

**長岡技術科学大学大学院2019年度第Ⅰ学期**

**「日本エネルギー経済論」用資料**

# **「日本エネルギー経済論」**

**伊藤浩吉**

# 日本エネルギー経済論 「講義内容」

## I. 概論・基礎知識(8)

I-1 経済成長とエネルギー、エネルギーバランス表の見方(8)

I-2 エネルギーを巡る課題と世界の潮流(22)

## II. エネルギー需給構造の概論(37)

II-1 日本のエネルギー政策と需給構造の変遷(37)

II-2 省エネルギー(48)

## III. 部門別のエネルギー需要構造(60)

III-1 産業部門(63)

III-2 家庭部門(75)

III-3 業務部門(93)

III-4 運輸部門(106)

## IV. 地球環境問題の現状と対策(126)

## V. 世界のエネルギー需給展望(158)

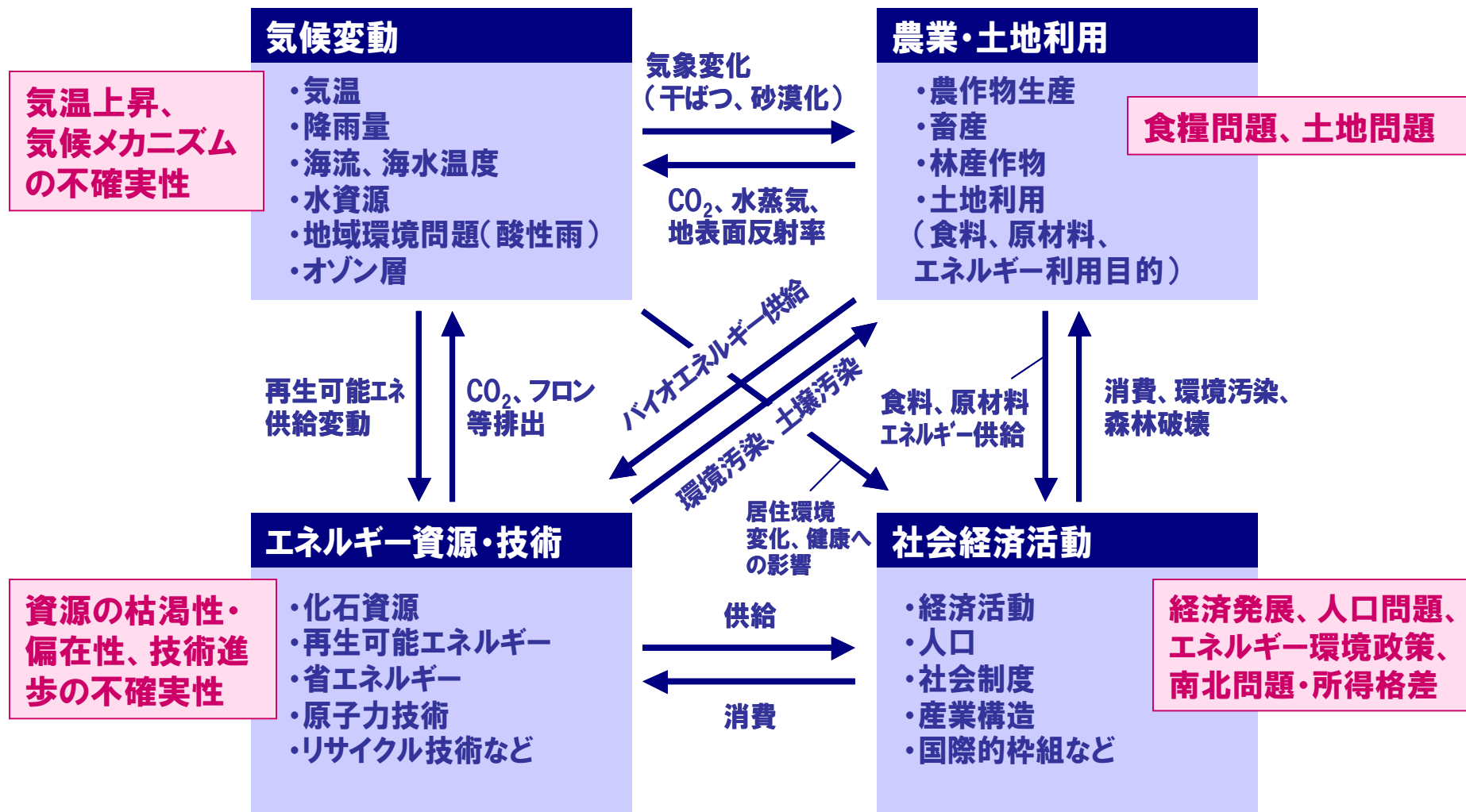
## VI. 大震災後のエネルギー・環境問題(179)

VI-1 短期的課題(180)

VI-2 日本のエネルギーのあり方(184)

VI-3 政府 長期エネルギー需給見通し(193)

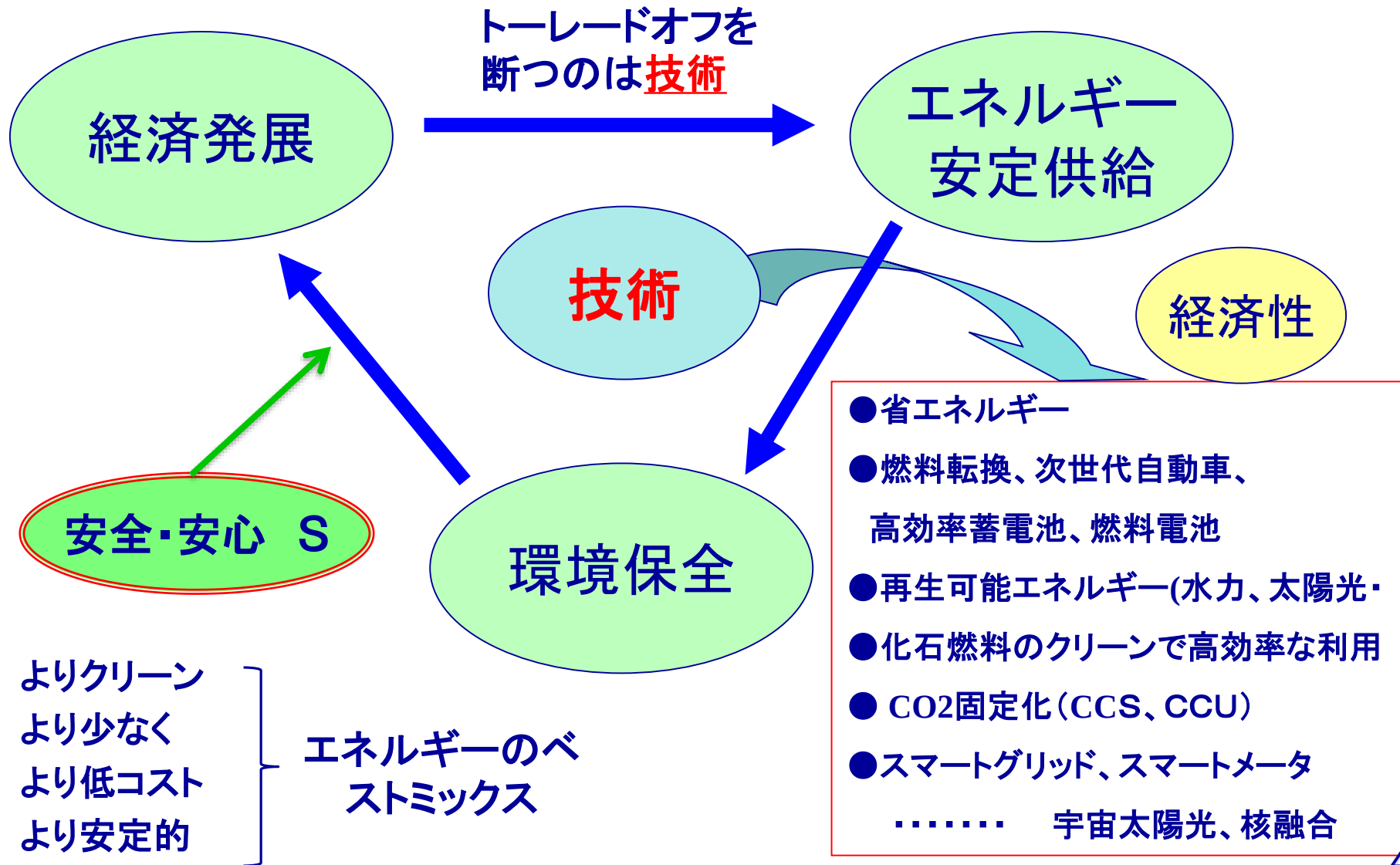
# 社会経済・エネルギー・環境をめぐる諸領域間の基本的関係



✓ 諸領域間の有機的な相互関係を横断的に理解することが極めて重要

# 3E (+S) の同時達成は**技術**の役割

3E (Energy Security , Environment Protection , Economic Growth) + S





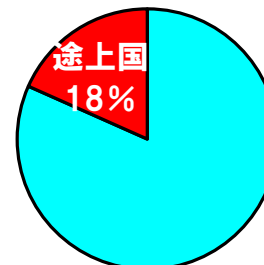
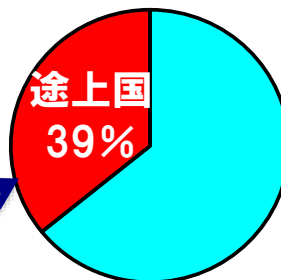
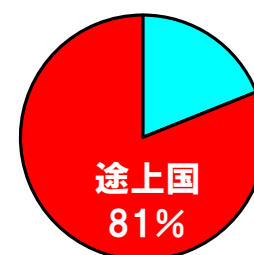
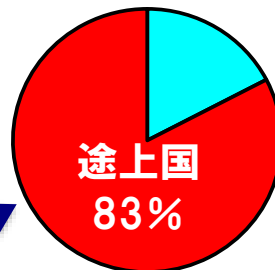
# エネルギー・環境問題は途上国問題でもある

## 2016年

| 人口 (億人)           |        |     |  |
|-------------------|--------|-----|--|
| 世界                | 74     |     |  |
| 先進国               | 13     | 17% |  |
| 途上国               | 61     | 83% |  |
| GDP (億ドル)         |        |     |  |
| 世界                | 774    |     |  |
| 先進国               | 497    | 64% |  |
| 途上国               | 277    | 36% |  |
| 1人当たりエネルギー消費 (トン) |        |     |  |
| 世界                | 1.9    |     |  |
| 先進国               | 4.1    |     |  |
| 途上国               | 1.3    |     |  |
| 1人当たりGDP (ドル/人)   |        |     |  |
| 世界                | 10,412 |     |  |
| 先進国               | 38,499 |     |  |
| 途上国               | 4,514  |     |  |

## 2016年

## 2000年



途上国の世界の人口の8割を占めるが、GDPでは3分の1に過ぎない。

1人当たりエネルギー消費は先進国の4分の1強

今後は人口の8割以上を占める途上国が高い経済成長

→ エネルギー需要の増大、CO2排出量の増加をもたらす。

# 人類が直面している3つの大きな危機



●2100年 109億人  
(国連予測、2019年6月)

## 1. 人口爆発

## 2. 資源の枯渇

## 3. 温暖化の進行

(食糧不足、海面上昇、  
伝染病の流行等)

新石器時代

1000万人

2.5億人

7.5億人

2050年**97**億人

2016年**73**億人

1987年**50**億人

B.C.8000

0

500

1000

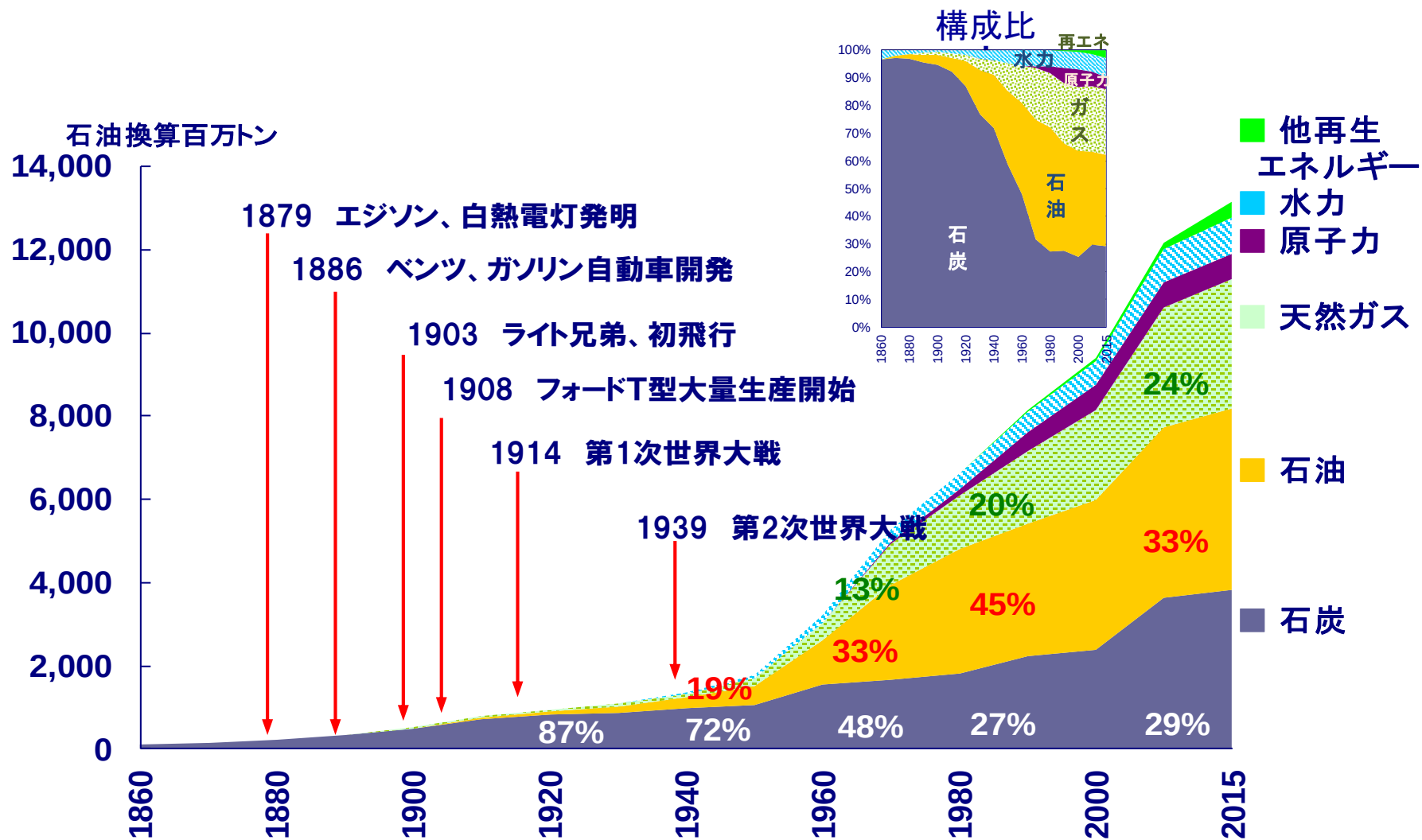
2000

農耕・牧畜始まる

ペスト大流行

産業革命

# 世界のエネルギー需要の急増



石炭 → 石油 → ガス・原子力 → 再エネ・・・？

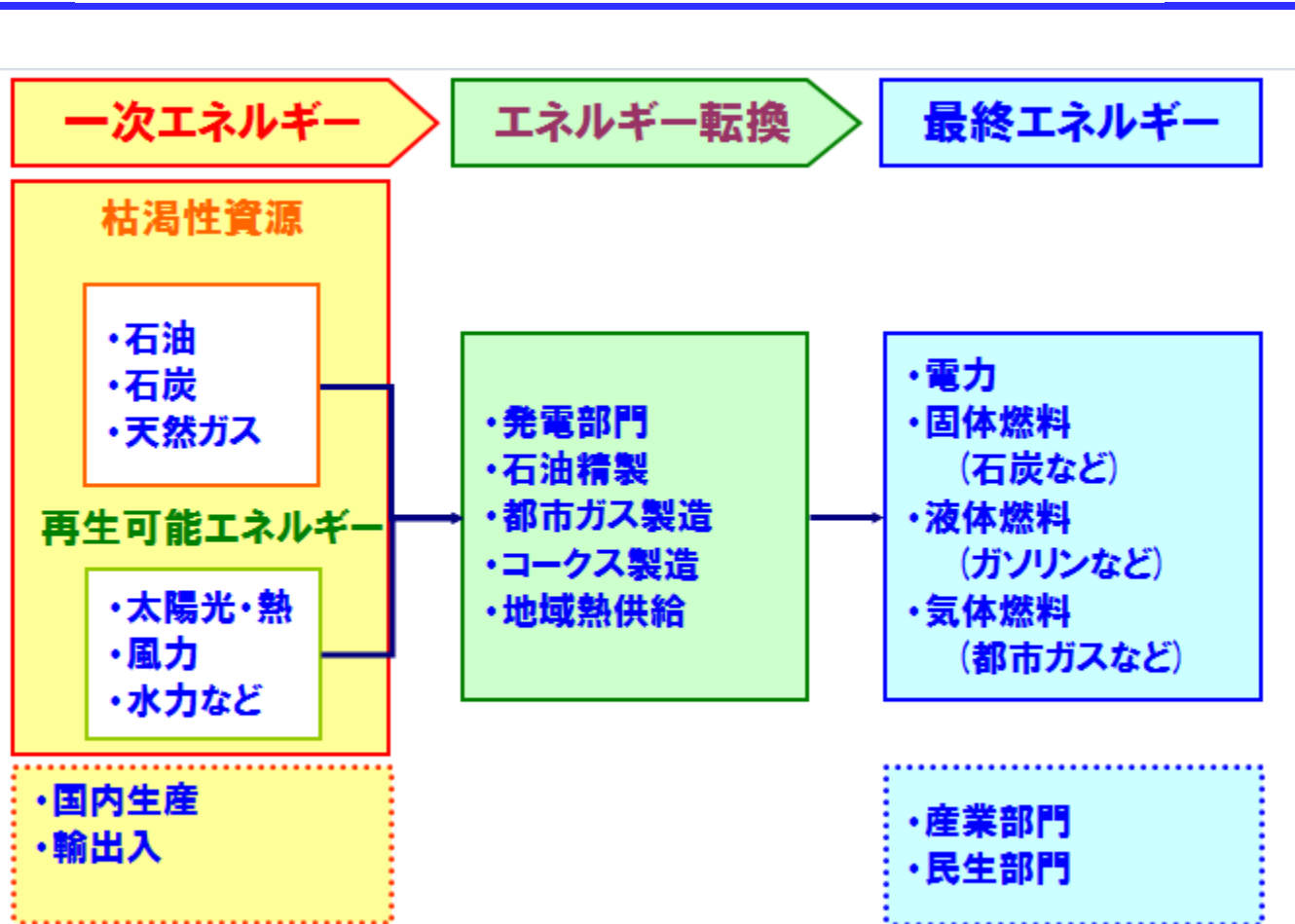
安い、利用しやすい、クリーン

# **I. 概論・基礎知識**

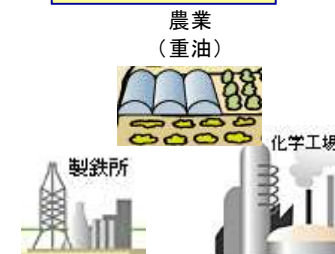
## **I-1 経済成長とエネルギー、 エネルギーバランス表の見方**

### **エネルギー需要の特徴**

# エネルギーフロー



## 産業部門



## 民生部門



## 運輸部門



経済性

利便性

環境性

# エネルギーバランス表の見方

エネルギーバランス表から様々なことが読みとれる

一次エネルギー構成

石油依存度

輸入依存度（国内自給率）

各エネルギー源の需給バランス

電源構成、電力化率、転換ロス

最終需要の部門別構成

エネバラ表は、すべてのエネルギー源を共通単位(熱量単位)で表示し、一国のエネルギーが生産・輸入され、転換され、最終的に消費される過程を一表に表現したものである。その国のエネルギーの需給構造を把握・分析するのに極めて有効な統計・分析ツールである。

# 熱量換算 共通の単位へ

## 各エネルギーの発熱量(経済産業省)

|      |        |         |                        |        |                     |
|------|--------|---------|------------------------|--------|---------------------|
| 原油   | 9,126  | kcal/L  | LNG                    | 13,043 | kcal/kg             |
| ガソリン | 8,266  | 〃       | 都市ガス                   | 10,702 | kcal/m <sup>3</sup> |
| ナフサ  | 8,027  | 〃       | 輸入原料炭                  | 6,928  | kcal/kg             |
| 灯油   | 8,767  | 〃       | 輸入一般炭                  | 6,139  | 〃                   |
| 軽油   | 9,006  | 〃       | コークス                   | 7,023  | 〃                   |
| A重油  | 9,341  | 〃       | 電力                     | 860    | kcal/kWh            |
| C重油  | 10,009 | 〃       | 原子力・水力                 | 2,105  | 〃                   |
| LPG  | 12,136 | kcal/kg | (860/2,105=熱効率 40.88%) |        |                     |

1toe(石油換算トン)= $1 \times 10^7$ kcal  
1kcal = 4,186 J(ジュール)



MTOE(石油換算百万トン)  
=  $10^{13}$ kcal  
原油換算百万トン  
= MTOE/0.925

## CO<sub>2</sub>排出係数(環境省)

|       |        |
|-------|--------|
| 原料炭   | 3.7620 |
| 輸入一般炭 | 3.7927 |
| 原油    | 2.8641 |
| ガソリン  | 2.8073 |
| 灯油    | 2.8411 |
| 軽油    | 2.8748 |
| C重油   | 2.9992 |
| LPG   | 2.5049 |
| LNG   | 2.0675 |

(Gg-CO<sub>2</sub>/10<sup>10</sup>kcal)

石炭 1  
石油 0.8  
天然ガス 0.6

国際単位系はジュールを使う。しかし、IEAなど国際的に石油換算トンを使うことが多い。日本では原油換算KLがよく使われる。

## エネルギーバランス表 (2010年度)

震災前



石油換算百万トン(MTOE)

| エネルギー源<br>部門 |               | A   | B    | C    | D   | E   | F   | G       | H   | I    |
|--------------|---------------|-----|------|------|-----|-----|-----|---------|-----|------|
|              |               | 石炭  | 原油   | 石油製品 | ガス  | 水力  | 原子力 | 新エネルギー等 | 電力  | 合計   |
| 一次エネルギー      | 1 国内生産        | 1   | 1    |      | 3   | 18  | 61  | 8       |     | 91   |
|              | 2 輸入          | 121 | 195  | 47   | 92  |     |     |         |     | 455  |
|              | 3 一次エネルギー総供給  | 122 | 195  | 47   | 96  | 18  | 61  | 8       |     | 546  |
|              | 4 輸出等         | -1  | -1   | -29  | -0  |     |     |         |     | -32  |
|              | 5 一次エネルギー国内供給 | 120 | 195  | 18   | 96  | 18  | 61  | 8       |     | 514  |
| エネルギー転換・自家消費 | 6 発電          | -68 | -4   | -18  | -61 | -18 | -61 | -8      | 99  | -139 |
|              | 7 石油精製        |     | -189 | 189  |     |     |     |         |     | -1   |
|              | 8 その他転換       | -5  | -1   | -2   | 2   |     |     | 1       | -0  | -5   |
|              | 9 自家消費・ロス     | -4  | -0   | -12  | -4  |     |     |         | -11 | -31  |
|              | 10 統計誤差       | -7  | -0   | 4    | 3   |     |     | 3       | 0   | 3    |
| 最終エネルギー      | 11 最終エネルギー計   | 36  |      | 178  | 35  |     |     | 4       | 89  | 342  |
|              | 12 産業         | 36  |      | 69   | 18  |     |     | 3       | 36  | 161  |
|              | 13 民生         | 1   |      | 28   | 17  |     |     | 1       | 51  | 97   |
|              | 14 運輸         |     |      | 82   |     |     |     |         | 2   | 84   |

自給率  
18%一次供給  
の姿

電源構成

最終消費  
構造

注: 転換部門ではマイナスはエネルギー投入、プラスは生産を示す。



# エネルギーバランス表 (2015年度) 震災後

2010年度と比べてみる: 震災後原子力は激減、エネルギー需要も全ての部門で減少

10<sup>13</sup>kcal = 石油換算百万トン

| エネルギー源<br>部門         |               | A   | B    | C    | D   | E   | F   | G       | H  | I    |
|----------------------|---------------|-----|------|------|-----|-----|-----|---------|----|------|
|                      |               | 石炭  | 原油   | 石油製品 | ガス  | 水力  | 原子力 | 新エネルギー等 | 電力 | 合計   |
| 一次エネルギー              | 1 国内生産        | 1   | 1    |      | 3   | 18  | 2   | 16      |    | 40   |
|                      | 2 輸入          | 125 | 177  | 46   | 110 |     |     |         |    | 458  |
|                      | 3 一次エネルギー総供給  | 125 | 178  | 46   | 113 | 18  | 2   | 16      |    | 497  |
|                      | 4 輸出等         | -2  | -0   | -30  | 0   |     |     |         |    | -32  |
|                      | 5 一次エネルギー国内供給 | 124 | 178  | 16   | 113 | 18  | 2   | 16      |    | 465  |
| エネルギー<br>転換・<br>自家消費 | 6 発電          | -78 | -5   | -21  | -77 | -18 | -2  | -18     | 89 | -130 |
|                      | 7 石油精製        |     | -172 | 169  |     |     |     |         |    | -3   |
|                      | 8 その他転換       | -4  | -0   | -2   | 2   |     |     | 1       | -0 | -4   |
|                      | 9 自家消費・ロス     | -4  | -0   | -10  | -5  |     |     |         | -7 | -26  |
|                      | 10 統計誤差       | -4  | 0    | 7    | 1   |     |     | 5       | -1 | 8    |
| 最終エネルギー              | 11 最終エネルギー計   | 34  |      | 158  | 34  |     |     | 3       | 82 | 311  |
|                      | 12 産業         | 33  |      | 61   | 18  |     |     | 2       | 33 | 147  |
|                      | 13 民生         | 1   |      | 22   | 16  |     |     | 1       | 47 | 86   |
|                      | 14 運輸         |     |      | 75   | 0   |     |     |         | 2  | 77   |

自給率

最終消費構造

自給率 2010年度18% → 2014年度7%、2015年度9%

# エネルギーバランス表から様々なことが読みとれる

## ①自給率

2015年度

$$\frac{I1}{I5} = \frac{40}{465} = 9\%$$

【国内生産】      【一次エネ国内供給】      【自給率】

2010年度

[ 100%から自給率を引くと、輸入依存度(91%)になる ]  
※一次総供給をベースに計算することもある

## ②石油依存度

$$\frac{B5+C5}{I5} = \frac{178+16}{465} = 42\%$$

【原油・石油製品】      【一次エネ国内供給】      【石油依存度】

18%

※一次総供給で計算することもある

## ③需給構造(石油製品の場合)

$$\begin{aligned} &\frac{C2}{46} + \frac{C7}{169} = \frac{C4}{30} + \frac{C6+C8+C9}{21+2+10} + \frac{C11}{158} - \frac{C10}{7} \\ &\text{【輸入】} \quad \text{【石油精製】} \quad \text{【輸出等】} \quad \text{【転換部門での消費】} \quad \text{【最終消費】} \quad \text{【統計誤差】} \\ &\frac{215}{\text{【総供給】}} = \frac{215}{\text{【総需要】}} \end{aligned}$$

## ④発電構成

$$\frac{A6+B6+C6+D6+E6+F6+G6}{78+5+21+77+18+2+18} - \frac{I6}{130} = \frac{H6}{89}$$

【投入エネルギー】      【発電ロス】      【発電量】

## ⑤発電ロス率

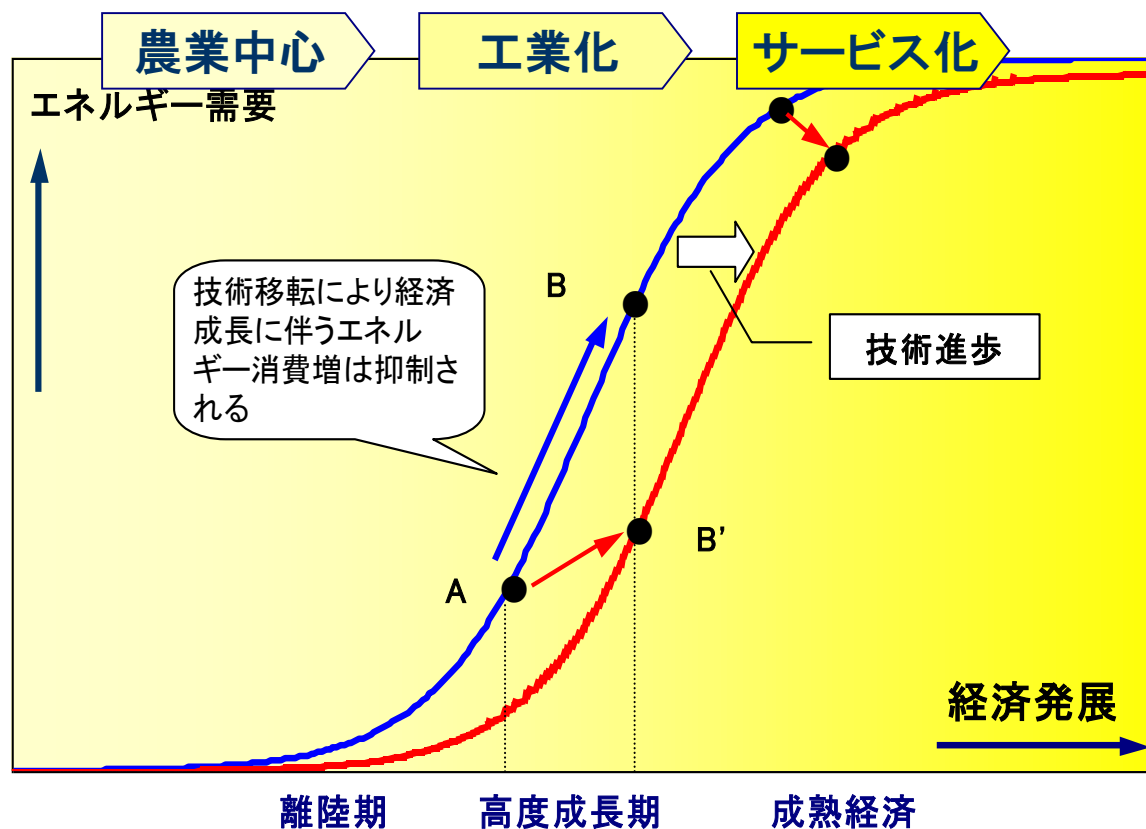
$$\frac{I6}{A6+B6+C6+D6+E6+F6+G6} = \frac{130}{78+5+21+77+18+2+18} = 59\%$$

【発電ロス】      【投入エネルギー】      【発電ロス率】

[ 100%から発電ロス率を引くと、発電効率(41%)になる ]

# 経済発展とエネルギー需要

## エネルギー・環境問題は途上国問題でもある



エネルギー需要の増大は発展段階によって異なる。経済の発展過程で先進国から途上国への技術移転が行われると、より少ないエネルギー需要で同等の経済成長が途上国において達成できる(弾力性の低下)。上図ではA→BではなくA→B'でこれが達成される。

【エネルギーのGDP弾性値】

$$\frac{\text{エネルギー需要の伸び率}}{\text{GDPの伸び率}}$$



【エネルギーのGDP原単位】

$$\frac{\text{エネルギー需要}}{\text{GDP}}$$

GDP弾性値  
(小)

GDP原単位  
(改善)

GDP弾性値  
(大)

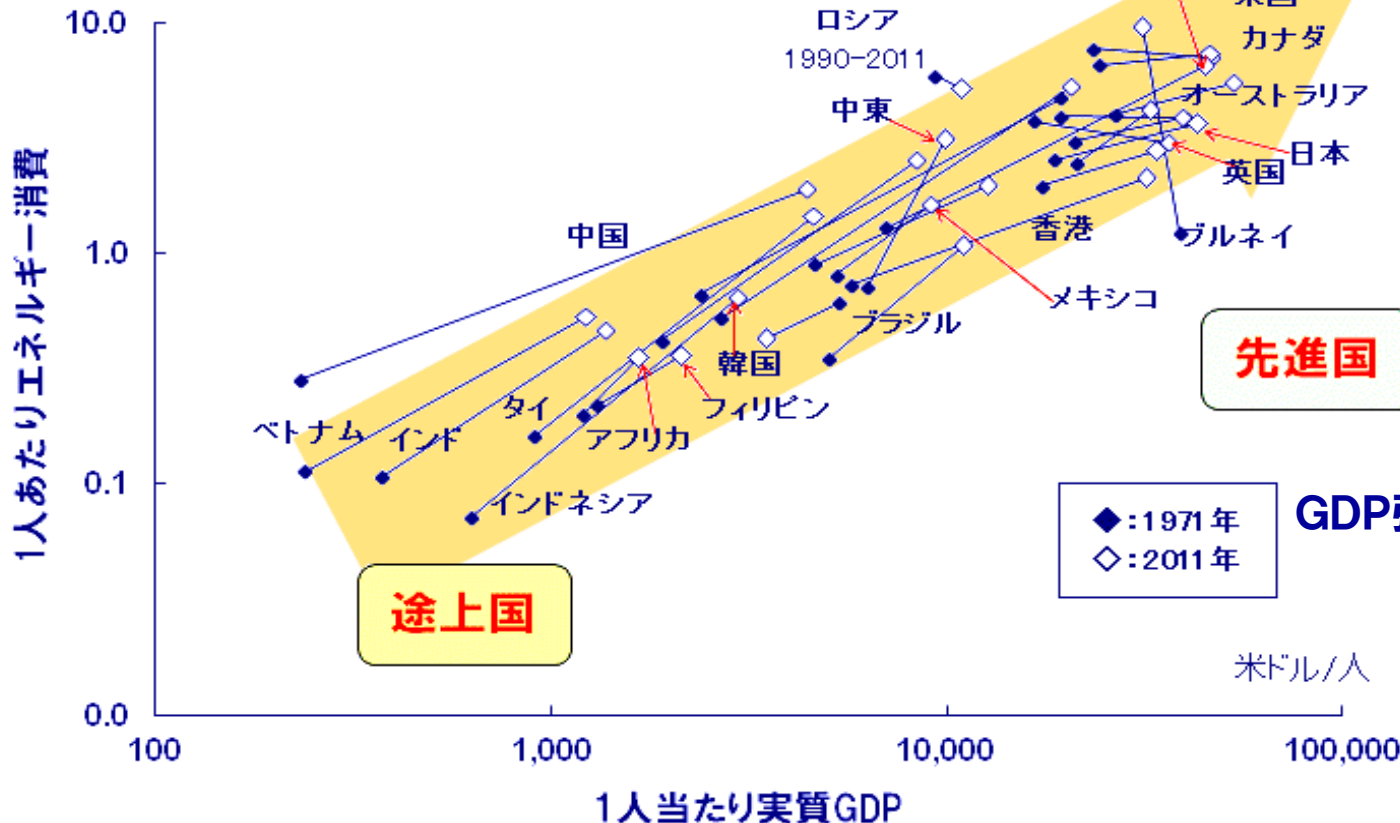
GDP原単位  
(悪化)

GDP弾性値  
(小)

GDP原単位  
(改善)

# 経済活動とエネルギー需要（世界）

石油換算トン/人



1971→2015年

人口

2.0倍

GDP

3.8倍



エネルギー

2.5倍

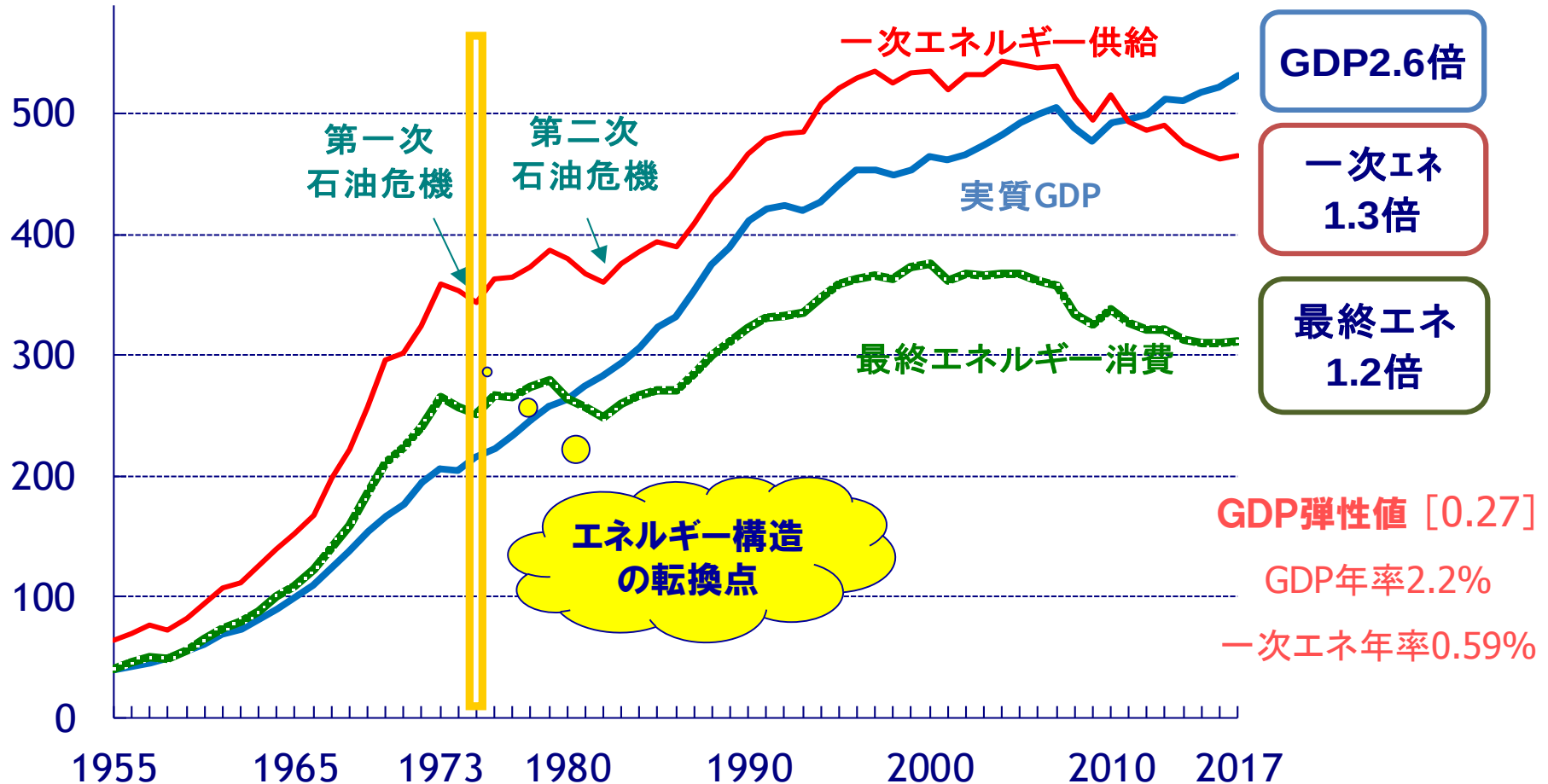
生活水準(1人当たりのGDP)が向上すると、エネルギー消費量が多くなる。これは、豊かな生活を支える工業製品の生産や輸送、快適・利便性を追及した家電製品や乗用車の利用などにより、多量のエネルギーが消費されるためである。

エネルギー需要は人口、経済活動に大きく依存する。この40年余り、世界のエネルギー需要は、経済活動牽引され、人口の増加を上回る速さで増加している。

# 日本のエネルギー需要とGDPの推移

石油換算百万トン, 兆円(2011年価格)

1973-2017年



エネルギー需要は高度経済成長期に国内総生産(GDP)よりも高い伸び率で増えてきた。石油ショック後省エネルギー技術の進展と産業構造の高度化が進むことで省エネルギーが進展。電力需要の増大から、最終消費と一次消費の差(転換ロス)は大きくなっている。

# 経済成長とエネルギー：GDP弾性値とGDP原単位

$$\text{エネルギーのGDP弾性値} = \frac{\text{エネルギー需要の伸び率}}{\text{GDP伸び率}}$$

本来、一国のエネルギー需要は経済規模だけでなく、産業構造、生活様式、技術水準、気候条件等々のさまざまな要因によって決定されるものであるが、**所得弾性値**はこれらの要因を**経済成長**というバスケットに投げ入れ、両者の関係を見ようとするものである。

## [マクロの省エネルギー指標]

$$\text{GDP当たりの消費原単位} = \frac{\text{エネルギー消費}}{\text{GDP}}$$

→ 一国全体の省エネルギーを見るためのマクロ指標

GDPを1単位生産するのに、どれだけエネルギーを消費したかを示す指標である。エネルギー原単位が低ければそれだけ効率よくGDPを生産していることになる。

- ①産業構造変化・社会構造変化(生活パターン、交通体系)
- ②製品構成変化(プロダクトミックス)
- ③技術的原単位

# エネルギー需要の特質（需要分析の基本的な視点）

エネルギーはそれ自身の需要ではなく、満足できるサービスを生み出すために他のインプットと結び付いた需要である(派生需要)。

→ 用途別需要(暖房、冷房、給湯など)に着目した分析が重要

## ①原単位アプローチ

$$\begin{aligned}\text{エネルギー需要} &= \text{経済活動} \times \text{消費原単位} \\ (\text{ガソリン需要}) &= (\text{輸送人キロ}) \times (\text{人キロ当たり消費量})\end{aligned}$$

## ②ストックアプローチ(ストック型需要関数)

$$\begin{aligned}\text{エネルギー需要} &= \text{機器台数} \times \text{稼働率} \times \text{技術係数} \\ (\text{ガソリン需要}) &= (\text{自動車保有台数}) \times (\text{走行キロ}) \times (\text{燃費})\end{aligned}$$

## ③回帰分析アプローチ(伝統的需要関数)

$$\begin{aligned}\text{エネルギー需要} &= f(\text{所得, 価格}) \\ \log(\text{ガソリン需要}) &= \alpha + \beta \times \log(\text{実質GDP}) + \gamma \times \log(\text{ガソリン価格})\end{aligned}$$

$\beta$ : 所得弾性値、 $\gamma$ : 価格弾性値

# 部門別のエネルギー需要の特質

**産業部門:**生産活動の増減、重厚長大産業から組立加工型産業への移行、省エネルギー技術の進展など

**家庭部門:**人口、世帯の増加、少子高齢化、ライフスタイルの変化(利便性の追求)、家電機器の増加と効率改善、住宅事情(戸建て・集合住宅)、気温など

**業務部門:**サービス化の進展、都市化の進展、少子高齢化(学校、病院)、ライフスタイルの変化(24時間化、外食の増加、余暇の過ごし方など)など

**運輸部門:**自家用車の増加、輸送機関における鉄道、船舶から自動車へのシフト、車両燃費の改善、輸送効率の進展、渋滞など

**発電部門:**最終需要における電力化の進展、発電効率の上昇など



# エネルギー源別の需要の特質

機器によって使用されるエネルギーの種類は異なる。利便性が高いものほど好まれるが、その分価格も高くなる。

**固体燃料**(石炭、木材など): 運搬や貯蔵の際にかさ張るため不便。安価。

**液体燃料**(石油など): 固体燃料よりも運搬や貯蔵が容易。

**気体燃料**(天然ガス、LPガスなど): 運搬や貯蔵において工夫が必要。  
配管インフラが整備されれば、最終消費者にとって貯蔵が不必要。

**電力**: 送電インフラが整備されれば、最終消費者にとって貯蔵が不必要。

**【固体→液体→気体・電力】**

所得・経済水準の向上とともに、利便性の高いエネルギーへシフトする。

# I. 概論・基礎知識

## I-2 エネルギーを巡る課題と世界の潮流

増え続けるエネルギー需要、化石燃料への依存

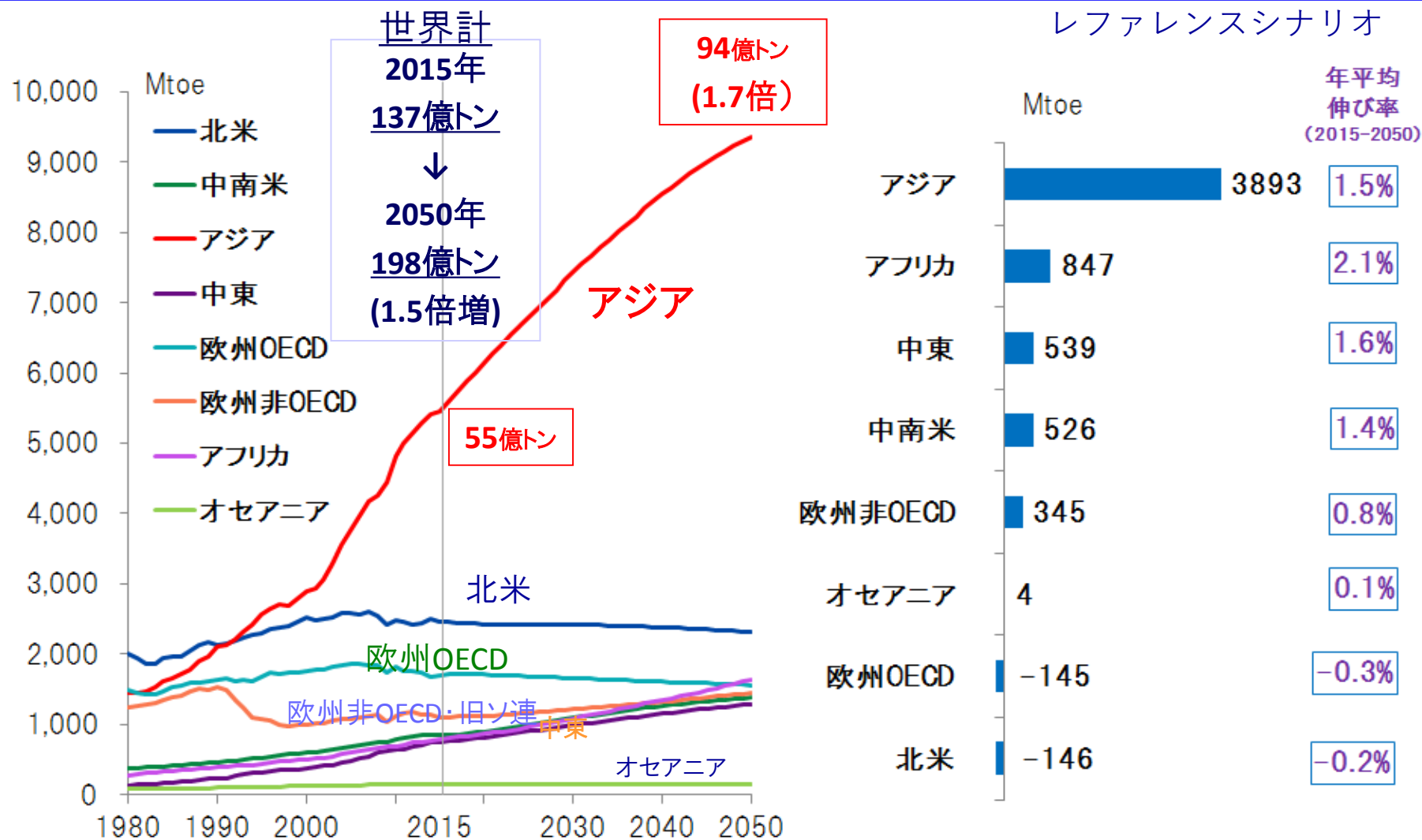
化石燃料を巡る3つの危機

- ①価格変動・供給途絶(エネルギーセキュリティ)
- ②資源問題(資源の枯渇)
- ③化石燃料消費によるCO<sub>2</sub>排出量増大(地球温暖化)

トピック

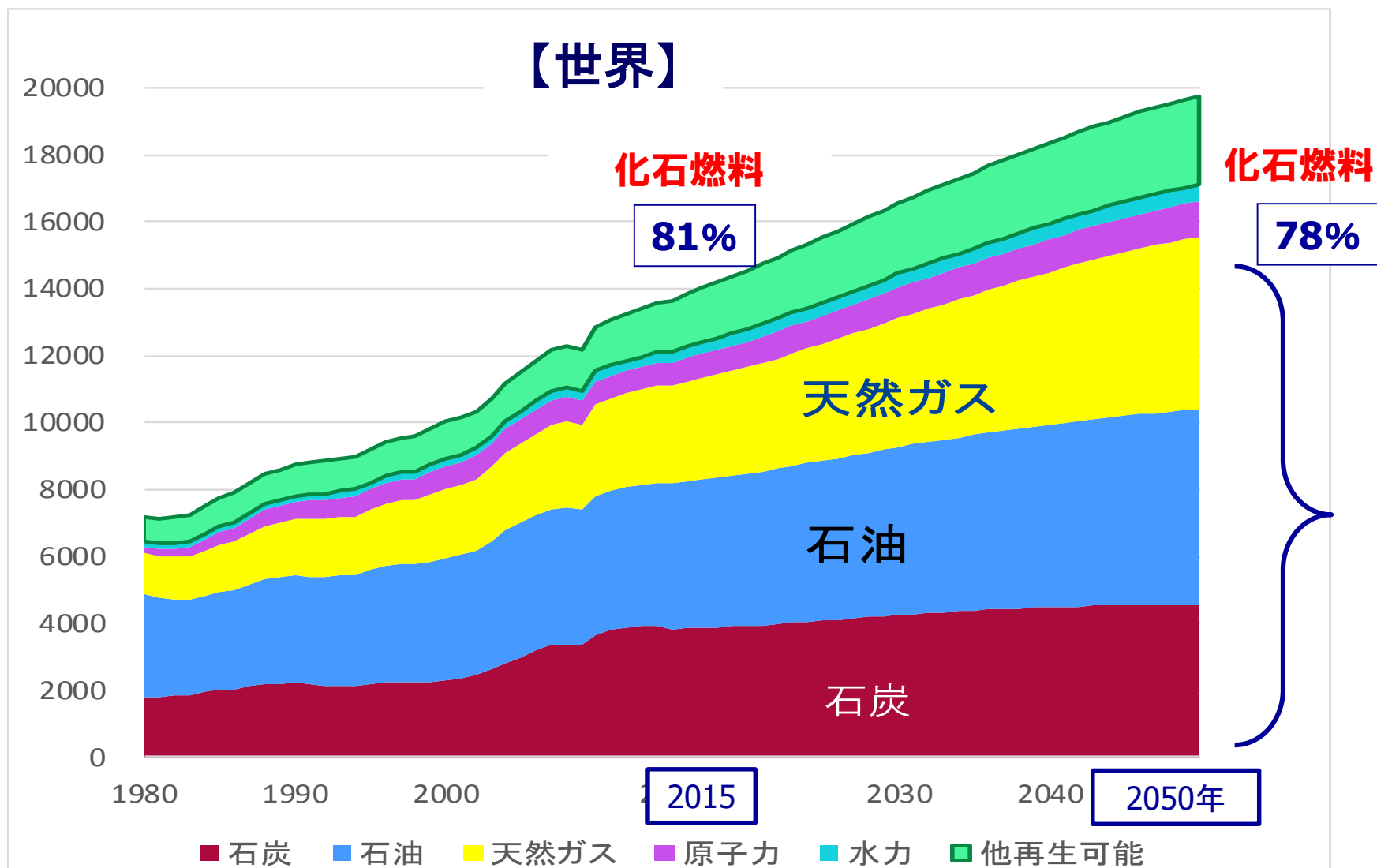
シェール(ガス)革命とは / メタンハイドレートの開発  
世界の原子力/再生可能エネルギー導入の動向と展望

# 世界各地域のエネルギー消費の将来展望



➤ 経済発展に伴い、2015年から2050年までの世界のエネルギー消費増加量の約9割を発展途上国が、アジアは増加量の約6割を占める。

# 増え続けるエネルギー需要 依然として化石燃料に依存！



増分の7割が化石燃料

# 化石燃料を巡る3つの危機

## －化石燃料への過度な依存－

① 価格変動・  
供給途絶

価格高騰 → 経済的危機

供給途絶 → 物理的危機

エネルギーセキュリティ

② 資源問題

資源の枯渇

資源ナショナリズム

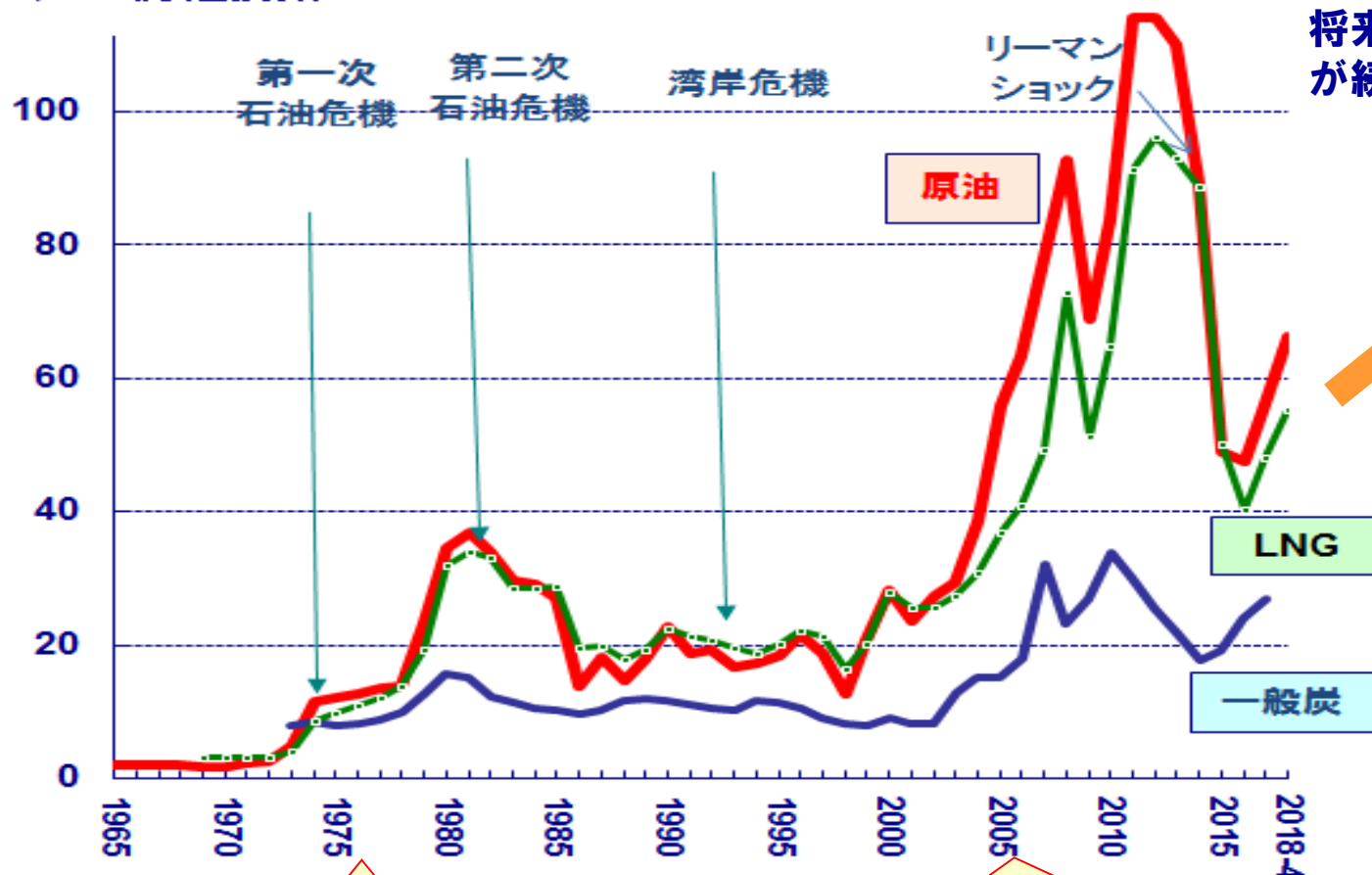
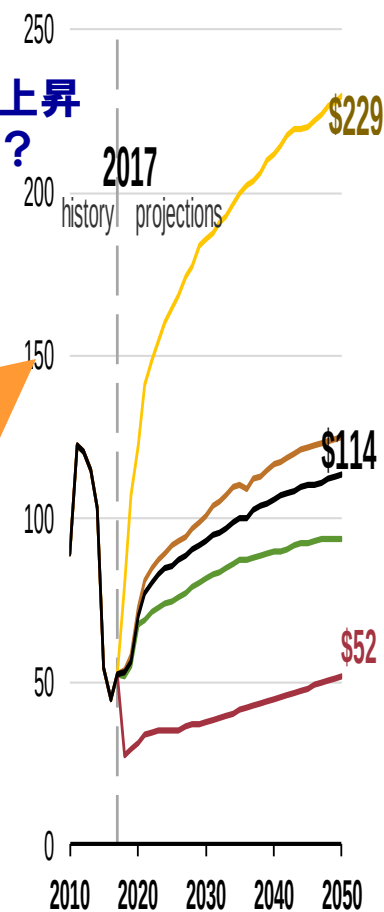
③ 地球温暖化

環境変化 → 生命的危機

## ① 価格変動

## 高騰する化石燃料価格

\$/bbl (原油換算)

将来も上昇  
が続く？

- 中東戦争、イラン革命
- **OPEC**による価格支配

- 新興途上国の需要増加
- 供給余力の低下
- 投機資金の流入

米国EIAの  
見通し2018年版

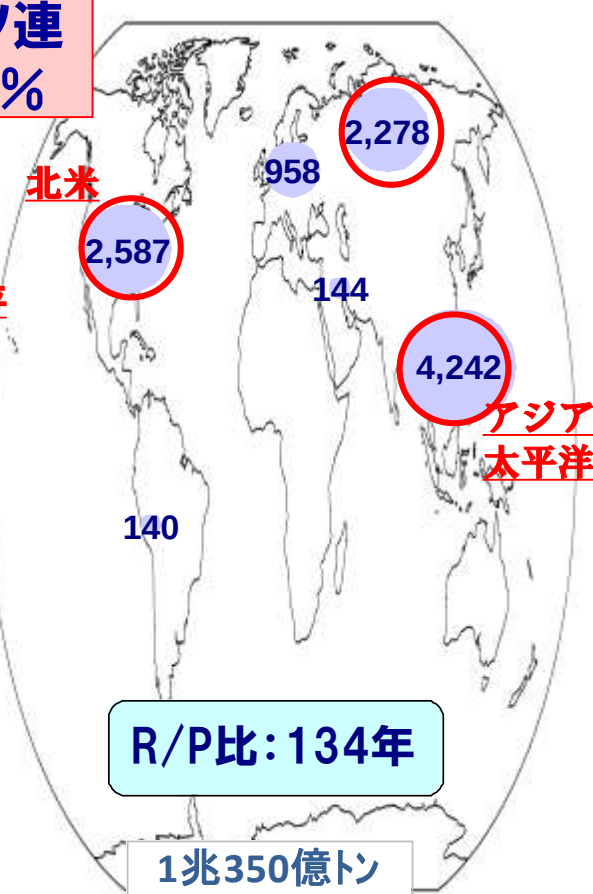
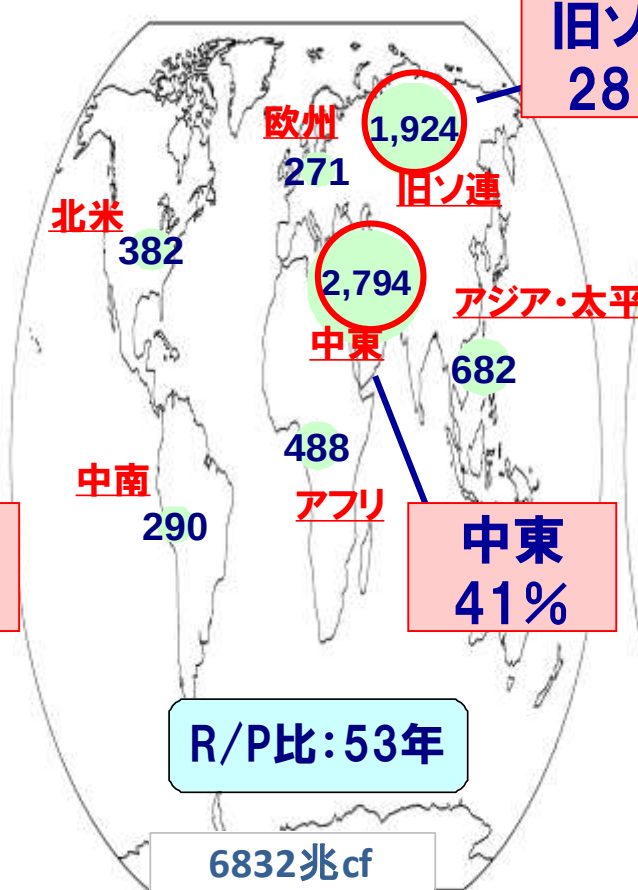
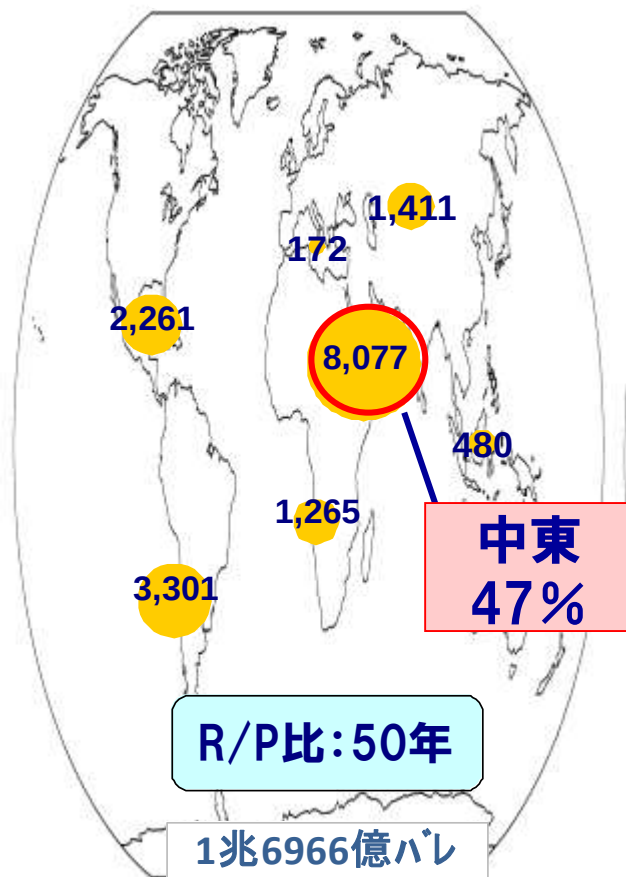
# 偏在する化石資源の埋蔵量 (限られた資源)

石油 (億バレル)

2015年末

天然ガス (兆 $\text{feet}^3$ )

石炭 (億トン)



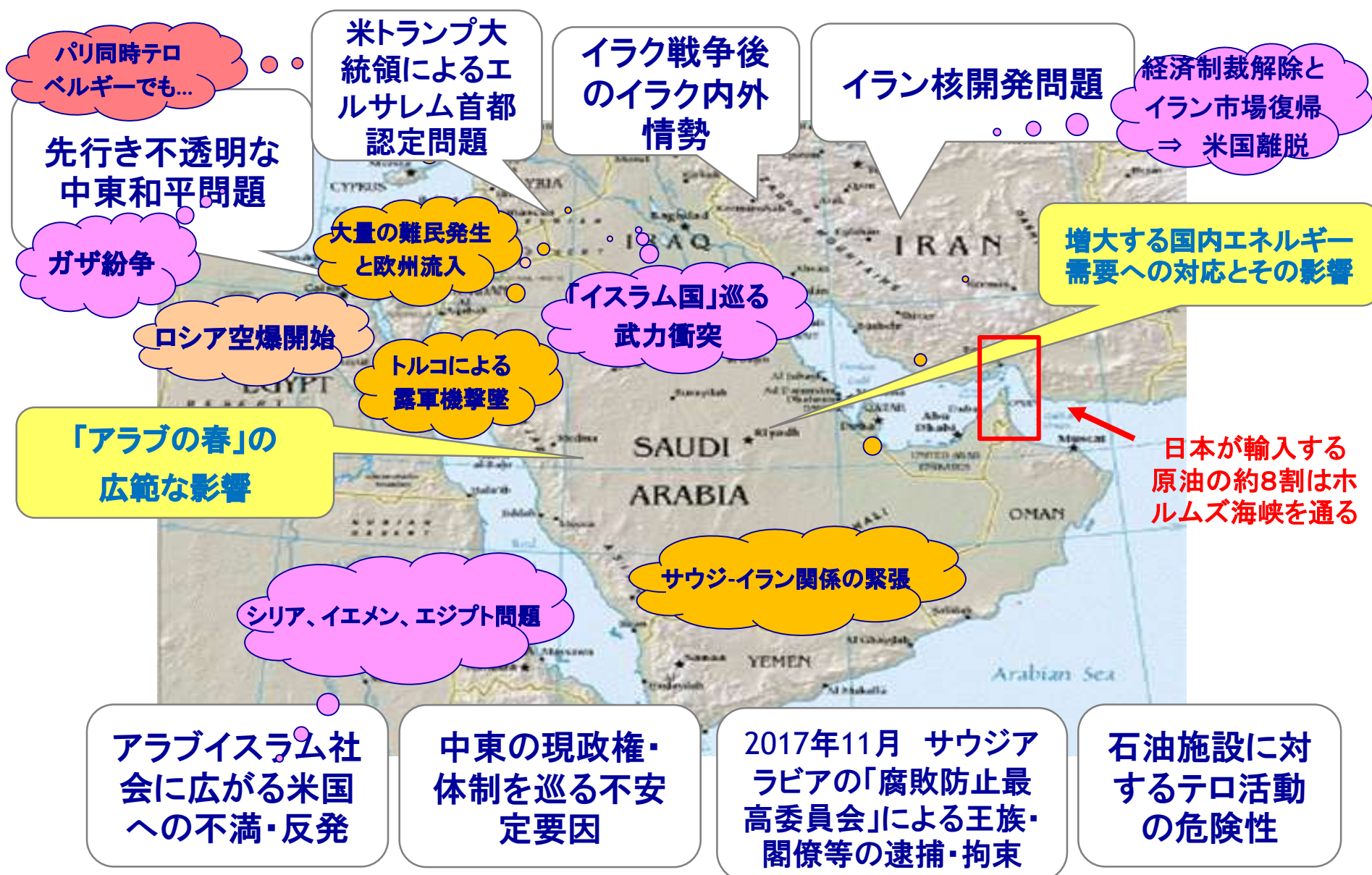
シェール革命で延命? (在来天然ガスと同じくら存在)

石油、天然ガスは、中東、旧ソ連といった資源ナショナリズムが強い地域に集中。

石炭は、資源量としても豊富に存在する上、世界全体に広く分布。 R/P比=埋蔵量/生産量



# 不安定な政情が続く中東・北アフリカ地域



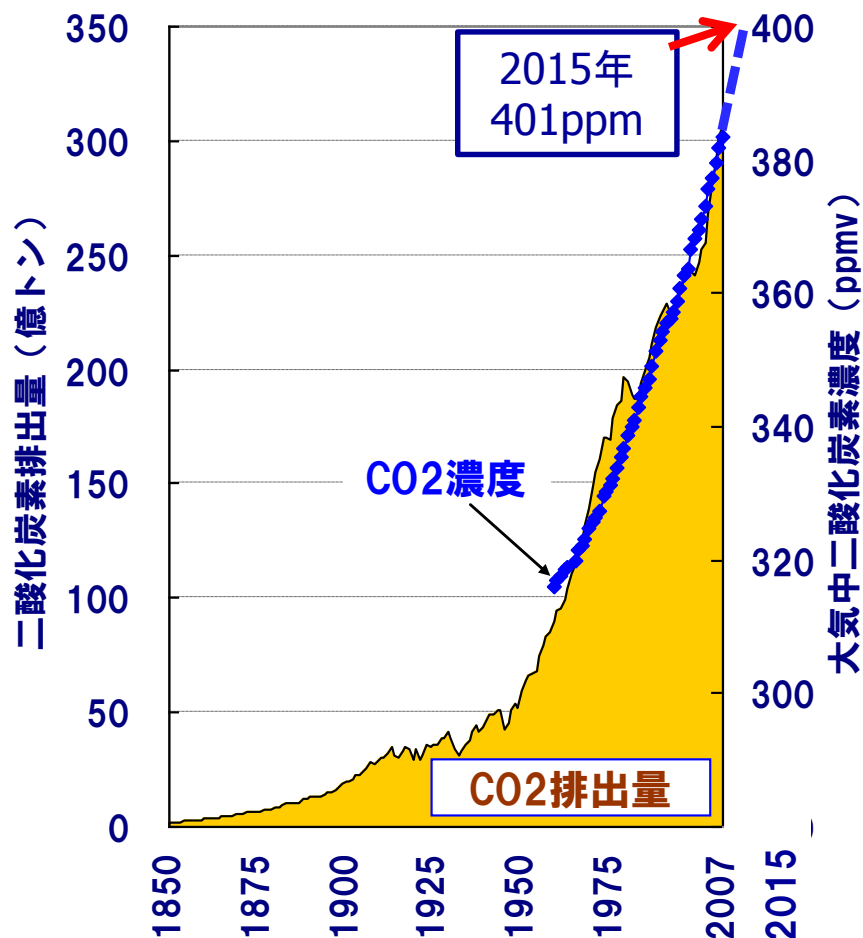


世界のCO<sub>2</sub>排出量と気温の上昇

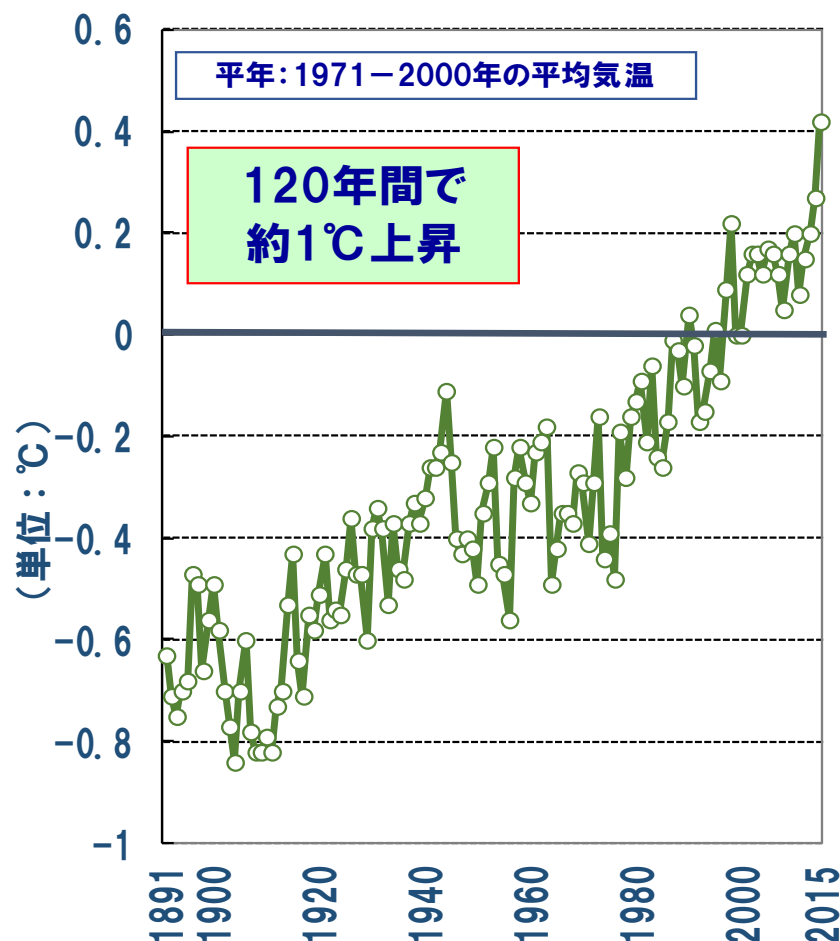
19世紀半ばの産業革命以降、化石エネルギー消費が増大。

《CO<sub>2</sub>排出量の増大→大気中のCO<sub>2</sub>濃度の上昇→気温の上昇》（世界の通説）

## 二酸化炭素の排出量と大気中の濃度

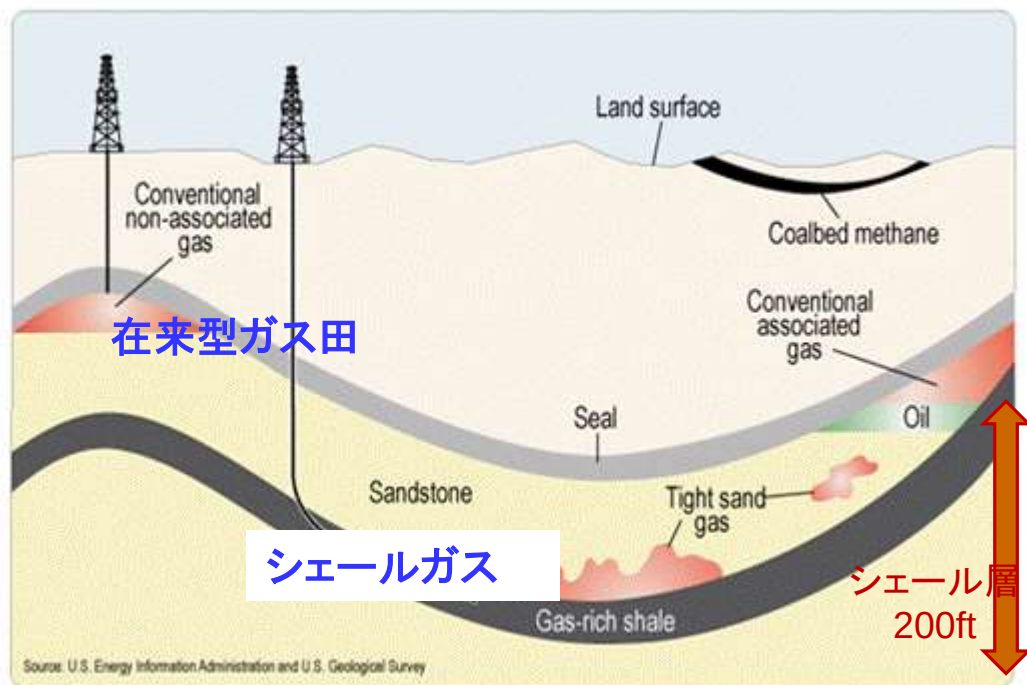


## 世界全体の平均気温(平年差)

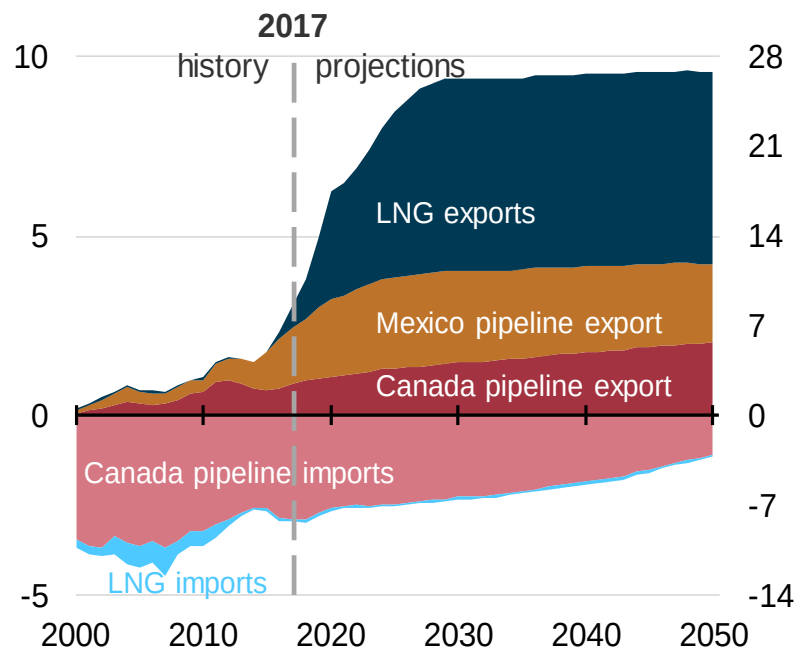


# 米国におけるシェールガス革命

- 頁岩（けつがん、シェール）という岩盤層の隙間に存在するシェールガス大量にあることは以前から判明していたが、米国における技術革新（水平掘り）近年生産が本格化し、今や米国は世界最大の天然ガス生産国となった。
- LNG受入基地に液化工場を建設し、余剰天然ガスをアジア市場に輸出しようという動きが盛んになっている。
- 世界のエネルギーバランスへの影響大きい



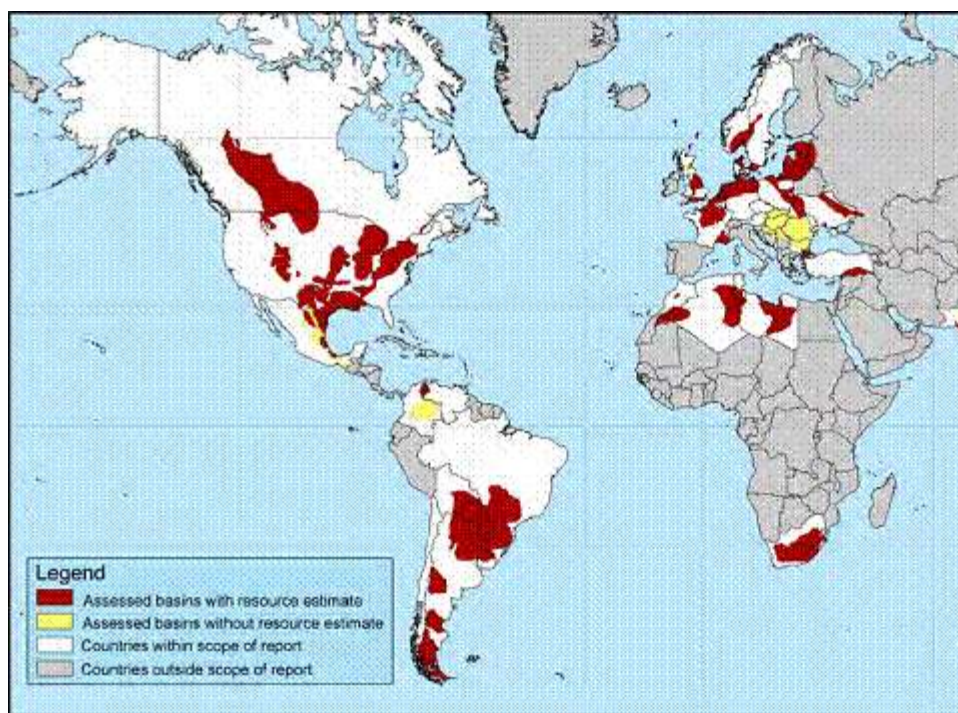
米国の天然ガス貿易(米EIA見通し)



水平掘りと水圧破碎法の進歩でタイトな地層から軽質炭化水素の回収が可能となった。

# 世界に存在するシェールガス

- 技術的に回収可能なシェールガスの資源量は**在来型天然ガスの埋蔵量とほぼ同じ**
- 中国の資源量は米国より多いが商業化のメドは立っていない



出所: 米国エネルギー情報局 (ARI社による調査)

| 可採資源量    | シェール<br>ガス | 在来型<br>天然ガス | 合計     |
|----------|------------|-------------|--------|
|          | Tcf        | Tcf         | Tcf    |
| 北米       | 1,889      | 351         | 2,240  |
| うちアメリカ   | 820        | 273         | 1,093  |
| 南米       | 1,225      | 262         | 1,487  |
| 欧州・中央アジア | 624        | 647         | 1,271  |
| ロシア      | na         | 1,581       | na     |
| アジア太平洋   | 1,800      | 572         | 2,372  |
| うち中国     | 1,275      | 99          | 1,374  |
| 中東       | na         | 2,677       | na     |
| アフリカ     | 1,042      | 520         | 1,562  |
| 世界計      | 6,580      | 6,609       | 13,189 |

## アメリカの天然ガス生産見通し

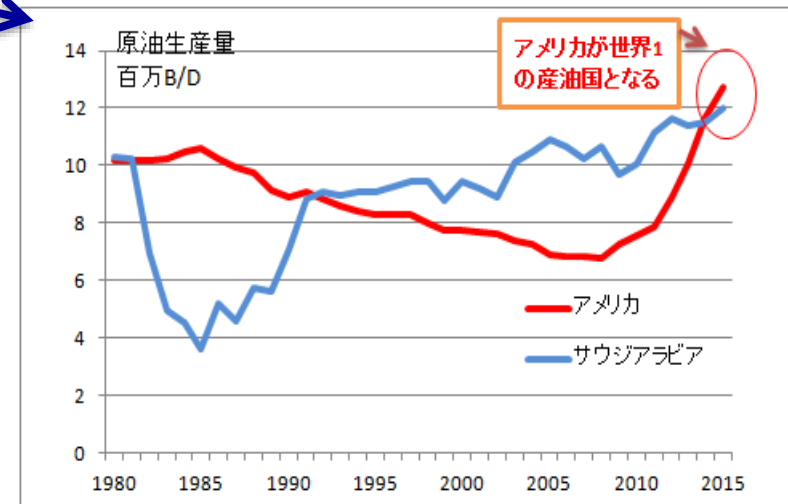
- 米国では、既に、タイトサンドガス とシェールガスを中心とする非在 来型天然ガスが、総生産量の 5 割を占めている。
- 2035年には非在来型天然ガスが全体の77%に達すると見込まれている。(アメリカEIA/DOE)

# シェール革命:アメリカ発の新しい潮流

## シェール革命とは

シェールガス・オイルが低価格で大量に供給されれば、天然ガスや原油などの価格動向はもちろん、各国の経済や産業活動、さらにはガス・原油の供給国と消費国の外交関係にも大きな影響を与える可能性がある（「シェール革命」 アメリカの復権、OPECの影響力の低下）。

- 技術革新により商業化生産が本格化し、いまやアメリカは世界最大の天然ガス生産国になった。 おなじ地層にあるシェールオイルの生産も本格化、サウジアラビアを抜いて世界最大の産油国に。→
- 米国では天然ガス価格が大幅に下がり、これを原料や燃料として使う製造業の復活、強いドルの時代が再びくると期待され、米国でエネルギーを基盤とする産業の再活性化、再工業化が始まっている。



### 原油価格下落の影響

米国の稼働リグ数も減少するも、生産への影響は限定的か 生産性の向上が課題。原油価格60\$程度が損益分岐点と言われている



### 3.11震災以降流れが変わりはじめている？

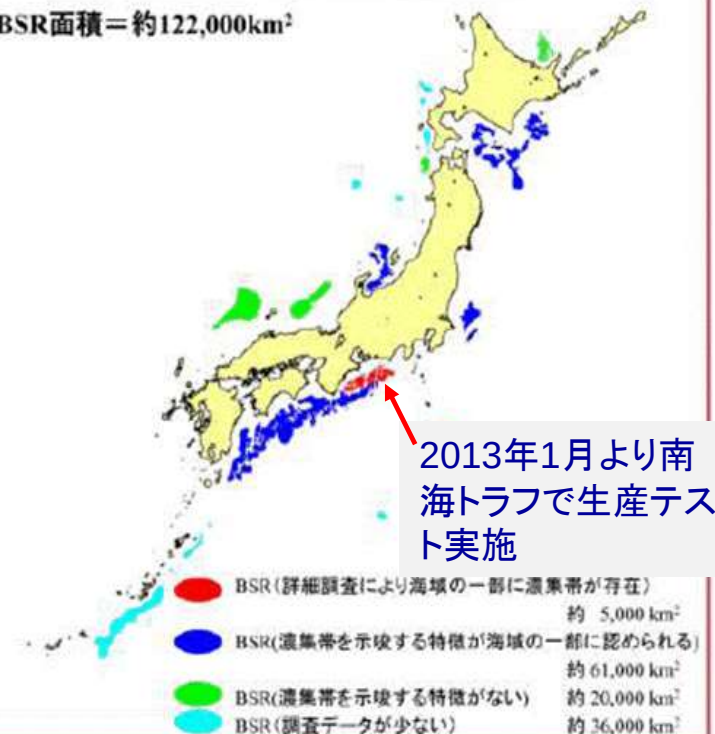
メタンハイドレートとは、低温・高圧下において水分中にメタンが取り込まれたシャーベット状の固体で、「燃える氷」と呼ばれることもある。



●日本近海の地下に膨大に存在すると見られ、我が国の天然ガス消費量の約100年分に相当する量が賦存すると推測されているが、採取技術の開発、大幅なコスト低減等、エネルギー資源として活用するには長期的な取り組みが必要である。

最新のBSR分布図(2009年)

BSR面積=約122,000km<sup>2</sup>



- 2013年3月、渥美半島南南東沖合70-80 km、水深857-1,405 mの海域で減圧法\*による試験生産を実施。約6日間、約12万m<sup>3</sup>のガスを生産。2017年、24日間20万m<sup>3</sup>のガスを生産
- \*地層内の圧力を下げ、メタンハイドレートを水とガスに分解する手法

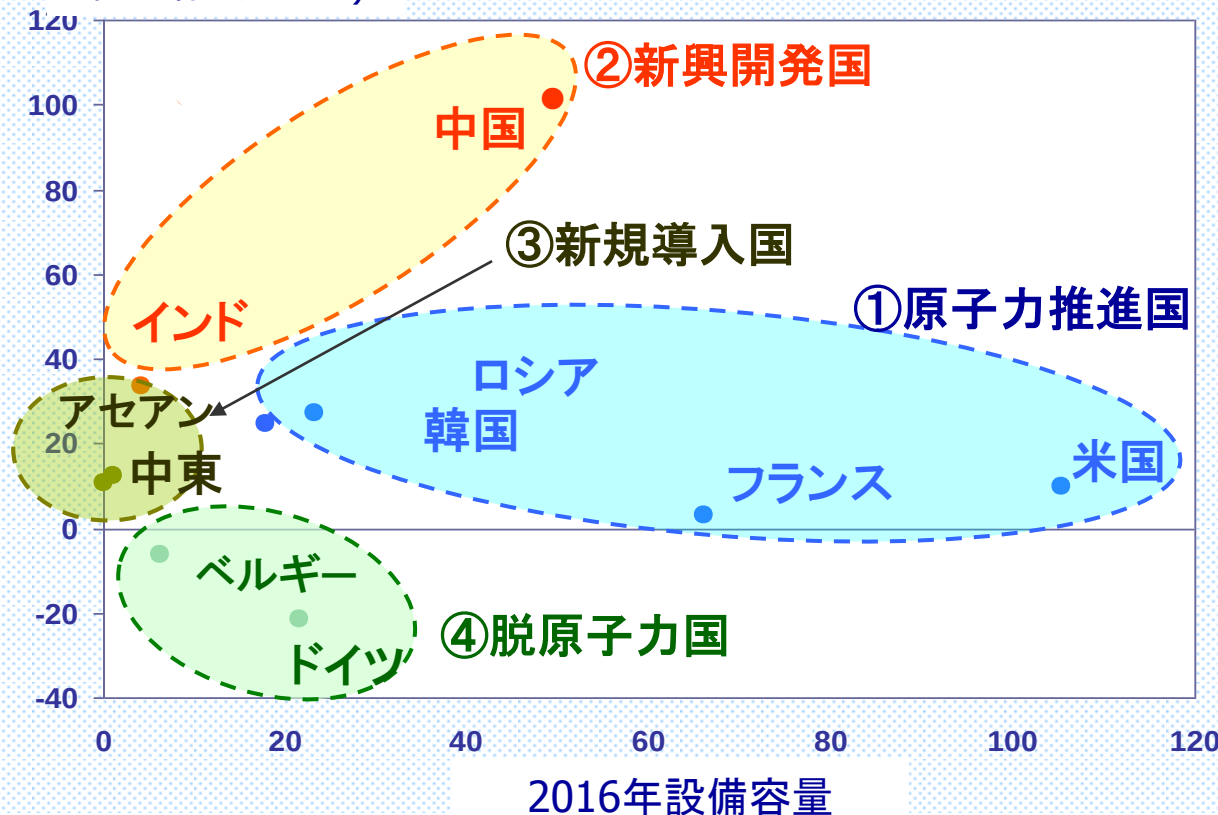
### 「エネルギー基本計画」(2014年4月)

2018年度を目途に商業化の実現に向けた技術の整備を行う。その際、2023年から2027年の間に、民間企業が主導する商業化のためのプロジェクトが開始されるよう、国際情勢をにらみつつ技術開発を進める

本格的な商業化は2030年代と見られる

## 福島第一原子力発電所事故以降の原子力政策の動向

2016～2040年設備  
容量増加分(GW)



| 国         |   | 運転中    |     | 建設・計画中 |     |
|-----------|---|--------|-----|--------|-----|
|           |   | 万KW    | 基数  | 万KW    | 基数  |
| 1 アメリカ    | ▼ | 10,356 | 99  | 1,066  | 9   |
| 2 フランス    |   | 6,588  | 58  | 163    | 1   |
| 3 日本      | ▼ | 4,148  | 42  | 1,572  | 11  |
| 4 中国      | ▲ | 3,349  | 35  | 5,052  | 47  |
| 5 ロシア     | ▲ | 2,674  | 30  | 2,595  | 25  |
| 6 韓国      | ▲ | 2,312  | 25  | 1,292  | 9   |
| 7 カナダ     | ▲ | 1,427  | 19  | 0      | 0   |
| 8 ウクライナ   |   | 1,382  | 15  | 200    | 2   |
| 9 ドイツ     | ▼ | 1,136  | 8   | 0      | 0   |
| 10 イギリス   | ▼ | 1,038  | 15  | 326    | 2   |
| 11 スウェーデン |   | 968    | 10  | 0      | 0   |
| その他       |   | 5,225  | 83  | 6,140  | 61  |
| 合計        |   | 40,600 | 439 | 18,406 | 167 |

▼は2011年1月時点より設備容量が減少した国、  
▲は増加した国

- ① 原子力推進国(米国、フランス等) … 福島事故後も既存の原子力政策を継続
- ② 新興開発国(中国、インド等) … 福島事故後も引き続き、原発の建設を計画／建設中
- ③ 新規導入国(東南アジア、中東等) … 一部の国で新規導入を一時中断ないし停滞中
- ④ 脱原子力国(ドイツ、韓国等) … 今後順次原子力発電所を閉鎖する見通し

# 多くの国が引き続き原子力発電を推進



※1 韓国では5基の建設が続行（うち、新古里5・6号機については、  
討論型世論調査を実施した結果、建設の継続を決定）

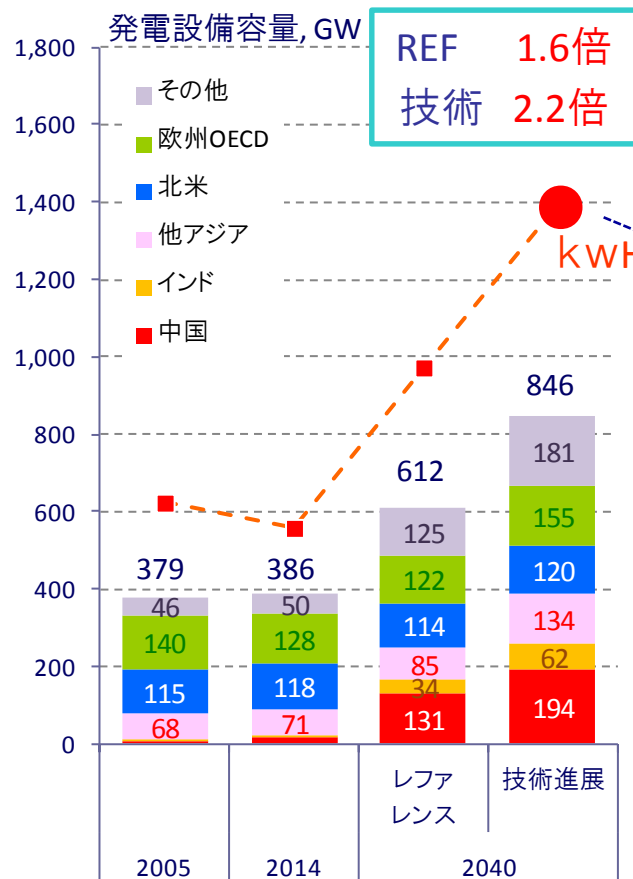
※2 スイスは運転期間の制限を設けず

出所：資源エネルギー庁エネルギー情勢懇談会資料  
出典：平成29年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2018）

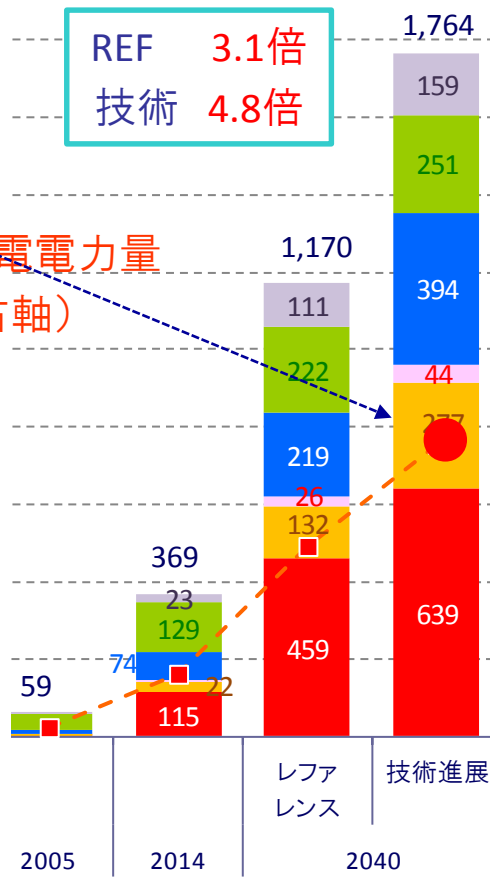
# 世界の原子力発電/太陽光・風力発電の展望 2040年

## KwとKwh

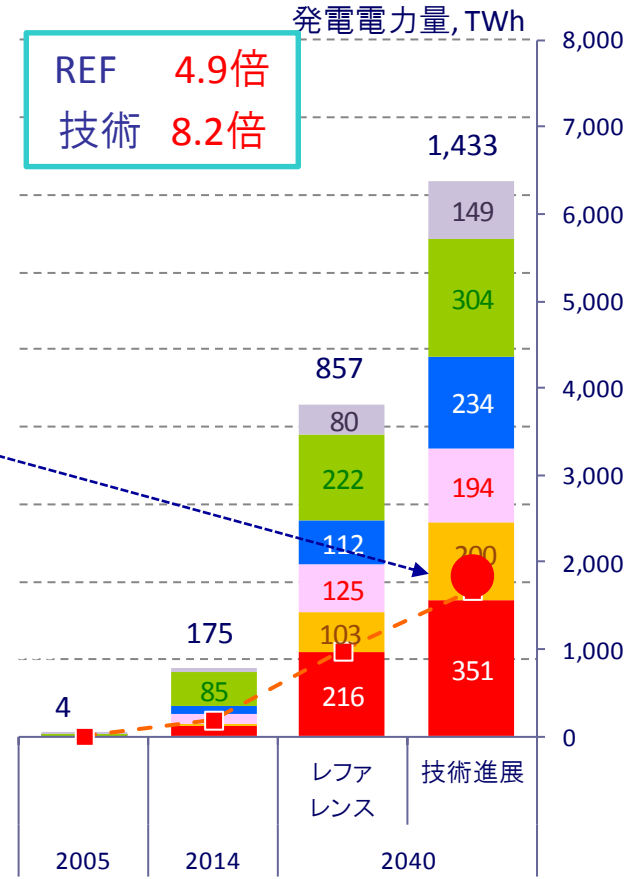
### 原子力発電



### 風力発電



### 太陽光発電



- 原子力発電は、「エネルギー安全保障」、「地球温暖化防止」といった観点、「経済性の高い電力エネルギー」が経済成長にとって不可欠であるためアジアにおいて急速な拡大が見込まれる。
- 再生可能エネルギーは。技術開発や固定価格買取制度(FIT)、補助金付与などの普及支援策を追い風に、今後急速に拡大するが、課題も多い(経済性、不安定性、低いエネルギー密度など)



## Ⅱ. エネルギー需給構造の概論

### Ⅱ-1 日本のエネルギー政策と需給構造の変遷

石油危機後の経済とエネルギー需給構造の大きな転換  
高度成長→安定成長  
エネルギー安全保障の確保

日本のエネルギー政策の変遷

震災後は石油危機以上の大転換期  
エネルギー基本計画の見直し

# 日本のエネルギー政策の変遷

## 1970-80年代(石油危機) → エネルギー安全保障の確保

- 輸入資源の安定的な確保と自給率の向上

安定供給

(脱石油、脱中東、エネルギーの多様化、省エネの促進)

## 1980-90年代 → 経済構造改革の要請(市場原理)

- 規制緩和、自由化による経済合理性の追求

安定供給

+

経済性

## 1990年代以降 → 地球温暖化問題への対応

- 京都議定書採択(97年)

安定供給

+

経済性

+

環境

- 地球温暖化対策はエネルギー政策と一体 (省エネ、脱炭素化)

## 2000年以降 → エネルギー政策の見直し(エネルギー基本法)

- 新興国の発展と石油開発投資の停滞。  
資源ナショナリズムの台頭。

安定供給

+

経済性

+

環境

(強化)

## ● 大震災後(2011年以降) → 3E+S(安全) 政策の抜本的見直し

# エネルギー基本計画の改定 エネルギー政策の再構築

## エネルギー政策基本法 (2002年6月施行)

エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るため、エネルギー政策の基本的な方針を定める。同法に基づき、長期的、総合的かつ計画的にエネルギー政策を進めるための基本方針を示す「エネルギー基本計画」を策定。

《エネルギー政策の基本的な方針》 3Eの達成 ①「安定供給の確保」

②「環境への適合」

③「市場原理の活用」

## エネルギー基本計画

3年ごとに検討

- ① 2003年10月策定 (原子力を基幹電源として推進)
- ② 2007年 3月改定 (「原子力立国」を実現)  
(政権交代)
- ③ 2010年6月改定 (温暖化対策の強化、原子力、再エネの大量導入)  
(大震災、政権交代)
- ④ 2014年4月改定 (原子力は重要なベースロード電源、**3E+S**(安全))
- ⑤ 2018年7月改定 (2030年の目標は現行計画を引き継ぎ、50年を視野に入れたエネルギー選択への課題を掲げた)

## エネルギー安全保障とは：

ある国にとって、市民生活、経済・社会活動、国防等の維持・発展に必要十分な『量』のエネルギーを、合理的な『価格』で確保すること。

## エネルギー安全保障確保の対応策

### ●自給率の向上

- ◆ 国内生産の拡大(原子力、再生可能エネルギー、メタンハイドレート？)

### ●エネルギー輸入に係るリスクの低減

- ◆ 輸入相手国の分散化
- ◆ エネルギー利用の分散化
- ◆ エネルギー輸送の安全性確保(シーレーン)

### ●国内対策

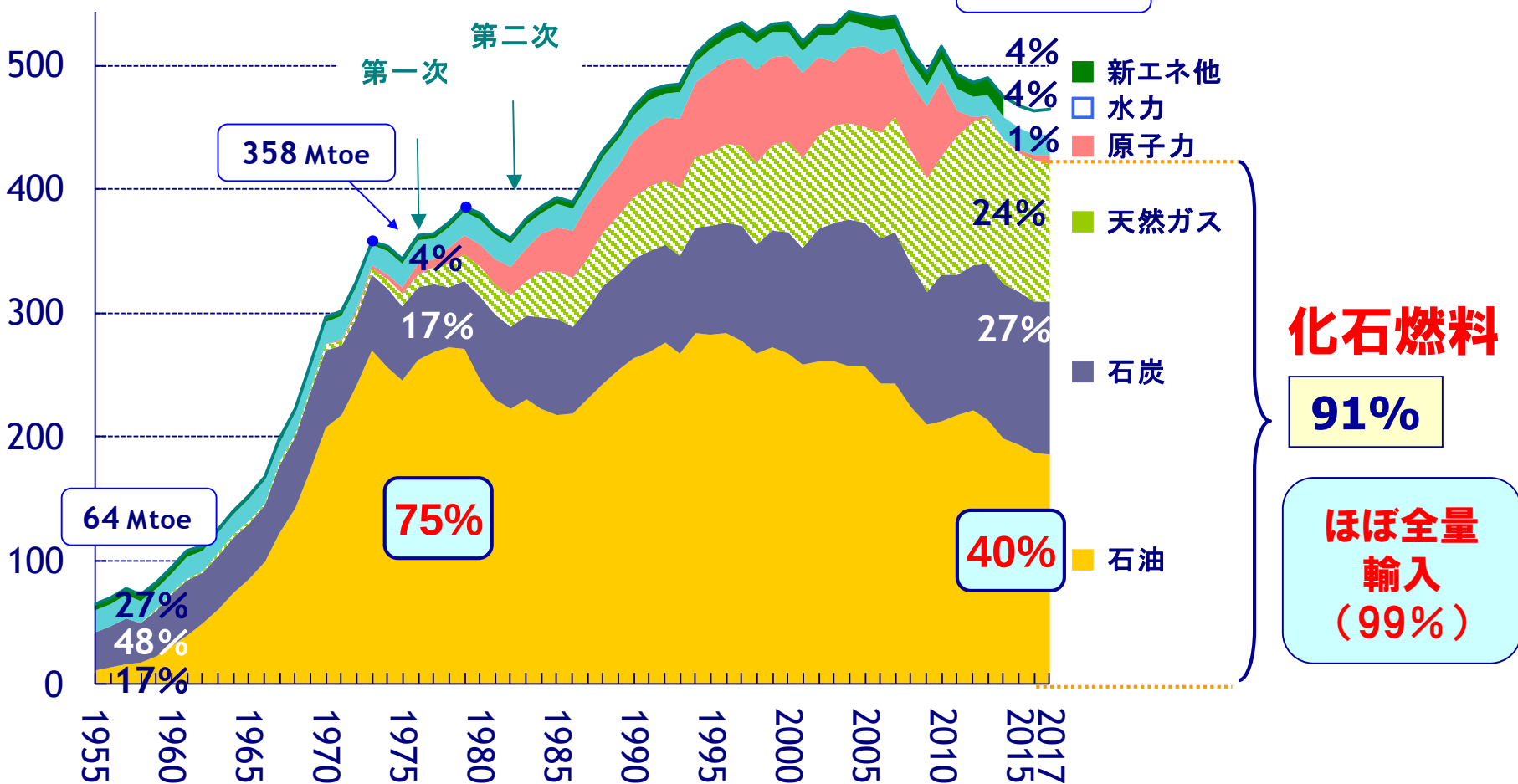
- ◆ エネルギー需要の抑制(省エネ)
- ◆ 信頼性の高い国内供給インフラの整備
- ◆ 緊急時対応力の強化

(石油備蓄：国家備蓄80日、民間備蓄117日)

# エネルギー多様化へ（脱石油：ベストミックスの追求）

## 一次エネルギー国内供給

石油換算百万トン



エネルギー供給の安定化

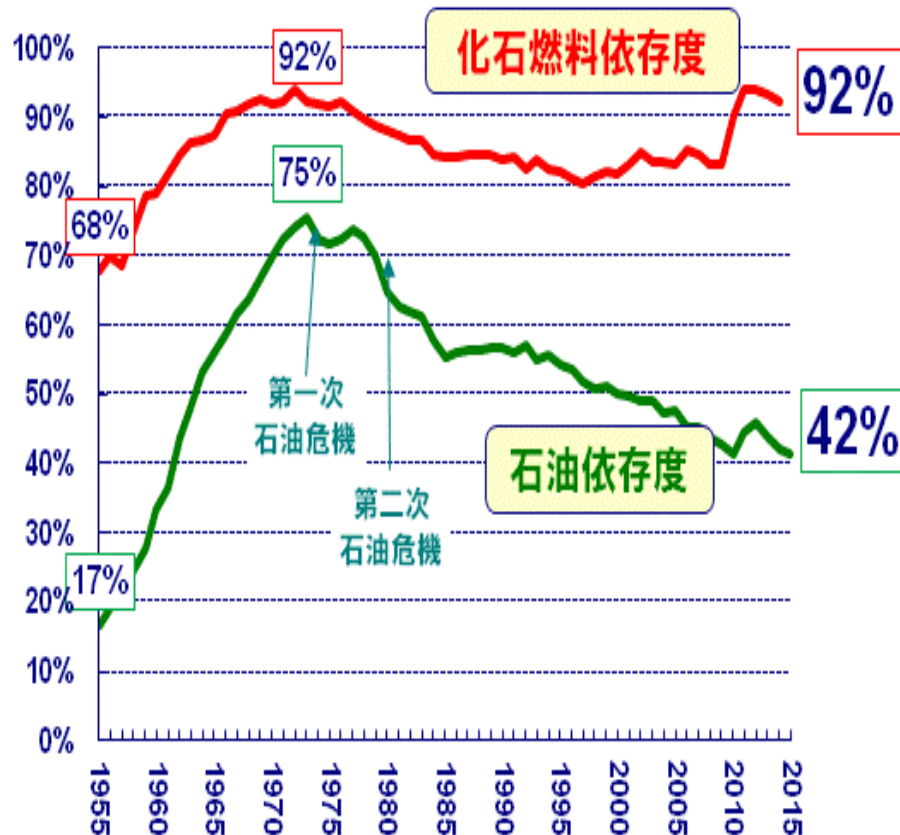


- 脱石油、供給の多角化、他のエネルギーへの転換
- 自給率の向上

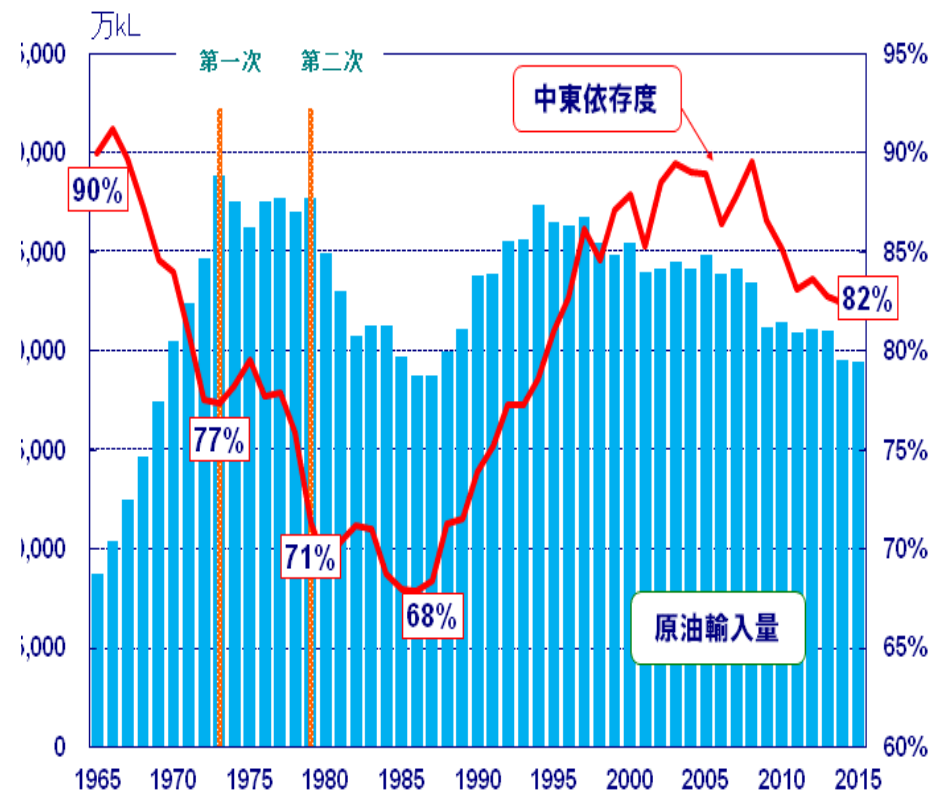
# 石油依存度と中東依存度

不十分なエネルギーセキュリティ

## 石油・化石燃料依存度



## 中東依存度

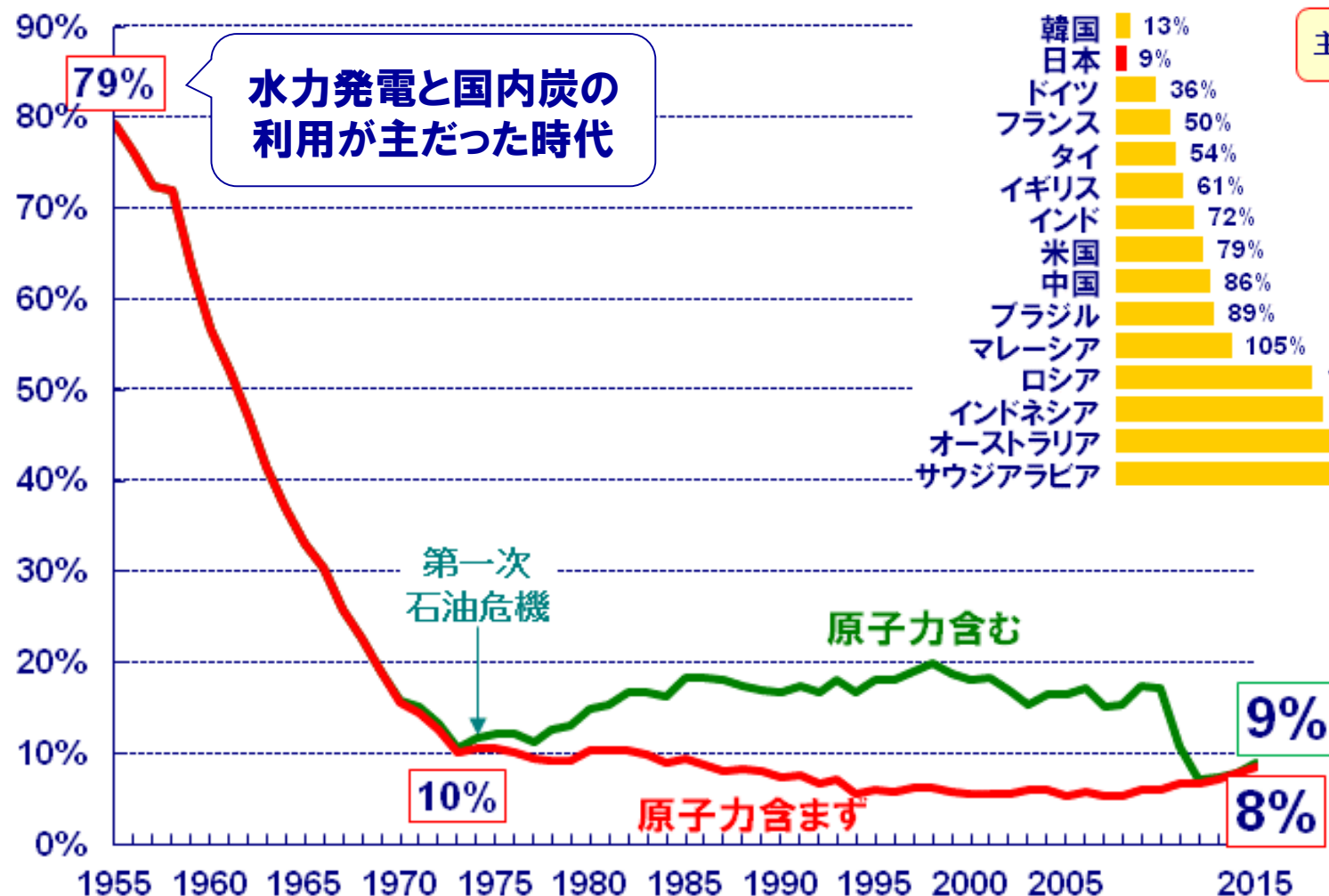


**石油依存度** 1973年75% → 1987年56% → 2015年41%

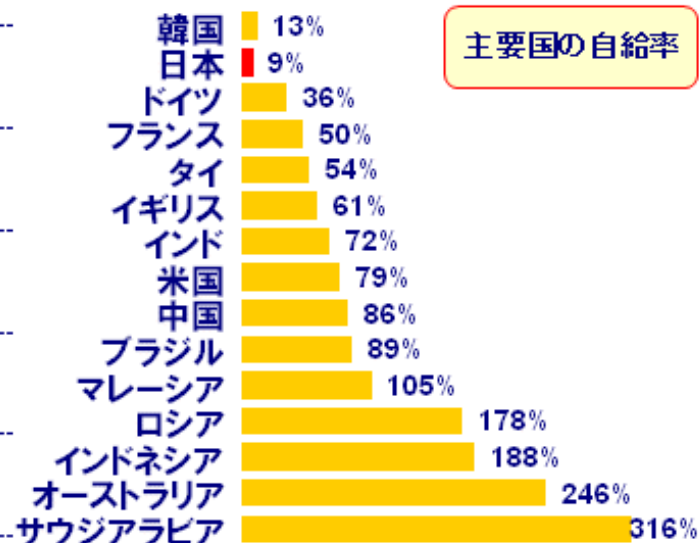
**中東依存度** 1973年78% → 1987年68% → 2015年82%

# 国際エネルギー情勢に対して、脆弱なエネルギー需給構造

## 日本のエネルギー自給率推移（低い自給率）



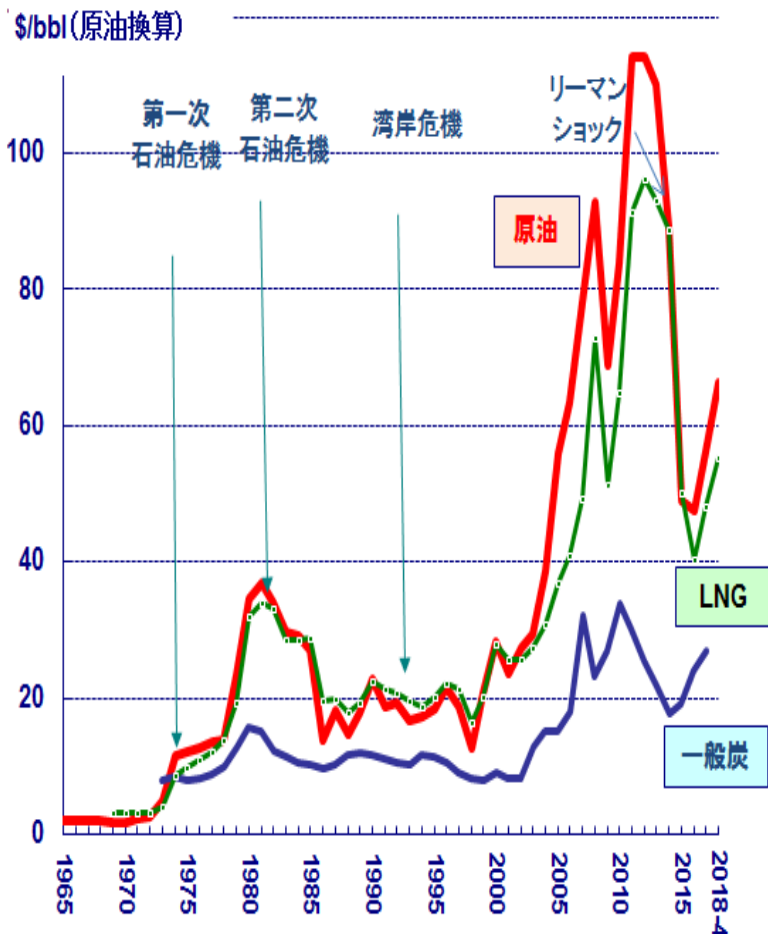
## 主要国のエネルギー自給率



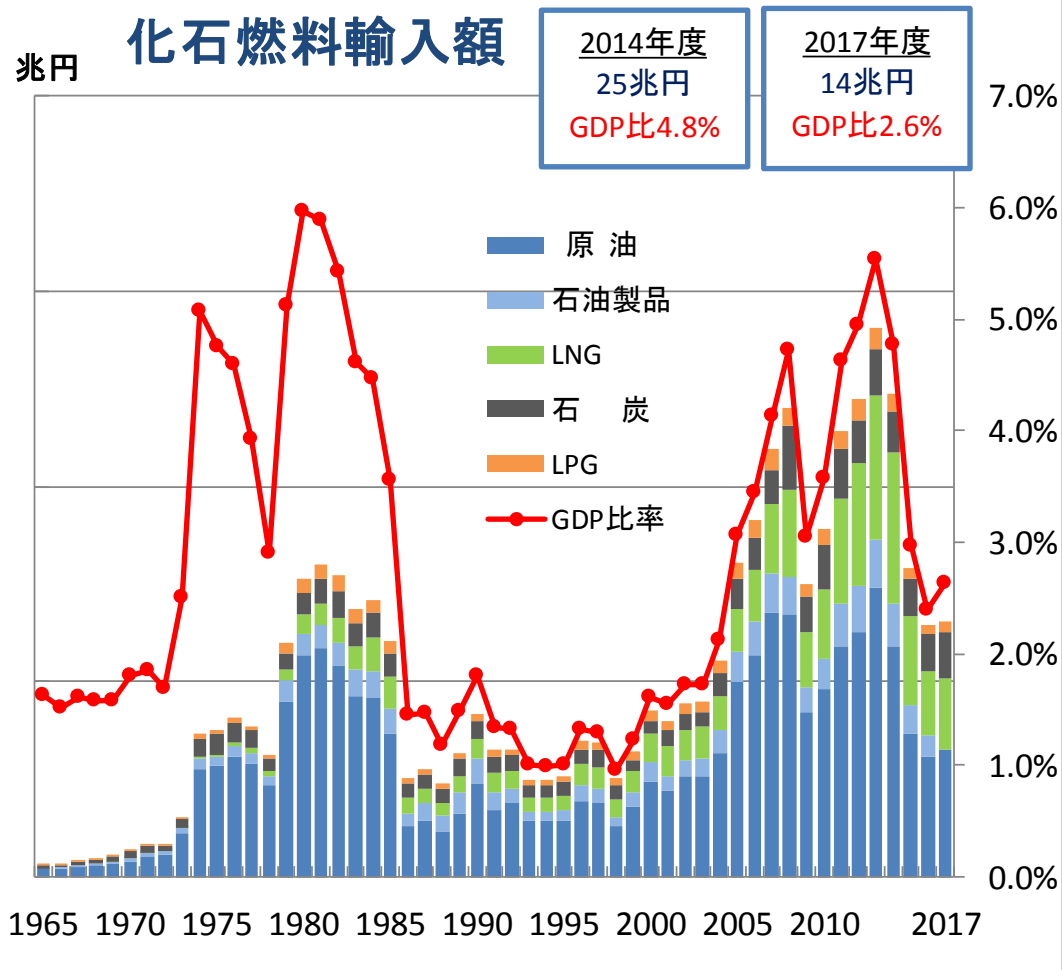


# 乱高下する原油価格/原発の停止 増大する化石燃料輸入額（国富の流失）

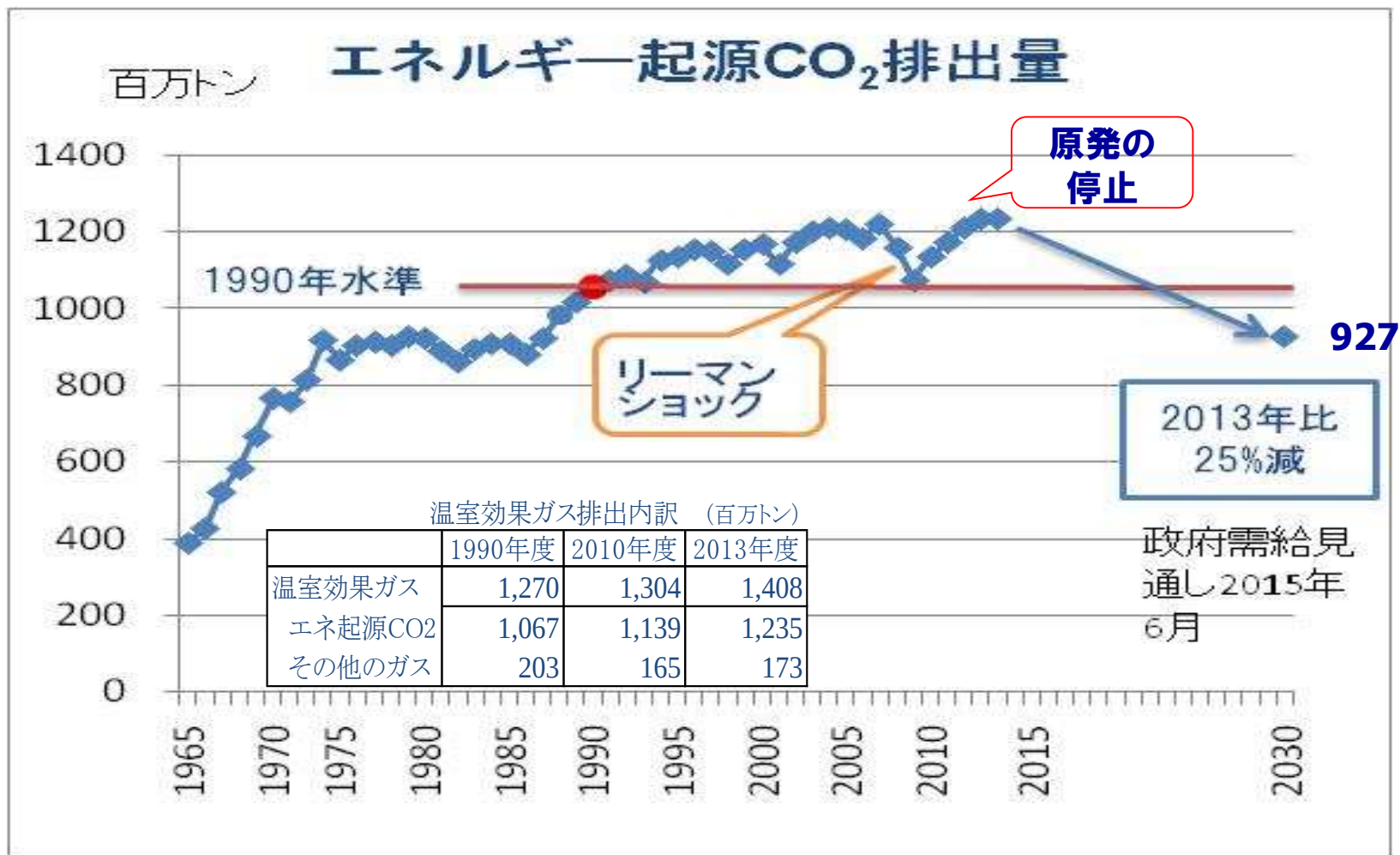
## 乱高下する原油価格



## 兆円 化石燃料輸入額



# 日本のCO<sub>2</sub>排出量推移 震災以降、CO<sub>2</sub>排出量の増加が続く



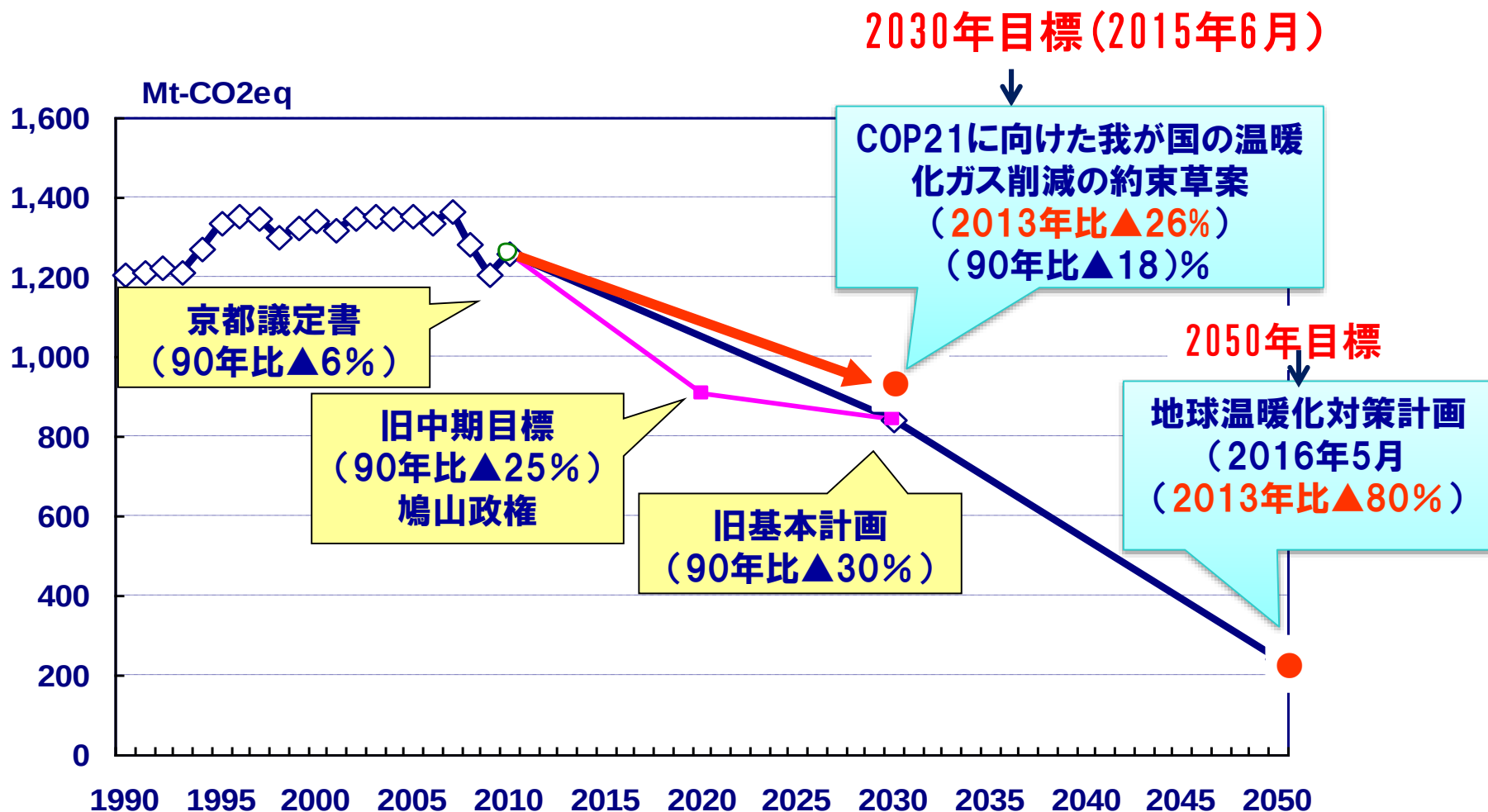
震災以降、CO<sub>2</sub>排出量の増加が続いている。

長期需給見通しのCO<sub>2</sub>排出量推計は2013年比25%減。

日本の温室効果ガス削減約束草案は2030年に2013年比26%減

# GHG排出量削減目標の検討 経緯

長期目標2013年比(2030年▲26%、2050年に比▲80%)の達成は？



京都議定書2010年目標は達成(▲8.2%:CO<sub>2</sub>は+1.4%、森林吸収▲3.8%、排出権購入5.9%)

# エネルギー戦略を考える際の重要なスタンス

## エネルギー安全保障とは

「国民生活、経済産業活動のために、必要十分なエネルギーを合理的な価格で確保すること」。日本は「極端なエネルギー小国」

### ➤ 完璧なエネルギー源は存在しない

- ・各エネルギーのメリット・デメリットをよく理解し、そのメリットを最大限活かしたベストミックスを追求
- ・交渉カード(オプション)を多く持つ

#### 総合的な視点(3E+S)

- ・エネルギー安全保障
- ・経済性
- ・気候変動対策
- ・安全性

### ➤ 夢や希望ではなく、実現可能性・現実性を十分考慮する

- ・エネルギー政策は国のあり方を左右する極めて重要な問題である
- ・楽観的な期待は禍根をのこす

### ➤ 国際的な視点

- ・世界の原子力の流れ(中国、インド等で原子力の急増)
- ・世界最高水準の原子力平和利用技術への期待(技術立国の一翼を担う)

→ 震災後の新たな「エネルギー基本計画(第4次)」を策定(2014年4月)

2018年5月「第5次エネルギー基本計画」策定

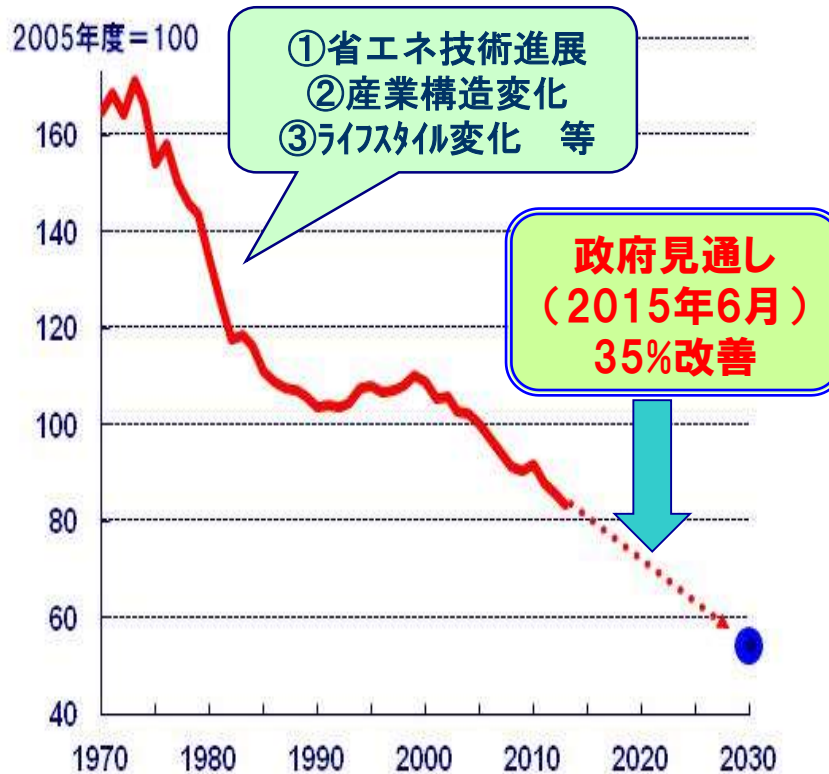
## **II. エネルギー需給構造の概論**

### **II-2 省エネルギー**

# 日本のエネルギーの利用効率

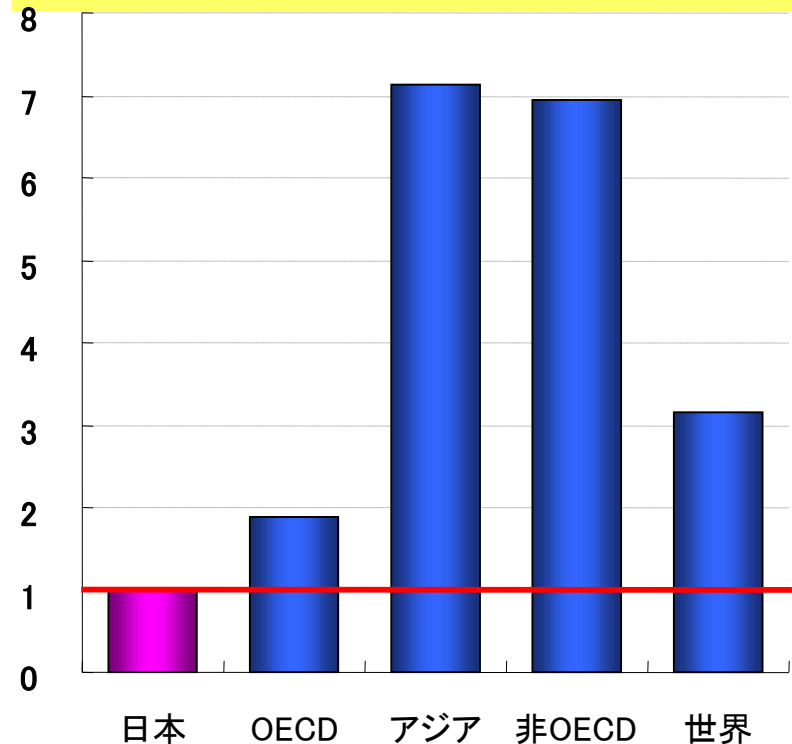
- 日本のエネルギー利用効率は世界トップレベルにある。
- 省エネ技術の浸透と産業・社会構造変化が進んだのが原因。
- 政府の長期需給見通しでは2030年までに2013年度比35%の改善を見込む

## GDPあたりのエネルギー消費量

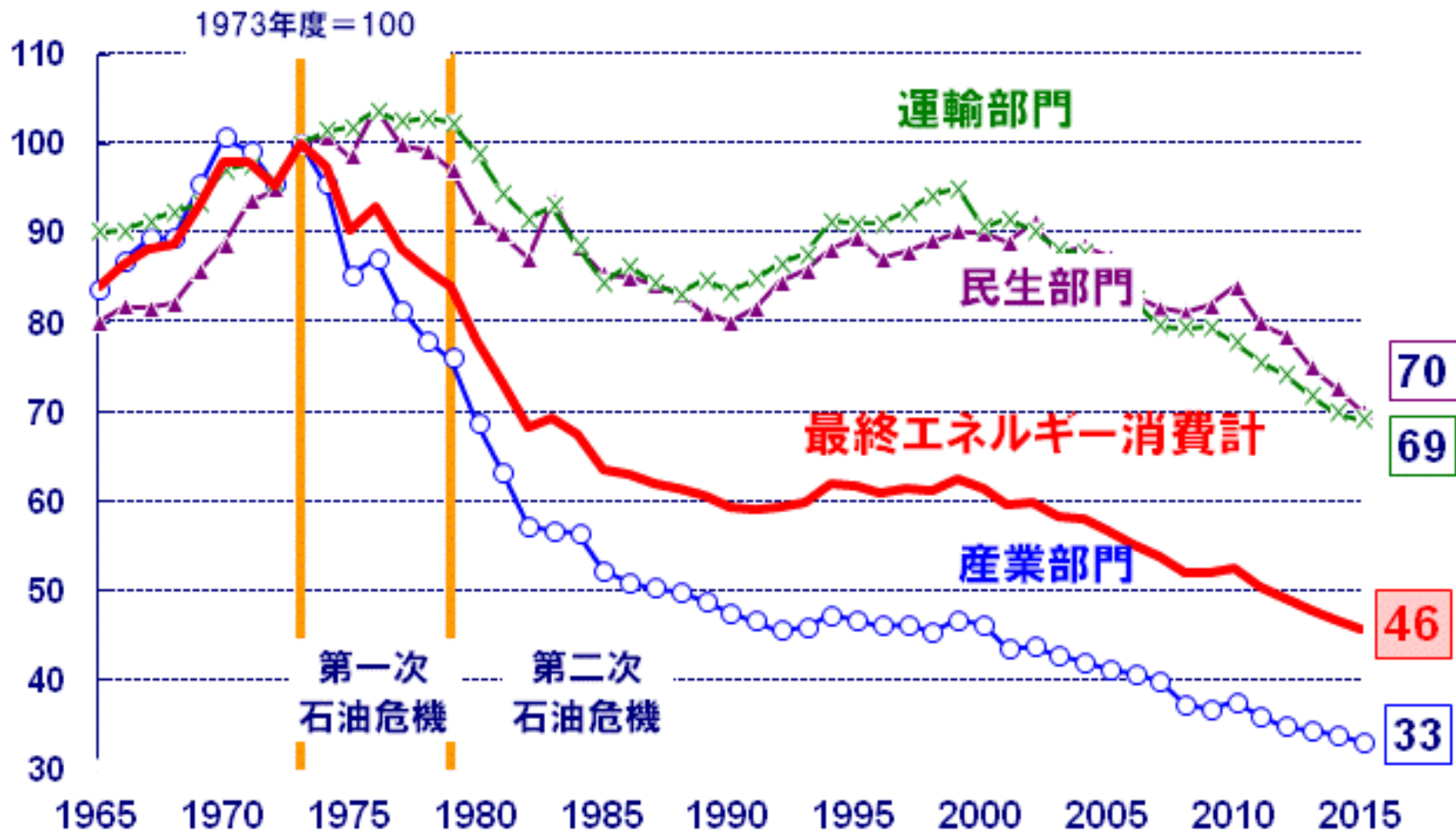


## 国際比較

GDP当りエネルギー消費量(日本=1)



# GDP当たりエネルギー消費の推移(省エネ大国へ)



高度経済成長

省エネ推進

省エネ停滞

省エネ再始動



# 省エネ法による規制範囲の拡大

## 産業

### 1979 施行

エネルギー管理指定工場

エネルギー使用の合理化に向けた基本方針

### 1983 改正

エネルギー管理士の認定制度

### 1992 改正

定期報告制度

### 1998 改正

工場の対象拡大

### 2005 改正

熱・電気規制区分の一本化(対象拡大)

### 2008 改正

事業者単位の導入(対象拡大)、共同省エネ、ベンチマーク導入

### 2013 改正

電気の需要の平準化の推進

## 民生

- 高いエネルギー輸入依存度
- 石油価格の高騰
- 産業構造の中で重化学工業が大きな割合を占める

### ■ 7回にわたり省エネ法を改正

- 追加的な措置として、エネルギー管理士制度、エネルギー消費定期報告、トップランナープログラムなどがある
- 対象セクターも拡大(運輸、民生、業務)

### 1998 改正

トップランナー制度

### 2002 改正

オフィスビル等の対象拡大

### 2005 改正

輸送事業者と荷主対象の対象拡大

### 2008 改正

テナントへの情報提供、フランチャイズチェーンの指定による対象拡大、ベンチマーク導入

### 2013 改正

トップランナー制度の建築材料等への拡大

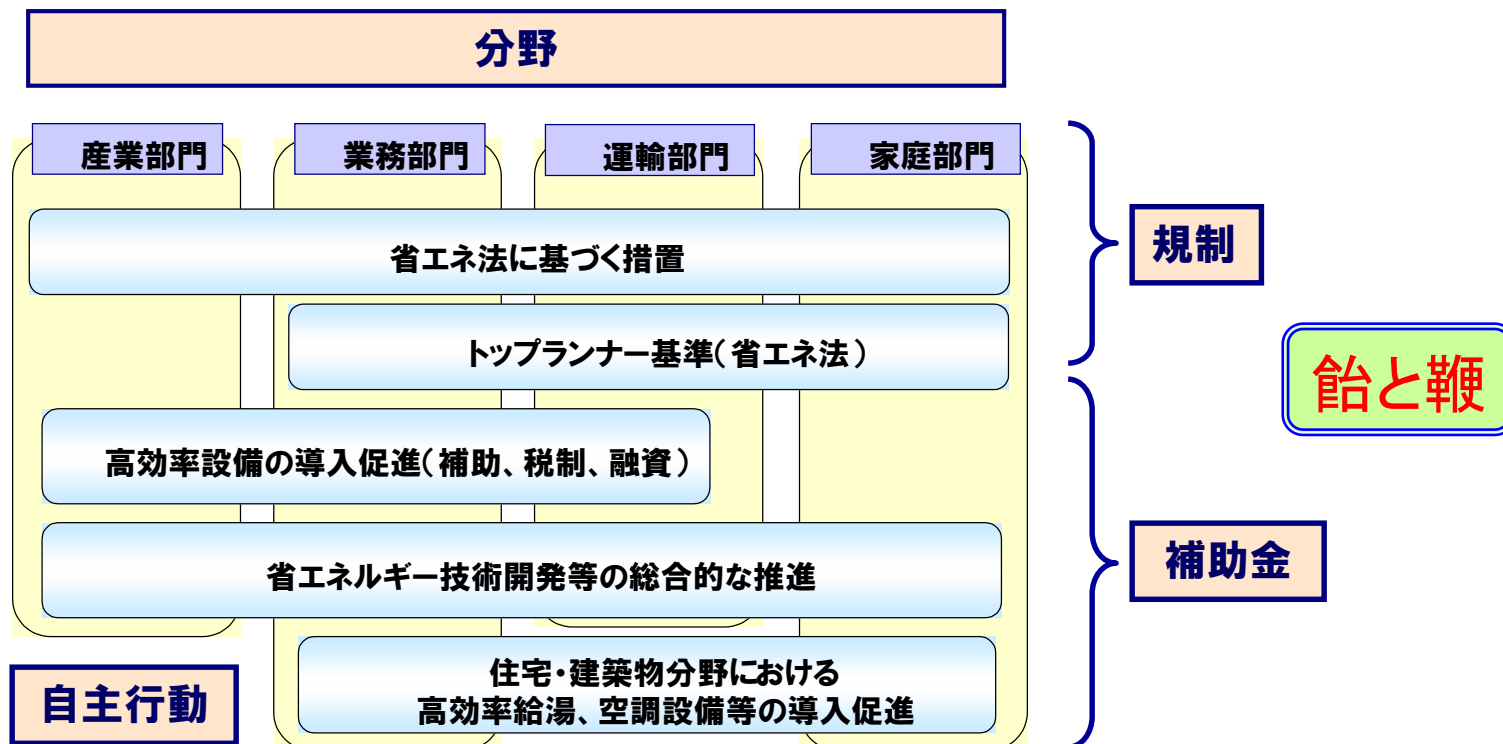
2018年

連携省エネや  
ネット通販増大  
に対応

# 省エネ促進に向けた規制と支援

1. 政府による規制(省エネ法)
2. 支援・助成制度 (税額控除、助成金、優遇金利)
3. 自主行動 (経団連自主行動計画、コスト削減努力)

## 【各分野における省エネ政策】



## ①産業構造の変化

- 製造業における重厚長大産業(エネルギー多消費産業)から加工組立型産業への移行
- 製品構成変化(プロダクトミックス):同量のエネルギーを消費する場合に、付加価値の高い製品を生産した方が、経済指標(GDPなど)に対するエネルギー原単位は低下する。

## ②社会構造の変化

- 鉄道、船舶、バスなどの大量輸送機関から乗用車、トラックへの輸送手段の移行(モーダルシフト) <→増エネ要因>
- 都市化の進展(集合住宅の増加、サービス部門の集中・効率化)

## ③技術的な省エネ

- 製造工程における省エネ:鉄鋼業の連続鑄造技術や高炉の廃熱、排ガスの再利用など
- 製品使用段階における省エネ:家電機器の効率、自動車燃費(トップランナー制度)
- ZEB(ゼロエネルギーハウス),ZEB、次世代自動車 等

# 民生部門の省エネ対策

## トップランナー制度

### ①保有機器の効率向上



機器効率の向上  
(単体対策)

- ・待機時消費電力の削減
- ・高効率照明／高効率給湯器 など

買い替えの促進

- ・省エネラベリング制度
- ・省エネ型製品販売事業者評価制度 など

### ②住宅・建築物の性能向上

- ・断熱性能・気密性能の向上 など

### ③エネルギー需要の管理

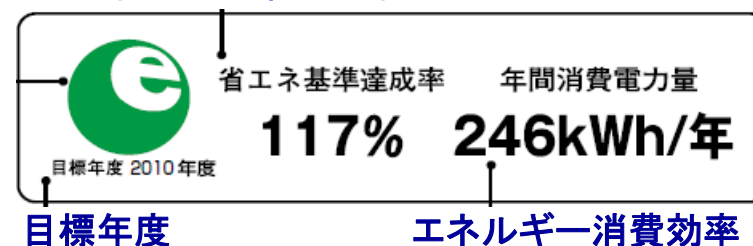
- ・Home/Building Energy Management System
- ・ESCO事業 など

### ④省エネ意識の向上

- ・クールビズ、1人1日1kg CO<sub>2</sub>削減
- ・省エネ法(管理者選定、定期報告など) など

## 省エネラベリングの表示例

省エネ性  
マーク



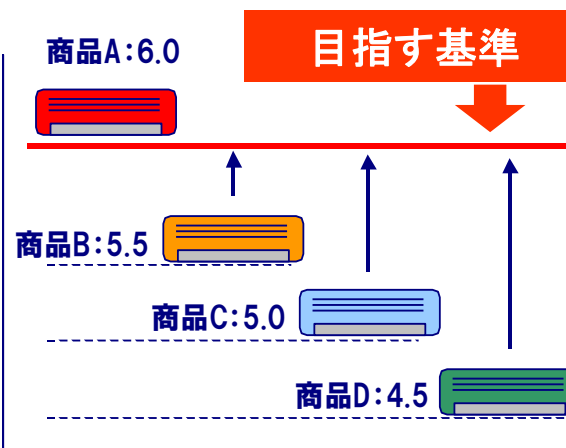
# トップランナー制度により省エネが進展

## 目標を大きく上回って達成している

トップランナー方式とは、電気製品等の省エネルギー基準をそれぞれの機器において現在商品化されている製品のうち最も優れている機器の性能以上にするという考え方。

(対象品目:32、2017年現在)

通年エネルギー消費効率(APF)

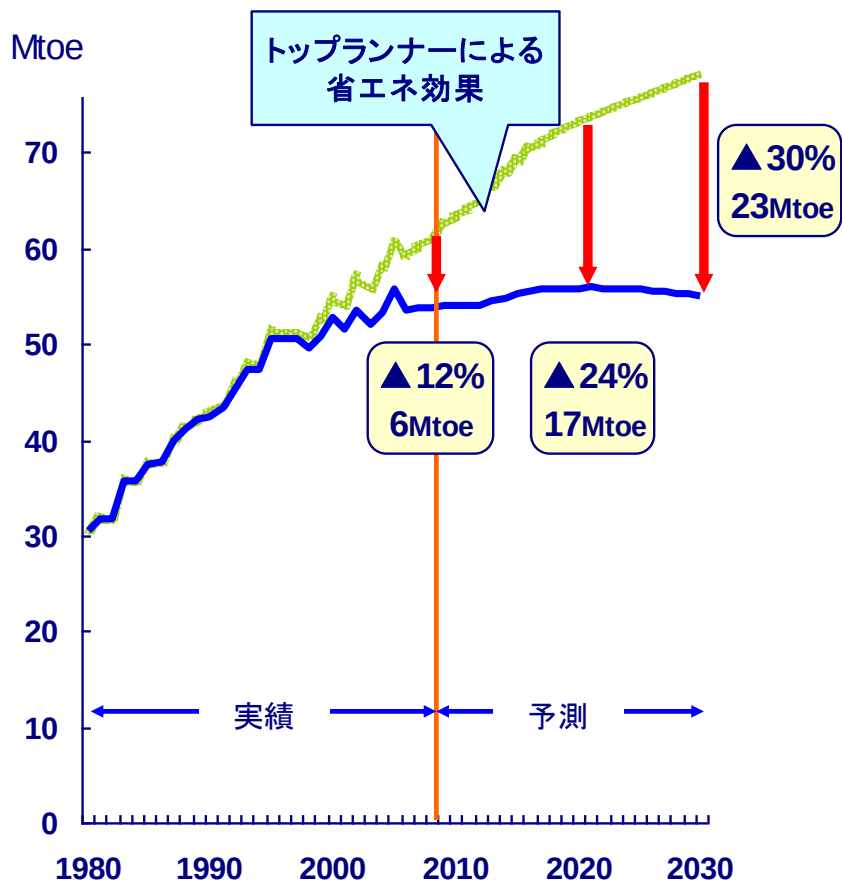


エコポイント  
エコカー減税等  
(買換えを促進)

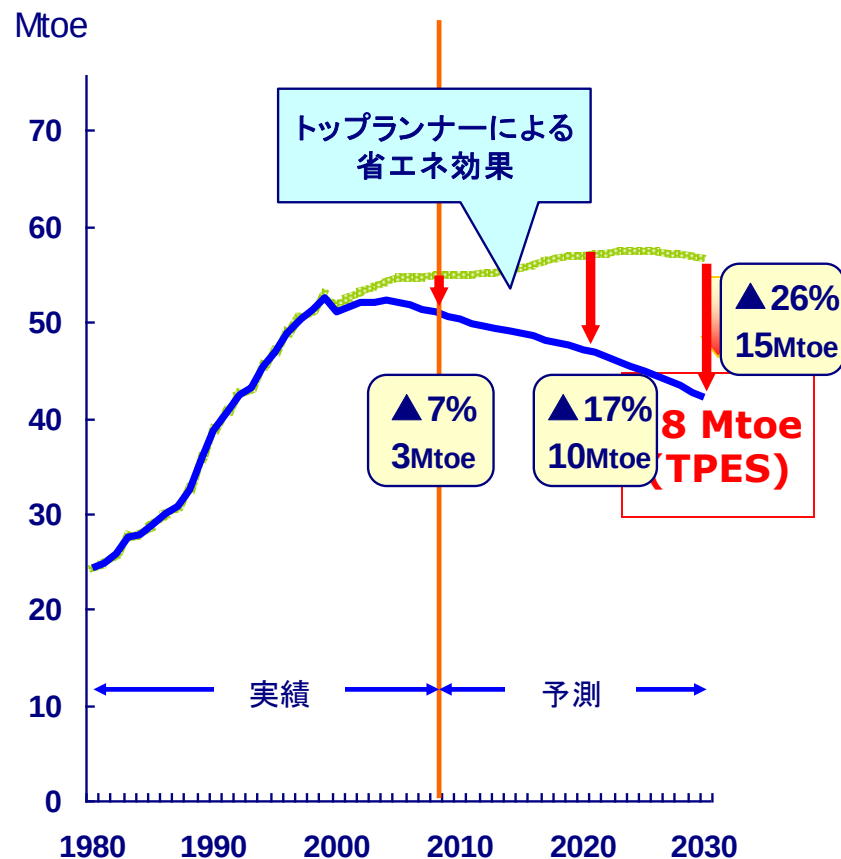
| 機器名      | エネルギー消費効率改善        |       |                    |                     |
|----------|--------------------|-------|--------------------|---------------------|
|          | 旧目標(～2005年度前後)     |       | 新目標(～2010年以降)      |                     |
|          | 旧目標                | 実績    | 新目標                | 実績                  |
| 蛍光灯器具    | 16.6%<br>(97→05年度) | 35.7% | 7.7%<br>(06→12年度)  | 14.5%               |
| エアコン※    | 66.1%<br>(97→04年度) | 67.8% | 22.4%<br>(05→10年度) | 16.3%               |
| 冷蔵庫      | 30.5%<br>(98→04年度) | 55.2% | 21.0%<br>(05→10年度) | 43.0%               |
| 冷凍庫      | 22.9%<br>(98→04年度) | 29.2% | 12.7%<br>(05→10年度) | 24.9%               |
| 電気便座     | 10.0%<br>(00→06年度) | 14.6% | 9.7%<br>(06→12年度)  | 18.8%               |
| 電子計算機    | 69.2%<br>(01→07年度) | 80.8% | 77.9%<br>(06→12年度) | 85.0%               |
| 自動販売機    | 30.8%<br>(98→04年度) | 37.3% | 33.9%              | 48.8%               |
| ガソリン乗用車※ | 22.8%<br>(95→10年度) | 22.8% | 23.5%<br>(04→15年度) | 58.7%?<br>(04→14年度) |

# トップランナー制度の省エネ効果

## 民生部門



## 運輸部門



- エネルギー消費機器の省エネ性能を示す省エネラベリングは、消費者の省エネ製品購入を促進し、トップランナー制度の効果を高めている。

# 「省エネルギー技術戦略」の重要技術

エネルギー供給から需要まで

## エネルギー転換・供給部門

・高効率火力発電 ・次世代送配電技術

・製造プロセス省エネ化技術  
・省エネ化システム・加工技術

・ZEB・ZEH  
・省エネ型情報機器・システム  
・快適・省エネヒュー

・次世代自動車等  
・ITS  
・スマート物流システム

産業

家庭・業務

運輸

・次世代エネルギーマネジメントシステム  
・パワーエレクトロニクス  
・次世代型ヒートポンプシステム

部門横断



# 「エネルギー・環境イノベーション戦略」

「超スマート社会」(society5.0)の到来によって、エネ・システム全体が最適化されることを前提に2050年を見据えた削減ポテンシャルインパクトがおおきい有望な革新技術

分野別革新技術

省エネルギー



1 革新的  
生産プロセス

○高温高压プロセスの無い、革新的な素材技術  
➢ 分離膜や触媒を使い、20～50%の省エネ

2 超軽量・  
耐熱構造材料

○材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上  
➢ 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用

蓄エネルギー



3 次世代  
蓄電池

○リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池  
➢ 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行

4 水素等製造・  
貯蔵・利用

○水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発  
➢ CO<sub>2</sub>を出さずに水素等製造、水素で発電

創エネルギー



5 次世代  
太陽光発電

○新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電  
➢ 発電効率2倍、基幹電源並みの価格

6 次世代  
地熱発電

○現在は利用困難な新しい地熱資源を利用  
➢ 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大

7 CO<sub>2</sub>固定化・  
有効利用

○排出されるCO<sub>2</sub>を分離し、CO<sub>2</sub>利用産業を実現  
➢ 分離コスト半減、有効利用する量や効率の飛躍的向上

# 第四次産業革命/Society5.0(超スマート社会)

## 第四次産業革命とは

第一次 「蒸気」という新しい動力の出現 (18~19世紀初頭英国)

第二次 「電気」と「石油」による大量生産の実現 (19世紀後半米国)

第三次 「コンピュータ」が登場し自動化・効率化が進む (20世紀後半日米)

第四次 様々なものがインターネットにつながり(IoT)それを「AI」が制御

→ 2012年ドイツの技術戦略「インダストリー4.0」を日本語化

(例)シェアリングエコノミー、自動運転、フィンテック(ITを活用した金融サービス)等



エネルギー面では電化と同調？

2017年政府は「未来投資戦略2017」を閣議決定し、長期的成長を実現していくために、第4次産業革命の技術革新をあらゆる産業や社会生活に取り入れることにより、様々な社会課題を解決する

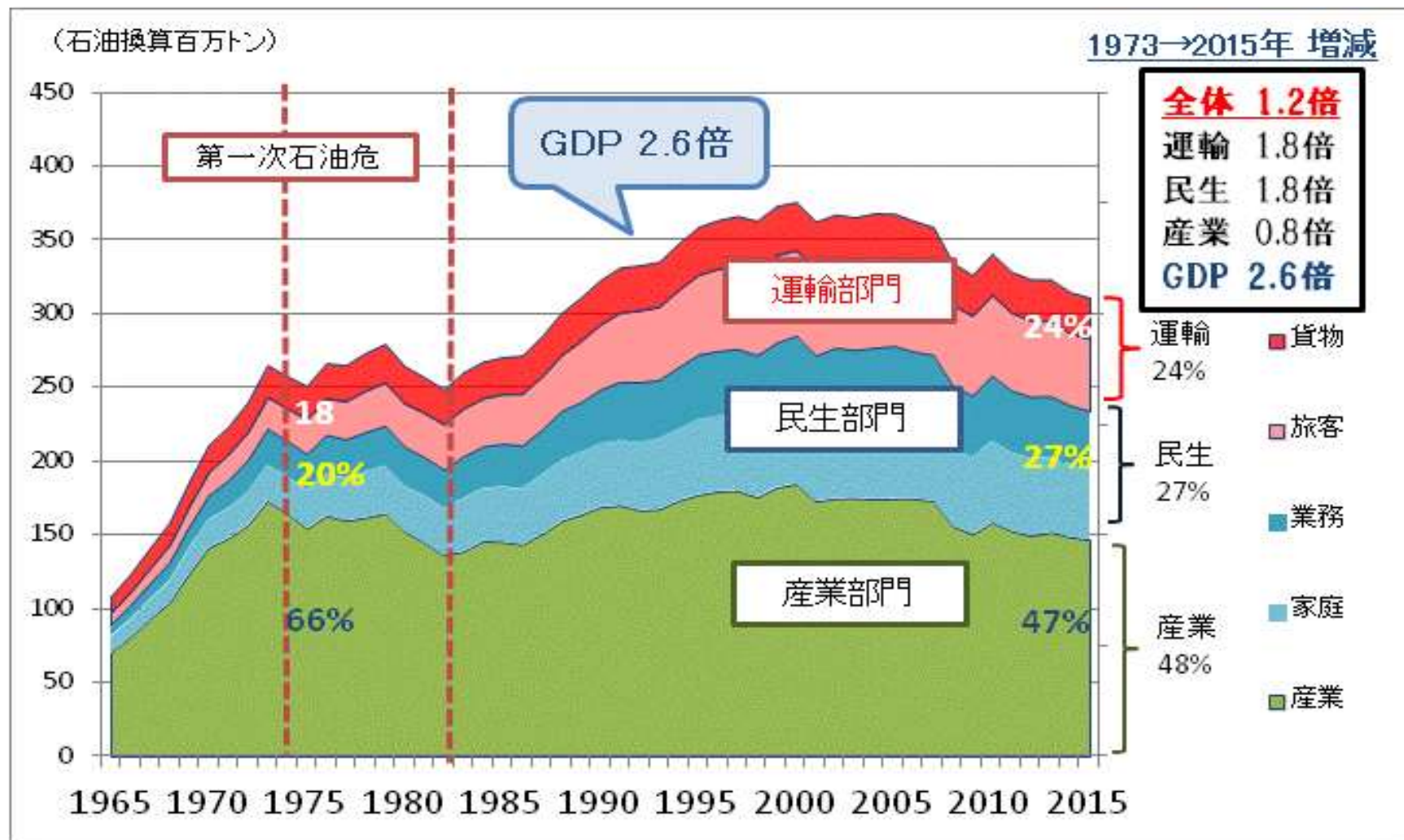
Society5.0(超スマート社会)を世界に先駆けて実現するとしている。

「**超スマート社会**」とは必要なモノ・サービスを必要な人に、必要な時に必要なだけ提供し、社会ニーズにきめ細かく対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、生き生きと快適に暮らすことのできる社会

## III. 部門別のエネルギー需要構造

- 産業部門
- 家庭部門
- 業務部門
- 運輸部門

# 部門別最終エネルギー消費（欧米型へ近づく）



石油危機以降、GDPは2.6倍に増加したにもかかわらず、産業部門のエネルギー消費は、国民生活に密着した民生部門、交通部門は2000年頃まではGDPと同程度のテンポで増加。欧米型の消費構造に近づきつつある。



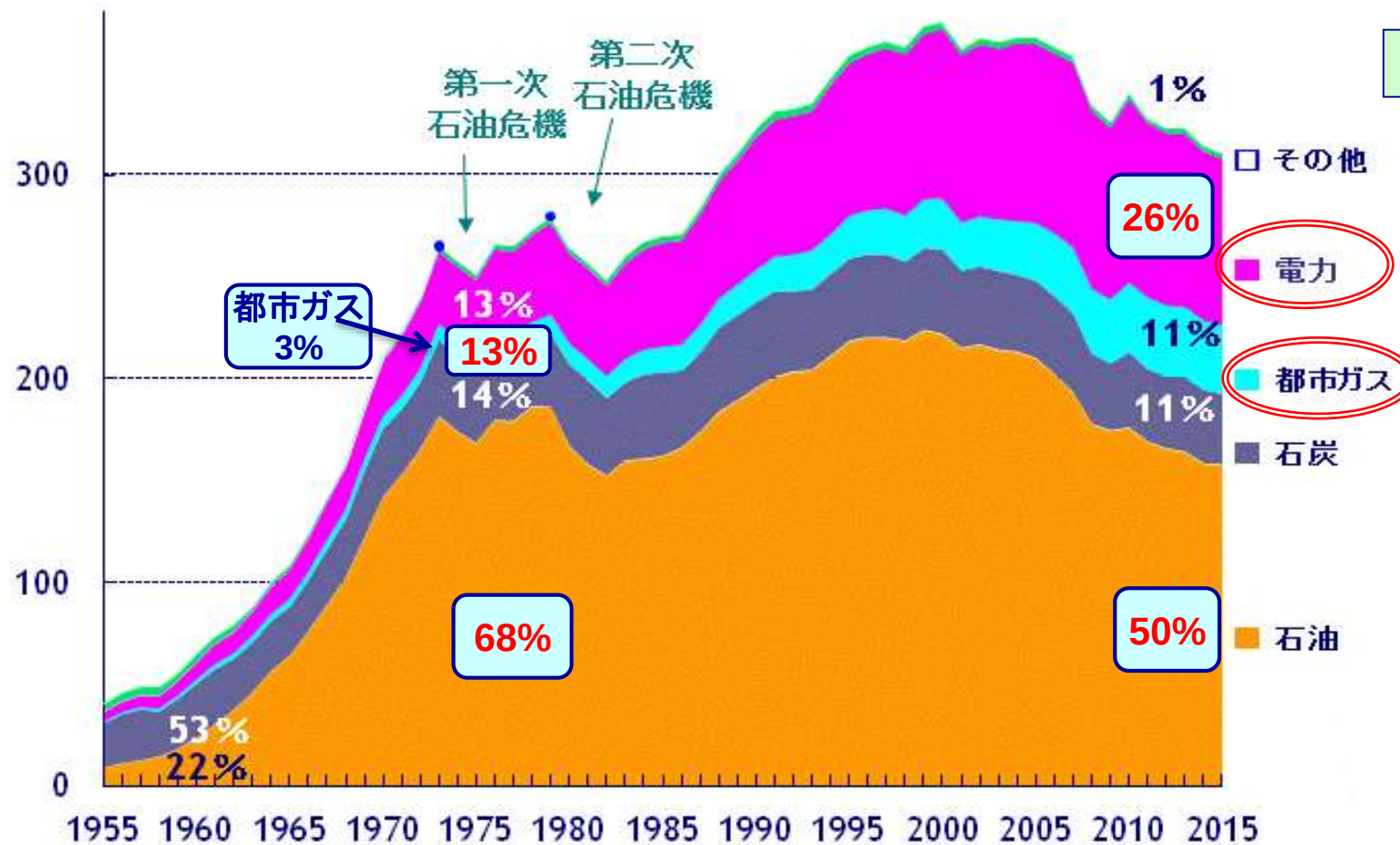
# エネルギー別最終エネルギー消費（進む電力・ガス化）

石油換算百万トン

## エネルギー原別消費

73→2015年  
(42年間)

全体 1.2倍



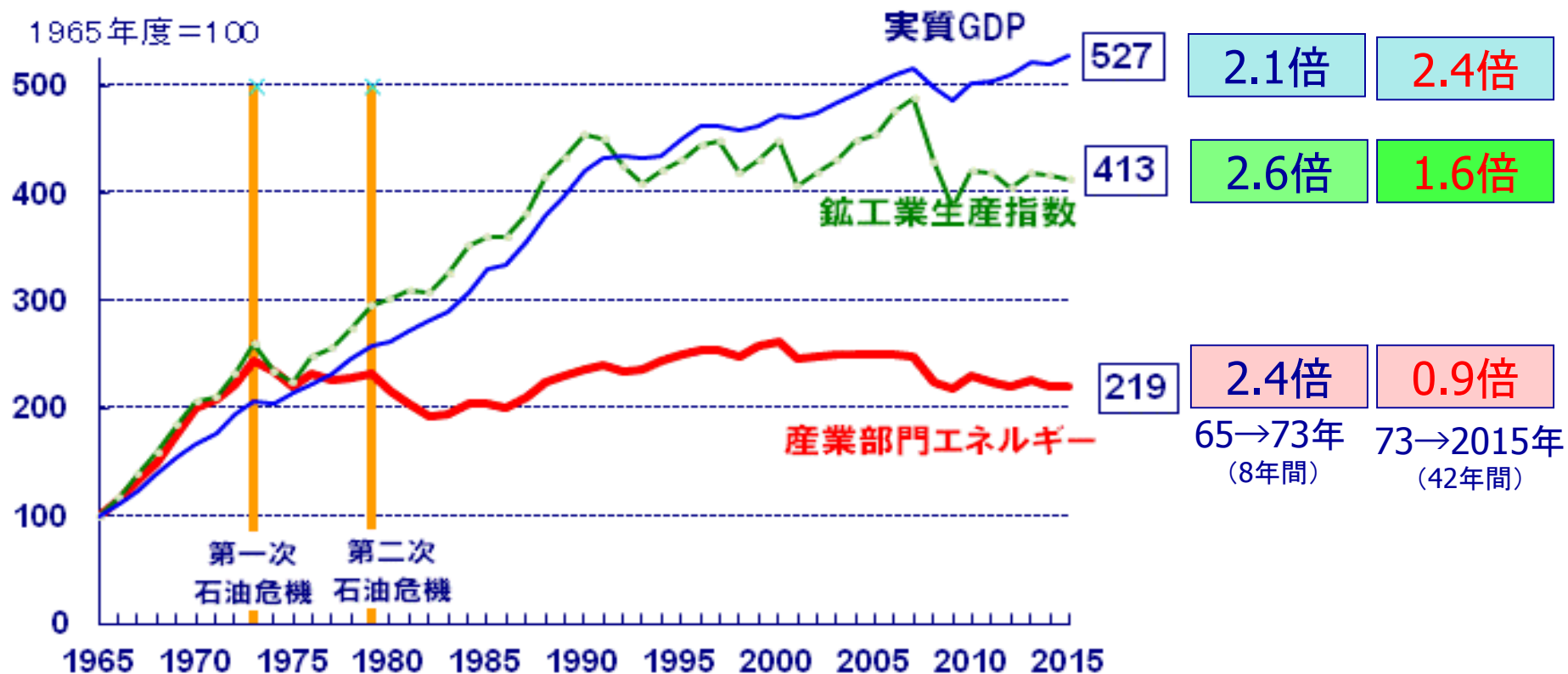
2.3倍

4.4倍

所得が向上すると、多少値段が高くても便利なエネルギー源へシフトする。

## **III-1 産業部門のエネルギー消費**

# 産業部門のエネルギー消費



高度成長

省エネ進展

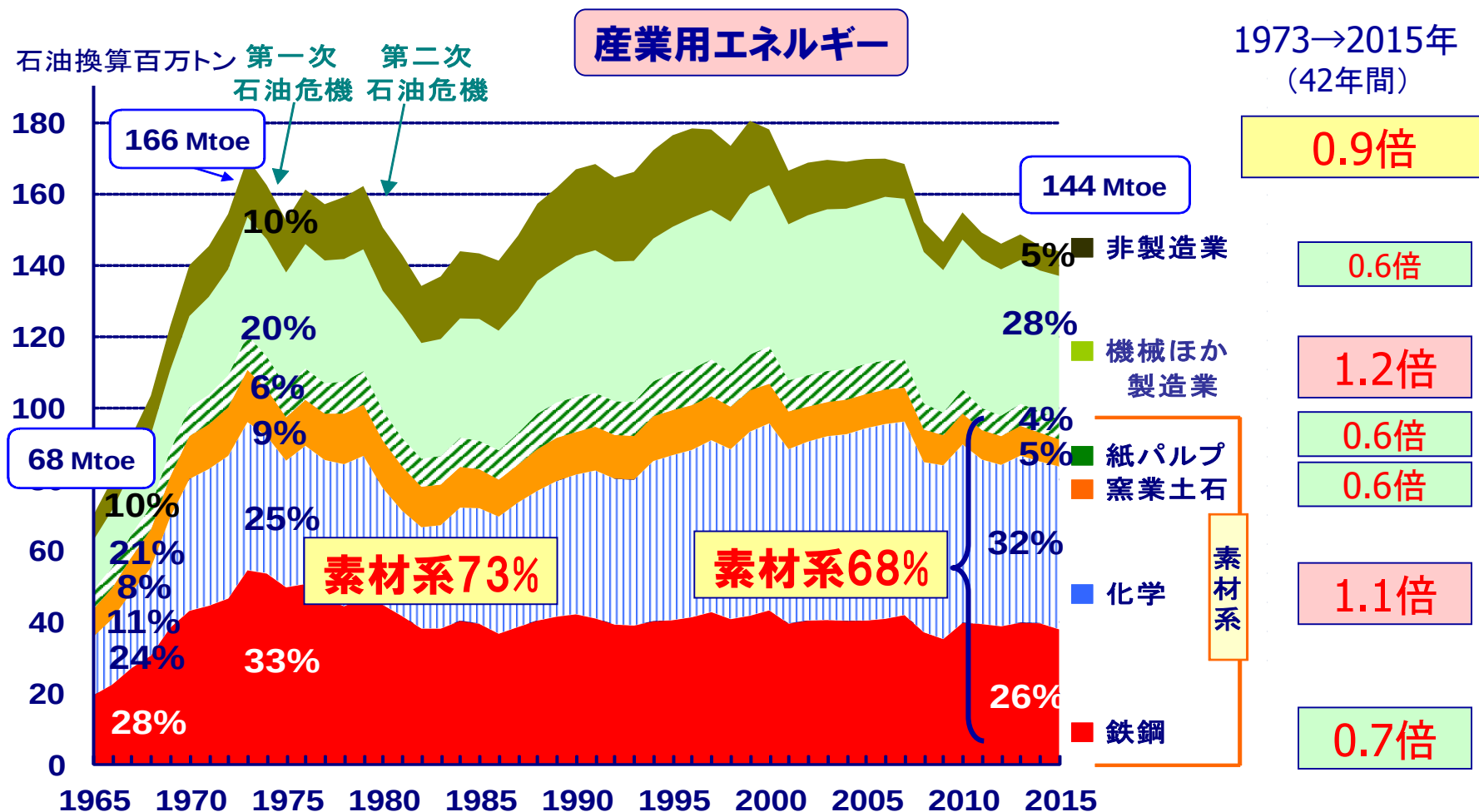
バブル～崩壊

環境志向

- ・石油危機後、GDPは2.4倍に拡大したが、エネルギー消費は増えていない。
- ・主な要因はエネルギー消費原単位の低下(技術的な省エネルギーの進展)と産業構造の高付加価値化(エネルギー多消費産業から加工型産業へのシフト)である。

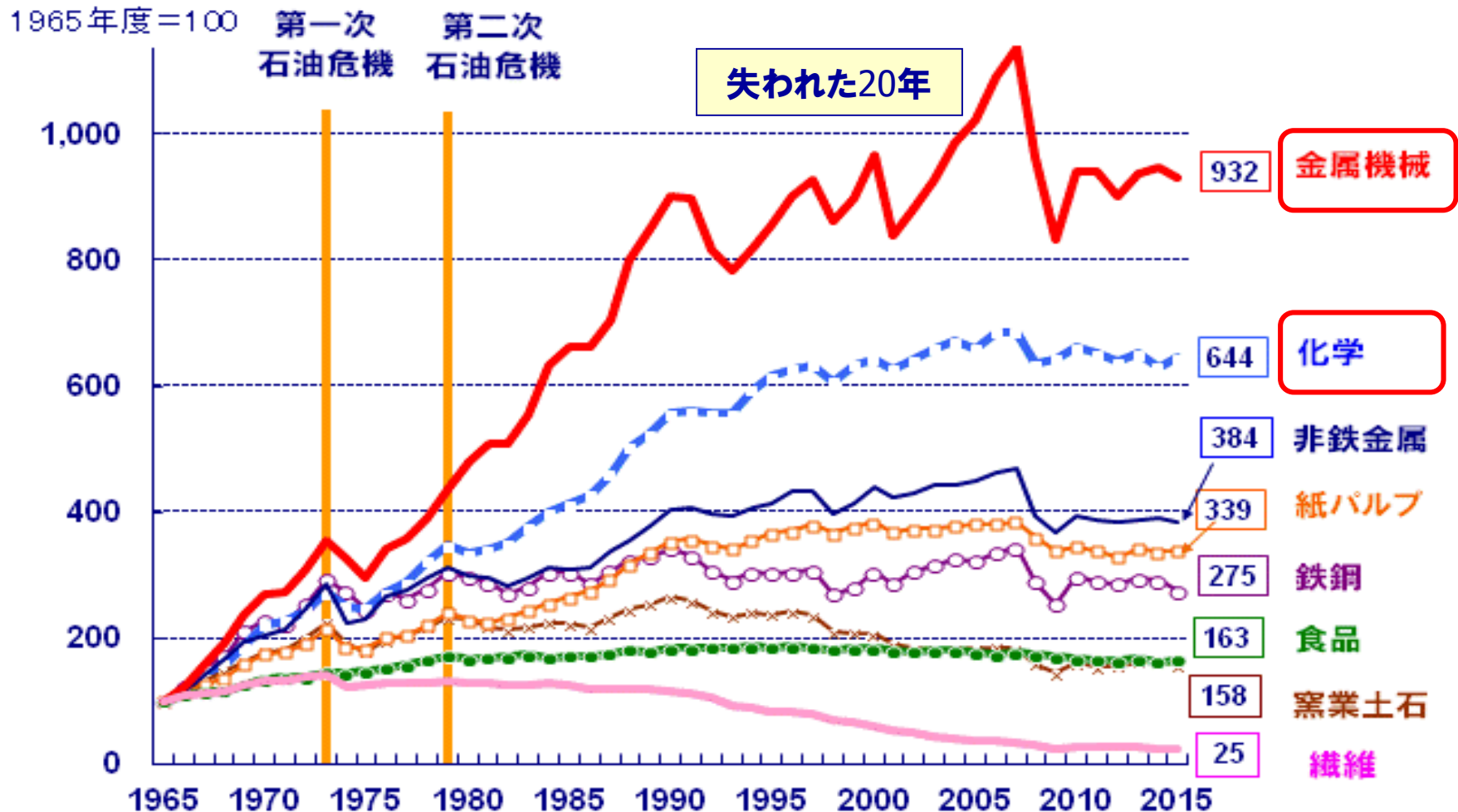


# 産業部門の業種別エネルギー消費



1973年の第一次石油危機以降、素材系産業を中心エネルギー消費は大きく減少した。しかし、1980年代半ばから化学工業が増加に転じている。機械工業は一貫して増加傾向にある。近年はリーマンショックの影響で大きく減少し、その後も減少傾向となっている。

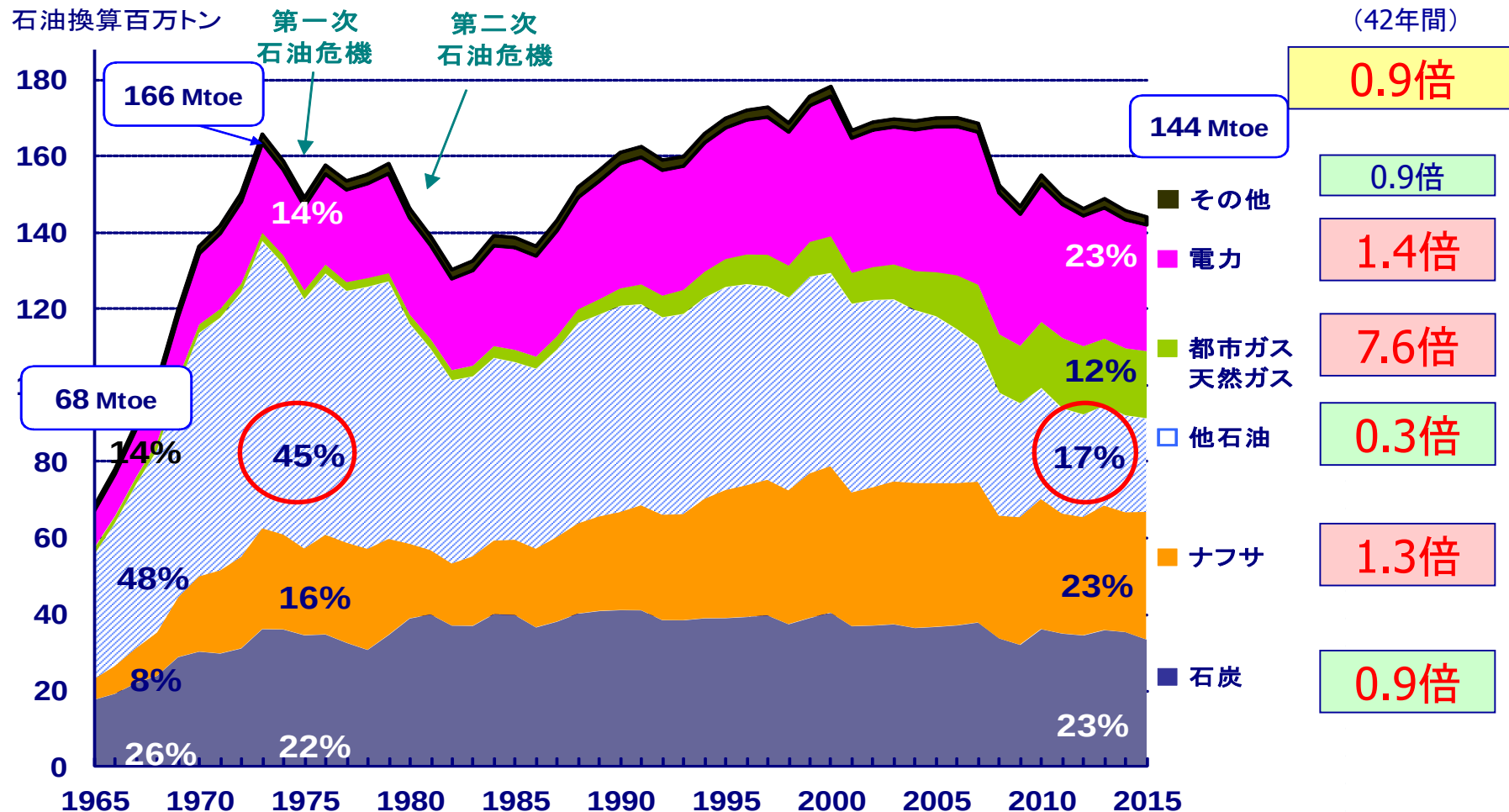
# 躍進する機械工業（生産指数の推移）



業種によって、エネルギーの需要構成は大きく異なる。そのため、産業構造の変化はエネルギー需要構成の変化に影響する。石油危機以降も、金属機械、化学の伸びが大きく、このことが、電力、ナフサ需要の伸びに繋がっている。

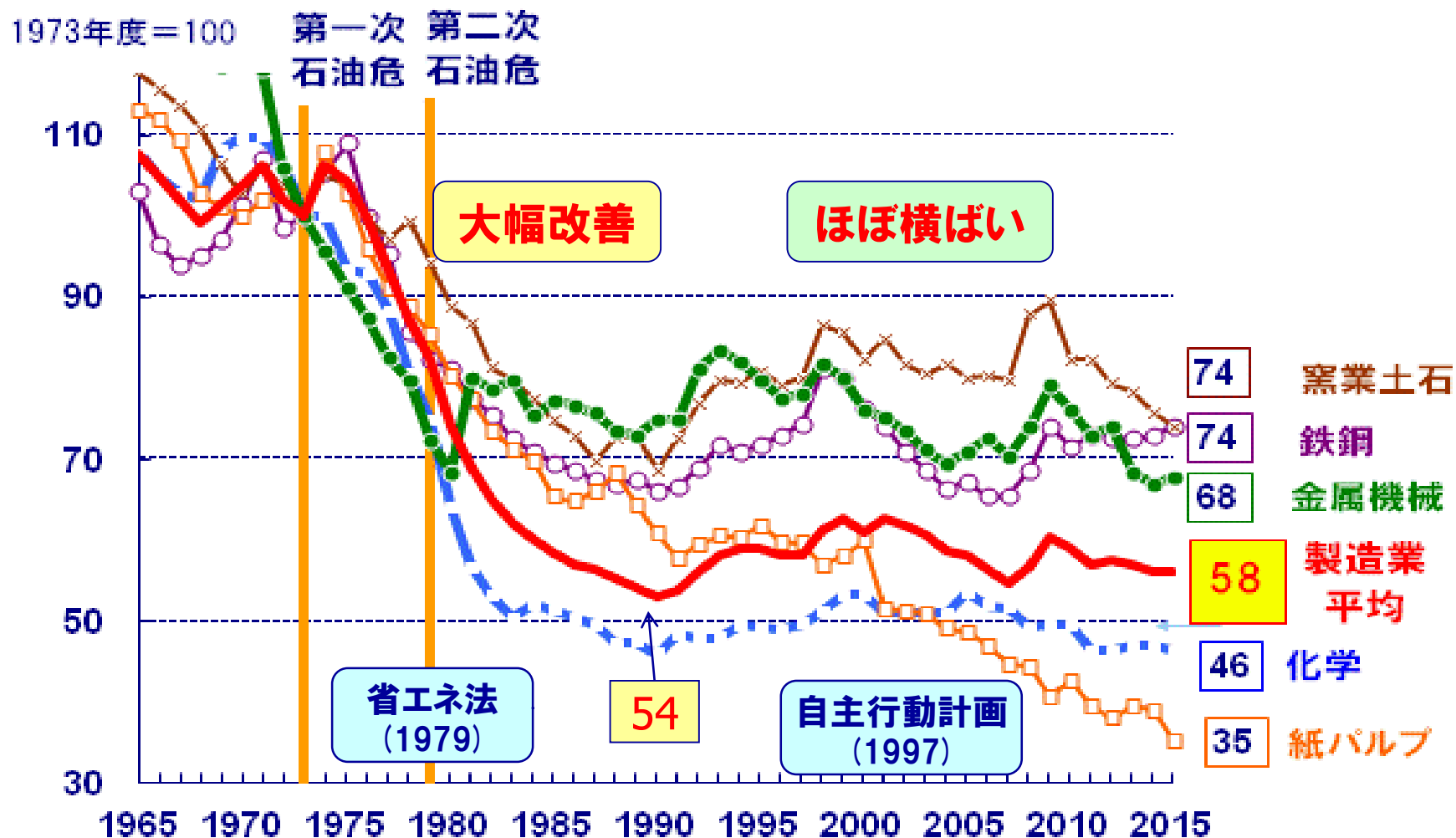
# 産業部門エネルギー別需要 進む脱石油化と電力化

73→2015年  
(42年間)



石油危機以降、脱石油を図ってきた。化学原料のナフサを除くと石油のシェアは45%から16%まで低下した。一方、電力は機械工業の発展や工程管理のIT化などにより増加している。近年は、環境志向の高まりなどから都市ガスの導入が進んでいる

# 製造業のエネルギー消費原単位の推移 (エネルギー／生産指数)



生産指数当たりのエネルギー消費原単位は、石油危機以降の1970年代後半から80年代前半にかけて大幅に改善した。しかし、石油価格が低位安定した80年代後半以降、原単位は増加ないしは横ばいで推移。

# 付加価値額(GDP)当たりのエネルギー消費

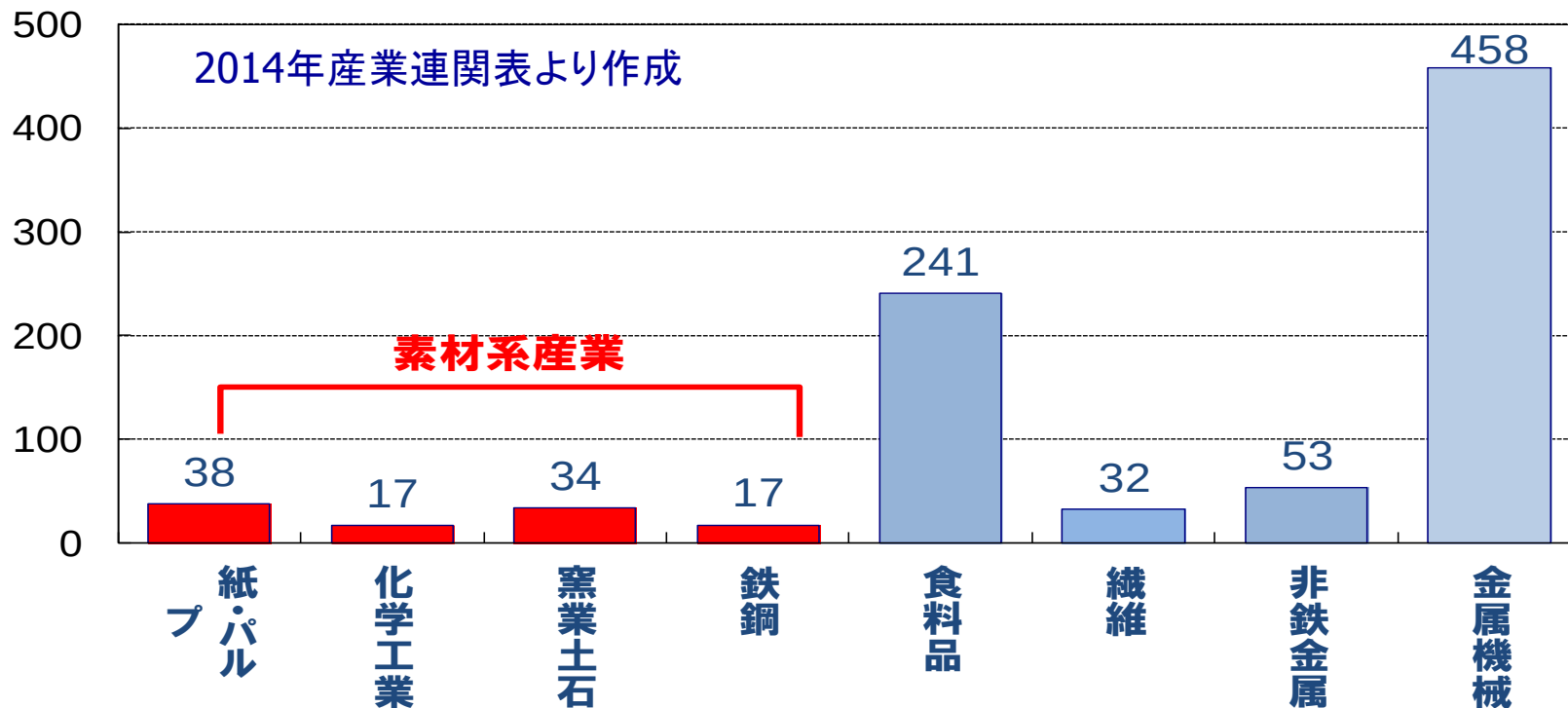
●エネルギー消費原単位＝エネルギー消費量/付加価値額(GDP)

↓  
逆数

●エネルギー生産性＝付加価値額(GDP)/エネルギー消費量

円/1,000kcal

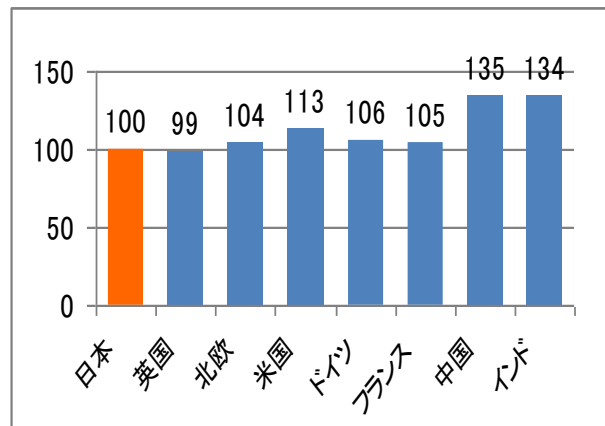
エネルギー生産性（円/1000kcal）



素材系産業から加工系産業(機械等)へのシフトによって経済成長に寄与しつつエネルギー消費の減少を達成した

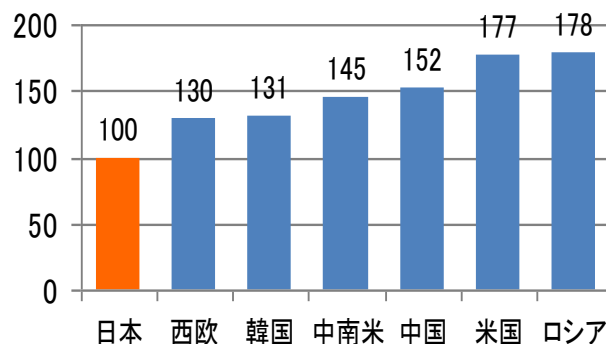
# エネルギー原単位の国際比較

電力を火力発電で1kWh作るのに  
必要なエネルギー指数比較(2005年)



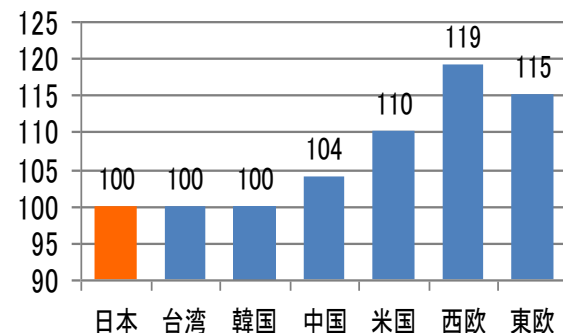
(出典: ECOFYS社(オランダ) 2008年)

セメントの中間製品(クリンカ)を1トン作るのに  
必要なエネルギー指数比較(2000年)



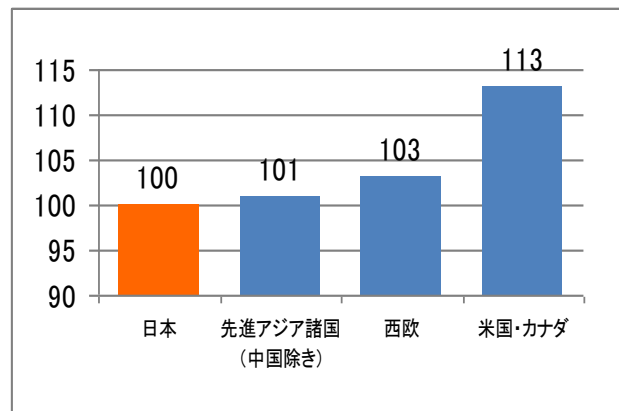
(出典: Battelle研究所(米国) 2002年)

電解苛性ソーダの製造に必要な  
エネルギー指数比較(2004年)



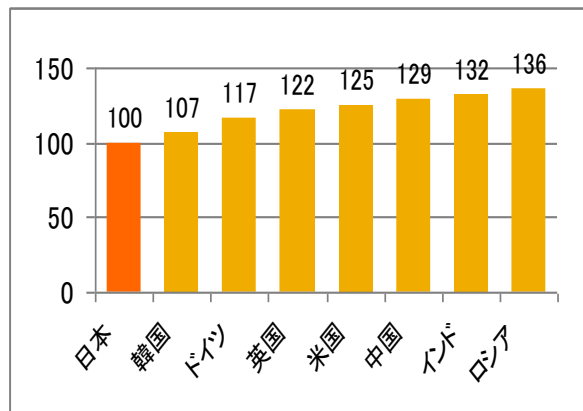
(出典: SRI Chemical Economic Handbook  
及びソーダハンドブック)

石油製品1klを作るのに必要な  
エネルギー指数比較(2002年)



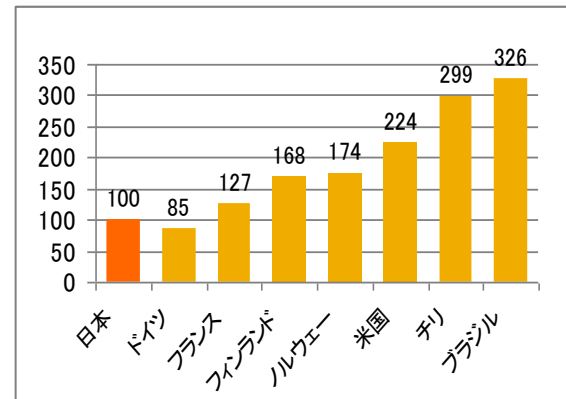
(出典: Solomon Associates社(米国) 2004年)

鉄1トンを作るのに必要なエネルギー  
指数比較(2000年)



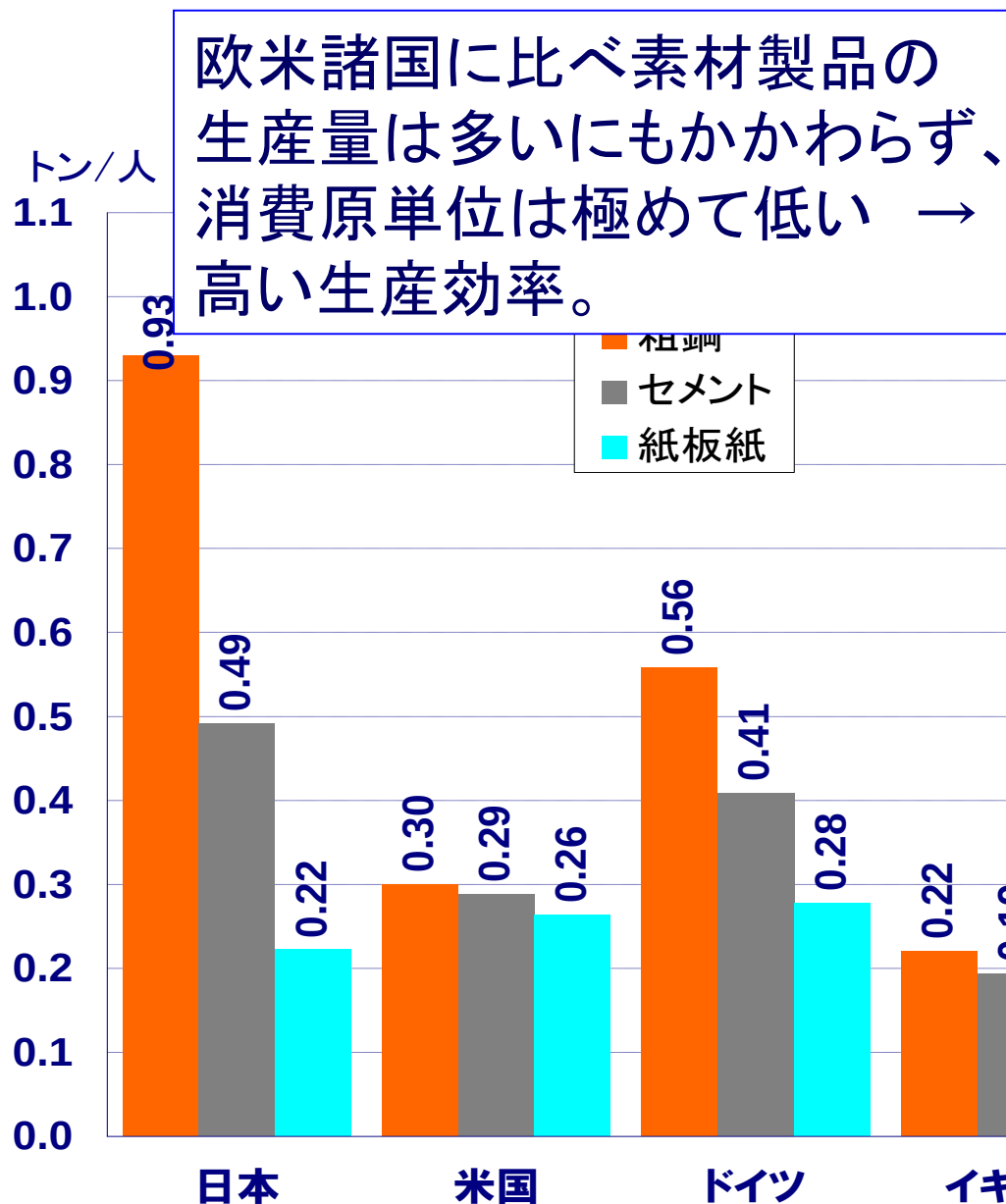
(出典: (財)地球環境産業研究機構 2008年)

紙・板紙1トンを作るのに必要な  
エネルギー指数比較(2004-5年)

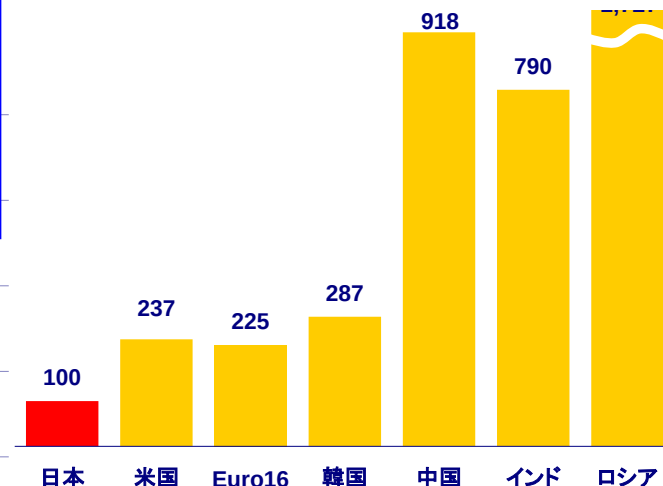


(出典: (財)日本エネルギー経済研究所 2007年)

# 人口当たりの素材生産量(国際比較)



## 第二次産業GDP当たりの消費原単位





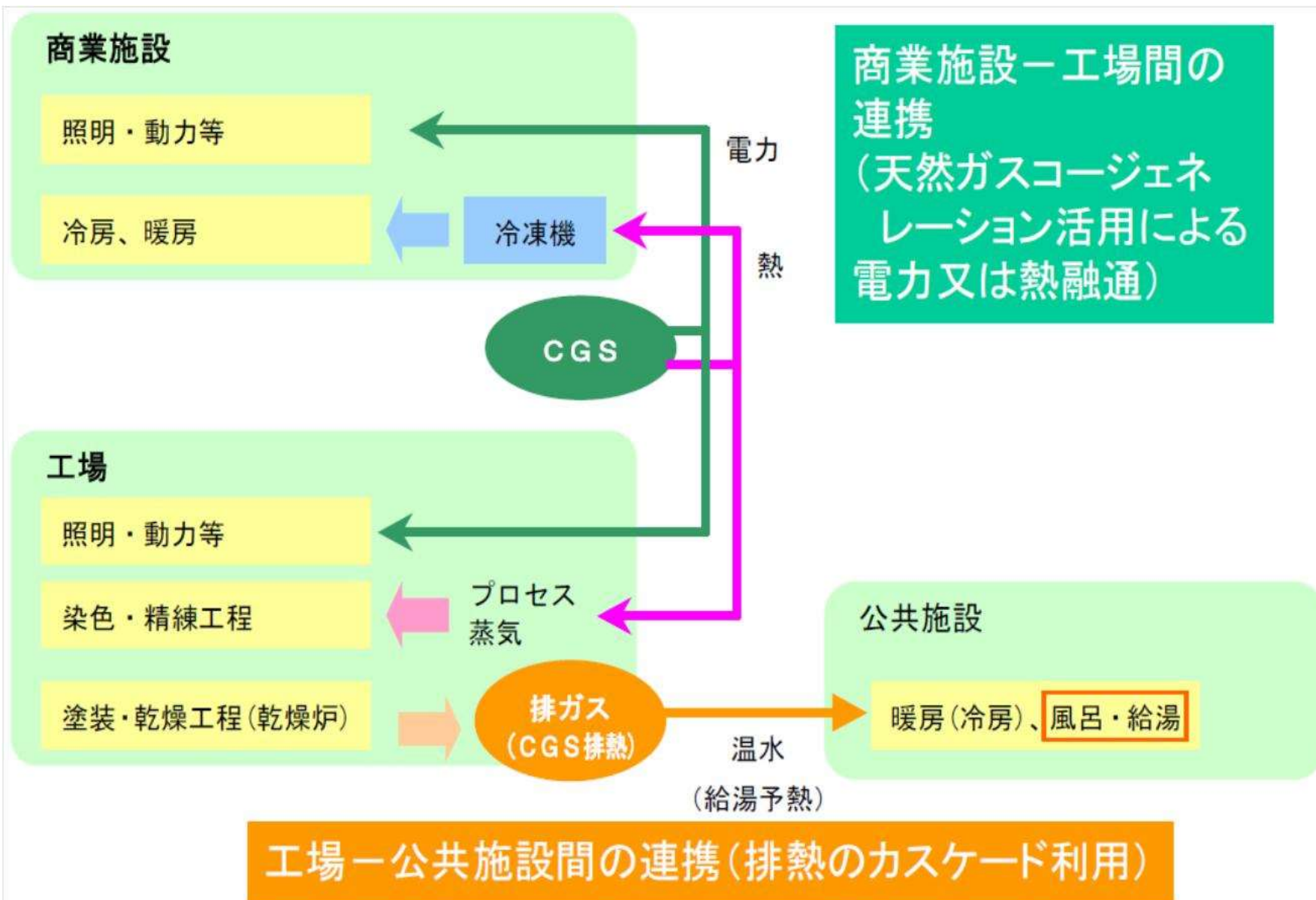
# 産業部門の省エネ取り組み

|                |                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①省エネ目標の設定と意識向上 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・日本経済団体連合会の環境自主行動計画</li> <li>・省エネルギー法に基づくエネルギー管理</li> </ul> |
| ②省エネ技術・設備の開発   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・次世代コークス炉, リジェネバーナー, 流動層キルン, コジェネ など</li> </ul>             |
| ③複数事業者連携       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・近隣工場間の廃熱の総合利用</li> <li>・資金面の連携</li> </ul>                  |

製造業は生産コストの低減志向が高く、石油危機以降、エネルギーの適正管理、設備の効率改善や生産工程の効率化といった様々な省エネ対策が行われてきた。そのため、費用対効果の大きい省エネルギーは既にやり尽くされている。

近年は、環境対策・リサイクルの観点から、厳密には省エネではないが、廃棄物(プラスチック、タイヤ等)を原燃料として利用する例も多い。

# 工場－公共施設間の連携（熱や電力の融通）

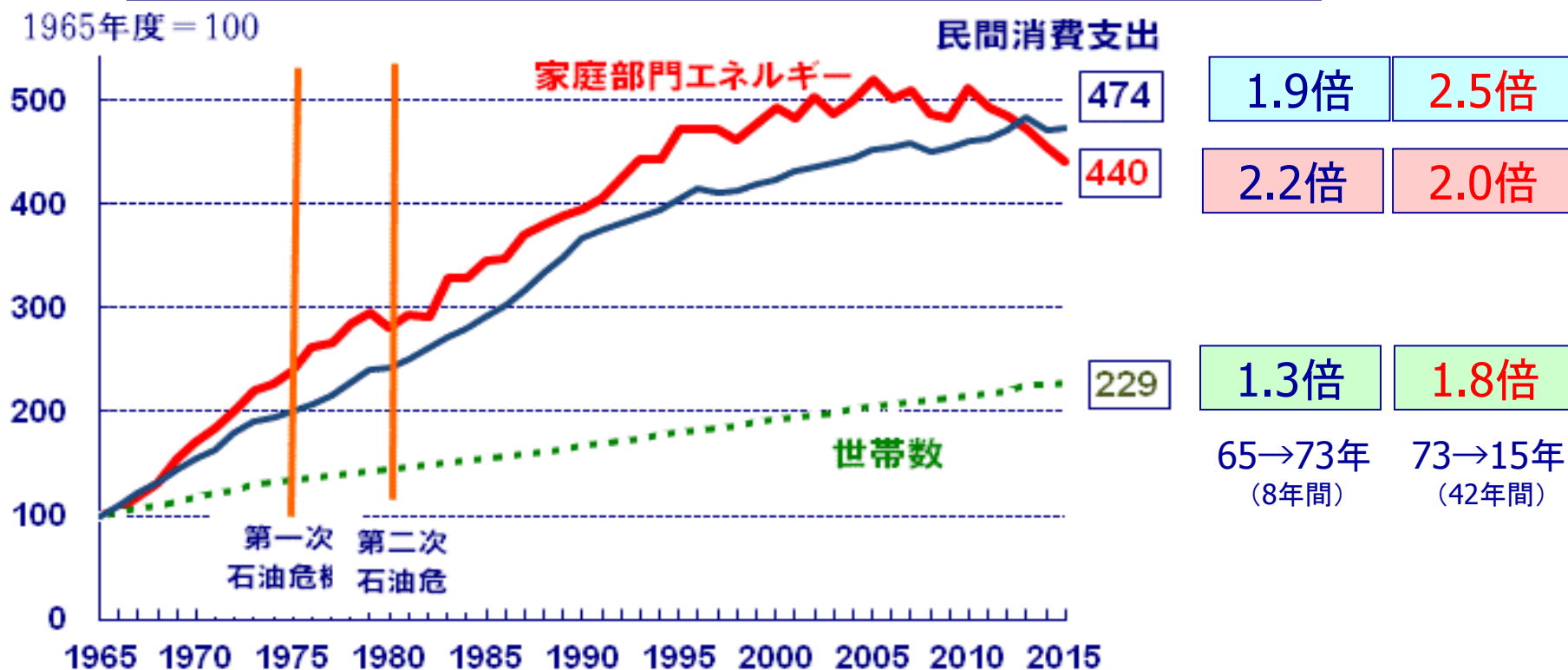




## III-2 家庭部門のエネルギー消費

# 家庭部門のエネルギー消費

$$\text{家庭用エネ消費} = \text{世帯数} \times \text{世帯当たり原単位}$$



高度成長

安定成長～バブル

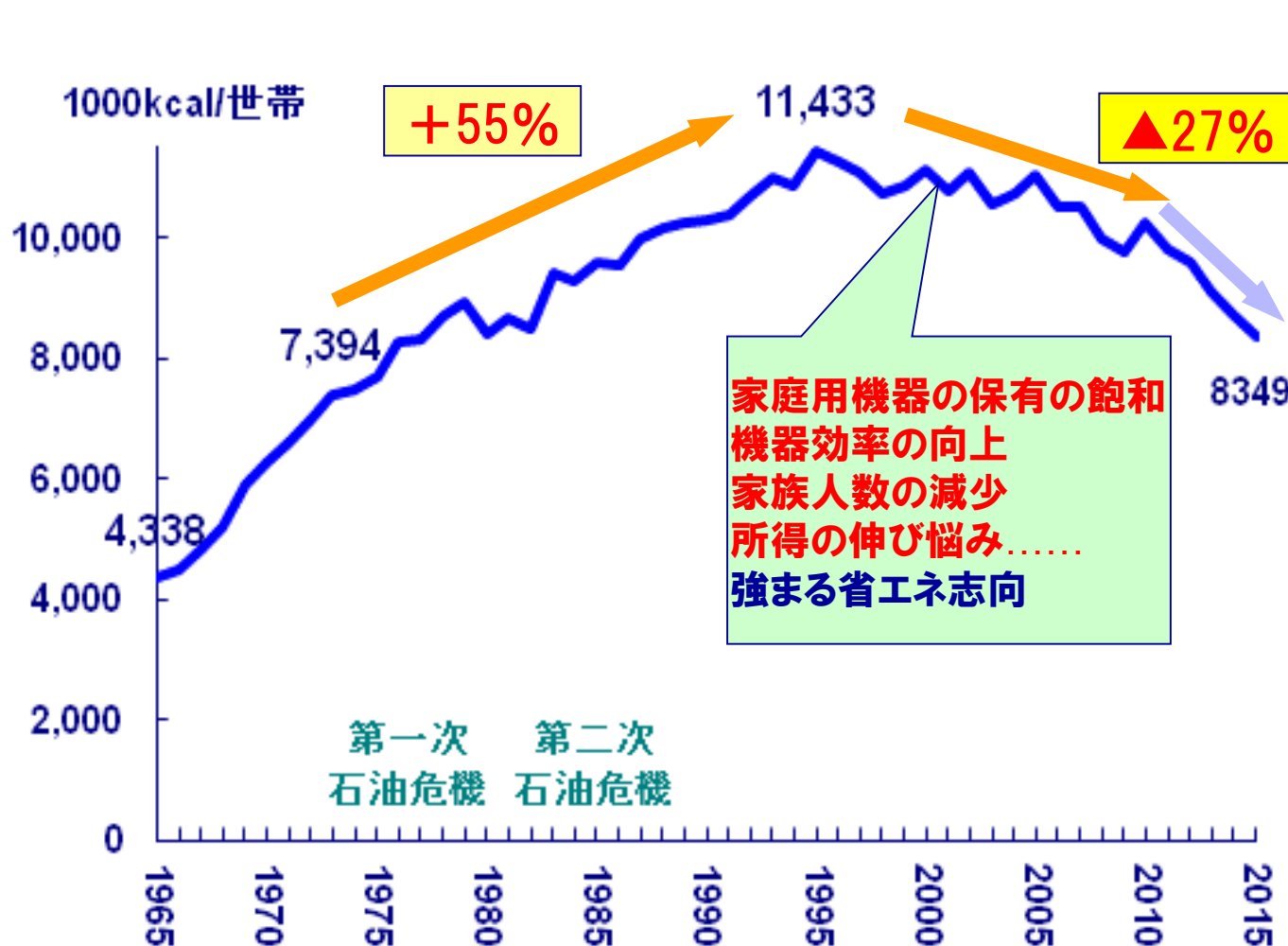
バブル崩壊

震災後

家庭用エネルギー消費は石油危機以降も増加している。しかし、1990年代半ば以降、その伸びは鈍化している。その背景には、バブル崩壊後の所得の伸び悩み、人口増の頭打ち、機器保有の飽和、機器効率の改善などの要因が考えられる。震災後減少傾向が続いている。

# 世帯当たり消費

## 1995年以降減少に転じた原単位



トップラン  
ナー制度

エコ  
ポイント

住宅断熱

LED照明

家庭部門の世帯当たりエネルギー原単位は、石油危機以降も増加し続けた。その背景には生活水準の向上に伴う家庭用機器などの保有増加がある。しかし、1995年をピークに、低下傾向にあり、震災後さらに低下が加速。



# 用途別エネルギー需要 伸びる動力照明需要

石油換算百万トン

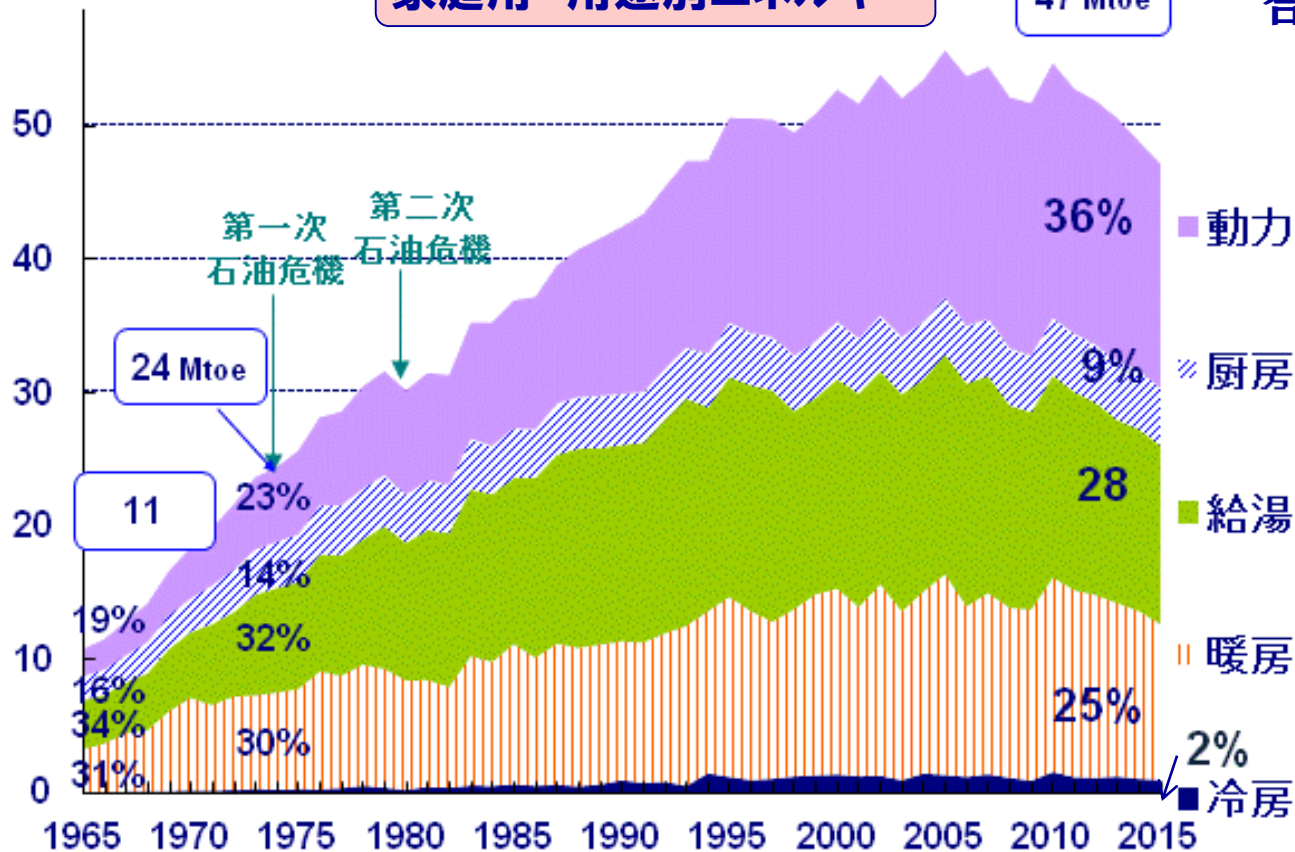
家庭用 用途別エネルギー

47 Mtoe

合計

2.2倍

2.0倍



動力照明

2.7倍

3.1倍

厨房

1.9倍

1.3倍

給湯

2.1倍

1.8倍

暖房

2.2倍

1.7倍

冷房

5.4倍

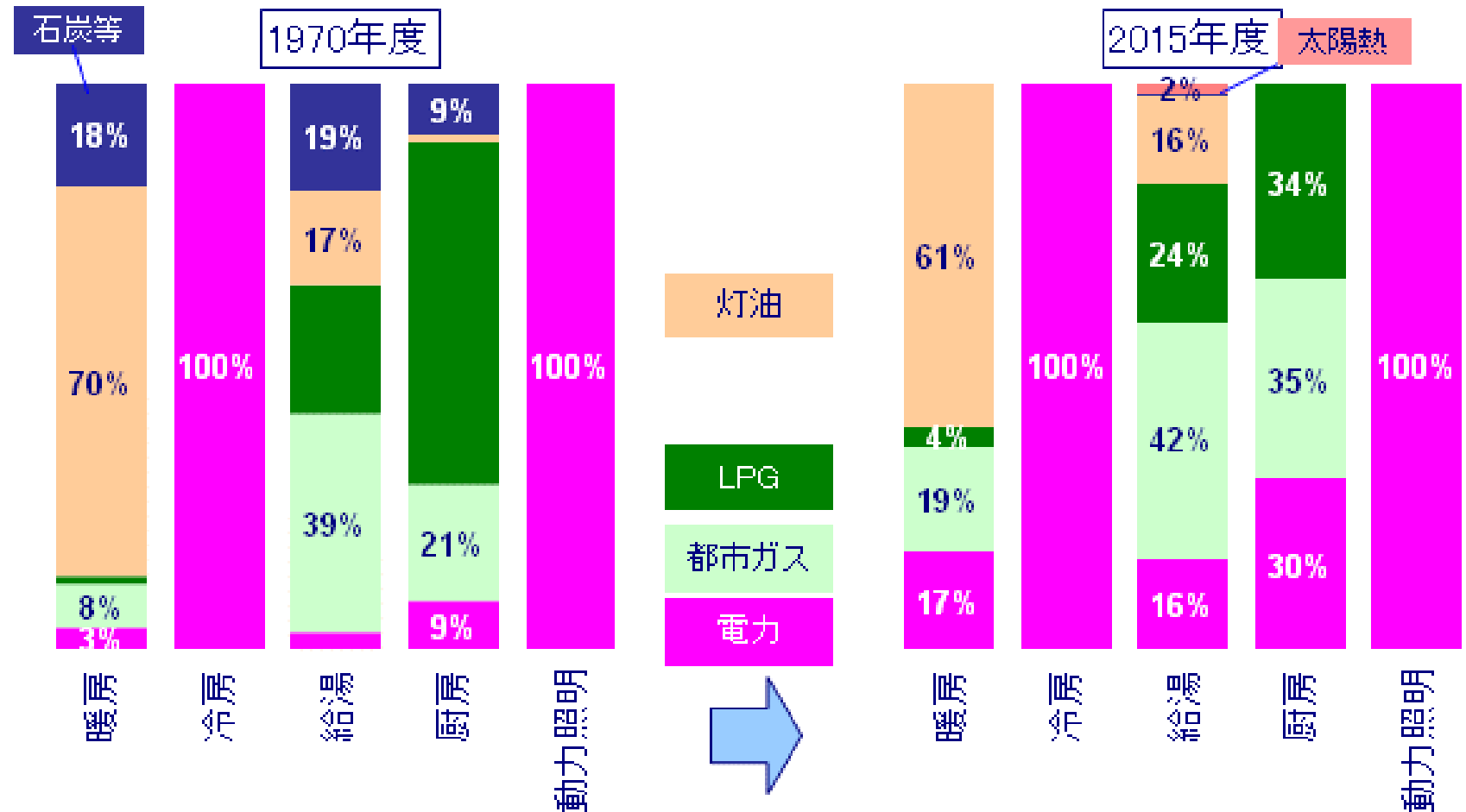
3.3倍

65→73年  
(8年間)73→15年  
(42年間)

家電機器の普及により動力照明の伸びが顕著である。厨房は外食や冷凍食品の利用などにより、比較的伸びは小さい。冷房が最も大きく伸びているが、全体に占めるシェアはごくわずかである。

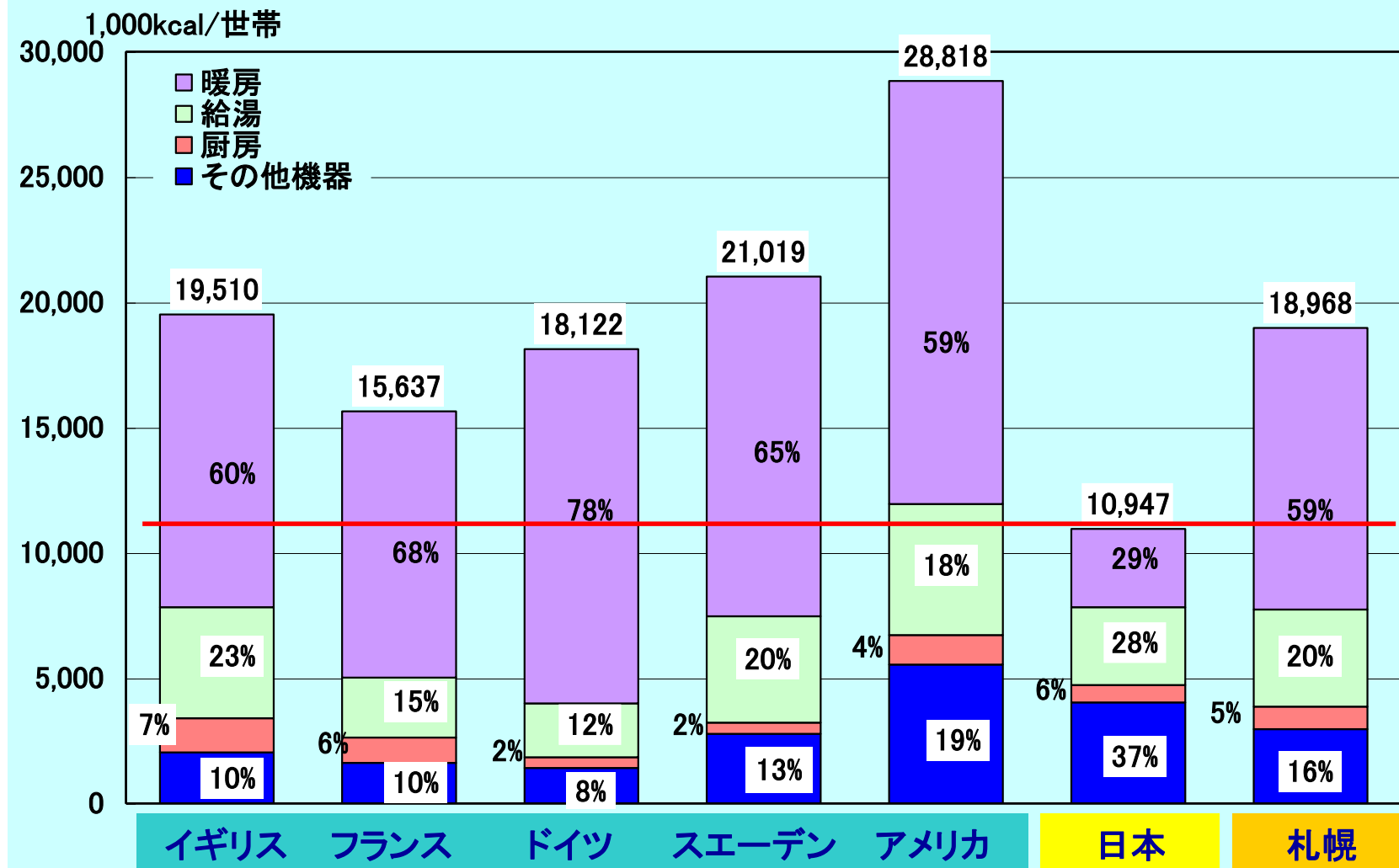


# 家庭部門エネルギー源別・用途別エネルギー消費



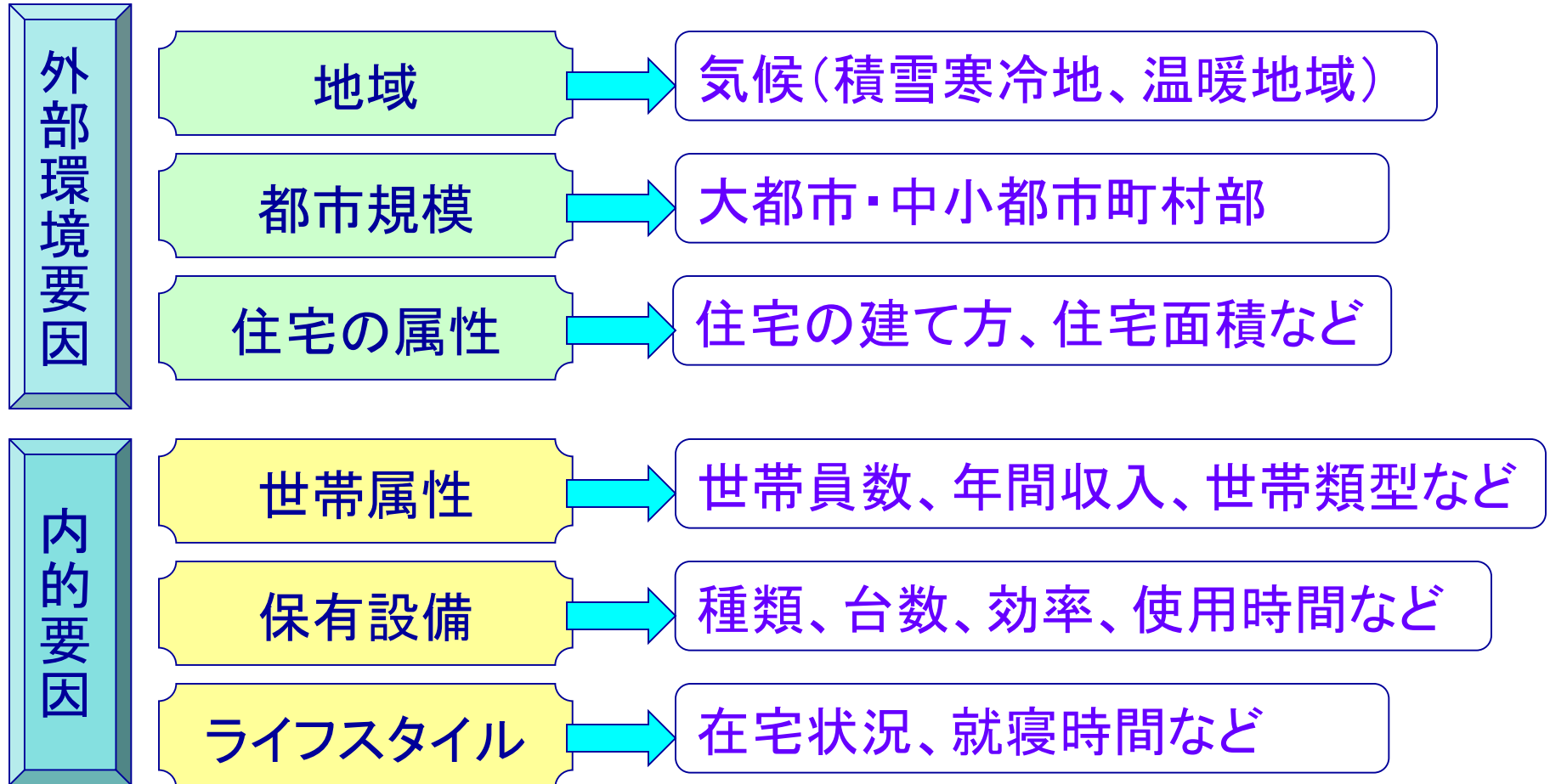
- 用途ごとに利用されるエネルギー源は大きく異なる
- 暖房用には灯油が最も重要な位置を占め、特に寒冷な北海道でこの傾向が強い。
- 一方、冷房用、動力用には電力の利用が圧倒的である

# 家庭用エネルギー消費の国際比較



わが国の世帯当り消費量はアメリカの1/3強、ヨーロッパの1/2強である。ヨーロッパとの相違は気候条件の違いによる暖房用の差によるところが大きい。暖房用の多い北海道では、用途別構成、原単位ともにヨーロッパ並の水準である。

# 家庭部門のエネルギー消費に影響を与える要因



# 社会構造・ライフスタイルの変化

## <キーワード>

高齢化、余暇増大、女性の社会進出、生活の個人化、ゆとり豊かさ、快適性

### 【世帯属性】

|              |             |   |             |
|--------------|-------------|---|-------------|
| 高齢者比率(65歳以上) | 1970年:7.1%  | → | 2015年:26.7% |
| 世帯の平均人数      | 1970年:3.41人 | → | 2015年:2.49人 |
| 単身世帯の割合      | 1970年:10.8% | → | 2015年:33.3% |

→在宅時間増

→各用途減

→世帯数増

### 【暮らし方】

|               |                  |   |               |
|---------------|------------------|---|---------------|
| 女性就業率(15-64歳) | 1970年:54.8%      | → | 2016年:66.0%   |
| 外食費比率         | 1970年:8.9%       | → | 2014年:18.6%   |
| 世帯当たりエアコン台数   | 1970年:0.1台       | → | 2018年:3.1台    |
| コンビニ店舗数       | 1974年:セブンイレブン1号店 | → | 2017年:57,818店 |
| 銭湯件数(普通浴場)    | 1970年:22,120件    | → | 2014年:4,293件  |

→在宅時間減

→料理機会減

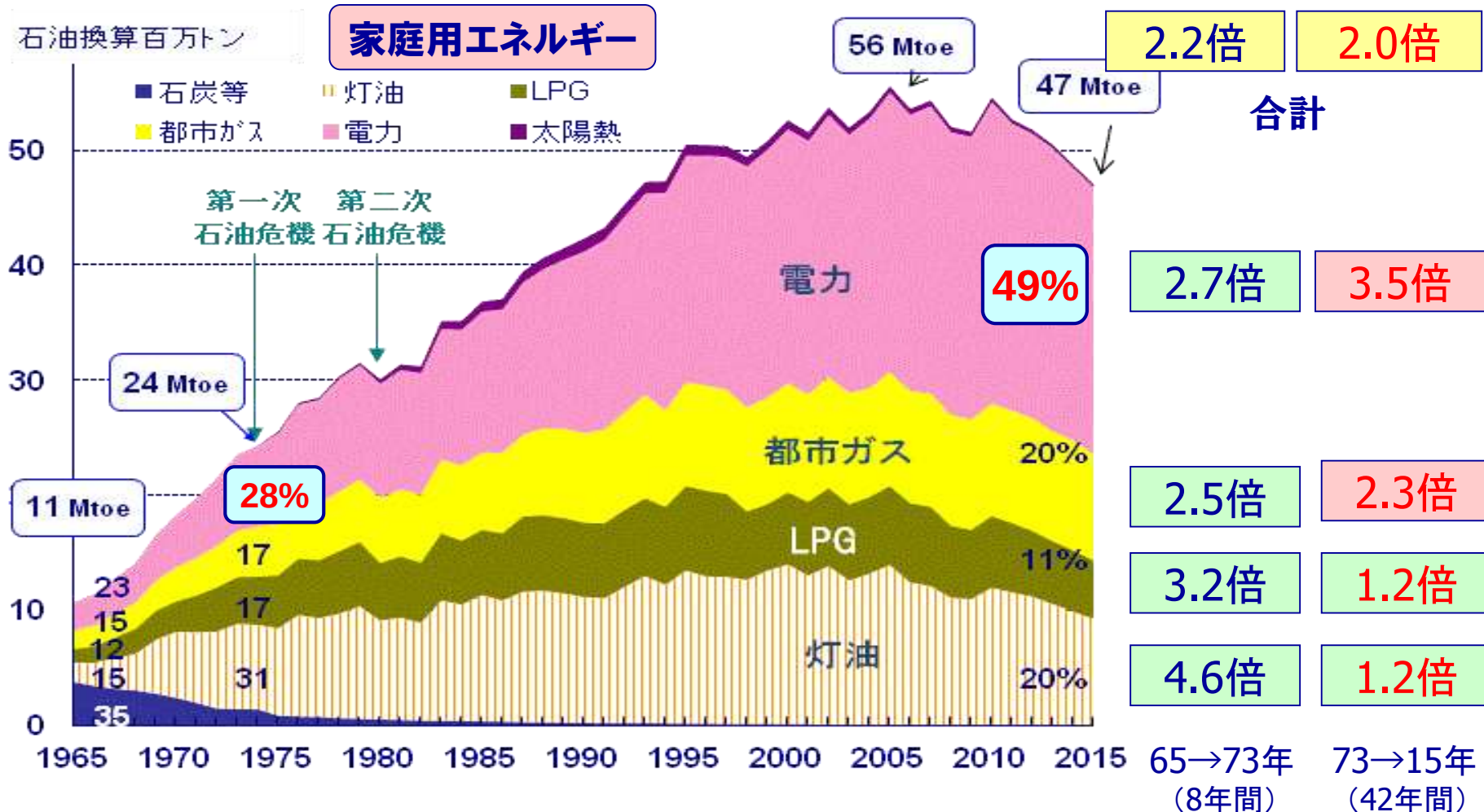
→個室化

→深夜化

### 【用途別需要への影響例(設備・機器の使い方)】

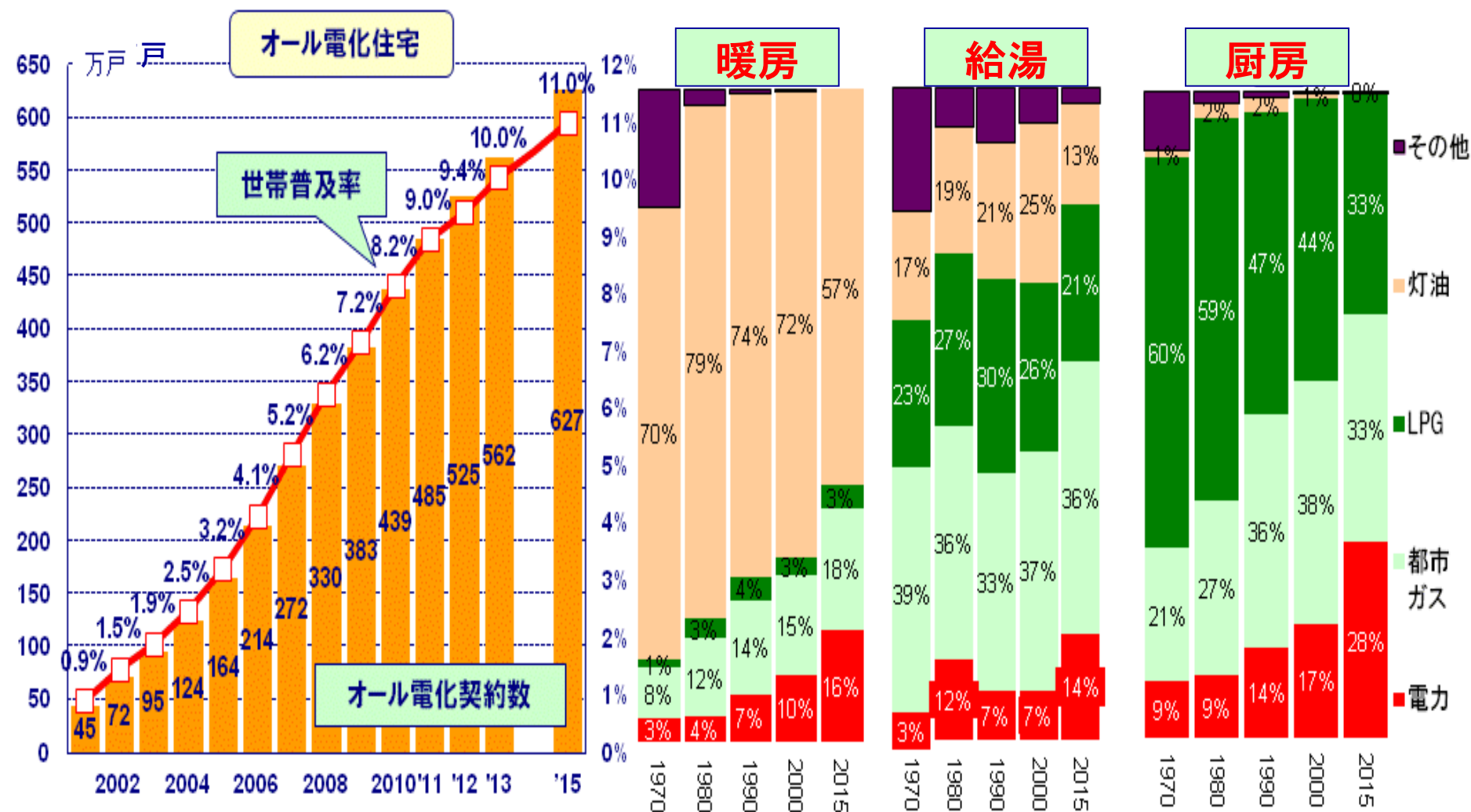
|       |                                                                               |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 冷・暖房  | 在宅時間(高齢化→増加、共働き→減少)、戸建・集合住宅、個室化                                               |
| 給湯    | 入浴回数(家族の個人化→増加、家族人数減少→減少)、朝のシャワー                                              |
| 厨房    | 食事人数、外食・中食(共働きの増加)、半製品食品(冷凍食品など)                                              |
| 動力・照明 | 生活の利便化(パソコン、衣類乾燥機、食器洗浄機など)、生活の深夜化、生活の個人化<br>買い替えによる大型化・高機能化(テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン) |

# 家庭部門エネルギー源別消費 電力化の進展



家電機器の普及や暖房・給湯の電力化などにより、電力が大きく伸びている。主に暖房用に使用される灯油は電力化や都市ガスの普及により、シェアが低下している。

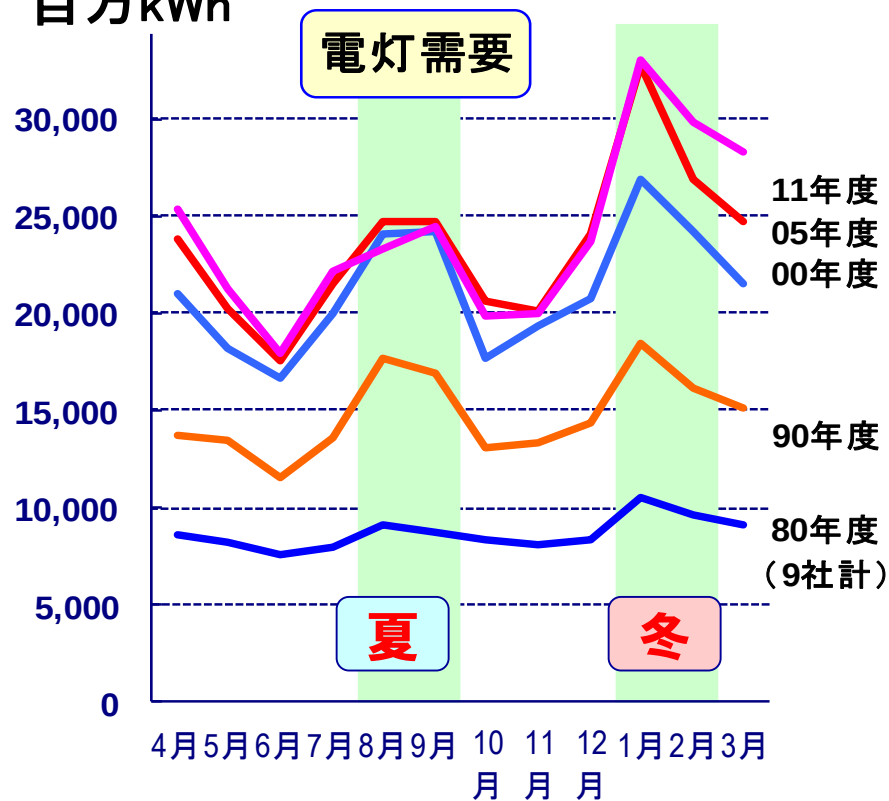
# 普及が進むオール電化住宅



オール電化住宅は徐々に普及が進み、現在は627万件、世帯の約11%が導入した計算になる。これにより、ガス(都市ガス、LPG)の使用が主であった給湯、厨房需要でも電力化が進んできている。震災以降鈍化しているが、2025年には1000万戸程度と予想されている。

# 月別エネルギー消費 気温に影響される家庭用エネルギー

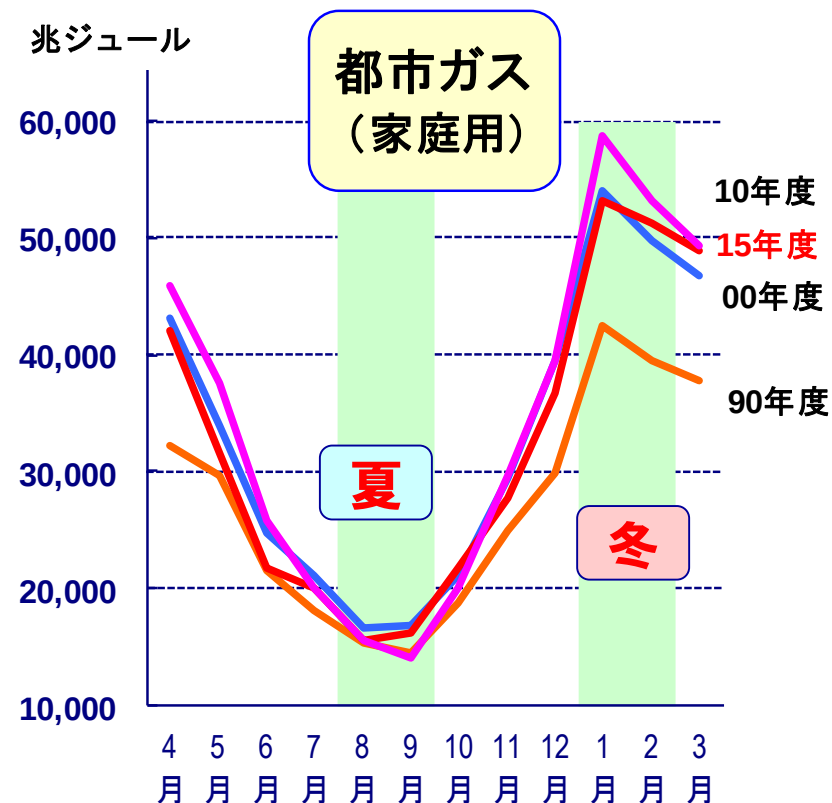
百万kWh



冷房

暖房

兆ジュール



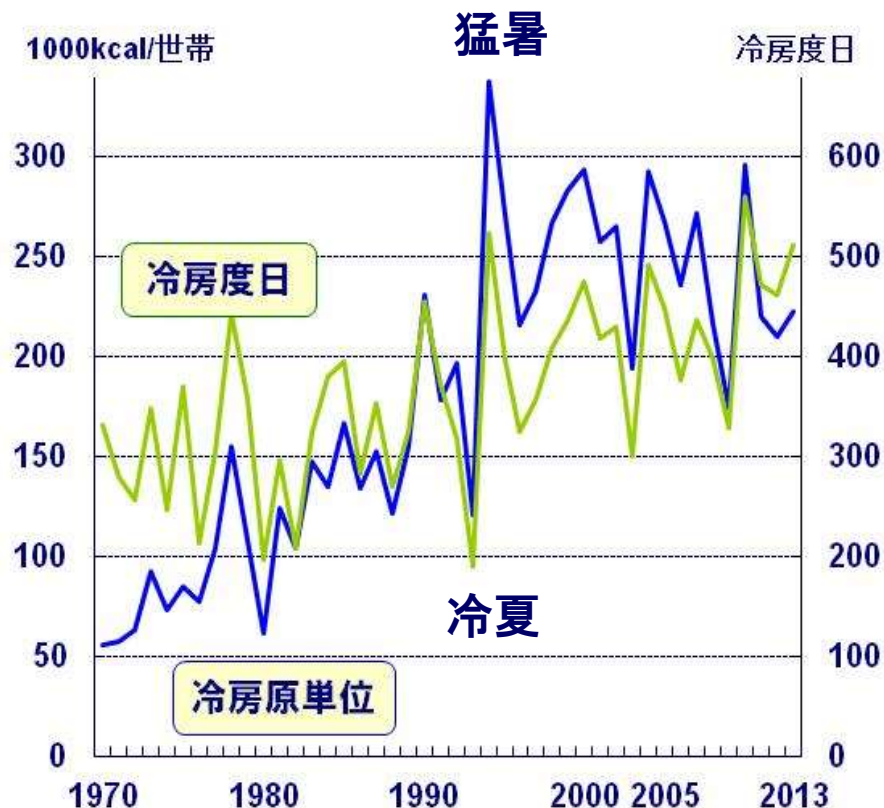
暖房・給湯

- ・家庭用の電力消費量は年々増加しており、中でもエアコンの普及によって夏期・冬期の2つの需要のピークがより先鋭化している。・設備の効率的利用の観点からは、負荷平準化が望ましい。
- ・都市ガスは給湯需要により夏は少なく、冬は多い。主に暖房用の灯油も同様である。

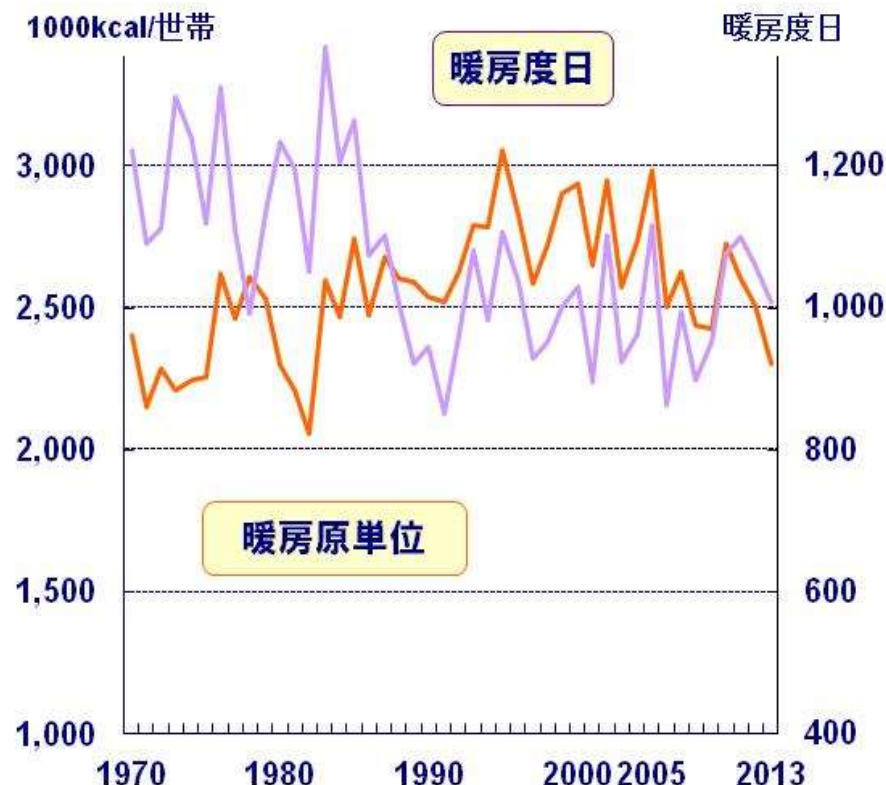


# 気温の影響

## 冷房用エネルギーと冷房度日



## 暖房用エネルギーと暖房度日

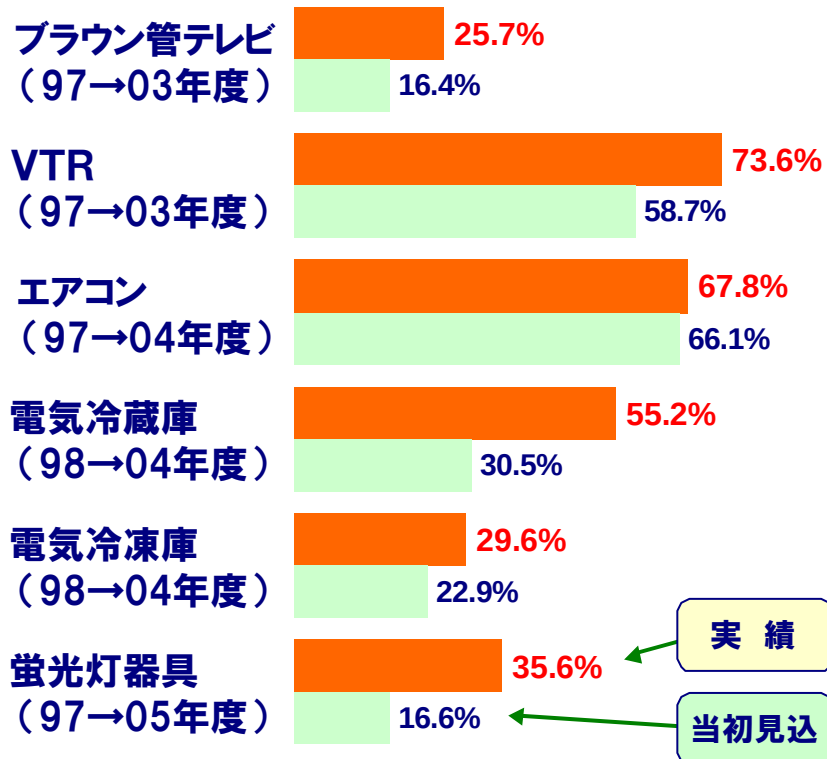


- 気温の影響を受けやすい用途は暖房用、冷房用、給湯用であるが、中でも暖房用と冷房用は、気温との相関が特に強い。
- 近年では1993年、2003年、2009年が冷夏、1994年、2010年が猛暑。また冷房需要(世帯当たり原単位)は、度日の影響を受けながら、経年的には大きくなっている。

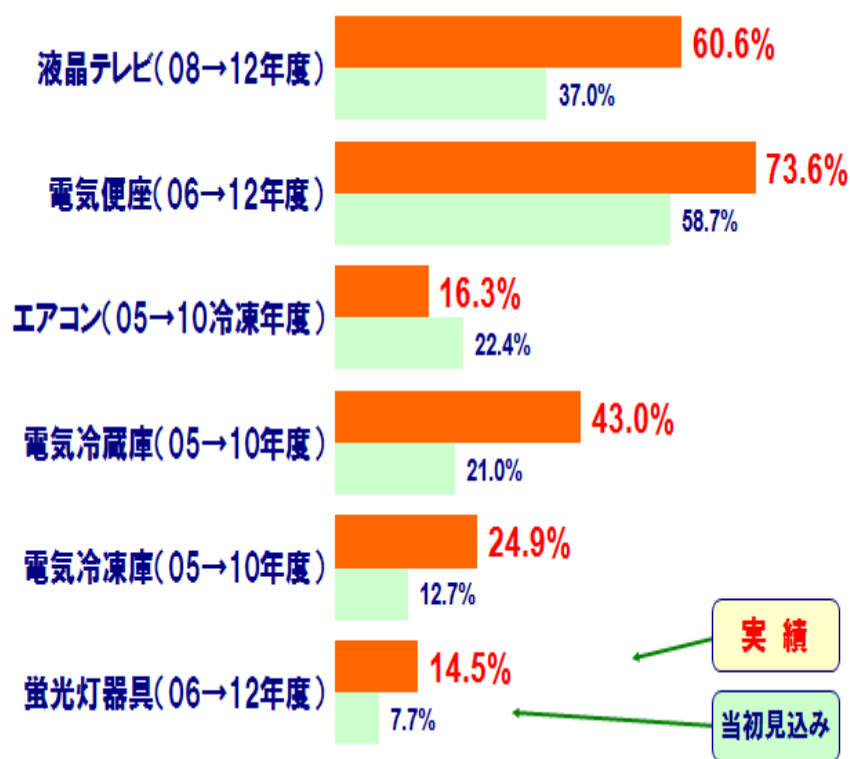
# トップランナーの省エネ効果

## 【家庭用機器のエネルギー消費効率の改善率】

### 旧目標(～2005年度前後)



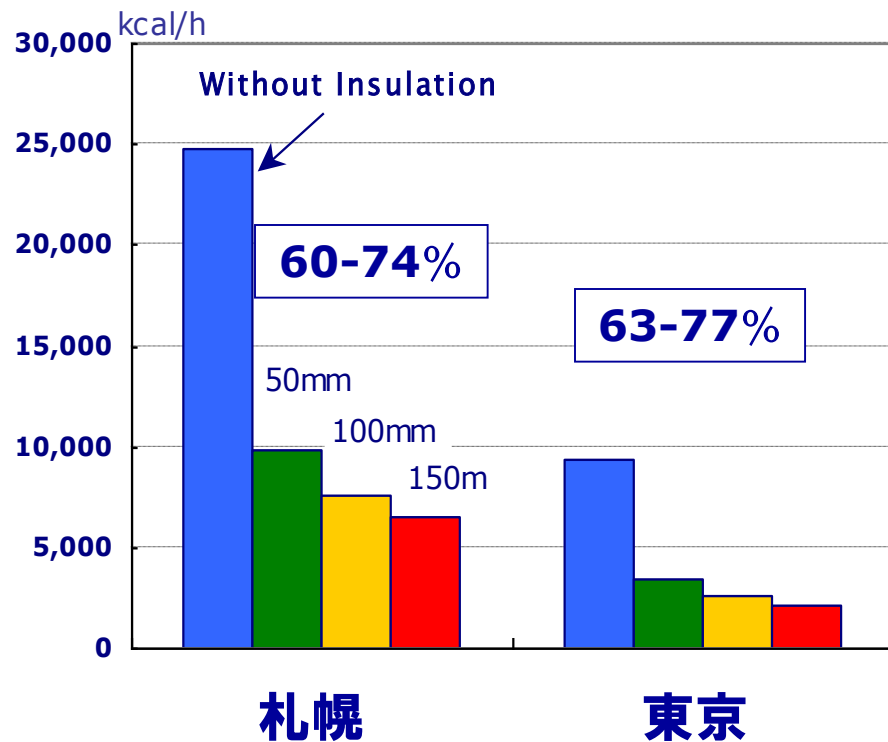
### 新目標(～2010年度以降後)



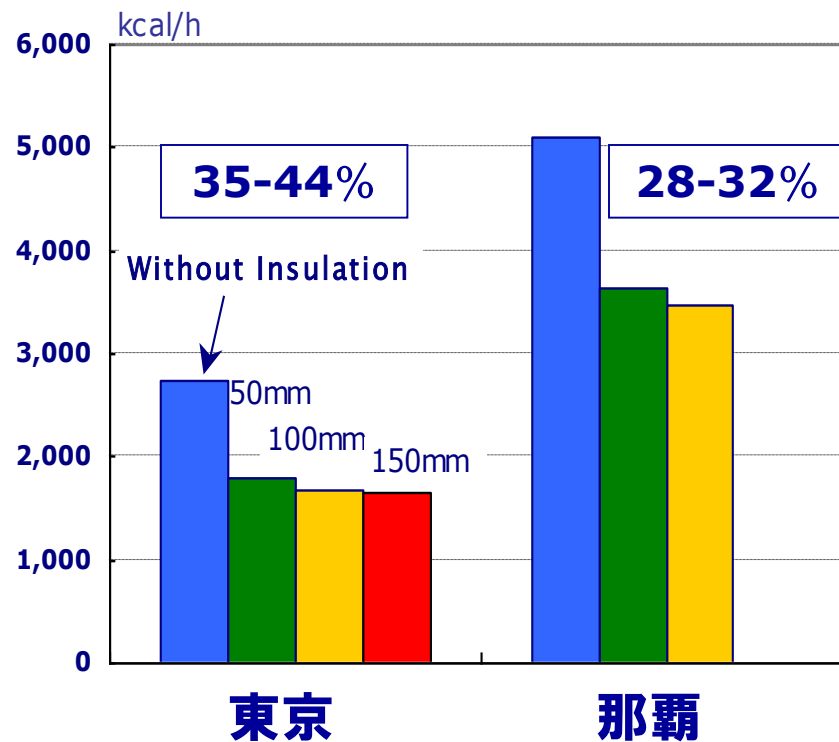
トップランナー基準が導入されてから一定期間が経過し、テレビ、ビデオテープレコーダー、エアコン等が目標年度を迎えた。メーカー努力により、各機器とも当初の見込み以上の効率改善が図られた。

# 住宅断熱化による省エネルギー効果

暖房用



冷房用



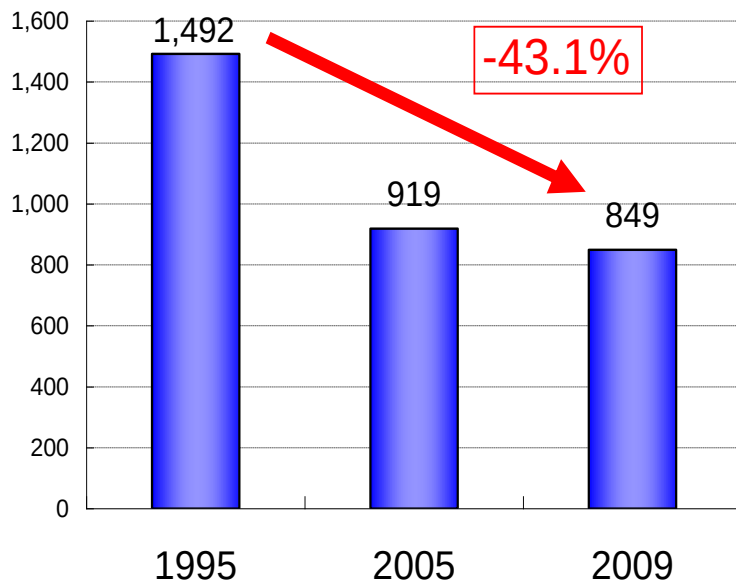
断熱性能の強化による、省エネルギー効果は大きい。

暖房で60%、冷房で30%の削減効果

# 家電製品の効率改善・普及が進む高効率給湯器

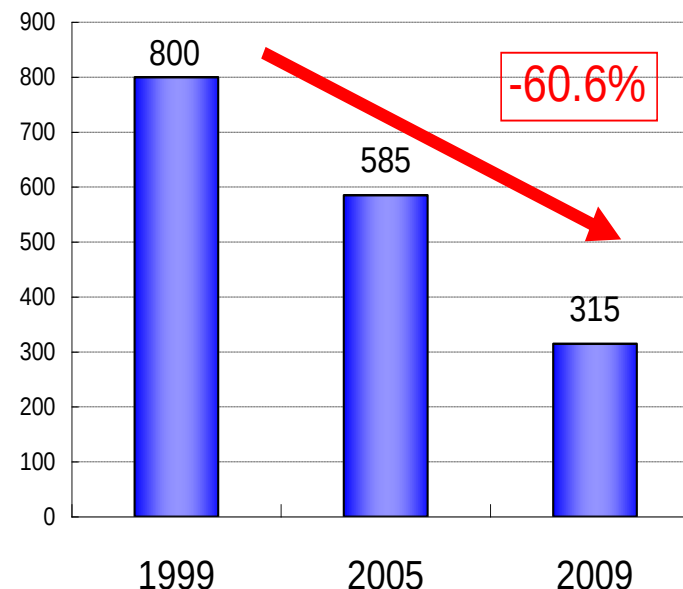
(kWh/年)

## エアコン



(kWh/年)

## 冷蔵庫



## 普及が進む高効率給湯器

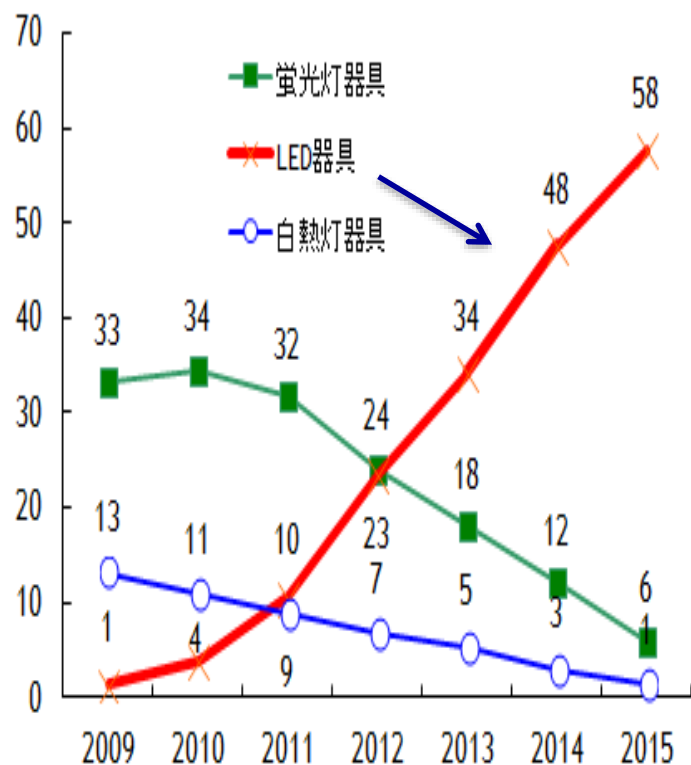
|        | CO <sub>2</sub> 冷媒ヒートポンプ  | 潜熱回収型給湯器                   | ガスエンジン給湯器                   | 家庭用燃料電池                                         |
|--------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|
| 主な商品名  | エコキュート                    | エコジョーズ(都市ガス)<br>エコフィール(石油) | エコウィル                       | エネファーム                                          |
| 省エネの方法 | ヒートポンプ原理により投入量の3倍以上の熱量を得る | 利用されていなかった排ガスの潜熱を回収、再利用する  | ガスエンジンの排熱と動力により熱主電従の熱電併給を行う | 石油やガスから水素を取り出し、空気中の酸素と反応させることで発電し、発生した熱も同時に利用する |
| 省エネの効果 | 従来燃焼式より約30%               | 従来燃焼式より約15%                | 建物全体で約10%                   | 従来の電気ガス消費量より約25%                                |

高効率給湯器の普及は着実に進んでいる。特にガス給湯器のエコジョーズの普及ペースが拡大しており、電機給湯器のエコキュートの普及台数を越える勢い。

# 普及が進むLED照明と省エネポテンシャル

## 照明器具の出荷推移

(百万台)

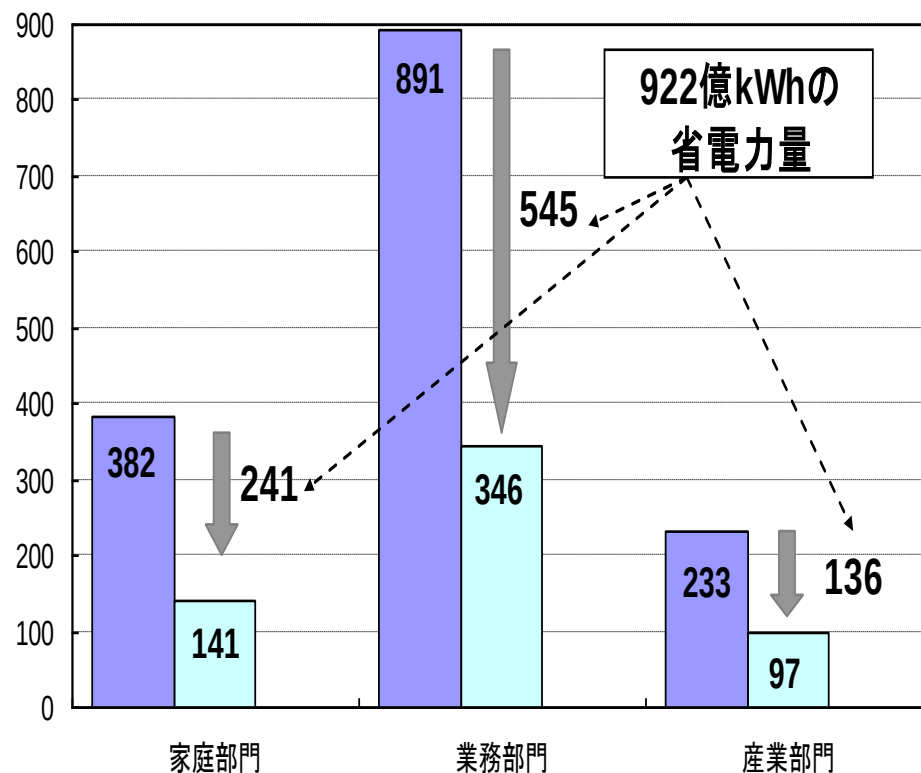


年度

震災以降、急速にLEDの普及率が高まる 現在4割程度

## LED照明による省電力ポテンシャル

(億kWh)

■ 現状 ■ 全てLEDに交換後


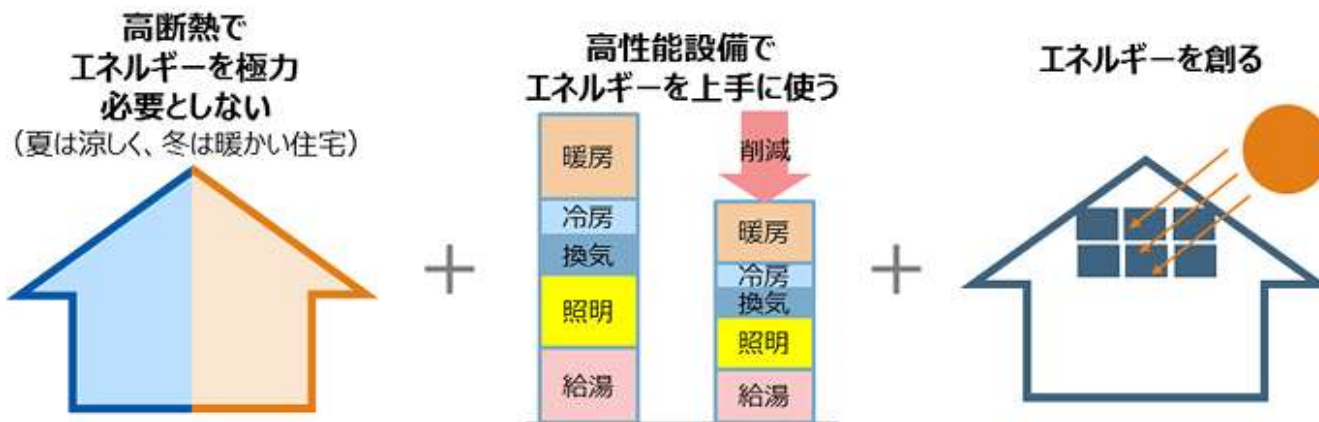
抑制できる電力量は922億kWh。総電力需要の9%に相当する。また、原発13基(1300万kW)、太陽光8800万kW、または風力発電5300万kWの発電量に相当する。

(出所) 日本エネルギー経済研究所試算、2011年

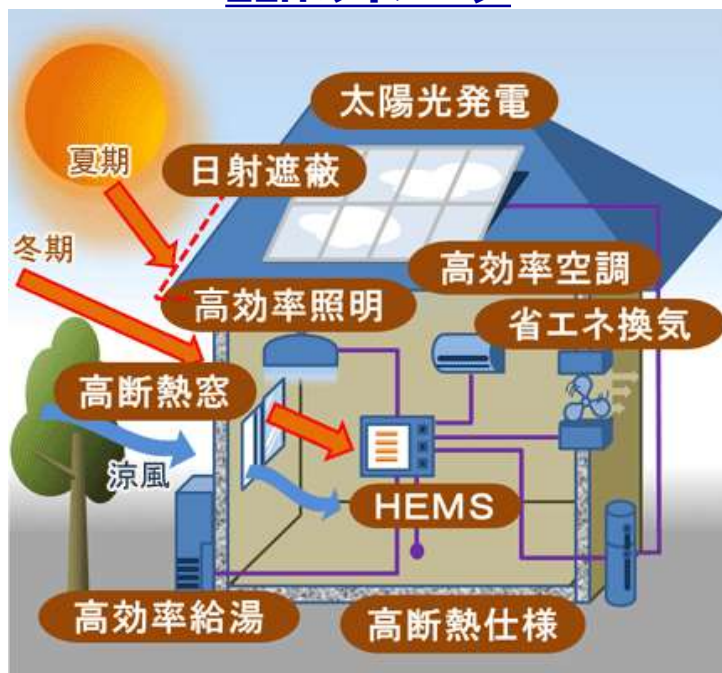


# ZEH(ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)

## 「断熱」「省エネ」「創エネ」の3点セットをそろえる



## ZEHのイメージ



経済産業省では、「2020年までに新築注文戸建住宅の半数をZEHを実現する」目標に対し、2017年は2割超。

## ZEH+

FIT制度に過度に依存せずZEHに係わる費用回収を可能とするため、

①断熱の強化、②エネルギーマネージメントシステムの活用、③EVの導入 によって太陽光発電の自家消費率を高めたZEH (自家消費率25%→60%)

経産省は2018年度以降ZEH+に重点化

# 家庭部門の将来見通し

政府長期エネルギー需給見通し(2030年)  
(2015年7月)



## 【人口構造の見通し】

2030年の人口は、80年と同水準。3割が65歳以上。世帯数は2017年ごろには減少へ。

|                 | 2013年度<br>(実績) | 2030年度   |
|-----------------|----------------|----------|
| 人口              | 127百万人         | 117百万人   |
| 世帯数<br>(社人研)    | 5,250万世帯       | 5,123万世帯 |
| 世帯数<br>(住民基本台帳) | 5,595万世帯       | 5,468万世帯 |

## 【省エネルギー】

家庭部門 <▲1,160万KL程度>

- 住宅の省エネ化
  - ⇒ 新築住宅に対する省エネ基準適合義務化
- LED照明・有機ELの導入
  - ⇒ LED等高効率照明の普及
- HEMSによる見える化・エネルギーマネジメント
  - ⇒ 全世帯に導入
- 国民運動の推進





## **III-3 業務部門のエネルギー消費**

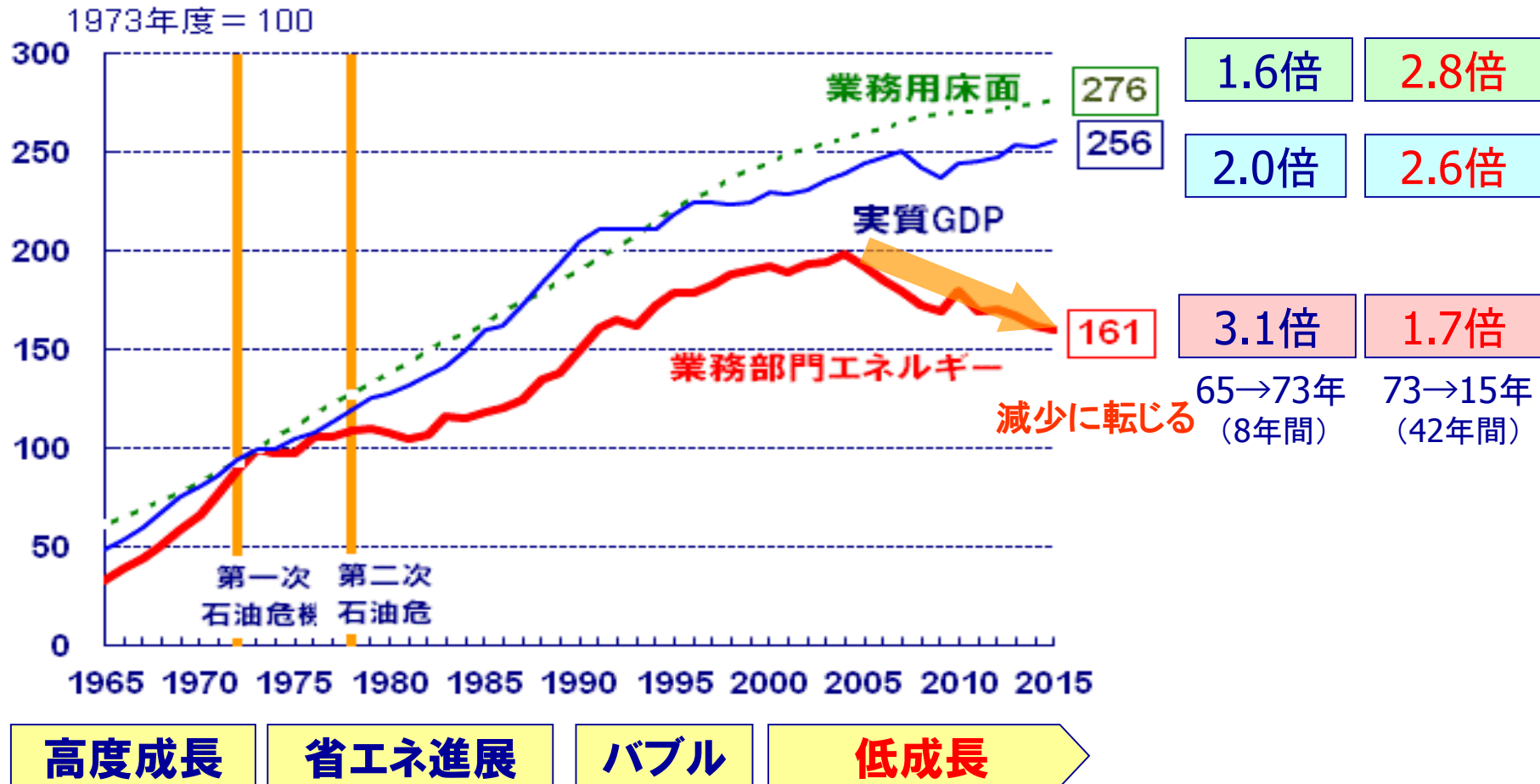
# 業務部門の業種分類

業務部門とは、商店・事務所ビル・病院・種々の学校・福祉施設のような、商業・サービス部門を指す。ただし、産業部門の管理部門等（例：メーカーの本社ビル）も含まれる。

| 業種        | 内訳                                                                                        |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 事務所ビル     | 事務所、銀行、国有財産建物、都道府県・市町村の庁舎等                                                                |
| 卸小売業      | 併用住宅、店舗、市場                                                                                |
| 飲食店       | 併用住宅、店舗                                                                                   |
| 学校・試験研究機関 | 保育所、幼稚園、小学校、中学校、高校、高等専門学校、短期大学、大学、その他の学校、試験研究機関                                           |
| ホテル・旅館    | 普通旅館等、ホテル・団体旅館等                                                                           |
| 劇場・娯楽場    | 劇場・映画館、ホール型建物、県民会館、市民会館・公会堂                                                               |
| 病院・診療所    | 病院、国立病院、公立の病院・診療施設等                                                                       |
| その他サービス業  | 児童福祉施設（除保育所）、老人福祉施設、保護施設等の社会福祉施設、児童館・隣保館・公民館、図書館、博物館、体育館、青年の家・自然の家、勤労青少年ホーム、集会施設、公衆浴場、その他 |

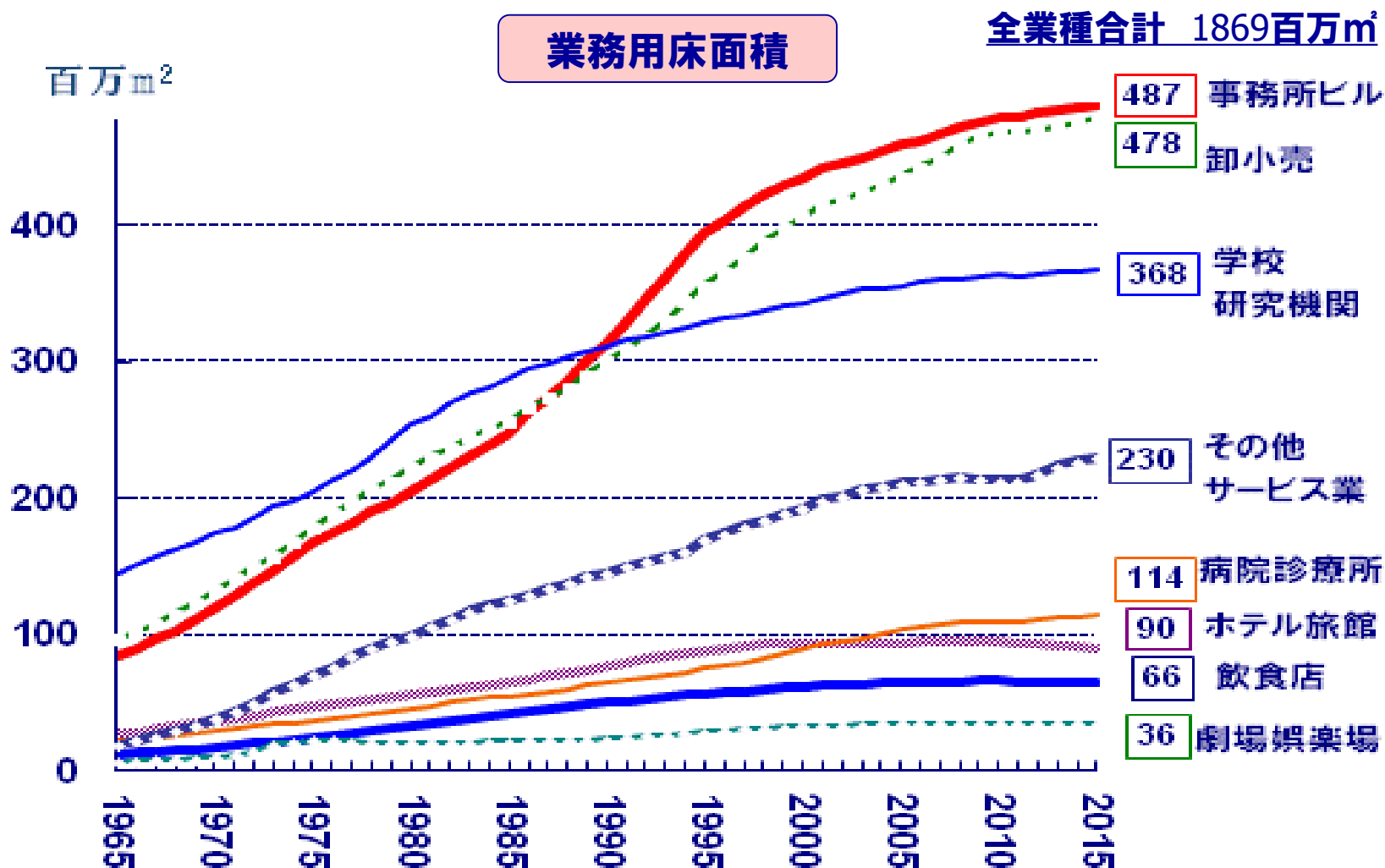
# 業務部門のエネルギー消費

$$\text{業務用エネ消費} = \text{業務用延床面積} \times \text{床面積当たり原単位}$$



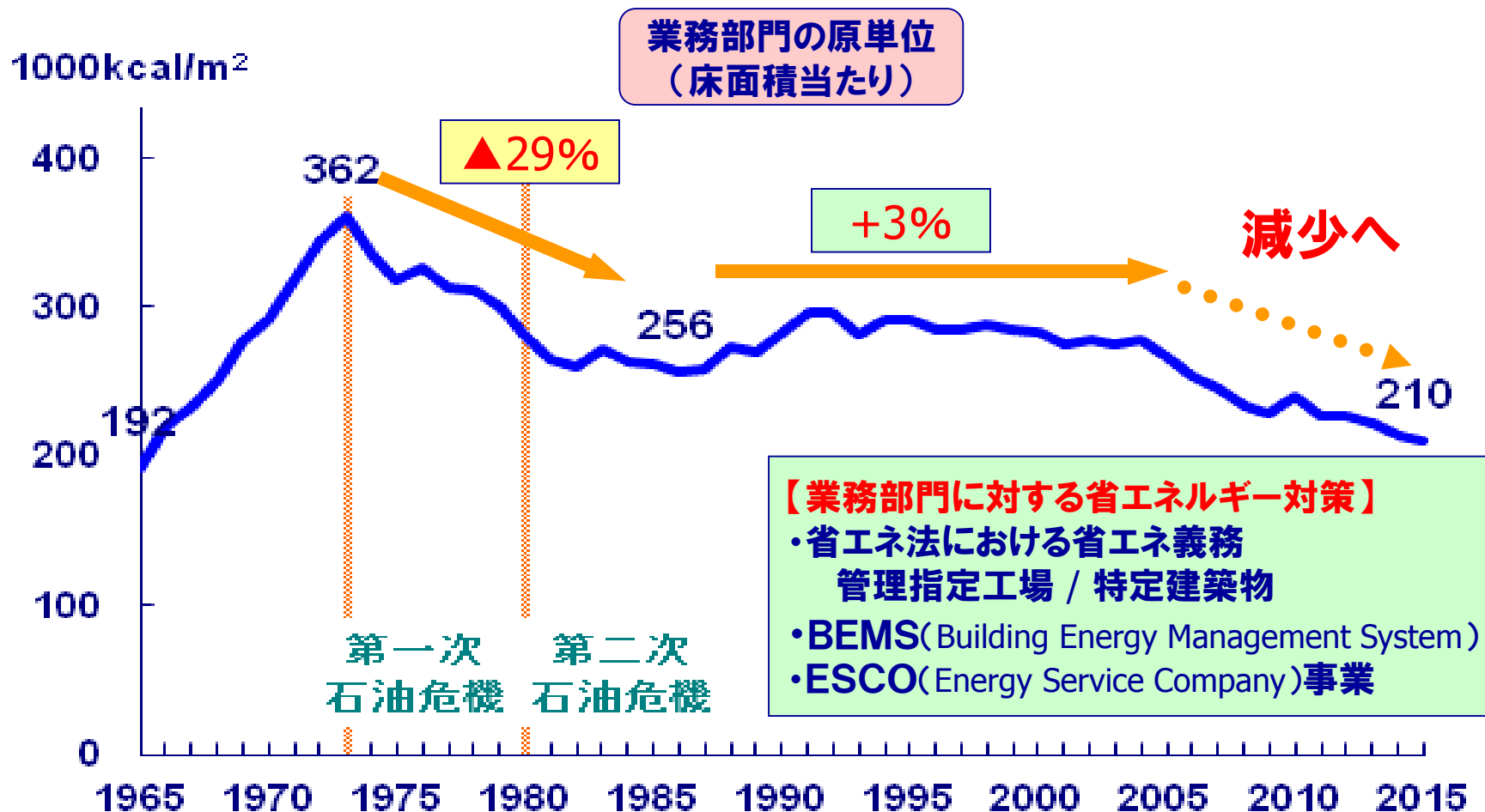
業務部門の床面積は、GDPの伸び率とほぼ同様に順調な伸びを示してきた。エネルギー消費量は石油危機後、伸びが鈍化するが、1980年代半ばから再び大きく伸びた。2003年をピークに暖房需要の低下などにより全体の消費量は減少に転じている。

# 業種別床面積の推移



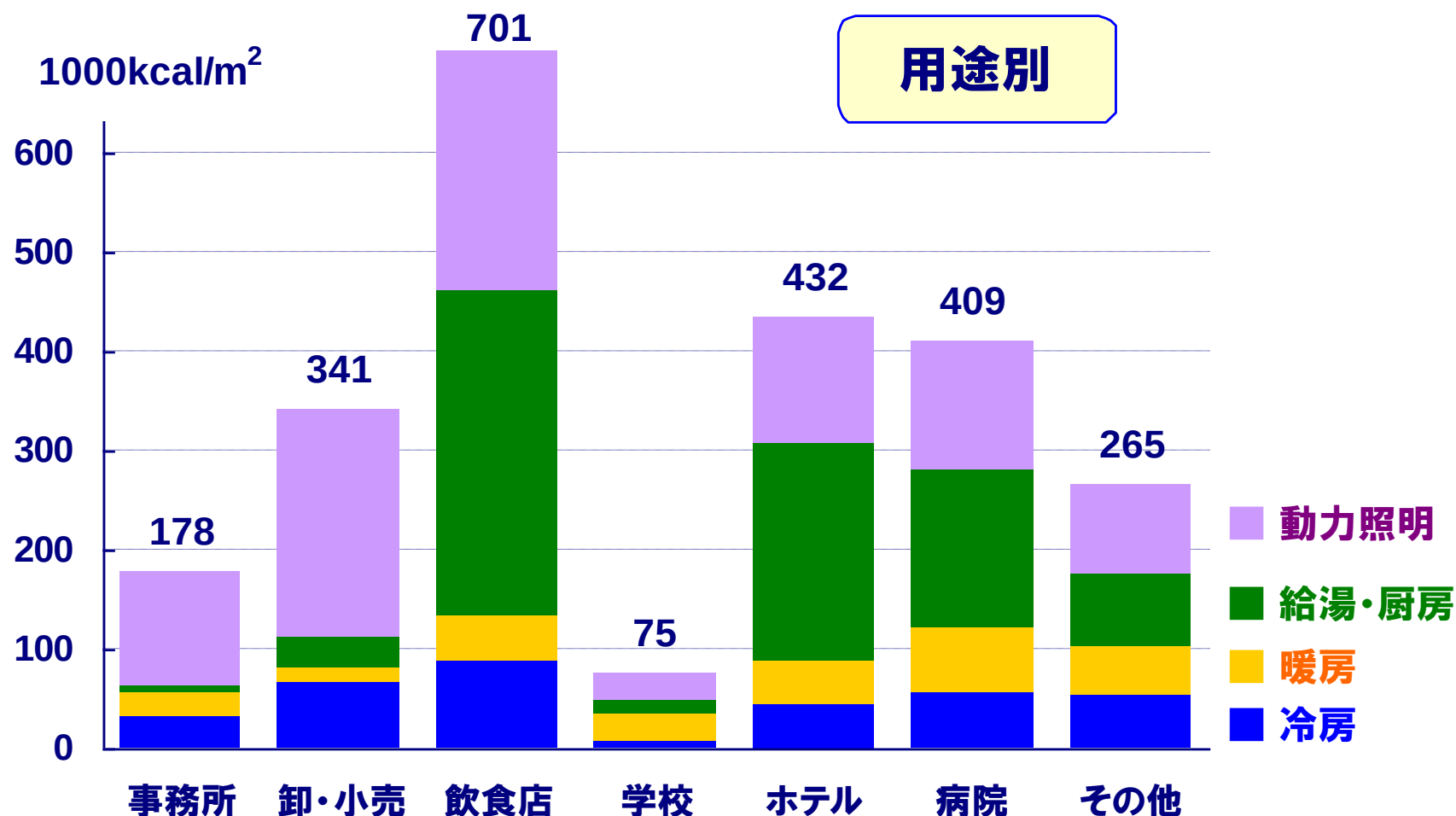
業務用延床面積の約7割を事務所ビル、卸・小売業、学校・試験研究機関で占めている。バブル期に当たる1985年以降、事務所ビル、卸・小売業の伸びは大きくなり、逆に少子化の影響などから学校・試験研究機関の伸びは鈍化傾向にある。

# 床面積当たり原単位 近年は緩やかな低下傾向



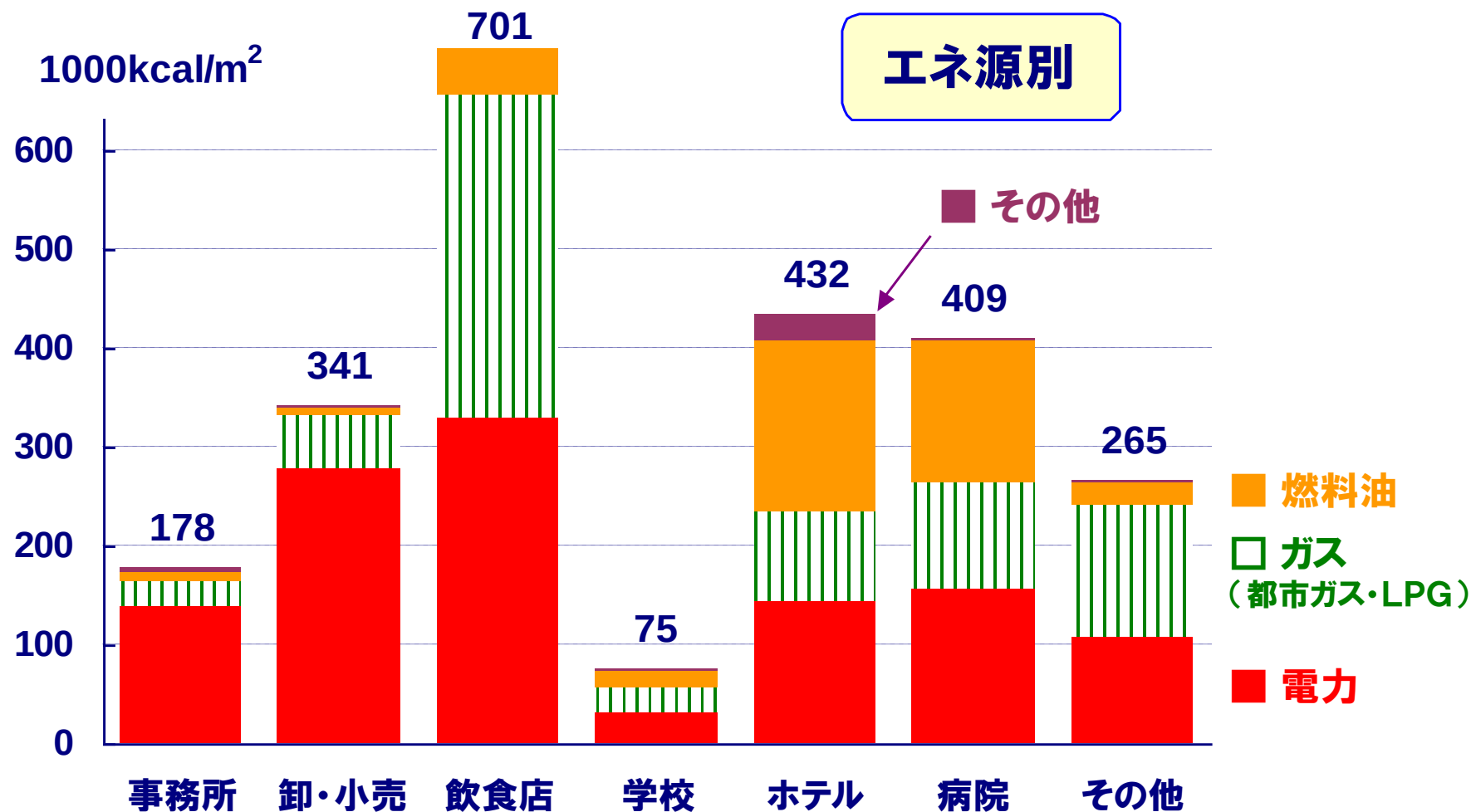
業務部門の床面積当たりエネルギー原単位は、石油危機を契機に、オフィスビルやホテルなどを中心に大幅に改善した。しかし、1980年代半ばからは概ね横ばいで推移している。足下の動向は、暖房機器などの効率改善により減少へ。

# 業種別の消費原単位（用途別）



原単位合計は飲食店が最大、学校が最小である。事務所や卸・小売は照明・動力需要が過半を占める。一方、飲食店、ホテル、病院は調理用・入浴用にエネルギーを大量に消費するため、給湯・厨房シェアが高い。

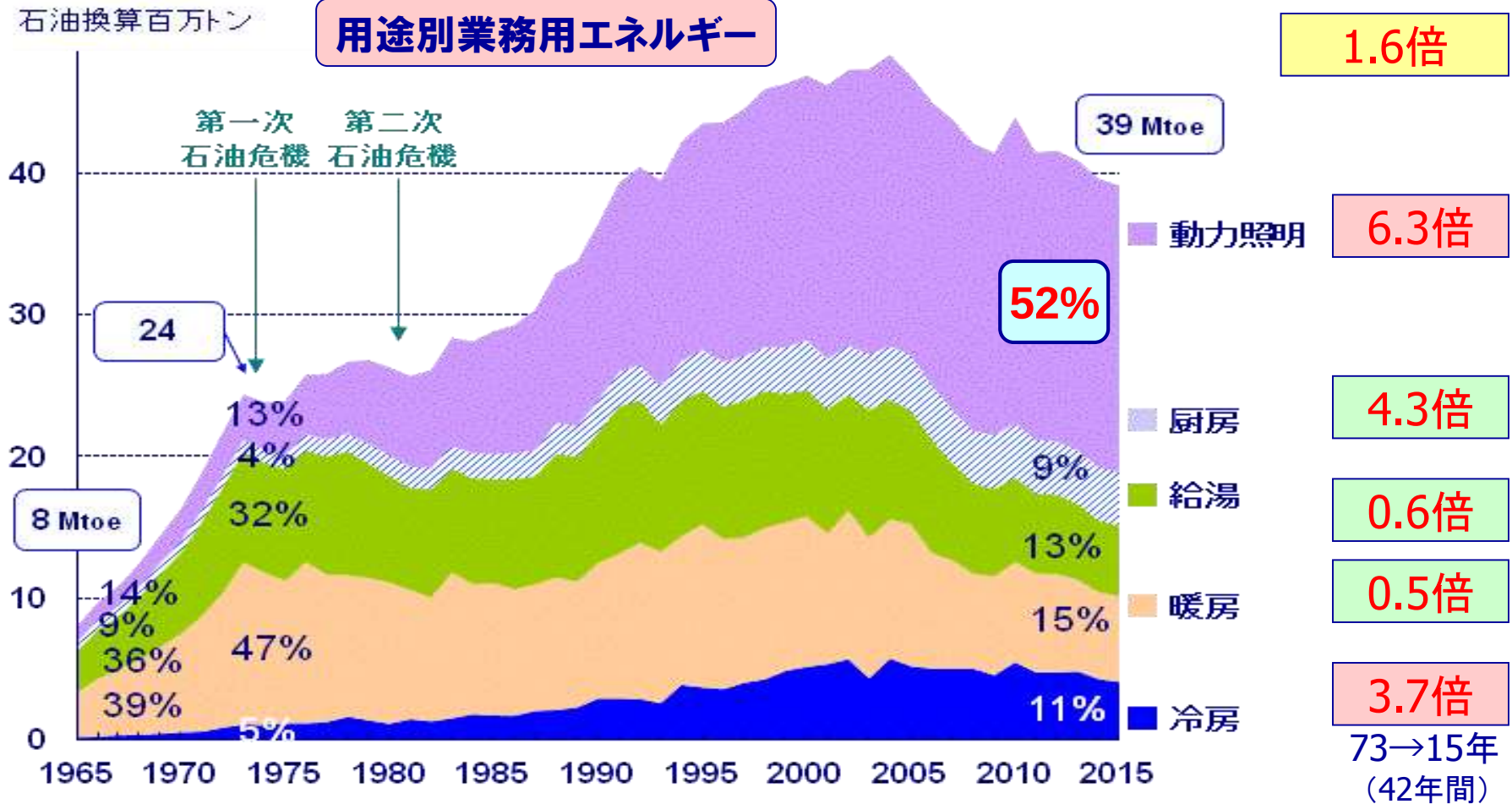
# 業種別の消費原単位(エネルギー源別)





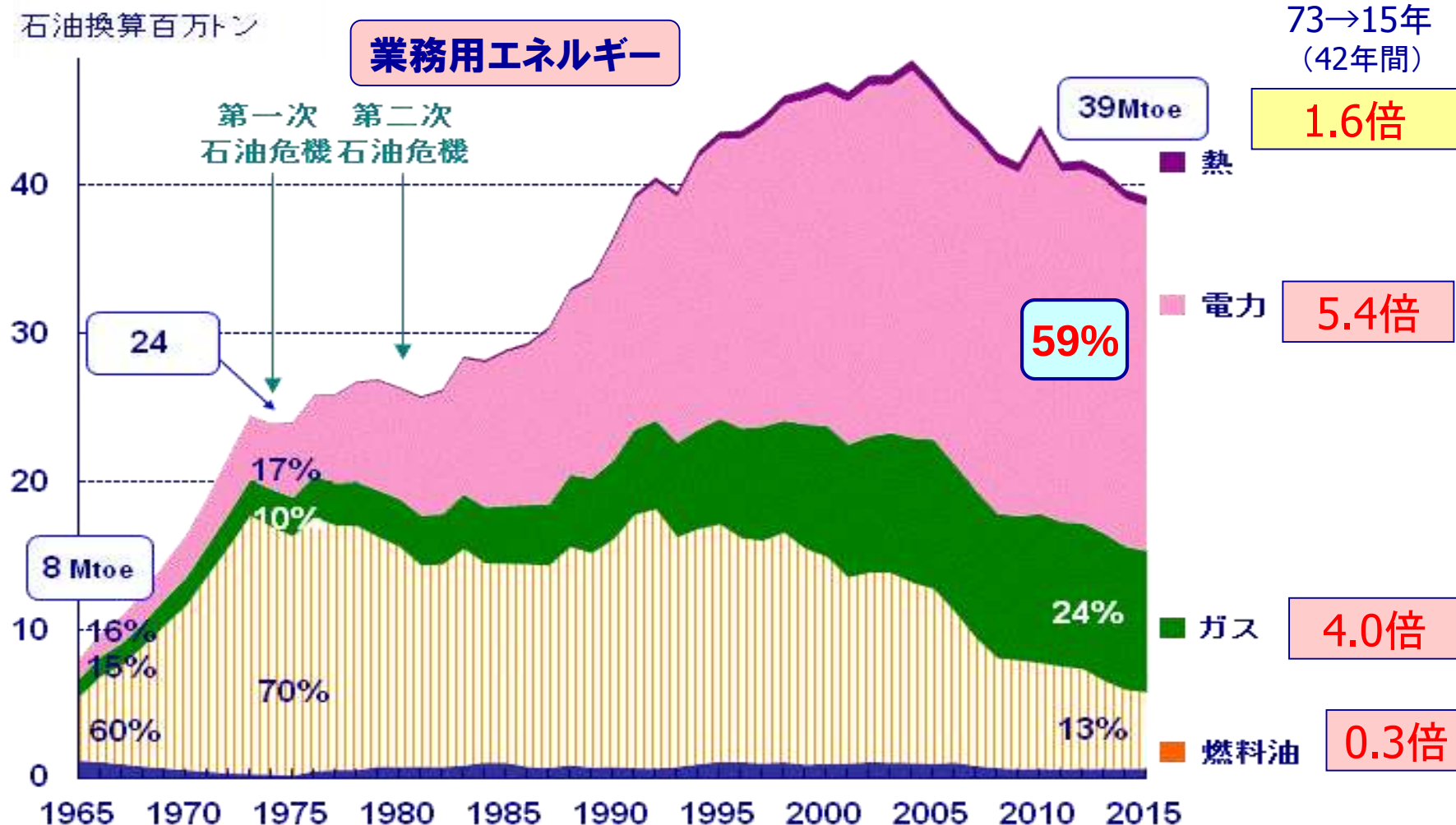
# 用途別エネルギー消費

伸びる動力照明・冷房需要



動力照明は、OA化・IT化などを反映して一貫して高い伸びを示しており、シェアは5割近くまで達している。一方、暖房用や給湯用は、石油危機以降、省エネが進展した。冷房用は、オフィス環境の改善などに加え、IT機器の排熱対策としても増加している。

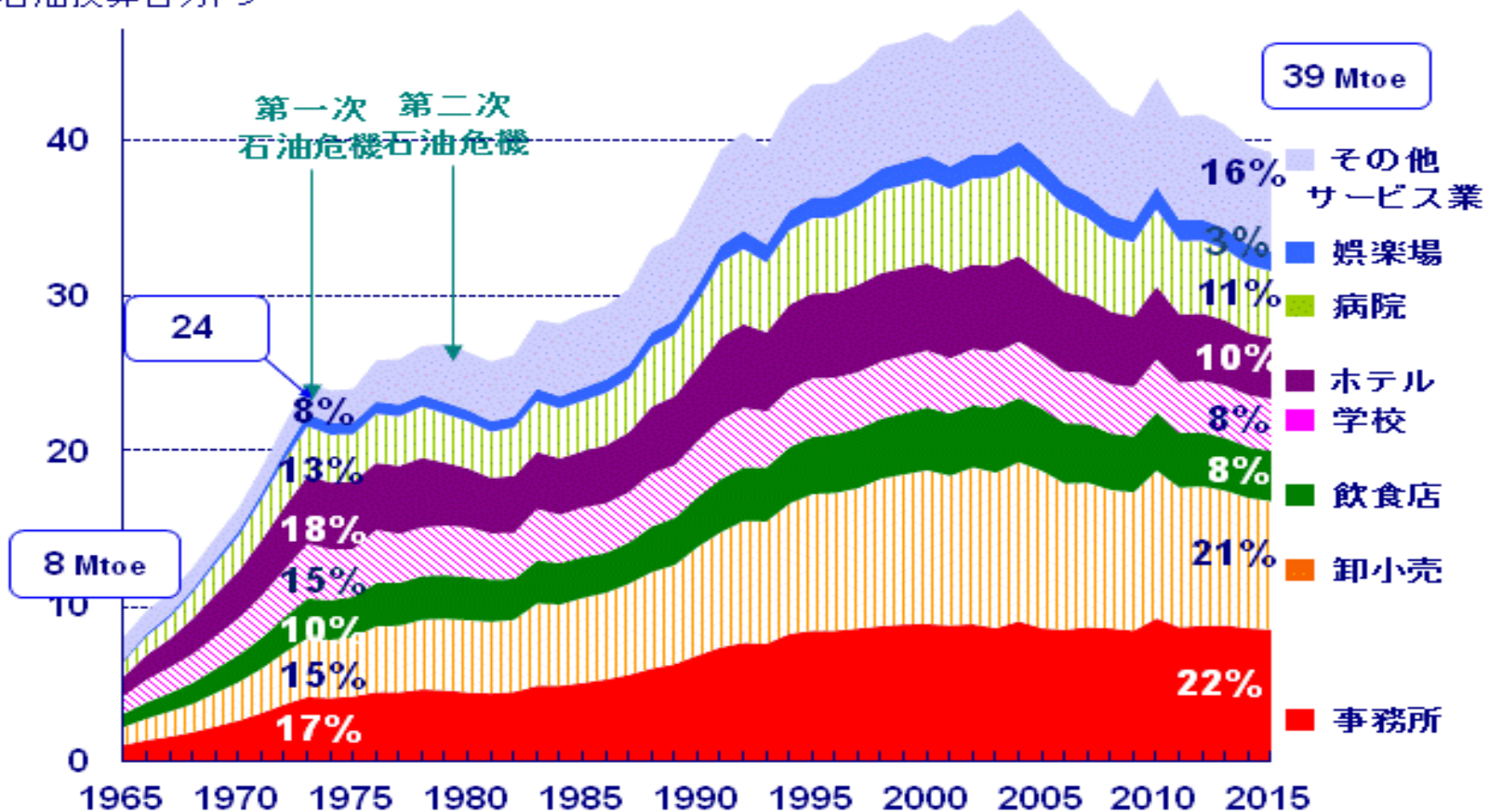
# エネルギー源別需要 過半を占める電力需要



動力照明需要の増大やガス冷房の普及などにより、電力およびガスの消費量は一貫して増加を続けている。一方、かつて7割のシェアを占めていた燃料油(石油)は、電力・ガスへの燃料転換などによりシェアは大きく低下した。

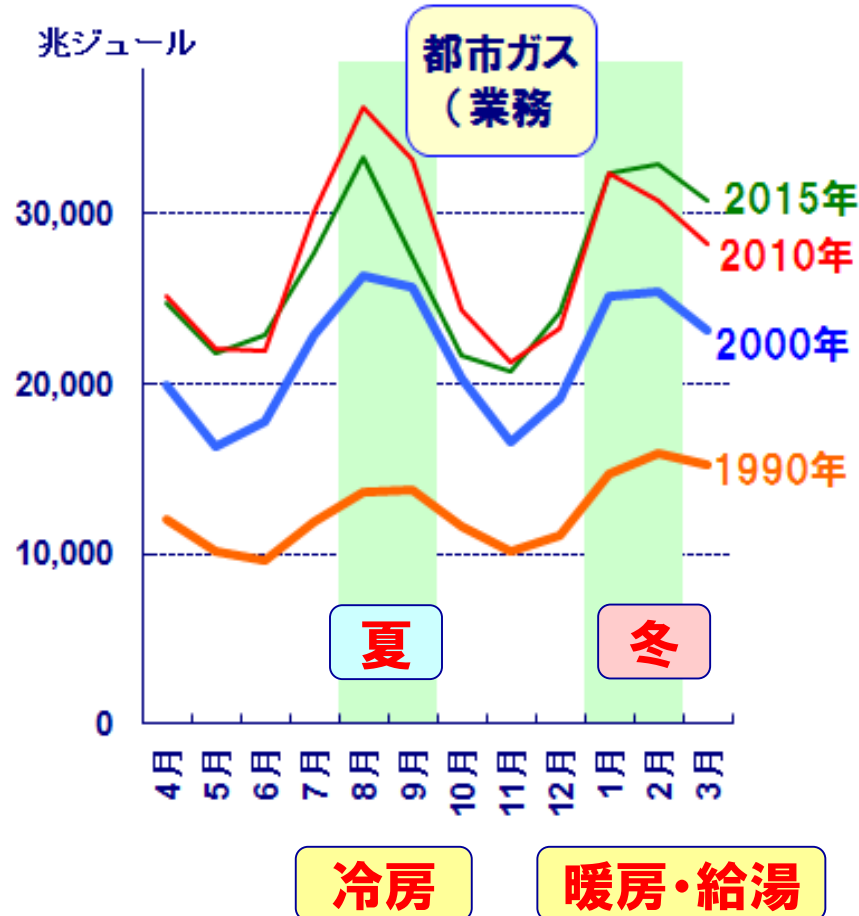
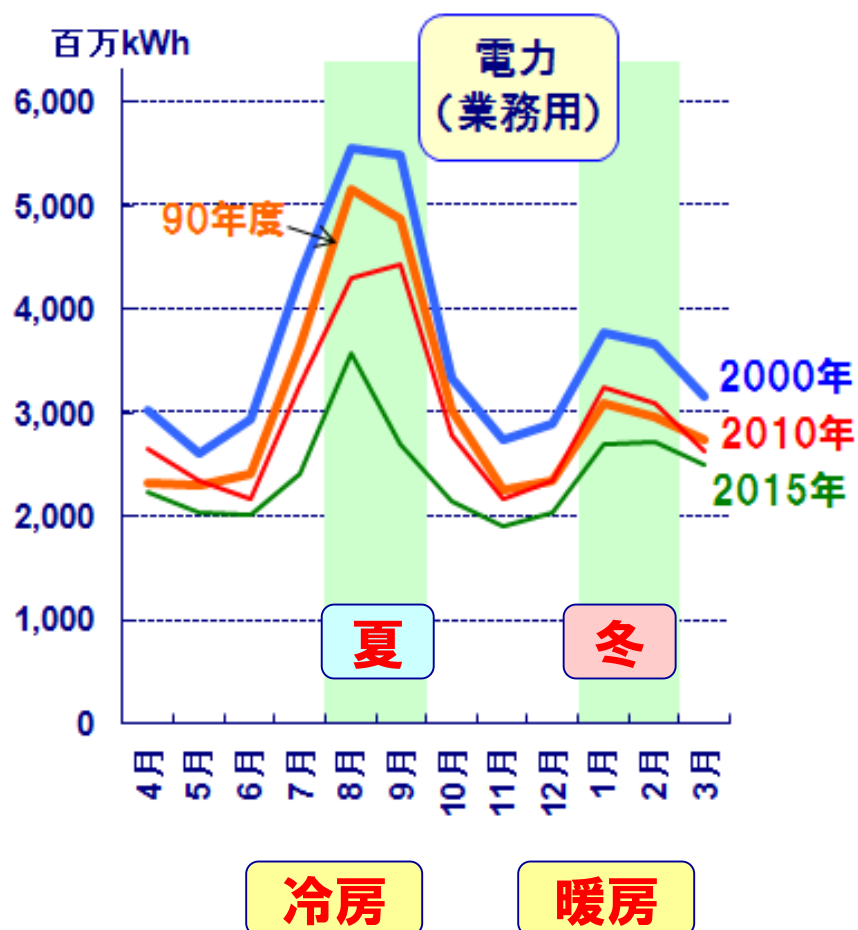
# 業種別エネルギー消費量

石油換算百万トン



業種別エネルギー消費量は事務所ビル(22%)が最も大きく、次いで卸・小売業(同21%)、その他サービス(同16%)と続く。学校は、床面積が鈍化傾向のためエネルギー消費量のシェアも低下している(同8%)。

# 気温に影響される冷暖房需要



電力は自由化による契約変更があるため年次ベースで増加しているわけではないが、夏の冷房需要が突出しているのが分かる。都市ガスは、ガス冷房の普及により夏需要が年々大きくなっている。



# ビルのエネルギー管理システム 省エネに向けて

## エネルギー監理システム (EMS):

電力使用量の可視化、節電の為に機器制御、ソーラー発電機等の再生可能エネルギーや蓄電機の制御等を行うシステム。管理対象により

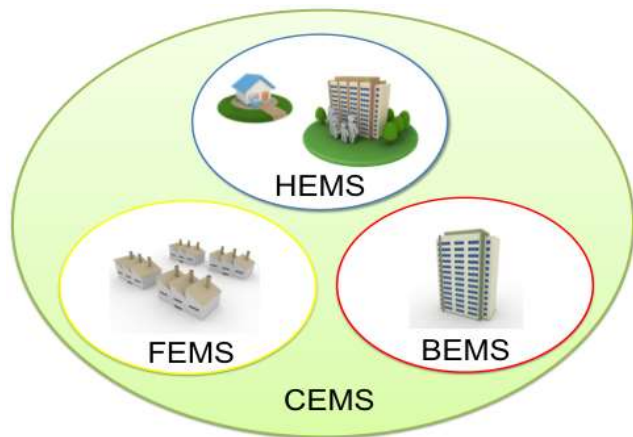
HEMS:住宅向け

BEMS:商用ビル向け

FEMS:工場向け

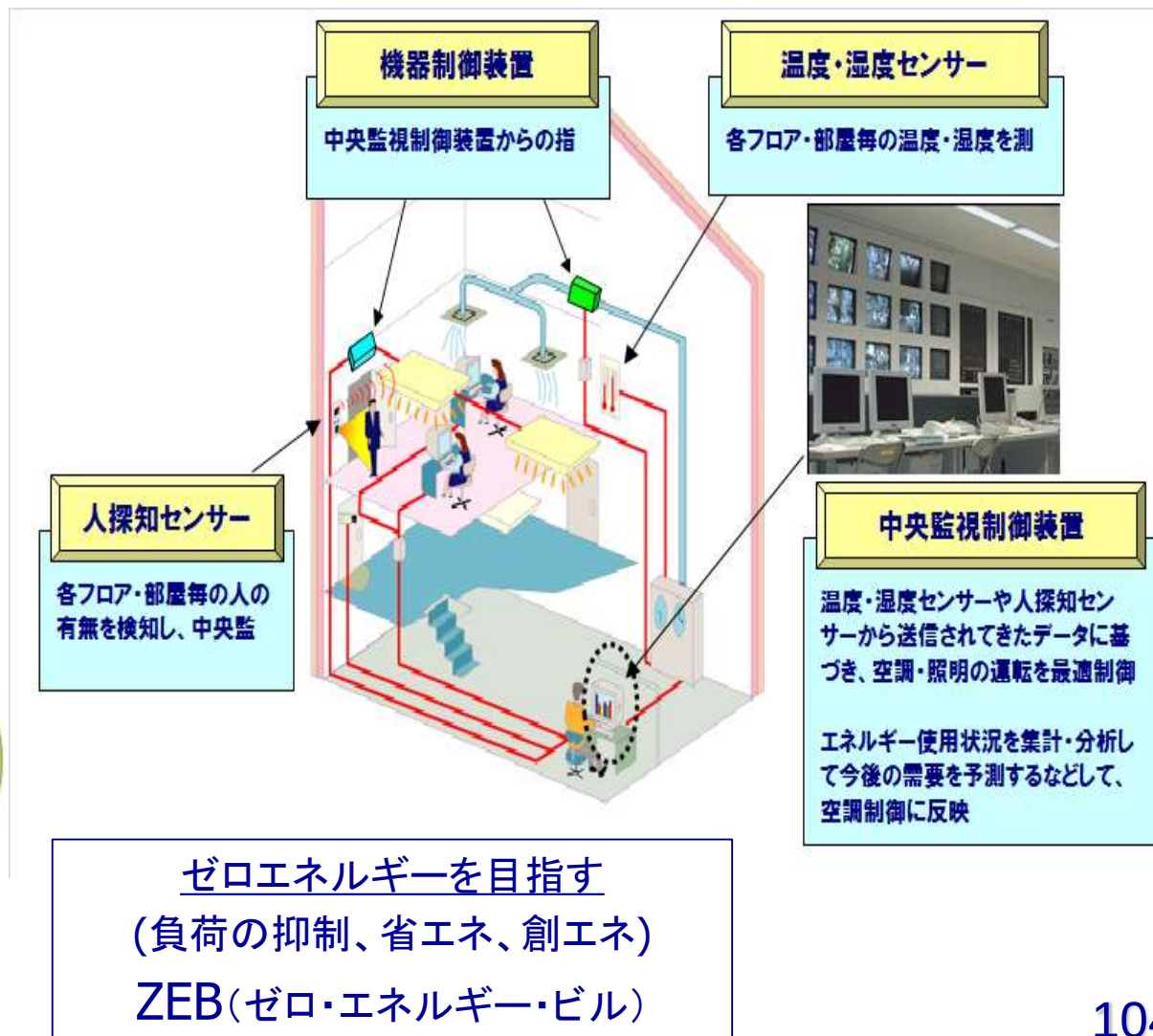
CEMS:地域全体向け

電力需要と電力供給のモニターとコントロールをするというシステムの基本は共通。



## BEMSのイメージ

(Building Energy Management System)

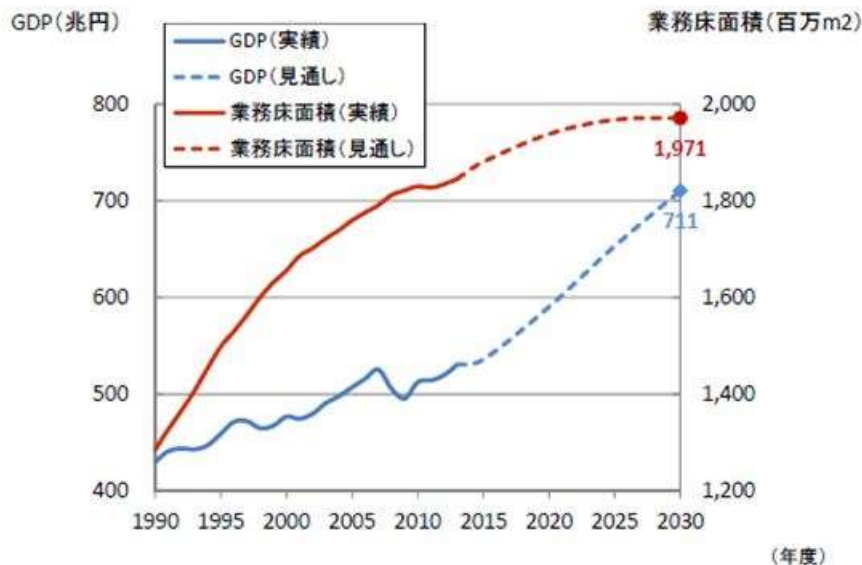


# 業務部門の将来見通し

政府長期エネルギー需給見通し(2030年)  
(2015年7月)



## 【業務床面積の想定】

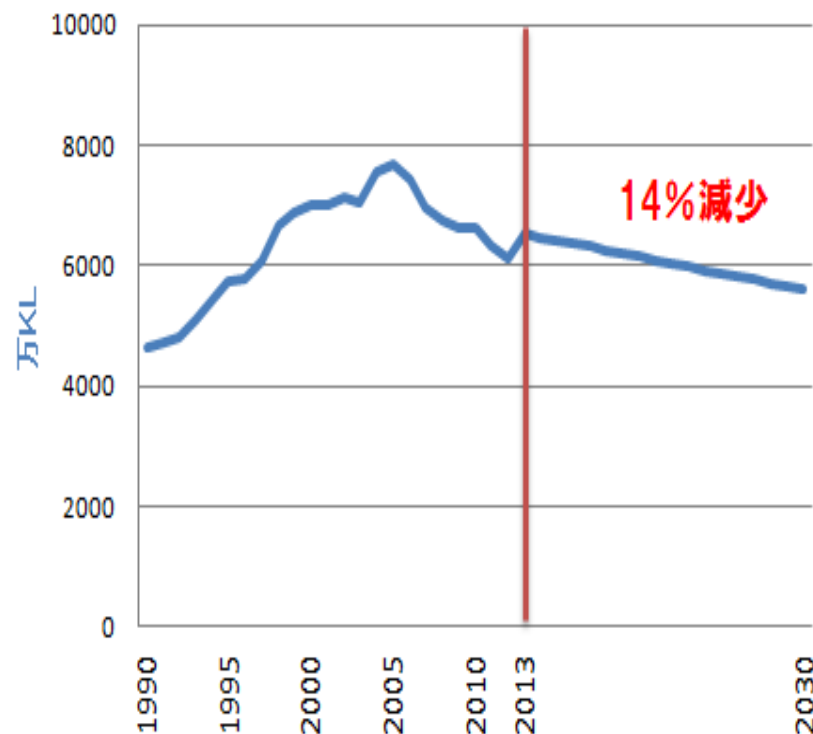


## 【省エネルギー】

業務部門 <▲1, 226万KL程度>

- 建築物の省エネ化  
⇒ 新築建築物に対する省エネ基準適合義務化
- LED照明・有機ELの導入  
⇒ LED等高効率照明の普及
- BEMSによる見える化・エネルギーマネジメント  
⇒ 約半数の建築物に導入
- 国民運動の推進

## 業務部門エネルギー消費



## **III-4 運輸部門のエネルギー消費**



# 交通部門エネルギー消費の定義

交通用エネルギー消費 =

$$\Sigma (\text{輸送需要} \cdot \text{機関分担率}_i) \cdot \text{消費原単位}_i$$

## 交通部門

- 旅客
- 貨物

## 輸送機関

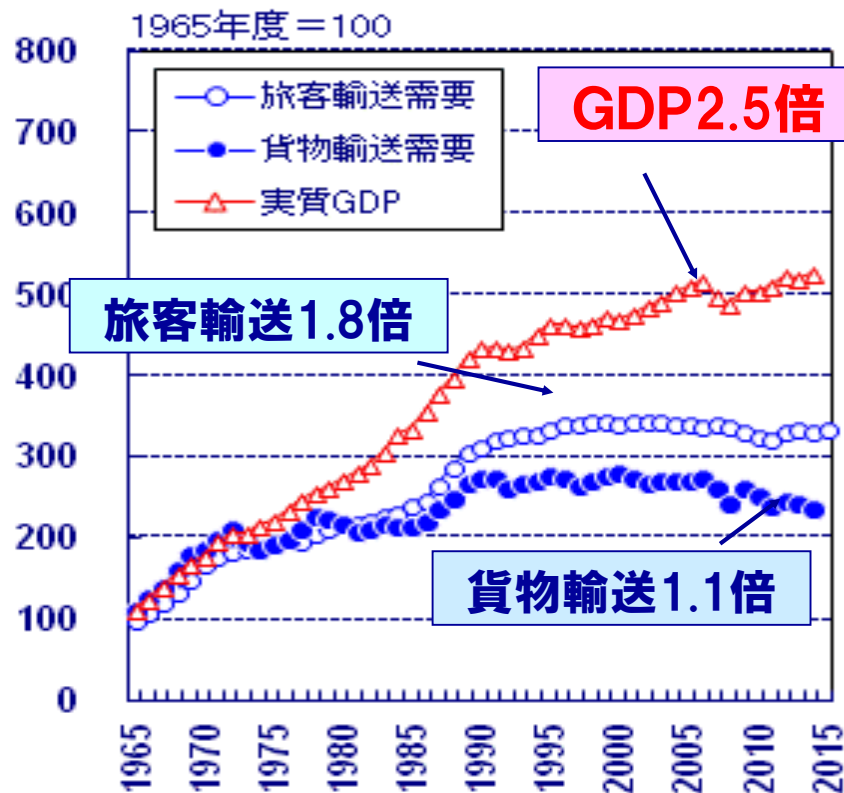
- 自動車
- 鉄道
- 船舶
- 航空

# 輸送需要とエネルギー消費

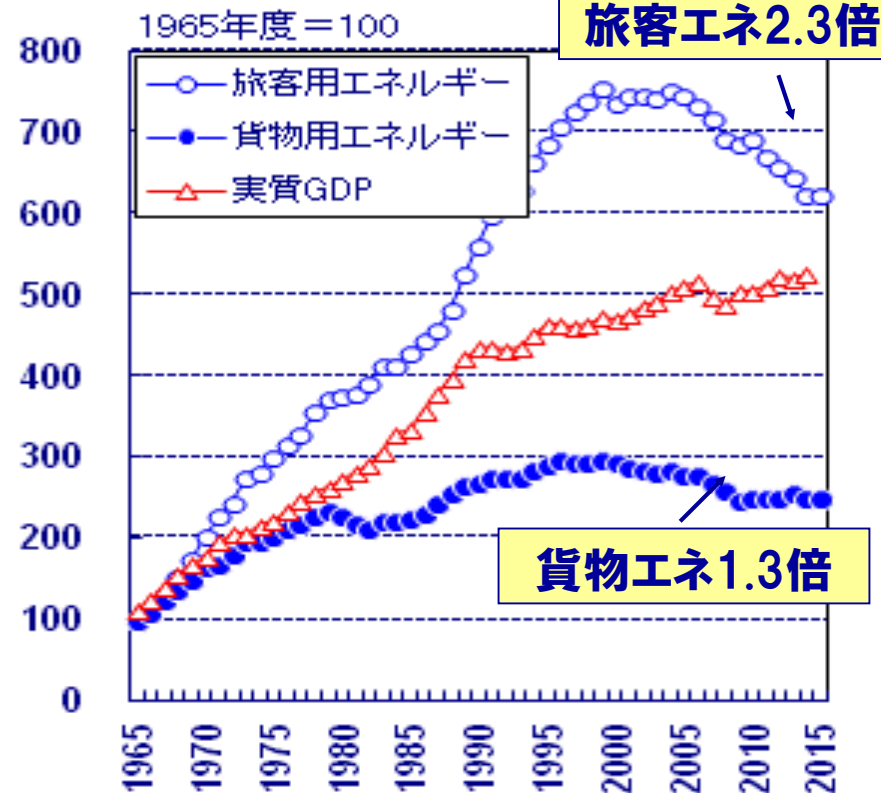
## 輸送需要

1973-2015年倍率

## エネルギー需要

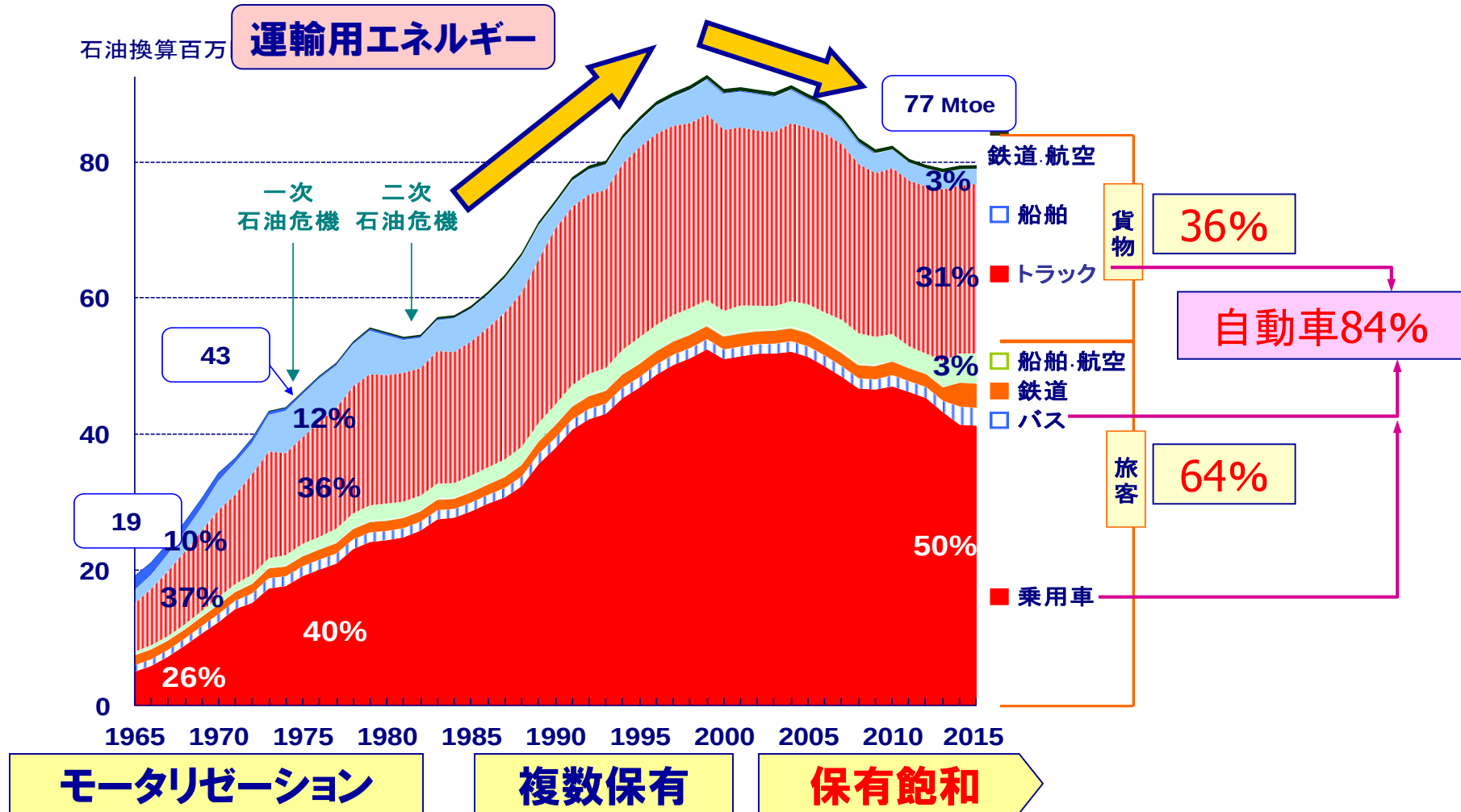


- 旅客の輸送需要は着実な伸びとなっている。
- 貨物の輸送需要は景気の変動の影響を強く受ける。二度の石油危機による低迷後、1985年から1990年にかけて急増したが、90年代以降は再び低迷。



- 旅客部門のエネルギー消費量は、乗用車の普及によって輸送需要(人キロ)を大きく上回る伸びで増加してきた。近年は減少に転じている。
- 貨物部門は、輸送需要(トンキロ)とほぼ同様の動きで推移。

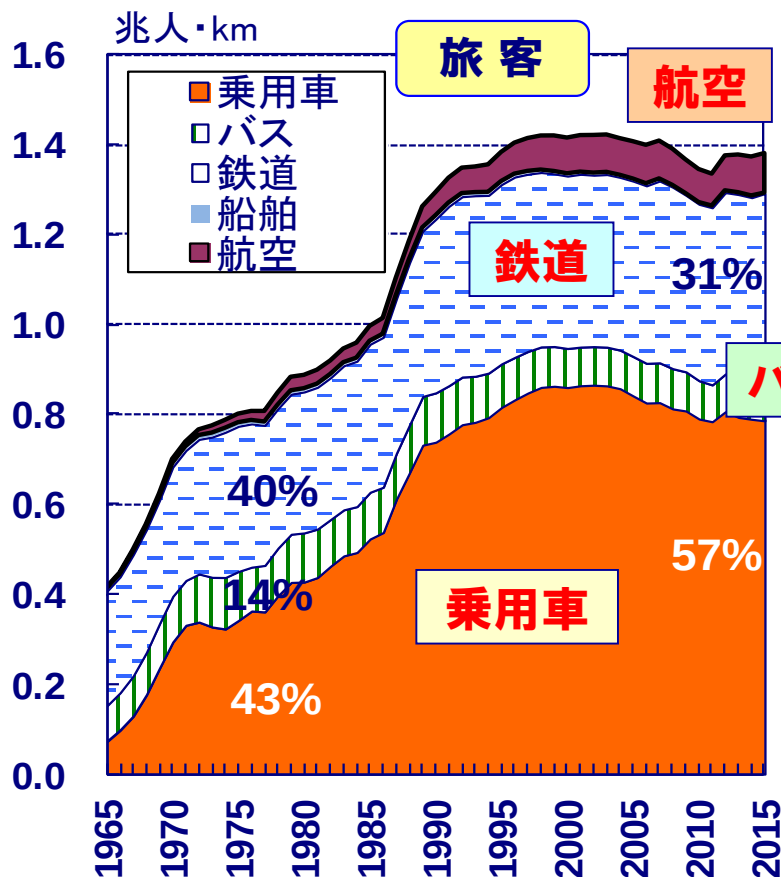
# 運輸部門エネルギー消費 自動車用が84%を占める



運輸部門のエネルギー消費量は、旅客、貨物とも自動車におけるエネルギー消費によって増大してきた。しかし、トラック用のエネルギー消費は1996年度に、乗用車用も2004年度に減少に転じた。運輸部門全体では1999年度をピークに減少に転じている。

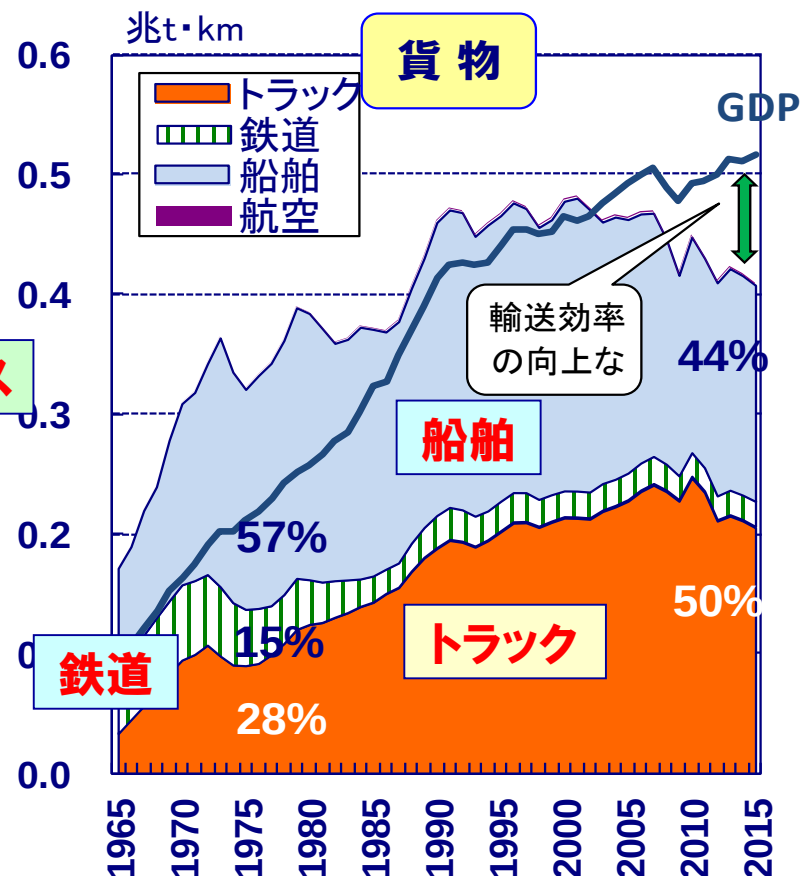
# 輸送需要の推移 自動車へのシフトが進む

## 旅客輸送需要（人キロ）



自動車保有の増大に伴い乗用車の旅客輸送需要は堅調に増加し、全体の6割を超える。一方、鉄道、バスは減少している。

## 貨物輸送需要（トンキロ）

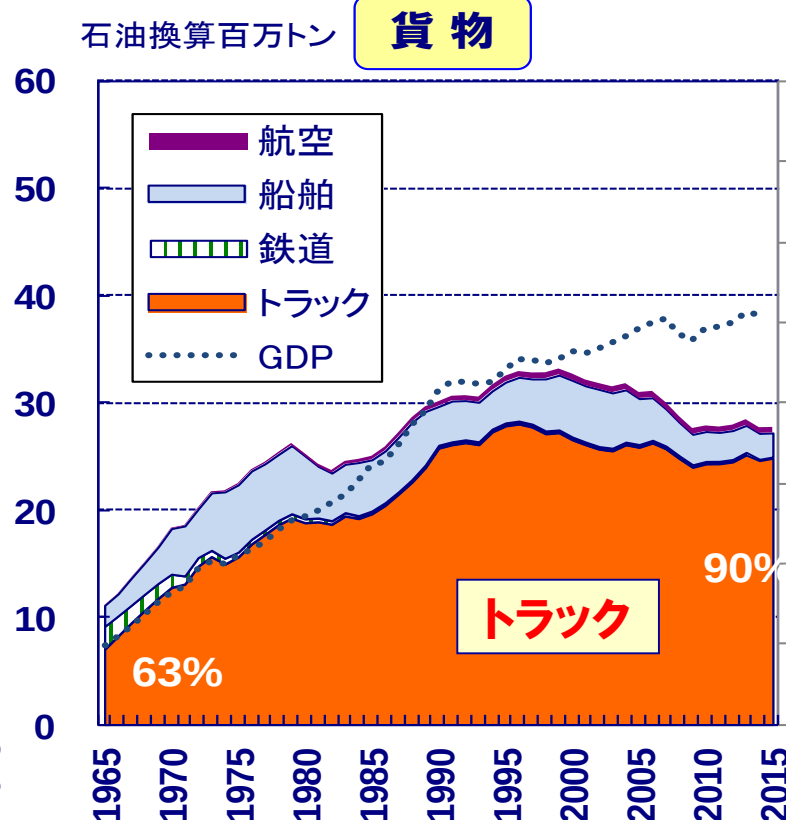
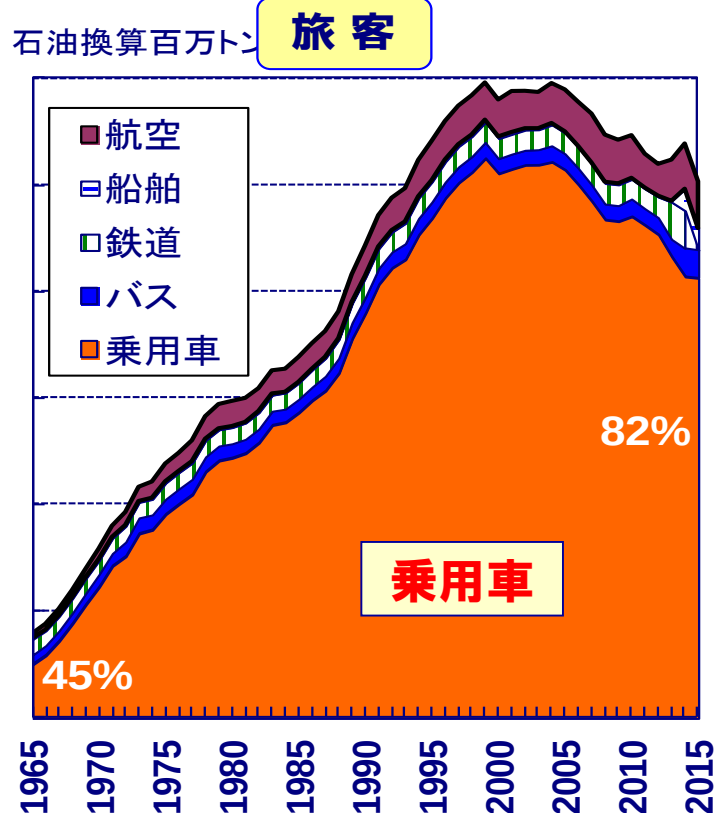


自動車と海運で需要の殆どを占める。自動車の輸送需要は順調に増加、海運は素材産業の動向により変動。鉄道のシェアは減少。

# 輸送用エネルギー需要

## 旅客輸送用エネルギー

## 貨物輸送用エネルギー



モータリゼーションの進展により乗用車のエネルギー需要は堅調に増加しており、直近では全体の8割強を占める。

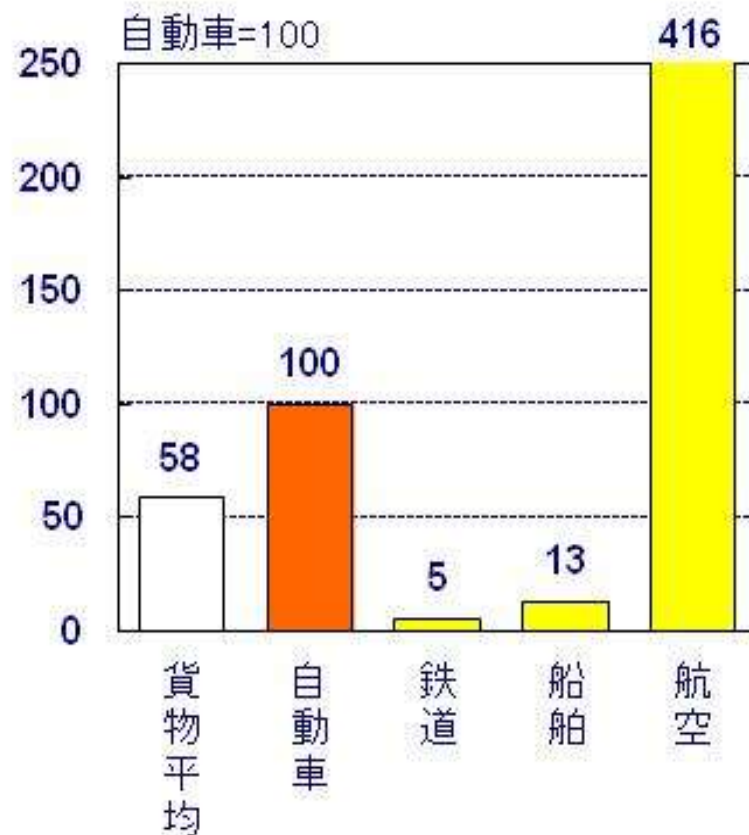
自動車のエネルギー需要は1997年以降減少傾向にあるが、貨物輸送のエネルギー需要が9割を占めている。

# 輸送機関別エネルギー消費原単位 (2013年)

## 旅客 (乗用車=100)

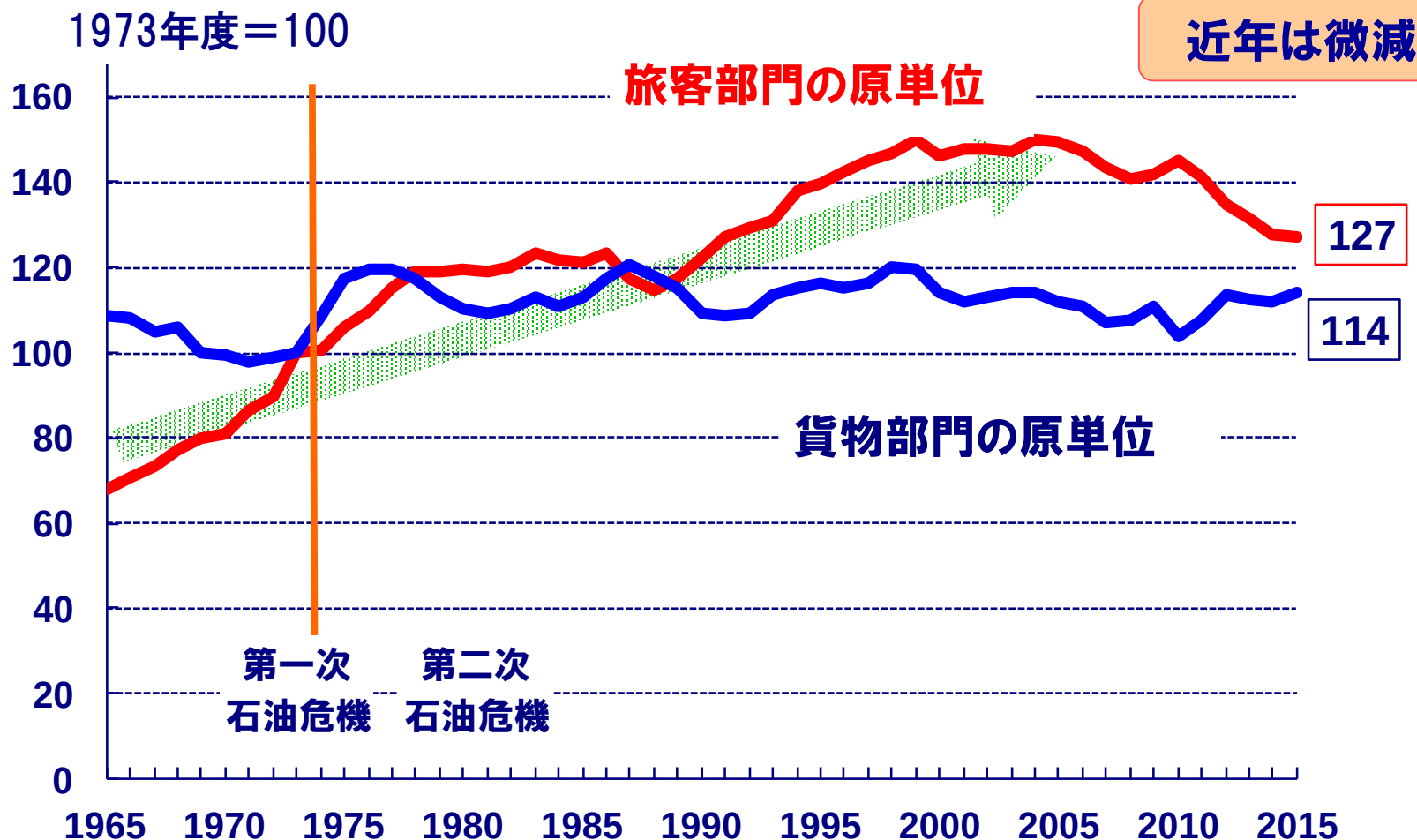


## 貨物 (自動車=100)



エネルギー消費原単位の違いはエネルギー効率の違いを示す。エネルギー消費原単位は輸送機関によって大きく異なる。旅客部門を見ると、乗用車の消費原単位が大きく、鉄道の原単位は小さい。貨物部門では、輸送速度の速い航空の原単位が飛び抜けて大きい。

# エネルギー消費原単位 旅客の原単位も改善へ

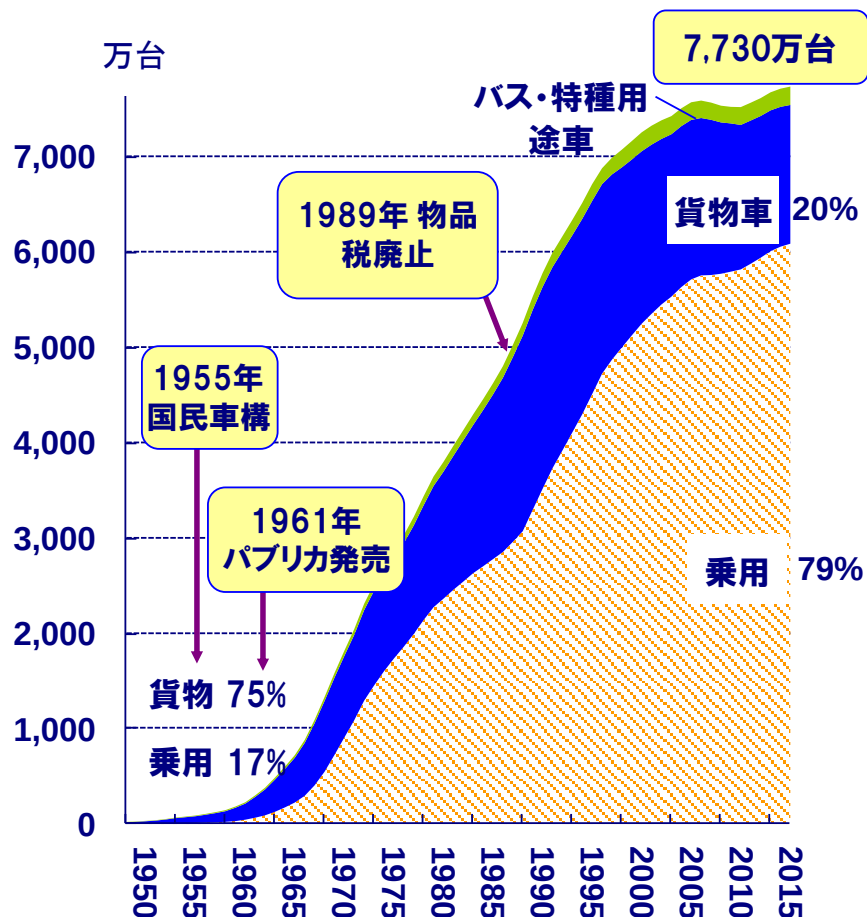


旅客部門では、エネルギー原単位の小さいバス、鉄道による公共大量輸送が減り、原単位の大きい自家用乗用車による輸送が増加してきた。そのため旅客平均の原単位は悪化し続けてきた。

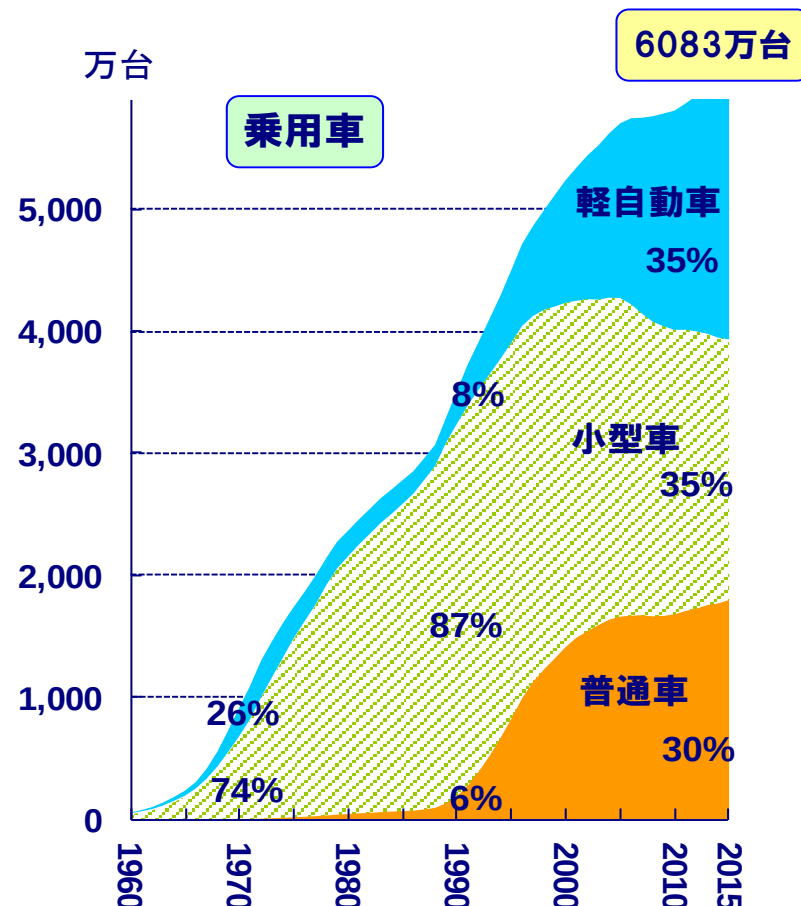


# 自動車の保有状況 -すでに飽和状況に-

## 自動車保有台数

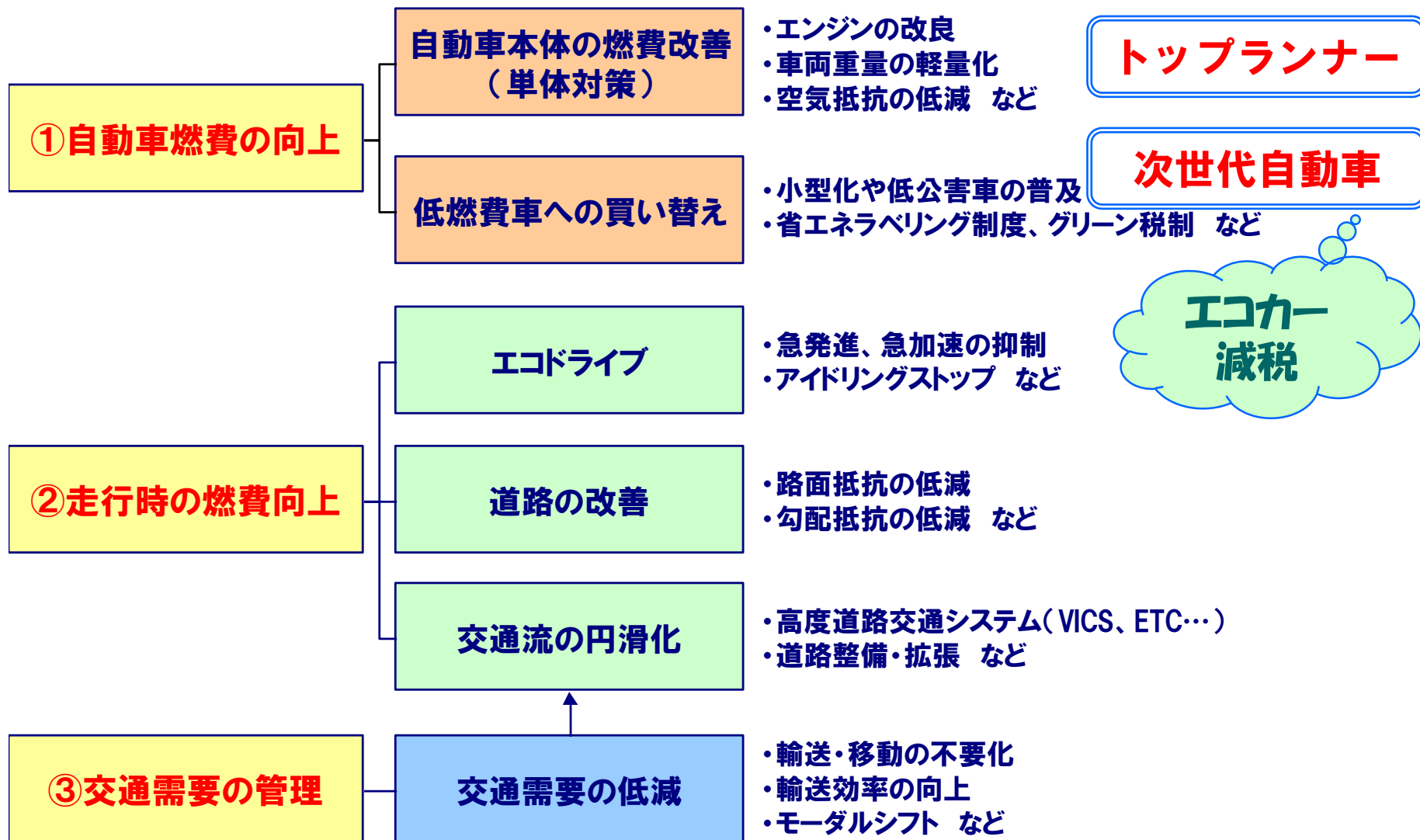


## 乗用車保有台数



- ・乗用車は、自動車保有台数の8割を占める。保有台数は、飽和に近づく。
- ・自動車保有7776万台のうちガソリン車が84%、軽油車が8%、ハイブリット車が8%((660万台)、その他(LPG車、電気自動車(21万台)など)が0.5%を占める。(2018年3月末)

# 自動車輸送の省エネ対策



# エコドライブ10のすすめ

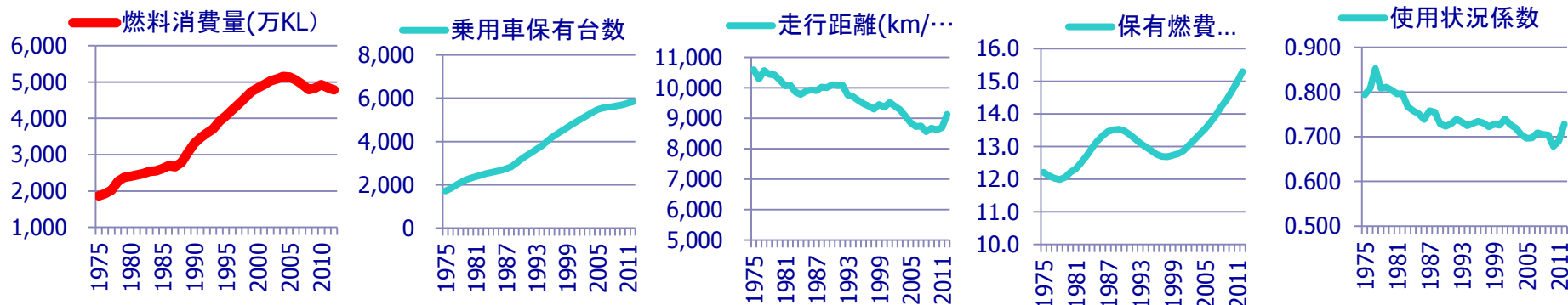
- |                                                                                   |                     |                                                                                    |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|  | ① 不要なアイドリングはやめましょう  |  | ⑥ 車間距離は余裕をもって         |
|  | ② タイヤの空気圧をチェックしましょう |  | ⑦ エンジンブレーキを積極的に使いましょう |
|  | ③ 不用な荷物を降ろしましょう     |  | ⑧ 駐車場所はよく考えて          |
|  | ④ 暖機運転は適切に          |  | ⑨ 夏のカーエアコンの設定は1度高めに   |
|  | ⑤ 急発進、急加速はやめましょう    |  | ⑩ 計画的にドライブをしましょう      |



エコドライブ(スマートドライブ)は、金や時間をかけずにすぐに実践できるうえ、3割程度の燃料削減が見込まれる。エコドライブの省エネルギー効果は決して小さくないが、その効果量はドライバーの意識による部分が非常に大きい。

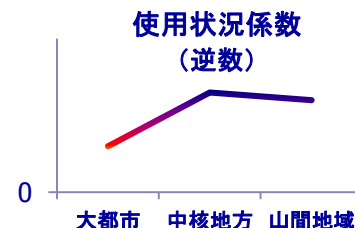
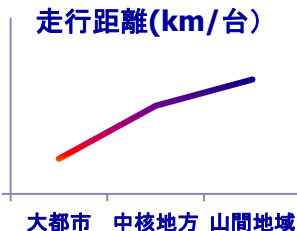
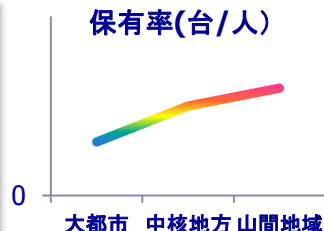
# 自動車エネルギー消費の定義 ー要因分解でみるー

$$\text{自動車燃料消費量} = (\text{保有台数} \times \text{台当たり走行距離} \times \text{燃費}^{-1} \times \text{使用状況係数}^{-1})$$



## 自動車輸送の省エネ対策

- ① 交通需要の管理(低減)
- ② 自動車本体の燃費向上
- ③ 走行時の燃費向上



### ① 自動車輸送の低減

- モーダルシフト (LRT, BRT)
- 輸送・移動の不要化 (テレワーク...)
- オンデマンド交通

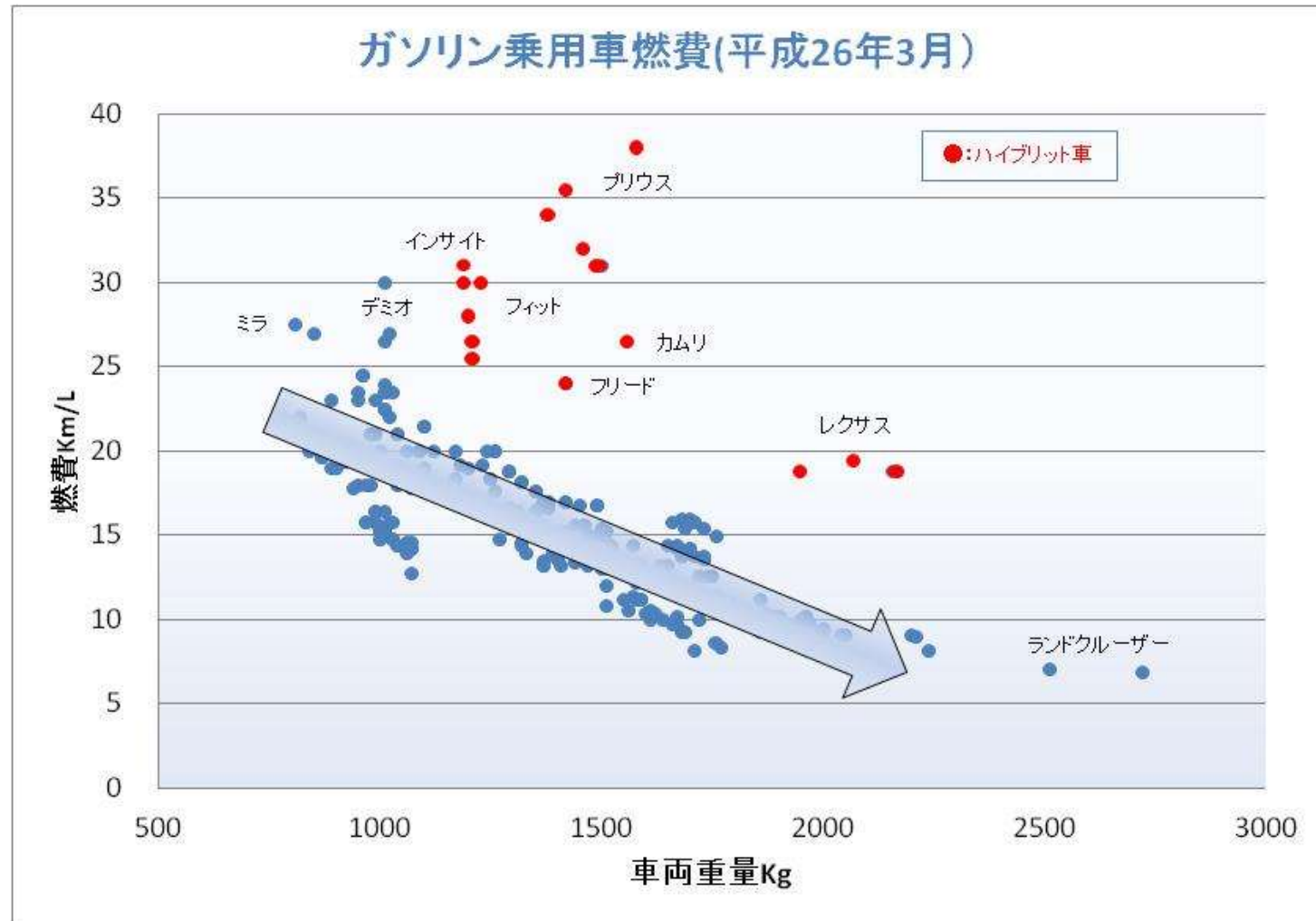
### ② 保有燃費の改善

- エンジンの効率向上
  - 車両重量の軽量化
  - 空気抵抗の低減
  - 次世代自動車の導入 (HV, PHV, EV, FC)
- 政策: トップランナー、エコカー減税等)

### ③ 走行時の燃費改善

- 交通流の円滑化 (ICT)
- タイヤ・路面抵抗の低減
- エコドライブ (意識と支援技術)
- 自動運転の推進

# ガソリン乗用車の燃費分布



## 電気自動車

- 日産リーフ  
42.1km/l
- 三菱i-MiEV  
47.6km/l
- フィットEV  
50.2km/l

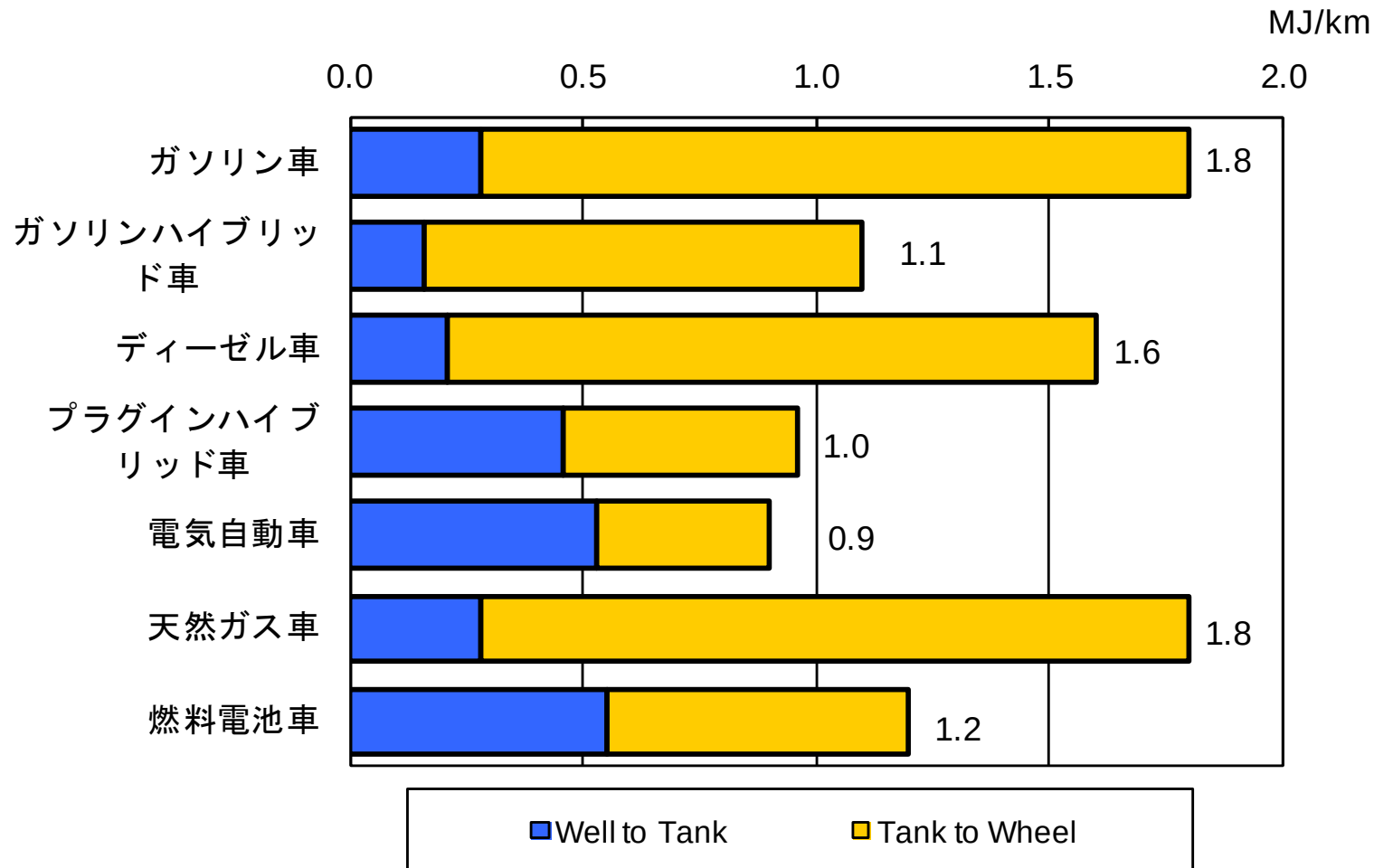
電気自動車の燃費は米国環境省(EPA)が認定したMPEG(ガソリン1ガロン当たり走行マイル)による。

100MPEG=42.5l/km)

33.7kwh=1ガロン

ハイブリッド車は同じ排気量の従来車に比べて1.5~2倍程度燃費が良い。  
AT(自動変速機)はMT(手動変速機)に比べて燃費が劣るが、近年はCVT(無段変速機)の採用により、MTに匹敵する燃費を達成している。

# クリーン「エネルギー自動車のエネルギー総合効率



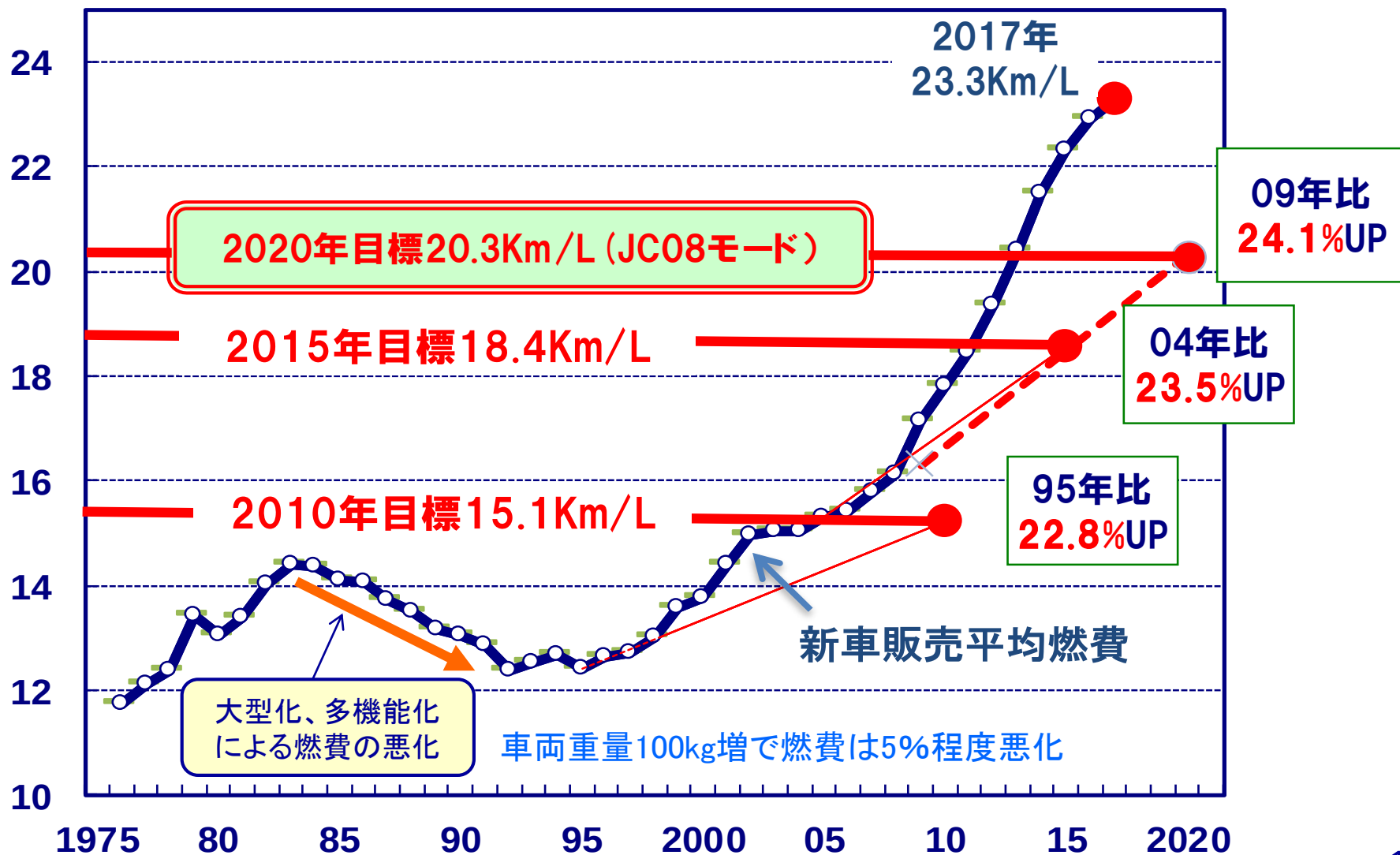
**Tank to Wheel : 自動車そのもののエネルギー効率**

**Wheel to Tank : その燃料を製造・供給するためのエネルギー効率**

# 自動車燃費とトッパーランナー基準

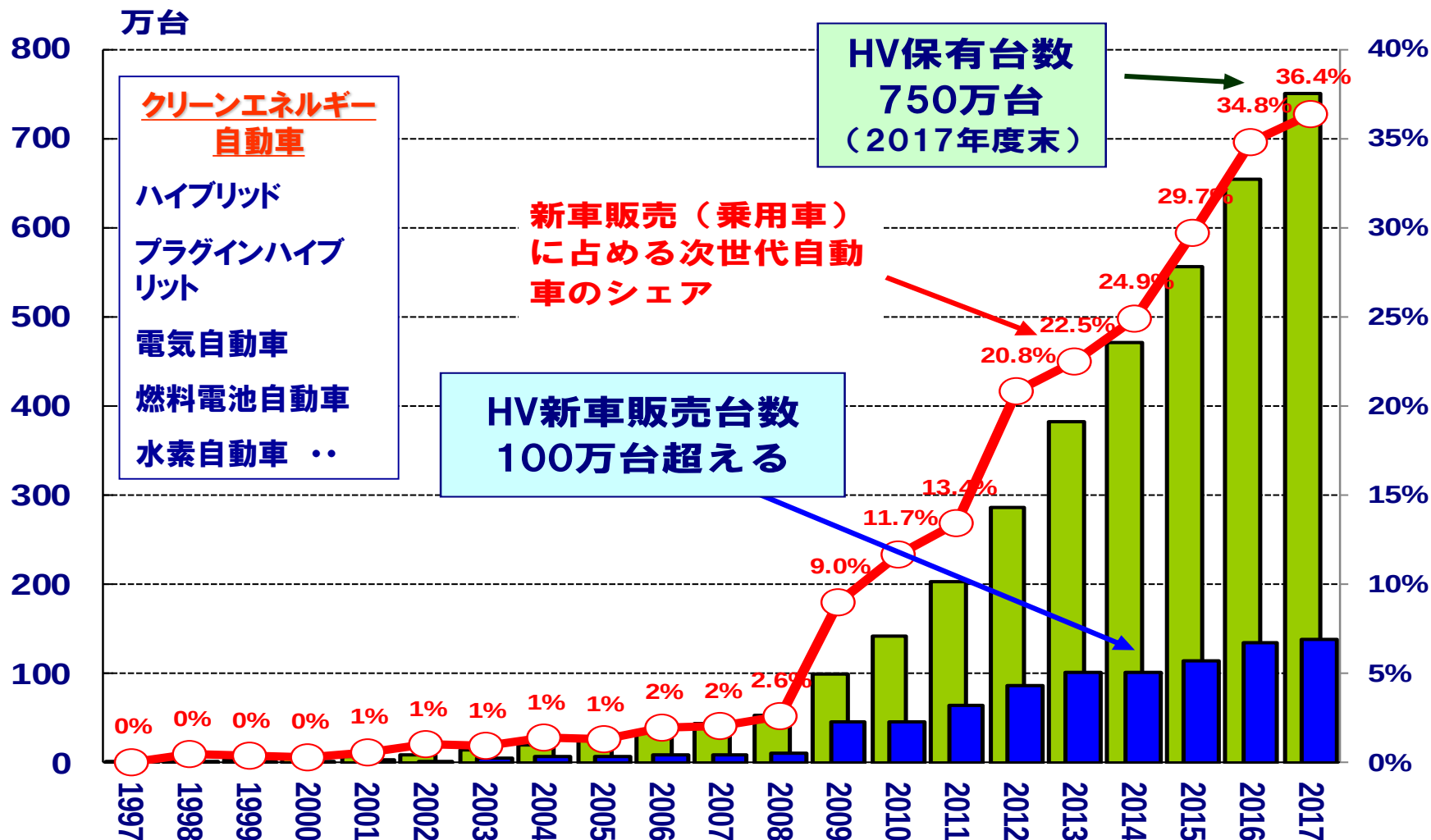
メーカー各社は前倒し  
して基準を達成。

KM/L 10.15mode, ガソリン乗用車





# ハイブリッド自動車の普及状況 もはや普通の車



ハイブリッド車は既存のインフラを利用できるため、乗用車を中心に急速に普及している。

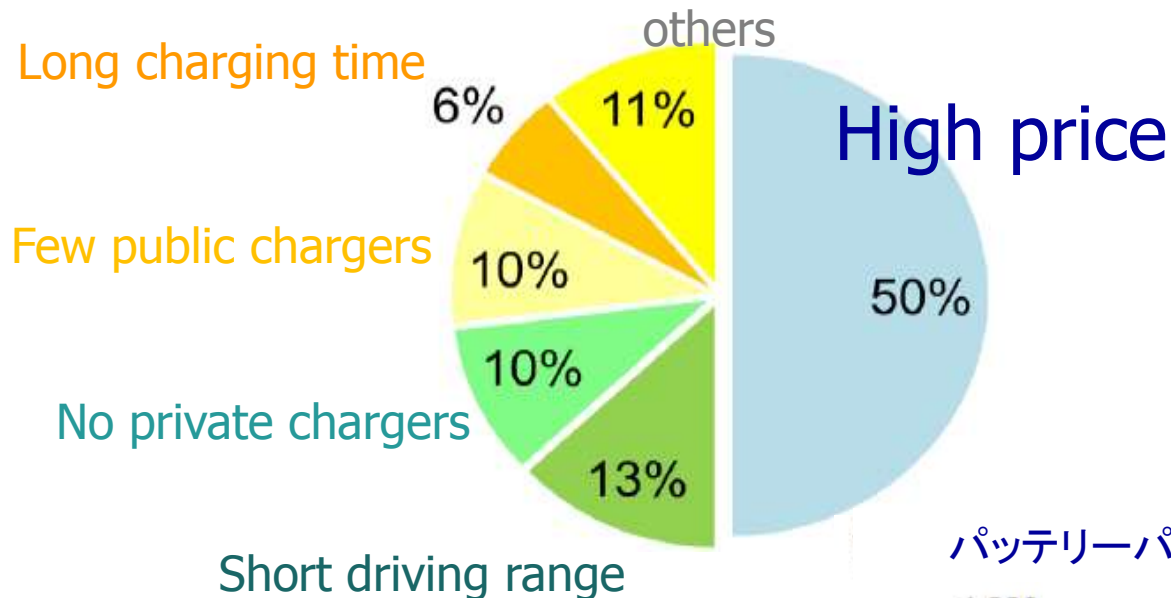
（参考）2017年度末 電気自動車の保有台数 20万9千台

（うちEV10万4千台、PHV10万3千台、1016年末FCV2,440台）



# EVの課題

電気自動車を購入する際の懸念は？  
What are your concerns when you buy EVs?



60万円程度の補助

日産 LEAF

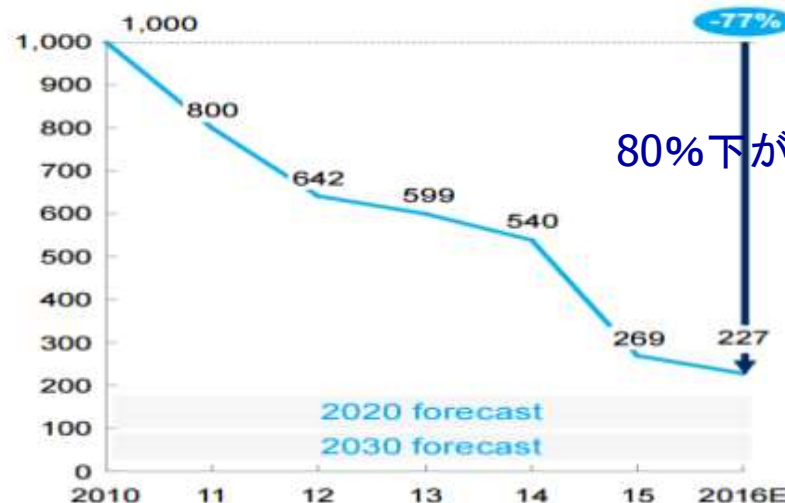
3.0 - 4.0 百万円

↑ x 2倍

ガソリン車

1.5 - 2.0 百万円

バッテリーパック価格推移 2010-2016



80%下がったが

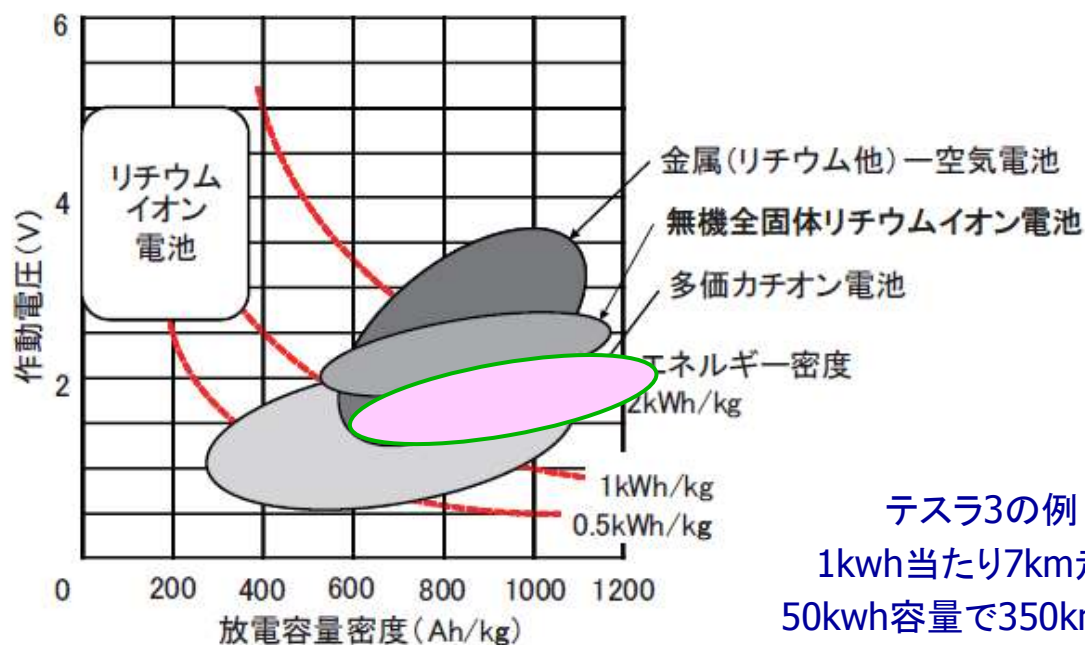
2030年頃に  
100-  
150\$/kwhを  
目指す

課題

高い車両価格  
充電時間が長い  
走行距離が短い  
充電設備が少ない

Source) METI and Deloitte Tohmatu Consulting LLC

# 自動車用二次電池の技術開発



テスラ3の例

1kwh当たり7km走行  
50kwh容量で350km走行

Low density

Heavy (low fuel efficiency)  
Less space for baggage  
Short driving distance



High density

Light (high fuel efficiency)  
More space for baggage  
Long driving distance

Source) Science & Technology Trends, December 2010

## 技術開発ロードマップ (nedo)

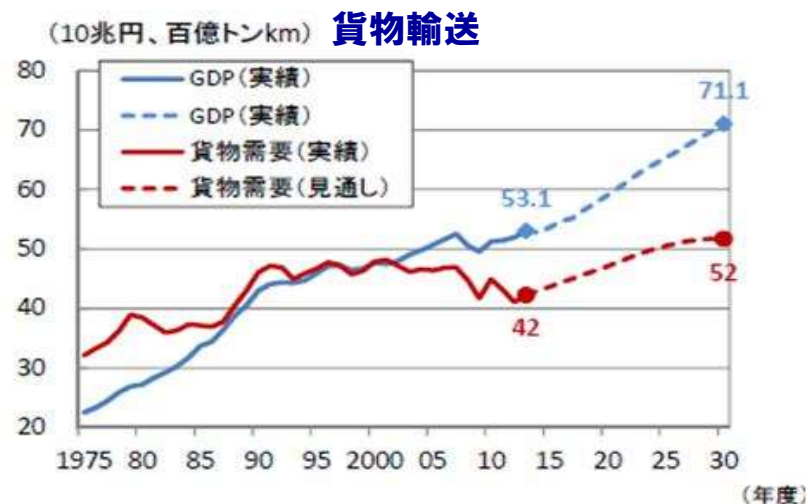
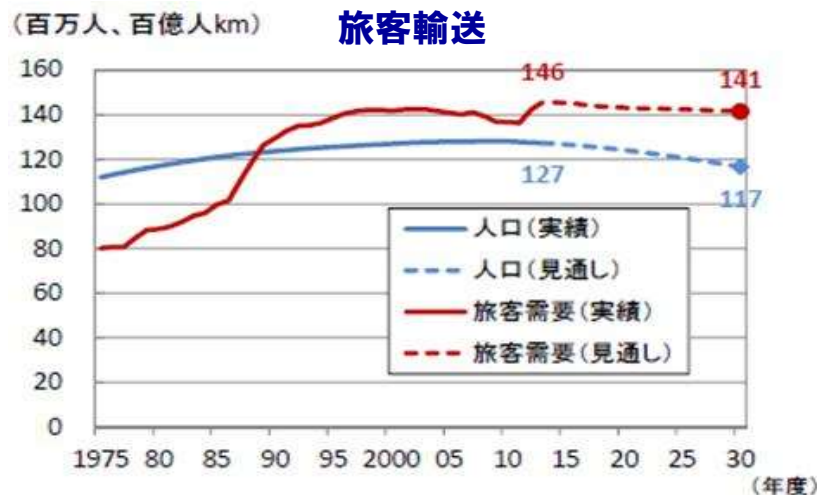
|         | 現在        | 2020年頃       | 2030年頃   | 2020年以降  |
|---------|-----------|--------------|----------|----------|
| 走行距離    | 120~200km | 250~350km    | 500km程度  | 700km程度  |
| 搭載パック重量 | 200~300kg | 100~140kg    | 80kg     | 80kg     |
| 搭載パック容量 | 16-24 kWh | 25-35 kWh    | 40 kWh   | 56 kWh   |
| エネルギー密度 | 80wh/kg   | 180~250wh/kg | 500wh/kg | 700wh/kg |
| 電池コスト   | 110~240万円 | 50~80万円      | 40万円     | 28万円     |
| 車両コスト   | 260~376万円 | 200~230万円    | 190万円    | 180万円    |

# 運輸部門の将来見通し

政府長期エネルギー需給見通し(2030年)  
(2015年7月)



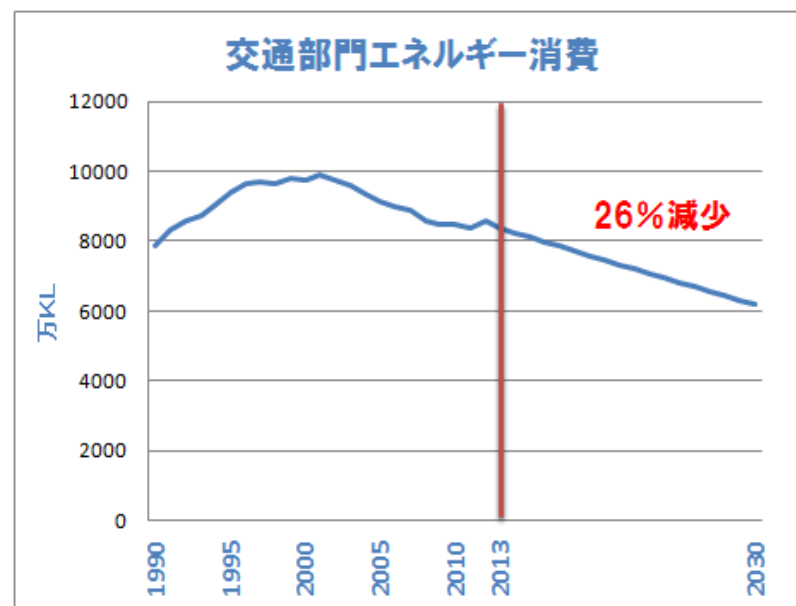
## 【輸送需要の想定】



## 【省エネルギー】

運輸部門 <▲1,607万KL程度>

- 次世代自動車の普及、燃費改善
  - ⇒ 2台に1台が次世代自動車に
  - ⇒ 燃料電池自動車:年間販売最大10万台以上
- 交通流対策



## V. 地球環境問題の現状と対策

- 地球温暖化のメカニズム
- 地球温暖化による影響
- 地球温暖化の基本的対策

# 「地球温暖化」とは過度な「温室効果」

地球温暖化とは二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)など温室効果ガスの大気中の濃度が上昇し、地球の平均気温の上昇と気候変動などにより、地球上に様々な影響が生じることをいう。

●温室効果ガス:(二酸化炭素, メタンガス, 亜酸化窒素、フロンなど)

温室効果ガス濃度の上昇→吸収エネルギー量の増加→気温の上昇＝「地球温暖化」

IPCC第3次評価報告書:「温暖化は人間活動の結果であることに  
関して、より強固な証拠がある」と指摘

IPCC第5次評価報告書:「人間活動によるCO<sub>2</sub>累積排出量と気温  
上昇は比例」

→最大の原因は化石エネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>の排出量の急増にある



## 生態系の変化、砂漠化の進行、海面上昇、干ばつ、水不足、異常気象 → 2℃が許容限界

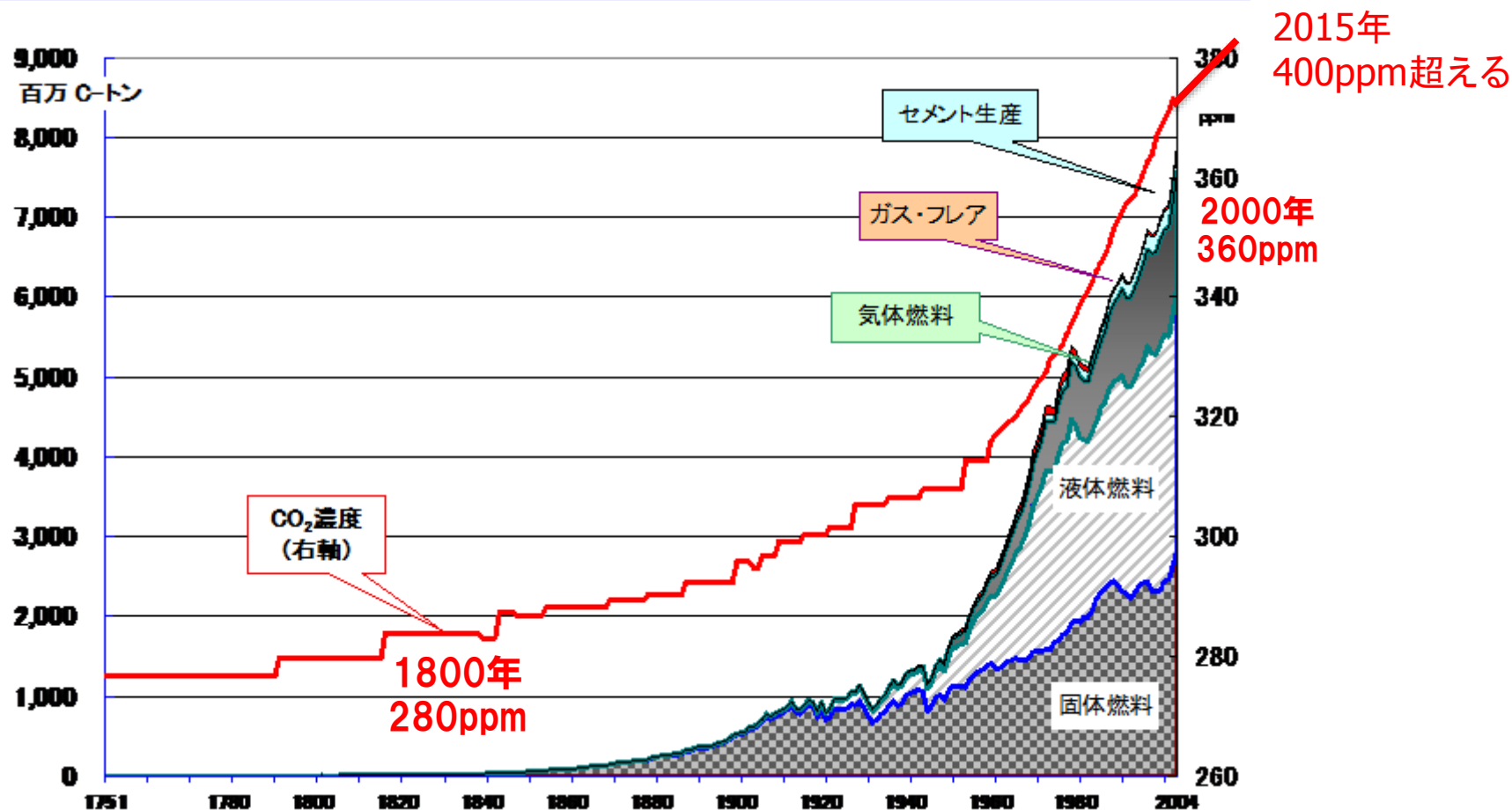
- 熱帯、亜熱帯地域では、予測される気温上昇により潜在的な穀物生産量が減少。
- 数度以上年平均気温が増加することにより、中緯度地域の大半の地域で潜在的な穀物 生産量が減少(大気循環の変動による砂漠化の進行)。
- 水が乏しい多くの地域、特に亜熱帯地域で水利用可能性が減少。
- 動物媒介性疾病(マラリアなど)、水系伝染病(コレラなど)、熱ストレスによる死亡が増加。(病気媒介する動物の生息域の拡大)
- 豪雨の増加や海面上昇により低い海拔地域の洪水リスクが増加。(小島嶼国深刻)
- 熱帯低気圧への威力が強まることにより、強力な台風・ハリケーン等異常気象が多発。
- 生態系への影響(北極熊の絶滅危機)。

### → 食糧不足・水不足、健康被害、環境難民、自然災害多発

(ただし、数度以下の気温上昇では、中緯度の一部の地域で潜在的な穀物生産量が増加や水の乏しい地域の一部で、利用可能な水が増加するなど、好影響も、0~2或いは3℃の範囲に限られ、温暖化がどんどん進行する状況では、好影響も長続きはしない。)

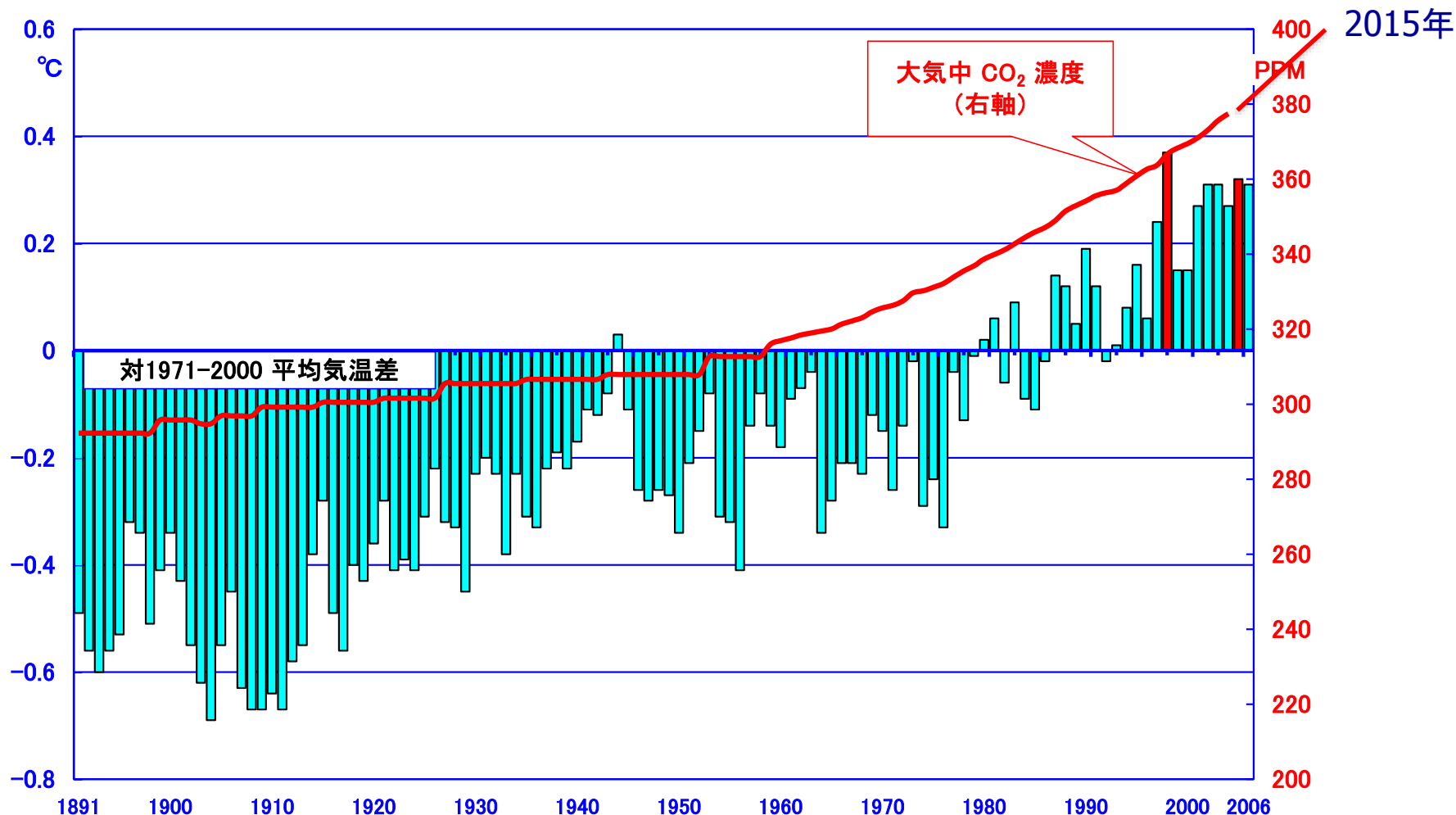
# 化石エネルギーの燃焼に伴うCO<sub>2</sub> 排出量

- 人類の化石エネルギー利用の拡大がCO<sub>2</sub>排出量の増加をもたらした



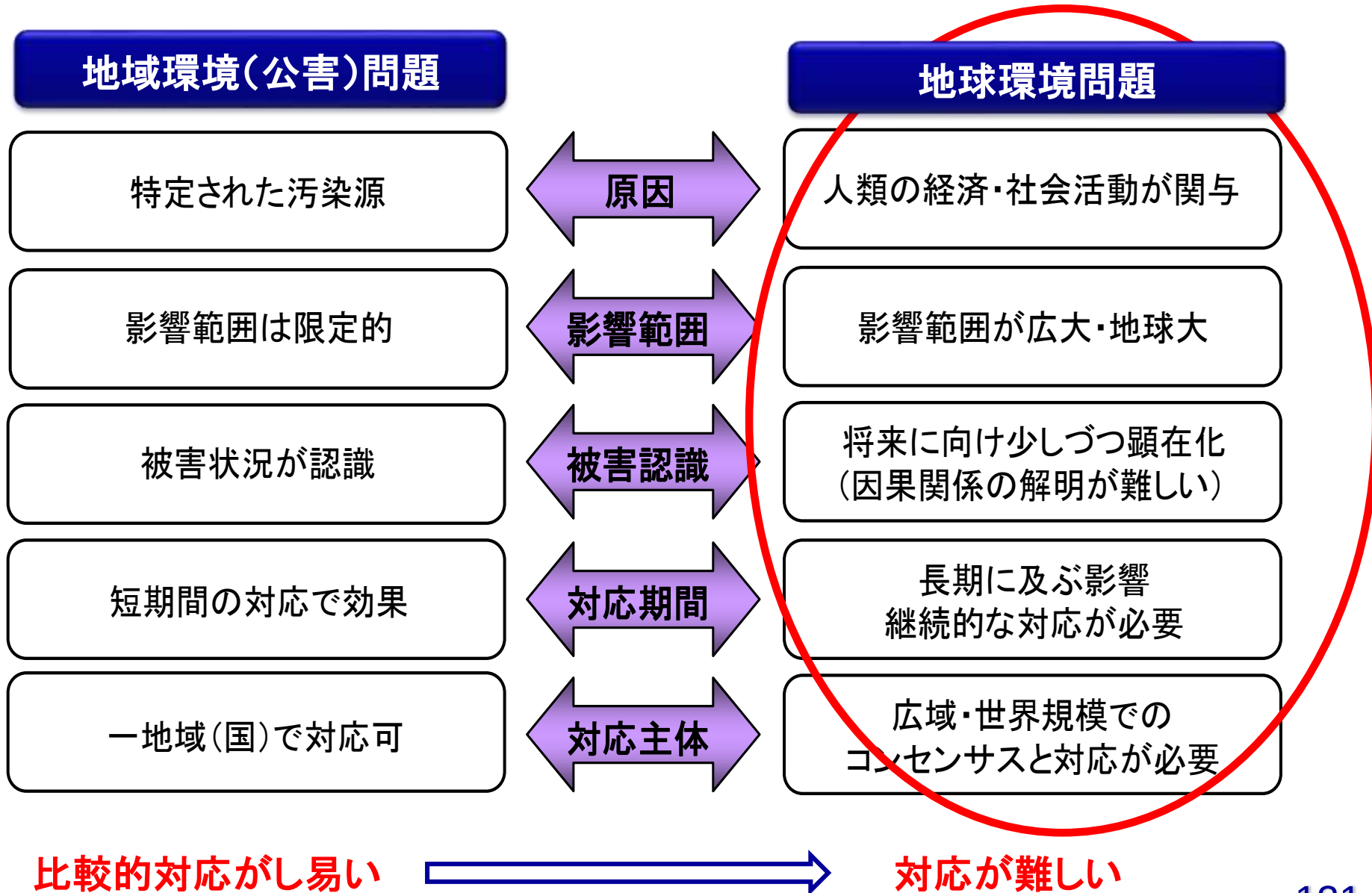
二酸化炭素濃度は、1800年の280ppmから2000年360ppm、2015年には400ppmへ40%以上も増加しており、これは過去2万年で最大の増加率。このままでは、2100年には産業革命前の2倍から3倍以上の540～970ppmへ増加するとIPCCが予測。**目標2100年に450PPM以下に。**

# 地球温暖化と大気中のCO<sub>2</sub>濃度

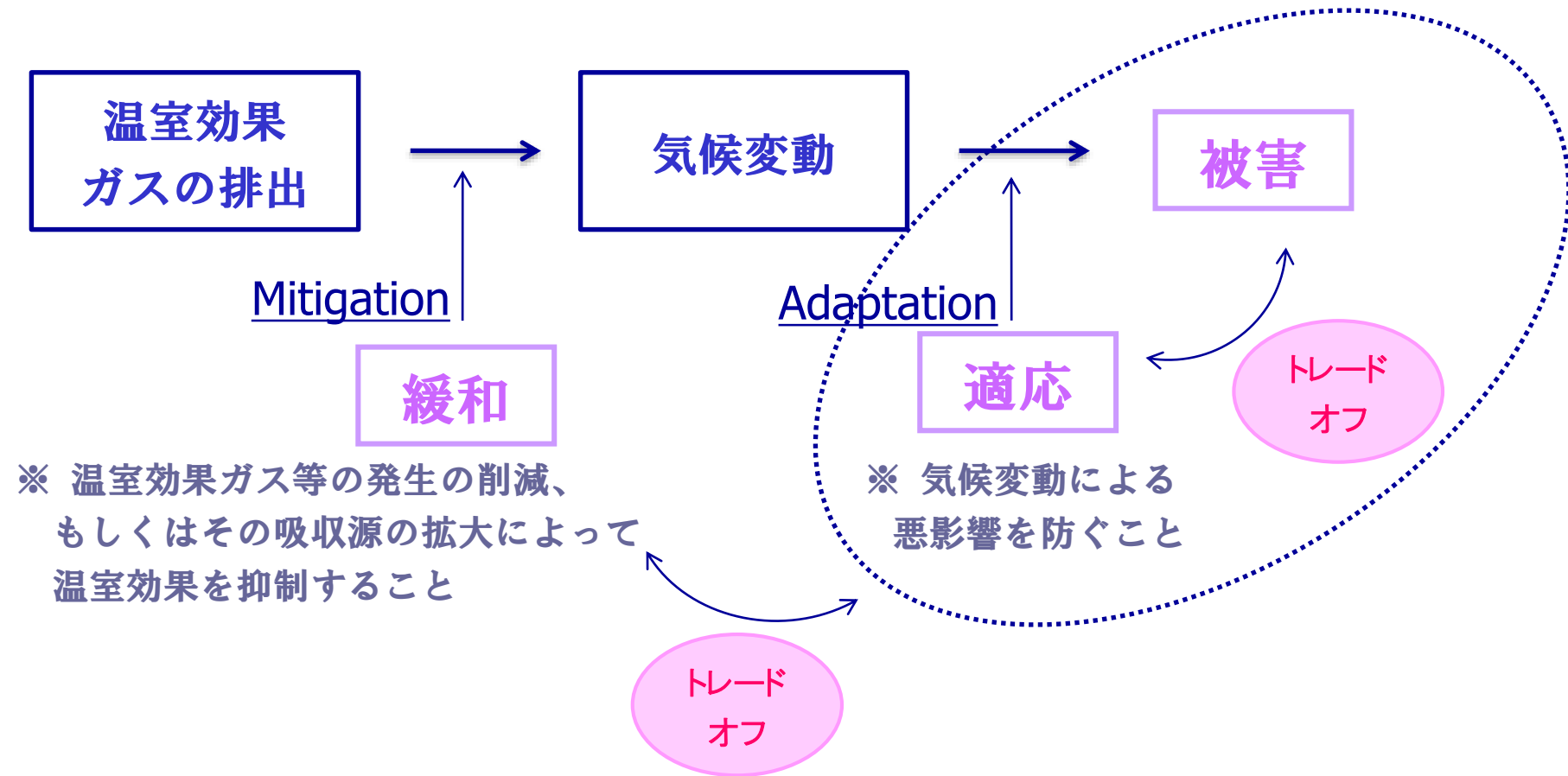


- 大気中のCO<sub>2</sub>濃度は1950年代以降急激に増加、これに伴い地球の表面温度が上昇している状況が見て取れる

# 地球環境問題の特性



# 緩和・適応費用と気候変動に伴う被害



- ・気候変動問題を考えるに当っては、緩和費用・適応費用及び気候変動に伴う被害額の3者を総合的に考慮し、目標を定めることが必要。全てを同時に低減することは不可能。
- ・「適応」と「被害」はトレードオフの関係にあり、また、「緩和」と「適応＋被害」もトレードオフとなる。

# 地球温暖化問題への国際的取り組み(IPCC/COP)

## IPCC(気候変動に関する政府間パネル): 科学的知見の集積

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

政府レベルの地球温暖化問題に関する検討の場として、WNO(世界気象機関)とUNEP(国連環境計画)が共同して1988年に設立した組織で世界の科学者の集まりである。 →**IPCC報告書を作成**。(政策に役立つ情報の提供) 第一次報告1990年  
(特定の目標や政策を推奨することはない)

## 温暖化問題の不確実性

### ●温暖化の原因と影響の科学的な解明は発展段階

IPCC第4次評価報告書(2007年)より抜粋

「IPCC第3次評価報告書(2001年)以降、気候変化の影響及び適応ポテンシャルに係る情報を政策決定者に提供する科学は進歩してきたが、今なお多くの重要な問題が未回答である」、  
第5次報告(2014年)

### ●何年先までに何度の気温上昇までにとどめれば悪影響がでないのか？

### ●仮に「100年後に2度の上昇に抑制」としたとしても、いつまでにどれくらいの排出量を抑制すれば良いのか？

**未だ解明されていない課題が多い・・・**

## COP(気候変動枠組み条約締約国会議): 国際的な議論

COP : Conference of the Parties

1992年に国連で採択された条約を締結した国・地域の代表が集まって開催される年に一度の会議で、温暖化ガスの大気中濃度を安定化させる目標達成に向けた対策を議論する国際会議。

### COP3 1997年「京都議定書」を採択

先進国に対して温暖化ガスを割り当て、達成を義務付け。日本、EU他37カ国・地域が2008年～2012年の第一約束期間内に90年比5%削減の目標に取り組む。

COP16 2010年 メキシコ「カンクン合意」: 京都議定書に参加していない先進国や途上国が2020年までの温暖化ガス削減目標・行動を自主的に設定し、国連に登録する枠組みが定められた。

COP17 2011年「南アフリカ・ダーバン」: 全ての国が参加する2020年以降の新たな法的枠組みの採択を4年後のCOP21で目指すことを合意。

COP19 2013年「ポーランド・ワルシャワ」: 各国がCOP21の開催前までに自主的な削減を明記した約束草案(INDC)を提出することとする。

### COP21 2015年末「パリ協定」

2020年以降の温暖化対策の法的な枠組みをまとめた。多数の国の参加による公平性の高まる削減量の拡大が見込まれる。



## 2015年12月成立 温暖化対策において歴史的一步/COP3と並ぶ大きな成果

### ➤長期目標(2.0℃目標)

- ・ 長期目標世界の平均気温の上昇を産業革命前比べて2.0℃より十分低く保つとともに、気温上昇を1.5℃に抑える努力を推進。
- ・ できる限り早期に世界の温室効果ガスの排出量をピークアウトし、21世紀後半にはネットの排出量の増加をゼロとすることを目指す。

### ➤長期低排出発展戦略：（先進国＋途上国）

- ・ 全ての締約国は、長期的な温室効果ガスの低排出型のための戦略を作成し、削減のための戦略を作成し、通報するよう努力すべき。  
（5年毎に通知し、可能な限り高い目標の見直しが求められる。）
- ・ 先進国には総量ベースの目標を求め、途上国には他の指標（例えばGDPあたり排出量）

2020年までに各国に長期低排出発展戦略を作成・提出することを招請。

# 主要国のINDC(自主的に決定する約束草案)の提出状況

|        | 提出日   | タイプ           | 削減水準(%)         | 参照点   | 目標年   | 対象セクター・ガス                  |
|--------|-------|---------------|-----------------|-------|-------|----------------------------|
| EU     | 3月6日  | 基準年比排出量目標     | 40              | 1990年 | 2030年 | GHG排出量                     |
| 米国     | 3月31日 | 基準年比排出量目標     | 26～28           | 2005年 | 2025年 | GHG排出量<br>※森林吸収源等による吸収量を含む |
| ロシア    | 4月1日  | 基準年比排出量目標     | 25～30           | 1990年 | 2030年 | GHG排出量                     |
| 中国     | 6月30日 | 基準年比対GDP原単位目標 | 60～65           | 2005年 | 2030年 | CO <sub>2</sub> 排出量        |
| 日本     | 7月17日 | 基準年比排出量目標     | 26              | 2013年 | 2030年 | GHG排出量                     |
| インドネシア | 9月24日 | BAU比排出量目標     | 29              | BAU   | 2030年 | GHG排出量                     |
| ブラジル   | 9月30日 | 基準年比排出量目標     | 37<br>(30年に43%) | 2005年 | 2025年 | GHG排出量                     |
| インド    | 10月1日 | 基準年比対GDP原単位目標 | 33～35           | 2005年 | 2030年 | GHG排出量                     |

- ・ 2015年12月に開催される国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP 21)に向けて、各国はINDC(Intended Nationally Determined Contribution)と呼ばれる温室効果ガス(GHG)削減の約束草案を提出。2016年4月までに世界117カ国・地域(188カ国)がINDCを提出済み。その後196カ国に達する。
- ・ そのうち、上記の主要8カ国・地域のみで2010年の世界のGHG排出量498億トンの約65%を排出している。

# 日本の2030年排出削減目標 2015年7月提出

## ＜参考＞主要国の約束草案の比較

|                       | 1990年比             | 2005年比             | 2013年比             |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>日本</b><br>(2015年比) | ▲18.0%<br>(2030年)  | ▲25.4%<br>(2030年)  | ▲26.0%<br>(2030年)  |
| <b>米国</b><br>(2025年比) | ▲14～16%<br>(2025年) | ▲26～28%<br>(2025年) | ▲18～21%<br>(2025年) |
| <b>EU</b><br>(1990年比) | ▲40%<br>(2030年)    | ▲35%<br>(2030年)    | ▲24%<br>(2030年)    |

2013年比でみると日本の削減率が最も大きい

# IPCC第5次評価報告書におけるシナリオの特徴

- GHG排出による気温上昇を産業化前に比べて2° C未満に抑えられる可能性がある緩和シナリオは、2100年に大気中のCO<sub>2</sub>換算濃度が約450 ppmとなるものに限られない。
- 500 ppmシナリオでは530 ppmを「オーバーシュート」しない場合で50%～100%の確率、この濃度をオーバーシュートする場合で33%～66%の確率がある

| 2100年のCO <sub>2</sub> 換算濃度<br>カテゴリーラベル<br>(濃度範囲) | サブカテゴリー                                               | 2050年の<br>CO <sub>2</sub> 換算<br>排出量の変化<br>(2010年比%) | 気温変化(1850～1900年比)                             |                            |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|
|                                                  |                                                       |                                                     | 2100年気温変化(°C)<br>[ ]内は炭素循環と気候<br>システムの不確実性を含む | 21世紀を通じて2°Cを<br>下回りつづける見込み |
| 450<br>(430-480)                                 | シナリオの大多数は<br>CO <sub>2</sub> 換算濃度480 ppmを<br>オーバーシュート | -72～-41                                             | 1.5～1.7<br>[1.0～2.8]                          | 66～100%                    |
| 500<br>(480-530)                                 | CO <sub>2</sub> 換算濃度530 ppmを<br>オーバーシュートしない           | -57～-42                                             | 1.7～1.9<br>[1.2～2.0]                          | 50～100%                    |
|                                                  | CO <sub>2</sub> 換算濃度530 ppmを<br>オーバーシュートする            | -55～-25                                             | 1.8～2.0<br>[1.2～3.3]                          | 33～66%                     |
| 550<br>(530-580)                                 | CO <sub>2</sub> 換算濃度580 ppmを<br>オーバーシュートしない           | -49～-19                                             | 2.0～2.2<br>[1.4～3.6]                          | 0～50%                      |
|                                                  | CO <sub>2</sub> 換算濃度580 ppmを<br>オーバーシュートする            | -16～+7                                              | 2.1～2.3<br>[1.4～3.6]                          | 0～50%                      |

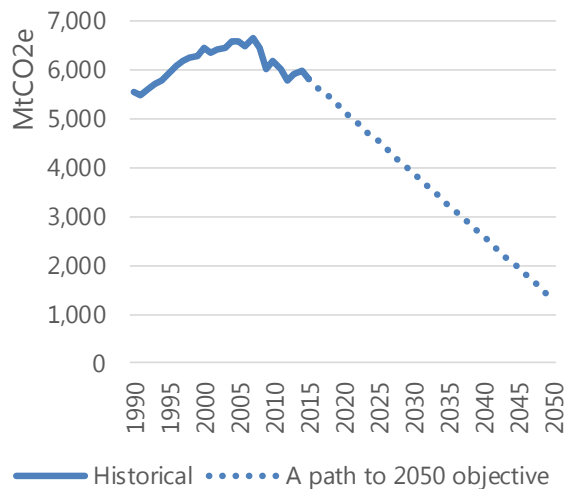
# 2050年に向けた主要国の戦略

|      | 削減目標                | 柔軟性の確保                                                                                                                                                                                                              | 主な戦略・スタンス                           |                        |                          |
|------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|
|      |                     |                                                                                                                                                                                                                     | ゼロエミ化                               | 省エネ・電化                 | 海外                       |
| 米国   | ▲80%以上<br>(2005年比)  | 削減目標に向けた <b>野心的ビジョン</b><br>(足下での政策立案を意図するものではない)<br>providing <u>an ambitious vision</u> to reduce net GHG emissions by 80 percent or more below 2005 levels by 2050.                                               | ゼロエミ比率<br>引き上げ<br>変動再エネ<br>+<br>原子力 | 大幅な電化<br>(約20%→45~60%) | 米国製品の<br>市場拡大を<br>通じた貢献  |
| カナダ  | ▲80%<br>(2005年比)    | 議論のための <b>情報提供</b><br>(政策の青写真ではない)<br>not a blue print for action. Rather, the report is meant to <u>inform the conversation</u> about how Canada can achieve a low-carbon economy.                                 | 電化分の確保<br>水力・変動再エネ<br>+<br>原子力      | 大幅な電化<br>(約20%→40~70%) | 国際貢献を<br>視野<br>(0~15%)   |
|      |                     |                                                                                                                                                                                                                     | ※既にゼロエミ電源比率は約80%                    |                        |                          |
| フランス | ▲75%<br>(1990年比)    | 目標達成に向けた <b>あり得る経路</b><br>(行動計画ではない)<br>the scenario is not an action plan: it rather <u>presents a possible path</u> for achieving our objectives.                                                                 | 電化分の確保<br>再エネ<br>+<br>原子力           | 大幅な省エネ<br>(1990年比半減)   | 仏企業の<br>国際開発支援を<br>通じて貢献 |
|      |                     |                                                                                                                                                                                                                     | ※既にゼロエミ電源比率は90%以上                   |                        |                          |
| 英国※  | ▲80%以上<br>(1990年比)  | 経路検討による今後数年の <b>打ち手の参考</b><br>(長期予測は困難)<br>exploring the plausible potential pathways to 2050 <u>helps us to identify low-regrets steps we can take in the next few years</u> common to many versions of the future | ゼロエミ比率<br>引き上げ<br>変動再エネ<br>+<br>原子力 | 省エネ・電化を<br>推進          | 環境投資で<br>世界を先導           |
| ドイツ  | ▲80~95%<br>(1990年比) | 排出削減に向けた <b>方向性を提示</b><br>(マスタープランを模索するものではない)<br>※定期的な見直しを行う<br>not a rigid instrument; it points to <u>the direction</u> needed to achieve a greenhouse gas-neutral economy.                                      | 引き上げ<br>変動再エネ                       | 大幅な省エネ<br>(1990年比半減)   | 途上国<br>投資機運の<br>維持・強化    |

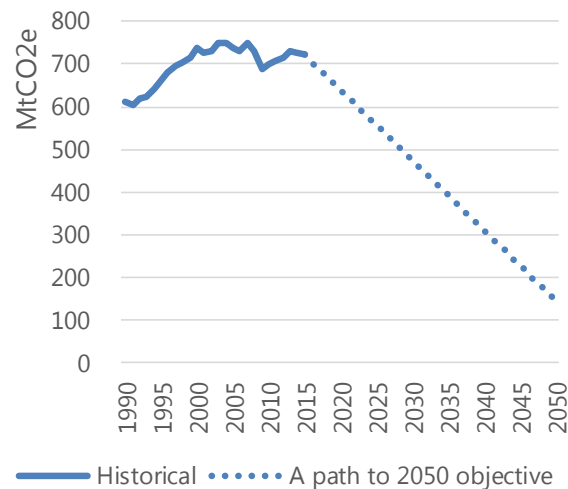
※ 長期戦略としてはUNFCCCに未提出。The Clean Growth Strategy (2017年10月)を基に作成。

# 2050年目標と現在までの軌跡

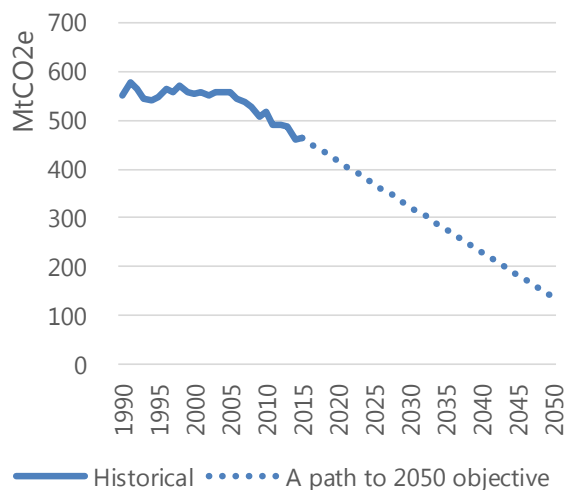
米国



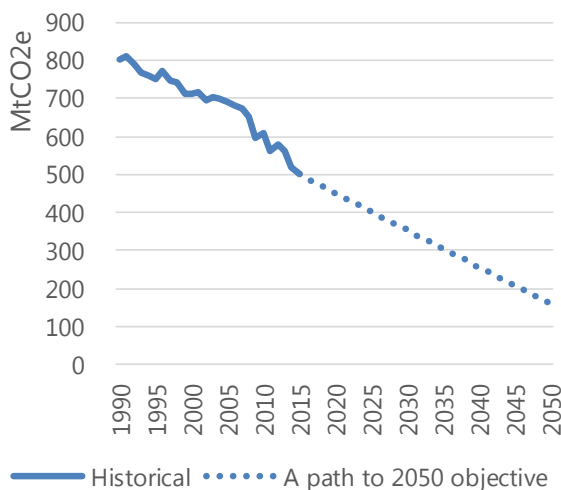
カナダ



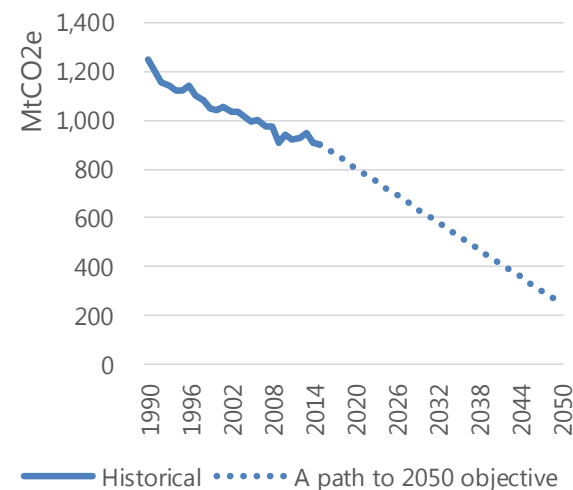
フランス



英国



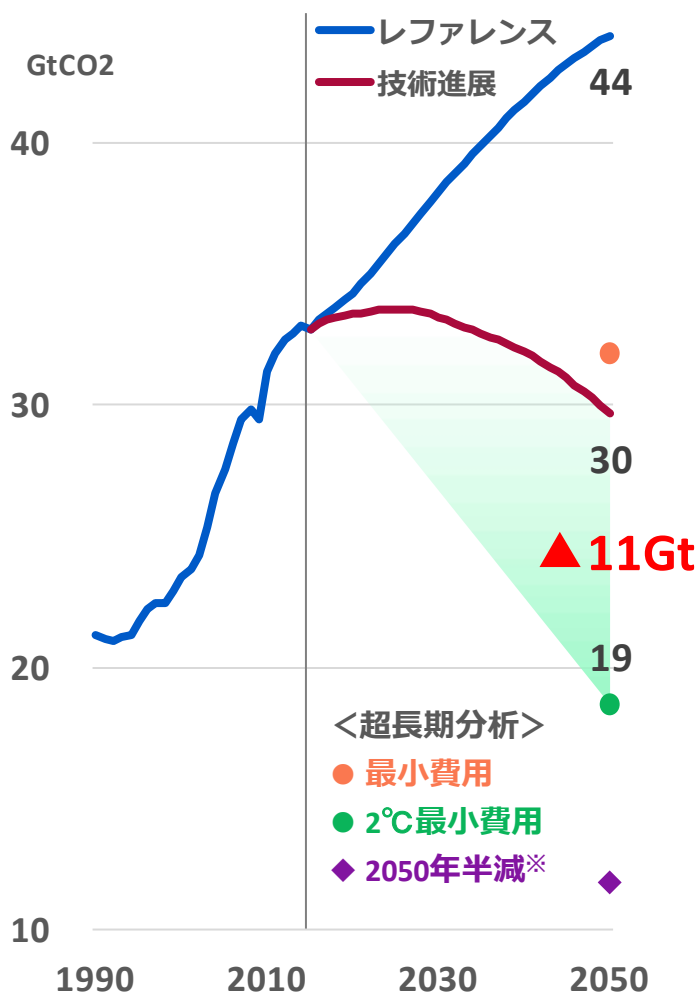
ドイツ





# 技術進展シナリオからのさらなる削減

## ❖ エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量



## ❖ さらなる11Gtの削減に必要な技術導入量の例

### ①CO<sub>2</sub>フリー水素技術の利用 (参考: アウトルック2016)

- ・ 水素発電 1GW x 3000基
- ・ 燃料電池車 10億台

(800Mt/年の水素需要は現在のLNG需要の約3倍)

### ②ネガティブエミッション技術の利用

- ・ BECCS : バイオマス発電 0.5GW x 2800基  
(2000Mtoe/年の燃料供給に285万km<sup>2</sup>相当の土地)

### ③ゼロエミッション電源の利用+製造業CCS

▲ 10GtCO<sub>2</sub> (CCS未設置火力発電の代替による削減上限値)

- ・ 宇宙太陽光 : 1.3GW x 2300基
- or ・ 高温ガス炉 : 0.275GW x 8700基
- or ・ 核融合炉 : 0.5GW x 4500基
- or ・ CCS火力発電 : 2800GW

(CO<sub>2</sub>貯留のポテンシャルは推定7000Gt以上)

+ ▲ 1 GtCO<sub>2</sub>

・ 製造業CCS : 製造施設・プラントの約2割に設置  
(鉄鋼、セメント、化学、紙パ、石油精製、GTL/CTL)



## V. 地球環境問題の現状と対策

# 地球温暖化対策の基本的考え方

### ①エネルギー利用の効率化(省エネルギー)

- ・器機効率の向上(トップランナー方式制度)
- ・需要形態の変化(モーダルシフト、ライフスタイル、省エネ意識)
- ・発電効率の向上・発電送電損失の低減
- ・コージェネレーションの推進など

### ②エネルギーシフト、CO<sub>2</sub>排出量の少ないエネルギーの利用 (低炭素化技術)

- ・石炭→石油→天然ガス、
- ・原子力発電、再生可能エネルギー(太陽光発電、風力発電、地熱、水力、バイオマス、→FIT制度)

### ③CO<sub>2</sub>貯留・固定化技術

- ・排気ガスから、化学吸収法等により炭素を分離・回収し、地層や帯水層へ注入

# CO<sub>2</sub>削減に向けた対策 エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出の要因分析

$$\text{CO}_2\text{排出量} = \boxed{\text{原単位}} \times \boxed{\text{活動量}}$$

$$\text{CO}_2\text{排出量} = \underbrace{\frac{\text{CO}_2\text{排出量}}{\text{エネルギー消費}}}_{\text{【炭素集約度】}} \times \underbrace{\frac{\text{エネルギー消費}}{\text{GDP}}}_{\text{【省エネ率】}} \times \underbrace{\text{GDP}}_{\text{【経済成長】}}$$

茅方程式

上式を変化率に変換すると

$$C = \frac{C}{E} \times \frac{E}{\text{GDP}} \times \text{GDP} \rightarrow \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta(C/E)}{C/E} + \frac{\Delta(E/\text{GDP})}{E/\text{GDP}} + \frac{\Delta(\text{GDP})}{\text{GDP}}$$

**C/E:炭素集約度(脱炭素化率)**

・ エネルギー供給方法の改善

**E/GDP:省エネ率**

- ・ 技術による省エネ
- ・ 消費者の省エネ行動
- ・ 産業構造やライフスタイルの変化

「技術」による対策の必要性

# エネルギー起源CO2排出の要因分析

## 石油危機後20年間と最近20年間のCO2排出の要因分析

茅方程式

(年率%)

|       |                     | 石油危機後<br>20年間 | 最近20年間   |
|-------|---------------------|---------------|----------|
|       |                     | 1973-93年      | 93-2013年 |
| CO2   | CO <sub>2</sub> 排出量 | 0.8           | 0.7      |
| GDP   | 経済成長率               | 3.7           | 0.9      |
| C/E   | 炭素集約度               | ▲0.7          | 0.7      |
| E/GDP | 省エネルギー率             | ▲2.1          | ▲0.9     |

政府需  
給見通し  
2013-  
2030年

▲1.7

1.6

▲1.1

▲2.2



省エネ、脱炭素化  
大きく進展

# ① 省エネルギーによるCO2排出量の削減

## 日本における現行の省エネルギー対策

### 産業部門

➤日本経団連自主行動計画の  
着実な実施とフォローアップ

低炭素化社会実行計画の推  
進(2030年目標)

➤高性能ボイラー、低炭素工  
業炉等の普及

➤環境調和型製鉄プロセスの  
導入促進

➤複数事業者の連携による省  
エネルギー

➤エネルギーマネジメントの  
徹底

### 民生部門

➤トップランナー基準による機器の  
効率改善

➤住宅の省エネ性能の向上

➤建築物の省エネ性能の向上

➤高効率給湯器の普及

➤高効率照明の普及

➤業務用高効率空調機の普及

➤業務用省エネ型冷蔵・冷凍機の  
普及

➤国民努力(情報提供、機器買  
換)

➤HEMS(ホームエネルギー管理シ  
ステム)、BEMS(ビル・システム)の普  
及

### 運輸部門

➤トップランナー基準による  
自動車の燃費改善

➤クリーンエネルギー自動車  
の普及促進

➤交通システムに係る省エネ  
ルギー対策

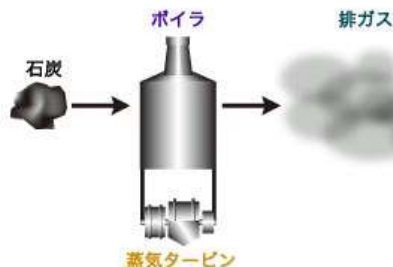
➤交通流対策

# 火力発電の高効率化

## 従来型火力発電

ボイラ内で燃料を燃焼させ、蒸気を発生。この蒸気の膨張力により蒸気タービンを回転し、直結した発電機を回す。

機器構成: ボイラ+ 蒸気タービン

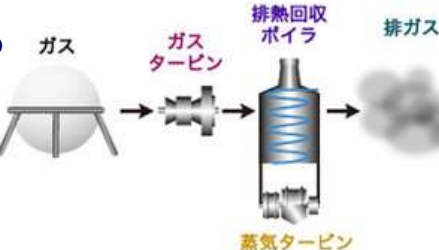


## コンバインドサイクル発電(C/C)

圧縮した空気中で燃料を燃やして燃焼ガスを発生、このガスの膨張力によりガスタービンを回す。更に高温の排ガスをボイラに導いて蒸気を発生させ、蒸気タービンを回す。

入口温度を高め効率を上昇させたACC、MACC等も開発されている。

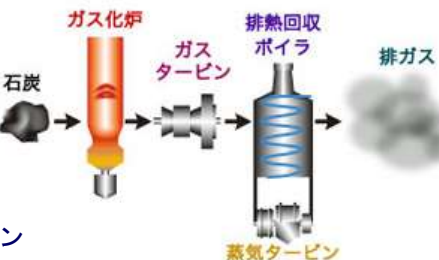
機器構成: ボイラ+ 蒸気タービン  
+ ガスタービン



## 石炭ガス化複合発電(IGCC)

ガス化炉内で石炭をガス化し、燃料ガスを発生。これを燃焼させガスタービンを回す。更に高温の排ガスをボイラに導いて蒸気を発生させ、蒸気タービンを回す。

機器構成: ボイラ+ 蒸気タービン  
+ ガスタービン+ ガス化炉



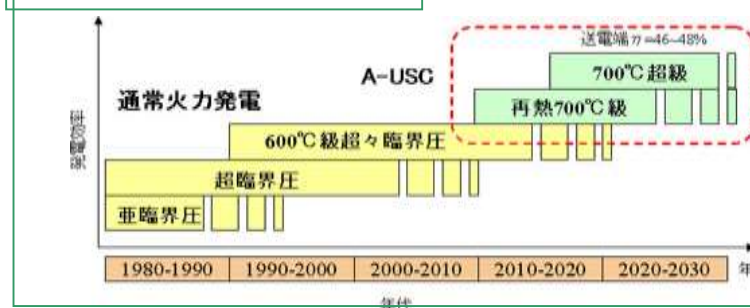
## ◎ ガス火力発電

- ・ 1990年代以降、日本では1300℃級コンバインドサイクル発電(ACC)の導入が進められ、効率向上が進んできた。
- ・ 現在では、1500℃級(MACC)が実用化。更に、1700℃級ガスタービンの開発、燃料電池との組合せにより、2015年頃に56%(HHV)、2025年頃に60%(同)までの効率向上を目指す。

## ◎ 石炭火力発電

- ・ 亜臨界圧、超臨界圧(SC)、超々臨界圧(USC)の実用化により、発電効率を向上させてきた。
- ・ 先進的超々臨界圧発電(A-USC)の開発により2020年頃に48%、IGCCの開発により2025年頃に50%までの効率向上を目指す。

## 超超臨界圧石炭火力



## ②燃料転換、CO<sub>2</sub>の排出量の少ないエネルギーの利用

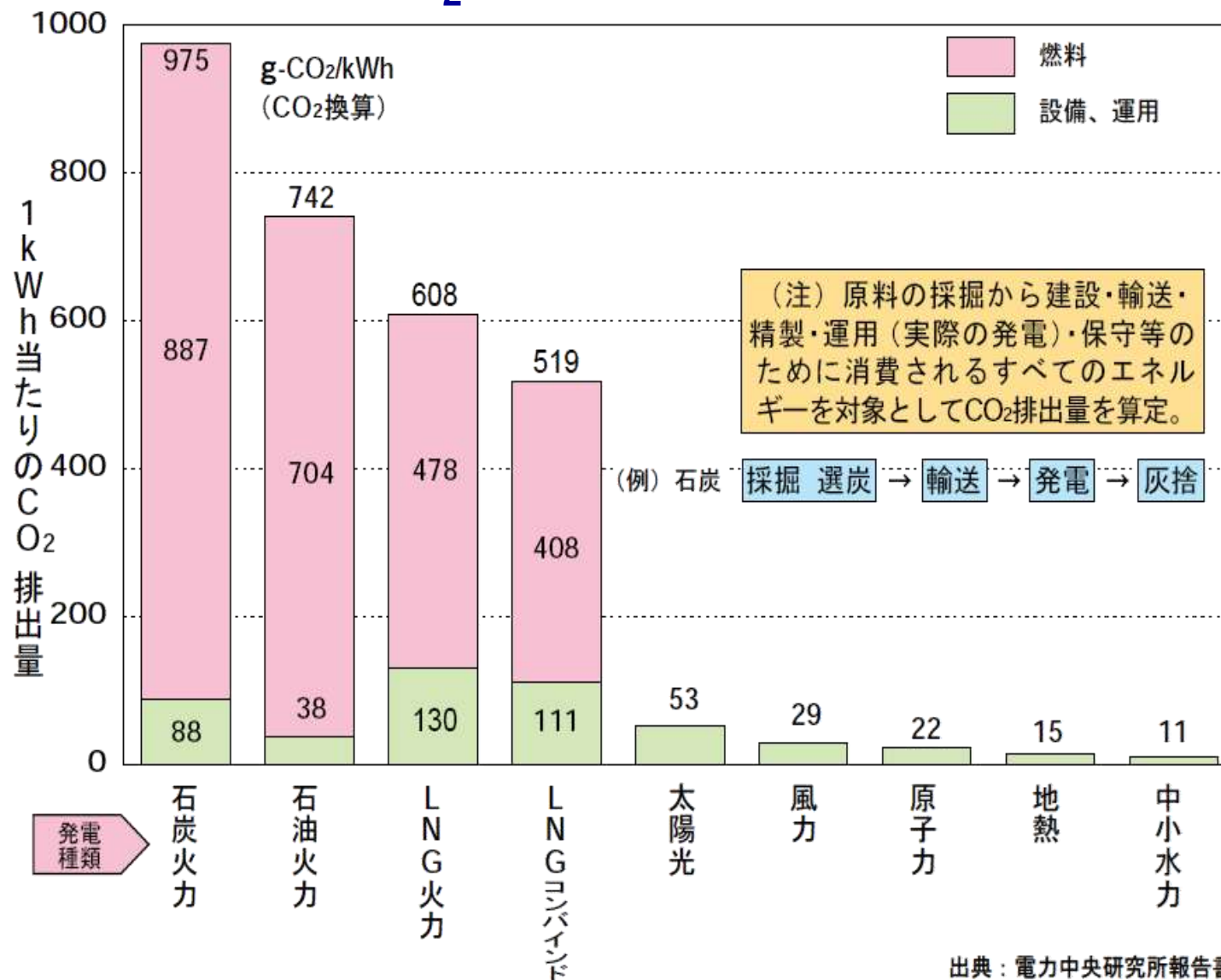
### 再生可能エネルギーの導入

(原子力発電)

(石炭→石油→ガス→非化石エネ)

## ②燃料転換、CO<sub>2</sub>の排出量の少ないエネルギーの利用

### 例：各種電源別CO<sub>2</sub>排出量の比較（電源のLCA分析）



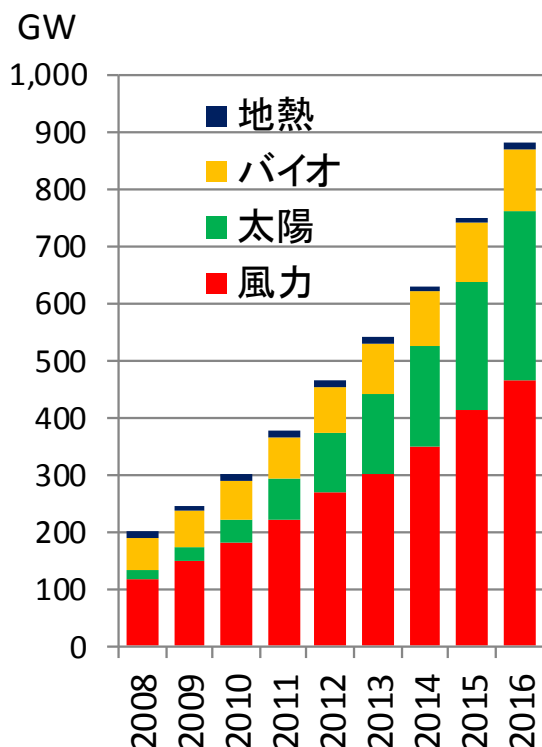
出典：電力中央研究所報告書 他



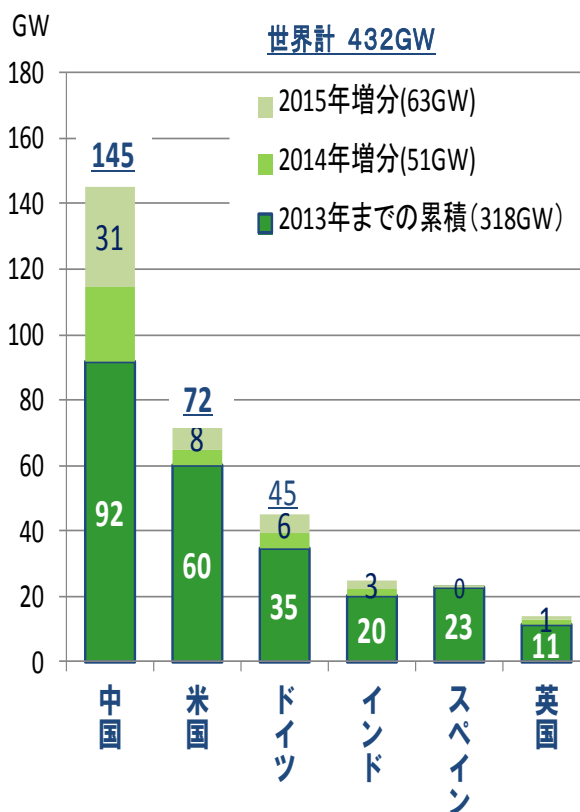
# 世界の再生可能エネルギー導入状況(累積設備容量と増分)

- ◆ 風力、太陽光ともに、中国での導入が加速。米国がそれに次ぐ
- ◆ 欧州主要国では制度改革進行中。短期的には減速傾向
- ◆ 日本はFIT導入後、太陽光が急増

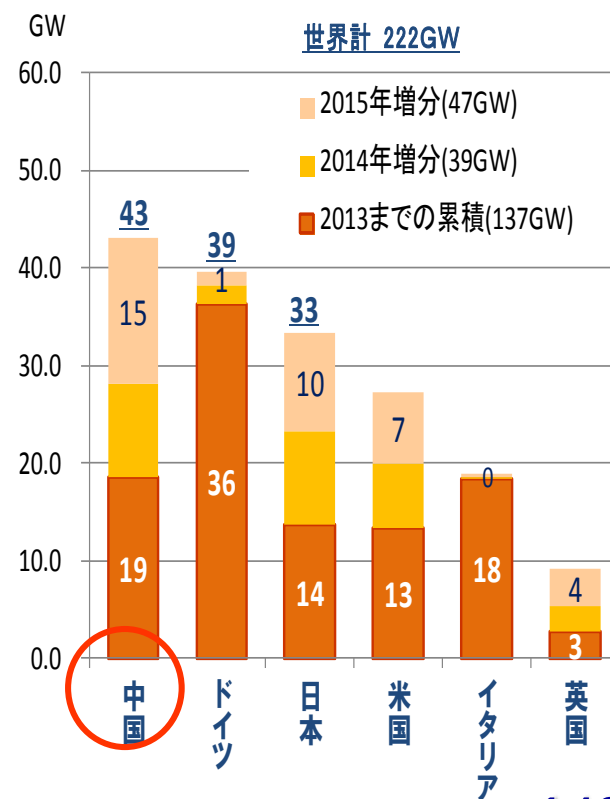
## 世界の再エネ導入量



## 風力発電



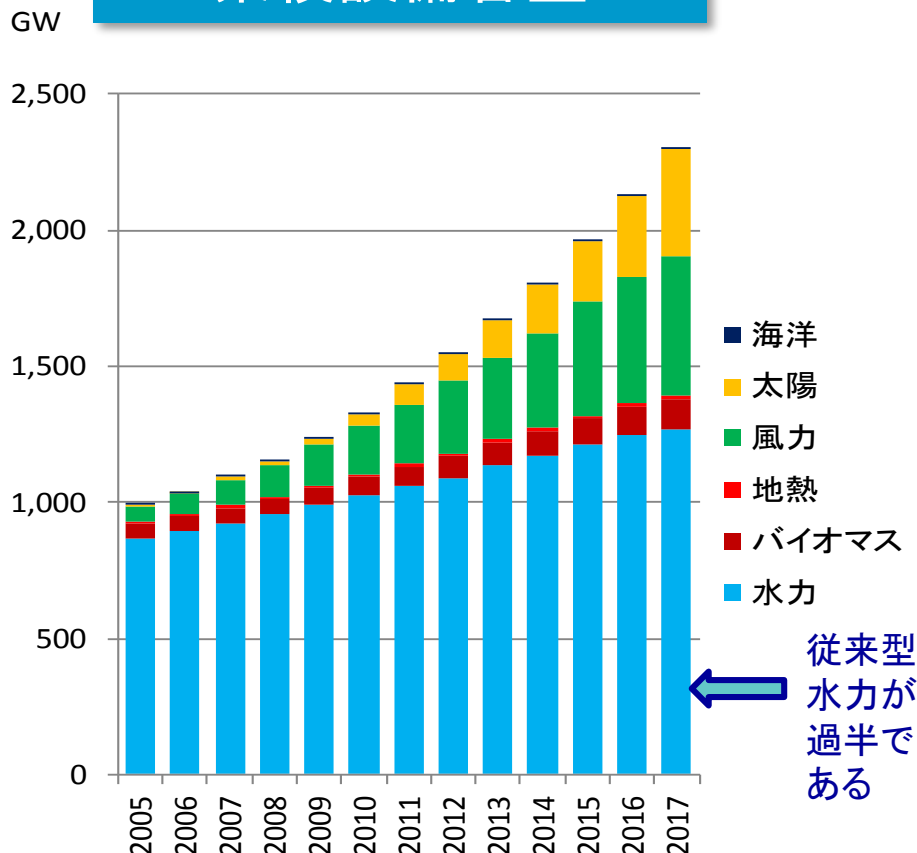
## 太陽光発電



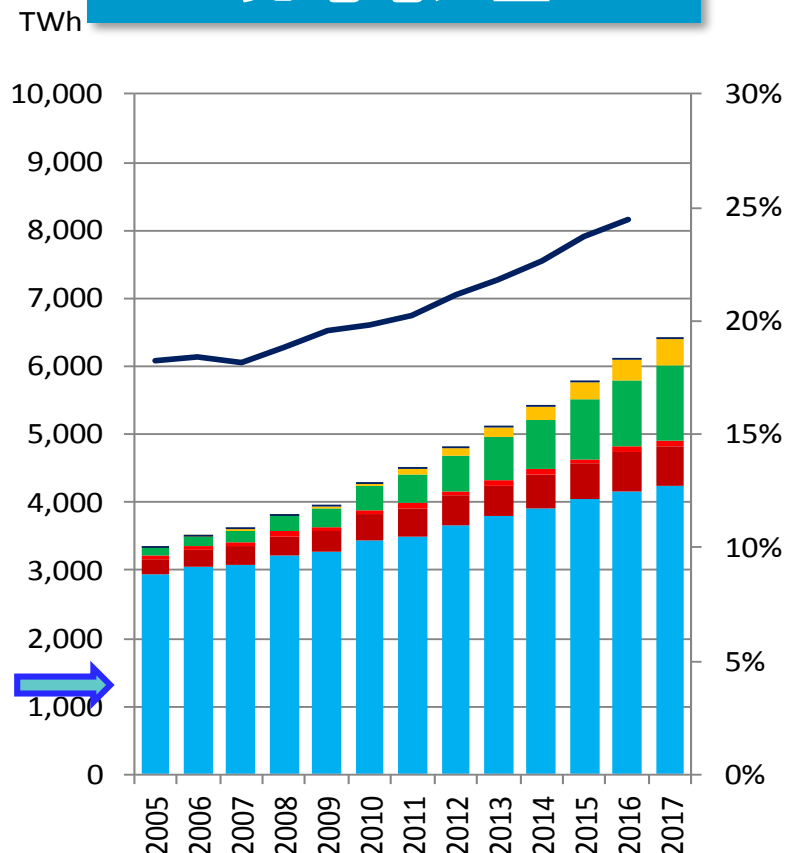
# 世界の（水力含む）再生可能エネルギー導入状況

■ 2017年に再エネ発電設備容量は2,300GW。総発電電力量に占める割合は25%（水力17%、風力4%、太陽1%）

## 累積設備容量



## 発電電力量



# 再生可能の課題とその克服：未知の領域

再エネは高い



- 確かに高かったが、今は世界的に安くなっている
- ただし、日本は遅れ気味

再エネはエネルギー密度が低い



- これは仕方が無い。したがって広大な面積が必要
- ただし、高発電効率の新たなPVの開発も行われており、必要な面積は小さくなる

再エネは出力が不安定



- 不必要な時はカットできるが、必要な時に増加はできない
- なんらかの対策は必須

系統に接続できない



- 既存の電力システムが再エネ大量導入を前提に設計されていない
- ただし、多様な対策が検討されている

# 全量固定価格買取制度 Feed-in-tariff (FIT)

- 再エネ電力を電気事業者が一定期間に亘り固定価格で全量を買取(住宅用太陽光は余剰分を買取)

- 買取費用は電力の需要家が負担

→買い取り価格見直し:太陽光は年々低減、その他は据え置き

例 太陽光(家庭用) 2012年42円/kwh → 2018年26円/kwh

太陽光(企業向け) 2012年40円/kwh → 2000KW以上は入札

→FIT制度開始(2012年7月)後、太陽光発電が急増。他の導入はあまり進まず。

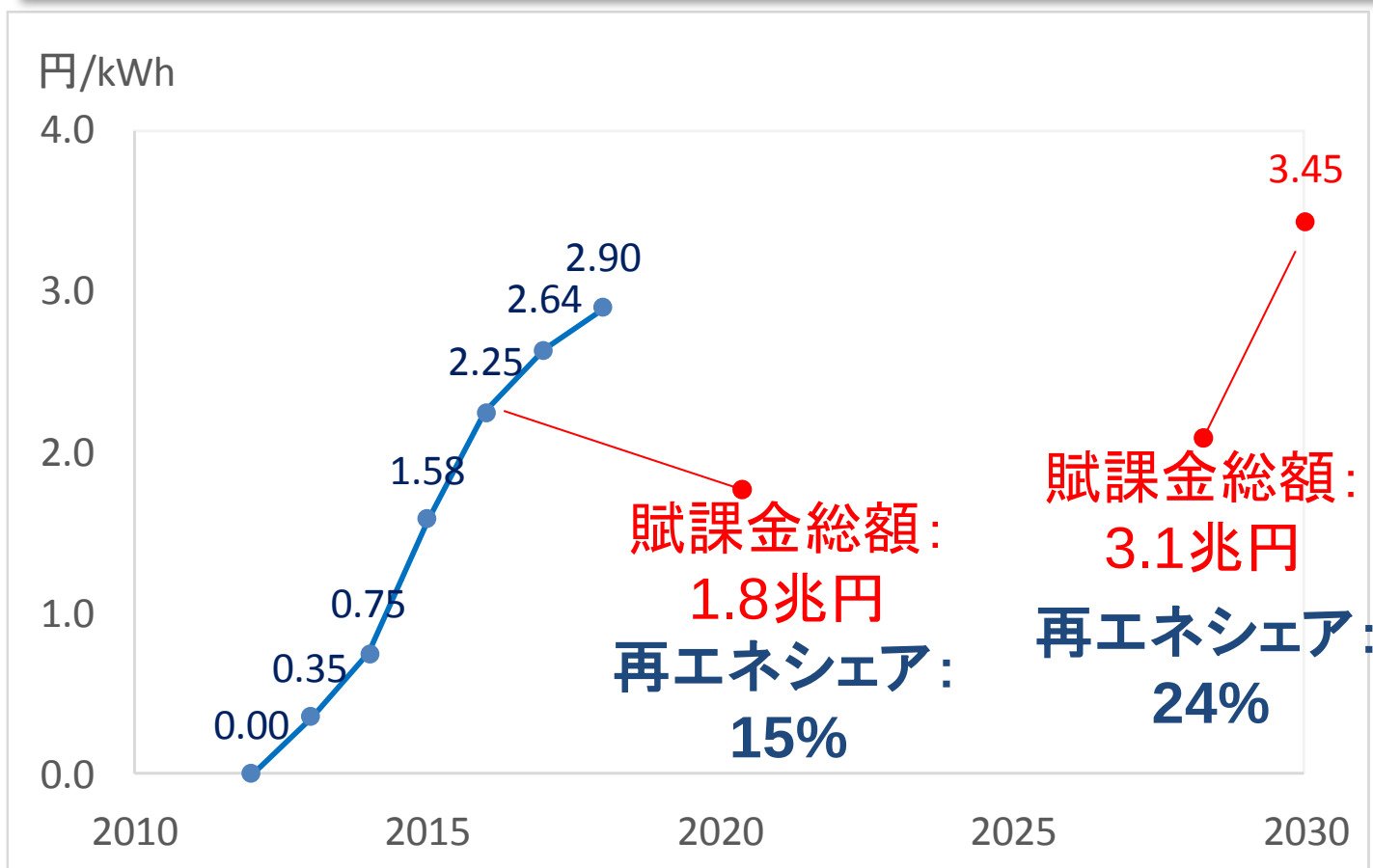
認定の9割近くは太陽光、(2017年3月現在 認定量は8454kW、2030年の政府目標6400万kWをすでに超える)、認定量のうち稼働(運転)しているのは約40%。2017年度買い取り額は2.7兆円。

→2017年4月よりFITの運用が変わる。増えすぎた太陽光の抑制に対して風力、地熱、中小水力バイオマスの導入促進という差別化がポイント

# FIT賦課金による国民負担の増大

- 賦課金は2019年度に2.95円/kWh(現在の電気料金の13%~17%に相当)
- 「長期エネルギー需給見通し」の2030年の再エネ導入見通し実現の場合、3.45円/kWh

## 賦課金(実績と政府見通し)



# 再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

- ポテンシャルは非常に大きいですが、物理的、経済的、現実的にどの程度まで導入できるかは未知数
- 立地制約、地元住民や温泉業者との調整、環境アセスメントとの調整、系統制約、コスト負担などの課題

|               |     | 設備容量(万kW)        | 稼働率 | 発電電力量(億kWh)     |
|---------------|-----|------------------|-----|-----------------|
| 太陽光           | 住宅  | 6,500 ~ 9,100    | 12% | 683 ~ 957       |
|               | 非住宅 | 2,030 ~ 15,000   | 12% | 213 ~ 1,577     |
| 風力            | 陸上  | 15,000 ~ 28,000  | 20% | 2,628 ~ 4,906   |
|               | 洋上  | 40,000 ~ 160,000 | 30% | 10,512 ~ 42,048 |
| 中小水力          |     | 1,400 ~ 2,000    | 45% | 552 ~ 788       |
| 地熱            | 熱水  | 430 ~ 1,400      | 80% | 301 ~ 981       |
|               | 温泉  | 72 ~ 72          | 80% | 50 ~ 50         |
| バイオマス         |     | 240 ~ 240        | 80% | 168 ~ 168       |
| 合計            |     | 66,000 ~ 216,000 |     | 15,000 ~ 51,000 |
| 参考:我が国の総電力消費量 |     |                  |     | 約10,000         |

出所:コスト等検証委員会資料から作成

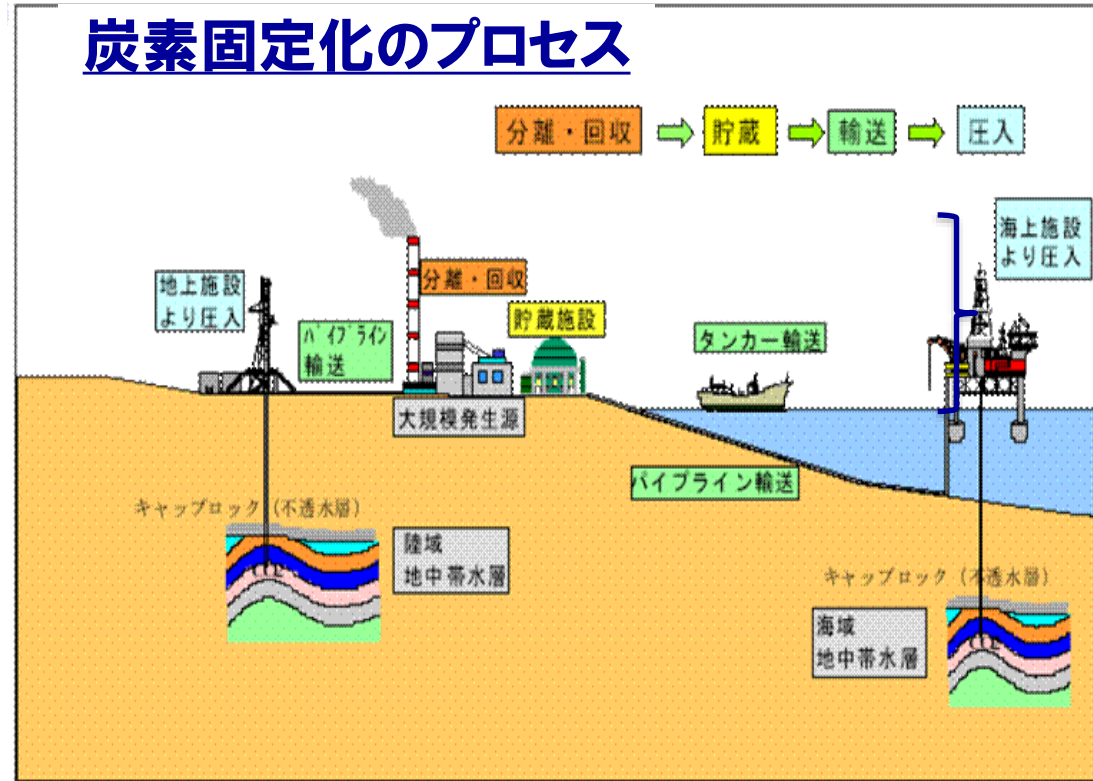
注:バイオマスに関してはポテンシャルの精査が必要であることから、既設(2010年分)を計上している。

# ③炭素回収・貯留(CCS) & 利用(CCUS)

## CCS :Carbon Capture and Storage (二酸化炭素回収・貯留)

CO<sub>2</sub>を分離・回収、輸送、圧入・貯蔵する技術。

- ◆ 世界でCCS開発が進行中、実用化に向けてはコスト開発が課題。
- ◆ 世界で進行中のCCSプロジェクトでは、ただ貯留するのではなく、EOR(石油増進回収)に利用するものが多い(CCS-EOR)。
- ◆ 日本では、2020年までの実用化を目指し、苫小牧実証プロジェクト(\*)を実施中  
(\*)製油所のオフガスから分離回収したCO<sub>2</sub>を年間約10万トン規模で貯留(地下1000m程度)



(地中貯留能力は世界では約400年分、日本では約100年分があると推計されている。)

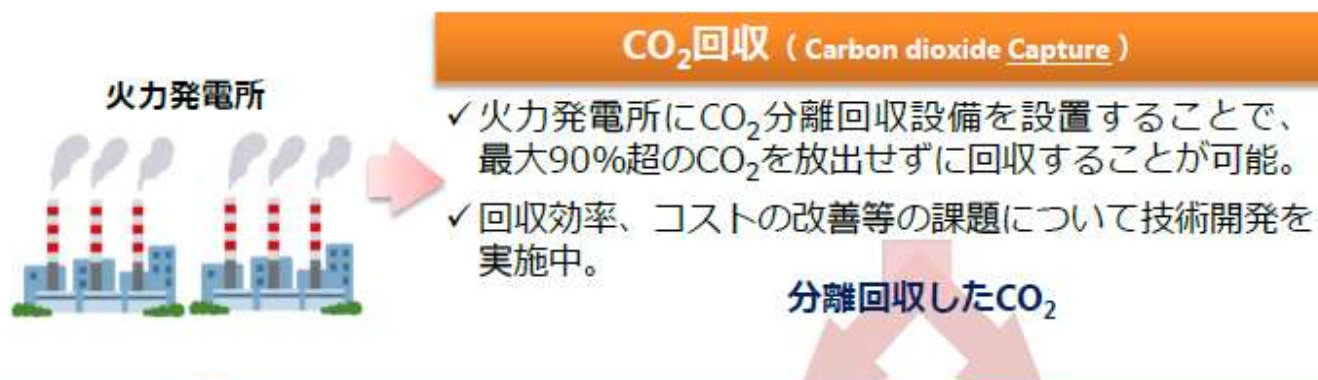
## CO<sub>2</sub>利用(CCUS:Carbon Capture and Utilization)

- ◆ 人工光合成プロジェクト(2030年以降実用化)



# CO<sub>2</sub>の回収、貯留・利用に向けた取組

- 発電所から排出されるCO<sub>2</sub>を回収し、貯留または有効活用する技術（CCUS）は、火力発電からのCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札となり得る。
- 2030年以降を見据えた取組として、早期にこれらの次世代技術の開発を進め、利用の推進に向けた道筋を付けることが重要。

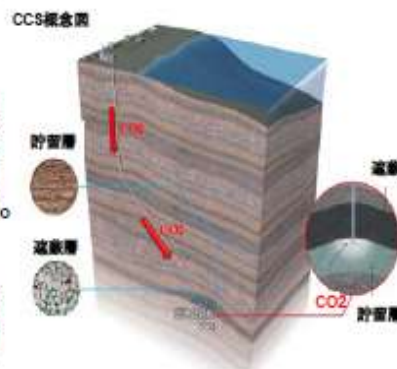


分離回収設備例

## CO<sub>2</sub>貯留 (CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)

## CO<sub>2</sub>利用 (CCU: Carbon dioxide Capture and Utilization)

- ✓ 分離回収したCO<sub>2</sub>を地中に貯留する技術。
- ✓ CO<sub>2</sub>の大規模処理が期待出来るが、実操業能力の獲得や貯留可能な地点の選定等が課題。
- ✓ 2020年頃のCCS技術の実用化を目指し、研究開発・実証試験を実施中。



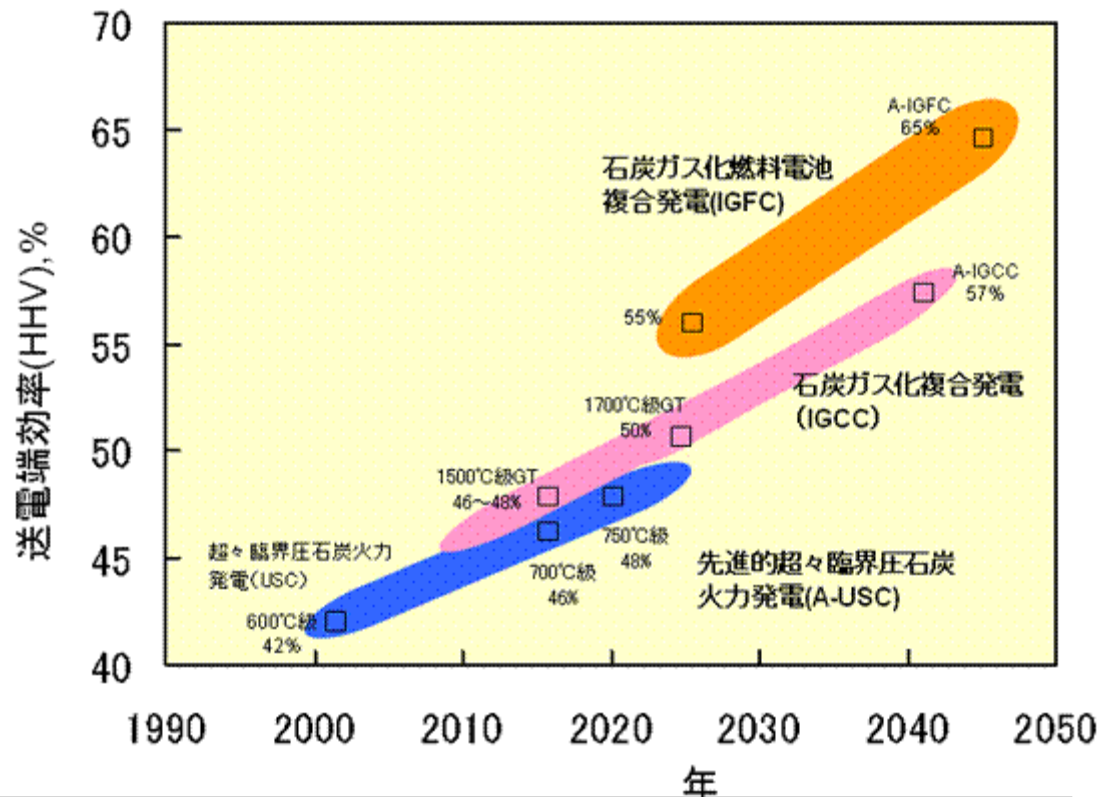
- ✓ 回収したCO<sub>2</sub>を利用し、石油代替燃料や化学原料などの有価物を生産する技術。
- ✓ 大量のCO<sub>2</sub>を利用するための用途の拡大と、効率的な処理技術の確立が課題。



# (参考) Cool Gen 計画の推進

## ～ IGCCとCCSによるゼロエミッション石炭火力発電の実現 ～

- 国内の石炭火力の基盤を維持しつつ、当面はバイオマス混焼等を推進しつつ、将来のリブレース時により高効率な石炭火力を逐次実用化し、石炭火力の低炭素化を実現。
- 2050年CO<sub>2</sub>半減目標達成のためにも継続的な効率向上の取り組みが必要。



- さらに、将来に向け、IGCC、究極の発電効率を目指すIGFCとCCSを組み合わせた「ゼロエミッション石炭火力発電」の実現を目指した実証研究(Cool Gen計画)を官民協力で推進。
- 米国では再構築Future Gen、豪州ではZero Gen、中国ではGreen GenなどのIGCCとCCSを組み合わせた実証プロジェクトが進捗中。

## V. 世界のエネルギー需給の展望

➤2050年までの見通し(2017年10月発表)  
日本エネルギー経済研究所

(資料)

日本エネルギー経済研究所 定例研究報告会(2017年10月12日)

IEEJアウトルック 2018

—2050年に向けた展望と課題—

# 本アウトLOOKのシナリオ

## 【エネルギー需給モデル分析】

### ●レファレンスシナリオ

現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、過去の趨勢が継続するシナリオ。急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されない。

### ●技術進展シナリオ

各国がエネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化のため、強力なエネルギー・環境政策を打ち出し、それが最大限奏功するシナリオ。

### ●石油需要ピークケース

石油需要ピークの可能性を分析するために、レファレンスシナリオをベースに、仮想的に自動車の電動化が急速に進んだ場合のケース。

## 【超長期気候モデル分析】

- レファレンス：過去の趨勢が継続する排出パス。
- 最小費用パス：累積総合コストが最小となる排出パス。
- 2050年半減：IPCC第5次評価報告書で整理されている「RCP2.6」における排出パス。

## ◆技術導入例

|                                                        |                                            | レファレンス                                               | 技術進展                                | 石油需要ピーク     |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| 省エネ                                                    | 自動車技術<br>(ZEV* <sup>1</sup> 販売比率)          | 2030年 9%<br>2050年 20%                                | 21%<br>43%                          | 30%<br>100% |
|                                                        | 石炭火力発電<br>(新設に占める高効率発電技術* <sup>2</sup> 比率) | 2030年 30%<br>2050年 90%                               | 70%<br>100%                         | レファレンスと同じ   |
| 非化石電源                                                  | 設備導入量<br>太陽光発電<br>風力発電<br>原子力発電            | (2015→2050)<br>224→1519GW<br>415→1865GW<br>399→577GW | (2050)<br>2497GW<br>3002GW<br>956GW |             |
| CCS付き火力発電<br>(帯水層を除くCO <sub>2</sub> 貯留ポテンシャルのある国・地域のみ) |                                            | なし                                                   | 2030年以降の新設火力                        |             |

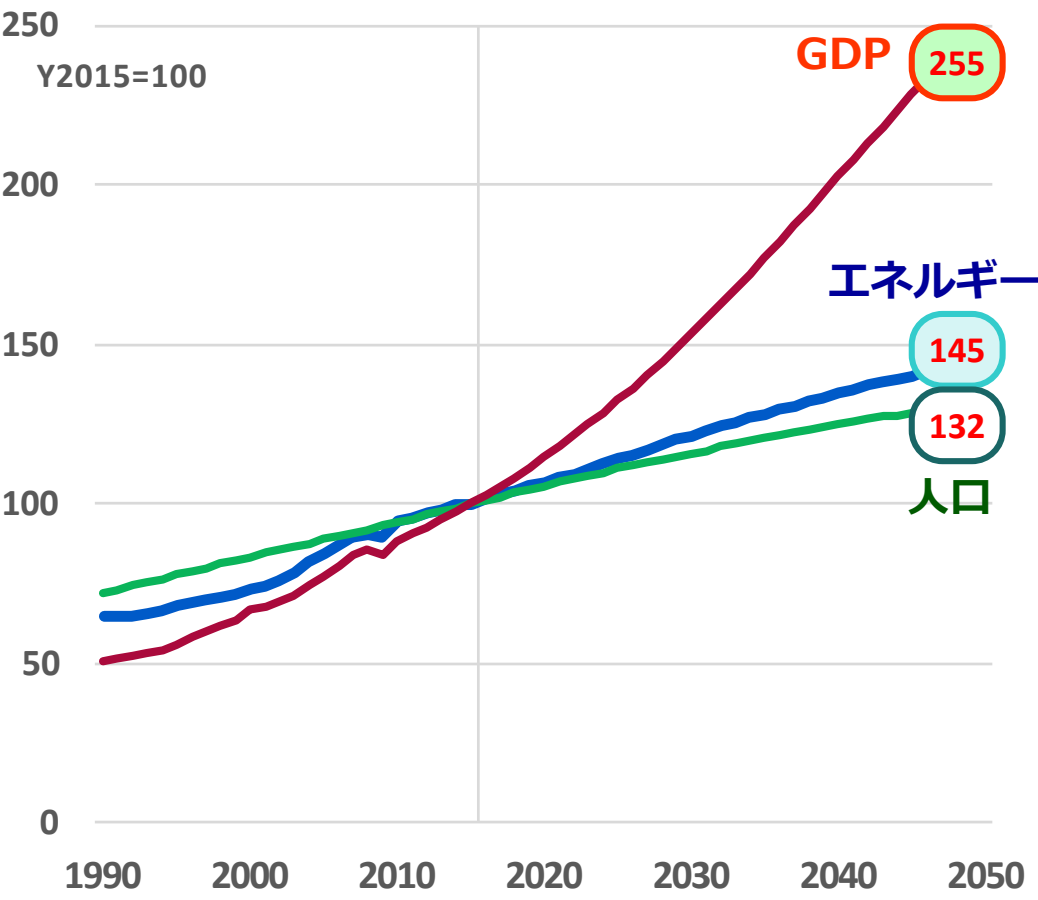
\*1 ZEV：電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車

\*2 高効率発電：超々臨界圧発電、先進的超々臨界圧発電、石炭ガス化複合発電

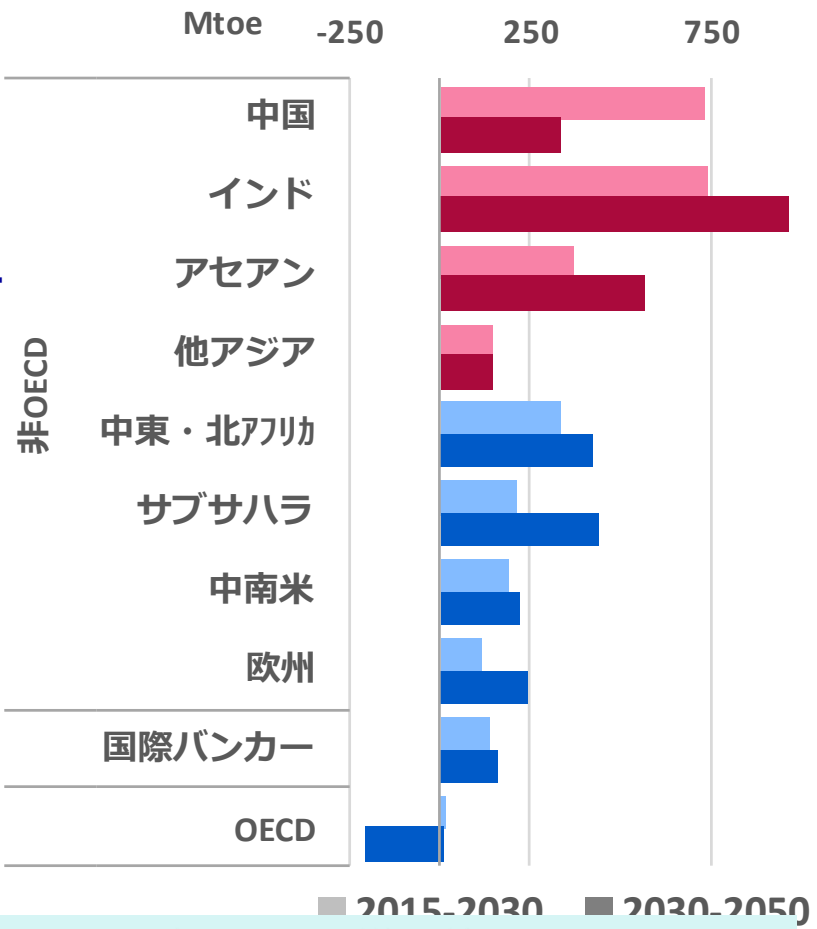
# エネルギー市場の重心は南・東南アジアへ



## ❖ 世界の人口・GDP・一次エネルギー需要



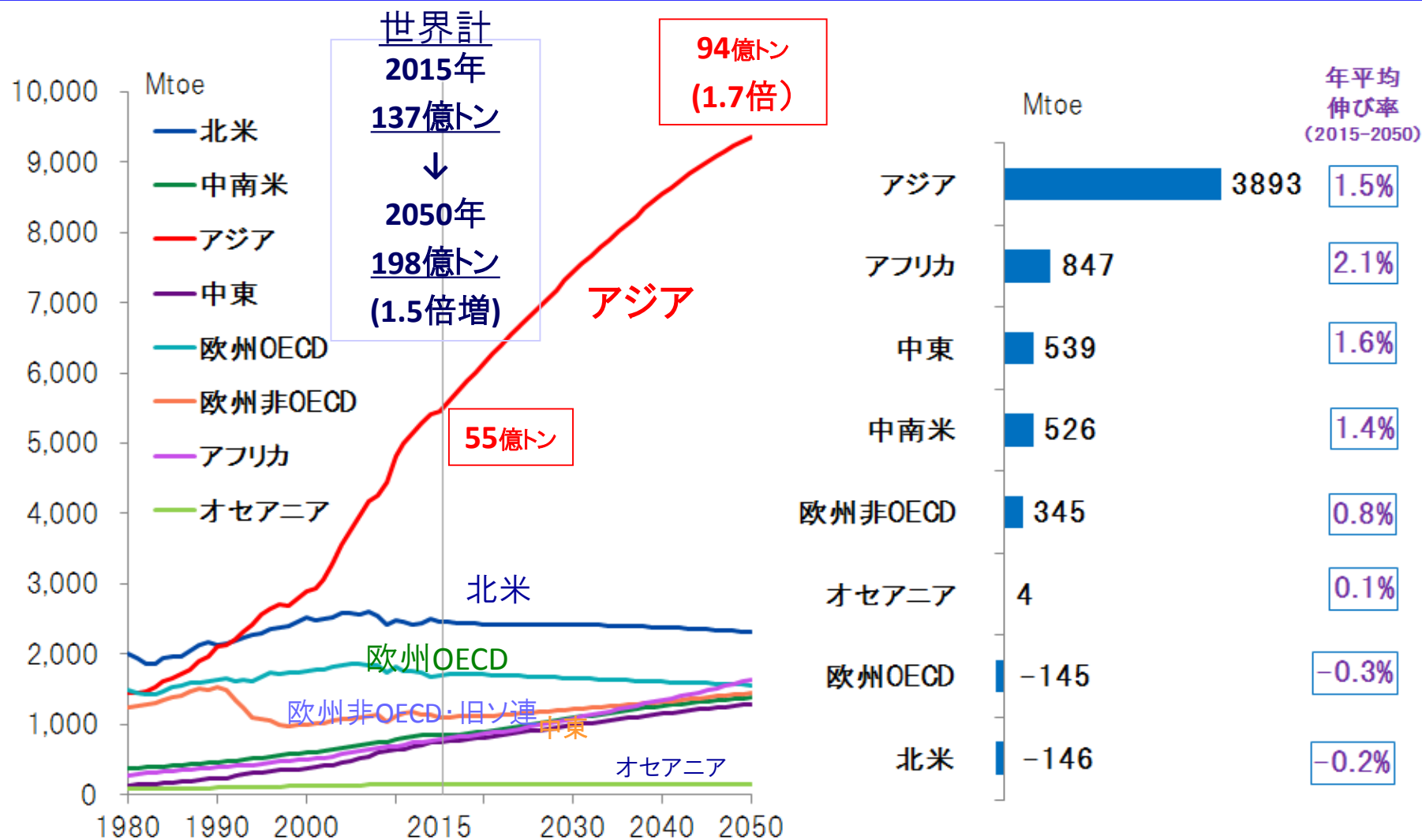
## ❖ 一次エネルギーの地域別増減



経済のエネルギー効率は大きく改善するが、世界のエネルギー需要は増え続ける。  
需要増加の3分の2がアジア非OECD諸国から。中国は2040年代半ばにピークを迎え、アジア内のエネルギー市場の重心は南方へとシフトしていく。



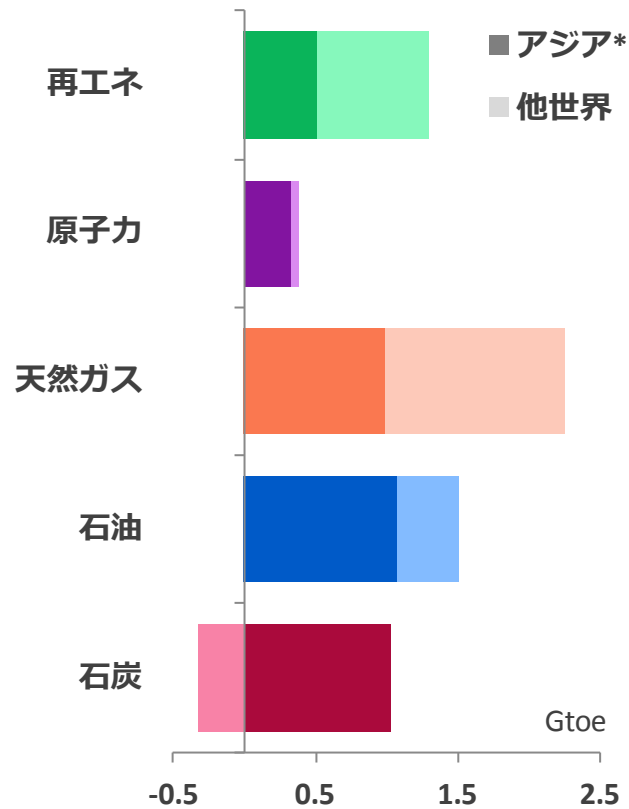
# 世界各地域のエネルギー消費の将来展望



➤ 経済発展に伴い、2015年から2050年までの世界のエネルギー消費増加量の約9割を発展途上国が、アジアは増加量の約6割を占める。

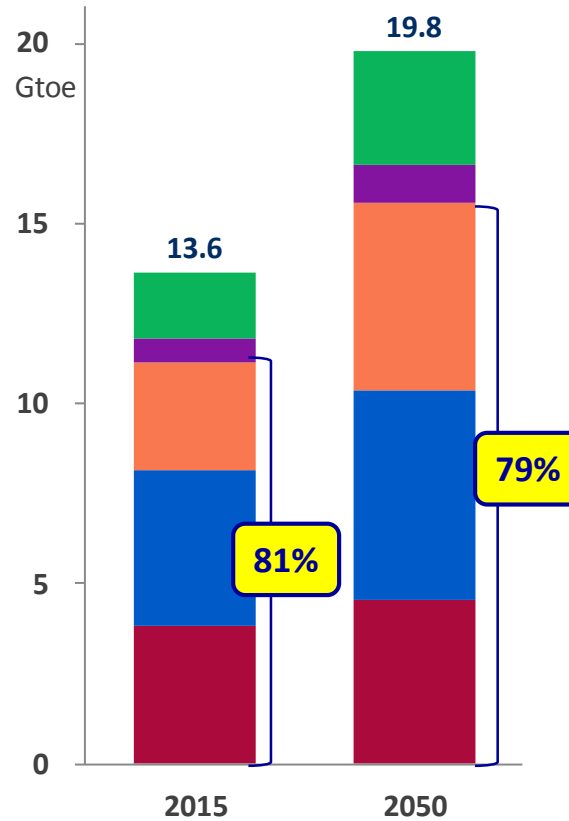
# 化石燃料への依存体質は変わらない

## ❖ 一次エネルギー需要増減

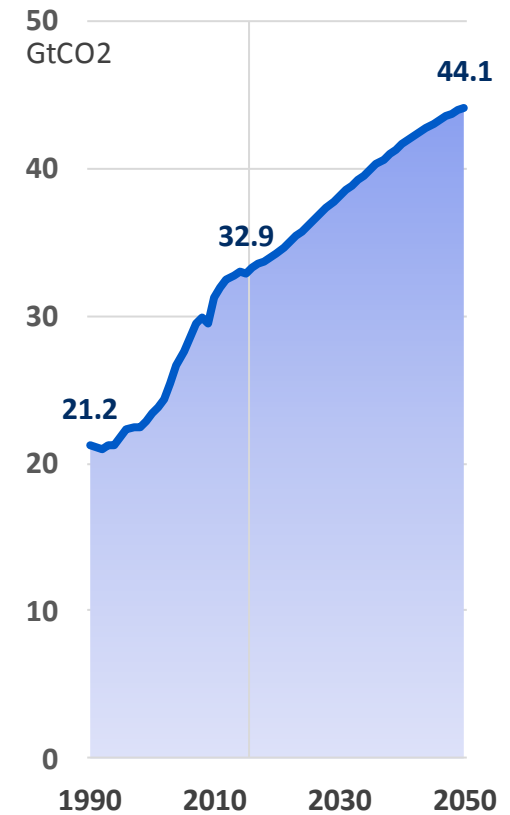


\* アジア非OECD諸国

## ❖ エネルギー構成



## ❖ エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量

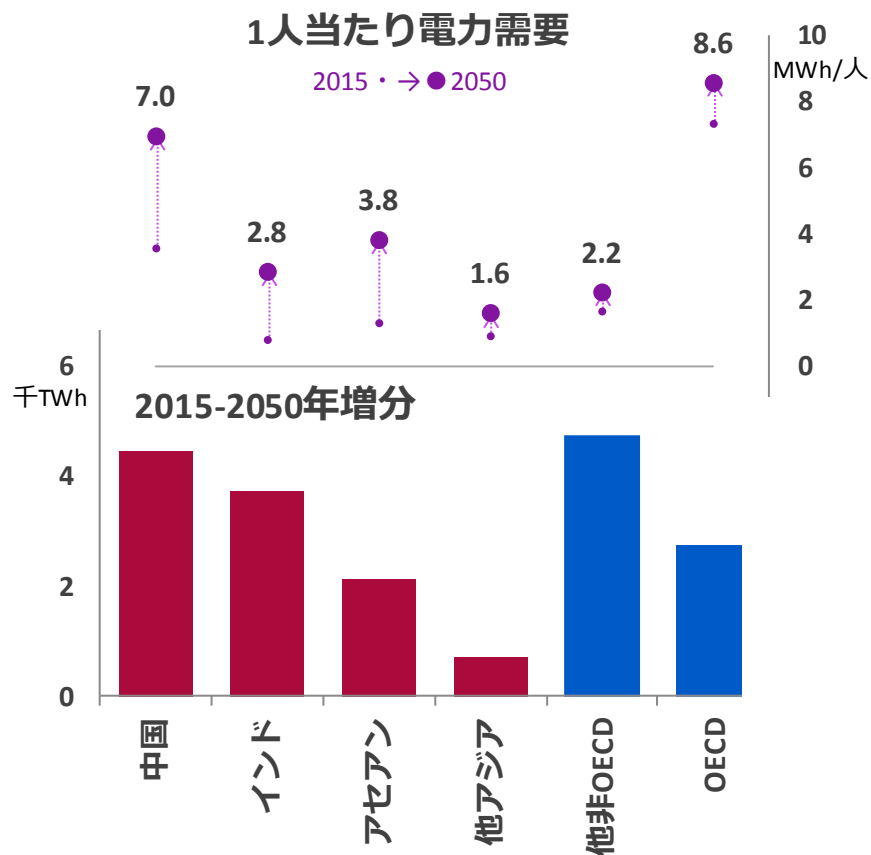


増大する電力需要は主に火力発電で賄われ（約6割）、特に天然ガスが大きく伸びる。輸送用燃料と合わせて、アジアが化石燃料消費の増加をけん引する。  
化石燃料依存が変わらない中で、エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量は2050年までに34%増加する。

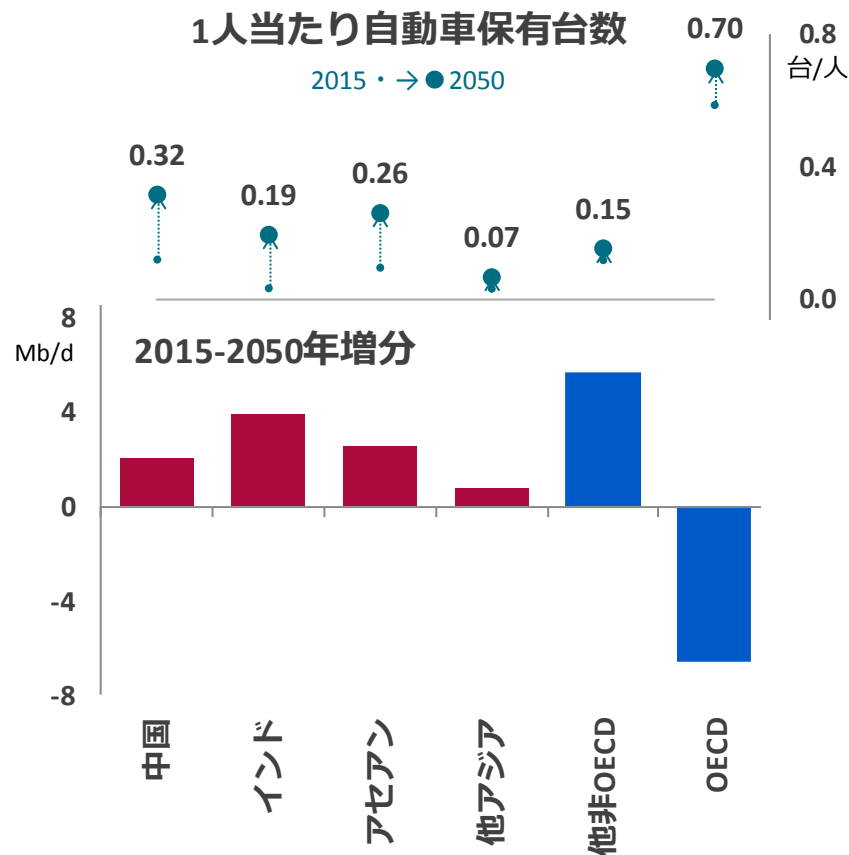


# 発電用・輸送用燃料が需要増加をけん引する

## ❖ 電力需要



## ❖ 自動車用石油燃料

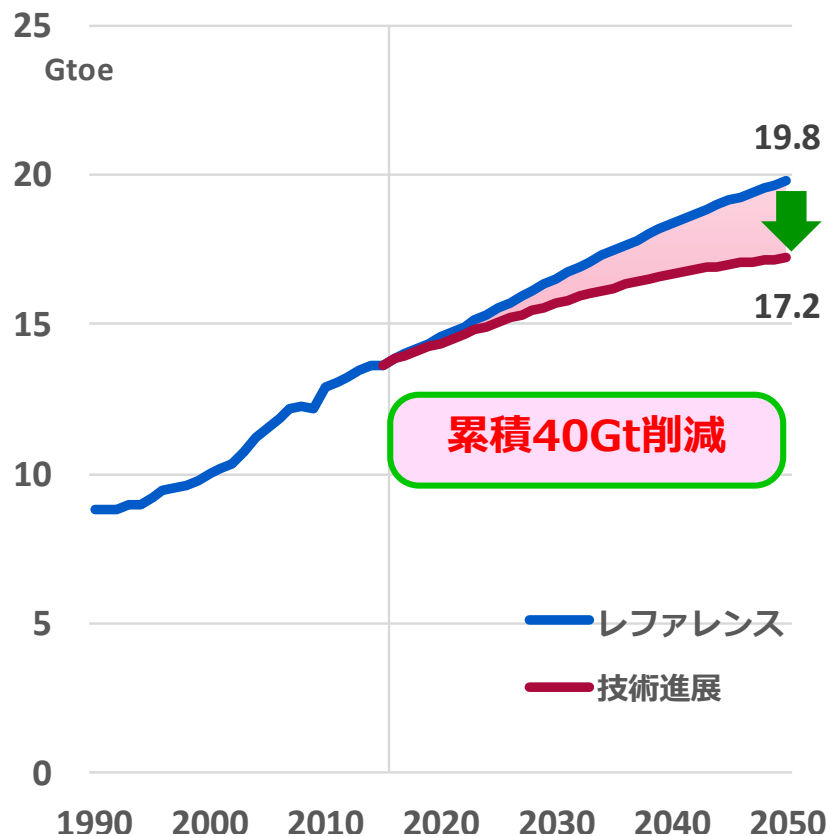


2050年までのエネルギー需要増加の4分の3が、発電用及び輸送用燃料に集中。相対的にまだ貧しく、人口規模の大きいアジア非OECD諸国における経済発展、生活水準の改善が世界大での需要増加に大きく寄与する。

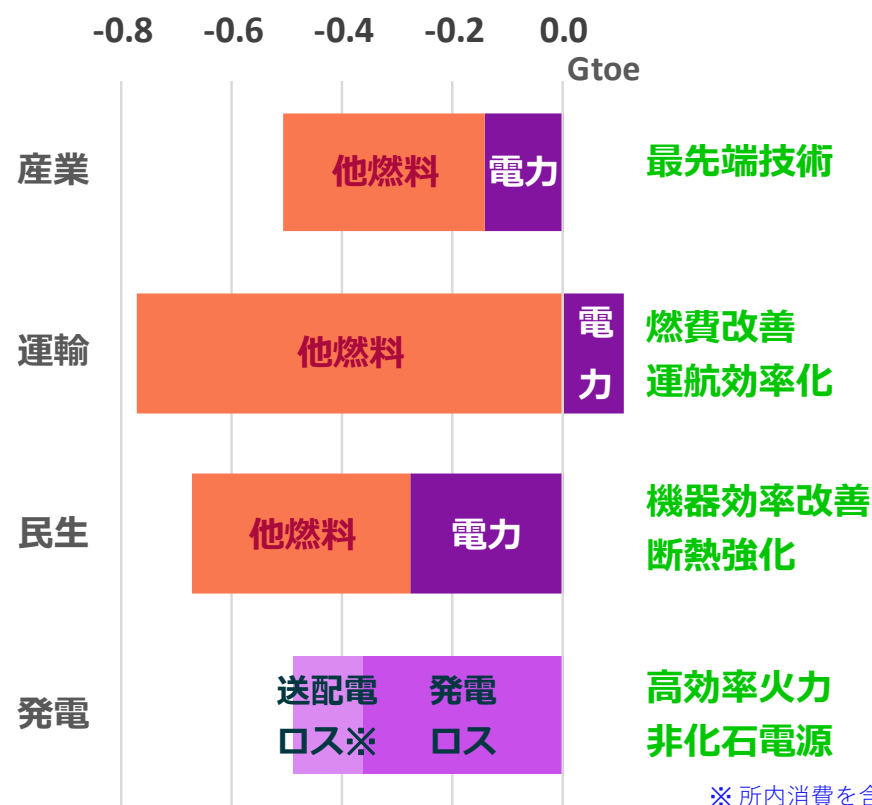
# 技術進展という別のパスを描く

【技術進展ケース】

## ❖ 一次エネルギー需要



## ❖ 技術進展による省エネ効果 (2050年)



技術進展シナリオは、省エネ技術等の最大限の導入でエネルギー消費を2050年に13%削減。

電力関連における省エネ効果は省エネ量全体の3割を占める。運輸部門でも自動車電動化などにより省エネ効果は大きい。

# 技術進展シナリオの前提

世界各国がエネルギー安定供給の確保、気候変動対策を一層強化すると共に、既存技術の効率改善や国際的な技術移転が促進され、新技術の普及が世界的により一層拡大するシナリオ

環境規制や国家目標の導入、強化

国家的戦略・目標設定、省エネ基準、燃費基準、低炭素燃料基準、省エネ・環境ラベリング制度、再生可能エネルギー導入基準、固定価格買取制度、補助金・助成制度、環境税、排出量取引等

## 【需要サイドの技術】

### ■ 産業部門

最高効率水準(ベストプラクティス)の産業プロセス技術(鉄鋼、セメント、紙パルプ等)が世界的に普及

### ■ 運輸部門

クリーンエネルギー自動車(低燃費車、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車)の普及拡大

### ■ 民生部門

省エネ家電(冷蔵庫、テレビ等)、高効率給湯器(ヒートポンプ等)、高効率空調機器、高効率照明の普及拡大、断熱強化

技術開発強化や国際的な技術協力の推進

研究開発投資の拡大、国際的な省エネ技術協力(鉄鋼、セメント分野等)や省エネ基準制度の構築支援等

## 【供給サイドの技術】

### ■ 再生可能エネルギー

風力発電、太陽光発電、太陽熱発電、バイオマス発電、海洋発電、バイオ燃料の普及拡大

### ■ 原子力導入促進

原子力発電建設加速、設備利用率向上

### ■ 高効率火力発電技術

SC、USC、A-USC、石炭IGCC、天然ガスMACCの普及拡大

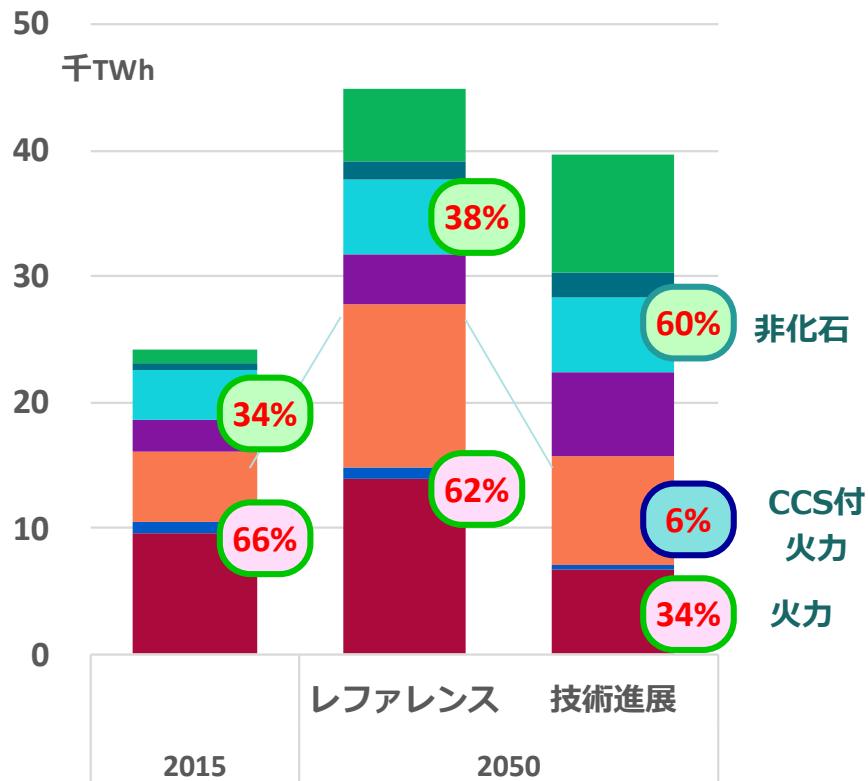
### ■ 次世代送配電技術

低損失型の変電設備、電圧調整装置

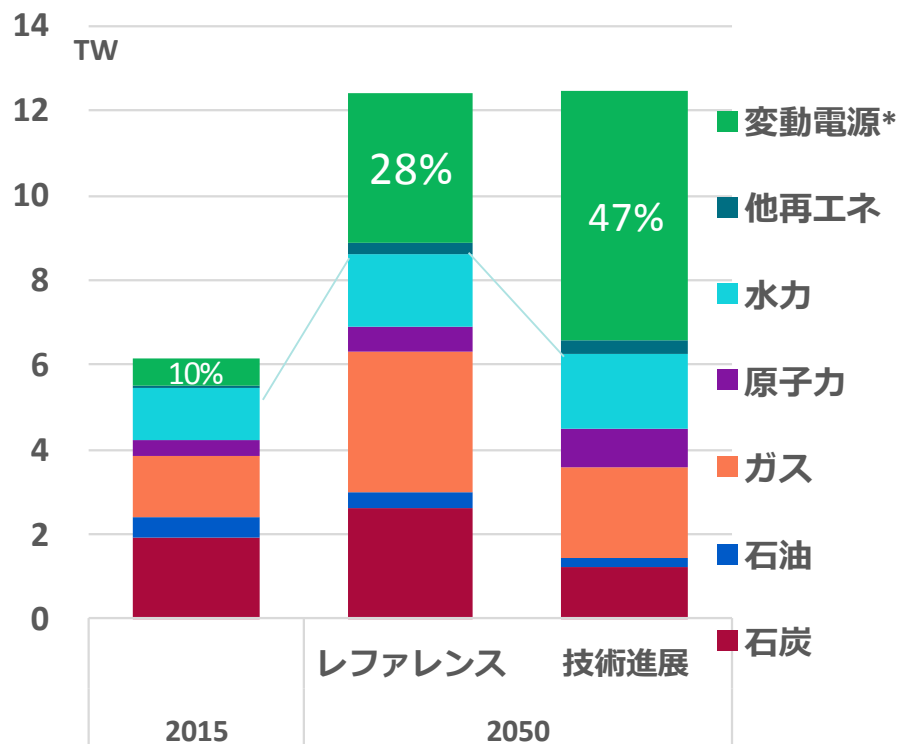
### ■ 二酸化炭素貯留技術

# ゼロエミッション電源が3分の2を占める

## ❖ 世界の発電電力量



## ❖ 世界の発電設備容量



注: 変動電源は太陽光発電、風力発電、太陽熱発電、海洋発電を含む

2050年までに1.8倍に増加する電力需要（レファレンス）を技術進展で1.6倍に抑える。技術進展シナリオでは、非化石発電のシェアは6割に。CCS付き火力を含めるとゼロエミッション電源は3分の2を占め、発電量当たりのCO<sub>2</sub>排出原単位は現在の半分に。

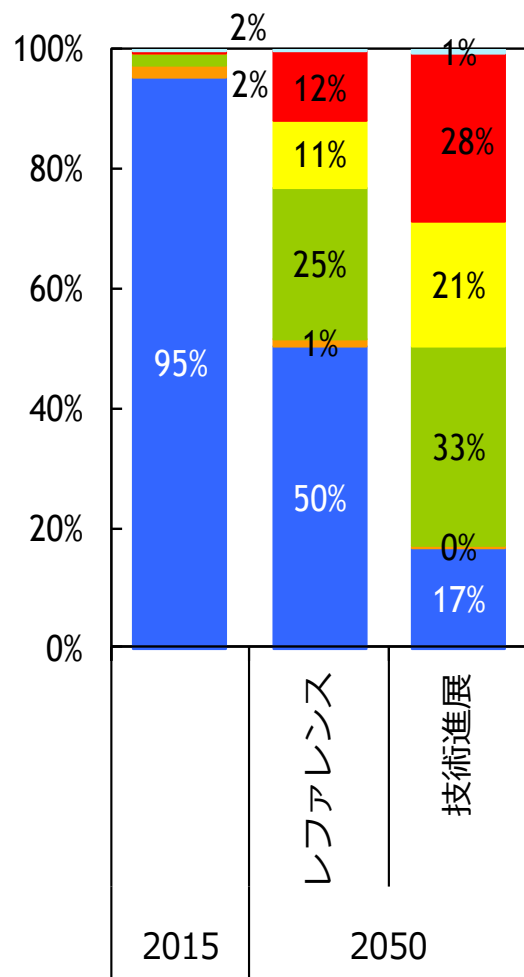
設備容量の半分が自然変動電源に。十分なコスト低下、系統安定化対策の強化が前提。

●CO<sub>2</sub>排出原単位： 2015年 507gCO<sub>2</sub>/kWh → 389（レファレンス） → 251（技術進展）

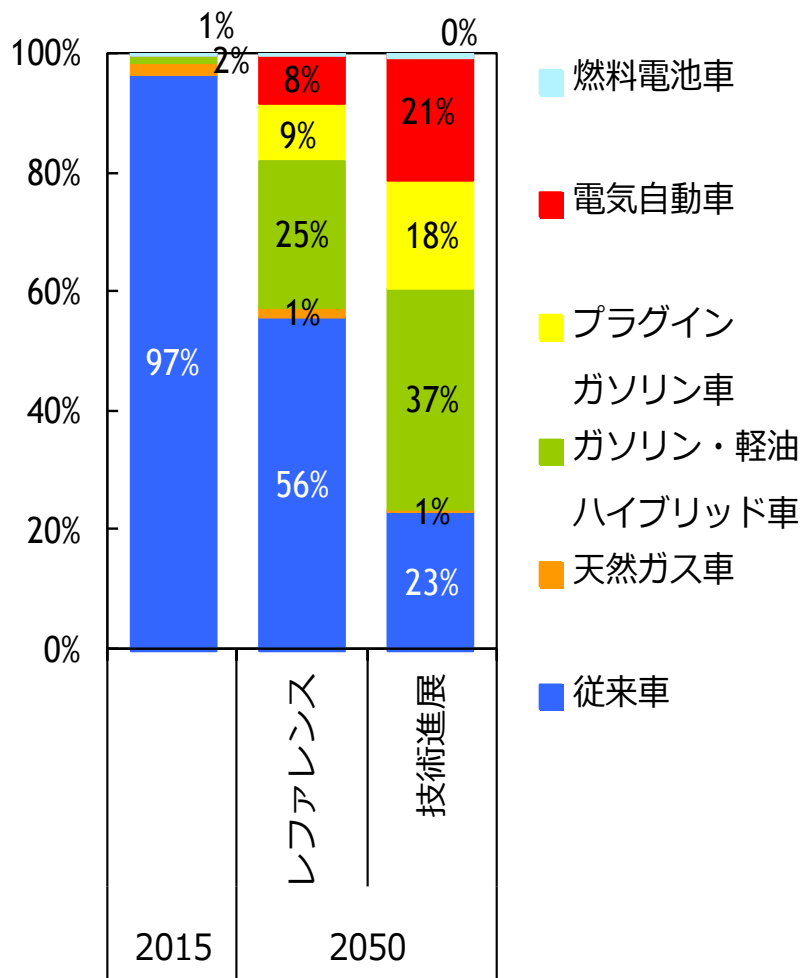
# 乗用車台数

技術進展シナリオ

## 新車販売台数構成

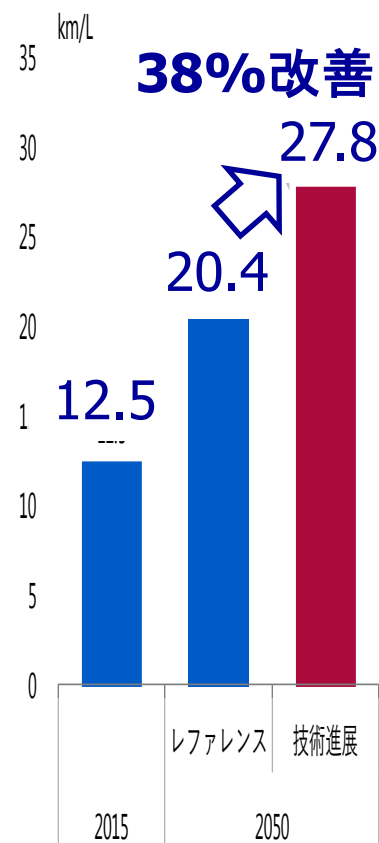


## 保有台数構成



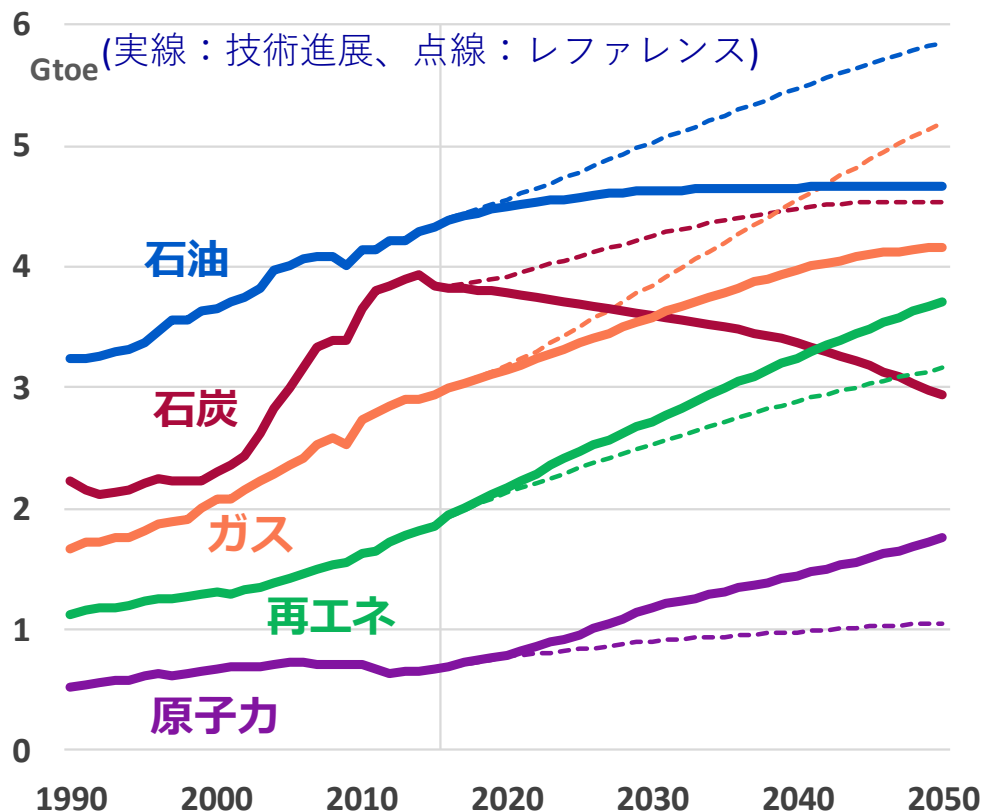
- 燃料電池車
- 電気自動車
- プラグイン
- ガソリン車
- ガソリン・軽油
- ハイブリッド車
- 天然ガス車
- 従来車

## 保有燃費

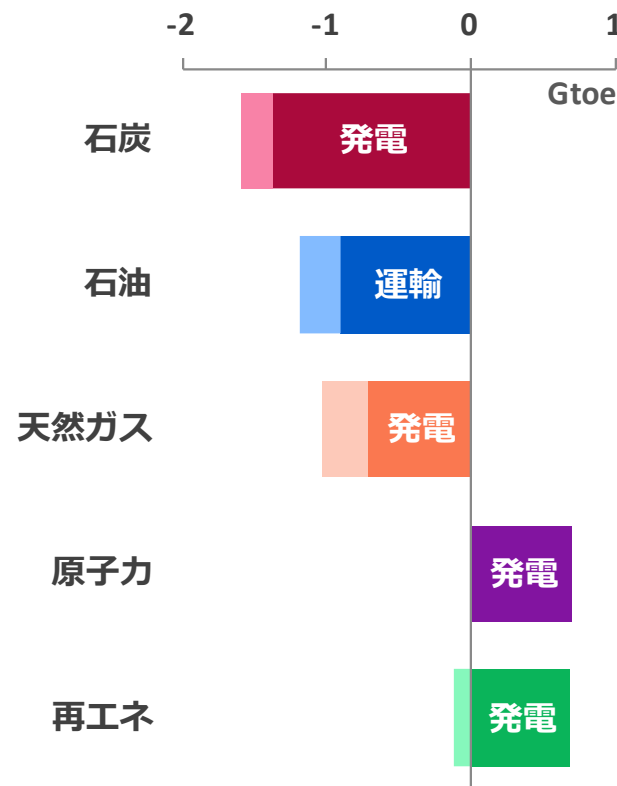


# 石炭は大きく減少、再エネ合計を下回る

## ◆ 一次エネルギー需要



## ◆ 技術進展による効果 (2050年)

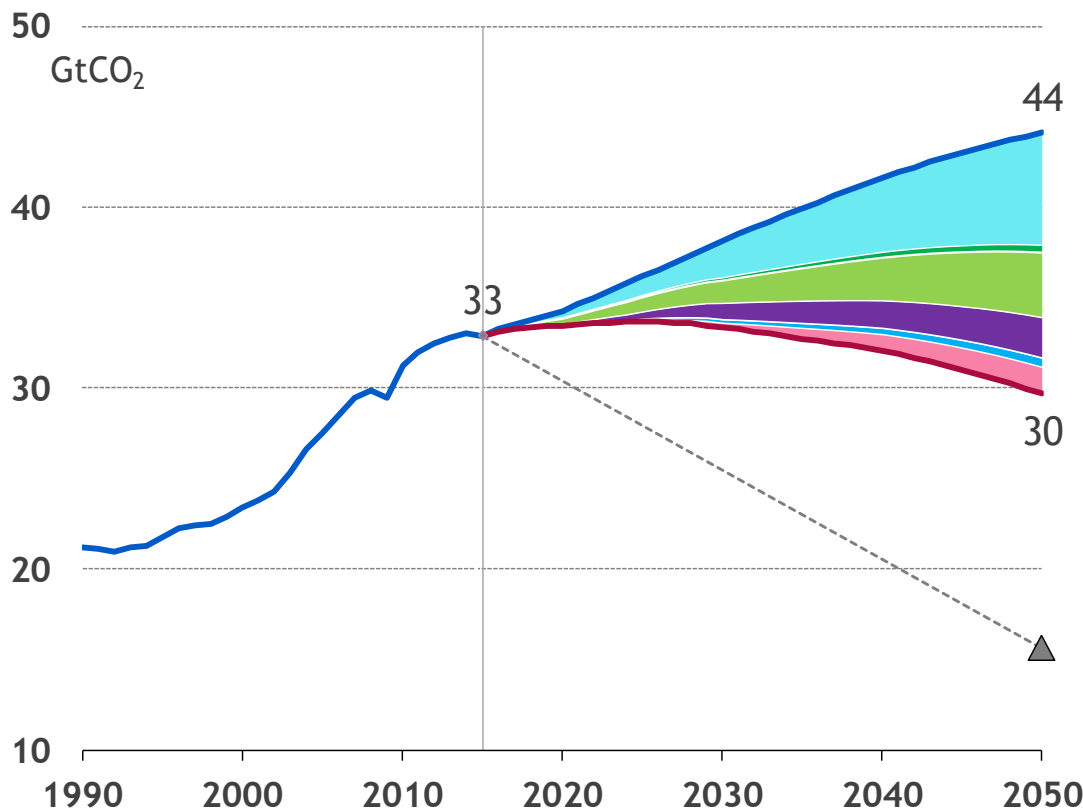


技術進展では、石炭は現在がピークで、2040年頃に再エネ合計を下回る。電力関連での省エネ・非化石燃料化が大きく寄与。輸送用燃料など石油需要も大きく減少するが、ピークには至らない。

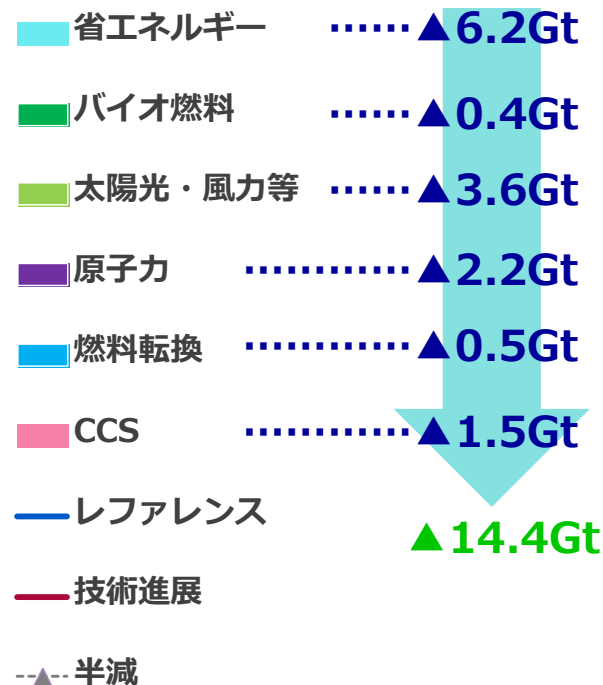
2050年の化石燃料シェアは79%から68%まで低下するが、化石燃料依存度は高いまま。

# CO<sub>2</sub>排出量は2020年代半ばにピーク

## ❖ エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量



## ❖ 技術別削減寄与



技術進展シナリオのエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量は2020年代半ば以降に減少に向かうが、2050年半減には程遠い。

レファレンスからのCO<sub>2</sub>削減効果は省エネルギーが最大。電力関連（非化石電源、火力発電 CCS、電力・発電省エネ）による削減効果が全体の3分の2を占める。



# 超長期の将来に向けた技術開発の例

| 技術                                                       | 概要                             |                                                                                                        | 課題                                                                          |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| CO <sub>2</sub> の発生を抑制するものの                              | 次世代原子炉                         | 超高温ガス炉、高速炉などの第4世代原子炉や中小型炉が、現在国際的に開発がすすめられている                                                           | 次世代原子炉に対する研究開発支援の拡大等                                                        |
|                                                          | 核融合                            | 質量数の小さな水素等の核融合により、太陽と同じようにエネルギーを取り出す技術。<br>燃料となる重水素は豊富かつ普遍的に存在する。また、高レベル放射性廃棄物としての使用済燃料が発生しない          | 連続的に核融合反応を起こし、またそれを一定の空間に閉じ込める技術、エネルギー収支およびコストの削減、大規模な開発のための資金調達と国際協力体制の構築等 |
|                                                          | 宇宙太陽光 (SPS)                    | 太陽光が地上よりも豊富に降り注ぐ宇宙空間にて太陽光発電を行い、発電した電気を、マイクロ波等を通じて無線で地球に伝送し地上で利用する技術                                    | 無線エネルギー転送技術の確立、宇宙に建設資材を運ぶコストの低減等                                            |
| 発生したCO <sub>2</sub> を固定、または、大気中のCO <sub>2</sub> を取り除くものの | 水素の利活用                         | 水素を化石燃料から製造する場合は、発生したCO <sub>2</sub> の二酸化炭素回収・貯留(CCS)実施によりカーボンフリーにできる                                  | 水素製造技術のコスト削減、輸送・貯蔵の効率向上、水素利用を促進するための制度構築等                                   |
|                                                          | CO <sub>2</sub> 固定化・有効活用 (CCU) | 触媒変換、鉱物化、電気化学的変換、光触媒変換、発酵などにより、CO <sub>2</sub> を原料にして化学中間品、燃料、建材、ポリマーなどを製造。<br>CO <sub>2</sub> を固定化できる | 固定化・有効利用できる量や効率の格段の向上等                                                      |
|                                                          | CCS付きバイオエネルギー (BECCS)          | 生物学的プロセスによる光合成とCCSにより、大気から炭素を吸収                                                                        | 大規模な土地を必要とし、食料等の生産のために利用可能な土地面積に影響を与える可能性がある                                |

# 技術進展シナリオからのさらなる削減

## ❖ エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量



## ❖ さらなる11Gtの削減に必要な技術導入量の例

### ①CO<sub>2</sub>フリー水素技術の利用 (参考: アウトルック2016)

- ・ 水素発電 1GW x 3000基
- ・ 燃料電池車 10億台

(800Mt/年の水素需要は現在のLNG需要の約3倍)

### ②ネガティブエミッション技術の利用

- ・ BECCS : バイオマス発電 0.5GW x 2800基  
(2000Mtoe/年の燃料供給に285万km<sup>2</sup>相当の土地)

### ③ゼロエミッション電源の利用+製造業CCS

▲ 10GtCO<sub>2</sub> (CCS未設置火力発電の代替による削減上限値)

- ・ 宇宙太陽光 : 1.3GW x 2300基
- or ・ 高温ガス炉 : 0.275GW x 8700基
- or ・ 核融合炉 : 0.5GW x 4500基
- or ・ CCS火力発電 : 2800GW

(CO<sub>2</sub>貯留のポテンシャルは推定7000Gt以上)

+ ▲ 1 GtCO<sub>2</sub>

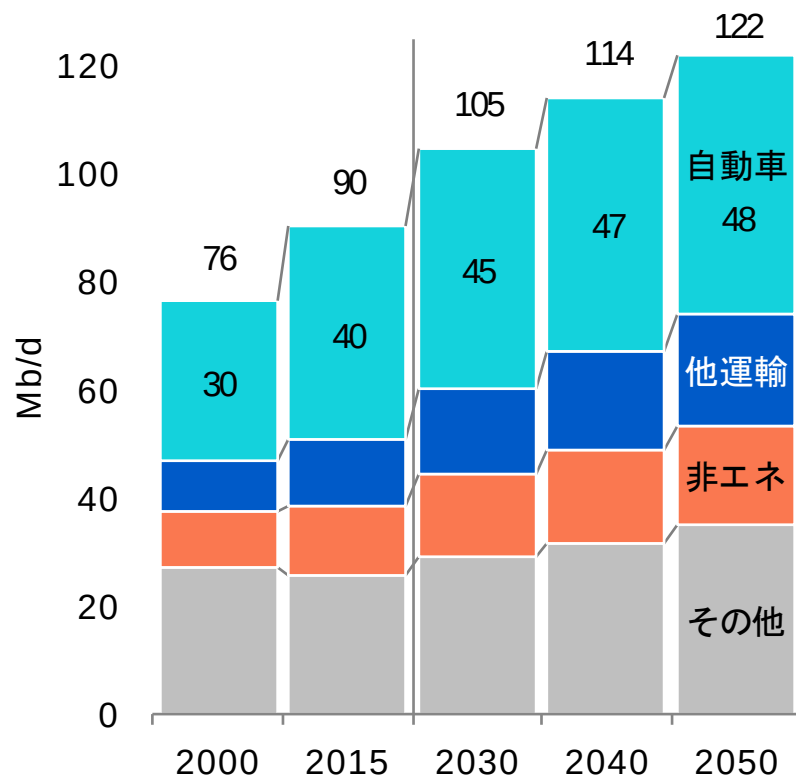
・ 製造業CCS : 製造施設・プラントの約2割に設置  
(鉄鋼、セメント、化学、紙パ、石油精製、GTL/CTL)

A light gray world map serves as the background for the title text.

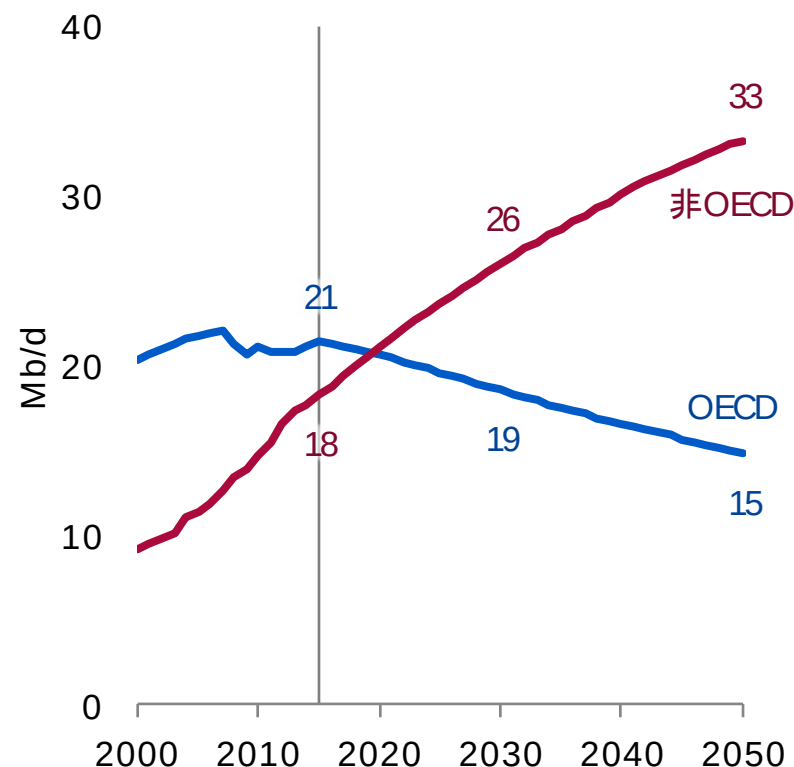
# 石油“需要”ピークケース ー EV急拡大のインパクトー

# 石油消費は運輸、とりわけ自動車ドライブ

## ❖ 石油消費[レファレンスシナリオ]



## ❖ 自動車用石油消費[レファレンスシナリオ]



石油消費の2050年までの増分の約7割は、運輸と石油化学用原料。特に、自動車用が行き先を決めうる

ただし、その自動車用もOECDでは減少の一途で、2020年ごろには非OECDを下回る。今後の増分はすべて非OECDで発生する勘定

# 自動車電動化への動きが、こと最近活発化

## ❖ 最近の政府・議会の主な動き



ドイツ

2030年までにEUでの従来型自動車販売を禁止する決議案を連邦参議院が可決(2016)



ノルウェー

2025年までに従来型自動車の廃止を与野党が提案(2016)



フランス

2040年までに従来型自動車販売を禁止と政府が発表(2017)



英国

2040年までに従来型自動車販売を禁止と政府が発表(2017)



インド

2030年以降の新車販売をすべてEVにと大臣が発言(2017)



中国

従来型自動車の販売禁止について研究検討中と副大臣が言及(2017)

## ❖ 最近の大手自動車メーカーの主な動き



トヨタ

FCV販売目標を2020年に年3万台以上に引き上げ(2015)。2020年にEVに本格参入との報道(2016)



フォルクスワーゲン

2025年までに30車種以上のEVを投入し、総販売台数の25%まで高める戦略を発表(2017)



ルノー・日産

2022年までに12車種のEVを投入。販売の3割を電動化車両とする目標(2017)



ヒュンダイ

2020年までに全ラインアップで電動車両を用意する計画(2015)



フォード

EVとHEVを合わせたエコカーの中国での販売比率を2025年までに7割に引き上げると発表(2017)

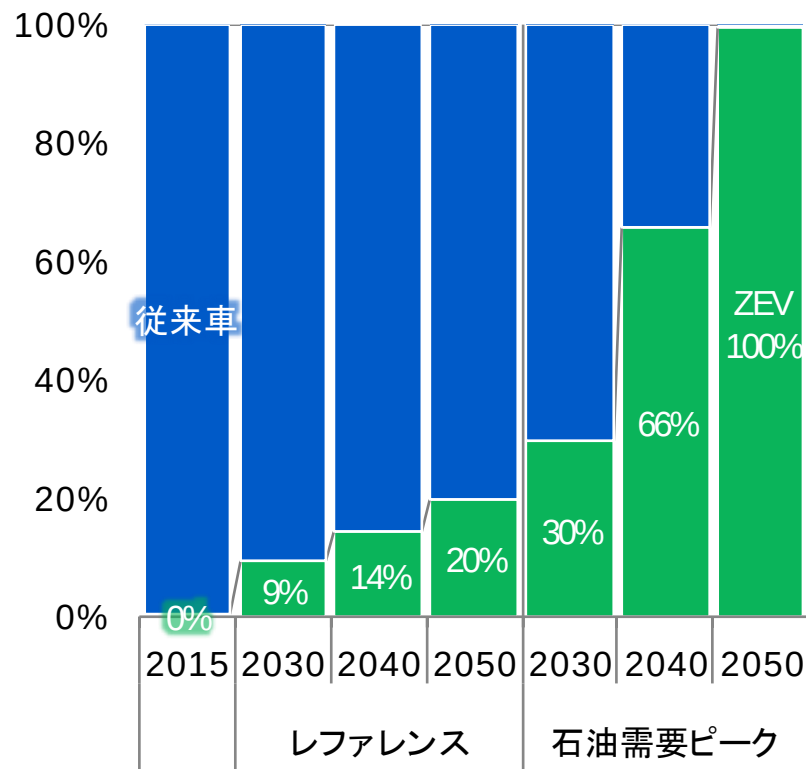


ホンダ

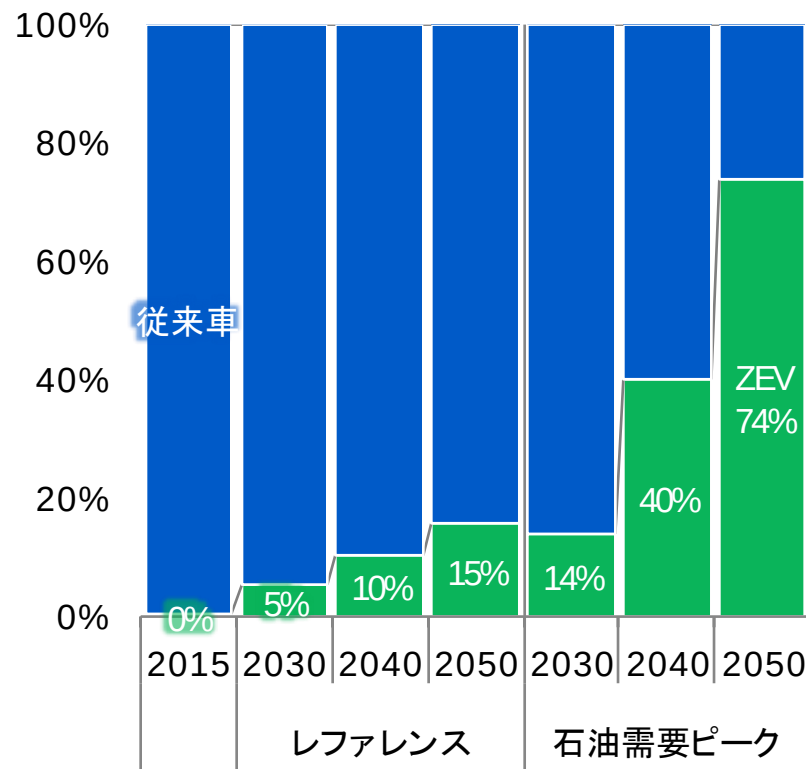
2030年に四輪車販売台数の3分の2を電動化する。2018年には中国でEVを発売予定(2017)

# 自動車販売・保有構成

## ❖ 新車販売の仮定



## ❖ 保有

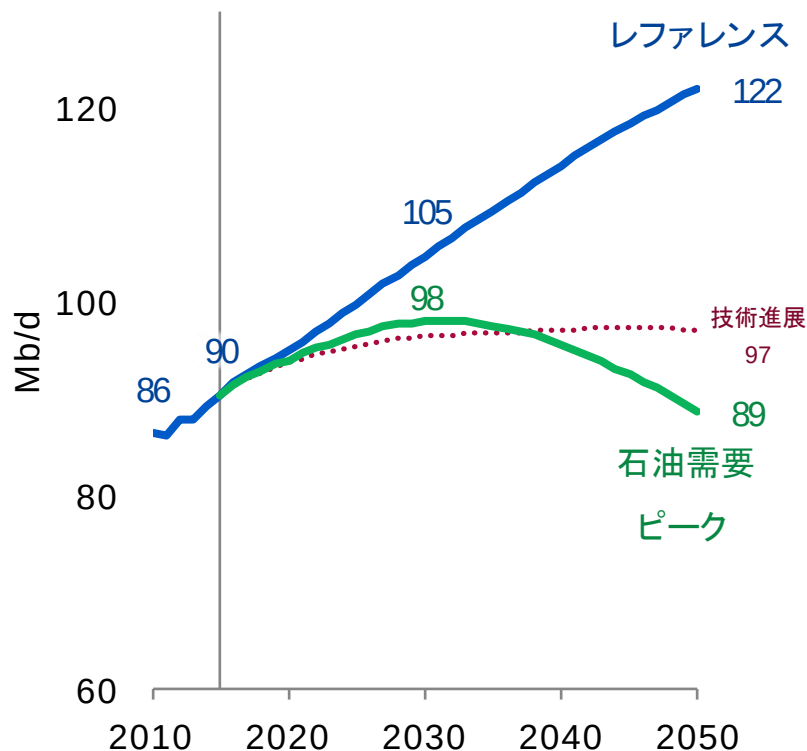


注: ZEVはプラグインハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車

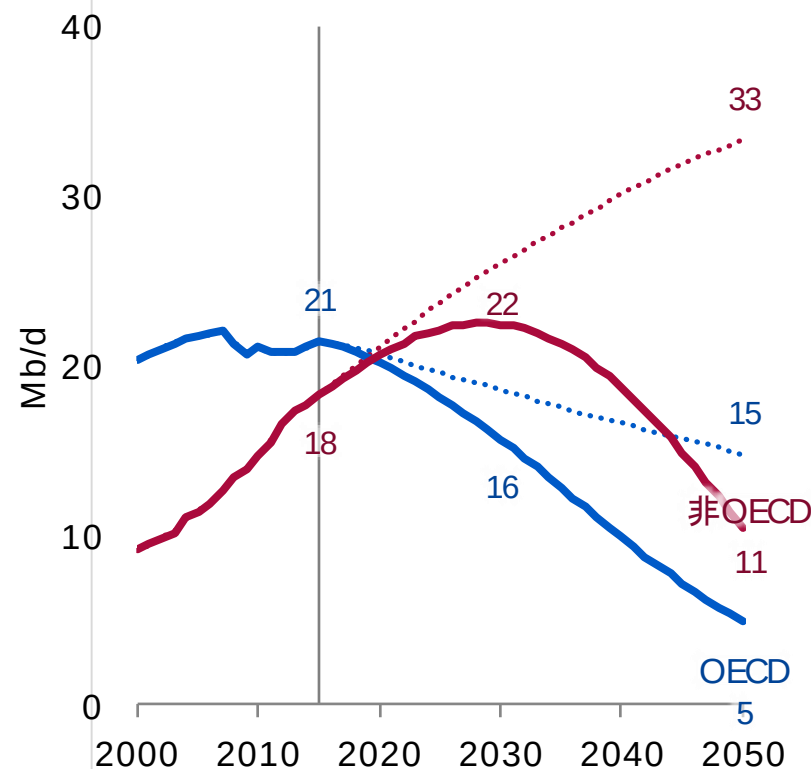
ZEVの普及速度についてはさまざまな見方。「石油需要ピークケース」では、2030年に全世界の新車(乗用・貨物)販売の30%、2050年に100%がZEVになると仮想的に想定  
感度分析的にエネルギー需給関連への影響を評価。なお、ZEVにより増加する電力需要は火力発電によって賄うものとする

# ZEVの急速普及で、石油は2030年ごろピーク

## ❖ 石油消費



## ❖ 自動車用石油消費[石油需要ピーク]



注: 点線はレファレンスシナリオ

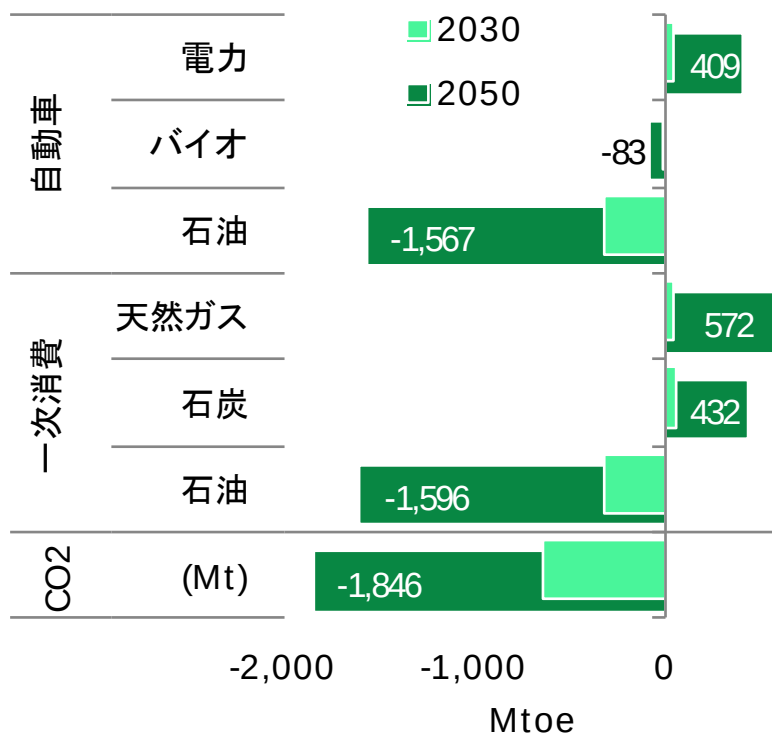
石油需要ピークケースでは、石油消費は2030年ごろの98 Mb/dを頂点に減少に転じる。レファレンスシナリオからの減少は、2030年に7 Mb/d、2050年には33 Mb/dに拡大

レファレンスシナリオでは急速な増加を続ける非OECDの自動車用石油消費も2030年ごろから減少に転じる。2050年にはレファレンスシナリオ比で約3分の1にまで減少

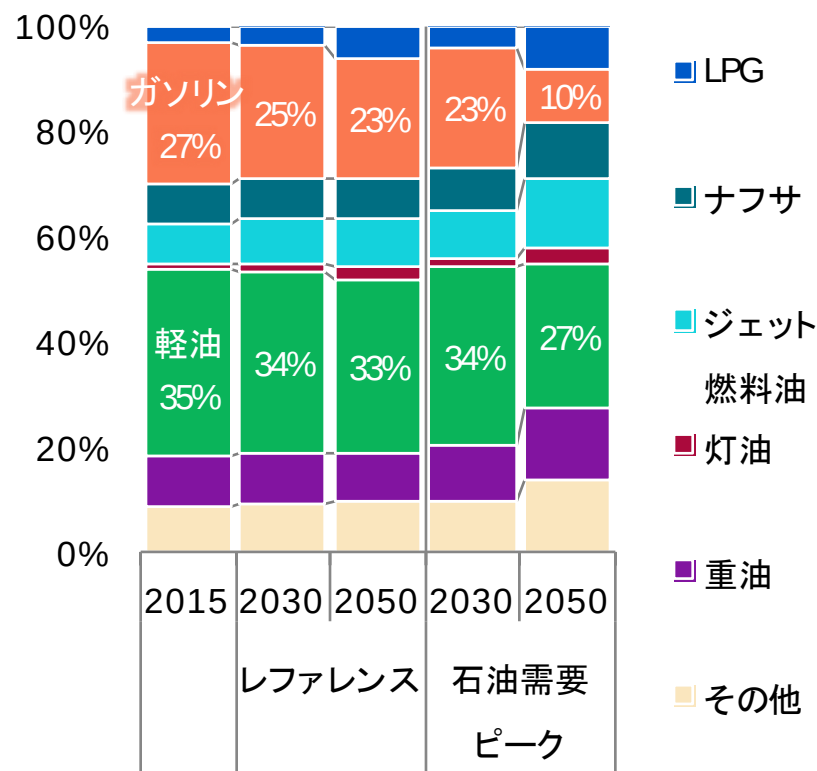


# 天然ガス、石炭消費増。石油製品構成にも変化

## ❖ 消費変化(レファレンスシナリオ比)



## ❖ 石油製品消費構成



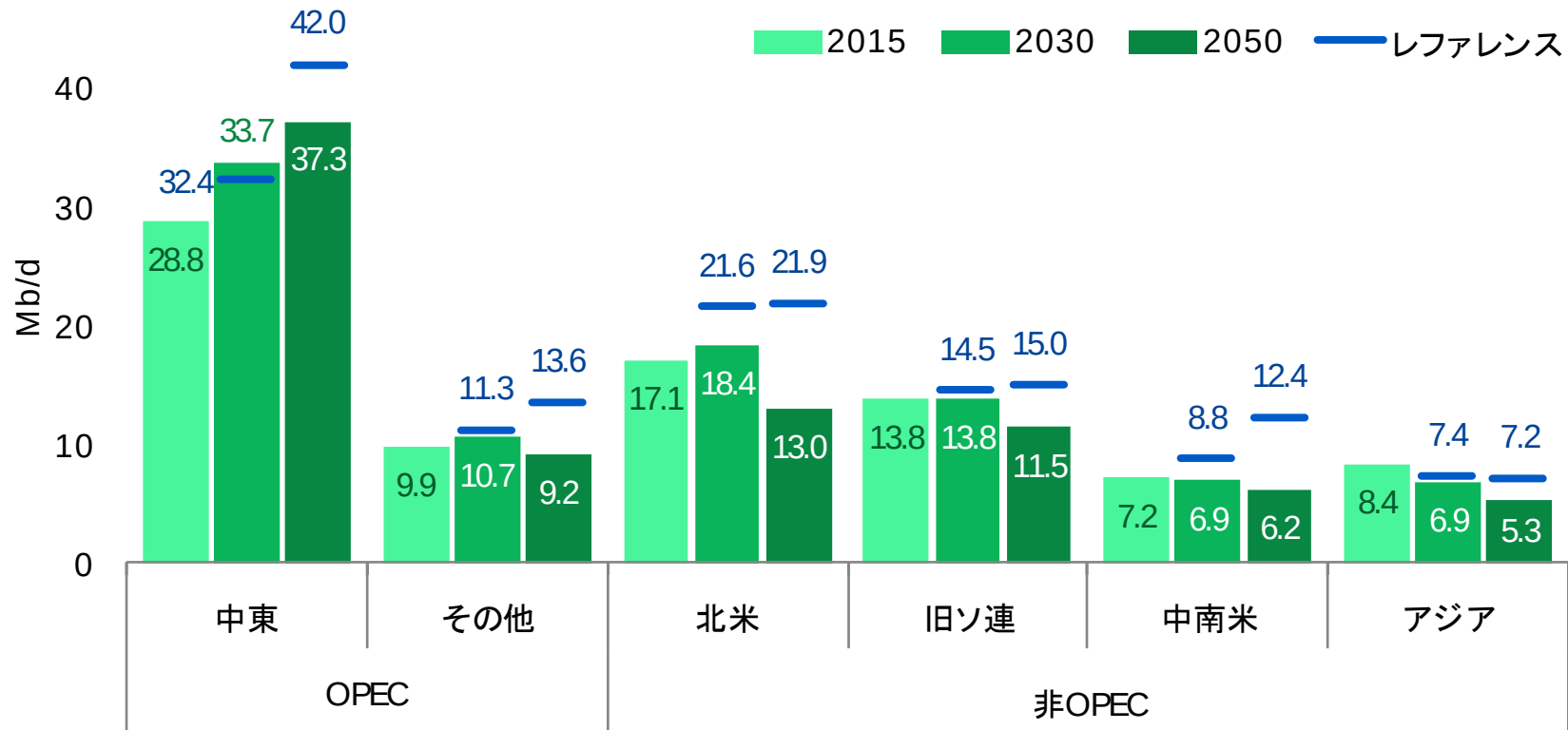
注: 自家消費を除く

石油消費が減退する一方で、ZEVによる電力需要が発電用燃料消費増を喚起。天然ガス、石炭が2030年代末には石油を上回る。以降、天然ガスが最大のエネルギー源となる

石油製品構成比では、ガソリンが2050年に10%まで縮小。軽油は、自動車以外の用途もあるためガソリンほどシェアは小さくはないが、現状より8%ポイント低下

# 原油生産は低コスト地域へのシフトを強める... IEE JAPAN

## ❖ 原油生産[石油需要ピークケース]



需給の緩和圧力と市場の認識変化を背景として、原油価格は下落する—レファレンスシナリオでの2030年\$95/bbl、2050年\$125/bblに対し、2030年\$65/bbl、2050年\$50/bbl (2016年実質価格)

この大幅な価格低下を想定すると、生産コストが低廉な地域の優位性が高まり、2050年の生産が現状を上回るのは中東のみ。対して、北米の生産は、レファレンスシナリオ比4割減の13 Mb/dに

## VI. 大震災以後のエネルギー・環境問題

### ➤ 短期的問題

**電力不足の克服・電気料金の上昇、原発再稼働**

### ➤ 中長期的問題

**エネルギー政策の見直し**

**（新たな「エネルギー基本計画」の策定、第4次、第5次）**

**－ エネルギーのベストミックスを目指して －**

福島原発事故で原子力のあり方や日本のエネルギー政策の抜本的な見直しが迫られた。日本のエネルギー政策の大転換点を迎えたのは間違いない。原子力をやめ新エネルギーを活用すべきとの声が高まっている。夢を語るのは良いが、過大な期待もできない。  
総合的視点、長期的視点、国際的視点等、様々な視点から冷静な議論・検討が必要である

# VI. -1 短期的課題

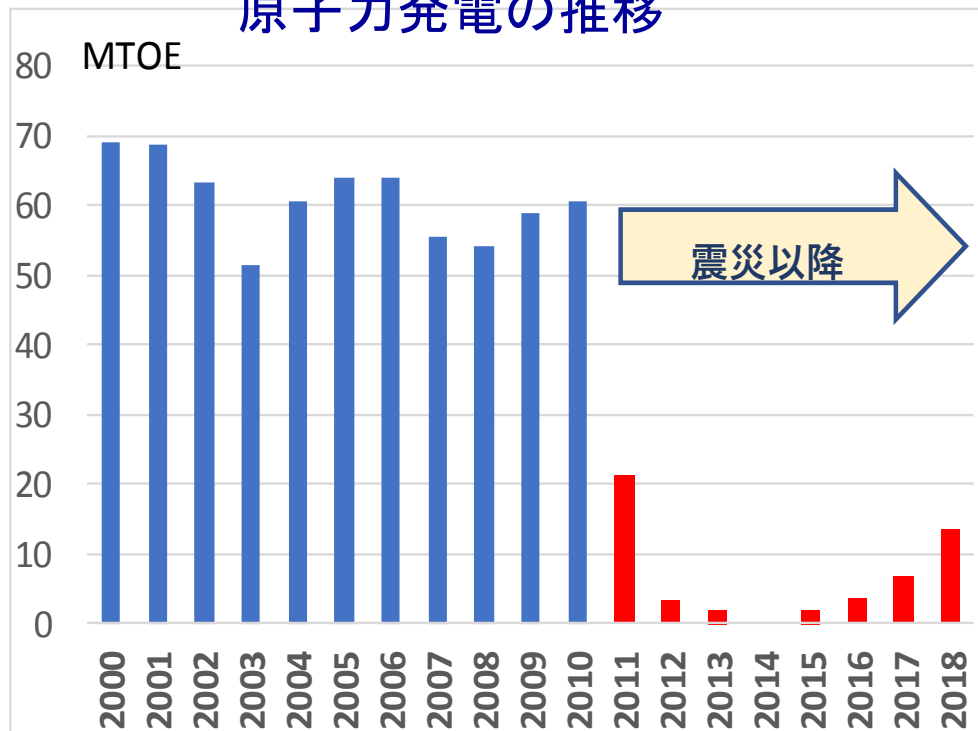
## 短期的課題：電力不足の克服（火力への代替、節電等）

原子力発電所50基→2012年5月には全て停止→大飯2基が再稼働(7月)→定期点検で停止(2013年9月)→**2014年は原発ゼロ**

→**2019年6月 9基稼働中、27基が適合性審査中**

震災前に比べて、家庭用電気料金は2割強、産業用電気料金は4割弱上昇

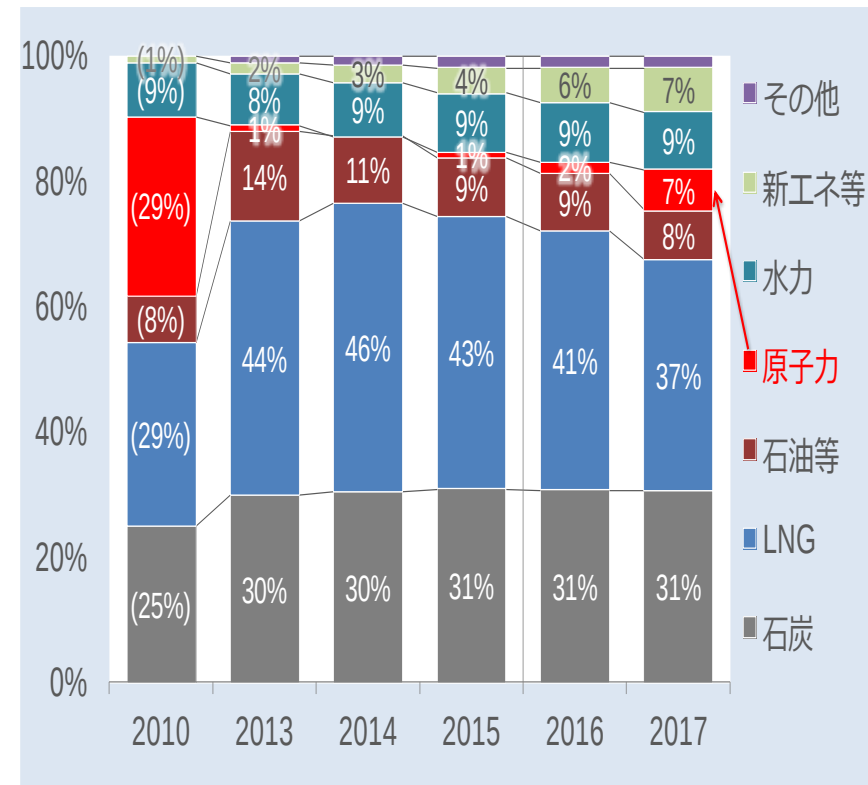
原子力発電の推移



### 【再稼働の条件】

- ①ストレステスト、②国の容認、③地方自治体の容認

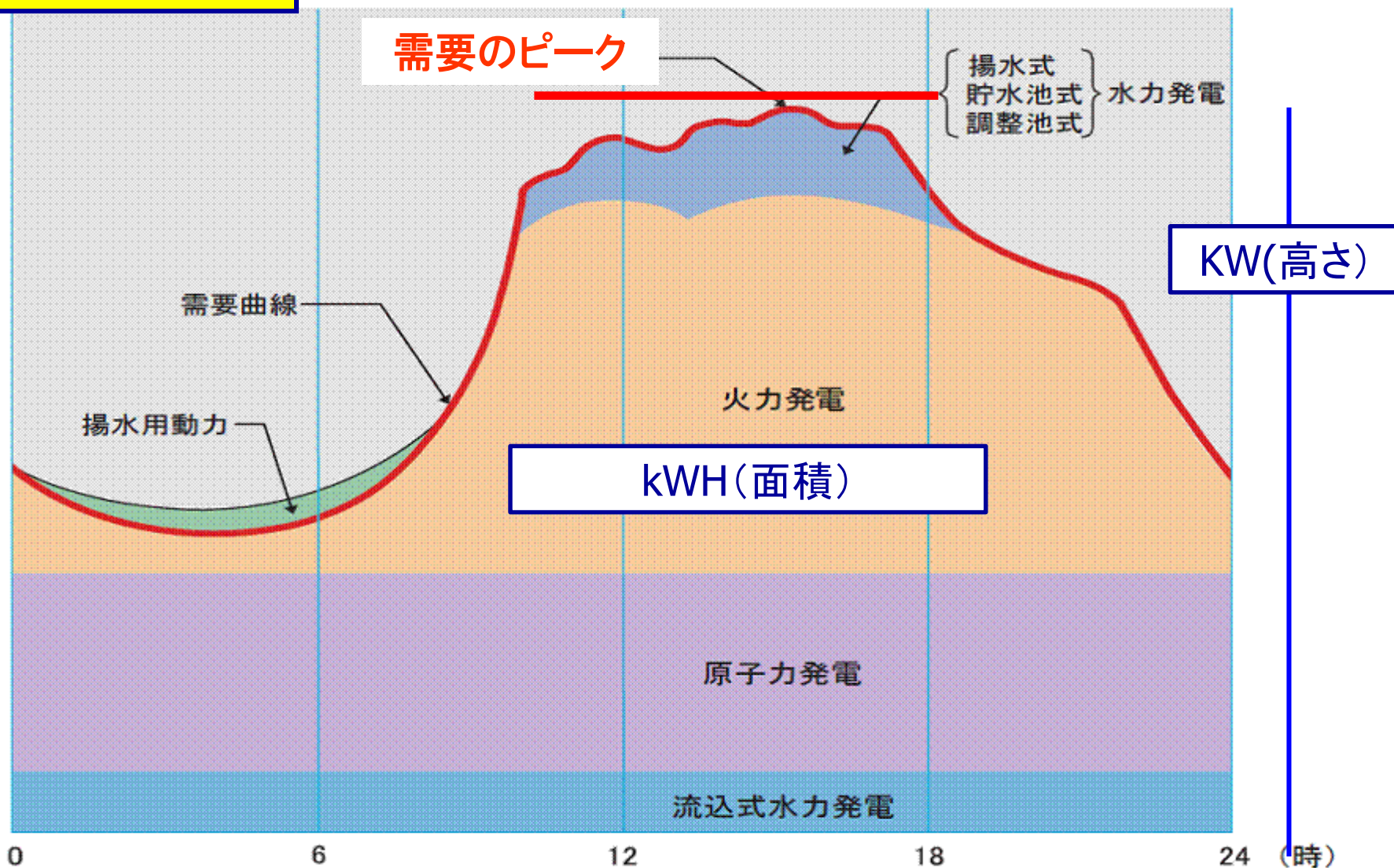
電気事業者の電源構成



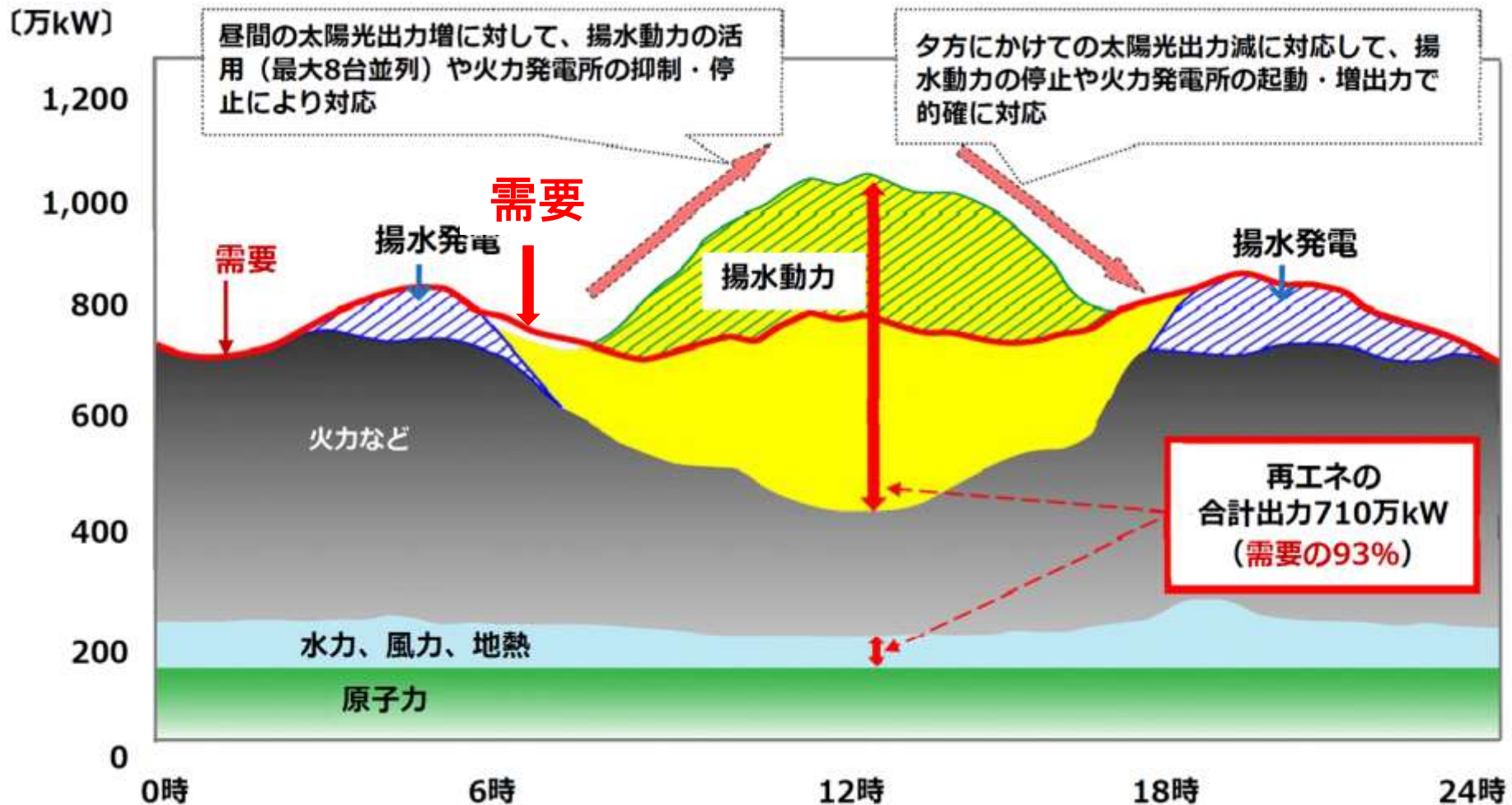
# 最大電力と電力総需要 kW (高さ)とkWh (面積)

## 需要と供給

## 電力負荷曲線(ロードカーブ)のイメージ



# 電力需要と供給バランスの例(2018年5月3日、九州電力)



## 電源構成の考え方

電力需要に対応した電源構成 → 電源ごとの特性を踏まえてバランス  
→ そのためのベストミックス

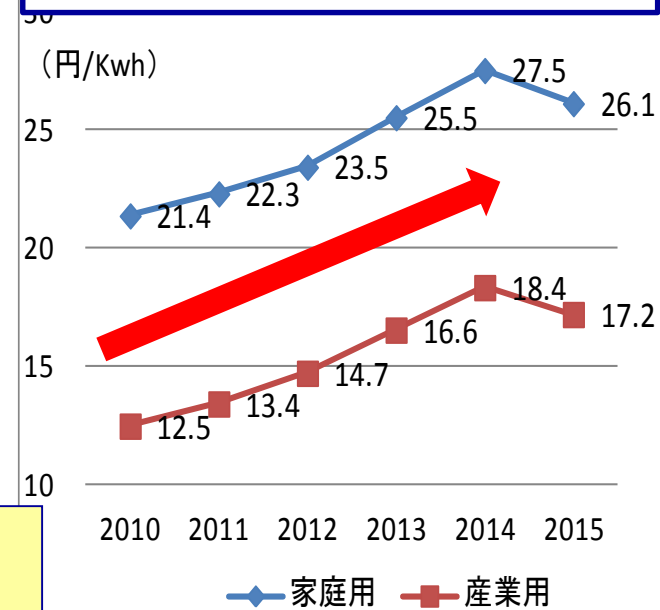
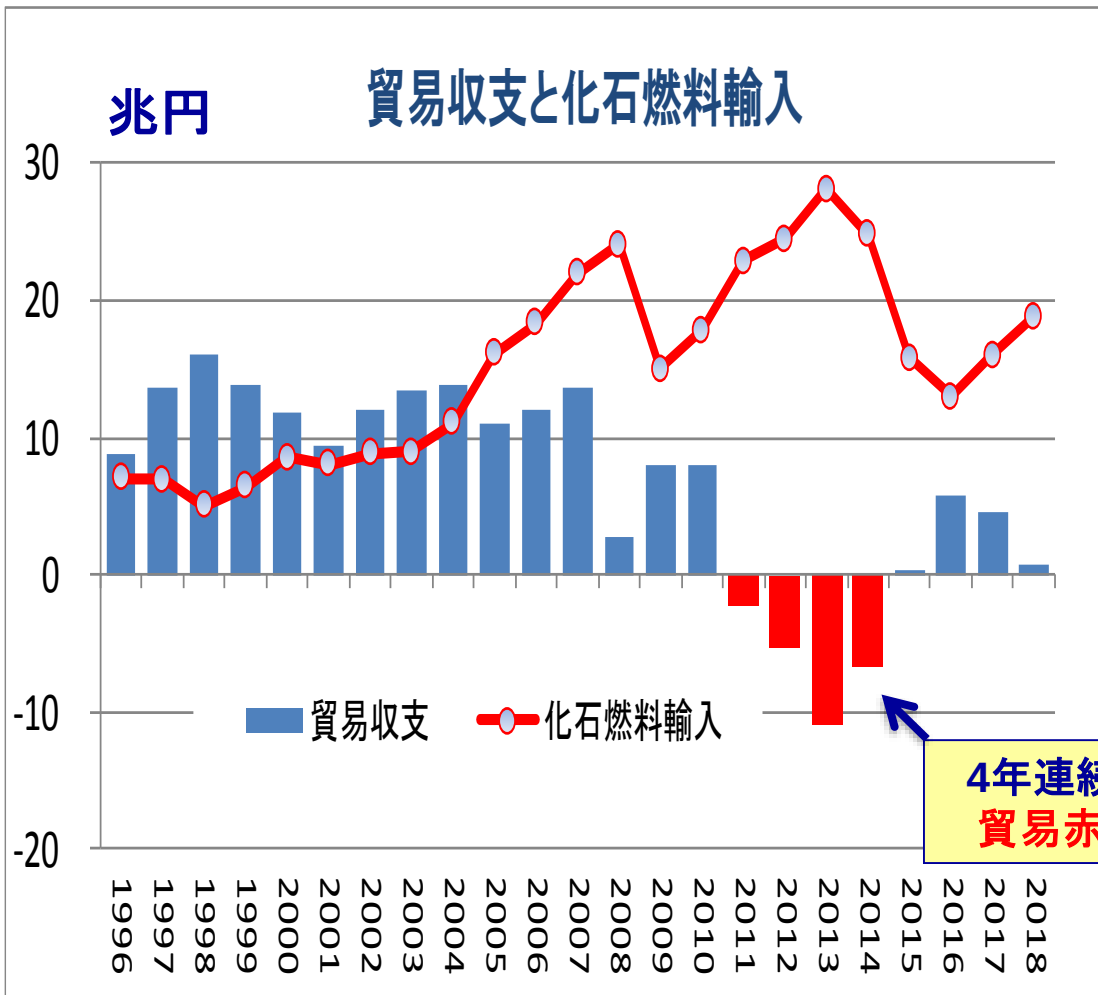


# 化石燃料輸入額の増加 続く経済の負担増

**貿易収支は震災後4年連続の大幅な赤字。日本人が生活水準を下げながら資源国に所得移転しているに等しい。電力会社の経営問題に矮小化して済むものではない**

## 電気料金の推移

震災前に比べて、  
家庭用電気料金は**2割強**、  
産業用電気料金は**4割弱**上昇



FIT賦課金、2012年0.22円  
→2019年2.95円/kWh



## VI. -2

### ◆日本のエネルギー政策のあり方

#### ー エネルギーのベストミックスを目指して ー

3つのE(エネルギー安定供給、環境、経済効率)+S(安全性)

- ・エネルギー政策の見直し
  - ・原子力の信頼性を如何に取り戻すか(不毛な「脱原発vs原発推進」の二項対立)
  - ・安定供給は益々重要な政策課題、さらに温暖化の視点、コストの視点
- 総合的視点が重要

原子力の見直しと再生可能エネルギー導入課題

- ・太陽光、風力、地熱など、新エネルギーはどこまで原子力を代替できるか

新たに「第4次エネルギー基本計画」の策定(2014年4月)

→長期エネルギー需給見通しの作成(2015年7月)

「第5次エネルギー基本計画」の策定(2018年5月)

# (旧) 震災前のエネルギー基本計画（2010年策定）の目標は「エネルギー安全保障」と「地球温暖化」への対応の強化

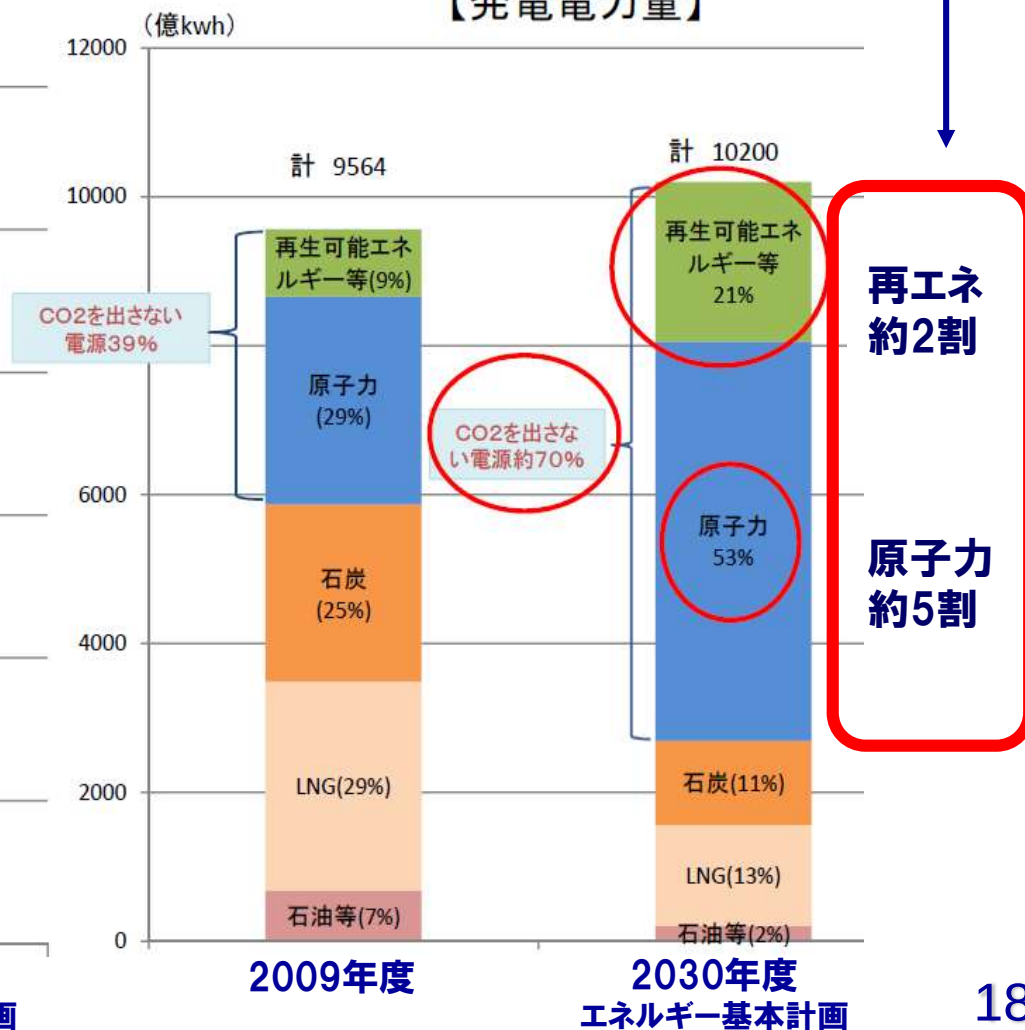
- 自主エネルギー比率を2割→4割に
- CO<sub>2</sub>排出量を1990年比30%削減

- 原子力と再生可能エネルギーを大幅増
- CO<sub>2</sub>排出しないゼロエミッション電源を70%に

【一次エネルギー供給】

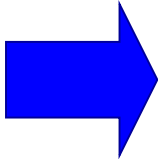


【発電電力量】



# 信頼壊れた原子力の安全性

## 国際世論の変化（震災直後）

|      | 事故前 |      |                                                                                     | 事故後 |      |
|------|-----|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|
|      | 賛成  | 反対   |                                                                                     | 賛成  | 反対   |
| 日本   | 52  | : 28 |  | 39  | : 47 |
| アメリカ | 53  | : 37 |                                                                                     | 47  | : 44 |
| フランス | 66  | : 33 |                                                                                     | 58  | : 41 |
| ドイツ  | 34  | : 64 |                                                                                     | 26  | : 72 |
| ロシア  | 63  | : 32 |                                                                                     | 52  | : 27 |
| 韓国   | 65  | : 10 |                                                                                     | 64  | : 24 |
| 中国   | 83  | : 16 |                                                                                     | 70  | : 30 |

赤字は反対が賛成を上回っている

Galop 調査 (2011年4月)

# 震災後のエネルギー政策見直しのポイント(3E+S)

●エネルギー・ミックスの選択に当たっては、以下のような視点から総合的な検討が必要。

## ①エネルギー安定供給の確保 (Energy Security)

資源小国の日本にとって、「エネルギー安全保障」は日々の生活、経済活動の根幹を支える最重要課題。

## ②環境への適合 (Environment)

地球温暖化対策とエネルギー政策は表裏一体であり、相互に整合的な取り組みが不可欠。加えて地域的な環境問題も深刻化。

## ③経済効率性・マクロ経済インパクト (Economic Efficient)

生活の安定や産業競争力の確保のためには、安定かつ低価格でのエネルギーが必要。原子力は将来においても相対的に低コストである。

## ④安全性 (Safety)

エネルギー供給・利用に際しては、その安全性を十分に考慮することが不可欠。原子力の信頼性をいかにしてとりもどすか。

# 完璧なエネルギー源は存在しない(3E+Sからみて)

## 原子力発電

### メリット

- 発電時に二酸化炭素を排出しない。
- 放射性廃棄物処分費用等を含んでも、他電源に比べて安価。
- 一つの発電所で大量の電力供給が可能、準国産エネルギーとされる。

### デメリット

- 福島第一原子力発電所事故の後、安全性の向上が求められている。
- 高レベル放射性廃棄物の適切な処分が必要。

## 火力発電

### メリット

- ベース電源、ミドル電源、ピーク電源等の用途 に柔軟に対応できる。

### デメリット

- 地政学リスクに脆弱。化石燃料価格の変動に大きく左右される。
- 発電時に多量の二酸化炭素を排出する。

## 再生可能エネルギー

### メリット

- 二酸化炭素を排出しない。純国産資源であり自給率の向上に役立つ

### デメリット

- 火力発電・原子力発電に比べてコストが高い。エネルギー密度が低く、
- 出力変動が大きく、安定的電力を供給のための追加的な対策が必要。

# 第4次エネルギー基本計画（2014年4月）の要旨

政府は、2011年の東日本大震災及び福島原発事故を受け「第4次エネルギー基本計画」を策定し、原発依存度の低減、化石燃料依存度の低減、再生可能エネルギーの拡大を打ち出した。

震災前に描いたエネルギー戦略は白紙から見直す。

- 原発はエネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源である。
- 安全性を確認した（原子力規制委員会が規制基準に適合すると認めた場合）その判断を尊重し原発の再稼働を進める。国も前面に立ち地元の理解と協力を得る。
- 原発依存度は、省エネルギー・再生可能エネルギーの導入などで可能な限り低減させる。安定供給、コスト低減などの観点から、確保していく規模を見極める
- 高レベル放射性廃棄物の最終処分場の立地選定で、国は科学的により適性が高いと考えられる地域を示し、立地への理解を求める
- 再生エネルギーは平成25年から3年程度、導入を最大限加速し、その後も積極的に推進する。
- 電源構成は、原発の再稼働、再生エネルギーの導入、地球温暖化の国際的な議論の状況を見極めて速やかに示す
- 水素社会の実現に向けて取り組みを加速する
- 再生エネルギー・省エネルギー技術、原子力などのインフラの国際展開を推進する

# エネルギー基本計画の改訂（第5次2018年7月）の概要

第4次エネルギー基本計画から4年、2030年長期エネルギー需給見通し(2015年7月)の実現に加えて、新たに2050年を視野にいたエネルギーへの課題を掲げた「第5次エネルギー基本計画」を策定した。

●原子力発電について「重要なベースロード電源」との位置付けを変えず、再エネは新たに「主力電源」を目指すとした。30年時点の電源構成については、原子力発電を20～22%、再エネを22～24%とする現行目標を据え置いた。

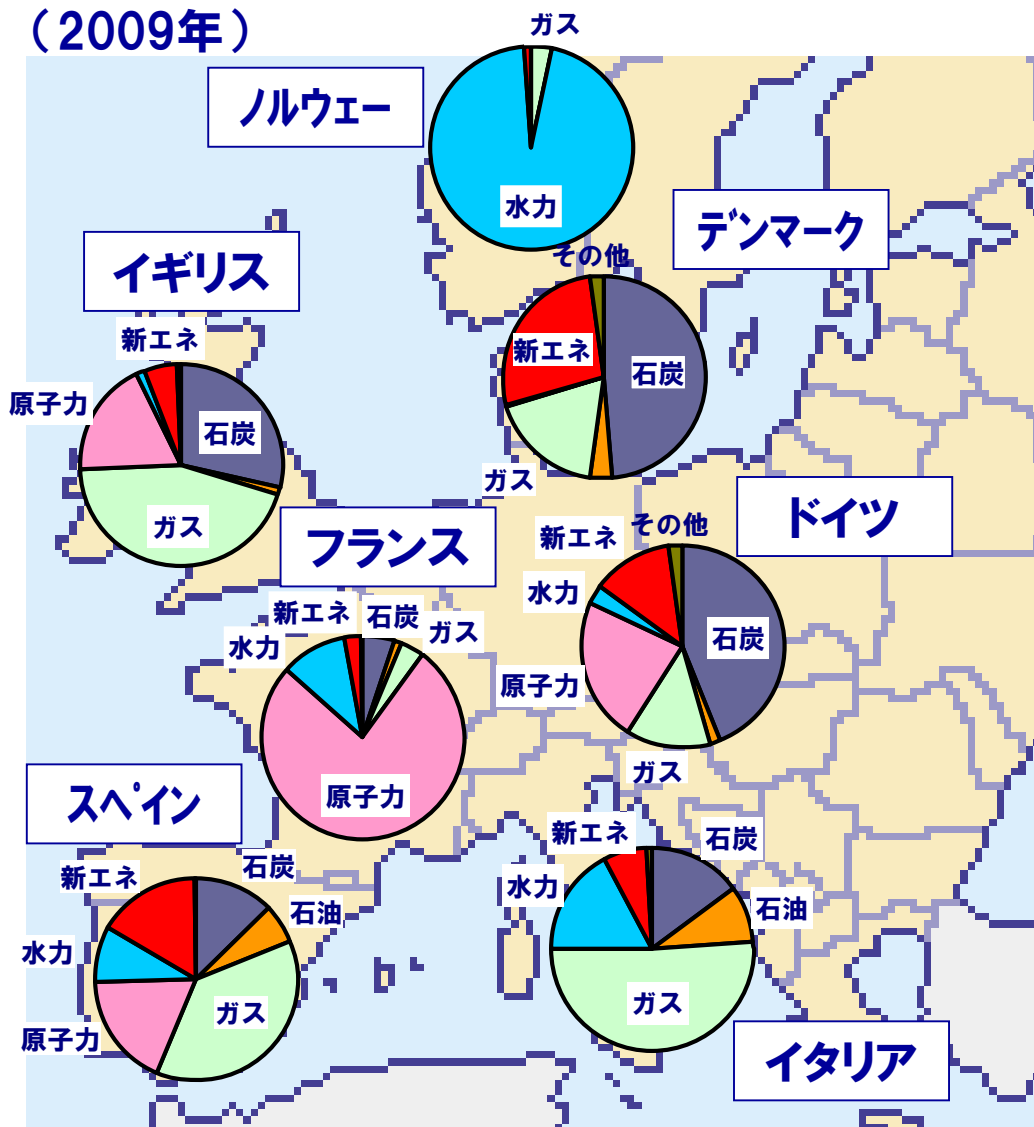
● 2030年目標を「実現重視の直線的取り組みに基づく具体的な「行動目標 (Target)」」、2050年目標を「多様な選択肢による複線シナリオを伴う野心的な「ビジョン (Goal)」とし、両者の性格の違いを明確にしつつシナリオ展開で方向性を提示した

●2050年に向けて、脱炭素を促すエネルギー技術をめぐる国家や企業間の競争が加速し、その技術獲得へ官民協調であたる必要性を指摘した。政策を長期で描くうえでこの認識は重要である。

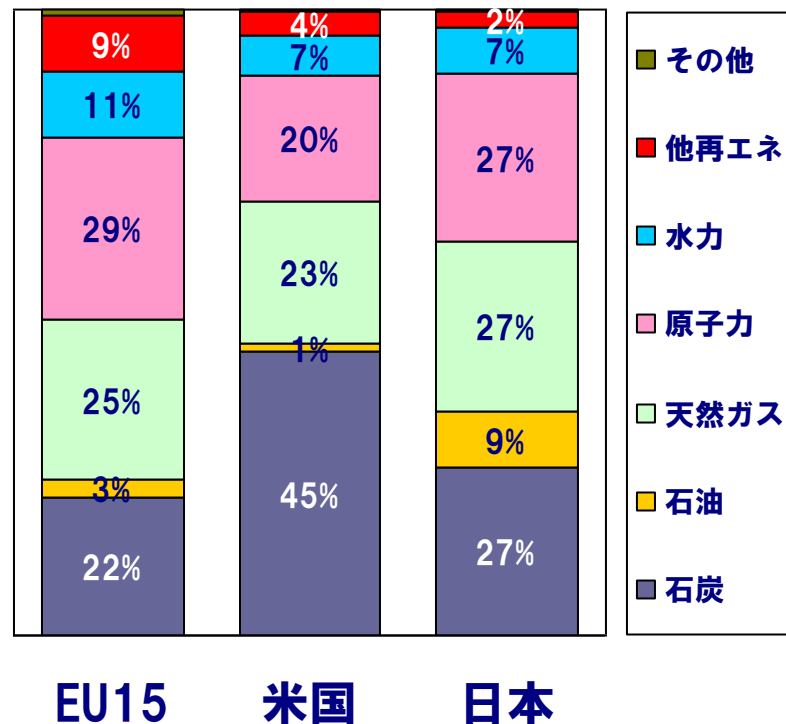


# 日米欧の電源構成 (EUは全体でベストミックスを達成)

(2009年)



➤ 欧州諸国は国によって電源構成が大きく異なるが、**全体で見れば日本と概ね同じ**(国境を越えた電力網により)。

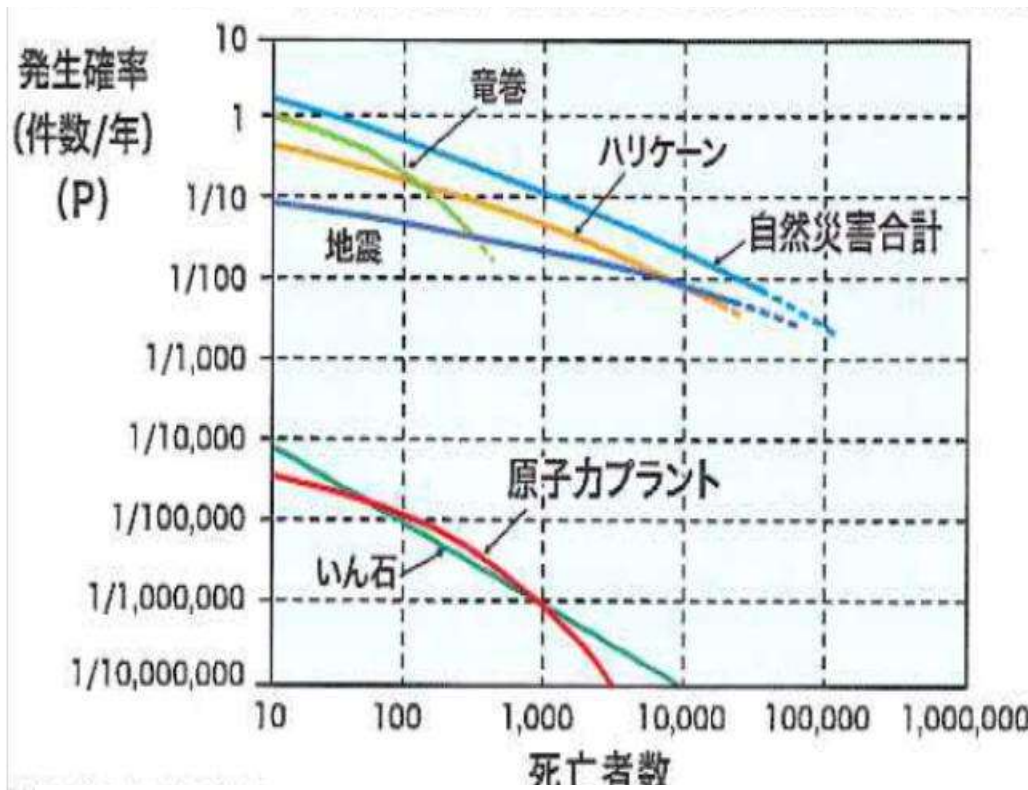


●独には、EUワイドのネットワークからの輸入可能(独の電力消費の10倍相当)

# リスクの許容性について

## ＜参考資料＞リスクの許容性

### WASH-1400\*による原子力発電所100基と 自然災害リスクの比較



#### WASH-1400とは、

米国原子力規制委員会(NRC)により1970年代初頭に実施された、原子力発電所への確率論的リスク評価(PRA)への適用性研究の成果として、1975年に発表された報告書。

これにより、原子力発電所の事故リスクを確率論的に定量評価する手法の枠組みが確立された。

### 2014年6月13日の判決

福井地裁の大飯原発3,4号機  
運転差し止め判決に対する  
原子力学会のコメント

●「ゼロリスクを求める考え方は科学技術に裁判所の判断としては不適切だ」

●「いかなる科学・技術もリスクを充分低減させ、恩恵とのバランスでリスクを受容している」

## VI. -3 政府長期見通し

# 長期エネルギー需給見通し

## 総合エネルギー調査会 長期需給見通し小委員会 2015年7月

- 本需給見通しは「第4次エネルギー基本計画(2014年4月)」に基づき施策された、将来(2030年)のエネルギー需給構造の見通しを示したものである。
- 第5次エネルギー基本計画(2018年7月)においても本見通しを踏襲している

# 3E(+S)についての具体的目標

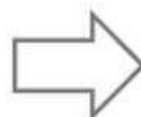
## 3E+Sについての具体的な目標水準

- 今回の見通し策定にあたって、S(安全性)の確保を大前提としつつ、3Eに関する以下の目標を同時達成することを想定。

安全性の確保

### 自給率

現在、わずか6%

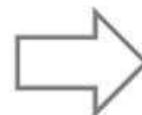


【目標】

震災前(約20%)を更に上回る  
概ね25%程度

### 電力コスト

震災後、電気料金は大幅に上昇  
(産業用=約3割、家庭用=約2割)



【目標】

現状よりも引き下げる

再エネ賦課金は今年度1.3兆円  
(既認定分※全てが運転開始されると2.7兆円)  
※平成26年6月時点の認定量

### 温室効果ガス 排出量

原発停止・火力発電の焚き増しで  
2013年度のCO2排出量※は過去最悪



【目標】

欧米に遜色ない削減目標

※エネルギー起源のみ

大前提

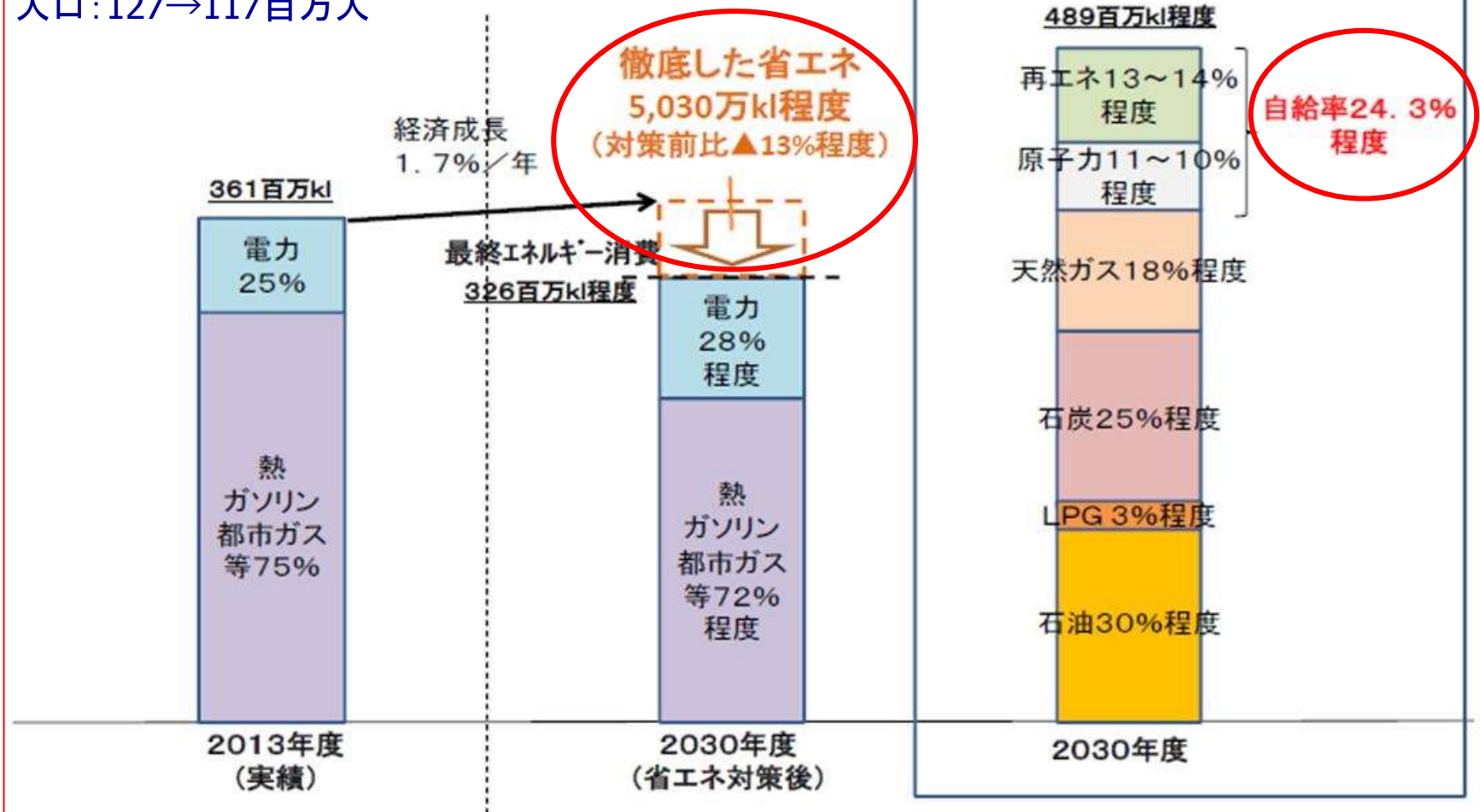
# 2030年のエネルギー需給

## エネルギー需要・一次エネルギー供給

### 前提

経済成長率: 1.7%

人口: 127→117百万人





# 徹底した省エネ (5030万kl)

## 省エネルギー対策

■各部門における省エネルギー対策の積み上げにより、5,030万KL程度の省エネルギーを計上。

### <各部門における主な省エネ対策>

#### 産業部門 <▲1,042万KL程度>

- 主要4業種(鉄鋼、化学、セメント、紙・パルプ)
  - ⇒ 低炭素社会実行計画の推進
- 工場のエネルギーマネジメントの徹底
  - ⇒ 製造ラインの見える化を通じたエネルギー効率の改善
- 革新的技術の開発・導入
  - ⇒ 環境調和型製鉄プロセス(COURSE50)の導入  
(鉄鉱石水素還元、高炉ガスCO<sub>2</sub>分離等により約30%のCO<sub>2</sub>を削減)
  - 二酸化炭素原料化技術の導入 等  
(二酸化炭素と水を原料とし、太陽エネルギーを用いて基幹化学品を製造)
- 業種横断的に高効率設備を導入
  - ⇒ 低炭素工業炉、高性能ボイラ、コージェネレーション等

#### 運輸部門 <▲1,607万KL程度>

- 次世代自動車の普及、燃費改善
  - ⇒ 2台に1台が次世代自動車に
  - ⇒ 燃料電池自動車:年間販売最大10万台以上
- 交通流対策

#### 業務部門 <▲1,226万KL程度>

- 建築物の省エネ化
  - ⇒ 新築建築物に対する省エネ基準適合義務化
- LED照明・有機ELの導入
  - ⇒ LED等高効率照明の普及
- BEMSによる見える化・エネルギーマネジメント
  - ⇒ 約半数の建築物に導入
- 国民運動の推進

#### 家庭部門 <▲1,160万KL程度>

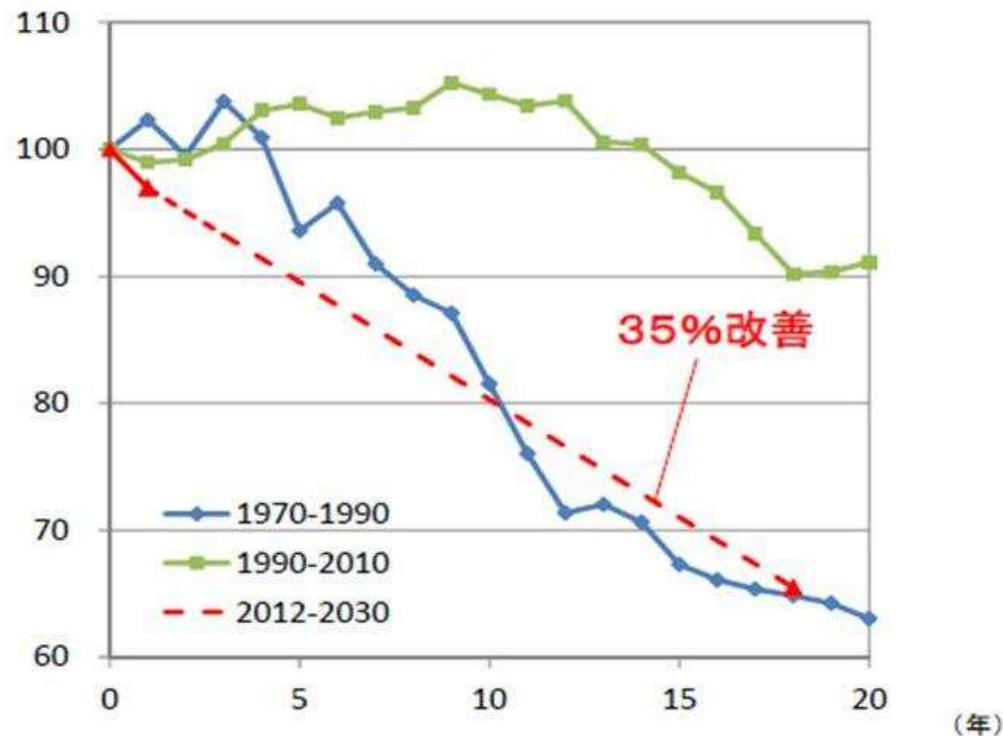
- 住宅の省エネ化
  - ⇒ 新築住宅に対する省エネ基準適合義務化
- LED照明・有機ELの導入
  - ⇒ LED等高効率照明の普及
- HEMSによる見える化・エネルギーマネジメント
  - ⇒ 全世帯に導入
- 国民運動の推進

# GDP原単位は35%改善

## エネルギー消費効率

- 省エネルギー対策を徹底して進めた後のエネルギー需要の見通しは、最終エネルギー消費 326 百万kL程度(対策前比▲13%)。
- これらの対策の積み上げにより、石油危機後並みの大幅なエネルギー効率改善を実現。

### 【エネルギー効率の改善】



エネルギー効率 = 最終エネルギー消費量 / 実質GDP



# 民生・運輸部門での省エネに期待

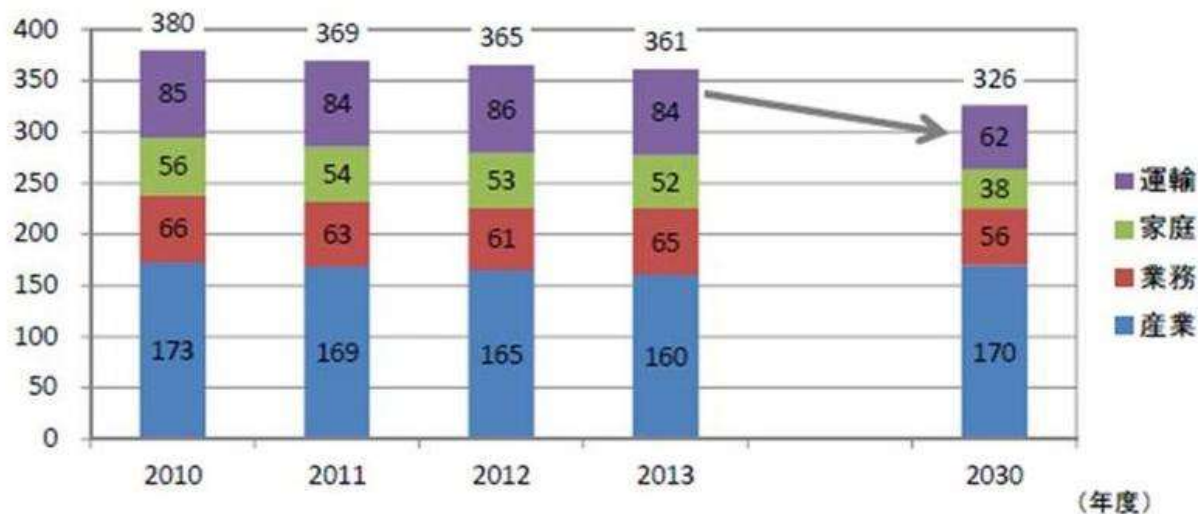
## 最終エネルギー消費

最終エネルギー消費(百万kl)

|    | 2013年度 |      | 2030年度 |      |       |      |
|----|--------|------|--------|------|-------|------|
|    |        |      | レファレンス |      | 省エネ徹底 |      |
| 産業 | 160    | 45%  | 180    | 48%  | 170   | 52%  |
| 業務 | 65     | 18%  | 69     | 18%  | 56    | 17%  |
| 家庭 | 52     | 14%  | 50     | 13%  | 38    | 12%  |
| 運輸 | 84     | 23%  | 78     | 21%  | 62    | 19%  |
| 合計 | 361    | 100% | 377    | 100% | 326   | 100% |

※2030年度の各数値はいずれも概数。

最終エネルギー消費(百万kl)の推移

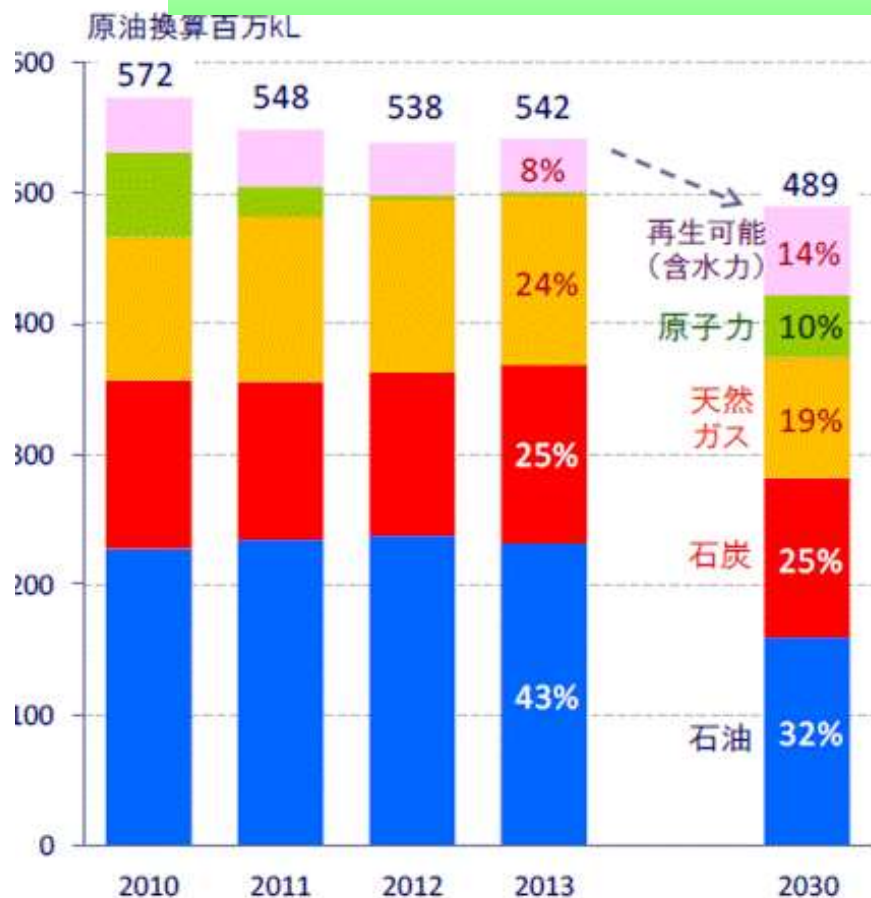


# 2030年のエネルギーミックス

徹底した省エネルギーの促進とともにエネルギー安定供給や「経済効率性、環境への適合性」を図る。自給率は8%→24%へ

2030年 電源目標  
再エネ22~24%  
原子力22~20%

## 一次エネルギー供給構成

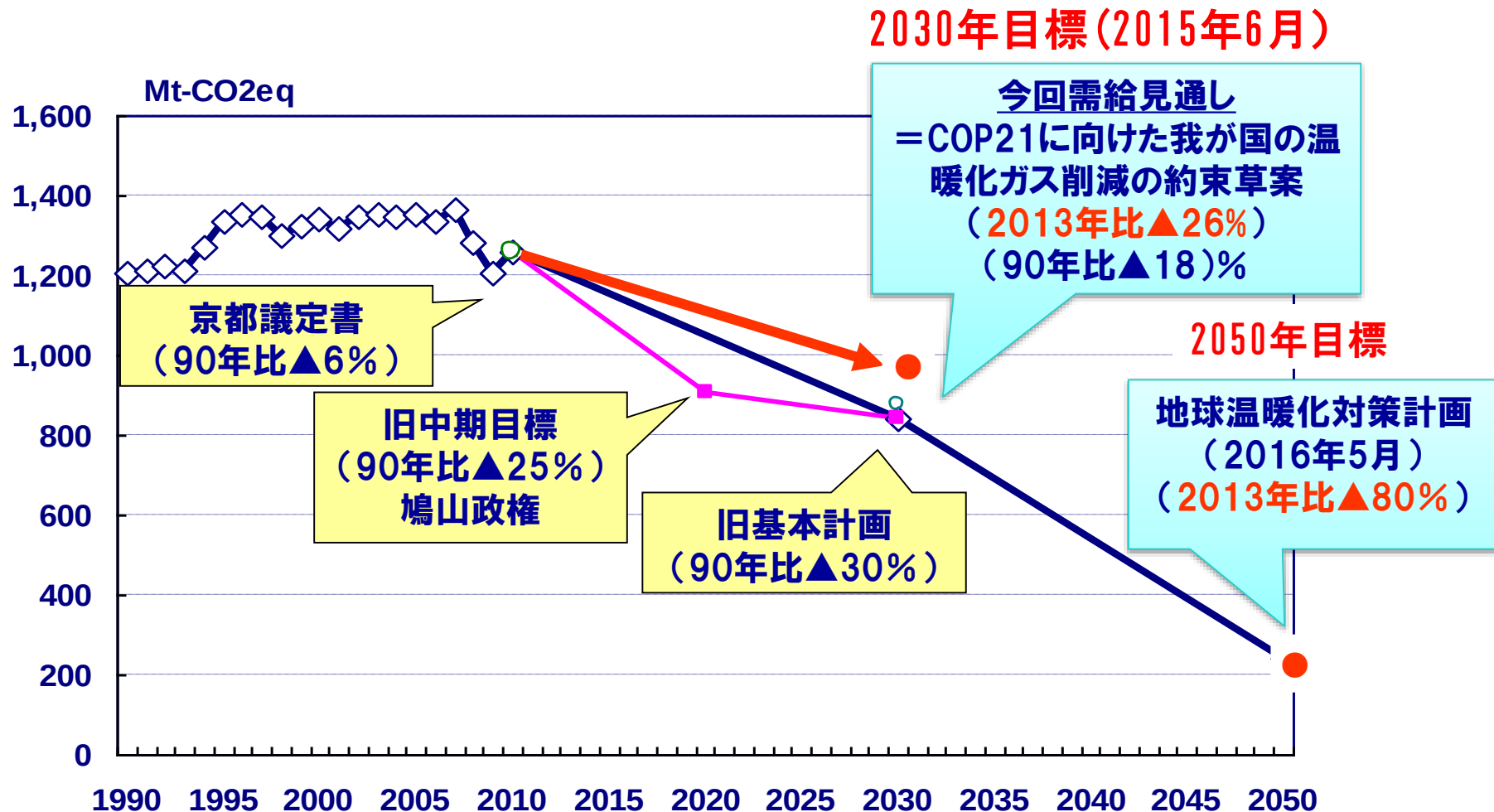


## 電源構成



# 2030年のCO2排出量は2013年度比25%減

GHG長期目標2013年比(2030年▲26%、2050年に比▲80%)の達成は？



# 2050年に向けて:野心的シナリオ(第5次エネルギー基本計画)

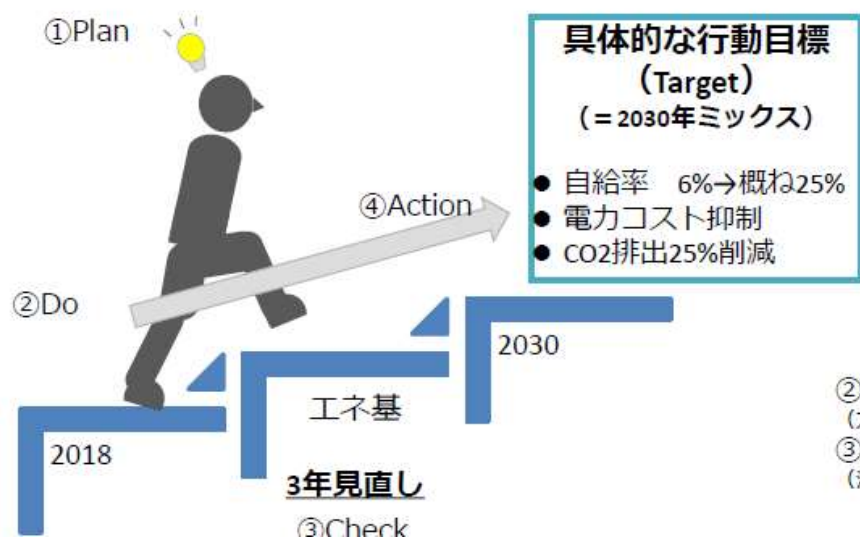
複雑で予測困難な環境下での2050年シナリオ設計に適した複線シナリオ

～「多様性を加味したしなやかなシナリオ」とするため、常に最新の情勢・技術を360度で把握し、行動するプロセスが必要。

- 相応の蓋然性をもって  
予見可能な未来  
(予見性⇔現実的)
- インフラ・システム所与
  - ✓ 既存の人材
  - ✓ 既存の技術
  - ✓ 既存のインフラ

- 不確実であり、それゆえ  
可能性もある未来  
(不確実性⇔野心的)  
(VUCA: Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity)
- インフラ・システム可変
  - ✓ 人材育成
  - ✓ 技術革新
  - ✓ インフラ更新

実現重視の直線的取組 2030年  
(Plan Do Check Action サイクル)



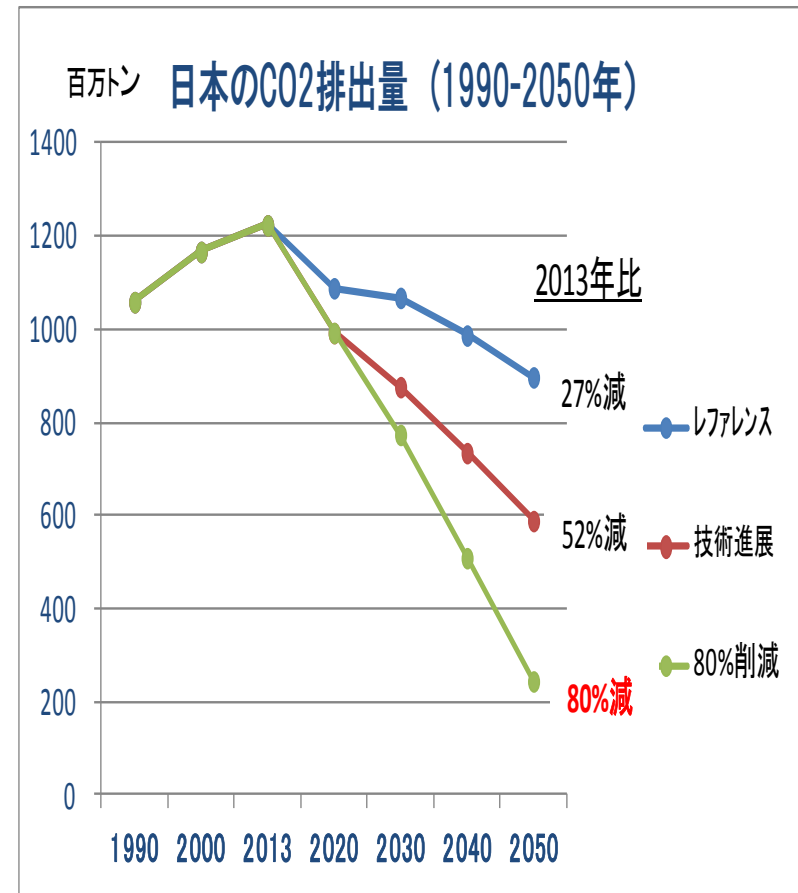
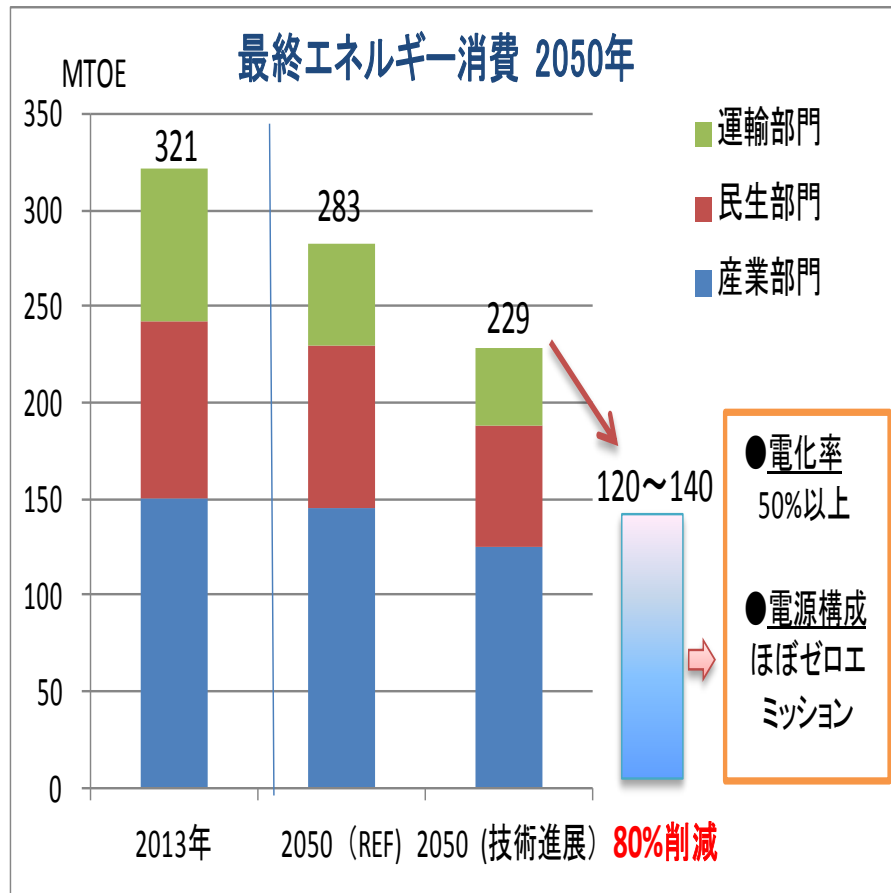
多様な選択肢による複線シナリオ 2050年  
(Observe, Orient, Decide, Act サイクル)





# 「温暖化ガス排出量2050年に80%削減」のイメージ

COP21を踏まえ、我が国の温暖化対策を推進する総合的な計画である「地球温暖化対策計画」(2016年5月)が閣議決定され、長期目標として「2050年までに80%の温室効果ガス排出削減」が明記されたが達成は容易ではない



レファレンスケース、技術進展ケースはIEEJアウトルックより

## 水素エネルギーの利活用

- 水素は電気、熱と並ぶ将来有望な二次エネルギー。他方、経済性やインフラ投資に要する費用の大きさが課題。
- 「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(2014年6月策定)において、今後の産学官の取組について関係者を交えて取りまとめ。フェーズ1～3の3段階に区切って今後の取組を進めていく方針。

現在～

## フェーズ1

## 定置用燃料電池



## 現状

- 2009年に市販開始
- 現在、11万台が普及
- 2016年の市場自立化を目指す

## 課題

- 低コスト化や販売チャネル拡大による対象ユーザーの拡大
- 海外展開の拡大(2014年開始)
- 業務・産業用燃料電池の実用化

## &lt;家庭用燃料電池&gt;

- 2020年頃にユーザーが7、8年で投資回収可能なコスト

## &lt;業務・産業用燃料電池&gt;

- 2017年に市場投入

## 燃料電池自動車



## 現状

- トヨタが2014年12月15日に販売開始
- 4大都市圏を中心に100箇所程度の水素ステーションを先行整備する方針

## 課題

- 車両価格が高い(初期は補助金対応)
- 水素ステーションの整備数の確保(現在45箇所を交付決定済)、都心や高速道路沿いなどの需要地への確保

## &lt;車両価格&gt;

- 2025年頃に同車格のハイブリッド(HV)車同等の価格競争力

## &lt;水素価格&gt;

- 2020年頃にHV車の燃料代と同等以下

2020年代後半～

## フェーズ2

## 水素発電／水素供給チェーン

## 現状

- 副生水素の電熱利用は自家消費向けに一部実施
- 発電事業への活用は検討段階

## 課題

- 水素ガスタービンの技術開発
- 安定・安価かつ大量の水素供給のための技術開発(液化水素、有機ハイドライド等)や体制整備

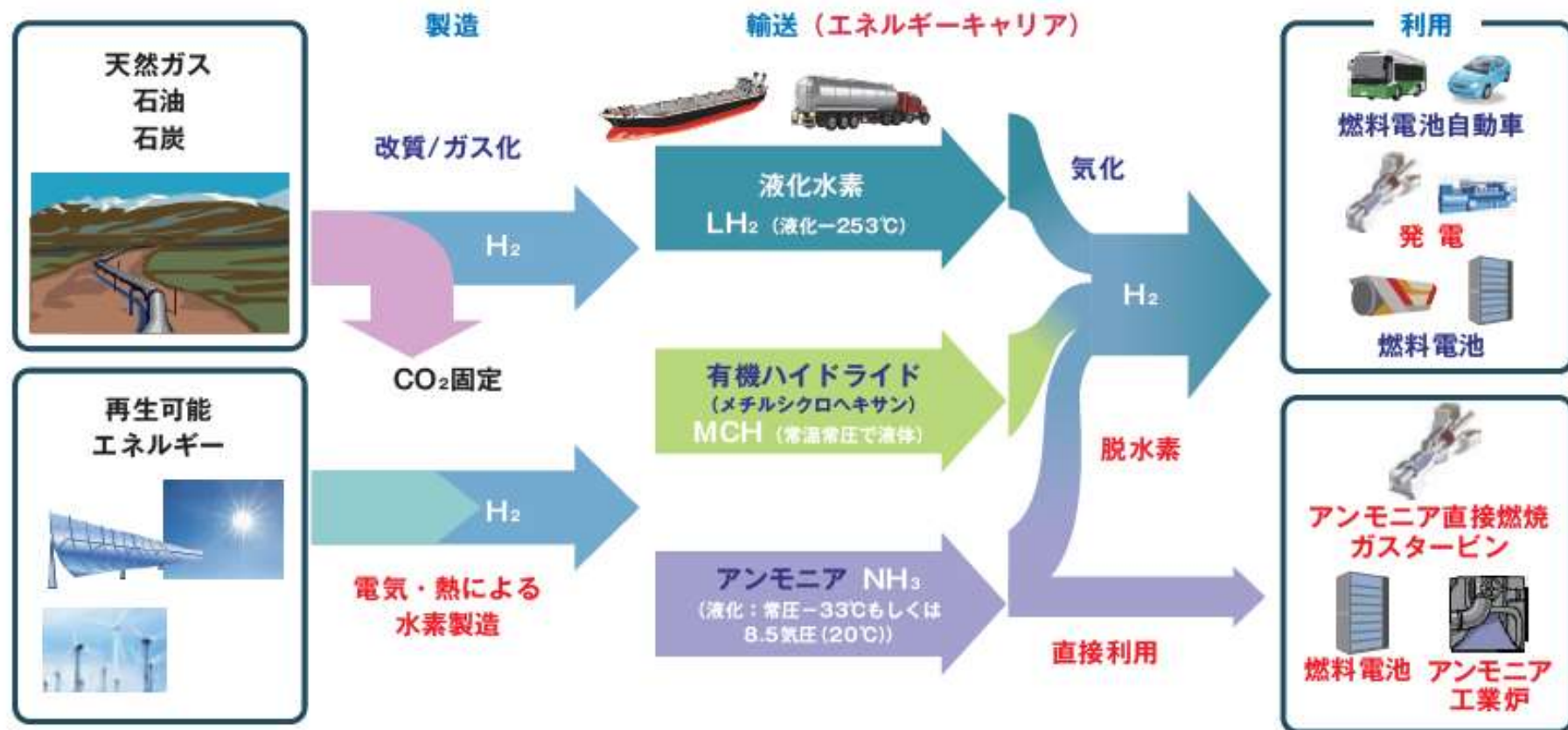
## &lt;水素発電&gt;

- 2030年頃に事業用水素発電本格開始

## &lt;水素供給&gt;

- 2020年代後半に海外からの水素供給チェーン確立(30円/Nm3を目指す)

# エネルギーキャリアの取り組み CO2フリー水素バリューチェーンの構築



- 水素は様々なエネルギー源から製造可能で、燃料にも電気にもなる。(大幅なCO<sub>2</sub>排出削減が可能)
- 水素は低熱量の気体であり、運搬・貯蔵が困難。水素を大量輸送する技術(エネルギーキャリア)や水素をエネルギー源として利用する関連技術の開発が重要。



# エネルギー政策に求められるものとは

## ■ エネルギーミックスのあるべき姿

- ▶ 政府が掲げるエネルギーミックスは、政策措置に裏づけされた目標であることが強く望まれる
- ▶ エネルギー・環境関連技術・設備に特徴的な長いリードタイムとライフタイム、技術革新、導入時における物理的・社会的・政策的などの各種制約をつぶさにふまえた上で、実現可能性が十分にあるものを策定すべき
- ▶ 政策の進捗状況を定期的にレビューし、内外のエネルギー・経済・環境情勢も鑑みつつ、目指すエネルギーミックスの見直しを適宜行うことが不可欠

## ■ エネルギー政策に求められる方向性

- ▶ エネルギー政策の基本的視点である3E+Sは不変の評価軸
- ▶ エネルギー安全保障、気候変動対策は不断の強化が必要で、化石燃料の節減と自主エネルギー比率の引き上げは必須
- ▶ 目標に向けて、適切な政策を、しかるべきタイミングで、かつ社会への負担ができるだけ小さい形で展開する必要がある

# 2050年の低炭素社会実現に向けた課題

- ・ 2030年のエネルギーミックス及びCO2排出削減目標の達成は決して容易ではない。更に、その政策の単純な延長のみでは「2050年80%削減」の目標の達成は困難。
- ・ 2050年80%削減を達成するためには発電部門、民生（家庭・業務）部門、運輸部門におけるエネルギー消費を可能な限りゼロ・エミッションに近づけ、産業部門においても可能な限り省エネルギー・低炭素化を進めることが求められる。
- ・ そのためには二酸化炭素回収・貯留（CCS）や水素の利用、バイオエネルギーの大量導入など現状ではコストが高い、または利用可能性が確実でないエネルギーの利用も含めた対策が必要となる。諸外国と比較して省エネルギーの余地の小さい日本において、その十分な実現が可能であるかは、現状では明確でない。
- ・ 地球環境問題への対処のためには、日本国内のみでなく、世界規模の視点からものを見ることが必要。この視点からは、先進的な低炭素技術を開発し、その普及促進に努めることが最も重要な課題となる。また、適応策や実際の被害の発生も考慮に入れて将来のビジョンを考える必要がある。
- ・ 2050年を超えた将来の低炭素社会実現のためには、現在想定されていない技術の開発・普及が必要。潜在観なく、あらゆる可能性を視野に入れて技術開発を進めることが強く求められる。

# 「3E+S」達成と技術開発

過大な目標設定と政策のあいまいさは市場を混乱させ、効率的目標達成を阻害する。実現可能性のある明確な目標と明確な政策が不可欠である。

## 地球温暖化

解決すべき全人類共通の問題

- 他国の実情を把握した上で、国際的に公平な目標設定が必要
- 日本は、低炭素技術産業の技術移転を通じ、国際貢献すべき。

## 時間軸の効果的活用

短視眼的な対応を少しでも深掘りする)ではなく、2050年、2100年を見据えて、革新的な技術開発の進展による長期的な戦略が重要。

エースはいない！

トレードオフを断つのは技術

安全・安心 S

## 経済

技術開発による持続的な経済成長

- 低炭素技術の推進には、金属、化学等のエネルギー多消費産業の貢献が不可欠。
- 新たな規制措置の採用、増税等の厳しい国民負担は回避すべき。

## エネルギー

日々の生活に直結する重要物資

- 日本のエネルギー自給率(4%)は国際的常識(50%)から見て異常に低い。
- 日本のエネルギー供給の脆弱性をこれ以上高める選択肢は取るべきではない。(新エネの過大な導入、石炭火力の過度の削減は不適切)

2020年

2030年

2040年

2050年

2100年

経済

1. 革新的技術が「花咲く」

エネルギー

2. 化石燃料の価格上昇  
(Easy Oilがピークアウト)

**地球温暖化対策の  
加速的進展**

両者が相まって、2030年以降  
加速度的にCO2削減が進む

核融合  
宇宙太陽光  
水素社会...

日本のエネルギー・環境問題について、国民一人ひとりが考えていく時代に