

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(補機油やケーブル火災、アーク火災等)に応じた燃焼挙動の予測精度向上により、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に寄与する。

主な成果

1 ケーブルトレイ内火災に対するチューブ式自動消火装置の施工方法の確立

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、チューブ式自動消火装置(図1)の施工が有望とされている。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実機最大幅(1.8m)の金属蓋付きケーブルトレイを用いて、2kAクラ

スの過電流による難燃性高圧電力ケーブルの火災消火試験(図2)を行った。その結果に基づいて、環境配慮型ハロゲン化物消火剤を充填した消火装置の最長対応範囲50mの消火能力となる施工方法を確認し、実施工への適用性の見通しを得た。

2 高圧スイッチギア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、アーク発生時の火災ハザード評価に向けて、2種類(6.4kVと8.0kV)の高圧スイッチギアを用いた内部アーク試験を行い、アークエネルギーが25MJ以下では、アークの発生位置にかかわらず、火災に進展しな

いことを明らかにした(図3)。さらに、高圧スイッチギア内に発生する圧力や筐体の破損に伴う高温ガスの放出状況を予測可能なCFDコード(数値流体解析コード)を開発し、内圧による筐体の破損形態や周辺への熱的影響範囲を同定できることを確認し、火災ハザード評価に適用できる見通しを得た。

3 火災解析コードFDS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)を合理的に算定する必要がある。代表的な火災解析コードの一つであるFDS(Fire Dynamics Simulator)*2は、複雑な形状で構成された区画の火災事象の詳細な評価に適しているが、その解析精度は入力条

件に大きく依存する。このため、火災上昇流や高温鉛直壁面の熱伝達を対象にしたFDSの検証試験を実施し、計算メッシュ間隔や火源の熱分解条件を適切に設定することによって空気温度等を高い精度で推定できる手法を確立した(図4) [N13010]。

*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を一緒に金属製筐体に収めたもの。

*2 米国NIST(National Institute of Standards and Technology)により開発された、火災時の熱流動や物質輸送等を主な対象とするCFDコード。計算負荷は比較的大きいが、空気温度の空間分布等の評価が可能である。

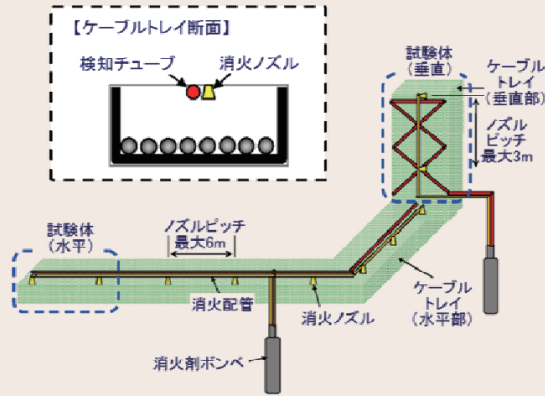
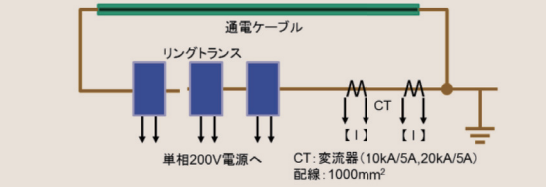
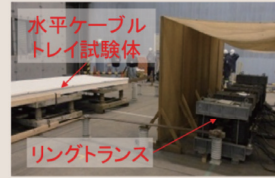


図1 チューブ式自動消火装置のケーブルトレイへの施工例

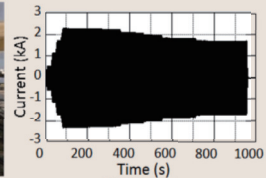
チューブ式自動消火装置は、消火剤ポンペ、検知チューブ、消火用配管、容器弁等にて構成される。作動原理は、窒素を加圧封入したポリアミド製の検知チューブが、火災の熱(感知温度:180℃)で破裂することにより、ポンペ入口の消火剤容器弁(空気作動弁)を作動させ、消火剤(Novec1230:常温液体、沸点49℃)が放出される。消火ノズルから消火剤を対象区域に噴射し、消火剤が有する燃焼反応の抑制作用および冷却効果により消火を行う。熱(温度異常)を検知して自動的に作動するため電源不要で、停電時にも消火が可能な自動消火設備である。



【試験回路図】



【試験概要】



【通電例】

図2 過電流によるケーブル火災試験概要

電力技術研究所・大電力試験所(横須賀地区)の過電流試験設備を用いて、非難燃性高圧電力ケーブル(6.6kV-CV-3C-150sq)の許容電流の約6倍(2kA)の過電流によるケーブル火災消火試験を実施した。試験では、リングトランスにより連続通電し、ケーブル火災を再現した。

消火剤配管の端部を模擬した耐火シートで被覆した実機最大幅(1.8m)の金属蓋付きケーブルトレイを用いて、垂直姿勢および水平姿勢における火災消火試験を実施し、チューブ式自動消火装置の最長対応範囲である50mの使用が可能であることを確認した。

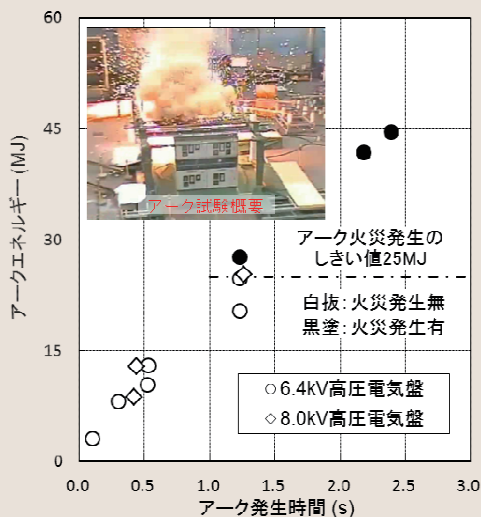
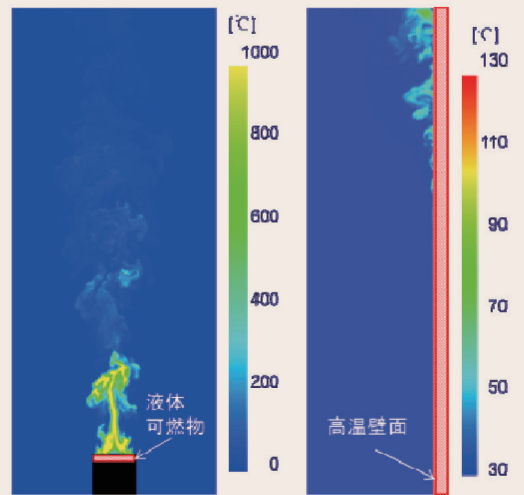


図3 高圧スイッチギア内部アーク試験で測定されたアークエネルギーと火災発生限界

2種類の高圧スイッチギア(電圧6.4kVおよび8.0kV, 三相三線式)を用いて、アーク発生時間をパラメータ(0.1~2.2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、アークが発生するエネルギー量を測定した。アークエネルギーが25MJ以下では、アークの発生位置(遮断器室内および母線室内)にかかわらず、二次的な火災に進展しないことを確認した。

※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。



液体可燃物からの火災上昇流 高温鉛直壁面の自然対流

図4 火災解析コードFDSによる火災上昇流の解析例

火災解析コードFDS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。左図に示す液体可燃物(エタノール・火皿直径30cm)からの火災上昇流解析において、計算メッシュ間隔が火災特性長さ(発熱速度を基に定められる長さスケール)の1/20以下であれば、非定常状態の瞬時空気温度などが精度良く再現できる。また、右図に示す高温鉛直壁面近傍の自然対流解析においては、計算メッシュ間隔が層流対流境界層の相似変数(壁面からの規格化した法線方向スケール)の0.6以下であれば、壁面極近傍の非定常な熱流動が再現できる。