

高温ガス炉の導入シナリオ
及び
研究開発ロードマップの検討
—高温ガス炉将来展開検討会 WG2 報告書—

平成 19 年 3 月

(社) 日本原子力産業協会
高温ガス炉将来展開検討会

目次

| | |
|--|----|
| はじめに | 1 |
| 第1章 概要 | |
| 1.1 検討の経緯と目的 | 2 |
| 1.2 検討内容 | 2 |
| 1.3 検討方針 | 3 |
| 1.4 選定した導入シナリオ | 3 |
| 第2章 導入シナリオの検討 | |
| 2.1 燃料電池自動車向け導入シナリオ | |
| 2.1.1 狙いと背景 | 8 |
| 2.1.2 検討条件 | 8 |
| 2.1.3 検討結果 | 10 |
| 2.2 コンビナート向け導入シナリオ | |
| 2.2.1 狙いと背景 | 18 |
| 2.2.2 検討条件 | 18 |
| 2.2.3 検討結果 | 19 |
| 2.3 水素タウン向け導入シナリオ | |
| 2.3.1 狙いと背景 | 25 |
| 2.3.2 検討上の留意点 | 27 |
| 2.3.3 検討結果 | 27 |
| 2.4 超長期燃料サイクルシナリオ | |
| 2.4.1 狙いと背景 | 31 |
| 2.4.2 検討条件 | 31 |
| 2.4.3 評価結果 | 32 |
| 2.5 高温ガス炉システムの仕様検討 | 35 |
| 第3章 研究開発ロードマップ | |
| 3.1 今後の研究開発 | 36 |
| 3.2 研究開発のロードマップ | 36 |
| あしがき | 41 |
| 添付資料 | 45 |
| 補足資料（高温ガス炉ポテンシャルユーザーに関する予備的調査結果） | 48 |
| 高温ガス炉将来展開検討会 委員名簿 | 50 |

はじめに

エネルギー資源の乏しい我が国におけるエネルギーの安定供給及び地球環境問題の解決のためには、発電分野のみならず、多くの分野で原子力エネルギーの利用を進める必要がある。高温ガス炉は、950℃の高温域から低温域までの熱を効率的に利用することが可能であることから、熱化学法等を利用することにより高効率で環境負荷の小さなエネルギー資源として期待されている燃料電池への水素供給やその他の産業へのエネルギー供給用として、他型式の原子炉には無いポテンシャルを有している。このような高温ガス炉の持つ特性に着目した産業界を中心として、日本原子力産業協会は「高温ガス炉将来展開検討会（座長：関本博・東京工業大学教授）」を設置し、その下に設けられたワーキンググループ1（WG1）及びワーキンググループ2（WG2）において、高温ガス炉の普及・促進活動及び高温ガス炉の用途及び導入シナリオの検討を進めてきている。

本報告書は、このうちWG2で行った高温ガス炉の用途及び導入シナリオの検討成果をまとめたものであり、高温ガス炉の用途や、将来展開の可能性について社会に広く知っていただくために資することを目的としている。

(社)日本原子力産業協会
高温ガス炉将来展開検討会

第1章 概要

1.1 検討の経緯と目的

日本原子力産業協会（以下、原産協会）は平成 17 年度に「高温ガス炉の実用化開発戦略の検討」をテーマとして、高温ガス炉のニーズ等のアンケート調査を実施するとともに、産業界の視点から「高温ガス炉実用化に向けた国の政策への提言書」を作成し、有識者への説明等の地道な活動を続けてきた。

平成 17 年 10 月に尊重することが閣議決定された「原子力政策大綱」の中では、高温ガス炉開発は、革新的な技術概念に基づく技術システムの実現可能性を探索する技術開発として位置づけられ、国はその実用化に至るまでに要する費用との関係において予想される実用化に伴う公益の大きさに応じて取り組みのあり方を定めるべきである。高温の熱源や経済性に優れた発電手段となり得る高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発等については、今後とも技術概念や基盤技術の成熟度等を考慮しつつ長期的視野にたって必要な取組を決め、推進していくことが重要であることが示された。また、総合科学技術会議が策定した科学技術の分野別推進戦略の中では、「高温ガス炉などの革新的原子力システム技術」がエネルギー分野における重要な研究課題として選定された。このように高温ガス炉に関する研究技術開発が国の政策として明記されるにあたっては、原産協会における活動が少なからず貢献したものとする。

今年度は、研究開発について、国から明確な支援を得るべく活動する。そのために、WG2 では、高温ガス炉の用途や、将来展開の可能性について社会に広く知っていただくことを目的として、高温ガス炉の導入シナリオの検討と研究開発ロードマップの作成を行う。

1.2 検討内容

実施する検討は、（1）高温ガス炉システムの導入、並びに超長期（燃料サイクル）シナリオの作成、（2）導入する高温ガス炉システムの要件に基づく研究開発ロードマップの一次案作成である。検討内容の概略は下記のとおりである。

（1）高温ガス炉システムの導入、並びに超長期（燃料サイクル）シナリオの作成

誰が、いつ、どこに、どのようにして、どんな高温ガス炉システムを導入する可能性を有するか等について、水素等の需要見通し、立地条件などを踏まえつつ我が国における高温ガス炉システムの導入シナリオ並びに超長期燃料サイクルシナリオを検討、作成する。

- (2) 導入する高温ガス炉システムの要件に基づく研究開発ロードマップの一次案作成
我が国の産業界としての高温ガス炉の原子炉技術及び高温ガス炉を用いた水素製造技術、発電技術に関する研究開発ロードマップの一次案を検討作成する。

1.3 検討方針

検討の基本的条件として、導入場所は国内とし、ニーズに応えたビジネスとして魅力的なシナリオとするように配慮する。ただし現状は、高温ガス炉に魅力を感じるユーザーも、ビジネスとして積極的に投資する対象までには至っていないと考えているため、将来的に条件が整えばユーザーとなり得るいわゆるポテンシャルユーザーを対象とするシナリオとする。

このような基本的条件に基づき、国内のエネルギー消費産業を中心にニーズ調査を実施し、高温ガス炉の特長、優位性を考慮した上で最適な導入シナリオを選定する。また、立地場所をある程度想定し、～2050年(あるいは2100年)程度までの導入基数、導入年次を決めることとする。経済性評価、環境影響評価、エネルギーセキュリティーについては、可能な範囲で検討を進める。

1.4 選定した導入シナリオ

高温ガス炉は、1) 高温熱供給により高い発電効率、熱効率が達成可能で経済性に優れている、2) 固有の安全性が高く需要地近接立地が期待できる、3) 供給する熱の温度帯域が広いことから多様な利用形態が可能である、4) 地球温暖化ガスの排出なしに多様なエネルギーの供給が可能であること、などの特長を有しており、発電以外の産業分野、運輸分野、民生分野へ原子力利用を拡張するポテンシャルを備えている。中でも高温熱供給能力を活かした熱化学法による水素製造と高効率発電、高温から低温までの熱媒体供給は高温ガス炉独自の特長といえる。

わが国のエネルギー需給構造を見ると、その石油依存度は一時の約4分3から5割弱には減少しているものの他の先進国と比較して高い。石油製品の利用では、輸送用が比率を上げており2005年では約43%である。このことから、輸送用エネルギーの石油以外での代替が焦眉となっており、水素燃料電池自動車の開発が期待されるところである。この、運輸分野におけるエネルギー利用については、当面副生水素の振り替えで対応可能ではあるが、非化石系のエネルギーによる水素生産が本筋であることは論を待たない。そこで、原子力エネルギーを利用しての水素生産方式には水の電気分解もあるが、ここでは高温ガス炉利用の水の熱分解法による集中生産を対照として取り上げた。

産業全体はわが国のエネルギー消費のうち比率を下げつつあるものの依然約44%(2005年)を占めているので、省エネならびに非化石エネルギーによる代替を進めるべ

きである。うち石油化学原料、コークス用の原料炭など非エネルギー用途を除いても、エネルギー消費の3分の1を占め、大部分が熱として使われているはずである。そこで、産業分野についても核熱の利用が可能な分野と考えた。個別の産業の熱利用特性などの調査ならびに実際工場を訪問して議論したが、ここではいわゆるコンビナート内の自家発電火力ボイラーの代替を考えてみた。自家発電ではあるが蒸気供給も兼ねているはずであるからである。

最後に近年地域の活性化とリンクさせて、クリーンエネルギー、水素利用構想がいくつか提案されている。原子力はダーティーというイメージをいくらかでも払拭することを狙って、高温ガス炉の利用がそれらの構想にどのように対応できるかを、核熱の民生分野への利用をも含め探ってみた。

以上から高温ガス炉の特長が現実的に十分活用されるような用途であって、1.3 項に示す検討方針に従うものとして、次に示す3の利用形態を選定し、導入シナリオを作成した。(1) 燃料電池自動車への水素供給用高温ガス炉、(2) 国内コンビナートにおいて、更新時期が近づいている自家発電及び蒸気供給用火カプラントの代替用高温ガス炉、(3) 将来の水素社会に向けての水素タウン用のエネルギー供給用高温ガス炉、である。ただし、(3)については、特定の水素タウンをモデルとしているが、現段階では具体的なエネルギーミックス、需要量を特定できる情報が得られていないので、導入に当たっての留意点や利用形態の一例について検討を行なった。従って、導入シナリオの検討は今後の課題である。

最後に、導入する高温ガス炉に必要な研究開発項目を整理し、研究開発のロードマップを作成した。研究開発が必要な項目として掲げたものは、上記3種類の高温ガス炉利用態様を網羅するものである。図 1-1 及び下記に導入シナリオの要点を示す。

(1) 燃料電池自動車向け導入シナリオ

燃料電池自動車は 2030 年以降に普及が本格化しその後需要が急増するとの国の予測を踏まえ、2030 年頃から高温ガス炉の運用を開始し、2100 年までに 30 基の高温ガス炉（電力/水素併給）を導入する。本システム 30 基の高温ガス炉で約 1,200 万台の燃料電池自動車に水素を供給することが可能である。高温ガス炉による供給は、現行のオフサイト、オンサイト型水素製造に対して経済的にも十分競合可能であり、環境、エネルギーセキュリティーの面でも有利である。燃料電池自動車向け高温ガス炉システムの一例を図 1-2 (1)に示す。

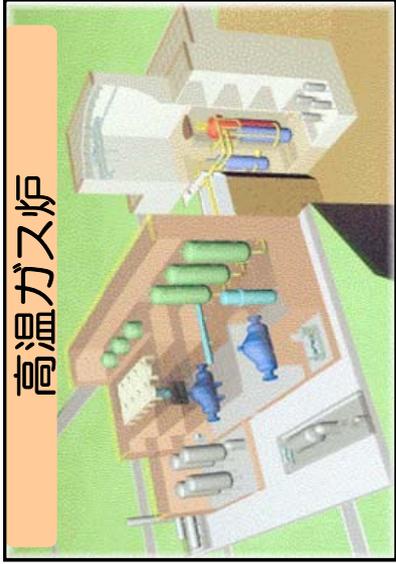
(2) コンビナート向け導入シナリオ

国内のコンビナートでは現行の自家発電設備が老朽化しており、更新に当たっては低コストで環境対応型の電源として原子力の利用も可能である。本シナリオでは、国内の

コンビナートにおける自家発電設備をすべて発電用高温ガス炉に代替することを前提とし、設備の運営主体は新たなエネルギー供給会社を設立し効率的な運用を図る。本システムの高温ガス炉の導入基数は15基と予測され、年間約2000万トンの炭酸ガスの削減、年間約1400万トンの化石燃料の節減につながる。コンビナート向け高温ガス炉システムの一例を図1-2(2)に示す。

(3) 水素タウン向け導入シナリオ

青森県が推進中の水素タウン構想に高温ガス炉を導入する場合のシナリオの方向性について検討を行った。高温ガス炉の導入時期は2030年ごろとし、水素の供給を中心に水素タウンのニーズに適合するようなエネルギーの供給を行う。導入シナリオの策定においては、青森県の新たな産業創出や地域活性化に繋がるような方向性が重要であり、今後、青森県と連携を図って取組む。水素タウン向け高温ガス炉システムの一例を図1-2(3)に示す。



高温ガス炉

熱出力 600MW
 出口温度 950℃
 熱電併給可能

- 優れた経済性
- 固有の安全性
- 広い利用温度帯
- CO₂排出なし

2040年頃から
 本格運用

電力
 熱
 水素

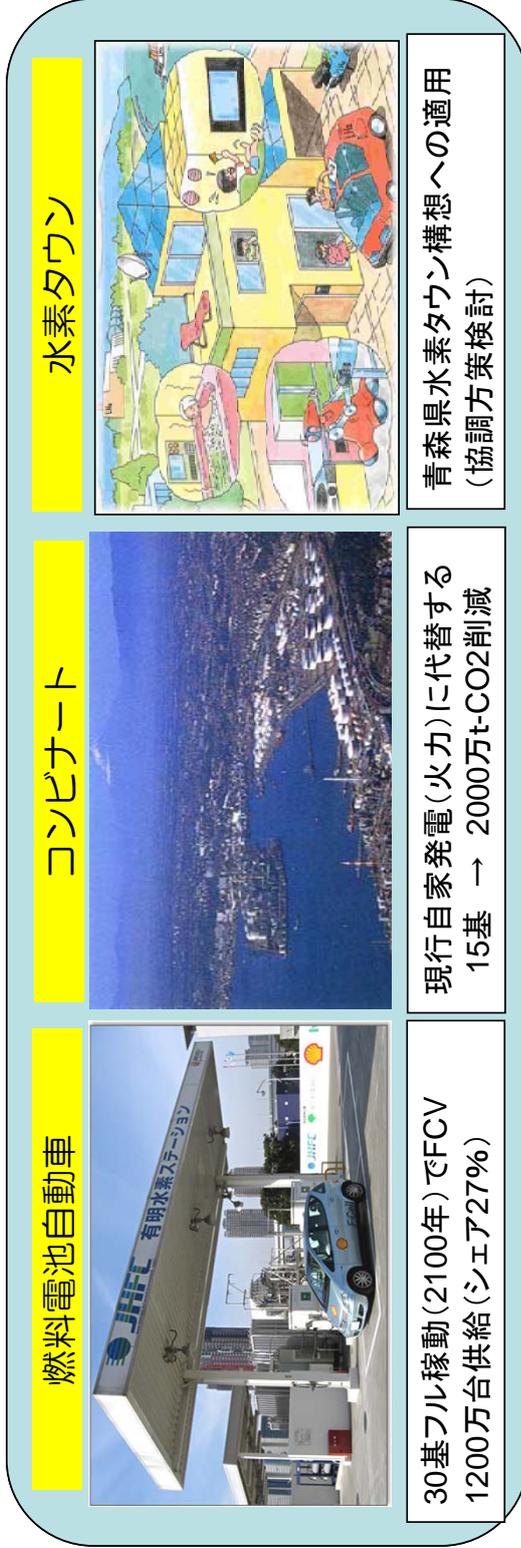


図 1-1 高温ガス炉導入シナリオの概要

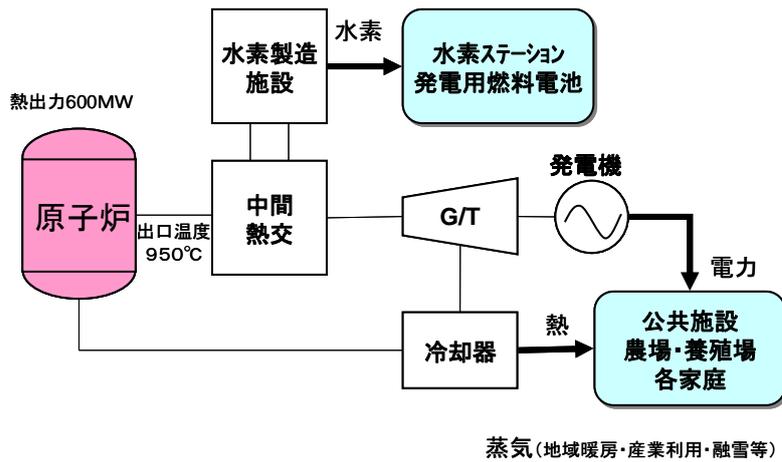
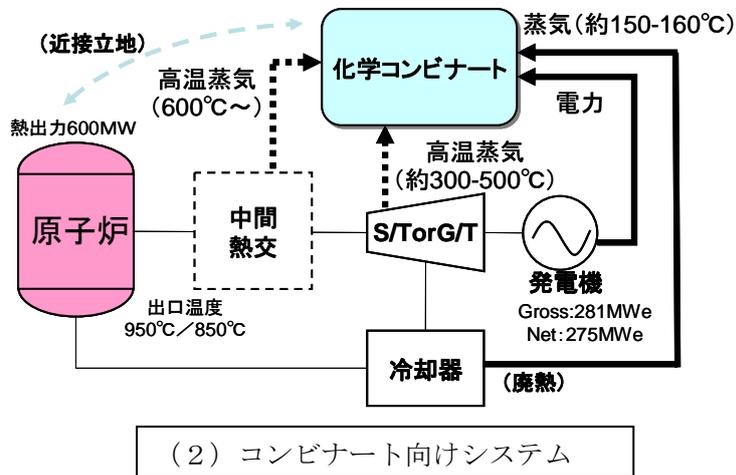
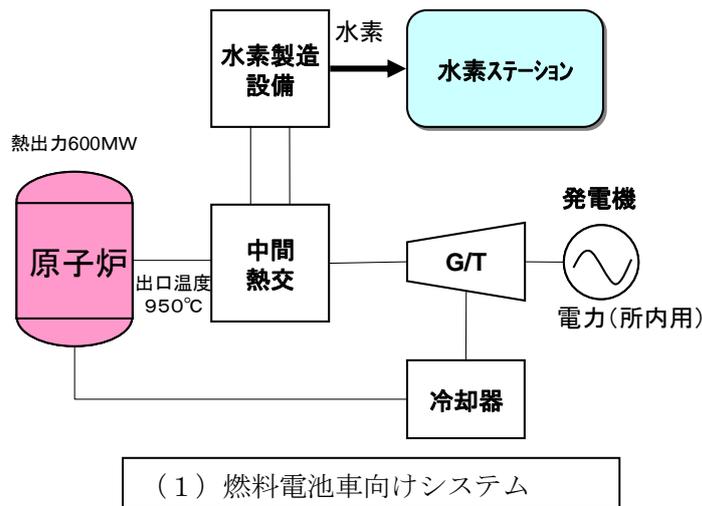


図 1-2 高温ガス炉システム概念

第2章 導入シナリオの検討

2.1 燃料電池自動車向け導入シナリオ

2.1.1 狙いと背景

燃料電池の導入の意義を明確化するとともに、その実用化に向けた課題の抽出と課題解決の方向性を探るため、平成11年12月に資源エネルギー庁長官の私的研究会として産学官から構成される「燃料電池実用化戦略研究会（座長：茅陽一・慶應義塾大学教授）」が設置され、平成13年1月に「燃料電池実用化戦略研究会報告」が取りまとめられた。また、この報告書には、2005年、2010年、2020年、2030年（平成16年の会議で追加）における燃料電池自動車及び定置用燃料電池の導入目標とともに、必要となる水素需要が示されている。これら導入目標を達成するため、新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDOと称す。）は、平成17年6月1日に「燃料電池・水素技術開発ロードマップ」を作成し（平成18年6月に2006年版として一部改訂）、短期（2007）、中期（2010）、長期（2015～2020）の技術開発課題及びその到達目標を示した。水素の製造については、原子力の項目のところに、長期的テーマとして研究機関で取り組む課題として「高温ガス炉熱化学法（ISプロセス）等」が挙げられている。

高温ガス炉を熱源としISプロセスを用いた水素製造の経済性評価については、日本原子力研究開発機構(JAEA)において検討が行われており、今後の開発課題を有するものの、ISプロセスを利用した水素製造用高温ガス炉では、価格競争力を保ち、温室効果ガスの放出が無く大量の水素を製造できる可能性が示されている。したがって、2020年以降に予想される燃料電池自動車用の水素需要の増加に対応しうるシステムとして期待できる。そこで、燃料電池車向けの水素製造に用いる高温ガス炉の導入シナリオの検討を行う。

2.1.2 検討条件

高温ガス炉による水素製造の経済性については、JAEAの試算を参照するとともに、燃料電池自動車の普及およびそれに伴う水素需要予測は、NEDOの「2006燃料電池・水素技術開発ロードマップ」をベースとし、2030年を目処に高温ガス炉を導入するシナリオを作成する。さらに、高温ガス炉導入の2030年における効果を、経済性、環境影響（CO₂削減効果）、エネルギーセキュリティーの観点から、鉄鋼所のコークス炉ガス（COG）の副生水素回収、製油所のナフサ改質によるオフサイト水素製造、ならびに、都市ガス改質、アルカリ水電解によるオンサイト水素製造と比較評価する。

(1) 経済性

経済性に関しては、建設費（設備費）、燃料、電力などの変動費、人件費等を考慮して、水素製造費、圧縮費、ステーションまでの輸送費、ステーションでの費用を評価する。評価条件は以下の通りである。

- ①高温ガス炉による水素製造費：2040年頃の高温ガス炉及びISプラントの建設費を概算し、これを基に、固定費、人件費、変動費などを算出し、水素製造価格を評価する。
- ②輸送コスト：NEDOの評価結果を参照する。
- ③ステーションコスト：NEDOの評価結果を参照する。

(2) 環境影響評価

環境影響評価に関しては、CO₂削減効果に着目し、改質により水素を製造した場合のCO₂発生量との比較及び京都議定書における規制値に対する割合を評価する。また、CO₂クレジットおよび処理費用の評価を行う。評価条件は以下のとおりである。

- ① 鉄鋼所COG副生水素回収：COGの代表的な組成は、水素 56%、メタン 30%で構成されており、圧力振動吸収(PSA)プロセスにより水素を回収する。水素 1Nm³の製造に必要なCOGは 2.5Nm³である。残ガスをさらに改質して水素を製造することも可能であり、改質効率を 80%とすると約 0.6Nm³の水素を製造できる。なお、経済性評価では残ガスは燃料として売却することを想定している。COGの二酸化炭素排出量原単位は 0.851kg-CO₂/Nm³であることから⁽¹⁾、水素 1Nm³に対しては 1.330kgのCO₂が発生する。
- ② ナフサ改質：ナフサ改質では水素 1Nm³の製造に必要なナフサは 0.552tである。ナフサの二酸化炭素排出量原単位は 2.276kg-CO₂/tであることから⁽¹⁾、水素 1Nm³に対して 1.256kgのCO₂が発生する。
- ③ 都市ガス改質：都市ガス改質では水素 1Nm³の製造に必要な都市ガスは 0.33Nm³である。都市ガスの二酸化炭素排出量原単位は 2.080kg-CO₂/Nm³であることから⁽¹⁾、水素 1Nm³に対して 0.686kgのCO₂が発生する。
- ④ CO₂クレジット：温室効果ガス排出削減量の売買が行われており、現状では数ドル/t-CO₂で取引が行われている。しかし、需要に対して供給が著しく不足していることから、価格が上昇することも想定される。東京電力がECOサポートプランを導入した平成 16 年 7 月のCO₂ クレジットは 600 円/t-CO₂であったが、三菱総合研究所のEco. Weekly (2005年8月1日付け)では、8 ドル/t-CO₂ (≒900 円/t-CO₂) と想定している (添付 2.1-1)。また、2010年にはCO₂クレジットが 14.3 ドル/t-CO₂まで上昇すると予想した例もある⁽²⁾。本評価では、CO₂クレ

ジットとして 900 円/t-CO₂を参照する。

- ⑤ CO₂吸収隔離(CCS)費用：地球環境産業技術研究機構(RITE)のCO₂海洋隔離プロジェクトでは、現状のCO₂隔離費用を 6500～8200 円/t-CO₂と評価している。これが 20～30 ドル/t-CO₂まで下がるとCO₂吸収隔離が本格的に導入されると考えられている⁽³⁾。本評価では、CO₂吸収隔離費用として普及時の平均値として 25 ドル/t-CO₂ (3000 円/t-CO₂) を採用する。
- ⑥ 2000 年度の日本のCO₂排出量は 12.7 億t-CO₂である(添付 2.1-2)。京都議定書におけるCO₂削減目標は 1990 年度比で 6%であり、2000 年の排出実績から約 2.1 億t-CO₂の削減が必要となる。

(3) エネルギーセキュリティ

エネルギーセキュリティに関しては、オンサイト型及びオフサイト型水素製造において原料や燃料として消費されるナフサ及び都市ガスの量を試算し、消費量の輸入量に対する割合を評価する。評価条件は以下のとおりである。

- ① オフサイト型は、ナフサ改質の原料・燃料の使用量で評価する。
- ② オンサイト型は、都市ガス改質の原料・燃料の使用量で評価する。
- ③ 効率は研究開発に伴い向上することも考えられるが、改質法は成熟した技術であることから、ここでは現在想定されている効率に基づく原料・燃料で評価する。
- ④ 電力消費に係るエネルギーは考慮しない。

2.1.3 検討結果

次項に示す検討結果より、不確定要素はあるものの、高温ガス炉水素製造システムは経済性において他の水素製造システムと遜色ないレベルであること、エネルギーセキュリティの観点からも、石油、天然ガスの輸入量の削減に寄与することが期待され、さらに排出量全体に対する効果は小さいがCO₂削減という利点がある。以上より、水素製造システムとして高温ガス炉利用は有望な選択肢の一つであり、2030 年の燃料電池を本格的に普及させるためには、それに向けて開発を加速していくことが有効である。

(1) 導入シナリオ

実証炉の導入が行われる 2030 年以降の高温ガス炉建設シナリオは、燃料電池自動車普及に伴う水素需要の増加に従って高温ガス炉の基数も増加するとした。

(i) 2030 年までの燃料電池自動車の普及予想

2030 年以降の燃料電池自動車の普及予想は、NEDO のロードマップから推測すると以下の通りと考える。

- ① 軽自動車を含めた全自動車登録台数は、2006年8月末時点で7573万台である。
軽自動車や特殊用途用自動車を除き、早期に燃料電池自動車と置き換わる可能性のある自動車の総数は2000年で4,900万台である。したがって、2030年の普及期で約20%の自動車が燃料電池自動車に置き換わっている。
- ② 2006年の自動車出荷台数見通しは600万台/年であり、本格普及期（2020年から2030年）に1,000万台の燃料電池自動車を導入するためには、総出荷台数の約17%（100万台/年）の割合で導入される。
- ③ 燃料自動車は平均1,000Nm³/年/台の水素を消費することから、本格普及期の水素需要は10億Nm³/年の割合で増加する。

(ii) 2030年以降の燃料電池自動車の普及予想

高温ガス炉の実証炉が2030年に運開し、安定運転を5年ほど経験した後に2号機の安全審査を行なうとすれば、商業炉の運開は2040年以降というスケジュールになると想定した。上記より、普及台数を加味し、2040年以降の状況を推定すると以下の通りとなる。

年100万の割合で燃料自動車が継続して増加すると、燃料電池自動車は2040年に2,500万台（全自動車の1/3）に到達することとなる。このままの増加率を維持すると考えると、2090年で100%燃料電池自動車に置き換わることになる。

一方、経済産業省では2100年に自動車の電化・水素化率が100%になると想定している⁽⁴⁾。電気自動車は近距離移動用としての利用を想定した。そこで、2100年の全自動車数が現在と変わらず、燃料電池自動車の普及率が60%と仮定し、燃料電池自動車数を4,500万台と想定する。2030年からの増分は3,000万台で、平均43万台/年となる。

(iii) 高温ガス炉の導入基数

上記の仮定に基づくと、2100年の水素需要は約450億Nm³/年となる。2030年以降の需要は線形に増加すると想定すると、約4.3億Nm³/年ずつ増加する。2040年は213億Nm³/年の需要となる。

- ① 所内電力併産型高温ガス炉^(*)による水素製造量は約4.0億Nm³/年/基である。
2040年以降の水素需要の増分は二酸化炭素フリーの水素で賄うこととし、オフサイト型の高温ガス炉水素製造システムがその半分を担うことを前提とする。
2040年以降、2年に1基のペースで建設すると、需要増分の約46%を賄うこととなる。高温ガス炉の基数は、2100年時点で30基となる。

(*)ここでは日本原子力研究開発機構(JAEA)が高温工学試験研究炉(HTTR)をベースに開発中の「GTHTR300C」シリーズを想定

- ② 2100年時点で高温ガス炉による水素製造量は120億Nm³/年となり、総需要の27%（燃料電池自動車約1200万台相当）を賄うこととなる。
- ③ 高温ガス炉導入による2100年時点でのCO₂削減効果とエネルギーセキュリティーは表2.1-1および表2.1-2に示す通りとなる。CO₂削減効果については、高温ガス炉を導入せずに、鉄鋼COG副生、ナフサ改質、都市ガス改質のみで水素製造を行った場合に発生するCO₂とCO₂クレジットの費用を示している。また、エネルギーセキュリティーについては、高温ガス炉を導入せずに、ナフサ改質、都市ガス改質のみで水素製造を行った場合に必要となる石油又はLNG量の2004年の輸入量に対する割合を示している。

(2) 導入のスケジュール

原子力政策大綱において、第3段階にあるFBRサイクルが、2025年に実証炉の運転を目指していること、高温ガス炉が第2段階にあることから、実証的なプラント運転開始を燃料電池自動車が1500万台導入される2030年頃と想定し、以下の通りの流れでロードマップを作成する。なお、前述の経済産業省の資料によると2030年における電化・水素化率は1%（75万台）、2050年で40%（3,000万台）と予測されており、最近の燃料電池自動車の開発状況を鑑みて、本格的な高温ガス炉の導入は2040年頃と想定した。

| | |
|------------|--|
| 2020年ごろ | : HTTR-ISによる技術的な実証データに基づき、安全審査開始 |
| 2018年 | : HTTR-ISの試験開始 |
| 2015年 | : HTTR-IS改造工事着手 |
| 2012～2014年 | : HTTR-IS安全審査、設工認 |
| 2009～2010年 | : パイロットプラント（30Nm ³ /h規模、実用材料利用）試験 |
| 2007～2008年 | : パイロットプラント（30Nm ³ /h規模、実用材料利用）製作 |

(3) 導入の効果

(i) 経済性

製造・輸送工程における経済性に関して、高温ガス炉IS法、鉄鋼COG副生、ナフサ改質によるオンサイト型水素製造および都市ガス改質、アルカリ水電解によるオフサイト型水素製造について比較評価した結果を表2.1-3に示す。また、比較のベースに用いた高温ガス炉の資本費、運転維持費、燃料費を表2.1-4に示す⁽⁵⁾。

高温ガス炉IS法はアルカリ水電解と比較して安価であるが、オフサイトの鉄鋼COG副生と同等で、ナフサ改質よりは若干高価になる。オンサイト型の都市ガス改質に比べるとかなり高価となる。オフサイト型水素供給コストにおいて、2005年から2030年までの間に大きく費用が低減するのはステーション費用である。一

方、オンサイト型の場合は水素製造設備の開発状況にも影響を受ける。

既存の石油精製施設では施設の各所のオフガスを利用することができるので、燃料とオフガスの安価な方を水素製造の原料・燃料として水素を製造することができる。初期段階では既存設備の利用も想定されるが、この場合でも、設備のメンテナンス、精製設備の追加などにより、新設の場合とほぼ同じ水素供給価格となる。

石油産業活性化センターが調査した既存設備を利用した場合の水素供給ポテンシャルは、業界全体で現在 186 億Nm³/年であるが、2020 年には 164 億Nm³/年に減少すると予測している。2030 年の燃料電池自動車の水素需要を賄うことは可能であるが、それ以降は新たな水素製造設備を建設することが不可避となる。国内における鉄鋼生産量が現在以上に増加するとは考えにくいことから、鉄鋼所からのCOGを期待することはできない。

また、天然ガスやナフサなどの原料・燃料の価格変動によりオンサイト型およびオフサイト型の改質法による水素供給コストは 10 円程度の変動が想定される。

以上の不確定要素を考えると、高温ガス炉 IS 法も経済性としては、他の水素製造方法と比較して、遜色ないレベルと評価できる。

(ii) 環境影響

鉄鋼COG副生、ナフサ改質によるオフサイト型水素製造および都市ガス改質によるオンサイト型水素製造について、CO₂発生量とCO₂クレジットを比較評価した結果を表 2.1-5 と図 2.1-1 に示す。

2030 年でのCO₂発生量は、京都議定書に基づくCO₂削減目標（1990 年比 0.76 億 t-CO₂）の 15~30%になる。CO₂クレジットも約 100~200 億円相当となる。CO₂吸収隔離費用は 3,000 円/t-CO₂でCO₂クレジットの 3.3 倍である。CO₂クレジットを、単位体積当りの水素単価に換算すると約 0.62~1.20 円/Nm³、CO₂吸収隔離費用は 2.05~3.99 円/Nm³となる。これらの費用は高温ガス炉で作った水素では不要なものである。

また、高温ガス炉による水素は製造段階でCO₂を排出しないことから地球環境保護に対して大きく貢献し得る。

(iii) エネルギーセキュリティー

オフサイト型ナフサ改質およびオンサイト型都市ガス改質について、消費する化石燃料量の評価結果を表 2.1-6、図 2.1-2 に示す。それぞれ、高温ガス炉を導入せずに水素製造を行った場合に必要となる石油量および LNG 量の輸入量に対する割合を示している。

すなわち、高温ガス炉を用いることによって、水素製造のための化石燃料の輸入、消費を抑えることができ、日本のエネルギーセキュリティ(自給率)の観点からも大きな貢献が期待できる。なお、水素製造に高温ガス炉等の非化石燃料を使用すれば、世界的なエネルギーセキュリティにも大いに貢献できる。

(参考文献)

- (1) 「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」、平成 18 年 11 月、環境省、経済産業省
- (2) 中央環境審議会総合政策・地球環境合同部会 施策総合企画小委員会第 15 回委員会資料 3、平成 16 年 11 月、環境省
- (3) 「Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage」、September 2005、Intergovernmental Panel on Climate Change
- (4) 「技術戦略マップ(エネルギー分野)～超長期エネルギー技術ビジョン～」、平成 17 年 10 月、経済産業省産業 構造審議会産業技術分科会 研究開発小委員会資料
- (5) 武井他、「高温ガス炉ガスタービン発電システム(GTHTR300)の経済性評価」、日本原子力学会和文論文誌、5-2、p109-117 (2006)

表 2.1-1 2100 年高温ガス炉 30 基導入によるCO₂削減効果

| | | |
|---|--|--------|
| 2100 年における高温ガス炉による水素製造量 (億Nm ³) | | 120 |
| 鉄鋼 COG 副生 | CO ₂ 発生量 (10 ⁵ t-CO ₂) | 159.6 |
| | CO ₂ クレジット (百万円) | 14,364 |
| ナフサ改質 | CO ₂ 発生量 (10 ⁵ t-CO ₂) | 150.7 |
| | CO ₂ クレジット (百万円) | 13,565 |
| 都市ガス改質 | CO ₂ 発生量 (10 ⁵ t-CO ₂) | 82.3 |
| | CO ₂ クレジット (百万円) | 7,409 |

表 2.1-2 2100 年高温ガス炉 30 基導入によるエネルギーセキュリティー

| | | |
|---|------------------------------|-------|
| 2100 年における高温ガス炉による水素製造量 (億Nm ³) | | 120 |
| ナフサ改質 | 原料・燃料消費量 (億ℓ) | 66 |
| | 2004 年石油輸入量との比率 | 2.73% |
| 都市ガス改質 | 原料・燃料消費量 (億Nm ³) | 39.6 |
| | 2004 年 LNG 輸入量との比率 | 5.14% |

表 2.1-3 経済性評価結果

| | | 原料・燃料 | 製造・精製 | 圧縮・貯蔵・ 充填 | 輸送 | ステーション | 合計 |
|--------------|------------|----------|-------|--------------|------|--------|-----------|
| 高温ガス炉 IS 法** | | 22.0 | | 6.0 | 18.6 | 25.6 | 72.2 |
| オフサイト | 鉄鋼 COG 副生* | 6.8 | 12.0 | 6.0 | 18.6 | 25.6 | 70.2 |
| | ナフサ改質* | 6.8-17.0 | 6.2 | 6.0 | 18.6 | 27.8 | 63.2-73.4 |
| オンサイト | 都市ガス改質* | 15.5 | | | | 39.4 | 54.9 |
| | アルカリ水電解 | | | | | 89.6 | 89.6 |

*) 平成 15~16 年度成果報告書 水素安全利用基盤技術開発 水素に関する共通基盤技術開発
「水素シナリオの研究」の 2030 年での予想コスト

***) 高温ガス炉は現時点での開発目標値

表 2.1-4 高温ガス炉ガスタービン発電システムの経済性

| | |
|----------|------------|
| 資本費 | 1.57 円/kWh |
| 運転維持費 | 1.11 円/kWh |
| 燃料費 | 1.46 円/kWh |
| 合計（発電単価） | 4.14 円/kWh |

稼働率 80%、割引率 3%、建設費総額 547 億円

表 2.1-5 CO₂発生量とCO₂クレジット

| | | CO ₂ 発生量 (kg - CO ₂ /Nm ³ -H ₂) | 年度 | | |
|--|-----------|---|------|-------|--------|
| | | | 2010 | 2020 | 2030 |
| 水素需要（億Nm ³ ） | | | 4.3 | 65 | 170 |
| CO ₂ 発生量 (10 ⁵ t -CO ₂) | 鉄鋼 COG 副生 | 1.330 | 5.7 | 86.5 | 226.1 |
| | ナフサ改質 | 1.256 | 5.4 | 81.6 | 213.5 |
| | 都市ガス改質 | 0.686 | 2.9 | 44.6 | 116.6 |
| CO ₂ クレジット (百万円) | 鉄鋼 COG 副生 | | 515 | 7,781 | 20,349 |
| | ナフサ改質 | | 486 | 7,348 | 19,217 |
| | 都市ガス改質 | | 265 | 4,013 | 10,496 |

CO₂クレジット：900 円/t-CO₂

表 2.1-6 水素製造に必要な石油、天然ガスの推移

| | 必要原燃料 | 年度 | | |
|----------------------------------|--|------|------|------|
| | | 2010 | 2020 | 2030 |
| 水素需要(億Nm ³) | | 4.3 | 65 | 170 |
| ナフサ改質の原燃料使用量（億ℓ） | 0.55ℓ/Nm ³ -H ₂ | 2.37 | 35.8 | 93.5 |
| 2004年石油輸入量との比率（%） | | 0.10 | 1.48 | 3.86 |
| 都市ガス改質の原燃料使用量（億Nm ³ ） | 0.33Nm ³ /Nm ³ -H ₂ | 1.4 | 21.5 | 56.1 |
| 2004年LNG輸入量との比率（%） | | 0.18 | 2.79 | 7.29 |

2004年石油輸入量：2,420 億ℓ

2004年LNG輸入量：770 億m³

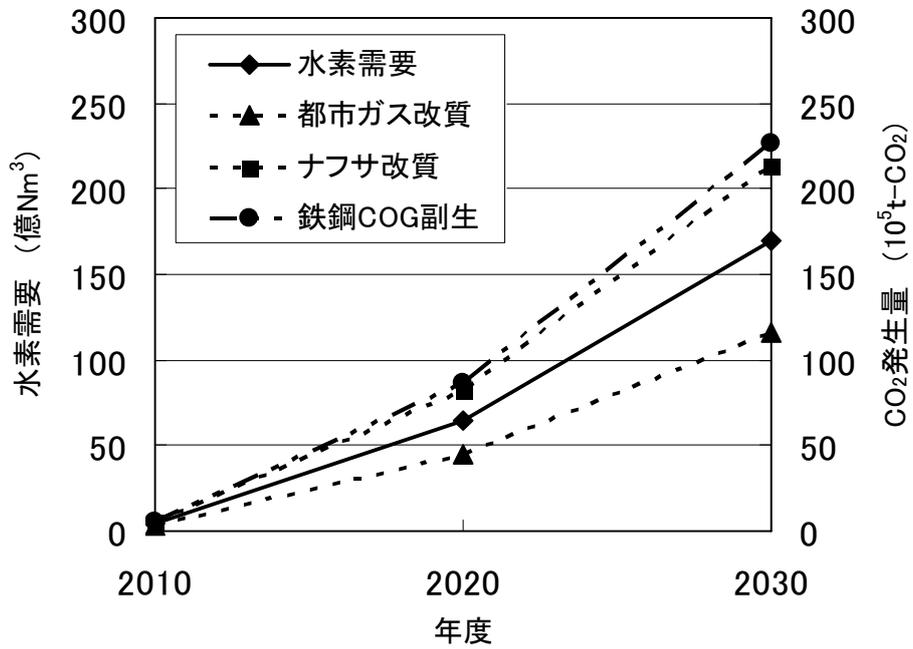


図 2.1-1 CO₂発生量

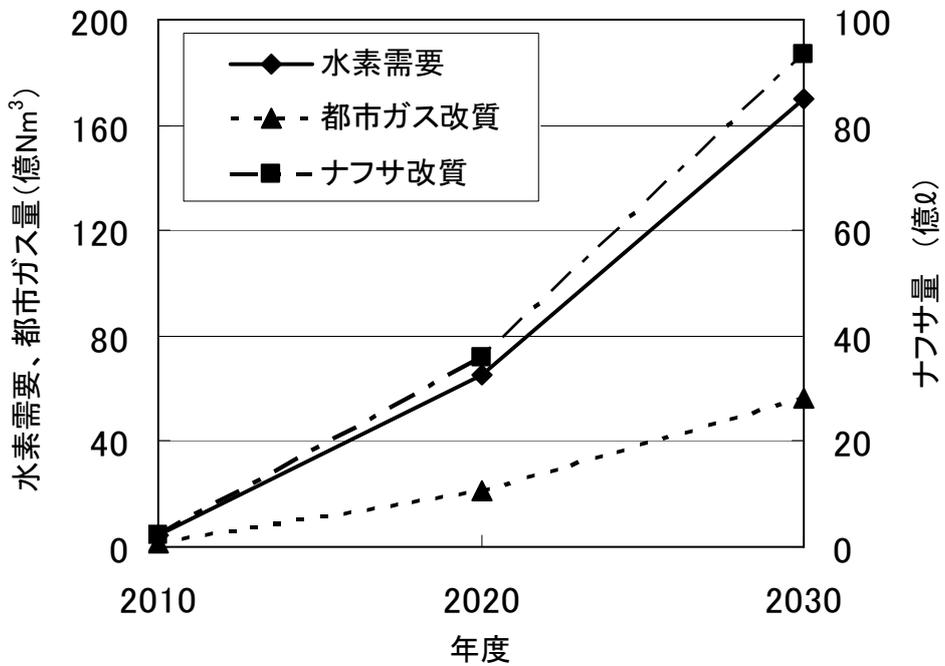


図 2.1-2 水素需要と原燃料消費量

2.2 コンビナート向け導入シナリオ

2.2.1 狙いと背景

コンビナートは、石油精製工業、石油化学工業や鉄鋼業等の企業間で原料、製品及びユーティリティを有機的に結びつけた工場の集合体である。日本では、石油精製工業、石油化学工業を中核とする石油コンビナートが主たるコンビナートであり、周南（山口県）、鹿島（茨城県）、水島（岡山県）、四日市（三重県）及び五井・姉崎（千葉県）等が代表的なコンビナートである。

日本のコンビナートの弱点は、エネルギー設備の老朽化が進み、エネルギーシステム効率化の再構築を必要としていることである。そのためコンビナート内の企業間で水素、蒸気及び電力等のユーティリティ設備を共有化することによる効率化が望まれている。特にコンビナートに電気を供給している発電会社を中核として、水素や蒸気を含むユーティリティセンター併設による高効率エネルギーシステムが検討されている。

そこで、環境保護の観点から国内では石炭火力発電所の新設が認められない状況となっていることもあるため、電力、水素、蒸気の供給が可能な小型炉として固有の安全性を有する高温ガス炉をユーティリティセンターとしてコンビナートに併設することを念頭に、コンビナートのニーズに適合するような高温ガス炉の導入シナリオを検討する。

2.2.2 検討条件

コンビナートの国際競争力強化のために省エネ、省資源の観点を踏まえたニーズに基づいてシナリオを検討することが前提条件である。ニーズ調査¹に当たっては、鹿島コンビナート、水島コンビナートを対象とした。

コンビナートの省エネルギー検討はコンビナート毎に検討が行なわれており、コンビナートによりエネルギー供給センターの構想は異なる。従って、ここでは上記コンビナートの省エネルギー検討の考え方を参考に、化学工業や石油精製工場での自家発電設備（10万kWe以上）のリプレースにより、

- ①コンビナート内の小規模自家発電設備の代替、
- ②老朽化設備の更新、
- ③或いは新規電力・蒸気需要をまかなう

ものと仮定する。また、国内の自家発電設備のうち化学工業や石油精製工場で認可出力として10万kWe以上の発電能力を有するサイトを参考に潜在的な自家用発電容量を推定する。以上の調査結果を参考に高温ガス炉導入時期、規模について検討を行なう。

¹ インターネット等の公開情報を基に、コンビナートにおけるエネルギー需要を調査。

なお、環境評価におけるCO₂発生量の前提条件は次のとおりである。

- ・ 各エネルギーの1 McalあたりのCO₂発生量 (kg/Mcal) は、一般炭では 0.382、重油では 0.274、天然ガスでは 0.236、原子力では 0 とする。
- ・ プラント運転中のみCO₂発生量比較を行い、プラント建設、解体等で発生するCO₂については対象外とする。
- ・ プラント稼働率は 85%とする。

2.2.3 検討結果

(1) 導入シナリオ

導入シナリオの設定に当たり、検討したコンビナート側のニーズ調査の結果を以下に示す。

コンビナート内の各事業所の省エネは現在かなり進んでおり（個別の事業所単位ではほぼ完了）、更なる省エネのためには、電気/蒸気の供給はコンビナート内の企業連携による効率化が必要となっていること、また、コンビナート内の事業所連携による電気/蒸気供給の効率化の方法は、コンビナート毎に異なることがわかった。例を以下に示す。

- ・ 鹿島コンビナートでは、3つのレベルで省エネが検討され、大幅な省エネルギー効果が出る案として2つの地区を対象に400MWe級ガスタービンと300MWe級蒸気タービンの導入（理想的なヘッダーの統合とコンビナート内でのエネルギーシステムの一体運営）が提案されている⁽¹⁾（図 2.2-1 参照）。
- ・ 水島コンビナートでも、鹿島コンビナートと同様3つのレベルで省エネが検討されているが、省エネ効果の大きな案としては、一つの地区を対象に小規模のエネルギーセンター構想（84MWeの発電と約100ト/時の蒸気供給）が提案されている⁽²⁾（図 2.2-2 参照）。

これらの検討は、コンビナート内の自家発電設備の老朽化に伴う単純なリプレースではなく、コンビナート全体としてエネルギー効率向上を目指した電気/蒸気供給設備構想として提案されている。また、この構想が実現するためには数社による共同自家発電設備設立に向けたコンビナート内の各事業所の合意が必要であり、また、発電所と工場を結ぶインフラ整備（蒸気供給配管の整備）も課題として挙げられている。

次に、潜在的な自家用発電容量について調査した結果を以下に示す。

国内の自家発のうち化学工業や石油精製工場で認可出力として10万kWe以上の発電能力を有するサイトを調べた。その結果は、添付 2.2-1 に示すが、16箇所（化学工業10箇所、石油精製6箇所）存在する（ちなみに、周南コンビナートは約130万kWeの発電能力を有しているが、同コンビナート内の東ソー、トクヤマの2社で約120万kWeと9割以上を占めている）。これらの認可出力の総容量は約360万kWeとなる。

但し、認可出力の中味を見るとボイラー、発電設備共に 1 万 kWe～15 万 kWe クラスとさまざまである。

ボイラーの設置時期を単純にまとめると（サイトは無視）下表の通り。1960 年代までは小型ボイラーが多いが、1970 年代後半から 300～500 トン／時規模の大型ボイラーに移行している。

| 時期 | 基数 | ボイラー容量 (t/h) |
|----------|------|--------------|
| ～1960 年代 | 12 基 | 2170 |
| 1970 年代 | 12 基 | 4150 |
| 1980 年代 | 4 基 | 3325 |
| 1990 年代 | 6 基 | 2150 |
| 2000 年代 | 6 基 | 2950 |
| 計 | 40 基 | |

発電容量は約 350 万 kWe となり、発電効率 45%の 600MW 級の高温ガス炉ガスタービン発電システムで電力供給すれば、10～15 ユニットの導入規模となる。

一方、各社毎のボイラーの設置時期を 10 年単位で整理し、発電容量を概算したものが添付 2.2-1 の備考欄である。600MW 級の高温ガス炉ガスタービン発電システムの発電容量で設置時期とユニット数をまとめると下表となる。この表で見ると 22 ユニットの更新が考えられるが、1990 年代以降は石油精製等での IPP 発電が増えてきているため、化学工業用には 16 ユニットの需要とも考えられる。なお、更新時期はプラント寿命を 50 年と仮定したものである。

| 設置時期 | サイト数 | ユニット数 | 更新時期 | 備考 |
|---------|-------|-------|---------|----|
| 1970 年代 | 9 | 9 | 2020 年代 | |
| 1980 年代 | 3 | 4 | 2030 年代 | |
| 1990 年代 | 4 (2) | 4 | 2040 年代 | |
| 2000 年代 | 4 (4) | 5 | 2050 年代 | |

サイト数の (X) は化学工業以外のサイト

以上のニーズ調査結果を踏まえた高温ガス炉の導入シナリオを以下に示す。

(i) 設置するプラント

コンビナートでは、電気と蒸気が必要とされている。例えば、石油化学コンビナートでは 250℃～165℃の蒸気が利用されており、石油精製プラントでは 500℃の蒸気

も使用されている。600MW 級の高温ガス炉ガスタービン発電システムの場合、ガスタービンの前置冷却器の熱を利用する場合の蒸気供給については 150～160℃程度と考えられる。しかし、コンビナートでは、ユーザーによっては 600℃を超える高温帯域の蒸気も必要とされることも想定される。この場合、複合サイクルによる高温蒸気の供給も可能と考えられるが、燃料電池者向け水素・電力併産システムと同様に中間熱交換器を介し、二次ヘリウム系に蒸気発生器を接続することによって高温蒸気の供給も可能と考えられる。システム構成の適用例については 2.5 節に示すが、高温ガス炉では、単一のユニットで 150℃から 600℃を超える高温蒸気を供給することができ、コンビナートのユーザーニーズに十分適合する利用が可能であるといえる。

(ii) 導入者

例えば、水島コンビナートの 2 工場間のエネルギー共有プロジェクト（図 2.2-3 参照）では、新規にエネルギー供給会社を設立するが、この会社の資金負担軽減に SPC（特別目的会社）によるプロジェクトスキームが提案されている。SPC とすることで、出資者となるコンビナート内の工場特有の厳しい経済性評価条件（例えば設備建設する場合は、単純回収年数で 3 年以内という経済性評価条件）から開放される。

今回検討している 600MW 級の高温ガス炉ガスタービン発電システムの高温ガス炉による設備更新は、コンビナート内の事業所の枠を越えコンビナート全体として効率的な運用が必要となる。このため、上記 SPC のスキームを使用、コンビナート内の事業所の共同出資に加え第三者の投資を含む共同自家発電設備としての運用等が考えられる。

(3) 導入スケジュール

発電／蒸気供給向け高温ガス炉システムの主要開発課題はガスタービン発電設備の開発と高性能燃料の製造・試験である。クリティカルとなるのは後者の高性能燃料の製造と試験で併せて 9 年の年月が必要となる。設置許可が認可された後、供用開始迄に要する期間は 6 年であり、この間にガスタービンシステムに関する実証試験も行なわれる⁽⁴⁾。これらの期間を考慮すれば、高温ガス炉実証炉は 2020 年前半ごろには運用を開始し、その後、約 10 年で商用炉展開が可能となる。

なお、蒸気タービンサイクル HTGR の場合、原子炉出口ガス温度は 700～750℃で十分であり、基本的な技術は完成しており、より早期の導入も可能となる。

(4) 導入の効果

(i) 環境評価

高温ガス炉の導入による CO₂削減予想量⁽³⁾ を以下に示す。

600MWth相当の自家発電プラントでは、総発生熱量は 143.28Mcal/s（稼働率は 85%）である。これにより発電過程でのCO₂発生量（万トン/年は）、一般炭では 146.7、重油では 105、天然ガスでは 91、原子力では 0 である。GTHTR300 を 1 ユニット導入することで化石プラントを使用したときに較べて約 90 万トン～150 万トン/年のCO₂削減につながる。

日本各所にある自家発電を例えば 15 ユニットの高温ガス炉に置き換えると、約 1,350 万トン～2,250 万トン/年のCO₂削減につながる。このように、高温ガス炉をわが国のコンビナートにおけるエネルギー供給システムとして導入できれば、CO₂排出量の大幅な低減が可能であり、地球環境保護に対して大きく貢献し得る。

(ii) エネルギーセキュリティ

30 万 kWe の石炭火力設備（蒸気量 1,200 トン/時）の石炭消費量は、120 トン/時、設備利用率 85%として、年間約 90 万トンの石炭消費量になる。600MW 級の高温ガス炉ガスタービン発電システムは約 28 万 kWe の発電設備であり、1 ユニット導入することで約 90 万トンの化石燃料節約となる。このように、高温ガス炉をわが国のコンビナートにおけるエネルギー供給システムに代替できれば、発電または水素製造に伴う化石燃料の消費を抑えることが可能であり、エネルギーセキュリティの観点からも大きく貢献し得る。

(参考文献)

- (1) 「コンビナート等事業場の連携による省エネルギーの進め方 - 鹿島コンビナートにおける省エネルギー対策を軸として -」、平成 18 年 2 月 13 日、（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構、（財）エネルギー総合工学研究所
- (2) 「水島コンビナート地域企業における省エネルギー調査及びエネルギー有効利用促進策の策定」、平成 15 年 3 月、新エネルギー・産業技術総合開発機構、（財）エネルギー総合工学研究所
- (3) 「電熱併給（サブグループ報告書）」平成 4 年 3 月、（社）日本原子力産業会議 原子炉熱利用懇談会・調査研究グループ 電熱併給サブグループ
- (4) 「『原子炉熱利用に関する将来展開検討会』WG2 中間報告書」平成 16 年 9 月 24 日、（社）日本原子力産業会議 原子炉熱利用に関する将来展開検討会

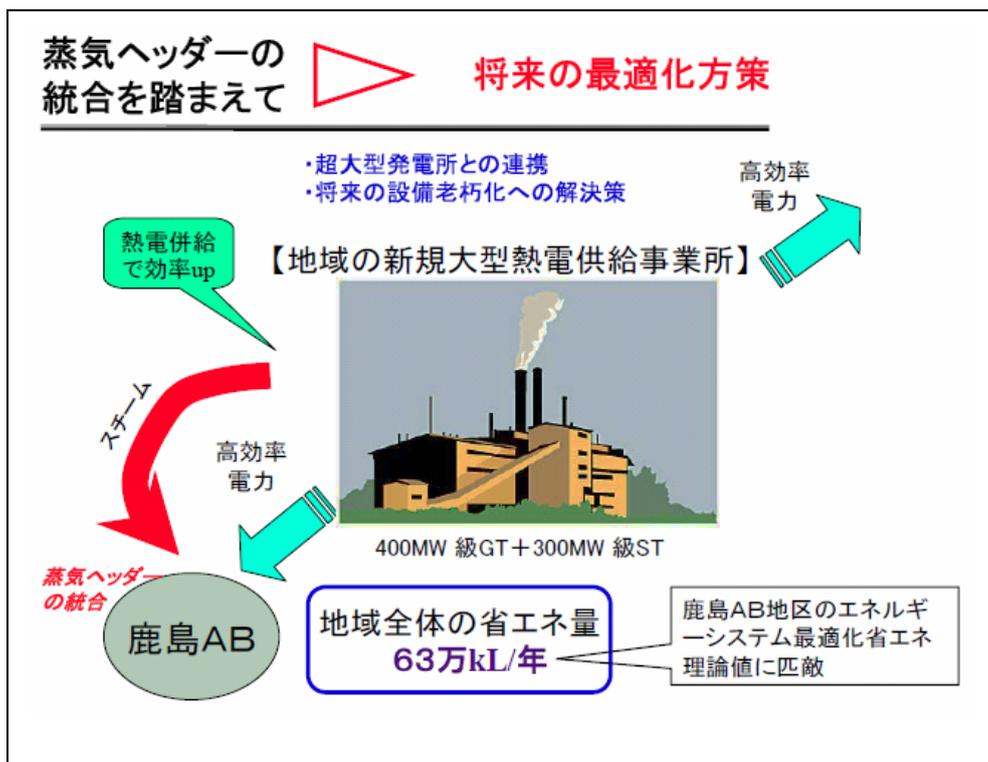
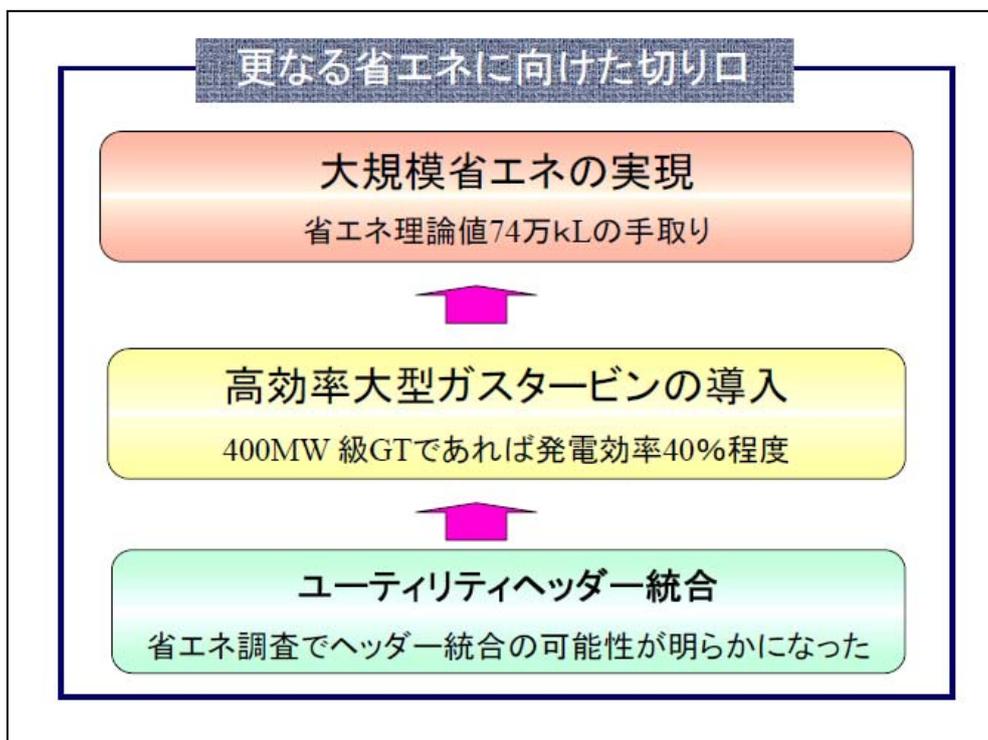


図 2.2-1 鹿島コンビナートにおける省エネ検討例

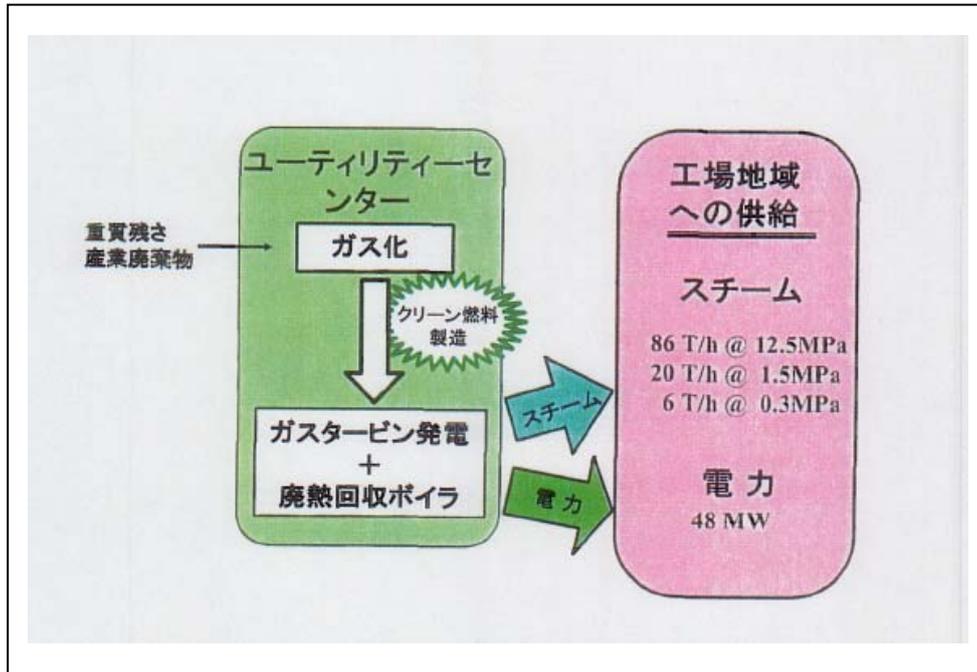


図 2.2-2 水島コンビナートにおける省エネ検討例

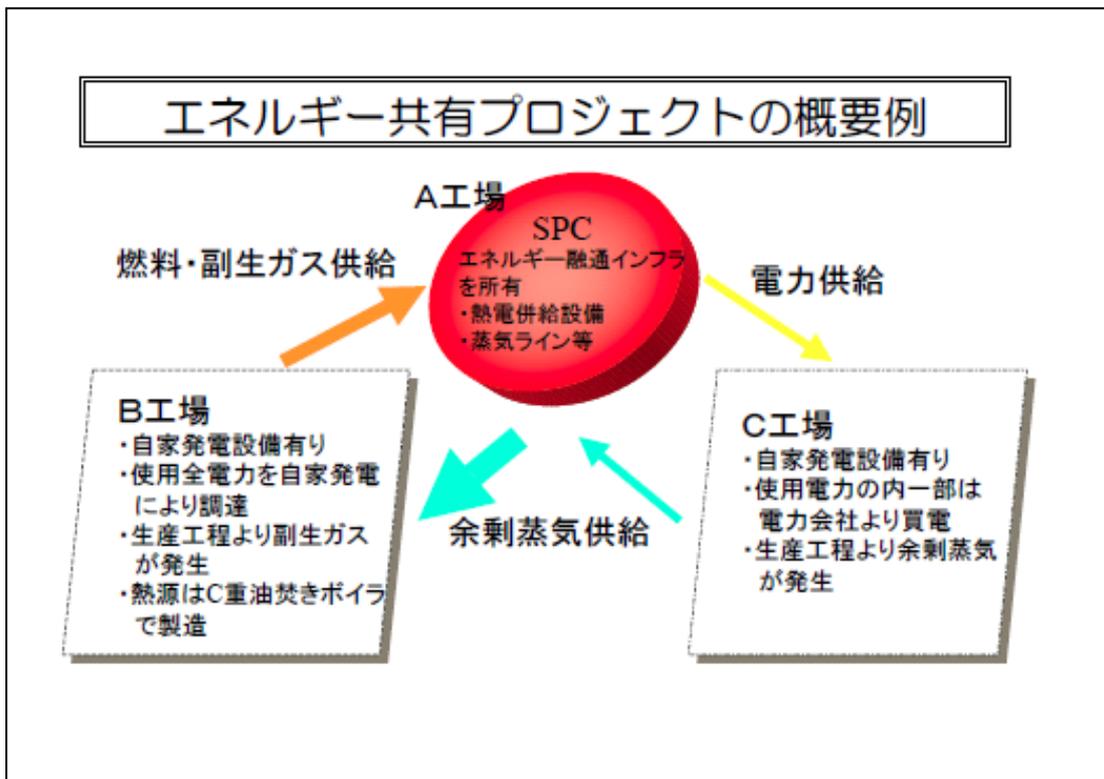


図 2.2-3 2工場間のエネルギー共有プロジェクト例

2.3 水素タウン向け導入シナリオ

2.3.1 狙いと背景

高温ガス炉では、地球温暖化ガスを排出することなく、電力、水素及び蒸気などの熱媒体を同時に供給することができる。さらに熱エネルギーの供給に関しては 100℃前後の低温領域から 600℃を超えるような高温領域に至る幅広い温度帯域をカバーできることから、地域の様々な熱利用形態（工業用熱源、地域暖房、融雪、海水淡水化など）に対しても適用する能力を有する。このような高温ガス炉ならではの長を活用しつつ、周辺地域の風土と調和し、地元ニーズに十分応えられるようなシナリオ構築が望まれる。そこで、高温ガス炉の水素供給能力を生かしつつ、地域社会と一体化して多様な利用形態が期待できる「水素タウン」に注目した。

水素タウンの計画は、エネルギーセキュリティと地球環境対策を考慮したこれからの「水素エネルギー社会」への移行を踏まえ、地域性を生かした新産業の育成、地域コミュニティの育成・共生等を目的に、特区計画等の国（経済産業省、環境省、国土交通省）、県、市などの支援も受けて各地方自治体で計画・推進されているものである。

現在進行中のプロジェクトの例について、概要を以下に示す。

(1) あおもり水素エネルギー創造戦略^[1] — 青森県

青森県は「環境・エネルギー産業創造特区計画」、「むつ小川原ボーダレスエネルギーフロンティア構想」等で、多方面のプロジェクトを展開している。ここでは「あおもり水素エネルギー総合戦略」について、概要を記載する。

あおもり水素エネルギー総合戦略は、環境・エネルギー産業創造特区計画の一環を形成するものであり、来るべき水素社会を先取りし、青森県が、県内のポテンシャルを生かしながら、水素社会において優位性を持ち得る分野を抽出し、取り組むべき技術開発、先駆的プロジェクトの実施、関連産業立地推進のあり方等を示すことを目的としている。計画の策定に際しては、現在から水素社会までの短期、中期及び長期にわたる発展プロセスの仮説を構築してアプローチ戦略を検討するとともに、県の特徴を考慮した重点分野の絞込みを行っている。

取り組むべき重点分野として抽出されている事項は、以下の通りである。

- エネルギー製造に関する先駆的な取り組み
 - ① バイオ燃料製造の事業化
 - ② 風力安定化・オンサイト利用の事業化
 - ③ 原子力等による水素製造の実証
- エネルギー流通インフラの整備促進
 - ④ マイクログリッドの利用促進に向けた実証試験
 - ⑤ 小規模マイクログリッドの導入促進

○ エネルギー高度利用システムの開発、導入促進

- ⑥ バイオ燃料混合自動車の実証試験
- ⑦ SOFC の開発・導入
- ⑧ 熱利用技術の開発（燃料電池排熱を利用した融雪システム開発など）

(2) 水素フロンティア山口 — 山口県

山口県には、県内のソーダ工場による全国一の水素副生能力があり、その有効利用を図る計画である。具体的な構想として、以下が挙げられている。

- ① コンビナート内のソーダ工場や石油精製・石油化学工場など複数企業間を繋ぐ水素パイプラインを敷設して相互融通を図ることにより、企業間における水素ガスの不足・余剰の平準化を図り、安定的な水素製造・供給体制の確立を目指す。
- ② 燃料電池自動車に対して、コンビナートにおける副生水素をパイプラインによりオフサイト型で供給する体制を確立する。
- ③ 定置用燃料電池コジェネレーションに対して、コンビナートにおける副生水素をパイプラインにより住宅地まで供給し、非改質タイプの燃料電池コジェネレーションシステムの燃料とする「水素タウン」の実現を目指す。

具体的な推進策として、以下が検討されている。

- ① 水素タウン事業化フィージビリティ調査
 - 水素供給形態、水素燃料電池システム構成の検討
 - 家庭用に普及させるための経済性も備えた最適システムの検討
 - 燃料電池の設置が容易な住宅等の設置場所の検討
 - 経済性と環境保全性を備えたシステムの基本設計
- ② 水素燃料電池実証研究事業（環境省委託「温暖化対策技術開発事業」）

県試験研究機関、大学、関連企業、県・市行政機関が連携・協働し、ソーダ工場内に燃料電池コジェネレーションシステムを設置して、その運転性能（発電・排熱利用性能）の把握、電力・熱利用評価等を実施し、水素タウンの検討に活用する。

(3) 出雲国水素社会プロジェクト — 島根県出雲市

このプロジェクトの内容は、出雲市（旧平田市）が中心となって立ち上げた「出雲国水素社会プロジェクト研究会」で検討された。プロジェクトは、木くずを生物分解してエネルギーを得るバイオマスや風力による水の電気分解で水素を製造し、燃料電池を使ってバスや船の運行を目指すなど、循環型の地域作りを目指している。

バイオマスについては、環境省「環境と経済の好循環のまちモデル事業」の助成を受けて、2004年から3年計画でバイオマス発電（水素製造実証装置併用）設備の建設が行われている。風力については、「新出雲風力発電事業」につながっている模様である。

今後は、家庭用燃料電池のモデル設置や燃料電池自動車に注力していく計画となっている。

以上に記載した「水素フロンティア山口」の計画は、既存の副生水素に着目した計画であり、出雲国水素社会プロジェクトは、今後のバイオマス、風力による水素製造と利用、青森県についても、バイオマス、風力による水素製造が取り込まれる等、地域の特徴を考慮した計画となっている。この中で、青森県は高温ガス炉導入のポテンシャルとして県内に多数の原子力施設を有しており、また将来的に原子力利用も視野に入れた水素タウン構想を持っていることから、この水素タウン構想に高温ガス炉を導入する場合のシナリオの方向性について、検討を行った。

2.3.2 検討上の留意点

多くの水素タウンにおいて重要視している項目として地域振興があげられる。水素タウンに高温ガス炉を導入する場合、地域振興を具体的に展開する方策としては、研究開発の拠点を置くこと、また、それに関連して新たなビジネスを創出していくが望ましい。しかし、高温ガス炉を設置する場合には、自治体が直接の設置者とはなるとは考えにくい。このため、プラントの設置主体、運用の枠組みを検討していくことが必要である。

原子力施設を初めて導入するような自治体については、「原子力」そのものの導入に際しての困難性をも考慮に入れておく必要がある。このため、高温ガス炉導入にあたっては、既に原子力施設を受け入れている地域を優先的に検討することが得策である。

原子力による水素製造は、当面はやれることからやって、まず水素を認知してもらうことが重要であり、これが将来の高温ガス炉にもつながることが期待できる。また、自治体の自力での開発は不可能と考えられ、国などが主導するプロジェクトを受け入れる方向であれば、協調して推進していくことが期待できる。したがって、水素タウンへの高温ガス炉導入に当たっては、国の実質的な支援が不可欠と考えられる。

2.3.3 検討結果

以上の点を踏まえ、青森県に高温ガス炉を導入する場合のシナリオの方向性について検討を行った。結果を以下に示す。

(1) 青森県での導入シナリオの方向性

- ① だれが：現状未定
- ② どこに：青森県
- ③ いつ：2030年頃

- ・ あおもり水素エネルギー創造戦略、Triple50 とも、高温ガス炉による水素製造を想定しており、その実現目標時期は2030年頃に置いている。

④ どんな:水素製造専用高温ガス炉又は水素発電コジェネレーション高温ガス炉の実証炉 1号及びそれを中心とする研究開発施設

- ・ 青森県は研究開発施設にも期待しているであろう。
- ・ 青森県は電力については輸出県。水素製造をメインに置くことが要件に合致。

⑤ どのようにして:国の予算を使用

- ・ 青森県単独での開発は不可能であろう。
- ・ 国のプロジェクトを受け入れる方向ならば、青森県との協調が可能であろう。

(2) 青森県との協調方策

青森県と協調して検討を進めるためには、原子力ありきの考え方ではなく、地域の活性化に繋がるテーマを選定し、その検討の一つに原子力が候補として挙がるようなものでなければならない。そして、その検討の結果として、高温ガス炉が浮上して初めて両者の協調が図ることができる。

そこで、相応しいテーマの選定として、「エネルギーパークについて ---自動車用燃料システムの構想案---」を挙げてみることにした。なお、本テーマは、高温ガス炉の特徴である需要地近接立地を活かすことができ、水素供給以外にも地域社会に貢献しえるテーマの一つとして位置づけられる。

次葉以降にその提案文を示す。本件については、現在青森県の関係者に提出し、検討願っている段階である。この内容は水素製造については触れていないが、これはあくまでも青森県との協調を図るための足がかり的な位置づけであり、今後、協調関係を醸成しつつ、水素タウンの中核を担う水素発電コジェネレーション高温ガス炉の具体的な導入シナリオについて検討を進めていく予定である。

エネルギーパークについて ---自動車用燃料システムの構想案---

最近の異常気候の影響に加え、地球環境シミュレーション技術の進展により、地球温暖化問題に対して、「このまま何もしなければ、2100年頃には日本は亜熱帯化し地球全体の生態系がおかしくなる」と、警告が鳴らされている。そこで、気候変動枠組み条約の目的を達成するための第3回締約国会議(COP3)では、各国にその原因と考えられるCO₂などの温暖化ガス削減の実行を呼びかけ、日本も2010年には1990年レベルから6%削減することを約束した。

ところで、CO₂の排出の約90%は、石炭、石油などの化石エネルギーを使用していることに起因している。従ってその対策には、わが国では化石エネルギーをできるだけ使

用しないよう、省エネやCO₂排出が殆どない再生可能エネルギーや原子力を推進することで進めている。

わが国のエネルギー利用状況は、運輸部門に約 24%、民生部門に約 28%、残りの約 48%は産業部門である。この中の運輸部門に着目すると、その殆どがガソリンなどの化石燃料を使用している。最近その対策のために自動車会社の必死の努力で、達成目標 2 億 5000 万トン削減に、あと 700 万トン削減すれば良い状況にきており、順調に進められている。更に将来を見越して、クリーンな燃料電池自動車や電気自動車を研究開発している。その開発過程でガソリン-電気のハイブリッド車が登場し、2005 年の生産実績では、約 26 万台に達し「僅かの域」を脱しつつある。最近は、プラグインハイブリッド車が着目され始めている。電気をガソリンにより車内製造するのでなく、プラグインにより外部充電で賄うシステムである。また、燃料電池自動車についてもハイブリッドシステムの活用を手がけ始めている。

1. 「自動車用燃料システム」構想提案の要点

提案する「自動車用燃料システム」とは、化石燃料車あるいは上記プラグインハイブリッド車の化石燃料を、地域に存在する間伐材などを利用して製造されたCO₂としてカウントされないバイオエタノールに置換あるいは混入して、自動車燃料をクリーンにしようとする試みである。その際、バイオエタノールを製造するのに熱が必要とされるため、その熱源に再生可能エネルギー、あるいは原子力を利用したシステムを検討する。なお、自動車会社ではバイオエタノール利用に関する初期段階では、全ガソリン燃料車にエタノールを混入して、少しでもCO₂削減に繋がる車を検討している。

2. 本提案の目的

下記を目的に構想するものとする

- (1) 地域活性化に繋がること
- (2) エネルギーおよび環境対策に繋がること

3. 地域活性化を目指した場合のエネルギーシステム

大量・一括生産などの従来のエネルギーシステムではなく、地域の太陽熱、風力やバイオを利用できる、いわゆる分散型のエネルギーシステムとする。それにより地域雇用の確保ができるとともに地場産業を興すことができる。そのためのシステムとしてバイオエタノール、地域暖房、および地場産業をセットとしたエネルギーシステムが相応しい。

4. エネルギーおよび環境対策を目指した場合のエネルギーシステム

分散型エネルギーシステムのエネルギー源には、再生可能エネルギーあるいは原子力を利用するものとして検討する。出力としては、20～50万kW程度の熱出力を見込み、バイオエタノール製造、地域暖房、および地場産業に必要な熱と電力、さらにハイブリッド車の電力を供給できる熱電併給（コージェネ）型のエネルギーシステムを検討する。

5. 本システムの将来展開

本システムは、風力やバイオを利用できる地域では設置することができ、全国的な展開が可能である。また、中国内陸部など世界各地への展開も図ることができ、地球環境への貢献とエネルギーの有効利用に貢献する。

[参考]

○ 100万台の全自動車のうち、最低、20万台（14万人）に対応するエネルギーパークの規模が必要。

○ 青森県の車に関連するデータ

- ・ 車両数： 992,287 台
- ・ 人口： 1,479,358 人
- ・ 世帯数： 551,806 世帯
- ・ 0.67 台／人
- ・ 1.80 台／世帯

[註]

原産協会として、本システムに参加する場合、原子力を利用した場合のエネルギーシステムの検討が良いと考えている。

2.4 超長期燃料サイクルシナリオ

2.4.1 狙いと背景

日本はエネルギー資源に乏しい国であることから、核燃料は再処理し、MOX 燃料として有効利用することが国の方針として定められている。高温ガス炉システムが将来のエネルギー供給システムの一翼を担うためには、高温ガス炉燃料も再処理し、核燃料を有効に利用できることを示す必要がある。また、2050 年以降に本格導入される高速炉は MOX 燃料を使用するため、高温ガス炉に供給される燃料も MOX 燃料になると考えられる。

そこで、高温ガス炉システムの実用化に関して、どのように日本の燃料サイクルに適合させるかを検討する。

2.4.2 検討条件

(1) 軽水炉及び高速炉の燃料再処理

青森県六ヶ所村において軽水炉用燃料の再処理が行われる。年間再処理能力は 800 トン・ウランであり、試験運転などを経て 2009 年から本格操業を開始し、2047 年まで運転を行う計画である。その後、年間処理能力 800～1200 トン・ウランの第 2 再処理工場に移行する。高速炉用燃料の再処理施設は、高速炉の導入規模に応じて、50 トン/年、200 トン/年規模のユニットで増強することが想定されている。

(2) 高温ガス炉の燃料再処理

高温ガス炉の燃料再処理の特徴は、黒鉛及び被覆燃料粒子を取扱うことから前処理工程が必要になることである。前処理工程は、燃料コンパクトから被覆燃料粒子を取出す工程と被覆燃料粒子から燃料核を取出す工程に大別される。これまで前処理工程について実験室規模の試験が実施され、成立性が見通しが得られている⁽¹⁾。前処理工程以降については、ピューレックス法又は先進湿式法で処理できる。そこで、高温ガス炉システムの実用化段階では高温ガス炉燃料を再処理することを前提とする。高温ガス炉燃料の再処理のフローを図 2.4-1 に示す。

(3) 高温ガス炉の導入基数と燃料サイクルの整合性

2.1 の燃料電池自動車向け導入シナリオを参考に、2040 年から 2050 年にかけて 10 基の高温ガス炉 (600MWt) を導入する。その後、2100 年までに 5 年に 2 基の割合で高温ガス炉を 20 基導入し、2100 年以降は合計 30 基を維持する。ここで、最初に導入された高温ガス炉の燃料には UO₂ 燃料を使用し、使用済燃料は中間貯蔵を行い、2050

年以降は UO₂ 燃料の使用を継続しつつ使用済燃料の再処理を開始する。60 年間の運転を終了した高温ガス炉から順次 MOX 燃料対応の高温ガス炉にリプレースする。その結果、天然ウラン資源の需要を抑えると同時に、高速炉の燃料サイクルとも整合できる。

2.4.3 評価結果

軽水炉及び高速炉の導入計画をベースとして、本シナリオに基づき高温ガス炉を 2100 年までに 30 基導入した場合の軽水炉、高速炉及び高温ガス炉の熱出力の合計を図 2.4-2 に示す。原子力発電設備容量は、2030 年まで 58GWe まで伸び、その後は一定で推移すると仮定している。軽水炉、高速炉および高温ガス炉を合わせた熱出力は、最大で約 180MWt、2117 年以降は 156MWt で一定となる。このとき、高温ガス炉の熱出力は全体の約 12%、高速炉の熱出力は約 88%となる。

天然ウランの累積需要量の変化を図 2.4-3 に示す。図中の線のうち、①は軽水炉で発電を行い、使用済み燃料は全量を直接処分した場合(軽水炉ワンスルー)、②は軽水炉で発電を行い、使用済み燃料は全量を再処理してプルサーマルを行った場合、③は軽水炉によるプルサーマルを行うとともに次第に高速炉へ移行した場合に関して、新計画策定会議において示された天然ウランの累積需要量である。④は③に対して高温ガス炉システム 30 基を導入したときの累積需要量の予測を示している。

軽水炉ワンスルーの場合では、全ての使用済燃料を直接処分する。軽水炉によるプルサーマルの場合には、全ての使用済燃料を再処理して、軽水炉のプルサーマルを継続する。この場合、使用済軽水炉 MOX 燃料は使用済ウラン燃料との混合再処理を行ってプルサーマル多重リサイクルを実施する。軽水炉プルサーマルから FBR に移行する場合には、全ての使用済燃料を再処理することとして、2050 年以降、軽水炉のリプレースにより FBR を導入する。軽水炉のリプレースのタイミング及びプルトニウムの供給量に合わせて FBR を導入し、導入期と導入後で適宜増殖率を設定する。導入する FBR サイクルにおいては、マイナーアクチニド (MA: Np, Am, Cm) もリサイクルすることを想定する。使用済軽水炉 MOX 燃料については再処理し、回収プルトニウムは FBR で利用する。図に示すように、軽水炉ワンスルーとして使用済燃料を全量直接処分する場合には、ウラン累積需要量は直線的に増加する。軽水炉プルサーマルを継続する場合には、増加割合は減少するが、ウラン累積需要量は直線的に増加する。軽水炉プルサーマルから FBR に移行する場合には、天然ウランの累積需要量は 2100 年以降、約 83 万トンに飽和して、海外からの天然ウランの調達は不要となる。

高温ガス炉を導入する場合には、2040 年から 2100 年まではウラン燃料対応の炉心であるが、2100 以降にリプレースされる炉心は MOX 燃料対応となる。この MOX 燃料は、軽水炉あるいは高速増殖炉で生産した Pu (増殖比を 1.16 で設定) を利用する。高温ガ

ス炉を導入する場合には、天然ウランの累積需要量は約 89 万トンまで増加するが、MOX 燃料に移行するため最終的に飽和する。天然ウランの累積需要を増やさずに熱出力 600MWt の高温ガス炉 30 基の運転が可能である。最終累積需要量の増加は、高温ガス炉を導入しない場合に対して 6~10%の増加に留まっており、高温ガス炉 30 基を導入しても累積需要量の負担は小さいと考えられる。

以上により、前節で検討したシナリオに従って高温ガス炉を導入する場合でも、我が国の燃料サイクル政策から逸脱しないことが示された。

(1) 角田淳弥、植田祥平、國富一彦他、高温ガス炉燃料の再処理技術、日本原子力学会和文論文誌、Vol.2, No.4, 546 (2003)

(2) 原子力委員会、新計画策定会議 (第 9 回) 資料第 13 号、核燃料サイクル諸量の分析について (改訂版) ,

<http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei2004/sakutei09/siryu13.pdf>, (2004).

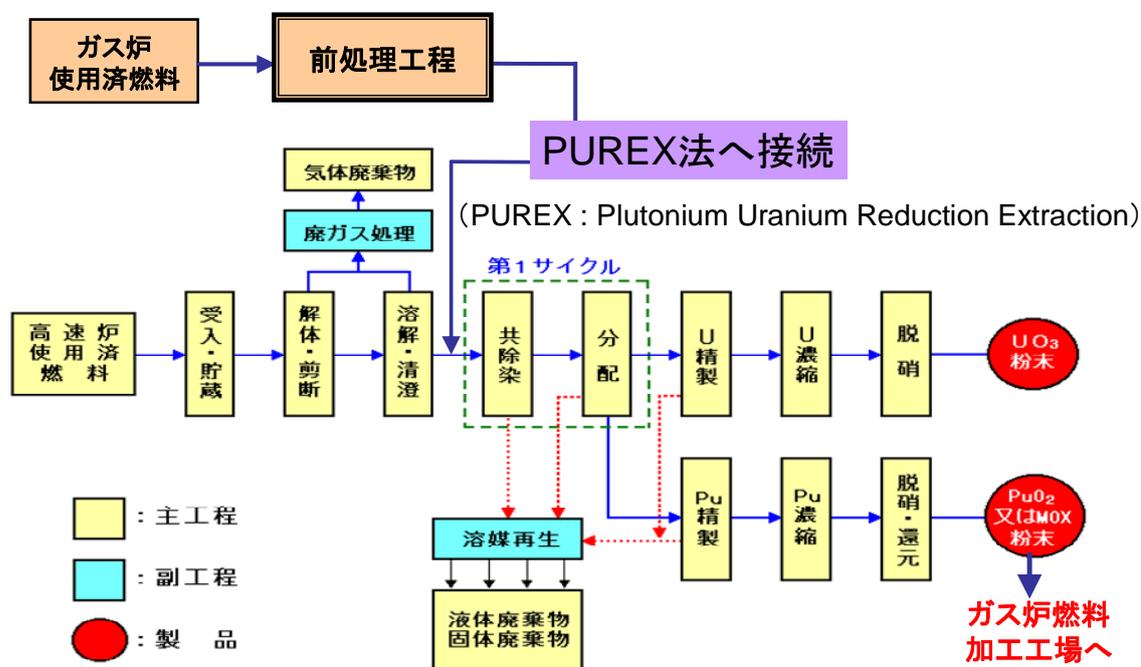


図 2.4-1 高温ガス炉燃料の再処理フロー

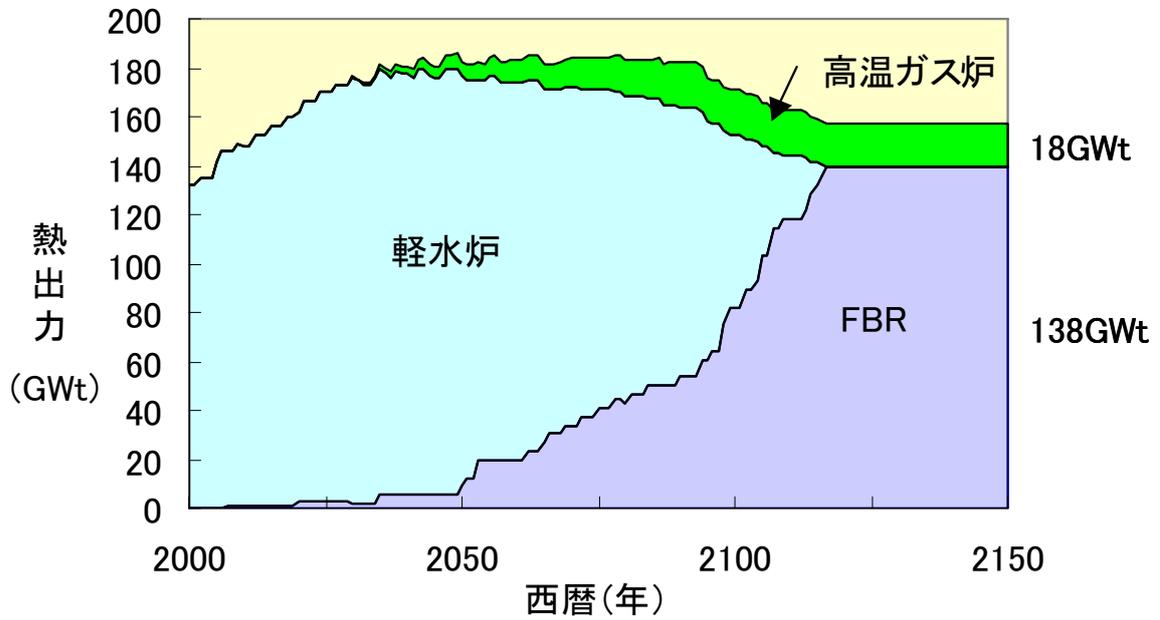


図 2.4-2 原子炉の総熱出力

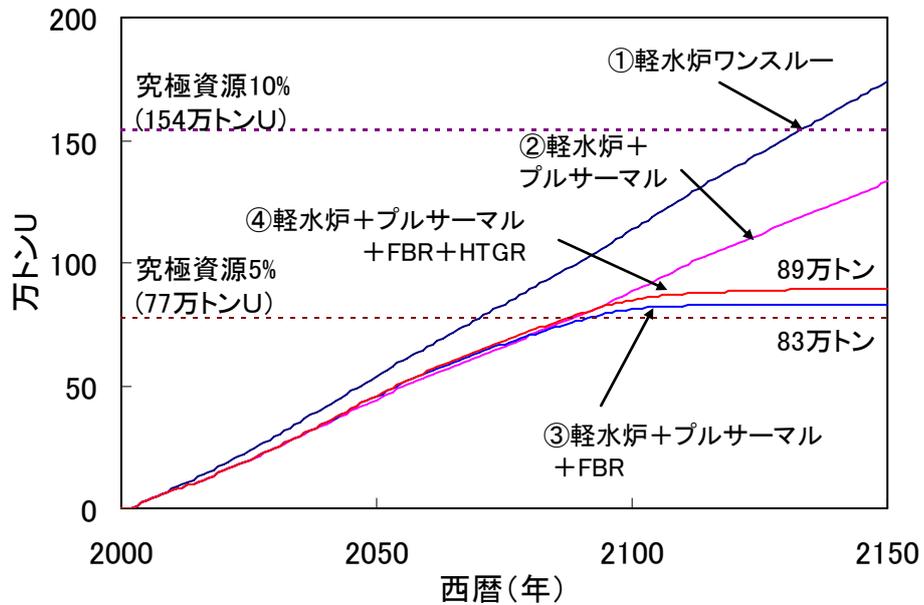


図 2.4-3 高温ガス炉システムを導入するときの天然ウラン累積消費量推移

2.5 高温ガス炉システムの仕様検討

導入シナリオの検討では、ポテンシャルユーザーがどのような形で高温ガス炉を利用するかを明らかにしてきた。その結果、水素、電力、高温蒸気、低温蒸気、地域暖房用温水などの製品に利用できることが分かった。これらの製品を製造する高温ガス炉システムの基本系統構成は図 2.5-1 のようになる。

- 水素及び高温蒸気
中間熱交換器 (IHX) を介して、 850°C ~ 900°C の高温ヘリウムガスを生産し、水素製造もしくは高温蒸気製造を行う。
- 電力
ガスタービン (もしくは蒸気タービン) により発電を行う。
- 低温蒸気、地域暖房用温水
再生熱交換器と圧縮機の間で設けた熱交換器により、約 150°C のヘリウムガスを用いて低温蒸気もしくは温水を製造する。

水素及び高温蒸気の製造で使用する熱量は IHX の容量で調整できる。2.1 章で検討した水素製造用の高温ガス炉システムでは 370MW の IHX を採用している。また、 170MW の IHX を採用したシステムでは、タービン入口温度は 850°C となり、経済的、効率的な発電を行える。

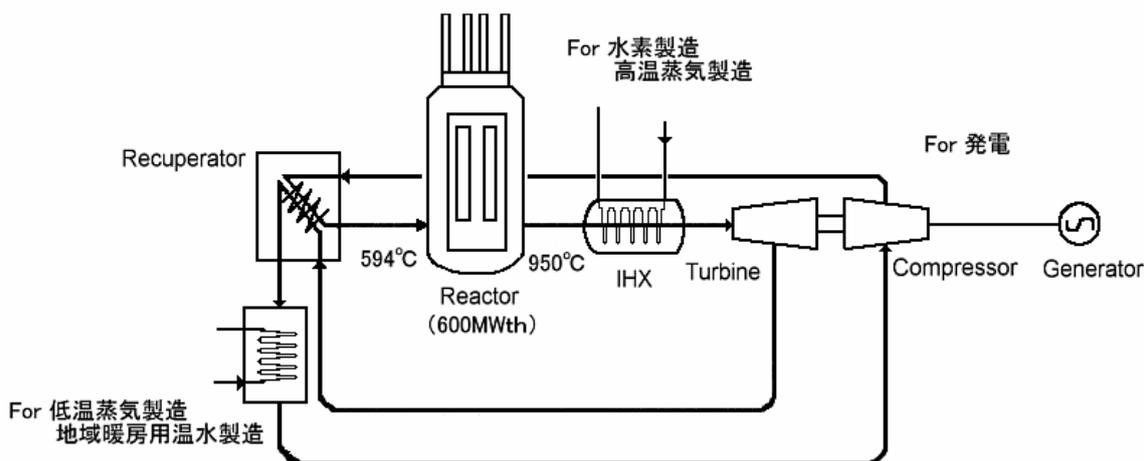


図 2.5-1 高温ガス炉システムの基本系統構成

第3章 研究開発ロードマップ

高温ガス炉システムの導入に当たり、1)国内の燃料電池自動車への水素供給、2)国内コンビナートにおける電力及び蒸気供給、3)いわゆる水素タウンにおけるエネルギーニーズに適合した活用、に着眼したシナリオ検討を行なった。今後の研究開発の進め方の基本的考え方は次のとおりである。まず、これら3つのシナリオを網羅する高温ガス炉全体システムの具体化検討を行なうとともに、並行して3つのシナリオに共通するようなR&D項目を優先的に実施する。シナリオ固有の項目については、全体システム検討の結果に基づき別途R&D項目を抽出した上で、優先度やスケジュール等を検討していくものとする。

以下に各シナリオ共通の研究開発項目とその基本工程表について示す。

3.1 今後の研究開発

原子炉技術については、HTTRにおける世界最高原子炉出口温度 950°Cの達成により、その基盤技術がほぼ確立しており、今後は実用化のための経済性向上に資する研究開発、安全審査に向けた実証データの蓄積、信頼性向上のための各種データの蓄積が計画されている。一方、核熱利用技術のうち水素製造技術開発は、水から水素を製造する熱化学法ISプロセスの原理実証を経て、水素製造量 30 リットル/hrの工学基礎試験に移行し、自動制御技術の確立などにより1週間の連続水素製造に成功した段階である。今後は、実用材料を用い、かつ、高温高圧ヘリウムガスを熱源とした 30m³/hrのISプロセスパイロットプラント試験により水素製造基盤技術を確立し、それを基にHTTR接続試験により核熱利用を実証する計画がある。

また、核熱利用技術のうち、原子炉と熱利用系との接続技術については、隔離弁技術の確立、熱利用系の非原子力級化に関する実証試験等を行う必要がある。これは、熱利用系施設を原子炉等規制法の適用を受けない一般産業相当施設とすることにより、一般産業界での熱利用促進を図り、円滑な運用を行うことが狙いである。また、ガスタービン技術については、既存の燃焼ガスタービン技術を基盤としたヘリウムタービン技術がほぼ確立しており、総合実証及び経済性の向上に資する制御技術の改良等が残されている。

表 3.1-1 は、今後必要な高温ガス炉の研究開発をまとめたものである。

3.2 研究開発のロードマップ

図 3.1-1 は、高温ガス炉の研究開発のロードマップを示したものである。2章に示したシナリオのうち導入が最早と予測されるコンビナートへ GTHTTR300 の利用を想定し

た場合、2020年代には実証炉の運用が想定される。高温ガス炉を早期に導入するためには、2015年程度までに、実証炉に必要な技術開発を終了し安全審査に対応する必要がある。一方、国外では、米国における「次世代原子プラント（Next Generation Nuclear Plant：NGNP）計画」、韓国における「原子力水素製造（Nuclear Hydrogen Development and Demonstration）計画」、フランス「ANTARES」、南アフリカ「PBMR」等の高温ガス炉の実用化に関する研究開発が積極的に進められている。このような各国の高温ガス炉実用化計画にあわせて、第4世代原子力フォーラム（GIF）においては、2020年の高温ガス炉の実用化を目指した国際共同研究開発が進められている。国際的にも、我が国が引き続き高温ガス炉技術開発の分野で世界を主導するためには、2020年までに実証炉の技術開発を完成させるための高温ガス炉研究開発が必要である。

表 3.1-1 高温ガス炉システムに必要な研究開発

a) 技術的成立性に係わる課題*1 (シナリオ共通)

| 課題 | 目標 | 問題点 | 解法 |
|--------------------------|--|--|---|
| 水素/電気併産高温ガス炉システム設計 | 経済的競合可能な合理的なシステムの構築 | 安全性を確保しつつ、大出力、高燃焼度化 | 設計の最適化及び以下の技術課題解決 |
| 高燃焼度化燃料の研究開発 | 90 - 120GWd/t での燃料健全性の実証及び 40 GWd/t 以上での安全審査用データ取得 | 照射及び照射後試験のために膨大な時間・費用を要すること | 国際協力により、仏国 CEA のオシリス、EU の HFR 利用を協議中 |
| 再処理技術等の開発 | プラント規模の再処理施設の建設に必要なデータ整備 | 工学段階の技術実証 | 実証試験の推進 |
| セラミック複合材による炉内構造物の開発 | 950℃に耐える制御棒被覆材 (C/C 複合材) の開発による制御棒直接挿入 | 2次元 C/C 複合材の強度の異方性, 層間剥離のため使えないこと | 先進的(部分的)C/C 複合材の開発 |
| 炉外試験による高度化技術(減圧事故時の安全技術) | 炉容器冷却の空冷化成立及びこれに伴う設備の簡素化による経済性向上 | 空気の自然循環の成立性、除熱性能の検証 | 炉外試験による検証 |
| 熱利用系の負荷変動吸収 | 熱利用系に付加変動が生じても通常運転を維持できることの実証 | 許認可性 | HTTR 熱利用特性試験の推進により許認可データを取得 |
| 高温隔離弁技術開発 | 隔離弁締切り可能回数増大 (2回→20回) | 締切り繰り返しによる弁座の面荒れ防止対策 | タングステンカーバイド添加、ニッケル合金による高温強度の改善 |
| タービン機器技術開発 (効率向上) | 1)圧縮機の高効率化 (89→92%)、2)磁気軸受けの安定回転制御方式の確立、3)閉サイクル系サージ現象の把握と動特性確認 | 1)翼周りの二次流れ抑制、隙間/翼高比の低減、2)現行制御方法の問題解決法 (解発散等)、3)圧縮器サージ時の衝撃波 | 1)向角調整、中間冷却器削減による段数低減、振幅低減、2)新たな制御法の開発、3)衝撃波抑制構造の開発 |

*1JAEAが研究開発を進めている高温ガス炉水素電力コジェネレーションシステムの技術的及び経済的成立性の前提としている技術課題。産業界が設計する炉では一部変更の可能性がある。

b) 技術的成立性に係わる課題 (IS プロセス固有のもの)

| 課題 | 目標 | 問題点 | 解法 |
|----------------|--|---|---|
| IS パイロットプラント試験 | <ul style="list-style-type: none"> パイロットプラント健全性の確認 - 3000 時間レベルの運転実績 - 腐食量: 0.2mm 以下 ・ 解析コードの検証 ・ 運転経験の蓄積 | 耐食機器・装置の運転時の動作・構造健全性が未確認 解析コードが未検証 | パイロットプラント試験装置を用いた試験。 |
| 効率向上 | <ul style="list-style-type: none"> 電気透析法 - 膜性能向上 ・ ブンゼン溶液の高濃化 | 既存製品のフッ素系高分子膜及びセルの能力では、目標が達成できない。 気液データが不十分。 | 放射線架橋・グラフト重合技術による膜性能向上、膜-電極一体化技術等による電圧低減。 |
| 材料 | <ul style="list-style-type: none"> ・ ガラスライニング材の高温化: 300°C以上 | 試験片では 450°Cまで。実機での実績がない。 | 熱膨張吸収用緩衝材に関し、機器装置で試験を実施。 |
| 高性能触媒 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 平衡到達空間速度 5000hr⁻¹以上 ・ 耐久時間 3000 時間以上 ・ 安価な触媒開発 | ジルコニア、アルミナの耐久性試験が不十分 酸化鉄のデータなし。 | ジルコニア、アルミナシリカ担体の耐久性試験を実施。 酸化鉄試験を実施。 |

c) 経済性向上等に関する課題*2 (シナリオ共通)

| 課題 | 目標 | 問題点 | 解法 |
|---------------|---|--|--------------------------------------|
| 炉心有効流量の向上 | 燃料温度低減化及びそれに伴う補修時被曝線量低減、検査期間短縮 | 炉心出口温度の高温化により構造物の熱膨張差に起因する流れが増加 | 熱膨張差を吸収する耐熱性炉心拘束機構等の開発 |
| 耐熱性を向上した燃料の開発 | ZrC 被覆により燃料許容設計温度限界の向上 (1600→1800°C) とこれによる炉心設計要件緩和 | Zr _n C _m で定比性の確保 (n:m=1:1) | ZrBr の使用、CH ₄ の温調によるモル比制御 |
| 燃料の短時間健全性評価 | 秒オーダーでの燃料許容設計限界の最高値の探索 | 破損原因が不明ゆえ、破損予測モデルを構築できないこと | NSRR 試験(約 10ms のパルス)データによる破損原因の特定 |
| 黒鉛の超寿命化研究 | 黒鉛の超寿命化による黒鉛廃棄物の低減 | 低レベル廃棄物としての処分費用の増大 | アニーリングによる再利用 |

*2 JAEAが検討を進めている高温ガス炉水素電力コジェネレーションシステムのCの成立条件とはなっていないが、経済性、安全性、環境保護性をより向上させるために必要な技術課題

高温ガス炉システム開発ロードマップ

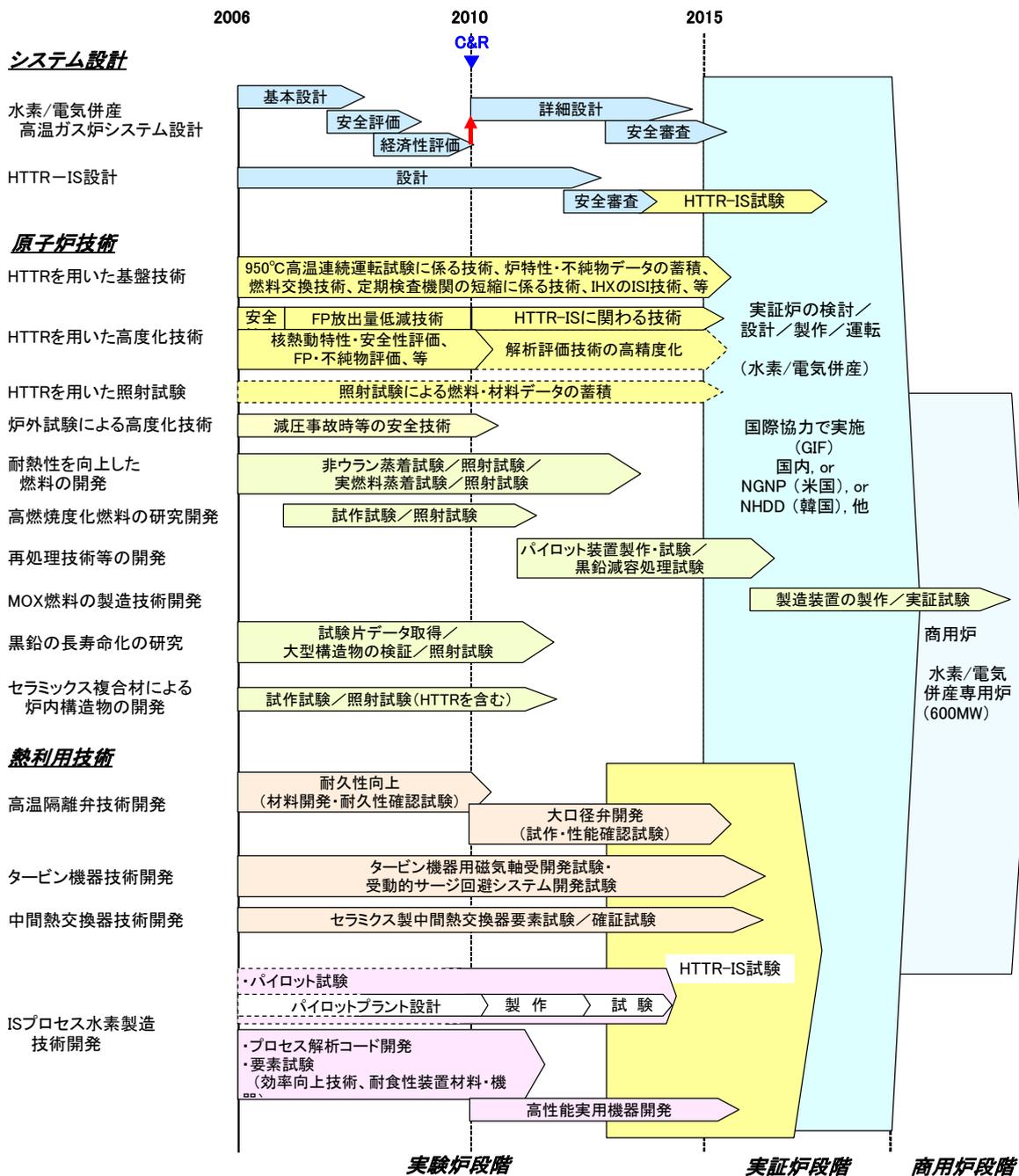


図 3.1-1 高温ガス炉研究開発のロードマップ

あとがき

国の「原子力政策大綱」の中で「高温の熱源や経済性に優れた発電手段となり得る高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発等については、今後とも技術概念や基盤技術の成熟度等を考慮しつつ長期的視野にたって必要な取組を決め、推進していくことが重要である。」と示されている。しかし、高温ガス炉の実用化へのプロセスが示されている訳ではなく、実用化のための研究開発予算の獲得は困難で、それに携わる産業界の設計、研究開発関係者の維持及び技術の継承が危ぶまれる状況にある。

当検討会では、「高温ガス炉」を熱利用、特に地球環境を踏まえた水素製造等のエネルギーに対し将来如何にあるべきかを睨み、本 WG2 の活動と併行して WG1 でのロビー活動を実施してきた。このような活動により、「エネルギー基本計画の見直し」に高温ガス炉が記載されるなどの一定の成果は上げてきたものの、高温ガス炉の実用化に関する研究開発が国中心に産業界の積極的な支援のもと実行できるようにするためには、まだまだ、関係者への理解が必要である。そのために、WG2 で検討した本報告書が理解獲得活動資料作成のベースとして利用されることのみならず、高温ガス炉の導入を進めるにあたり、産業界の多くの皆様に活用され、僅かながらでも高温ガス炉の実用化に役に立つことを期待する。また、原子力産業界の今後の発展に寄与することができれば幸いである。

(社)日本原子力産業協会
高温ガス炉将来展開検討会

| | |
|--|----|
| 添付資料 | 45 |
| 補足資料（高温ガス炉ポテンシャルユーザーに関する予備的調査結果） | 48 |
| 高温ガス炉将来展開検討会 委員名簿 | 50 |

(本添付資料は 2.1 節に関するものである)

MRI HP 2005.8.1 付 MRI Eco. Weekly

「MRI MRI Eco_ Weekly 京都議定書目標達成のための海外クレジットへの大きな期待と不安」

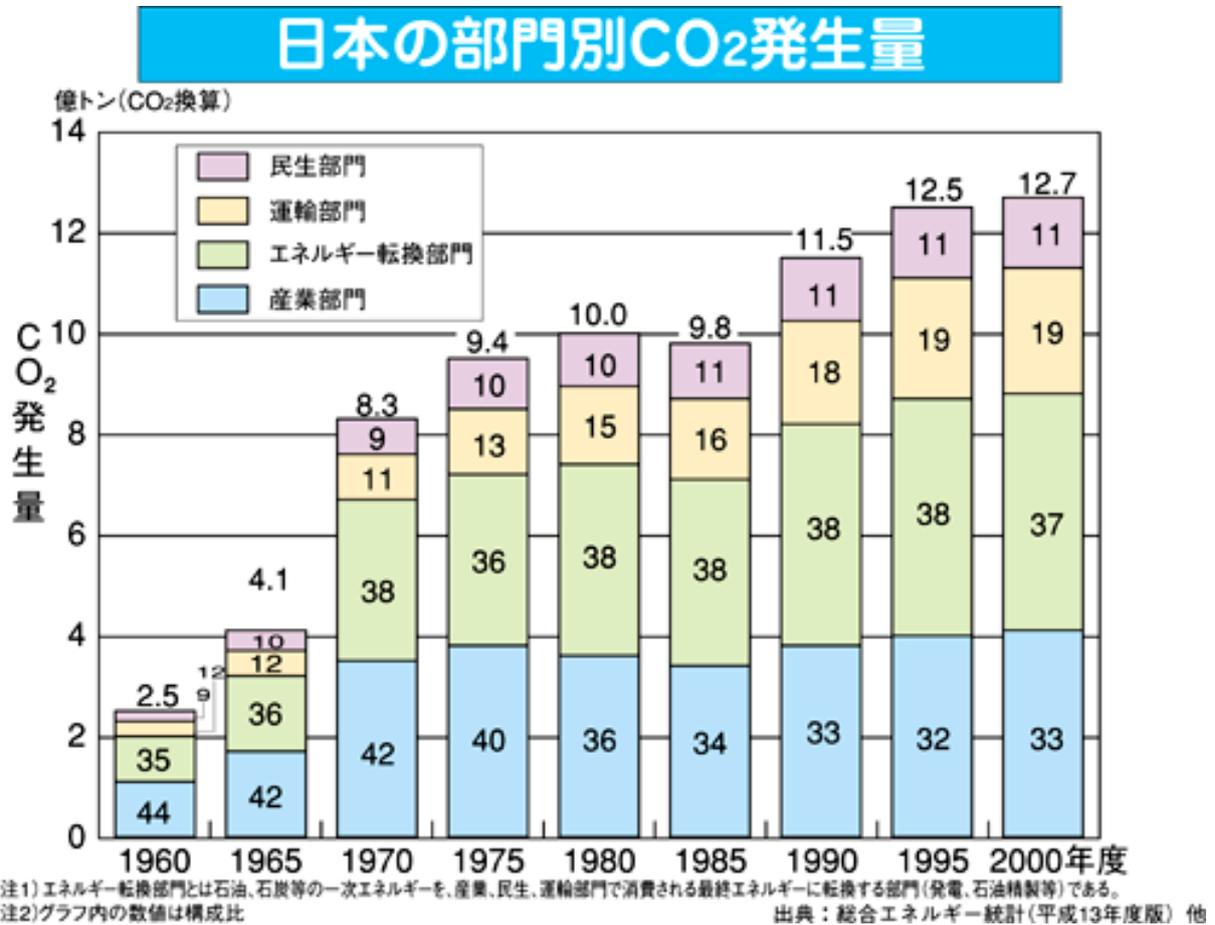
表1 各国のクレジット買い取り制度及びカーボンファンドにおけるクレジット調達量

| 国・機関名 | 予定クレジット調達量 (百万 t) |
|---------------------------|----------------------|
| オーストリア | 5* |
| ベルギー | 41 |
| デンマーク | 19* |
| フィンランド | 3 |
| イタリア | 69 |
| オランダ | 100 |
| スペイン | 100 |
| スウェーデン | 4 |
| 世界銀行 | 48* |
| 欧州復興開発銀行 (EBRD) | 5* |
| 日本温暖化ガス削減基金 | 18* |
| CDC(仏国有金融機関)／ | 17* |
| Fortis Bank(ベルギー／オランダの銀行) | |
| Natsource LLC 社 | 50* |
| 合 計 | 479 |

* : 定められた予算／資金量を用いて、8ドル/t もしくは6ユーロ/t でクレジットを購入する場合を想定した

(本添付資料は 2.1 節に関するものである)

総合エネルギー統計(平成 13 年度)



平成 15～16 年度成果報告書 水素安全利用等基盤技術開発 水素に関する共通基盤技術開発
「水素シナリオの研究」平成 17 年 3 月 本編 P169 より引用

表 3.1.2-30 都市ガス使用量と原料費

| ステーション供給規模 (Nm ³ /h) | 100 | 300 | 500 | |
|---|------|------|------|------------------------|
| 水素 1Nm ³ あたりの原料都市ガス量 (Nm ³ /Nm ³ -H ₂) | 0.33 | 0.33 | 0.33 | H14 年度設定 (改質効率 80%) |
| 都市ガス単価 (円/Nm ³) | 54.2 | 47.5 | 46.9 | H13 年度設定 |
| 原料費 (円/Nm ³ -H ₂) | 17.9 | 15.7 | 15.5 | |

(出典) WE-NET 第 II 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究 (2002 年 3 月)

WE-NET 第 II 期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査・研究 (2003 年 3 月)

(本添付資料は 2.2 節に関するものである)

化学工業向け自家発電プラントの容量調査

1. 参考資料

火力・原子力発電施設要覧(平成17年改訂版) 社団法人 火力原子力発電技術協会

2. まとめ方

参考図書に記載の施設から、以下の条件に合致するものをピックアップ。

(1)業種は、石油および化学工業に限定。

(2)認可出力10万kW以上。

| 都道府県 | 会社名称 | 発電所名称 | 業種 | 認可出力 kW | ボイラ | | | | | | 備考 | | | |
|------|---------|--------|--------------|------------|-----------|-----------|---------|-------------|----------|----------|---------|--------|---------|--------|
| | | | | | 容量 t/h | 圧力 MPa | 温度 ℃ | 燃料 | 個数 | 完成年月 | 設置時期 | 容量 | | |
| 福島県 | 呉羽化学工業 | 錦火力 | 化学工業 | 103,240 | 215 | 13.3 | 540 | HO,G(H2) | 1 | 1968年5月 | 1970年 | 10万kWe | | |
| | | | | | 320 | 13.3 | 540 | HO,G(H2) | 1 | 1970年12月 | | | | |
| | | | | | (3325) | (0.9) | (350) | (CO) | (1) | 1996年3月 | | | | |
| 千葉県 | 三井化学 | 市原 | 化学工業 | 132,940 | 120 | 11.8 | 490 | HO | 1 | 1968年8月 | 1970年 | 14万kWe | | |
| | | | | | 120 | 11.8 | 490 | HO | 1 | 1968年8月 | | | | |
| | | | | | 120 | 11.8 | 490 | HO | 1 | 1968年11月 | | | | |
| | | | | | 200 | 10.4 | 490 | HO | 1 | 1969年7月 | | | | |
| | | | | | 200 | 10.4 | 490 | HO | 1 | 1970年7月 | | | | |
| | | | | | 46 | 10.8 | 500 | W | 1 | 1988年4月 | | | | |
| 神奈川県 | 東亜石油 | 東亜石油第5 | 石油製品・石炭製品製造業 | 274,190 | 630 | | | W | 1 | 2003年2月 | 2000年 | 27万kWe | | |
| | | | | | 630 | | | W | 1 | 2003年2月 | | | | |
| | | | | | 431,450 | 425.1 | 11.7 | 544 | W | 1 | | | 2003年6月 | 2000年 |
| 三重県 | 東ソー | 四日市事業所 | 化学工業 | 164,530 | 430 | 12.3 | 543 | HO,G | 1 | 1971年4月 | 1970年 | 16万kWe | | |
| | | | | | 430 | 12.3 | 543 | オイルコース | 1 | 1976年2月 | | | | |
| | | | | | 223,000 | 750 | 19.6 | 544 | 重油 | 1 | | | 2003年4月 | 2000年 |
| | | | | | 15 | 1.8 | 209 | A重油 | 1 | 2003年4月 | | | | |
| 大阪府 | 新日本石油精製 | 大阪製油所 | 石油製品・石炭製品製造業 | 149,000 | 475 | 14.3 | 541 | VR | 1 | 1998年7月 | 1990年 | 15万kWe | | |
| 兵庫県 | 三井化学 | 泉北 | 化学工業 | 104,710 | 140 | 13.7 | 538 | HO,G | 2 | 1969年12月 | 1970年 | 10万kWe | | |
| | | | | | 250 | 13.7 | 538 | HO | 1 | 1971年9月 | | | | |
| 岡山県 | 三菱化学 | 水島第1 | 化学工業 | 211,600 | 220 | 13.0 | 541 | HO,G | 1 | 1968年1月 | 1970年 | 21万kWe | | |
| | | | | | 600 | 13.0 | 541 | PC | 1 | 1970年5月 | | | | |
| | | | | | 600 | 13.0 | 541 | HO,G | 1 | 1972年12月 | | | | |
| 山口県 | 宇部興産 | 宇部興産 | 化学工業 | 227,800 | 250 | 14.6 | 543/440 | HO(PC) | 1 | 1968年7月 | 1970年 | 7万kWe | | |
| | | | | | 500 | 15.2 | 540/539 | HO(PC) | 1 | 1982年10月 | | | | |
| | | | | | 25 | 4.2 | 450 | HO(PC) | 1 | 1971年11月 | | | 1980年 | 14万kWe |
| | | | | | 14.2 | 3.5 | 450 | W | 1 | 1999年6月 | | | | |
| | 東ソー | 第1 | 化学工業 | 181,200 | 50 | 4.1 | 430 | HO | 1 | 1970年3月 | 1970年 | 18万kWe | | |
| | | | | | 40 | 3.9 | 438 | HO | 1 | 1954年12月 | | | | |
| | | | | | 40 | 3.9 | 438 | HO | 1 | 1957年1月 | | | | |
| | | | | | 185 | 15.7 | 541/433 | PC,HO | 1 | 1963年3月 | | | | |
| | | | | | 300 | 15.2 | 541/433 | HO,G | 1 | 1968年10月 | | | | |
| | | 第2 | 化学工業 | 494,000 | 410 | 15.2 | 541/433 | HO,PC | 1 | 1974年12月 | 1970年 | 15万kWe | | |
| | | | | | 410 | 16.5 | 541/433 | HO,PC,石油コース | 1 | 1982年10月 | 1980年 | 30万kWe | | |
| | | | | | 600 | 19.3 | 569/541 | HO,PC,石油コース | 1 | 1989年6月 | | | | |
| | | | | | 600 | 19.3 | 569 | PC,HO | 1 | 1999年4月 | 1990年 | 15万kWe | | |
| | | | | | 149,000 | 500 | 14.3 | 541 | VR,石油コース | 1 | 2004年4月 | 2000年 | 15万kWe | |
| | トクヤマ | 中央 | 化学工業 | 407,000 | 220 | 10.0 | 515 | PC/HO G | 1 | 1963年10月 | 1970年 | 27万kWe | | |
| | | | | | 260 | 14.9 | 541/541 | HO | 1 | 1971年5月 | | | | |
| | | | | | 530 | 14.9 | 541/541 | HO,G | 1 | 1976年5月 | | | | |
| | | | | | 530 | 14.9 | 541/541 | HO,PC,石油コース | 1 | 1987年9月 | | | 1980年 | 14万kWe |
| | | | | | 145,000 | 580 | 12.8 | 541 | PC石油コース | 1 | | | 1999年4月 | 1990年 |
| 大分県 | 九州石油 | 大分第2 | 石炭・亜炭鉱業 | 149,000 | 485 | 19.2 | 541 | 石油残渣 | 1 | 1999年4月 | 1990年 | 15万kWe | | |

高温ガス炉ポテンシャルユーザに関する予備的調査結果

高温ガス炉のポテンシャルユーザの予備的調査に関して、本文2章に掲載したユーザー以外の調査概要を以下に示す。

1. 化学コンビナート内事業所（ヒアリング調査）

周南コンビナート全体の生産規模は、エチレンについては年間63万t、塩ビモノマーについては144万tで我が国最大規模である。コンビナートに属するT社では、石炭火力による自家発電（約55万kW）の代替として原子力に期待している。水素製造については、塩電解で水素を副生しており、現在、約14,000m³/hの水素製造能力を有するという。高純度水素はSiO₂等の電子材料製造にも利用している。

T社の事業には電力と約500トンの蒸気（圧力0.3、1.1及び2.1MPa、温度200℃程度）が必要なので、高温ガス炉システムは適合しているという。高温ガス炉を設置するならば徳山湾の中の島が望ましいとしているが、PA上の困難が予想される。高温ガス炉の発電コスト（4円/kWh）は導入可能な経済性であると評価。

また、T社は、「山口水素タウン計画」における燃料電池試験に参加しており、周南市において、燃料電池コージェネレーション・システムの実証試験を実施中。今後、水素製造所から一般住宅の燃料電池（10世帯程度）への水素パイプライン建設を計画。なお、山口県は日本一の水素生産地（日本国内生産量の14%：約9億m³）で、周南コンビナートでは約7.2億m³の水素を生産。

2. セメント製造業（ヒアリング調査）

B社では年間約400万tのセメントを生産しており、そのうち60万tは産業廃棄物を原料に使用している。熱を利用する工程としては、800℃～900℃で炭酸カルシウムを熱分解する焼成工程と1400℃の高温を必要とする溶解工程があるが、エネルギー源は石炭が主力である（廃油、廃プラスチック等を加えている）。消費エネルギーは、石炭が40万t/年、電力（購入）が40万kWである。将来（20、30年先）には原料、燃料の多様化することが重要で、原子力の選択肢もありうるとしているが、原子力に関する積極的な導入意志はなさそうである。

3. 製紙業（ヒアリング調査）

C社の製紙工程は、原料リグニンを抽出した後、黒液を燃焼させて薬品を熱分解して回収する。その燃焼熱から蒸気を生産し、発電を行うと共に低温蒸気（200℃）を供給している（消費電力、エネルギー量に関する情報提供はなかった）。また、パルプ漂白のために酸素を1500t/月（31,000m³/h）使用しており、酸素供給は専用設備による。以上から、電力、熱及び酸素供給源として高温ガス炉の利用は、可能性としては考えられるが、原子力に関する積極的な導入意志はなさそうである。

4. 山口県の水素タウン（ヒアリング調査）

全国一の副生水素生産能力を活かして、「水素フロンティア山口推進構想」を策定し、小型の燃料電池2台を用いた「非改質タイプPEFC実証試験」を平成17年度まで実施し、良好な熱効率達成など所定の成果をあげている。その後、「水素タウンモデル事業」として、副生水素を水素パイプラインにより一般家庭に供給する予定である。

高温ガス炉は多様な熱利用が可能であり、しかも経済性及び安全性が優れているとすれば、山口県のコンビナートに設置する原子炉システムとして最適であるが、県が高温ガス炉の導入主体とはならない。山口県は、副生水素を用いた水素タウンを実現することが今後の

目的であり、現状、副生水素以外の方法による水素製造は考えていない。よって核熱以外の熱源を利用した I S プロセスに関する共同事業の可能性、高温ガス水素製造システムの導入については否定的である。

5. その他の水素タウン（Web 調査による）

(1) 愛知県の例

水素エネルギーを中心とする新エネルギー関連産業の振興・育成を目的に「愛知県新エネルギー関連産業振興計画」を策定（平成 17 年 7 月）、その後、「愛知県水素エネルギー産業協議会」を立上げて産学行政によるプロジェクトを推進している。平成 18 年からは中部臨空都市で、太陽光発電、燃料電池、畜電池等から構成される需給システムの有効性実証、バイオマスエネルギー取出し設備として、生ゴミを利用するメタン発酵システム、ペットボトルを利用する高温ガス化システムなどを設置している。高温ガス炉導入に関しては、水素ステーションへの水素供給、工業地帯への電力、熱の供給源として、将来的な可能性としては考えられる。

(2) 三重県の例

三重県の例では、構造改革特区（「燃料電池を核とした産学官連携ものづくり特区」）の認定を受け、家庭用燃料電池の導入環境を整備し、人材・産業育成（学校等での実証試験、新用途開発、燃料電池部材開発等）や、産学官の連携による高付加価値化（知的ネットワーク構築、投資支援、税制優遇等）を図ることとしている。原子力の導入については、その計画の趣旨からなじまないと考えられる。

(3) つくば市の例

つくば市の例では、構造改革特区（「つくば市新エネルギー特区」）の認定をうけ、家庭用燃料電池発電設備を一般電気工作物扱いとし（全国初）、自然エネルギー関連機器導入促進を図ったもので、2010 年まで家庭用燃料電池の導入目標を 3000 台とし、風力、太陽光、バイオマス発電、電力貯蔵に係わる産学官連携活動を促進し、大規模実証研究活動の誘致、FCV 等実用化研究促進を図るものである。原子力の導入については、その計画の趣旨からなじまないと考えられる。

(4) 福岡県の例

福岡県の例では、福岡県や九州大学等が中心となって「福岡水素エネルギー戦略会議」を発足させ、産官学連携による水素エネルギー社会の実現を先導する地域を形成することを目指したものである。構造改革特区（「福岡水素利用技術研究開発特区」）の認定を受け、高圧ガス保安法の規制手続き緩和することにより開発を加速化している。研究開発の中核拠点を九大とし、水素利用機械システム研究開発（水素製造・供給、利用、安全評価）や水素利用ミニモデルによる実証、人材育成事業等を実施している。原子力の導入については、その計画の趣旨からなじまないと考えられる。

(5) 稚内市の例

「稚内新エネルギー研究会」が推進主体となって、電力の安定化のため、燃料電池に着目し、「風と燃料電池で築く環境最先端のまちづくり」プランを企画し、平成 17 年度環境省「環境と経済の好循環のまちモデル」対象事業として選定された。これを機に、日本のデンマークを目標とし、平成 17 年度から 3 年間にわたって、風力を用いた燃料電池システムの事業を推進。宗谷岬ウィンドファーム（1000 キロワット級風車 57 基）は日本一の風力発電基地で、市内の 7 割の電力を供給可能としている。本計画では、原子力は構想外である。

高温ガス炉将来展開検討会 名簿

平成19年3月
(社)日本原子力産業協会

| 検討会 | | WG1 | WG2 | 幹事 | | |
|------|------|------|-----|-------|---|---|
| | 主査 | | | 関本 博 | 東京工業大学 原子炉工学研究所 教授 | |
| | 主査代理 | ○ | | 小川 益郎 | 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 核熱応用工学ユニット長 | |
| 電力会社 | ○ | | | 穂村 政道 | 関西電力(株) 原子力事業本部 フラント・保全技術グループ マネージャー | |
| | ○ | (オ) | ○ | 嶋田 雅樹 | 中部電力(株) 発電本部原子力部 サイクル企画グループ 副長 | |
| | ○ | | | 長谷川慎治 | 電気事業連合会 原子力部 副長 | |
| | ○ | | | 吉永 隆一 | 電源開発(株) 原子力事業部 技術開発グループ 副部長 | |
| | ○ | | | 吉井 良介 | 東京電力(株) 原子力技術・品質安全部 将来構想グループ マネージャー | |
| | ○ | ○ | ○ | ○ | 桜木 洋一 | 東京電力(株) 原子力技術・品質安全部 将来構想グループ 副長 |
| | ○ | リーダー | ○ | ○ | 土江 保男 | 日本原子力発電(株) 研究開発室 主席研究員(新型炉) |
| | ○ | | | | 中山 義之 | 日本原子力発電(株) 研究開発室 研究・管理グループ 副長 |
| | ○ | | | | 菅 憲夫 | 石川島播磨重工業(株) 原子力事業部 原子力プラント設計部 課長 |
| | ○ | | ○ | | 加藤 茂 | 原子燃料工業(株) 東海事業所 新型炉燃料部 部長 |
| ○ | | △ | | 栗間 昭典 | 千代田化工建設(株) エネルギー・環境プロジェクト部 上席技師長 | |
| ○ | ○ | | ○ | 福家 賢 | (株)東芝 電力システム社 原子力事業部 原子力技術部 担当課長 | |
| メーカー | | | ○ | 丸山 茂樹 | (株)東芝 電力システム社 炉子エンジニアリングセンター 原子力開発設計部 FBR・新型炉システム担当 | |
| | ○ | | | 平野 隆久 | (社)日本電機工業会 原子力部 課長 | |
| | ○ | ○ | | 高橋 等 | (株)日立製作所 原子力事業部 原子力技術本部 主任技師 | |
| | ○ | ○ | | ○ | 早川 均 | 富士電機システムズ(株) 発電プラント本部 原子力統括部 常務理事 技師長 |
| | ○ | | ○ | | 岡本 太志 | 富士電機システムズ(株) 発電プラント本部 原子力統括部 開発部長 |
| | ○ | ○ | | ○ | 皆月 功 | 三菱重工業(株) 原子力事業本部 原子力技術部 部長代理 |
| | | | ○ | | 本岡 直人 | 三菱重工業(株) 原子力事業本部 原子力技術センター 原子力技術部 新型炉・新製品技術課 主席技師 |
| | ○ | | △ | | 小西 隆志 | 東洋炭素(株) 生産本部 品質保証部 次長 |
| | ○ | | | | 津村 裕行 | (株)大林組 原子力本部 原子力部長 |
| | (オ) | | △ | | 梅木 克彦 | (株)大林組 原子力本部 技術部 グループ長 |
| ゼネコン | ○ | | | 岡本 修平 | 清水建設(株) エンジニアリング事業本部 原子力本部 原子力技術部長 | |
| | ○ | | | 青木 弘之 | 大成建設(株) 原子力本部 部長 | |
| | ○ | | | 涌井 俊秋 | (株)間組 技術・環境本部 原子力部 専門部長 | |

| 検討会 | | | | WG1 | WG2 | 幹事 | | |
|-----------------------|--------|-------|-------|---------|---|---------------------------|--|--|
| 熱 利 用 企 業 | ○ | ○ | △ | 永田 秀昭 | 大阪ガス(株) 常務取締役 技術統括 兼 技術部門長 | | | |
| | ○ | | △ | 田巻 耐 | 新日本製鉄(株) 技術開発本部 技術開発企画部 技術企画グループ マネージャー | | | |
| | ○ | ○ | △ | ○ 吉武 惇二 | 東京ガス(株) 総合企画部 副理事 | | | |
| | ○ | | △ | 舟橋 正義 | トヨタ自動車(株) 東京技術部 担当課長 | | | |
| 商 社 | ○ | | | 清水 良雄 | 双日(株) エネルギー・金属資源部門 原子力業務顧問 | | | |
| | (オ) | | △ | 中村 志郎 | イーエナジー(株) 取締役 | | | |
| 研 究 所 | ○ | | リーダー | 松井 一秋 | (財)エネルギー総合工学研究所 研究理事 | | | |
| | (オ) | | (オ) | 井上 隆 | (財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 | | | |
| | ○ | | | 宮本 喜晟 | (財)原子力研究バックエンド推進センター 東海事務所 調査役 | | | |
| | ○ | | | 吉田 晴彦 | 新エネルギー・産業技術総合開発機構 石炭事業部 | | | |
| | ○ | ○ | | 魚谷 正樹 | (財)電力中央研究所 原子力技術研究所 副所長 研究参事 | | | |
| | ○ | | | 湯浅 俊昭 | (財)日本エネルギー経済研究所 総合研究炉部 | | | |
| | ○ | 副リーダー | 副リーダー | 國富 一彦 | 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 核熱応用工学ユニット コシエレーション高温ガス炉設計評価グループ リーダー | | | |
| | ○ | | ○ | 阿部 豊 | 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 構造エネルギー工学専攻教授 | | | |
| | 大 学 | ○ | ○ | ○ | 加藤 之貴 | 東京工業大学 原子炉工学研究所 助教授 | | |
| | | ○ | | | 山地 憲治 | 東京大学 大学院 工学系研究科 電気工学専攻 教授 | | |
| | | ○ | | 藤井 康正 | 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 助教授 | | | |
| (ア) | | (ア) | (ア) | 鈴木 弘茂 | 東京工業大学 名誉教授 | | | |
| 原 産 | ○ | ○ | ○ | ○ 西郷 正雄 | (社)日本原子力産業協会 政策本部 担当役 | | | |
| 事 務 局 | | | | 木下 雅仁 | (社)日本原子力産業協会 政策本部 リーダー | | | |
| | | | | 富野 克彦 | (社)日本原子力産業協会 政策本部 | | | |

備考:(オ)はオブザーバー、(ア)はアドバイザー、△は直接関係する作業のみ参加