

平成 18 年度

エネルギー情報の社会的動向に関する調査報告書

(ホームページ版)

特定非営利活動法人 シンビオ社会研究会

はじめに

調査対象

本調査に係る研究会の構成

調査結果の要約

研究会の記録

## はじめに

この報告書は、シンビオ社会研究会が平成 18 年度に実施した、エネルギー情報の社会的動向に関する調査の成果を取りまとめたものです。

京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学研究科に、平成 10 年度から 3 ヶ年設置の、「エネルギー社会システム計画」（関西電力）寄附講座に期を合わせ、任意団体として発足したシンビオ社会研究会はその丁度 8 年目でした。その発足以来シンビオ社会研究会を主宰として世話してきた私にとりましては、本年度は丁度京都大学を定年退職する年であり、シンビオ社会研究会をどのようにするかは一つの選択でもありましたが、周りの関係の方々のご支援により、任意団体としてではなく 特定非営利活動法人 として 存続発展することとなりました。関西電力株式会社、関西原子力懇談会始め関係各位の皆様方のご協力に厚く御礼申し上げます。

本年度のシンビオ社会研究会の活動では、特定非営利活動法人への認可申請の諸手続きとその後 NPO 法人としての規定に則した運営の中で、社会的な公益活動にも取り組むということで従来にはなかった方向にも発展できた年でもありました。

そのような新たな取り組みとして、第一に 敦賀市若狭湾エネルギー研究センターで平成 19 年 7 月 9-11 日に予定の、「21 世紀の共生型原子力システムに関する国際シンポジウム (ISSNP)」の計画を提言いたしました。この国際会議 ISSNP の趣旨は、これから関西地域での原子力教育研究拠点として発展が期待されている若狭地区で、原子力計装制御系、シミュレーション技術、ヒューマンインタフェースおよび社会との共生・コミュニケーションの最新の研究成果について国際的な情報交換をすることにあります。それ以外に、今世紀に益々原子力発電の発展が期待されている東アジア諸国の若い次代の研究者、技術者の人的ネットワーク形成も意図しています。第二に高校の教員、生徒さんに 大学での原子力研究の場を紹介する場を設ける企画でした。熊取町の京大原子炉実験所の方々には土曜日に関わらず、熱心に対応いただきました。また例年通りの講演会、技術交流会には多数のご専門の方々に快くご講演を賜りましてありがとうございました。

最後になりましたが、本年度もシンビオ社会研究会の活動をご支援いただき、それぞれの行事にご多忙中に関わりませず熱心にご参加いただきました、関西電力株式会社、関西原子力懇談会の関係各位のご協力に厚く御礼申し上げます。

平成 19 年 2 月 3 日

特定非営利活動法人 シンビオ社会研究会  
会長 吉川 榮和

## 調査対象

エネルギー技術の進歩とそれを取り巻く社会的動向を把握し、特にエネルギー問題に関連した技術と人間・社会の調和のあり方について提言するため、シンビオ社会研究会（以下、研究会）の活動を通じ、以下の項目について調査活動を行う。

- ・原子力発電所等のプラント運転・保守管理や計測制御技術に関わる調査研究として、自動化技術、試験・検査技術、機器改造技術等の開発状況とこれからの課題について情報収集を行う。
- ・原子力のリスク管理や社会とのコミュニケーションのあり方を調査研究するとともに、情報ネットワーク技術を用いて種々のエネルギー関連情報の発信を行い、双方向コミュニケーションに関する効果や課題などを抽出、評価する。
- ・上記の調査を踏まえ、エネルギー社会と人間、社会経済、環境との関わりについての考察や、近年社会の様々な場面で要請されている「共生」に関わる概念をもとに、現代社会における人間と技術の調和に関する課題とその対処のあり方について提言する。

## 本調査に係る研究会の構成

下記のとおり、主査、副査、幹事、委員で構成する。

主査： 吉川 榮和（京都大学 教授）

副査： 塩田 修治（関西電力 原子力技術部長）

幹事： 五福 明夫（岡山大学）、宮田 賢司（関西電力）、松本 英治（京都大学）

委員： 杉万 俊夫（京都大学）、若林 靖永（京都大学）、伊藤 京子（大阪大学）、永里 善彦（旭リサーチセンター）、牧野 真臣（原子力安全基盤機構）、下田 宏（京都大学）、手塚 哲央（京都大学）、高橋 信（東北大学）、大橋 智樹（宮城学院女子大学）、石井 裕剛（京都大学）、長松 隆（神戸大学）、福井 卓雄（福井大学）、藤井 有蔵（INSS）、作田 博（INSS）、丹羽 雄二（横浜国大）、大井 忠（三菱電機）、伊藤 広二（三菱重工業）、瀧澤 洋二（東芝）、大賀 幸治（日立製作所）、吉川 喜央（関西電力）、久郷 明秀（関西電力）

事務局：中川 祐司（関西原子力懇談会）

## 調査結果の要約

### A. 原子力発電所等のプラント運用管理や計測制御全般の調査：

原子力発電所等のプラント運転・保守管理や計測制御技術に関わる調査研究として、自動化技術、試験・検査技術、機器改造技術等の開発状況とこれからの課題について情報収集を行ったものである。以下、実用的研究開発と、基礎的研究に分けて主な結果を要約する。

#### (1)実用的研究開発

- 韓国 KAIST では、大画面スクリーンと CRT パネルで高生される新型中央制御室の人間工学設計の実験評価のために、HUPESS と呼ぶシステムを開発している。これは米国の NUREG 0 7 1 1 と 6393 のガイドラインに沿って、ヒューマンパフォーマンス指標を多角的に収集し、評価するシステムで、評価対象は、プラントパフォーマンス、個人のタスク、状況認識、ワークロード、チーム行動、生体計測／心理要因、を評価できる総合システムとなっている。メンタルワークロードの計測や状況認識の実験的評価に FaceLab による視点計測を実用化している。
- 韓国 KAERI を中心に 4 機関の協力で、先進 N S S 健全性監視システムとして、NIMS というシステムの開発プロジェクトが進行している。これは、ルーズパーツモニタ、音響的漏洩監視、炉心冷却ポンプ振動監視からなる統合プロセス監視システムで、実時間プロセスモニタリングと警報、オンデマンドデータ解析機能を具備している。同じく韓国では磨耗腐食、流動加速腐食により炭素鋼配管の薄肉化をモニタし、解析するシステムとして、CHECKWORK というソフトウェアの開発を 5 機関に取り組んでいる。
- 米国で近々申請される 6 つの新設プラントは、近年の技術動向を反映して、デジタル形中央制御室が予想されることから、認可に当たる米国 NRC はその人間工学設計をどのように審査するかが大きな課題になっている。
- フィンランドのプラントでは、これまでのハードウェアベースの計器からデジタル化スクリーンベース技術への移行が盛んで、スクリーンベースの制御室の導入が運転員の仕事の実行にどのように影響しているかを解析している。大型スクリーンに関してキーホール効果など問題点も指摘されていたが、一般的にはデジタル化スクリーンベースのインタフェースが好意的に現場では受け入れられている。
- オンラインのセンサーキャリブレーション技術(OLM)の適用の実践的なガイドラインに関するもので、NUREG/CR 6895 の技術的な背景に関する研究として、モデルの不確定性の定量的評価に関しモデルの構築と利用に関して必要なデータとモデリングの

必要条件が満たされない場合の影響を評価している。AAKR (Auto-associative Kernel Regression) 手法を対象に、実炉データを用いて手法が有効となる条件を明らかにしている。学習領域外のデータに対する評価や誤ったデータ (固着したセンサーからのデータやセンサードリフト ( $3\sigma$ ) のあるデータ) による学習したモデルの精度を評価し結論として、これらの影響は無視できず、結果に大きな影響を与えることを明らかにし、これらの適用条件逸脱を見つけ、防ぐための指針を与えている。

## (2) 基礎的研究開発

- 韓国での大学基礎研究として、電氣的断層撮影 (Electrical Tomography) により 2 層流ボイド挙動を可視化する実験装置の開発を行っている。
- 日本国内の大学基礎研究としてプラントシミュレータとペトリネットモデルによるタスク遷移の記述を組み合わせ、メンタルワークロードを 7 段階で評定する Wickens のマルチリソースモデルで運転手順の各ステップでのヒューマンエラー可能性を簡易に評価する手法が提起された。
- 同じく基礎研究として、プラント異常時の原因究明タスクを支援するため、機器故障の因果関係について、事前確率と条件付確率を予め与えたベイジアンネットワークにより表現しておき、異常兆候が現れるとその原因となる異常仮説の成立確率を時々刻々計算して根本異常原因を絞り込むシステムを開発し、材料試験用高圧水ループに適用して基本的な有効性を確認した。
- プラント保守の高度センシング法として磁性体表面ないし内部に欠陥があると 欠陥部周辺で磁束線が変化して磁性体表面からもれることを利用して、漏洩磁束密度分布を磁界センサで測定して欠陥評価を行う方法である漏洩磁束探傷法として、最新のアモルファス MI センサを用いて漏洩磁束密度の水平、垂直成分を測定する 2 軸センシングによる欠陥評価法の提起があった。
- MFM モデルに基づいた根本原因解析、アラーム優先づけ手法の発表、 および コンピュータにおけるメディアとディスプレイ設計の哲学の重要性が指摘され、表示情報は機能階層で構造化すべきとする研究、コオペレータの概念に基づいたモデルベースの推論過程の簡略説明、機能ベースの設計に対するユーザビリティ評価結果の研究があった。
- 計算機化した運転員の判断支援システムでは、計装システムの更新経験、次世代制御盤と運転ガイダンス手法があった。
- 仮想現実感の応用では、(1) 新しい AR マーカとそれを用いたトラッキング手法、(2) 仮想・拡張現実感の様々な作業や情報共有への応用、(3) 解体や保守の作業員がうける放射線量の事前解析用ソフトウェア、(4) 保守作業員を実時間で支援する仮想現実感ソフトウェアツール、の 4 件の研究開発があった。
- 新しい HMI 技術では、(1) フルスコープシミュレータを対象として計算機化緊急時運

転手順を用いた場合の運転員挙動の定性的解析, (2) 新規プラントのヒューマン・システム・インタフェースの原理と V&V, (3) AP1000 プラントのヒューマン・システム・インタフェースのフェーズ 1 の工学テストの結果の 3 件の研究発表があった。

- 人間工学の確認と実証では, (1) 機能的ニーズの考慮と”機能要求”の記述の重要性の指摘, (2) 検証のための適切なパフォーマンス評価指標検討, (3) APR1400 の 10 年にわたる HFE V&V 活動近代化, (4) 制御室のベンチマークの統合システム検証からの洞察, (5) タスクの難しさを予測するための測度の有効性検証の 5 件の発表があった。

## B. 原子力のリスクコミュニケーションに関する調査研究：

原子力のリスク管理や社会とのコミュニケーションのあり方を調査研究するとともに、情報ネットワーク技術を用いて種々のエネルギー関連情報の発信を行い、双方向コミュニケーションに関する効果や課題などを抽出、評価するものである。

原子力のリスク管理や社会とのコミュニケーションのあり方の調査研究の結果は、大略以下のようにまとめられる。

- 急速な経営環境の変化に適切に対応するためのリスクマネジメントでは特に組織のヒューマンファクタが重要である。組織の構成員がみずから進んで変革する意識を共有するために、「学習する組織」への変革の取り組みが求められる。
- 原子力事業界におけるたび重なる不祥事問題（データ改ざん、報告隠し等）の発生に鑑み、規制官庁の指導のもとに、事業界のトップの責任においてプラント運転の管理品質向上を図るための組織的な根本要因を追及し、対策を立てるための仕組みの導入（官庁による関連技術評価基準、民間指針の策定等）を急いでいる。
- グループダイナミックスの分野で、学習理論をベースとする実践的取り組みが地域や組織の自律的変革運動として行われている。そしてこれを原子力に適用して、事業界の現場組織において、創発的に学習する組織に変容し、安全文化を内発的に醸成していくための現場研究およびその支援ツールの研究が始められている。（京大、等）
- リスクコミュニケーションの新たな取り組みとして、IT の活用が始まっている。それには、高レベル放射性廃棄物処分事業の啓蒙のためのアフェクティブな web の開発（慶応大、東大、京大）や、クリティカルシンキングとロールプレイを基本とするダイバートの効用に着目し、グループダイバートを計算機ネットワークで支援するためのソフトを学校教育の場利用されている。（京大、阪大）

「情報ネットワーク技術を用いて種々のエネルギー関連情報の発信を行い、双方向コミュニケーションに関する効果や課題などを抽出、評価する」観点では、次のようにまとめられる。

- 本年度シンビオ社会研究会は、特定非営利活動法人への移行にあわせて、シンビオ社会

研究会のホームページを全面的に改修し、講演会、技術交流会等で収集した情報を掲載し、社会に発信するようにしている。

- 双方向のコミュニケーションという観点では、昨年度に開発の、高レベル放射性廃棄物処分事業を啓蒙するアフェクティブなウェブや、計算機によるダイバート支援システムを、高校生や大学院生の教育に適用する活動を行った。このように IT を活用した、自発学習や協同学習の支援ツールの適用は、IT 時代の E-ラーニングとして、若い世代が原子力の多様な問題や課題を幅広く認識し、理解する上で大きな教育効果があると思われる。
- また熊取町の京大原子炉実験所の協力を得て、高校教員および高校生の同所の見学会を催した。このように若い世代や高校教員に大学での原子力研究施設や研究状況を実見してもらうことは、原子力への偏見のない認識や興味を高める上で大きな効果があると考えている。

#### C. エネルギーと人間、社会経済、環境との関わりに関する提言：

A と B の調査を踏まえ、エネルギー社会と人間、社会経済、環境との関わりについての考察や、近年社会の様々な場面で要請されている「共生」に関わる概念をもとに、現代社会における人間と技術の調和に関する課題とその対処のあり方について提言するものである。

- 本年度においては、国際会議 ISSNP の開催提案 が具体的な提言である。  
シンビオ社会研究会では、本年度の特定非営利活動法人への移行とともに、その初年度、2 年度の大きな活動計画として、平成 19 年 7 月 9-11 日に敦賀市若狭湾エネルギー研究センターにおいて「21 世紀の共生型原子力システムに関する国際会議（ISSNP）」を開催することを提言し、日本原子力学会ヒューマンマシンシステム部会および日本学術振興会日韓拠点大学事業「エネルギー理工学」サブタスク[原子力発電所の運転保守技術高度化]との共催で ISSNP 組織委員会を構成して、開催準備を進めている。これは とくに原子力発電が今後益々活発化する東アジア諸国の若い世代のネットワークづくりも期待している。

#### ● 原子力の長期的展望の考察と提言への準備

シンビオ社会研究会では、平成 17 年度に日本原研と核燃機構が合体して発足した原子力機構にはとくに敦賀地区にその研究開発拠点があることから、その動向を紹介してもらうために原子力機構の関係者を招待して講演会を行った。また米国で開催の国際会議 NPIC & HMIT2006 の参加者にもその国際会議での知見として原子力の国際動向の報告もあった。これらを要約すると、大略以下の通りである。

(1) 原子力を取り巻く世界の状況として、原子力ルネサンス（欧米での原子力に対する認識

向上)、GNEP（原子力メーカーの世界的再編と協力）、北朝鮮での動き、技術者倫理等これまでにない新しい動きがある一方、G8（主要国首脳会議）ではエネルギーをテーマに取り上げ、IEAでは脱原子力見直しの動きがある。とくに米国ではその世論の好転から久しぶりに大規模な原発建設が始まる機運の一方、核不拡散への懸念を益々強めている。

- (2) このような状況下での原子力機構での方向として、長期的エネルギー安全保障・地球環境問題の解決、国際競争力のある科学技術を生み出す基盤、原子力の安全と平和利用を確保するための活動、廃止措置・廃棄物の処理処分、産学官との連携、国際協力、人材育成、原子力情報等の共通的科学技術基盤の充実に関する研究開発に取り組んでいる。また、地域との共生（福井県及び中京・関西地区の活動）として、もんじゅでのナトリウム漏洩事故後の取り組み（安全性総点検、必要性の検討、ご理解を得る活動、FBRサイクル開発）、ふげんの廃止措置に係る取り組み、福井県エネルギー研究拠点化計画を受けた地域産業の活性化（高速増殖炉・ふげん技術の産業技術への展開）、高経年化調査研究への参加を行っている。
- (3) 更に、エネルギー研究開発拠点化計画の「人材の育成・交流」の中で小・中・高校における原子力・エネルギー教育の充実を受けて、原子力・エネルギー環境教育等を実施している。学へは、長期・継続的な技術者育成、基礎研究の実施、中立的専門家として行政等のリード等を期待したい。

高速炉の実用化と、核燃料サイクルの確立は、長期の研究開発期間を要するようであり、一方、3年後に運転再開する予定のもんじゅの動向は、その長期の方向を左右するようである。

シンビオ社会研究会 としては、原子力の長期的展望の状況を知り、それを評価して社会に提言していくことも今後の課題と考えている。

## 調査会の記録

### (1) シンビオ技術交流会

これは、日韓拠点大学事業「エネルギー理工学」サブタスク「原子力発電の運転保守技術高度化」ワークショップとして共催したものである。

日 時：平成 18 年 7 月 15 日(金) 午前 10 時－12 時 50 分

場 所：京大百周年記念館2階 国際交流室Ⅲ

参加者数：40 名

プログラム

10:00 – 10:05    Opening address

10:05 – 11:20    Session “Human Factors for Operation & Maintenance”

(Chairperson : Akio Gofuku, Okayama University)

1. Human Performance Evaluation Support System for MMI design validation of Main Control Room in Advanced NPPs

Jun Su Ha (Korea Advanced Institute of Science and Technology)

2. Prediction of Operator's Workload in Emergent Operation Situation of Nuclear Power Plant.

Jun Ouyang (Kyoto University)

3. Experimental Study on the Plant State Estimation For the Condition-based Maintenance

Makoto Takahashi (Tohoku University)

11:20 – 11:30    Break

11:30 – 12:45    Session “Advanced Sensing Technologies for NPP Maintenance”

(Chairperson: Joon Hyun Lee, Pusan National University)

1. Visualization of Two-Phase Flow by ET

Yoon Joon Lee (Cheju National University)

2. Development of Advanced Condition Monitoring System(NIMS) and Criteria for Ultrasonic Thickness Measurement of Thinned Pipe in NPP

Min Rae Lee (Busan National University)

3. Evaluation of Surface Defects by MFL Testing Based on 2-Axis Sensing

Masataka. Abe (Kyoto University)

12:45 – 12:50 Closing

(2) シンビオ講演会

これは吉川 榮和 教授（京大）の退職記念行事の一環として行われた退職記念講演会として開催された。

日時： 平成 18 年 7 月 15 日 午後 3 時～4 時半

場所： 京大百周年記念館大ホール

参加者：約 200 名

講演表題： リスク・マネジメントとヒューマンインタフェース～共生の視点から～

講師： 京大名誉教授 吉川 榮和

(3) シンビオ講演会

日 時： 平成 18 年 10 月 27 日 午後 3 時～5 時半

場 所： 京都市国際交流会館 3 階 研修室

参加者：約 24 名

プログラム

原子力機構における研究開発の取り組み

(独) 日本原子力研究開発機構 理事 柳沢 務 氏

もんじゅ運転再開と FBR サイクル研究開発

(独) 日本原子力研究開発機構 次世代原子力システム研究開発部門

副部門長 近藤 悟 氏

(4) 公開ワークショップ「原子力組織の安全文化醸成の道」

これは独立行政法人原子力安全基盤機構 原子力安全基盤調査研究 「学習する組織への変容－活動理論による安全文化醸成の道」プロジェクトと共催で行ったものである。

日 時： 平成 18 年 12 月 5 日 (火)

場 所： キャンパスプラザ京都 第 3 講義室

参加者：30 名

プログラム

10:30~12:00 研究発表 I :

「学習する組織」と活動理論～現場研究によるアプローチ

杉万 俊夫 (京都大学 人間・環境学研究科)

福井 宏和 (株式会社 原子力安全システム研究所)

コメンテータ：石井 滋（大阪国際大学 人間科学部）

12:00~13:00 昼食

13:00~14:40 基調講演：

学習する組織と顧客志向

松尾 睦（小樽商科大学 大学院商学研究科）

14:40~15:00 休憩

15:00~16:50 研究発表Ⅱ：

「学習する組織」と内発的データベース

作田 博（株式会社 原子力安全システム研究所）

石井 裕剛（京都大学 大学院エネルギー科学研究科）

司会：吉川 榮和（京都大学名誉教授、特定非営利活動法人シンビオ社会研究会）

16:50~ 閉会の辞：プロジェクトリーダー 杉万 俊夫

#### (5) シンビオ技術交流会

これは日本原子力学会ヒューマンマシンシステム部会HMS研究専門委員会との共催でおこなったものである。

日時： 平成 19 年 1 月 26 日 午後 3 時 - 5 時半

場所： 京大会館 S R 会議室

参加者数： 25 名

プログラム

「根本原因分析(RCA)についての内外動向」

牧野眞臣（原子力安全基盤機構 規格基準部）

「国際会議 NPIC & HMIT2006 (Nuclear Plant Instrumentation, controls and Human Machine Interface Technology) 報告」

吉川榮和（京都大学）

高橋 信（東北大学）

五福明夫（岡山大学）