

2030年における電源構成とCO₂制約 —多部門一般均衡モデルによる経済評価

慶應義塾大学 産業研究所

野村浩二

2012年5月9日(水) 18:30-20:30

総合エネルギー調査会基本問題委員会

報告内容

(1) モデルの概要と特徴

- ・エネルギー・分析用経済モデル
- ・KEOモデルの特徴

(2) 参照ケース

- ・各種前提における事務局想定への対応
- ・実績値評価と、将来予測値と事務局想定シナリオとの対比

(3) 事務局想定に追加されるモデル想定

(今回、事務局想定値が与えられていないが、分析において重要であり、また将来における不確実性の高い諸条件についてのモデル想定値。)

- ・新エネ推進に伴う国産率やコスト構成、サーチャージ
- ・系統対策からの設備投資需要

(4) 選択肢ごとのマクロ経済への影響

(5) 選択肢ごとの家計および産業別影響

(6) 帰結

エネルギー・環境分析における 経済モデル評価

分析対象が違えばモデルの構造が変わることも当然であり、エネルギー・環境分析のための経済モデルでは、エネルギーの供給と使用を適切に描写できる構造、技術情報を織り込むことができるハイブリッド型の定式化、エネ政策を適切に表現できるインターフェイス、そして現実のデータとして経済変数における価格と金額、およびエネルギー消費量の物量を評価できる実証性が求められる。

バランス型

エネルギー・環境分析用に開発されたハイブリッド型の一般均衡モデル。現在のKEOモデル(90年代初めから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との共同研究により構築)

細分化

e. g. 産研で環境分析用産業連関表(1985年表)を初めて作表。技術情報を経済データと接合し、多くのLCA分析(吉岡他『環境分析用産業連関表』(1996))

多国間

e. g. 多国多部門一般均衡モデル(東アジア・米国)(新保他「中国・東アジアの経済発展・環境・技術に関するモデル分析」(慶大産研『アジアの経済発展と環境保全』(2002))

超長期

e. g. 米国Jorgensonモデルと同様な2100年といった超長期における定常状態までを解く新古典派動学的異時点間最適化多部門一般均衡モデル(黒田・新保(宇沢・國則編『地球温暖化の経済分析』(1993))

エネルギー・環境分析としても、問題意識が違えば、モデルの役割も選択も異なる。以下はおおまかな特性。

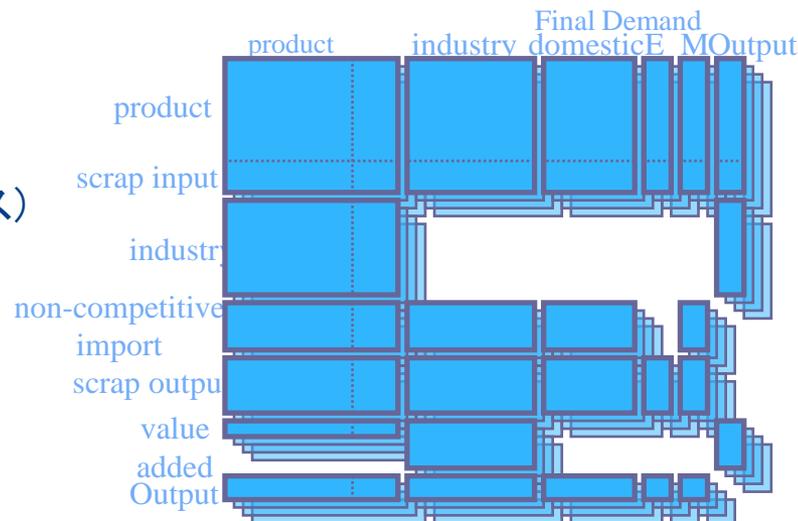
	細分化	超長期	多国間	バランス
モデル評価の主要な役割	一時点の技術評価	長期の資源配分	世界評価・リーケージ	中短期の政策評価
集計度	細	中(粗)	粗	中
実証的な基盤	◎(○)	△	△(×)	◎
技術情報や技術シナリオとの接合	◎	△(×)	△	○
具体的なエネ政策表現や評価	○	△(×)	△(×)	◎

KEOモデルの特性

	KEOモデル	(参考)一般的なCGEモデル
<p>1)日本におけるエネルギー・環境分析評価のための構造的描写</p>	<p>①不完全雇用均衡:温暖化対策のための投資誘発は、失業者に雇用機会を与え、遊休設備が稼働する、ケインズモデル(3千円程の炭素税導入(2千万tCO₂削減ほど)なら実質GDPは僅かに増加するケースも)。対策に必要な投資需要拡大の効果を描写。</p> <p>②エネルギー環境分析のための日本経済の構造的描写。生産は47経済活動(8発電部門, 5輸送部門)、48生産物(4非競争輸入財, 8層副産物投入)別途21エネルギー小分類。労働力は、6世帯主年齢階層別に世帯主と非世帯主ごとの労働供給関数を保持。労働需要は産業別に年齢階層別需要を算定。産業はTrans-log型費用関数によりKとEの代替弾性は可変的。</p> <p>③政策表現:炭素税導入(部門特定)による一物多価のモデル化。トプランナーの導入。自主行動計画の反映。</p>	<p>①遊休設備がなく完全雇用。(温暖化対策は、基本的には経済にマイナスの影響を与えるのみ。プラスの効果が出ているとすれば、技術進歩率やエネ効率改善など外生的な効果。)</p> <p>②簡単な関数(代替弾性を1とするCobb-Douglas型や固定弾性のCES)を多用。</p>
<p>2)技術情報や政策シナリオへの接合 (発電のサブモデル、家計エネルギー消費など、技術情報やトプランナー政策などを反映可能なハイブリッド型。)</p>	<p>①発電部門では、火力の構成を決定するため、工学的な情報とリンクするサブモデルを包含。層・副産物の発生と投入を描写(高炉ガス発生と自家発利用など内生)。</p> <p>②家計では、暖房用、冷房用、照明用、動力など、用途別エネルギー消費関数を導入し(保有耐久消費財の効率性上昇や気温などの効果を考慮)、エネルギー種別消費量を算定。トプランナーシナリオを反映できるように詳細なデータから接合し家電機器の将来の効率性向上を織り込む。</p>	<p>経済学的な生産関数や消費関数のみで描写。電力供給の構造や火力の稼働率など、十分な精度で描けない。</p>
<p>3)実証基盤の保持 (各種パラメータはデータベースに基づき実測。モデル全体としては将来予測のみではなく、過去のデータでトータルテスト。)</p>	<p>①生産者の各種パラメータは、日本経済の長期産業別生産性データベース(KEOデータベース)に基づき推計。</p> <p>②家計エネルギー消費関係は、エネ研データベースにより実測。</p> <p>③エネルギー小分類では、「環境分析用産業連関表」(慶大産研作成)と接合。</p> <p>④将来における産業別TFPの想定などは、実績値に基づいて産業別に想定。</p>	<p>①一時点のデータのみからキャリブレーション。他の測定値(必ずしも整合的ではないデータに基づく)からの援用や想定。</p> <p>②十分な細分化がない場合、CO₂排出量は、工学モデルの値と一致するよう(産出などに対する)係数を想定するのみ。</p>

KEOモデルの実証基盤

—KEOデータベース(長期産業別生産性データベース)



長期時系列産業連関表

- 供給使用表(産業連関表)

産業・生産物

- 46産業 + 家計(住宅+耐久消費財サービス)
- 3 IT 生産者 (コンピュータ、通信機器、電子部品)
- +8屑・副産物の発生と投入(古紙、LPG、高炉ガス、鉄屑、非鉄屑など)

資本投入量

- 102 資産 (46産業別)での資本ストックおよびサービス
- 90 有形資産、5 無形資産 (3 ソフトウェア)、3 在庫資産、4 土地資産

労働投入量

- クロス集計された労働者数、平均労働時間、賃金のデータベース
- 性(2)、年齢階層(11)、学歴(男性4、女性3)、就業形態(3)、産業(43) 全体で9,933の属性

人口・世帯

- 世帯主年齢階層別労働および消費構造(一国集計量と整合)

エネルギー

- 産業別エネルギー種別燃料投入表(産研「環境分析用産業連関表」と整合)
- 産業別エネルギー種別CO2排出表(産研「環境分析用産業連関表」と整合)
- 家計部門エネルギー用途別エネルギー種別消費(集計値でエネ研データと整合)

今回の分析における参照ケース —事務局想定への対応

(1) 推計期間

- ・1985年～2030年(45年間)

(2) モデルにおける外生変数

- ・事務局想定に沿って設定
- ・本分析における特別な留意点は以下のとおり
 - 火力の内訳: モデルでは電力需要に応じて日負荷曲線の形状が決まり、内生的に解かれるが、今回は事務局想定に基づき火力シェアを外生値として設定。
 - 新エネ: すでに導入されている新エネについては、参照ケースにおいてもサーチャージを負担。
 - 原発事故リスク費用: 参照ケースにおける原発発電量に応じて、事務局想定(0.5円/kWh)にしたがって年間1400億円ほどを、電力価格へ転嫁(0.14円/kWhほど)。

今回の分析にあたっては、電源構成や将来価格などの細部について、コスト等検証委員会での評価を受けて、透明な算定基準に基づき、きわめて詳細な条件が提示されている。モデル構造の中で最大限の整合性を保持できるよう、調整をおこなっている。

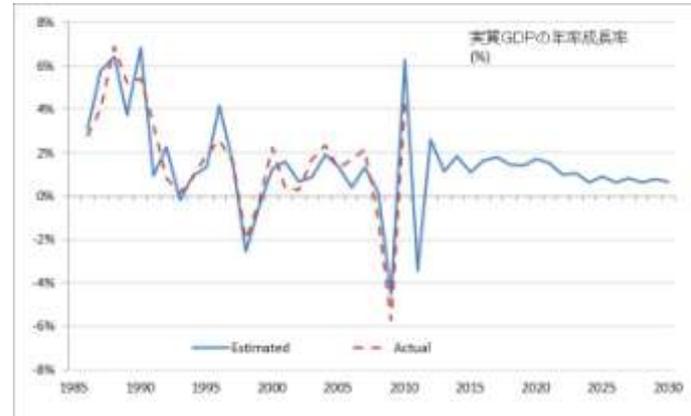
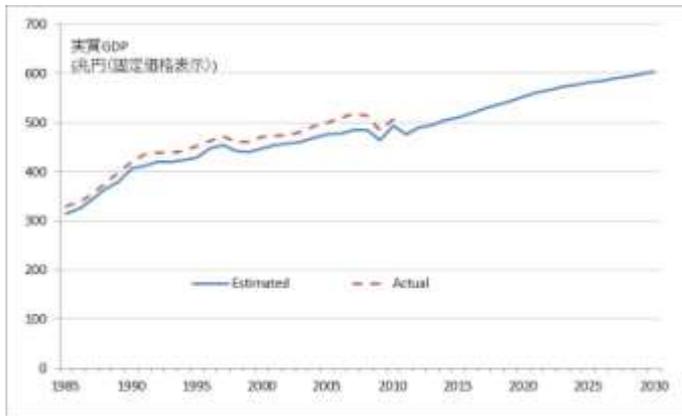
(3) モデルにおける内生変数

- 経済成長率はおおむね事務局想定に対応させるように外生変数を設定。(CO₂排出量やエネ最終消費などは成長に伴う内生であるため、事後に近似をチェック済み。最終需要構成や産業構造は内生値のまま。)
- 電源毎の燃料費・運転維持費は内生のため、事後で事務局想定との近似をチェック(資本費はモデルで外生のため想定値を所与。)

各選択肢評価に対する参照ケース

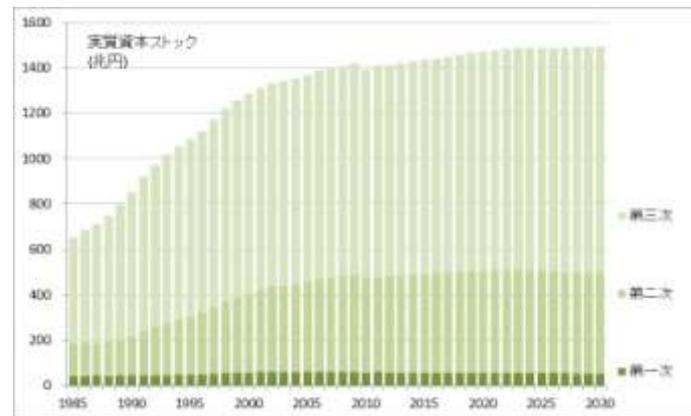
(1) 経済成長

➤ 実質GDP(赤点線は実績値)



➤ 最終需要項目別寄与度と資本ストック

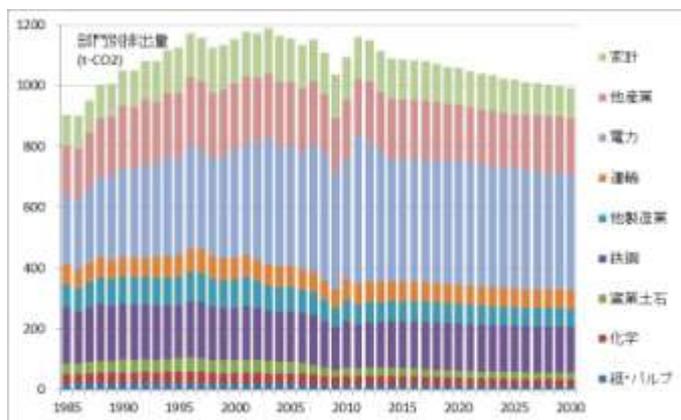
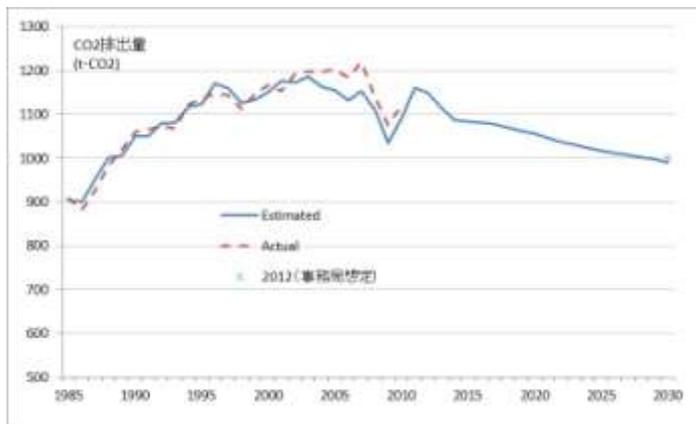
(※)2010年代の年平均成長率=1.14%
2020年代の年平均成長率=0.87%



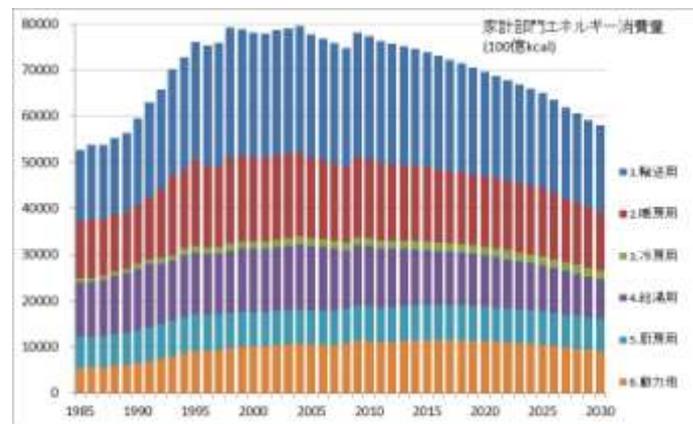
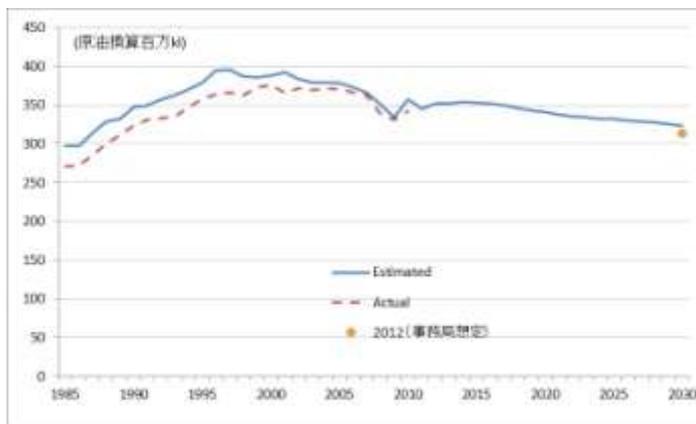
KEOモデルでは、モデル全体を動かしたときの推計値と実績値との乖離をチェックするため、1985年から内生的に解いている。内挿期間では、設備投資における期待(将来需要や将来価格、リスクプレミアム)を変えて経済の変動をある程度調整した上で、エネルギー消費やCO2排出量などの推計値と実際値とをチェックしている。本分析では外挿期間としては2030年まで解く。

各選択肢評価に対する参照ケース (2)CO2排出量と最終エネルギー消費

➤CO2排出量(赤点線は実績値)



➤最終エネルギー消費(一国全体と家計部門)



今回の本分析における参照ケースでは、内生的な成長率を事務局想定にほぼ適合するように、海外からの商品別CIF輸入価格や設備投資における期待要素で調整しながら構築し、各選択肢の評価ではすべての値を固定。内生的に解かれるCO2排出量は事務局想定を若干下回り、最終エネ消費では若干上回る。参照ケースは、すでにトッランナーなどの政策評価を織り込んだものであり、家計部門などにおいては、かなりの省エネが織り込まれていることに留意(右下図)。

追加される将来シナリオ (1)再生可能エネルギー推進のための投資

費用構成や国産率については事務局想定に与えられないため、モデルでの想定値を明示。将来における想定は、不確実性が高いが、より現実に適した数字があれば今後改訂。

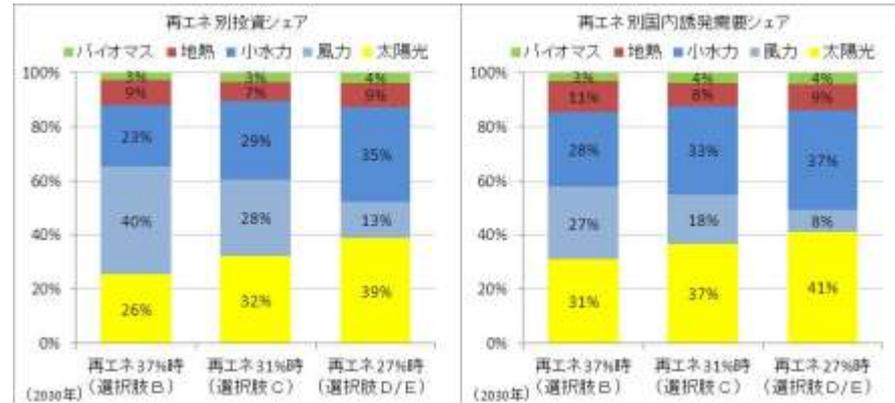
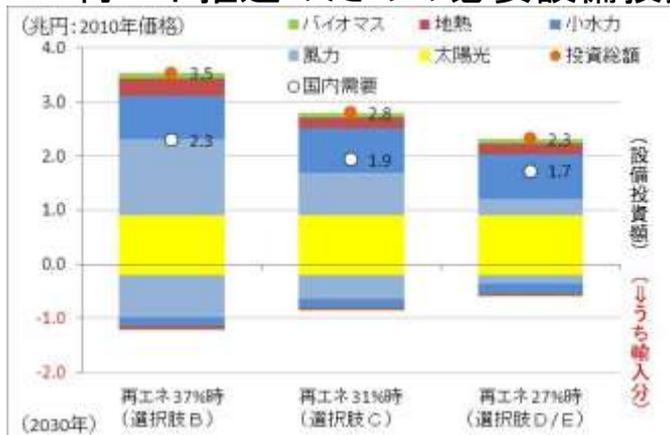
費用構成および国産率の想定値

		2010	2015	2020	2025	2030
太陽光	モジュール	50.0%	47.5%	45.0%	42.5%	40.0%
	(国産率)	(80.0%)	(75.0%)	(70.0%)	(65.0%)	(60.0%)
	BOS	25.0%	25.0%	25.0%	25.0%	25.0%
	(国産率)	(80.0%)	(77.5%)	(75.0%)	(72.5%)	(70.0%)
風力	設置工事	25.0%	27.5%	30.0%	32.5%	35.0%
	設備機器	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
	(国産率)	(20.0%)	(20.0%)	(20.0%)	(20.0%)	(20.0%)
小水力	設置工事	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%
	設備機器	80.0%	77.5%	75.0%	72.5%	70.0%
	(国産率)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)
地熱	設置工事	20.0%	22.5%	25.0%	27.5%	30.0%
	設備機器	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
	(国産率)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)
バイオマス	設置工事	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%
	設備機器	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
	(国産率)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)	(70.0%)

再エネ設備全体での輸入比率(直接効果)



再エネ推進のための必要設備投資



左図では、原点より上が設備投資額であり、下はそのうちの輸入(直接効果)によるものの算定値。両者の差分のドットが、国内需要の波及効果をもつ。設備投資のシェアをみれば、再エネ37%時(選択肢B)では風力40%、太陽光26%、小水力23%の順序であるが、国内需要としては太陽光の31%にもっとも大きな生産誘発が期待されている。PVの価格競争激化の中で、2030年における国産率60%の想定が適切なものであるかは、慎重な検討が必要。

追加される将来シナリオ (2) 系統対策投資

▶ 系統対策、短周期対策、電圧対策のための設備投資における資産別構成比および国産率の想定値

	2010	2015	2020	2025	2030
連係線・送電線コスト(系統対策)					
うち非鉄(電線)	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%
(国産率)	(76.0%)	(73.5%)	(71.0%)	(68.5%)	(66.0%)
うち電気機械	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%
(国産率)	(75.0%)	(72.5%)	(70.0%)	(67.5%)	(65.0%)
うち建設	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%
蓄電池コスト(短周期対策+電圧対策)					
うち電気機械	90.0%	90.0%	90.0%	90.0%	90.0%
(国産率)	(77.0%)	(74.5%)	(72.0%)	(69.5%)	(67.0%)
うち建設	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%

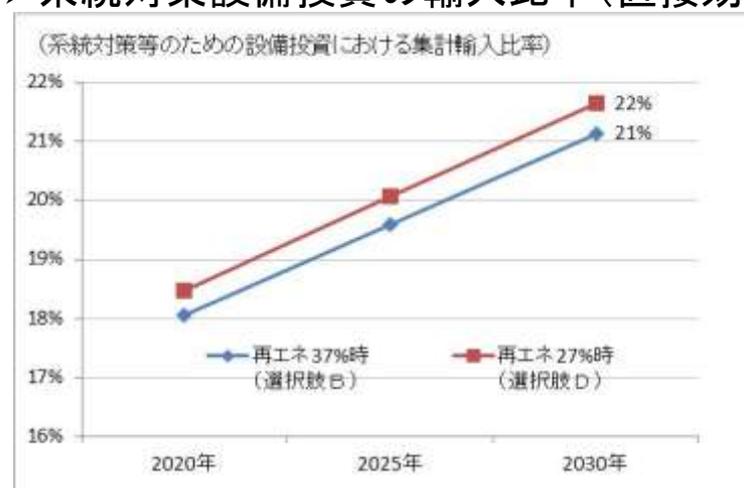
資産構成や国産率については事務局想定に与えられないため、モデルでの想定値を明示。将来における想定は、不確実性が高いが、より現実に適した数字があれば今後改訂。

▶ 系統対策のための設備投資



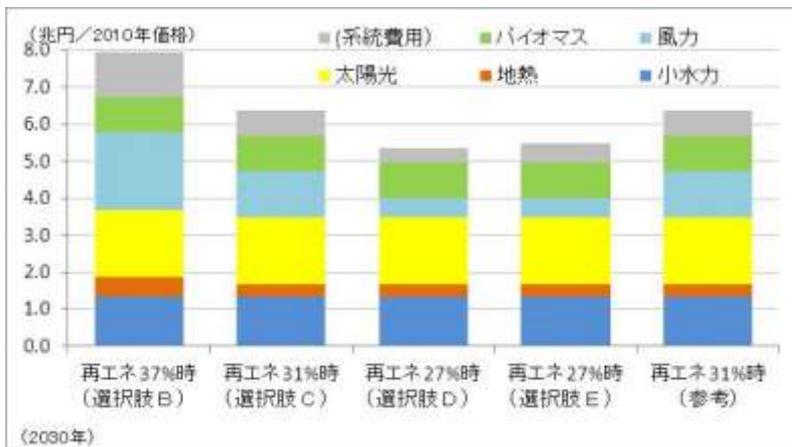
系統対策でも2030年には必要投資額は1.4兆円ほど(選択肢B)と算定され、再エネ自体の投資と合算すると、1年に5兆円もの新設投資を必要としている。

▶ 系統対策設備投資の輸入比率(直接効果)

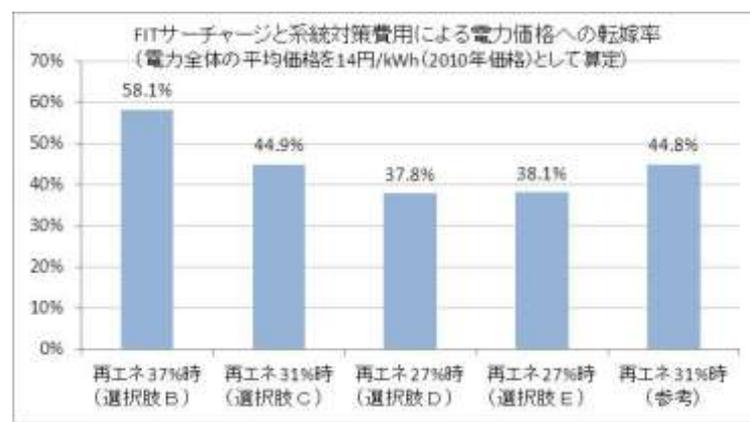
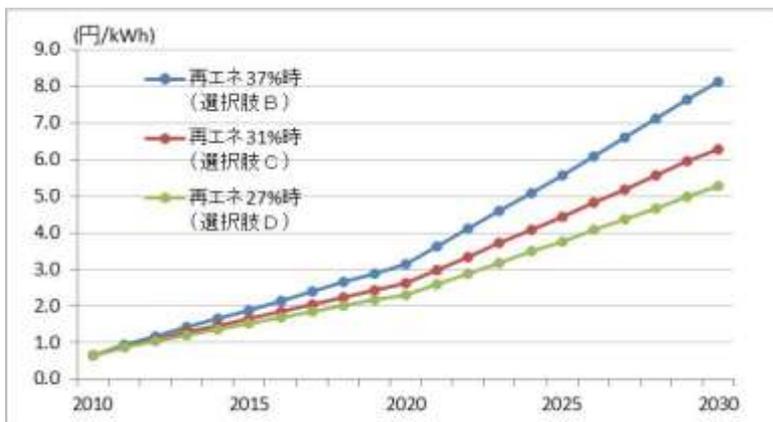


FITによる買取額とサーチャージ

➤FIT推進時における買取額と系統費用(2030年時点比較と選択肢Bにおける時系列推移)



➤サーチャージと系統費用の電力価格への転嫁



各選択肢では、(CO2制約を満たすため限界削減費用を賦課する前ですら)、それぞれの再エネの導入量に応じて、2030年には年間8兆円近く(選択肢B)もの買取費用が生じており、電力価格の上昇は60%近くにもなる(平均電力価格を14円/kWhとして需要者全体で負担することを想定)。

各選択肢のマクロ経済への影響

▶実質GDPの変化率



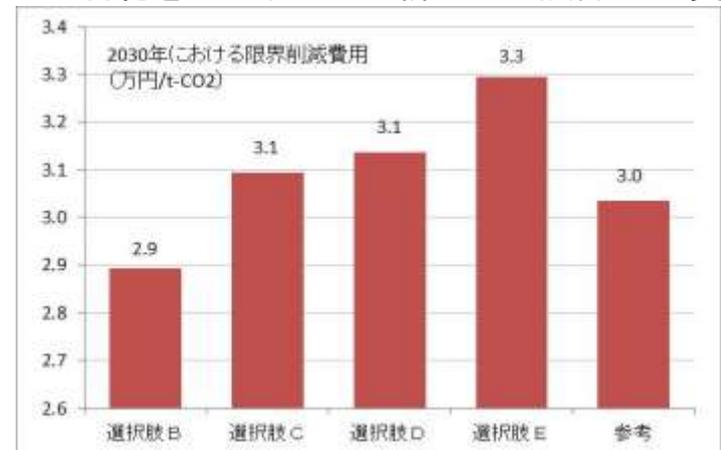
もっとも厳しい選択肢Bにおいて、家計消費の減少はGDPを3.7%ポイント押し下げるが、再エネ、系統対策の5兆円の設備投資増、およびCO2制約を可能にするための省エネ投資の拡大によりGDPは2.6%ポイント増加し、全体としての実質GDPの下落は2.0%となっている。なお、2030年における家計消費には、過去に設置した再エネからの電力買取からの収入増による緩和効果が含まれている。モデルでは輸入品へのある程度の代替は考慮されているが、エネルギー政策の転換や電力の国際価格差拡大によって非連続的に進行するかもしれない、企業や事業所の海外移転の効果は、モデル評価に織り込まれていない点に留意。

▶雇用(労働投入時間と就業者数)



一国全体の労働投入時間としては、選択肢間で▲3.8%から▲5.7%までの低下。就業者数では、▲1-2%の影響。

▶CO2制約を満たすために課される限界削減費用



選択肢Eでは相対的に火力発電のシェアが小さく、CO2排出削減費用の負担によっても、電力価格への転嫁が進まないため、限界的により多くの削減費用を必要とする。

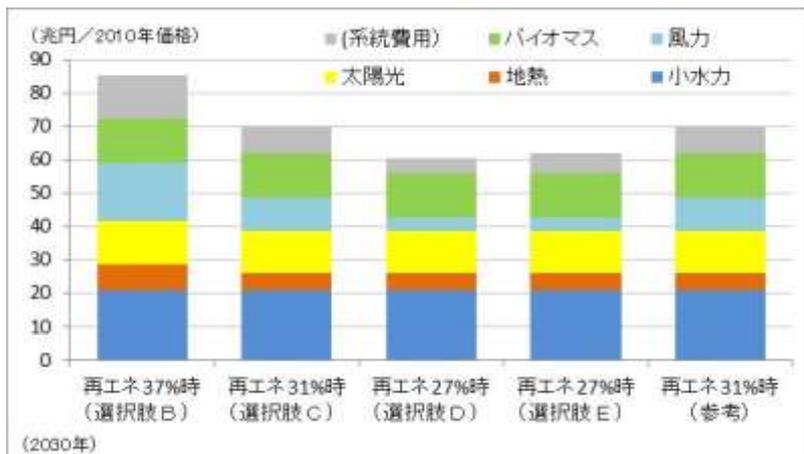
電力価格上昇と再エネ推進による債務

➤ 電力価格



選択肢Bでは、脱原発により事故リスク費用の負担が無くなるものの、①FIT買取費用、②系統対策費用、③原発の前倒し停止による未回収コスト(事務局想定値)負担、および④CO2排出制約に伴う限界削減費用の負担により、電力価格の上昇率は104%(およそ2倍)にも上る。家計部門での光熱費全体(電力に加えて、ガス、灯油などを含む)では、価格上昇率は54%にもなる。

➤ 再エネ推進による2030年以降の将来負担総額



再エネ推進によるGDPへの影響は、詳細の再エネの発電コストが十分に低減するのであれば、設備投資需要の拡大もあり限定的であると試算されているが、2030年までの整備によってそれ以降の稼働期間(再エネごとの事務局想定値)の発電量の買い取りと系統対策費用の割引現在価値(2030年時点における)を算定すれば=仮に2031年以降の新設投資がなくても=電力消費者は2030年末において85兆円(選択肢B)もの債務を抱えていることを意味する。将来における買取額は、その時点の家計の収入にもなるが、その時点までの再エネの推進によってきわめて大規模な所得再分配がおこなわれることに留意すべき。

家計での光熱費・可処分所得への影響

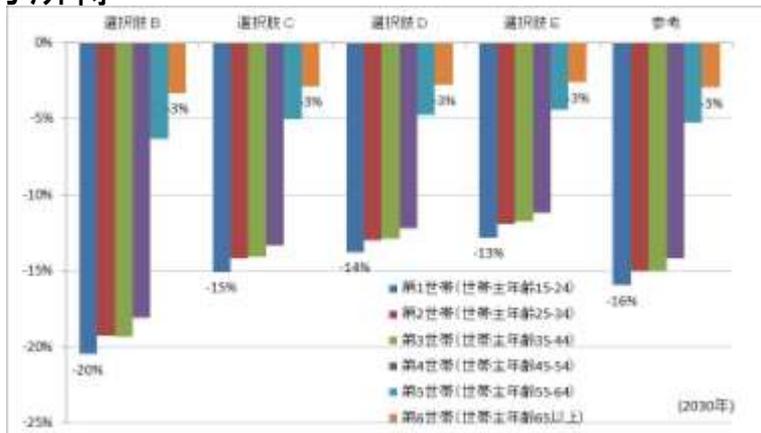
▶ 光熱費の負担増



光熱費とは、電気代に加え、ガス、灯油などへの支出(ガソリンを除く)。選択肢Bでは、電力価格を中心とした価格上昇によって、(光熱費全体として)54%もの価格上昇効果を受け、家計は(一定の節電努力をおこなっている参照ケースよりも追加的に)10%もの節電努力をおこなうことができたとしても、全体として44%もの負担増。

なお、家計における光熱費は、FITや系統対策費用をすべての電力需要者(企業の自家発電を除く)で等しく賦課したときの影響であり、電力需要者あるいは需要時間ごとの負担に差を与えるのであれば(電力多消費産業などで負担を軽くするのであれば)、家計の負担はより大きくなりうる。

▶ 実質可処分所得

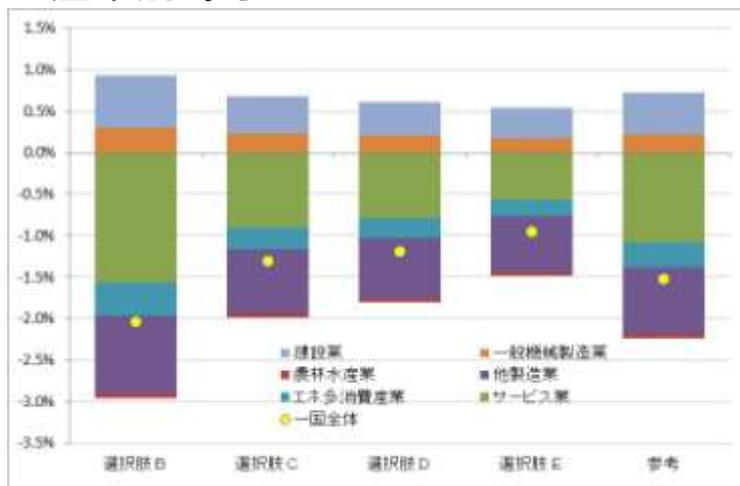


FIT買取額は家計の収入となるが(2030年においては過去の投資分からの収入も大)、世帯別の配分はモデルでは近似的に非労働所得(資本所得)のシェアに応じて配分されると想定。

産業別雇用減少による労働所得自体の低下(若年層で労働所得への依存は大きい)、電力価格上昇(若年層で影響は大)、その間接的な波及による価格上昇、そしてFIT買取からの家計収入を反映して、若年層では実質可処分所得は▲20%(選択肢B)にもなるが、世帯主年齢55歳以上および高齢者層ではわずかな下落(▲3-6%)にとどまる。世代間で大きな所得再分配効果があることに、留意すべき。

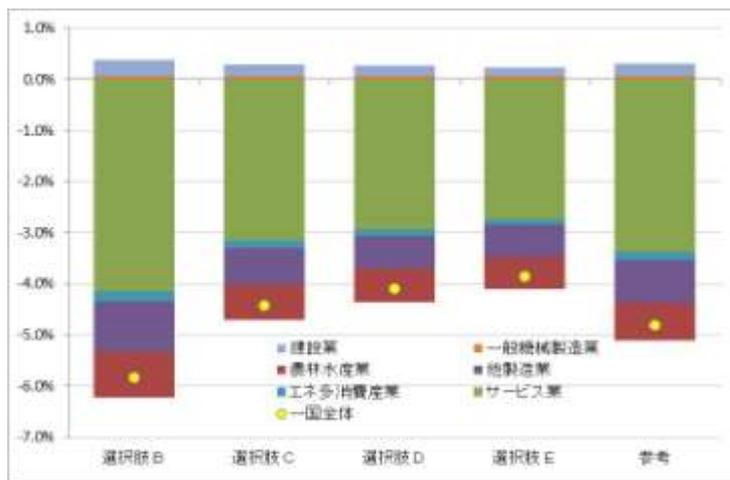
GDPロスと雇用縮小における産業別寄与

➤実質GDP変化の産業別寄与



選択肢Bでの実質GDP低下の2.0%のうち、0.4%ポイントほどがエネルギー多消費産業の下落によるものであるが、一国全体での付加価値下落の影響としては、サービス産業(1.6%ポイント)とその他の製造業(0.9%ポイント:一般機械を除く)による寄与が大きい。

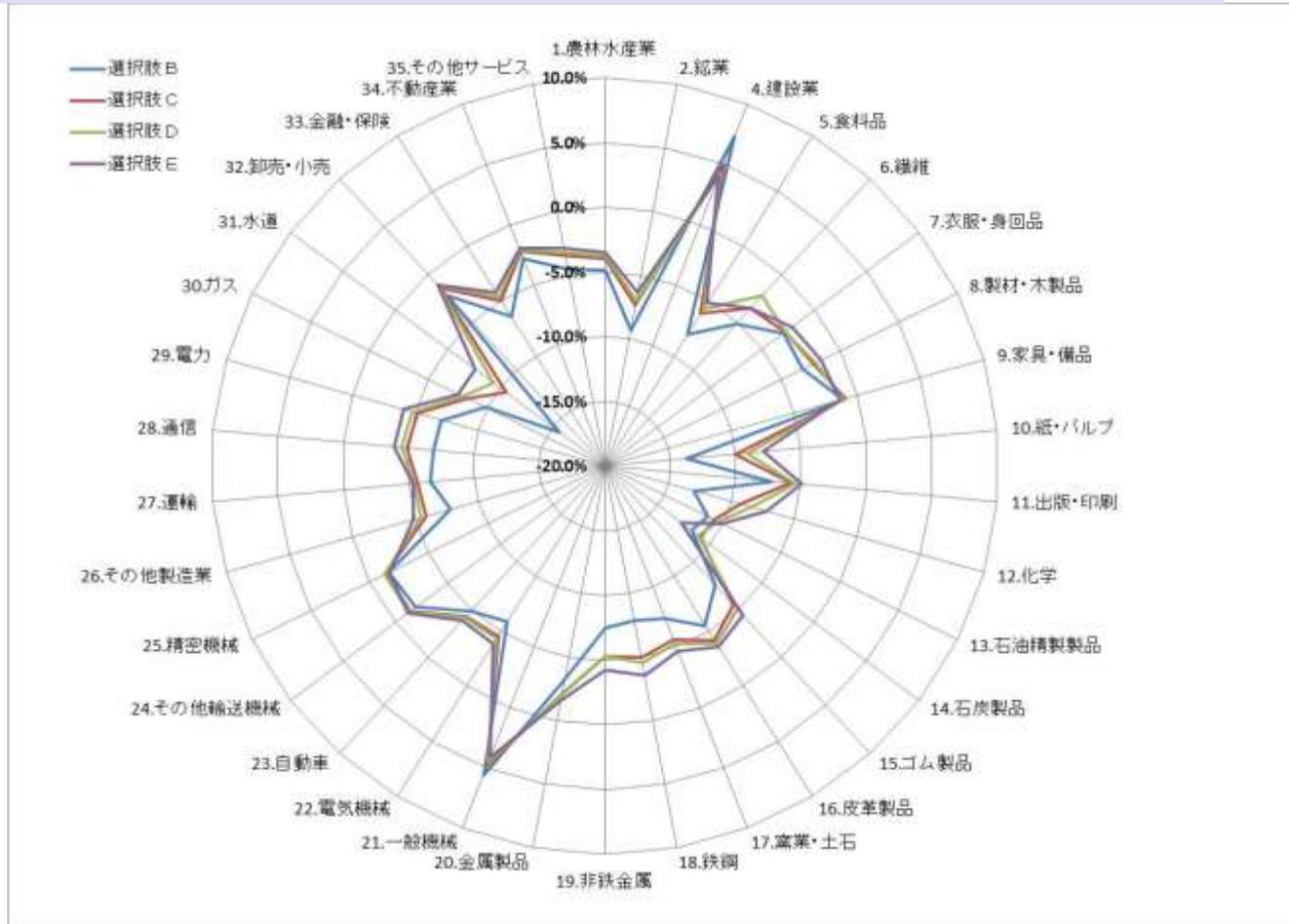
➤雇用縮小の産業別寄与



一国全体での雇用縮小(労働投入の減少)のうち、サービス業の寄与度は70-71%にもなり。エネルギー多消費産業の雇用縮小への寄与度は2.9-3.6%程度にとどまる。

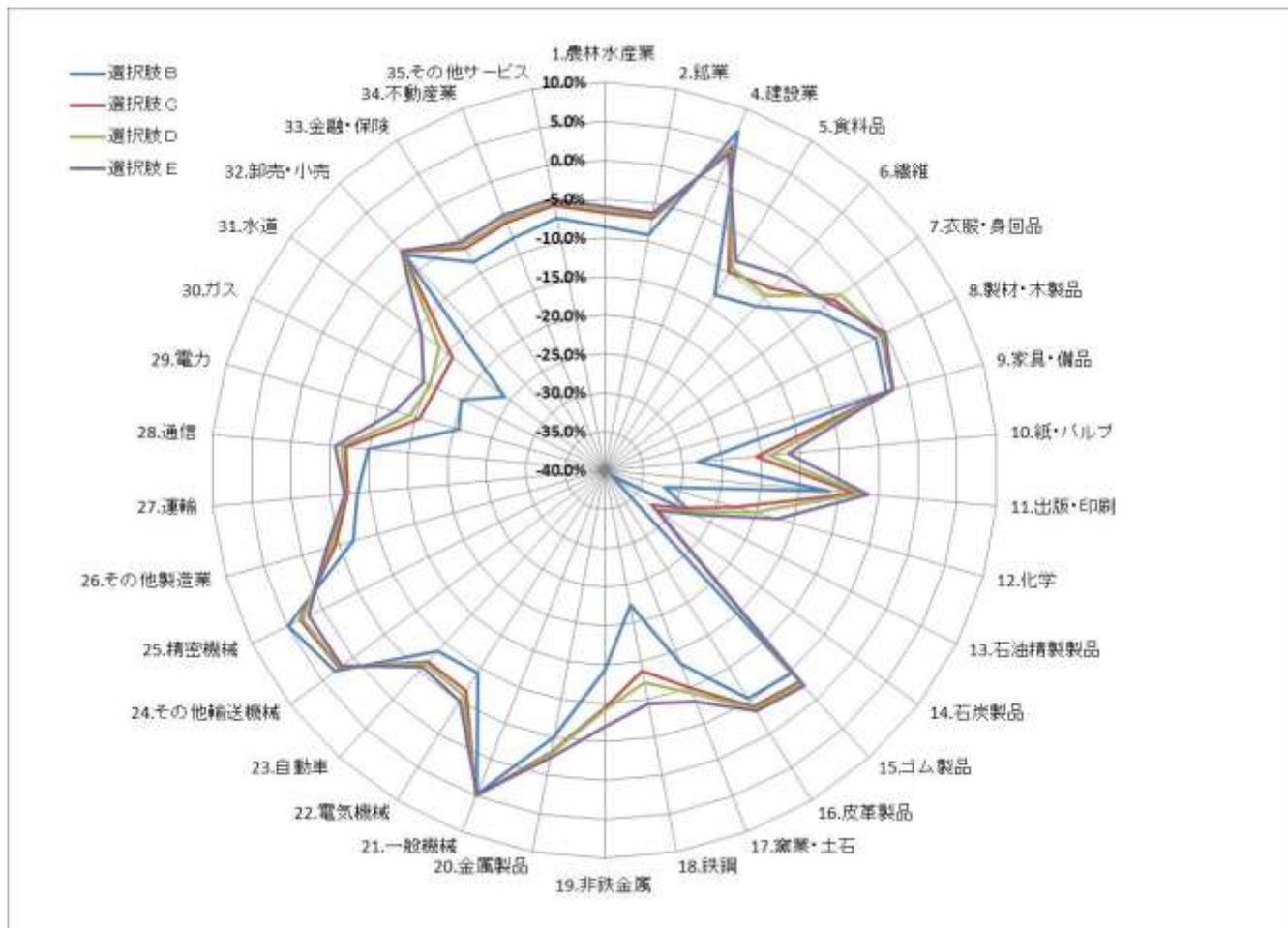
産業別生産

マクロ経済への影響は▲1-2%にとどまるとしても、選択肢Bにおける産業別粗生産では、紙パルプ製造業で▲14%、化学▲13%、石炭製品▲12%、石油製品▲11%、非鉄▲8%(系統対策の送電線建設のため影響は緩和)などで、きわめて大きな影響を与える。他方、この経済の実現には多額の設備投資が必要であり、建設で7%、一般機械で6%の生産上昇も。慎重に政策の影響を見極めなければならない。



産業別雇用

選択肢Bにおける産業別雇用(労働投入時間)では、石炭製品▲40%、化学▲32%、石油製品▲28%、電力▲20%などで、きわめて大きな影響。他方、この経済の実現には多額の設備投資が必要であり、建設で7%、一般機械および精密機械で5%の増加。慎重に政策の影響を見極めなければならない。



帰結

エネルギーベストミックスの選択は、マクロ経済の評価のみではなく、特定産業に極めて大きな影響を与えること、そして大きな世代間の所得再配分効果を持つことに留意する必要がある。

- 「2030年というかなりの調整期間がある」前提であっても、選択肢Bでの脱原発においては、実質家計消費の減少により実質GDP水準は3.7%ポイント低下。再エネや省エネ投資の拡大によって緩和されて、全体としては2.0%の下落。2020年代の成長率は、年率0.87%から年率0.70%に低下。
- 再エネ推進は、
 - 「①現在から2030年までの大幅な価格下落が実現すること」(事務局想定)、
 - 「②国産率が2030年まで現状よりもわずかに減少する程度で維持できること」、という前提のもとでは、それに要する大規模な設備投資の拡大(選択肢B:2030年5兆円)による需要効果およびその間接波及効果を考慮すれば、国内のマクロ経済に対しては、大きなマイナスの影響を与えない。
- しかし、FIT買取額と系統費用の負担は年8兆円(選択肢B)にも上り、電力全体では8.1円/kWhの負担となり、再エネ推進のみで(電力全体で)58%の価格上昇を余儀なくされる。原発の前倒し未回収コスト、および(CO2制約のもとでの)限界削減費用を含めると、電力価格は104%増加(倍増)。
- これによって、家計の光熱費は(参照ケースからの追加的な10%の省エネを実現したとしても)名目で44%の負担増(現在価格で月に6千円程の負担増)。
- 世帯間の所得再分配効果は大きい。世帯主年齢階層別には若年層で20%の実質可処分所得の下落であり、55歳以上の世帯ではわずかな下落にとどまる。2030年末において、過去の投資分からの将来の発電に対する買い取り額としての債務(割引現在価値)は85兆円にも上る。
- 産業別には、電力価格上昇の効果は、紙パ、化学、石油製品、石炭製品、非鉄などで、10%を超える生産低下、20%を超える雇用(労働投入)の減少を余儀なくされる。ただし、ここでは、エネルギー政策の転換や電力の国際価格差拡大によって非連続的に進行するかもしれない海外移転の効果は(不確実性が高く)モデル評価に織り込まれていない。慎重に検討すべき課題。