シンポジウム (3) コンピュータ化された巨大システムの 安全とストレス ----- 原子力発電所の場合 -----

北村 正晴 (東北大・工)

Safety and Stress in Computerized Large-Scale System

----- Nuclear Power Plants -----

M. Kitamura (Tohoku University, Dept. of Nucl. Eng.)

1. はじめに

最近のIEEE SPECTRUM誌では大規模システムのリスク管理についての特集号で、巨大技術システムの例として、航空機、電話網、原子力プラント、スペースシャトル、および化学プラントを挙げている¹⁾。いずれのシステムにおいても過去に手痛い事故が経験されていることが共通点であるが、原子力の場合には事故の発生が産業の存続をおびやかす程のインパクトを持っている点が他産業との差異といえる。しかしながら、現代技術文明に対する異議申し立てが最も先鋭に現れている原子力産業の今日の姿は、他の先端産業の明日を暗示しているともいえよう。そのような観点から、現場の作業負担と現在進められているコンピュータ化の実態と、今後の技術開発の方向について概要を紹介したい。

2. 原子力プラント運転とストレス

2-1 原子力プラントの概略

プラントの規模： 電力生成システムという観点から眺めた場合、原子力発電所の構成は、火力発電所と類似している。タービンに供給される蒸気の温度や圧力などについては、最新鋭の火力発電所の方がより大きな値になっているが、原子力プラントの場合、安全対策のために様々な工学的安全系（緊急冷却装置など）が設置されており、システムとしてははるかに複雑なものとなっている。

運転の体制： 原子力発電は基底負荷に対応する一定出力での長期間連続運転を行うのが普通

である。このため運転はいわゆる直（シフト）勤務体制により行われる。ひとつの直チーム（クルー）の人数はプラント規模や管理方式により異なるが、直接運転を担当する人数は4ないし6名程度の構成が多い。

2-2 運転員の作業とストレス

通常運転時： 運転員は計装盤の各種指示計器を監視作業を主任務としつつ、一定時間毎のパトロールなどにも従事している。この段階では、ストレスレベルは特に高いということはない。
異常時： 測定されている変量の値が正常動作範囲を逸脱する事態が生じた時には、制御室に設置された警報ランプが点灯すると同時に警戒音によっても注意が喚起される。原因の究明と対応策の決定、実行のため作業負荷は大幅に増大する。ストレスもある程度高くなることは避けられない。しかし本邦においては運転員の教育・訓練が重視されており、技量、知識共に高いレベルにあることを強調しておきたい。訓練や経験の蓄積により、異常が発生しても運転員のストレスレベルが正常判断を困難にする状態まで上昇するような事態は回避されているのが実態である。

安全と計算機技術： しかしながら原子力施設が今後も社会の要請に応えるためには、注意を払っておくべき点がいくつか指摘できる。プラントの安定運転実績が向上するにつれて、運転員は異常事態対応経験が少なくなる、というジレンマはその典型例である。安全運転実績がふえるのにつれ、個人や組織レベルでの危険予知

能力が低下する可能性も、否定はできない。このような見地から、計算機技術の高度利用が様々な形で進められている。

3. コンピュータ化の現状

3-1 自動化

人間側の負担を減少させるための最も直接的な対策が自動化である。これまでに、起動・停止操作、燃料棒交換作業など、特定のタスクに限定した自動化技術が開発され、一部は実用化されている。ただしここで自動化は無人化を意味するものではなく、現場では必要に応じて随時人間が介入できる運用形態となっている。

3-2 運転員支援

警報処理： 原子力プラントにおいて機器故障が発生した場合、異常変化が観測される変数は複数個存在するのが普通であり、現象が波及すればその個数は更に増加する。このため、故障発生後の短い時間（数秒ないし十数秒）の内に多数の警報が続発する。運転員が異常の原因を究明するさいにこの現象は著しい妨げとなるので、各種の対応策が検討されてきた。最近では、プラントの安全確保上重要と判断される警報を選択的に表示し、かつ論理的に冗長な警報は無視させる、警報処理システムと呼ばれる支援形態が支持を集めている。

安全パラメータ表示： プラント計装の主要な役割のひとつは、対象の健全性、安全余裕などの確認である。現用の計装系統は、このような目的情報が直接には指示されず、温度や圧力などの変数が生の形で指示されるという意味で極めて素朴な設計となっている。このため運転員は必要に応じてこれらの重要情報を算出しなければならず、作業負担は場合によっては大きなものとなる。この作業の計算機による代行を目的として、安全パラメータ表示系というシステムの開発が進められている。

その他： 通常運転時とは別に、原子炉が停止した後も、余熱の除去や異常波及の最小化のために運転員が行うべき操作は多い。この異常状況

での操作支援システムの開発も、安全確保上重要な課題として注目を集めている。運転と密接な関わりを持つ保守作業についても計算機技術を利用した支援の試みは盛んに行われている。

4. 将来の展望

技術開発の現状と今後の計算機技術の発展を考慮にいれて展望する時、将来の技術のあり方について次のような予測ができよう。

完全自動化の可能性： 当分の間は考えにくい。一般にソフトウェアによる自動化システムの完全性を保証することは非常に困難である。人間の柔軟な対処能力への期待も一方で大きい。完全自動化の実現には、画期的な技術開発が必要と考える。

マンマシンインターフェース： 巨大システムの安全性向上を目的として計算機をより積極的に導入する場合、情報提示方式の利害得失について、より包括的な検討を進める必要がある。たとえばデジタル表示は視覚的には認識しやすいが、結果の想起が困難になるとの批判も聞かれる。人間が一度に処理できる情報の量的な制約に着眼した情報量処理単位²⁾の概念なども一層の洗練化がなされるべきであろう。

人間と機械の共存様式を求めて： より一般的には、人間と巨大技術システムとの、適切な共存の様式を追究することが重要である。人工知能やニューメディアの先端技術の導入も遠くない今日、このような根源的な問題を総合的な視点から考察することは近未来の技術を考える際の最大のテーマである。人間工学専門家の積極的な参加を心から期待する次第である。

[参考文献]

- (1) IEEE SPECTRUM (日本版), 2, 11, p.8-30
および 2, 12, p.10-32 (1989)
- (2) E.L.Filshtein: Proc. Topical Meeting
on Adv. in Human Factors in Nuclear
Power Systems, p.467- (1986)