2018 問4　原子力発電のタービン

次の文章は，我が国の原子力発電所の蒸気タービンの特徴に関する記述である。

原子力発電所の蒸気タービンは，高圧タービンと低圧タービンから構成され，くし形に配置されている。

原子力発電所においては，原子炉又は蒸気発生器によって発生した蒸気が高圧タービンに送られ，高圧タービンにて所定の仕事を行った排気は，（ア）分離器に送られて，排気に含まれる（ア）を除去した後に低圧タービンに送られる。

高圧タービンの入口蒸気は，（イ）であるため，火力発電所の高圧タービンの入口蒸気に比べて，圧力・温度ともに（ウ），そのため，原子力発電所の熱効率は，火力発電所と比べて（ウ）なる。また，原子力発電所の高圧タービンに送られる蒸気量は，同じ出力に対する火力発電所と比べて（エ）。

低圧タービンの最終段翼は，35～54 インチ（約 89 cm ～ 137 cm）の長大な翼を使用し，（ア）による翼の浸食を防ぐため翼先端周速度を減らさなければならないので，タービンの回転速度は（オ）としている。

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)	(オ)
(1)	空気	過熱蒸気	高く	多い	1 500 min^{-1} 又は 1 800 min^{-1}
(2)	湿分	飽和蒸気	低く	多い	1 500 min^{-1} 又は 1 800 min^{-1}
(3)	空気	飽和蒸気	低く	多い	750 min^{-1} 又は 900 min^{-1}
(4)	湿分	飽和蒸気	高く	少ない	750 min^{-1} 又は 900 min^{-1}
(5)	空気	過熱蒸気	高く	少ない	750 min^{-1} 又は 900 min^{-1}

火力発電と原子力発電はどちらも汽力発電なので、タービンを使用しますが、
蒸気圧や蒸気温度の違いにより、タービンにも違いがあります。

解 説

(ア)　湿分

高圧タービンにて所定の仕事を行った排気は，（ア）湿分 分離器に送られて，排気に含まれる（ア）湿分 を除去した後に低圧タービンに送られる。

高圧タービンを出た蒸気は**湿分分離器**で湿分を取り除いた後、低圧タービンに送られます。

(イ)　飽和蒸気

高圧タービンの入口蒸気は，（イ）飽和蒸気 である

火力発電では過熱蒸気がタービンに送られますが、原子力発電では飽和蒸気(湿り蒸気)がタービンに送られます。
水分を含む蒸気を飽和蒸気と言い、飽和蒸気を熱すると水分を含まず完全に気体だけの状態の蒸気になり、これを乾き蒸気と言います。乾き蒸気をさらに熱すると温度は上昇して過熱蒸気になります。

(ウ)　低く

火力発電所の高圧タービンの入口蒸気に比べて，圧力・温度ともに（ウ）低く ，そのため，原子力発電所の熱効率は火力発電所と比べて（ウ）低く なる。

原子力発電で使われる蒸気は、火力発電の蒸気に比べ温度と圧力が低いため、火力発電に比べて熱効率は低く(悪く)なります。

(エ)　多い

原子力発電所の高圧タービンに送られる蒸気量は，同じ出力に対する火力発電所と比べて（エ）多い 。

蒸気の温度と圧力が低いので、同じ出力を得るためには多くの蒸気が必要になる。

温度と圧力が低い蒸気のエネルギーは低い・・・・原子力発電所
温度と圧力が高い蒸気のエネルギーは高い・・・・火力発電所

低いエネルギーの蒸気で同じ出力を得るためには、多くの蒸気が必要になります。

タービンの回転には一次側(入口側)と二次側(出口側)の圧力差も利用しているので、一次側の蒸気圧力が低ければ回転力は下がる。(＊1)
また、蒸気の温度が低ければ凝縮して水になりやすいので、一次側(入口側)圧力も下が

りやすい。
圧力が低いと、このような理由により回転力は下がります。

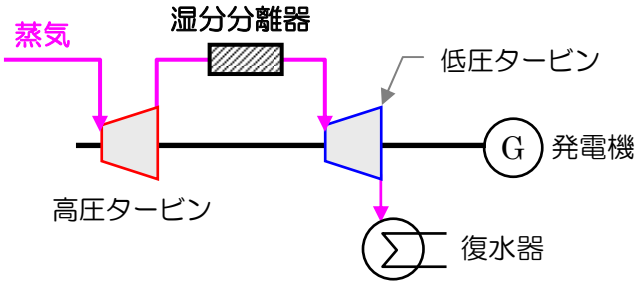
（オ） 1500min^{-1} または 1800min^{-1}
低圧タービンの最終段翼は，35～54 インチ(約 89 cm ～ 137 cm)の長大な翼を使用し，
（ア）湿分 による翼の浸食を防ぐため翼先端周速度を減らさなければならないので，
タービンの回転速度は （オ）1500min^{-1} または 1800min^{-1} としている。

湿分による回転翼の侵食を防ぐため、火力発電に比べてタービンの回転を遅くする必要があります。

答 (2)

火力発電では、ボイラーを出た飽和蒸気は過熱器で熱せられて過熱蒸気になりタービンに送られますが、
原子力発電では、過熱器が存在しないので飽和蒸気(湿り蒸気)のままタービンに送られます。

原子力発電のタービンは高圧タービンと低圧タービンから構成されていて、高圧タービンを出た蒸気は**湿分分離器**で湿分を取り除いた後、低圧タービンに送られます。



湿分による回転翼の侵食を防ぐため、火力発電に比べてタービンの回転を遅くする必要があります。(＊2)

ちなみに、火力発電のタービン回転数は 3000min^{-1} または 3600min^{-1}
原子力発電のタービン回転数は 1500min^{-1} または 1800min^{-1} が採用されています。

また、原子力発電で使われる蒸気は、火力発電の蒸気に比べ温度と圧力が低いため、火力発電に比べて熱効率は悪いと言えます。

注釈

(＊1)

流体(蒸気)は圧力の高いところから低いところへと流れるもので、圧力差が大きくなれば流れる勢いも強くなる。
したがって、タービン入口圧力が高ければ高いほど、また、タービン出口圧力が低ければ低いほど圧力差が大きくなり、蒸気の流れる勢いは強くなる。
蒸気の流れる勢いが強くなれば、タービンを回す力は大きくなる。

復水器の設置されている理由の一つに、「タービン出口圧力を下げる」ということがある。
復水器では蒸気を水に凝集させるが、蒸気が水に変わると体積は急激に小さくなるため、圧力も大きく下がる。

(＊2)

湿分の多い蒸気には微細な水滴が含まれていて、この水滴が高速で回転する回転翼に衝突すると回転翼は衝撃によりダメージを受け侵食される。
そのため、回転速度を遅くする必要があります。

火力発電 と 原子力発電 の 比較表を載せておきます。

	火力発電	*原子力発電*
蒸気圧力	高い	低い
蒸気温度	高い	低い
付属機器の違い	過熱器がある	湿分分離器がある
熱効率	高い	低い
使用蒸気状態	過熱蒸気	飽和蒸気
タービン回転速度	$3000\mathrm{min}^{-1}$ または $3600\mathrm{min}^{-1}$	$1500\mathrm{min}^{-1}$ または $1800\mathrm{min}^{-1}$

火力発電 の $3000\mathrm{min}^{-1}$ は 50Hz用、$3600\mathrm{min}^{-1}$ は 60Hz用として使用され、

原子力発電の$1500\mathrm{min}^{-1}$ は 50Hz用、$1800\mathrm{min}^{-1}$は 60Hz用として使用されます。

($3000\mathrm{min}^{-1}$ と$1500\mathrm{min}^{-1}$ は50Hzを発生させる回転速度、$3600\mathrm{min}^{-1}$ と$1800\mathrm{min}^{-1}$は60Hzを発生させる回転速度になる)

ちなみに、$3000\mathrm{min}^{-1}$ は 1 分間の回転速度が 3000 回転ということで、

min^{-1} の読み方は「パー・ミニット」、日本語にすると「毎分」になります。

少し話がそれますが、以下のタービン回転速度について説明してみます。

火力発電の $3000\mathrm{min}^{-1}$ は 50Hz用、$3600\mathrm{min}^{-1}$ は 60Hz用

原子力発電の $1500\mathrm{min}^{-1}$ は 50Hz用、$1800\mathrm{min}^{-1}$ は 60Hz用

火力発電や原子力発電で使用される発電機は「同期発電機」になりますが、同期発電機の回転速度を求める式(回転速度と周波数の関係式)は次のようになります。

公式

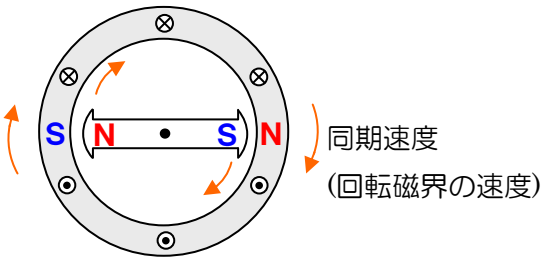
周波数 f、固定子の極数 p のときの同期速度 n_s を求める式

$$n_s = \frac{120f}{p}$$

n_s [min^{-1}]： 同期速度

f [Hz]： 周波数

p： 固定子の極数



通常、火力発電で使用される発電機の極数は 2 極、原子力発電で使用される発電機の極数は 4 極です。

火力発電の $3000\mathrm{min}^{-1}$ は 50Hz用 について、公式に数値を入れてみます。

$n_s = \frac{120f}{p}$ に $n_s = 3000$, $p = 2$ を代入する。

$$3000 = \frac{120f}{2} \quad \rightarrow \quad f = 50\mathrm{Hz}$$

毎分 3000 回転、極数 2 のときの周波数は 50Hz になることがわかります。

原子力発電の $1500\mathrm{min}^{-1}$ は 50Hz用 について、公式に数値を入れてみます。

$n_s = \frac{120f}{p}$ に $n_s = 1500$, $p = 4$ を代入する。

$$1500 = \frac{120f}{4} \quad \rightarrow \quad f = 50\mathrm{Hz}$$

毎分 1500 回転、極数 4 のときの周波数は 50Hz になることがわかります。

同様に計算すれば、$3600\mathrm{min}^{-1}$ 、$1800\mathrm{min}^{-1}$ は 60Hz になることがわかります。