

柏崎刈羽原子力発電所 6号機の起動工程について

<中間停止までのプラント起動曲線>

(注) 本起動曲線は概要であり、実際の起動曲線とあわない場合もある

凡例

- : 復水器真空度
- : 原子炉圧力
- : タービン回転速度
- : 発電機出力

▼①原子炉を起動し高温・高圧の状況下での原子炉設備の健全性確認や原子炉内の蒸気を使用しての注水・冷却系設備の使用前事業者検査を実施

▼②タービンへ原子炉内の蒸気を供給し、タービンを起動しての健全性確認を実施

▼③発電機を送電系統へ接続しての発電機の健全性確認を実施

原子炉起動
制御棒引抜
(2/9予定)

復水器
真空上昇
(2/9予定)

発電機本並列※2
(2/16予定)

発電機
仮並列※1
(2/15予定)

中間
停止

プラントの再起動
※3

総合負荷性能検査

(3/18予定)

(2/20～
2/下旬予定)

約7MPa

原子炉圧力

タービン
起動

1500rpm

タービン回転速度

約20%

発電機出力

約50%

※1: 発電機を試験的に送電系統へ接続

※2: 発電機を送電系統へ接続

起動工程の詳細



- ① 復水器真空上昇
- ② 原子炉起動
- ③ タービン起動 発電機仮並列・本並列
- ④ 中間停止
- ⑤ 原子炉起動
- ⑥ タービン起動 発電機仮並列・本並列
- ⑦ 定格熱出力到達

①復水器真空上昇

①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

④中間停止

⑤原子炉起動

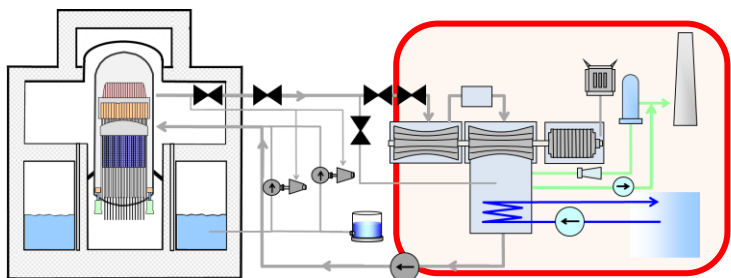
⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

⑦定格熱出力到達

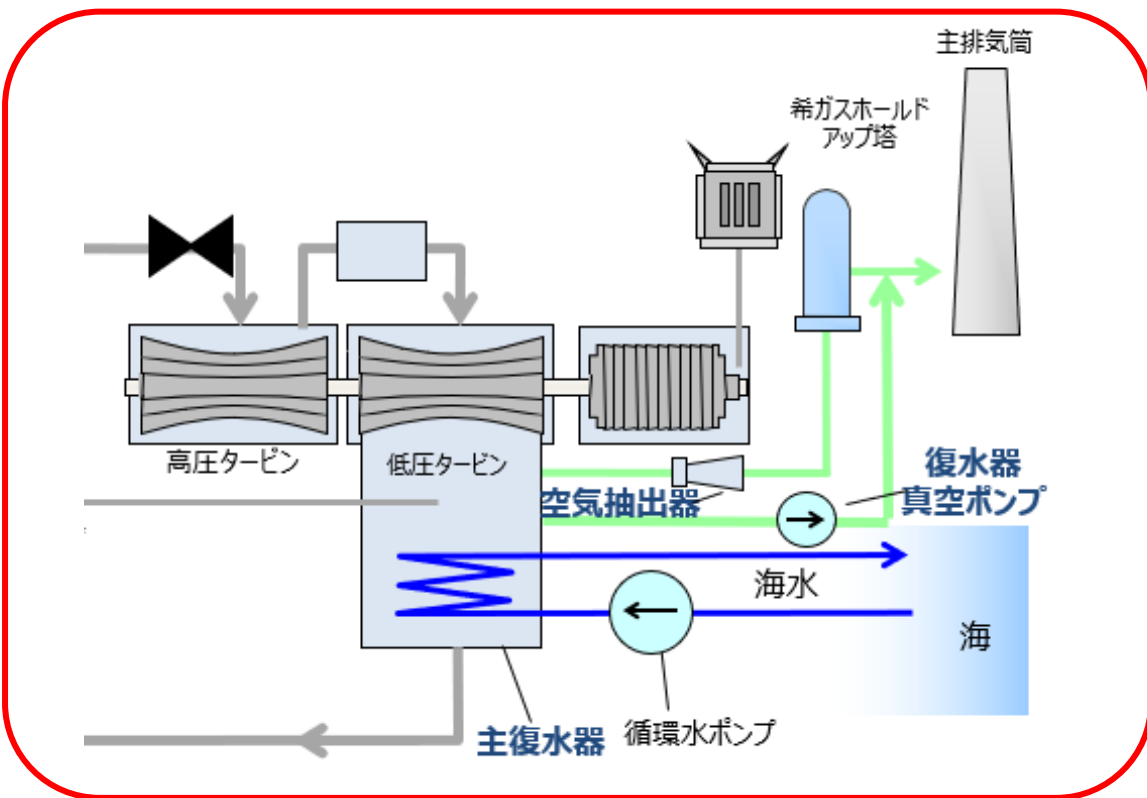
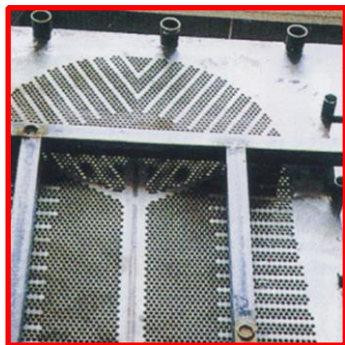
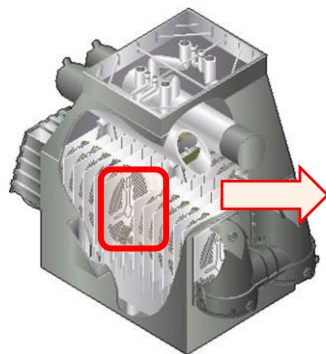
- タービンの出口側にある主復水器※を真空にすることで、出口側の圧力が低くなり、その圧力差でタービンの回転効率が上昇。このため、タービンの起動前に復水器真空ポンプを用いて主復水器内の空気を抽出し、真空状態にする

※主復水器：タービンで使用した蒸気を、海水が通る多数の配管を通じて間接的に冷却し水に戻すための設備

- 真空上昇後、**主復水器が設計通り真空を維持できているかを確認**（インリーク確認）



主復水器



②原子炉起動（1/3）-制御棒引抜～臨界～蒸気発生-

①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

④中間停止

⑤原子炉起動

⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

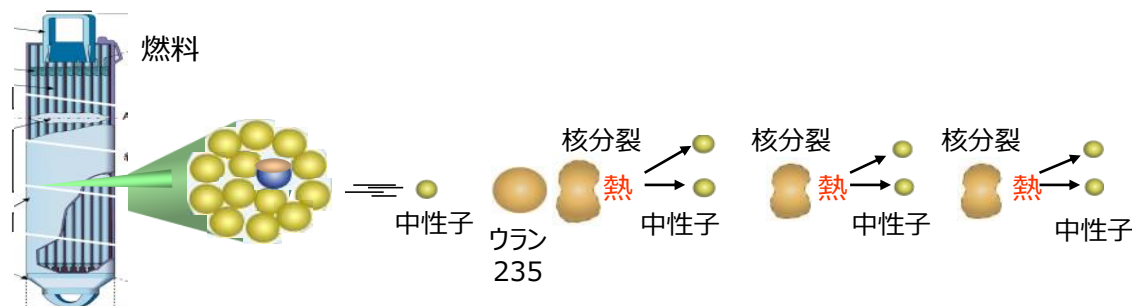
⑦定格熱出力到達

➤ 制御棒を引き抜き、原子炉を起動

（制御棒に吸収される中性子が減少し、核分裂反応が開始）

- 205本ある制御棒を順に引き抜き、**核分裂反応が連続して発生する状態（臨界）**を確認
- 核分裂反応で生じた熱エネルギーによって、徐々に原子炉内の水の温度が上昇
- 原子炉内の水の温度が約100℃に到達すると蒸気が発生し、原子炉内の圧力が上昇
- **原子炉圧力を約7MPa（定格圧力）まで上げ、高温・高圧の蒸気を作り出す（原子炉水温度：約286℃）**

<核分裂のイメージ>



<制御棒引き抜きから蒸気発生までのプロセス>

制御棒
引抜

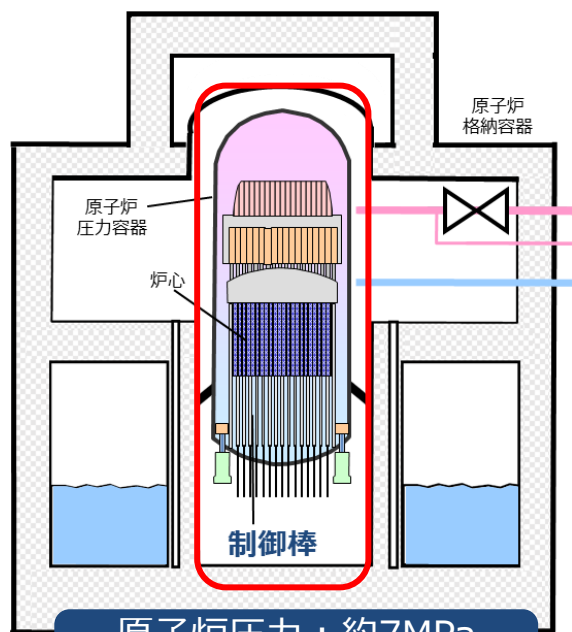
核分裂
反応

臨 界

炉水温度
上昇

炉内圧力
上昇

高温・高圧
蒸気発生



原子炉圧力：約7MPa
原子炉水温度：約286℃

②原子炉起動 (2/3)

-注水・冷却系の使用前事業者検査-

①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

④中間停止

⑤原子炉起動

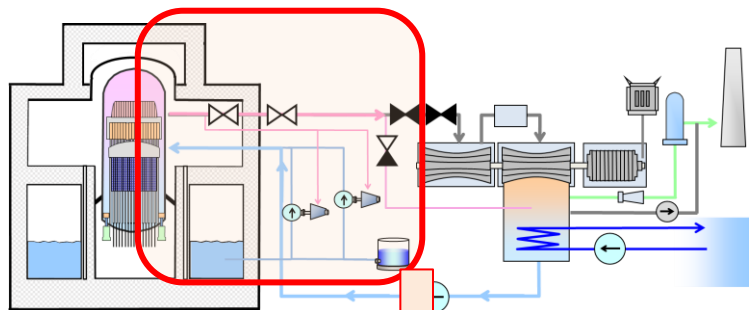
⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

⑦定格熱出力到達

- 原子炉隔離時冷却系(RCIC)や新規規制基準により新たに設置した高圧代替注水系(HPAC)※の使用前事業者検査を実施

※既存の原子炉隔離時冷却系 (RCIC) に加え、原子炉圧力容器内へ注水できる設備の多様化、更なる安全性、信頼性の向上を図る観点から、高圧代替注水系 (HPAC) を設置

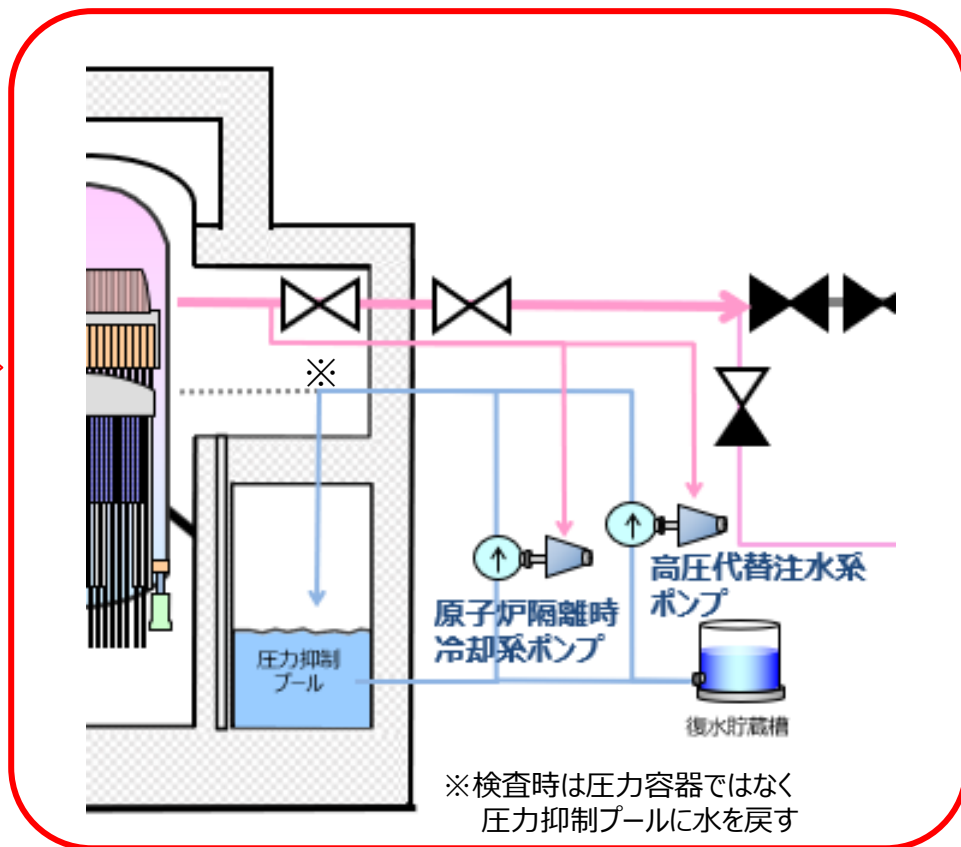
- 検査にあたっては、原子炉内の蒸気を使用した運転を行い、水や蒸気の漏えい有無、ポンプの異音・振動の有無、注水流量等を確認



原子炉隔離時冷却系
(RCIC)



高圧代替注水系
(HPAC)



②原子炉起動（3/3）-原子炉格納容器内点検-

①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

④中間停止

⑤原子炉起動

⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

⑦定格熱出力到達

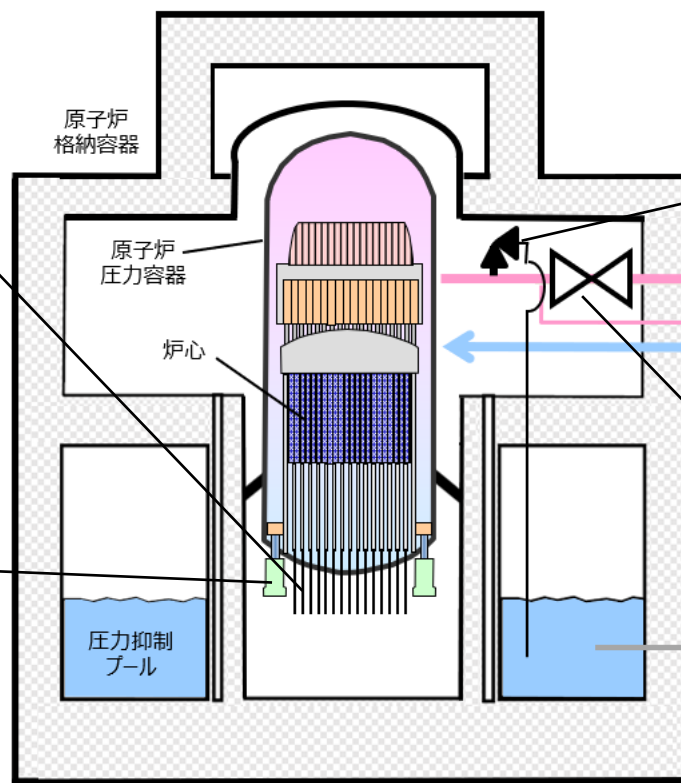
- 制御棒を全挿入し、原子炉格納容器内の機器・配管が、高温・高圧の状況下においても健全であることを確認
- 原子炉停止後、機器・配管の外観点検、漏えいの有無、振動・熱膨張による影響の有無等を確認
- 再度、原子炉起動のため、制御棒を引き抜き臨界状態とし、原子炉圧力を約7MPaまで上げ、高温・高圧の蒸気を作り出す

<原子炉格納容器内の点検対象機器（一例）>

制御棒駆動機構



原子炉内蔵型再循環ポンプ



主蒸気逃がし安全弁



主蒸気隔離弁



③タービン起動、発電機仮並列・本並列 (1/2)

①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

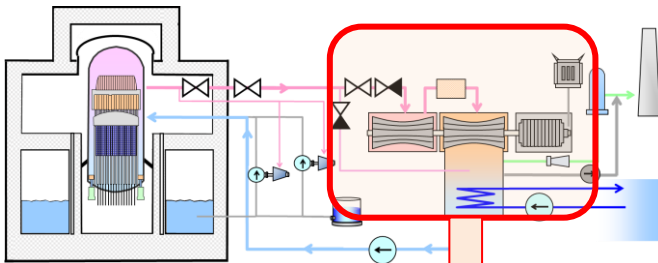
④中間停止

⑤原子炉起動

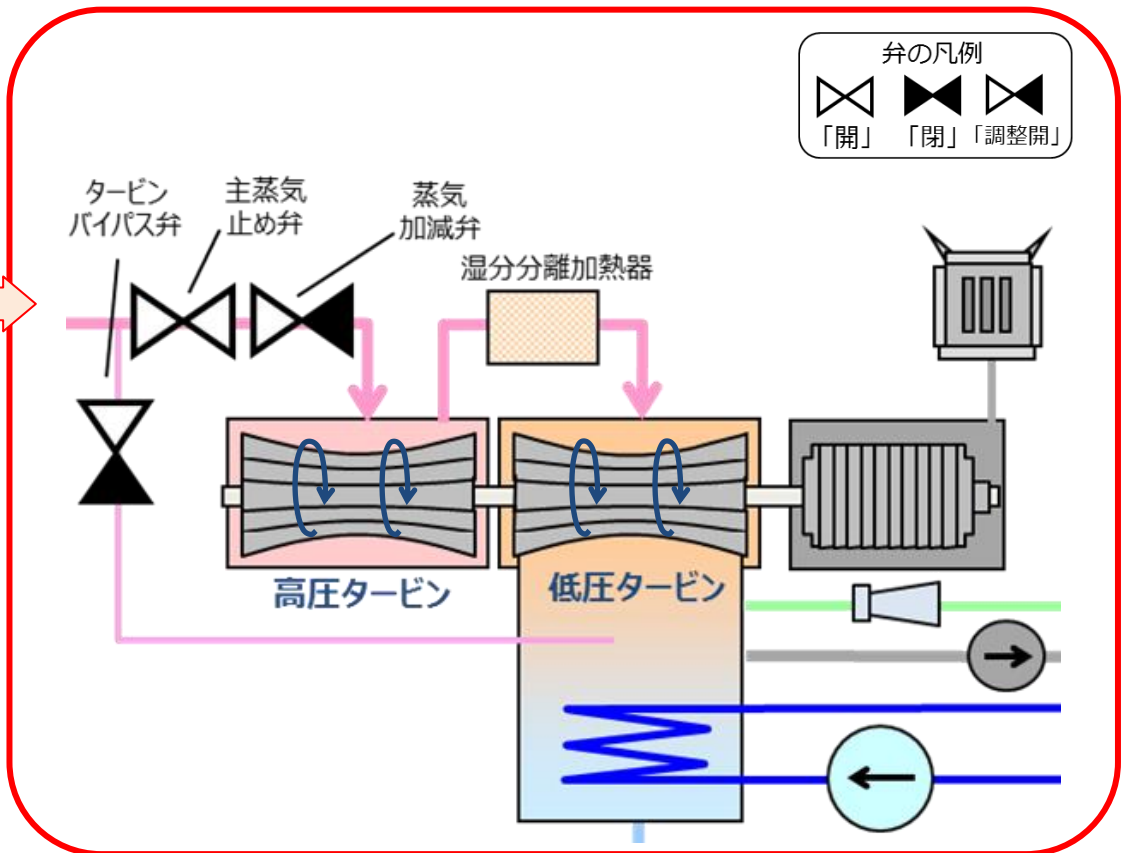
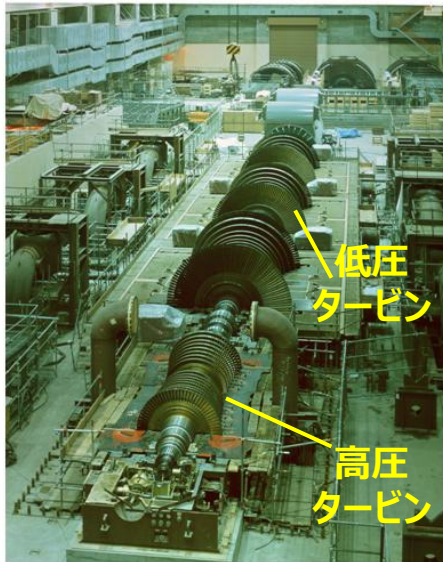
⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

⑦定格熱出力到達

- 原子炉内の蒸気を高圧タービンおよび低圧タービンに供給し、**タービンを起動**
- タービンの回転数を「1,500回転/分（定格回転数）」まで上昇させ、異音・振動の有無等、**発電していない状態でのタービンの健全性を確認**



高圧・低圧タービン



③タービン起動、発電機仮並列・本並列 (2/2)

①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

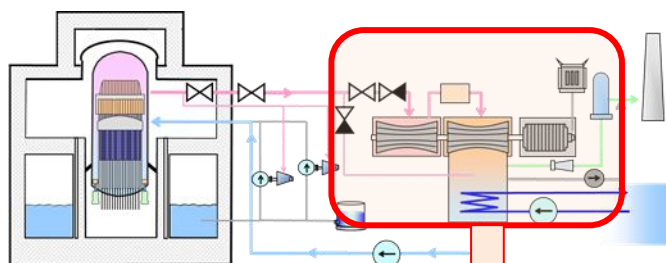
④中間停止

⑤原子炉起動

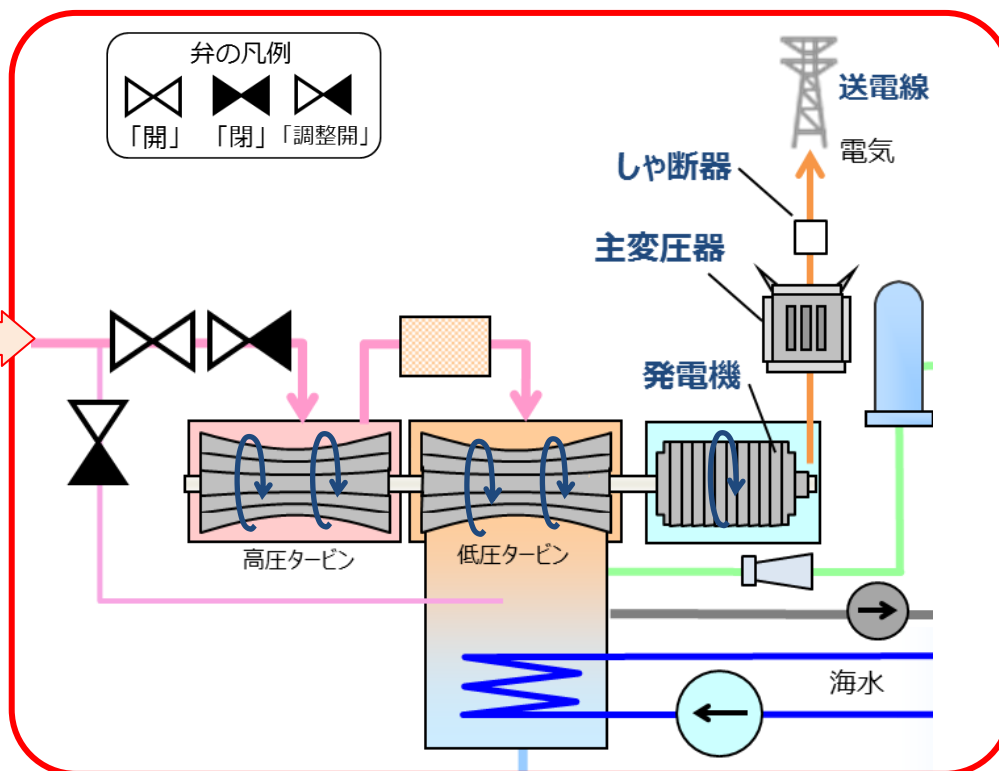
⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

⑦定格熱出力到達

- 発電機を試験的に送電系統へ接続（仮並列）し、発電機出力を定格電気出力の約20%（約27万kW）まで徐々に上昇させ、発電機の運転状態を確認
- その後、一度送電系統から切り離し（発電機出力を0%に下げる）、タービン保護装置の健全性確認として、タービンの回転を定格回転数以上に上昇させ、自動でタービンが緊急停止することを確認（タービン過速度トリップ試験）
- 再度、発電機を送電系統へ接続（本並列）し、発電機出力を定格電気出力の約50%（約68万kW）まで徐々に上昇させ、発電機の運転状態を確認



発電機



④ 中間停止

①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

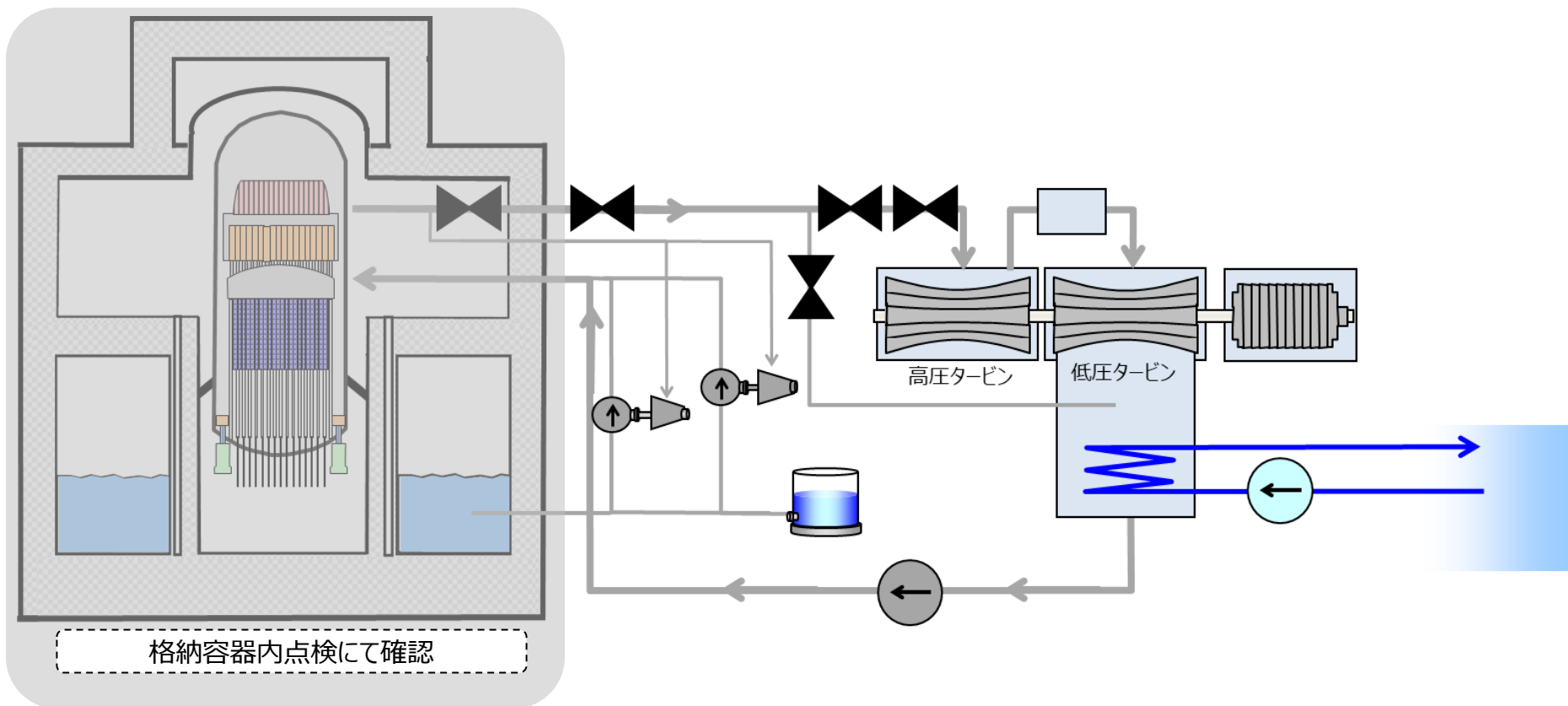
④中間停止

⑤原子炉起動

⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

⑦定格熱出力到達

- 発電機を送電系統から切り離し、一度原子炉を停止（中間停止）
- 主にタービン系統について、起動の過程における温度・圧力の変化や各設備の運転による振動等により設備・機器等に異常等がないか確認
- また、起動作業の中での軽微な不具合等を確認した場合は、その保全対応も実施



①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

④中間停止

⑤原子炉起動

⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

⑦定格熱出力到達

⑤ 原子炉 起動

- 制御棒を引き抜き、原子炉を起動
(制御棒に吸収される中性子が減少し、核分裂反応が開始)
- 205本ある制御棒を順に引き抜き、核分裂反応が連続して発生する臨界状態を確認
- 核分裂反応(臨界)で生じた熱エネルギーによって、徐々に原子炉内の水の温度が上昇
- 原子炉内の水の温度が約100℃に到達すると蒸気が発生し、原子炉内の圧力が上昇
- 原子炉圧力を約7MPa(定格圧力)まで上げ、高温・高圧の蒸気を作り出す
(原子炉水温度: 約286℃)

⑥ タービン起動 発電機仮並列 本並列(1/2)

- 原子炉内の蒸気を高圧タービンおよび低圧タービンに供給し、タービンを起動
- タービンの回転数を「1,500回転/分(定格回転数)」まで上昇させ、異音・振動の有無等、発電していない状態でのタービンの健全性を確認

⑥ タービン起動 発電機仮並列 本並列(2/2)

- 発電機を試験的に送電系統へ接続(仮並列)し、発電機出力を定格電気出力の約20%(約27万kW)まで徐々に上昇させ、発電機の運転状態を確認
- その後、一度送電系統から切り離し(発電機出力を0%に下げる)、タービン保護装置の健全性確認として、タービンの回転を定格回転数以上に上昇させ、自動でタービンが緊急停止することを確認(タービン過速度トリップ試験)
- 再度、発電機を送電系統へ接続(本並列)し、発電機出力を定格電気出力の**約100%(約135.6万kW)**まで徐々に上昇させ、発電機の運転状態を確認する
※1回目の本並列時(P.11)は出力約50%だが、今回は約100%まで上昇させる

⑦定格熱出力到達 (1/2)

①復水器
真空上昇

②原子炉起動

③タービン起動
発電機仮並列・本並列

④中間停止

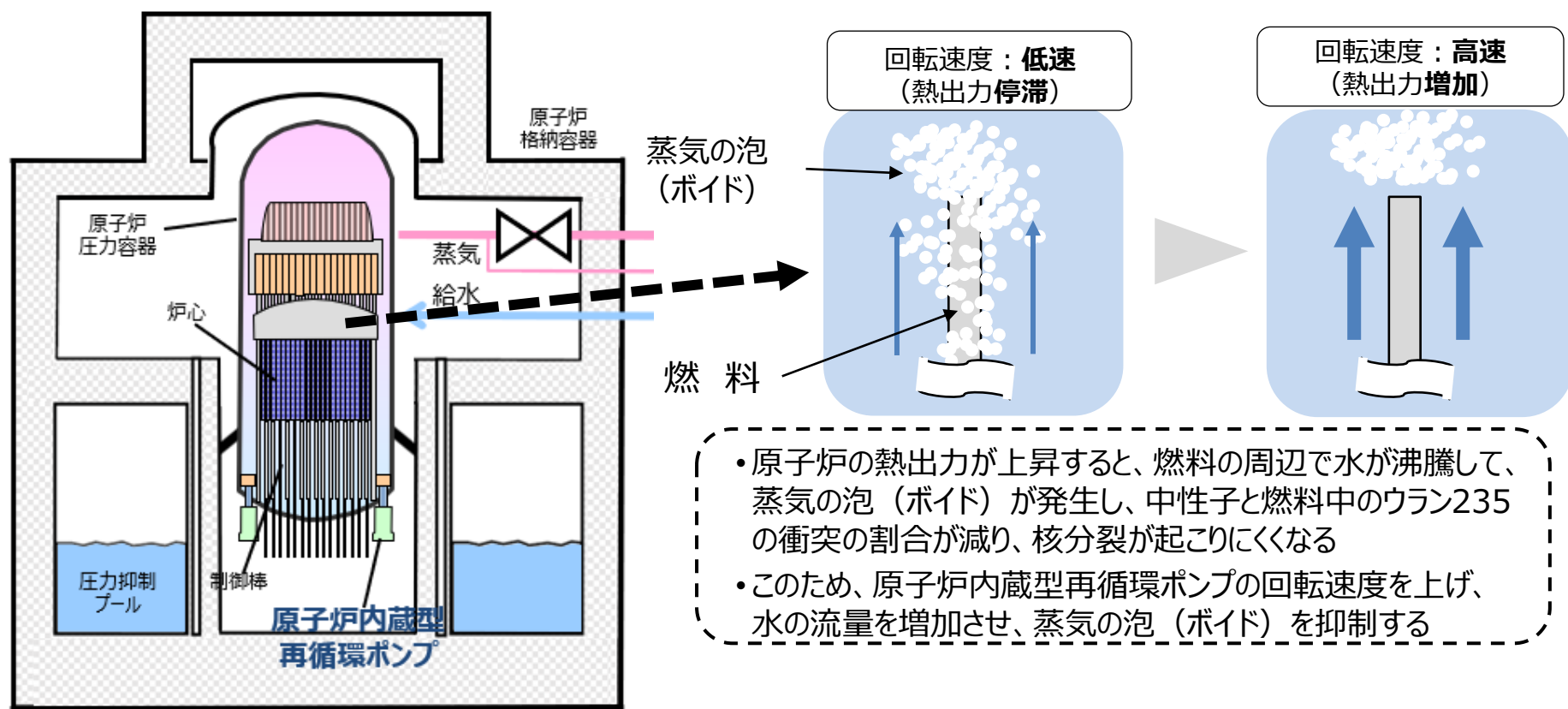
⑤原子炉起動

⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列

⑦定格熱出力到達

- 定格まで熱出力を上昇させるため、原子炉内蔵型再循環ポンプの回転速度を上げ、**炉心を通過する水の流量を増加させ、蒸気の泡（ボイド）を抑制することにより、核分裂を起こしやすくする**
- これにより、炉心の蒸気の泡（ボイド）の量が減り、核分裂が多く起こることで、熱出力が上昇し定格熱出力392.6万kWに到達（定格熱出力一定運転※）

※発電効率向上のために、原子炉で発生する熱を調整し運転中の熱出力を一定にする運転

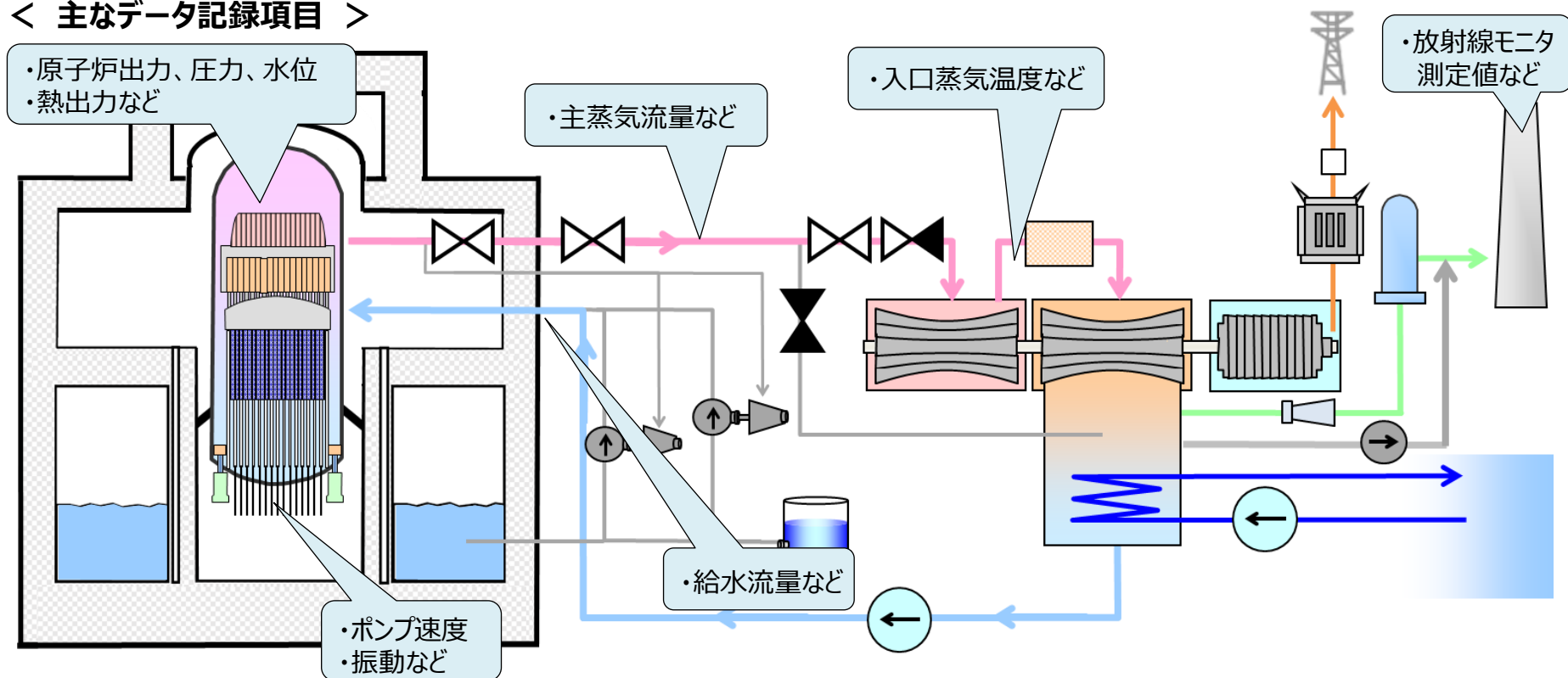


⑦定格熱出力到達 (2/2)

①復水器真空上昇 ②原子炉起動 ③タービン起動
発電機仮並列・本並列 ④中間停止 ⑤原子炉起動 ⑥タービン起動
発電機仮並列・本並列 ⑦定格熱出力到達

- 原子炉が定格熱出力に到達し、運転状態が安定した段階で、使用前事業者検査の最終検査として、各設備の圧力、流量などのデータを記録し、プラント全体が正常に機能していることを総合的に確認 (総合負荷性能検査)
- 本検査にあわせて、原子力規制委員会が使用前確認※を実施
※ 使用前事業者検査が適切に行われ、終了していることを原子力規制委員会が確認
- 確認の結果問題がなければ、原子力規制委員会より使用前確認証が交付され、その時点から営業運転開始となる

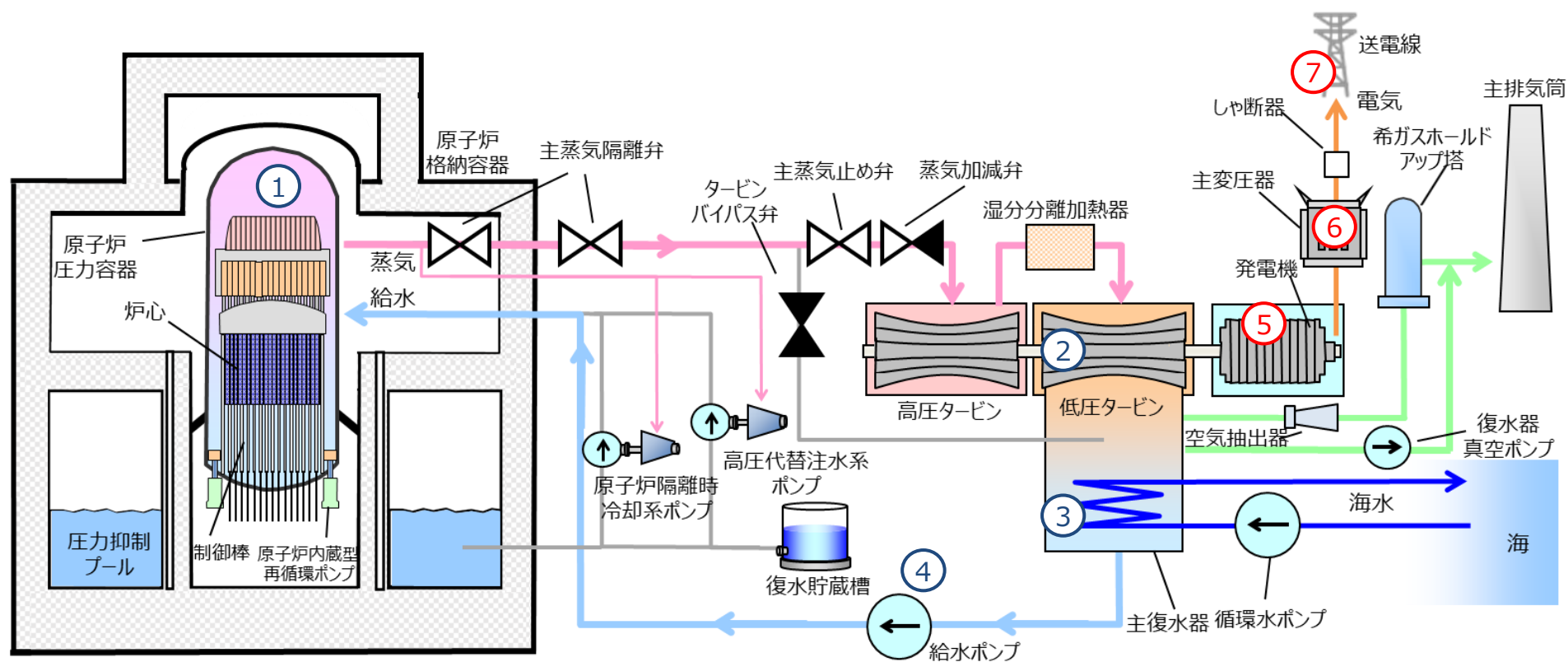
< 主なデータ記録項目 >



6号機の概略図

【蒸気・水の流れ】 ①原子炉 ⇒ ②タービン ⇒ ③主復水器 ⇒ ④給水ポンプ ⇒ ①原子炉

【電気の流れ】 ⑤発電機 ⇒ ⑥主変圧器 ⇒ ⑦送電線



弁の凡例



「開」



「閉」



「調整開」

「開」…弁を開け、蒸気や水が流れる状態

「閉」…弁を閉め、流れを止める状態

「調整開」…流れる量を調整しながら開けている状態