

## BFMCS 法を用いた確率論的リスク評価におけるフォールトツリー解析

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 曾我 知生

**1. 緒言** 原子炉などの複雑なシステムを対象としたリスク評価では、確率論的リスク評価(PRA)が用いられる。PRAにおいては、炉心損傷などの頂上事象が発生するシナリオとその頻度を評価する。その際、機器の故障発生を示す基事象と論理ゲートによって構成されたフォールトツリー(FT)の解析を行う。FTの解析において、事故を発生させる基事象の最小组み合わせ(Minimal Cut Set : MCS)を求める必要がある。MCSの数はFTに含まれる基事象の数が増えるほど増加し、解析に要する時間が長くなる。この問題を解決するため、基事象の確率値に基づきカットオフを考慮する網羅的MCSs生成法(Brute Force MCSs generation method with cut-off : BFMCS法)を考案した。基事象を42種類考慮するFTに対してBFMCS法を適用し、計算時間と計算精度の調査を行った。

**2. 計算手法** BFMCS法の計算は、基事象組み合わせの作成、カットオフの判断、作成された組み合わせによって頂上事象が発生するかの判断の3つを再帰的に行った後、MCSへの圧縮を行うことを行う。図1にて、 $N$ 個の基事象数によって構成されたFTを解析する時、再帰的に行われる探索プロセスを示す。初めに、基事象数と同じだけFalse(発生しない)が並んだ配列を作成し、前から $x$ 番目の基事象を選択してTrue(発生)とする。続いて、Trueとなっている事象すべての発生確率を積算して、基事象組み合わせの発生確率を算出する。発生確率が事前に規定した値を下回っていた場合はこの基事象の組み合わせを考慮しない(カットオフ)。カットオフが発生しなかった場合、基事象の組み合わせに対してFT内の頂上事象が発生するかを判定する。発生する(True)場合、基事象の組み合わせを保存する。頂上事象が発生しない(False)場合、 $x$ 番目の基事象をTrueとしたまま $x$ の値を1増やして $x+1$ 番目の探索プロセスを再帰的に行う。全ての組み合わせに対して探索を行った後、保存されていた基事象組み合わせの中でMCSではないもの(より要素数が小さい基事象の組み合わせによって表現することができるものを)削除する。最後に、残ったMCSすべての発生確率を合計する。カットオフ値は、入力値として与える基事象の発生確率と、考慮する同時発生事象数から概算することができる。

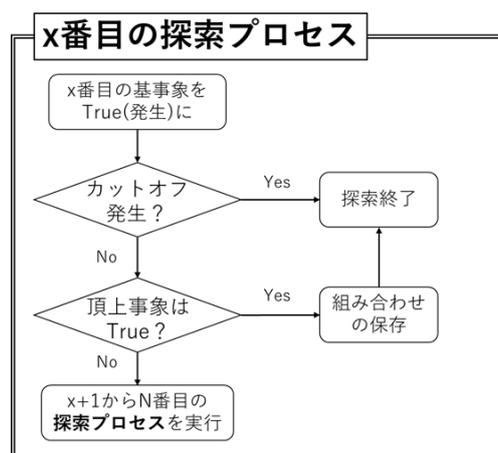


図1: BFMCS法探索プロセスの概要

**3. 計算結果** 解析対象とするFTの基事象数は42個であり、FTの頂上事象はAFW-ECCS(補給給水系による二次冷却失敗とECCSによる注水失敗が同時に発生する事象で全冷却喪失に相当)とした。事故の起因事象としては、LOSP(外部電源喪失)事象とSLOCA(小LOCA)事象を想定し解析を行った。LOSP事象とSLOCA事象の両者においてBFMCS法を適用して全冷却喪失の発生確率を算出した結果、参照解と同一のMCSを出力することができた。また、カットオフ値を大きな値( $10^{-10}$ )に設定することで、参照解と同一の結果を出力するカットオフ値が小さい値( $10^{-30}$ )の解析と比較し、出力されるMCSの発生確率の合計値を大きく変化させることなく計算時間を10万分の1まで短縮できることを確認した(表1)。今後は、基

表1 BFMCS法による解析結果の比較(LOSP事象)

カットオフ値	発生確率合計	MCS数	計算時間 [s]
1.00E-10	1.480373E-05	36	0.02
1.00E-30	1.480535E-05	1079	7638

事象数がより多いFTに対する本手法の適用可能性について検討を行うとともに、算出されるMCSの合計発生確率を考慮した適切なカットオフ値の検討を行う。