

水素発電について

平成26年3月26日

資源エネルギー庁
燃料電池推進室

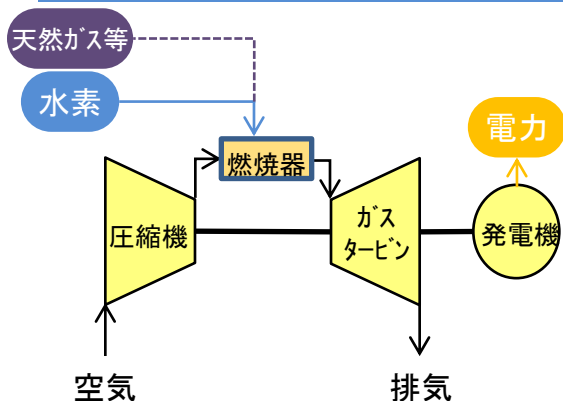
1. 水素発電の概要

1-1. 水素発電とは

- 水素を燃料に用いた発電の方法としては、①ガスタービンの燃料として水素を用いるもの、②蒸気タービン用のボイラーの燃料として水素を用いるもの、③燃料電池を用いるもの、の3種類が考えられる。
- 本日は、①の水素ガスタービンを用いた「水素発電」に焦点を当てて議論を行う(※②は技術的にも容易なことから参考程度にとどめる。また、③は第2回WGで検討済み)。

水素を燃料とした発電の種類

①ガスタービン発電

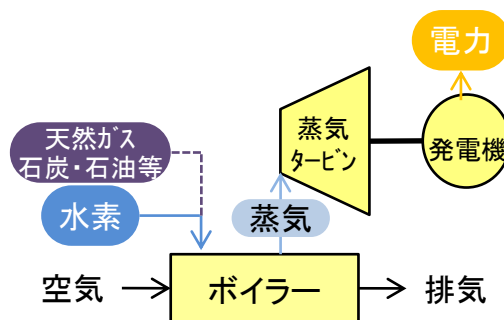


「水素」または「水素+他の燃料」をガスタービンにて燃焼させ回転力を得て、発電機を駆動させて発電する。

コンバインド発電として利用できれば、
汽力発電に比べて高効率

一定の技術課題が解決されれば、
既存ガスタービン同様に規模の拡大も可能

②汽力発電

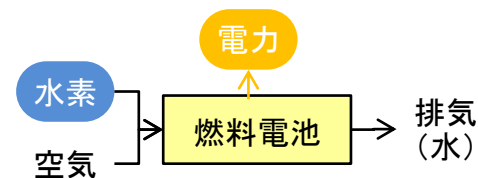


「水素」または「水素+他の燃料」をボイラーで燃焼、発生した蒸気によりタービンにて回転力を得て、発電機を駆動させて発電する。

通常の汽力発電と同程度の発電効率

通常の汽力発電と同様に
規模の拡大も可能

③燃料電池発電



水素と酸素の化学反応から直接電力を取り出す。

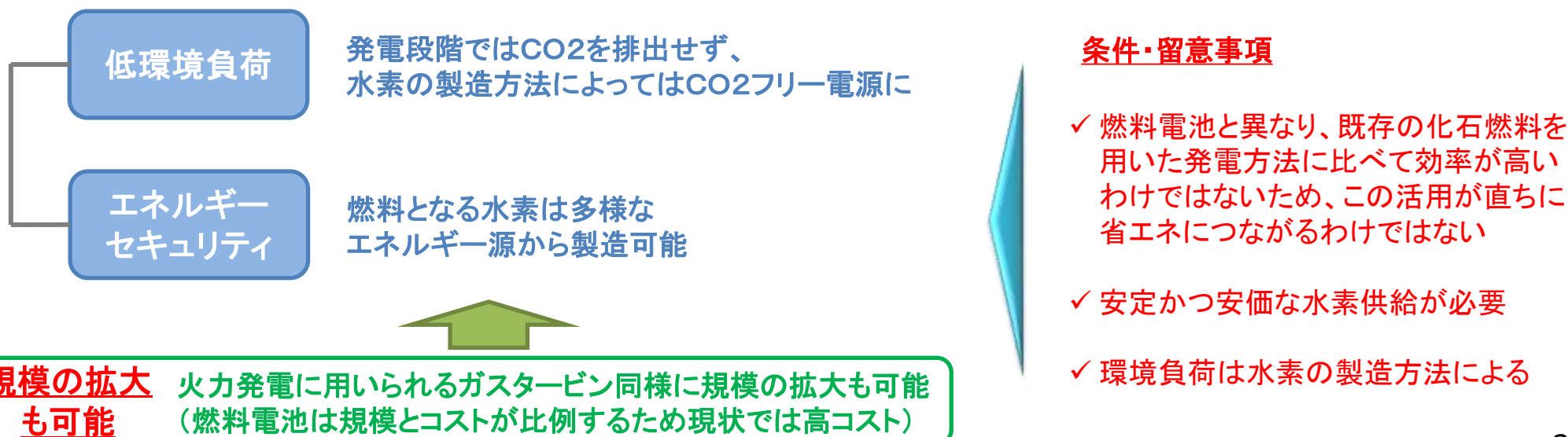
化学反応による発電のため高効率
熱利用によりさらに効率向上

規模拡大には比例的にスタックを増やす必要があり現状では高コスト

1-2. 水素発電の意義①(エネルギーとして)

- 水素発電は、一定の技術的、経済的ハードルが存在するものの、それらがクリアできれば、下記のような意義があると考えられる。
 - ① 発電段階ではCO₂を排出せず、水素の製造方法によっては、CO₂フリーの電源となりうる。
 - ② 水素は多様なエネルギー源から製造可能なため、水素発電を社会に実装すれば、水素の調達方法の変更によって様々なエネルギー源の活用が可能となり、エネルギーセキュリティの向上にもつながりうる。
- また、一定の技術的ハードルをクリアすれば従来のガスタービンと同様に規模の拡大も可能であり、安定・安価かつ大量の水素供給と結びつけることで、大規模かつ安定的で低環境負荷な電源となりうる。
- ただし、水素ガスタービンは、燃料電池と異なり、既存の火力発電設備に比べて効率が低いわけではないため、水素ガスタービン発電によって直ちに省エネルギー等につながるわけではないことに留意が必要。また、上記意義の成立には、安定・安価・低環境負荷な水素の供給が前提。

ガスタービンを用いた水素発電の意義



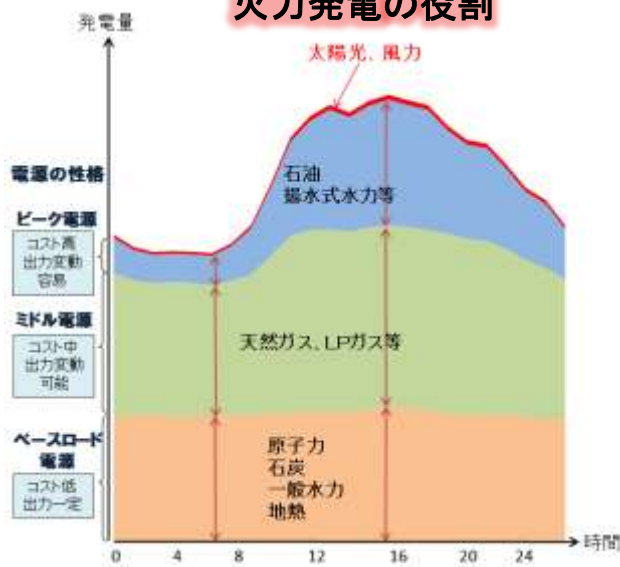
【参考】火力発電の燃料種ごとの特徴

■ 現状の電源構成において、多くを占める火力発電は燃料種ごとに多様な特徴を持つ。水素発電についても、今後導入するに当たっては、経済性に加えて、燃料種としての特徴を踏まえつつ、活用方法を考えることが重要。

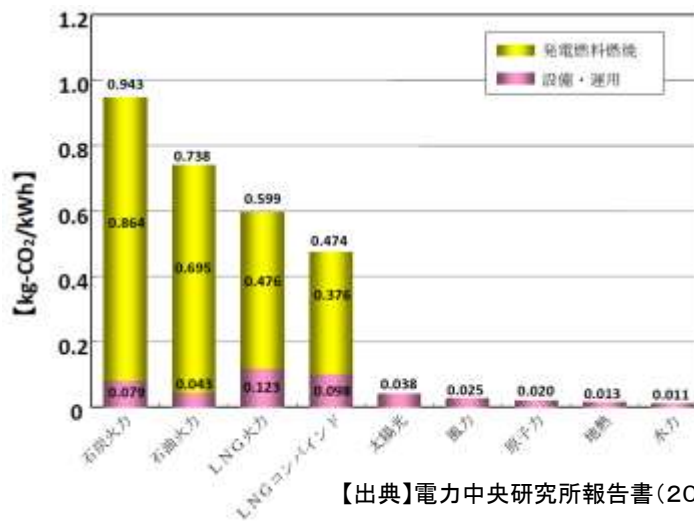
火力発電の燃料種ごとの主な特徴

	メリット	デメリット
石炭	①地政学的リスクが化石燃料の中で最も低い ②熱量当たりの単価が化石燃料の中で最も安い	温室効果ガスの排出量が多い
天然ガス	①地政学的リスクが相対的に低い ②化石燃料の中で温室効果ガスの排出が最も少ない	国際的には高い価格で調達
石油	①可搬性が高い。 ②全国供給網が整っており、備蓄が豊富	調達に係る地政学リスクが高い

火力発電の役割



電源ごとの発電電力量当たりのCO₂排出量



化石燃料と熱量等価の水素価格

CIFコスト	燃料価格 (円/MJ)	熱量等価水素価格 (円/Nm ³)
石炭	0.4	5.2
LPG	1.6	20.1
原油	1.6	19.8
天然ガス	1.3	16.7

【出典】財務省「日本貿易月報」(平成24年度)より
日本エネルギー経済研究所作成。

【出典】電力中央研究所報告書(2010年)

1-3. 水素発電の意義②(水素利活用分野への波及効果)

■ 水素発電の導入により、恒常的かつ大規模な水素需要が生じ、これに対応するための大規模なサプライチェーンが整備されることとなれば、原料水素コストが下がり、燃料電池自動車など、他の水素利活用分野においても波及効果が見込めるのではないか。

水素需要量の比較(試算)

(※)一定の仮定を置いた場合の試算値

	年間水素使用量		備考
水素発電 (事業用100万Kw・専焼)	23.7億Nm ³	—	LNG火力発電の燃料を水素に熱量換算して試算 ○出力:100万kW ○熱効率想定:51%(「コスト等検証委員会」より) ○稼働率想定:49%(「電力需給の概要」2010年度実績)
水素発電 (自家発10万kW・専焼)	3.5億Nm ³ ／基	6.8基	自家発(燃料種不定)の燃料を水素に熱量換算して試算 ○出力:10万kW ○熱効率想定:41%(「総合エネルギー統計」より) ○稼働率想定:58%(「電力調査統計」より) (※効率と稼働率は自家発平均)
燃料電池自動車	1,060Nm ³ ／台	223万台	燃料電池自動車の試算前提 ○燃費:8.9km/Nm ³ (100km/kg-H ₂)(JHFCプロジェクトより) ○年間走行距離:9,500km(JHFCプロジェクトより)
燃料電池バス (路線バス)	52,000Nm ³ ／台	4.5万台	燃料電池バスの試算前提 ○燃費:0.99km/Nm ³ (JHFCプロジェクトより) ○年間走行距離:51,684km (日本バス協会「日本のバス事業」をもとに推計)
家庭用 純水素形燃料電池 (0.7kW)	2,260Nm ³ ／台	105万台	家庭用純水素型燃料電池の試算前提 ○家庭用燃料電池の年間発電電力量:3,301kWh (「パナソニックHP」より推計) ○純水素形の発電効率想定:49% (家庭用燃料電池の発電効率39%(LHV)、改質器効率80%から算出)

各用途が同程度の水素需要

(注)事業用発電、自家発はHHV換算

2. 水素ガスタービンの現状と技術課題

2-1. 水素燃焼の技術課題

- 水素は、天然ガス等の既存の燃料に比べると、①発熱量が低い、②燃焼速度が速い、③断熱火炎温度が高い等の燃焼特性を持つ。
- このため、例えば、火炎温度が高いことで、局所的にホットスポットが生じ、NO_xが発生するため、これを低減することは大きな課題。

水素の燃料特性とガスタービンの技術課題

水素ガスの燃焼特性 (天然ガス=メタンとの比較)	水素ガス燃焼 にあたっての留意点
燃料発熱量が低い (体積当たり1/3以下)	ガス流量を増加させる必要 (ガス配管やノズルの工夫)
燃焼速度が速い (約7倍)	逆火による燃焼機の損傷 (予混合方式の場合)
断熱火炎温度が高い (+10%程度)	局所的なホットスポットの発生 →NO _x の発生を抑える必要

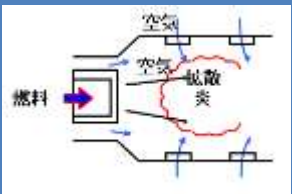
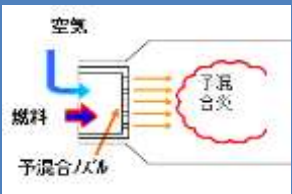
水素ガスの燃焼に向けて
ガスタービンの各種構造の最適化が必要

2-2. 既存ガスタービンにおける水素燃焼①

- 主なガスタービンの種類としては「拡散方式」(=燃料と空気を別々に噴射する方式)と「予混合方式」(=燃料と空気を予め混合噴射する方式)の2種類に分かれる。
- 拡散方式は、局所的に高温スポットが生じやすく、NO_xの発生が問題となるため、水・蒸気噴射等によりNO_xを低減している。これにより効率が低下してしまうものの、多様な燃料種への対応が可能となり、水素燃焼も可能。
- 一方、予混合方式は、水・蒸気噴射することなくNO_xの発生を低減できることから、高効率の発電が可能となるものの、火炎が不安定になりやすいため、現状では水素の混焼は5%程度が上限と言われている(ただし、実例が無いため検証が必要か)。また、燃焼器以外の設備(貯蔵設備等)の新設も必要になると考えられる。

現状のガスタービンの種類

(※)ドライ(DLE: Dry Low Emission)型
水や蒸気の噴射によらず、燃焼温度を低く制御することで、NO_x排出量を低減したもの

形式	形式
 <p>拡散方式</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料と燃焼用空気を別々に噴射 ・高温スポットが生じやすい(NO_x高) ・拡散燃焼により火炎が安定 	 <p>予混合方式</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料は空気と予め混合され噴射 ・高温スポットが生じにくい(NO_x低) ・火炎の位置が不安定(逆火)
<p>水・蒸気噴射 (ホットスポットに噴射して温度低減)</p>	<p>ドライ(※) (水・蒸気噴射不要)</p>
<p>NO_x低減</p>	<p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料種変動への対応は今後の課題 ・燃料系統が複雑 ・効率を下げずに低NO_x化が可能
<p>対応燃料</p> <p>H₂リッチガス、IGCC BFG、天然ガス、油など</p>	<p>対応燃料</p> <p>天然ガス、油 (事業用天然ガス火力発電の主流)</p>
<p>水素燃焼</p> <p>実績多数 (濃度制限なし)</p>	<p>水素燃焼</p> <p>5%程度なら可能と考えられる (実例なし)</p>

水素混焼発電は実績多数
水素専焼発電も海外で実証

水素の混焼は
5%程度にとどまる

2-3. 既存ガスタービンにおける水素燃烧②

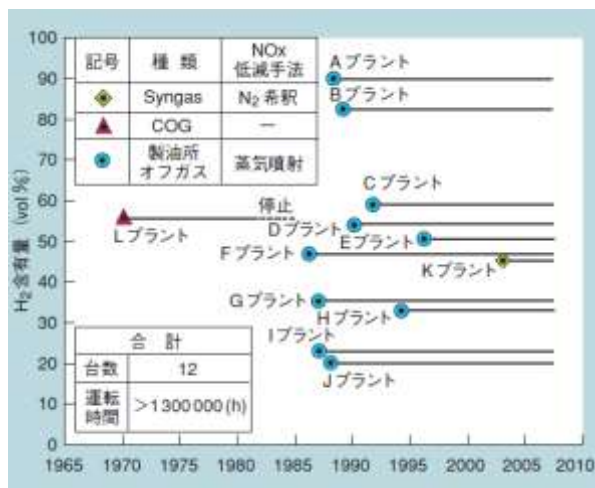
- 拡散方式では、水・蒸気噴射により効率が低下するものの、多様な燃料種への対応が可能であり、水素燃烧の実績も多数存在している。
- 具体的には、製鉄所や製油所の工業プロセス等で生じた水素を自家発電で活用する場合や、石炭ガス化ガスを用いた発電を行う場合に、ガスタービンでの水素(を含むガス)の燃烧が行われている。
- また、イタリアでは水素専焼発電に関する実証もなされている。

拡散方式ガスタービンでの水素燃烧

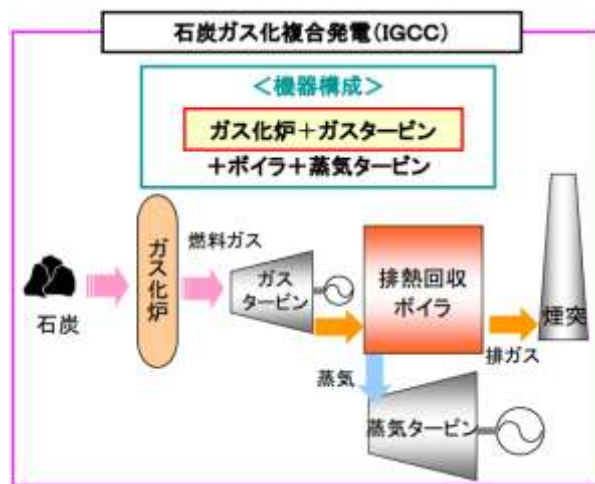
国内におけるガスタービンでの水素燃烧

- ✓ 既存のガスタービンにおいても、幅広い範囲で水素を含んだガスが活用されている。

- ✓ 石炭ガス化発電においては、ガス化の際に生じる水素もガスタービンで燃烧。



【出典】三菱重工業



【出典】東京電力

海外における水素専焼発電の実証

イタリア・Enel社における水素専焼発電

- イタリア環境省やベネチア地区の企業連合でコンソーシアム「水素パーク」を2003年結成
- 2010年運転開始、発電(IGCC+CCS): 12MW
- 効率(コンバインド): 41.6%
- 17,000tのCO₂削減効果を期待(同量火力発電比)



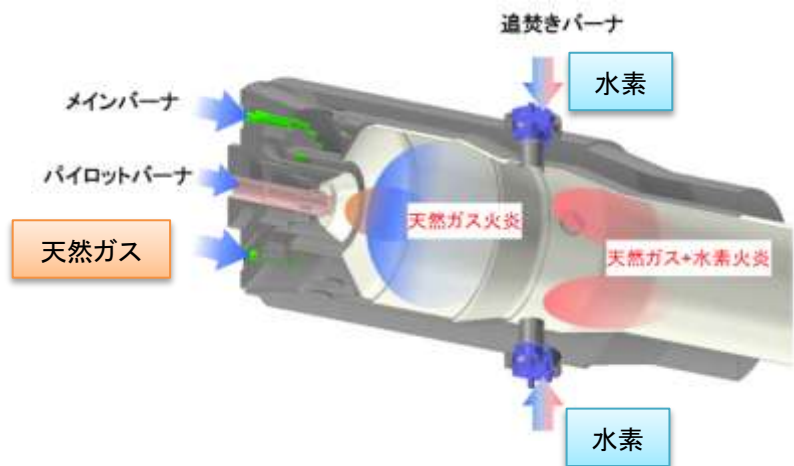
【出典】Enel

2-4. 水素リッチガス対応の新規ガスタービンの開発

- NO_xの低減策として水・蒸気噴射を採用したガスタービンは、水素専焼も含めて、既に多くの水素リッチガス（水素を多く含むガス）の燃焼実績を持つが、水・蒸気噴射により燃焼効率が低下してしまう。
- このため、工業プロセスで発生する水素リッチガスの自家発での活用や、石炭ガス化発電での活用に向けて、水素リッチガスを高効率で燃焼できるドライ型のガスタービンの開発が各社により進められている。

川崎重工の水素ガスタービン開発

- ✓ 天然ガスに対して体積当たり60%の水素混焼に対応した水素ガスタービン用燃焼器を開発。
- ✓ 天然ガスとは別の箇所から水素と空気を投入する「追い焚き型」により、水噴射を行うことなくNO_xを制御。
- ✓ この燃焼器を搭載した30MW級のガスタービンを2015年に市場投入する予定。



【出典】川崎重工業

日立製作所のIGCC用ガスタービン開発

- ✓ NEDOプロジェクトの一環として、IGCC（石炭ガス化複合発電）向けガスタービン燃焼器を開発。
- ✓ 燃料を急速混合することによって、プラント効率低下につながる水蒸気噴射や窒素希釈を行うことなく低NO_x化を図るとともに、火炎をバーナーから離れた位置で安定させることで逆火を防ぐことが可能。
- ✓ 石炭ガス化複合発電のパイロットプラントで実証を行い、実機での試験に成功。

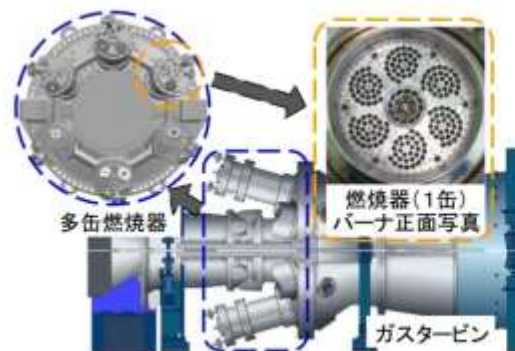


図1:ガスタービンに搭載した多缶燃焼器



図2: EAGLE パイロットプラント

【出典】日立製作所／(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 10

【参考】ガスタービンにおける水素燃焼のまとめ

- 既存ガスタービンのうち、多様な燃料種に対応した拡散方式については、水素燃焼の実績も多数存在し、海外では水素専焼の実証も行われている。
- 一方で、より高効率な予混合方式については、実例がなく5%程度しか混焼ができないと言われている。
- 今後は、高効率なドライ型で、水素リッチガスにも対応したガスタービンの開発が必要。

ガスタービンにおける水素燃焼(まとめ)

	既存ガスタービン		新規開発ガスタービン
	拡散方式(水蒸気噴射)	予混合方式(ドライ型(※))	ドライ型(※)
水素混焼	国内においても導入多数	5%程度まで可(実例なし)	一部メーカーで開発
水素専焼	イタリアで実証例あり	×(不可)	未開発

多様な燃料に対応
水素燃焼の実績多数



水・蒸気噴射により
効率が低下

水・蒸気噴射しないため
効率が低下しない



多様な燃料種への
対応は困難

ドライ型(水・蒸気噴射しない)で
水素リッチガスに対応した
ガスタービンの開発が今後必要

(※)ドライ(DLE: Dry Low Emission)型
水や蒸気の噴射によらず燃焼温度を低く制御すること
でNOx排出量を低減したもの