Korea-Japan Core University Workshop 2006

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
(1-1)
講演標題:
新型原子力発電所の中央制御室マンマシンシステム設計の検証のためのヒューマンパフォーマンスシステム
（Human Performance Evaluation Support System for MMI Design Validation of Main Control Room in Advanced NPPs

発表者：Jun Su Ha

所属：Korea Advanced Institute of Science and Technology

講演要旨：

韓国ではいくつかの研究機関においてマンマシンインタフェース（MMI）やシミュレーションに関する技術開発を進めている．ここでは，大画面スクリーンと CRT パネルを持つ中央制御室とスーパバイザ制御に移行して認知タスクが増加している運転員を対象としている．

ヒューマンファクタエンジニアリング（HFE）のプログラムレビューモデル（PRM）は，計画と分析，設計，実証と評価，および，実装の４つのステップから成る．本講演で発表する HUPESS（HUman Performance Evaluation Support System）は，これらのうちの実証と評価のステップを対象として開発を進めている．このステップでは，ヒューマンパフォーマンス（HP）の評価 HPE が必要である．

中央制御室の設計においては， HP に関するデータに基づいた安全な運転が重要であり，広く受け入れられている技術の使用が電力会社から求められている．HUPESS 開発のアプローチとして，規制ガイドラインに沿って開発を進め，視線トラッキングシステムを用いた HP に関する多くの実験に基づいて効率的に評価基準を設定していることにある．HUPESS は３年間のプロジェクトとして開発を進めており，初年度の方法論確立と２年度の HUPESS 開発が終了した段階にあり，今後，３年度の HUPESS の実証と評価を行う予定である．

HPE の方法論は，NUREG0711 と 6393 のガイドラインに従っている．それらは，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／心理要因から構成されている．

プラントパフォーマンスに対する主要な測度は，重要なプロセスパラメータが運転限界を超えないかどうかを調べることである．これはパラメータ選択，確認とずれ程度計算，重み計算，および，パフォーマンス計算時間の評点づけの４つの段階により評価する．

個人のタスクに対する主要な測度は，安全な運転に対する不可欠な活動が満足されているかを調べることである．これはシナリオ分析，最適解，データ収集，完了するまでのパフォーマンス時間の評点づけの４つの段階により評価する．

状況認識に対しては，被験者に対する質問に基づいた測度 KSAX を主に用い，注視

点情報も補助的に用いている．シミュレータを用いて被験者２人に対して実験を行っている．視線計測装置の欠点の１つに１画面しか対象にできないことがあるが，プロジェクトではいくつかの CRT にまたがる注視点の計測を行う技術を開発している．

ワークロードに対しては，被験者に対する質問に基づいた測度 NASA-TLX を主に用いている．また，チーム行動については，意思決定，協調，会話，自由な雰囲気，チーム精神に関心があり，被験者に対する質問に基づいた測度 BARS を主な測度として用いている．さらに，生体計測／心理要因では表示の視認性や聞こえ易さ，制御装置へのアクセス性や装置の設計と配置に関心があり，主に専門家による確認と観察により評価している．

これまでの実験的な研究により，注視点はメンタルワークロードの計測や状況認識の評価に用いることができることが明らかとなっている．

HUPESS のハードウェアシステムは，２台の HUPESS サーバ，２台の固定評価用コンピュータ，４台の移動評価用コンピュータ，視線計測システム，および，４チャンネルのビデオ記録システムから構成されており，これらはローカルネットワークで相互接続されている．

HUPESS の手続きは，シナリオ分析，環境設定，シナリオ実施中の HPE，シナリオ実施後の HPE，および，HP 分析から成っており，これらに必要なアプリケーションソフトウェアを開発している．

HUPESS の検証においては，シミュレータと HUPESS をテスベットとして用いて，運転員による運転結果から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／心理要因に関するデータ収集，専門家による観察と評価を行う．また，運転員自身の評価も行う．そして，テスト運転シナリオを用いて検証を進める予定である．

質疑応答の概要：

Q：ソフトウェアの使用に対して，日本の規制ではインタフェースはヒューマンエラー（HE）が零であることを要求している．制御室設計とヒューマンパフォーマンスで HE が零であることを保証できるか？　また，HE 率の評価を行っているか？

A：設計の初期のフェーズで HE を明確にすることを考えている．

Q：許容できる HE 率についてはどう考えているか？

A：設定は難しい．

Q：実プラントのマンマシンインタフェース設計に対して，どのようなアウトプットが出る？

A：HP に関するデータが収集でき，設計において統合化された形で有効に利用できる．

(1-2)
講演標題:
原子力発電所の緊急時操作状況における運転員のワークロードの予測
(Prediction of operator’s workload in emergent operating situation of nuclear power plant)
発表者：　欧陽　軍

所属：　京大大学院エネルギー科学研究科
講演要旨：
　原子力発電所緊急時の運転員のワークロードを減少させることはプラント安全確保上重要である。本研究では、緊急時の運転員のワークロードの予測とヒューマンエラー発生の可能性評価のための新たな手法を提案している。
　Wickens のマルチリソースモデルによれば、人間の行うタスクのワークロードは、幾つのチャンネルに分けて予測できる。チャンネルとは、人間が例えば、視覚、聴覚、身体反応動作などの行動に用いるリソースをいう。そこで人がある特定のタスクを行うときには、一つのチャンネル内ないしチャンネル間に相互影響が出るので、タスク実行時に用いる各チャンネルのワークロードレベルを幾つの段階に分けて設定されると考える
　原子力発電所の故障発生時には運転員は、緊急操作手順に従って回復操作を行う。しかしその回復操作自体もプラントに影響を与え、新しい現象が生じうる。するとその新しい現象に対処のため、さらに新しい回復操作を行なう。このようなマンマシン相互作用は、3つのシミュレータの事象遷移のサイクリックな反復をペトリネットモデルで模擬するソフトシミュレーションで表現することができる。特にこのシミュレーションにより、どのタスクを運転員が実行するかを予測することができ、実行しているタスクに応じてそれに消費する総ワークロードの時間的変化を予測することもできる。このような方法によって求めたプラントの緊急操作時の運転員のワークロードの大きさから、ヒューマンエラーを生じる可能性の大小を予測できる。
　プラントの回復操作手順が幾つも考えられる場合には、それぞれの操作手順に要する運転員のワークロードレベルを予測し、ワークロードの最も少ない手順が、最もヒューマンエラーを発生させない手順として選択することを推奨できる。

質疑応答の概要:
Q:　プラントの故障を回復するとき、多数なプランがある場合、どちらが好ましいプランかは、このシミュレーションシステムでワークロードを予測して判断すれば良いということですね。
A:　はい。
Q:　ワークロードの予測から、ヒューマンエラーの可能性はどのように評価していますか？
A:　高ワークロード時は、ヒューマンエラー発生率が高くなることが基本的な考えであるが、まだ提案段階なのでヒューマンエラーの具体的評価方法は今後検討の予定である。

(1-3)
講演標題：
状態監視保全のためのプラント状態推定に関する実験研究
（Experimental Study on the Plant State Estimation for the Condition-based Maintenance ）
発表者：　高橋　信
所属機関：　東北大学大学院工学研究科
講演要旨：
　原子力プラントにおける保全活動の効率化には、情報化技術の広範囲な適用が不可欠である。コンピュータやネットワーク技術は近年急速に発達しているが、その性能的向上に見合うように現場での適用が進んでいるわけではない。更に、原子力における時間計画保全から状態監視保全へという保全方策の動向を考えた場合、処理する必要のある情報の量はますます増大することが予想されている。保全活動における情報処理の効率化、信頼性の向上という観点からも、情報化技術の積極的導入を行う必要がある。また、原子力プラントの保全活動は人間中心の活動であるという点を見逃すことはできず、ヒューマンファクターに関する視点を重視する必要がある。情報化技術の導入に当たっては、利用する側の人間（保修員）にとってメリットがありかつ使いやすいシステムでなければならない。

本研究では、原子力プラントにおける異常時の原因究明タスクに焦点を絞り、作業員を支援する診断情報を提供する支援システムの枠組みに関して述べた。本提案システムはベイジアンネットワークに基づき、動的に変化する状況下で、情報が一部欠落している場合においても、診断結果を出すことを目指している。ベイジアンネットワークは、機器の因果関係を有効グラフを用いて表現したものであり、事前確率、条件付き確率を予め定義することにより、異常症候が現れたときに、その原因となる異常仮説の確率を遡って計算することが可能となる。

本研究では、原子炉プラントのサブシステムと同程度の複雑性を有する材料試験高圧水ループを対象にして、提案システムを適用した。試験体からのリークを対象事例として、症候をベイジアンネットワークの入力値として、異常仮説の生起確率値を計算した結果、事象の進展に応じて実際に生起している異常に関する確率値が上昇することが確認でき、本提案システムの基本的な有効性を確認することができた。

質疑応答: なし

(1-4)
講演標題：
電気的断層撮影による 2 相流の可視化
（Visualization of Two-Phase Flow by ET）
発表者：Yoon Joon Lee
所属：Cheju National University
講演要旨：

電気的断層撮影(ET: Electrical Tomography)による 2 相流の可視化を行っている。この研究は、大きく二つの部分((1)電極の構築(ハードウェア)、(2)イメージ再構成アルゴリズムの開発(ソフトウェア))からなっている。

原子力工学においては、2 相流の問題は大変重要である。なぜなら、2 相流に関する正確な情報は少なく、このため、限界熱流束比（ＤＮＢＲ）などの安全に係わる多くの問題について不確実性があり、また多くの議論があるからである。ET の長所は、流体の流れを妨げないこと、MRI などと比較してデータ獲得レートが高速であること、MRI,X 線 CT などと比較して経済的であること、小型であることである。しかし、短所は、MRI,X 線 CT などと比較して空間分解能が低いことである。2 相流を計測する方法には多くの方法があるが、これらを考慮した上で、ET は原子力分野を含み様々なプロセスの計測手法として適切なものであると考えている。

システムの構成は、信号をファントム(試験領域)に与え出力信号をパソコンで取込み、イメージを再構築するものである。電極は EIT では、16 電極 1 レイヤー、16 電極 3 レイヤー、32 電極 3 レイヤーのものを用い、ECT では 8 電極と 16 電極のものを用いている。これらの電極を用いて、電極を取り付けた筒の中の 2 相流を観察することができる。実験用ループとして、垂直のもの、環状のものの 2 種類を構築している。実験用ループでは、低温で実験できるように流体はシリコンオイルを用いている。

これらのハードウェアに加えて、計測したデータをカラーの濃淡画像により可視化するソフトウェアを開発している。

質疑応答の概要：
Q：あなたの作成した装置では、MRI などと比較すると空間分解能が大きな問題であると言った。MRI の場合、250 または 500 以上のチャンネルがあるから空間分解能がよいが、この ET はたった 32 チャンネルだから低いのではないか。これは、チャンネルの数を増やして改善できるか？

A:数を増やしてもたいして違いがない。ECT の場合、8 で十分であり、増やすと計算時間がかかってしまう。
Q:ET は、空間分解能について本質的な問題があるというのか？
A:特有の問題であって本質的な問題ではない。
Q:可視化したたくさんのパターンが見せてもらったがが、色の違いは何か？密度か、それとも速度か？
A:水の電気抵抗の分布である。

(1-5)
講演標題：
先進状況監視システム(NIMS)の開発と、薄層化したパイプの超音波による厚み計測のための基準
(Development of Advanced Condition Monitoring System(NIMS) and Criteria for Ultrasonic Thickness Measurement of Thinned Pipe in NPP)
発表者：
Min-Rae Lee
所属：Busan National University
講演要旨：
(1)先進状況監視システム(NISM: Nuclear Steam Supply System (NSSS) Integrity Monitoring System)の開発
現在、炉心冷却システムの履歴データが不足していること、各原子炉でシステムが異なっていることが問題となっている。そのため、一貫したデータ蓄積システム、標準の構築、統合データ解析システム、炉心冷却システムの実際の現象を模擬するための実験設備、が特に必要である。このため、新しい NIMS を開発している。プロジェクトは KAERI が主導し、他に 4 機関が共同で行っている。
NISM は、弛緩した部分の監視(LPMS: Loose Parts Monitoring System)、内部振動の監視(IVMS: Internal Vibration Monitoring System)、音響学的な漏れの監視(ALMS: Acoustic Leak Monitoring System)、炉心冷却ポンプの振動の監視(RCP-VMS: RCP Vibration Monitoring System)を組み込んだ統合プロセス監視システムであり、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の機能がある。

(2)薄くなったパイプの超音波厚み計測のための基準
摩耗腐食(erosion-corrosion)や流動加速腐食(flow accelerated corrosion: FAC)によって、炭素鋼のパイプで、壁の薄層化が起こる。これらによる多くの事故が報告されている。これらの事故を防ぐために、薄層化パイプマネジメントプログラムを開始した。このプログラムは 5 つの機関によって行われている。
CHECKWORKS は、原子力発電所の腐食の挙動に対応するためのソフトウェアであり、データマネジメントと腐食解析を行うツールである。その機能は、プラントのデータを蓄積・取得・管理すること、FAC による摩耗率の決定、FAC の影響を受けやすい場所の特定、検査時に取得した超音波テスト(UT)のデータの評価を行うこと等である。UT による厚さ計測でのエラーの要因は、人間、環境、計測器などにある。現在は、UT におけるエラーの解析、ラウンドロビンテストのためのパイプ・エルボー・T 字型継手の試験品の設計・製作、ラウンドロビンテストの検査結果の評価、高温下での検査における超音波速度の補償、厚さ検査の信頼性の改善を行っている。

質疑応答の概要：
Q:どんな種類のヒューマンエラーが関わっていますか？

A:ヒューマンエラーは、検査の経験、時間、方法、パイプラインの場所、コンディションなどによって起きる。
C:かなりの経験を持っている人なら、熟練していて判断が正しいと思いますか？日本では、大変経験のある人がミスを犯すことがある。様々なタイプのヒューマンエラーがある。

(1-6)
講演標題：
二軸センシングに基づいた漏洩磁束探傷法による表面欠陥の評価
（Evaluation of Surface Defects by MFL Testing Based on 2-Axis Sensing）
発表者：安部　正高
所属：京都大学エネルギー科学研究科
講演要旨：
　磁性体の表面または内部にきずなどの欠陥があると、磁性体と欠陥部との境界で磁気的性質が異なるため、欠陥部周辺で磁束線が変化し磁性体表面から漏れる。この漏洩磁束密度の分布を適当な磁界センサを用いて測定することで、欠陥の評価を行うのが漏洩磁束探傷法（Magnetic Flux Leakage Testing）である。MFLT は磁粉探傷法といった他の磁気的探傷法と違い、欠陥の定量的評価が可能であるという特徴がある。
　従来の MFLT では、試験片のヒステリシスの影響を除くために、試験片を磁気飽和に近い状態まで磁化し、試験片表面に対して垂直方向の成分のみを測定するのが一般的である。しかし、高感度でより測定範囲の広いセンサを用いれば垂直方向成分だけでなく、水平方向成分も共に測定することが可能となる。本研究では、そのようなセンサとして最新のアモルファス MI センサを用い、漏洩磁束密度の水平方向および垂直方向成分を測定する二軸センシングを行い欠陥を評価することを目指している。
　まず、実験に先立ち二次元静磁界解析を行った。得られた解析結果から、磁気双極子モデルに基づく漏洩磁束密度分布関数を簡単な初等関数で近似し、そのパラメータにより溝状表層欠陥の溝深さ、溝幅、およびその存在する面の表と裏を識別する方法を提案した。続いて SS400 鋼について実験を行い、そのような方法で欠陥を評価するために必要なデータを得た。今後はそれらのデータに基づき未知の欠陥をどの程度の精度で評価できるかを検証していくことが課題である。

質疑応答：なし