

合同国際会議 ISSN2008/CSEPC2008/ISOFIC2008(2008年9月8-10日、 中国・ハルビン) 報告

ハルビン工程大学特別招聘教授 (京大名誉教授) 吉川 榮和 Hidekazu Yoshikawa

1. はじめに

第2回「21世紀の共生型原子力システム」に関する国際会議(ISSNP2008)、第4回「プロセス制御への認知工学システム」に関する国際会議(CSEPC2008)および第3回「原子力プラントの将来型計装制御システム」に関する国際会議(ISOFIC2008)の3つを合体し、中国黒龍江省ハルビン市にあるハルビン工程大学が主催校として、2008年9月8日から10日に掛けて、同校の啓航活動中心(Qi-hang activity center)を主会場に開催された。なお、会議期間中に日中韓学生のサマースクールも同時開催された。

合同国際会議全体は、中国核能行業理事会理事長、国防科工局專家諮問委員会副主任 Huazhu Zhang およびハルビン工程大学・学長 Zhigang Liu の両氏を名誉大会長、ハルビン工程大学・核科学工学院 Zhijian Zhang 院長 を大会長としてハルビン工程大学主体で運営された。なお、合同会議全体への登録参加者は、中国国内52名(内ハルビン工程大学20名)、中国外68名で、中国人が大多数という中国での通例の国際会議とは異なって、中国外からの参加者が半数以上という珍しい会議となった。以下では、会議のプログラム概要の紹介後に、オープニングセレモニーとプレナリ講演、キーノート講演、パラレルセッション、学生サマースクールの概要を述べる。

2. 会議のプログラム概要

会議初日の午前には、逸夫館(Yi Fu Guan)東安報告庁でオープニングセレモニーがあり、終了後主会場の啓航活動中心に移ってその玄関で参加者の集合写真撮影をした(写真1)。その後、啓航活動中心の学術報告庁でプレナリ講演6件が昼食を挟んで3件ずつあり、その後、5会場に分かれてのパラレルセッションに移った。技術プログラムは、3つの国際会議シリーズを合体したところから、次のようなパラレルセッション構成をとった。

- A. 制御とコミュニケーションのための計測、監視、処理技術
- B. システムシミュレーション技術
- C. プロセス制御への認知工学システム(CSEPC)
- E. 原子力プラントの将来型計装制御システム(ISOFIC)
- F. 技術の社会・環境との共生

第2日目、第3日には5つのパラレルセッションの間に、これらの5つのパラレルセッションのサブジェクトに共通的な課題について、啓航活動中心の学術報告庁で合計6つのキーノート講演があった。

第1日目夕刻にはハルピン工程大学の **Zhigang Liu** 学長をホストに歓迎晩餐会と、場所を同大学劇場に移ってのショーがあった。同校クラブ活動学生諸君の古箏演奏、蒙古舞踊や歌唱、プロによる京劇、四川省を発祥とする **Face change** 等の奇術と盛り沢山のショーをエンジョイした。また、第2日目夕刻には **Wanda Sofitel Hotel** で大会長をホストに、晩餐会があった。3日目の会議終了後には学生サマースクールの閉校式があった。

3. オープニングセレモニー

逸夫館東安報告庁でのオープニングセレモニーは大会長の歓迎の辞で始まり、2名の名誉大会長の挨拶、海外からの参加者を代表してIAEA原子力部部長の尾本明氏の挨拶、国外参加機関を代表して中国国家原子能機構国際工作副司長楊大助氏の挨拶があった。(写真2)

大会長 **Zhijian Zhang** 教授は、エネルギー資源への需要増大と環境保護の相乗効果で原子力発電の促進が世界的に高まり急速に発展している。中国では今後20年間に約6000万キロワット、約50有余の原子力発電所を建設する計画である。原子力発電の存続と発展の前提として原子力安全が基礎にあり、そのためには原子力の安全と経済的運転を人類の発展、環境との共生的発展に生かす先進的な原子力技術の人材が求められると述べた。

名誉大会長 **Zhigang Liu** ハルピン工程大学学長は、主催校としてのハルピン工程大学は船舶工業、海洋開発と原子力応用の研究開発と人材育成で中国の第一線にあること、とくに原子力では国内最大の人材育成機関となっていることを挙げ、世界の原子力平和利用、共生的発展に貢献していきたいと述べた。

名誉大会長 **Huazhu Zhang** 中国核能行業理事会理事長は、先進的原子力技術の人材が原子力発電の安全と経済性向上に重要であり、中国が本会議の国際学术交流を通じて原子力平和利用と人類の共生社会の世界的発展に貢献していきたいこと、ハルピン工程大学核科学工学院が国内重点大学中で最大の原子力人材を養成していること、高水準の人材を輩出して中国原子力産業界で重要な位置を占めていることを紹介した。

IAEAの尾本明 原子力部部長は、IAEAは核査察で有名だが、自分の統括する原子力部は発展途上国を含めた加盟諸国の原子力の平和利用推進を支援する立場であり、放射線、医療を含めた原子力利用の情報交流や原子力人材教育の各種支援事業を行っているを紹介した。加盟国のいろいろのところが原子力発電用運転員教育訓練機関としてIAEAに認証してほしいと申し出もあるが、現在のところIAEAは機関認証する立場にはない。また、IAEAでは東アジアでの原子力教育ネットワークづくりも支援していて、こういった方面でのハルピン工程大学の協力を期待していると述べた。

中国国家原子能機構の楊大助国際工作副司長は、中国国家原子能機構を代表して今回の会議開催を熱烈に祝賀すると前置きののち、21世紀に入ってエネルギーと環境問題が国際社会の持続的発展にとって重要課題になってきたこと、在来化石資源の消費が気候変化に大きな悪影響を与えるにしたがって、原子力の安全性向上とクリーンエネルギーが益々国

家的重要課題になってきたこと、同時に核廃棄物の処理、ウラン資源の確保、核拡散防止、パブリックアクセプタンスにも世界的に注意を払っていかねばならないこと、などを挙げ、本会議で活発に討論されることを期待すると述べた。また、ハルピン工程大学が中国の原子力教育で重要な位置を占めていること、原子力安全とシミュレーション技術で優れた成果を上げ、優秀な人材を養成していることを紹介した。

その後、啓航活動中心に移動して玄関前で参加者全員の記念写真を撮影した。

4. プレナリ講演

啓航活動中心の学術報告庁で国外、国内からの 6 名の招待者によるプレナリ講演が昼食をはさんで午前に 3 件、午後に 3 件あった。以下、それぞれの概要を記す。

4.1 「私の歩んだ原子力安全の足跡」 日本原子力技術協会最高顧問・石川 迪夫 博士
日本最初の実証用原子力発電プラント JPDR の開発に取り組んだ若い時代から日本原研での原子力安全研究プロジェクトで ROSA や NSRR、さらには JPDR の廃炉プロジェクトの統括まで自分が直接携わった経験を背景に、原子力の安全性についての考え方の変遷を(1)機械に信を置く Before safety の時代、(2)機械と人間の協力を強調する TMI 以降の時代、(3)従業員のやる気を強調する原子カルネッサンスの時代 に分けて考察した。とくに日本の原子力の最近の運転成績低下の理由として、米国原子力が運転成績の著しく低下した(2)の時代の特徴であった「規制のためだけの規制の強化」が日本で現れていることを強調し、それを 90 年代に克服し、業績を向上した米国原子力産業界に学ぶところがある、そのような方向で日本原子力技術協会の成長を期待していると述べた。

4.2 「宇宙用原子炉の自律制御」 米国オークリッジ国立研究所・リチャード・T・ウッド博士

深宇宙へのミッションのためのスペースロケット用エンジンとして原子炉には、地上用原子炉と異なり人間からのインターベンションが時間的に遅れるし、また天体の影に入ると信号自身が届かないといった制約があって自律運転が求められる。そのために自律原子炉としての宇宙用原子炉をどのように構成すべきかを ORNL では概念検討した。その主な構成要素は、人工知能、ロバストネス、最適化、柔軟性、適応性であり、自立性の程度を決めるには資源的制約、性能的目標、運転上の複雑さ、技術的可能性、ミッションにおけるリスクの考慮が必要である。提唱するシステムアーキテクチャーとしては、制御、診断、意思決定を階層構造化したものである。

4.3 「原子力施設運転を支援する IAEA の活動」 IAEA 原子力部・尾本明博士
講演の冒頭、原子力を巡る最近の世界情勢の変化について、米国、中国、インド、韓国、パキスタン、ロシア、ウクライナでの原発建設計画、地球温暖化防止への原子力への期待

の高まりを紹介する一方で、原子力拡大への挑戦課題として、安全性、信頼性の向上、経済性と投資、社会的受容、ウラン資源、燃料調達と使用済み燃料の処理等を上げた。その後、IAEA の活動全般の中でとくに原子力部で取り組んでいる原子力開発国への技術支援、情報提供活動の全般を紹介した。とくに原子力知識管理へのネットワークづくりとして IAEA が取り組んでいる ANENT (Asian Network for Education in Nuclear Technology) に中国からハルビン工程大学の参加寄与を期待したいと述べた。

4.4 「1000MWe 中国型原子力発電プラント CPR1000 の国産プラント技術」

中国原子力設計公司社長・Shaozhang Cui 博士

China Guangdong Nuclear Power Holding Company (CGNPC) は 1994 年 9 月に設立以来、原子力発電を中核ビジネスとして発展し、2020 年には 5 万 MW 電気出力の原子力発電容量を有する世界第 3 の原子力発電所有者となる。中国では 1980 年代の 1000MW 出力の原発を導入し、90 年代からは国産化の比率を増やし、2000 年代に導入する CPR1000 では国産化率 100%の標準化プラントを目標に量産の予定である。CPR1000 では国際安全規格に適合し、設計プラント寿命 40 年、原子炉容器設計寿命 60 年以上、出力 1080MW 電気出力、稼働率は 18 ヶ月運転で 87%、12 ヶ月運転で 82%、デジタル計装制御系と先進型中央制御室等を目標にし、Lingao NPP Phase II 第 1 号機が最初の CPR1000 になる。その後、Liaoning Hongyanhe NPP と Ningde NPP で計 8 基をシリーズ生産し、国産化率 75-80%を目標にしている。

一方、2008 年以降 EPR を導入し、大型出力の第 3 世代 PWR の時代に入って行く。そのために 2007 年 11 月 27 日に CGNPC は EdF グループと包括協力協定を結び、Guangdong Taishan プロジェクトを開始した。CGNPC は、CPR1000 の技術経験のフィードバックを図りながら、EPR を第 3 世代 PWR として展開して行く。また高温ガス炉の導入も視野に入れている。

4.5 「PWR プラントの現状と将来の開発」 中国原子力研究院 Chunyu Xian 博士

PWR は現在原子力発電の 80%を占めているとして、その発展経過を述べた。現状の PWR は第 2 世代と、その炉心損傷確率、放射能放出確率を改善して安全性を強化した第 3 世代 (AP1000 と EPR) であるとして、今後 PWR でとくに要請される設計上の課題として、炉心残留熱除去と格納容器熱除去について考察した。

4.6 「最適推定解析コードの実時間応用」 GSE 主席技術者 Zen Wang 博士

軽水炉発電プラントの最適推定安全解析のための 3 次元核熱流動解析コード RELAP5-3D は米国 INEL で開発されたものだが、これを運転員訓練用シミュレータ用にするために実時間ランの機能に変更する必要がある。GSE 社ではそのような要望に答えるために RELAP5-3D のモデル機能は維持しながら実時間計算可能なプログラム構造へ改造するプロジ

ェクトに取り組んでいる。そのポイントについて熱伝達係数等の計算時間消費に響く物理モデル上の取り扱い、メモリ構成の工夫などの紹介があった。程なく完成の予定ということで世界中のプラントシミュレータへの導入が期待される。

5. キーノート講演

本会議の5つのパラレルセッションである、制御とコミュニケーションのための計測、監視、処理技術、システムシミュレーション技術、プロセス制御への認知工学システム、原子力プラントの将来型計装制御システム、および技術の社会・環境との共生、のそれぞれを俯瞰するテーマについて、大会議室で大会2日目に3件、4日目に3件合計6件のキーノート講演が行われた。以下、それぞれの概要を記す。

5.1 「デジタル計装系に関するカナダの経験」

カナダ原子力公社情報・制御システム開発部部长 Rick Didsbury 博士

CANDU 炉では天然ウラン燃料、重水減速材、反応度係数が小さい、大型炉心でゼノン不安定性などの理由で、1962年のダグラスポイント炉を皮切りに、計算機による反応度制御が開発当初から採用された。講演では、ダーリントン炉での完全計算機化までのハード、ソフト両面での開発の歴史と保守経験、フルデジタル化した Smart Candu の概要、ソフトロジックに対する規制要求、ソフトウェアエンジニアリングツール OASES、現在進行中のポイントルプロ原発でのフルデジタル化への更新工事とその Qualification プロセス、プラントライフサイクル情報管理システムの導入、ACR-1000 の制御室設計概念等多岐にわたり、紹介された。

5.2 「知的システムとシーボークの Erehwon マシン」

米国パーデュー大学原子力工学科教授 L.H.Tsoukalas 博士

Erehwon とは Nowhere を逆に書いたもので、Erehwon マシンとは Pu の発見でノーベル賞を受賞のシーボークが 1972 年に出版した「エネルギー、経済、環境のトリレンマを新技術で克服」との主旨の著書中で提起した、「エネルギー効率 100% で誰にでもどこにでもエネルギーを供給する理想のマシン」のことである。L.H.Tsoukalas 博士は、本講演では、ヒューレットパッカード社の提起する Smart Energy Distribution Management System のコンセプトを 電気の需要供給をセーブするためのパワーグリッドマネジメントに展開したもので、その要素である Smart Grid、Energy internet、Virtual Buffer、Pricing 等の考え方について紹介された。

5.3 「OECD ハルデン原子炉プロジェクトでの仮想現実感および拡張現実感技術の研究開発」

OECD ハルデンプロジェクト Terje Johnsen 氏

始めに OECD ハルデンプロジェクトの所属するノルウェイエネルギー研究所と、ハルデンプロジェクトの経緯、両者の関係の説明の後、とくにハルデンプロジェクトの **Man-Technology-Organization** 部門の中で 1996 年から取り組み開始の VR/AR 研究の紹介があった。制御室設計への VR プロトタイプ化とそのツールキット、VR/AR の計画と運用への応用として原発内現場での放射線分布の可視化、訓練への VR の応用として保守作業や燃料交換作業の VR 空間内での協同訓練システムが紹介された。

5.4 「マルチレベルフローモデリングの俯瞰」

デンマーク工科大学電気工学科教授 Morten Lind 博士

始めに Lind 博士の研究室での多彩な研究プロジェクトと国際交流の紹介ののち、同博士のプロジェクトの根幹をなすマルチレベルフローモデリング (MFМ) の概念を特に複雑なプロセスシステムでの異常診断、計画立案、インタフェース設計等の多様な問題解決に結びつけて MFМ エディターや MFМ 表現の応用事例とともに説明された。そして世界でのマルチレベルフローモデリング応用研究の潮流を展望するとともに、MFМ 応用における課題として情報過多に如何に対処するかについて考察された。

5.5 「KNICS:デジタル計装制御系の DHIC の開発と最初の応用機会」

韓国斗山重工業 (DHIC) 副社長 Kook Hun Kim 博士

韓国の国家プロジェクトとして産官学界を挙げて KNICR&D センターに集中して全デジタル化制御室開発に取り組んだ成果を、当該プロジェクトリーダーとして主導した Kook Hun Kim 博士の目から紹介があった。KNICR&D センターの組織構成、I&C 系の各種ハード、ソフト、シミュレータと開発検証を含む研究開発段階の概要と、実機プラントへの応用のための評価段階の概要を紹介された。

5.6 「Safety critical system のヒューマンエラー解析と予防対策の共通フレームワーク」

ハルピン工程大学特別招聘教授 吉川榮和博士

ヒューマンエラーを考えるときに、フロイトの提起した心の 3 つの構造 (Es, Ego, Super ego) がその諸相を理解する基礎になるとの前置きの後に、複雑な技術システムで safety critical なシステムを運用し、管理する人、組織のヒューマンエラーの観点から、主として文献レビューにより、過誤と違反に分けて ヒューマンエラーを分析し、ヒューマンエラーを防止する対策に共通するフレームワークを紹介された。とくに最近日本の原子力事業界で重大視される組織的要因についてその背景を述べるとともに、現場においてこの軽重、結果の重要性を問わず、“道にはずれた行為、事象”を”不適合事象“として、IT システムを活用して全員で申告し、収集し、原因を分析し、予防対策を考案し、社会に情報公開するという事業者自らが“学習する組織”として取り組む東電の“不適合管理活動”の

実例をグッドプラクティスとして紹介した。

6. パラレルセッション概要

最終的に会議論文集2冊に採録された発表論文数は111で、中国内から62件、国外からは56件（日本28、韓国11、カナダ5、米国3、デンマーク2、フランス1、ノルウェイ1、スイス1、OECD 2、IAEA 1）であった。中国からは会議主催校のハルビン工程大学の20件の発表を筆頭に、清華大学9件、核動力院4件、海軍工学校4件、上海交通大学3件、西安交通大学3件、広州核電庁3件、海軍潜航艇学校2件等で合計16機関から論文発表があった。

各セッション別に主な内容で統計をとったものを別表に示す。

この表から今回の会議での発表論文の傾向として以下があげられる。

- Aセッションで機器設備の診断や保全関連の発表が多くあった。
- Bセッション(システムシミュレーション)は発表が多く、それも中国からの発表が殆どである。このセッションで中国の発表数が29件あり、本会議での中国の総論文数62の半数近い数を占めていることは、中国では安全解析や熱流動基礎実験が原子力研究の主流を占めている傾向を示すようである。
- Cセッションは元来CSEPCとして日本が始めた経緯から日本からの発表が多かった。
- Dセッションは元来ISOVICとして韓国が始めた経緯から韓国の発表が多かった。
- Eセッションでは日本から組織・社会要因の発表が多いことは今日の日本の原子力事情を反映しているようである。なお、このEセッション中のPSA応用は保守管理に関わるもので、中国からもリビングPSAの発表もあり急速に原発開発を進める中国がこの領域に関心を持っていることが窺われる。

7. 学生サマースクール

プログラムでは日中韓学生サマースクールであったがカナダ、パキスタンの学生も加わり合計29名が参加した。大会初日のオープニングセレモニーに先立って逸夫館で開校式があり、校長のChangqi Yan教授、副校長Wen Liuさん等の紹介後に参加学生全員が自己紹介した。プレナリー講演、キーノート講演の全件の聴講以外に、ハルビン工程大学の諸施設見学もコースに含まれていて、核科学工学科に新設のプラントシミュレータ実験室の見学を皮切りに、船舶研究用模擬水槽実験設備、船舶博物館、校史展示室を見学した。大会終了後には啓航活動中心にて閉校式があり、それぞれに校長のChangqi Yan教授から修了書が手渡され、さらに記念品、支援金が贈呈された。その後は近所のHong Kong Hotelでサマースクール参加者以外の有志も加わって打ち上げの宴会があり、当日25歳誕生日を迎えたカナダ学生Rankin君をバースデイケーキやHappy Birth Day To youの合唱で祝って大いに盛り上がったとのことである。(写真3)

8. 結び

ハルピン工程大学核科学工学院では、その開闢以来初めての本格的な国際会議主催とあって、院長の Zhijian Zhang 教授による「ハルピン工程大学での ISSNP 開催は、われわれには北京のオリンピック開催と同じ。加油（がんばろう）」との檄のもと、同学院教職員全員および学生ボランティア 30 名の献身的ワークで無事盛会裡に実行された。空港やホテルでの出迎え、2 度の宴会、ランチやコーヒブレイク、多彩で趣向を凝らしたショーなど、採算度外視の行き届いたサービスで参加者に大変好評だった。また、プログラム構成では、全体を展望するプレナリやキーノート講演がふんだんにあって、単にパラレルセッションで細かい発表を聞くだけより大変有意義だ、と海外の参加者からお褒めの言葉もあった。最後に ISSNP 2008 の企画から事前準備、プログラム編成、議事録編集、当日運営にいたるまでキーパーソンとして日夜細心刻苦奮闘していただいた大会実行セクレタリ Yang Ming 老師の労苦に心から感謝したい。

写真1 参加者集合写真

写真2 オープニングセレモニーでのハルピン工程大学・学長 Zhigang Liu名誉大会長の式辞

写真3 学生サマースクール参加学生のシミュレータ室前での集合写真

別表 ISSNP2008/CSEPC2008/ISOFIG における技術論文の発表傾向