

---

# エネルギー論第5回目 火力発電の仕組み

千葉大学電気電子工学科

劉 康志

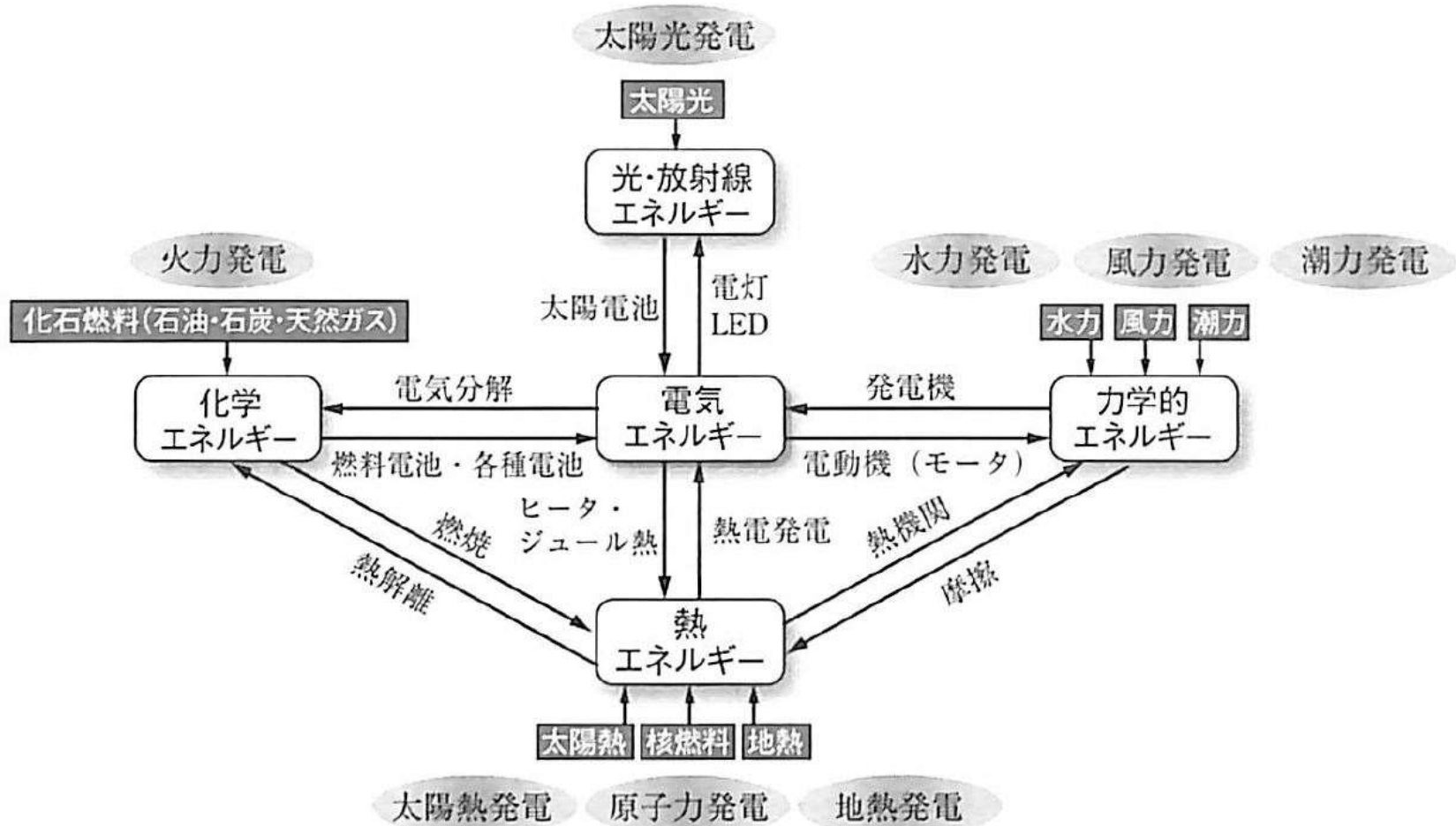
2016年5月11日

# 講義内容

---

- 火力発電の基本的な流れ
- 熱力学の基礎
  - 熱力学第1法則
  - 熱力学第2法則
  - カルノサイクル
  - エントロピー
- ランキンサイクル
- 火力発電用蒸気タービン
  - 基本構成
  - 複合サイクル

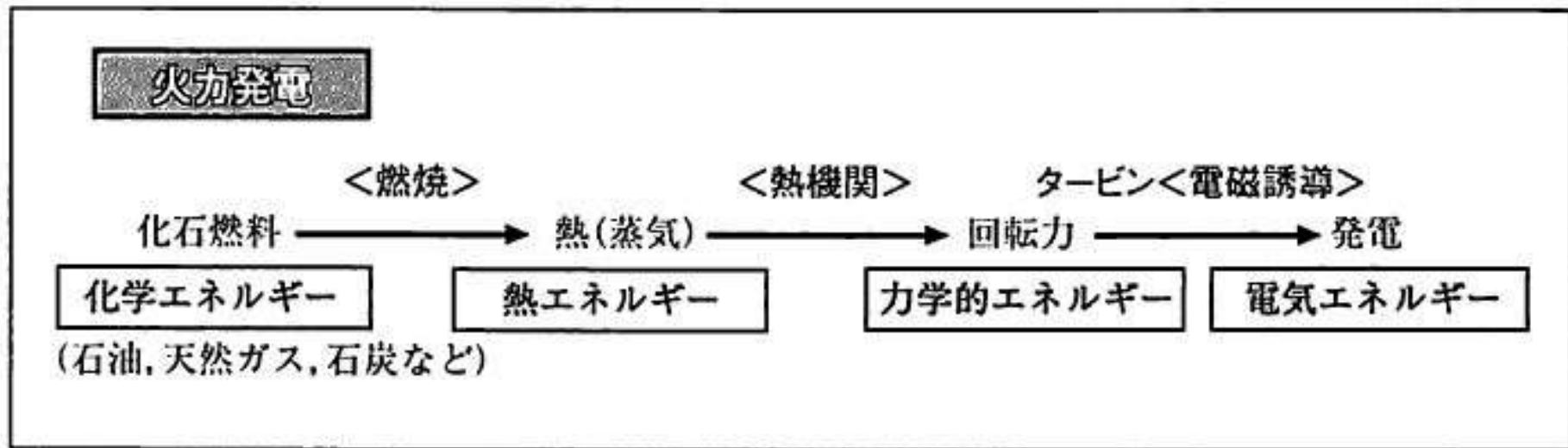
# エネルギーの相互変換



● 図 4・1 エネルギーの相互変換のありかた ●

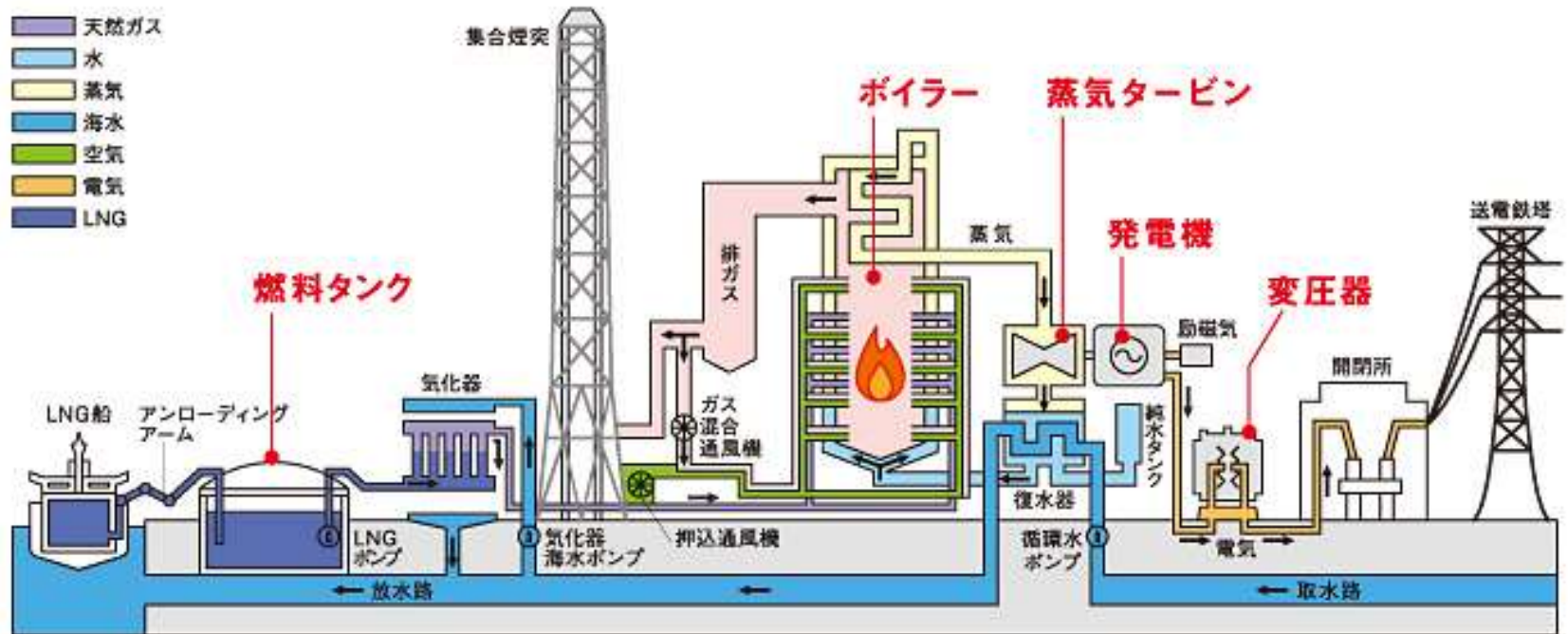
# 火力発電の流れ

- 化石燃料を燃焼(化学エネルギー)
- 蒸気を発生(熱エネルギー)
- タービンを回転(力学的エネルギー)
- 発電(電気的エネルギー)



○ 図 4・2 発電方式に伴うエネルギー変換 ○

# 火力発電の例



蒸気発生用淡水の量は一定、  
熱交換系は閉じたシステムだ

出典: 東京電力

# 火力発電の例

---

- 千葉県にある発電所：富津発電所





# 熱力学の基礎

---

- 絶対温度  $T[K] = 273 + t[C]$
- 熱量 $Q[J]$  物体間で熱として移動するエネルギー量  
熱量変化 $dQ =$  水の質量 $m \times$  温度変化 $dT$

- ボイル・シャルルの法則(理想気体)

$$\frac{PV}{T} = \text{気体定数}$$

- 等圧変化  
圧力一定、外部から熱が加わると体積が温度と共に上昇
- 等温変化  
温度一定、内部エネルギーは変化しない
- 断熱変化(エントロピー不変)  
外部との熱変換はなし、膨張or圧縮

# 熱力学の法則

---

- 熱力学第1法則(エネルギー保存則)  
エネルギーの形態は変わるが、総量が不変。

$$dQ = dU + dW$$

$dQ$ : 外部から受けた熱量

$dU$ : 内部エネルギーの増加量

$dW = pdV$ : 外部に行なった仕事

- 別表現:  
熱も仕事もエネルギーの一種、相互変換が可能。
- 第1種永久機関の否定:  
エネルギーを消費せずに動力を発生できる機関はあり得ない



# 熱力学の法則

- 熱力学第2法則(エネルギー変化の方向性)  
エネルギーはエントロピー増大の方向へ流れる

$$dS = \frac{dQ}{T} > 0$$

すなわち、気体が持つ熱量は必ず減る方向へ変化

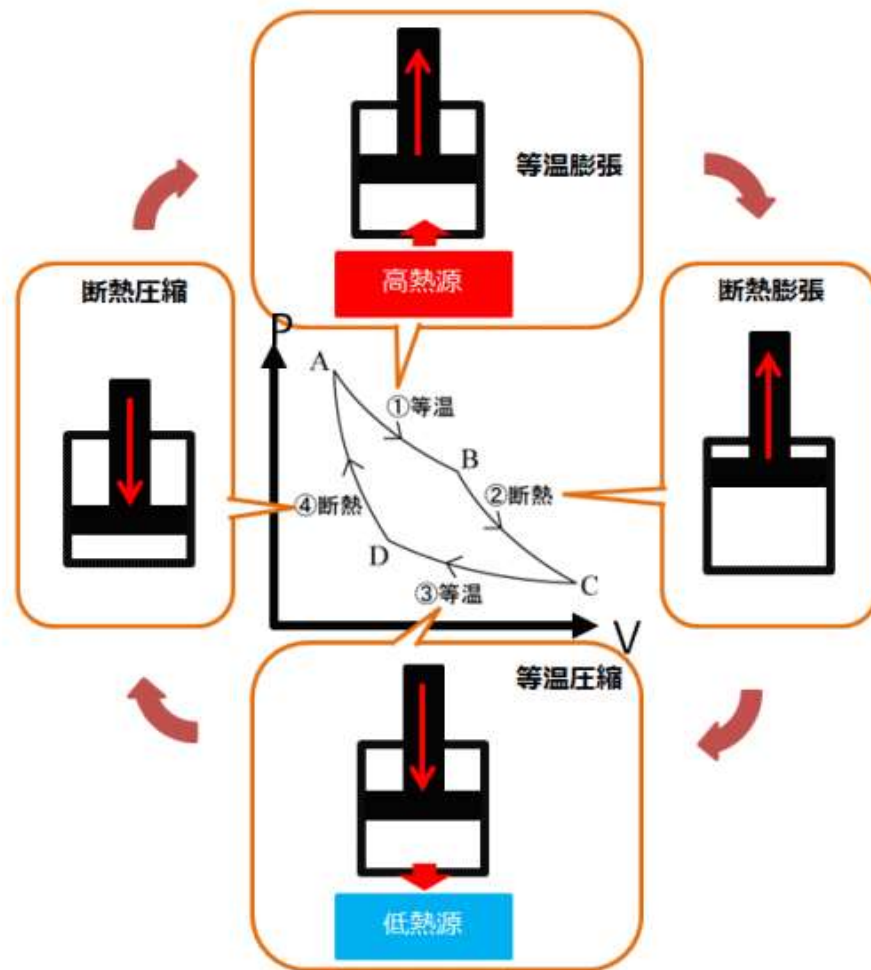
- 別表現
  - Thomsonの表現: 熱エネルギーを100%機械的仕事に変換できない。  
➡ Ostwaldの原理: 第2種永久機関はありえない
  - Clausiusの表現: 熱は高い温度から低い温度へしか流れない。
  - Planckの表現: 摩擦による熱発生は不可逆だ。

# Carnotサイクル

- サイクルとは  
物理系がある状態から出発、様々な状態変化をしたのち、再び元の状態に戻る。

- Carnotサイクル  
理想的なサイクル

- A→B: 外部から熱を受け取り、  
等温膨張
- B→C: 外部に仕事を行い、断熱  
膨張 (等エントロピー)
- C→D: 外部へ熱を放出、等温圧縮
- D→A: 断熱圧縮 (等エントロピー)



# Carnotサイクル

## ■ 効率

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

## ■ $Q_2$ : 熱損失

T-S図の長方形

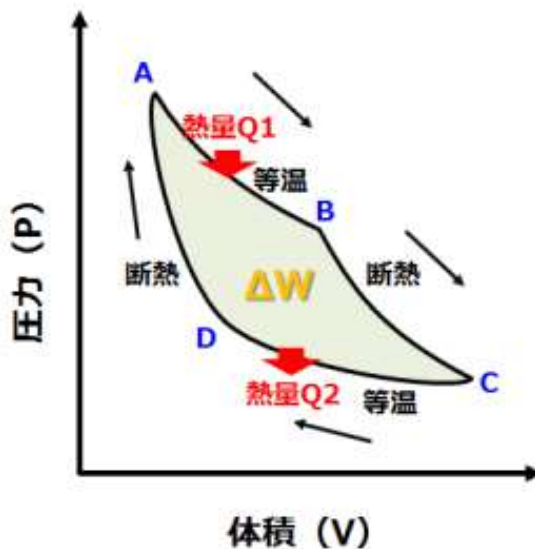
$S_1DCS_2$ の面積

## ■ 効率改善の方策

1) 冷却水温度  $T_1$   
を下げる

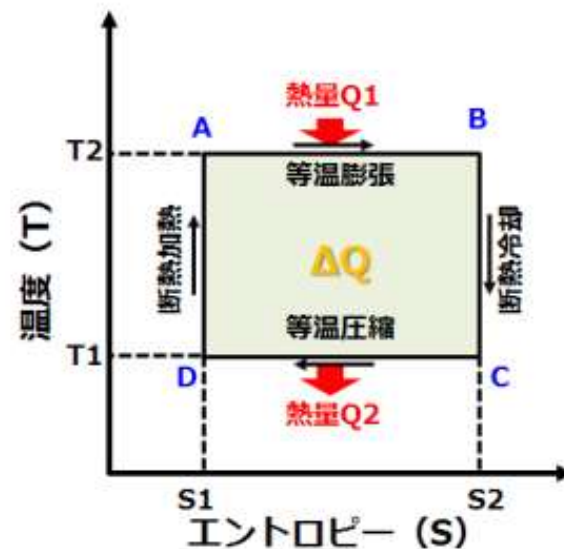
2) 膨張時の温度  
 $T_2$ を高める

カルノーサイクル P-V線図



$$\Delta W = P\Delta V$$

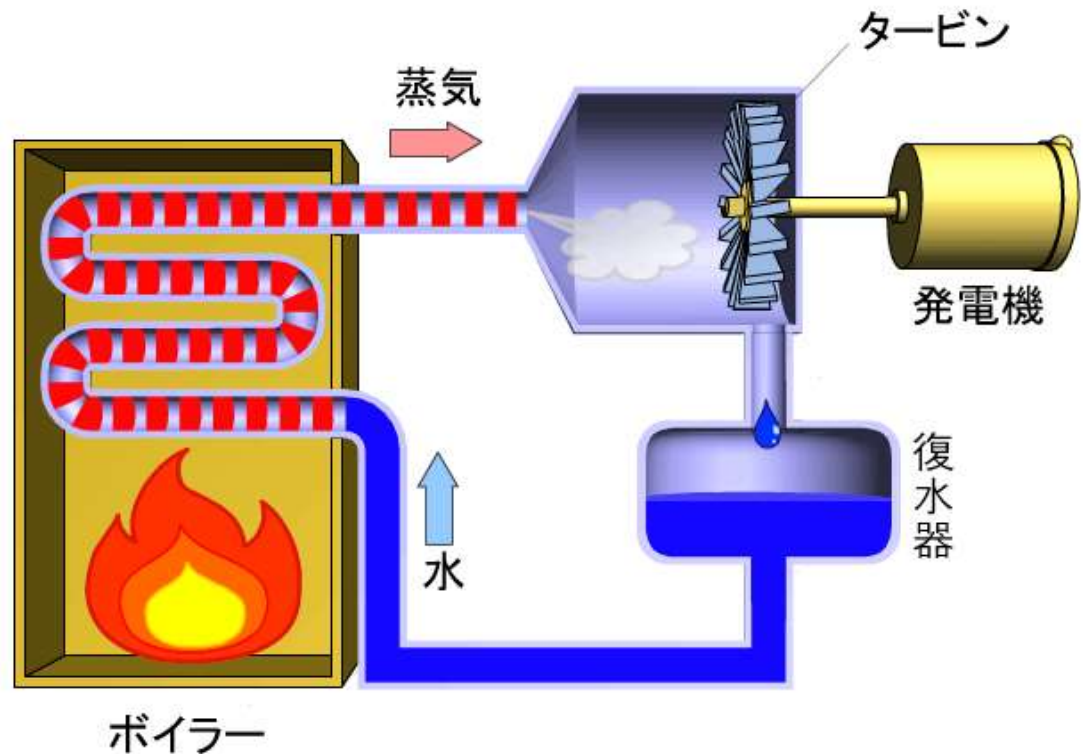
カルノーサイクル T-S線図



$$\Delta Q = T\Delta S$$

# Rankineサイクル

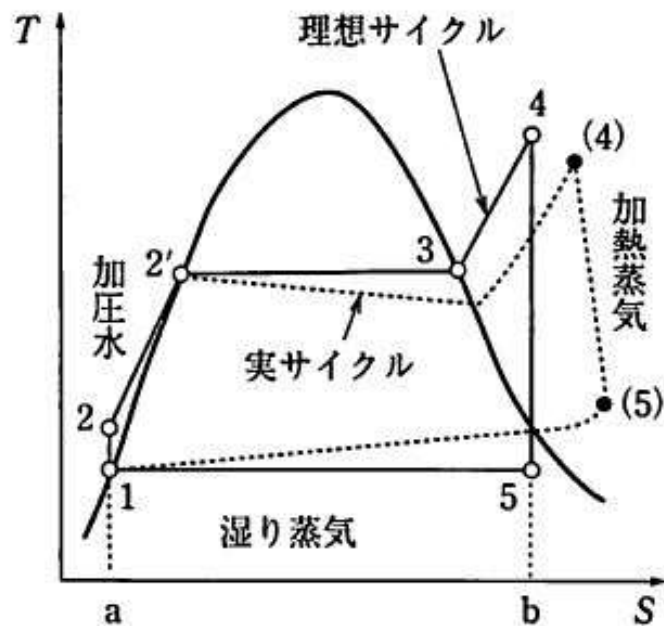
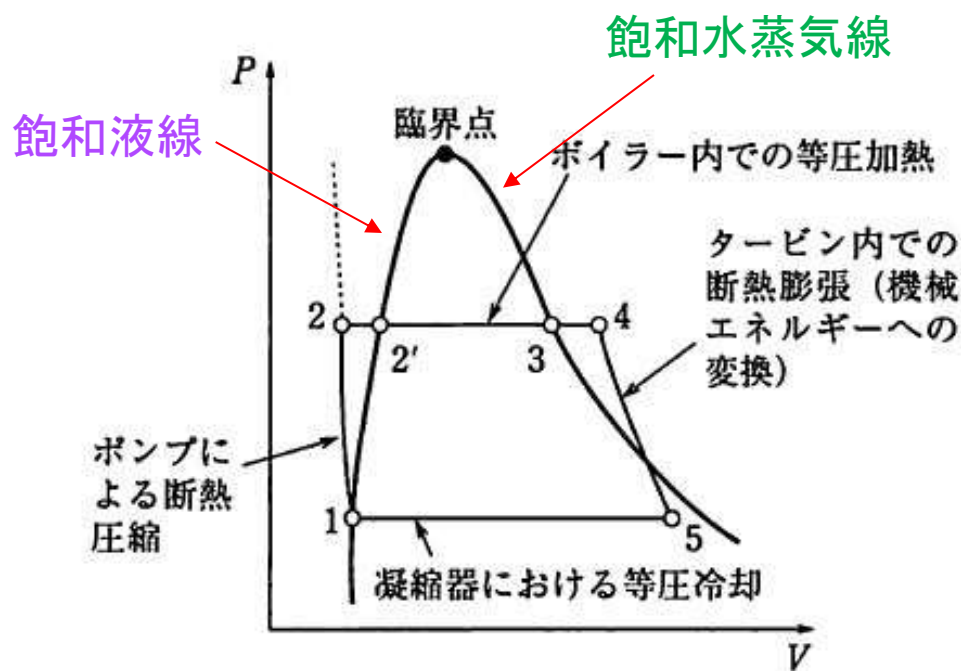
- 蒸気タービン: 作動流体は水、その蒸発や凝縮といった相変化を含むサイクル
- ポンプ  
断熱圧縮
- ボイラー  
等圧加熱
- タービン  
断熱膨張、タービンを回転させる
- 復水器  
等圧冷却



# Rankineサイクル

## ■ 理論熱効率 $\eta_R$

$$\eta_R = \frac{\text{面積}122'345}{\text{面積}a122'345b}$$



◎ 図4・6 ランキンサイクルの働き ◎



# 蒸気タービン

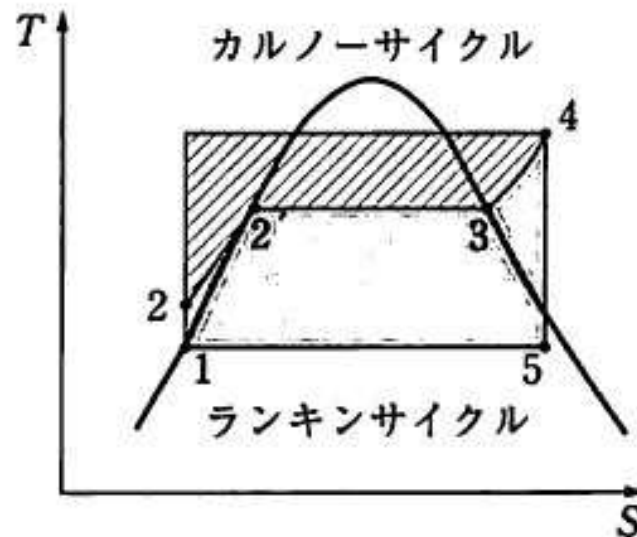
---





# 効率改善策

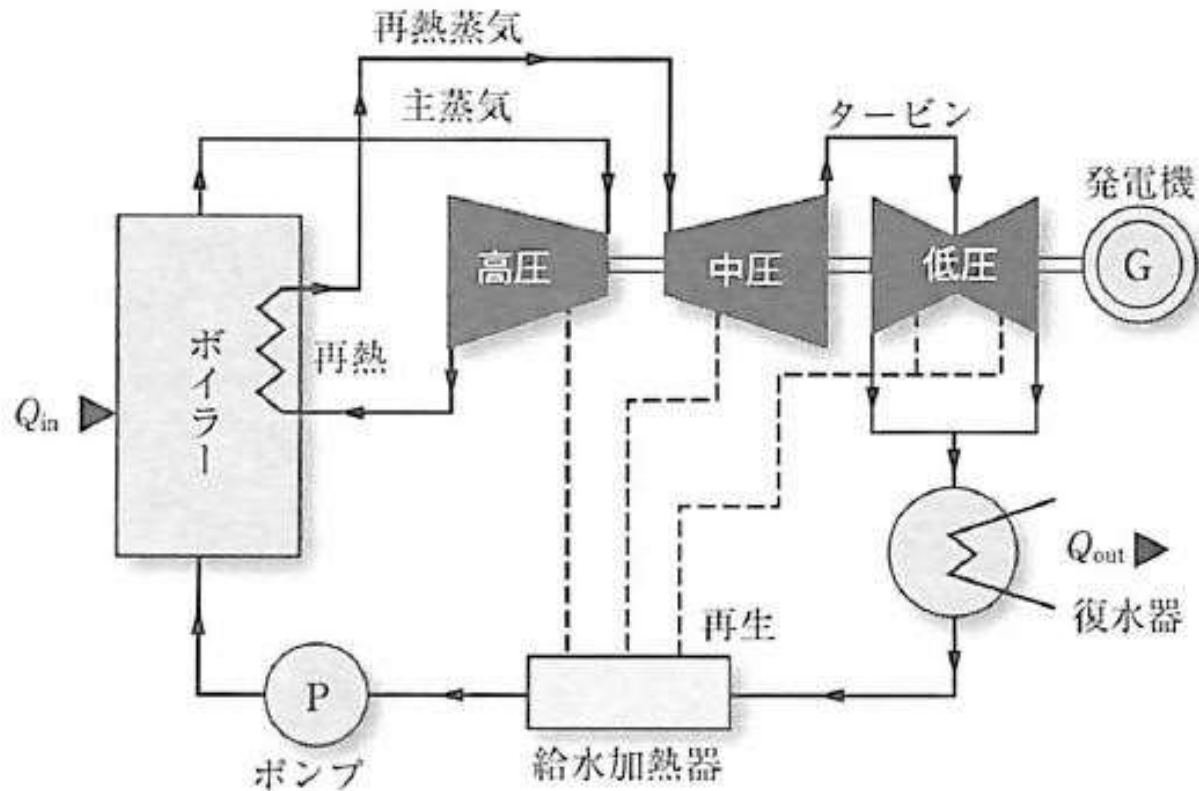
- 基本原理  
Carnotサイクルに近づける
- 斜線部を減らす
  - 1)タービン入口の温度・圧力を高める
  - 2)冷却水の温度を下げる



◎ 図 4・7 T-S 線図におけるカルノーサイクルとランキンサイクルの比較 ◎

# 再熱・再生サイクル

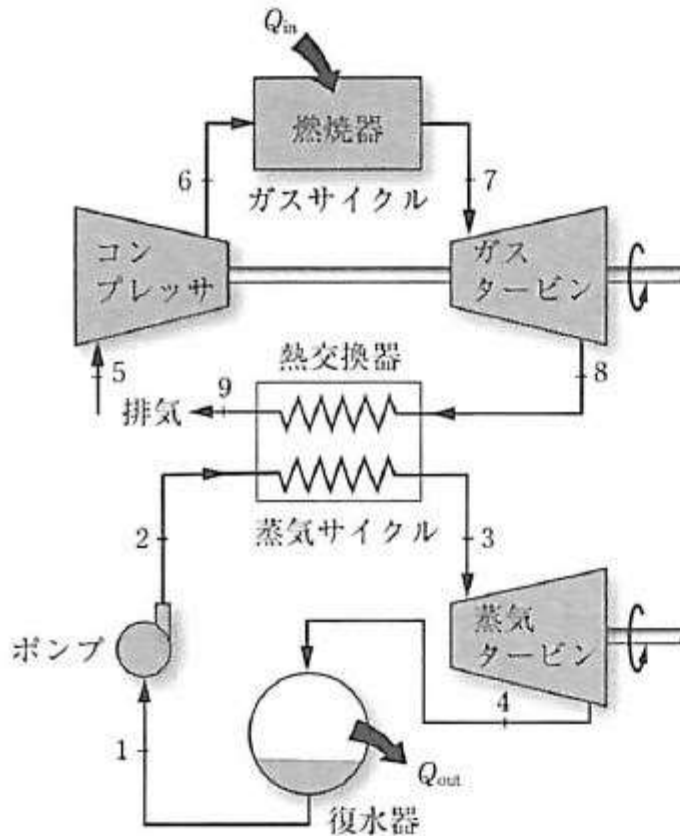
- 再熱サイクル:タービンからの蒸気を再熱、タービンに戻す
- 再生サイクル:タービンからの蒸気を給水の予熱に使用



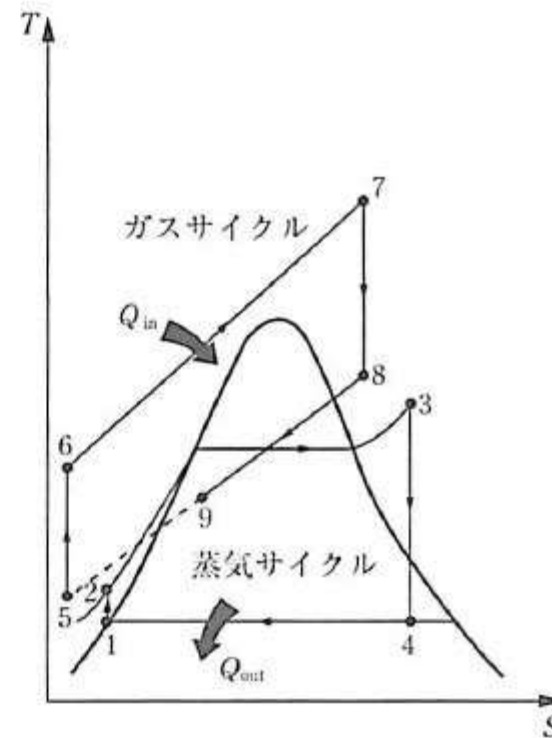
● 図 4・8 実際の蒸気タービン発電 (ランキンサイクル) の構成 ●

# 複合サイクル

- 蒸気タービンとガスタービンを複合する
- 50%以上の効率を達成



(a) 複合サイクルの構成



(b) T-S 線図

● 図 4・10 複合サイクル (コンバインドサイクル) ●

# まとめ

---

- 火力発電の基本的な流れ
- 熱力学の基礎
- ランキンサイクル
- 火力発電用蒸気タービン
  - 基本構成
  - 効率向上策

良い参考資料

FNの高校物理

**熱機関の効率(蒸気動力サイクル)**

[http://fnorio.com/0103heat\\_engine%28steam\\_cycle%291/heat\\_engine%28steam\\_cycle%291.htm](http://fnorio.com/0103heat_engine%28steam_cycle%291/heat_engine%28steam_cycle%291.htm)