

2017年5月15日

---

# 経済とCO<sub>2</sub>排出のデカップリングに 関する分析・評価

---

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)  
問い合わせ先：システム研究グループ  
E-mail: [sysinfo@rite.or.jp](mailto:sysinfo@rite.or.jp)



## 【背景】

- ◆ GDPとCO<sub>2</sub>排出は強い正の相関が見られるとされてきたが、近年になって、その正の相関が見られなくなり、GDPとCO<sub>2</sub>排出の「デカップリング」が起こってきているのではないかとの指摘が散見されてきている。

## 【目的】

- ◆ 本研究では、GDPとCO<sub>2</sub>排出の「デカップリング」に関連した各種データを示すとともに、その要因を分析、評価を行ってより良く理解し、今後の見通し、対応のあり方への示唆とするものである。

## 【分析結果の概要】

- ◆ 世界全体では、CO<sub>2</sub>排出は2013年以降横ばい傾向があるが、その主要な要因は中国を中心とした鉄鋼、セメント生産の調整によるものである。もう一つの主要な要因は、米国のシェールガス拡大によるものである。
- ◆ 国別に見ると、欧米等でデカップリング傾向が見られる国もあるが、産業構造の変化要因が大きく、消費構造は大きくは変化しておらず、実際にはCO<sub>2</sub>排出削減にはあまり寄与できていない。世界全体での動向を把握し理解することが必須。
- ◆ 一部、照明、冷蔵庫のエネルギー効率向上による効果は比較的大きく見られるが、それが継続的なデカップリングを引き起こすかは楽観視できない。
- ◆ 全体として見て、現状では、温暖化政策・対策が成功してきていると楽観視できるような状況にはない。

1. デカップリングの指摘例
2. デカップリングの定義
3. デカップリングの定性的理解
4. 世界におけるデカップリング状況の定量的分析
5. 主要国におけるデカップリング状況の定量的評価
6. 部門別のエネルギー生産性の国際比較（日米比較）  
から見たグリーン成長の限界と機会の分析
7. まとめ

# 1. デカップリングの指摘例

Wed Jun 8, 2016 10:10am EDT

Related: ENVIRONMENT, GLOBAL ENERGY NEWS

## Rise in global CO2 emissions from energy use slowed in 2015 -BP

LONDON | BY NINA CHESTNEY



Smoke billows from the chimneys of Belchatow Power Station, Europe's biggest coal-fired power plant, in this May 7, 2009 file photo.  
REUTERS/PETER ANDREWS/FILES

Carbon dioxide emissions from energy consumption grew by 0.1 percent last year in their smallest advance since 2009 due to lower coal use and sluggish growth, BP said on Wednesday in its annual energy review.

Last year's rise, which slowed from 0.5 percent in 2014, took global CO2 emissions from energy use to around 33.508 billion tonnes, BP said in its annual Statistical Review of World Energy.

"Last year saw a flattening of carbon emissions from energy consumption. That's come about from slowing demand growth and a shift away from coal to natural gas and renewables in the energy mix," Chief Executive Bob Dudley said on a webcast.

"But it is only a very small step in the right direction given the scale of the challenge (to reduce emissions)," he said.

## OECD energy production hits record high, but consumption and CO2 emissions fall

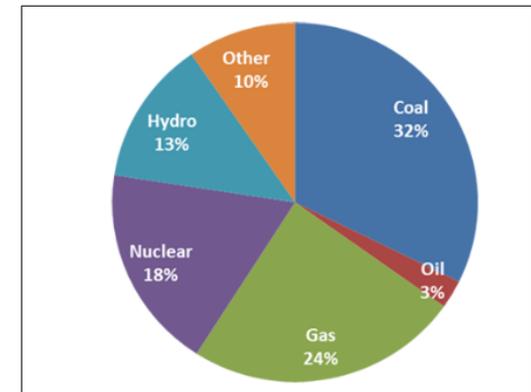
Newest IEA statistics detail decoupling of member countries' economic growth from carbon pollution

6 May 2016

Even as total OECD energy production rose 4% in 2014 to a record high, energy consumption among the member countries fell, as did CO2 emissions from fuel combustion, new IEA data reveal.

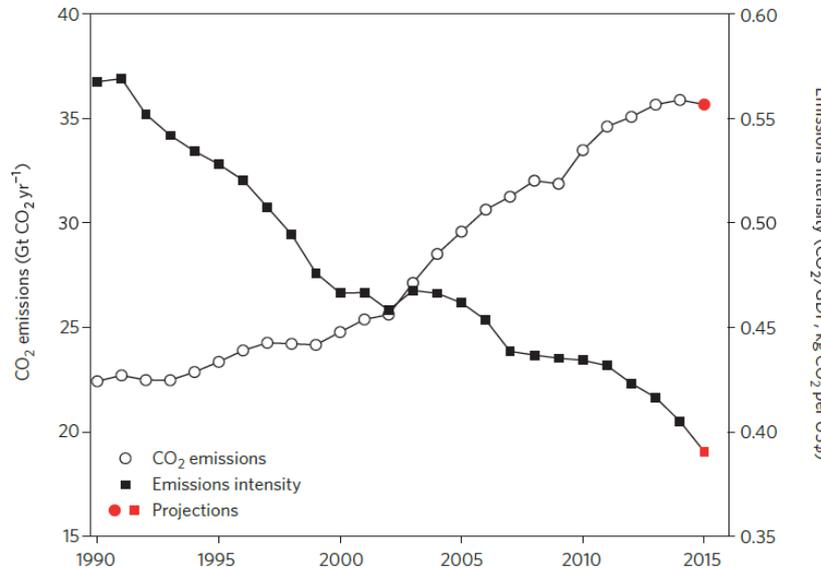
The latest detailed official statistics for the 34 countries in the Organisation of Economic Co-operation and Development add to the IEA [finding](#) that world energy-related CO2 emissions held steady in 2014 despite economic growth, the first such decoupling on a worldwide basis in the 40 years the Agency has provided information on emissions. The IEA issued a [preliminary assessment](#) earlier this year that the historic shift continued at a global level through 2015.

The decoupling is particularly acute among OECD countries, where emissions fell 1.4% in 2014, to 11.9 gigatonnes. That is only slightly more than OECD emissions in 2009 despite the countries' 10% economic growth over the period. The leading factor in the recent decoupling is a decline in the energy intensity of OECD countries' economies, which is the result of greater energy efficiency and warmer seasons among other factors. Another contributor is reduced emissions per kilowatt-hour in electricity generation, the sector responsible for two-fifths of energy-related CO2 in OECD.



# Nature Climate Change (Commentary): “Reaching peak emissions”

R.B. Jackson (Stanford Univ.) et al., Reaching peak emissions, Nature Climate Change 6, 7–10 (2016)

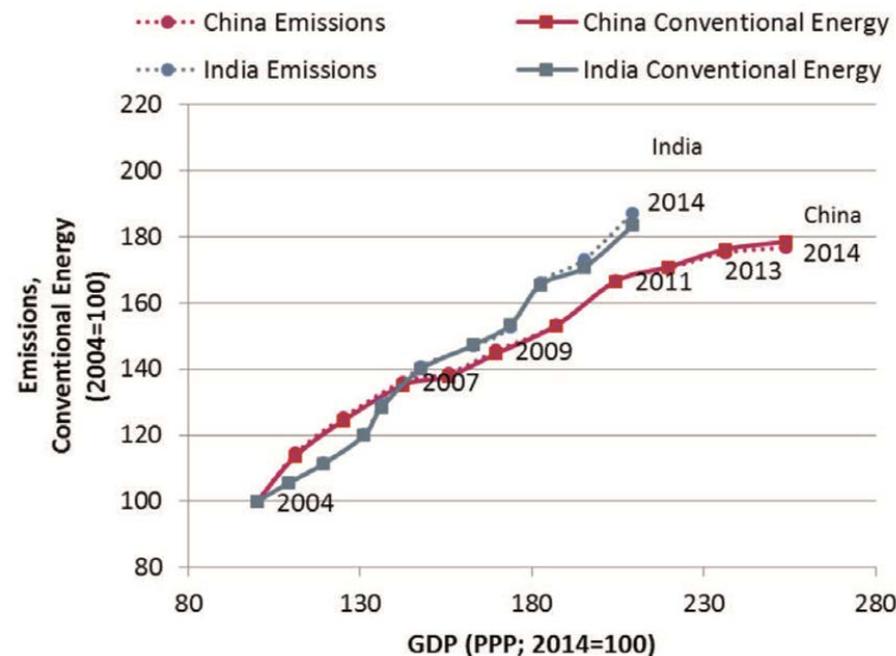
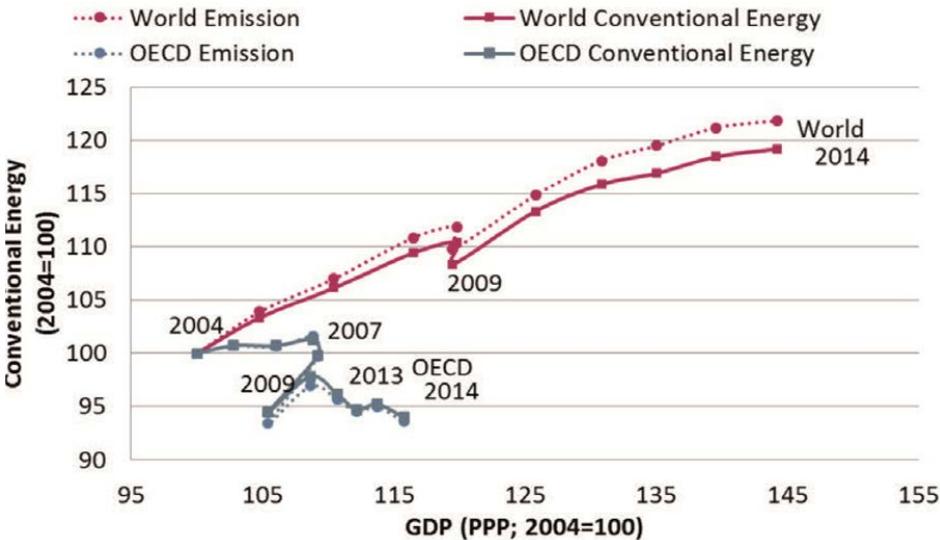


◆ 2014年の化石燃料消費及びセメント生産CO<sub>2</sub>排出量の伸びは+0.6%。10年前の+2.4%/年と比較しても大きく改善。これは中国の石炭利用低下が主な要因だが、再生可能エネルギーの急激な伸びと石油消費の伸びが緩やかになっていることも影響。最新の統計によると2014年のCO<sub>2</sub>排出は35.9GtCO<sub>2</sub>、2015年は35.7Gt。率にして-0.6% (-1.6~+0.5%のレンジ)

◆ 風力と太陽光は順調に拡大。中国では昨年だけで23GWの風力、40GWの太陽光が導入。再エネ導入に対するインセンティブや、化石燃料と再生可能エネルギーの価格差が解消していることで、継続的な成長が見込まれている。森林伐採の防止など土地起源の排出削減努力は部分的に成功し、1990年代には5.5±2.9GtCO<sub>2</sub>/年だったが、ここ10年は2.9Gt/年に。

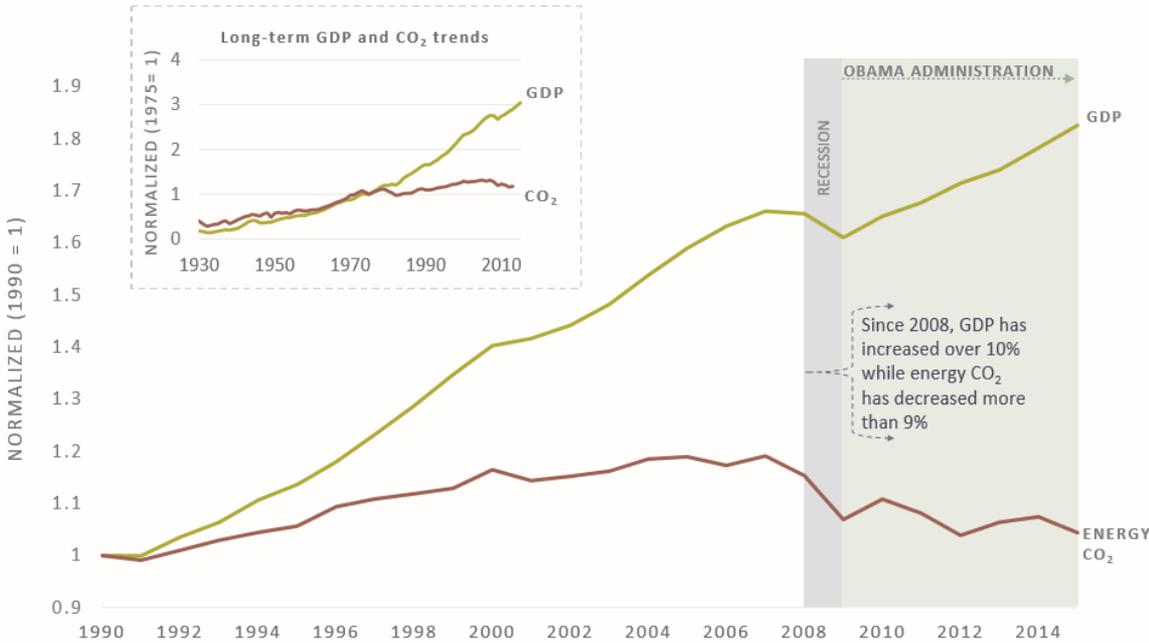
- ◆ これまでソビエト連邦の崩壊やアジア通貨危機、リーマン・ショックなど経済の後退にともなうCO<sub>2</sub>排出の減少は経験してきたが、過去2年は経済が順調に拡大する中でCO<sub>2</sub>排出は停滞、減少し、CO<sub>2</sub>排出と経済成長がデカップリングする傾向を見せている。
- ◆ 世界的に経済やエネルギーシステムの構造転換により排出が減っていく傾向が出てきている。2014~2015年にかけてCO<sub>2</sub>排出が停滞したことが排出のピークアウトの兆候かどうかは不明であるが、気候安定化のためにエネルギー利用の転換を加速していくことが必要。

# DIW Econ (独)による報告書“Turning point: Decoupling Greenhouse Gas Emissions from Economic Growth”



- ◆ 世界：弱いデカップリングが見られるが、経済と在来型エネルギー消費量の関係に大きな変化が見られるわけではない。
- ◆ 中国、インド、OECD加盟国：弱いデカップリングが見られる。
- ◆ OECD諸国：過去10年で、在来型エネルギーの強いデカップリングと、排出量に対しての強いデカップリングを示した。
- ◆ ドイツ：原子力エネルギーの段階的廃止を行いながらも、相当量のエネルギー節約を伴う再エネ戦略に成功したことは、相当量の排出削減をもたらすであろう。
- ◆ 中国：在来型エネルギー需要と排出から弱いデカップリングに成功した。近い将来には強いデカップリングが可能と推測
- ◆ インド：再エネ拡大は排出強度の高い（石炭火力発電など）電力源への投資により排出源効果が相殺された。
- ◆ 米国：展望は不透明。強いデカップリングは2012年以降継続していない。

- ◆ 米国は2008年以降、経済成長とGHG排出削減を実現。経済は10%成長したが、エネルギー起源CO2排出は9.5%減少
- ◆ すなわち、経済成長とCO2排出のデカップリングを達成。気候変動に立ち向かうためには、低成長・生活水準の低下を余儀なくされるとの論争に終止符を打つもの
- ◆ GHGを最も多く排出する発電分野では、2008年には天然ガス発電のシェアは21%だったが、現在では石炭からガスへのシフトによって33%にまで上昇。
- ◆ 再生可能エネルギーのコストは、2008年から2015年の間に、風力は41%、屋根付き太陽光は54%、大規模太陽光は64%もコストが低下した。
- ◆ クリーンエネルギーへの税額控除といった政策も大きな役割を担ってきたが、技術進歩や市場原理は今後も再エネを増大させ続けるとみられる。
- ◆ 短期政策から距離を置き、気候変動に立ち向かい、クリーンエネルギーへの移行政策を立案するにあたって、最新の科学や経済学が有益なガイダンスを与えるだろう。



## 2. デカップリングの定義

# 「デカップリング」の定義

	<p>GDPは上昇するが、一次エネルギー消費量もしくはCO<sub>2</sub>排出量の原単位(GDPで除したもの)は低下</p> <p>(GDP弾性:0より大きく1.0未満)</p>	<p>GDPは上昇するが、一次エネルギー消費量もしくはCO<sub>2</sub>排出量は低下</p> <p>(GDP弾性:0以下)</p>
Handrichらによる定義	weak decoupling	strong decoupling
PwCによる定義	relative decoupling	absolute decoupling



本報告では特に断りがない場合、これを「デカップリング」と呼ぶ

### **3. デカップリングの定性的理解**

# 経済とCO<sub>2</sub>排出のデカップリングの条件 に関する定性的な理解 (1/2)

## 【デカップリング実現の条件】

1) 従来の化石エネルギーよりも、低炭素なエネルギーが安価に供給できること（例：石炭⇒シェールガス（ただしシェールガスの場合はより大きな排出削減に対してロックインの可能性も））。

## 2) 無理のない合理的な省エネ

- （隠れた費用を含めての）合理的な省エネルギーの実現により、エネルギーコストの低減につながり、経済成長との両立の可能性がある。（例：白熱灯⇒蛍光灯⇒LED）

- 社会の効用を大きくするような技術が大きく普及し、それが結果として省エネルギー等となる場合（例：ブラウン管テレビ⇒液晶テレビ、有機ELテレビ（薄型に、また、高画質に）。ただしリバウンド効果に留意が必要な場合もある。）。

3) 環境意識の高まりにより消費者効用が環境配慮型に変化し、行動変容につながる場合（例：東日本震災後の省電力意識の高まり。ただし無理な省エネになり労働生産性低下などにつながらないか留意が必要）

4) CO<sub>2</sub>以外のコベネフィット（PM2.5による健康影響被害の低減等）により、健康影響被害を減らす効果で、持続的な経済成長と両立できる可能性（ただし、影響被害の顕在化に若干の時間遅れがあるとすれば、現状でのデカップリングの説明にまでは使えない可能性あり）

# 経済とCO<sub>2</sub>排出のデカップリングの条件 に関する定性的な理解 (2/2)

## 【デカップリング実現の条件 (続き)】

5) 超長期的には、温暖化影響被害を低減することで、持続的な経済成長と両立できる可能性あり。ただし、温暖化影響被害に見合った費用の対策に限る。(ただし、影響被害の顕在化が大きな時間遅れがあるとするれば、現状でのデカップリングの説明にはならない)

## 【留意点】

- ◆ 再生可能エネルギーは、高い設備費の投資になるため、投資段階でGDPを押し上げ得る。しかし、それを複数年にわたって電力料金で回収する仕組みでは、後の時点になって(10~20年にわたっての)電気料金上昇により、他の投資や消費を押し下げる可能性が高く、現時点のみで判断することは不適當である。(電気という同じ商品が高い費用で作るため資本生産性の低下となる。ただし、CO<sub>2</sub>排出削減により、上記5)の条件に合致する範囲ではデカップリングにつながり得る)
- ◆ 低エネルギー・低炭素な産業への産業構造変化によるデカップリングは可能(例えば、鉄鋼業から金融サービス業への移行)。ただし、各国レベルでの産業変化は、炭素リーケージの可能性大で、グローバルなレベルではデカップリングとならない可能性あり。消費構造の変化を伴う必要あり。

# 各生産要素と全要素生産性向上

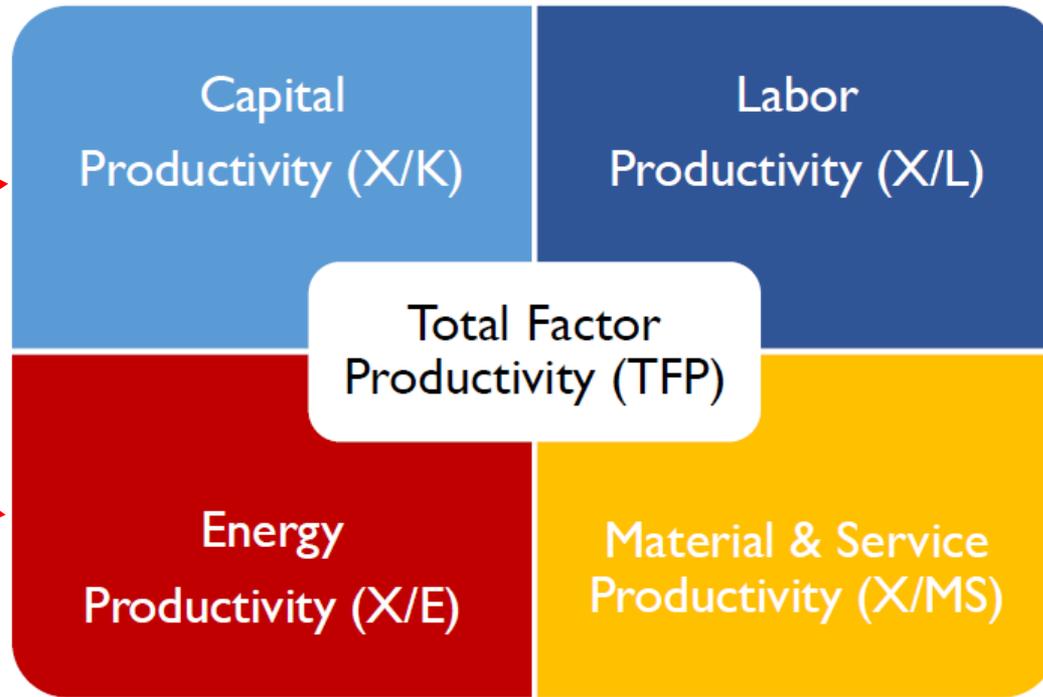
デカップリングは、TFP向上（GDP成長）とエネルギー生産性（X/E）向上（省エネ進展）（とそれに付随するCO2排出）の両立に相当

エネルギー生産性を高めると、TFP向上に貢献するが、一方で他の生産性とのトレードオフが生じ、それを上回るエネルギー生産性向上がなければ両立とはならない。

過剰な省エネ投資（X/Eの改善）は資本の生産性（X/K）を低下させ、結果、全体としてのTFPを低下させる場合もある。TFPを向上できるような技術進展（資本コストの低減）が重要

エネルギー価格に対する資本の価格が相対的に安価な場合には代替が起こる（ハイブリッド車、LEDの普及など）。

出典) 慶応大野村浩二氏資料を基に改変し作成



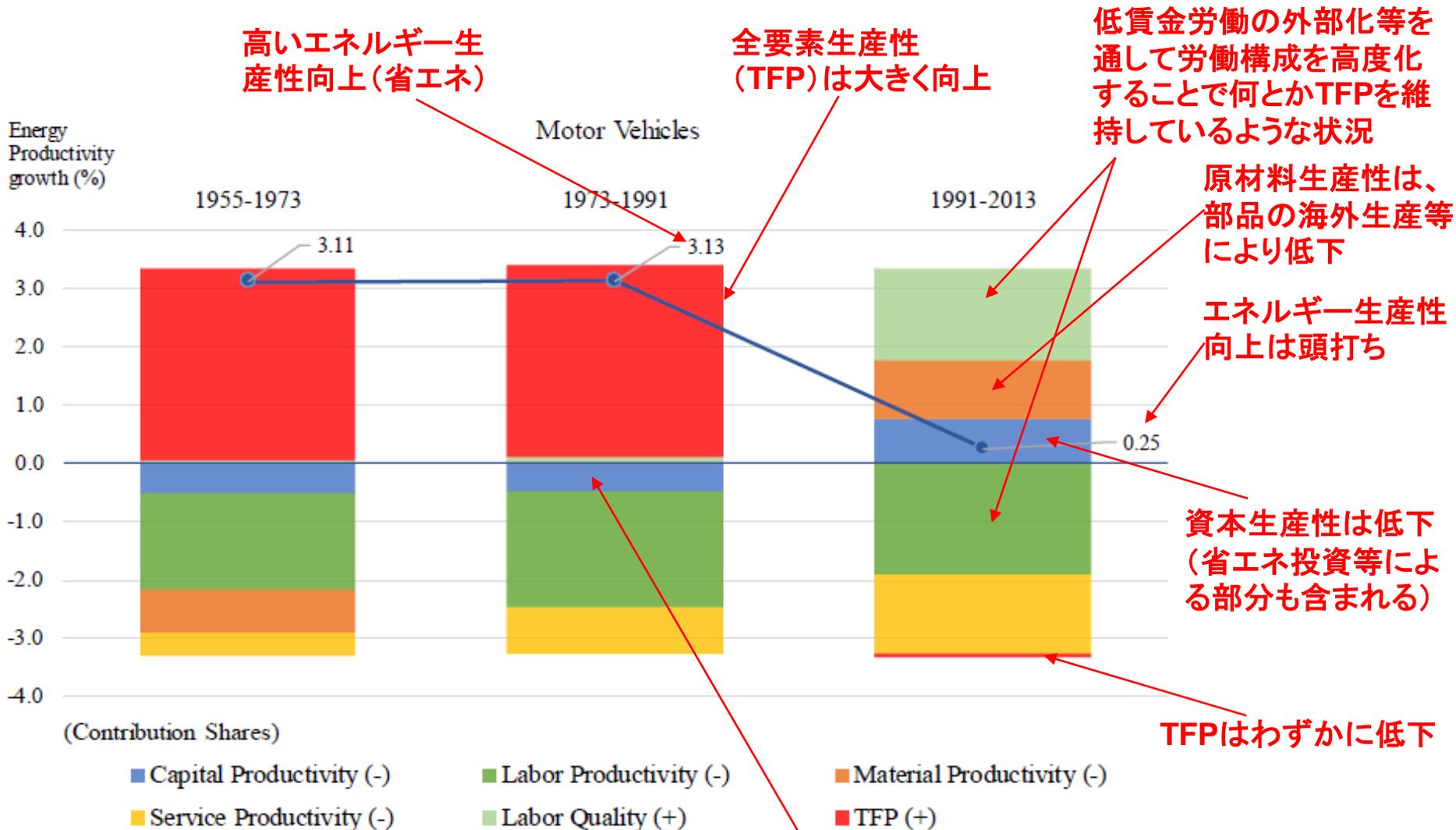
Capital, Energy, Material&Service全体での生産性が向上ができれば、国際競争力に晒されている産業部門等は、賃金を下げることによってLaborの生産性を上げざるを得なくなることもなる。

労働生産性を高めることはTFPの向上にも重要だが、それはエネルギー・気候政策によってもたらされるものではなく、良い教育環境により能力を高めることで実現するもの

生産の一部を海外移転すると、エネルギー生産性（X/E）は向上するが、原材料生産性（X/MS）は悪化する。なお海外移転の場合、炭素リーケージを生じる。

石油価格等の資源価格が上昇すると原材料生産性（X/MS）は悪化

# 参考：日本の製造業（自動車製造）の生産性変化

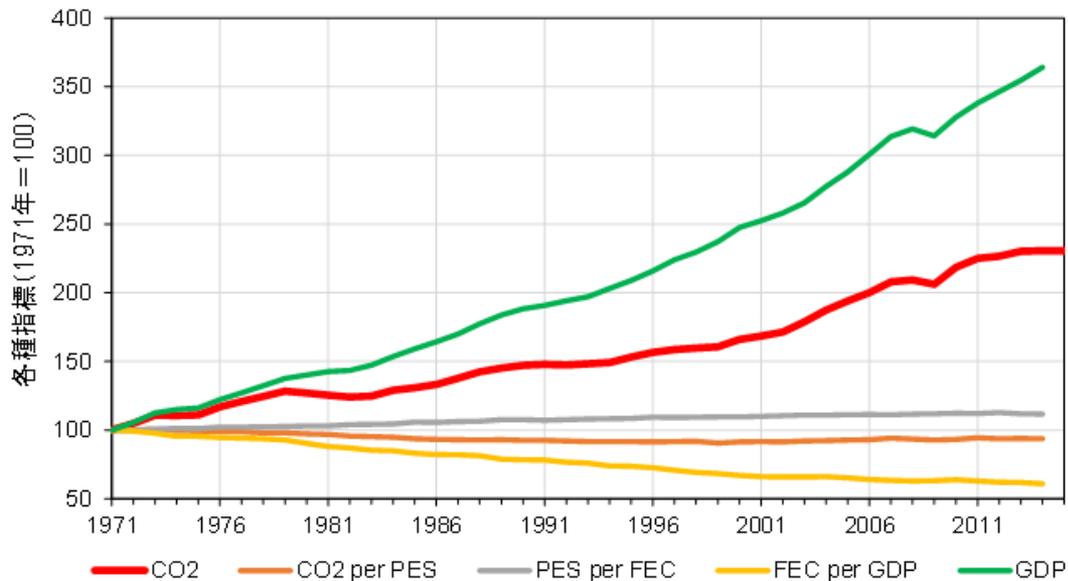


出典)慶応大野村浩二氏作成  
グラフにRITEで説明を付加

省エネしながら資本生産性も向上していた時代

## 4. 世界におけるデカップリング 状況の定量的分析

# 世界のCO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析

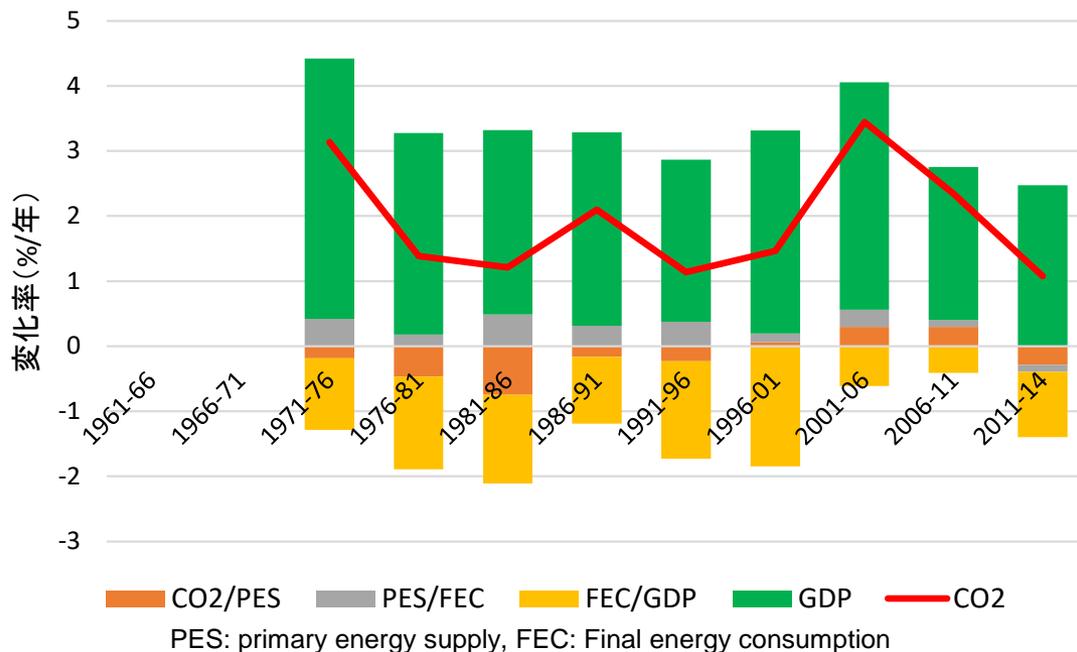


(2015年のCO<sub>2</sub>値はIEA暫定値)

出典)IEA統計

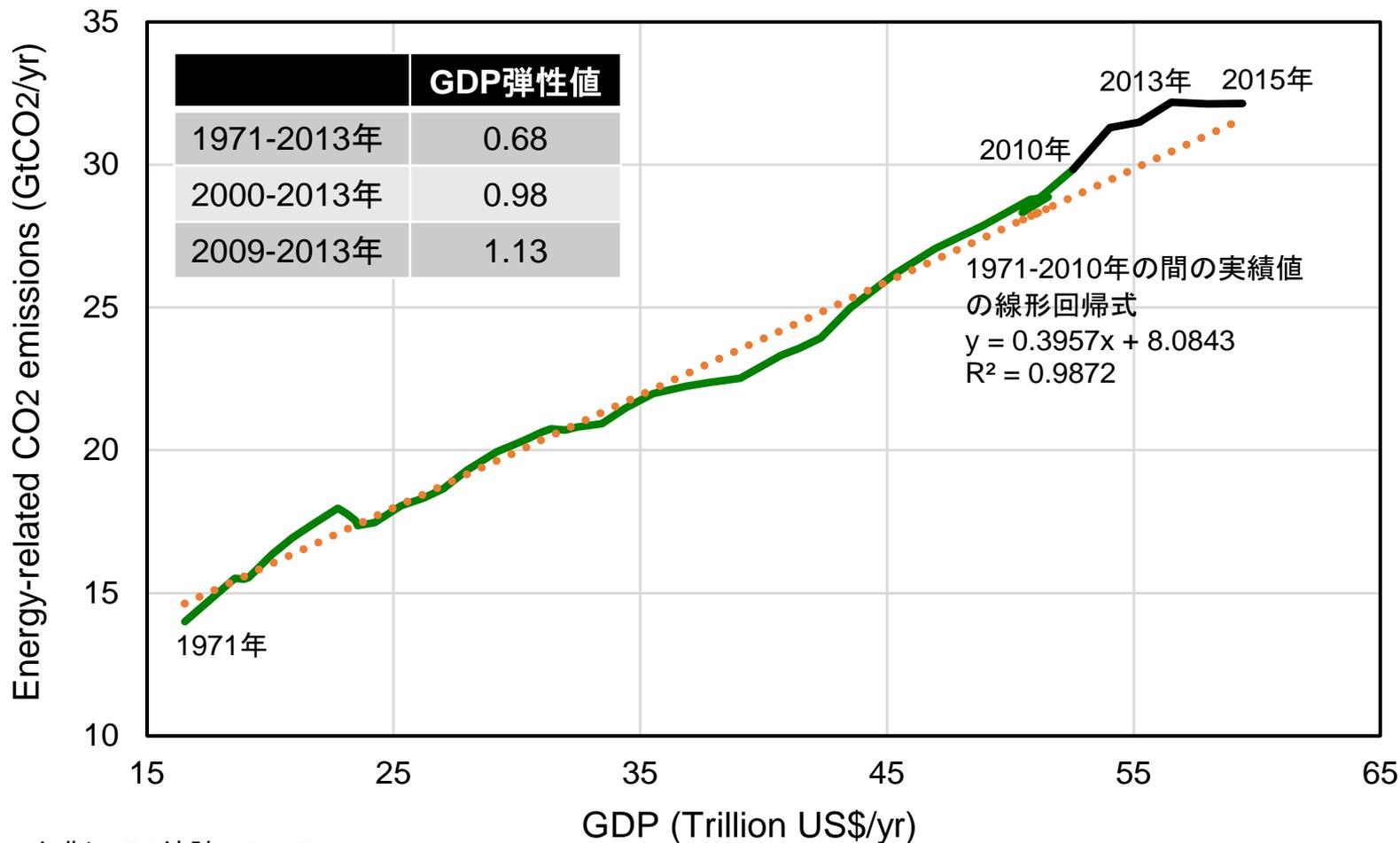
- 2001～06年は経済成長率が高かったため、CO<sub>2</sub>排出増加率は高く、それと比較すると、2006年以降、経済成長率が鈍化し、CO<sub>2</sub>排出増加率もそれ以前の水準に戻った程度(2001年以降の変化率の傾向は、中国の傾向と似ている(後述))

- ただし、2011～13年については、1996年以降ほとんど見られなかったCO<sub>2</sub>/PESの改善(石炭からガスや再エネへのシフト)が見られる。



PES: primary energy supply, FEC: Final energy consumption

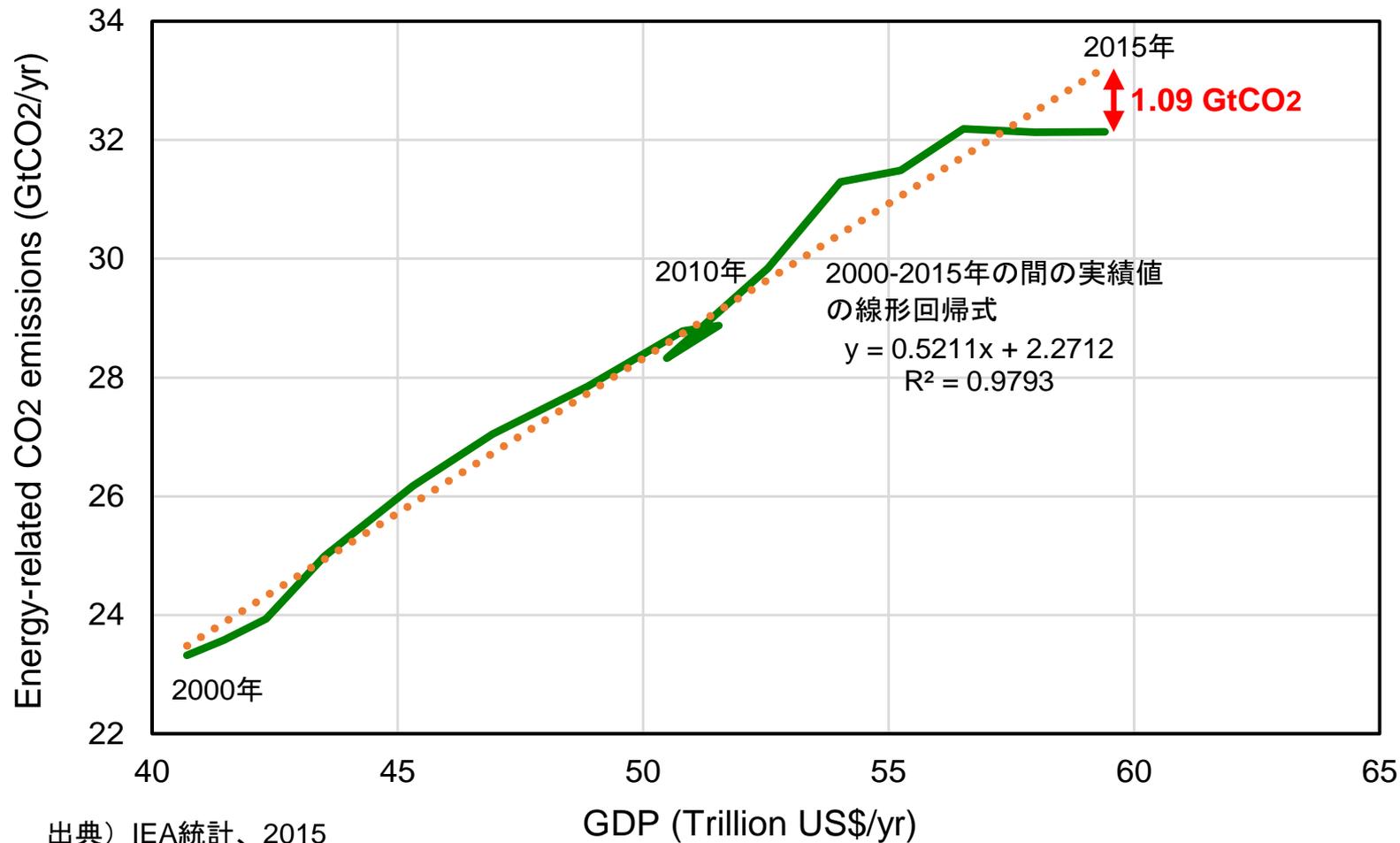
# 世界の経済成長とCO2排出量の関係(1/2)



出典) IEA統計、2015

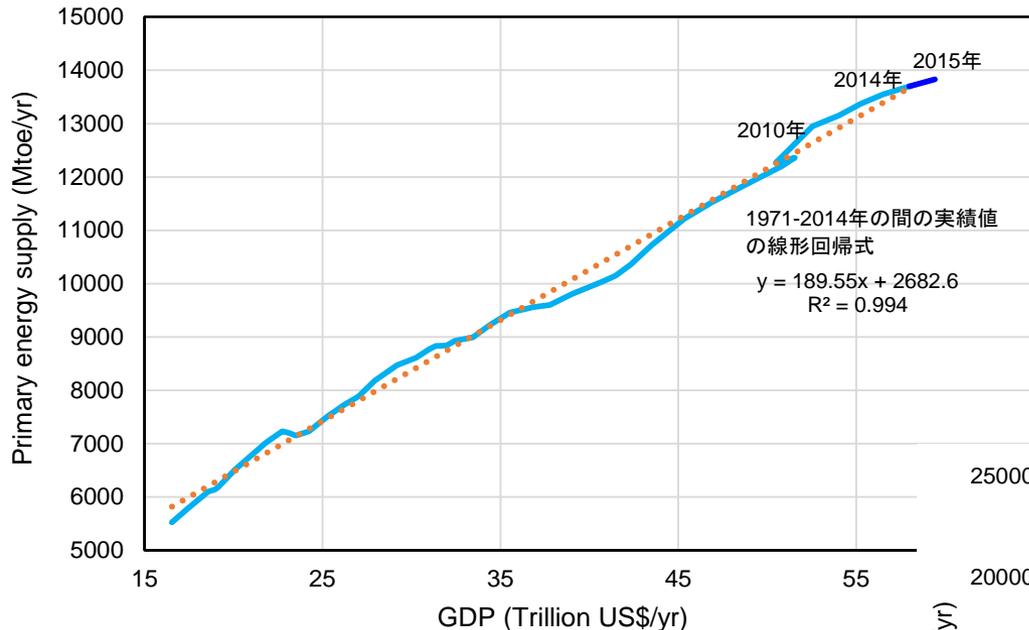
世界GDPとCO2排出量の関係は基本的に強い正の相関が見られる。2013-15年にかけて排出量はほぼ横ばいだが、長期の傾向で見ると、むしろ2009-13年の間の排出の伸びが大きかったものが調整されてきているに過ぎないと見ることもできる。

# 世界の経済成長とCO2排出量の関係(2/2)



前ページで示したように、長期の排出トレンドからすると、2014-15年の排出量は、そのトレンドに戻ってきたに過ぎないと考えられるが、2000-15年の排出実績に限って線形回帰を行った結果の2015年を基準排出量ととると、2015年での実績排出量との差は、1.09 GtCO2となる。以降でこの約1.1GtCO2の削減の要因について考察を行う。

# 世界の経済成長と一次エネルギー、電力消費量の関係



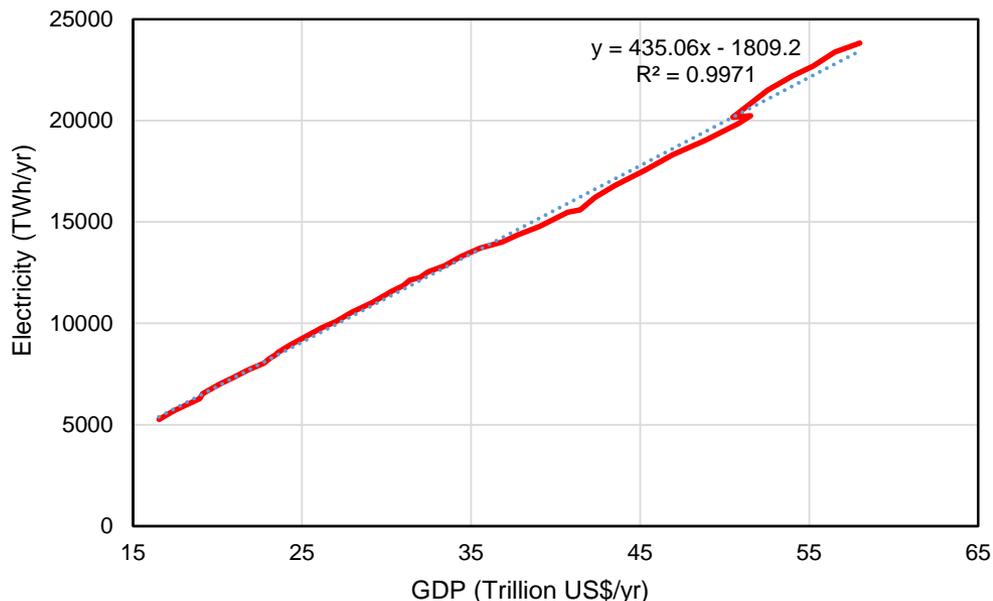
**1971～2014年**

出典) IEA統計、2016

## 世界の一次エネルギー供給量

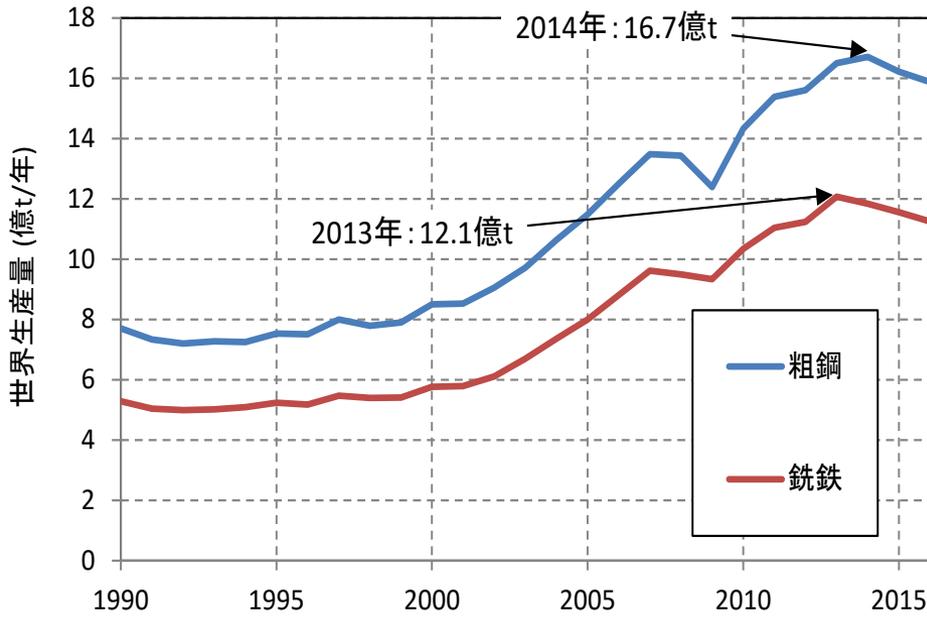
注) 2014～15年についてはBP統計の伸び率を用いて補完したもの

## 世界の電力消費量

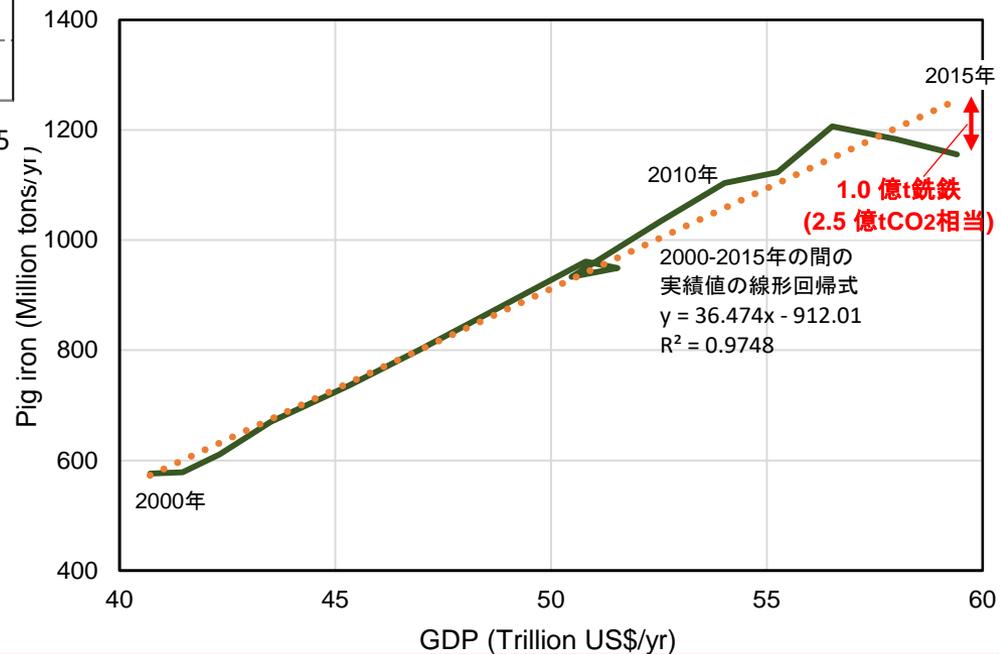


世界GDPと一次エネルギー供給量、また電力消費量の関係を見ると、CO2排出量との関係以上に、線形に近い強い正の関係が見られる。一次エネルギー供給量で見ると、2015年まで見ても、GDPとのデカップリングは見受けられない。

# 世界の経済成長と銑鉄生産量の関係

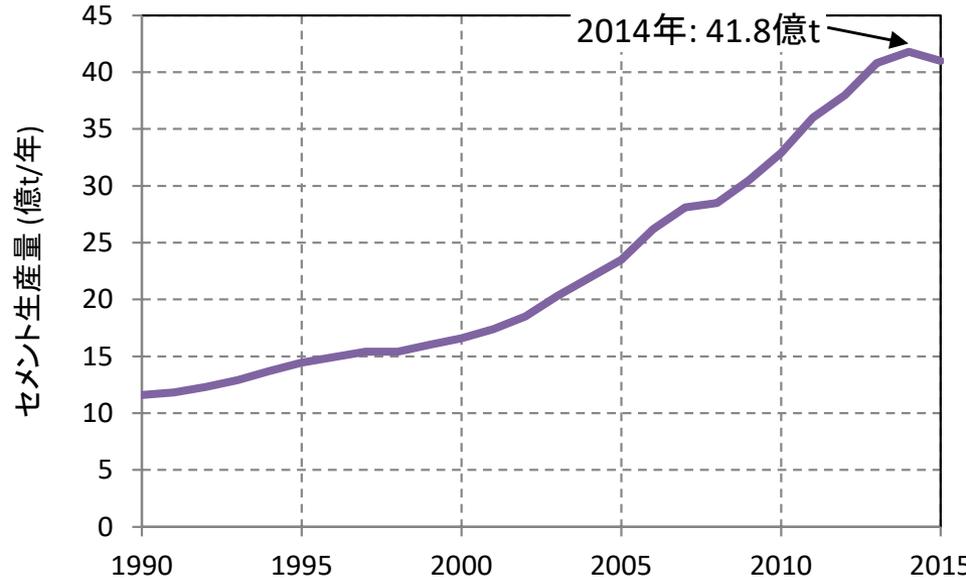


注) 2016年値は1-5月期生産量 (worldsteel速報値) に基づきRITE概算



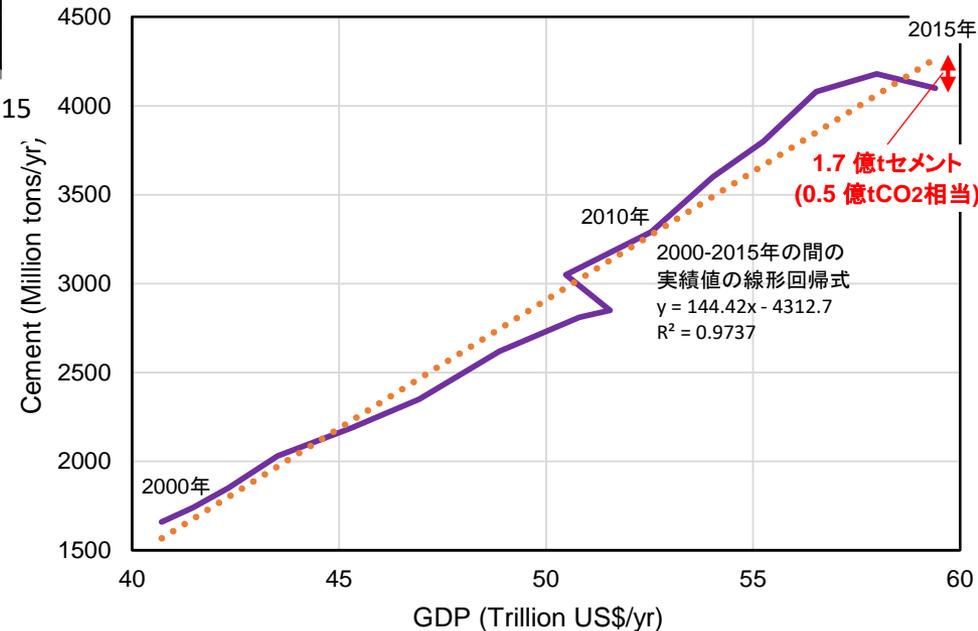
2000-15年のGDPと銑鉄生産量のトレンドに基づくと、2015年時点で銑鉄生産量(世界計)は約1.0億t減少し、これは約2.5 億tCO<sub>2</sub>の減少に相当する。

# 世界の経済成長とセメント生産量の関係



出典) USGS

補足) 欧州セメント協会(CEMBUREAU)も世界セメント生産量を提示している。ただし、CEMBUREAUデータとUSGSデータは一般に一致しないため注意が必要。



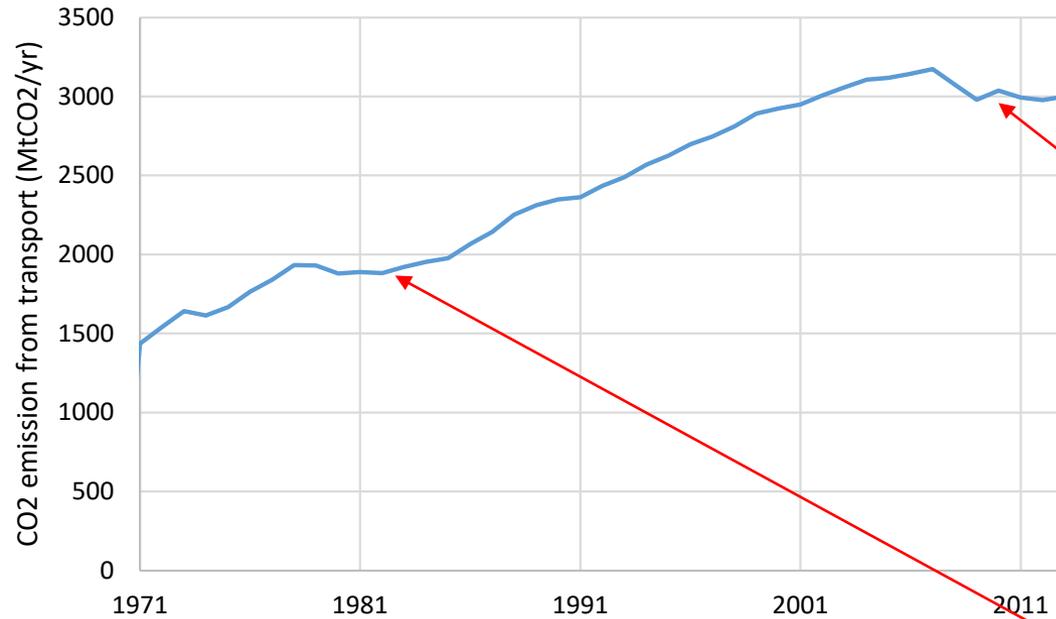
2000-15年のGDPとセメント生産量のトレンドに基づくと、2015年時点でセメント生産量(世界計)は約1.7億t減少し、これは約0.5 億tCO<sub>2</sub>の減少に相当する(エネ起CO<sub>2</sub>減少のみカウント)。

# 世界の経済成長とCO2排出量の関係(概算)

要因	2015年排出削減効果	内容
世界の銑鉄生産量の減少	約2.5億トン	銑鉄約1.0億トン減少
世界のセメント生産量の減少	約0.5億トン	セメント約1.7億トン減少
日本のCO2排出量低下	約0.4億トン	原子力稼働率の低下などで2013年にかけて約1.1億トン引き上げていたが、低効率の石油火力等の停止等により、2015年には+約0.7億トンに
●米国のシェールガス利用拡大による減少	約2.2億トン	米国における石炭火力からガス発電への転換の促進による
再エネ発電(太陽光・風力・地熱など)拡大による減少	約1.6億トン	再エネ発電比率の2000-15年の平均的な拡大に対し、2015年は1.2%ポイント分大きい
<b>要因積み上げ削減効果計</b>	<b>約7.2億トン</b>	
<b>排出削減効果(p.15)</b>	<b>約10.9億トン</b>	

この中で、比較的明確にデカップリング(“strong decoupling”)の要因と考えられるのは、シェールガス利用拡大による約2.2億トン分くらいである。なお、GDP弾性値が潜在的に1、GDP成長率が2.5%/年と仮定すると、潜在的なCO2排出増は年8億トンなので、他のデカップリング要因が多少加わったとしても(上記で説明できていない要因は3.7億トン程度)、“strong decoupling”を継続できるような状況にあるとは言いがたい。

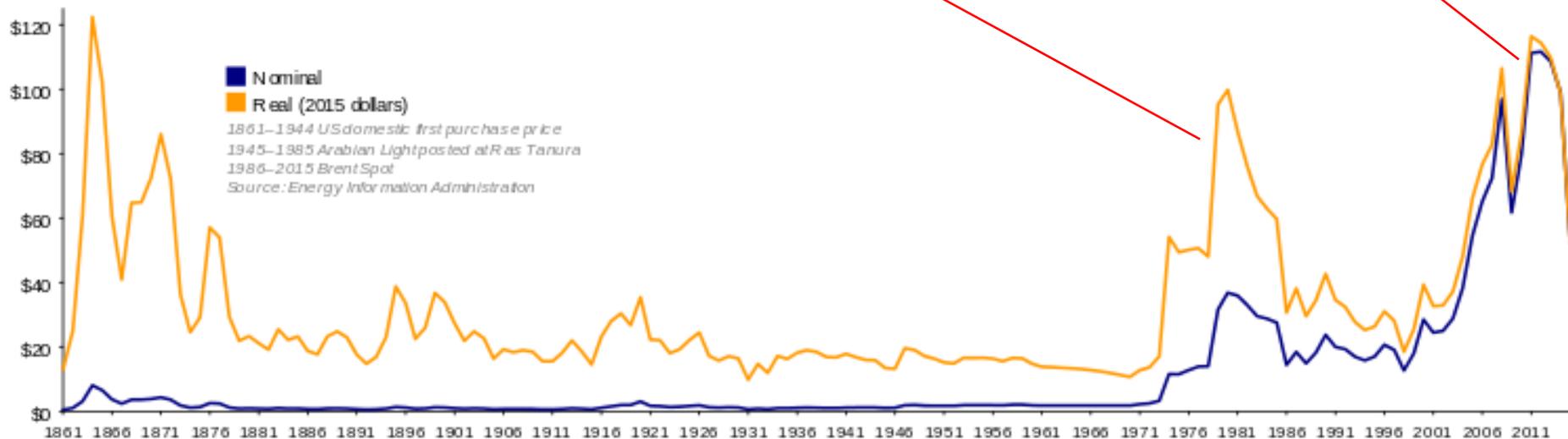
# 参考：石油価格とOECDの運輸部門のCO2排出量



OECDの運輸部門における  
CO2排出量推移

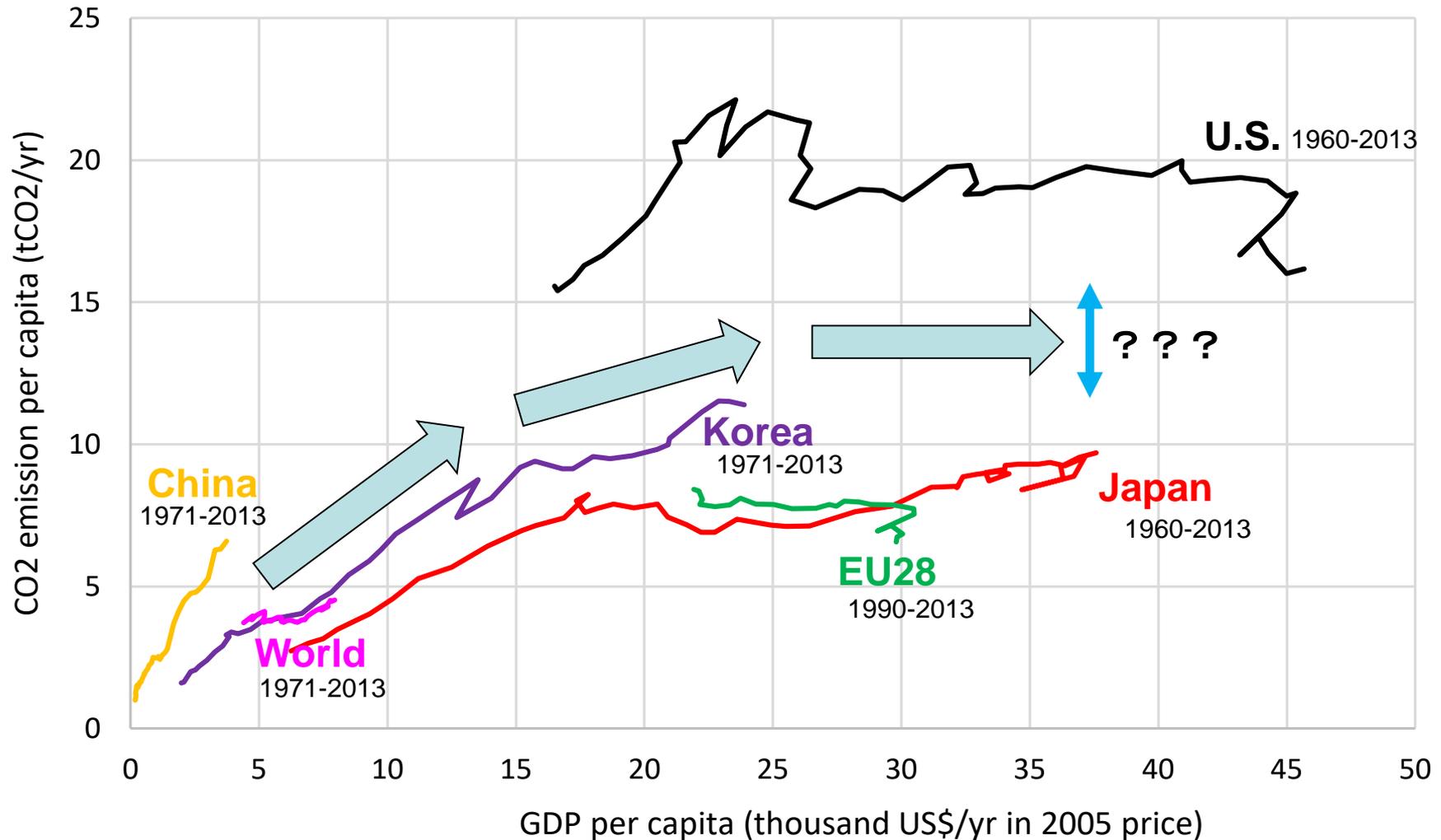
高い原油価格で運輸部門のCO2  
排出は抑制されてきた。しかし、原  
油価格の急低下によって今後、再  
び上昇に転じることもあり得る。

原油価格推移



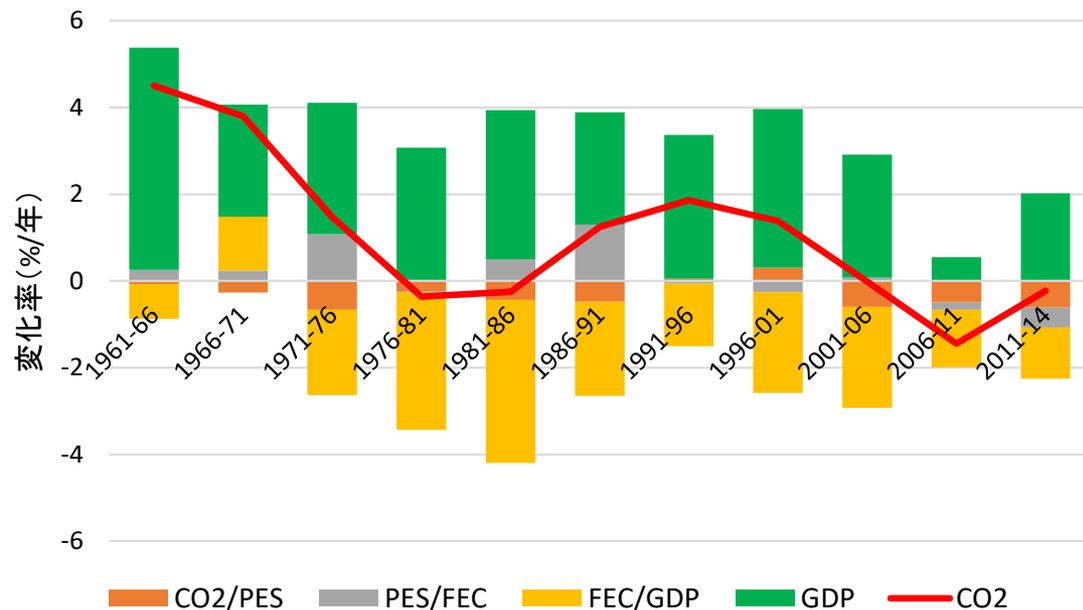
# 5. 主要国におけるデカップリング 状況の定量的評価

# 主要国の経済成長とCO2排出量の関係



基本的には一人当たりGDP増加と共に一人当たりCO2排出は増加傾向にある。しかし、一人当たりGDPがある程度大きくなると、一人当たりCO2排出は飽和傾向に。その後も緩やかな増加が続くのか、それともピークをうち、低減傾向が現れるのかは、現時点までの実績では明確に言うことは難しい。また、特定の国に低減傾向が表れてもそれが後発国の排出増をもたらすものではないのか(炭素リーケージ)、にも留意した見方が必要

# 米中のCO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析



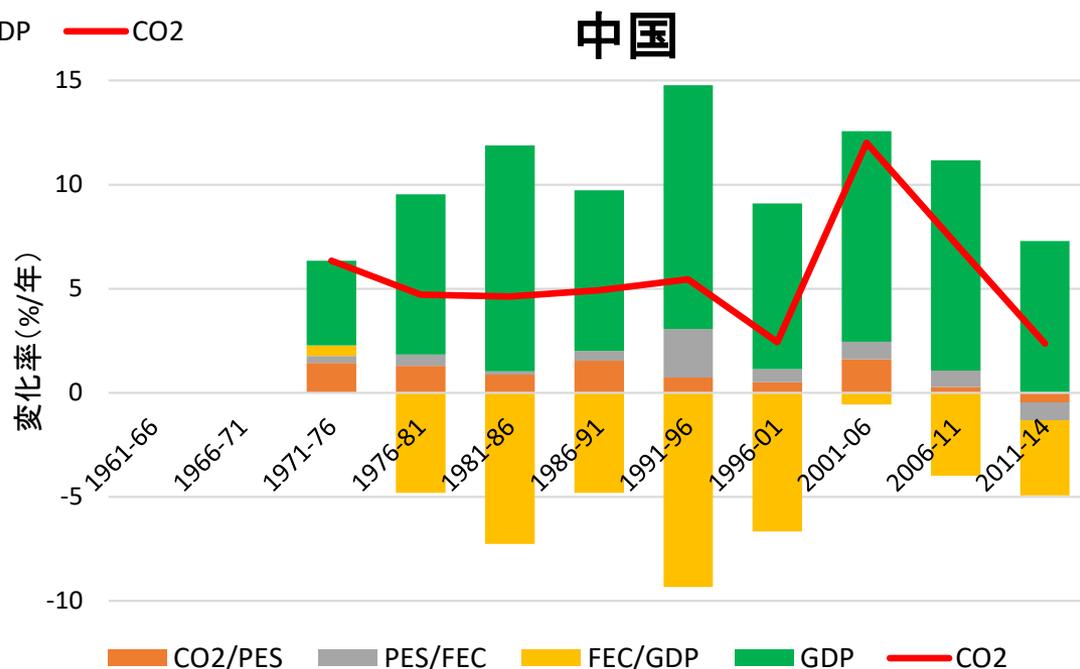
## 米国

出典) IEA統計

注) 米中で2014年の世界CO<sub>2</sub>排出量の約44%を占める。

- 2006年以降、GDP成長率は低下し、CO<sub>2</sub>排出もマイナス傾向に。
- 特に2006年頃以降はCO<sub>2</sub>/PESが改善傾向に(主にシェールガスの影響)。

- 2001~11年頃は、特に経済成長率が高く、またそれが鉄鋼、セメント生産増とセットになり、CO<sub>2</sub>排出が大幅増に。
- 2011年以降は、経済成長率が鈍化(2011~13年は、それ以前の10年間と比べ、年率で2.5%ポイント程度低下)。
- 2011年以降、CO<sub>2</sub>/PESの改善が見られる。石炭利用の低下が主。しかし、大気汚染対策の面からの対応の側面が強い可能性も。



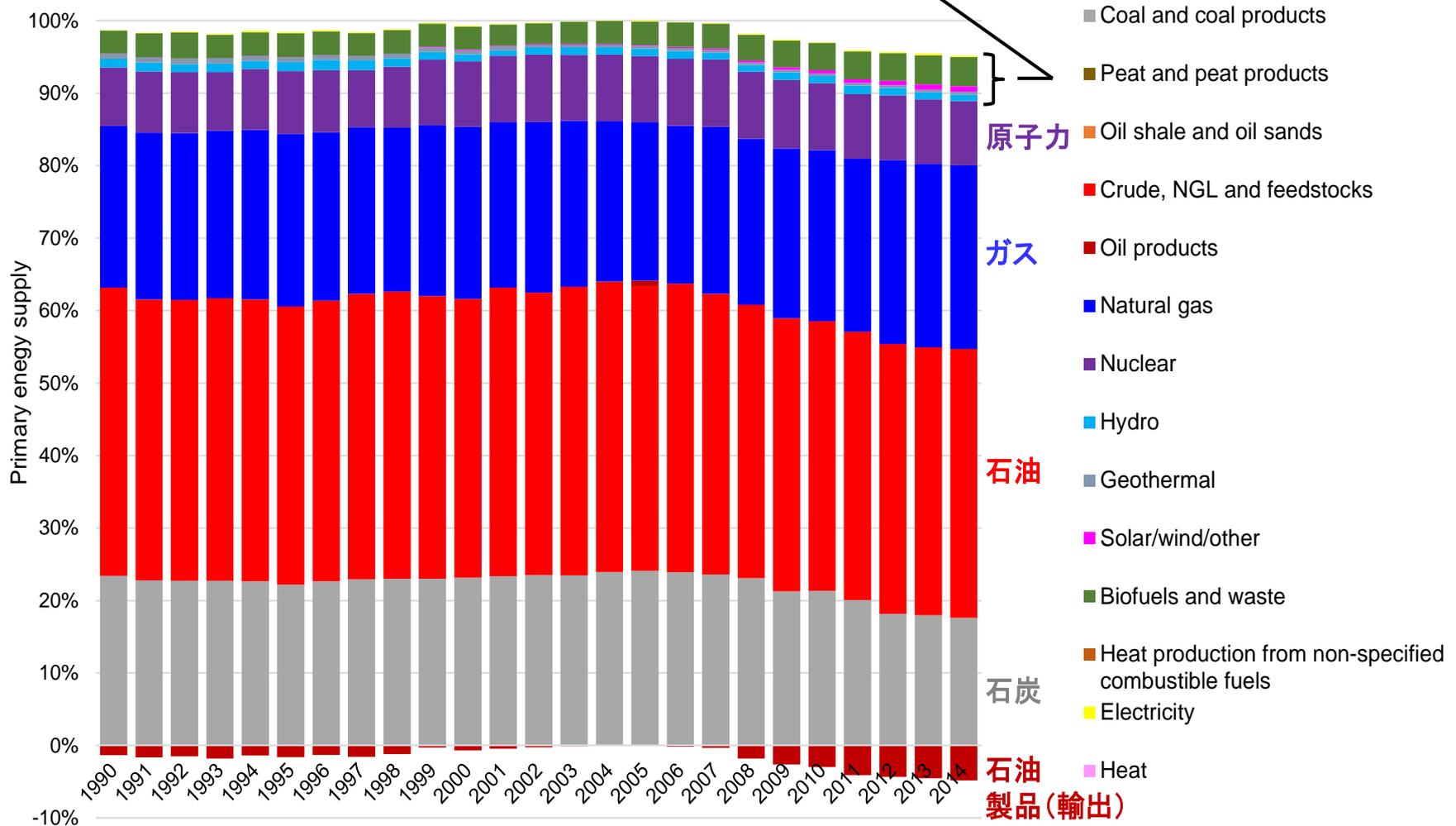
## 中国

CO<sub>2</sub>/PES PES/FEC FEC/GDP GDP CO<sub>2</sub>

# 参考：米国の一次エネルギー供給量

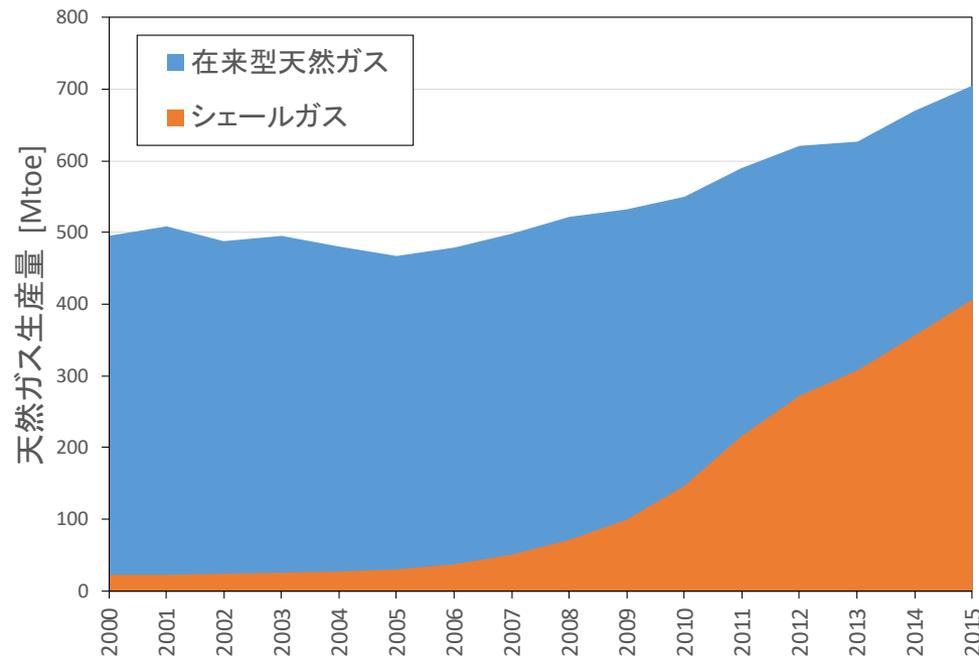
再エネの増加はわずか(2000年:4.8%⇒2014年:6.7%)

出典)IEA統計



2005年以降、石炭比率が減少、ガス比率が上昇。  
ガスの増加に伴い、余剰の石油製品を輸出

# 参考：米国のシェールガスの動向



## 天然ガス生産量

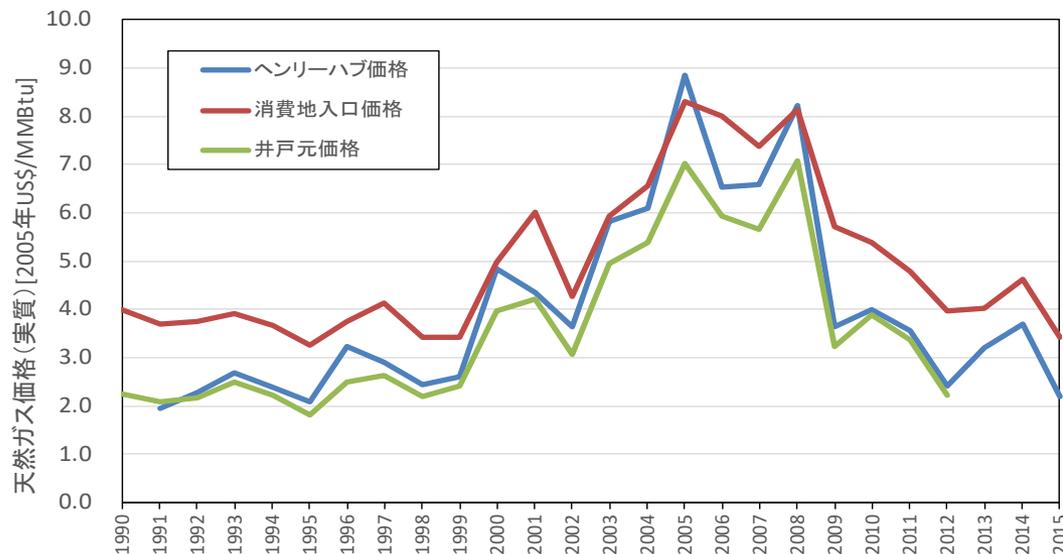
シェールガス生産が2006年頃から急激に増大。天然ガスの国内生産全体も増大。

出典) EIA統計

2006年以降、天然ガス価格が大幅に低下。安価で低炭素なエネルギー供給により、経済成長とCO2排出のデカップリング機会となり得る。

出典) EIA統計、IMF統計

## 天然ガス価格

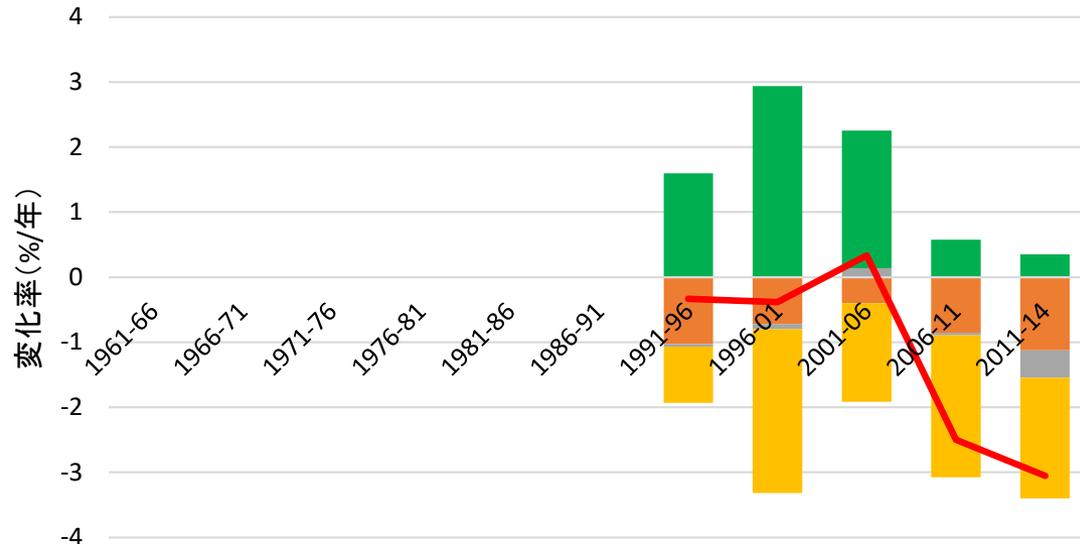


# EU28のCO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析

出典)IEA統計

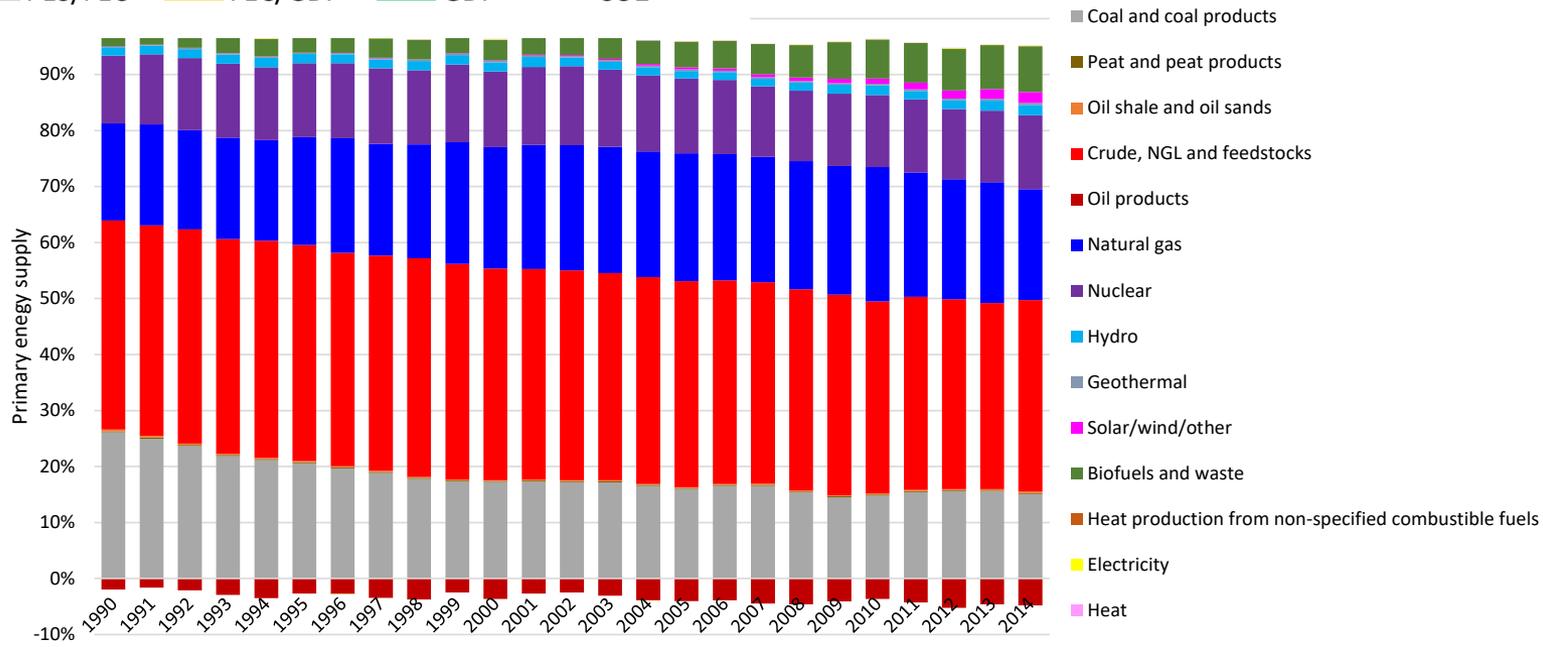
## EU28

- 2006年以降、GDP成長率は低下し、CO<sub>2</sub>排出変化率もマイナス傾向に。

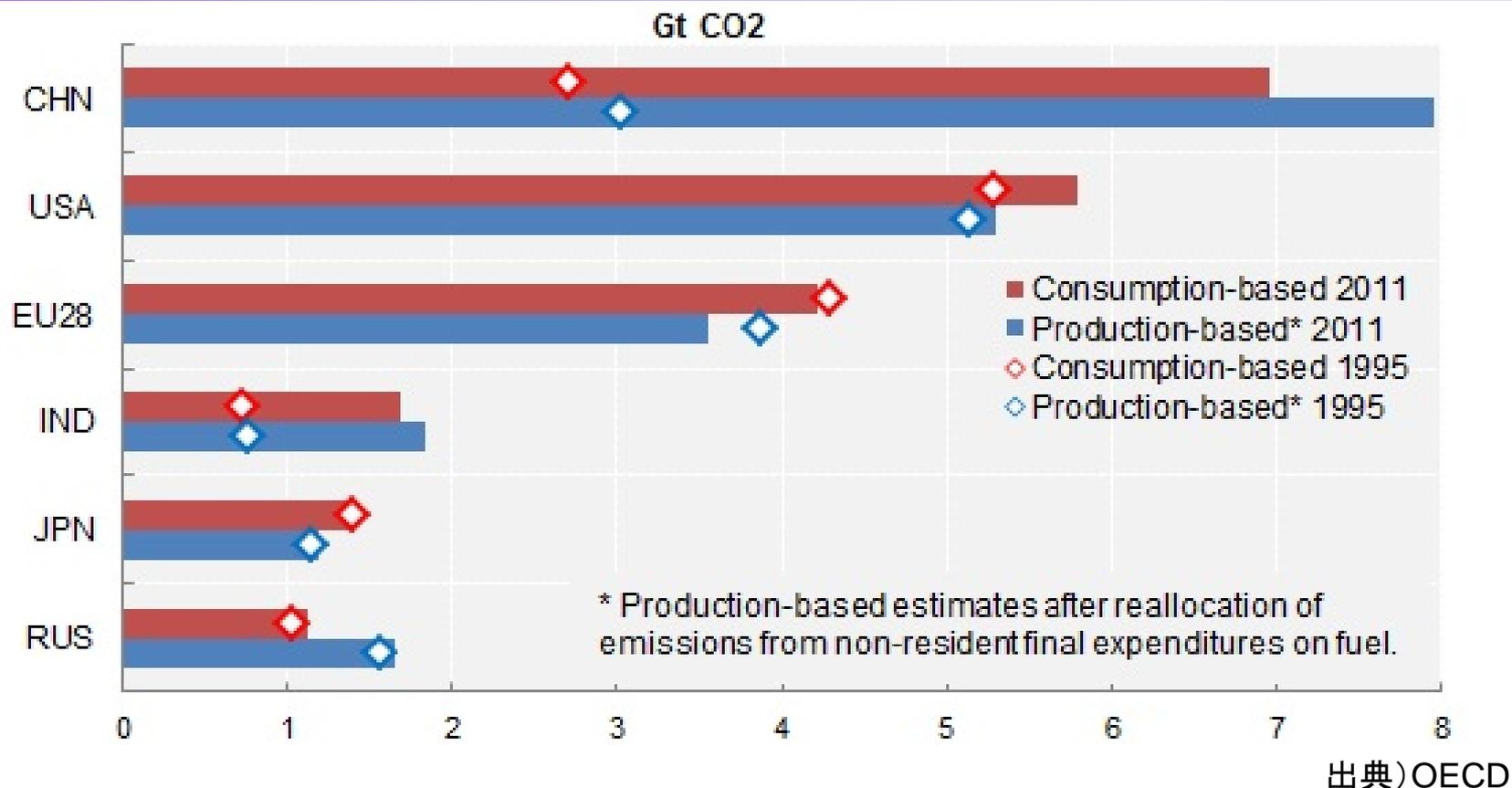


CO<sub>2</sub>/PES PES/FEC FEC/GDP GDP CO<sub>2</sub>

バイオマス比率  
の増大が顕著

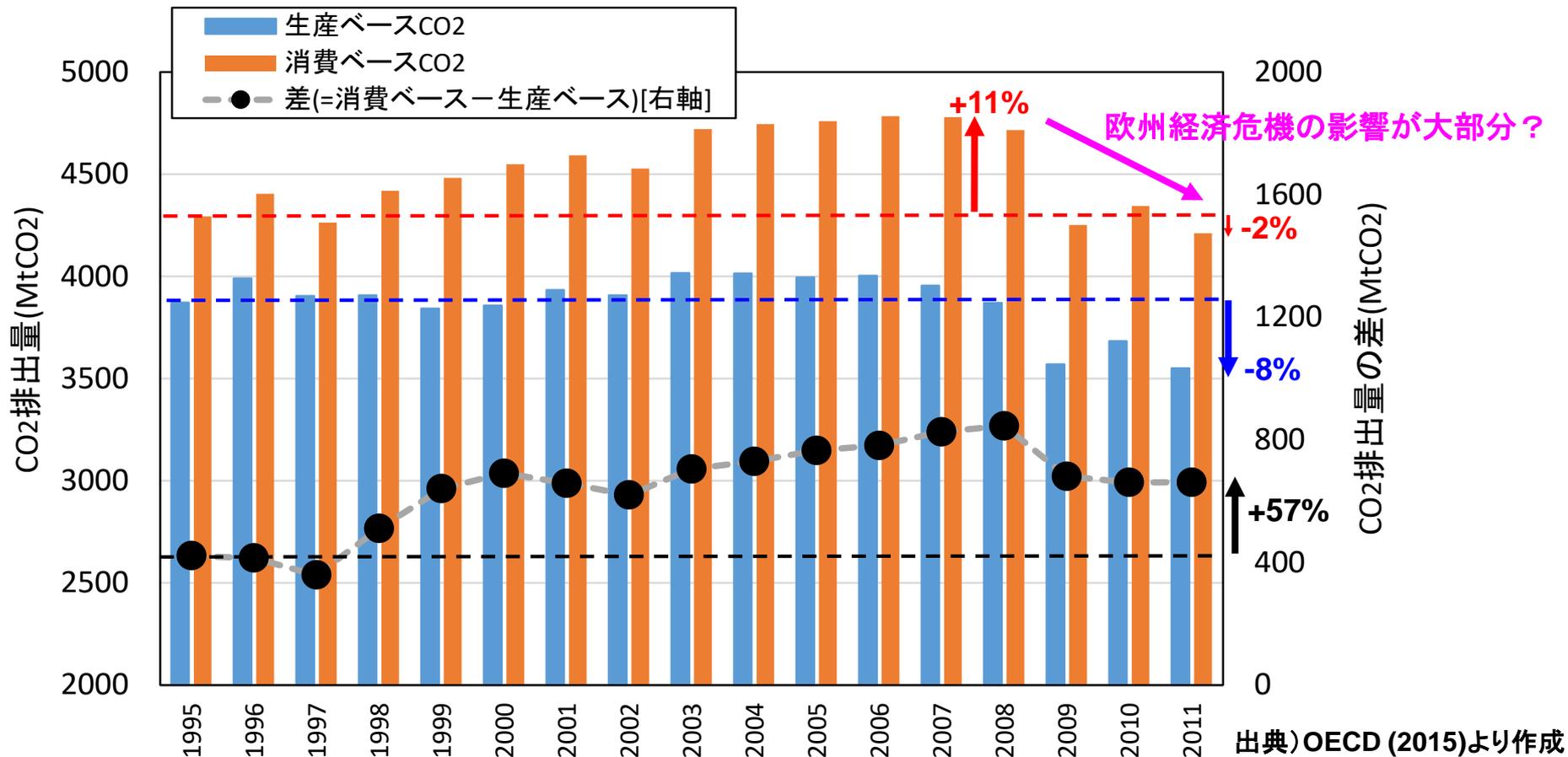


# 主要国における消費ベースCO2排出量変化



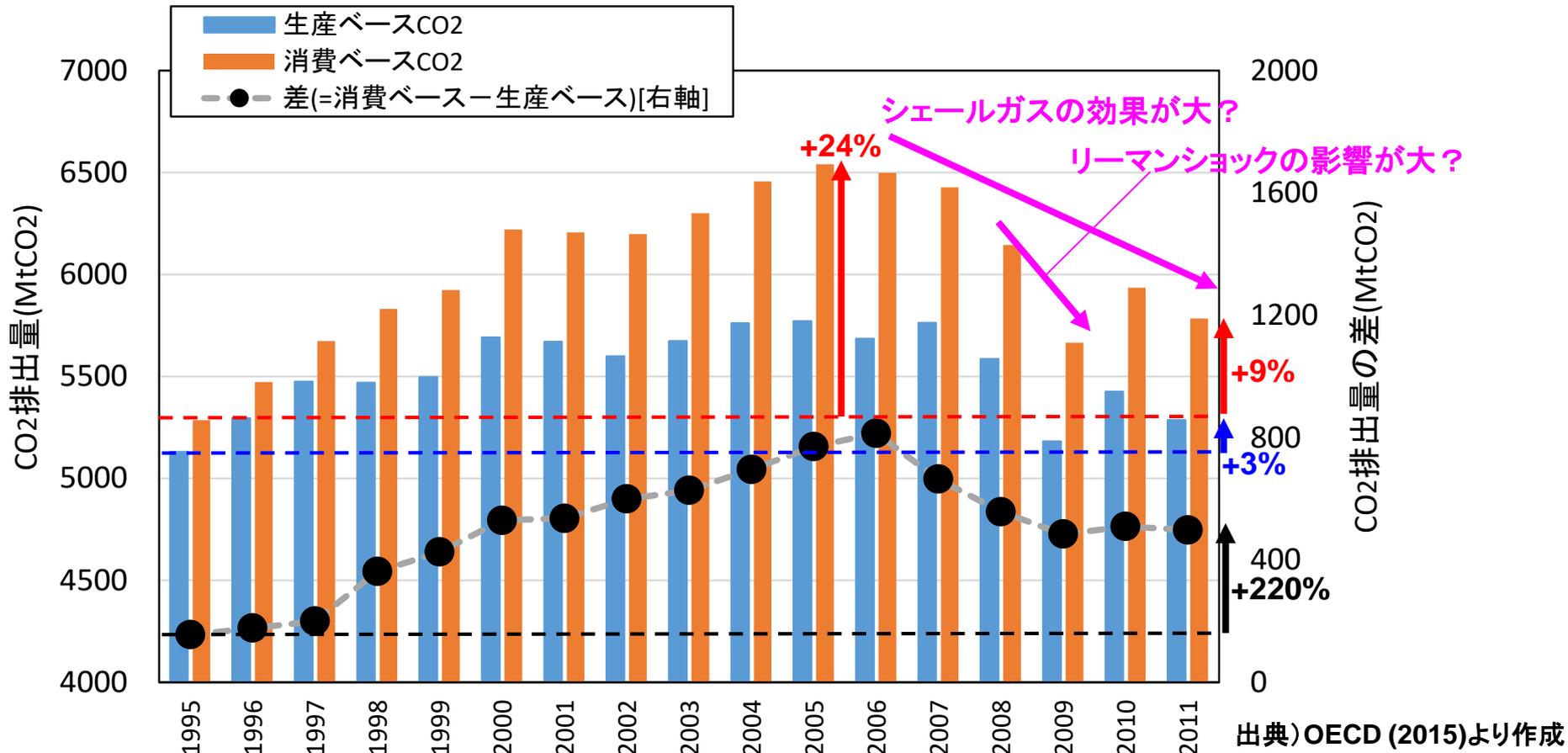
- 例えば、EUは、通常のCO2排出量(Production-based)で計測すると、1995から2011年にかけて比較的大きく排出が減少しているが、消費ベース(Consumption-based)のCO2で見るとほとんど変化していない。EUは、製造業等のシェアを減らし、国内排出は減少させているが、EU外から製品等の輸入を増やすなどしており、その海外製造の際のCO2排出を考慮すると、必ずしも削減に成功していない。
- 米国も消費ベースでは相当大きな排出増となっている。
- 一方、日本は、Production-based、Consumption-basedの両者ともに、1995と2011年の比較で変化がほとんど見られない(日本はこの間、欧米と異なり、炭素リーケージを進行させてはいない)。

# EU28の消費ベースCO<sub>2</sub>排出量の推移



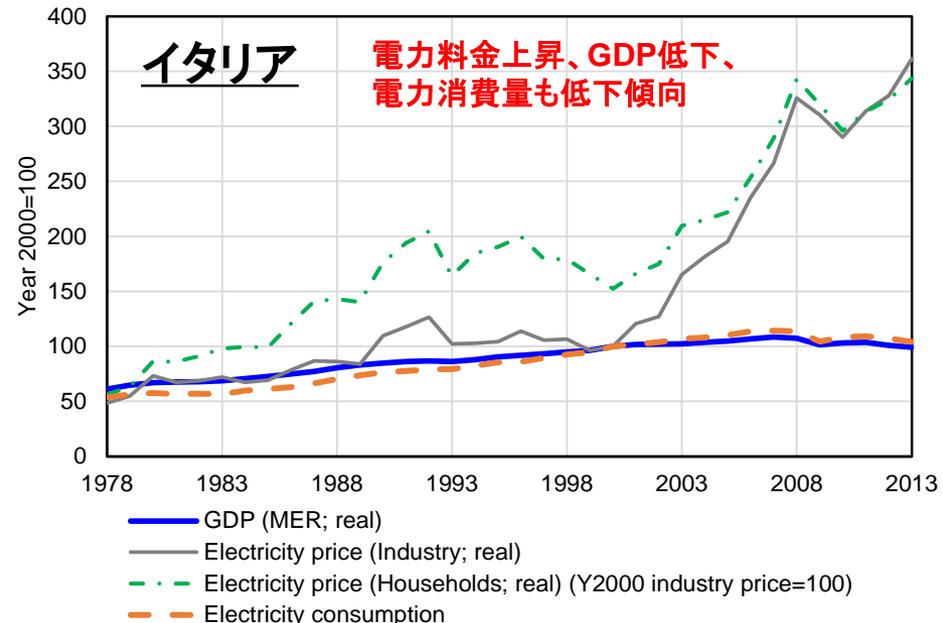
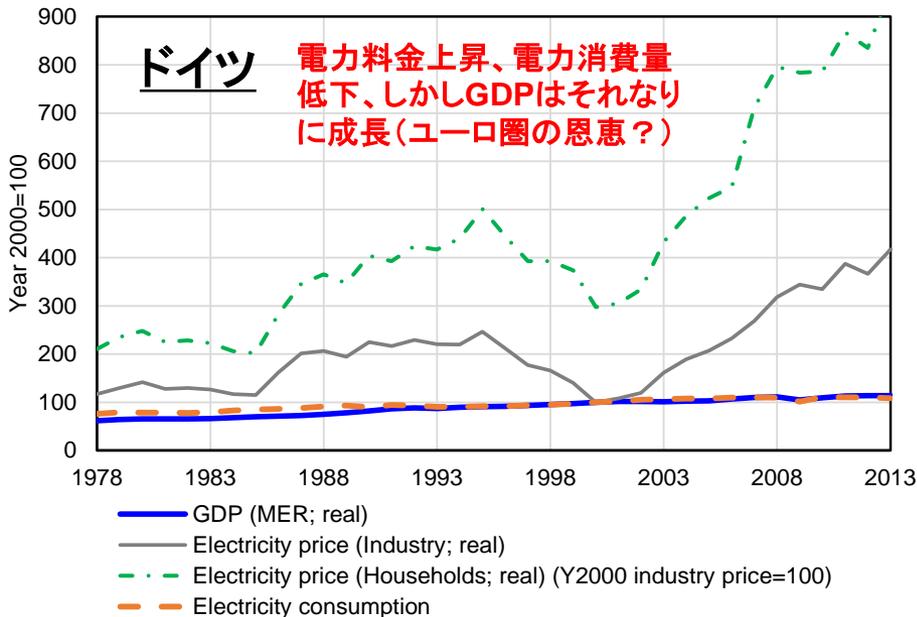
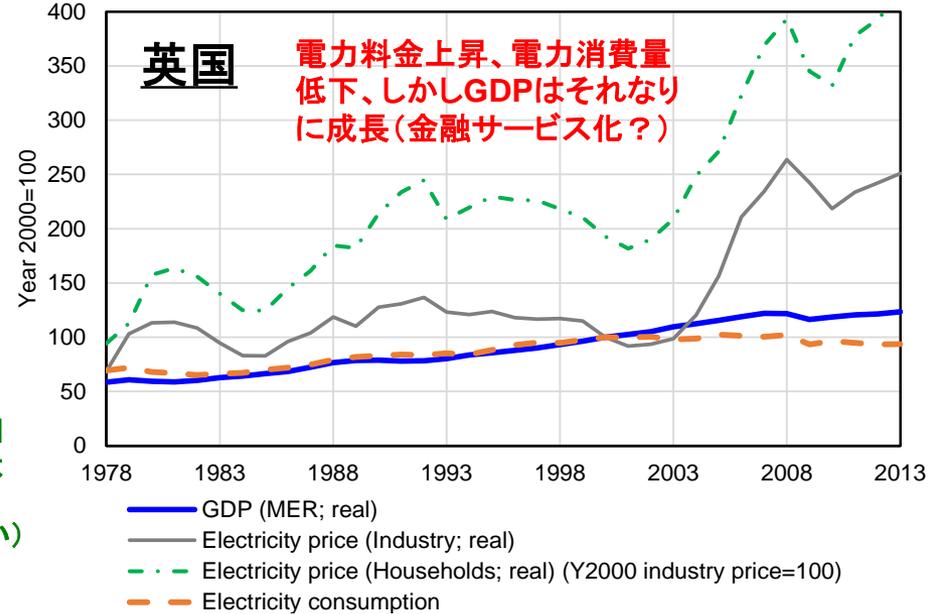
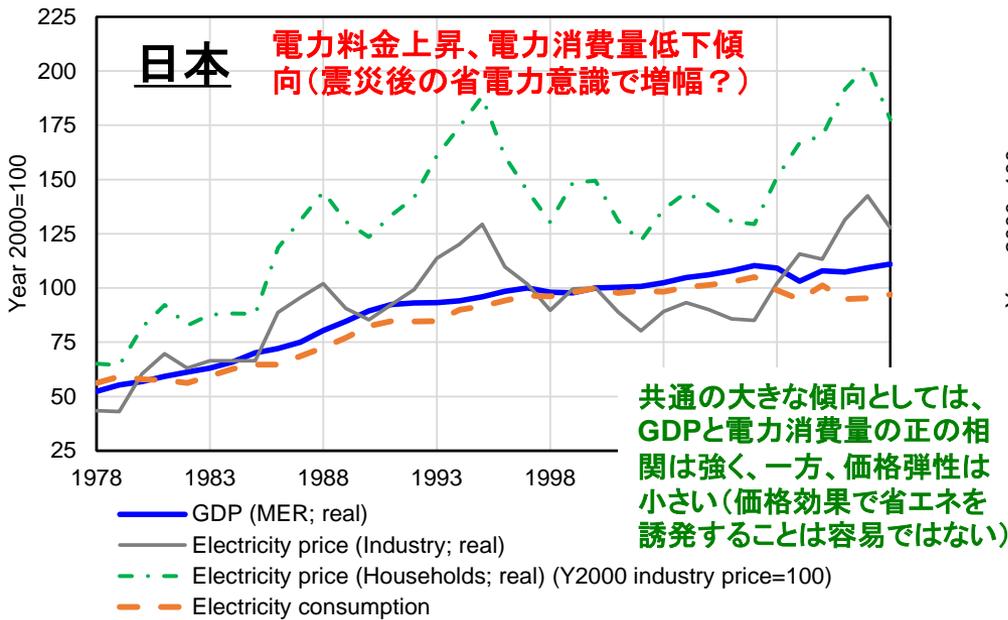
- EUは消費ベースCO<sub>2</sub>(製品等の輸出入について、それを生産するときに発生したCO<sub>2</sub>も差し引き)と生産ベースCO<sub>2</sub>(化石燃料を燃焼した国でCO<sub>2</sub>を計測。通常の統計におけるCO<sub>2</sub>排出量)の差分は2008年にかけて増大。2007年の消費ベースCO<sub>2</sub>は、1995年比で+11%。
- しかし、リーマンショック後は縮小(景気が悪くなり購買力が縮小した結果か)。それでも、2011年の消費ベースCO<sub>2</sub>は1995年比で-2%であり、生産ベースCO<sub>2</sub>の-8%より小さい。すなわち、グローバルなレベルで見たとき、EUはCO<sub>2</sub>排出削減に成功してきていない。

# 米国の消費ベースCO<sub>2</sub>排出量の推移



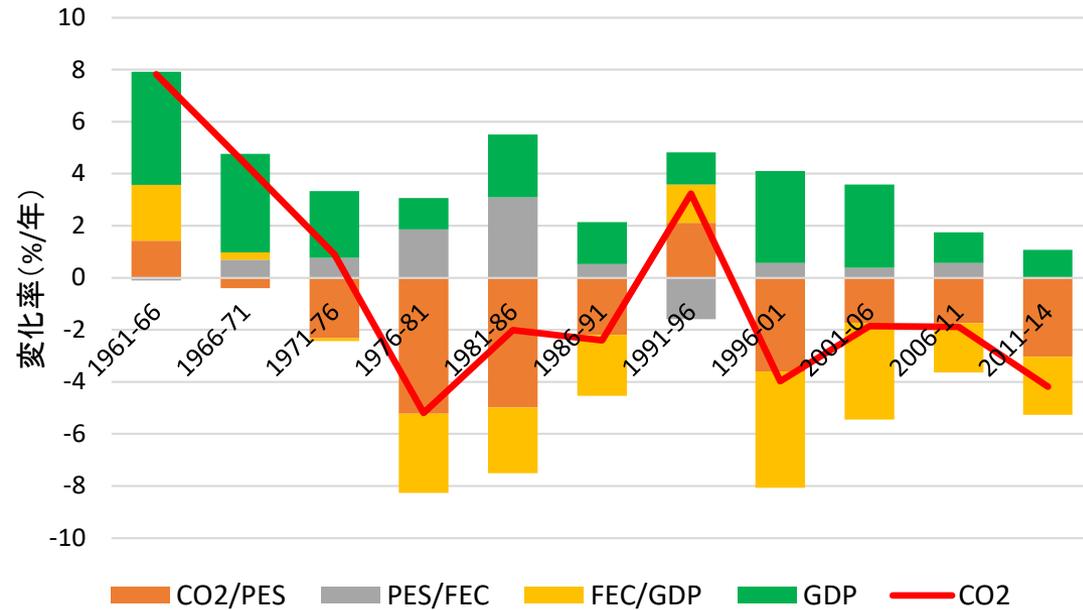
- 米国は消費ベースCO<sub>2</sub>と生産ベースCO<sub>2</sub>の差分は2006年にかけて大幅に増大。2005年の消費ベースCO<sub>2</sub>は、1995年比で+24%。
- しかし、シェールガスが拡大しはじめた2006年からは減少に転じてきている。安価なエネルギー利用が可能となったことで製造業の米国内への回帰によるものと見られる。それでも、2011年の消費ベースCO<sub>2</sub>は1995年比で+9%(生産ベースCO<sub>2</sub>では+3%)。

# GDP、電力料金、電力消費量の実績



## 5.1. スウェーデン

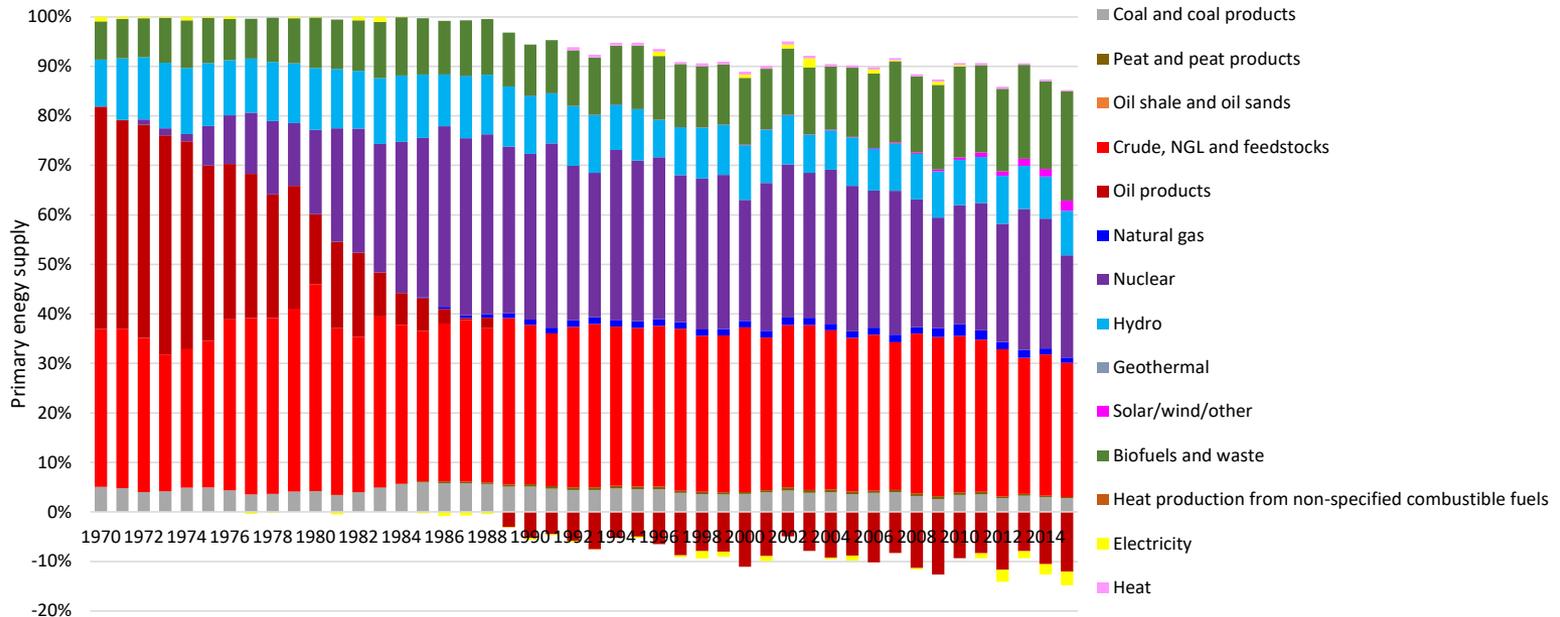
# スウェーデンのCO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析



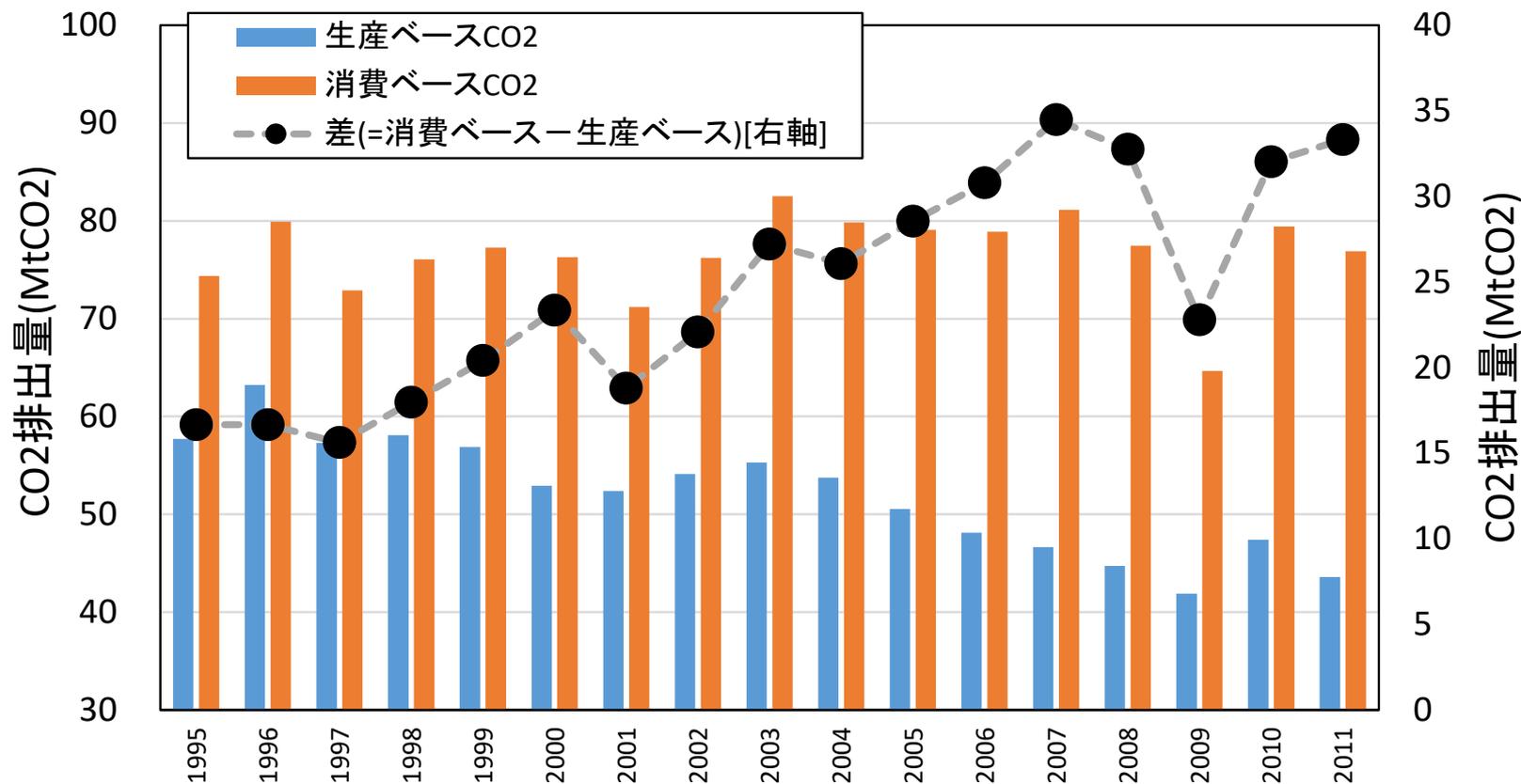
- CO<sub>2</sub>/PES, FES/GDPの大きな改善傾向があり、CO<sub>2</sub>排出量についても継続的に低下傾向にある。  
- 近年経済成長率は鈍化

- 原子力、水力の比率が元々高く、CO<sub>2</sub>原単位は低い。  
- バイオマス利用の増加によって、CO<sub>2</sub>/PESを低下させてきている。  
- 省エネの進展(主に産業構造変化)により余剰となった石油製品を輸出

出典)IEA統計



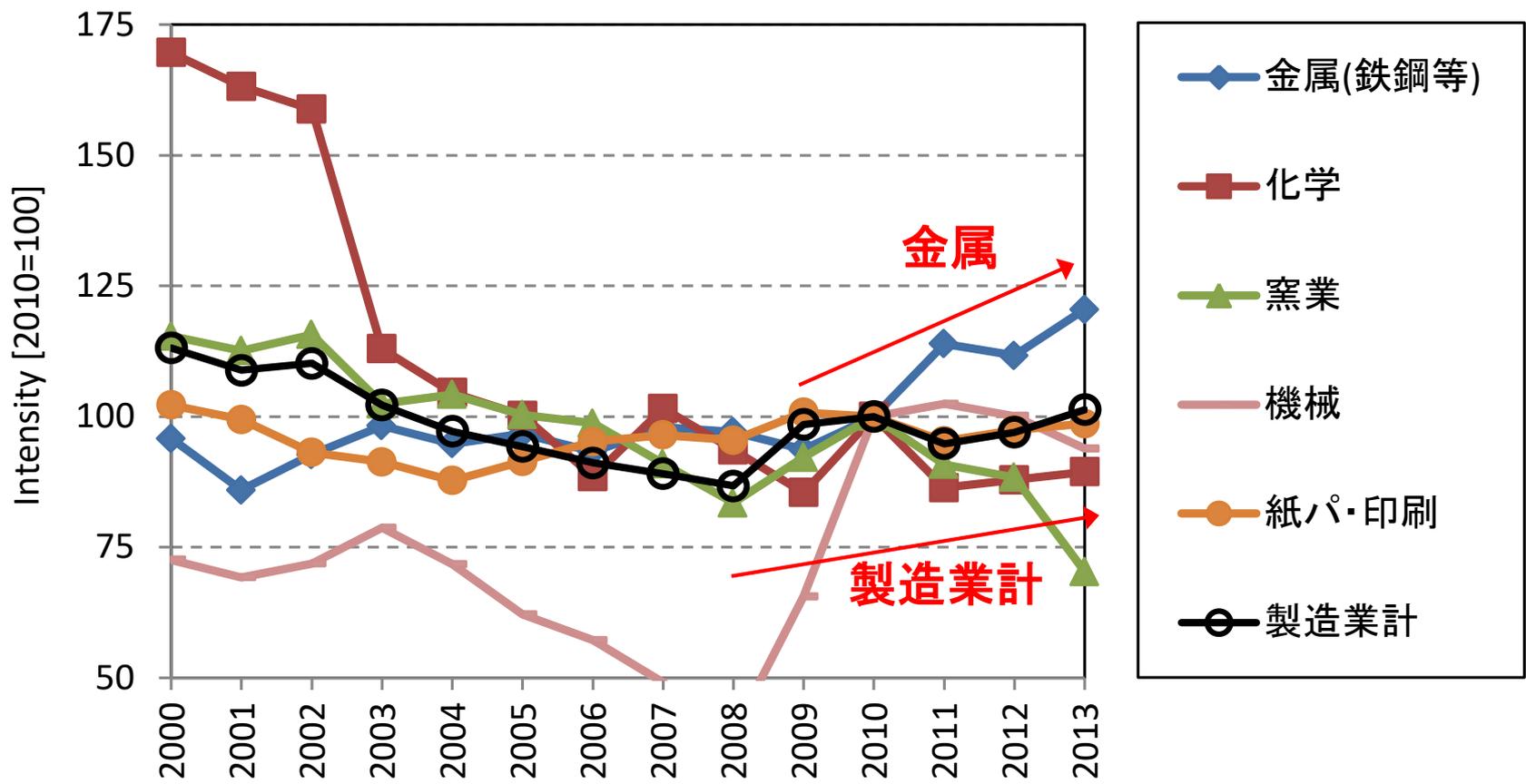
# スウェーデンの消費ベースCO<sub>2</sub>排出量



出典) OECD (2015)

- スウェーデンは、生産ベースCO<sub>2</sub>では大きく排出を減らしてきたが、消費ベースCO<sub>2</sub>で見ると、ほぼ横ばいで排出減となっていない。
- 省エネは進んできたように見えるが、実際には産業の国外への移転によるところが大きいことがわかる。

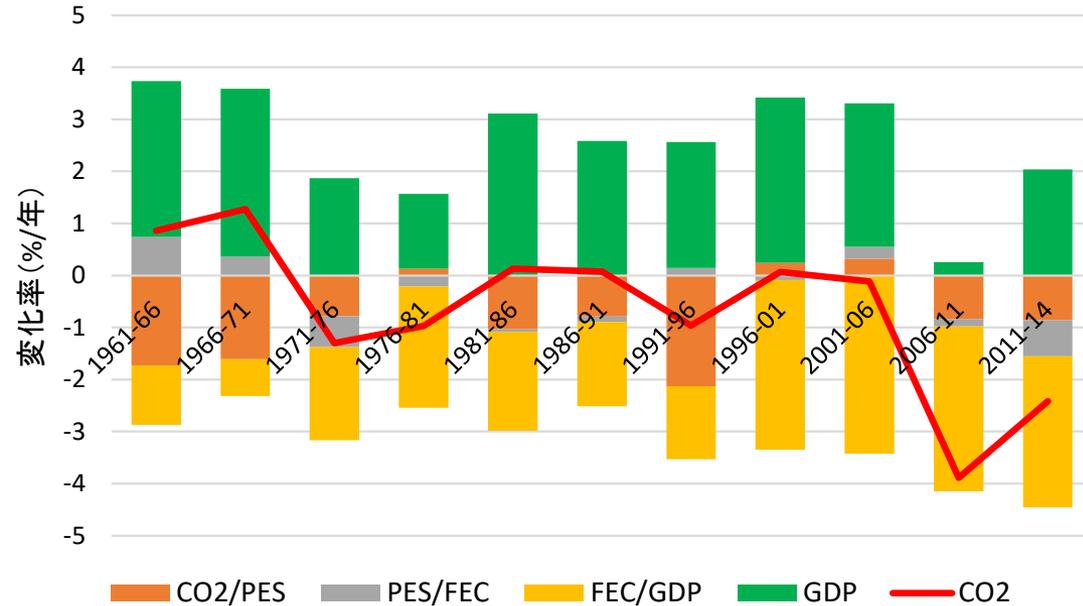
# エネルギー原単位の推移 (最終エネ消費／生産指数)



金属部門の2009年以降のエネルギー原単位の増加は、金属部門の内の鉄鋼部門で鉄鋼比が上昇した影響も大きいと考察される(2009年0.76→2013年0.80)。少なくともスウェーデンの産業部門において、デカップリングにつながるような急速な省エネは観測できない。

## 5.2. 英国

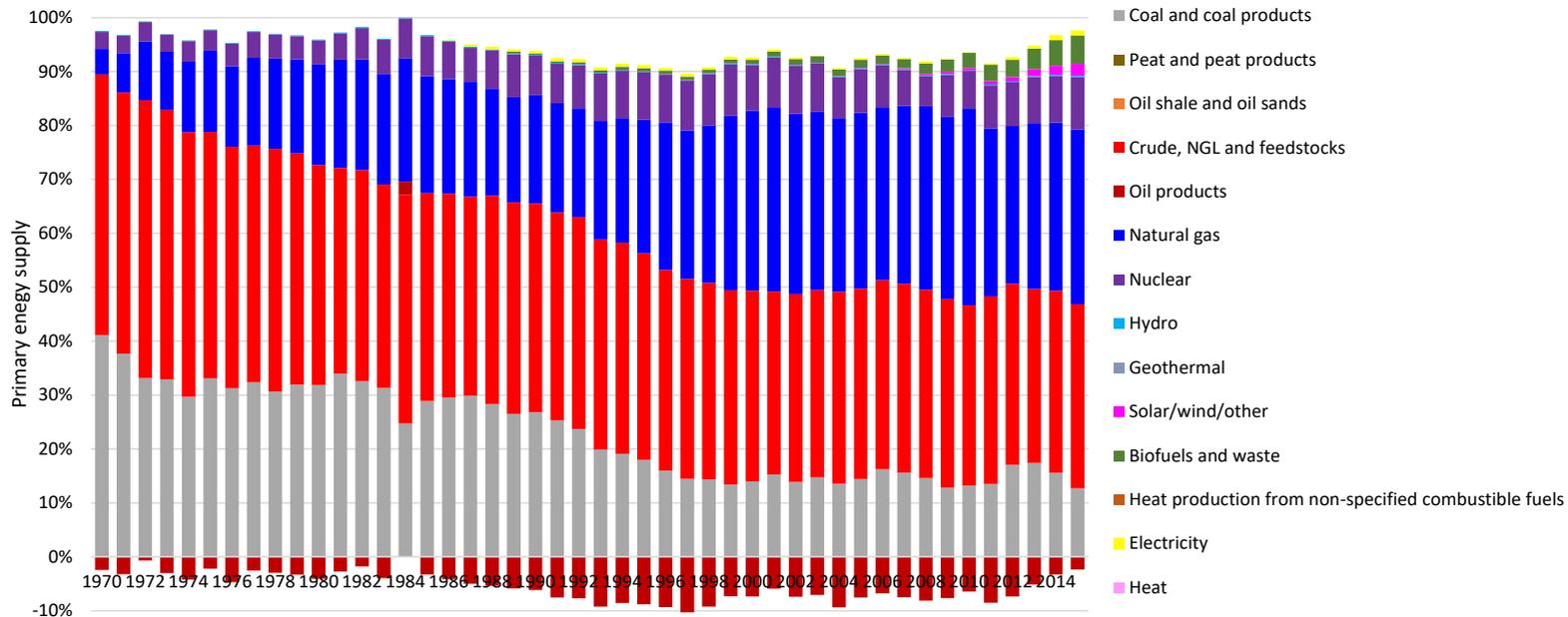
# 英国のCO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析



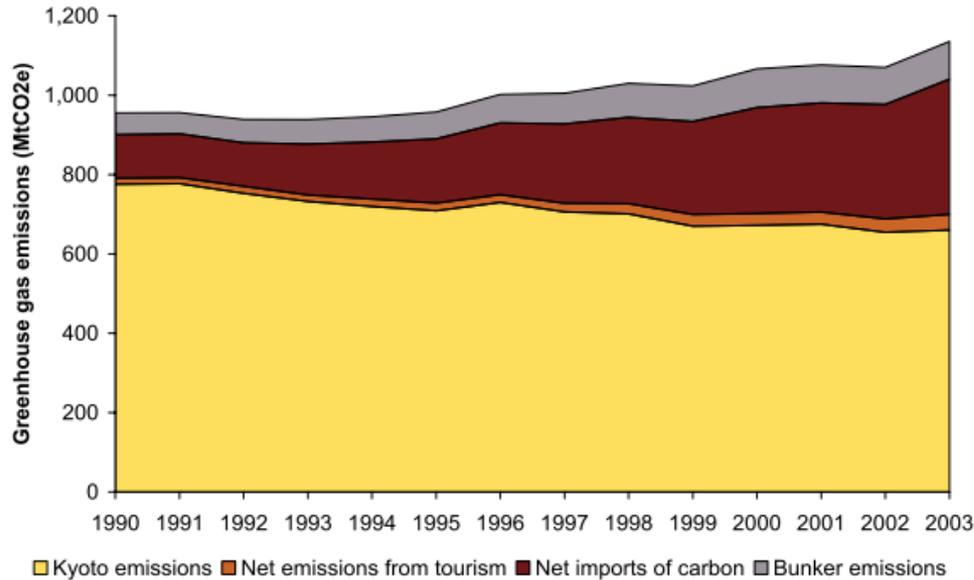
- 1990年前半にはCO<sub>2</sub>/PESが大きく改善 (天然ガスシフト)
- 2011年頃までは継続的にFES/GDPを大きく改善してきた。
- 2011年以降は改善が止まっている。

- とりわけ1990年前半に石炭からガスへの転換が進んだ。
- 近年はバイオマス利用拡大が少し顕著

出典)IEA統計

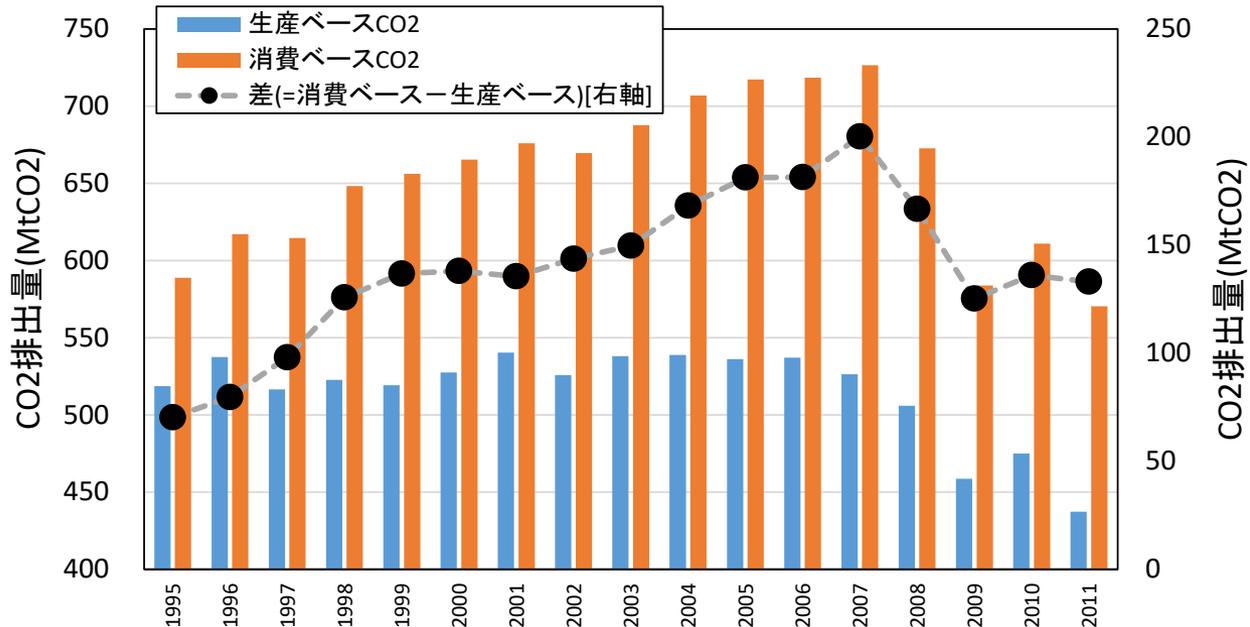


# 英国の消費ベースCO<sub>2</sub>排出量



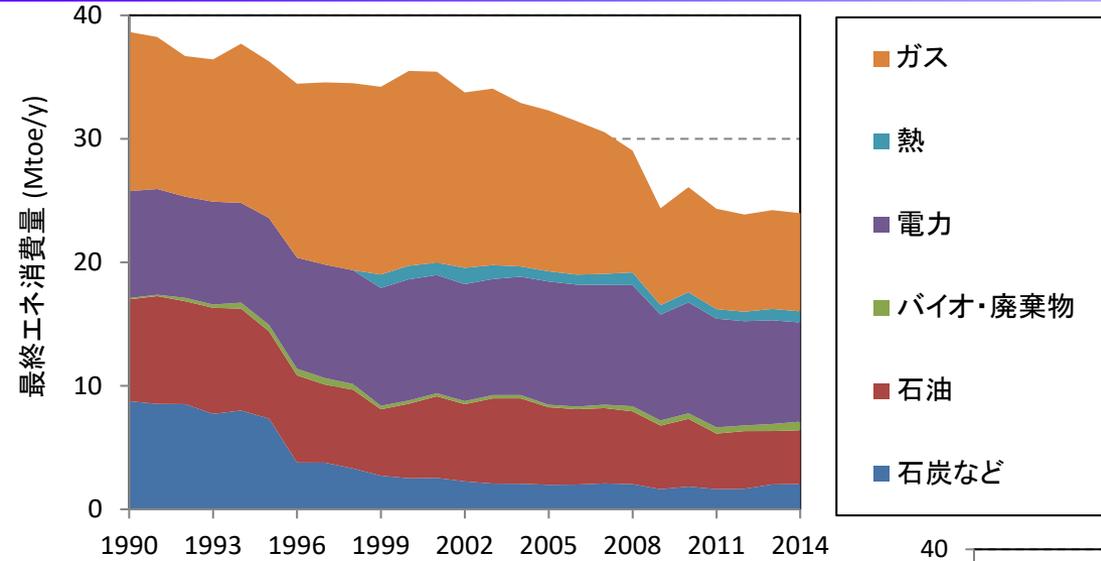
出典: Helm et al.(2007)

- 消費ベースCO<sub>2</sub>で見ると、少なくとも2007年頃までは排出増となってきた。
- 2008年以降は経済危機の影響で消費ベースCO<sub>2</sub>でも排出は減少。ただし、それでも2011年で1995年水準に近い程度

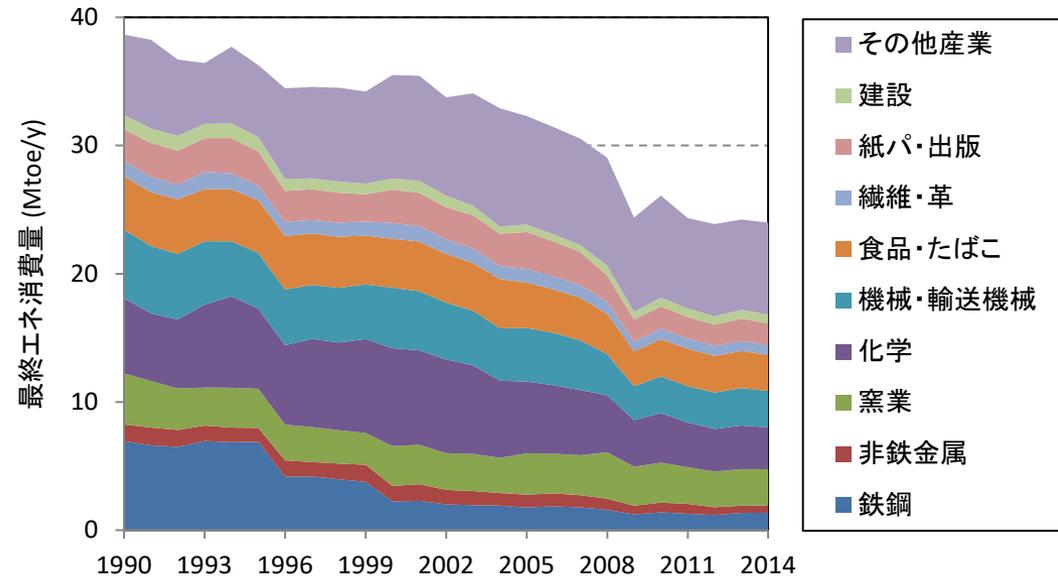


出典) OECD (2015)

# 産業部門の最終エネ需要



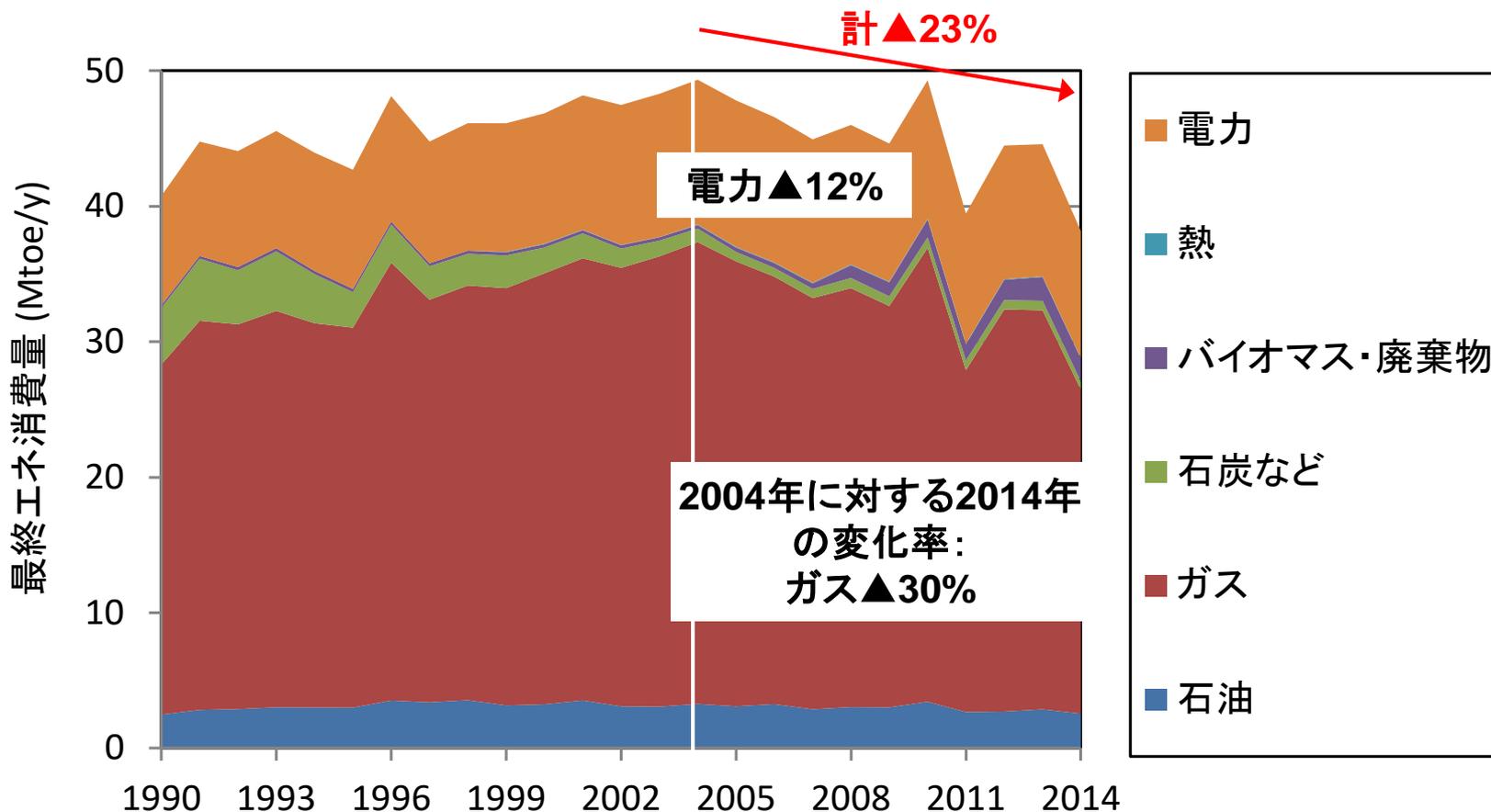
Source: DECC - Digest of UK Energy Statistics.  
UK SIC 2007 structure and explanatory notes.



鉄鋼を含む幅広い業種でエネ需要が低下。ただし、消費ベースCO2排出の分析からも、炭素リーケージとなっている部分大きいと見られる。



# 家庭部門の最終エネ需要（燃料種別）

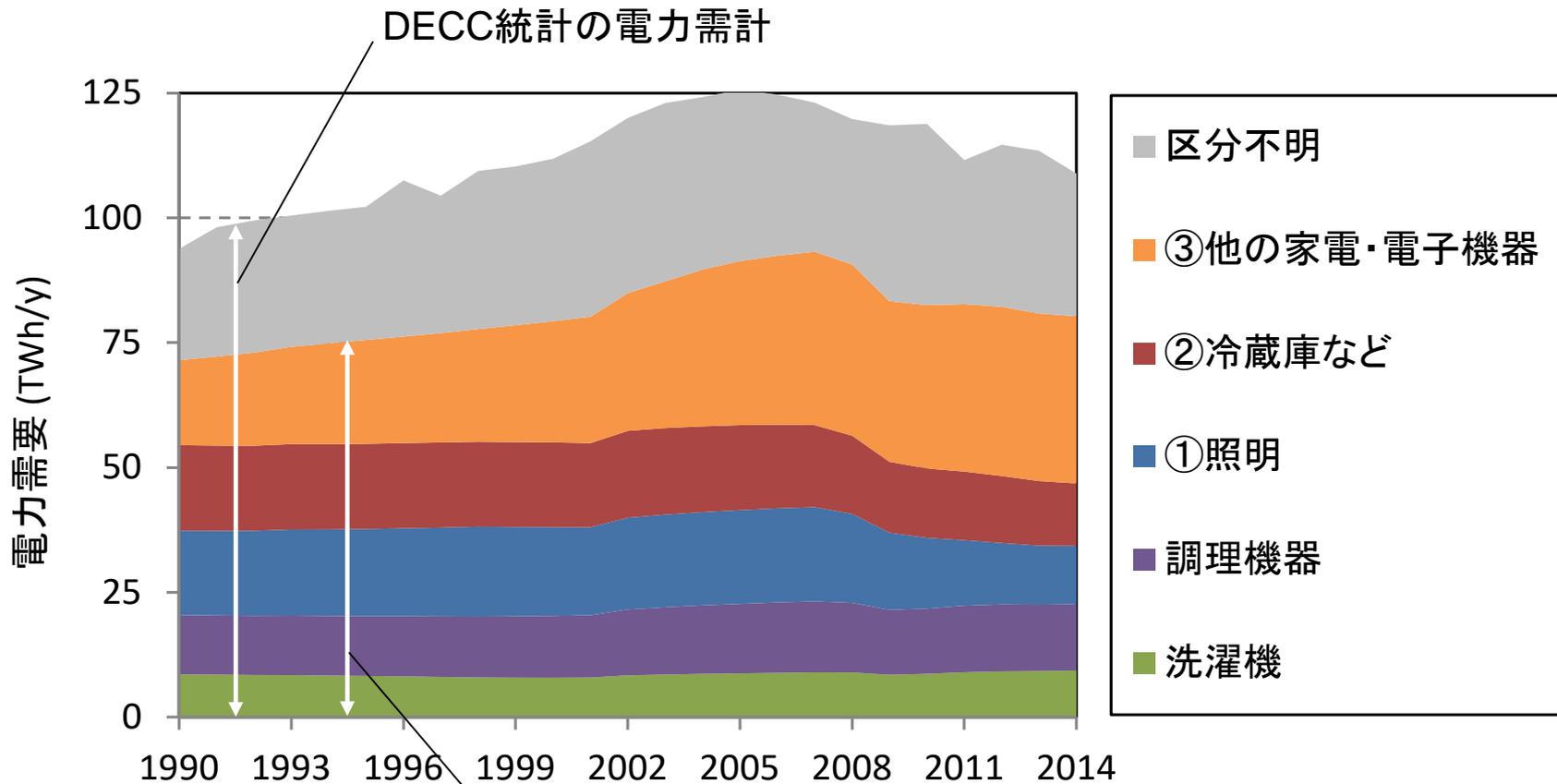


注1) 数値は、2004年に対する2014年の変化率。気温補正なし。

注2) IEA統計とほぼ同じであることを別途確認。

補足) 英国の人口規模は6410万人（2013年）。2000年～2013年の人口増加率は年0.65%。

# 家庭部門の電力消費の内訳（機器別）



DECC依頼の“Market Transformation Programme and analysis by Cambridge Architectural Research Ltd”により内訳が示された電力需要（本資料の後のページで提示）

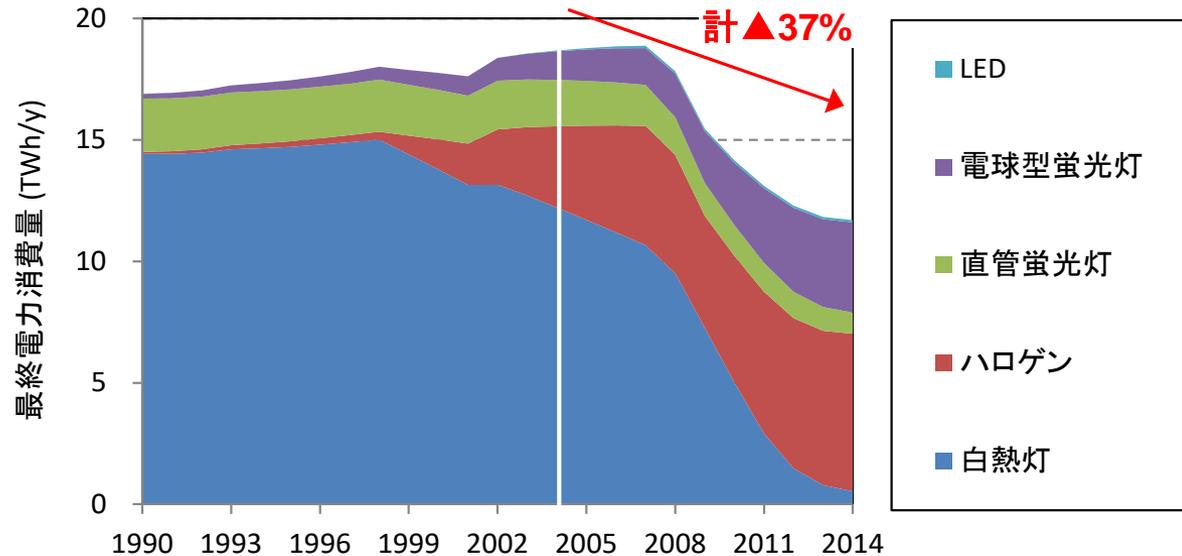
供給側からみたDECC統計と、DECC依頼の積み上げ評価” Market Transformation Programme and analysis by Cambridge Architectural Research Ltd”の間には若干の祖語がある。

# 家庭部門の電力需要（詳細機器別）（1/2）

## ①照明

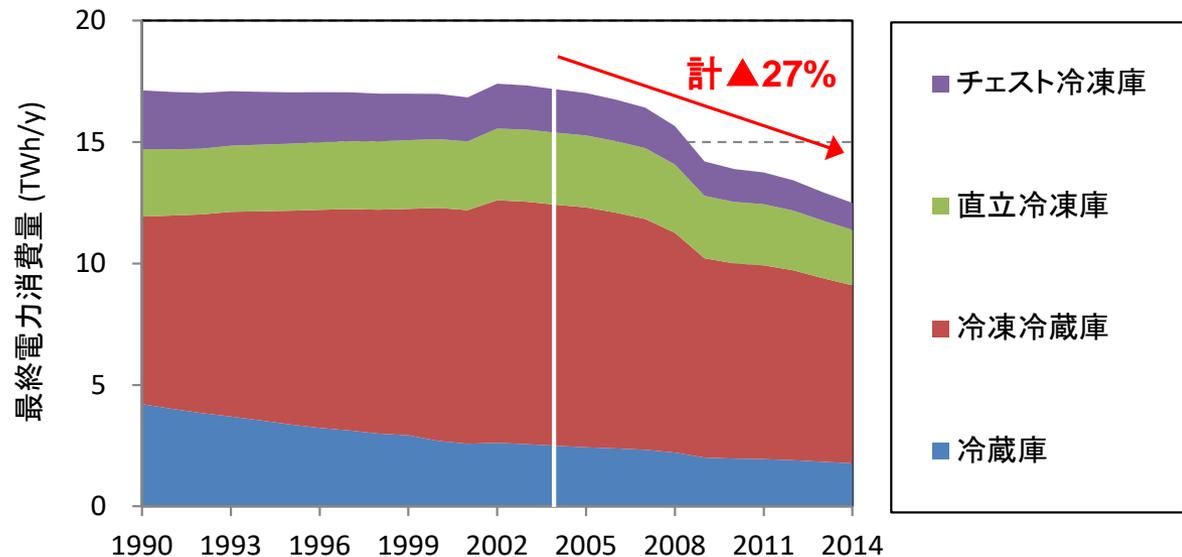
- ✓ 白熱灯からハロゲン、さらに電球型蛍光灯へ代替
- ✓ 白熱灯の販売禁止政策（2009年～）の効果

いずれも大きく低下。省エネ効果を含めてトータルの費用が減少したとすればデカップリングに寄与

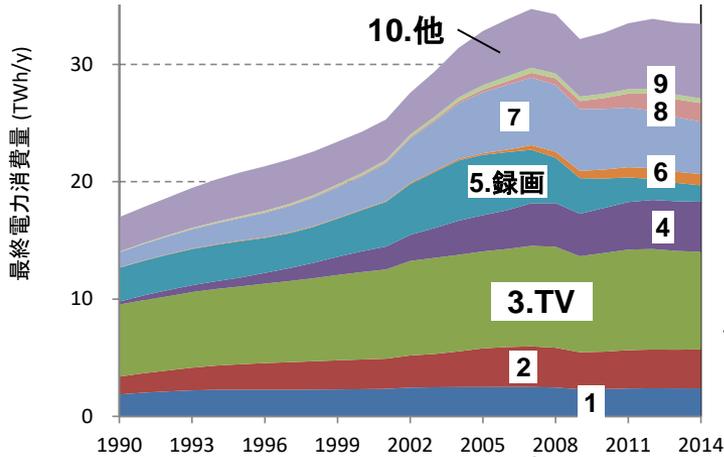


## ②冷蔵庫など

- ✓ 冷凍冷蔵庫は2014年までの過去10年間に26%電力消費が低下
- ✓ ただし台数は同時期に11%増加（つまり、一台当たりの電力消費が34%減少）

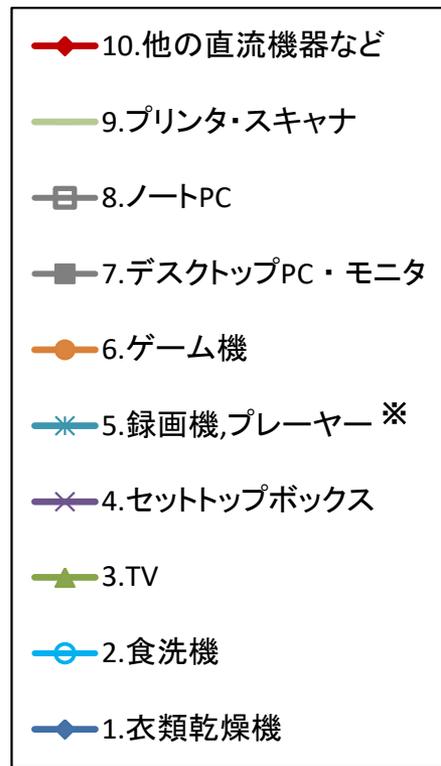
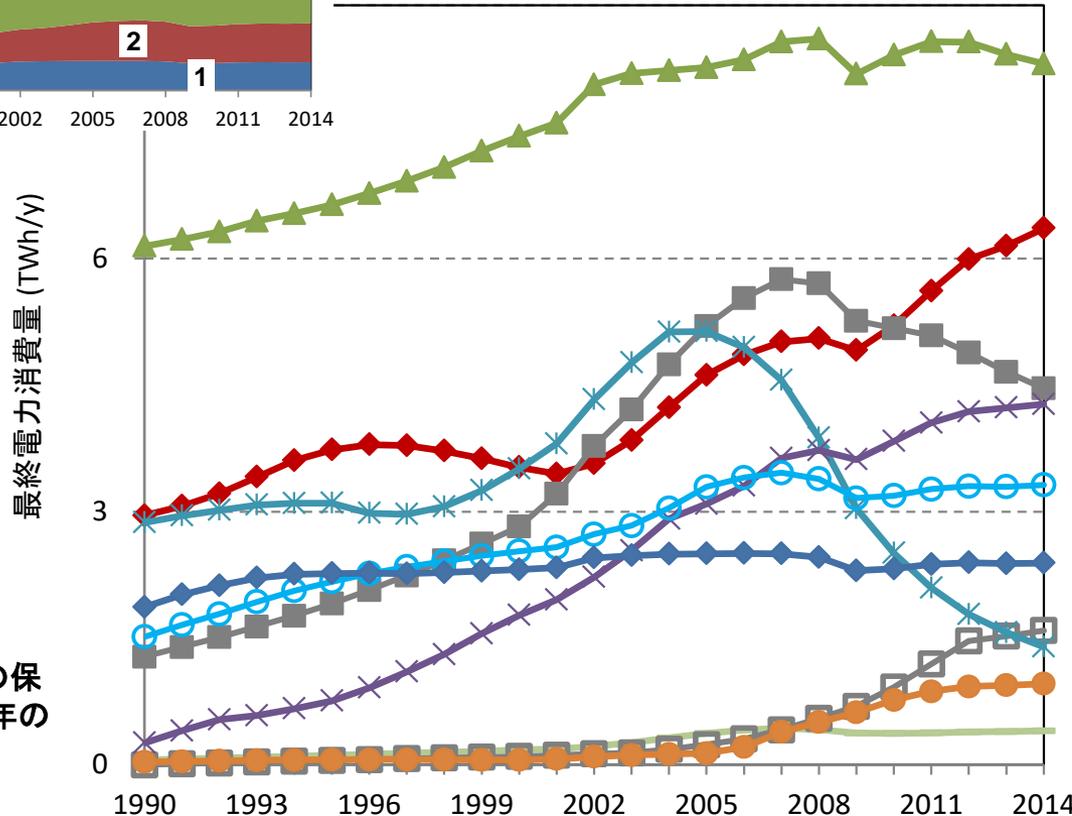


# 家庭部門の電力需要（詳細機器別）（2/2）



## ③他の家電・電子機器など

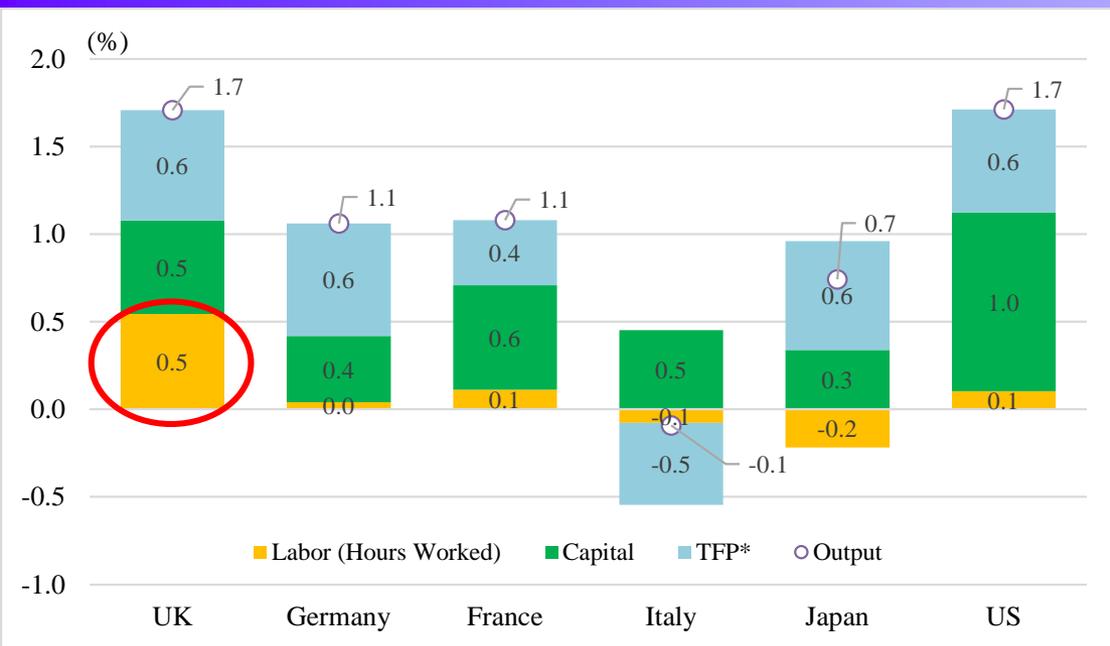
- ✓ 食洗機、TVなどの電力需要は横ばい
- ✓ スマホなど（Grüblerが言う“granular”技術）が拡大？
- ✓ まとめ：電力需要減少は技術、エネ価格、政策が要因？



近年は横ばい  
傾向

※「5.録画機,プレーヤー」の保有台数のピークは2007年の4640万台  
(2014年は3460万台)

# 参考：英国の経済成長の主要な要因

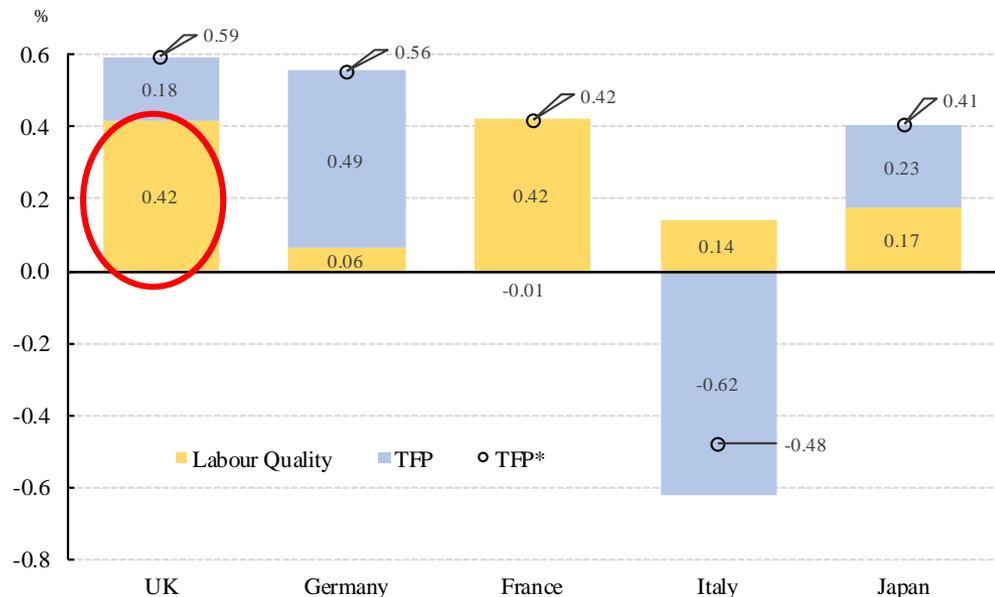


2000~2014年

出典：EU諸国はOECD (2016)、  
日米両国はAPO (2016)による。

出典：英国はONS-MFP、独仏伊国はEU KLEMS 2016(イタ  
リアは2013年まで)、日本はKEO Database 2016より作成。

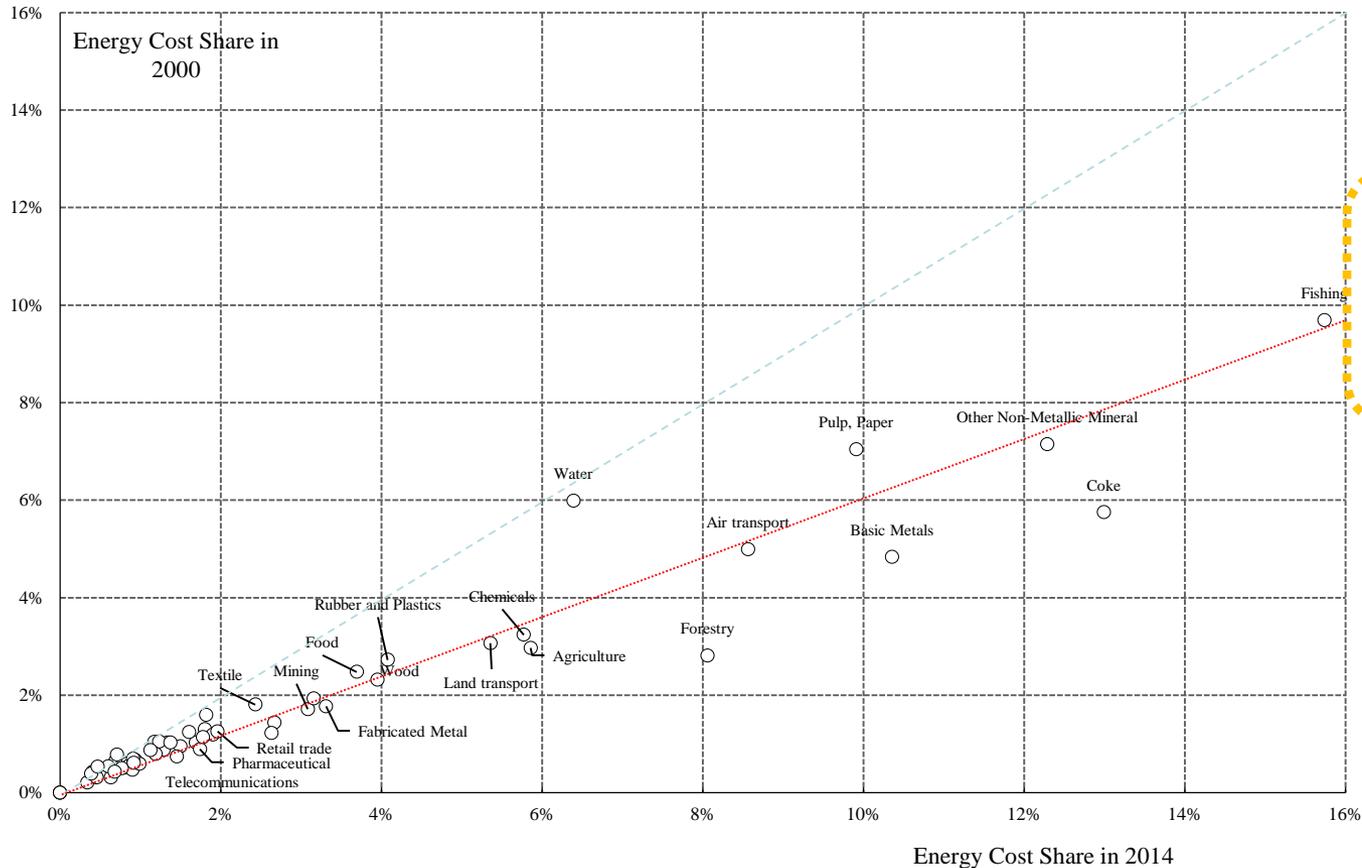
出典)慶応大野村浩二准教授作成



英国では、高い見かけ上のTFP成長率の70%は  
高スキルの移民労働者の流入が主要因と考えら  
れる。

# 参考：英国の産業別エネルギーコストシェアの変化

## 2000～2014年



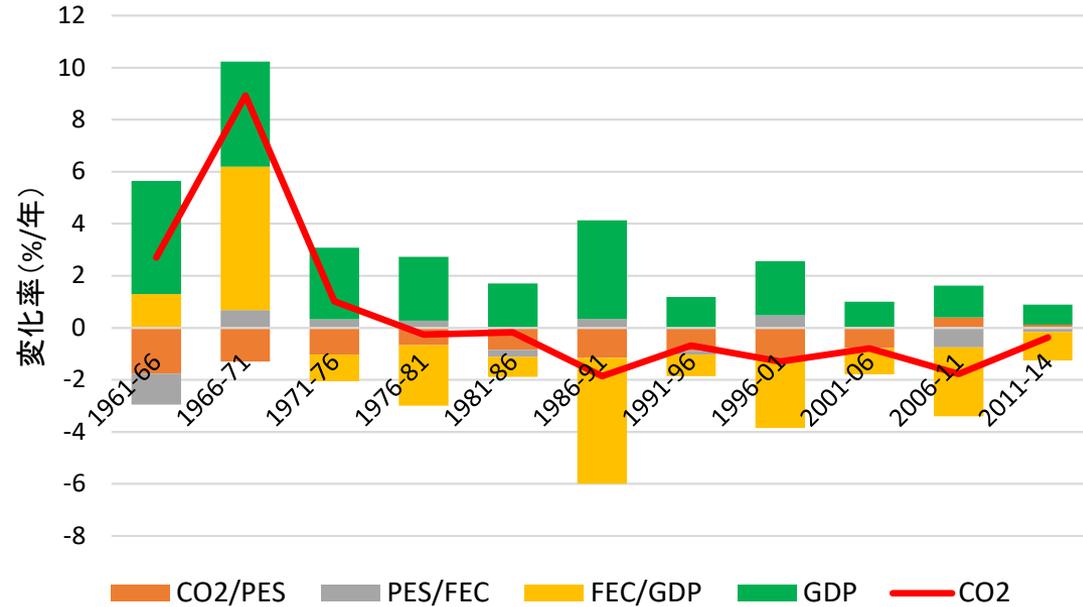
英国では、産業におけるエネルギーコストは、この期間におおむね6割ほど上昇。

出典)慶応大野村浩二准教授作成

出典: WIOD 2016におけるUse表より著者作成。

## 5.3. ドイツ

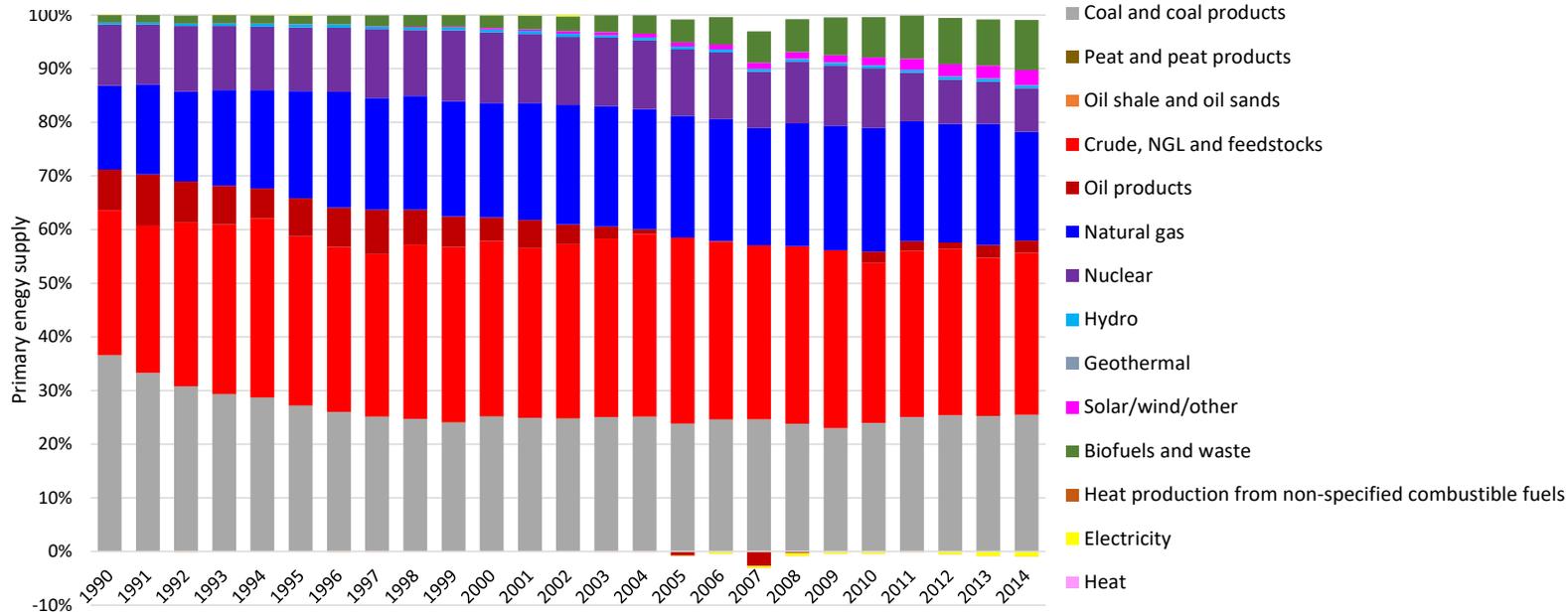
# ドイツのCO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析



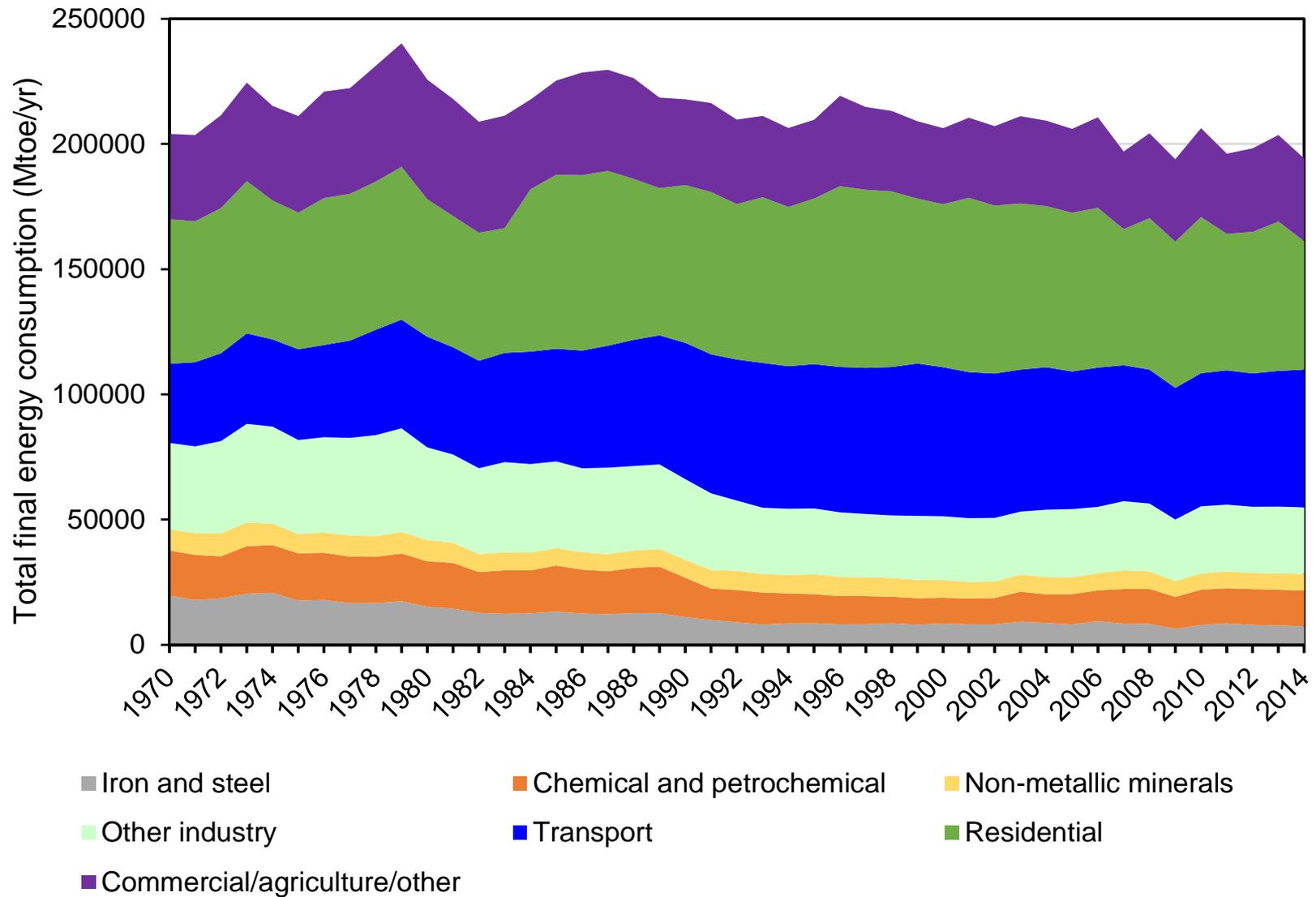
- 1986-2011年の間、FES/GDPおよびCO<sub>2</sub>/PESの大きな改善傾向があり、この間、CO<sub>2</sub>排出量も低下した。  
 - 2011年～13年の間は、FES/GDPおよびCO<sub>2</sub>/PESが悪化

- 2011年頃までガスの拡大が見られた。それ以降はガス横ばい、石炭微増  
 - バイオマス利用の増加は継続的に見られる。

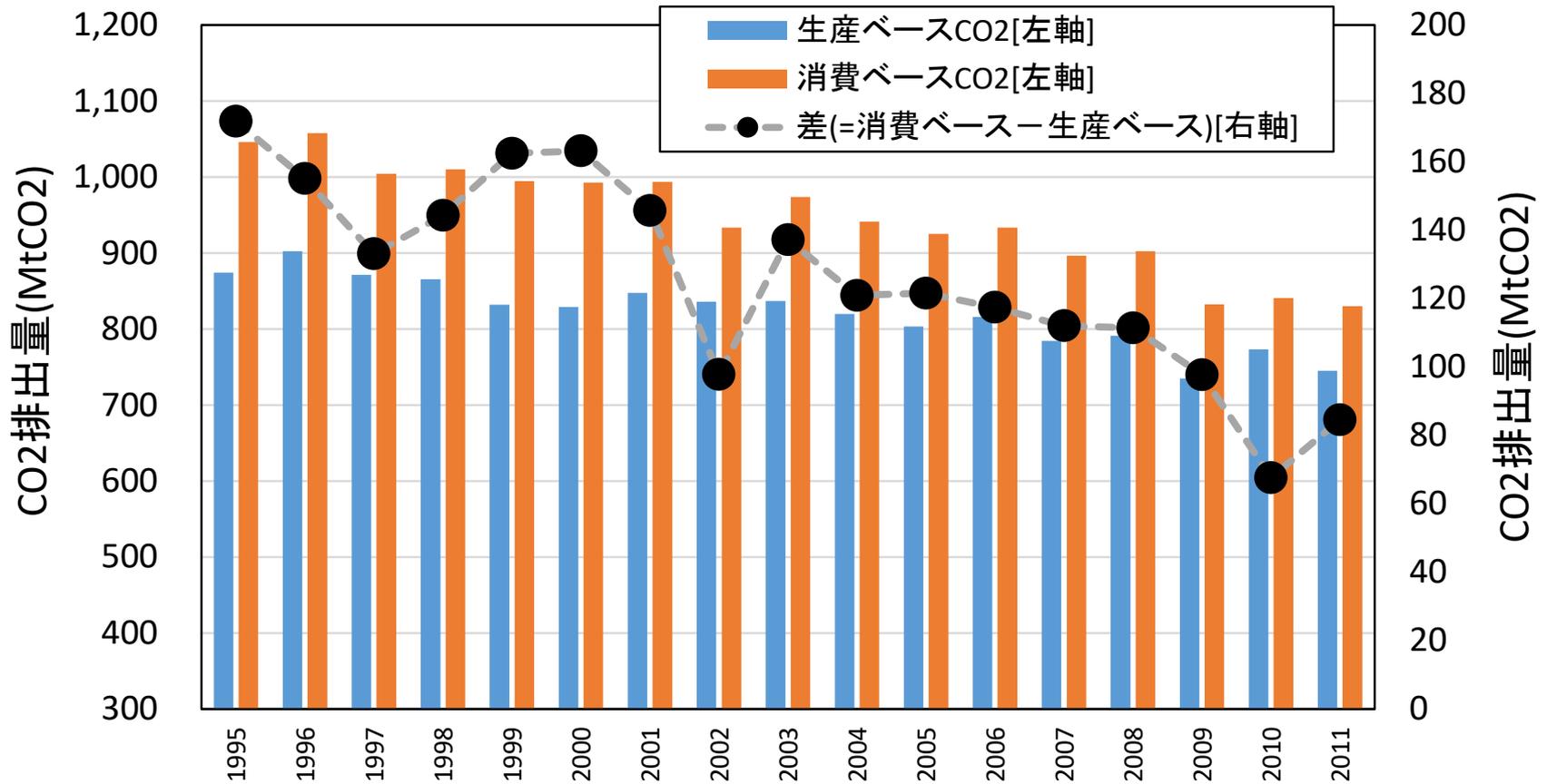
出典)IEA統計



# ドイツの部門別の最終エネルギー消費量



# ドイツの消費ベースCO<sub>2</sub>排出量

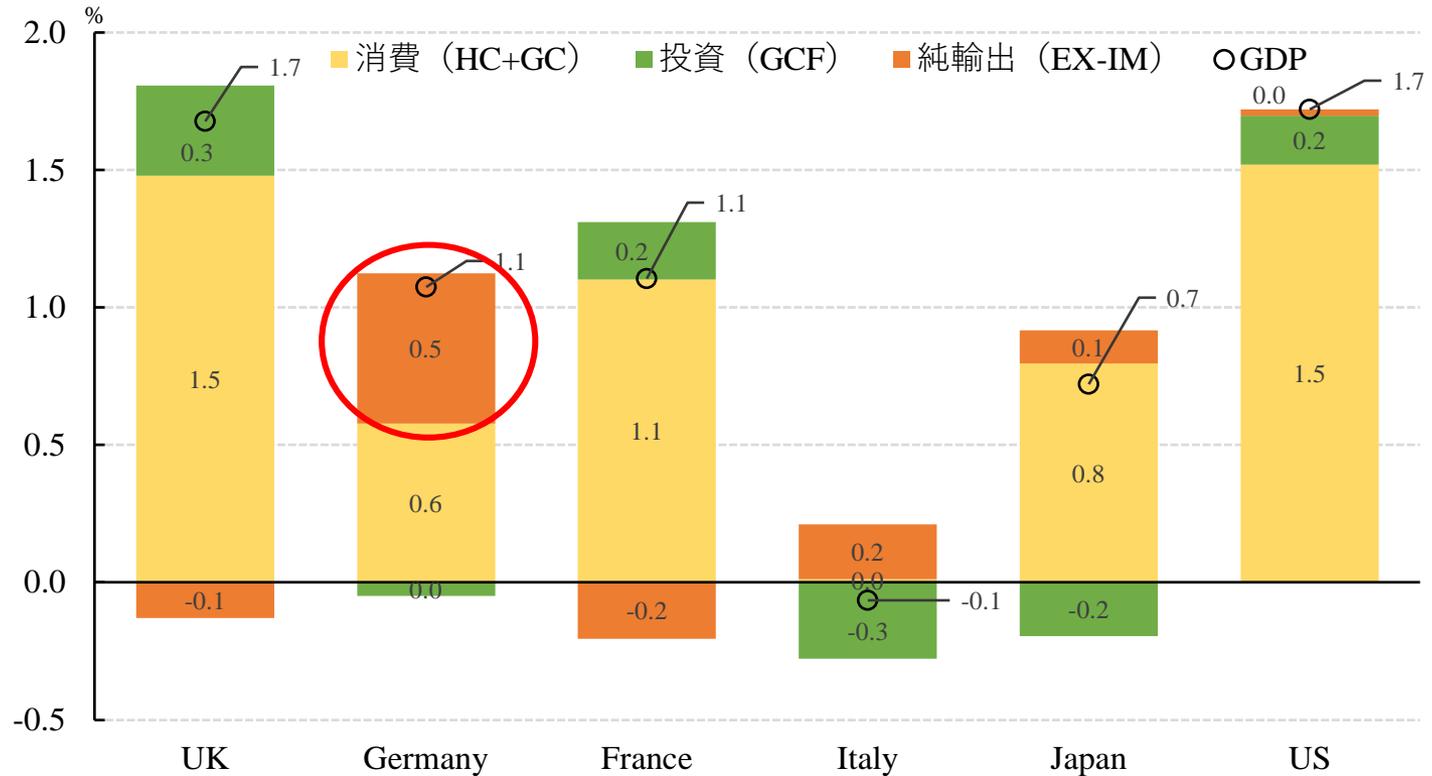


出典) OECD (2015)

- ドイツは、生産ベースでも消費ベースでもCO<sub>2</sub>排出を大きく減らしてきている。
- 消費ベースCO<sub>2</sub>排出量と生産ベースCO<sub>2</sub>排出量との差も減少傾向にある。

# ドイツの経済成長の主要な要因

2000～2014年

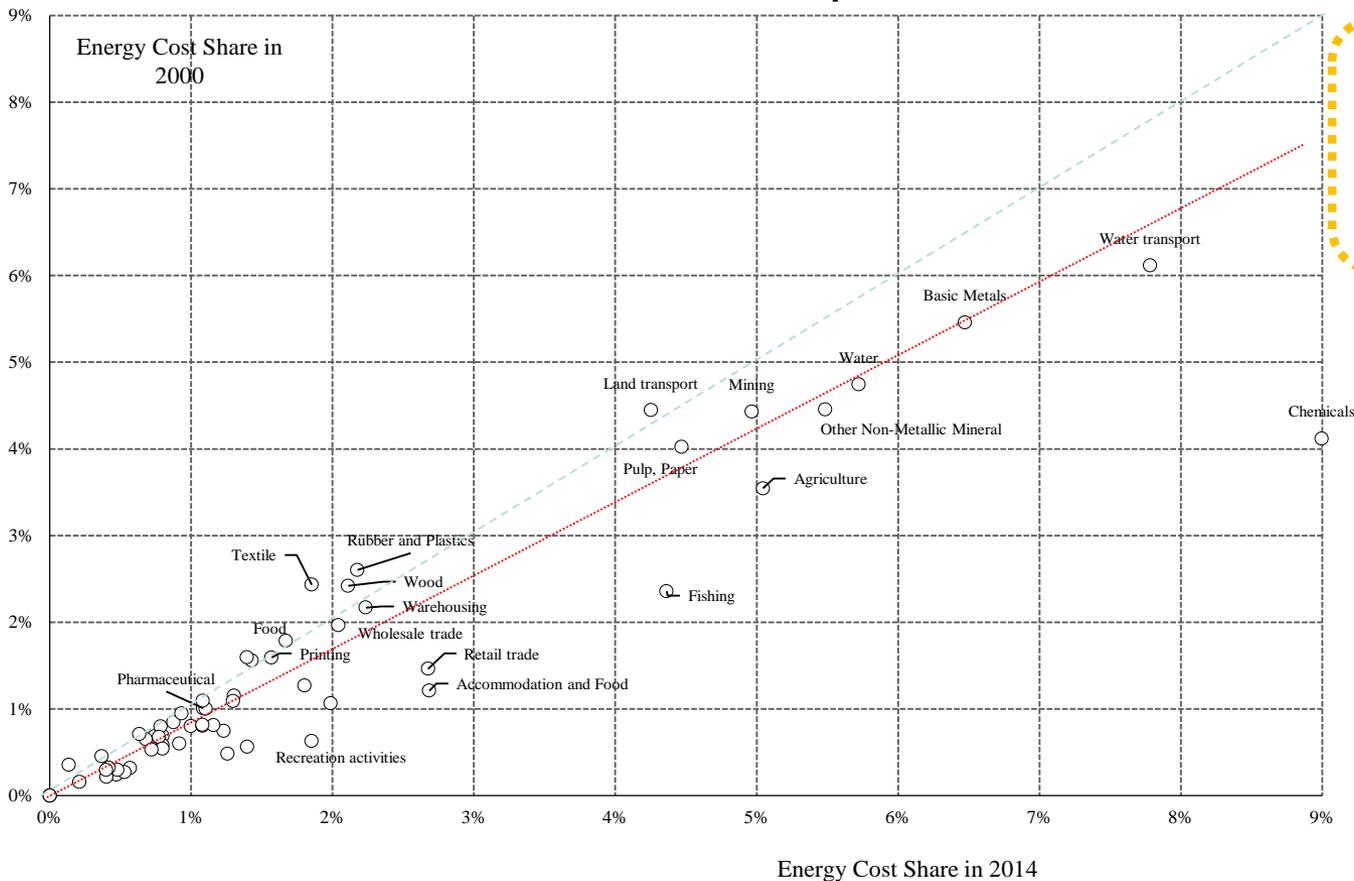


出典)慶応大野村浩二准教授作成

この期間におけるドイツの経済成長のおおむね半分は外需依存によるもの。ほとんど中所得国並みの外需依存度(相対的なユーロ安の中でこれが実現)。Bofinger (2016)はドイツにおける反ケインジアン的なマクロ経済政策の存在を指摘している。

# ドイツの産業別エネルギーコストシェアの変化

2000~2014年



独国では、英国に比して、産業におけるエネルギーコストの上昇は限定的。

出典) 慶応大野村浩二准教授作成

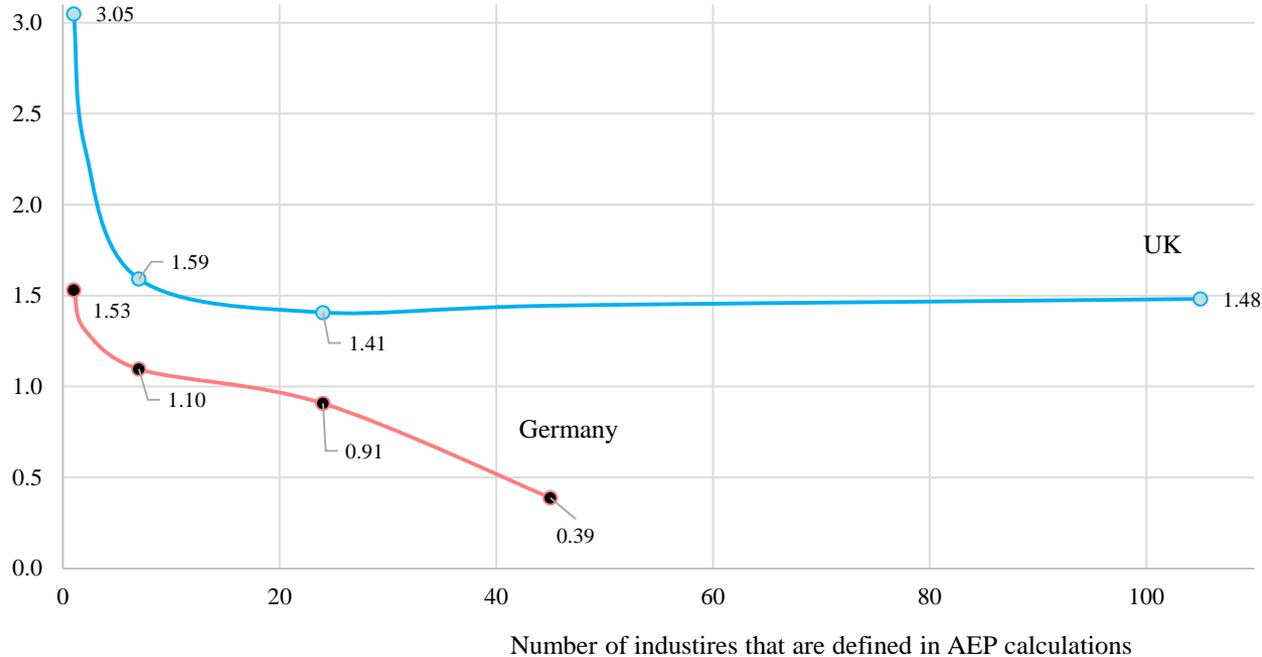
出典: WIOD 2016におけるUse表より著者作成。

ドイツでは、エネルギーコスト上昇の多くを、産業部門以外に賦課

# 英国、ドイツの産業細分化による エネルギー生産性改善率推計

2000～2014年

AEP growth rate (%)



英国では一国集計レベルAEPの年率3.1%改善は、産業の統御により、年率1.5%にまで半減。

ドイツでは一国集計レベルAEPの年率1.5%改善は、産業の統御により、年率0.4%にまで減少。

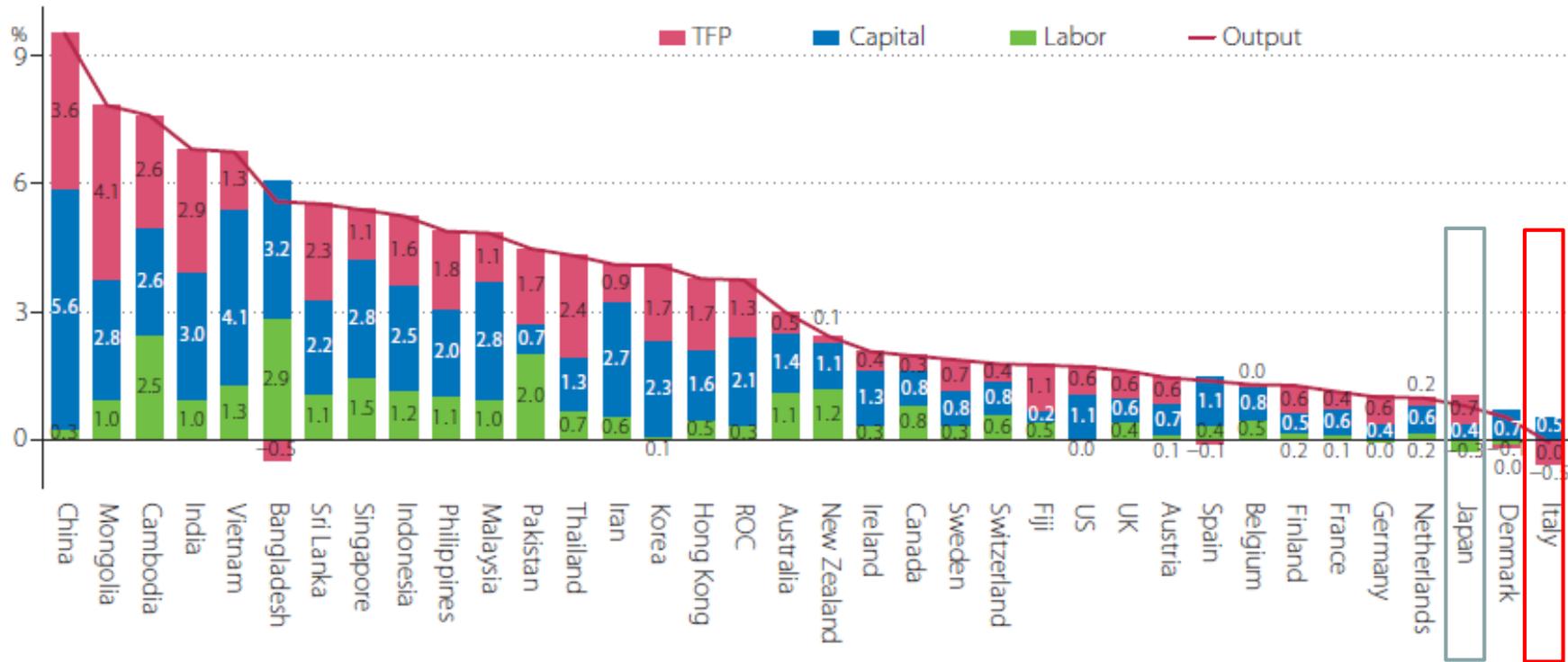
出典：野村(2017)。英国はONSによる国民経済計算および環境勘定(ONS, 2016b)、独国はFSOによる国民経済計算および環境・経済統合計算(FSO, 2016より著者作成。なお、FSO(2016)では一部概念変更に基づく断層における調整をおこなっている。英国では105産業分類、独国では45産業分類に基づく。

出典)慶応大野村浩二准教授作成

個別産業のエネルギー生産性の向上が大きく起こったわけではなく、産業構造変化による要因がかなり大きいことが確認できる。

## 5.4. イタリア

# 世界各国の経済成長率（2000-2013年）



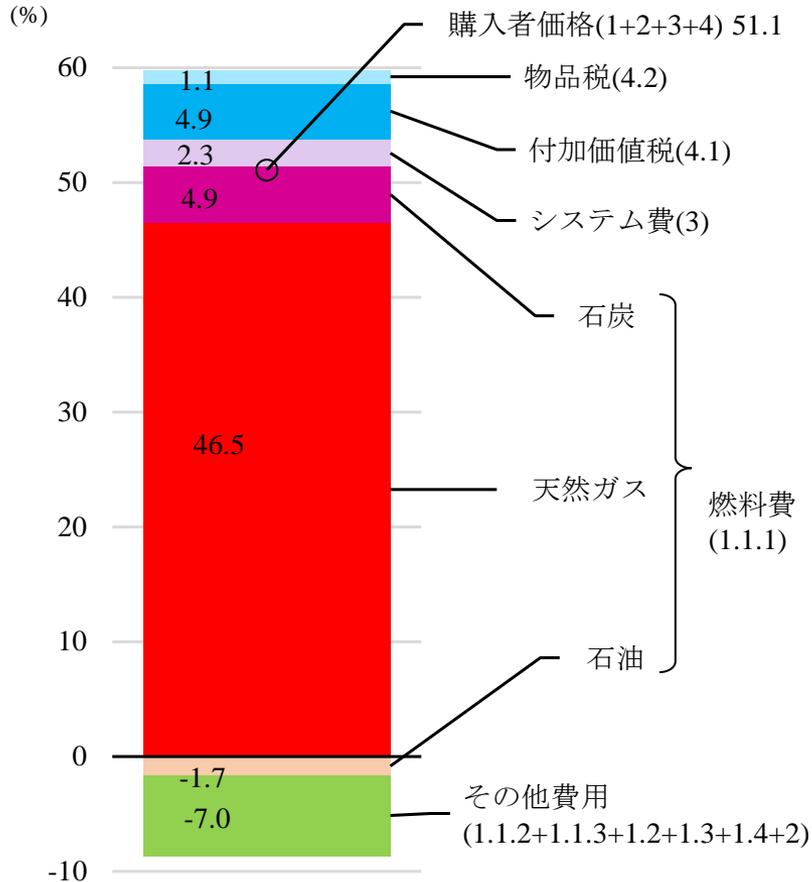
アジアとOECD諸国の経済成長の源泉（2000－2013年）

(Source) APO(2015) *AP0 Productivity Databook 2015*, Keio University Press: Tokyo, 2015, for Asian countries; OECD Stat (Dataset: Multi-Factor Productivity) for OECD countries (except Japan and Korea).

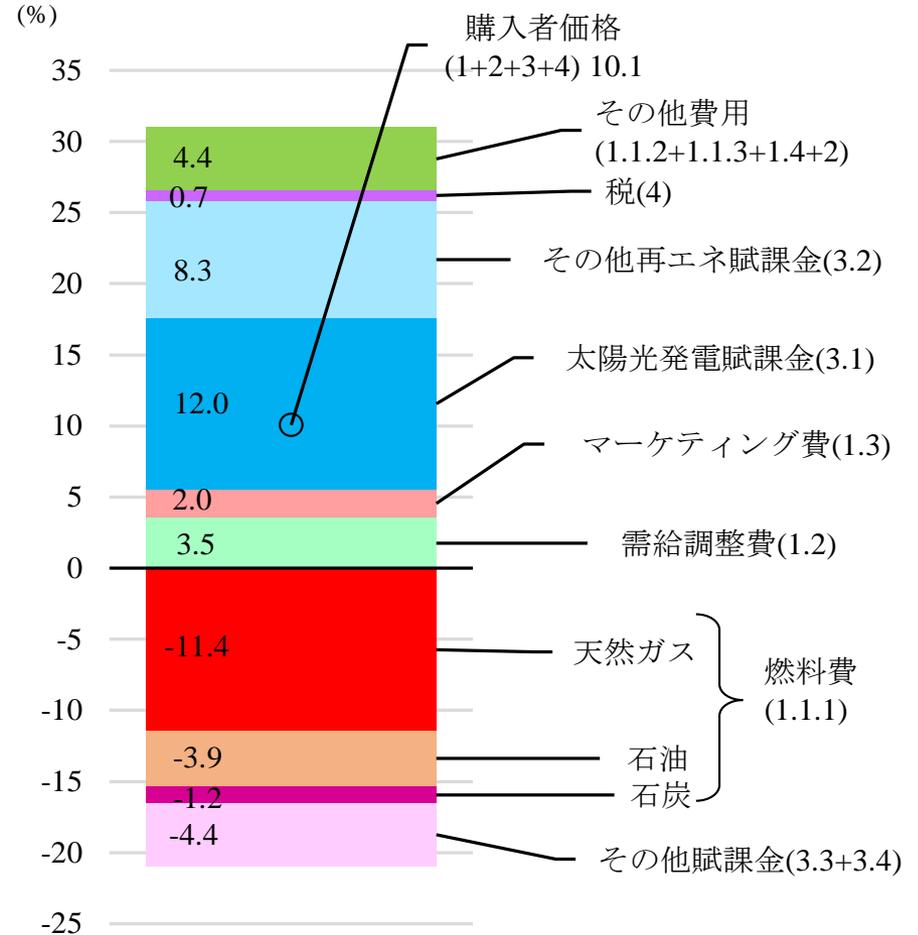
出典)慶応大野村浩二准教授作成

# イタリアの電力価格変化要因

価格高騰の前半期(1999-2008年)



価格高騰後半期(2008-2014年)



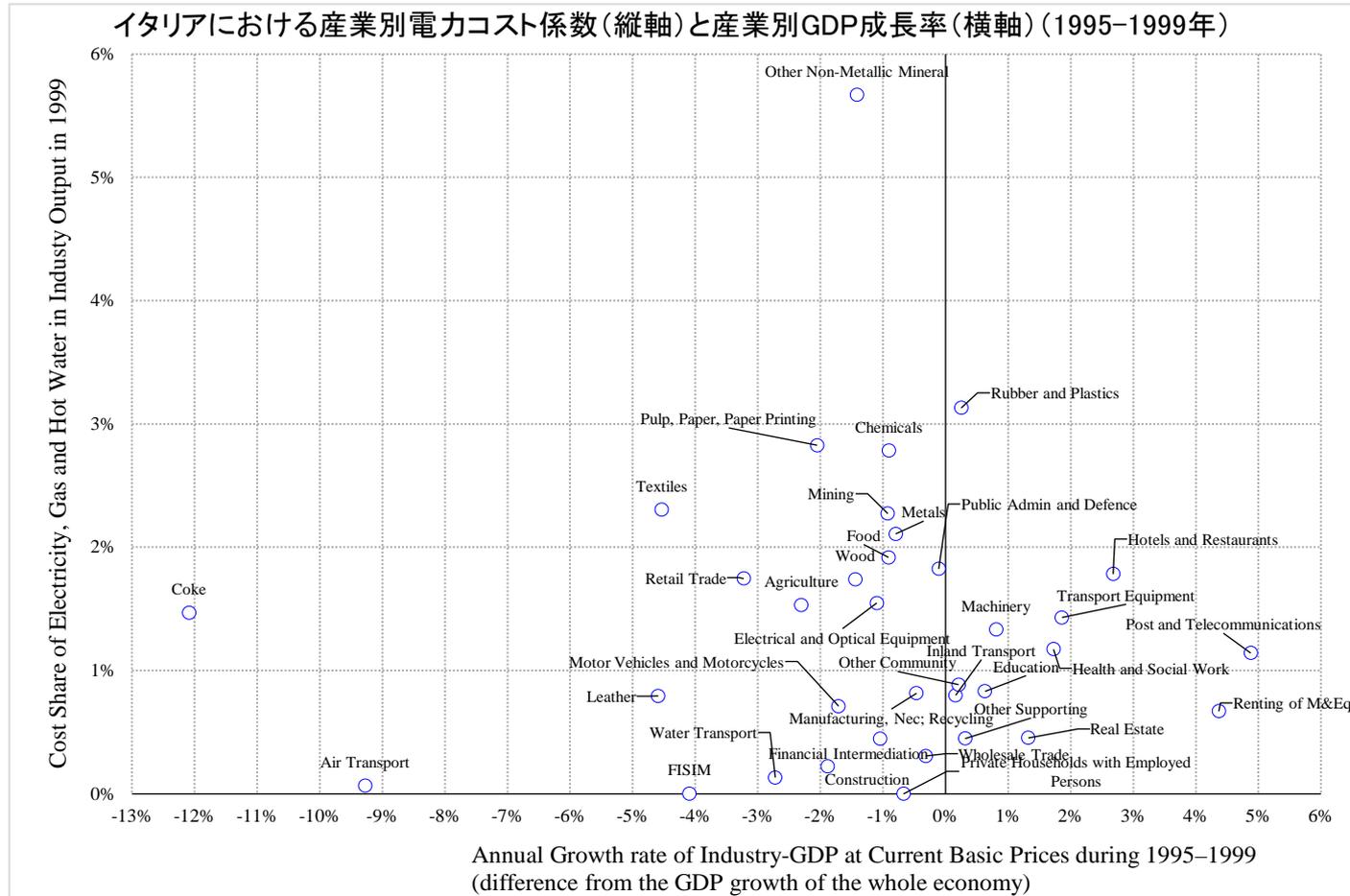
出典)慶応大野村浩二准教授作成

-前半期(1999-2008年):ほとんどが天然ガスの価格高騰(見通しと大きく乖離)による影響(寄与度91%)  
 -後半期(2008-2014年):天然ガス価格が低下しても、FIP/FIT賦課金、再エネによる需給調整費の拡大により上昇

# イタリアの産業別の電力コストと成長格差 — 電力価格高騰前 —

▶ 電力価格高騰前では、産業の(相対的)成長格差と電力コストシェアはほとんど**無相関**。

産業別電力コストシェア



(出典) WIOD Data (<http://www.wiod.org/>). イタリアのNational Use Tablesに基づいて作成。野村(2015)「イタリアの電力価格高騰と産業構造変化」RCGW Discussion Paper, No.54, 日本政策投資銀行設備投資研究所地球温暖化研究センター, 2015年12月。

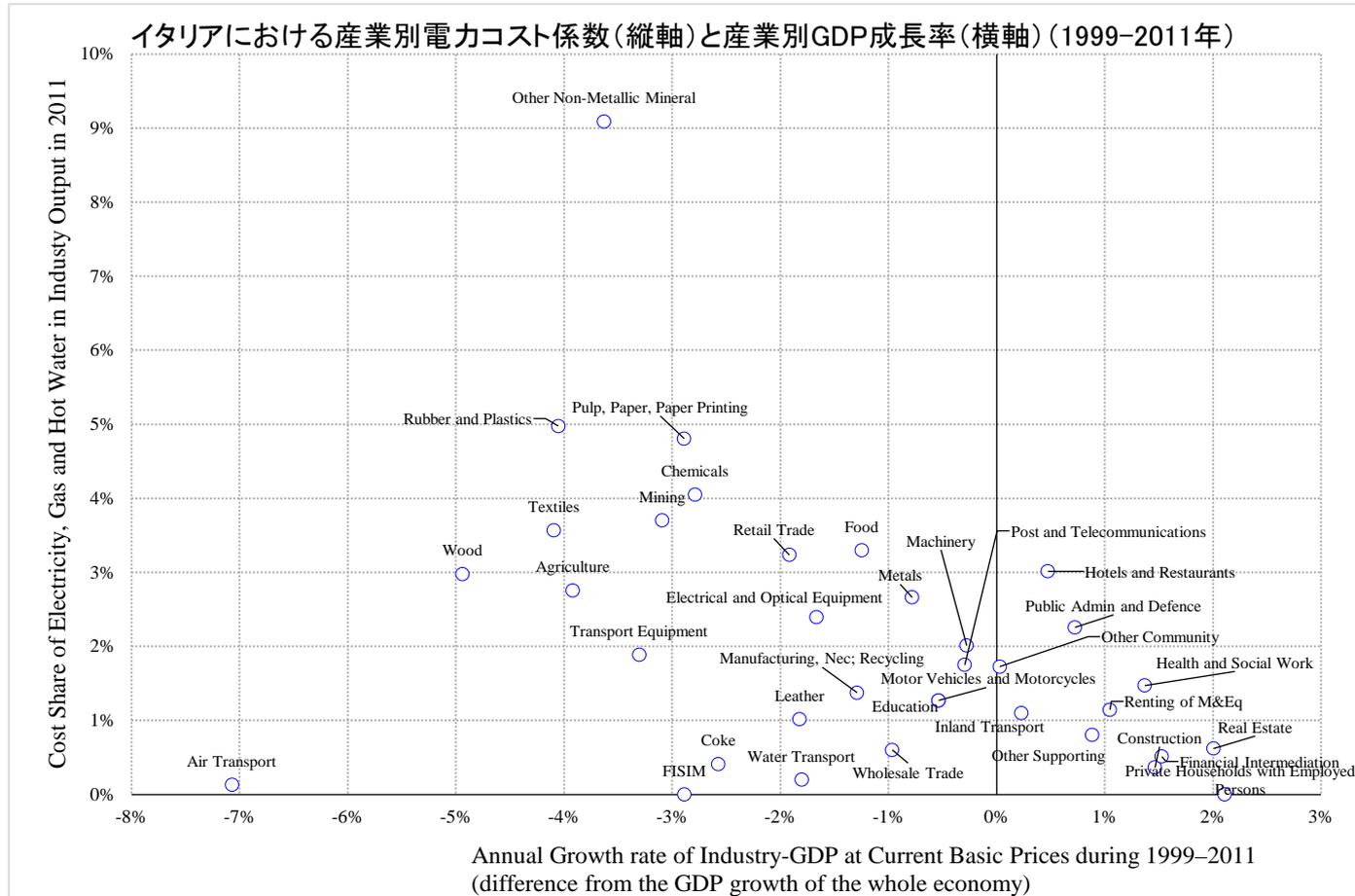
出典) 慶応大野村浩二准教授作成

# イタリアの産業別の電力コストと成長格差

## — 電力価格高騰後 —

- 電力価格高騰後では、産業の(相対的)成長格差と電力コストシェアには有意な**負の相関**が検出。
- 電力は数%のコストシェアでも、電力価格倍増は確実に純生産を低下させる。

産業別電力コストシェア

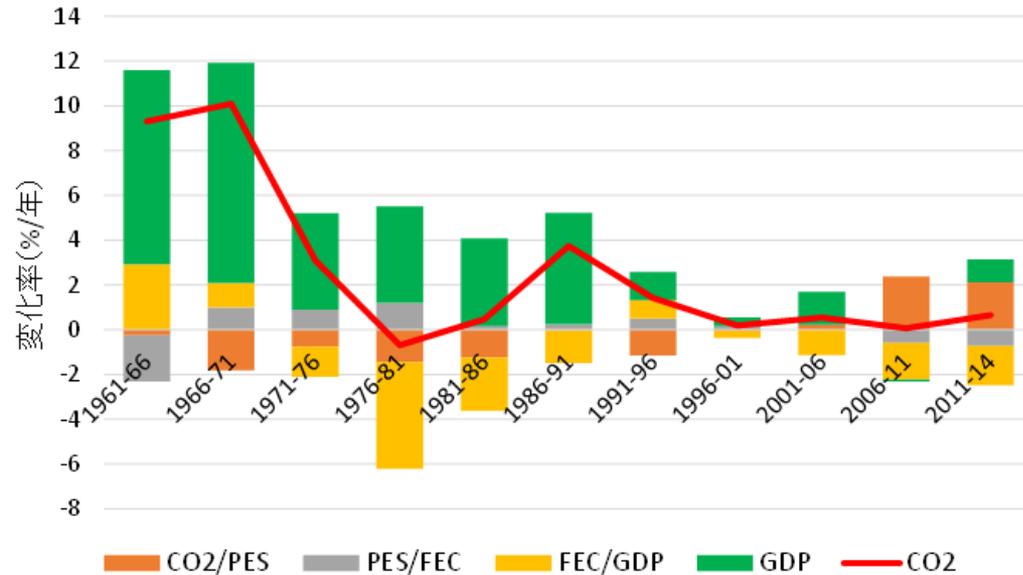


産業別成長率(経済全体を0で基準化)

(出典) WIOD Data (<http://www.wiod.org/>). イタリアのNational Use Tablesに基づいて作成。野村(2015)「イタリアの電力価格高騰と産業構造変化」RCGW Discussion Paper, No.54, 日本政策投資銀行設備投資研究所地球温暖化研究センター, 2015年12月。

## 5.5. 日本

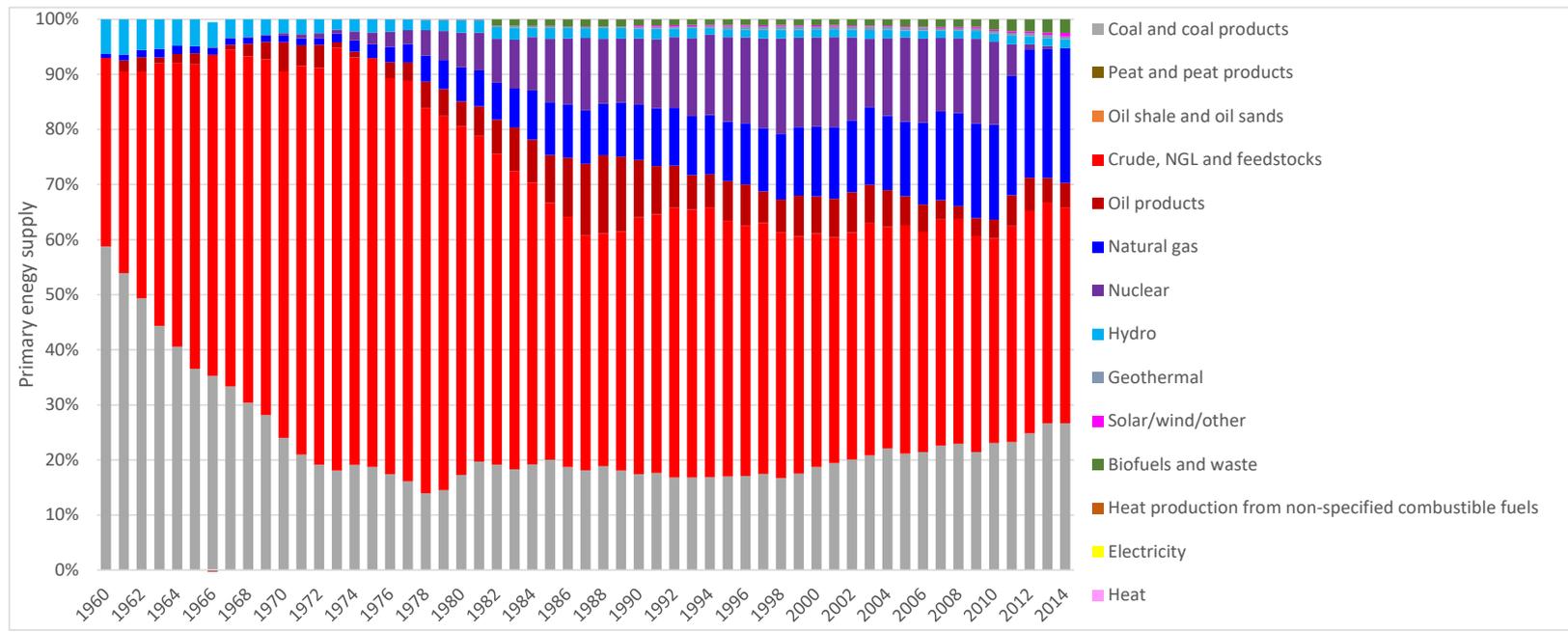
# 日本のCO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析



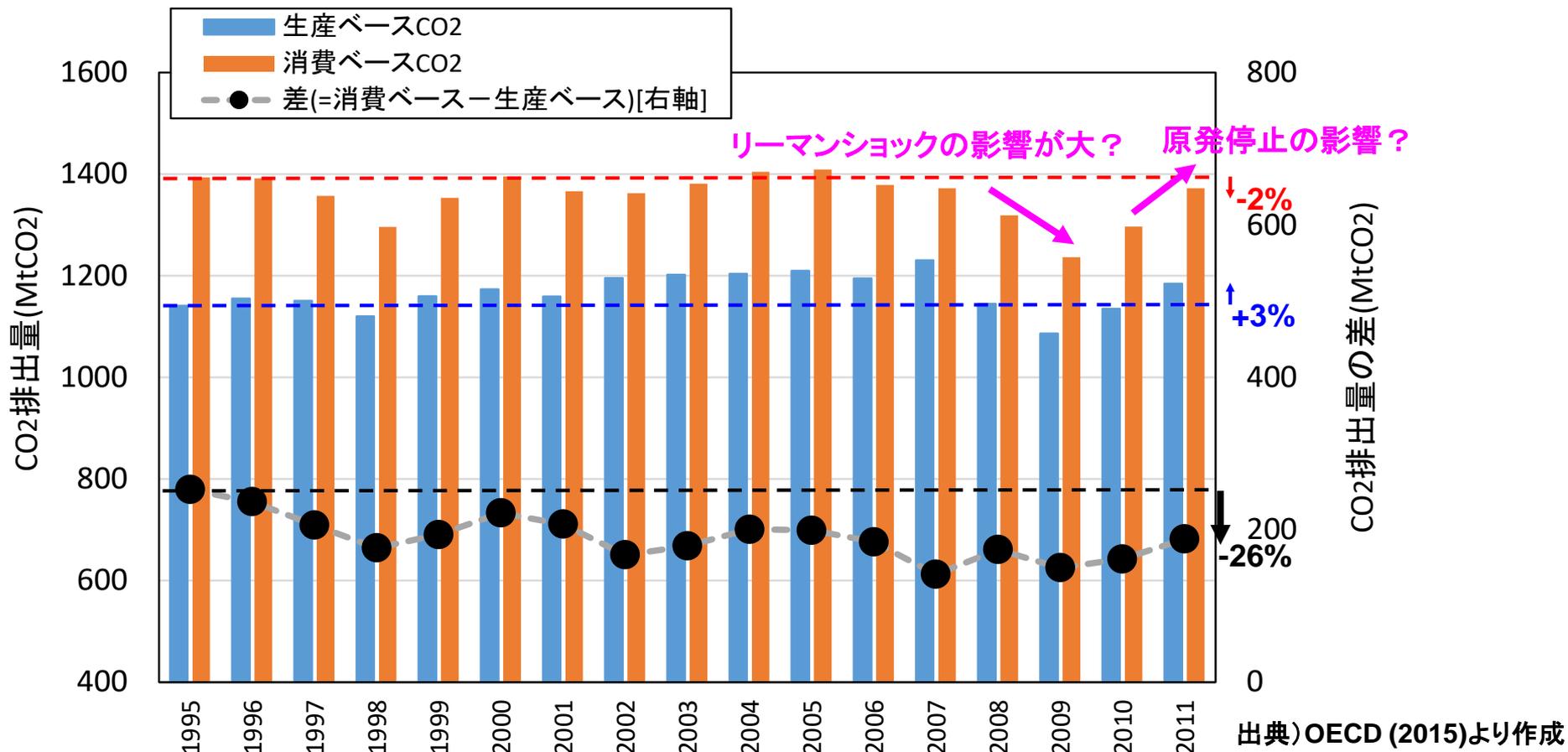
## 日本

出典)IEA統計

- 1996～11年頃に掛けて、経済成長率が低かったこと等により、CO<sub>2</sub>排出変化率はほぼゼロ程度
- 2006～13年にかけては、原子力発電電力量が低下(CO<sub>2</sub>/PESの悪化(寄与分の2～3%/yr))。2011～13年は経済成長率も少し回復したことで、CO<sub>2</sub>排出量変化は正に。

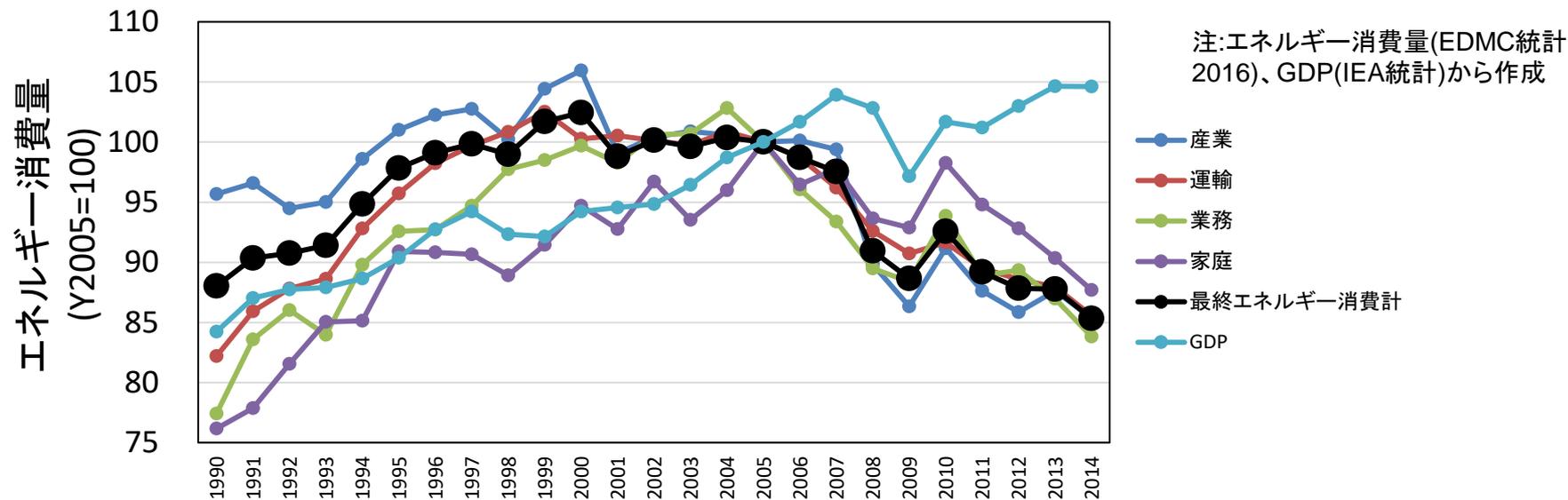
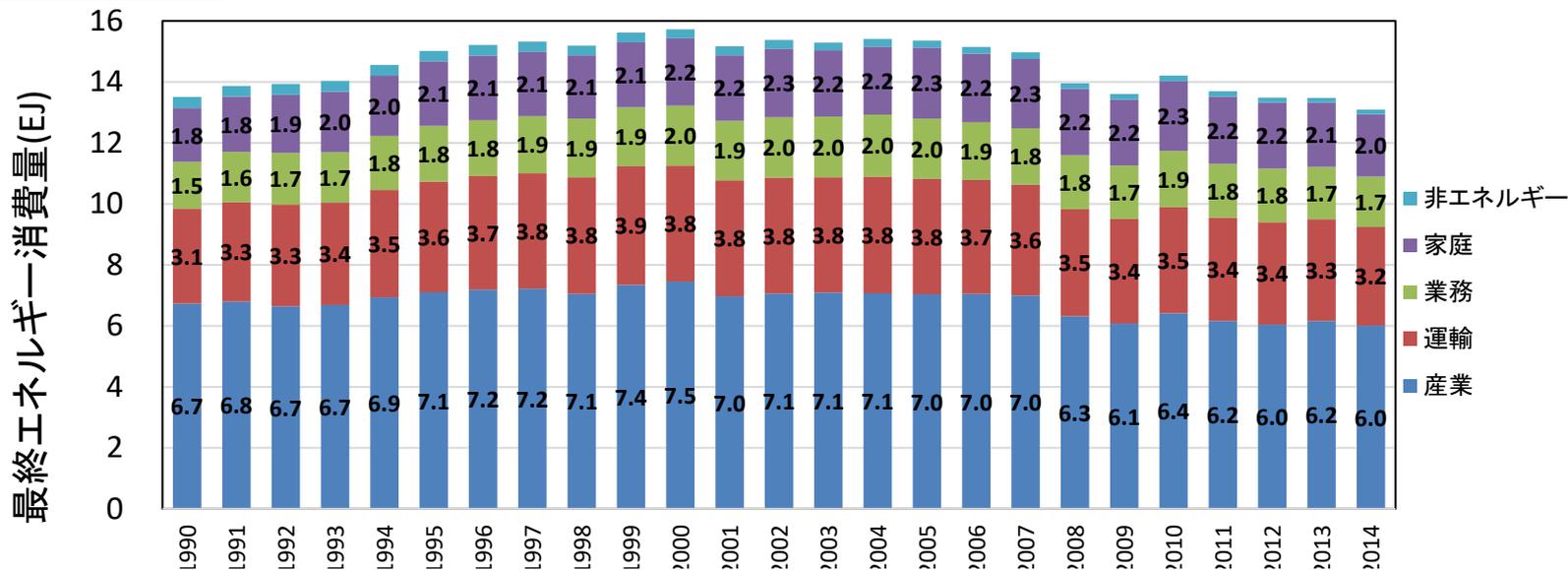


# 日本の消費ベースCO2排出量の推移



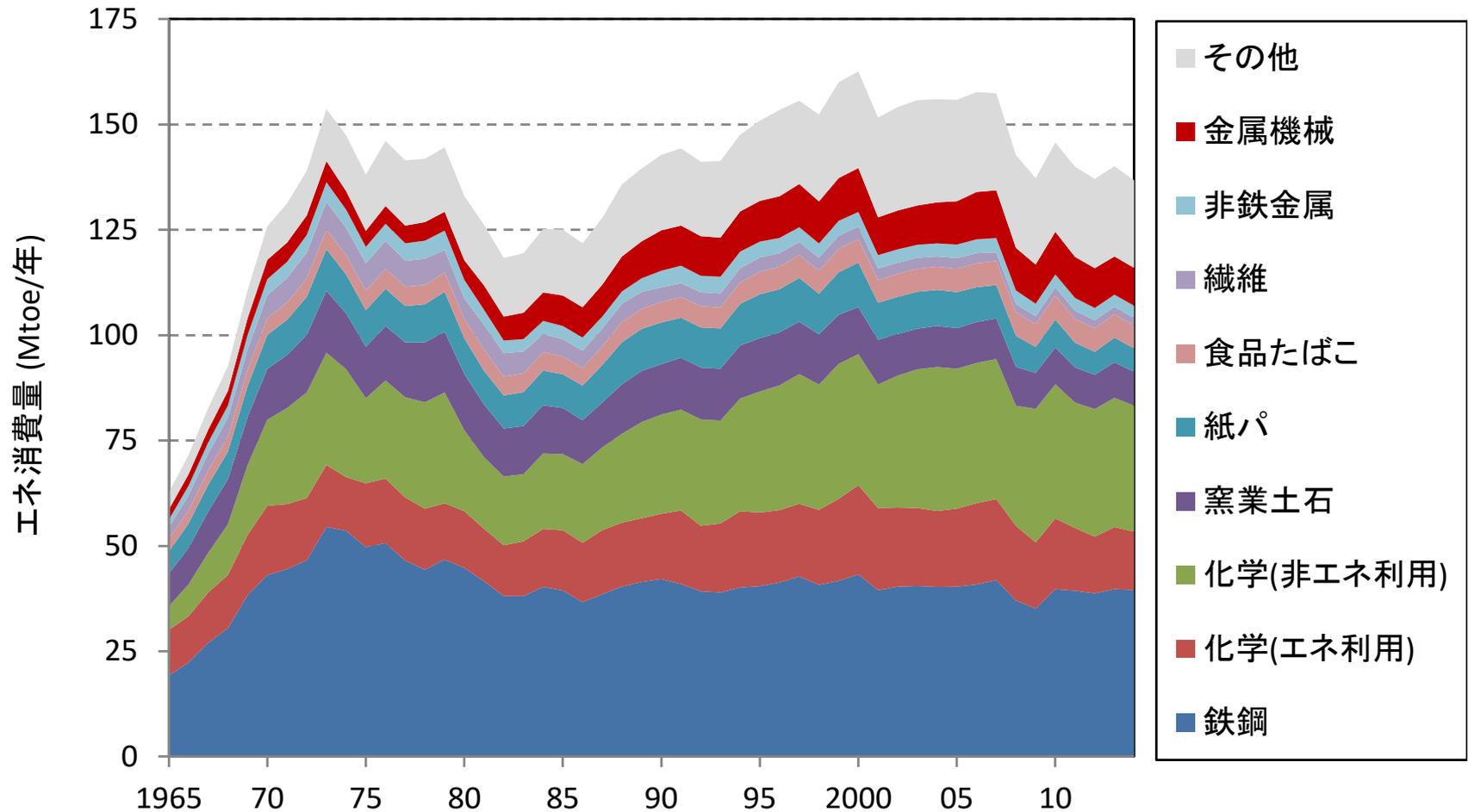
- 日本は、消費ベースCO2は生産ベースCO2とほぼ同じような動き。緩やかに消費ベースCO2と生産ベースCO2の差異は小さくなっている(ただし2010-11年は若干拡大)。すなわち、製造業を比較的多く維持し続け、炭素リーケージを拡大させてきていない。
- 生産ベースCO2では、1995-2011年の間に+3%であり、EUの削減率とは大きな差があるが、消費ベースCO2で見ると、EUと同じく-2%。

# 最終エネルギー消費量(部門別)



最終エネルギーにおいては、震災後はデカップリングの傾向が見られる。

# 【産業部門】 製造業の最終エネ需要

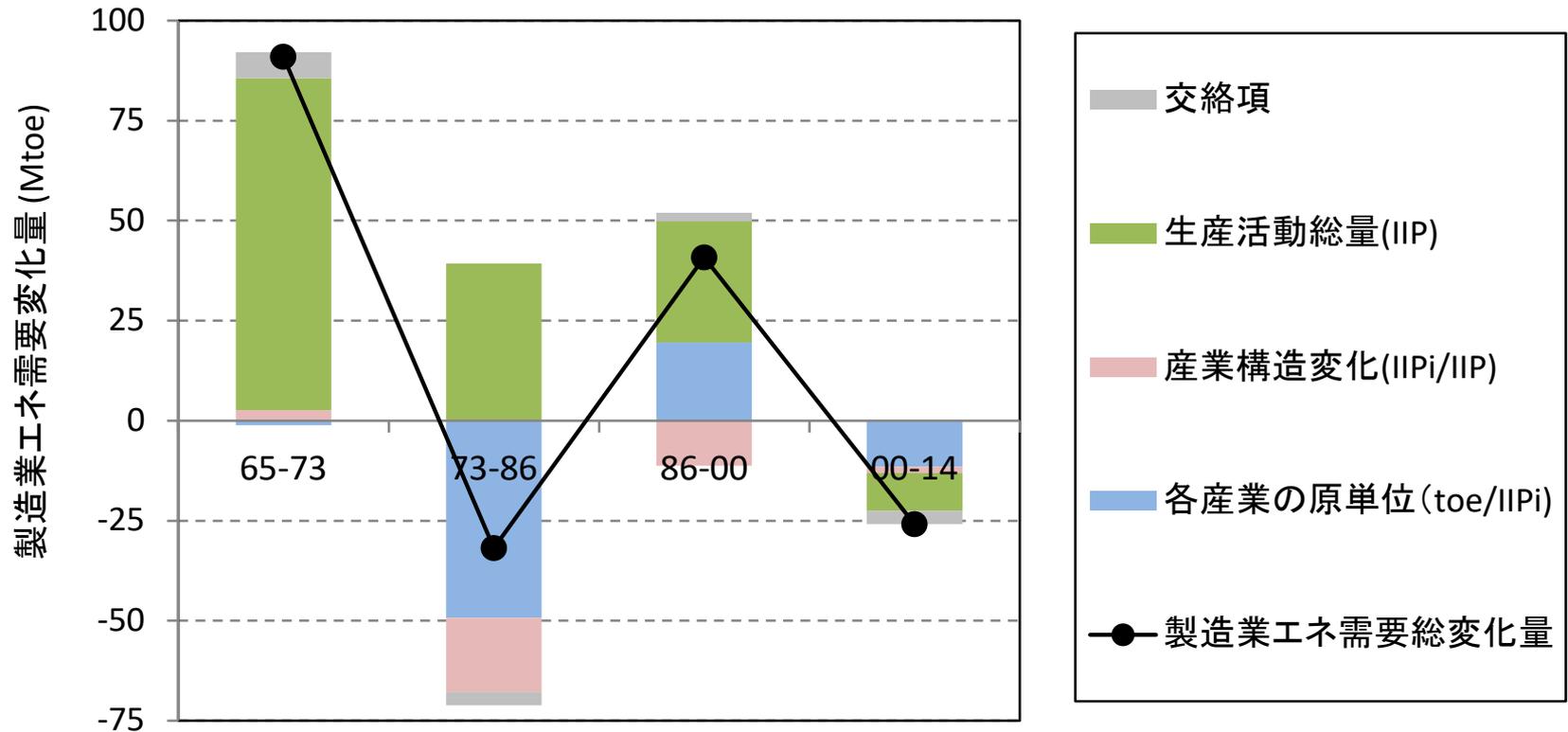


出典) EDMC統計。ただし化学の内訳(エネ利用、非エネ利用)はIEA統計による。

2000年以降、エネルギー需要は緩やかな減少傾向。特にリーマンショックで減少し、その後、回復し切れていない。

# 【産業部門】 製造業のエネルギー需要の変動要因

## 製造業計



出典) EDMC統計の数値に基づきRITE整理

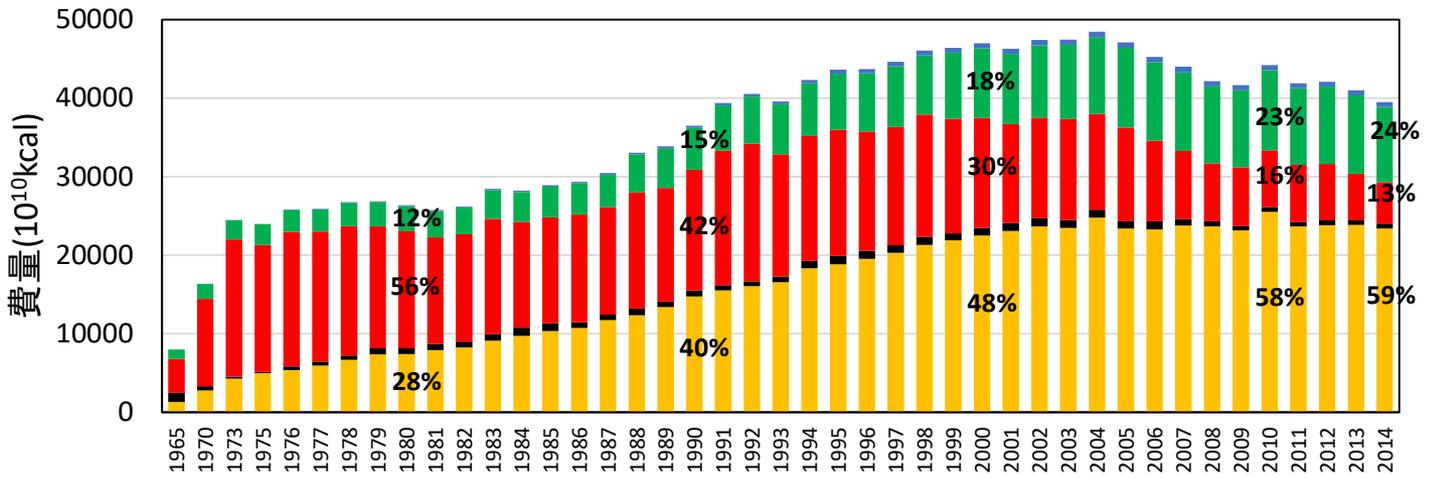
上図の期間区分に基づくと、石油危機の期間(1973年～86年)の原単位改善に比べ、2000年以降の原単位改善はゆるやか。製造業ではデカップリングは観察されない。

# 【業務部門】エネルギー消費量の推移「E種別」・「用途別」

## <E種別>

業務部門・エネルギー消費量(10<sup>10</sup>kcal)

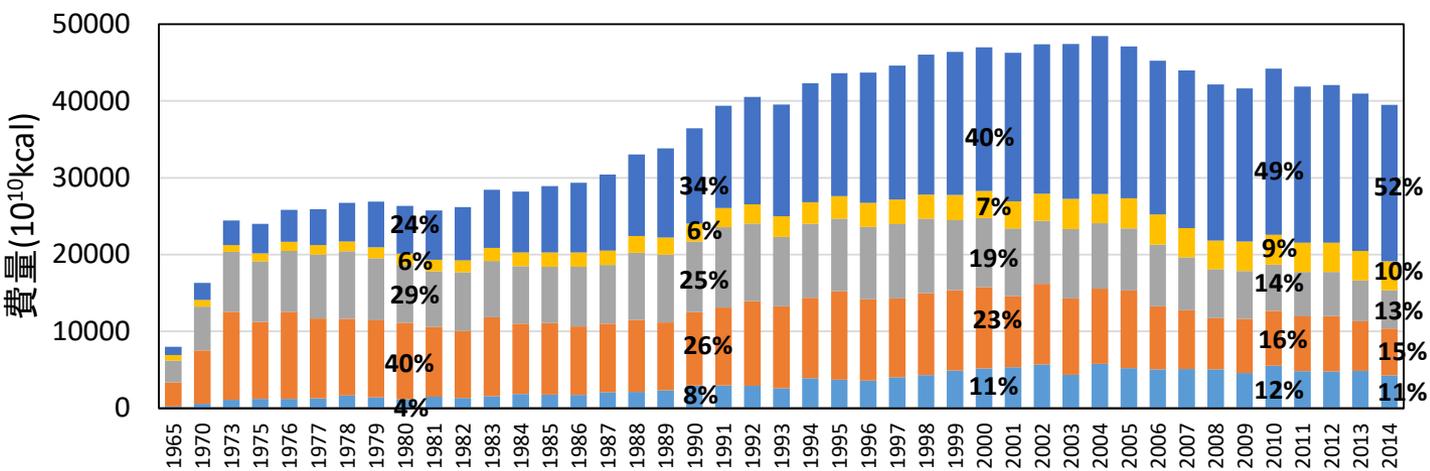
データ出典:  
EDMC統計2016



- 2004年まで: 動力他の需要増大を反映して、電力需要が大きく増加。ガスも増加。石油は90年以降、減少。
- 2005年以降: 石油は大きく減少。電力とガスはほぼ横ばい/微減(直近の2014は若干の減少)。

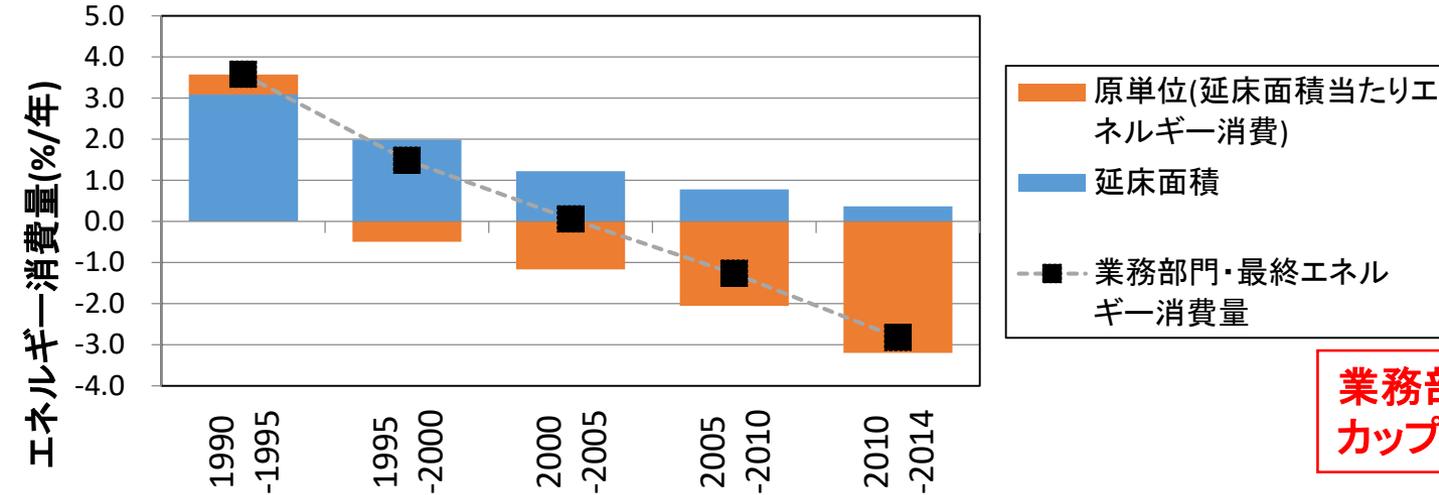
## <用途別>

業務部門・エネルギー消費量(10<sup>10</sup>kcal)



- 2004年まで: 総消費量は増加。動力他が急速に増加。冷房用も増加。暖房や給湯は横ばい(シェアは低下)。
- 2005年以降: 減少傾向。暖房や給湯は減少。冷房は横ばい。動力他は減少幅が小さい。ただし、2010年は景気回復や気温による影響で増加

# 【業務部門】 エネルギー消費量変化に対する寄与

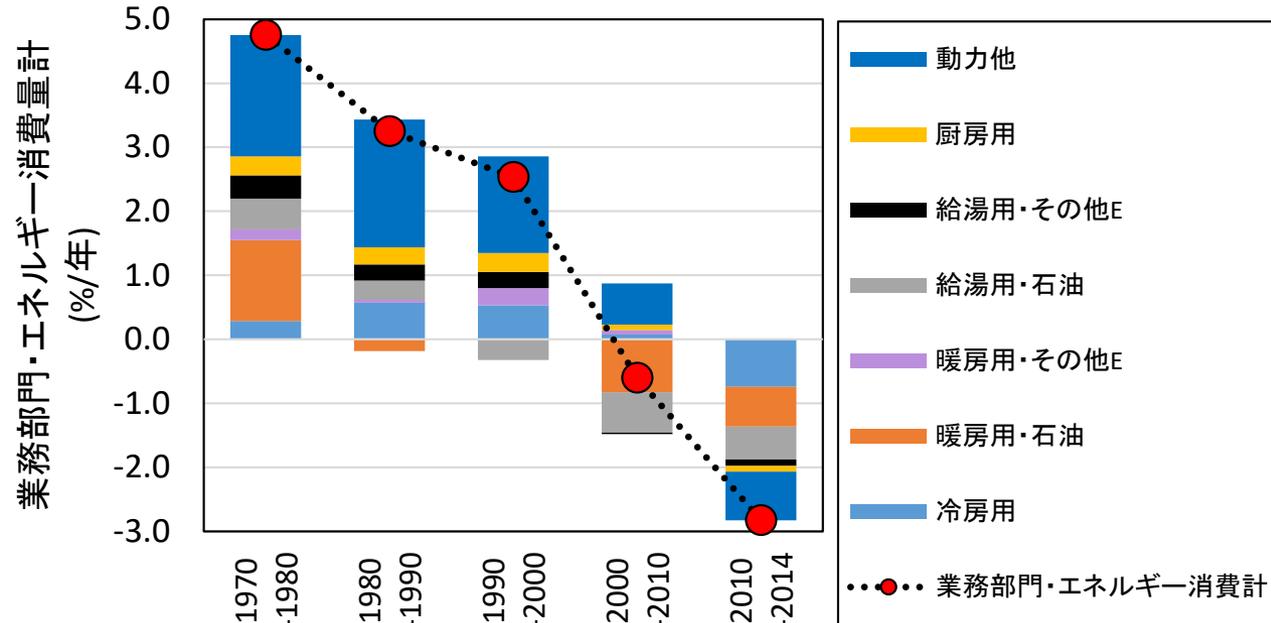


業務部門は2005年以降はデカップリング傾向が見られる。

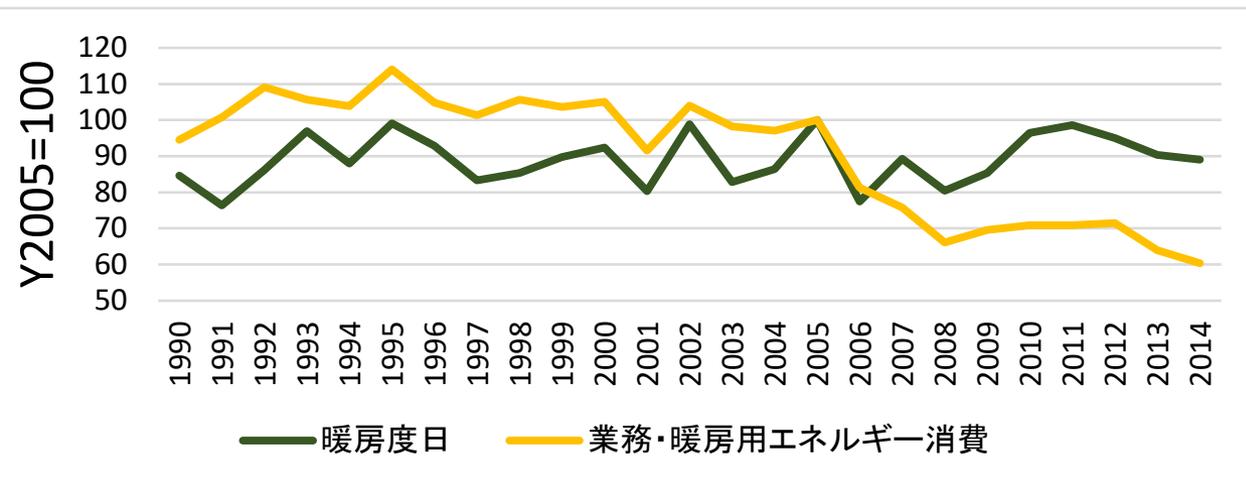
注:EDMC統計2016から作成

- 2000-10年以降は、暖房用・石油、給湯用・石油の減少の寄与が大きい  
- 2010-14年では、動力他を含めて、すべての用途が減少

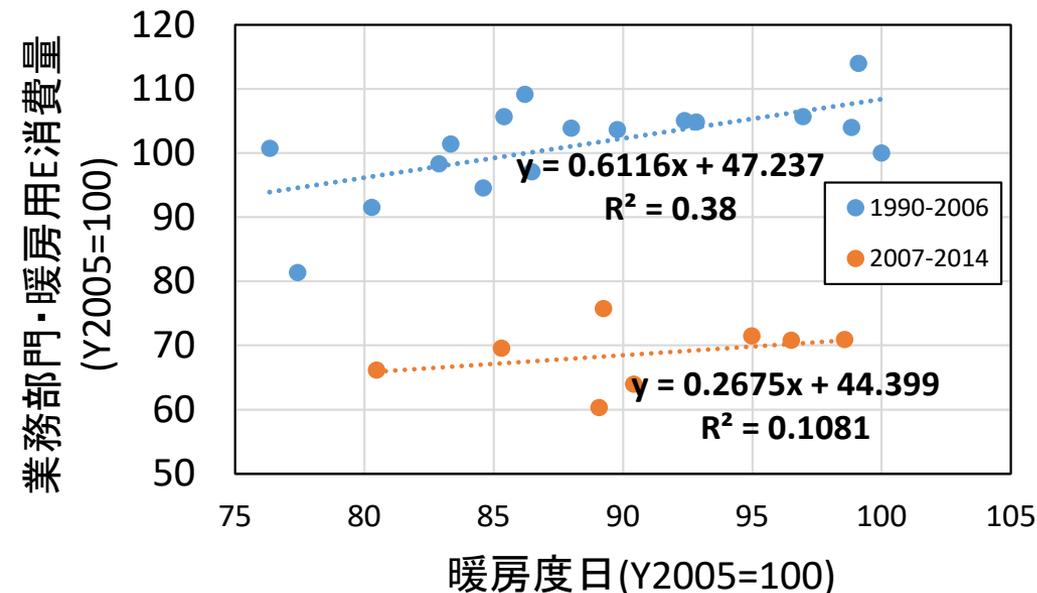
10-14年の冷房用、暖房用の減少は10年の気温の影響(10年の冷房度日・暖房度日が14年比でいずれも大きい)が含まれることには注意が必要



# 【業務部門】暖房用エネルギー消費量

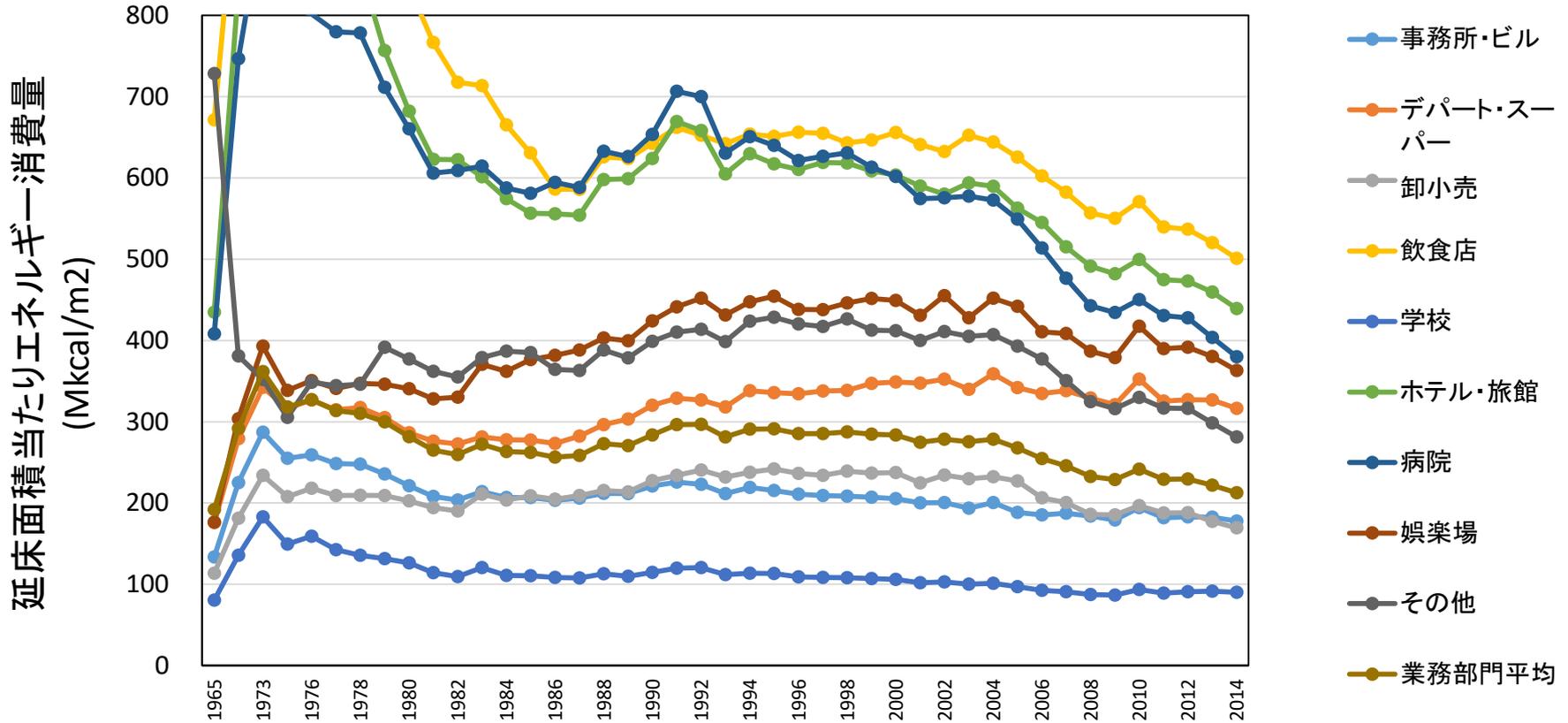


注:EDMC統計2016から作成。  
暖房度日:14°Cを下回る日の平均気温と  
14°Cとの差を合計(全国平均)



- 2007年頃を境に、暖房用エネルギー消費量が大幅に減少するとともに、その後、暖房用エネルギー消費と、気温の影響との関係が弱まっている。
- 業務用・暖房機器の効率が2007年頃を境に大きく改善したためか、もしくは、統計処理の方法が変わった可能性も含めて、引き続き、要調査事項

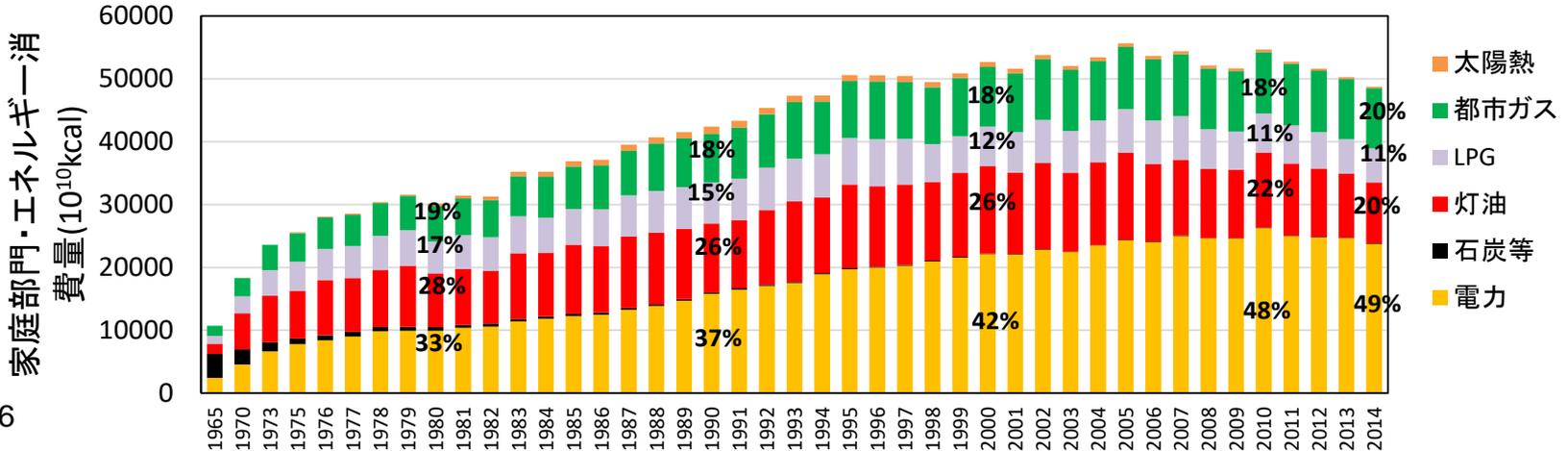
# 【業務部門】業種別エネルギー原単位



- 原単位の大きい、飲食店、病院、ホテル・旅館(給湯・厨房の需要が大きい)は、2000年代以降、大きく減少。
- 業務部門のエネルギー消費量全体に占める比率が近年比較的大きい事務所・ビル(動力他が大部分を占める)や卸小売の原単位改善は比較的緩やか。(これらの部門で今後大きな改善が実現できれば、引き続き、業務部門全体でのエネルギー消費量の低減は期待できる)

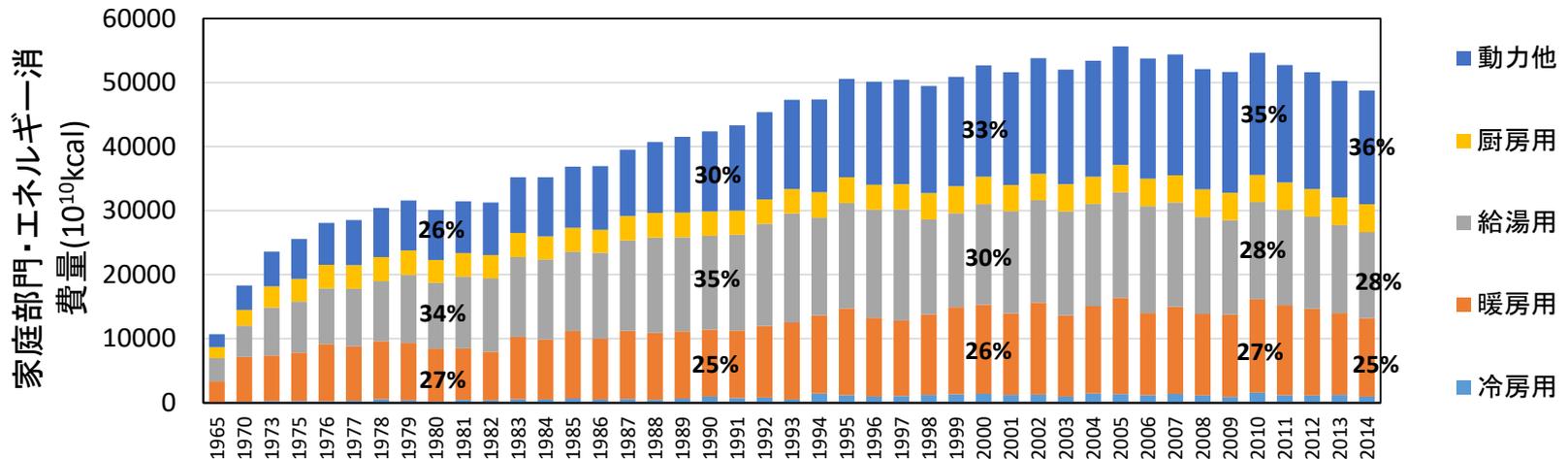
# 【家庭部門】エネルギー消費量の推移「E種別」・「用途別」

## <E種別>



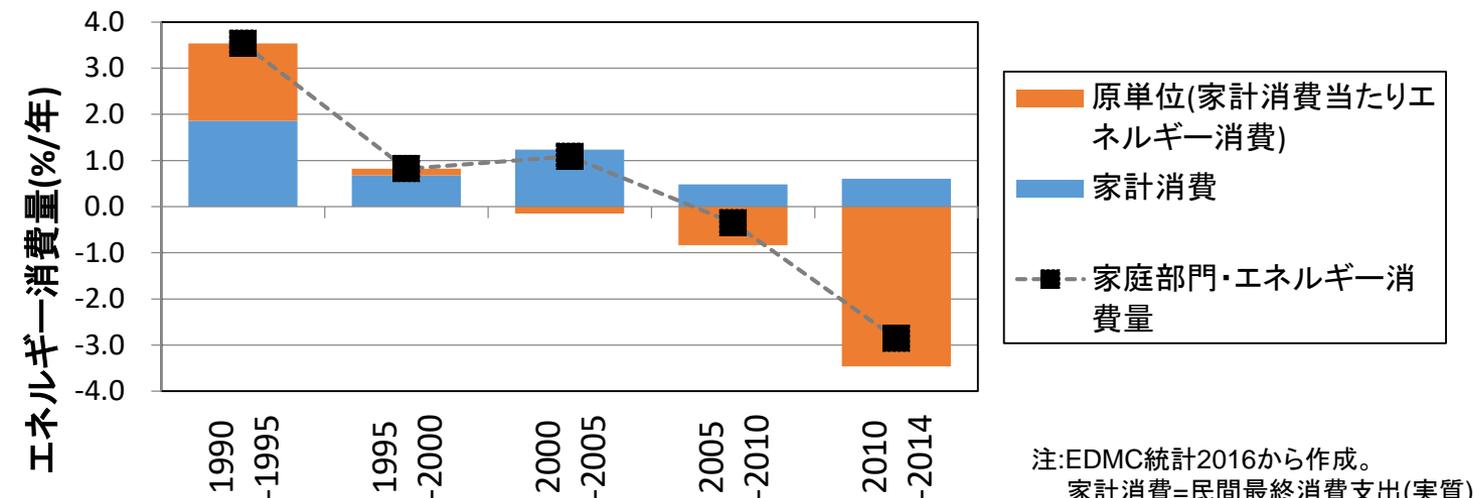
- 2005年まで: 石炭を除き、いずれも増加傾向。特に、電力需要が大きく増加。
- 2005年以降: 電力はほぼ横ばい、他は05年をピークに減少傾向。

## <用途別>

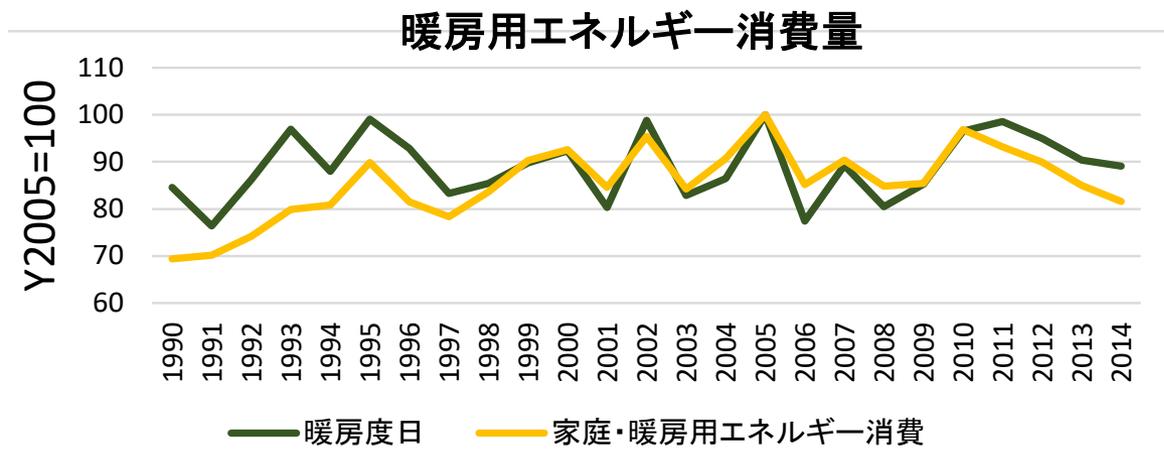


- 2005年まで: 総消費量は増加。動力他が急速に増加。暖房用、給湯用も増加。
- 2005年以降: 横ばい/減少傾向。暖房や給湯は減少。動力他は減少幅が小さい。ただし、010年は景気回復や気温による影響で増加。

# 【家庭部門】 エネルギー消費量変化に対する寄与と 暖房用エネルギー消費量

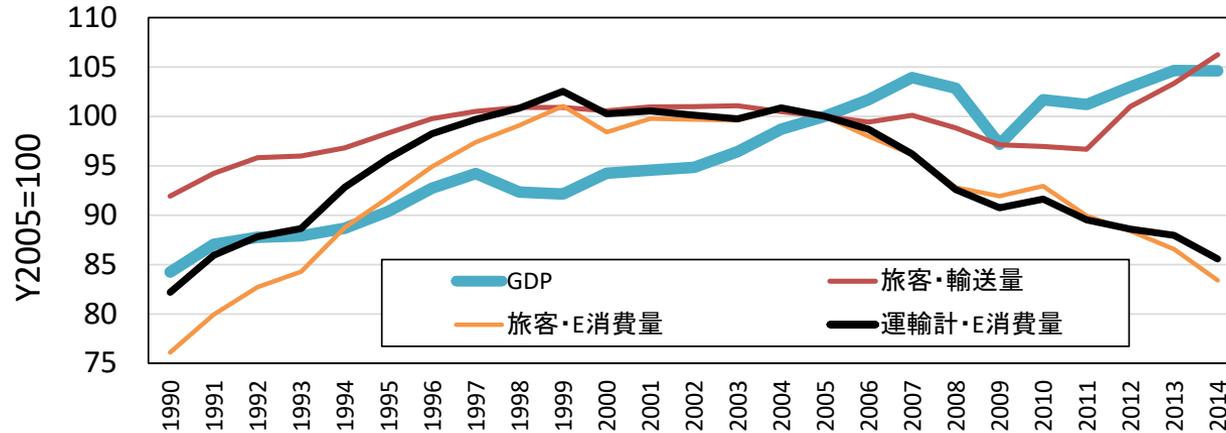


- 家庭部門の実質・家計消費は、着実に増加している(所得の向上)中で、2005年以降は原単位改善が上回り、家庭部門のエネルギー消費量は減少傾向(デカップリング傾向にある)。



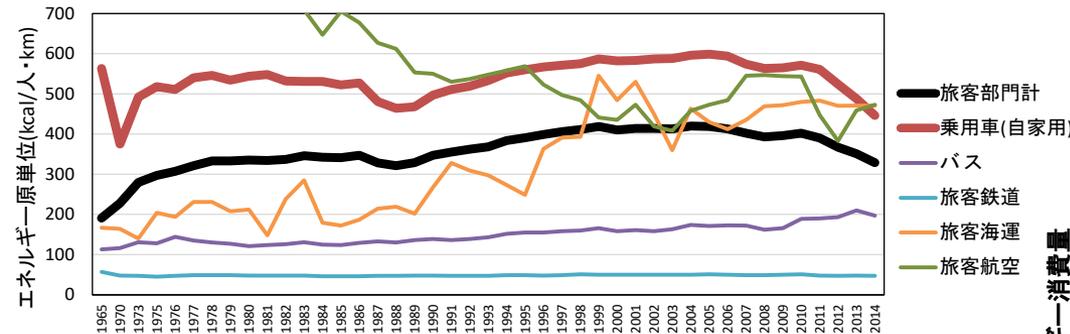
- 家庭部門の暖房用エネルギー消費と、気温の影響との相対的に強い関係が直近においても継続。
- 家庭部門・暖房用エネルギー需要(主に灯油)の減少は、気温(暖房度日の変化)で概ね説明できる。11年以降、暖房度日と消費量の乖離は若干みられるものの、デカップリングは小さいと考えられる。

# 【運輸部門】 エネルギー消費量と原単位の推移

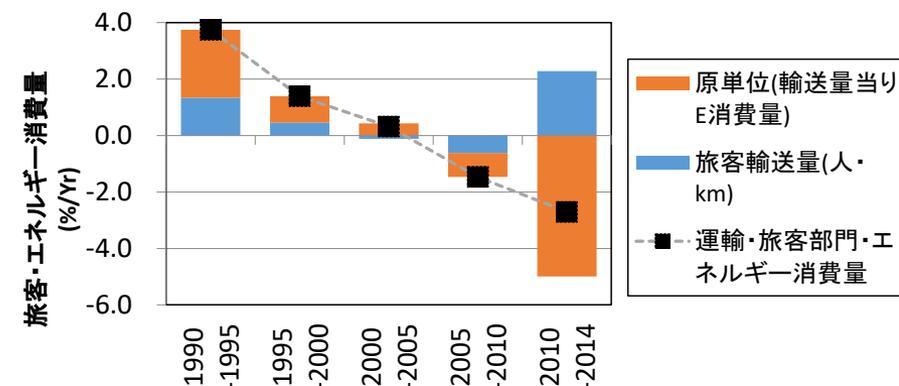


データ出典:  
EDMC統計2016

- 2000年代前半まで: 旅客・貨物ともに、エネルギー消費量は増加。旅客・乗用車が大きく増加。貨物・自動車も増加。
- 2000年代後半以降: 減少傾向。特に、旅客・乗用車のエネルギー消費量減少が大きい。
- 2012年以降、旅客・輸送量が増加(主に軽自動車の走行距離増加)。ただし、統計上の問題も含め要因を要調査



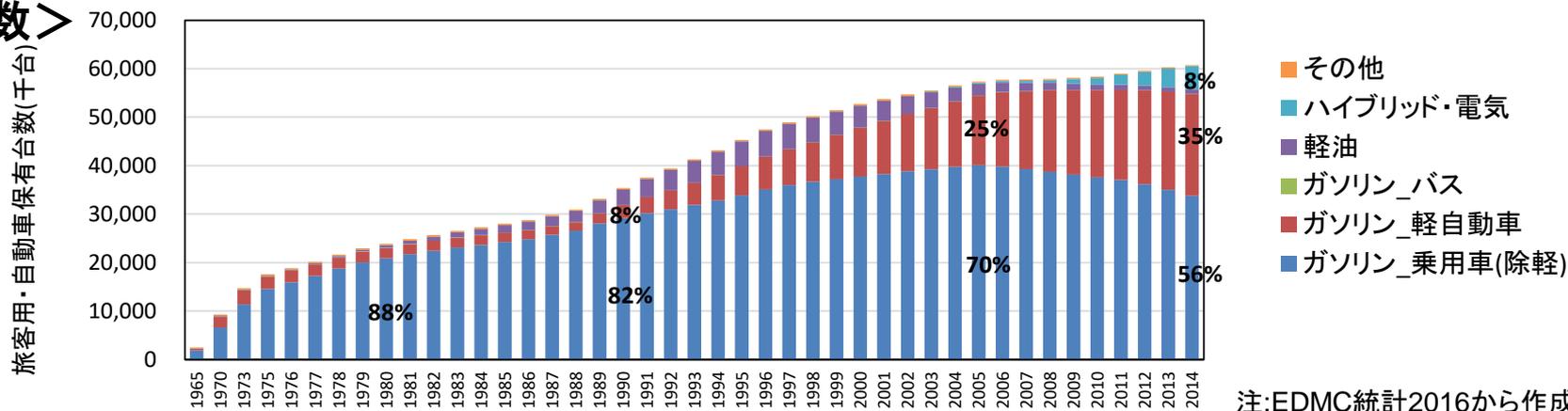
運輸部門として見ると、2005年以降はデカップリング傾向が見られる。ただし、自動車売上額など、他部門への影響も含めて更に検討する必要あり。



- 乗用車では、90年以降原単位が上昇(車両大型化など)、05年以降、減少傾向(燃費の改善など)。ただし、2012年以降の急減少については、上記の旅客・輸送量(主に軽自動車の走行距離増加)に関する統計上の問題について要調査

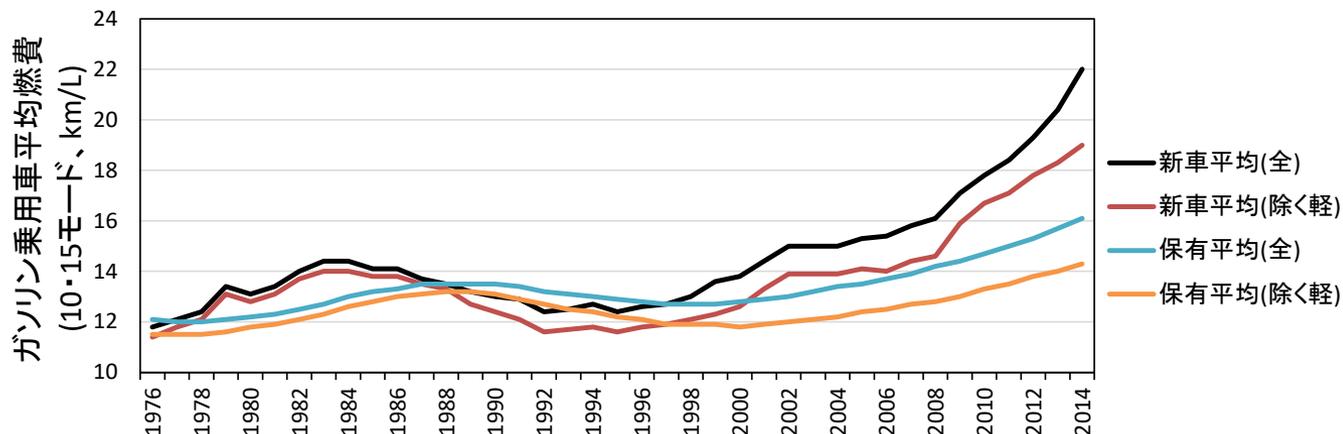
# 【運輸部門・旅客】保有台数・新車台数、燃費

## ＜保有台数＞



- 2000年代前半まで、生活水準の向上とともに増加。00年後半でほぼ横ばい(人口増加の減少・高齢化による)。ガソリン・乗用車(除軽)は05年頃をピークに減少、軽自動車は、着実に増加(高い経済性やユーザ層の変化(女性・高齢者ドライバの増加)による)【エネ研2011】
- 直近では再び増加傾向(ハイブリッド車(14年の新車登録比(除軽)36%)や軽自動車が増加)。

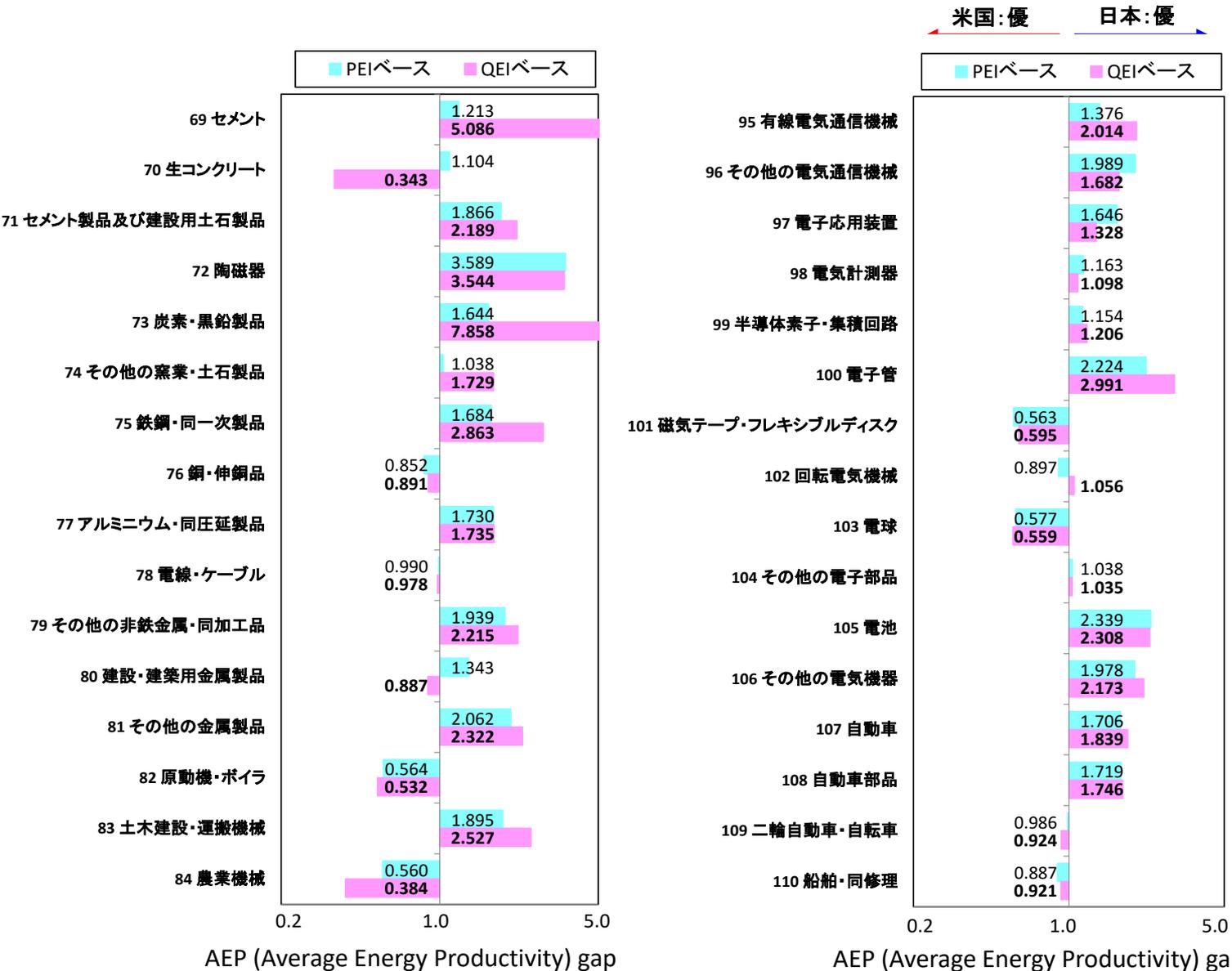
## ＜ガソリン乗用車の平均燃費＞



- 新車平均は、90年代前半は、多機能化や大型化のため悪化したが、その後改善。08年以降、より大きく改善(全般的な燃費改善、ハイブリッド自動車、軽自動車の増加や、小型車のスモールサイズ化などによる)。
- 保有平均は、99年以降改善傾向。

# **6. 部門別のエネルギー生産性の 国際比較(日米比較)から見た グリーン成長の限界と機会の分析**

# グリーン成長の限界と機会：日米のエネルギー生産性ギャップ (1/3) (製造業；一部の部門を表示)



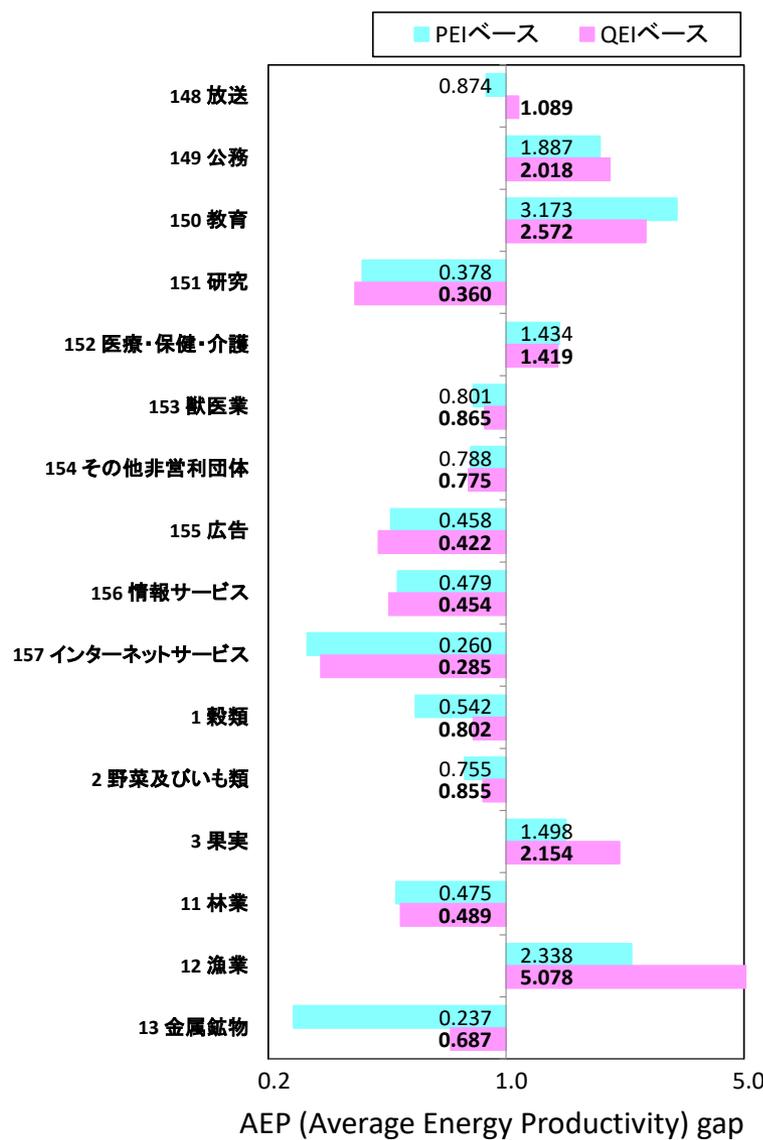
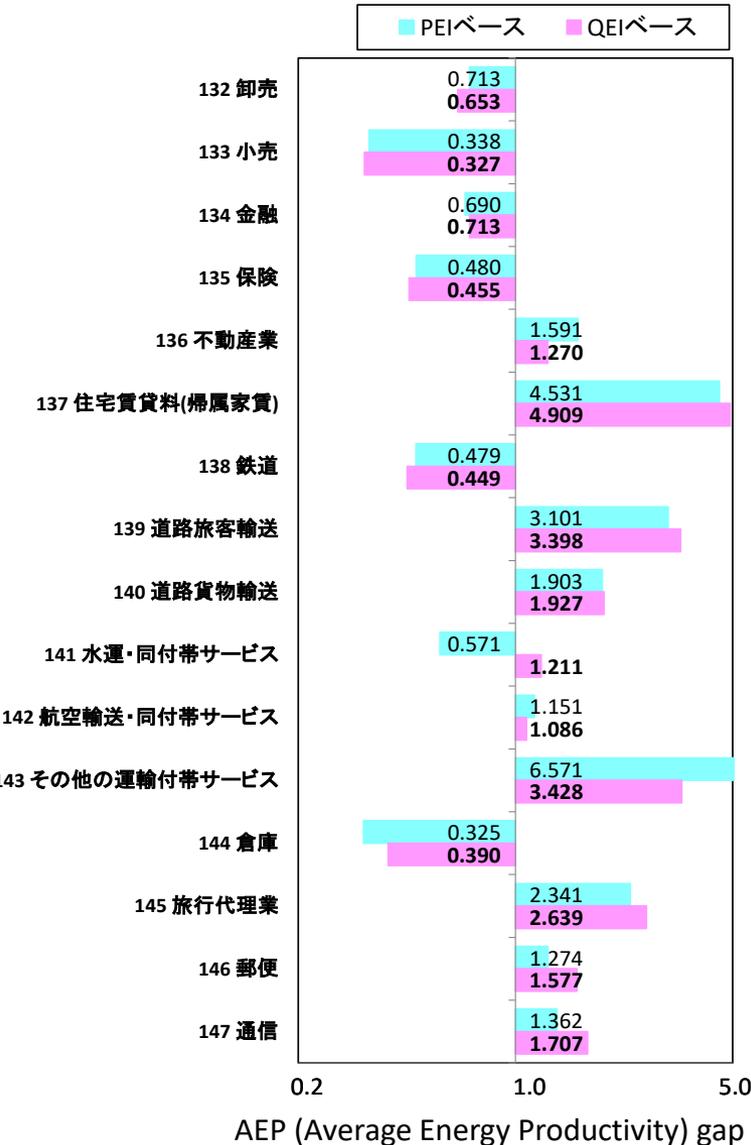
注)1より大きい(小さい)時、日本の生産性が米国よりも高い(低い)。

PEI: Primary Energy Input  
QEI: Quality-adjusted Energy Input

農業機械、電球等で日本のエネルギー生産性は米国よりも劣っているが、他の製造業部門では日本の方が優れている部門が多い。

# グリーン成長の限界と機会：日米のエネルギー生産性ギャップ (2/3) (サービス産業・農林水産業；一部の部門を表示)

米国:優 ← 日本:優 →



注)1より大きい(小さい)時、日本の生産性が米国よりも高い(低い)。

卸売、小売、金融、保険、穀類、林業等で日本のエネルギー生産性は米国よりも劣っている。サービス産業や農林水産業では米国のほうが優れている部門が多い。

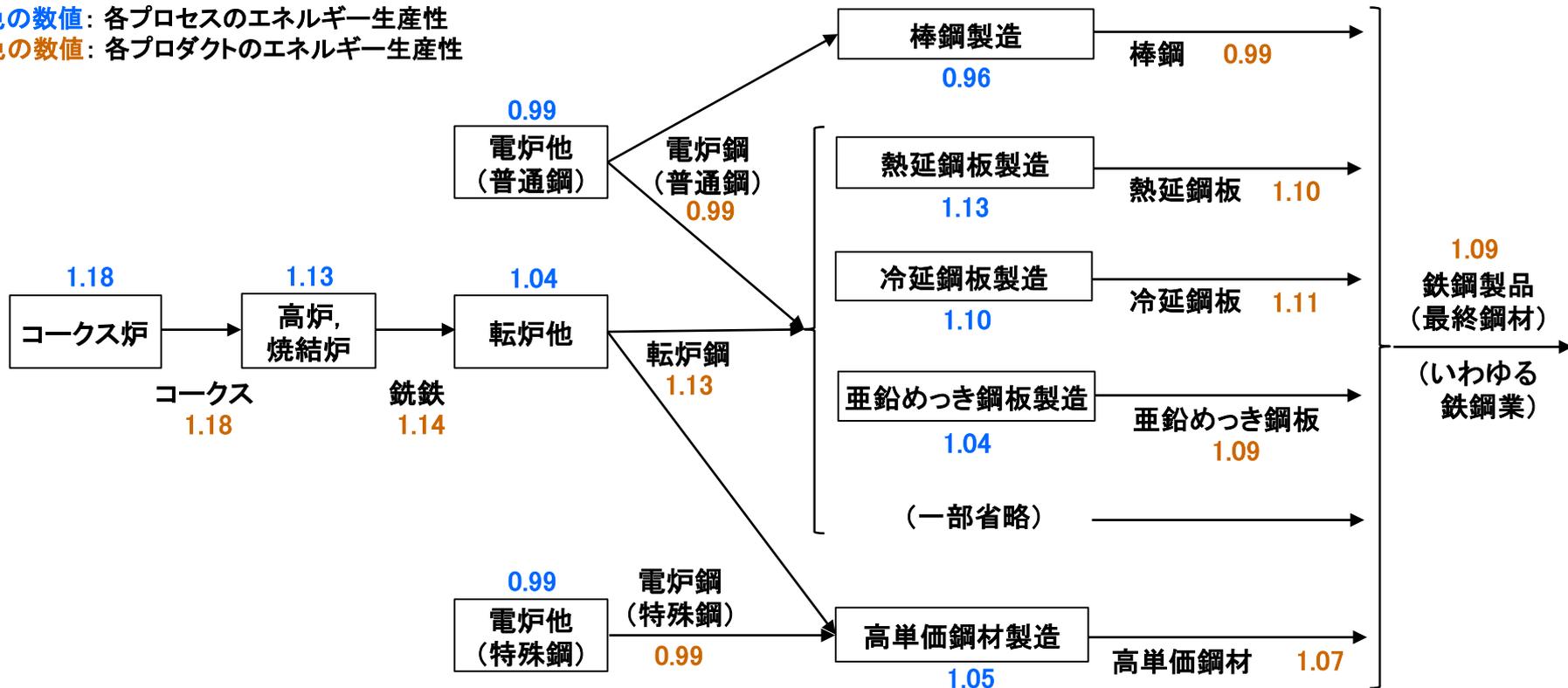
サービス産業等でエネルギー生産性向上余地は十分ある。

# グリーン成長の限界と機会：日米のエネルギー生産性ギャップ (3/3)：2005年鉄鋼部門 (プロダクト別)

- ✓ 日本のエネルギー生産性(米国比の日本の生産性)の方が1割程度高い(良い)
- ✓ 日本は個々のプロセスのエネルギー生産性が高く、いわゆる高単価鋼材のR&Dを継続的に実施→結果として、国際競争力の維持・向上につながったと考察される

エネルギー生産性(日/米, 2005年)

注) 青色の数値: 各プロセスのエネルギー生産性  
茶色の数値: 各プロダクトのエネルギー生産性



## 7. まとめ

- ◆ 国別に見ると、OECD諸国を中心にデカップリング傾向が見受けられる。しかし、産業構造変化による効果が大きく、炭素リーケージを認識した注意を持った評価が必要。
- ◆ 照明、冷蔵庫などの家電機器のエネルギー効率は大きく上昇してきており、その省エネがほとんどコスト増につながっていないとすれば、デカップリングの一要因となっている可能性はある。また業務部門での暖房、給湯用の石油消費量の低下も日本などで顕著に見られる。
- ◆ また、日本では、震災後、省エネマインド（消費効用の生じ方）が大きく変化したことで、デカップリングの一要因として働いた可能性がある。（しかしそれが継続するかは不透明）
- ◆ 自動車については、近年、燃費向上が著しく、また、日本では軽自動車比率の向上も相まってデカップリング傾向となっている。しかし、消費効用の生じ方、また製造段階を含めた全体でデカップリングに寄与しているのかを、より深く調査、検討する必要性あり。
- ◆ 世界全体では、2013年以降、CO<sub>2</sub>排出量がほぼ横ばいの傾向となっており、デカップリングに近い傾向が見られる。しかし、これは2009～13年の間が、過去に比較してもかなり排出増のペースが速かったことの修正といった見方もできる。
- ◆ また、CO<sub>2</sub>削減効果を主な要因毎に分析すると、鉄鋼やセメント生産量の減少による部分が相応に大きく（両部門で年3億tCO<sub>2</sub>程度の削減効果）、この分はデカップリングとは考えにくい。一方、米国シェールガス利用拡大がデカップリングの一要因として相応に大きな効果を持っている（年2億tCO<sub>2</sub>強）。ただし、これは潜在的な経済成長を打ち消すほどに大きなものでもない。また、長期的にはCO<sub>2</sub>排出のロックインにもなりかねない。
- ◆ 世界で再エネは拡大してきており、CO<sub>2</sub>排出抑制に貢献してきている。しかし、他のエネルギーに比してまだ高い状況では、短期では投資額が大きいことで、GDP増に寄与し得るが、長期では資本生産性の低下（電力料金の上昇等を介して消費の押し下げ）につながるはずで、デカップリングに寄与するとは言い難い。
- ◆ 以上のように、各種要因を広く見渡しても、その定量的な分析からも、世界でデカップリングが継続するような大きな要因が生まれている状況とは評価できない。