

原研における核熱利用研究の現状

石山 新太郎

日本原子力研究所大洗研究所東海駐在

核熱利用研究部

〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 の 4

Recent Activity of Advanced Nuclear Heat Technology in JAERI

JAERI(Japan Atomic Energy Research Institute) has long term projects for R&D of nuclear heat utilization technologies with HTTR(High Temperature engineering Test Reactor; thermal out-put ,30MW out-let temperature 850°C), which reactor is planted to be critical in 1998. In these technologies, mass hydrogen production by steam reforming, high efficiency electrical generation system, IS process and advanced new processes are included. In present paper, recent progress of these new technologies for high temperature nuclear energy in JAERI are reported.

1. 緒 言

現在、原研では原子炉出口温度 850°C、30MW の高温工学試験研究炉(HTTR)の臨界試験を直前に控え、今後この核熱を積極的に利用した核熱利用技術の展開を図って行く。その利用計画では、HTTR への早期接続を目指した水蒸気化改質による水素製造プラントの建設や高温発電システムの検討ならびに核熱利用プロセス研究として IS プロセスの開発や先進プロセスの研究が進められている。

本講演では、これら原研で現在進行中のプロジェクトや先端研究について概説する。

2. 核熱利用研究計画及び研究テーマ

今後原研は、現在建設中の HTTR を中心として「高温ガス炉技術の高度化」を最終目標にした①安全性の確認・経済性の向上を目指した高温ガス炉そのものの高度化技術の開発及び②クリーンエネルギーの創生や熱利用分野の拡大と熱効率の向上を目指した核熱利用研究、ならびに③各種新技術の創生と先端的プロジェクトへ貢献するための高温工学に関する先端的基礎研究に関して重点的に展開して行く(図1参照)。

このうち、核熱利用研究については、図2に示すように(1)核熱利用システムの構築に関する研究、(2)核熱利用システムの要素技術試験、(3)核熱利用プロセスに関する研究ならびに(4)核熱利用プロセスに関する研究に関してそれぞれ展開して行く予定である。これらのうち水素製造及び水素吸蔵合金の利用に直接関係のある試験研究項目は、(1)及び(4)である。ここでは、両項目の内容について概説する。

(1) 核熱利用システムの構築に関する研究

HTTR への早期接続を目指した水蒸気改質法によるメタンガスからの水素製造プラント(4000Nm³/h、図4参照)の設計/建設/試験を図3に示す予定で推進してゆく。本システムの主目的は、「世界で初めての核熱利用の実証」(核熱利用の多様化を実証)であり、①水素製造システムの運転・制御技術・安全技术に関する炉外技術開発及び②原子炉とシステムの結合における安全確保等を確認するためのものである。このシステムにおいてさらに製造水素の貯蔵や輸送方法について水素吸蔵合金を利用した技術的検討が今後期待される。

「高温発電システムに関する研究」では、図5に示す高温発電システムのフュージビリティ・スタディ及びブレークスルーとなるべき各種技術の基礎的開発を円滑に推進するため、研究計画及び成果について技術的及び研究的検討を行っている。この核熱システムの熱効率は、約50%で従来の軽水炉の発電システム(約35%)に比べて極めて高い効率を有する。それ故に、この効率の差を生かした発電電気をを用いた水電気分解製造とこれらのシステムから排出される熱エネルギーとを併せて利用することにより水素吸蔵合金の活用が考えられる。

(4) 核熱利用プロセスに関する研究

核熱を利用して水を分解して水素製造する①ISプロセスの研究及び核熱を利用した②先進プロセスの研究を行っている。

① IS プロセス

IS プロセスは、図6に示すような核熱を利用した硫酸分解反応とヨウ化水素酸分解反応を組み合わせたプロセスであり、800℃以上(硫酸分解)及び400℃以下(ヨウ化水素酸分解等)の温度を利用する。そのため、800℃～400℃温度範囲の利用について上記(1)の高温発電システムとの組み合わせによる全体効率を向上させる方法が考えられる。また、このプロセス内ではプロセス中で取り扱う大量の水(特に、ヨウ素の蒸留工程)の凝縮熱の回収が全体の熱効率を向上させる有用な方法である。このため、図6に示すこのプロセスから製造された水素ガスを貯蔵するとともにこの水素を利用したヒートポンプの開発を進めている。

②先進プロセス

850℃の核熱を利用した高性能の固体電解質による熱/電気/化学エネルギー併給システムを構想している。これは、850℃以下の温度でメタンを部分酸化して水素エネルギーを得ると同時に発電の行えるシステムで図7に示したLaGaO₃系の新しい固体電解質を利用したもので現在、原研では、この大型化を狙った開発を進めている。

3.実験結果及びその検討

上記の各システムからの排熱の再利用や水素貯蔵/輸送に関する研究開発や核

熱を利用した電気/化学エネルギー併産システムについても今後同時に重要となってくる。そこで、ここでは、水素吸蔵合金を用いた化学ヒートポンプの性能試験の進捗状況ならびに電気/化学エネルギー併産システムに関する研究について報告する。

(1) 水素吸蔵合金を利用した化学ヒートポンプに関する研究

平成9年度に水素吸蔵合金を用いた化学ヒートポンプの閉サイクル試験装置を試作し、その運転条件の最適化ならびに運転性能評価を実施している。本装置は、水素化平衡圧力ならびに温度条件の異なる2種類の水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵部と高温発熱部の2要素から構成されており、両要素は常時150℃程度の温度で加熱されている。水素の出し入れは、水素貯蔵部→高温発熱部の場合各要素の平衡圧力の差圧により行い、逆に高温発熱部→水素貯蔵部への戻しは、バキュームコンプレッサー(最大負荷圧力;2kg/cm²)によって行っている。図8にこの装置により実現可能な高温発熱部の最高温度を達成するため、装置系内の水素流量と水素圧力をパラメータとして実験を行った結果である。これによると、300℃以上の高温を発生させるためには系内の水素圧力及び流量をそれぞれ30kg/cm³,20L/min以上で制御してやる必要があることが分かる。ヒートポンプの上記達成可能な最高温度における高温サイクル運転を行うためには、昇温時間をできるだけ短縮することが望ましい。図9には昇温時間に対する水素供給条件についてまとめたものである。これによると、短時間で最高温度サイクル運転を行うためには、30kg/cm²以上の高圧と30L/min以上の水素流量が必要であることが分かった。

(2) 電気/化学エネルギー併産システムに関する研究

すでに大分大学の石原教授のグループでは、新しいLaGaO₃の固体電解質を開発することにより、現在汎用されているYSZ系材料よりさらに低い温度での高電気伝導を達成している。この素材を用いることにより現在の850℃の核熱を利用したメタンの部分酸化による電気/化学エネルギー併給システムを構想することができ、原研ではこれらの素材を基に実用化への技術開発に着手した。実用化への問題点としては、大学で進められている現状の電解質に対してさらに数十倍にスケールアップした電解質を製作するための製作技術の確立と低抵抗/低温反応化を実現する必要がある。そのため、現在直径約100mmφの大型化ディスクの試作と高圧反応システムの開発を進めている。

4. 結 言

上記概説した核熱利用研究の各研究開発研究における各システムの開発研究はようやくその緒につくことができ、21世紀に初頭にはいよいよその具体的な形を表わしてくる。これら高効率で環境に優しい新しい核熱利用技術の利用展開が21世紀では期待され、さらには先進プロセスとして電気/化学エネルギーなどの併給型の新しいシステムの展開が展望される。

図 1 高温工学試験研究炉に関する研究

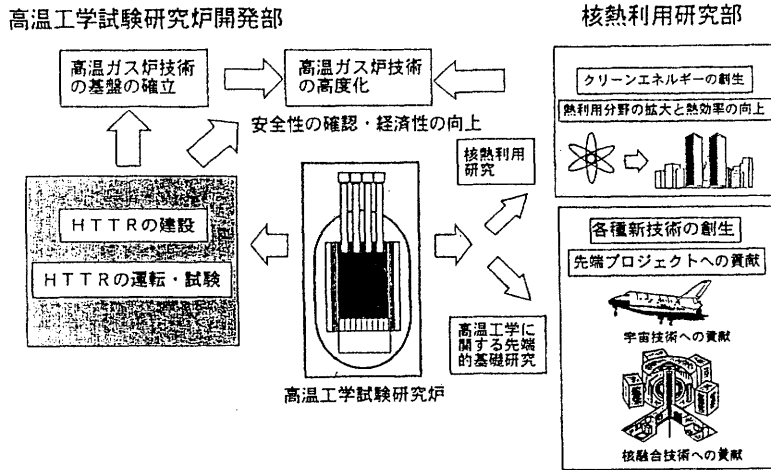


図 2 核熱利用研究部における核熱利用研究テーマと主な研究項目

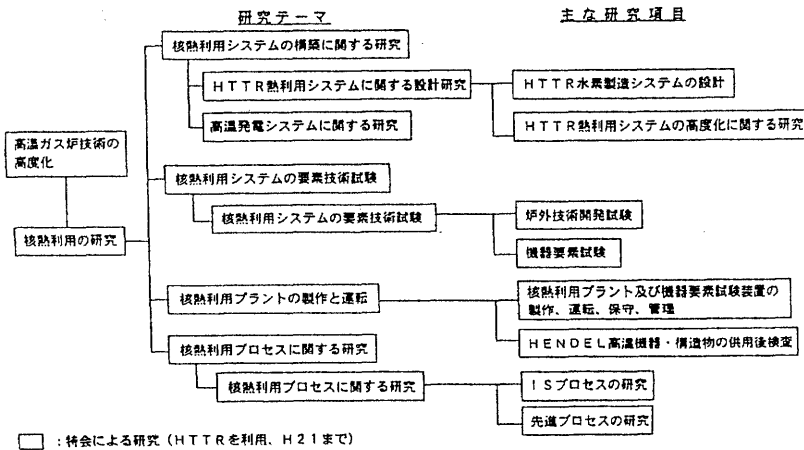


図 3 核熱利用研究の長期スケジュール

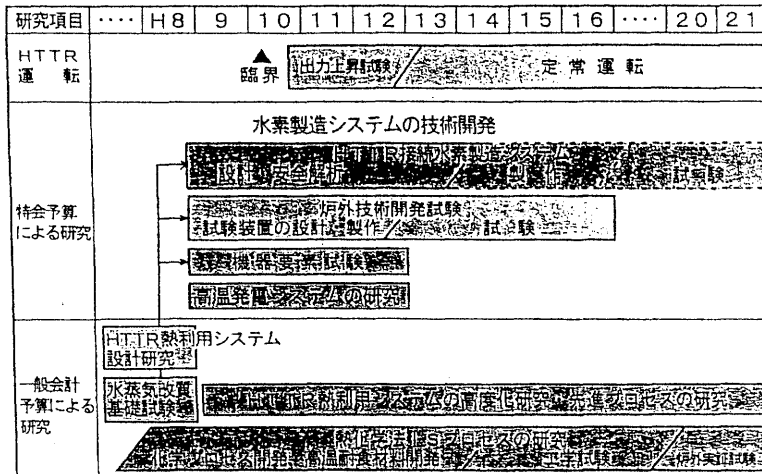


図4 核熱利用技術の実証試験

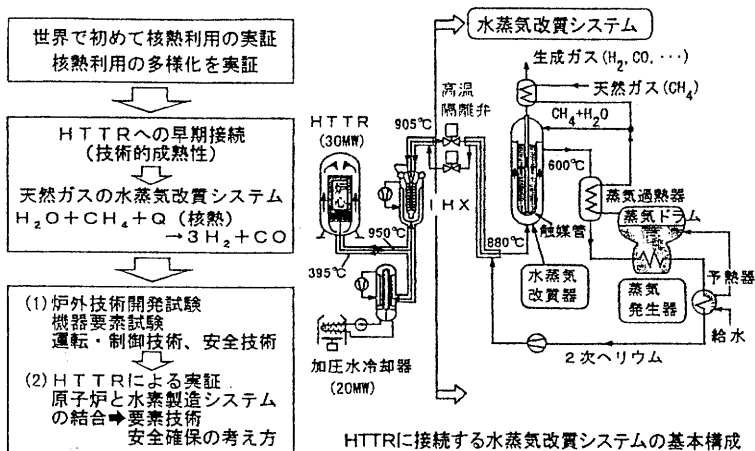
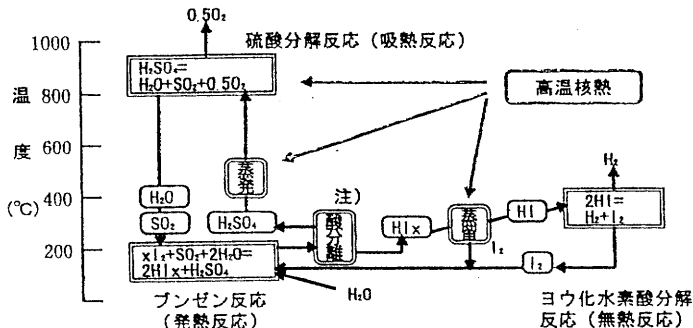


図5 高温発電システムのサイクル形式と特徴及び作業のポイント

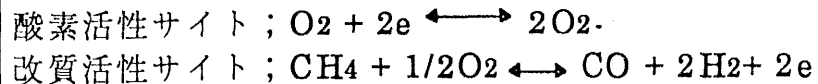
サイクル形式	サイクルの特徴	作業のポイント
<p>直接サイクル</p>	<ul style="list-style-type: none"> 各機器の性能目標が達成されれば最も熱効率が良い 最もシンプルなシステム 	<ul style="list-style-type: none"> G A社の設計概念で問題とされている事項（動力変換構造、原子炉圧力容器構造、タービロータの冷却）の改善策を握る 温度効率95%のプレートフィン型熱交換器要素の開発
<p>間接（複合）サイクル</p>	<ul style="list-style-type: none"> F Pのターボ機械への沈着に起因する保守の問題は解決する 大容量中間熱交換器のコストと製作性が問題 	<ul style="list-style-type: none"> 複合サイクル化により大容量中間熱交換器と原子炉入口温度の問題の解決を図る プレートフィン型や鍛造フィン付き伝熱管の採用により中間熱交換器の小型化を図る
<p>小型カスケード利用</p>	<ul style="list-style-type: none"> 小型化により受動的安全性を向上させ、タービン入口温度の高運転と都市近接立地を実現する カスケード利用による総合熱利用率の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 小型化に適したプラント概念の選択 海水淡水化との組み合わせが有望

図6 熱化学法I Sプロセスの研究
プロセスの反応構成と核熱の利用

○熱のみを用い化学反応の組み合わせにより水を分解して水素を製造する。
○ヨウ素と二酸化硫黄を循環使用し、外部に有害物質を排出しない。



注) 過剰I₂の存在で低比重の硫酸と高比重のポリヨウ化水素酸(HI_x)が二液相分離。

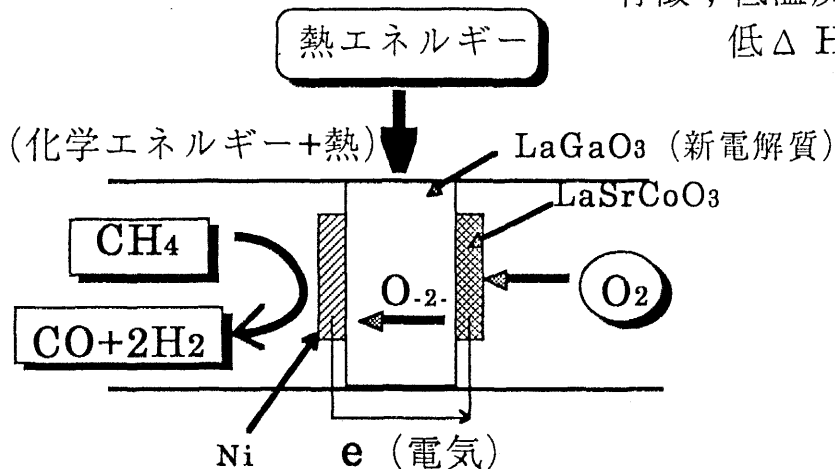
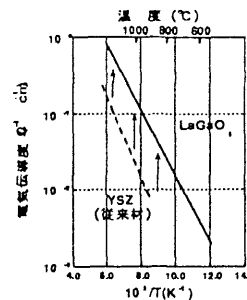


高電気伝導度の電解質の開発

従来材 (YSZ) より 1桁高い電気伝導率

→ 反応の低温化

特徴 ; 低温反応が可能
 低 $\Delta H / \Delta G$



高性能要素の開発と性能評価

- 低抵抗/低温反応型大型素子の開発
- 高転換化、高電流密度化

高効率熱-電変換及び化学エネルギー改質

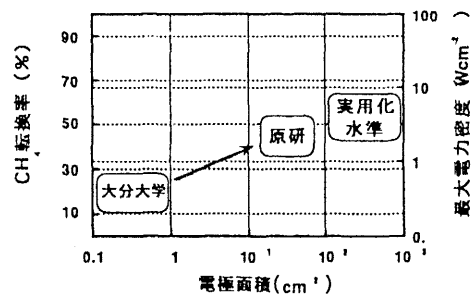
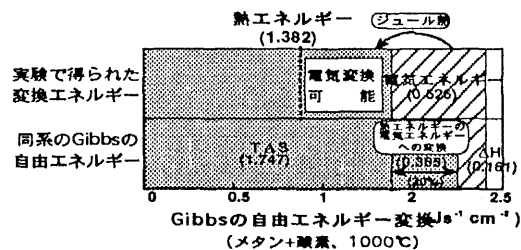


図7 先進プロセスの研究開発 (新しい固体電解質の開発)

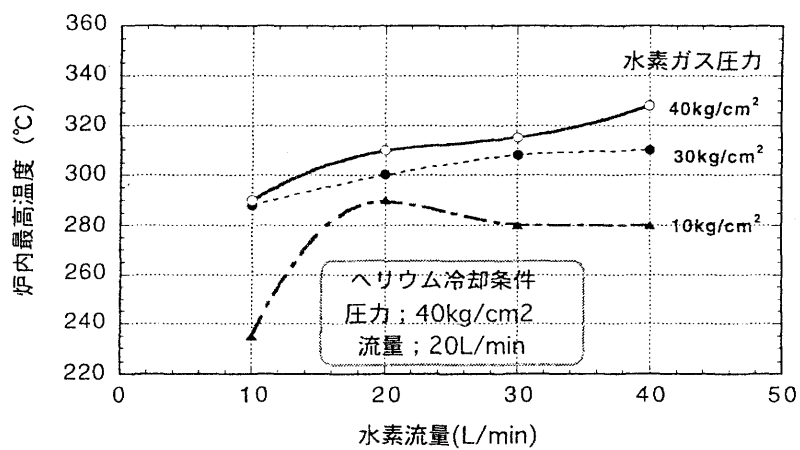


図8 最高温度と水素添加条件

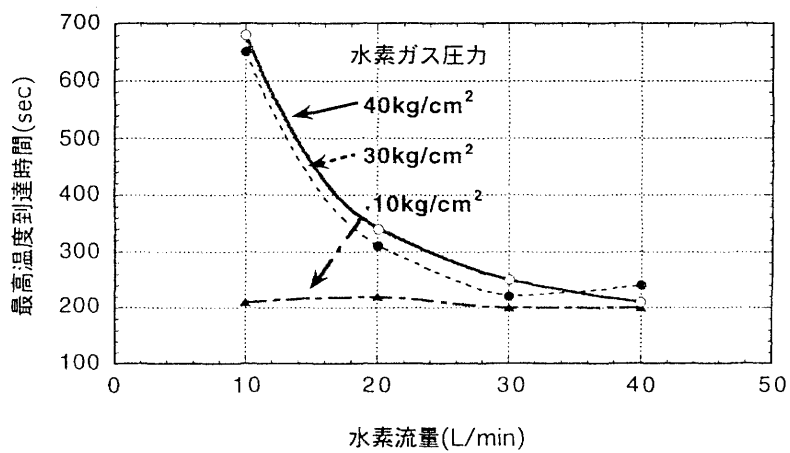


図9 最高温度到達時間と水素供給条件