

CO₂ 固定化・有効利用分野

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、CO₂をはじめとする温室効果ガスの排出を抑制する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、地球温暖化を緩和・抑止し持続可能な社会を構築するためには現行の取組み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、排出後のCO₂に対する固定化・有効利用技術についても、将来的に導入可能な対策オプションとすべく、技術開発を推進する必要がある。

CO₂固定化分野の中でも、CO₂回収・貯留技術(CCS)は、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、温暖化緩和策のオプションとして期待されている。また、我が国が2008年3月に策定した「クールアース-エネルギー革新技术計画」においても、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を半減するために必要な革新的技術のひとつとして、CCSが位置づけられている。

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した。

CO₂固定化・有効利用分野の技術戦略マップ

．導入シナリオ

(1) CO₂固定化・有効利用分野の目標と将来実現する社会像

2007年5月24日に発表された地球温暖化に関する総理イニシアティブ「美しい星50(クールアース50)」において、「世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減する」という長期目標が提案された。

経済成長を阻害することなく、この温室効果ガス削減目標を達成するためには、省エネルギー技術、化石燃料転換や原子力発電、あるいは太陽エネルギー等の新エネルギーの利用技術のみならず、炭素隔離などのCO₂固定化・有効利用分野の新技术の開発、進展が不可欠である。

2008年1月に福田総理より表明された「クールアース推進構想」においても、革新的技術開発の重要性に再び言及があり、同年3月には「クールアース-エネルギー革新技術計画」が策定される等、世界共通の課題である地球温暖化問題の解決に向けて、技術開発への期待が高まっている。

CO₂固定化・有効利用分野の技術は、その期待に応える事ができる技術分野のひとつである。この分野の技術開発を促進することで、持続的に発展可能な社会の礎の構築に資するものである。

(2) 研究開発の取組み

大規模発生源から大気中へ排出されるCO₂を削減するためのCO₂回収・貯留(CCS)技術(分離・回収、地中貯留、海洋隔離)と、大気中へ排出されたCO₂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。

また、これらの技術を実際に導入するためには、投入するコストやエネルギーの削減、環境への影響・安全性の評価、社会的受容の形成等の信頼醸成といった、総合的な取組みが不可欠である。

(3) 関連施策の取組み

[規制・制度改革]

- ・ CCSの国内での本格実施に必要な、法規制・制度の整備等に関して検討を行う。

[基準・標準化]

- ・ 各プロジェクトで得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動(国際規格(ISO/IEC)、日本工業規格(JIS)、その他国際的に認知された標準の提案等)を実施する。
- ・ CO₂回収・貯留後のモニタリング、植林等によるCO₂固定化量の計算、バイオマス利用時のCO₂排出削減量の評価、環境影響や安全性評価手法など、CO₂固定化・有効利用を推進するに当たって標準化が必要となる事項については、研究・

開発状況や社会情勢を常に意識しながら計画的に標準化を推進する。

〔知的基盤整備〕

・情報交換に関する取組み

国内外との共同研究等を通じ、革新的な温暖化対策技術や方策についての情報交換に資する、情報ネットワークの構築等を図る。

〔国際連携・協力〕

(A) C C S 関係

《主要国首脳会議（G 8）関連》

『G 8』：2005年7月に策定されたグレンイーグルズ行動計画で、C C S に関しては、炭素固定化貯留技術の開発及び商業化を加速するための作業に取り組むと表明。

『国際エネルギー機関（IEA）及び国際エネルギー機関温室効果ガス関連研究開発プログラム（IEA GHG R&D Programme）』：IEAが作成した「エネルギー展望 2006（Energy Technology Perspectives 2006）」の中では、特に中国、インド等の石炭資源国でのC C Sの重要性を強調。また、「IEA閣僚理事会声明（2007年5月）」では、C C S に関して、規制や安全性の問題に十分な注意を払いながら実証及び早期の普及を推進することを表明。

『炭素隔離リーダーシップフォーラム（CSLF）』：2003年6月に発足したC C S 技術の研究開発に取り組む国際的枠組み。日本、米国、英国等の欧米諸国に加え、中国、インド等も参加し、炭素隔離に関する各種プロジェクトを実施。

『世界銀行』：クリーン・エネルギーと開発に関する投資枠組を発表。石炭ガス化複合発電（IGCC）と組み合わせたC C S を商業的に実行可能な技術としており、重要な技術的オプションの1つに挙げ、石炭火力発電におけるC C S の適用を課題としている。

《クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ（APP）関連》

2006年1月に発足した日本、米国、豪州、中国、インド、韓国の6カ国が参加する官民のパートナーシップ。C C S に関しては、2015年までに燃焼前回収法による商業的サイトの開発、純酸素燃焼法及び燃焼後回収法技術の商業化、石炭ガス化の商業化、IGCC技術の商業化、C C S とIGCCの組み合わせの促進等の目標を掲げている。

《気候変動に関する政府間パネル（IPCC）関連》

第4次評価報告書第3作業部会報告書（2007年5月公表）において、2030年までに気候変動の緩和に重要な貢献をする可能性のある新しい技術としてC C S を位置付け。

《ロンドン条約〔1972年の廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約の1996年議定書（ロンドン条約96年議定書）〕関連》

海底下地層貯留するCO₂が附属書 Ⅰに加えられ、国際法において初めてCO₂の貯留技術を位置付け。

(B) 大規模植林関係

《IPCC 第4次評価報告書》

20世紀の最後の10年に、熱帯雨林の破壊と温帯や寒帯での森林成長が起こっている。1990年代の森林伐採からのCO₂排出は5.8GtCO₂/yr。

森林による2030年の削減ポテンシャルは、ボトムアップモデルとしては、100US\$/t-CO₂以下の削減コストで1.3~4.2GtCO₂-eq/yr、20US\$/t-CO₂-eqでは約50%達成。トップダウンモデルとしては、100US\$/t-CO₂以下で13.8Gt-eq/yr。CO₂削減手法には、森林伐採の減少、森林管理、植林、agro-forestryがある。短期的には森林伐採の抑止が効果的。森林バイオマスのエネルギー等の利用によって、CO₂削減ポテンシャルは0.4~4.4GtCO₂/yr。将来は持続可能な森林経営によって炭素ストックを維持・増加させることが必要。

森林は安価でグローバルなCO₂削減ポートフォリオに対して、非常に重要な寄与をしている。一方、ポテンシャルの非常にわずかな部分しか現在では実現していない。

削減ポテンシャルの達成には、制度面の能力、投資資本、研究開発とその移転、適切な政策とインセンティブ、国際協力が必要としている。

森林等吸収源による二酸化炭素吸収量の運用ルールが2001年のCOP7で決定（マラケシュ合意）。一方、森林による吸収は成長過程に限られること、伐採や山火事等があると吸収・固定された二酸化炭素が再び大気に放散されるという「非持続性」の問題があり、CO₂吸収源プロジェクトで得られるクレジットは期間限定的。また、CDM植林はCOP9で、小規模CDM植林は2004年のCOP10で運用ルールが合意。2005年末に、初の吸収源CDMに関する方法論が承認。

CDMにおける外来種侵入樹種およびGMOの使用については、ホスト国がそれらの使用に関連する危険性をホスト国の国内法規で評価し、附属書Ⅰ国もそれらを使用した植林からのクレジットを使用することを国内法規で評価することをそれぞれ認識すべきとされている。

森林による二酸化炭素の吸収量の報告、検証方法は、2004年のCOP10で、2003年のIPCC良好手法指針に従うことが合意。

京都議定書の運用ルールでは、第一約束期間（2008~2010年）においては、森林内にある炭素のみを把握することになっており、伐採分は排出とみなされるようになっている。一方、伐採後の二酸化炭素のカウント方法についての議論が現在進められている状況。2005年のCOP/MOP1での議論の結果、実質的な議論を始めるのは時期尚早で、2006年改訂のIPCCガイドラインの策定状況

を踏まえ、今後、科学技術補助機関会合（SBSTA26、2007年5月開催）で議論。

（４）海外での取組み

（A）CCS関係

《米国》

CCSは、2005年9月に米エネルギー省（DOE）発表の気候変動技術に関わる戦略プランの目標の一つに挙げられている。

炭素隔離プログラムの一つであるFutureGenイニシアティブは、ゼロ・エミッション型石炭火力発電所の実現を目指し、石炭から水素とCO₂を分離するシステム及びCO₂の地中貯留の実証を中核とする多国間協力事業。2008年1月にDOEから見直しが発表され、商業的規模の複数のIGCCにおいて最新のCCS技術を実証することを目的とし、DOEは2015年までに操業を開始するIGCCプラントのCCS設置に対し資金提供することとなった。2003年の当初計画に比し、少なくとも2倍の量のCO₂を貯留可能と見込まれる。

《EU》

『Energy Policy for Europe（2007.3採択）』：EUのエネルギー分野における包括的な政策パッケージ。CCSに関しては、「2030年までに、より多くの電力と熱がCO₂回収貯留を備えたニア・ゼロエミッション化石燃料発電所から作り出されることが必要である」としている。

欧州委員会は、『二酸化炭素の地中貯留に関する欧州議会及び欧州連合理事会の指令』の草案を作成し、2008年1月に公表した。

《英国》

化石燃料利用における炭素削減技術（CAT）に関する戦略を公表（2005年6月）。目標では、CATの開発及び商業化で、英国が主導的役割を担うことであり、CO₂固定化・貯留技術が含まれている。

2006年7月に発表したエネルギー・レビューでは、CCSに対する規制障壁を廃止、ノルウェー等のパートナー国との国際協力を強化、実証コストをさらに検討。

《オランダ》

オランダ経済省のエネルギー報告書では、CCSに関する3つの目標（供給の安全保障、環境基準、経済効率）を定めている。

《ドイツ》

ドイツ環境省はCCS許容する政策スタンスを明らかにした。CO₂圧入による天然ガスの増進回収（EGR）で経済的見返りが望める枯渇ガス田への貯留調査が最優先事項。

《ノルウェー》

1996年からスライブナーで年間100万トンのCO₂を貯留。

今後、スノービットでも天然ガスから分離されたCO₂を帯水層貯留するプロジェクトが計画。

エネルギー政策は、再生可能エネルギーと併せ、CCSの推進等が重点項目。

《カナダ》

中国との間で、CCCDP (CBM Technology/CO₂ Sequestration Project) を推進。

《オーストラリア》

CCSは、エネルギー効率の向上、低炭素燃料への転換、再生エネルギー資源の有効活用等と共に、GHG排出量削減の有効手段であると考えている。

2005年、CCS促進のため、評価、所有権、輸送、モニタリング、責任、財政等を定めた「CCSに関する規制ガイド原則」を制定。

(B) 大規模植林関係

《米国》

『炭素隔離ロードマップ(2006年)』: 地上隔離として森林形成技術を記述。2008年時点の植林等による地上隔離のコスト目標を10\$/t-Cに設定。

(C) バイオマス利用関係

《米国》

『バイオマス研究開発構想』: バイオマスに的を絞った取り組みが連邦政府レベルで実施。2002年のバイオマス導入ビジョンで、バイオパワー、バイオ燃料、バイオ製品の導入目標を設定。2002年12月にロードマップを公表し、原料生産、処理および転換、製品利用および供給、公共政策の4分野での目標を定め積極的な研究開発を推進。

『バイオ燃料プログラム(2003年3月~)』: 生物化学的変換、熱化学的変換のそれぞれの開発を研究目標としているが、先にあるバイオリファイナリーによるバイオ燃料、化学製品、エネルギーの生産を最終的な目標として取り組みを加速化。

『ブッシュ大統領の一般教書演説(2007年1月)』: エネルギー安全保障の強化と地球温暖化防止の観点から、新たなエネルギー政策の方針として、2017年までにバイオエタノールを含むガソリン代替燃料を2006年の約7倍にあたる350億ガロンまで増強。

『Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol(米国DOE)』: ソフトバイオマス、ハードバイオマスのセルロースからエタノールを生産していくプロセスの開発ロードマップを提示。

《EU》

『White Paper(1997)』: エネルギー消費に占めるバイオマスの割合を2010年で8.5%に設定。EUが行う研究開発枠組み計画(FP6、FP7)で、現エネルギーシステムと再生可能エネルギーとの統合化などを目標に研究開発を積極的に

推進。

『バイオ燃料のためのEU戦略(2006年2月)』: 域内バイオ燃料の利用促進、コスト競争力強化などを目標に取り組み。

『EU首脳会議(欧州理事会)(2007年3月)』: 「持続可能かつ統合された欧州の機構変動及びエネルギー政策を策定する」として、ポスト京都を想定し2020年までに温室効果ガス排出量を1990年比で少なくとも20%削減することで合意。

EU全体のエネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合を、現行の5.75%から2020年までに20%までとする拘束力のある目標を設定。2020年までのEU全体の運輸部門のガソリン及びディーゼルの消費におけるバイオ燃料のシェアを全てのEU加盟国が拘束力のある目標として、最低10%に設定。

(5) 民間での取り組み

(A) CCS関係

プラント会社および電力会社において、燃焼後化学吸収による大規模排出源(天然ガス焼き排出ガス)からのCO₂回収試験を実施している。

(B) 大規模植林関係

製紙会社では、毎年、植林計画が策定され、それにより一定の植林がなされている。

(C) バイオマス利用関係

木質系バイオマスの小規模分散型高効率ガス化発電システムや、稲わらからのバイオエタノール変換など、パイロットスケールの検討がなされている。

(6) 改訂のポイント

- クールアース50等との関係を明確にした。
- CO₂の回収・貯留における国際動向の進展により、導入シナリオ(国際動向項目)の見直しを行った。

技術マップ

(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。

(A) 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。

(B) 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るが、さらなる低コスト、低エネルギーに向けたより高効率な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技術の開発推進も重要である。その他、物理吸着法等の中からも、低コスト、低エネルギー化に資する技術の実証研究について検討する必要がある。

地中貯留

地中貯留は、帯水層貯留、石油・ガス増進回収（EOR/EGR）、枯渇油・ガス層貯留及び炭層固定などに大別される。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きた。今後は、国内における地中貯留の実用化を目指し、早期に大排出源を対象とした大規模実証に着手する必要がある。

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、信頼醸成に関わる環境影響・安全性評価手法の開発、CO₂挙動予測手法の確立等がある。

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、海洋隔離実施に対する国際的・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、CO₂固定量の適切な評価方法を確立する必要がある。加えて、産業利用や、バイオマスの革新的利用の観点から、有用物質生産の面からの取り組みも必要である。

上記の ～ のイメージを【参考資料1：二酸化炭素貯留・隔離技術の概要】、【参考資料2：大規模植林とバイオマスの利用】として添付する。

変換・有効利用技術は、CO₂を分解・化学品等へ変換するなど、CO₂の有効利用をとおして、CO₂排出抑制に寄与するものである。変換過程のエネルギー使用等に伴って正味のCO₂排出量が増加する場合もあるため、温暖化対策技術として検討する際には、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) 改訂のポイント

- IPCC第4次評価報告書をもとに、大規模植林による地上隔離のポテンシャルを見直した。

・技術ロードマップ

(1) 技術ロードマップ

上記の .(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。

(2) 改訂のポイント

- クールアース-エネルギー革新技術との整合を図り、技術ロードマップを2050年まで拡大した。

・その他の改訂のポイント

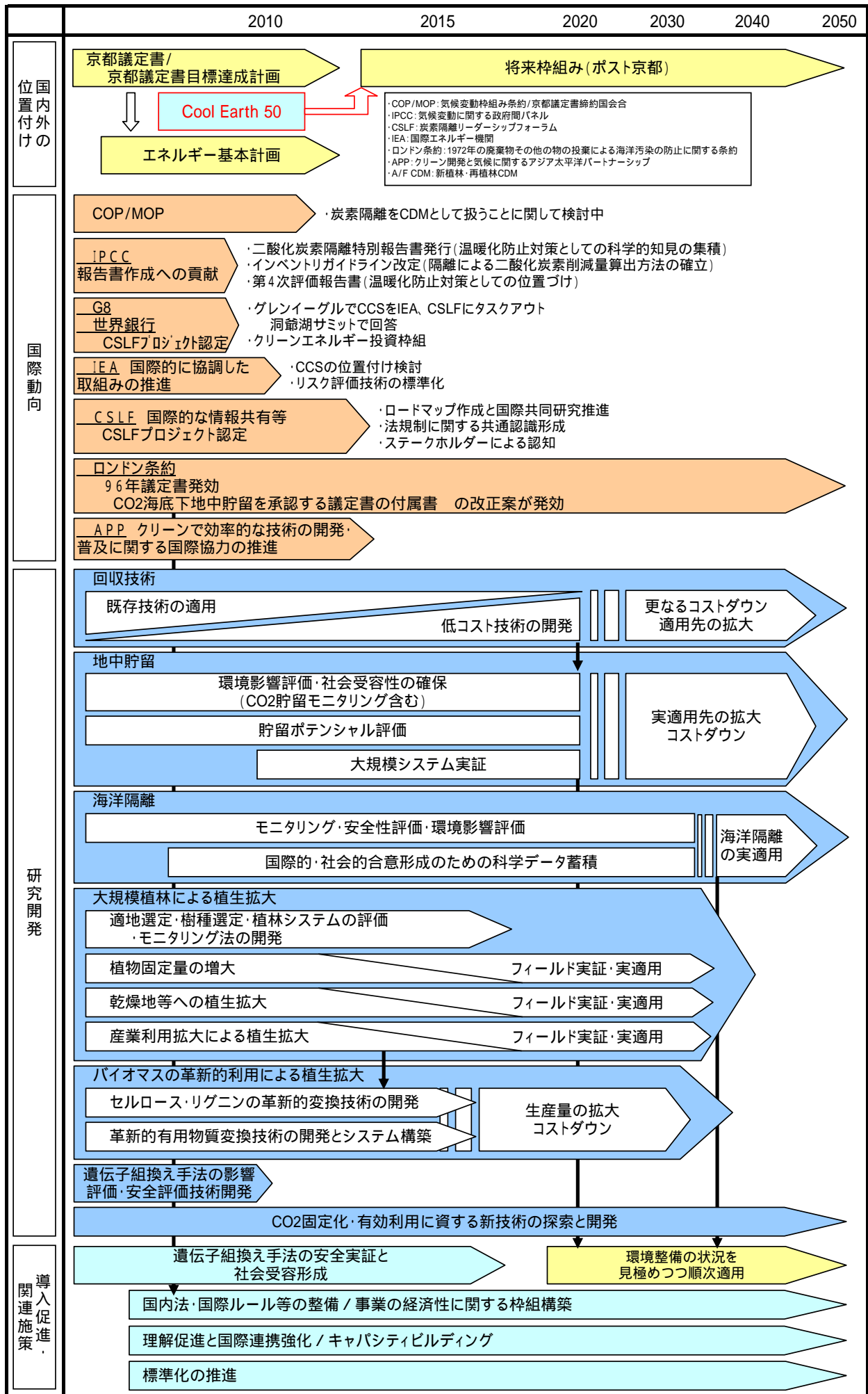
標準化シナリオ策定

- 技術開発戦略と標準化戦略を一体的に検討していくため、標準化に関するシナリオを策定した。

ベンチマーキングの策定

- 分離回収技術の国際競争力については、日本が化学吸収法、膜分離法においてトップランナーに位置している。化学吸収法では、日本、欧州で活発な技術競争がなされており、分子ゲート膜では、膜素材で日本が世界トップの分離性能を持っている。
【参考資料3：CO₂分離・回収技術の国際競争力】

CO2固定化・有効利用分野の導入シナリオ



CO2固定化・有効利用分野における標準化導入シナリオ

標準化

2010

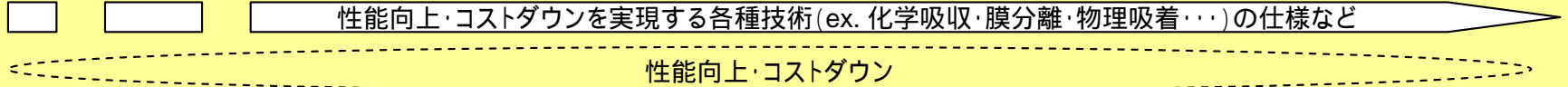
2020

2030

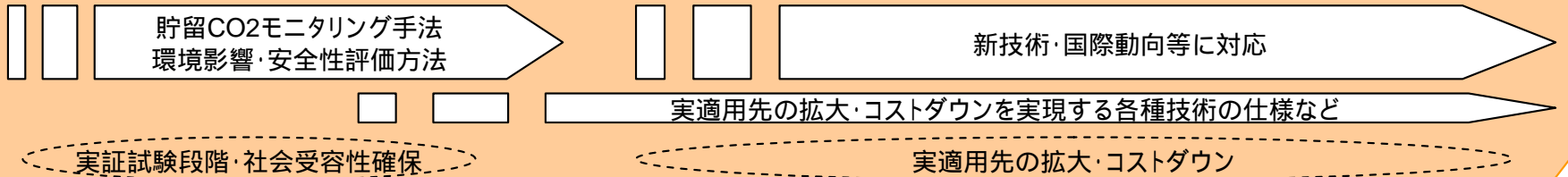
2040

2050

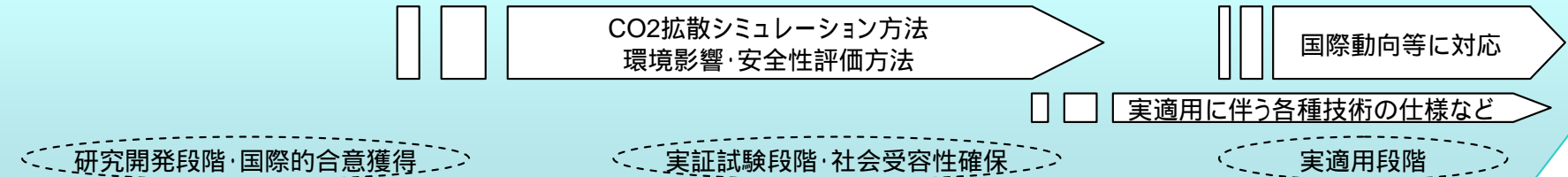
分離・回収技術に関する標準化



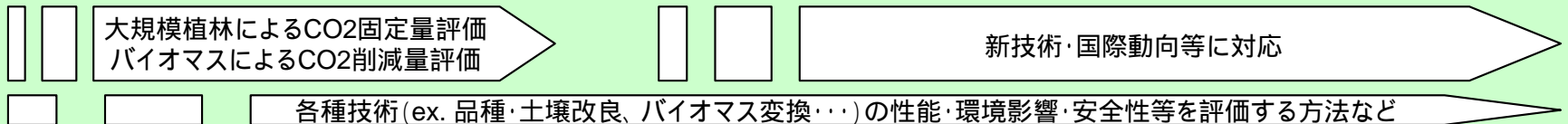
地中貯留に関する標準化



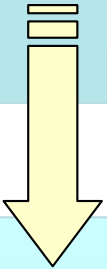
海洋隔離に関する標準化



大規模植林、バイオマス利用に関する標準化

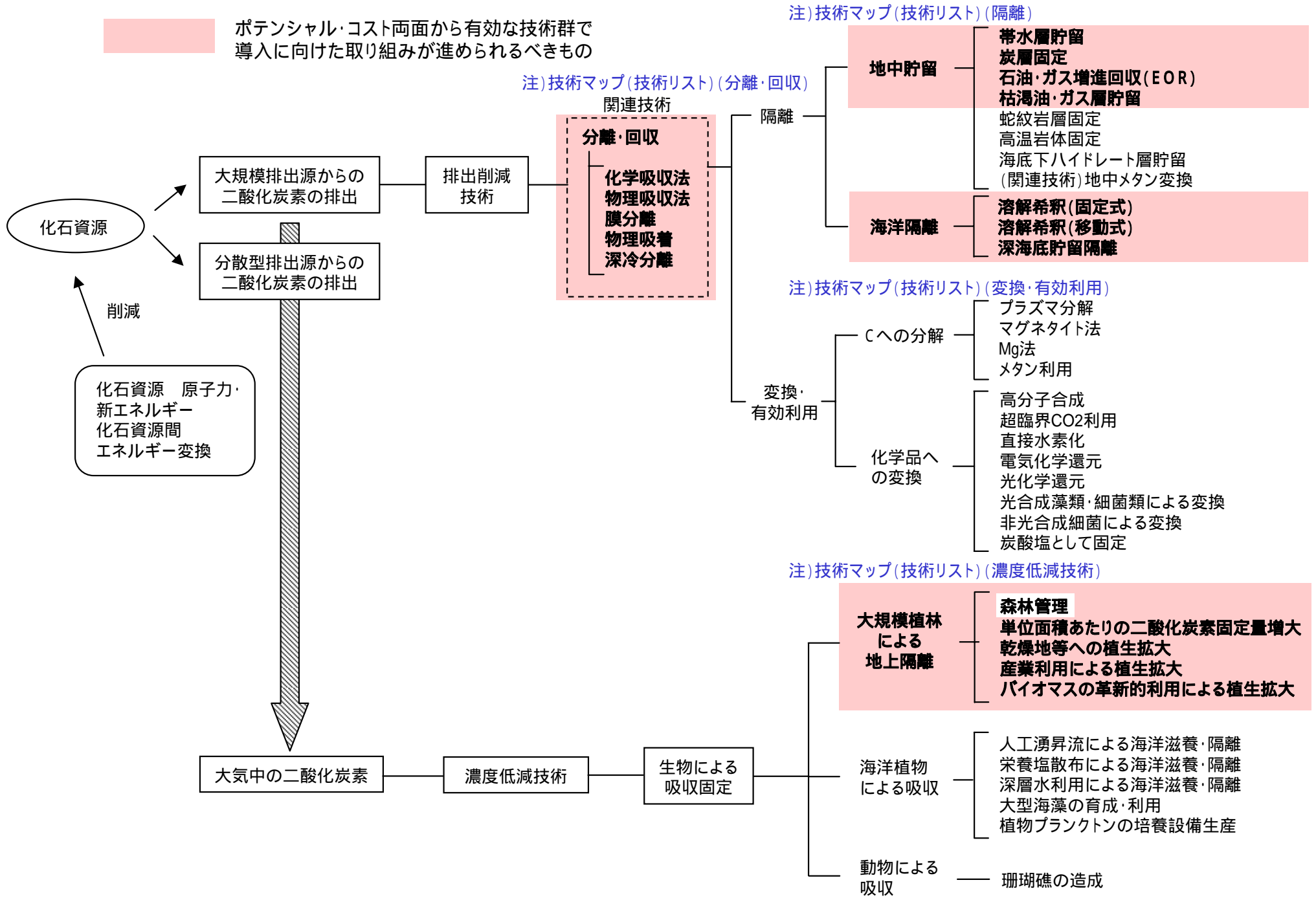


ISO



JIS

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

注)技術マップ(技術リスト)(分離・回収)

注)技術マップ(技術リスト)(分離)

注)技術マップ(技術リスト)(変換・有効利用)

注)技術マップ(技術リスト)(濃度低減技術)

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 No	技術の概要	技術分類 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 / 開発動向	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	1101	CO ₂ を選択的に溶解できるアルカリ性溶液との化学反応によるガス吸収法(アルカリ性溶液としてアミン、炭酸カリK ₂ CO ₃ 水溶液等)を使用。	-	・アミン法は天然ガスからのCO ₂ 分離で100万t-CO ₂ 規模の実績あり。 ・燃焼排ガスからのCO ₂ 回収でもEconamine FG法(1,000t-CO ₂ /日)、KS液による尿素プラントで実用化(200t-CO ₂ /日)など、大規模商業実績あり。 ・経済性向上が課題であり、新吸収液の開発が各国で進められている。 ・石炭火力発電所については1ton-CO ₂ /h規模の分離回収パイロットプラントを設置し試験している(ヨーロッパ)。 ・わが国でも石炭・油の混合焚き排ガスからの回収性能評価試験が実施された。また石炭火力発電所に10t-CO ₂ /日の分離回収プラントを設置し、実ガスを用いた連続的な分離回収検討がなされている。 ・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-CO ₂ 石炭火力新設 \$29~51/t-CO ₂ 4,900~5,800円/t-CO ₂ 4,200円/t-CO ₂	IPCC特別報告書(2005) 平成14年3月NEDO報告書 51401158-0(MEA、排ガス3x106Nm ³ /h、CO ₂ 濃度13.2%) RITE(2006) 新設石炭火力	-			
			固体(リチウムシリケート、酸化亜鉛)	1102									基礎研究
		物理吸収	物理吸収法	1201	高圧下でCO ₂ を大量に溶解できる液体に接触吸収させる方法。	-	・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CO ₂ 分離用の商用実績がある。 ・新しい吸収液としてイオン液体の基礎検討がなされている。	3,100円/t-CO ₂ IGCC新設 \$13~37/t-CO ₂	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 デイ) IPCC特別報告書(2005)	-		・現段階では回収・分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、CO ₂ 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。 ・膜分離法はガス化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。	
		膜分離	高分子膜	1301	多孔質膜の気体分離膜にガスを通し、孔径によるふるい効果や拡散速度の違いにより選択的に分離する方法	-	・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CO ₂ 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	1302		基礎研究							
		物理吸着	PSA法、TSA法、PTSA法	1401	ガスを吸着剤と接触させてCO ₂ 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)。	-	・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	1501	ガスを圧縮冷却後、蒸留操作により相分離でCO ₂ を分離する技術	-	・液化CO ₂ の精製では技術は完成しており、国内36ヶ所で実績がある。	-	-	-	-	-	
		その他	ハイドレート分離法	1601	CO ₂ ハイドレート生成条件にすることにより高濃度CO ₂ を回収する方法	-	・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 No	技術の概要 / 開発動向	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)	CO ₂ 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 値(-CO ₂))		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CO ₂ 排 出削減	変換・有効 利用	カーボンへの分解	3101	CO ₂ 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 CO ₂ 削減にならない。CO ₂ + C + O ₂ は吸熱反応であり、Hは電力換算 で2.45kWh/kg-CO ₂ 、排出係数 0.407kg-CO ₂ /kWhでは1kg/kg-CO ₂ の排出になる。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			3102	還元したマグネサイト、MgをCO ₂ 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 を化石資源から得る限り二酸化炭 素削減にならない。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3103	金属酸化物上でCO ₂ とCH ₄ 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。CO ₂ の分離・貯留時の 消費エネルギーが70kJ/mol程度 の、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。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3104	化石資源を水とH ₂ 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 体と水素(分子で22kJ/mol)に 変換する反応である。CO ₂ の分離・ 貯留時の消費エネルギーが 70kJ/mol程度である為、メタンを燃 料として用い、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	3211	・アルカリ土類金属を利用してCO ₂ 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。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3212	超臨界状態のCO ₂ 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。 現行の水スゲン法(塩素は電解で製 成)に比べては低二酸化炭素発生量 のプロセスになっている。 (産総研とアテック)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3213	・CO ₂ と水素を触媒反応によりメタノール、DMEを合 成する ・CO ₂ 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さら に二酸化炭素のメタン変換を行う と、総反応はCH ₄ +H ₂ O → CH ₃ OH+ H ₂ となってメタンのメタノール変換 と同じ、燃焼させればまた二酸化炭 素がでる。変換反応を起こすため に二酸化炭素が増える。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3214	金属を除極とする還元、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CO ₂ 削減にはならない。本 反応は変換効率が低く、0.8kWh/mol のエネルギーが必要で66倍の二酸化 炭素が発生することになる。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3215	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。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3221	高濃度CO ₂ 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。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3222	CO ₂ を資化する微生物を探索・育種して高濃度CO ₂ 排ガスから有用物質を生成する。	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、CO ₂ 発生源に連結し て排ガスから直接CO ₂ を固定でき るが、用いる微生物がまだ不明な ため保留。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		生物学的変換	3223	非光合成細菌のバイオリ アクターによる有用物質 生産	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、CO ₂ 発生源に連結し て排ガスから直接CO ₂ を固定でき るが、用いる微生物がまだ不明な ため保留。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3224	CO ₂ を資化する微生物を探索・育種して高濃度CO ₂ 排ガスから有用物質を生成する。	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、CO ₂ 発生源に連結し て排ガスから直接CO ₂ を固定でき るが、用いる微生物がまだ不明な ため保留。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3225	CO ₂ を資化する微生物を探索・育種して高濃度CO ₂ 排ガスから有用物質を生成する。	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、CO ₂ 発生源に連結し て排ガスから直接CO ₂ を固定でき るが、用いる微生物がまだ不明な ため保留。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3226	CO ₂ を資化する微生物を探索・育種して高濃度CO ₂ 排ガスから有用物質を生成する。		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、CO ₂ 発生源に連結し て排ガスから直接CO ₂ を固定でき るが、用いる微生物がまだ不明な ため保留。	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

-自然エネルギー由来の電力使用時に意味を持つ可能性
があるが、自然エネルギーの直接利用との有効性比
較が必要。
(吸熱反応CO₂→C+O₂の反応熱は394kJ/mol、
電力のCO₂排出係数0.407kg-CO₂/kWhでは2002年度
実績、電気事業連合会)

-自然エネルギー由来の電力使用時に意味を持つ可能性
があるが、自然エネルギーの直接利用との有効性比
較が必要。

-変換にエネルギー投入が必要のため、化石資源から
取り出せるエネルギー量が減少するという問題がある。
CO₂の削減が必要であるが、CO₂自体での隔離がで
きない場合に意味を持つ可能性がある。
例)メタン発酵からの発生ガスや低品位のLNG等。
-現状技術では効率低く、生産性・熱効率の大幅な向上
が必要である。

-変換にエネルギー投入が必要のため、化石資源から
取り出せるエネルギー量が減少するという問題がある。
CO₂の削減が必要であるがCO₂自体での隔離ができ
ない場合や低品位排ガスから水素を取得したい場合な
どに意味を持つ可能性がある。

-発熱反応であるため、反応に際してのエネルギー投入
が不要。炭酸カルシウムでの埋め戻しも含めるとポテ
ンシャルは大きいと考えられ、今後更なる検討を続け
るべき技術である。
-CaOを含む岩石や鉄鋼スラグからCaイオンを低エ
ネルギーを取り出せるのが重要課題である。
-固定するため岩石等の種類の拡大も検討が必要であ
る。

-省エネ技術として位置づけるべきもの。
-炭酸ジメチルの有効な合成法である。

-エネルギー変換技術として位置づけるべきもの。
-バイオマス等のガス化プロセス等での基礎技術とし
て重要となる可能性がある。

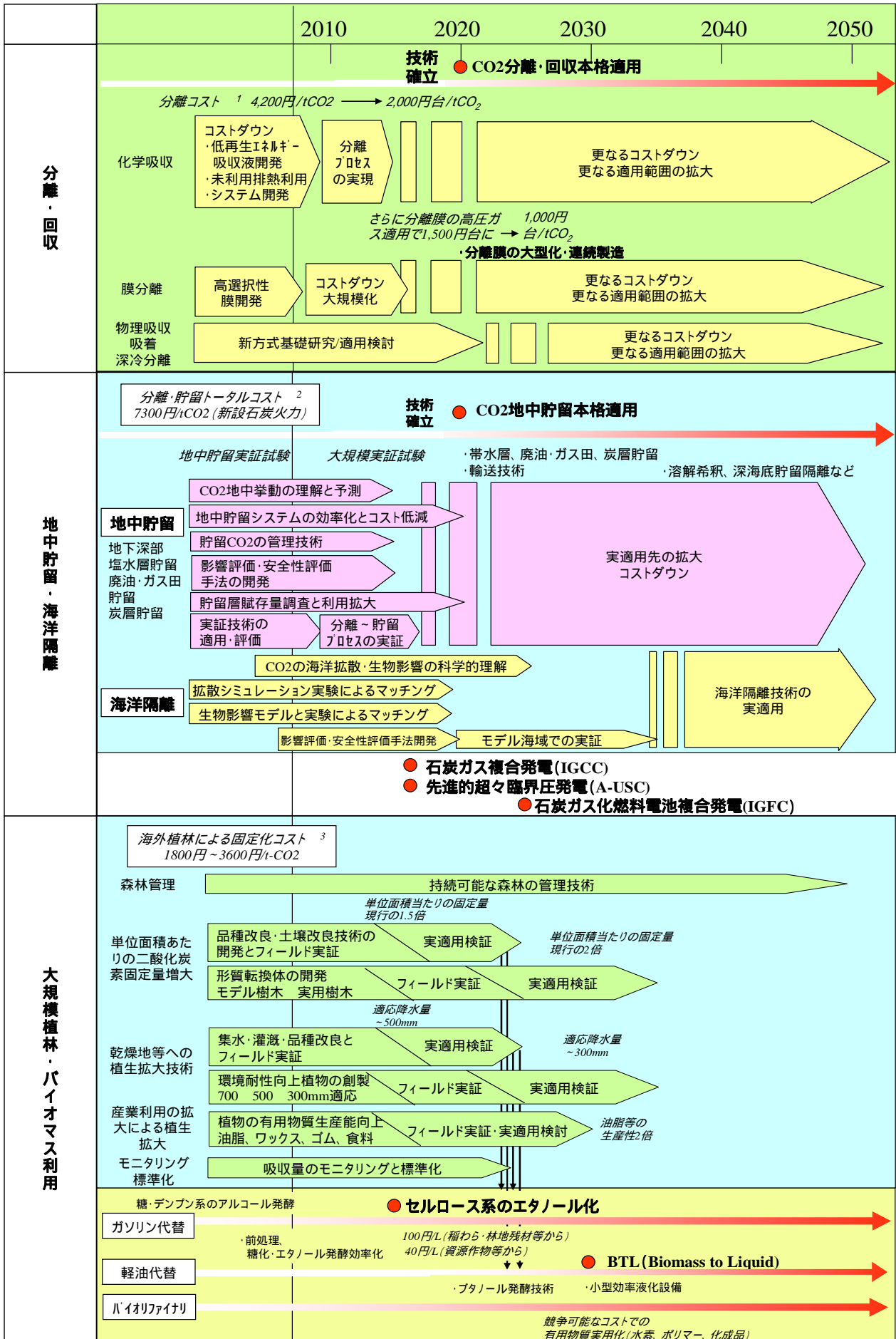
-エネルギー変換技術として位置づけるべきもの。
-自然エネルギー由来の電力使用時に意味を持つ可
能性がある。自然エネルギーの直接利用との有効性比
較が必要。

-大幅に変換効率を高めるブレークスルー技術が必要。
-太陽電池や自然エネルギーの直接利用と有効性比
較が必要。

-大幅に変換効率を高めるブレークスルー技術が必要。
-太陽電池や自然エネルギーの直接利用と有効性比
較が必要。

-現状はCO₂を効率的に還元する代謝系の科学的理解
の段階。
-変換のためには水素等の一次エネルギーが必要であ
り、その直接利用とも有効性比較が必要。

CO₂固定化・有効利用分野の技術ロードマップ



1 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 [コストベース: 2001年]
 2 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) [コストベース: 2001年]
 3 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

各技術における『技術NO.』の設定

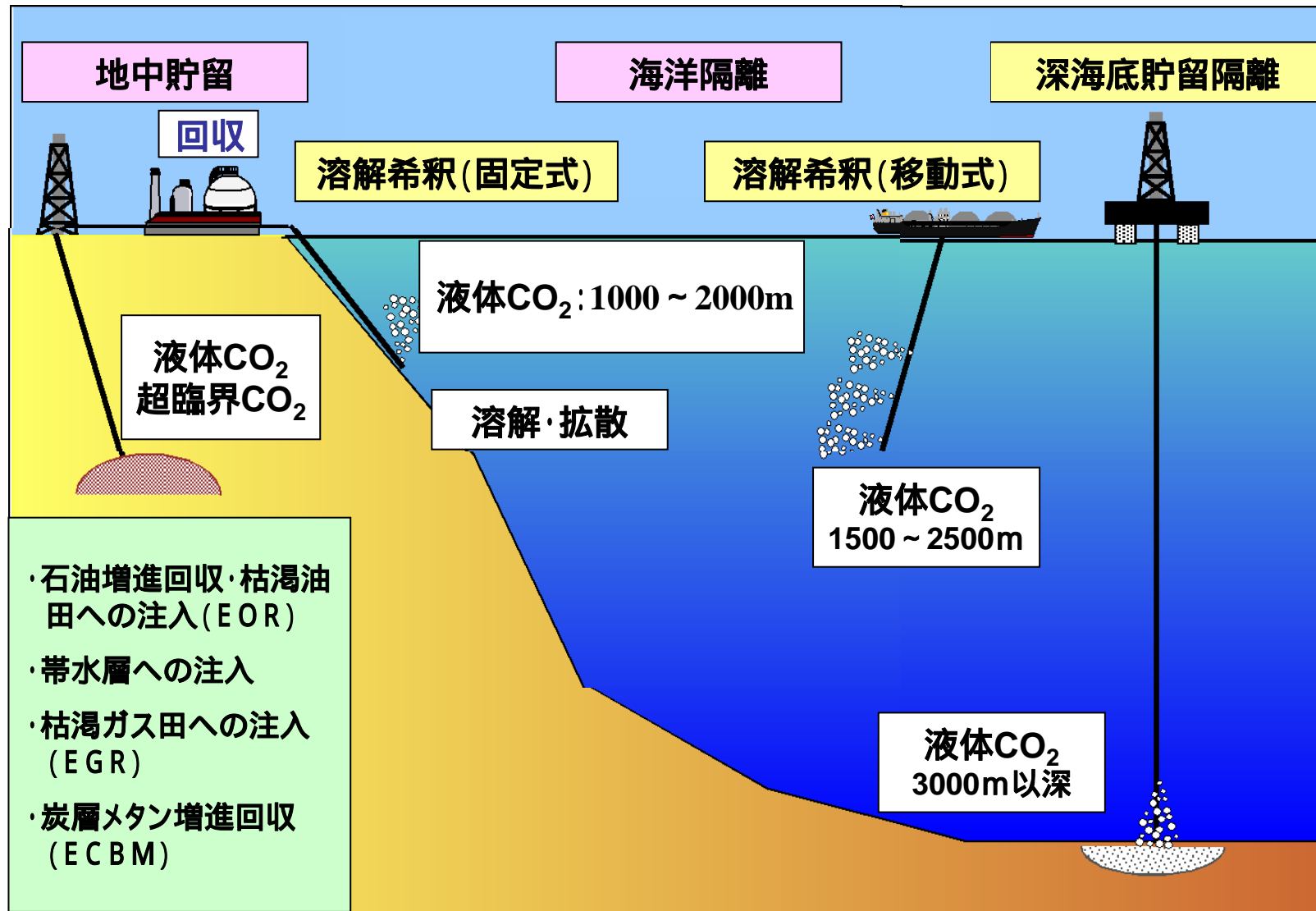
『技術NO.』は4桁とし、次のとおり付与する。

【技術NO. の構成】
[_ _ _ _]
【NO. 付与の考え方】
中分類 1 : 分離・回収 2 : 隔離 3 : 変換・有効利用 4 : 吸収固定
小分類 ・ 中分類毎に上から順に、1、2、・・・とする。
小分類 ・ 小分類毎が細分化されていない場合は、0とする。 ・ 細分化されている場合は、細分化されている小分類毎に、上から順に、1、2、・・・とする。
技術名 ・ 小分類毎に上から順に、1、2、・・・とする。 ・ ただし、小分類が細分化されている場合は、細分化された小分類毎に、上から順に付与し直す。

技術分類			技術NO.		
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	1101	
			固体(リチウムシリケート、酸化亜鉛)	1102	
		物理吸収	物理吸収法	1201	
		膜分離	高分子膜	1301	
			セラミック膜	1302	
		物理吸着	PSA法、TSA法、PTSA法	1401	
		深冷分離	液化分離、蒸留分離	1501	
その他	ハイドレート分離法	1601			
大規模発生源からのCO ₂ 排出削減	隔離	地中貯留	地下深部塩水層貯留	2101	
			炭層固定	2102	
			石油・ガス増進回収	2103	
			枯湯油・ガス層貯留	2104	
			その他の貯留新技術 / 蛇紋岩体への固定	2105	
			その他の貯留新技術 / 高温岩体への固定	2106	
			その他の貯留新技術 / 海底下ハイドレート貯留	2107	
			その他の貯留新技術 / 地中メタン変換	2108	
	海洋隔離	溶解希釈(固定式)	2201		
		溶解希釈(移動式)	2202		
		深海底貯留隔離	2203		
	変換・有効利用	カーボンへの分解	プラズマ分解法	3101	
			金属との反応	3102	
			メタンを利用	3103	
			化石燃料からの炭素分離埋め戻し	3104	
		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)	3211
				超臨界CO ₂ 利用による有用品製造	3212
直接水素化によるメタノール、DME等合成や高分子合成				3213	
電気化学的還元				3214	
光化学的還元				3215	
生物的変換				光合成藻類、光合成細菌類のバイリアクターによる有用物質生産	3221
	非光合成細菌のバイリアクターによる有用物質生産	3222			
大気中の二酸化炭素濃度の削減	吸収・固定	生物による吸収・固定	森林管理	4111	
			単位面積当たりの二酸化炭素固定量増大	4112	
			乾燥地等への植生拡大技術	4113	
			産業利用による植生拡大	4114	
			バイオマスの革新的利用による植生拡大	4115	
	海洋・水生植物による吸収	植物プランクトンの増殖・沈降固定	4121		
		大型海藻の育成・利用	4122		
		植物プランクトン、海藻等の培養設備生産	4123		
動物による吸収	サンゴ礁・貝による固定	4131			

二酸化炭素貯留・隔離技術の概要

参考資料1



大規模植林とバイオマスの利用

参考資料2

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1.5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

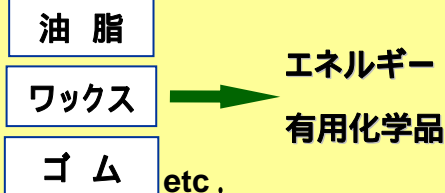
- 集水・灌漑・品種改良技術
- 環境耐性向上植物の創生



産業利用の拡大



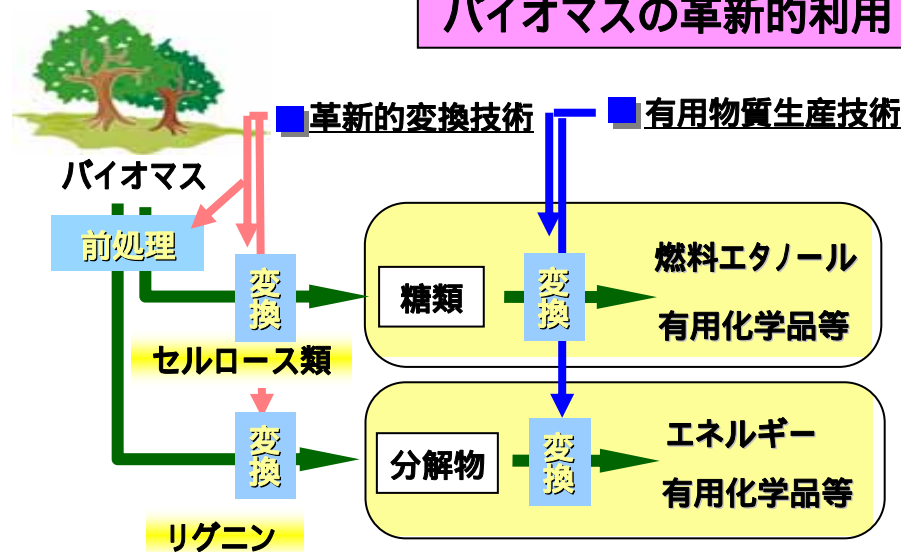
アブラヤシ等



- 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



CO₂分離・回収技術の国際競争力

技術開発水準

	既存技術	技術開発
常圧 (燃焼排 ガス等)	<p>【化学吸収法】 MEA液: Fluor Daniel(米)、ABB Lummus Crest(米) KS液: 関西電力/三菱重工(日) - KS液の性能は世界トップレベル - 特許: KS液を包含した吸収液を広く出願</p>	<p>【化学吸収法】 日本(RITE) - 目標: 回収エネルギー - 1.8GJ/t-CO₂程度、 コスト2,000円/t-CO₂、特許: 7件出願(RITE) 欧州(CASTOR) - 目標: 回収エネルギー - 2.0GJ/t-CO₂程度、 コスト20-301-0/t-CO₂、特許: BASFが数多く出願 北米[テキサス大(米)、レジーナ大(カナダ)]</p>
高圧 (IGCC等 の燃焼 前回収)	<p>ガス化技術の検討が中心。分離回収法としてはaMDEA法やSELEXOL法が採用されているが、それらを凌駕する技術が検討中である。 IGCCからの分離(aMDEA法): 18-241-0/t-CO₂(ENCAP)</p>	<p>分子ゲート膜は膜素材で世界トップレベルの分離性能 分子ゲート膜(dendrimer-膜素材): RITE(日) - CO₂/H₂分離係数: 1400、 透過性能 : $6 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{ s Pa})$ ホリエチレングリコール系膜素材: テキサス大(米) - CO₂/H₂分離係数: 20、 透過性能 : $2 \times 10^{-10} \text{ (m}^3 / \text{m}^2 \text{ s Pa)}$ アミン含浸膜素材: オハイオ州立大(米) - CO₂/H₂分離係数: 40、 透過性能 : $5 \times 10^{-7} \text{ (m}^3 / \text{m}^2 \text{ s Pa)}$ 0.1 μm換算 特許: CO₂/H₂の分離膜特許にはオハイオ州立大の米国出願がある。国内では、RITEの dendrimer-膜、神戸大のキャリア膜の出願がある。</p>

膜分離性能 (CO₂/N₂)

