

# 次世代火力発電に係る技術ロードマップ案

次世代火力発電の早期実現に向けた協議会

平成 2 8 年 5 月

# 目次

1. はじめに
2. 検討の背景
3. 次世代火力発電技術開発の加速化と技術ロードマップ策定の必要性
4. 次世代火力発電技術の対象と早期確立、実用化に向けた基本方針
5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針
6. 2030年度以降を見据えた取組に係る技術に関する方針
7. 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表
8. 個別技術の開発方針 -2030年度に向けた取組の中心となる技術-
8. 個別技術の開発方針 -2030年度以降を見据えた取組に係る技術-
9. 次世代火力発電技術の早期の技術確立、実用化に向けた取組
  - 9 - (1). 技術開発の推進体制の強化に関する取組
  - 9 - (2). 次世代技術の早期導入・普及に関する取組
10. おわりに（今後追記）

# 1. はじめに

- 昨年（平成27年）7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、火力発電について、石炭火力発電、LNG火力発電それぞれ高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとされた。
- 火力発電の高効率化を進めるためには、IGFC（石炭ガス化燃料電池複合発電）や、GTFC（ガスタービン燃料電池複合発電）等、発電効率を飛躍的に向上させる次世代技術を早期に技術確立し、実用化を図ることが重要である。
- こうした観点から、昨年6月、産学官の有識者からなる「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」（以下「協議会」。）を設置し、次世代火力発電技術を早期に技術確立・実用化するための方策について4回にわたる議論を行った結果、同年7月、「次世代火力発電に係る技術ロードマップ（中間とりまとめ）」を取りまとめた。
- その後、昨年12月のCOP21におけるパリ協定の採択など、国内外のエネルギー、温暖化対策を巡る議論は大きく進展したが、その中では改めて次世代の火力発電技術の開発を進めるべきことが再確認されている。
- 今回、昨年7月以降の動きを踏まえつつ、協議会において改めて議論を行い、その成果を踏まえて「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」の最終案を策定することとする。

## 2. 検討の背景①

### (1) 長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）と削減目標の決定

#### ① エネルギーミックスの基本方針は3E+Sの同時達成

平成27年7月に策定された長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）の基本方針は3E+S(安全性、安定供給、経済効率性、環境適合)を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現するというもの。

#### ② 2030年度の構成は石炭26%、LNG27% 高効率化を進め環境負荷を低減しつつ活用する方針

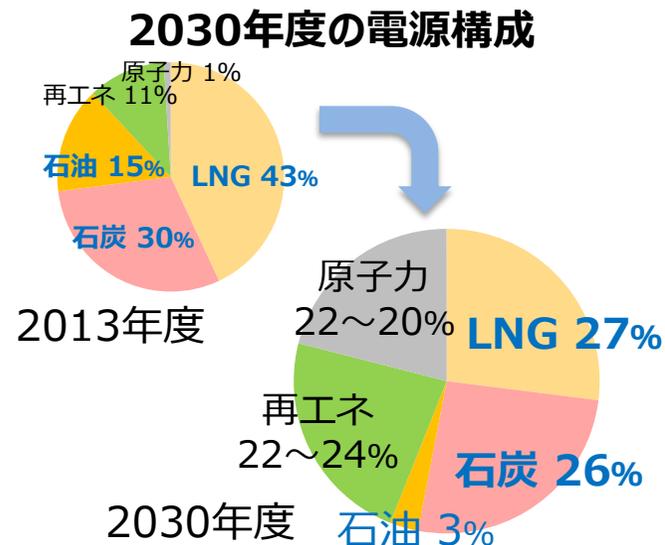
CO<sub>2</sub>排出量と燃料費を抑制する観点から、2030年度の火力発電の構成については、石炭火力26%、LNG火力27%とされ、それぞれ高効率化を進め、環境負荷を低減しつつ活用する方針が示された。

火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用とあわせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置付けられている。

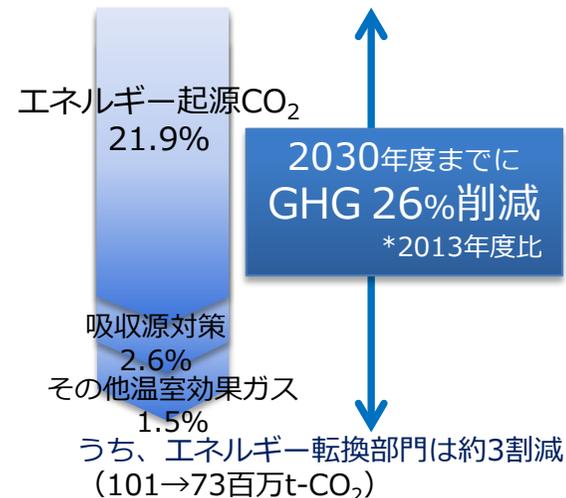
本エネルギーミックスと整合的なものとして、2030年度に2013年度比で温室効果ガスを26%削減するという削減目標が決定された。

#### ③ 2030年度以降を見据えた取組として、 CO<sub>2</sub>回収貯留及び利用に関する技術の開発・利用も推進

また、2030年度以降を見据えた取組としてCO<sub>2</sub>の回収貯留及び利用に関する技術を始めとする新たな技術の開発・利用も推進していくこととされた。



#### 温室効果ガス(GHG)の削減目標



## 2. 検討の背景②

### (2) COP21 における「パリ協定」の採択

#### ● 温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして「パリ協定」が採択。

昨年（平成27年）11月30日から12月13日までフランス・パリにおいて開催されたCOP21では、京都議定書に代わる温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして「パリ協定」が採択され、主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新すること、その実施状況を報告し、レビューを受けること等が合意された。

また世界共通の長期目標として、気温上昇を2℃より十分低く保持すること、1.5℃に抑える努力を追求することにも言及された。

我が国は、昨年7月に、2030年度に温室効果ガスを26%削減する約束草案を国連気候変動枠組条約事務局に提出しており、COP21において、その着実な実施を表明した。

#### <パリ協定のポイント>

- ✓ 主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新、その実施状況を報告し、レビューを受けるものとする。
- ✓ 我が国提案の二国間クレジット制度（JCM）も含めた、市場メカニズムの活用を位置づけ。
- ✓ 先進国が資金の提供を継続するだけでなく、途上国も自主的に資金を提供。
- ✓ 5年ごとに世界全体の進捗状況を把握する仕組み（グローバル・ストックテイク）を導入。
- ✓ 世界共通の長期目標として、2℃目標のみならず1.5℃へ向けた努力、可及的速やかな排出のピークアウト、今世紀後半における排出と吸収の均衡達成への取組※ に言及。
- ✓ 「長期低排出発展戦略」を作成、提出するよう努めるべきこと。
- ✓ イノベーションの重要性に言及し、技術及び資金メカニズムによる支援を位置づけた。
- ✓ 協定の発効要件に、国数（少なくとも55ヶ国）及び排出量（少なくとも55%）を用いる。

※先進国、途上国を問わず、特定年次に向けての世界の削減数値目標は合意されなかった。

## 2. 検討の背景③

### (3) エネルギー、気候変動対策に関する新たな戦略等の策定

#### ＜主に2030年度に向けた取組に関するもの＞

#### ① エネルギーミックス実現のための「エネルギー革新戦略」の策定

本年（平成28年）4月には、強い経済とCO<sub>2</sub>抑制の両立の実現を目指す観点から、エネルギーミックスの実現を図る「エネルギー革新戦略」が策定された。ここでは、昨年夏の本協議会の議論を受けて、次世代火力発電の技術開発の加速化がエネルギーミックス実現のための取組みとして盛り込まれたほか、ポスト2030年に向けた水素社会戦略の構築の一環として水素発電の本格導入に向けた取組みが盛り込まれた。

#### ② 温室効果ガス削減目標とパリ協定を踏まえた「地球温暖化対策計画」の閣議決定

本年5月には、温室効果ガス削減目標及びパリ協定を踏まえた「地球温暖化対策計画」が閣議決定された。同計画では、2030年度の2013年度比26%の温室効果ガス削減という中期目標の着実な達成に向けた取組と、長期的な目標を見据えた戦略的取組を進めていくという方向が打ち出され、前者の取組として、火力発電の高効率化も盛り込まれた。

#### ＜2030年度以降を見据えた、より長期的な取組を広く含むもの＞

#### ③ 革新的技術の開発強化に向けた「エネルギー・環境イノベーション戦略」の策定

本年4月には、2050年を見据え、地球温暖化対策と経済成長を両立させる鍵となるエネルギー・環境分野における革新的技術の開発強化を図るための「エネルギー・環境イノベーション戦略」が策定された。ここでは、長期的に研究開発を推進していく分野として1800℃級ガスタービン向け耐熱材料、CO<sub>2</sub>固定化・有効利用に関する技術も含まれた。

#### ④ 水素発電本格導入の方針を示した「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の改訂

本年3月には、平成26年6月にとりまとめられた「水素・燃料電池戦略ロードマップ」が改訂され、2030年頃に水素発電を本格導入するため、関連技術の開発実証を早期に進める方針が示された。

## 2. 検討の背景④

### (4) 世界の火力発電の需要の見通し

#### ① 石炭火力は欧米では減少、新興国では大幅に拡大

石炭火力の今後の需要の見通しについては、インド、中国、東南アジア諸国を中心として、経済発展とともに需要が拡大する見通しであり、欧米では、現在よりも減少する国が多い。

#### ② ガス火力は、先進国、新興国ともに需要が拡大

一方LNGを含むガス火力については、気候変動対策や近年のガス価格の下落傾向により、全世界的に増加する見通しとなっている。特に、産ガス国が多い中東、アフリカや欧米では大幅な需要拡大が見込まれる。

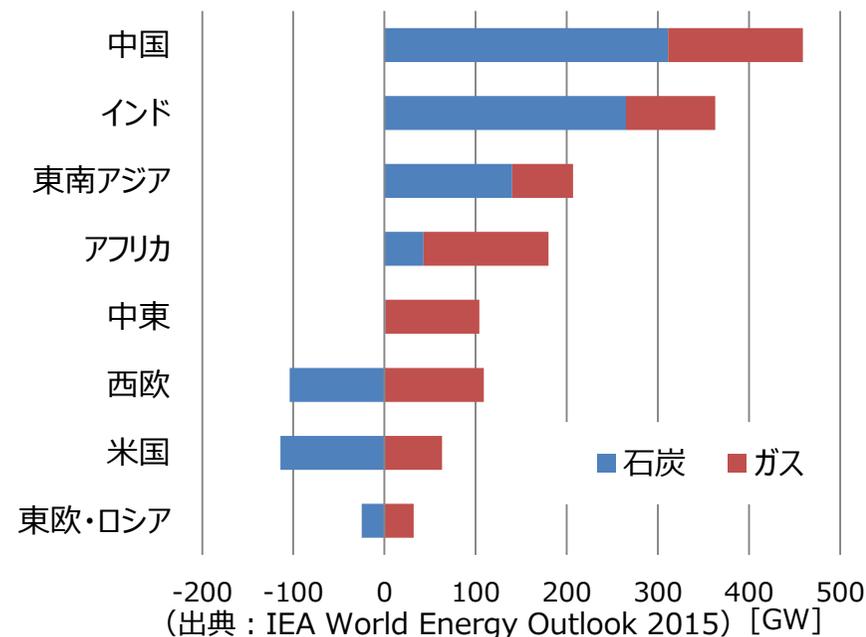
#### ③ 次世代火力技術は国際的な気候変動対策に貢献

アジア、アフリカ、中東等の新興国を中心に、今後、火力発電の需要は石炭火力、ガス火力それぞれの分野で大幅な拡大が見込まれている。

COP21で採択されたパリ協定を受けた対応を求められる中、石炭火力の高効率化やガス火力の推進など、各国はエネルギー・セキュリティや経済性等の固有事情に応じた取組みを進める見通し。

各国の事情に応じた適切な選択肢として、我が国の次世代火力発電技術の海外展開を促進することは、国際的な気候変動対策に対する貢献につながる。

主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増減見通し（2015-2040）



### 3. 次世代火力発電技術開発の加速化と技術ロードマップ策定の必要性①

#### ① 2030年度に向けた高効率化技術と、2030年度以降を見据えた革新的技術の開発は並行して進めていくことが重要

2030年度のエネルギーミックスの実現と削減目標の達成のためには、技術確立時期の近い、石炭火力、LNG火力のさらなる高効率化に係る技術開発を加速し、実用化を促進していくことが重要である。

その一方で、2030年度以降を見据えれば、経済成長と気候変動対策の両立の鍵となる革新的な技術を開発することも必要であり、技術確立までに長い時期を要することを踏まえ、現時点から戦略的に開発を進めていくことが必要である。

#### ② 石炭、LNG火力、CCUS、水素発電の技術開発は連携して進めていくことが効果的

これまでの火力発電に係る技術開発は個別の技術ごとに進められていたが、石炭火力、LNG火力の高効率化は共通する要素技術が多く、一体的に推進することが、それぞれの技術開発の効率化、加速化につながる。

また、CO<sub>2</sub>回収、利用（CCUS）に係る技術の中には、火力発電技術そのものと一体となって開発するものもあり、また水素発電技術もLNG火力技術をもとにした火力発電技術であるため、石炭火力やLNG火力の技術開発と連携して進めていくことが効果的である。

#### ③ 技術開発のロードマップの策定により複数分野の技術開発を効率的に進めることが可能に

このため、2030年度をターゲットにした石炭火力、LNG火力の新技术と、2030年度以降を見据えたCCUS、水素発電技術の4つの分野を統合した技術開発のロードマップを策定することで、それぞれの次世代火力発電技術の開発をより効率的かつ、スピード感を持って効率的に推進していくことが可能になると考えられる。

### 3. 次世代火力発電技術開発の加速化と技術ロードマップ策定の必要性②

#### ● ロードマップの策定により、目標の明確化と官民共有、リソースの最適化を図る

そのため、以下の3点を満たした、次世代火力発電に係る技術ロードマップを策定し、

- ① 2030年度のエネルギーミックスの実現に向けた技術、2030年度以降に向けた革新的技術として、どのような技術が候補となり、いつの時点で技術が確立するかの見通しを明らかにすること
- ② それぞれ技術について、官民一体で開発方針、目標時期を共有し、切れ目なく技術開発を実施すること
- ③ ロードマップに基づき、2030年度に向けた取組と2030年度以降を見据えた取組を一体的または、より連携させて進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化すること

これにより、火力発電の課題解決に必要なそれぞれの次世代技術が必要な時期に利用可能となるよう、従来設定されていた開発スケジュールをより具体化、前倒しつつ、技術開発の加速化することとする。



# 4. 次世代火力発電技術の対象と早期確立、実用化に向けた基本方針①

## ● 次世代火力発電技術の開発は短中期、長期の技術開発を同時並行で進めることを基本とする

「パリ協定」を踏まえたエネルギー、気候変動対策の主な技術開発の取組みは、①2030年度におけるエネルギーミックスの着実な実現、②2030年度以降、経済成長と気候変動対策の両立の鍵となる革新的技術の開発、の二本柱となる。

今後の火力発電技術の開発は、2つの目標の達成に最大限貢献するという観点から、早期導入を見据えた短中期の技術開発と、経済性、環境性を両立させる革新的技術の実現を目指した長期の技術開発を並行し進めることを基本とする。

次世代火力発電の技術ロードマップにおいては、前者の2030年度に向けた短中期の技術開発の対象を、石炭火力、LNG火力に係る高効率化技術とし、後者の2030年度以降を見据えた長期の技術開発の対象を、CCUS技術及び水素発電技術と位置づけることとする。

### ① 2030年度に向けた取組

#### エネルギーミックスの着実な実現

##### エネルギー革新戦略

- ①徹底した省エネ
- ②再エネの拡大
- ③新たなエネルギーシステムの構築
  - ✓火力発電の高効率化に係る技術開発の加速
- ④エネルギー産業の海外展開
  - ✓高効率火力発電の導入支援

##### 地球温暖化対策計画

- A産業部門の取組 B業務その他部門の取組
- C家庭部門の取組 D運輸部門の取組
- Eエネルギー転換部門の取組
- (C) 電力分野の二酸化炭素排出原単位の低減
  - ✓火力発電の高効率化等

##### 水素・燃料電池戦略ロードマップ

- ①フェーズ1
  - ✓エネルギー供給分野における水素の利活用
  - ✓運輸分野における水素の利活用

### ② 2030年度以降を見据えた取組

#### 経済成長と気候変動対策の両立の鍵となる革新的技術の開発

##### エネルギー・環境イノベーション戦略

- ①革新的生産プロセス
- ②超軽量・耐熱構造材料
  - ✓1800℃級ガスタービンの耐熱材料
- ③CO2固定化・有効利用
- ④水素等製造・貯蔵・利用
  - ✓水素発電技術
- ⑤次世代蓄電池
- ⑥次世代太陽光発電
- ⑦次世代地熱発電

##### エネルギー革新戦略

- ポスト2030年に向けた水素社会戦略の構築
  - ✓水素発電の導入
- 水素・燃料電池戦略ロードマップ
- ②フェーズ2
  - ✓水素発電の本格導入
  - ✓大規模な水素供給システムの確立
- ③フェーズ3
  - ✓トータルでのCO2フリー水素供給システムの確立

## 次世代火力発電に係る技術ロードマップに関連する技術分野

## 4. 次世代火力発電技術の対象と早期確立、実用化に向けた基本方針②

### ● 次世代火力発電技術は、それぞれ特徴があり、当面は並行して技術開発を推進

次世代火力発電の対象となるそれぞれの分野の技術は、下表のとおり、それぞれ特徴があり、すべての点で優れる技術はなく、将来の国内外における環境規制等の政策動向や普及展開策を勘案しつつ、その特徴を活かした技術を推進すべき。

したがって、当面は、それぞれの技術の課題の解決を図りつつ、連携を取りつつ並行して技術開発を進めていく。

	高効率石炭火力	高効率LNG火力	CCS	CCU	水素発電
CO <sub>2</sub> 排出量	△ (710~590 g/kWh程度)	○ (350~280 g/kWh程度)	◎ ( ~ 0 g/kWh程度)	◎ ( ~ 0 g/kWh程度 ただし処理量に課題)	◎ ( ~ 0 g/kWh程度)
経済性 (目標値) ※	◎ 発電コスト 9.3円~/kWh CO <sub>2</sub> 対策費 3.0円~/kWh (従来機USC並の 発電単価)	○ 発電コスト 12.4円~/kWh CO <sub>2</sub> 対策費 1.3円~/kWh (従来機コンバインドサ イクル並の発電単価)	不明 (分離回収及び貯留 費用が発電単価に上 乗せされるが、現時点 で貯留コストが不確 定)	不明 (分離回収によるコスト増だが、 有価物の製造により処理コスト低 減に繋がる可能性あり。)	△ 発電コスト 17円~/kWh
技術の 成熟度	◎ (空気吹きIGCCは 実証機の商用運転 中)	◎ (1600℃級ガスタービ ンは実証機の商用運転 中)	○ (苫小牧で実証を開 始しているが、実用化 には貯留地点の選定 等の課題有り。)	△ (現在は、研究段階。また大量 のCO <sub>2</sub> を利用するための用途の拡 大と、利益創出のメカニズム確立、 処理技術の効率化が課題。)	△ (現在は水素専焼は 研究開発段階。NOx 抑制の技術に課題有 り)
課題	LNG火力に比べて CO <sub>2</sub> 排出量が約2 倍と多い。	石炭火力に比べて発電 コストが高い。燃料の供 給安定性は石炭に劣る。	効率の低減、発電コス ト増、また貯留地点の 選定等の課題がある。	効率の低減、発電コスト増、また 研究開発段階で処理量も未知 数。	他の火力発電より発電 コストが高い。水素供給 チェーンの確立が必要。

※出典：発電コスト及びCO<sub>2</sub>対策費は長期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、水素・燃料電池戦略ロードマップ

# 5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針①

## ● 2030年度に向け、石炭火力、LNG火力それぞれで設備の新陳代謝による高効率化が必要

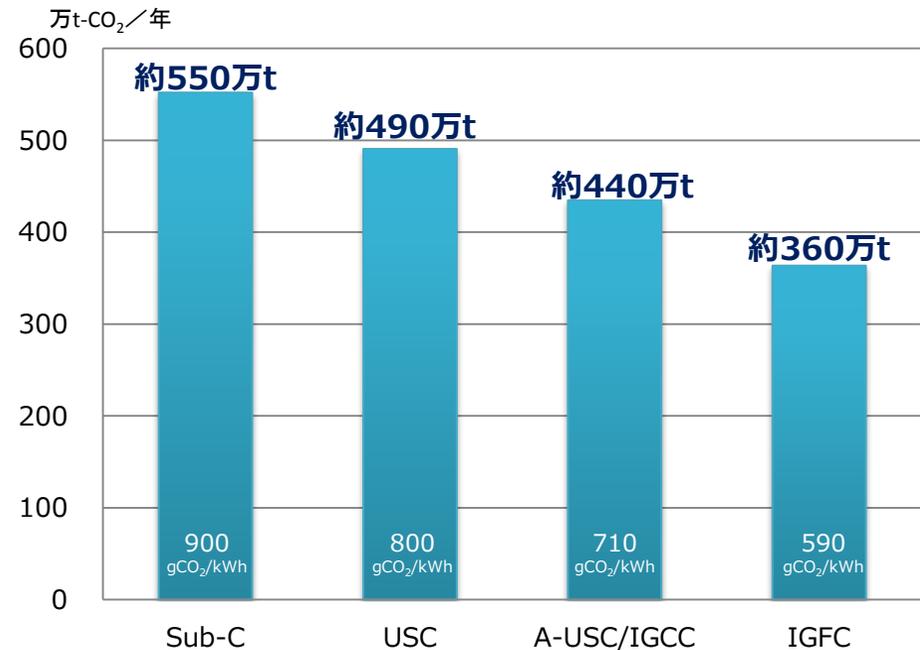
エネルギーミックスでは、石炭火力、LNG火力について、高効率化を進めつつ環境負荷の低減と両立しながら活用する方針を提示している。

具体的には、石炭火力については設備全体としてUSC（超々臨界圧）相当、LNG火力については同じくガスタービンコンバインドサイクル相当の発電効率を目指すこととしており、高効率化を推進するためには、発電効率が悪く、古い火力発電の稼働を抑制するとともに、老朽化した火力発電の新陳代謝を図る必要がある。

石炭火力、LNG火力の技術導入の状況

	技術方式	設備容量	導入本格化時期
石炭火力	Sub-C (亜臨界圧)	435万kW	1960年代～
	SC (超臨界圧)	1,250万kW	1980年代～
	USC (超々臨界圧)	1,530万kW	1995年頃～
LNG火力	従来型	2,390万kW	1970年代～
	ガスタービンコンバインドサイクル (GTCC)	4,525万kW	1980年代～

石炭火力のCO<sub>2</sub>排出量比較（100万kW）



注 一般・卸電気事業者の合計。卸供給は除く。設備容量は2015年3月時点。

出典：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（第10回会合）

※年間稼働率70%として試算。

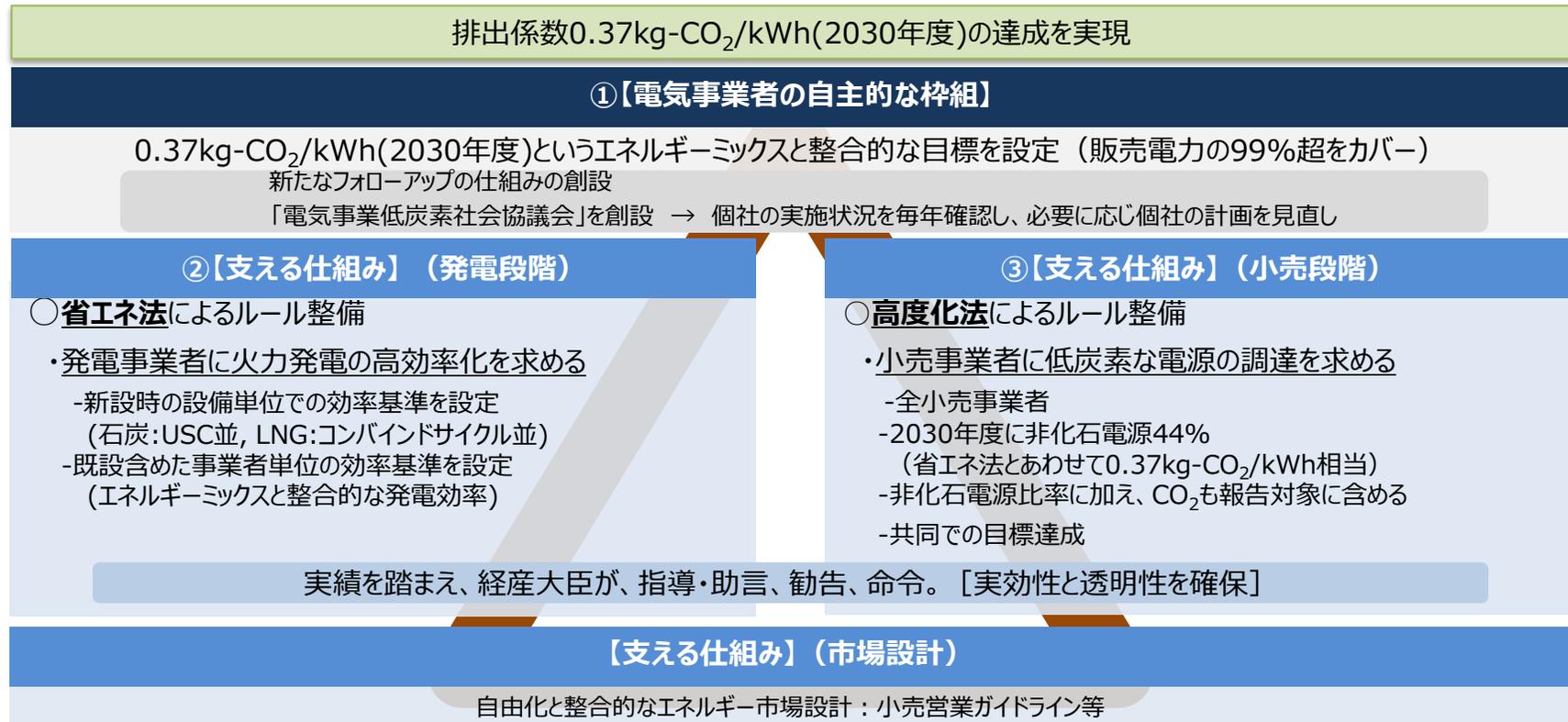
## 5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針②

### ● 電力業界は2030年度にCO<sub>2</sub>排出係数を0.37kg/kWhとする自主的枠組みを構築

電力業界では、エネルギーミックスと統合的な目標として、2030年度にCO<sub>2</sub>排出係数を0.37kg/kWhとする自主的な枠組み構築している。

### ● 省エネ法、高度化法に基づく政策的対応を併せて講じることにより実効性を確保

さらに、電力業界の目標達成に向けた取組を促すため、火力発電の高効率化を求める省エネ法や、小売事業者到低炭素な電源の調達を求める高度化法（エネルギー供給構造高度化法）の政策的対応を講じることにより、電力自由化の下での電力業界全体の取組の実効性を確保する。



# 5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針③

## ● 石炭、LNG火力のいずれも第1世代、第2世代技術の性能向上を追求しつつ、究極的な発展段階の第3世代技術の早期確立を目指す

火力発電技術については、石炭火力、LNG火力とも、下図のとおり、単一タービンのシングルサイクル（第1世代）からガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクル（第2世代）、さらに燃料電池を組み合わせたトリプルコンバインドサイクル（第3世代）へと高効率化に向けた技術開発の段階が進展する。

各世代の技術は適用する燃料や、小規模分散電源への適合可能性などで特徴が異なり、各世代の技術それぞれの効率を高めつつ、全体として最適な組み合わせで活用していくことが必要である。

今後、火力発電全体の平均発電効率を大幅に向上するために、石炭火力、LNG火力ともに第1世代、第2世代技術の更なる性能向上を追求しつつ、次世代火力発電技術として究極的な発展段階である第3世代技術の可能な限り早期の確立を目指す。

### 火力発電の高効率化に向けた技術開発の進展

	第1世代	第2世代	第3世代
共通要素	シングルサイクル 単一ガスタービン(GT) /単一蒸気タービン(ST)	コンバインドサイクル（複合発電） ガスタービン+蒸気タービン	トリプルコンバインドサイクル （燃料電池複合発電） 燃料電池+ガスタービン+蒸気タービン
LNG火力	GT/ST(1950s~) AHAT(2010s~)	1100℃級GTCC(1980s~) 1700℃級GTCC(2020s~) 1800℃超級GTCC	GTFC(2020s~)
石炭火力	SUB-C(1950s) SC(1970s) USC(1990s) A-USC(2010s~)	1300℃級IGCC(2010s~) 1800℃級IGCC 革新的IGCC	IGFC(2020s~)

※ AHAT：高温分空気利用ガスタービン

## 5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針④

### ● 次世代技術開発を進めるに当たっての留意点

#### ● 火力発電の高効率化の技術開発は、経済性、信頼性、運用性の確保しつつ進めることが重要

次世代火力発電技術の早期の技術確立、実用化のためには、ユーザーが新技術を早期に導入できるよう、技術確立の時点で十分なレベルの経済性、信頼性、運用性を確保されていることが重要となる。

特に、2030年度のエネルギーミックスの実現に向けて、石炭火力、LNG火力の高効率化技術の開発を進めるにあたっては、以下の点に留意しつつ進めることとする。

- ① 石炭火力、LNG火力のそれぞれの開発について成果を共有し、また現行の技術、経験を十分に活用する。
- ② 技術確立後、速やかに従来機並の発電単価以下とすることを目標とする。
- ③ 早期に試験運転に着手し、開発プロセスにおいて十分な実証時間を確保する。
- ④ 再生可能エネルギーの拡大に対応できるよう、従来技術を上回る制御性、負荷応答性を確保する。

# 6. 2030年度以降を見据えた取組に係る技術に関する方針①

- CCUS技術及び水素発電技術は、火力発電からのCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札となり得るものであり長期的視点を持ちつつ戦略的に推進

2030年度以降を見据えた取組として、経済成長と気候変動対策の両立の鍵となる革新的技術の開発が必要である。

CCUS技術及び水素発電技術は、火力発電からのCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札となり得るものとして、各種戦略で革新的技術の候補とされており、本ロードマップに基づき、長期的な視点で戦略的に技術開発を進めることが適当である。

## CO<sub>2</sub>回収 ( Carbon dioxide Capture )

- ✓火力発電所にCO<sub>2</sub>分離回収設備を設置することで、最大90%超のCO<sub>2</sub>を放出せずに回収することが可能。



分離回収設備例

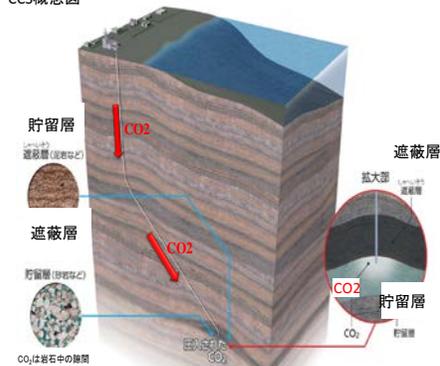


分離回収したCO<sub>2</sub>

## CO<sub>2</sub>貯留 (CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)

- ✓分離回収したCO<sub>2</sub>を地中に貯留する技術。

CCS概念図



## CO<sub>2</sub>利用 (CCU: Carbon dioxide Capture and Utilization)

- ✓回収したCO<sub>2</sub>を利用し、石油代替燃料や化学原料などの有価物を生産する技術。



## 水素ガスタービン

- ✓CO<sub>2</sub>フリーの水素を燃料とするガスタービンを有する発電技術。



出典：MHPS提供資料

## 6. 2030年度以降を見据えた取組に係る技術に関する方針②

### ● CCUS技術の開発方針

#### ① CCUS技術は、2020年代後半から2030年頃に経済的な技術を順次確立

CCUSは、2020年代後半から2030年頃にかけて、当面、石炭火力向けの技術を対象として、実際の導入拡大につながる経済的なCCUS技術を順次技術確立する。

#### ② CO<sub>2</sub>分離回収技術は、2020年代後半から2030年頃に経済的な回収技術を確立

CCUSが実際に実用化されるためには、前提として経済的なCO<sub>2</sub>分離回収技術の確立が不可欠である。従来技術では、CO<sub>2</sub>回収設備の設置・稼働が発電コストを相当押し上げ、また、設備の稼働による電力消費が全体の発電効率を低下させることから、貯留の点を除いても経済性の面で相当の課題がある。

そのため、当面は、複数の技術開発を並行して継続し、2020年代後半から2030年頃にかけて、経済的な回収技術を確立させることを目指す。

#### ③ CCUは、2030年度以降を見据え、当面将来の有望技術の確立

また、CCUは、現時点ではCO<sub>2</sub>の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造により利益を創出する可能性がある。ただし、CO<sub>2</sub>の処理能力、有価物の製造効率の向上で課題があり、実用化のためには大きなイノベーションが必要である。

現時点では不確定要素が多いが、今後、処理能力や利益創出の目標、技術革新による効率向上の可能性などを検証しつつ、2030年度以降を見据え、当面将来の有望な技術の確立を目指して技術開発を継続する。

## 6. 2030年度以降を見据えた取組に係る技術に関する方針③

### ● 水素発電技術の開発方針

#### ① 水素発電技術は、2030年頃までに技術確立すべく、CCUS技術と並行して推進

水素発電技術については、CCUS同様、抜本的な温暖化対策になり得る技術であり、水素の調達コストに留意しつつ、2030年頃までに技術確立すべく、CCUS技術と並行して推進していく。

#### ② 水素発電技術はNOx抑制が課題、安価で安定的な水素供給チェーンの確立が必須条件

また、水素発電技術は、発電の段階ではCO<sub>2</sub>を排出しないためCO<sub>2</sub>分離回収技術は不要であり、従来技術よりもガスタービンの水素濃度が上がるIGFCやGTFC等の次世代火力発電技術と親和性が高く、これらの成果が水素発電技術にも応用可能となり得る。

一方で、水素発電の導入には、NOx抑制による効率低下等の技術的課題があり、また石炭及びLNG火力発電より発電単価が高い「経済性」の観点と十分な量の水素の安定供給が必要である「エネルギーセキュリティー」の観点から、安価で安定的な水素供給チェーンの確立が必須条件となる。

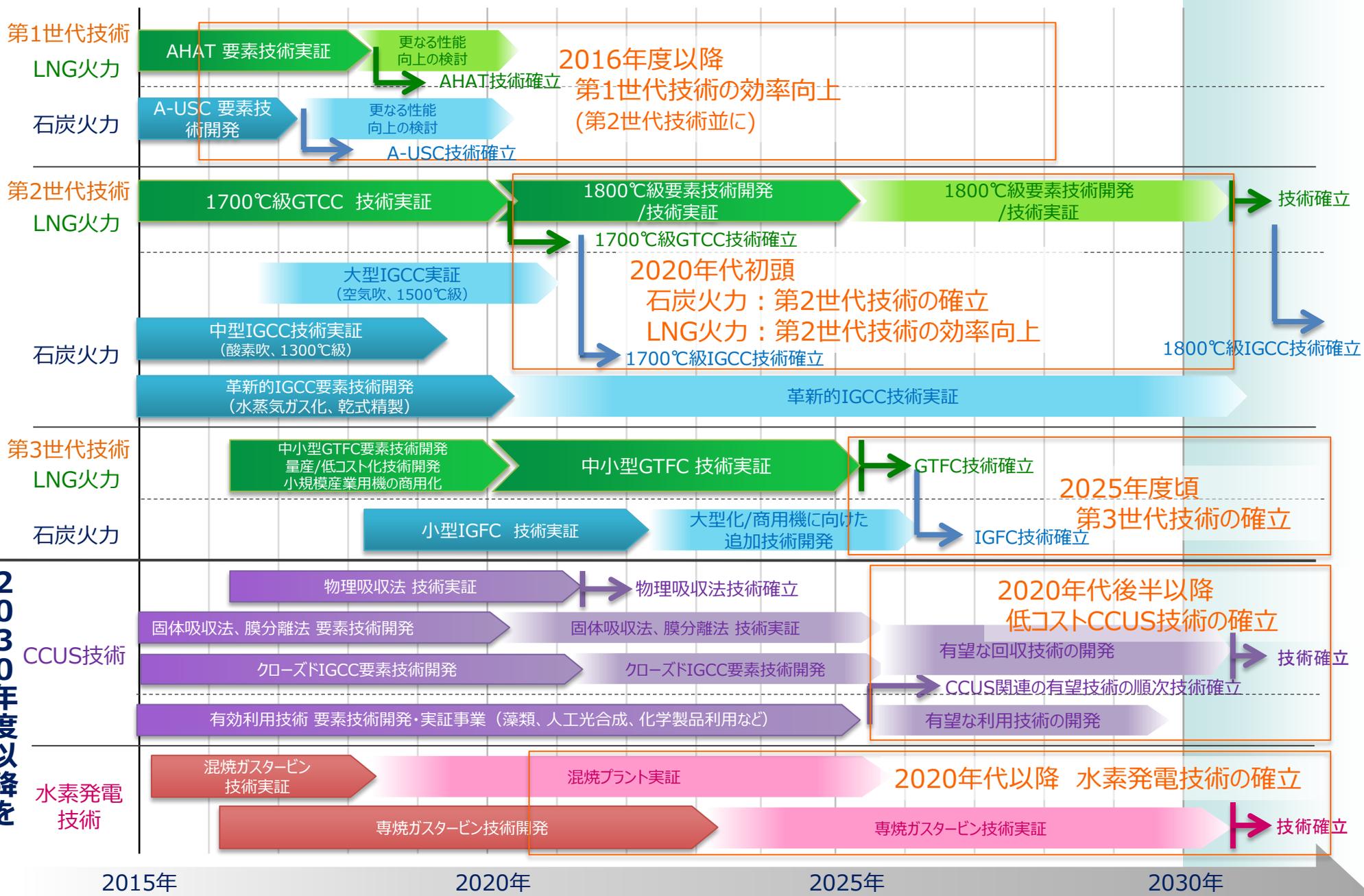
#### ③ まずは技術的ハードルの低い水素混焼発電、将来的に水素専焼発電の技術確立

したがって、水素社会の実現に向けた環境整備に留意しつつ、まずは比較的技術的ハードルの低い水素混焼発電の技術確立を目指し、将来的には、高効率な水素専焼発電の技術確立を目指す。

# 7. 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表

2030年度に向けた取組

2030年度以降を  
見据えた取組



## 8. 個別技術の開発方針 -2030年度に向けた取組の中心となる技術-

### ①LNG火力発電技術

- **AHAT** 2017年度技術確立、発電効率51%、従来機並のイニシャルコストを実現  
2017年度に要素実証事業を終了し、技術確立。／将来的にGTFCの成果の活用も検討。
- **超高温GTCC (1700℃級)** 2020年度頃技術確立、発電効率57%、量産後従来機並のイニシャルコストを実現  
2030年度頃に向けて、段階的に高温化を図り、大型GTCCの効率を向上を進める。
- **GTFC** 2025年度頃技術確立、発電効率63%、量産後従来機並の発電単価を実現  
小型GTFC(1000kW級)の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC(10万kW級)の実証事業を経て技術確立。IGFCの技術開発と並行して実施。

### ②石炭火力発電技術

- **A-USC** 2016年度技術確立、発電効率46%、従来機並の発電単価を実現  
要素技術開発を2016年度まで行い技術確立。／今後、材料評価を継続し、保守技術の開発を進め技術の信頼性を向上しつつ、段階的に発電効率の向上を図る。
- **IGCC** 中型空気吹:技術確立済み、酸素吹:2018年度頃技術確立、発電効率46～50%、量産後従来機並の発電単価を実現  
空気吹IGCCの中型機が先行して技術確立。／今後、酸素吹IGCC、空気吹IGCCの大型機の技術を順次確立した上で、GTCCの超高温化の成果を活用し、高効率化を図る。
- **IGFC** 2025年度頃技術確立、発電効率55%、量産後従来機並の発電単価を実現  
酸素吹IGCCと一体的に開発を実施。／2021年度の小型IGFC実証事業終了後、追加の技術開発、GTFCの技術開発成果を活用して、大型IGFCの技術を確立。

## 8. 個別技術の開発方針 -2030年度以降を見据えた取組に係る技術-

### ③CO<sub>2</sub>分離回収技術

#### ■ 固体吸収法

当面、要素技術の開発を継続。／今後、回収コストの低減やエネルギー効率向上（発電効率の低下幅抑制）の見通しを精査しつつ、さらなる開発を進める。

#### ■ 物理吸収法 2020年度頃技術確立、回収コスト2000円台/t-CO<sub>2</sub>を実現

比較的早い段階で回収コストの低減が期待される技術として、酸素吹IGCCと一体的に早期に技術実証に着手。酸素吹IGCCとの組み合わせで現行機並40%以上の発電効率を目指す（発電効率の低下6%（CO<sub>2</sub>90%回収の場合））。

#### ■ 膜分離法

当面、要素技術の開発を継続。／今後、回収コストの低減やエネルギー効率向上（発電効率の低下幅抑制）の見通しを精査しつつ、さらなる開発を進める。

#### ■ クローズドIGCC

CO<sub>2</sub>分離回収に最適化した発電方式(IGCC)。当面、要素技術の開発を継続する。／今後、他の競合技術との優位性を精査しつつ、さらなる開発を進める。

#### ■ CCU技術(藻類バイオ、人工光合成、化学製品利用等)

藻類バイオ、人工光合成、化学製品利用を中心に、経済的かつ効率的なCO<sub>2</sub>処理が可能なCCU技術を広く検証。段階的に実現可能性調査、要素技術開発を経て有望技術を選定し、開発を進める。

### ④水素発電技術

#### ■ 水素ガスタービン 2020年代（混焼）、2030年頃（専焼）に技術確立、同規模LNG火力並の発電効率、発電単価17円/kWh以下を実現

水素混焼は技術実証、水素専焼は要素技術開発を継続する。／今後、水素供給チェーンの確立に向けた取組状況も踏まえ、水素ガスタービンの実証を進める。

## 9. 次世代火力発電技術の早期の技術確立、実用化に向けた取組

- **次世代火力発電技術の早期確立実用化を図るには、①技術開発の推進体制の強化と②導入普及に関する取組が不可欠**

次世代火力発電技術の早期の技術確立、実用化を図る上では

- ① 技術開発の推進体制の強化、
- ② 次世代技術の早期導入・普及に関する取組、

が不可欠であり、それぞれ以下のような取組みを進めていくことが必要である。

### ①技術開発の推進体制の強化に関する取組

- **技術開発のプロセスとリソース配分の最適化、NEDOの全体進捗管理及び技術支援**

- 官民の役割分担を踏まえた迅速かつ積極的な技術開発の実施や、新たなイノベーションの追求に向けた、技術開発のプロセスとリソース配分の最適化
- NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）による全体進捗管理、技術開発支援

### ②次世代技術の早期導入・普及に関する取組

- **ユーザーによる積極的な導入検討、導入促進の政策的措置、海外展開に向けた官民の取組**

- 既存設備のリプレイス、性能向上の促進を含めたユーザーによる積極的な導入の検討、技術開発プロセスへの貢献
- 次世代技術の早期導入を促進する具体的措置の検討
- 次世代技術の早期の海外展開に向けた官民の取組み強化

## 9 – (1) . 技術開発の推進体制の強化に関する取組①

### ● NEDOによる次世代火力発電技術開発の進捗管理、開発支援

#### ● NEDOは、開発計画の立案や要素技術開発を進め、技術開発の全体プロセスを最適化する

NEDOは、技術開発プロセスの全体進捗管理、支援をきめ細かく行うにあたり、具体的に以下のような取組みを行い、メーカーによる技術開発を補完、後押ししていくこととする。

- ① 技術毎にコスト、信頼性、運用性の目標と課題を明確化し、開発計画を立案する。
- ② 市場ニーズを見極めつつ各技術開発プロセスの進捗管理を行い、開発優先度の調整、開発スケジュールの最適化、技術開発の相互連携を図る。
- ③ 定期的に目標達成度や開発継続の必要性を判定し、開発ステージを進めるべき有望技術を絞り込む。
- ④ 先行して進めるべき新たな要素技術の開発を主体的に実施する。
- ⑤ 新たな技術の海外展開を促進する。
- ⑥ 開発成果や市場動向、競合技術の分析を行い、本ロードマップの見直しに貢献する。

これにより、各技術開発の間で密接な連携を図り、中長期の火力発電技術開発の全体プロセスを最適化する。

## 9 – (1) . 技術開発の推進体制の強化に関する取組②

### ● NEDOへの事業集約、技術開発プロセスとリソース配分の最適化

#### ① NEDOに石炭、LNG火力の事業を統合し、全体進捗管理を効率的に行う体制を確立

次世代火力発電に関する技術開発のうち、特に一体的に技術開発を進めることが有効と考えられる石炭火力及びLNG火力の技術開発については、平成28年度から、政府の既存の開発事業を統合・一本化するとともに、その執行をNEDOに集約し、全体進捗管理・技術支援を行うことで、より効率的・効果的に開発を進める体制を確立した。

今後、実用化時期を見据えて適切な開発スケジュールの管理を行いつつ、優先度の高い技術に必要なリソースを優先配分するなど、技術開発のプロセスとリソース配分の最適化を進めることとする。

#### ② 開発の進捗状況、実用化ニーズ等を踏まえた不断の見直しによりリソースの選択と集中を図る

政府、NEDOは、技術開発の進捗状況、実用化のニーズ、見通しを踏まえて、次世代技術の中の開発の優先度を判断し、それに基づき、要素技術開発や実証事業の方針、プロセスについて不断の見直しを行うこととする。

特に開発ステージが上がる際には、重点的に推進すべき技術はリソースを拡充し加速化を図る一方で、他技術の比較し、優位性や実用性、緊急性が低いと考えられる技術の開発については、廃止も含め大幅に計画を見直すなど、選択と集中を適切に進めることとする。



## 9 – (2) . 次世代技術の早期導入・普及に関する取組①

### ● ユーザーによる積極的な次世代技術導入と、それを促す具体的措置の方向性

#### ① 新技術の導入には、技術確立当初からコスト競争力と安定運用性・信頼性の確保が必要

本年（平成28年）4月から、省エネ法・高度化法により、火力発電の高効率化に向けた電気事業者による自主的枠組みを支える仕組みが構築され、各発電技術について経済性のみならず環境性がより評価されることとなった。今後、より経済性、環境性の高い技術の導入が求められる中、こうした面で競争力の高い次世代技術は有望な選択肢となり得る。

しかしながら、新たに確立した技術については、導入初期では、従来技術と比べて、初期コスト（開発コスト負担を含めた導入初期のプラント建設コスト）が割高となる一方、運転実績がないことから安定運用に一定のリスクが残ることとなる。

特に自由化市場においては、次世代火力発電技術の初期導入を円滑に進める上では、技術確立の当初から一定のコスト競争力と安定運用性・信頼性が確保されることが必要である。技術確立後、可能な限り早い段階で、経済性や信頼性を確保していくことは、次世代火力発電技術の海外展開を促進する観点からも極めて重要であり、海外展開を早期に進めることは、今後の次世代火力発電技術の発展にとって不可欠である。

#### ② 早期実用化を促進するには、安定稼働リスク低減やコスト削減による競争力の強化が必要

そのため、次世代火力発電技術の早期実用化を促進するため、官民をあげて、以下の課題に取組み、次世代火力発電技術の総合的な競争力の強化を図ることとする。

- ① 次世代火力発電技術の初期導入に係る安定稼働リスクを可能な限り低減すること。
- ② 自由化された国内市場、さらに海外市場における競争も見越した徹底的なコスト削減を図ること。
- ③ 国内における導入促進とあわせ、海外市場への早期展開の目処を早期に立てること。

## 9 – (2) . 次世代技術の早期導入・普及に関する取組②

### ● ユーザーによる積極的な次世代技術導入と、それを促す具体的措置の方向性

#### ● 安定稼働リスクの低減、徹底した経済性の追求、早期海外展開の取組を推進するため、政府、重電メーカー、電力が一層連携して取り組んでいく

##### ① 安定稼働リスクの低減

安定運用性・信頼性の確保については、技術確立に至る前の実証プロセスにおいて、早期に試験運転に着手するなど十分な実証時間を確保できるようにすることが重要である。また、初期トラブル等を事前に予期、予防を図るための手法を追求するなど、今後、リスク低減に係る技術開発を一層重視する。

特に初号機において、それでもなお残る運用リスクについては、可能な範囲で低減、管理することを目指し、メーカー、ユーザー（電気事業者）が緊密に連携しつつ、今後一層の検討を進める。

##### ② 徹底した経済性の追求（早期のコスト削減実現）

次世代火力発電技術確立当初から従来技術並の初期コストとすることは困難ではあるが、次世代火力発電技術のコア部分を絞り込むこと等によりコストを抑えつつ、初期導入の段階から、コア部分以外の機器・資材等については調達コストの削減を一層進めるなど、現行機の経験を活用し、コスト削減の抜本的な加速化を図る。

##### ③ 早期の海外展開

国内外の仕様の共通化を可能な限り図るなど、海外市場における価格競争力を早期に高めつつ、当初より、海外受注の早期獲得に向けた取組みを進めることとし、政府も新興国へのエネルギー協力として後押しをする。

これらの取組みを具体的に進めるため、政府、メーカー、ユーザーがこれまで以上に連携して取り組んでいく。

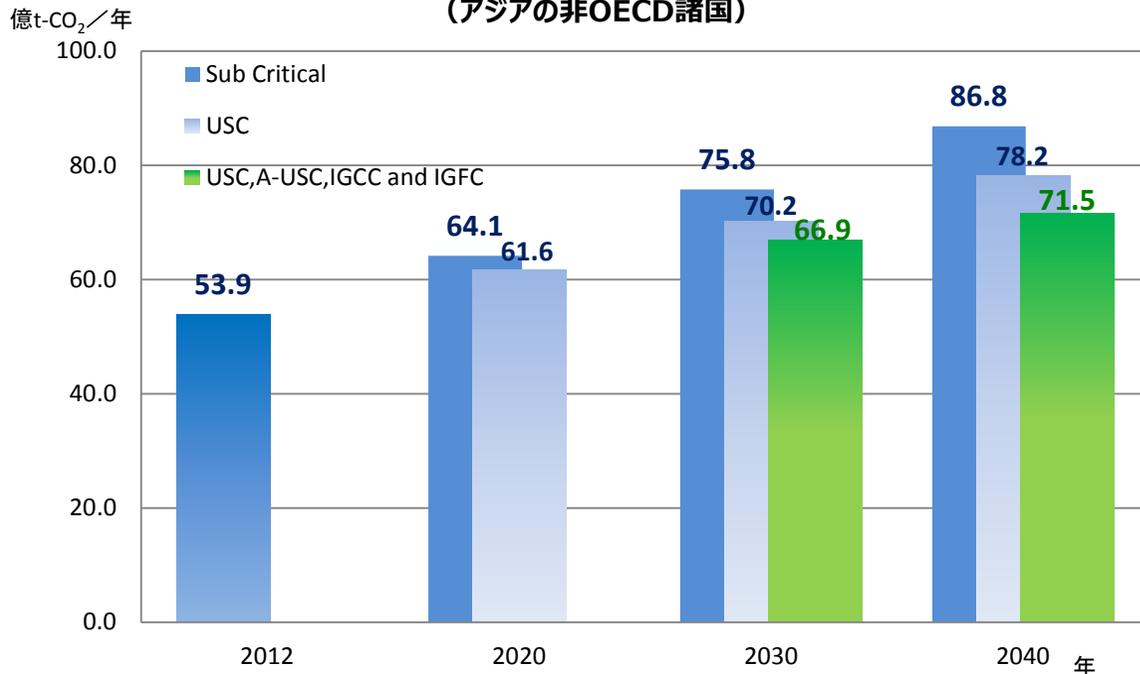
## 9 – (2) . 次世代技術の早期導入・普及に関する取組③

### ● 早期の海外展開に向けた官民の取組

#### ① パリ協定の採択により次世代火力発電技術への期待が高まる。

昨年末のCOP21で全ての主要排出国が参加する公平かつ実効性ある国際枠組みとしてパリ協定が採択されたことを受けて、今後、火力発電の需要拡大が見込まれる新興国も含めて温暖化対策への関心が高まり、我が国の次世代火力発電技術への期待が一層大きくなることが見込まれる。最新の高效率技術の導入促進は、現実的かつ実効的な気候変動対策の取組の一つとなり得る。

石炭火力における導入技術別のCO<sub>2</sub>排出量の試算  
(アジアの非OECD諸国)



#### ② 特に石炭火力の需要が増大するアジアで、次世代技術の導入が進めば、大きな削減効果が得られる

特に石炭火力の需要が増大するアジア諸国において、次世代火力発電技術が普及すればCO<sub>2</sub>削減の効果は大きい。

仮に、2040年に向け、USCに加え、IGCCやIGFCなどの次世代火力発電技術が普及拡大すれば、亜臨界のみが導入された場合と比べ、約15億トンの削減効果が試算される。

加えて、海外における早期の普及展開は、量産効果による次世代技術のコスト低減にもつながるものと期待される。

「IEA World Energy Outlook 2014」より経済産業省作成。

発電容量の増加の見通しは新政策シナリオに基づき、増加、リプレース分(10年で4分の1と仮定)を亜臨界のみとした場合と、USCのみとした場合、2020年代半ば以降、IGCCとA-USC、2030年代以降IGFCに置き換わると仮定した場合とを比較。

## 9 – (2) . 次世代技術の早期導入・普及に関する取組④

### ① 次世代技術を早期に提案することで、相手国の要望に応じた適切な技術を提供する

次世代技術の海外展開を進めるに当たっては、まず、国内において稼働の実績、信頼性を確保することを目指しつつも、実証段階から海外における導入案件を発掘し、早期に積極的な提案を行っていくことが重要。

その際、相手国のエネルギー需給構造、環境規制をはじめとする政策動向、経済発展の状況等の個別の事情を十分考慮したうえで、その国の要望に応じた適切な技術を提案し、導入を促進していくことが必要である。

### ② 次世代火力発電技術に関する情報発信、国際協力を積極的に推進していく。

具体的には、政策間のエネルギー政策対話や、産業界も巻き込んだ国際セミナーの開催等を通じて、我が国の次世代火力発電技術に関する情報を発信しつつ、各国の状況に関する情報収集を積極的に行い、具体的な導入案件の形成支援、運転・保守等に関する人材育成等の技術協力、首脳・閣僚レベルでの働きかけや、ファイナンスの支援など、あらゆる政策手段を活用し、次世代技術の早期の海外展開を推進していくこととする。