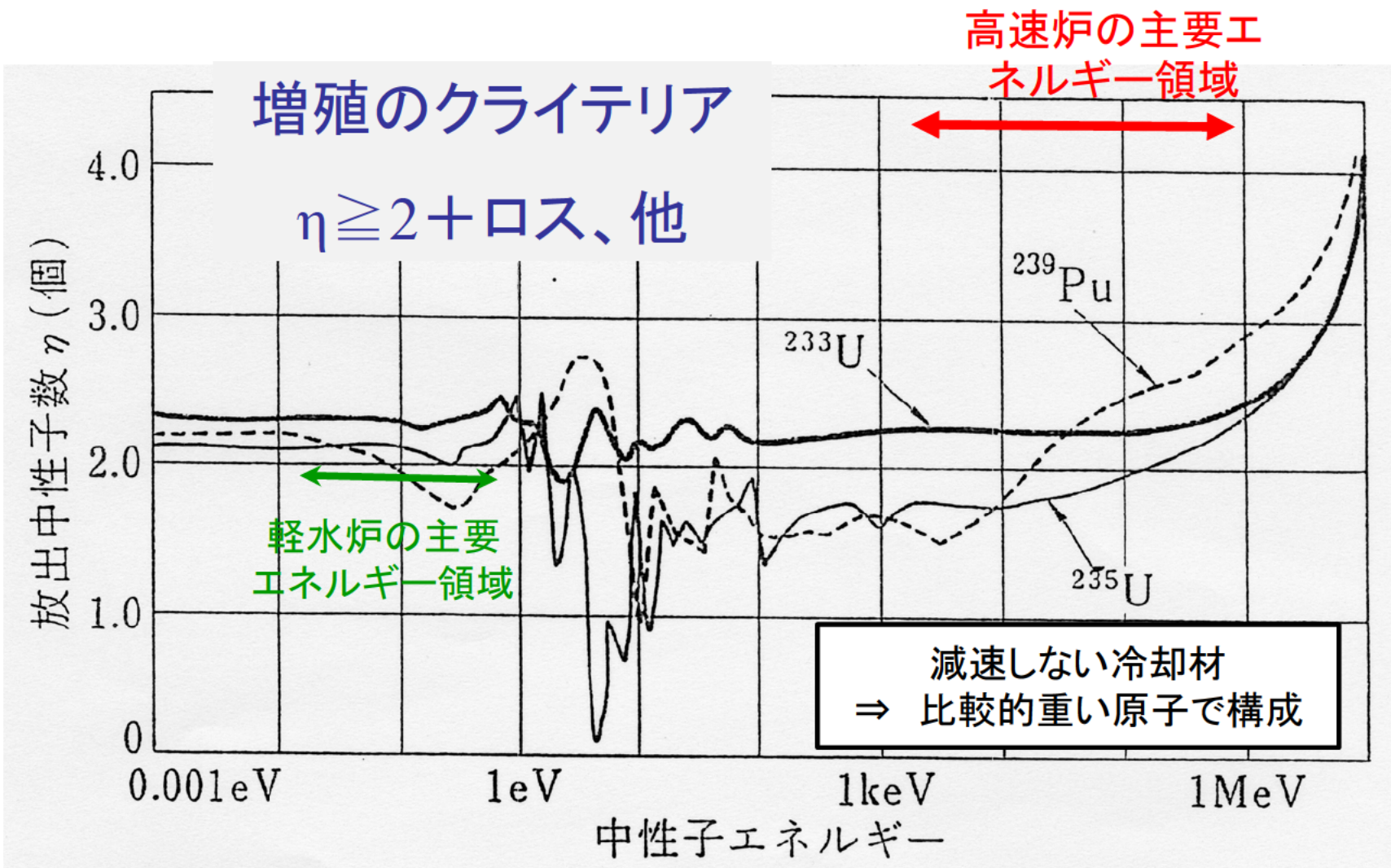


# ナトリウム冷却高速炉の基礎

---

- 燃料は、何故プルトニウムなのか？
- 冷却材は、何故ナトリウムなのか？

# なぜプルトニウムが増殖に適しているのか (吸収あたりの放出中性子数 $\eta$ )



出典: J.J.Duderstadt, L.J.Hamilton, Nuclear Reactor Analysis, John Wiley&Sons(1976)

# ナトリウムの特徴

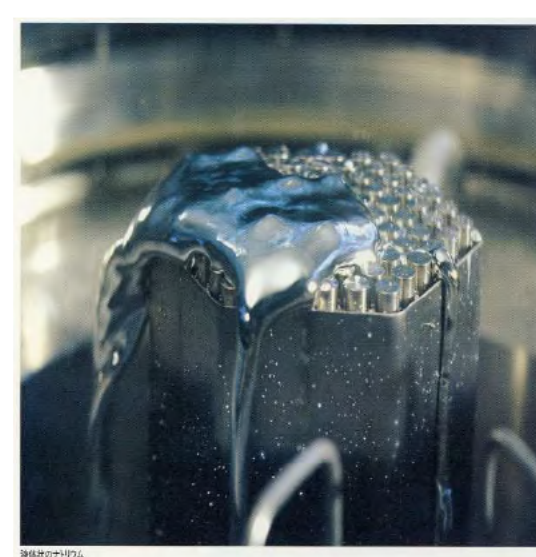
- ◆ ナトリウムは、**軽くて軟らかい銀白色**の金属でリチウム、カリウム、ルビジウム、セシウムなどと同様に**アルカリ金属**に属する。**銀白色で軟らかい金属、重さは水の約0.97倍** (at 20°C)である。
- ◆ **融点は約98°C**で、固体から液体に変わる。
- ◆ **沸点は約883°C** (大気圧)であり、**広い温度範囲内で液体**状態である。



水より軽い金属

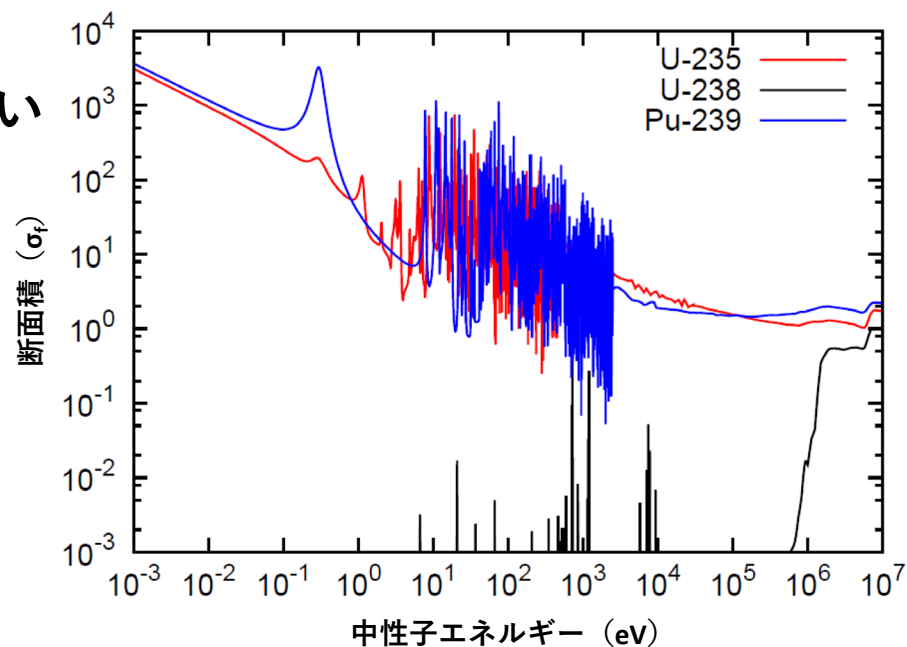


ナイフで簡単に切れる  
ナトリウム



液体状のナトリウム

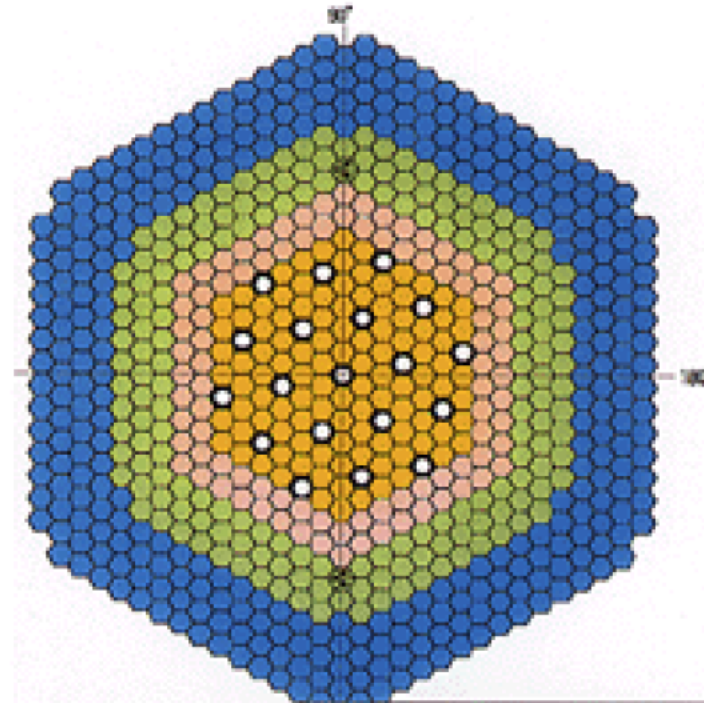
- 高速炉では減速材は無く、  
中性子エネルギースペクトルは高い
- 中性子エネルギースペクトルが  
高い場合、低い場合と比べて  
U235やPu239の核分裂断面積は  
2桁も小さい



# 燃料の濃縮度と出力密度

- 従って、核分裂を維持し、熱炉と同等かそれ以上のエネルギーを得るためには、**燃料の濃縮度(富化度)を高め、中性子束密度も高く取ることが必要。**→Pu富化度は設計依存。20%前後が多い
- その結果、炉心**出力密度は高い**：  
300kW/l程度⇔ 100kW/l程度 (PWR)、50kW/l程度 (BWR)

**そのため、高効率の炉心冷却が必要。  
⇒伝熱特性の良い冷却材**



記号	炉心構成要素	数量	
●	炉心燃料集合体	内層炉心	108
		外層炉心	96
●	ブランケット燃料集合体	172	
○	制御棒	19	
●	中性子源	2	
●	中性子しゃへい体	サーベランス集合体	316
			8

# 冷却材の要件

- 冷却材として
  - 1.中性子を減速しない
  - 2.中性子捕獲吸収が小さい
  - 3.除熱能力が高いことが要求される。

→比較的原子が重い液体金属を選択：**Na**、**Hg**、**Pb**(**Pb-Bi**)

- QUIZ: Hg、Pb(Pb-Bi)は、何故、使用されなくなったのか？

TABLE 11-8 Comparison of Heat Transfer Data for Various Fluids at High Temperatures\*

Property	Coolant				
	Na	NaK	Hg	Pb	H <sub>2</sub> O
$T_{\text{melt}}$ (°C)	98	18	-38	328	0
$T_{\text{boil}}$ (°C)	880	826	357	1743	100
$c_p$ (kJ/kg·°C)	1.3	1.2	0.14	0.14	4.2
$k$ (W/m·°C)	75	26	12	14	0.7
$h$ (W/m <sup>2</sup> ·°C) <sup>†</sup>	36000	20000	32000	23000	17000
Relative Pumping Power Required (H <sub>2</sub> O=1)	0.93	0.93	13.1	11.5	1.0

\*Taken from page 29 of Ref. 12.

†For 3.3 m/s velocity in a 25 mm duct.

Ref.12,K.Wirtz,Lectures on Fast Reactors, Kernforschungszentrum, Karlsruhe, 1973.

Ref., Alan E. Walter and Albert B. Reynolds, Fast Breeder Reactors, P.P., 1981.

# 高速炉における冷却材選択

- 歴史的に見れば、冷却材として、先ず高い増殖性を達成するために、中性子が**減速されにくい比較的重い元素の液体金属**が着目された。
- **水銀**は、米国のクレメンタインという世界初の高速炉(実験炉であり発電しない)で実際に冷却材として使用された。しかし、人体への毒性、価格、及び低沸点が欠点とされた。また、水銀の熱伝達特性の悪さにも辟易したようである。水銀は、その後は全く使用されなかった。記録によると、水銀を選択したのはナトリウムに気づかなかつたためであり失敗であったとある。実際その後の高速炉の冷却材は、全てNa又はNaKが選択された。
- **鉛あるいは鉛ビスマス**は、構造材との共存性が悪いこと、ポロニウムPo210を発生することなどが欠点とされ、旧ソ連で潜水艦動力源に使用されたに止まる。
- **水**は、中性子を減速しやすいため、増殖性に限界がある。
- **ガス**は、冷却能力が小さいので、高出力密度の高速炉に馴染まない。冷却能力を向上させるには、冷却材ガスの圧力を高める必要があり、プラント構造に負担が大きい。
- 以上から、実際に、高速炉の冷却材として世界的に定着したのは**ナトリウム**である。