



平成19年度学術俯瞰講義 エネルギーと地球環境 西尾 茂文

自然環境と人工環境
地球環境変動
エネルギー消費
持続可能性
持続可能な社会に向けて

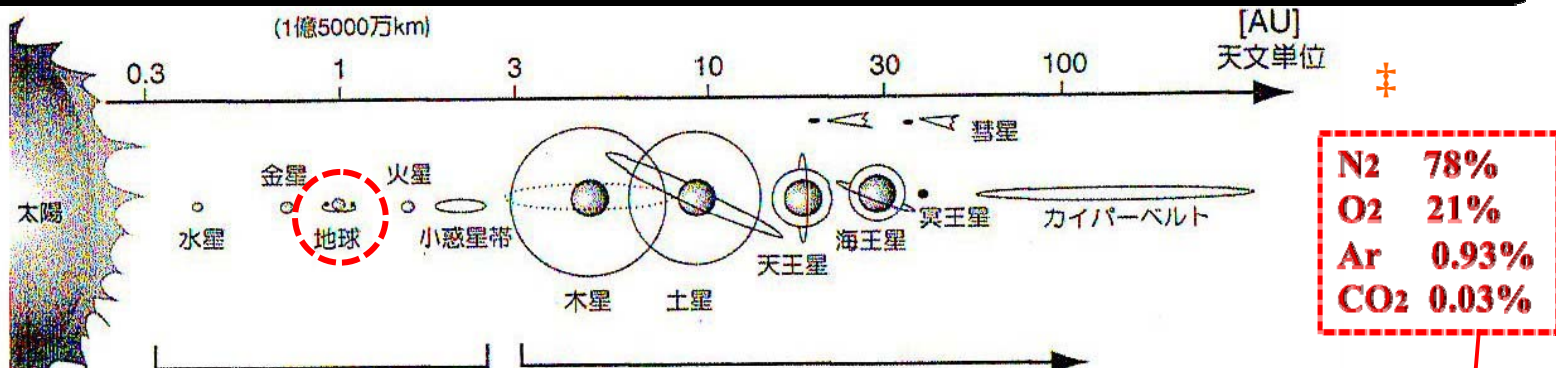
※: このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。



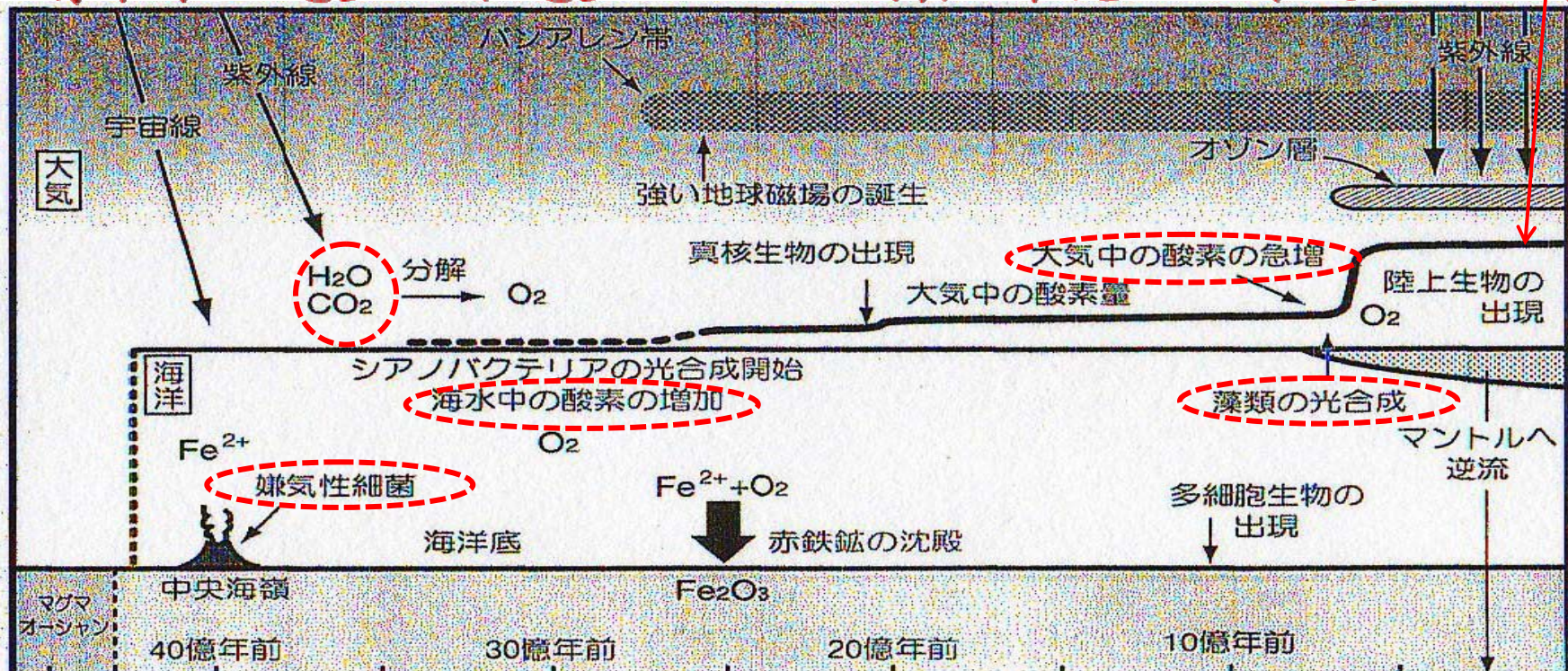
自然環境と人工環境

交通網・エネルギー網・情報網などを
基盤とする利便性の高い社会
(=人工環境) が登場する中で、
今、地球に何が起きているか？

自然環境と人工環境



太陽系第三惑星＝水惑星における自然環境は地球進化の結果





自然環境と人工環境

20世紀

交通網・エネルギー網・情報網などの「人工環境」の登場



走力 = **輸送革命**
航空機・自動車・鉄道

力 = **エネルギー革命**
原子炉・ロケット

演算・記憶・視聴覚
= **情報革命**

生命力 = **バイオ革命**
遺伝子操作

信仰に近いほどの物的科学技術の魅力

「人類を月面に到着させることの重要さは、進化において海の生物が陸上にまで這い上がってきた時の瞬間にほぼ等しい。我々は、…この頭脳と手足とを極限にまで伸ばしている。人類の進化における新しい一歩である」ヴェルナー・フォン・ブラウン
「もし神がなければ、それを発明する必要がある」ヴォルテール
「未来は自動車のものだ。それは人間を開放するからだ。」ゾラ

物的科学技術 = 要素分割・細分化

人間の物理的能力の拡大・物理的制約からの解放が原動力

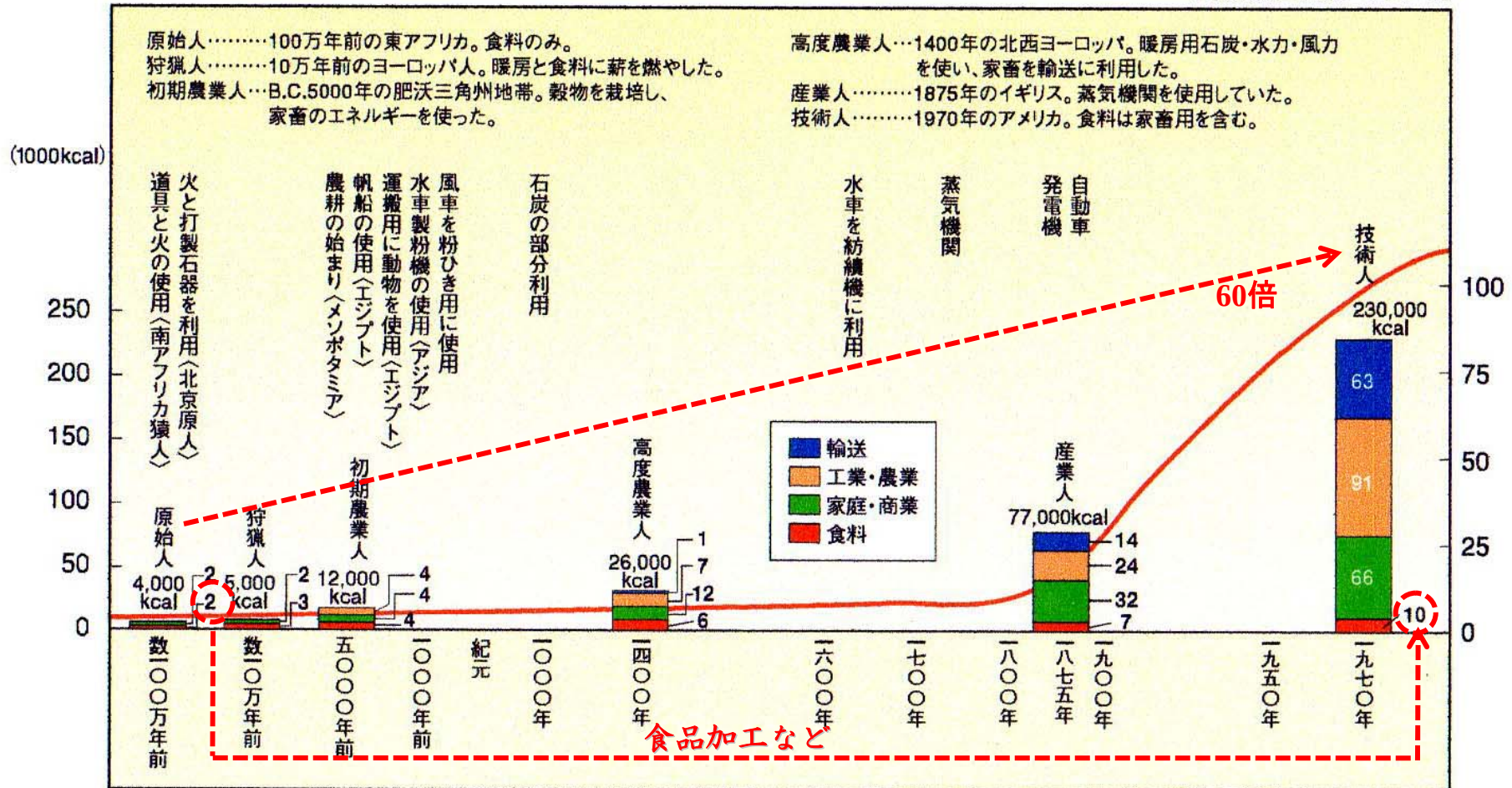
人間機能の分割 ⇒ 単能機による代替 ⇒ 要素の積み木構造

自然環境と人工環境

人工環境へのエネルギー供給量は急増

■エネルギー利用の変遷とエネルギー利用量の増加

(石油換算100万バレル/日)



※棒グラフ「一人当たりエネルギー消費量」、曲線グラフ「世界のエネルギー消費量」

出所: NIRA「エネルギーを考える」に加筆

自然環境と人工環境

2003年の状況

米国24%
(GDP30%)

EU15国16
(GDP24%)

日本5%
(GDP14%)

中国12%
(GDP5%)

エネルギー消費総量＝100億石油換算トン＝13TW（大気圏外での太陽エネルギーの14,000分の一）

日本人一人あたりのエネルギー消費総量＝5.8kW（体重約15トンの動物の標準代謝）

日本人一家庭あたりのエネルギー消費総量＝15kW

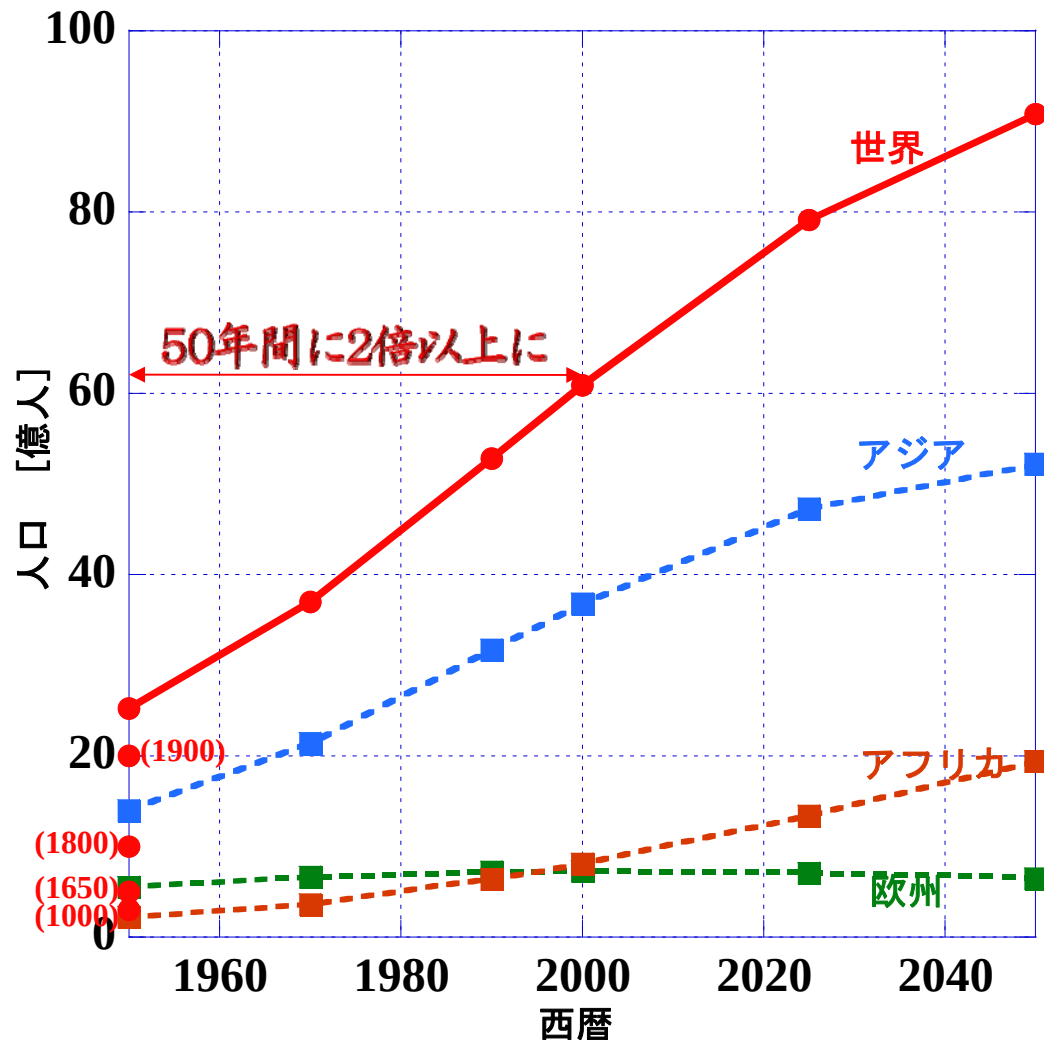
一人あたりのエネルギー消費総量（対日本）：米国 1.94、英国0.97、独国1.04

欧州0.82、アジア0.20、世界0.38⇒ 世界格差

一次エネルギー割合：化石80%(石油35%、石炭25%、天然ガス21%)、原子力7%、水力2%、可燃再生・廃棄物11%⇒ 枯渇性資源・原子力に依存

自然環境と人工環境

人口の急増・開発途上国におけるエネルギー消費レベルの急上昇
⇒ 石油等の需要急増 (2000⇒2030年で1.6～1.8倍に)



[エネルギー経済研究所
計量分析ユニット編、「エ
ネルギー・経済統計要覧」、
財団法人省エネルギーセ
ンター、(2006)より]

自然環境と人工環境

石油を中心とする化石資源需要の急増を背景として
資源ナショナリズムが起こる中、利便性は高いが遍在する
化石資源の獲得が政治経済的課題となっている。

石油の残存確認埋蔵量の2/3程度が中東地区に遍在

天然ガスの残存確認埋蔵量の2/3程度がロシア・中東地区に遍在

サウジアラビア 国営Saudi Aramco社が、全ての石油権益を保有

UAE 国営ADNOC社が、石油権益の60%に参加

イラン 国営NIOCが、探鉱・開発・生産の権利を保有

クエート 国営KOCが、探鉱・開発・生産の権利を保有

ロシア 天然ガスを中心に権利・権益の国家管理・外資規制等を強化

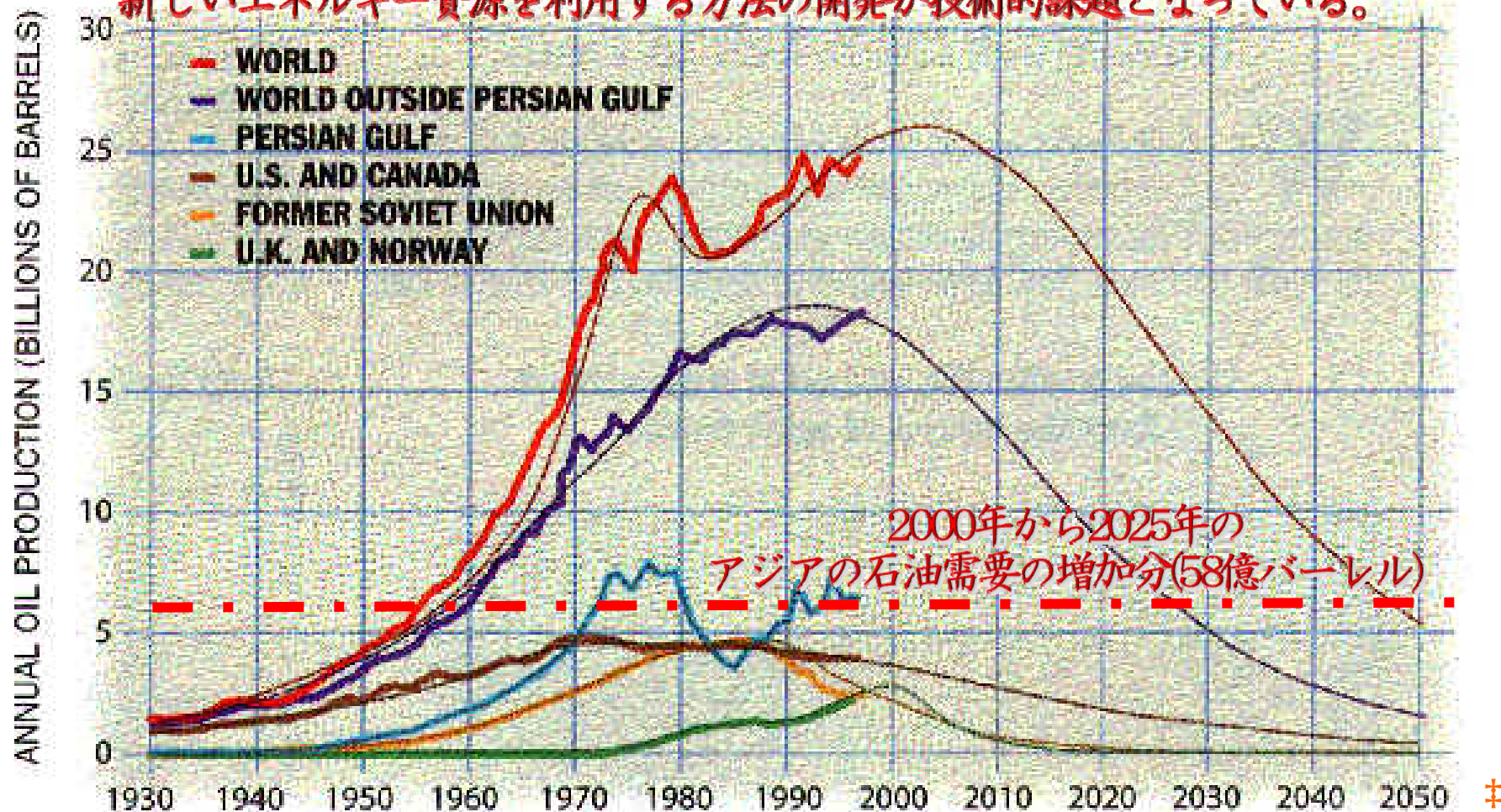
カザフスタン 天然ガスを中心に権利・権益の国家管理・外資規制等を強化

2004.11 中国のエネルギー需要急増を背景に、ロシアサハリン州・日本間のパイプライン大規模建設計画を開発主体のエクソンモービル社が白紙撤回

2006.12 ロシアがベラルーシ（旧「白ロシア」）に天然ガス価格4倍に値上げを通告。ベラルーシは、自国内を經由する欧州へのガスパイプラインを不通にする可能性を示唆。

自然環境と人工環境

アジアの石油需要の増加分はペルシャ湾岸の産油量に匹敵するとともに石油生産は近々ピークを迎えるといわれており、化石資源枯渇の現実性が迫る中で、エネルギー利用効率を高めてエネルギー資源消費を抑制する方法や新しいエネルギー資源を利用する方法の開発が技術的課題となっている。



自然環境と人工環境

地球温暖化？：自然環境変動を理解・予測する方法や自然環境の人為的変動を抑制する方法の開発が科学・技術的課題となっている。

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた『Climate Change 2001 (Synthesis Report), (2001), Cambridge Univ. Press, Fig. 2-3』より引用された図表を省略させていただきます。

自然環境と人工環境

マウナロア観測所での
大気中二酸化炭素濃度
の測定値

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた『“C.D. Keeling et al., Nature, 375 (1995), pp. 666-670 “, Fig. 1』より引用された図表を省略させていただきます。

地上および海上を含む
地球平均気温の変化

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた『Climate Change 2001 (Synthesis Report), (2001), Cambridge Univ. Press, Fig. 2-3』より引用された図表を省略させていただきます。

自然環境と人工環境



熱帯雨林等の植生変化

気候変動？：自然環境変動を理解・予測する方法や自然環境の人為的変動を抑制する方法開発が科学・技術的課題となっている。

洪水等の水循環変化



氷床融解等の気温変化

農耕等の作物変化





自然環境と人工環境

自明な社会目標の喪失

個性の喪失

世代的継続性の喪失

90億人への人口爆発
食糧確保

資源確保・環境保全

少子高齢社会
成熟社会の構造化

格差是正
上位1%の収入は96%増
下位20%の収入は17%減

1977年⇒1992年(米国)

人工環境起源の課題群の出現

走力 = **輸送革命**
航空機・自動車・鉄道

力 = **エネルギー革命**
原子炉・ロケット

演算・記憶・視聴覚
= **情報革命**

生命力 = **バイオ革命**
遺伝子操作

信仰に近いほどの物的科学技術の魅力

「人類を月面に到着させることの重要さは、進化において海の生物が陸上にまで這い上がってきた時の瞬間にほぼ等しい。我々は、…この頭脳と手足とを極限にまで伸ばしている。人類の進化における新しい一歩である」ヴェルナー・フォン・ブラウン
「もし神がなければ、それを発明する必要がある」ヴォルテール
「未来は自動車のものだ。それは人間を開放するからだ。」ゾラ

物的科学技術 = 要素分割・細分化

人間の物理的能力の拡大・物理的制約からの解放が原動力

人間機能の分割⇒単能機による代替⇒要素の積み木構造

自然環境と人工環境

政治経済的側面

判断する

資源獲得競争・化石資源枯渇への対応
自然環境と人工環境との相克の克服
成熟社会の構造化

科学的側面

理解する

技術的側面

創出する

地球環境変動

政治経済的側面

資源獲得競争・化石資源枯渇への対応
自然環境と人工環境との相克の克服
成熟社会の構造化

科学的側面

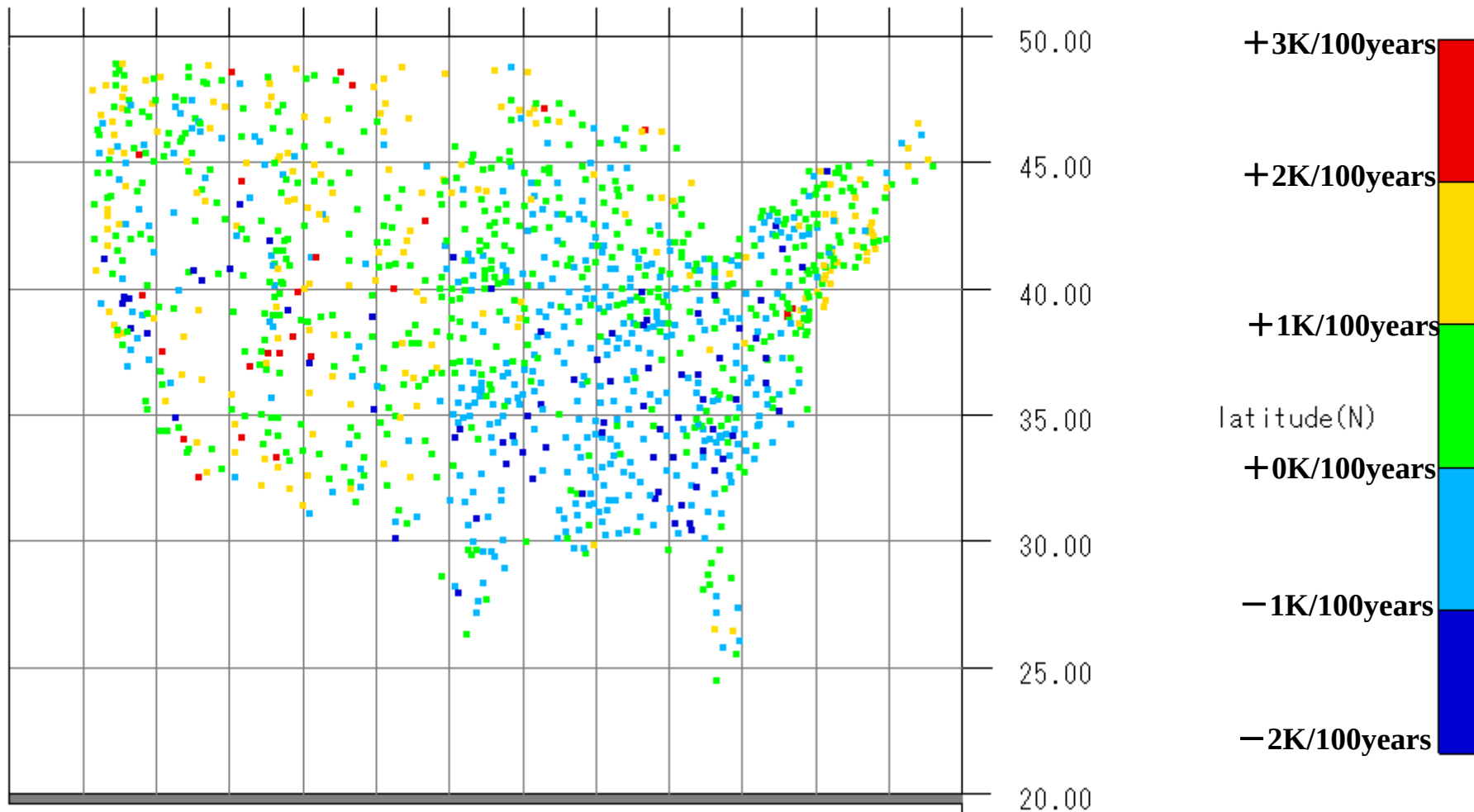
地球環境の進化的形成
地球規模のエネルギー物質循環
地球環境変動の観測・予測
エネルギー科学

技術的側面

地球環境変動

米国の気温は100年間で顕著に上昇しているとは見えない。
地球温暖化は起こっているのか。都市環境問題ではないのか。

130.0125.0120.0115.0110.0105.0100.095.0090.0085.0080.0075.0070.0065.00



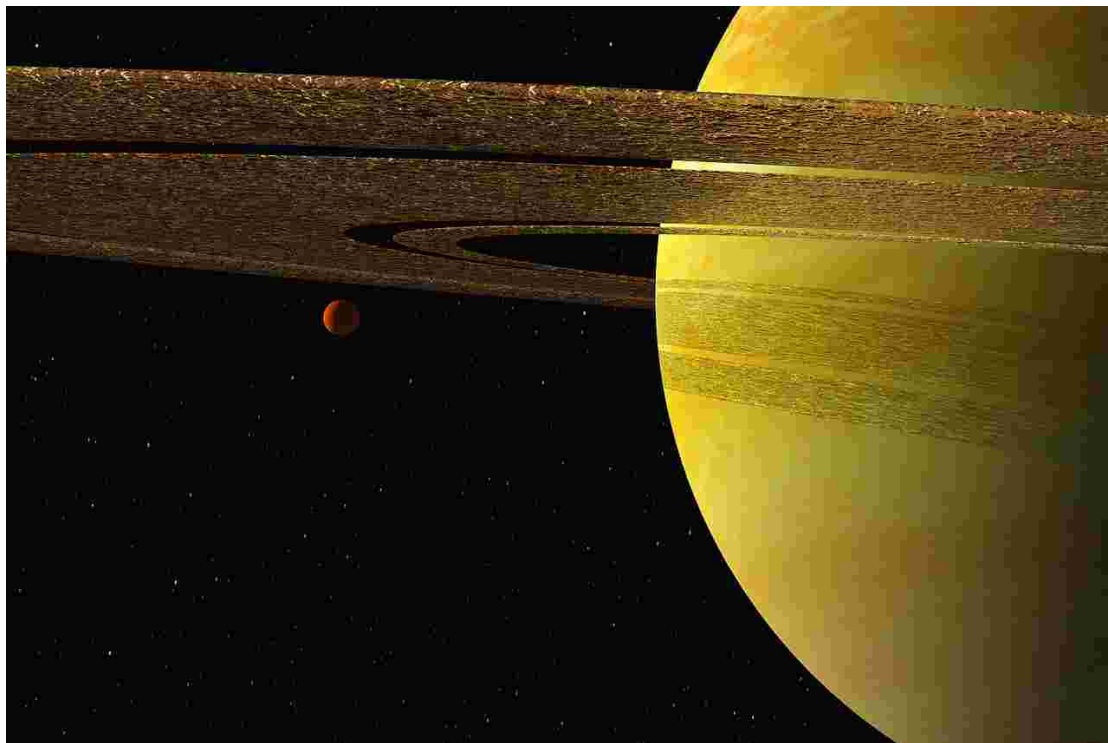
地球環境変動

ウィーンの変位則 $T\lambda_{\max} = 2898 [\text{K} \cdot \mu\text{m}]$

ステファン・ボルツマンの法則 $E = \sigma T^4$

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた『田中正之，温暖化する地球（読売科学選書23），（1989），読売新聞社，p.21』より引用された図表を省略させていただきます。

地球環境変動



$$\pi R^2 C_S (1 - F_A) = 4\pi R^2 \sigma_{SB} T_E^4$$

$R \equiv$ radius of the earth

$$C_S \equiv 1370 \text{ W/m}^2$$

$$F_A \equiv 0.3$$

$$\sigma_{SB} \equiv 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

$$T_E = 255 \text{ K} = -18^\circ \text{ C}$$

$$T_A - T_E = 288 - 255 = 33 \text{ K}$$

地表からの放射スペクトルは $10 \mu\text{m}$ 程度のところにピークを持つ。この地表放射は大気に吸収され（75%は水蒸気による吸収、特に $15 \mu\text{m}$ 以上の長波長は水蒸気によりほぼ完全に吸収）、この結果として大気放射が地表を暖めることになり、地表温度 T_A は地球の有効放射温度 T_E より高くなる。

地球環境変動

アルベド: 地球全体の反射率=0.3

太陽放射 (5780K, ピーク波長=約0.5mm)

大気・地表放射(70)

反射(30)

(100)

気体分子が重力に打ち勝って宇宙空間へ飛び出すのに必要な速度は, 地球で11km/s, 木星で60km/s, 水星で4km/s.

気体分子の算術平均速度は, $145(T/M)^{1/2}$ で, 500Kでも610m/s. したがって, 大気が形成される.

温室効果ガス
炭酸ガス, 水蒸気, オゾン

大気の窓: 透過率の高い0.3-2mm
および8-14mmの帯域

太陽放射のピーク波長(0.5 μ m)近傍
の放射は透過し, 地表面に到達

熱圏: 0.2mm以下の太陽放射の吸収により
温度上昇

対流攪拌により, 水蒸気・オゾン
以外が均質な均質圏

地表放射のピーク波長近傍は大気の窓を透過

地表面からの放射は, ピーク波長=10mm

成層圏: 0.2-0.3mmの太陽
放射の吸収により温度上昇

圏界面

対流圏: 0.6K/100mで温度降下

地表面

地表放射(104), 大気対流(29)

反射・放射

(45)

(25)

(25)

(25)

(25)

(45)

(5)

(88)

(25)

(25)

(25)

(45)

200km

100km

-80°C

中間層

100K

300K

500K

700K

地球環境変動

陸圏・気圏・水圏間の炭素循環

陸 圏

- | | |
|-----------------|-----------|
| 1) 陸上動植物として | 5500億トン |
| 2) 土壌有機物・無機物として | 1兆5000億トン |
| 3) 化石資源として | 数兆トン |

植物の炭酸同化作用
1020億トン

- 動植物の呼吸作用 500億トン
- 有機物の分解により 500億トン
- 森林消失による固定減少分20億トン

森林等の吸収
18億トン

人為排出量
71億トン

大 気 圏

- 産業革命以前(18C中頃)は、約6000億トン(280ppm)
- 化石燃料燃焼と熱帯雨林伐採により、現在7500億トン(約350ppm)

33億トン
の滞留

赤道近くでの海水温度の
上昇による溶存酸素量の
減少:900億トン

主に中緯度地帯における光合成による
固定: 920億トン

海洋への吸収
20億トン

海 洋 圏

- 1) 海洋表層圏(海面から約75m程度までの表層)に、炭酸ガス、重炭酸イオン、炭酸イオンとして約1億トンが存在。
- 2) 海洋深層圏(表層と温度成層により分離)に約38兆トン(さらに海底には、炭酸カルシウムとして沈殿物、石灰石として膨大な量の炭素がある)。

地球環境変動

- ・ 大気中の二酸化炭素濃度は、仏露協力による南極ボストーク基地掘削のガス分析（1980）により、1800年頃は280ppm程度であり、カリフォルニア工科大学のキーリングによる南極とハワイ・マウナロア山頂における気中二酸化炭素濃度の測定（1958年～）により2000年には370ppmまで高くなっていることは確かと思われる。
- ・ 定点測定や氷床の酸素同位体比率分析（海水が蒸発するときの温度がいと水蒸気中の O_{18}/O_{16} の比率が高く、水蒸気は植物の光合成により酸素となり空気中に放出される）により、1900年頃から二回にわたり気温が上昇したことも確かと思われる。
- ・ 化石燃料燃焼およびセメント産業から排出される二酸化炭素のうち58%が大気中にとどまるとすると、1960年以降の大気中二酸化炭素濃度の上昇傾向がおおむね説明できる。
- ・ ただし、気温が上昇すると海水中の二酸化炭素が大気中に放出されるで、気温の上昇と二酸化炭素濃度の上昇は、どちらが原因かを見極める必要がある。即ち、二酸化炭素濃度の上昇により、現実程度の気温上昇が起こることを確認する必要がある。

地球環境変動

IPCC

Intergovernmental Panel on Climate Change

気候変動に関する政府間パネル

- 公募により選ばれた各国代表の科学者数名が委員
- 第一作業部会 (WG I) : 気候システム及び気候変動に関する自然科学的根拠を評価
- 第二作業部会 (WG II) : 生態系の脆弱性と気候変動の影及び適応策を評価
- 第三作業部会 (WG III) : 気候変動の緩和策を評価
- 第一次評価報告(1990)、第二次評価報告(1995)、第三次評価報告(2001)
- 第四次評価報告(2007年5月IPCC第26回総会で承認)
- 政策決定者向けの要約および専門家向けの要約
 - virtually certain (現実性が99%以上)
 - very likely (90~99%)
 - likely (66~90%)
 - medium likelihood (33~66%)
 - unlikely (10~33%)
 - very unlikely (1~10%)
 - exceptionally unlikely (1%未満)

地球環境変動

気温変動は予測可能になりつつある？

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた
『Climate Change 2001 (Synthesis Report),
(2001), Cambridge Univ. Press Fig. SPM-2』より
引用された図表を省略させていただきます。

地球環境変動

気温変動は予測可能になりつつある？

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた
『“Climate Change 2001 (Synthesis Report), (2001),
Cambridge Univ. Press, Fig.2-3”』を改定した図表を省
略させていただきます。

エネルギー消費

政治経済的側面

資源獲得競争・化石資源枯渇への対応
自然環境と人工環境との相克の克服
成熟社会の構造化

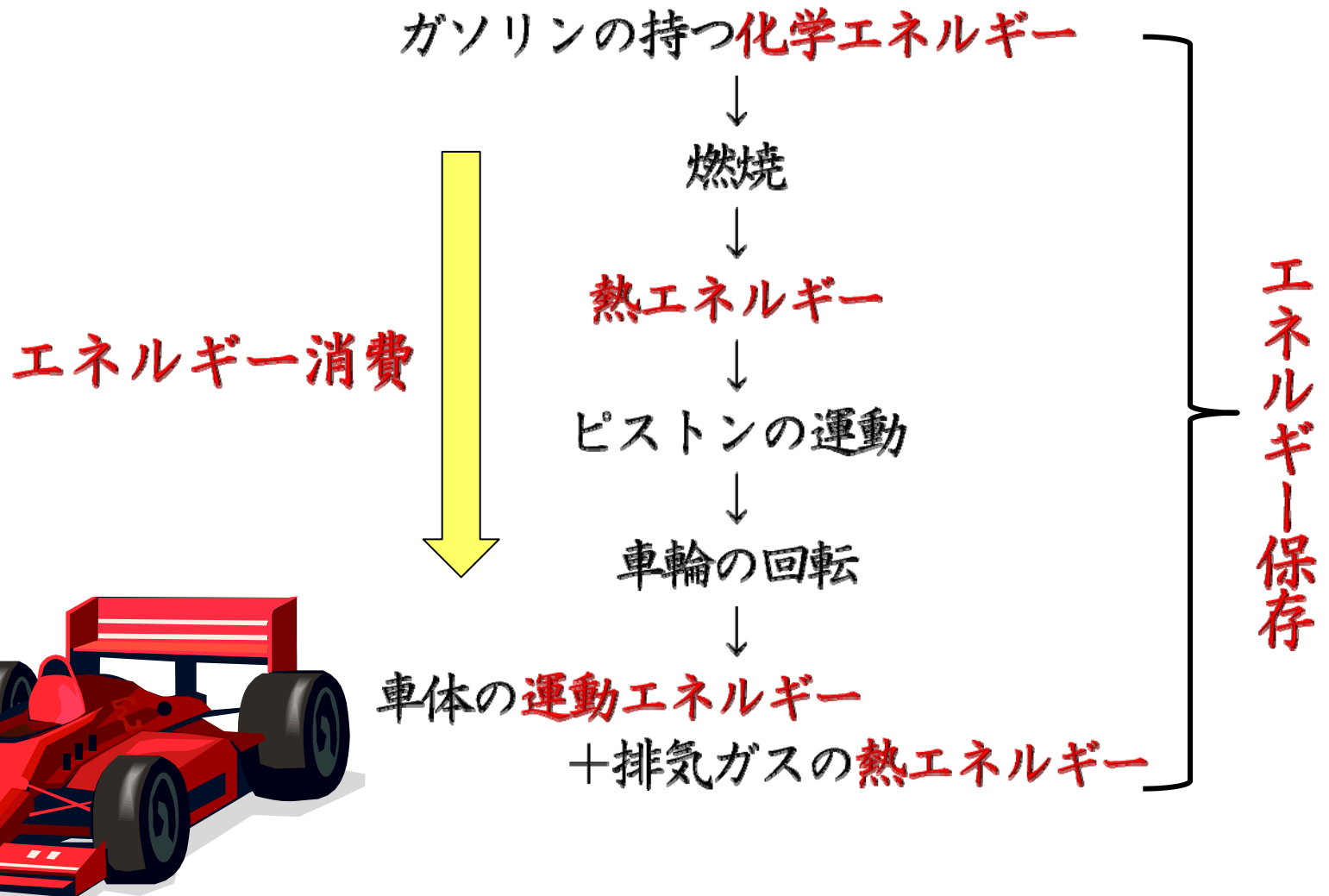
科学的側面

地球環境の進化的形成
地球規模のエネルギー物質循環
地球環境変動の観測・予測
エネルギー科学

技術的側面

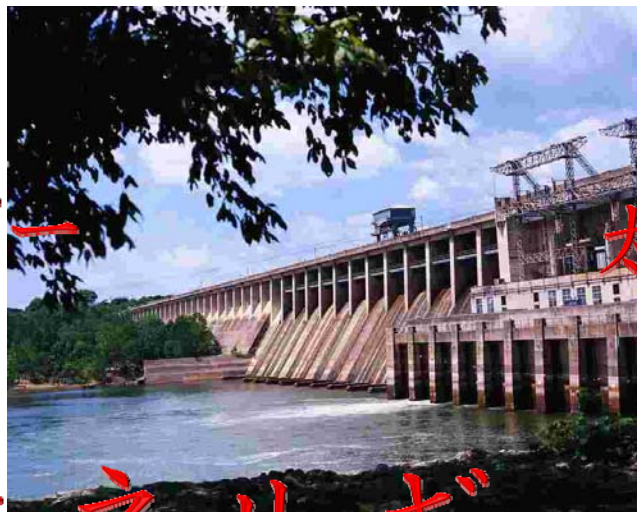
フロー型エネルギーの活用
エネルギー高効率利用
化石資源のクリーン利用
次世代ビークル

エネルギー消費



エネルギー消費

化石エネルギー



太陽エネルギー

エネルギー？



再生可能エネルギー



エネルギー消費



エネルギーとは
「仕事をする力の原因となるもの」
「仕事をする能力」

エネルギー消費

位置エネルギー

核エネルギー

化学エネルギー

運動エネルギー

電磁エネルギー

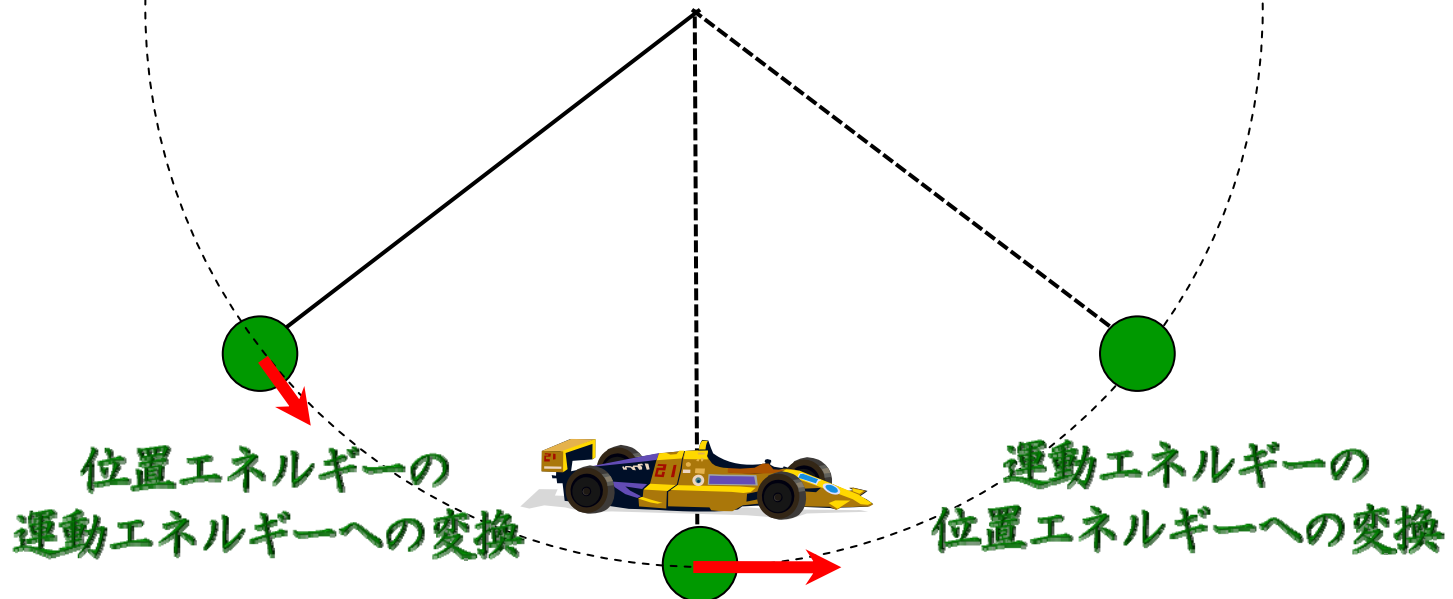
エネルギーは互いに変換可能であり、
その総量は不変である。
(エネルギー保存則)

内部エネルギー

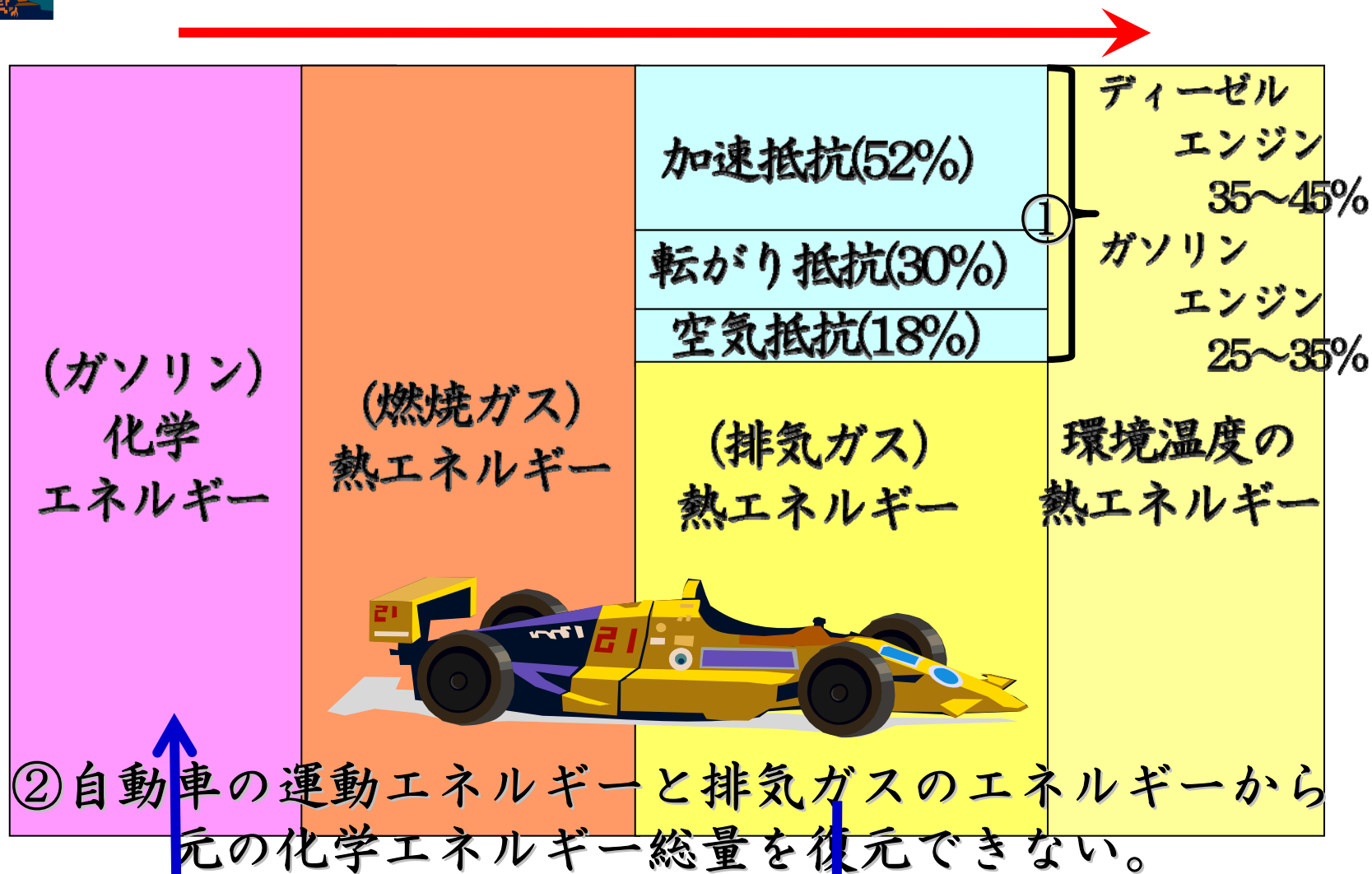
熱エネルギー

エネルギー消費

位置エネルギーと運動エネルギーの
総和は保存される。
(エネルギー保存則)



エネルギー消費



エネルギーの総量は保存されるが、変換過程で消費されるものがある。

エネルギー消費

消費されたのは、エネルギー資源であると同時にエネルギーの質。
上手に使う技術を作り出すことが必要。

例えば、高温で仕事に変換し、低温で熱利用を図る
ヒートカスケディングは重要。

$$\eta = 1 - \frac{T_E}{T}$$

$$T_E = 300K$$

$$T = 3000K \Rightarrow \eta = 90\%$$

$$T = 1500K \Rightarrow \eta = 80\%$$

$$T = 1000K \Rightarrow \eta = 70\%$$

$$T = 600K \Rightarrow \eta = 50\%$$

$$T = 400K \Rightarrow \eta = 25\%$$

持続可能性

政治経済的側面

エネルギーセキュリティ

資源獲得国際戦略

環境保護国際協力

(対応の経済的効率性と負担公平性)

技術開発国家戦略

資源獲得競争・化石資源枯渇への対応

自然環境と人工環境との相克の克服

成熟社会の構造化

科学的側面

地球環境の進化的形成

地球規模のエネルギー物質循環

地球環境変動の観測・予測

エネルギー科学

技術的側面

フロー型エネルギーの活用

エネルギー高効率利用

化石資源のクリーン利用

次世代ビークル

持続可能性

持続可能

循環状態

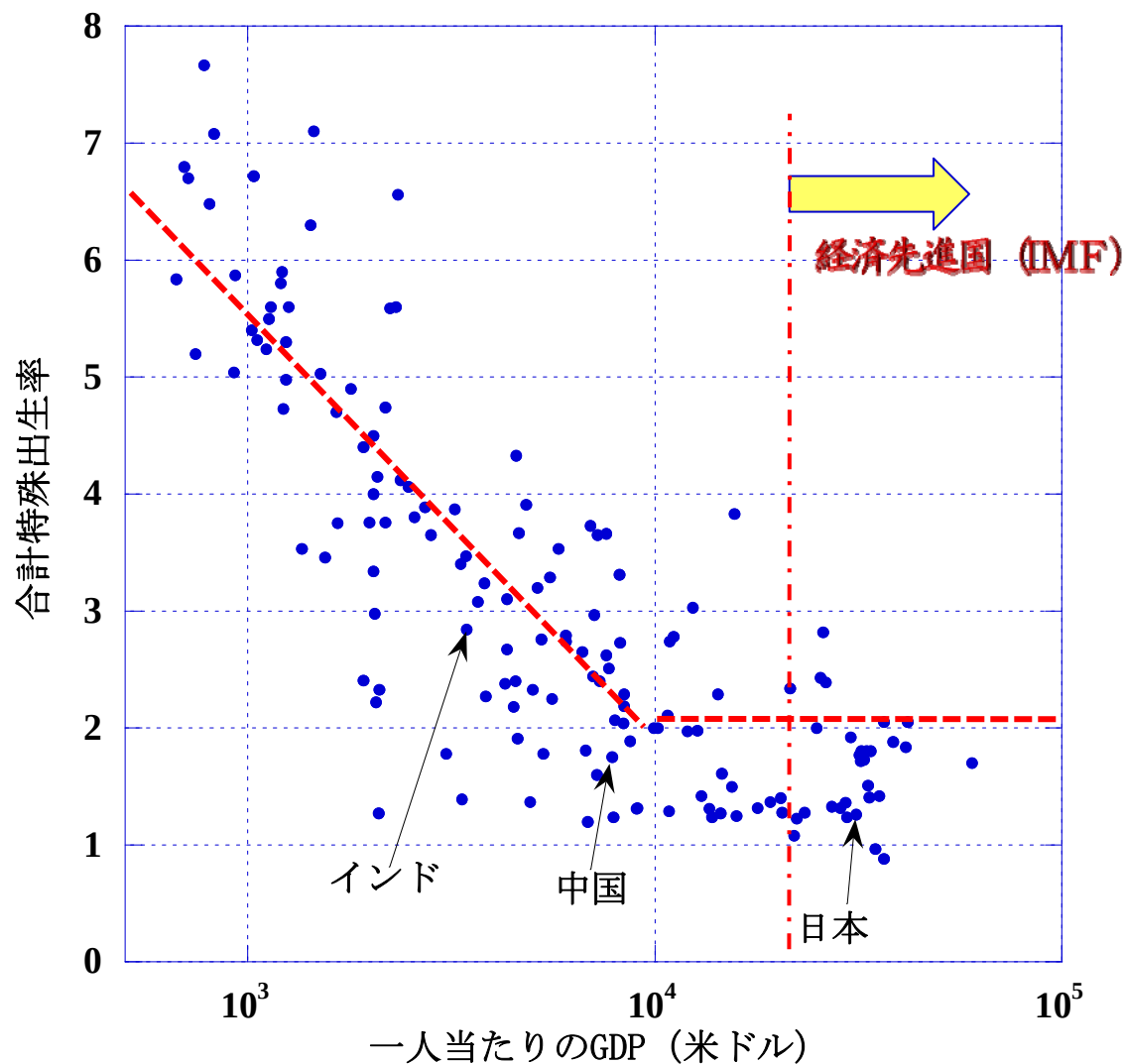
物質系では可能性があるが、
エネルギー系では熱エネルギーが介在する限り困難

定常状態

安定状態

持続可能性

①人口の安定化：経済レベルの向上が貢献



持続可能性

②フロー型エネルギー資源の利用

⑩宇宙太陽光発電



宇宙区間へ反射
(54,000)

太陽光(178,000TW)

気流等
運動エネルギー
(350)
⑥風力・波浪

地表放射
(82,000)

気化熱(40,000)
⑦水力

潮汐力(3TW)
⑧潮汐

⑤地熱

⑨原子力

③太陽光熱
④太陽熱

吸収(120,000)
光合成(100) ⇒
⇒ ②バイオマス

①化石資源

持続可能性

②フロー型エネルギー資源の利用

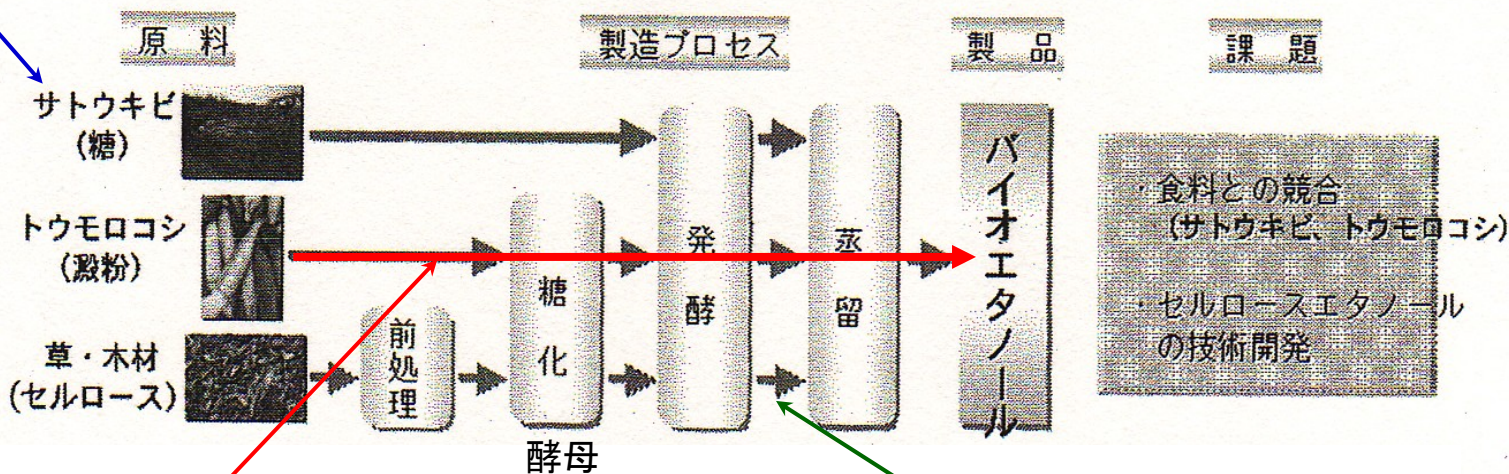
	設置費用 (円/kW)	運転費用 (円/kWh)	発電コスト (円/kWh)	エネルギー収支(一)
	「戒能一成, 電源構成試算モデルと発電コスト比較について, 経済産業研究所,2003.7」より			「IEEJ, Vol.126,(2006), pp.222-224」より
複合火力[LNG, 稼働率50%]	20.8	4.9	9.3	6 液化行程で大量のエネルギー を必要とするため
火力[石炭, 稼働 率60%]	30.8	3.3	8.7	21
原子力[軽水炉, 稼働率80%]	33.8	3.6	7.1	26 プルサーマル
水力			(13.6)	50
風力[稼働率, 20%]	20.8	15.5	23.4	22
太陽光[稼働率, 12%]	94.0	0.1	65.8	5~9 エネルギー密度が低いため

エネルギー収支： 発電技術が耐用年間に生産した電力と、(発電のために投入されたエネルギー以外に) その電力供給に必要な発電設備や燃料供給設備の建設や運転維持に投入されたエネルギーとの比

持続可能性

②フロー型エネルギー資源の利用

- サトウキビを原料とする場合、糖化プロセスが不要となり、正味のエネルギー製造(所要エネルギーの3.7倍程度)が可能となる。
- しかし、サトウキビが製造できる気候環境は限定されている。

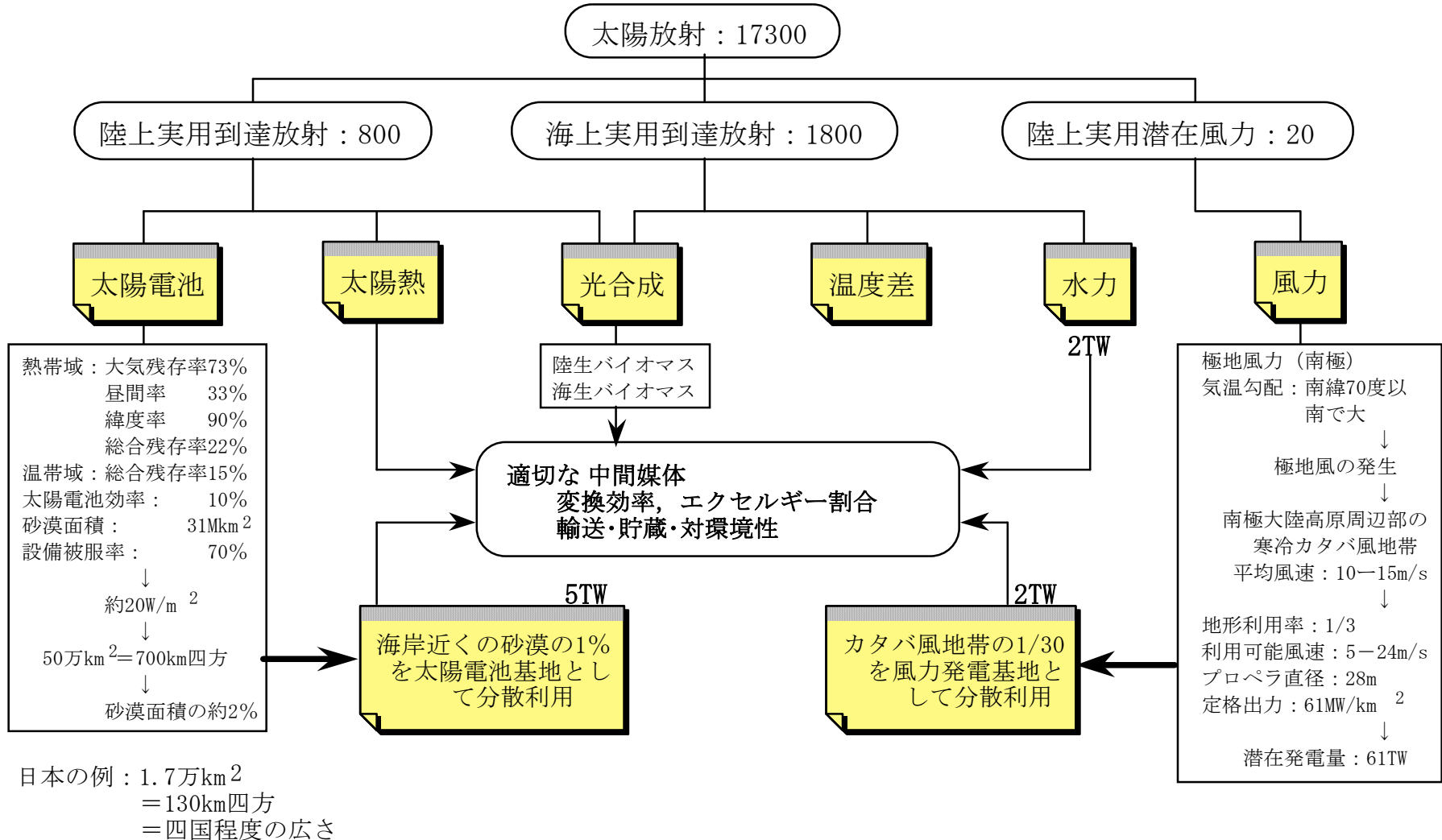


- トウモロコシを原料とする場合、1Lのエタノールを製造するには、製造プロセスだけで発熱量(約5000kcal)の45%ほどの熱エネルギーが必要である。
- 原料の収集、製造エタノールの輸送(水と混ざるためパイプライン輸送が困難)などにおける所要エネルギーを考えると、正味のエネルギー製造が十分にあるのかの検討が必要である。

- 例えばトウモロコシを原料とする場合でも、食料にならないセルロースに固定されている糖とリグニンとを分離すれば、糖からエタノールと燃料物質リグニンとが同時製造でき、食料にも影響は少ない。セルロースエタノールは、バイオマス全体を資源化でき、バイオエタノールの本命である。
- 糖とリグニンとを分離する酵素が重要である。

持続可能性

②フロー型エネルギー資源の利用



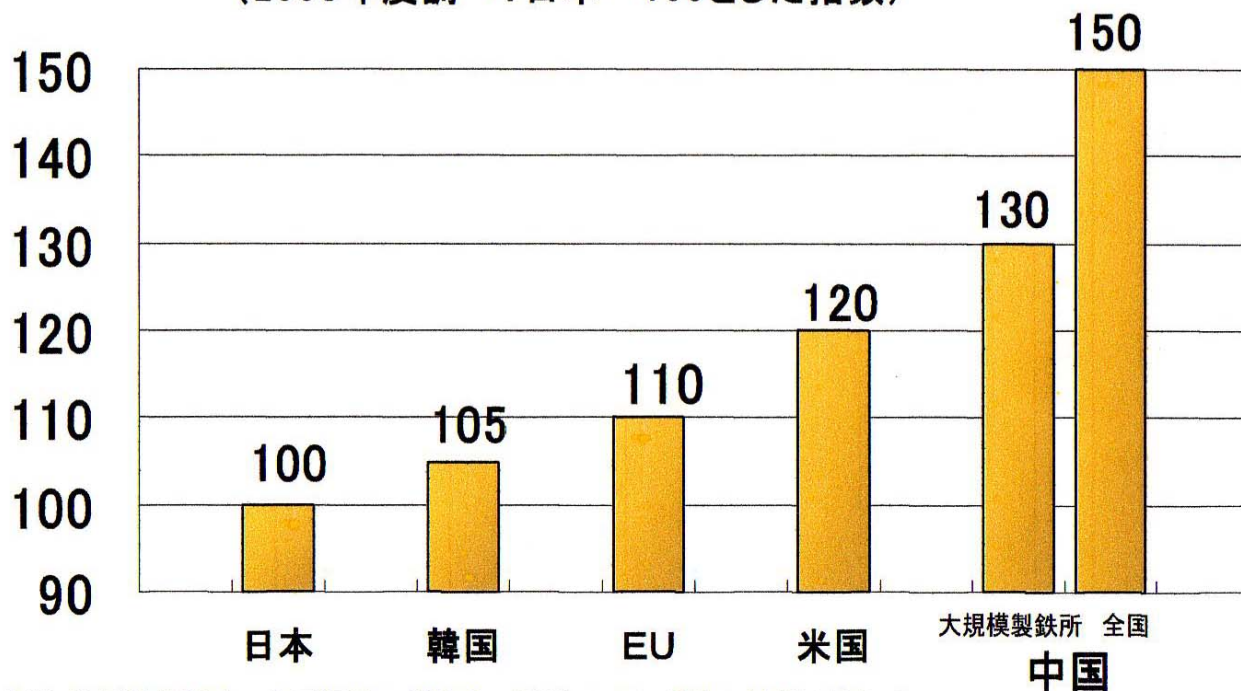
太陽放射の活用：多様な再生可能自然エネルギーの分散活用

持続可能性

③エネルギー有効率の向上

エネルギー原単位の国際比較
(2003年度調べ: 日本=100とした指数)

一貫製鉄



出所: 韓国鉄鋼協会、中国鋼鉄工業協会、個別ヒアリング等の情報より作成

出典: 日本鉄鋼連盟 (2003年調査)

エネルギー原単位
(エネルギー消費量

の国際比較

日本	1.00
英国	1.43
独逸	1.74
仏国	1.87
米国	2.08
世界	2.65

日本の原単位(2003年)は、106
石油換算トン/2000年価格百万
ドル。

[エネルギー経済研究所 計量
分析ユニット編、「エネルギー・
経済統計要覧」、財団法人省エ
ネルギーセンター、(2006)より]

③エネルギー有効率の向上

 (10^{15} J) 

[経済産業省資源エネルギー庁発行,「エネルギー白書2004」,(2004)図201-1-3より]

持続可能な社会に向けて

政治経済的側面

エネルギーセキュリティ

資源獲得国際戦略

環境保全国際協力

(対応の経済的効率性と負担公平性)

技術開発国家戦略

資源獲得競争・化石資源枯渇への対応

自然環境と人工環境との相克の克服

成熟社会での価値の創成

科学的側面

地球環境の進化的形成

地球規模のエネルギー物質循環

地球環境変動の観測・予測

エネルギー科学

技術的側面

フロー型エネルギーの活用

エネルギー高効率利用

化石資源のクリーン利用

次世代ビークル

持続可能な社会に向けて

主要八課題

- 地球環境変動の予測・観測精度を如何に向上させるか（気温のみでなく、水や植生・生態などを含む）
- 核融合、宇宙太陽光発電あるいは超電導送電など究極のエネルギーシステムを時間的に如何に位置づけるか
- フロー型（再生可能）エネルギー資源を如何に活用してゆくか（太陽光や風力のみでなく、バイオマス・プランテーションなどを含む）
- エネルギー利用効率を如何に高めてゆくか（エネルギー貯蔵、超断熱、ビークル、エコ・コミュニティ、ライフスタイルなどを含む）
- 化石資源の大規模利用を前提とする期間に、化石資源を確保しつつ自然環境と人工環境との共存を如何に図るか（エネルギーセキュリティの確保、気候変動への対応、二酸化炭素分離・回収・貯蔵、格差是正など）
- 我が国の発電量の25%を占め53基ある原子力発電を如何に位置づけるか（軽水炉増設のみでなく、軽水炉プルサーマル、FBRおよび核燃料サイクル、核拡散防止などを含む）
- 中間媒体（二次エネルギー）として水素、電気を如何に位置づけるか（これは輸送形態の将来にも関わる）
- ヒートアイランドなど都市環境問題にいかに対処するか

持続可能な社会に向けて

COP(Conference of the Parties)：締約国会議

気候変動枠組条約：COP-FCCC(Framework Convention on Climate Change)

生物多様性COP-CBD

砂漠化対処条約COP-CCD

気候変動枠組条約(1992)

COP1(1995)：条約では不十分

COP2(1996)：議定書として法的拘束力を持たせることを了承

COP3(1997)：京都議定書

京都議定書(1997)

2008～2012年における温暖化ガス排出量を1990年基準で規定

第一約束期間平均で温暖化ガス排出 6 %削減

二酸化炭素(92%)・メタン・亜酸化窒素(5%) ⇒ -6.4%

(6.4%の内訳は、森林吸収が3.9%、排出削減が2.5%)

H F C ・ P F C ・ S F 6 (3%) ⇒ 2.0%

持続可能な社会に向けて

京都議定書での我が国の温暖化ガス排出削減の目標値は1990年に対して6%であるが、2005年度には7.8%増となっている。

政府の見通しでは、森林整備による吸収5.4%を見込んでも、目標には1.5～2.7%不足する。産業部門では9%程度の削減が期待できるが、運輸部門の15%程度の増加、民生部門での10%程度の増加による。

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた図表を省略させていただきます。

持続可能な社会に向けて

エネルギー戦略

資源制約

ストック型資源については可採年数の限界、フロー型資源について賦存量の限界により、そのエネルギー資源やそれを変換するシステムが利用できない制約、あるいはできなくなる制約

技術制約

資源の利用技術が、安全性、利便性等により社会的計画性が十分でないことにより、そのエネルギー資源やそれを変換するシステムが利用できない制約、あるいはできなくなる制約

コスト制約

資源の利用コストが高くなることにより、そのエネルギー資源やそれを変換するシステムが利用できない制約、あるいはできなくなる制約

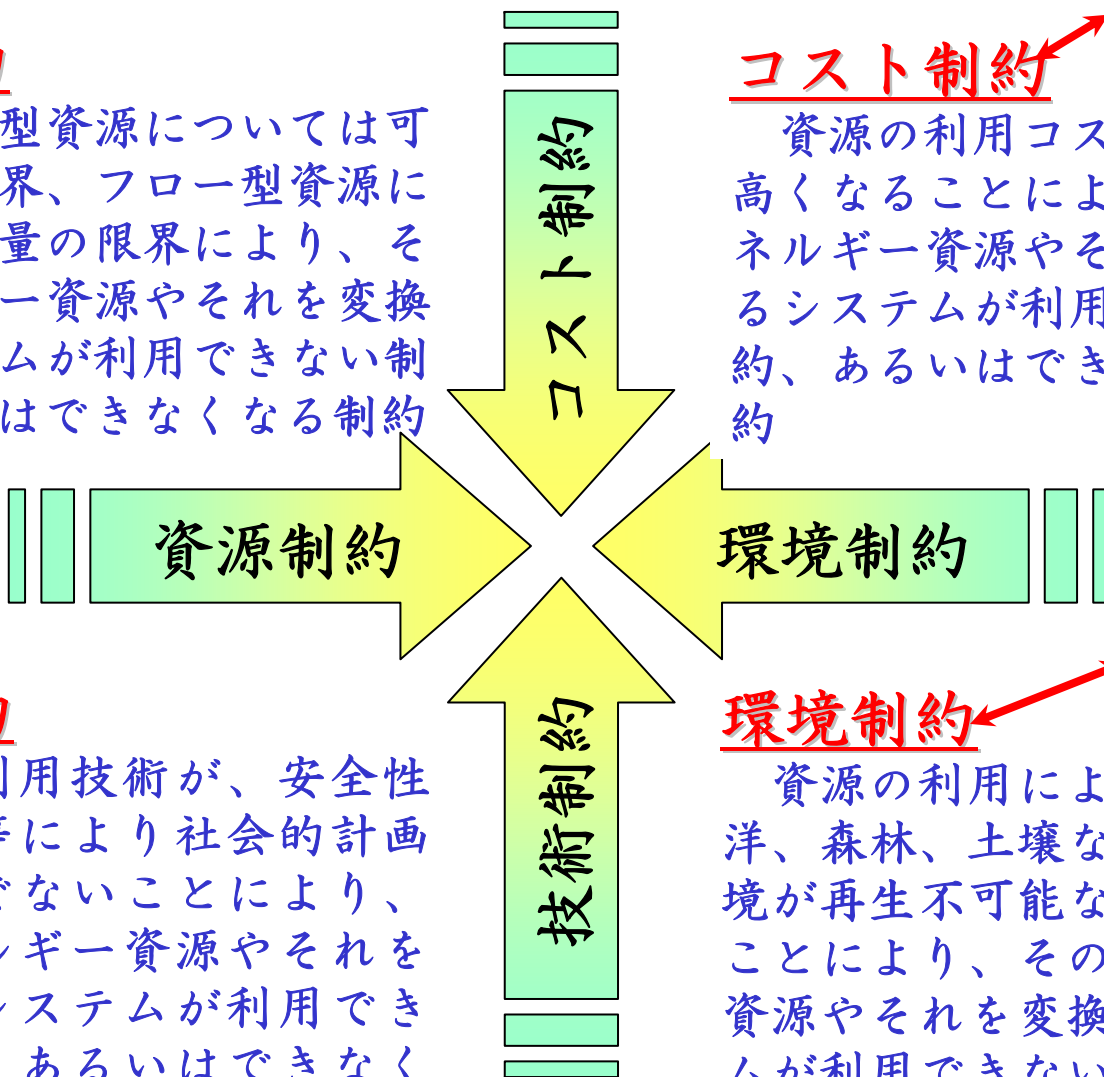
環境制約

環境制約

資源の利用により大気、海洋、森林、土壌などの自然環境が再生不可能な状態となることにより、そのエネルギー資源やそれを変換するシステムが利用できない制約、あるいはできなくなる制約

経済的効率性

負担公平性



持続可能な社会に向けて

一つのエネルギー戦略：Triple 50

産業競争力向上

有効利用率向上
 $35\% \Rightarrow 50\%$

2030年からの
バックキャスト

超高効率エネルギー
変換・貯蔵・利用技術

有効利用率の向上
 $\Rightarrow$ エネルギー供給低減
 $\Rightarrow$ 化石資源依存率低下

再生可能エネルギー
利用技術

戦略的政策

自給率向上
 $20\% \Rightarrow 50\%$

非化石資源利用率向上
 $19\% \Rightarrow 50\%$

エネルギーセキュリティ向上

化石資源依存率低下
 $\Rightarrow$ 自給率向上

国際協力

エネルギー担体有効利用技術
二酸化炭素分離・回収・隔離技術

エネルギーと地球環境

政治経済的側面

エネルギーセキュリティ

資源獲得国際戦略

環境保全国際協力

(対応の経済的効率性と負担公平性)

技術開発国家戦略

学術俯瞰講義「エネルギーと地球環境」の開始

課題解決に向けて学術も挑戦する

学術の俯瞰・通観構造

科学的側面

地球環境の進化的形成

地球規模のエネルギー物質循環

地球環境変動の観測・予測

エネルギー科学

技術的側面

フロー型エネルギーの活用

エネルギー高効率利用

化石資源のクリーン利用

次世代ビークル

エネルギーと地球環境

政治経済的側面

⑤石見徹教授

エネルギー・地球環境問題

経済学からみると

経済発展との関連で

世界経済の問題として

地球環境の問題として

④城山英明教授

エネルギー・地球環境問題のガバナンス

科学技術と政策決定

エネルギー関連技術の社会的導入過程

エネルギー安全保障と地球温暖化をめぐ

国際的政策過程

学術俯瞰講義「エネルギーと地球環境」

科学的側面

③住明正教授

エネルギー・地球環境問題の基礎

としての気候システムとは？

水惑星としての地球

未来は予測できるのか？

地球環境問題とは何か？

技術的側面

②山地憲治教授

エネルギー・地球環境問題

における技術の役割

エネルギーシステムの視点

エネルギー資源と技術

地球温暖化対策の長期

技術シナリオ



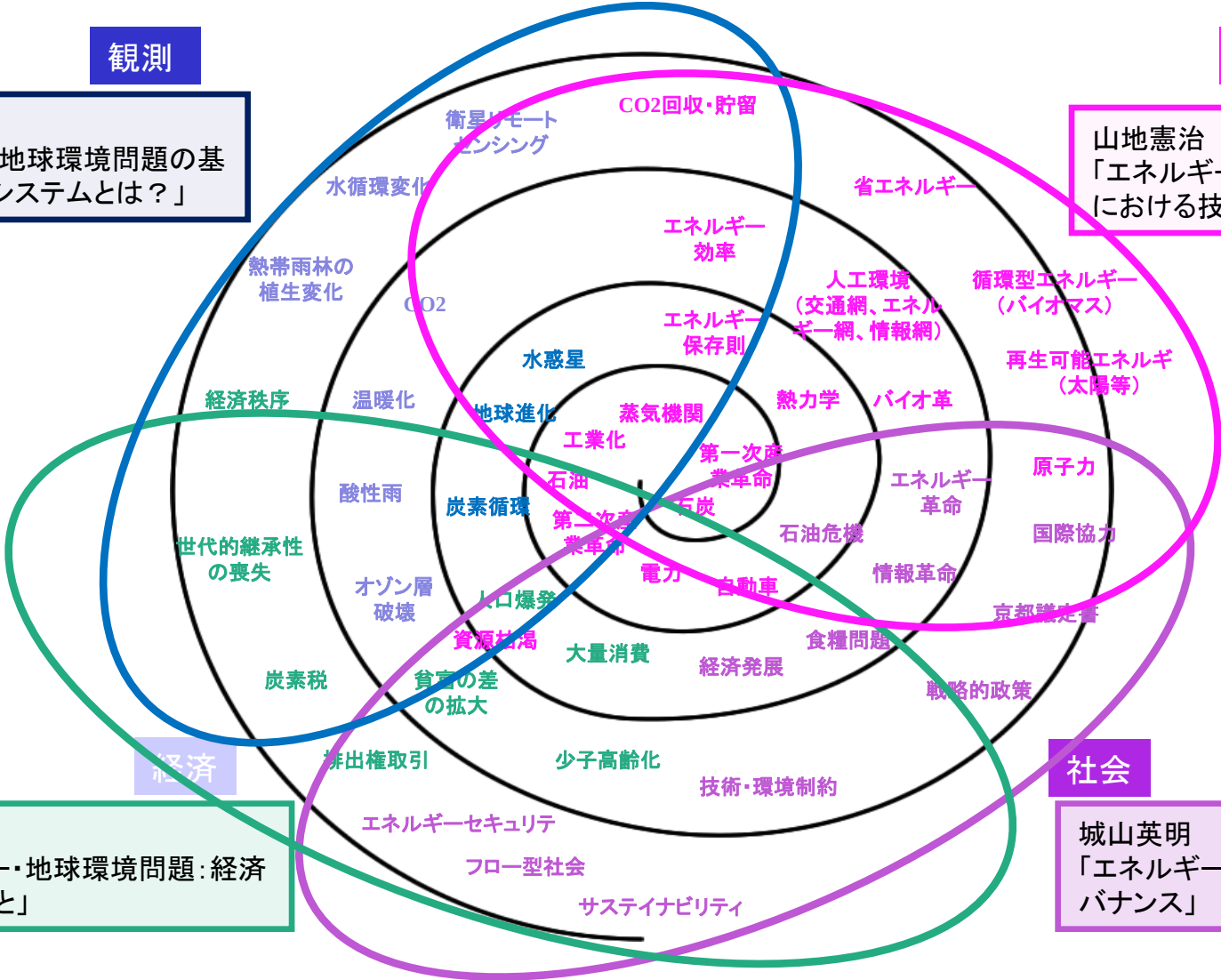
エネルギーと地球環境

観測

住 明正
「エネルギー・地球環境問題の基礎として気候システムとは？」

技術

山地憲治
「エネルギー・地球環境問題における技術の役割」



経済

石見徹
「エネルギー・地球環境問題：経済学からみると」

社会

城山英明
「エネルギー・地球環境問題のガバナンス」