
リスク情報の活用について

平成30年8月20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 技術参与

〒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

報告内容

- はじめに
- リスク情報の活用分野
- ソースタームと
確率論的アプローチ
- おわりに

はじめに

- 福島事故後、原子力発電所の安全性について、PRAを含めたリスク情報の活用の議論が、原子力規制委員会、電気事業者及び学協会が進められている。
- リスクは、事象の「影響の大きさ」と「発生頻度」という2種類のパラメータを含む。
- 原子炉施設のPRAの場合、「影響」の種類によって、「炉心損傷」頻度、「格納容器機能喪失」頻度、「ソースターム」頻度等を導入して、活用分野を検討してきた。

はじめに(続き)

- 最近は、リスクに限定することなく、「確率論的なアプローチ」から得られる情報も範囲に含めているように見える。
- この報告では、これまで研究機関・規制機関でソースターム研究に従事してきた背景を踏まえて、事故時のソースターム評価に関する「確率論的なアプローチ」を考察する。

注：ソースターム

放出される放射性物質の種類、性状、放出量、放出開始時期、放出継続時間、放出エネルギーの総称

格納容器へのソースターム、大気中へのソースターム等、放出先に注意することが必要

この報告では、格納容器又は大気中へ放出される放射性物質の主として放出量（炉心内蔵量に対する割合）の意味で使う。

リスク情報の活用分野

福島事故後、原子力発電所の安全性確保にPRAや確率的アプローチを適用した議論が進められている。

リスク情報の活用

活用分野	項目	適用
許認可	事故シーケンスグループ	評価対象事故の抽出
	外部事象ハザード	震源・地震動の設定
検査	検査の重点化	重要度等の指標値
安全性向上評価	継続的な安全性向上	PRA、安全裕度評価による改善事項抽出
オンサイト防災	緊急時活動レベル	指標の合理性
安全目標	規制の達成目標	発電炉等

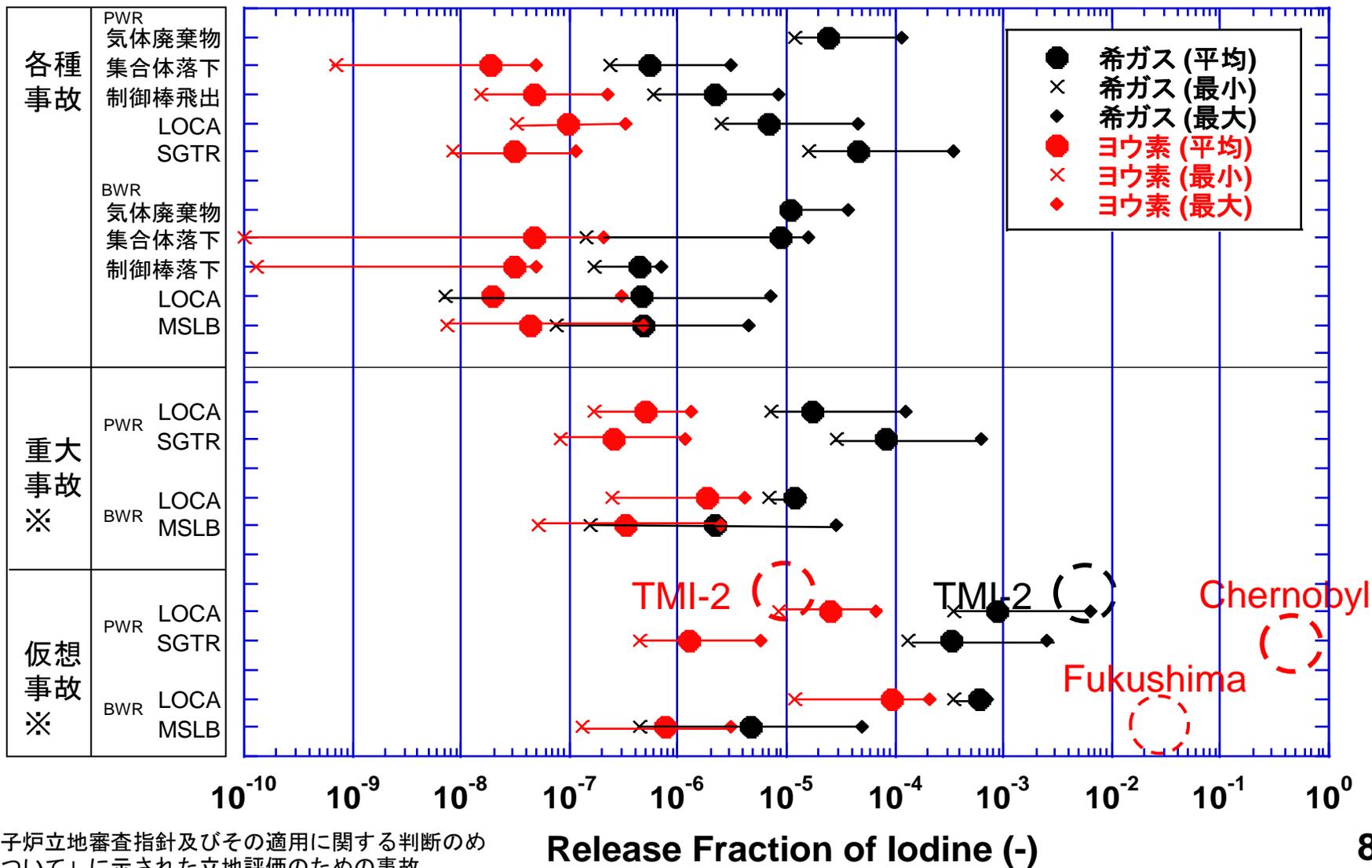
- 新規制基準の中で重大事故対策の対象にする事故シーケンスグループが同定されている。事業者はPRA等を実施して、追加すべきグループがあれば、それも含めることが要求されている。
- 地震のハザード評価において、確率論的アプローチを適用する。リスク情報活用の分類ではないが、潜在的な可能性まで考慮した重要な安全性確保のアプローチである。
- 新検査制度においては、リスク情報を活用した検査が検討されており、2018年10月から試運用を開始し、1.5年後に本格運用をする。
- 新規制制度の中で、事業者はPRAを含む安全性向上評価の結果を公表することが義務付けられている。

ソースタームと確率論的アプローチ

- 事故時のソースタームの議論は、古くて新しい。新規基準に引用されている「旧安全委員会の指針類」の事故（巷に言う「各種事故」）の評価の中で、大気中への放出量の計算方法が詳細に示されている。
- また、同安全評価指針の中で、「事故は、発生する頻度はより低い、-----」とある。ここで、「より低い、」は、「「運転時の異常な過渡変化」に属するものは、原子炉施設の寿命期間中に1回以上発生する可能性があると思われる事象」と比較しての話である。
- いずれにしても、事故時のソースタームのプロフィールを把握しておくことが重要である。

「事故」のソースターム評価例

バラツキの幅は、原子炉施設による違いによる。



※「原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のためやすについて」に示された立地評価のための事故

- 各種事故のソースタームに注目すると、
 - a) 事故の種類によってソースタームの違いがあるものの、よう素の場合は、炉心内蔵量に対して、 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ の範囲である。
 - b) 希ガス類は、原子炉施設内での沈着等がないため、よう素類と比べてソースタームが大きい。
- また、
 - a) 原子炉施設によるソースタームの差異は、各種事故のいずれも1桁程度である。

ただし、各種事故のソースターム評価において、放出経路、沈着・除去の計算の保守性のとり方が異なっているため、各種事故のソースタームを互いに比較する場合は、注意が必要である。

「重大事故」のソースターム評価例

- 新規制基準適合審査において、PWR原子炉施設の事業者は、重大事故時のソースターム評価に際して、米国NRCが提唱したNUREG-1465の「格納容器への更新ソースターム」を適用している。
- NUREG-1465の更新ソースタームは、シビアアクシデント研究及び確率論的リスク評価の結果をレビューして、米国NRCが1995年に策定したものである。
- この更新ソースタームは、従来（TID-14844）の「ある割合が瞬時に格納容器へ放出」等の過大な保守的仮定を排して、最新知見を反映して、事故進展のフェイズに応じて、放出量と放出率を提示した。

NUREG-1465:PWR原子炉施設

放射性物質の種類		被覆管 破損放出	早期圧力容 器内放出	圧力容器 外放出	晩期圧力容 器内放出	合計
希ガス	NG	0.05*	0.95	0	0	1
ハロゲン	I	0.05*	0.35	0.25	0.1	0.75
アルカリ金属	Cs	0.05*	0.25	0.35	0.1	0.75
テルル	Te	0	0.05	0.25	0.005	0.305
ストロンチウム	Sr	0	0.02	0.10	0	0.12
貴金属	Ru	0	0.0025	0.0025	0	0.005
セリウム	Ce	0	0.0005	0.005	0	0.0055
ランタン	La	0	0.0002	0.005	0	0.0052
放出継続時間		0.5h	1.3h	2.0h	10h	
事故開始からの経過 時間		30s~ 0.5h	0.5h~ 1.8h	1.8h~ 3.8h		
				1.8h~11.8h		

* 炉心が損傷しない事故の場合は0.03とする。

L.Soffer, S.B.Burson, C.M.Ferrell, T.Y.Lee & J.N.Ridgely, 'Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants,' NUREG-1465, 13(2003).

NUREG-1465: BWR原子炉施設(参考)

放射性物質の種類		被覆管 破損放出	早期圧力容 器内放出	圧力容器 外放出	晩期圧力容 器内放出	合計
希ガス	NG	0.05*	0.95	0	0	1
ハロゲン	I	0.05*	0.25	0.30	0.01	0.71
アルカリ金属	Cs	0.05*	0.20	0.35	0.01	0.71
テルル	Te	0	0.05	0.25	0.005	0.305
ストロンチウム	Sr	0	0.02	0.10	0	0.12
貴金属	Ru	0	0.0025	0.0025	0	0.005
セリウム	Ce	0	0.0005	0.005	0	0.0055
ランタン	La	0	0.0002	0.005	0	0.0052
放出継続時間		0.5h	1.5h	3.0h	10h	
事故開始からの経過 時間		30s~ 0.5h	0.5h~ 2.0h	2.0h~ 5.0h		
				2.0h~12h		

* 炉心が損傷しない事故の場合は0.03とする。

L.Soffer, S.B.Burson, C.M.Ferrell, T.Y.Lee & J.N.Ridgely, 'Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants,' NUREG-1465, 13(2003).

- PWR原子炉施設の新規制基準適合審査では、事業者はNUREG-1465の被覆管破損放出から晩期圧力容器内放出までの全ての放出フェーズを対象にして、大破断LOCA時の格納容器へのソースタームを評価している。
- PWR原子炉施設の重大事故時のソースターム評価の結果の例は、

大気中へのソースターム：炉心内蔵量に対して、

- a) 希ガス類 : 約 1×10^{-2}
- b) よう素類 : 約 3×10^{-5}

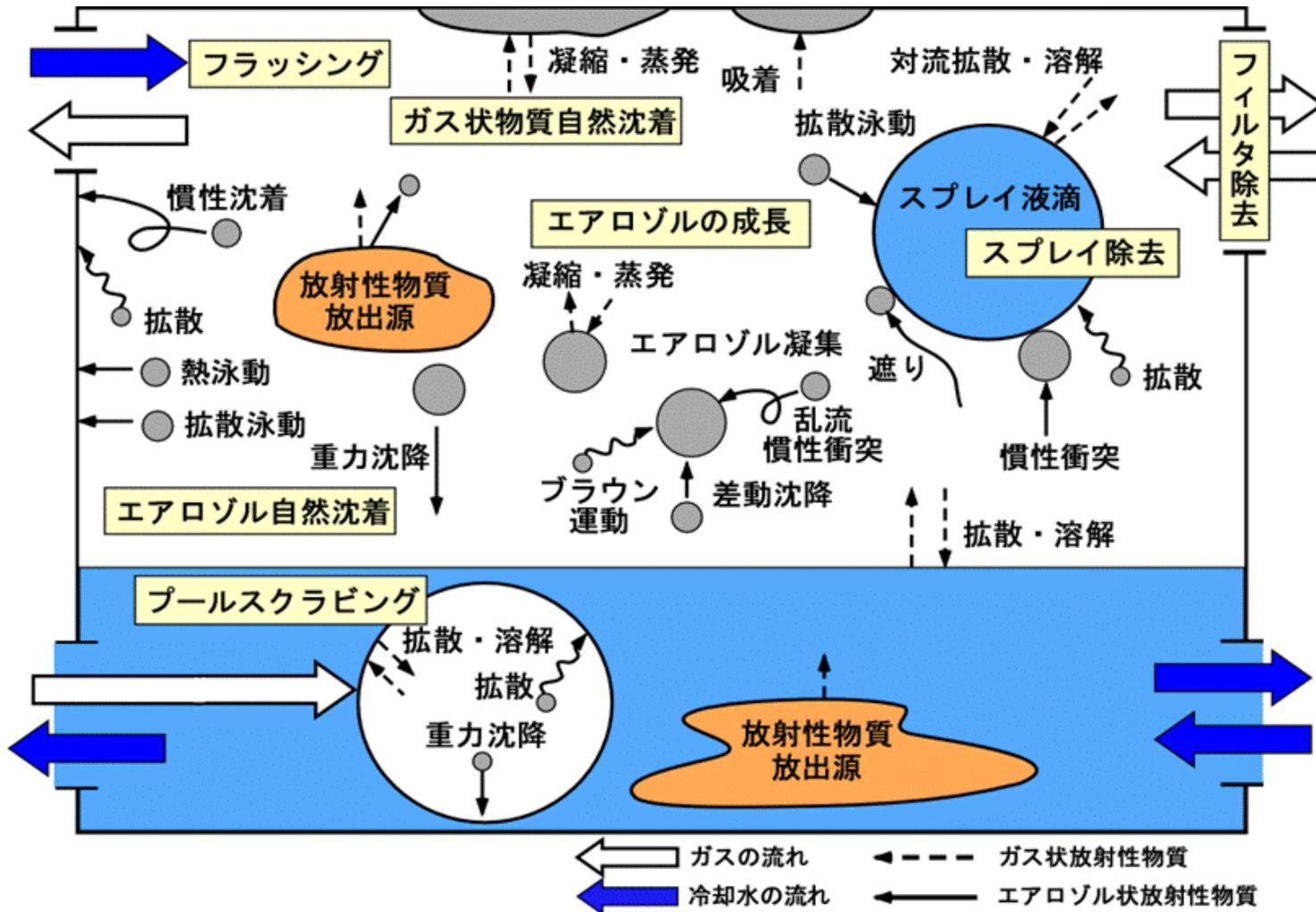
「シビアアクシデント」のソースターム例

- 炉心損傷に至ったTMI-2事故（1978年）のよう素放出量は15Ci程度（炉心内蔵量に対して 10^{-5} 程度）である（ロゴビン報告書）。これは、よう素の放出経路途上に存在していた多量の冷却水中に、よう素が保持されたことによる。
 - 1) ロゴビン報告書、NUREG/CR-1250 (1980).

- 福島第一原子力発電所の事故（2011年）のよう素放出量は、各号機で若干相違するが、炉心内蔵量に対して数%程度と推定されている。
 - 1) IAEA日本政府報告書（2011年6月、9月）
 - 2) JNES報告書JNES-RE-2011-0002（2011年）

注： ここでいうシビアアクシデントは、重大な炉心損傷に至り、燃料から放射性物質が放出されるような事故のこと。

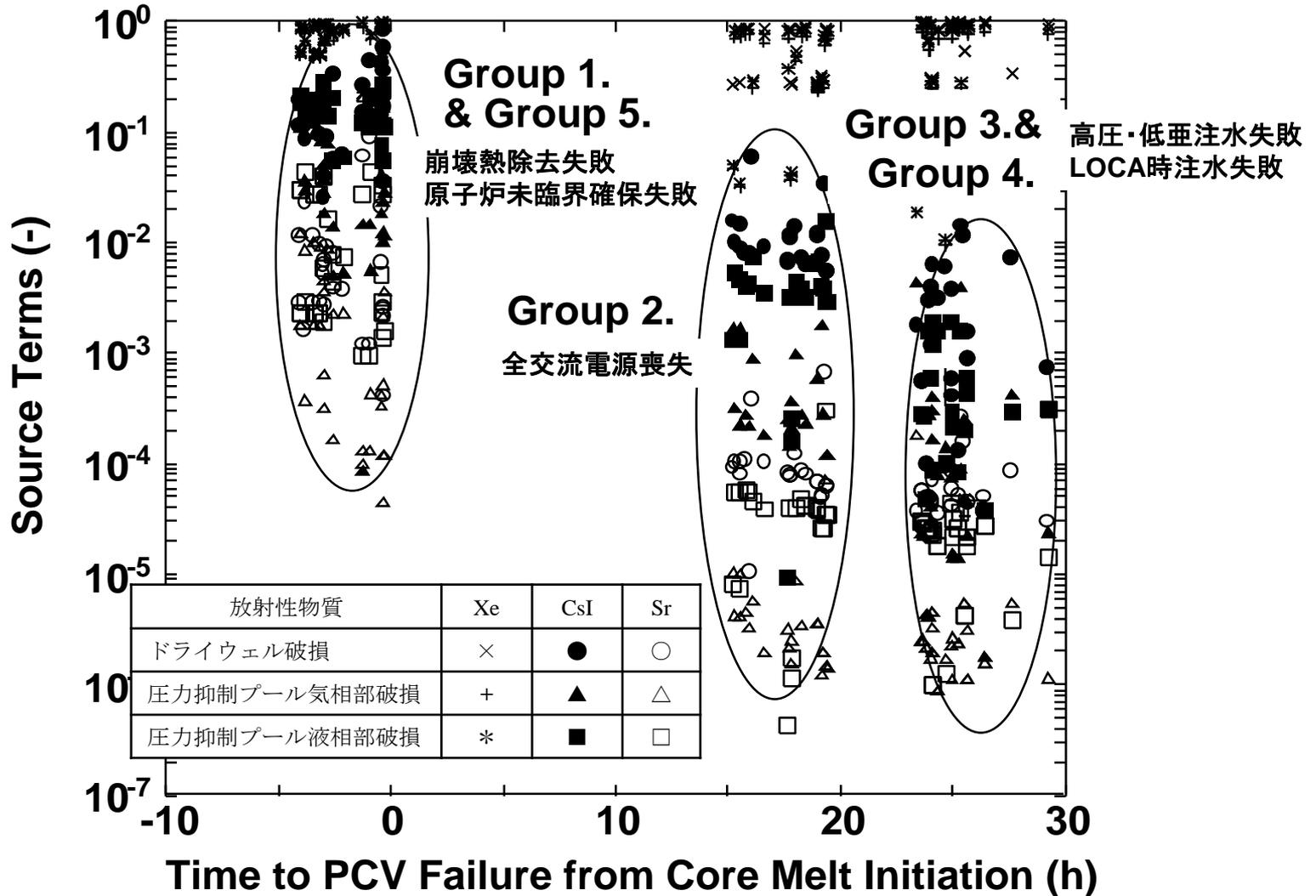
重大事故時の放射性物質挙動



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回内的事象レベル2 PSA」, 日本原子力学会誌, Vol. 48, No. 8, 571 (2006).

シビアアクシデント時のソースターム

BWR-5 Mark-IIの解析例



ソースターム評価の例のまとめ

- 「事故」のよう素の放出量（割合）に着目すると、事故の種類及び原子炉施設による差異があるものの、炉心内蔵量に対して、 10^{-8} 程度である。
- 立地評価の「（旧）重大事故」「仮想事故」は、現状では意味を持たないが、よう素の放出割合は、各種事故から一桁程度づつ大きくなっている。
- 最近の新規制基準の適合審査に合格した原子炉施設のよう素の放出割合は、重大事故において炉心内蔵量に対して 10^{-5} 程度である（NUREG-1465の更新ソースタームを適用）。
- また、福島第一原子力発電所事故においては、IAEAに提出した政府報告書（2011年6月）によれば、事故時のよう素放出割合は、 10^{-2} 程度である。

ソースタームと発生頻度

- まとめると、既存の各種事故、福島事故以後の重大事故対処設備を備えた原子炉施設の評価結果、福島事故のようなSA事故の推定値を見ると、事故の規模とソースタームには、それぞれ3桁程度の相違がある。

	各種事故	重大事故	SA
ヨウ素放出割合	6×10^{-8}	3×10^{-5}	1×10^{-2}
	↓	↓	↓
	10^{-8}	10^{-5}	10^{-2}

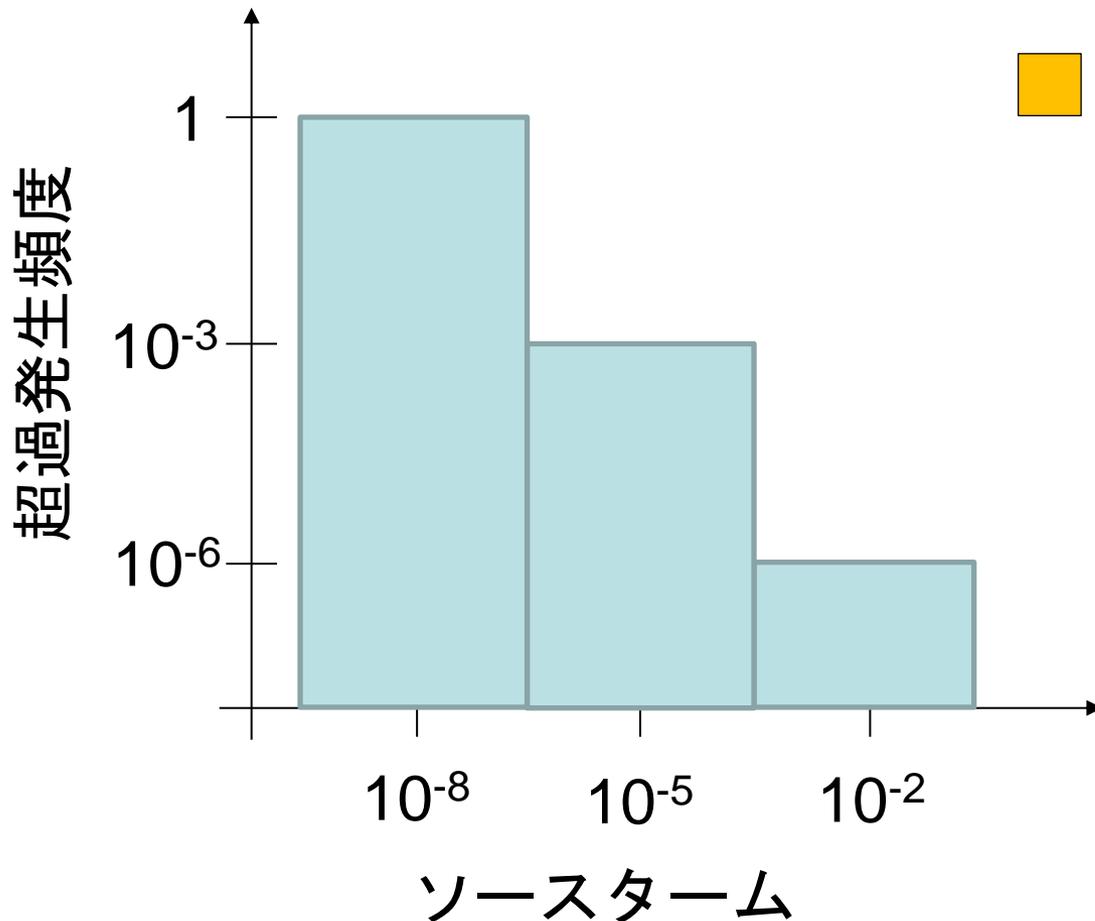
- 例えば、ソースタームと発生頻度の積を一定とすれば、頻度はソースタームの逆数の相関になる。

	各種事故	重大事故	SA
放出頻度	1	10^{-3}	1×10^{-6}

- 1) 旧来の設置許可・変更申請書（全平均値）
- 2) 川内発電所等の重大事故対処設備を整備した原子炉施設のSA評価結果
- 3) 福島事故（2011年6月、IAEAに提出した日本政府報告書）

ソースタームと発生頻度(続き)

- 先の例は、ソースタームの大小から、「ソースターム × 頻度 = 一定値」になるように算出した結果であって、確率論的リスク評価 (PRA) の結果ではない。



- レベル2PRAから、「ソースターム × 頻度 = 一定値」の知見が集積できれば、「確率論的アプローチ」によって、より簡潔な体系で安全の指標を組立てることが考えられる。

おわりに

リスク情報を活用した原子炉施設の安全向上について、原子力規制委員会、電気事業者、学協会が種々の活動を進めている。

- ソースターム自体は、単独ではリスクの指標になり難く、重要性にもかかわらず中間的なパラメータとされてきた。しかし、次のメリットが大きい。
 - 敷地境界線量の指標と比べて、気象条件などのサイト特性に依存することがない。
 - 工学的安全設備等のプラントの性能を直接的に反映している。

おわりに（続き）

- 先ずは、不確実さ幅が大きいとされるソースターム評価の分野において、事故、重大事故、シビアアクシデントを俯瞰して次の研究を進めることが、必要である。
 - 事故、重大事故等のソースターム評価手法及び評価事例の蓄積と分析
 - ソースターム評価結果の有効活用に関する確率論的アプローチの研究及び確率論的リスク評価（レベル2PRA）との相互連携
- ソースターム評価及び確率論的アプローチの研究において、日本原子力学会が学術的基盤の役割を果たすことが重要と考える。