

解説

「運転上の制限の逸脱」とは何だろうか？

最近の運転上の制限の逸脱事象について

日本原子力技術協会 幅 聡

最近の原子力発電所のトラブル等の発表を見ると、「運転上の制限の逸脱を宣言しました」という内容が記載されていることが多々ある。「運転上の制限って何だろうか？どうして制限を逸脱して運転しても良いのだろうか？」と疑問に思う人も多いのではないだろうか。そこで、運転上の制限とは、どのようなことで、なぜ最近になって運転上の制限を逸脱する事象が多く発生しているのか。また、どのような系統、設備、機器の故障によるもので、その原因が何であるのか等について分析した結果を紹介する。

Ⅰ. 運転上の制限とは

事業者は原子力発電所を運用するために、運転管理、保守管理、燃料管理、緊急時の処置などの遵守すべき基本的事項を保安規定に定めている。この保安規定の中に、安全機能を確保するために必要な動作可能機器等の台数や原子炉の状態ごとに遵守すべき温度・圧力等の制限が定められており、これを「運転上の制限」(LCO: Limiting Conditions for Operation)という。保安規定に定められている機器等に不適合が生じ、一時的にLCOを満足しない状態が発生すると、事業者はLCO逸脱を宣言し、あらかじめ定められた時間内に当該機器を復旧させるか、それができない場合は原子炉を停止させるなどの措置を講ずることとしている。これを遵守していれば、LCO逸脱がそのまま保安規定違反に該当するというものではない。なお、これまでLCO逸脱から直接安全上重要な事象に至ったものはない。

Ⅱ. 最近のLCO逸脱事象

1. LCO逸脱事象の概要

(1) 分析データ

LCO逸脱事象の分析は、日本原子力技術協会が事業者の協力のもとで運営している「原子力施設情報公開ライブラリ」[<http://www.nucia.jp/>] (以下「ニューシア」という)を用いて行った。ニューシアには、国内の原子力発電所のトラブル等情報^{a)}が登録されている。

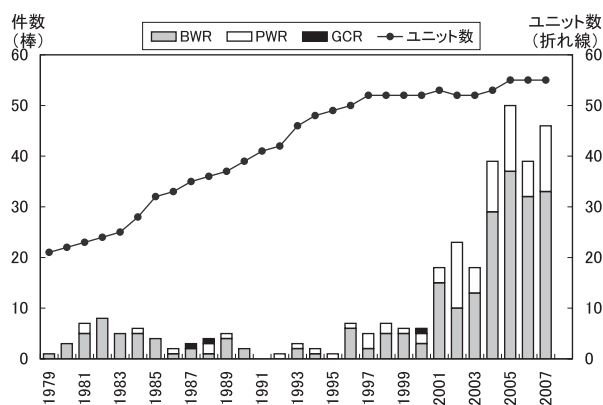
LCO逸脱事象の分析については、ニューシアのトラブル等情報詳細検索を使い、LCO逸脱の有無を選択することにより、2008年3月末までに発生したトラブル等

情報(約3,000件)から、LCO逸脱事象(321件)を抽出した。この件数は、全トラブル等情報の約11%に相当する。

(2) 発生件数の推移

第1図にLCO逸脱事象の発生件数の推移を示す。これを見ると、2001年度に増加し、さらに2004年度に急増している。この理由として、以下の点が考えられる。

1999年9月に発生したJCO臨界事故を契機に、同年12月に原子炉等規制法が改正(2000年7月施行)され、原子炉施設保安規定の遵守状況の検査を行う保安検査制度の導入や米国原子力規制委員会の標準技術仕様書を参考とした保安規定の改正(LCOを適用する対象設備とその制

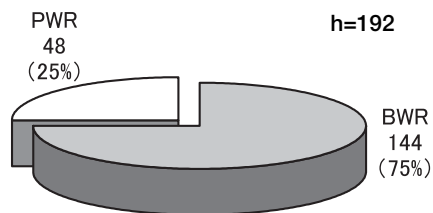


第1図 LCO逸脱事象の発生件数の推移

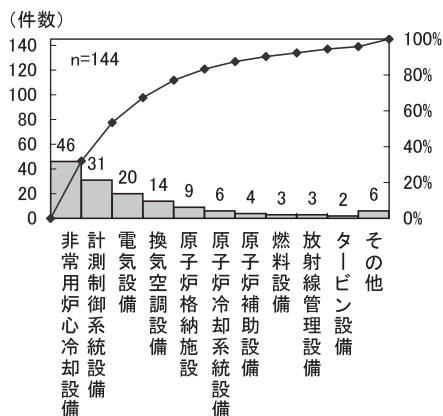
^{a)} 原子力施設の故障が原因で原子炉停止や基準を超える放射性物質が漏えいした場合など、法令に基づき国への報告が必要となる事象を「トラブル」と呼び、トラブルの内容や原因・対策などを「トラブル情報」と呼んでいる。また、ニューシアでは、機器・配管の小さな傷など、国へ報告する必要のない軽微な事象のうち、保安活動向上の観点から情報共有化することが有益な情報を「保全品質情報」として登録している。これらの「トラブル情報」と「保全品質情報」とを合わせて、「トラブル等情報」と呼んでいる。

What is the Deviation from Limiting Conditions of Operation? : Satoshi HABA.

(2009年 2月9日 受理)



第2図 炉型別件数の比較



第3図 BWRの特徴(設備別)

限条項の倍増(例：計測制御系統設備等を追加))等がなされた。その後、東京電力の自主点検作業記録に係る不正問題の発生を受け、2002年12月に電気事業法および原子炉等規制法が改正(2003年10月施行)され、原子力安全規制の抜本的な強化が図られた。その内容は、品質保証体制・保守管理活動の強化、事故・故障等の報告基準の明確化等である。

これらの要因により、最近5年間(2003～2007年度)のLCO逸脱事象(192件)が全トラブル等情報(約850件)に占める割合は、約23%に増加した。以降は、この5年間のデータを基に分析を行った。

(3) 炉型別件数の比較

LCO逸脱事象の炉型別件数の比較を第2図に示す。これより、BWRとPWRの比率は3：1の割合でBWRが多い。また、BWRとPWRのユニット数の違いを考慮してもBWRの方が多く、次に、BWRとPWRの炉型別の特徴について調査・分析を行った。

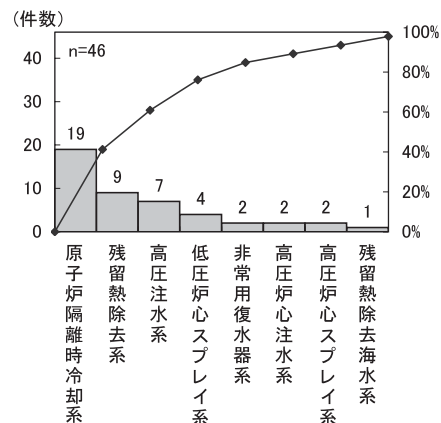
2. BWRの特徴

BWRの設備別のLCO逸脱件数を第3図に示す。非常用炉心冷却系設備32%、計測制御系統設備22%、電気設備14%の順に多く、これらで67%を占めている。

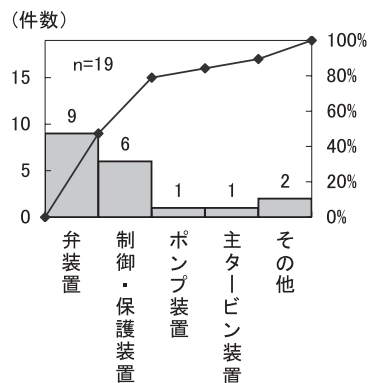
以下、これらの3つの設備について分析する。

(1) 非常用炉心冷却設備

最も多い非常用炉心冷却系設備について、その系統別内訳を第4図に示す。原子炉隔離時冷却系^{b)}41%、残留熱除去系20%、高圧注水系15%の順に多く、これらで76%を占めている。そこで、最も多い原子炉隔離時冷却系について分析を行った。



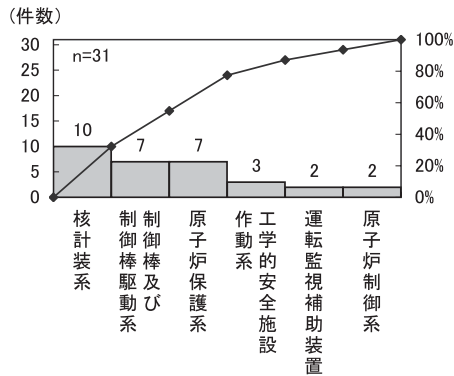
第4図 BWR[非常用炉心冷却設備]の系統別内訳



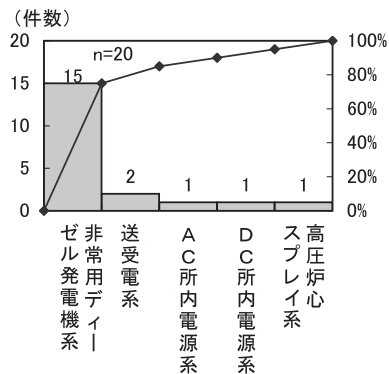
第5図 原子炉隔離時冷却系の装置別内訳

原子炉隔離時冷却系の装置別内訳を第5図に示す。弁装置と制御・保護装置の不適合が多い傾向にある。しかしながら、弁装置では特定の弁に不適合が頻発しているわけではなく、ランダムに発生している。ただし、その原因は取付け不良等の保守不完全が多い。次に、制御・保護装置について調べた結果、電源ユニット内の抵抗の断線事象が3件発生している。原因は当該箇所の温度環境(100℃以上)と部品の品質のバラツキにより劣化が早まったものと推定されている。この抵抗は、制御装置(電源ユニット含む)とともに海外メーカー製のものであり、すでに製造中止となっている。また、同メーカー製の制御装置を使用している高圧注水系でも同様の事象が発生している。そのため、事業者は計画的に制御装置を代替品に交換することとしており、早期の更新による信頼性向上が望まれる。原子炉隔離時冷却系ポンプはタービン駆動であるため、原子炉起動後の原子炉蒸気を通気して初めて試運転を行う。このため試運転で発生した不

^{b)} 原子炉隔離時冷却系は、なんらかの原因で通常の原子炉給水系が使用不可となり、原子炉水位が低下した場合等に、原子炉蒸気を駆動源にしてポンプを回し、原子炉の水位確保および炉心冷却を行う系統である。ABWRでは非常用炉心冷却設備に、それ以外のBWRでは原子炉冷却系統設備に分類されているが、ニューシアではまとめて非常用炉心冷却設備に分類している。



第6図 BWR[計測制御系統設備]の系統別内訳



第7図 BWR[電気設備]の系統別内訳

適合により LCO 逸脱となってしまうことが多い。これが BWR の LCO 逸脱件数が多い要因の一つと考えられる。

（2）計測制御系統設備

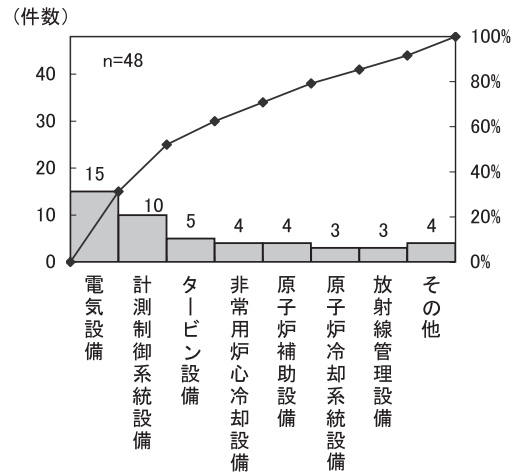
計測制御系統設備の系統別内訳を第6図に示す。核計装系32%、制御棒および制御棒駆動系23%、原子炉保護系23%となっており、これらで77%を占めている。計測制御系統設備に共通しているのは、電子部品や半導体部品（基板等）の故障であり、約半数を占めている。原因不明や偶発的な原因も多いことから、類似のトラブル等情報の収集・分析に努め、交換頻度の見直しなどの対策につなげることが望まれる。

（3）電気設備

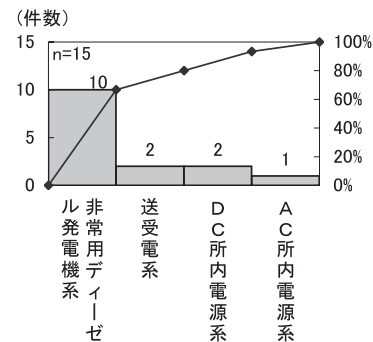
電気設備の系統別内訳を第7図に示す。非常用ディーゼル発電機系が全体の76%を占めており最も多い。非常用ディーゼル発電機系の設備は、PWR も BWR と同様であり、LCO 逸脱件数も多いため、BWR と PWR を合わせて分析した結果を後述する。

3. PWR の特徴

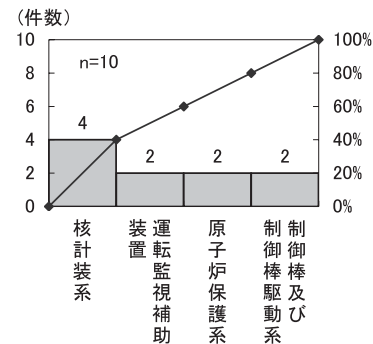
PWR の設備別の LCO 逸脱件数を第8図に示す。電気設備31%、計測制御系統設備21%の順に多く、それ以外は5件以下で大きな差はない。電気設備の系統別内訳を第9図に示す。非常用ディーゼル発電機系が全体の67%を占めており最も多いため、BWR と合わせて分析を行った。計測制御系統設備の系統別内訳を第10図に示す。



第8図 PWR の特徴 (設備別)



第9図 PWR[電気設備]の系統別内訳



第10図 PWR[計測制御系統設備]の系統別内訳

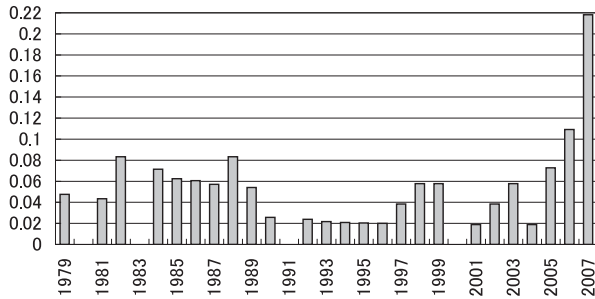
す。核計装系がやや多いが発生件数は4件のみであり、特に顕著な傾向はみられない。

4. 非常用ディーゼル発電機系の LCO 逸脱事象

非常用ディーゼル発電機系は、2000年の法律改正以前から LCO 逸脱の対象設備である。また、BWR/PWR の炉型に関係なく同様の設備であり、第7, 9図のとおり多く発生している。そこで、分析対象データを2003年度以前もすべて含めて分析することとした。ユニット当りの発生件数の推移を第11図に示す。2006年度から2007年度にかけての発生件数は特に増加しており、それらの要因も含めて調査・分析を行った。

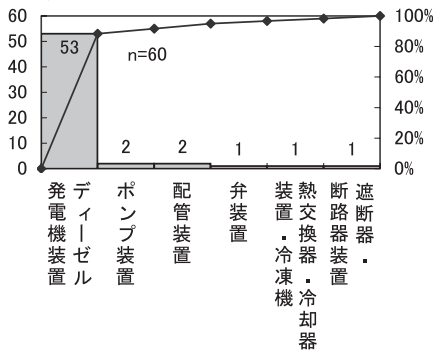
非常用ディーゼル発電機系の装置別内訳を第12図に示すが、ディーゼル発電機装置が88%と大半を占めてい

(件数/ユニット数)



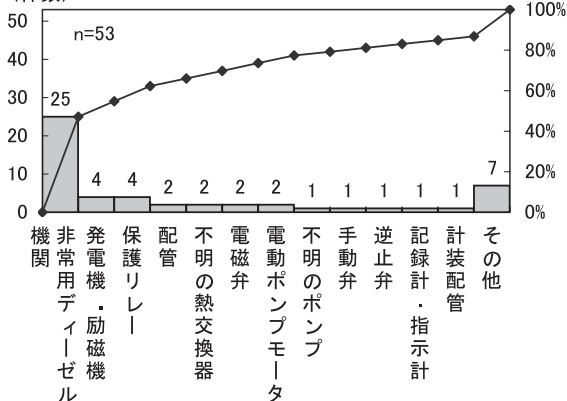
第11図 非常用ディーゼル発電機系における
LCO 逸脱発生件数の推移

(件数)



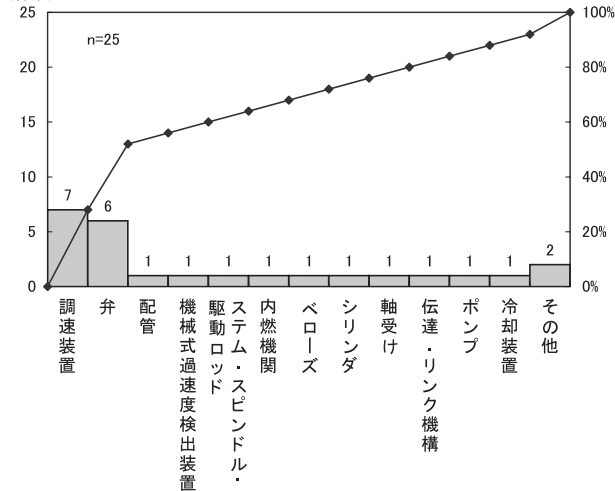
第12図 非常用ディーゼル発電機系の装置別内訳

(件数)



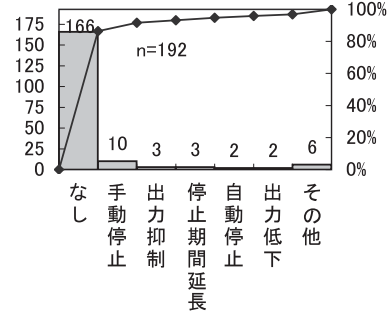
第13図 ディーゼル発電機装置の機器別内訳

(件数)



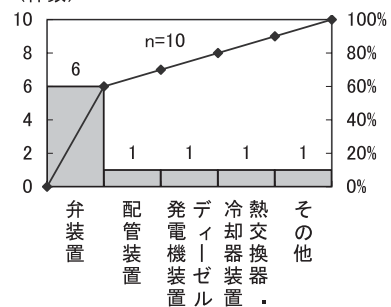
第14図 非常用ディーゼル機関の部品別内訳

(件数)



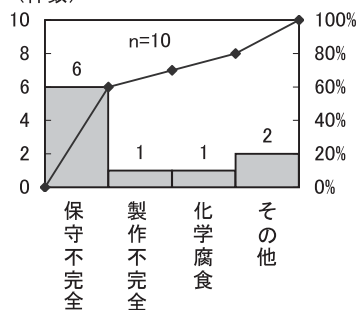
第15図 LCO 逸脱事象の発電所への影響

(件数)



第16図 手動停止事象の装置別内訳

(件数)



第17図 手動停止事象の原因別内訳

る。ディーゼル発電機装置の機器別内訳(第13図)をみると、非常用ディーゼル機関が47%を占めている。さらに、非常用ディーゼル機関の部品別内訳(第14図)をみると、調速装置28%、弁24%となっている。調速装置の不適合7件の具体的な内容を確認したところ、経年的な応答性の低下(出力の追従が円滑でない等)によるものが4件発生していることがわかった。今後は、経年変化にも着目した点検計画・内容の充実が望まれる。また、弁の不適合6件の具体的な内容を確認したところ、締付不良、異物混入、作業者の過失等、作業上の不適合が多く、その再発防止対策は手順書の改訂などのソフト改善のみにとどまっているものも多い。専門的な知識・技術・技能を養成する総合的な教育・訓練、管理強化等による対策が望まれる。また、世代交替が進む中、技術伝承にも力を入れる必要がある。

5. LCO 逸脱事象の発電所への影響

LCO 逸脱からの復旧のために、発電所へ影響を及ぼした事象の割合を第15図に示す。これより、91%が発電所の出力への影響を及ぼさなかったもの(なし、停止期間延長、その他)であり、7%が影響を及ぼしたもの(手動停止5%、出力抑制2%)で、残りの2%は他の要因で自動停止および出力低下し、LCO 逸脱となったものである。このうち手動停止に至った事象10件中の6件が弁に関するもの(第16図)であり、原因別では保守不完全によるもの(第17図)である。これらは作業不備や異物混入等の作業上の不注意で発生していることから、より厳格な作業管理の徹底により、トラブル等の未然防止に努めていくことが望まれる。

Ⅲ. ま と め

最近のLCO 逸脱事象の発生件数は、法律改正による対象設備の増加等により、2004年度に増加して以降、ほぼ横ばいになってきている。

LCO 逸脱事象で、特に多く発生している系統は、BWRは原子炉隔離時冷却系であり、BWRとPWR共通は非常用ディーゼル発電機系である。

原子炉隔離時冷却系では、弁装置の取付不良等の保守不完全によるものや、制御装置内の電源ユニットの不適合が多数発生している。

非常用ディーゼル発電機系統では、調速装置の経年変化による応答性の低下や、弁の保守不良等による不適合事象が多数発生している。

LCO 逸脱事象の全体の傾向として、原因が保守不完全など、人が関与する不適合が多いことから、以下のことがいえる。

機械設備については、トラブル等の再発・未然防止のために、設備改良および手順書等の充実などが行われているが、主に手順書の改訂等の対応に期待する傾向がある。このため、再発・未然防止をより確実なものとするために、専門的な知識・技術・技能の養成に加えて、いわゆる勘所を養うことも重要であり、それらを踏まえた総合的な教育訓練を行っていくことが必要である。

電気設備・計装設備については、技術進歩が著しいため、製造中止情報の収集と計画的かつ迅速な対応を図っていくことが必要である。

今回調査対象としたLCO 逸脱事象の91%は、発電所の出力に影響を及ぼさない事象であり、定められた時間内で復旧している。また、手動停止に至った事象は、復旧のために適切に原子炉を停止しており、現在までに直接安全上重要な事象に至ったものはない。

しかしながら、原子力発電所の安全性の裕度を高め、信頼性の向上を図っていくために、LCO 逸脱件数を減らす様々な努力を継続して行っていく必要がある。今後もLCO 逸脱事象に着目し、再発・未然防止を実現していくことは、原子力発電所の安全安定運転に極めて重要である。

著 者 紹 介

幅 聡(はば・さとし)



日本原子力技術協会
(専門分野/関心分野)トラブル等情報の傾向分析、根本原因分析、自主保安体制推進活動の支援業務に従事。