原子炉雑音解析, 異常診断技術の最近の動向

(大阪大学) 須田 信英, (東海大学) 黒田 義輝,
(日本原子力事業(株)) 角田 十三男, (三菱重工業(株)) 田中 守,
(動燃事業団) 庄野 彰, (東北大学) 北村 正晴

原子炉雑音解析とその応用である異常診断技術の分野では, 20年を超える期間にわたり着実に研究努力が蓄積されてきているが, 現在もなお急速な発展が続いている。原子力発電支援システムや計装高度化の試みとも密接に関係して重要性の認識が一層広まりつつあるこの分野の最近の進歩につき, 昨1984年秋に行われた「原子炉雑音に関する専門家会議」での話題を中心に紹介する。

I. はじめに

1984年10月, 「原子炉雑音専門家会議(SMORN-IV)」が開催された。これは OECD/NEACRP および CSNI の主催にかかるもので, 第1回(1974年)ローマ, 第2回(1977年)ガトリンバーグ, 第3回(1981年)東京に続き今回が4回目になり, この分野の国際的な研究発表の場として定着した感がある。前回東京会議の論文を中心とした展望が「本誌」に掲載されている¹⁾が, その後の3年間にもこの分野では着実に経験が蓄積され, また新しい進展も見られている。そこで本稿では上記 SMORN-IV での発表を中心として, 最近の進歩についての展望を試みる。

今回の開催地はフランスのディジョンであった。21ヵ国, 3国際機関から合計182名の参加があり, 前回東京の14ヵ国, 2国際機関, 87名に比べ, 人数はほぼ倍増している。この分野への関心が一層高まったことの現れであろう。わが国からは21名が出席し, 地元フランスに次いで多かった。従来リーダーシップをとって来た米国から今回は13名しか参加しなかったのは, 米国における原子力研究の退潮の兆しではないかと気がかりである。

講演数は, 招待講演などを含めて全部で99件であった。数え方によると, わが国からの講演が最も多かったことになる。数え方によると断わったのは, 2ヵ国以上にわたる連名の講演が数件あったからである。このように, 国際的な交流や研究協力が増えて来たこと, 特にその中にわが国の研究者も参加していることは大変喜ばしい。

研究の動向を大まかにつかむために, 予稿につけられたキーワードの分類を試みた。同義語や類義語は適宜合併して全部で321通りのキーワードが拾い出された。出現頻度の多いものを眺めてみると, まず原子炉

型に関するものでは, 加圧水型炉(PWR)関連が約40回, 沸騰水型炉(BWR)関連は16回, 高速増殖炉(FBR)関連が12回となっている。

測定する変数については, 中性子雑音約20回, 圧力6~7回, 温度約10回, 流量関連約25回, その中で二相流に関するものが6~7回含まれる。そうして音響信号関連が約10回となっている。

目的に関しては, 炉心の安定度解析6回, 沸騰検知約10回, 流量閉塞や洩れの検知がそれぞれ4~5回, 振動の監視約50回, ルースパーツ監視約30回で, 振動とルースパーツの監視への応用に関心が高い。振動については13通りのキーワードが出ており, 制御棒の振動, 燃料要素の振動, コアバレルの振動等々, 様々な振動が対象となっていることがわかる。ルースパーツについては, 位置の推定, 衝撃の強さの推定, ルースパーツの質量の推定などが見られる。また, 前記流量雑音関連25回の中には流速の推定もかなり含まれている。そのほか, 頻度はさほど高くないが, 雑音源の同定, 反応度係数, 燃料の時定数などの推定への応用も散見される。

もう少し包括的な用語では, 監視(surveillance)が10回余, 異常検知, 診断といった言葉が20回余出ている。炉雑音解析のこの方面への寄与が強く期待されていることを示すものであろう。

解析の手法については, 相関関数, パワースペクトル密度といったノンパラメトリックな時系列解析に関連するものが30回余現れる。一方, 自己回帰モデルなどのパラメトリックな手法と, それを応用したノイズ

Recent Developments in Reactor Noise Analysis and Diagnosis: Nobuhide SUDA, Yoshiteru KURODA, Tomio TSUNODA, Mamoru TANAKA, Akira SHONO, Masaharu KITAMURA.

(1985年 6月17日 受理)

寄与率などの用語は10回弱であり、やはり古くからのノンパラメトリックな手法が広く用いられているようである。フィードバックの検知とか、信号伝達経路などもそれぞれ3~4回現れており、システムの構造への関心を示している。

パターン認識やそれに関連した言葉が10回近く現れている。決定理論、クラスタリング、あいまいな(fuzzy)分類などが散見されるほか、人工知能、エキスパートシステム、知識ベースが合わせて6回ほど出ている。エキスパートシステムなど、最近の知識工学の成果を診断へ応用しようという考えは、フランスなどで熱心に検討されているようで、表面に出ている頻度以上に底流は大きいのではないかという気もする。

以上、キーワードを手がかりに動向をさぐってみた。もちろんキーワードのつけ方は著者によって判断の違いもあり、あまり信頼を寄せるのもどうかとは思いますが、初めに記したように大まかな傾向をとらえるのには、ひとつの参考となるであろう。

前回に引き続き、今回は炉雑音解析のベンチマーク・テストが行われた。テスト用のデータは前回と同じものを用いた。前回はデータ処理の計算面を中心とした比較であったのに対し、今回はBWRのモデルに基づきシミュレータで合成した人工的雑音では炉出力と圧力との間の伝達特性、Borssele(PWR)の雑音からはコアパレル振動、Phenixの場合は熱伝達や温度測定の時定数の推定というように、物理的な結果を求めるものであった。3種の課題にそれぞれ数チームから推定結果が寄せられた。その比較の詳細は、NEAの報告書として刊行される予定である。

全般的にみると、例外的なケースを除いて推定結果はかなりよく一致しており、一致の程度があまりよくないものについてはその原因が推測されている。筆者(須田)が比較検討を担当した人工的雑音に関しては、結果はよい一致を示しており、非定常性、非線形性などを含まないという意味で、たちのよい雑音においては炉雑音解析の結果は確度の高いことが確かめられた。そういうわけで、この人工雑音は将来新しい解析法などが提案されたとき、まずこれに適用して従来手法との比較をする、そういう標準データとしても役立つのではないかと考えている。(須田信英)

II. 方法論の開発の動向

SMORN-IVの印象では、炉雑音信号のパラメトリックな解析手法は定着の度合を増したように思える。しかし、定着の中にはその有効性に対する自信と同時に

反省、さらに新しい挑戦がうかがわれる。

ここ数年来確立された定常炉雑音信号に対する信号伝達経路(STP)解析は、フィードバックループを含む線形多変量系の雑音ネットワークの構造を解明するばかりでなく、雑音源の同定という点で異常診断に有効であることが今回 Borssele 炉を通して実証されている⁽²⁾。この手法は雑音源の独立性の仮定を土台としているが、ハンガリーのPWRでの検証では、この独立性が成り立たないこと、モデルの次数決定におけるAICの一意性が得られないこと等の結果を与えていた⁽³⁾。これらの知見はSTP解析をより精緻にするための素材といえるかも知れない。一方、工学上では観測変量間の関係があらかじめ既知の場合が多いという立場から、 $\{+1, 0, -1\}$ を要素とする構造行列の形で既知の条件を多変数自己回帰(MAR)モデルに組み入れる手法が開発され、今回はBWR雑音源(ボイド、再循環流量)の同定、中性子の空間依存性、制御系動特性の同定、制御系異常診断に適用されている⁽⁴⁾。この手法では、ある変量間の信号伝達経路の時定数が他に比べて小さい場合、0次の回帰項を加えて計算を安定化している点(これに対する構造行列要素を-1)に特色がある。また、MARモデルを利用するに当たっては、その特性を物理プロセスと結びつけて明確にしておくことも必要である。特性としてMARモデルの極配置をとったとき、4種類の分類のうち、複素平面上の単位円の外側に最も近接した極配置が自己回帰、移動平均(ARMA)モデルのゼロ点、つまり物理系の状態を代表するものであることが報告されている⁽⁵⁾。

炉雑音信号は有限長の記録時間で非定常なふるまいをすることも多い。こうした非定常過程に従う信号処理は異常診断においてはむしろ重要であろう。この場合、通常のARモデルのパラメータ決定では、観測データの相関を係数とする正規方程式を解くことになり、非定常雑音には有効でない。これに対してHouseholder変換に基づく最小2乗法によるARモデル化法の応用が提案された⁽⁶⁾。小数データで安定した解析の行える点に特徴がある。模擬を通してPSDの推定、予測器としての評価、2変量間の時間遅れの推定等への適用が検証された後、Borssele炉での非定常雑音信号解析を通してその有効性が確かめられた⁽⁷⁾。

一般に炉雑音の信号処理は長い記録時間について行われるため、短時間における情報が失われる場合が多い。さらにまた異なった周波数領域の成分波間の干渉も隠されてしまう。こうした情報を取り出す信号処理が、Sequoyah-1プラントのex-core中性子雑音をも

とに提案された⁽⁸⁾。信号の PSD に 6 個のピークが現れることから、フィルタにより 6 組の時系列に分類する。それぞれを振幅が時間的に変動する正弦状波で表わし、Hilbert 変換によりこの時変振幅、つまり包絡線をつくり出す。この包絡線を応答とする入力源を、発見的な手法で deconvolution により求める。こうして推定された入力源のパターンが似ていることから、異なった周波数領域の成分波間に強い干渉のあることを結論づけている。他方、非定常炉雑音信号の起伏のあるトレンドを除き、正規定常な残差(有効な情報を保存している)に多変数 ARMA モデルの当てはめを行うことも、小数データのみを使用できる点で意義があろう。なお、ここでのトレンド除去には 3 次のスプライン関数が用いられた⁽⁹⁾。

パラメトリックモデルは、異常の監視においても、異常源の同定においても体系的な手法として用いることができる。しかし、本当の意味で体系的な手法ということになれば、集録されたデータをパラメトリックまたはノンパラメトリックな仕方では統計的指標に変換した上でプロセスを監視し、異常があれば if~then 形式で診断を加えていくという図式が与えられよう。事実、フランスはこの図式を CEA と大学が協力して IAEA のミュンヘン会議(1982)で高速炉を対象として提出した。今回の発表では随所に新しい知見が盛り込まれているものの、特に進展したとみられるのはプロセスの監視、つまりパターン認識の個所であろう^{(10)~(12)}。パターン認識の診断への応用では、入手した多変量空間の情報に正規分布を仮定するパラメトリックな手法がこれまで主に使われているが、今回報告された方法は不完全情報のもとのパターン認識、つまりあいまい理論によるノンパラメトリックな手法に根ざしている^{(11)~(12)}。新しく得られた情報が既に同定されたクラスが 1 つあるとして、これに属するか否か、そのどちらでもないかは、その情報とクラスとの、例えばマハラノビスの距離に 1 を加えたものの逆数として導入されたメンバーシップ関数の値と、クラスに学習から設定される 2 つのしきい値との比較によって決定される。これを続けることにより、クラス分けが改善されていく。Phenix 炉の予備解析としては音響雑音の PSD を入力情報として蒸気発生器(SG)における Na リークがフルパワーを 3% に減少させた事例に適用している。さらに多くの事例を積み重ねなければならないであろうし、診断の部分のエキスパートシステム、さらにマンマシンインターフェイス等の構築の道程は短いものとはいえないであろう。

(黒田義輝)

Ⅲ. BWR 関連応用

BWR に関連した報告は 18 件であった。これを、①炉内中性子雑音解析、②安定性、③BWR 雑音特性、④動特性モデル、⑤ルースパーツモニタ、⑥リーク検出の項目に分けて紹介する。

炉内中性子雑音解析に関する報告は 5 件あり、これらの報告はいずれも炉内中性子検出器(LPRM)等の雑音解析により燃料チャンネルの情報がどの程度把握できるかを議論している。LPRM の検出感度領域を多群の中性子輸送理論⁽¹³⁾、あるいは空間依存のフィードバックを持つ 1 次元拡散方程式⁽¹⁴⁾により評価しようとする試みが報告された。LPRM に含まれる雑音信号を用いて二相流の速度⁽¹⁵⁾や流速分布の測定⁽¹⁶⁾の研究も行われている。前者はサブチャンネル解析コードの実証やチャンネル熱水力現象の監視に用いるのが有効であるとしており、後者は流速分布の測定は難しいと結論している。オランダでは、炉内中性子検出器と炉内 7 線検出器を縦方向にそれぞれ 2 個ずつ並べた two self powered detector を用いてボイド伝播を測定しており、炉内 7 線検出器を用いる方が燃料チャンネル内のボイドに関する情報が正しく評価できると述べている⁽¹⁷⁾。

BWR 雑音特性については 5 件の報告があり、各国の BWR プラントの雑音特性について報告された。トビックスとして炉心部の中性子束の径方向の相関解析、AR モデルに基づく制御系の診断方法⁽⁴⁾、Berseback-1, 2 号を用いての炉心内のボイドを含む熱水力特性、制御系の運転モードと雑音パターンとの関連性⁽¹⁸⁾などが注目された。また ASEA-ATOM 社では、1977 年から収集されている雑音データを検討評価した結果を報告している⁽¹⁹⁾。これとは別に LPRM 信号を用いてオンラインの雑音解析装置により蒸気ボイドを測定したり⁽²⁰⁾、計画停止の際の減圧過程におけるプロセス信号(圧力、温度等)の雑音パターンを測定するといった試みが行われている⁽²¹⁾。後者は TMI 事故がきっかけとなった模様である。

安定性については 4 件の報告があったが、安定性を主たるテーマとした論文は 2 件であった。BWR のオンラインの安定性モニタの手法開発に関しては、安定性の尺度である減幅比を 3 種類の方法で比較検討するとともに監視に必要な雑音データ長、信頼度について詳細に評価した結果が報告された⁽²²⁾。また、イタリアの Caorso から自然循環高出力状態で炉心安定性テストを実施し、発振状態でのデータを取得したことが報

告され⁽²⁴⁾, またオンライン安定性モニタの必要性和要求仕様について議論がなされた。

動特性モデルについて述べた報告は, 縦方向に設置された2個のLPRMノイズの位相差から求めたボイドフラクションを用いて炉心の核的熱水力学的な解析の精度を向上させようとする報告⁽²⁴⁾および日本におけるBWR動特性と炉雑音特性の解析のレビュー⁽²⁵⁾の2件で, 後者ではJPDRを対象とした三井田-須田モデルから最近のARモデルの原子力プラントへの適用までが総合的に要約されている。

ルースパーツモニタについてはBWRを対象にした報告は3件あり, PWR, FBRを対象としたものを含めると9件にも達している。多くの報告はルースパーツの位置推定について述べており, パターン認識による位置推定⁽²⁶⁾, メッシュ法による位置推定⁽²⁷⁾等の方法が提示された。このほかに, ルースパーツの質量推定法やエネルギー推定法が議論され, 特にルースパーツが圧力容器と衝突した際の加速度信号の周波数スペクトルを用いてルースパーツの質量を推定する方法が今回初めて報告された⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。

リーク検出については, 逃し安全弁のリークを推定する装置が開発されており⁽²⁹⁾, 微小リークから弁開放にわたる広範囲のリークが監視できると述べられている。(角田十三男)

IV. PWR 関連応用

PWRにおける本技術の主要な適用分野は, ①ルースパーツモニタ, ②弁リークモニタ, ③構造物振動監視に大別される。

ルースパーツの検出, 診断手法はPWRとBWRで基本的な差はなく, 位置, エネルギー等の診断がSMORN-IVの焦点であった。

PWRに的を絞った研究としては, PWR 1次冷却系の $1/8$ スケール縮尺モデルループを用いて冷却水流によるルースパーツの移動, 衝突挙動を実験的に求めた例が報告されている⁽³⁰⁾。また, 実機でのルースパーツの検出例がEDF(フランス電力庁)⁽³¹⁾から報告されており, 蒸気発生器管板の損傷状況の生々しい写真が示されていた。その著者の1人の談によると, EDFでは最近3回のルースパーツの発生を経験しており, 最初のケースでは対応が遅れたため重大なダメージを受けたが, その後の2回はルースパーツを発見次第直ちにプラントを停止させたため, 被害を最小限に食い止めたこととであり, 補修費用の面およびプラント停止期間の最短化の面で, ルースパーツモニタが大い

に貢献したことを強調していた。

我が国においても稼働中のすべてのPWRにはルースパーツモニタが設置されているが, 今後新規プラントでは位置, エネルギー等の診断機能を有するより進化したシステムが近い将来実用に供されるであろう。

SMORN-IVにおける論文発表は全体として大学や研究機関からのものが多く, メーカーからの発表は比較的少なかったが, ルースパーツモニタリングのセッションに限っては9件中6件がメーカー(電力等との共著を含む)からの発表であり, 実用化の進んでいる分野であることからメーカーの関心の高いことが伺えた。

弁リークモニタリングに関連した報告は3件あり, うち2件はPWRの安全弁, 逃し弁を対象としたものであった。その2件ともに実機プラントにおけるバックグラウンドノイズの計測とモデル試験における模擬リークの応答の計測を行っており, AE(アコースティックエミッション)センサーにより十分なS/N比でリーク弁の識別およびリーク量の定量評価が可能であり, プラント運転中の加圧器安全弁, 逃し弁の連続監視に十分適用できることを結論していた⁽³²⁾⁽³³⁾。

PWRにおいても炉内構造物の振動監視に用いられる計測法は中性子雑音が主流である。しかし, 従来は炉外核計装器(ex-core detector)のみを用いて炉心槽と原子炉容器の連成した, いわゆる「振り子振動」, 燃料集合体のビーム振動等を検出, 識別した例が報告されていたが, SMORN-IVでは炉内核計装器(in-core detector)を併用して計測データの情報量を増す試み, およびより詳細な解析モデルの設定による計測データの識別精度向上の試みがなされており, 個々の燃料集合体ごとの固有振動数の差異の検知⁽³⁴⁾, 燃料棒の流体振動の検出⁽³⁵⁾等の実績が報告されている。

一方, 稼働中の実プラントにおける計測実績についても, アメリカ⁽³⁶⁾, フランス⁽³⁷⁾, 西ドイツ⁽³⁸⁾, オランダ⁽³⁹⁾, ハンガリー⁽⁴⁰⁾等から報告されており, 診断のためのベースラインデータの蓄積が各国で着々と進められている模様である。その際の計測パラメータはやはり中性子雑音が主体であるが, 中性子雑音のみでは振動振幅等の定量評価が難しいことから原子炉容器外壁での加速度, 変位等の振動, 冷却材の圧力変動等を総合的に計測し, それらの総合的判断によって診断精度の向上および監視対象の拡大を図る動きもある^{(39)~(42)}。また, データの収集方法については電話回線を用いてホストコンピュータからリアルタイムで現地データを収集するシステムもすでに開発されている⁽³⁹⁾。

診断手法の面では、対象が複雑かつ多岐にわたることから、従来は人間の判断に負う所が多かったが、知識工学の適用によってコンピュータベースで自動診断を行う試みもなされており⁽⁴³⁾、診断の自動化への動きとして注目される。

以上のように PWR における機器異常診断技術は、①計測およびデータ処理手法、②ベースラインデータの蓄積、③診断手法の各面で着実な進歩を遂げつつあり、今後より一層の実用化が進むものと考えられる。

(田中 守)

V. FBR 関連 応用

FBR関連の発表13件をその内容別に分類すると、①集合体内部の異常現象(沸騰、流路閉塞など)の検出方法に関するもの、②Na流量の測定手法、③実炉での測定結果、監視システム、④その他のようになる。

集合体内部の異常現象の検出方法に関しては4件の報告があり、ベルギーのBR2炉で実施された燃料ビン溶融実験の際に測定した音響信号ならびにバンドル出口に設けた熱電対信号を解析し、Na沸騰発生前後のroot-mean-square(rms)値やPSDの変化を評価した結果、いずれの信号に関してもその雑音成分の監視により燃料ビン破損を検出できることが報告された⁽⁴⁴⁾。フランスからはNa沸騰検出手法の開発成果の要約とSuper Phenix-1に適用する予定の中性子束雑音による沸騰検出手法の感度評価結果が報告されている⁽⁴⁵⁾。燃料集合体内部の温度雑音rms値の3次元分布を計算するコードも開発され、流路閉塞を模擬した炉外Naループでの試験結果を用いて良好な検証結果が得られている。また、閉塞が発生した場合の温度rms値の増加が、バンドル内にとどまらず上部プレナム部まで伝播することを明らかにし、流路閉塞検出手段として温度雑音の監視が有効であることが示された。温度分布を持つ乱流の温度雑音を渦拡散モデルを導入して計算する手法の提案もなされた⁽⁴⁷⁾。これは現段階で測定可能な集合体出口温度の雑音情報から集合体内部の状態を把握することを目的とするものであるが、実験による検証はまだなされていないようである。

Na流量の測定手法の分野では3件の報告があり、1対の電極しか持たない電磁流量計にも適用できる供用中校正方法として平均周波数法が提案され⁽⁴⁸⁾、高速実験炉「常陽」1次系での測定結果を用いての検証結果が報告された。理論式から絶対流量を求めることは困難であるが、実験的に比例定数を求めておくことにより、

経時変化を監視することが十分可能であることが明らかにされている。

直浸型熱電対(SUS-Na、カットオフ周波数数kHz)ならびに電磁流量計それぞれについて相互相関関数によって算出される2検出器間での移行時間を求め、得られた配管内径方向のNa流速分布を計算値と比較することにより両手法の有用性を詳細に検討した研究報告⁽⁴⁹⁾によれば、直浸型熱電対によって得られた流速分布は計算値と良い一致を示すのに対し、電磁流量計によって得られた値は計算値に対して平坦化した分布を示すこと、したがって、電磁流量計に移行時間法を適用して得られる流速値は、その体系での流速分布を考慮して補正する必要があることが示されている。実験により得られた2検出器間の相互相関関数を用いた流速測定結果に検討を加え、測定誤差を減少させる方法を提案した報告もなされた⁽⁵⁰⁾。

実炉での測定結果、監視システムでは4件の報告があり、「常陽」MK-II炉心で測定された炉雑音データが解析され、中性子束雑音の発生主因が制御棒の流力振動であることが解明され、その振動モードも同定されている⁽⁵¹⁾。この成果は制御棒の防振機構の改良のために活用されている。

英国からはPFRの炉雑音解析結果が報告されており⁽⁵²⁾、中性子束雑音は設計時の予測値に対して十分小さいこと、ならびにその発生主因は集合体の流力振動であり、制御棒振動の寄与は小さいことが確認されている。

米国からはFFTFで稼働中のオンライン雑音監視システムならびにその測定結果が報告されている⁽⁵³⁾。同システム(ANSDS)はORNLで開発されたものであり、CPU、ディスク装置はFFTFのサイトにあるが、通信回線を介して1,000 km以上離れたORNLで出力情報の検討、ソフトの変更等ができるようになっている。

西ドイツとフランスの共同研究⁽⁵⁴⁾では、燃料の熱水力パラメータや冷却材温度測定用熱電対の時定数の測定に炉雑音手法と反応度ステップ応答法を適用し、両手法の適用可能範囲について検討している。データはKNK-IIとPhenixのものを使用し、両データについてシミュレーションによるパラメータスタディも実施している。

その他としては2件の発表があり、パターン認識手法をPhenixの音響信号に適用してキャビテーションによる発生音響の検出能力を実証した報告⁽⁴⁴⁾や、炉外Naループでのルースパーツ検出手法に関する実験の評価結果が報告されている⁽⁵⁵⁾。

(庄野 彰)

Ⅶ. お わ り に

原子炉雑音解析と異常診断技術の最近の進展, 動向についてSMORN-Ⅳで報告されたトピックスを中心に解説した。原子炉雑音から機器の健全性に関する情報を抽出することが可能なことは20年以上前から指摘されてきたことであるが, 電子計算機ならびに信号処理技術の進歩に伴ってこれが現実になってきている。ルースパーツ, バルブ, リーク, 安定性(BWR)などの各モータならびにセンサーの実装状態での監視技術⁽⁵⁶⁾は実用化段階からさらに進んで商品化段階に入りつつある。今後とも技術開発は各国で盛んに進められようが, その過程で重要視されている課題とそれに対処するためのアプローチにつき, 前章までに触れることができなかった項目も含めて以下に要約しておく。

- (1) 人工知能, エキスパートシステム等の新しい技術に寄せられた関心は論文題目などから想像されるよりはるかに高い。フランス, 米国などではこれらの技術の原子炉診断への応用を骨子とした本格的プロジェクトを発足させており, スウェーデン, オランダなどでもこれに次ぐ動きがある。このような方法の発展のためには人工知能向言語(PROLOG 等)処理系と数値計算向言語処理系とを効率的に結合することが必要である。フランスEDFではこのような基本的技術開発も積極的に進めているとのことである。
- (2) プラント監視診断系の方式については, 複数プラントの集中監視か, プラントごとの分散型監視かという議論がある。熟練技術者や計算機などのリソースの有効利用という意味では前者が, プラント固有の特性まで考慮したきめ細かい診断が可能という意味では後者が優れている。この問題についての結論は簡単ではなく現在は両方の試みが並行して進められている状況である。
- (3) 診断用信号処理へのマイクロプロセッサ応用の試みも種々なされている様子である。診断に必要な信号処理は小規模並列計算に向いておりその意味で機能分散型マルチマイクロプロセッサシステムの導入は自然であるが, ハード, ソフト両面でのフォールトトレラント化が今後の重要テーマであろう。診断技術や保守技術の進歩に伴いプラント機器サイドの信頼性が向上すればするほどこの問題の重要性は増大する。
- (4) 計算機関連技術の発展成果の導入とは別に, 炉雑音解析固有の理論や手法の開発も一層推進され

るべきであることはいうまでもない。この観点から, 非線形, 非定常炉雑音の解析と解釈に関する研究⁽⁵⁷⁾, 雑音の空間分布に関するモデル化の試み⁽⁴⁶⁾などの報告がわが国の研究者によりなされていることは喜ばしい。

以上述べたように, この分野での最近の進歩は著しいものがあるにもかかわらず挑戦を待つ新しい課題も次々と現れている。基礎, 応用のいずれの面でもわが国の研究が主導的な地位を占め始めているが, 今後とも一層の発展を期待する次第である。(北村正晴)

— 参 考 文 献 —

- (著者名と題名だけのものはすべてSMORN-Ⅳでの発表論文であり, *Progress in Nuclear Energy* (Pergamon Press) として刊行の予定となっている。)
- (1) 弘田実弥, 他: 原子力誌, 24[3], 188 (1982).
 - (2) OGUMA, R., TÜRKCAN, E.: Application of Multivariate Noise Analysis Methods to Investigation of Noise.
 - (3) LUX, I., *et al.*: Comments on Practical Applications of Autoregressive Signal Analysis to PWR Noise Data.
 - (4) KANEMOTO, S., *et al.*: Application of Autoregressive Modeling Techniques in BWR Noise Analysis.
 - (5) KISHIDA, K., *et al.*: Application of AR Model to Reactor Noise Analysis.
 - (6) KITAMURA, M., *et al.*: Development of Method for Analyzing Time-varying Characteristics of Power Reactor Noise.
 - (7) TÜRKCAN, E., KITAMURA, M.: Analysis of Time-varying Characteristics of Signal from Borssele Reactor.
 - (8) SAXE, R.F.: Time-domain Analysis of Reactor Noise Signals.
 - (9) KURODA, Y., *et al.*: Multivariate ARMA Modeling with Spline Functions for Reactor Noise.
 - (10) LEGUILLOU, G., *et al.*: Application of Artificial Intelligence to Detection and Diagnostics System Project Based on Noise Analysis.
 - (11) DUBUISSON, B., *et al.*: Computer Aided System Diagnostic with an Incomplete Learning Set.
 - (12) BRUNET, M., *et al.*: The "Pattern Recognition Instrument" as an Efficient Tool in the Field of the Permanent Surveillance of a Fast Reactor Core.
 - (13) KOSALY, G., SANCHES, R.: Calculation of "Seeing Length" of an Incore Neutron Detector in a BWR.
 - (14) ANTONOPOULOS-DOMIS, M., CHAZIATHANASIOU, V.: Effect of Space Dependent Feedback on the Detector Field of View.
 - (15) ANALYTIS, G. Th., LUBBESMEYER, D.: Utilization of Two-phase Flow Velocity in BWRs for Monitoring and Verification of Advanced Subchannel Analysis Code.
 - (16) LUBBESMEYER, D., ANALYTIS, G. Th.: Modeling the Source Term of Neutronic Fluctuations in BWRs by Synthetic Signals.

- (17) KLEISS, E.B.J., OOSTERKAMP, W.J.: Experience with In-core Neutron and Gamma Detectors for BWR Coolant Velocity Measurements.
- (18) BERGMAN, S.: Application of Noise Analysis for BWR Performance Monitoring and Diagnostics.
- (19) BLOMSTRAND, J.H., ANDERSSON, S.A.: Recording, Evaluation and Interpretation of Process Noise in ASEA-ATOM BWRs.
- (20) GRONDEY, G., *et al.*: Experience with an On-line Surveillance System.
- (21) ÅKERHJELM, F.: Reference Signatures Obtained during Depressurization of a BWR.
- (22) MARCH-LEUBA, J., SMITH, C.S.: Development of an Automated Diagnostic System for Boiling Water Reactor Stability Measurements.
- (23) GRIFONI, S., *et al.*: Core Stability in Operating BWRs.
- (24) DAMBORG, M.J., ALBRECHT, R.W.: Estimation of Internal Quantities of a BWR Core Using Information on the Exit Void Fraction.
- (25) SUDA, N.: A Review of Studies in Japan on BWR Dynamics by Model Based Noise Analysis.
- (26) IZUMI, S., *et al.*: Methods of Metallic Loose Parts Location and Impact Energy Estimation from Information on Reference Impact Sound.
- (27) TUNODA, T., *et al.*: Studies on Loose Parts Detection Technique.
- (28) OLMA, B.J.: Source Location and Mass Estimation in Loose Parts Monitoring of LWRs.
- (29) TSUNODA, T.: The Development of a BWR Safety-relief Valve Monitoring System.
- (30) FUJITA, K., *et al.*: Simulation Experiment of Loose Parts and Abnormal Vibration of Core Internals.
- (31) PUYAL, C., *et al.*: Parameters Used for the Detection and Localization of Loose Parts for French PWRs in Operation.
- (32) NAKAMURA, T., TERADA, M.: Development of Leak Monitoring System for Pressurizer Valves.
- (33) ROGET, J., *et al.*: Periodic Control and In-service Surveillance of Pressurizer Valves Tightness Using Acoustic Emission.
- (34) DAILEY, D.J., ALBRECHT, R.W.: In-core/Ex-core Neutron Noise Measurements to Examine Core Internal Vibrations in an Operating PWR.
- (35) BERNARD, P., *et al.*: Baffle Jetting; Potential Vibrational Phenomena and Neutronic Effects on In-core Detectors.
- (36) HORNE, G.P.: Recent Neutron Noise Experience at OCONEE Nuclear Station.
- (37) PUYAL, C., TRENTY, A.: Neutron Noise Observed on 900 MW and 1300 MW PWR Using In-service Surveillance Systems.
- (38) WEHLING, H.J., *et al.*: The Influence of Thermo-hydraulic Parameters on the Dynamic Behavior of KWU PWRs.
- (39) TÜRKCAN, E.: On-line Monitoring of a PWR for Plant Surveillance by Noise Analysis.
- (40) VALKO, J., *et al.*: Experiences with Noise Analysis at PAKS Nuclear Power Plant.
- (41) GUITTON, J.: "Electricite de France" Experience with PWRs Surveillance Techniques.
- (42) POR, G., IZSAK, E.: Some Results of Noise Measurements in a PWR Power Plant.
- (43) CARRE, J.C., *et al.*: Diagnosis of the Vibrational Behavior of PWR Internal Structures Combining the Expert Systems Technique with an Algorithm.
- (44) ABERLE, J., *et al.*: Noise Measurement during In-pile Blockage Experiment MOL 7 C/4.
- (45) LEGILLOU, G., BERLIN, C.: Boiling Detection Using Neutron Noise on French LMFBRs; State of the Art and Comparison with Tests Performed on Sodium Loops.
- (46) TAKEDA, T., *et al.*: Analysis of Root-mean-square Temperature Noise in FBR Wire-spaced Fuel Assembly with Local Blockage.
- (47) FIRTH, D.: An Analytical Solution for Temperature Noise in Two-dimensional Small-scale Turbulence.
- (48) ENDOU, A., *et al.*: Calibration Method of Electromagnetic Flowmeter for LMFBR Using RMS Frequency Weighted by Power Spectrum Density of Output Voltage Fluctuation.
- (49) REIMCHE, W., STAGEMANN, D.: Velocity Profile and Flow Measurements in Liquid Sodium by Signal Correlation of Fast Intrinsic Thermocouples and Electromagnetic Flowmeters.
- (50) PARENT, J.M.: Sodium Flow Evaluation by Analysis of Induced Fluctuations.
- (51) SHONO, A., *et al.*: Control Rod Vibration Analysis in JOYO MARK-II Core.
- (52) CROWE, D.S., LORD, D.J.: Reactivity Noise on the UK Prototype Fast Reactor.
- (53) MULLENS, J.A., THIE, J.A.: On-line Noise Monitoring at the Fast Flux Test Facility.
- (54) EDELMANN, M., *et al.*: Intercomparison of Noise Analysis and Perturbation Techniques for Measuring Fast Reactor Fuel Element Performance Characteristics.
- (55) MOELLERFELD, G.: Results of Loose Parts Monitoring Tests in LMFBR Structure.
- (56) JACQUOT, J.P., *et al.*: Surveillance of Nuclear Instrumentation by Noise Analysis.
- (57) KONNO, H.: Study of the Origins of Random Bursts and Anomalous Fluctuation Based on Model.