

## 高エネルギーアーク損傷(HEAF)の評価手法の整備

## (4) AI母線の電気設備を対象とした HEAF 爆発の解析モデルの検討

Development of evaluation methods for High Energy Arcing Faults (HEAF)

(4) Study on the analytical model of HEAF explosion for electrical equipment using Al bus bar

\*櫻井智明<sup>1</sup>, 梶島一<sup>1</sup>, 吉井敏浩<sup>2</sup><sup>1</sup>原子力規制庁, <sup>2</sup>株式会社 FMIC R&D

前報では、銅 (Cu) 母線の電気設備を対象とした HEAF 爆発の熱流動解析モデルを提案した。本研究では、前報の解析モデルを国内で Cu 母線と同様に用いられているアルミニウム (Al) 母線の電気設備に適用し、HEAF 爆発時の輻射照度と距離の関係の傾向を確認した。

**キーワード**: 高エネルギーアーク損傷, HEAF, AI 蒸気, 熱流動解析, CFD, Ansys Fluent, 輻射

## 1. 緒言

HEAF の爆発事象の一つに、電気設備内の母線が過熱・溶融・蒸発し、金属蒸気が設備外部に放出される現象がある。HEAF 爆発の熱影響により設備周囲の電気ケーブル等に損傷が生じる可能性があるため、著者らはこれまで HEAF 爆発の周囲への熱影響評価を目的に熱流動解析を実施してきた。前報では、電気設備を模擬した筐体 (Cu 母線) を用いた HEAF 試験について、噴出した Cu 蒸気の酸化及び CuO 粒子の生成を考慮するなどして HEAF 爆発の熱流動解析モデルを提案した[1]。本研究では、AI 母線の電気設備を模擬した HEAF 試験について、前報の解析モデルを用いて熱流動解析を行い、Cu 母線の結果との傾向を比較した。

## 2. 解析手法

本解析では、HEAF 爆発により AI 蒸気が筐体外部へと噴出したと仮定し、Ansys Fluent を用いて熱流動解析を行った。解析範囲は筐体のダクト (下端から金属蒸気が噴出) 及びダクト上方 5 m の空間を設定した。AI 蒸気の酸化速度は渦消散モデル[2]に従うとし、酸化物としては固体の  $Al_2O_3$  が生成すると仮定し解析モデルを作成した。本解析では HEAF 試験の条件を考慮してモデルを作成しており、表 1 に前報の Cu 母線を対象とした解析モデルとの解析条件の相違点をまとめる。アークパワーは試験での実測値、ダクト下端部への入熱量及び金属蒸気噴出速度は HEAF 試験結果に基づく計算値、酸化に伴う発熱量は金属の酸化熱と状態変化に伴う潜熱の和をそれぞれ用いた[1, 3]。

## 3. 解析結果

図 1 に AI 母線と Cu 母線の解析で得られたダクト上端部からの距離と中心軸を法線とする微小な面における輻射照度を示す[1]。表 1 に示したように、AI と Cu では解析条件が物性値以外にも異なっているため、輻射照度の絶対値ではなく、ピークの傾向で比較した。AI 母線では Cu 母線と同様にダクト上端 (0m) と上方 (0.5 m 以遠) に 2 つの輻射照度のピーク (以下ピーク①、ピーク②) が確認された。それぞれのピークの主要因は、ピーク①がダクト下端部からの輻射照度によりダクト上端部が受けた輻射、ピーク②が酸化に伴う発熱 (酸化熱と状態変化時の潜熱の和) である[3]。次に、AI 母線と Cu 母線を比較すると、AI 母線ではピーク①とピーク②が近い輻射照度であったが、Cu 母線ではピーク①がピーク②の 2 倍以上の輻射照度を示した。このように、母線材料の違いにより、ピーク①とピーク②の相対的な大きさの関係が異なることが確認された。

## 4. 結論

本研究では、AI 母線の電気設備を対象とした HEAF 試験について熱流動解析を行い、輻射照度と距離の関係を確認し Cu 母線の解析結果と比較した。AI と Cu ではピーク①とピーク②の相対的な大きさの関係が異なるため、実電気設備の HEAF 爆発の熱影響を評価するに当たって、周囲の電気ケーブル等が受ける輻射照度の算定では、母線材料の違いの考慮が必要と示唆された。

## 参考文献

- [1] 櫻井ら:日本原子力学会 2024 年春の年会 講演予稿(3D11), (2024)  
 [2] B. F. Magnussen, B. H. Hjertager: On Mathematical Modeling of Turbulent Combustion with Special Emphasis on Soot Formation and Combustion, Symposium (International) on Combustion, Vol. 16, Issue 1, pp. 719-729, (1977)  
 [3] NIST, JANAF: NIST-JANAF Thermochemical Tables, (1998)

\*Tomoaki SAKURAI<sup>1</sup>, Hajime KABASHIMA<sup>1</sup>, and Toshihiro YOSHII<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nuclear Regulation Authority (NRA), <sup>2</sup>FMIC R&D INC.

表 1 AI 母線と Cu 母線の解析条件の相違点

母線材料	Al	Cu
アークパワー(実測値) [MW]	20	25
ダクト下端部への入熱 [MW・m <sup>2</sup> ]	66.7	160
金属蒸気噴出速度 [kg・s <sup>-1</sup> ]	0.66	1.0
酸化に伴う発熱 [MJ・kg <sup>-1</sup> ]	44.9	8.63

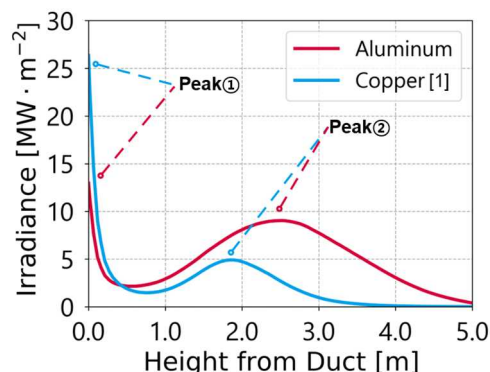


図 1 本解析で得られた輻射照度 (0-1.0 s の時間平均)