

---

---

# 重大事故に至る事故シーケンス グループの技術的背景と 福島事故

---

---

平成30年9月6日

○梶本 光廣、星 陽崇

原子力規制庁長官官房  
技術基盤グループ  
シビアアクシデント研究部門

〒106-8450 東京都港区六本木1-9-9 六本木ファーストビル  
TEL. 03-5114-2224, e-mail [mitsuhiro\\_kajimoto@nsr.go.jp](mailto:mitsuhiro_kajimoto@nsr.go.jp)

# 報告内容

- はじめに
- 重大事故に至る事故シーケンスグループ
- 福島原子力発電所事故
- おわりに

# はじめに

- 2011年3月11日、東京電力福島第一原子力発電所の1号から3号までが炉心損傷に至るとい、重大な事故が発生した。
- 事故後に、国会事故調、政府事故調、民間事故調、事業者、学会からも事故の分析及び教訓などの事故関連の報告がとりまとめられた。
- このような動向の中で、事故の翌年の2012年9月には、原子力規制委員会/原子力規制庁が発足し、炉心が著しい損傷を伴うような「重大事故」対策の要求を含む「新規制基準」の策定が進められた。

## はじめに(続き)

- 新規制基準の策定は、原子力規制委員会、原子力規制庁、支援技術機関、大学等の専門家を構成員とした検討チームによって、23回の公開会合の後に、取り纏められた。その後、パブリックコメントを経て、2013年7月に施行された。
- 新規制基準の「重大事故」に対する検討においては、それまでのシビアアクシデント（SA）研究及び確率論的リスク評価（PRA）研究の技術的背景が重要な役割を果たした。
- この報告では、これら知見の風化をさせないためにも、技術的背景をあらためて紹介する。

# 重大事故に至る事故シーケンスグループ

原子炉施設において、「シビアアクシデント現象が発生する事故シナリオの種類と影響及び頻度は、いかに。」

- 米国のWASH-1400（1975）研究において、確率論的リスク評価の手法が適用され、事故の発端となる起因事象とその後の事故緩和系の作動・不作動の組合せ（事故シーケンス）を樹形図（イベントツリ：ET）で表現する方法が導入された。
- その後、樹形図は詳細化され大規模で複雑化したのが、基本的なアプローチは現在も変わっていない。

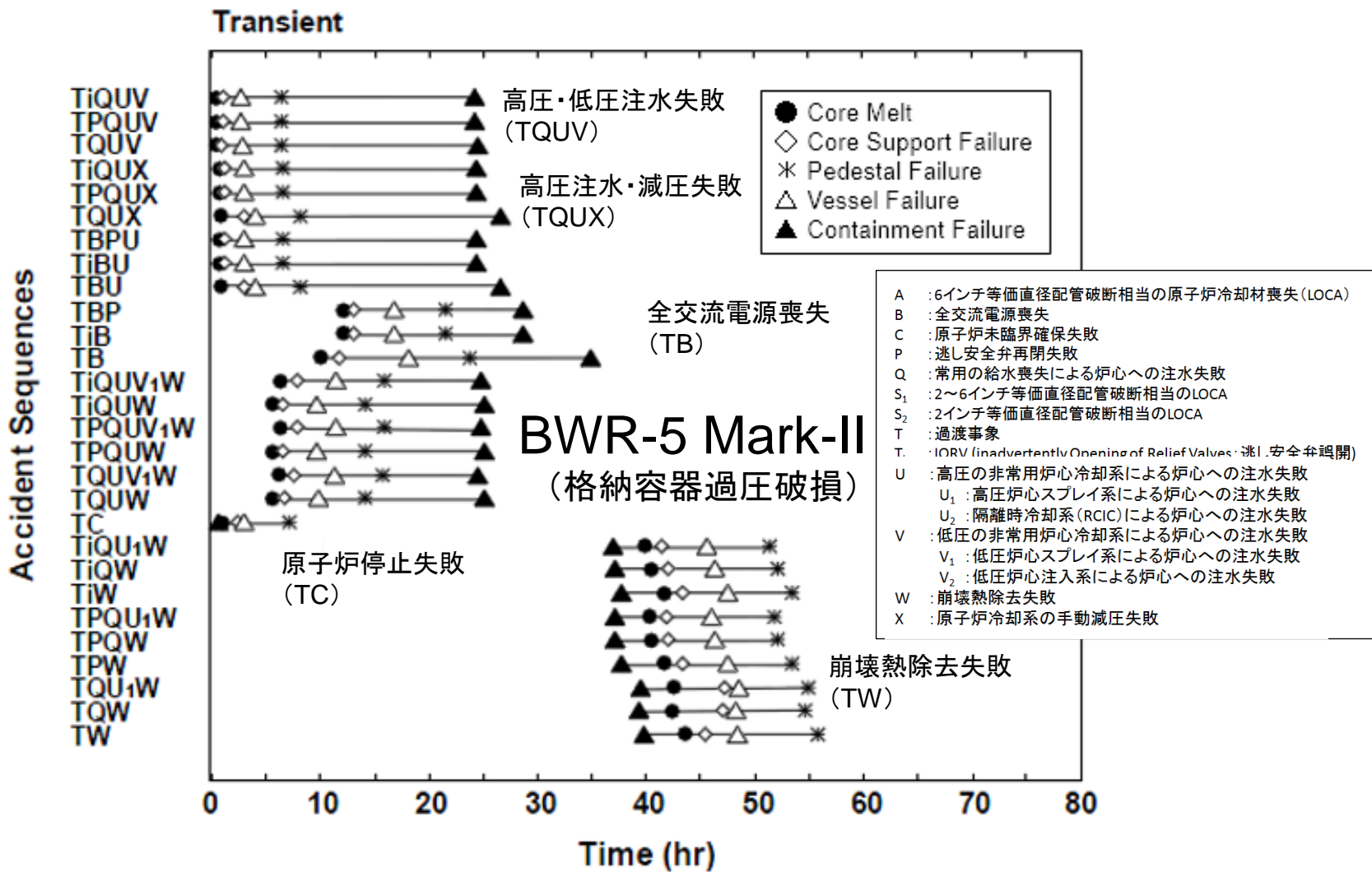
# 事故シーケンスグループ

- シビアアクシデント研究の進展に伴って、樹形図で分類する事故シーケンスの種類は拡大するのではなく、事故進展及び放射性物質挙動の特徴が類似した少数の事故シーケンスグループに分類できることが分ってきた。
- 1990年代の初めには、シビアアクシデント研究と確率論的リスク評価の研究の成果とが相互補完できるようになり、事故シーケンスグループの検討が飛躍的に進んだ。これらの成果は、日本原子力学会のPRA実施基準にも反映されている。

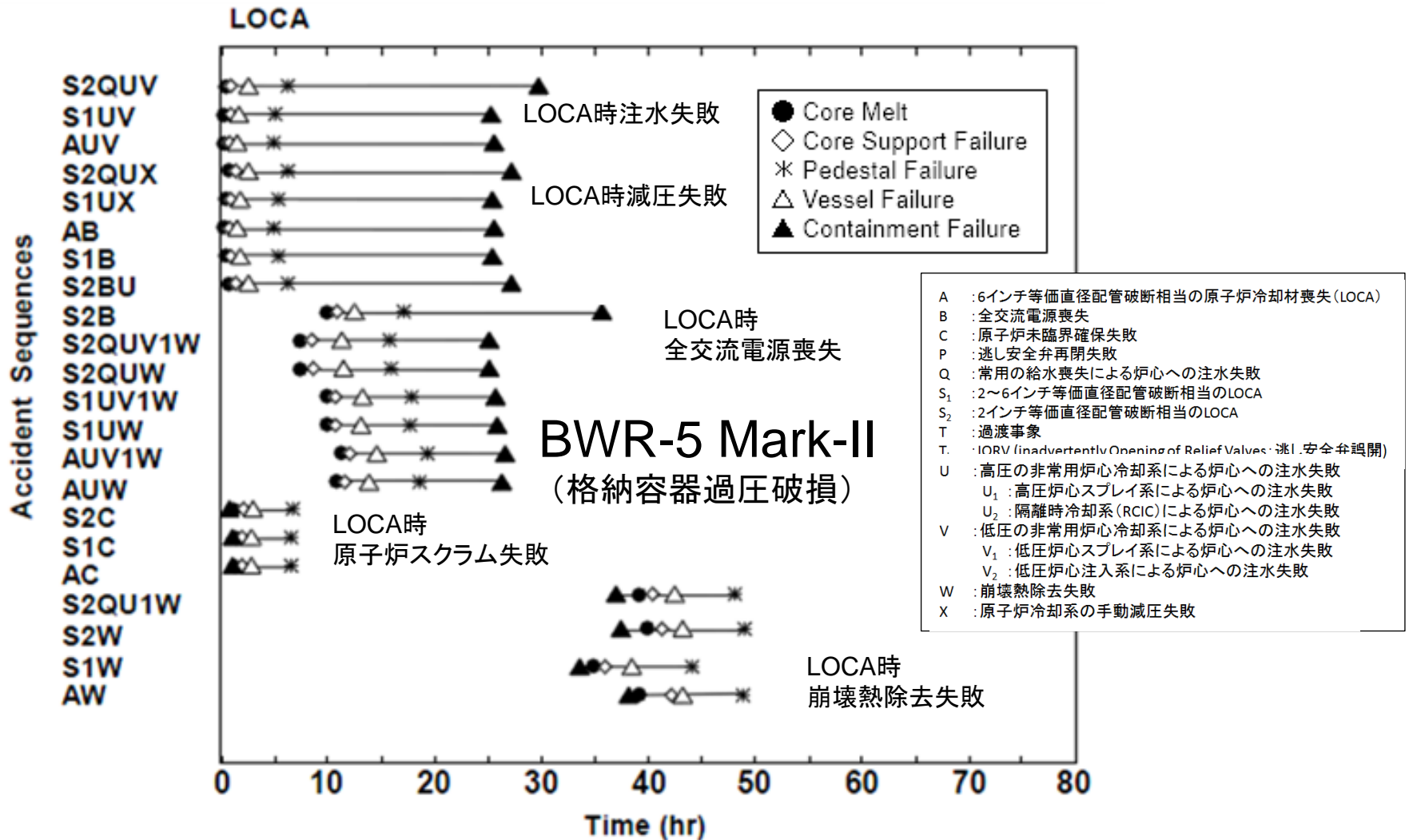
事故シーケンス：

事故の発端の事象と、事故緩和系の機器・系統の成功・失敗の組合せのこと

# 重大事故の事故進展の特徴



# 重大事故の事故進展の特徴(続き)

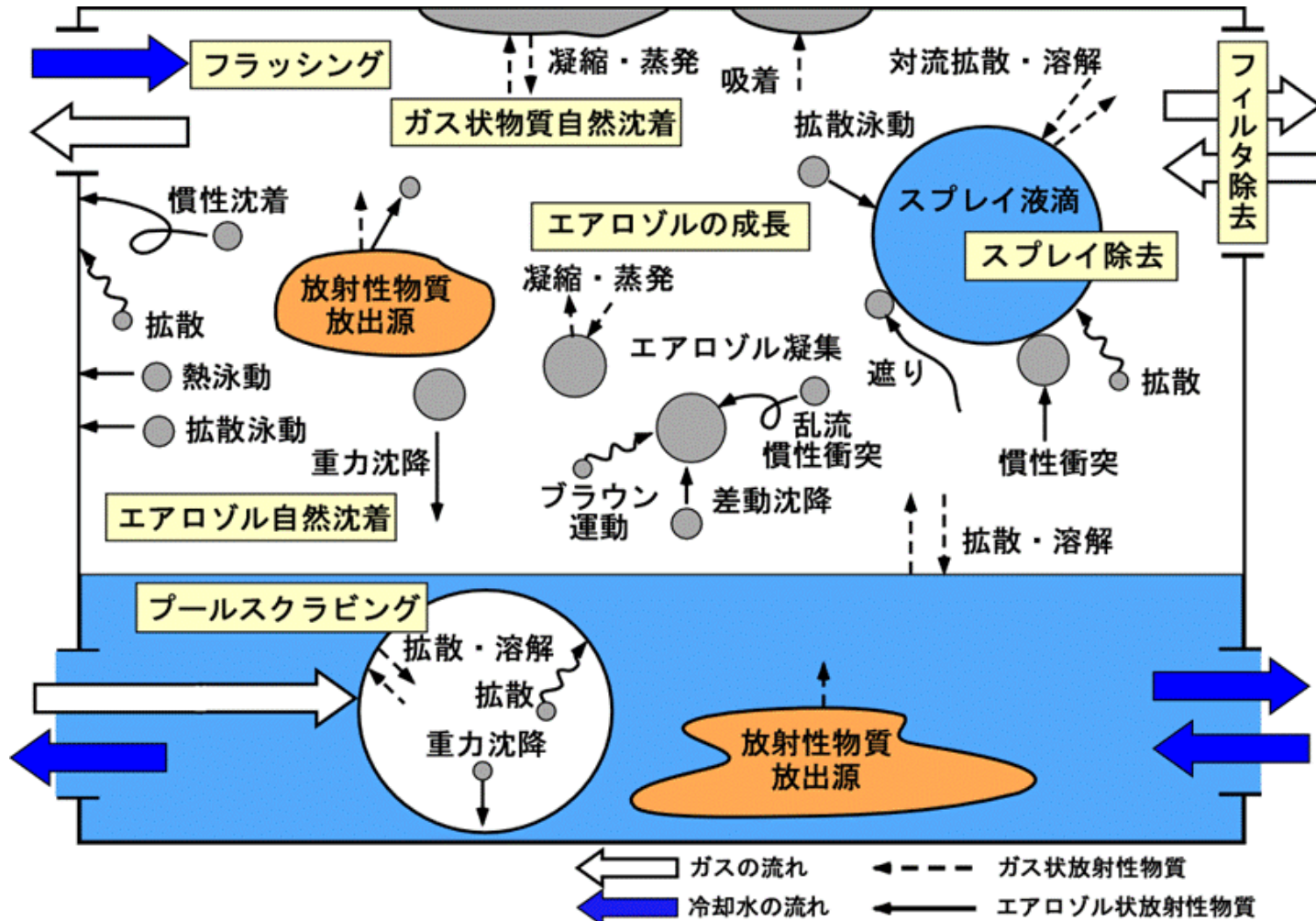




# 重大事故の事故進展の特徴(続き)

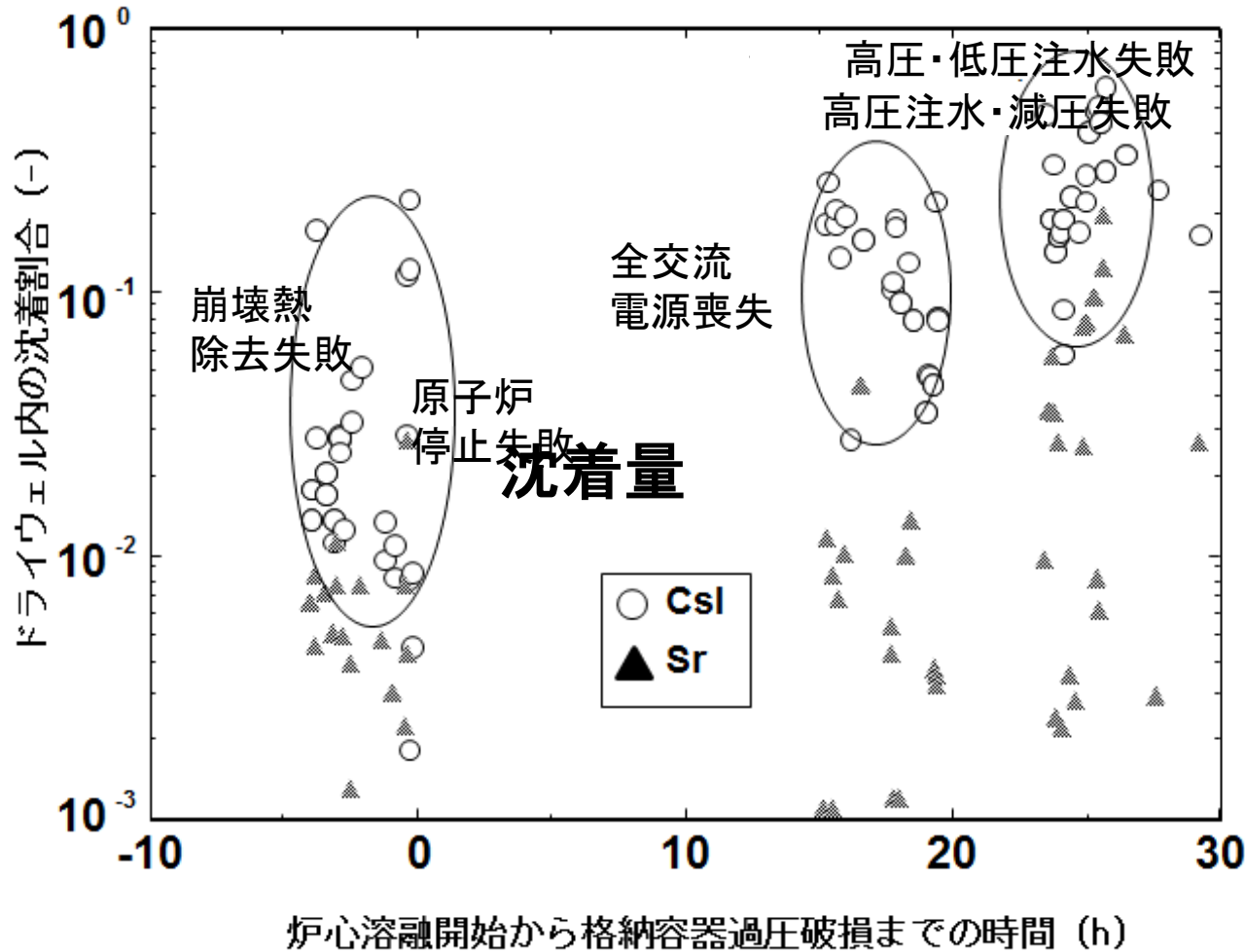
- 過渡事象発生後に、炉心への注水に全て失敗すると、事象の進展は早い (TQUV)。また、高圧系による炉心への注水が失敗し、減圧にも失敗すると、低圧系による炉心への注水が困難になり、炉心損傷に至る (TQUX)。
- 全交流電源喪失 (TB) の場合、バッテリーが枯渇するまでは、蒸気駆動系による炉心への注水が可能で、炉心損傷に至るのは、それ以後である。
- 崩壊熱除去失敗 (TW) の場合は、炉心への注水が成功して炉心の水位が維持されるものの、格納容器雰囲気圧力の抑制が困難になり、事故後、2-3日で格納容器が破損する。その後、炉心損傷に至る。
- 原子炉停止に失敗 (TC) すると、事故後、早い時期に格納容器が破損して、その後に炉心損傷に至る。

# 放射性物質挙動の特徴



梶本光廣, 「連載講座軽水炉の確率論的安全評価 (PSA) 入門 第5回内の事象レベル2 PSA」, 日本原子力学会誌, Vol. 48, No. 8, 571 (2006).

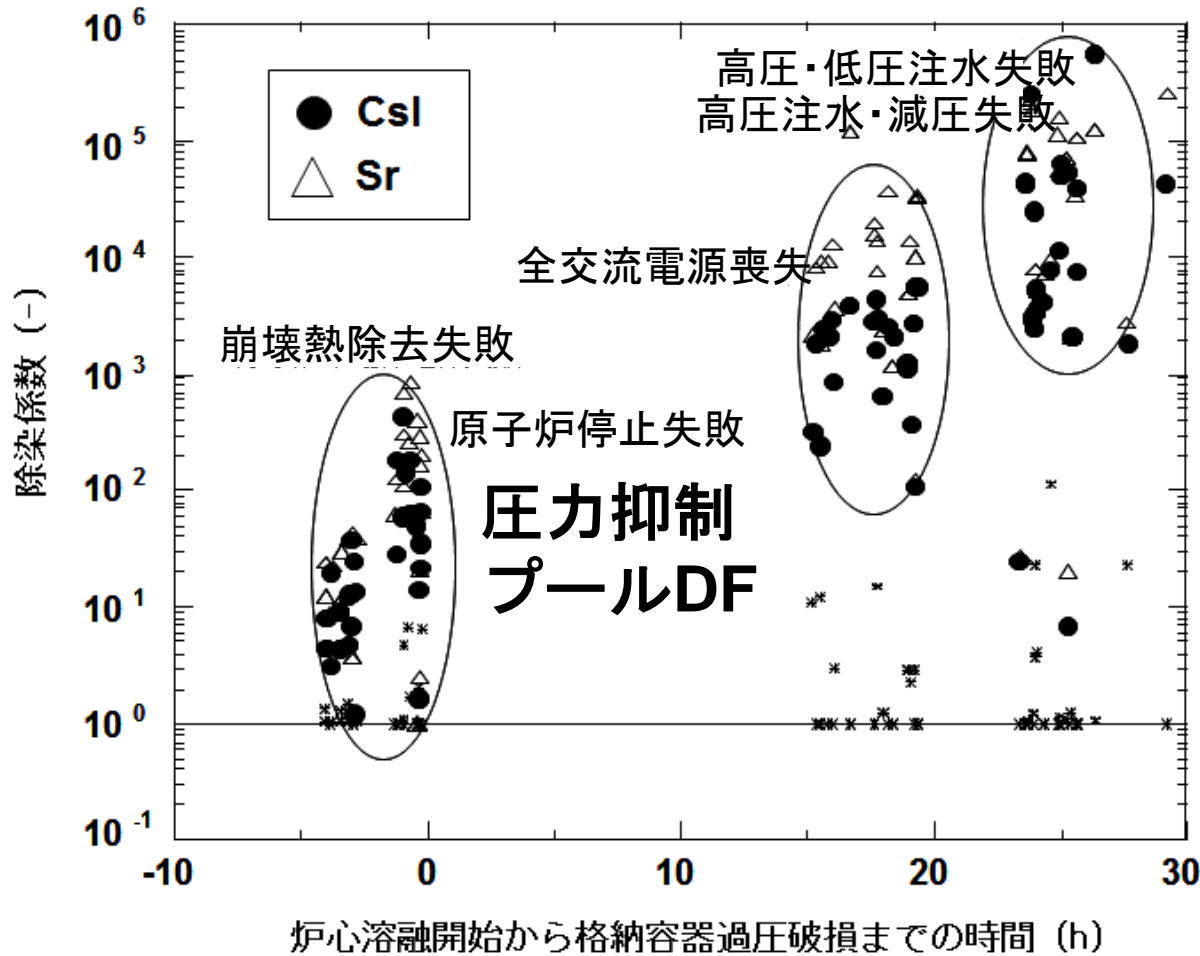
# 格納容器内での放射性物質沈着量



炉心損傷から格納容器破損に至るまでの時間が長い事故シーケンスでは、燃料から放出されたよう素やセシウム、ストロンチウム等は、格納容器内での自然沈着で多くが除去される。

格納容器先行破損の事故シーケンスでは、他の事故シーケンスと比べて、大気中への放出割合が相対的に増加する。

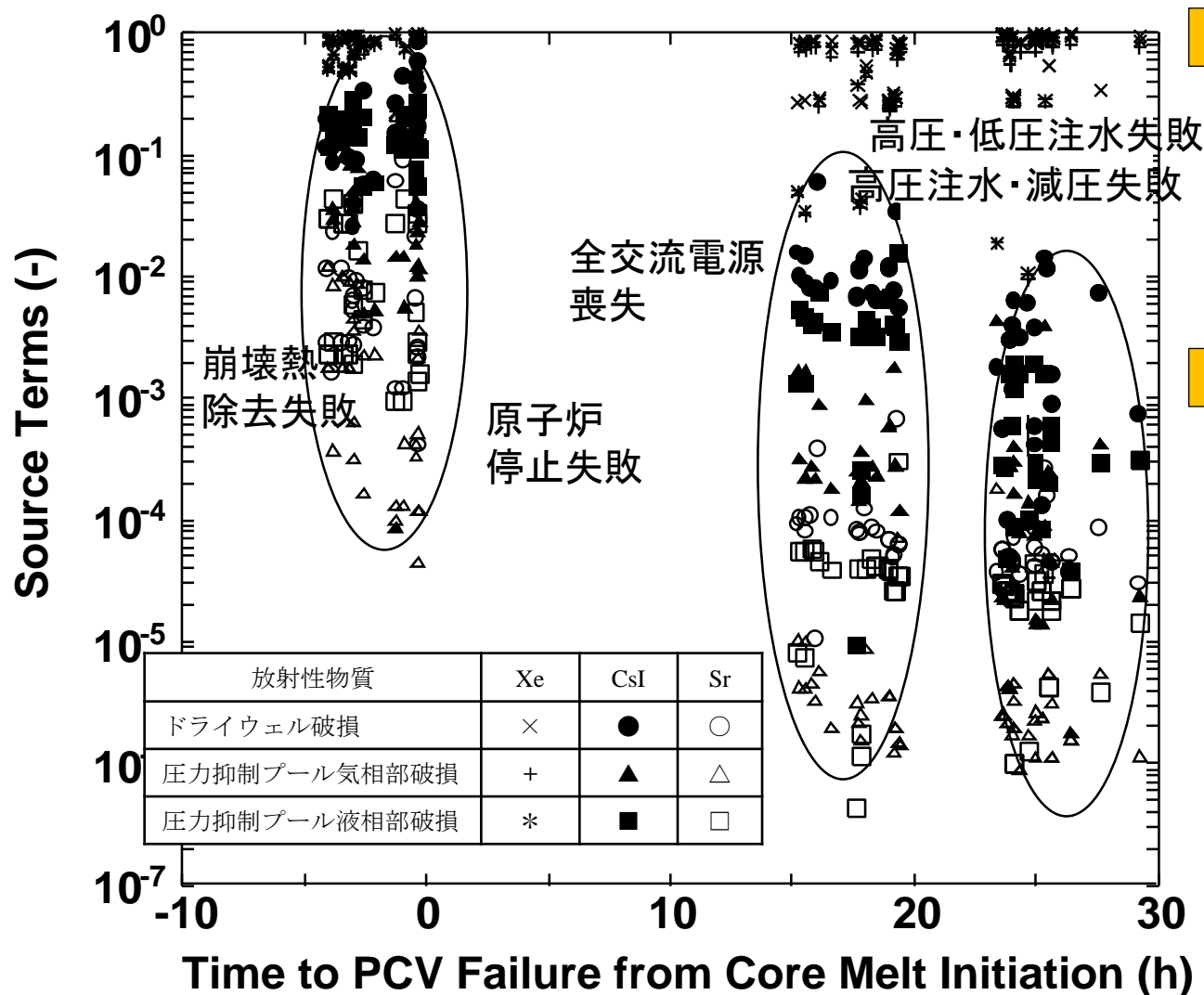
# 圧力抑制プールでの放射性物質除染係数



圧力抑制プールでのプールスクラビングによる放射性物質の除染効果は大きく、全交流電源喪失の事故シーケンスで概ねDF=1000、高圧・低圧注水失敗のケースではDFが1000を超える。

格納容器先行破損の事故シーケンスでは、圧力抑制プールが飽和状態に近く、プールスクラビングによる除染効率が低下する。

# シビアアクシデント時のソースターム



ソースタームは、事故シーケンスグループに応じた特徴に加えて、放出経路にも強く依存する。

ドライウエル気相破損の場合、よう素のソースタームは、炉心内蔵量に対して数%弱である。ウェットウエル気相が破損する場合は、放出経路途上の圧力抑制プールで放射性物質が除染される。

# 事故進展及び放射性物質挙動

- 1990年代になると、シビアアクシデント研究及び確率論的リスク評価の研究が進み、イベントツリーの樹形図で表された事故シーケンスの事故進展及び放射物質挙動を解析し、それらの特徴が幾つかの事故シーケンスグループを構成することが明らかになってきた。
- また、大気中へのソースタームは、事故進展のグループに加えて、大気中への放出経路（例えば、格納容器からの漏洩箇所）に強く依存することを踏まえておく必要がある。

# 福島原子力発電所事故

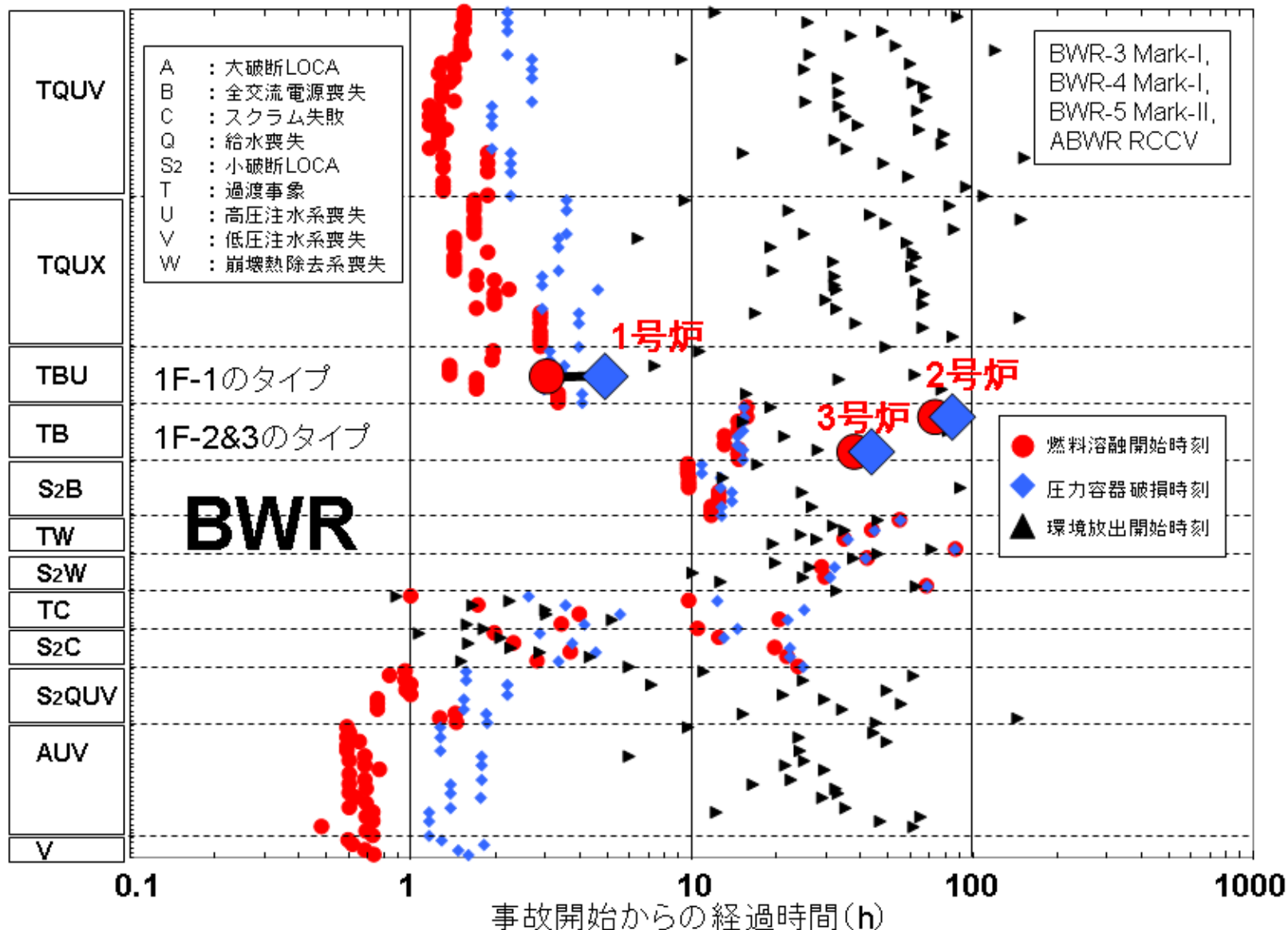
- 福島第一原子力発電所の事故後、旧JNESや東京電力において、1号～3号の事故進展の解析が、多くの仮定を設定して実施された。
- 現在も1号～3号までの格納容器内のデブリの調査・分析が進められている状況である。
- このため、幾つかの仮定の下であるが、福島第一原子力発電所の。1号～3号までの事故進展を、事故シーケンスグループの視点から見ることにする。

IAEA日本政府報告書（2011年6月）。

1号～3号の事故進展の解析：星陽崇、JNES-RE-2011-0002 (2011)。

# 福島第一発電所の事故の進展

梶本光廣  
独立行政法人原子力安全基盤機構



原子力安全委員会防災専門部会、第5回防災指針検討WG資料（防WG第5-2号）に加筆



## 福島原子力発電所事故（続き）

- 福島原子力発電所の1号炉は、全交流電源喪失に加えて津波によって直流電源も喪失し、TBUの事故シーケンスと類似の事故進展である。
- 3号炉は典型的な全交流電源喪失TBに類似した事故進展であり、2号炉は結果的にTB亜流型の事故進展である。
- このように、1号～3号までの事故進展は、事故シーケンスグループの割付に概ね合致する。

注：

第5回防災指針検討WG資料の図に、星陽崇氏の1号～3号の計算結果を重ねてプロットしている。福島事故では、1号～3号まで地震で原子炉が停止し、津波襲来以後にTBU, TB等の事故シーケンスに移行した（時間にズレがあるので注意）。

# おわりに

福島原子力発電所の事故後、原子力規制委員会が発足した2012年の10月から原子力規制委員会「検討チーム」会合において、重大事故対応の新たな規制を含む新規制基準の策定を進めた。

- 福島原子力発電所の事故のタイプだけでなく、それまでのシビアアクシデント研究及び確率論的リスク評価研究の技術的背景を踏まえて、重大事故に至る事故シーケンスグループを体系的に検討した。
- 福島第一原子力発電所の炉心内及び格納容器内の損傷状況の調査・分析は、現在でも進められている。今後、事故進展及び放射性物質挙動に関する新たな知見を系統的に分析すること、そして得られた知見を原子炉施設の継続的な安全性向上のための方策に着実に反映することが重要である。