

# エンジンを通して学ぶ熱力学

1999年12月16日  
埼玉県立浦和高等学校

東京大学生産技術研究所

Scientists for the Next Generation

鳥井亮 高間信行 清水和利

<http://ketch.iis.u-tokyo.ac.jp/sng>

# Contents



- はじめに
- スターリングエンジンとは？
- 実験 ~動かしてみよう~
- 実用化への課題とエネルギー問題
- 質問など

# はじめに

- 科学の発展に伴う諸問題

- エネルギー資源問題

- { 代替エネルギーの開発  
今あるエネルギーの有効利用

- 環境汚染

- { クリーンなエネルギーの利用  
廃棄物を出さない工夫

# エネルギー問題への対策

- 代替燃料の開発
  - 風力・太陽・原子力等
- 今あるエネルギーの有効利用
  - 高効率機関の開発
  - エネルギーの再利用

# 環境汚染への対策

- クリーンなエネルギーの利用
- 廃棄物を出さない工夫
  - 低NO<sub>x</sub>エンジン
  - 電気自動車(ハイブリッドカー)
- 廃棄物を出しても再利用する
  - リサイクル活動

# 科学者が目指すもの

- 無駄がない
- クリーン
- 音が小さい
- コンパクト
- 安い！...etc



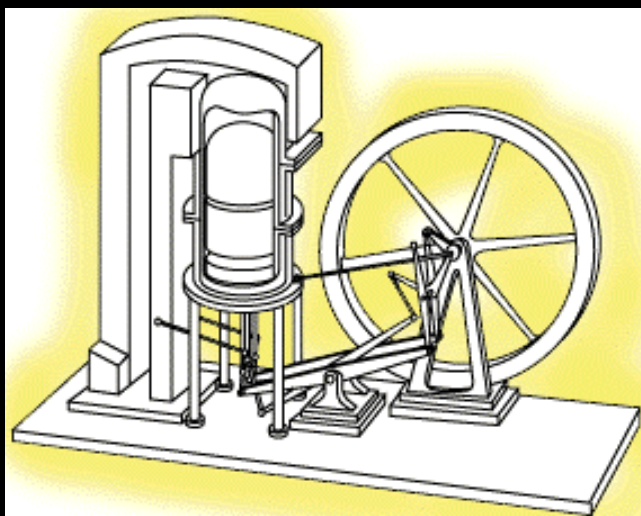
スターリング  
エンジン



# スターリングエンジンとは？

1816年 ロバート・スターリング(英) 発明

外部からの加熱により動力を発生する  
「外燃機関」





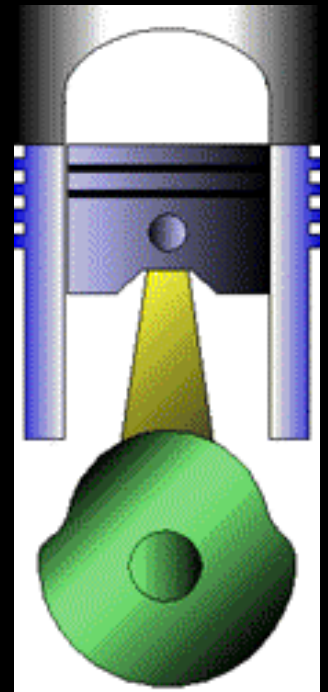
# 熱機関

熱機関・・・熱エネルギーを機械的エネルギーに変換

## ■ 内燃機関

内部で燃料を燃焼・爆発させ  
動力を取り出す

(例) ガソリンエンジン,  
ディーゼルエンジン



# 熱機関



## ■ 外燃機関

外部から熱をもらうことで動力を取り出す  
(例) スターリングエンジン, 蒸気エンジン

# スターリングエンジンの利点

## ■ 高い熱効率

カルノーサイクルと理論的に等しい

## ■ 熱源を選ばない

外燃機関であるので排熱, 太陽熱, バイオマス...

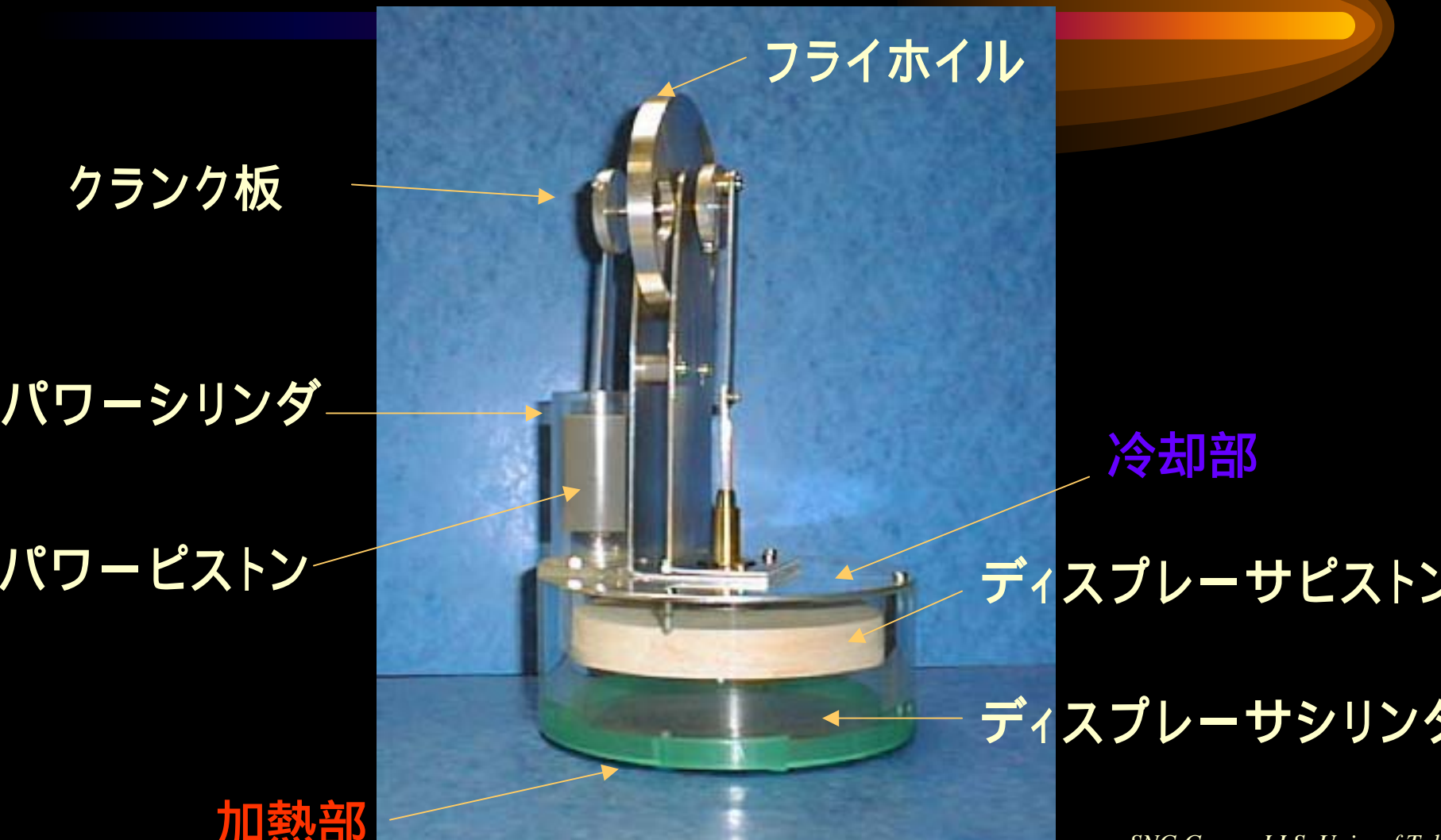
## ■ きれいな排ガス

外部燃焼のためきれいに燃やすことができる  
( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ の低減)

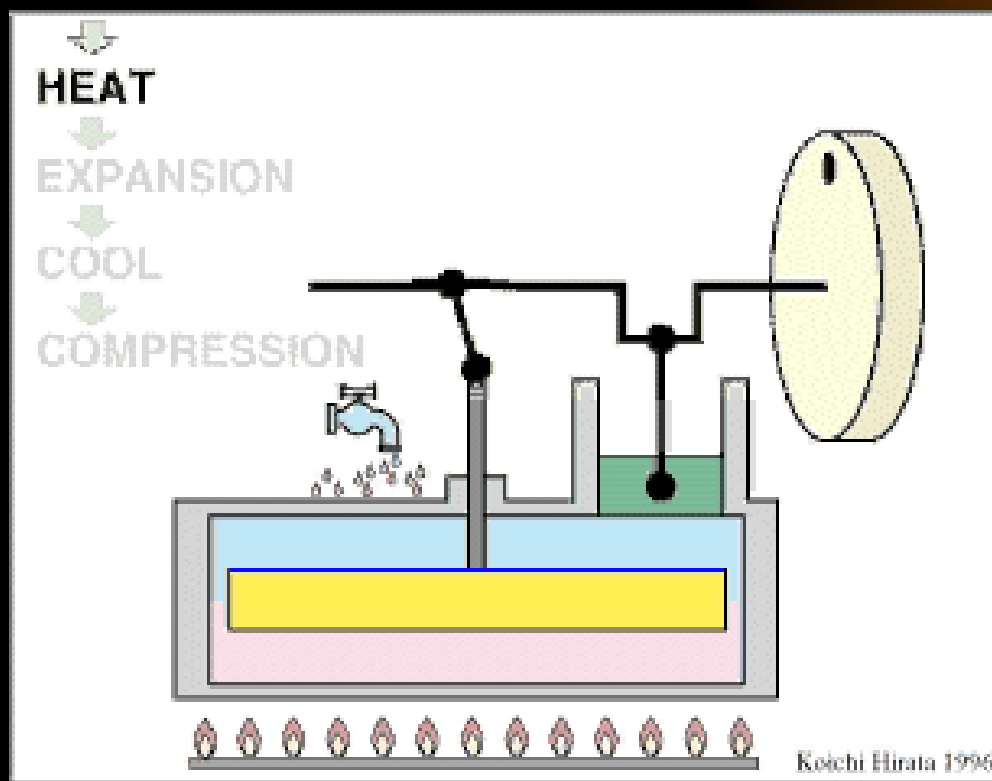
## ■ 振動・騒音が少ない

シリンダー内の爆発がない

# スターリングエンジン (ディスプレイサ型)



# スターリングエンジンの動き

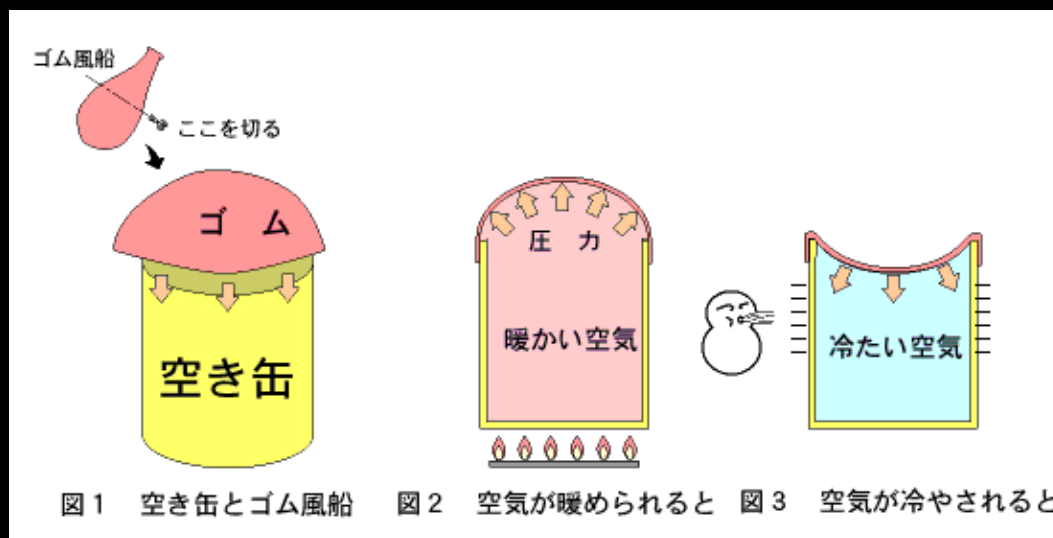


# スターリングエンジンの原理

## ■ 気体の性質

空き缶に風船をつけて缶を暖めたり冷やしたりすると

...



図協力: 平田宏一氏 (運輸省船舶技術研究所)

# スターリングエンジンの原理

## ■ ボイル・シャルルの法則

$$\frac{P \times V}{T} = \text{一定}$$

( $P$ : 圧力,  $V$ : 体積,  $T$ : 温度)

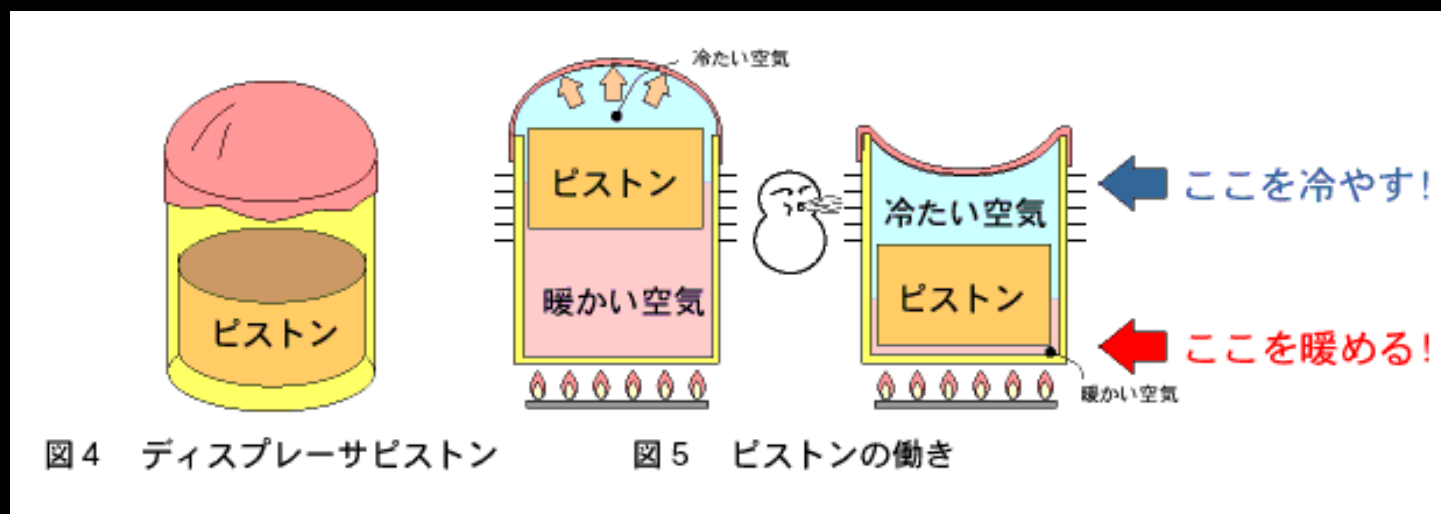
温度が上昇  圧力は上昇

温度が低下  圧力は低下

# スターリングエンジンの原理

## ■ ディスプレーサピストン

上下することで空気を移動させる



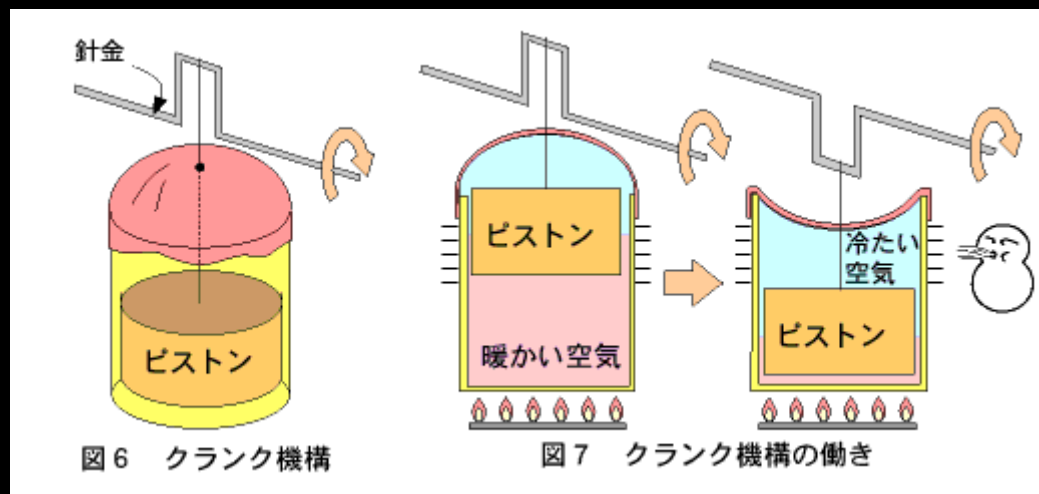
ディスプレーサピストンの動きにより  
内部圧力が変化する



# スターリングエンジンの原理

## ■ クランク機構

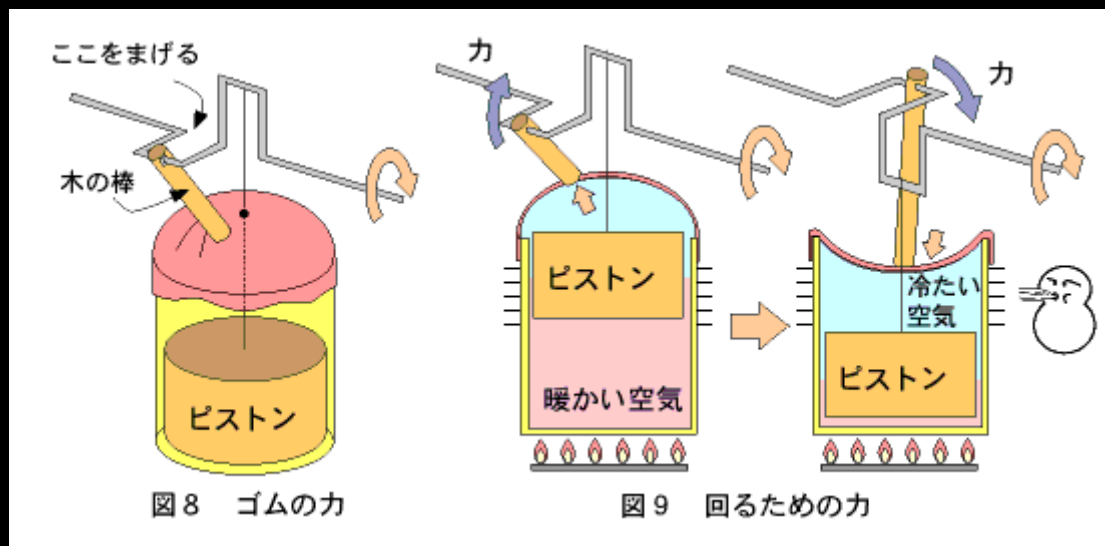
ピストンの上下運動を回転運動に変換する



# スターリングエンジンの原理

## ■ パワーピストン

駆動力を取り出す



# スターリングエンジンの原理

## ■ フライホイール

慣性によりスムーズに動かす

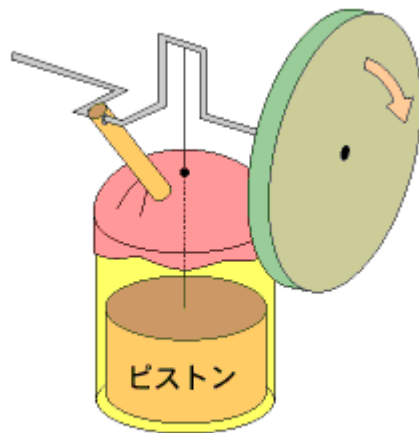


図10 丸い形のフライホイール

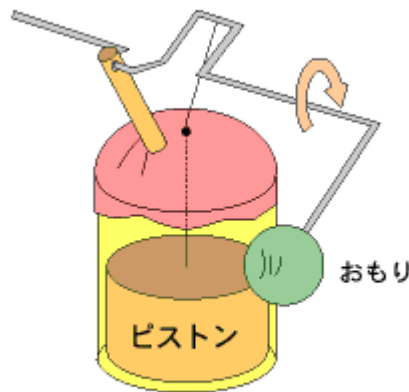
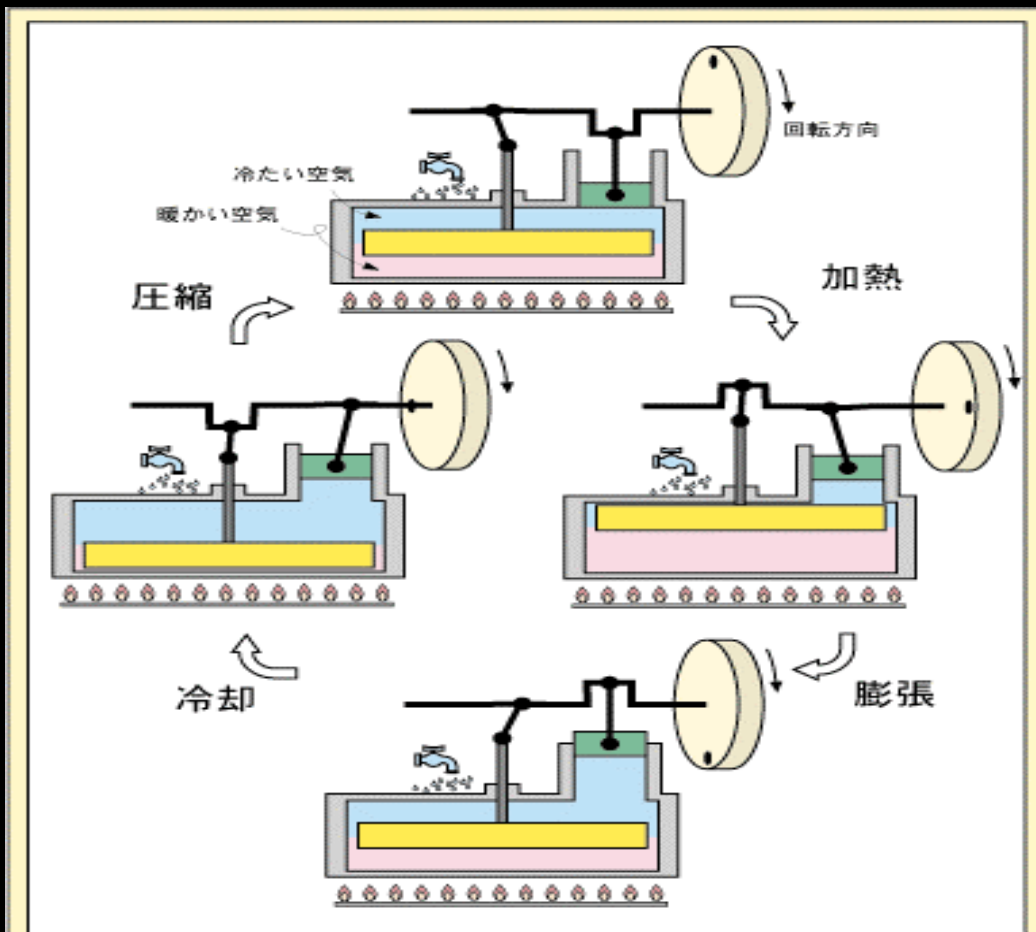


図11 簡単なフライホイール

# スターリングエンジンの動き

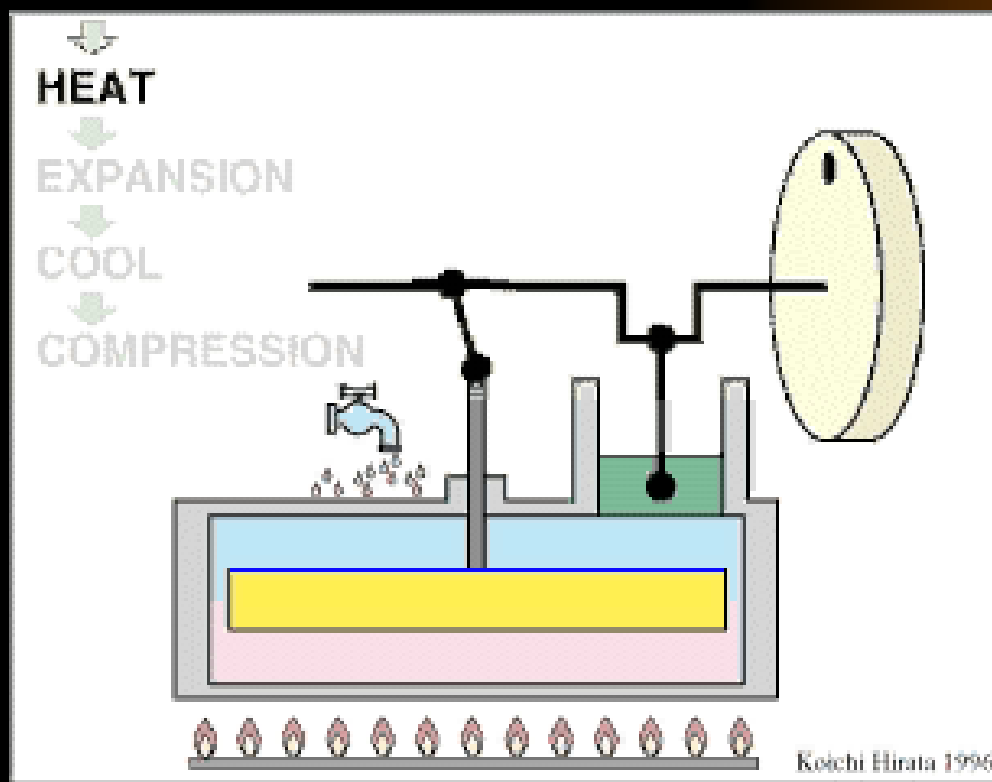
## ディスプレイサ型



空気が高温側に移動  
エンジン内圧力が上昇  
空気が膨張してパワーピストンを上に押す  
クランク軸を回す(仕事)  
フライホイールの慣性でクランク軸が回る

空気が低温側に移動  
エンジン内圧力が低下  
空気が圧縮してパワーピストンを下に押される  
クランク軸を回す(仕事)  
フライホイールの慣性でクランク軸が回る

# スターリングエンジンの動き



# スターリングエンジンと熱力学

## ■ 熱力学の第一法則

$$Q = \Delta U + W$$

Q: 外部から加えた熱量

U: 内部エネルギー変化量 (内部エネルギー **温度**)

W: 外にした仕事

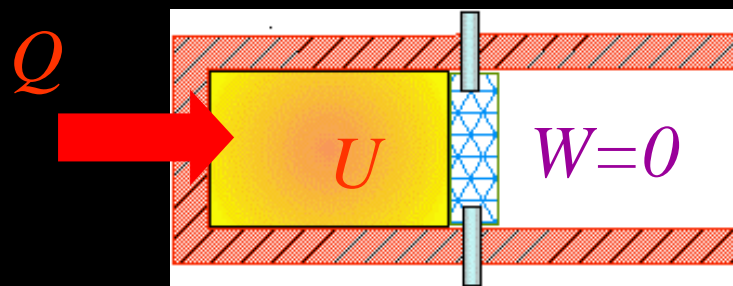


# スターリングエンジンと熱力学

## ■ 等積変化

体積が変わらない

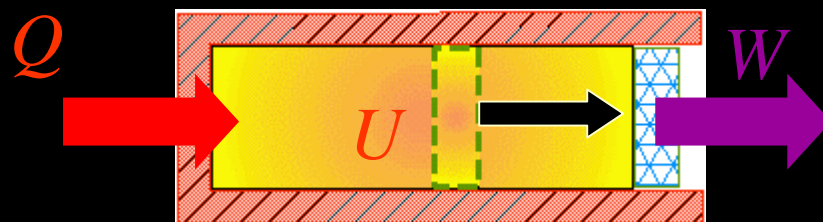
$$Q = U$$



## ■ 等圧変化

圧力が変わらない

$$Q = U + W$$



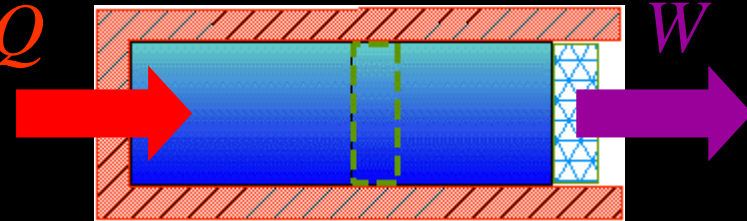
# スターリングエンジンと熱力学

## ■ 等温変化

温度が変化しない

$$U = 0 \quad Q$$

$$Q = W$$

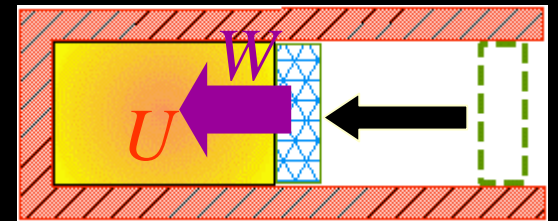


## ■ 断熱変化

熱の出入りが無い

$$Q = 0$$

$$U + W = 0$$



$$W < 0$$



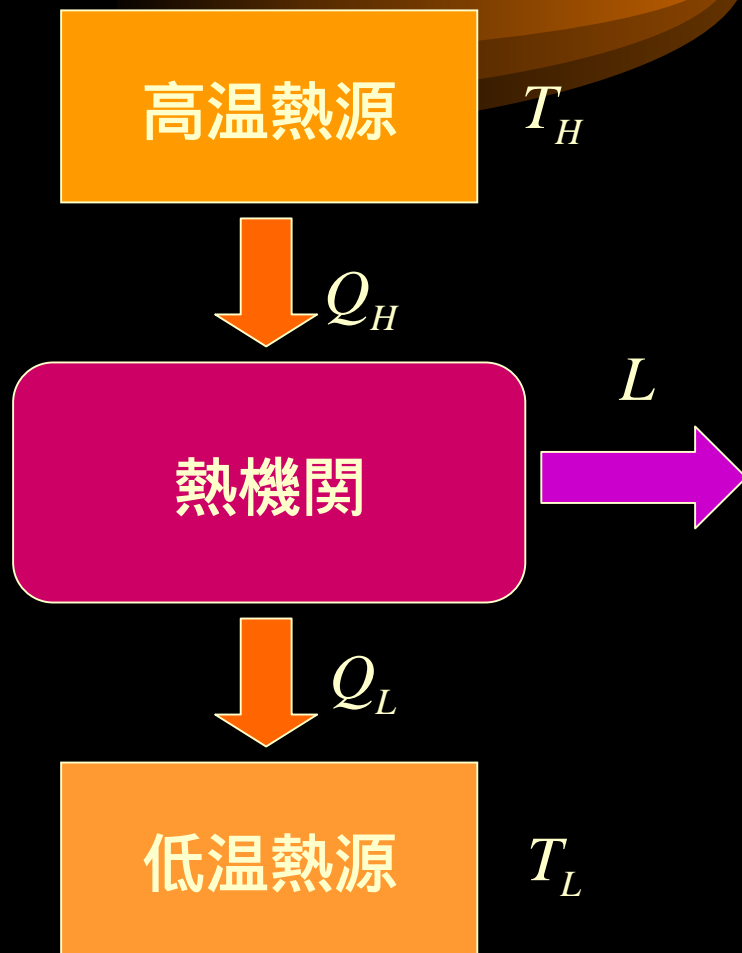
# スターリングエンジンと熱力学

## ■ 熱効率

$$\eta = \frac{L}{Q_H}$$

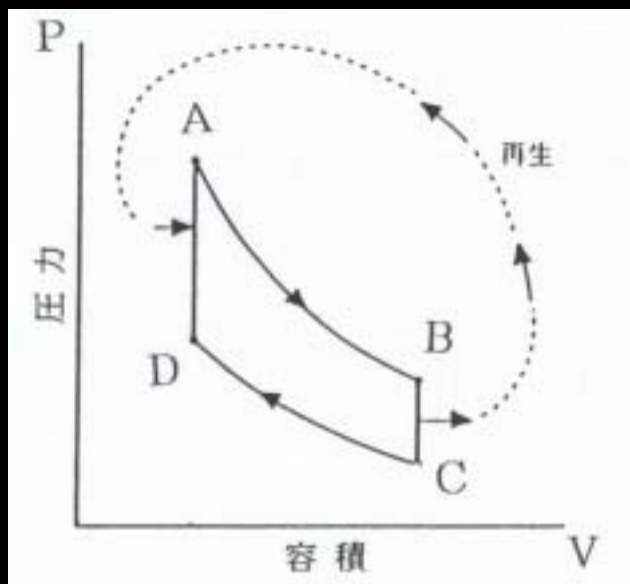
$$(L = Q_H - Q_L)$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H}$$



# スターリングエンジンと熱力学

## ■ スターリングサイクル



### 可逆サイクル

- (D → A) 等積加熱
- (A → B) 等温膨張
- (B → C) 等積冷却
- (C → D) 等温圧縮

$$\eta = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = \frac{T_H - T_L}{T_H}$$

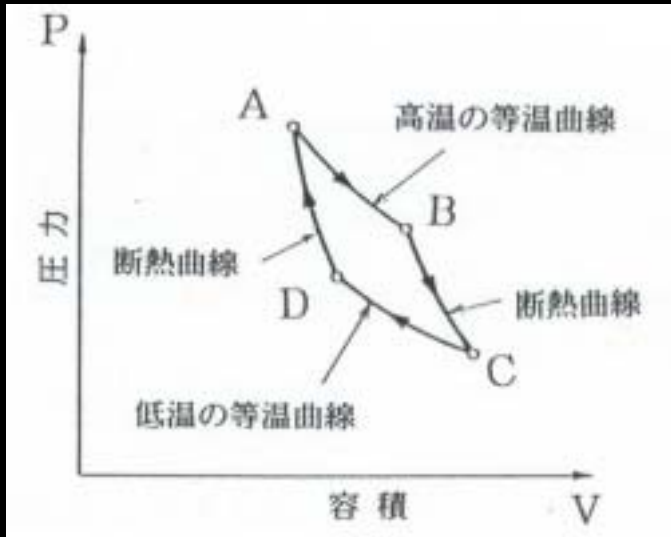
# スターリングエンジンと熱力学

## ■カルノーサイクル

理論上最高の熱効率を持つ

可逆サイクル

- (A → B) 等温膨張
- (B → C) 断熱膨張
- (C → D) 等温圧縮
- (D → A) 断熱圧縮



$$\eta = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = \frac{T_H - T_L}{T_H}$$

# スターリングエンジンと熱力学

## ■ 熱機関の熱効率

蒸気機関	10 ~ 20%
ガソリン機関	20 ~ 30%
蒸気タービン	20 ~ 40%
ディーゼル機関	30 ~ 40%
スターリング機関	25 ~ 35%

# スターリングエンジンの実用化

- 工学的な実用化の手順
  - 問題点を知る
  - 解決法を考える
- 量産上の問題

# スターリングエンジンの問題点

- 比出力が小さい

エンジンの単位重量あたりの出力が小さい

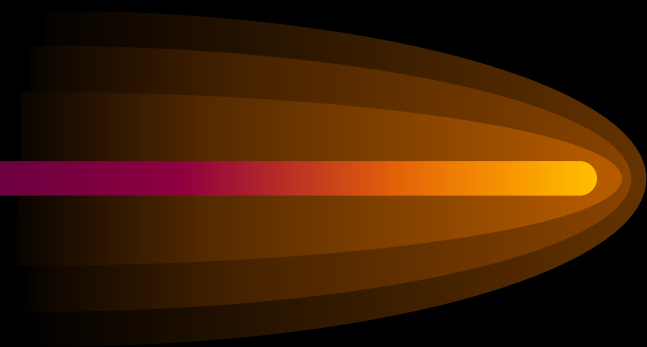
- サイズが大きい

大がかりである

- コストが高い

製造コストが高い

# 問題解決の方法





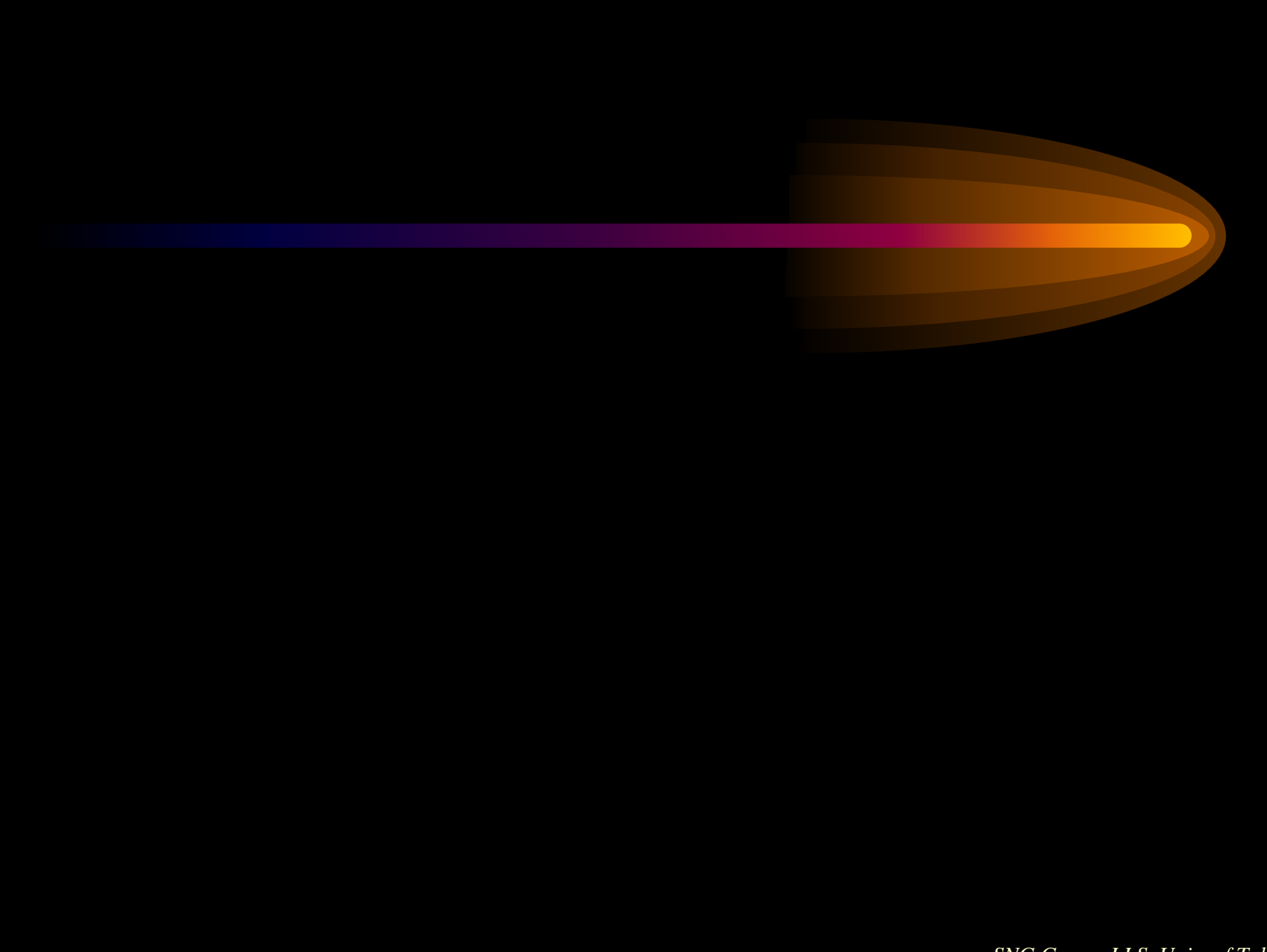


# まとめ

- スターリングエンジンは理論上、理想的な熱機関である
- スターリングエンジンの実用化には解決すべきさまざまな課題がある
- スターリングエンジンは次世代の「地球にやさしい」熱機関としての可能性を大いに秘めている

# チェックポイント *by R.TORII*

- スターリング冷凍機について
- なぜカルノーサイクルが理論上最高効率なのか？
- スターリングエンジンの出力(他と比べて)



# 地球環境問題

- 温暖化
- オゾン層破壊
- 酸性雨
- 森林破壊
- 砂漠化
- 環境汚染

# 地球環境問題

## ■ 温室効果ガス

赤外線を吸収するガス

大気中に1%程度

地上平均温度15[ ](なければ - 18[ ])

二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)

メタン(CH<sub>4</sub>)

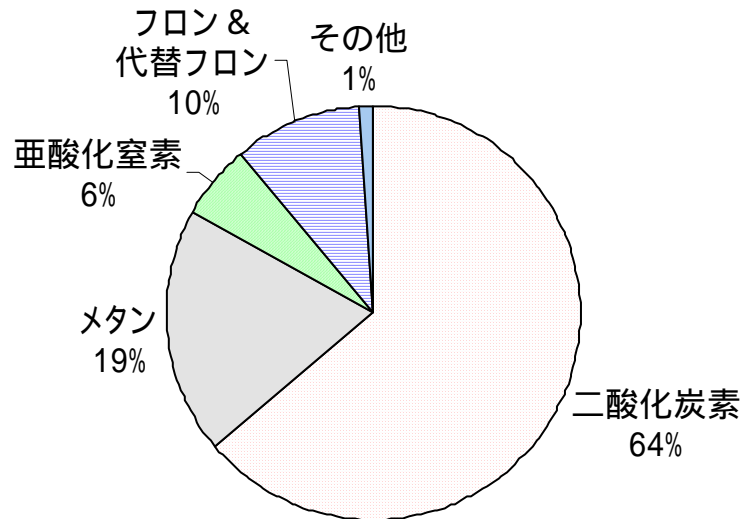
亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)

フロン など

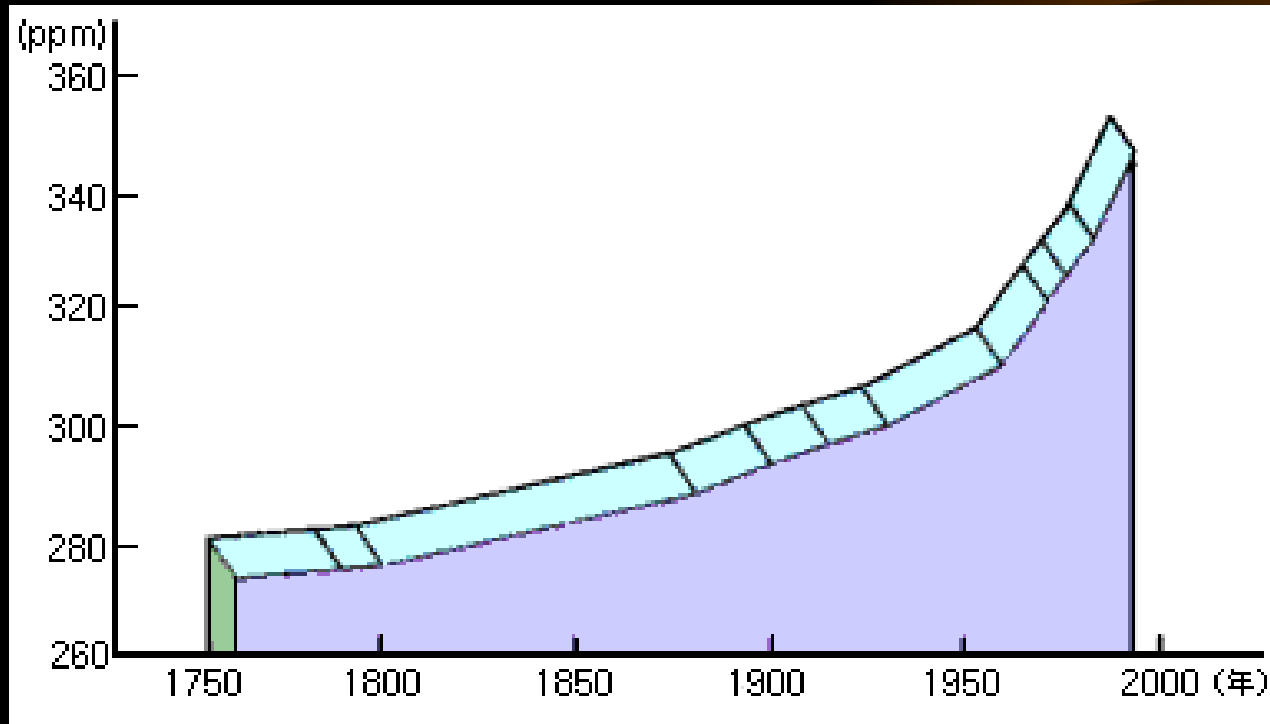
温室効果ガス	温暖化係数
二酸化炭素	1
メタン	25
亜酸化窒素	300
フロン	10000

# 地球環境問題

温室効果ガス (1995年)



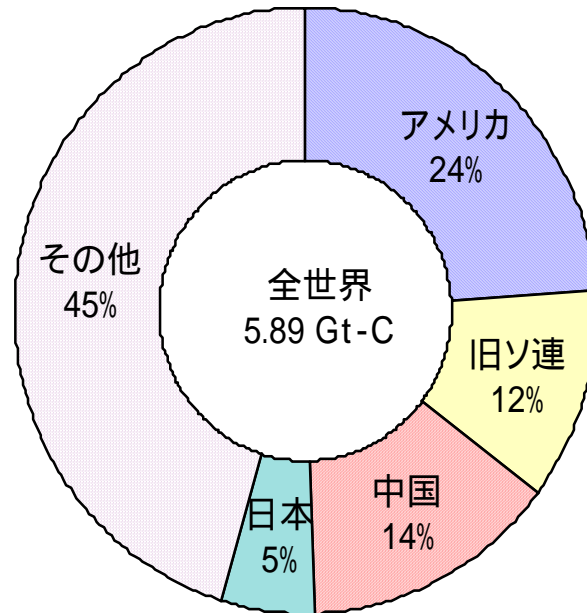
# 地球環境問題



大気中の二酸化炭素濃度

# 地球環境問題

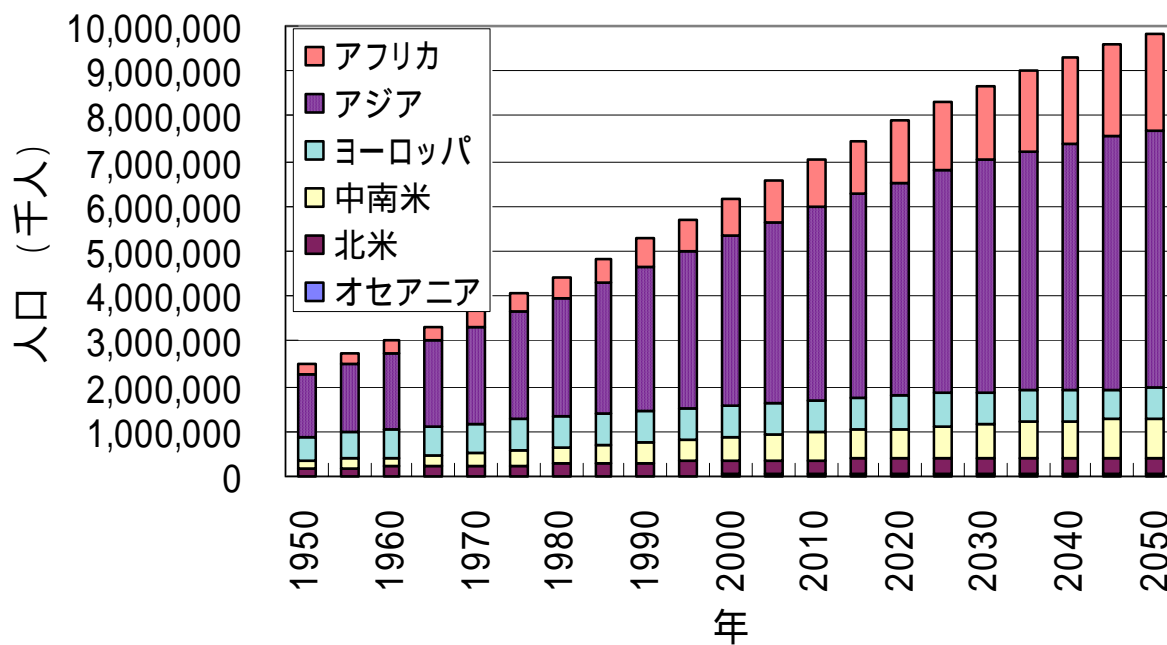
二酸化炭素排出量 (1995年)





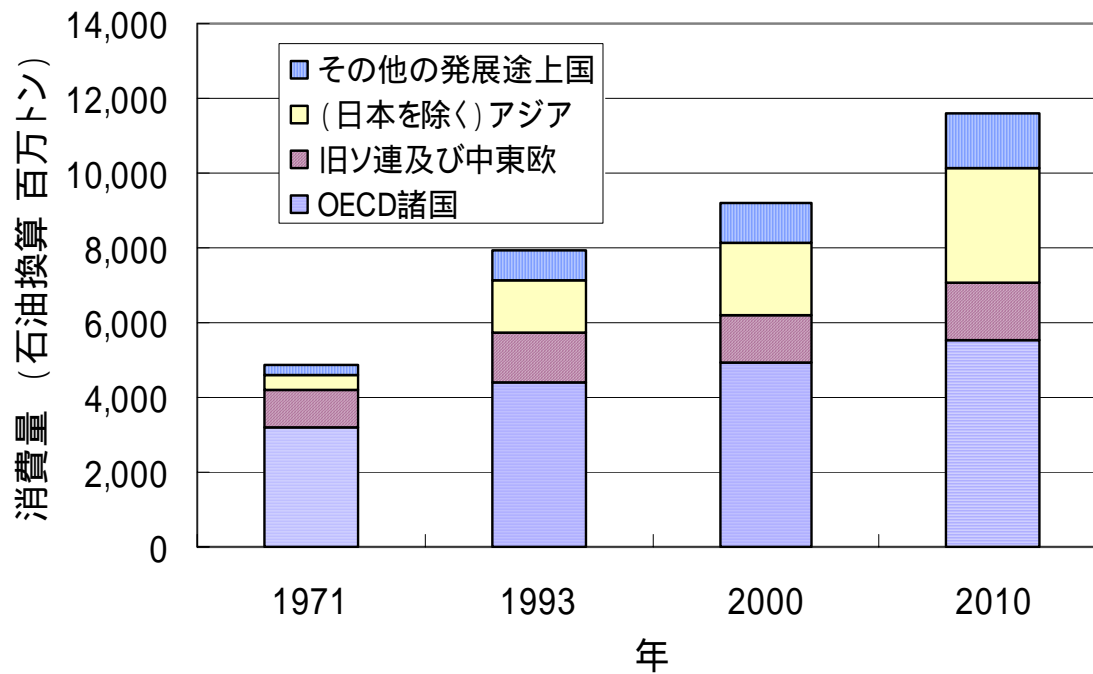
# エネルギー問題

## 世界人口の推移



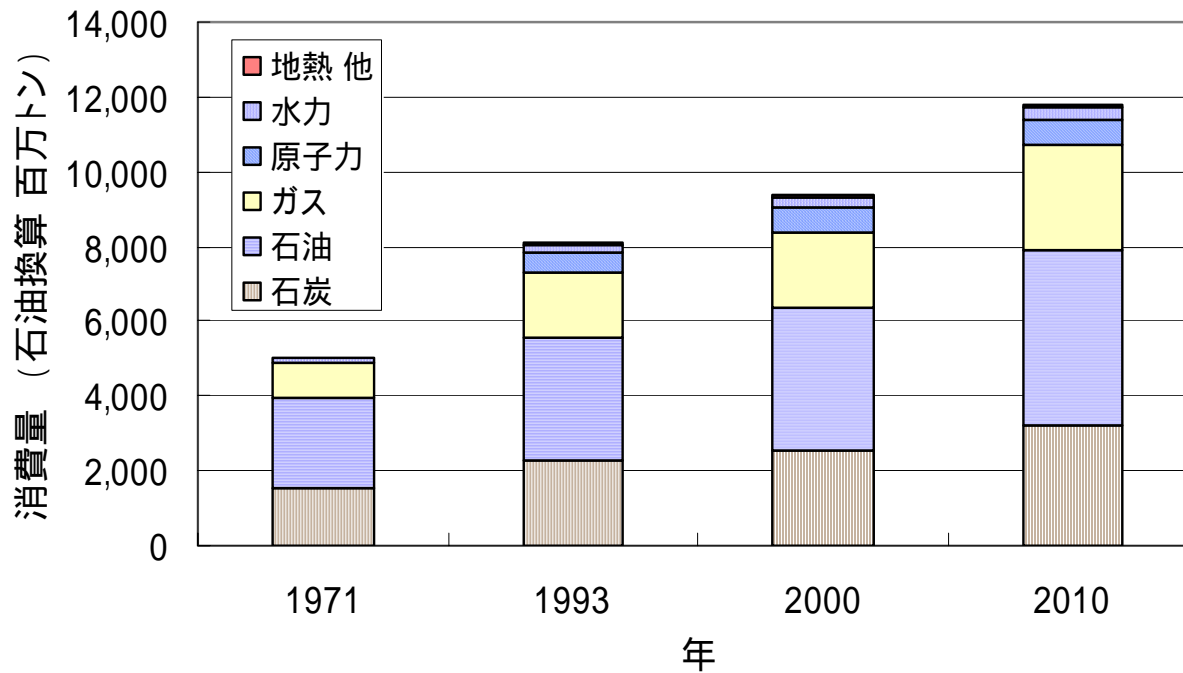
# エネルギー問題

## 世界のエネルギー消費量



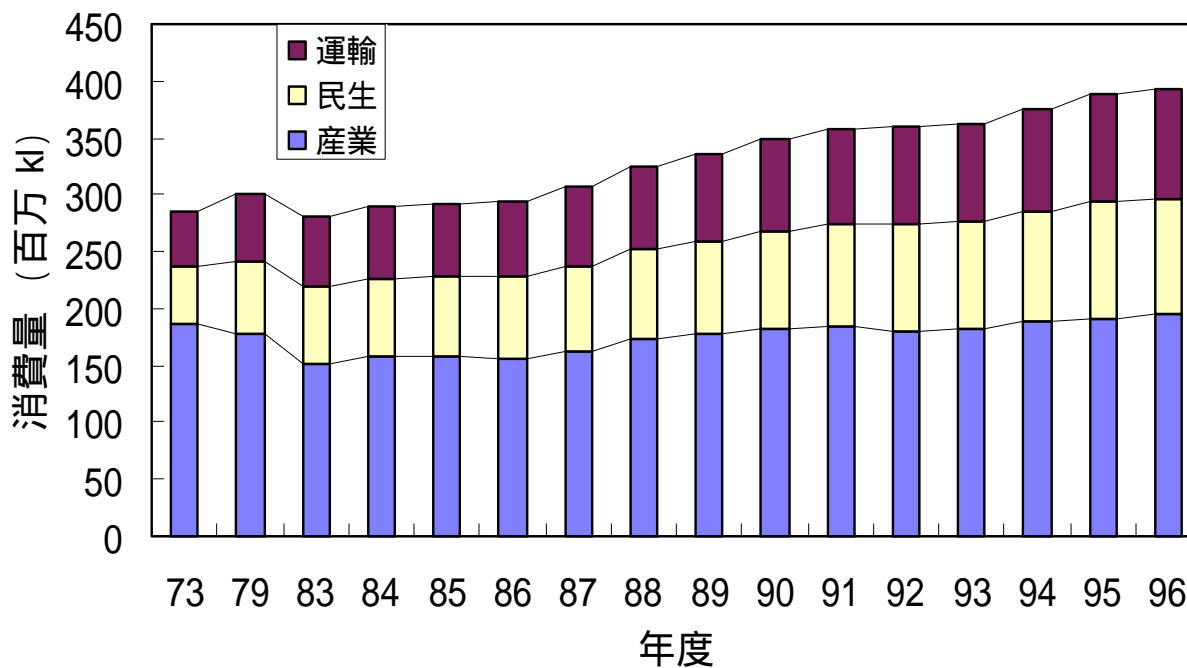
# エネルギー問題

世界のエネルギー消費(資源別)



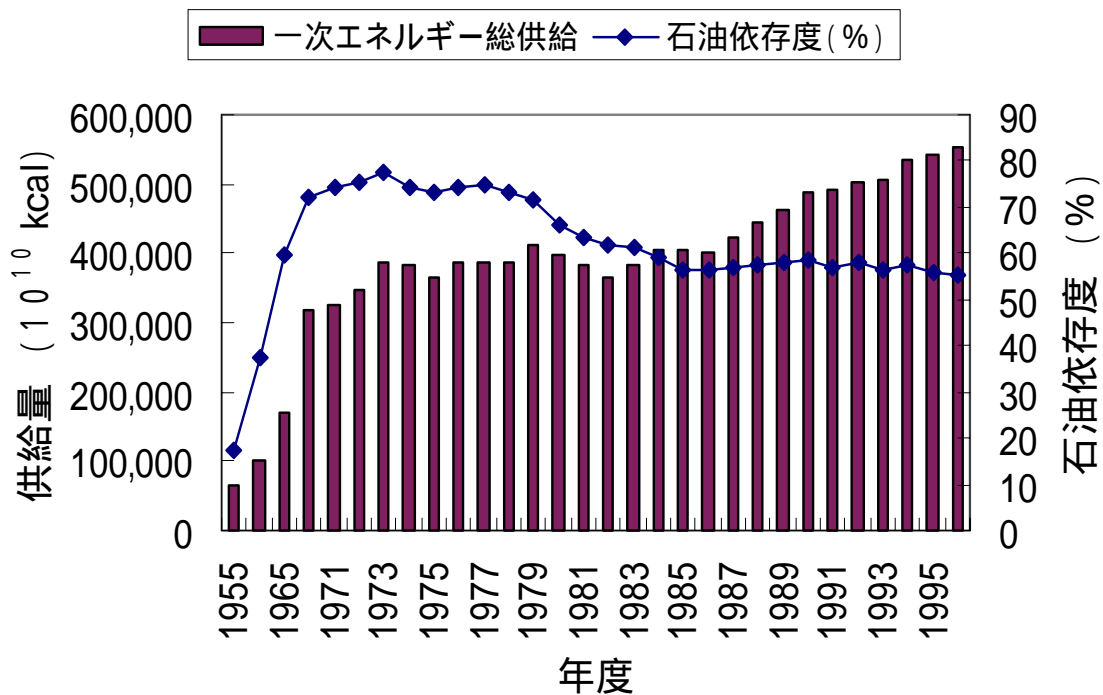
# エネルギー問題

## 日本のエネルギー消費量



# エネルギー問題

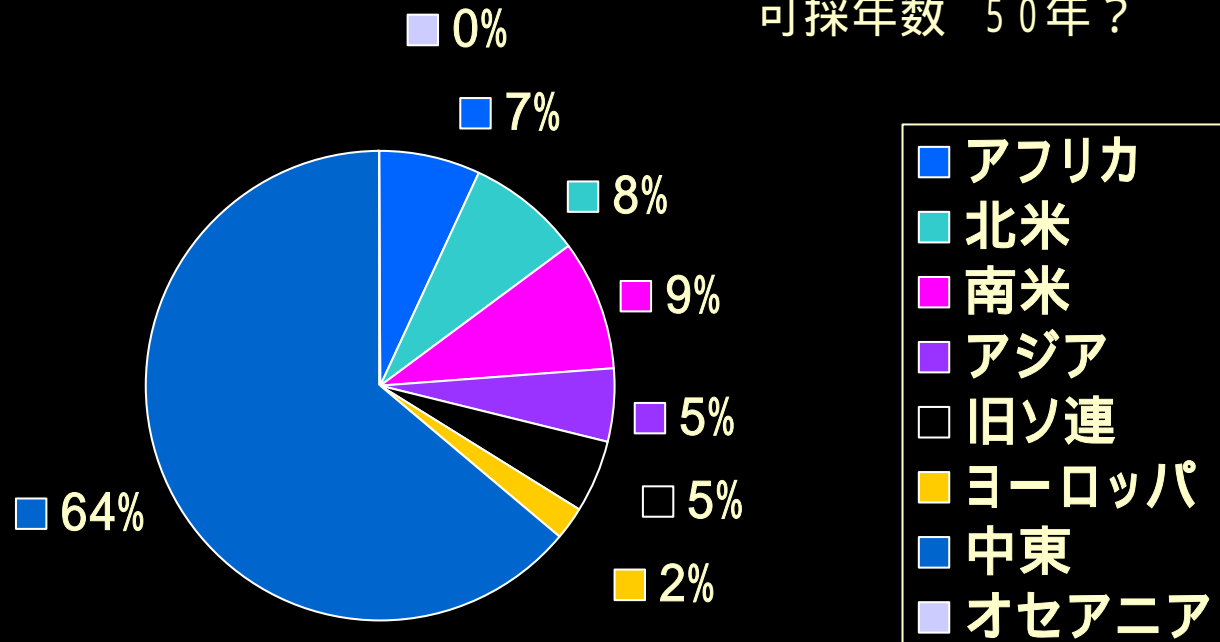
## 日本のエネルギーの石油依存度



# エネルギー問題

石油埋蔵量(1996)

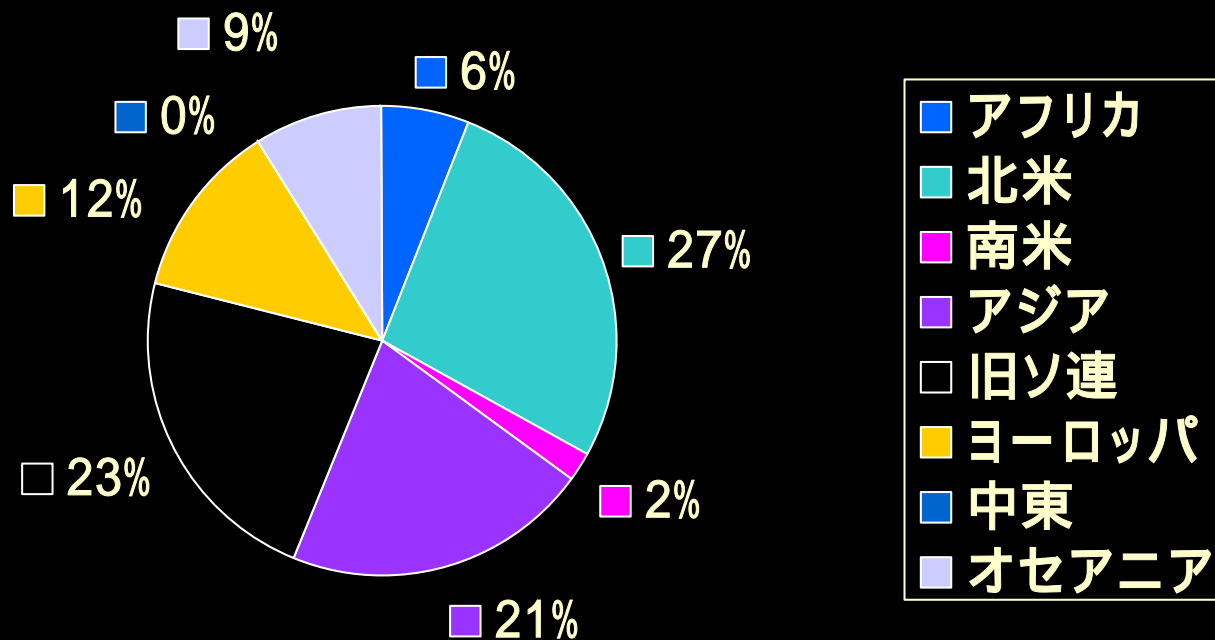
可採年数 50年？



# エネルギー問題

石炭埋蔵量(1996)

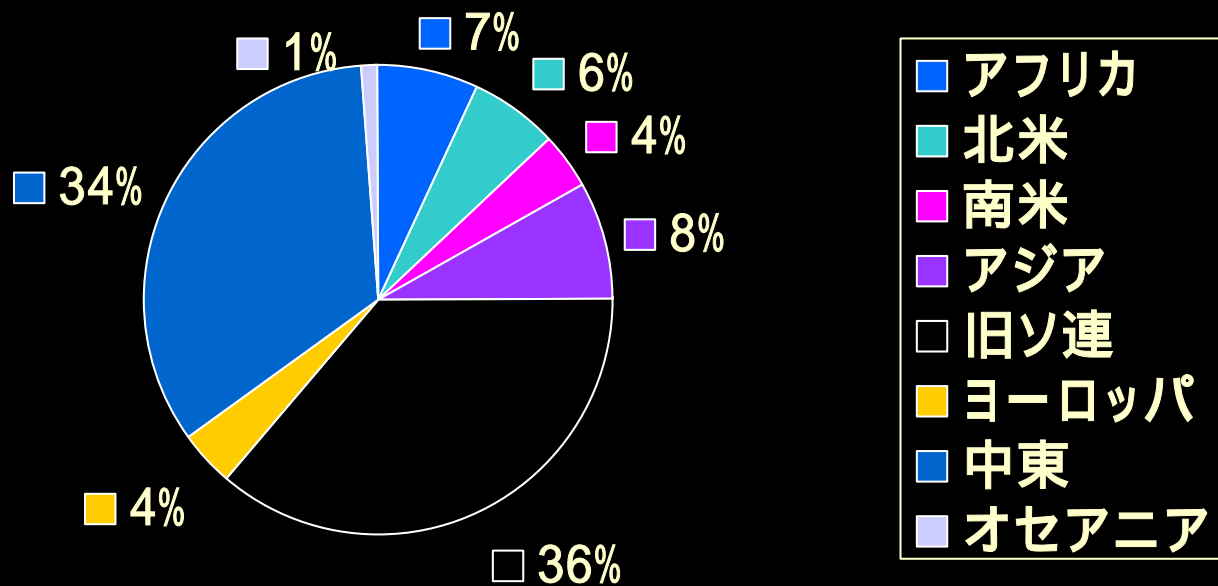
可採年数 230年?



# エネルギー問題

天然ガス埋蔵量(1996)

可採年数 70年？

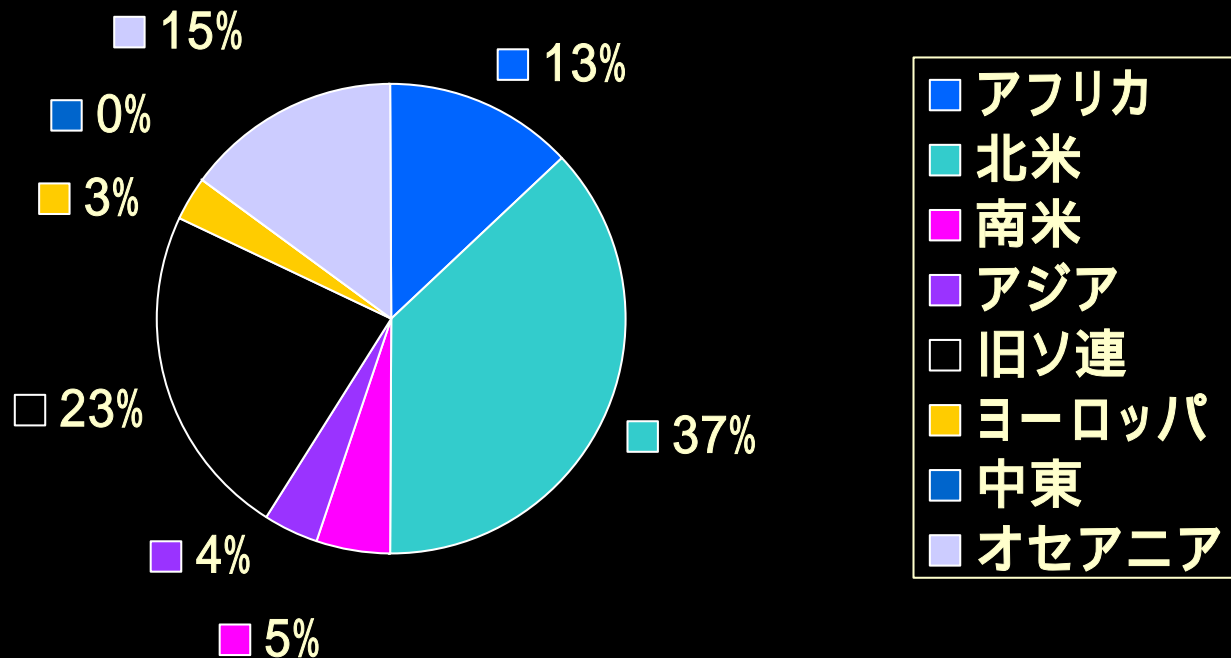




# エネルギー問題

ウラン埋蔵量(1996)

可採年数 110年？



# エネルギー問題

