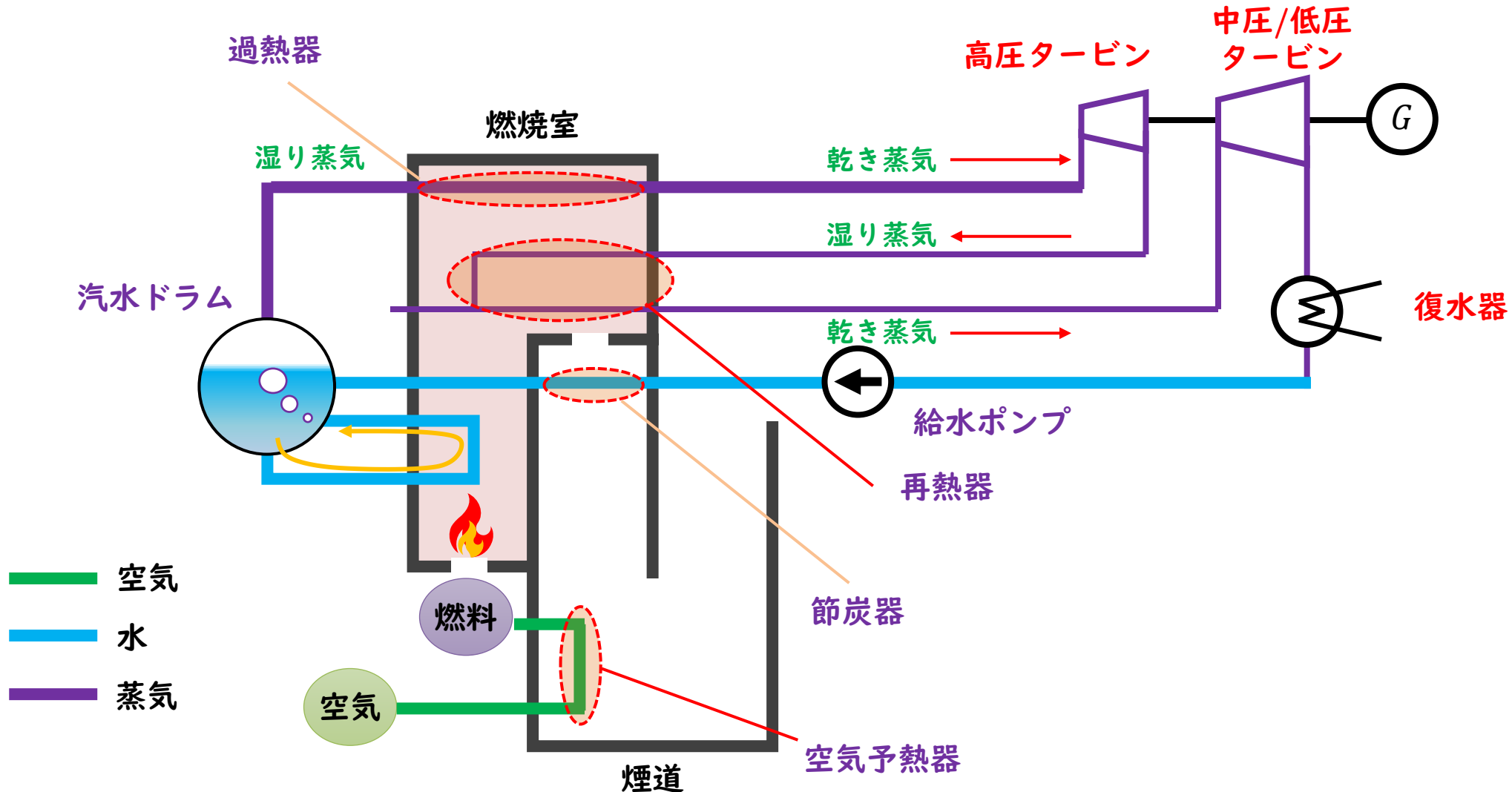


# 電験二種 オンライン講座

## 電力管理 火力発電

# 汽力発電の構造

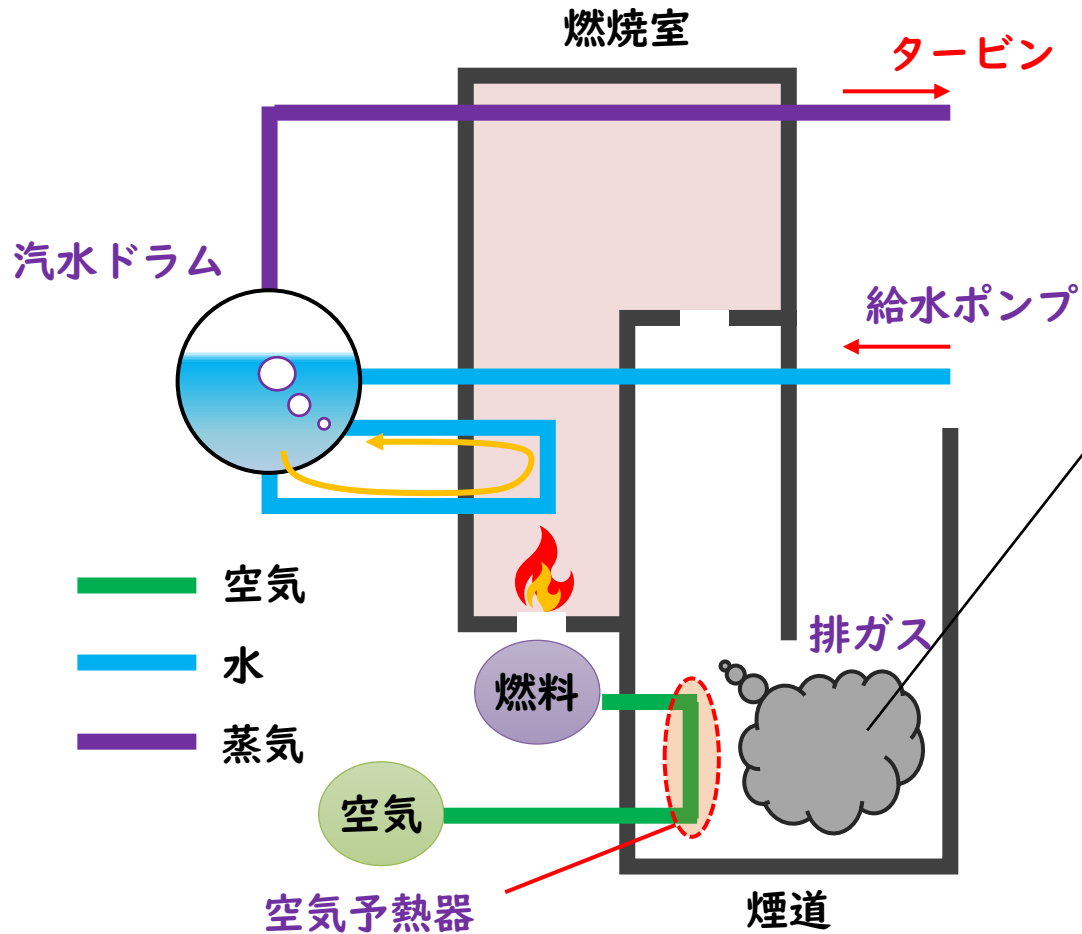


# R03 問1

問1 大気汚染防止法にて規制される以下の大気汚染物質について、その発生原因と、我が国の火力発電所での対策装置(設備)、及びその原理について(1)～(3)それぞれ100字程度で述べよ。

- (1) 媒じん
- (2) 硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)
- (3) 窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)

# 燃料と排ガスに含まれる物質

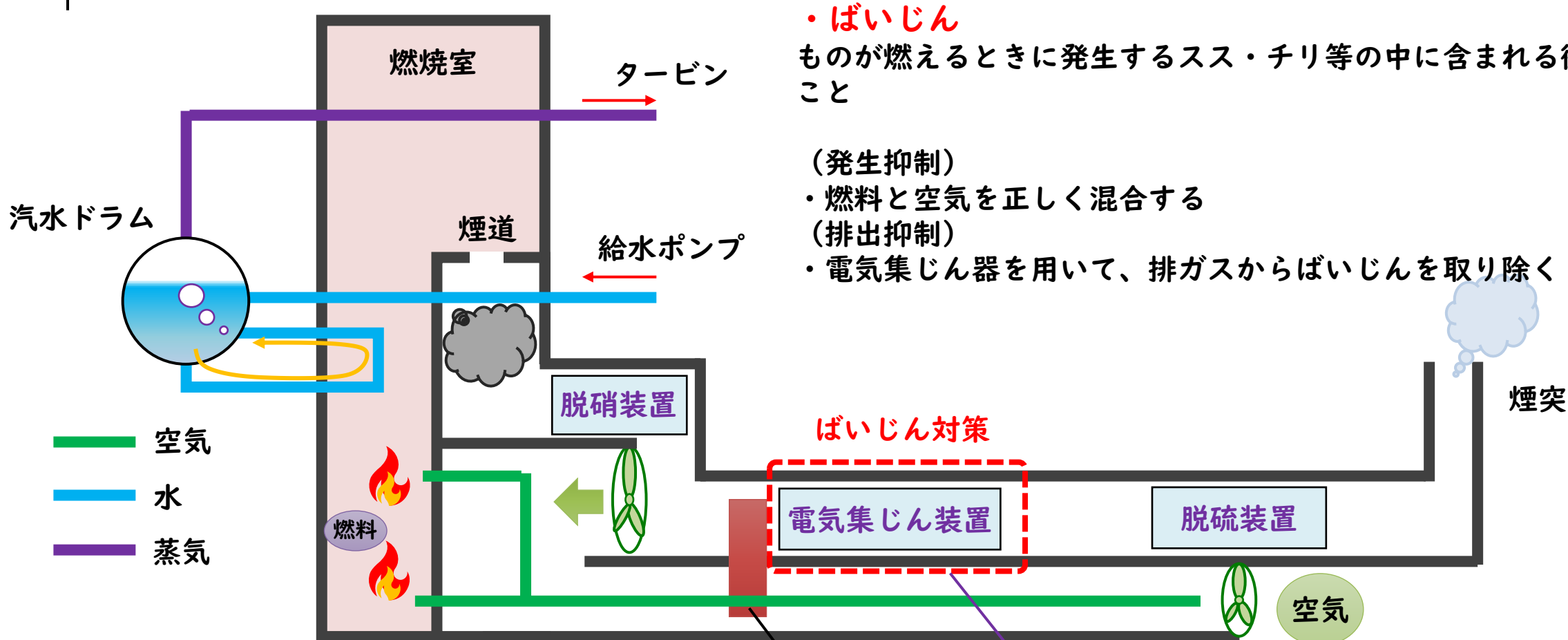


燃料の種類	環境性	経済性
石炭	悪い	安価
石油	普通	高価
LNG (天然ガス)	影響少ない	普通

## <排ガスが含むもの>

- ばいじん**  
 ものが燃えるときに発生するスス・チリ等の中に含まれる微粒子のこと  
 人体の呼吸器系統に影響し、ぜんそくや気管支炎などの原因となる
- 硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub> : ソックス)**  
 石油や石炭などの硫黄分が含まれる化石燃料が燃えるときに発生する硫黄の酸化物  
 ぜんそくや酸性雨の原因となる
- 窒素酸化物 (NO<sub>x</sub> : ノックス)**  
 高温でもものが燃えるときに発生する窒素の酸化物 (空気中の窒素)  
 オゾン層の破壊、温室効果、酸性雨、光化学スモッグの原因となる

# 火力発電所の環境対策



・ばいじん  
ものが燃えるときに発生するスス・チリ等の中に含まれる微粒子のこと

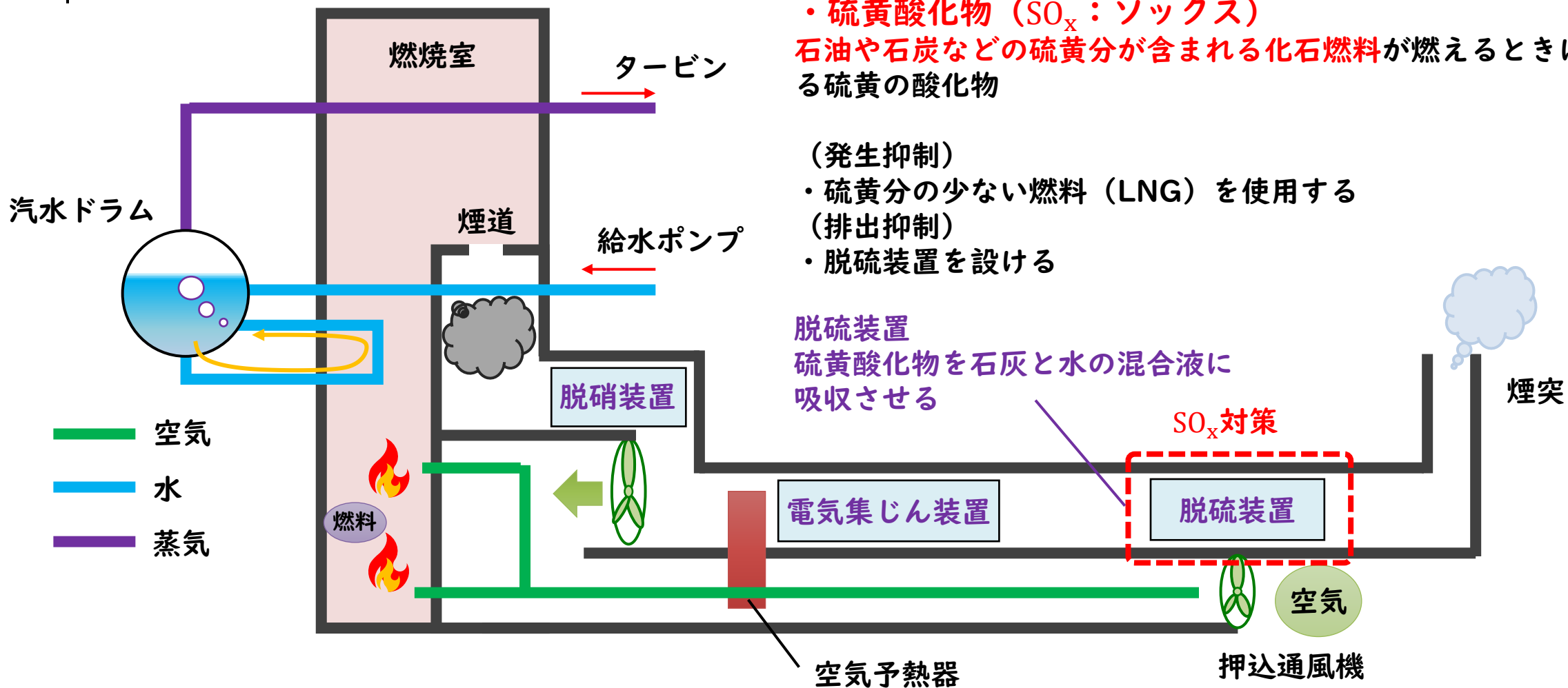
- (発生抑制)
- ・燃料と空気を正しく混合する
- (排出抑制)
- ・電気集じん器を用いて、排ガスからばいじんを取り除く

ばいじん対策

電気集じん装置

電気集じん装置  
-極で粒子が帯電する  
+極に帯電した粒子が集まる

# 火力発電所の環境対策

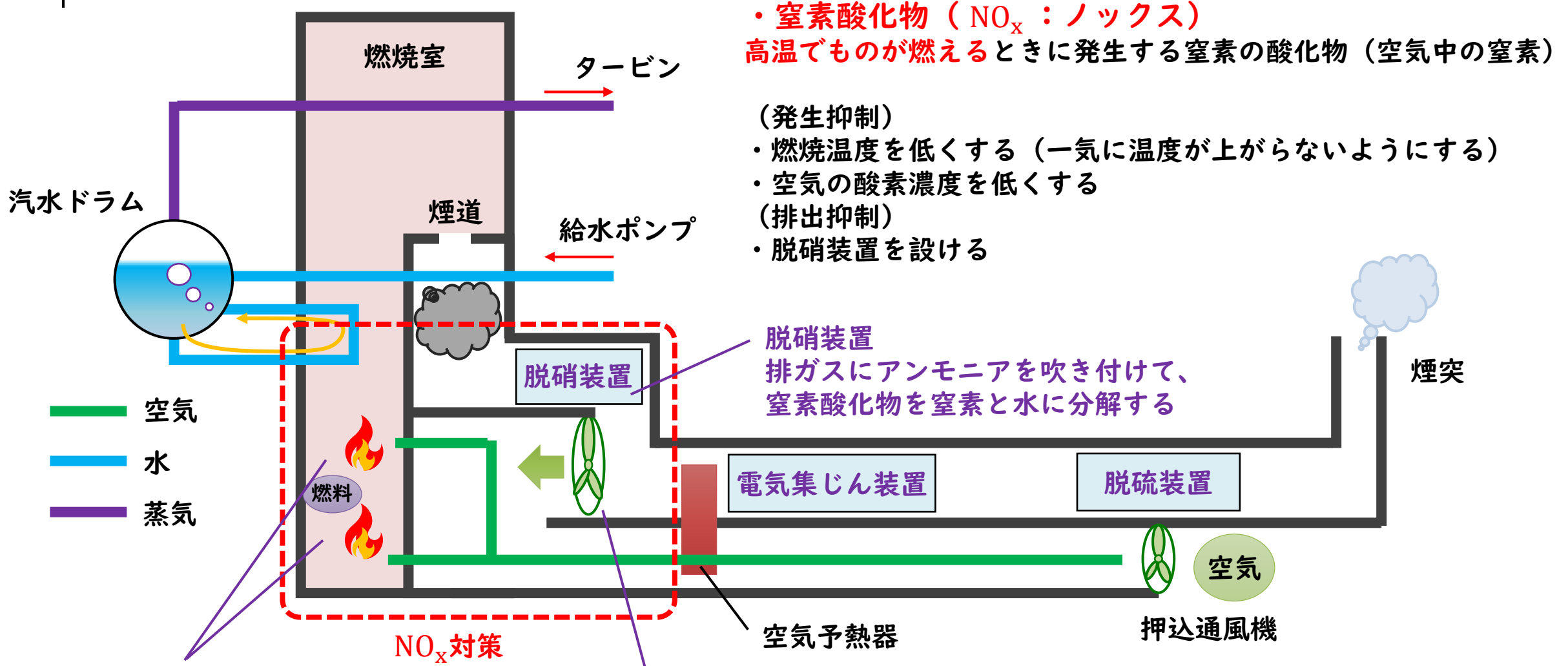


・硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>: ソックス)  
石油や石炭などの硫黄分が含まれる化石燃料が燃えるときに発生する硫黄の酸化物

- (発生抑制)
- ・硫黄分の少ない燃料 (LNG) を使用する
- (排出抑制)
- ・脱硫装置を設ける

脱硫装置  
硫黄酸化物を石灰と水の混合液に吸収させる

# 火力発電所の環境対策



# R03 問1

問1 大気汚染防止法にて規制される以下の大気汚染物質について、その発生原因と、我が国の火力発電所での対策装置(設備)、及びその原理について(1)～(3)それぞれ100字程度で述べよ。

## (1) 煤じん

発生原因：燃料が燃えることで発生する

対策装置：電気集じん装置

原理：煤じんを帯電させてクーロン力により電極に引き寄せ、排ガスから分離する

## (2) 硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)

発生原因：燃料に含まれる硫黄成分が燃焼することで発生する

対策装置：脱硫装置

原理：排ガスを石灰と水の混合液に通過させて、硫黄酸化物を吸収させ、排ガスから分離する  
(亜硫酸ガスを吸収させ亜硫酸カルシウムにする)

## (3) 窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)

発生原因：燃焼空気中の窒素が高温条件下で酸素と反応することで発生する

対策装置：①脱硝装置、②二段燃焼方式、③排ガス混合燃焼方式

原理：①排ガスにアンモニアを吹き付けて、窒素酸化物を窒素と水に分解する

②空気量を減らして、二回分けて燃料を燃焼することで窒素酸化物の発生を抑える

③空気に再循環ガスを混ぜて酸素濃度を下げ、窒素酸化物の発生を抑える

# ROI 問1



問1 火力発電所の所内交流回路には、送電系統や所内回路の事故により電源喪失した場合でも安全面や設備保全で重要な補機電動機(負荷)が運転継続できるように、非常用ディーゼル発電機が接続できる電源系統構成となっている。この電源系統に接続されている補機電動機(負荷)のうち、蒸気タービン又はタービン発電機に関するものを二つ挙げ、停止させない理由をそれぞれ200字以内で述べよ。

# 非常用ディーゼル発電機に接続される補機電動機（負荷）

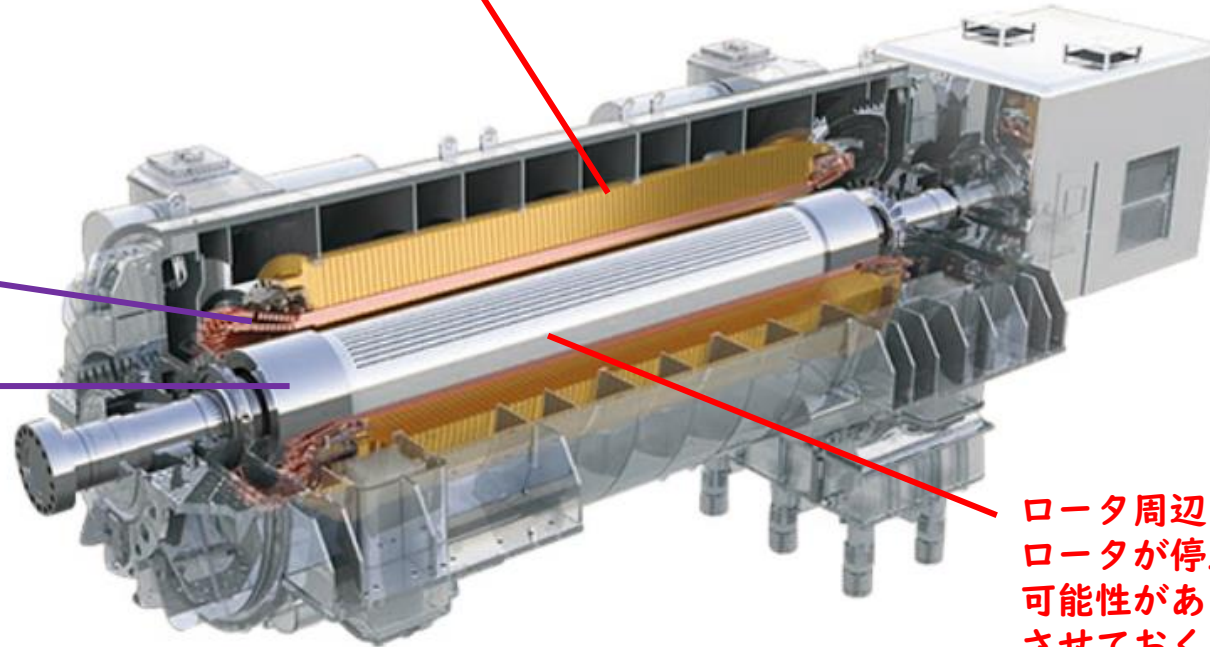
発電機内は冷却のため水素が封入されている。水素は爆発しないようにその密度を76%以上に維持する必要があり、機内の水素が漏れないように

ロータ軸封部には油が供給し続ける

→使用する電動機：発電機（水素）密封油ポンプ電動機

固定子（電機子）巻線

回転子（界磁）巻線  
（ロータともいう）



ロータ周辺は発電停止時でも高温であり、ロータが停止していると熱により偏心（軸が曲がる）可能性があり、ロータは発電停止後も一定時間回転させておく必要がある

→使用する電動機：ターニングギア電動機

<https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/thermal/products-technical-services/generation-technologies.html>

# ROI 問1



問1 火力発電所の所内交流回路には、送電系統や所内回路の事故により電源喪失した場合でも安全面や設備保全で重要な補機電動機(負荷)が運転継続できるように、非常用ディーゼル発電機が接続できる電源系統構成となっている。この電源系統に接続されている補機電動機(負荷)のうち、蒸気タービン又はタービン発電機に関するものを二つ挙げ、停止させない理由をそれぞれ200字以内で述べよ。

## (1)ターニングギア電動機

ロータ周辺は発電停止時でも高温であり、熱により偏心の可能性があるので、ロータは発電停止後も一定時間回転させておく必要がある。

## (2)発電機(水素)密封油ポンプ電動機

発電機内の水素が、外部に漏れださないように、ロータ軸封部に油を供給し続ける必要がある。

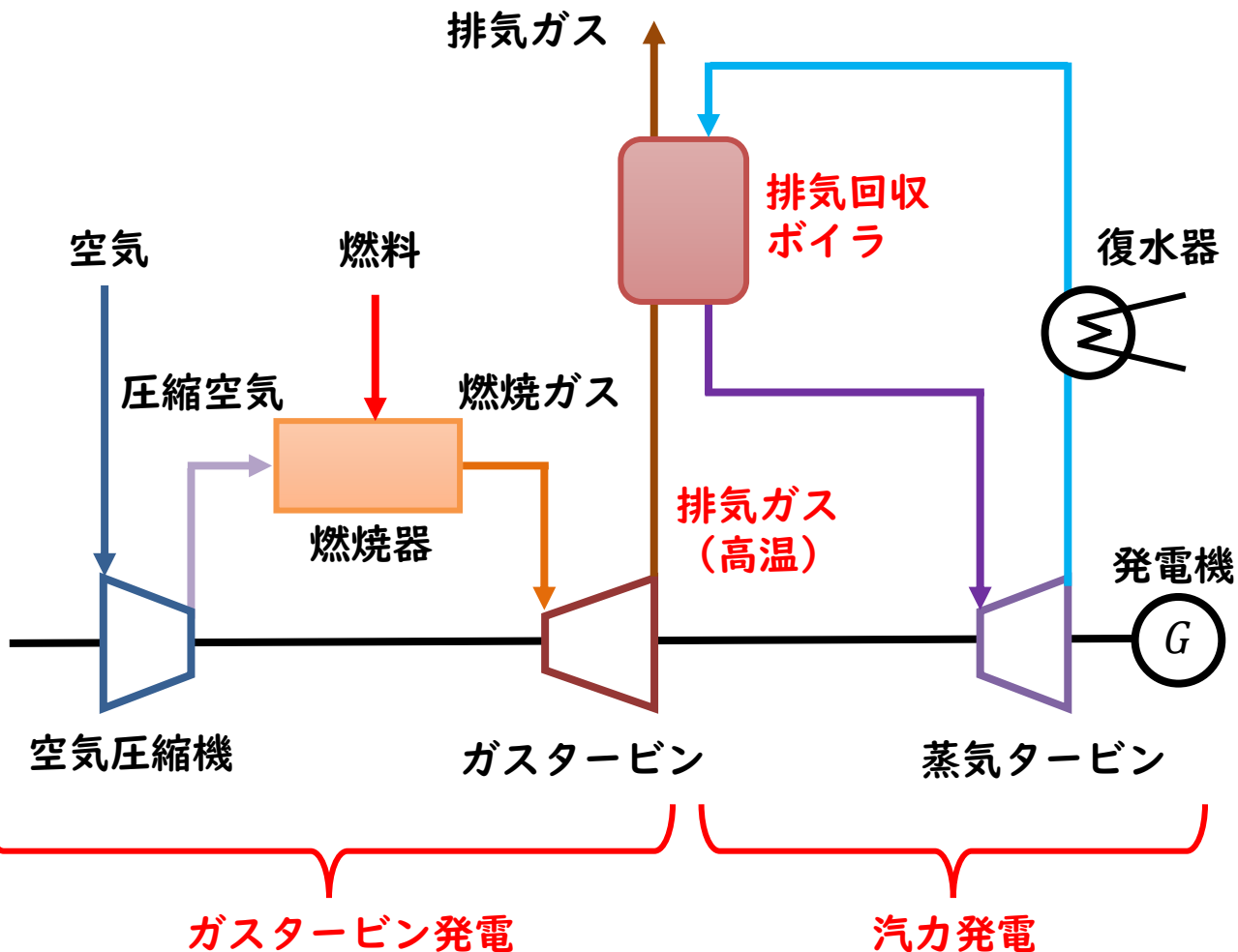
# H29 問1



問1 ガスタービン主体に構成されるコンバインドサイクル発電プラントに関して、次の問に答えよ。

- (1) 大気温度上昇が最大出力に及ぼす影響について、その理由とともに説明せよ。
- (2) 回答(1)に対する改善策を挙げよ。

# コンバインドサイクル発電 (排熱吸収式)



## <ガスタービン発電>

- ・空気圧縮機が吸気を吸入し、**空気を圧縮**
- ・燃料器で圧縮空気と燃料が反応し、**高压高温の燃焼ガス**が発生
- ・**燃焼ガスの圧力**でタービンを回転。**高温の排気ガス**が放出

↓  
高温の排気ガス

## <汽力発電>

- ・**排気回収ボイラ**で排気ガスの熱を利用して**高压蒸気**を生成
- ・**高压蒸気**で蒸気タービンを回転
- ・**復水器**で蒸気を水に戻して、再び排気回収ボイラへ循環

## 排熱吸収式コンバインドサイクル発電の特徴

- ・燃料効率は**50%以上** (汽力発電は40%程度)
- ・起動・停止時間が短い
- ・設備が単純 (建設コストが低い、運転操作が簡単)

- ・**外気温度の影響で出力が変化する** 外気温が高い  
→引き込む空気が膨張していて空気の密度が下がる。  
→空気量が減り出力も下がる。

- ・復水器の冷却水量が少なくてよい

# コンバインドサイクル発電 (排熱吸収式)

外気温が高くなると、発電効率が下がり、最大出力が低下する

原因：空気の密度が下がり、ガスタービン発電部分の空気吸い込み流量が少なくなる

## 対策②

蒸気タービンで出力を補うため、

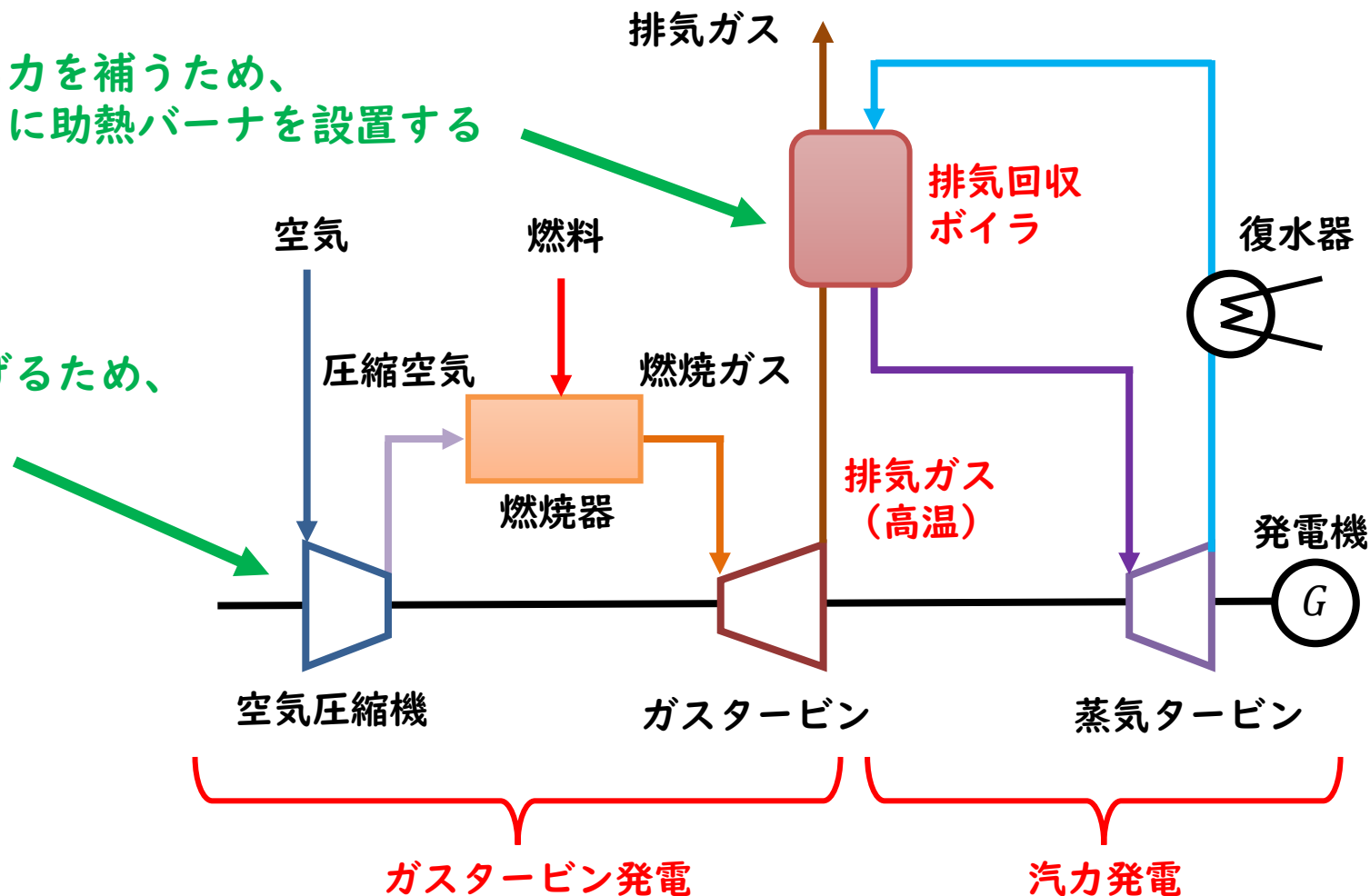
- ・排熱回収ボイラに助熱バーナを設置する

## 対策①

空気圧縮機に供給する空気の温度を下げるため、

- ・空気圧縮機の入口に水を噴霧する
- ・エバポレータークーラを設置する

※エバポレータークーラはヒートポンプ  
みたいなもの



# H29 問1

問1 ガスタービン主体に構成されるコンバインドサイクル発電プラントに関して、次の問に答えよ。

(1) 大気温度上昇が最大出力に及ぼす影響について、その理由とともに説明せよ。

大気温度上昇により、空気は膨張するため、その密度が低下する。  
空気圧縮機に供給される空気の密度が下がるため、圧縮空気の空気量が少なくなり、  
燃焼ガスの燃焼効率が低下し、ガスタービン部分の出力は低下する。  
さらに、排気ガスの熱量も低下するため、排気回収ボイラで回収できる熱量も少なくなり、  
蒸気タービンの出力は低下する。

従って、コンバインドサイクル全体で最大出力は低下する。

(2) 回答(1)に対する改善策を挙げよ。

- ①供給される空気の温度を低くするため、空気圧縮機の入口に水を噴霧する。またはエバポレータークーラを設置する
- ②蒸気タービンの出力を上げるため、排気回収ボイラに助熱バーナを設置する

# 三種 H30 問1

問1 次の文章は、タービン発電機の水素冷却方式の特徴に関する記述である。

水素ガスは、空気に比べ  が大きいいため冷却効率が高く、また、空気に比べ  が小さいため風損が小さい。

水素ガスは、 であるため、絶縁物への劣化影響が少ない。水素ガス圧力を高めると大気圧の空気よりコロナ放電が生じ難くなる。

水素ガスと空気を混合した場合は、水素ガス濃度が一定範囲内になると爆発の危険性があるので、これを防ぐため自動的に水素ガス濃度を  以上に維持している。

通常運転中は、発電機内の水素ガスが軸に沿って機外に漏れないように軸受の内側に  によるシール機能を備えており、機内からの水素ガスの漏れを防いでいる。

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)	比熱	比重	活性	90 %	窒素ガス
(2)	比熱	比重	活性	60 %	窒素ガス
(3)	比熱	比重	不活性	90 %	油膜
(4)	比重	比熱	活性	60 %	油膜
(5)	比重	比熱	不活性	90 %	窒素ガス

# H30 問1

問1 次の文章は、タービン発電機の水素冷却方式の特徴に関する記述である。

水素ガスは、空気に比べ  が大きい**比熱**ため冷却効率が高く、また、空気に比べ  が小さい**比重**ため風損が小さい。

水素ガスは、 **不活性**であるため、絶縁物への劣化影響が少ない。水素ガス圧力を高めると大気圧の空気よりコロナ放電が生じ難くなる。

水素ガスと空気を混合した場合は、水素ガス濃度が一定範囲内になると爆発の危険性があるので、これを防ぐため自動的に水素ガス濃度を  **90 %**以上に維持している。

通常運転中は、発電機内の水素ガスが軸に沿って機外に漏れないように軸受の内側に  **油膜**によるシール機能を備えており、機内からの水素ガスの漏れを防いでいる。

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)	比熱	比重	活性	90 %	窒素ガス
(2)	比熱	比重	活性	60 %	窒素ガス
<b>(3)</b>	比熱	比重	不活性	90 %	油膜
(4)	比重	比熱	活性	60 %	油膜
(5)	比重	比熱	不活性	90 %	窒素ガス

## 水素の特徴

- 最も軽い気体(空気に対する比重0.00695)
- 無色・無臭・無毒の不活性ガス
- 空気に比べ比熱は大きい(窒素や酸素の約14倍)
- 軽いため対流しやすく熱伝導率は良い(窒素や酸素の約7倍)  
(圧縮すると冷却効率が上がる)
- 軽いため風損が少ない
- 引火性ガス  
(水素濃度4～75%で爆発するので90%以上にする)
- 隙間から漏れやすい(対策として軸受の内側に油膜を設ける)  
空気より軽いので漏れたら大気に逃げるようにする  
(漏れてどこかに水素が溜まらないようにする)

# H27 問1

問1 大容量のタービン発電機に採用される冷却方式に関して、次の問に答えよ。

(1) 水素冷却方式が採用される理由を水素ガスの特徴を挙げて述べよ。

また、安全上留意すべき事項を述べよ。

(2) 固定子水冷却方式が採用される理由を水の特徴を挙げて述べよ。

問1 大容量のタービン発電機に採用される冷却方式に関して、次の問に答えよ。

(1) 水素冷却方式が採用される理由を水素ガスの特徴を挙げて述べよ。

また、安全上留意すべき事項を述べよ。

## 水素ガスの特徴

- ① 空気に比べて熱伝導率、比熱が大きく、冷却効果が高い
  - ② 空気に比べて軽いので風損が小さく、発電機効率を向上できる
  - ③ 不活性ガスであるため、絶縁物の劣化の影響が少ない
- 以上から、発電機の小型化が実現できる。

## 安全上留意すべき事項

水素濃度4～75%で爆発するので90%以上で維持する必要があり、軸受け内部に油膜を施し、ガス漏れを防ぐ必要がある

(2) 固定子水冷却方式が採用される理由を水の特徴を挙げて述べよ。

水は空気や水素に比べて、熱容量、伝達効率が大きく冷却効率が大きいいため、大型の発電設備の固定子巻線の冷却に採用される。

# H25 問1

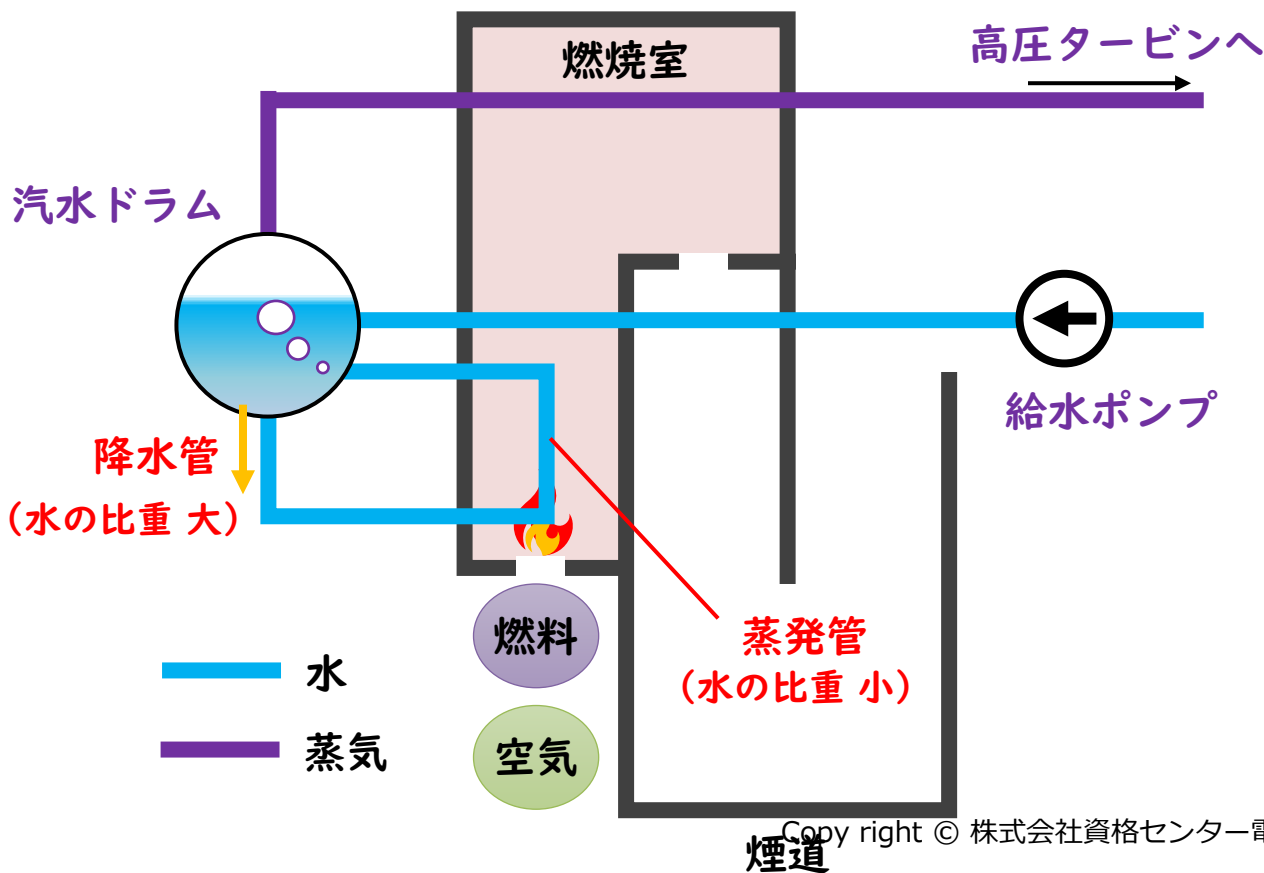
問1 汽力発電所で用いられている自然循環ボイラについて、次の問に答えよ。

- (1) このボイラの原理を説明し、さらに使用圧力の適用範囲と理由を説明せよ。
- (2) ボイラ給水ポンプから供給される給水が蒸気としてタービンに供給されるまでの流体のフローを以下の用語を用いて説明せよ。  
(用語) ボイラ給水ポンプ, 過熱器, 降水管, 節炭器, 水管(水冷壁),  
汽水ドラム, 蒸気タービン
- (3) 貫流ボイラと比較した場合の自然循環ボイラの長所を二つ述べよ。

# ボイラの種類

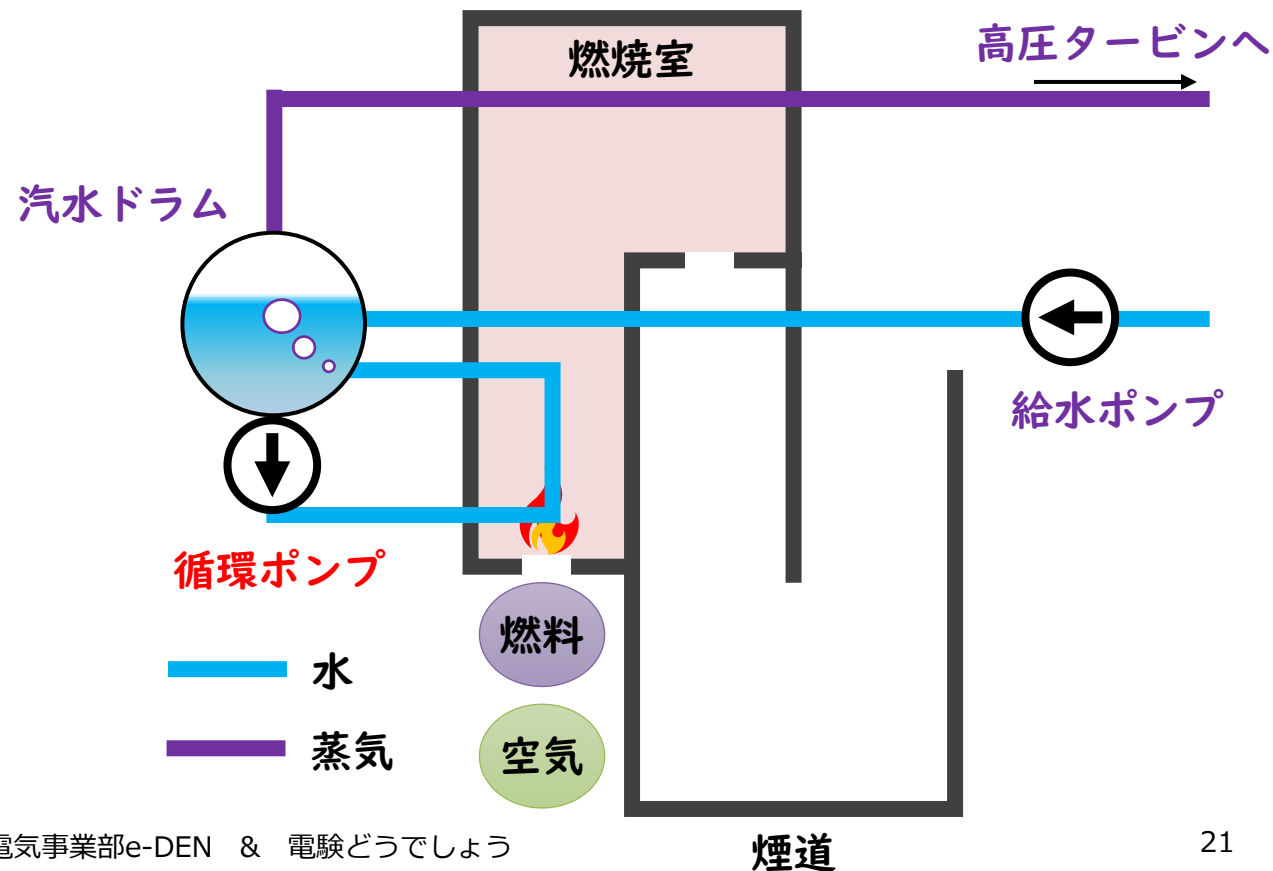
## 自然循環ボイラ

降水管と蒸発管の水の比重差を使って水を循環  
(特徴) 高い圧力に適していない、  
ボイラの高さを高くしないといけない



## 強制循環ボイラ

降水管に循環ポンプを取り付け、強制的に水を循環  
(特徴) 高い圧力に適している  
ボイラの高さを高くしなくてよい  
自然循環ボイラに比べて急速な始動・停止が可能  
水管の径を細く、肉厚を薄くでき、小型化が可能



# ボイラの種類

## 貫流ボイラ

汽水ドラムがなく、節炭器→蒸発管→過熱器を貫いて乾き蒸気を発生させるボイラ

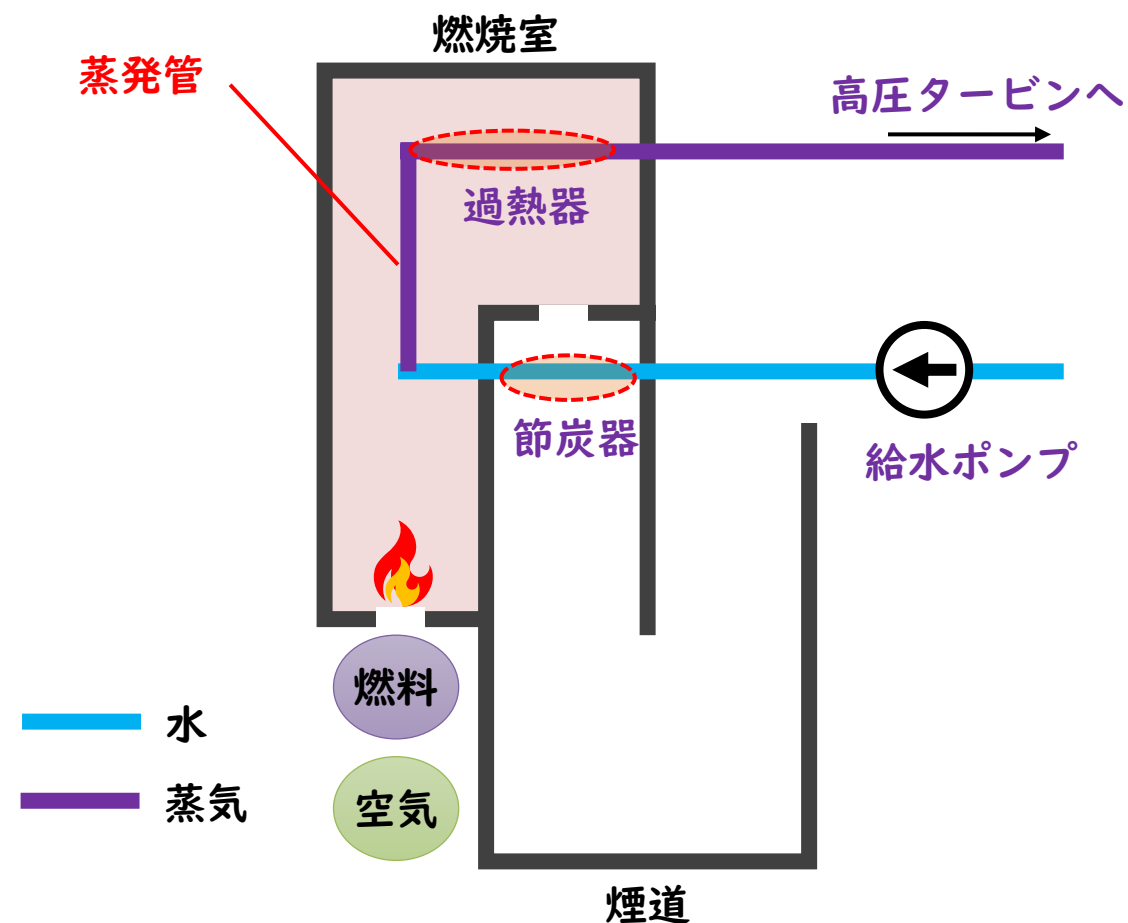
(特徴)

- ・汽水ドラムや循環ポンプが不要で軽い
- ・汽水ドラムがあると、そこで水中の不純物と蒸気が分離されるが、それがないので給水の処理が必要
- ・超臨界圧や亜臨界圧での使用に適している
- ・急速な始動ができる

※超臨界圧：臨界圧力よりも高い圧力

亜臨界圧：臨界圧力よりもちょっと低い圧力

これらの圧力では湿り蒸気の期間（沸騰）が少なく、水から一気に乾き蒸気に変化する



# H25 問1

問1 汽力発電所で用いられている自然循環ボイラについて、次の問に答えよ。

(1) このボイラの原理を説明し、さらに使用圧力の適用範囲と理由を説明せよ。

## 自然循環ボイラ

### ・原理

給水ポンプからの水が汽水ドラムに集められ、水の温度により生じる密度差により、低温の水はドラム下部の降水管を介して燃焼室で加熱されるように水を循環させながら蒸気を得るボイラ。

### ・適用範囲

亜臨界圧以下の圧力条件で適用される

### ・理由

蒸気圧が高くなると、ドラム中の気圧も大きくなるので、水の温度による密度差のみで、降水管中の水を循環させることが難しくなる。

ドラムの位置を高くし、降水管中の密度差を大きくすることはできるがこの方法でも限界があるため、自然循環ボイラは亜臨界圧以下で使用される

# H25 問1

問1 汽力発電所で用いられている自然循環ボイラについて、次の問に答えよ。

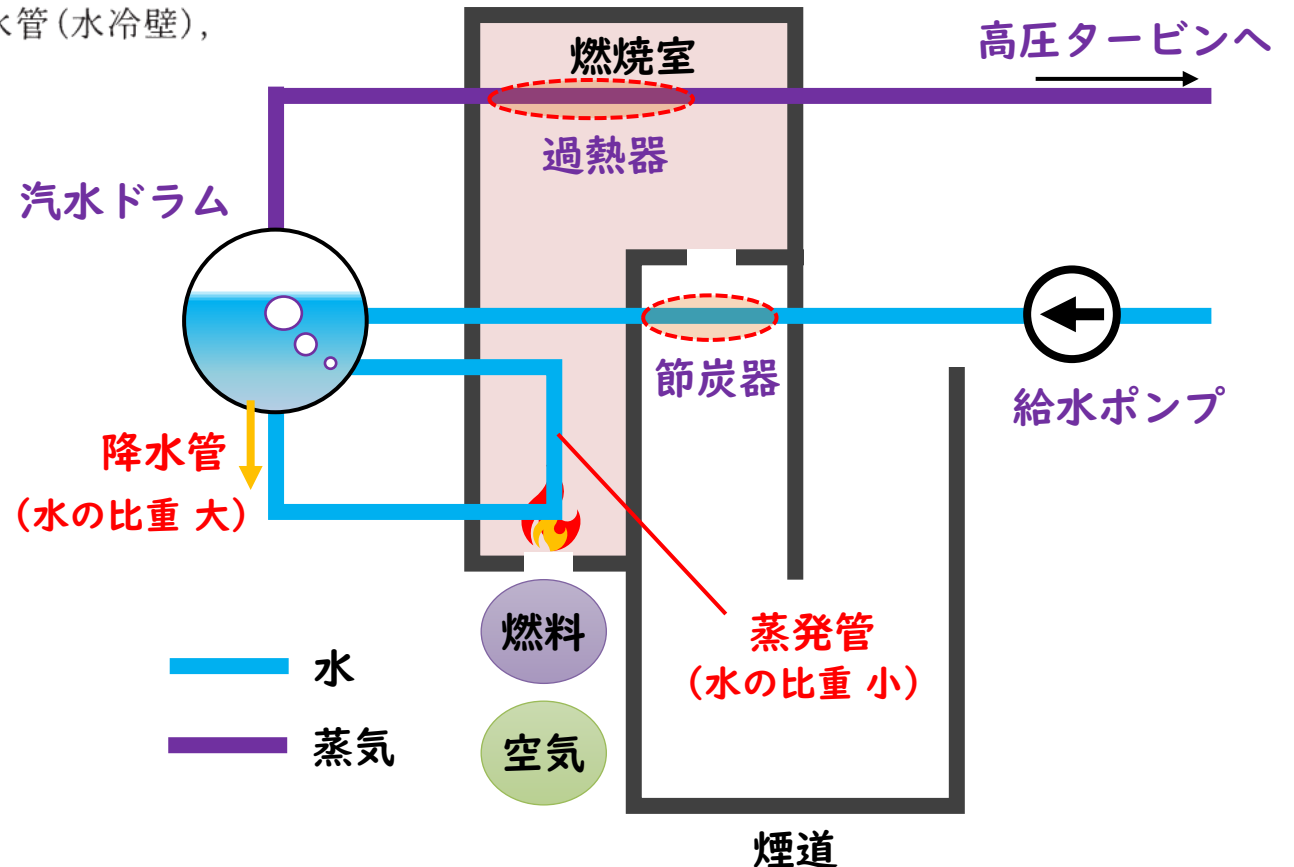
(2) ボイラ給水ポンプから供給される給水が蒸気としてタービンに供給されるまでの流体のフローを以下の用語を用いて説明せよ。

(用語) ボイラ給水ポンプ、過熱器、降水管、節炭器、水管(水冷壁)、汽水ドラム、蒸気タービン

ボイラ給水ポンプの水は節炭器で暖められた後、汽水ドラムに送られる。

汽水ドラム中の低温の水は降水管から燃焼室へ循環する。このとき燃焼室中の水管で水は加熱され水蒸気に状態変化する。

ドラム中で発生した水蒸気は過熱器で乾き蒸気となり、蒸気タービンに送られる。



# H25 問1

問1 汽力発電所で用いられている自然循環ボイラについて、次の問に答えよ。

(3) 貫流ボイラと比較した場合の自然循環ボイラの長所を二つ述べよ。

- ①汽水ドラムがあるため、給水の水質管理が不要
- ②給水ポンプの負担が少なく、ポンプ動力が少ない

その他（センターの解答）

- ・ボイラの制御が容易
- ・起動バイパス系統が不要
- ・保有水量が多いので、負荷の急変などの変動に強い

ご聴講ありがとうございました!!