

2011年9月13日

発電コストの推計

(財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)

システム研究グループ グループリーダー

秋元 圭吾

東京大学大学院総合文化研究科客員教授



発電コストの考え方

社会のコストとは何か？

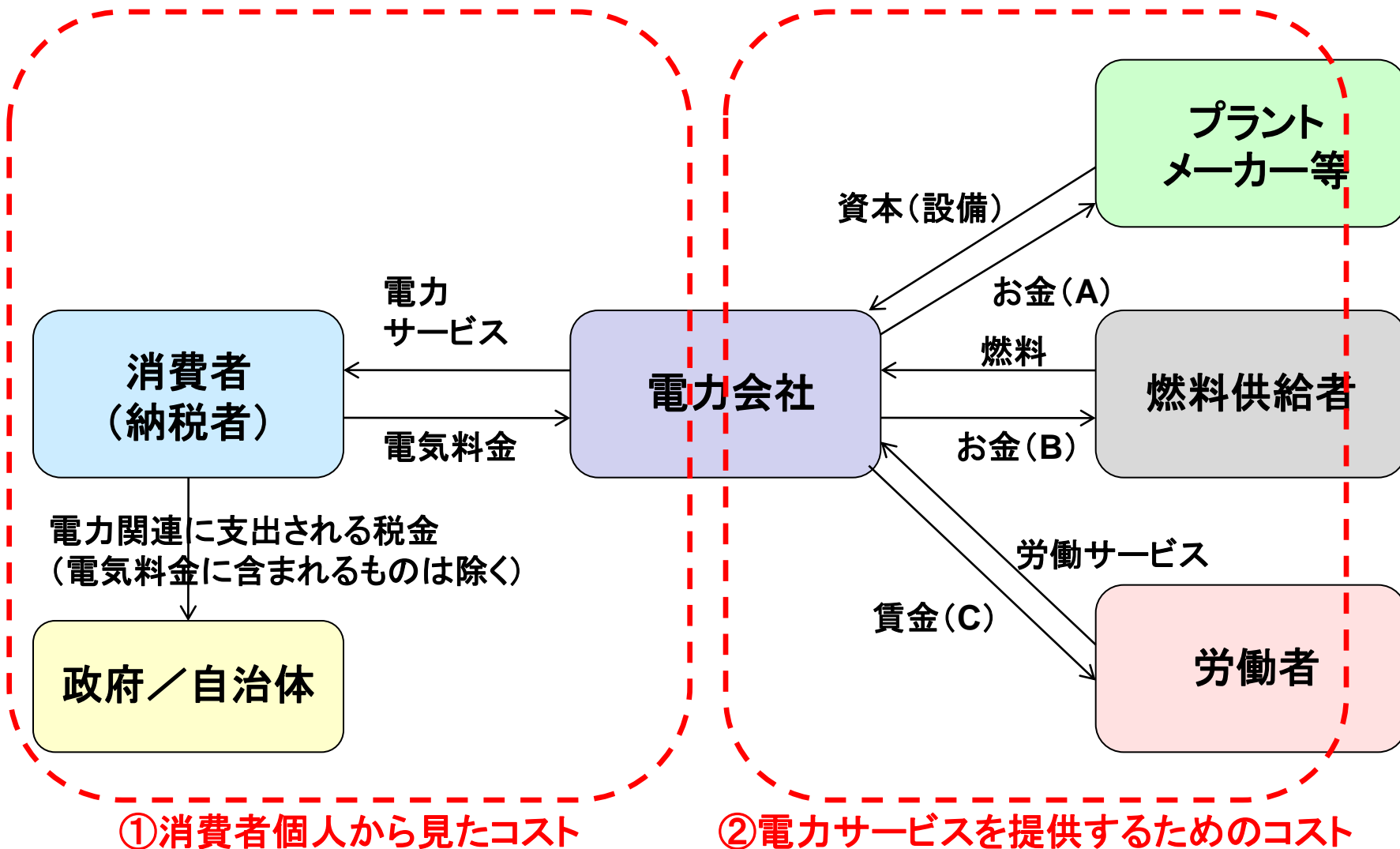
- ◆ 社会では、各主体が、自らの効用が増すように様々な取引が繰り返される。
- ◆ 収入は限られているので、その中で、効用が最大化（限定合理的な部分も含めて）するように支出がなされる（当然、効用を最大化するよう、収入が増えるような方策もとられるわけだが）。
- ◆ 同じサービスはできるだけ安い支払いで済ませられれば、その分、他のサービスへの支出に回せ、全体の効用は増す。
- ◆ 電力というサービス（同じ品質が前提）もできるだけ安価に得られれば、その分、他の支出に回すことができ、家計全体、社会全体としての効用は増す。
- ◆ ただし、温暖化影響被害等の環境外部費用は、短期的な効用の外に置かれることが多いため、これを何らかの形で内部化して考えることは、社会の長期的な効用を高めるために正当化される。

発電コストとは？

一義的な定義は難しいが、次のように定義できるだろう。

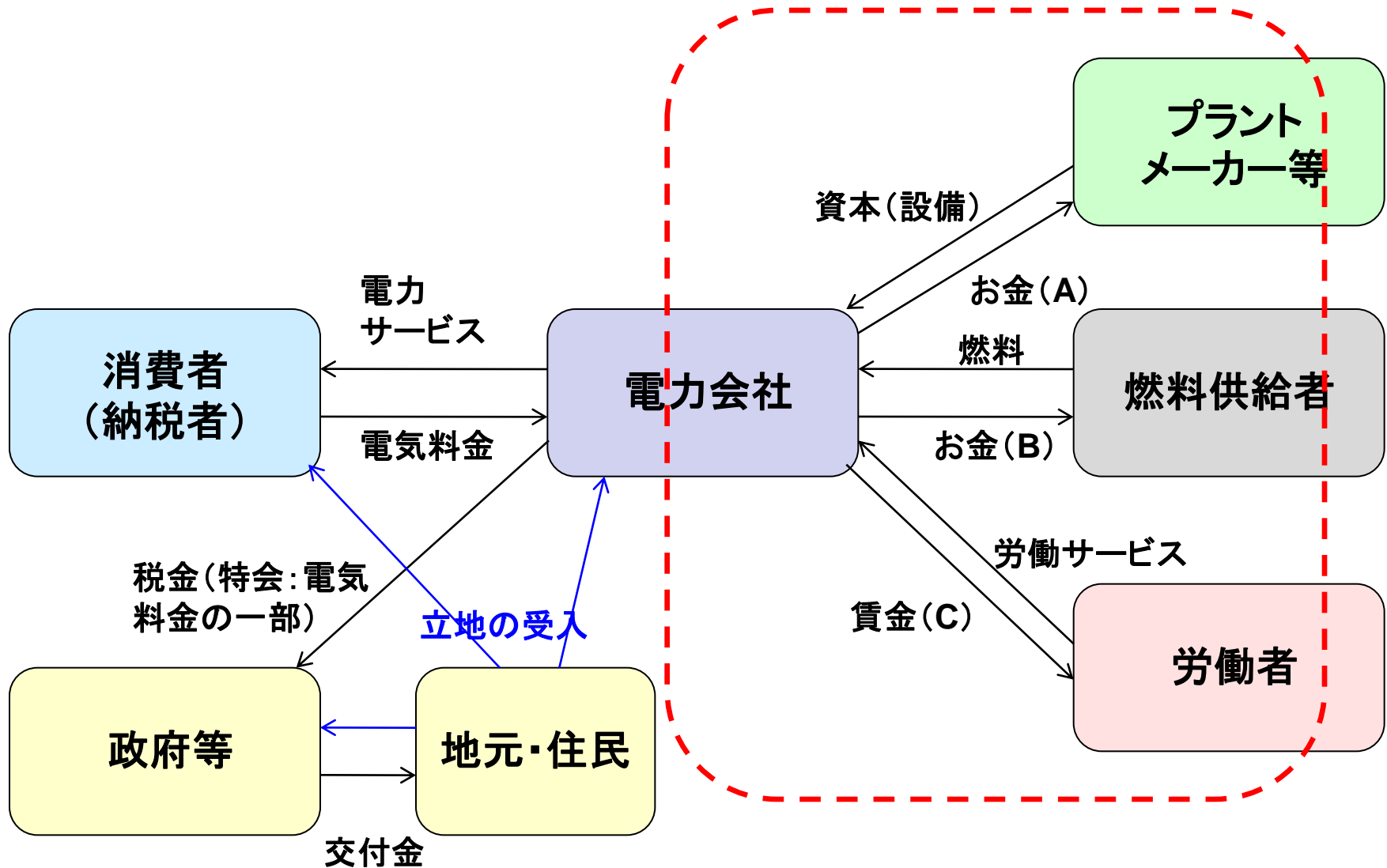
- ① 消費者個人からの視点では、電力というサービスを受けると引き換えに支払う必要がある費用（＝電力料金＋電気料金以外の納税からの電力関連費用への補助金・交付金（技術開発普及目的が多い。電力料金に既に含まれている補助金・交付金は除く））
- ② 電力というサービスを提供するために必要となる費用。ただし、もう少し正確に議論すると、②' 時間帯別に価値が異なる電力を提供するための費用。（例えば、ガス発電の単価が石炭よりも高いにも関わらず成立するのは、ガス発電はピーク時間帯や中間時間帯対応向きであるため（ガス発電の設備費が石炭発電の設備よりも安価な一方、燃料費は高いことによる）。すなわち、ガス発電単価と石炭発電単価の比較による単純な優劣付けは、必ずしも適当ではない。）

発電コストの構造：一般化



温暖化影響被害等の環境外部費用は、いずれのコストの概念でも別途考えるべき

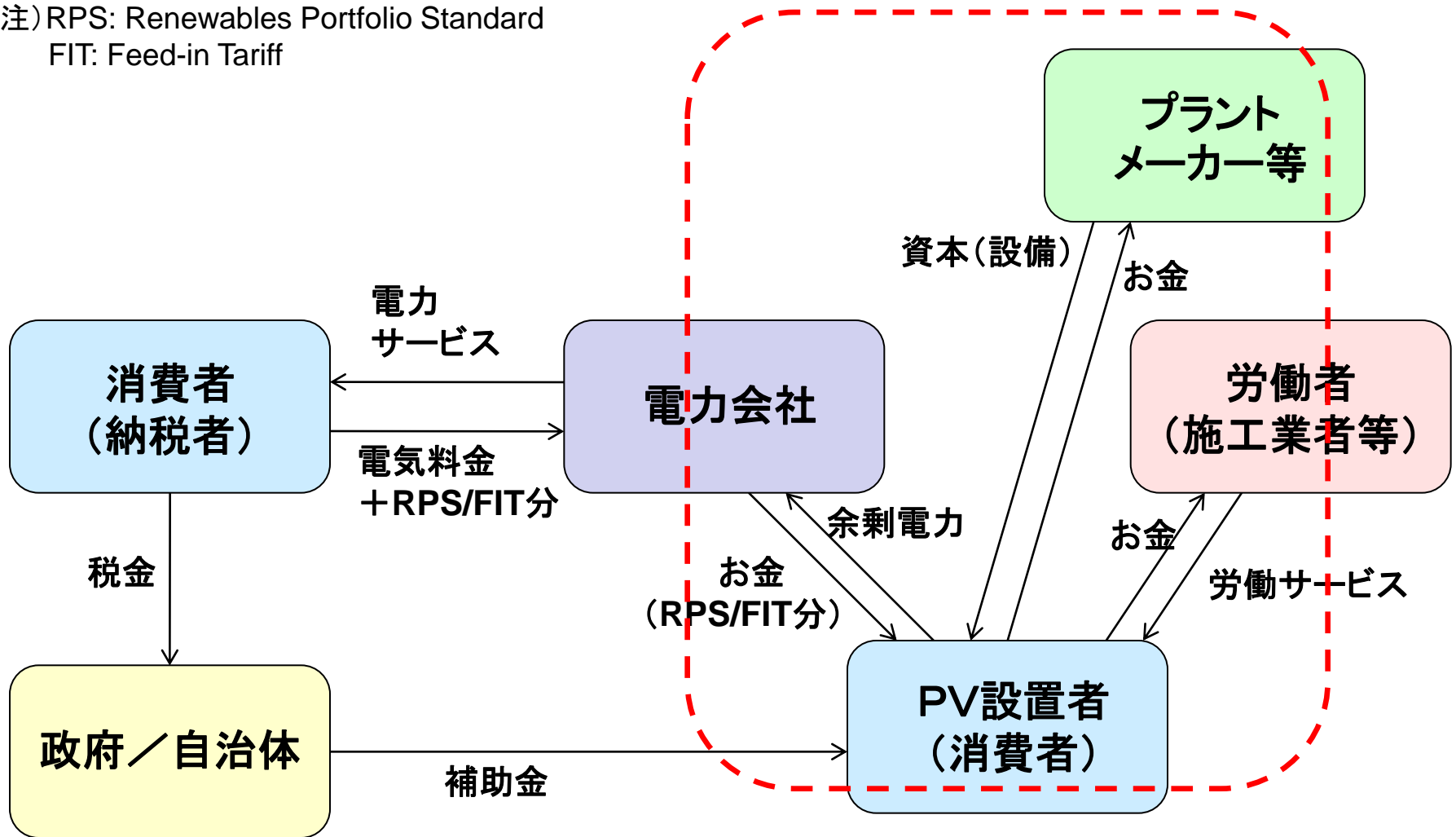
発電コストの構造：原子力発電のケース



いずれのお金の移転においても払い手、受けて双方の効用が基本的には増す構造

発電コストの構造：太陽光発電のケース

注) RPS: Renewables Portfolio Standard
FIT: Feed-in Tariff



同じ電力サービスに対して支払いが増えているので、消費者の効用は減少している。ただし、温暖化影響等の環境外部費用の低減という効用増にはつながる可能性あり。

RITEにおける推計[†]

②の考え方によるコスト推計である。
コスト内訳の詳細は別紙

(①の考え方に従うときは、おおよそ
電気料金と考えれば良い。)

発電コスト推計にあたって (1/3)

- ◆ ②のコストの考え方で発電コスト推計を行うとき、原子力発電等の立地に関する交付金等は、コスト推計の外におくべきである（①のコストの考え方においては、交付金は含まれる）。同様に、太陽光発電等への補助金についても、コスト推計の外におかなければならない。
ただし、参考までに、原子力発電の立地に関する交付金について、推計すると、おおよそ0.3円/kWh程度に相当すると見られる。（別紙、表中にも記載）
- ◆ 原子力のバックエンド費用が莫大であるという指摘がよく聞かれる。原子力発電の立地に関する交付金とは異なり、このコストについては、原子力のコストとして計上すべき費用である。バックエンド費用は少なくとも10兆円を超えるとされている。しかし、仮に現在の原子力発電の発電電力量で今後50年間のみ続くとしても、その総発電電力量は約15兆kWhにもおよぶ。単純に計算すれば0.7円/kWhとなる（割引率を仮に0とした場合）。バックエンド費用は大きい、一方で、発電電力量も大きいため、kWhあたりでは際立って大きいものとは言えない。本コスト推計では、原子力のバックエンド費用を1円/kWh程度と見積もった。

発電コスト推計にあたって (2/3)

- ◆ 稼働率の違いを認識しておくことが重要。同じ設備容量があっても、太陽光発電は、化石燃料や原子力発電の $1/5 \sim 1/7$ 程度の発電電力量しか発生できない (kWhあたりの単価はどうしても高くなりやすい)。

化石燃料、原子力：80～90%程度

風力：20%程度 (洋上風力は30%程度)

太陽光：12%程度 (日本平均)

ただし、化石燃料発電は、燃料種毎のコスト効率的な運用の結果、燃料種によっては実際にはより低い稼働率となっている。また、原子力は、点検に関わる法制度やその他の社会的制約等から実際にはより低い稼働率となっている (コスト計算に用いた実際的な稼働率想定は別紙のとおり)。

発電コスト推計にあたって (3/3)

- ◆ ピーク時間帯（夏季の電力消費量が大きい時間帯）の電力の価値とオフピーク時間帯（夜間；ベース負荷）の電力の価値は異なる。役割が異なる電源があるため単純なコスト比較は注意が必要

ベース負荷向け：石炭、原子力、風力、水力

中間負荷向け：天然ガス、水力

ピーク負荷向け：石油、太陽光、揚水

瞬時負荷ピーク向け：石油、揚水

発電単価：小

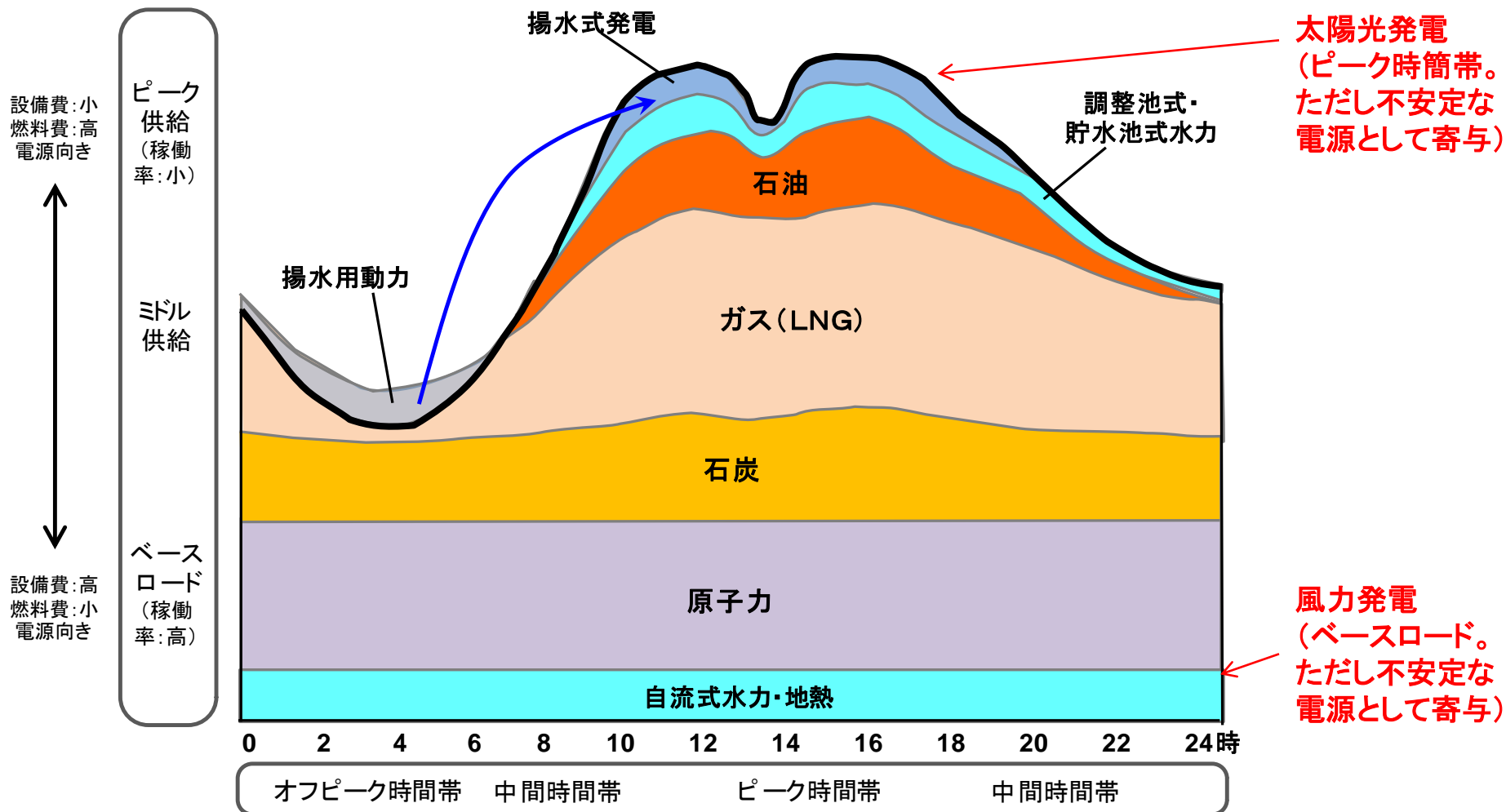
（設備費は高いが、燃料費が安価な電源が多い）

発電単価：大

（設備費は安価だが、燃料費が高い電源が多い）

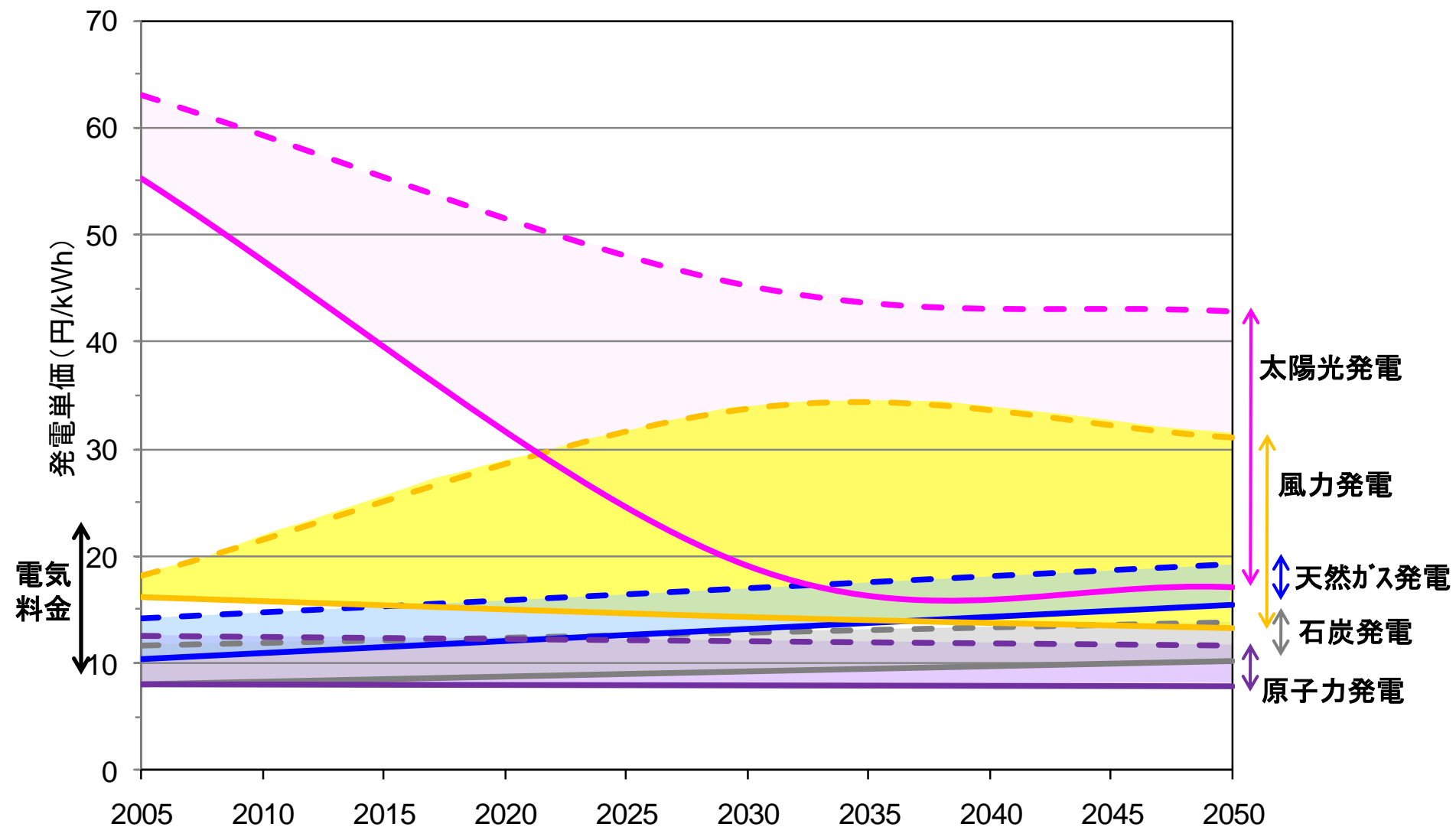
原子力は夜間に電力を余らせており、揚水を利用しているため、実際には原子力単体推定される費用よりも更に高いという指摘も見受けられる。例えば、立命館大 大島堅一氏は、火力（平均）および水力と比較して、原子力＋揚水の費用で見ると、「原子力は最も高い電源」と指摘している（第48回原子力委員会、2010年9月）。しかし、上記で見るように、揚水の役割を見ると、石油火力と比較することが妥当（太陽光は瞬時的な需給調整ができないため、揚水と役割はだいぶ異なる）。比較的安価な石炭火力の単価に大きく影響されている火力平均の単価と比較して、原子力＋揚水の費用が「最も高い」と否定的に議論することは適当とは言えない。電源にはそれぞれ特徴があり、その役割を認識した上で、コスト比較の議論を展開しなければならない。

電源のベストミックス



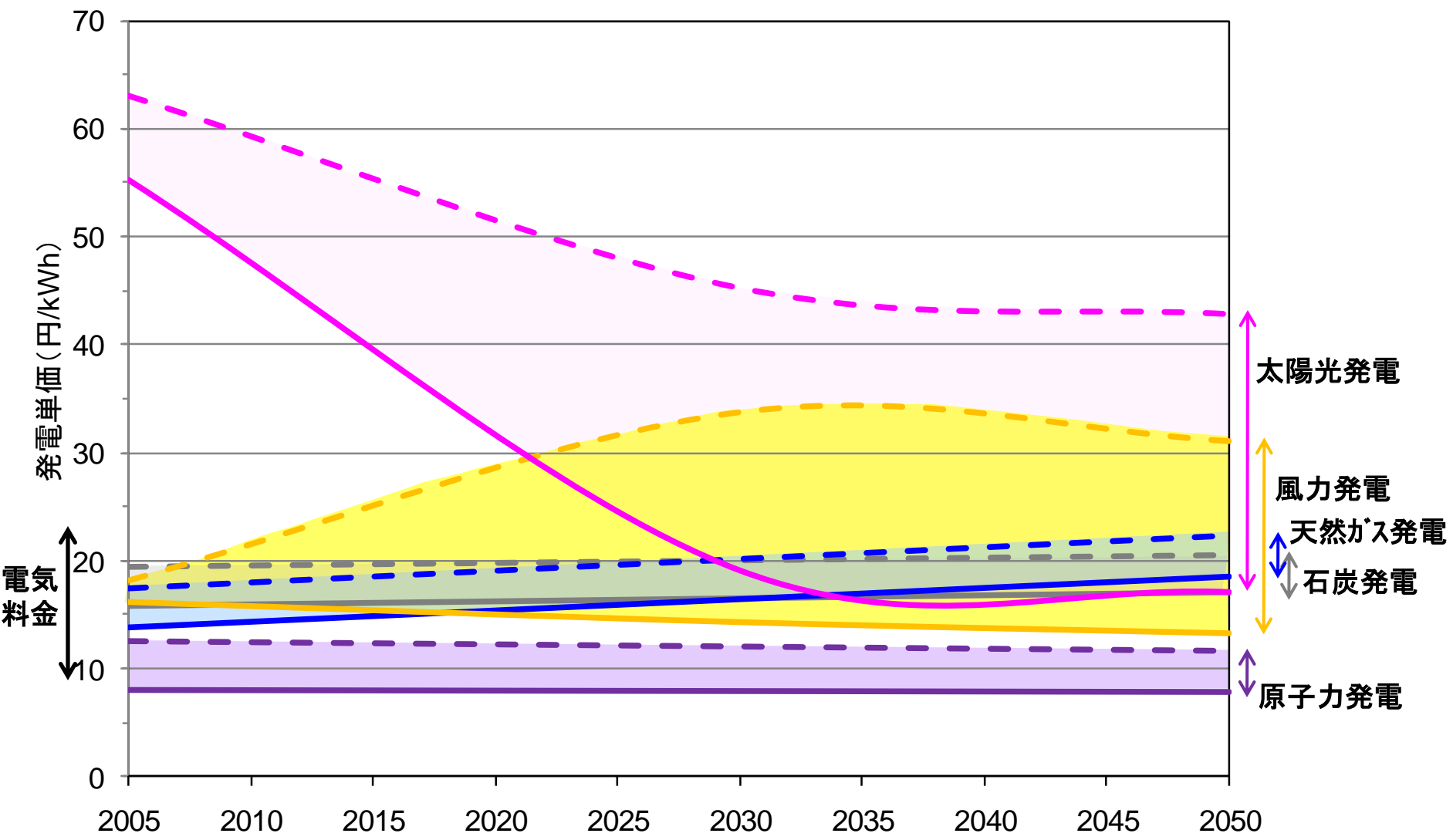
それぞれの電源にはコスト構造に特徴がある(設備費が高いが、燃料費が安い。その逆など)。発電コスト全体が最も安価になるように(安定供給、環境性などを踏まえながら)、各電源の設備導入、そして運転パターンを決定している。

発電単価：時系列、環境外部費用含まず



注) 送電コスト含む。風力発電は陸上のコストのみを表示。価格は現状(2007年頃)の価格。割引率は5%を想定

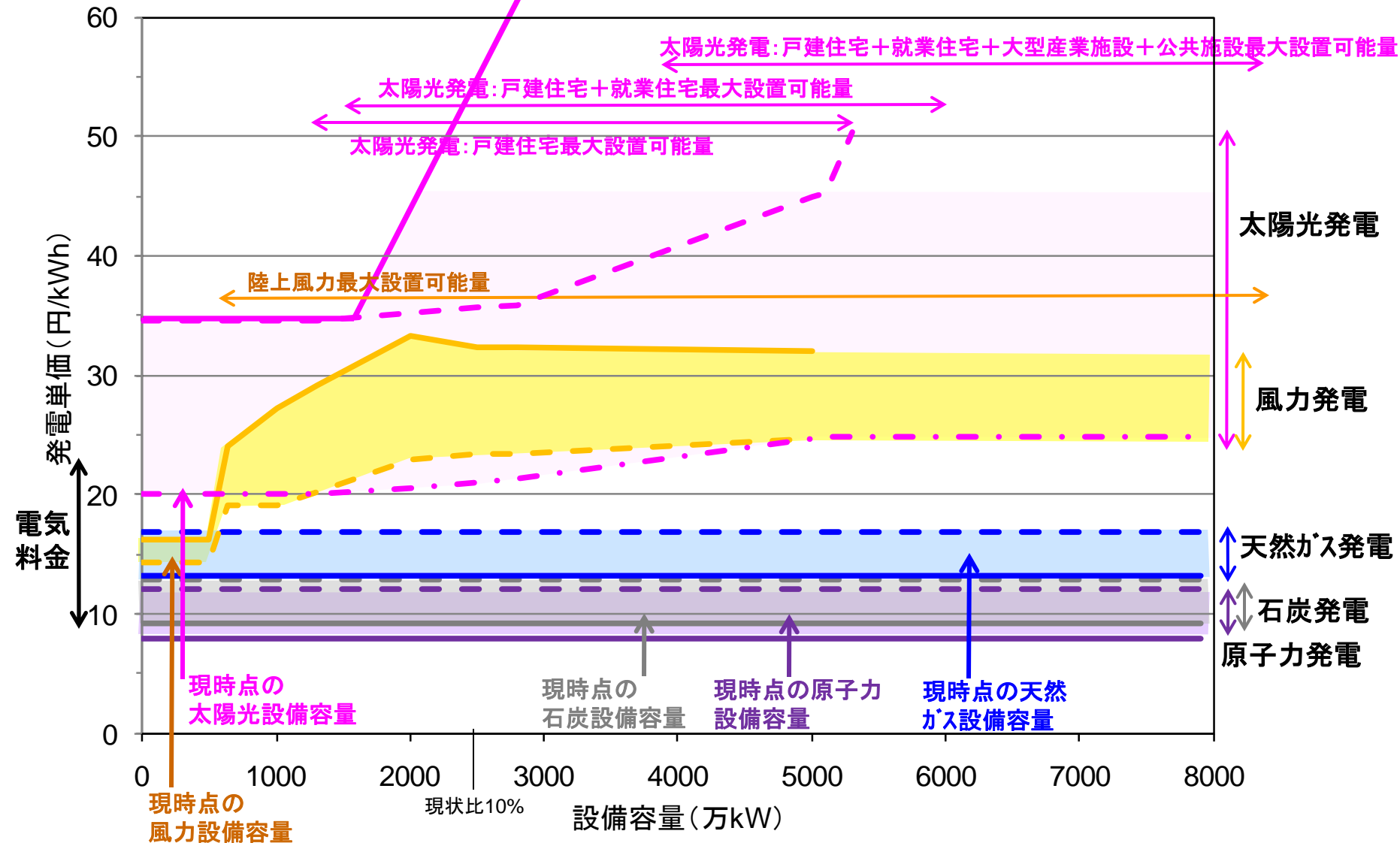
発電単価：時系列、環境外部費用含む（100\$/tCO₂のケース）



注)送電コスト含む。風力発電は陸上のコストのみを表示。温暖化影響被害以外の原子力の放射性被害等の外部費用は含んでいない。

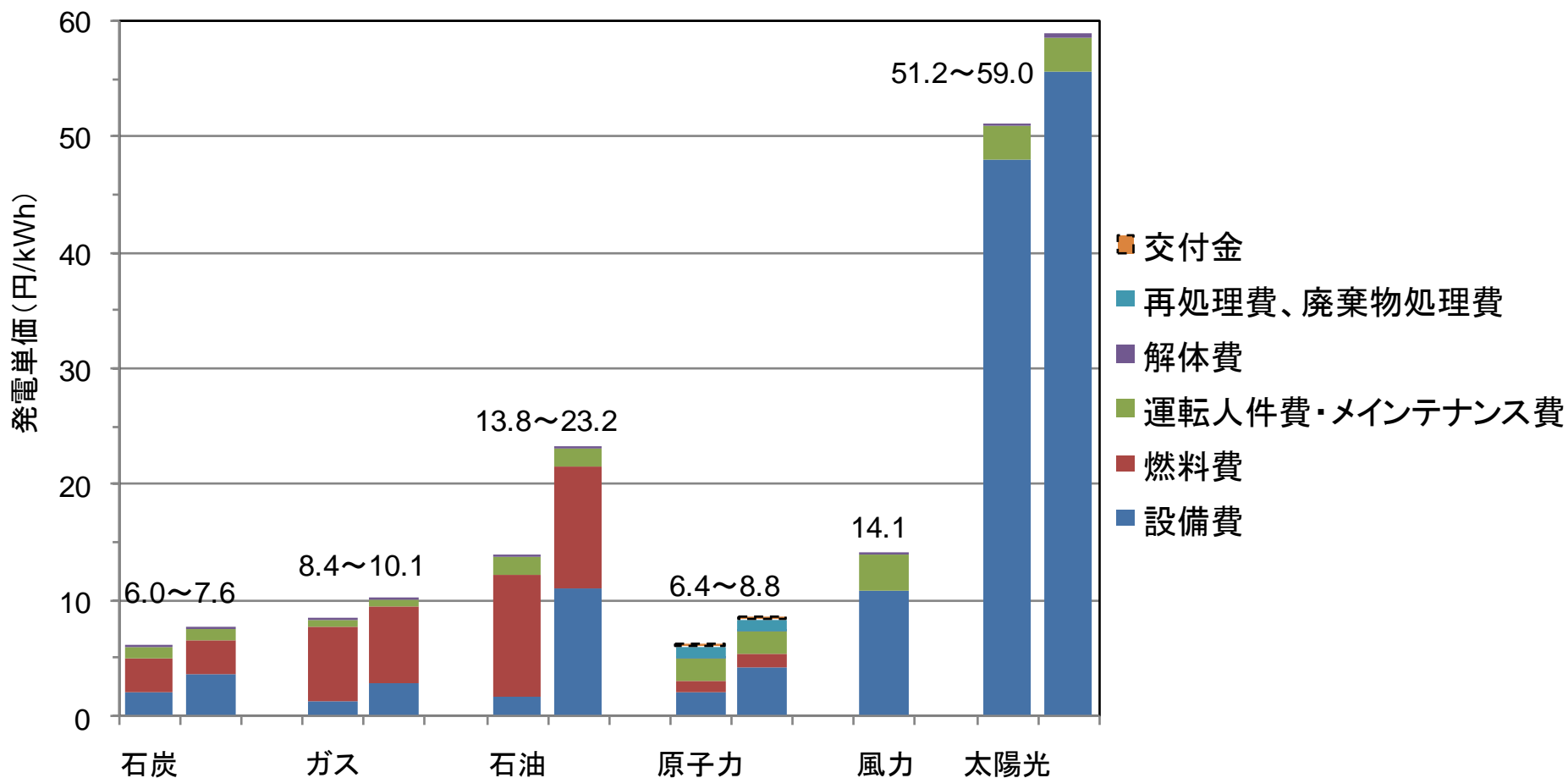
発電単価：設備容量別、環境外部費用含まず

2030年



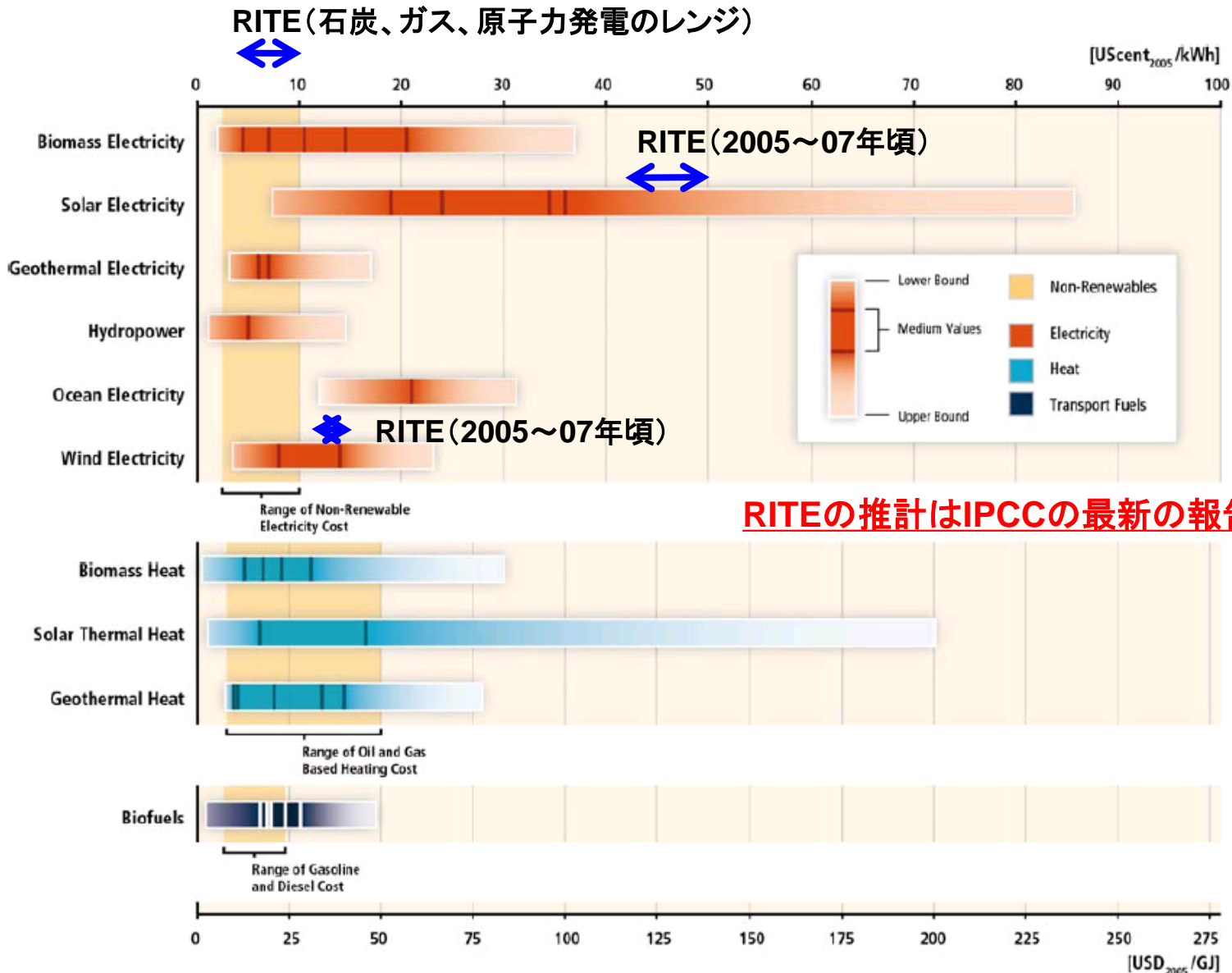
注) 送電コスト含む。風力発電は陸上のコストのみを表示。価格は現状(2007年頃)の価格。割引率は5%を想定

現状 (2005～07年頃) の電源別の発電単価比較 (内訳)



注) 送電コストを含めていない。割引率は5%を想定。太陽光は2009年頃から再びコスト低減傾向にあるため、現在(2011年時点)ではより安価と見られる。石油は、近年、大規模な新設の設備建設がなされていないため、設備費の情報が不足している中での推計であり、参考値。

IPCC再生可能エネルギー特別報告書の報告値



出典) IPCC再生可能エネルギーに関する特別報告書 (SRREN), Figure 10.28, 2011。注) 1\$=85円で換算

発電コスト推計の要約・留意事項

- ◆ 原子力発電設備に留まらず、風力発電を含め各種発電設備の設置費用は、近年、上昇傾向が見られる。
- ◆ 現状（2005～07年頃）では、
 - 石炭：6～8円/kWh程度
 - 天然ガス（複合発電）：8～10円/kWh程度
 - 原子力：6～9円/kWh程度（バックエンド・廃炉時の解体費用含む）
 - 風力：14円/kWh程度
 - 太陽光：51～59円/kWh程度が典型的なコストと見られる（いずれも送電費用を含めないときのコスト。含めた場合は現状では、+2～4円/kWh程度）。
- ◆ 将来的な見通しは難しいが、少なくとも太陽光発電の費用低減は期待できるだろう。（2009年頃から再びコスト低減が進んでおり、2011年時点では、上記より10円/kWh程度低下していると見られる。）
- ◆ 風力、太陽光発電は導入量が大きくなったときに、追加的な系統安定化費用は必要になる。ただし、この費用の不確実性は大きい。
- ◆ 原子力発電費用は、今後、安全対策の強化によってコスト増となると見込まれ、留意が必要

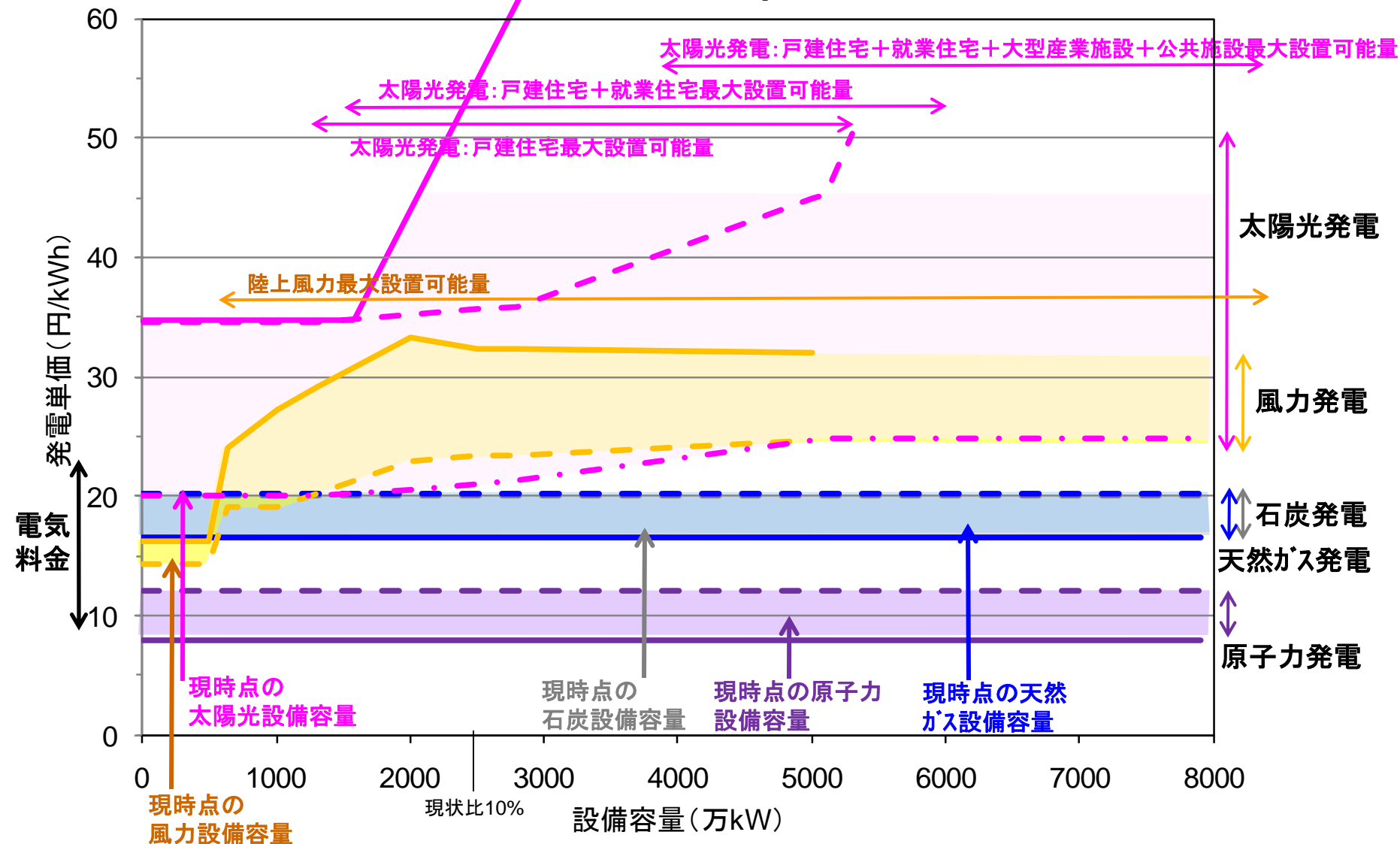
おわりに

- ◆ 2011年3月11日に東日本を襲った大地震と津波は大きな被害をもたらした。甚大なる原子力事故ももたらした。
- ◆ 原子力発電の放射能汚染のリスク等については、算定が難しく、本報告では扱えていないが、電源の選択においては当然考慮されるべきことである。
- ◆ 地球温暖化問題や持続可能なエネルギー供給といった視点も考えると、再生可能エネルギーの利用拡大は重要である。
- ◆ 一方で、事故の大きさも手伝って、原子力発電のコストや再生可能エネルギーのコストについて、幾分か冷静さを欠き、事実認識を誤った報告も目立ってきている。
- ◆ より正確なコスト認識、そしてリスク認識を持って、今後のエネルギー政策また温暖化対応政策を議論していくことが重要である。
- ◆ 電力コストの大きな上昇は、産業の国際競争力低下と海外への産業流出や、（電気代以外の）消費抑制といった影響が予測されるため、より正しいコスト情報の下での深い検討が重要である。

付録

発電単価：設備容量別、環境外部費用含む (100\$/tCO₂のケース)

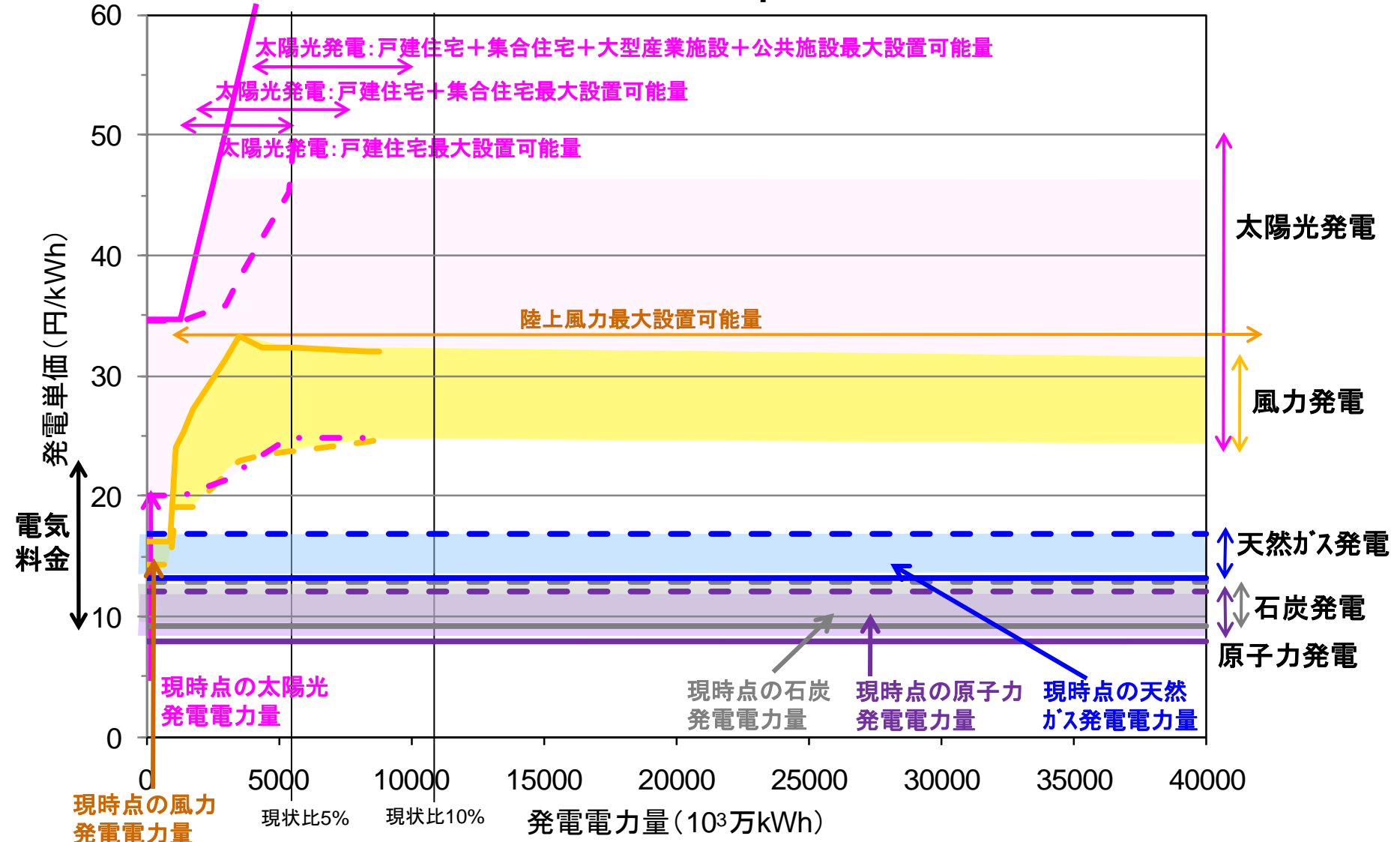
2030年



注)送電コスト含む。風力発電は陸上のコストのみを表示。温暖化影響被害以外の原子力の放射性被害等の外部費用は含んでいない。

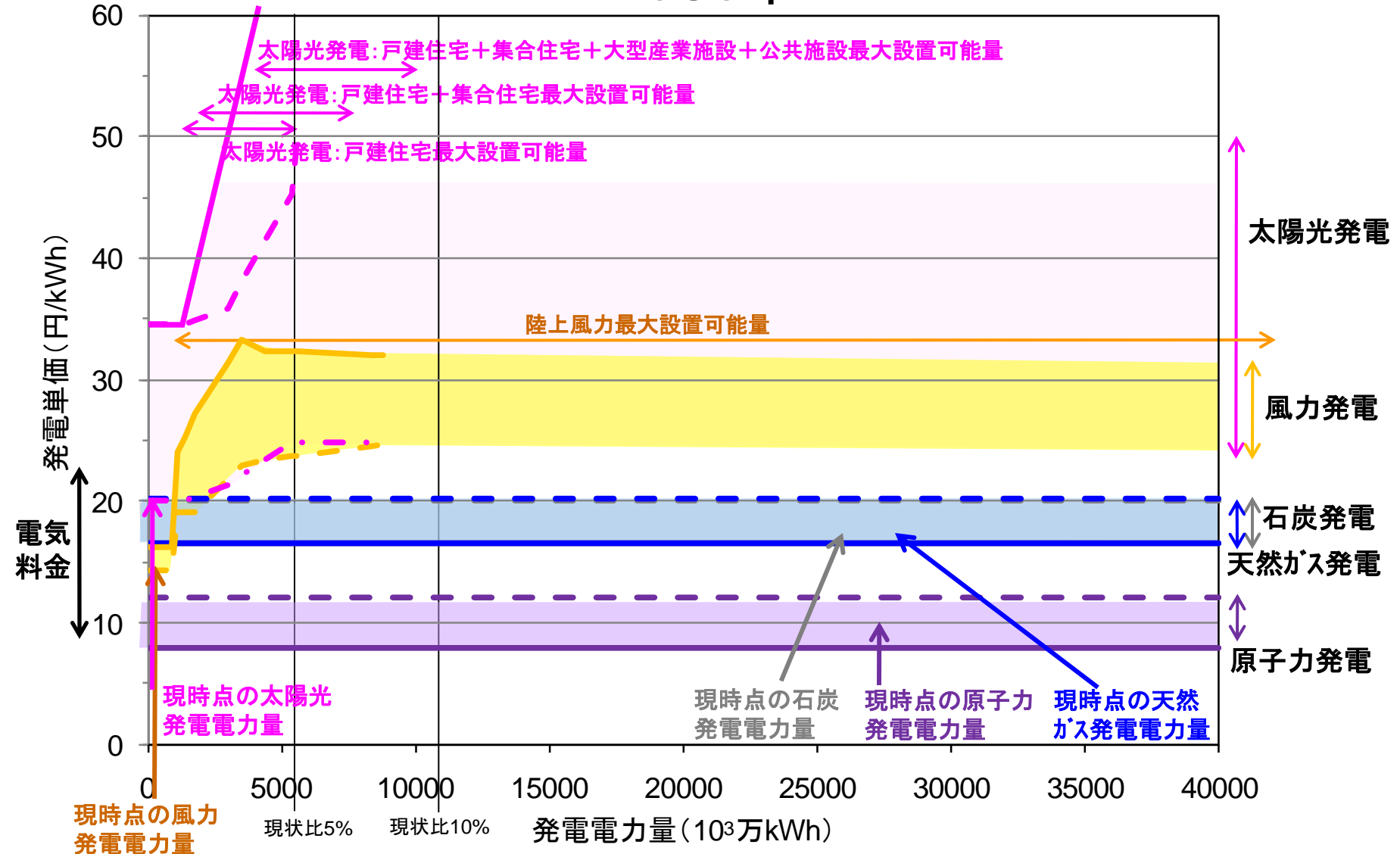
発電単価：発電電力量別、環境外部費用含まず

2030年



発電単価：発電電力量別、環境外部費用含む (100\$/tCO₂のケース)

2030年

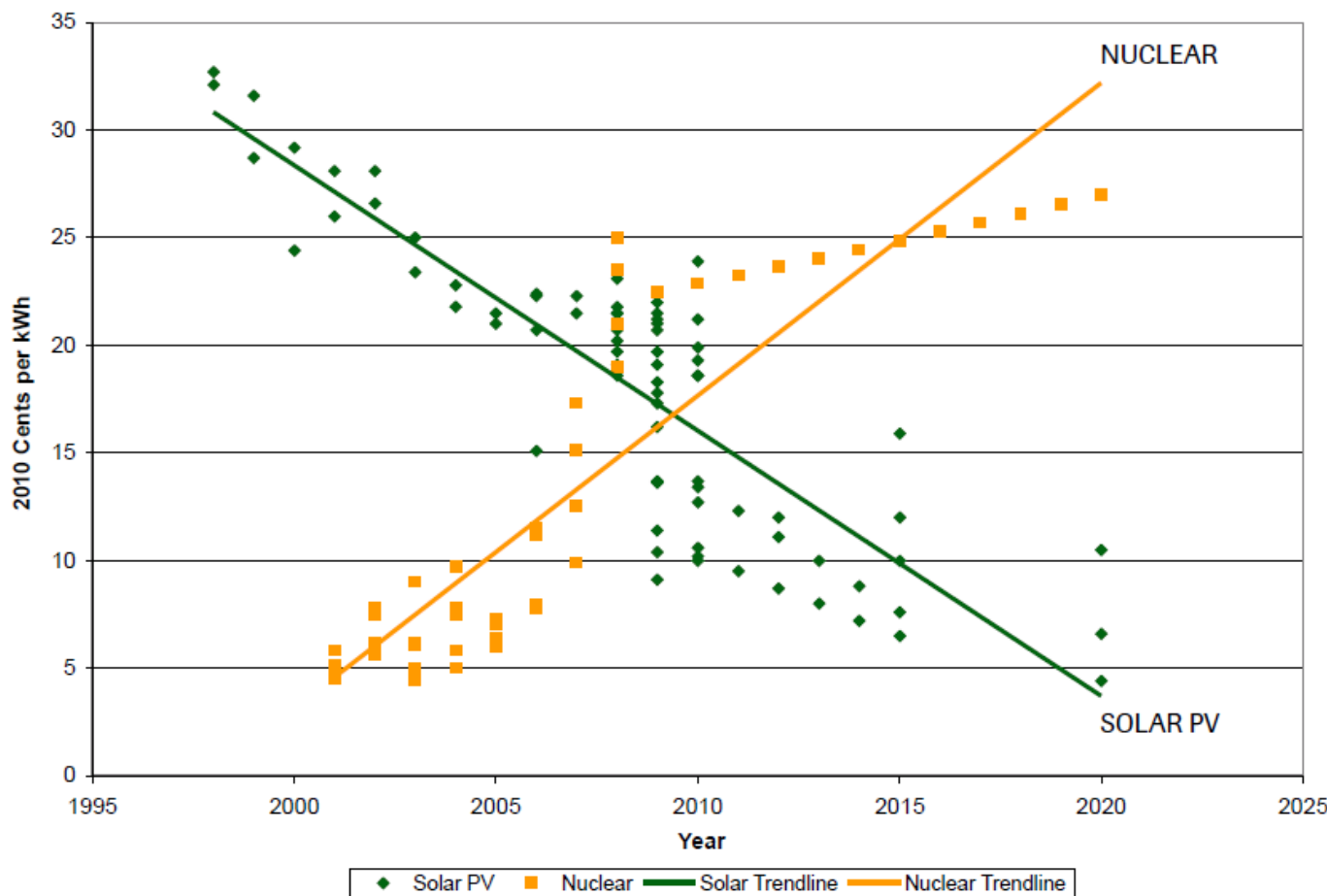


注)送電コスト含む。風力発電は陸上のコストのみを表示。温暖化影響被害以外の原子力の放射性被害等の外部費用は含んでいない。

孫正義論文(「世界」2011年6月号) の検証

太陽光発電は原発コストを既に下回っているのか？

孫論文では、J. Blackburnらの報告書（核廃棄物を問題視するNPOによる報告書）のグラフを引用し、2010年には太陽光発電が原発の費用を下回っているとしている。



太陽光発電は原発コストを既に下回っているのか？

J. Blackburnらの報告書での不相当と考えられデータ（原子力に、根拠の乏しいメディア推計値を利用+太陽光発電の補助金分（税還付分）を差し引いている点）を調整すれば、やはり、原子力発電コストは、太陽光発電コストを大きく下回る。

RITEの推計と、この調整後のBlackburnらの推計とを比べると、太陽光発電についてはRITEとほぼ同様のレベル、原子力についてはRITEの推計では将来的な設備費の増大を想定していないため、RITE推計が若干高いもののさほど大きな差はないことが理解できる。

日本の太陽光発電費用推定

ノースカロライナ州の日照条件からの稼働率:18%、日本:12%を考慮して推定した日本の太陽光発電費用:52.5¢/kWh

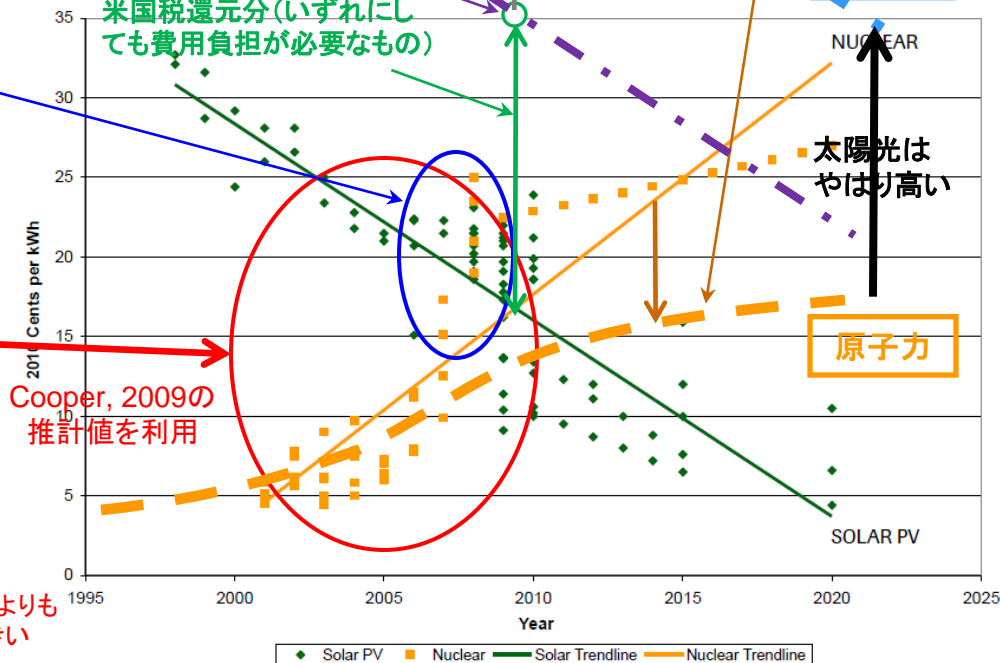
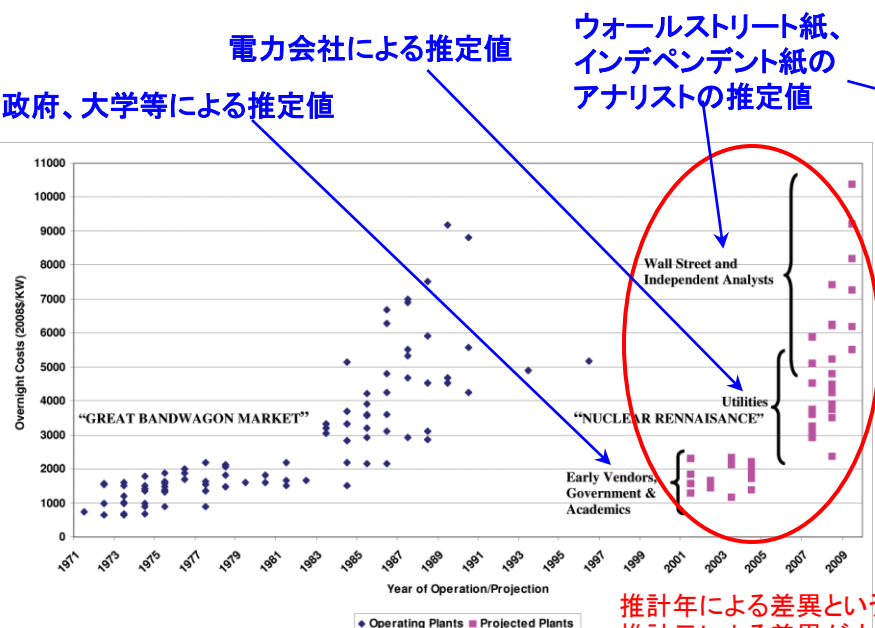
ウォールストリート、インデペンデント紙の推定を除いた「より妥当な」原子力費用推定

ノースカロライナ州における現在の真の太陽光発電費用:35¢/kWh

米国税還元分(いずれにしても費用負担が必要なもの)

太陽光

原子力



出典) M. Cooper, 2009

推計年による差異というよりも推計元による差異が大きい

月500円の電気代増で安心安全が買えるのか？

孫論文では「一般家庭の1ヵ月平均電気代は約8000円ですが、ここに先ほどの「40円、20年」の買取価格を上乗せすると、一時的に約500円電気代が上がる。しかしこれで安心安全が買えるのです。」としている。

1) 前述のように、「既に2010年で原子力と太陽光発電の費用が逆転している」と主張する一方で、「太陽光発電に「40円、20年」の買取価格を設定すべき」と主張し、両者が全く矛盾したものになっている。仮に孫が指摘しているとおり既に費用が逆転しているのであれば(前述のように、実際は太陽光発電は原子力に比べ相当高いが)、太陽光発電の買取価格を設定しなくても、市場に任せておけば太陽光発電が選択されるわけで、買取価格を設定する必要はないはずである。つまり、40円/kWhの大きなコスト差があることを、孫は暗に認めているわけである(先に示したRITEの推計結果と大きな差はない。なお、H23年度の買取価格は40~42円/kWh(買取期間10年)と決定されている。)

2) 太陽光発電に「40円、20年」の買取価格を設定したとき、約500円電気代が上がるとしているが、孫論文ではそのときの太陽光発電の導入量を述べていないので、どの程度の太陽光導入に相当するかを求めてみる。家庭の電気料金を20円/kWhとして概算すると、500円の電気代上昇は、日本の発電電力量の3%程度が太陽光発電に置き換わったことに相当する。これはおおよそ福島第一発電所の6基分に相当する(日本全体の原発の1割相当)。孫論文は「これで安心安全が買える」としており、日本の全原発を置き換えられるかのようにも読めるが、全く異なることに注意が必要である。仮に、全原発を太陽光発電で置き換えるには、最低でも5000円程度(63%程度)の電気代アップが必要。実際には太陽光発電の導入量が大きくなれば、追加の系統安定化対策が必要になるため、更に大きな電気代のアップが必要と考えられる。