



レベル2PRAの品質向上に係わる要素技術開発

-シビアアクシデント解析コードを用いた安全評価技術および格納容器イベントツリー定量化手法の整備-

- レベル2PRAの品質向上のためには、炉心損傷に至る事象シーケンスグループを分類し格納容器機能喪失形態を特定すると共に、シビアアクシデント(SA)解析コードを用いて格納容器機能喪失タイミングや事故緩和操作の時間裕度を把握し格納容器イベントツリー(CET)を構築してこれを適切に定量化することが重要である(原子力発電所におけるPSAの品質ガイドライン、H18、NISA・JNES)。
- 事業者と規制当局でそれぞれ使われている代表的なSA解析コードMAAP及びMELCORを導入し、BWR代表プラントを対象に事故進展解析を実施して、評価結果の相違の要因を分析・特定した。また、使用済燃料プール(SFP)でのSA挙動をMAAPコードにより評価し、その結果は事業者による原子力規制委員会での審査対応に活用された。
- さらに、CETの定量化手法として現象相関ダイアグラム法(PRD手法)に着目し、これをSA時の水素燃焼、MCCI、再臨界などの非線形性の強い事象に適用した結果、CET分岐点確率をより客観的に評価することが可能であることを確認した。

シビアアクシデント解析コードを用いた安全評価技術の整備

■ 研究の狙い

● 背景:

- 新規規制基準ではSA発生を想定し、アクシデントマネジメントとその有効性評価の実施を事業者に要求
- SA評価用解析コードは事業者側(MAAP)と規制側(MELCOR)で異なり、事象進展やプラント過渡応答に差が発生

● 目的:

- MAAPとMELCORによる評価結果の差異の要因把握
- SFPでのSA発生を想定した燃料損傷防止対策の有効性評価をサポートし、事業者の新規制基準対応に貢献

■ 成果の特徴

- **MAAPとMELCORの比較:** BWR代表プラントの全交流電源喪失事象を対象にMAAPとMELCORの比較解析を実施し、結果の相違をもたらす要因を整理するとともに、モデルの違いが事故時挙動の予測結果に及ぼす影響を明らかにした(表1、図1)。
- **SFPでのSA解析:** SFPを対象にプール水位が燃料頂部より下がる場合、また完全にプール水が喪失する場合等を想定したMAAP解析を実施し、SFP内に貯蔵された燃料集合体の除熱に関する特徴を明らかにした(図2、3)。

表1 解析モデルの違いによる影響

現象	モデルの違いによる影響
デブリの微粒化と冷却	・ MAAPの方がデブリ粒径が小さく評価され、伝熱面積が格段に大きく評価されるため、下部プレナムでより冷却される結果となる
原子炉容器下部ヘッダの破損	・ MELCORの貫通部溶融破損温度はMAAPより約600K低いため、貫通部の過温破損が早期に発生する ・ MAAPでは貫通部過温破損よりも貫通管の逸出の方が先行して発生する傾向がある
溶融炉心とコンクリートとの反応(MCCI)	・ MCCIの初期条件とデブリ熱伝達モデルの違いにより、PCV内の圧力と雰囲気温度、ベテスタルでの水素発生量やコンクリート侵食深さに差が発生する

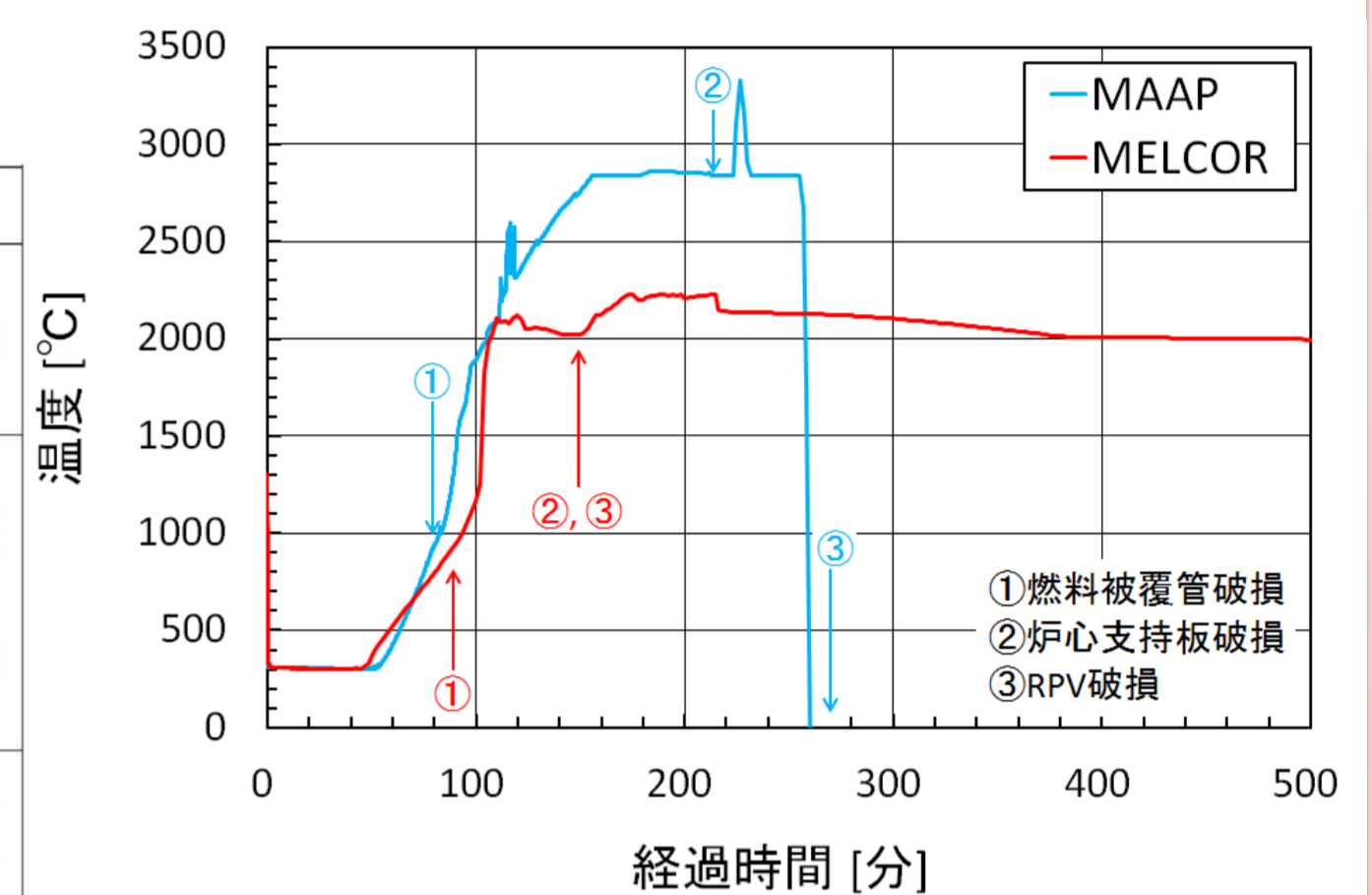


図1 炉心最高温度の時刻歴

(出典) 西村他、「MAAP5.01及びMELCOR2.1を用いた軽水炉代表プラントの過酷事故解析 - BWR-5/Mark-II改良型プラントの全交流電源喪失解析の比較 -」、電力中央研究所報告L13006 (2014年6月)。

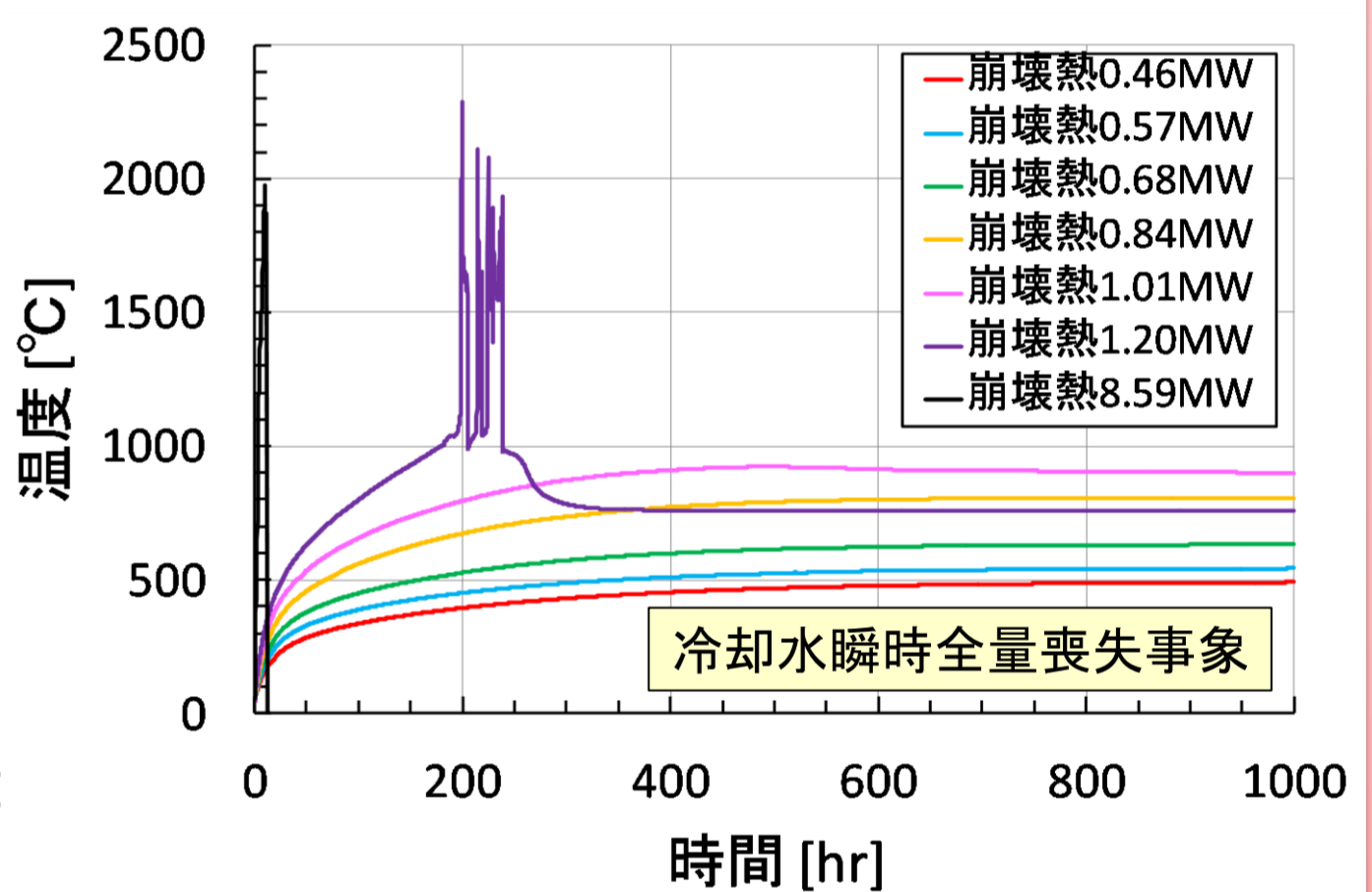
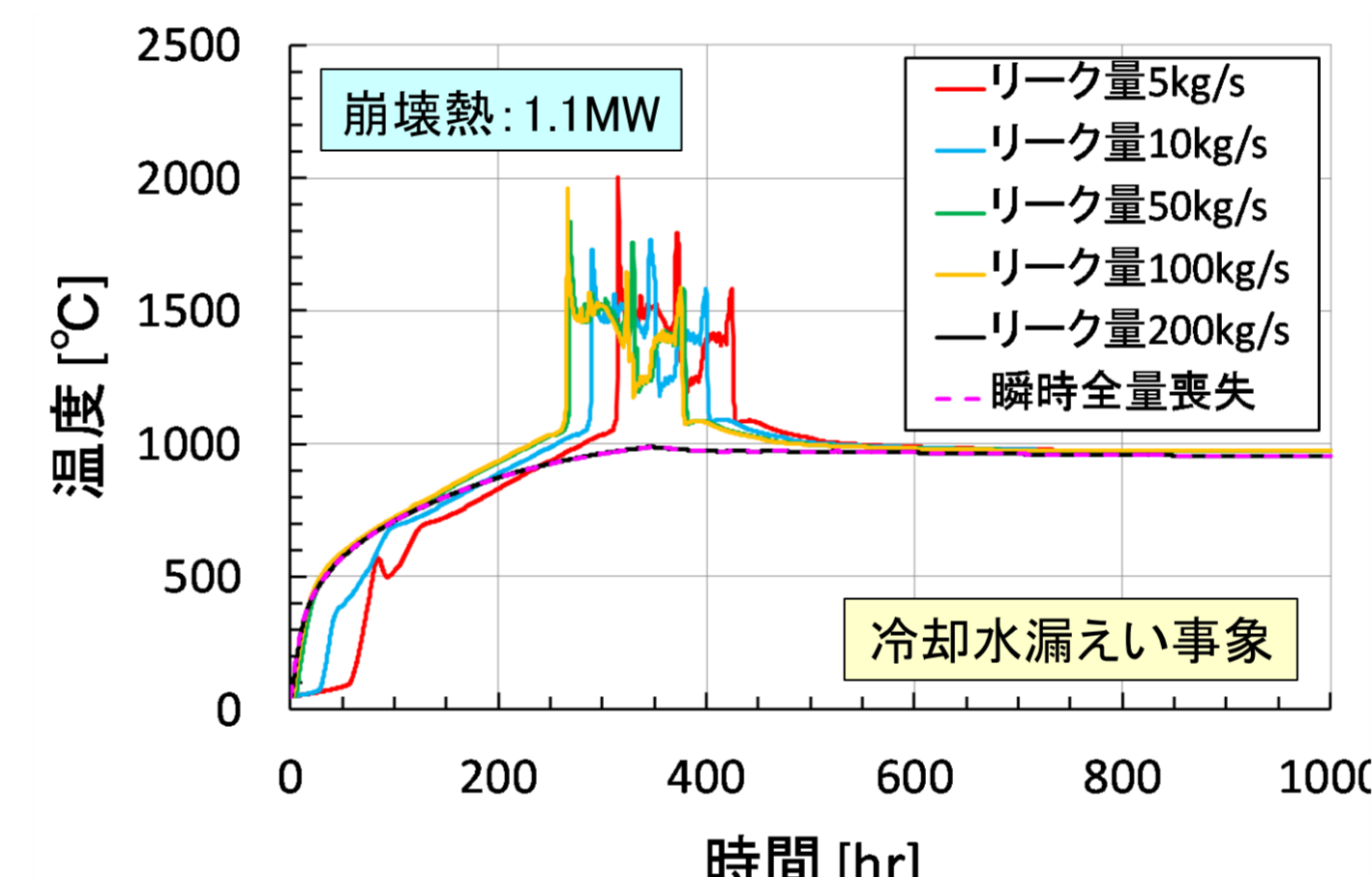


図2 冷却水リーク量を変化させた時のSFP内最高温度の時刻歴

図3 崩壊熱を変化させた時のSFP内最高温度の時刻歴

(出典) 西村他、「使用済燃料プールの事故時冷却特性評価 - MAAPコードを用いた冷却機能及び冷却材喪失事故解析 -」、電力中央研究所報告L12007 (2013年5月)。

格納容器イベントツリー定量化手法の整備

■ 研究の狙い

- **目的:** SA時に考えられる再臨界事象にPRDを適用し、放出エネルギーを決定する臨界固有値や反応度挿入率などの非線形性が強い事象に対しても発生確率を定量的に評価できることを示す。
- **PRD:** CETを構成する分岐点のSA事象を頂上事象とし、その要素を下位に展開し、要素間の因果関係を物理方程式で記述し、最下位事象の確率分布から頂上事象の確率を評価する手法。

■ 成果の特徴

- **CET:** SA時の炉心部、RPV底部、PCV底部で考えられる再臨界事象を同定するCETを展開(図4上)。
- **PRD展開:** PCV底部での放出エネルギーを評価するPRDは、物質再配置(①)、デブリ固有値(②)、反応度挿入率(③)を記述するサブPRDとこれを結合する核動特性方程式から構成される(図4下)。
- **発生確率:** デブリ固有値の確率は、デブリ粒子径、含水率、ウラン対金属原子数比などの素事象の確率分布で決定される。また、反応度挿入率は燃料落下(燃料反応度)、デブリの冷却材沸騰(ボイド反応度)、燃料温度変化(ドップラー効果)、デブリ内の中性子吸収物質の密度分離(B4C反応度)などの核・熱水力挙動で決定される。

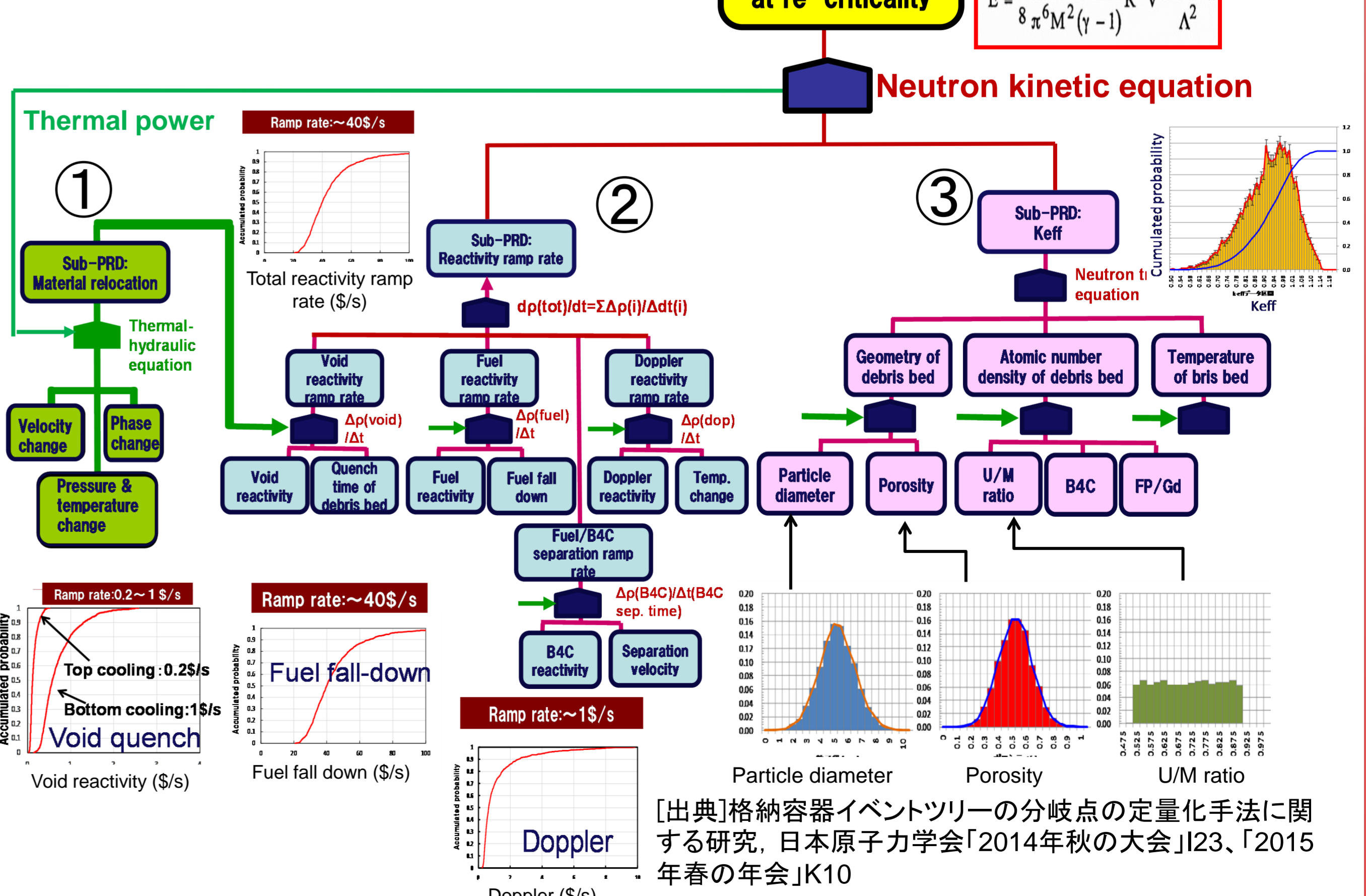
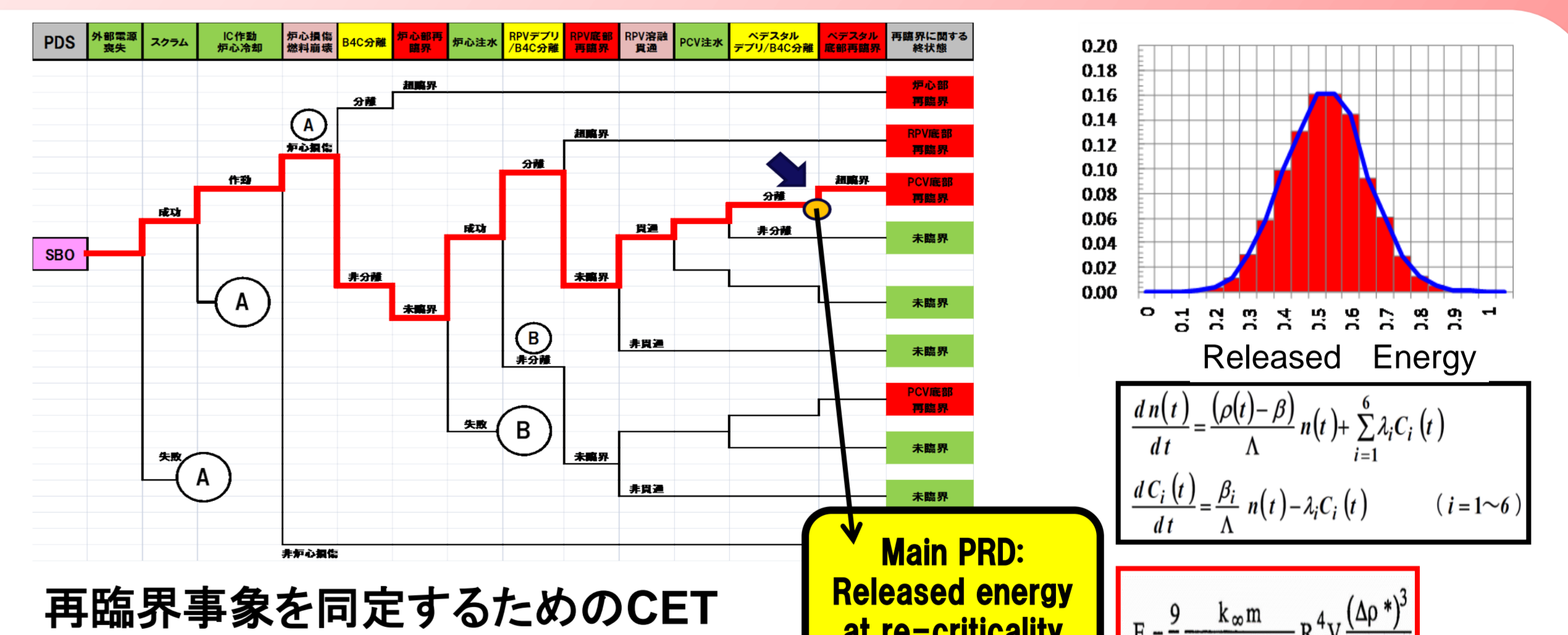


図4 再臨界時の放出エネルギーの発生確率を評価するPRD

[出典] 格納容器イベントツリーの分岐点の定量化手法に関する研究、日本原子力学会「2014年秋の大会」I23、「2015年春の年会」K10