804 熱化学法水素製造装置のための設計・解析支援システム

CAE System for Designing Thermo-Chemical Hydrogen Production Plant

○ 寺田敦彦 (原研)、正 日野竜太郎 (原研)

Atsuhiko TERADA and Ryutaro HINO

Japan Atomic Energy Research Institute

Narita-cho Niibori 3607, Oarai-machi, Higashi ibaraki-gun, Ibaraki-ken 311-1394

In the Japan Atomic Energy Research Institute, a pilot test plant of 30Nm³/hr-scale hydrogen production by using thermo-chemical water splitting process with iodine and sulfur (IS process) is been planning to establish nuclear heat utilization technology of high-temperature gas-cooled reactors. To promote design works of the pilot test plant, we have started to construct a CAE system to estimate and optimize heat-mass balance of the IS process, thermo-mechanical and thermal-hydraulic performances of chemical reactors process, safety system etc. This report presents an outline of the CAE system.

Key Words: Hydrogen production, CAE, Thermo-mechanical, Thermal-hydraulic, Safety system,

1. はじめに

日本原子力研究所 (原研) では、高温ガス炉技術と核熱利用技術の確立を目指して、水素製造システムと高温工学試験研究炉 (HTTR) の接続を計画している。これは、950℃の高温の熱を炉外に取り出すことができる高温ガス炉の特徴を生かし、将来の水素利用社会の実現に向けて、環境保全性に優れかつ経済性の高い水素製造技術の実現を目指す試みである。原研では、将来の大量水素需要に対応した幾つかの水素製造技術のうち、核熱を利用して水を熱分解するISプロセス熱化学法の開発研究を進めてきた⁽¹⁾。ISプロセスは、900℃程度までの熱を利用してヨウ素 (I) と硫黄 (S) を循環させて水を熱分解して水素を製造する手法で、全体の反応は以下のように表される。

・ブンゼン反応：

・ヨウ化水素分解反応：

・硫酸分解反応：

これまで原研では、1997年に実験室規模でISプロセスの水素製造理論を世界で初めて検証した。さらに、第2段階である工学基礎試験装置で毎時35リットル、6.5時間の連続水素製造運転に2003年8月世界で初めて成功した。2004年度まで特性試験、制御試験、長時間連続試験等を行う予定である⁽²⁾。今後は、技術的成立性を確認するため及び実用化に向けた経済性評価に必要なデータを収集するための第3段階の30m³/h規模のパイロット試験、最終段階としてISプロセスを原子炉に接続し、高温ガス炉水素製造システムを実証する1000m³/h規模のHTTR接続試験へとスケールアップして、実用化につなげることを目指している。

ISプロセスの基本構成をFig.1に示す。ブンゼン反応器を中心にして、二相分離器、分解器、蒸留塔等の

プロセス機器の設計開発においては、硫酸、ヨウ化水素系の過酷な腐食環境下で使用する耐食、耐熱材料の開発評価やプロセス全系の熱効率の向上等、幾つかの技術的な課題がある。これらの課題への対応と設計業務の効率化を図るには、プロセス特性 (制御)、材料評価と、これに基づくプロセス機器の構造強度・熱流動特性評価およびプラント安全評価を系統的にすすめる解析コード体系の整備が不可欠である。

本報は、ISプロセスの設計開発にあたって、解析的に評価が必要な技術課題への対応を図るために整備した解析コード体系を紹介する。

Fig.1 Schematic diagram of IS process

2. 設計・解析支援システム体系の概要

ISプラントの設計開発に関する設計フローをFig.2に示す。以下に現在、調整を進めているコード体系について、主要項目の概要を記す。

(1) プロセス特性評価によるシステム設計

ISプロセスは、主要な3つの化学反応を協調させて連続的に動作させるための閉サイクルシステムから構成されて

いる。システムは熱効率的な最適化を図り、機器の仕様や配置、定格運転条件を決定する。さらに、プラントの運転制御手法を確立する必要がある。これには、原研にて蓄積してきた多種にわたるデータに基づいた物性推算式の構築が可能なこと、また IS プロセス特有な反応モデルの構築が容易であること等の要件を満足する「ProII」等のシミュレータを採用する。

(2) 材料評価

IS プロセスの3つの主要な反応系は、それぞれ極めて過酷な腐食環境である。一方、IS プロセスの実用化には、高圧ガス保安法などに規定される压力容器の安全基準にとどまらず、隣接する高温ガス炉も含めた安全設計なども求められる可能性が高い。このため、用いられる材料は耐食性にとどまらず、クリープ、疲労、SCC などの信頼性に関わる特性にも十分留意して選定される必要がある。さらに、競合する他の水素製造プロセスに対してコスト、環境負荷の面でも競争力を有する材料でなければならない。したがって、システムの基盤となる構造用材料にあたっては、腐食試験等の実験データに基づく耐食材料データベースと反応生成物の熱物性データベースの整備を進めている。一方、並行して腐食・防食シミュレータ「CSP+OLI」を導入し、腐食速度等の挙動を解析的な評価を行う。

(3) 構造・熱流動

IS プロセスの設計開発では、過酷な腐食環境下で使用する分離、精製、蒸留、反応器等の多種多様な耐圧・耐食容器を開発する必要がある。機器の基本構造は、反応率や熱交換率等の性能向上を図るために熱流動の観点から最適な形状を選定し、これに耐圧性と腐食代を考慮した材料と板厚等を選定する。容器内の熱流動特性を把握するには、複雑な乱流混合の数値解析に対応した数種の2方程式乱流モデルと応力方程式モデルを扱うことが可能な「STAR-CD」、「FLUENT」等に加え、混相流、他成分反応流を考慮したコードの開発を行う。設計・開発に使用するコードは、時系列 PIV/PLIF システムを用いた可視化試験等により検証する計画である。また、構造材の強度評価については、選定が有力視されているガラス、SiC 等の非金属や耐食材をライニングした複合材の評価方法を検討する必要があるが、「ABAQUS」にて対応する。構造検討に関する最適化のプロセスは、CAD との連携による効率化を図る。

(4) 安全評価

原子力水素製造システムでは、HTTR に水素製造プラントを接続し、多量の可燃性物質を扱うことになる。これに起因する火災、爆発事故に対して原子炉の安全性を確保することが大きな課題であるが、明確な安全基準が定められていない。したがって、IS 水素製造プラントにおける爆発・火災事故がどの程度 HTTR 施設へ影響を及ぼすかを解析評価し、安全性評価を行う必要がある。安全評価システムは、①火災・爆発事故の影響評価を行うコードシステムおよびデータベース、②IS プラントのプロセス特性コードと

HTTR プラント動特性解析コードの連成機能において構成を検討する。IS プロセスの異常に対する原子炉応答解析では、我が国初となる原子炉系/熱利用系との接続を考慮した安全審査に対応するため、様々な事象を想定した相当量の動特性評価が課されることが予想される。このため、原子炉/水素製造システム全体の熱流動特性を合理的に評価するため、原子炉側の動特性解析コード (RELAP-5/Conan-GTHTR/ACCORD 等) とのインターフェースを整備する。

3. あとがき

IS プラント開発・設計に関して、解析的に評価が必要な技術課題に対応する解析コード体系について全体像を検討し、Fig.3 にまとめた。今後、本解析・支援システムを導入・構築し、開発環境の整備を図ることにより、IS プラントの設計開発を効率的に推進するとともに、解析コードの有効性を確認する R & D を実施する計画である。

参考文献

- (1) K.Onuki, et.al: IS Process for thermo-chemical hydrogen production, JAERI-Review 94-006 (1994).
- (2) S.Kubo, et.al: R&D on water spitting IS process for hydrogen production using HTGR at JAERI, AIChE 2004 Spring National Meeting, New Orleans, USA, April 25-29 (2004).

Fig.2 Schematic diagram of IS process design

Fig.3 CAE system for IS process design