

火力

自然循環ボイラ

構造と原理

ボイラ上部に汽水ドラムがあり、ドラム内の水は下降管を降り、蒸発水管で両側加熱コイルドラムへと戻り、ドラム内の気体はタービンへと送る。気体と液体の密度差によってボイラ内の水の循環は行われる。

使用圧力範囲

亜臨界領域で適用され、 $4 \sim 17 \text{MPa}$ の範囲の圧力で使用される。

上記の理由

圧力が高くなるほど、汽水混合物の気体と液体の密度差が小さくなり、ボイラ内の水の循環力が低下するため、またこのため、ボイラ高さを高くしたり、水管を大きくし管内抵抗を減少せよ必要があるため。

特徴

- 構造が最も簡単で信頼性が高い
- 保水水量が多く蓄熱容量が大きいため、負荷変動による温度変化や蒸気圧力変化が小さく制御が容易。

強制循環ボイラ

ボイラの循環経路に循環ポンプを改造し、強制的に水を循環させる

特徴

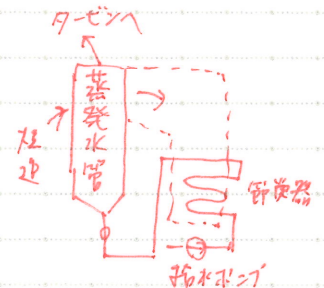
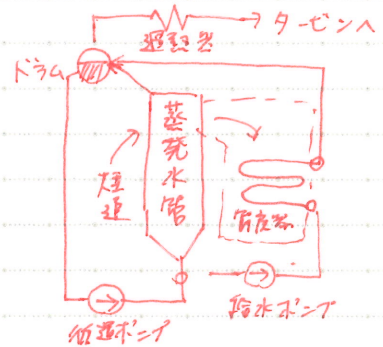
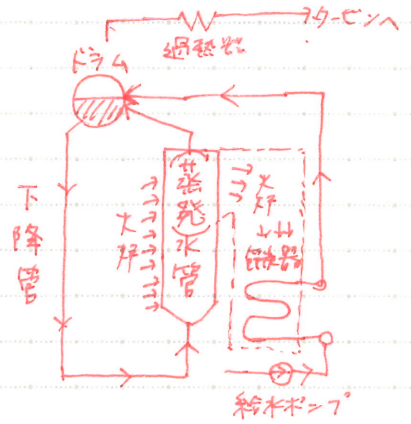
- 自然循環ボイラよりボイラ高さを低くできる
- 水の循環速度が速く、ボイラ寸法が小さいため始動時間が短い
- 水の流量が一定であるため、蒸発器の熱負荷を均一にできる
- 水管の径を小さくできるため、管の重量を低減できる

貫流ボイラ

ドラムや降水管がないボイラで、長い管の一直線から給水ポイントで水を送液し、加熱・蒸発、過熱プロセスによって過熱蒸気として直接タービンへと供給する。

特徴

- ドラムが不要 → 軽量、設計の自由度が高い
- 亜臨界から超臨界圧まで使用可能 (水の臨界圧は 22.1MPa)
- 汽水分離機能がないため、給水の水质管理が必要
- 保水水量が少ないため起動が早い分、蓄熱による負荷への応答性は悪い。



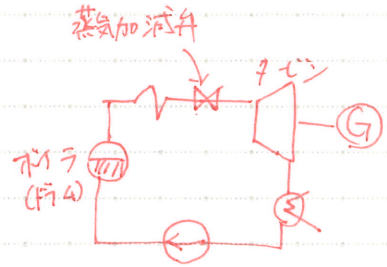
汽力発電所の変圧運転

概要

発電機出力は近似的に蒸気流量に比例し、「蒸気圧力 × 蒸気加減弁の開度」に比例する。

定圧運転：蒸気圧力を一定にし、蒸気加減弁の開度で出力を制御する。

変圧運転：蒸気加減弁を全開にし、主蒸気の下りる変えて出力を制御する。



変圧運転の熱効率特性

- ・ 蒸気加減弁を全開にするため、絞ることに伴う蒸気の断熱膨張が減り、損失が減る。
- ・ 低負荷時は主蒸気圧低 → 給水ポンプの効率が軽減
- ・ 部分負荷時、圧力を下げたため、材料寿命が伸びる。

汽力発電所の周波数低下

・ 発電所出力変動とボイラ、タービンへの影響および留意

運転中に系統周波数が低下した場合、タービンの同期速機により蒸気加減弁が開き、主蒸気量を増し発電機出力を増加させる。またボイラモニに注意する。過負荷時はタービンのスラット、翼の振動、各種弁の開度と留意。

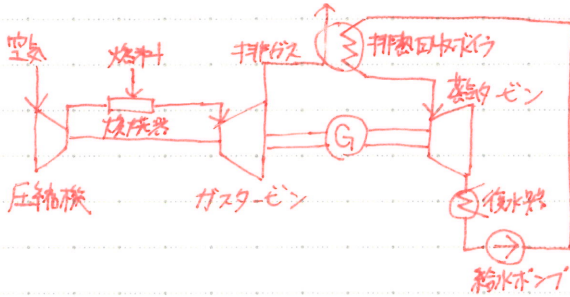
・ 所内補機への影響および留意

系統周波数が低下している場合、給水ポンプ、復水器冷却ポンプなどの回転数も低下するため、吐出圧力や流量低下、蒸気圧力の低下を招き、発電所出力が低下する。このためボイラの流量、復水器の長さなどに留意。

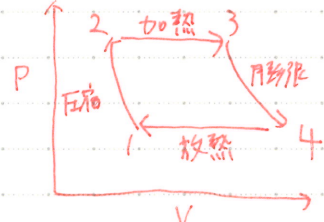
・ 周波数低下が大きいと、発電機を解列する理由

系統周波数低下が大きい際、電圧の長い低圧タービン動翼の固有振動数と運転周波数の整数倍とが一致し共振が起る。これによるタービン翼の破壊・損傷が発生する可能性があるため、汽力発電所では低周波数運転限度を設け、発電機を解列させる。

コンバインドサイクル発電



ブレイトンサイクル



1 圧縮機 → 2 燃焼器 → 3 タービンの放電 → 4 凝縮器

原理

ガスタービン：ブレイトンサイクル
蒸気タービン：ランキンサイクル

1500℃程度ガスタービン発電を行い、排熱を排熱回収ボイラで回収し、蒸気タービン発電を行う。

効率

ガスタービンを効率 η_g 、蒸気タービンを効率 η_s とすると

$$\text{熱効率 } \eta = \eta_g + (1 - \eta_g)\eta_s$$

$$(30\%) + (1 - 30\%) \times 40\% \approx 55\%$$

特徴

- 熱効率が55%と高く、CO₂排出量が少ない
- 小容量の単体機を複数組み合わせているため、起動・停止が容易で、負荷変動に即応できる。
- 負荷が少ない時は、運転台数を削減可能で、常時定額出力レベルの高効率運転ができる。

気温が最大出力に及ぼす影響

ガスタービンの圧縮機が吸入する空気の体積は一定であるが、気温の上昇で空気は膨張し、密度が小さくなる。すると燃焼に用いる空気が減り、燃料投入量も少なくなり、ガスタービンの出力が低下する。これは排気量も減るため、排熱回収ボイラによる蒸気発生量が減り、蒸気タービン出力も低下することから、プラント全体の最大出力が低下する。

上記改善策

- 吸気に水を噴霧し、蒸気潜熱によって吸気温度を低下させた。
- 水の蒸気潜熱で空気を冷やしてエバポレータ方式
- 冷却コイルに冷水を供給して空気を冷やして方式
- 排熱回収ボイラに助燃バーナーを設置し、蒸気タービン出力を改善する。

ガスタービン^①の環境対策

ガスタービン燃焼装置の窒素酸化物 (NO_x) には以下2つがある

- ① F_2 -IL NO_x : 燃焼中の窒素による
- ② C -IL NO_x : 燃焼用空気中の窒素による

①の対策

LNG (液化天然ガス) や LPG (液化石油ガス) など窒素の少ない燃料を使用する。
↑↑↑

②の対策

概要: C -IL NO_x は燃焼温度を低下せよとがポイント

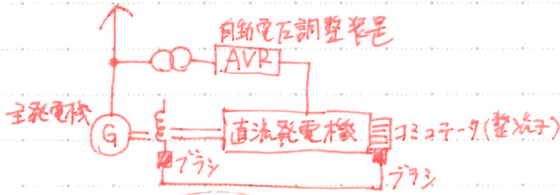
- ・ 水噴射法: 燃焼用空気に水または蒸気を噴射し、局所的な高温燃焼を抑制する。 NO_x 濃度を 30~50% 低減できるが、熱効率の低下や高純度の噴射水が必要。
- ・ 予混合式燃焼器: 燃焼用の空気を二段階に分け、緩慢な燃焼を行わせる燃焼器。二段目で燃料と空気を十分に混合しておき着火させたため燃焼温度の均一化、低減化が図られた。

その他の対策

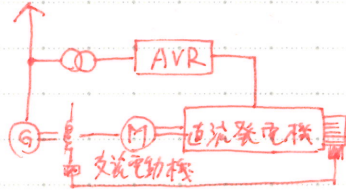
- ・ 排煙脱硝装置: タービン分の排ガスにおける NO_x を、触媒を用いることで N_2 と H_2O に還元する。

タービン発電機の励磁方式

・直流励磁方式



直括形



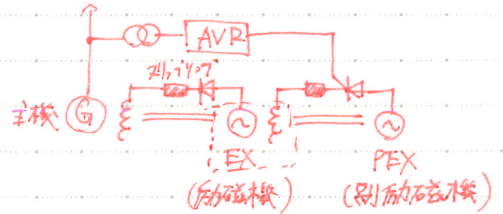
別置形

励磁電流をブラシとスリップリングを介して供給し、また直流発電機側もダイオードとブラシを用いるため、保守性に問題あり。事故時は採用しない

・交流励磁方式

励磁装置の電源に同期発電機を用い、整流装置で直流に整流しスリップリングを介して主機の界磁巻線に供給する。

他励式：副励磁機もしくは励磁用変圧器で励磁電流を交流励磁機に供給
 自励式：交流励磁機の出力を界磁電流の電源として利用



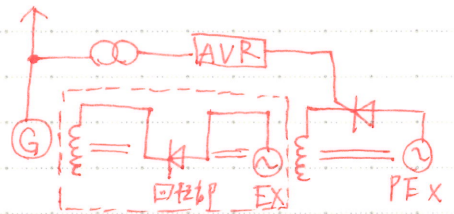
整流子がなく、回転部分や接触面がないため、保守・点検が容易。

交流励磁機が過剰要素となるため、応答速度が遅くなる。この対策で整流装置にサイリスタを用い、頂上電圧を高くする。

・ブラシレス励磁方式

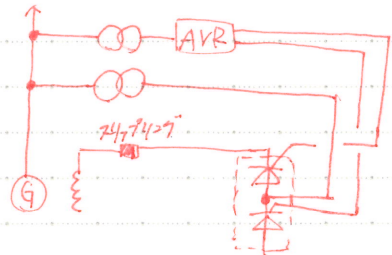
タービン発電機と同一回転軸上に回転電機子形の同期発電機と整流器を取り付け、スリップリングを介して直接タービン発電機の界磁巻線に電流を供給する。

ブラシがないため、ブラシの点検や取替が不要で、整流子もないため保守も不要。一方、整流子が大きい速い力を受けるため、強磁が必要



・サイリスタ励磁方式 (静止励磁方式)

励磁装置に励磁用変圧器、励磁用交流器とサイリスタを用いた方式。主発電機の出力の一部を利用してサイリスタによって整流して直流を得る。回転機の慣性が入らないため、感度よく速応性があり、可動部・接触部がないため、信頼性、保守性が高い。



発電機の励磁装置の基本機能

- ① 界磁巻線に直流電流を流して、磁束を発生させ、同期発電機の電圧を定む。
- ② 電圧・周波数の変化幅内での最大界磁電流を供給できる。

過渡安定度の向上効果の高い励磁方式

[方式] サイリスタ励磁方式 (静止励磁方式)

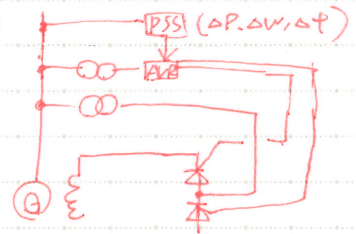
- [理由] 過渡安定度を高めるためには、励磁装置の剛性を高める必要がある。
- ・ 励磁装置として時定数が小さい (交流励磁機でない)
 - ・ 励磁装置の出力電圧を高くすることで利得定数が増える。

PSS (Power System Stabilizer) について

[背景] サイリスタ励磁方式などで系統事故に対する動揺に不利であるが、第2波以降の減衰が悪くなり (ハンダグが伸びる)、振動が長時間におちついてしまう。

[役割] このような弱制動現象の抑制のため、励磁を動的に調整し、動揺の減衰力を高めるのがPSSの役割である。

[機動] PSSは発電出力変化 (ΔP)、回転速度 ($\Delta \omega$)、周波数変化 (Δf) のいずれかもしくは組み合わせで補助信号となり、これをAVR (Automation Voltage Regulator) の電圧偏差信号に加えることにより制御効果とし、動揺工に抑制する。



タービン発電機の進相運転

[進相運転の目的] 高圧ケーブル、地中ケーブルの充電容量、需要家の力率改善コンデンサにより、近年は進み無効電力を多く消費するようになっている。よって夜間などの軽負時、反進相効果による受電端電圧の上昇が起る。

[進相運転の効果] 低励磁で進相運転することにより、無効電力を吸収し、系統電圧の上昇を抑制する。

- [留意点]
- ① 励磁電流の減少により、同期力 (出力) が減少し、定態安定度が下がる。
 - ② 電機子電流が増加して回転子鉄心端部の漏れ磁束が増え、鉄心端部に過電流が流れ温度上昇が下がる。
 - ③ 発電機端子電圧が低下するため、補償の能力が低下する。

- [対策]
- ① 安定度向上のためPSS付の超速励磁装置を設置する。
 - ② 不足電圧励磁抑制比装置 (UEL) を使用する。

