

# 重要性高まるネガティブエミッション技術

---

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

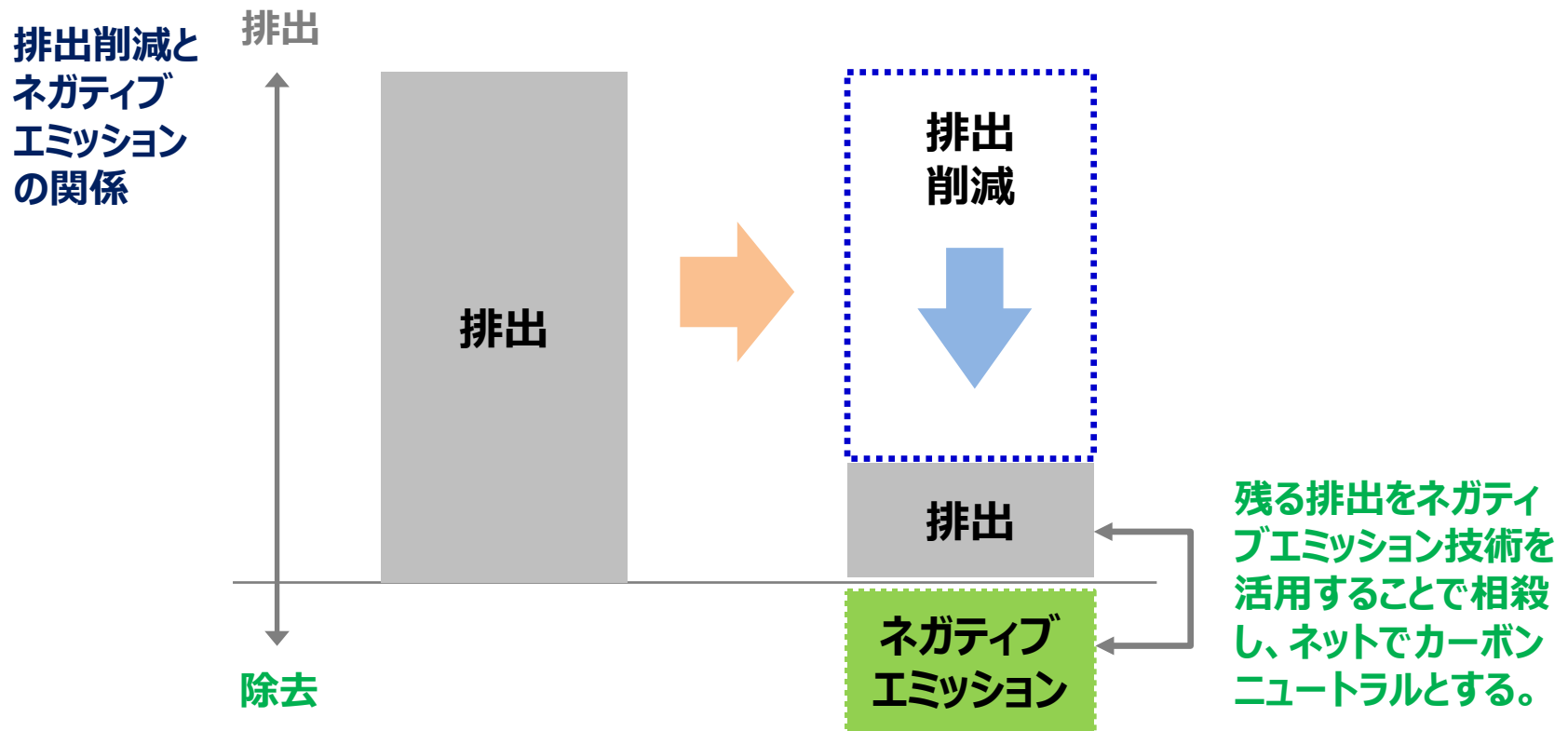
研究戦略ユニット 研究戦略グループ 兼  
クリーンエネルギーユニット 次世代エネルギーシステムグループ  
小林 良和

# 本報告のまとめ

- ネガティブエミッション技術（NETs）の貢献なしにカーボンニュートラルを実現することは極めて困難である。NETsの活用を長期的なカーボンニュートラルに向けた排出削減計画の中に明確且つより具体的に位置づけるべきである。
- NETsには多種多様な技術が存在する。当面は、個々のNETsについて、①国内における炭素除去のポテンシャルの把握、②正確な除去量の測定手法の検討・コスト削減・生態系への影響評価、などに注力すべきである。
- 本格的なNETsの導入には国際協力も不可欠である。NETsがカーボンニュートラル実現に不可欠な手段であることに対する国際的な認識を共有し、国際的に共有されるMRV制度や認証制度、クレジットの制度の確立に向けた準備作業を加速させる必要がある。

# ネガティブエミッションとは？

- ネガティブエミッション技術 (NETs) : 大気中から人為的にGHGを回収し、それを長期間にわたって固定する技術
  - 炭素除去 (Carbon Dioxide Reduction) 技術とほぼ同義
- ネガティブエミッションの意義 : 排出削減が困難な残余排出量の相殺

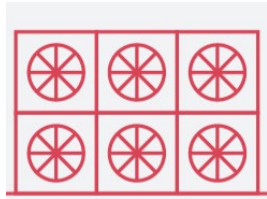


# 多様なネガティブエミッション技術

- 多様な技術を活用することで大気中のCO<sub>2</sub>を純減させることができる。



# 多様なネガティブエミッション技術（続き）



## 直接大気回収+CCS (DACCS)

大気中から技術的に直接CO<sub>2</sub>を回収し (DAC)、地下に貯留する (CCSを組み合わせる)。



## バイオエネルギー+CCS (BECCS)

バイオエネルギーを利用した際に排出されるCO<sub>2</sub>を技術的に回収して地下に貯留する (CCSを組み合わせる)。



## 植林・森林管理

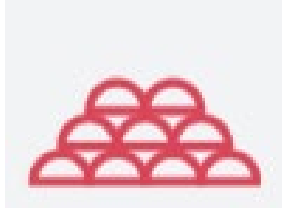
大規模な植林や森林の再生、森林農法の採用、森林破壊の積極的な抑制を通して森林によるCO<sub>2</sub>吸収量を高める。



## 土壌炭素貯留

不耕起（耕さない）栽培、土壌表面を覆う作物の栽培、堆肥の活用によって土壌中の炭素貯留を促す。

# 多様なネガティブエミッション技術（続き）



## バイオ炭

バイオマスを熱分解などによって炭化させることで、バイオマス中に含まれている炭素を長期間固定する。



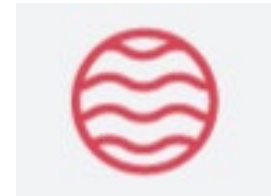
## 風化プロセスによる鉱物化促進

玄武岩、かんらん岩、蛇紋岩などを散布することで大気中のCO<sub>2</sub>を吸収し固定化（鉱物化）させる。



## ブルーカーボン

沿岸地域における植生や土壌の改善による炭素貯留、大型海藻の養殖などによるCO<sub>2</sub>吸収を促進する。



## 海洋アルカリ化

炭酸カルシウムなどを投入することで海水中のアルカリ度を高めることで海水面でCO<sub>2</sub>吸収量を高める。

# 多様なネガティブエミッション技術（続き）

- NETsは技術ベースのものと自然プロセスを加速させるものに大きく二分される。
- それぞれのNETsには一長一短があるが、相対的に技術成熟度が高く、除去ポテンシャルが大きく、除去量の計測が容易であり、CO<sub>2</sub>の固定期間が長い手法がDACCSとBECCS（共にCCSを活用する）
- 採用する技術によっては、土壌の改善や海洋環境の改善などの副次的な便益（コベネフィット）が得られるものもある。

## 主要なネガティブエミッション技術の概要

手法	プロセス	技術成熟度 (TRL)*	除去コスト (US\$/tCO <sub>2</sub> )	除去ポテンシャル (GtCO <sub>2</sub> /yr)
直接大気回収+CCS (DACCS)	技術	6	100-300	5-40
バイオエネルギー+CCS (BECCS)	技術	5-6	15-400	0.5-11
植林・森林管理	自然	8-9	0-240	0.5-10
土壌炭素貯留	自然	8-9	-45-100**	0.6-9.3
バイオ炭	自然	6-7	10-345	0.3-6.6
風化プロセスによる鉱物化促進	自然	3-4	50-200	2-4
ブルーカーボン	自然	2-3	N/A	<1
海洋アルカリ化	自然	1-2	40-260	1-100

\* 技術成熟度（Technology Readiness Level）：特定の技術の成熟度レベルを評価するために使用される指標。9段階で評価され、TRL 9が最も成熟度が高く、TRL 1が最も低い。

\*\* 土壌炭素貯留は、土壌改善に伴う便益が大きい場合には全体としても便益（マイナスのコスト）が発生する可能性がある。

出典：Babiker et al. (2022) Cross-sectoral Perspectivesを元に発表者作成

# 諸外国における取組み

- 諸外国においては、具体的なプロジェクトに対する税額控除や個別のNETsに対する導入目標の設定、既存の排出権取引システムへの除去クレジットの統合等、NETs導入への具体的なインセンティブに関する検討が進められている。
- 日本は現在、DACなどの技術開発への政府支援を実施中。市場創設に向けた政策オプションについての議論を実施

国・地域	政府支援	導入目標	クレジット制度
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DACプロジェクトに対し130-180\$/t-CO<sub>2</sub>の税額控除</li> <li>• 国内4か所のDACハブ形成に35億ドル支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10億トン規模での炭素除去の実現</li> <li>• 技術開発では100\$/t-CO<sub>2</sub>以下を目指す</li> </ul>	-
英国	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DACCSなどの技術革新に向けて1億ポンドを支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 技術的手法で2030年に500万トン、2050年に7,500-8,700万トンの除去</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 除去クレジットのUK-ETSへの組入れ検討</li> </ul>
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NETsに対するインセンティブを拡大予定（具体的内容は検討中）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2030年までに、土地利用、土地利用変化及び林業部門で3.1億トン。技術的手法で500万トン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 除去クレジットのEU-ETSへの組入れ検討</li> </ul>



# 日本の取り組みは？

- 2023年5月、ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会がとりまとめ骨子を公表。市場創出・拡大に向けた手法のオプションとして下表の7点を提示
  - 今後これらの手法のどれを採用すべきかについての議論が進められていくと考えられる。

手法	概要
①値差補填	参照価格（市場価格に連動）が権利価格（コストを元に設定される価格）を下回る場合、差額を政府が補填
②政府調達	事業者が実施したネガティブエミッションに対し、政府が一定価格で買取
③余剰クレジットの買い取り	ネガティブエミッションを行った事業者が販売しきれなかったクレジットを政府が買い取り
④税額控除	ネガティブエミッション実施分に対する税額控除を提供
⑤設備投資・実証支援	実現性調査や基本設計調査、プロジェクト開発や調達・建設等に対する支援
⑥研究開発支援	コスト低減に向けた多様なNETs技術開発に対する支援
⑦義務量割当	多排出セクターに対して、排出量のうち一定割合の NETsプロジェクト（もしくはクレジット）を購入する義務を発生させる

# 各国の政府・研究機関によるCNシナリオにおけるNETs

- 各国の代表的な政府機関・研究機関によるカーボンニュートラルシナリオにおいては、殆どの国のシナリオで2050年時点で現在の総排出量の1～2割の除去量が想定されている（CN実現にNETsの貢献は必須）。

	基準年 (総排出量)	LULUCF	その他NETs	合計	除去量 (million t-CO <sub>2</sub> e)
日本	2015年	予測なし	14%	—	185
中国	2020年	6%	6%	12%	1,553
EU	2020年	13%	6%	19%	593
ドイツ	2018年	算入なし	9%	9%	72
フランス	2015年	14%	3%	18%	78
英国	2020年	4%	12%	16%	64

表中、黄色は当該政府・行政組織によって作成されたシナリオ

LULUCF: 土地利用、土地利用変化および林業; その他NETs: BECCS, DACCSなどLULUCF以外のNETs

出典: 次頁を参照

# 参考：各国の政府・研究機関によるCNシナリオ

## ■ 前頁の各国のシナリオの出典は下表のとおり

国名	出所	備考	モデル 期初年
日本	(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)(2021年)「2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析(中間報告)」(総合資源エネルギー調査会基本政策分科会)	参考値ケースを図から読値して採用	2015年
中国	プロジェクト総合報告編集チーム(2020年)「中国長期低炭素発展戦略と転換経路研究総合報告」、『中国人口・資源と環境』Vol.30、No.11(清華大学を中心とするチームによる分析)	1.5°Cシナリオを対象	2020年
EU	European Commission(2020), Stepping up Europe's 2030 climate ambition.	4つのサブシナリオの平均値を採用	2015年
ドイツ	Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut(2020), Klimaneutrales Deutschland(Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität).(民間機関) Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut(2021), Klimaneutrales Deutschland 2045(Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende).(CN2045の分析)		2018年
フランス	Direction Générale de l'Énergie et du Climat(2020), Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat. 政府による長期戦略のシナリオ分析)	AMS(追加措置)シナリオを対象	2015年
英国	Committee on Climate Change(2020), The Sixth Carbon Budget.(気候変動委員会による分析)	バランスネットゼロ経路シナリオを対象	2020年

# カーボンニュートラルに向けたNETsの位置付けの明確化

- NETsによる炭素除去なしにカーボンニュートラルを実現することは極めて困難である。
  - IPCC報告書が参照しているほぼ全てのシナリオでNETsの採用が前提されている。
- 長期の排出削減計画にNETsの活用をより明確かつ具体的に位置づけるべき。

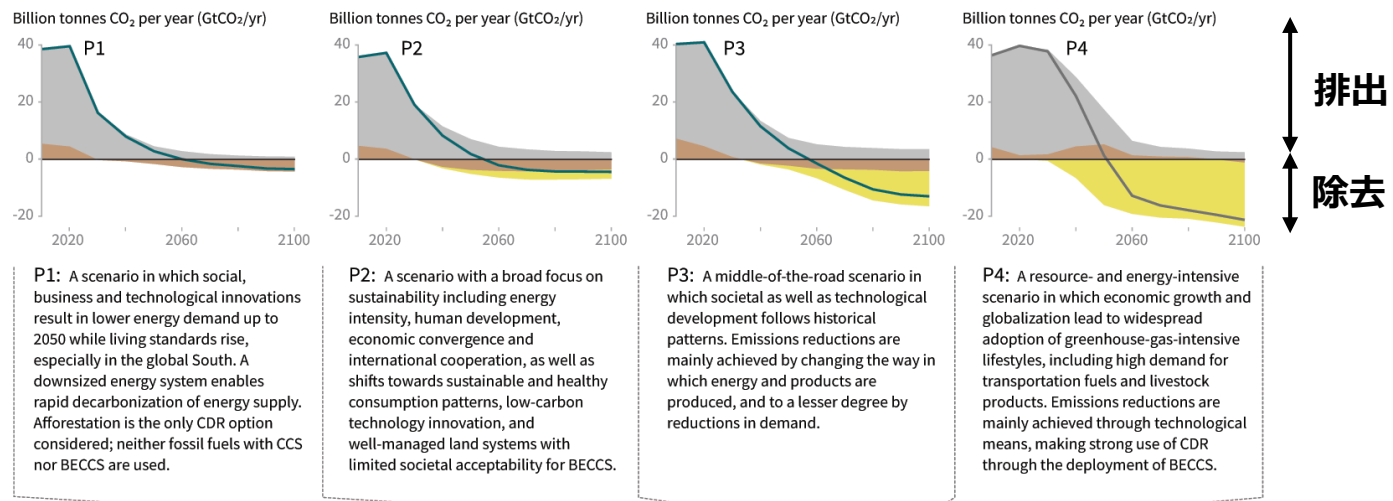
## IPCC報告書で参照されているシナリオの代表的なパターンと炭素除去の位置づけ

### Characteristics of four illustrative model pathways

Different mitigation strategies can achieve the net emissions reductions that would be required to follow a pathway that limits global warming to 1.5°C with no or limited overshoot. All pathways use Carbon Dioxide Removal (CDR), but the amount varies across pathways, as do the relative contributions of Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) and removals in the Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) sector. This has implications for emissions and several other pathway characteristics.

### Breakdown of contributions to global net CO<sub>2</sub> emissions in four illustrative model pathways

● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS



出典: IPCC (2018), Special Report: Global Warming of 1.5 °C. Figure SPM 3b. 11

# 今後の国内におけるNETsの技術開発について

- 技術ベースのものについては、当面は、既存の**DAC技術開発**を進めるとともに国内の**CO<sub>2</sub>貯留先**の確保を図る。
  - BECCSについては、バイオマス燃料（火力での混焼含む）+CCSの可能性も追求
- 自然ベースのものについては、まずはNDCに定められた**森林吸収**目標の実現
- その他のものについては、短期的には**土壌炭素貯留・バイオ炭**の可能性を検討

NETs	種類	主な課題
DACCS	技術ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>• コスト削減（CO<sub>2</sub>吸収、エネルギーコスト）</li> <li>• CCS実施能力（輸送インフラ、貯留先の確保）</li> </ul>
BECCS	技術ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>• バイオマスの調達源確保</li> <li>• コベネフィット（電力など）の最大化</li> <li>• CCS実施能力（輸送インフラ、貯留先の確保）</li> </ul>
植林・森林管理	自然ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実施対象の用地・森林の確保</li> <li>• 老齢林の伐採促進</li> <li>• 伐採木材製品の活用</li> </ul>
土壌炭素貯留	自然ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 既存の農業活動への影響の可能性（農地を利用する場合）</li> <li>• 異なる手法・土壌における除去量の把握とMRV体制の確立</li> <li>• コベネフィット（土壌改善効果など）の最大化</li> </ul>

# 今後の国内におけるNETsの技術開発について（続き）

- 自然ベースのものについては、長期的には、国内の地理的条件に適しているブルーカーボン、風化促進の適用に向けた取組（除去量の測定手法の確立、コスト削減、適用地域・海域の確保等）を進める。

NETs	種類	主な課題
バイオ炭	自然ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実施用地の確保</li> <li>• 除去効果・固定期間に関する評価と精度の高いMRV手法の整備</li> <li>• バイオ炭製造から利用に至るまでのバリューチェーン構築</li> <li>• 大気・水質への影響の管理</li> </ul>
風化促進	自然ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実証試験の実施とデータ・技術的知見の蓄積</li> <li>• 実施対象地域の確保（含パブリックアクセプタンス）</li> <li>• 実施に要するバリューチェーン（輸送・散布）の確立</li> </ul>
ブルーカーボン	自然ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 除去効果・固定期間に関する評価と精度の高いMRV体制の整備</li> <li>• 実施対象地域の確保（含パブリックアクセプタンス）</li> <li>• コスト水準の把握とその削減</li> </ul>
海洋アルカリ化	自然ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実証試験の実施とデータ・技術的知見の蓄積</li> <li>• 除去効果・固定期間に関する精度の高いMRV体制の整備</li> <li>• 海洋生態系への影響の管理</li> </ul>

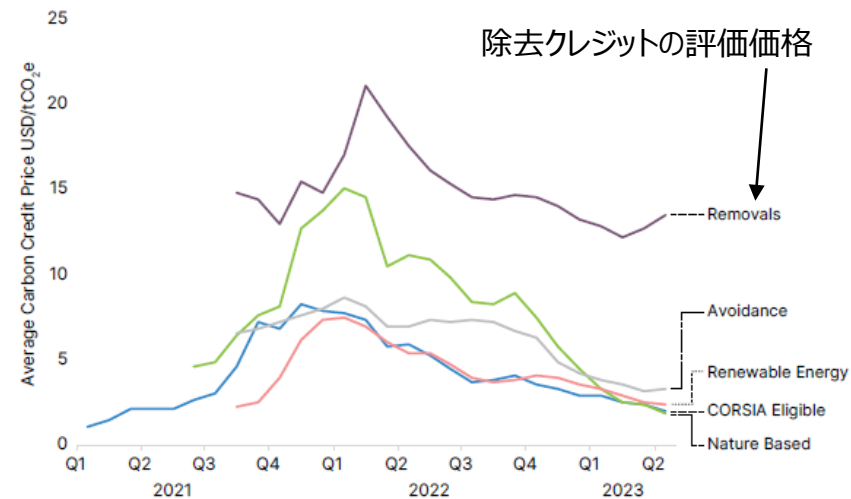
# 除去クレジット制度の整備

- NETsによる異地点間での残余排出量の相殺には除去クレジット制度の整備が必要
- 除去クレジットは、左下表に示す通り、削減クレジットとは異なる性格を持つ。
  - ボランタリークレジット市場では既に除去クレジットが取引されているが、削減クレジットよりも高い価格で取引されている。
- 国内における制度整備に向けたMRV・認証・取引ルールを整備を進めるべき。

## 削減クレジットと除去クレジットの比較

	削減クレジット (reduction)	除去クレジット (removal)
クレジット対象のCO <sub>2</sub> の量	特定のベースケースシナリオまたは排出枠と比べて排出が削減されたCO <sub>2</sub> の量	特定のベースケースシナリオと比べて大気中から除去されたCO <sub>2</sub> 排出量の量
対象となるCO <sub>2</sub>	これから排出されるであろうCO <sub>2</sub>	既に大気中に存在するCO <sub>2</sub>
主なクレジット創出の手段	省エネ、再エネ、原子力等	NETs
クレジットが活用される時期	相対的に短中期	相対的に中長期

## 各種クレジットの評価価格



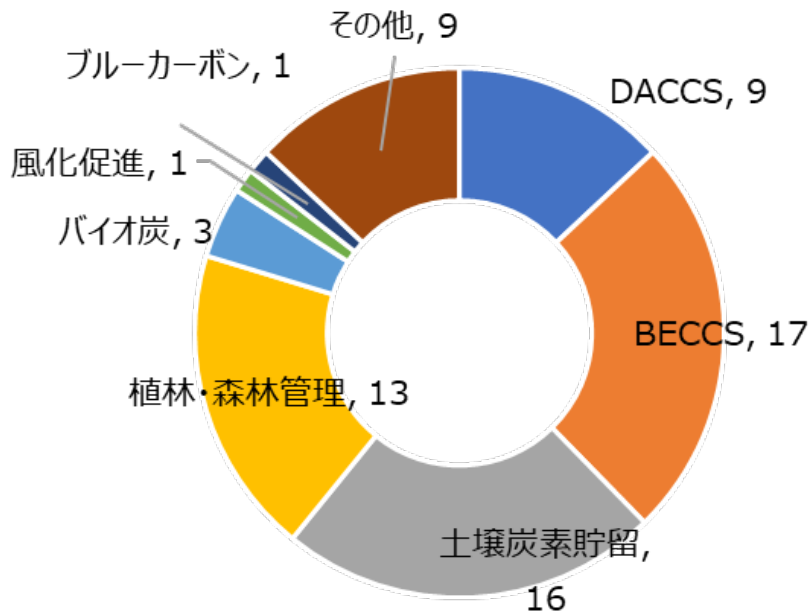
出所: World Bank, State and Trends of Carbon Pricing 2023



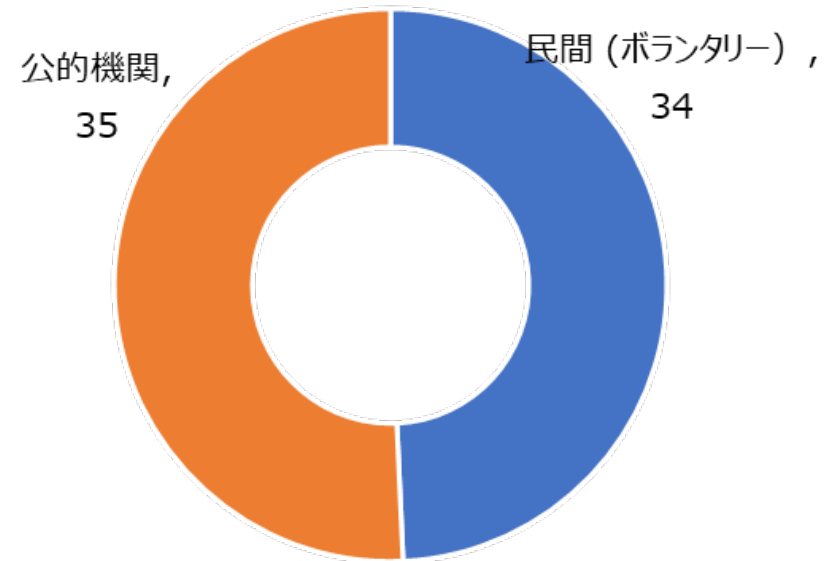
# 測定・報告・検証（MRV）制度

- 現状は多様な機関・組織による各種NETsに対するMRV手法が併存
  - 2023年5月時点で世界全体で69種類のNETsに関連するMRV手順が存在
- 広く国際的に共有されるMRV手法の確立は道半ばであり、今後の多国間での取り組み（最低基準の設定、ライフサイクルでの除去量の把握など）が必要

## NETs別のMRV実施手順の数



## 主体別のMRV実施手順の数



注：その他には、Peatland rewetting、Wetland restoration、Woody biomass burial、Bio oilが含まれる

出典：Leo Mercer and Josh Burke (2023) Strengthening MRV standards for greenhouse gas removals to improve climate change governance を元に発表者作成



# 国際協力の推進

- NETsの必要性に対する国際的な認識の共有
  - 現状IPCC報告書では植林・森林管理とBECCSのみが明示的にNETsとして記載
  - 各NETsによる除去効果測定手法や炭素固定期間に関する共通認識の形成
- MRV制度の整備
  - 各NETsの除去効果に関するデータの蓄積・共有
  - MRV手法に関する国際標準化（もしくは最低限の条件に関する合意）
  - ライフサイクルでの除去効果測定手法整備に向けた国際連携・協力
- 国際的な認証制度とクレジット制度の整備
  - 各国における炭素除去に関する認証制度の整備と国際的な認証制度への統合
  - 国境を越えた除去クレジット制度の構築
  - NDCへのカウントが可能となるような仕組み作り
- 国際的なNETsの活用プロジェクトの組成と推進
  - 海外における低コストNETs適用機会の追求とNDCへのカウント
- その他
  - 海洋におけるNETs利用に関するルール策定など