

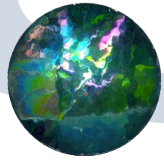
# 移動体の「物理的費用」

なぜ今、「人間活動と交通」か？

- 人間の「自由願望」→ 移動に対する欲望  
時間と空間を越える移動の願望 → 交通機関の発達
- 輸送機関(機械)には「エネルギー」が必要  
しかし、そのエネルギーが得難くなっている

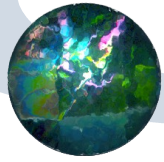
交通格差, 環境汚染, 事故(安全)などの問題はあるが, 交通が問題になる最大の要因はエネルギー資源の問題にあると思う

ものの移動とエネルギーの物質的原点から考えてみよう



# 話の構成

- 移動することの物理的過程
  - エネルギー
  - 熱(エントロピー)
- 輸送でのエネルギー消費の実態
- 化石エネルギーの現状
- 問題への対処



# モノを動かす:2つのキーワード

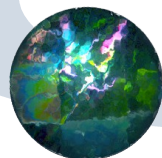
化石燃料の燃焼による熱

エンジン

移動体の運動エネルギー

空気, 路面などへの熱エネルギー

- 動力源(いわゆる「エネルギー」)
  - エネルギー自体は「保存する」(増えも減りもしない)
  - 問題はエネルギーの質(モノの移動に利用できるエネルギーかどうか)
- モノの移動には「摩擦」がつきもの
  - 摩擦がなければ移動方法が限られる
  - 摩擦は移動を妨げる要素でもある



# 車の効率

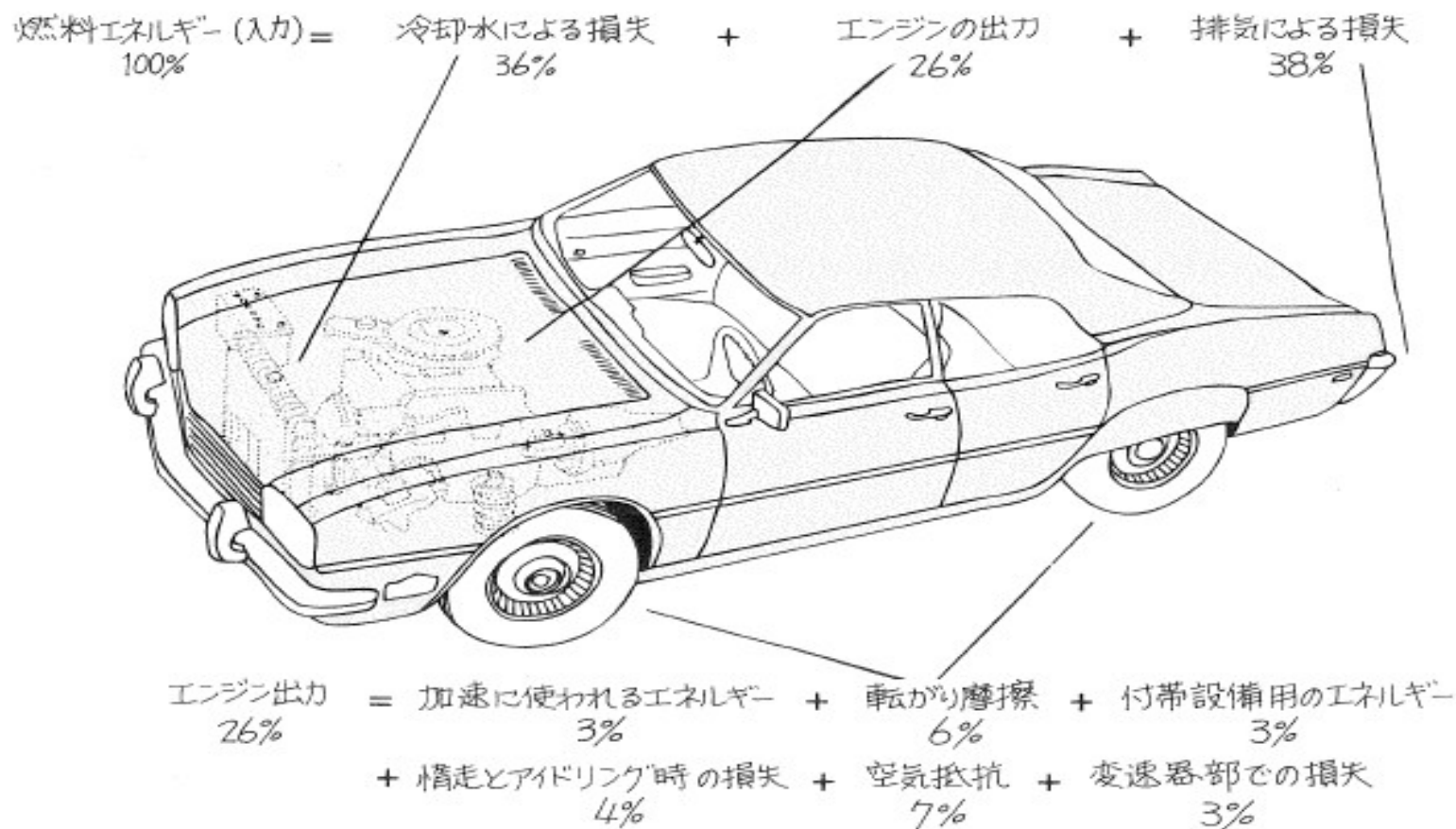


図 4.8 自動車エンジンでは、ガソリンを燃やして得られる熱エネルギーの26パーセントだけが有用な力学的エネルギーになり、そのエネルギーも大半は摩擦や空気抵抗に打ち勝つために失われる。ここに示したエネルギー損失の比率は、代表的なアメリカの自動車についていろいろな運行状態の場合を平均したものである。

# 移動体の空気抵抗

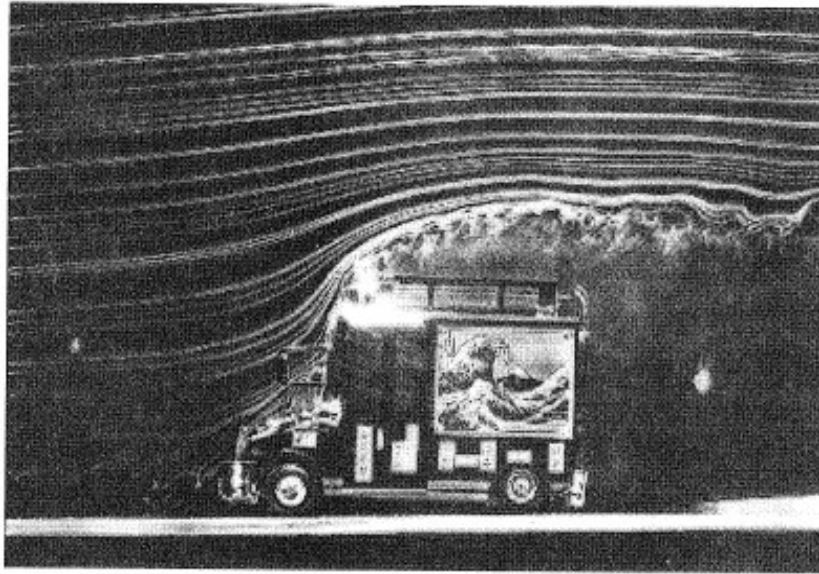
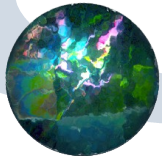


図 4.1 トラック周りの流れ

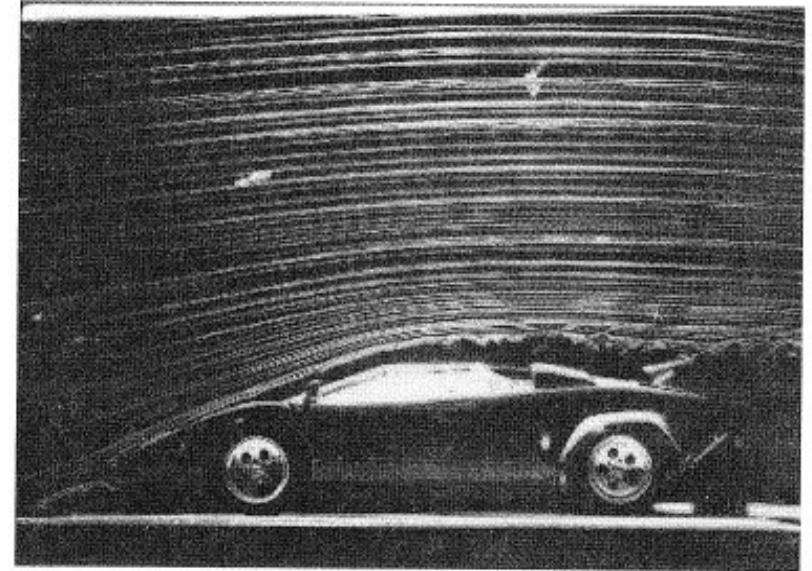


図 4.2 スポーツカー周りの流れ

$$\text{空気抵抗} = C_d r S V^2 / 2$$

$C_d$ : 形状による係数

(箱だと2.0, 流線型だと0.1程度)

$r$ : 空気密度  $S$ : 正面の面積  $V$ : 車の速度

実際の乗用車のCD値は0.3~0.4だが、最近では0.2台のものも増えているらしい

ホンダ インサイト 0.25

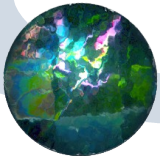
ホンダ アコード 0.26

日産 スカイライン セダン 0.27  
クーペ 0.29

ホンダ レジェンド 0.29



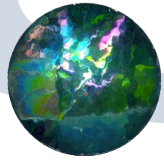
# 空気抵抗を小さくする技術の例



長く連なって走るのが一番 → プラトーン走行 or 列車

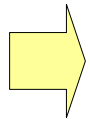
California PATH Program <http://www.path.berkeley.edu/PAT>





# 摩擦とは何か

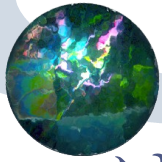
- 空気抵抗による移動体のエネルギーの減耗はどこへ行ったか？



気体分子のランダムな運動  
(気体の「熱」エネルギー)に

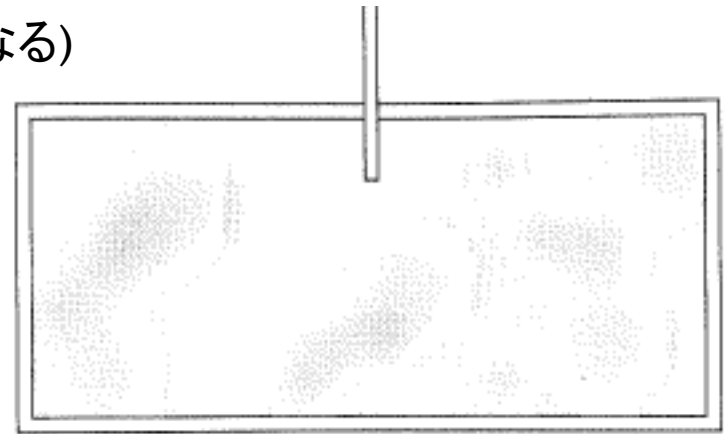
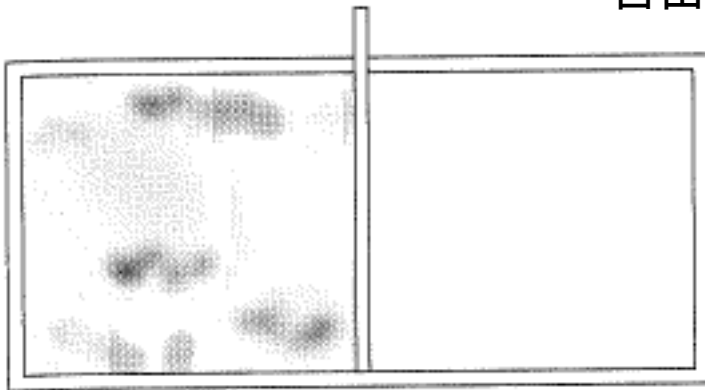
マクロな運動形態からミクロな運動への分解過程(エネルギーの形態変化)  
細かく分かれたものは「自然には」元にもどらない。(エントロピーの法則)  
気体の「熱」エネルギーは、マクロなエネルギーに独りでに帰ることはない。

# エントロピー増大則

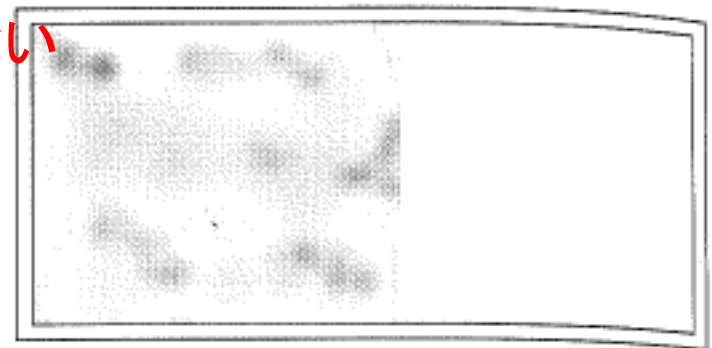


- ばらばらになったものは自然には元へは戻らない

自由膨張(ばらばらになる)

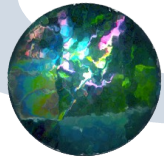


自然には起こらない



**戻すには外からの仕事が必要**



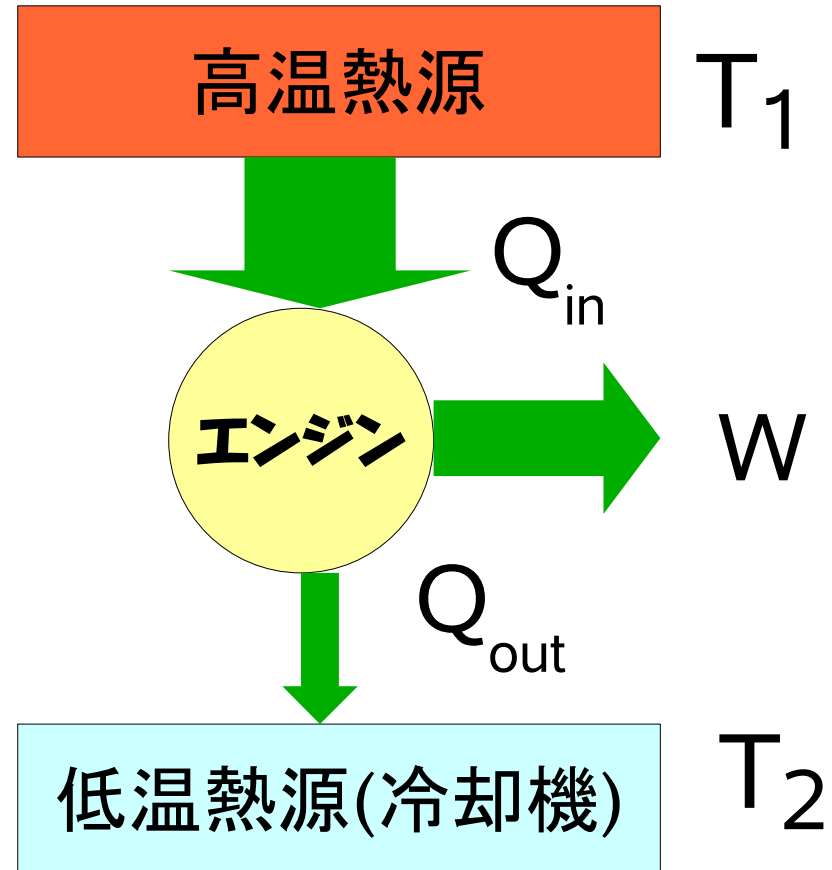


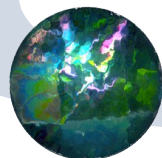
# 熱力学法則による 熱機関の効率

高熱源からの熱 $Q_{in}$ をすべて仕事 $W$ に変えることはできない。(熱力学第2法則)

熱効率の上限は温度で定まる

$$W/Q_{in} < (T_1 - T_2)/T_1$$





# 車のエネルギー消費

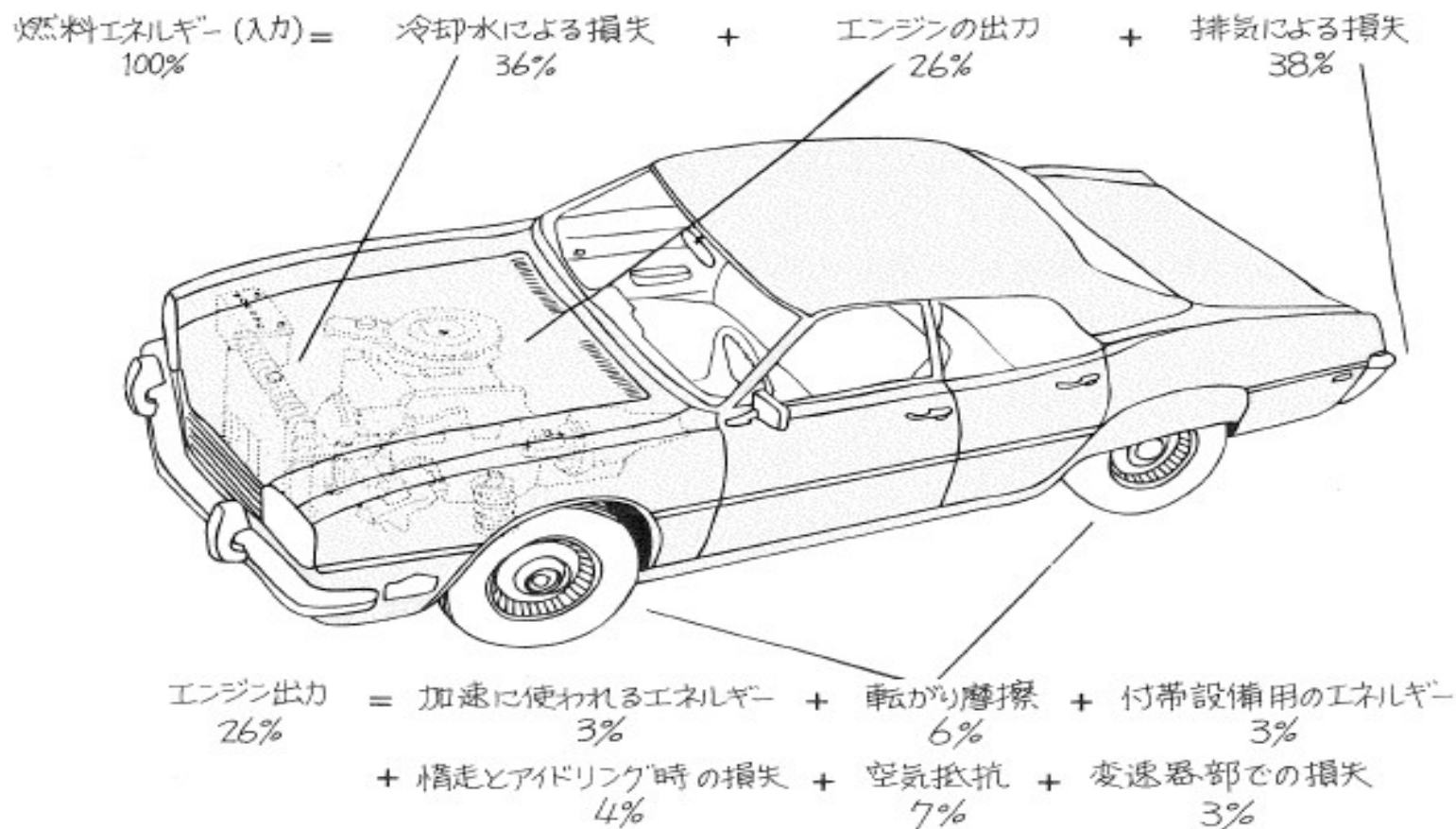
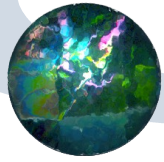
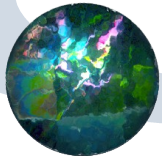


図 4.8 自動車エンジンでは、ガソリンを燃やして得られる熱エネルギーの26パーセントだけが有用な力学的エネルギーになり、そのエネルギーも大半は摩擦や空気抵抗に打ち勝つために失われる。ここに示したエネルギー損失の比率は、代表的なアメリカの自動車についていろいろな運行状態の場合を平均したものである。



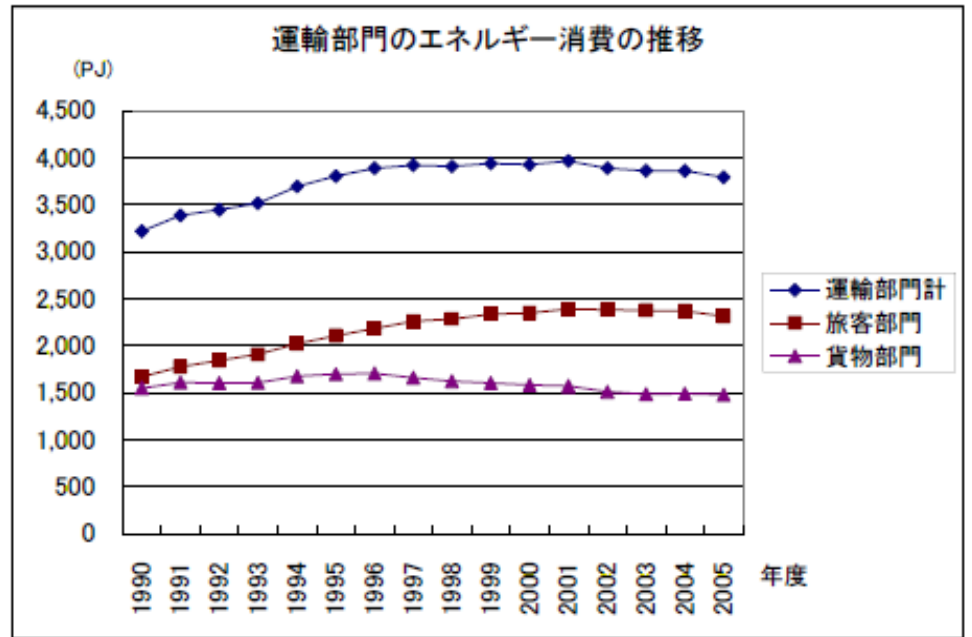
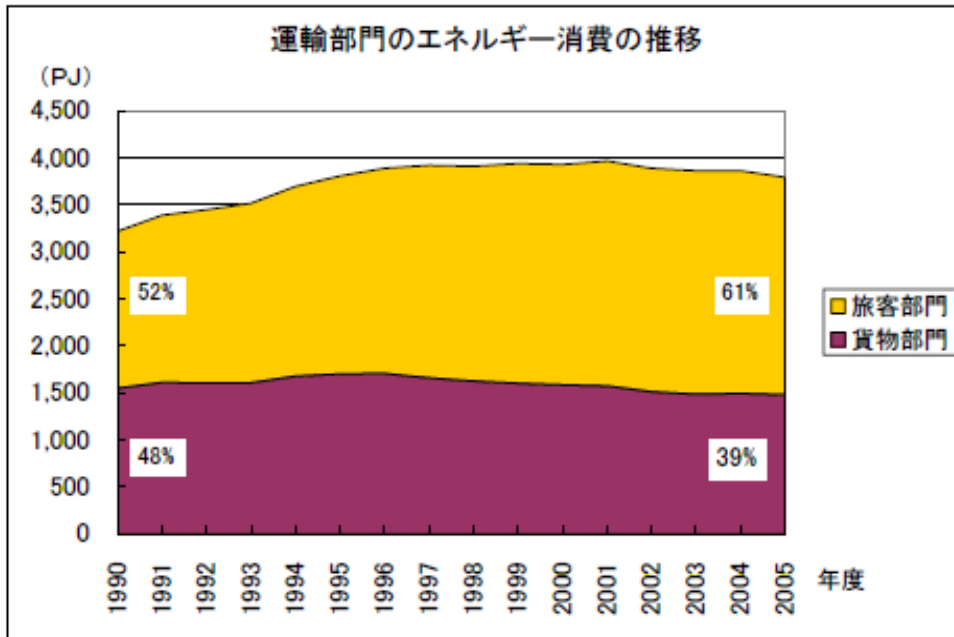
# 車のエネルギー消費についての まとめ

- **エンジンの熱効率には限界がある。  
燃焼温度と冷却機温度（常温）に関係**
- **摩擦による消費**
  - **加速，減速の頻度が高いほどエネルギーは消費**
  - **特に，重量が大きいほど差が出る。**
  - **形の影響（空気抵抗）もある。**
  - **空気抵抗は速度の2乗で増える。  
燃費と総合すると，60Km/h程度で燃費最大**



統計データからみえること

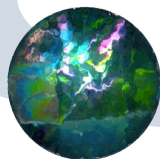
# 日本全体の運輸エネルギー消費は多少減り気味



ガソリン消費量は2005年度, 21年ぶりに減少したと報告されている

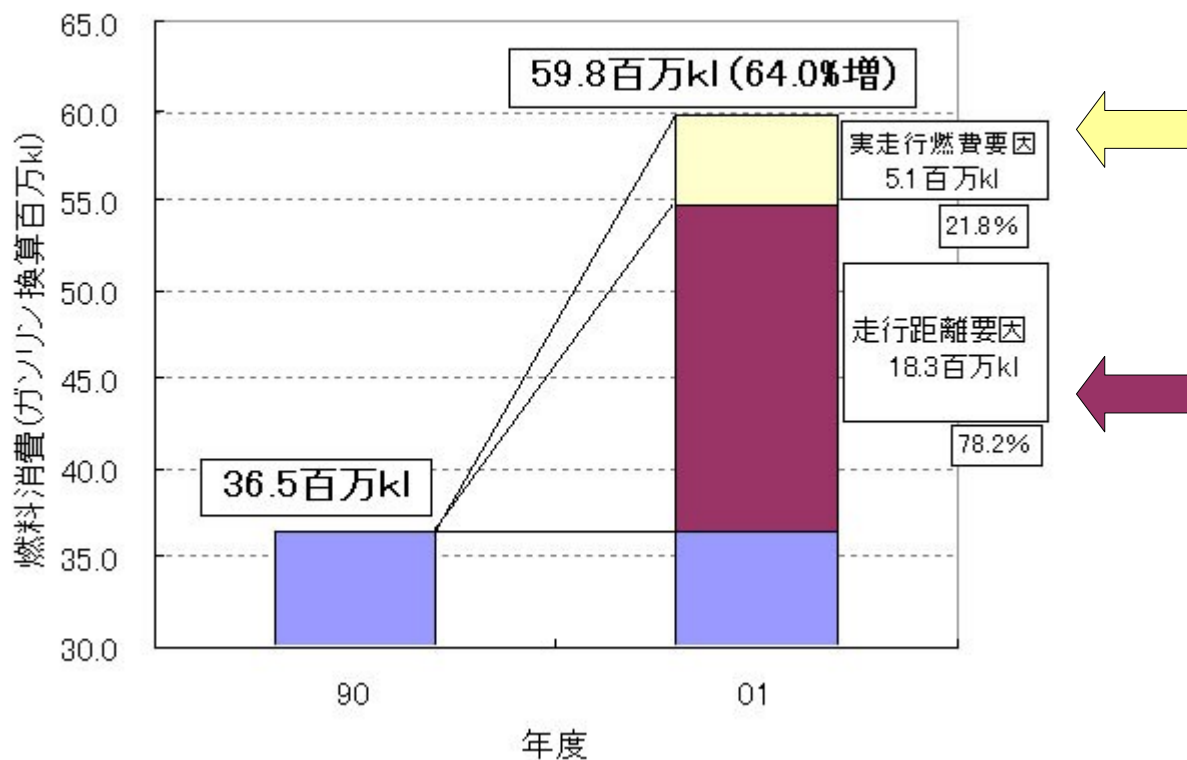
資源エネルギー庁「平成17年度におけるエネルギー需給実績」より

要因分析はまだない?



# 自動車消費エネルギーの増加要因

自家用乗用車のエネルギー消費変化要因



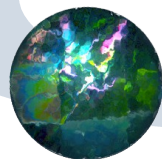
走行要因:

- 車の重量の増加(+)
- 道路の渋滞や走行状態の問題(+)
- 燃費の向上(-)

走行距離要因:

- 保有台数 (+)
- 走行距離 (-)

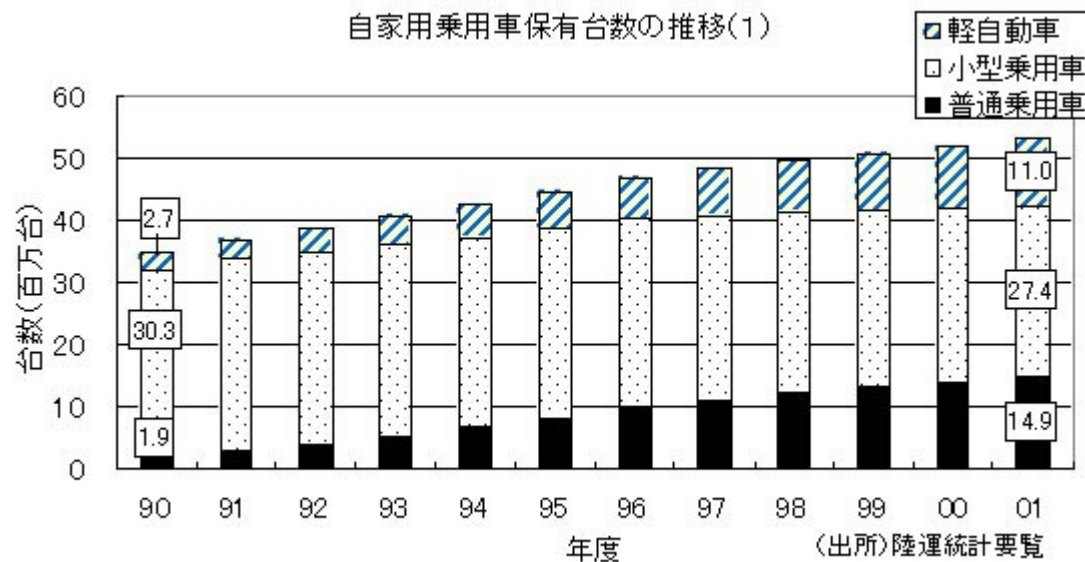
(財)省エネルギーセンター「交通の省エネルギー」より



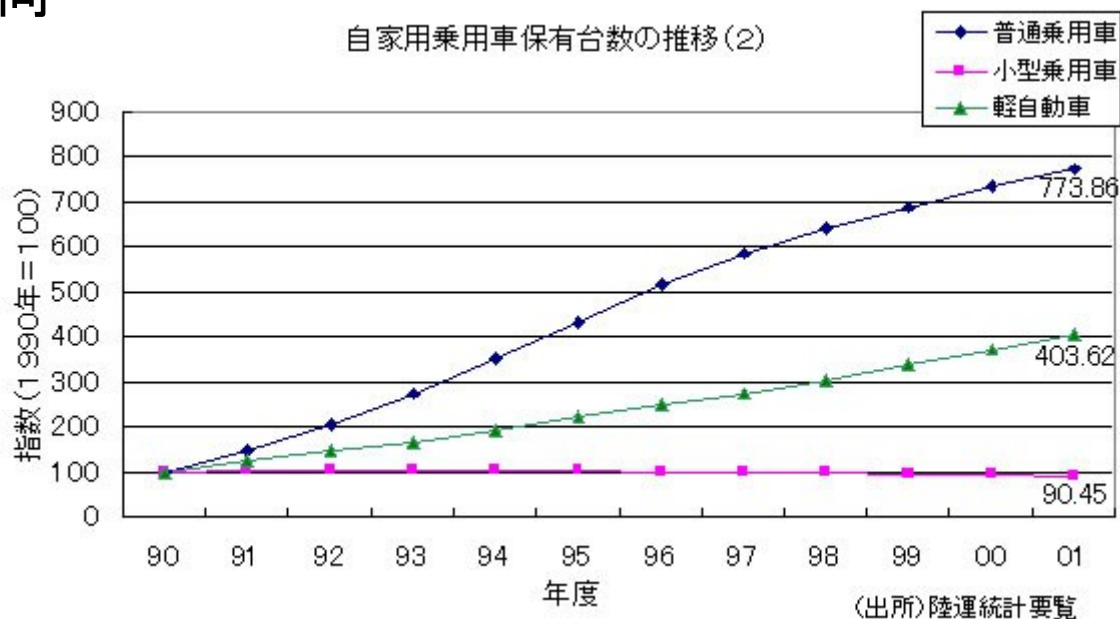
# 乗用車台数

小型乗用車(5ナンバー)が減り  
普通乗用車, 軽乗用車が増加傾向

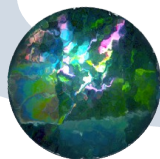
自家用乗用車保有台数の推移(1)



自家用乗用車保有台数の推移(2)



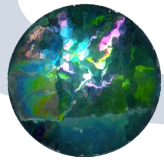




# 世帯あたりの保有台数

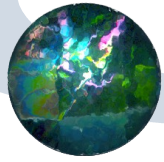
県名	1993		2003		伸び率(%)
	順位	一世帯当たり台数	順位	一世帯当たり台数	
福井	6	1.265	1	1.715	35.6
富山	5	1.275	2	1.708	34.0
群馬	1	1.365	3	1.676	22.8
岐阜	2	1.325	4	1.664	25.6
栃木	3	1.313	5	1.614	22.9
兵庫	39	0.799	43	0.963	20.5
京都	40	0.788	44	0.909	15.4
神奈川	41	0.777	45	0.827	6.4
大阪	46	0.664	46	0.731	10.1
東京	47	0.566	47	0.550	-2.8

人口密度が高く公共交通利用率が高くなれば、自動車利用は減るといえるかもしれない



## 統計データに関することのまとめ

- 90年代後半以降，エネルギー消費の増加はにぶり，減少し始めた？
  - 最近の省エネルギーの意識化 (軽車両の増加)，ガソリン等の価格上昇
  - 人口の大都市への集中
  - 技術による燃費向上
- **しかし，90年レベルまで落す展望はない**  
(京都議定書では，温室効果ガス排出削減目標は90年実績の-5%)



# 他のエネルギーは？

エネルギーの質(エントロピーの観点から)

「高級・中級・下級なエネルギー」

(河宮信郎「必然の選択 地球環境と工業社会」海鳴社)

- 高級: すべてを力学的エネルギーに変換可能

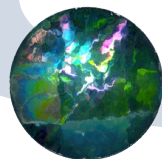
電力

- 中級: ほとんどすべてを変換可能

- 化学反応により取り出せるエネルギー「水素発電」

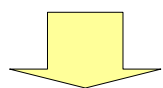
- 低級: 一部分しか利用できない

熱エネルギー



# 電力や水素は一次エネルギー源 ではない

電力や水素は自然には  
存在しない



一次エネルギー  
から作り出さな  
ければならない

したがって、  
車のエネルギー源としては  
化石燃料が優位

水素燃料などは、来週の講義にでるだろう

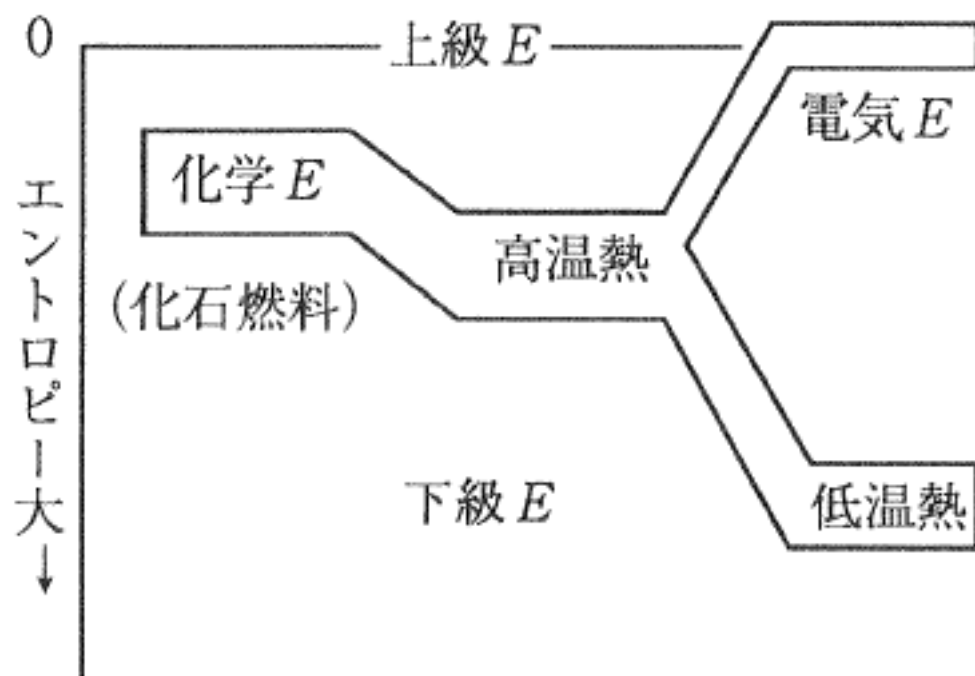
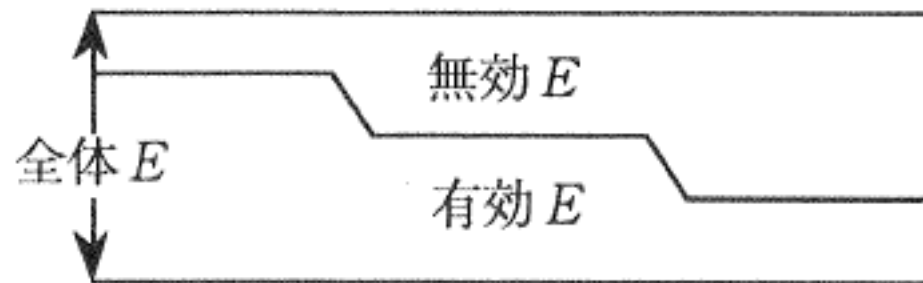
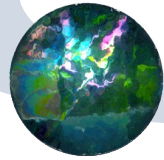


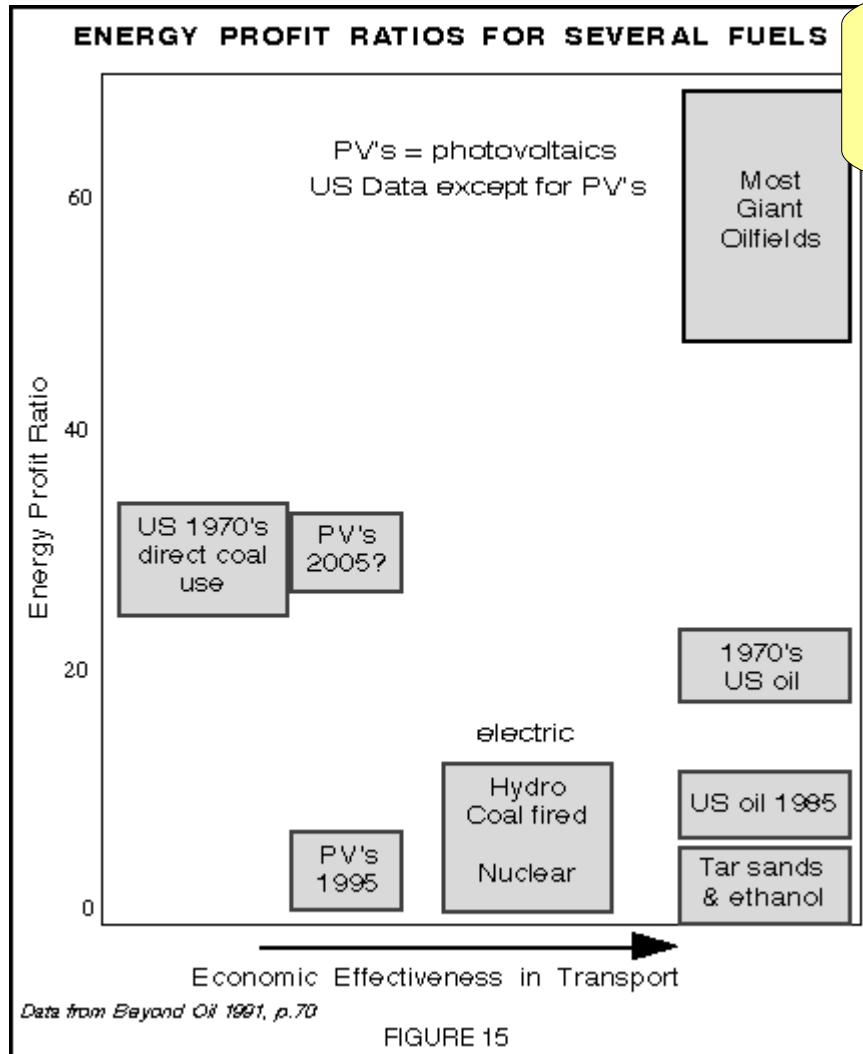
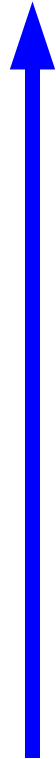
図 1-2 火力発電におけるエネルギー変換とその際のエントロピー変化

# エネルギー利益率 (EPR)

$$\text{EPR} = \text{出力エネルギー} / \text{投入エネルギー}$$



EPR



中東の大油田

液体燃料は、輸送、貯蔵、熱機関での利用の簡便さにおいて非常に優れている

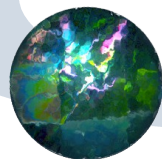
“CLIMAXING OIL: HOW WILL TRANSPORT ADAPT?” BJ Fleay

[http://www007.upp.so-net.ne.jp/tikyuu/oil\\_depletion/climaxingoil.html](http://www007.upp.so-net.ne.jp/tikyuu/oil_depletion/climaxingoil.html)

からの孫引き



輸送という観点からの経済的効率性



# 化石液体燃料はあとどれだけあるのか

日本石油連盟のパンフ「今日の石油産業2007」より

## 石油資源の究極可採埋蔵量

合計:約280年分

約60年分

約50年分

約40年分

約130年分

原油

1兆6,744億バレル

確認可採埋蔵量  
1兆477億バレル  
発見期待埋蔵量  
6,267億バレル

オイルサンド

1兆2,753億バレル

高粘度の重質油を  
含む砂・砂質岩

オリノコータル

9,471億バレル

ベネズエラ・オリノコ川  
付近に存在する  
超重質油

オイルシェール

3兆5,848億バレル

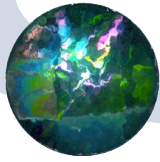
石油のもととなる  
有機物を含む堆積岩

約7.5兆バレル

(出所) BP統計、第16回世界石油会議資料、国連訓練調査研究所資料、石油公団資料等



# あるとは言っても掘れるとは限らない

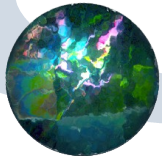


## ANOMALOUS INCREASES IN REPORTED RESERVES

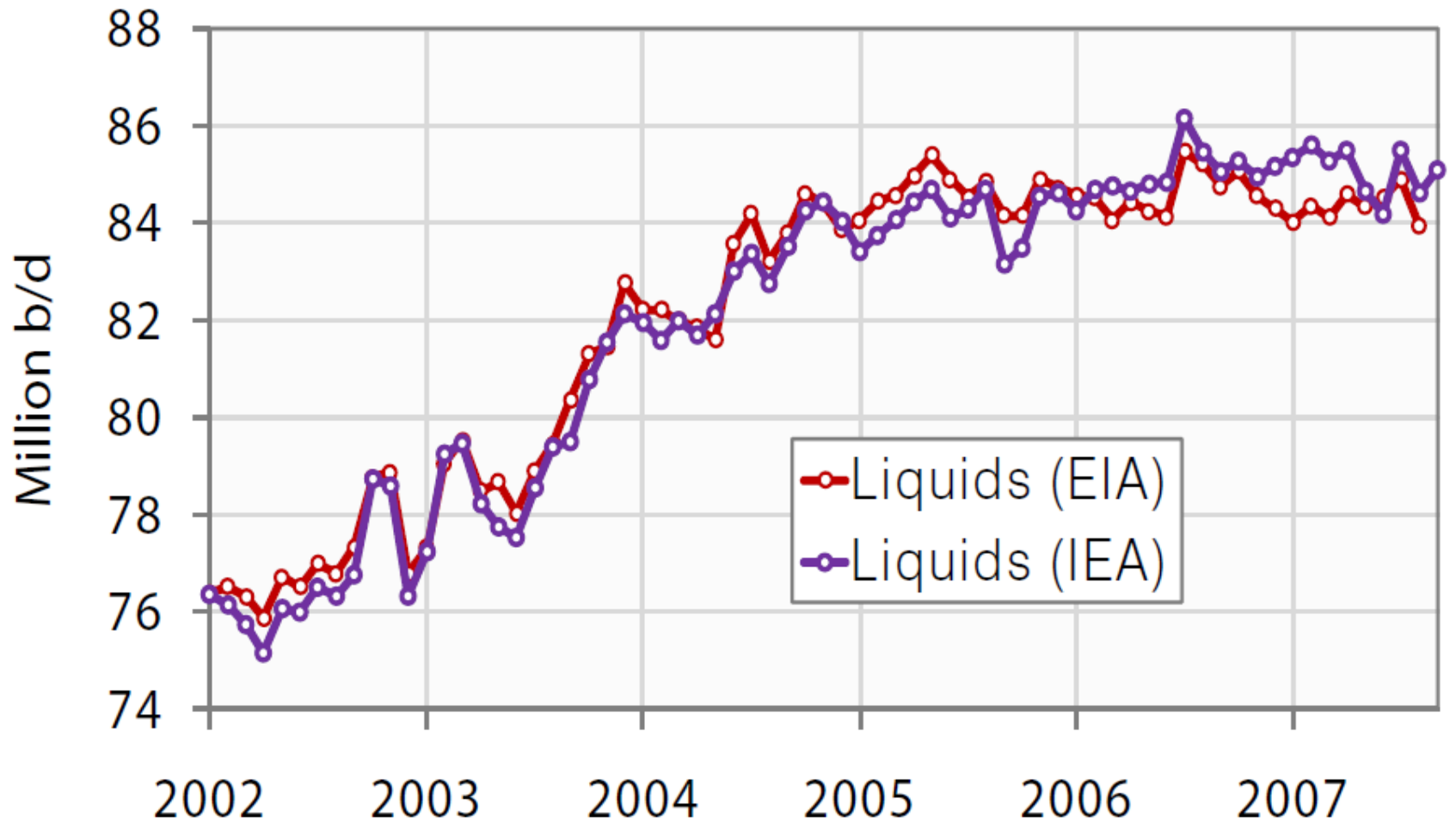
	Abu Dhabi	Dubai	Iran	Iraq	Kuwait	Neutral Zone	Saudi Arabia	Venezuela
	billion bbl							
1980	28	1.3	58	31	65	6.1	163	18
					66	6.0	165	18
					65	5.9	164	20
					64	5.7	162	22
					64	5.6	166	25
					90	5.4	169	26
					90	5.4	169	26
					92	5.3	167	25
					92	5.2	167	56
					92	5.2	170	58
					92	5.0	258	59
					95	5.0	259	59
					94	5.0	259	63
					94	5.0	259	63
					94	5.0	259	65
					94	5.0	259	65
					94	5.0	259	65
					94	5.0	259	72
1998	92	4.0	90	113	94	5.0	259	73
1999	92	4.0	90	113	94	5.0	261	73
2000	92	4.0	90	113	94	5.0	261	77
2001	92	4.0	90	113	94	5.0	261	78
2002	92	4.0	90	113	94	5.0	259	78
2003	92	4.0	126	115	97	5.0	259	79
2004	92	4.0	126	115	99	5.0	259	77

- 残っているものほど採掘が困難
- 質が悪いものほど後に残る
- 埋蔵量は国家機密  
(中東の石油埋蔵量は80年代に急増した←戦略的思惑も)

# 最近の探掘量 (液体燃料全体)



**Chart 2:** World Liquids Production Jan. 2002 - September 2007



Source: Energy Information Administration, International Energy Agency

# 最近の採掘量(原油)

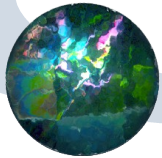


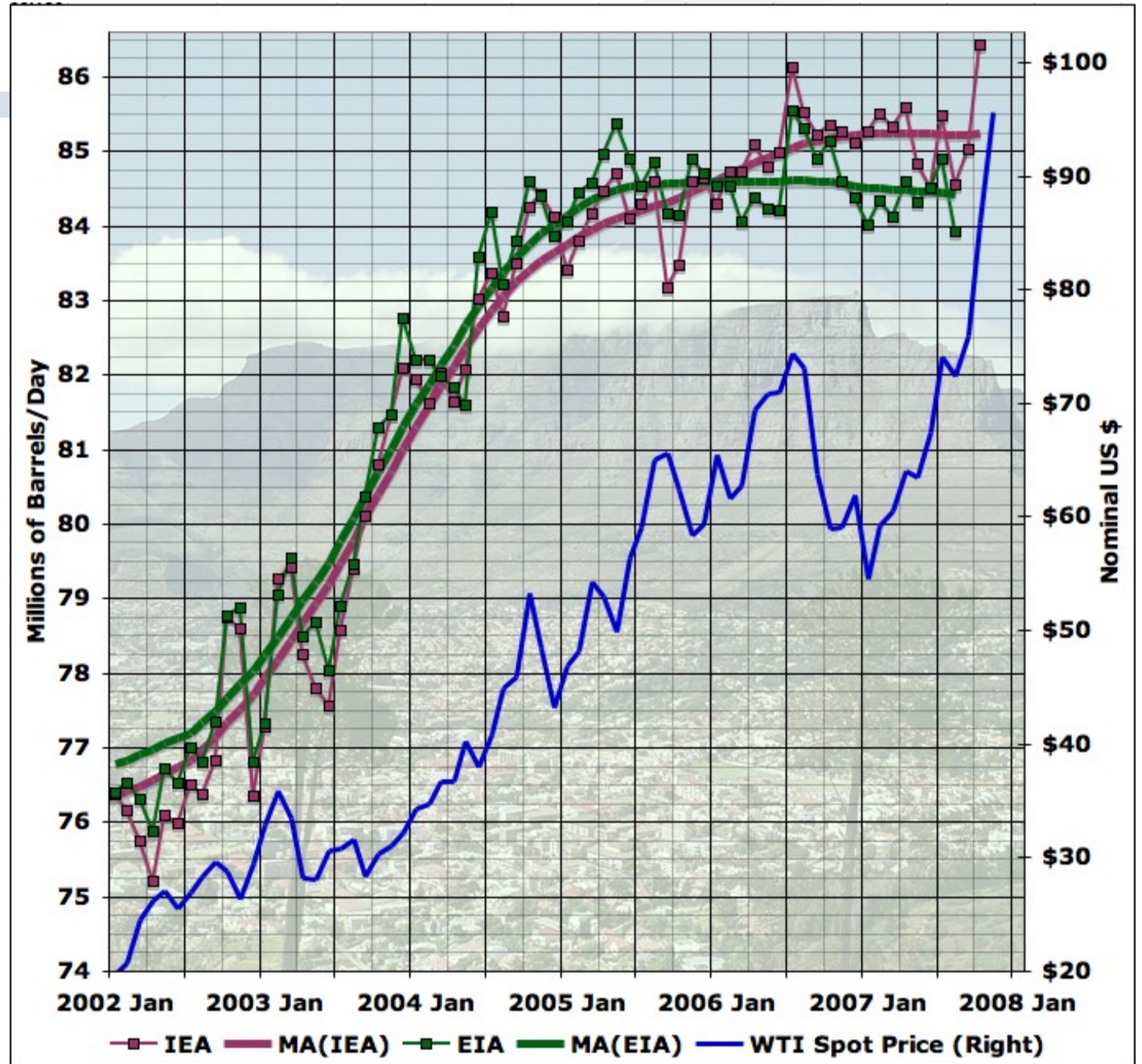
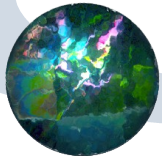
Chart 3: World Crude Oil Production January 2002 - August 2007



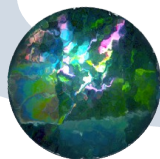
**長い「高原状態」が続くと予想**

Source: Energy Information Administration

# データのばらつき







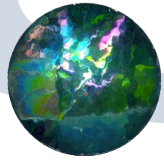
# 石油の利点

- 可搬性
  - 常温で液体 vs. 天然ガス
- 高い発熱量(エネルギー密度)  
vs. 太陽光などの「自然エネルギー」
- 有害物質の少なさ  
vs. 石炭, 原子力



出来ることは大事に使うこと

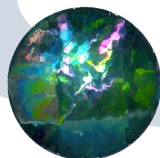
再生可能エネルギーの可能性については、来週から2回



# ではどうするか

- **物流を減らす**
  - **地産地消**
  - **街の構造**
- **物質的消費が少なく、脳に幸福感を与えられる方法**
  - **脳科学を政策へ**
  - **文化学術立国** (かつて90年代に国大協がとなえた)
  - **情報産業**
- **上記に比べれば小さい話だが、交通の効率化**

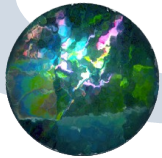




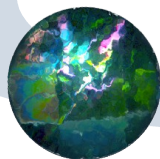
# ITS (*Intelligent Transportation System*)

9つの開発分野	サービス・システムの例
1.ナビゲーションシステムの高度化	VICS (道路交通情報通信システム)
2.自動料金収受システム	ETC (ノンストップ自動料金支払システム)
3.安全運転の支援	AHS (安全運転支援)、ASV (先進安全自動車)
4.交通管理の最適化	交通量の最適化、交通事故時の交通規制情報の提供
5.道路管理の効率化	特殊車両等の管理、通行規制情報の提供
6.公共交通の支援	公共交通利用情報の提供、公共交通の運行・運行管理支援
7.商用車の効率化	商用車の運行管理支援
8.歩行者等の支援	経路案内、危険防止
9.緊急車両の運行支援	緊急時自動通報、緊急車両経路誘導・救援活動支援

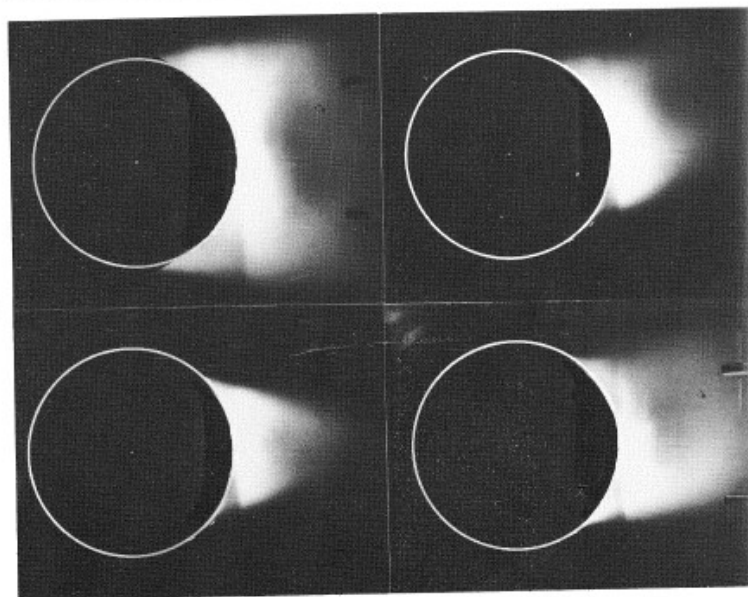
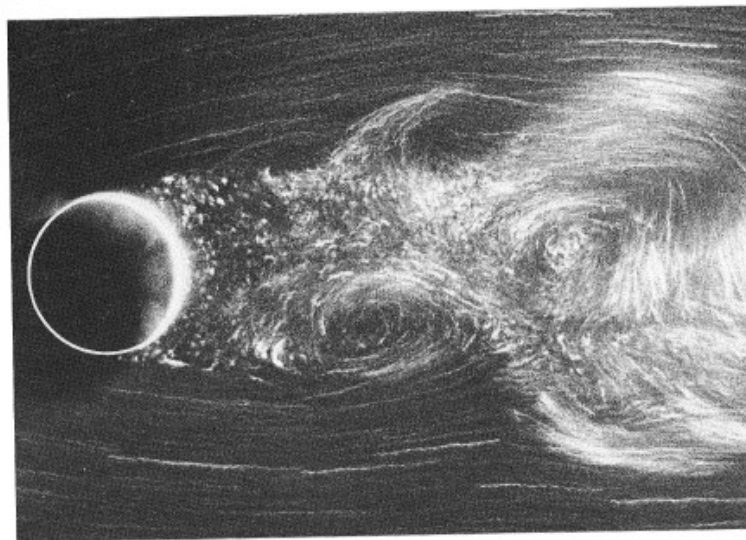
# バスのためのIT



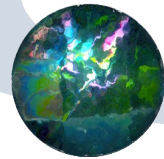
- バスロケーションシステム
  - 直近のバス位置を携帯電話で確認できる  
山梨交通の例
- バス優先信号制御
- バス経路・時刻表情報提供
  - NPOなどの取り組み
    - 全国バスマップサミットが毎年開催されている
    - <http://cosmos.js.yamanashi.ac.jp/busmaps/>
- デマンドバス
  - 「乗り合いタクシー」的
  - 東大の設計工学研究室のソフトウェアなど



# 物体後方の空気の乱れは大きな抵抗の原因



# 形状による抵抗係数の大きさ



高速移動体の設計  
では、形はとても大切  
(新幹線など)

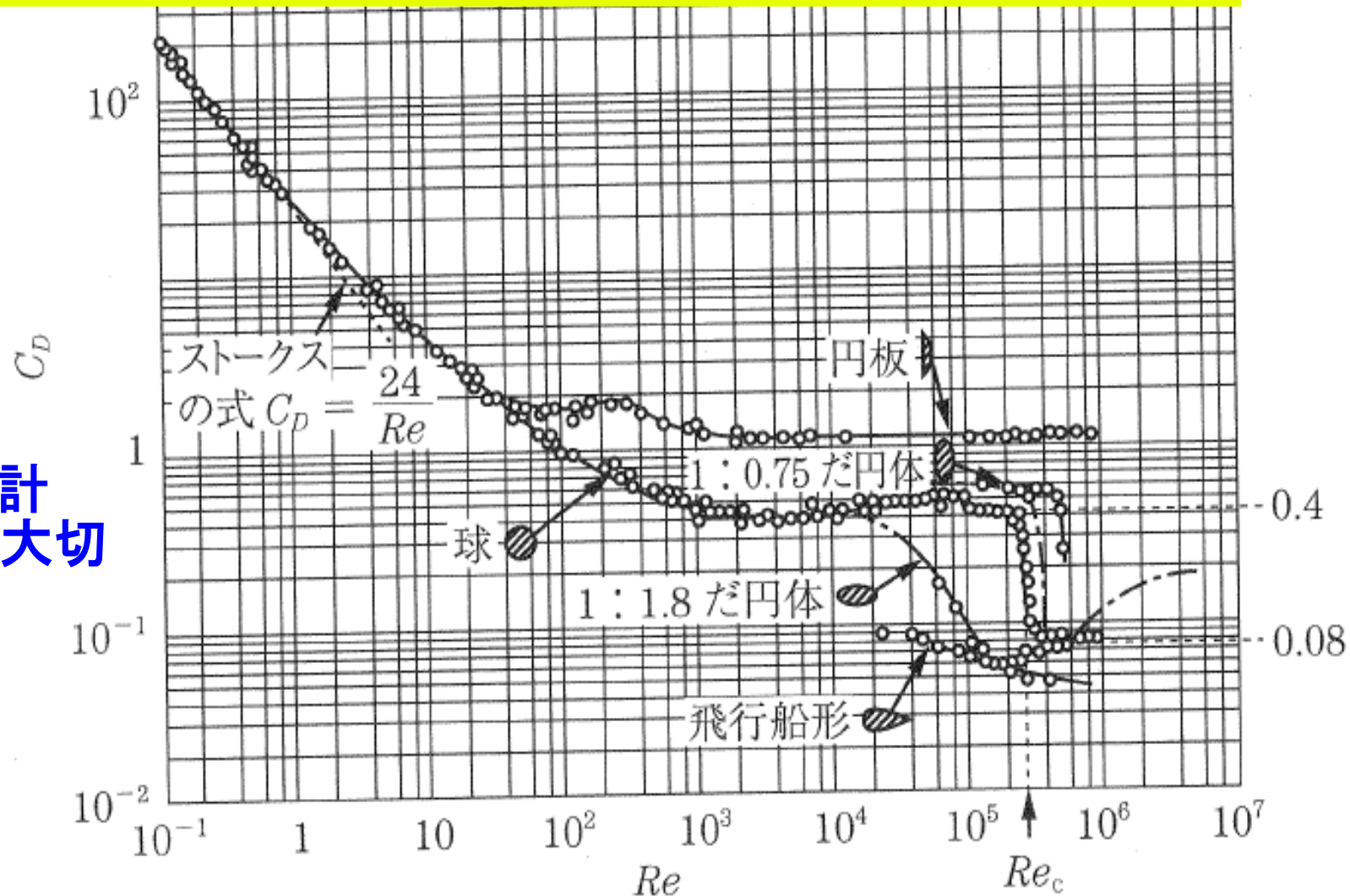
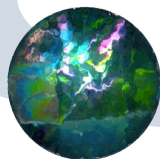
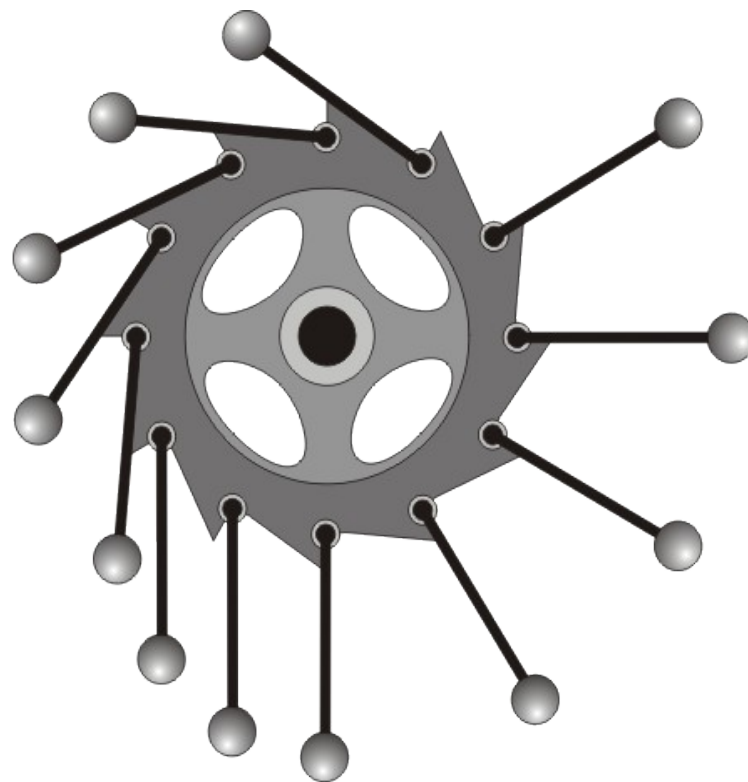
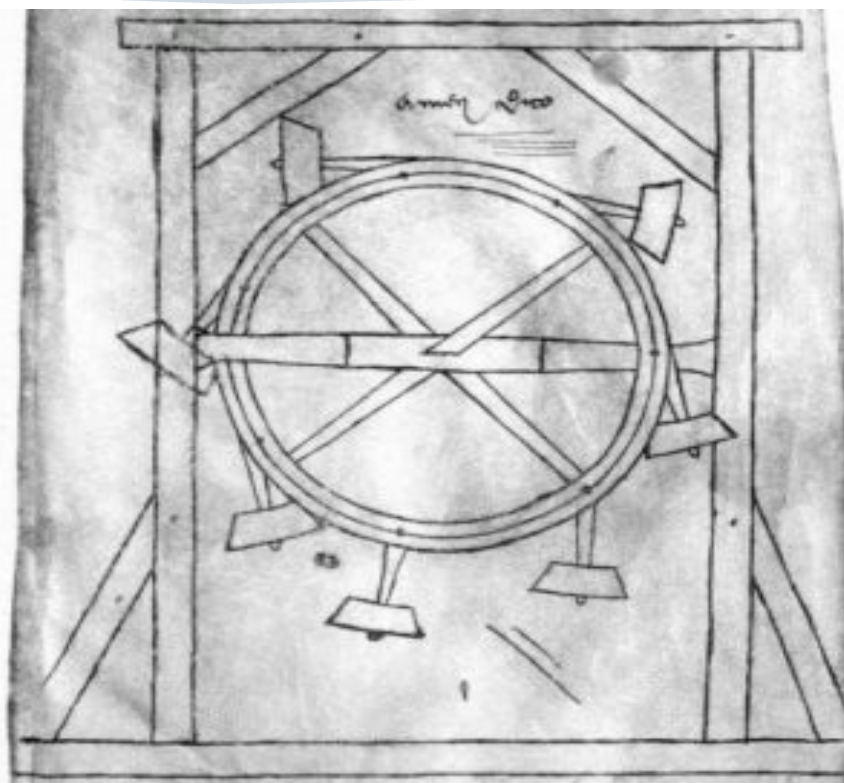


図 7.13 球、楕円体、円板などの抗力係数〔日本機械学会 編：機械工学便覧 A5 流体力学，A5-98，(1986) より〕



# 第1種永久機関



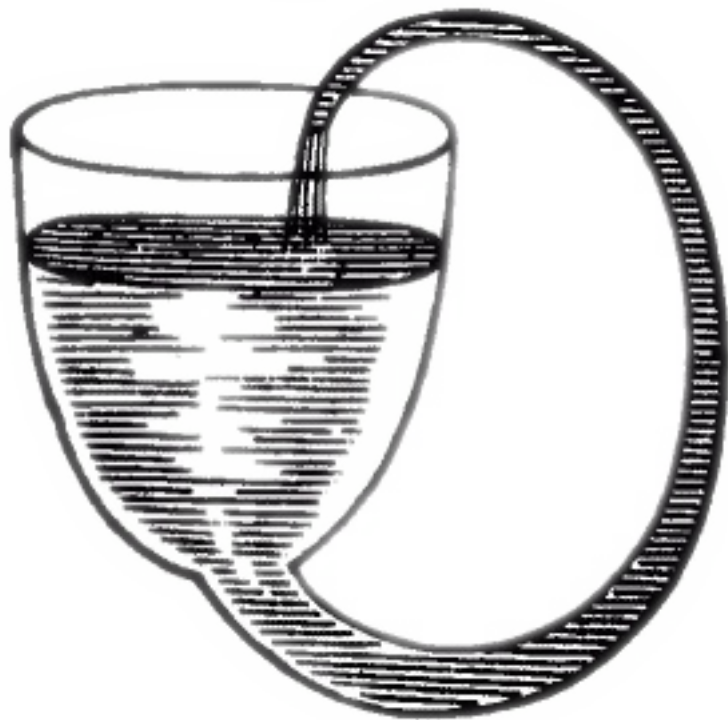
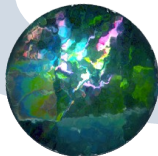
ヴィラール・ド・オヌクールの永久機関 錘を利用した永久機関。

北フランス、1230年ごろの作図

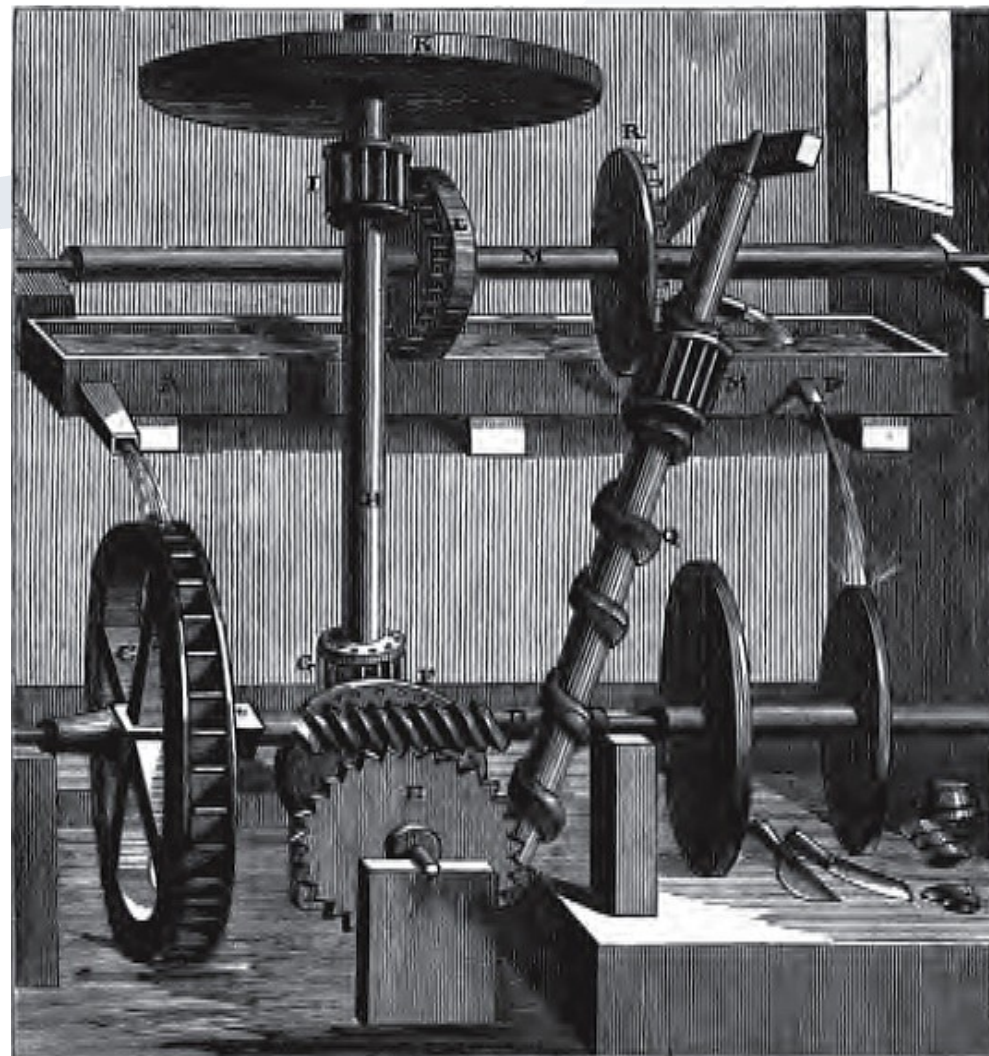
- エネルギー保存則を破ることはできない。



# 第2種永久機関



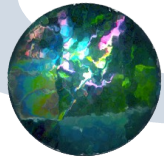
ボイルが考えた永久機関



水車をつかった永久機関(1660年頃)

- **熱エネルギーをすべて仕事に変えることは出来ない. これも自然の掟.**





# 物理による枠組

原理的枠組みとしての

エネルギー保存則

と

エントロピー増大則