

米国における中央制御室(MCR) 火災へのCFAST適用事例について

STPNOC所有の
南テキサスにある
ウエスチング・ハウス社製
PWR(2基)



事業者は、中央制御室での火災発生時の停止手順に運転員の手動対応を追加するために火災防護計画書の変更をNRCに申請した。

→ 申請の根拠として、中央制御室の火災影響を火災モデルCFASTで評価し、複数の安全機能が同時喪失（または誤作動）することがないと証明している。

➤ 火災感知器と消火システム

盤内には排気ダクトの側に煙感知器が設けられており、天井にも梁の間に煙感知器が設置されている。制御室内は常に有人であるため、大規模な火災が発生しても、運転員が発見することが予想される。自動消火設備は設置されていないが、可搬式消火器が設置されており、制御室外部にある消火栓設備の利用も可能である。しかしながら火災モデルでは感知、消火系をモデル化していない。

➤ ターゲット機器(火災影響を評価する機器)

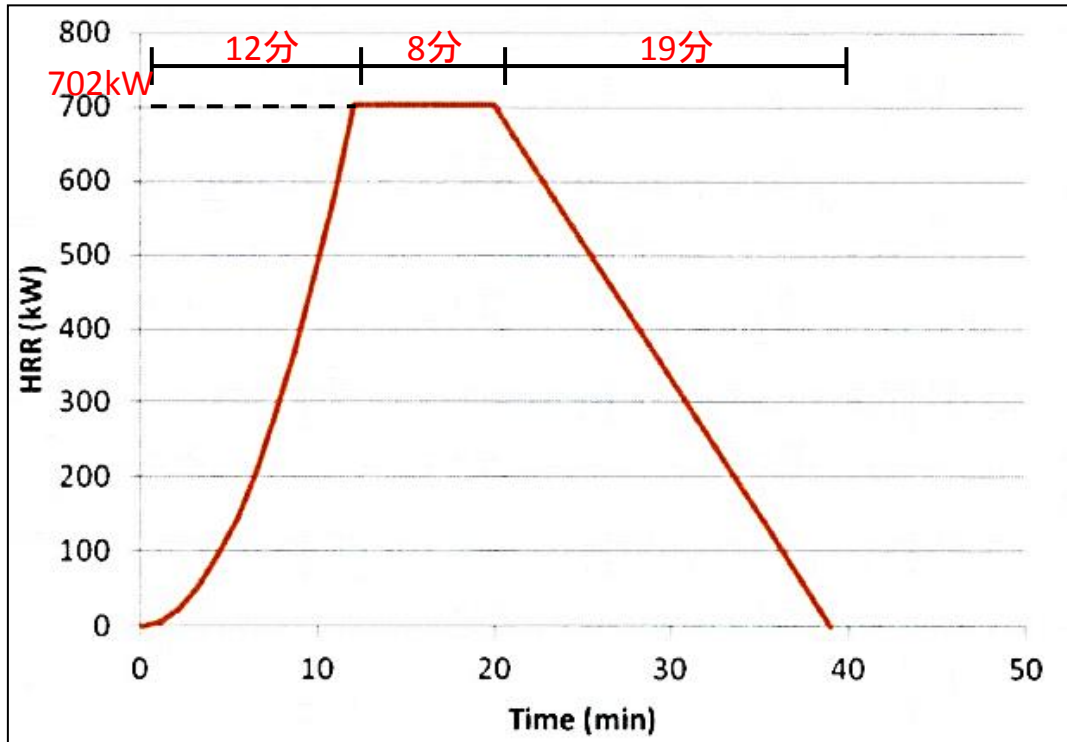
CP001、CP004、CP010をターゲット機器として設定している。盤内部の安全系トレイン間と常用系トレイン間は障壁により分離されているが、火災モデルではこれらの特徴をモデル化していない(キャビネット内の詳細な火炎伝播解析はCFASTの適用範囲を逸脱)。

ケーブルの損傷基準はNUREG/CR-6850 vol.2に示される以下の値を適用している(盤内のケーブルは全て熱硬化性と分類)。

ケーブルの種類	放射熱基準	温度基準
熱硬化性	11 kW/m ² (1.0 BTU/ft ² s)	330°C(625°F)

➤ 発火源

制御室内の固定可燃物としては、吊り天井の上部と電気盤内に敷設されるケーブルがあるが、制御盤内のケーブルが制御室内にある主な可燃物であるため、発火源として電気盤を設定した。



想定火源(制御盤)の発熱速度曲線

NUREG 1934では火災進展を左図のHRR曲線($Q=at^2$ 、初期火災12分、盛期火災8分、火災減衰19分)でモデル化することを推奨しており、またNUREG 6850 vol.2のAppendix Gに示される電気盤火災の最大HRRとして702kWを選択した。

NRC : NUREG 1934

<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1231/ML12314A165.pdf>

➤ 火災シナリオの設定

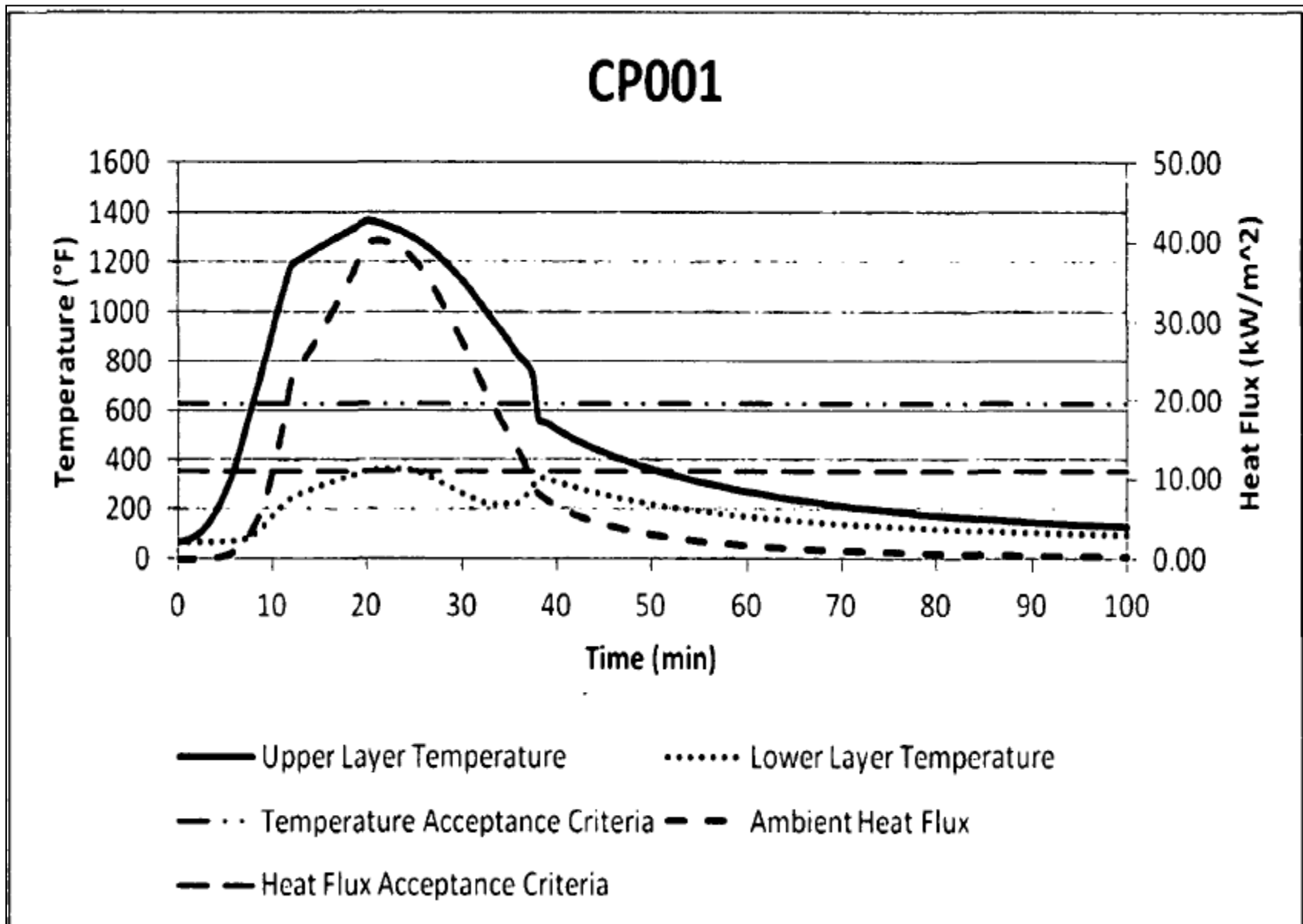
想定火源であるCP001、CP004、CP010について、それぞれを発火源とした予備的な解析を行い、その結果、CP001を発火源としたケースが最も支配的な火災シナリオであると判断された(制御盤間の貫通部がないため)。

また、CP004についても同様に解析を行うことにした。これは隣接する制御盤への影響を評価するためである。具体的には、CP004で発生した火災により隣接するCP005内のケーブル等の可燃物が発火するか否かを判断するためのものである。よってこの火災シナリオでは、CP005内の状態を分析している。

➤ 解析における前提条件

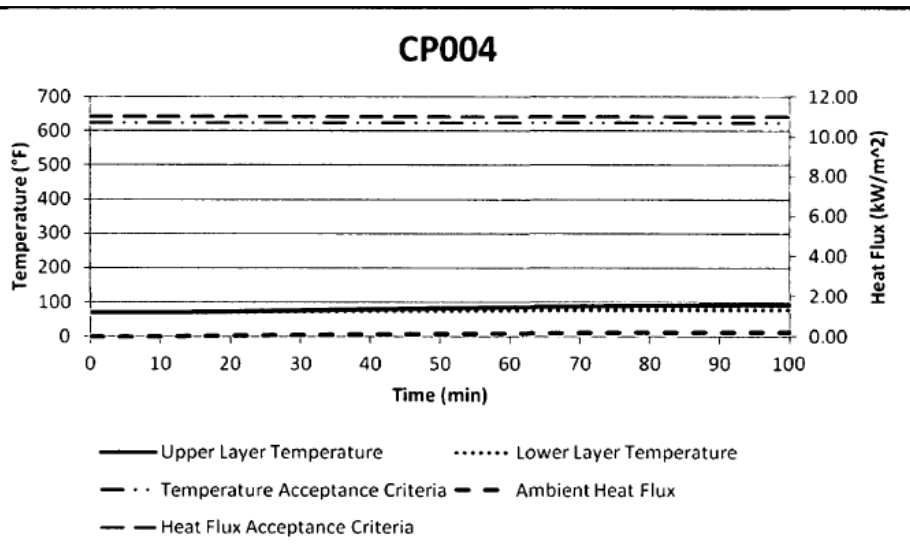
- 発火源から隣接する制御盤への火災伝播はない(NUREG/CR-6850 vol.2の想定より)
- 換気については制御盤を通る気流の流れだけをモデル化する
- CP001周囲の可燃物(カーペット、手順書、ノート等)への延焼はない

➤ 解析結果(想定火源—CP001)

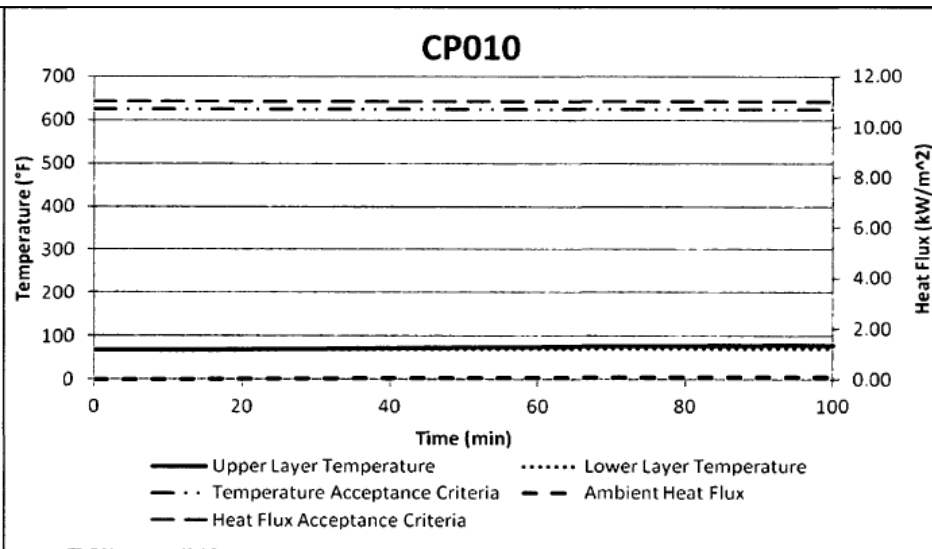


①(CP001) 温度・放射熱強度

➤ 解析結果(想定火源-CP001)



②(CP004) 温度・放射熱強度



③(CP010) 温度・放射熱強度

「解析結果と許容基準の比較」と「ターゲット機器の損傷確率」

Compartment	Quantity	Maximum Value	Acceptance Criteria	Probability of Exceeding Acceptance Criteria
CP001	Temperature	1,368.9 °F	625 °F	1.000
	Heat Flux	40.15 kW/m ²	11 kW/m ²	1.000
CP004	Temperature	93.8 °F	625 °F	0.000
	Heat Flux	0.23 kW/m ²	11 kW/m ²	0.047
CP010	Temperature	80.0 °F	625 °F	0.000
	Heat Flux	0.10 kW/m ²	11 kW/m ²	0.044

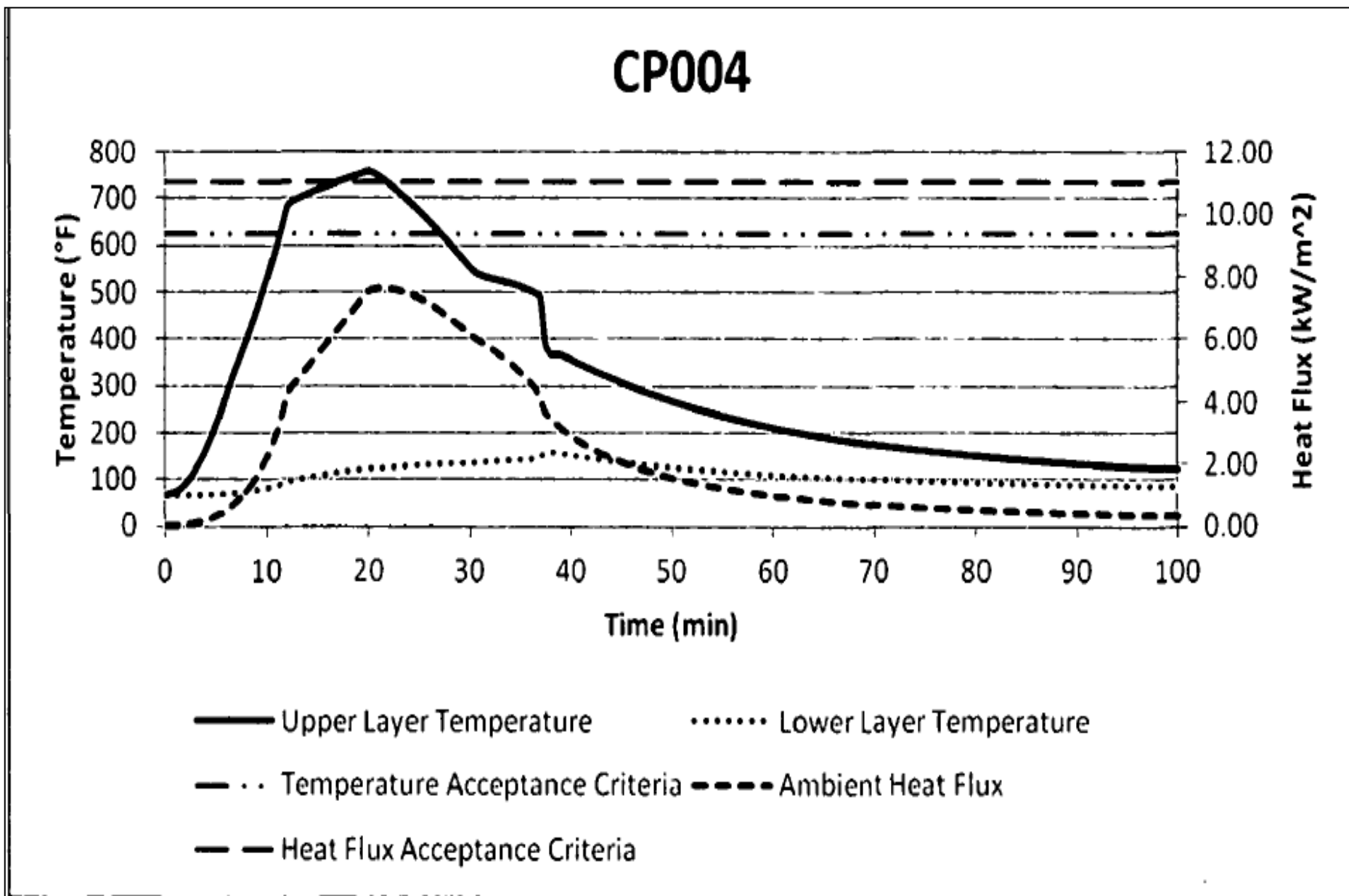
➤ 解析結果(想定火源－CP001)

最も支配的な火災シナリオであるCP001での火災発生を想定すると、CP001自体は機能喪失するものの、CP004、CP010は温度・放射熱強度ともに損傷基準に達しないことが図から読み取れる。

これらの値は、それぞれのキャビネット内における最も高い値を図示しており、区画内の雰囲気温度もCP004、CP010の状態に類似していると思われる(そもそも保守的な値が得られるようにモデリングをしている)。

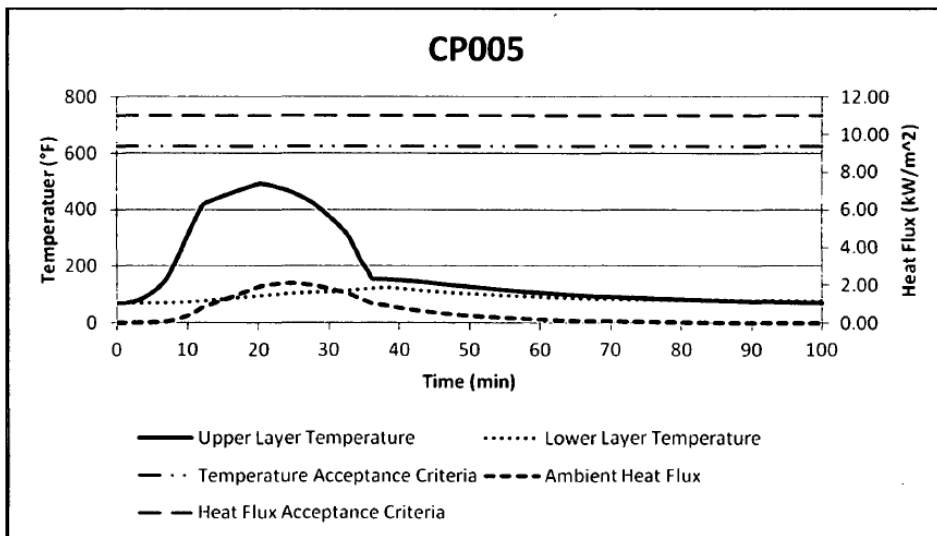
よって「PORVの誤開と外部電源喪失、またはPORVの誤開とSI系喪失が同時に発生しない」と事業者は主張している。

➤ 解析結果(想定火源—CP004)

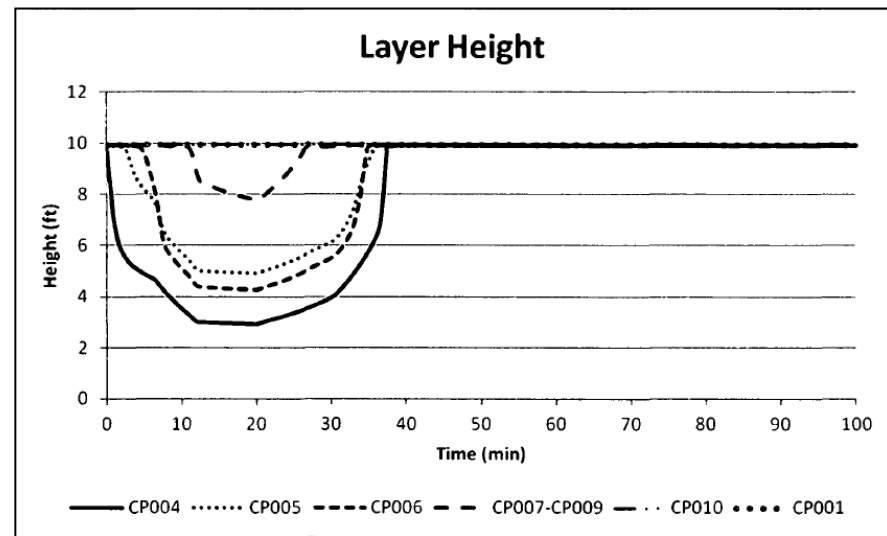


②(CP004) 温度・放射熱強度

➤ 解析結果(想定火源-CP004)



(CP005) 温度・放射熱強度



(CP004~010) 煙層高さ

想定火源をCP004に設定したケースにおけるCP005(隣接盤)内の温度・放射熱強度を左図、各制御盤内の煙層高さを右図に示す。

CP004に隣接しているCP005は、損傷基準に達しておらず、煙の伝播(煤の堆積)についても、CP001、CP010は影響を受けないことが煙層高さから判断できる。

よって隣接する制御盤(CP005)への影響はなく、またCP001、CP010への影響もないと考える。

事業者の主張に対して、NRCはRAI (Request for Additional Information) で、追加説明を要求し、事業者は以下の通り回答している。

- 火災時の中央制御室内が居住可能である根拠
 - 換気をモデル化していないため、解析結果は非常に保守的であるが、制御室の大部分の温度に変化はない。
- 解析でモデル化した可燃物の物性値
 - 中央制御室の可燃物の大部分はケーブルであり、ケーブルの大部分は制御盤内にあるため、NUREG 6850 vol.2で規定される電気盤火災を想定し、物性値を選択した。HRR曲線はNUREG 1934に従った。
- 制御盤火災で火災伝播はないという想定 の根拠
 - 現場ウォークダウンの結果、制御盤周囲に可燃物はなく、制御室内での可燃物の仮置きは制限されている。また盤間の火災伝播を想定しない根拠はNUREG 6850-Appendix Sである。

- 「Ambient Heat Flux」とは何か、どうしてCP001では損傷基準を超えているのか
 - 「Ambient Heat Flux」とは区画内¹の放射熱強度を表している。CP001は想定火源であるため損傷基準を超過している。
- モデル内温度・放射熱強度解析位置とその位置に設定した理由
 - モデルの特徴・制限に依存している。
- 1. CFASTにおいてそれぞれの制御盤は1区画としてモデル化されている。

申請に対する審査は現在も継続中である。

参考文献

- ① STP Nuclear Operating Company (STPNOC) :
License Amendment Request for Approval of a Revision to the South Texas Project
Fire Protection Program Related to the Alternative Shutdown Capability.
<http://adamswebsearch2.nrc.gov/webSearch2/main.jsp?AccessionNumber=ML13212A243>
- ② 2014/04/02 NRR(Nuclear Reactor Regulation) E-mail Capture :
Request for Additional Information - License Amendment Request to Revise Fire Protection
Program - TACs MF2477 and MF2478
<http://adamswebsearch2.nrc.gov/webSearch2/main.jsp?AccessionNumber=ML14092A348>
- ③ 2014/04/11 NRR(Nuclear Reactor Regulation) E-mail Capture :
South Texas Project License Amendment Request for Fire Protection Program Change
Request for Additional Information - TACs MF2477 and MF2478
<http://adamswebsearch2.nrc.gov/webSearch2/main.jsp?AccessionNumber=ML14101A138>
- ④ 2014/04/17 NRR(Nuclear Reactor Regulation) E-mail Capture :
License Amendment Request for South Texas Project, Units 1 and 2 Fire Protection Program
Changes - Request for Additional Information - TAC Nos. MF2477 and MF2478
<http://adamswebsearch2.nrc.gov/webSearch2/main.jsp?AccessionNumber=ML14108A057>
- ⑤ South Texas Project Units 1 & 2 Docket Nos. STN 50-498, STN 50-499 STPNOC :
Response to Request for Additional Information Regarding the License Amendment Request
to the Fire Protection Program TAC Nos. MF2477 and MF2478
<http://adamswebsearch2.nrc.gov/webSearch2/main.jsp?AccessionNumber=ML14142A016>