

# 原子力発電 (1) - 1 《原子力発電所の状況》

■国内の原子力発電所(2023年8月時点)

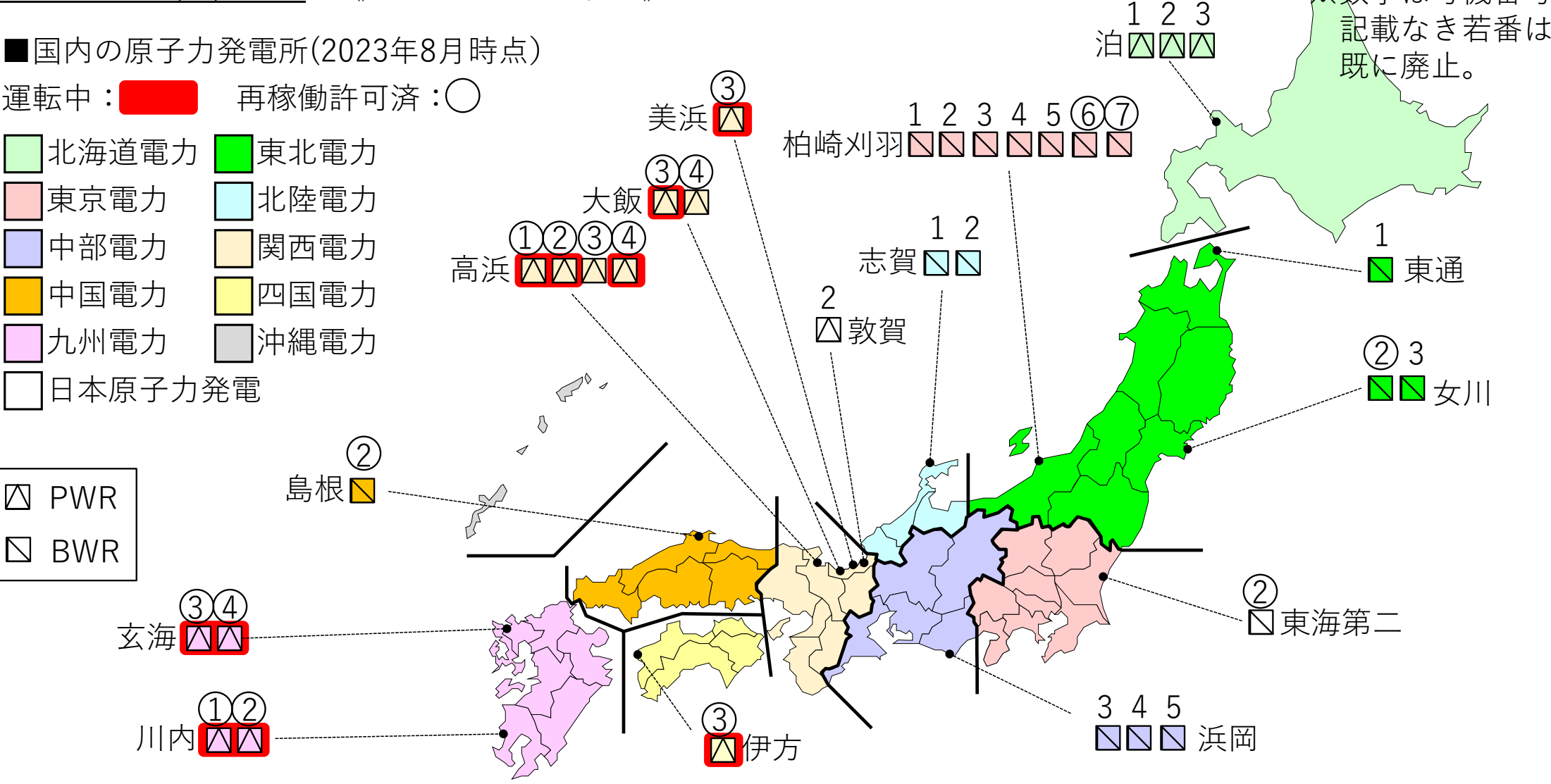
運転中：■ 再稼働許可済：○

- 北海道電力
- 東北電力
- 東京電力
- 北陸電力
- 中部電力
- 関西電力
- 中国電力
- 四国電力
- 九州電力
- 沖縄電力
- 日本原子力発電

△ PWR

◻ BWR

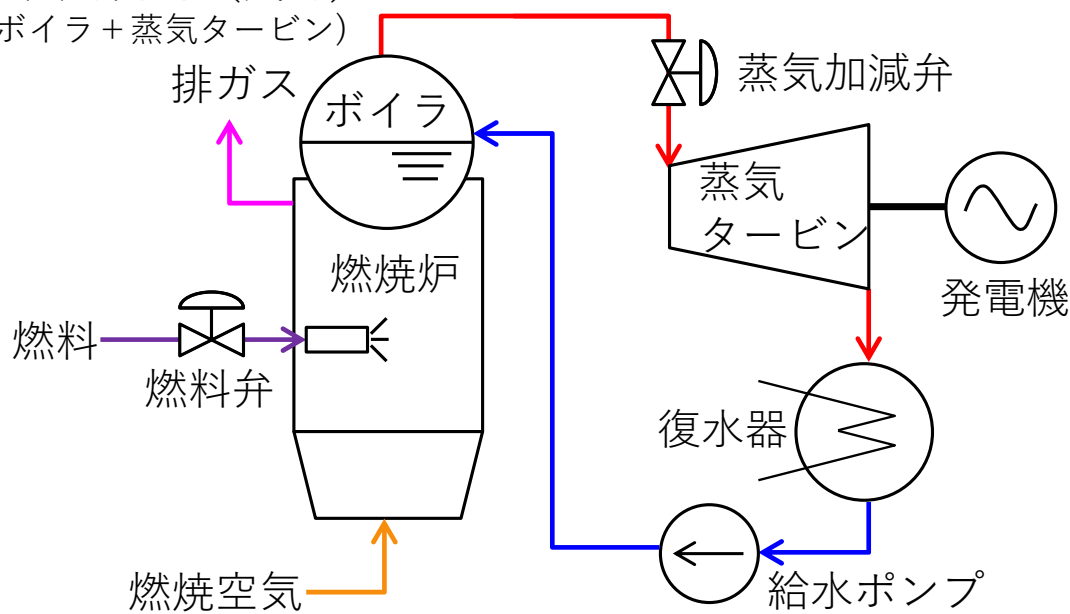
※数字は号機番号  
記載なき若番は  
既に廃止。



# 原子力発電 (1) - 2 《原子力発電の概要》

## ■火力発電 (汽力)

(ボイラ+蒸気タービン)

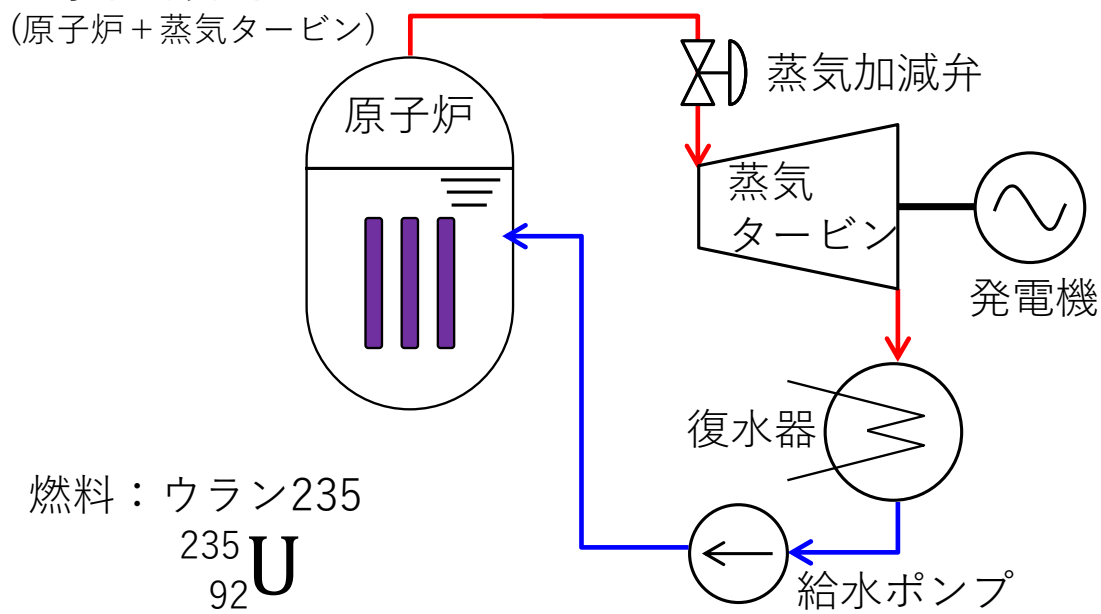


### 【凡例】

- 空気
- 排ガス
- 燃料
- 蒸気
- 水

## ■原子力発電

(原子炉+蒸気タービン)



燃料：ウラン235  
 $^{235}_{92}\text{U}$

- [質量数 235 (=陽子+中性子の個数)]
- [原子番号 92 (=陽子の個数)]

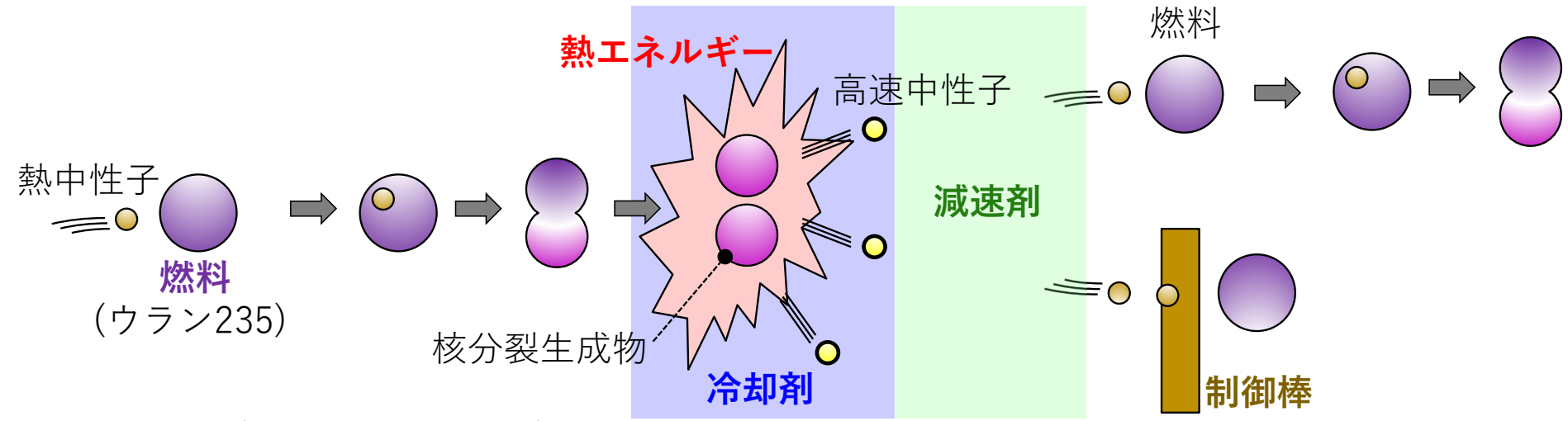
天然に存在する割合：0.7%  
 ※ウラン238が99.27%

ウラン235を3~5%に濃縮した濃縮ウランを燃料とする。

### 【凡例】

- 燃料 (濃縮ウラン)
- 蒸気
- 水

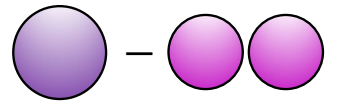
原子力発電 (1) - 3 《増倍率と核分裂によるエネルギー》



- 熱中性子 (速度の遅い中性子)
- 高速中性子 (速度の速い中性子)

増倍率：  
 単位時間当たりに消滅する中性子数に対して生成される中性子数の割合  
 増倍率が 1 超過で「超臨界」、1 で「臨界」、1 未満で「未臨界」という。

核エネルギー[J] :  $E = mc^2$

質量[kg] :  $m$        = 質量欠損  
 (ウランの0.09[%]程度)

光速[m/s] :  $c \approx 3 \times 10^8$

ウラン原子 1 個の核分裂反応で発生する熱量  
 200[MeV]      ※1[eV]  $\approx 1.602 \times 10^{-19}$ [J]

## 原子力発電（1）－3：付録

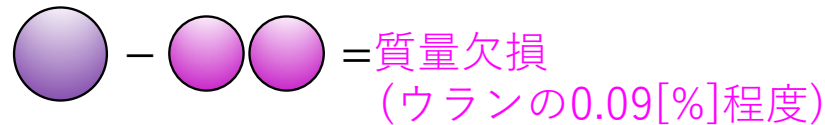
### 《核分裂によるエネルギー》

$$\text{核エネルギー[J]} : E = mc^2$$

$$\text{質量[kg]} : m$$

$$\text{光速[m/s]} : c \doteq 3 \times 10^8$$

ウラン235の質量数[g/mol] : 235



ウラン1[mol]の重さは234[g]であり、1[mol]にはアボガドロ定数 $6.02 \times 10^{23}$ [個]の原子が存在する。

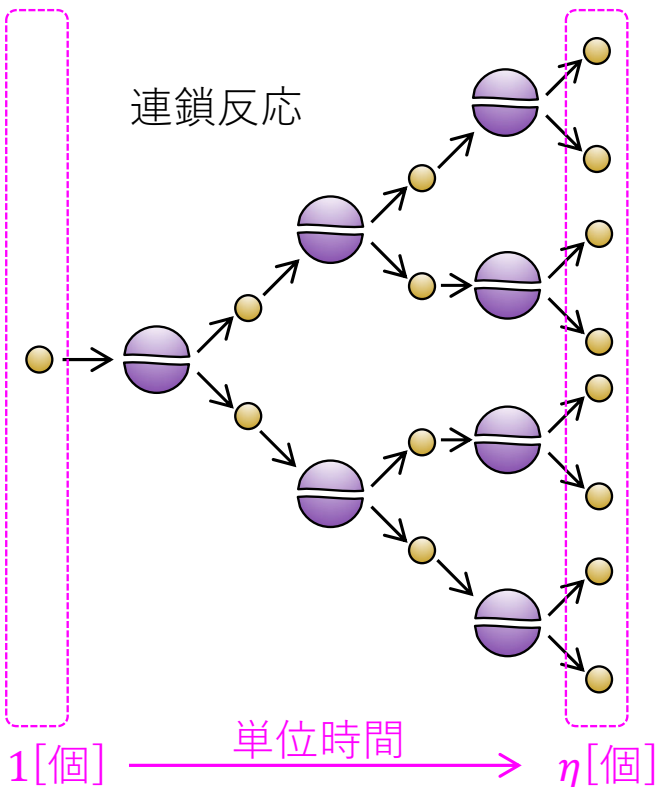
よって、ウラン原子1個の質量は  $234 \div 6.02 \times 10^{23} \doteq 3.89 \times 10^{-22}$ [g] $\doteq 3.89 \times 10^{-25}$ [kg]

核分裂反応に使用された質量は、ウラン原子の0.09[%]として、 $3.89 \times 10^{-25} \times 0.09 \div 100 \doteq 3.5 \times 10^{-28}$ [kg]

$$\text{核エネルギー[J]} : E = mc^2 = 3.5 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2 \doteq 3.15 \times 10^{-11}$$
[J]

電子ボルト 1[eV]は、電気素量 $1.602 \times 10^{-19}$ [C]（電子1個の電荷）をもつ荷電粒子を、1[V][J/C]の電位差に抵抗して移動するときのエネルギーであり、 $1[\text{eV}] = 1.602 \times 10^{-19}[\text{C}] \times 1[\text{J/C}] = 1.602 \times 10^{-19}[\text{J}]$

よって、ウラン原子1個の核分裂反応で生じる核エネルギーは  
 $3.15 \times 10^{-11} \div 1.602 \times 10^{-19} \doteq 1.97 \times 10^8$ [eV] $\doteq 200$ [MeV]



燃料に吸収された熱中性子1個あたりから、新たに発生する高速中性子数： $\eta$

$$\eta = \nu \frac{\Sigma_f}{\Sigma_{fuel}}$$

燃料の吸収断面積： $\Sigma_{fuel}$   
 燃料の核分裂断面積： $\Sigma_f$   
 1回の核分裂で発生する平均中性子数： $\nu$

注) ここでの断面積とは原子炉物理における中性子と原子核の反応確率を表す。

高速中性子が熱中性子になるまでに減速する過程において、さらに核分裂を引き起こして中性子数を増大させる割合（核分裂効果）： $\epsilon$

高速中性子がウラン238による共鳴吸収から逃れて熱中性子になる確率： $p$

熱中性子がウラン235に吸収される確率（熱中性子利用率）： $f$

無限増倍率： $K_{\infty} = \eta \epsilon p f$  ※1個の熱中性子から単位時間を経た中性子の個数

4 因子公式

無限増倍率は中性子の漏れを無視しているが実際の原子炉には漏れがある。中性子が原子炉から漏れない確率を $L$ とすると 実行増倍率： $K_{eff} = L \times K_{\infty}$

$K_{eff} < 1$  : 未臨界、 $K_{eff} = 1$  : 臨界、 $K_{eff} > 1$  : 超臨界

## 原子力発電（1）－4 《蒸気プロセス設備の比較》

### ■蒸気関連設備の特徴

項目	火力発電（SC：超臨界圧貫流ボイラ）	原子力発電
蒸気圧力	～24.1[MPa]（超臨界）	5.2(PWR)、7.1(BWR)[MPa]
蒸気温度	～566[°C]（過熱蒸気）	266～282[°C]（飽和蒸気）
排気圧力	5.1～[kPaA]	5.1～[kPaA]
発電効率	～44[%]	～35[%]
蒸気流量※	少ない	多い。蒸気配管・タービンの大型化。
タービン※	翼が小型・軽量	翼が大型・大重量。湿分対策必要。
発電機	一般的に2極機 3000/3600[rpm]（50/60[Hz]）	一般的に4極機 1500/1800[rpm]（50/60[Hz]）
給水加熱器※	小さい	大きい
復水器※	小さい	大きい
給水ポンプ※	多段ポンプで動力大(高圧給水)	単段ポンプで動力小(低圧給水)

※同じ発電出力で比較した場合