

# 研究企画グループ

## CO<sub>2</sub> 大幅削減のための革新的技術の開発戦略

### 1. はじめに

地球温暖化を食い止めるために、世界の温室効果ガスの排出量を 2050 年におよそ 50% レベルにまで削減することが求められている。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、CO<sub>2</sub> をはじめとする温室効果ガスの排出を抑制する取り組みが行われている。しかし、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は上昇を続けており、地球温暖化を緩和・抑止し持続的な社会を構築するためには現行の取り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 CO<sub>2</sub> 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。

CO<sub>2</sub> 固定化・有効利用分野の中でも、CO<sub>2</sub> の分離回収と貯留 (CCS) は、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)による CO<sub>2</sub> 回収・貯留特別報告書において、温暖化緩和策のキーテクノロジーのひとつとして期待されている。また、我が国が平成 20 年 3 月に策定した「クールアース - エネルギー革新技術計画」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に位置づけられている。

このような点を踏まえ、RITE では平成 16 年度に中長期的な観点から「CO<sub>2</sub> 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、毎年その内容の見直しを実施している。また経済産業省では、ここで実施した検討結果を基に他の分野も合わせて、「技術戦略マップ 2009」を作成・公表した。本稿では、CO<sub>2</sub> 固定化・有効利用技術分野の技術戦略マップの内容について紹介する。

### 2. CO<sub>2</sub> 固定化・有効利用技術の体系とテーマの絞り込み

地球温暖化防止を目的とする様々な技術のうち、本技

術戦略マップは、RITE の主要取り組み分野であり、かつ、経済産業省における技術戦略マップ作成作業への貢献が期待されている「CO<sub>2</sub> 固定化・有効利用技術分野」に焦点をあてた。なお、省エネ、非化石燃料シフトおよび化石燃料間シフトに関しては、既に別途ロードマップが作成されていることから、本技術戦略マップでは対象とせず、バイオマスエネルギー利用のうち、革新的な変換・利用技術についてのみ言及した。

CO<sub>2</sub> 固定化・有効利用分野の技術体系を図 1 にまとめた。CO<sub>2</sub> 排出は発電所や製鉄所などの排出源からの大規模・集中型と家庭や自動車などの小規模ではあるが多数の分散型に大別される。前者では排出源から発生する CO<sub>2</sub> を分離回収し、地中あるいは海洋などへ隔離することが有利である。また、回収された CO<sub>2</sub> を別な物質に変換し、有効利用することも可能である。一方、分散型排出源からの回収は費用がかかるため、大気中に排出後に前者で処理しきれなかったものと合わせて、植物などによって吸収固定する方法が考えられる。各技術はさらにつぎのようなサブ技術から構成される。

CO<sub>2</sub> の分離回収と貯留 (CCS): 大規模発生源から分離回収した CO<sub>2</sub> を地中あるいは海洋に注入し、貯留・隔離する技術であり、貯留手法としては、地中貯留、海洋隔離に大別される。地中貯留は、地下深部塩水層(帯水層)貯留、炭素固定、EOR(石油増進回収)、枯渇油・ガス田貯留などに大別され、海洋隔離は、溶解希釈法(移動式)、同(固定式)、深海底貯留などに大別される。

CO<sub>2</sub> の有効利用: 分離回収された CO<sub>2</sub> を化学的あるいは生物的な手法で他の物質に変換し、再度利用する技術である。カーボンへの分解、アルコールなどの化学品への変換技術に大別される。

生物による吸収固定: 大気中に拡散した CO<sub>2</sub> を生物に

よって吸収・固定する技術である。樹木などの陸上の植物による吸収固定、大型海藻などの海洋植物による吸収、動物による吸収に大別した。さらにCO<sub>2</sub>の吸収固定により得られたバイオマスエネルギーおよび有用化学品として変換・再利用する技術も含まれる。

これらの技術についてCO<sub>2</sub>削減技術としての有効性、ポテンシャルの大きさ、現在の概算コスト、2030年でのコスト実現性について評価し、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技術を抽出し、それらについてより詳細な技術戦略を策定した。絞り込まれた技術を次に示す。

● CCS

CO<sub>2</sub>の分離回収・貯留技術、海洋隔離、地下深部塩水層貯留、炭素固定、EOR、枯渇油・ガス層貯留などの地中貯留技術、CO<sub>2</sub>の分離回収技術

● 大規模植林による地上隔離技術

大規模植林等のバイオマス生産技術、バイオマス利用技術

3. CCSの技術戦略とロードマップ

CCSはCO<sub>2</sub>を分離回収する技術と回収したCO<sub>2</sub>を地中あるいは海洋に貯留・隔離する技術から構成される。

分離回収する対象ガスとしては、電力等のエネルギー生産時の排出ガスおよび鉄鋼、セメントを始めとする産業プロセスからの排出CO<sub>2</sub>ガスがある。発電所からのCO<sub>2</sub>回収プロセスには、通常の煙道ガスからの回収を行う燃焼後回収、IGCCなど燃料の部分酸化によってガス化された圧力を持ったCO<sub>2</sub>高濃度の合成ガスからCO<sub>2</sub>を回収する燃焼前回収に大別される。また、燃料を酸素で燃焼させ、CO<sub>2</sub>濃度の極めて高い排気ガスを生成させる酸素燃焼法が検討されている。CO<sub>2</sub>の回収技術としては化学吸収法、物理吸収法、膜分離法、吸着法、深冷分離法などがあるが、燃焼排ガスからの分離には主に化学吸収法が、自圧を有するガスの分離には化学吸収、物理吸収、膜分離法などが適している。CO<sub>2</sub>の分離回収は化学吸収法などすでに商業実績があるが、CO<sub>2</sub>回収コストがCCSの全コストの約7割を占めていることから、CCSの実現には分離回収コストの

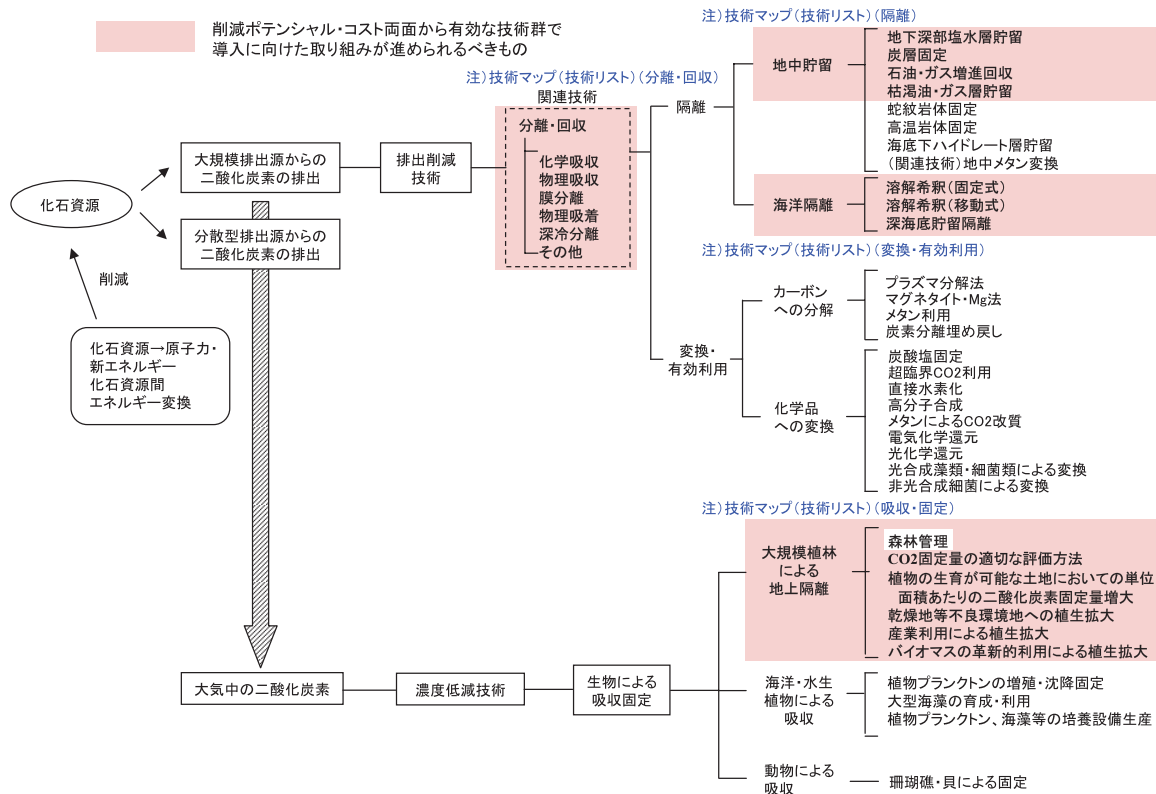


図 1. CO<sub>2</sub>固定化・有効利用分野の技術マップ(技術体系)

低減が欠かせない。また、分離回収によって2~3割余分にエネルギーを消費することから、分離回収エネルギーの低減が極めて重要な課題となっている。このため、化学吸収法、物理吸収法、膜分離、吸着剤についての研究開発が世界的に行われている。さらに、分離回収技術の開発は地中貯留の進展に同期する必要がある。すなわち、「低コスト・低エネルギー回収技術」を地中貯留の実施前に完成させる必要があるし、回収されるCO<sub>2</sub>の純度に関しても、貯留側の要求に応じる必要がある。

CO<sub>2</sub>貯留・隔離技術については、RITEによって新潟県長岡市において約1万トンのCO<sub>2</sub>を地下深部塩水層へ圧入・貯留する実験が実施され、我が国でのCO<sub>2</sub>地中貯留のターゲットとされる地下深部塩水層に安全にCO<sub>2</sub>が貯留できることが実証された。また、モニタリングやCO<sub>2</sub>挙動シミュレーションなどの技術開発、我が国での地中貯留のコスト・賦存量の評価をはじめとする有効性評価、安全性評価、法体系等周辺関連調査などが実施されている。さらに平成19年に経済産業省は「CCS研究会」を設置し、我が国での地中貯留の課題について検討し、技術開発や法整備等とともに大規模な実証試験が必要であると結論づけている。

以上の様な状況を考慮しCCSの技術戦略とロードマップが作成された(図2)

貯留・隔離技術のうち、「海洋隔離」については、CO<sub>2</sub>の注入による生物影響の懸念などが払拭されておらず、実施に関する国際的なコンセンサスの形成に時間がかかる為、温暖化対策のキーテクノロジーとして国際的に導入が進められている「地中貯留」の技術開発から進めることが重要と考えられる。地中貯留については、G8サミットにおいてその積極的な推進が合意され、IEA・CSLFなどを中心に実施に向けての課題の整理やロードマップの作成が実施されており、世界的に2015年頃の技術確立、環境整備を目指した動きとなっていることから、我が国での技術の完成時期もこれらと一致させた2015年頃におくことが妥当である。これに合わせて、CCS技術を総合的に検証する

とともに、実用化に向けての経験を蓄積するための大規模実証試験を始めとする技術開発が必要である。また、ロンドン条約などの世界的な法整備の動きと調和しながら、現行法を基本とし必要に応じて法整備の検討をしていく必要がある。特に貯留物の長期的な責任のあり方については十分な検討が必要である。また、地中貯留の理解促進活動についても十分早い時期から進めていく必要があるし、実施の観点からは、実施主体の形成に向けた準備も必要である。一方、海洋隔離は、海洋によるCO<sub>2</sub>吸収能力を考慮すると極めて大きな削減ポテンシャルを持つ技術であることから、当面、生物影響・予測手法等に関する科学的知見の集積を進行させ、2030年を目指した長期的な適用目標を設定すべきであるとした。

分離回収を地中貯留の実現に結合させるためには、「低コスト・低エネルギー回収技術」を2015年までに完成させる必要がある。CCSがCO<sub>2</sub>削減技術として有効となるためには大幅なコスト削減が望まれる。分離回収技術のコストが下がるほど、排出源から隔離場所までの距離を大きくすることが可能となり、隔離可能量が増大する。分離回収コストとしては、排出権取引価格や海外との技術競争力を考慮すると2015年で2,000円/t-CO<sub>2</sub>程度、さらには1,000円/t-CO<sub>2</sub>台となることが望ましく、革新的技術の開発とその実用化を進めていく必要がある。

本ロードマップに従って平成20年には日本CCS調査株式会社が設立され、大規模実証試験の地点調査と試験準備が開始された。また、平成21年には経済産業省において大規模実証試験において守るべき基準が整備されるなど、大規模実証に向けての準備が整いつつある。

#### 4. 大規模植林・バイオマス利用の技術戦略とロードマップ

大気中に排出されたCO<sub>2</sub>の吸収固定において中心的な役割を占めるのは、「大規模植林等による地上隔離技術」であり、これは「バイオマス利用」と併せて進められるべきものである。大規模植林をはじめとする植物を利用した吸収固定は、CO<sub>2</sub>の大規模削減に寄与し得る技術として、



現時点で CCS に唯一対抗し得る見通しのある技術であり、例えば、米国においては、2008 年に技術開発による環境植林の低コスト化の目標を設定している。また、バイオマスからのエタノールや化学品の製造については、世界的に活発に開発が行われている。とりわけ、米国が積極的であり、数件の商業プラント建設プロジェクトが推進されている。

大規模植林等の地上隔離技術の技術課題としては、まず、場所の選定・樹種選定技術の確立があげられる。さらに、水収支などのシステム評価技術、環境影響評価技術、および CO<sub>2</sub> 吸収量の評価技術が必要である。植物による CO<sub>2</sub> の吸収固定量を増大させるためには、単位面積当たりの固定量の増大や乾燥地等、従来作物の栽培不適地への植生拡大技術が必要である。つぎに植林等に関する環境整備としては、制度面の整備、CO<sub>2</sub> 削減モニタリング技術の標準化、森林等の多面的機能の評価、遺伝子組換え法の認知があげられる。また、生物多様化についても十分な配慮が必要である。国際協力の推進については、革新的技術の共同開発、植林事業推進のための環境整備面での協力、途上国でのキャパシティビルディングがあげられる。

バイオマス利用については、バイオマスからいかに効率的にエネルギー等の物質を得るか、その変換技術の開発とともに使用可能なバイオマス種を拡大させる技術が重要である。現在石油をプラットフォームとしてさまざまな化学品が生産されているが、化石資源の使用縮小とともにバイオマスからさまざまな有用物質を省エネルギー・低コストで製造する革新的変換技術が必要である。

環境植林の拡大から産業植林・バイオマス産業利用への流れは、世界のエネルギー物質・有用化成品生産プロセスのパラダイムをも変更する潮流であり、我が国としても、CO<sub>2</sub> 排出削減対策としてはもとより、このような観点からも、2010~2015 年をターゲットにした樹木等の単位面積当たりの固定量増大技術、産業利用を容易にする有用物質生産能の向上技術の確立、2020 年頃のバイオマス利用技術との結合、2030 年頃を目指した樹木等からの多角的なバイオマス利用システム構築と実証に取り組む必要がある。

る。

本分野のロードマップを図 2 に示す。各項目別の目標およびマイルストーンは以下の通りである。

「単位面積当たりの CO<sub>2</sub> 固定量増大」については、品種改良や土壌改良技術などの遺伝子組換えを用いない手法を先行させて早期の実適用を目指す。また、遺伝子組換え手法では、実用樹木等で固定量 2 倍の目標を達成すべく研究開発を行うとともに、その安全性についても十分な検討を行い、2015 年頃のフィールド実証、2030 年までの実適用を可能とさせる。これによって、CO<sub>2</sub> 固定化コストの低減、削減ポテンシャルの向上が期待される。

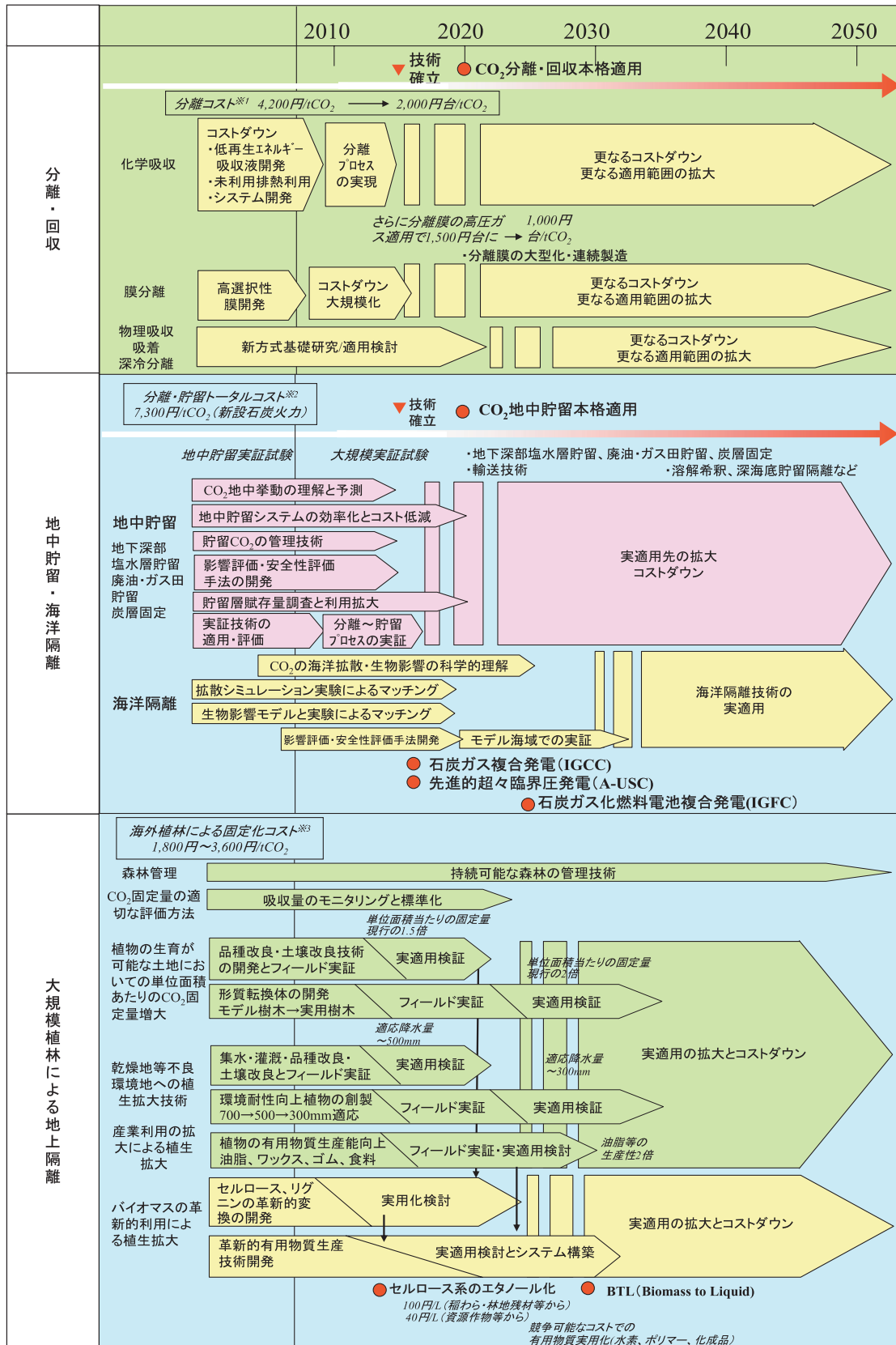
「乾燥地等への植生拡大技術」については、集水・灌漑技術や遺伝子組換えを用いない品種改良技術等による植生拡大を先行させて早期の実適用を目指す。また、遺伝子組換え手法では、降水量 500、300mm でも産業植林が可能な樹木の創製について研究開発を行うとともに、その安全性についても十分な検討を行い、2015 年頃のフィールド実証、2030 年までの実適用を可能とさせる。これによって、植林ポテンシャルの向上が期待される。

「バイオマスエネルギー利用等との複合化による植生拡大」としては「植物の改変技術」と「バイオマスの革新的変換・利用技術」が考えられる。

「植物の改変技術」については、油脂、ワックス分などの植物が生産するエネルギー物質などの有用物質の生産量を 2 倍にすべく開発を行う。2015 年頃からフィールド実証、実適用検討を実施していく。

「バイオマスの革新的変換技術」については、現在、糖からのアルコール製造や他の有品製造が実用レベルにあるが、穀物類は食料との競合があるため、今後はソースをセルロース系に求めなければならないこと、一方で現在実施されているセルロースからの糖化は高コストであることから、「セルロースからの安価な糖化技術の開発」を行う。また、木質系バイオマスに含まれるリグニンも有効利用が必要であり、効率的な変換方法の開発が必要である。2010 年頃までに基本技術を開発し、順次実用化していく。

図 2. CO2 固定化・有効利用分野のロードマップ



※ 1 分離回収: 新設石炭火力(830MW)、回収量:100万t-CO<sub>2</sub>/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-CO<sub>2</sub>/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20m<sup>3</sup>/ha・年、植林管理費17-31%、用地リース費:50\$/ha・年)

「バイオマスの革新的利用技術」については、糖からアルコール、水素などのエネルギー物質や現在石油から製造しているポリマーなどの製品群を高効率低コストで製造していく技術を開発する。終了したのものから順次実用化につなげていくが、2015年頃には「バイオマスの革新的変換技術」と結合させ、セルロース系バイオマスからの有用物質の一貫製造法へと発展させる。

大規模植林とバイオマス利用の結合を2020年頃からとした。バイオマス利用技術については、小規模高効率ガス化システムや、そこからの液体燃料製造システム、アルコール発酵システム、および先に述べた革新的利用システムなどが2020年には実現されるものと予想されるため、大規

模植林地から得られた樹木を原料に変換が開始されるものとした。それまでに順次、収集・輸送を含めたバイオマスの利用システム構築を進めていくことが必要である。

## 5. おわりに

RITEでは本技術戦略マップをホームページ上に公開し、広く意見を伺いながら、定期的な見直しを行っている。地球温暖化の阻止には革新的な技術開発が必要である。このためには大学・研究所・企業等から多数の叢智を集めるとともに、目的にそった効率的な研究と実用化の推進が必要である。本技術戦略マップがその一助になれば幸いである。