

JNC TN4520 2002-002

ナトリウム取扱研修

《消防士コース》

平成15年12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

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)

2002



ナトリウム取扱研修 〈消防士コース〉

第1講: ナトリウムの一般知識と化学的性質

第2講: ナトリウム燃焼の特徴と消火及び防護具

第3講: 人体への影響と応急処置

第4講: ナトリウムを高速炉の冷却材に利用する理由



第1講 ナトリウムの一般知識と化学的性質



お塩

ガラス



Na
身近なところに
たくさんあるナトリウム

薬



飲みすぎ・胸や
太田胃散 (分包)

成分 1包 (1.3g) 中	
ケイヒ	92 mg
ウイキョウ	24 mg
ニクズク	20 mg
健胃生薬	
チヨウジ	12 mg
チンピ	22 mg
ゲンチアナ	15 mg
ニガキ末	15 mg
炭酸水素ナトリウム	625 mg
沈降炭酸カルシウム	133 mg
制酸剤	
炭酸マグネシウム	26 mg
合成ケイ酸アルミニウム	273.4 mg
消化酵素	
ピロチンアスターゼ	40 mg
L-メントール	

株式会社 太田胃散
東京都文京区千石2-3-2

石鹼



ナトリウムはアルカリ金属元素

ナトリウムは、原子番号11、**原子量23**の元素で**アルカリ金属**群に属しています。

ナトリウムは天然には単独で存在せず塩化物、酸化物、水酸化物、炭酸化合物などの化合物として存在しています。(例: **塩**)

海水 1 kgの中に約10 gの
ナトリウムが含まれている

海水の約1%がナトリウム



死海(イスラエル)



●電気分解

岩塩



ナトリウムは塩の熔融液を
電気分解してつくることができます

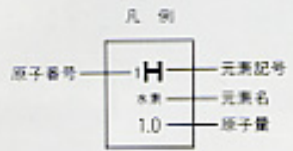
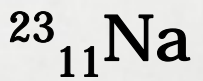


元素の周期表(長周期型)

1s	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0		
1	1H 水素 1.008															2He ヘリウム 4.003		
2	3Li リチウム 6.941	4Be ベリリウム 9.012									5B ホウ素 10.81	6C 炭素 12.01	7N 窒素 14.01	8O 酸素 16.00	9F フッ素 19.00	10Ne ネオン 20.18		
3	11Na ナトリウム 22.99	12Mg マグネシウム 24.31									13Al アルミニウム 26.98	14Si ケイ素 28.09	15P リン 30.97	16S 硫黄 32.07	17Cl 塩素 35.45	18Ar アルゴン 39.95		
4	19K カリウム 39.10	20Ca カルシウム 40.08	21Sc スカンジウム 44.96	22Ti チタン 47.88	23V バナジウム 50.94	24Cr クロム 52.00	25Mn マンガン 54.94	26Fe 鉄 55.85	27Co コバルト 58.93	28Ni ニッケル 58.69	29Cu 銅 63.55	30Zn 亜鉛 65.39	31Ga ガリウム 69.72	32Ge ゲルマニウム 72.61	33As ヒ素 74.92	34Se セレン 78.96	35Br 臭素 79.90	36Kr クリプトン 83.80
5	37Rb ルビジウム 85.47	38Sr ストロンチウム 87.62	39Y イットリウム 88.91	40Zr ジルコニウム 91.22	41Nb ニオブ 92.91	42Mo モリブデン 95.94	43Tc テクネチウム (99)	44Ru ルテチウム 101.1	45Rh ロジウム 102.9	46Pd パラジウム 106.4	47Ag 銀 107.9	48Cd カドミウム 112.4	49In インジウム 114.8	50Sn スズ 118.7	51Sb アンチモン 121.8	52Te テルル 127.6	53I ヨウ素 126.9	54Xe キセノン 131.3
6	55Cs セシウム 132.9	56Ba バリウム 137.3	57~71 ランタノイド	72Hf ハフニウム 178.5	73Ta タンタル 180.9	74W タングステン 183.9	75Re レニウム 186.2	76Os オスミウム 190.2	77Ir イリジウム 192.2	78Pt 白金 195.1	79Au 金 197.0	80Hg 水銀 200.6	81Tl タリウム 204.4	82Pb 鉛 207.2	83Bi ビスマス 209.0	84Po ポロニウム (210)	85At アスタチン (210)	86Rn ラドン (222)
7	87Fr フランシウム (223)	88Ra ラジウム (226)	89~103 アクチノイド															

ランタノイド	57La ランタン 138.9	58Ce セリウム 140.1	59Pr プラセオジム 140.9	60Nd ネオジム 144.2	61Pm プロメチウム (145)	62Sm サマリウム 150.4	63Eu ユウロピウム 152.0	64Gd ガドリウム 157.3	65Tb テルビウム 158.9	66Dy ジスプロシウム 162.5	67Ho ホルミウム 164.9	68Er エルビウム 167.3	69Tm ツリウム 168.9	70Yb イットリウム 173.0	71Lu ルテチウム 175.0
アクチノイド	89Ac アクチニウム (227)	90Th トリウム 232.0	91Pa プロト アクチニウム 231.0	92U ウラン 238.0	93Np ネプツニウム (237)	94Pu プルトニウム (239)	95Am アメリシウム (243)	96Cm キュリウム (247)	97Bk バークリウム (247)	98Cf カリホルニウム (252)	99Es アイン スタイニウム (252)	100Fm フェルミウム (257)	101Md メンデルシウム (256)	102No ノーベリウム (259)	103Lr ローレンシウム (260)

ナトリウム



は非金属元素 は金属元素 は遷移元素

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

三つの特徴を有するナトリウム



軟らかい金属

銀白色光沢の金属
ナイフで簡単に切れる金属

広い温度で液体状態

溶ける温度は98
880 まで沸騰しない



アルカリ金属

Na

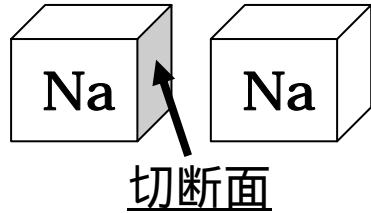
水より軽い金属

密度は 0.97g/cm^3 (大気・常温)
* 温度が上がればもっと軽くなる。



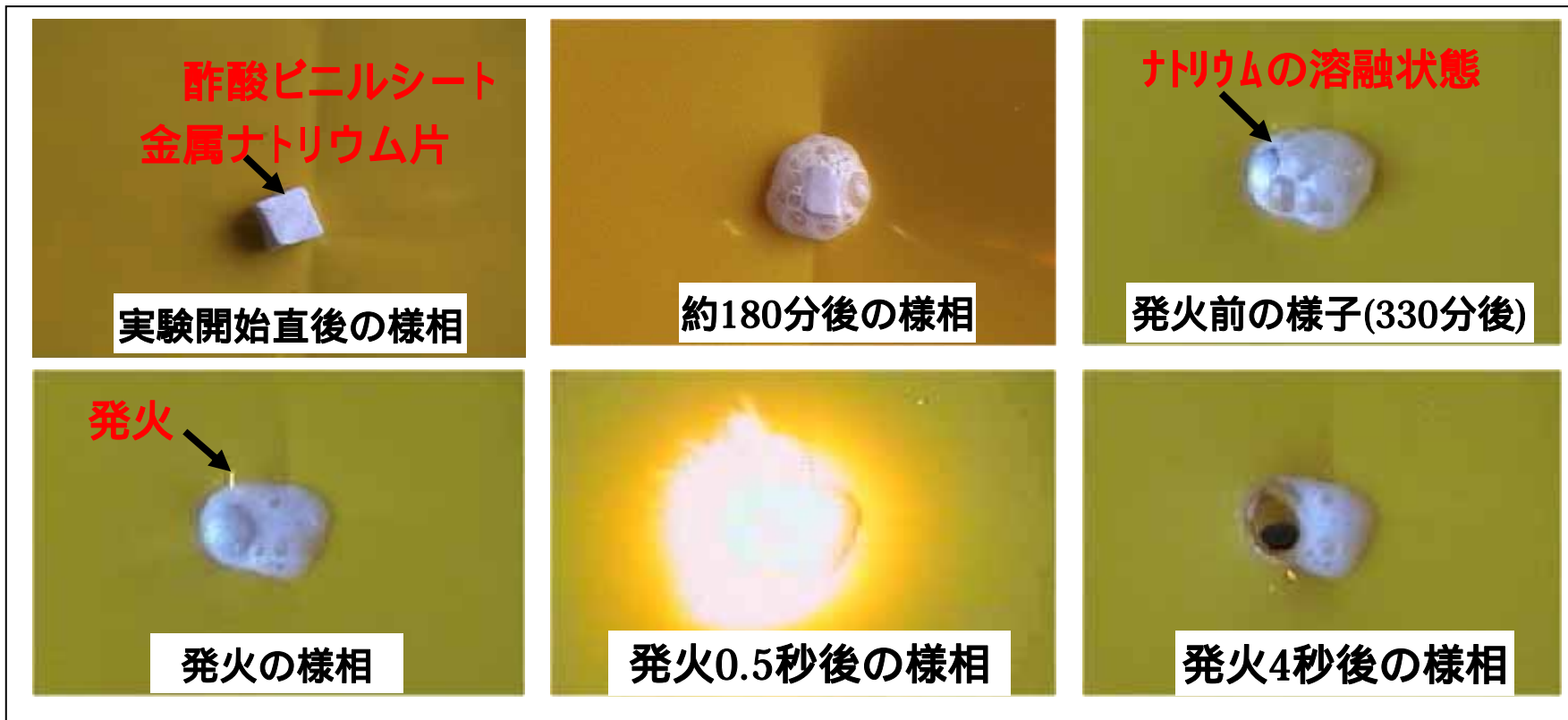
化学反応性に富んだナトリウム

固体ナトリウムを空気にさらすと酸素などと反応して表面皮膜を形成し白濁します。



この表面皮膜は時間が立てば湿気を吸って殆どが**水酸化ナトリウム(劇物)**に変わります。

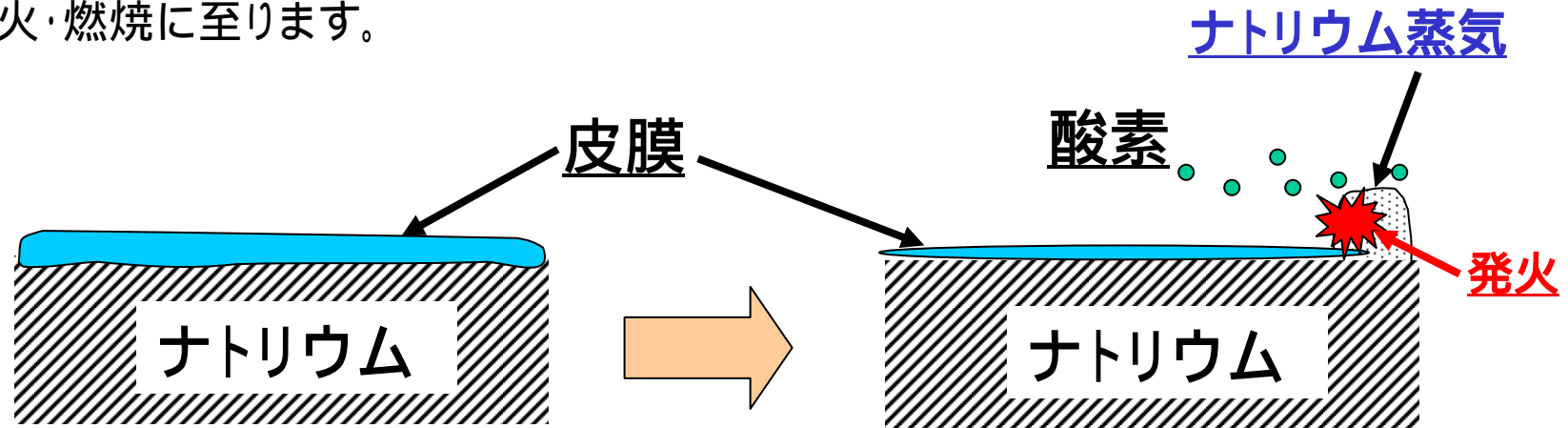
可燃物と混合して放置すると環境条件(蓄熱)によっては**自然発火**を起こし火災に至ることがあります。



金属ナトリウムの自然発火過程の様相【ナトリウム量：0.3g】

化学反応性に富んだナトリウム

固体ナトリウムを加熱するとおよそ300 程度で表面皮膜が溶融し、破れた部分からナトリウム蒸気が出てきます。このナトリウム蒸気と酸素の化学反応熱によって発火・燃焼に至ります。

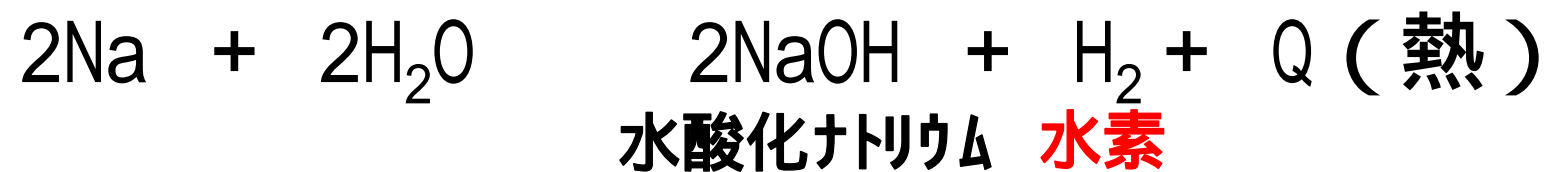


【発火時の様子】



ナトリウムは水に触れると激しく反応

ナトリウムと水が反応すると激しく反応し、**爆発現象**を生じます。



第2講 ナトリウム燃焼の特徴と消火及び防護具

有害物質を含む煙を多く出して燃えるナトリウム

ナトリウムが発火すると、**多量の白煙**を出して燃えます。

ナトリウム燃焼は**火炎が短い**のが特徴です。これは、ナトリウムの蒸気圧力が低いのでナトリウム蒸気が余り高く飛ばないことに起因しています。

ナトリウムの燃焼発熱量は11,000(kJ/kg) で、灯油(50,000 kJ/kg)と比べて約1/5、紙(17,000 kJ/kg)と比べても低い値です。

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(劇物)**、**水酸化ナトリウム(劇物)**が含まれ、**強い刺激臭**があります。



(1) 防護衣

作業には難燃性の素材の防護衣を着用することが望ましい。
ポケット、裾の折り返し等ナトリウムが防護衣内に入り込まないようにする他、長靴の中にナトリウムが入り込まないようにズボンは長靴の外側に履くようにしなければなりません。

(2) 頭部防護と顔面防護

頭部防護として、どのような状況下にあってもヘルメットは必ず着用しなければなりません。このヘルメットは、通常使用しているヘルメットで差し支えありません。
顔面防護には、軽装備的なものとして面覆い付きのヘルメットと、重装備的な面付きヘルメット頭巾、並びに空気呼吸器の面マスクがあります。

(3) 手袋

耐アルカリ性の長手袋を使用します。作業者は、手袋を服の袖の下側に深く入るように着用し、飛散物が入り込まないようにしなければなりません。
羊毛や皮、アスベストはナトリウムと反応するため使用してはいけません。

(4) 呼吸系防護具

消火作業などを行う際には、エアロゾルの吸い込み防止、酸欠防止のため、非放射性ナトリウムの消火であっても空気呼吸器を使用します。

(5) 消火器

消火剤には無水炭酸ナトリウム粉末を主剤とした「**ナトレックス**」(商品名)と呼ばれるナトリウム燃焼消火のための専用の消火剤が用いられています。
水は勿論のこと、一般**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**使用してはいけません**。



ナトレックス消火器



A B C 消火器



ナトレックスーM消火器仕様

器種	20型	50型
薬剂量	4.0kg	12.0kg
総重量	約8.8kg	約33.0kg
高さ	590mm	900mm
胴径	154mm	226mm
圧力ガス	155g ± 10g(CO ₂)	450g ± 10g(CO ₂)
ホース全長	785mm (含むノズル)	2490mm (含むノズル)
ノズル	小型切換式(直射・撒布)	小型切換式(直射・撒布)
放射時間	15秒	40秒
放出率	266g / 秒	300g / 秒



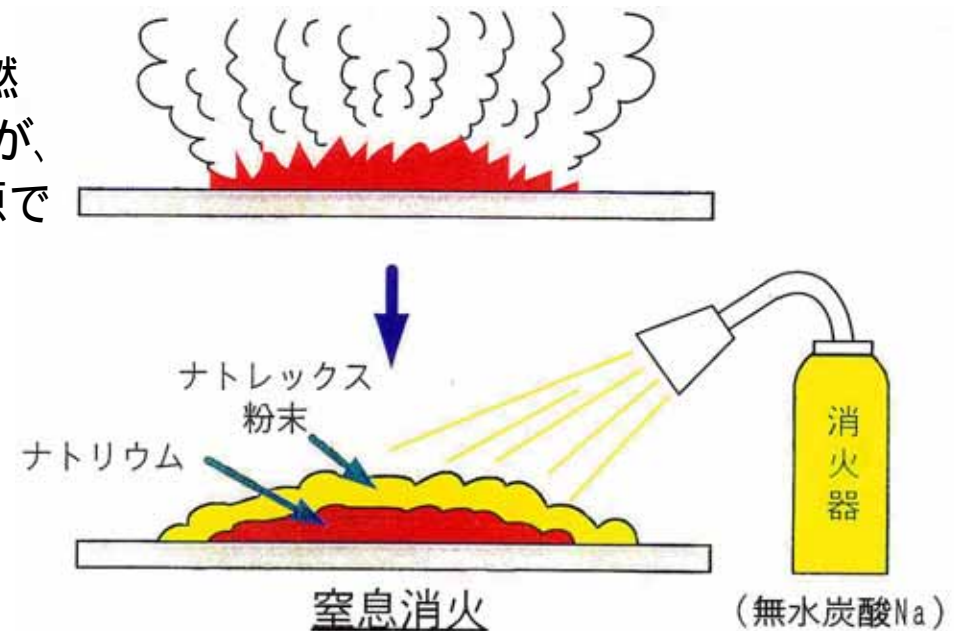
消火の方法

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す。

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す。

ナトリウムが落下している下に入ったり、ナトリウムが飛散している領域内には絶対に近づいてはいけません。

ナトリウム燃焼は多量の煙を伴って燃焼するので、現場の視界を悪くしますが、煙は漏洩の早期発見の有力な情報源でもあります。





第3講 人体への影響と応急処置

(1) 人体への影響

ナトリウムが直接皮膚に接触すると組織内の水分と化学反応を起こし水酸化ナトリウムを生成してこれによるアルカリ火傷を生じる。アルカリ火傷は出血は少ないが、治療は困難なことが多いです。

ナトリウムミストやナトリウム蒸気が眼に入ると、蛋白質分解作用を生じて粘膜が侵され、深所に及んだ場合は視力の低下や失明に至る危険性があります。

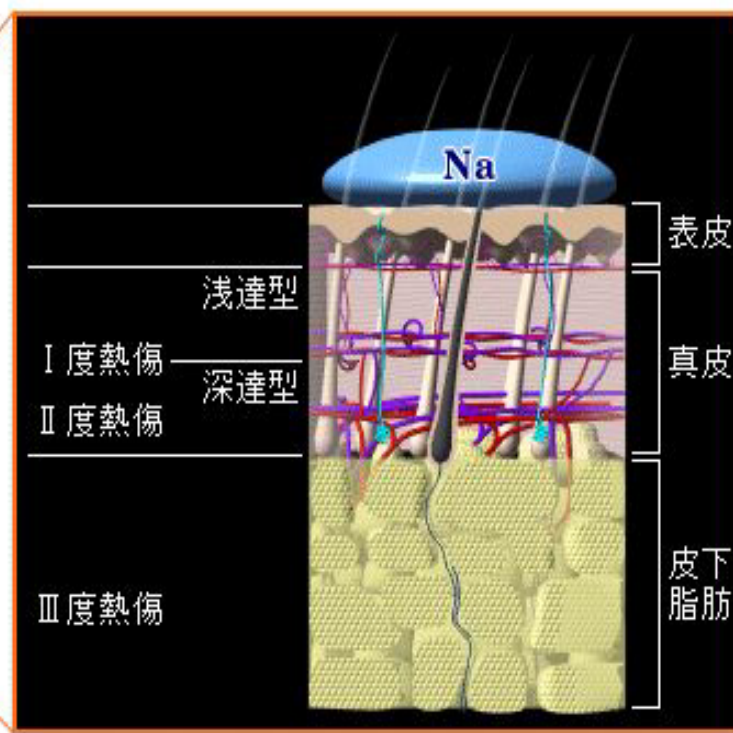
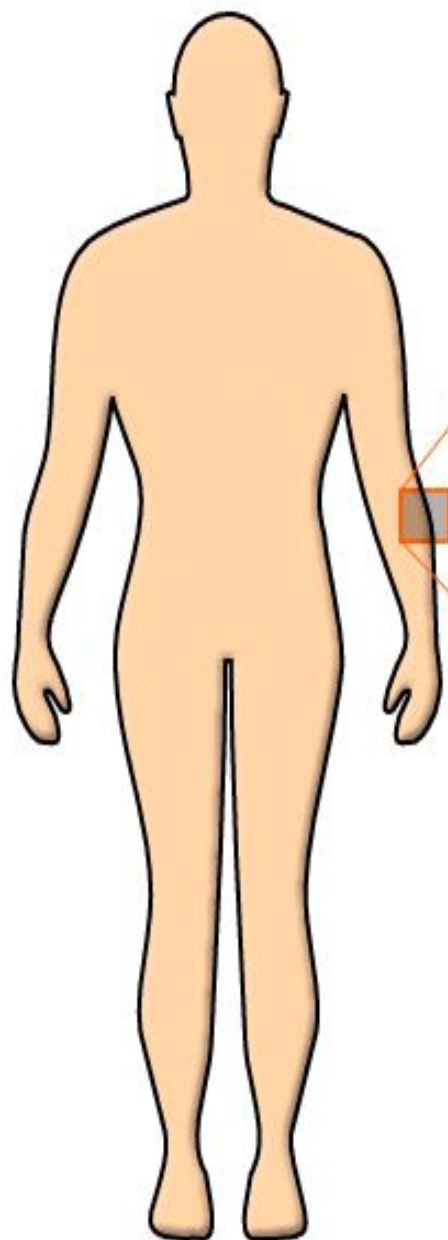
エアロゾルを吸い込むと激しく咳込む他、水酸化ナトリウムが喉の粘膜や肺組織の水分と反応して細胞破壊を起こすなど体内組織が傷害を負います。

(2) 応急処置

眼にナトリウムが混入した場合は、直ちに多量の水で15分以上洗眼を行い、急ぎ緊急病院又は医療機関で治療を受けることが重要です。

皮膚にナトリウムが付着した場合は、静かに拭き取るか、擦らずにフラッシングしてナトリウムを速やかに除去して大量の水で15分間ほど洗浄を行います。

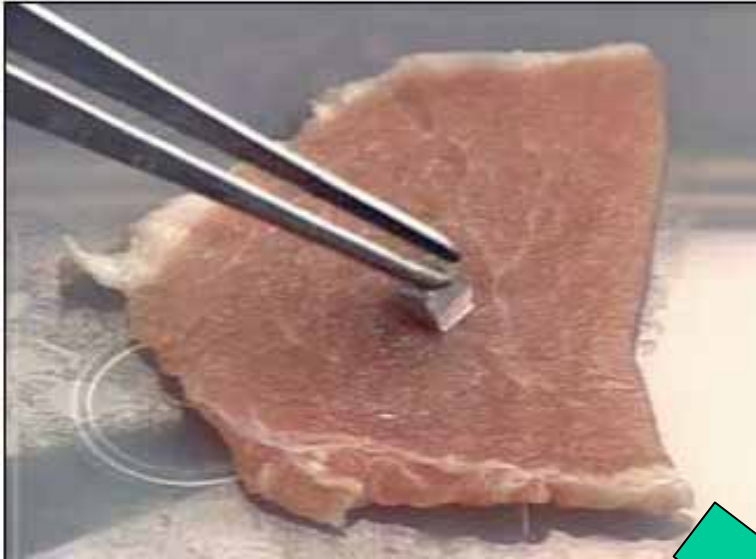
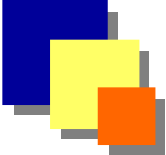
水洗浄できない場合は、冷却しながら病院に急行して治療を受けることが必要です。ナトリウムが衣服に付着した場合は直ちに衣服を脱ぐ。場合によってはハサミで衣服を切り取るなど、とにかく急いで脱衣することが重要です。



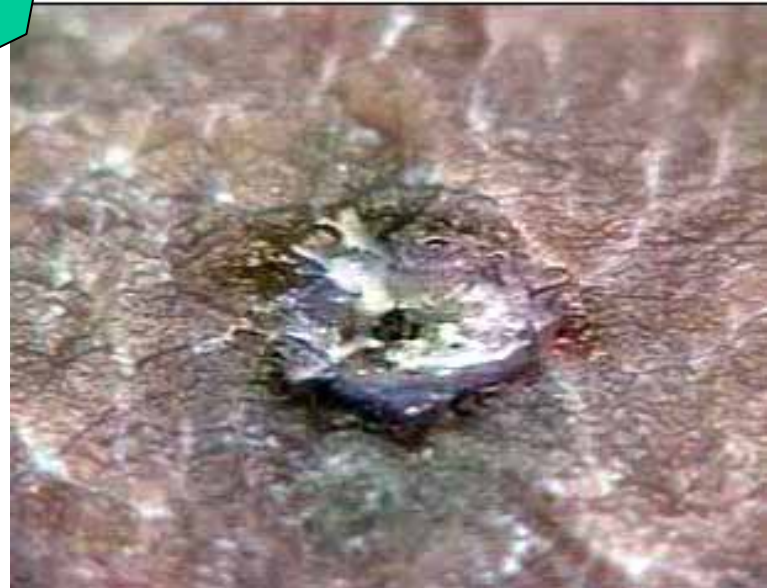
熱傷深度		組織障害	外見
浅達型	I度	表皮（角質層）	紅班
	II度	表皮（角棘層、基底層）	水泡
深達型	III度	真皮（乳頭層、乳頭下層）	
	IV度	真皮全層、皮下組織	壊死

【皮膚がナトリウムに触れた際の障害】





【アルカリ火傷の様子】

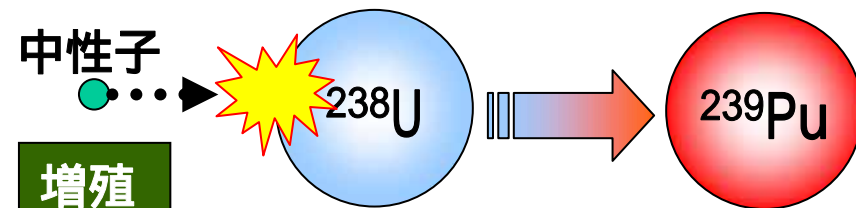
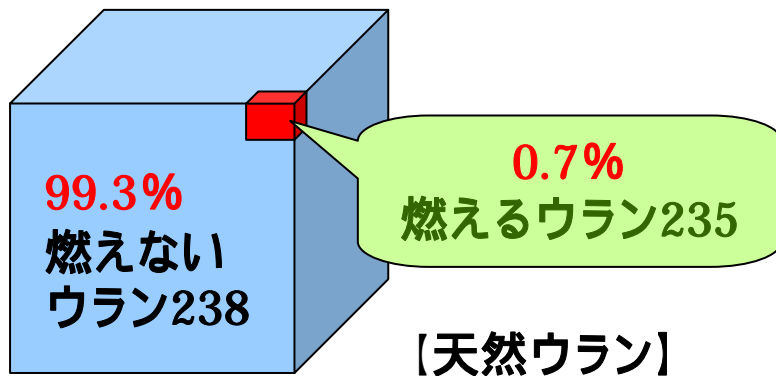


第4講 ナトリウムを高速炉の冷却材に使用する理由

理由その1

燃えないウランを利用(増殖)するためにはナトリウムが必要です。

	燃 料	冷却材	中性子	燃えないウラン238
軽水炉	ウラン235 (天然0.7%)	水	熱中性子 (遅い中性子)	ゴミとして 廃棄処分
高速増殖炉	プルトニウム239	ナトリウム	高速中性子	新燃料 プルトニウム239 に変換

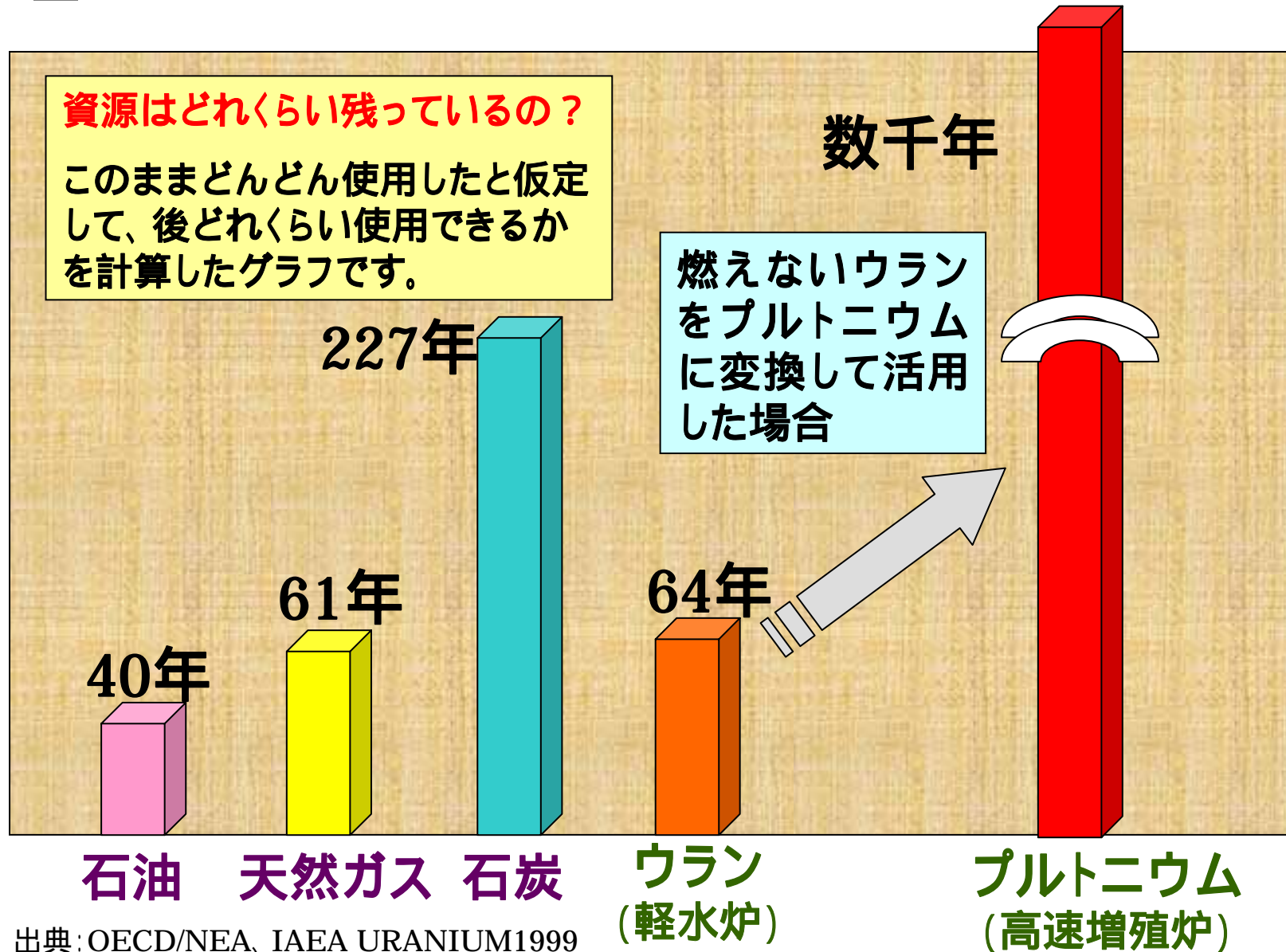


燃えないウラン238に中性子をぶつけてやると自然界には存在しない燃料プルトニウム239ができます。



世界のエネルギー事情

《参考》



ナトリウムとプルトニウムを作り出す「増殖」の関係は？

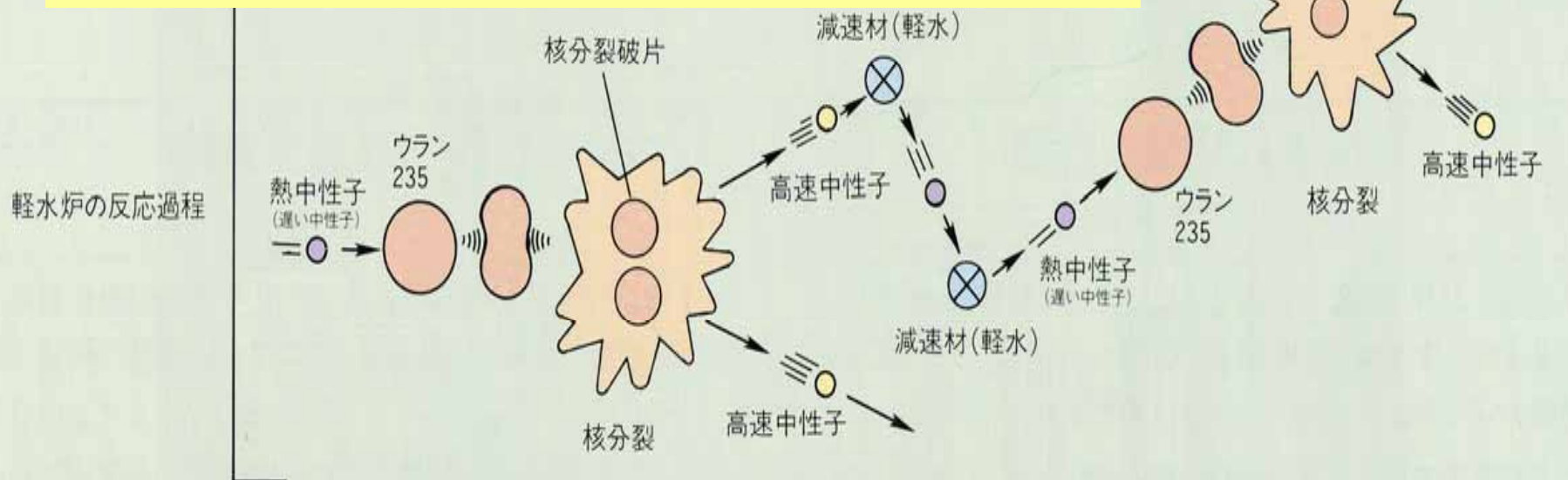
《軽水炉》

^{235}U + 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です。



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個では沢山プルトニウムを作り出せません。(増殖できない)

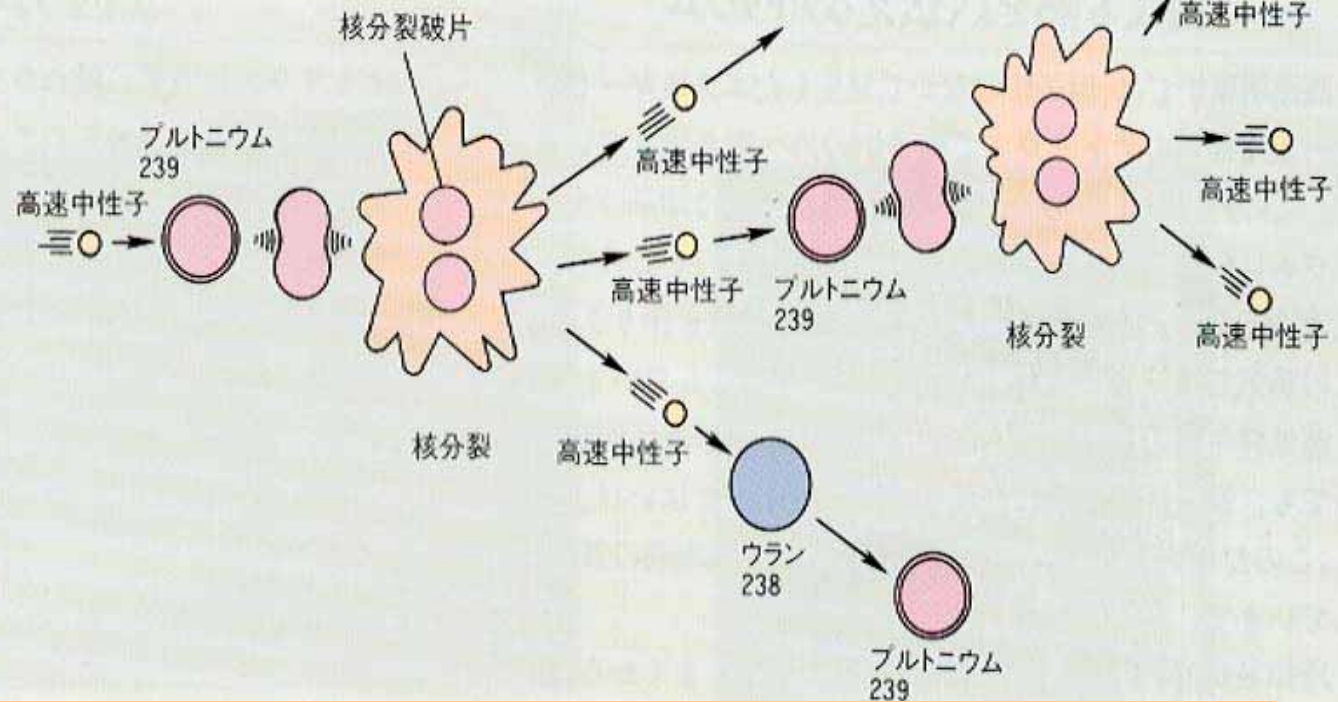
ナトリウムとプルトニウムを作り出す「増殖」の関係は？

《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

高速増殖炉の反応過程



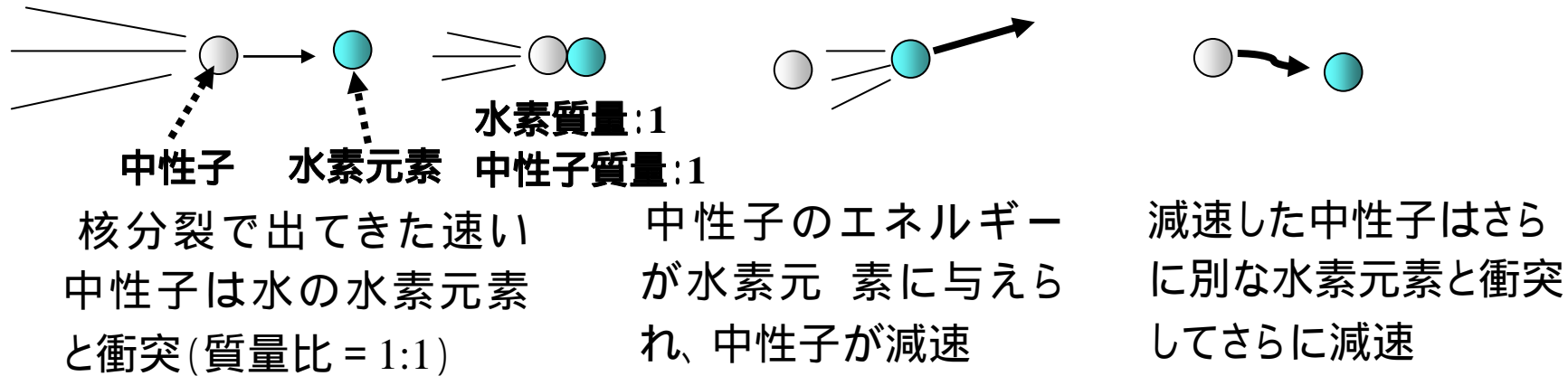
プルトニウムに高速中性子を衝突させると約3個の中性子が出てきます。3個だと、1個は核分裂に寄与し1個は消滅してしましますが、残りもう1個を燃えないウランに衝突させることができます。(増殖)

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です。

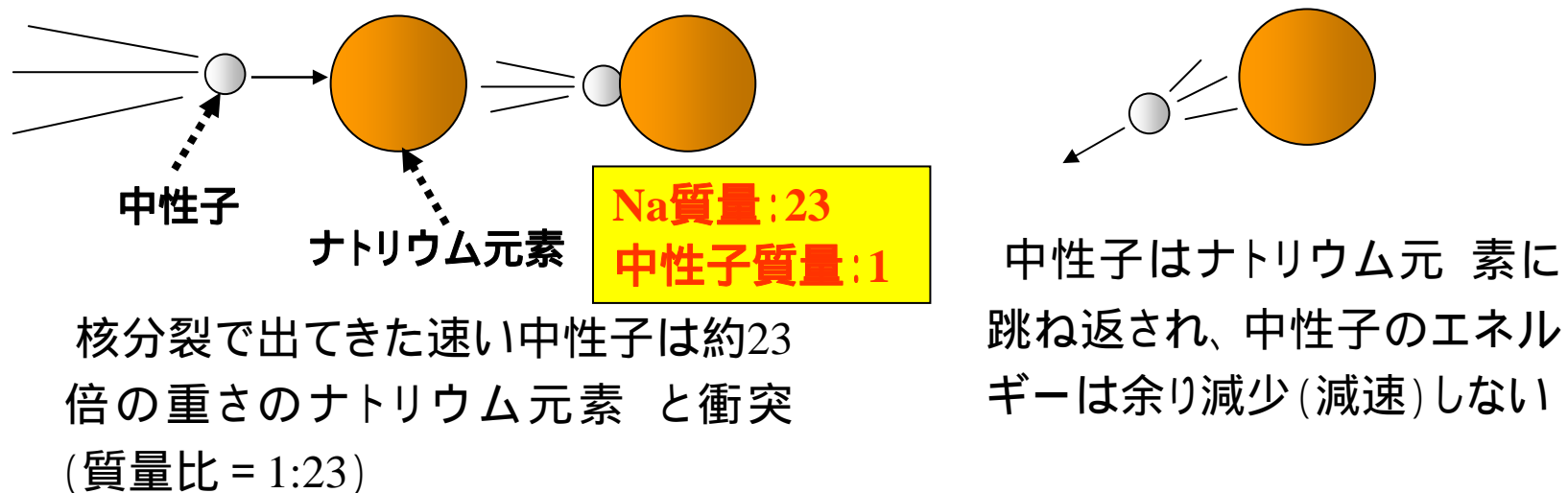
中性子の減速とナトリウムの関係は？

中性子は、水(H₂O)の水素元素と衝突

【軽水炉での減速の仕組み】



【高速炉での中性子とナトリウムの衝突】

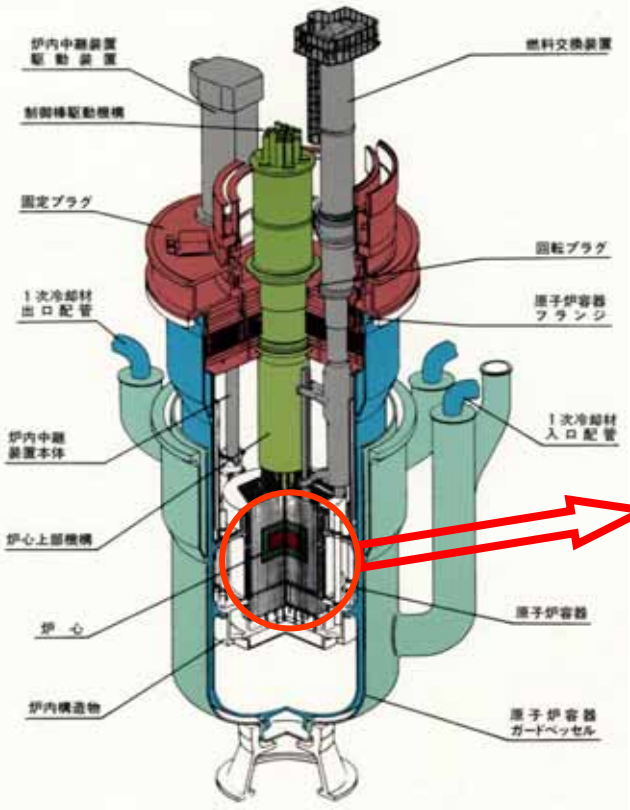




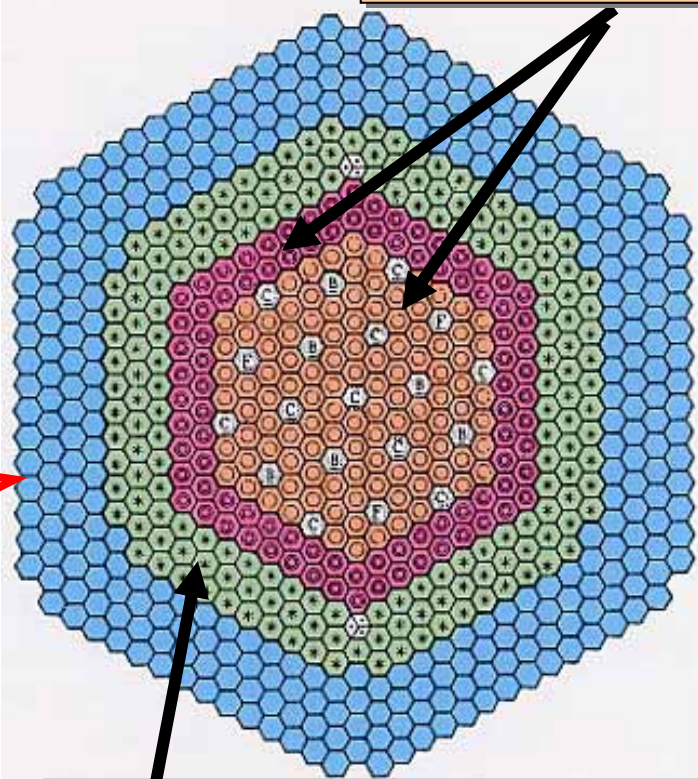
「増殖」の仕組み

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。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ができる。

もんじゅ原子炉構造図



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



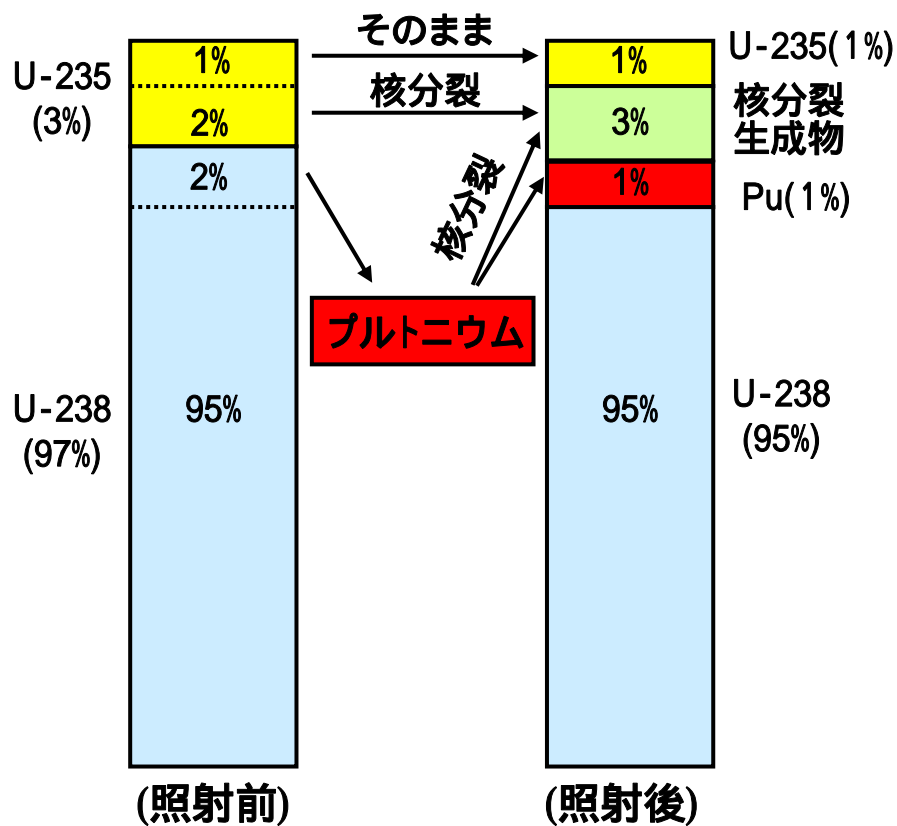
炉心構成要素		記号	数量
炉心燃料集合体	内側炉心	○	108
	外側炉心	●	90
ブランケット燃料集合体		⊗	172
制御棒集合体	微調整棒	F	3
	粗調整棒	C	10
	後備炉停止棒	B	6
中性子源集合体		☉	2
中性子遮へい体		●	316
サーベイランス集合体		●	8

【「もんじゅ」炉心構成】

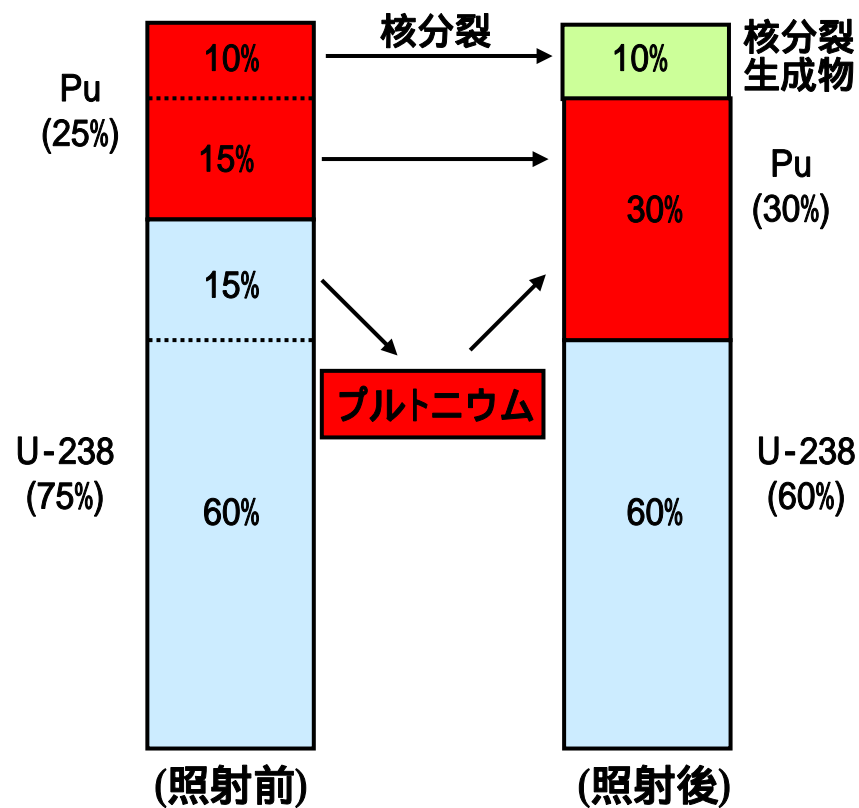
この部分の「燃えないウラン」(劣化ウラン)に中性子を衝突させてプルトニウムを作り出す。



軽水炉と高速増殖炉におけるプルトニウムの生成





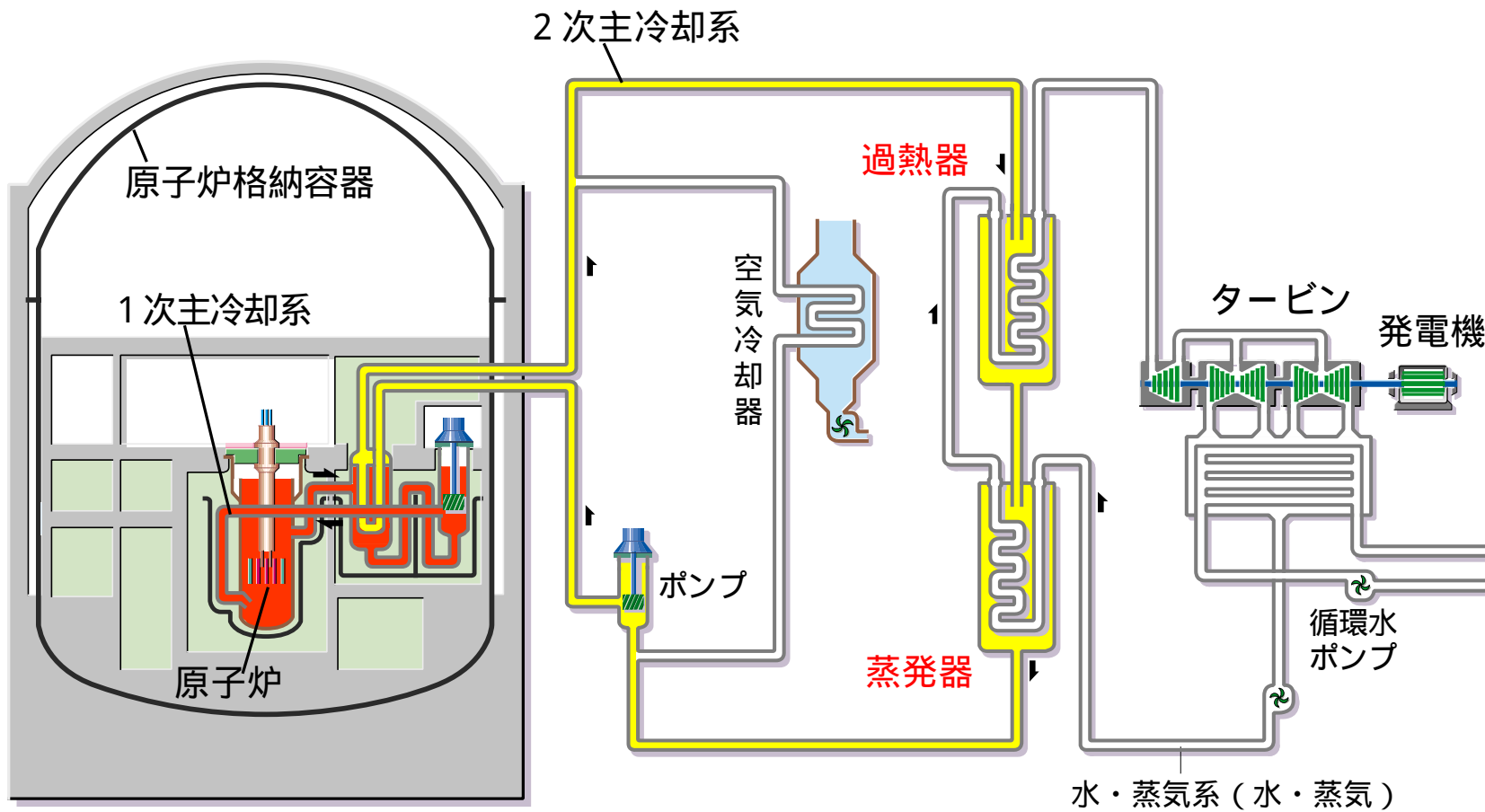
軽水炉の燃料組成変化



高速増殖炉の燃料組成変化



 1次冷却系(放射性Na)	:	約760ton
 2次冷却系(非放射性Na)	:	約760ton
その他(放射性Na)	:	約150ton
合計	:	約1,670ton



高速増殖原型炉「もんじゅ」

理由その2

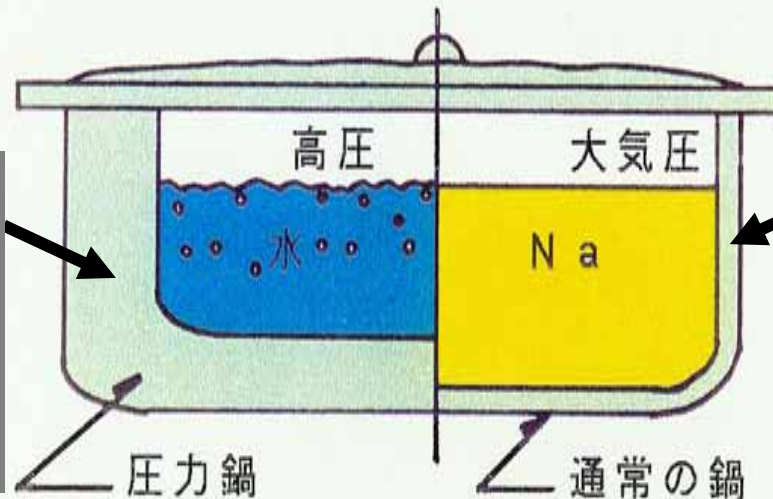
沸点が高いため沸騰を抑えるために加圧する必要がありません。

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）水の沸点を高くしています。（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いのでなるべく高い温度で乾燥した蒸気が良いのです。）

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ります。

【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
で良く、かつ運転
がし易い

【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】

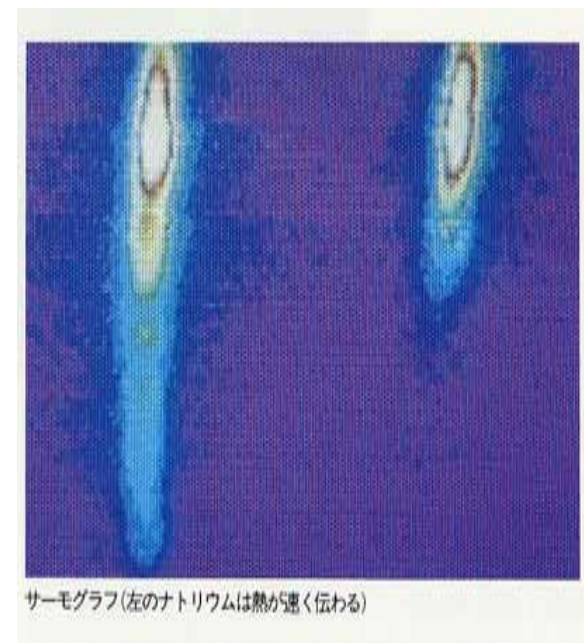
理由その3

冷却材として水より優れた力を持っています。

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ます。



【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っている)



その他の理由

理由その4

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ますが、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」となります。

理由その5

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ます。

理由その6

電気を通す物質なので、電磁力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)にすることができます。

理由その7

資源が豊富なので比較的安価です。