

原子力艦の原子力災害対策マニュアル検証に係る 作業委員会(第4回)

日時：平成28年3月4日(金) 13:00～15:00

場所：中央合同庁舎8号館3階災害対策本部会議室

議事次第

1. 開 会
2. 挨拶
3. 議 題

- (1) 時系列に応じた防護措置について
- (2) 原子力艦の原子力事故について考慮すべき要因について
- (3) 応急対応範囲について

【配布資料】

- ・資料1 委員等名簿
- ・資料2 検証すべき論点(12/11修正案)
- ・資料3 原子力艦の原子力災害発生時の対応イメージ
- ・資料4 原子力艦の原子力事故について考慮すべき要因
- ・資料5 非常用発電設備の起動時間等について
- ・資料6 原子力艦の原子炉の燃料について
- ・資料7 「原子力艦の原子炉の燃料について」に対するコメント
- ・資料8 スケーリングによる原子力艦の応急対応範囲の評価
- ・参考資料1 原子力艦の原子力災害対策マニュアル(平成27年11月)
- ・参考資料2 原子力艦の原子力災害対策に係る技術的検討に関する調査報告書(平成15年3月)
- ・参考資料3 合衆国原子力軍艦の安全性に関するファクトシート(平成18年11月)
- ・参考資料4 原子力災害対策指針(平成24年10月策定、平成27年8月全部改正)
- ・参考資料5 IAEA GSR Part 7(平成27年11月)
- ・参考資料6 原子力空母母港化の是非を問う住民投票を成功させる会資料

委員等名簿

【有識者】

- 遠藤 寛 一般財団法人電力中央研究所研究アドバイザー、
九州大学客員教授
- 下吉 拓治 公益財団法人原子力安全技術センター参事
- 本間 俊充 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構安全研究センター長
- 丸山 結 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構安全研究センター
リスク評価研究ディビジョン長
- 横山 邦彦 公立松任石川中央病院 PET センター長・副院長

【関係省庁】

- 内閣府大臣官房審議官（防災担当）
- 内閣官房内閣参事官（事態対処・危機管理担当）
- 内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（災害緊急事態対処担当）
- 内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（防災計画担当）
- 内閣府政策統括官（原子力防災担当）付参事官（総括担当）
- 警察庁警備局警備課特殊警備対策官
- 総務省消防庁予防課特殊災害室長
- 外務省北米局日米地位協定室長
- 海上保安庁警備救難部環境防災課長
- 原子力規制庁長官官房放射線防護グループ監視情報課放射線環境対策室長
- 防衛省地方協力局補償課長
- 防衛省地方協力局労務管理課安全衛生室室長
- 防衛省統合幕僚監部参事官付政策調整官

【自治体オブザーバー出席者】

- 横須賀市 市民安全部危機管理課係長 山本 修三

検証すべき論点（12/11 修正案）

1. 通報基準・緊急事態の判断基準

改定済み

2. より早期に異常事態を覚知するための措置

事業用発電所等については、原子力災害対策指針（以下「新指針」）に基づき、国は、施設の状況等について事業者から通報を受けることになっている。

原子力艦についても、原子力災害の発生のおそれがある場合又は発生した場合に、米国政府からその状況に関して通報を受けることを明確化すべきではないか。

一方、上記通報を受けた場合（モニタリング値が通報基準に達した場合を含む）、日本政府として速やかに情報収集を行うべきこと、収集すべき情報の内容などについて明確化しておくべきではないか。

3. 応急対応範囲等

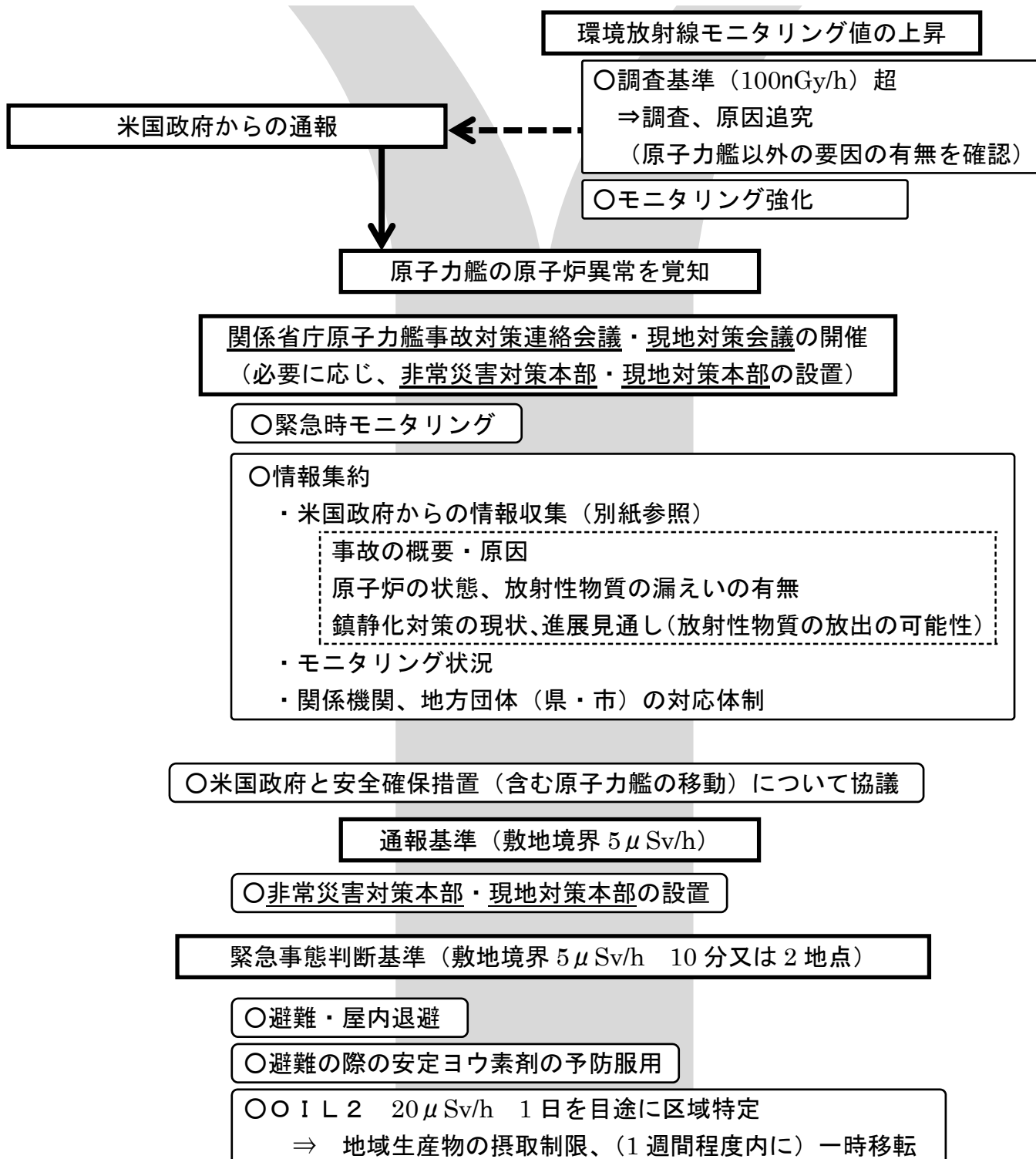
新指針では、事業用発電所の予防的防護措置を準備する区域（PAZ）、緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）について、それぞれ原子力施設から「概ね半径 5km」、「概ね 30km」を目安とするとしている。

原子力艦の応急対応範囲（現行；原子力空母の場合、半径 1km 以内、3 km 以内）についてはどのように対応すべきか。

また、新指針では、PAZ 内における安定ヨウ素剤の事前配布など PAZ・UPZ における時系列に応じた防護措置を定めている。原子力艦についてはどのように対応すべきか。

原子力艦の原子力災害発生時の対応イメージ (線量基準 (敷地境界 $5\mu\text{Sv/h}$) 検出前に米国からの通報があった場合)

(震度 6 弱以上の地震、大津波警報発令の場合、米国政府に対応状況を確認)



主な情報集約項目例

【事故発生直後】

- ①事故の発生場所、発生時刻
- ②事故の概要
 - i 事故の原因
 - ii 放射性物質の艦外への漏えいの有無
(空气中、海中への放出の有無、放射性物質の種類及び放出量)
 - iii 原子炉の状態
 - iv 事故現場の状況
 - ・ 艦内及び艦の周囲
 - v 傷病者の存在
 - ・ 汚染を伴っているのかどうか
- ③事故沈静化対策の現状
 - i どのような対策を実施しているのか
 - ii 対策の実施体制
- ④今後の予測
 - i 事故の進展予測
 - ii 事故沈静化の目途

【放射性物質放出後】

- ①基地内における防護措置の内容等
 - i 基地敷地内における防護措置の内容
 - ii 周辺住民に対しどのような防護対策を実施すべきか
- ②今後の予測
 - i 放射性物質の放出状況
 - ii 事故の進展予測
 - iii 事故沈静化の目途
- ③その他
 - i 日本側からどのような支援を必要としているか
 - ii その他災害応急対策を実施するために必要な情報 等

原子力艦の原子力事故について考慮すべき要因

内部事象

- (1) 原子炉システム

外部事象

- (1) 自然災害
 - ・ 地震
 - ・ 津波
 - ・ 大型台風
- (2) 艦内火災
- (3) 外部電源の喪失

非常用発電設備の起動時間等について

非常用発電設備の起動時間等について、事務局で調査した結果は以下の通りである。

1. 原子力発電所においては、非常用ディーゼルエンジンは約10秒以内で電圧を確立できるとしている。(別紙参照)
2. 船舶用のエンジンは、燃料・潤滑油・冷却水の準備が揃っていれば、5～10秒で起動することが可能。(A社からの聞き取り情報：ディーゼルエンジン 約8MW級)
3. 大型の船舶(タンカー等)では、緊急の場合であれば10分程度で運転可能。(B社からの聞き取り情報等：ディーゼルエンジン 約18MW)
一般的に、大型の艦船では、直ちにエンジンを起動し出港する能力を有しているとされている。

原子力発電所の非常用発電設備について

- 原子力発電所の非常用発電設備に係る基準は、原子力規制委員会が定める「实用発電用原子炉及びその付属設備の位置、構造及び設備の基準に関する規則」に位置づけられている。

(参考) 实用発電用原子炉及びその付属設備の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日 原子力規制委員会規則第 5 号）（抄）

第 33 条（保安電源設備）

1～6（略）

- 7 非常用発電設備及びその附属設備は、多重性又は多様性を確保し、及び独立性を確保し、その系統を構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であっても、運転時の異常な過渡変化時又は設計基準事故時において工学的安全施設及び設計基準事故に対処するための設備がその機能を確保するために十分な容量を有するものでなければならない。

8（略）

- この基準を満たすために、商用発電用原子炉を設置する事業者は、原子炉設置許可申請の際、非常用発電機の起動時間を設定する。規制当局は、事業者から提出された内容が上記規則に適合することを審査する。

- 現在運転中の九州電力(株)川内原子力発電所1号機の非常用発電機の起動時間は約10秒である(他の複数原発も同様)。

原子力艦の原子炉の燃料について

「米国の原子力軍艦の安全性に関するファクト・シート」(抄)

合衆国海軍の原子炉の燃料は、固体金属である。燃料は、戦闘の衝撃に耐えられるように設計されており、燃料中で生成される核分裂生成物を放出することなく、重力の50倍以上の戦闘衝撃負荷に耐えることができる。これは、合衆国の商業用原子力発電所の設計に際して用いられる地震衝撃負荷の10倍以上である。燃料は極めて頑丈に設計されているので、燃料中の核分裂生成物は、一次冷却水の中には決して放出されない。このことは、商業炉との顕著な相違点の一つである。商業炉では、少量の核分裂生成物が燃料から一次冷却水中に放出されるのが通常である。

意見書(2007年9月4日)(抜粋)

「また、原子炉の出力が急激に変化する運転操作は、燃料や原子炉容器に大きな衝撃(熱応力)をもたらす材質の劣化がすすむため、その強度に深刻な影響をあたえる。このような運転操作を前提にしていることも安全上重大な問題である。」

「冷却が十分でないと燃料の温度が上昇を続け、1000度を超えるあたりでまず、燃料を覆っている被覆管がボロボロになる。被覆管の材質であるジルコニウム合金が水と反応しはじめるためである。商業炉の燃料はセラミック製であるため、2800度にならないと溶融をはじめないが、空母ではジルコニウム合金燃料を母材(マトリックス)として採用しているため、より低い1000度を超えたあたりで、被覆管だけでなく燃料そのものがはやい段階で破損し、放射能の放出がはじまる危険性がある。」

(第3回作業委員会 参考資料7 資料4より)

「原子力艦の原子炉の燃料について」に対するコメント

2016年3月4日 電力中央研究所 遠藤寛

1. 「米国の原子力軍艦の安全性に関するファクト・シート」(抄) へのコメント

「合衆国海軍の原子炉の燃料は、固体金属である。燃料は、戦闘の衝撃に耐えられるように設計されており、燃料中で生成される核分裂生成物を放出することなく、重力の 50 倍以上の戦闘衝撃負荷に耐えることができる。これは、合衆国の商業用原子力発電所の設計に際して用いられる地震衝撃負荷の 10 倍以上である。燃料は極めて頑丈に設計されているので、燃料中の核分裂生成物は、一次冷却水の中には決して放出されない。このことは、商業炉との顕著な相違点の一つである。商業炉では、少量の核分裂生成物が燃料から一次冷却水中に放出されるのが通常である。」

→原子力艦船の原子炉で使用している燃料が「ジルカロイを被覆管とする Zr-U 合金燃料(以下、金属燃料という)」と仮定すると、商業炉で用いている「ジルカロイを被覆管とする UO₂ 燃料(以下、セラミックス燃料という)」と比較した場合、被覆管破損時における核分裂生成物(FP)の冷却材中への放出挙動について以下の特徴が考えられる。

- (1) 金属燃料の熱電導度はセラミックス燃料の 10 倍程度大きいため、運転時の燃料中心最高温度は冷却材温度より約 50°C 高い 400°C 程度に留まる。
- (2) セラミックス燃料では、燃料中心の最高温度が約 1750°C であり燃料表面との温度差が大きい。このため、セシウムなど揮発性 FP の一部は熱拡散によって被覆管と燃料ペレット表面との間にあるギャップに移動し蓄積する。金属燃料の場合は、燃料スラグ(ペレットに相当)の径方向温度差が小さいため熱拡散が抑制され、固体状 FP の大部分は燃料スラグ内部に留まる(図1参照)。
- (3) 原子炉運転中に被覆管が損傷すると、セラミックス燃料ではギャップに蓄積された FP の一部が冷却材中に放出される。一方、ギャップ中の FP 量が少ない金属燃料では、冷却材中への FP 放出量は相対的に少ない。
- (4) ただし、ゼノンやクリプトンなどの希ガス FP については、両燃料共に、運転時に燃料棒のプレナム部に放出される。このため、被覆管破損時の冷却材中への希ガス FP の放出については同等と考えられる。

2. 意見書(2007年9月4日)(抜粋) へのコメント(1)

「また、原子炉の出力が急激に変化する運転操作は、燃料や原子炉容器に大きな

衝撃(熱応力)をもたらす材質の劣化がすすむため、その強度に深刻な影響をあたえる。このような運転操作を前提にしていることも安全上重大な問題である。」

➔ 金属燃料の負荷変動時の挙動及び原子炉容器への熱荷重については以下のように考えられる。

- (1) 金属燃料では、前述のとおり熱電導度が大きく運転時の燃料温度が低いいため、原子炉出力が大幅に変動した場合の燃料温度変化が小さい。このため、出力変動時の熱膨張などによる被覆管-燃料相互作用(PCMI)が抑制され、セラミックス燃料に比べ負荷追従性が大きい。
- (2) 加圧水型原子炉では、原子炉出力が0から100%に増加した場合でも、1次冷却材の高温側温度は約290℃から320℃に増加するに過ぎない。このため、原子炉容器への熱衝撃が過剰に大きくなる可能性は小さい。

3. 意見書(2007年9月4日)(抜粋)へのコメント(2)

「冷却が十分でないと燃料の温度が上昇を続け、1000度を超えるあたりでまず、燃料を覆っている被覆管がボロボロになる。被覆管の材質であるジルコニウム合金が水と反応しはじめるためである。商業炉の燃料はセラミック製であるため、2800度にならないと溶融をはじめないが、空母ではジルコニウム合金燃料を母材(マトリックス)として採用しているため、より低い1000度を超えたあたりで、被覆管だけでなく燃料そのものがはやい段階で破損し、放射能の放出がはじまる危険性がある。」

(第3回作業委員会 参考資料7 資料4より)

➔ 金属燃料とセラミック燃料の炉心損傷時におけるFP放出挙動については以下のように考えられる。

- (1) 全電源喪失など冷却機能喪失型のシビアアクシデントでは、冷却材水位の低下によって炉心燃料が露出すると燃料損傷が始まる。セラミック燃料及び金属燃料共に、被覆管材料がジルカロイであるため、被覆管温度が約1000℃に到達すると水蒸気との酸化反応によって腐食・貫通する。
- (2) セラミック燃料では、被覆管破損時に、希ガスFPのほぼ全量とギャップ中の揮発性FPが原子炉容器内に放出され(ギャップ放出)るが、不揮発性FPは燃料ペレット内に残留する。一方、金属燃料の場合は、希ガスFPのほぼ全量が原子炉容器内に放出されるが、ギャップ放出は発生しない。このため、被覆管破損直後の原

子炉容器内への FP 放出割合は金属燃料の方が小さいと考えられる。

- (3) 被覆管酸化反応が進展すると、反応熱によって燃料温度は急速に増加し、金属燃料では約 1200°C (10%Zr-U 燃料の場合)、セラミックス燃料では 2500～2800°C (共晶反応に依存)で燃料溶融が開始する。両燃料共に、燃料溶融に伴って揮発性 FP の大部分が原子炉容器内に移行するが、不揮発性 FP は溶融燃料内に残留する。
- (4) 以上から、冷却機能喪失型のシビアアクシデントでは、金属燃料とセラミックス燃料とは融点に差異があるにも拘わらず、原子炉容器内への FP 移行挙動の観点からは大きな差異は無いといえる。
- (5) 一方、ATWS などの炉停止機能喪失型のシビアアクシデントでは、金属燃料炉心とセラミックス燃料炉心の差異が顕在化する。金属燃料炉心では燃料熱導度が大きく燃料温度が低いため、燃料の保有エネルギーがセラミックス燃料の 1/10 以下であり、さらに燃料溶融までの温度裕度は両炉心で同程度となる。このため、代表的な ATWS である給水流量喪失時のスクラム失敗事象では、ドップラー反応度と燃料スラグの軸方向膨張による負の反応度効果のため事故時の原子炉出力が低減し、炉心損傷に至るまでの時間が遅延し炉心損傷を回避できる可能性がある (図2参照)。

以上

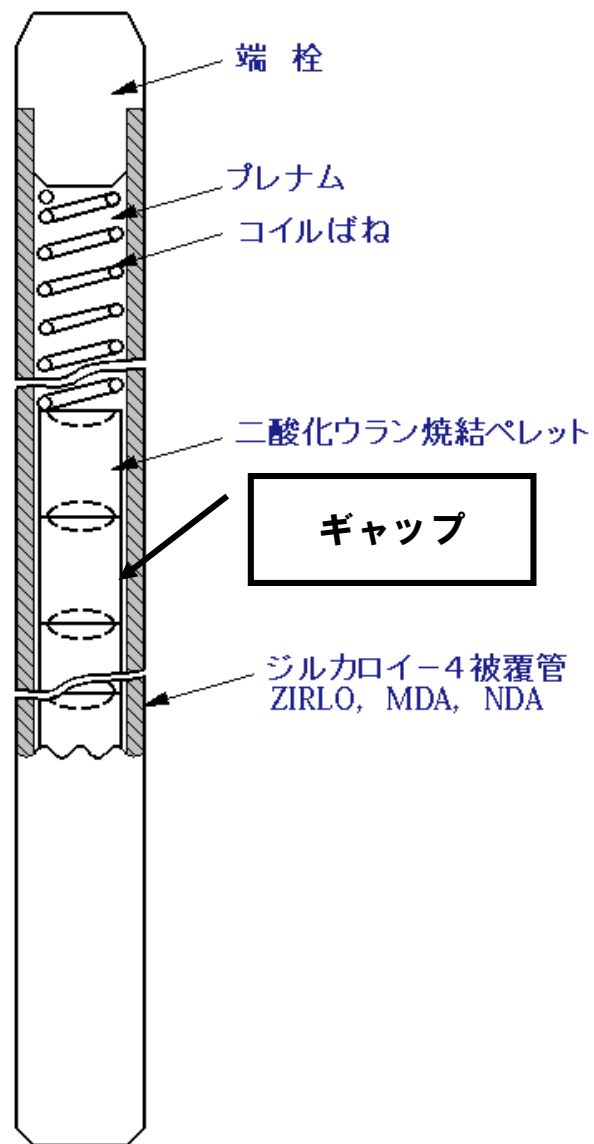
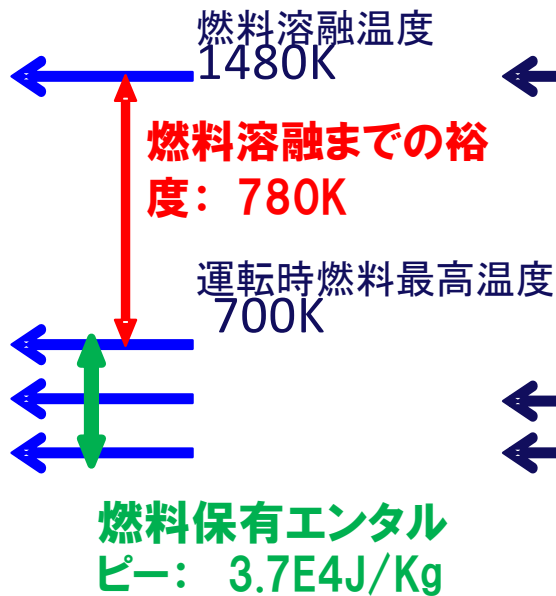


図1 セラミックス燃料棒の構造 (ATOMICA より引用・加筆)

UZr 燃料



UO2 燃料

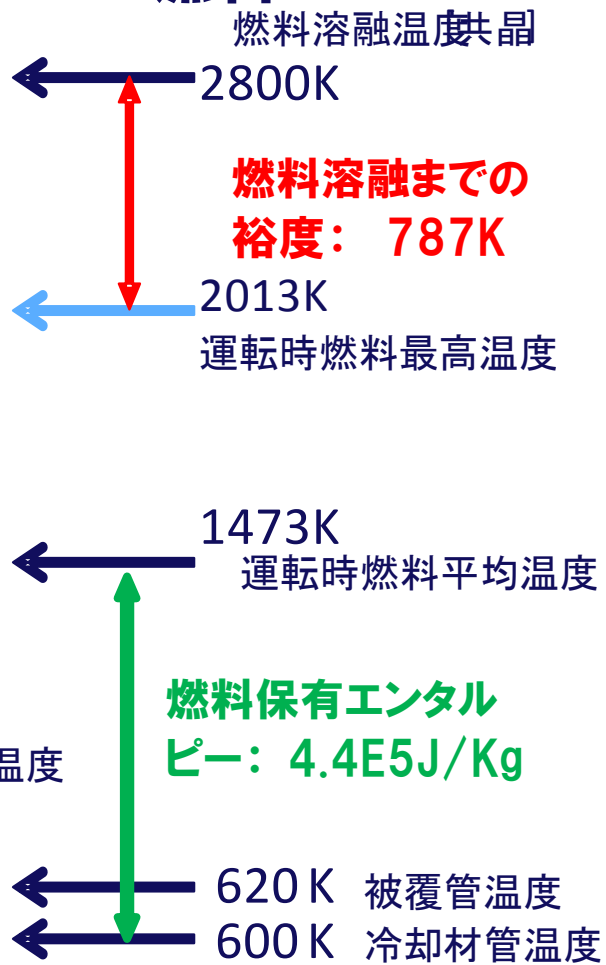


図 2 金属燃料とセラミックス燃料との温度条件の比較

スケーリングによる原子力艦の 応急対応範囲の評価

2016年3月4日

公益財団法人 原子力安全技術センター

1

スケーリングによる試算方法の特徴

原子力艦と商用原子力発電所の潜在的な危険性を比較

- 運転に伴う放射性物質の炉内蓄積量に基づく評価
- 事故想定に依存しない評価が可能

原子力規制委員会のPAZ、UPZの目安となる距離と比較

- 国際原子力機関(IAEA)の安全基準に規定されるPAZ、UPZの設定理由を考慮(GS-G-2.1、2007)
- 福島事故の経験を反映

2

試算条件

比較対照としては、福島第1原子力発電所を選定(1～3号機)

- 原子力規制委員会の目安が福島事故の影響を考慮している
- 炉内蓄積量はJAEA - Data/Code2012-018を用いる

原子力艦について

- 平均出力15%(25年間)に加え、入港前4日間における100%出力運転を考慮
【100%出力で6時間運転し、その後は出力15%で18時間運転する】
を4日間に渡って行うと想定
- 入港し接岸した時点で事故が発生し、その直後に環境放出が始まると想定
- 空母(600MW×2基)、潜水艦(160MW×1基)を想定

影響の大きな放射性ヨウ素で炉内蓄積量を比較

大気安定度F、風速1m/s

3

事故時炉内蓄積量計算結果

	炉内蓄積量 Bq	福島に対する炉内蓄積量の比 ρ
原子力空母	3.394×10^{17}	0.04538
原子力潜水艦	5.962×10^{16}	0.00605
福島(1～3号機)	7.479×10^{18}	1.0

放射性ヨウ素としては、I-131、I-132、I-133、I-134、I-135を考慮した。
炉内蓄積量は、胎児甲状腺吸収線量変換係数で重みづけを行いその和をとったものである。
原子力空母の炉内蓄積量は2基分(600MW×2基)の値である。

4

スケーリングの結果

(1) スケーリングの式

相対濃度 χ/Q に関する以下の式を満足する距離を求める。

$$\chi/Q(x) = \chi/Q(5,000\text{m}) \times \frac{1}{\rho}$$

上式はPAZに対するものであり、5,000mを30,000mとすれば、UPZに対するものとなる。

(2) スケーリングの結果

原子力規制委員会が目安として示すPAZ及びUPZの範囲を、スケーリングで原子力艦に適用した結果は以下の通りとなる。

	避難を実施する範囲	屋内退避を実施する範囲
原子力空母	644.9 m	2846.5 m
原子力潜水艦	194.8 m	764.7 m

上表において、原子力空母は600MW×2基としての計算結果である。

駐留軍等労働者の労務管理の仕組み

