

# 「次世代火力発電のロードマップを読んで」



上田技術士事務所  
上田和男 UETA Kazuo  
(金属部門)

## 1. はじめに

東日本大震災から6年が経過し、東京電力(株)福島第一原子力発電所の人災からの復興は、いまだその道すら見えない状況である。そのような状況下で、再生可能エネルギーの救世主として、太陽光発電が脚光を浴び、メガソーラーが注目されてきた。我が家の月々の電力代に“再エネ発電促進賦課金”が付加されている。例えば、本年4月分では、495kWhに対して、¥1,113.00が付加されている。電力会社としては、メガソーラーからの電力供給量を調整するためには、火力発電による電力量の調整が極めて重要であることは言を俟たない。そこで、経済産業省資源エネルギー庁が作成した「次世代火力発電ロードマップ」がNews Release(平成28年6月30日)されたので、その一部を紹介する(紙面の都合で図表は割愛した。)

「技術ロードマップ」のポイントは3つある。

一つ目は、2030年度に向けた取組として、発電効率を飛躍的に向上させる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)等の次世代の高率火力発電技術を、2025年度頃までに段階的に技術確立させる。

二つ目は、2030年度以降を見据えた取組として、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CO<sub>2</sub>回収・貯留及び有効利用技術(CCUS)、水素発電技術について、現時点から戦略的に技術開発を進めていく。

三つ目は、次世代火力発電技術の早期確立・実用化を図るため、政府、NEDOと連携して技術開発の推進体制の強化に取り組むとともに、早期の導入、普及に向けてメーカー、ユーザー、政府が一層連携して取組んでいく。

## 2. 次世代火力発電のロードマップの必要性

(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)の日本方針は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

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促進、安全性の確認された電子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。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。

③2030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>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。（アンダーラインは筆者。）

## （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年度）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°Cより十分低く保持すること、1.5°Cに抑える努力を追求することに言及された。

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機構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。

## （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り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り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「エネルギー・環境イノ

バージョン戦略」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°C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) 世界の火力発電の需要の見通し

##### ①石炭火力は欧米で減少、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次世代火力発電技術は国際的な気候変動に貢献

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「エネルギー・環境イノベーション」を促進することは、国際的な気候変動に対する貢献につながる。

### 3. 次世代火力発電技術開発加速化と技術ロードマップ策定の必要性

#### ①2030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面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 (Carbon dioxide Capture Utilization & Storage) 発電

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があり、また水素発電技術もLNG火力技術を基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る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。（カッコ内の用語及びアンダーラインは筆者。）

●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

#### 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

●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て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付けることとする。

●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、それぞれ特徴があり、全ての点で優れている技術はなく、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。

#### 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

●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(超超臨界(Ultra-Super Critical))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。

(カッコ内の用語及びアンダーラインは筆者。)

- 電力業界は 2030 年度に CO<sub>2</sub> 排出係数を 0.73kg/kWh とする自主的枠組みを構築
- 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
- 石炭，LNG 火力のいずれかも第 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 3 世代技術の早期確立を目指す

## 6. 2030 年度以降を見据えた取組に係る技術に関する方針

- 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入り札となり得るものであり，長期的な視点を持ちつつ戦略的に推進
- CCUS 技術の開発方針
  - ①CCUS 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
  - ②CO<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
  - ③CCU(Carbone dioxide and Utilization)は，2030 年度以降を見据え，当面将来の有望技術の確立 (カッコ内の用語及びアンダーラインは筆者。)
- 水素発電技術の開発方針
  - ①水素発電については，2030 年頃の実用化を目指すべく，CCUS 技術と並行して推進
  - ②水素発電には，安価で安定的な水素サプライチェーンの確立が必須
  - ③まずは技術的ハードルに近い水素混焼発電，将来的に水素専焼発電の技術確立

## 7. 個別技術の開発方針ー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 (高湿分空気ガスタービン(Advanced Humid Air Turbine))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 年度に要素技術実証事業を終了し，技術確立。将来的に GTFC (ガスタービン燃料電池複合発電(Gas Turbine Fuel Cell combined cycle)) の成果の活用も検討。

□超高温 GTCC(1700° C 級，ガスタービンコンバインドサイクル(Gas turbine Combined Cycle))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 の効率の向上を進める。

□GTFC (ガスタービン燃料電池複合発電(Gas Turbine Fuel Cell combined cycle)) 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。

小国 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-USC2016 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 年度までに技術確立。今後，材料評価を継続し，保守技術の開発を進め，保守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 (石炭ガス化複合発電(Integrated coal Gasification Combined Cycle)) 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（石炭ガス化燃料電池複合発電(Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle)）2025年度技術確立，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実施証事業終了後，追加の技術開発，GFTCの技術開発成果を活用して，大型IGFCの技術を確立．

（カッコ内の用語及びアンダーラインは筆者．）

### ③CO<sub>2</sub>分離回収技術

□個別回収法

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>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と一体的な早期に技術実証に着手．酸素吹IGCCとの組み合わせで現行期並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，要素機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）

海藻バイオ，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も踏まえ，水素ガスタービンの実証を進める．

## 8. 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

## ①技術開発の推進体制の強化

- 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
  - －既設設備のリプレース，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政策的措置も含めた具体的措置の検討
  - －次世代技術の早期の海外展開に向けた官民の取組の強化

なお，以下の目次は紙面の都合で割愛した．

### 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（筆者の私見も含めて）

次世代火力発電技術の早期実現に向けた協議会は6回開催（平成27年6月16日から平成28年5月30日）され，2回は，ロードマップについて，議論されている．産学官20名の委員により，検討された結果である．産からは，三菱日立パワーシステムズ(株)，関西電力(株)，三菱重工(株)，(株)東芝，三菱化学(株)，東京電力フュエル&パワー(株)，電源開発(株)，中国電力(株)，(株)IHIの9社が参加され，一般財団法人（一財）からエネルギー総合工学研究所，電力中央研究所，公益財団法人（公財）地球環境産業技術研究機構が参加された．

火力発電は我が国全体の電源構成から見て，極めて重要な電源であると思っている．世界的に今後も増加する電源需要を安定的かつ効率的に満たすためには，再生可能エネルギーや原子力発電と併せて，引き続き火力発電を活用することは不可欠である．昨年COP21におけるパリ協定の採択など，国際的に地球温暖化対策への関心が一層高まる中，先進国を中心とする火力発電の比率の拡大やOECDの石炭火力に対する公的金融支援ルールの見直しを受けた石炭火力発電高効率技術へのシフトなど，火力発電全体の低炭素化の推進は国内外で共通の重要課題となっている．

化石燃料を技術革新によって，CO<sub>2</sub>の課題を克服しつつ活用していき，持続的な経済成長と地球温暖化対策の両立を実現することは，私たちの使命であり，そのカギとなるのは，本ロードマップの次世代火力発電技術であると思っている．