

2050年に向けた最適電源構成の検討

-原子力と水素価格のマクロ経済影響を加味した定量分析-

岡林 秀明 日本エネルギー経済研究所(IEEJ)

太田 啓介 日本エネルギー経済研究所(IEEJ)

松尾 雄司 立命館アジア太平洋大学(APU)

1.研究の目的・手法

- 世界的に気候変動への危機感が急速に高まっている。我が国でも、2020年10月 **2050年カーボンニュートラル(CN), 脱炭素社会の実現を目指すことを宣言**
 - 国のエネルギー選択が経済や国民負担に与える影響の分析が内外で活発化。
 - 経済産業省の**基本政策分科会**でも、各機関が保有モデルを用いて**電力システムを中心に経済性の評価**を行い、各々異なった電源構成を提言
 - いずれも「エネルギー**システムの整備や維持管理の総コストが安価なほど経済性を有する**」と評価し、水素などの**新技術の(ランニング)コストの変化**やシステム選択で生じる**設備投資(イニシャル)の変化**による**マクロ経済への波及効果**を、**同時に定量的に検討した研究事例**は筆者らの知る限りは**存在しない**
- ⇒ **事業者のイニシャル・ランニングが安いほど、日本にとって良いとされるが本当か？**
- ⇒ 我が国の一次エネルギー国内供給の46%程度を占め、CN達成のために重要な**2050年の我が国の発電部門**において、水素火力・二酸化炭素回収・貯留(CCS)付きガス火力などの**新技術・原子力・再生可能エネルギー・蓄電池等**で**CNが達成する状態を想定**
- ⇒ **原子力の社会的許容度**や**水素価格の変化**と**「発送電総費用」と「GDP等マクロ経済」の変化**の関係性を**統合型エネルギー経済モデル**により**同時に分析**

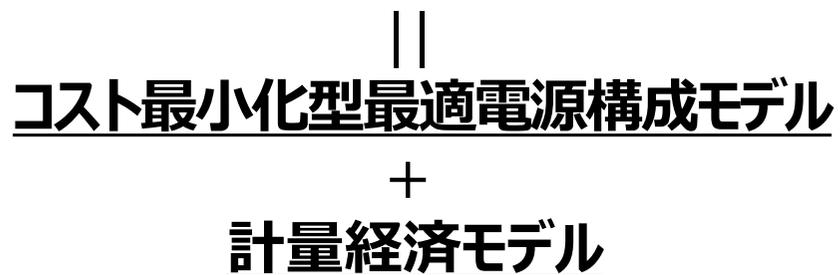
2.評価方法

2.1 統合型エネルギー経済モデル

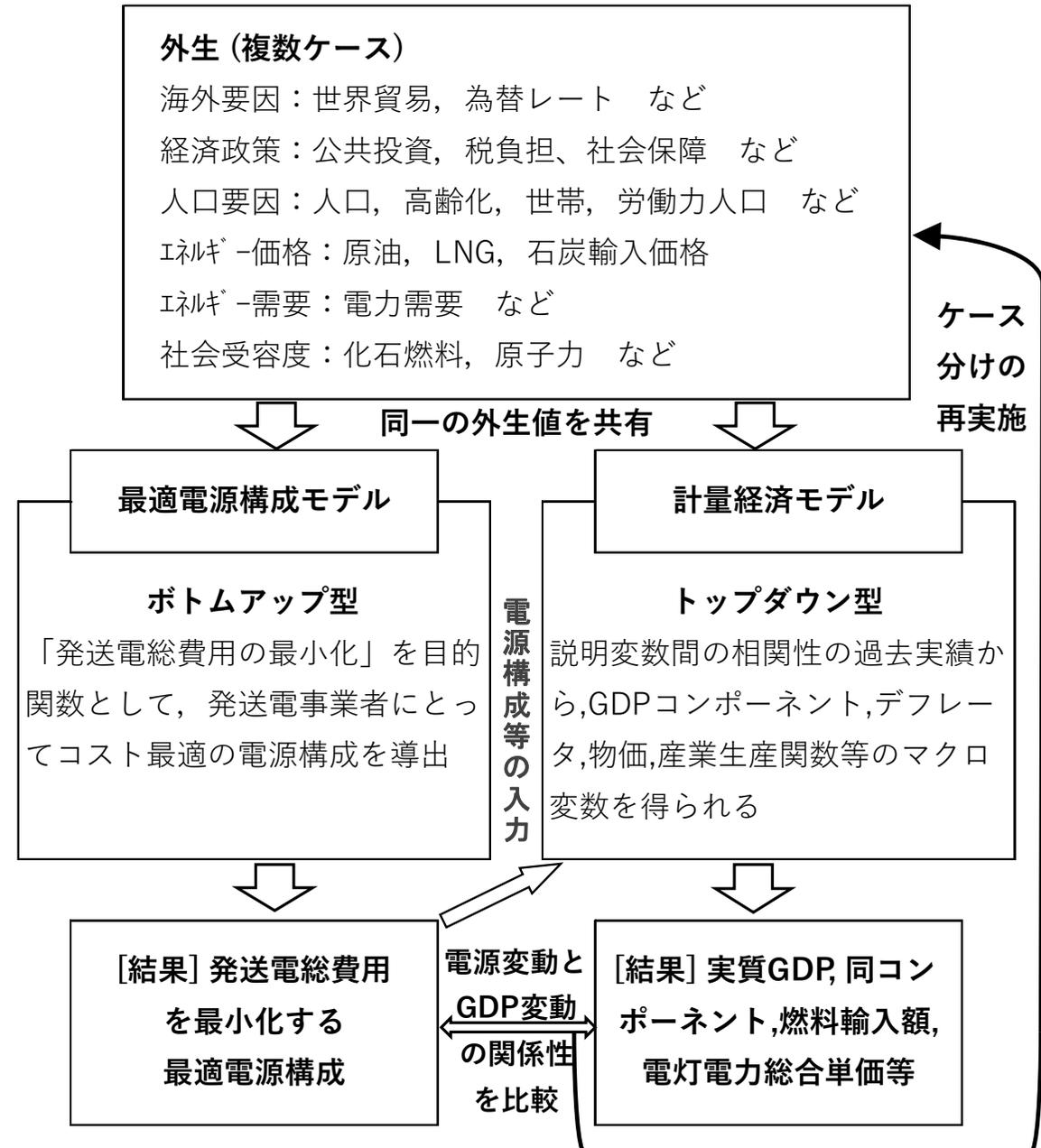
<統合型エネルギー経済モデル>

- 原子力発電や水素価格など
前提条件(外生値)の変化
⇒ **発送電総費用と経済指標に**
与える影響を同時に評価

- **統合型エネルギー経済モデル**



統合型エネルギー経済モデル

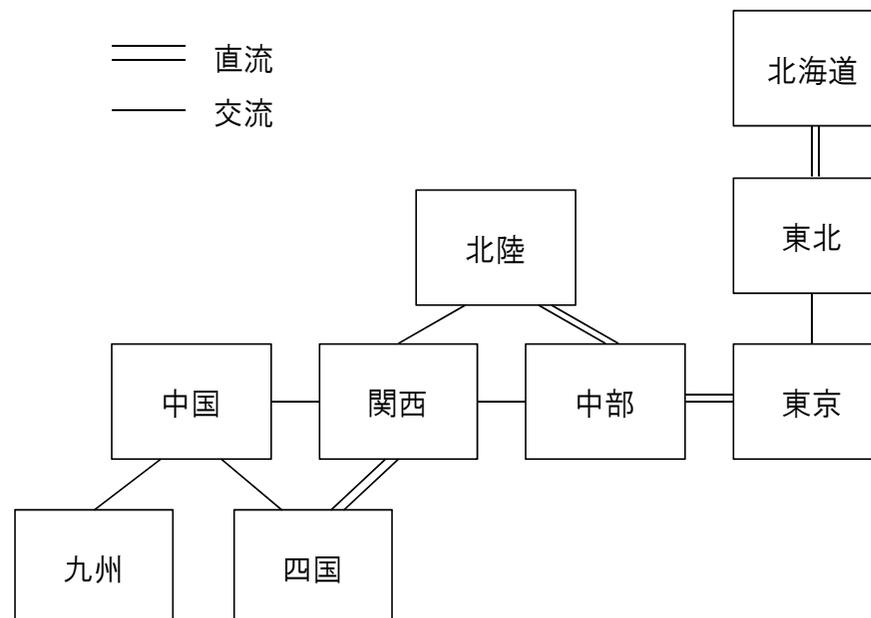


2.評価方法

(参考) コスト最小化型最適電源構成モデル

- **コスト最小化型最適電源構成モデル**は、2050年の日本の電力部門を対象とし、複数の制約条件下で費用が最小となる電力供給を模擬し分析
- 一国のエネルギーシステムが**線形計画法でモデル化され、エネルギー需給とエネルギー技術の経済合理的な導入規模を決定。目的関数は算定期間における割引後のシステム総コスト**であり、制約式として、資源量制約、エネルギー需給バランス制約等を考慮
- 地域区分は、旧一般電気事業者の供給区域に従い沖縄を除く**日本全国を9地域に分割**。地域間は相互に直流または交流の**連系線で接続**。
- 年間の電力需給を**1時間刻み**(365日×24時間 = 8,760分割)で計算し評価

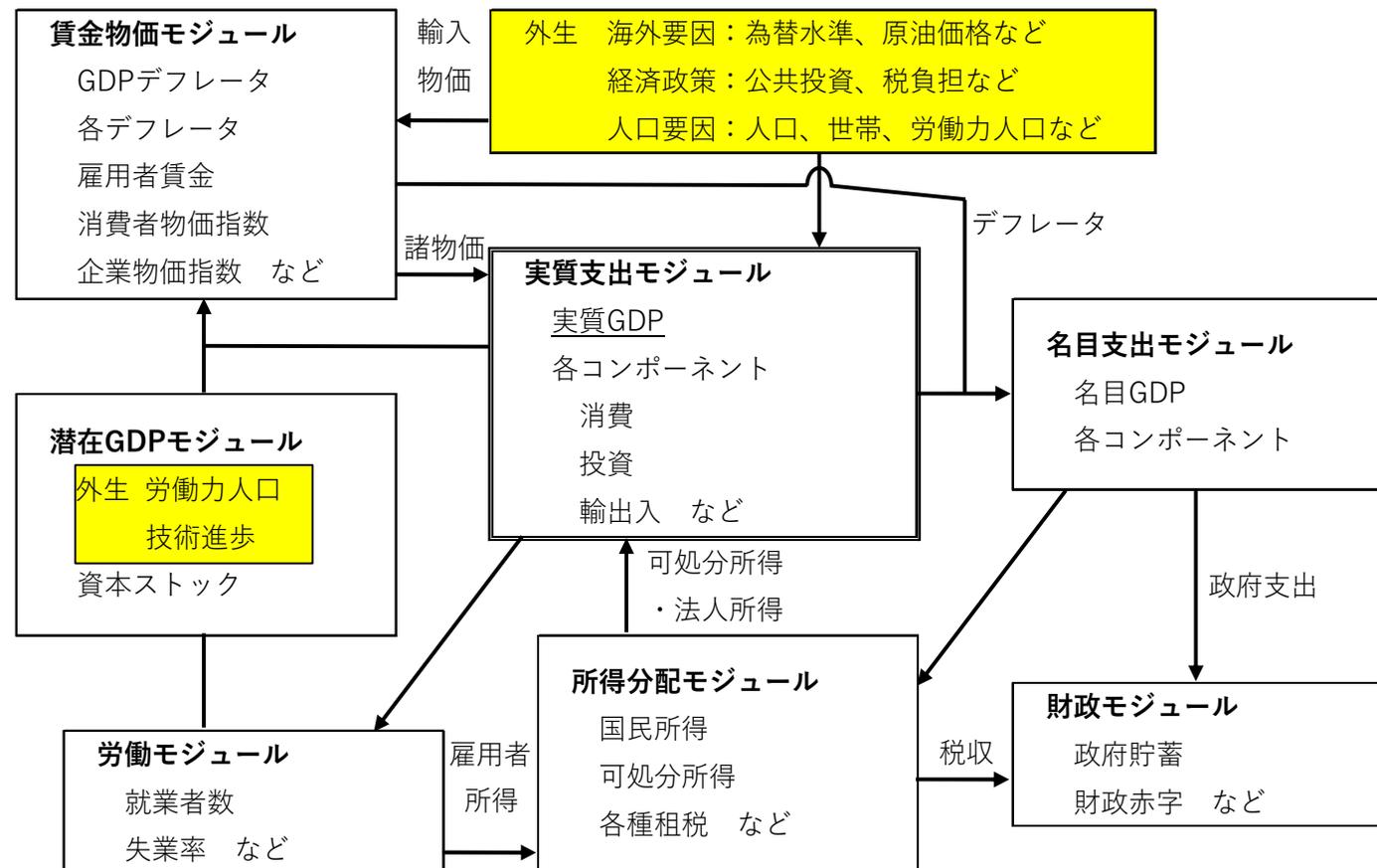
地域区分



2. 評価方法 (参考) 計量経済モデル

- **計量経済モデル**では、世界貿易等の海外要因、公共投資等の経済政策、人口動態、化石燃料価格等のエネルギー価格を前提条件として、**各種経済指標を推計**
- GDPやそれを構成する投資、輸出入等の動きに着目し、**国民経済の感度分析も可能**
- 実質支出モジュール、賃金物価モジュール、所得分配モジュール、労働モジュール等で構成され、**各種外生変数の変化が経済全体に与える影響の推計が可能**

計量経済モデル



2.評価方法

2.2 試算ケース（ケース①～⑫）

《ケース①～⑫の設定》

- 従来の石炭・ガス・石油火力等の火力発電を採用せず、CN対応のCCS付きガス火力または水素火力を採用。
 - 2050年時点で原子力発電所の社会的許容性 区分
(a)廃止ケース, (b)既設許容ケース, (c)新增設許容ケース の3グループ
 - さらに、水素火力の燃料コスト 区分 12,20,30,40円/Nm³ の4ケース
(価格は以降すべて 2018年実質価格)
- ⇒計12ケースを試算ケース①～⑫とする
- 有意な結論提示につながった場合分けの例示で、実際は150ケース以上検討

各試算ケース番号間の比較

グループ	ケース番号	原子力		水素価格 (円/Nm ³)
		既設	新設	
(a) 原子力 廃止 ケース	①	×	×	12
	②	×	×	20
	③	×	×	30
	④	×	×	40
(b) 原子力 既設許容 ケース	⑤	○	×	12
	⑥	○	×	20
	⑦	○	×	30
	⑧	○	×	40
(c) 原子力 新增設許容 ケース	⑨	○	○	12
	⑩	○	○	20
	⑪	○	○	30
	⑫	○	○	40

2.評価方法

2.3 前提条件 大前提, (1)発電量, (2)原子力発電

◀大前提▶

- ベースとして, 松尾他(2019)*の既往研究に従い, 加えて, 2050年の日本におけるCN状態でのエネルギーミックスを想定し, 一部の前提条件を独自に設定.

※ 松尾雄司, 遠藤聖也, 永富悠, 柴田善朗, 小宮山涼一, 藤井康正; 2050年の発電部門ゼロ・エミッション化に向けた検討 (2) 気象条件の変動に関する評価, 『エネルギー・資源学会論文誌』, 40-3 (2019), pp.49-58.

(1) 発電量

- IEEJ Outlook2021*技術進展シナリオ日本 2050年1,003TWh/年程度
- 再生可能エネルギーの出力抑制分など電力市場に供給されない発生分も含む

※ 日本エネルギー経済研究所; IEEJ Outlook 2021,(2020). <https://eneken.ieej.or.jp/data/9170.pdf>

(2) 原子力発電

- 現行並み既存大型炉の発電コスト・性能
 - 2050年最大導入可能量42.5GW(廃炉未表明現存炉相当)とし, 60年運転でも2050年までに17GWが廃炉に移行する
- ⇒新設炉の採算が得られ社会的に新增設許容の場合は廃止容量分を上限にリプレース, 許容されなければ廃止と想定 (前頁の通り)

原子力 発電コスト・性能想定

建設単価	[千円/kW]	420
稼働年数(既設)	[年]	60
稼働年数(新設)	[年]	40
年経費率	[%]	4.5
自家消費率	[%]	4
燃料費	[円/kWh]	1.8
出力増加率上限	[%]	2
出力減少率上限	[%]	2
年間設備利用率上限	[%]	80
最小出力レベル	[%]	80

2.評価方法

2.3 前提条件 (3)再生可能エネルギー

(3)再生可能エネルギー

<発電コスト>

- 政府の調達価格等算定委員会のコスト低減目標(2021)や発電コスト検証ワーキンググループ報告書(2021)の2030年コスト想定を参考に、2050年断面では、想定された単価幅の下限值程度に達すると想定

⇒ 太陽光7.0円/kWh, 陸上風力8.5円/kWh, 洋上風力10.0円/kWh

<最大導入可能量>

- 環境省のポテンシャル評価値(2021)を用い、陸上風力のみ現実的な土地利用の制約の観点から、尾羽他*の数値を利用

※尾羽秀晃, 永井雄宇, 朝野賢司; 土地利用を考慮した太陽光発電および陸上風力の導入ポテンシャル評価, 電力中央研究所報告Y18003,(2019).

<https://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y18003.html>

発電コストの想定 (太陽光及び風力)

			標準
太陽光 発電	建設単価	[千円/kW]	102
	稼働年数	[年]	30
	年経費率	[%]	1.4
陸上風力	建設単価	[千円/kW]	190
	稼働年数	[年]	30
	年経費率	[%]	2.1
洋上風力	建設単価	[千円/kW]	286
	稼働年数	[年]	30
	年経費率	[%]	4.4

太陽光・風力の最大導入可能量想定

単位: GW	太陽光	陸上風力	洋上風力
北海道	14.6	16.4	207.2
東北	32.0	2.8	88.3
東京	60.1	0.6	45.4
北陸	7.8	0.2	3.5
中部	33.2	0.5	35.5
関西	28.8	0.6	7.4
中国	17.2	0.8	4.2
四国	10.7	0.5	14.7
九州・沖縄	31.0	2.2	54.0
合計	235.1	24.6	460.3

2.評価方法

2.3 前提条件 (4)蓄電池, (5)CN対応の火力発電

(4)蓄電池

- Cole and Frazier※ のリチウムイオン中位ケース**150米ドル(16.5千円)/kWh**

※ W. Cole and A.W. Frazier; Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage, (2019). <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73222.pdf>

- 他, 既往研究に従い, 既存設備相当の**揚水発電(163GWh)利用**も想定.

(5)CN対応の火力発電

- 調整電源は**水素火力とCCS付きガス火力のみ**
- 火力用の**水素とガスは全量輸入**

- **CCS**は国内地下圧入のみでなく,回収CO₂液をLNG折返し等で**海外転送し圧入も可能**

⇒ 水素火力・CCS付きガス火力共に,
発電所設置容量の上限を設けない。

- **CCS付ガス火力**は, IEA(2020)※を基に従来のガス火力からの**効率悪化を織り込み**

※IEA ; Projected Costs of Generating Electricity 2020, (2020).

<https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>

- 燃料費は, **水素・燃料電池戦略ロードマップ(2019)**と**基本政策分科会(2021)のRITEの燃料費想定**を基に設定

発電コストの想定
(水素火力・CCS付きガス火力)

	水素火力	CCS 付ガス火力
建設単価 [千円/kW]	128	159.5
稼働年数 [年]	40	40
年経費率 [%]	2.4	2.4
熱効率 [%]	57	47※
自家消費率 [%]	2	2
燃料費	(表 7)	(表 7)
出力増加率上限 [%]	26	44
出力減少率上限 [%]	31	31
季節内設備利用率上限 [%]	95	95
年間設備利用率上限 [%]	80	80
DSS 運転比率 [%]	50	50
最小出力レベル [%]	30	30

※CCS 用エネルギー消費控除後.

燃料費想定および水素価格のケース分け

CCS付ガス火力の 発電単価 (LCOE) [円/kWh]	16
CCS 価格 [千円/t-CO ₂]	10
水素価格 [円/Nm ₃]	12, 20, 30, 40

2.評価方法

2.3 前提条件 (6)その他の前提条件

(6)その他の前提条件

<設備費・工事費(投資)の国産化率>

原子力 95%, 水素火力・CCS付きガス火力 80%, 蓄電池 40%,
太陽光発電 27%, 陸上風力 23%, 洋上風力 22%

[国産化率に係る参考文献]

※ NEDO ; NEDO再生可能エネルギー技術白書第2版,(2014).https://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_index.html

石井晋 ; 原子力発電の効率化と産業政策 ―国産化と改良標準化― ,(2014), pp.28.<https://www.rieti.go.jp/jp/publications/summary/14050002.html>

東京電力 ; 数表で見る東京電力 原子力 各号機の概要(2020).<https://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/nuclear-power/nuclear-plants-j.html>

三菱総合研究所 ; 経済産業省第1回定置用蓄電システム普及拡大検討会『蓄電システムをめぐる現状認識』(2020).

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/storage_system/pdf/001_05_00.pdf

経済産業省 ; 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第43回会合)配布資料.

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/

経済産業省, 調達価格等算定委員会; 令和3年度以降の調達価格等に関する意見, (2021).

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/20210127_report.html

<炭素税>

CN下の電源選択には影響しないことから考慮しない

<他国との環境政策差異による国際競争力>

環境政策の差異などから来る国際競争力の変化は考慮しない

3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果

発送電総費用最小の電源構成とマクロ経済

グループ ケース番号 水素 (円/Nm ³)	(a) 原子力廃止ケース				(b) 原子力既設許容ケース				(c) 原子力新增設許容ケース				
	① 12	② 20	③ 30	④ 40	⑤ 12	⑥ 20	⑦ 30	⑧ 40	⑨ 12	⑩ 20	⑪ 30	⑫ 40	
原子力既設 (GW)	—	—	—	—	26	26	26	26	26	26	26	26	原子力既設
原子力新設 (GW)	—	—	—	—	—	—	—	—	16	17	17	17	原子力新設
原子力計 (GW)	—	—	—	—	26	26	26	26	42	43	43	43	原子力計
水素火力 (GW)	162	161	121	—	137	137	101	—	120	120	88	—	水素火力
CCS付ガス火力 (GW)	—	—	—	99	—	—	—	83	—	—	—	69	CCS火力
火力計 (GW)	162	161	121	99	137	137	101	83	120	120	88	69	火力計
太陽光 (GW)	79	194	165	182	67	168	145	161	53	147	168	194	太陽光
陸上風力 (GW)	12	17	25	25	10	12	25	25	9	12	25	25	陸上風力
洋上風力 (GW)	—	—	156	186	—	—	120	135	—	—	66	76	洋上風力
地熱・バイオマス (GW)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	地熱・バイオマス
水力 (GW)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	水力
再エネ計 (GW)	127	246	382	428	112	216	326	357	99	194	290	330	再エネ計
発電容量 (GW)	289	407	503	528	275	379	452	466	261	357	421	441	発電容量
蓄電池 (GWh)	0.2	0.5	58	93	0.2	0.3	56	84	0.1	0.2	51	84	蓄電池
発電量 (TWh)	1,009	1,013	1,026	1,031	1,009	1,014	1,026	1,029	1,009	1,014	1,025	1,030	発電量
発送電総費用 (兆円)	10.65	12.39	14.34	15.00	9.84	11.15	12.55	12.99	9.60	10.63	11.79	12.23	発送電 兆円
同上 (円/kWh)	10.55	12.22	13.98	14.55	9.75	11.00	12.23	12.62	9.51	10.48	11.51	11.88	総費用 円/kWh
同上順位 ()内は全体	1 (4)	2 (8)	3 (11)	4 (12)	1 (2)	2 (5)	3 (9)	4 (10)	1 (1)	2 (3)	3 (6)	4 (7)	同上順位 ()全体
実質GDP (兆円)	628.0	628.8	629.2	628.4	629.1	630.0	630.2	629.6	630.0	631.2	631.0	630.3	GDP 兆円
同上順位 ()内は全体	4 (12)	2 (10)	1 (8)	3 (11)	4 (9)	2 (6)	1 (4)	3 (7)	4 (5)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	同上順位 ()全体
民間消費支出 (兆円)	318.9	319.2	319.3	319.1	319.8	320.2	320.3	320.1	320.4	321.0	320.9	320.7	民間消費支出
政府消費支出 (兆円)	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	政府消費支出
民間設備投資 (兆円)	84.7	86.1	89.1	88.9	84.9	86.2	88.5	88.0	85.0	86.2	87.7	87.3	民間設備投資
燃料輸入 (兆円)	28.9	27.2	24.0	23.2	27.5	25.8	23.3	22.8	26.7	25.0	23.1	22.6	燃料輸入
電力電灯総合単価 (円/kWh)	23.64	25.67	30.21	30.75	23.60	25.06	28.47	28.49	22.91	24.15	26.64	26.80	電力電灯総合単価

3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 … 電源構成

【前提】 原子力発電所の廃止・既設許容・新增設許容

⇒ (a)廃止 = ゼロ (b)既設許容 = 既設26GWのみ (c)新增設許容 = 42~43GW

発送電総費用最小の電源構成とマクロ経済

グループ ケース番号 水素 (円/Nm ³)	(a) 原子力廃止ケース				(b) 原子力既設許容ケース				(c) 原子力新增設許容ケース				
	① 12	② 20	③ 30	④ 40	⑤ 12	⑥ 20	⑦ 30	⑧ 40	⑨ 12	⑩ 20	⑪ 30	⑫ 40	
原子力既設 (GW)	—	—	—	—	26	26	26	26	26	26	26	26	原子力既設
原子力新設 (GW)	—	—	—	—	—	—	—	—	16	17	17	17	原子力新設
原子力計 (GW)	—	—	—	—	26	26	26	26	42	43	43	43	原子力計
水素火力 (GW)	162	161	121	—	137	137	101	—	120	120	88	—	水素火力
CCS付ガス火力 (GW)	—	—	—	99	—	—	—	83	—	—	—	69	CCS火力
火力計 (GW)	162	161	121	99	137	137	101	83	120	120	88	69	火力計
太陽光 (GW)	79	194	165	182	67	168	145	161	53	147	168	194	太陽光
陸上風力 (GW)	12	17	25	25	10	12	25	25	9	12	25	25	陸上風力
洋上風力 (GW)	—	—	156	186	—	—	120	135	—	—	66	76	洋上風力
地熱・バイオマス (GW)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	地熱・バイオマス
水力 (GW)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	水力
再エネ計 (GW)	127	246	382	428	112	216	326	357	99	194	290	330	再エネ計
発電容量 (GW)	289	407	503	528	275	379	452	466	261	357	421	441	発電容量
蓄電池 (GWh)	0.2	0.5	58	93	0.2	0.3	56	84	0.1	0.2	51	84	蓄電池
発電量 (TWh)	1,009	1,013	1,026	1,031	1,009	1,014	1,026	1,029	1,009	1,014	1,025	1,030	発電量
発送電総費用 (兆円)	10.65	12.39	14.34	15.00	9.84	11.15	12.55	12.99	9.60	10.63	11.79	12.23	発送電 兆円
同上 (円/kWh)	10.55	12.22	13.98	14.55	9.75	11.00	12.23	12.62	9.51	10.48	11.51	11.88	総費用 円/kWh
同上順位 ()内は全体	1 (4)	2 (8)	3 (11)	4 (12)	1 (2)	2 (5)	3 (9)	4 (10)	1 (1)	2 (3)	3 (6)	4 (7)	同上順位 ()全体
実質GDP (兆円)	628.0	628.8	629.2	628.4	629.1	630.0	630.2	629.6	630.0	631.2	631.0	630.3	GDP 兆円
同上順位 ()内は全体	4 (12)	2 (10)	1 (8)	3 (11)	4 (9)	2 (6)	1 (4)	3 (7)	4 (5)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	同上順位 ()全体
民間消費支出 (兆円)	318.9	319.2	319.3	319.1	319.8	320.2	320.3	320.1	320.4	321.0	320.9	320.7	民間消費支出
政府消費支出 (兆円)	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	政府消費支出
民間設備投資 (兆円)	84.7	86.1	89.1	88.9	84.9	86.2	88.5	88.0	85.0	86.2	87.7	87.3	民間設備投資
燃料輸入 (兆円)	28.9	27.2	24.0	23.2	27.5	25.8	23.3	22.8	26.7	25.0	23.1	22.6	燃料輸入
電力電灯総合単価 (円/kWh)	23.64	25.67	30.21	30.75	23.60	25.06	28.47	28.49	22.91	24.15	26.64	26.80	電力電灯総合単価

3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 … 電源構成

【前提】水素価格が**12円, 20円, 30円, 40円/Nm³**

⇒ **12~30円/Nm³では水素火力導入, 40円/Nm³ではCCS付火力導入(完全代替)**

水素が安いほど水素火力大量導入 + 太陽光中心に再エネ激減

水素が高いほど陸上風力限界(25GW)導入 + 洋上風力・蓄電池も大量導入

発送電総費用最小の電源構成とマクロ経済

グループ ケース番号	(a) 原子力廃止ケース				(b) 原子力既設許容ケース				(c) 原子力新增設許容ケース					
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫		
水素 (円/Nm ³)	12	20	30	40	12	20	30	40	12	20	30	40		
原子力既設 (GW)	—	—	—	—	26	26	26	26	26	26	26	26	26	原子力既設
原子力新設 (GW)	—	—	—	—	—	—	—	—	16	17	17	17	17	原子力新設
原子力計 (GW)	—	—	—	—	26	26	26	26	42	43	43	43	43	原子力計
水素火力 (GW)	162	161	121	—	137	137	101	—	120	120	88	—	—	水素火力
CCS付ガス火力 (GW)	—	—	—	99	—	—	—	83	—	—	—	69	69	CCS火力
火力計 (GW)	162	161	121	99	137	137	101	83	120	120	88	69	69	火力計
太陽光 (GW)	79	194	165	182	67	168	145	161	53	147	168	194	194	太陽光
陸上風力 (GW)	12	17	25	25	10	12	25	25	9	12	25	25	25	陸上風力
洋上風力 (GW)	—	—	156	186	—	—	120	135	—	—	66	76	76	洋上風力
地熱・バイオマス (GW)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	地熱・バイオマス
水力 (GW)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	水力
再エネ計 (GW)	127	246	382	428	112	216	326	357	99	194	290	330	330	再エネ計
発電容量 (GW)	289	407	503	528	275	379	452	466	261	357	421	441	441	発電容量
蓄電池 (GWh)	0.2	0.5	58	93	0.2	0.3	56	84	0.1	0.2	51	84	84	蓄電池
発電量 (TWh)	1,009	1,013	1,026	1,031	1,009	1,014	1,026	1,029	1,009	1,014	1,025	1,030	1,030	発電量
発送電総費用 (兆円)	10.65	12.39	14.34	15.00	9.84	11.15	12.55	12.99	9.60	10.63	11.79	12.23	12.23	発送電 兆円
同上 (円/kWh)	10.55	12.22	13.98	14.55	9.75	11.00	12.23	12.62	9.51	10.48	11.51	11.88	11.88	総費用 円/kWh
同上順位 ()内は全体	1 (4)	2 (8)	3 (11)	4 (12)	1 (2)	2 (5)	3 (9)	4 (10)	1 (1)	2 (3)	3 (6)	4 (7)	4 (7)	同上順位 ()全体
実質GDP (兆円)	628.0	628.8	629.2	628.4	629.1	630.0	630.2	629.6	630.0	631.2	631.0	630.3	630.3	GDP 兆円
同上順位 ()内は全体	4 (12)	2 (10)	1 (8)	3 (11)	4 (9)	2 (6)	1 (4)	3 (7)	4 (5)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	3 (3)	同上順位 ()全体
民間消費支出 (兆円)	318.9	319.2	319.3	319.1	319.8	320.2	320.3	320.1	320.4	321.0	320.9	320.7	320.7	民間消費支出
政府消費支出 (兆円)	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	政府消費支出
民間設備投資 (兆円)	84.7	86.1	89.1	88.9	84.9	86.2	88.5	88.0	85.0	86.2	87.7	87.3	87.3	民間設備投資
燃料輸入 (兆円)	28.9	27.2	24.0	23.2	27.5	25.8	23.3	22.8	26.7	25.0	23.1	22.6	22.6	燃料輸入
電力電灯総合単価 (円/kWh)	23.64	25.67	30.21	30.75	23.60	25.06	28.47	28.49	22.91	24.15	26.64	26.80	26.80	電力電灯総合単価

3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 … インプリケーション

発送電総費用最小の電源構成とマクロ経済

グループ ケース番号 水素 (円/Nm ³)	(a) 原子力廃止ケース				(b) 原子力既設許容ケース				(c) 原子力新增設許容ケース				
	① 12	② 20	③ 30	④ 40	⑤ 12	⑥ 20	⑦ 30	⑧ 40	⑨ 12	⑩ 20	⑪ 30	⑫ 40	
発送電総費用 (兆円)	10.65	12.39	14.34	15.00	9.84	11.15	12.55	12.99	9.60	10.63	11.79	12.23	発送電 兆円
同上 (円/kWh)	10.55	12.22	13.98	14.55	9.75	11.00	12.23	12.62	9.51	10.48	11.51	11.88	総費用 円/kWh
同上 順位 ()内は全体	1 (4)	2 (8)	3 (11)	4 (12)	1 (2)	2 (5)	3 (9)	4 (10)	1 (1)	2 (3)	3 (6)	4 (7)	同上順位()全体
実質 GDP (兆円)	628.0	628.8	629.2	628.4	629.1	630.0	630.2	629.6	630.0	631.2	631.0	630.3	GDP 兆円
同上 順位 ()内は全体	4 (12)	2 (10)	1 (8)	3 (11)	4 (9)	2 (6)	1 (4)	3 (7)	4 (5)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	同上順位()全体
民間消費支出 (兆円)	318.9	319.2	319.3	319.1	319.8	320.2	320.3	320.1	320.4	321.0	320.9	320.7	民間消費支出
政府消費支出 (兆円)	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	政府消費支出
民間設備投資 (兆円)	84.7	86.1	89.1	88.9	84.9	86.2	88.5	88.0	85.0	86.2	87.7	87.3	民間設備投資
燃料輸入 (兆円)	28.9	27.2	24.0	23.2	27.5	25.8	23.3	22.8	26.7	25.0	23.1	22.6	燃料輸入
電力電灯総合単価 (円/kWh)	23.64	25.67	30.21	30.75	23.60	25.06	28.47	28.49	22.91	24.15	26.64	26.80	電力電灯総合単価

« 評価結果から得られたインプリケーション »

(1) 原子力は発送電総費用の減と実質GDPの増に寄与

(2) 水素価格は「安ければ安いほど良い」訳ではない

(参考) 水素火力とCCS付ガス火力の完全代替性の難題

⇒ 上段グラフ(発送電総費用) VS 下段グラフ(実質GDP) 比較 にて 検証

3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 … (1)原子力とGDP

(1)原子力は発送電総費用の減と実質GDPの増に寄与

上段グラフ(発送電総費用)

(c) 新增設許容 < (b) 既設許容 < (a) 廃止

原子力が多いほど 費用が安なり, 評価は高い

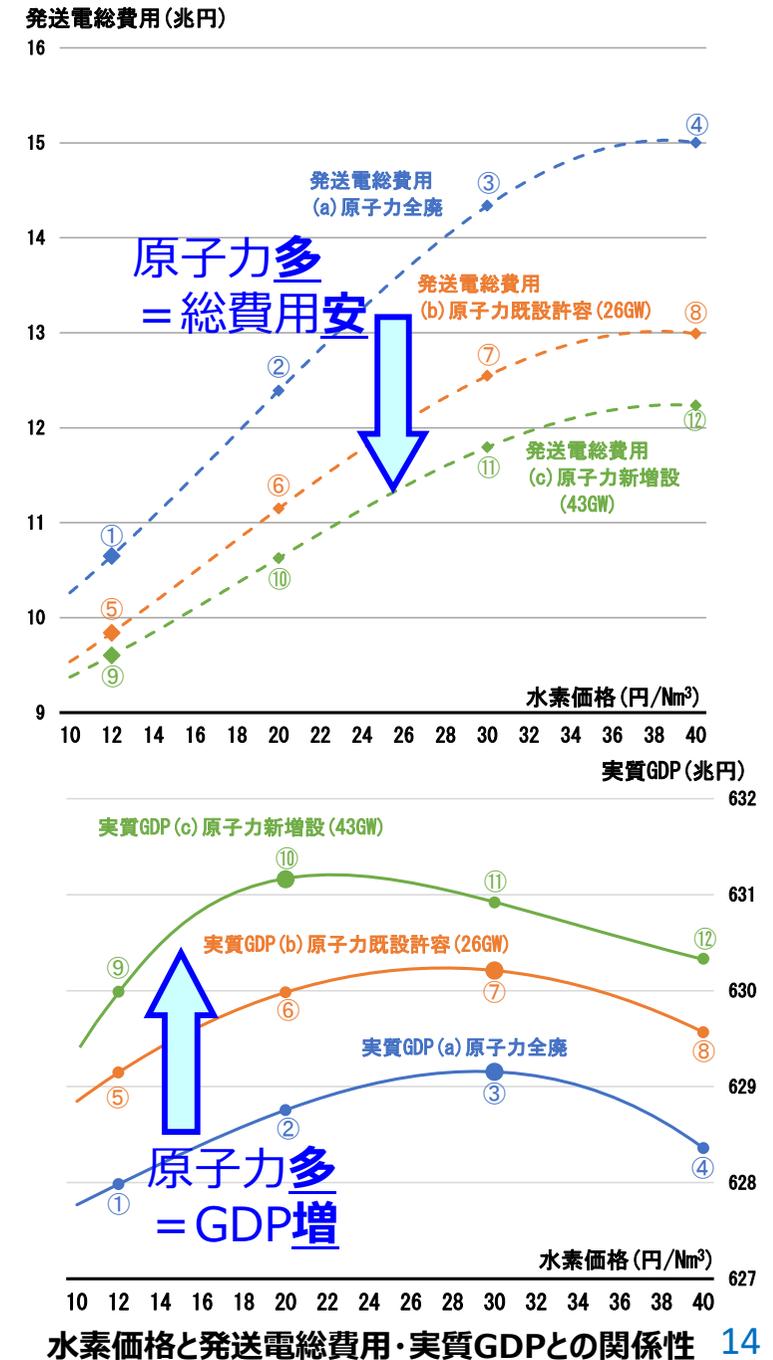
下段グラフ(実質GDP)

(a) 廃止 < (b) 既設許容 < (c) 新增設許容

原子力が多いほど GDPが増え, 評価は高い

(a) 廃止 ⇒ (c) 新增設許容 で

発送電総費用・実質GDP 共に 「2~3兆円」改善



3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 … (1)原子力とGDP

(1)原子力は発電電総費用の減と実質GDPの増に寄与

発電電総費用最小の電源構成とマクロ経済

グループ ケース番号 水素 (円/Nm ³)	(a) 原子力廃止ケース				(b) 原子力既設許容ケース				(c) 原子力新增設許容ケース				
	① 12	② 20	③ 30	④ 40	⑤ 12	⑥ 20	⑦ 30	⑧ 40	⑨ 12	⑩ 20	⑪ 30	⑫ 40	
発電電総費用 (兆円)	10.65	12.39	14.34	15.00	9.84	11.15	12.55	12.99	9.60	10.63	11.79	12.23	発電電 兆円
同上 (円/kWh)	10.55	12.22	13.98	14.55	9.75	11.00	12.23	12.62	9.51	10.48	11.51	11.88	総費用 円/kWh
同上 順位 ()内は全体	1 (4)	2 (8)	3 (11)	4 (12)	1 (2)	2 (5)	3 (9)	4 (10)	1 (1)	2 (3)	3 (6)	4 (7)	同上順位()全体
実質 GDP (兆円)	628.0	628.8	629.2	628.4	629.1	630.0	630.2	629.6	630.0	631.2	631.0	630.3	GDP 兆円
同上 順位 ()内は全体	4 (12)	2 (10)	1 (8)	3 (11)	4 (9)	2 (6)	1 (4)	3 (7)	4 (5)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	同上順位()全体
民間消費支出 (兆円)	318.9	319.2	319.3	319.1	319.8	320.2	320.3	320.1	320.4	321.0	320.9	320.7	民間消費支出
政府消費支出 (兆円)	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	政府消費支出
民間設備投資 (兆円)	84.7	86.1	89.1	88.9	84.9	86.2	88.5	88.0	85.0	86.2	87.7	87.3	民間設備投資
燃料輸入 (兆円)	28.9	27.2	24.0	23.2	27.5	25.8	23.3	22.8	26.7	25.0	23.1	22.6	燃料輸入
電力電灯総合単価 (円/kWh)	23.64	25.67	30.21	30.75	23.60	25.06	28.47	28.49	22.91	24.15	26.64	26.80	電力電灯総合単価

原子力は 従来価値「発電電総費用改善(安い)」に加えて「**GDP改善**」の価値を持つ

- **民間消費支出の増**：雇用者所得の増加等から消費を刺激

(a)廃止 319兆円前後 < (b)既設許容 320兆円前後 < (c)新增設許容 320兆円台後半

- **民間設備投資の増**：大規模な建設投資 & 資機材の国産化率の高さ

(a)廃止 84~89兆円 < (b)既設許容 85~88兆円 < (c)新增設許容 85~88兆円

(↑下方低いが上方が高い… 洋上風力・蓄電池等投資過多?)

- **燃料輸入の減**：水素などの燃料輸入額を抑制

(a)廃止 23~29兆円 > (b)既設許容 23~28兆円 > (c)新增設許容 22~27兆円

⇒ **3つの側面** から **実質GDPを押し上げ**

3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 … (2)水素価格とGDP

(2) 水素価格は「安ければ安いほど良い」訳ではない

一般には「**燃料価格は安いほど良い**」とされる

⇒ **日本経済への影響は必ずしもそうではない。**

上段グラフ(送電総費用)⇒**水素は安いほど良い**

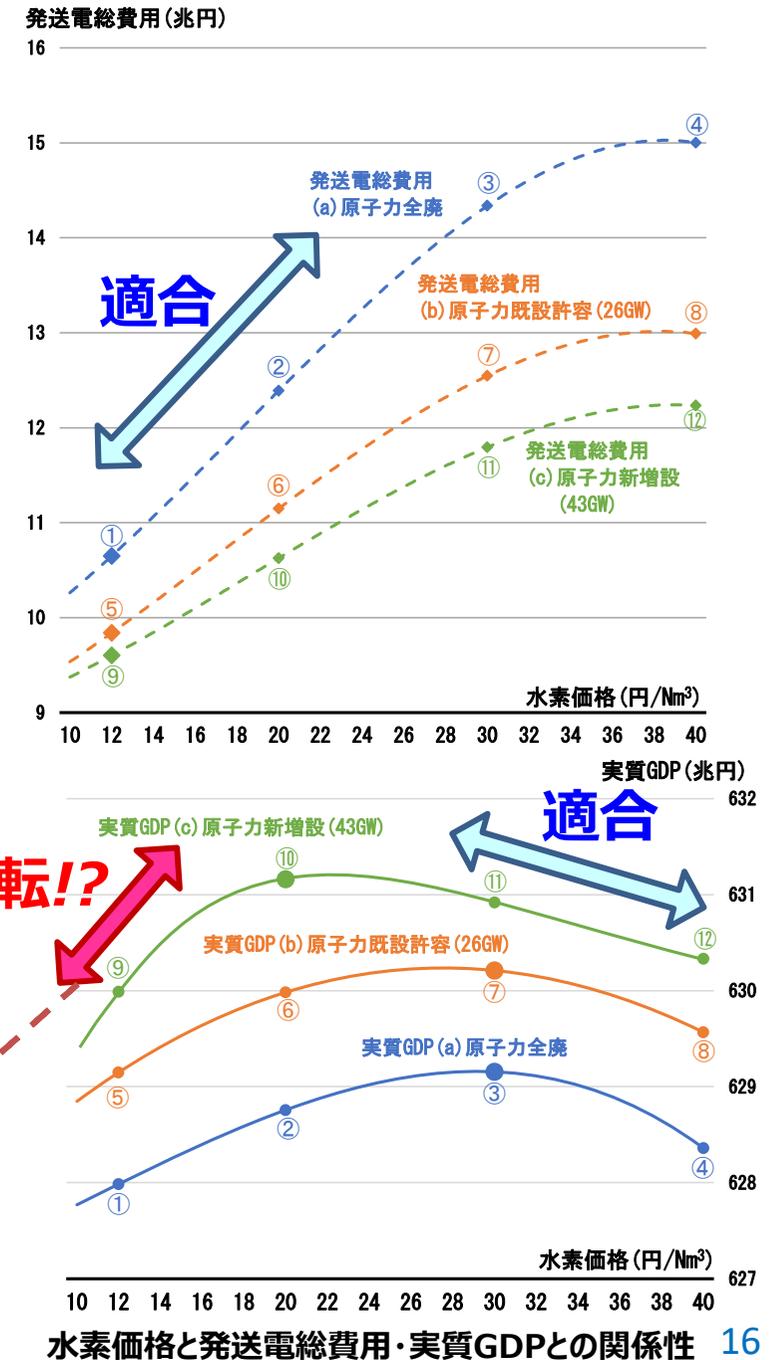
水素価格が**安い**ほど 費用が**安**くなり, 評価は**高い**
 (右側④・⑧・⑫の「頭打ち」は水素火力とCCS火力
 で完全代替の前提としたため)

下段グラフ(実質GDP) ⇒ **カーブが上に凸**

頂点 (③・⑦・⑩付近) よりも **右側**

送電総費用減と実質GDP増が両立で**適合**

左側 は「**燃料価格は安いほど悪い**」と **逆転**



3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 … (2)水素価格とGDP

(2) 水素価格は「安ければ安いほど良い」訳ではない
 下段グラフ(実質GDP) … 矢印1方向で説明

頂点より**右側 適合** (燃料高 ⇒ GDP減)

[設備投資] 再エネ投資の **設備投資増頭打ち**

- ・ **再エネ国産化率の低さ(乗数効果の小ささ)**もある

[燃料輸入] 水素単価高騰で**燃料輸入額高水準**

- ・ **調整電源**として 高単価でも **火力は一定量必要**

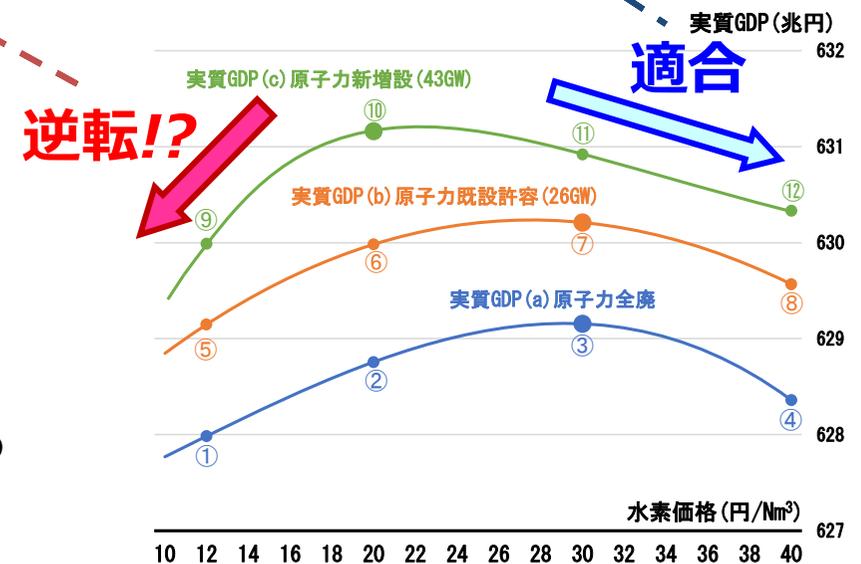
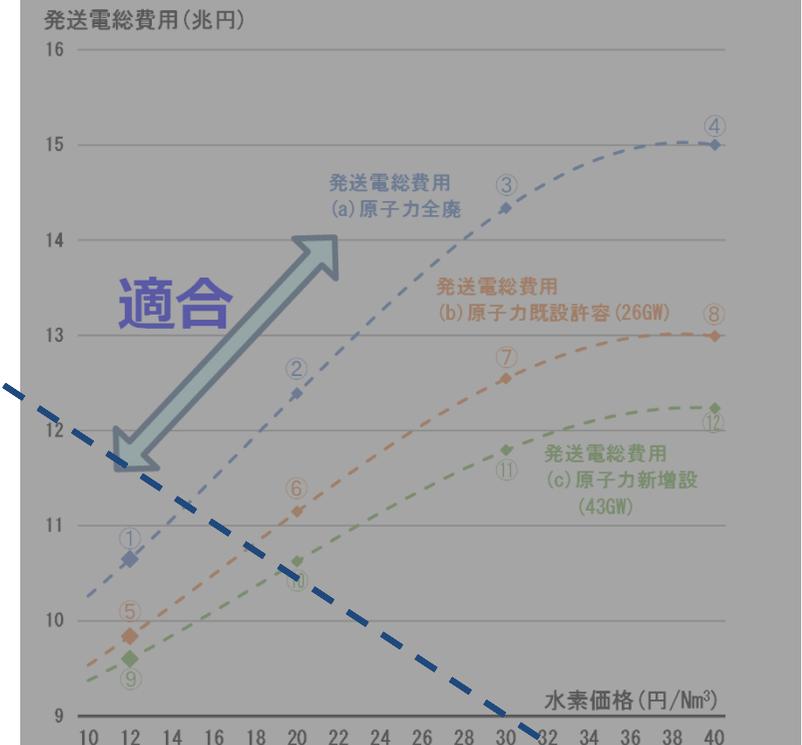
頂点より**左側 逆転** (燃料安 ⇒ GDP減)

[設備投資] 再エネ投資の **設備投資大幅減**

- ・ **太陽光が激減**。乗数効果は小さいが失われる
 (投資されない) 投資総額(絶対額)規模が甚大

[燃料輸入] 水素単価安価も **燃料輸入額増**

- ・ **水素火力**が「**主力電源**」化するが燃料輸入を要する
 投資されない**太陽光**は**燃料輸入は不要**



3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 …(参考)完全代替の難題

(参考)水素火力とCCS付ガス火力の完全代替性の難題

発送電総費用最小の電源構成とマクロ経済

グループ ケース番号 水素 (円/Nm ³)	(a) 原子力廃止ケース				(b) 原子力既設許容ケース				(c) 原子力新增設許容ケース				
	① 12	② 20	③ 30	④ 40	⑤ 12	⑥ 20	⑦ 30	⑧ 40	⑨ 12	⑩ 20	⑪ 30	⑫ 40	
原子力既設 (GW)	—	—	—	—	26	26	26	26	26	26	26	26	原子力既設
原子力新設 (GW)	—	—	—	—	—	—	—	—	16	17	17	17	原子力新設
原子力計 (GW)	—	—	—	—	26	26	26	26	42	43	43	43	原子力計
水素火力 (GW)	162	161	121	—	137	137	101	—	120	120	88	—	水素火力
CCS付ガス火力 (GW)	—	—	—	99	—	—	—	83	—	—	—	69	CCS火力
火力計 (GW)	162	161	121	99	137	137	101	83	120	120	88	69	火力計
太陽光 (GW)	79	194	165	182	67	168	145	161	53	147	168	194	太陽光
陸上風力 (GW)	12	17	25	25	10	12	25	25	9	12	25	25	陸上風力
洋上風力 (GW)	—	—	156	186	—	—	120	135	—	—	66	76	洋上風力
地熱・バイオマス (GW)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	地熱・バイオマス
水力 (GW)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	水力
再エネ計 (GW)	127	246	382	428	112	216	326	357	99	194	290	330	再エネ計
発電容量 (GW)	289	407	503	528	275	379	452	466	261	357	421	441	発電容量
蓄電池 (GWh)	0.2	0.5	58	93	0.2	0.3	56	84	0.1	0.2	51	84	蓄電池
発電量 (TWh)	1,009	1,013	1,026	1,031	1,009	1,014	1,026	1,029	1,009	1,014	1,025	1,030	発電量

水素 40円/Nm³ (④・⑧・⑫) ⇒ CCS付きガス火力 シェア 100%

水素 30円/Nm³ (③・⑦・⑪) ⇒ 水素火力 シェア 100%

「水素 30円/Nm³台後半で両火力が シェア 100% - 0% で 争奪」

⇒ 完全代替の設備・技術選択(設備投資)の最適化分析の難題と認識

実際には、2050年の水素価格を確実に予測し、水素火力またはCCS付きガス火力のみ建設は困難。設備容量の即時変更(今日は水素…明日はCCS+ガス)も難しく、燃料調達柔軟性・安定性の同時確保も難しいため、実際には、両火力が混在か。

3. 評価結果

3.1 統合型エネルギー経済モデルによる評価結果 … (3)まとめ

発送電総費用最小の電源構成とマクロ経済

グループ ケース番号 水素 (円/Nm ³)	(a) 原子力廃止ケース				(b) 原子力既設許容ケース				(c) 原子力新增設許容ケース				
	① 12	② 20	③ 30	④ 40	⑤ 12	⑥ 20	⑦ 30	⑧ 40	⑨ 12	⑩ 20	⑪ 30	⑫ 40	
発送電総費用 (兆円)	10.65	12.39	14.34	15.00	9.84	11.15	12.55	12.99	9.60	10.63	11.79	12.23	発送電 兆円
同上 (円/kWh)	10.55	12.22	13.98	14.55	9.75	11.00	12.23	12.62	9.51	10.48	11.51	11.88	総費用 円/kWh
同上 順位 ()内は全体	1 (4)	2 (8)	3 (11)	4 (12)	1 (2)	2 (5)	3 (9)	4 (10)	1 (1)	2 (3)	3 (6)	4 (7)	同上順位 ()全体
実質 GDP (兆円)	628.0	628.8	629.2	628.4	629.1	630.0	630.2	629.6	630.0	631.2	631.0	630.3	GDP 兆円
同上 順位 ()内は全体	4 (12)	2 (10)	1 (8)	3 (11)	4 (9)	2 (6)	1 (4)	3 (7)	4 (5)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	同上順位 ()全体
民間消費支出 (兆円)	318.9	319.2	319.3	319.1	319.8	320.2	320.3	320.1	320.4	321.0	320.9	320.7	民間消費支出
政府消費支出 (兆円)	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	政府消費支出
民間設備投資 (兆円)	84.7	86.1	89.1	88.9	84.9	86.2	88.5	88.0	85.0	86.2	87.7	87.3	民間設備投資
燃料輸入 (兆円)	28.9	27.2	24.0	23.2	27.5	25.8	23.3	22.8	26.7	25.0	23.1	22.6	燃料輸入
電力電灯総合単価 (円/kWh)	23.64	25.67	30.21	30.75	23.60	25.06	28.47	28.49	22.91	24.15	26.64	26.80	電力電灯総合単価

(3) 評価結果 例示12ケース まとめ

発送電総費用の最小化(全体1位)

ケース⑨ (原子力新增設許容, 水素 12円/Nm³ **実質GDP 全体5位**)

実質GDPの最大化(全体1位)

ケース⑩ (原子力新增設許容, 水素 20円/Nm³ **発送電総費用 全体3位**)

- 発送電総費用最小化(ケース⑨) より **マクロ経済向上(ケース⑩)が上位課題**
- 再エネを排し, 水素火力に頼り切る **ケース⑨は電力安定供給の点でも劣る**
- **CN下では, ケース⑩が, ベースロードの原子力43GW, ピーク対応の水素火力120GW, 燃料不要でCO₂削減寄与の再エネ357GWがバランスよく揃い, 2050年のあるべき電源構成の1イメージでは** なかろうか。

- 原子力は、発送電総費用の減と実質GDPの増に共に寄与する。
- 水素価格(燃料価格)は必ずしも安ければ安いほど良い訳ではない。
(再エネ設備投資額・燃料輸入額とのバランスが取れる価格ポイントがあるかもしれない。)
- 発送電総費用の最小化に加えて、マクロ経済影響の考慮も新たな判断軸か。
- CN制約下、電気事業者の発送電総費用の最小化が、必ずしも日本経済の実質GDPを最大化する訳ではない。

- 政策主体と電気事業者が連携し、エネルギー・経済政策が適切に執り行われることで、CNを達成し、発送電総費用に配慮し、かつ経済成長できる可能性も示せた。
- ただし、実体経済では、価格(水素・ガス価格・CCSのCO₂処分費等)は市場取引等で絶えず変化し、電源の建設時の燃料価格見通しも難しく、数年間の工事期間を要し設備(容量)の即変更・即建設が難しいこと等もモデルに反映し切れない。
- 前提条件の変化(燃料価格の高騰・暴落、各電源や蓄電池の建設投資額、資機材の国産化率、設備効率・稼働率等の変化、無風・無日照の連続発生、国境間調整措置の発生や国際競争力の変化等)で評価結果は変わり得る。
- CN制約下で、燃料価格の変化、各電源の社会的許容度に着目し、発送電総費用と各種経済指標の関係を論じた類似の先行研究はないものと認識。
- 政策主体と電気事業者の双方に有益な方向性を示す端緒となることを期待。