

BRL式の等価直径の考え方に対する新知見の適用に関する
基本ロジック（外竜巻09）

- 安全冷却水B冷却塔に対する飛来物からの防護については、飛来物防護ネットで被うことにより飛来物の衝突を防止する構造とし、安全機能を損なわない設計とする。飛来物防護ネットは、防護ネット及び防護板から構成される。
- このうち防護板は、設計飛来物である鋼製材の貫通を防止するための貫通限界厚さを上回っていることを確認する方針としており、貫通限界厚さの算出にあたっては、先行発電炉と同様にBRL式を用いる。
- BRL式に入力する飛来物衝突部の直径は、想定する設計飛来物の形状を等価直径 (D) に換算したものをを用いるが、等価直径 (D) の換算方法は明確に定義されていない。このため、先行発電炉では設計飛来物の衝突部の接触面積と同等の面積を有する円の直径を等価直径 (D) としている。一方、再処理施設においては、耐震性の観点から合理的な厚さとするため、最新の研究成果（電中研報告：O19003（2019年11月））に基づき、設計飛来物の周長と同じ円周を持つ円の直径を等価直径 (D) とする手法を採用している。
- 最新の研究成果では、以下のことが確認されている。
 - ・ 直径が同一で衝突部面積の異なる飛来物を用いた衝突試験の結果から、衝突部面積の相違が鋼板の貫通／非貫通に与える影響は小さい
 - ・ 質量及び衝突速度を変化させた衝突試験の結果から、BRL式は質量及び速度によらず、試験結果に対して保守的な評価となっている
 - ・ BRL式による評価と多角形飛来物を衝突させた試験を比較した結果から、BRL式は、多角形飛来物の周長を等価とした円断面の直径を等価直径 (D) とすることで鋼板の耐貫通性能を保守的に評価できる
- 最新の研究成果に使用された試験体は、設計飛来物と質量及び寸法が異なる。したがって、設計飛来物においても、BRL式（最新の研究成果である等価直径 (D) の入力方法は除く。）が適用でき、かつ、最新の研究成果が適用できることについて考察を行った。
 - ・ 過去の報告（電中研報告：N15004（2015年10月））にて、設計飛来物と同等の寸法及びエネルギーを有する飛来物は、BRL式を適用できることが示されている。また、BRL式はタービンミサイルや設計飛来物に対する貫

通評価において使用されてきた実績がある。したがって、B R L式は飛来物の質量の大きさに係らず適用できる。

- ・ 最新の研究成果では、飛来物の質量を6 kg～11.5kgの範囲で変化させた場合でも、周長が等価な円の直径を用いたB R L式で貫通限界厚さを評価できることが示されている。

以上のことから、最新の研究成果は設計飛来物の質量及び寸法に対しても適用できると考えられる。

- ただし、最新の研究成果の適用に当たっては、実験的に非貫通が確認されている比率（B R L式による貫通限界厚さ／実験的に非貫通が確認された実測厚さ）をもってB R L式の算出結果を除することによって得られる値を設計上担保する貫通限界厚さとする。

以上

第1回申請における外部火災に関する基本ロジック

- 外部火災に対しては、安全上重要な施設を外部火災防護対象施設とし、その安全機能を損なわないことを基本方針としている。外部火災防護対象施設の安全機能を損なわないように設計上の配慮を行う施設を設計対処施設としており、主に以下の①～②に分類され、第1回申請の対象である安全冷却水B冷却塔は、「①屋外に設置する外部火災防護対象施設」に該当し影響評価対象となる。
 - ① 屋外に設置する外部火災防護対象施設
 - ② 外部火災防護対象施設を収納する建屋

- 影響評価にあたっては、前提となる火災源又は爆発源を想定する。想定する火災源は、森林火災、敷地内に設置する危険物貯蔵施設等の火災、航空機墜落による火災及び近隣の産業施設等の火災（石油備蓄基地の火災）とする。想定する爆発源は、敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発とする。

- 各火災源については、輻射発散度、安全冷却水B冷却塔との距離等を考慮して安全冷却水B冷却塔に与える輻射強度を算出し、影響評価の条件とする。爆発源については、爆発による爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を算出し、影響評価の条件とする。

- 安全冷却水系B冷却塔が有する安全機能が冷却機能であることを踏まえ、各火災源が冷却水温度へ与える影響を評価し、設工認申請書に示している。爆発源による安全冷却水B冷却塔への影響評価としては、爆発源と安全冷却水B冷却塔の間に危険限界距離を上回る離隔距離が確保されていることを確認し、設工認申請書に示している。

- 火災源のうち航空機墜落による火災については、落下地点の想定を安全冷却水B冷却塔の外殻となる飛来物防護ネットの直近としており、他の火災源に比べて輻射強度が非常に大きい。このため、飛来物防護ネットや安全冷却水B冷却塔の強度に係る鋼製部材等を評価対象部位とし、必要に応じて遮熱板、耐火被覆（耐火塗料）による対策を実施することにより、許容温度を超えない設計とする。（航空機墜落火災に対する耐火被覆の考え方についての基本ロジック（外外火05）参照）

以上

航空機墜落火災に対する耐火被覆の考え方についての
基本ロジック（外外火05）

- 航空機墜落火災で想定する航空機墜落地点は、先行発電炉では航空機落下確率が 10^{-7} 以上となる地点としているが、再処理施設では離隔距離を想定しない建屋外壁等の至近とする。
- 安全冷却水B冷却塔は、強度に係る支持構造物（架構）が健全性を維持するものとし、かつ外殻となる飛来物防護ネットは、強度に係る支持構造物（架構）が崩壊することなく安全冷却水B冷却塔に波及的影響を及ぼさないよう、耐火被覆（耐火塗料）を施工する設計とする。
- 安全冷却水B冷却塔（安全上重要な施設）の鋼製部材の許容温度は、鋼材の降伏応力度が常温時と変わらない 325°C とする。安全冷却水B冷却塔の外殻となる飛来物防護ネット（安全上重要な施設以外）の鋼製部材の許容温度は、鋼材の降伏応力度が長期許容応力度相当となる 450°C とし、安全冷却水B冷却塔に波及的影響を及ぼさない設計とする。
- 耐火塗料は、発泡剤（ポリリン酸アンモニウム）、炭化剤（多価アルコール）、結合剤、反応触媒等からなる有機系溶剤型の塗料である。耐火塗料は、塗膜温度が $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ で反応触媒が分解し、生成したリン酸塩と炭化剤が結合して炭化層を形成するとともに、並行反応として発泡剤が分解しアンモニアガス、水蒸気、炭酸ガス等が発生して炭化層を数10倍に膨らませ断熱層を形成する。防護対策で使う耐火塗料は、関西ペイントの耐火テクト及びSK化研のSKタイカコートの種類であり、いずれも所定の試験をクリアし建築基準法における耐火構造として国土交通大臣の認定を受けているものである（(仮)外外火05別紙a：耐火塗料の仕様について 参照）。
- 耐火塗料の塗装厚さは、実際の設備の設置状況及び熱容量を考慮し、熱影響が厳しいと考えられる9mm SUS平板を代表部材として解析を行った結果から、安全冷却水B冷却塔（安全上重要な施設）で3mm、飛来物防護ネット（安全上重要な施設以外）は2mmと設定し、それぞれ許容温度を超えないことを確認した（外外火05別紙△（仮：塗装厚さの考え方について）参照）。設定した塗装厚さは輻射熱を模擬した耐火試験を実施することにより、十分保守的な設定となっていることを検証した。（(仮)外外

火05別紙 b : 耐火試験について 参照)

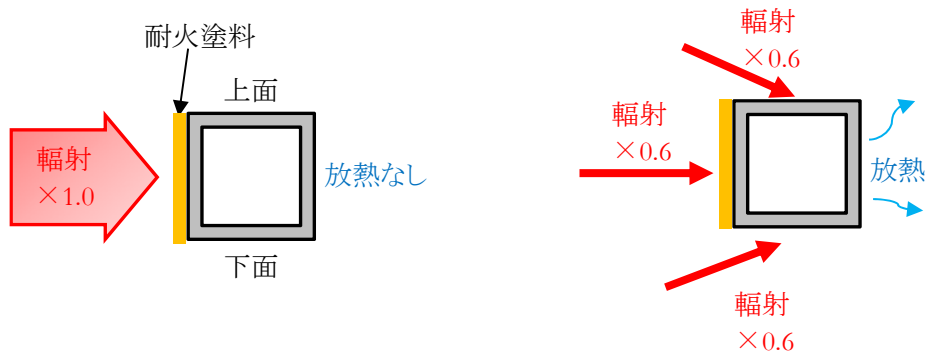
- 耐火塗料の塗装対象は、最も熱影響の大きい火炎からの水平輻射を考慮するため、火炎に正対する受熱面を有する鋼製部材のうち許容温度を満足しない部材とする。耐火塗料の塗装範囲は、火災源の設定、熱影響評価の対象とする部材の選定、許容温度を満足する離隔距離の算定、及び離隔距離の算定結果に基づく耐火塗料の塗装範囲の検討の順で実施する。火炎に正対する受熱面がない鋼製部材は、火炎からの斜め方向の輻射を考慮しても、その熱影響は相対的に小さいことを確認した（航空機墜落火災における斜め方向の輻射の影響の考慮についての基本ロジック（外外火05別紙参照））。

- 耐火塗料の塗装の有無や受熱する輻射熱の違いにより温度差が生じることの影響、及び火炎の高温空気による影響についても、評価対象の強度及び冷却性能に影響を及ぼすことはないことを確認した（(仮)外外火05別紙 c : 輻射熱の違いによって生じる温度差の影響について 及び (仮)外外火05別紙 d : 高温空気の影響について 参照）。

以上

航空機墜落火災における斜め方向の輻射の影響の考慮についての基本ロジック
(外外火 05 別紙)

- 本資料は、航空機墜落火災に対する遮熱板、耐火塗料の塗装の対策が、円筒火炎からの水平方向の輻射のみならず、斜め方向の輻射からの影響を包絡していることを示すものである。
- 航空機墜落火災に対する防護設計においては、外部火災ガイド等に基づいて以下のとおり保守的な条件を設定し、円筒火炎からの水平方向の輻射を考慮して影響評価及び防護設計を実施している。
 - ◆ 外部火災ガイド上、航空機墜落地点は墜落確率が 10^{-7} 以上になる範囲（評価対象から数 10～数 100m の地点）⇒ 竜巻防護対策設備の至近としている
 - ◆ 実際の火炎は先端に向かって先細る ⇒ 円筒火炎モデル（燃焼面積約 90m^2 ）を想定している
 - ◆ 航空機の墜落によって燃料は飛散して燃焼する ⇒ 積載燃料の全量が 1 箇所に集中して燃焼する
 - ◆ 航空機の離陸から墜落までの間に燃料は消費される ⇒ 燃料が満載の状態を想定する
 - ◆ 火炎面積の半径 3 m を超えると大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減する ⇒ 輻射発散度の低減を考慮しない
- 斜め方向の輻射の影響の評価はより現実に近い条件を適用するため、上記に示す保守的な条件のうち不確定性を含む条件を除く一部の条件を見直したうえで輻射発散度及び形態係数を設定するとともに、放熱を考慮することとした。
- 実現象における油面火災では、火炎直径が 10m を超えると給気供給不足により大量の黒煙が発生するため、輻射発散度が低減することを考慮する。航空機墜落火災において設定している円筒火炎の直径は 10.8m であるため、低減率の算出式（低減率 $r = \exp(-0.06D)$: D は火炎直径）から 0.52 の低減率が見込めるが、直径 10m に対する低減率 0.6 を適用する（石油コンビナートの防災アセスメント指針，消防庁特殊災害室，平成 25 年 3 月）。また、形態係数については、火炎と評価対象設備位置関係を踏まえて算出を行う（参考文献：RADIATIVE HEAT TRANSFER Second Edition, Michael F. Modest, 2003）。



- 上記の影響評価により、許容温度を超過する部材がないことを確認できることから、水平方向の輻射を考慮した防護対策（遮熱板、耐火塗料）は、斜め方向の輻射の影響も包絡したものになっているとすることができる。

以上