

原子力発電所における火災事象の傾向分析

Trend Analysis of Fire Events at Nuclear Power Plants

島田 宏樹 (Hiroki Shimada) *

要約 海外(1995～2005年)と国内(1966～2006年)の原子力発電所で発生した火災の不具合について傾向分析を行い、両者の比較を行った。これは原子力安全システム研究所(以下「INSS」という)の原子力情報データベースに登録されている海外原子力発電所不具合事象から、1995～2005年の11年間の災害に関する不具合事象(暴風、豪雨、地震、津波、火災等)を抽出したところ、火災が最も多く発生していることに着目したためである。火災の不具合事象における故障原因別、プラントへの影響別、国内の発生件数との比較等の分析を行った。その結果、海外、国内とも電流過熱、電気アークなどの電気火災が全体の約半分を占めており、電気設備の保守管理が火災防護上最も重要であることが判った。また、ユニット1基当たりの年間火災発生件数から見ると、作業火災は海外と国内ほぼ同じであるが、設備自体の火災は国内では海外の約1/4と少ない。これは、海外、国内共に火気を使用する作業の管理は同程度であるが、設備については保守方法の違いによる差異が出ていると推定される。

キーワード 原子力発電所、災害、火災、傾向分析、作業火災、火災防護

Abstract We performed trend analyses to compare fire events occurring overseas (1995—2005) and in Japan (1966—2006). We decided to do this after extracting data on incidents (storms, heavy rain, tsunamis, fires, etc.) occurring at overseas nuclear power plants from the Events Occurred at Overseas Nuclear Power Plants recorded in the Nuclear Information Database at the Institute of Nuclear Safety System (INSS) and finding that fires were the most common of the incidents. Analyses compared the number of fires occurring domestically and overseas and analyzed their causes and the effect of the fires on the power plants. As a result, we found that electrical fires caused by such things as current overheating and electric arcing, account for over one half of the domestic and overseas incidents of fire, which indicates that maintenance management of electric facilities is the most important aspect of fire prevention. Also, roughly the same number of operational fires occurred at domestic and overseas plants, judging from the figures for annual occurrences per unit. However, the overall number of fires per unit at domestic facilities is one fourth that of overseas facilities. We surmise that, while management of operations that utilizes fire is comparable for overseas and domestic plants, this disparity results from differences in the way maintenance is carried out at facilities.

Keywords nuclear power plant, incident, fire, trend analysis, utilize fire, fire prevention

1. はじめに

原子力発電所では火災によって直接、重大事故や炉心溶融事故に至る事はないが、間接的には電気ケーブルの損傷による計測制御の欠落、機器の誤動作や電源の喪失等により重大な事故に発展する可能性がある。世界的には1975年3月の米国 Browns Ferry 発電所1号機や1993年3月のインド Narora 発電所1号機で火災が発生し、心配されたが幸い重大な事故にはならなかった。しかし、こうしたこと

も踏まえて、我が国では原子力発電所の火災防護としての規制が整備され、1980年に原子力安全委員会が「発電用軽水型原子炉施設の火災防護に関する審査指針」を決定し、1986年には民間指針 JEAG4607「火災防護指針」が策定された。以後それらに準拠して原子力発電所の設計が行われており、これまで火災による大きな事故は発生していない。しかしながら、電気設備の発火や作業に伴うボヤなどはかなりの頻度で発生している。また、原子炉格納容器やタービン建家以外の管理区域での火災も無視できな

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

い。更にそう多くはないが、火災に伴う人的被害も発生している。こうした状況を考慮し、海外と国内の原子力発電所における火災事象の発生傾向などを分析した。

INSSでは、継続的に海外の原子力発電所の不具合情報を入手し、その情報で述べられている内容から得られる教訓の中で、国内の原子力発電所（主に加圧水型炉（PWR））で対策を必要とする項目がないか分析し、必要により提言まで行っている。

本研究では海外と国内の原子力発電所における火災事象について傾向分析を行い、今後の火災防護上、教訓となることはないかについて検討した。特に、（1）火災発生個所（設備自身と作業火災）、（2）プラント運転状況とプラントへの影響、（3）人的被害、（4）火種と燃焼した可燃物、（5）火災原因、（6）消火活動について詳細に分析し、海外と国内の比較を行った。また、特に米国原子力規制委員会の報告書⁽¹⁾については別に調査し、国内の火災事象との比較も行った。

2. 傾向分析

2.1 原子力発電所の火災事象分析

2.1.1 分析対象とその抽出

海外の原子力発電所について、INSSの原子力情報データベースに登録されている1995～2005年（11年間）の事象のうち、災害対策基本法に明記されている災害（暴風、豪雨、豪雪、洪水、高潮、地震、噴火、火災、爆発、津波、落雷）をキーワードとして不具合事象を抽出した。不具合発生件数の結果を図1に示す。その中では火災が全体の65%を占め、最も多い。海外原子力発電所における火災事象の不具合件数は合計167件でその内訳は、米国125件、英国10件、ウクライナ6件、仏5件、カナダ3件、ハンガリー3件、ベルギー3件、その他12件であり、これを分析した。

また、国内の原子力発電所について「火災、爆発、火傷」のキーワードで、原子力施設情報公開ライブラリー（NUCIA）⁽²⁾に掲載されている国内トラブル情報検索を行った結果、1966年から2006年までに51件の報告が抽出された。このうち原子力発電所における火災事象の不具合は43件であり、これについて分析した。

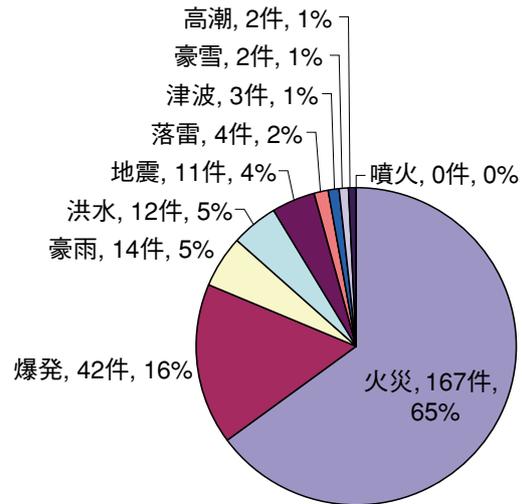


図1 災害に関する海外原子力発電所不具合事象の発生割合

2.1.2 火災発生個所

海外の原子力発電所で、実際に火災が発生した不具合（167件）の火災発生個所の分類を図2に示す。この図から見て設備自体の火災が約76%、作業火災（溶接、切断等）が約16%を占めている。設備自体の火災では、変圧器火災が最も多く、内部故障等により破裂して絶縁油火災に至るケースがほとんど全てであり、国内原子力発電所では経験がない事象である。全体として主に電気設備で発生している。また2番目に多く保温材火災が発生しており、これは含油設備からの油漏れにより周辺保温に油がしみこんで配管熱等により自然発火したものである。作業火災は、火気を使用する溶接、切断等で発生する火種により、周辺の可燃物に引火したものである。

国内の原子力発電所で発生した火災（43件）の火災発生個所分類を図3に示す。設備自体の火災は約40%を占め、電源盤、制御盤に最も多く（7件）発生しており、次に保温材火災となっているが、これは変圧器、モータを除けば海外と同じ傾向にある。盤火災は海外、国内共に外部要因による影響で電気部品（コイル、コンデンサ等）が発火したものが多く、経年劣化だけではないことが特徴である。作業火災は約48%を占め、海外と同じくほとんど全てが溶接、切断等による火災である。

火災発生個所において、海外（主に米国）が国内に比べて作業火災割合が少ない理由は、保守方法の見直しにより信頼性重視保全手法が導入⁽³⁾され、状

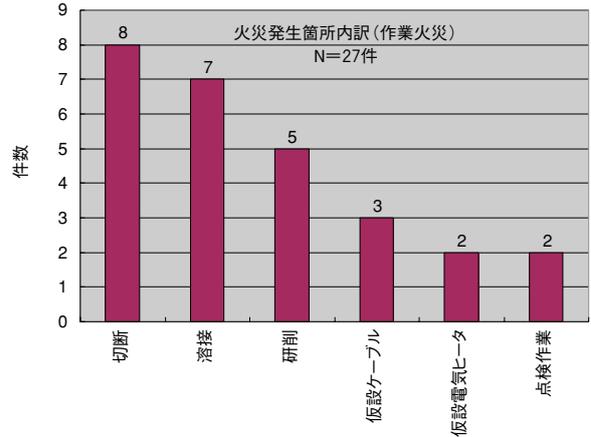
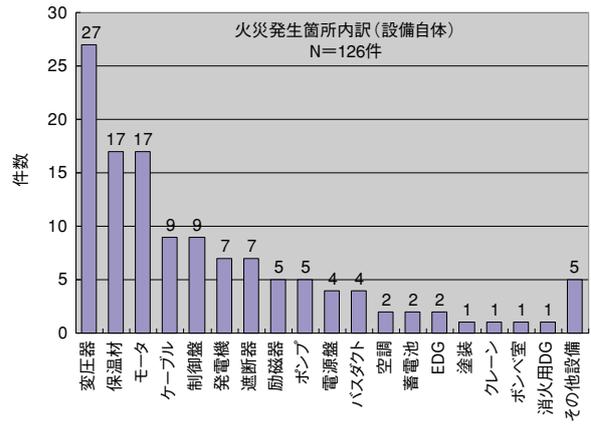
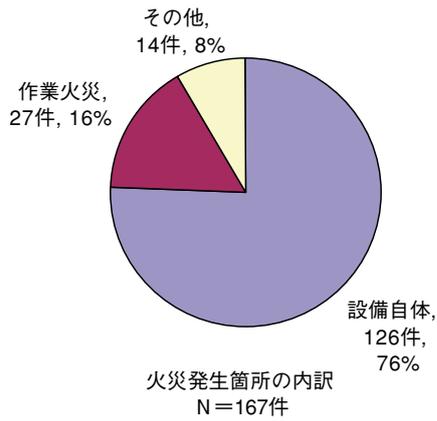


図2 海外原子力発電所の火災発生箇所の分類

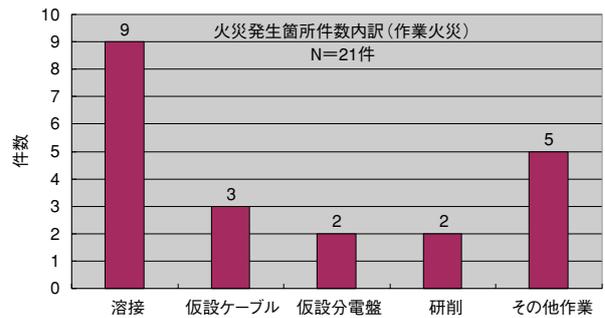
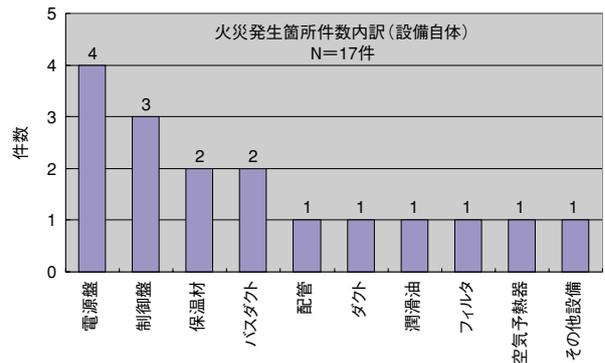
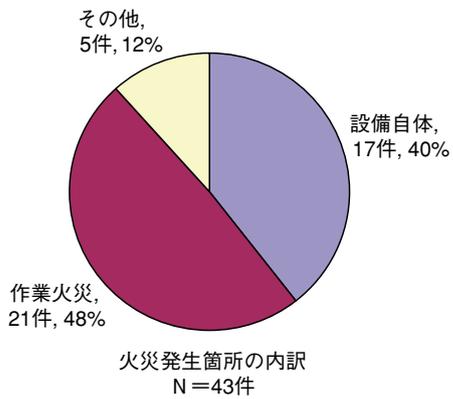


図3 国内原子力発電所の火災発生箇所の分類

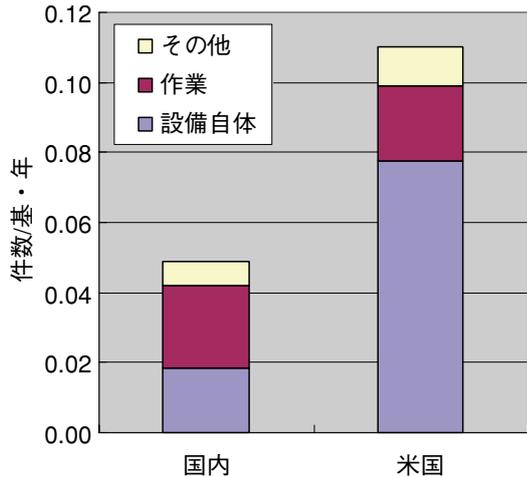


図4 ユニット（1基・年）の火災発生件数

態基準保全を優先し、時間計画保全の作業量を減少させることにより作業による故障率を減らしてきた経緯があり、以前に比べると作業量自体減ったことが関与していると推定できる。また、海外で設備火災が多く、特に変圧器火災が多発している一因には状態基準保全の導入により、変圧器、回転機（モータ、ポンプ）に点検周期を定めない発電所が有ること等から保守不良が推定できる。逆に国内では、主

に時間計画保全により定期的に点検が実行されるために、経年劣化による火災が非常に少ないことが影響していると推定できる。

図4にユニット1基当たりの年間火災発生件数（国内は54基、海外は全体の75%が米国のため103基とし、期間は1995～2005年（11年間）のデータ）を示す。国内の発生件数は海外の約1/2であり、作業火災についてはほぼ同じであることが分かる。これは、海外、国内共に火気を使用する作業管理が同程度であることが伺える。また、設備自体の火災は海外の約1/4であり、時間計画保全の良さを示していると考えられる。

2.1.3 火災発生時のプラント運転状況およびプラントへの影響

海外の原子力発電所において火災発生時のプラントへの影響を図5に示す。海外では運転中の火災が約51%を占め、設備の火災が多いことが特徴である。運転中に保守を実施しているが、運転中の作業火災は非常に少ないと言える。火災による運転中プラントへの影響については、変圧器等の主電源が喪失することなどにより約44%が原子炉トリップに

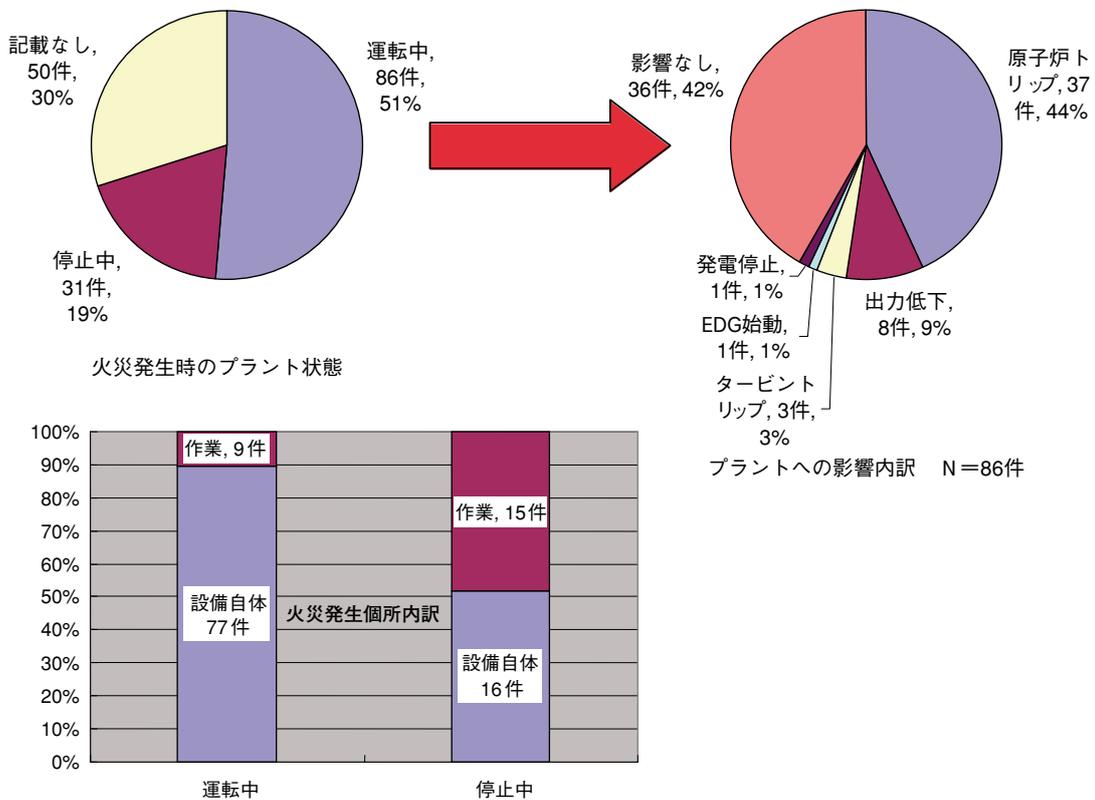


図5 火災発生時のプラントへの影響（海外）

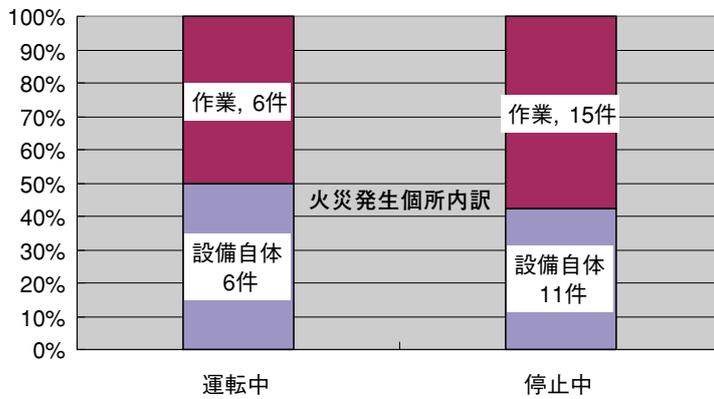
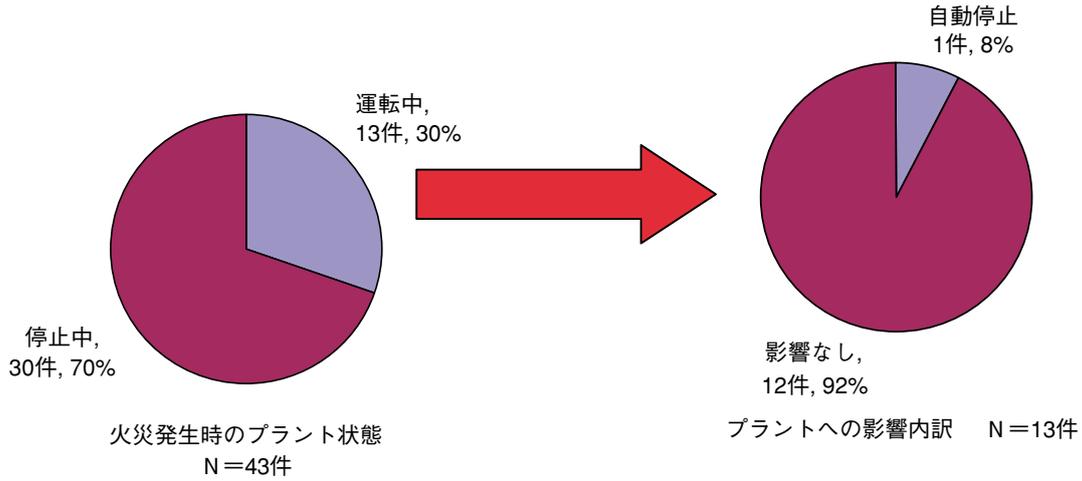


図6 火災発生時のプラントへの影響（国内）

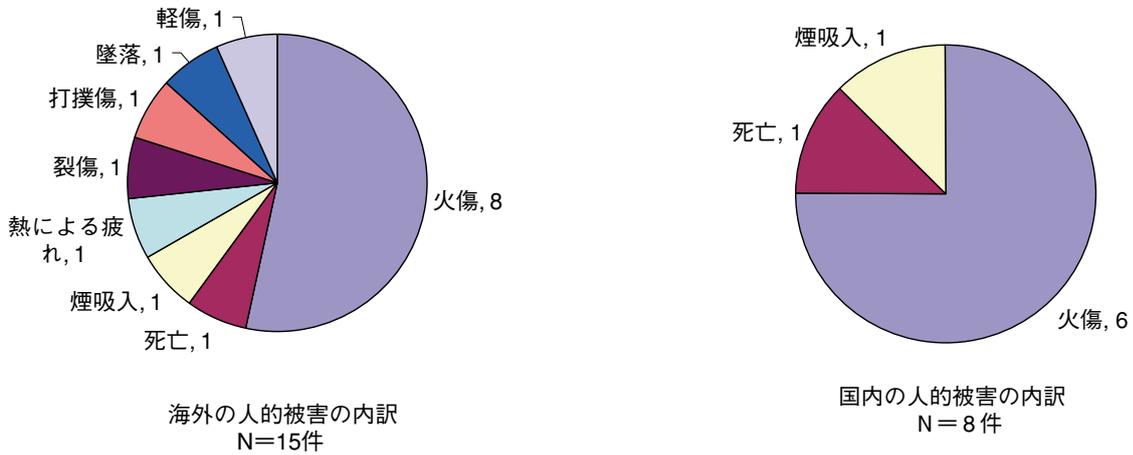


図7 火災による人的被害の分類

至っており、その影響が非常に大きいことが分かる。国内の火災発生時のプラントへの影響を図6に示す。海外とは逆に停止中の火災が約70%を占め、海外に比べ作業火災割合が非常に多いことが特徴である。また、運転中の火災は30%で、主に電気盤内の部品損傷やケーブル損傷による小火災であり、プラントに影響するような重要設備の火災は1件（1967年、

東海2号、ガス循環機室潤滑油フィルター油噴出火災）のみである。

2.1.4 火災による人的被害

原子力発電所における火災による人的被害の分類を図7に示す。海外では15件（全体の9%）の人的

被害が発生し、約半分が火傷である。死亡1件（切断火花が作業服に引火）を含んでいる。

国内では8件（全体の19%）の人的被害が発生し、その多くが火傷で、死亡事故は1件（熱油による全身火傷）であるが、発生割合を考慮すると国内の方が人的被害に関して注意し、対策を立てる必要があると考える。また、海外の人的被害は作業および消火活動時に発生しており、作業による火災発生原因は保守不良（計画不良又は作業者過誤）によるもので、作業管理が非常に重要であり、更に、後述する消火活動に関する分析から、自衛消防隊の十分な消火訓練実施が肝要であることが分かる。

2.1.5 火種および燃焼した可燃物

原子力発電所の火災事象について火種の分類を図8に示す。海外では電流過熱（短絡、地絡等による大電流、回路の接触抵抗増加）、電気アークなどの電気に起因する火種が全体の53%を占め、国内もこれによく似ていることから、作業工具を含めた電気設備の保守管理が火災防護上、重要であることが分かる。また、作業で使用する溶接機等の作業工具に起因する火種の種類は同じであるが、割合は海外（6%）、国内（20%）と国内の方が多いことが特徴である。これは火気を使用する作業では、海外（米国）においては火災に関する教育・訓練を受けた者を選任し監視させている事に対し、国内では請負仕様書

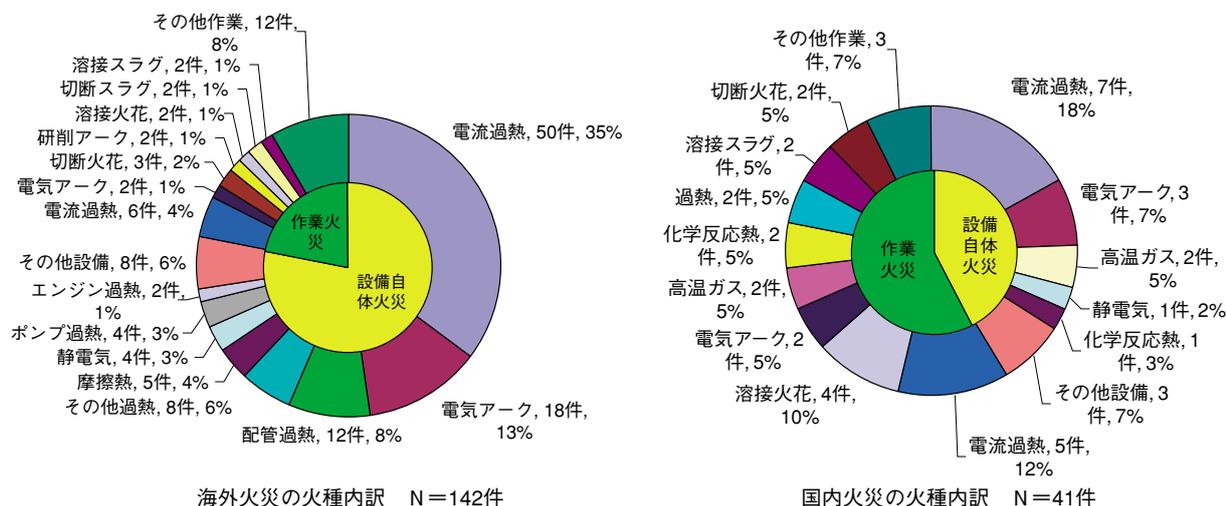


図8 火災の火種分類

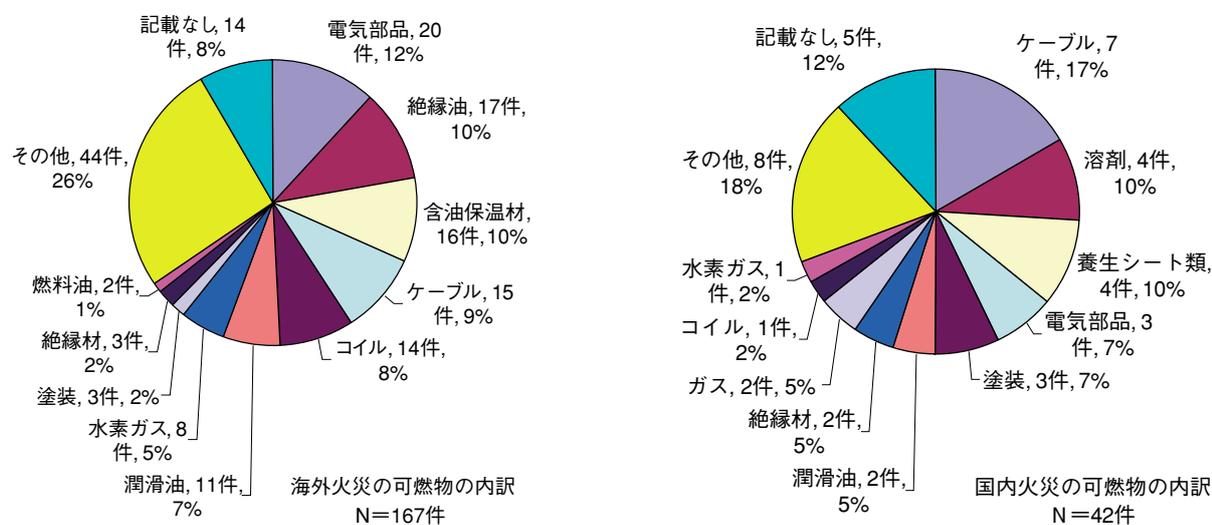


図9 火災の可燃物分類

により作業工具や材料により有資格者を専任して管理しており、火災専任の監視者がいない事が影響していると考えられる。

次に火災で燃焼した可燃物の分類を図9に示す。海外では、火災発生個所に電気設備が多いことから、可燃物のうち電気部品（ケーブル、コイルを含む）が全体の約29%で最も多く、また変圧器の絶縁油、油配管の含油保温材などの油関連設備で多発していることが特徴である。国内では、作業用材料（溶剤、養生シート、塗料）が全体の約27%を占め、次に電気部品に多い。これは前出のように、作業火災が設備自体の火災よりも多いことと符号している。

2.1.6 発生個所（設備自体および作業火災）の火災原因

原子力発電所火災発生個所（設備自体、作業火災）別の原因分類⁽⁴⁾を図10に示す。設備自体の原因内訳では、運用（保守不良、運転不良）および設備

（設計、製造、施工不良、経年劣化）に関する原因がほぼ半分ずつを占めており、差異として海外では「運用>設備」に対して国内では「運用<設備」になっている。作業火災の原因内訳では、運用に関する原因が海外、国内共に約90%以上を占め、よく似ている。次に設備自体別の原因分類を図11に示す。設備に関する原因については海外が「経年劣化」が全体の約53%を占め、これに対して国内では「設計不良」が約55%を占め、経年劣化は9%しかない。これは国内では時間計画保全により劣化するまでに修理又は取替が実施されているためと推定できる。また、運用に関する原因については海外で運転不良が8%を占めているがそれ以外は全て海外、国内共に保守不良（計画不良と作業員過誤）が原因になっている。

次に作業火災別の原因分類を図12に示す。運用に関する原因内訳は全て保守不良であり、海外、国内共に全体の約90%を計画不良と作業員過誤で占め、酷似しており、作業管理が非常に重要であることが分かる。

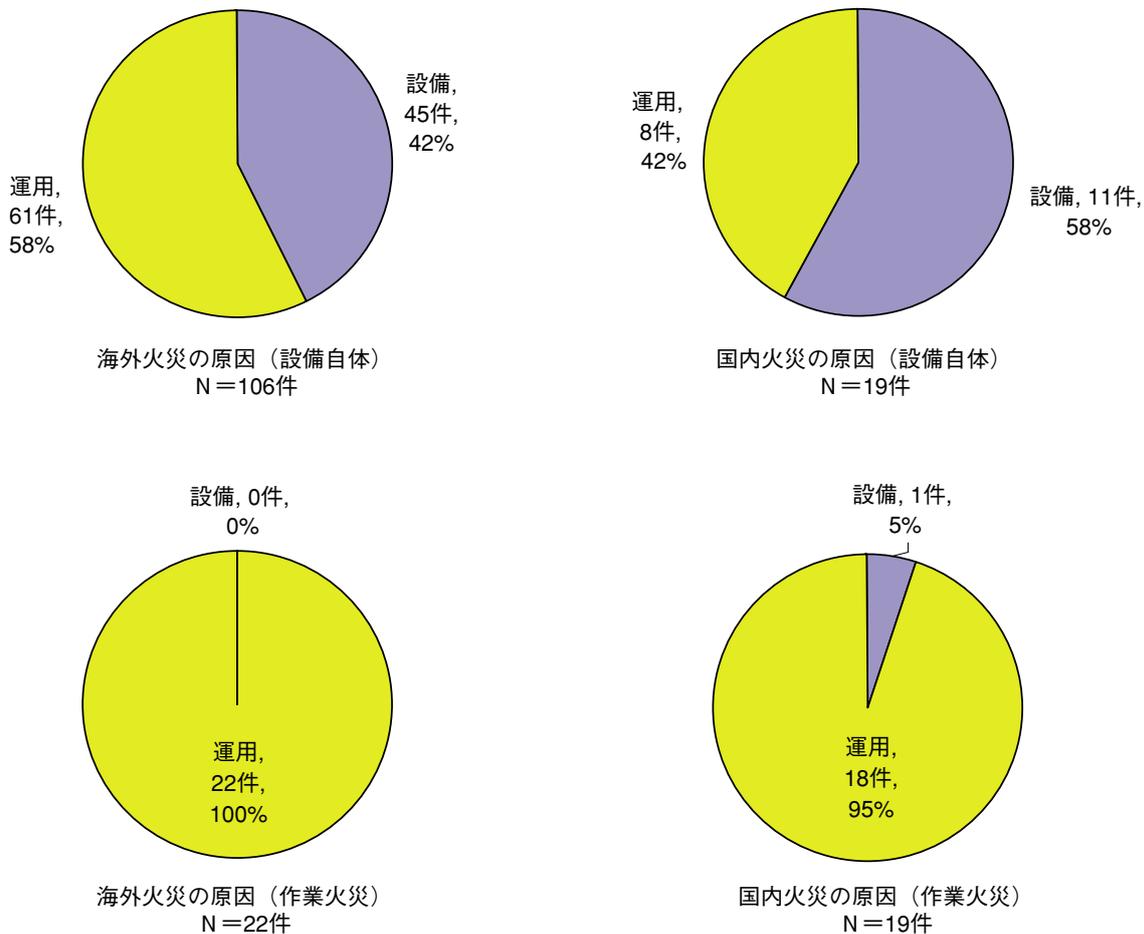


図10 海外と国内火災の原因分類（設備自体と作業火災）

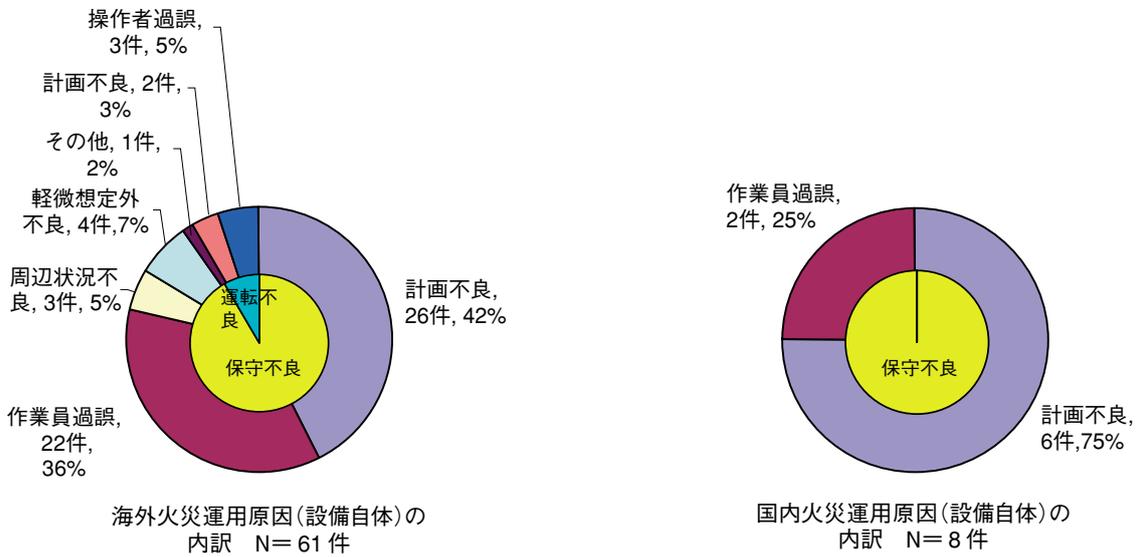
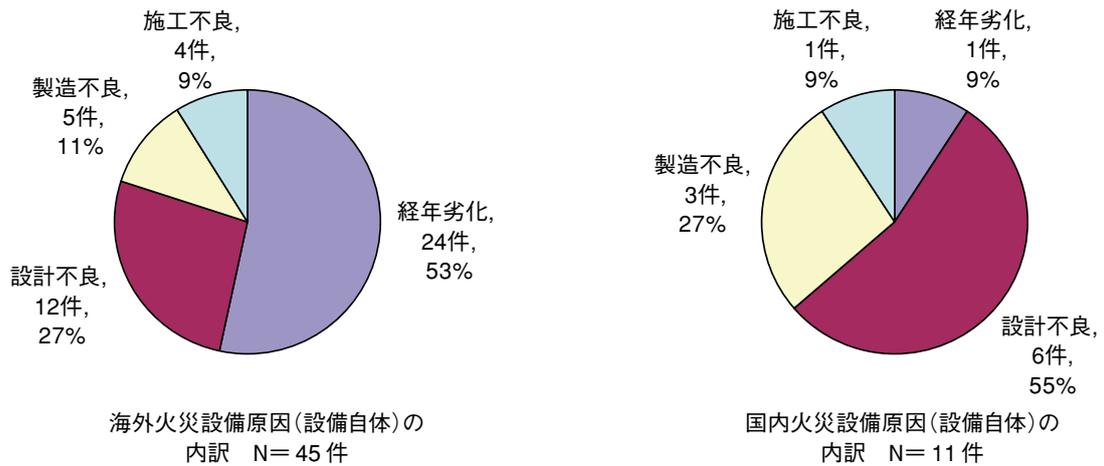


図 11 海外と国内火災（設備自体）の原因分類

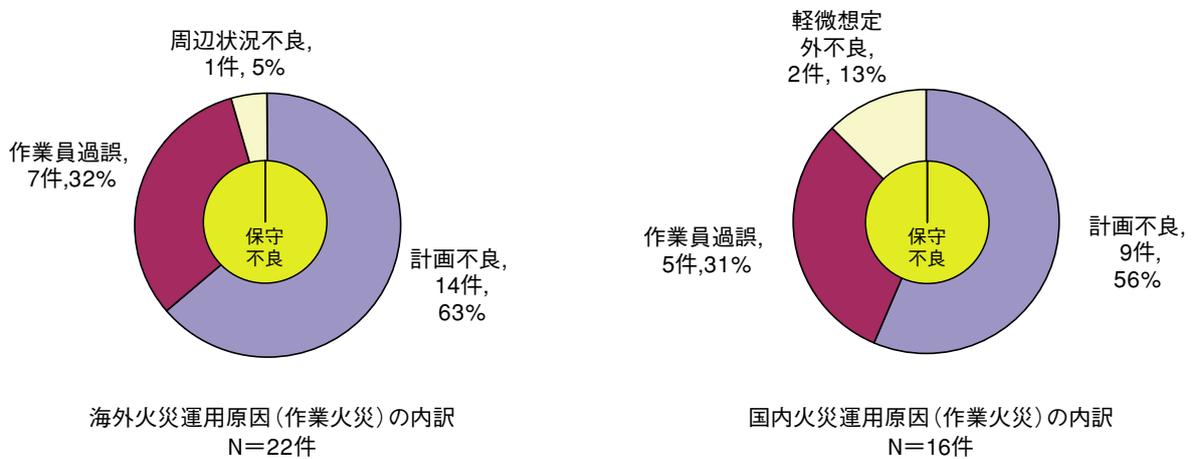


図 12 海外と国内火災（作業火災）の原因分類

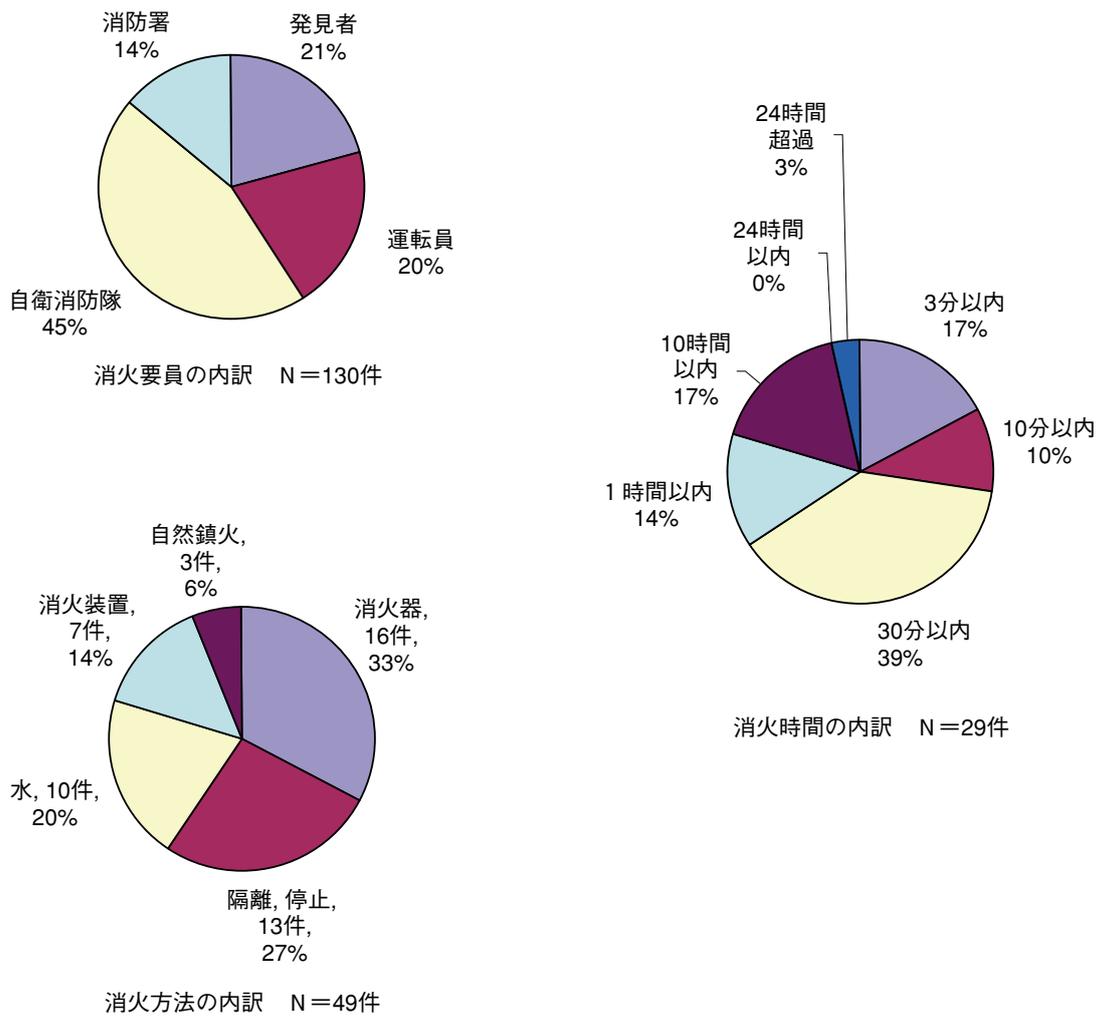


図 13 海外の消火活動に関する要員, 時間, 方法の分類

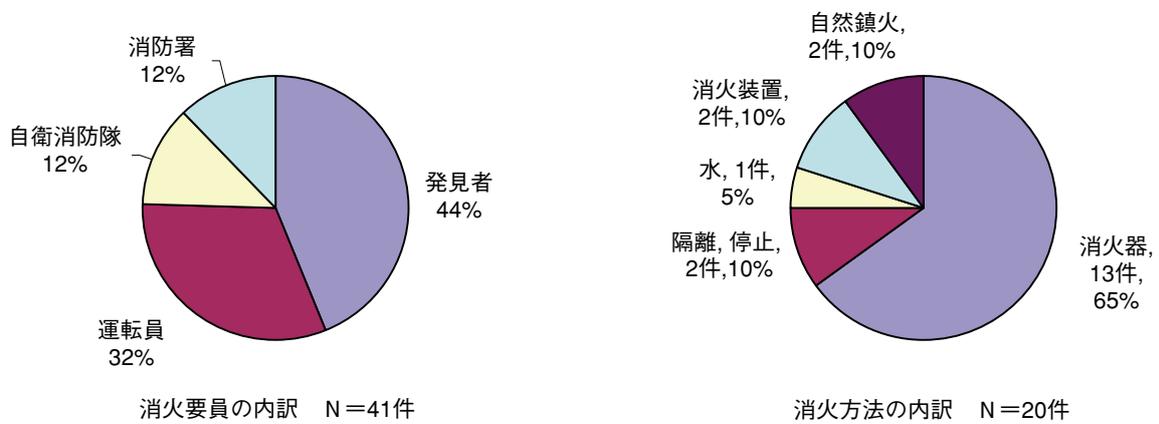


図 14 国内の消火活動に関する要員, 方法の分類

2.1.7 消火活動に関する要員、時間および方法

海外の原子力発電所における火災消火活動に関する要員、時間および方法の分類を図13に示す。自衛消防隊による消火活動の割合が45%を占めており、変圧器火災等の比較的大きな火災でも対応している。また、30分以内に消火した事例が66%を占めており、自衛消防隊の消火能力が優れていることが分かる。消火方法では水（放水）が20%を占めており、最終的に消火材として水が効果的であることを示している。火災時には、早期に放水可能かどうかの判断が問われるため、自衛消防隊はかなりよく訓練されていると考えられる。また、隔離、停止が27%を占め、運転員の初期対応の重要性が分かる。海外（米国）の自衛消防隊は運転直とは別に消防専任直員5名による24時間体制で対応⁽⁵⁾していることがこのデータに現れていると考える。

国内の火災消火活動に関する要員、方法の分類を図14に示す。消火時間に関するデータはなかったので海外と比較しにくい。消火要員の約76%を発見者と運転員が占め、また消火器による消火が全体の約65%を占めており、比較的小規模な火災が多かったことが分かる。水を使用した事例は1件だけで、消防署の指示により実施されたものである。自衛消防隊による消火が約12%（5件）と少ないことも国内の特徴である。これは、規制文書の差異により、米国の方が自衛消防組織（消防専任直員5名による

24時間体制）や訓練（4回／年以上）に関する遵守事項が厳しい内容になっているため、結果として米国に比べ国内の自衛消防隊の能力が低いと考える。

2.2 米国原子力発電所の火災事象件数

米国原子力規制委員会原子炉規制局リスク分析部門が2002年に発行した「火災事象：1986年から1999年にかけての米国運転経験」⁽¹⁾に示された火災事象件数を図15に示す。このデータは異常事象報告書の他に、米国電力研究所（EPRI）、原子力保険会社のデータが含まれており、14年間全体で342件（運転中156件、停止中186件）が発生し、年間当たりの事象数は約24件／年で、INSSの海外情報データベースによる火災事象数、約15件／年（11年間で167件）より多くなっている。

NUCIAに掲載されている国内トラブル情報数、約1件／年の火災事象数から考えると、発電所数（米国103基、国内55基）を考慮しても、米国で原子力発電所の火災が多く発生しており、火災防護が重要であるかが認識できる。なお、1985年以前のデータを除外している理由は、1975年3月に Browns Ferry1号機大火災を経験し、1985年に「10CFR50 Appendix R」1979.1.1以前に運転開始の原子力発電施設に対する火災防護計画が履行されて、これ以降、設備設計、運用方法に厳しい規制が適用され、産業界のプラント設計が大きく変更されたた

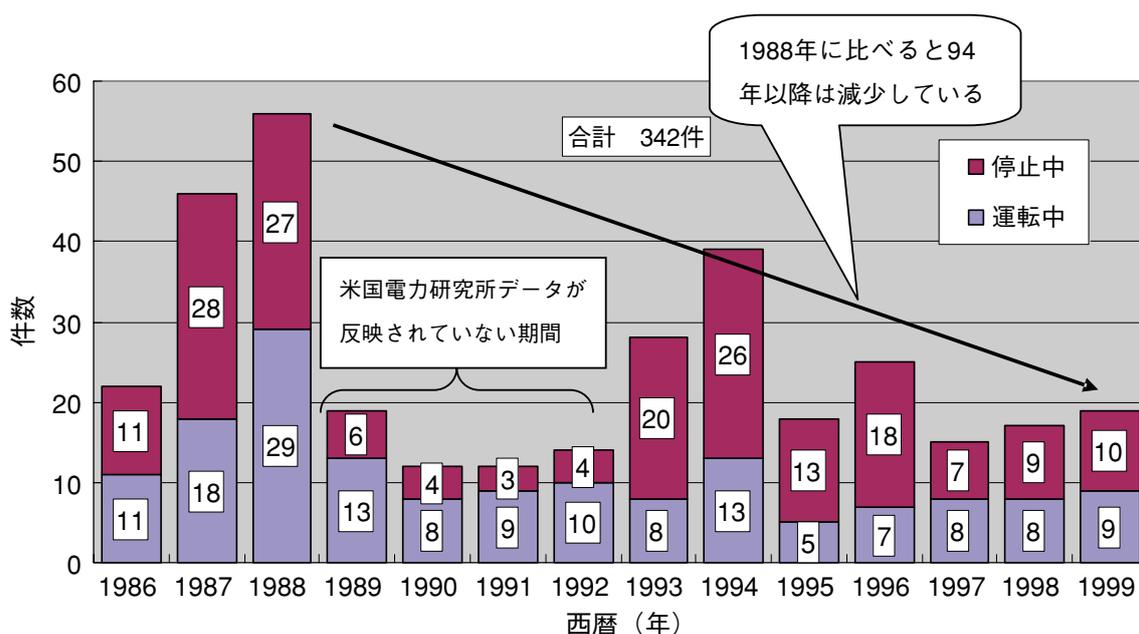


図15 1986～1999年の米国原子力発電所の火災事象件数（文献⁽¹⁾）

めである。また、1989～1992年はEPRIのデータが入手できなかったため、少なくなっている。

全体として新規制適用以降、一時的に発生件数が増加しているが、1988年のピーク時に比べると1995年から発生件数が減少しており、規制の効果が現れていると考える。

国内の発生件数傾向はデータが非常に少ないため傾向をつかむことはできない。

3. まとめ

- (1) 海外の原子力発電所では設備自体の火災が約76%、作業火災（溶接、切断等）が約16%を占める。設備自体の火災では、変圧器火災が最も多く、国内原子力発電所では経験がない事象である。全体として主に電気設備で発生している。国内の原子力発電所では、設備自体の火災は約40%を占め、電源盤、制御盤に最も多く発生しており、次に保温材火災となっている。これは変圧器、モータを除けば海外と同じ傾向にある。作業火災は約48%を占め、海外と同じくほとんど全てが溶接、切断等による火災である。
- (2) 海外では運転中の火災が約51%を占める。これとは逆に国内では停止中の火災が約70%を占め、作業火災割合が非常に多いことから、保守方法の差異が影響していると推定できる。しかしながら、ユニット1基当たりの年間火災発生件数における作業火災件数はほぼ同じであることから、海外、国内共に火気を使用する作業管理レベルが同程度であることが分かった。また、設備自体の火災は海外の約1/4であり、時間計画保全により経年劣化による火災が少ないことを示していると考えられる。
- (3) 海外では15件（全体の9%）の人的被害が発生し、約半分が火傷である。国内では8件（全体の19%）の人的被害が発生し、その多くが火傷であるが、発生割合を考慮すると国内の方が人的被害に関して注意し、対策を立てる必要があると考える。
- (4) 海外では、火災発生個所に電気設備が多いことから、可燃物のうち電気部品（ケーブル、コイルを含む）が全体の約29%で最も多く、また変圧器の絶縁油、油配管の含油保温材などの油関連設備で多発していることが特徴である。国

内では、作業用材料（溶剤、養生シート、塗料）が全体の約27%を占め、次に電気部品に多い。これは、作業火災が設備自体の火災よりも多いことと符号している。

- (5) 設備に関する原因については海外では「経年劣化」が全体の約53%を占め、これに対して国内では「設計不良」が約55%を占め、経年劣化は9%しかない。これは国内では時間計画保全により劣化するまでに修理又は取替が実施されているためと推定できる。また、運用に関する原因については海外、国内共に保守不良（計画不良と作業員過誤）が原因になっている。
- (6) 海外の原子力発電所における火災消火活動に関しては、自衛消防隊による消火活動の割合が45%を占め、変圧器火災等の比較的大きな火災でも対応している。また、30分以内に消火した事例が66%を占めており、自衛消防隊の消火能力が優れていることが分かる。国内では、消火要員の約76%を発見者と運転員が占め、また消火器による消火が全体の約65%を占めており、比較的小規模な火災が多く、自衛消防隊による消火が約12%と少ない。

以上

文献

- (1) Division of Risk Analysis and Applications Office of Nuclear Regulatory Research U. S. NRC, 「Fire Events-Update of U. S. Operating Experience, 1986-1999」, 2002年1月
- (2) 国内原子力技術協会, 原子力施設情報公開ライブラリー, <http://www.nucia.jp/> (2005年12月7日現在)。
- (3) 電力中央研究所, 「米国原子力発電所における保守方式の特徴」, 2001年8月
- (4) 宮崎 孝正, 「経年劣化と人的過誤を取り入れた原子力発電所不具合事象の新しい原因分類法」, INSS JOURNAL Vol.13, p261 (2006)。
- (5) Sequoyah Nuclear Plant (SQN) Fire Protection Report Part2-Fire Protection Plan (Rev11), 2001年2月