

# モデルの概要と試算結果

大阪大学大学院経済学研究科

伴 金美

2012年5月23日

# エネルギー・環境経済モデルで重要となる視点

## 1. 技術選択

- 技術情報に基づくボトムアップ型モデル
- 価格と需要に依存するトップダウン型モデル
- 両者のハイブリッド型モデル
- 技術進歩モデル(LBD、R&D投資)

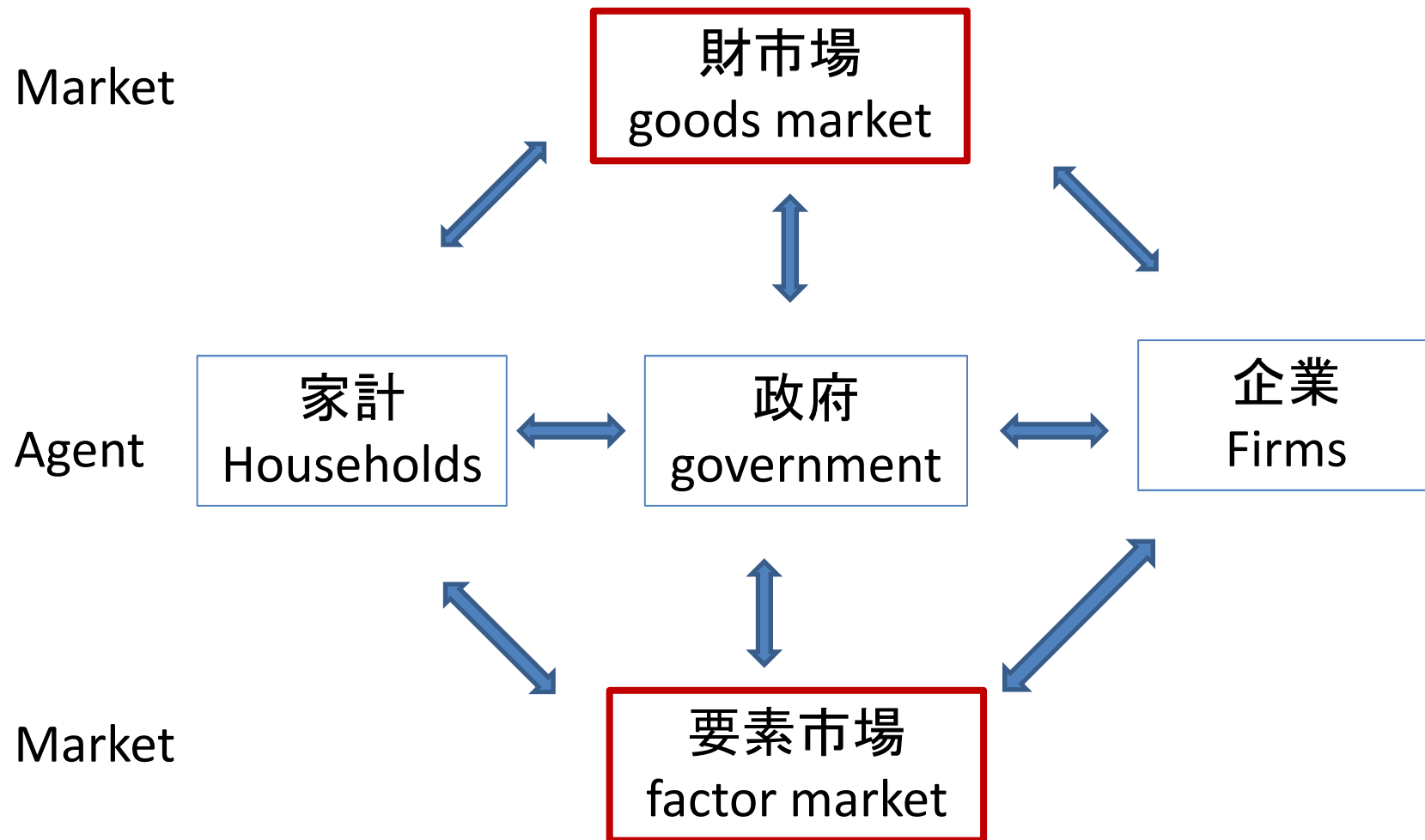
## 2. 市場モデル

- 資源制約、技術制約、予算制約
- プライスマカニズム
- 相補問題

## 3. 動学的資源配分

- 貯蓄・投資を通じた異時点間の資源配分
- 持続可能性(Sustainability)の視点

# CGE(Computable General Equilibrium)モデルの枠組み



# 財・サービス(40) 産業(40)

新たな産業も投入  
産出構造が分かれば、容易に追加することが可能。CCSも追加しているが、2030年時点でも採算がとれず、採択されない。早くても2035年以降と予想している。

財・サービス分類			産業分類		
1	agr	農林水産業	1	agr	農林水産業
2	coal	石炭	2	f.f	石炭・原油・天然ガス
3	oil	原油	3	fdp	食料品・飲料
4	gas	天然ガス	4	tex	繊維製品
5	fdp	食料品・飲料	5	wpp	パルプ・紙・木製品
6	tex	繊維製品	6	chm	化学製品
7	wpp	パルプ・紙・木製品	7	p.p	石油製品
8	chm	化学製品	8	c.p	石炭製品
9	o_gas	ガソリン・軽油	9	plr	プラスチック・ゴム
10	o_ker	灯油	10	gsc	窯業・土石
11	o_lpg	LPG	11	i_s	鉄鋼
12	o_hev	その他石油製品	12	mtl	非鉄金属・金属製品
13	c.p	石炭製品	13	ome	一般機械
14	plr	プラスチック・ゴム	14	ele	電気機械
15	gsc	窯業・土石	15	trn	輸送機械
16	i_s	鉄鋼	16	omf	その他製造業
17	mtl	非鉄金属・金属製品	17	cns	建設
18	ome	一般機械	18	e.f	火力発電
19	ele	電気機械	19	e.n	原子力発電
20	trn	輸送機械	20	e.h	水力・その他発電
21	omf	その他製造業	21	g.h	ガス・熱供給
22	cns	建設	22	wts	水道
23	ely	電力	23	wst	廃棄物処理
24	g.h	ガス・熱供給	24	trd	卸売・小売
25	wts	水道	25	fin	金融・保健
26	wst	廃棄物処理	26	ttp	鉄道輸送
27	trd	卸売・小売	27	rtp	道路輸送
28	fin	金融・保健	28	otp	自家輸送
29	ttp	鉄道輸送	29	wtp	水運
30	rtp	道路輸送	30	atp	航空輸送
31	otp	自家輸送	31	ots	その他輸送サービス
32	wtp	水運	32	cmn	通信・放送・情報サービス
33	atp	航空輸送	33	e.r	教育・研究
34	ots	その他輸送サービス	34	mhs	医療・保健・福祉
35	cmn	通信・放送・情報サービス	35	bsrv	対事業所サービス
36	e.r	教育・研究	36	psrv	対個人サービス
37	mhs	医療・保健・福祉	37	gsrv	政府サービス
38	bsrv	対事業所サービス	38	solar	太陽光発電
39	psrv	対個人サービス	39	wind	風力発電
40	gsrv	政府サービス	40	ccs	二酸化炭素回収・貯留

# 動学的資源配分メカニズム

## Ramsey型最適成長モデル

$$\max_{C_t} \sum_{t=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t u(C_t)$$

$$Y_t = f(K_t, L_t)$$

$$I_t = Y_t - C_t$$

$$K_{t+1} = I_t + (1+\delta)K_t$$

$$L_t = (1+n)^t L_0$$

$Y_t$	所得	$C_t$	消費	$I_t$	投資
$K_t$	資本	$L_t$	労働		
$\rho$	割引率	$\delta$	減耗率		
$n$	労働増加率				

## 動学的最適条件

$$P_t = \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t \frac{\partial u(C_t)}{\partial C_t}$$

$$PK_t = (1-\delta)PK_{t+1} + P_t \frac{\partial f(K_t, L_t)}{\partial K_t} = (1-\delta)PK_{t+1} + RK_t$$

$$P_t = PK_{t+1}$$

$P_t$  生産物価格

$PK_t$  資本価格

$RK_t$  資本収益率

# 動学的CGEモデルの構成

## ゼロ利潤条件

$$c(RK_t, W_t) \geq P_t \perp Y_t \geq 0$$

$$P_t \geq PK_{t+1} \perp I_t \geq 0$$

$$PK_t \geq (1-\delta)PK_{t+1} + RK_t \perp K_t \geq 0$$

## 需給均衡条件

$$Y_t \geq C_t + I_t \perp P_t \geq 0$$

$$K_t \geq \frac{\partial c(RK_t, W_t)}{\partial RK_t} \perp RK_t \geq 0$$

$$L_t \geq \frac{\partial c(RK_t, W_t)}{\partial W_t} \perp W_t \geq 0$$

## 所得定義式(動学的予算制約)

$$M_t = PK_0 K_0 + \sum_{i=0}^{\infty} W_i L_i$$

## 動学部分

生産費用の回収できない生産は行われぬ。

$$c(RK_t, W_t) = P_t \Rightarrow Y_t > 0$$

$$c(RK_t, W_t) > P_t \Rightarrow Y_t = 0$$

$c(RK_t, W_t)$  単位生産費用  
 $RK_t$  資本収益率  
 $W_t$  賃金

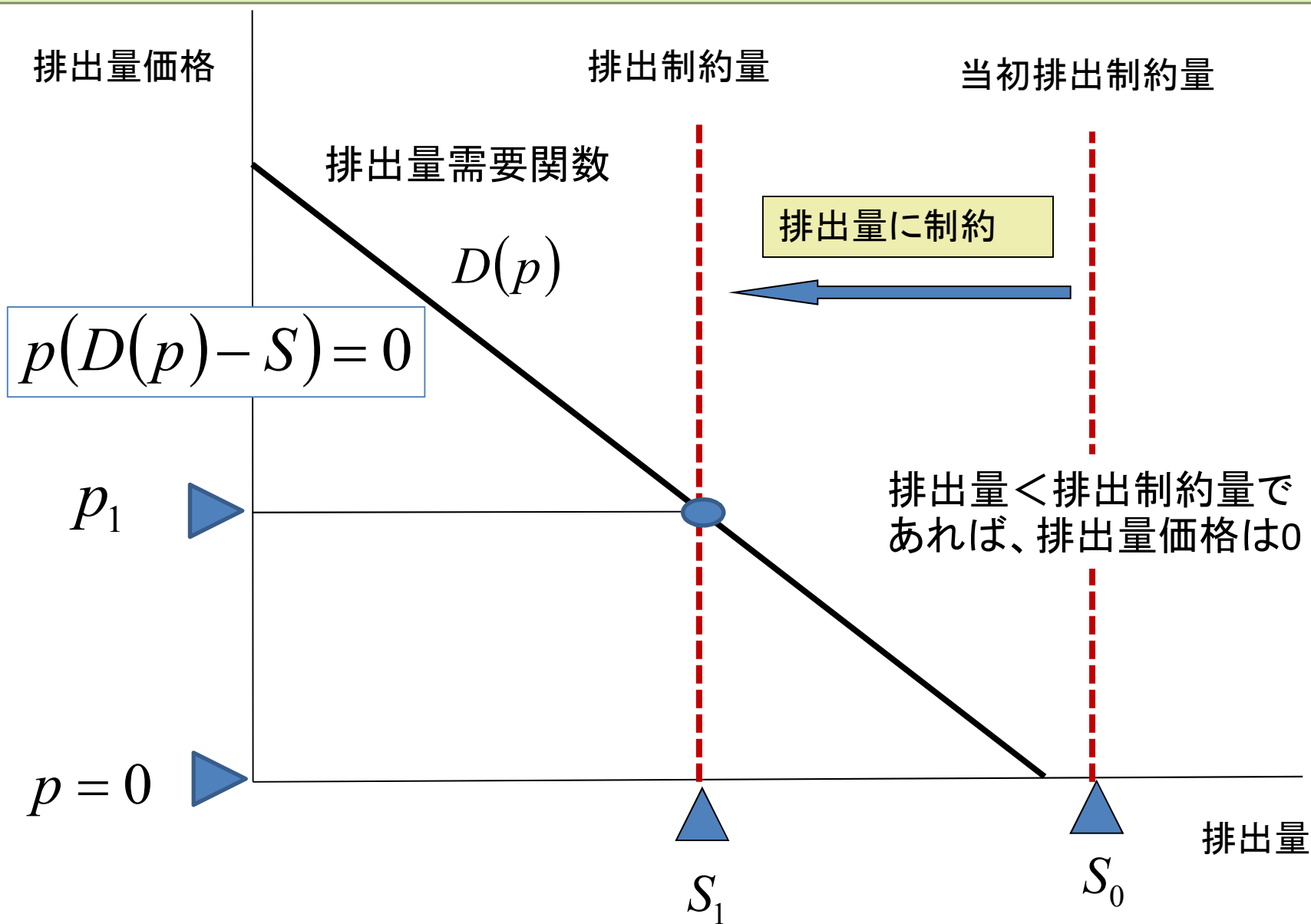
$$P_t = PK_t = \sum_{j=1}^{\infty} (1-\delta)^j R_{t+j} \Rightarrow I_t > 0$$

$$P_t > PK_t = \sum_{j=1}^{\infty} (1-\delta)^j R_{t+j} \Rightarrow I_t = 0$$

投資費用の回収出来ない投資は行われぬ。

$M_t$  生涯所得

# 相補問題としての排出量取引市場のモデル化



# 労働供給の内生化(余暇と労働の選択)

$$\max_{C,L} u(C, LES)$$

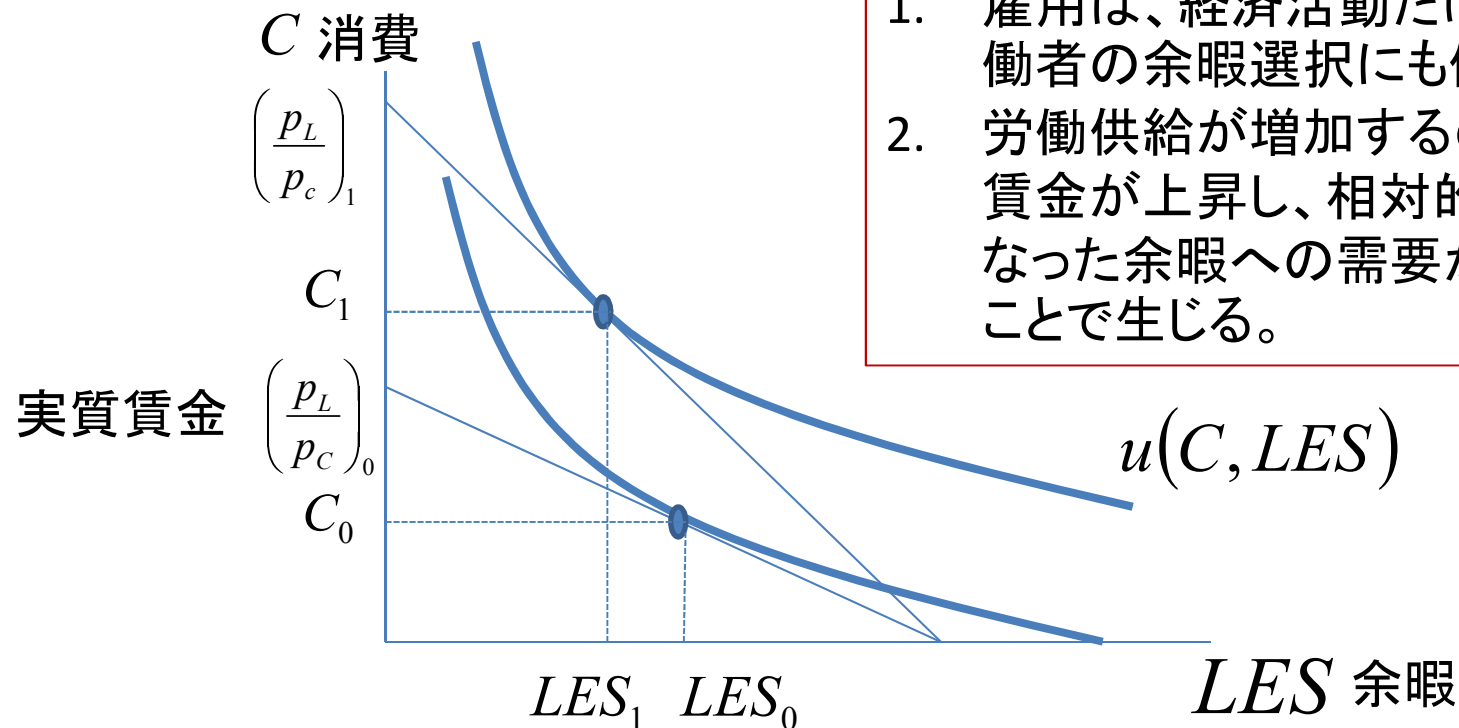
$$s.t. \quad p_C C = p_L L = p_L (LUP - LES)$$

$$\rightarrow p_C C + p_L LES = p_L LUP$$

$LUP$  労働供給可能量

$LES$  余暇

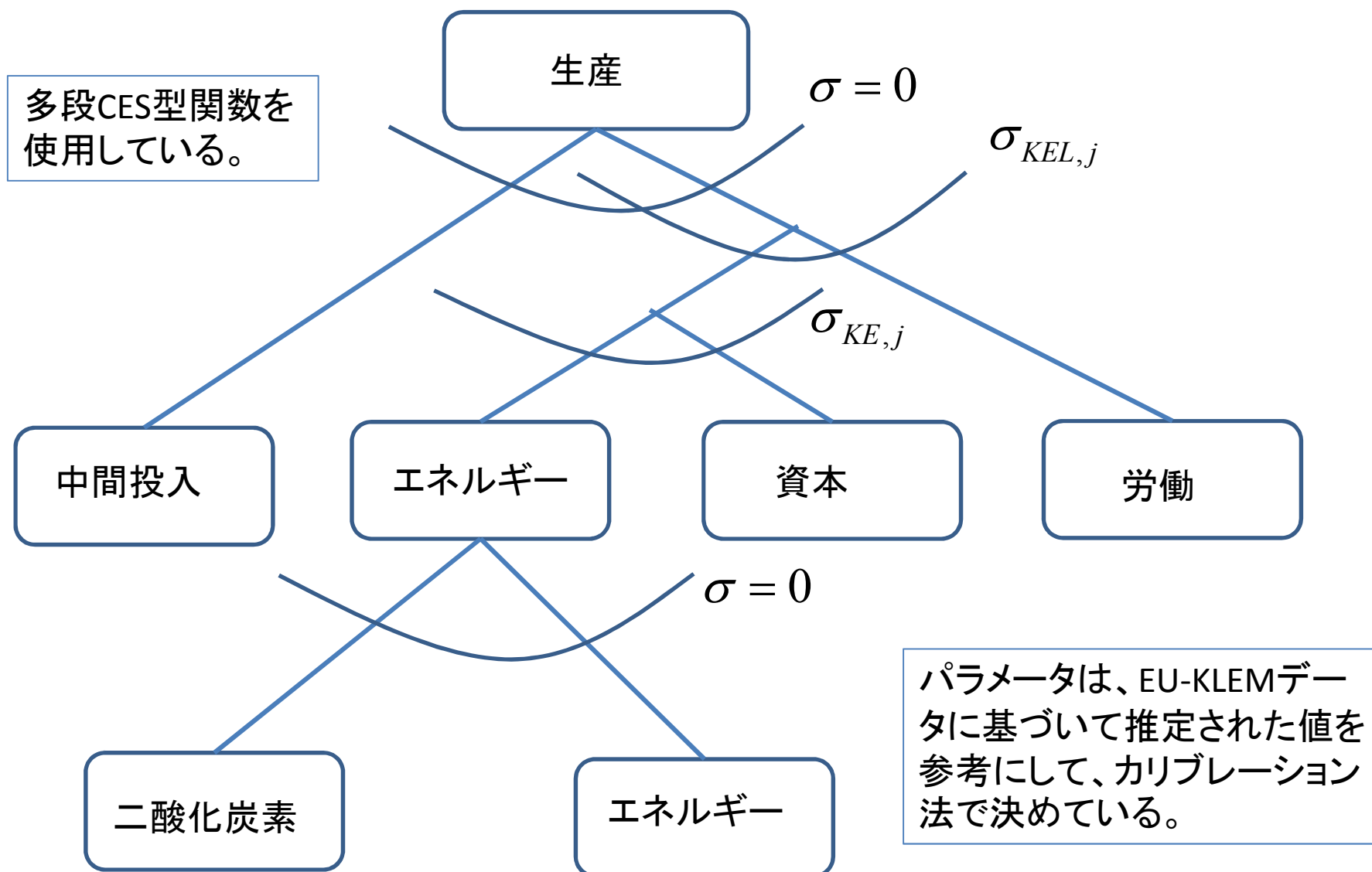
$L$  労働供給



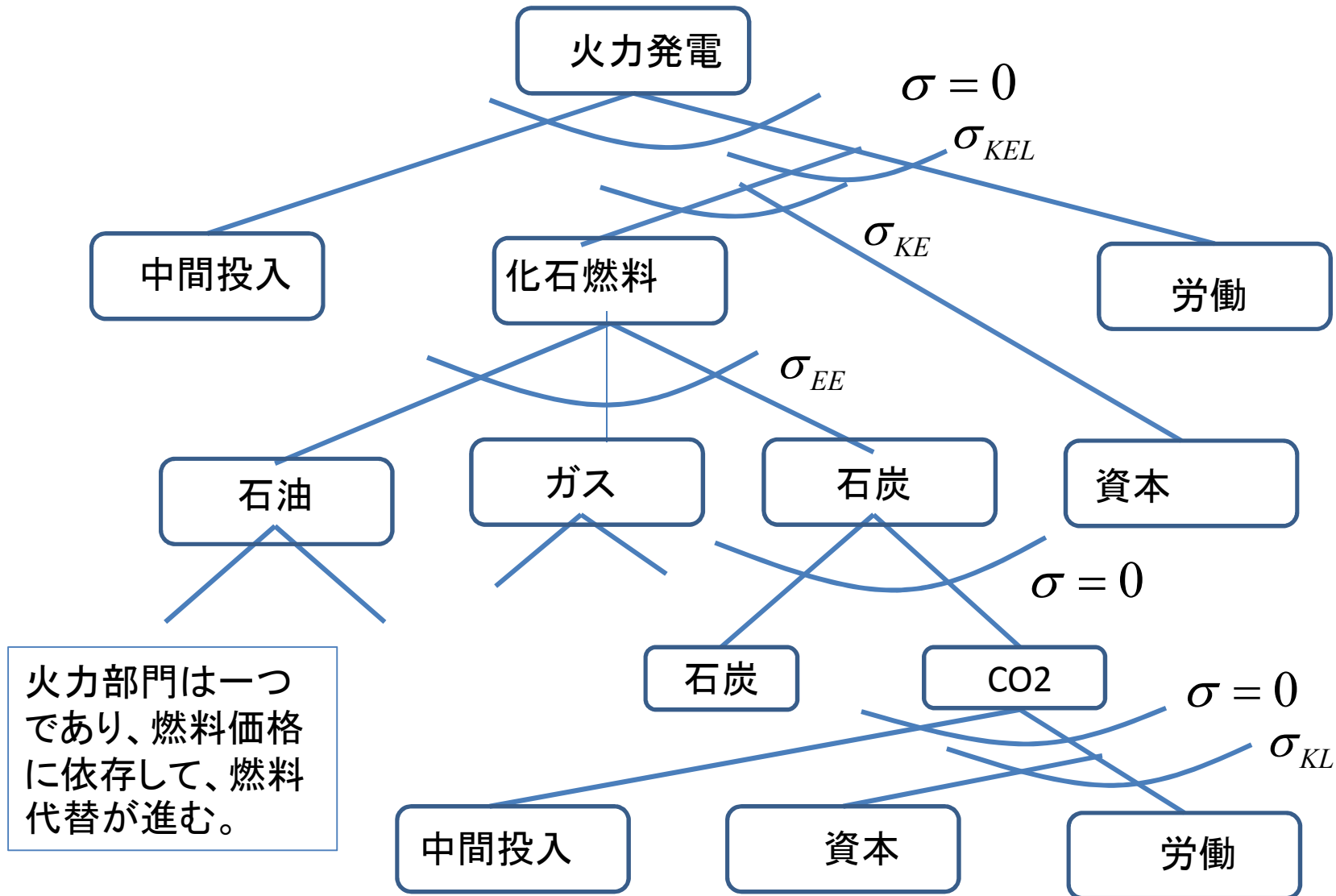
1. 雇用は、経済活動だけでなく、労働者の余暇選択にも依存する。
2. 労働供給が増加するのは、実質賃金が上昇し、相対的に高価となった余暇への需要が減少することで生じる。



# 非電力生産技術

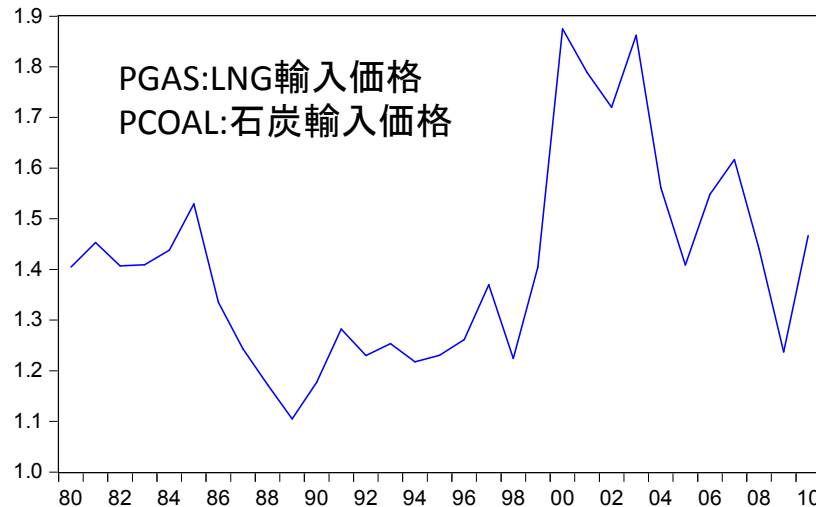


# 火力発電とCCS(Carbon Capture and Storage)技術

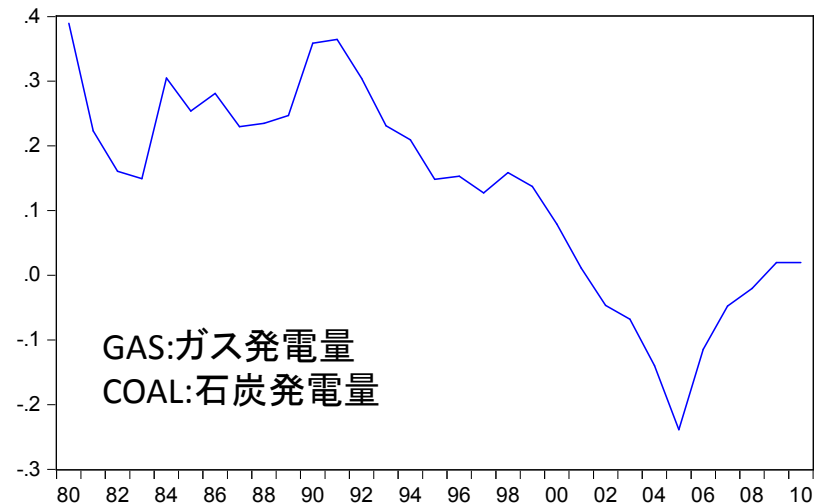


# 火力発電における石炭とガス

LOG(PGAS/PCOAL)



LOG(GAS/COAL)



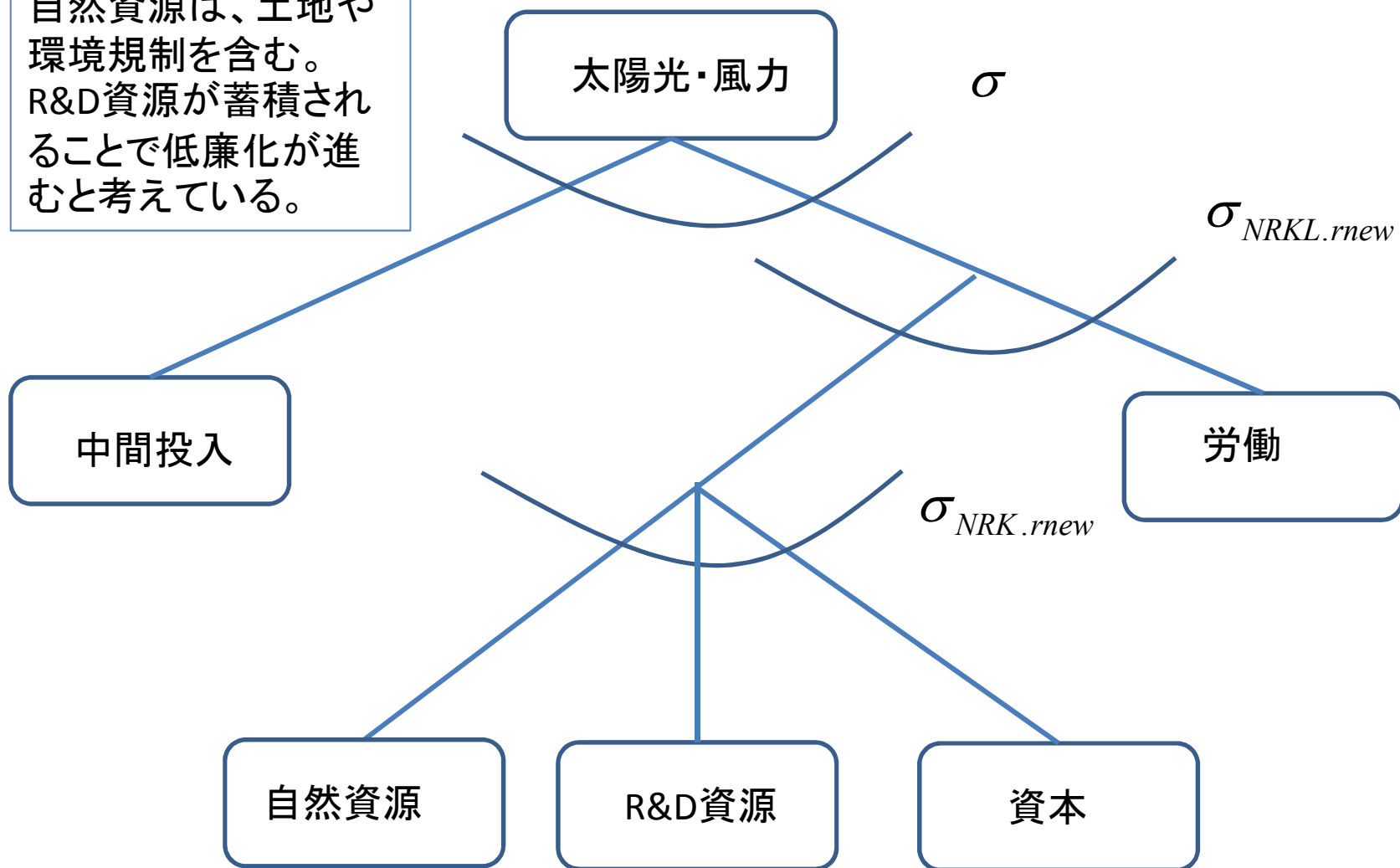
Dependent Variable: LOG(GAS/COAL) Method: Least Squares Sample: 1980 2010

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.189813	0.097097	1.954882	0.0606
LOG(PGAS/PCOAL)	-0.124326	0.064258	-1.934776	0.0632
LOG(GAS(-1)/COAL(-1))	0.819765	0.079237	10.34569	0.0000
R-squared	0.856023	Mean dependent var		0.132924
Adjusted R-squared	0.845739	S.D. dependent var		0.160336
S.E. of regression	0.062974	Sum squared resid		0.111039
F-statistic	83.23791	Durbin-Watson stat		1.836287

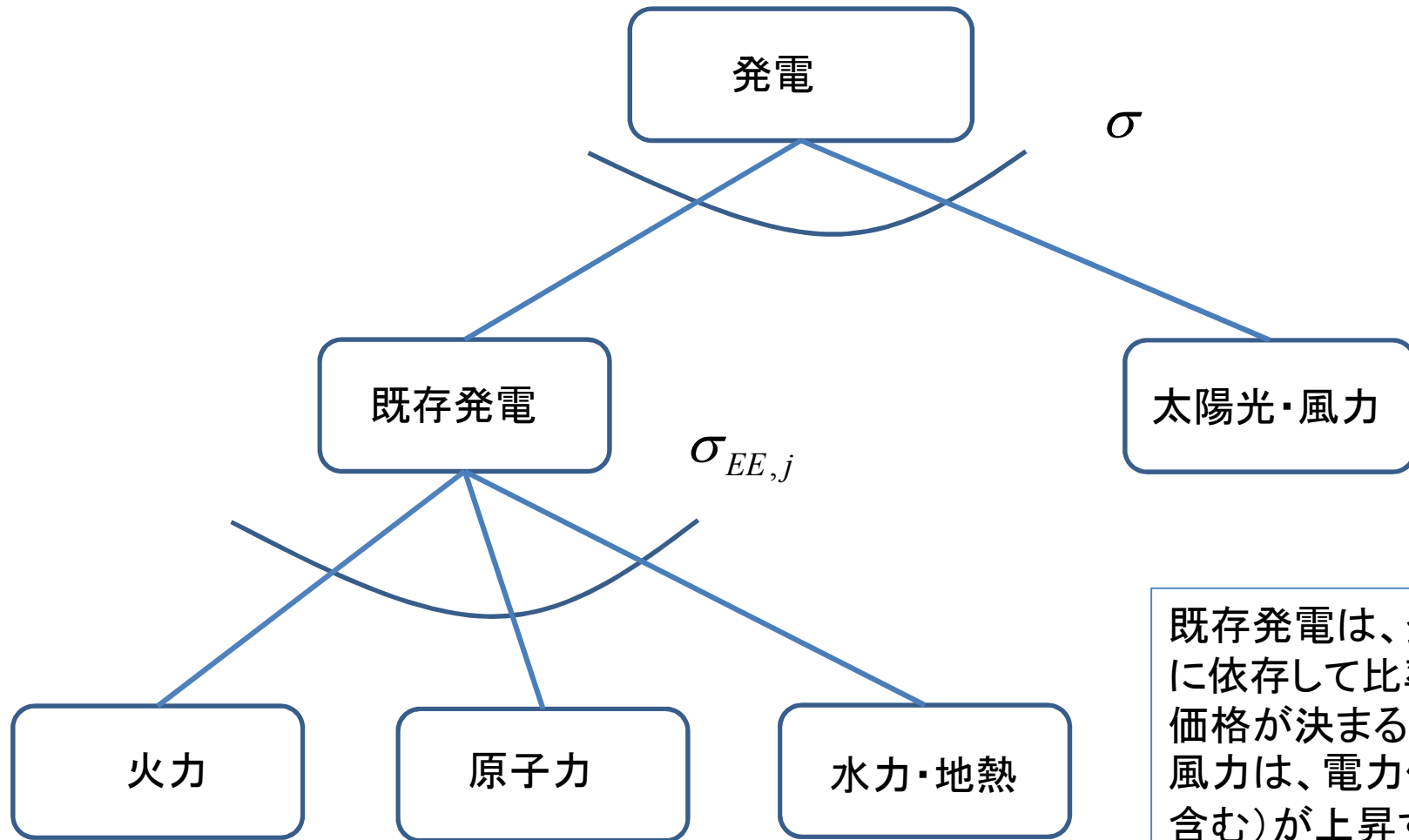
ガス価格が石炭価格に比して低廉になっても瞬間的なガスシフトは生じない。

# 再生可能エネルギー技術

自然資源は、土地や環境規制を含む。R&D資源が蓄積されることで低廉化が進むと考えている。



# 発電技術



既存発電は、発電コストに依存して比率と電力価格が決まる。太陽光風力は、電力価格(FITを含む)が上昇すれば普及が進む。

# 構築されたモデルのバックボーン

## モデリング言語

T. F. Rutherford, 1999, Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax, Computational Economics 14, 1-46.

## 動学モデル

M. I. Lau, A. Pahlke, T. F. Rutherford, 2002, Approximating Infinite-horizon Models in a Complementarity Format: A Primer in Dynamic General Equilibrium Analysis, Journal of Economic Dynamics & Control 26, 577-609.

S. Paltsev, 2004, Moving from Static to Dynamic General Equilibrium Economic Models (Notes for a beginner in MPSGE), Technical Note 4, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.

Babiker, M., A. Gurgel, S. Paltsev, J. Reilly, 2009, Forward-Looking Versus Recursive-Dynamic Modeling in Climate Policy Analysis: A Comparison, Economic Modelling, 26, 1341-1354.

## 技術モデル

C. Bohringer and T. F. Rutherford, 2008, Combining Bottom-up and Top-down, Energy Economics 30, 574-596.

# 利用したデータと計算期間

## モデル構築に利用したデータ

- 産業連関表2005年表(総務省)
- 国民経済計算(内閣府経済社会総合研究所)
- 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)2005年版(国立環境研究所)

## パラメータ

- 割引率は2%
- 代替弾力性は、EU KLEMプロジェクトの推定値を参考にし、カリブレーション法により最終決定

## 計算期間

- 2005年～2030年(26期間)

## 終端条件

- 2030年以降、年率0.8%の均衡成長が確保されることを条件に設定。

# 試算の枠組み

BAUシナリオ(モデル間で同じとなるように調整)

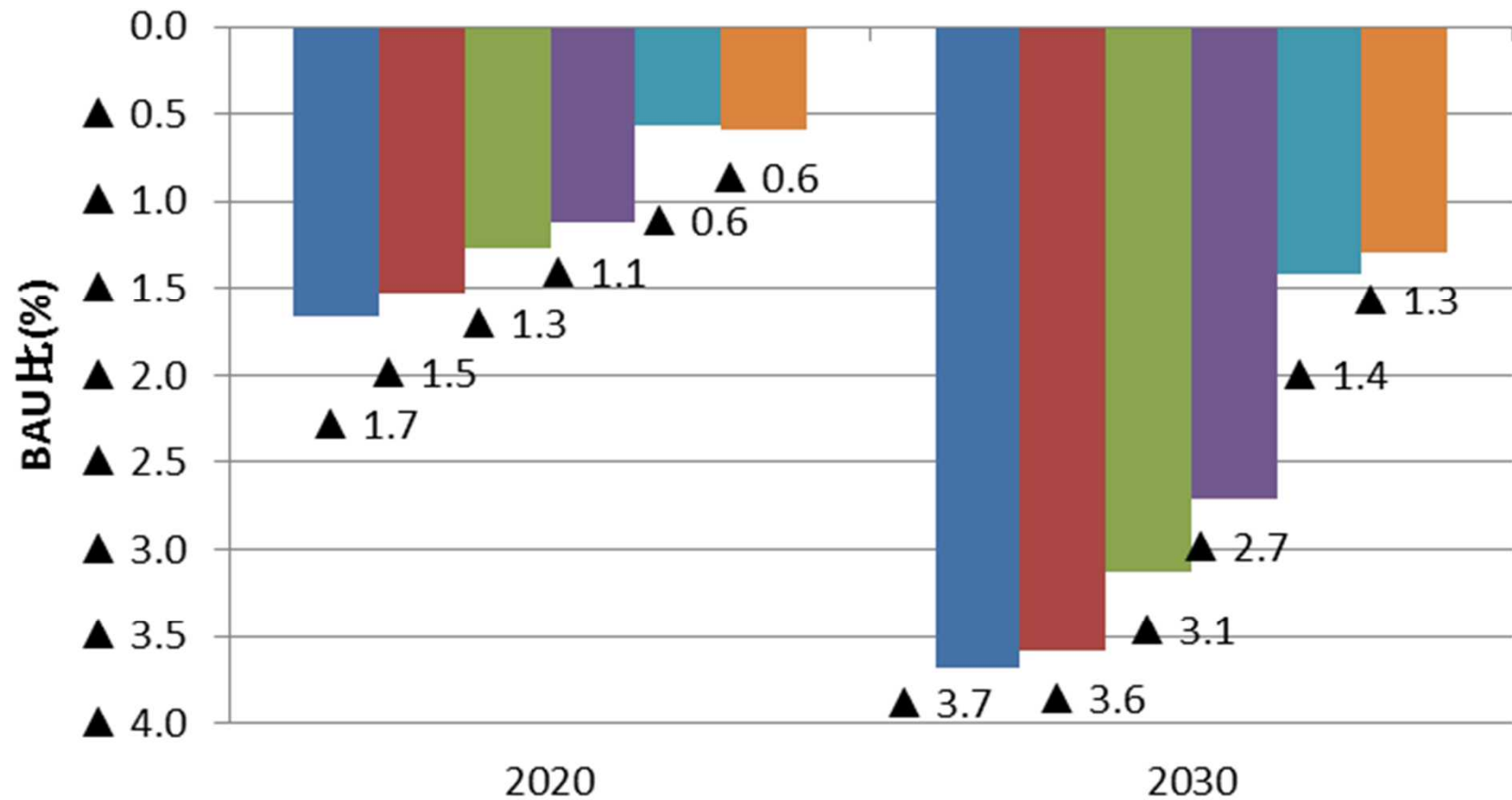
		2010	2015	2020	2025	2030
GDP	兆円	511.0	541.8	569.4	594.6	617.1
CO2	百万トン	1,127	1,113	1,076	1,028	999
最終エネルギー消費	万KL	34,172	33,531	32,895	32,099	31,319
発電電力量	億kWh	10,908	11,091	11,179	11,236	11,240
石炭価格	\$/t	114	118	121	123	124
LNG価格	\$/t	584	646	683	709	734
原油価格	\$/bbl	84	108	115	120	123
就業者数	万人	6,712	6,666	6,620	6,572	6,523

ケース毎に異なる想定

2030年時点		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	ケース⑥
火力	%	65	50	54	49	53	43
原子力	%	0	15	15	20	25	35
再エネ	%	35	35	31	31	22	22
エネ起源CO2排出量	百万トン	803	721	776	747	847	789
1990年比削減率	%	▲ 24	▲ 32	▲ 27	▲ 29	▲ 20	▲ 25
前倒し廃炉費用	円/kWh	0.3	0	0	0	0	0
系統対策費	円/kWh	0.26	0.26	0.25	0.25	0.16	0.16
事故リスク費用	円/kWh	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5



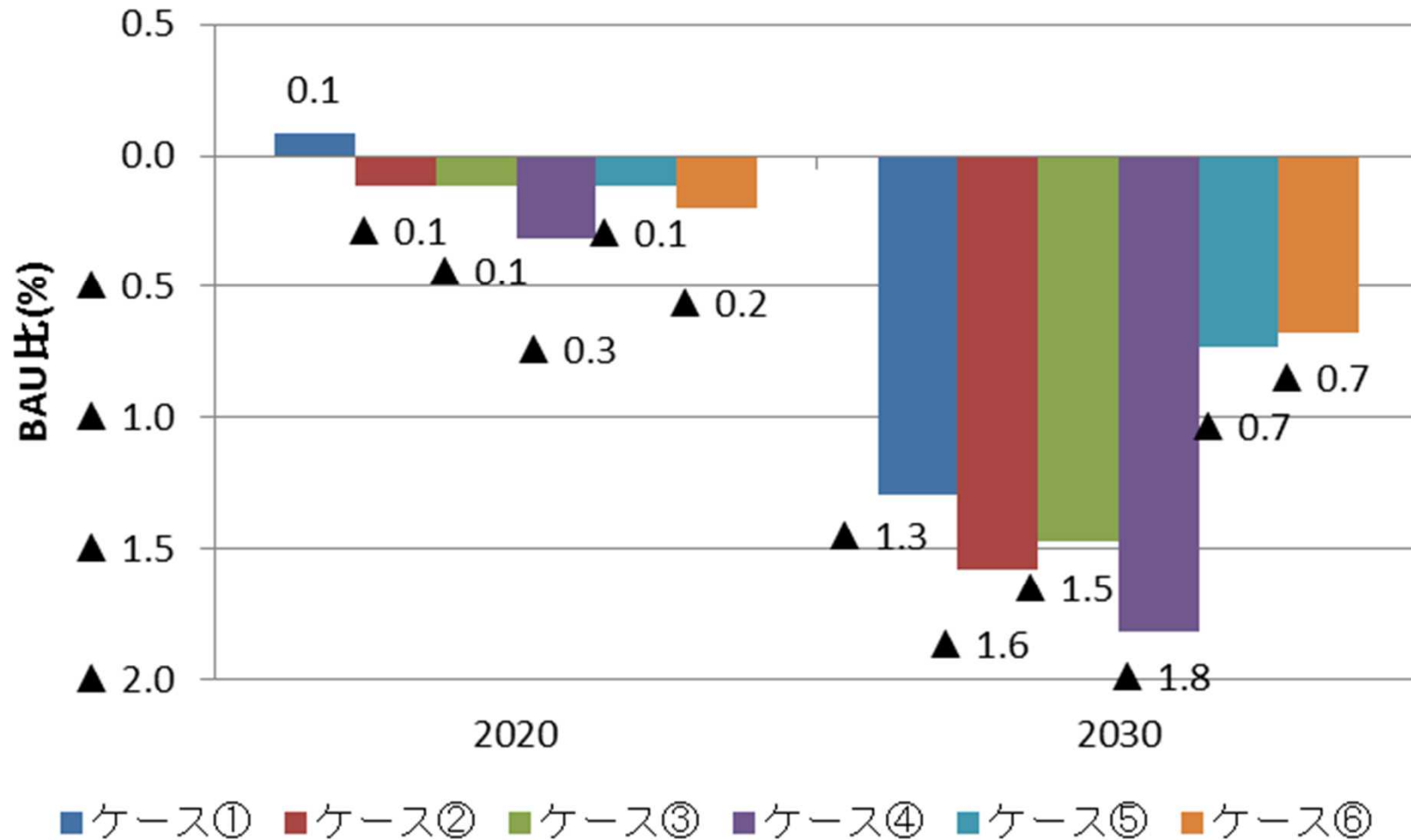
# GDP



■ ケース① ■ ケース② ■ ケース③ ■ ケース④ ■ ケース⑤ ■ ケース⑥

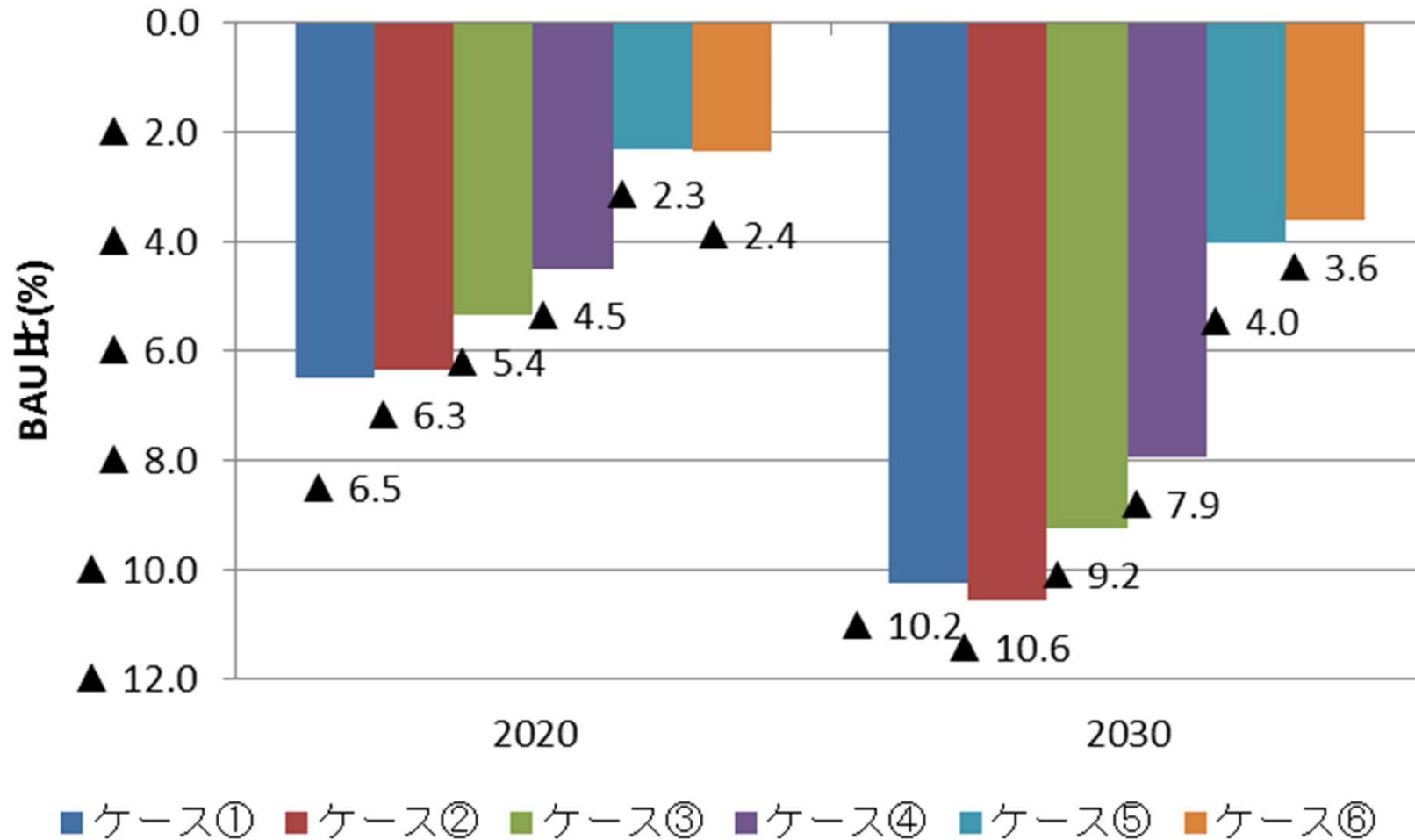
2030年GDPは、1.3%～3.7%低下する。成長率で言えば、  
年率0.06%～0.18%低下する。

# 民間消費支出



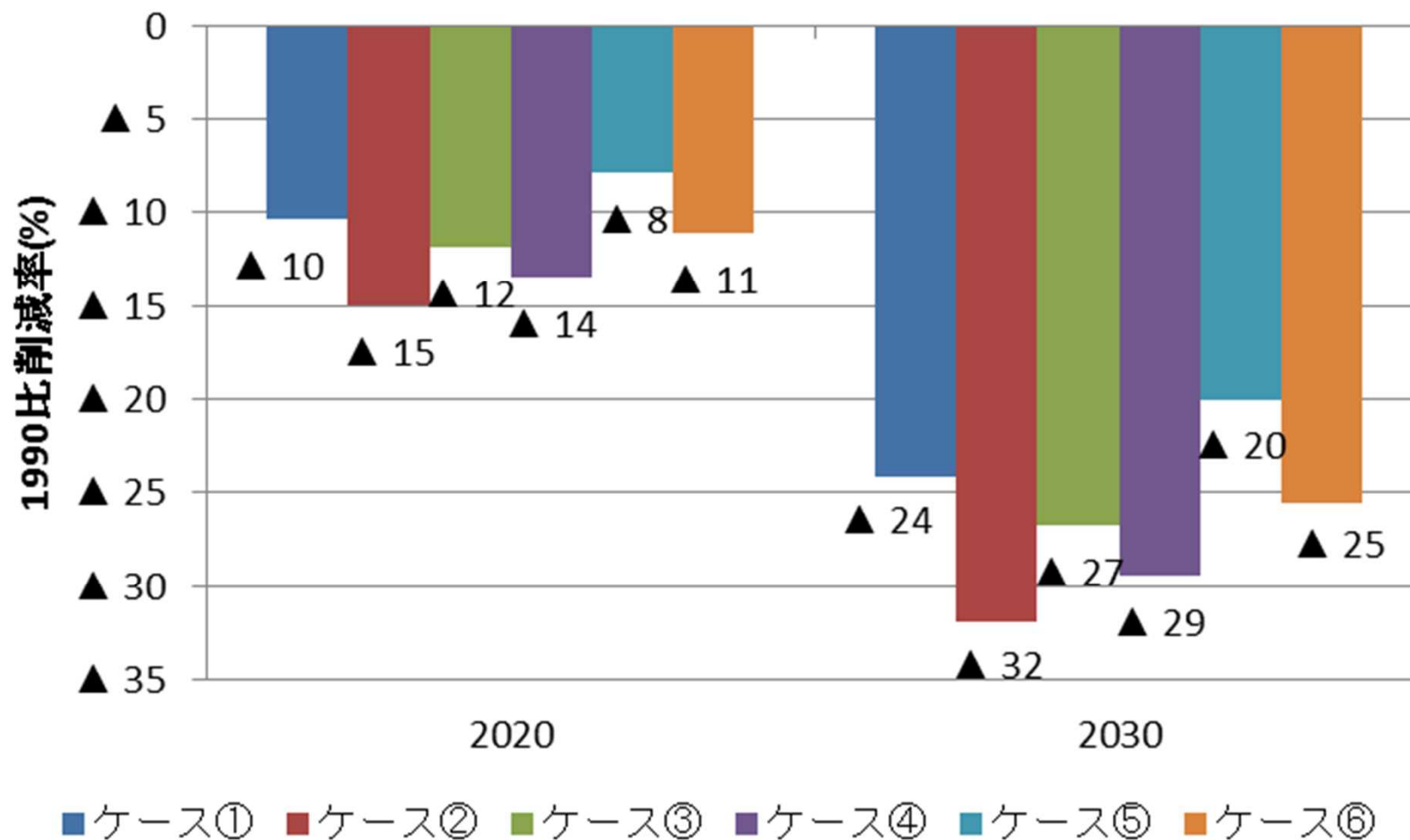
投資へのインセンティブが低下することで消費を減らして貯蓄・投資を増加する傾向が見られず、消費支出はGDPの低下ほどには低下しない。

# 総固定資本形成(粗投資)



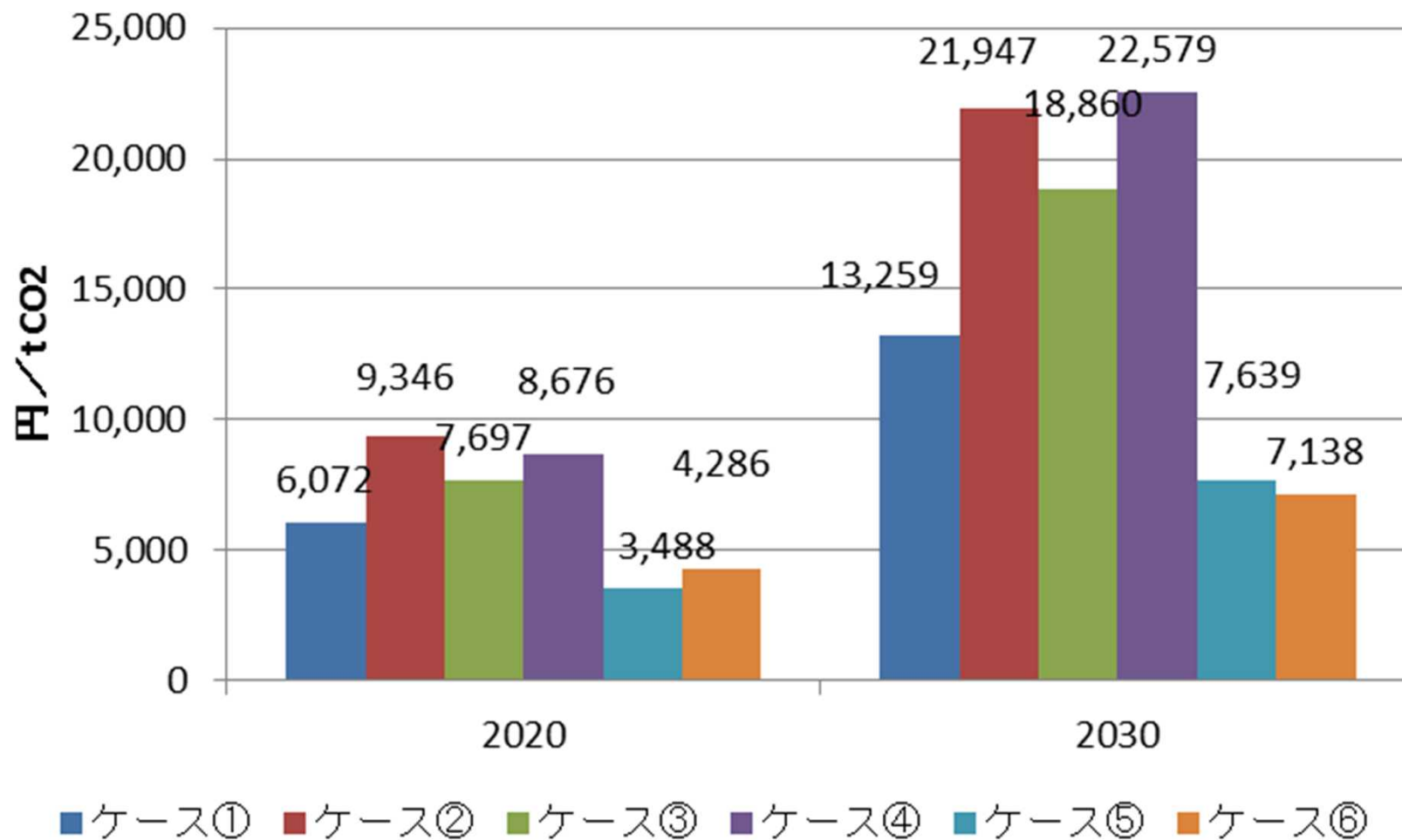
再エネ投資が活発化するものの、資本収益率が低下することで、粗投資全体は大幅に低下する。

# 二酸化炭素削減量



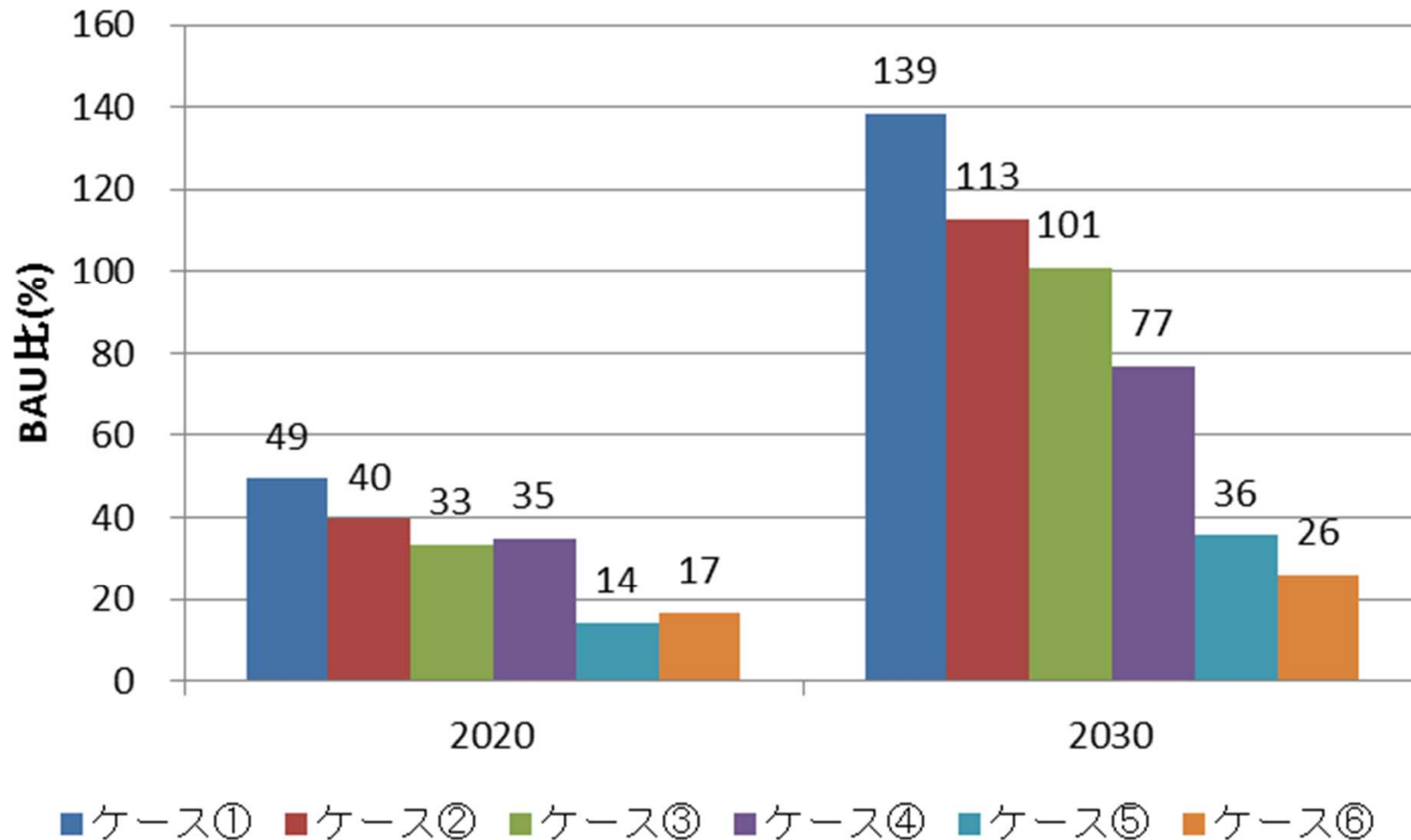
2020年の二酸化炭素削減率は、ケース②で最大15%の減少にとどまる。

# 二酸化炭素価格



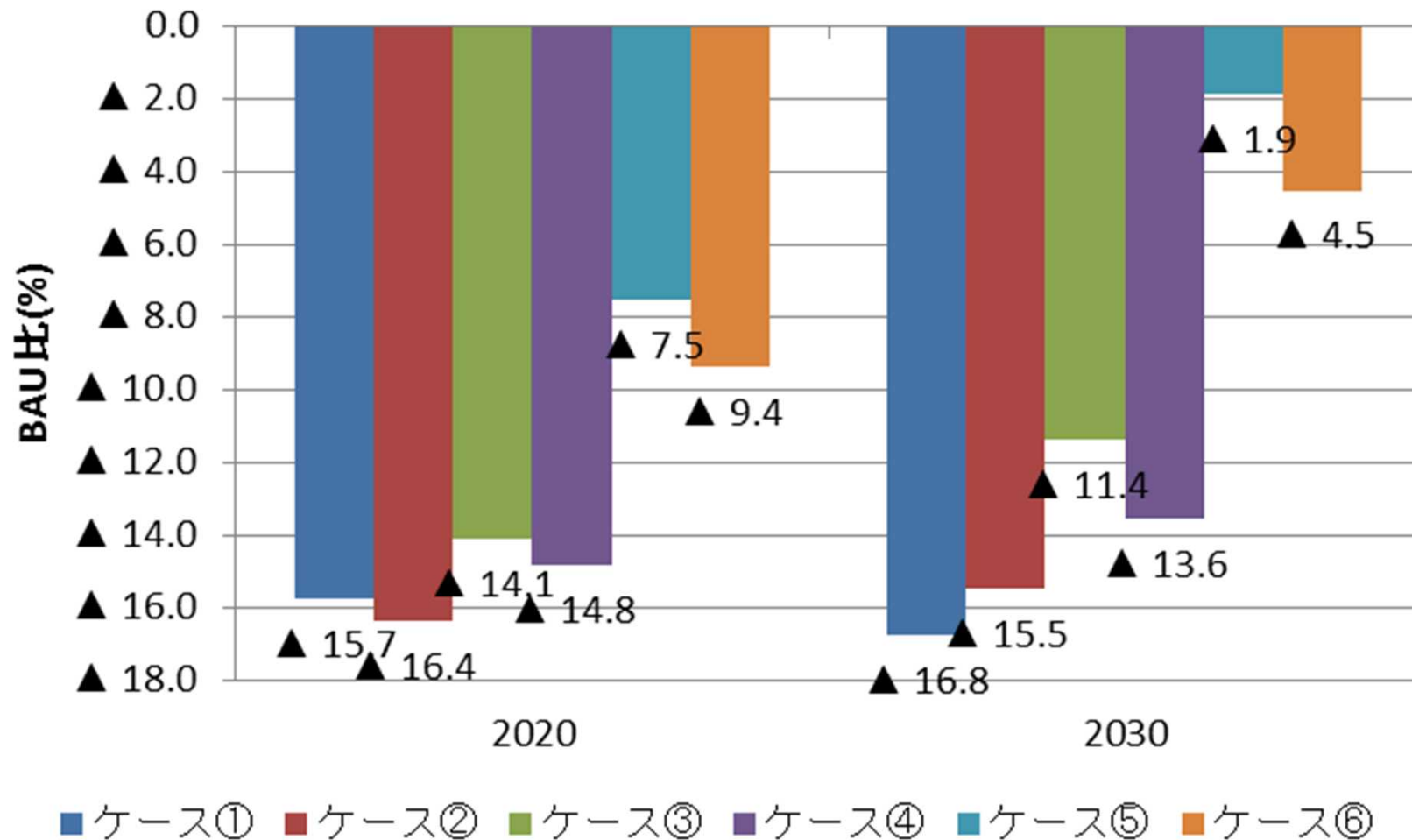
二酸化炭素価格は、二酸化炭素削減率・原子力比率・火力発電比率に依存する。

# 電力価格(名目)



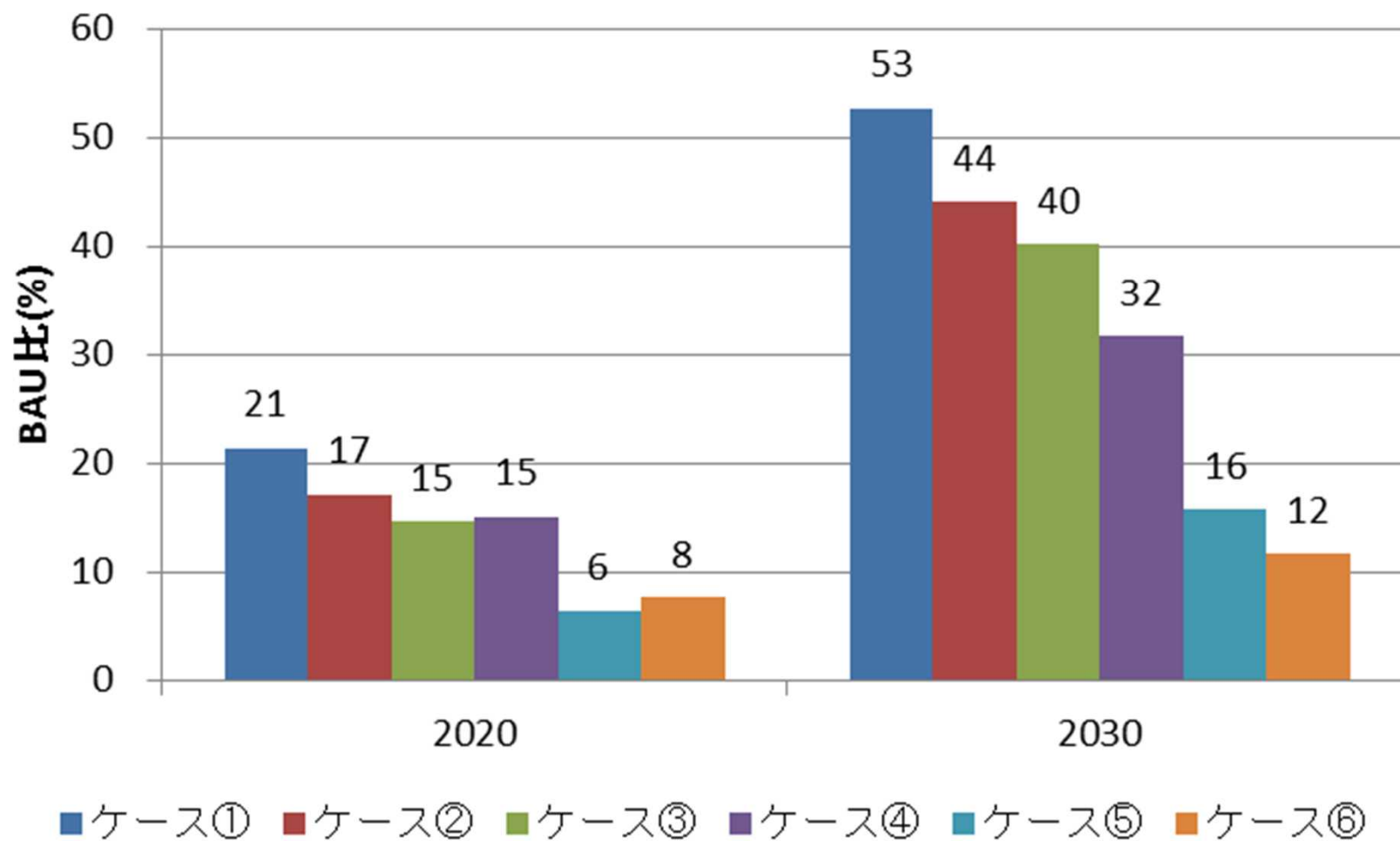
電力価格は、原子力比率・再生可能エネルギー比率・二酸化炭素価格に依存する。

# 発電電力量への影響



発電電力量は、電力価格が高ければ節電により減少する。  
減少幅は、2020年と2030年で大きな差が見られない。

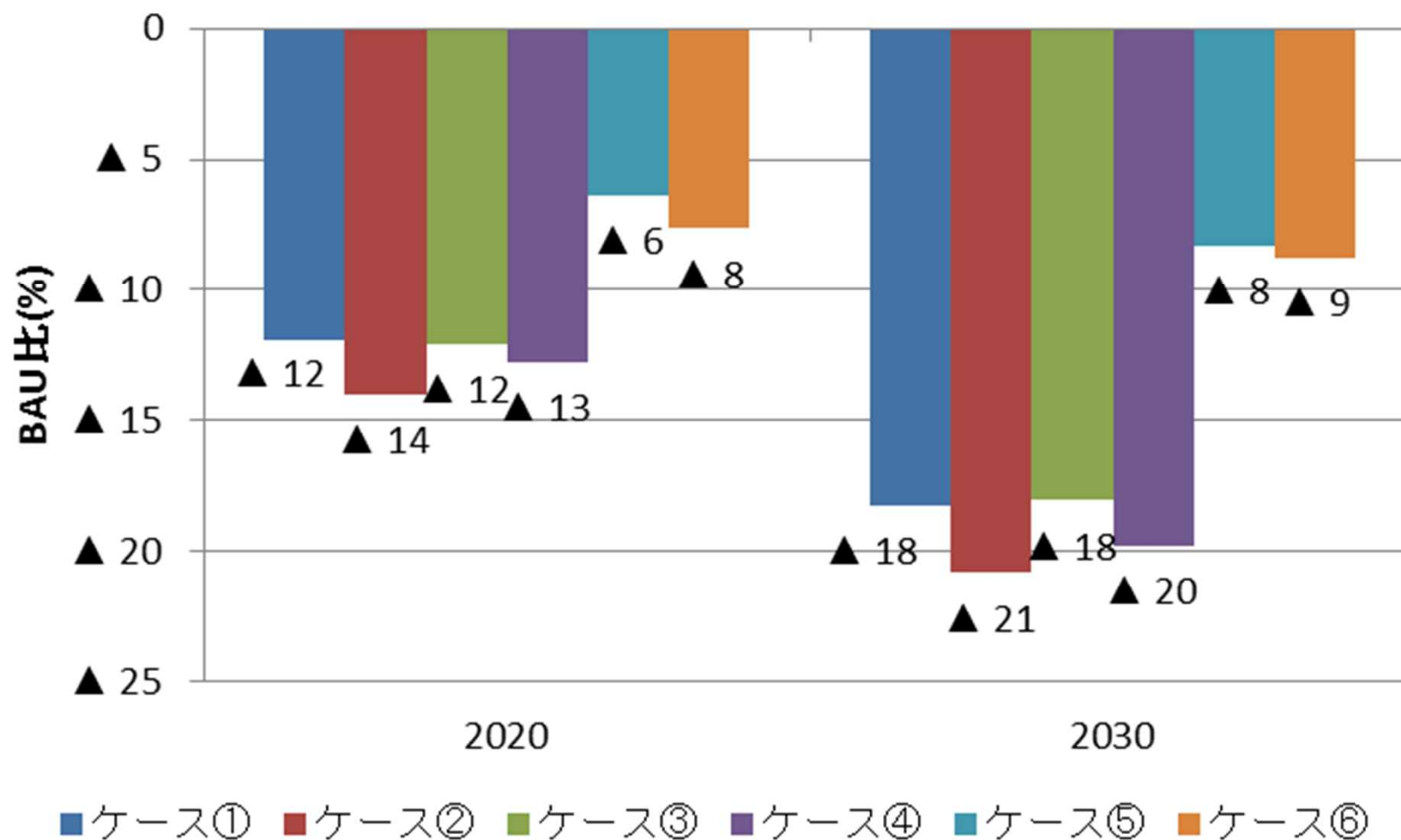
# 光熱費(名目)への影響



光熱費は電力価格に依存する。

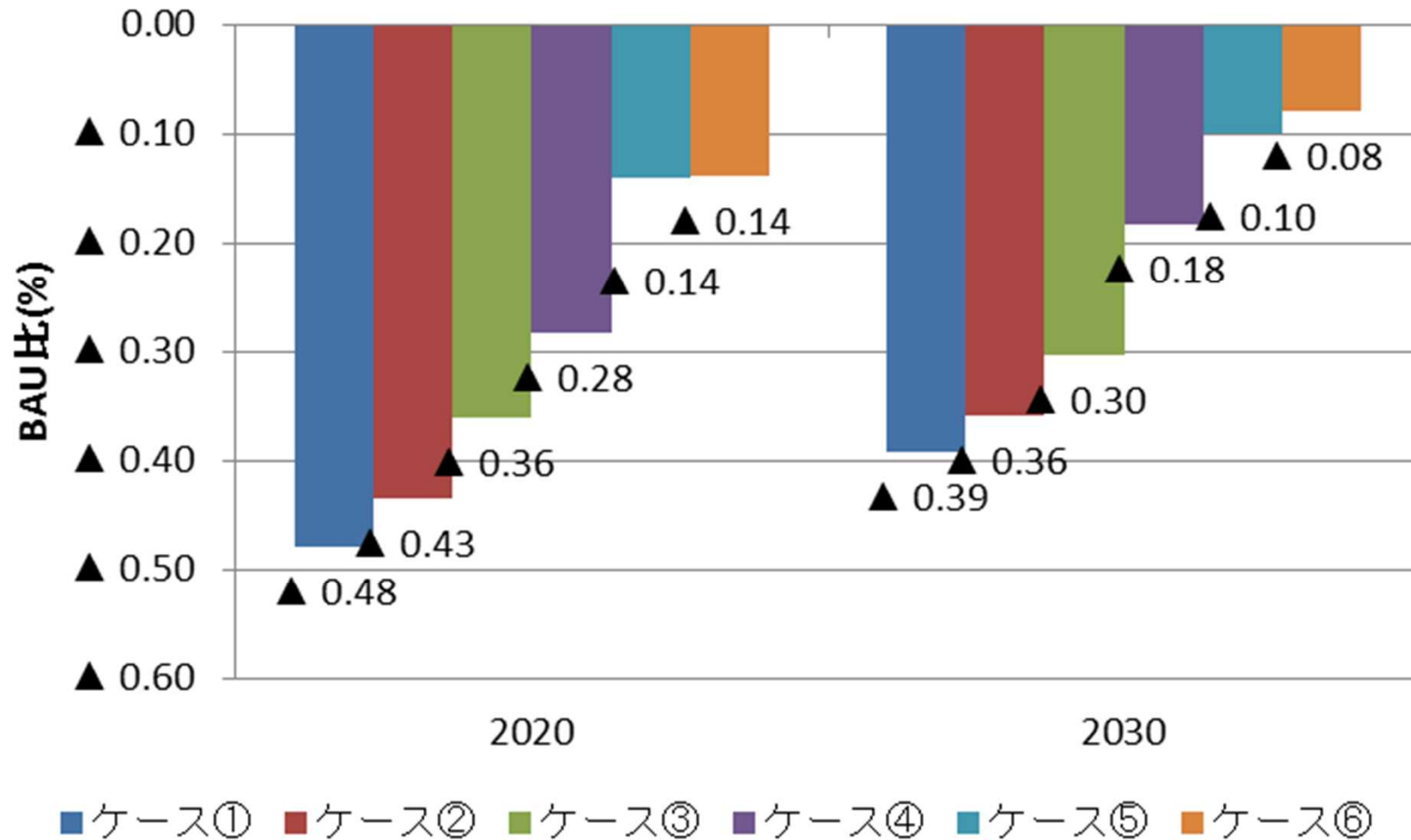


# 最終エネルギー消費



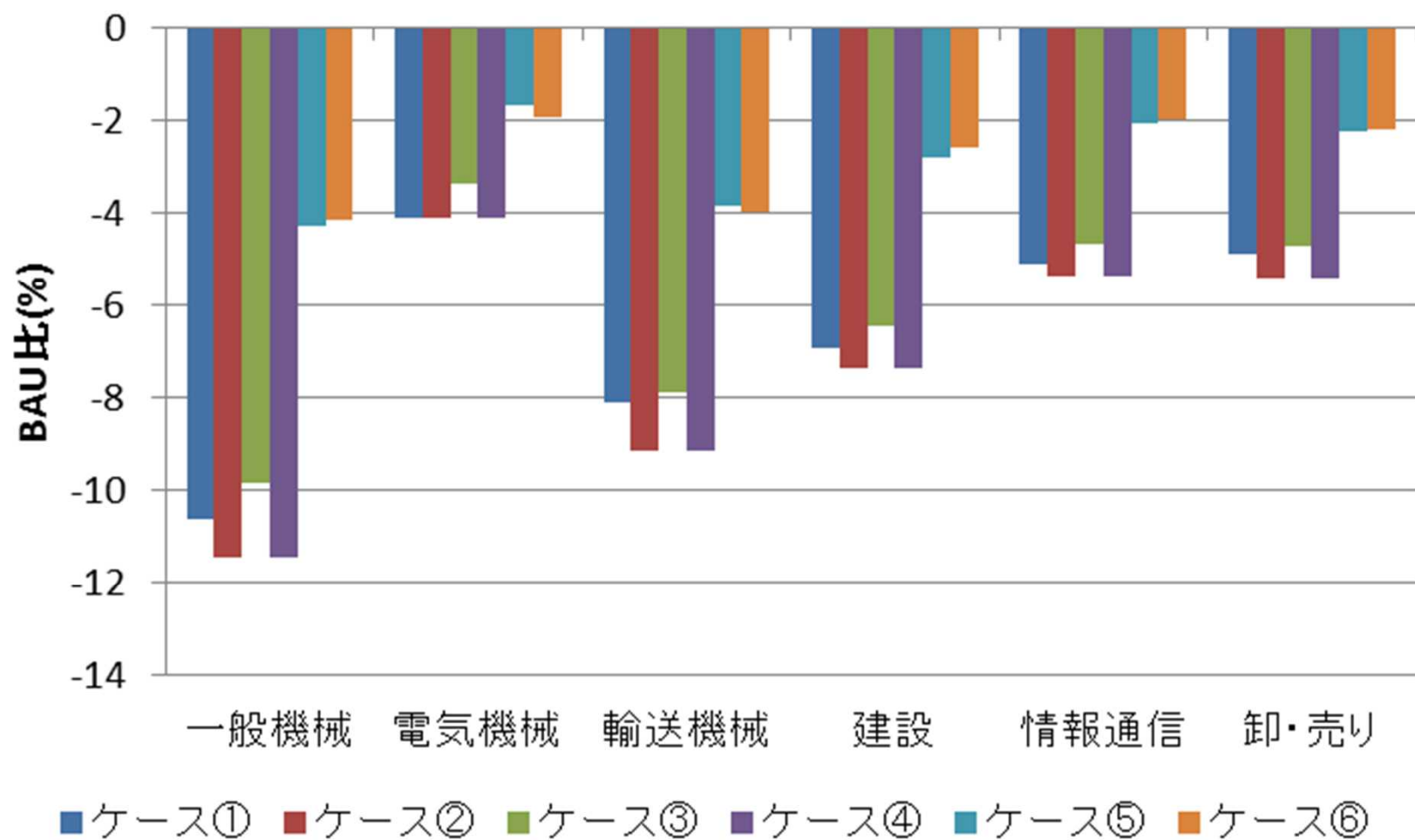
最終エネルギー消費は、二酸化炭素価格・原子力比率に依存する。

# 雇用への影響



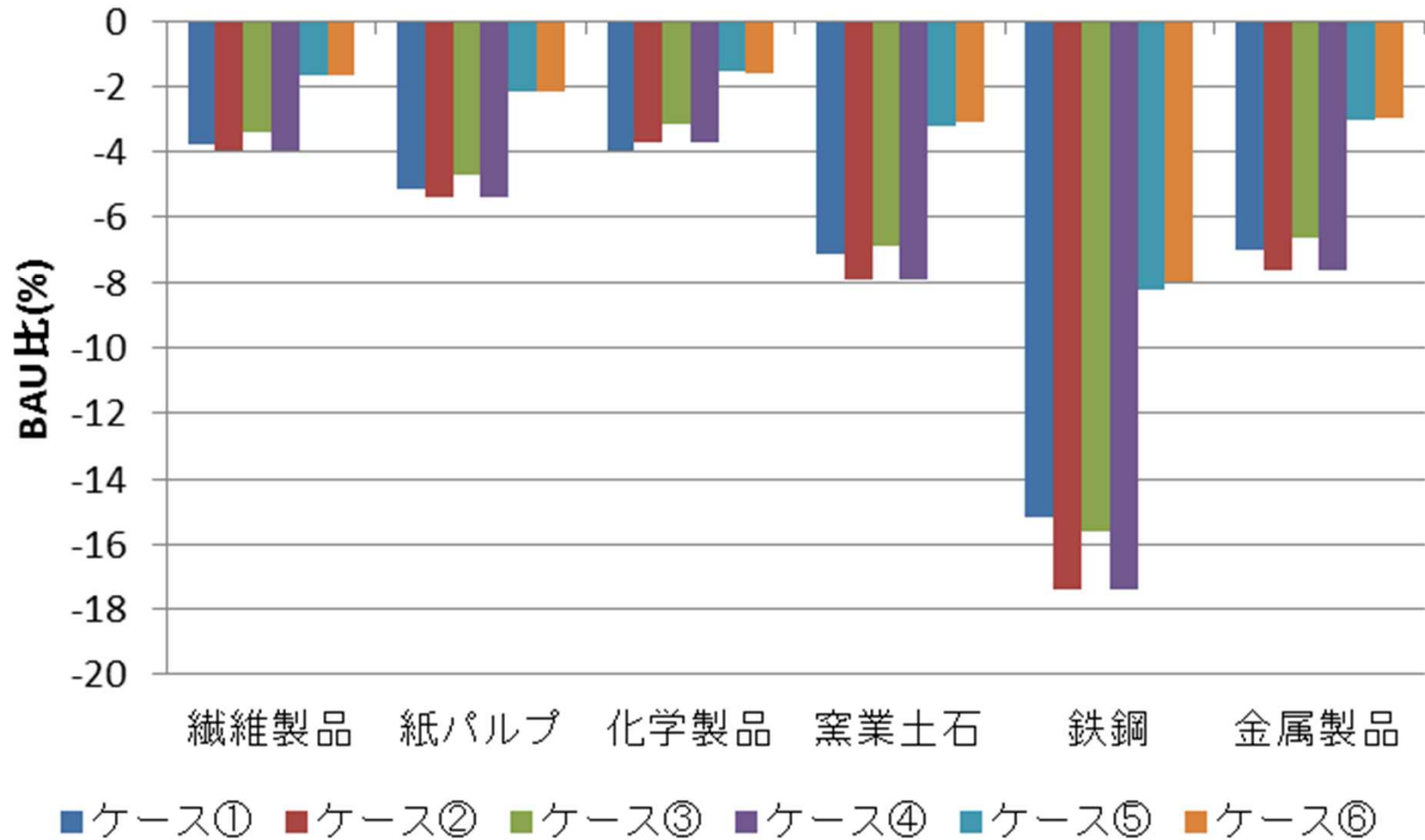
資本から労働への代替が進むことで、雇用はGDPの低下ほどには低下しない。

# 総固定資本形成関連産業への影響



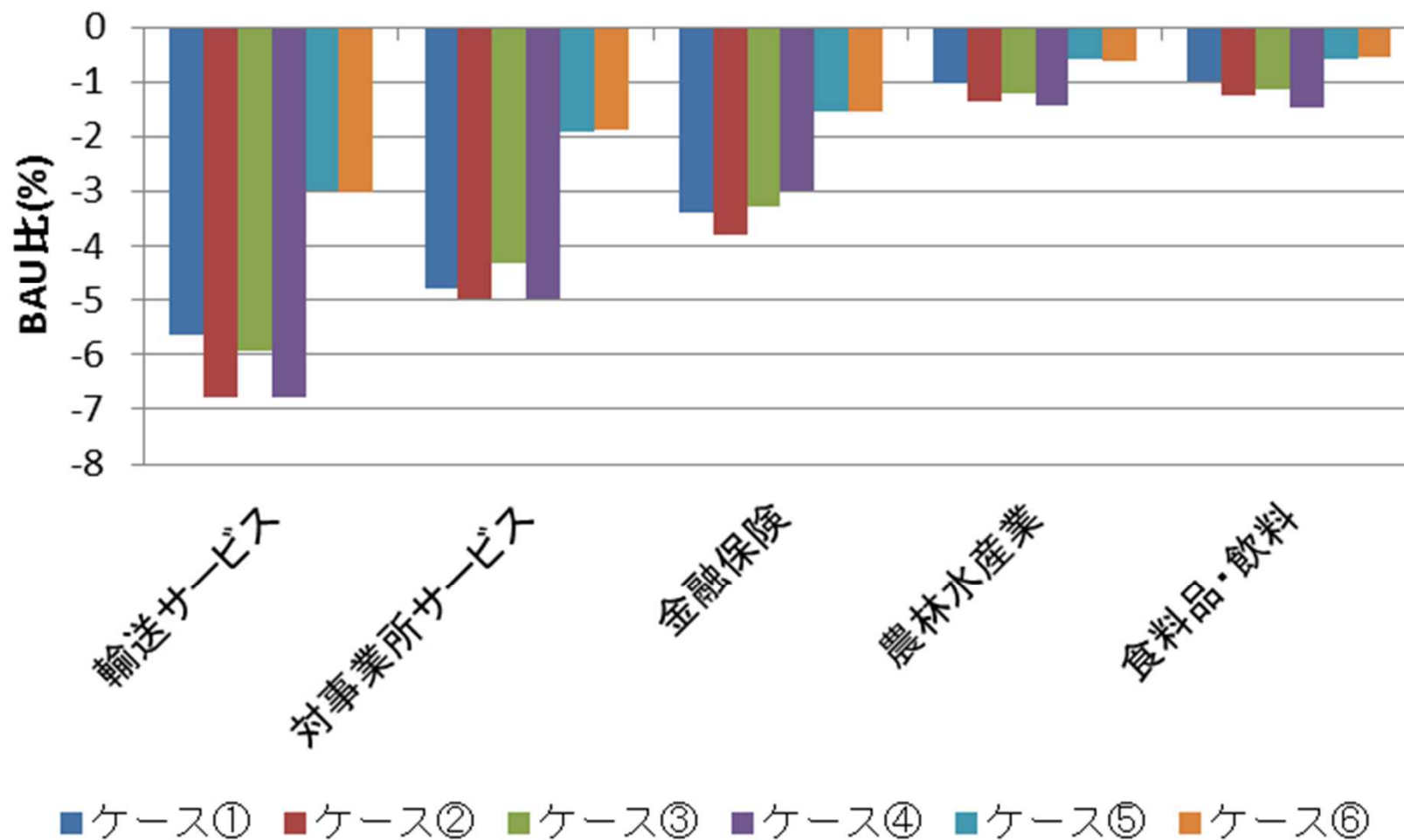
総固定資本形成に依存する産業の生産の低下が大きい。

# 素材産業への影響



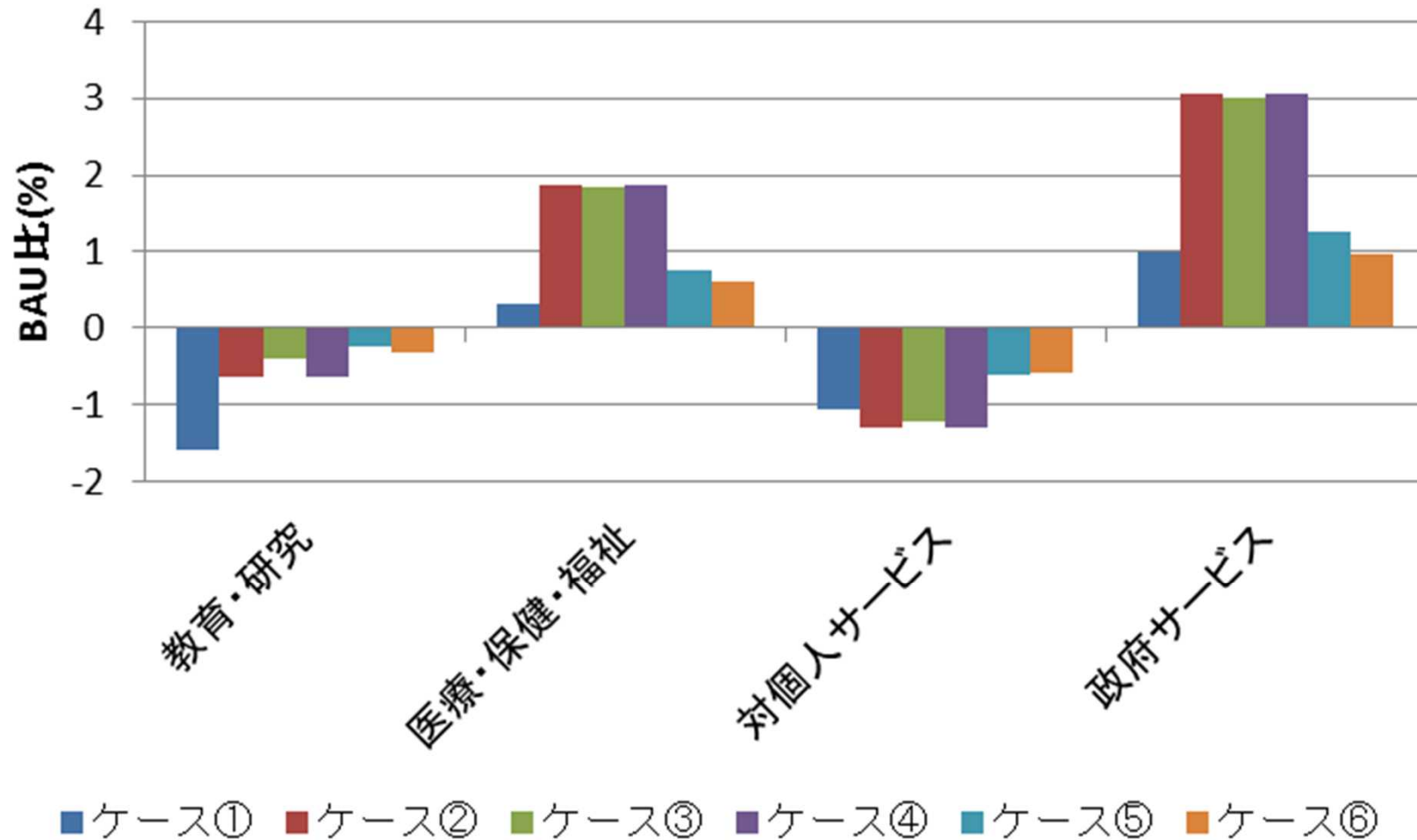
炭素集約型の産業の減少幅が大きい。特に、鉄鋼生産の減少幅が大きい。

# 輸送・対事業所、金融保険・農林水産業



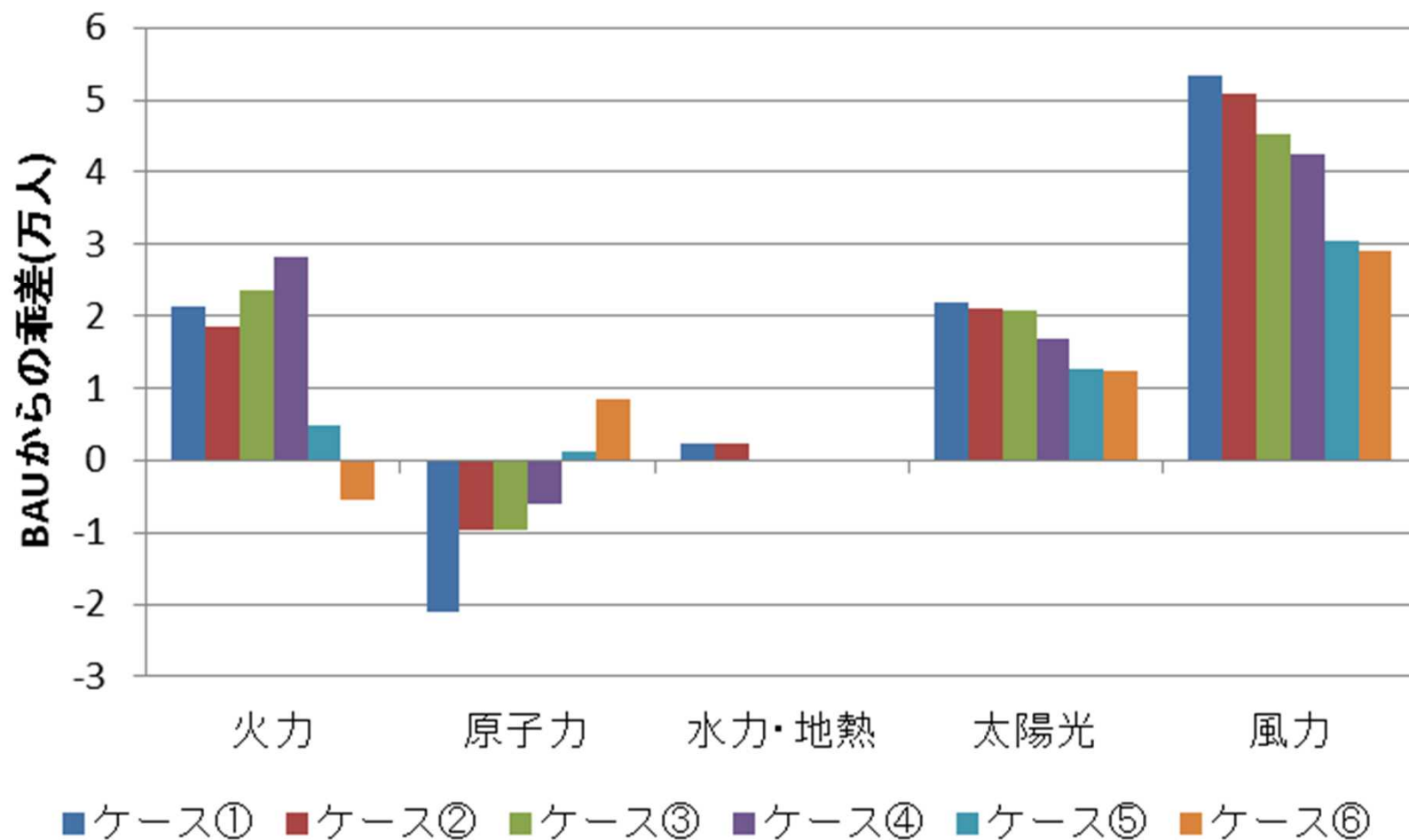
企業向け比重の大きなサービスは減少幅が大きい  
のに対して、食に関わる産業の低下幅は小さい。

# その他サービス産業への影響



人に関わる産業の低下幅は小さく、医療・保険・福祉サービスと政府サービスは増加する。

# 電力事業での雇用喪失・創出



火力・太陽光・風力の雇用創出効果があるものの、原子力での雇用損失が大きい。

# 原子力比率・対策強度の経済的影響 (1)

		0%	15%	20%	25%
GDP BAUからの乖離率 %	高位	▲ 3.68	▲ 3.58	▲ 3.25	▲ 2.95
	中位	▲ 3.13	▲ 3.13	▲ 2.71	▲ 2.14
	低位	▲ 2.26	▲ 2.07	▲ 1.64	▲ 1.46

		0%	15%	20%	25%
CO2排出量 百万トン (1990比削減率)	高位	803(▲24)	721(▲32)	699(▲34)	678(▲36)
	中位	858(▲19)	776(▲27)	747(▲29)	741(▲30)
	低位	964(▲9)	890(▲16)	868(▲18)	847(▲20)

		0%	15%	20%	25%
CO2価格 円/t-CO2	高位	13,259	21,947	26,899	18,550
	中位	9,045	18,860	22,579	11,783
	低位	2,933	11,990	12,768	7,639

ケース①

ケース②

ケース③

ケース④

ケース⑤



## 原子力比率・対策強度の経済的影響 (2)

電力価格(名目) BAUからの乖離率 %		0%	15%	20%	25%
	高位	139	113	92	76
	中位	108	101	77	49
	低位	71	67	42	34

光熱費(名目) BAUからの乖離率 %		0%	15%	20%	25%
	高位	53	44	37	32
	中位	44	40	32	22
	低位	31	29	18	16

最終エネルギー消費 BAUからの乖離率 %		0%	15%	20%	25%
	高位	▲ 18	▲ 21	▲ 23	▲ 19
	中位	▲ 14	▲ 18	▲ 20	▲ 13
	低位	▲ 6	▲ 11	▲ 12	▲ 8

ケース①

ケース②

ケース③

ケース④

ケース⑤

# 試算結果のまとめ

1. 原子力依存の低減は、電力価格を引き上げ、光熱費支出を増加させ、GDPを低下させる。
2. 二酸化炭素の削減は、二酸化炭素価格を引き上げ、エネルギー価格や電力価格を引き上げ、光熱費支出を増加させ、さらに、GDPを低下させる。
3. 再生可能エネルギー比率の上昇は、FITなどで電力価格を引き上げることで実現される。
4. 再生可能エネルギー比率の上昇は、発電部門での投資や雇用の増加をもたらすが、他の分野での投資や雇用の減少を食い止めることは難しい。
5. 原子力依存度の低下と低炭素社会への移行は、資本収益率を低下させることから、消費を減らしてまで投資を行うことインセンティブが働かない。その結果、消費の減少は小さいが、粗投資は大きく減少し、投資に依存する産業の生産を減少させる。
6. 原子力依存度の低下と低炭素社会への移行は、製造業を中心とした産業構造から、農業・食料品産業、医療・保険・福祉、教育・研究、対政府サービスなどの人を中心とする産業構造への転換を促す。
7. その意味で、原子力依存度の低下と低炭素社会への移行は、「物づくりを中心とする社会」から、「人に対するサービス社会」、または「分かち合い社会」への移行を促す可能性が高い。