

CO₂固定化・有効利用分野の技術戦略マップ

．基本的な考え方

従来から地球温暖化対策として、省エネルギー技術の開発・導入や代替フロン等の削減対策等の温室効果ガス排出削減の取組みが行われている。しかしながら、大気中のCO₂濃度は上昇を続けており、持続的な社会を構築するためには現行の取組のみでは不十分と考えられる。したがって、これらの対策に加えて、CO₂固定化・有効利用を将来的に導入可能な対策技術オプションとすべく、技術開発を推進する必要がある。また、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）による二酸化炭素回収・貯留特別報告書においては、CO₂固定化（回収・貯留）技術は温暖化緩和策のオプションとして期待されており、京都議定書目標達成計画においても、中長期的な視点から技術開発を支援することが必要であるとされている。このような点を踏まえ、中長期的な観点から、CO₂固定化・有効利用技術についての技術戦略マップを作成する。

．導入シナリオ

- (1) IPCCのCO₂排出シナリオ等を用いたDNE21+モデル（参考1）を一例として用いると、大気中のCO₂濃度を550ppmに安定化させるためには、全世界で2015年に80億t-CO₂、2030年に150億t-CO₂、2050年に270億t-CO₂ものCO₂の削減が必要であり、これを達成するには省エネルギー技術、化石燃料転換や原子力発電だけではなく、太陽エネルギー等の新エネルギーの利用や炭素隔離などの新技術の開発、進展が不可欠である。
- (2) 大規模発生源からのCO₂削減対策技術（分離・回収、地中貯留、海洋隔離）と大気中のCO₂濃度の削減対策技術（大規模植林等）は、それぞれ異なった視点からの対策技術であり、大気中へのCO₂排出前と排出後の削減技術を並行して進めることが重要である。
- (3) また、これらの技術を具体的に導入するためには、コスト削減や環境への影響、安全性の評価、社会的受容の形成など総合的な取り組みが不可欠であり、条件の整った部分から順次適用していくという考え方が重要である。

．技術マップ及びロードマップ

(1) 技術マップ

CO₂固定化・有効利用のための技術として、現在研究開発を実施しているものや検討が行われているものを体系的に「CO₂固定化・有効利用分野の技術マップ（技術体系）」として示した。また、それに加え、実用段階に近く特に重要な技術を用いた場合のCO₂固定化コストについて詳細な調査・分析を行い、「技術分類」、「技術の概要」、「開発段階」、「現時点での概算コスト」、「2030年でのコスト実現性」、「総合評価」等を「CO₂固定化・有効利用分野の技術マップ（技術リスト）」として表形式で示した。

(2) 重要技術の考え方

削減ポテンシャル、コスト両面等から検討を加え、重要技術を選定し、技術マップの中で明示した。なお、実用化段階に近く特に重要な技術については、「CO₂固定化・有効利用分野の技術マップ（技術リスト）」に現時点でのCO₂固定化の概算コストを示している。

削減ポテンシャル

当該技術の適用による大気中CO₂の削減可能量の大きな技術。

コスト・実現性

現状での概算コストや技術レベルを踏まえ、2030年までに技術が確立し、コストが2,000～6,000円/t-CO₂程度に到達可能かを評価。

選定された重要技術について簡潔に説明すれば、以下のとおり。

分離・回収

分離・回収技術には、化学吸収法、物理吸収法、膜分離法などがある。我が国においては、化学吸収法を用いた実証プラントの実績があり、世界的にも同様の傾向である。さらなる低コスト、低エネルギーに向けた化学吸収法の開発が望まれている。また、高圧ガスからの分離・回収として、高分子膜、セラミック膜などの分離膜の検討を行うことが重要である。加えて物理吸着法の実証研究についても推進する必要がある。

地中貯留

地中貯留は、帯水層貯留、炭層固定、EOR、枯渇油・ガス層貯留などに大別される。海外では、特にEORや枯渇油・ガス層貯留が進められており、帯水層貯留についても検討されてきている。我が国では、長岡市において帯水層への実証実験を実施している。

地中貯留の技術開発を進めるに当たって共通的な課題として、環境影響・安全性評価手法の確立、CO₂地中挙動の把握等がある。

海洋隔離

海洋隔離は、海洋によるCO₂吸収能力の大きさを考慮した削減手段として有望ではあるものの、これを実施した場合における海洋生態系への影響が必ずしも明らかではない。将来の実施に向けて、CO₂の海洋拡散・生物影響の科学的理解、拡散シミュレーション実験によるマッチング等の技術の確立を目指した技術開発を行うことが重要であり、その成果を広く公開し、国際的・社会的合意を得ていくことが不可欠である。

大規模植林による地上隔離

大規模植林は、二酸化炭素の大規模削減に寄与し得る、見通しのある技術であり、一層の低コスト化が重要である。単位面積あたりのCO₂固定量の

増大、乾燥地等への植生拡大については、植林範囲の拡大のために優良種選抜や土壌改良などは早い段階で実施すべきであり、環境耐性向上のために遺伝子組み換えを伴うものについては、安全性に関する知見を蓄積し、その有効性を主張しつつ順次取組む必要がある。また、産業利用や、バイオマスの革新的利用による植生拡大は有用物質生産の面から取り組みが必要と考える。

上記の ~ のイメージを参考2、3として添付する。

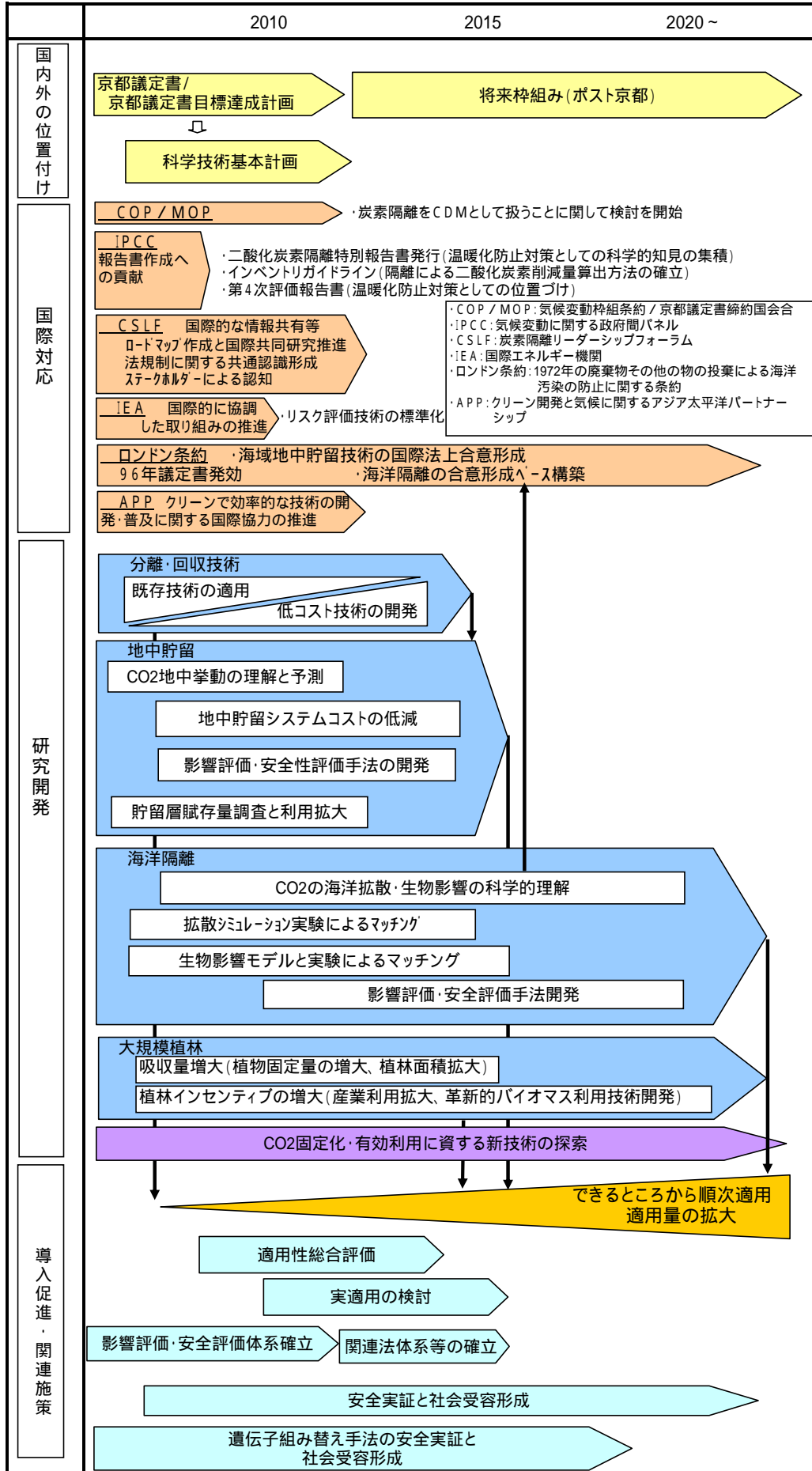
なお、変換・有効利用技術については、CO₂を分解・化学品等へ変換するなど、CO₂を有効利用することによって、CO₂排出抑制に寄与するものであるが、温暖化対策技術として検討する場合には、有効利用等によりエネルギー使用に伴うCO₂排出が増加する場合もあるため、CO₂削減量などの効果を総合的に見極めることが必要である。

(3) ロードマップ

上記(2)により選定した重要技術について、今後の技術課題を中長期的視点から整理し、現状のコストと目標コストを明確にしたロードマップを示した。

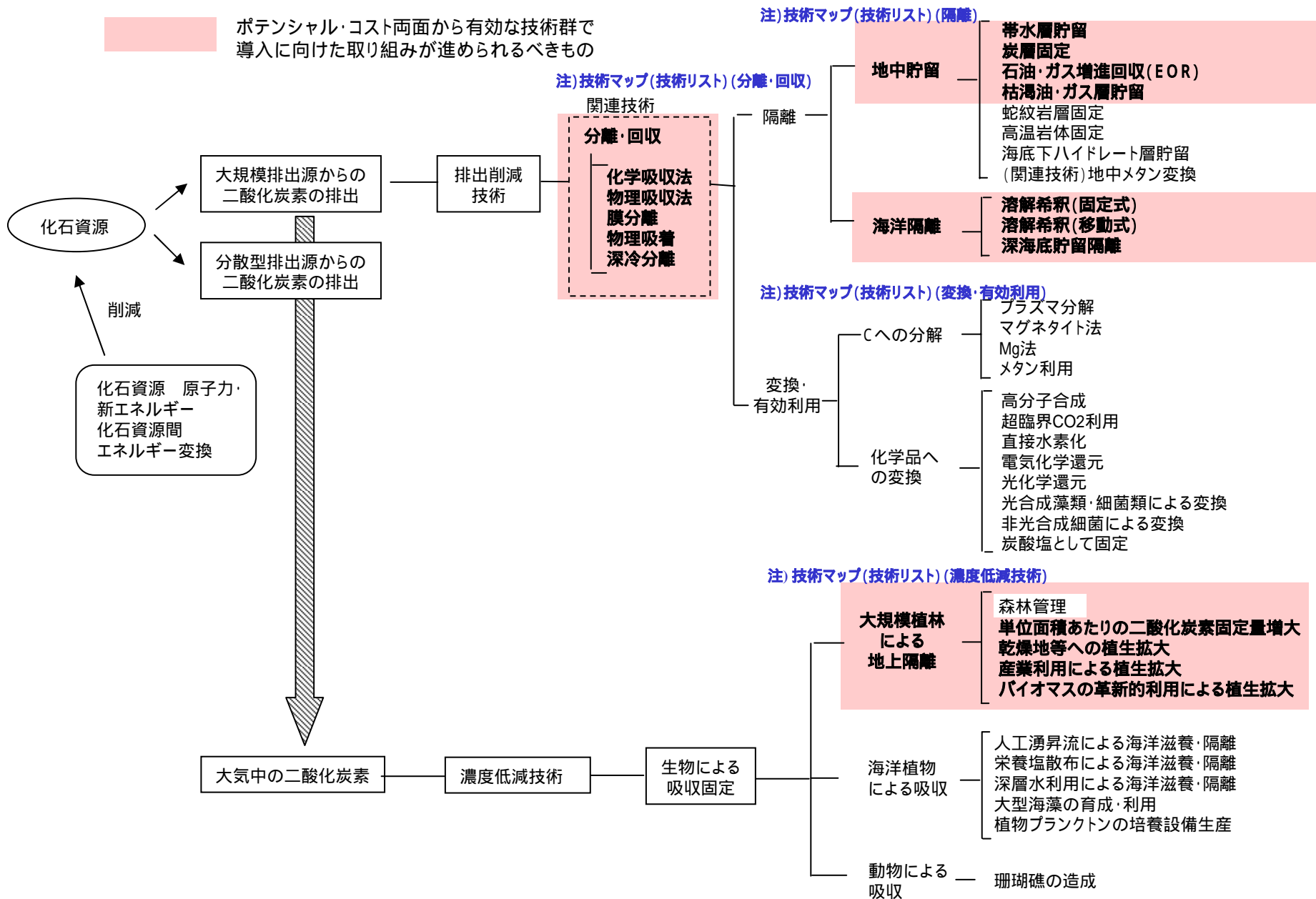
注) 目標コストについては、技術の進展により大幅な低コスト化が望める分離コストのみ示している。

CO2固定化・有効利用分野の導入シナリオ



CO2固定化・有効利用分野の技術マップ(技術体系)

ポテンシャル・コスト両面から有効な技術群で導入に向けた取り組みが進められるべきもの



CO2固定化・有効利用分野の技術マップ(技術リスト)(分離・回収)

注) は重要技術

技術分類			技術の概要	技術分類 分離/ 有効利用	開発段階 (基礎研究、 実証研究、研 究中断、実用 化中)	現状の技術レベル	現在時点での 概算コスト	コスト概算の根拠	2030年でのコス ト実現性	総合評価 削減ポテンシャル・コスト両 面から有効な技術群で導入に 向けた取り組みが進められる べきもの 削減ポテンシャル・コスト両 面から可能性があり、更なる検 討が進められるべきもの	タスクフォースでの 有識者からのコメント		
大分類	中分類	小分類技術名											
関連技術	分離・回収	化学吸収	アミン法	-	実証研究 -実用化中	アミン法は海外では天然ガスからのCO2分離で100万t-CO2規模の実績あり。わが国でも石炭・油の混合蒸気排ガスからの回収性能評価試験が実施された。鉄鋼副生ガスを対象に更なる低コスト化のため吸収液改良や廃熱利用の研究開発が開始された。	NGCC新設 \$37~74/t-CO2 石炭火力新設 \$29~51/t-CO2	IPCC特別報告書(2005)	-	-	-現段階では回収・隔離プロセスコストの相当分を回収コストが占めているため、大幅なコスト削減が必要である。 -燃焼プロセスや排ガスの性状に応じて分離方法が選択される必要がある。 -化学吸収法では、CO2の再生プロセスでのエネルギー消費が著しいため、低再生エネルギー型吸収液の開発、発電所エネルギーロス低減や安価な未利用排熱の利用、化学吸収システムの性能向上などの開発が必要である。 -膜分離法はガスプラント等の圧力を有するガス分離に適用すれば大幅なコストダウンが期待される。透過速度・選択率の向上、高寿命化、膜の大型化・モジュール化技術などの開発が必要である。 -また、酸素燃焼法などの燃焼ガス化システムとも比較がなされる必要がある。		
			固体(リチウムシリケート、酸化亜鉛)		基礎研究		-	-				-	-
		物理吸収	物理吸収法	-	実証研究 -実用化中	大気圧に近い排ガスへの適用には適さない。実用例は現状では多くない。 <参考> 米独にてアンモニア合成用ガスからのCO2分離用の商用実績がある。	3100円/t-CO2 \$13~37/t-CO2	平成5年3月NEDO報告書 P-9210(石炭火力発電、酸素吹きIGCC/SELEXSOL法ケーススタディ) IPCC特別報告書(IGCC新設)	-	-			
		膜分離	高分子膜	-	基礎研究 -実証研究	インドネシアの天然ガスプラントにて実用化されている。 高選択性を有するCO2分離膜(高分子、セラミック)が研究開発が進んでいる。 CSLFなどで圧力ガスへの分離膜の適用が検討されている。	-	-	-	-		-	
			セラミック膜				基礎研究	-	-	-		-	-
		物理吸着	PSA法、 TSA法、 PTSA法	ガスを吸着剤と接触させてCO2を吸着させて、圧力差や温度差を利用して脱着させる分離方法。吸着剤(ゼオライト、活性炭、アルミナ等)。	-	実証研究 -実用化中	鉄鋼からの燃焼排ガスについては、食品などの商用向けで実用化されている。石炭火力については性能評価試験が実施された。	-	-	-		-	-
		深冷分離	液化分離、蒸留分離	ガスを圧縮冷却後、蒸留操作により相分離でCO2を分離する技術	-	実証研究 -実用化中	液化CO2の精製では技術は完成しており、国内3ヶ所で実績がある。	-	-	-		-	-
		その他	ハイドレート分離法	CO2ハイドレート生成条件にすることにより高濃度CO2を回収する方法	-	基礎研究	研究開発レベル	-	-	-		-	-

CO2固定化・有効利用分野の技術マップ(技術リスト)(変換・有効利用)

注) は重要技術

技術分類			技術の概要	技術分類 隔離/ 有効利用	開発段階 (基礎研究、 実証研究、研 究中断、実用 化中)	CO2削減技術としての有効性 (削減のための投入エネルギーやそのエネ ルギー製造時の二酸化炭素発生量を考慮する とき有効な二酸化炭素削減技術となるか?)		ポテンシャルの大きさ (総量 億(-CO2))		ポテンシャル 根拠	概算コスト	コスト概算の根拠	2030年 での コスト実 現性	総合評価 削減ポテンシャル・コ スト両面から有効な技 術群で導入に向けた取 り組みが進められるべき もの 削減ポテンシャル・コ スト両面から可能性が あり、更なる検討が進 められるべきもの	タスクフォースでの 有識者からのコメント													
大分類	中分類	小分類技術名				有効性	有効性の根拠	国内	世界																			
大規模 発生源 からの CO2排出 削減	変換・有効 利用	カーボンへの分解	プラズマ分解法	CO2をプラズマ照射で分解してカーボンとCOを得る	隔離/ 有効利用	基礎研究	有効性	化石資源からの電力を用いる限りCO2削減にならない。CO2 C + O2は吸熱反応であり、Hは電力換算で2.49kWh/kg-CO2、排出係数0.407kg-CO2/kWhでは1kg/kg-CO2の排出になる。	-	-	-	-	-	-	-	-												
			金属との反応	還元したマグネサイト、MgをCO2と接触させた後、水素と反応させて固体炭素を得る方法	隔離/ 有効利用	基礎研究	有効性	マグネサイト等の還元に必要な水素を化石資源に求める限り二酸化炭素削減にならない。	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
			メタンを利用	金属酸化物上でCO2とCH4を反応させて固体Cと水にする	隔離/ 有効利用	基礎研究 - 実証研究	有効性	本反応ではメタンの燃焼熱がほぼすべて二酸化炭素の変換に使用されてしまう。CO2の分離・貯留時の消費エネルギーが70kJ/mol程度のため、メタンを燃料として使用し二酸化炭素を貯留する方が低エネルギー消費。	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
			化石燃料からの炭素分離 埋め戻し	化石資源をCとH2に分解し、水素をエネルギーとして使用、炭素は隔離する。(Steinbergの提案)	隔離	基礎研究	有効性	燃焼熱800kJ/molのメタンに75kJ/molのエネルギーを投入し、固体Cと水素(2分子で57kJ/mol)に変換する反応である。CO2の分離・貯留時の消費エネルギーが70kJ/mol程度であるため、メタンを燃料として使い、二酸化炭素を回収・貯留する方が低エネルギー消費。	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
	化学品への 変換	化学的変換	炭酸塩固定 Ca塩、Mg塩、珪酸、アル ミン酸塩	アルカリ土類金属を利用してCO2を炭酸塩として固定する技術 - 珪酸塩、アルミン酸塩の風化プロセスの人為的促進技術	隔離/ 有効利用	基礎研究	有効性	二酸化炭素とアルカリ金属の反応は発熱反応であり、主反応はエネルギー投入を必要としない。	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
			超臨界CO2利用による 有用品製造	超臨界状態のCO2の反応性を利用して炭酸ジメチル合成、ウレタン合成、ポリカーボネートなどの合成を行う。	有効利用	基礎研究	() 省エネ技術として	省エネ技術である。現行のホスゲン法(塩素は電解で製造)に比べれば低二酸化炭素発生量のプロセスになっている。(産総研ヒアリング)	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
			直接水素化によるメタ ノール、DME等合成や高 分子合成	CO2と水素を触媒反応によりメタノール、DMEを合成する CO2と他のモノマー体との共重合等によりポリカーボネートなどの高分子を得る	有効利用	基礎研究	有効性	水素の発生源が化石資源の場合には二酸化炭素の削減につながらない。水素をメタン改質で行い、二酸化炭素のメタノール変換を行うと、総反応は、CH4+H2O → CH3OH+H2となってメタノールのメタノール変換と同じ、燃焼させればまた二酸化炭素が発生し、変換反応を起こすために二酸化炭素が増える。	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
			電気化学的還元	金属を陰極とする還元、高温電気化学的還元	有効利用	研究中断	有効性	電力の発生源として化石資源を用いるとCO2削減にならない。本反応は変換効率が低く、6.8kWh/molのエネルギーが必要で55倍の二酸化炭素が発生することになる。	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
			光化学的還元	半導体光触媒による光化学的固定、錯体による還元	有効利用	基礎研究	有効性	光を用いて変換するので原理的には有効である。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
			光合成高藻類、光合成細菌 類のバイオリアクター による有用物質生産	高濃度CO2排ガスを生物の光合成機能を利用して有用物質に変換する。	有効利用	基礎研究	有効性	光を用いて変換するので原理的には有効である。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
			非光合成細菌のバイオ リアクターによる有用物 質生産	CO2を資質する微生物を探索・育種して高濃度CO2排ガスから有用物質を生産する。	有効利用	基礎研究	有効性	光に依存しないため高密度培養の可能性があり、CO2発生源に連結して排ガスから直接CO2を固定できるが、用いる微生物がまだ不明のため保留。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
															-	-	-	-	-	-	-	-						
															-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
															-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
															-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
														-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
														-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
														-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
														-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

比較が必要。

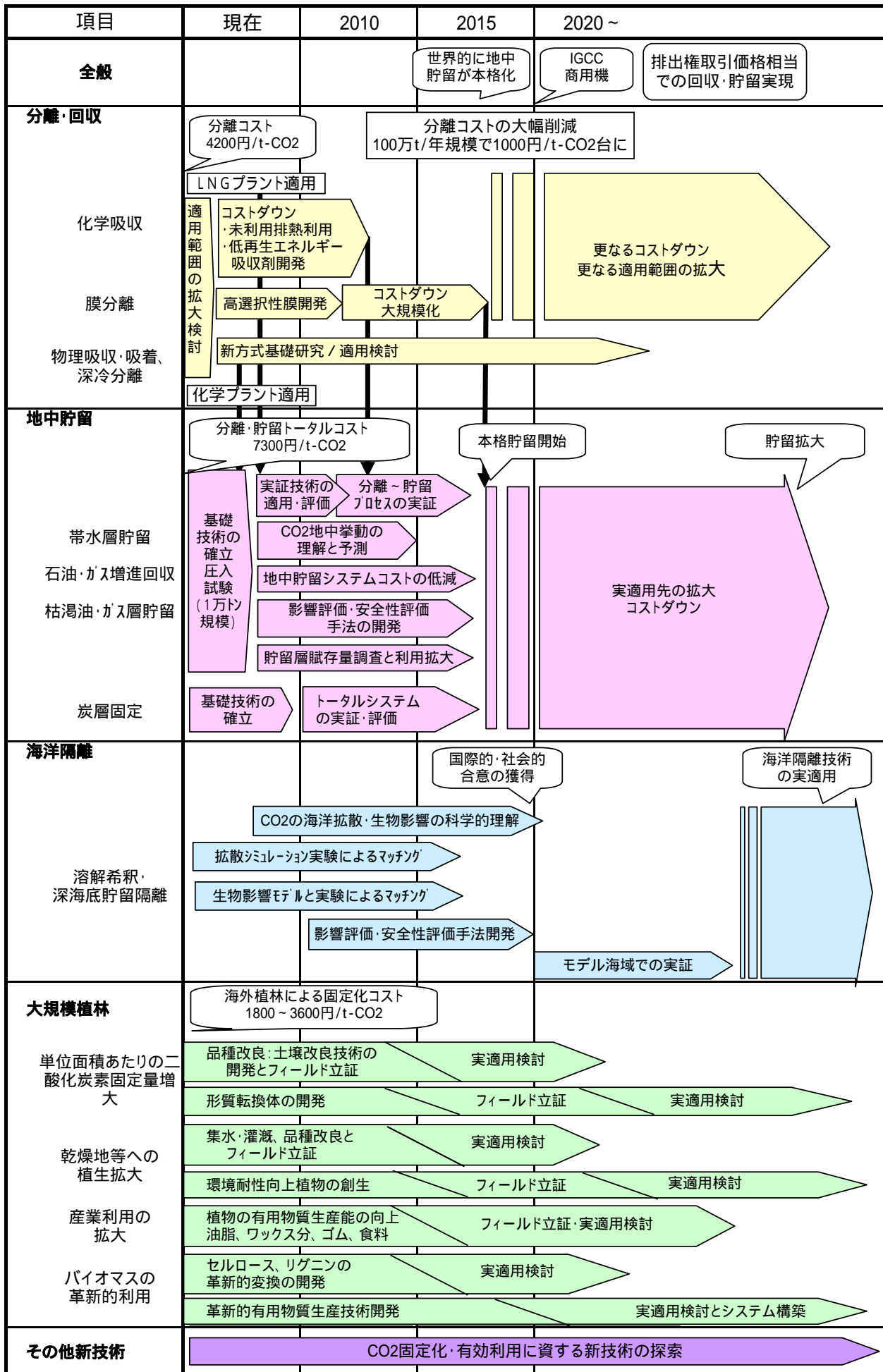
比較が必要。

CO2固定化・有効利用分野の技術マップ(技術リスト)(濃度低減技術)

注) は重要技術

技術分類			技術の概要	技術分類 隔離/ 有効利用	開発段階 (基礎研究、 実証研究、研究 中断、実用 化中)	ポテンシャルの大きさ (総量 億t-CO2)		ポテンシャル 根拠	現時点での 概算コスト	コスト概算の根拠	2030年でのコスト 実現性	総合評価 削減ポテンシャル・コスト両面 から有効な技術群で導入に向 けた取り組みが進められるべき もの 削減ポテンシャル・コスト両面 から可能性があり、更なる検討 が進められるべきもの	タスクフォースでの 有識者からのコメント			
大分類	中分類	小分類技術名				国内	世界									
大気中の 二酸化炭 素濃度の 削減	濃度低減技術	生物による吸 収・固定	大規模植林による地上隔離	森林管理	個別樹種、森林の成長量計測技術の開発 森林火災防止技術(適正間伐、遠隔監視)の開発	実証研究 -実用化中	総ポテンシャル 6,170	RITE調査(2005)	1800-3600 円/t-CO2	RITE調査(2005) 植林周期7年伐採+萌芽 再植林、バイオマス生産 量20m3/ha・年、植林管理 費17-31%、用地リース費: 50\$/ha・年	-	IPCC3次報告書	IPCC3次報告書	吸収源としての森林の拡大は削減ポテン シャル、コストの両面から実現性のある方法 である。 吸収量を確保するためには海外展開が必要 である。 植林可能な面積は限りがあるため植林可能 面積の拡大技術、単位面積当たりの固定量 増大技術、産業利用技術との結合が重要。 バイオマス利用と結合することによって、大 幅に吸収量を向上させることができる。 (左のポテンシャル計算では、25-75t-C/ha の吸収量を想定しているが、生長量の大きな 樹木を植林し、10年程度で伐採・有効利用し、 伐採地に再植林するサイクルをとれば10倍 程度の吸収量拡大が可能である。) 植林はまた水源涵養、土砂流出防止、土砂 崩壊防止、大気保全、鳥獣保護などの環境 保全からの便益を生み出す。 遺伝子組み換え法を用いる場合には、社会 的受容のための影響評価体系の確立が課題。 吸収源CDMを展開することでクレジット確保が 可能となる。ただし、クレジット価格の変動等 のリスクがあることから、将来にわたって安定 的にクレジットが確保できる方法論の検討が 必要である。		
				単位面積当たりの二酸化炭素 固定量増大	優良樹種選抜クローニング技術の開発、土壌改良技 術、 光合成能力抑制遺伝子群の解明およびその解除 形質転換体の取得、形質転換植物の環境に対す る安全性評価、フィールドでの森林形成実証試験	非遺伝子組換 え 実証研究-実 用化中										
				乾燥地等への植生拡大技術	集水・灌漑技術 遺伝子組み替え体を使用しない品種改良、環境耐 性遺伝子群の解明およびその形質転換体の取 得、形質転換植物の環境に対する安全性評価、 フィールドでの森林形成実証試験	遺伝子組換え 基礎研究										
				産業利用による植生拡大	油脂、ワックス分、ゴム、食料等の産業的有用物 質の増産に向けた改良	遺伝子組換え 基礎研究										
				バイオマスの革新的利用による 植生拡大	バイオマスの革新的変換技術; バイオマス(セルロース系)の効率的糖化技術、リ グニンの高効率変換技術 バイオマスの革新的利用技術; バイオマスから種々のエネルギー製品(アルコー ル、水素)や有用物質製品群を作り出すための変 換技術開発とシステムの構築	基礎研究 基礎研究 -実証研究										
大気中の 二酸化炭 素濃度の 削減	濃度低減技術	生物による吸 収・固定	植物プランクトンの増殖・沈降固 定	鉄、アンモニア等の栄養塩を海洋に散布、または 海洋構造物やポンプによって海洋深層水を表層へ 移行させることにより、植物プランクトンを増殖、海 底に沈降させて隔離する	隔離	基礎研究	-	-	-	-	-	-	潜在的な固定化ポテンシャルは相当大きいと 考えられるが、海底への固定量および海洋生 態系への影響についてはまだ不明な点が多い。 鉄散布は世界的に検討がなされてきたが、固 定量が比較的小さい、深海生物系への影響危 険などの指摘がある。 他の技術は科学的理解の途上であり、さらに深 い検討が必要である。 人工湧昇流や海洋深層水法は、深層の二酸化 炭素の表層移動にともなう放散等も考慮にいれ て検討する必要がある。			
				海洋・水生植物 による吸収	大型海藻の育成・利用	コンブのような浅海で固い岩盤で生育する海草を 固着、生育させる	隔離/有効 利用	基礎研究	730万t-CO2 /Y	-	-	-	-	-	流れ藻等の海底への沈降による固定量は科学的 理解の途上であり、今後も継続的な研究が必要。 大型海藻を栽培・回収し、エネルギー源、肥料、飼 料等として利用する方法は、新たなバイオマス利用 技術として魅力的なオプションになる可能性もある。 今後コスト・ポテンシャルを含めた実現可能性の検 証と他の自然エネルギー利用と有効性の比較が必要。 。	
				植物プランクトン、海藻等の培 養設備生産	培養池による培養生産	有効利用	基礎研究	-	-	-	-	-	-	-	-	大量のCO2削減のためには膨大な面積が必要。生 産性向上に関して大幅なブレークスルーが必要。 他の自然エネルギー利用法と有効性を比較する必 要がある。
				動物による吸収	サンゴ礁・貝による固定	サンゴの育成基材を海底に設置し、サンゴを育成 することで、サンゴ礁生態系による炭素ストック拡 大をはかる 貝類の養殖によりCO2吸収をはかる。	隔離	基礎研究	-	-	-	-	-	-	-	サンゴあるいは貝類がCO2の吸収源か放出源 か議論があり、対象とする時間スケールや調 査対象の視点によって異なった結論が導かれて いる。

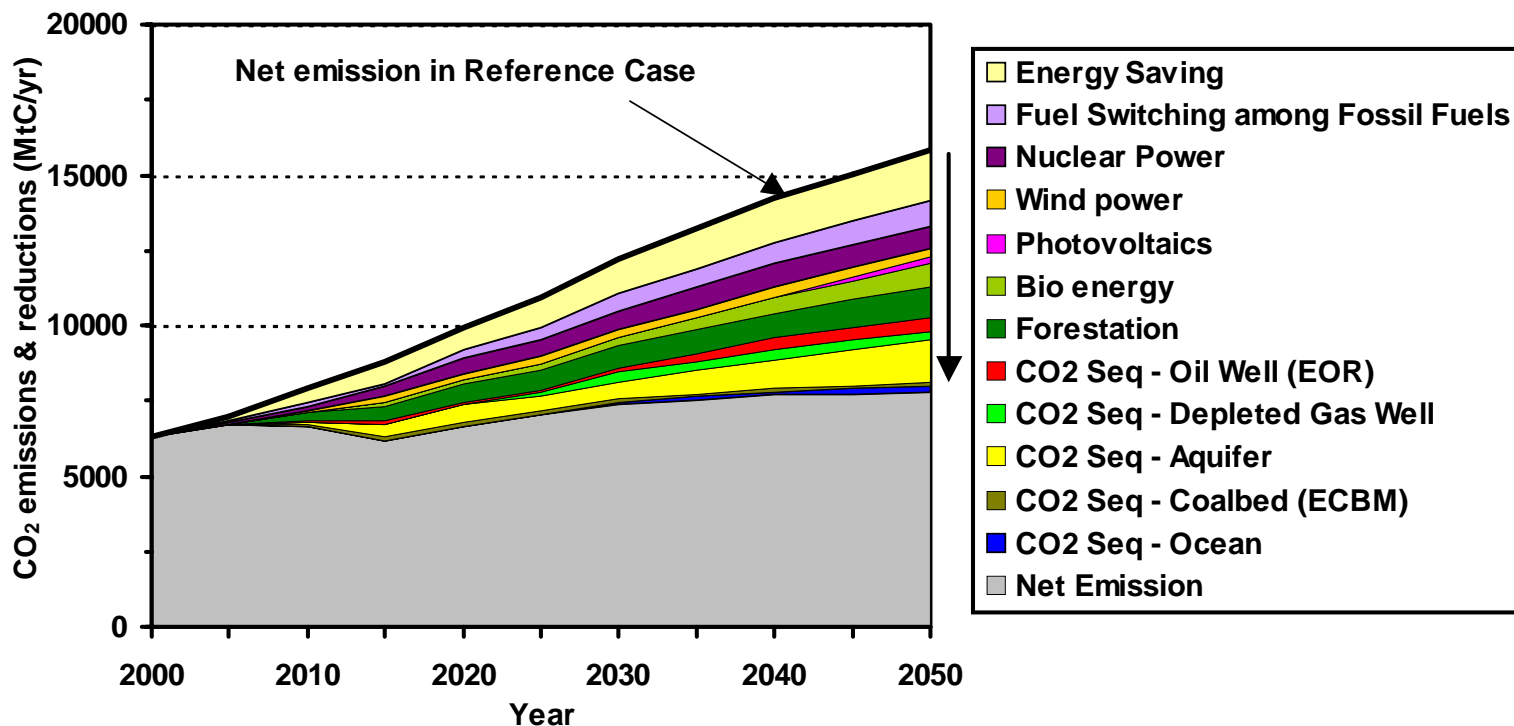
CO₂固定化・有効利用分野のロードマップ



分離回収: 新設石炭火力(830MW)、回収量: 100万t-CO₂/年、7MPaまでの昇圧含む、蒸気は発電所の蒸気システムから抽気
 地中貯留: 上記分離回収コスト + パイプライン輸送20km + 圧入(昇圧15MPa、10万t-CO₂/年・井戸)

植林: 植林周期7年伐採 + 萌芽再植林、バイオマス生産量20m³/ha・年、植林管理費17-31%、用地リース費: 50\$/ha・年

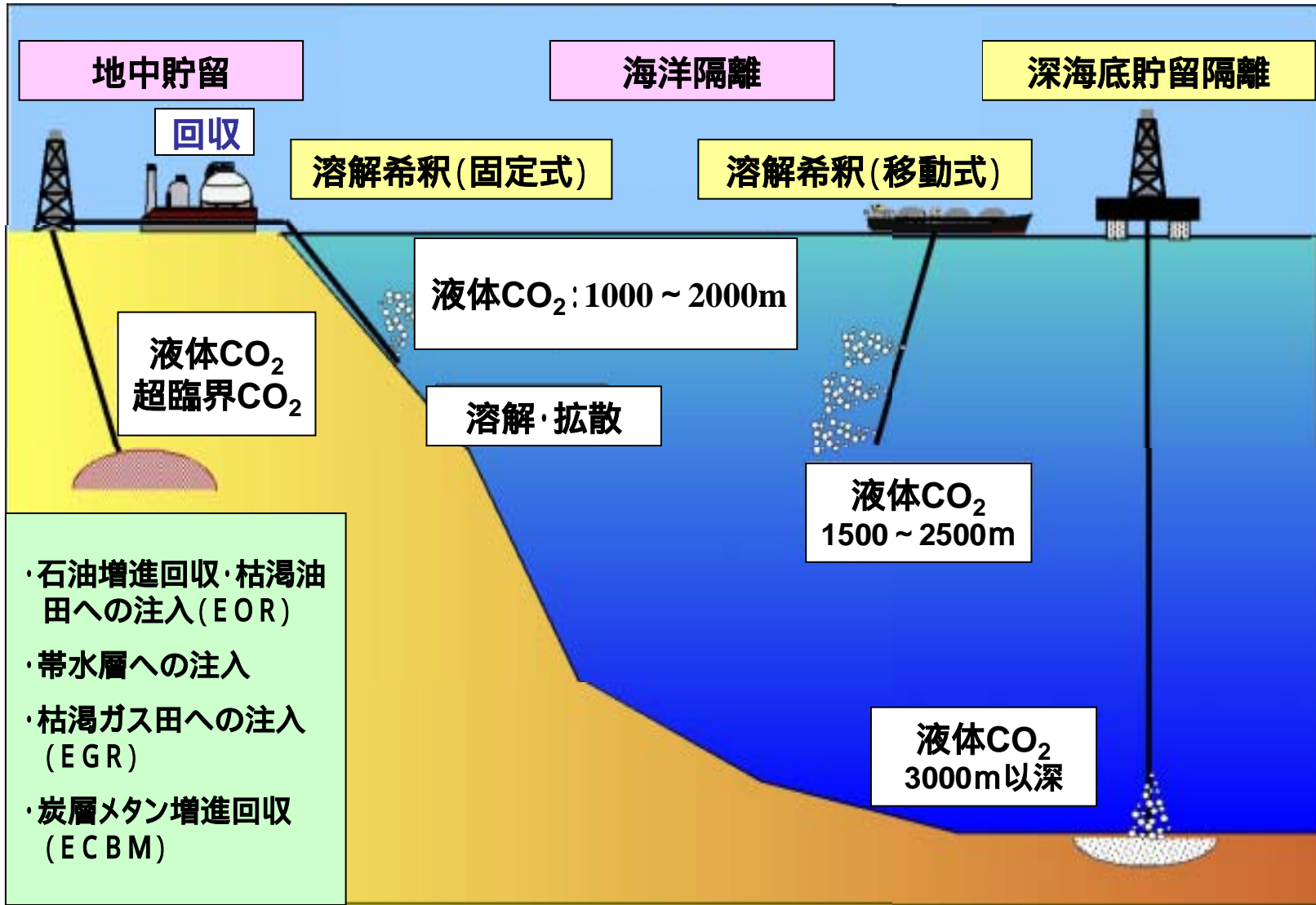
CO₂濃度550ppmv安定化のための 対策技術別CO₂排出削減量(一例)



出典: RITE DNE21 + モデル

二酸化炭素貯留・隔離技術の概要

参考2



大規模植林とバイオマスの利用

参考3

単位面積当たりの固定量増大

- 品種改良・土壌改良技術
- 形質転換体の開発

実用樹木で単位面積当たりの固定量2倍



高成長性タバコ
(遺伝子組換え法)

土の肥沃度(窒素)



土の肥沃度と成長性(タバコ)

乾燥地等への植生拡大

未利用地の
大規模緑化

- 集水・灌漑・品種改良技術
- 環境耐性向上植物の創生



目標: 緑化地域を年間降水量
700 500 300mm に拡大

産業利用の拡大



アブラヤシ等

油脂
ワックス
ゴム etc.

エネルギー
有用化学品

- 有用物質の生産能増大
- ・ 成長量増大
- ・ 有用物質の含量増大

油脂等の
生産量
2倍

バイオマスの革新的利用



バイオマス

■ 革新的変換技術

■ 有用物質生産技術

前処理

変換

糖類

変換

燃料エタノール
有用化学品等

セルロース類

変換

分解物

変換

エネルギー
有用化学品等

リグニン