

電験三種 オンライン講座

電力 原子力発電（Ⅰ）

原子力発電とは

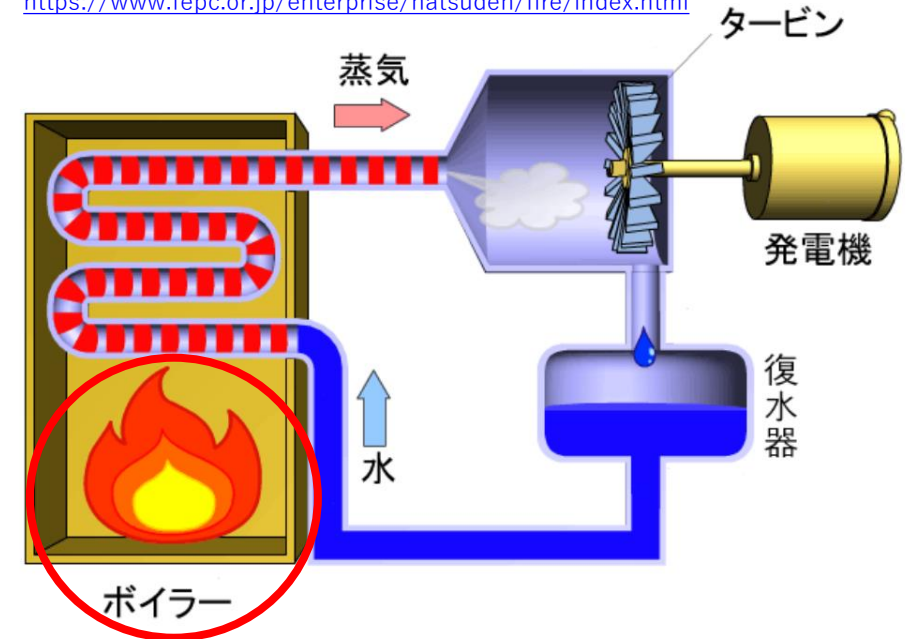
核分裂で発生する熱を利用して、発電を行う。

<原子力発電の特徴>

- 火力発電に比べて、蒸気が低温低圧なので熱効率が低い
- 二酸化炭素や窒素酸化物を排出しない
- 放射性廃棄物の処理が難しい
(埋設処分以外の現実的な処理が存在しない)
- 事故発生時に周辺地域に及ぼす被害が甚大

発電の基本構造は“火力発電”と同じ

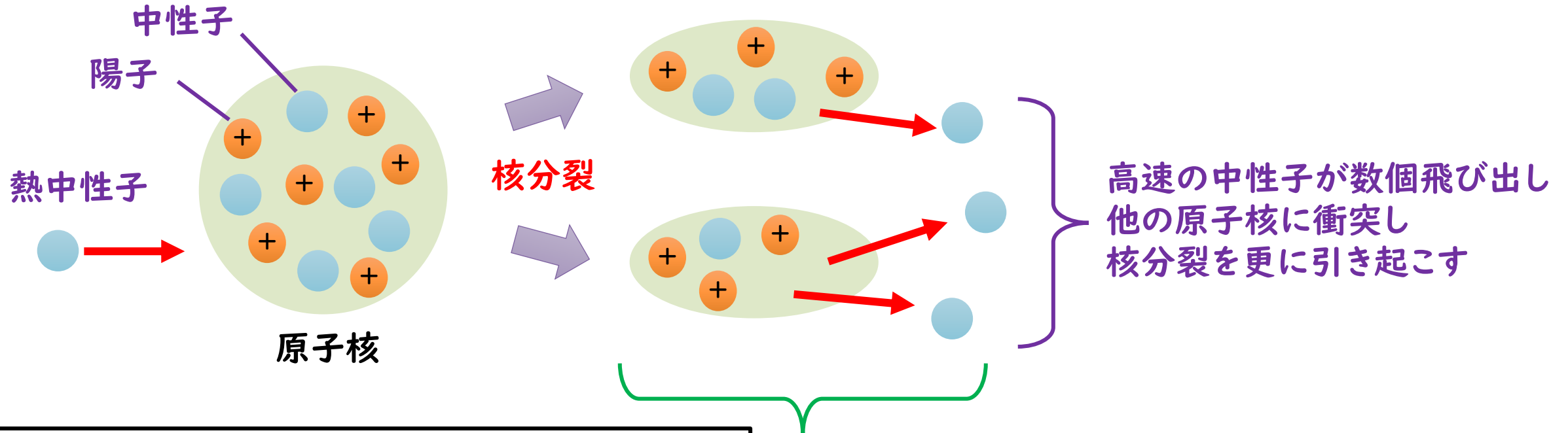
<https://www.fepec.or.jp/enterprise/hatsuden/fire/index.html>



火力発電: ボイラで化石燃料を燃焼
原子力発電: 原子炉で原子燃料を反応

核分裂

原子核に**低速**の中性子（熱中性子）が衝突し、原子核が分裂する



質量欠損により消えた質量が
非常に大きなエネルギーとして放出される

アインシュタインの質量とエネルギーの関係式

$$E = mc^2 \text{ [J]}$$
$$c = 3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$$

核分裂後の全ての陽子と中性子の質量の和は
元の原子核の質量よりも小さくなる

この現象を“質量欠損”という

H23 問4

問4 ウラン 235 を 3 [%] 含む原子燃料が 1 [kg] ある。この原子燃料に含まれるウラン 235 がすべて核分裂したとき、ウラン 235 の核分裂により発生するエネルギー [J] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、ウラン 235 が核分裂したときには、0.09 [%] の質量欠損が生じるものとする。

- (1) 2.43×10^{12} (2) 8.10×10^{13} (3) 4.44×10^{14}
(4) 2.43×10^{15} (5) 8.10×10^{16}

H23 問4

問4 ウラン 235 を 3 [%] 含む原子燃料が 1 [kg] ある。この原子燃料に含まれるウラン 235 がすべて核分裂したとき、ウラン 235 の核分裂により発生するエネルギー [J] の値として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。
ただし、ウラン 235 が核分裂したときには、0.09 [%] の質量欠損が生じるものとする。

- (1) 2.43×10^{12} (2) 8.10×10^{13} (3) 4.44×10^{14}
(4) 2.43×10^{15} (5) 8.10×10^{16}

質量とエネルギーの関係

$$E = mc^2 = 1 \times 0.03 \times 0.09 \times 10^{-2} \times (3 \times 10^8)^2 = 0.0243 \times 10^{-2} \times 10^{16} \text{ J} = 2.43 \times 10^{12} \text{ J}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s (光の速度)}$$

ROI 問4

問4 1gのウラン235が核分裂し、0.09%の質量欠損が生じたとき、これにより発生するエネルギーと同じだけの熱量を得るのに必要な石炭の質量の値[kg]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、石炭の発熱量は 2.51×10^4 kJ/kgとし、光速は 3.0×10^8 m/sとする。

- (1) 16 (2) 80 (3) 160 (4) 3 200 (5) 48 000

ROI 問4

問4 1gのウラン235が核分裂し、0.09%の質量欠損が生じたとき、これにより発生するエネルギーと同じだけの熱量を得るのに必要な石炭の質量の値[kg]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、石炭の発熱量は 2.51×10^4 kJ/kgとし、光速は 3.0×10^8 m/sとする。

- (1) 16 (2) 80 (3) 160 (4) 3200 (5) 48000

質量とエネルギーの関係

$$E = mc^2 = 1 \times 10^{-3} \times 0.09 \times 10^{-2} \times (3 \times 10^8)^2 = 0.81 \times 10^{-5} \times 10^{16} \text{ J} = 8.1 \times 10^7 \text{ kJ}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s (光の速度)}$$

石炭の燃焼の場合、必要な石炭の量 x は、

$$8.1 \times 10^7 [\text{kJ}] = 2.51 \times 10^4 [\text{kJ/kg}] \times x$$

$$x = \frac{8.1 \times 10^7}{2.51 \times 10^4} = \frac{8.1}{2.51} \times 10^3 = 3.227 \times 10^3 \text{ kg} \sim 3200 \text{ kg}$$

H29 問4

問4 原子力発電に用いられる M [g]のウラン 235 を核分裂させたときに発生するエネルギーを考える。ここで想定する原子力発電所では、上記エネルギーの30%を電力量として取り出すことができるものとし、この電力量をすべて使用して、揚水式発電所で揚水できた水量は $90\,000\text{ m}^3$ であった。このときの M の値[g]として、最も近い値を次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、揚水式発電所の揚程は 240 m 、揚水時の電動機とポンプの総合効率は84%とする。また、原子力発電所から揚水式発電所への送電で生じる損失は無視できるものとする。

なお、計算には必要に応じて次の数値を用いること。

核分裂時のウラン 235 の質量欠損 0.09%

ウランの原子番号 92

真空中の光の速度 $3.0 \times 10^8\text{ m/s}$

- (1) 0.9 (2) 3.1 (3) 7.3 (4) 8.7 (5) 10.4

H29 問4

問4 原子力発電に用いられる M [g]のウラン 235 を核分裂させたときに発生するエネルギーを考える。ここで想定する原子力発電所では、上記エネルギーの30%を電力量として取り出すことができるものとし、この電力量をすべて使用して、揚水式発電所で揚水できた水量は $90\,000\text{ m}^3$ であった。このときの M の値[g]として、最も近い値を次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、揚水式発電所の揚程は 240 m 、揚水時の電動機とポンプの総合効率は84%とする。また、原子力発電所から揚水式発電所への送電で生じる損失は無視できるものとする。

なお、計算には必要に応じて次の数値を用いること。

核分裂時のウラン 235 の質量欠損 0.09 %

ウランの原子番号 92

真空中の光の速度 $3.0 \times 10^8\text{ m/s}$

- (1) 0.9 (2) 3.1 (3) 7.3 (4) 8.7 (5) 10.4

質量とエネルギーの関係

$$E = mc^2 = M \times 10^{-3} \times 0.09 \times 10^{-2} \times (3 \times 10^8)^2 \\ = M \times 0.81 \times 10^{-5} \times 10^{16} \text{ J} = M \times 8.1 \times 10^7 \text{ kJ}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s (光の速度)}$$

揚水に必要なエネルギーに関する式は、

$$9.8QH [\text{kW}] \times t = \eta \times E \times 0.3$$

$Q \times t =$ 揚水できた水量

$$9.8 \times 90000 \times 240 = 0.84 \times M \times 8.1 \times 10^7 \times 0.3$$

$$M = \frac{9.8 \times 90000 \times 240}{0.84 \times 8.1 \times 10^7 \times 0.3} = 10.37\text{g}$$

H18 問13

問13 原子力発電に用いられる 5.0 [g] のウラン235 を核分裂させたときに発生するエネルギーを考える。ここで想定する原子力発電所では、上記エネルギーの 30 [%] を電力量として取り出すことができるものとする。これを用いて、揚程 200 [m]、揚水時の総合的効率を 84 [%] としたとき、揚水発電所で揚水できる水量 [m³] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

ただし、ここでは原子力発電所から揚水発電所への送電で生じる損失は無視できるものとする。

なお、計算には必要に応じて次の数値を用いること。

核分裂時のウラン 235 の質量欠損 0.09 [%]

ウランの原子番号 92

真空中の光の速度 $c = 3.0 \times 10^8$ [m/s]

- (1) 2.6×10^4 (2) 4.2×10^4 (3) 5.2×10^4
(4) 6.1×10^4 (5) 9.7×10^4

H18 問13

問13 原子力発電に用いられる 5.0 [g] のウラン235 を核分裂させたときに発生するエネルギーを考える。ここで想定する原子力発電所では、上記エネルギーの 30 [%] を電力量として取り出すことができるものとする。これを用いて、揚程 200 [m]、揚水時の総合的効率を 84 [%] としたとき、揚水発電所で揚水できる水量 [m³] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

ただし、ここでは原子力発電所から揚水発電所への送電で生じる損失は無視できるものとする。

なお、計算には必要に応じて次の数値を用いること。

核分裂時のウラン 235 の質量欠損 0.09 [%]

ウランの原子番号 92

真空中の光の速度 $c = 3.0 \times 10^8$ [m/s]

- (1) 2.6×10^4 (2) 4.2×10^4 (3) 5.2×10^4
(4) 6.1×10^4 (5) 9.7×10^4

質量とエネルギーの関係

$$E = mc^2 = 5 \times 10^{-3} \times 0.09 \times 10^{-2} \times (3 \times 10^8)^2 \\ = 5 \times 0.81 \times 10^{-5} \times 10^{16} \text{ J} = 4.05 \times 10^8 \text{ kJ}$$

$c = 3 \times 10^8$ m/s (光の速度)

揚水に必要なエネルギーに関する式は、

$$9.8QH [\text{kW}] \times t = \eta \times E \times 0.3$$

$Q \times t =$ 揚水できた水量

$$9.8 \times Qt \times 200 = 0.84 \times 4.05 \times 10^8 \times 0.3$$

$$Qt = \frac{0.84 \times 4.05 \times 10^8 \times 0.3}{9.8 \times 200} = 5.2 \times 10^4 \text{ m}^3$$

原子燃料（核燃料、核分裂性材料）



核分裂は特定の物質で発生する

○自然界に存在する元素 ウラン235 ※数字は（陽子の数+中性子の数）で質量数という
ウランの同位体

ウラン235 (^{235}U) : 0.71%存在（原子燃料となる）

ウラン234 (^{234}U) : 0.005%存在

ウラン238 (^{238}U) : 99.2%存在

同位体：同じ元素で中性子の数が異なるもの

ウラン235の濃度を3~5%に増やしたもの→低濃縮ウラン

○人工的に作り出した元素 プルトニウム239、ウラン233

ウラン238 (^{238}U) → プルトニウム239 (^{239}Pu)

トリウム232 (^{232}Th) → ウラン233 (^{233}U)

原子燃料の元になる元素：親物質

H2I 問4

問4 次の文章は、原子力発電に関する記述である。

原子力発電は、原子燃料が出す熱で水を蒸気に変え、これをタービンに送って熱エネルギーを機械エネルギーに変えて、発電機を回転させることにより電気エネルギーを得るという点では、と同じ原理である。原子力発電では、ボイラの代わりにを用い、の代わりに原子燃料を用いる。現在、多くの原子力発電所で燃料として用いている核分裂連鎖反応する物質はであるが、天然に産する原料では核分裂連鎖反応しないが99 [%]以上を占めている。このため、発電用原子炉にはガス拡散法や遠心分離法などの物理学的方法での含有率を高めた濃縮燃料が用いられている。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる語句として、正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	火力発電	原子炉	自然エネルギー	プルトニウム 239	ウラン 235
(2)	火力発電	原子炉	化石燃料	ウラン 235	ウラン 238
(3)	内火力発電	原子炉	化石燃料	プルトニウム 239	ウラン 238
(4)	内火力発電	燃料棒	化石燃料	ウラン 238	ウラン 235
(5)	太陽熱発電	燃料棒	自然エネルギー	ウラン 235	ウラン 238

H2I 問4

問4 次の文章は、原子力発電に関する記述である。

原子力発電は、原子燃料が出す熱で水を蒸気に変え、これをタービンに送って熱エネルギーを機械エネルギーに変えて、発電機を回転させることにより電気エネルギーを得るという点では、**汽力発電**と同じ原理である。原子力発電では、ボイラの代わりに**原子炉**を用い、**化石燃料**の代わりに原子燃料を用いる。現在、多くの原子力発電所で燃料として用いている核分裂連鎖反応する物質は**ウラン235**であるが、天然に産する原料では核分裂連鎖反応しない**ウラン238**が99〔%〕以上を占めている。このため、発電用原子炉にはガス拡散法や遠心分離法などの物理学的方法で**ウラン235**の含有率を高めた濃縮燃料が用いられている。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる語句として、正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	汽力発電	原子炉	自然エネルギー	プルトニウム 239	ウラン 235
(2)	汽力発電	原子炉	化石燃料	ウラン 235	ウラン 238
(3)	内燃力発電	原子炉	化石燃料	プルトニウム 239	ウラン 238
(4)	内燃力発電	燃料棒	化石燃料	ウラン 238	ウラン 235
(5)	太陽熱発電	燃料棒	自然エネルギー	ウラン 235	ウラン 238

R02 問4

問4 次の文章は、原子燃料に関する記述である。

核分裂は様々な原子核で起こるが、ウラン 235 などのように核分裂を起こし、連鎖反応を持続できる物質を といい、ウラン 238 のように中性子を吸収して になる物質を という。天然ウラン中に含まれるウラン 235 は約 %で、残りは核分裂を起こしにくいウラン 238 である。ここで、ウラン 235 の濃度が天然ウランの濃度を超えるものは、濃縮ウランと呼ばれており、濃縮度 3 %から 5 %程度の は原子炉の核燃料として使用される。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	核分裂性物質	親物質	1.5	低濃縮ウラン
(2)	核分裂性物質	親物質	0.7	低濃縮ウラン
(3)	核分裂生成物	親物質	0.7	高濃縮ウラン
(4)	核分裂生成物	中間物質	0.7	低濃縮ウラン
(5)	放射性物質	中間物質	1.5	高濃縮ウラン

R02 問4

問4 次の文章は、原子燃料に関する記述である。

核分裂は様々な原子核で起こるが、ウラン 235 などのように核分裂を起こし、連鎖反応を持続できる物質を **核分裂性物質** (ア) といい、ウラン 238 のように中性子を吸収して **核分裂性物質** (イ) になる物質を **親物質** (ウ) という。天然ウラン中に含まれるウラン 235 は約 **0.7** (エ) %で、残りは核分裂を起こしにくいウラン 238 である。ここで、ウラン 235 の濃度が天然ウランの濃度を超えるものは、濃縮ウランと呼ばれており、濃縮度 3% から 5% 程度の **低濃縮ウラン** (オ) は原子炉の核燃料として使用される。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	核分裂性物質	親物質	1.5	低濃縮ウラン
(2)	核分裂性物質	親物質	0.7	低濃縮ウラン
(3)	核分裂生成物	親物質	0.7	高濃縮ウラン
(4)	核分裂生成物	中間物質	0.7	低濃縮ウラン
(5)	放射性物質	中間物質	1.5	高濃縮ウラン

H26 問4

問 4 原子力発電に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 現在、核分裂によって原子エネルギーを取り出せる物質は、原子量の大きなウラン(U)，トリウム(Th)，プルトニウム(Pu)であり，ウランとプルトニウムは自然界にも十分に存在している。
- (2) 原子核を陽子と中性子に分解させるには，エネルギーを外部から加える必要がある。このエネルギーを結合エネルギーと呼ぶ。
- (3) 原子核に何らかの外力が加えられて，他の原子核に変換される現象を核反応と呼ぶ。
- (4) ウラン ${}_{92}^{235}\text{U}$ を 1g 核分裂させたとき，発生するエネルギーは，石炭数トンの発熱量に相当する。
- (5) ウランに熱中性子を衝突させると，核分裂を起こすが，その際放出する高速中性子の一部が減速して熱中性子になり，この熱中性子が他の原子核に分裂を起こさせ，これを繰り返すことで，連続的な分裂が行われる。この現象を連鎖反応と呼ぶ。

H26 問4

問 4 原子力発電に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

(1) 現在、核分裂によって原子エネルギーを取り出せる物質は、原子量の大きなウラン(U)、トリウム(Th)、プルトニウム(Pu)であり、ウランとプルトニウムは自然界にも十分に存在している。

プルトニウムは自然界に存在しない

(2) 原子核を陽子と中性子に分解させるには、エネルギーを外部から加える必要がある。このエネルギーを結合エネルギーと呼ぶ。

(3) 原子核に何らかの外力が加えられて、他の原子核に変換される現象を核反応と呼ぶ。

(4) ウラン ${}_{92}^{235}\text{U}$ を 1g 核分裂させたとき、発生するエネルギーは、石炭数トンの発熱量に相当する。

(5) ウランに熱中性子を衝突させると、核分裂を起こすが、その際放出する高速中性子の一部が減速して熱中性子になり、この熱中性子が他の原子核に分裂を起こさせ、これを繰り返すことで、連続的な分裂が行われる。この現象を連鎖反応と呼ぶ。

H15 問4

問4 軽水炉で使用されている原子燃料に関する記述として、誤っているのは次のうちどれか。

- (1) 中性子を吸収して核分裂を起こすことのできる核分裂性物質には、ウラン 235 やプルトニウム 239 がある。
- (2) ウラン燃料は、二酸化ウランの粉末を焼き固め、ペレット状にして使用される。
- (3) ウラン燃料には、濃縮度 90 [%] 程度の高濃縮ウランが使用される。
- (4) ウラン 238 は中性子を吸収してプルトニウム 239 に変わるのもので、親物質と呼ばれる。
- (5) 天然ウランは約 0.7 [%] のウラン 235 を含み、残りはほとんどウラン 238 である。

H15 問4

問4 軽水炉で使用されている原子燃料に関する記述として、誤っているのは次のうちどれか。

- (1) 中性子を吸収して核分裂を起こすことのできる核分裂性物質には、ウラン235やプルトニウム239がある。
- (2) ウラン燃料は、二酸化ウランの粉末を焼き固め、ペレット状にして使用される。
- (3) ウラン燃料には、濃縮度90〔%〕程度の高濃縮ウランが使用される。
- (4) ウラン238は中性子を吸収してプルトニウム239に変わるので、親物質と呼ばれる。
- (5) 天然ウランは約0.7〔%〕のウラン235を含み、残りはほとんどウラン238である。

ウラン燃料として使われる低濃縮ウランは濃縮度3～5%

原子燃料のサイクル

原子燃料の生成

1. ウラン鉱石を採掘
2. ウラン鉱石から粉末状のウラン（イエローケーキ）を精鉱
3. 濃縮して固める（固めたものをペレットという）

原子燃料の再処理

1. 原子力発電所の使用済燃料からウランとプルトニウムを回収
2. 回収した燃料を再処理し、**MOX燃料**とする

MOX燃料を原子燃料として使用することを**プルサーマル**という

H28 問4

問4 次の文章は、原子力発電における核燃料サイクルに関する記述である。

天然ウランには主に質量数235と238の同位体があるが、原子力発電所の燃料として有用な核分裂性物質のウラン235の割合は、全体の0.7%程度にすぎない。そこで、採鉱されたウラン鉱石は製錬、転換されたのち、遠心分離法などによって、ウラン235の濃度が軽水炉での利用に適した値になるように濃縮される。その濃度は %程度である。さらに、その後、再転換、加工され、原子力発電所の燃料となる。

原子力発電所から取り出された使用済燃料からは、 によってウラン、プルトニウムが分離抽出され、これらは再び燃料として使用することができる。プルトニウムはウラン238から派生する核分裂性物質であり、ウランとプルトニウムとを混合した を軽水炉の燃料として用いることをプルサーマルという。

また、軽水炉の転換比は0.6程度であるが、高速中性子によるウラン238のプルトニウムへの変換を利用した では、消費される核分裂性物質よりも多くの量の新たな核分裂性物質を得ることができる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	3～5	再処理	MOX燃料	高速増殖炉
(2)	3～5	再処理	イエローケーキ	高速増殖炉
(3)	3～5	再加工	イエローケーキ	新型転換炉
(4)	10～20	再処理	イエローケーキ	高速増殖炉
(5)	10～20	再加工	MOX燃料	新型転換炉

H28 問4

問4 次の文章は、原子力発電における核燃料サイクルに関する記述である。

天然ウランには主に質量数235と238の同位体があるが、原子力発電所の燃料として有用な核分裂性物質のウラン235の割合は、全体の0.7%程度にすぎない。そこで、採鉱されたウラン鉱石は製錬、転換されたのち、遠心分離法などによって、ウラン235の濃度が軽水炉での利用に適した値になるように濃縮される。その濃度は (ア) %程度である。さらに、その後、再転換、加工され、原子力発電所の燃料となる。

原子力発電所から取り出された使用済燃料からは、 (イ) によってウラン、プルトニウムが分離抽出され、これらは再び燃料として使用することができる。プルトニウムはウラン238から派生する核分裂性物質であり、ウランとプルトニウムとを混合した (ウ) を軽水炉の燃料として用いることをプルサーマルという。

また、軽水炉の転換比は0.6程度であるが、高速中性子によるウラン238のプルトニウムへの変換を利用した (エ) では、消費される核分裂性物質よりも多くの量の新たな核分裂性物質を得ることができる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

高速増殖炉 減速材を用いず高速中性子により核分裂を行う

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	3～5	再処理	MOX燃料	高速増殖炉
(2)	3～5	再処理	イエローケーキ	高速増殖炉
(3)	3～5	再加工	イエローケーキ	新型転換炉
(4)	10～20	再処理	イエローケーキ	高速増殖炉
(5)	10～20	再加工	MOX燃料	新型転換炉



ご聴講ありがとうございました!!