第6次評価報告書 WG3の概要
エネルギーシステムのこれから

2022年10月13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。
- 第6次評価報告書（WG3）の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. 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。

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的観点	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	

エネルギーシステムの現在

- 世界のエネルギー供給/需要は増え続けている
- ここ最近（2015-2019年）の世界1次エネルギー供給は天然ガスが大きく増加、風力・太陽光の増加率は高いがまだシェアは低い

世界のエネルギーフロー（2019）

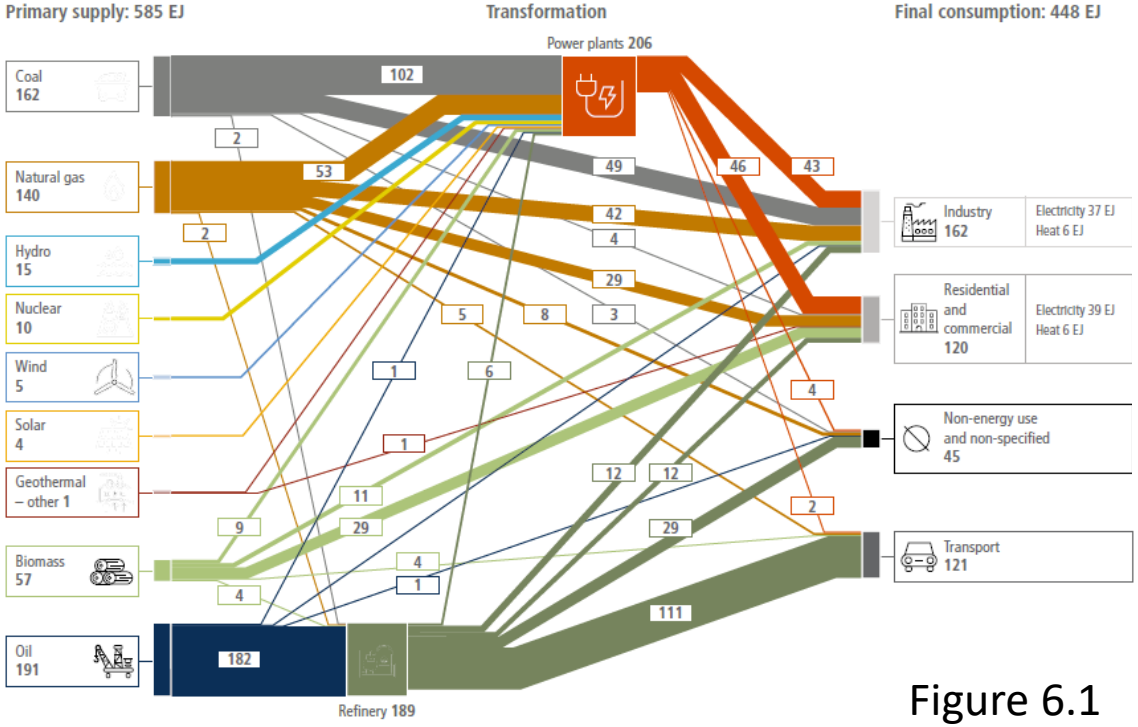


Figure 6.1

1次エネルギー供給 (2000-2019)

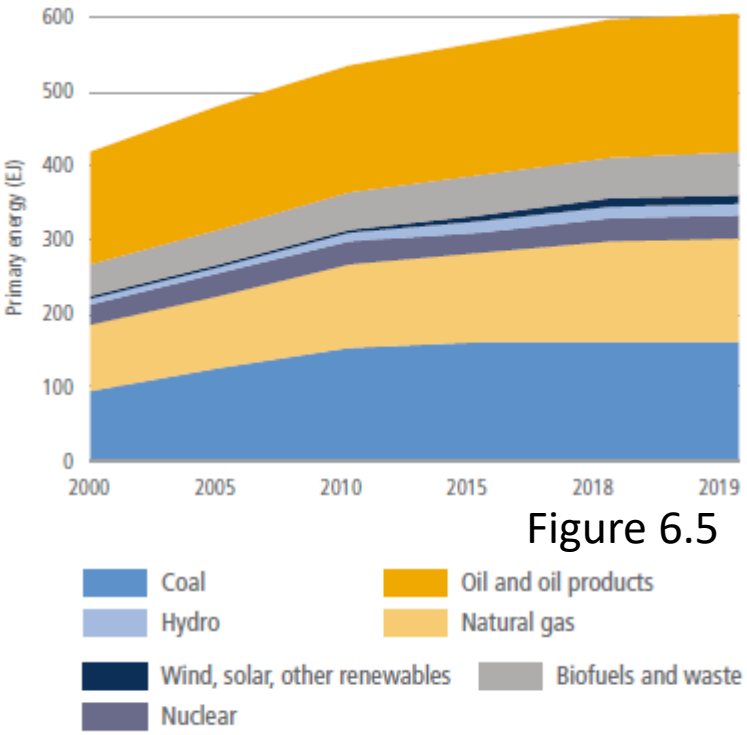
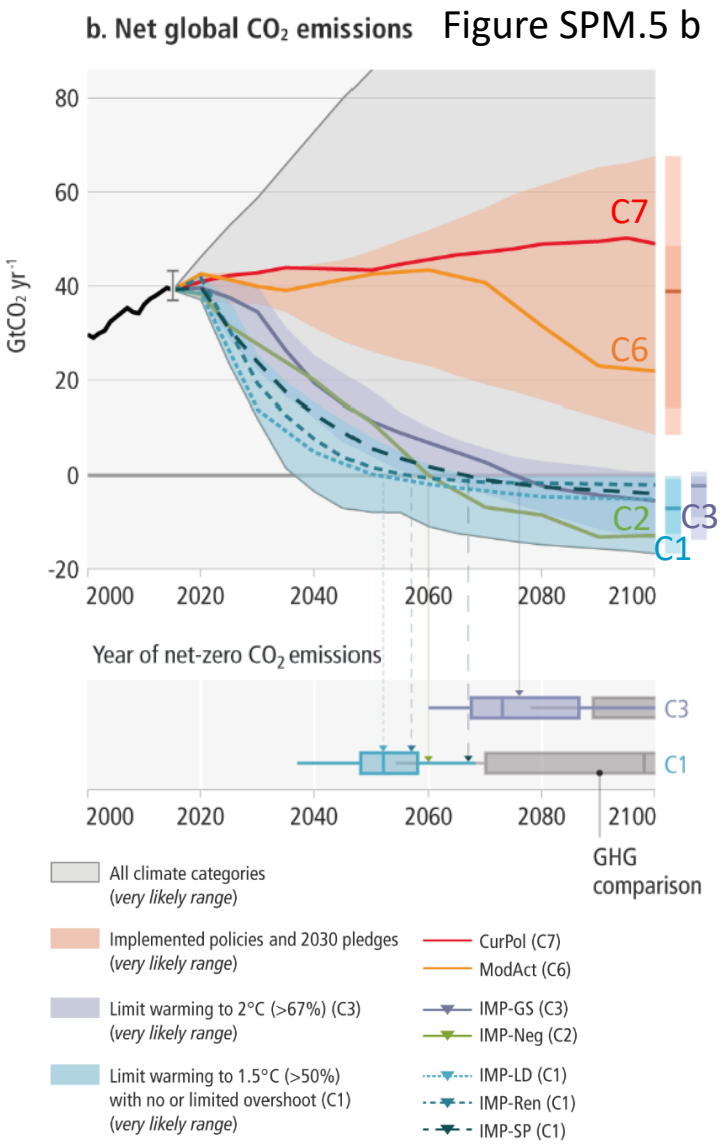


Figure 6.5

排出シナリオ



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℃(>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43 [34～60]%、2050年までに84 [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 ℃（＞50%）に抑えるモデル化された経路では、世界全体としてCO_2排出量正味ゼロ（ネットゼロCO_2） に2050年代前半に達し、温暖化を2 ℃（＞67%）に抑える可能性が高い経路では、ネットゼロCO_2に2070年代前半に達する（C.2）

AR6のシナリオカテゴリー

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

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] ℃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℃を超える可能性が高い。温暖化を2℃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）

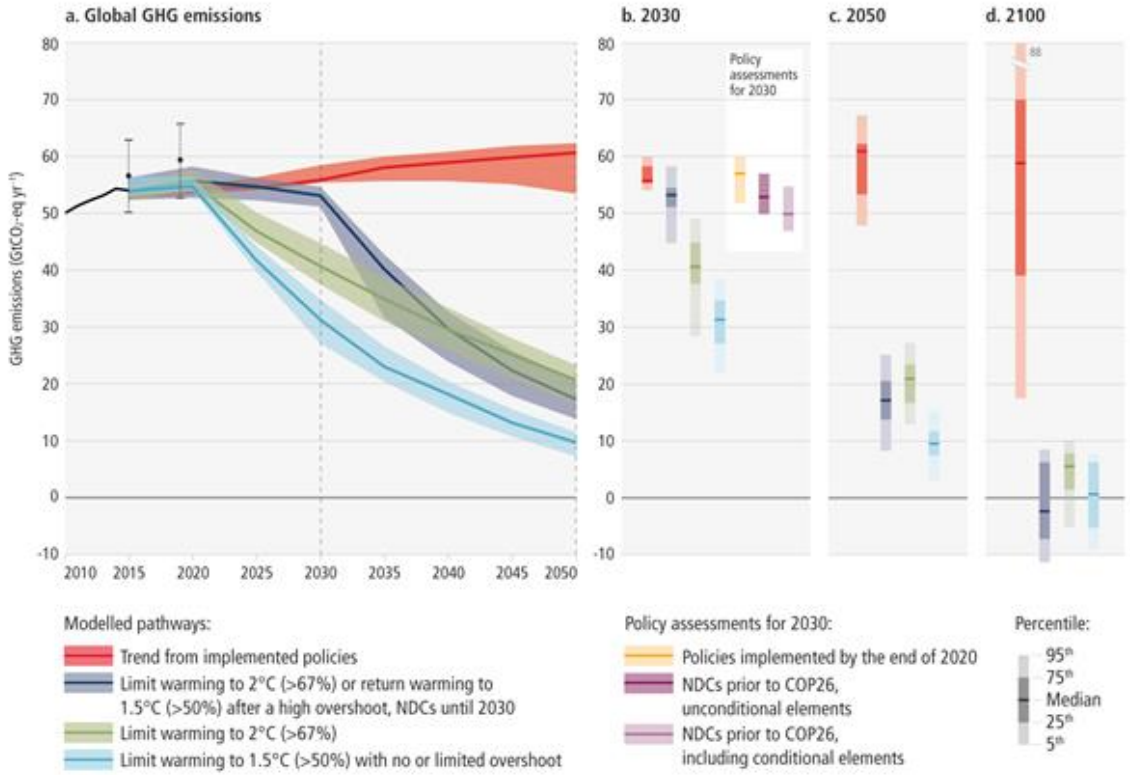


Figure SPM.4

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CO_2排出量）の5要素。
- 当面、制度的側面の実現可能性懸念が大きい。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。

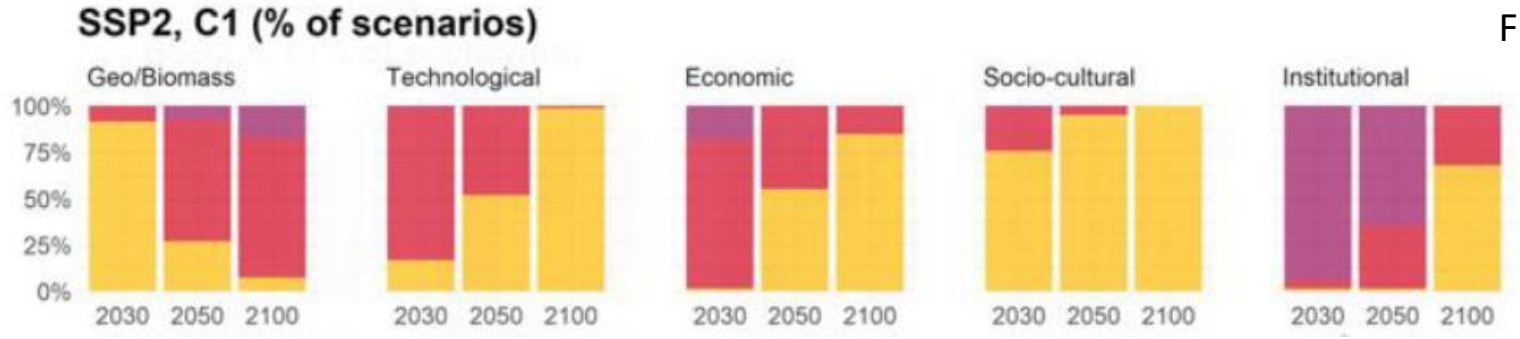


Figure 3.43

黄：懸念小
赤：懸念中
紫：懸念大

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_2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_2排出がネットゼロ（Carbon Neutral）となる。
- CO_2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_2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。

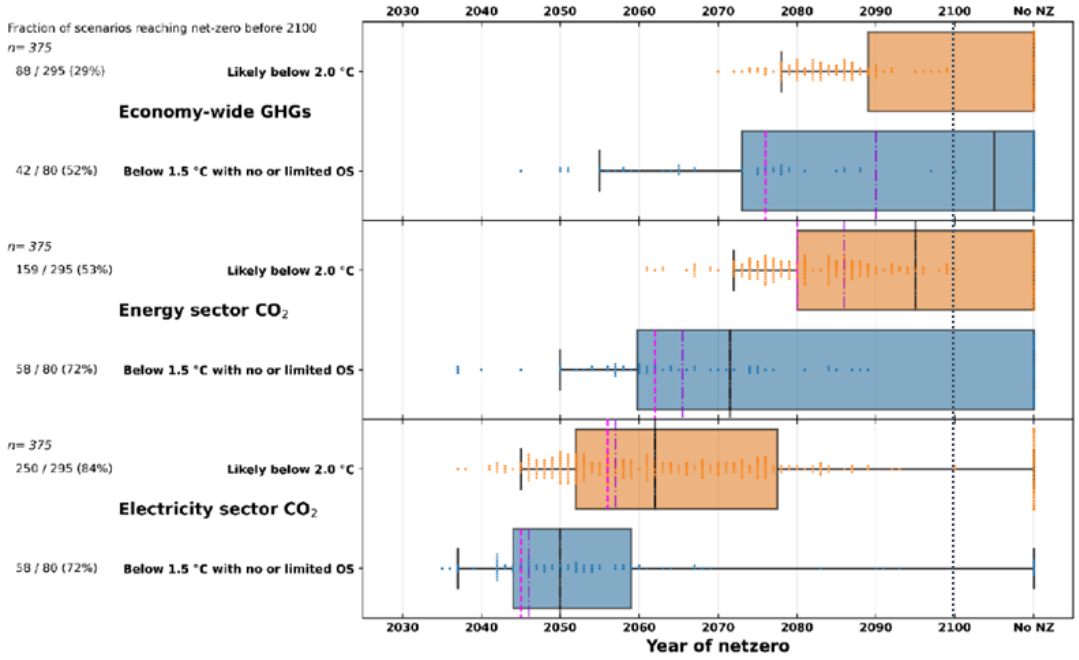
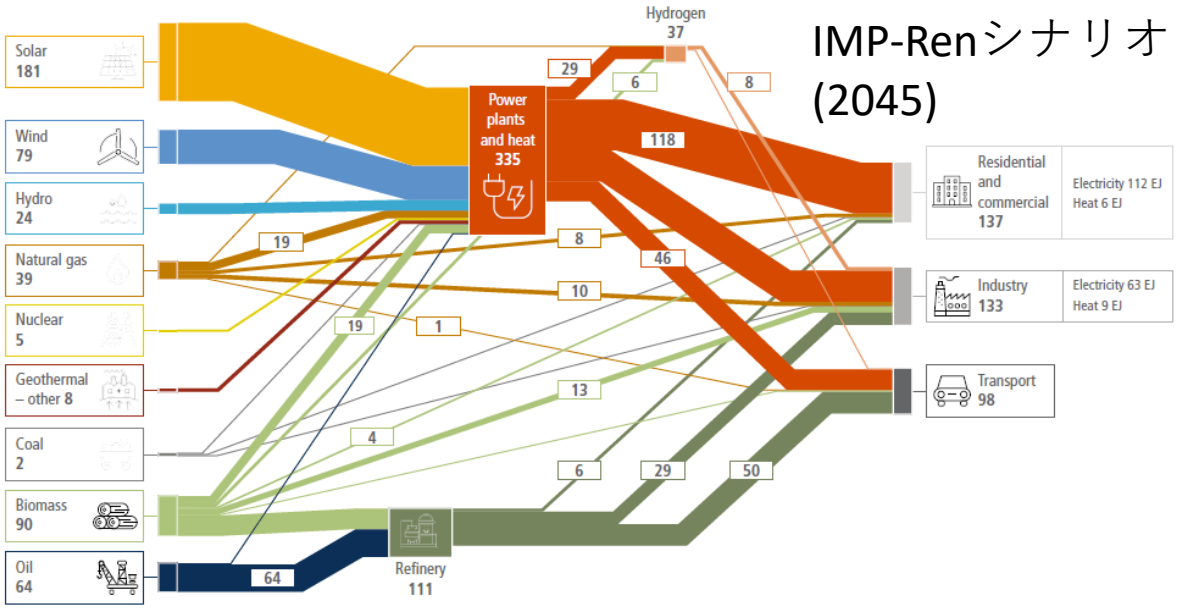


Figure 6.28

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

緩和戦略の多様性

- 排出を削減するには多様な戦略がある
- 上図は再生可能エネルギーを主体とした、下図は大規模なネガティブ排出を想定したシナリオ。ネットゼロCO_2排出達成時点でのエネルギーフローは大きく異なる



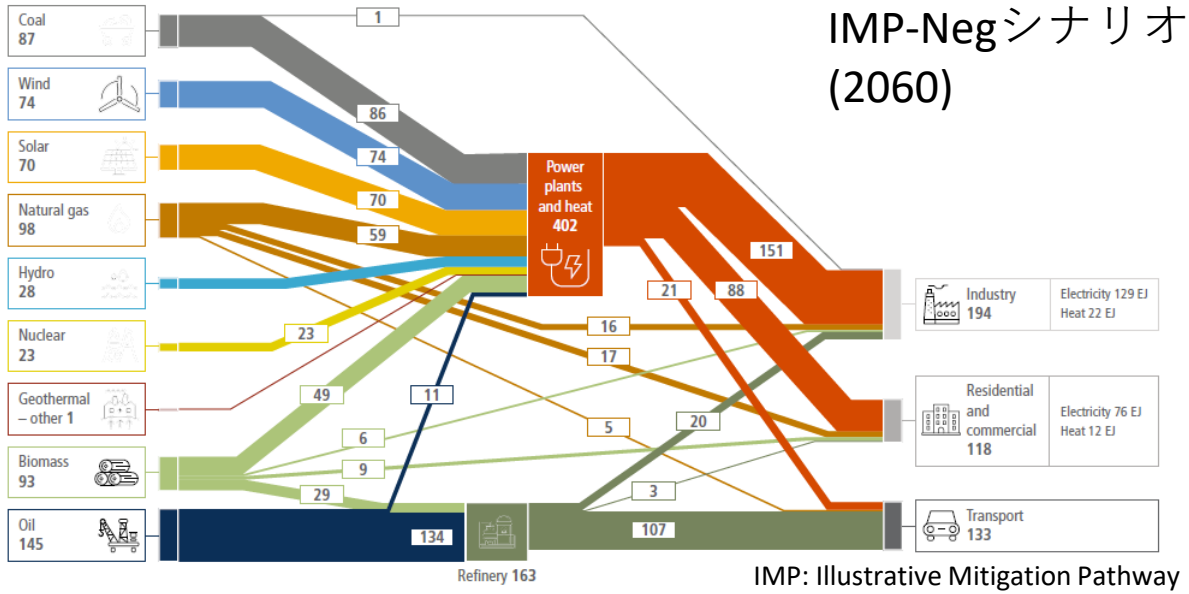


Figure 6.1

IMP: Illustrative Mitigation Pathway

地域別のCO2排出

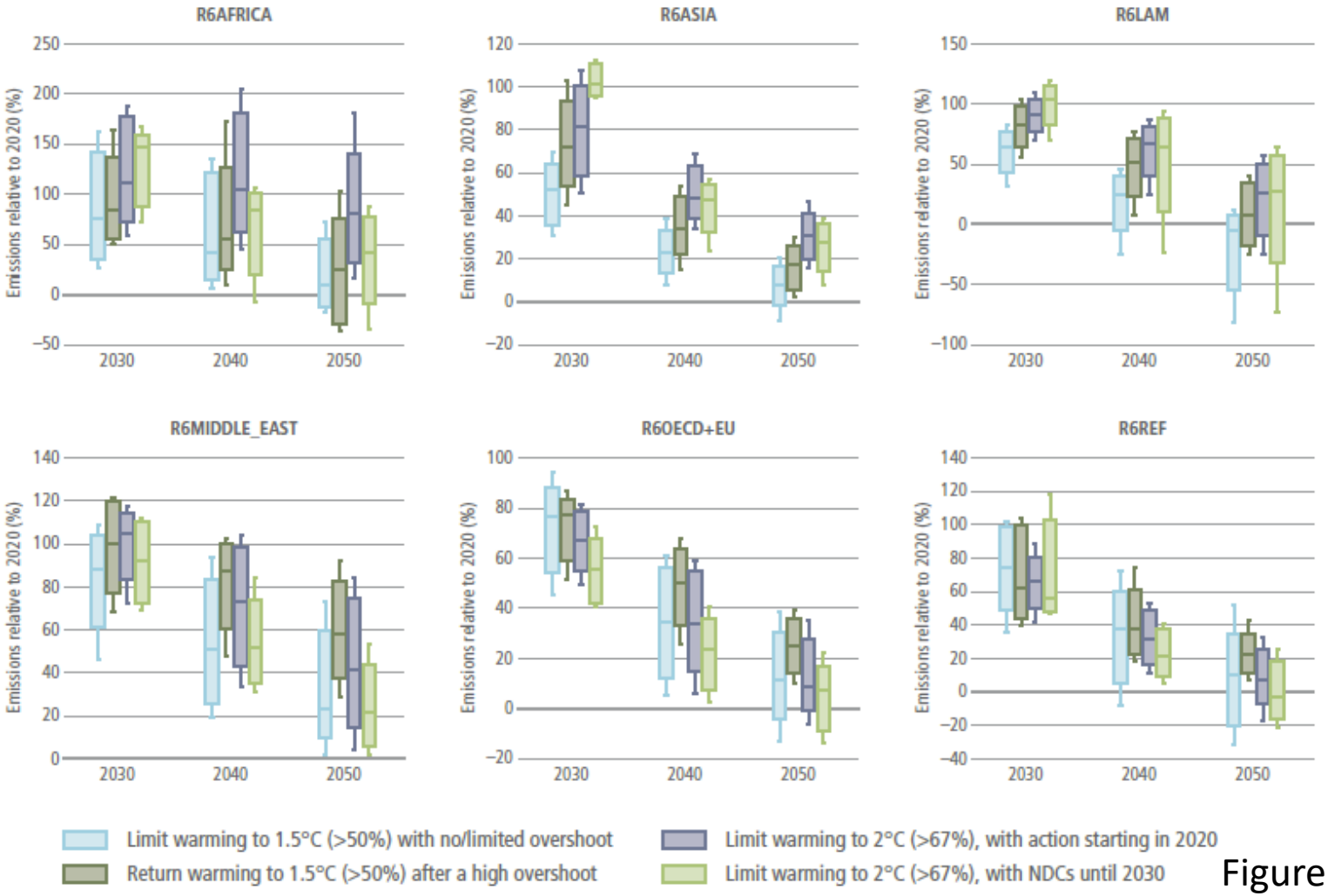


Figure 6.27

- グローバルなコスト最小化を想定した場合の地域別のCO2排出変化（2020年比）
  地域による違いが大きい

セクター別のCO2排出

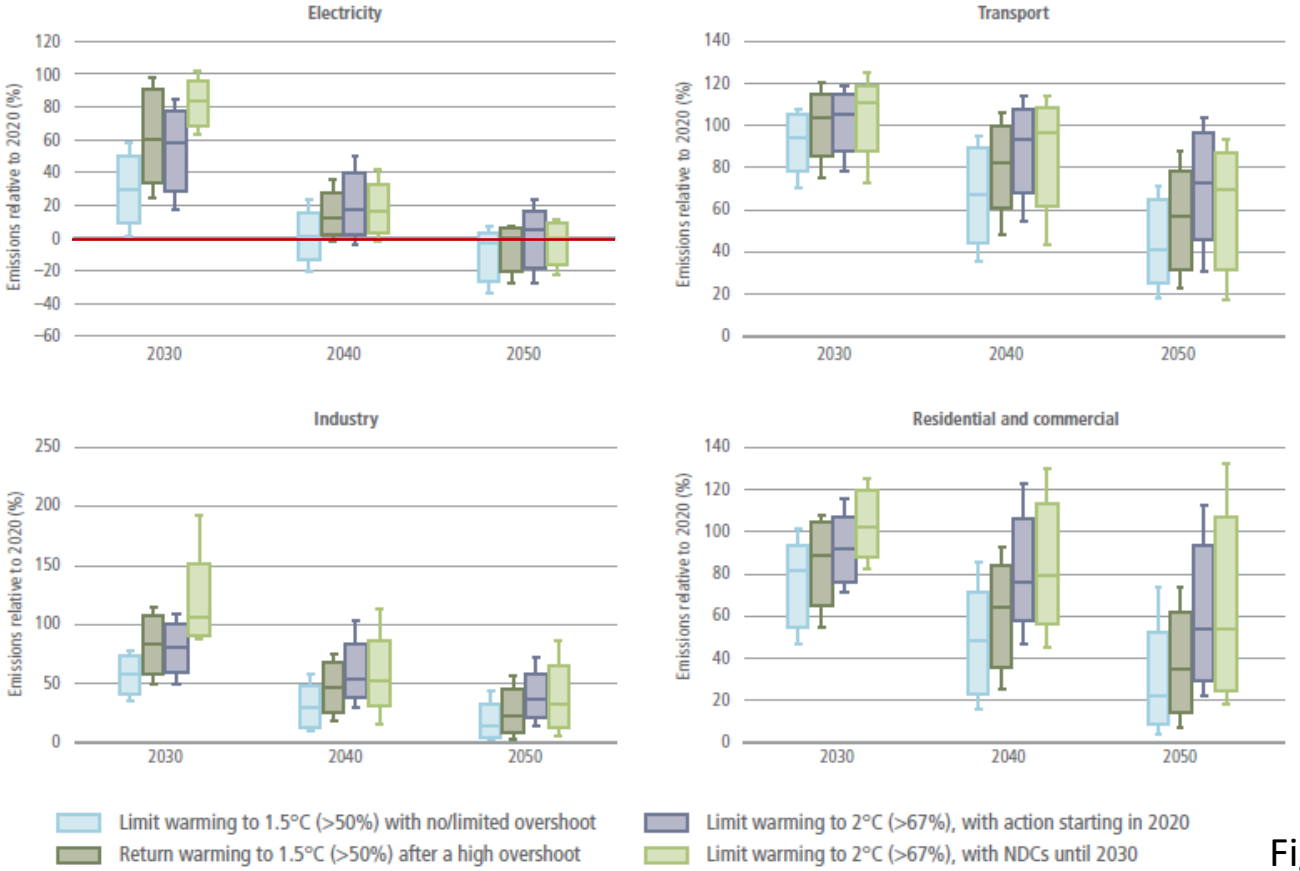


Figure 6.29

- 電力部門からのCO2排出は1.5℃/2℃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CO2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

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。

発電に占める低炭素エネルギー源の割合

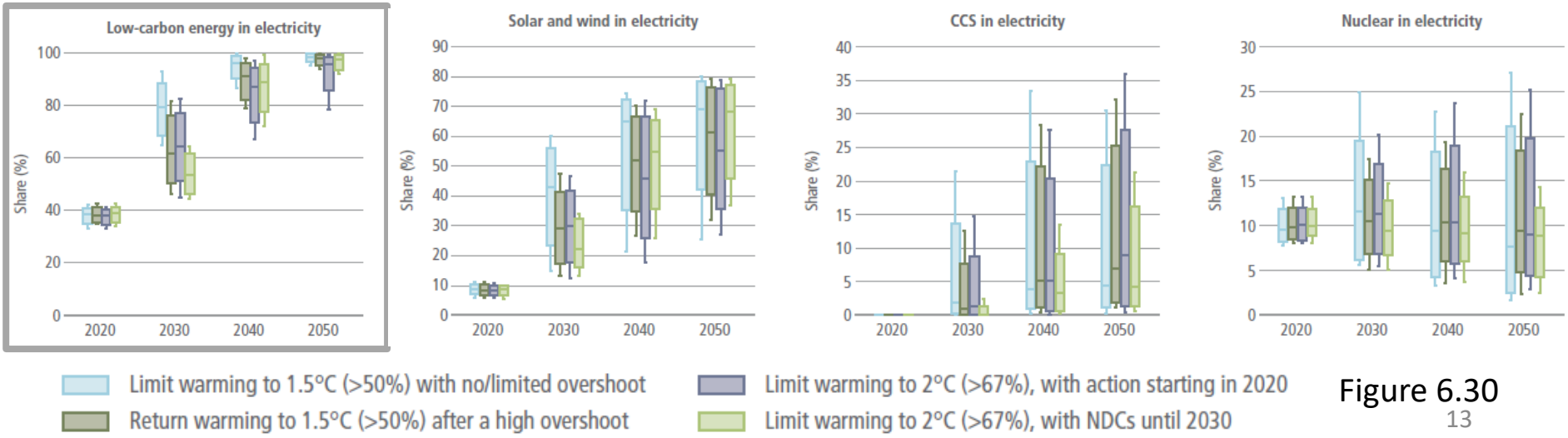


Figure 6.30

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％に達するまでには遠く及ばない。

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）。

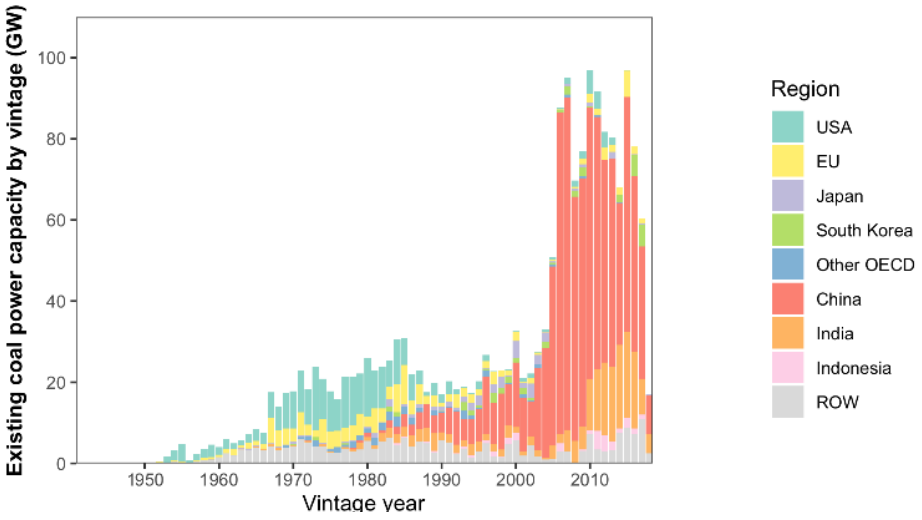
石炭火力フェーズアウトの状況と課題（Box6.2）

温暖化を2℃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。

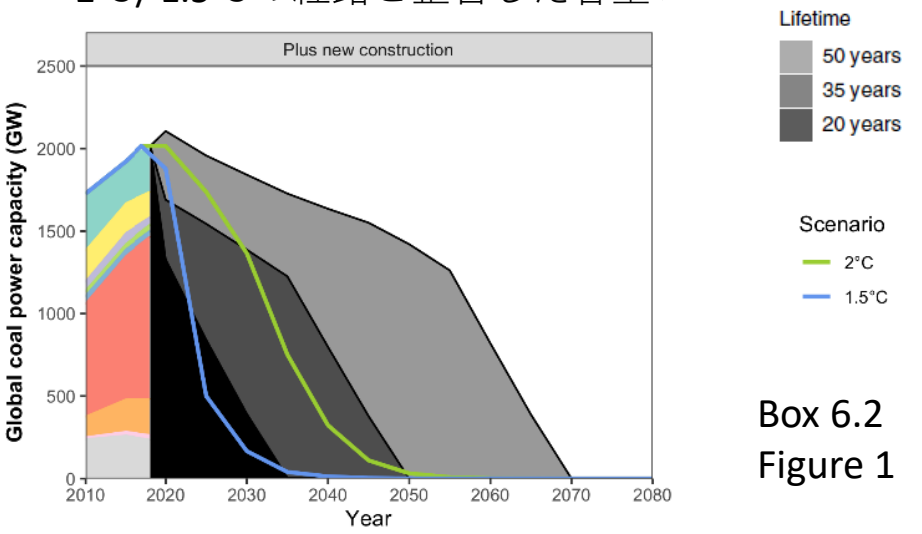
計画中の石炭火力発電所が建設された場合、プラントの運転期間をさらに5～10年短縮する必要がある。

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℃/ 1.5℃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）。

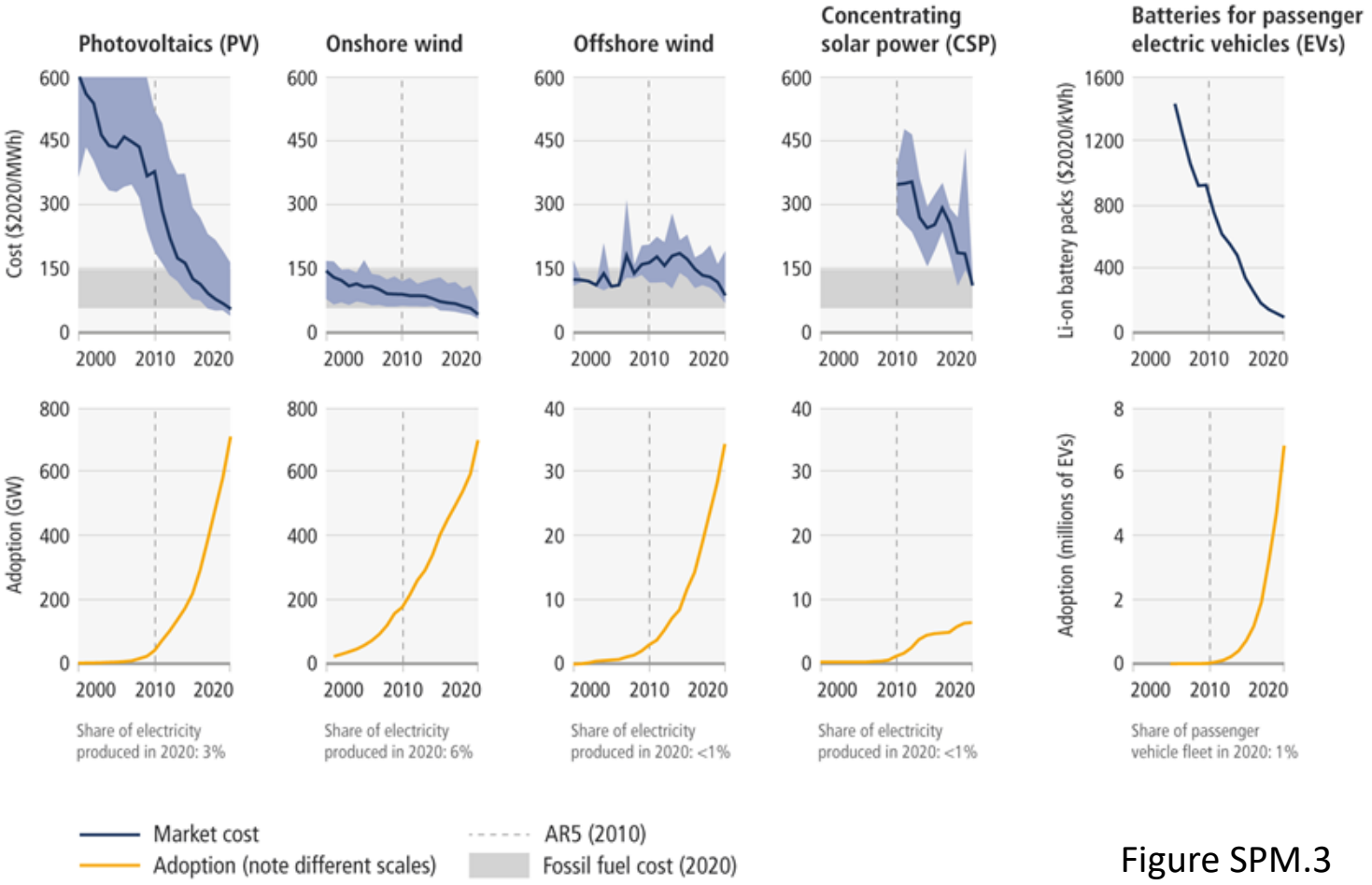


Figure SPM.3

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℃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）。

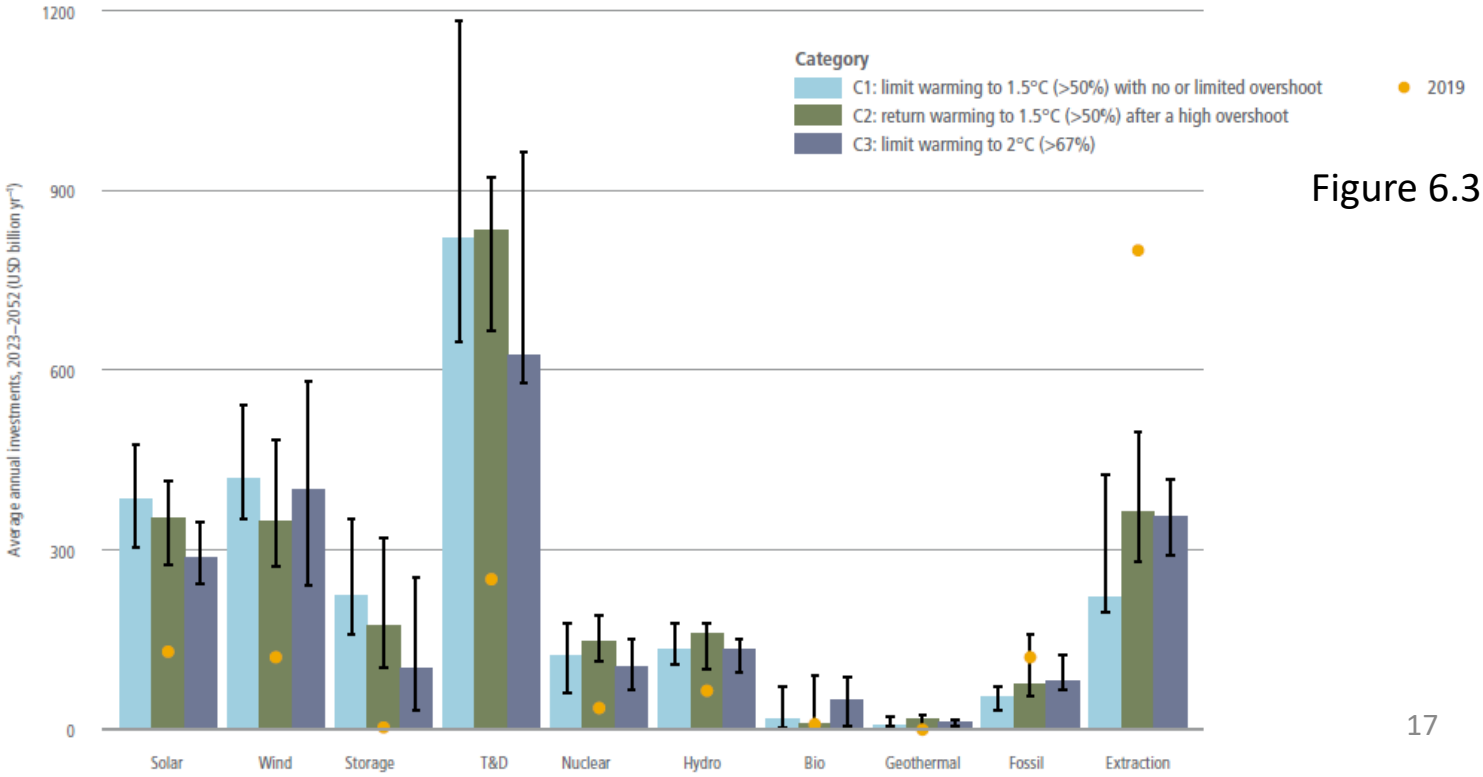


Figure 6.32

まとめ

- ネットゼロ・エネルギーシステムを実現するには、エネルギーシステムの大幅な変革が必要となる。供給側の低炭素化だけでなく需要側の対策、吸収源対策やCDR技術も重要となる。
- 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。
- エネルギーシステムは、エネルギーアクセス、大気・水質汚染、健康、エネルギー安全保障、水や食糧の安全保障、経済成長、国際競争力、雇用など、さまざまな社会目標と関連している。これらの重要性は国や地域によって異なり、地域特性を踏まえた対策が必要。