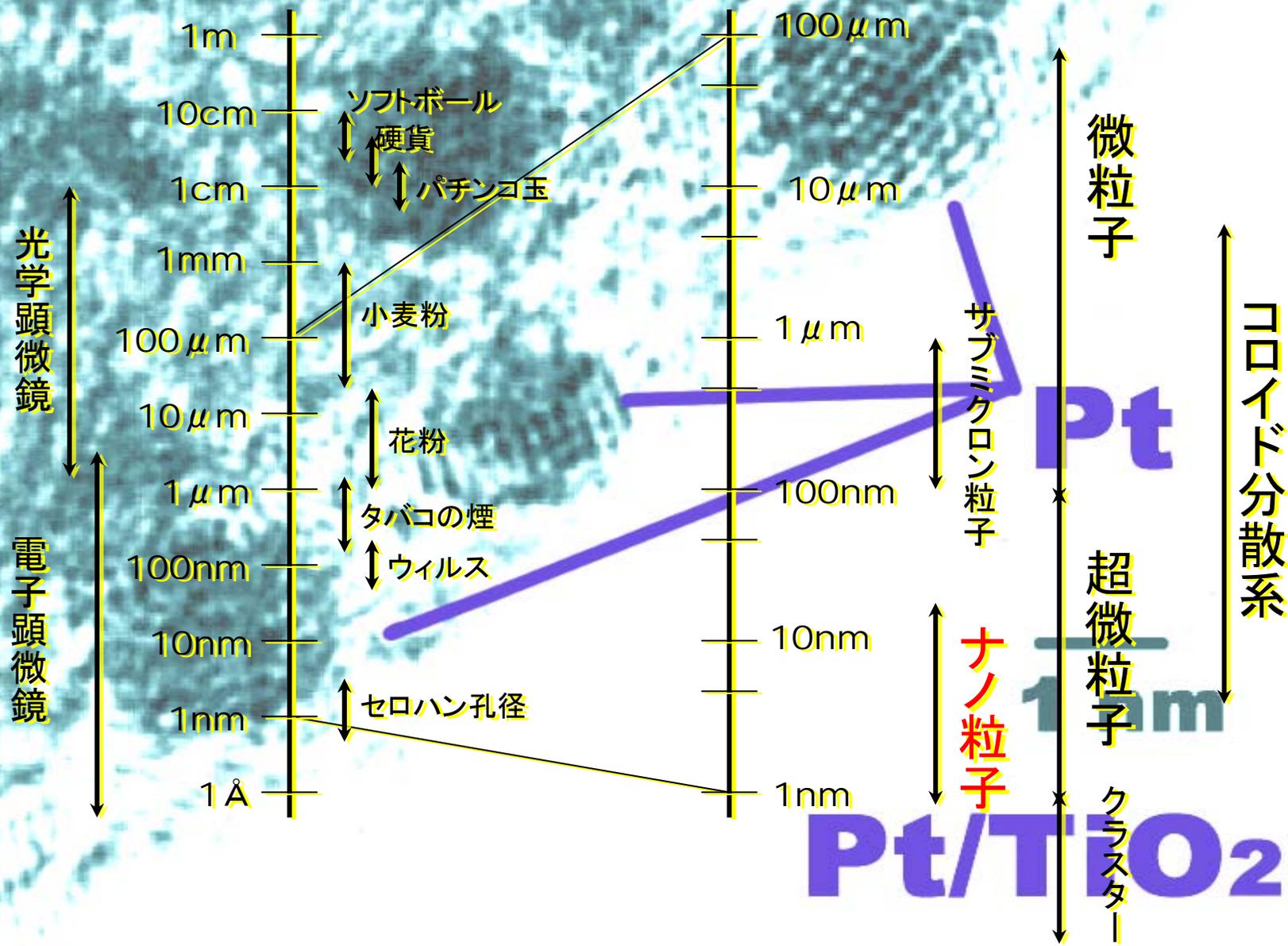


ナノ粒子と触媒機能

5 nm

Ni-Zn/TiO₂

粒子径による粒子の分類

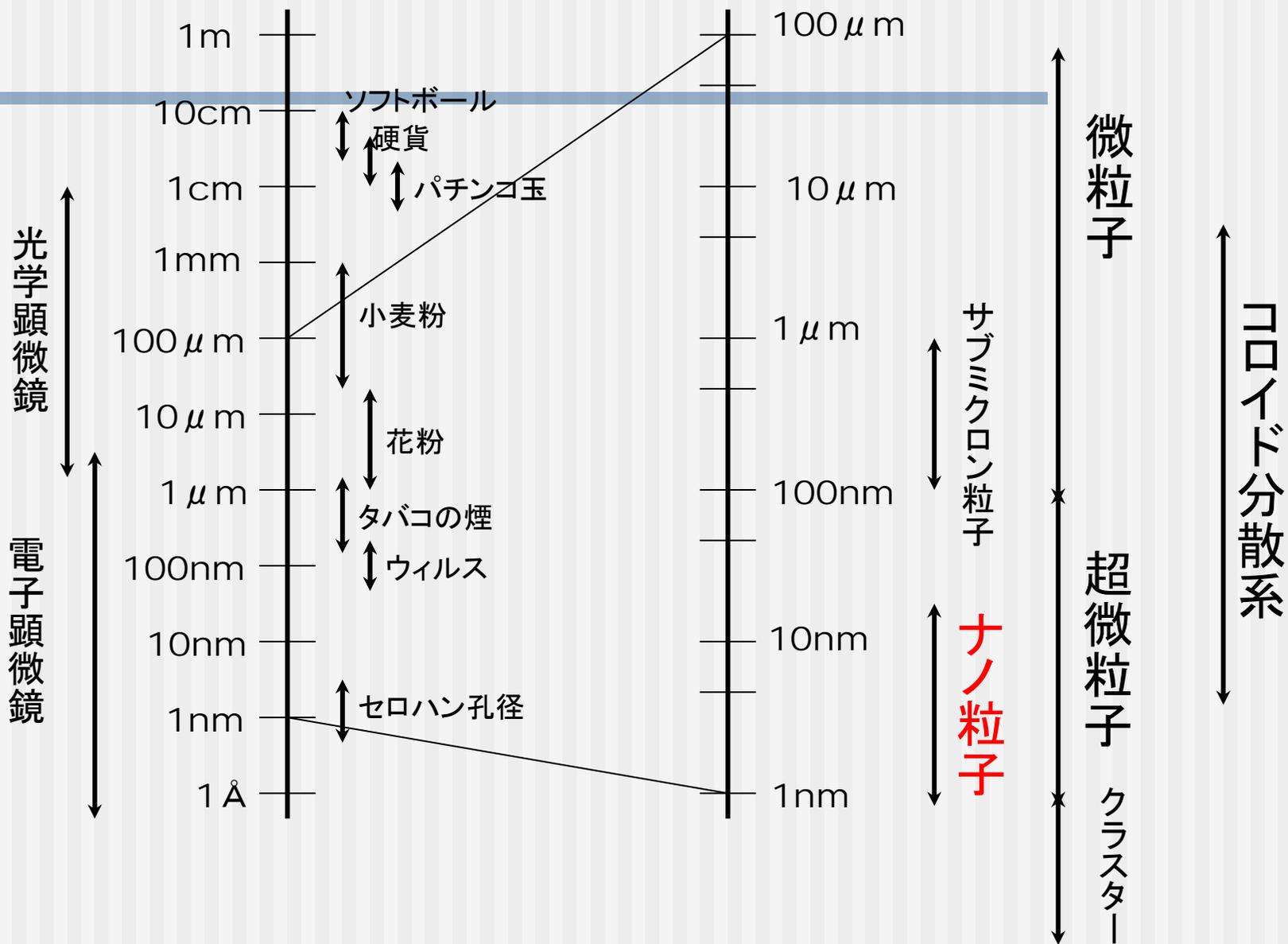


ナノ粒子

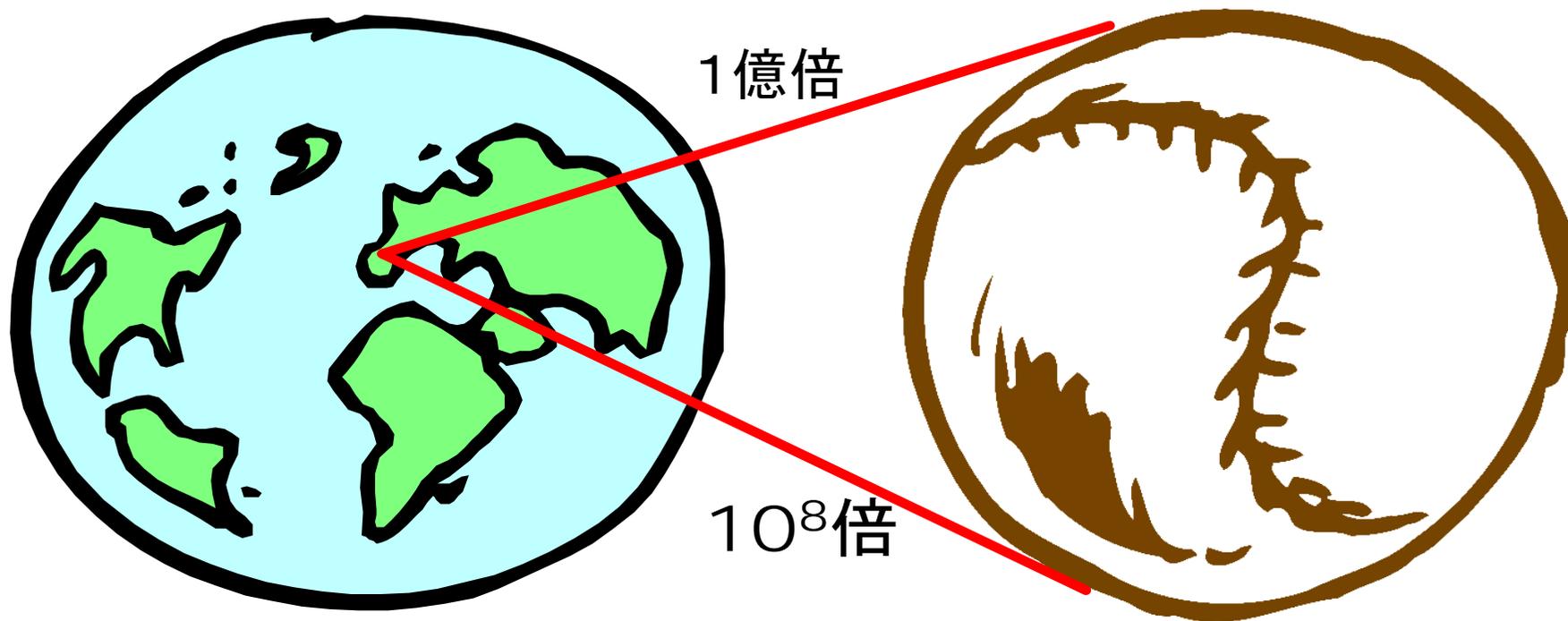
ナノ粒子

- $10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nm}$
- 10億分の1mの世界
- 原子が数～十数個集まった素材
- バルクとは異なる物性が期待される
- バルク原子数と表面原子数に差がなく、結合不飽和な原子が多く存在する

粒子径による粒子の分類

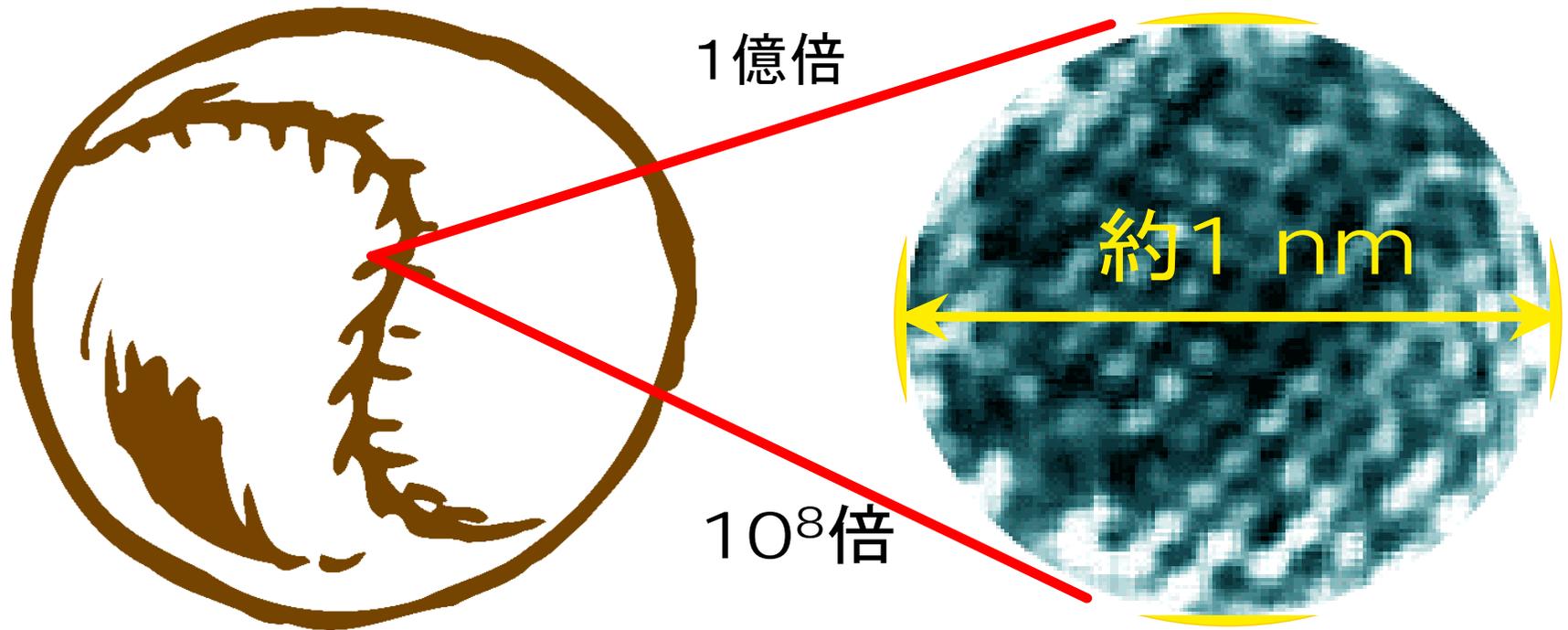


地球とソフトボール



地球上にあるソフトボールを拡大！

ソフトボールを拡大



ソフトボールの中を拡大！

ナノ粒子と触媒機能

触媒

- 工業触媒
 - 活性、選択性、寿命、作業性
- 触媒設計
 - 表面制御
 - バルク制御
- 表面制御
 - 金属触媒→金属種、価数、組成、粒径など
 - 担体効果、アンサンブル効果、リガンド効果

サイズ制御

- 比表面積を大きくし全体の触媒活性を増大
- TOF (Turnover Frequency)がサイズに依存
 - 量子効果

触媒設計

- 表面情報の正確な把握
- 精密な表面機能制御



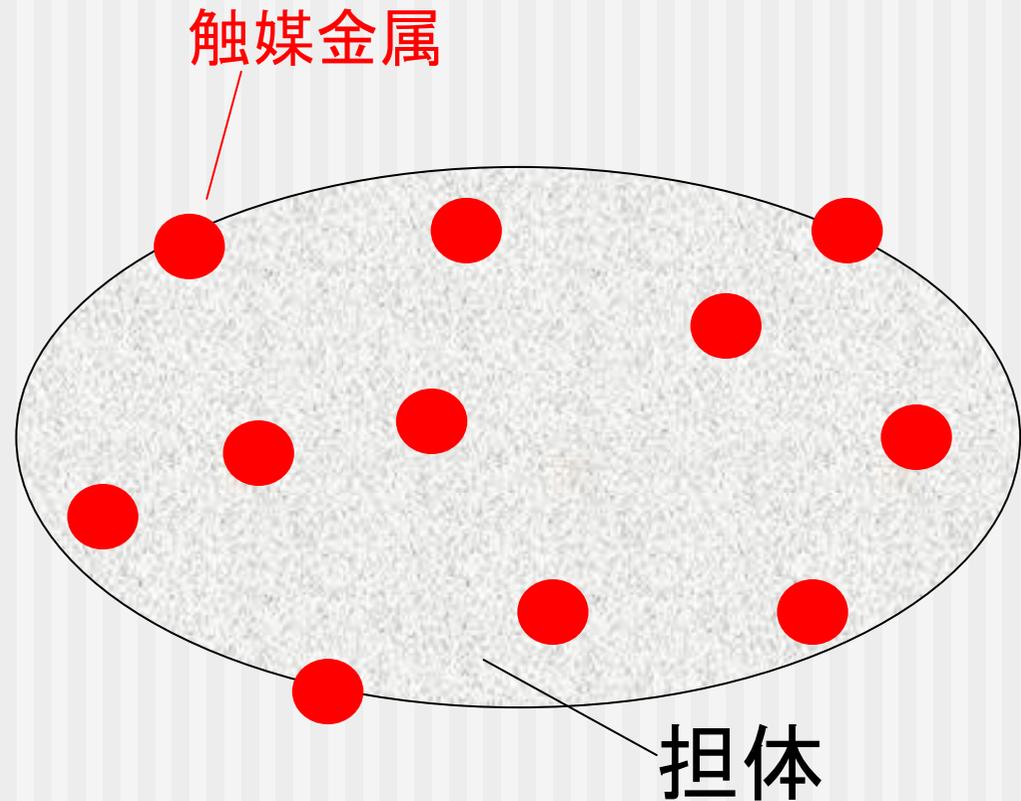
- 局所構造制御と評価が重要

触媒の分類

- 均一系触媒
 - 反応物、生成物と同じ相
 - 例： 酢酸合成のロジウム触媒
 - 液相均一系 触媒も液体
- 不均一系触媒
 - 相が違ふもの
 - 例： 固体触媒
 - 担持触媒、無担持触媒

担持金属触媒

- 担体物質上に、触媒金属が担持されている
- 担体は粉体か、塊状態である



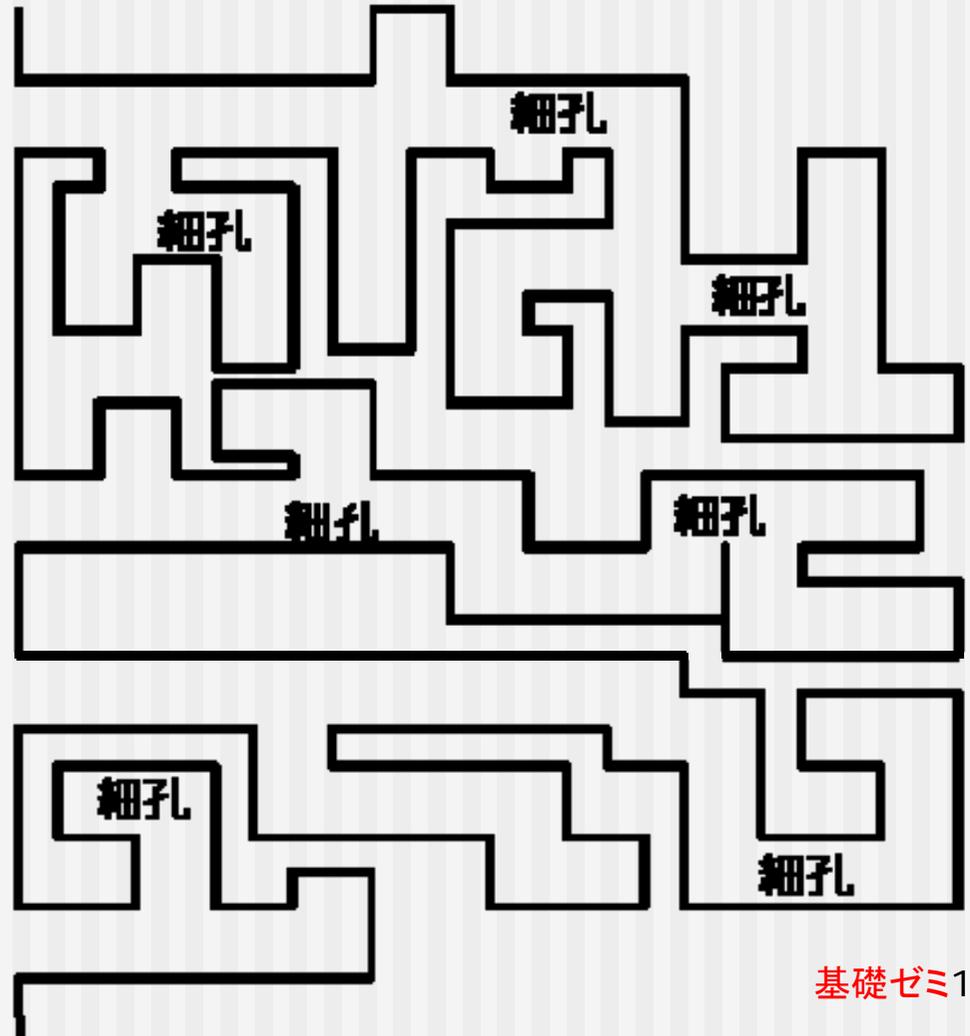
担持金属触媒

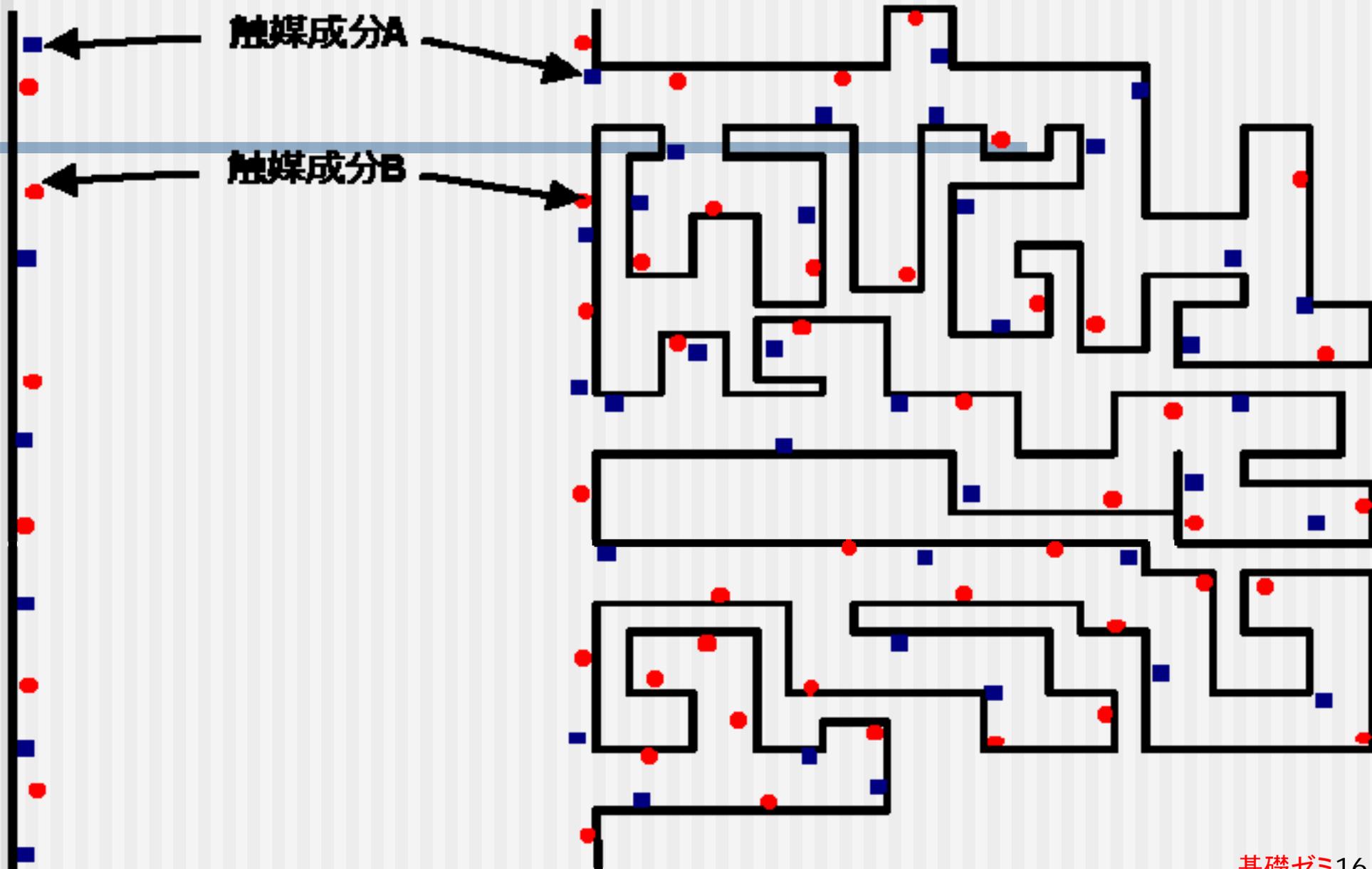
- 担体
 - 金属酸化物が多い
 - 細孔が発達しているものが多い
 - 機械的強度に優れている
- 触媒金属
 - 担体上に担持、分散
 - 数nm程度の大きさが理想とされる
 - 実際は5～50nm程度の場合が多い

担体：比表面積が大きい

細孔のない物質

細孔の発達した物質





担持金属触媒

■ 担体

- 金属酸化物が多い
- 細孔が発達しているものが多い
- 機械的強度に優れている

■ 触媒金属

- 担体上に担持、分散
- 数nm程度の大きさが理想とされる
- 実際は5～50nm程度の場合が多い

担持金属触媒調製法

高分散担持金属触媒の調製法

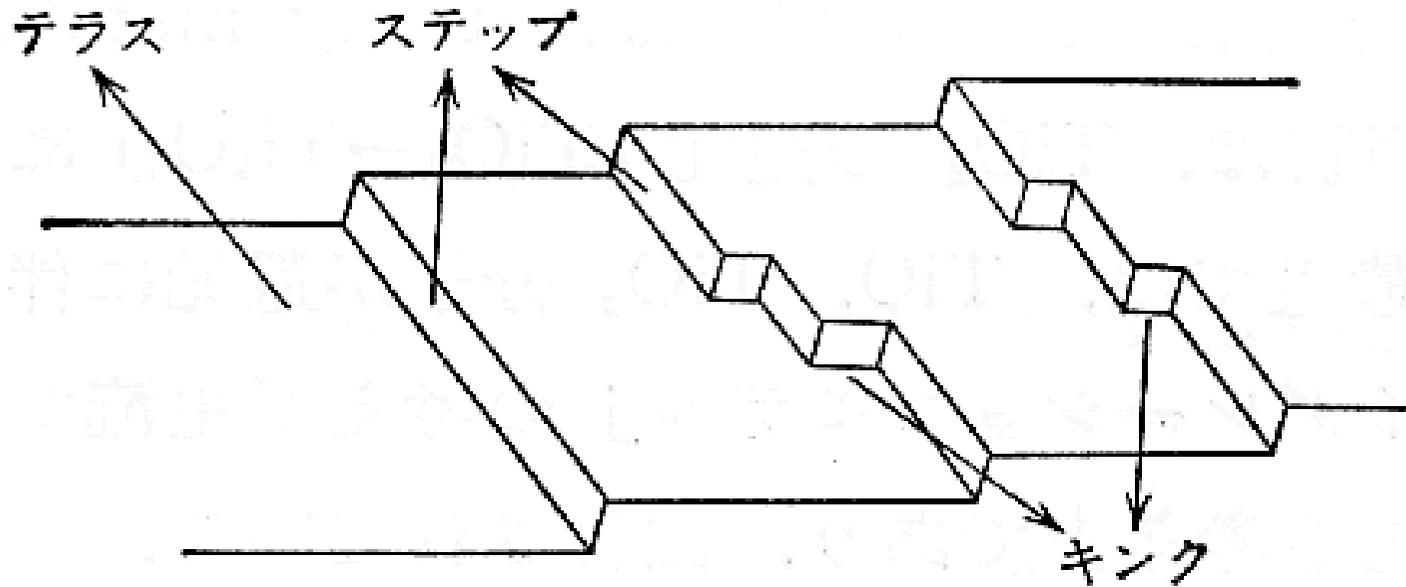
担体	担体の性質	担体に適合する出発原料塩および担持法	備考
SiO ₂ , SiO ₂ ·Al ₂ O ₃ , ゼオライト	ブレンステッド 酸点を有する酸 性酸化物	Pt(NH ₃) ₄ Cl ₂ などのアンミン錯塩水溶液からのカチオン交換法	溶液は塩基性で使用
Al ₂ O ₃ など	両性酸化物	H ₂ PtCl ₆ や H ₂ PtBr ₆ の水溶液からの吸着あるいは配位子交換。 Pt(NH ₃) ₄ Cl ₂ のカチオン型の吸着でも可	アニオン型は酸性溶液で、カチオン型は塩基性水溶液を用いる。表 4.7 参照 H ₂ PtCl ₆ の吸着による場合は、共存イオン特に HCl 濃度によって吸着の強さが変化
MgO, CaO, La ₂ O ₃	塩基性酸化物	水溶液から困難。有機溶媒から担持。RuCl ₃ の場合などはアセトン、アクリロニトリル溶液にして担持†	表 4.7 から、酸性溶液からのアニオンの吸着がよいと思われるが、担体の溶解が著しく結果的には分散度は低い

† L. L. Murrell, D. J. C. Yates, *Proceedings of the Second International Symposium on Scientific Bases for the Preparation of Heterogeneous Catalysts, Lonvain-la-Neuve, 1978*, (B. Delmon *et al.* ed), Elsevier (1979)

担体	担体の性質	担体に適合する出発原料塩および担持法	溶
SiO ₂ , SiO ₂ ·Al ₂ O ₃ , ゼオライト	ブレンステッド 酸点を有する酸 性酸化物	Pt(NH ₃) ₄ Cl ₂ などのアンミン錯塩水溶液からのカチオン交換法	ア オ る H ₂ 共 っ
Al ₂ O ₃ など	両性酸化物	H ₂ PtCl ₆ や H ₂ PtBr ₆ の水溶液からの吸着あるいは配位子交換. Pt(NH ₃) ₄ Cl ₂ のカチオン型の吸着でも可	表 ニ が に
MgO, CaO, La ₂ O ₃	塩基性酸化物	水溶液から困難. 有機溶媒から担持. RuCl ₃ の場合などはアセトン, アクリロニトリル溶液にして担持†	

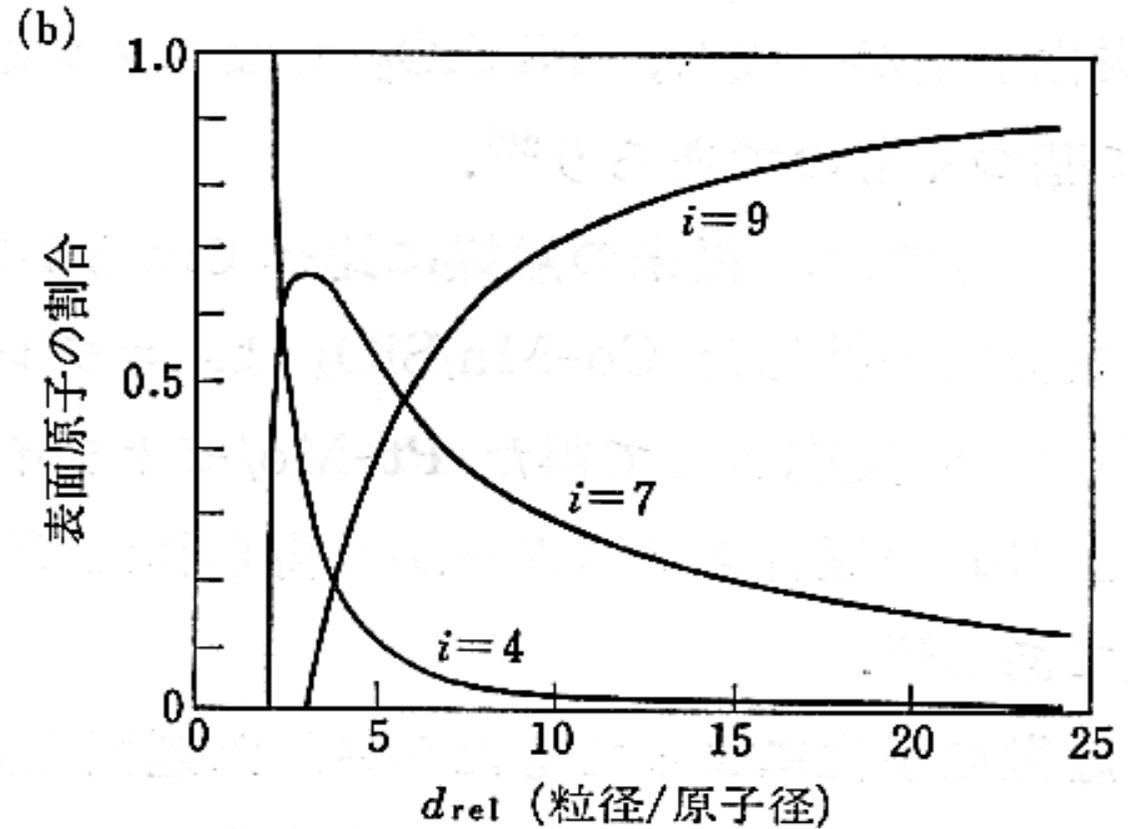
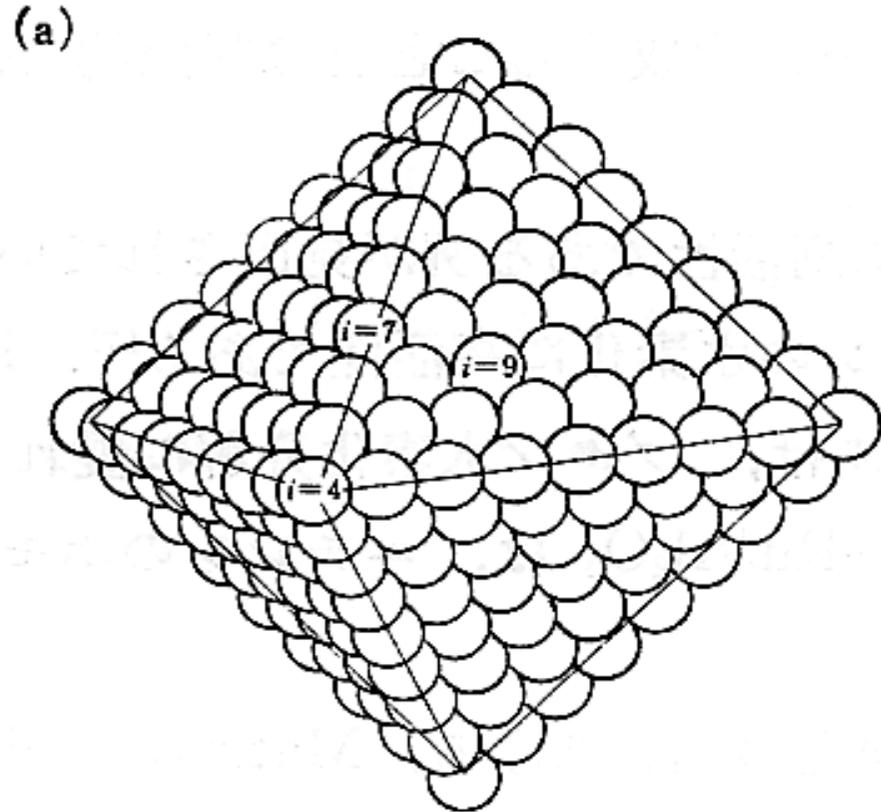
† L. L. Murrell, D. J. C. Yates, *Proceedings of the Second International Scientific Bases for the Preparation of Heterogeneous Catalysts*

表面構造と触媒機能

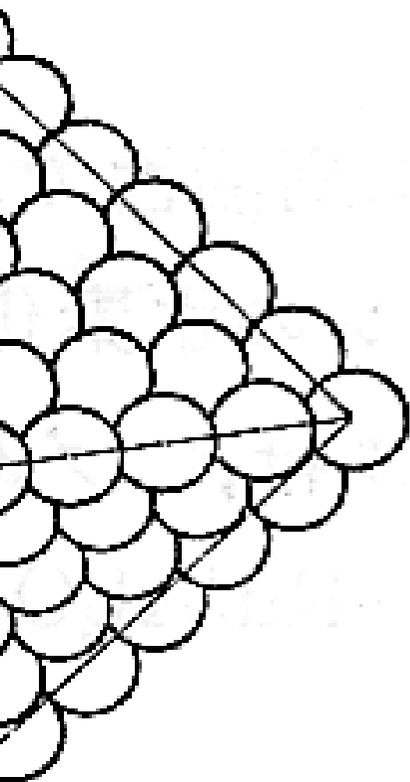


金属単結晶表面上の原子.

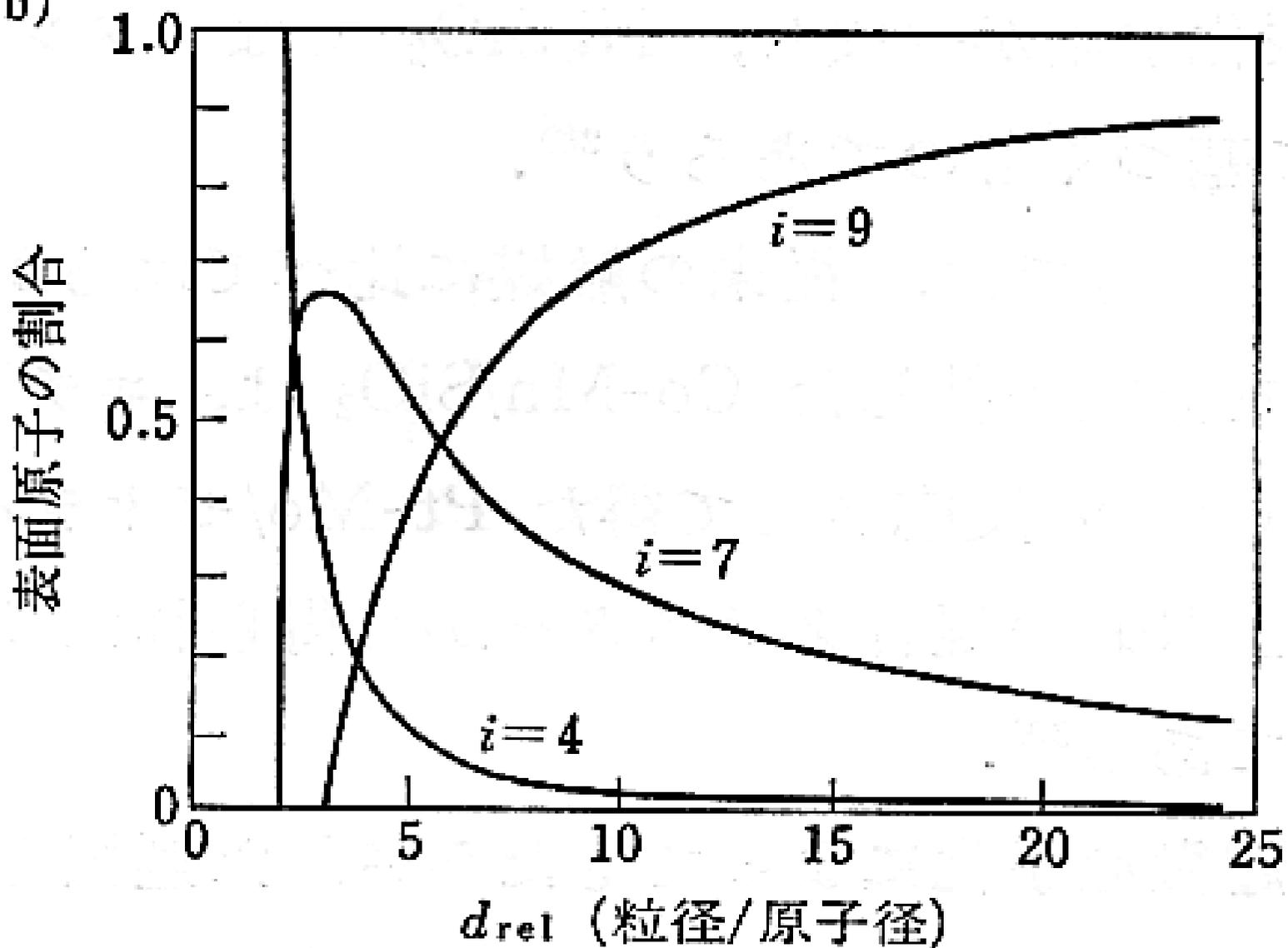
表面構造と触媒機能



金属表面原子の構造と数.



(b)



金属表面原子の構造と数.

構造敏感・構造鈍感

■ 構造鈍感

- 表面積が大きくなる効果のみ現れる

■ 構造敏感

- 触媒活性は粒径に依存
 - 粒径が小さいほど大きい
 - 粒径が大きいほど大きい
 - ある粒径で最大となる

表 1 ターンオーバー頻度 (TOF) と粒径との関係

I 型 (TOF は粒径に依存しない)	
$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	Pt/SiO ₂ ^{a)}
$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6$	Pt/Al ₂ O ₃ ^{b)}
$\text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_3\text{H}_8$	Pt/SiO ₂ , Pt/Al ₂ O ₃ ^{c)}
$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}$	Pt/Al ₂ O ₃ ^{d)}
II 型 (TOF は粒径が小さいほど大きい)	
$\text{C}_2\text{H}_4, \text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4$	Ni/SiO ₂ -Al ₂ O ₃ ^{e)} , Pt-black ^{f)}
$\text{C}_3\text{H}_8 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6, \text{C}_2\text{H}_4, \text{C}_3\text{H}_6$	Rh/Al ₂ O ₃ ^{g)}
$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}$	Pt/Al ₂ O ₃ ^{h)}
$\text{C}-\text{C}-\text{C} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}-\text{C}-\text{C} + \text{CH}_4$	Pt/Al ₂ O ₃ ⁱ⁾
$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6$	Pt/Al ₂ O ₃ ^{j)}
$\text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_3\text{H}_8$	Ni/Al ₂ O ₃ ^{k)}
III 型 (TOF は粒径が小さいほど小さい)	
$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$	Pt/Al ₂ O ₃ ^{l)}
$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$	Pt/Al ₂ O ₃ ^{m)}
$\text{CO} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$	Pt/SiO ₂ ⁿ⁾
$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}$	Ph/Al ₂ O ₃ ^{o)}
$\text{CO} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4$	Ni/SiO ₂ ^{p)}
$\text{CO} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4$	Ru/Al ₂ O ₃ ^{q)} , Co/Al ₂ O ₃ ^{r)}
$\text{CO} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Rh/SiO ₂ ^{s)}
$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$	Fe/MgO ^{t)}
IV 型 (TOF はある粒径で最大となる)*	
$\text{H}_2 + \text{D}_2 \rightleftharpoons 2\text{HD}$	Pd/C, Pd/SiO ₂ (13 Å) ^{u)}
$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}$	Ni/SiO ₂ (12 Å) ^{v)}
$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}$	Rh/SiO ₂ (18 Å) ^{w)}

* () 内は最大の TOF を与える粒径。

文献) : a) *Adv. Catal.*, 20, 153, b) *J. Catal.*, 5, 111 (1966), c) *J. Catal.*, 6, 92 (1966); 85, 530 (1984), d) *J. Catal.*, 5, 471 (1966), e) *J. Phys. Chem.*, 70, 2257 (1966), f) *J. Phys. Chem.*, 67, 841 (1963), g) *J. Catal.*, 56, 21 (1979), h) 5th I.C.C., 695 (1972), i) *J. Catal.*, 11, 35 (1968), j) 4th I.C.C., 286 (1971), k) *Chem. Lett.*, 1968, 265, l) 日化, 1979, 1646, m) *J. Catal.*, 53, 395 (1978), n) *J. Catal.*, 53, 414 (1978), o) *J. Catal.*, 68, 419 (1981); 87, 27 (1984), p) *J. Catal.*, 65, 335 (1980), q) *J. Catal.*, 51, 386 (1978); 75, 251 (1982); *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 57, 938 (1984), r) *J. Catal.*, 85, 78 (1984), s) *Chem. Lett.*, 1984, 1607, t) *J. Catal.*, 37, 513 (1975), u) 日化, 1984, 1011, v) 5th I.C.C., 671 (1972), w) *J. Catal.*, 69, 180 (1981).

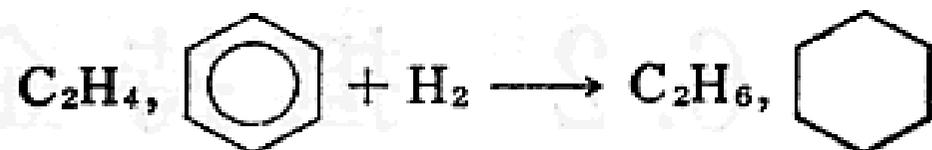
構造敏感・構造鈍感

ターンオーバー頻度 (TOF) と粒径との関係

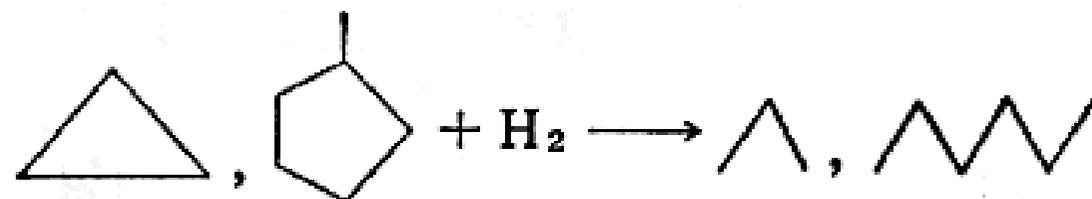
I 型 (TOF は粒径に依存しない)



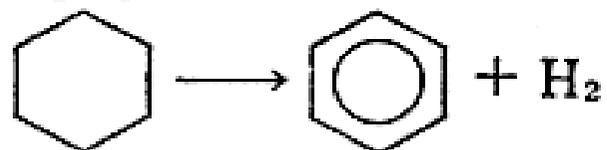
Pt/SiO₂^{a)}



Pt/Al₂O₃^{b)}



Pt/SiO₂, Pt/Al₂O₃^{c)}

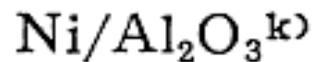
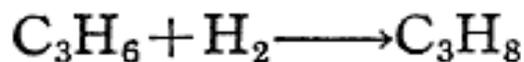
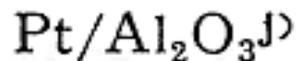
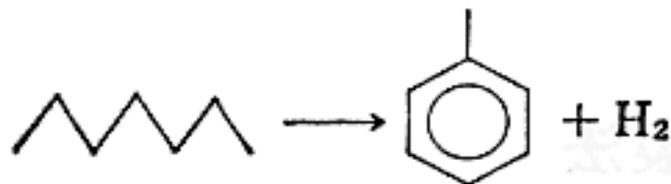
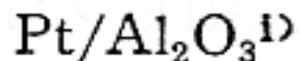
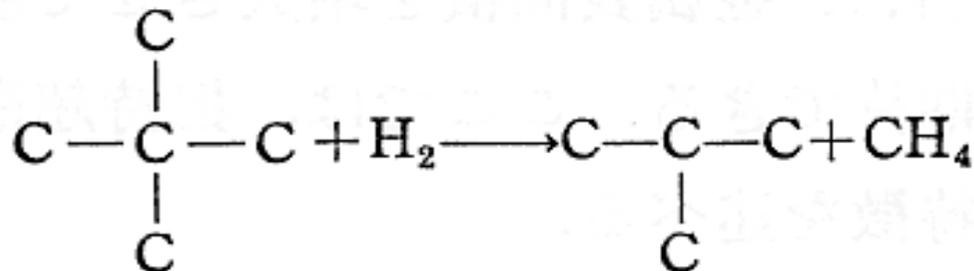
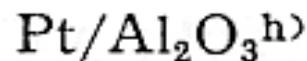
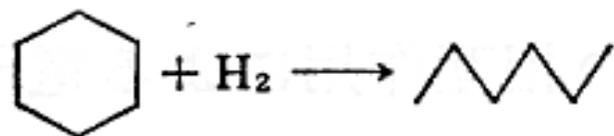
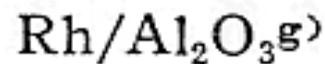
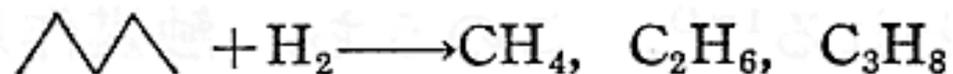
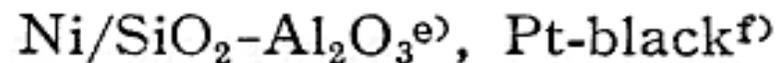
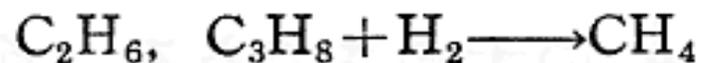


Pt/Al₂O₃^{d)}

構造敏感・構造鈍感

ターンオーバー頻度 (TOF) と粒径との関係

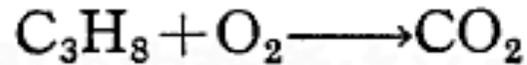
II型 (TOF は粒径が小さいほど大きい)



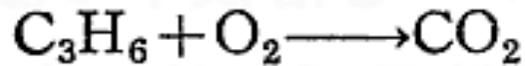
構造敏感・構造鈍感

ターンオーバー頻度 (TOF) と粒径との関係

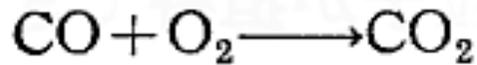
III型 (TOF は粒径が小さいほど小さい)



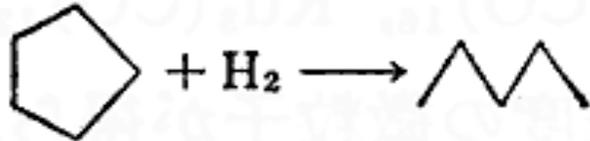
Pt/Al₂O₃^{l)}



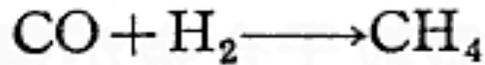
Pt/Al₂O₃^{m)}



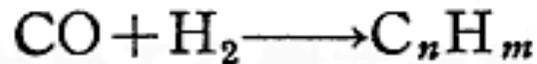
Pt/SiO₂ⁿ⁾



Ph/Al₂O₃^{o)}



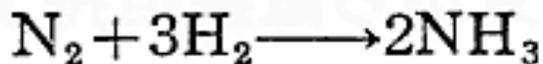
Ni/SiO₂^{p)}



Ru/Al₂O₃^{q)}, Co/Al₂O₃^{r)}



Rh/SiO₂^{s)}

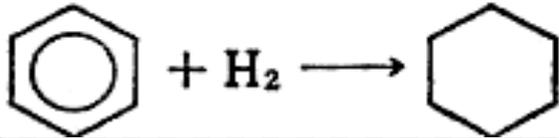
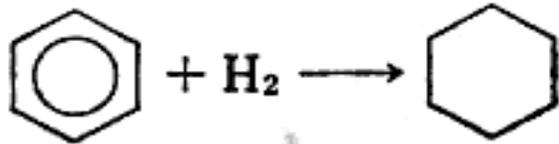
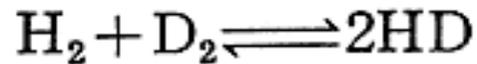


Fe/MgO^{t)}

構造敏感・構造鈍感

ターンオーバー頻度 (TOF) と粒径との関係

IV型 (TOF はある粒径で最大となる)*



Pd/C, Pd/SiO₂ (13 Å)^{u)}

Ni/SiO₂ (12 Å)^{v)}

Rh/SiO₂ (18 Å)^{w)}

ナノ粒子の合成法

ナノ粒子(超微粒子)合成法

- 物理的方法
- 化学的方法
 - 液相法
 - 気相法

超微粒子の製法		
	製法名	原理・特徴
物理的方法	ガス中蒸発法 ¹⁻⁴⁾	不活性ガス中で金属を蒸発させ、ガスとの衝突により冷却・凝縮させ超微粒子を生成する方法。蒸発源として誘導加熱、抵抗加熱、また高融点物質には、レーザー加熱、アーク加熱、電子ビーム加熱等がある。またハイブリットプラズマ法は、プラズマガンと、高周波誘導加熱を組み合わせ、高温プラズマを発生させ、原料粉を導入、気化させる方法で、化合物超微粒子生成に適している。
	スパッタリング法 ⁵⁾	蒸発源のかわりにスパッター現象を利用する。高融点物質及び化合物等の粒子生成に適している。ガス圧が低ければ膜が形成される
	金属蒸気合成法 ⁶⁾	真空下(10 ⁻³ Torr以下)で金属を加熱し、蒸発した金属原子を有機溶剤とともに有機溶剤の凝固点以下に冷却した基板上に共蒸着させ、超微粒子を得る。
	流動油上真空蒸発法 ⁷⁾	オイル上に金属を真空蒸着させる。50Å以下というきわめて粒径の小さな、粒径分布の鋭い超微粒子をつくることもできる
化学的方法 (液相)	コロイド法 ⁸⁾	高分子界面活性剤を共存させ、アルコール中で貴金属塩を還流条件下で還元すると、高分子に被覆された金属超微粒子がコロイド状で生成する。粒径が良く揃っていることが特徴である。
	アルコキシド法 ⁹⁾	金属アルコキシドの加水分解により酸化物超微粒子を得る。周期律表のほとんど全ての元素について適用可能であり複合粒子の作製に適し、BaTiO ₃ (50nm程度)、SiO ₂ 、ZrO ₂ 等が得られる。
化学的方法 (気相)	有機金属化合物の熱分解法 ¹⁰⁾	金属カルボニル化合物(Fe ₂ (CO) ₈ , Co ₂ (CO) ₈)等の熱分解反応により超微粒子を得る。
	金属塩化物のH ₂ 中還元法 ¹¹⁾	金属塩化物をH ₂ 気流中で還元する。
	酸化物・含水酸化物の水素中還元法 ¹²⁾	α-FeOOHを水素気流中で数百度に加熱して還元する。現在市販されている磁気テープ用の金属超微粒子は大半がこの方法による。

超微粒子の製法

	製法名	原理・特徴
物理的方法	ガス中蒸発法 ^{1~4)}	不活性ガス中で金属を蒸発させ、 <u>ガスとの衝突により冷却・凝縮</u> させ超微粒子を生成する方法。蒸発源として誘導加熱，抵抗加熱，また高融点物質には，レーザー加熱，アーク加熱，電子ビーム加熱等がある。またハイブリットプラズマ法は，プラズマガンと，高周波誘導加熱を組み合わせ，高温プラズマを発生させ，原料粉を導入，気化させる方法で，化合物超微粒子生成に適している。
	スパッタリング法 ⁵⁾	蒸発源のかわりにスパッター現象を利用する。高融点物質及び化合物等の粒子生成に適している。ガス圧が低ければ膜が形成される
	金属蒸気合成法 ⁶⁾	真空下(10^{-3} Torr以下)で金属を加熱し，蒸発した金属原子を有機溶剤とともに有機溶剤の凝固点以下に冷却した基板上に共蒸着させ，超微粒子を得る。
	流動油上真空蒸発法 ⁷⁾	オイル上に金属を真空蒸着させる。50Å以下というきわめて粒径の小さな，粒径分布の鋭い超微粒子をつくることもできる
化学的方法	コロイド法 ⁸⁾	高分子界面活性剤を共存させ，アルコール中で貴金属塩を還流条件下で還元すると，高分子に被覆された金属超微粒子がコロイド状で生成する。粒径が良く揃っていることが特徴である。

方 法	スパッタリング法	化合物等の粒子生成に適している。ガス圧が低ければ膜が形成される
	金属蒸気合成法 ⁶⁾	真空下(10^{-3} Torr以下)で金属を加熱し、蒸発した金属原子を有機溶剤とともに有機溶剤の凝固点以下に冷却した基板上に共蒸着させ、超微粒子を得る。
	流動油上真空蒸発法 ⁷⁾	オイル上に金属を真空蒸着させる。50Å以下というきわめて粒径の小さな、粒径分布の鋭い超微粒子をつくることもできる
化学的 方法 (液相)	コロイド法 ⁸⁾	高分子界面活性剤を共存させ、アルコール中で貴金属塩を還流条件下で還元すると、高分子に被覆された金属超微粒子がコロイド状で生成する。粒径が良く揃っていることが特徴である。
	アルコキシド法 ⁹⁾	金属アルコキシドの加水分解により酸化物超微粒子を得る。周期律表のほとんど全ての元素について適用可能であり複合粒子の作製に適し、BaTiO ₃ (50nm程度)、SiO ₂ 、ZrO ₂ 等が得られる。
化学的 方法 (気相)	有機金属化合物の熱分解法 ¹⁰⁾	金属カルボニル化合物(Fe ₂ (CO) ₈ , Co ₂ (CO) ₈)等の熱分解反応により超微粒子を得る。
	金属塩化物のH ₂ 中還元法 ¹¹⁾	金属塩化物をH ₂ 気流中で還元する。
	酸化物・含水酸化物の水素中還元法 ¹²⁾	α -FeOOHを水素気流中で数百度に加熱して還元する。現在市販されている磁気テープ用の金属超微粒子は大半がこの方法による。

環境触媒

環境触媒とは何だ？

- 脱硝触媒
 - 光触媒
 - 脱硫触媒
- など

環境触媒

環境触媒って何？

- 20世紀の負の遺産というべきか、地球環境問題の深刻化。非難の矛先はいつも「化学」だけど「化学」の恩恵をありがたけ受けているのは人間サマなのですぞ。それは兎も角、蒔いた種は自分で刈るわけで「化学」の21世紀の任務は"Save the Earth"。汚染物質を浄化するには、触媒は欠くことのできない技術、触媒化学は地球を救うのだ！というわけで環境浄化に使われる触媒はどんなものがあるかというと...

環境触媒

- 自動車排ガス浄化触媒(NO_x、CO、HC)
- 脱硝触媒(火力発電所などのNO_x)
- ディーゼルパーティキュレート浄化触媒
- ダイオキシン分解触媒
- フロン分解触媒
- 環境光触媒(NO_x、VOC、有機成分など)
- VOC分解触媒(揮発性有機成分、sickhouse症候群の原因)
- オゾン分解触媒
- 脱臭触媒
- 自動車をはじめ、身の水浄化触媒(硝酸イオン、アンモニアなど) などなど

環境触媒

- 触媒は、それ自体は反応を起こさずに、気体や流体などが化学反応を起こすのを助ける物質です。これまでも石油の精製や自動車の排ガス浄化に使われてきましたが、最近では環境問題に対する関心の高まりとともに、21世紀の快適環境を創造する切り札として「環境触媒」が注目を集めています。

環境触媒

- これは、日本が世界に先駆けて提起した技術発想で、1)水処理、2)脱臭、3)排ガス浄化、4)防汚・抗菌・殺菌の4分野を中心に、生活・社会・産業環境のクリーン化に役立つ高機能の触媒を指します。現在の市場は推定で約2000億円ですが、2005年には10倍の2兆円規模に急成長すると予測され、多種多様な応用開発が進んでいます。とくに、光をあてるだけで反応活性を示す「光触媒」は、高温超伝導体の実用に比較されるほど革新的な触媒で、日用品から燃料電池まで幅広い用途で環境問題の解決に貢献すると期待されています。
 - （広告577，平成12年2月4日掲載）

●環境触媒の用途と市場予測

- 三菱総合研究所の調査によると、触媒を組み込んだ装置などを含む環境触媒の市場は、全体で約2000億円に達し、うち光触媒が約400億円を占めると推定されます。これが2005年には、全体で10倍の2兆円。なかでも光触媒は20倍の1兆1000億円強に急拡大すると予測されています。

●環境触媒の用途と市場予測

- 分野別の予測は次のとおりです。1) 下水し尿処理、水殺菌処理など水処理分野で3500億円、2) 冷蔵庫や石油暖房機などの脱臭、消臭・抗菌繊維など脱臭分野で9100億円、3) 自動車エンジンや船舶用ディーゼルエンジン、ダイオキシン除去装置などの排ガス浄化分野で4000億円、4) 建材・インテリア用品・トイレなどの防汚・抗菌・殺菌分野で2400億円。

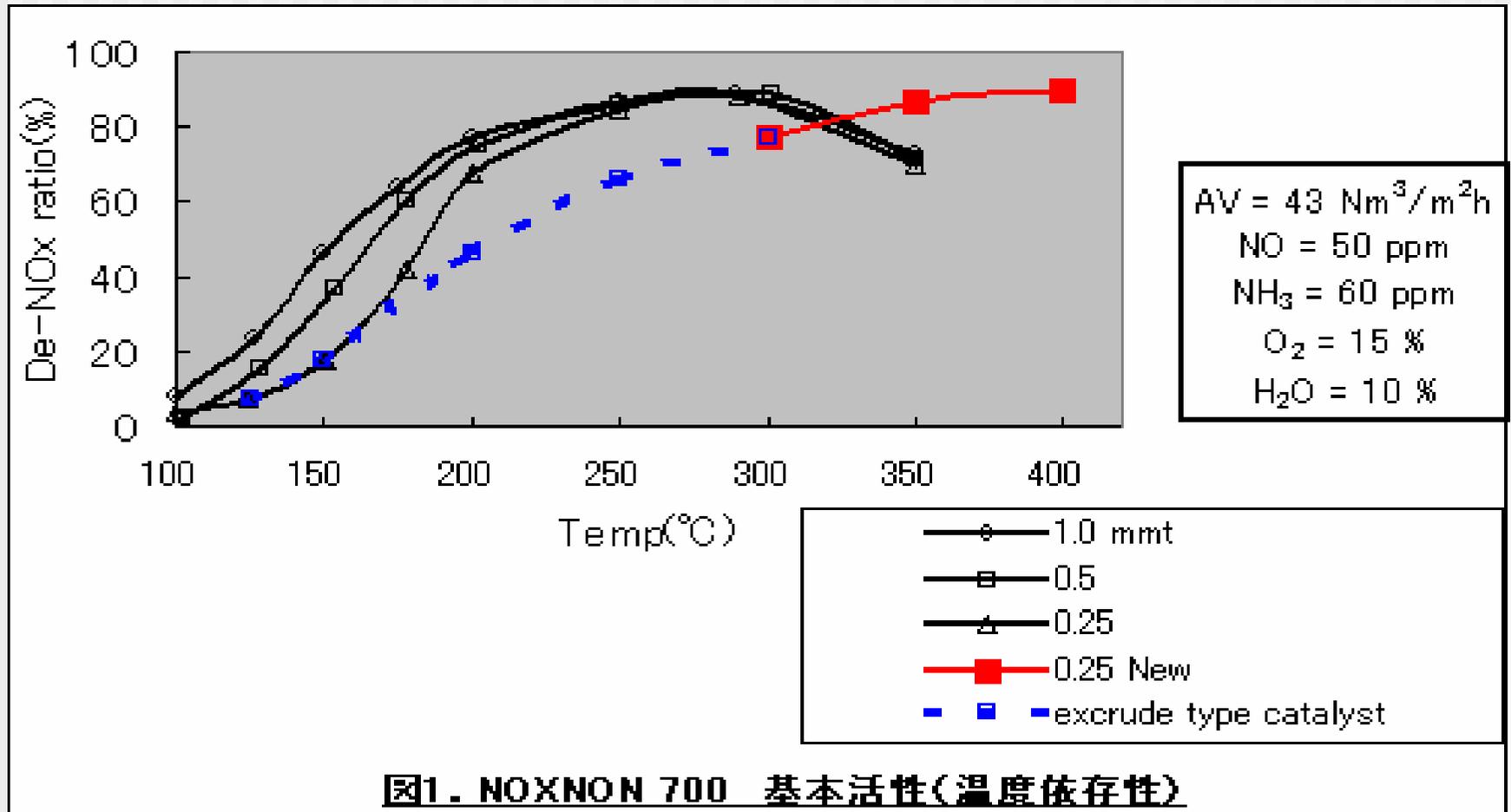
●脱硝触媒

- 脱硝触媒は、光触媒と並ぶ主要な環境触媒です。NO_x(窒素酸化物)の分解反応を助けて、無害な窒素ガスと酸素ガスにします。HC、CO、NO_xの3成分を同時処理する三元触媒など、反応活性の高い脱硝触媒の開発が進んでいます。すでに自動車排ガスの触媒燃焼に活用されていますが、今後はディーゼルエンジンを搭載したトラックや船舶の排ガスに含まれるNO_xの低減化への応用が強く望まれています。

脱硝触媒といっても2種類ある

- ボイラー、自家発電装置、燃焼炉等各種固定燃焼装置、金属エッチングなどから発生する窒素酸化物(NO_x)の除去。還元剤としてアンモニアを使用する選択的還元法触媒。
- NO_x (窒素酸化物)の分解反応触媒。炭化水素(HC)、CO、 NO_x の3成分を同時処理する三元触媒 = **自動車触媒**

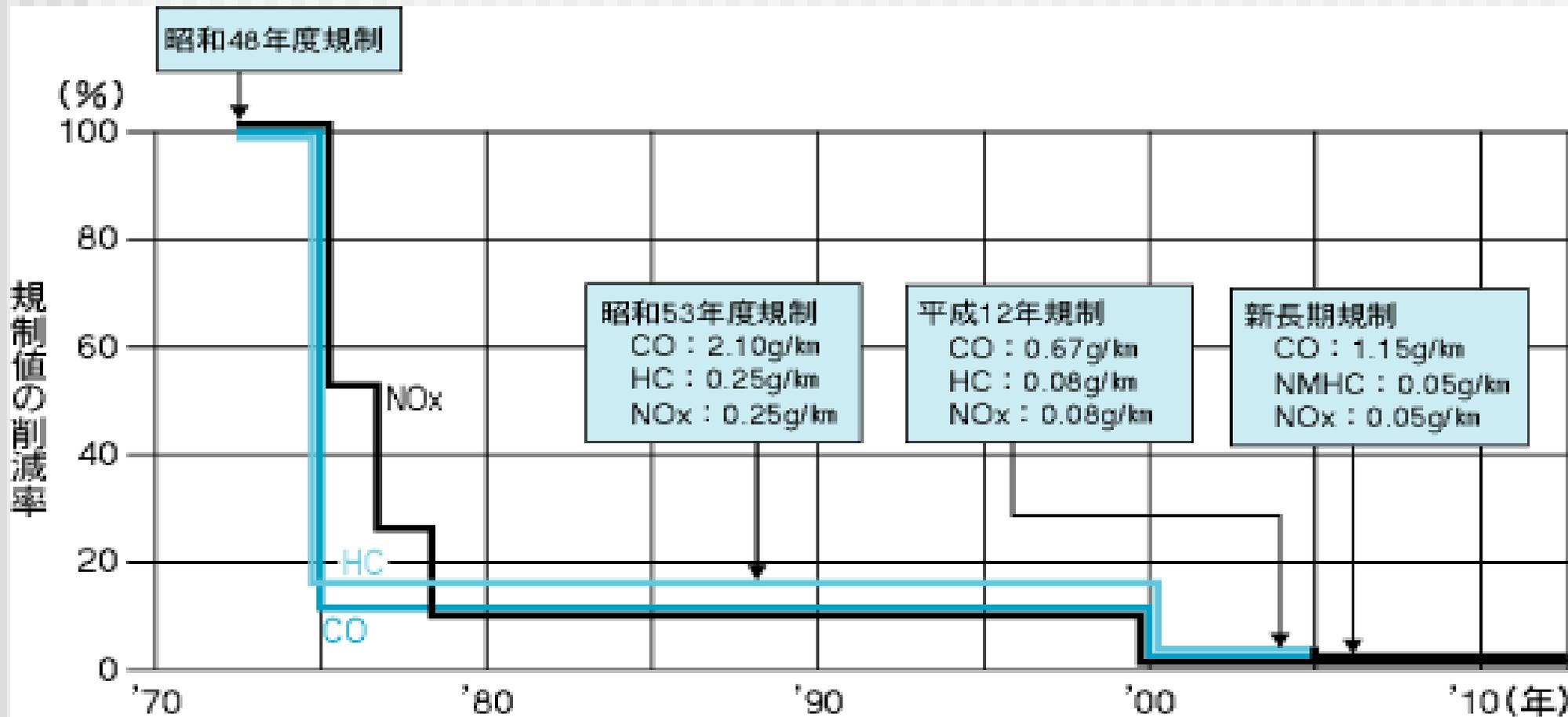
脱硝触媒



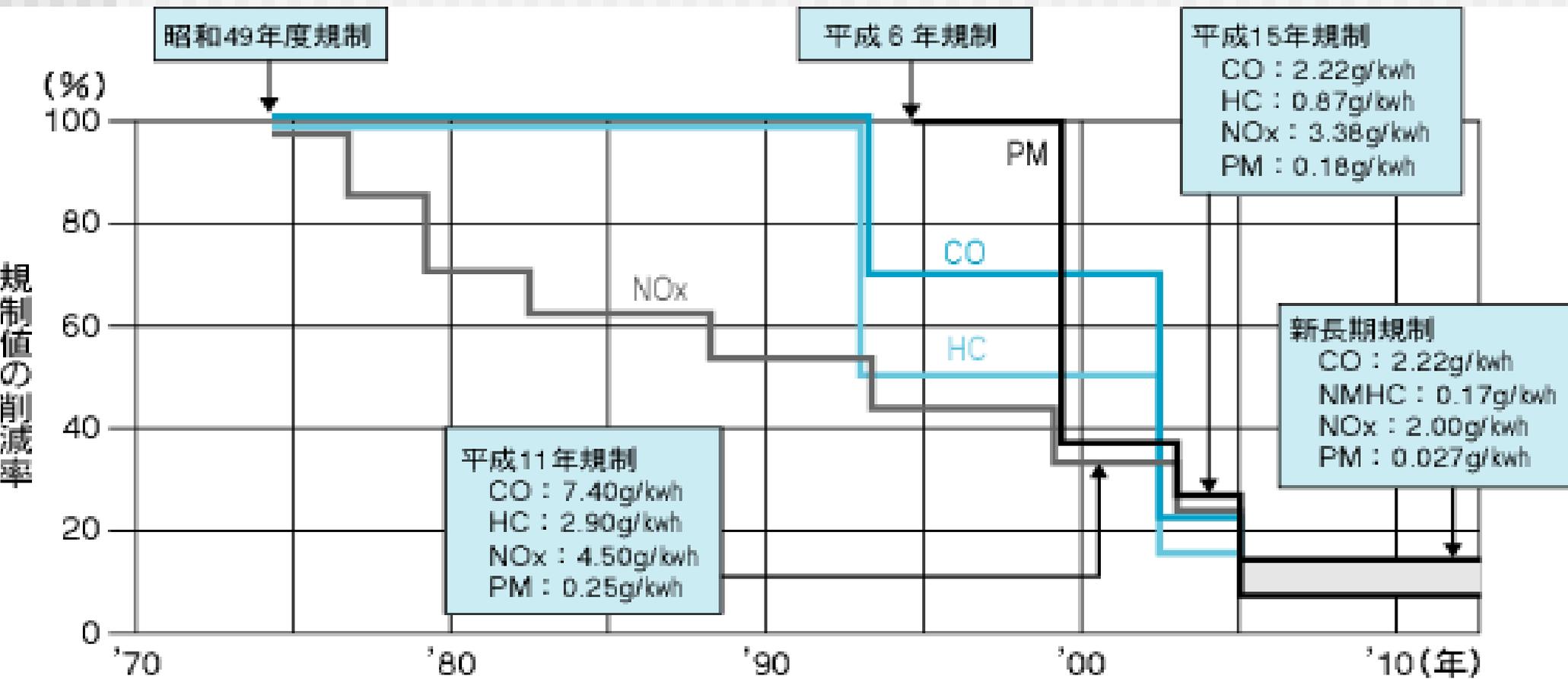
自動車触媒

- 現在、アルミナをベースとし白金、パラジウム、ロジウムを加えた三元触媒が主。
- ロジウムは窒素酸化物(NO_x)の還元能力が高く、白金とパラジウムは炭化水素(HC)と一酸化炭素(CO)の酸化能力が高い。
- ガソリンエンジンの排ガス組成ではHC、CO、 NO_x のバランスがとれているため、HCとCOの酸化反応と NO_x の還元反応を同時に行わせることができる。

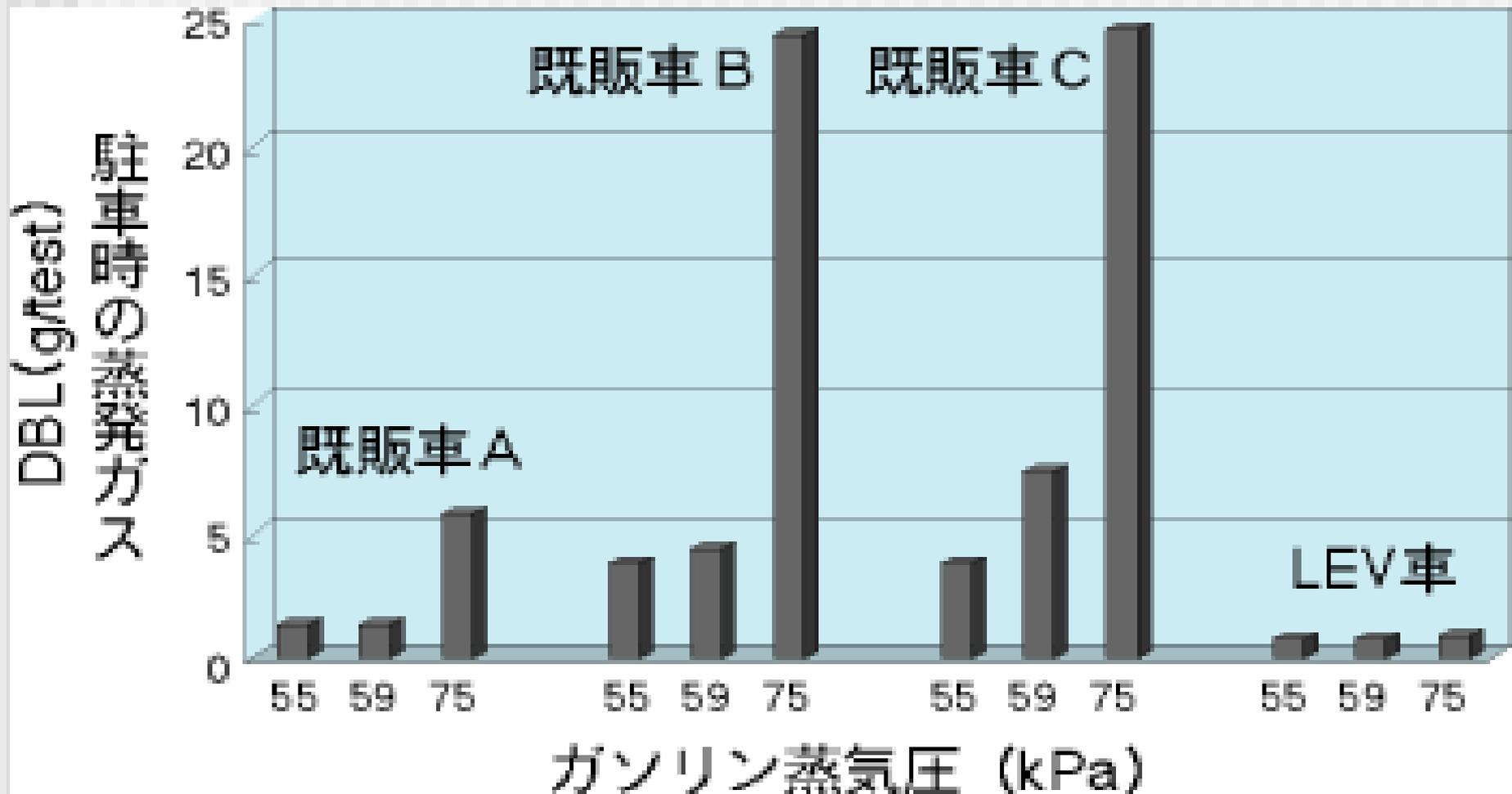
排ガス規制 — ガソリン車



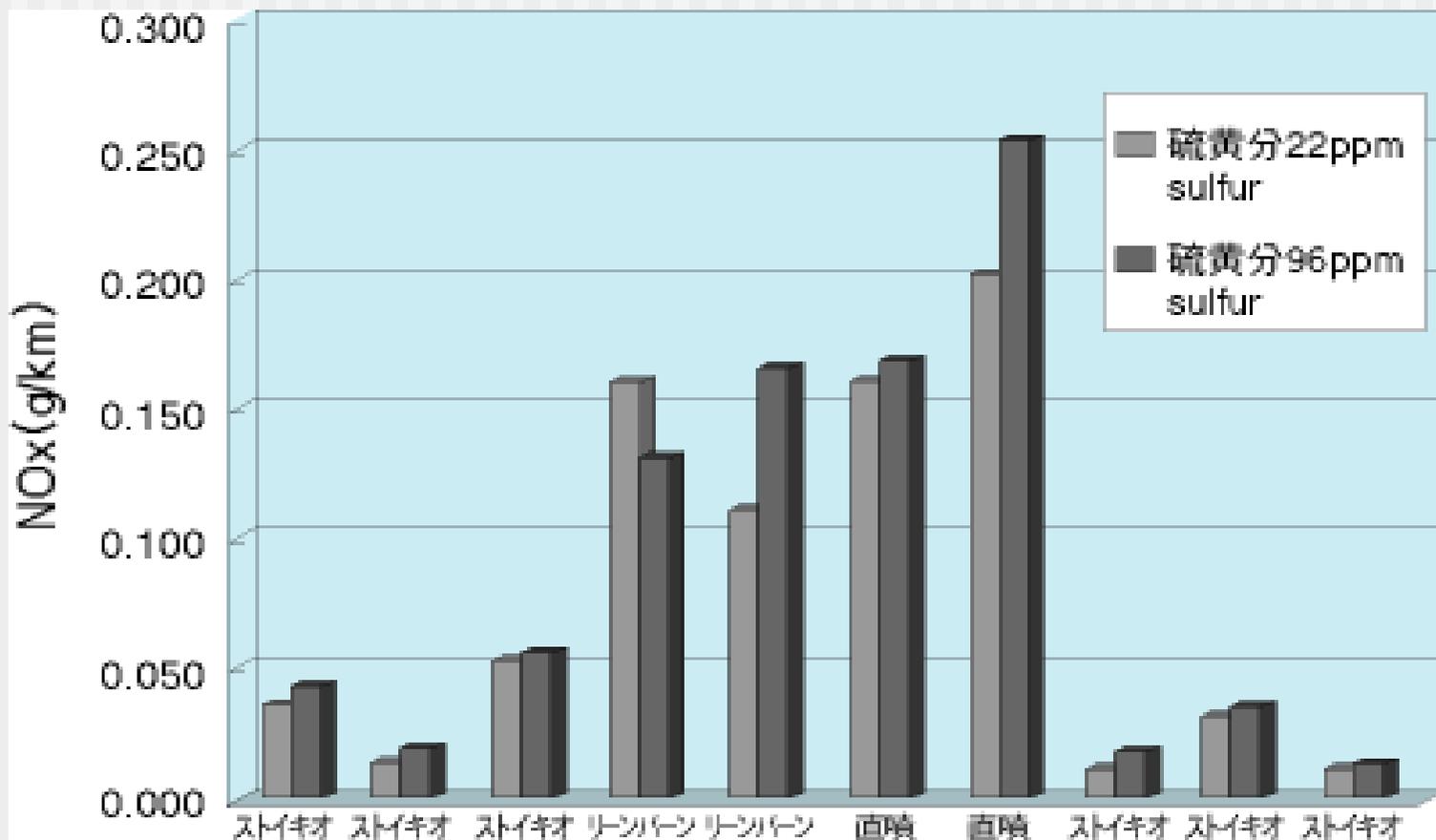
排ガス規制 —ディーゼル大型



ガソリン車の型式と燃料蒸気圧による日間蒸発ロスの違い



燃料中の硫黄分とガソリン車のNOx排出量との関係(10・15モード)



* ストイキオ=理論空燃費:ガソリン1gに対して、空気14gの割合で燃やすのがもっとも理想とされている比率。ストイキとも言う。

今後の自動車排ガス対策

I. ディーゼル自動車の排出ガス低減対策(新長期目標)

(目標値)

○浮遊粒子状物質(SPM)、二酸化窒素(NO₂)等の大気汚染状況が厳しい中、ディーゼル自動車から排出される粒子状物質の健康リスクが高いことが明らかになってきたことから、窒素酸化物(NO_x)等を低減しつつ、粒子状物質(PM)に重点をおいた対策を行う。特に、重量車(車両総重量3.5t超)は、PMをより大幅に低減する。

なお、一酸化炭素(CO)については、環境基準を達成していること等から、新短期規制値に据え置く。

○新長期目標以降の自動車排出ガス低減対策(新たな低減目標)を検討する。その際、軽油中の硫黄分の低減等、燃料対策も併せて検討する。

(備考)達成時期については、「平成17年末まで」と第四次答申(平成12年11月)において答申されている。

II. ガソリン自動車の排出ガス低減対策(新長期目標)

(目標値)

○排出ガス低減対策と二酸化炭素低減対策の両立に配慮しつつ、NO_x等を低減する。

なお、一酸化炭素(CO)については、環境基準を達成していること等から、新短期規制値に据え置く。

○新長期目標以降の自動車排出ガス低減対策(新たな低減目標)を検討する。その際、ガソリン中の硫黄分の低減等、燃料対策も併せて検討する。

(達成時期)

○乗用車等は平成17年末までとする。但し、軽貨物車は、平成19年末までとする。

(蒸発ガス対策)

○燃料蒸発ガスはSPMや光化学オキシダント等の前駆物質であり、特にSPMの環境基準達成に向け、自動車対策と固定発生源対策を合わせた総合的な対策の検討を進めていくことが必要である。

(その他)

○低排出ガス認定制度等により、引き続き、低排出ガス自動車の普及を図ることが適当である。

自動車触媒のリサイクル

Pt

日本	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年
自動車触媒：総量	10.0	9.0	8.4	7.6	7.9	7.4	7.8	9.0	10.7	12.8
回収	-1.6	-1.4	-1.2	-1.5	-1.6	-1.7	-1.9	-1.9	-1.7	-1.9
化学	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.9
電気	1.4	1.4	1.4	1.4	2.0	1.7	2.3	2.8	2.5	2.5
ガラス	0.9	2.5	3.3	2.5	2.6	2.5	2.0	2.0	2.6	2.5
投資：スモール	1.7	1.2	1.1	0.8	0.8	0.8	0.6	0.2	0.2	0.2
ラージ	5.6	7.4	8.4	4.0	1.9	3.3	2.8	-3.1	1.2	1.2
宝飾品	42.0	45.1	46.0	46.0	43.3	40.1	41.1	33.0	22.1	22.9
石油	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
その他	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1	1.2	1.2
合計	61.4	66.7	69.0	62.4	58.6	55.8	56.6	43.9	39.8	42.5

北米	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年
自動車触媒：総量	18.7	24.6	25.5	26.4	24.9	24.1	16.6	19.3	24.7	14.9
回収	-6.2	-7.2	-8.1	-8.5	-9.0	-9.6	-9.8	10.9	-11.5	-11.8
化学	2.3	2.0	2.2	2.5	2.5	2.5	3.0	3.1	3.1	2.6
電気	2.0	2.3	3.6	4.0	3.1	3.3	3.7	4.5	3.7	3.7
ガラス	0.5	0.6	0.8	0.9	1.4	0.6	0.8	1.6	0.9	1.1
投資：スモール	1.2	2.0	0.8	2.3	4.5	5.4	1.9	1.1	1.4	1.4
宝飾品	1.4	1.7	2.0	2.8	5.0	8.4	10.3	11.8	8.7	9.6
石油	1.2	0.2	1.2	1.9	1.5	1.2	1.2	1.1	1.3	1.4
その他	2.5	3.0	3.6	4.4	5.0	5.3	5.9	6.5	7.8	7.9
合計	23.6	29.2	31.6	36.7	38.9	41.2	33.6	38.1	40.1	30.9

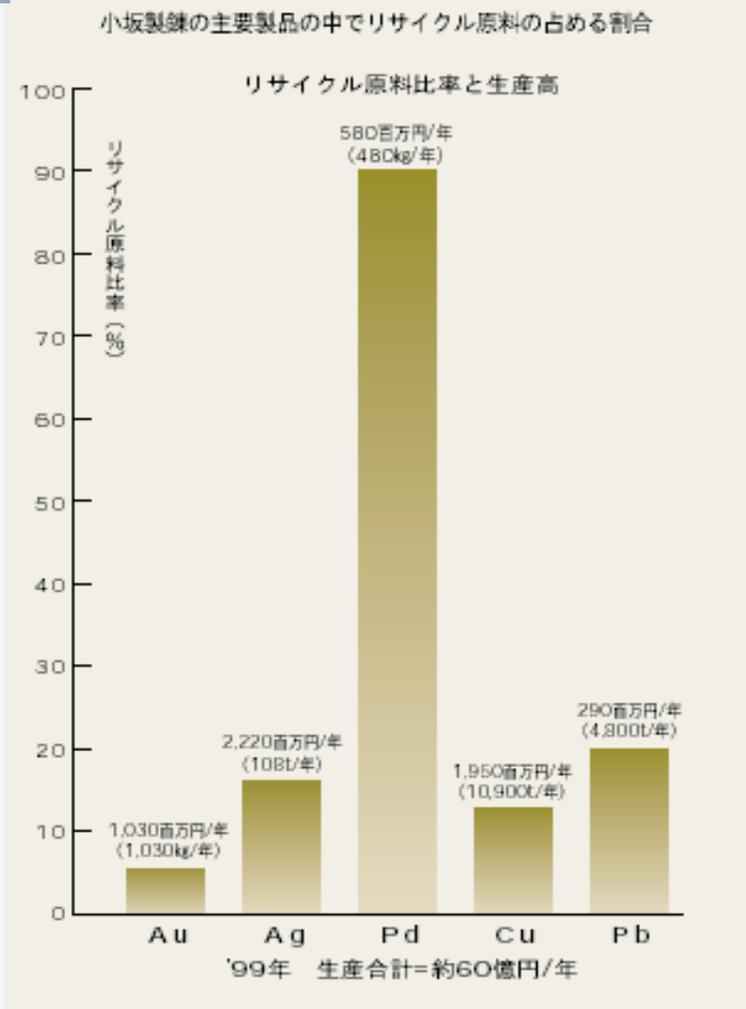
欧州	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年
自動車触媒：総量	18.9	18.8	17.4	16.0	15.8	16.9	17.4	21.1	33.1	38.9
回収	-0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-0.9	-1.2	-2.2	-2.8
化学	1.2	1.6	1.7	1.9	2.2	1.9	2.5	3.1	3.0	3.3
電気	0.6	0.8	0.8	0.8	1.4	1.4	2.2	2.5	2.0	2.0
ガラス	0.5	0.9	1.1	1.3	0.6	0.8	0.6	0.6	0.5	0.3
投資：スモール	0.8	1.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
宝飾品	3.3	3.1	3.7	3.9	4.7	5.0	5.7	5.9	5.3	5.3
石油	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
その他	1.9	2.0	2.3	2.3	2.6	2.6	2.8	3.3	4.5	4.6
合計	27.8	29.1	27.3	26.3	27.2	28.3	31.0	35.8	46.7	52.1

同和鋳業の取り組み

- 同和鋳業は、これまで廃棄物とされていたものを資源と見なし、これをリサイクル(再資源化)することにより、世界に偏在する希少金属の安定供給をはかり、循環型社会の実現をめざして金属リサイクル事業に積極的に取り組んでいます。
- 1991年には、自動車用廃触媒からのPt、Pd、Rhの回収を目的とする(株)日本ピージーエムを田中貴金属工業(株)との合併で設立しました。現在、廃触媒処理での国内シェアは、ほぼ100%、世界シェアでは25%を占めています。今後海外集荷を強化、増強しリサイクルを進めていきます。
- また、1995年に、小坂製錬所における鉛バッテリー処理と、同和ハイテックにおける液晶製造工程のスクラップからのIn回収事業を開始しました。さらに、1998年には、Ga、Geのリサイクルも事業化しています。

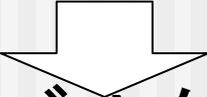
同和鉱業の取り組み

- 小坂製錬所で現在処理している使用済み製品等は、従来からの故銅に加え、フィルム、酸化銀電池、電子基板、GaAs半導体、携帯電話と多岐にわたり、処理原料に占める二次原料の比率は、右のグラフで示す通りPd90%、Pb20%、Ag15%、Cu12%となっています。



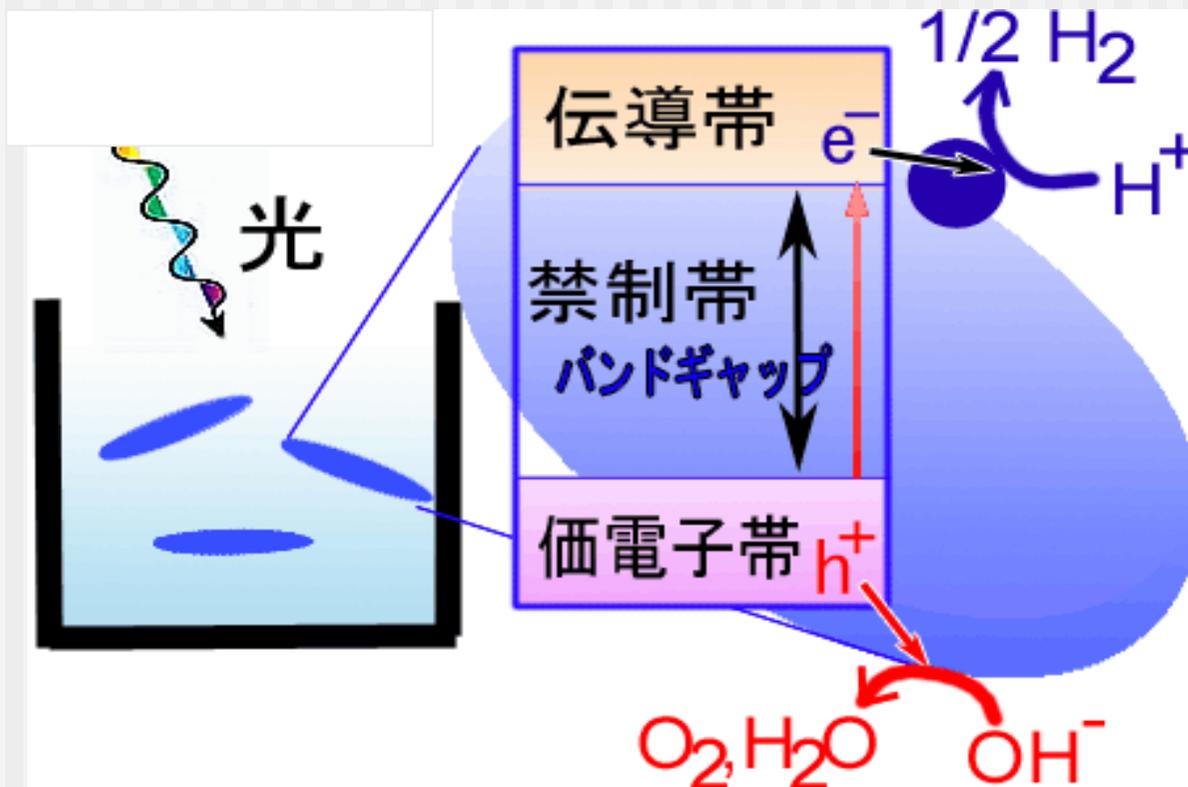
光触媒

光触媒の特異性

- 電子と正孔の生成
 - 光励起はバルクの役割
 - 電子 + プロトン → 水素生成
 - 水素生成は表面触媒機能
- 
- 表面機能とバルク機能の両方の制御が必要

本多・藤嶋効果

水→水素発生



解説

光利用効率を上げることが必須

1. 光触媒とはなにか

- 触媒は「それ自身は変化することなく化学反応を促進する物質」と定義
- 光触媒はこれに「光照射下で」という条件が付加
- 身近に見られる光触媒の例：植物の光合成で重要な働きをしている葉緑素（クロロフィル）

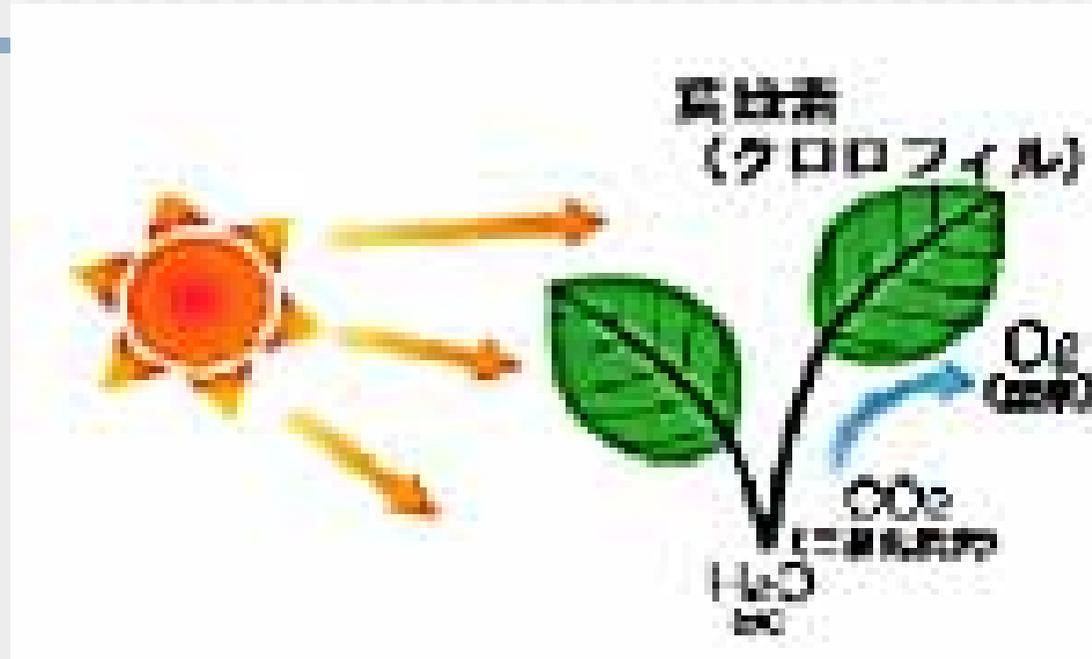


図1 植物の光合成も一種の光触媒反応

光触媒の用途別マスコミ発表件数

- 空気清浄機、脱臭フィルター等 52
- 外壁、外装、建材、テント等の防汚 36
- 抗菌・脱臭用繊維および紙 15
- 蛍光ランプ、街路灯関連の防汚 14
- 浄水・活水器 14
- 防汚・抗菌タイル(内装、外装) 10
- 道路、コンクリート、セメント 10
- キッチン関連の防汚・抗菌 10
- 自動車の防汚コーティング 3
- 防藻 3

光触媒

- 残念ながら光合成をできる光触媒を人類はまだ作り出していない。
- 光によって機能する半導体素子（デバイス）
 - 太陽電池、光ダイオード、光トランジスターなど
 - 光→電気変換、光→電気信号制御
 - 光→化学反応制御
 - 半導体光触媒の一般的機能： 脱臭、抗菌・殺菌、防汚、有害物質の除去、ガラス・鏡の曇り防止、など



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

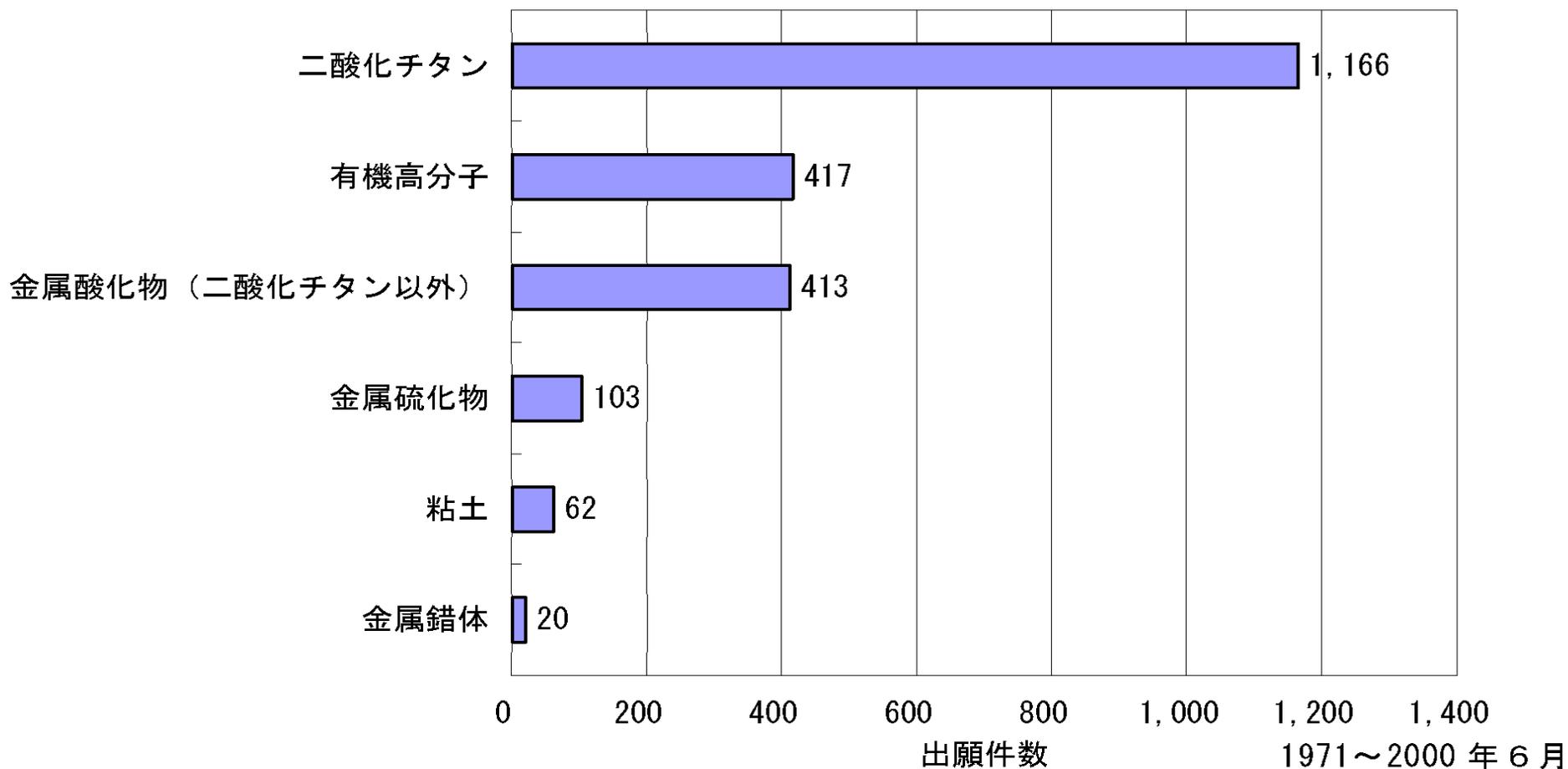


(h)

図2 光触媒を応用した商品の例

(a)空気浄化用疑似観葉植物、(b)蛍光灯、(c)自動車サイドミラー用水滴防止フィルム、(d)自動車のコーティング、
(e)光触媒をコートしたテント(右側は未処理)、(f)光触媒コートしたビルの壁面、
(g)街灯のカバー、(h)コップ

光触媒特許数(物質別)

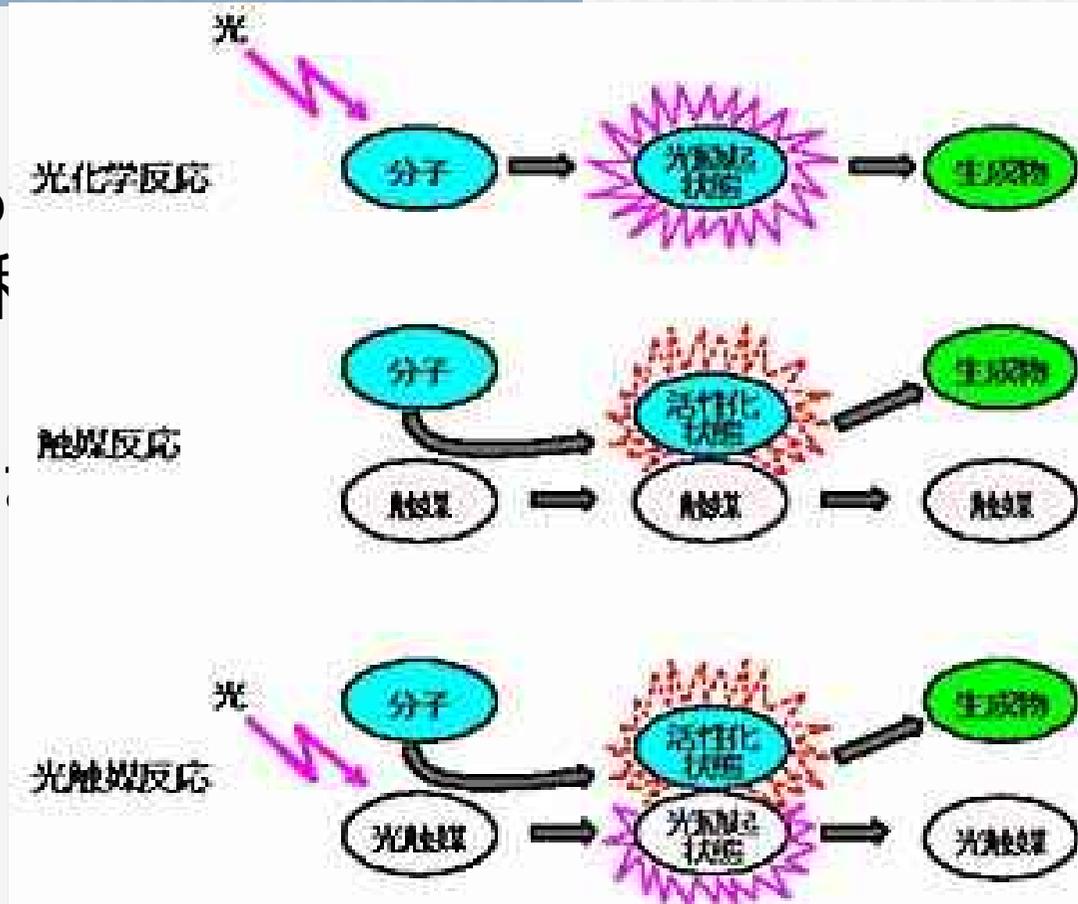


1971~2000年6月

までに公開の出願

2. 光によって起こる反応

- 光化学反応
- 光触媒によって起こる反応(光触媒反応)も一種の光化学反応
- 従来の光化学反応とはメカニズムが違う



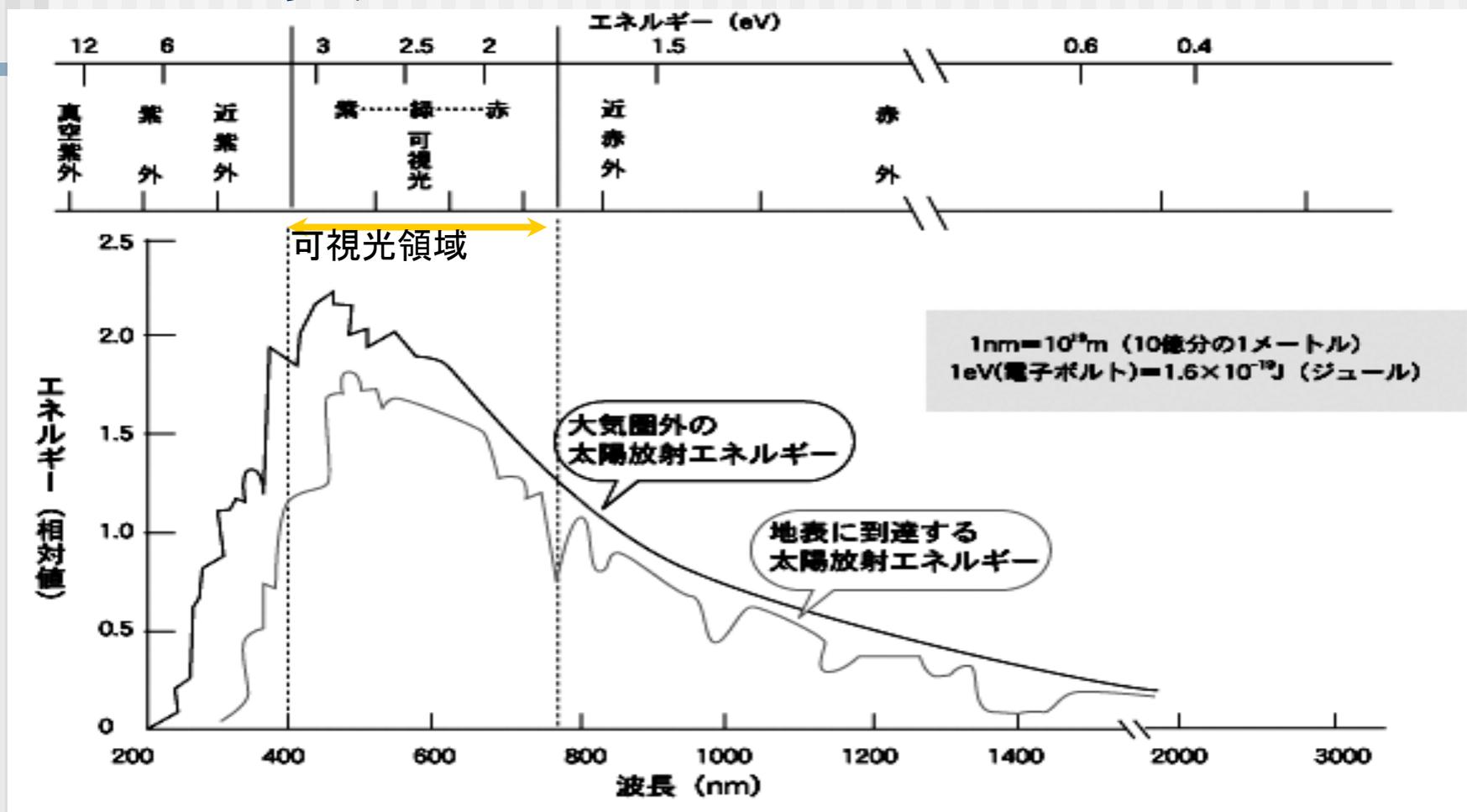
3. 光のエネルギー

- 光化学反応でも光触媒反応でもすべての光が使えるわけではない
- あるエネルギー以上の光だけしか使えない
- 光のエネルギーは波長が短いほど高くなる
- 光のエネルギー(eV, 電子ボルト)
= (プランクの定数) × (光の速度) ÷ 波長(nm、ナノメートル)
= 1240 ÷ 波長(nm)



図4 光のエネルギーと波長

太陽光



4. 半導体の光励起と光触媒反応

- 二酸化チタン (TiO_2 、チタニア)
 - n型半導体に属す
 - 電子によって電気を通すタイプの半導体
 - 酸化チタンにあるエネルギー以上の光が当たると、酸化チタンを構成している電子(価電子帯電子)が励起して、上のレベル(伝導帯)の電子になる
 - これが半導体の光励起状態
 - 価電子帯(下のレベル)と伝導帯のエネルギー差をバンドギャップエネルギーという
 - 酸化チタン(アナターズ型) = 3.2eV (=約390nm)

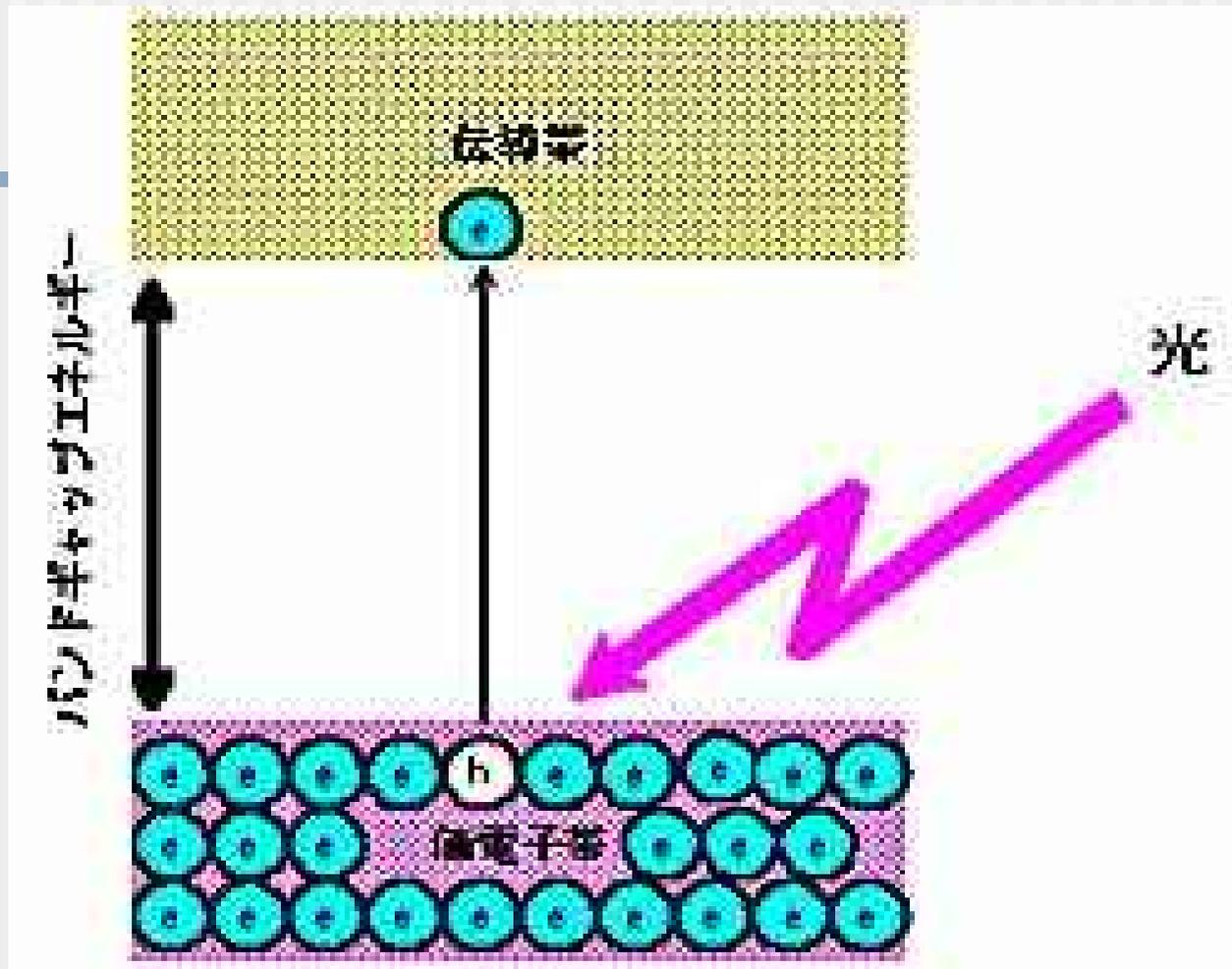


図5 光による半導体のバンドギャップ励起

5. 本多—藤嶋効果と光触媒

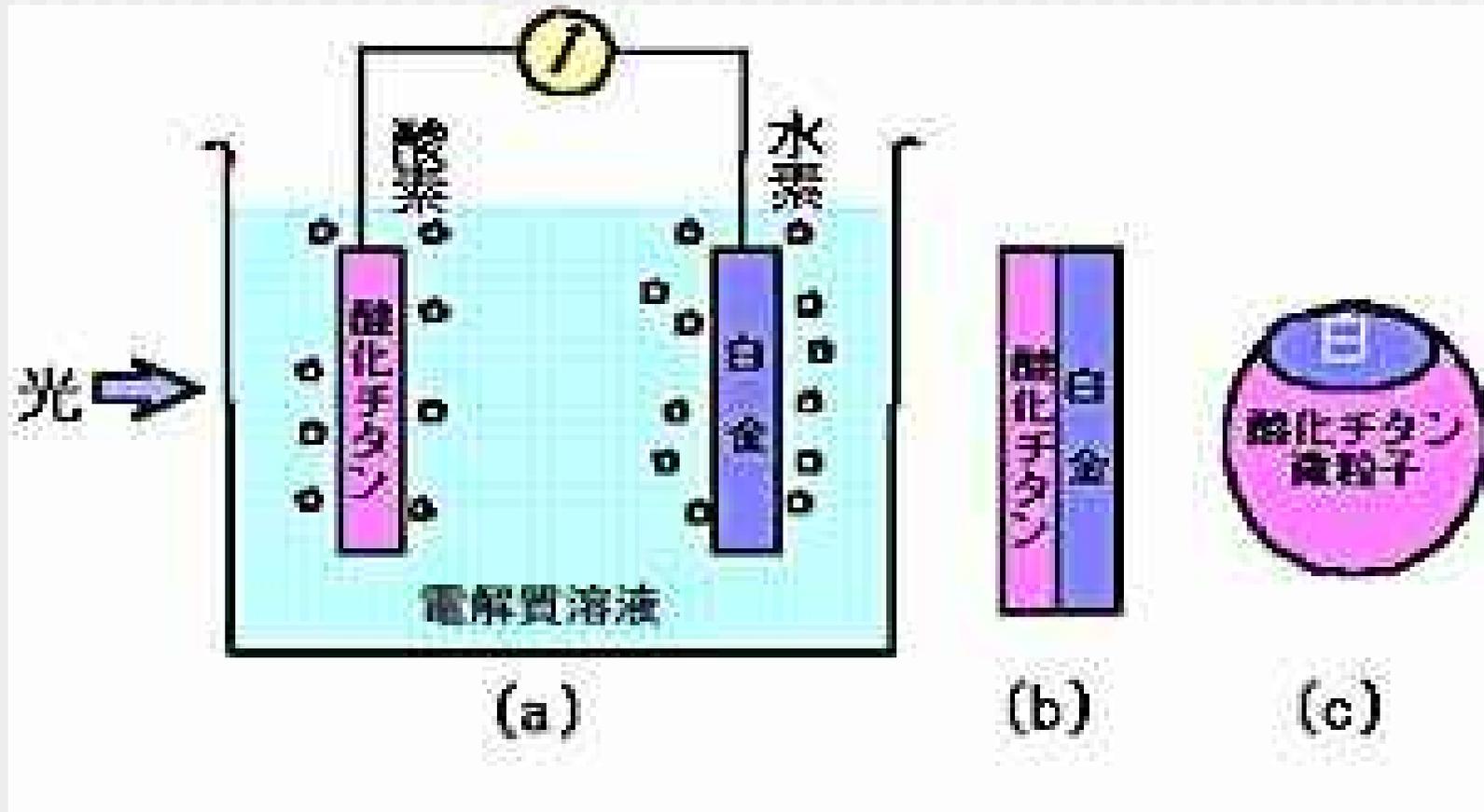
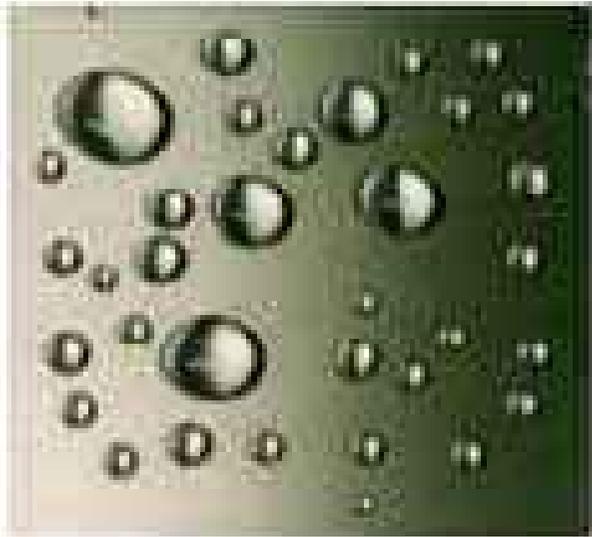


図6 (a)光電気化学セル、(b)光化学ダイオード
(c)Pt担持光触媒



光照射前



光照射後

図7 酸化チタン薄膜についた水滴は光照射によって一様な水膜となる

表 1 金属酸化物半導体

半導体	バンドギャップ	半導体	バンドギャップ
Fe_2O_3	2.2	$\text{TiO}_2(\text{rutile})$	3.0
Cu_2O	2.2	$\text{TiO}_2(\text{anatase})$	3.2
In_2O_3	2.5	SrTiO_3	3.2
WO_3	2.7	ZnO	<3.3
Fe_2TiO_3	<2.8	BaTiO_3	3.3
PbO	2.8	CaTiO_3	3.4
V_2O_5	2.8	KTaO_3	3.5
FeTiO_3	2.8	SnO_2	3.6
Bi_2O_3	2.8	ZrO_2	5.0
Nb_2O_3	3.0		

表 2 単体半導体および金属酸化物半導体以外の化合物半導体
(指定のないものはn, p両型あり)

半導体	バンドギャップ
Si	1.1
GaAs	1.4
CdSe, n	1.7
GaP	2.25
CdS, n	2.4
ZnS, n	3.5

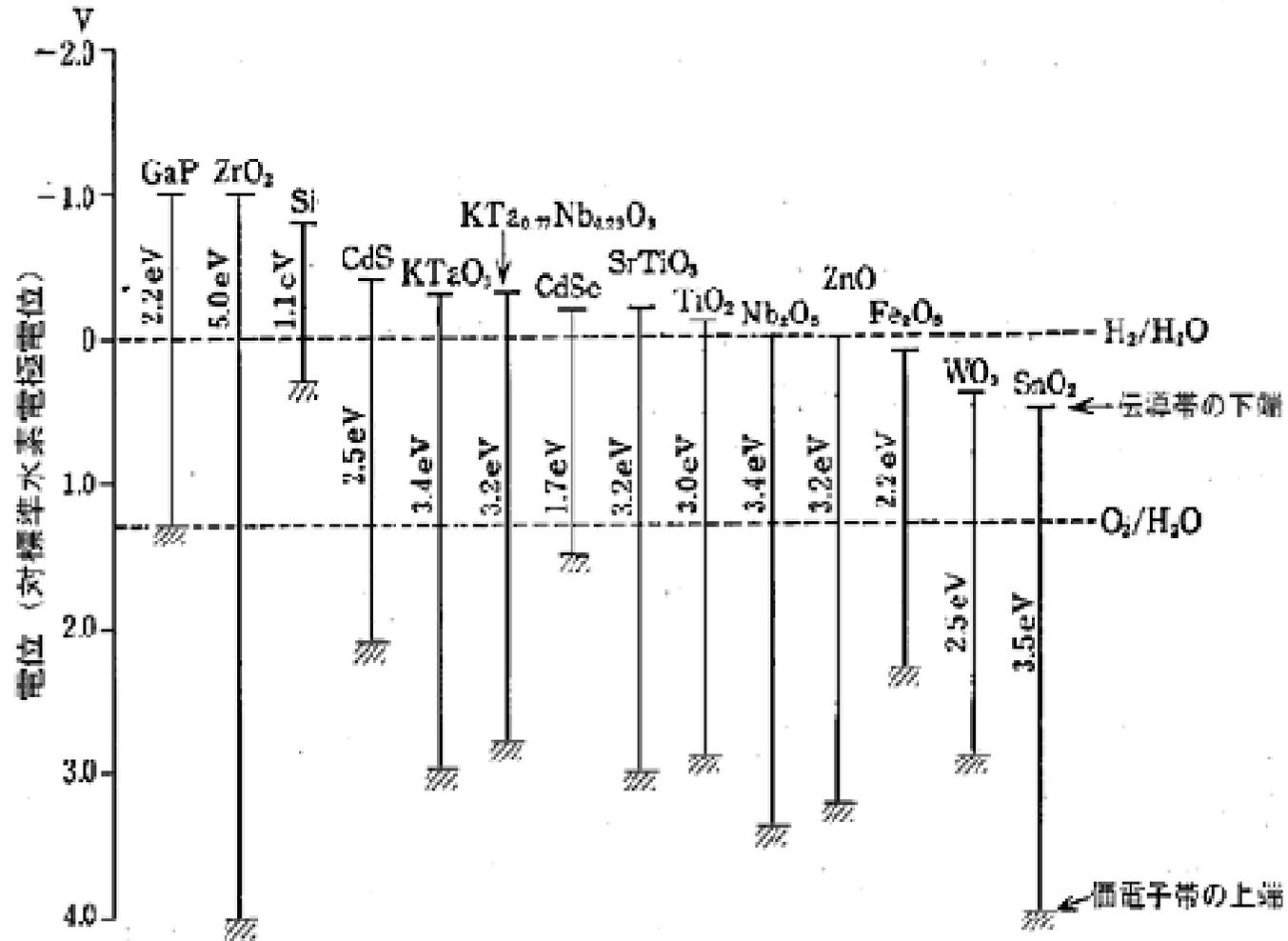


図 各酸化物、硫化物のバンドギャップ

可視光化への挑戦

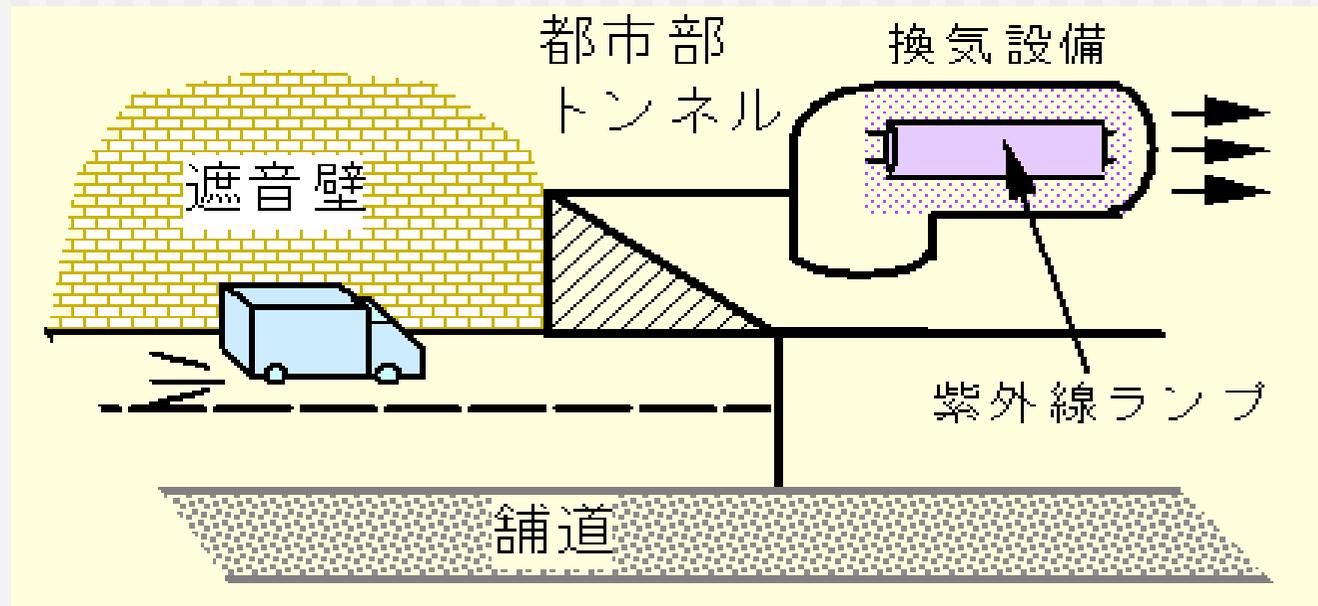
可視光化は永遠の課題？

- 第9回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」
- 2002年12月2日(月)9:00～20:00
- 東京大学安田講堂など
 - P-1. 窒素ドーパ酸化チタン薄膜の親水化特性に対する窒素置換量依存性
 - ○入江 寛、鷺塚清多郎、橋本和仁 東大先端研
 - P-2. 窒素ドーパ酸化チタン薄膜のバンド構造と親水化特性の相関
 - ○鷺塚清多郎、入江寛、橋本和仁 東大先端研
 - P-3. 窒素ドーパ酸化タンタルの光触媒活性評価
 - ○村瀬隆史、入江寛、橋本和仁 東大先端研
 - P-4. 窒素ドーパした酸化チタンのゼータ電位と光触媒特性
 - ○宮内雅浩、池澤綾子、亀島順次、島井 曜、飛松浩樹、橋本和仁* 東陶機器(株)、東大先端研*
 - P-5. 窒素ドーパ酸化チタン粉末の光触媒活性に対するNドーパ量依存性
 - ○渡邊裕香、入江寛、橋本和仁 東大先端研
 - P-6. 可視光応答型光触媒材料:硫黄添加二酸化チタン
 - ○梅林 励、八巻徹也、田中 茂、浅井圭介 東大工、日本原子力研究所高崎研
 - P-7. 硫黄ドーパ型二酸化チタン光触媒の調製と可視光照射下での反応活性
 - ○横野照尚、満居隆浩、松村道雄 阪大太陽エネルギー化学研究センター

可視光化は永遠の課題？

- P-8. 可視光増感型光触媒の開発
 - ○西川貴志、秋田彰一、石灰洋一、二又秀雄 石原産業(株)
- P-9. 水酸化チタンと尿素との加熱により得たTiO₂粉末の可視光応答
 - 小早川紘一、○村上祥教、佐藤祐一 神大工
- P-10. 低エネルギーイオン照射による光触媒TiO₂薄膜の可視光応答化
 - ○岡田昌久、山田保誠、金平、田澤真人、吉村和記 産業技術総合研究所
- P-11. ゴルーゲル法による遷移金属イオンをドーピングした光触媒の合成と可視光応答性(1)——V⁴⁺イオンのドーピング効果
 - ○孫仁徳、池谷和也*、廣田健*、土岐元幸、山口修* (株)関西新技術研究所、同志社大工*
- P-12. 光触媒を利用した海水殺菌システムの構築(その2)
 - ○野口寛***、磯和俊男***、角谷祐公****、橋本和仁***** 東大先端研*、(株)明電舎**、(株)エコグローバル研究所***、(株)日本フォトサイエンス****、KAST*****
- P-13. 湿式法による可視光応答型酸化チタンの可視光活性と結晶子との関係
 - ○三好正大、井原辰彦、杉原慎一* 近畿大院工、エコデバイス(株)*
- P-14. Tiメタルターゲットを用いた反応性マグネトロンスパッタ法によるTiO_xN_y光触媒薄膜の作製
 - ○石井慎悟、山岸牧子、宋豊根、重里有三 青山学院大院理工

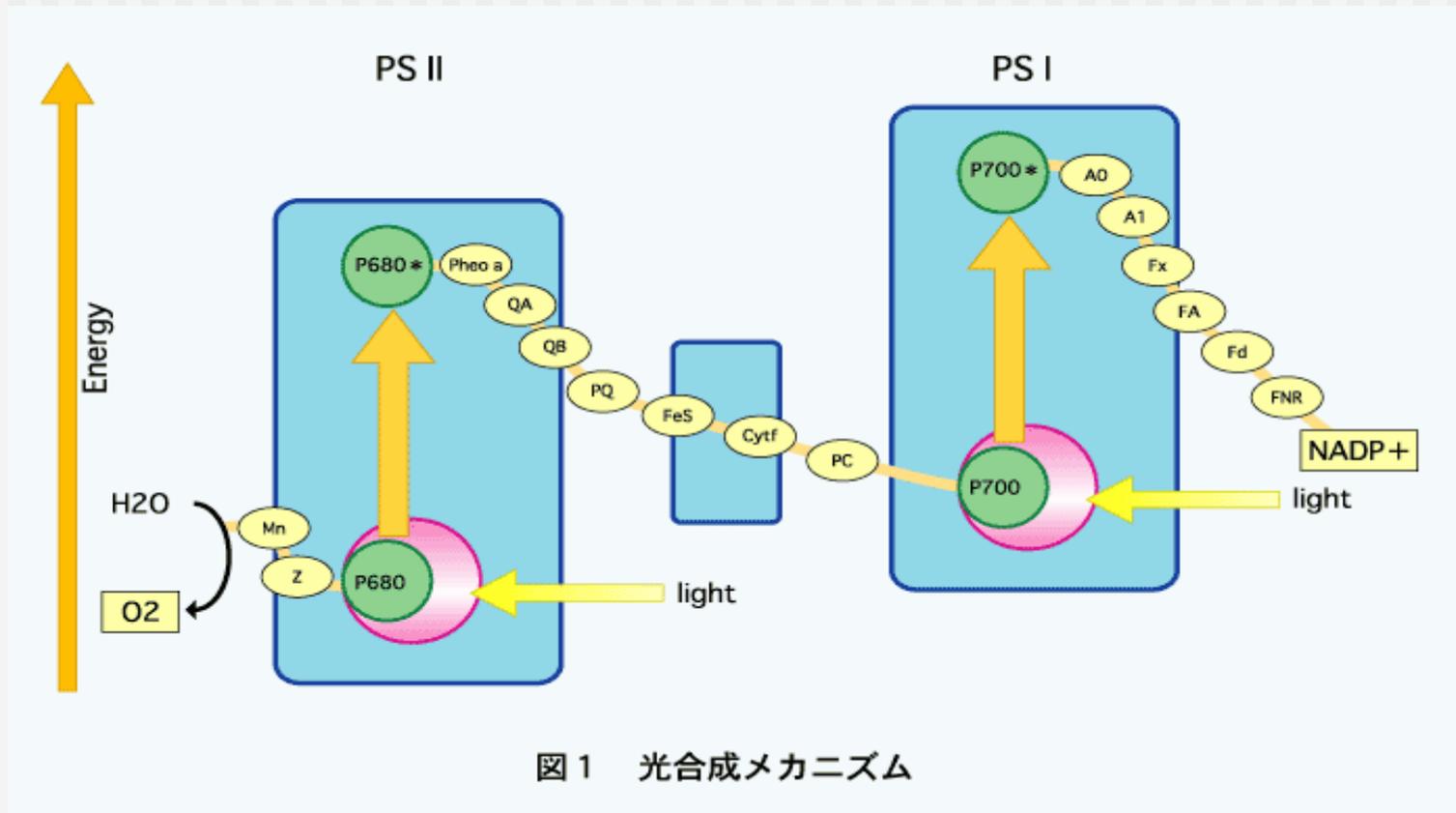
自動車由来有害大気汚染物質の光分解除去



低濃度NO_xの分解除去から、アルデヒド類、BTX、多環芳香族炭化水素、粒子状物質中の有機分など各種の有害大気汚染物質の除去へ。

光触媒の固定化・性能向上が必要

人工光合成システムで可視光による水の完全分解に世界で初めて成功（産総研・光反応制御研究センター）



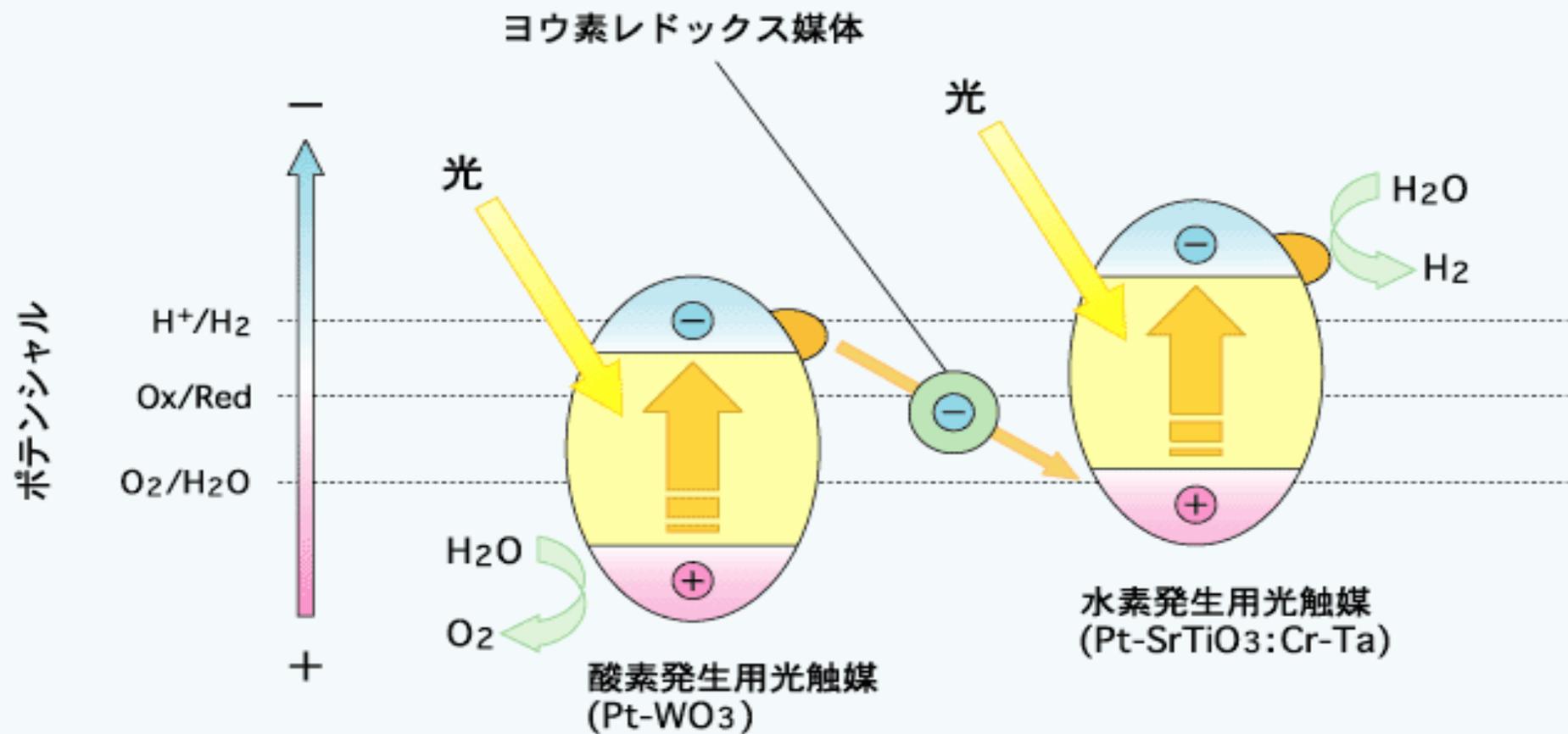
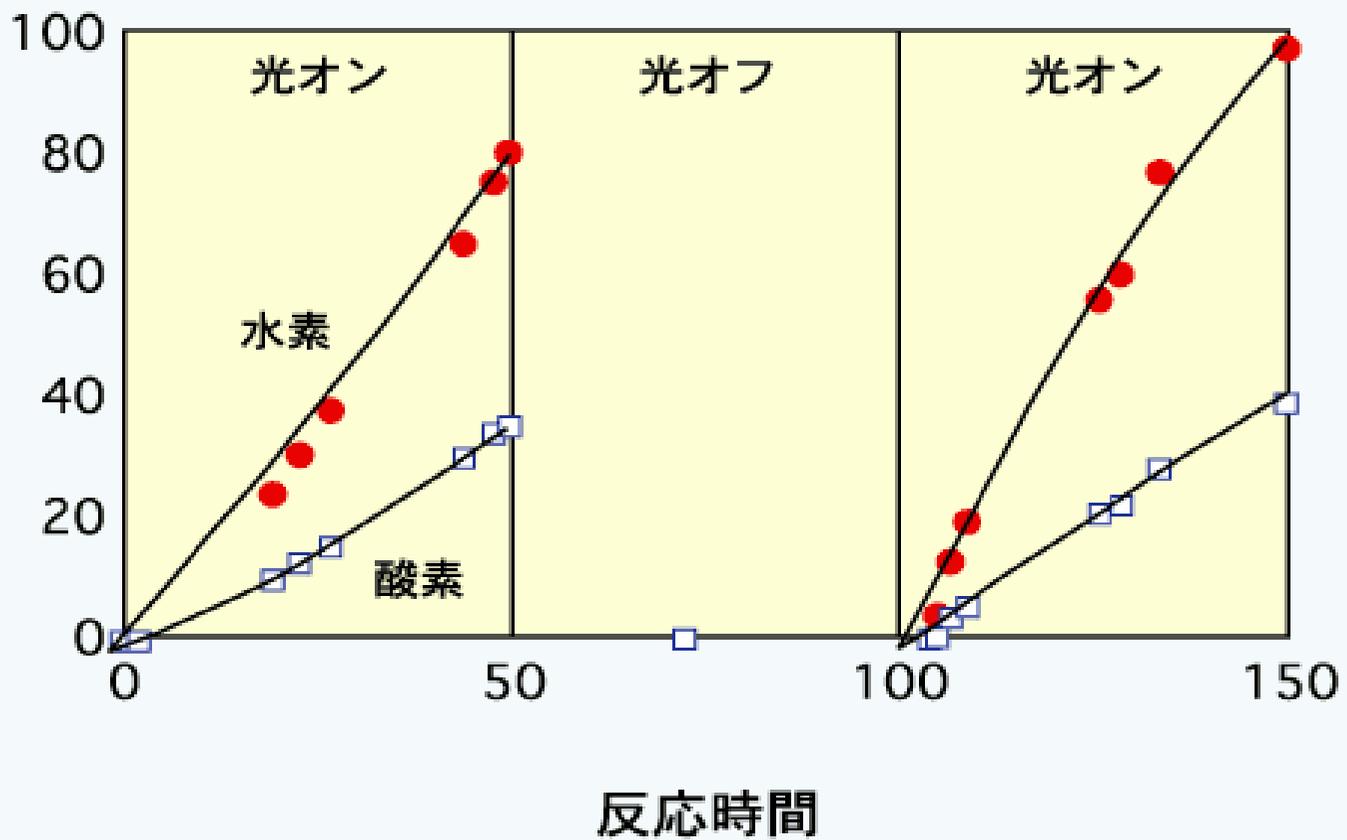


図2 二段階光励起反応のメカニズム

ガス発生量 / マイクロモル



光触媒による可視光での水の完全分解による水素と酸素発生の際時変化

ヘテロ原子の導入

- 豊田中央研究所のグループ
 - 窒素をドーピングすることによる可視光化を実現
- 硫黄ドーピングによってバンドギャップの可視光化が実現できる
 - 実際にTiO₂のOの代わりにSを入れることは困難

R.Asahi, T.Morikawa, T.Ohwaki, K.Aoki, and Y. Taga, Science, 293, 269 (2001).

ヘテロ原子の導入 ～最近の研究

■ Umebayashiら

- 二硫化チタン(TiS_2)を空气中 500°C あるいは 600°C でアニールすることにより、硫黄ドーピングした酸化チタンを合成
- この材料の可視光領域での吸収は必ずしも多くなく、部分硫化は失敗したかに見えた。
- しかしながら実際にメチレンブルーの光酸化分解反応に極めて高い活性を示すことが、同じ著者らによって報告された。

ヘテロ原子の導入 ～最近の研究

■ Ohnoら

- チタンイソプロポキシドをチオ尿素とともにエタノール中で1時間混合し、その後エタノールを蒸発させる
- 得られた固体を焼き固めることにより硫黄ドーブ酸化チタンを得た

ヘテロ原子の導入 ～最近の研究

- 温度は400°C～700°Cの範囲で、3～10時間行った
- このUVスペクトルを見ると、500～600nmの可視光領域にも吸収をもったスペクトルが得られた
- X線回折結果から、格子酸素は700°C以上で完全にSに代わるとしている。

T. Ohno, F. Tanigawa, K. Fujihara, S. Izumi, and M. Matsumura, J. Photochem. Photobiol., A:127, 107 (1999).

T. Ohno, Y. Masaki, S. Hirayama, and M. Matsumura, J. Catal., 204, 163 (2001).

T. Ohno, T. Mitsui, and M. Matsumura, Chem. Lett., 32, 364 (2003).

硫黄ドーピングの問題

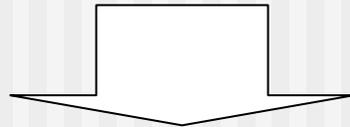
- 問題は果たして格子酸素を硫黄に替えることが光溶解安定性を含めた光触媒実用化上の問題解決につながるのか
- 水の光分解の場合、触媒表面ではプロトンが電子を貰って水素に、水酸化物イオンが電子を離して酸素になるが、硫化硫黄構造の格子硫黄が反応に入ってしまうと、いわゆる光溶解という現象が起こる
- アナターズカルチル構造を保持したまま酸素と硫黄が置換した方がいいのかもしれない
- 硫化チタン構造をとらない方が良いのではないか

我々の研究

TiO₂の部分硫化

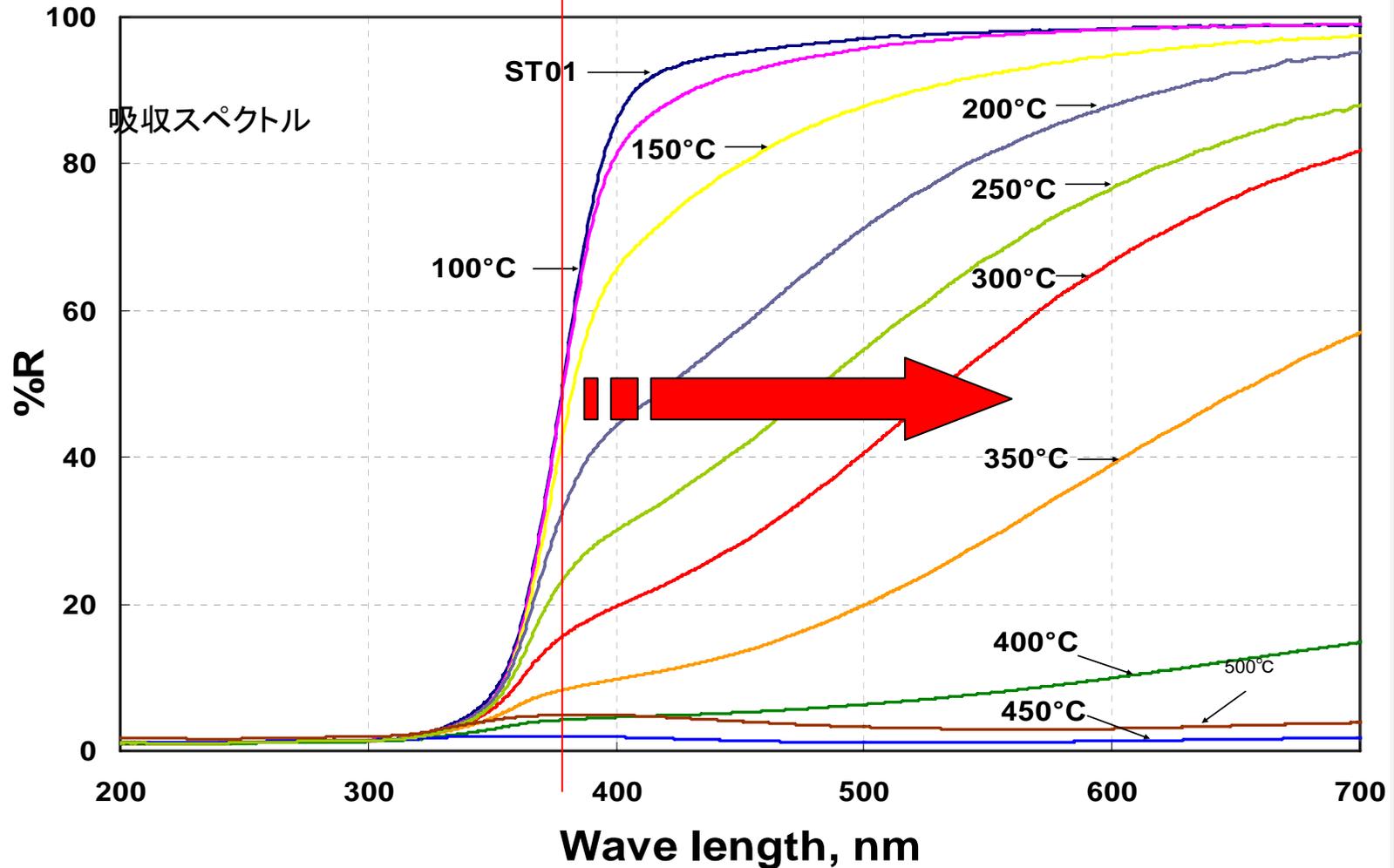
- アナターズ構造をとったまま、酸素と硫黄を置換させる

- 可視光化



- 最適部分硫化条件の探索

部分硫化TiO₂の吸収スペクトル



処理温度	外観	結晶構造	紫外線 光触媒性能	可視光 光触媒性能
未処理	白色	TiO ₂ (a)のみ	505	4.0
100°C	白色	TiO ₂ (a)のみ	745	8.4
150°C	白色	TiO ₂ (a)のみ	780	6.8
200°C	ベージュ	TiO ₂ (a)のみ	743	8.8
250°C	薄茶色	TiO ₂ (a)のみ	833	9.5
300°C	薄茶色	TiO ₂ (a)のみ	637	8.5
350°C	黄土色	TiO ₂ (a)のみ	516	4.3
400°C	焦茶色	TiO ₂ (a)のみ	595	0.0
450°C	黒色	TiO ₂ (a) + TiS ₂	93	0.0
500°C	黒色	TiO ₂ (a) + TiS ₂	109	0.0

ダイオキシン問題

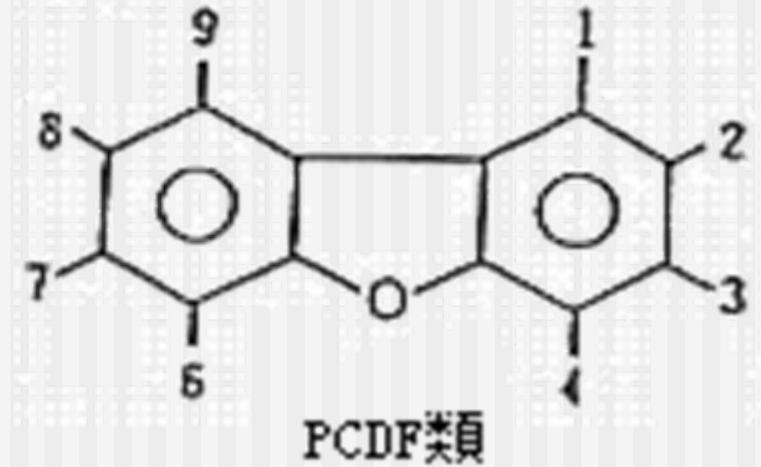
ダイオキシン

- 正確にはダイオキシンは1種類
- 環境問題では「ダイオキシン類」として一緒に扱われている

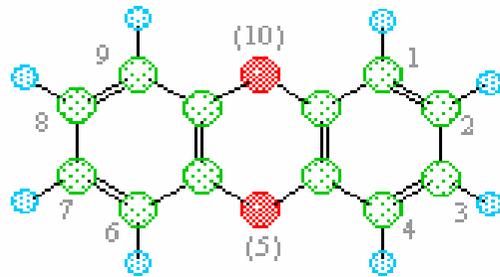
ダイオキシン

- ポリ塩化ジベンゾパラダイオキシンとポリ塩化ジベンゾフランの総称である。PCBと同じく塩素のつく位置や数により、多くの種類があり、種類によって毒性が異なる。特にダイオキシンの一種である2,3,7,8-テトラクロロジベンゾパラダイオキシン(2,3,7,8-TCDD)は動物実験でごく微量でもがんや胎児に奇形を生じさせるような性質を持っている。

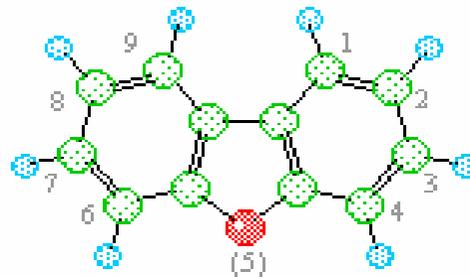
ダイオキシン



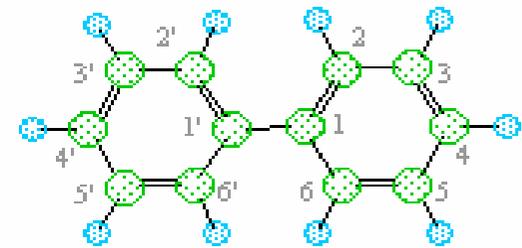
ダイオキシン



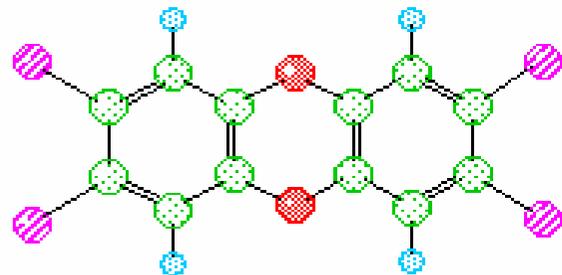
dibenzo-*p*-dioxin



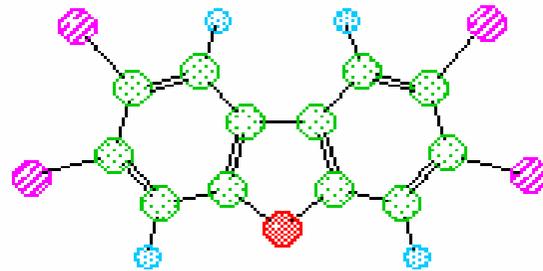
dibenzofuran



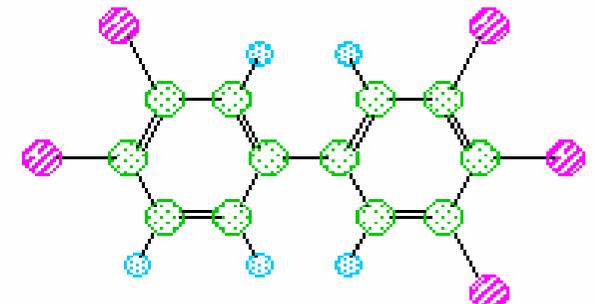
biphenyl



2,3,7,8,-TCDD

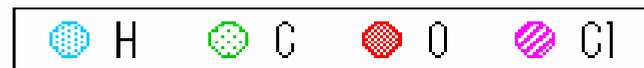


2,3,7,8-TCDF



3,3',4,4',5-PeCB

0 0.5nm



● ダイオキシン類の代表例と骨格構造

	2,3,7,8-TCDD	OCDD
分子量	322	456
融点 (°C)	305	130
分解温度 (°C)	> 700	> 700
溶解度 (ppm)		
O-ジクロロベンゼン	1, 400	1, 830
クロロベンゼン	720	1, 730
キシレン	—	3, 580
ベンゼン	570	—
クロロホルム	370	560
n-オクタノール	48	—
メタノール	10	—
アセトン	110	380
水	0. 072 ppb	—
蒸発速度 (水) cm/day	1. 7×10 ²	—
化学的安定性		
通常の酸	安定	安定
酸化剤	強酸化剤により分解	安定
アルカリ	安定	条件により分解
光	分解	分解

2,3,7,8-TCDDの物理化学的性質

- 分子量: 321.9
- 融点: 305~306° C
- 溶解度: 水 2×10^{-7} (g/l 25° C)
- メタノール 0.01 (g/l 25° C)
- クロロホルム 0.55 (g/l 25° C)
- 0-ジクロロベンゼン 1.8 (g/l 25° C)
- 最大吸収スペクトル : 310nm (クロロホルム)
- オクタノール/水分配係数: $\log K_{ow} 5.82 \pm 0.02$

ダイオキシン問題の歴史

- 1957年米国ジョージア州で鶏やその雛が数百万羽突然死する事件が発生した。鳥の餌に混入された油に微量含まれていたダイオキシンのためであることが判明。
- また1958年にはダイオキシンの動物に対する急性毒性に関して、ドイツの学者が初めて報告している。

ダイオキシン問題の歴史

- ベトナム戦争では、米軍は、ベトコンゲリラの活動拠点となっていたジャングルを枯らすために7,200万Lの除草剤「エージェント・オレンジ」= 2,4-D をばらまいたが、その中に170kgもの量のダイオキシンが含有されていた。戦後、米軍の行った「枯葉作戦」が、ベトナム現地人やこの作戦にかかわった米軍兵士の子孫に大きな悪影響を与えたことが判明。

	流産率		先天異常発生率	
	枯葉剤撒布前	枯葉剤撒布後	枯葉剤撒布前	枯葉剤撒布後
ルンフー村	5.22	12.20	0.14	1.78
ルンファ村	4.31	11.57		
タンディエン村	7.18	16.05		
マイタン村（対照地区）	7.33	7.40	No data	

表 2-1 ベトナムにおける妊娠女性に対する枯葉剤の影響

発生数（発生率）	タンフォン村被曝グループ	ホーチミン市第10区被曝グループ	ホーチミン市第10区非被曝グループ
流産	587 (8.01%)	49 (16.67%)	242 (3.62%)
死産	59 (0.81%)	1 (0.34%)	2 (0.03%)
胎状奇胎	54 (0.74%)	11 (3.74%)	26 (0.39%)
新生児死亡	914 (12.47%)	-	311 (4.65%)
先天異常	81 (1.11%)	16 (5.44%)	29 (0.43%)
新生児までの死亡	1614 (22.03%)	61 (20.75%)	581 (8.68%)
全妊娠数	7327	294	6690

表 2-2 ベトナムにおける妊娠女性に対する枯葉剤の影響

先天異常	対照群発生率(A) [%]	さらされた群発生率 (B) [%]	B/A
不妊	1.20	2.80	2.3
早産	0.61	2.01	3.3
流産	9.04	14.42	1.6
奇形児	0.21	3.14	15.0

表3 ベトナム戦争参加兵士の妻の妊娠異常

ダイオキシン問題の歴史

- 1976年イタリア・セベソの化学工場事故
 - 化粧品や外科手術用の石鹼の原料になるTCPという化学物質製造中の事故
 - 不純物としてダイオキシン類が混在



日本のダイオキシン問題

- カネミ精油工場が1968年2月はじめに製造した米ヌカ油に、脱臭工程の熱媒体として使用されていた「カネクロール400」(PCB)が混入したことが原因で引き起こされたもの。約2,000人の認定患者。
- 典型的な急性中毒症状である末梢神経症状(しびれ、脱力など)、ホルモン異常、肝・腎臓障害など 黒いにきび(クロルアクネ) 原因物質の推定:ダイベンゾフラン(ダイオキシン類)

原因物質の追求

- ポリ塩化ビニルは犯人か？
- 一般焼却炉では何が起きているのか？
- 塩素は除去できないか？

表 3-10 発生源別ダイオキシン発生量 (gTEQ/年)

発生源	ダイオキシン排出量	備考
< 燃焼工程 >		
一般廃棄物焼却	4300	ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドラインより
産業廃棄物焼却	547 ~ 707	平岡京都大学名誉教授より(以下の燃焼行程は同じ)
金属精錬	250	
石油添加剤(潤滑油)	20	
たばこの煙	16	
回収黒液ボイラー	3	
木材、廃材の焼却	0.2	
自動車排ガス	0.07	
(小計)	(5140 ~ 5300)	
< 漂白工程 >		
晒クラフトパルプ	0.78	環境庁試算
< 農薬製造 >		
PCNB	0.06	環境庁試算
合計	5140 ~ 5300	

ポリ塩化ビニル

- CO₂排出抑制と石油資源枯渇化を回避する優等生 = ポリ塩化ビニル
- $-(\text{CH}_2-\text{CHCl})-$ モノマー分子量 62.5
- ポリエチレン $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)-$ 28に比べて分子量が大きい
- 単位重量あたりの石油使用量が少ない
- 単位重量あたりのCO₂排出量が少ない

ゴミにビニールは含まれていない

- 水＋食塩＋炭化水素類＋触媒
 - この組合せで生成する
 - 触媒としては、銅（酸化銅など）＋シリカやアルミナなどが想定される
- 犯人は水分の多いゴミ類

論文は語る

ダイオキシン生成は速度論

- 燃焼温度が重要
- 活性化エネルギー
 - 触媒が絡むとダイオキシン生成ルートでの活性化エネルギーが下がる
- 生成経路
 - 完全燃焼への経路を確保せよ

表 1 燃焼温度とダイオキシン類濃度の関係

燃焼温度(°C)		700 未満	700 以上 750 未満	750 以上 800 未満	800 以上 850 未満	850 以上 900 未満	900 以上 950 未満	950 以上 1000 未満	1000 以上
ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/Nm ³)	平均値	36	81	77	26	25	17	30	14
	中央値	13	33	11	11	7.8	7.8	7	7
	最大値	390	500	1800	600	590	210	480	83
	最小値	0.2	0.57	0.22	0	0	0	0.01	0
検体数(合計 1111)		79	34	43	206	380	234	85	50

図1 燃焼温度とダイオキシン類濃度の関係

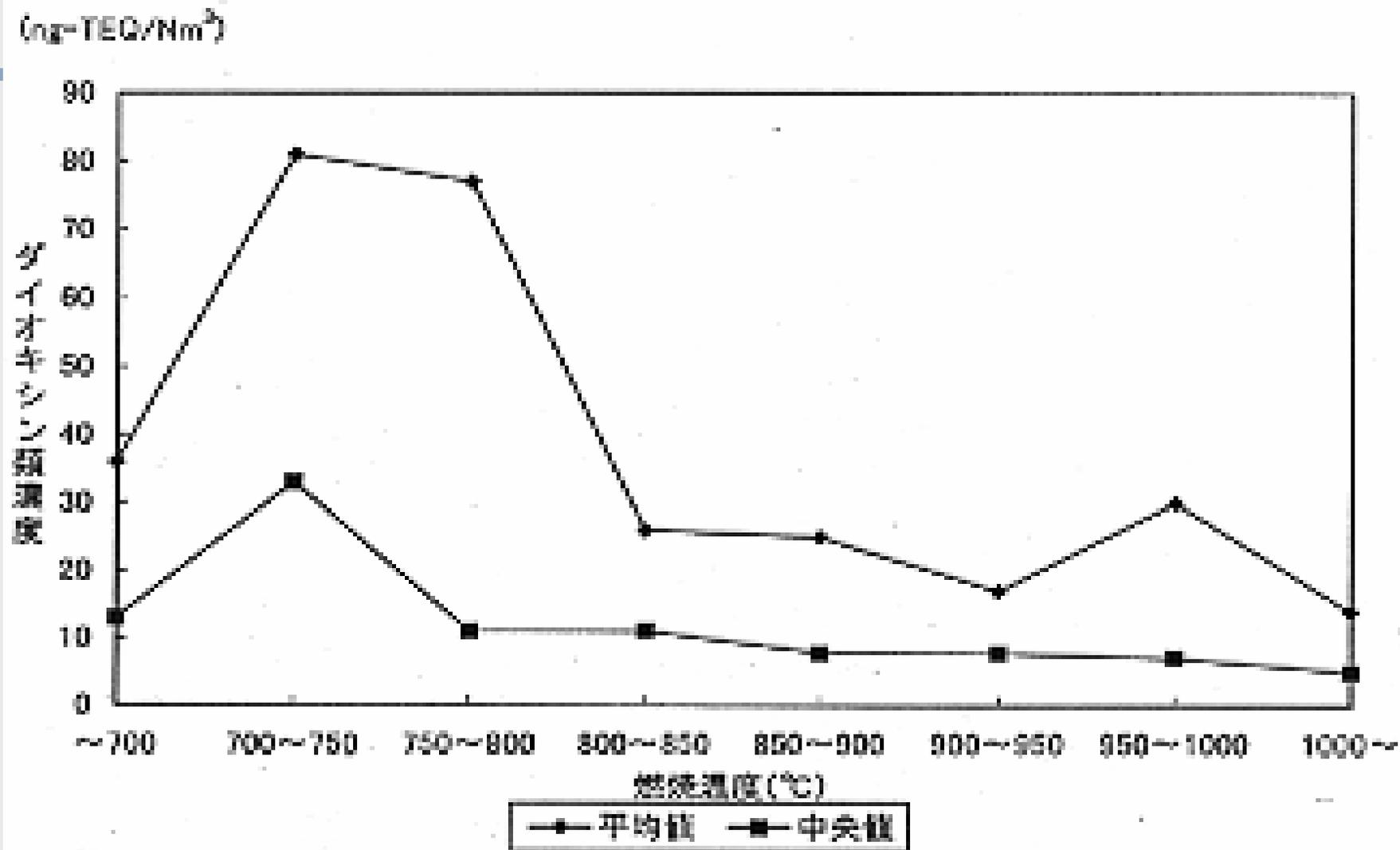
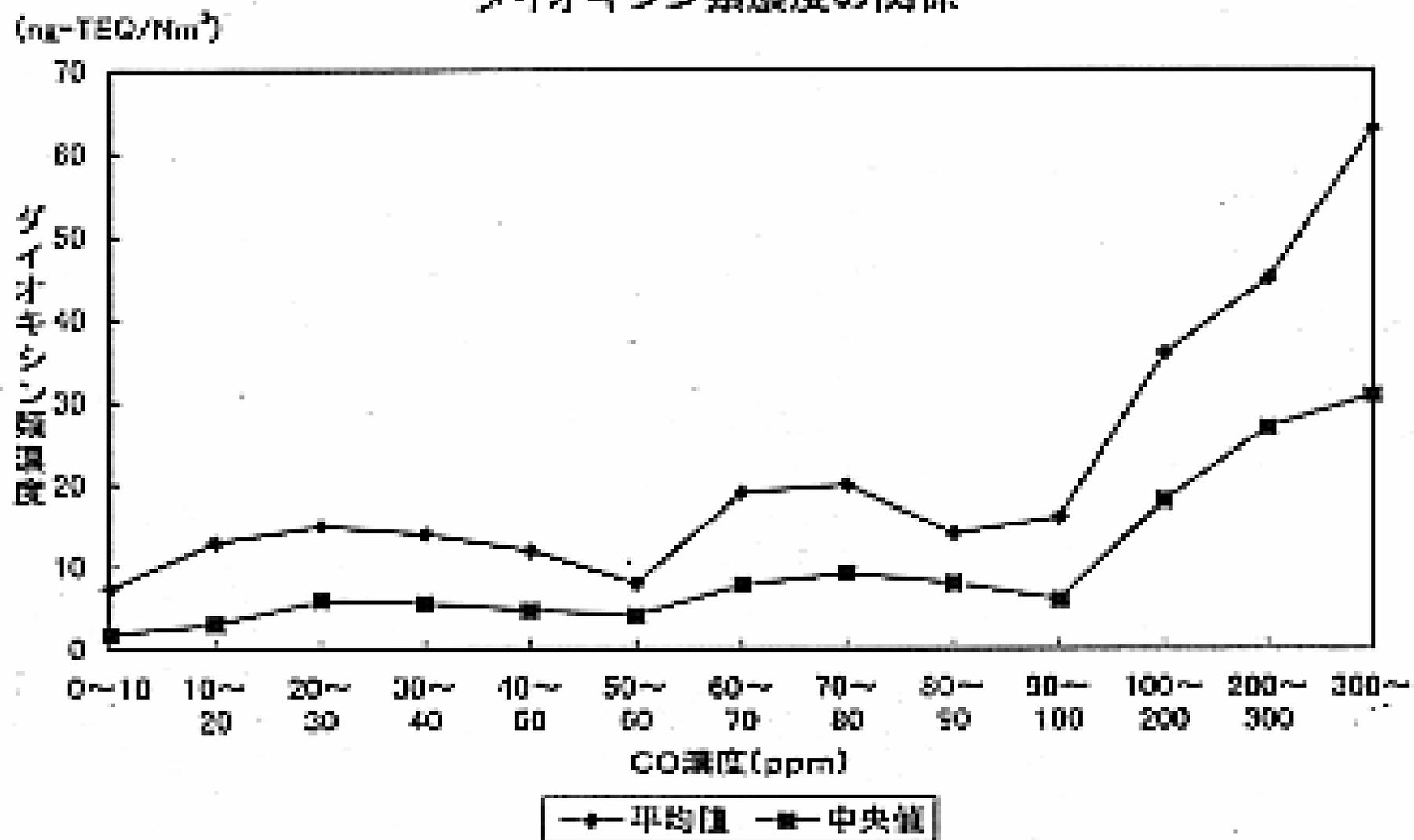


図3 煙突出口における排ガス中のCO濃度と
ダイオキシン類濃度の関係



身の回りのダイオキシン排出抑制

- 生ゴミは出さない
 - 食べ物は残さない
 - 無駄なものは買わない、など
- 出してもちゃんと水切りをする
 - 燃焼温度を下げないようにする
 - 水の供給を避ける
- 分別収集に協力する

ダイオキシンかCO₂か

- ゴミの完全燃焼
 - CO₂排出増加
- ポリ塩化ビニルを止める
 - ポリエチレン等とポリアルケン類の使用
 - → CO₂排出増加

ダイオキシシン 神話の終焉

- 渡辺東大教授による殴り込み！
 - リンク1 [書評1](#) [書評2](#)
 - リンク2 [賛成1](#) [賛成2](#) [賛成3](#)
 - リンク3 [中立1](#)
 - リンク4 [反対2](#) [反対2](#)

地球環境問題一般に通じること

- 生活が豊かになり排出物増加
 - 環境汚染物質は速度論的に言えば、中間生成物
 - 最終的にはCO₂となる
- 
- 省エネルギー、省資源こそ環境問題を解決する最終的解決策

地球温暖化問題

子供向け解説 ～結構わ
かりやすい

20世紀、急速な産業活動の進展により、人類は物質的に豊かな生活を獲得し、その一方で地球温暖化を引き起こしました。1980年代後半から科学的な解明が急速に進むにつれ、地球温暖化問題に対する国際的な関心が高まり、1992年各国で対策を行うための条約が作られ、1997年京都議定書が採択されました。2001年、**IPCC***は最新の地球温暖化の現状と将来予測、影響などをまとめ(第3次評価報告書)、次のように警告しています。

さらに熱くなる地球の気温

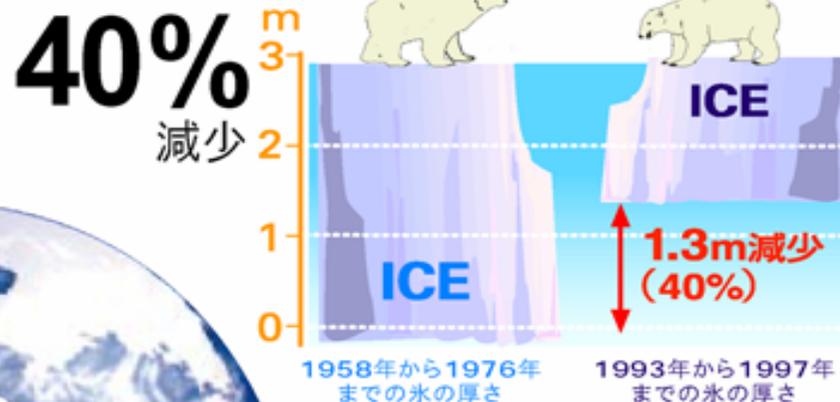
地球の気温は、20世紀の間に0.4~0.8℃上昇しました。とりわけ1995年以降の高温傾向が顕著で、このまま進むと2100年には、1.4~5.8℃上昇すると予測しています。1995年に発表された第2次評価報告書の予測値(1.0~3.5℃)より上方修正されました。

20世紀中の温暖化傾向は異常。自然現象では説明不可能。



■減少した北極の氷の厚さ

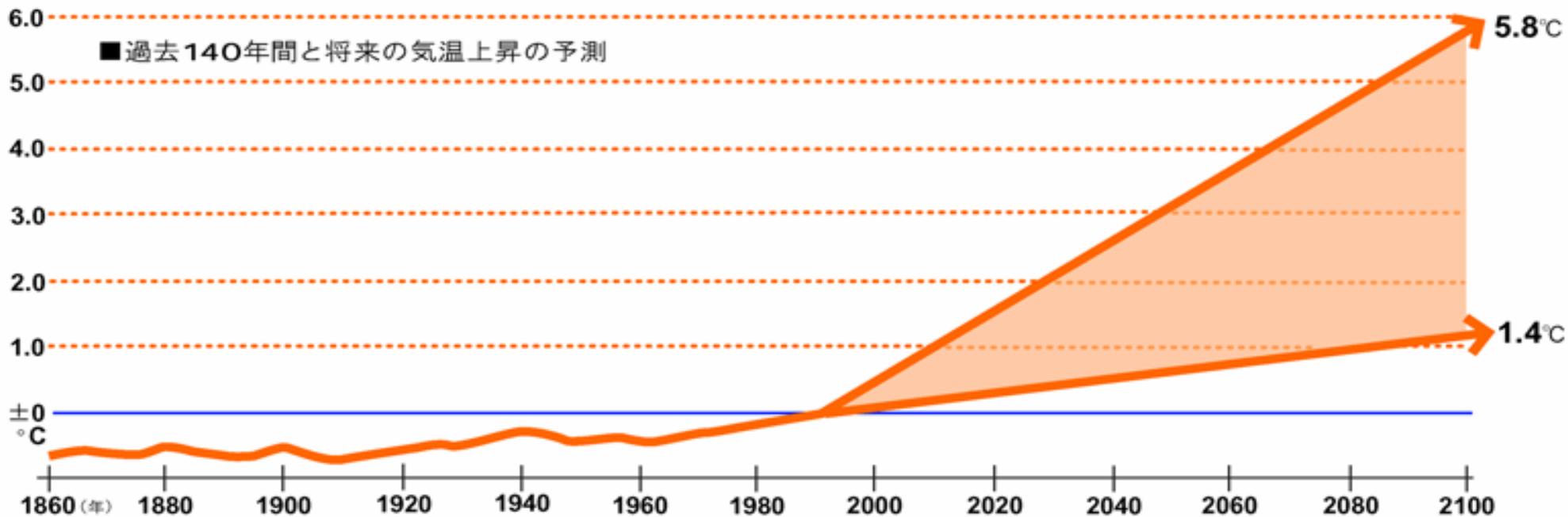
ここ数十年に、晩夏から初秋における北極の海水の厚さが約40%減少しています。



出典: IPCC第3次評価報告書第1作業部会資料及び
国連環境計画(UNEP)、
GRID Arendal "Vital Climate Graphics" 2000より作成

減少する海水・積雪

北半球の春・夏季の海水面積は1950年代以降約10~15%減少しました。今後、北半球の積雪と海水氷範囲はさらに減少し、また、氷河も後退を続けると予測されています。

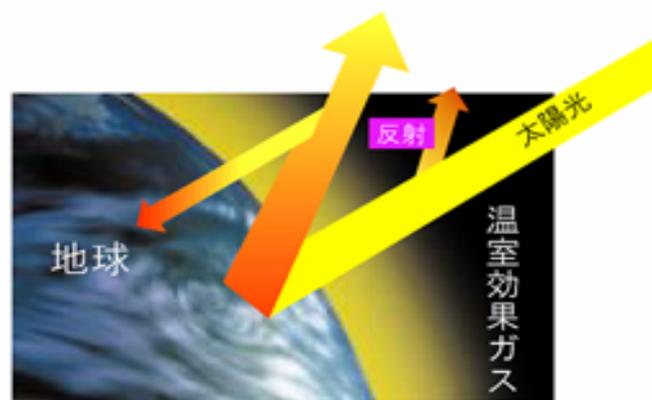


※1 IPCC (気候変動に関する政府間パネル)

WMO (世界気象機関) と UNEP (国連環境計画) によって1988年に設立された機関。世界中から科学者が集まり、自然および社会科学の側面から地球温暖化に関する最新の知見をまとめている。

■温暖化のメカニズム

太陽の光により温められた地面が放出する熱(赤外線)を温室効果ガスが吸収し、大気を温めています。このため地球の平均気温は現在15℃前後に保たれています。温室効果ガスの濃度が高まり熱の吸収が増えると、気温が上昇し地球が温暖化します。



過去20年間に
おけるCO₂濃度増加の
原因。

海面水位が上昇する

20世紀中に海面は10~20cm上昇しました。1990年から2100年の間に、主として海水の熱膨張と氷河などの融解により9~88cm上昇すると予測されています。

激化するエルニーニョ

エルニーニョ現象は、過去100年間に比べ1970年代中ごろ以降、より頻繁で長期的かつ強力になってきています。今後、エルニーニョ現象に伴って発生する干ばつと豪雨は一層激化する可能性があります。

原因は温室効果ガス※2の濃度の増加

温室効果ガスの中で、最も温暖化への寄与度が高いCO₂の大気中の濃度は、1750年にはおよそ280ppmでしたが、1998年にはすでに365ppmと30%以上増加しており、このままでは21世紀の終わりまでには540~

970ppm(1750年比90~250%の増加)になると予測されています。

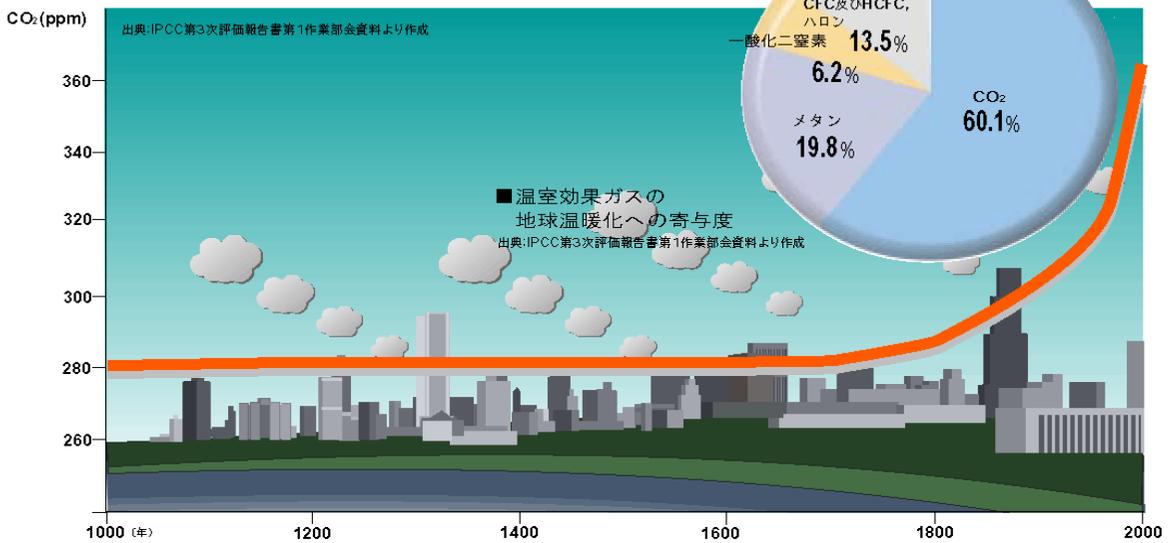
CO₂など温室効果ガスは大気中に残留する時間が長く、仮に大気中の濃度が安定したとしても、その後数百年間、地球の平均気温と海面水位は上昇し続けます。

このままでは100年後には世界の平均気温が最大**5.8°C**上昇する。

■大気中のCO₂濃度の変化

1750年にくらべ

30%以上増加



※2 温室効果ガス

地表から放射される赤外線を吸収し、温暖化の原因となる気体(CO₂、メタン、フロン類など)。温室効果の寄与度は種類や濃度によって違い、同じ濃度の場合CO₂を1とすると、メタンの温室効果はCO₂の約20倍、代替フロン類(HFCs、PFCs)は約数百から1万倍になる。

激化する異常気象。
予測できない異変が
新たな被害を生む。

世界中で起こる大規模で急激な変化

気温の上昇によって、既に氷河の後退や生態系などへの影響が実際に現れています。将来、地球温暖化によって干ばつ、洪水、熱波、なだれ、台風などの頻度や程度が増大し、その影響も激化します。また、北大西洋の大規模な海洋循環の変化、グリーンランドや南極の氷床の崩壊、シベリアなどの永久凍土や沿岸の堆積物からの温室効果ガスの大量放出など、様々な変化がより大規模で急激な変化を引き起こす可能性があります。

気付いた時には手遅れです

目に見える変化は、気候が変化した後、数年、数十年、数百年と遅れて起こります。ですから今、大きな変化がないからといって、今後も人した影響がないと考えると、とりかえしのつかないことになります。人間だけではなく、生態系にも深刻な影響をもたらします。一度起きた変化はもとには戻りません。

被害を被る人の方が多い!

地球温暖化の利益を受ける人よりも、被害を被る人の方が多く、悪影響を緩和するにも、多大な費用がかかり、しかもすべての損害を防げるとは限りません。気温が数度上昇すると、世界中で食糧と水不足が深刻化します。その結果、食糧価格が上昇します。また、水不足に悩む国に住む人は、人口増加などの要因もあり、現在の17億人から2025年には3倍の約50億人になる恐れがあります。



北極と南極

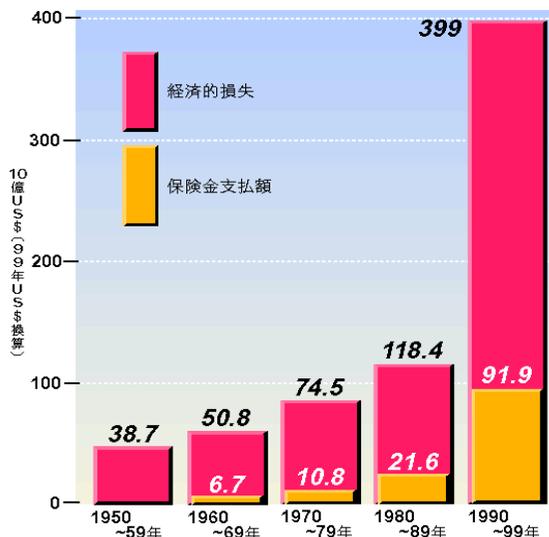
最も大きな変化

南極や北極は他の地域に比べ、気温の変化がもっとも大きく、そして急速に上昇するため、より甚大な被害が予測されています。海水の面積や厚さの減少、永久凍土の融解、沿岸の侵食、氷床や氷棚の異変、生態系の変化など様々な影響が既に現れています。こうした小さな変化が北極や南極の周辺に閉じ込められていた温室効果ガスを放出し、氷を溶かし、そして地面の熱の吸収をよくし、海洋循環を変え、結果的に地球温暖化を加速するという悪循環のきっかけになる恐れがあります。

■ 異常気象による経済的損失と
保険金支払額が急激に増加

異常気象による経済的損失は、1950年代の年間約40億USDから1990年代の年間約400億USDへとすでに約10倍も増大しており、今後も温暖化のせいで損害が急激に増加することが予想されている。

年間約400億USDの損害



■危険度が増す感染症

日本でも、マラリアを始めとした熱帯性の感染症の流行など、健康が脅かされる。



(単位:億人)

病名	媒介動物	リスクにさらされる人口	現在の年間感染件数又は発生件数	現在の分布域
マラリア	蚊	24	3億	熱帯・亜熱帯
住血吸虫症	淡水系巻貝	5~6	1億2,000万	熱帯・亜熱帯
リンパ性フィラリア症	蚊	10	1億2,700万	熱帯・亜熱帯
日本脳炎	蚊	3	5万	アジア
オンコセルカ症	ブヨ	1.2	—	アフリカ・中南米
デング熱	蚊	30	数千万	熱帯
鉤熱病	蚊	4.68 (77カ国)	20万	南米熱帯地域・アフリカ

出典:IPCC第3次評価報告書第2作業部会資料より作成

日本を含むアジア

最も身近な脅威

アジアは、東西南北に広く、日本、中国、ベトナム、 Bangladesh など、地理的にも経済的・文化的にも多様で、影響の現れ方も様々です。

洪水、干ばつ、森林火災、台風(熱帯低気圧)などの増加は、農業や水産業に悪影響を与え、多くの国で食糧が不足する恐れがあります。

また、低地沿岸に住む数千万の人々が移住を余儀なくされます。

小さい島国(小島嶼国)

最も深刻な被害

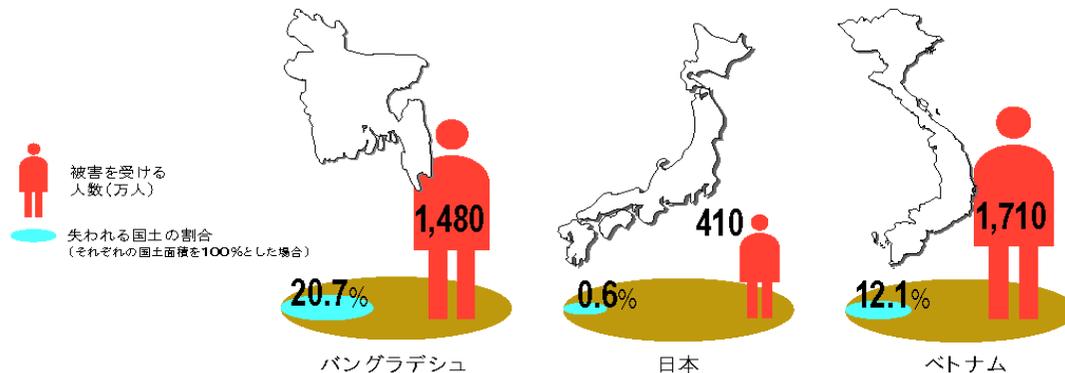
熱帯、亜熱帯の小さな島国は、もっとも深刻な影響を受けやすいと考えられています。海面水位の上昇は、沿岸の侵食を拡大し、その結果、国土が水没することにもなりかねません。また、高潮のリスクの増大、土地や財産の損失、沿岸の自然生態系の減衰、淡水域への塩水(海水)の浸入に対応するため高い費用が必要になります。多くの島国にとって外貨獲得のための重要な収入源である観光も、異常気象の増加などの気候変化と海面水位の上昇により深刻な被害をうけます。

私たちの暮らしや自然が
大きな打撃を受ける。

■海面水位が1m上昇すると

日本でも東京都より広い2,339km²の土地と410万人が被害を受ける。世界全体では、2080年代までに海面水位が40cmする場合でも、洪水の被害を受ける恐れのある人口が7500万~2億人増加する。

日本でも
410万人に被害が!?



地球温暖化は、
先進国と途上国の格差を拡大する。

2008年から2012年

京都議定書の削減目標の達成。

2002年

京都議定書の発効！

削減目標を達成する法制度の制定＝日本の京都議定書批准。

2001年

7月 COP6再開会合。
京都メカニズムや吸収源※3の
詳細な運用ルール案の確定。

2001年

中央環境審議会。
CO₂などの排出削減シナリオと
具体的な国内制度の検討作業。

早ければ早いほど
効果的な
温暖化対策

2001年

IPCC第三次評価報告書を発表。
「2100年には最大5.8℃気温が上昇する。」
と警告！

2000年

11月 COP6（地球温暖化防止ハーフ会議）。
京都メカニズムや吸収源の詳細なルール案まとまらず合意は延期。

99年度の日本のCO₂排出量
約9%増加。（90年比推定値）。

1999年

4月 地球温暖化対策推進法と改正省エネ法の施行。

1997年

12月 COP3（地球温暖化防止京都会議） 京都議定書を採択。日本は6%の削減目標を約束。

国際的な動き

日本の動き

※1 京都議定書

2000年以降の先進国の地球温暖化対策として、具体的な削減対象ガス（CO₂、一般化二酸化炭素、メタン、代替フロン類、SF₆）とその削減目標（1990年水準から先進国全体で5.2%、日本は6%、米国は7%、欧州は8%削減など）、達成期間（2008年から2012年の間）を定めている。

※2 批准と発効

京都議定書は、(1)55か国以上の批准（日本の場合、国会の承認）と、(2)批准した先進国のCO₂排出量（1990年度）が全先進国の排出量の55%以上になるという2つの条件を満たしてから90日後に発効（効力を生ずる）する。

※3 京都メカニズム（共同実施、クリーン開発メカニズム、排出量取引）と吸収源

京都議定書は、他国と協力しより低いコストで削減できる3つのしくみ（共同実施、クリーン開発メカニズム、排出量取引）と、森林の炭素吸収分（吸収源）を目標達成に利用してもよいとしている。具体的な運用ルールやしくみ、算入方法などは、COP6再開会合で確定の予定。

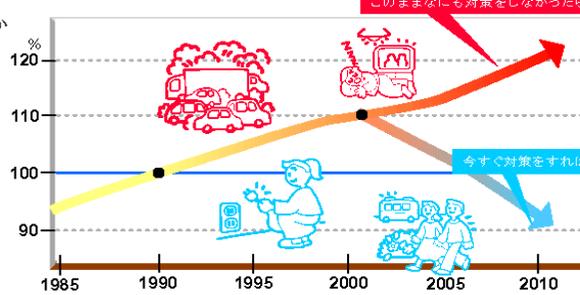
このままでは対策はより困難になるだけ。
 増える日本の排出量。

■日本ではどのような対策をとっていくのか
 みんなで考えよう

世界的に見てCO₂排出量は、産業革命以降年々増加しています。その中で日本は、アメリカ、中国、ロシアについて世界で4番目に多くのCO₂を排出しています。

一方、1人あたりの排出量をみると、日本人は中国人の約3人分、インド人の約9人分、世界平均である4.2tの2倍以上のCO₂を排出しています。このことから日本人は、地球温暖化に大きく寄与しているといえます。日本に住む私たちが効果的な対策をとるかどうか、温暖化防止においても大きな意味をもっています。

日本の1999年のCO₂排出量は、90年度に比べて約9%増えたと推定されています。対策が遅れば遅れるほど、その影響や被害は将来の世代、他の国の人たちに及び、その結果私たちは、防止対策と変化や被害への対策の両方を



実施するという、より難しい対応を迫られるようになるだけです。

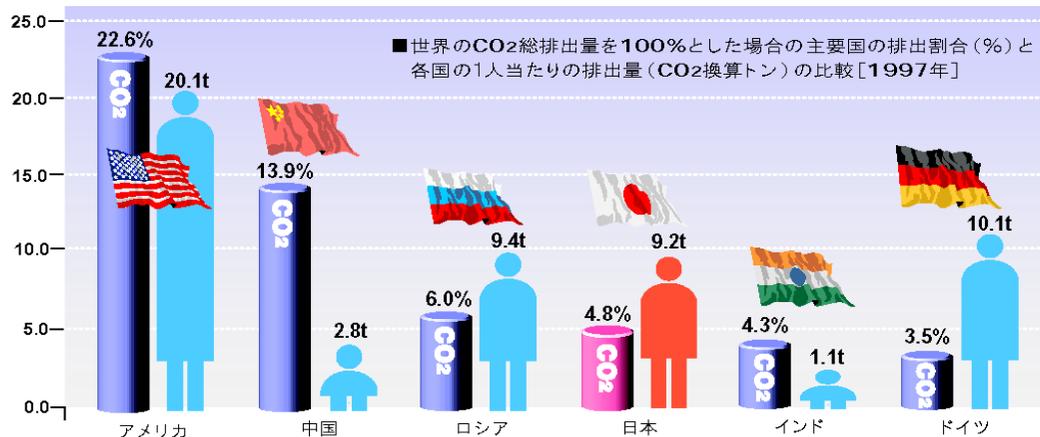
IPCCは、今ある技術を最大限駆使することによって、世界で2010年から2020年の間にCO₂などの排出量を2000年の水準以下にすることが可能であると試算しています。温暖化対策は、新しい自然エネルギーや交通システム、省エネルギー技術などを導入したり、エネルギー効率の良い製品などを買ったりすることです。これらの動きが広がれば、ビジネスに新たなチャンスが生まれ、日本経済の再生にもつながります。地球温暖化防止は、まだ、間に合います。しっかりした国内制度をつくり、確実な一歩を踏み出しましょう。

今すぐ、CO₂などの
 排出を減らす
 法律やしくみをつくろう。

歴史的な合意である京都議定書は日本で生まれました。日本の名前をもつ国際的な約束を最初に行っていく責任が私たちににあるのではないのでしょうか。

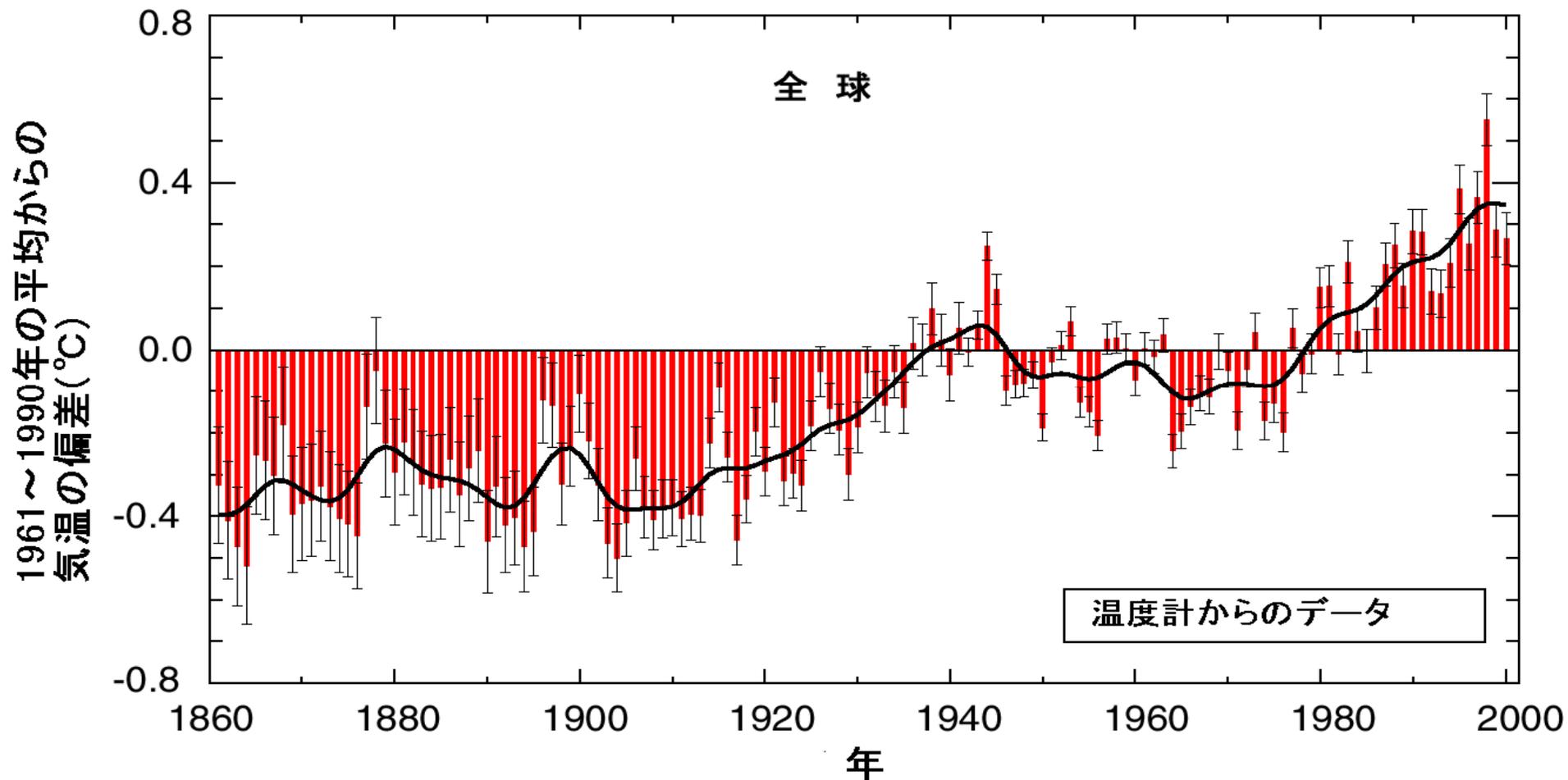
■日本のCO₂排出量

総排出量世界4位
 1人あたり
 インド人の約9人分



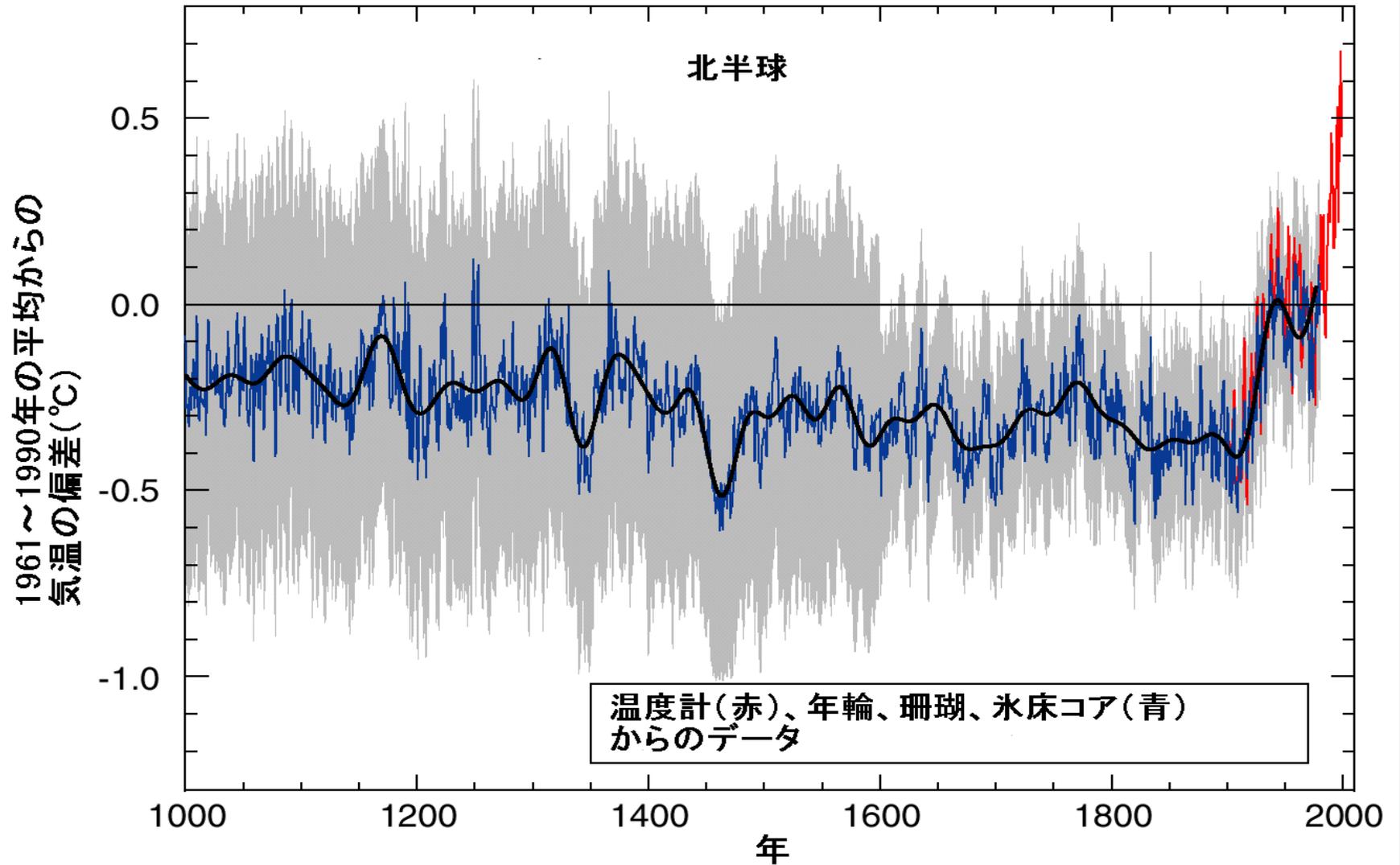
出典: オークリッジ国立研究所 http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/em_cont.htm

過去 140 年の地球全体の平均気温の変化

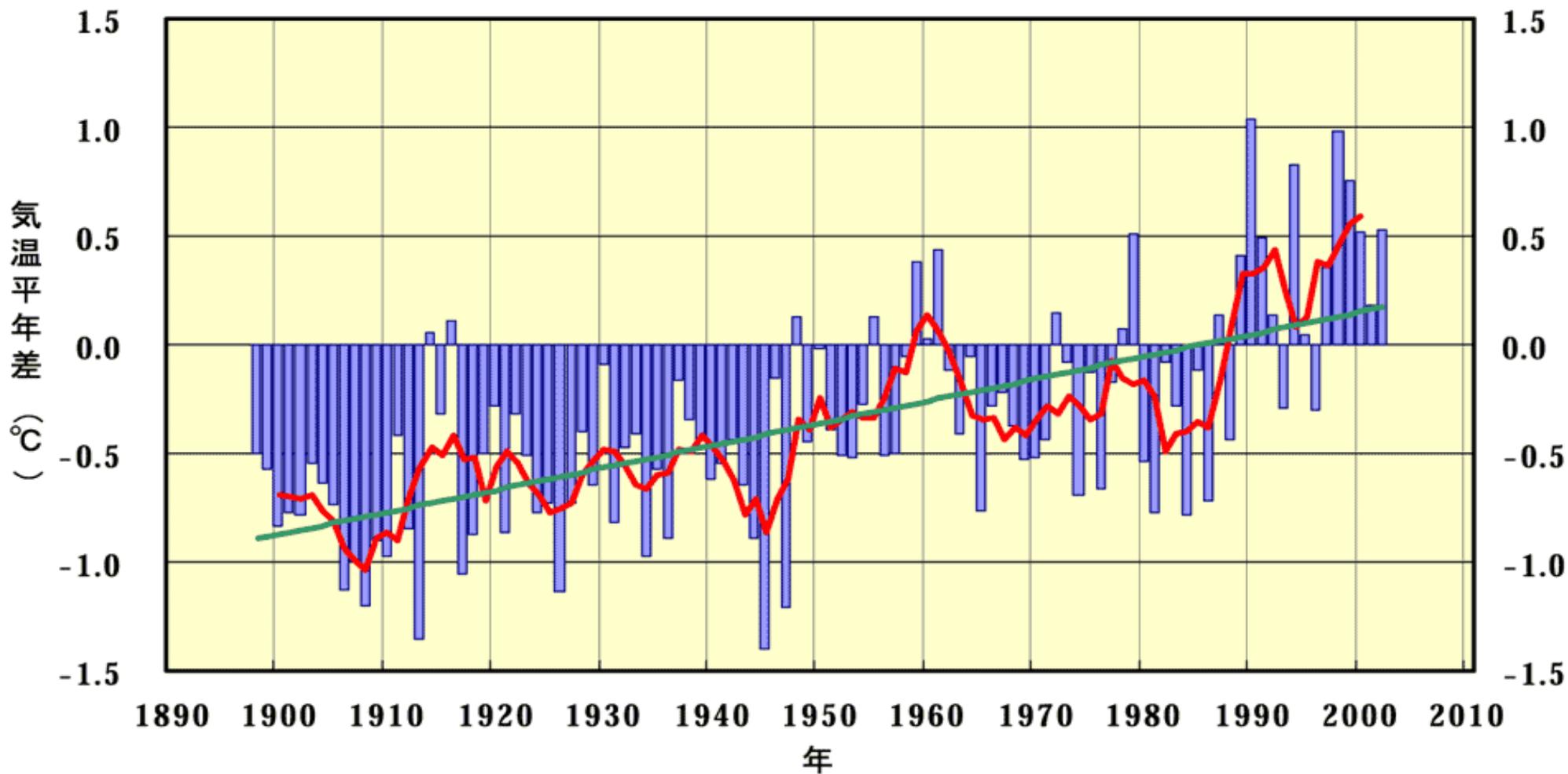


出所) IPCC 第3次評価報告書第1作業部会より

過去 1000 年の北半球の平均気温の変化

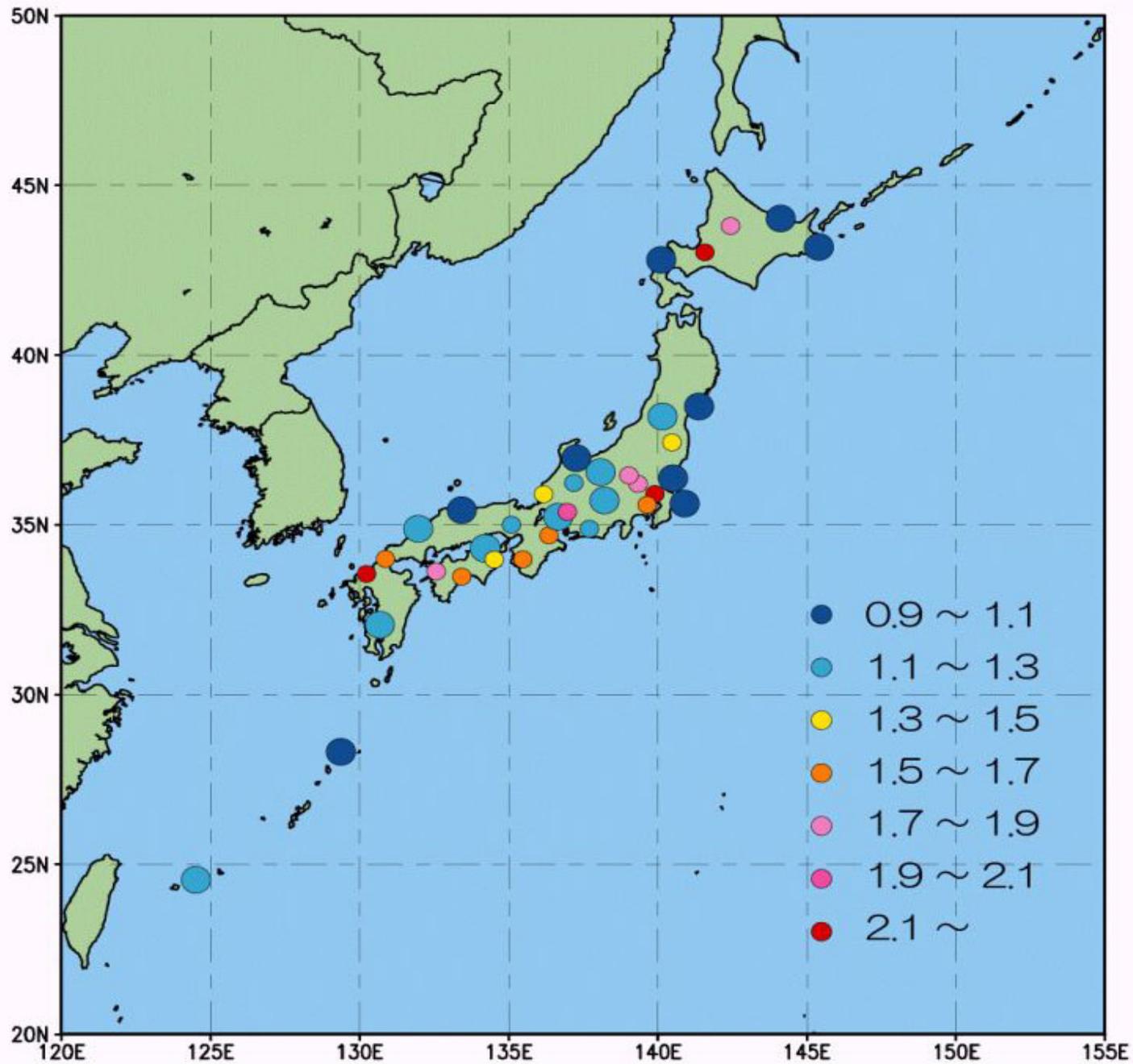


日本における年平均気温の経年変化（1898～2002年）



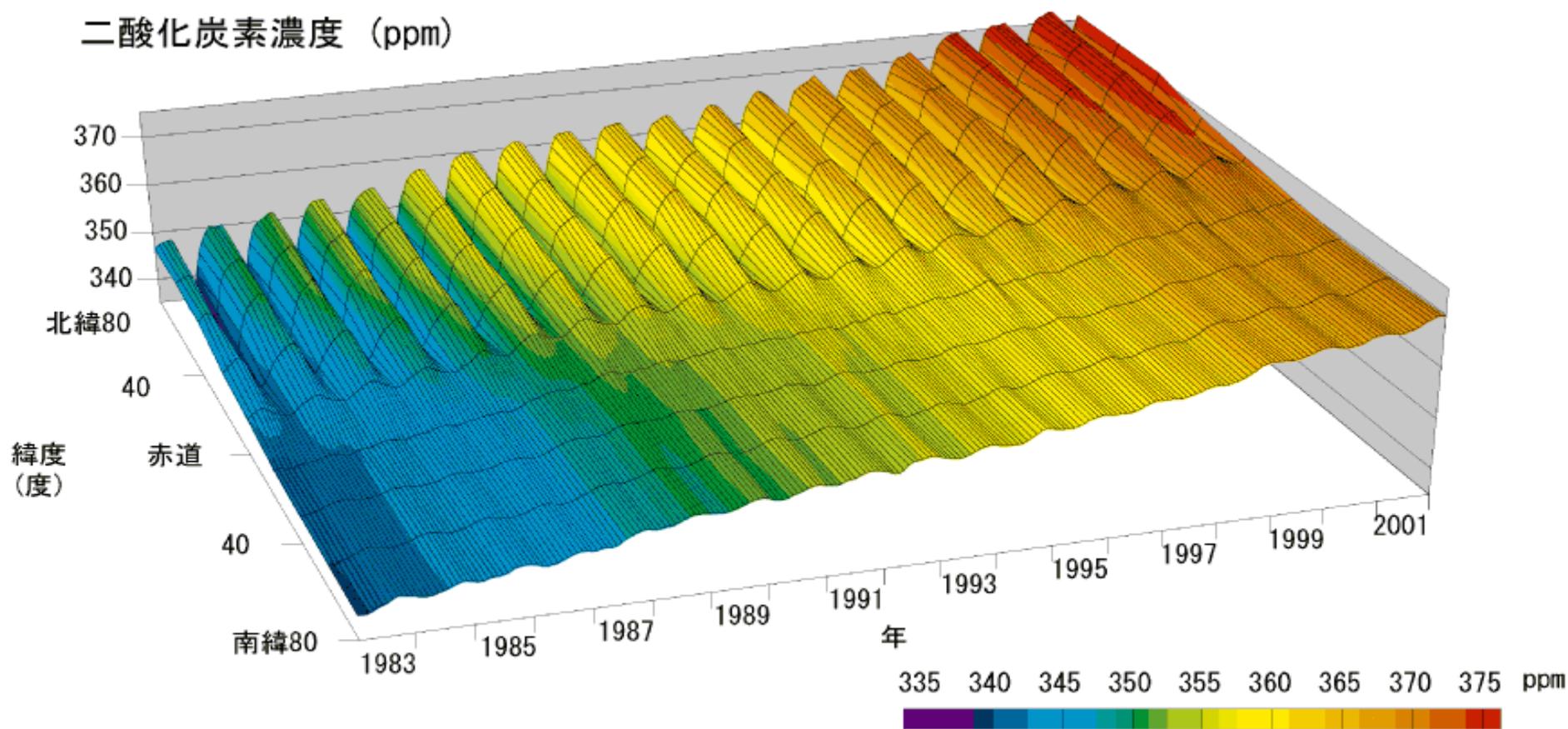
出所) 気象庁「気候変動監視レポート2002」

36地点の100年当たりの年平均気温の上昇率(単位:°C/100年)



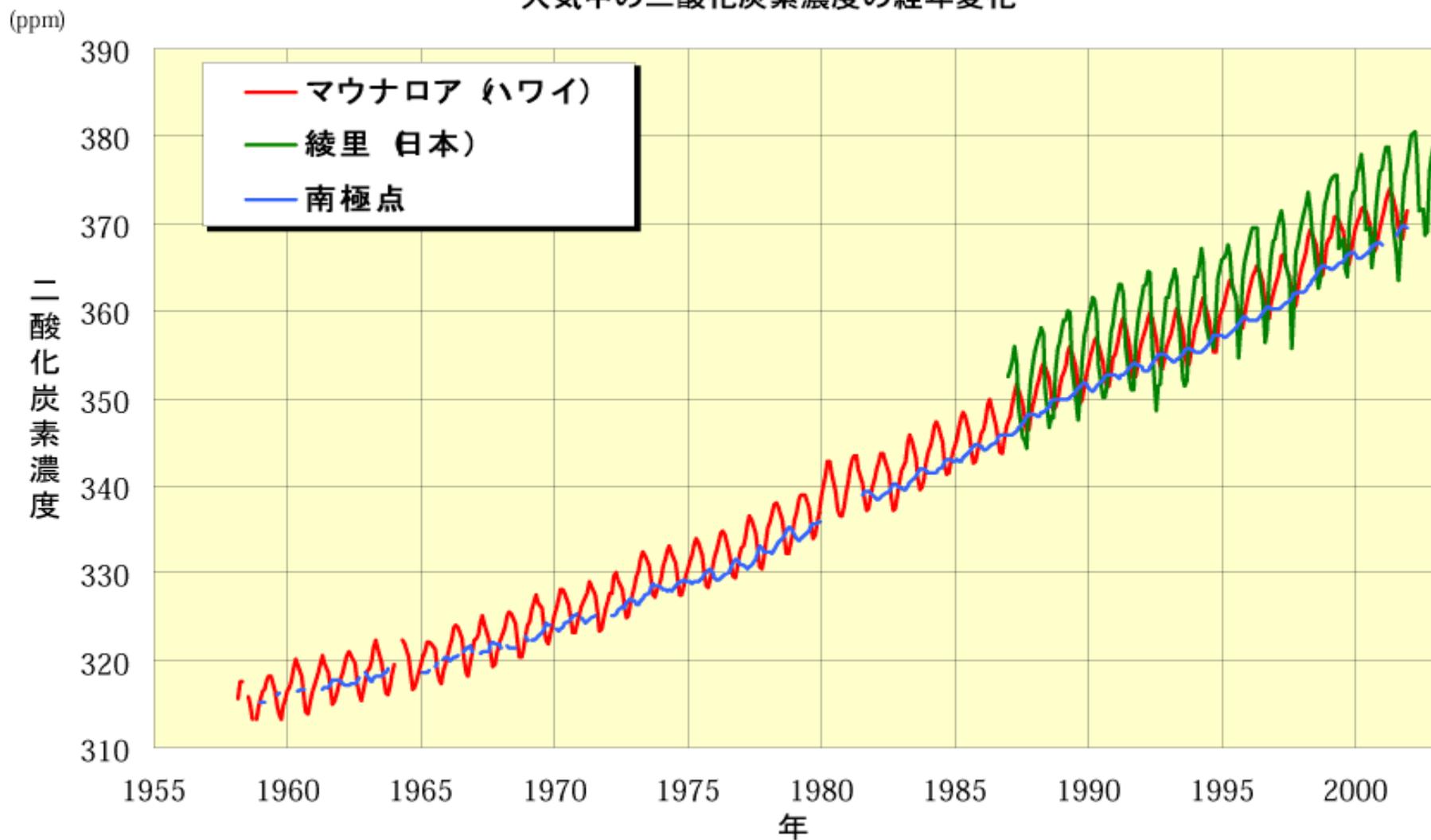
出所) 気象庁「20世紀の日本の気候」

二酸化炭素濃度 (ppm)



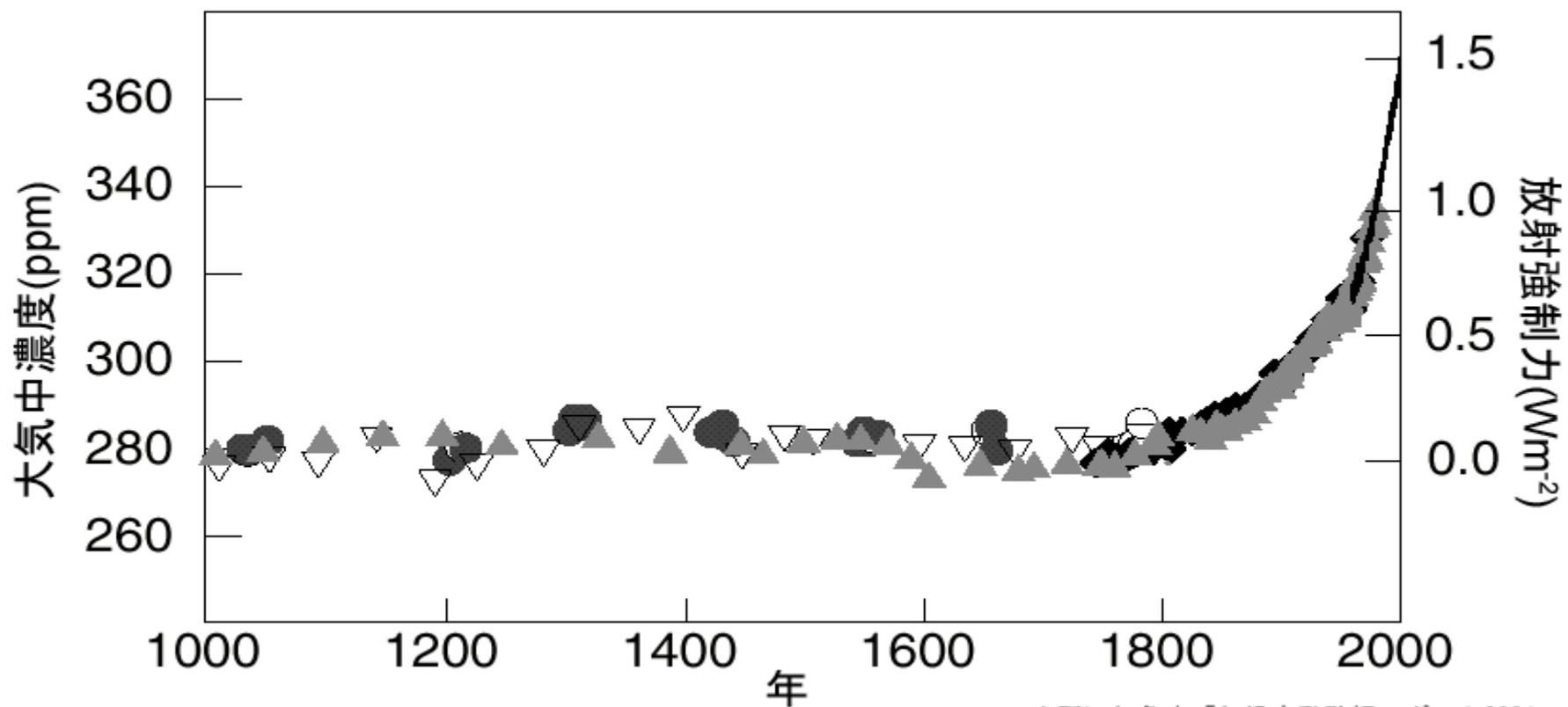
出所) 気候変動監視レポート2002

大気中の二酸化炭素濃度の経年変化



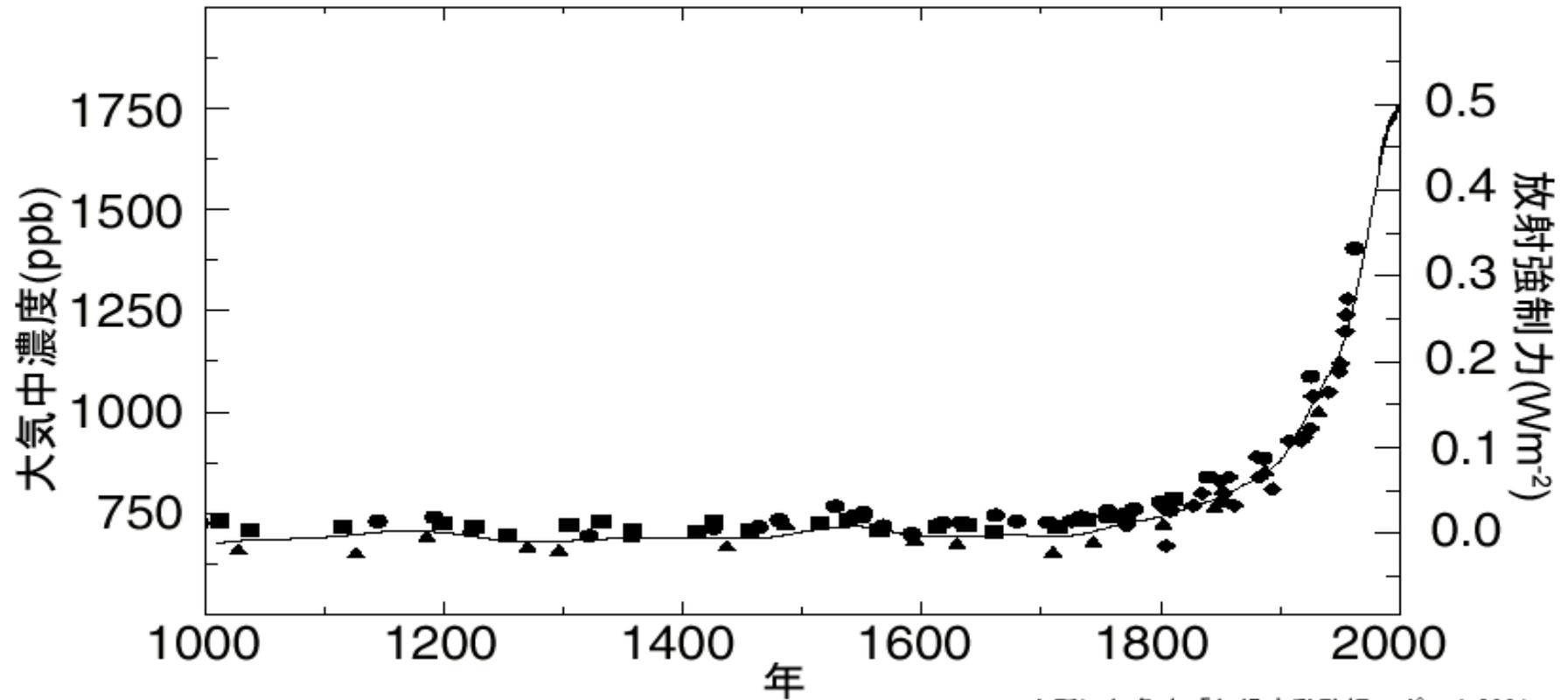
出所) 気象庁「気候変動監視レポート2002」

二酸化炭素の大気中濃度



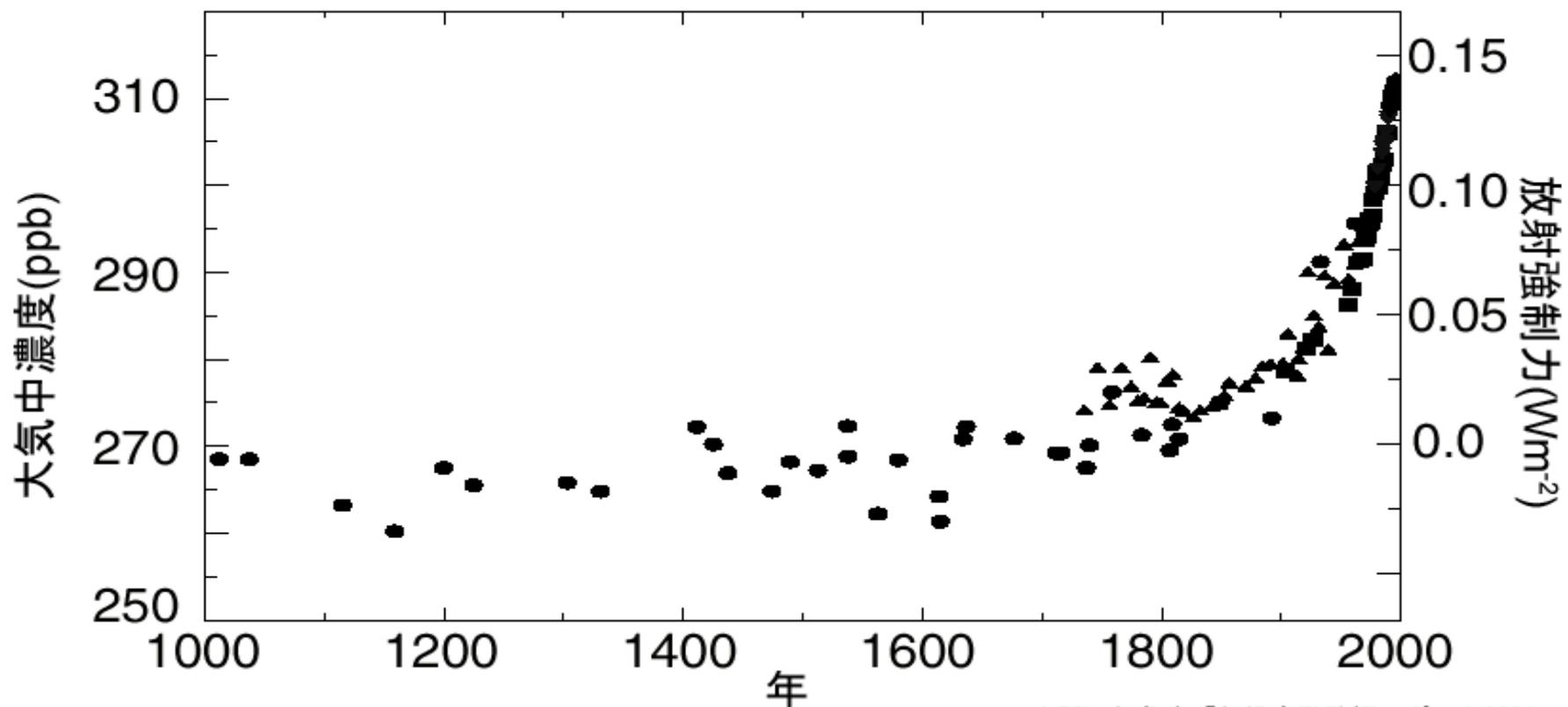
出所) 気象庁「気候変動監視レポート2001」

メタンの大気中濃度



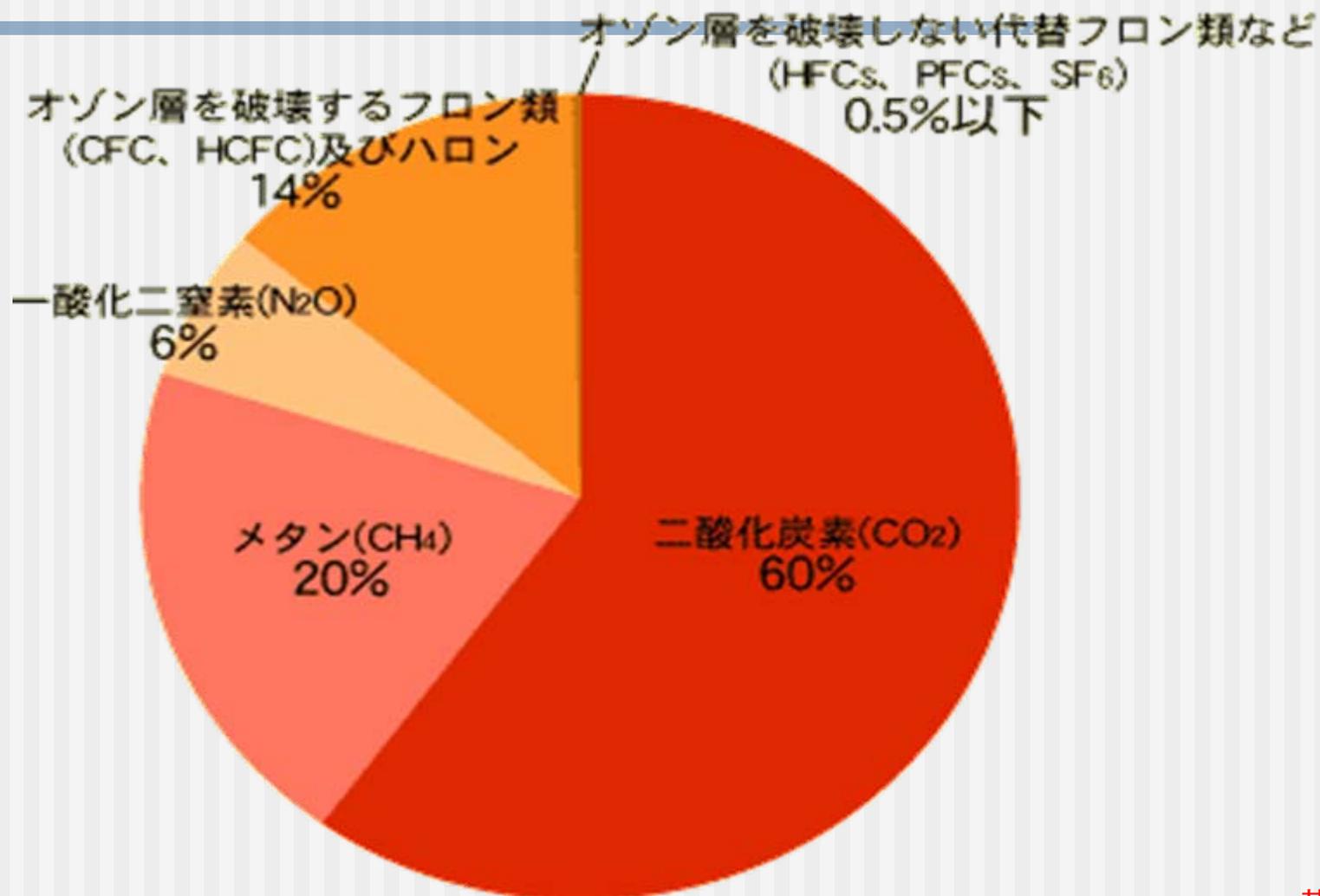
出所) 気象庁「気候変動監視レポート2001」

一酸化二窒素の大気中濃度



出所) 気象庁「気候変動監視レポート2001」

産業革命以降人為的に排出された 温室効果ガスによる地球温暖化への寄与度



出所) IPCC第3次評価報告書第1作業部会資料より作成[2001]

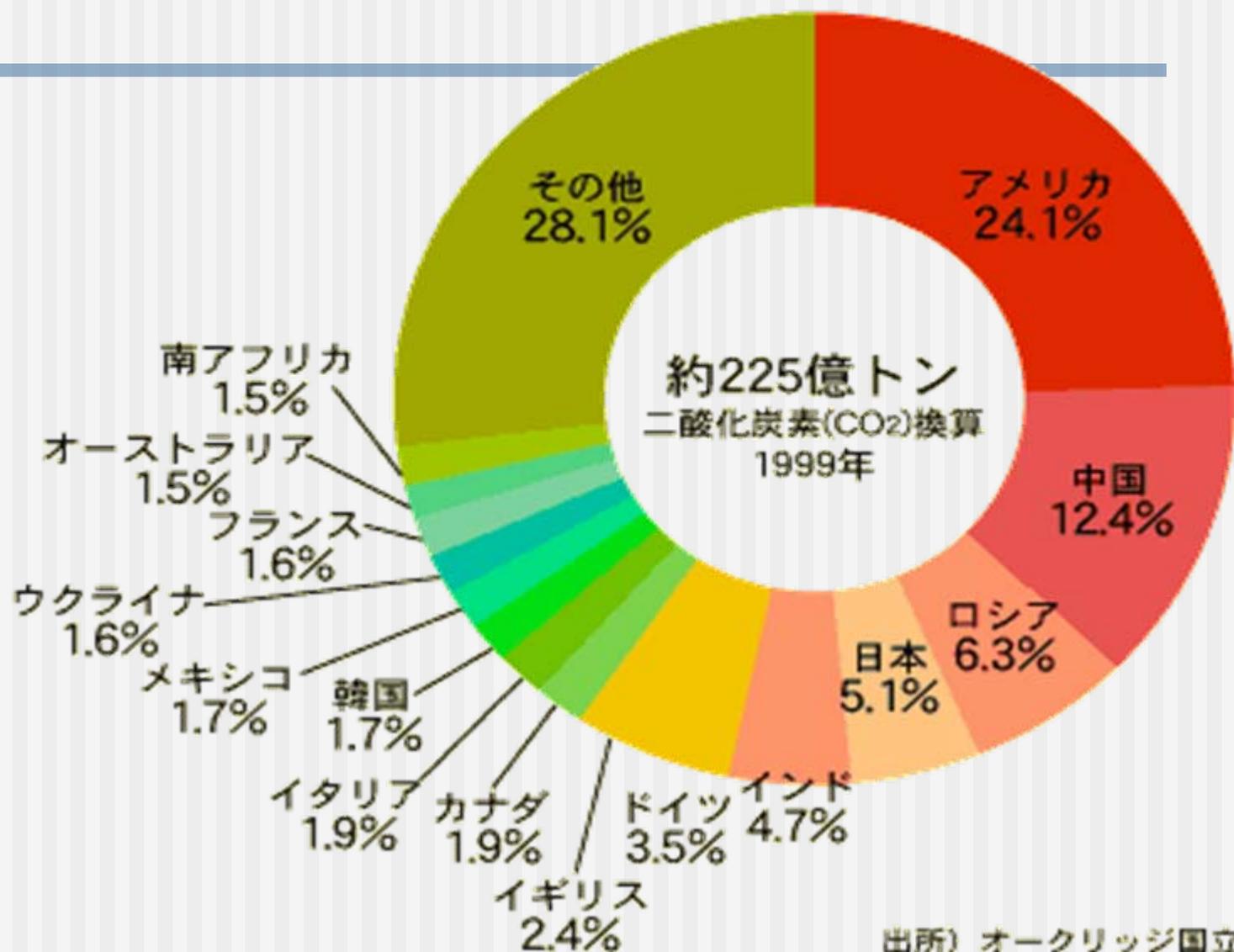
温室効果ガスの特徴

温室効果ガス		地球温暖化係数	性質	用途、排出源
二酸化炭素(CO ₂)		1	代表的な温室効果ガス	化石燃料の燃焼など。
メタン(CH ₄)		23	天然ガスの主成分で、常温で気体。よく燃える。	稲作、家畜の腸内発酵、廃棄物の埋め立てなど。
一酸化二窒素(N ₂ O)		296	数ある窒素酸化物の中で最も安定した物質。他の窒素酸化物(例えば二酸化窒素)などのような害はない。	燃料の燃焼、工業プロセスなど。
オゾン層を破壊するフロン類	CFC、HCFC 類	数千から1万程度	塩素などを含むオゾン層破壊物質で、同時に強力な温室効果ガス。モントリオール議定書で生産や消費を規制。	スプレー、エアコンや冷蔵庫などの冷媒、半導体洗浄など。
オゾン層を破壊しないフロン類	HFC(ハイドロフルオロカーボン類)	数百から1万程度	塩素がなく、オゾン層を破壊しないフロン。強力な温室効果ガス。	スプレー、エアコンや冷蔵庫などの冷媒、化学物質の製造プロセスなど。
	PFC(パーフルオロカーボン類)	数千から1万程度	炭素とフッ素だけからなるフロン。強力な温室効果ガス。	半導体の製造プロセスなど。
	SF ₆ (六フッ化硫黄)	22200	硫黄とフッ素だけからなるフロンの仲間。強力な温室効果ガス。	電気の絶縁体など。

地球温暖化係数とは、温室効果ガスそれぞれの温室効果の程度を示す値です。ガスそれぞれの寿命の長さが異なることから、温室効果を見積もる期間の長さによってこの係数は変化します。

ここでの数値は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第3次評価報告書の値(100年間での計算)になります。

世界の二酸化炭素(CO₂)排出量の合計を100%とした場合の
上位15カ国の排出量の割合(1999年)



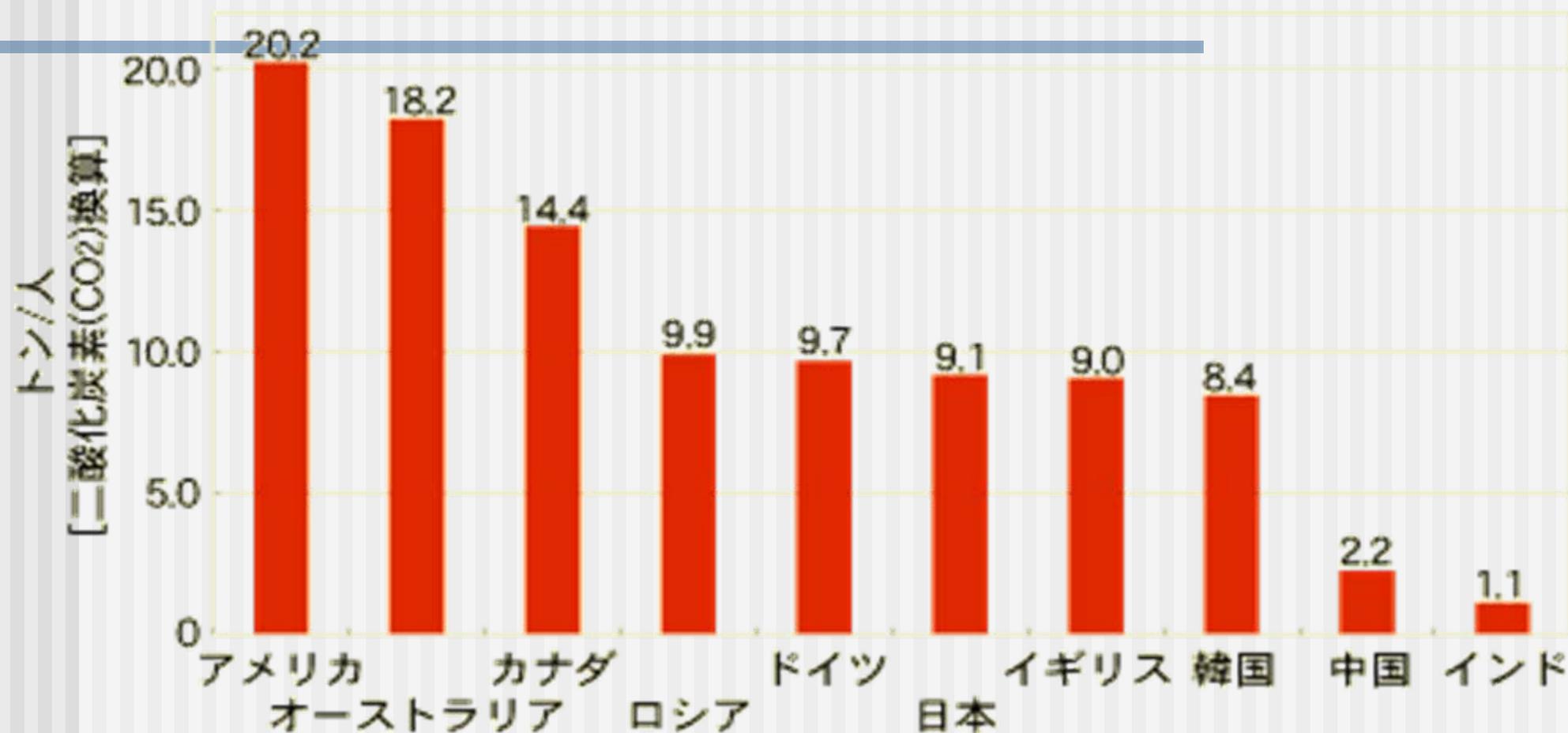
二酸化炭素排出量上位 15 カ国の排出量(1999 年)

順位	国名	排出量*
1	アメリカ	5,504,435
2	中国	2,829,651
3	ロシア	1,439,693
4	日本	1,157,056
5	インド	1,078,752
6	ドイツ	793,502
7	イギリス	540,220
8	カナダ	439,347
9	イタリア	423,412
10	韓国	394,154
11	メキシコ	379,115
12	ウクライナ	374,920
13	フランス	360,277
14	オーストラリア	345,009
15	南アフリカ	335,130
	その他	6,072,044
	各国の排出量の合計(世界の排出量)	22,466,716

出所)オークリッジ国立研究所

*排出量の単位は[千トン-二酸化炭素(CO₂)換算]

主な国の一人当たりの二酸化炭素排出量の比較(1999年)



出所) オークリッジ国立研究所

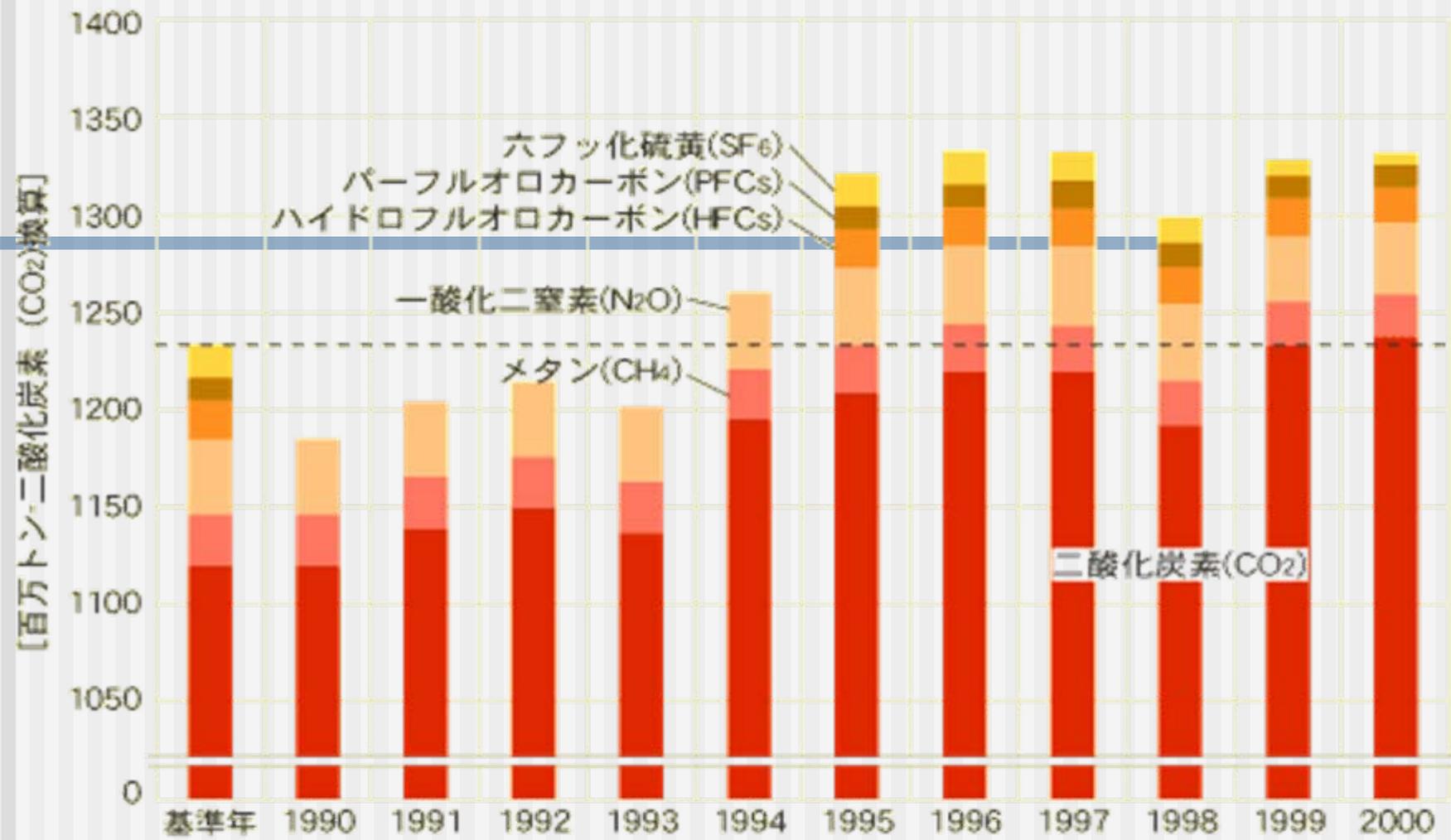
主な国の一人当たりの二酸化炭素(CO₂)排出量(1999年)

国名	排出量*
アメリカ	20.19
オーストラリア	18.20
カナダ	14.42
ロシア	9.87
ドイツ	9.65
日本	9.14
イギリス	9.03
韓国	8.40
中国	2.24
インド	1.10

出所)オークリッジ国立研究所

*排出量の単位は[トン/人-二酸化炭素(CO₂)換算]

日本における京都議定書の対象となっている温室効果ガス排出量の推移



*基準年
 二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、
 一酸化二窒素(N₂O)は1990年度
 オゾン層を破壊しないフロン類
 (HFCs、PFCs、SF₆)は1995年度
 *点線は基準年の排出量を表す

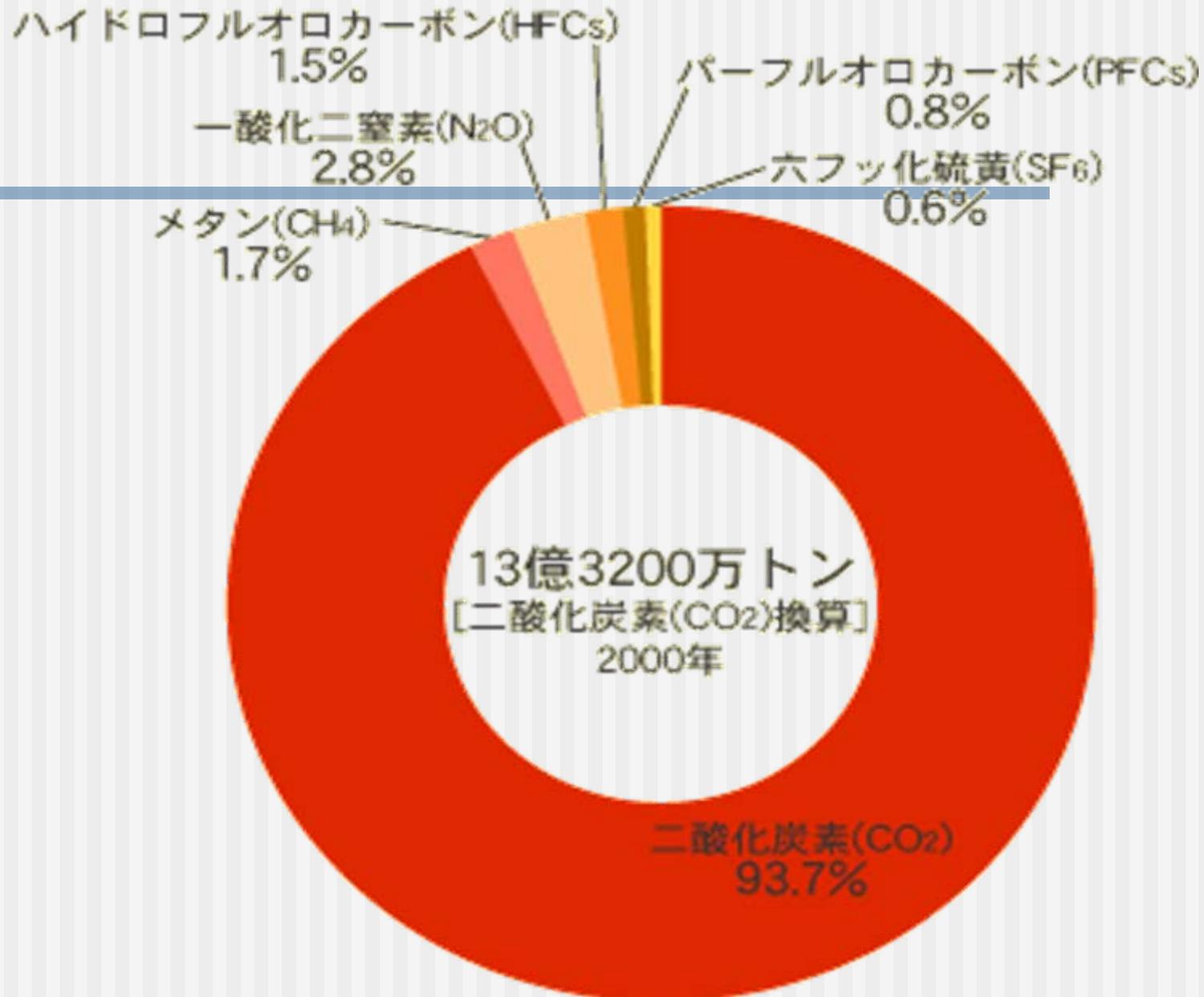
日本における京都議定書の対象となっている温室効果ガス排出量の推移

	二酸化炭素 (CO ₂)	メタン (CH ₄)	一酸化二窒素 (N ₂ O)	ハイドロフルオロカーボン (HFCs)	パーフルオロカーボン (PFCs)	六フッ化硫黄 (SF ₆)	合計	対基準年 *増減%	対前年増減%
基準年	1119.3	26.7	38.8	20.0	11.5	16.7	1233.1		
1990	1119.3	26.7	38.8				1184.9		
1991	1138.5	26.9	38.4				1203.9		
1992	1148.9	26.5	38.7				1214.1		
1993	1136.4	26.4	38.5				1201.3		
1994	1194.8	26.0	39.4				1260.1		
1995	1208.0	25.3	39.6	20.0	11.5	16.7	1321.2	7.1	
1996	1219.4	24.6	40.5	19.6	11.3	17.2	1332.7	8.1	0.9
1997	1219.4	23.7	41.0	19.6	14.0	14.4	1332.2	8.0	0.0
1998	1191.7	23.0	39.7	19.0	12.4	12.8	1298.5	5.3	-2.5
1999	1232.8	22.6	34.0	19.5	11.1	8.4	1328.3	7.7	2.3
2000	1237.1	22.0	36.9	18.3	11.5	5.7	1331.6	8.0	0.2

出所) 地球環境保全に関する関係閣僚会議[2002]
排出量の単位は[百万トン-二酸化炭素(CO₂)換算]

*基準年は、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)は 1990 年度、
オゾン層を破壊しないフロン類(HFCs、PFCs、SF₆)は 1995 年度

日本における京都議定書の対象となっている 温室効果ガス排出量の割合（2000年）



出所) 地球環境保全に関する関係閣僚会議[2002]

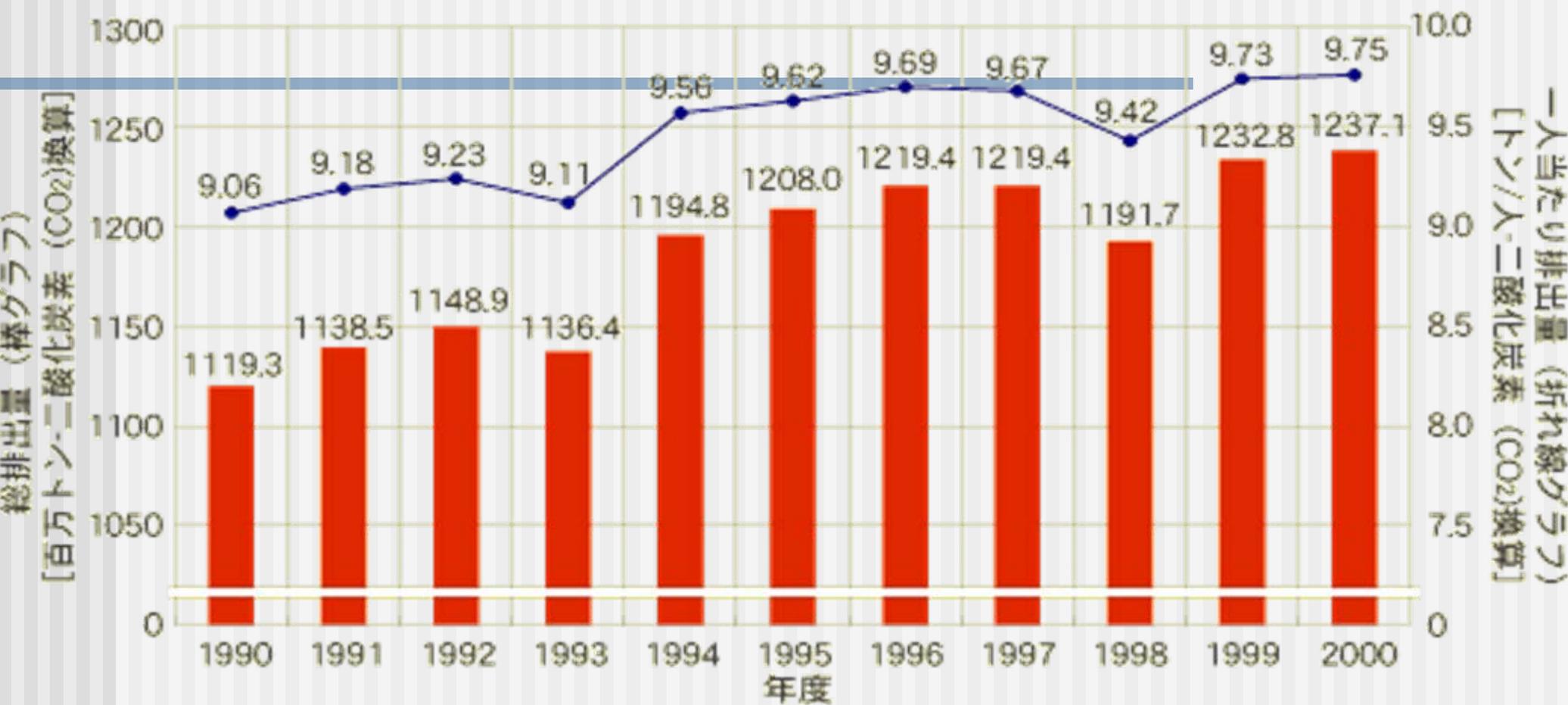
日本における京都議定書の対象となっている温室効果ガス別の排出量(2000年)

	排出量*
二酸化炭素(CO ₂)	1237.1
メタン(CH ₄)	22.0
一酸化二窒素(N ₂ O)	36.9
ハイドロフルオロカーボン(HFCs)	18.3
パーフルオロカーボン(PFCs)	11.5
六フッ化硫黄(SF ₆)	5.7
計	1331.6

出所)地球環境保全に関する関係閣僚会議[2002]

*排出量の単位は[百万トン-二酸化炭素(CO₂)換算]

日本の二酸化炭素排出量の推移



出所) 地球環境保全に関する関係閣僚会議[2002]

日本の二酸化炭素排出量の推移

	二酸化炭素 (CO ₂)総排出量*	一人当たり排出 量*
1990	1119.3	9.06
1991	1138.5	9.18
1992	1148.9	9.23
1993	1136.4	9.11
1994	1194.8	9.56
1995	1208.0	9.62
1996	1219.4	9.69
1997	1219.4	9.67
1998	1191.7	9.42
1999	1232.8	9.73
2000	1237.1	9.75

出所)地球環境保全に関する関係閣僚会議[2002]

*総排出量の単位は[百万トン-二酸化炭素(CO₂)換算]、
一人当たり排出量の単位は[トン-二酸化炭素(CO₂)換算/人]

排出量
(単位
百万トンCO₂)

産業部門

490百万t

495百万t
(前年度比▲0.2%)

民生部門

263百万t

318百万t
(前年度比+2.9%)

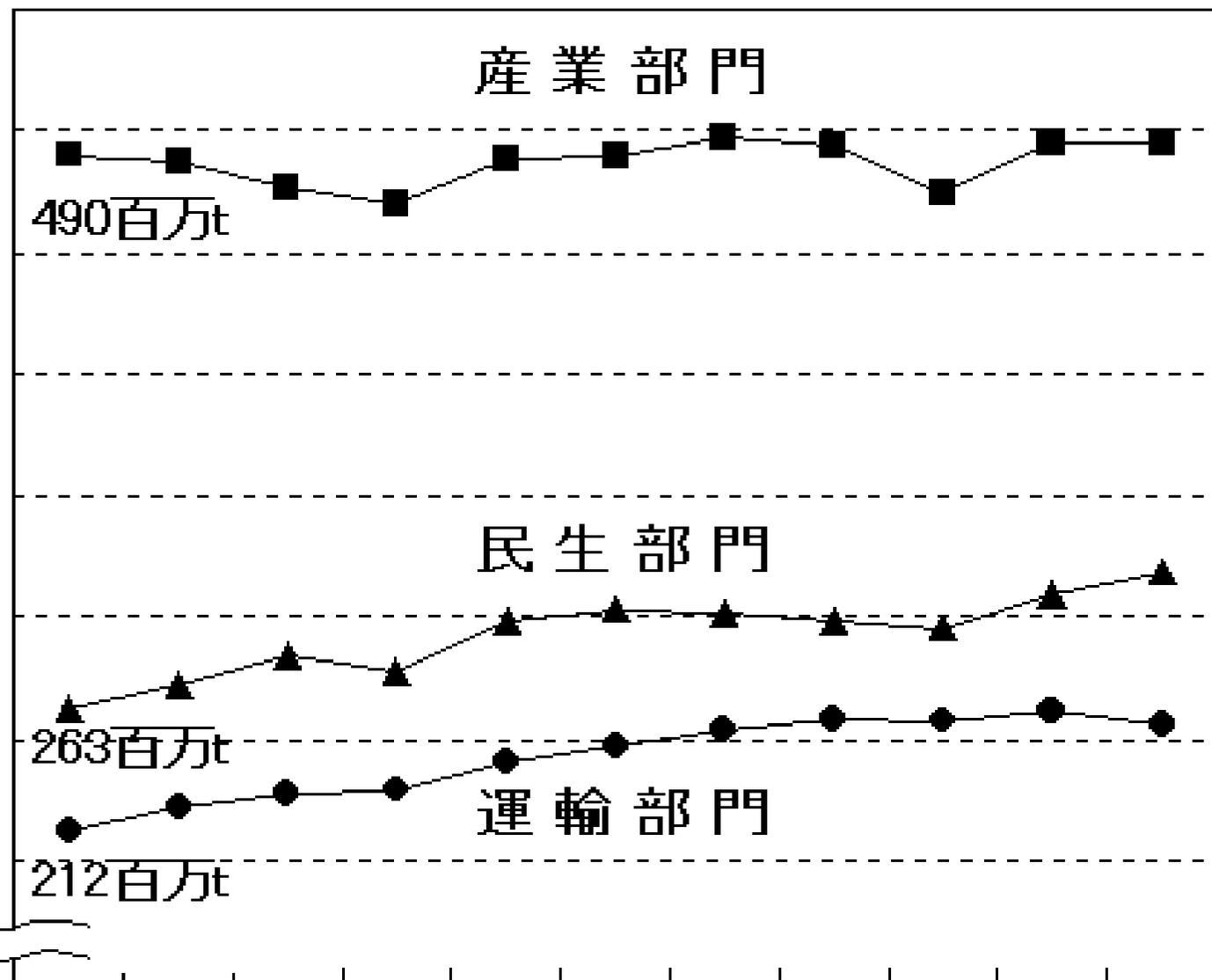
運輸部門

212百万t

256百万t
(前年度比▲2.1%)

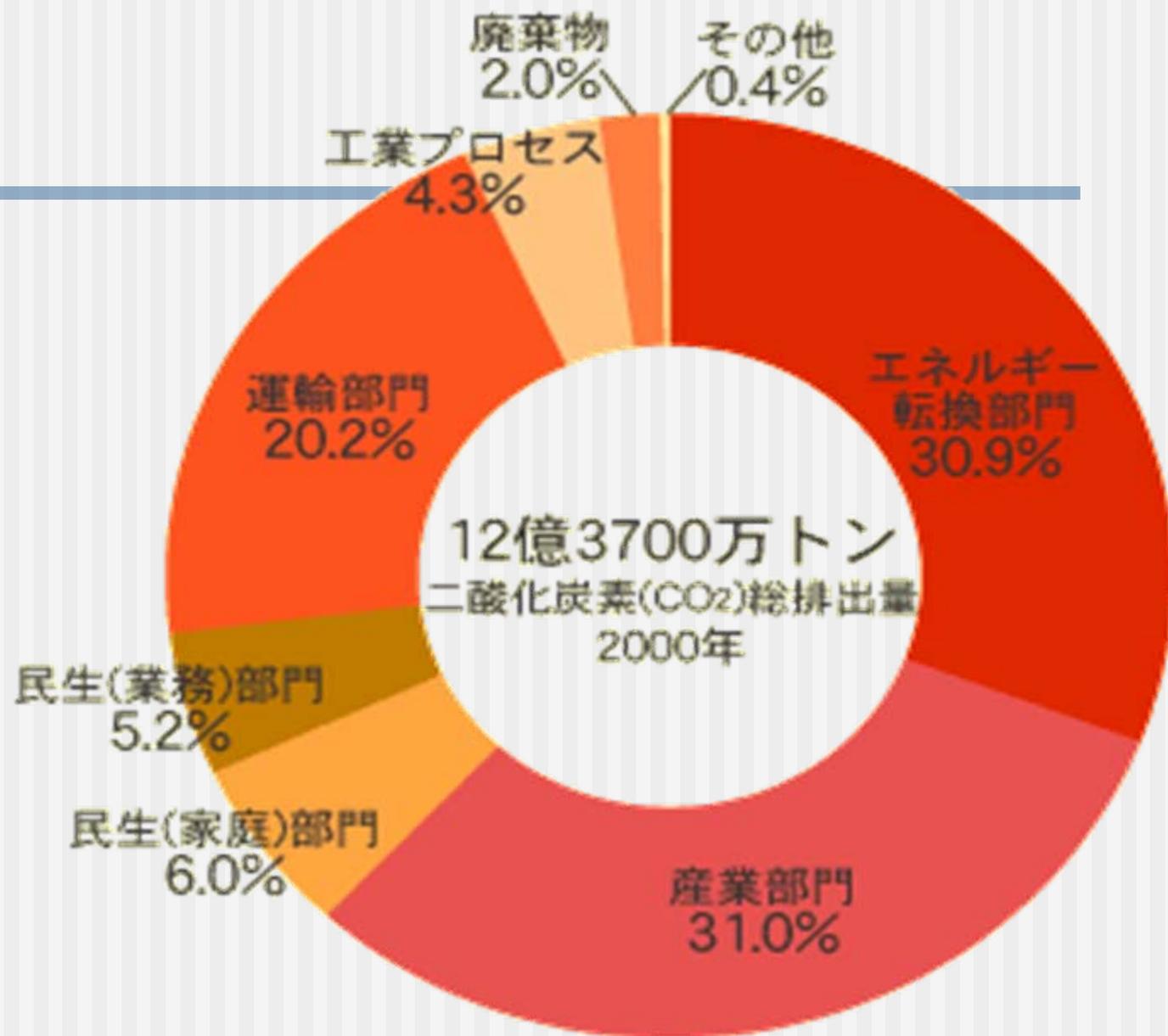
1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000

(年度)



日本の部門別二酸化炭素(CO₂)排出量の割合(2000年)

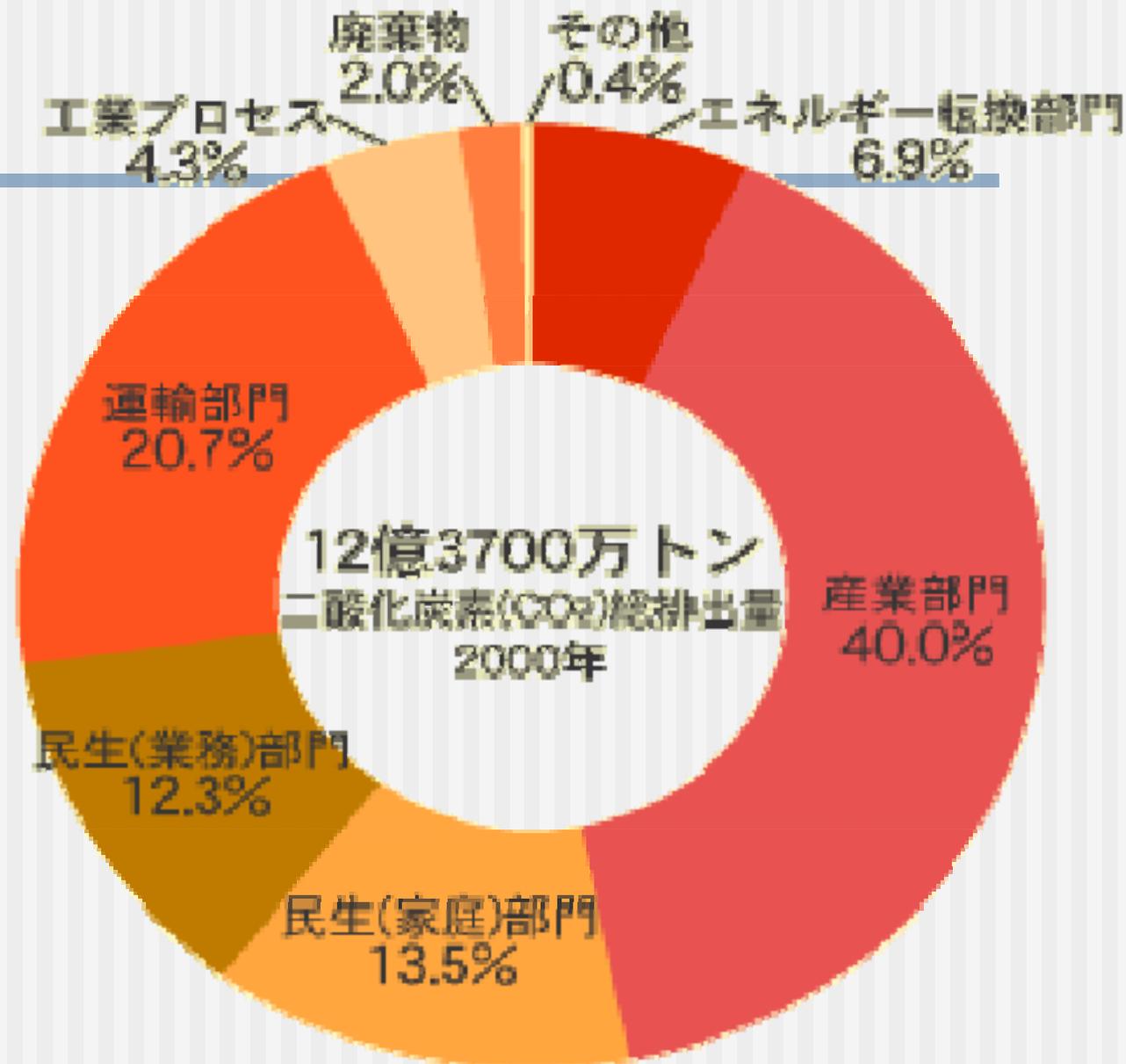
- 各部門の直接排出量 -



出所) 地球環境保全に関する関係閣僚会議[2002]

日本の部門別二酸化炭素(CO₂)排出量の割合(2000年)

- 各部門の間接排出量 -



出所) 地球環境保全に関する関係閣僚会議[2002]

日本の部門別二酸化炭素(CO₂)排出量とその割合(2000年)

部門	各部門の直接排出量*	各部門の間接排出量*
エネルギー転換部門	382.8	86.0
産業部門	383.4	494.6
民生(家庭)部門	74.4	166.4
民生(業務)部門	64.8	152.0
運輸部門(自動車、船舶、航空機等)	249.6	256.1
工業プロセス(石灰石消費等)	53.2	53.2
廃棄物(プラスチック、廃油の焼却)	24.2	24.2
その他(統計誤差等)	4.7	4.5
合計	1237.1	1237.1

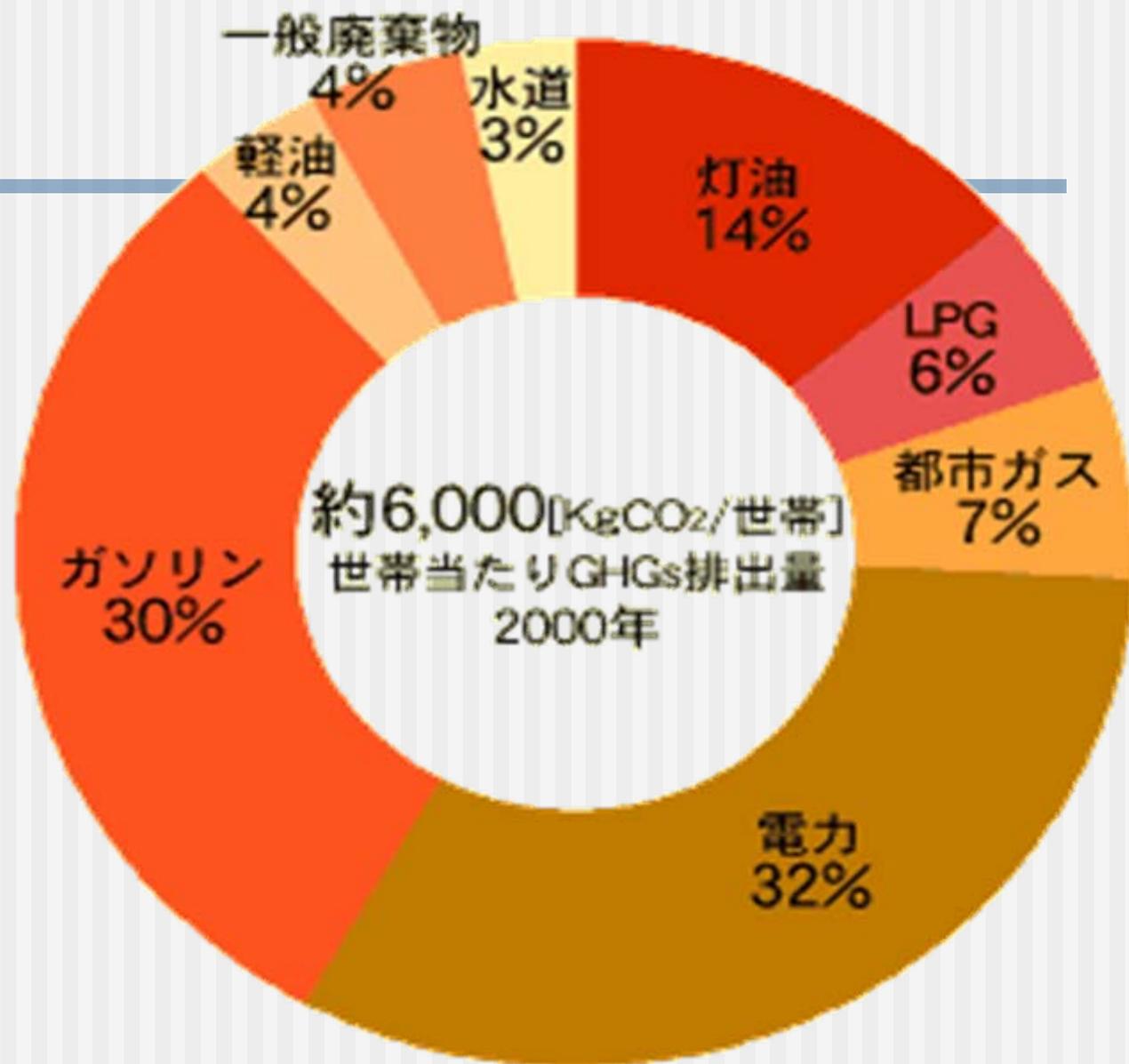
出所)地球環境保全に関する関係閣僚会議[2002]

*排出量の単位は[百万トン-二酸化炭素(CO₂)換算]

直接排出量とは、発電に伴う排出量をエネルギー転換部門からの排出と計算したもので、間接排出量は、それを電力消費量に応じて最終需要部門に配分しています。

家庭からの温室効果ガス排出量の割合(2000年)

- 燃料種別内訳 -



出所) 環境省資料

家庭からの温室効果ガス排出量(世帯当たり)(燃料種別内訳)(2000年)

燃料種	排出量*
石炭等	1.9
灯油	822.6
LPG	329.1
都市ガス	395.0
電力	1,917.4
ガソリン	1,806.2
軽油	226.8
一般廃棄物	266.7
水道	197.4
合計	5,963.2

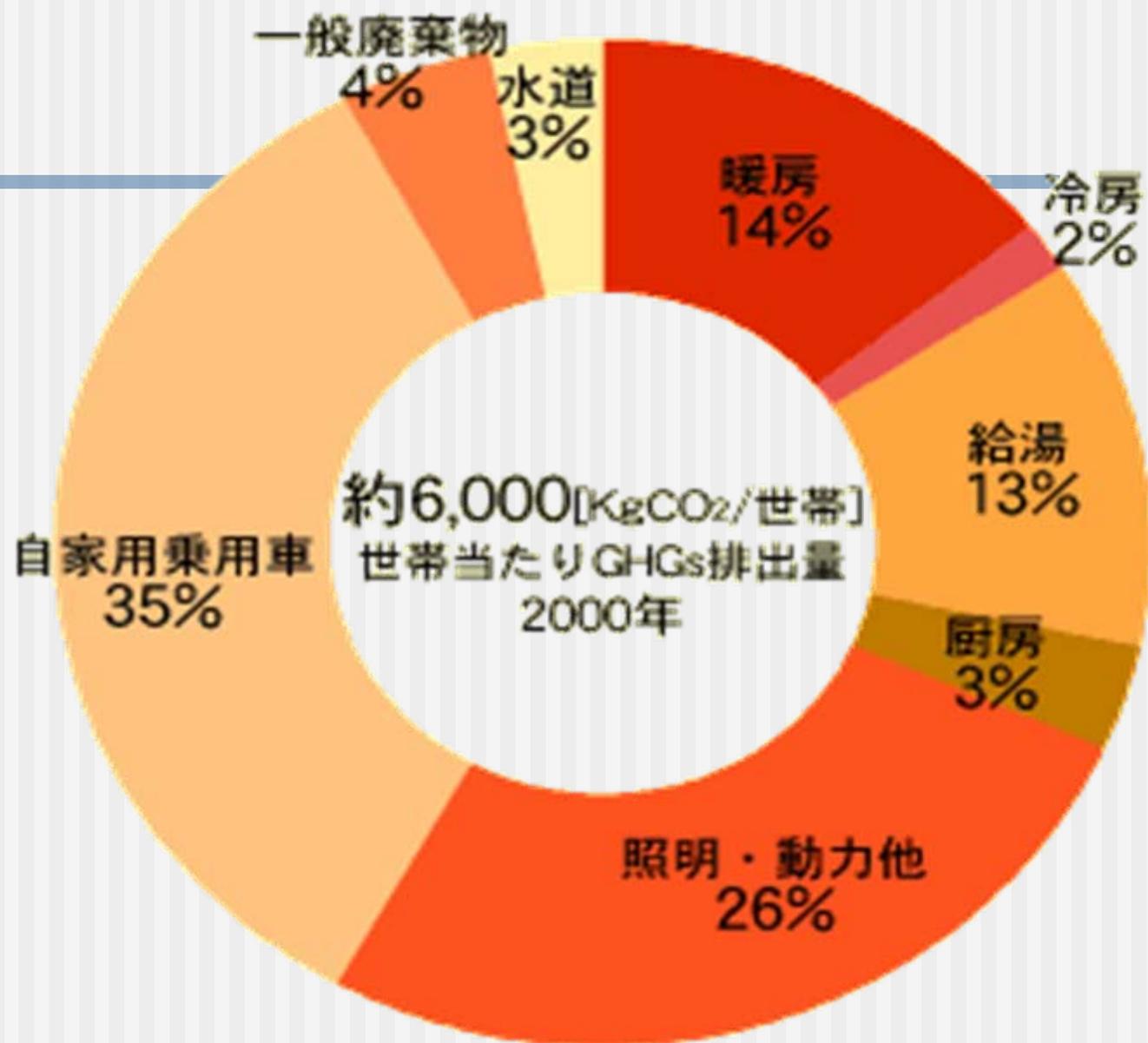
出所)環境省資料

*排出量の単位は[キログラム-二酸化炭素(CO₂)換算]

- ・家庭からの温室効果ガス(GHG_s)排出量は、インベントリの民生(家庭)部門と廃棄物(一般廃棄物)部門で計上された排出量、インベントリの運輸(旅客)部門からの排出量を基に算定した自家用乗用車からの排出量、および水道からの排出量を足し合わせたものである。
- ・一般廃棄物は非バイオマス起源のみを対象とし、事業系一般廃棄物を含む。
- ・自家用乗用車からの排出のうち3割を営業用とみなし、除外した。

家庭からの温室効果ガス排出量の割合(2000年)

- 用途別内訳 -



出所) 環境省資料

家庭からの温室効果ガス排出量(世帯当たり)(用途別内訳)(2000年)

用途	排出量*
暖房	846.0
冷房	99.3
給湯	749.5
厨房	195.5
照明・動力他	1,575.7
自家用乗用車	2,033.0
一般廃棄物	266.7
水道	197.4
合計	5,963.2

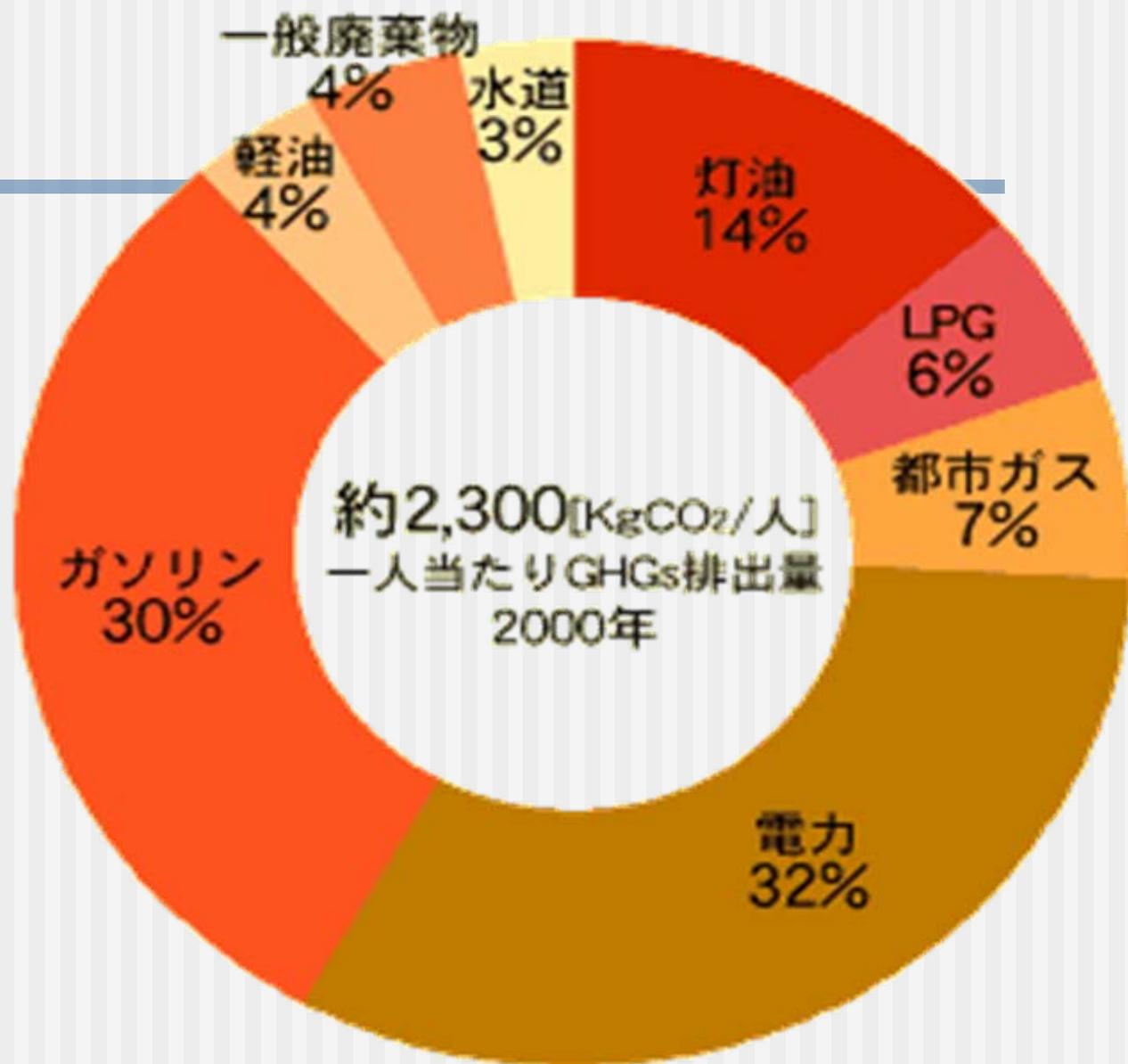
出所)環境省資料

*排出量の単位は[キログラム-二酸化炭素(CO₂)換算]

- ・家庭からの温室効果ガス(GHGs)排出量は、インベントリの民生(家庭)部門と廃棄物(一般廃棄物)部門で計上された排出量、インベントリの運輸(旅客)部門からの排出量を基に算定した自家用乗用車からの排出量、および水道からの排出量を足し合わせたものである。
- ・一般廃棄物は非バイオマス起源のみを対象とし、事業系一般廃棄物を含む。
- ・自家用乗用車からの排出のうち3割を営業用とみなし、除外した。

家庭からの温室効果ガス排出量の割合(2000年)

- 一人当たり内訳 -



出所) 環境省資料

家庭からの温室効果ガス排出量(一人当たり)(燃料種別内訳)(2000年)

燃料種	排出量*
石炭等	0.7
灯油	311.2
LPG	124.5
都市ガス	149.4
電力	725.4
ガソリン	683.3
軽油	85.8
一般廃棄物	100.9
水道	74.7
合計	2,255.8

出所)環境省資料

*排出量の単位は[キログラム-二酸化炭素(CO₂)換算]

- ・家庭からの温室効果ガス(GHG_s)排出量は、インベントリの民生(家庭)部門と廃棄物(一般廃棄物)部門で計上された排出量、インベントリの運輸(旅客)部門からの排出量を基に算定した自家用乗用車からの排出量、および水道からの排出量を足し合わせたものである。
- ・一般廃棄物は非バイオマス起源のみを対象とし、事業系一般廃棄物を含む。
- ・自家用乗用車からの排出のうち3割を営業用とみなし、除外した。



Photo credit: Institute for Sustainable Energy Policies



写真提供:2002年元旦アルゼンチンにて 栗林浩撮影



写真提供 :2002 年元旦アルゼンチンにて 栗林浩撮影



写真提供：名古屋大学環境学研究科・雪氷圏変動研究室





Photo credit: SHIMADA KOUSEI(©)



Photo credit: Shuuichi Endou (Tuvalu Overview)



Photo credit: Shuuichi Endou (Tuvalu Overview)



写真提供：気象庁



写真提供：気象庁



写真提供：気象庁



写真提供：気象庁









Photo credit: Kyoko KAWASAKA









写真提供：登坂克男



写真提供：登坂克男







Photo credit: Fumiji

炭酸ガス排出量削減に関する世界シ ミュレーション

前提条件

- 先進国と発展途上国は同じ歴史的発展経路をたどると仮定した。実際には発展途上国は遅れているが故に先進国の技術的進歩の成果を取り入れ、より効率的に発展するものだが、そのファクターはこのモデルには組み込んではいない。

人口モデル

- 経済発展が人口抑制の基本
- 一人当りの年間収入 (per capita Income) が 2,000ドル／年以下では、女性の一生の平均妊娠回数は2回以上で人口増加の要因となる。一人当りの年間収入が6,000ドル／年以上では6,000ドル／年のレベルを維持するものとした。

表 1-1 先進国の人口、GDP、GDP 成長率および 1 人当り GDP

地域名	人口 (億人)	GDP (兆ドル/年)	GDP 成長率(%/y)		1 人当り GDP (ドル/人)
			1990	1991	
米国	3.59	6.18	1.0	- 0.3	17,200
EC	3.77	7.00	2.8	1.4	18,600
日本	1.24	2.94	5.6	4.5	23,700
ソ連、東欧	3.84	3.20	- 3.6	- 10.0	8,330
大洋州	0.21	0.34	-	-	16,200
NIES	0.72	0.50	6.7	6.3	6,940
先進国合計	13.37	20.16	-	-	15,000

表 4-1 発展途上国の人口、GDP、GDP 成長率および 1 人当り GDP

地域名	人口 (億人)	GDP (兆ドル/年)	GDP 成長率(%/y)		1 人当り GDP (ドル/人)
			1990	1991	
中国	11.43	0.39	5.2	4.5	341
南アジア	10.64	0.36	4.6	4.4	338
ASEAN	3.17	0.29	7.7	6.3	915
中東	1.82	0.58	0.7	- 4.0	3,190
中南米	3.47	0.82	- 0.3	1.2	2,360
アフリカ	6.29	0.38	-	-	604
発展途上国合計	36.82	2.82	-	-	770

表 9-1 先進国の人口、一人当たりエネルギー消費、年間消費量

地域名	人口 (億人)	一人当たりエネルギー消費量 (OE トン/人)	年間消費量 (億トン/年)
米国	3.59	7.1	25.5
EC	3.77	6.9	26.0
日本	1.24	5.8	7.2
ソ連、東欧	3.84	3.0	11.5
大洋州	0.21	6.0	1.3
NIES	0.72	3.5	2.5
先進国合計	13.37	5.53	74.0

表 9-2 発展途上国の人口、一人当りエネルギー消費、年間消費量

地域名	人口 (億人)	一人当りエネルギー消費量 (OE トン／人)	年間消費量 (億トン／年)
中国	11.43	0.7	8.0
南アジア	10.64	0.16	1.7
ASEAN	3.17	0.33	1.0
中東	1.82	2.0	3.6
中南米	3.47	1.1	3.8
アフリカ	6.29	0.14	0.9
発展途上国合計	36.82	0.52	19.0

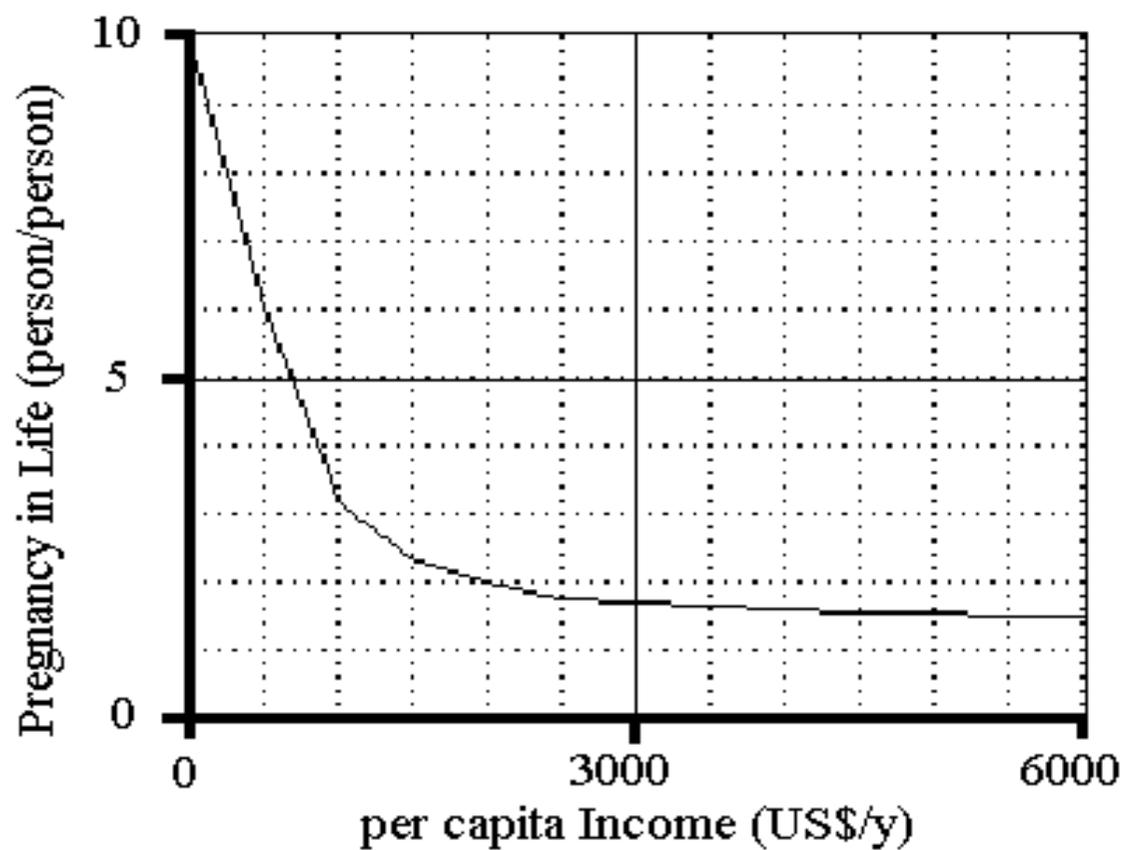


図 3-1 平均妊娠回数と一人当りの年収

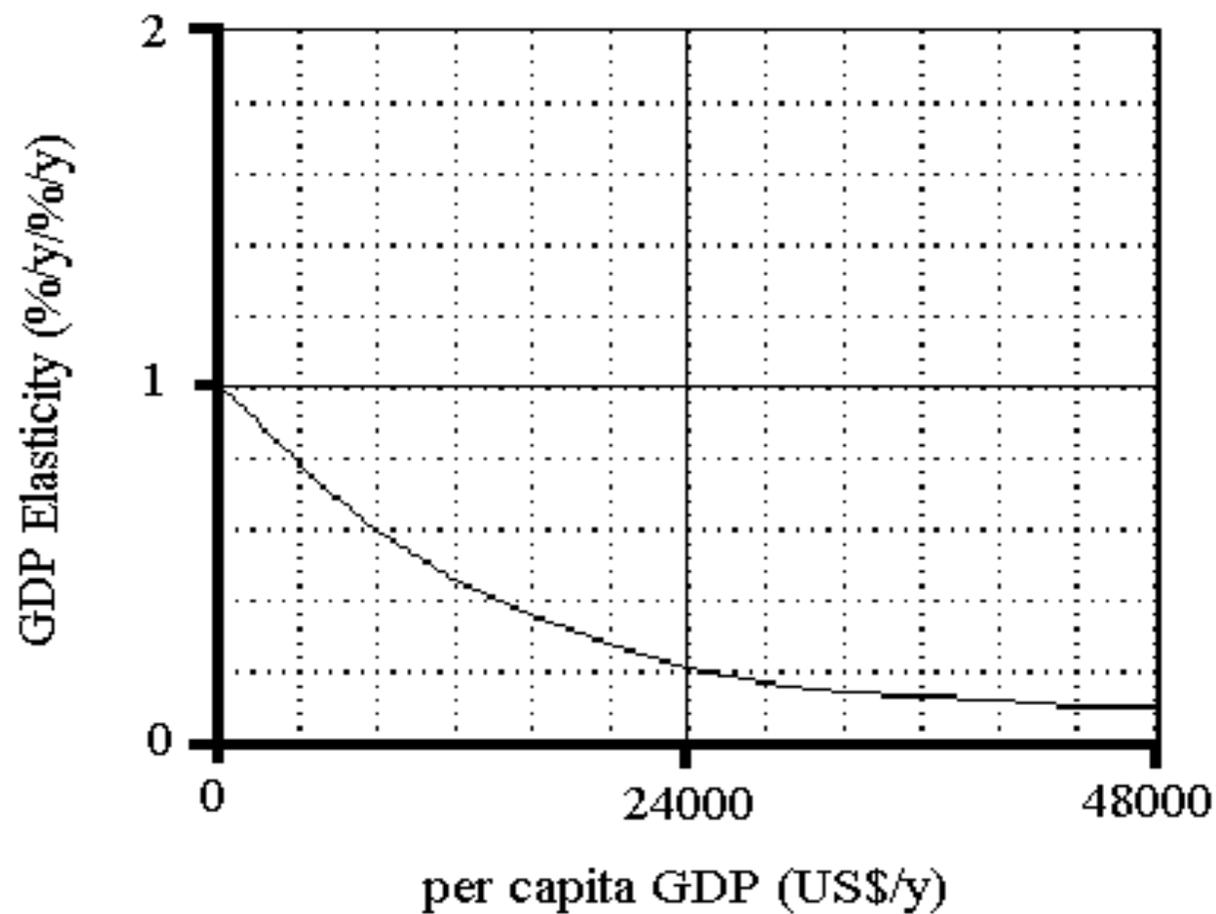


図 5-1 エネルギー-GDP 弾性率と一人当りGDP

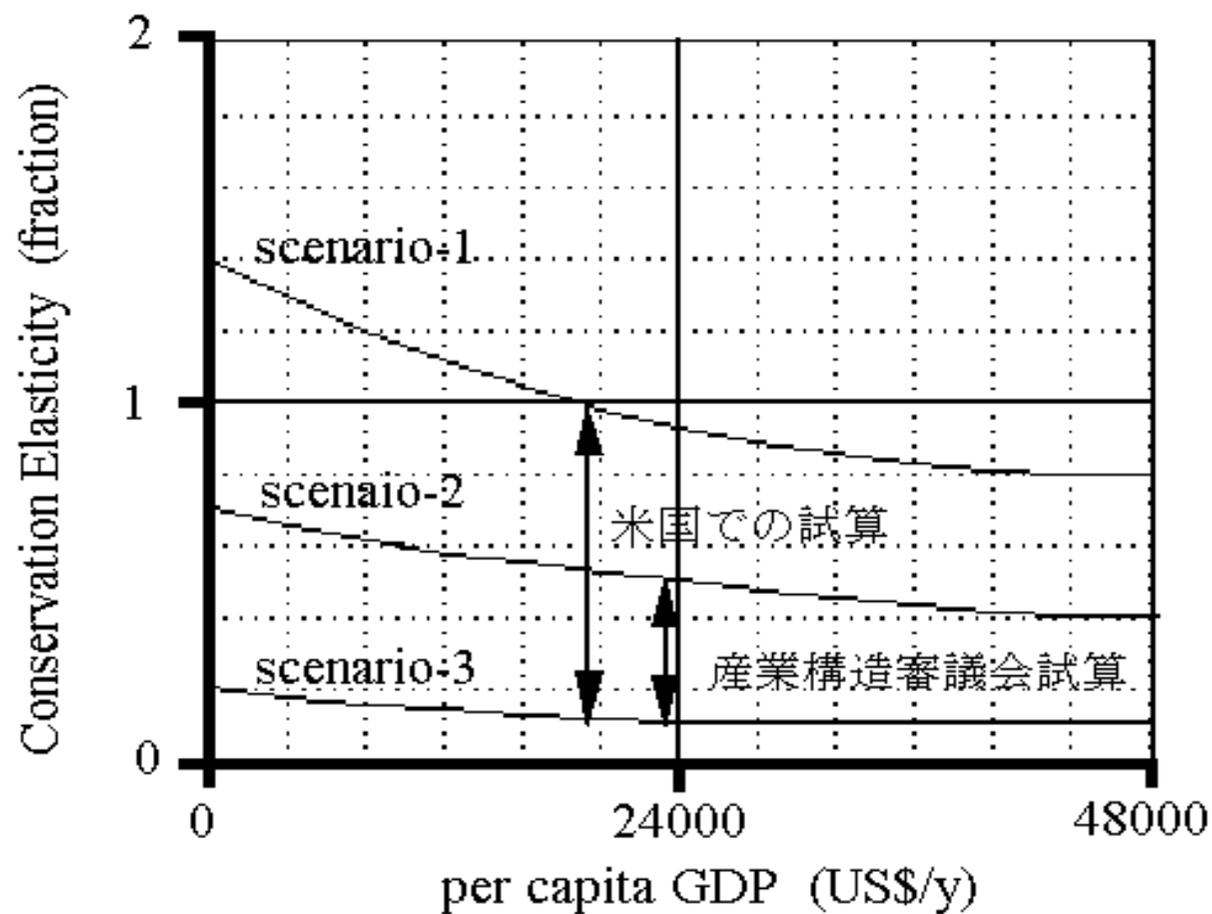
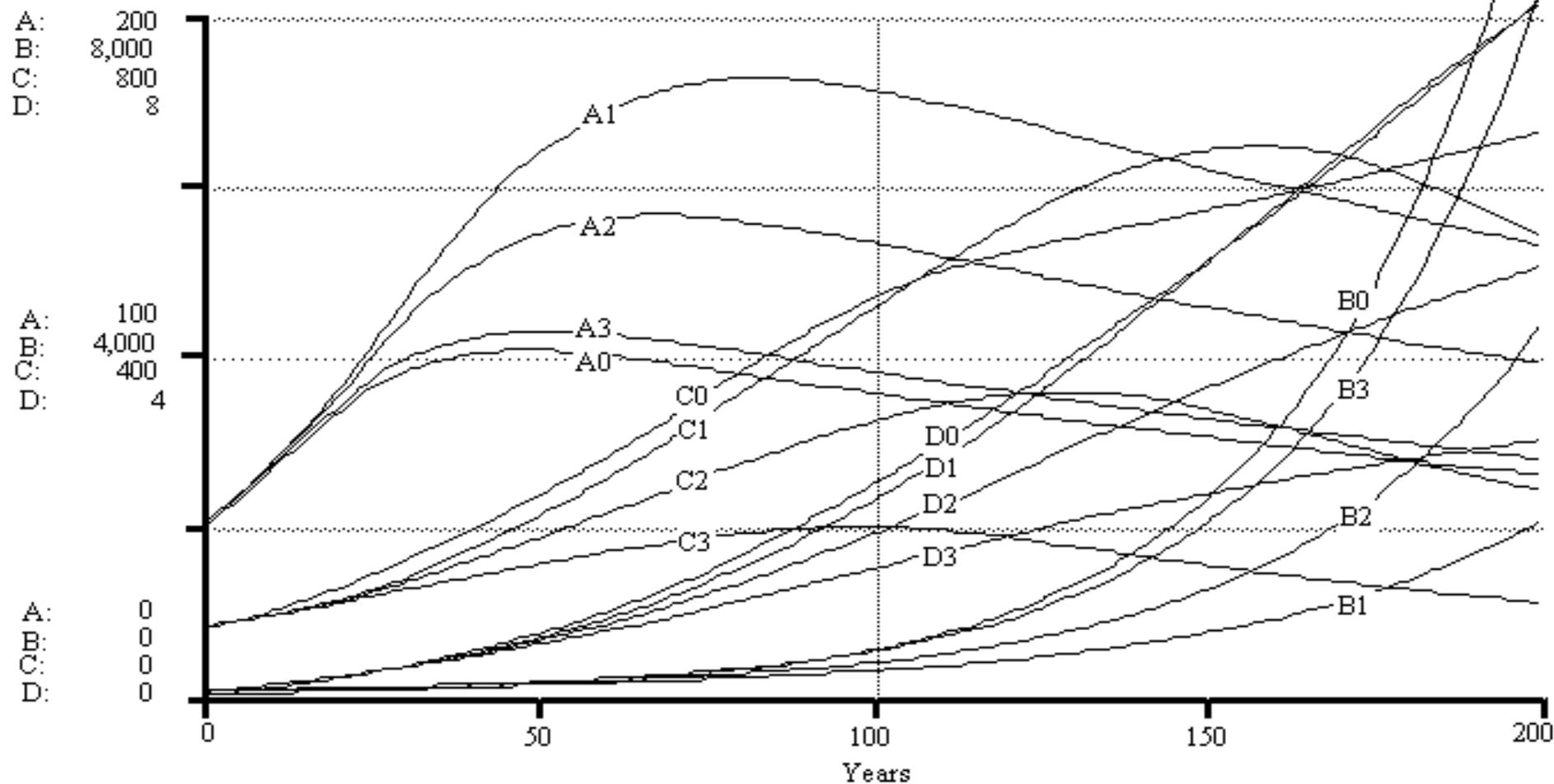


図 6-1 経済成長削減弾性率と一人当りGDP

シミュレーション結果

- 何の対策もしないシナリオー0の場合、人口は約100億人でおさまるが、排出量は伸び率に鈍化のきざしが見えつつも際限無く増加し続け、80年で確認可採埋蔵量を使い尽くすという結果が出た。200年後には究極埋蔵量に近い約8兆トンに達する。現時点の消費量で数百年の確認可採埋蔵量があったはずであるが、増加する消費量により、このような結果が出たものと考えられる。炭酸ガスによる温暖化よりもこちらのほうが重大な問題としてクローズアップされる。「持続的開発」の概念がでてきた背景となっていると考えられる。



A: World Population (億人)	0: Scenario-0
B: World GDP (兆ドル/年)	1: Scenario-1
C: World Carbon Emission (億トン/年)	2: Scenario-2
D: World Cumulative Carbon (兆トン)	3: Scenario-3

図 10-1 シュミレーション結果

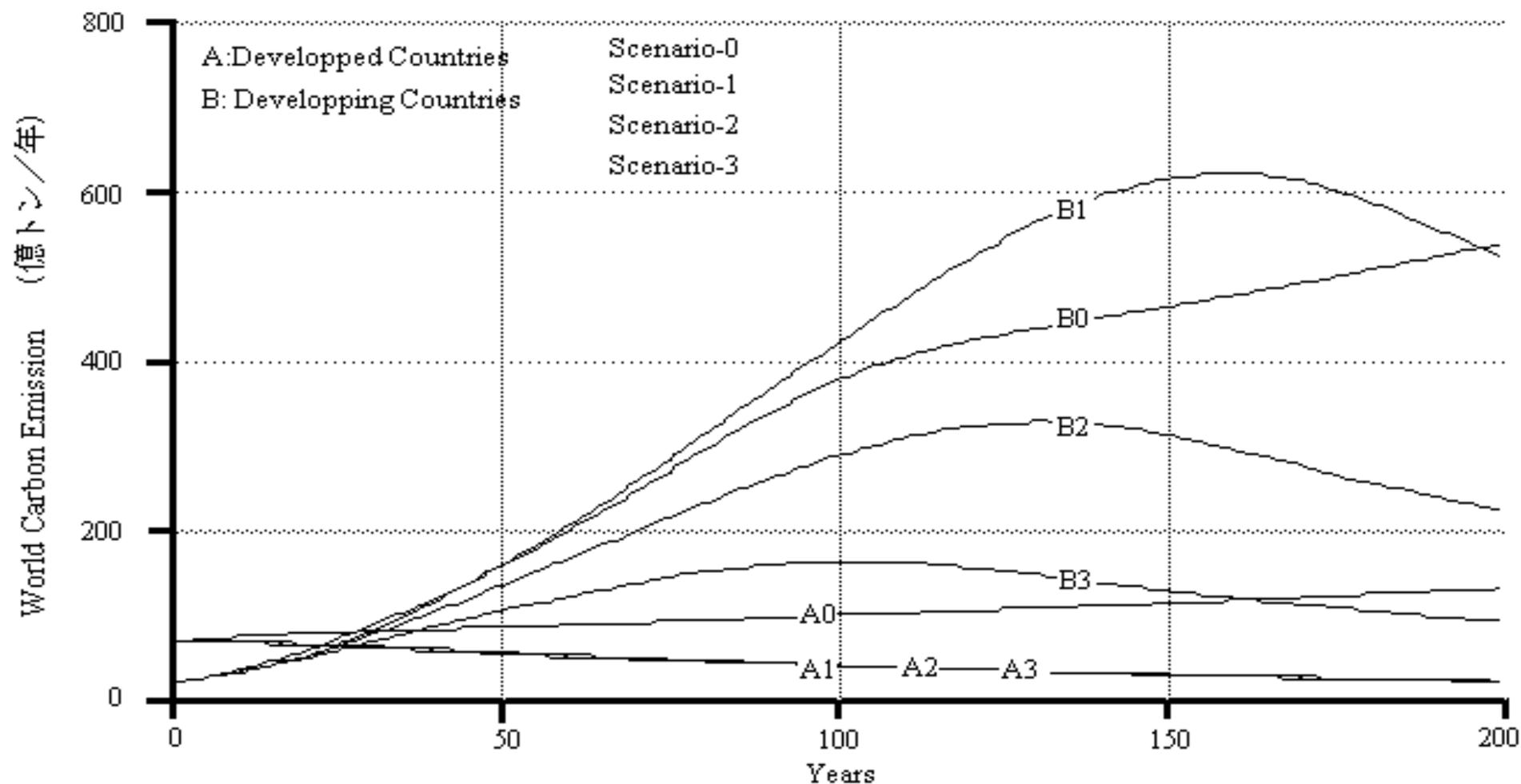
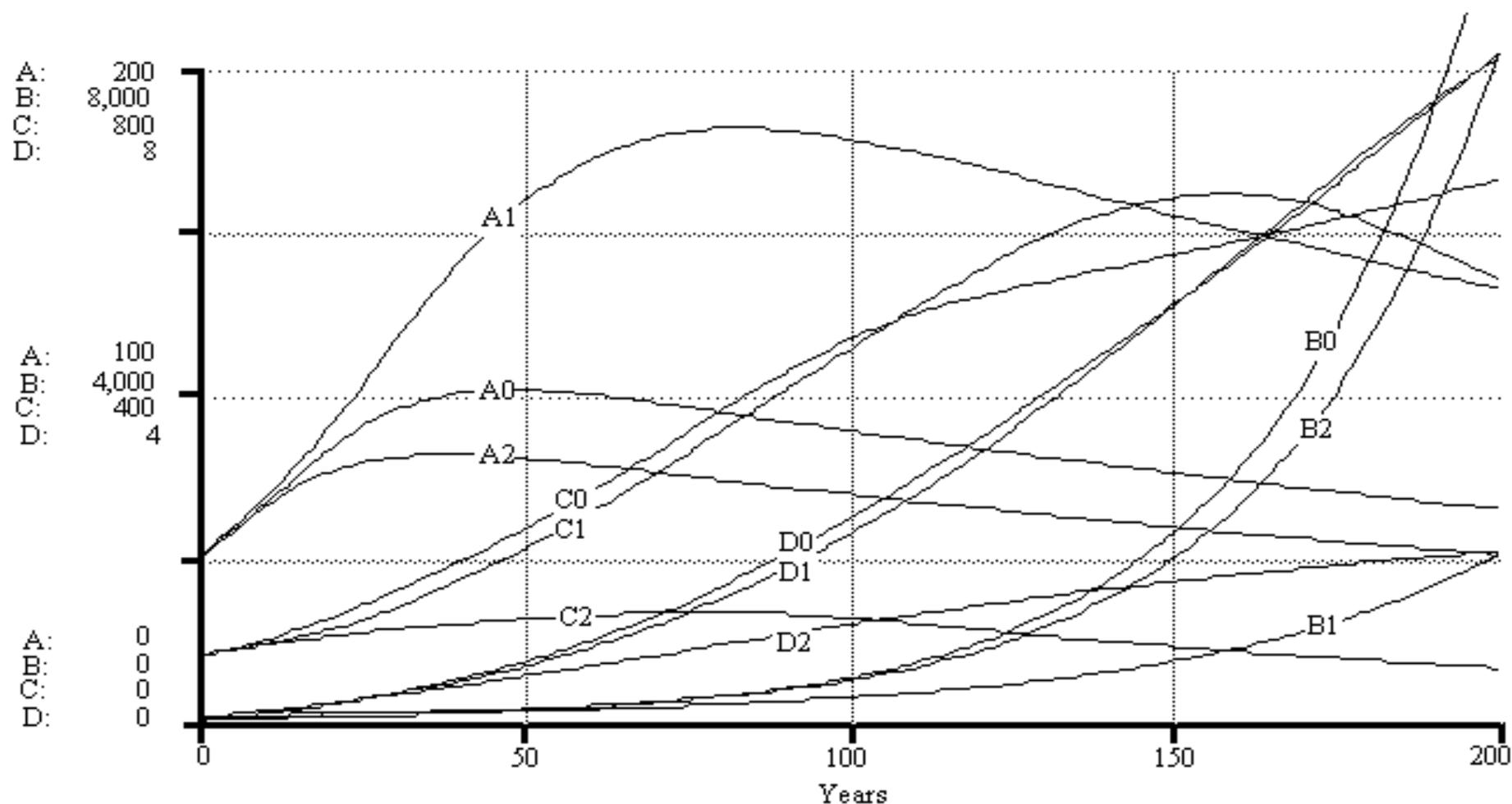


図 10-2先進国及び発展途上国の炭酸ガス排出量



A: World Population (億人)
 B: World GDP (兆ドル/年)
 C: World Carbon Emission (億トン/年)
 D: World Cumulative Carbon (兆トン)

0: Scenario-0
 1: Scenario-1
 2: Scenario-1,0.6%ODA

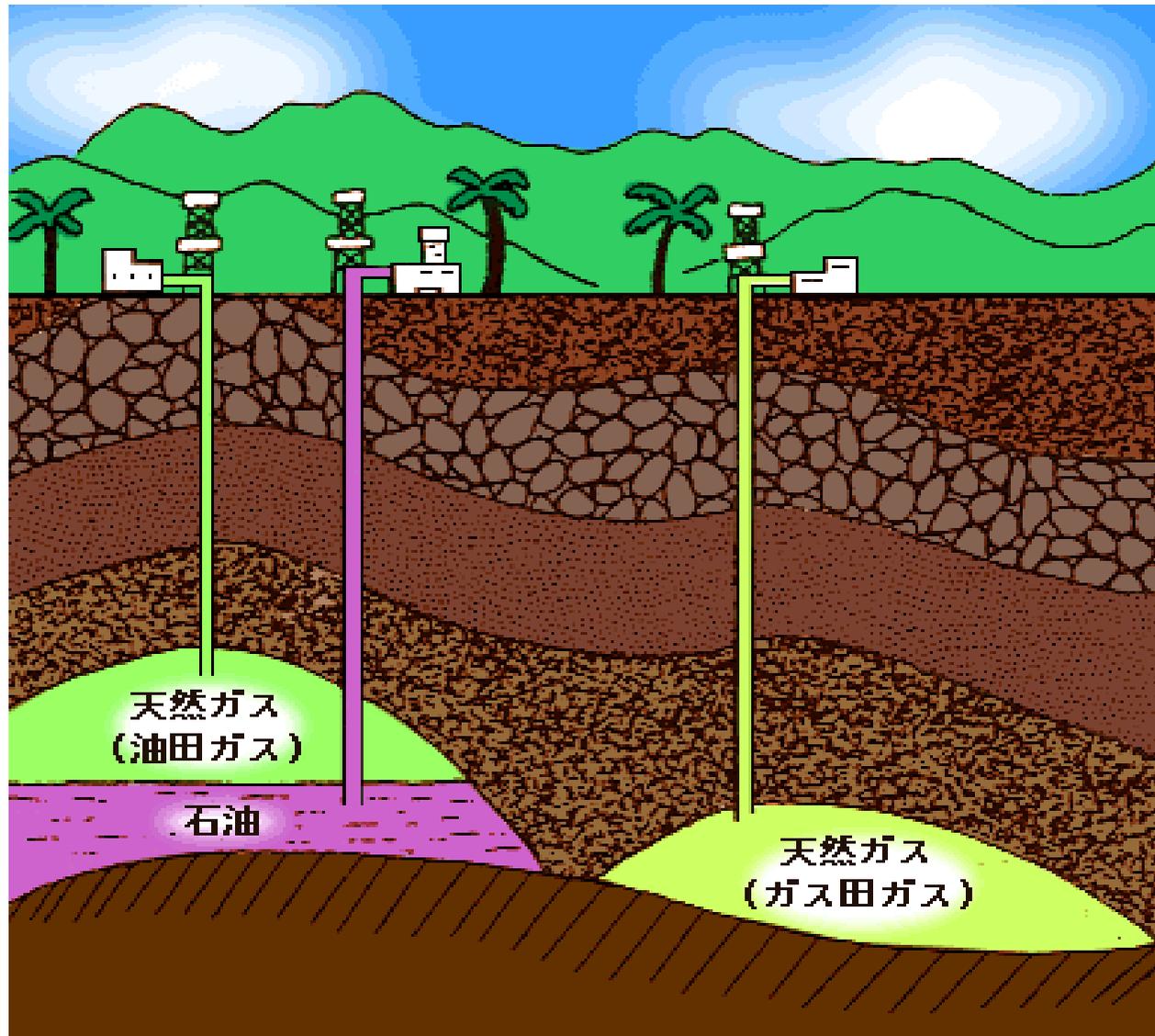
図 10-3 ODAの効果

結論

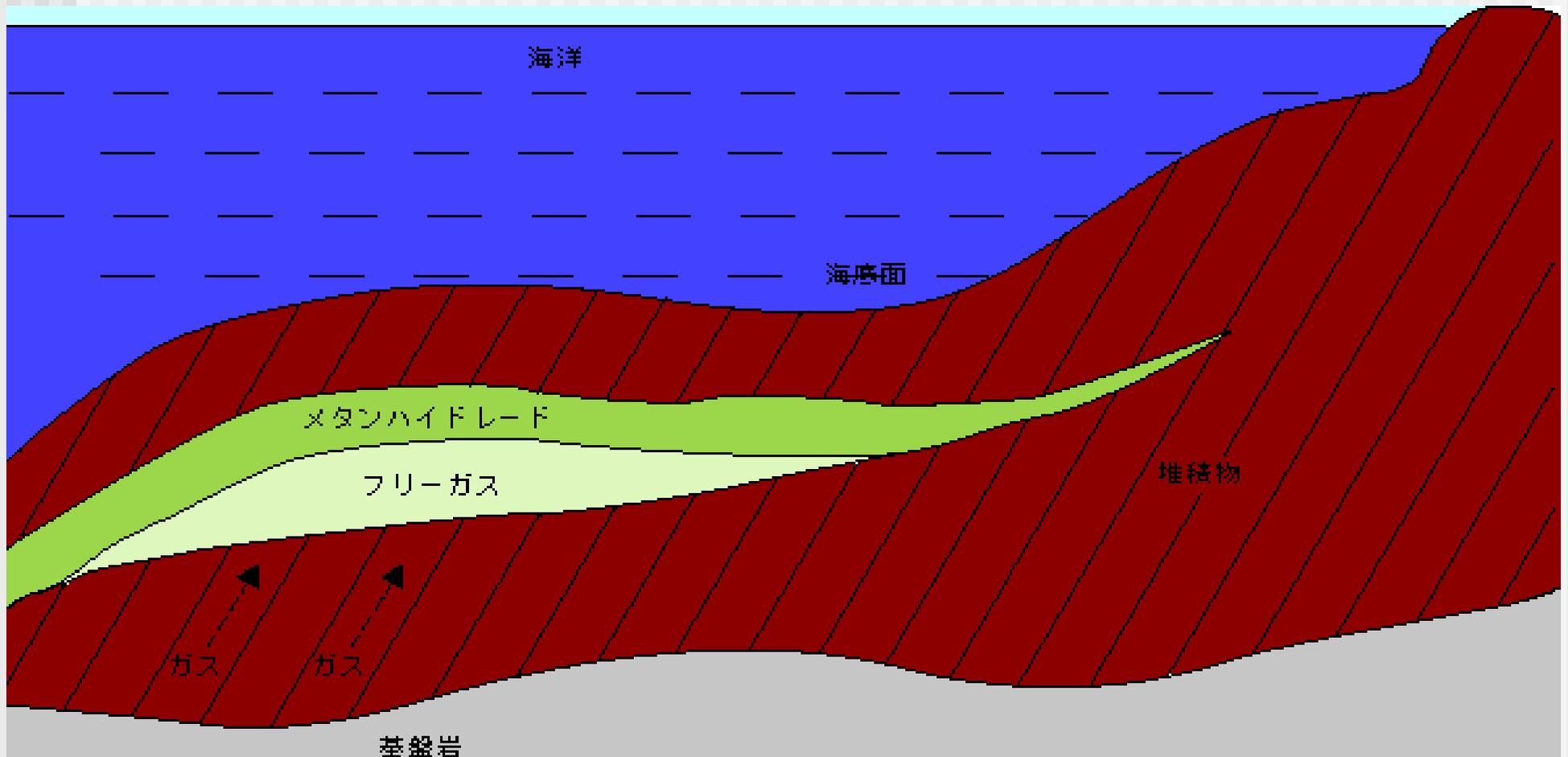
- コストの内部経済化だけで炭酸ガス排出削減を行おうとすれば、発展途上国の人口爆発は続行し、排出削減が達成されないとともに有限な資源を使い尽してしまうことが明らかとなった。これを防止するにはコストの内部化に加え、発展途上国への資金援助が必要である。資金援助は二国間のODA、各国の制度金融、世界銀行、NGOの支援、そして環境サミットで検討されている国連の新しい機関経由の支援などいろいろルートが考えられるが、やはり先進国から発展途上国への純粹のビジネス・ベースの投資が自由貿易、自由な資金の移動という歴史が証明してきた事実からして中心となるべきものであろう。

石炭と天然ガスの比較

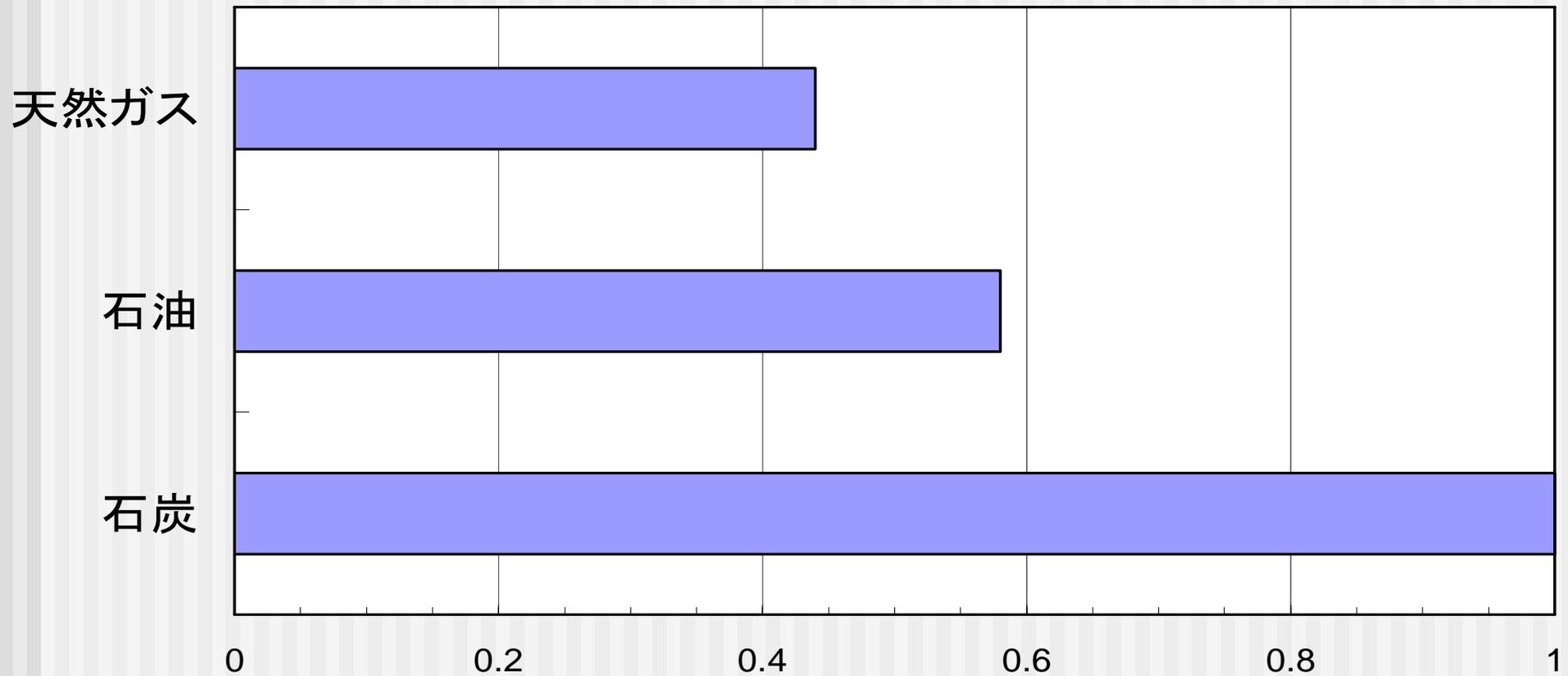
天然ガス



メタンハイドレート



同じエネルギーを得るために必要な CO₂排出量



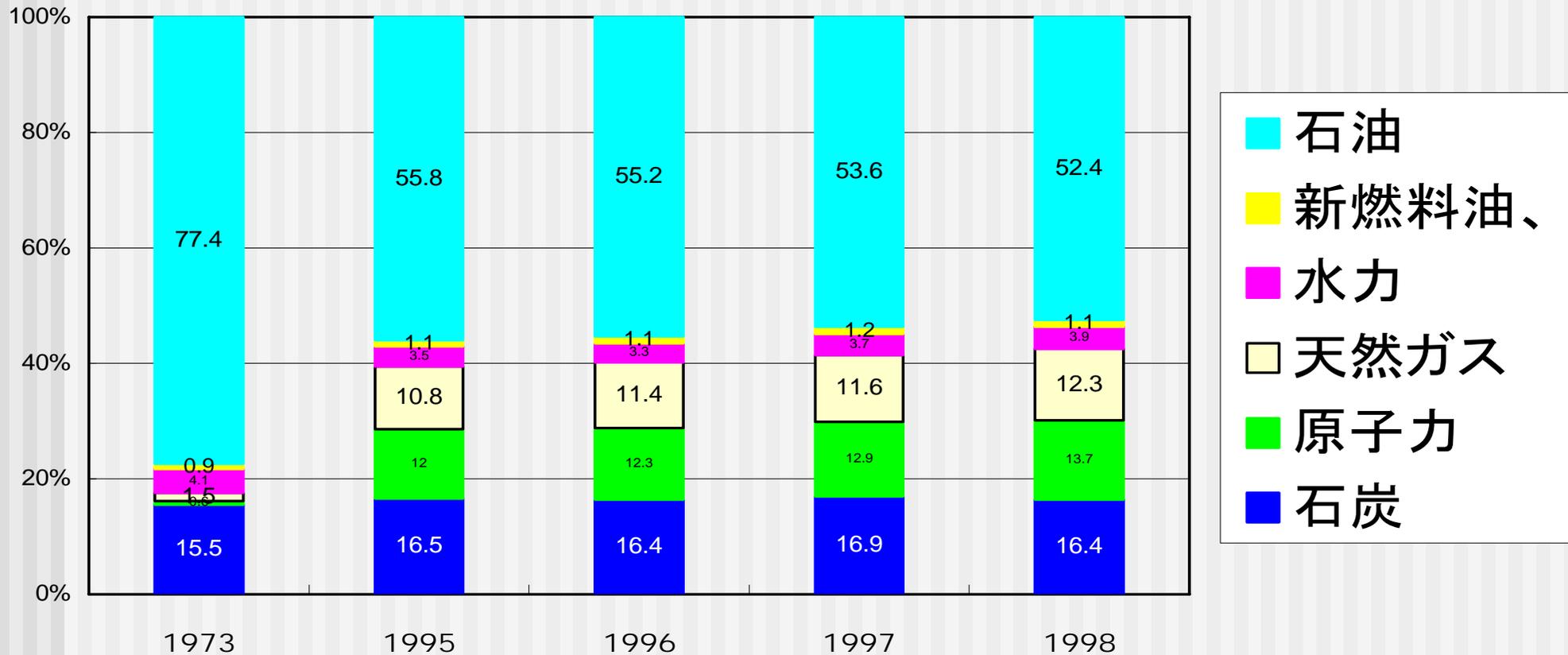
燃料別CO₂排出量

(g/km)

	ガソリン車	ディーゼル車	電気自動車	天然ガス車	ハイブリッドガソリン車	ハイブリッドディーゼル車	メタノール車
走行時	68.5	57.7	0.0	43.4	59.6	50.1	61.7
燃料製造時	13.3	9.3	34.0	9.9	11.6	8.1	38.0
合計	81.8	67.0	34.0	53.3	71.2	58.2	99.7

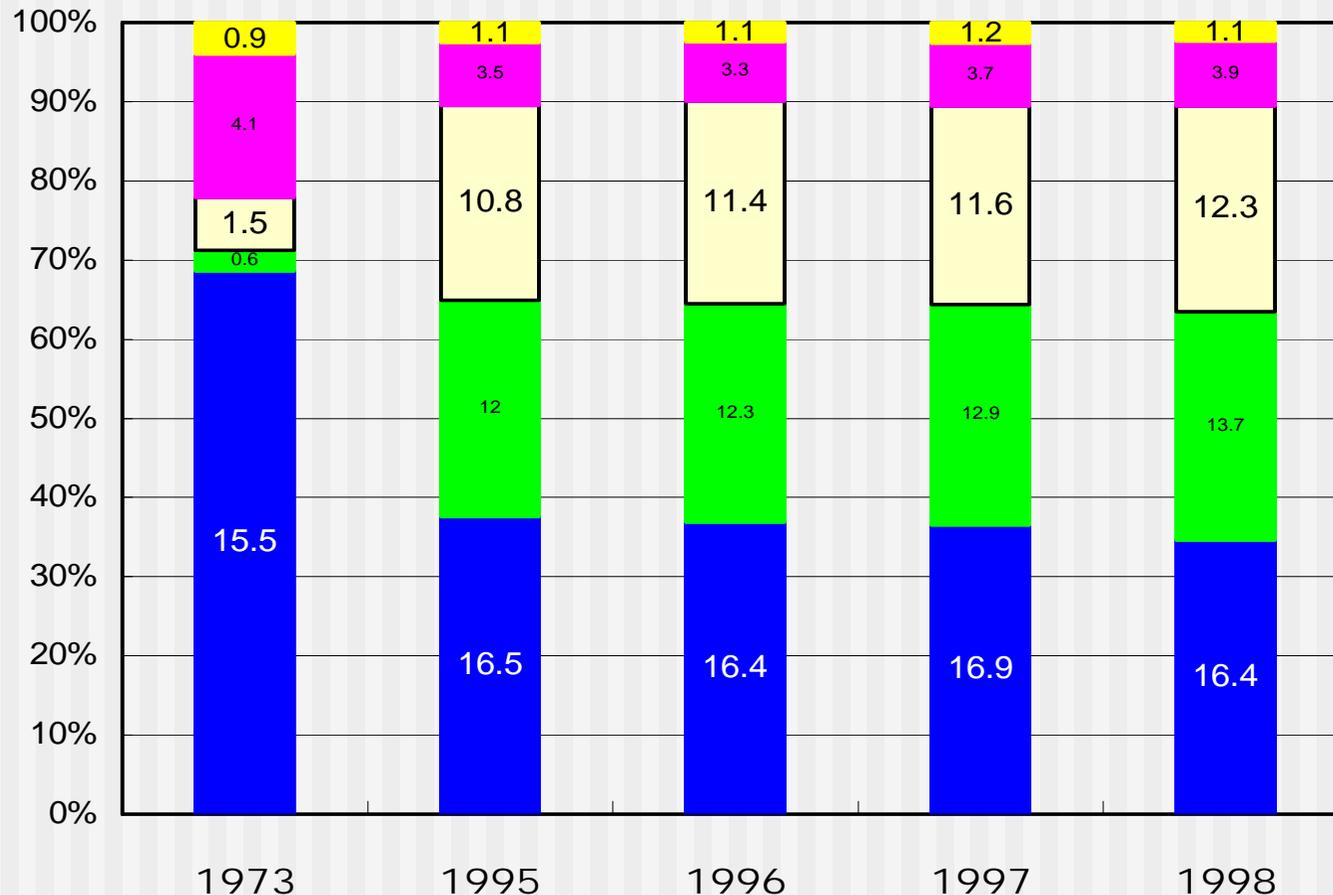
1990年環境庁推算

石油代替エネルギーの寄与率



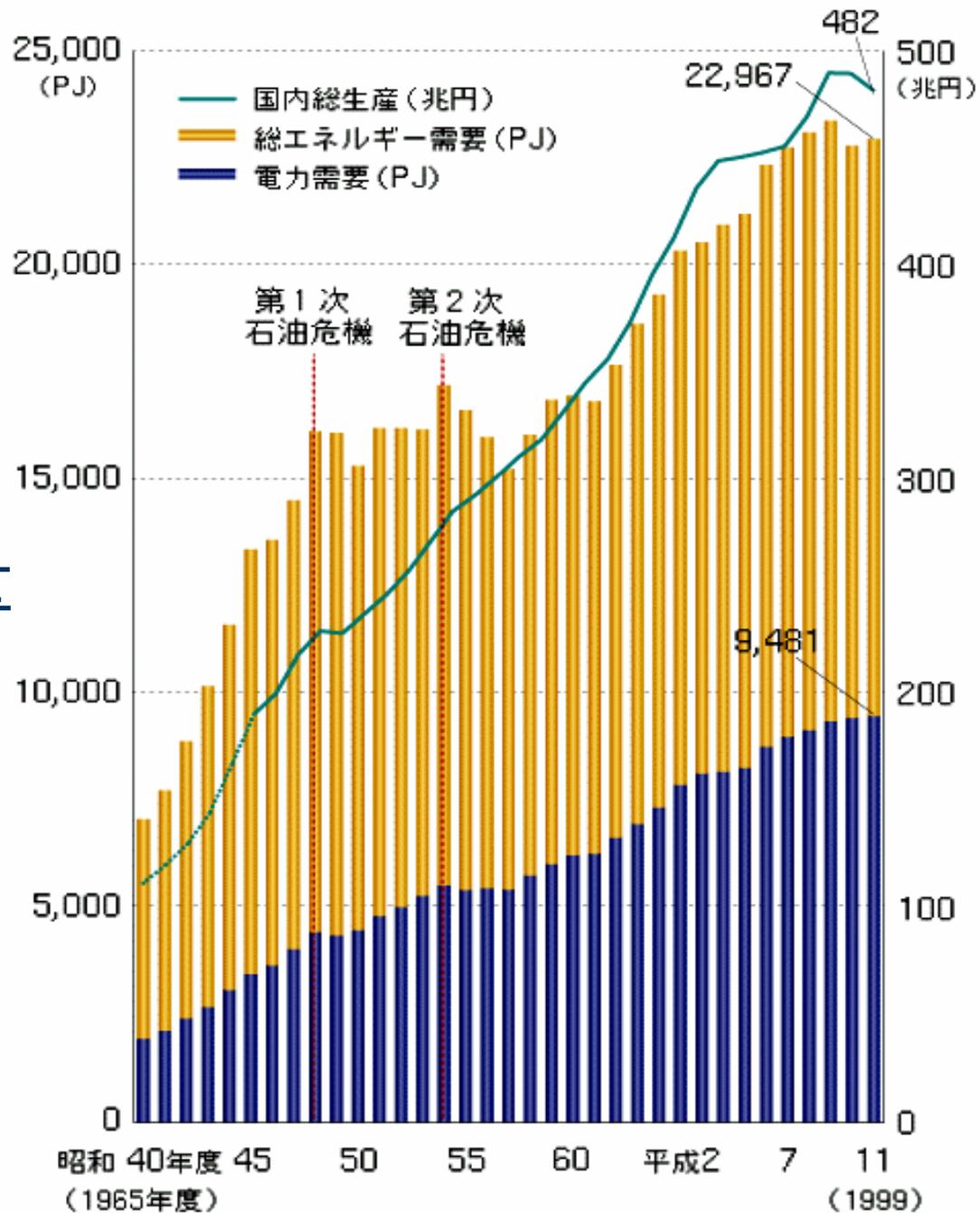
石油代替エネルギーの寄与率

(除・石油)



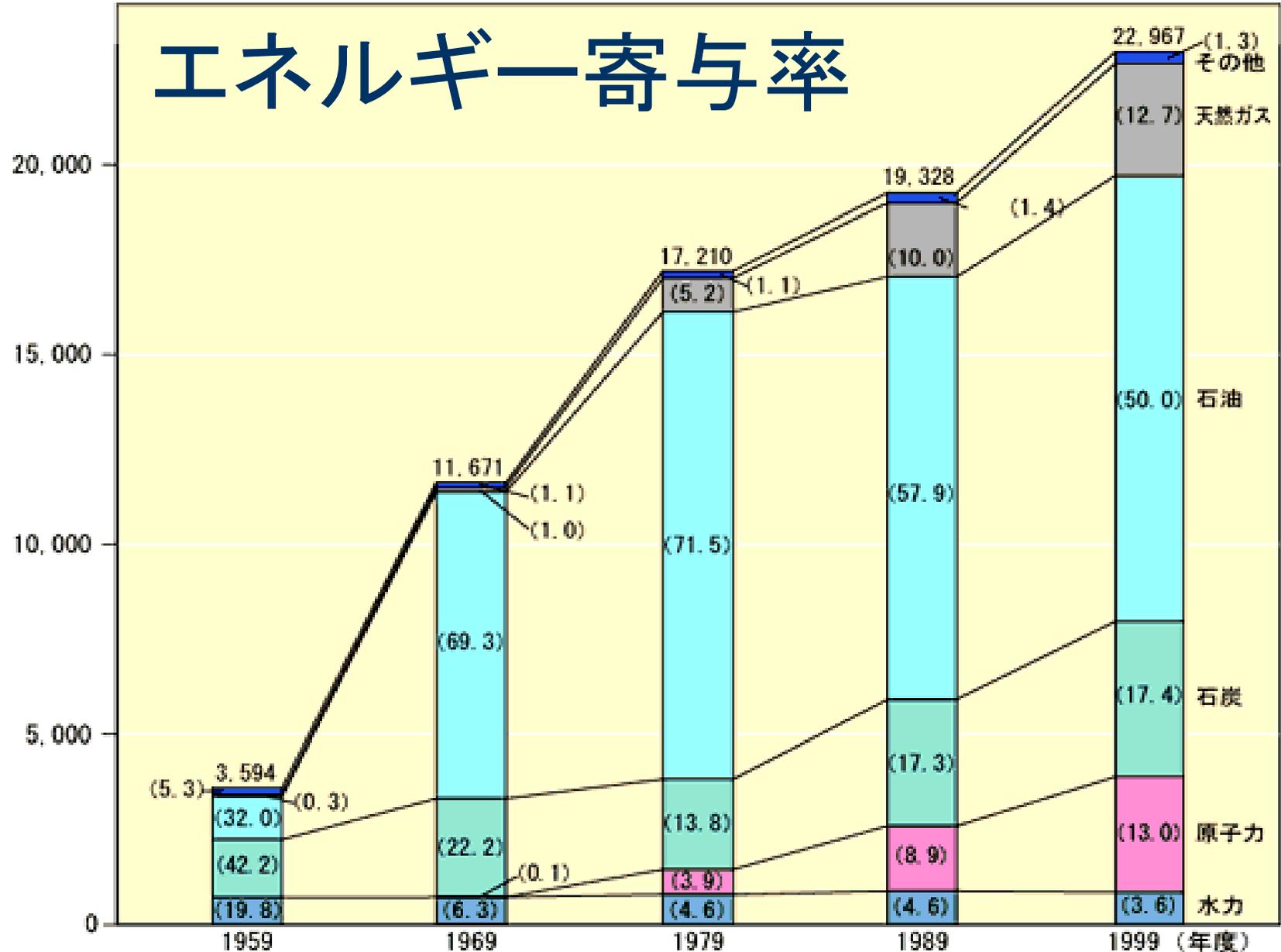
- 新燃料油、
- 水力
- 天然ガス
- 原子力
- 石炭

エネルギー消費量



単位：10¹⁵J、()内は構成比(%)

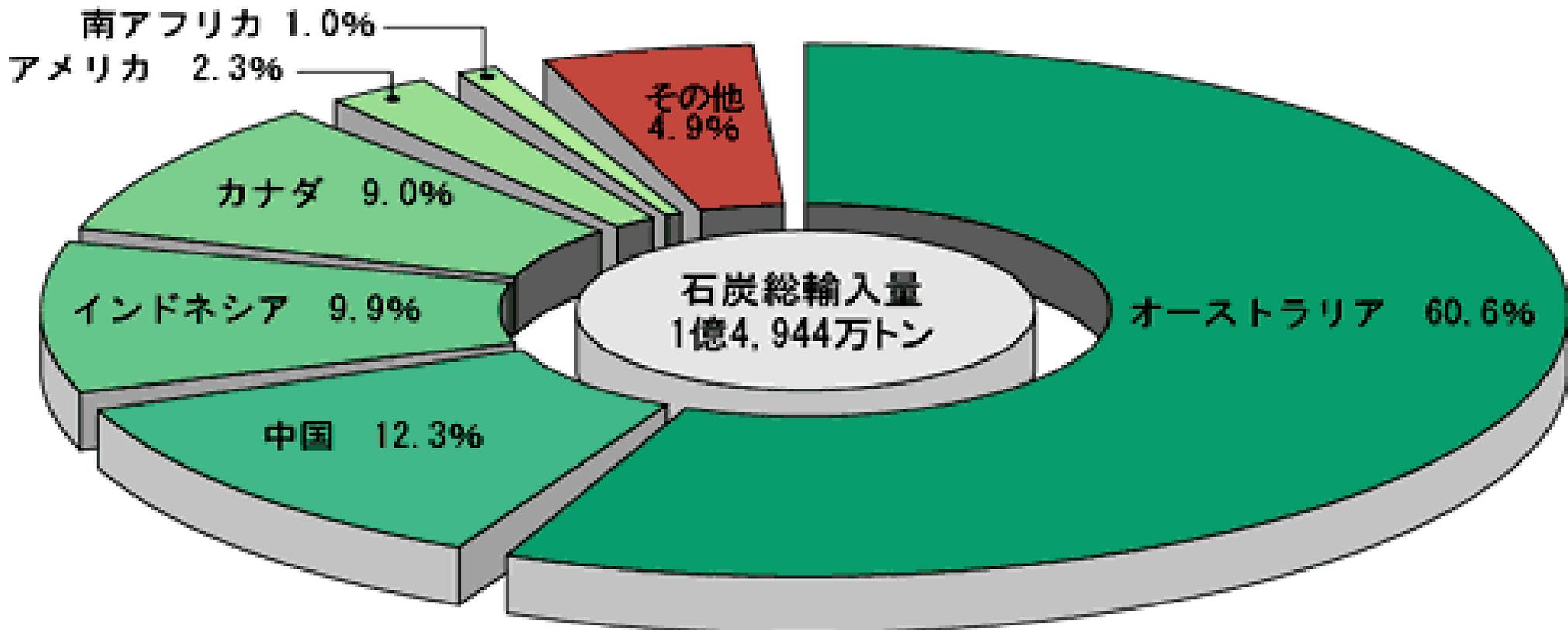
エネルギー寄与率



(注) %の合計が100に合わないのは四捨五入の関係

出所：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

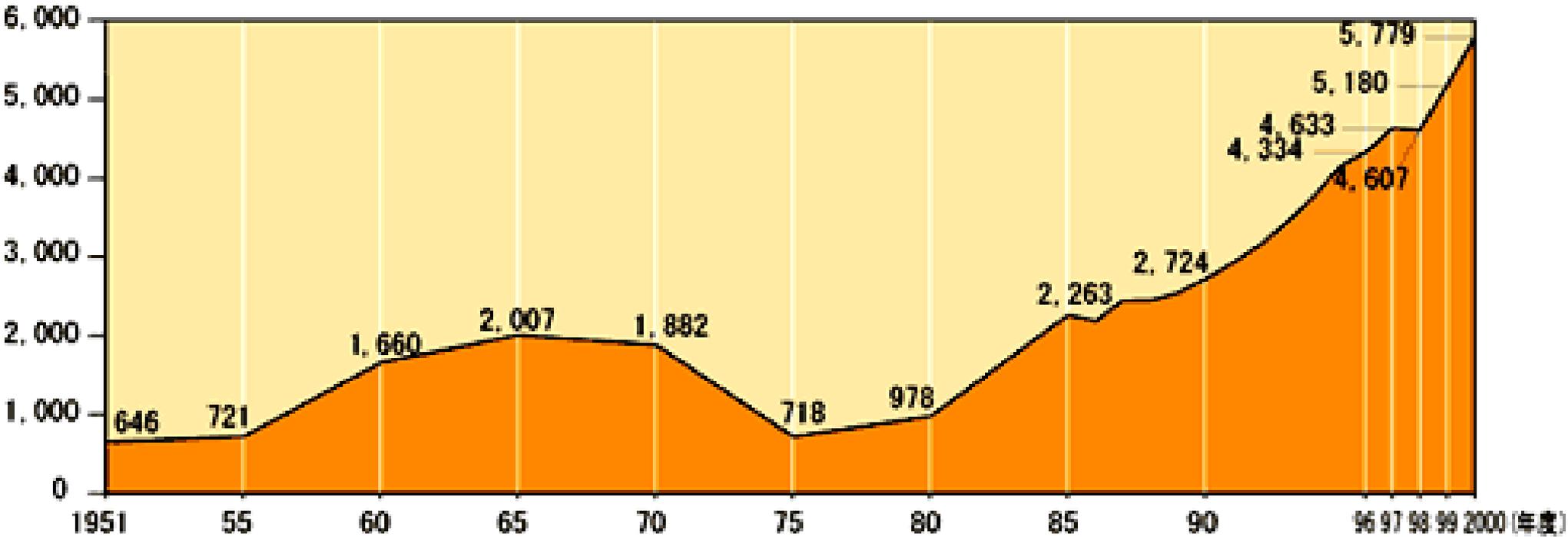
石炭輸入先 (1999)



出所：「エネルギー生産・需給統計年報」

石炭輸入力

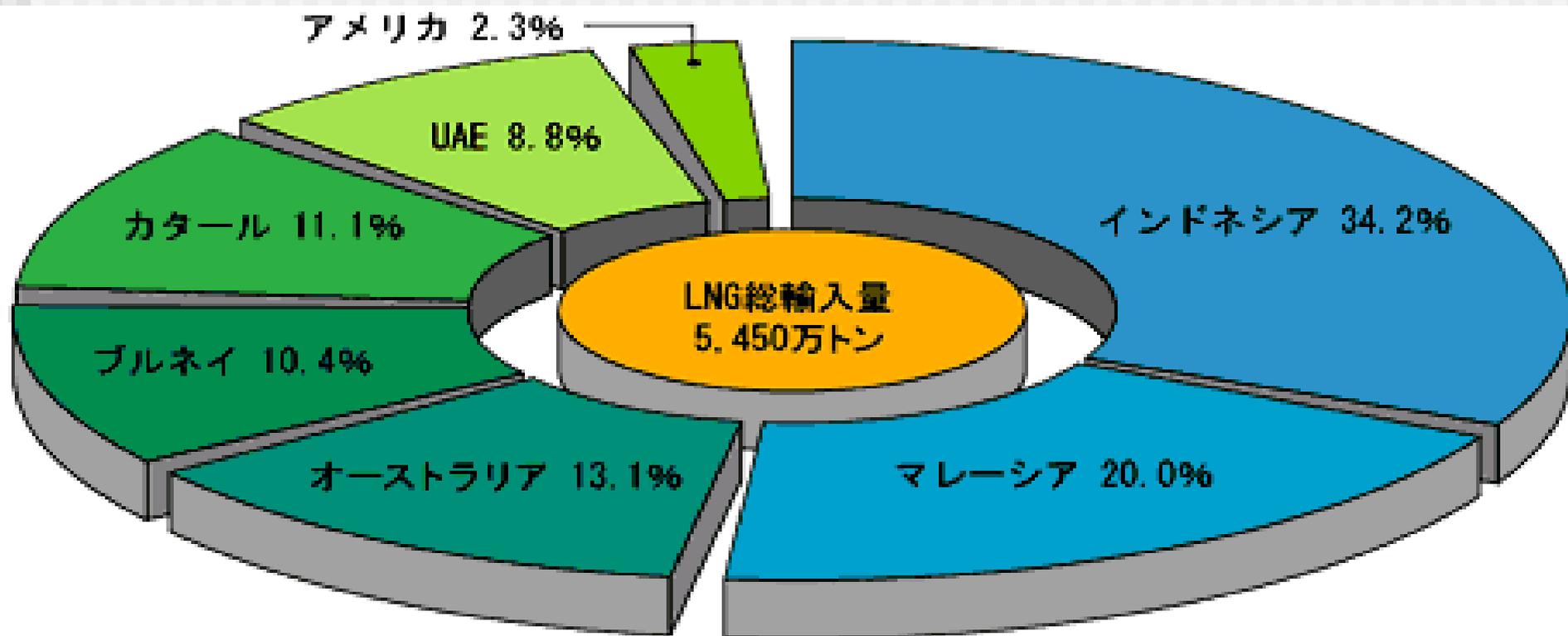
単位：万トン



(注) 10電力会社にその他の電気事業者を加えた実績

出所：「電気事業便覧」

天然ガス(LNG)輸入先 (1999)

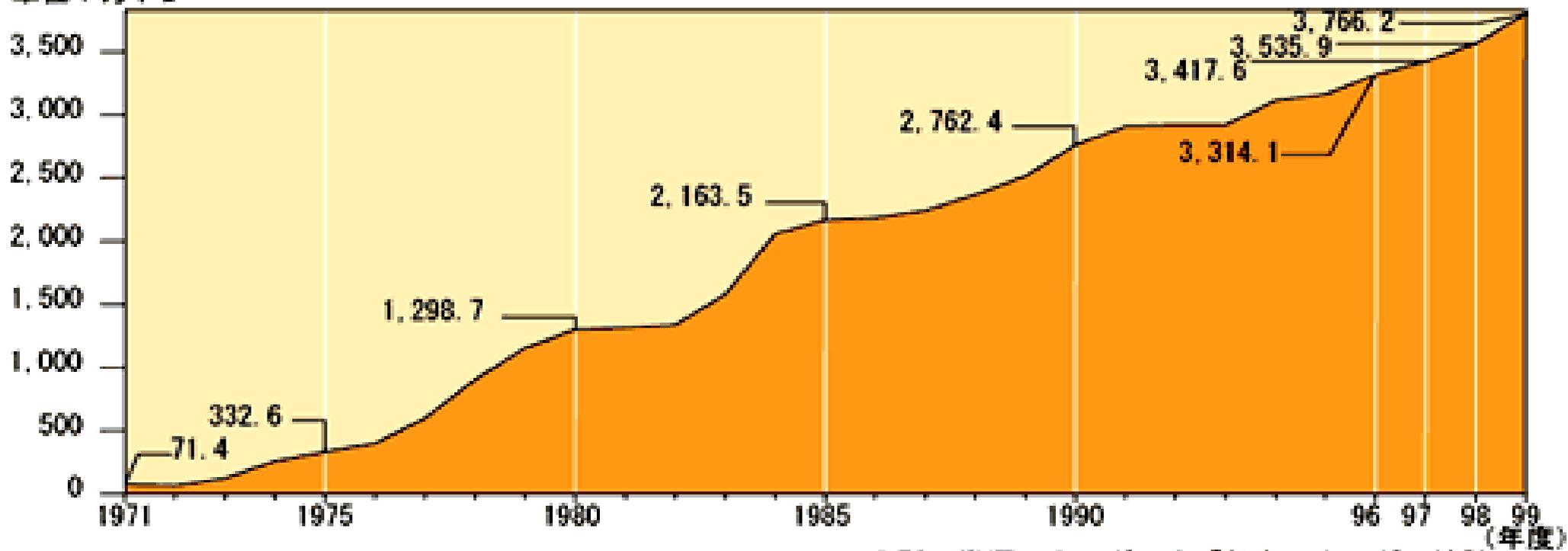


(注) %の合計が100に合わないのは四捨五入の関係

出所：「エネルギー生産・需給統計年報」

天然ガス(LNG)輸入量

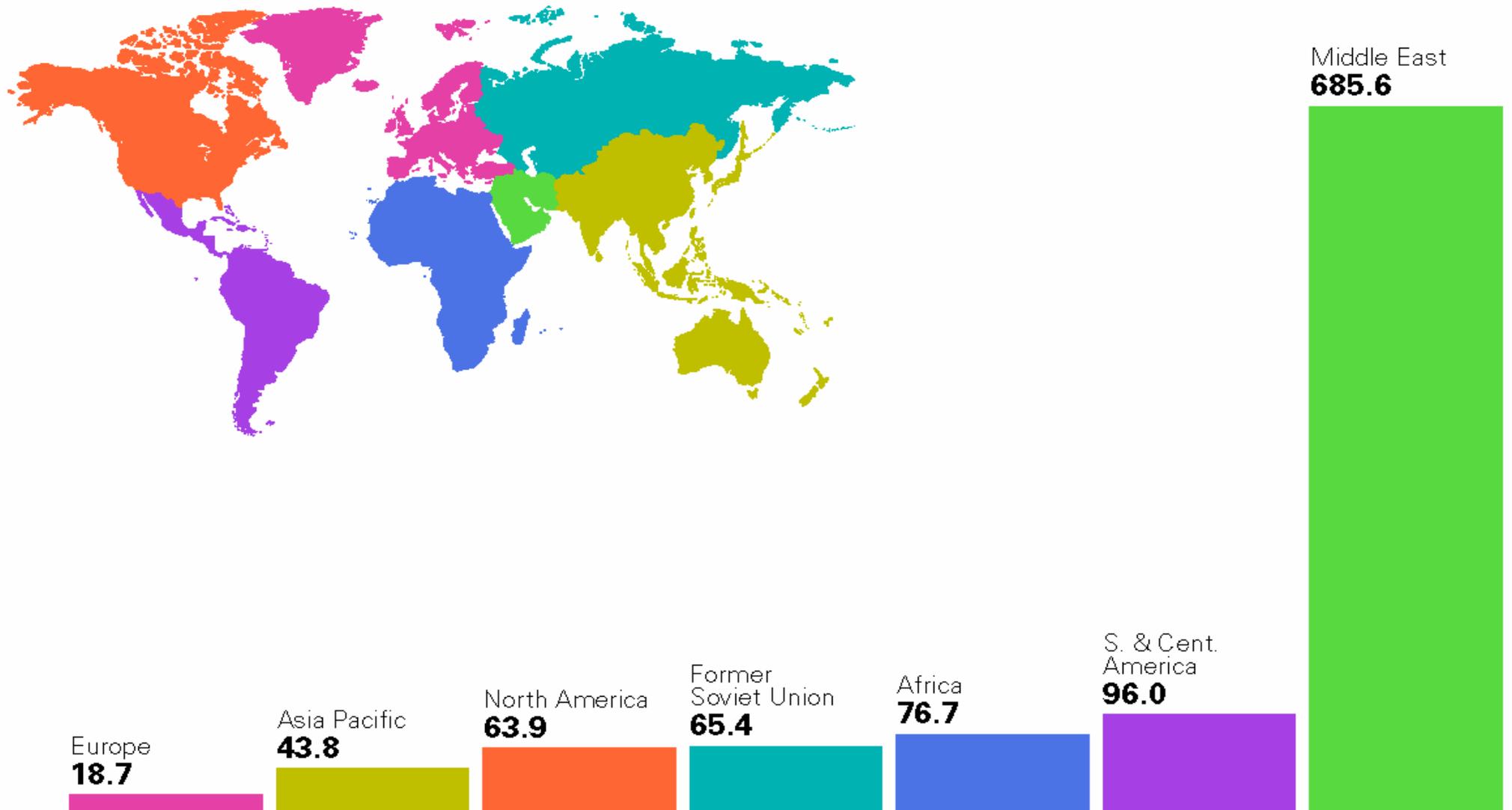
単位：万トン



出所：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

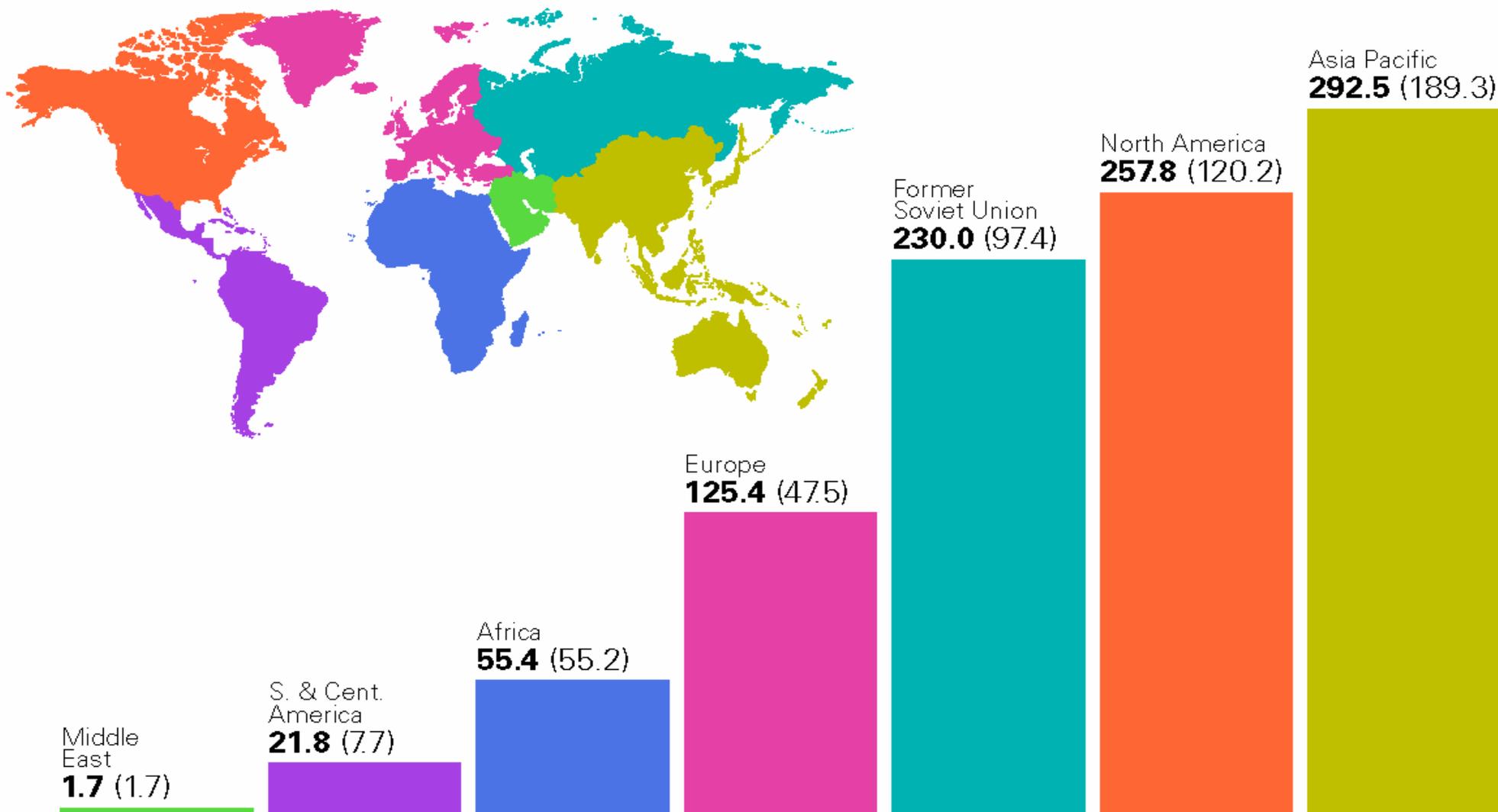
proved reserves at end 2001

Thousand million barrels



proved reserves at end 2001

Thousand million tonnes (share of anthracite and bituminous coal is shown in brackets)

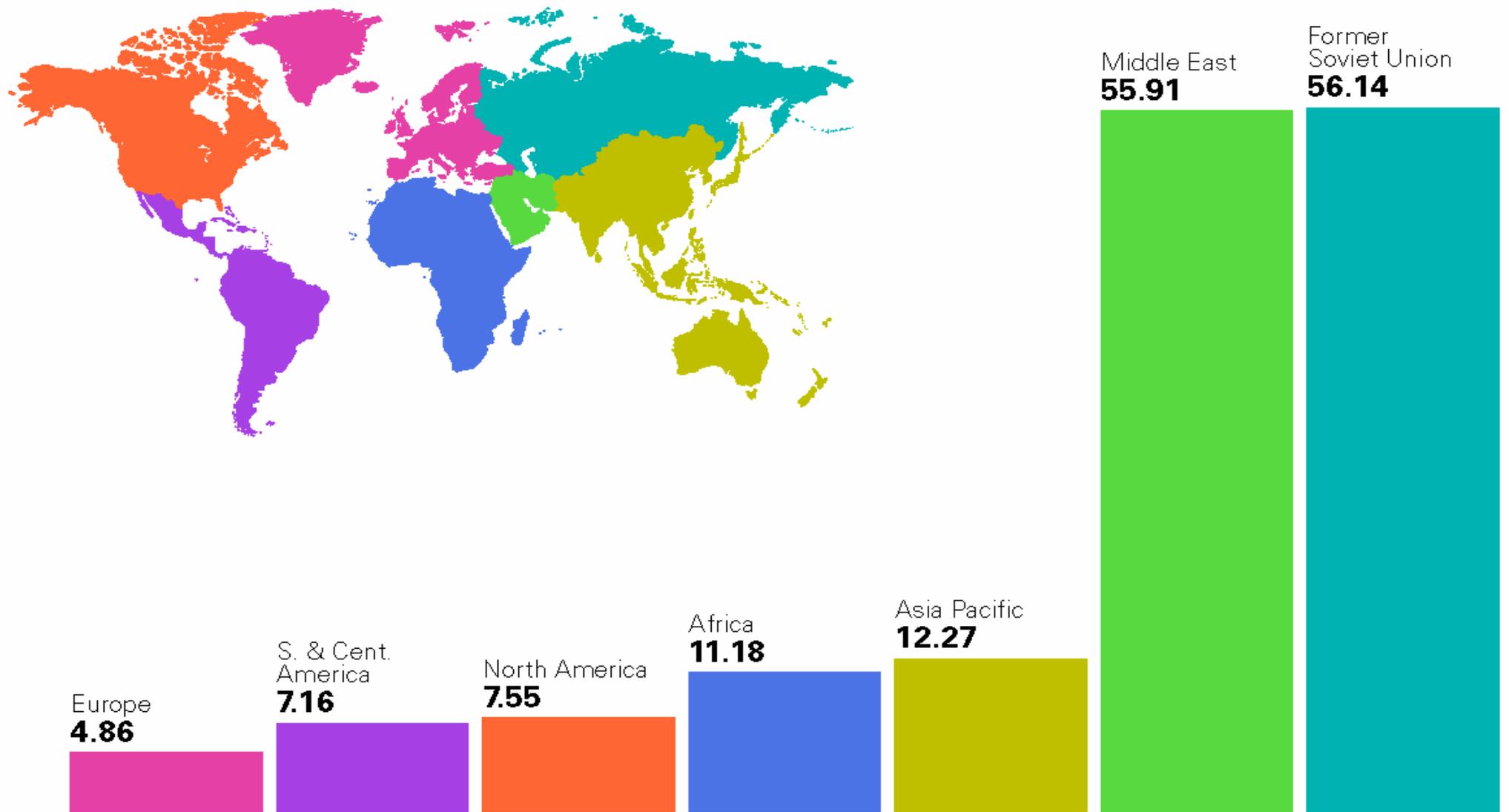


天然ガスの産出国

BP 2002

proved reserves at end 2001

Trillion cubic metres

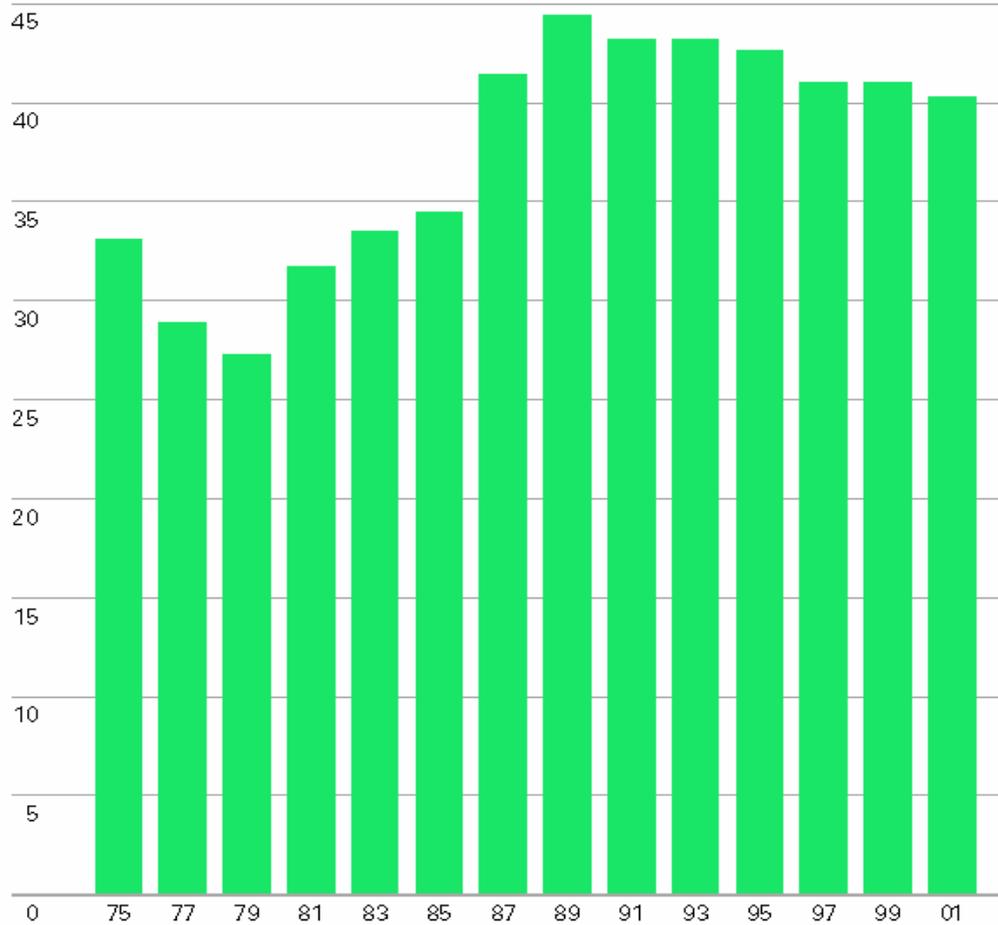


石油のR(可採埋蔵量)/P(生産量)

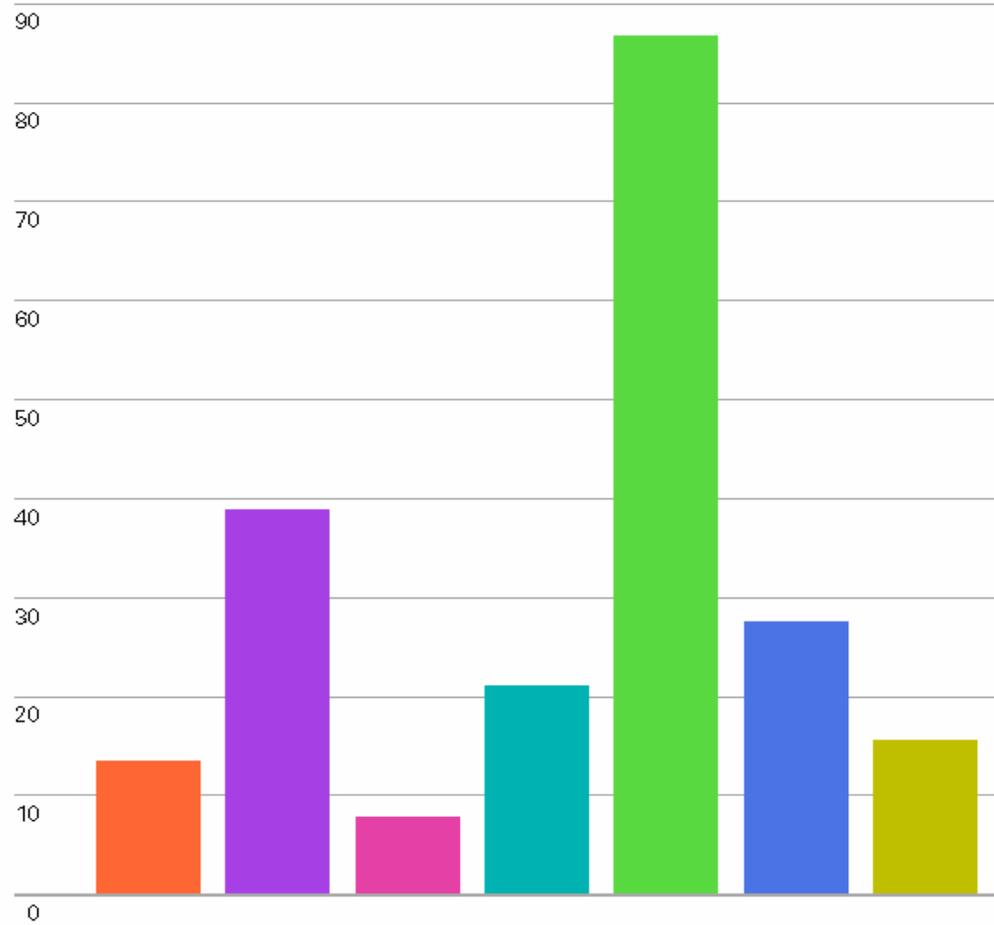
BP 2002

R/P ratios

World – Reserves to production ratio



2001 by area – Reserves to production ratio



World North America S. & Cent. America Europe Former Soviet Union Middle East Africa Asia Pacific

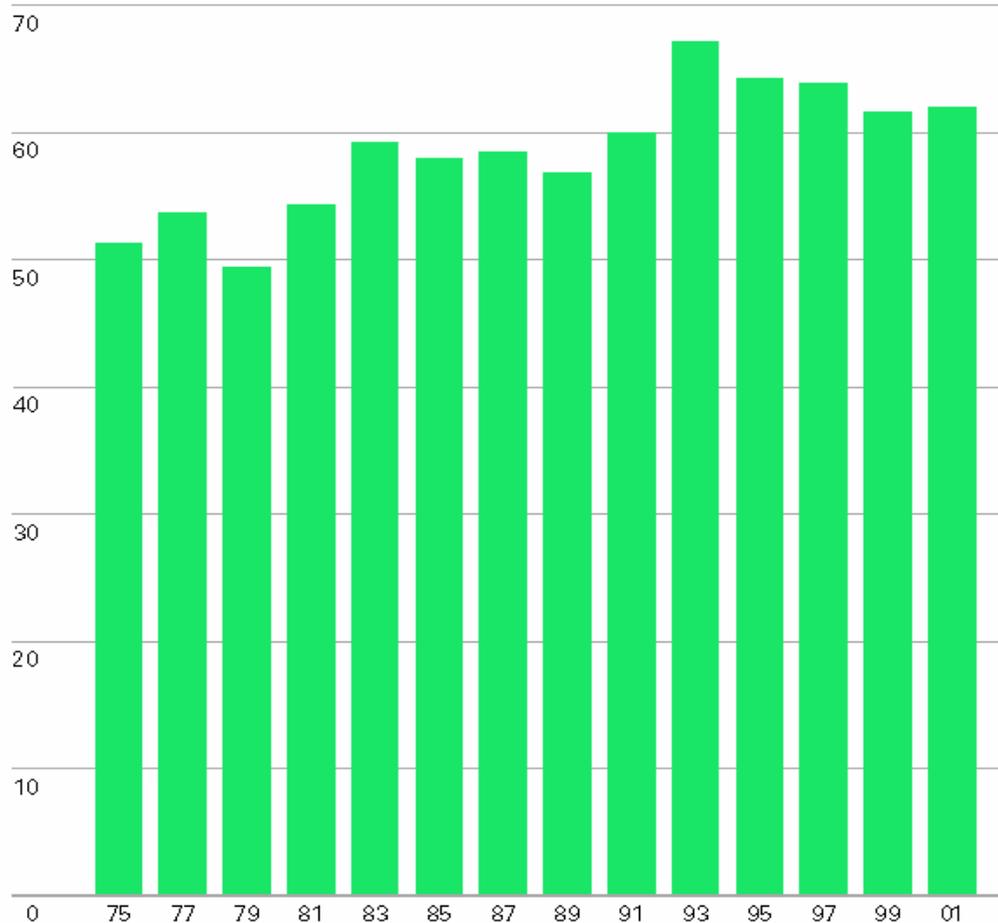
The world's oil R/P ratio increased in 2001 as global oil production fell slightly and reserves increased modestly. However, at 40.3, the R/P ratio was still somewhat down on the 43.2 years of a decade ago.

天然ガスのR(可採埋蔵量)/P(生産量)

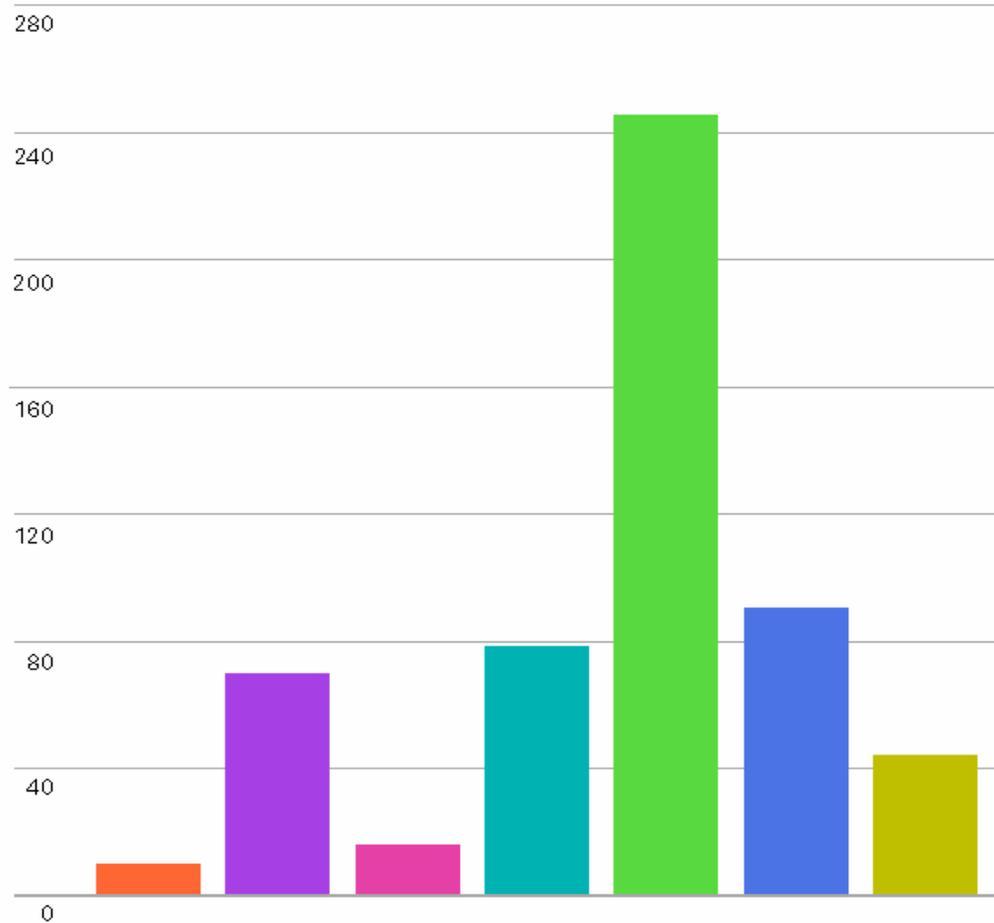
BP 2002

R/P ratios

World – Reserves to production ratio



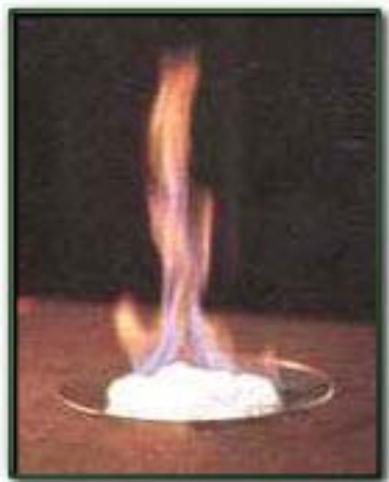
2001 by area – Reserves to production ratio



World North America S. & Cent. America Europe Former Soviet Union Middle East Africa Asia Pacific

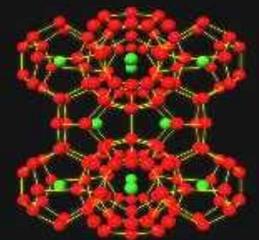
The world's gas R/P ratio increased to 61.9 at the end of 2001, leaving it two years higher than a decade earlier. Large reserve increases in major LNG exporting countries (Indonesia, Qatar and Australia) outweighed a 1.7% increase in global production.

石炭は216年



メタンハイドレートの資源量

- 1988年Kvenvolden 原始資源量=17,600兆 m^3
 - 国際深海掘削計画等の調査データ
- 1998年Kvenvolden 原始資源量=21,000兆 m^3
- 在来型天然ガス総可採資源量=350兆 m^3
- 過去140年間の在来型天然ガス消費量=74兆 m^3
- 原油=約1,350億kl(熱量等価天然ガス量144兆 m^3)

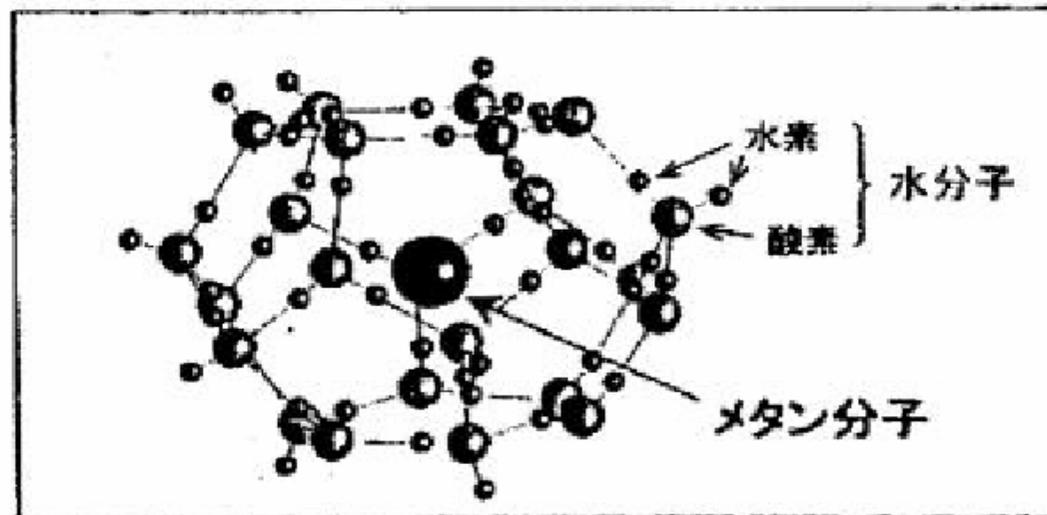


メタンハイドレートの特徴

(1)低温高圧の条件下で、水分子の結晶構造の中にメタン分子が取り込まれた氷状の固体物質

理論化学式 $\text{CH}_4 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O}$

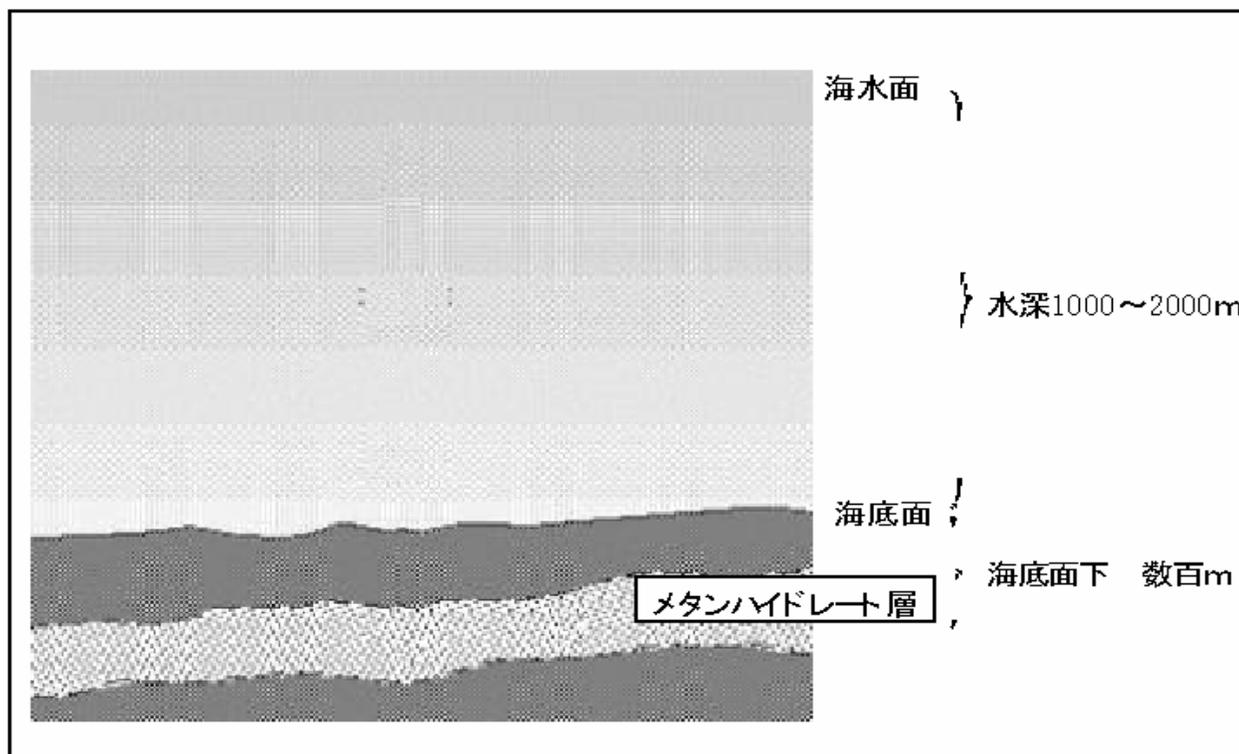
1m^3 のメタンハイドレート（結晶構造の空間に完全に隙間なくメタンが取り込まれている場合）を分解すると、水 0.8m^3 とメタンガス 172m^3 （大気圧下、 0°C ）が得られる。



メタンハイドレートの結晶構造

メタンハイドレートの特徴

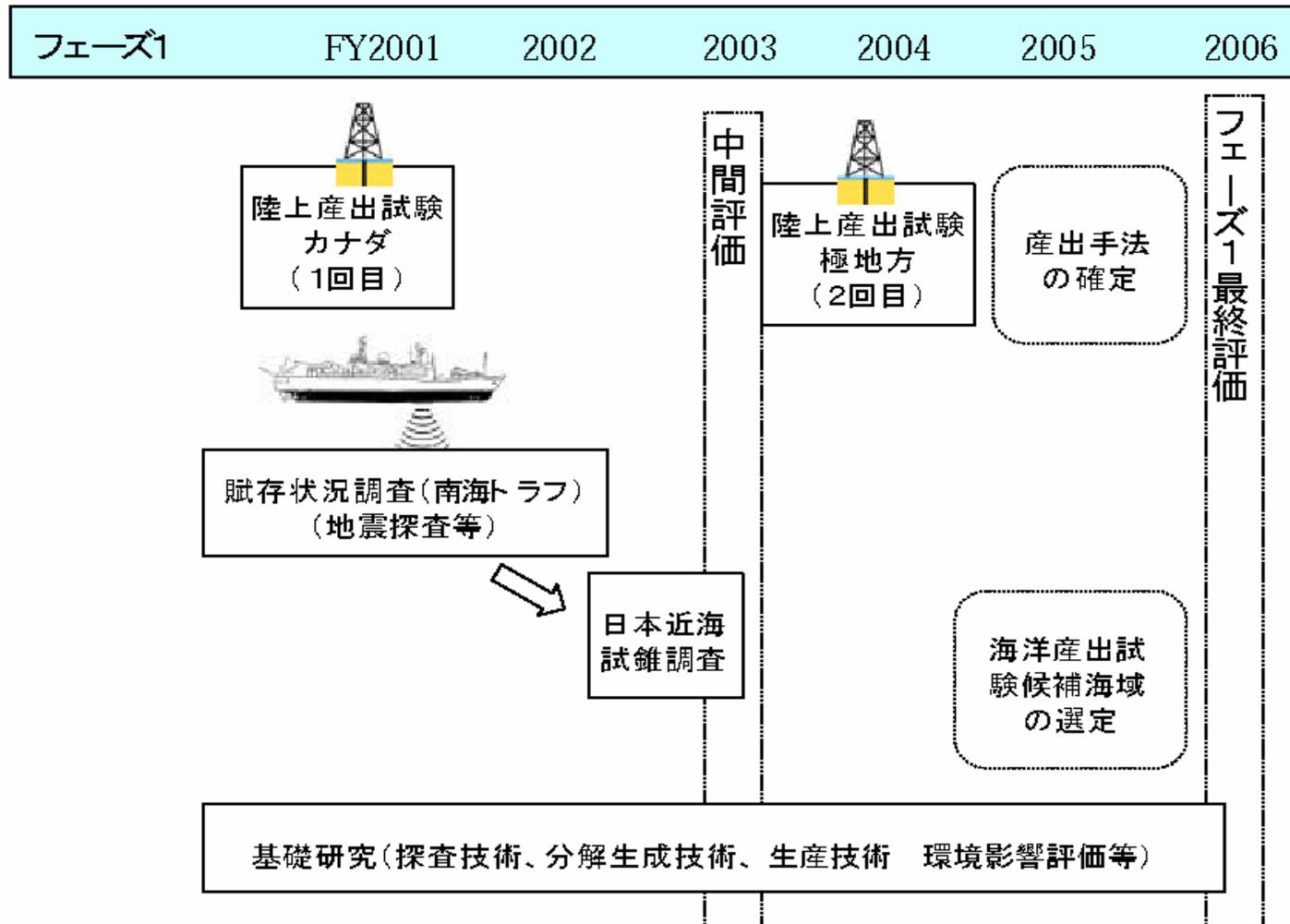
- (2) 陸域では高緯度地域の凍土下部、海域では水深の深い海域の海底下に賦存
(海底面からは数百mであり、石油・天然ガスよりも浅部に存在している。)



日本のメタンハイドレート分布



メタンハイドレート開発計画



メタンハイドレート開発計画

フェーズ2 FY2007 2011



海洋産出試験
(日本近海)
経済性評価
環境影響評価
等

フェーズ2最終評価

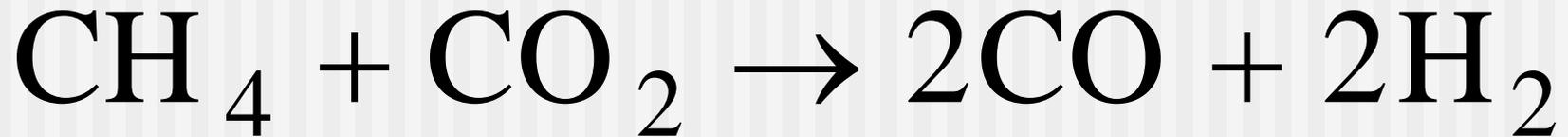
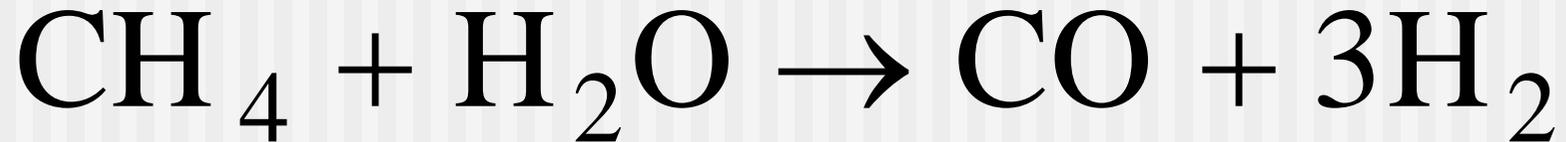
フェーズ3 FY2012 2016

商業的産出準備
総合評価(経済性、
環境影響等)

最終評価

合成燃料

天然ガス改質反応



水蒸気改質では水素リッチな合成ガスとなる
CO₂改質では、H₂/CO=1の合成ガスとなる

合成燃料(化学反応式)

オレフィン



アルコール



合成燃料製造に必要な合成ガス

- H_2/CO 比は副生 CO_2 ガス生成量に依存
- 低 H_2/CO は炭化度が高い化石燃料からの方が製造しやすい
- 石炭のガス化によって得られる合成ガスからの合成燃料製造は CO_2 を副生する触媒系が有利
 - Mo-Co系など水性ガスシフト活性を持つ触媒

合成燃料の実用化例

オクタン価向上剤

オクタン価向上剤

- MTBEの代替品
 - MTBE (Methyl-Tertiary-Butyl-Ether; $\text{CH}_3\text{OC}(\text{CH}_3)_3$) は、メタノールとイソブチレンから製造している。環境汚染問題が深刻。
- 混合アルコールが適当
- メタノールでは相分離が起こるのでダメ

混合アルコール合成

- メタノールとは違う視点での利用法
 - オクタン価向上剤＝ガソリンに混ぜて使用
- C₂以上のアルコールが必要
 - 相分離、ベーパーロック現象を避ける
- 触媒設計
 - C-C結合、CO挿入、水素化
 - 相反する触媒機能が要求される

混合アルコール合成触媒

- 主流はMoS₂系触媒
 - 高い安定性、高いC₂₊アルコール選択性

表2 代表的なC2以上のアルコール合成触媒—触媒活性の比較— (1990年まとめ)

触媒	反応温度 °C	圧力 MPa	収量 (g · l - catalyst ⁻¹ · h ⁻¹)				会社名
			メタノール	エタノール	C ₃ 以上のアルコール	炭化水素	
Cu/Co/Cr/K	250	6.0	76	125	114	?	IFP
Cu/Ni/Ti/Na	299	6.0	120	95		65	出光
Co-Ba-Re/SiO ₂	275	8.0	10	33	12	?	Hoechst
Co-MoS ₂	295	10.5	39	70	29	22	Dow
Mo-KCl/SiO ₂	300	5.0	97	53	32	53	筆者ら

アルコール混合ガソリン

- 出光ゼアスなど
 - メタノール+MTBEを混合
- 混合アルコールは実用化されていない
 - なぜか？

アルコール類の自動車用燃料としての一般的特徴

- 1. 含酸素(分子に酸素を含む)
 - 一酸化炭素(CO)、すす(黒煙)の排出が少ない
 - 排出ガスの光化学反応性が低い
 - アルデヒドを生成しやすい
- 2. 高オクタン価、低セタン価
 - 火花点火エンジンに適しているが、圧縮着火エンジンには適さない
- 3. 硫黄分が少ない
 - 排出ガス浄化触媒の性能維持、硫黄酸化物(SO_x)排出が少ない

アルコール類の自動車用燃料としての一般的特徴

- 4. 発熱量が小さい
 - 燃費(燃料の容量あたりの走行距離)が悪い
- 5. 蒸気圧が低い
 - 冷間時の始動性が悪く、未燃燃料の排出が多くなる
- 6. 材料への影響
 - アルコール種と材料の組み合わせによっては、金属の腐食、ゴムの膨潤、
 - 樹脂の劣化の傾向がある
- 7. 石油代替燃料
 - 天然ガス、石炭、農作物などから製造可能。(石油からも合成可能)

既存のガソリン車に高濃度アルコール含有燃料を使用した場合の影響

■ 1. 排出ガスへの影響

- • 空燃比の希薄化(ガソリン用に設計された車両にアルコール燃料を使用すると、触媒が良好に作動する理論混合比を外れる)
 - → 一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)の減少
 - → 窒素酸化物(NO_x)の増加(アルコールは含酸素燃料であるため、排気ガス中に酸素が残り、NO_xの浄化率が低下する。)
- • アルデヒド排出量の増加
 - * 既存のガソリン車に使用した場合には、NO_xやアルデヒド排出量が増加し、環境改善効果があるとはいえない。

既存のガソリン車に高濃度アルコール含有燃料を使用した場合の影響

■ 2. 燃料供給系材料への影響

- アルコール種と材料の組み合わせによっては、金属の腐食、ゴムの膨潤、樹脂の劣化の傾向がある。
- → 燃料漏れ、インジェクターの詰まりによる始動性・運転性の悪化のおそれ

■ 3. 運転性への影響

- 冷間時の始動性の悪化、運転性(加速性、アイドル安定性など)の悪化

アルコール類の一般性状

	化学種	化学式	融点 ℃	沸点 ℃	密度	オクタン価 RON	発熱量 MJ/kg
アルコール類	メタノール	CH ₃ OH	-98	65	0.793	133	20
	エタノール	C ₂ H ₅ OH	-115	78	0.789	129	27
	n-プロピルアルコール	C ₃ H ₇ OH	-126	97	0.804	118	30
	イソプロピルアルコール	C ₃ H ₇ OH	-86	83	0.789	—	—
	n-ブチルアルコール	C ₄ H ₉ OH	-90	118	0.810	—	—
	イソブチルアルコール	C ₄ H ₉ OH	-108	108	0.802	—	—
	sec-ブチルアルコール	C ₄ H ₉ OH	-114	100	0.806	—	—
	tert-ブチルアルコール	C ₄ H ₉ OH	26	83	0.789	103	33
	n-ペンチルアルコール	C ₅ H ₁₁ OH	-79	138	0.817	—	—
	イソペンチルアルコール	C ₅ H ₁₁ OH	-117	132	0.813	—	—
	2-メチル-1-ブタノール	C ₅ H ₁₁ OH	—	128	0.811	—	—
	1-ペンタノール	C ₅ H ₁₁ OH	-79	138	0.814	—	—
	2-ペンタノール	C ₅ H ₁₁ OH	—	120	0.806	—	—
	3-ペンタノール	C ₅ H ₁₁ OH	—	116	0.822	—	—
	1-ヘキサノール	C ₆ H ₁₃ OH	-46	158	0.816	—	—
	2-ヘキサノール	C ₆ H ₁₃ OH	—	140	0.811	—	—
	3-ヘキサノール	C ₆ H ₁₃ OH	—	135	0.819	—	—
	3-メチル-3-ペンタノール	C ₆ H ₁₃ OH	-24	122	0.829	—	—
	1-ヘプタノール	C ₇ H ₁₅ OH	-34	177	0.819	—	—
	2-ヘプタノール	C ₇ H ₁₅ OH	—	160	0.819	—	—
4-ヘプタノール	C ₇ H ₁₅ OH	-42	155	0.818	—	—	
1-オクタノール	C ₈ H ₁₇ OH	-15	195	0.826	—	—	
2-オクタノール	C ₈ H ₁₇ OH	-32	179	—	—	—	
エーテル類	MTBE	C ₄ H ₉ OCH ₃	-109	55	0.745	116	36
	ETBE	C ₄ H ₉ OC ₂ H ₅	—	92	0.749	118	36
ガソリン	炭化水素の混合物	C _n H _m	—	30~220	0.72~0.76	90~100	43

三元触媒における有害物質の浄化率に及ぼす影響

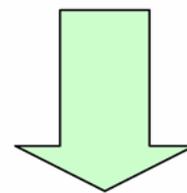
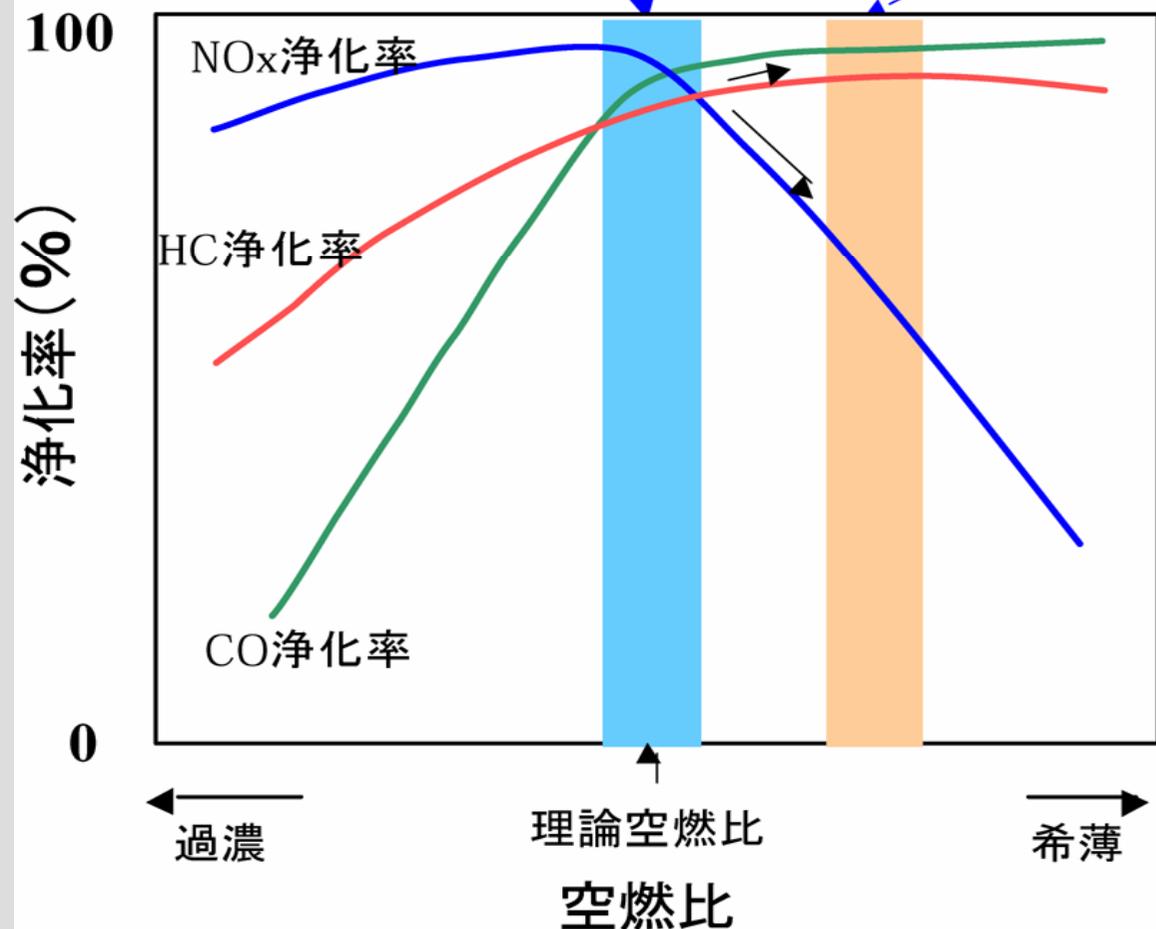
—ガソリン車にアルコール含有燃料を使用した場合—

ガソリン車の運転領域

排出ガス3成分(CO、HC、NO_x)が浄化されるように、理論空燃比付近の狭い空燃比範囲(Window)で運転されている。

ガソリン車にアルコールを使用した場合の運転領域(空燃比の希薄化)

ガソリン自動車にアルコール燃料を使用すると、燃料に酸素が含まれているため、実際の空燃比は理論空燃比より希薄になる。



CO浄化率の上昇 → CO排出量減少
HC浄化率の上昇 → HC排出量減少
NO_x浄化率の低下 → NO_x排出量増加

アルコール専用車では、燃料に合わせて空燃比の制御を設定するため、理論空燃比での運転が可能。

アルコール燃料の環境改善ポテンシャル

— アルコール専用車に使用した場合 —

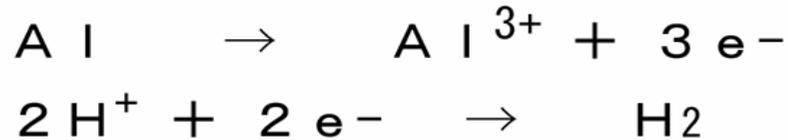
1. 一酸化炭素(CO)が少ない
2. 窒素酸化物(NO_x)が少ない
火炎温度が低いため、エンジン内におけるNO_x発生量が少ない
3. 光化学反応性が低い
大気中におけるオゾン生成の低減
4. 硫黄分が少ない
排出ガス低減触媒の性能維持、硫黄酸化物(SO_x)排出が少ない
5. すず(黒煙)が発生しにくい(ディーゼル比)
6. アルデヒド排出量の増加(残された開発課題)

アルコール燃料は、アルコール専用車に使用することにより、環境改善ポテンシャル(低公害燃料としての特性)が発揮される。

アルミニウムの腐食、耐食性

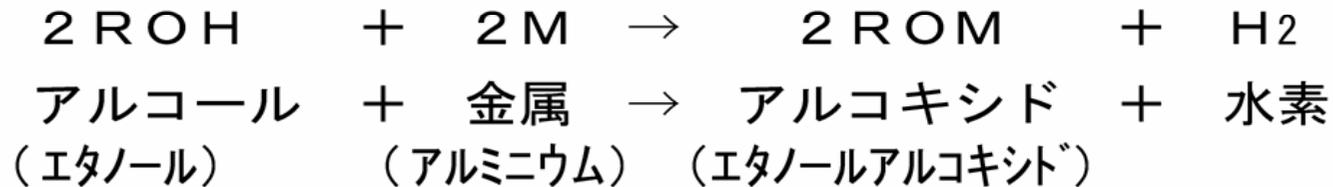
1. アルミニウムの腐食の例

(1) 異種金属接触腐食



- 水の混入により促進する。

(2) アルコールによる金属腐食の例



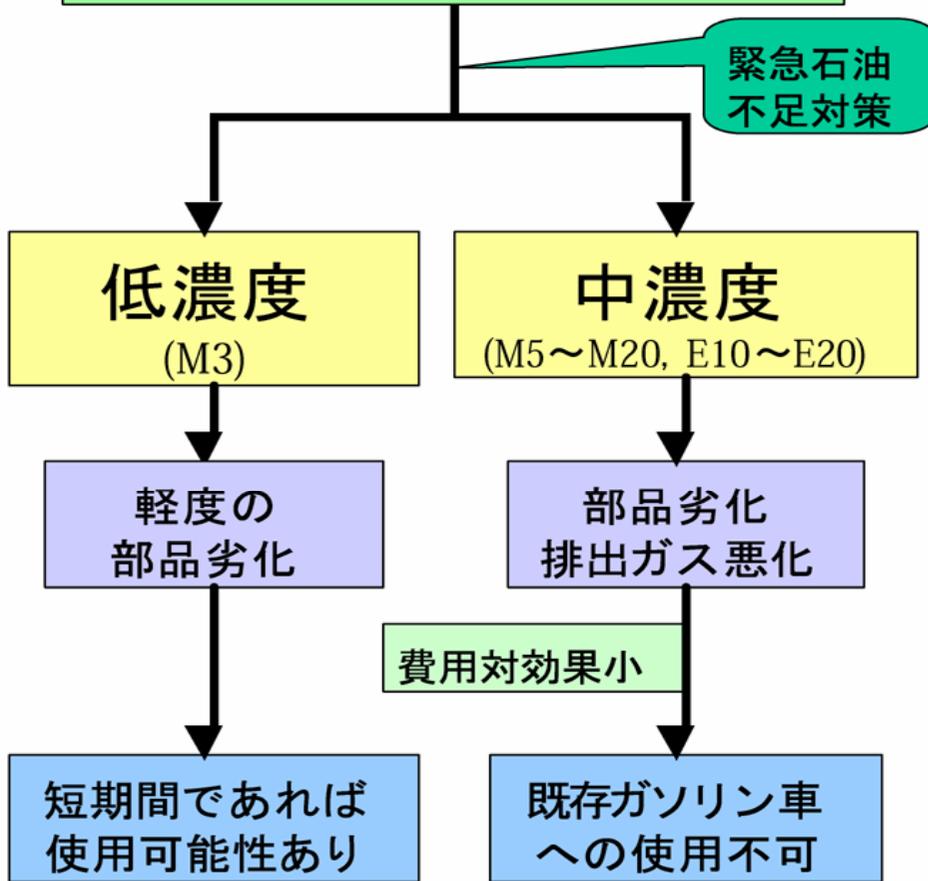
- 水の混入により抑制される。
- 高温になるほど反応速度は上昇する。

2. アルミニウムの耐食性

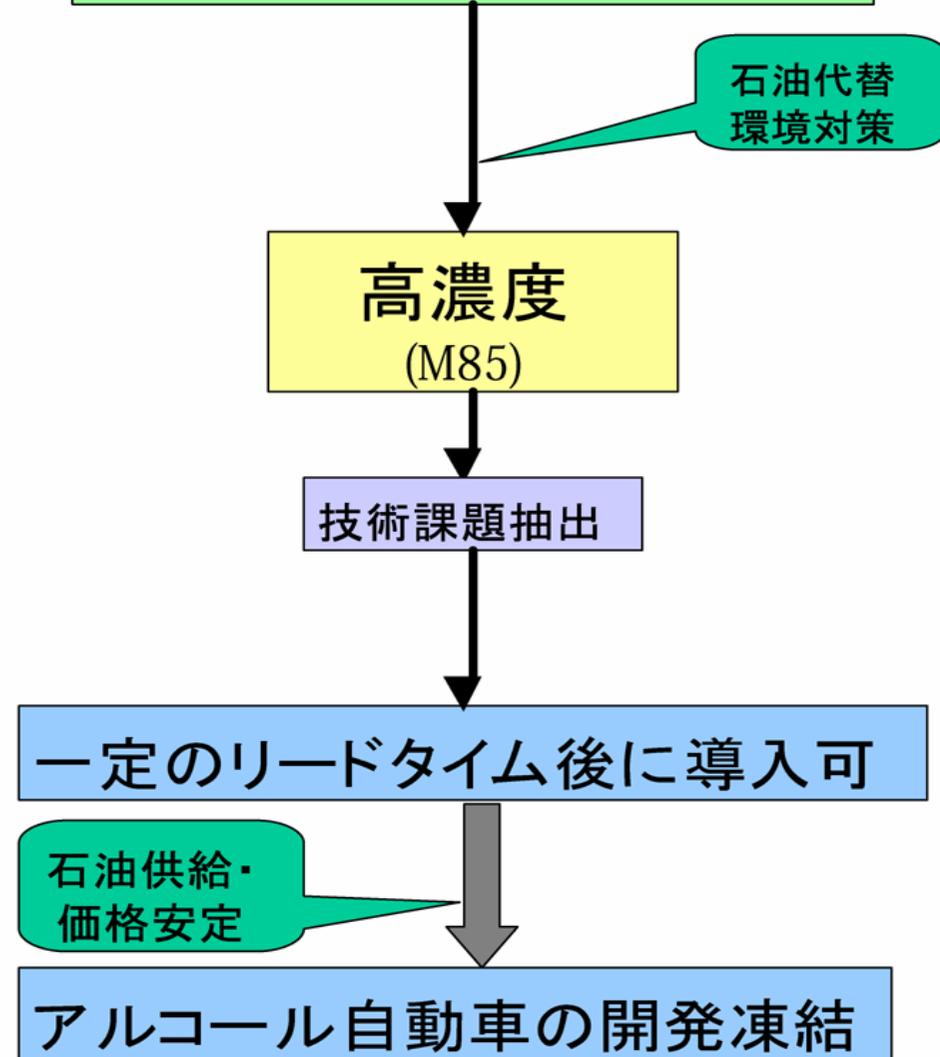
- ガソリン:耐食性は良好
- メタノール:腐食性あり
- エタノール:腐食性あり

アルコール燃料の実用化に関する実用性評価研究

既存ガソリン車への使用



将来のメタノール専用車



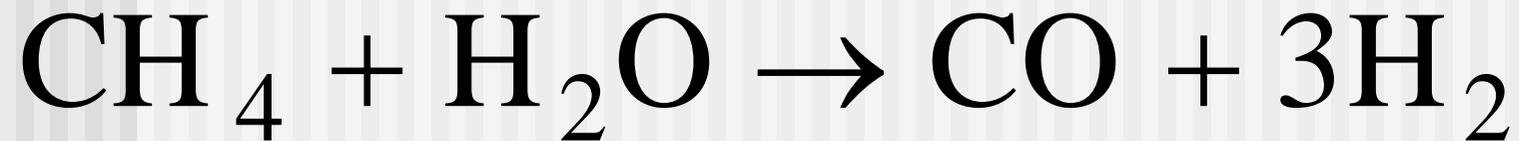
高濃度アルコール燃料の
既存ガソリン車への適合性調査

合成燃料の実用化例

ジメチルエーテル(DME)

ジメチルエーテル

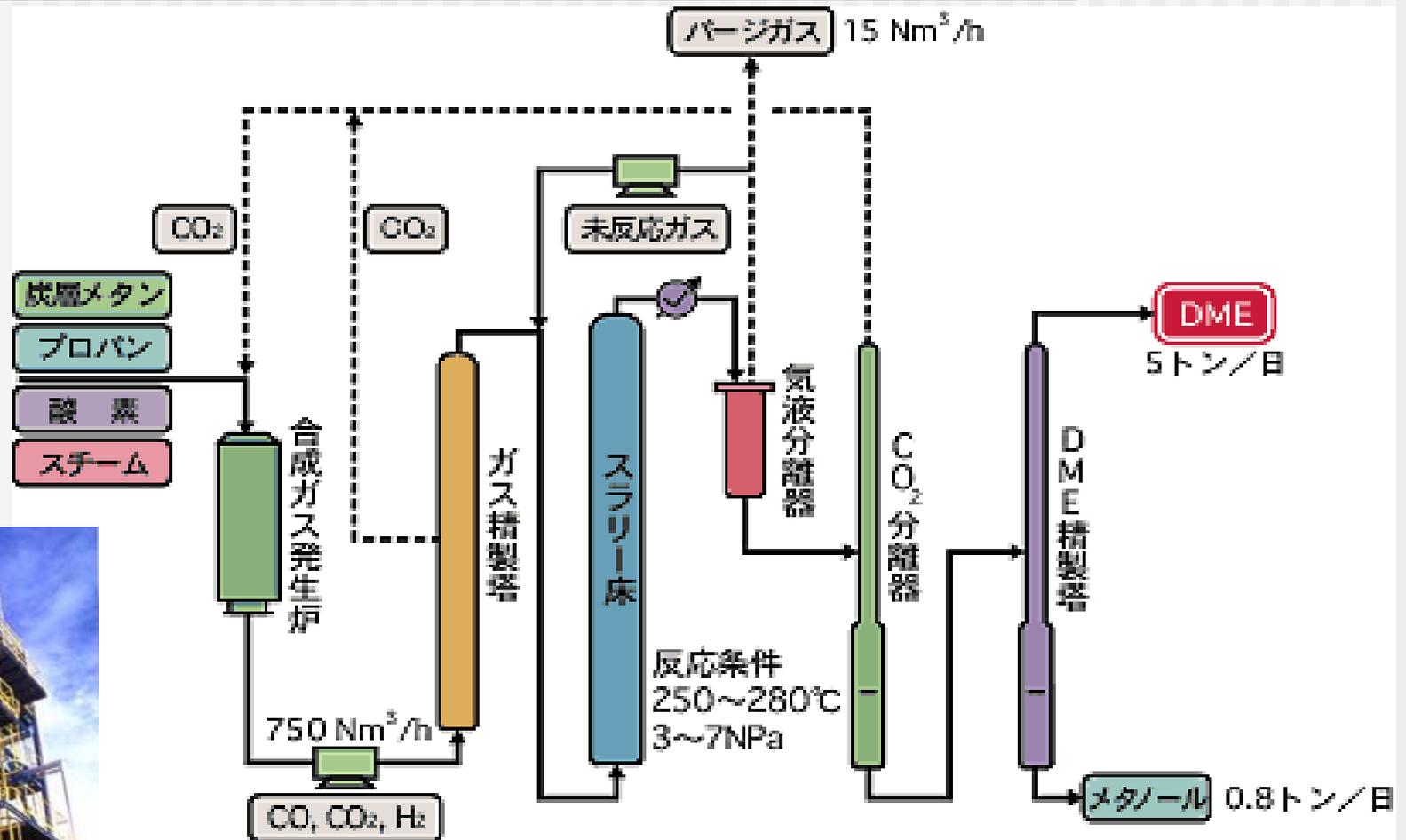
メタン改質による合成ガス生成



ジメチルエーテル合成



釧路のDME合成パイロットプラント



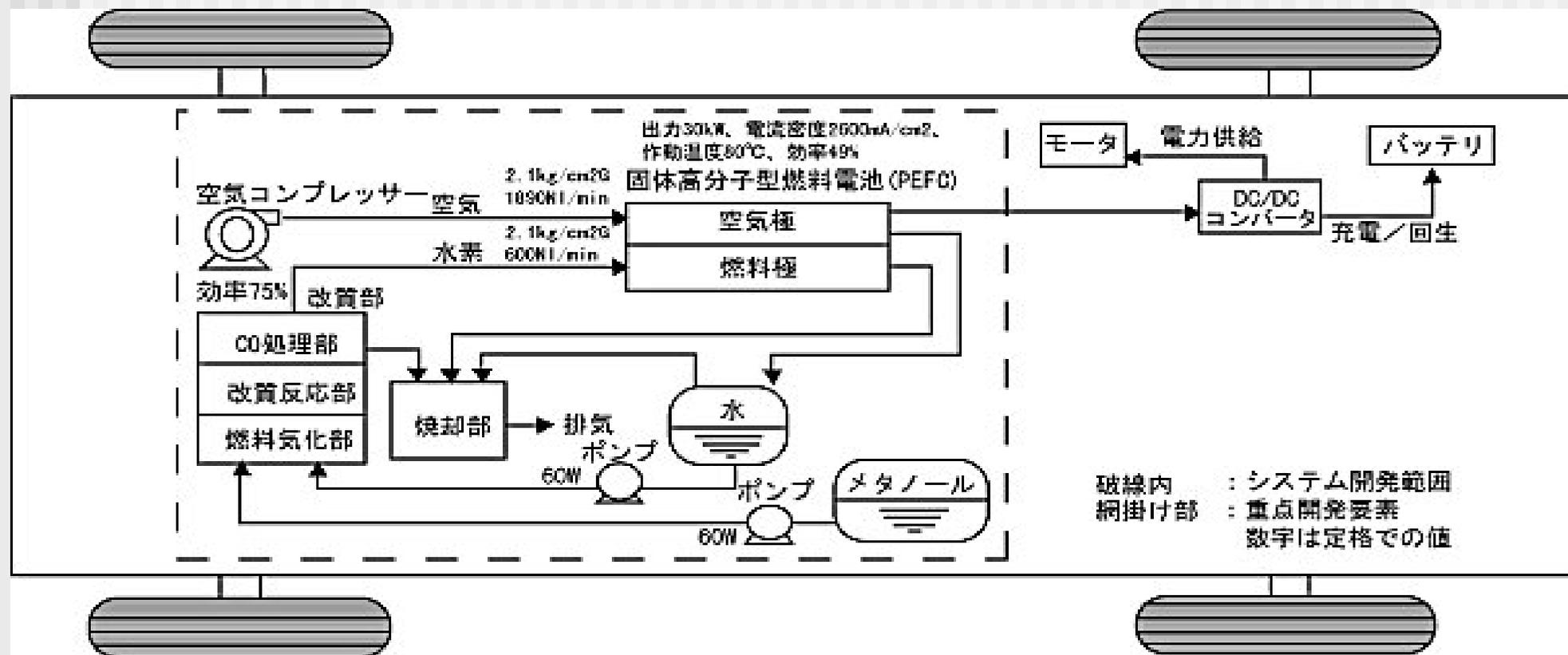
脱石油自動車の開発研究

「高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発」 中間報告(平成12年)から

参加企業		いすゞセラミックス研究所	日産自動車	日産ディーゼル工業	日野自動車工業	本田技術研究所	三菱自動車工業
研究開発自動車		セラミックス高効率クリーンエネルギートラック (シリーズ方式)	メタノール燃料電池ハイブリッド自動車 (シリーズ方式)	LNGハイブリッドバス (シリーズ方式)	DMEエンジン搭載ハイブリッドバス (シリーズ/パラレル併用方式)	ANGエンジン搭載ハイブリッド自動車 (シリーズ方式)	CNGエンジン搭載ハイブリッドトラック (シリーズ/パラレル併用方式)
主なハイブリッド要素		エンジン&キャパシター	燃料電池&バッテリー	エンジン&キャパシター	エンジン&キャパシター	エンジン&フライホイールバッテリー	エンジン&バッテリー
車種		トラック	乗用車	路線バス	路線バス	乗用車	トラック
技術目標	燃費の向上	2.5倍	2倍	2倍	2倍	2倍	2倍
	クリーンエネルギーの利用	主に天然ガス(CNG)	メタノール	天然ガス(LNG)	ジメチルエーテル(DME)	天然ガス(ANG)	天然ガス(CNG)
	排出ガスの低減	現在、環境庁策定の「低公害車の排出ガスに係る技術指針について」の「超低排出ガスレベル車」を目標としています。排ガス規制が強化された際には、この目標の変更を検討します。					
主な技術内容		セラミックスエンジン	メタノール改質器、水素分離膜等の燃料電池自動車システム技術	LNGミラーサイクルエンジン	キャパシターを用いたシリーズ/パラレル併用ハイブリッド機構 DME燃料エンジン	フライホイール 吸着剤を用いて天然ガスを吸着するANG技術	リチウムイオン電池を用いたシリーズ/パラレル併用ハイブリッド機構 天然ガスエンジン
		排気エネルギー回収技術併用シリーズ機構 キャパシター		キャパシターを用いたシリーズハイブリッド機構			
		多種燃料ディーゼル燃焼技術					

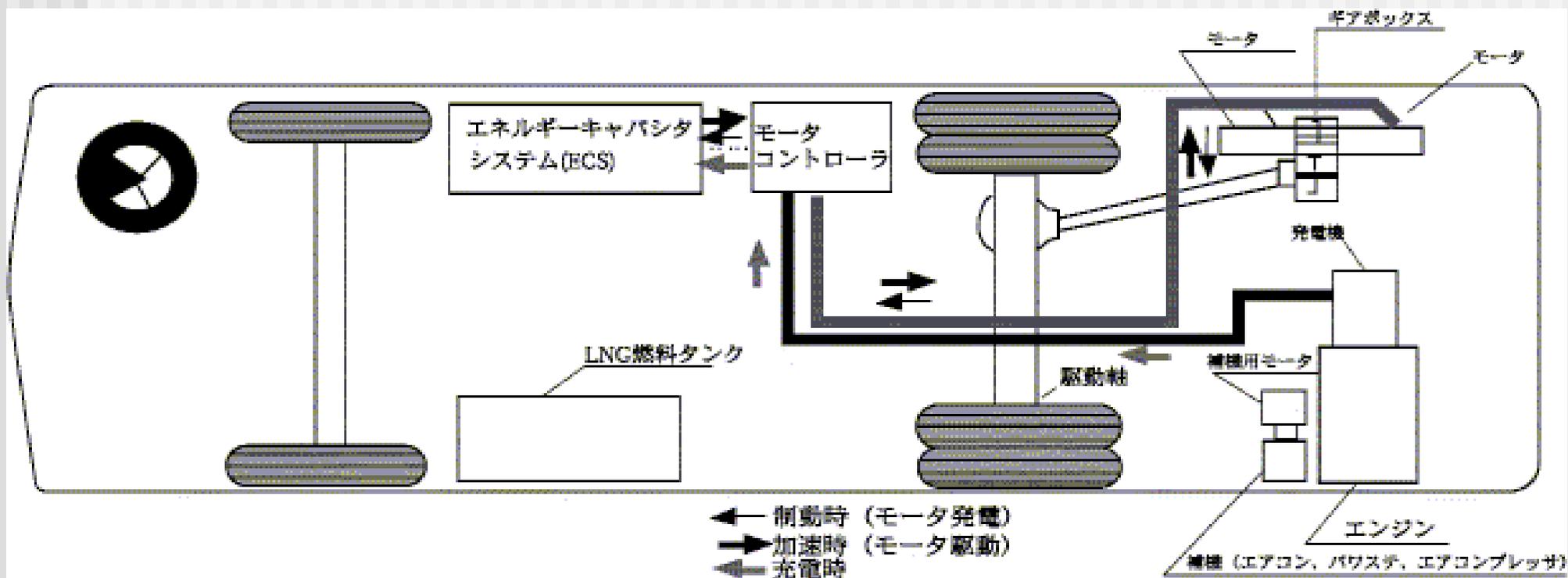
「高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発」 中間報告から

ACEV 1 メタノール燃料電池搭載ハイブリッド乗用車(日産自動車)



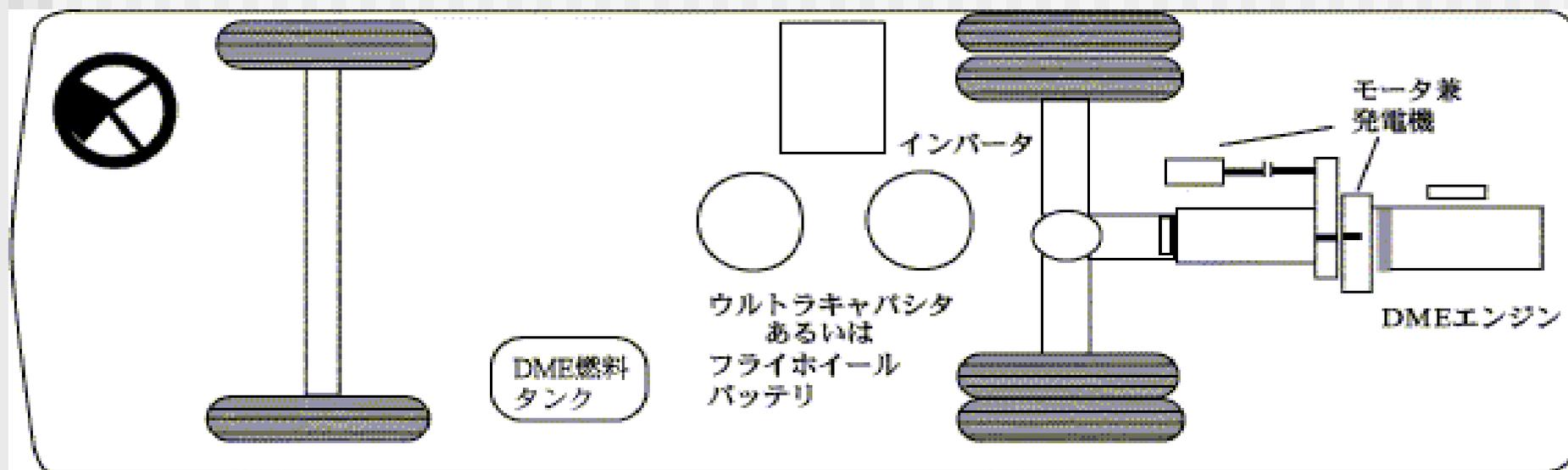
「高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発」 中間報告から

ACEV 5 LNGエンジン搭載ハイブリッドバス(日産ディーゼル)

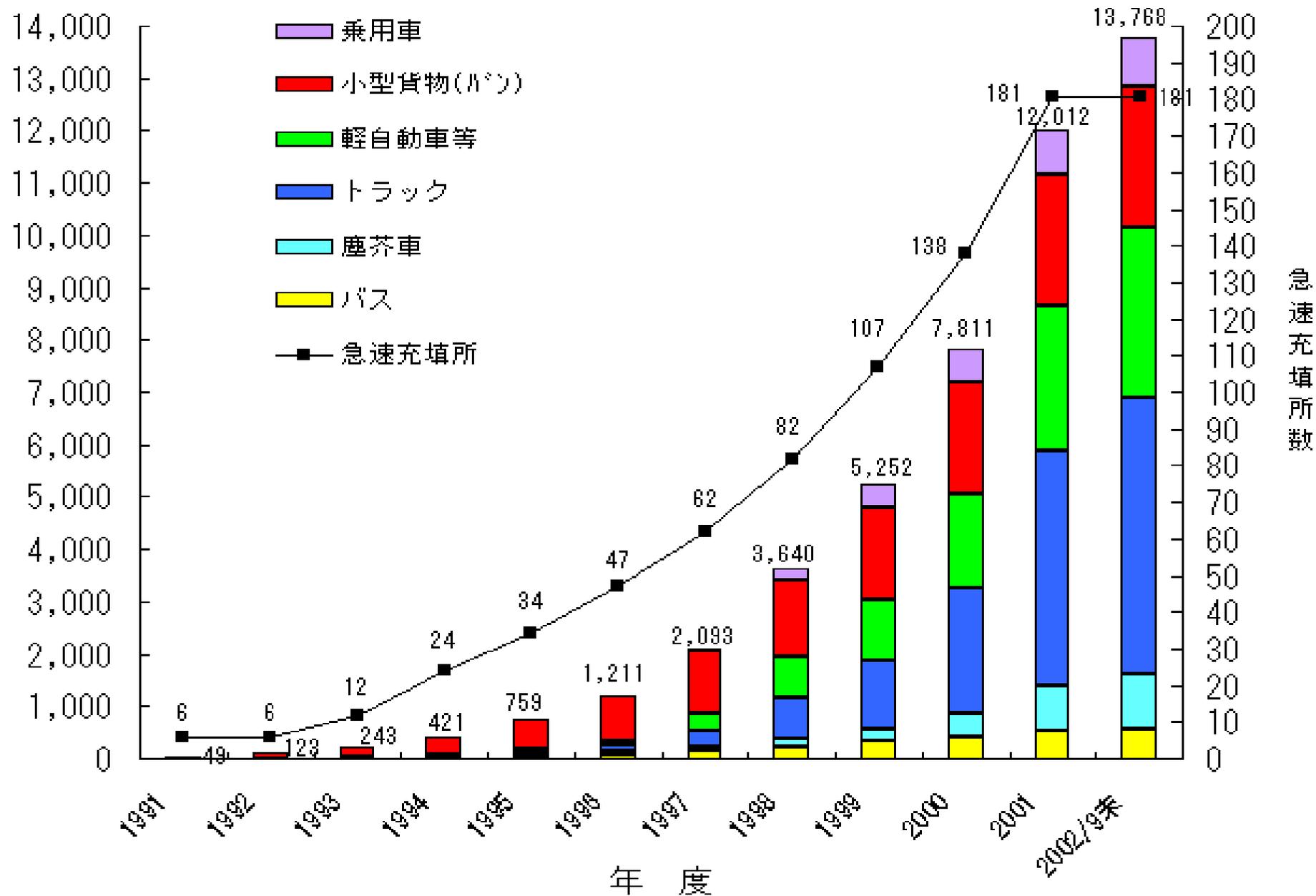


「高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発」 中間報告から

ACEV 6 DMEエンジン搭載ハイブリッドバス(日野自動車)



天然ガス自動車数



世界における天然ガス自動車数及び充填所数

国名	天然ガス自動車 台数(台)	CNG 充填所数(基)	国名	天然ガス自動車 台数(台)	CNG 充填所数(基)
アルゼンチン	721,830	950	バングラデシュ	1,000	5
イタリア	380,000	369	イラン	1,000	3
ブラジル	232,973	284	イギリス	835	18
パキスタン	200,000	200	モルドヴァ	800	3
アメリカ	102,430	1,250	韓国	746	28
インド	84,150	116	オランダ	574	27
ベネズエラ	40,962	170	スイス	520	26
エジプト	37,642	60	スペイン	300	6
中国	36,000	70	ベルギー	300	5
ウクライナ	35,000	87	タイ	300	4
インドネシア	35,000	12	メキシコ	300	2
ロシア	31,000	208	ポルトガル	238	
カナダ	20,505	222	ミャンマー	200	
日本	12,155	181	トルコ	189	3
ニュージーランド	12,000	100	オーストリア	182	6
ドイツ	10,000	146	アイルランド	81	2
コロンビア	9,126	32	キューバ	45	1
ボリビア	6,000	17	フィンランド	34	5
ベラルーシ	5,500	24	チェコ	30	11
フランス	4,550	105	ナイジェリア	28	2
トリニダード・トバゴ	4,000	12	ルクセンブルク	25	5
マレーシア	3,900	20	アイスランド	21	1
チリ	3,000	11	ポーランド	20	4
オーストラリア	2,104	127	ノルウェー	18	3
スウェーデン	1,550	25	その他	15	4
			合計	2,039,178	4,972

(出展)「IANGVの統計資料(2002年5月現在)」「Asia-Pacific Natural Gas Vehicles Summit(2001/4)資料」
 (日本の台数は2002年4月末現在)