

## 令和4年度第2回シンビオ研究談話会 報告

辻倉米蔵<sup>1</sup>、森下和功<sup>1</sup>、八尾健<sup>1</sup>、吉川榮和<sup>1</sup>、新田純也<sup>1</sup>、松岡猛<sup>2</sup>  
(1:シンビオ社会研究会、2:宇都宮大学)

当会が令和4年度に新たに取り組んだアクティブラーニングのパイロットスタディーと京大エネルギー理工学研究所Ze拠点への提案型共同研究「ICT適用による保全技術高度化」の実施結果を報告し、あわせてそれぞれの令和5年度の取り組みかたを展望するために、令和4年度第2回研究談話会を開催した。当日は会場参加14名(うち学生5名(女子1名)、web参加25名で合計39名の参加者があった。本報告では関連理事による報告とそれへの討論結果および関連研究者による招聘講演をまとめた。

主催: 特定非営利活動法人 シンビオ社会研究会

共催: 京都大学エネルギー理工学研究所ゼロエミッション(Ze)研究拠点

日時: 令和5年3月8日(水) 14:30~17:15 (14:20 会場受付の開始と ZOOM 開設)

会場: 京都大学宇治キャンパス5F本館会議室 (N571E) 及びオンライン会議

### 開会の挨拶 14時30分~14時35分

辻倉米蔵シンビオ社会研究会副会長

それでは、令和4年度第2回シンビオ研究談話会を始めさせていただきます。

私はプログラム総合司会を務めさせていただきますシンビオ社会研究会の辻倉でございます。

本来開会に当たり会長から挨拶申し上げるところですが、本日体調不良により会長よりのご挨拶を控えさせていただきます。ご理解の程宜しくお願ひ申し上げます。

今回の研究談話会では、3つの講演を予定しております。

講演ⅠとⅡでは令和4年度に自主事業として新たに取り組んだアクティブラーニングのパイロットスタディーと京大エネルギー理工学研究所Ze拠点への提案型共同研究「ICT適用による保全技術高度化」の実施状況についてご報告いたします。

次いで講演Ⅲでは、システムの信頼性解析手法の研究で世界的にご活躍の松岡先生をお招きし、先生が最近発表されましたシステム信頼性解析手法 GO FLOW の研究の進展について、また、それによる実際の解析のPCによる実演を含めてご講演頂くことにしております。

また、新型コロナ感染防止にかんがみZOOMによる遠隔参加を含むハイブリッド方式で実施いたします。予定ではご質問やご討議を含めて14時30分~17時10分を予定しております。

宜しくお願ひ申し上げます。

### 講演Ⅰ 14時35分~15時15分

司会: 森下和功理事(京都大学)

講演表題「アクティブラーニングによるエネルギー科学のパブリックアウトリーチ」

【講師】八尾 健 氏(シンビオ社会研究会・理事、京都大学名誉教授)

#### 【略歴】

1973年京都大学工学部工業化学科卒業、1978年京都大学大学院工学研究科博士課程修了、同年京都大学工学部助手、助教授を経て1995年京都大学工学部教授、1996年京都大学エネルギー科学研究科教授・工学部教授、2005年京都大学評議員、2006年京都大学エネルギー科学研究科長、2008年京都大学経営協議会委員、同年文部科学省



GCOE 拠点リーダー、2014 年京都大学名誉教授、同年国立香川高等専門学校校長、2018 年国立香川高等専門学校名誉教授、2019 年富山県立大学客員教授、2022 年シンビオ社会研究会理事。X 線結晶学、材料電気化学、生体材料学が専門 工学博士、第 1 種放射線取扱主任者、第 1 種情報処理技術者

#### 【講演概要】

- ① 従来の理系離れ対策並びに原子力・放射能教育の問題点について
- ② 科学者の伝記を教材として人物に興味を持ちながら、原子力・放射能理論に理解を進めることを目的に、令和 4 年 12 月に実施したアクティブラーニングのパイロット活動の報告
- ③ 科学者の業績を時間軸に沿って理解し、幅広い科学知識を学修する、若い人材育成のための、アクティブラーニングへの発展について

#### ④ 講演のまとめ

京都大学准教授 森下和功氏(当会理事)の司会で、講師の八尾健氏の略歴紹介ののち講演に入り、八尾氏より次のような内容の講演があった。

1. わが国は、科学に関心のある人が決して多いとは言えない。実際、人口当たりの科学雑誌の購入数で、日本はアメリカの 10 分の 1 と言われている。しかし、このままでは、科学が人間活動の全てにますます関わってくるこれからの世界に、伍していけるのか、日本の将来にも暗い影を落とす。多種多様の理科離れ対策が講じられているが、十分に効果を上げていないと言えない。理科の好き嫌いは、個性である。理科の好きな理系の人間が、相手の個性を配慮することなく、やや一方的に理科の「面白さ」を伝えることに原因がある。理科に関心はなくても、科学者に関心があれば、これをきっかけに科学に興味をつなぐことが可能である[1]。理科を伝えるのではなく、人間的な、生身の科学者を伝える、「新理系離れ対策」に可能性がある。
2. 従来、原子力に関する社会へのコミュニケーションは、その安全性や有用性に重心が置かれているが、原子力の是非をめぐる感情的な極論に陥ることを防ぎ、合理的・客観的な判断を得るためには、技術の基盤にある基礎学理の理解が不可欠である。我が国では、原子力の知識において、専門家と非専門家との間の知識のギャップが大きく、専門家の真意が十分伝わらない恐れがあり、理系離れと同様の状況にある。「新理系離れ対策」に鑑み、科学者の伝記や社会的ノンフィクションを用いることにより、人物や事件に興味を持ちながら、原子力に理解が進み、大きな効果を生み出すことが期待される。さらに、アクティブラーニング(主体的対話的な深い学び)活動を進めることが非常に有効と考えられる。専門家の説明をそのまま取り入れるのではなく、グループで討論を重ね、互いに教え合うことにより、メンバーに相応する理解が醸成され、大きな学修効果が得られる。
3. シンビオ社会研究会において、令和 4 年 12 月に、京都大学の学生 5 名(理系 2 名・文系 3 名)を対象に、エンリコ・フェルミの伝記を教材として、科学者の人物像に迫ることを目的として、アクティブラーニングを実施した。実施後のアンケートでは、「科学者に興味を持った」や「原子力に興味を持った」の項目に多数があり、当初の目的が達成された。来年度においても、本アクティブラーニングを継続して実施する。
4. カーボンニュートラルを達成するゼロエミッションのための対象となるエネルギーは、原子力発電と核燃料サイクル技術、各種の再生可能エネルギーに加え、核融合、水素エネルギー、宇宙太陽光発電等ゼロエミッションに貢献する将来のエネルギー、加えて現在の化石燃料の排ガス処理法の改善をも広く含む非常に広範なものである。さらにこれらの専門領域が、複雑に関係しあっており、ゼロエミッションの実現には、幅広い総合的な思考が不可欠である。各研究者の専門が細分化され、幅広い考察を妨げている弊害を取り除き、先端エネルギー科学の確固たる専門分野を有するとともに、専門外の分野においても、深い理解を有する若い人材の育成を行う、パブリックアウトリーチ活動が重要である。そのため、科学者の伝記を教材として、科学者の業績を時間軸に沿って理解し、幅広い科学知識を学修するアクティブラーニングを行うことを、新規に計画した。従来の学修が、現在という

時間軸の一点において、横方向に広がる科学知識を修得していく、いわば横方向の学修になるのに対し、伝記では、時間軸に沿って、一つ一つ科学知識を積み上げていく、いわば縦方向の学修になる。横方向の学修に、縦方向の学修が加わることで、学修の効果が格段に上がることが期待される。卓越した業績を上げた科学者は、また幅広い研究を行っている。一人の人間が、幅広い研究を行ったことを実感すれば、若い世代への大いなる刺激にもなると考えられる。

八尾氏は、従来の理科離れ対策が十分に効果を上げていないのは、理科の好きな理系の人間が、相手の個性を配慮することなく、やや一方的に理科の「面白さ」を伝えることに原因があり、これに対し、理科を伝えるのではなく、人間的な、生身の科学者を伝える、「新理系離れ対策」に可能性があることを論じた。原子力の是非をめぐる感情的な極論に陥ることを防ぎ、合理的・客観的な判断を得るためには、技術の基盤にある基礎学理の理解が不可欠であるが、専門家と非専門家との間の知識のギャップが大きく、理系離れと同様の状況にあり、これに対し、「新理系離れ対策」に鑑み、アクティブラーニングで、科学者の伝記や社会的ノンフィクションを用いることにより、人物や事件に興味を持ちながら、原子力に理解が進み、大きな効果を生み出すことが期待されると論じた。シンビオ社会研究会において、この考察に基づいて実施した、エンリコ・フェルミの伝記を教材としたアクティブラーニングについて紹介し、当初の目的が達成されたことを報告した。さらに、先端エネルギー科学の確固たる専門分野を有するとともに、専門外の分野においても、深い理解を有する若い人材の育成を行う、パブリックアウトリーチ活動として、科学者の伝記を教材として、科学者の業績を時間軸に沿って理解し、幅広い科学知識を学修するアクティブラーニングを行う、新たな計画について紹介した。

#### <参考文献>

[1] 八尾健、「科学の応援団」京大広報、No.750、p.5420 2020年7月  
使用PPTへのリンク・・・[こちら](#)

#### 【質疑応答】

**Q1:**理系と文系で指導の仕方が違うと思いますが、如何でしょうか。

**A1:**違うと思う。アクティブラーニングの指導そのものが、教育学や心理学に大きく依存しているので、実際にアクティブラーニングを指導しているときは、私自身、文系の考え方を持って進めるようにした。理系に固執すると、どうしても伝わらないところがある。

**Q2:**方法論で、実際行った結果から改善していくようなところ、それから教材は、伝記以外も考えるのか、如何でしょうか。

**A2:**伝記だけで考えているわけではなく、面白いノンフィクションなども教材になると思う。例えば、グラハム・ベルの電話機発明の裏話、特許に疑念があるわけですが、そのような事件性のあるものなども、教材としては面白いと思う。

**Q3:**討論をしながら、グループ全体で知識が上がっていくのは大変面白いと思う。少人数でやらざるを得ないので、大勢の人に興味を持ってもらうのは、どうすればよいか。

**A3:**今回は、1グループ学生5人で行ったが、次には、この学生をグループのリーダーとして、グループの数を増やして実施し、さらには、その中からリーダーとなる学生をさらに増やし、グループを増やす、というように、全体の人数を増やしながらかつ実施していくことを考えている。そのようにリーダーが増えていったときに、中学生を対象に大学生が指導するという形ができれば、効果はより大きいと考えている。

**Q4:**科学による経済効果なども伝えるようにしてはどうか。

**A4:**科学による経済効果も興味深いですが、まず当面は、文系の方々の科学離れを解消することが第一目標となる。その鍵となるのは、やはり人間ではないかと思う。文系の理科離れに対するアクティブラーニングと理系の学生の

知識を広げるアクティブラーニングの 2 本立てで、活動を進めていきたい。お互い影響しあって相乗効果も期待できる。

**Q5:** 今回アクティブラーニングに参加して、文系と理系が混ざったグループ構成の中、文系の視点について、印象を新たにした。今度、理系学生のアクティブラーニングをするということですが、理系でも、伝記のテーマを専門にしている学生とそうでない学生では大きな差があると思うが、どのようなテーマ設定をするのか知りたい。

**A5:** 文系の理科離れ対策のアクティブラーニングは、そのまま継続して発展させていきたい。新たに計画している理系学生のアクティブラーニングは、専門にしている学生も、更に知識を深めていくことが必要とされるので、グループに専門とする学生が混ざっていても、大きな影響はないと思う。まだまだ未知の部分があるので、実施しながら改善していくことも、重要と考える。

**Q6:** 文系の人に理科に興味を持ってもらうために、科学者の伝記を読ませるという考えですが、他にも方法は無いでしょうか。

**A6:** 他の方法もあるとは思うが、我々の身の回りには、いろいろの種類伝記があるので、その中から我々の目的に沿った伝記を、教材として選びやすいという利点がある。いろいろな伝記がある中で、やはりその科学者と近い国の人が書くと、近い存在なので、人物に鋭く切り込んでいるが、日本で書かれると、どうしても遠い存在なので、科学者の人間性までには突っ込まない物足りなさがある。その意味で、科学者が欧米人なら、欧米人が書いた、隣の人を見ているような感じで書いた伝記を使うのが、人間に切り込むのに適していると思う。今回実施したアクティブラーニングでは、科学的業績には全く触れず、人間として捉えることに専念した。

## 講演Ⅱ

15時25分～16時05分

司会: 松岡 猛氏 (宇都宮大学)

講演表題「ICT適用による保全工学高度化に関する共同研究の進展」

【講師】吉川 榮和 氏 (シンビオ社会研究会・理事、京大名誉教授)

### 【略歴】

1970 年京大大学院工学研究科博士課程電気工学第二専攻修了(工学博士)その後京大原子エネルギー研助手、動燃副主任研究員を経て 81 年 8 月京大原子エネルギー研助教授、92 年 8 月教授。96 年 5 月新設の大学院エネルギー科学研究科に移動。2004 年評議員、2005 年エネルギー科学研究科長、2006 年 3 月末京大定年退職、4 月より京大名誉教授。2007 年 7 月より現在までNPO法人シンビオ社会研究会会長。原子力安全、マンマシンシステム、エネルギー情報学が専門



【講師】新田 純也 氏 (シンビオ社会研究会・理事、アルカディア・システムズ(株)取締役)

### 【略歴】

1977 年同志社大学工学部電子工学科卒業。日本楽器製造株式会社を経て、日本メカトロニクス株式会社に入社。その間約 20 年間、計測制御アプリケーションプログラム開発及びシステムエンジニアリングに従事。その後、アルカディア・システムズ株式会社に転籍。約 20 年前に高調波診断技術に出会い、その普及活動に従事。その間、国からの助成金を得て HAMOS(高調波による電機設備の状態監視システム)を試作開発する。専門は、高周波移動体通信、半導体特性の評価及び解析、材料強度(ヤング率、剛性率、ポアソン比、内部部摩擦)の温度依存性測定技術及びそのシステム開発(-150 度から+300 度、RT から 1250 度)現在は高調波診断後術の普及と後身の指導に注力。



### 【講演概要】

①Ze 拠点への提案型共同研究の趣旨—エネ理工研実験施設を利用した ICT 適用による保全技術の高度化

②核融合ヘリオトロン J 実験施設を対象とした令和 5 年度の研究計画について

③量子・加速粒子総合工学研究棟 DuET 施設での電気機器高調波診断システムの適用と実験結果

### 講演のまとめ

本講演は 2 名の講師にそれぞれご発表して頂いたのちに質疑討論に入って頂くとの司会の松岡 猛 氏(元宇都宮大学教授)の案内により、まず 吉川榮和氏、ついで新田純也氏により、それぞれ次のような内容の講演があった。

#### (1)吉川榮和氏講演のまとめ

Ze 拠点への提案型共同研究の趣旨は、エネ理工研実験施設を利用した ICT 適用による保全技術の高度化であり、令和 4 年度に開始し 令和 5 年にも継続して Ze 拠点に申請している。

京大エネルギー理工学研究所には、ゼロエミッションエネルギーインフラの構成要素になる各種の計測器、電動機、変圧器、弁、配管、電線ケーブル等多数の機器があり、個々の機器の劣化や故障の検知・診断方法の開発検証の場を提供するばかりでなく、無線でセンサネットワークを構成して設備全体の信頼性の評価や予測を行う予測解析手法の開発検証が実験的に行える。

最初に採択された令和 4 年度では、個々の機器の劣化や故障の検知・診断方法の適用性を検討することとして、機器構成が比較的小規模な量子・加速粒子総合工学研究棟 DuET 施設の協力を得て、その運転休止中の 8 月に現地見学会を行って電気機器の高調波診断システムと電磁的方法と超音波による劣化診断法の現場適用性を検討した。その結果、DuET 施設が実際に運転される 10 月以降に高調波診断法による電気機器の異常や劣化、故障を診断する実験を行った。高調波診断システムの概要と DuET 施設での現場実験の結果については新田純也氏の講演に譲る。

その後 12 月 19 日に第 1 回研究談話会を開催して外部専門家 2 名を招聘して原子力発電におけるリスク情報を活用した安全性の向上と保全の高度化のための確率論的リスク評価法の研究状況と原子力施設のセキュリティ対策向上のために施設内モニターカメラ群の画像認識の AI による高度化を目指す研究について調査した。この第 1 回研究談話会の報告はシンビオ N&R のレポートとして既に掲載されている。

一方、12 月以降には構成が DuET より機器構成が複雑なヘリオトロン J 実験施設を対象に、ヘリオトロン J の異常検知診断や運転制御への高度 ICT の新たな適用を試みることとしてヘリオトロン J 実験施設の協力を得て、2 回の現場見学会とヘリオトロン J 施設の運営の実際についての所員の方へのインタビューを行った。そしてその結果をもとにして令和 5 年度の提案型共同研究申請への研究計画の検討を行った。そこではエネルギー理工学研究所のヘリオトロン J 実験施設を訪問して機器構成や各主要機器の設計情報、施設全般の保全と実験時の制御運転方法と計測方法の実際について資料を収集し、所員へのインタビューによって実験時の現場での作業分担等の実際を調べた結果をもとに本共同研究グループの各メンバーがどのようなテーマで研究できるかを検討した。その結果将来の核融合発電システムの運転への高度 ICT の適用性に関する研究への発展を指向して、具体的には複雑システムの機能構造の図式表現法であるマルチレベルフローモデル(MFM)の適用によるヘリオトロン J の定性的表現、GO-FLOW ソフトウェアによる運転制御システムの動的信頼性の定量解析、さらには観測データと数値シミュレーションの融合をはかるデータ同化やプラズマ画像認識への AI 応用など、ヘリオトロン J での令和 5 年度の共同研究のテーマとして以下のような項目を提起した。

- ① 令和 6 年度前半でのヘリオトロン J 実験施設のメンテナンス期間での電気機器の高調波診断システムの持ち込みによる既設機器劣化診断によるヘリオトロン J 実験施設の設備修理や更新の参考情報を提供する。
- ② ヘリオトロン J 施設でのパルス運転のショット毎の実験の成功不成功を、パルス通電の成否、計測系の成否などの要因から、図式的に表現するモデルを構成して MFM のような多層の機能、構成関係の知識をもとに

のような要因が実験の成否を有するのか、またさらに GO-FLOW のように動的信頼度を定量的に計算して効果的な改善策を提案する

- ③ コイル破損の可能性や真空容器内壁の劣化診断への電磁学的方法や超音波による方法の適用性の検討
- ④ 真空容器内の生起プラズマの観測画像への AI の応用
- ⑤ 真空容器内に生起したプラズマの3次元動的変化像のデータ同化型プラズマシミュレーションによる理解の向上

講師は、以上の5つのテーマに沿った令和5年度の共同研究チームの構成を紹介ののち、本年3月末までに発表されるZe研究拠点の申請案の審査結果を得てから、本共同研究グループのメンバー会議を行って令和5年度の共同研究の取り組みを開始する予定と述べて講演を終えた。

使用PPTへのリンク・・・[こちら](#)

## (2)新田純也氏講演のまとめ

電気機器の高調波診断システムとは？今回のDuETでのサンプル試験片照射実験時の2つのイオン加速部の真空ポンプの電源とイオン軌道を曲げる電磁石コイルの電源に高周波診断装システムに適用して実験を行い、得られた実験結果を解析した結果を報告する。

- ① 加速装置電源(TENDETORON)：電源そのものは、診断可能対象設備では無いため、状態監視システム(HAMOS)により、30分毎の高調波含有率を測定し、各次数変化のパターンと総合歪み率(THD)の変化に着目した結果報告とした。10時にサンプリングを開始した。17時までは第5次高調波は優勢で、THDも15程度で推移した。17時から翌朝9時半までは第5次高調波は小さくなり、THDの10以下と小さくなった。9時頃から、第5次高調波がまた優勢となり、THDも10以上となり、前日と同じ状態となった。本電源装置は、10時から17時の間のみ、可能しており、稼働中は第5次高調波が優勢となることから、電源効率が悪く、且つ、発熱を伴う電源であると考えられる。
- ② 加速装置電源(SINGLETORON)：電源そのものは、診断可能対象設備では無いため、状態監視システム(HAMOS)により、30分毎の高調波含有率を測定し、各次数変化のパターンと総合歪み率(THD)の変化に着目した結果報告とした。10時頃から17時頃までは、充電はされているが稼働はしていない設備と考えられる。3次高調波、5次高調波共に非序に小さい。また、THDも10以下である。ところが、17時ころから翌日10時ことまでは、3次高調波が優勢で、THDも非常に大きくなる。10時を過ぎると、高調波もTHDも小さくなる。SINGLETORONの稼働状況が不明のため、コメント出来ないが、DuETは、加速機コイル間で電磁誘導やクロストーク現象が発生しているのかも知れない。
- ③ 真空ポンプ(加速器側)診断対象部位：M1回転軸・軸受、据付けの項がB3判定となった。加速器側真空ポンプは、据え付けられずに、床に直置きされていた為、このような判定となった。また、M2巻線の絶縁(相関/層間)・振動の項がB3となったのも、据付不良による振動が原因である。運転モードは、「安定モード」のため、電気系部位の劣化は無い。
- ④ 真空ポンプ(ターゲット側)診断対象部位：M1回転軸・軸受、据付けの項がC3判定となった。加速器側真空ポンプは、据え付けられずに、床に直置きされていた為、このような判定となった。また、M2巻線の絶縁(相関/層間)・振動の項がB3となったのも、据付不良による振動が原因である。運転モードは、「低位モード」のため、機械系部位の劣化は無い。

使用PPTへのリンク・・・[こちら](#)

## 質疑応答

(1) 新田氏発表部について以下の質疑応答があった。

**Q** :設備の違いによって、高調波の出方に違いがあるのでは？

**A** :設備容量やメーカーにより高調波の立ち方に少し違いはある。しかし、管理数値に変換し、ABC 判定で見ると、管理数値に裕度があり、設備容量やメーカーの違いによる差異は吸収されてしまう。その意味では若干、アウトな部分もあるが、そのことが適応範囲を広げるメリットとなる。

(2) 吉川氏発表部については以下のやり取りがあった。

**Q** :吉川の発表ではヘリオトロン J 装置対象の共同研究のテーマとして Ze 提案型共同研究のメンバーのそれぞれに考えられそうなテーマを提起しましたが、メンバーのどなたかご意見ありますか？

**A** :A(ショットが想定通りのプラズマ条件を達成していない)に対しては GO-FLOW で信頼度のモデル評価ができるように考えています。

**C** :ありがとうございました。期待しております。一方 B(プラズマの擾乱効果の計測の不確定性)についてはプラズマの擾乱がヘリオトロン J の計測でどれくらい理解されているのかヘリオトロンの方から聞きたいと思っています。以前シンビオ講演会で発表頂いた京大エネ理工研小西先生が開始された京大発ベンチャーのフュージョンエンジニアリングカンパニーの話が最近の米国原子力学会誌のニュースとして報じられており、核融合発電はこれからエンジニアリングの時代に入ったと言われているが、ITER の実験成果のニュースからも 30 年で核融合発電は実現可能と言われ、そうなれば新エネルギーとして大いに CN に貢献しそうです。ヘリオトロン J ではパルス運転でのショットのデータが多数蓄積されているが、我々もそれらを活用して核融合プラズマの発生制御の信頼度向上に繋がる提案ができればと期待しています。

## 講演Ⅲ

16 時 05 分～17 時 10 分

司会:五福 明夫氏(岡山大学)

講演表題「システム信頼性解析手法 GO-FLOW の新たな展開」

— ループ構造を考慮したフェイズドミッションシステムの解析例 —

【講師】松岡 猛 氏(宇都宮大学非常勤講師)

### 【略歴】

1968 年 3 月 東京工業大学 理工学部 物理学科卒業, 1970 年 3 月 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻(修士課程)修了, 1973 年 3 月東京大学大学院理学系研究科物理学専攻(博士課程)単位取得退学。運輸省船舶技術研究所にて原子力船の安全性研究に従事, 1979-1980 年米国 MIT 留学, 2000 年 4 月船舶技術研究所部長、領域長を経て, 2006 年 4 月宇都宮大学大学院工学研究科教授, 2013 年 4 月より現職。システム信頼性工学、安全工学の研究に従事, 日本信頼性学会、日本原子力学会、日本工学アカデミー、ANS 他会員。工学博士、宇都宮大学非常勤講師、学術会議特任連携会員



### 【講演概要】

- ① ループ構造を持つシステムの信頼性解析方法について
- ② フェーズド・ミッション・システム(PMS)の解析法の現状および GO-FLOW による解析方法
- ③ BWR プラント起動時のモデル化と GO FLOW による動的信頼性の解析結果および結論
- ④ 上記 BWR 起動時の信頼性解析での PC による GO FLOW ソフトウェアの計算と出力処理の実演

## 講演のまとめ

岡山大学教授 五福明夫 氏(当会理事)の司会で、講師の松岡 猛 氏の略歴紹介ののち講演に入り、松岡氏

より次のような内容の講演があった。

BWR プラント起動時の論理ループ構造を考慮した信頼性解析を実施した。このシステムの起動時の動作は特徴的なフェーズド・ミッション・システム(PMS)となっている。

信頼性解析やアベイラビリティ解析における論理的ループを解く問題は、長い間苦慮されてきた。論理ループのサポートシステム間の依存関係が比較的弱い箇所を切断し、ループのない新しい論理を展開する試みが従来から多くなされている。Vaurio は論理ループを解消するための反復法を提案した。この方法では、ループ構造の再現性を反復計算で考慮するため、非常に直感的であるが一つの解の可能性を与えるだけである。一方、厳密解を得るためのアプローチが著者によって提案され、論理ループを持つブール関係に対して、任意の集合を持つ形式解を与える方法が提案された。論理的ループ構造を持たないこの解を、フォールトツリー (FT) や図形ベースの信頼性解析手法に利用することによりループシステムの解が求まる。

本解析方法を、簡便性、直接性、厳密性の観点から採用し、図形ベースの信頼性解析手法の一つである GO-FLOW によってシステムのモデル化を行った。実際の大規模システムである BWR 原子力発電所システムを取り上げ、形式的解析解における任意集合の決定方法について詳しく解説する。

技術の発展に伴い、多くのシステムが高度化・複雑化している。これらのシステムの多くは、原子力発電所や航空宇宙システムなど、フェーズド・ミッション・システム(PMS)と呼ばれ、異なるタスクを複数の連続した期間で実行するものとなっている。このような工学システム、特に安全や事故防止といった重要なミッションをサポートするために設計されたシステムにおいては、ミッションの信頼性を正確に求めることが極めて重要である。

一般に、PMS の解析方法は、シミュレーションに基づく方法と解析的な方法の 2 種類に分類される。解析的手法はさらに、(1) フォールトツリー (FT)、バイナリ決定図 (BDD) などの組合せ手法、(2) マルコフプロセス、ベイズネットワーク (BN) などの状態空間モデルベース手法、(3) 前二者の組み合わせであるモジュール手法の三つのグループに分けることができる。

ループ構造を持つシステムを非解析的に解くと、各フェーズで反復計算や数値計算が必要になる。そのため、ループ構造を持つ PMS の解析において、異なるフェーズ間の依存関係を扱うことが非常に困難となる。このため、ループ構造を持つ PMS の信頼性解析の文献はほとんど見られない。本研究では、ループ構造の論理を厳密解の助けを借りて GO-FLOW チャート上に直接モデル化した。また、BWR・PMS を GO-FLOW 解析における PMS オペレータを用いて同じ GO-FLOW チャート上にモデル化している。GO-FLOW 手法は解析的な組合せ手法であり、解析の初期段階で独立した構成要素に対して数値計算を行う。このため、ループ構造を持つ PMS の信頼性解析が容易かつ効率的に、高速に行える様になっている。

以上の技術的要件を説明し、取り上げた BWR 起動時の信頼性解析結果を紹介しその意味を考察した。

さらに、講演に引き続いて GO-FLOW 解析システムの実演を行った。まず、CD-ROM イメージの USB メモリーデータを京大の PC へコピーした後、その PC での実演を行った。GO-FLOW チャートエディターを立ち上げ、白紙のチャート上にオペレータを数個配置し、オペレータ属性の変更、信号線での結線操作を説明した。次に既に作成してあるサンプル問題のデータ(チャートデータは\*.gfc ファイル)を読み込み表示した。更に今回の講演で説明した BWR 原子力発電所システムの GO-FLOW チャートを読み込み、チャート構造を説明した後、PC 上での解析を実施し、瞬時に解析が終了することを示した。解析結果のラインプリンター出力形式のテキストファイル (\*.lst)を開いて出力の見方の説明を実施。また、GO-FLOW チャートを作成すると自動的に GO-FLOW 解析プログラム(元々大型計算機用に作成)の入力データ(\*.gfd)が作成されることも説明。比較的簡単に GO-FLOW を使用できることを示した。

使用 PPT へのリンク・・・[こちら](#)

## 【質疑応答】

Q1: ループ問題を解く時は、わたくしは数値シミュレーションで対応しています。例えば、MFMMでの解析では定性的な扱いに加えて数値を援用している。GO-FLOWでも数値情報を用いた解析となっているのでしょうか。

A1: 数値情報は用いずに厳密解が得られるのでそれをもとに解析を行っている。ただし、厳密解をGO-FLOWチャートにモデル化した後のGO-FLOW解析においては数値処理を解析の早い段階で実施しています。

C: ループ構造のモデル化の実際については興味があるので、参考論文を詳しく見てみたい。

## 【閉会の挨拶】 17時10分～17時15分

総合司会 辻倉米蔵 副会長

以上を持ちまして本日予定しておりました3件のご講演がすべて終了いたしました。本日は研究懇話会にご参加の皆様には熱心に聴講し、討論頂きましてありがとうございました。

アクティブラーニングのパイロットでは、パブリックアウトリーチ活動の重要性や、その手法の有効性をお示し頂きました。

また、ICT適用による保全工学の高度化については、研究施設への適用実証を通じてその実効性が確認されてきており、産業界への展開が期待されます。本研究の成果により実社会のシステムの信頼性向上に寄与して参りたいと思います。

また、GO FLOW信頼性解析手法の新たな展開では、高度なシステム信頼性解析の実践から汎用的に容易に使えることのご説明を頂き、さらにはヘリオトロンへの応用検討まで展望頂きました。広く誰でも取り扱える視点は大変重要で結果的に実業界に信頼性向上に寄与するものと思われま。

本日のご講演内容は、いずれも有効に実社会に反映しうるもので、その成果が期待されます。本日の談話会にご参加の皆様それぞれの分野で、応用いただけるようご検討いた抱くことをぜひお願いしたいと思います。

本日の懇話会のご講演やその後の質疑の内容を踏まえて、原子力発電所をはじめ社会の諸産業の信頼性向上に寄与することを祈念しまして閉会といたします。ありがとうございました。

## 【講演会場の写真】



研究談話会の会場写真①(八尾猛氏講演、司会森下和功氏)



研究談話会の会場写真②(ZOOMによる吉川榮和氏の遠隔講演を聴講する会場参加者)



研究談話会の会場写真③(新田純也氏講演への質疑風景、司会松岡猛氏)



研究談話会の会場写真④(松岡猛氏講演、司会は遠隔で五福明夫氏)