

熱力学

機械工学概論 第12回

温度の単位

- 摂氏温度 t ($^{\circ}\text{C}$) と華氏温度 t_f ($^{\circ}\text{F}$) の関係

$$t = 5/9 (t_f - 32)$$

摂氏 温度	0	30	36	37.8	39	100
華氏 温度	32	86	96.8	100	102.2	212

- 絶対温度

$$T = t + 273.15 \text{ [K] (ケルビン)}$$

熱はエネルギーの一種

各種エネルギー

- 機械的エネルギー（力学的エネルギー） $W = F X$
- 運動エネルギー $E = \frac{1}{2} m v^2$
- 位置エネルギー $E = mgh$
- 容積エネルギー $E = p V$
- 熱エネルギー
 - エンタルピ $H = U + p V$ U : 内部エネルギー ($pV = mRT$)
- 電気エネルギー
- 化学エネルギー

他

SI単位におけるエネルギーの単位 J (ジュール)

機械的工作 1 Nの力で1 m動かすときの仕事= 1 J

熱エネルギー(熱量)

比熱(J/kgK) × 質量(kg) × 温度(K)

※比熱：物体の単位質量を 1 °C上昇させるのに必要な熱量

水の比熱 約4.2kJ/kgK

熱容量 = 比熱(J/kgK) × 質量(kg)

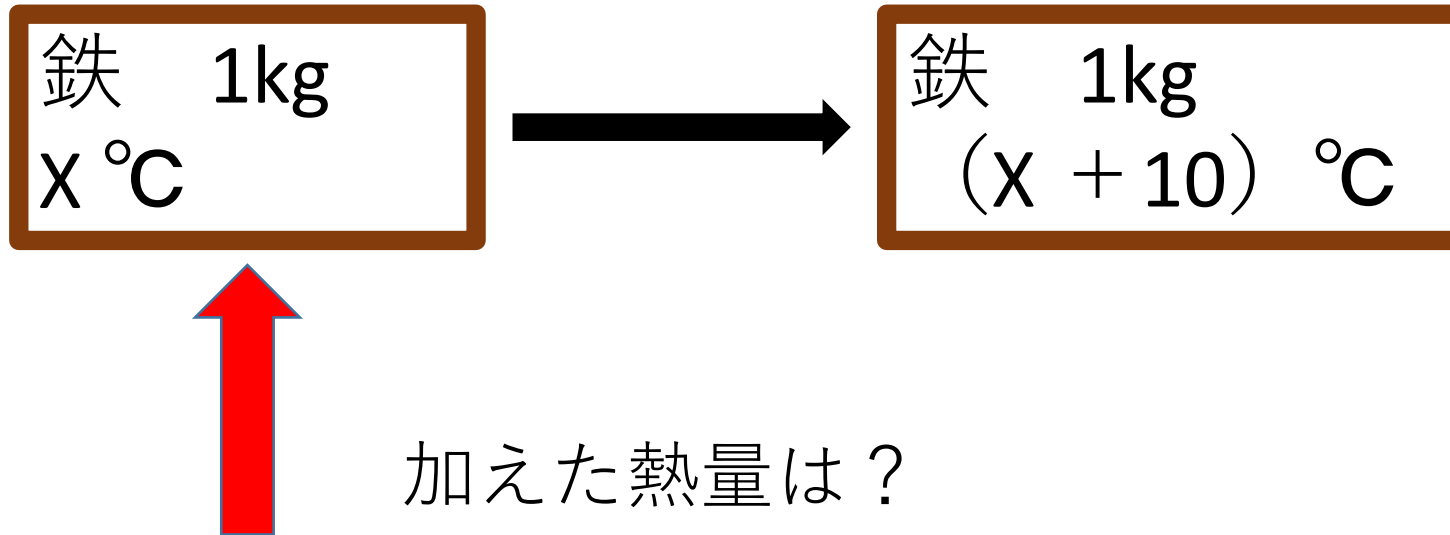
※熱容量：物体を 1 °C上昇させるのに必要な熱量

さまざまな物質の比熱

物質	比熱 (J/kgK)
水	4186
空気 (乾燥)	1005
アルミニウム	900
ガラス	677
鉄	444

水	1000 kg/m ³
空気	1.293 kg/m ³
鉄	7874 kg/m ³
アルミニウム	2700 kg/m ³

例題 問 1



加えた熱量は？

$$\begin{aligned} & \text{比熱}(\text{kJ/KgK}) \times \text{質量}(\text{kg}) \times \text{上昇温度}(\text{K}) \\ & 0.437 \times 1 \times 10 = 4.37 \quad \underline{4.37 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

例題 問 3

鉄から水に移動した熱量

水が受けた熱量 = 鉄が渡した熱量

$$4.2 \times 1 \times (T - 20) = 0.437 \times 0.5 \times (150 - T)$$

鉄 0.5kg
150 °C

水 1kg
20 °C

何°Cになる？

水 1kg
? °C

鉄 0.5kg
? °C

容積 20m^3 の部屋(約6畳)の温度を 15°C から 25°C にするには？

部屋の空気の質量 $20 \times 1.3 = 26 \text{ kg}$ ※空気の密度 約 1.3 kg/m^3
必要な熱量 $1000 \times 26 \times (25-15) = 260 \text{ kJ}$ ※空気の比熱 約 1000 J/KgK

何kgのお湯(30°C)で暖められるか？

X kgのお湯で暖められるとすると、

$$260 \times 1000 = 4186 \times x \times (30 - 25) \quad \text{※水の比熱 } 4186 \text{ J/KgK}$$

X = 12 12kgのお湯で温められる??

実際には、壁、床、家具の熱容量も加える必要がある。

熱力学の第 1 法則

- 熱エネルギーと機械的仕事は、本質的に同一なエネルギーの形態であり相互に変換することが可能である。
- ひとつの系が保有するエネルギーの総和は、外部との間に交換がない限り一定不変であり、外部との間に交換があれば授受した量だけ減少または増加する。

$$dQ = dU + dW$$

(dQ :系に加えた熱量, dU :内部エネルギー増加量, dW :系が外部に対してした仕事)

つまり、エネルギーは何もないところから発生したり、外部に影響を与えることなく消失することはない、ということ。

熱エネルギー、電気エネルギー、力学的エネルギーの間の相互変換

機械的工作 1 N の力で 1 m 動かすときの仕事= 1 J

運動エネルギー $\frac{1}{2}mv^2$

位置エネルギー mgh

仕事率 $1\text{ W} = 1\text{ J/s}$ (1 s に 1 J の仕事をする)

問 1 湯沸かし器を使ってコーヒー1杯分の湯を沸かしたい。ヒーターには”200W”と表示されている。これは電気エネルギーから熱エネルギーへのエネルギー移動率が200Wであることを示す。熱の損失はないとすると、水100gの温度を23℃から100℃に上げるために必要な時間はいくらか？ 水の比熱を4190 J/kgKとする。

$$200 \text{ W} = 200 \text{ J/s}$$

$$\text{必要な熱量} \quad 0.1 \text{ kg} \times 4190 \text{ J/kgK} \times (100 - 23) \text{ K} = 32263 \text{ J}$$

$$\text{必要な時間} \quad 32243 \text{ J} / 200 \text{ W} = 161 \text{ s}$$

161秒

容積 20m^3 の部屋（約 6 畳）の温度を 15°C から 25°C にするには？

部屋の空気の質量 $20 \times 1.3 = 26 \text{ kg}$ ※空気の密度 約 1.3 kg/m^3

必要な熱量 $1000 \times 26 \times (25-15) = 260 \text{ kJ}$ ※空気の比熱 約 1000 J/KgK

1500Wのドライヤーで何秒かかるか？

$$260 \times 1000 / 1500 = 173$$

173 秒で暖められる??

実際には、壁、床、家具の熱容量も加える必要がある。

力学的エネルギーから熱エネルギーへの変換

機械的工作 1 N の力で 1 m 動かすときの仕事 = 1 J

位置エネルギー mgh ($mg(\text{N})$ の力で $h(\text{m})$ 動かす)

1 kg の物体を 1 m 持ち上げるのに必要なエネルギーは

$$1 \times 9.8 \times 1 = \text{約 } 10\text{ J}$$

逆に考えると、

1 kg の物体を 1 m 下向きに降ろすことで
約 10 J のエネルギーを発生できる。

問2 水を入れた魔法瓶を振って湯を沸かそうと考えた。蛇口から出る水の温度は15℃、1回の振りで水は30cm落下し、毎分30回魔法瓶を振る。魔法瓶で熱エネルギーは失われなるとすると、水を沸騰させるまでにどれだけ時間がかかるか？水の比熱を4190 J/kgKとする。

水の質量を m (kg) とする。

1回の振りで生じる熱量 $mgh = m \times 9.8 \times 0.3 \quad \cdot \cdot \cdot \textcircled{1}$

沸騰に必要な熱量 $m \text{ kg} \times 4190 \text{ J/kgK} \times (100 - 15) \text{ K} \quad \cdot \cdot \cdot \textcircled{2}$

沸騰させるために何回振ればよいか

$$\textcircled{2} \div \textcircled{1} = 121140 \text{ 回} \Rightarrow 2.8 \text{ days}$$

教p.146 8.1

時速 90 kmで走っている質量5000 kgのトラックが急ブレーキをかけたとき、発生する熱を求めよ。ただし、運動エネルギーがすべて熱に変わるものとする。

$$m = 5000 \text{ kg}, \quad v = 90 \times 10^3 / (60 \times 60) = 25 \text{ m/s}$$

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 5000 \times 25^2 = 1.56 \times 10^3 \text{ kJ}$$

20°Cの水を何kg 沸騰させられるか？

水の比熱 約4.2kJ/kgK

$$1.56 \times 10^3 / 4.2 / (100 - 20) = 4.6 \text{ kg}$$

280 km/hで走行中の新幹線を止める際に放出されるエネルギーは？

- 新幹線(16両編成) 約700 t、定員1323名
- 60kgの人が1000名乗っているとすると、760 t

280 km/h = 78 m/s

運動エネルギーは $\frac{1}{2} \times 760 \times 1000 \times 78^2 = 2.3 \times 10^9$ (J)

230 s で止まるとすると、放出されるエネルギーは
毎秒 1×10^7 (J) = 10000 kW

1500Wのドライヤーに換算すると、

$1 \times 10^7 / 1500 = 6700$ (本)

さまざまな暖房器具

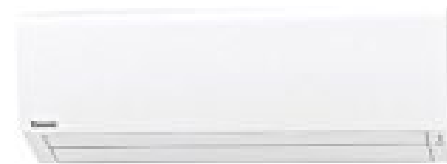
- 石油ストーブ・ガスファンヒーター
- パネルヒーター、ハロゲンヒーター

化学エネルギー
電気エネルギー



1000 Wのハロゲンヒーターの例

- エアコン 電気エネルギー



エアコンの例
平均消費電力 約470 W

エアコンの商品説明の例

冷房

- 畳数のめやす:6~9畳(10~15平方メートル)
- 能力:2.2(0.5~2.8)kW
- 消費電力:635(135~720)W

暖房

- 畳数のめやす:5~6畳(8~10平方メートル)
- 能力:2.2(0.4~4.0)kW
- 消費電力:470(125~1220)W
- 外気温2°C時の暖房能力:2.9kW



ヒートポンプ (温度の低い所から高い所に熱を移動させる機械)

1 の電力 + 6 の大気熱 → 7 の熱エネルギー (家庭用エアコン暖房の一例)



一般財団法人 ヒートポンプ・蓄熱センターHPより

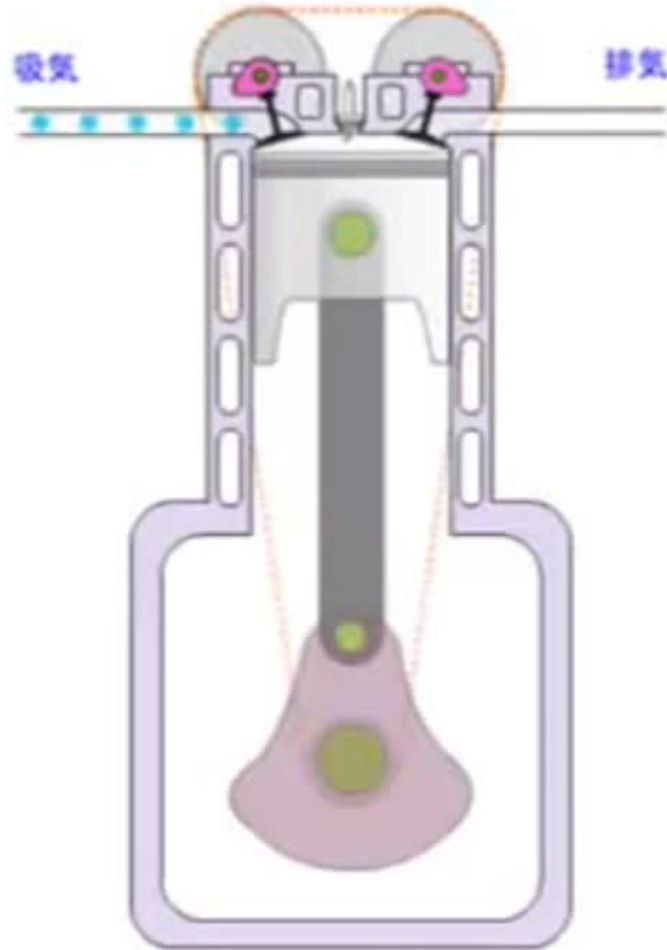
エンジンの仕組み

ガソリンエンジンの
熱効率は何％？

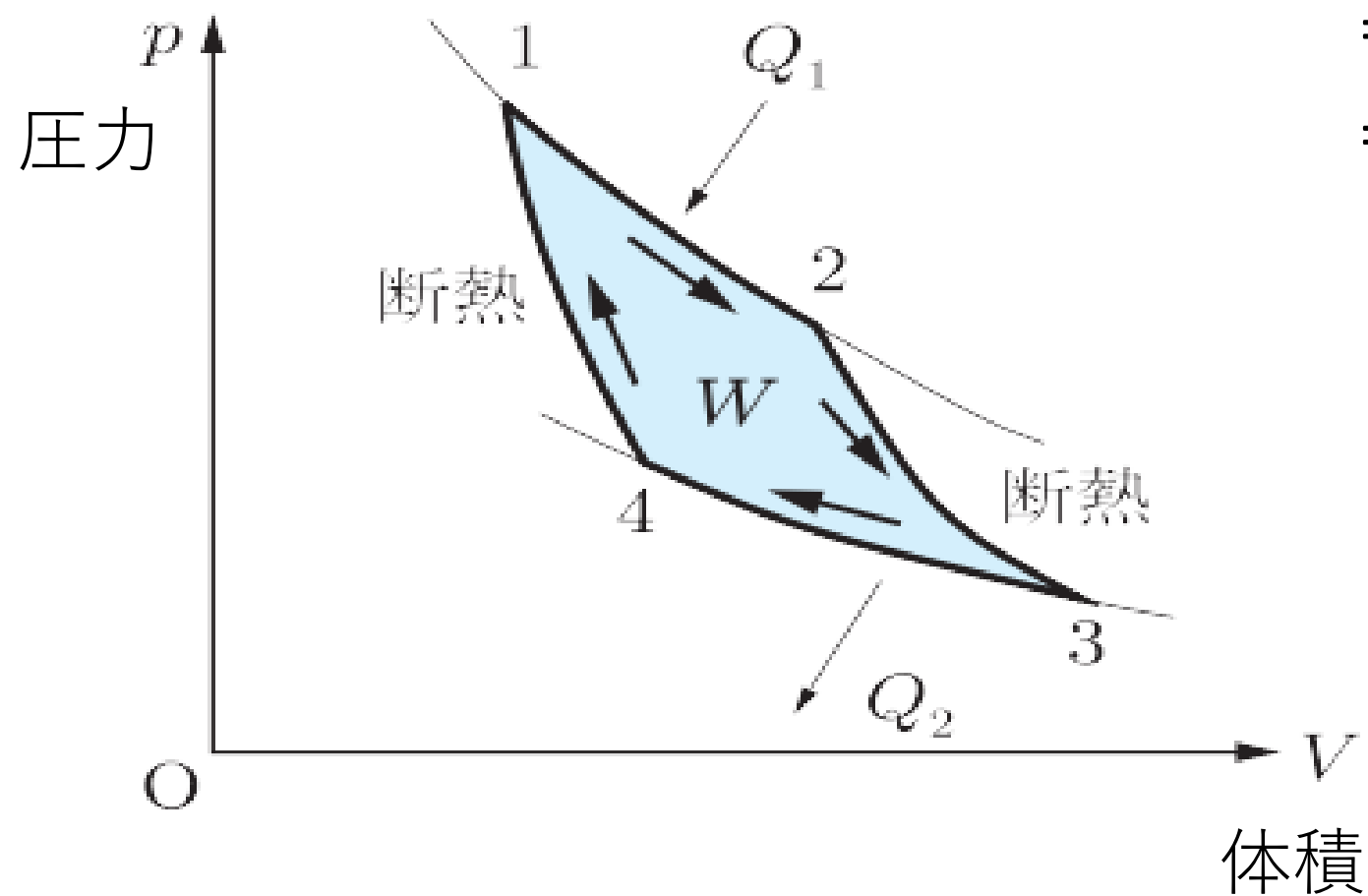
約 40 %
(50～60%目指して研究開発中)

電気モーターのエネルギー変換効率
は何％？

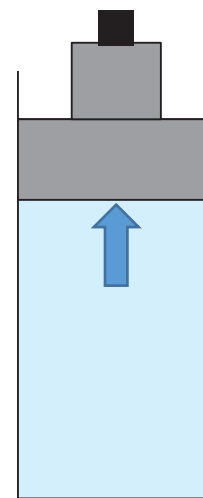
約 96 %



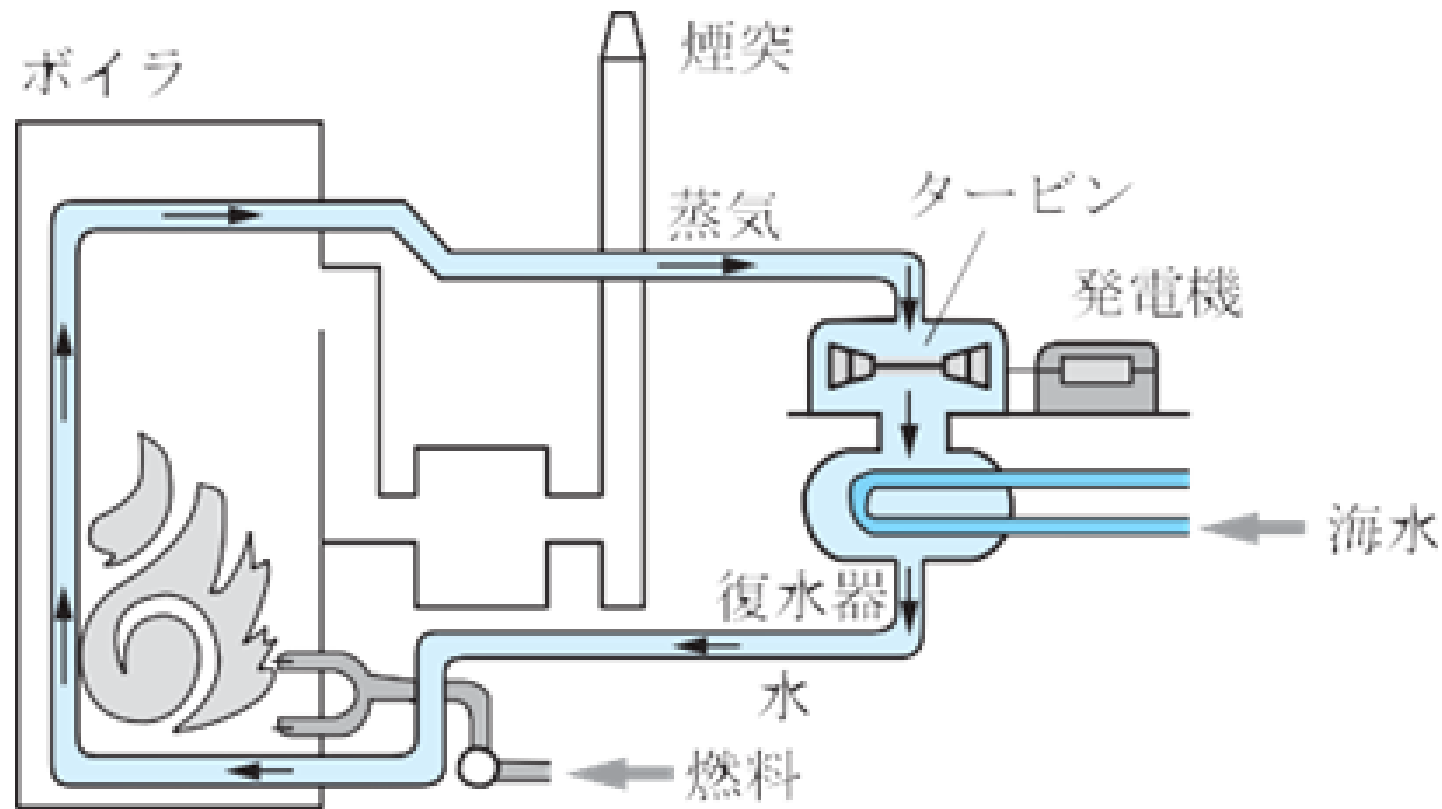
熱による機械的仕事



ピストンがする仕事力 \times 変位
= (圧力 \times 断面積) \times 変位
= 圧力 \times 体積変化



熱エネルギーから力学的エネルギーへの変換



火力発電所の仕組み

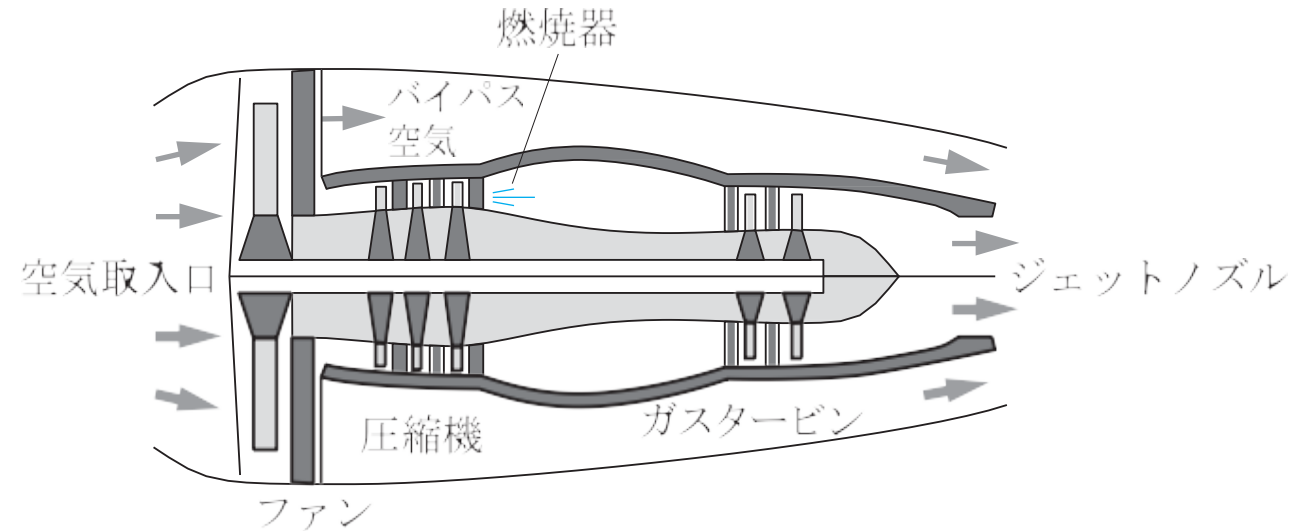
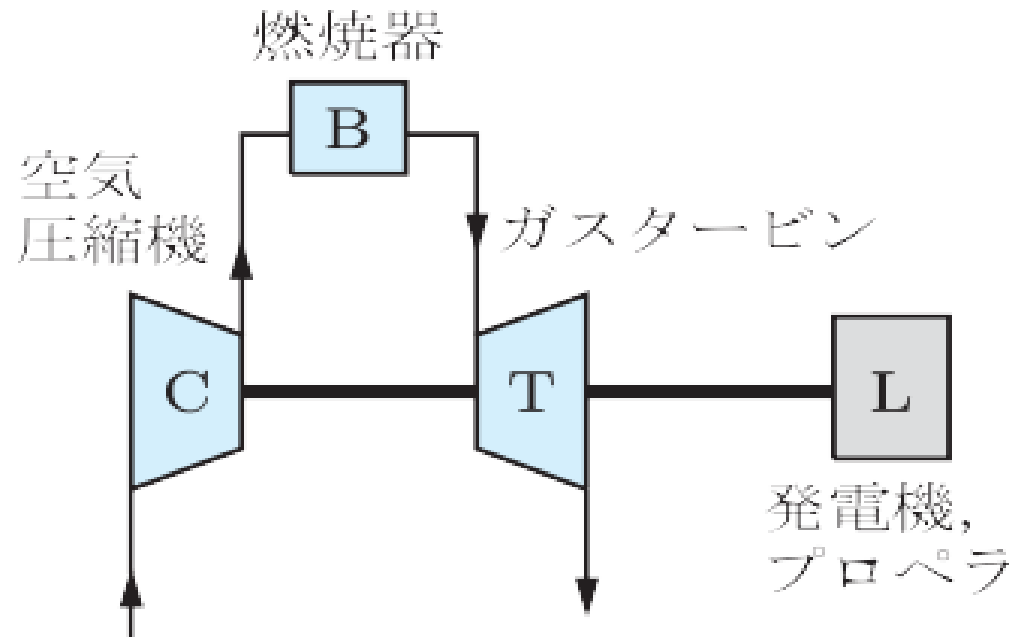
熱⇒圧力の変換を利用

蒸気タービンの熱効率は何％？

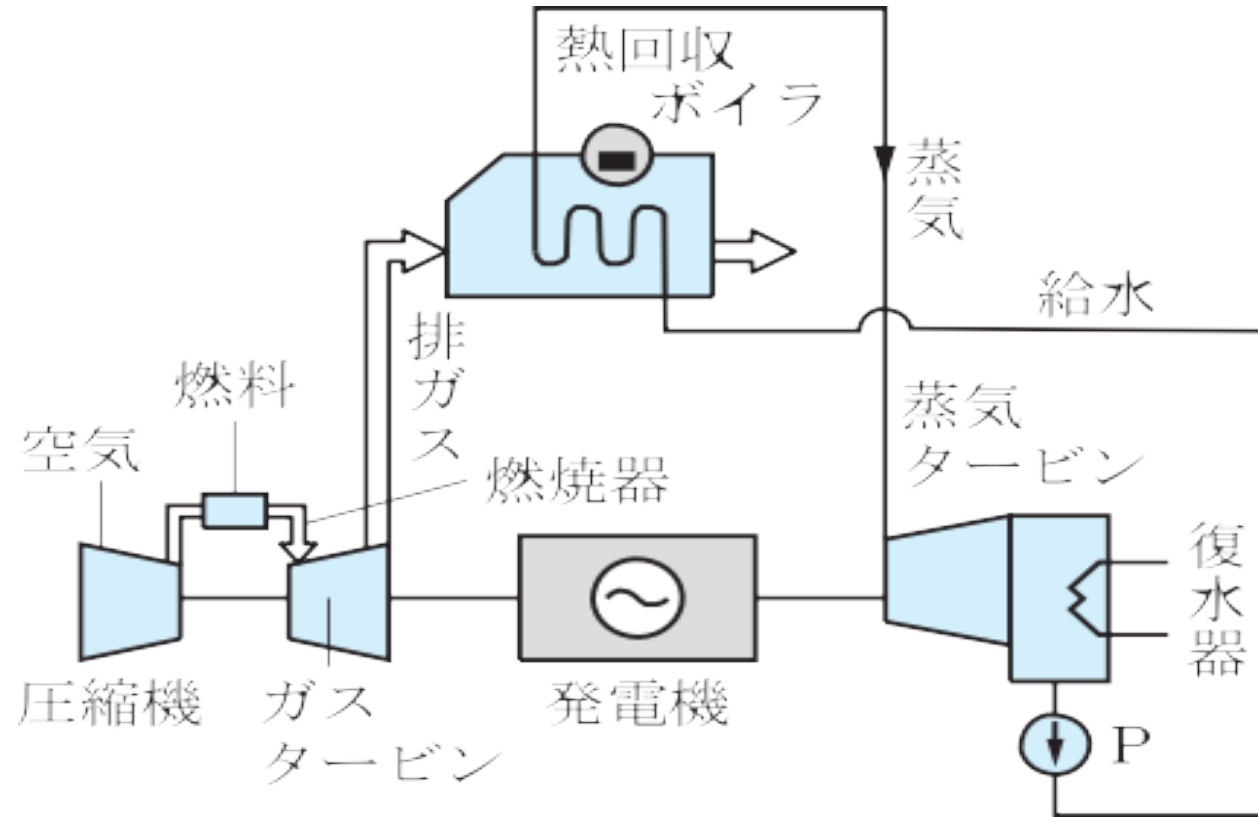
最高 43%
(ターボ機械協会)

ガスタービン

圧縮機で圧縮した空気に燃料を吹き込んで燃焼させ、得られた高圧高温のガスをタービンで膨張させることによりプロペラなどを駆動する。



ガスタービンと蒸気タービンを併用した発電所



熱効率 60%以上

熱力学の第2法則

- 熱はそれ自体で低温の物体から高温の物体へ移ることはできない。
- 熱機関においてその作動流体によって仕事をするには、それよりさらに低温の物体を必要とする。

次のように圧力に関しても、ほぼ同じことが言える。

- 圧力は外からエネルギーを受けることなく、高い圧力に変化することはできない。
- 圧力によって仕事をするには、それより低い圧力の環境を必要とする。