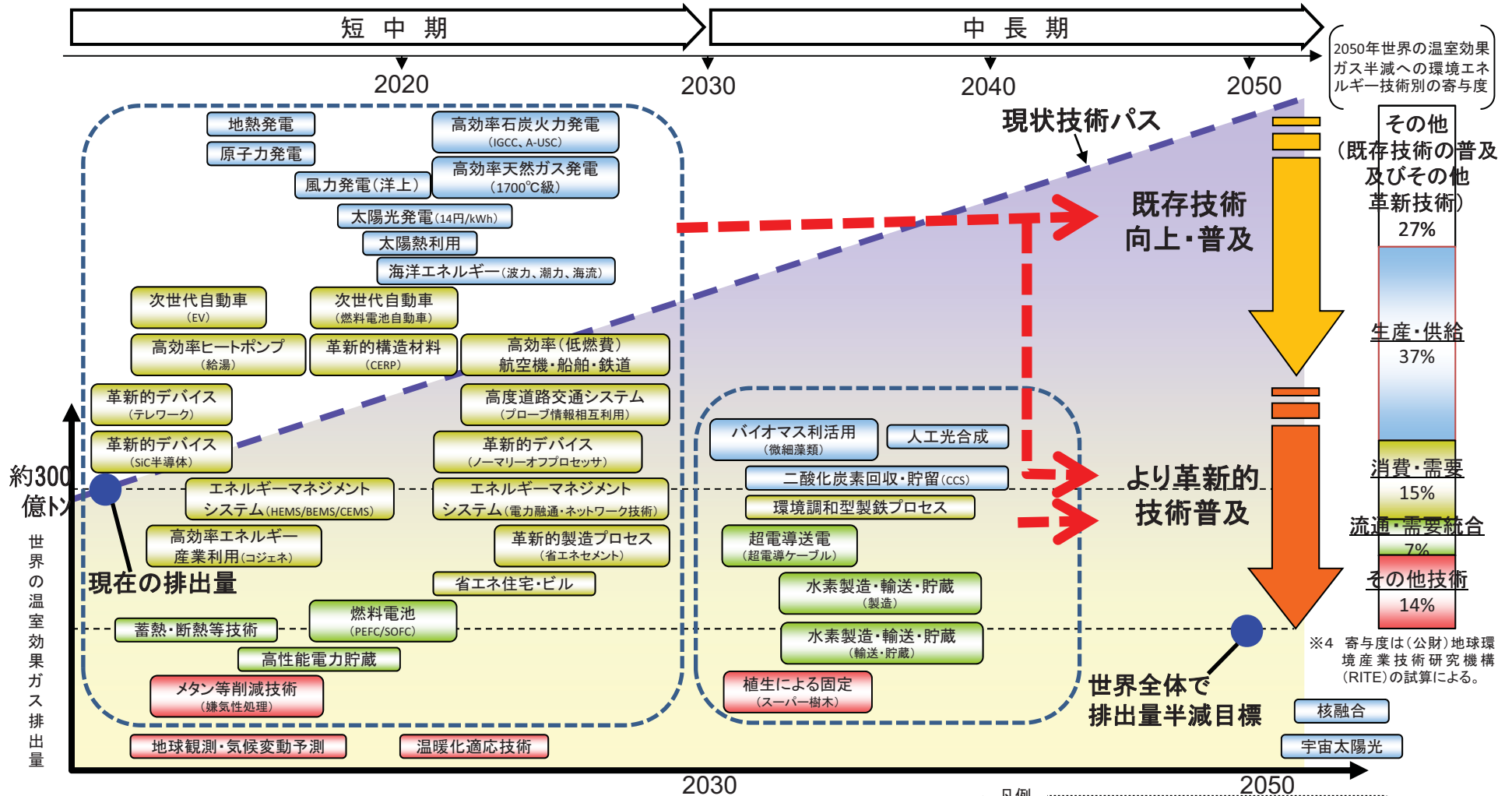


# 我が国の環境エネルギー技術の世界への貢献

別添1

我が国は、優れた環境エネルギー技術を、短中期、中長期と切れ目なく開発を進め、世界に普及することにより、2050年までに世界全体で温室効果ガスを半減する目標達成に貢献する。既存技術の向上・普及だけでは限界があることから、中長期的により革新的な技術開発を推進する必要がある。



※1 環境エネルギー技術の横軸上の位置は、各技術のロードマップを踏まえ、本格的な普及のおおよその時期を示すものである。  
 ※2 「現状技術パス」は、各種技術の効率(例えば、石炭火力発電の発電効率)が変化しない場合の世界全体のおおよその排出量を示すものである。  
 ※3 「既存技術向上・普及」及び「より革新的な技術普及」の矢印は、世界全体で排出量半減の目標を達成するためには、既存技術の向上・普及だけでなく、より革新的な技術の普及による削減が必要であることを示すものであり、それぞれの技術による削減幅を示すものではない。

凡例

生産・供給分野	消費・需要分野
流通・需要統合分野	その他の技術

※1 枠の横幅の中ほどが本格的な普及のおおよその時期を示す  
 ※2 括弧の中は、各項目における技術の一例を、本文の短中期、中長期の分類に合わせて抜き出したもの

# 環境エネルギー技術評価

別添2

## 技術項目の評価軸

世界の温室効果ガス削減効果(2050年)	◎:10億トン以上、○:3億~10億トン、△:3億トン未満
技術の汎用性	全世界で通用する技術、主に途上国で有効な技術、主に先進国で有効な技術等
世界全体での市場規模	◎:3兆円以上、○:3,000億~3兆円、△:3,000億円未満
官民の役割分担	民主導、官民共同、官主導等
技術の成熟段階	基礎研究、応用研究、開発実証、普及性能向上

大分類	中分類	小分類	世界の温室効果ガス削減効果(2050年)	技術の汎用性	世界全体での市場規模	官民の役割分担	技術の成熟段階	
生産・供給	火力発電	1. 高効率石炭火力発電	◎	全世界	◎	官民共同	開発実証	
		2. 高効率天然ガス発電	◎※1	全世界	◎	官民共同	開発実証	
	再生可能エネルギー利用	3. 風力発電	◎	適切な風況を有する国	◎	民主導~官民共同	開発実証~普及性能向上	
		4. 太陽エネルギー利用(太陽光)	◎	全世界	◎	民主導~官主導	基礎研究~普及性能向上	
		5. 太陽エネルギー利用(太陽熱)	◎	全世界	◎	民主導~官民共同	基礎研究~普及性能向上	
		6. 海洋エネルギー(波力、潮流、海流)	◎	海岸線を有する国	○	官民共同	開発実証	
		7. 地熱発電	○	火山帯を有する国	◎	官民共同	基礎研究~普及性能向上	
		8. バイオマス利活用	◎	全世界	◎	民主導~官民共同	基礎研究~普及性能向上	
	原子力	9. 原子力発電	◎	全世界	◎	官民共同	基礎研究~開発実証	
	二酸化炭素回収・利用・貯留(CCUS)	10. 二酸化炭素回収・貯留(CCS)	◎	全世界	◎	官主導	開発実証	
		11. 人工光合成	※2	全世界	※2	官民共同	基礎研究~開発実証	
消費・需要	運輸	12. 次世代自動車(HV、PHV、EV、クリーンディーゼル等)	◎	全世界	◎	官民共同	普及性能向上	
		13. 次世代自動車(燃料電池自動車)	○	全世界	◎	官民共同	開発実証~普及性能向上	
		14. 航空機・船舶・鉄道(航空機)	○※3	全世界	◎	官民共同~官主導	応用研究~普及性能向上	
		15. 航空機・船舶・鉄道(船舶)	○※3	全世界	◎	官民共同~官主導	応用研究~普及性能向上	
		16. 航空機・船舶・鉄道(鉄道)	△	全世界	◎	民主導~官民共同	応用研究~普及性能向上	
		17. 高度道路交通システム	※2	全世界	※2	官民共同	開発実証~普及性能向上	
		18. 革新的デバイス(情報機器、照明、ディスプレイ)	◎※4	全世界	◎	民主導~官主導	応用研究~普及性能向上	
	デバイス	19. 革新的デバイス(パワエレ)	※2	全世界	△	官民共同	開発実証	
		20. 革新的デバイス(テレワーク)	※2	主に先進国	△	官民共同	応用研究~普及性能向上	
	材料	21. 革新的構造材料	◎※5	全世界	◎	官民共同	応用研究~普及性能向上	
		22. エネルギーマネジメントシステム	◎	全世界	◎	官民共同	応用研究~普及性能向上	
	エネルギー利用技術	23. 省エネ住宅・ビル	◎※6	全世界	◎	民主導~官民共同	応用研究~普及性能向上	
		24. 高効率エネルギー産業利用	○※7	全世界	◎	官民共同	応用研究~普及性能向上	
		25. 高効率ヒートポンプ	○※8	全世界	◎	民主導	応用研究~普及性能向上	
		生産プロセス	26. 環境調和型製鉄プロセス	※2	全世界	※2	官民共同	応用研究~開発実証
			27. 革新的製造プロセス	◎※9	全世界	◎※9	官民共同	応用研究
	流通・需給統合	エネルギー変換・貯蔵・輸送	28. 水素製造・輸送・貯蔵(製造)	※10	主に先進国	△	官民共同	開発実証
29. 水素製造・輸送・貯蔵(輸送・貯蔵)			※10	主に先進国	△	官民共同	開発実証	
30. 燃料電池			○	全世界	◎	官民共同	開発実証~普及性能向上	
31. 高性能電力貯蔵			※10	全世界	○	民主導~官民共同	応用研究~普及性能向上	
32. 蓄熱・断熱等技術			△※11	全世界	○	民主導	応用研究~普及性能向上	
33. 超電導送電			△	全世界	○	官主導	開発実証	
34. 植生による固定			◎	全世界	◎	民主導	開発実証~普及性能向上	
その他の技術	35. その他(メタン等)温室効果ガス削減技術	△	全世界	◎	官民共同	開発実証		
	36. 温暖化適応技術	※2	主に途上国	◎	官民共同	基礎研究~普及性能向上		
	37. 地球観測・気候変動予測	※2	全世界	※2	官主導	基礎研究~普及性能向上		

(注) 本表は、技術毎に異なる前提・シナリオによる試算に基づく評価である。技術間の重複関係の排除等も考慮していないため、削減効果を合算することはできない。

(参考資料) 本表の作成に当たっては、以下の資料を参考にしている。

- ・ IEA, Energy Technology Perspectives (ETP) 2012 (2012)
- ・ IEA, Energy Technology Perspectives (ETP) 2010 (2010)
- ・ 総合科学技術会議、環境エネルギー技術革新計画(平成20年)
- ・ 日本再興戦略 中短期工程表(平成25年)
- ・ 科学技術イノベーション総合戦略 工程表(平成25年)
- ・ NEDO 再生可能エネルギー技術白書(平成22年)
- ・ NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010(平成22年)

- ※1: 石炭からガスへの転換、効率化が算定の対象となっている。
- ※2: 算定のための前提条件の設定が困難であることから、評価を行っていない。
- ※3: バイオ燃料による削減効果が、8(バイオマス活用)の一部と重複する部分がある。
- ※4: 22(エネルギーマネジメントシステム)の削減効果と重複する部分がある。
- ※5: 航空機・船舶・鉄道技術の削減効果の一部と重複している。
- ※6: 2(高効率天然ガス発電)、5(太陽エネルギー利用(太陽熱))、22(エネルギーマネジメントシステム)の削減効果と重複する部分がある。
- ※7: 2(高効率天然ガス発電)、22(エネルギーマネジメントシステム)の削減効果と重複する部分がある。
- ※8: 高効率冷暖房設備のみの評価
- ※9: セメント・化学分野を対象にした評価
- ※10: 単独で効果をもたらすものではないため評価を行っていない。
- ※11: ビル断熱効果のみの評価。

# 各技術項目のロードマップ等について

- 本資料は、別添「環境エネルギー技術評価」に上げられている個々の技術について、①技術の概要、②我が国の技術開発の動向・課題、③技術ロードマップ、④国際動向(普及の現状、技術開発の動向、我が国の国際競争力)を整理したものである。
- 技術ロードマップは、日本の技術があるべきレベル(開発目標・導入・普及等)を時間軸に沿って記載したものである。なお、本計画策定時点で、目標に向けた国の研究開発事業がないものも存在するが、その目標を達成するために国として研究開発事業が必要になった場合は、毎年度策定される科学技術に関する予算等の資源配分方針と科学技術重要施策アクションプランに、相当する事業を盛り込むための検討を行うこととなる。
- 本資料では、政府が主導する技術のみならず、官民が一体となった総合的な取り組みを提示している。

#### ※技術ロードマップ 参考文献

- 日本再興戦略 中短期工程表(平成25年)
- 科学技術イノベーション総合戦略 工程表(平成25年)
- NEDO 再生可能エネルギー技術白書(平成22年)
- NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010(平成22年)
- 環境エネルギー技術革新計画(平成20年)

生産・供給	火力発電	1. 高効率石炭火力発電 2. 高効率天然ガス発電	
	再生可能エネルギー利用	3. 風力発電 4、5. 太陽エネルギー利用 6. 海洋エネルギー利用 7. 地熱発電 8. バイオマス利活用	
		原子力発電	9. 原子力発電
		二酸化炭素回収・貯蔵・利用 (CCUS)	10. 二酸化炭素回収・貯留 (CCS) 11. 人工光合成
			消費・需要
	デバイス	18、19、20. 革新的デバイス	
	材料	21. 革新的構造材料	
エネルギー利用技術	22. エネルギーマネジメントシステム 23. 省エネ住宅・ビル 24. 高効率エネルギー産業利用 25. 高効率ヒートポンプ		
	生産プロセス	26. 環境調和型製鉄プロセス 27. 革新的製造プロセス	
		需給統合・流通	28、29. 水素製造・輸送・貯蔵 30. 燃料電池 31. 高性能電力貯蔵 32. 蓄熱・断熱等技術 33. 超電導送電
その他 温暖化対策技術	34. メタン等削減技術 35. 植生による固定 36. 温暖化適応技術 37. 地球観測・気候変動予測		

# 1. 高効率石炭火力発電

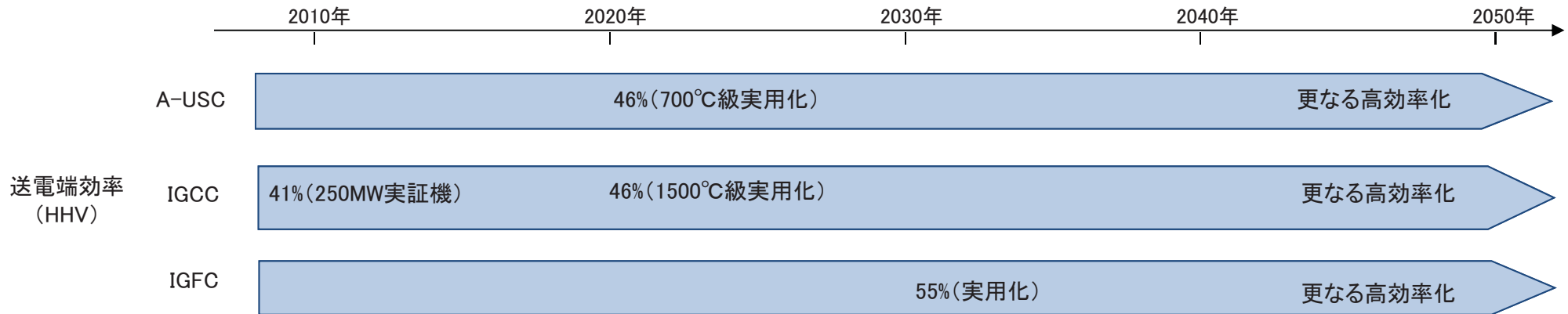
## 技術の概要

- 高効率石炭火力発電技術としては、研究段階のものも含め、微粉炭石炭火力発電の蒸気条件が高温・高圧である超々臨界圧発電(USC)、先進的超々臨界圧発電(A-USC)や石炭をガス化して発電する石炭ガス化複合発電(IGCC)、IGCCに燃料電池を組み合わせた石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)といった技術がある。
- 将来CCSが商用化し、導入されれば、二酸化炭素排出をほぼゼロにすることが可能。
- 既に商用化されている日本の石炭火力発電技術(USC)を、米中印の海外の石炭火力発電に導入した場合、エネルギー起源CO<sub>2</sub>を15億トン削減できるとの試算あり。

## 我が国の技術開発の動向・課題

- A-USCについては、技術開発支援を2008年度から実施中。電力産業用大容量ボイラー・タービンシステム、高温弁技術の開発が主要な課題。700℃以上の高温蒸気にも耐えられる材料の開発も課題。
- IGCCについては、空気吹きIGCCについて、福島県で実証試験を行い、今後は、ガスタービンの高効率化、燃焼器部分等の技術開発等が課題。
- IGFCについては、基幹技術である酸素吹IGCCについて、中国電力(株)の大崎発電所構内で、全体システムの信頼性向上等に係る実証試験を実施中。今後は、石炭ガス化ガスと燃料電池の適合性の検証等が課題。
- 発電効率の向上、多炭種の活用、発電コストの低減に向けた技術開発が重要。

## 技術ロードマップ



- 大学等における材料や触媒技術等の基礎研究と、民間主体のプラントをシステムとして実証する大型プロジェクトの連携を強化
- 幅広い人材の育成による技術開発の推進

(※関連技術ロードマップ: 30. 燃料電池)

## 国際動向

### 普及の現状

- 世界の石炭火力発電所の大半は米国と中国、インドに集中しており、その多くは発電効率が35%以下と低い。USCは日本では既にかなり普及しており、中国でも最近大型石炭火力で導入が始まっている。インドでは一部SCの導入が行われているが、石炭火力発電所の多くは低効率の従来型である。

### 技術開発の動向

- 欧州では電力・メーカーを主体としたAD700プロジェクトにおいて、現在700℃の蒸気を用いた各種要素試験が行われている。また、クリーン・コール政策として、(1)CCS(CO<sub>2</sub>分離回収・貯留)、(2)IGCC(石炭ガス化複合発電)の推進に向けた資金支援プログラ

ムを導入し、(3)超々臨界圧発電(USC)、先進的超々臨界圧発電(A-USC)についてはEU企業参加による共同開発を推進している。CCSについては2020年以降の商業実用化を目指しており、A-USCについては2016年までに実証試験を完了する。

- 米国では、「クリーン・コール・パワー・イニシアチブ」(CCPI)や、「クリーン・コール技術実証プログラム」の中で、将来的にゼロ・エミッションまたはそれに近い石炭火力の実現を目指している。

### 我が国の国際競争力

- 我が国の石炭火力発電設備の平均発電効率は現時点で約41%(発電端・HHV)となっており、諸外国が30%台であるのと比較して世界最高の水準にある。

## 2. 高効率天然ガス発電

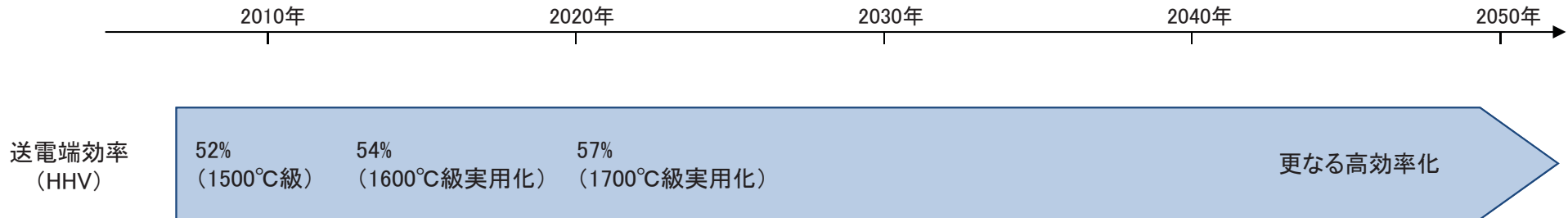
### 技術の概要

- 高効率天然ガス発電技術としては、ガスタービン及び蒸気タービン複合発電技術や、開発中の高温空気利用ガスタービン技術(AHAT)がある。
- 我が国では1600℃級のガスタービンの開発が完了し、2013年10月より関西電力の姫路第二発電所にて営業運転を開始予定(発電効率54%、送電端・HHV)。
- 将来CCSが商用化し、導入されれば、二酸化炭素排出をほぼゼロにすることが可能。
- IEAはEnergy Technology Perspectives2010の(世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>の排出量を2050年に2005年比で半減させる)ブルーシナリオにおいて、天然ガス火力発電で2.8億トン程度のポテンシャルがあると試算。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 我が国は、コンバインドサイクル発電に関して、2013年頃に1600℃級で54%、2020年頃には1700℃級で57%の発電効率(送電端・HHV)を達成することを目指している。また、トリプルコンバインドサイクル発電システムについて、要素技術開発を実施している。
- AHATについては、2020年頃までに10万kW級で51%(送電端・HHV)の発電効率を実現することを目指している。
- 1700℃級ガスタービンの開発では、超高耐熱合金をはじめとする高温耐熱性タービンの開発等が主要な課題となっている。この課題を解決し、現状最大52%の発電効率(送電端・HHV)を57%(2020年頃)まで上げることが目標。
- AHATについては、高効率圧縮機設計技術やタービン翼冷却技術の開発が必要である。

### 技術ロードマップ



- ガスタービン技術は、空力、熱力、燃焼、材料等の広範囲で高度な設計技術・製造技術を有することから、産学官の連携の下、技術開発を進めることが重要(大学等における材料や触媒技術等の基礎研究と、民間主体のプラントをシステムとして実証する大型プロジェクトの連携を強化)
- 幅広い人材の育成による技術開発の推進

### 国際動向

#### 普及の現状

- 米国では、2013年にフロリダ州において、発電効率(送電端・HHV)が約54%となる高効率ガスタービンの営業運転が開始される予定。

#### 技術開発の動向

- 米国エネルギー省(DOE)の国家プロジェクトでは、ガスタービンメーカーや大学に2003年から2015年にかけて約1,000億円を投資して、高効率化を目指している。
- 欧州では、CAME-GTと呼ばれるイニシアチブの中で高効率ガスタービンの開発が推進され、現在は第7次研究枠組計画(FP7)の中で個別の技術要素の改良に向けた研究開発が実施されている。

#### 我が国の国際競争力

- 我が国では、入口ガス温度を1600℃まで高め世界最高水準の発電効率(送電端・HHV)54%を実現した「1600℃級複合発電」が2013年10月頃に営業運転が開始される予定であり、我が国の技術開発レベルは世界最高水準にある。
- ガスタービンの高温化はスピードが非常に速く、1980年代初頭の複合発電システムの導入以降、年間約20℃という早いペースで燃焼温度の高温化が進み、熱効率が改善してきた。熾烈な開発競争の中、高温化に対して技術的に開発が可能な国は、米・独・日の3カ国に絞られつつある。

### 3. 風力発電

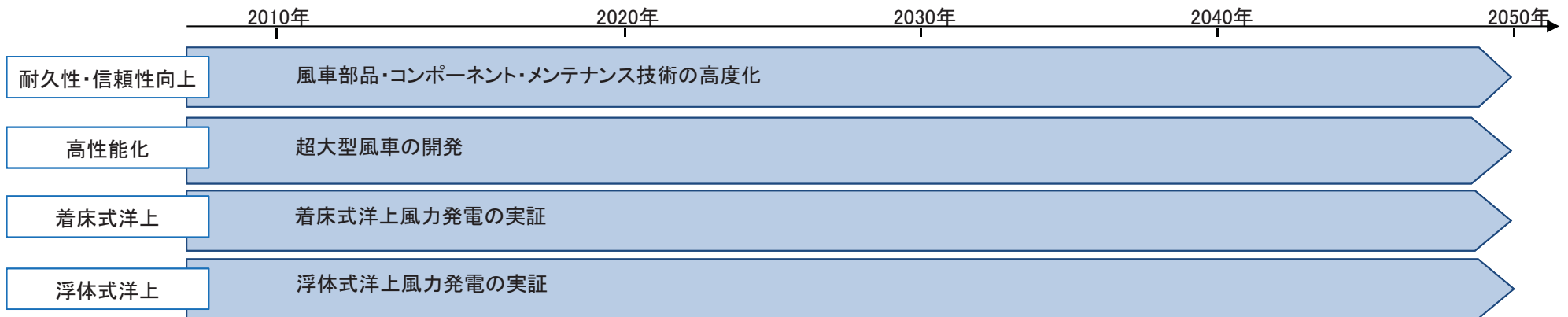
#### 技術の概要

- 風力発電は、再生可能エネルギーの中では発電コストが低い。
- 他方、地形や気象的特性等の制約により、立地に適する場所が減少してコストが上昇する可能性がある。
- また、国内の風力発電にとって、今後の更なる導入促進のためには洋上への展開も不可欠。
- 洋上風力発電設備としては、着床式と浮体式があるが、陸上風力発電設備に比べ高い稼働率を得ることが可能とされている。
- IEAのEnergy Technology Perspectives 2012では、風力発電技術の開発・普及により、2050年に世界全体で約30億トンのCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルがあると試算。

#### 我が国の技術開発の動向・課題

- 経済産業省は千葉県銚子市沖及び福岡県北九州市沖で着床式風力発電の実証事業を行うとともに、国際的な洋上風力発電の需要拡大を見越して超大型風力発電機の実用化を目指している。また、風力発電機の設備稼働率を向上させるため部品・コンポーネントの高度化にも取り組んでいる。
- 経済産業省及び環境省は、浮体式洋上風力発電について、2015年度までに、実証試験を通じて、技術課題の克服と安全性・信頼性・経済性の評価、気象条件への適応、環境アセスメント手法の確立等を行うこととしている。
- 国土交通省は浮体式洋上風力発電の安全ガイドラインの取りまとめに向けた技術的検討、及び国際電気標準会議(IEC)の国際標準化作業に戦略的な対応を行っている。
- 風力発電を系統連系する上では、より高精度な発電量予測技術等の確立に加え、送電網の整備、蓄電池システムの低コスト化・高度化等も重要。

#### 技術ロードマップ



#### 国際動向

##### 普及の現状

○世界全体で見ると、2011年末の累積導入量は237,669MWで、国別に見ると中国の62,364MW、米国の46,616MW、ドイツの29,060MWの順となっている。2011年中の新規導入量は40,564MWとなっており、国別で見ると中国の新規導入量が最も多く、17,631MWとなっている。次いで多いのが米国6,810MW、その次がインドの3,019MWである。

##### 技術開発の動向

○米国では2006年から2012年までに洋上風力発電関連プロジェクトに3億870万ドルを投じている。重点的な技術開発分野としては、試験設備や次世代タービン技術、浮体基礎技術、モデリング・シミュレーションツール、風力発電システムの最適化、市場加速

化・普及、資源の特性解析、市場加速化及び障壁除去、そしてシステム計画・運用等が挙げられる。

○EUでは、タービンの大型化や材料使用量の削減、洋上大型風車作業船の改良が実施されている。第7次研究枠組計画(FP7)の中では、浮体式洋上風力発電や、空中風力発電等の新たなコンセプトの実用化が行われている。

##### 我が国の国際競争力

○陸上風車の高効率化、着床式及び浮体式洋上風力発電の実証研究に取り組んでいる。



## 4. 太陽エネルギー利用(太陽光発電)

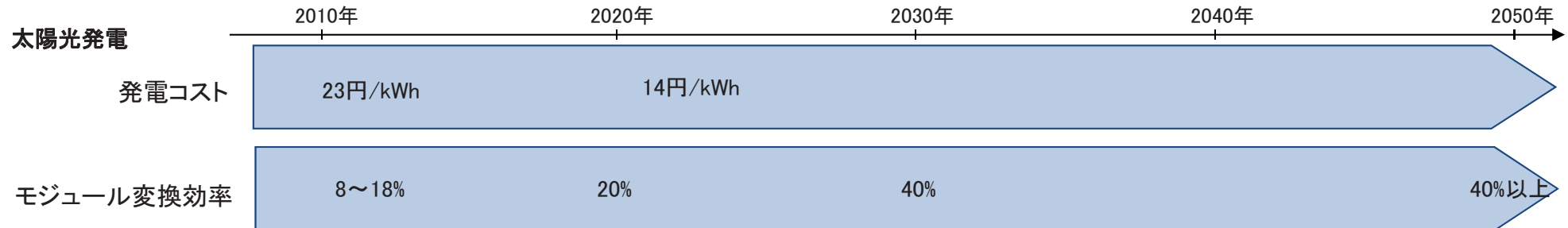
### 技術の概要

- 太陽光発電技術は、シリコン系、化合物系、有機系に大別され、現在はシリコン系が導入量の多くを占めている。化合物系や有機系の太陽電池は、シリコン代替材料の使用等により、更なる低コスト化が期待できる。
- 要素技術として、結晶シリコン、化合物系では材料使用量の削減や低コスト電極材等を開発。薄膜シリコンでは、光劣化抑止技術や大面積製造技術等を開発。有機系では高効率増感色素・有機半導体や封止技術等を開発。
- 将来想定される系統への過大な負荷を低減するため、蓄電機能と組み合わせることで出力を安定化させた太陽光発電システムの実現、地域全体での電力需給調整機能との融合が必要。
- IEAのEnergy Technology Perspectives 2012では、太陽光発電技術の開発・普及により、2050年に約17億トンのCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルがあると試算。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 経済産業省では、以下の技術開発を行っている。
  - 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発：結晶シリコンをはじめ各種太陽電池の高効率化・低コスト化技術の開発と評価技術等の共通基盤技術の開発
  - 革新的太陽光発電技術研究開発：新材料・新構造等を利用して「変換効率40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み(7円/kWh)」の達成へのアプローチを探索
  - 有機系太陽電池実用化先導技術開発：有機系太陽電池を使用した太陽光発電システムの設計・試作・実証
- 文部科学省では、ナノワイヤーと高品質シリコンを組み合わせることにより、シリコンを用いた太陽電池では未踏の変換効率を持つ超高効率太陽電池に関する研究開発等を推進。
- 結晶シリコン、化合物系は、製造コスト低減が主な課題。薄膜シリコンは、大幅な変換効率向上と製造コスト低減が課題。有機系は、大幅な変換効率向上と信頼性向上が課題。

### 技術ロードマップ



### 国際動向

#### 普及の現状

- 世界全体の2012年末の累積導入量は96.5GWで、2012年中の新規導入量は28.4GWとなっている。
- 米国の2012年末の累積導入量は7.2GWとなっていて、EU域内の2012年末の設備容量は68.5GWである。EUの導入量を国別で見ると、上位はドイツ32.4GW、イタリア16.3GW、スペイン5.1GWとなっており、上位2国が突出している。
- 宇宙太陽光発電は現在研究開発段階である。

#### 技術開発の動向

- 米国ではエネルギー省が中心となり、結晶シリコン太陽電池については省材料化、超薄型結晶シリコン光吸収層の開発等の研究開発を実施しており、薄膜太陽電池についてCdTeやアモルファスシリコン等の開発を行っている。また、化合物結晶系太陽電池(III

~V族化合物系)や有機系太陽電池の研究も推進している。

- EUでは太陽光発電システム製造における生産性とコストの最適化やナノ構造材料の開発(スケールアップ及び低価格・高効率カルコゲナイド系太陽光発電のプロセス)、建材一体型コンポーネントの標準化等を重点課題として研究開発に取り組んでいる。

#### 我が国の国際競争力

- 我が国は太陽光発電の技術開発及びその導入量・生産量において長らく世界一を誇っていたが、欧州を中心に行われている導入普及政策により、主要導入国は欧州、主要生産国はコスト競争力を有する中国や台湾へと移っている。
- このため、我が国が世界最高水準の変換効率を誇る多接合太陽電池や高付加価値有機系太陽電池の実用化を進めるとともに、結晶・薄膜シリコン太陽電池や化合物系薄膜太陽電池の更なる高効率化・低コスト化を実現する技術開発を行っている。

## 5. 太陽エネルギー利用(太陽熱利用)

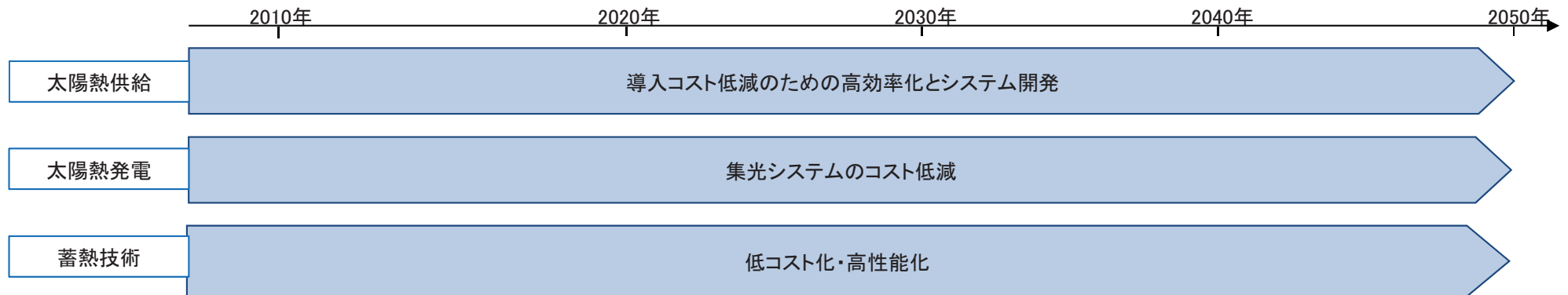
### 技術の概要

- 太陽熱利用技術としては、熱供給システムと発電技術とがある。熱供給システムとしては、給湯システムやヒートポンプ等を用いた冷暖房システムがある。太陽熱発電技術は、太陽光を集光して高温とし、蒸気等を発生させて発電する技術。
- 住宅用や工業用の低温から高温まで多様な熱利用とのインテグレーションが最重要である。また、発電については、パラボラ・トラフ型、リニア・フレネル型、タワー型、パラボラ・ディッシュ型等の集光・集熱技術があるほか、蒸気タービンだけではなくガスタービンさらには熱電変換の利用なども考えられる。
- IEAのEnergy Technology Perspectives 2012によると、技術の開発・普及による世界全体でのCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルは、2050年に、太陽熱発電で約17億トン、太陽熱利用で約3億トンと試算。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 太陽熱冷暖房システムについては技術的にはほぼ確立されているが、経済的制約により導入が進んでおらず、導入コスト低減のための高効率化とシステム開発が必要。
- 太陽熱発電については、リニア・フレネル型、タワー型等の集光システムについて低コスト化等に関する技術開発が行われている。また、中東で実証プラントの建設が行われている。
- 蓄熱技術は硝酸塩系溶融塩を用いるタイプが主流であるが、低コスト化と高性能化が課題となっている。

### 技術ロードマップ



(※関連技術ロードマップ: 32. 蓄熱・断熱等技術)

### 国際動向

#### 普及の現状

- 太陽熱利用機器の導入実績は、約18GW(2007年、単年)であり、特に中国における伸びが大きい。
- 太陽熱発電の導入量は、約2.7GW(2012年、累積)であり、スペインが大部分を占める。これはフィードインタリフの効果であるが、2012年に新規プラントについてはフィードインタリフがキャンセルされたため、同国の新規プラントの建設は今後急減すると思われる。
- 現時点で最も活発に太陽熱発電プラント建設が進んでいるのが米国であり、337MWのタワー型プラントや250MWのトラフ型プラントなど大型プラントの建設が進んでいる。その他、中東北アフリカ(MENA)や南アフリカなど新規に導入が進む地域も拡大している。

#### 技術開発の動向

- 太陽熱発電の分野では、主に米国、スペイン、ドイツ、イタリア、イスラエルで技術開発が行われている。現在、パラボラ・トラフ型の研究・開発が行われているのは主にスペイン、ドイツ、イタリアで、技術としては成熟期を迎えコストダウンのフェーズに入っている。リニア・フレネル型はドイツが中心となり開発されている。タワー型はスペインと米国が中心で、今後コストダウンを進めるための高温運転化(超臨界条件)とそれに関連するレシーバの低コスト化・高性能化に向けた研究開発が進むことが見込まれる。

#### 我が国の国際競争力

- 太陽熱供給システムの技術についてはほぼ確立されている。太陽熱発電について、日本は集光・集熱技術の蓄積には乏しいが、蒸気タービン、制御技術や各種の部品製造技術等については世界の最先端のレベルにあるものが多い。

## 6. 海洋エネルギー利用

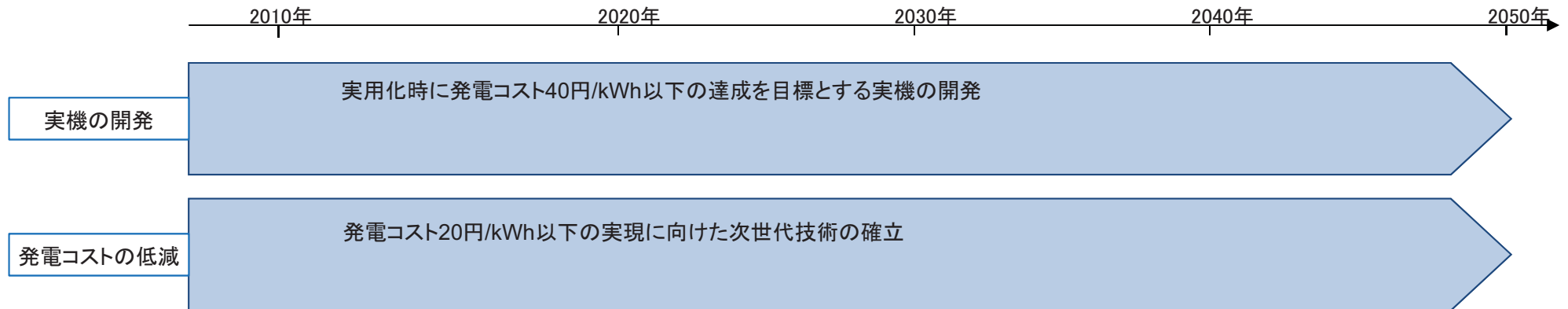
### 技術の概要

- 海洋エネルギー発電は、波力や潮力、潮汐、海洋温度差から得られたエネルギーによってタービンを回転させることにより発電する発電方法。現時点ではそれぞれの開発・実証が同時並行的に進められている。
- 太陽光発電や風力発電と比較すると、潮力発電等は短周期での出力変動が少ないというメリットがあり、海洋に囲まれた我が国においては相当のポテンシャルを持つ。低コスト化等の課題を解決できれば、将来的に大きな温室効果ガス削減効果を持つ。
- IEAのWEO2012の「現行政策シナリオ」における世界全体での導入見込み量は、2035年時点で8GW、32TWhとなっている。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 経済産業省では、波力や潮力等の海洋エネルギーを利用した発電技術の開発・実証研究を行っている。
- 港湾空港技術研究所では、波力等を利用した発電技術の開発研究を実施してきている。
- 技術課題としては、発電コストの低減(発電効率の向上、設置コストの低減等)、耐久性の向上(海洋環境への対応、機器に係る負荷の緩和等)、信頼性の向上等がある。

### 技術ロードマップ



### 国際動向

#### 普及の現状

- 世界全体での2010年の導入量は526MW(波力:3.2MW、潮汐:518MW、潮力:5.2MW、海洋温度差:0.3MW)で、潮汐以外の導入量の大半は実証設備である。
- EUでは、波力や潮力を利用した海洋エネルギー発電の商業化に積極的に取り組んでおり、2008年から実験・実証設備が稼働している。また、米国でも、2011年より波力発電150kW、潮力発電60kWの実証を開始しており、現在はより規模の大きな実証を行うためのプラットフォームの建設を進めている。
- 潮汐発電については、その仕組みが水力発電と似通っていることもあり、1980年代より商業プラントの建設が開始され、フランスや中国、韓国で導入が進んでいる。

#### 技術開発の現状

- 米国エネルギー省は、2008～2012年にかけて、海洋・流体動学関連分野へ総額1億3

- 千万ドルの研究資金を投入し、試験設備の建設や波力エネルギー採取の最適化、各部材の設計・開発、海洋温度差エネルギー変換システムの開発を実施。
- EUは、スコットランドに大規模な共同実験場を整備し、送電設備の共通化を進める等の支援を行っている。波力や潮力発電については、EU内では既の実証が進んでおり、大規模な商業設備の建設に向けて、設計や認可プロセスを進めている。

#### 国際競争力

- 我が国においては、様々な海洋エネルギー発電の研究開発や実証が行われている段階。

## 7. 地熱発電

### 技術の概要

- 地熱発電は、火山地帯等の地中に存在する高温の蒸気を用いて、タービンを回し電力を得る発電方式。地熱発電には、従来型の蒸気を使ったフラッシュ式の他に、比較的低温の熱水等を用いて発電を行うバイナリー発電も近年導入されている。
- 地熱発電は太陽光や風力と異なり気候や天候に出力が左右されず、設備利用率が約70%と高い安定電源であり、再生可能エネルギーの中では比較的発電コストが低く、発電時のCO<sub>2</sub>排出量はほぼゼロである等のメリットがある。また、我が国には世界第3位の地熱資源ポテンシャル(約2340万kW)があるとされている。
- IEAのEnergy Technology Perspectives 2012では、地熱利用技術の開発・普及により、2050年に世界全体で約5億トンのCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルがあると試算。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 経済産業省では、地熱探査技術の開発や高効率地熱発電システムの開発を行っている。
- 環境省では、温泉バイナリー発電の高効率化・低沸点新媒体の実証、自然共生型の傾斜掘削技術の高度化等を行っている。
- フラッシュ式の地熱発電の普及に向けた技術的課題としては掘削コスト等の低コスト化が重要であり、地熱探査技術の向上、スケール対策および高効率化が必要。
- 地下に存在している地熱貯留層を正確に評価し、適切に管理・活用することで、安定的な電力供給に資する技術開発も重要である。また、各地に分散する現在未利用の低温地熱資源の有効活用に適し、地域共生が可能なバイナリー発電の利用拡大に向け高効率化や新たな低沸点媒体等に関する研究が必要。
- 温泉バイナリー発電の利用効率向上と合わせて媒体の安全性検証等に関する実証、自然環境への悪影響の回避・最小化を図る掘削技術の開発等が必要。

### 技術ロードマップ

2010年                      2015年    2030年    2050年

#### 高性能な発電システムの開発

高効率地熱発電システムの開発  
低温域での発電実証・高効率化  
新たな媒体の技術実証

#### 地熱資源の 探査技術、評価・管理・活用技術

高度化のための技術開発  
掘削コストの低減

高温岩体発電

### 国際動向

#### 普及の現状

- 2010年時点での世界全体での設備導入量は10,716MWで、発電量は68TWhとなっている。2000年から2010年までの発電量の年平均増加率は3%に達している。
- 米国の導入済みの発電設備容量は3,000MWで、その多くはカリフォルニア州に集中している。EU全体での導入量は1.5GWで、イタリアとアイスランドが多くを占めている。

#### 技術開発の動向

- 米国では、高温岩体発電を含む高度地熱発電システムや、熱水系資源の検証、低温資源の活用、地熱発電のシステム分析を重点課題として技術開発が進められている。また、2025年に向けた開発計画においては、低リスクな適地の選定・評価技術の開発や低コストかつ高効率な掘削・仕上技術の開発等の分野の研究開発に取り組むこととしている。

- EUでは、フランスにおける100kWクラスの高温岩体発電のパイロットプラントに対する助成や、地震誘発の調査での高温岩体発電のコンセプトの改良が行われている。また、欧州地熱エネルギー協会(EGEC)の技術ロードマップの中では、2020年に向けた技術開発テーマとして、発電効率の改善や、高温岩体発電の実証、熱源の探査手法や掘削技術の改良を、2020年以降に向けた重点課題としては、大深度の熱源・貯留層の探査手法の実用化、地下流体シミュレーションの開発等が挙げられている。

#### 我が国の国際競争力

- フラッシュ式のタービンでは、発電装置のシェア、技術とも日本の大手3社が圧倒しており、発展途上国における地熱発電の開発にも主導的な役割を担っている。
- 地上設備や探査技術では、アメリカ、ニュージーランド、イタリアが横並びとなっているが、日本企業の方が複雑な地層における探査のノウハウを有している。

## 8. バイオマス利活用

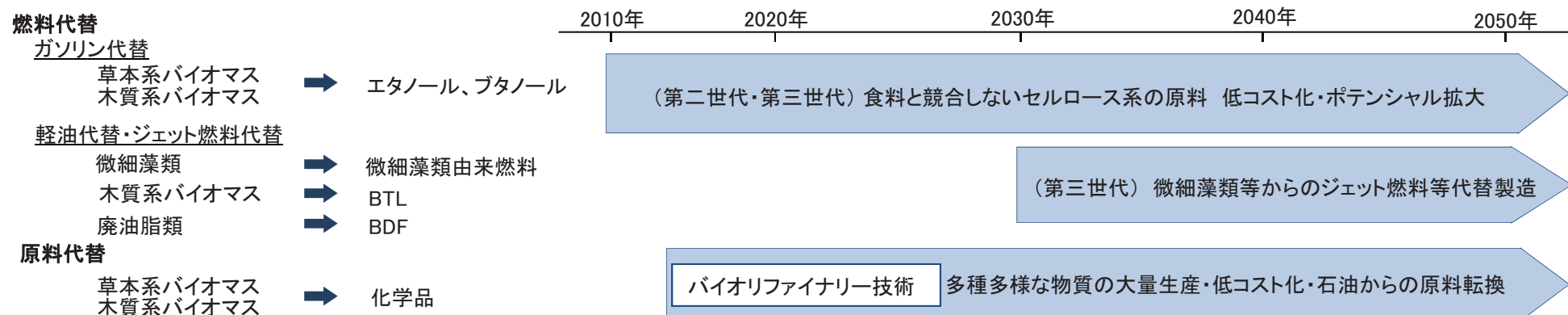
### 技術の概要

- サトウキビ等を原料とする第一世代バイオ燃料は原料調達における食料との競合等が指摘されており、非食用植物や非可食バイオマスから生産される持続可能な第二世代バイオ燃料としてセルロース系バイオエタノールやBTL(Biomass To Liquid)、第三世代バイオ燃料として微細藻類の原料利用の実用化や航空機用燃料にも利用可能な水素化バイオ軽油等の新たな変換技術に向けた取組が各国で行われている。
- IEAは、Energy Technology Perspectives 2012において、バイオマス燃料による発電・輸送技術の開発・普及により、2050年に世界全体で約33億トンのCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルを試算。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 経済産業省や農林水産省では、第二世代セルロース系バイオエタノールを高効率・低コストで生産する技術や、ガス化、BTLの技術開発、微細藻類バイオ燃料等の次世代技術の研究開発を行うとともに、非可食性バイオマス原料から基幹化学品を、化学触媒等により直接製造する革新的なプロセスの開発等を進めている。
- 環境省では、廃棄物からのエタノール生産技術の実用化やバイオディーゼル燃料の高度化に向けた技術実証等を行っている。
- バイオエタノールは、食料競合の克服、原料コスト・燃料転換コスト低減が重要。農業残渣等の前処理・糖化技術や食糧生産不適地で栽培可能な資源作物の開発が課題。微細藻類バイオ燃料については、培養技術の確立等が課題。非可食性バイオマス原料については、製造コストの低減及び高付加価値化・高機能性付与が課題。また、バイオマス原料の収集・輸送の高効率システム化も課題。

### 技術ロードマップ



### 国際動向

#### 普及の現状

- 我が国のバイオエタノールの消費量は2011年度で35万kL(原油換算21万kL)。
- 米国では自動車用燃料としてバイオ燃料の一定量の導入を義務づける「再生可能燃料基準(RFS2)」を導入。導入比率を2022年までに段階的に引き上げることとしている。2010年のエタノール生産量は5,280万kL、バイオディーゼル生産量は370万kL。
- EUは自動車用燃料における再生可能燃料の比率を2020年までに10%に引き上げることとしており、2010年のエタノール生産量は427万kL、バイオディーゼル生産量は970万kL。同年のエタノール消費量は590万kL、バイオディーゼル消費量は1,270万kL。

#### 技術開発の動向

- 米国はエネルギー省傘下のエネルギー高等研究計画局(ARPA-E)で、エネルギー生産性向上を図る技術開発を公募・採択。エネルギー自給・安全保障法に基づくRFS2の目標達成に向け、国内バイオエネルギー産業の育成支援を目的とした研究開発を推進。
- EUでは、「欧州インテリジェントエネルギー計画」の一環として、地域でのバイオ燃料サプライチェーンの構築促進を目的とする地域実証プロジェクトを実施。
- 我が国の国際競争力**
- 我が国では食料と競合しない原料を活用したバイオ燃料の製造技術開発を行っており、実用化を目指している。

## 9. 原子力発電

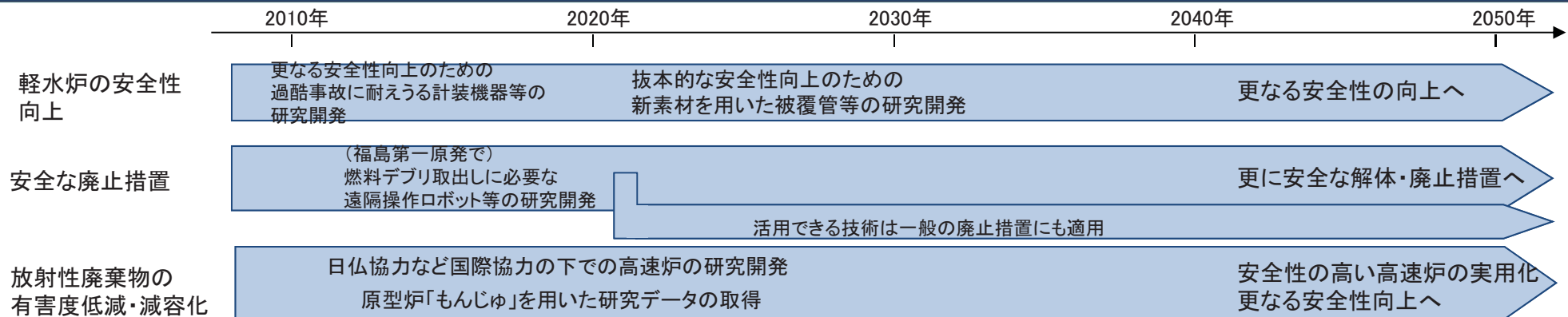
### 技術の概要

- 原子力発電技術のうち原子炉の種類としては、実用化されている軽水炉や、実用化目前に迫っている中小型炉、研究開発が進む高速炉、初期の研究段階である高温ガス炉などがある。
- ウラン資源の有効活用と放射性廃棄物の減容化・有害度低減を目指した核燃料サイクルは、原子力発電所の使用済燃料を再処理し、取り出したウランとプルトニウムを再利用するものである。
- 「原子力エネルギーの展望」(OECD/NEA, 2010年11月)によれば、「同じ電力量を石炭を用いた火力発電で供給した場合に比較すると、原子力発電の利用によりCO<sub>2</sub>排出量を年間で最高29億トン低減可能である。」とされている。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 軽水炉の研究開発については、東京電力福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、廃止措置に向けた研究開発や原子力発電所の安全対策高度化に資する技術開発に重点化して実施している。
- 放射性廃棄物の処理技術に係る研究開発は、原子力政策の方向性にかかわらず、重要な課題となっている。
- 廃棄物の減容や有害度低減等が可能である高速炉については、国際協力のもと、研究開発が進んでいる。
- 高速炉の原型炉である「もんじゅ」については、装置トラブルの発生や東電福島第一原発事故を受けて原子力政策が見直し中であること等を踏まえ、運転停止中。現在、「もんじゅ」の運転管理体制の在り方を含めた独立行政法人日本原子力研究開発機構の抜本的な改革案を検討している。

### 技術ロードマップ



○原子力発電所の安全確保や廃止措置に向けた専門性の高い人材の育成と、育成された人材による技術開発の推進

### 国際動向

#### 普及の現状

○原子力発電による2009年の世界の発電構成のシェアは13%であり、「世界の原子力発電開発の動向 2013」(日本原子力産業協会, 2013年5月)によれば、世界で稼働している原発は2013年1月1日現在で30カ国で429基となっている。また、世界17カ国で76基の建設が進んでいる。

#### 技術開発の動向

- アメリカでは、政府機関等によりプラントレベルでの安全解析コードの開発や事故耐久性の高い先進燃料の研究開発、先進的な計装・制御システムの開発・実証等が進められている。また、産業界において、柔軟性と多様性を備えた事故緩和戦略が提案され、対策が実施されている。
- フランスでは、自然事象リスクの知見向上や地震時の構造物挙動モデルの検証、安全上重要な機器の経年劣化メカニズムの把握、事故時を想定した防護システム等の健全性把握等の研究が実施されている。
- アメリカやドイツをはじめとして、商業用原子力発電所の廃止措置が進められている国等におい

ては、事業者等において、作業者の被ばく低減や発生する廃棄物の削減等に向けた取組が行われている。

- ウランの有効活用と放射性廃棄物の減容化・有害度低減を目的として、東京電力福島第一原子力発電所の事故後もフランス、ロシア、中国等の主要国で高速炉開発は継続中。今後開発される高速炉では、事故を踏まえた高い安全性を確保することが求められる。高速炉の安全性については、国際協力枠組みの下、第4世代原子力システム国際フォーラムにおいて、日本を中心に高速炉の安全設計要件が2013年5月に取りまとめられた。

#### 我が国の国際競争力

- 東京電力福島第一原子力発電所の事故後も世界の原発計画は拡大すると考えられており、事故後も、我が国の原子力技術に対しては、トルコ・サウジ等中東諸国やポーランド・チェコ等東欧諸国のほか、インド、ブラジル等の多くの国々から強い期待が表明されている。

## 10. 二酸化炭素回収・貯留(CCS)

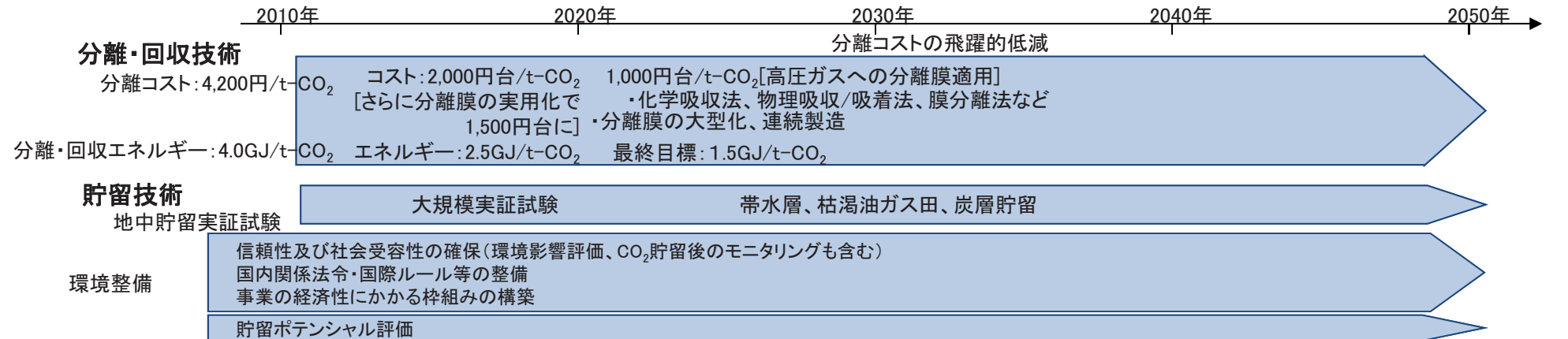
### 技術の概要

- 二酸化炭素回収・貯留(CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage)は、火力発電等の大規模排出源の排ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収し、それを地中または海洋に長期間にわたり貯留または隔離することにより、大気中へのCO<sub>2</sub>放出を抑制し、世界のCO<sub>2</sub>排出大幅削減に貢献する技術。
- CCSは、分離・回収、輸送、圧入及び貯留という4つの機能から構成され、技術開発の中核となるのは、分離・回収技術と貯留技術。
- 分離・回収には、化学吸収法、物理吸収法、膜分離法、物理吸着法及び深冷分離法がある。貯留には地中貯留と海洋隔離があり、地中貯留には、帯水層貯留、石油・ガス増進回収、枯渇油・ガス層貯留及び炭層固定がある。
- IEAのEnergy Technology Perspectives 2012では、CCS技術の開発・普及により、2050年に、世界全体で約71億トンのCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルを試算。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 我が国では、化学吸収液をベースにした新規固体吸収材の開発や化学吸収法のプロセスシミュレーション技術の高度化、地質実情に適した安全性評価技術の確立に関する研究開発等を行っている。
- 炭素隔離リーダーシップフォーラム(CSLF)における技術連携や、海外の大型プロジェクトへの参加等、国際連携も推進している。
- CCSの実施に係るコストは、回収、圧縮、輸送、圧入すべてに係るコストを計算すると、二酸化炭素1トンあたり3,000～7,000円。また、分離・回収エネルギーの現状は4.0GJ/t-CO<sub>2</sub>。今後、全コストの約6割を占めるCO<sub>2</sub>分離・回収技術の低コスト化、低エネルギー化が課題。また、火力発電システムとCO<sub>2</sub>分離・回収技術とのインターフェース確保や、高圧下でのCO<sub>2</sub>分離・回収に有利な膜分離材料の開発も重要。
- CCSの実用化にあたっては、貯留地点(候補地点を含む)と貯留可能量の適切な把握・評価方法や、輸送方法・ルート確立、貯留層へ注入したCO<sub>2</sub>の地中での移動挙動の検討、国際標準化や関連条約への適切な対応等が課題。

### 技術ロードマップ



(※関連技術ロードマップ: 26. 環境調和型製鉄プロセス)

### 国際動向

#### 普及の現状

- 米国内では数ヶ所で商業プロジェクトや実証事業が継続中で、向こう数年間で10ヶ所程度の大規模実証、商業化事業が実施される予定となっている。
- 欧州内ではノルウェー、英国、オランダ、スペイン等がCCSに積極的に取り組んでいるが、発電を対象とした大規模実証プロジェクトは、予想より停滞している。
- カナダや豪州、中国でも計画・実施されており、世界の大規模プロジェクトの開発状況は、計画中のものも含めて計72件となっている。
- 回収されたCO<sub>2</sub>はEORIで使用されているものが多い。

#### 技術開発の動向

- 米国エネルギー省の炭素貯留プログラムでは、米国再生・再投資法(ARRA)を用いて過去数年間は平均約1.5億ドルの研究開発資金を拠出している。また、エネルギー先端研究局(ARPA-E)

の公募型研究でも、関連研究分野が数件採択されている。DOEプログラムでは、CO<sub>2</sub>の炭化水素への変換、ケミカル合成等の研究が進められている。民間企業で、大気中CO<sub>2</sub>回収(ジオエンジニアリング)の研究も行われている。

- EUでは、第7次研究枠組計画(FP7)の公募型研究の一環として、地中貯留CO<sub>2</sub>の長期変動の予測及びモニタリング等に対する研究開発補助が実施されている。

#### 我が国の国際競争力

- 我が国ではCCSの中核となる低コスト・低エネルギーのCO<sub>2</sub>回収技術について、エネルギー効率の高い吸収液が開発されるなど、優れた技術を有している。
- 地中貯留に関しては、一般に日本の地層は構造的に複雑であるため、地域特性に合わせた探査技術やノウハウを蓄積している。

# 11. 人工光合成

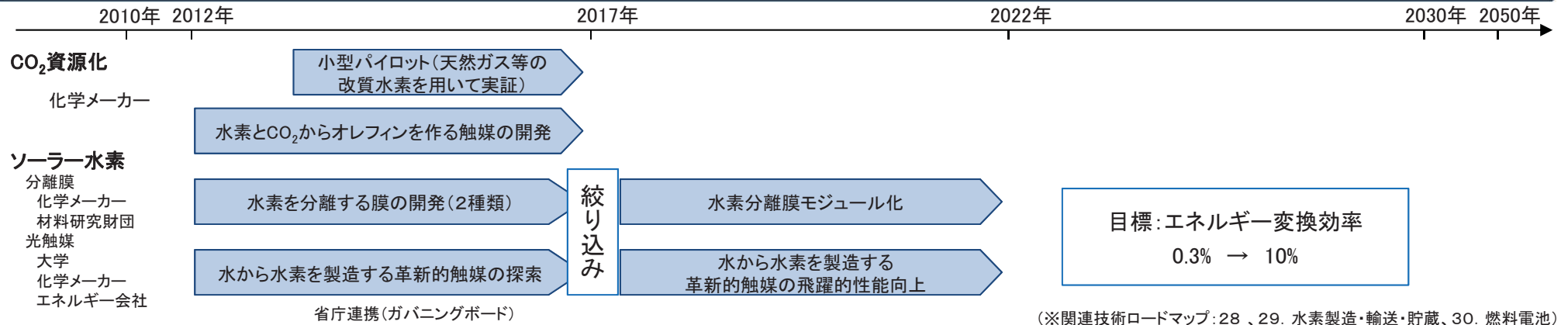
## 技術の概要

- 化学品製造に必要な原料(化石資源)は、限られた産出国からの輸入に頼らざるを得ない状況にあり、将来にわたって安定的に化学品が製造できるか危惧されている。また、化石資源を大量に消費することに伴い、大量のCO<sub>2</sub>を排出している状況。
- そこで、我が国が国際的に強みを有し、化石資源からの脱却や低炭素社会の実現のためのキーテクノロジーである触媒技術の活用により“化学品原料の多様化”を図り、資源問題・環境問題を同時に解決することが期待されており、その一つが人工光合成である。
- 人工光合成とは、太陽光のエネルギーを使って水から水素と酸素を製造し、製造した水素と二酸化炭素から有機物を触媒技術を用いて工業的に製造する技術等のことである。水とCO<sub>2</sub>から直接有機物を作る技術についても基礎研究が進められている。
- CO<sub>2</sub>の固定化によるCO<sub>2</sub>削減効果と、得られる有機物を製造する際に必要とされるエネルギーの削減によるCO<sub>2</sub>削減効果が期待される。

## 我が国の技術開発の動向・課題

- 経済産業省の事業として、2012年に「人工光合成化学プロセス技術研究組合(略称:ARPChem、アープケム)」が設立され、二酸化炭素と水を原料に太陽エネルギーでプラスチック原料等基幹化学品を製造する革新的触媒の開発やプロセス基盤の確立等に関する技術開発を開始した。この中では、光触媒による水の分解で水素と酸素を製造し、分離膜を用いて水素を安全に分離した後、合成触媒を用いてオレフィン類を生産する技術開発を実施。
- ARPChemは研究目標として、2016年度に小型パイロット規模のオレフィン合成プロセスを確立し、2021年度に光触媒のエネルギー変換効率10%を達成すること掲げており、可視光領域で効率的に水素を作る光触媒の開発等が主要な課題。
- 文部科学省では「元素戦略プロジェクト」において、固体及び気体/液体との間での元素の複雑系反応を基礎科学と実験化学の緊密な連携を通じて解明することにより、希少金属を用いない人工光合成技術に資する代替材料開発を実施。

## 技術ロードマップ



## 国際動向

### 普及の現状

○現在基礎研究の段階であり、実験室レベルの開発フェーズに留まっている。

### 技術開発の動向

○米国エネルギー省は、カリフォルニア工科大学が先導する「太陽エネルギー燃料イノベーション・ハブ」の構築に対して1億2200万ドルの助成を行っており、太陽エネルギーを化学燃料に変換する技術の商業利用化を目標としている。プロジェクトの内容としては、光吸収体、触媒、分子リンカー、分離膜等の技術を用いて、太陽光を燃料に変える方法を見つけ出し、将来的に自動車燃料として使用できるようにすることを目指している。また同省は2011年に設立した人工光合成ジョイントセンター(JCAP: Joint

Center for Artificial Photosynthesis)においても、人工光合成の高効率変換技術の開発を実施しており、既存輸送燃料の代替燃料の実現を目指している。JCAPは10年以内に自然界の光合成の10倍の効率を達成することを目標としており、この目標を実現するために必要な要素技術の抽出と開発に取り組んでいる。

○EUでは第7次研究枠組計画(FP7)の公募型研究の中で、人工光合成を使ってCO<sub>2</sub>から水素等の液体燃料を生成する研究が複数採択されており、この中では光触媒の素材の開発や、レドックス活性錯体に関する基礎研究が実施されている。

### 国際競争力

○我が国は人工光合成の核となる光触媒技術で世界をリードしており、セラミック分離膜や合成触媒等についてもトップレベルの技術力を誇っている。