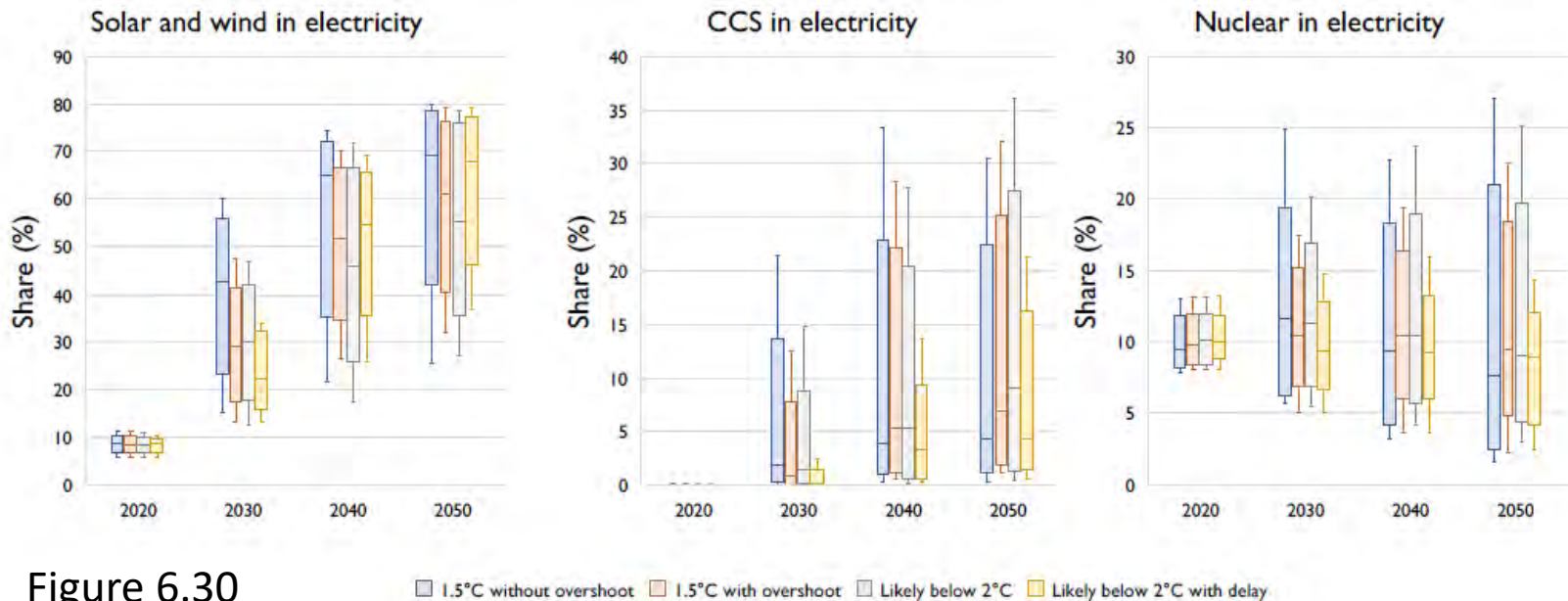


Figure 6.30



# RE100 シナリオ

今後数十年の間に、再生可能エネルギーを主体とした電力システムはますます普及すると思われるが、エネルギーシステム全体を再生可能エネルギーで供給することは困難であろう（6章 Executive Summary）。

## ネットゼロ・エネルギーシステムにおける100%再生可能エネルギー（Box 6.8）

風力や太陽光など変動性の再生可能エネルギーが他のリソースによって補完される場合、再生可能エネルギーが非常に高いシェアを占める（例えば、地域の年間発電量の75%以上）ことは技術的に可能である。

風力と太陽光のシェアが大きい場合、空間的・時間的変動、短期・長期の不確実性、非同期発電などの特性により技術的・経済的な課題が発生する。これらの課題は、再生可能エネルギーの割合が100%に近づくにつれ、ますます顕著になる。

再生可能エネルギー100%のエネルギーシステムには、技術、規制、市場、運用など様々な課題があり、その競争力は不確実である。

統合評価モデルやエネルギーシステムによる研究は、再生可能エネルギーが大きな役割を果たすことを示唆しているが、厳しい排出削減目標や将来のコスト削減に関する楽観的な想定をしたとしても、シェアが100%に達するには遠く及ばない。

# 最終エネルギー需要に占める電力と水素のシェア

- すべての部門で電化が進み、特に民生部門の電化率が高まる。2030年以降は運輸部門や産業部門で水素活用が進むと見られる。

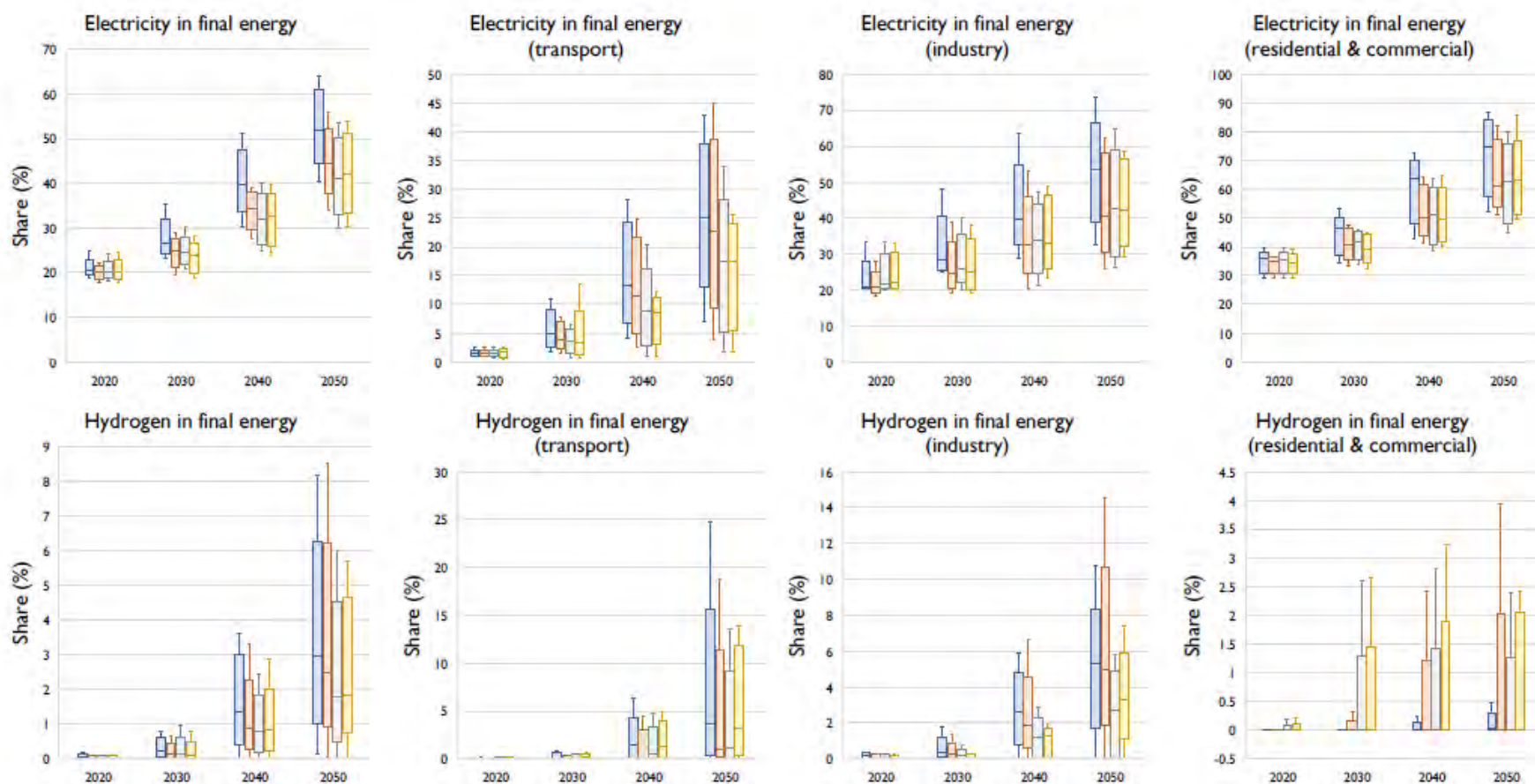


Figure 6.31

# 投資パターンの変化

低炭素エネルギーへの移行は、投資パターンをシフトさせ、新たな経済的機会を創出する。温暖化を2°C以下に抑えるためには、今後数十年間のエネルギーへの総投資額は現在より増加する。しかし、これらの増加は、サブセクター間で見られる投資フローの変化、すなわち、CCSのない化石燃料（採掘、転換、発電）から、再生可能エネルギー、原子力発電、CCS、送配電網と貯蔵、省エネへの再配分に比べるとはるかに小さい（6章 Executive Summary）。

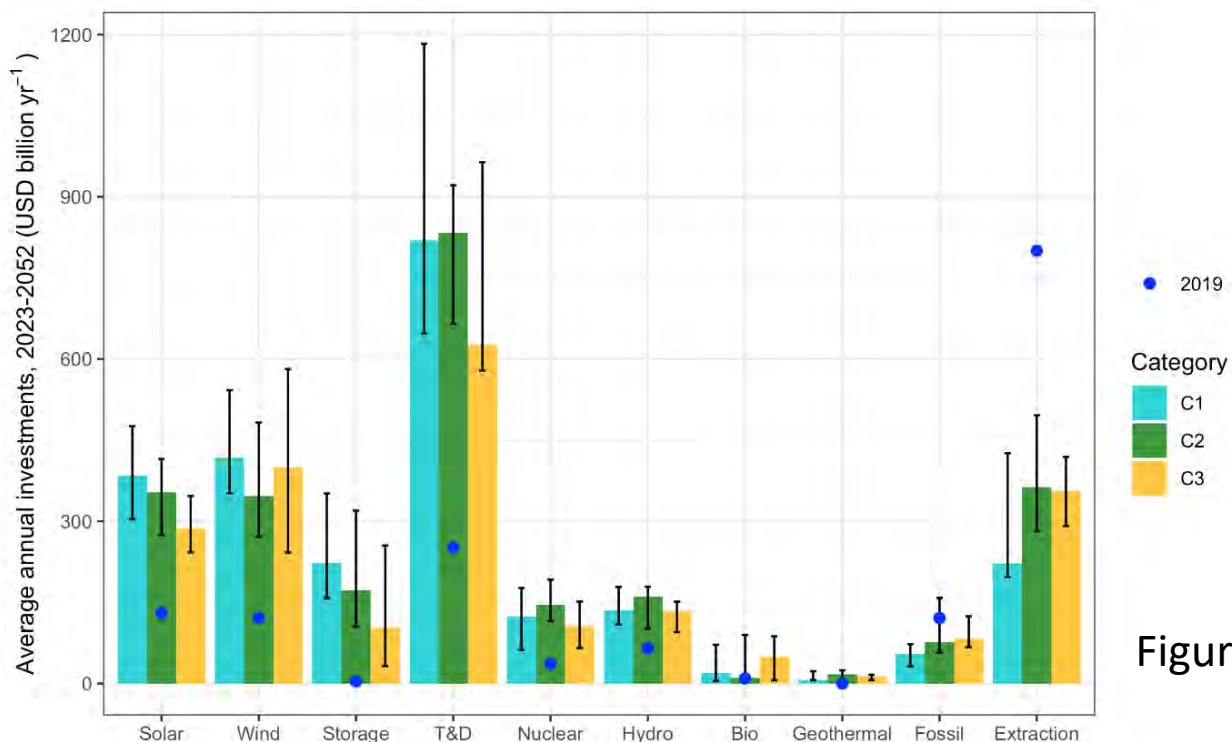


Figure 6.32

# 低炭素社会における化石燃料

化石燃料の消費は1.5°Cシナリオの場合2050年までに260～330EJ（2020年比52～73%減）、2°Cシナリオの場合は124～231EJ（2020年比23～51%減）減る（6.7.4）。

CCSが付いてない石炭利用は、1.5°Cシナリオの場合2040-2050年までに、2°Cシナリオの場合は2050-2060年までにほぼゼロにする必要がある。

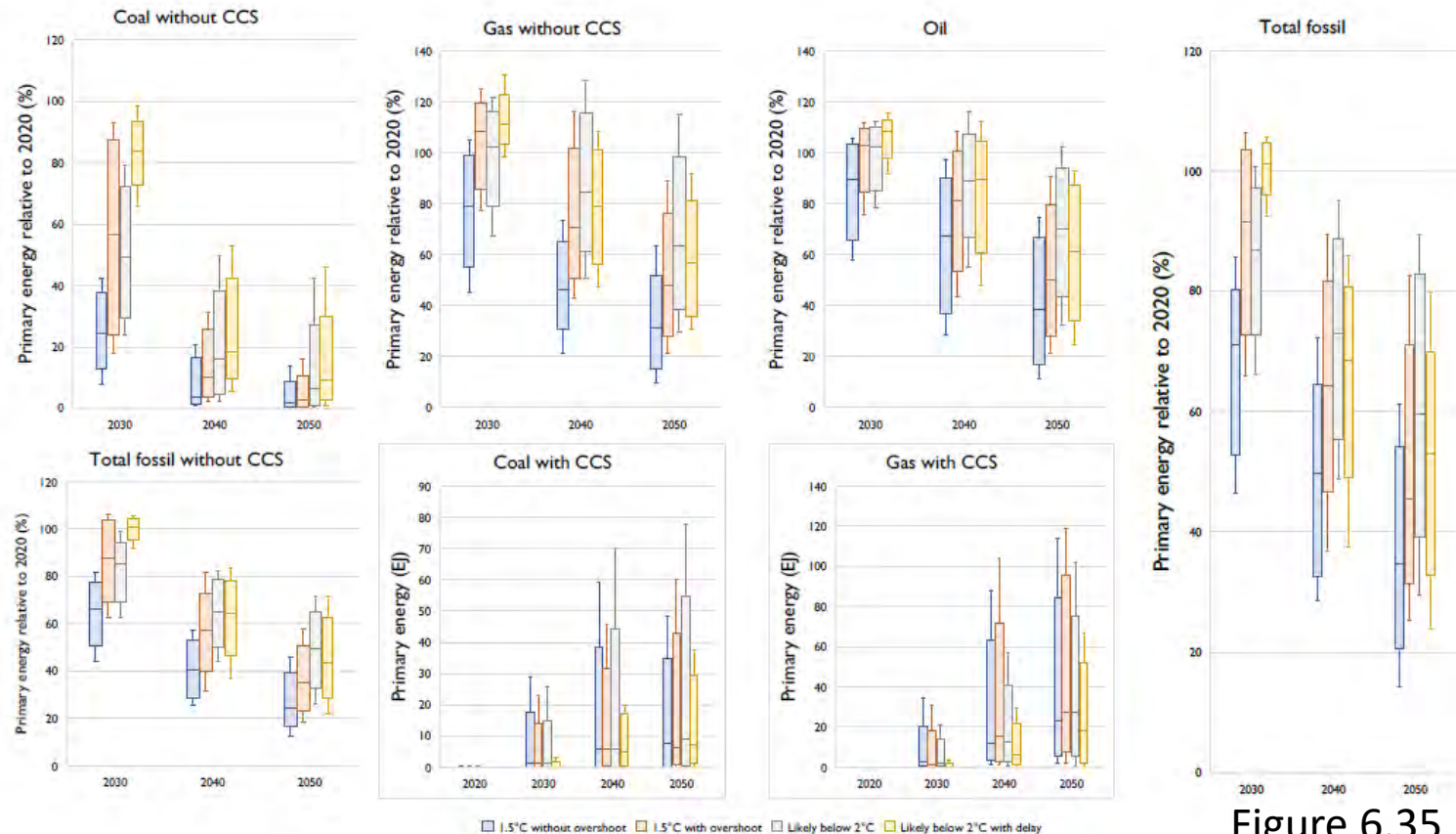


Figure 6.35

# 石炭火力発電のフェーズアウト

排出削減の講じられていない化石燃料インフラの継続的な設置は、高排出量をロックインさせる (C.4)。

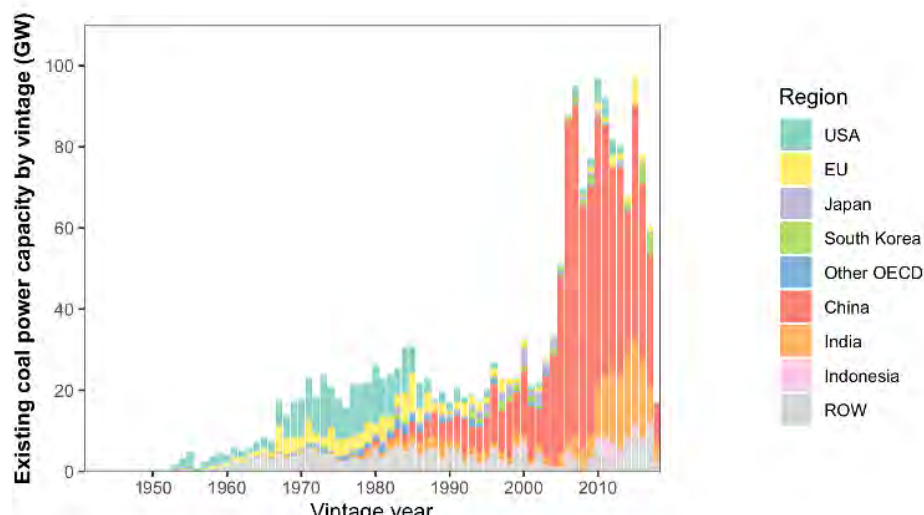
## 石炭火力フェーズアウトの状況と課題 (Box6.2)

温暖化を2°C以下に抑えるためには、新規石炭火力発電所の建設をしなくても、既存の石炭火力発電所を過去の平均運転期間より10年から25年早く引退させる必要がある。

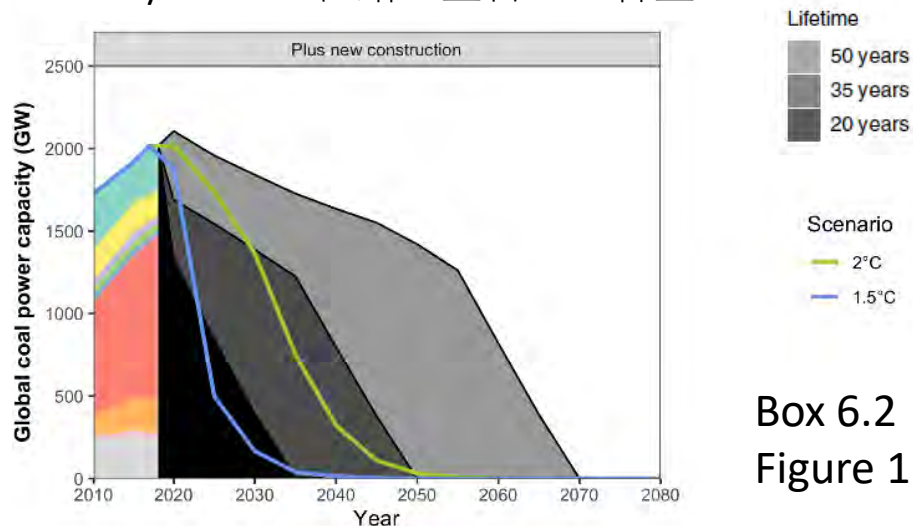
計画中の石炭火力発電所が建設された場合、プラントの運転期間をさらに5～10年短縮する必要がある。

今後数十年のうちに石炭をフェーズアウトすることは、経済的、社会的、安全保障上の課題をもたらす。

既存石炭火力発電所の建設年と設備容量



2°C/ 1.5°Cの経路と整合した容量レベル



Box 6.2  
Figure 1



# 低炭素技術のコスト低下と普及拡大

2010年から2019年にかけて太陽光発電(85%)、風力発電(55%)、リチウムイオン電池(85%)の単価が継続的に低下した。地域によって違いはあるものの、太陽光発電は10倍以上、電気自動車は100倍以上普及が進んだ (B.4.1)。

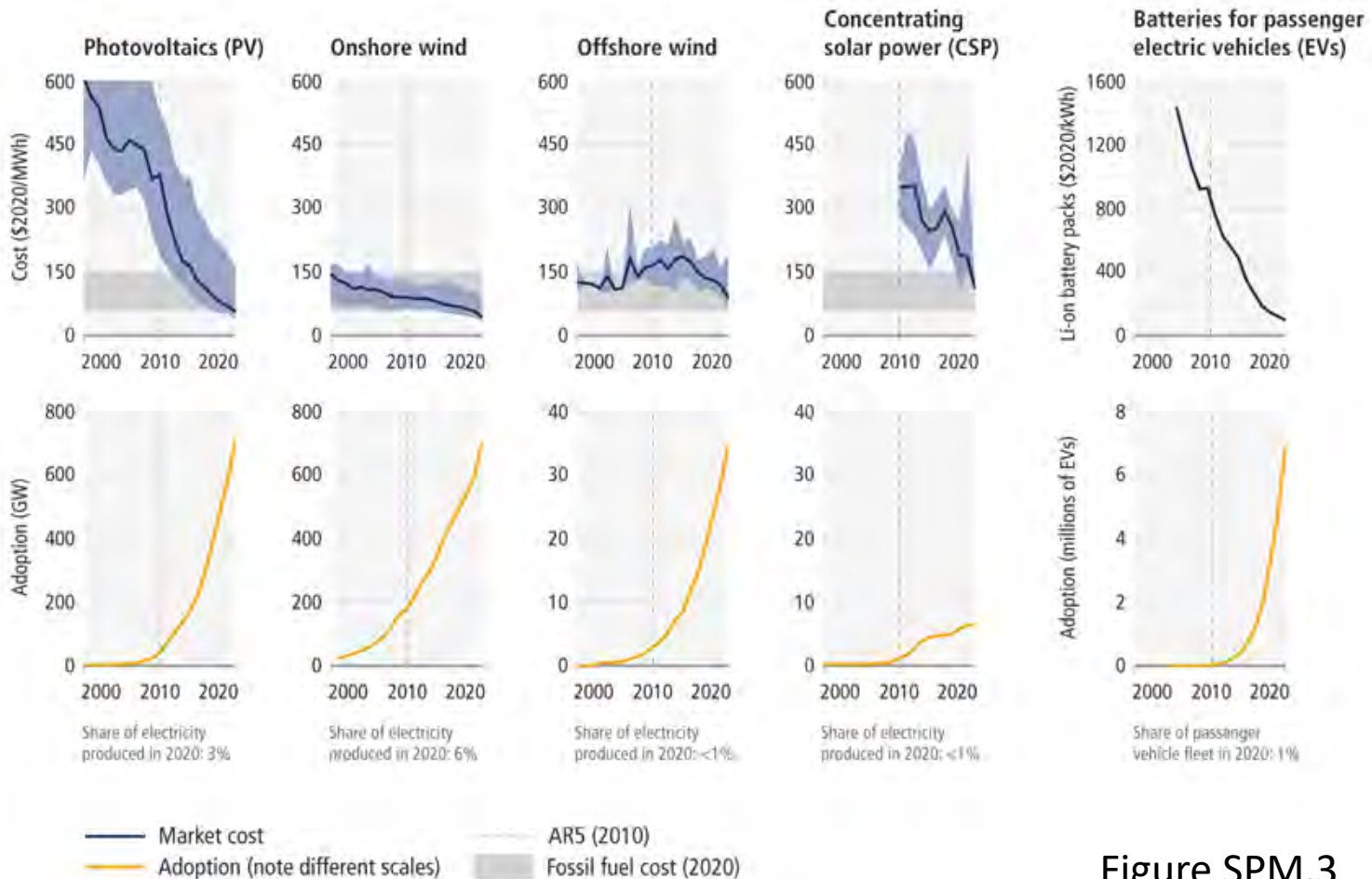


Figure SPM.3

# 需要側緩和オプションのポテンシャル

需要側の対策と最終消費者向けサービスの新しい提供方法により、2050年までに最終消費者部門の世界のGHG排出量をベースラインシナリオ比で40~70%削減することができる (C.10)。

2050年までの需要側の緩和は、社会文化的要因の変化、インフラの設計と利用、最終消費者の技術採用によって実現することができる (Figure SPM6)。

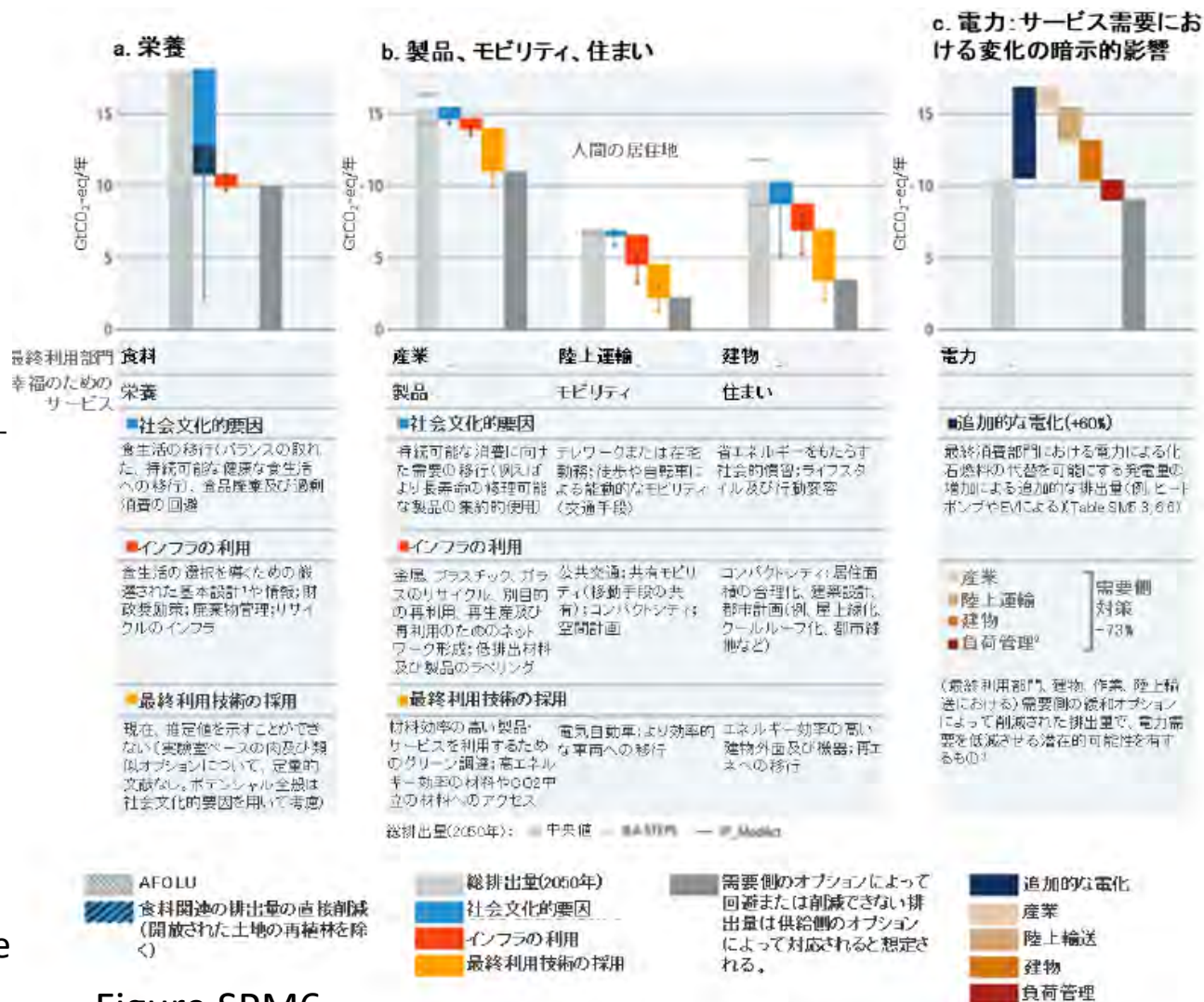
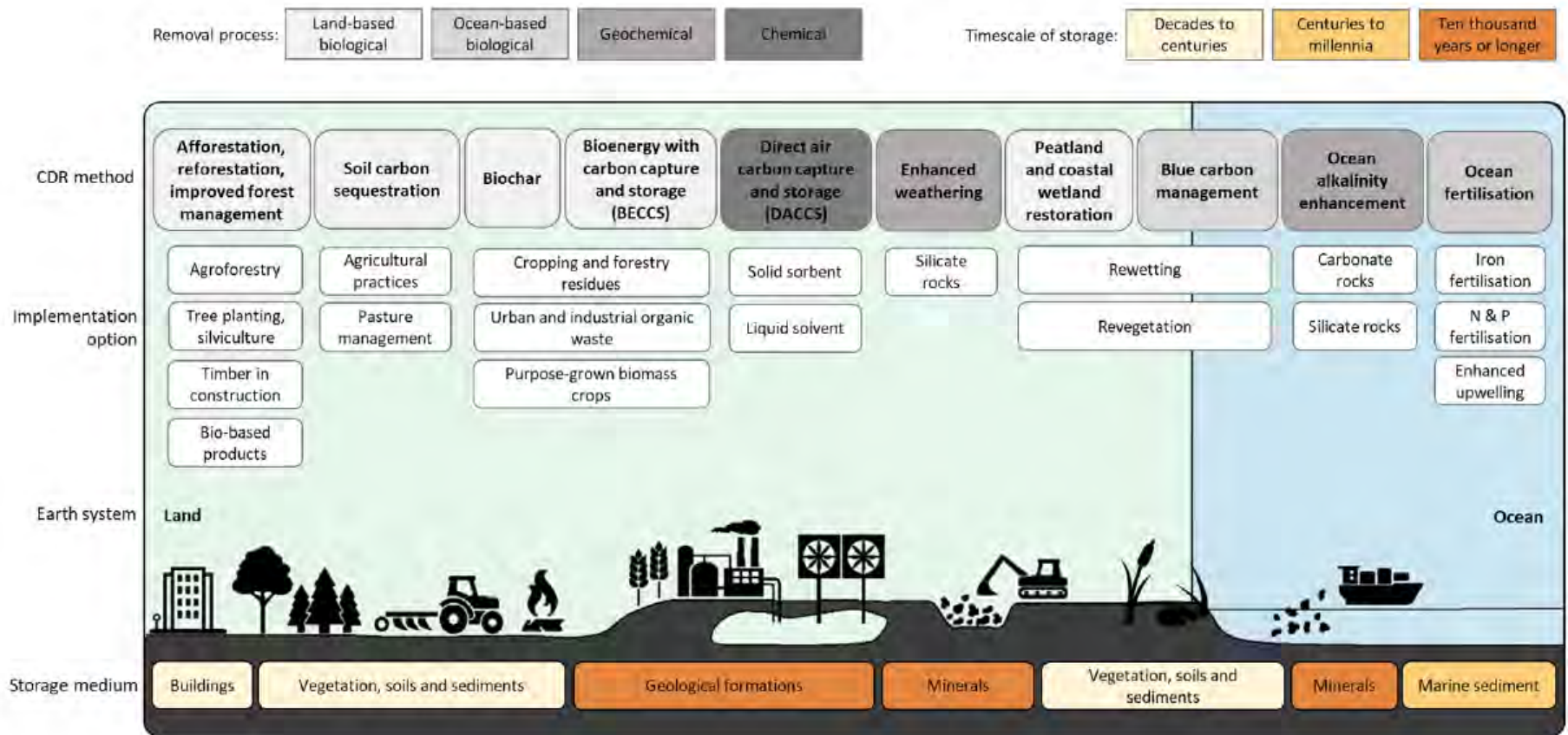


Figure SPM6

# CDRの役割

CO<sub>2</sub>又はGHGのネットゼロを達成しようとするならば、削減が困難な残余排出量を相殺するCDRの導入は避けられない（C.11）。

## CDRの分類



Cross-Chapter Box 8, Figure 1



# まとめ

- ネットゼロ排出に対する注目が高まっているが、国や地域、業種によって必要な対策や行動のタイミングが異なる。
- ネットゼロ・エネルギーシステムを実現するには、供給側の低炭素化だけでなく需要側の対策、Non-CO<sub>2</sub>や吸収源対策、CDR技術も重要となる。
- AR6レポートを踏まえ、UNFCCCのプロセスでは各国の野心強化に対する支援拡大のプレッシャーが高まっていくと考えられる。
- 気候変動交渉はCOP27（シャルム・エル・シェイク/エジプト）、COP28（ドバイ/UAE）と途上国開催が続き、途上国への資金・技術的支援も重要なテーマとなる。