

アジア保全技術情報交換会議

東北大学流体科学研究所	山本 敏弘	Toshihiro YAMAMOTO
東北大学流体科学研究所	内一 哲哉	Tetsuya UCHIMOTO
東北大学流体科学研究所	高木 敏行	Toshiyuki TAKAGI

1. 会議について

日本保全学会では、アジアにおける原子力発電設備の保全技術に関する情報交換の場を提供するために、情報交換会議を定期的に開催することを計画しており、その第1回会議として、2008年1月に日韓保全技術情報交換会議 (Japan-Korea Joint Workshop on Maintenance Technology for Nuclear Power Plant) が韓国の釜山大学校 機械技術研究院において開催された[1]。そして今回、それに続く2回目の会議として、アジア保全技術情報交換会議 (The Asian Workshop on Maintenance Technology for Nuclear Power Plant) が2009年1月20日(火)と21日(水)の2日間、東北大学 流体科学研究所にて開催された。この会議は、東北大学グローバルCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合研究世界拠点」の国際連携活動の一環として行われ、日本保全学会の東北・北海道支部および日本保全学会「非破壊検査技術研究調査」分科会が共催する形となった。また、韓国から釜山大学校の Basic Atomic Energy Research Institute と National Project for Advanced Nondestructive Diagnosis of NPP's Piping System が協賛した。今回の会議では、日本と韓国にとどまらず参加国を広げ、中国とインドから講演者を招いた。



図1 基調講演の様子

2. 講演内容

2.1 基調講演

会議は、議長である東北大学の高木敏行教授による開会の挨拶で始まり、その後、4件の基調講演が行われた(図1)。ここでは、まず、本会議に初参加した中国とインドの基調講演に焦点を当てて紹介する。

中国からの基調講演者として、西安交通大学の陳振茂教授からは、中国における原子力産業とこれに関連する保全技術について紹介があった。

中国では、依然として急速な経済成長と生活水準の向上により電力需要が増加しており、中国政府は、環境保全を考慮しつつ、この要求に応えるために、これまで緩やかだった原子力エネルギー開発の方針を転換し、積極的な原子力エネルギー開発を始めた。中国の原子力発電の歴史は比較的浅く、中国初の商業発電用原子炉である秦山 (Qinshan) 原子力発電所は、1991年に営業運転を開始した。2007年において中国には11機の商業発電用原子炉があり、その発電設備容量の合計は9GWe(日本は50GWe)であるが、これは中国の全発電設備容量の1%程度に留まっている。それに加え、現在14基の原子炉が建設中であり、既に24基の建設計画がある。中国政府は、2020年までに原子力発電設備容量を40GWe(経済状況によっては60GWe)にまで引き上げる計画を立てている。これは、中国の全発電設備容量の約4%になる予定である。

次に、中国の原子力発電に関連した主な機関を紹介する。中国核工業部 (Ministry of Nuclear Industry) をその前身とする中国核工業集团公司 (China National Nuclear Corporation) は、秦山 (Qinshan) 原子力発電所等の発電所を所有するとともに、国内の核燃料を管理しており、研究開発も行っている。中国広東核電集团有限公司 (China Guangdong Nuclear Power Holding Co., Ltd.) も多くの原子力発電所を所有しており、中国における第2世代の加圧水型原子炉 (PWR) と位置づけら

れている CPR1000 型炉の開発を行った。国家核電技術公司 (State Nuclear Power Technology Corporation) は、中国の第 3 世代炉となる米国 Westinghouse 社が開発した新型 PWR の AP1000 型炉の導入、管理や技術輸入を行い、同時に、これらの新技術の国産化を目指している。中国五大電力会社の一つである中国電力投資集团公司 (China Power Investment Corporation) は、原子力発電所を含む、多くの発電所の持ち株会社である。

今後の中国の原子炉建設計画は、次にあげる 3 本柱から成っている。第 1 は、現状の国産技術によるもので、既存の秦山原子力発電所 (II 期) に同型の原子炉を 2 基増設し、CPR1000 型炉を 2 基持つ嶺澳 (Ling Ao) 原子力発電所 (II 期) を建設する。第 2 は、国際入札により第 3 世代炉を導入するもので、浙江省 (Zhejiang) の三門 (Sanmen) 原子力発電所と山東省 (Shandong) の海陽 (Haiyang) 原子力発電所にそれぞれ 2 基の新型 PWR を建設する。そして第 3 は、国内技術により第 2 世代炉を改良し、性能、経済性、安全性を高めた原子炉を設計することである。

原子力発電所の供用期間中検査 (ISI) は、12 から 18 ヶ月の運転サイクルの合間に行われ、主に、核動力運行研究所 (Research Institute of Nuclear Power Operation)、中国核動力研究設計院 (Nuclear Power Institute of China)、蘇州熱工研究所 (Suzhou Thermal Engineering Research Institute) などの機関により実施されている。現在、これらの検査は米国機械学会 (ASME) 規格に従って行われているが、中国独自の維持規格の作成について検討中である。

中国の原子力に関する教育体制としては、清華大学、西安交通大学、上海交通大学などで原子力工学科の定員数を増やすなどの教育の強化が図られており、原子力関連企業による訓練なども行われている。さらに、交換留学などの国際協調体制も整えられつつある。

次に、インドからの基調講演者として、インディラ・ガンジー原子力研究センターの B. Venkatraman 博士より、インドの非破壊評価の従来手法と先進的な手法による、より信頼性の高い原子力発電設備の供用期間中検査について紹介があった。

インドでも、人口の増加と生活水準の向上のために電力需要が増加しており、経済性の向上や二酸化炭素排出量の減少を見込める発電手段として、原子力発電事業の拡大を計画している。また、より自立的な原子力発電の実現のために、現行の原子力発電所を活用できる高速増殖炉を導入するとともに、自国の埋蔵量がオーストラリアに次いで世界 2 位とされるトリウムを

燃料として利用することを考えている。

インドは、原子力発電所の安定した長期運営のために 3 段階の計画を立てている。第 1 段階では、現行の天然ウランを燃料とする加圧重水型原子炉 (PHWR) の運転によりプルトニウムを採取し、第 2 段階では、このプルトニウムにより高速増殖炉を運営する。最終的な第 3 段階では、トリウム原子炉に移行していく。PHWR については、現在 13 基が稼働中で、5 基が建設中である。他に、2 基の沸騰水型原子炉 (BWR) も稼働中で、2 基のロシア型加圧水型原子炉 (VVER) が建設中である。高速増殖炉については、既に実験炉を使った研究開発が行われており、現在、原型炉が建設中である。トリウム原子炉に関しては、研究段階で、規制側との調整を行っている。

インドでは、これらの計画を支える様々な検査技術の開発が進められている。インドには 2 基の BWR があるので、炉心シュラウド溶接部の割れを遠隔操作で検査するために、超音波探傷試験 (UT) の探触子や目視試験 (VT) のためのカメラを備えたアームの開発が行われた。また、PHWR の保全のために、UT や渦電流探傷試験 (ECT) による圧力管やカランドリア管の検査技術を開発しており、国際原子力機関 (IAEA) の圧力管の保全に関する協力研究計画 (CRP) において、インドのバーハ原子力研究センター (BARC) は 7 体の圧力管試験体の 170 個の欠陥をすべて検出した。建設中の高速増殖原型炉についても、主容器 (原子炉容器) の溶接部を VT および UT で検査しており、組み立て中の蒸気発生器 (SG) については、32 μm の傷が検出できる小焦点 X 線検査やレプリカ検査により欠陥検査を行い、バルクハウゼンノイズにより溶接後熱処理の検査を行っている。さらに、高速増殖炉の供用期間中検査の検査技術についても開発が進んでおり、蒸気発生器の伝熱管は磁性材料である Mod. 9Cr-1Mo 鋼製であるため、この検査のためにリモートフィールド渦電流法 (RFECT) による検査手法を開発している。また、原子炉容器を検査するための MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を利用したマルチアレイ超音波センサの開発なども行われている。

その他、基調講演として、電力中央研究所の稲田文夫博士より、日本における軽水炉の冷却水の流れによる構造物の健全性への影響に関する講演があり、その中で、流動因子による配管減肉発生のメカニズムの分析が発表された。

また、韓国からは、釜山大学の Joon-Hyun Lee 教授により韓国における材料劣化のプロアクティブな管理

についての現状報告が行われ、一次冷却水応力腐食割れ (PWSCC) 対策の一環として、2007年に構築された韓国の原子力関連の機関・企業・大学が作る連携ネットワーク PRIMA-NET (Proactive Research and Innovative Materials Aging Network) などについて紹介された。

2.2 オーガナイズドセッション

その後、1日目の午後から2日目の午前の間に開かれた3つのオーガナイズドセッション (OS1~OS3) にて合計17件の発表があった (図2)。



図2 オーガナイズドセッションの様子

OS1は「現場の保全活動」についてのセッションで、まずは、韓国電力・電力研究院 (KEPRI) の Tae-Ryong Kim 博士と東京電力の八代博史氏から、それぞれ韓国と日本の定期安全レビュー (Periodic Safety Review) と高経年化技術評価 (Plant Life Management) について紹介された。これらの2つは、原子力発電所の長期運転のために原子力事業者に義務づけられており、定期安全レビューとは、原子力発電所の運転開始後10年ごとに原子力発電所の安全性を総合的に評価し、必要な対策について規制機関に報告するもので、また、高経年化技術評価とは、運転開始後から30年が経過する前とその後10年ごとに、すべての主要機器を対象に高経年化に伴う健全性評価を実施し、その結果を報告するものである。韓国からは古里 (Kori) 原子力発電所の1号機を例に、日本からは福島第2原子力発電所の1号機と2号機を例にして、それぞれの国におけるこれらの活動について紹介された。

韓国標準科学研究院 (KRISS) の Seung-Seok Lee 博士は、蒸気発生器の伝熱管の高速な検査のための傾斜ポビンコイルを使ったECTプローブの開発について発表した。従来のポビンコイルを使ったECTプローブでは、管の周方向に渦電流が流れるため、管の周方向に伸びたき裂は渦電流の流れに影響を与えにくく、このようなき裂を検出しにくいという問題がある。その一

方で、パンケーキコイルを使ったECTプローブでは、あらゆる方向のき裂の検出に対応できるものの、一つのコイルで一度に検査できる面積は小さく、探傷速度が遅いという欠点がある。そのため、ポビンコイルを斜めに傾けて使うことにより、変則的な渦電流を発生させ、検査速度を下げずにあらゆる方向のき裂を検出できるプローブについて研究開発を行っている。

北海道電力の笹田直伸氏からは、泊原子力発電所におけるASCA (Advanced Scale Conditioning Agents) を使った蒸気発生器2次側の洗浄結果についての発表があった。PWRの蒸気発生器の2次側に起こるマグネタイトの堆積は原子炉の熱水力性能を下げ、さらに配管の劣化を助長する。このような堆積物を除去するために、80年代初頭に、米国電力研究所 (EPRI) によりSGCC (Steam Generator Chemical Cleaning) と呼ばれる化学洗浄法が開発されたが、その高い洗浄能力にも関わらず、費用の面から多くの電力会社は採用を控えていた。この手法は、著しい量の堆積物 (蒸気発生器につき1.4トンなど) を除去する場合には適しているが、堆積物の量が少ない場合は、費用対効果が低くなると考えられている。このため、北海道電力、Westinghouse 社および Dominion Engineering 社により、より手軽な洗浄剤としてASCAが共同開発された。北海道電力では、泊原子力発電所の蒸気発生器の洗浄にASCAを使用しており、この発表ではその効果について紹介された。

韓国のANSCO (Advanced NDE Service Corporation) の Jong-Po Lee 博士は、韓国の原子力産業における検査体制の現状について概説した。韓国には、ASME規格を参考に作られたKEPIC (Korea Electric Power Industry Code) という国内規格があり、また2004年から、配管、スタッドボルトおよび蒸気発生器伝熱管を対象にPD (Performance Demonstration) が始まっており、その後も、2005年に原子炉容器溶接部を、2006年に配管の異材溶接部をPDの対象に追加している。原子力発電所の検査については、特に、異材溶接部と蒸気発生器の検査に関する課題があがっており、それらの問題に対する取り組みが紹介された。

東北電力の秋葉真司氏からは、同社の配管減肉管理について発表があり、実際の減肉事例として、女川原子力発電所2号機の高圧第2給水加熱器のベント配管に貫通孔が生じた経緯と調査結果に関する説明がなされるとともに、管理体制の見直しや管理の効率化に向けた取り組みなどが紹介された。しかし、この見直しにより、現在では、一回の定期検査での測定点が二千ヶ所を超え、検査の負担が増大しており、この負担を

軽減するために、管理コンピュータシステムの導入や関連会社との連携強化の他、電位差法の一つである電場指紋照合法 (Field Signature Method) による配管の肉厚測定の実機適用性検証を行うなど、管理の効率化に向けた積極的な取り組みを行っている。

以下、紙面の都合上、OS2 と OS3 については、それぞれの発表内容を手短かに紹介するに留める。

OS2 は「検査および状態監視技術」についてのセッションで、原子力安全基盤機構 (JNES) の大高正廣博士からは、同機構が近年取り組んでいる非破壊検査技術に関する 5 つの国家プロジェクトについて説明があり、特にその中から、ニッケル基合金溶接継ぎ手に対する非破壊検査技術の有効性に関する調査の結果が紹介された。韓国原子力研究所の Doo-Byung Yoon 博士からは、原子力蒸気供給システム (Nuclear Steam Supply System, NSSS) を対象とした健全性監視システムの開発について紹介があった。この NSSS 健全性監視システムは、IVMS (Internal Vibration Monitoring System)、LPMS (Loose Parts Monitoring System)、ALMS (Acoustic Leak Monitoring System) および RCP-VMS (Reactor Coolant Pump-Vibration Monitoring System) の 4 種の監視システムから成る。東芝の大坪徹氏は、同社で開発中の非破壊検査技術として、レーザ超音波を利用した探傷法と VT 用カメラで得られた画像の高解像度化および 3 次元化技術について紹介した。韓国標準科学研究所の Dong-Jin Yoon 氏からは、制御棒駆動装置 (CRDM) の割れや漏れを検出するための光ファイバ音響センサとレーザブレイクダウン分光法の研究開発について発表があった。神戸大学の小島史男教授は、電磁超音波 (EMAT) の計算モデルとそれによるシミュレーション結果、および実際の装置を使った実験結果とそのような測定値から逆解析により欠陥のサイジングを行う手法について発表した。韓国の成均館大学の Hak-Joon Kim 研究教授は、ニッケル基合金による異材溶接部におけるフェーズドアレイ UT の音波の伝搬を再現するためのレイトレーシング法を利用した計算モデルとそのシミュレーション結果を紹介した。

OS3 は「原子力発電設備の構造材料の劣化のメカニズム」についてのセッションで、東北大学の渡辺豊教授からは、2 価鉄とフェナントロリンの反応による着色を利用した初期段階の応力腐食割れ (SCC) の可視化とこれを利用した SCC の発生原因の分析について発表があった。また、東北大学の内一哲哉准教授からは、600 合金の鋭敏化や Mod. 9Cr-1Mo 鋼のクリープ損傷が材料の磁気特性に影響を与えることを利用した非線形

渦電流法による材料劣化の評価について発表があった。韓国の高麗大学の Yun-Jae Kim 教授は、有限要素法を用いたシミュレーションによる異材溶接部の溶接残留応力の解析について報告した。日立製作所の中根一起博士からは、地震荷重を受けた構造物の健全性評価を目的とした、オーステナイト系ステンレス鋼と低合金鋼に対する予びずみ材の低サイクル疲労強度の評価実験の結果が紹介された。三菱重工業の藤本浩二氏は、PWR のバップルフォーマボルトの割れなどの対策のために JNES の国家プロジェクトとして行われている PWR における照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) に関する評価技術の策定のための実験結果が紹介された。

3. 最後に

会議には、日本から 37 名、韓国から 8 名、中国とインドから 1 名ずつ計 47 名が参加した (図 3)。会議の後には、東北電力の女川原子力発電所の見学が行われた。

来年 2010 年には、第 3 回の情報交換会議が予定されており、アジアの各国から多数の参加者が集まることが期待されている。



図 3 参加者の集合写真

参考文献

- [1] 山本敏弘, 高木敏行, “「第 1 回日韓保全技術情報交換会議」について”, 保全学, Vol. 7, No. 1, 2008, pp. 65-67

(平成 21 年 4 月 6 日)