

棒を抜きとる。

### 冷却材（熱伝達材）

核分裂によって発生した熱を原子炉から取り出すための材料を冷却材といい、軽水、重水、炭酸ガスなどが使われる。原子炉にとっては、核燃料を冷やす働きをするものなので、原子炉の専門家の間では冷却材といいならわされているが、発電の面からは、これを熱伝達材といったほうが妥当のように思われる。

### 従来の火力発電とのちがい

原子力発電といっても、蒸気でタービンをまわして発電するという点では、従来の火力発電と少しも違わない。違っているのは、火力発電はボイラーで石炭や石油を燃焼させた熱エネルギーを利用して蒸気をつくるが、原子力発電では、原子炉においてウランなどの核分裂を持続的に行ない、その連鎖反応の際に生ずる熱エネルギーを利用して蒸気をつくる。

### 原子の構造と中性子

原子は、その中心部に原子核があり、そのまわりを、いくつかの電子がとびまわっている。原子核はいくつかの陽子と中性子からできている。これらの粒子の数は物質によって異なり、水素ならば陽子と電子が1個ずつ、ウランならば陽子と電子が92個ずつ、中性子は143個あるいは146個あるのが普通である。少し重さの違うこの2種類のウランは、それぞれ $U^{235}$ （陽子と中性子の数の合計に相当する）および $U^{238}$ と呼ばれている。電子はマイナスの電気、陽子はプラスの電気を帯びているので、反撥を受けずに比較的容易に原子核に近づくことができるのは、電気を帯びない中性子だけであり、これがウランの核分裂に重要な役割を演ずる。

### 核分裂

原子炉の中で、燃料棒のウラン $235$ に中性子をぶつけると、原子核は分裂をおこして、熱と2~3個の中性子が飛び出す。このとき原子核は、分裂する前より約 $1/1,000$ だけ軽くなり、この重さの差が熱エネルギーに変わる。一つの原子核が分裂をおこすと、約 $1/1,000$ 億カロリーの熱を出す。1グラムのウラン $235$ の中には1兆個のさらに約26億倍の原子核があり、これが一つずつ核分裂すると、全部で約2,000万キロカロリーの熱を生ずる。つまり、1グラムのウラン $U^{235}$ の発生する熱量は石炭3トンが発生する熱量に等しい。

核分裂でとび出した2~3個の中性子のうち、1個でもほかの原子核にまたぶ

つけることができれば、核分裂を連鎖的にくりかえすことができ、多量の熱を得ることができる。

### 減速材

核分裂でとび出した中性子（高速中性子）の速度は約2万 $km/sec$ もあって、そのスピードが速すぎるとウランの原子核にぶつかりにくいので核分裂がうまく持続しない。このため原子炉の中にブレーキ役として減速材を入れて、中性子の速度をおとしてやると円滑に分裂するようになる。減速材で遅くなった中性子の速度は約2.2 $km/sec$ で、気体分子の熱運動の速さ程度なので、これを熱中性子とよぶ。現在、一般に減速材として使われているものは、黒鉛（炭素の一種）、軽水（普通の水）、重水（普通の水より重い特殊な水で軽水中に0.015%含まれている）の3種類である。

### 復水器冷却水

原子力発電所では、火力発電所と全く同様に、蒸気タービンの効率をよくするために、タービンをとおりぬけた蒸気を復水器で水にもどすために冷却水を用いる。前項で述べた冷却材（熱伝達材）として、軽水炉では水（真水）を使うため、ときにこれを冷却水と称し、復水器に使われる冷却水（わが国ではほとんど海水が用いられる）と混同されがちであるが、両者はぜんぜん別のものである。

### 燃料

天然ウランの中には、核分裂するウラン（ $U^{235}$ ）は約0.7%しか含まれておらず、残りの約99.3%は核分裂しないウラン（ $U^{238}$ ）である。ガス冷却炉では燃料として天然ウランを用いるが、軽水炉などでは $U^{235}$ の含有量を2~3%に高めた低濃縮ウランを燃料に用いる。

ウラン燃料を原子炉内で燃焼させると、核分裂を起こさない $U^{238}$ は中性子を吸収して、核分裂物質であるプルトニウム（ $Pu^{239}$ ）に変換される。目下開発中の高速増殖炉は、この核分裂生成物であるプルトニウムを燃料として用いるもので、炉内で消費される以上の核分裂物質を生成するので、天然に存在する潜在的エネルギー源である $U^{238}$ を最も有効に利用する原子炉といえる。

ウラン燃料は、軽水炉の場合、低濃縮酸化ウランを指先ほどの円柱状に加工し（ペレットという）、このいくつかのペレットを高温や腐食に強いジルコニウム合金やステンレス鋼でつくった被覆管の中に入れて燃料棒とし、原子炉の中へ装填する。

### 原子炉の形式

原子炉にはいろいろの型があるが、これらの型は用いられる燃料、減速材、冷却材の種類によって、表-1のように分類される。

軽水炉ではアメリカ合衆国で開発され

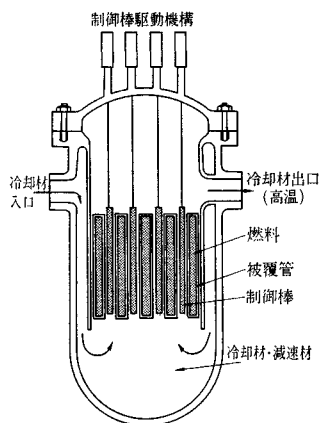


図-1 原子炉の構造

### 制御材

1回の核分裂で2~3個出た中性子の一部を吸収して平均1個にすると、同じ割合で核分裂をつづけ、発生する熱を一定にすることができる。このような目的で原子炉に用いられるものを制御材といい、これにはボロンやカドミウムなどの物質が用いられる。

平常、原子炉を停止するためには、棒状の制御材（制御棒）を燃料と燃料との間にそう入し、逆に起動のときには制御

表-1 原子炉の形式

原子炉の種類	燃料	減速材	冷却材 (熱伝達材)	備考
軽水炉	濃縮ウラン	軽水	軽水	沸騰水型 (略称 BWR) 東京電力・福島発電所で採用 加圧水型 (略称 PWR) 関西電力・美浜発電所で採用
ガス冷却炉	天然ウラン	黒鉛	炭酸ガス	マグノックス型 (略称 GCR) 日本原子力発電・東海発電所で採用
改良型ガス冷却炉	濃縮ウラン	黒鉛	炭酸ガス	略称 AGR
重水炉	天然ウラン 濃縮ウラン	重水	炭酸ガス 軽水 重水	略称 HWR
高温ガス冷却炉	濃縮ウラン	黒鉛	ヘリウム	略称 HTGR
高速増殖炉	濃縮ウラン プルトニウム	なし	ナトリウム ナトリウム・ カリウム合金	略称 FBR

た炉型で、現在、世界で最も広く採用されており、沸騰水型と加圧水型の2種類があって、いずれも軽水（普通の水）が減速材と冷却材の2つの役目を兼ねるものである。沸騰水型軽水炉では、図-2に示すように、冷却材（熱伝達材）である水は原子炉内で沸騰し、発生した蒸気が直接タービンにゆく。これに対して、加圧水型軽水炉では、図-3に示すように、冷却材の回路（1次系）が沸騰水型

の2倍の140気圧に加圧してあるので、冷却材は沸騰を起こさず、炉内で高温になった水は熱交換器（蒸気発生器）で2次系回路の水を蒸気に変え、この蒸気がタービンに吹きつけられる。

軽水炉は、わが国においても原子力発電の開発の中心となっており、沸騰水型としては、すでに運転中の日本原子力発電・敦賀発電所および東京電力・福島発電所、また、加圧水型としては、関西電

力・美浜発電所がその例である。

ガス冷却炉はイギリスで開発された炉型で、同国およびフランスの原子力発電の主力となっている。わが国最初の原子力発電所である日本原子力発電・東海発電所に採用されたものは、コールドホール改良型といわれるこのガス冷却炉である。この原子炉は、燃料として天然ウランを用いるが、最近、燃料に濃縮ウランを用い、温度を高くして能率を上げることができる改良ガス冷却炉（AGR）や高温ガス冷却炉（HTGR）が開発されている。

重水炉はカナダが中心となって開発しており、減速材に重水を用いるのがその特徴である。重水炉には、冷却材にも重水を用いた CANDU-PHW 型や、最近改良されたもので冷却材に軽水を用いた CANDU-BLW 型などがある。

新型転換炉とは、在来の軽水炉やガス炉よりも核燃料の有効利用、経済性の向上をめざして開発されつつある原子炉の総称で AGR, HTGR, CANDU-PHW, BLW などがその例である。わが国においても、動力炉・核燃料開発事業団において ATR（重水減速沸騰軽水冷却炉）が研究開発されており、燃料には低濃縮ウランまたはプルトニウム富化天然ウランが用いられることになっている。

高速増殖炉は、減速材を用いない特殊な原子炉で、冷却材には普通ナトリウムを用い、燃料は濃縮ウランまたはプルトニウムを使用する。新型転換炉の場合、転換比（炉内で生成される燃料と消費される燃料との比）が0.7であるのに対して、高速増殖炉ではこれが1以上で、消費される燃料より生成される燃料が多いことが大きな特徴である。その結果、軽水炉では天然ウランのもつエネルギーの1%程度、新型転換炉でも数%程度しか利用できないのに対し、高速増殖炉では80%程度まで利用可能であり、夢の原子炉といわれるゆえである。先進諸国においてもその実験炉を建設しておりわが国においても動力炉・核燃料開発事業団によりその開発が進められている。

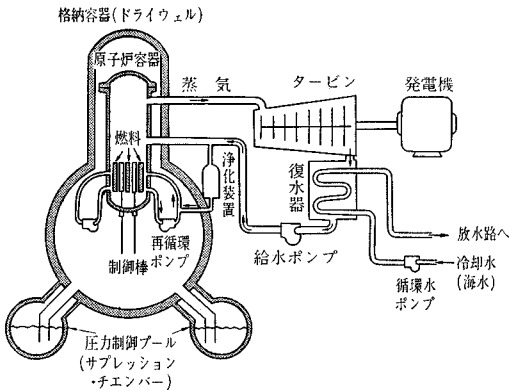


図-2 沸騰水型原子炉一般図

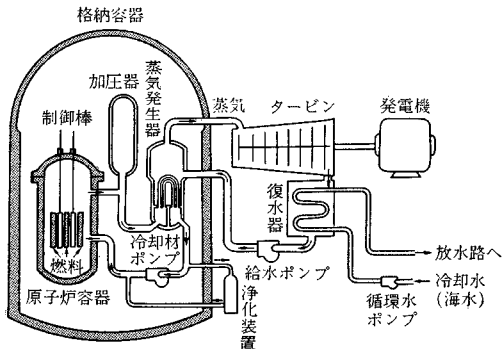


図-3 加圧水型原子炉一般図

## 土木用語辞典

土木学会監修：コロナ社・技報堂刊

● B 6・1460 ページ

収録語数 10 000 語内外

● 用語にはそれぞれ定義をつけ、可能なかぎり図版を入れ、英・独・仏語をつけた。

5 500 円(千共)申込先: 土木学会