

重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

原子力施設における火災現象評価技術の確立

背景・目的

原子力発電所の新規制基準適合性審査では、平成25年6月に制定された火災影響評価ガイドに従い、説明性の高い検証結果に裏付けられた火災影響軽減対策を提示する必要がある。さらに、再稼働後の定期安全レビューで求められる内部火災によるリスク低減のため、火災ハザード評価を行い、火災影響軽減対策脆弱部の継続的な改善を図る必要がある。

本課題では、火災影響軽減対策(消火設備等)の評価試験を行い、妥当性を確認する。さらに、火災源(補機油やケーブル、電気盤火災等)に応じた燃焼挙動予測の精度向上により、火災ハザード評価手法の高度化を図り、合理的かつ科学的な火災影響軽減対策の構築や内部火災PRAの実施に寄与する。

主な成果

1 ケーブルトレイ内火災に対する自動泡消火設備の施工方法の確立

原子力発電所の火災影響を軽減するために実施する対策のうち、ケーブルトレイ内火災に対する自動消火設備として、泡消火剤を適用した湿式の自動消火装置(図1)が検討されている。その有効な施工方法を確立するため、水平および垂直姿勢の幅0.6mの遮炎

シートで被覆したラダー型ケーブルトレイを用いて、2kA級の過電流による難燃性高圧・低圧電力ケーブルの火災消火試験(図2)を行った。その結果、泡消火剤の直接的な冷却効果や窒息効果による優れた消火性能を確認し、実施工への適用性の見通しを得た。

2 低圧電気盤の内部アーク火災発生限界の解明

東日本大震災の際に女川原子力発電所で発生した高圧電気盤(高圧スイッチギア*1)の大規模アーク火災を踏まえ、アーク発生時の内部火災ハザード評価に向けて、高圧電気盤に引き続き、低圧電気盤(パワーセンター)を用いた内部アーク試験を実施した。その結果、比較的内容積の小さい低圧電気盤ではアー

クエネルギーが19MJを超えると、火災に進展することを明らかにした(図3)。この結果を内部火災PRA実施基準*2におけるアーク火災の影響範囲の同定方法に反映することにより、内部火災リスク評価の高精度化に寄与する。

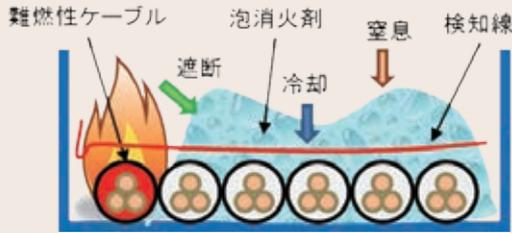
3 火災解析コードによる区画火災時の空気温度等の高精度推定方法の構築

火災影響評価においては、安全上重要な機器等の発火時間や損傷時間(損傷に至るまでの時間)を算定するため、火災源からの発熱量の時間的变化(発熱速度)を合理的に設定する必要がある。原子力発電所建屋内では、火災時においても作動が継続される換気空調の気流により火災源周辺の酸素濃度が変動するため、発熱速度が換気量に大きく依存する。この依存性を明らかにするため、単一火災区画

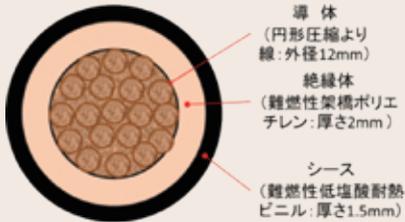
を模擬した燃焼室を用いた検証試験を行い、火災近傍の酸素量と発熱速度の相関性を明らかにした(図4)。さらに、複数火災区画を模擬した検証試験により、換気量や給排気位置が区画内温度や熱収支、区画間の熱伝達に及ぼす影響を明らかにした。これらの結果を、区画火災時の空気温度や伝播経路評価に使用される火災解析コードの入力条件設定手法に反映し、火災影響評価の高精度化に寄与する。

*1 電力系統を保護・制御するためのしゃ断器等の保護継電器と高圧の母線と一緒に金属製筐体に収めたもの。

*2 日本原子力学会、「原子力発電所の内部火災を起因とした確率的リスク評価に関する実施基準:2014」, AESJ-SC-RK007:2014.



【泡消火設備の消火原理】



【難燃性低圧電力ケーブルの断面】

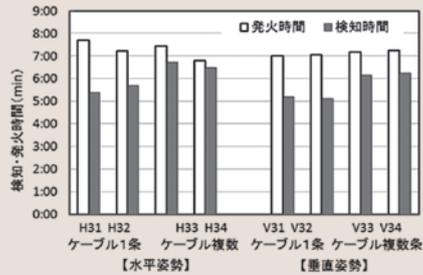
図1 泡消火剤による湿式自動消火装置の施工例

泡消火剤を用いた自動消火装置は、消火剤容器、駆動用窒素ボンベ、検知線、消火剤放出ノズル、消火用配管、火災受信器等にて構成される。消火剤放出ノズルから泡消火剤を対象区域に流し込み、泡消火剤が有する冷却効果および窒息効果により消火を行う。検知線が検知温度90℃で短絡した後、移報信号を火災受信器で受信し、自動的に作動する消火設備である。

試験で用いた難燃性低圧電力ケーブル(600V, 100mm², 単芯)の最高許容温度は連続条件で90℃、短絡時で230℃である。



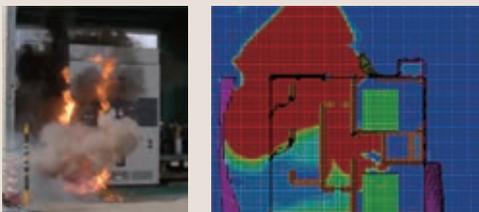
【発火後の燃焼と泡消火設備の作動状況】



【発火時間と検知時間の比較】

図2 過電流によるケーブル火災試験概要

水平姿勢(横置きケーブルトレイ)・垂直姿勢(縦置きケーブルトレイ)のいずれの試験においても、S字状に施工した検知線により、発火前に温度異常を検知できることを確認した。また、横置きケーブルトレイの場合、泡消火剤がケーブルトレイ内に均等に保持され、泡消火剤放出後、直ちに消火に成功した。縦置きケーブルトレイの場合でも、泡消火剤を保持するための鋼製スリットを20cm間隔で複数枚取り付けることにより、放出された泡消火剤の発泡効果がスリット間で保持され、消火可能であることを確認した。



(低圧電気盤の試験例) (影響評価解析例)

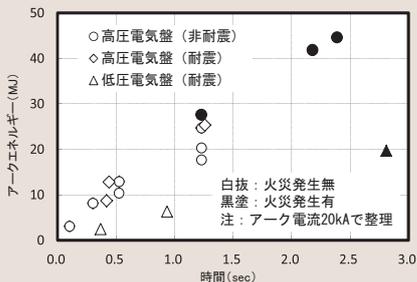


図3 電気盤内部アーク試験で測定されたアークエネルギーと火災発生限界

480V級低圧電気盤を用いて、アーク発生時間をパラメータ(0.1~3.0秒)として、三相短絡電流条件(約20kA)におけるアーク放電(母線材質:銅)試験を行い、アークに発生するエネルギー量^{*}を測定した。高圧電気盤(2013年度実施)に比べ内容積が比較的小さい低圧電気盤では、アークエネルギーが19MJを超えると二次的な火災に進展することを確認した。

^{*}アーク放電エネルギーにより盤内の空気が加熱され、その高温空気が盤外あるいは隣接する電気盤内へ噴出し、隣接機器へ熱的影響を及ぼす可能性がある。

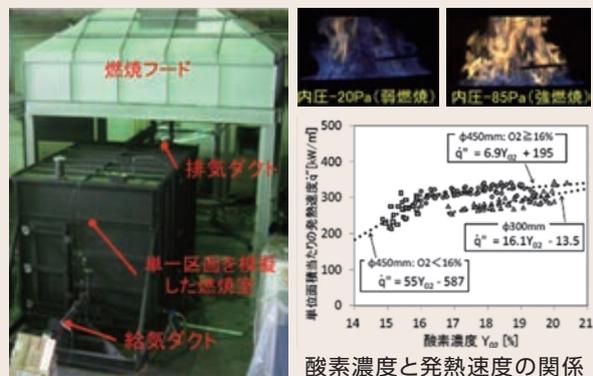


図4 換気制限下区画火災時の発熱速度の同定

火災解析コードでは、温度・流速・酸素濃度等の空間分布およびその時間的な変化が得られるが、その応答値は発熱速度や換気条件に大きく依存する。

この依存性を明らかにするため、単一火災区画を想定した耐火室(幅2.4m×奥行3.6m×高さ2.4m)を用いて、エタノールを火源とする燃焼試験を実施した。試験パラメータは、火皿の面積(直径30,45,60cm)や位置(中央)、換気流量(0~100m³/hour)や換気位置とし、空間温度や内圧、壁や天井への熱流束、換気流量、可燃物質質量減少速度、O₂・CO₂・CO濃度を測定した。火災の発達に伴い形成されるブルーム構造を計測し、火災近傍の酸素量と火源の発熱速度の相関性(上図)を明らかにした。火災解析コードでこの燃焼試験の再現解析を行った結果、耐火室内の温度を精度良く追跡できることを確認した。