

H16年度特別教育「予防・警防講座」

《特殊物質の基礎知識(ナトリウム編)》

平成16年7月
核燃料サイクル開発機構
国際技術センター

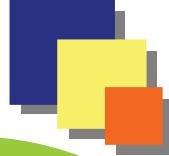
本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話 : 029-282-1122 (代表)
ファックス : 029-282-7980
電子メール : jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2003← [表紙の発行年に合わせる]



特別教育「予防・警防講座」

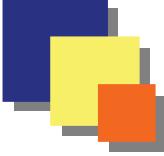
《特殊物質の基礎知識(ナトリウム編)》

- ◆はじめに(ナトリウムの長所と短所)
(法律に則った危険物としての取扱い)
- ◆第1講:ナトリウムとはどんなもの?
- ◆第2講:なぜ「もんじゅ」にナトリウムを使用するのか?
- ◆第3講:ナトリウムの化学的性質
- ◆第4講:ナトリウムの危険性
- ◆第5講:人体への影響と応急処置

(参考資料)

- ・参考資料-1:核分裂の威力
- ・参考資料-2:「もんじゅ」におけるナトリウム-水反応対策
- ・参考資料-3:「もんじゅ」漏えい対策(ライナーの敷設)
- ・参考資料-4:ナトリウム自然発火のメカニズム





はじめに(ナトリウムの長所と短所)

自然発火性物質で禁水性物質であることから消防法により「**第3類危険物**」として取扱うことが法律的に義務付けられている「**ナトリウム**」。

ただ、この「ナトリウム」は危険というばかりでなく、素晴らしい「長所」も併せ持っている物質であり、短所とされるその危険性も決して克服できないものではない。

ナトリウムは、二十一世紀のエネルギーを担う「高速増殖炉」に必要な物質である。

長所

- 新しい燃料を産み出す「増殖」には、どうしても欠かせないナトリウム
- 冷却材として、水よりはるかに優れた性能を持つナトリウム

短所

- 漏れると人体に有害な煙を出して燃えるナトリウム
- 水と激しく反応するナトリウム

※ただ、危険、危険と恐がるのではなく、危険物を取扱う上で最も重要なことは
“その物質の性質や危険性を正しく理解して取扱う”ことである。

法律に則った「危険物としての取扱い」

ナトリウムは消防法で定める「**第三類危険物**」に区分され、その取扱いに当たっては次の点を遵守しなければならない。

- ◆指定数量(**10kg**)を超える量のナトリウムを、消防法に定める製造所、貯蔵所、取扱所以外で取扱ってはならない。
- ◆指定数量の30倍以上のナトリウムを取扱う場合には、「**甲種又は乙種危険物第三類取扱者免状**」の交付を受けた者の中から「**危険物保安監督者**」を定めて市町村に届出なければならない。
- ◆指定数量以下でも、**2kg**以上のナトリウムを取扱う場合は市町村に届出なければならない。

参考

- ◎第三類危険物としてはナトリウムの他に、カリウム、リチウム、ルビジウム、セシウムなどのアルカリ金属や黄りんなどが指定されている。(なお、石油類は第四類危険物)
- ◎第三類危険物の性質は、固体または液体の自然発火性物質及び禁水物質で、可燃性ガスを発生して燃焼し、水と接触すると爆発現象を起こす。

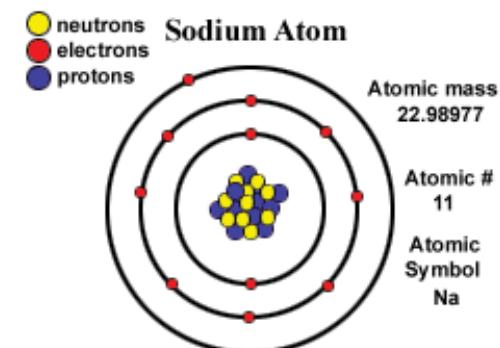
【主な危険物関連法規】

- ・「消防法」:昭和23年7月24日、法規第186号
- ・「危険物の規制に関する規制」:昭和34年9月29日、総理府令第55号
- ・「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示」:昭和49年5月1日、自治省告示第99号

第1講 ナトリウムとはどんなもの？

ナトリウムはアルカリ金属

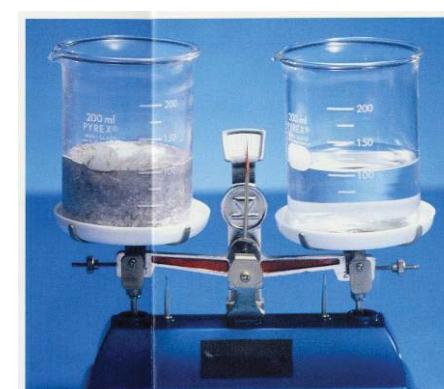
- ◆分子を構成する元素は自然界に92種類あるが、ナトリウム(Na)は、**原子量23**の金属元素で**アルカリ金属群**に属する。
- ◆アルカリ金属群には、リチウム(Li)、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、ルビジウム(Rb)、セシウム(Cs)及びフラシウム(Fr)の6元素が属する。
- ◆金属ナトリウムは、銀白色で光沢があり、ナイフで簡単に切れるほど軟らかい。
- ◆金属ナトリウムの融点は約98°Cと低く、その比重は水より小さい(0.97g/cm³)。また、沸点は約880°Cと非常に高いので広い温度範囲において液体状態を保つ。



軟らかい金属



液体状のナトリウム



水より軽い金属

元素の周期表(長周期型)

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0		
1	H ホウ 1.008															He ヘリウム 4.003		
2	Li リチウム 6.941	Be ベリリウム 9.012																
3	Na ナトリウム 22.99	Mg マグネシウム 24.31																
4	K カリウム 39.10	Ca カルシウム 40.08	Sc スカシウム 44.96	Ti チタン 47.88	V バチタリウム 50.94	Cr クロム 52.00	Mn マンガン 54.94	Fe 鉄 55.85	Co コバルト 58.93	Ni ニッケル 58.69	Cu 銅 63.55	Zn 亜鉛 65.39	Ga ガリウム 69.72	Ge ゲルマニウム 72.61	As アスレチウム 74.92	Se セレン 78.96	Br ブリオントン 79.90	Kr クリプトン 83.80
5	Rb ルビスチウム 85.47	Sr ストロニウム 87.62	Y イエリウム 88.91	Zr ジルコニウム 91.22	Nb ニオブ 92.91	Mo モリブデン 95.94	Tc タクネチウム (99)	Ru ルテニウム 101.1	Rh ロジウム 102.9	Pd パラジウム 106.4	Ag 銀 107.9	Cd カドニウム 112.4	In インジウム 114.8	Sn スズ 118.7	Sb アンチモン 121.8	Te テルル 127.6	I ヨウ素 126.9	Xe キセノン 131.3
6	Cs セシウム 132.9	Ba バリウム 137.3	La ランタノイド 57~71	Hf ハフニウム 178.5	Ta タンタル 180.9	W タンクスチタン 183.9	Re レニウム 186.2	Os オスミウム 190.2	Ir イリジウム 192.2	Pt 铂 195.1	Au 金 197.0	Hg 水銀 200.6	Tl アリウム 204.4	Pb 鉛 207.2	Bi ビスマス (210)	Po ポロニウム (210)	At アステチン (222)	Rn ラテン (222)
7	Fr フランシウム (223)	Ra ラジウム (226)	89~103 アクチノイド アカチノイド															

■ は非金属元素 ■ は金属元素 ■ は遷移元素

ランタノイド	La ランタン 138.9	Ce セリウム 140.1	Pr プラセオジム 140.9	Nd オオシム 144.2	Pm プロメチウム (145)	Sm サマリウム 150.4	Eu ユーロピウム 152.0	Gd ガリニウム 157.3	Tb タルビウム 158.9	Dy ジストロンヒウム 162.5	Ho ホルミウム 164.9	Er エルビウム 167.3	Tm ツリウム 168.9	Yb イッサルゼウム 173.0	Lu ルテチウム 175.0
アクチノイド	Ac アラチニウム (227)	Th トリウム 232.0	Pa アラチニウム 231.0	U ウラン 238.0	Np ネプチニウム (237)	Pu プロトニウム (239)	Am アメリシウム (243)	Cm カミカルニウム (247)	Bk バーカクルイウム (247)	Cf カーリカルニウム (252)	Es エリスリウム (252)	Fm フミカルニウム (257)	Md メンデルスビウム (256)	No ノーベリウム (259)	Lr ローレンシウム (260)

アルカリ金属群

【元素の周期表】

出典: 不思議と分るナトリウム、P4、日本原子力文化振興財団

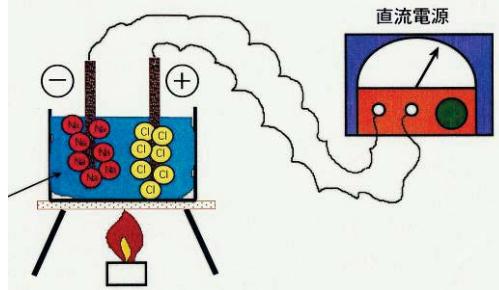


ナトリウム資源は豊富

- ◆ナトリウムは、他のアルカリ金属と同様に天然には単独で存在せず、塩化物や酸化物、水酸化物などの形で存在する。その代表が塩(NaCl)。
- ◆ナトリウムは地球上で6番目に多く存在する元素であり、塩の溶液を電気分解することにより比較的簡単に作ることができる。
(酸素49.4%、珪素25.8%、アルミニウム7.6%、鉄4.7%、カルシウム3.4% Na2.6%)*
- *出典:元素の辞典(1994年版、朝倉書店)
- ◆金属ナトリウムは、1807年に英国の科学者Davyにより苛性ソーダ電解実験中に発見された。



【英国科学者Davy】



【塩の溶液を電気分解】

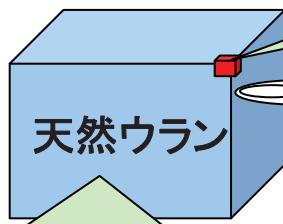
マイナス電極の周り
に析出したナトリウム

【身近なナトリウム化合物】

第2講 なぜ「もんじゅ」にナトリウムを使用するのか？

「増殖」とは？

燃えるウラン235(0.7%)



燃えないウラン238(99.3%)

これまで軽水炉では、99.7%の燃えないウラン
は殆どゴミとして棄てていた。

増殖

燃えないウラン238に中性子をぶつけてやると自然界には存在しない新しい燃料プルトニウム239ができる。使用した以上のプルトニウムを産み出すのが「増殖」とは使用した燃料以上に新しい燃料を産み出すこと。



「増殖」を可能にするにはたくさんの中性子が必要

■ 軽水炉 ⇒ 10^{12} 個/秒・cm² ~ 10^{13} 個/秒・cm²

■ 高速増殖炉 ⇒ 10^{15} 個/秒・cm²

高速増殖炉はどうして中性子の数を多くできるのか？

「増殖」を実現するためには「ナトリウム」が必要

「増殖」のポイントは如何にしてたくさんの中性子を作りだすか…
そのためには燃料と冷却材の組み合わせがポイント!!

	燃 料	中性子	核分裂で 発生する 中性子数	冷却材	燃えない ウラン238
軽水炉	ウラン235 (天然0.7%)	熱中性子 (遅い中性子)	約2個	水	ゴミとして 廃棄処分
高速増殖炉	プルトニウム 239	高速中性子	約3個	ナトリウム	新燃料 プルトニウム239に 変換

軽水炉

ウラン235+熱中性子の組合せ⇒発生する中性子=平均約2個*

* 核分裂の際に発生する中性子
(核分裂については参考資料-1を参照)

高速増殖炉

プルトニウム239+高速中性子の組合せ⇒発生する中性子=平均約3個*

軽水炉での核分裂

《軽水炉》

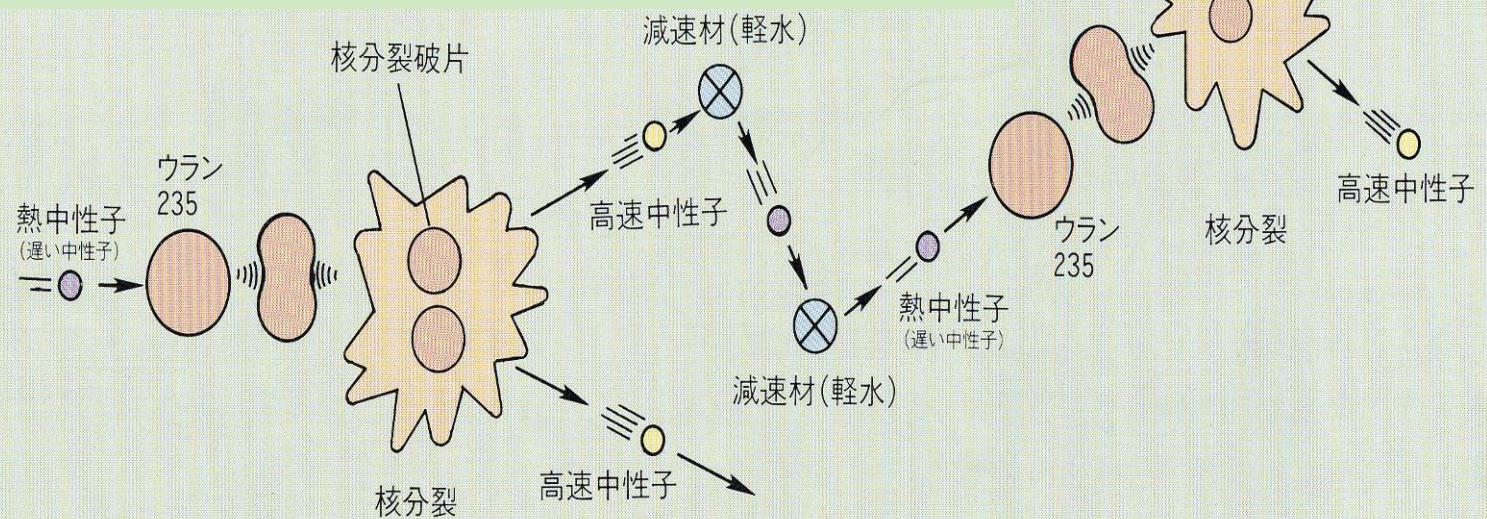
$^{235}\text{U} + \text{熱中性子}$ による核分裂

放出される中性子
の数=約2個

《熱中性子とは》

ウランと中性子の核反応(衝突)を起こし易いようにするために、核反応で出てきた高速中性子(100万eV～200万eV)を水で減速(0.025eV)させた中性子のこと。

軽水炉の反応過程



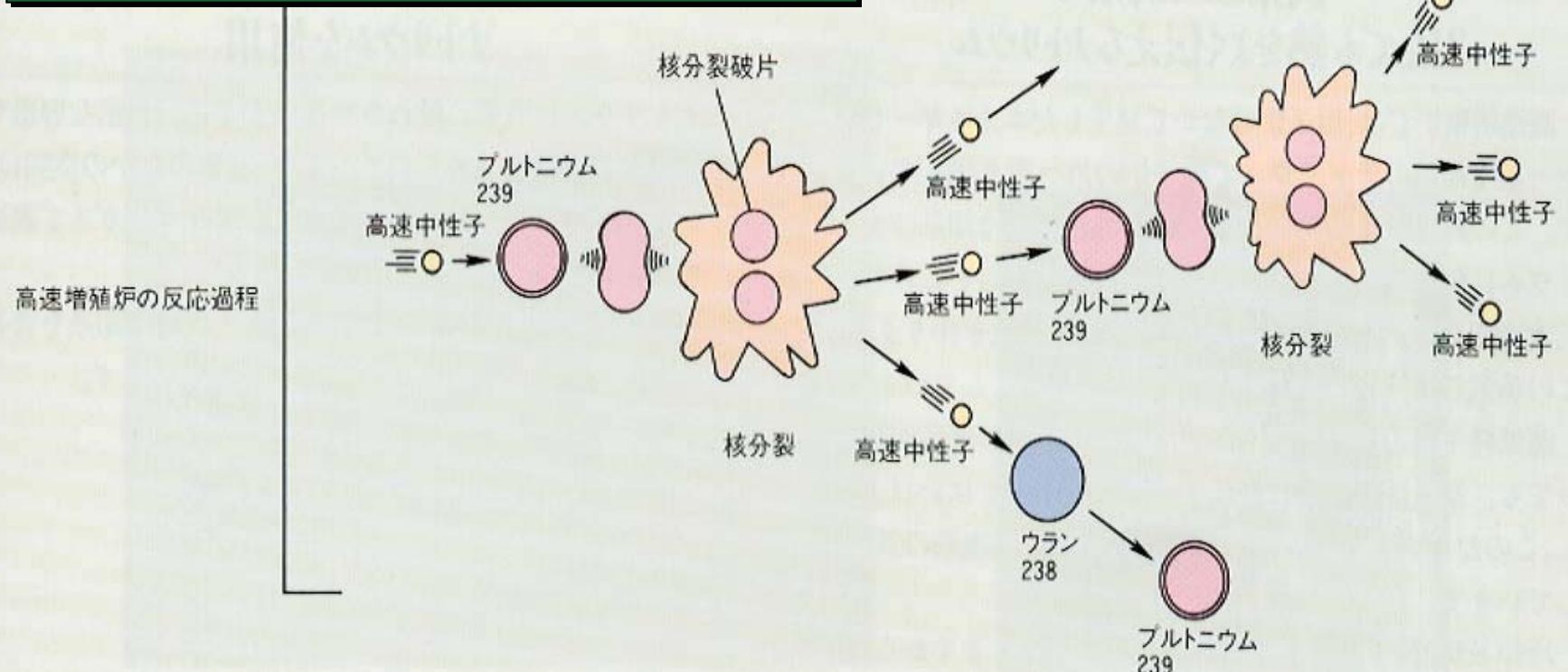
1個は核分裂反応の持続に、そしてもう1個は水に食われたり燃料のウランに衝突せずに外に漏れ出てしまうので、2個ではたくさんプルトニウムを作り出せない。
(増殖できない)

高速増殖炉での核分裂

《高速増殖炉》

^{239}Pu +高速中性子による核分裂

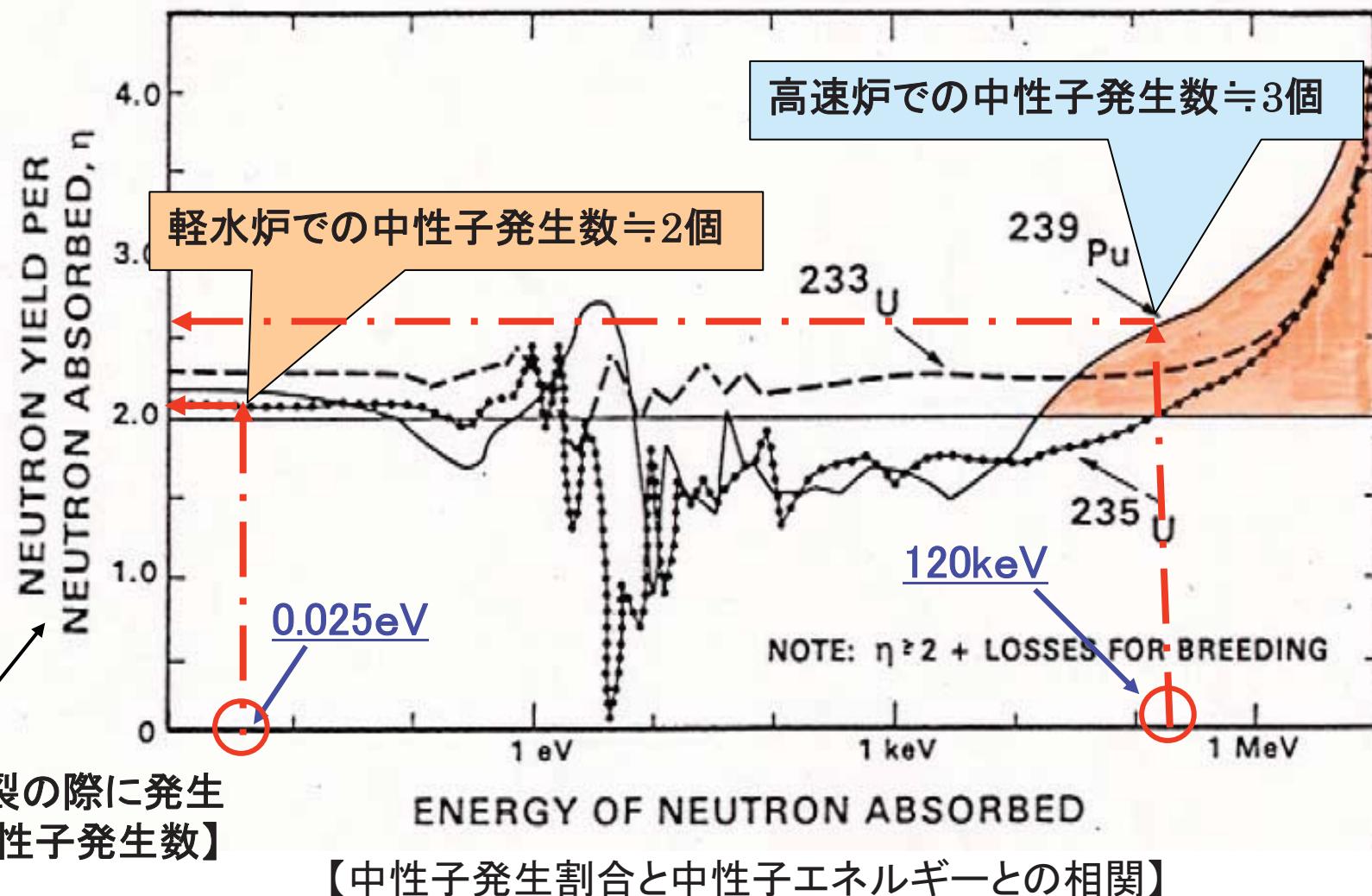
放出される中性子
の数=約3個



プルトニウムに高速中性子を衝突させると約3個の中性子が出てきます。3個だと、1個は核分裂に寄与し1個は消滅してしまいますが、残りもう1個を燃えないウランに衝突させることができます。(増殖)

従って、増殖のためには核反応で出てきた中性子を減速させないことが必要。

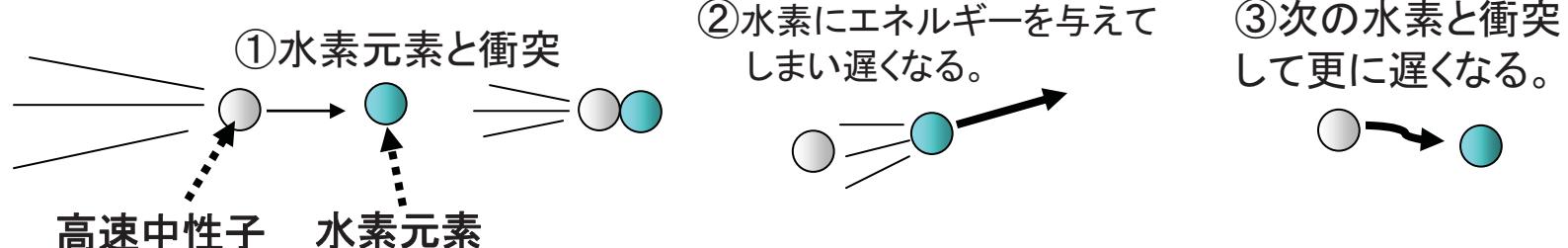
「もんじゅ」における平均中性子エネルギー $\approx 120\text{keV}$



出典: FBR広報素材資料2版、6-19増殖、科学技術庁、平成2年3月

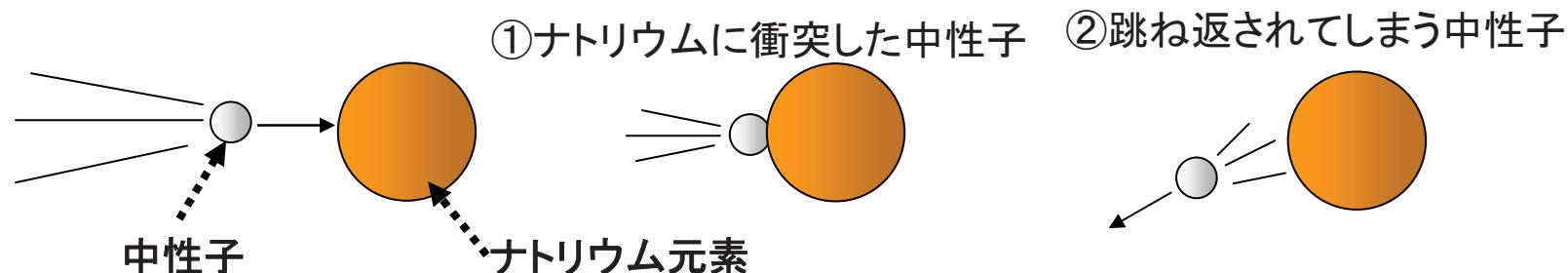
中性子の減速とナトリウムの関係は？

【軽水炉での減速の仕組み】



核分裂で出てきた高速の中性子は、水(H_2O)の酸素元素や水素元素と衝突するが、**中性子と水素元素は同じ重さ**なので、水素と衝突することによりエネルギーを失います。エネルギーを失うということは、動き回るスピードが遅くなる、すなわち減速されること。

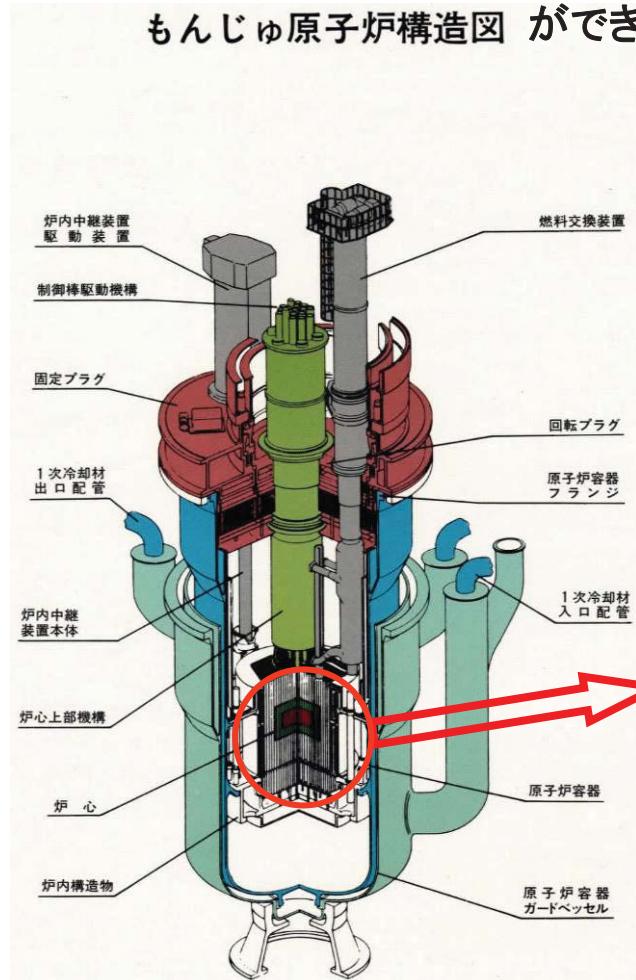
【高速炉での中性子とナトリウムの衝突】



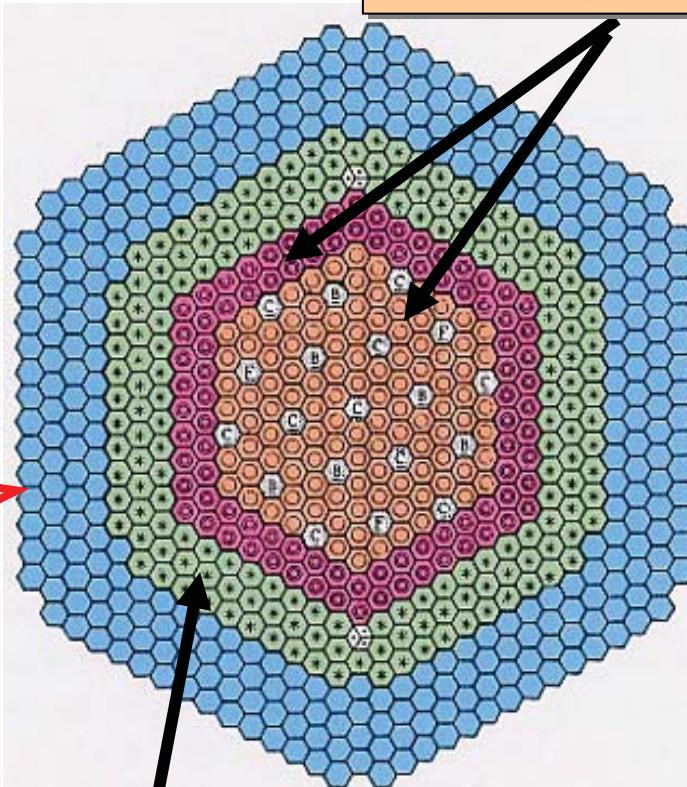
高速炉の冷却材の**ナトリウムは、中性子に比べて23倍重い**元素です。軽い物と重い物が衝突すると、軽い物は跳ね飛ばされてしまうが、これと同じ原理で中性子はナトリウムに衝突しても跳ね返されてエネルギーを余り失わない。すなわち、高速中性子を余り減速しない。

「増殖」の仕組み

高速増殖炉では、プルトニウム燃料を燃やしながら運転を行いますが、運転を行っている間に消費した以上のプルトニウム燃料を作り出すこと もんじゅ原子炉構造図 ができる。



【「もんじゅ」炉心構成】



この部分の「燃えないウラン」(劣化ウラン)に中性子を衝突させてプルトニウムを作り出す。

この二つの部分でプルトニウム燃料を燃やすが、燃やした以上の燃料が周りの「燃えないウラン領域」にできる。

炉心構成要素		記号	数量
炉心燃料集合体	内側炉心	(○)	108
	外側炉心	(●)	90
プランケット燃料集合体		(△)	172
制御棒集合体	微調整棒	(□)	3
	粗調整棒	(○)	10
	後備炉停止棒	(△)	6
中性子源集合体		(◎)	2
中性子遮へい体		(○)	316
サーベイランス集合体		(△)	8

冷却材としてのナトリウムの特長

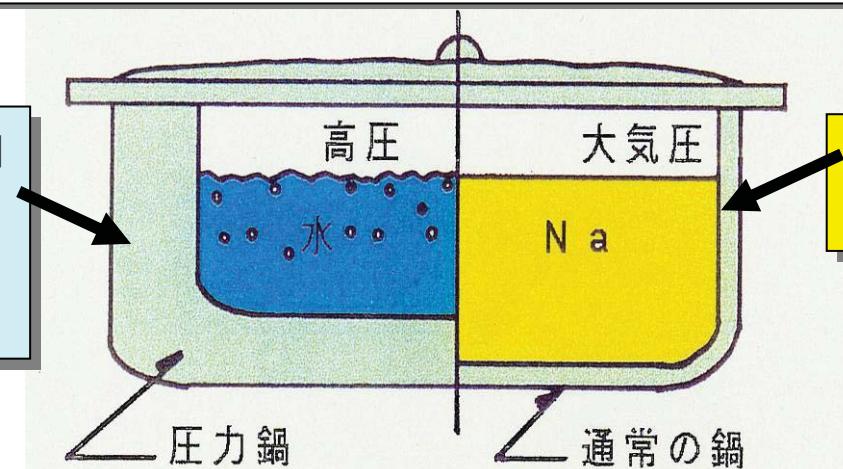
ナトリウムは「増殖」に不可欠である高速中性子を活用するために適した冷却材であることを説明したが、この他にもナトリウムは色々な長所を持っている。

ナトリウムは沸点が高い(880°C)ので沸騰を抑えるために加圧する必要がない。

- ◆ 水を使用している軽水炉では、容器に圧力をかけて(BWR: 約60気圧、PWR: 約130気圧程度)水の沸点を高くしている。(低温で湿った蒸気はタービンを腐食させ、しかも運転効率が悪くなるのでなるべく高い温度で乾燥した蒸気が良い。)
- ◆ 加圧を必要とする軽水炉では、その非常に高い圧力を閉じ込めるために厚い容器が必要であったり、高い圧力での運転になってしまいますが、ナトリウムを使うことにより、容器は薄くて良く、かつ殆ど圧力のかからない運転であるため運転し易いなどの利点がある。

【軽水炉】

沸騰を抑えるために加圧しているので、圧力を封じこめるために厚い鍋が必要



【高速増殖炉】

圧力を加える必要がないので薄い鍋でOK

【鍋に例えた場合の軽水炉と高速増殖炉の原子炉容器の比較】

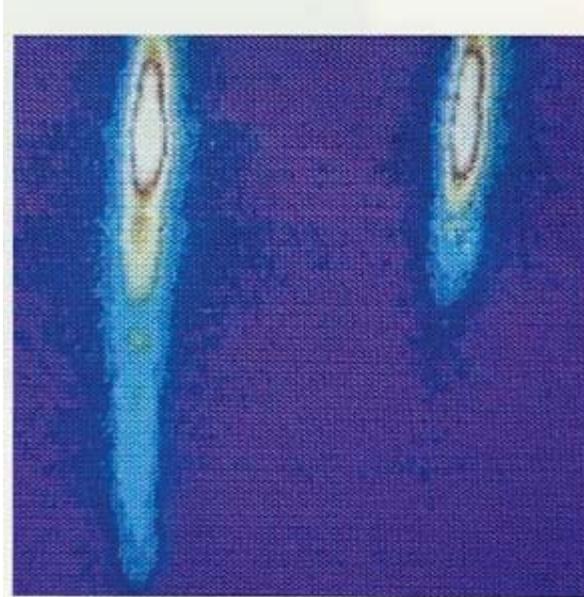
ナトリウムは熱を伝える能力が水よりはるかに高い

◆その物質が熱を良く伝えることができるかどうかを評価する時、「熱伝導率」という力で評価します。ナトリウムの熱伝導率は水に比べて約100倍で、水より遥かに熱を良く伝えることができる。



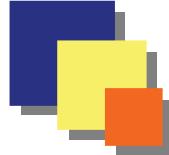
熱の伝わり方の実験(ナトリウム(左)、水(右))

【熱の伝わり方の実験】
(左:ナトリウム、右:水)



サーモグラフ(左のナトリウムは熱が速く伝わる)

サーモグラフ(左のナトリウムは熱が速く伝わっている)



その他の特長

特長その1

ナトリウムは水に比べると腐食性が弱い。(低被ばくへの可能性)

⇒ 腐食によって錆が生じるが、原子炉内で発生した錆は放射性であり、この錆が被ばくの原因となる「放射線源」となる。

特長その2

水より軽く、さらさらした物質(粘性が小さい)なので、ポンプの駆動力が小さくてすみ、**循環ポンプを小型化**できる。

◎ 電気を通す物質なので、電磁力をを利用してプラントの運転制御に必要な流量計や液面計などを活用することができます。

◎ 電磁力を利用した電磁ポンプを活用できるので機械式ポンプとは違ったポンプを用意できるので安全性を高めた設計(**多重設計**)にすることができる。

特長その3

特長その4

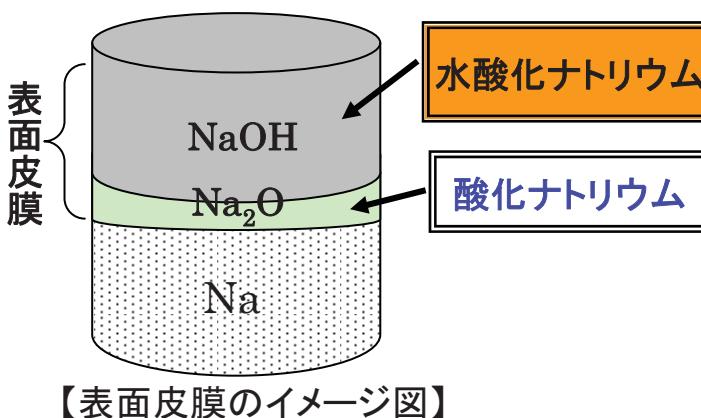
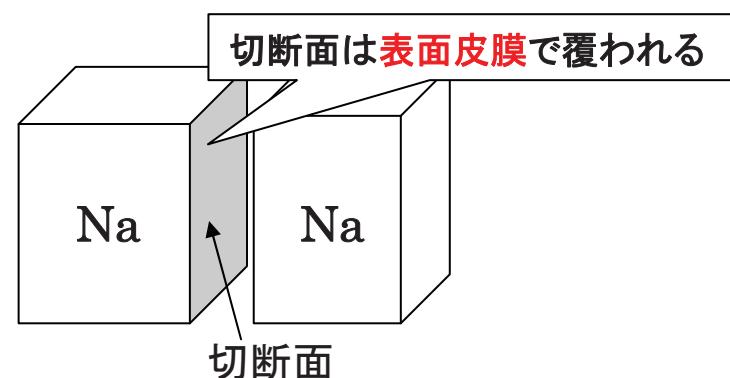
資源が豊富なので**比較的安価**である。

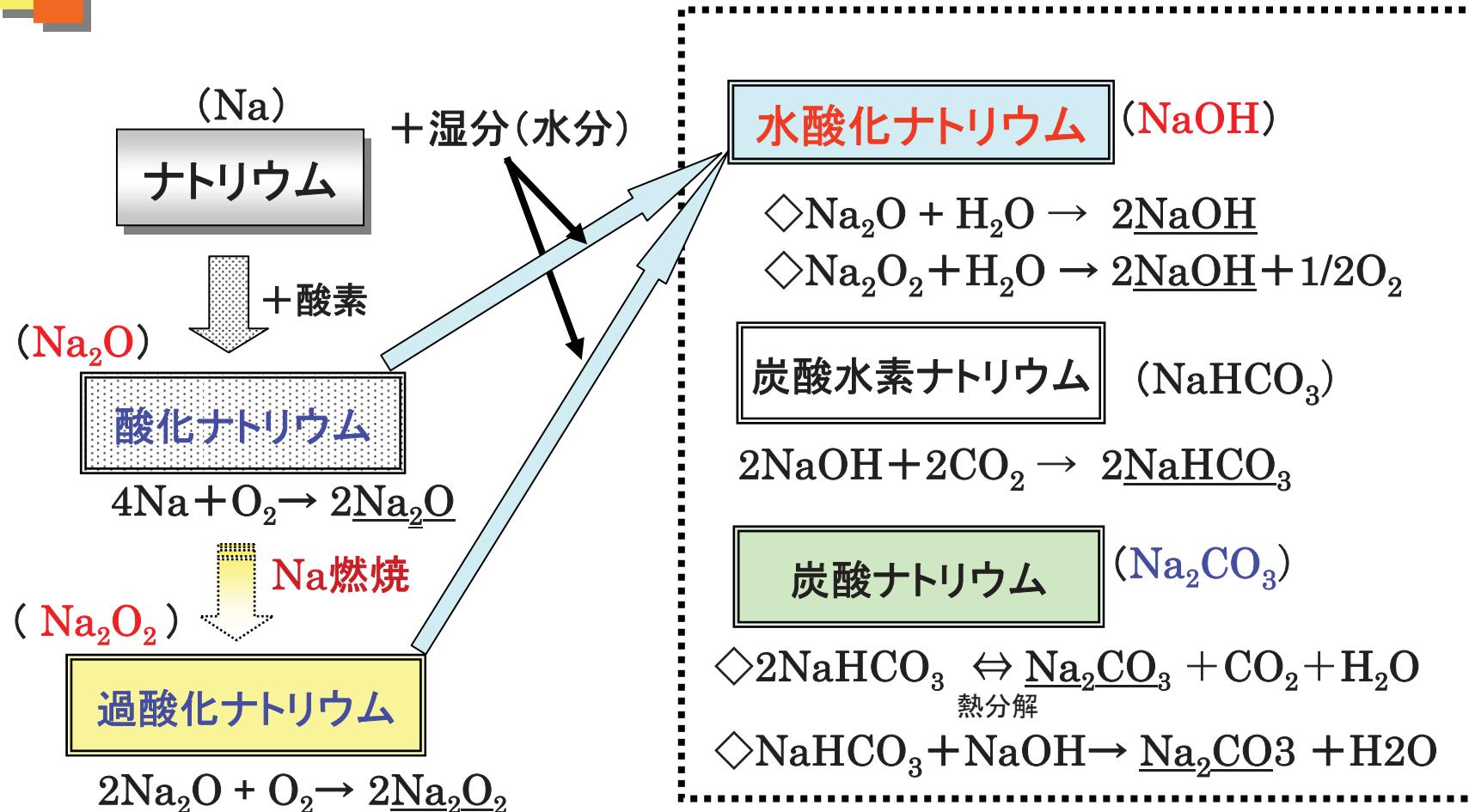


第3講 ナトリウムの化学的性質

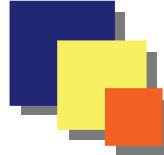
空気との反応

- ◆ナトリウムは、非常に化学的に活性であり、大概の元素と反応する。空气中での反応の例を次頁に示す。
- ◆但し、ナトリウムはパラフィン、灯油などの石油類(第4類危険物)や窒素やアルゴンガスなどの不活性ガスやとは反応しないので、固体のナトリウムは石油類に浸して、また、液体状態のナトリウムは空気と触れないように窒素ガスやアルゴンガスなどで容器内を覆って貯蔵する。
- ◆固体ナトリウムの状態では、空気中の酸素や湿気などとの反応によって表面に酸化ナトリウムや水酸化ナトリウムなどから成る膜を形成するので急激な反応はしない。
- ◆但し、多湿下で反応熱が蓄熱されるなどの環境条件下に放置しておくと、数時間で**自然発火**を起こす場合もある。(2001年10月の「常陽」建物火災事故の原因と推定)





ナトリウムは、酸素や湿気と反応して様々な化合物を形成するが、長時間空气中に放置して置くと、最終的には炭酸ガスとの反応が進んで化学的に安定で人体に無害な炭酸ナトリウムに変化する。炭酸ナトリウムは、ナトリウムとも反応しないのでナトリウム火災の消火剤に使用されている。

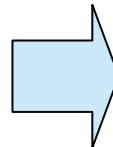


ナトリウムと水との反応

◆ナトリウムは、水と接触すると水素ガスを発生し多量の反応熱によって爆発現象を起こす。

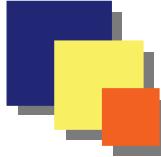


◆高速炉では、蒸気発生器伝熱管が破損した場合にナトリウムと水が直接接触し、ナトリウムー水反応が生じるが、そうした事故を想定して様々な設備対策が取られている。(参考資料-2参照)



【ナトリウムと水の反応】





ナトリウムとコンクリートとの反応

- ◆ナトリウムはコンクリートとも反応(主としてコンクリート成分の珪素と反応)する。主な反応式は次の通りである。



- ◆反応はナトリウム温度が500°C以上の場合に生じ、20~30cm程度の侵食で反応は終息*する。

- ◆反応が生じると反応熱によってコンクリート中の水分が放出されるため、コンクリート強度が低下する。従って、万ーナトリウム漏洩が起きた場合を想定し、部屋にはライナーと呼ばれる鋼板が敷いてある。

(参考資料-3参照)

*出典:「もんじゅ」安全性調査検討専門委員会提出資料、2章ナトリウム漏えい対策、参考図3-2、平成15年9月



ナトリウムとアルコールとの反応

- ◆ナトリウム化合物のアルコール洗浄(エタノール使用)時、アルコールはナトリウムと反応して塩を生成するとともに、水素ガスを発生する。この塩のことをアルコラート(アルコキシド)という。

(反応例)



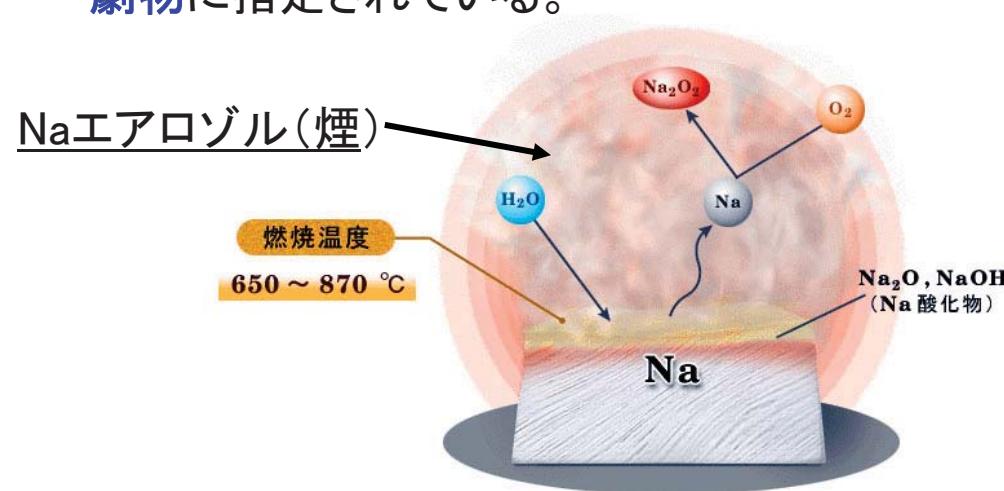
*出典:<http://www.tuat.ac.jp/> 毒劇物取扱者試験に必要な専門化学

第4講 ナトリウムの危険性

危険性その1:ナトリウム漏えい燃焼

- ◆高温ナトリウムが漏えいすると、発火しナトリウム燃焼を生じる。
- ◆ナトリウム燃焼は、**多量の白煙**を出して燃え、**火炎が短い**のが特徴である。
(ガソリン火災の火炎は数メートル、ナトリウム燃焼の火炎は数ミリメートル)
- ◆ナトリウム煙のことを**エアロゾル**という。燃焼物のおよそ25%はエアロゾル中に含まれて放散される。
- ◆エアロゾル中には**人体に有害な酸化ナトリウム**や過酸化ナトリウム、水酸化ナトリウムが含まれ、**強い刺激臭**がある。

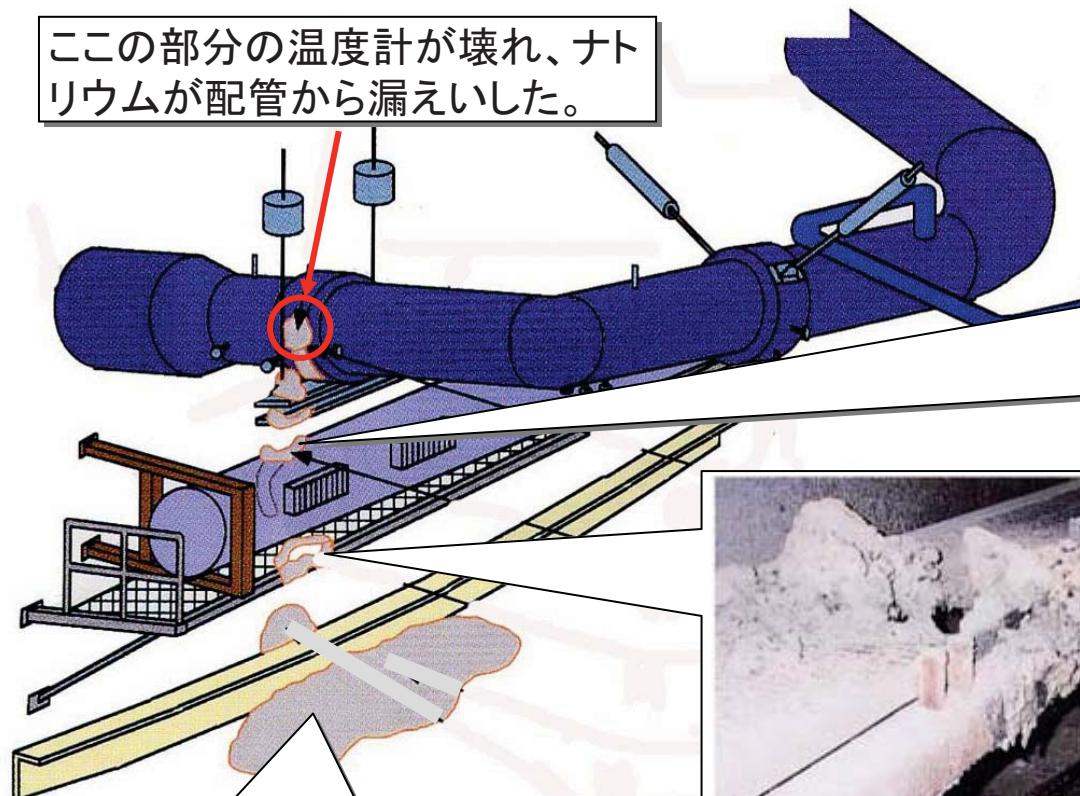
注)過酸化ナトリウムと水酸化ナトリウムは
劇物に指定されている。



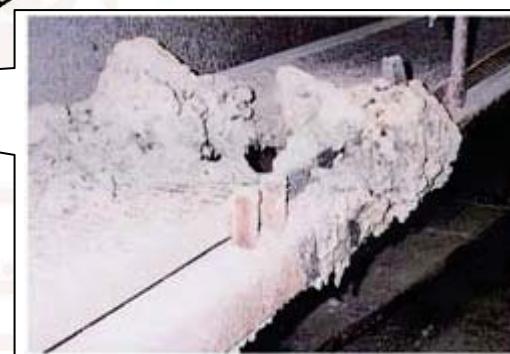
【配管ナトリウム漏えい実験】

【「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故の状況】

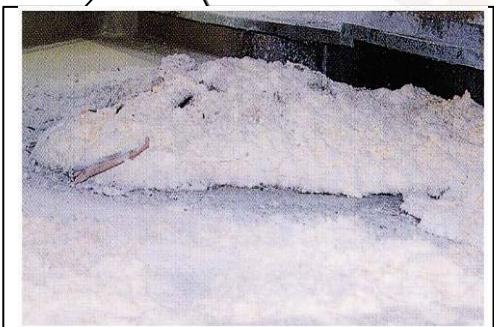
この部分の温度計が壊れ、ナトリウムが配管から漏えいした。



【空調ダクト】



【グレーチング足場】



【堆積物の分析結果】

- ◆ 水酸化ナトリウム (NaOH)
- ◆ 炭酸ナトリウム (Na_2CO_3)

出典: 安全協定に基づく異常時連絡書「40%出力試験中における2次冷却系ナトリウム漏えい事故について」、
第5報報告書、平成9年8月、動燃

消火と防護服

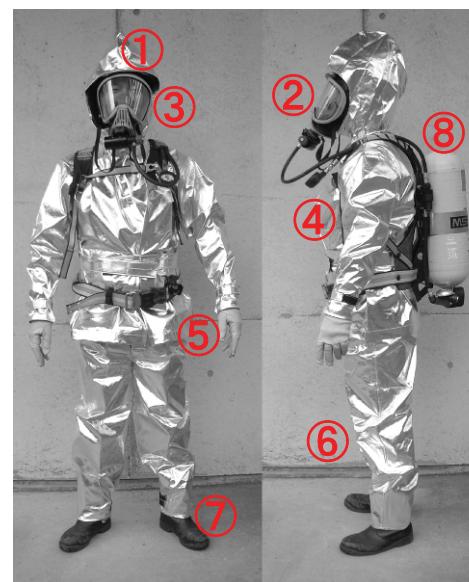
- ◆ナトリウム消火に当たっては、空気呼吸器を備えた防護具を装着しなければならない。但し、防護具を過信してはならない。燃えているナトリウムが防護具に付着した場合、防護具は燃えてしまう。
- ◆ナトリウム燃焼の消火は窒息消火の原理に基づくもので、燃焼している領域を消火剤で完全に覆うことが重要である。十分に散布が行き届いていない場合は再発火を起こす可能性があるので十分に散布することが重要である。
- ◆ナトリウムが漏えいしている最中は、消火は行わない。近づかない。
- ◆ナトリウム燃焼の消火には、金属火災専用の消火器(無水炭酸ナトリウム粉末を主剤とした消火器)を使用する。水やABC消火剤は燃焼を拡大・促進(ABC消火剤がナトリウムと反応)するので決して使用してはならない。



ナトレックス消火器



ABC消火器

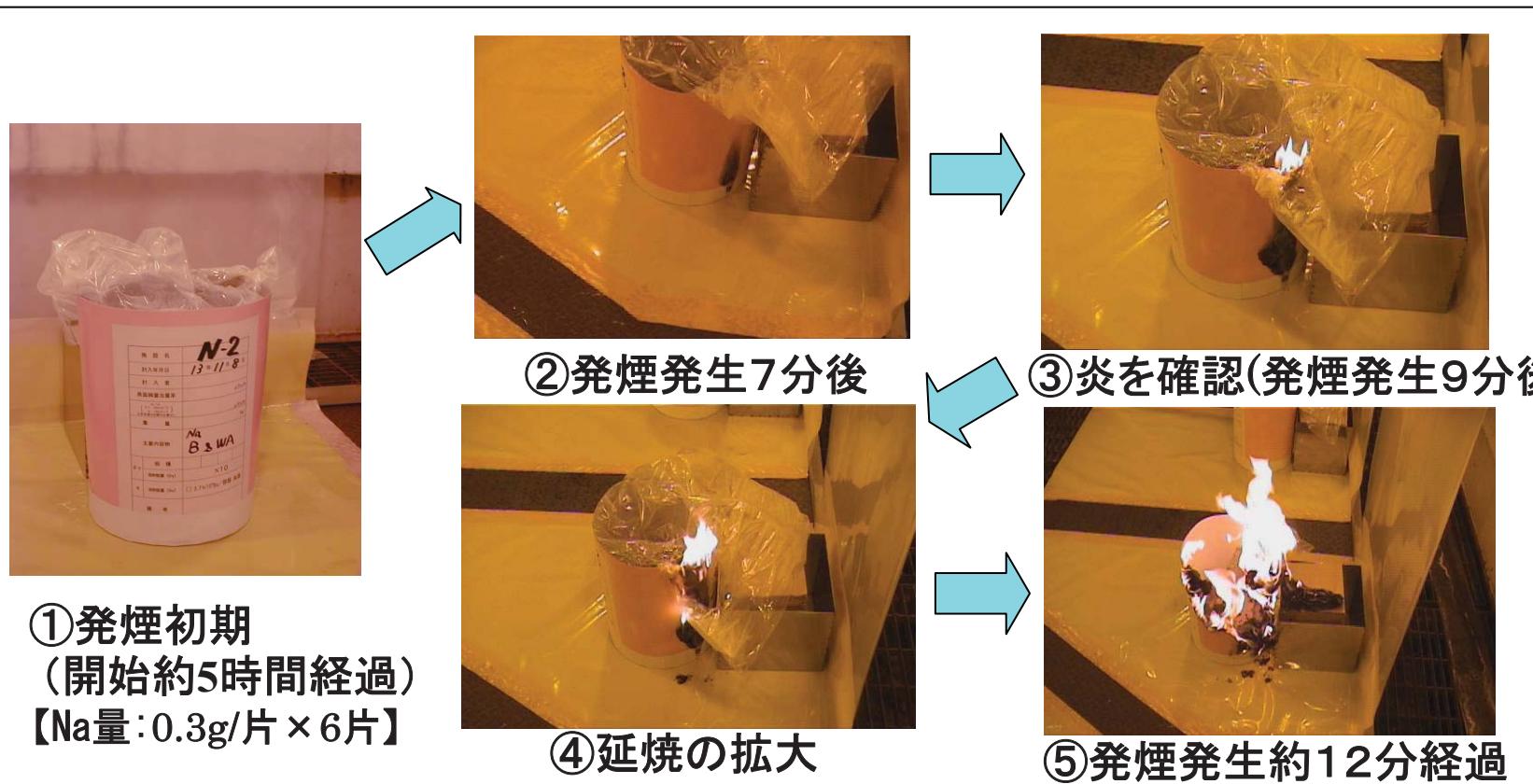


- | |
|-----------|
| ①ヘルメット |
| ②マスク |
| ③防護面 |
| ④上着(難燃性) |
| ⑤長手革手袋 |
| ⑥ズボン(難燃性) |
| ⑦半長靴 |
| ⑧空気呼吸器ボンベ |

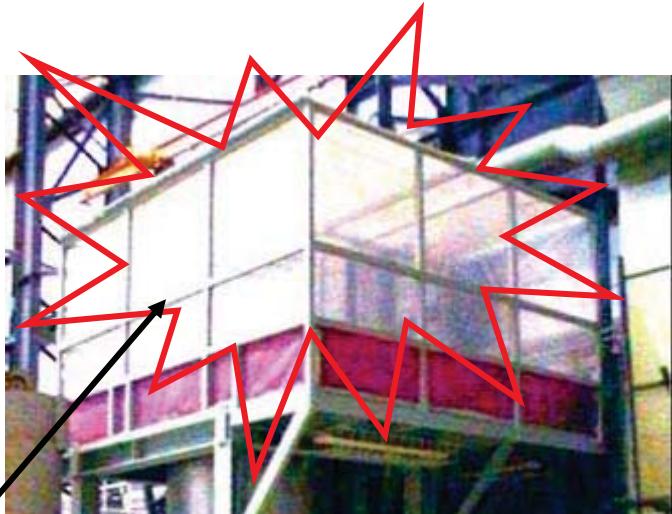
危険性その2:ナトリウムの自然発火

固体ナトリウムを可燃物と混合して放置すると、環境条件(蓄熱)によっては**自然発火**を起こし火災に至ることがある。2001年10月31日に発生した高速実験炉「常陽」メンテナンス建物火災は、ナトリウムの取扱不注意により発生した火災である。

この事故を教訓としてサイクル機構では、学科試験と取扱実習から成る「ナトリウム取扱技能認定制度」を導入し、技能認定者がナトリウム取扱作業を実施している。



【「常陽」建物火災現場の状況】



機器洗浄槽上部作業場(火災現場)



写真1 機器洗浄槽上部側面



写真2 機器洗浄槽上部グリーンハウス内部

2001年10月31日、メンテナンス建物内の機器洗浄槽上部作業場においてナトリウム弁の解体作業を行った際、作業員がナトリウムが付着した拭き取り用ペーパーをカートンボックス(紙製)の中に棄てたことにより、数時間経過して火災が発生した。ナトリウム自然発火のメカニズムについては、参考資料-4を参照。

危険性その3:ナトリウム処理洗浄時の危険性(事故事例)

1.事故経緯

「常陽」照射装置組立検査施設において平成10年12月25日に作業員が不活性雰囲気グローブボックスでナトリウム保管容器(直径2cm／長さ約30cm)をアルコール洗浄した後、流し台で最終処理の水洗浄を行っていたところ容器内に残留していたナトリウムが水と反応して内容物が飛散し、この時、斜め後方1mで運搬の準備をしていた作業員が驚いて振り向いた瞬間に飛散物が顔にかかり両眼に負傷(両眼アルカリ熱傷)を負った。(入院62日、休養44日)なお、当該作業は予定外作業であったが、事前に作業管理者(JNC)には連絡がなかった。

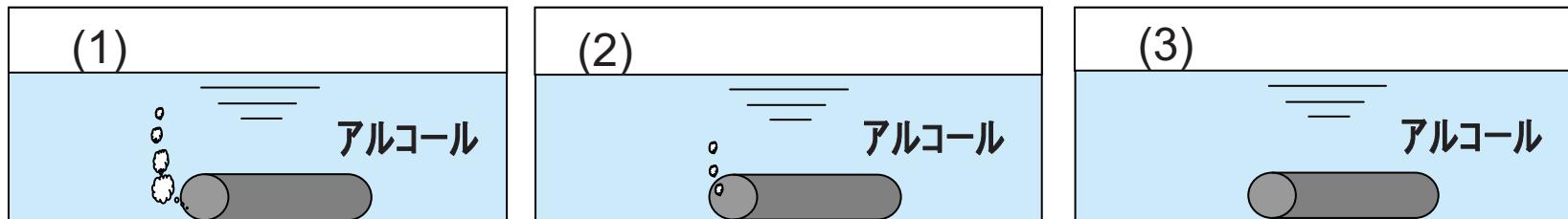
2.原因

水洗浄前に金属ナトリウムの有無を確認するための準備作業として、容器内のナトリウムの掻き出しとともに、アルコール洗浄を行ったので、もう容器内にはナトリウムの残留はないと誤解したのが直接の原因である。

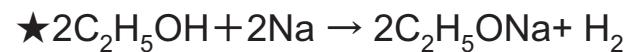
また、作業マニュアルにはナトリウム残留の具体的な確認方法が記載されていないとともに、防護具に着用を義務付けていなかった。

更に予定外作業に関する連絡が管理者になされなかつたため、必要な安全措置を講ずる指示を出すことができなかつた他、迅速且つ適切な応急処置(直ちに多量の水で15分以上洗眼する)を行うことができなかつた。

「常陽ナトリウム洗浄処理事故の原因」



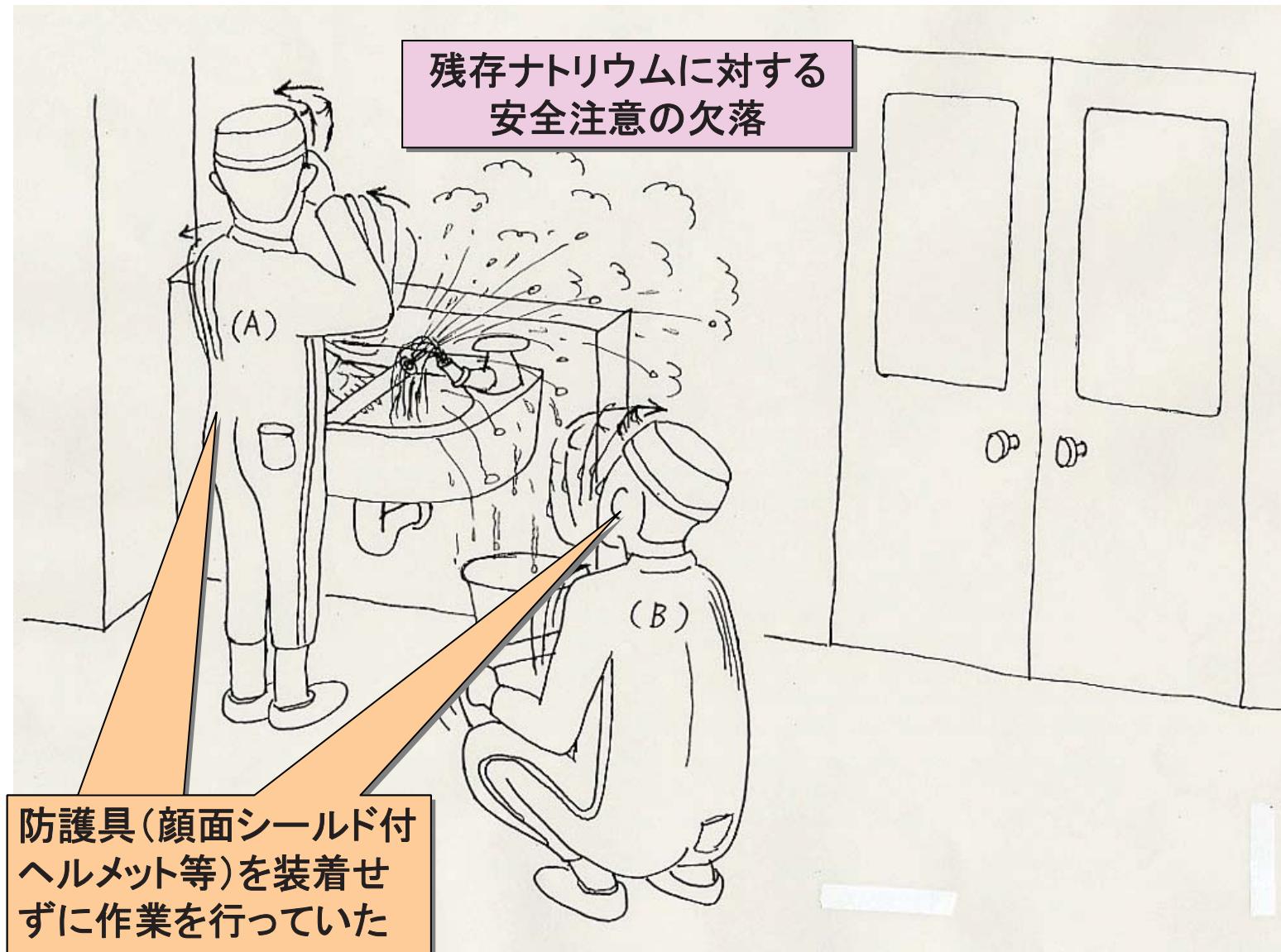
アルコラート (C_2H_5ONa)



◆アルコール洗浄は水に比べてマイルドな反応であるので、水による最終洗浄処理の前処理として使用することがある。アルコールはナトリウムと反応すると水溶性のアルコラートと呼ばれる塩基性の化合物を生成する。

◆例えば、円管などに詰まったナトリウムはアルコラートに覆われて直接ナトリウムとは反応しないので、見かけ上全てのナトリウムが反応し終わったように見える。(上図(3)の状態)

◆「常陽」の事故は(3)の状態を経てから最終処理として水洗浄処理を始めたものだが、円管内の残存ナトリウムを覆っていたアルコラートが溶融したことにより直接「水-ナトリウム反応」が生じ反応生成物が噴出した。

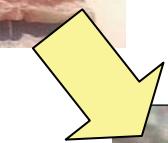
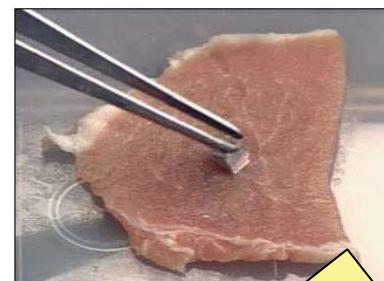
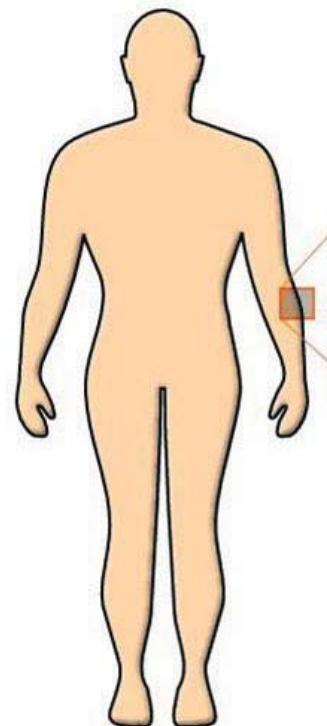


【「常陽」ナトリウム洗浄時の事故概念図】

第5講 人体への影響と応急処置

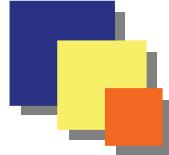
ナトリウムに触れた場合

部 位	症 状	応急処置
皮 膚	アルカリ火傷	<ul style="list-style-type: none">①直ちにナトリウムを擦らずに除去する。②水洗浄(石鹼による洗浄が効果的)③シャワー(必要に応じて)④緊急病院への急行(専門医による治療)

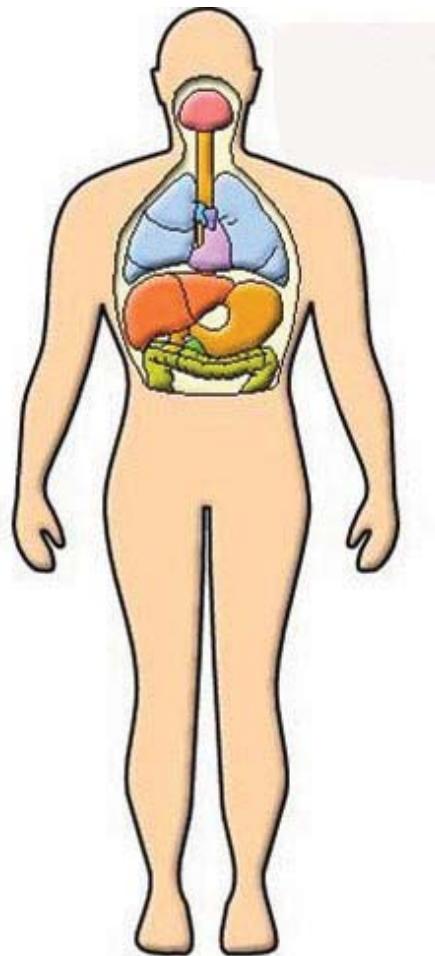


【アルカリ火傷】



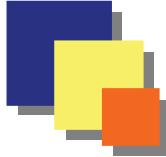


ナトリウムを体内に取り込んだ場合



部 位	症 状	応急処置
眼	視力の低下(最悪の場合は失明の恐れ有り)	直ちに大量の水で洗眼し、冷やす
口、喉	口、喉の粘膜の炎症	直ちにうがいや鼻腔洗浄
肺	肺の炎症(ひどい時は呼吸困難の場合もあり)	"
食道、胃、腸	食道、胃腸の粘膜の炎症	大量の水を飲んで強制的に吐く



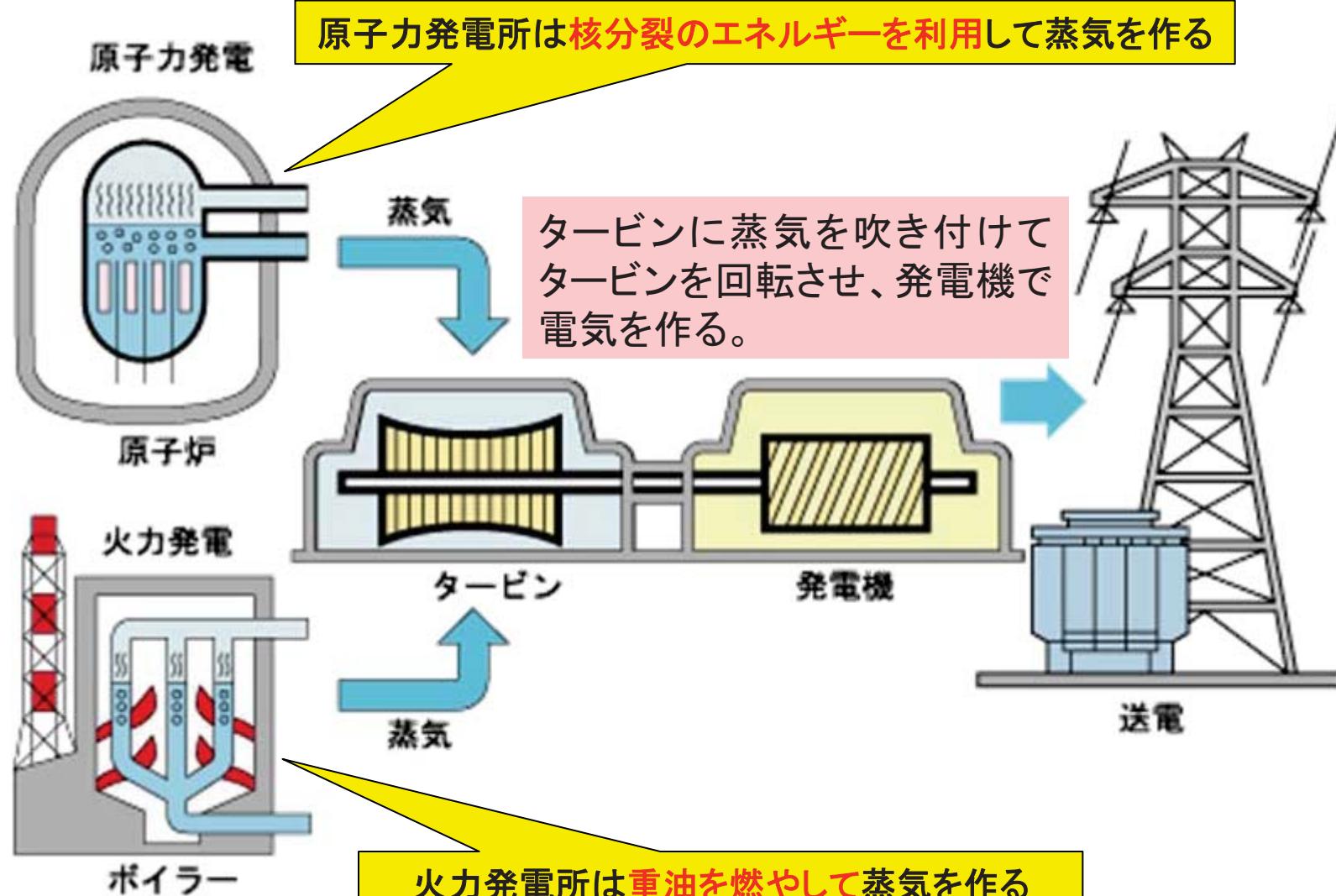


一参考資料一

- 参考資料-1:核分裂の威力
- 参考資料-2:「もんじゅ」におけるナトリウム-水反応対策
- 参考資料-3:「もんじゅ」漏えい対策(ライナーの敷設)
- 参考資料-4:ナトリウム自然発火のメカニズム

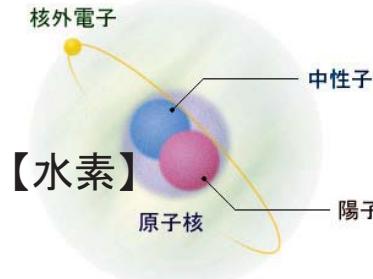
参考資料-1

原子力発電の特長(核分裂の威力)

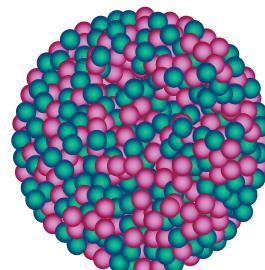


参考資料-1

原子の構成



全ての物質は、「原子」(半径約 10^{-10}m)が集まってできている。原子は、電気的にプラスの性質を持つ「陽子」と電気的に中性な「中性子」から成る「原子核」(半径約 10^{-14}m)と、その周りを回っている「電子」とから構成されている。例えば、地球上で一番軽い元素は、1個の「陽子」と1個の「中性子」、1個の「電子」からできている。(左図:イメージ図)

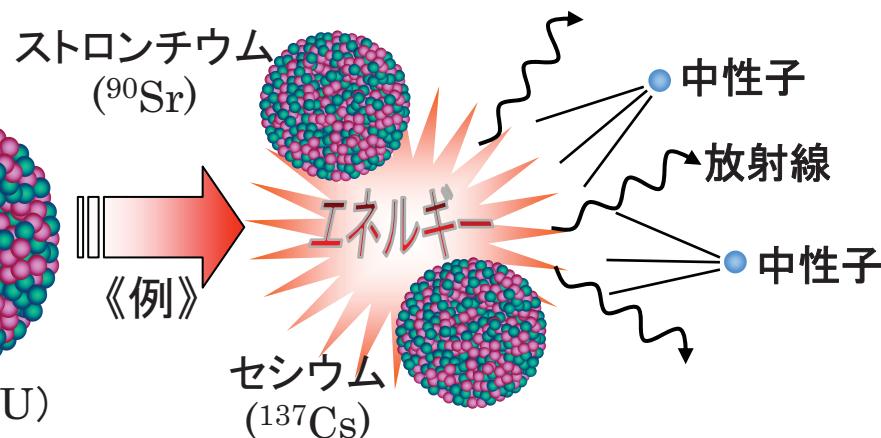
核分裂と
核分裂性物質

【ウラン235の原子核】
陽子と中性子の数
の合計が235個

中性子

《核分裂のイメージ図》 ウラン(^{235}U)

大きく重い原子核(陽子と中性子がたくさん集まってできている原子核)を持つ「元素」の中には、中性子と衝突すると原子核がほぼ二つに割れて壊れてしまうものがある。この原子核が壊れてしまう現象を「核分裂」と言い、その際、非常に大きなエネルギー^{注)}と放射線、そして何個かの「中性子」を放出する。^{注)}約 $200 \times 10^6\text{eV}$ (エレクトロンボルト)($1\text{eV} \doteq 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$ (ジュール))
このように核分裂を起こす物質(元素)を「核分裂性物質(核燃料)」と言い、最も有名なものが「ウラン燃料(^{235}U)」と「プルトニウム燃料(^{239}Pu)」である。



参考資料-1

「核分裂」エネルギーの威力は？

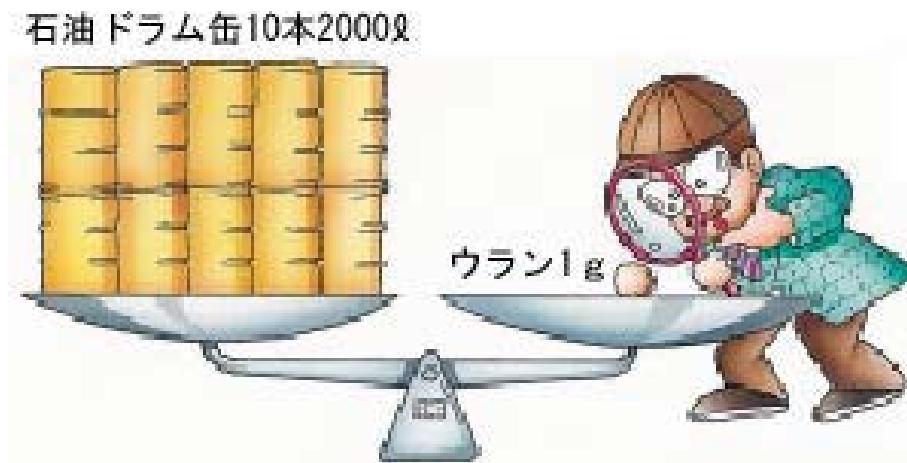
原子爆弾と原子力発電の違い

「核分裂」で生まれた何個かの「中性子」が、次々に核燃料に全て衝突したとすれば、核分裂は瞬時に“ねずみ算式”に増えて行く。ほぼ100%濃度の核燃料の塊りに中性子を打ち込み、核分裂反応を一瞬のうちに起こさせ、その膨大なエネルギーで物を破壊するのが「原子爆弾」である。

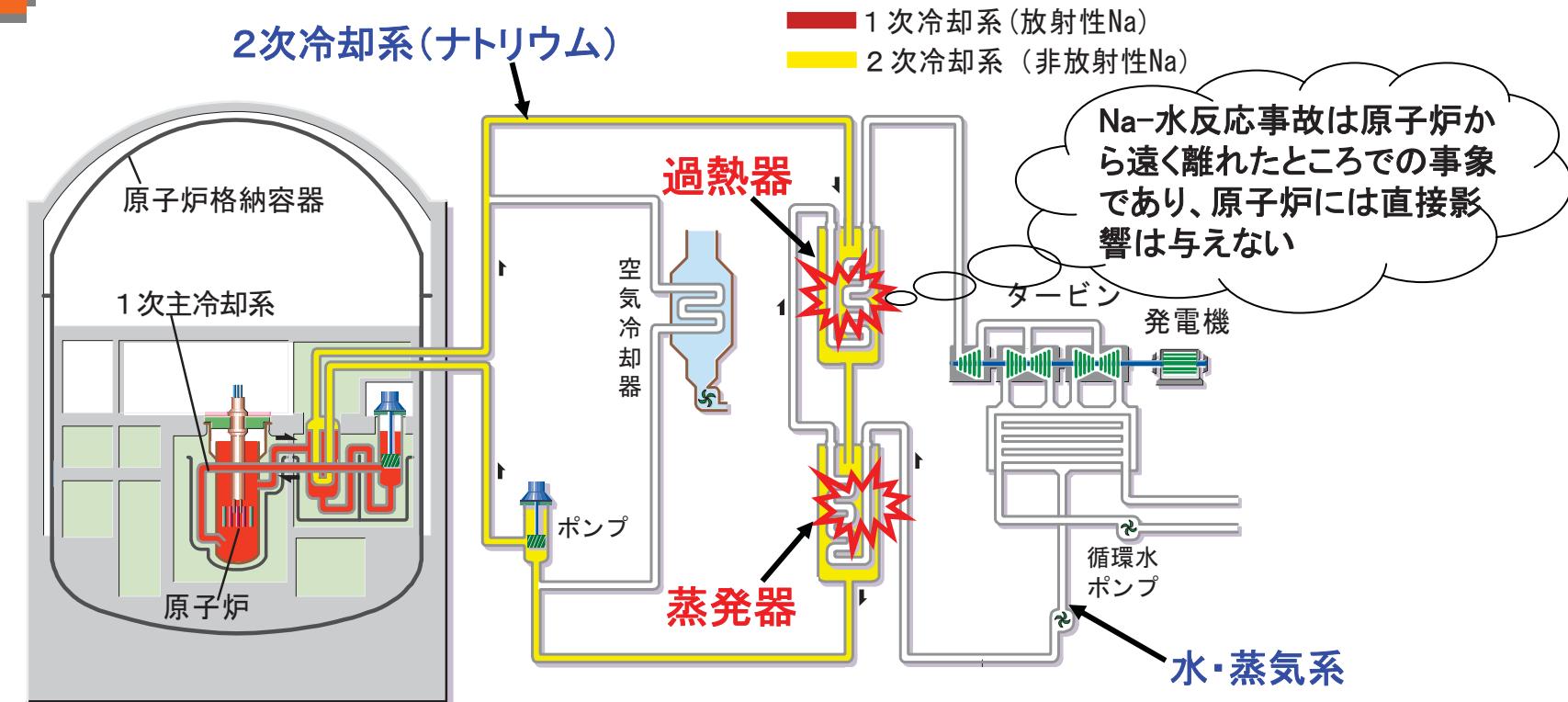
一方、燃料の密度が薄い状態(広い場所に少ししか燃料がない状態)では、核分裂によって生まれた全ての中性子が次の核燃料に衝突する訳ではない。生まれて出てきた中性子のうち、自然に消滅したり、他の物に吸収されたり、漏れてしまったりして核分裂に寄与しない中性子が必ずいる。つまり、生まれた何個かの中性子のうち、1個だけが次の燃料に衝突できる程度の燃料の濃さに抑え、一度に核分裂が生じないように制御しながら“じわじわと核分裂を持続”させてエネルギーを活用するのが「原子力発電」である。一般の原子力発電所では2～4%程度の燃料の濃さで使用している。

核分裂エネルギー

例えばウラン1gで石油ドラム缶10本分のエネルギーを作り出すことができる。

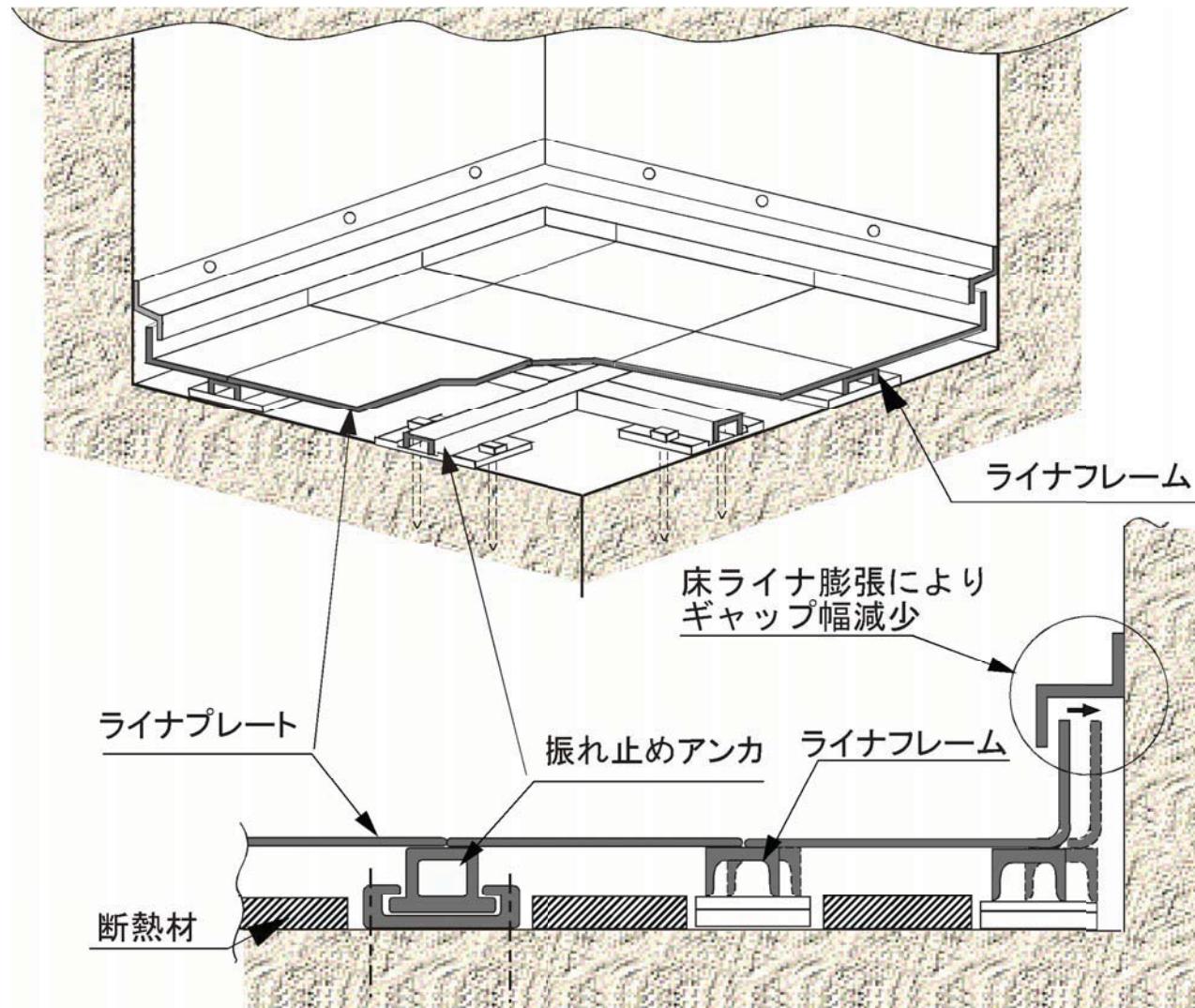


参考資料-2



- 蒸気発生器、過熱器の伝熱管が破損したらナトリウムー水反応が生じる。
- ナトリウムー水反応が生じた場合水素が発生するが、ナトリウム中に生成された水素ガスを検出することにより、非常に小さな穴(0.2mm)の段階から伝熱管の破損を検出できる。
- 破損を検出したら、原子炉を緊急に停止するとともに、水蒸気系を抜き取り反応を終息させる。
- 大きな破損(伝熱管が一気に破断)の場合は、反応によって生じた圧力を逃すための圧力開放板(高い圧力が加わった場合、破れ易いように作ってある薄い板)が自動的に壊れ、反応によってできた水酸化ナトリウムや水素ガスを収納容器に収納してしまう。なお、水素は点火して燃やしてしまうとともに、原子炉は自動的に緊急に停止(原子炉スクラム)する。

【「もんじゅ」ナトリウム漏えい対策(ライナーの敷設)】



【もんじゅ2次系ライナ構造概念】

出典:「もんじゅ」安全性調査検討専門委員会提出資料、2章ナトリウム漏えい対策、図2-2-5、平成15年9月

参考資料-4

