

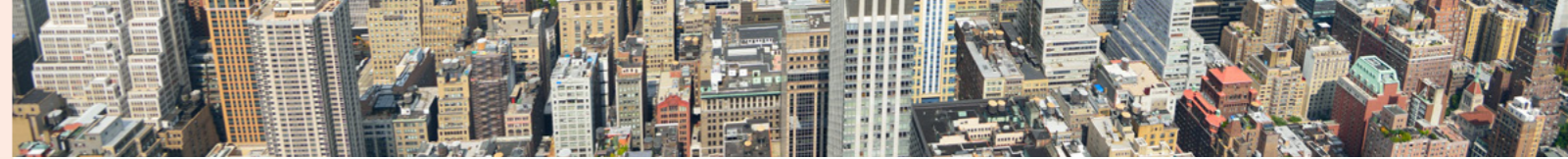
# 地球温暖化と 「CCS(炭素もどし)」



# なぜ、今、地球温暖化が 起きているの



私たちは、豊かな暮らしと引き換えに、  
CO<sub>2</sub>を発生させてきたのね



## 人間が、経済成長とともに、 大量のCO<sub>2</sub>を排出してきたからです。

地球温暖化の影響は、私たちに実感できるかたちで迫っています。相次ぐ風水害や異常気象、熱中症や感染症の増加、海面上昇、高潮、サンゴ礁の白化、農林水産物被害による価格高騰など、これらは地球温暖化と深く関わっています。

地球温暖化の原因は、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)をはじめとする温室効果ガスの排出量が増えたことです。18世紀にイギリスで始まった産業革命以降、先進国において石炭や石油など化石燃料の使用量が増え続け、それに伴って大量のCO<sub>2</sub>が大気中に排出されるようになりました。さらに、新興国や発展途上国も多くの化石燃料を使用するようになり、ますます温暖化に拍車がかかることが予想されます。

国際社会の協調的な取り組みとして2016年11月4日にパリ協定が発効しました。気温上昇を産業革命前から2℃未満に抑え、同時に科学的に予想される極端な気候の発現を抑えるための努力目標として1.5℃未満をめざすことに、国際社会が合意したものです。これは、21世紀後半には温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを意味しています。

●地球温暖化の影響により、さまざまな現象が発生しています。(写真提供:共同通信社)



河川あふれ、土砂くずれも。流木の上で捜索をする警察官ら(福岡県東峰村)



鬼怒川の堤防が決壊。家の屋根からヘリコプターで救助される人(茨城県常総市)



サンゴ礁の白化(沖縄県竹富島沖)



豪雨による農業被害(北海道北見市)

## CO<sub>2</sub>を発生させない、CO<sub>2</sub>を回収する、 両方の取り組みが必要です。

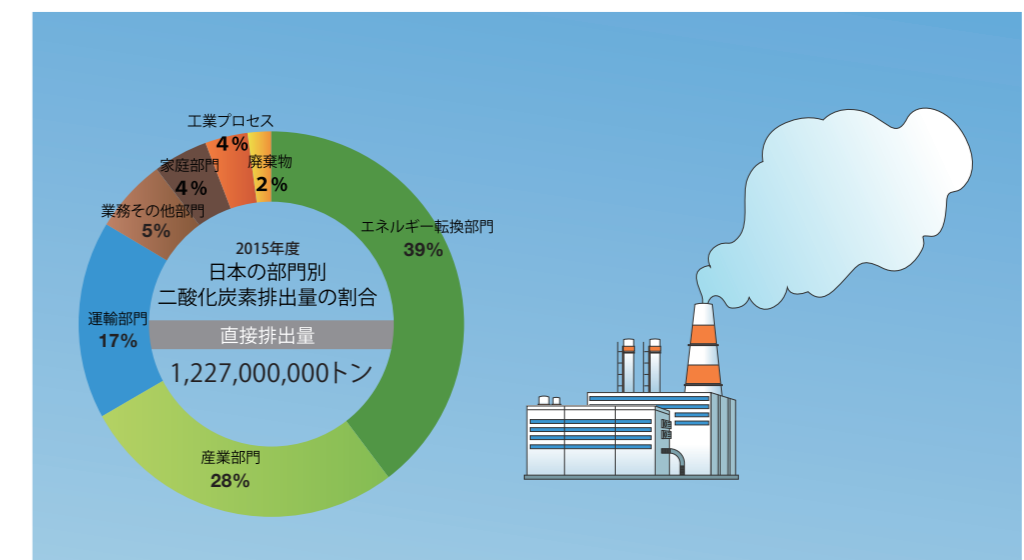
地球の平均気温の上昇を抑えるには、大気中のCO<sub>2</sub>の量を減らす必要があります。そのため、CO<sub>2</sub>の排出量を少なくすることと、大気中に排出される前にCO<sub>2</sub>を回収することの2つの方向で取り組みが進められています。また、CO<sub>2</sub>削減がなかなか進展しないことから、他の方法として、地球の気温を下げるために、人工的に雲を増やしたり、空に微粒子をまいたり、宇宙に太陽光を反射する鏡を置いたりするといったことも考えられています。

日本では、年間12億トン以上のCO<sub>2</sub>が排出されています。その4割が発電所などのエネルギー転換部門、3割近くが鉄鋼や化学などの産業部門から排出されています。

さて、CO<sub>2</sub>を発生させないためには、どうすればよいでしょう。化石燃料による火力発電から太陽光や風力発電など再生可能エネルギーへのシフトや、省エネルギーの推進などがあげられます。また、原子力発電もCO<sub>2</sub>を発生させない発電方法です。

一方、CO<sub>2</sub>を回収する方法としては、植林など自然の力を借りてCO<sub>2</sub>を吸収する方法や、人工的にCO<sub>2</sub>を回収する方法があります。火力発電所や工場などで発生するCO<sub>2</sub>を、大気に排出される前に回収して、地中などに貯留する。これがCCS（シー・シー・エス）と呼ばれる技術です。

●日本は年間12億トン以上のCO<sub>2</sub>を排出しています。



出典:温室効果ガスインベントリオフィス

## CO<sub>2</sub>削減のために 私たちは何をすればいいの



再生可能エネルギーや省エネルギーだけじゃ、  
温暖化防止は無理なのかしら



# CCSって何ですか



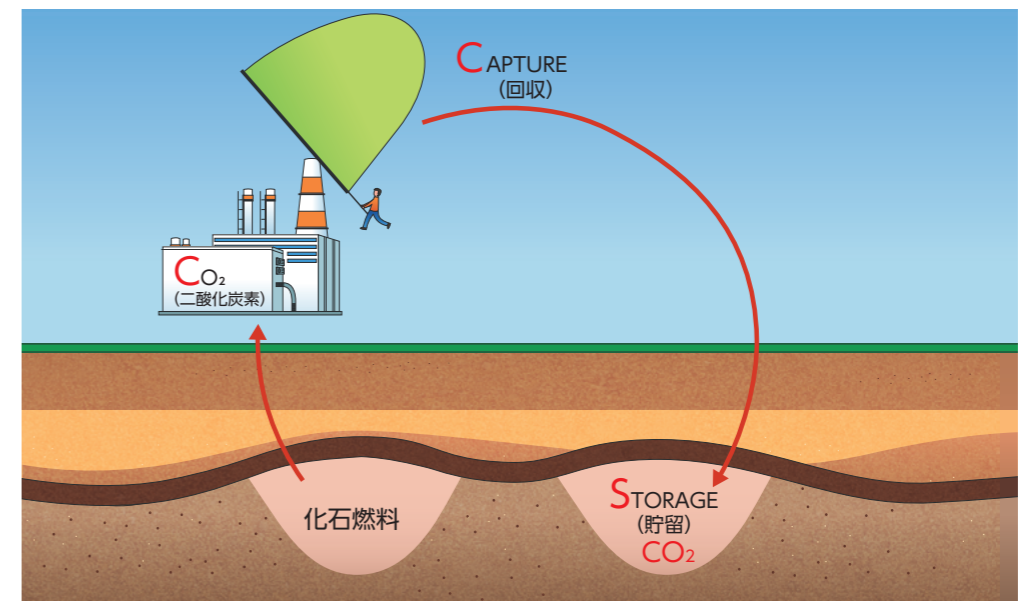
CCS、そのままシー・シー・エスと  
読めばいいのね



## CCSは、もともと地中にあった炭素を、 地中にもどす「炭素もどし」の技術です。

石炭や石油などの炭素を起源とする化石燃料は、光合成によって大気中のCO<sub>2</sub>を吸収した植物や微生物が、そのまま地中に埋まってできたものです。火力発電所などでは、化石燃料を燃焼させて発電を行い、CO<sub>2</sub>を発生させています。CCSとは、もともと地中にあった炭素をCO<sub>2</sub>として回収し地中にもどす、いわば「炭素もどし」の技術といふことができます。Carbon dioxide Capture and Storage(カーボンダイオキサイド・キャプチャー・アンド・ストレージ)の略称で、「二酸化炭素回収・貯留」を意味します。

火力発電所、製鉄所、製油所などの大量排出源から、CO<sub>2</sub>が大気に放出される前に回収して地中にもどします。



CCS  
||  
Carbon dioxide Capture and Storage  
カーボンダイオキサイド・キャプチャー・アンド・ストレージ  
二酸化炭素 回収 貯留



# なぜ、CCSが必要な



CO<sub>2</sub>削減の方法は、  
いろいろあるのね

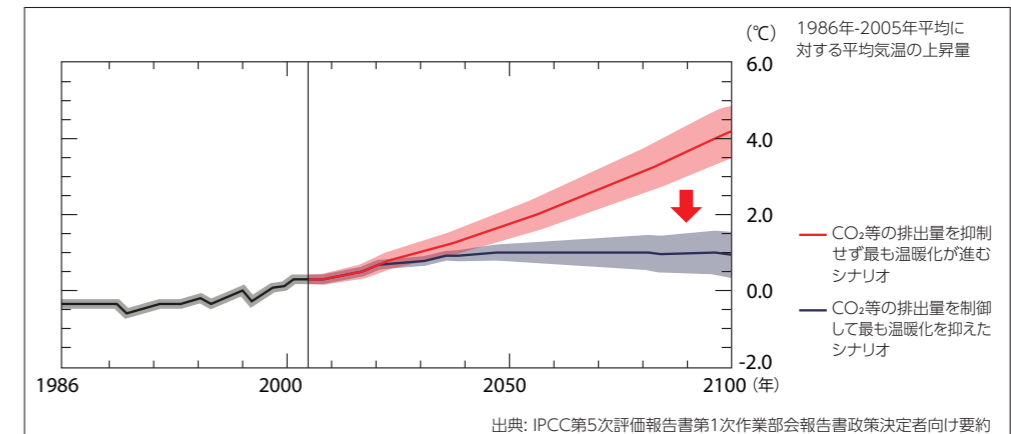


私たちは、CO<sub>2</sub>排出量ゼロの社会へ、  
一足飛びに行くことはできないからです。

再生可能エネルギーへのシフトは、さまざまな国や地域で進められています。日本やドイツでは、太陽光発電や風力発電による電気の固定価格買取制度など、普及を後押しする制度も整備されています。それでも、再生可能エネルギーへのシフトや省エネルギー、原子力発電だけでは、パリ協定における2℃未満の目標達成は難しいと考えられています。パリ協定の目標達成には、2020年までにCCSを実用化し、2030年にはCCSの導入を進める必要があるとされています。その理由の一つに、CO<sub>2</sub>を大量に排出する火力発電を、即座に停止できないことがあげられます。地球温暖化防止は、エネルギー需給のバランスをとりながら進めていく必要があるからです。

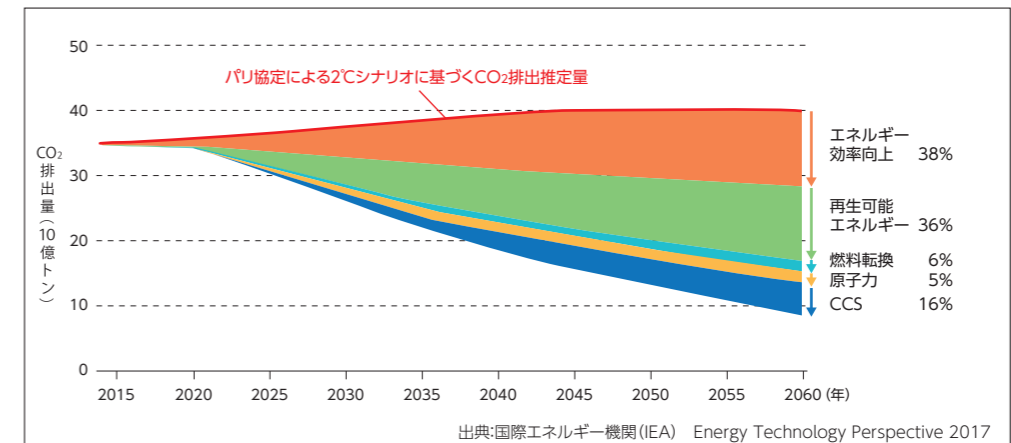
21世紀後半にCO<sub>2</sub>の排出を実質ゼロにするためには、エネルギー効率の向上や再生可能エネルギーはもちろん、CCSを含めてあらゆる方法を使っていくことが必要なのです。

## ●世界の平均気温の変化の予測(1986年～2005年を基準とした21世紀末の変化)



IPCC(気候変動に関する政府間パネル)は、このままCO<sub>2</sub>排出量が増え続けると、2100年の地球の平均気温は最大4.8℃上昇すると発表しました。気候の急激な変化が生態系などに及ぼすリスクを回避するには、これを1.5～2℃に抑える必要があります。(IPCC第5次評価報告書 2013)

## ●2℃シナリオに対するCO<sub>2</sub>削減技術の貢献(2060年)



パリ協定の2℃シナリオを実現するためには、エネルギー効率の向上、再生可能エネルギー、CCSなど、さまざまな方法をミックスしてCO<sub>2</sub>を削減する必要があります。2℃未満(1.5℃)を実現するシナリオでは、CCSの貢献が16%から23%に増えると推計されています。

# どんなところに、 CO<sub>2</sub>を埋めるの



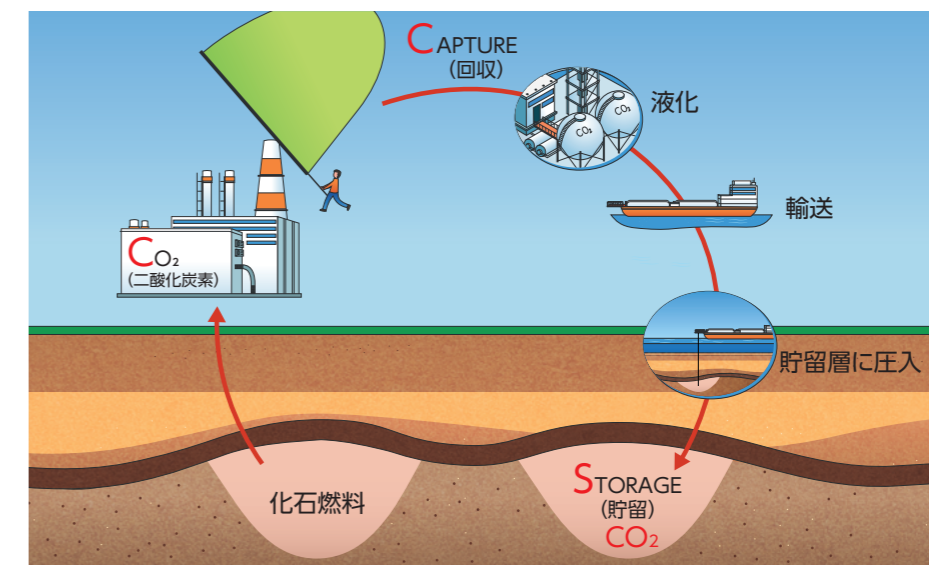
ずいぶん深い場所に埋めるのね



## 地下約1,000mより深いところにある、 CO<sub>2</sub>の貯留に適した場所に埋めます。

CCSは、火力発電所などの排ガスからCO<sub>2</sub>を回収して、地下約1,000mより深い地中に封じ込めますが、その場所はどこでも良いわけではありません。貯留する場所は、CO<sub>2</sub>を貯留しておく「貯留層」(砂岩などCO<sub>2</sub>の通りやすい層、「帯水層」とも呼ばれる)と、CO<sub>2</sub>が漏れ出さないようフタの役割をする「遮へい層」(泥岩などCO<sub>2</sub>を通さない層、「不透水層」とも呼ばれる)がその上に存在することが条件です。実は石油や天然ガスも、こういった「遮へい層」が「貯留層」を覆っている場所に溜まっており、油やガスの採掘が終了し枯渇した油田やガス田などを「貯留層」として利用する\*こともあります。

\*CO<sub>2</sub>に圧力をかけて地下に注入することで、地下に残っている原油を押し出し、原油の回収率向上を目指すCO<sub>2</sub>-EOR(Enhanced Oil Recovery)という技術もあります。米国では年間数千万トンのCO<sub>2</sub>が「EOR」で圧入されています。日本には、「EOR」に利用できる油田がほとんどないため、帯水層を用いたCO<sub>2</sub>の貯留が想定されています。



### コラム

**Q.貯留されたCO<sub>2</sub>は、どのような状態になりますか。**

**A.地中の圧力によって圧縮され、液体に近い状態になります。**

CO<sub>2</sub>は地下約1,000mより深いところに貯留されます。地上ではCO<sub>2</sub>は気体の状態ですが、地下800mよりも深いところでは圧力によって容積が激減し、液体に近い状態になります。貯留されたCO<sub>2</sub>は、時間をかけて砂岩などの貯留層に溜まっている塩水に溶解したり、周辺の岩石と化学反応して、鉱物として沈殿したりすると考えられています。

(15ページ 図版「Step4 うめる」を参照)

# どんな手順で CCSを進めるの

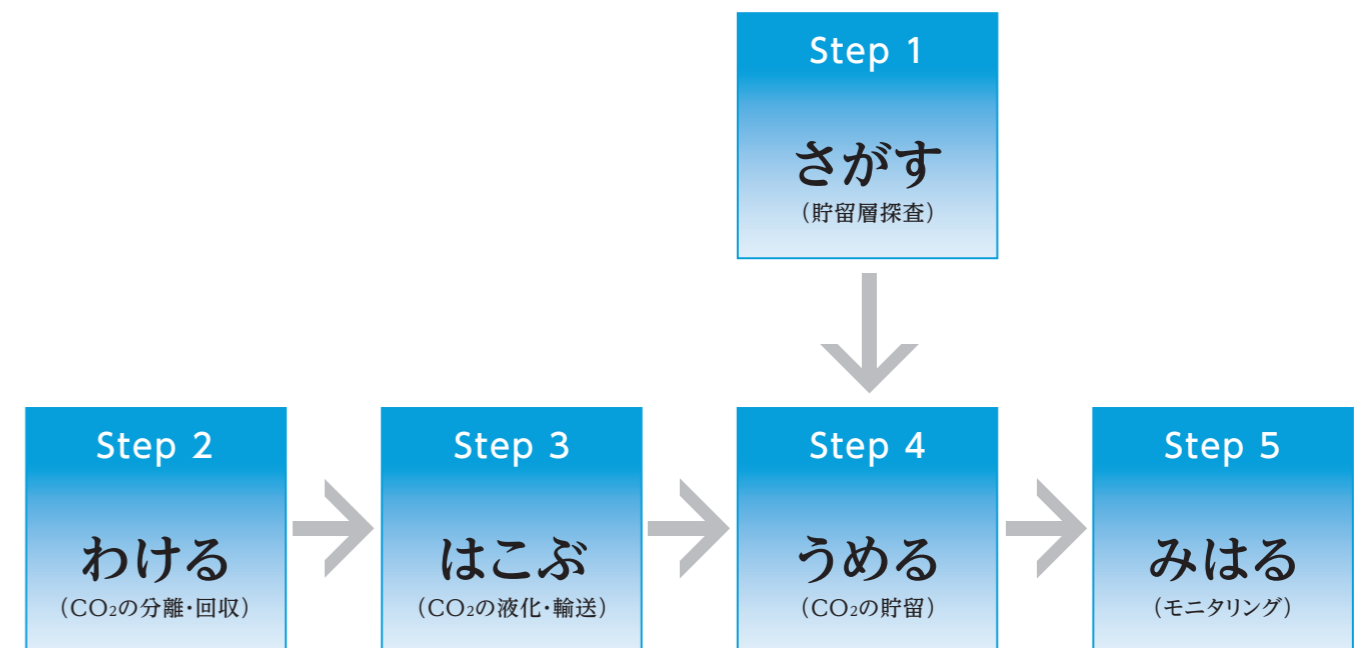


CO<sub>2</sub>を埋める場所を探し、  
CO<sub>2</sub>を回収・貯留します



「さがす」「わける」「はこぶ」  
「うめる」「みはる」という手順で進めます。

最初に、CO<sub>2</sub>を埋める場所をさがします。これを「貯留層探査」といいます。並行して、CO<sub>2</sub>の「分離・回収」「液化・輸送」「貯留」「モニタリング」技術の開発も進めています。詳しい説明は次ページをご覧ください。

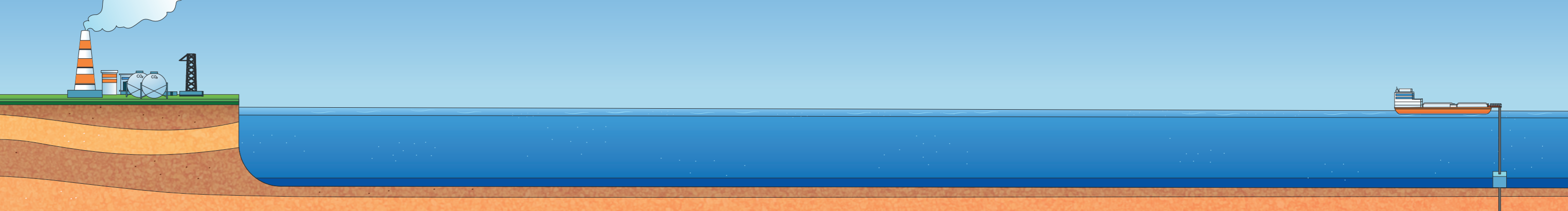


## コラム

**Q.CO<sub>2</sub>に圧力をかけて地下に注入することで、地震を誘発したりしませんか。**

**A.地震を誘発する可能性のある活断層の近くには、CO<sub>2</sub>の圧入を行いません。**

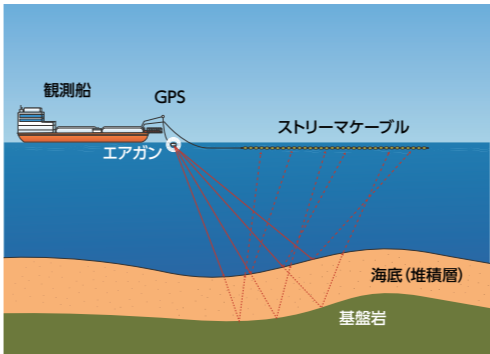
活断層には歪みが蓄積しており、近くに高圧の液体が注入されると歪みを支えきれず、地震(断層のすべり)が誘発される可能性があります。そのため、貯留適地調査の段階で、あらかじめ活断層が近くにある地域を避けます。さらに、地中にCO<sub>2</sub>を圧入するにあたり、誘発地震を回避するため、適切な計画に基づいた圧入、圧入時の管理とモニタリングを行います。



CCSを進める手順について、少し詳しく説明します。

Step 1  
さがす  
(貯留層探査)

CO<sub>2</sub>を埋める場所を探します。探査船から海底に向けてエアガンで音波を発生させ、地中を通ってはね返ってくる振動をストリーマケーブルで受信し解析することで、地中の構造を調査します。さらに候補地となった場所の地質データを収集するために調査井を掘削し、物性値の評価等を行います。



貯留層探査には、石油や天然ガスの探査で培われた実績のある技術を利用しています。

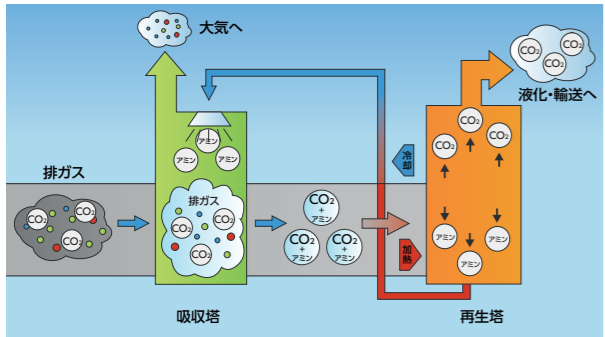
●帯水層の分布と調査状況



日本近海には、数多くの貯留候補地が存在しています。色の違いは水深や貯留層の層厚を示しています。  
出典：地球環境産業技術研究機構「全国貯留層賦存量調査」、産業技術総合開発機構/産業技術総合研究所（2012）「発電からCO<sub>2</sub>貯留に至るトータルシステムの評価報告書」等をもとにみずほ情報総研が作成

Step 2  
わける  
(CO<sub>2</sub>の分離・回収)

火力発電所の排ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収する方法としては、例えば化学吸収法があります。アルカリ性のアミン溶液などを利用した化学反応により、濃度99%以上の高純度CO<sub>2</sub>を排ガスから分離・回収することができます。



排ガスがアミン溶液と触れることで、アミンがCO<sub>2</sub>を吸収。これを加熱することで、アミンとCO<sub>2</sub>が分離し、高濃度のCO<sub>2</sub>を回収することができます。

Step 3  
はこぶ  
(CO<sub>2</sub>の液化・輸送)

分離・回収した高純度のCO<sub>2</sub>を圧縮・液化して、地中にCO<sub>2</sub>を圧入する貯留地点まで輸送します。

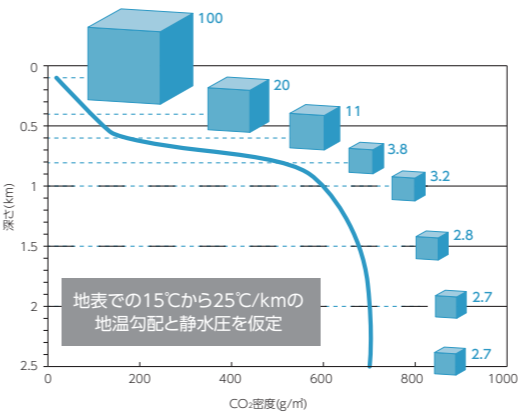


沖合の海底下の地中に埋める場合は、輸送船などでCO<sub>2</sub>を運びます。

Step 4  
うめる  
(CO<sub>2</sub>の貯留)

地上または海底から「貯留層」までの圧入井を掘削し、地中にCO<sub>2</sub>を圧入します。圧入されたCO<sub>2</sub>は、地中では高い圧力がかかるため、相対容積が減ります。

●CO<sub>2</sub>の密度と深度の関係

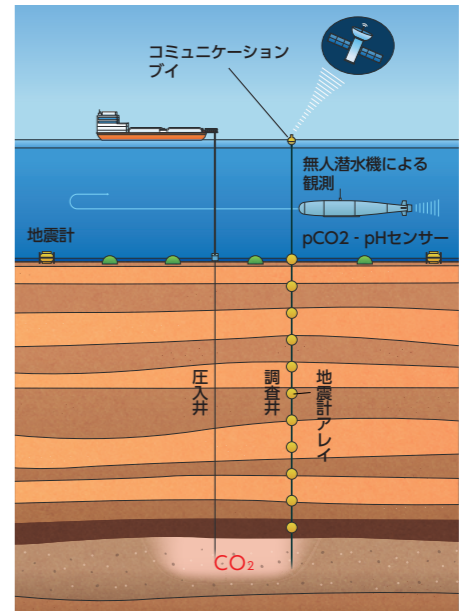


静水圧及び地表面15℃、地温勾配25℃/kmを仮定した深度によるCO<sub>2</sub>密度の変化(Angus et al., 1973の密度データに基づく)。CO<sub>2</sub>密度は約800mの深度で急激に増加する。立方体は、CO<sub>2</sub>が占める相対容積を表し、800mまではこの容積は深さに対し劇的に減少する。1.5km以深では、密度と比容積はほぼ一定になる。

出典：二酸化炭素回収・貯留に関するIPCC特別報告書(日本語版) P.218

Step 5  
みはる  
(モニタリング)

貯留層に圧入したCO<sub>2</sub>の漏えいがないかを確認したり、生態系などの環境に変化がないかをモニタリングしたりします。



地上の施設、地中の貯留層、両方のモニタリングを行います。

# 日本ではどんな CCSプロジェクトが進んでいるの



沿岸の自然環境に影響の少ない  
プロジェクトなのね



## 海洋国日本の特長を活かした プロジェクトを進めています。

海洋国の日本では、沖合の海底にCO<sub>2</sub>を貯留する「海洋型CCS」を大規模に展開することができます。沿岸ではなく、沖合の貯留層まで船でCO<sub>2</sub>を運び、海底下の地中に圧入することで、沿岸域への影響を少なくすることができます。沿岸の工業地帯に存在する複数の発電所や工場からCO<sub>2</sub>を回収し貯留できることも、「海洋型CCS」のメリットです。日本の近海には、1,000億トン以上のCO<sub>2</sub>を封じ込めることができる貯留層が存在すると考えられています。

現在、株式会社シグマパワー有明 三川発電所(福岡県大牟田市)では、この「海洋型CCS」プロジェクトにつながるCO<sub>2</sub>分離・回収の実証実験を行っています。また、CO<sub>2</sub>圧入やモニタリングなどの技術開発も進めています。

### コラム

#### 2020年、世界初のバイオマス発電所での大規模CCSが実現

三川発電所は、現在、石炭だけではなくバイオマス発電(木質などの生物体をエネルギーとして利用する発電)にも対応する設備に更新されました。2020年度(予定)の実証設備完成時には、バイオマス発電所の排出するCO<sub>2</sub>を分離・回収する世界初\*の大規模CCS実証設備となる予定です。

これは、大気中のCO<sub>2</sub>を吸収した植物由来のCO<sub>2</sub>を回収・貯留することで、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を減らすことにつながるBECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage)の実証実験となります。

\*2016年7月現在、東芝調べ

#### 環境省CCSプロジェクト参加機関



三川発電所CO<sub>2</sub>分離回収パイロットプラント

# 世界のCCSプロジェクトには、 どんなものがあるの



こんなに多くのプロジェクトがあるんだ

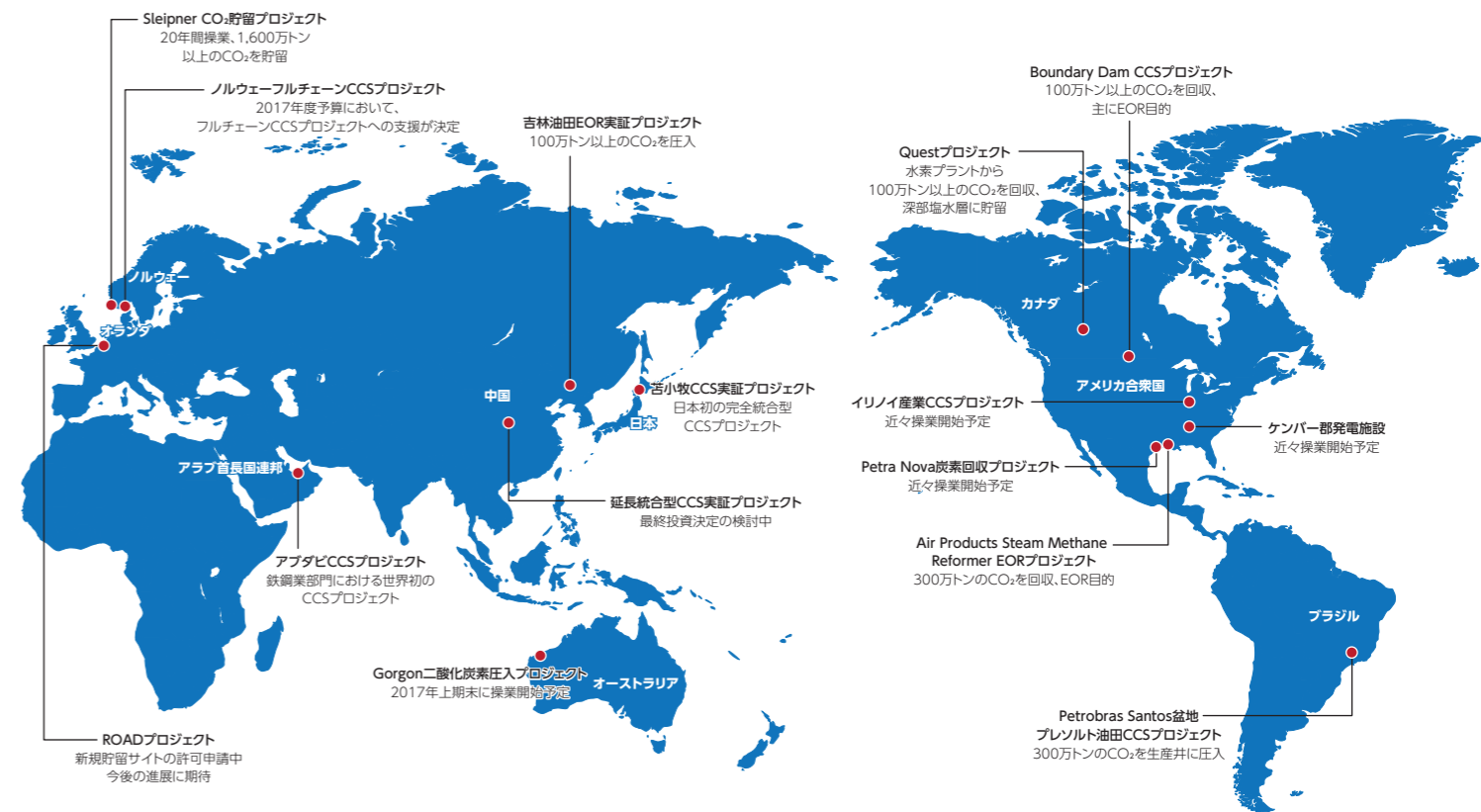


## 世界各国で、 CCSプロジェクトが実施されています。

米国では、1980年代以前から、油田にCO<sub>2</sub>を圧入して、原油の生産を増進する“EOR”が数多く行われてきました。2005年のG8グレンイーグルスサミットからは、地球温暖化防止に向けてCCSに関する国際的な議論が開始されました。2009年には、既存の発電所から排出されるCO<sub>2</sub>を分離・回収・貯留する小規模なプロジェクトが米国及びフランスで実施されました。

現在では、米国、ノルウェー、アルジェリア、カナダ、ブラジルなどで、大規模なCCSプロジェクトが展開されています。発電所だけでなく、化学プラント、天然ガス精製プラント、水素製造プラントなど、さまざまな大規模CO<sub>2</sub>排出源からの回収によって、地球温暖化を防止しようという動きが広がっています。

### ●世界の主要なCCSプロジェクト



参考: Global CCS Institute 2016「世界のCCS動向2016サマリーレポート」



# CCSには、どのくらいのお金がかかるの



CCSも、コスパが大事よね



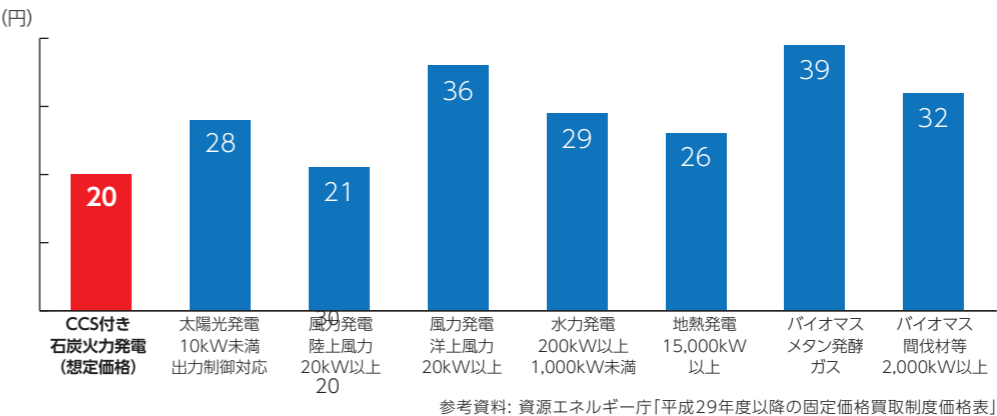
## CCSのコストを低減するための研究開発も進められています。

火力発電所や工場などの大規模発生源からCO<sub>2</sub>を回収し、パイプラインや船舶などで輸送し、地中に貯留・管理するには、1トンのCO<sub>2</sub>当たり1万円前後\*のコストがかかります。CCSのコストを含めると石炭火力発電の発電原価は現在の約9円/kWh\*\*から約19円/kWhまで上昇します。しかし、発電時にCO<sub>2</sub>を出さないゼロエミッション電源として、再生可能エネルギーと同様に固定価格買取制度を導入すれば、発電原価20円/kWh以下で採算がとれる計算です。現状では、太陽光発電などの再生可能エネルギーによるCO<sub>2</sub>削減コストに比べると低コストで済みます。さらに、CCSのコストを低減するための研究開発も進められています。

CCS導入の費用負担に関しては、炭素税や排出権取引等を含め透明性・公平性のある方法を議論・模索しています。

\* 平成26年度環境配慮型CCS導入検討事業委託業務報告書 p.152  
\*\* 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 長期エネルギー需給見通し小委員会 発電コスト検証ワーキンググループ「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告」(平成27年5月)では、石炭火力発電所の2014年モデルプラントの発電原価を9.3円と試算しています。

● CCS付き石炭火力発電に固定価格買取制度を導入した場合の再生可能エネルギー買取価格との比較 (平成30年度1kWh当たり調達価格、税別)



コラム

Q.高濃度のCO<sub>2</sub>が海の生態系に影響を与えることはありませんか。

A.生態系への影響については調査を進めていますが、CO<sub>2</sub>が漏れいする可能性は低いとされています。

CO<sub>2</sub>は水に溶けやすいため、海中に大量に存在していて、その濃度は時間や場所により大きく変化します。万が一、火山活動による自然漏れい程度のかなりの量のCO<sub>2</sub>が漏れたとしても、海流や潮流、乱流により海水中に拡散するため、その濃度は自然変動の幅程度の増加にとどまることが予測されています。多様な生物がCO<sub>2</sub>濃度の高い環境にどこまで対応できるかについては、今盛んに研究されており、今後も研究を進めていく必要があります。

結局、  
CCSって、なんだろう



人間が未来へ行くための  
「架け橋」なんじゃないかな。



持続可能な社会の実現に向けて、世界は再生可能エネルギーや省エネルギーの普及を進め、CO<sub>2</sub>排出実質ゼロの「脱炭素社会」へ向かっていきます。同時に、より豊かな社会を目指すために、一時的に化石燃料の使用が増大することも予想されています。

CCSは、CO<sub>2</sub>排出量のピークカットのために生み出された技術です。ですから、再生可能エネルギーや省エネルギーによって「脱炭素社会」が実現された未来には必要がなくなります。CCSは、人間が未来に行くための「架け橋」となる技術なのです。

