

固定価格買取制度の現状と今後の課題 (主に日本の太陽光発電に焦点をあてて)

櫻井啓一郎

(産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 主任研究員)

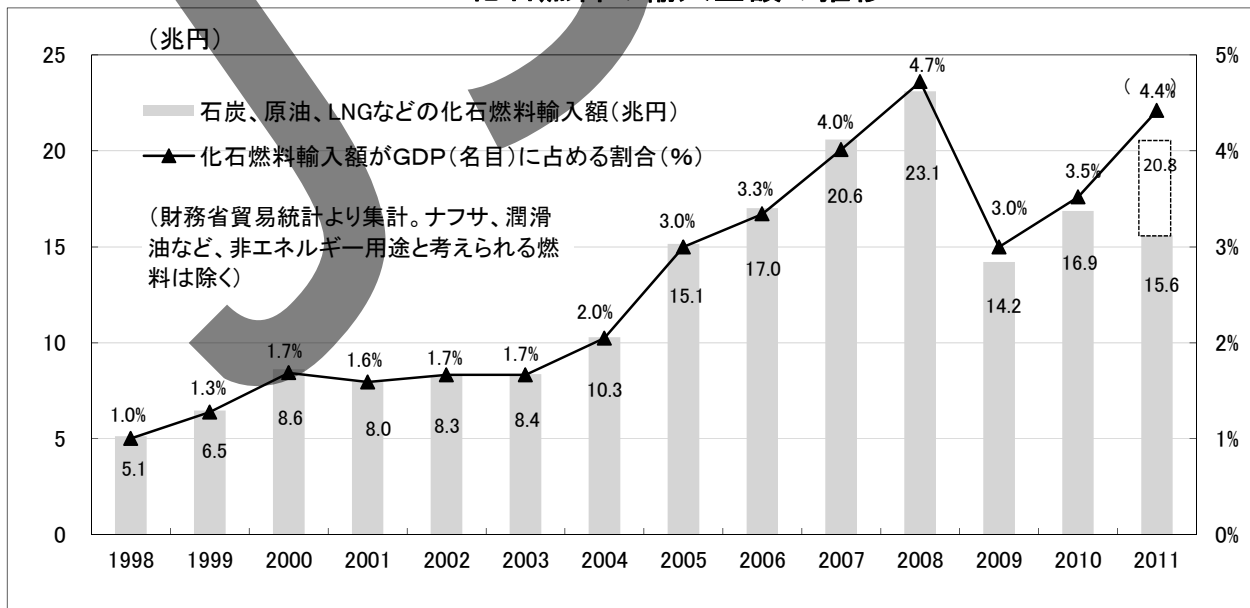
2013年6月3日

<http://ksakurai.nwr.jp>

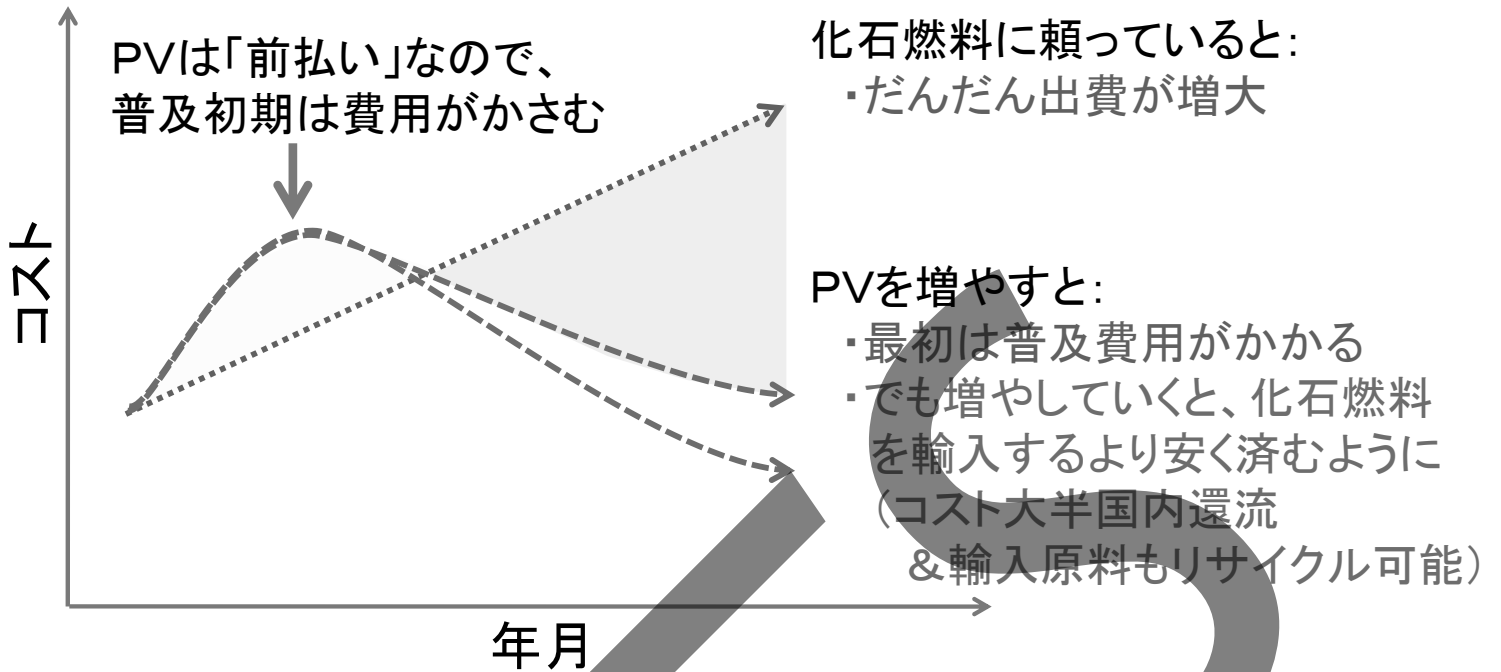
PV普及の意義とは？(1)

増大する化石エネルギー輸入額

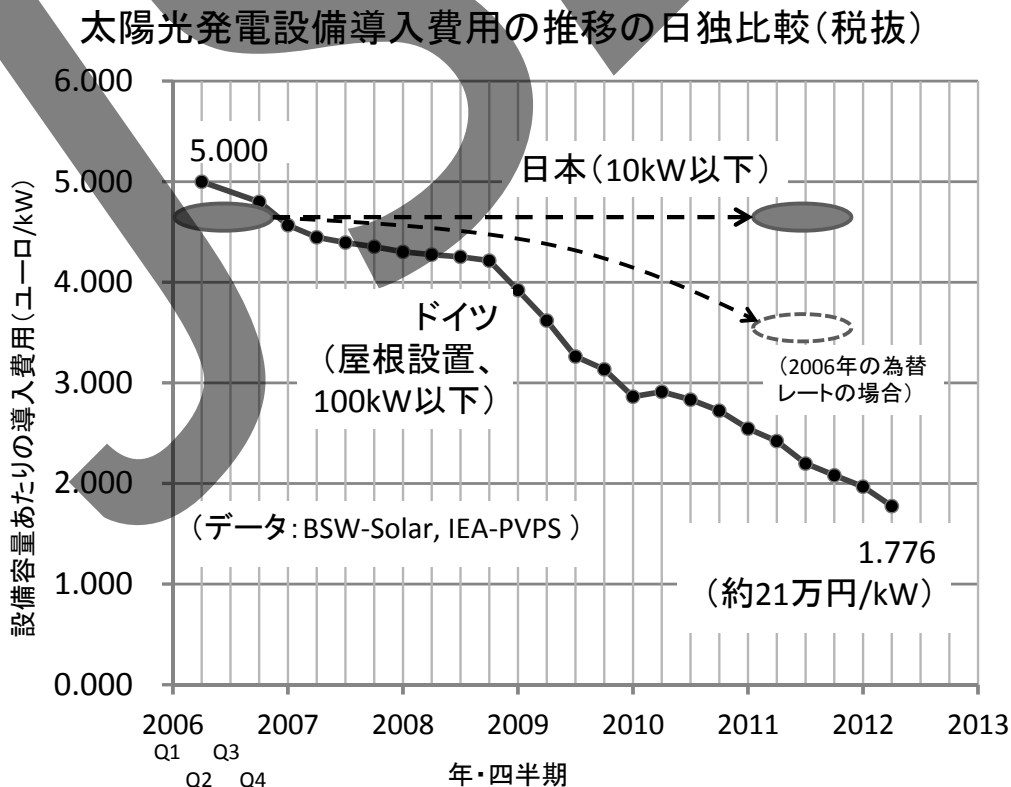
化石燃料の輸入金額の推移



ここ10年で年10兆円前後増加
年20兆円以上のお金が国から流出



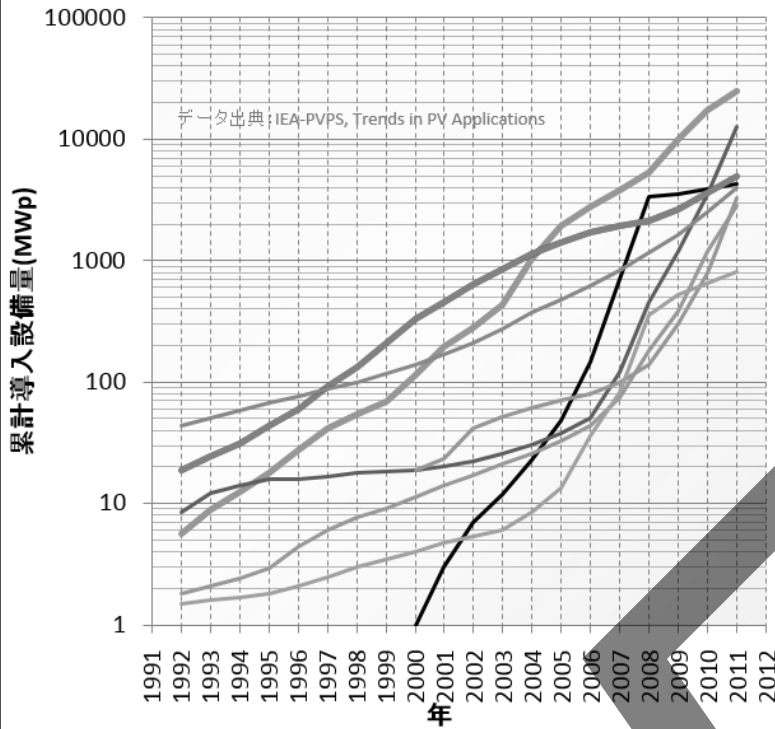
化石燃料のコストを抑えるのが目的
→達成できないと見られれば、いつでも打ち切られる！



設備導入費で2倍以上の差(FITの買取額(タリフ)では3倍以上)
彼我の価格差は技術的要因よりも、人的要因によるところが大きい⁴

日独の普及量の差

各国の太陽光発電累計導入量の推移

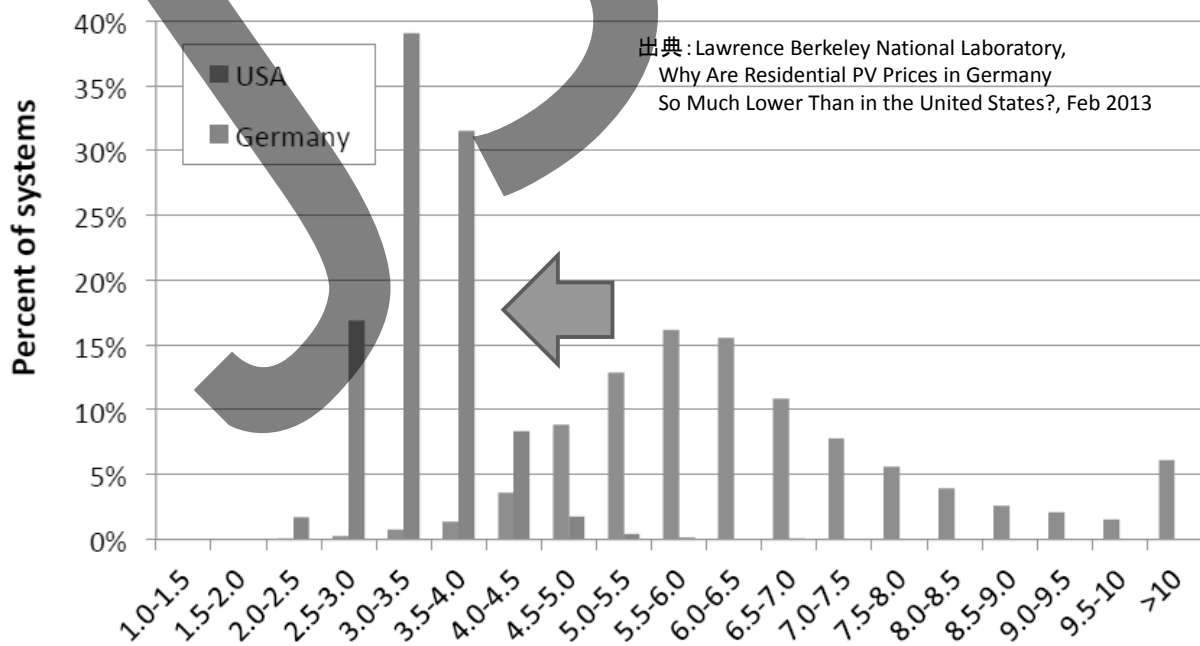


2005年頃に累計導入量で日独逆転
2011末でだいたい5倍の差
人口あたりでは7~8倍

太陽光は累積普及量が2倍になる
ごとに約2割価格が下がっている。
8倍の差は6割の価格低減に対応
→ほぼ経験曲線通りの価格差

何をすべきなのか

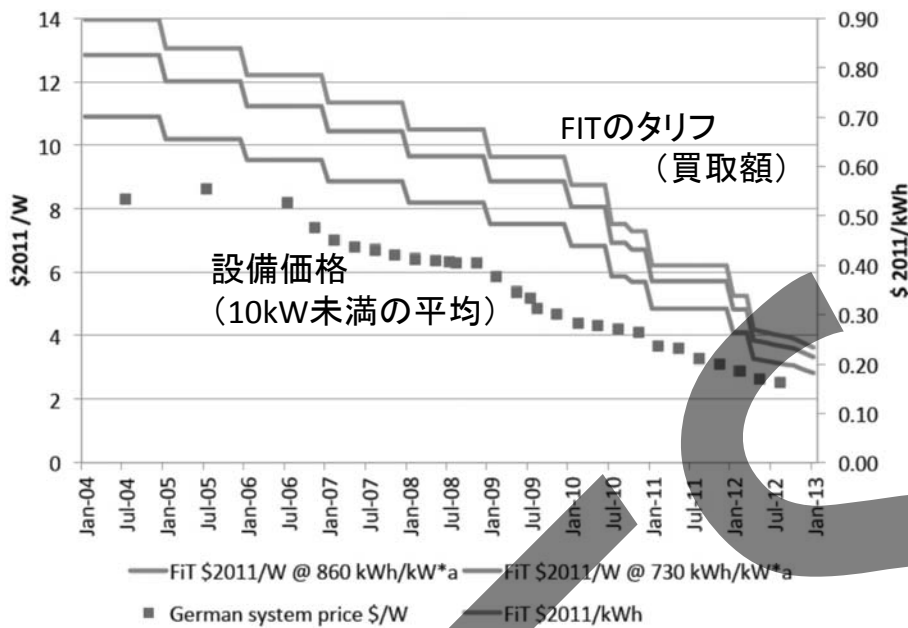
Frequency Distribution:
Installed Price of ≤10 kW Customer-Owned Systems Installed in 2011



導入費用の分布を低価格側に"寄せる"必要性がある

買取価格はどんどん下がる

German FiT and system prices
(<10kW systems)



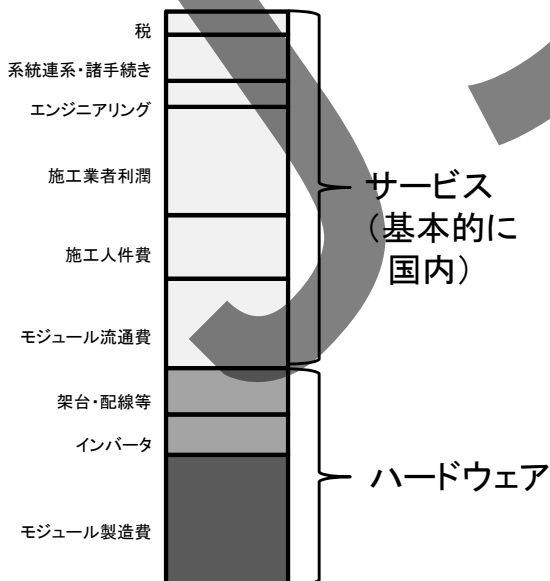
Source: Why are residential PV prices in Germany so much lower than in the united states?, LBNL, Feb 2013 Revision

買取価格をタイムリーに下げたことがドイツの成功を生んだ
(米ローレンスバークレー研究所)

7

コストの内訳

太陽光のコスト構造の解析例
(米国、2011年)



(日本でも似たようなコスト構成と見て良い。)
例えモジュール(パネル)等を
輸入しても、コストの半分以上は
国内経済に寄与すると見込める。
(むしろ競争促進のため、ある程度は輸入も必要)

出典: NREL, An Economic Analysis of Photovoltaics versus
Traditional Energy Sources: Where are We Now and
Where Might Be in the near future?

モジュール(パネル)の製造費は、発電コストの2割程度に過ぎない。
それ以外の8割のコスト低減が重要となる。

8

- ・10kW以上の太陽光発電:
税引き前の内部収益率 (Internal Rate of Return; IRR) が
6%に設定
- ・上記はエクイティIRRなので、低利の借入を併用した
場合はより高い収益率に(レバレッジIRR)
- ・おまけに設備も、どんどん安くなってるので...(略)

...だがそれも、設備がまともに動けば、の話。

- ・何らかのトラブルで発電量が減少すれば、
利益減少や損失の可能性も。
- ・助成の費用対効果がその分悪化、国益上も損失。
- ・買取価格が下がっても生き残るには品質が必要

9

システム停止(出力ゼロ)になる不具合モード (概して、トラブルに気付くこと自体は容易)

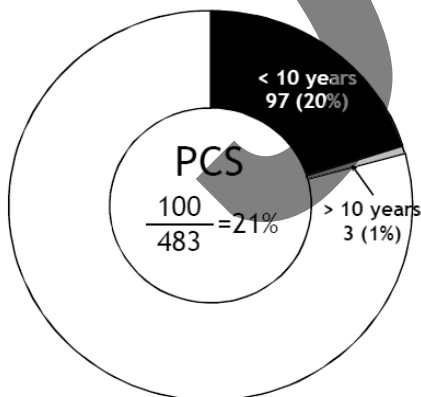
パワコンの故障

(殆どが出力ゼロ。
出力低下のみの故障はまれ)

漏電

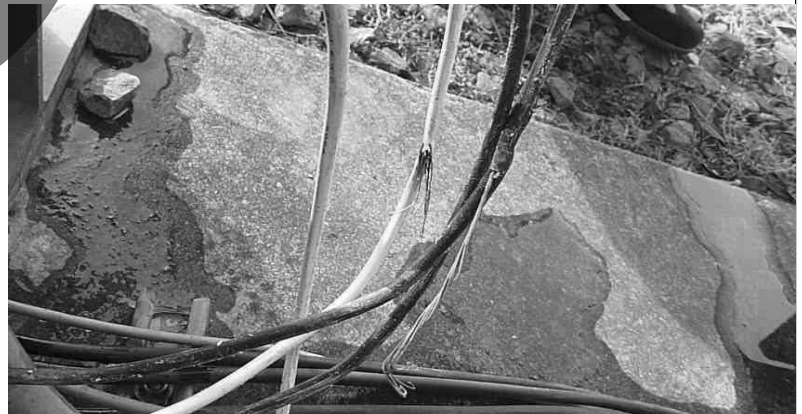
(施工時の不良によるものが
後年トラブルを起こした例)

PV ResQ! プロジェクトで調査した483の日本国内の住宅
用システムのうち、修理や交換になったパワコン



(a) Power conditioner

(K.Kato, Proc. SPIE 8112, doi:10.1117/12.896135)



その他、周囲の看板や建築物による影、
ネズミ等による食害、盗難、トラック故障
(追尾式の場合)、等々

出力が(異常なペースで)徐々に落ちる不具合モード (トラブルそのものの発見が遅れやすい)

モジュールの異常劣化

(設計不良による内部断線の例)

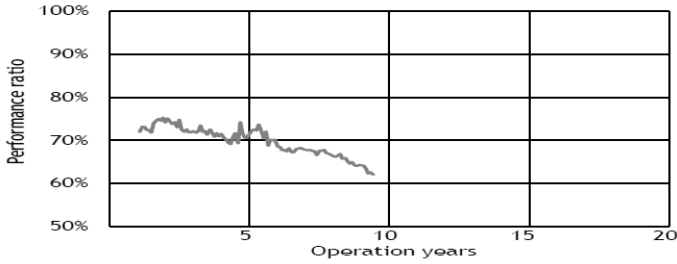


Figure 4. A trend in performance ratio of residential PV system (1)



(K.Kato, Proc. SPIE 8112, doi:10.1117/12.896135)

木の影

(樹木の成長の想定不足の例)

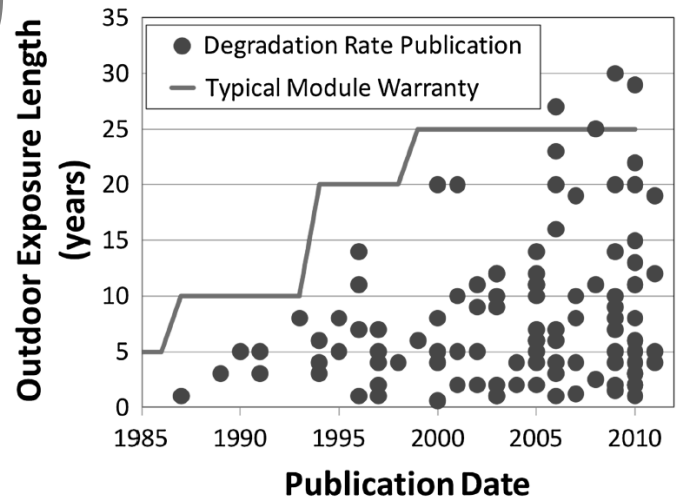
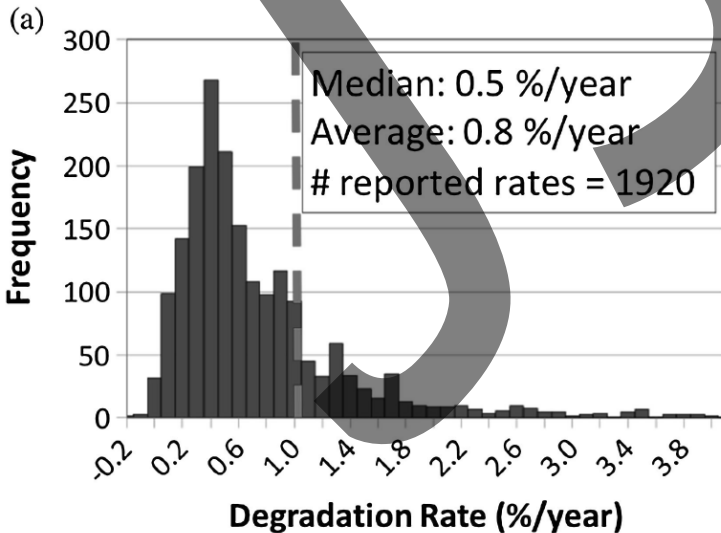


その他、雑草繁茂、飛来物による影・破損、架台劣化変形、等々

モジュールの劣化率

世界中の1920例の調査のまとめ

(D. C. Jordan and S. R. Kurtz, Prog. Photovolt: Res. Appl., 2011)



出力低下率は、大半は1%/年以下
(20年後でも初期の8割以上の性能を保つのが普通)

屋外暴露試験の報告と並行して
モジュールの保証期間も伸びている

モジュール自体の寿命は、今後30年以上に伸びることが見込まれる(=発電コストさらに低下)
その一方、劣化率が年1%を超える製品も2割程度市場に存在してきた

不具合による発電量の低下が収益性に与える影響を試算する。

2種類の不具合モードを仮定する。

- ・徐々に発電量が異常に低下する不具合の代表として：
PVモジュールの異常な劣化によるシステム停止を仮定

- ・システム停止を起こす不具合の代表として：
パワコンの故障によるシステム停止を仮定

それぞれ、我々が把握しているデータを基に発生頻度を設定。

250kWのサブシステム × 8 = 2MWの設備を想定

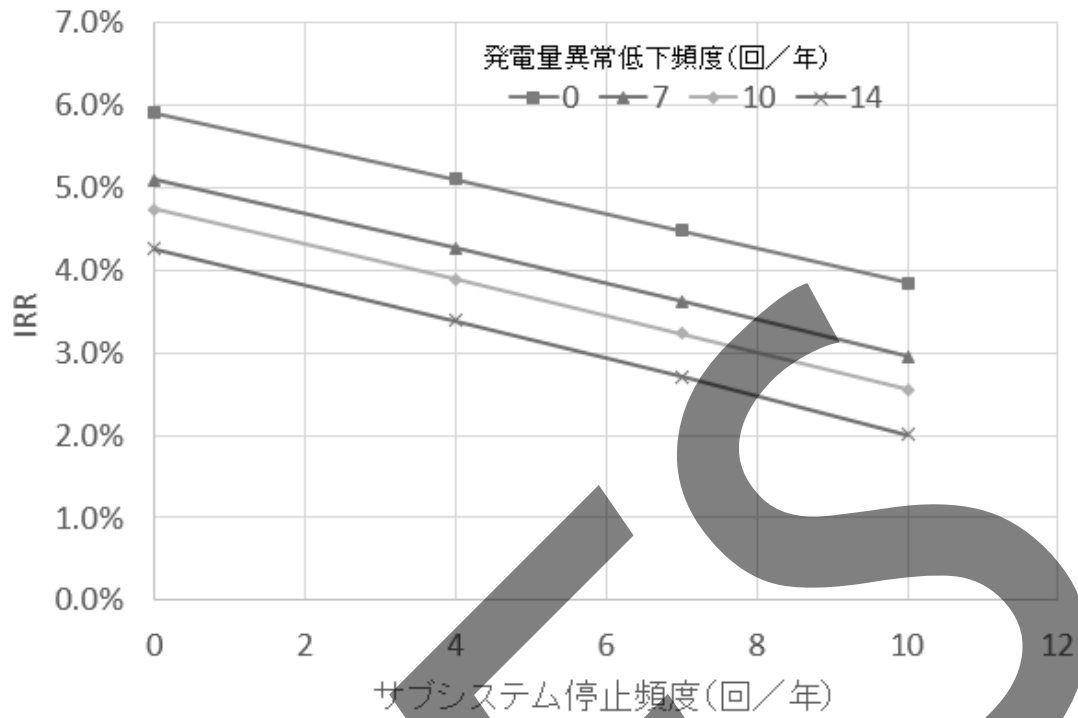
PVモジュールの劣化率、年間経費、年間停止回数
故障発見までの期間、モニタリングサービス利用の有無
買取額(タリフ)の減額
等々を変化させて試算。

標準の条件

サブシステムの規模	250kW (出力低下はサブシステム単位で捉える)
発電サイトの規模	250kW × 8 = 2MW
税別の売電単価	36円/kWh
年間発電電力量	1050kWh/kW
モニタリングサービス依頼費用	100万円/年 (発電量異常低下の速度は5%/月と仮定。 モニタリング時は30日、無ければ 90日で発見と仮定)
不具合復旧費用	20万円/回
復旧までのサブシステム停止期間	10日間
初期投資額	6.8億円
撤去費用	0.34億円
発電出力の(通常の)経年劣化率	1.0%/年
年間経費	2210万円/年
発電量異常減少の発生頻度	4回~10回/年/8サブシステム (発電量が5%/月減少、30~180日経過後に発見と仮定 復旧に10日、復旧作業中はサブシステム停止)
サブシステム停止の発生頻度	7回~13回/年/8サブシステム (サブシステムが停止、即時発見、復旧に10日)

トラブル頻度の影響

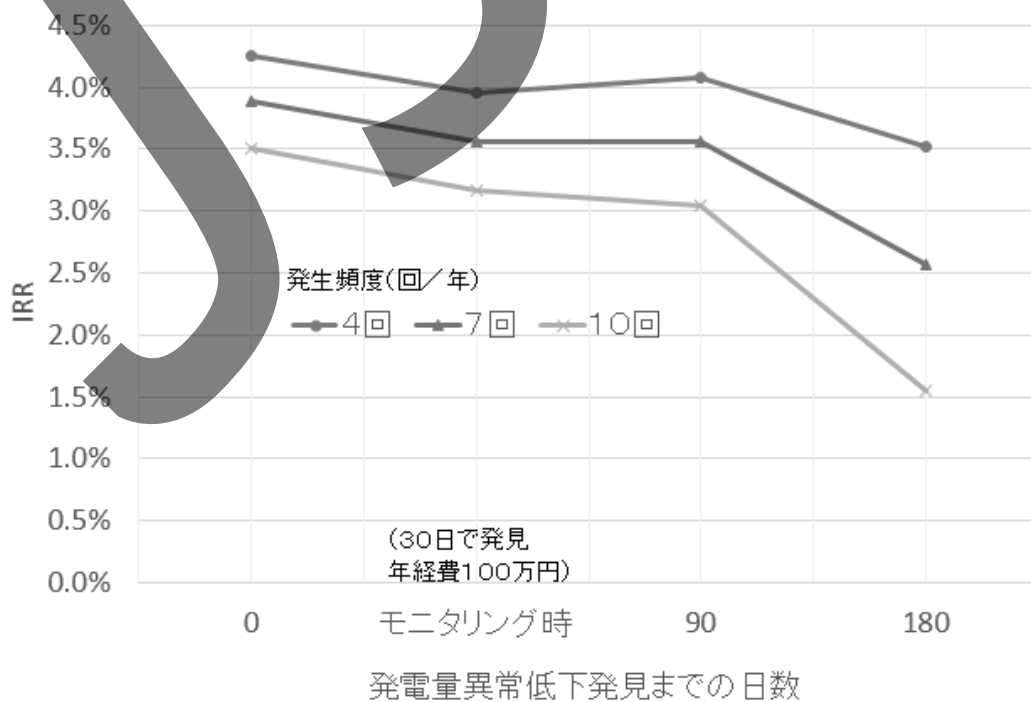
トラブル頻度によるIRRへの影響



15

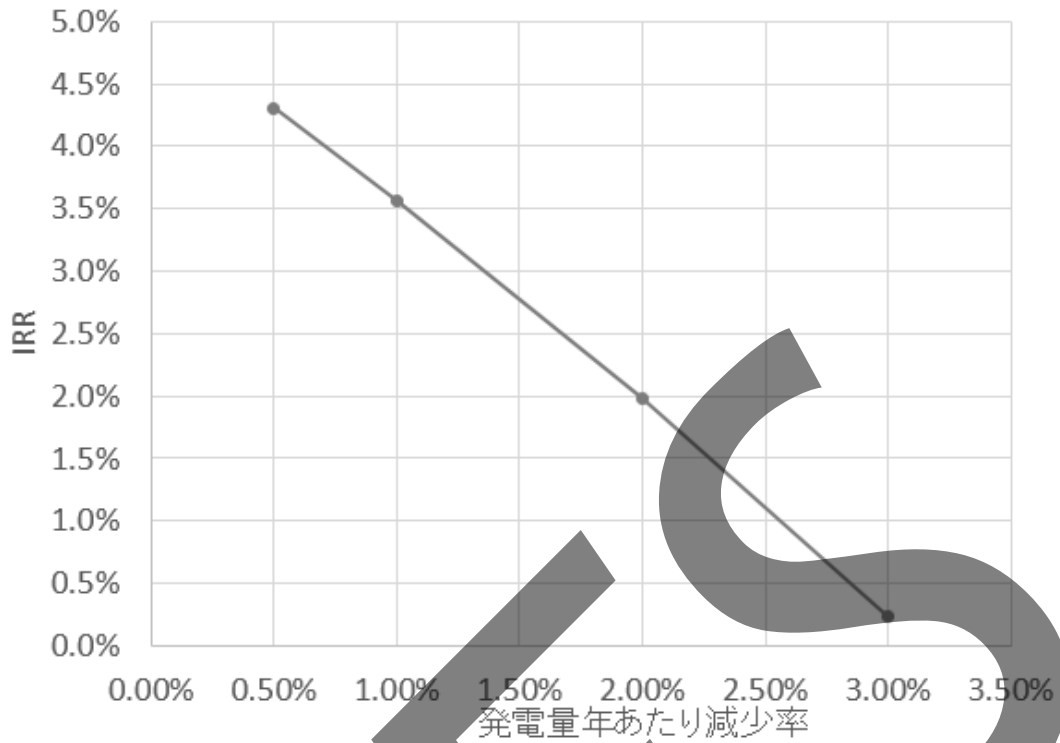
モニタリングの効果

発電量異常低下発見までの日数とモニタリングの効果

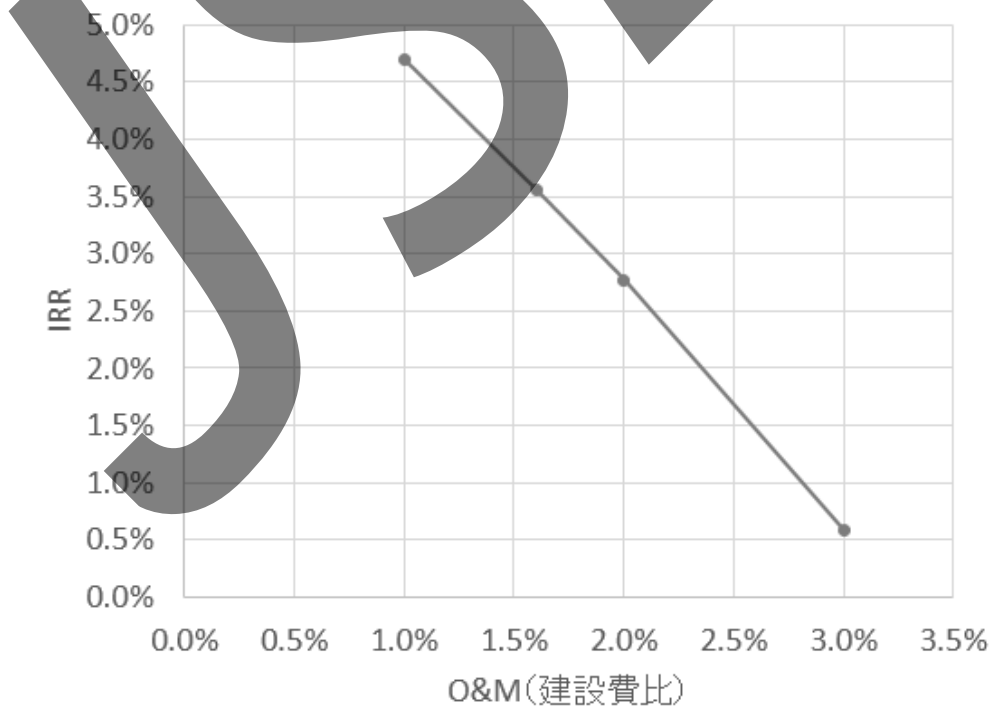


16

経年劣化の影響



運用保守費の影響

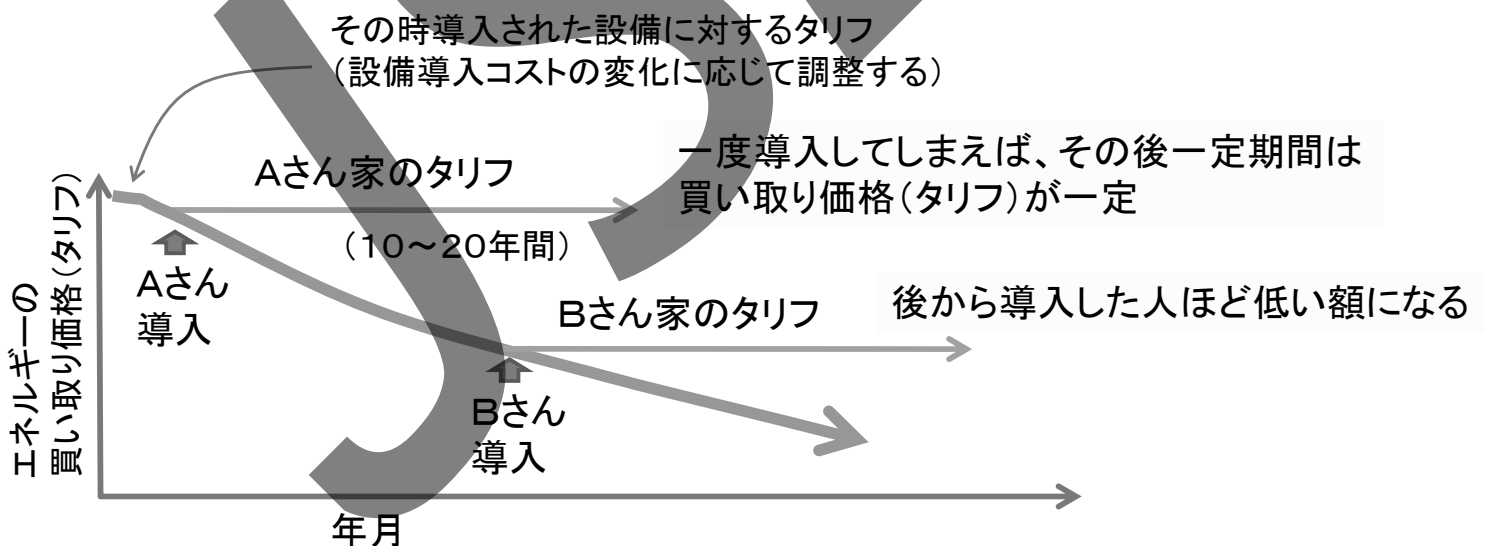


設備の品質は、発電所の収益にクリティカルな影響を与え得る

- ・発電量の経年劣化の影響が大きい(品質重要)
- ・システム停止回数もそれなりに影響がある
- ・ダウンタイムの影響大、サポート体制重要
- ・モニタリングはそこそこ効果がある

19

固定価格買取制(FIT)のしくみ



導入した設備が順調に発電するならば、
導入時点で損益の目処が立つ。

世界各国の実績からみて、普及初期段階における
費用対効果が平均的に最も高い助成方式 (IEA, Deploying Renewables)

20

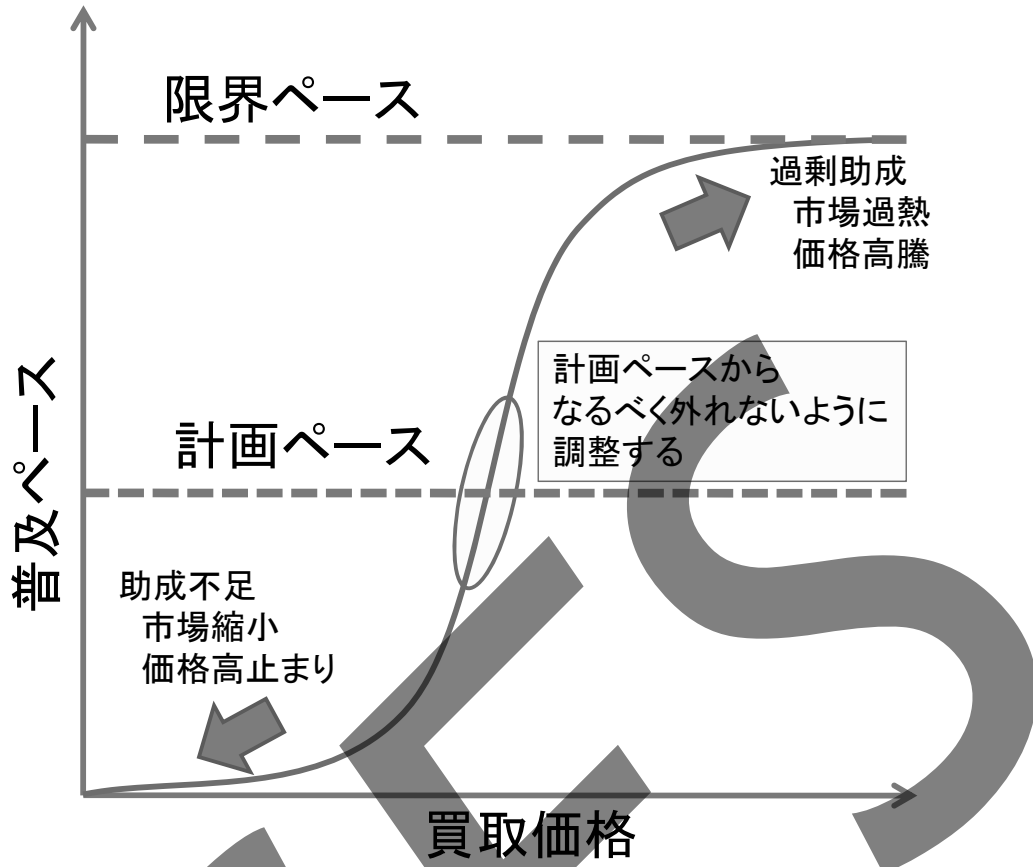
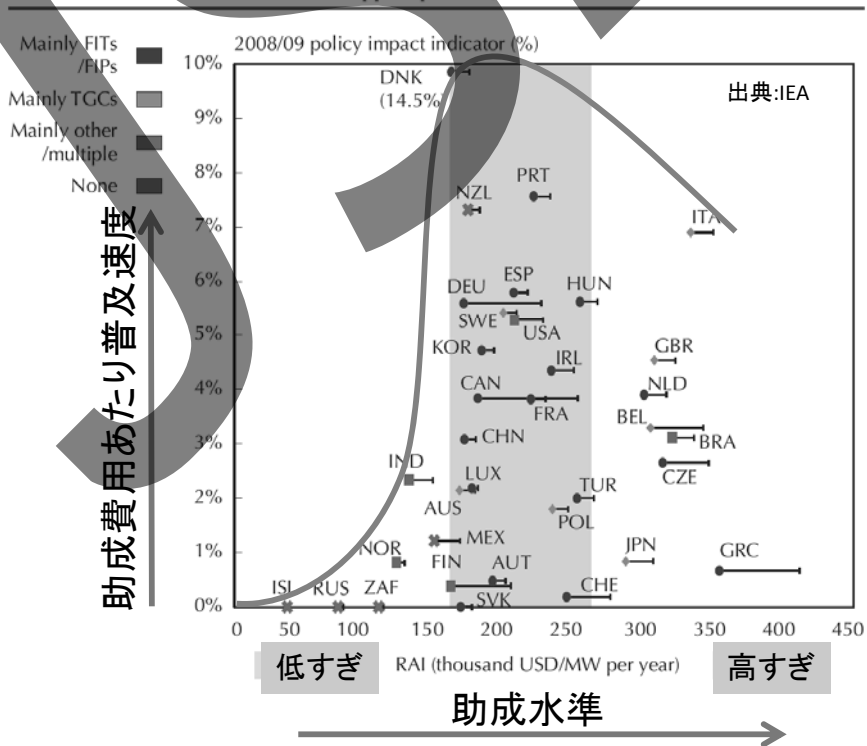


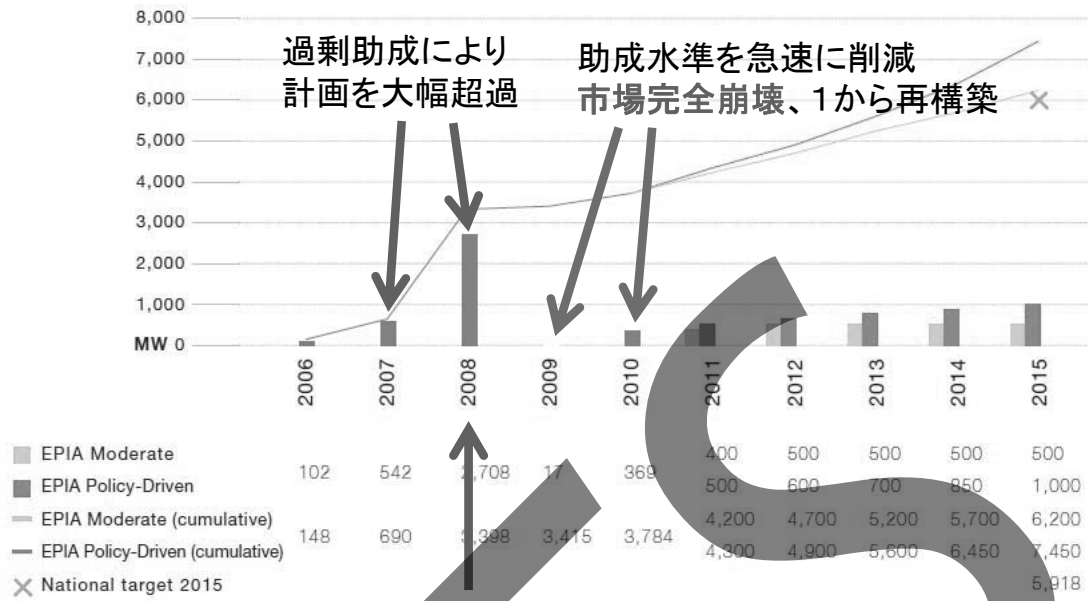
Figure E.3 Remuneration adequacy and policy impact indicators for onshore wind support policies, 2008/09



助成が多すぎても少なすぎても費用対効果悪化
どこかに丁度良いところがある

助成が多すぎた例

例:スペインの太陽光発電設備の導入量と予測



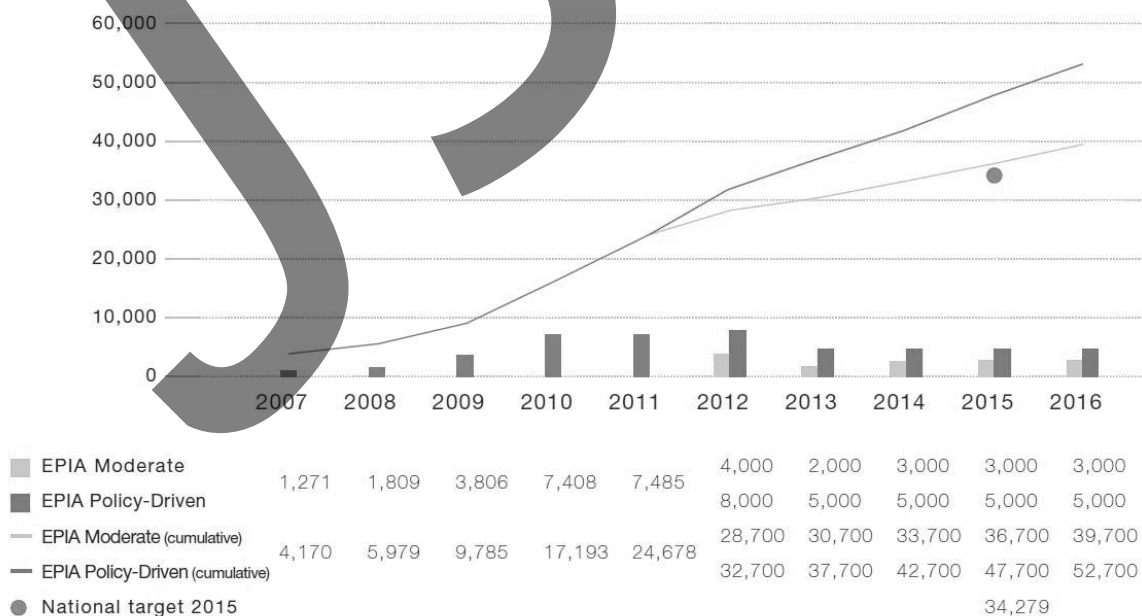
計画外の増加に国内産業が対応できず、
2008年は9割以上が輸入品になってしまった

EPIA, Global Market Outlook Until 2015

甘やかしすぎてもダメ!

一通り普及したあとは?

Figure 18 - Germany (MW)



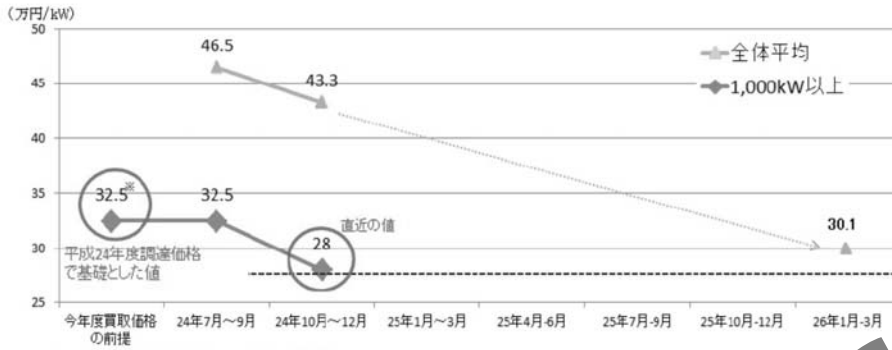
EPIA, Global Market Outlook Until 2016

ドイツは控えめなシナリオでも当面の目標(2015年に35GW)を達成する
→ 今後は太陽光の導入ペースは抑えめになる見込み(国内企業は淘汰へ)

助成による拡大は数年間、その後は淘汰。

H24年度中の値下がりと結果

【参考2】非住宅用太陽光発電のシステム費用の推移



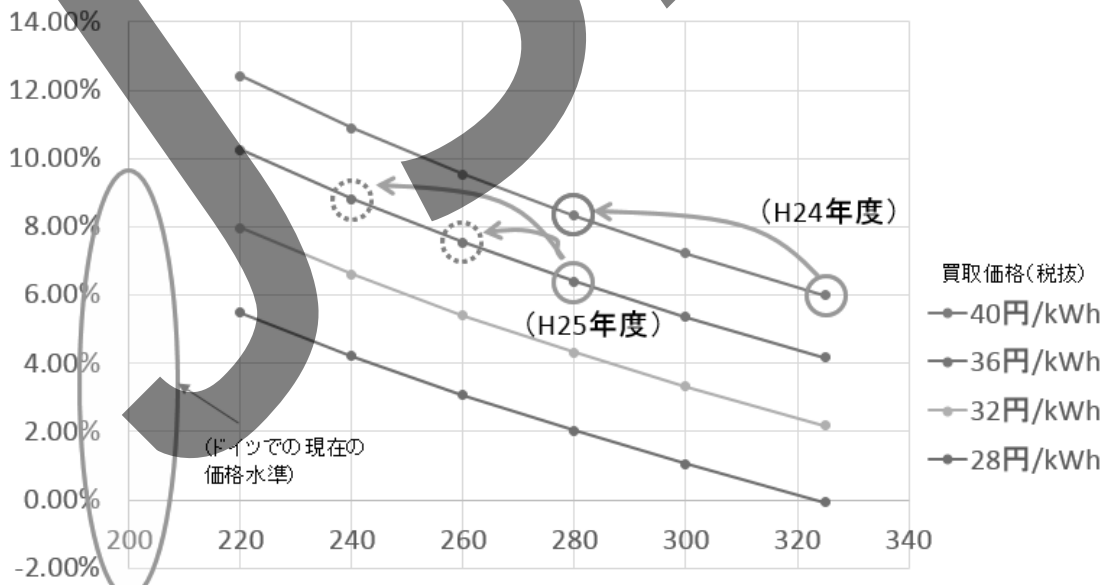
<2012年度における再生可能エネルギー発電設備の導入状況(2月末時点)>

	2011年度末時点における累積導入量	2012年4月～2013年2月末までに運転開始した設備容量	(参考) 2月末までに認定を受けた設備容量
太陽光 (住宅)	約440万kW	113.7万kW (4～6月 30.0万kW)	124.6万kW (前月比+28.8万kW)
太陽光 (非住宅)	約90万kW	42.2万kW (4～6月 0.2万kW)	1,101.2万kW (前月比+526.3万kW)
風力	約260万kW	6.3万kW (4～6月 0万kW)	6.0万kW (前月比+5.2万kW)
中小水力 (1000kW以上)	約940万kW	0.1万kW (4～6月 0.1万kW)	2.3万kW (前月比+2.2万kW)
中小水力 (1000kW未満)	約20万kW	0.2万kW (4～6月 0.1万kW)	0.5万kW (前月比+0.1万kW)
バイオマス	約230万kW	3.6万kW ^{※2} (4～6月 0.6万kW)	14.7万kW (前月比+6.3万kW)
地熱	約50万kW	0.1万kW (4～6月 0万kW)	0.4万kW (前月比+0.2万kW)
合計	約2,000万kW	166.2万kW	1,305.9万kW

(出典: METI)

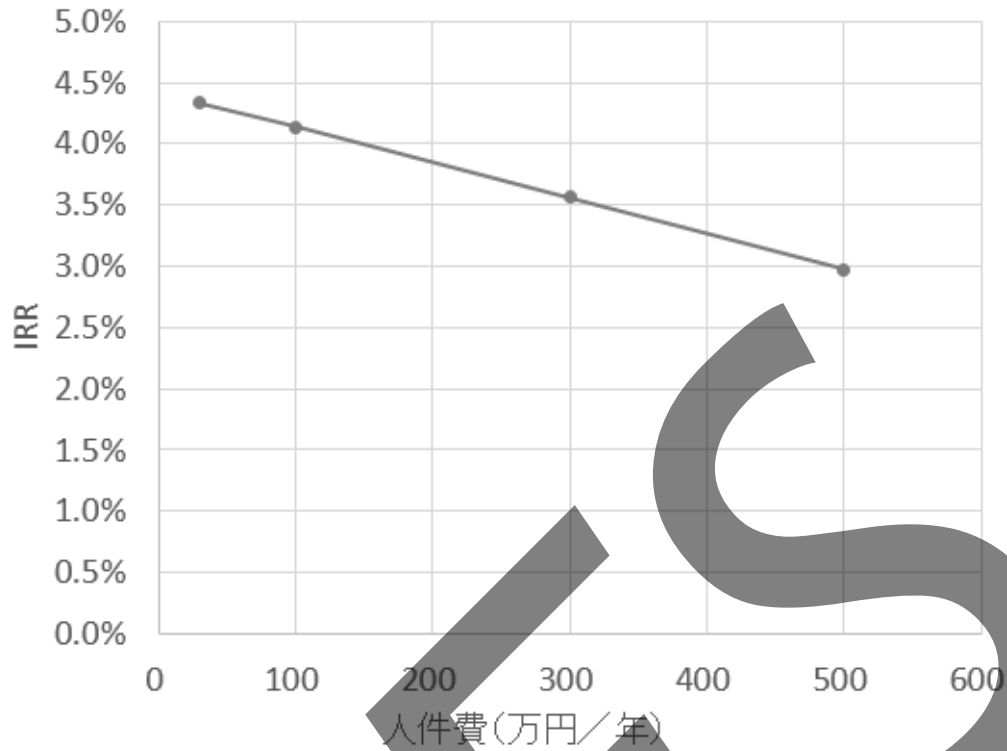
当初予定は昨年度内(実質半年)で全再エネ合わせて2.5GW
 →認定設備量は2月末で11GW。3月までなら15GWを超える勢い
 (実際にどれだけ設置されるかは不明だが、昨年度価格で買い取られることになっている)²⁵

買取価格 vs 太陽光(2MW)IRR(設備コスト別)



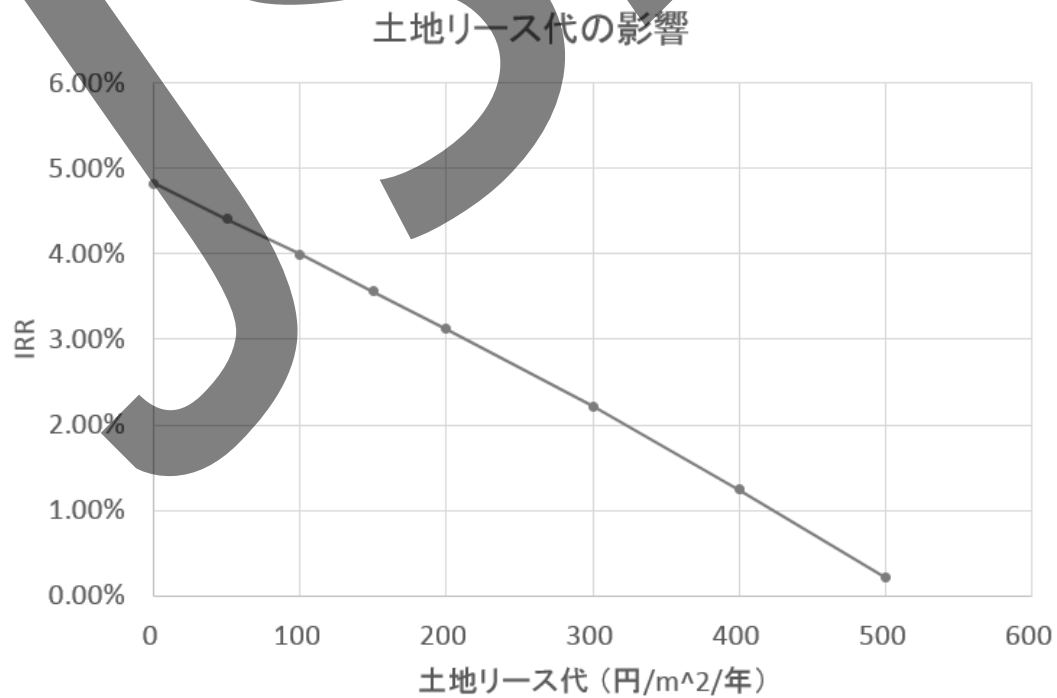
モデル計算でIRRが8%を超えると、計画の4倍以上もの導入ペースになってしまう
 H25年度価格でも、設備価格が1～2割下がった時点で同様以上の導入量が想定される
 世界市場の相場、これまでの実績、現在の市況、企業へのヒアリング等、櫻井が現在把握する全ての情報から考えて、十二分にあり得る。
 (加えて、規制緩和によるコスト低減でIRRはさらに約1%(以上)上がることが見込まれる。)²⁶

主任技術者人件費の影響



規制緩和で委託可能に→IRR1%前後改善？

土地リース代の影響



・費用負担の増大

ドイツを基準に考えれば、再生可能エネルギーの普及費用が年1兆円（人口比考慮すれば1.5兆円）ぐらいで、費用負担に懸念を示す国民がたとえば半分近くになる懸念がある

最初3年間の太陽光普及分だけで、その費用に達してしまう可能性が考えられる他の再生可能エネルギーの普及を妨げる危険性

・系統の強化が追いつかない危険性

再生可能エネルギーの普及には、系統の強化（送電線増設等）が必須（ドイツでもここがボトルネック）

建設に数年（10年以上？）はかかる

蓄電池も、期待されたほどのペースではコスト削減や性能向上が進んでいない（すぐに大幅な改善は期待できない状況）

→あまり急いでも、系統がネックになって急ブレーキがかかる危険性

（例：北海道は現時点でも最大需要6GWに対して数GWの太陽光・風力の申請。）

化石燃料輸入量抑制、気候変動対策、脱原発等、
どの目的にとっても損になる危険性あり

29

現在の全量買取制度(FIT): 最初の3年間は優遇

しかしあまりに導入ペースが速いようであれば、法令の例外条項を発動してでもたとえば下記のような対応が選択肢として考えられる。

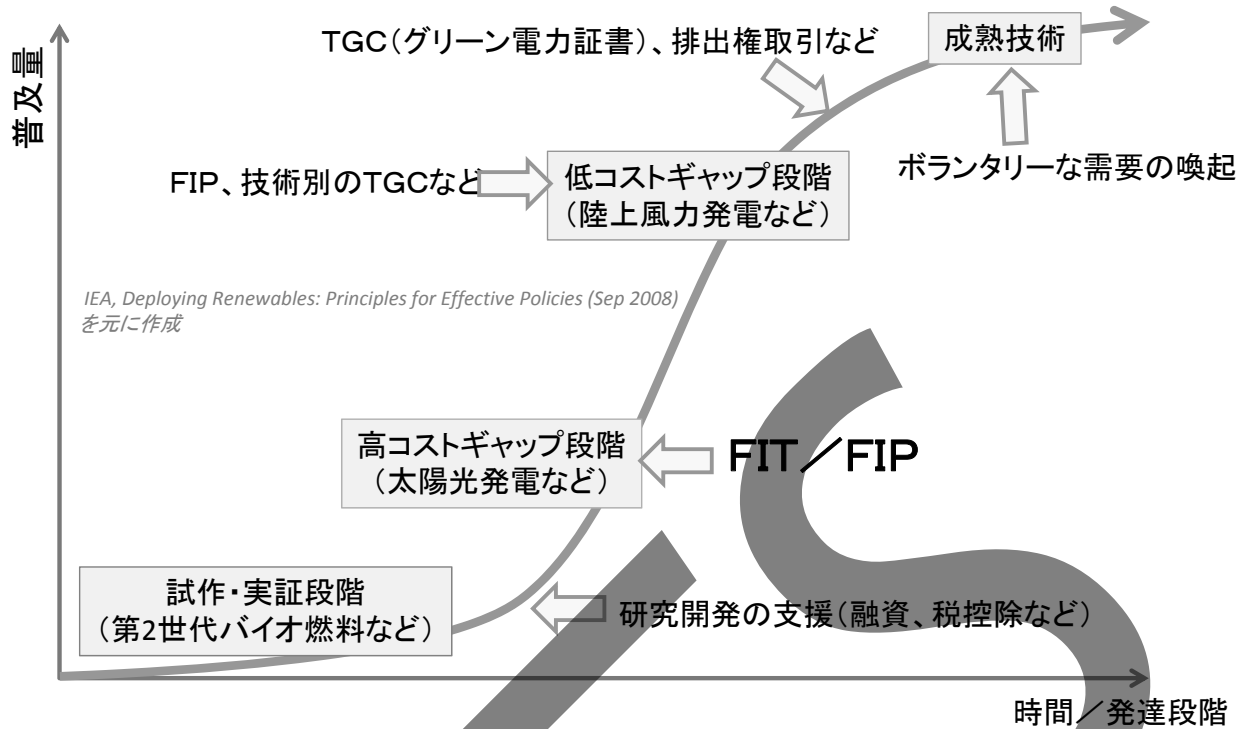
- ・買取価格のより頻繁な引き下げ
- ・IRRの計算の際、期間内に予想される値下がり（&規制緩和効果）を考慮
- ・3年間とした優遇期間の短縮（地熱等は逆に延長の議論もあるが）
- ・期間後に稼働開始した場合、買取期間をその分削減する等のペナルティを課す
- ・事前に取り決めた以上の量が申請された時点で、自動的に買取価格を引き下げ

では、さらにその先は？

太陽光発電は、最終的には10円/kWh近い値段での卸価格が期待されている（ドイツで現在12円程度だが、日照は2割少ない。現在の日本でも可能なはずである。

ドイツは10MW以上は既に助成対象から外れ、自由市場取引。一部で9割買取やFIP(feed-in premium; 市場取引価格にゲタを履かせる形態の助成も)

日本も今後自由市場へ移行していくとき、どんな選択肢があるのか？



本来は普及段階に応じて助成形態も変える
(FIT一本槍のドイツはむしろ例外的)

31

"FITの次"の選択肢の例

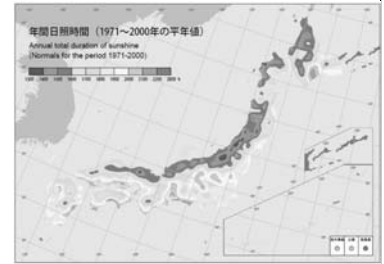
- (a) 単純にFITの買取額や買取範囲を減らしていく
 - (b) FIP (feed-in premium; 市場取引価格にゲタを履かせる形態の助成)
 - (c) 入札式FIT (買取額を入札で決める)
 - (d) グリーン電力証書ベースの方式(RPS等)
- 等々

いずれにせよ、だんだん競争は強まる。
運用コスト低減と品質の確保の両立が必須に。

32

- ・国全体のマスタープランの欠如
どの地域に、どの再エネを、どれだけ、どんなペースで導入するか
送電線をどこにどれだけ設置するか

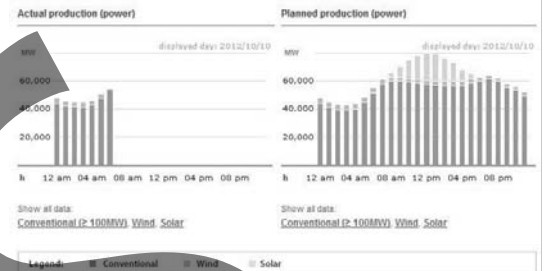
例：北海道は冬期や夜間の電力需要が多い。
風力・地熱・バイオマス等の方が需要にマッチする！



(提供: 気象庁)

- ・変動性電源活用のための情報不足 & インフラ不足

- ・設備の台帳と稼働データのリアルタイム収集
- ・出力予測システム
- ・需給変動に応じた価格設定とスポット市場
- ・遠隔操作による出力抑制
- ・人材教育



(EEX webサイトより)

- ・構造問題

- ・エネルギー供給構造や産業構造の変化への対応そのものが遅い
- ・少子高齢化・教育問題等がそれに輪をかけている
- ・そもそも化石燃料コストの増大リスク(本スライド冒頭)をどれほどの人が認識している？
- ・業界(JPEA)も存在意義の主張が不足。EPIAやSEIAを見做う余地が多々有り

33

助成は多すぎても少なすぎても損である。何事も、過ぎたるは及ばざるがごとし。

昨年度申請分のうち、実際にどれほどが今後建設されるかは不明である
(METIも今のところ、相当割合が建設されないだろうと踏んでいる模様)。
だが多すぎるようなら、今後法令改正まで含めて修正することも選択肢である
(ドイツも実際、過去にそこまでやっている)。

もしも世論の大反発を買ったりすれば、制度丸ごと廃止の可能性も否定できない
(METIがその気になれば、いつでも可能である)。

順調に行った場合でも、収益はどんどん厳しくなる。低いIRRでも運営できるような
高品質の設備建設と運用を。

現在の日本で再エネについて「問題」「課題」と騒がれる事項の殆どは、突き詰めていくと
大抵、なんらかの構造問題に行き当たる。

34

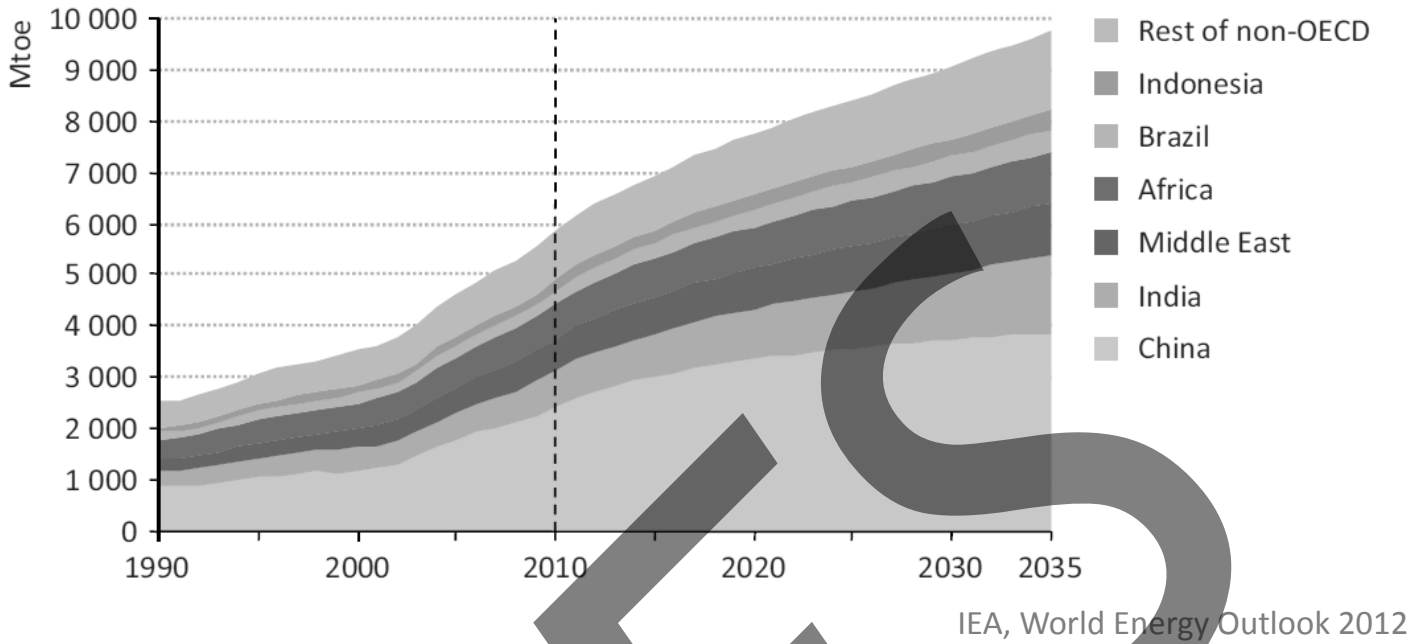
- 品質がすべて。
品質に敏感で無ければ、生き残るのは難しい
- 3年の優遇期間に甘えるな。
業界が強欲すぎれば、全てを失う可能性が常にある
- 問題は技術でなく、「人」。
実用になることは既に他国で実証済み。
日本の遅れは人的要因。構造問題の修正を

35

以下、参考資料
(ごちゃごちゃと)

36

Figure 2.5 ▷ Non-OECD primary energy demand by region in the New Policies Scenario



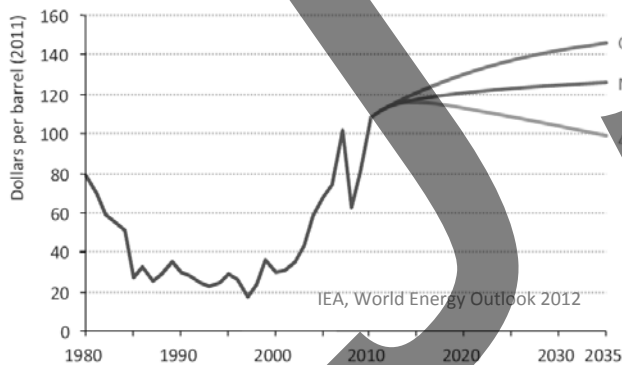
途上国・新興国で増大

37

化石燃料の価格想定例(IEA, 2012)

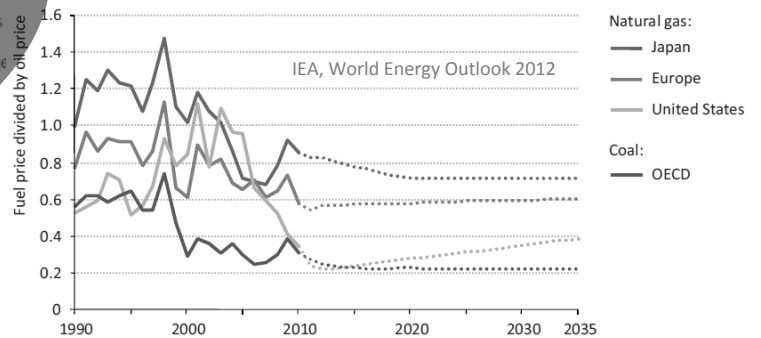
原油価格のシナリオ

Figure 1.1 ▷ Average IEA crude oil price



ガス・石炭の原油価格に対する比較

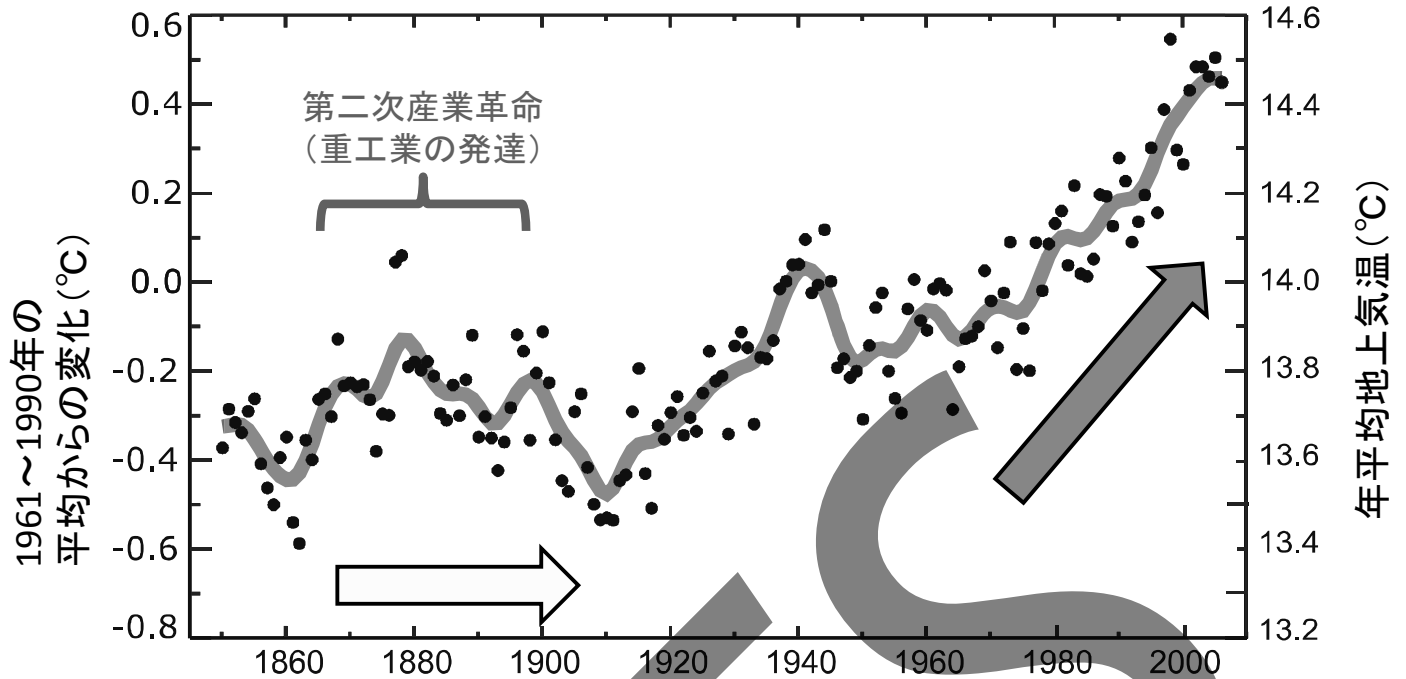
Figure 1.2 ▷ Ratio of average natural gas and coal prices to crude oil prices in the New Policies Scenario



- ・シェールガス等の非在来型資源の開発があってもなお高騰が続きそう
- ・ガスが安くなるのは米国だけ、それも期間限定か
- ・既存資源は質の低下、掘削コスト増大、油田あたり生産量の減少等

大幅改善は望み薄、対策不十分なら更に高騰の可能性。

38



地球の平均地上気温の上昇と加速

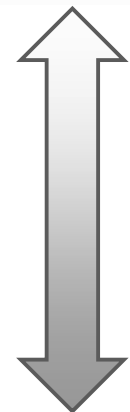
出典：国連の気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 第4次評価報告書

温暖化はどうにも疑いようがない
対策をしないのは経済面でも非合理的(国連、IEA、OECD他)

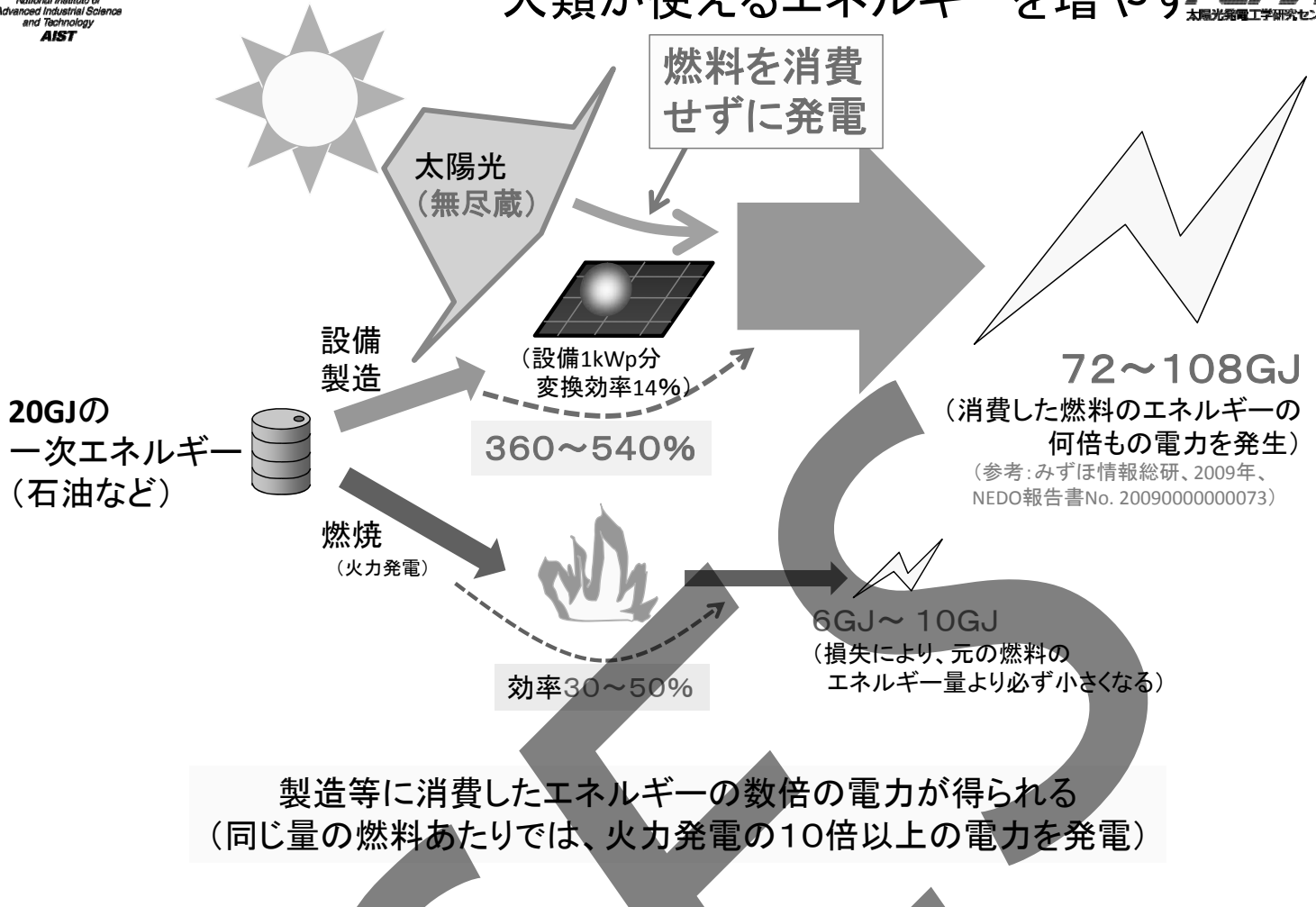
科学的な信頼性のチェック方法

- ・手法やデータそのものの信頼性が十分か
- ・他の科学的事実と整合するか、否定されていないか
- ・別の人による追試で再現されているか
- ・別の実験手順・モデル・測定方法等による追試で確かめられているか
- ・データや信頼性を歪めたり、ねつ造していないか
- ・信頼性の低い仮説を主要な根拠にしていないか
- ・査読等の科学的手順を踏んでいるかどうか
その分野の専門家に広く認められているか
- ・本当にその分野の「専門家」かどうか
主張がその分野で世界的に認められている人物か
- ・陰謀論や詭弁でごまかしていないか

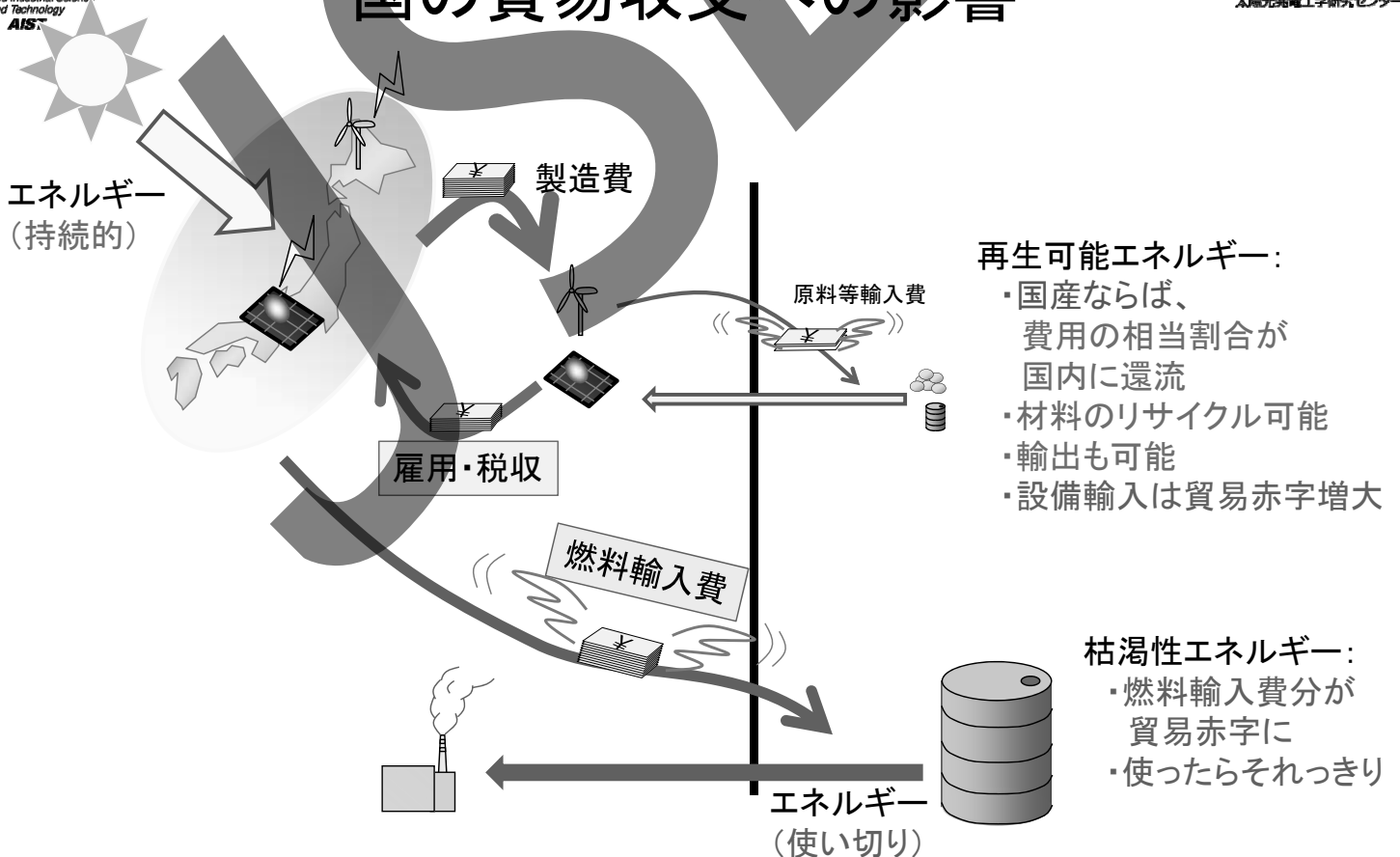
当該分野の専門家による
チェックが必要
・相応の専門知識と、意見の
信頼性の裏付けが必要



専門外の間でも
チェック可能
・主に手続き的・倫理的な
チェック
・比較的容易に調べられる

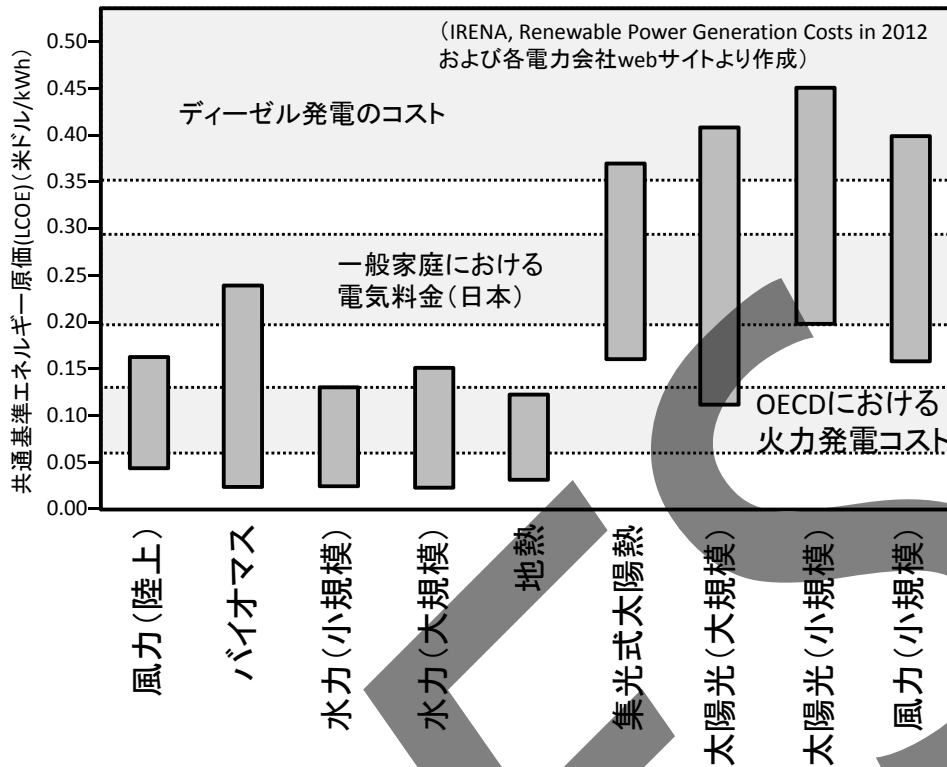


国の貿易収支への影響



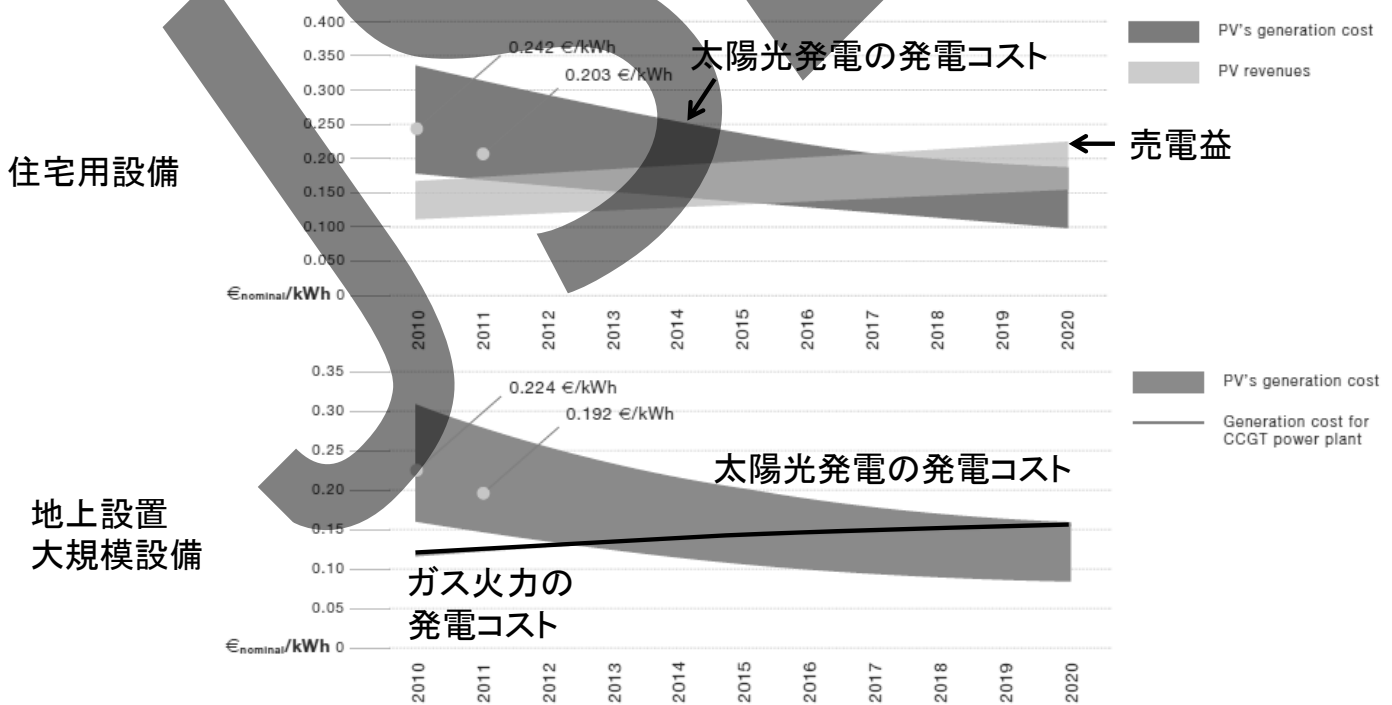
価格でも競争する再生可能エネルギー

再生可能エネルギーの発電コスト(2012年時点)



再生可能エネルギーは既に価格競争力をつけ始めている

太陽光発電の価格動向の予測例



欧州での見積もり(日本より条件の悪い地域まで含む)
出典: Solar Photovoltaics: Competing in the Energy Sector, EPIA, 2011.9

住宅用から大規模まで、全ての用途で10年以内に競争力を持つようになる
→「排出量削減コスト」はどのみちマイナスになる(それまでの間が特に競争激しそう)

化石燃料:

入店料は安いけど、メニューは全て「時価」

- ・あとでどれだけ値上がりするか分からない
- ・他のエネルギーが無ければ、足下をみられる
- ・使い続ける限り、お金が日本から流出

再生可能エネルギー:

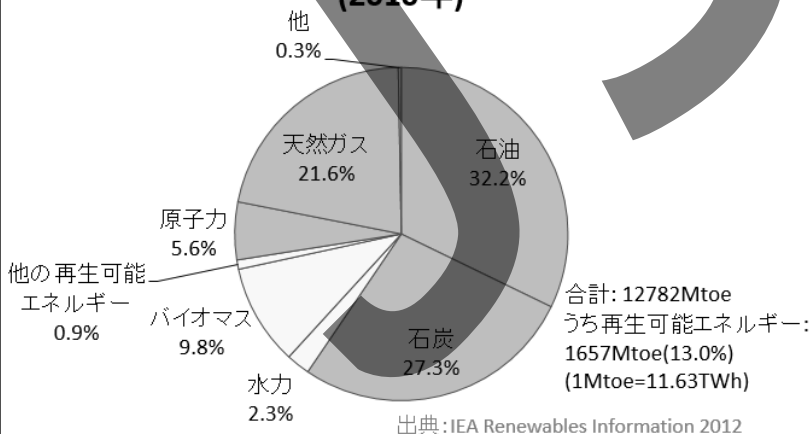
前払い式の飲み放題

- ・普及を進める段階では、まとまった費用がかかる
- ・その後は化石燃料を輸入しなくて済む
- ・将来のコストの見通しも立てやすい

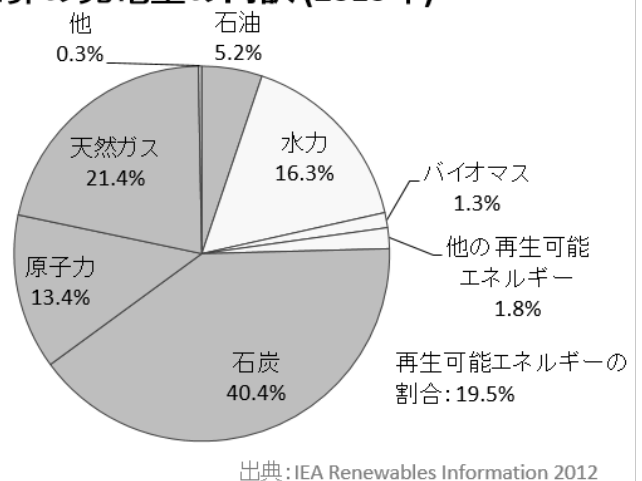
45

世界の再生可能エネルギー導入状況(1/2)

世界の一次エネルギー供給の内訳
(2010年)



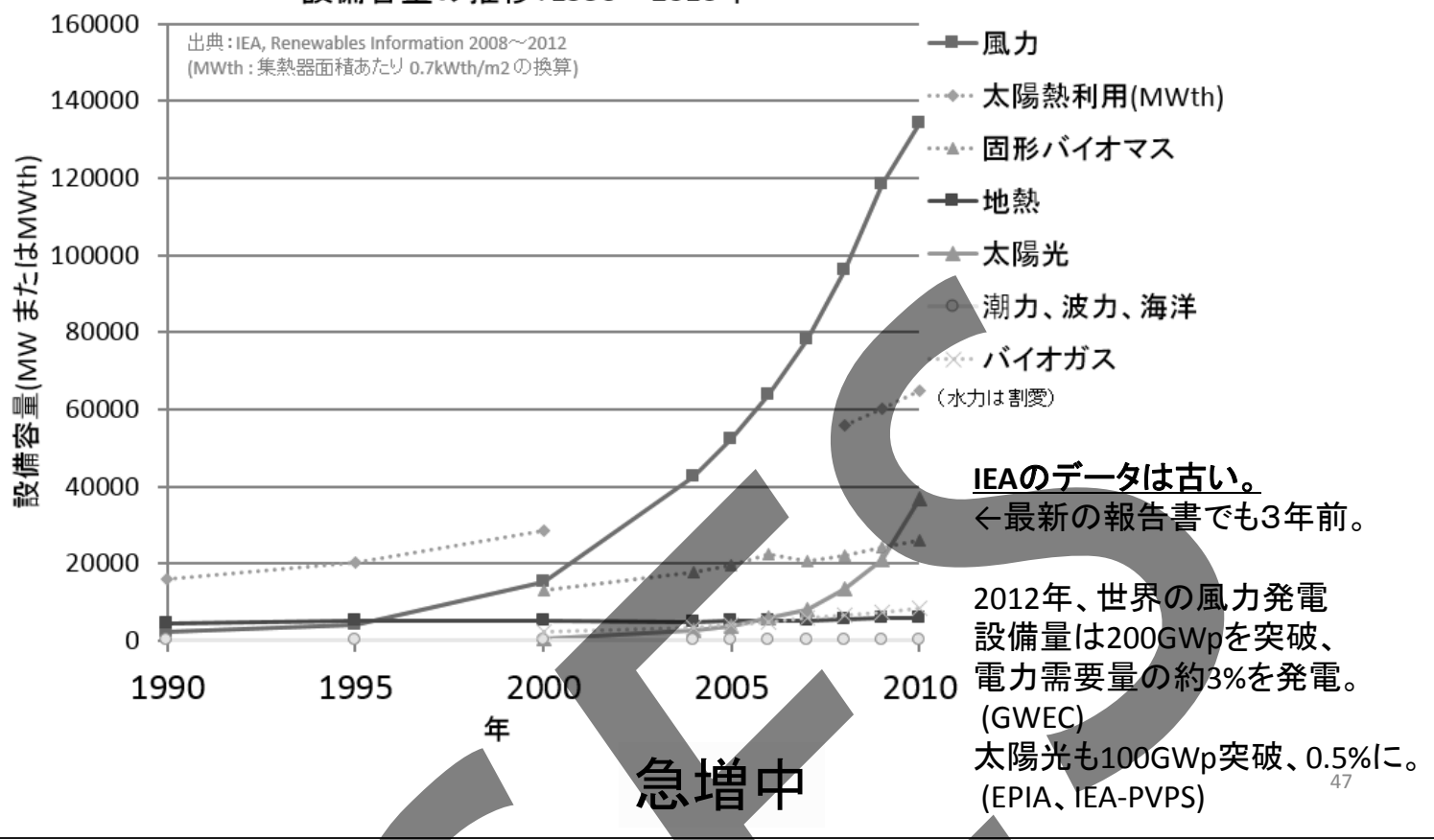
世界の発電量の内訳 (2010年)



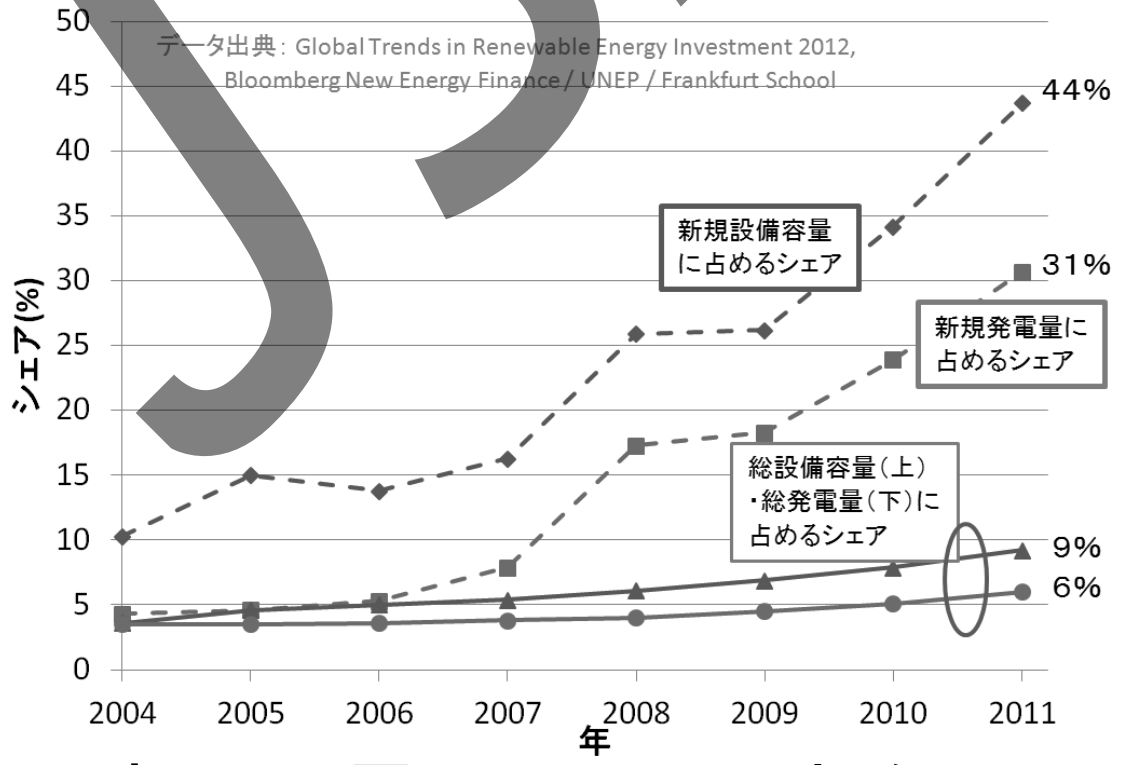
ほとんどが伝統的バイオマス(薪炭など)とダム式水力だが...?

46

OECD諸国の再生可能エネルギー発電／太陽熱利用
設備容量の推移：1990～2010年

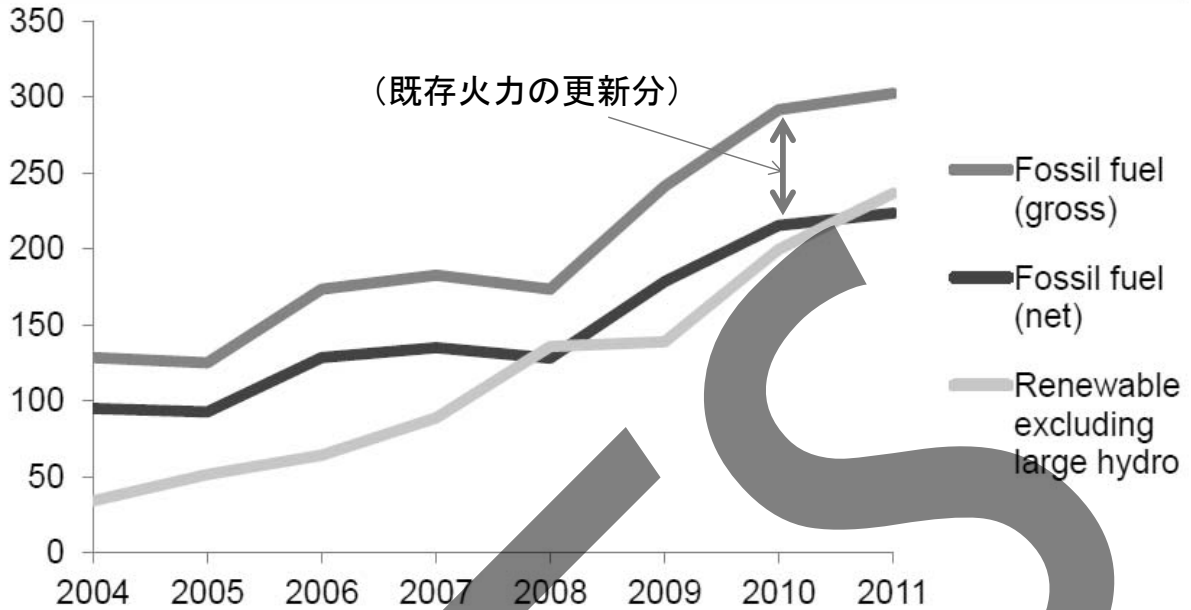


世界の再生可能エネルギー発電
(大規模水力除く)のシェア



世界の新生設発電所の1/3(額なら1/2)

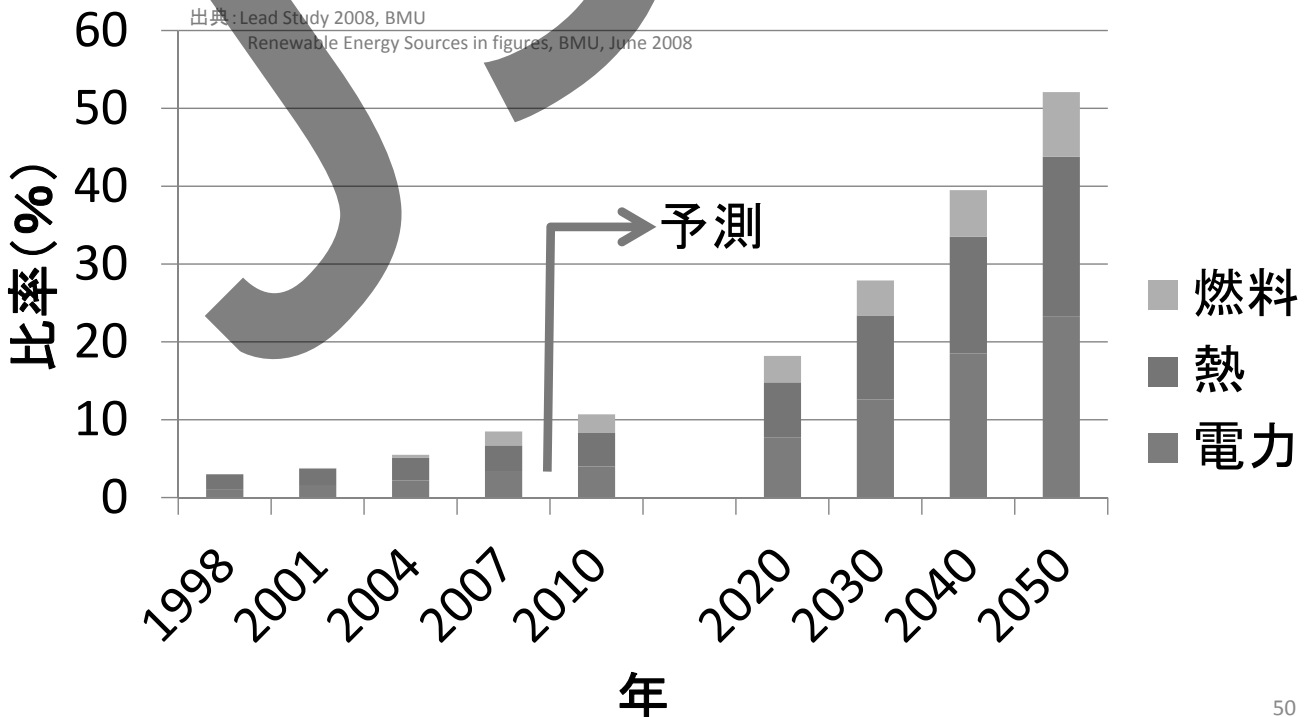
FIGURE 27: INVESTMENT IN CLEAN ENERGY V CONVENTIONAL CAPACITY, 2004-2011, \$BN



発電ビジネスは、もはや再生可能エネルギー抜きに語れない

導入の実例(ドイツ)(1/2)

エネルギー需要量に対する 再生可能エネルギーの比率



・助成の費用

総額が約53億ユーロ(2009年)

・電力需要の25%が再生可能エネルギーに(2012末)

・経済効果(2009):

投資誘発20億ユーロ

付加価値誘発55億ユーロ

雇用創出約34万人(2011年:38万人)

・枯渇性エネルギーの輸入量を削減

価格も抑制: 50億ユーロぐらいの節約?(2008)

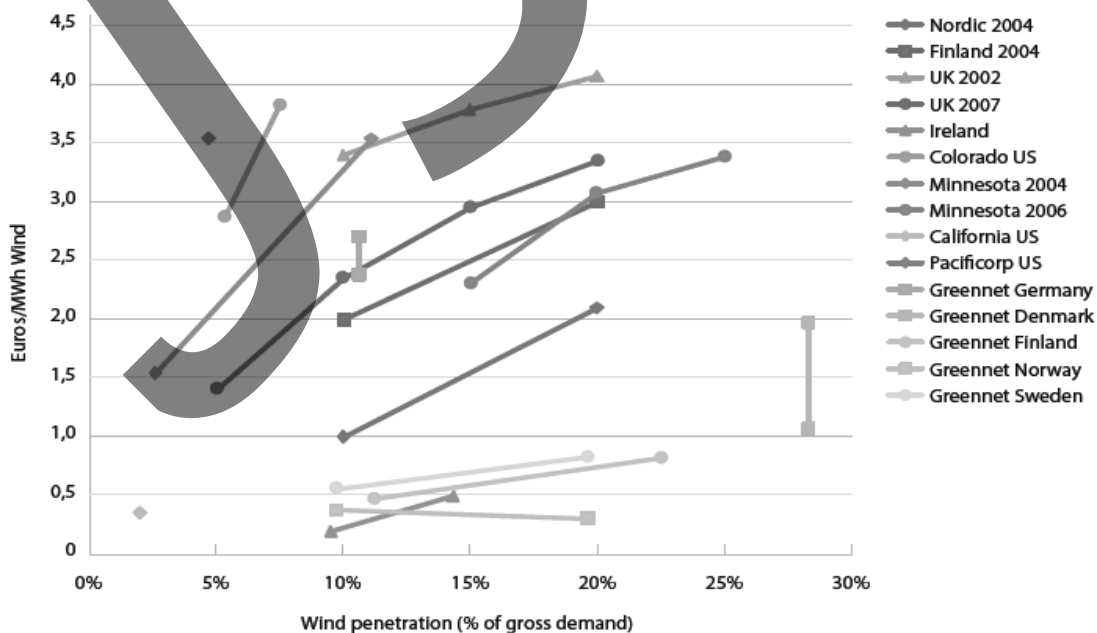
・温暖化ガスの排出量削減割合(1990年比)

京都議定書義務-21% → 2009年末で-29%達成

環境保護も経済成長も実現!

風力の系統安定化コスト試算事例まとめ(IEA)

Figure 7.4: Estimates of increase in balancing costs



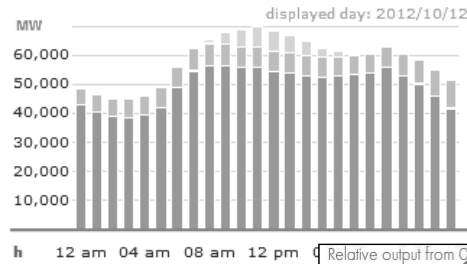
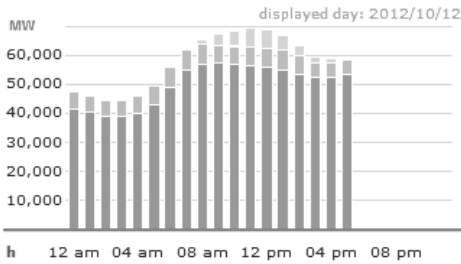
2割程度までなら、0.5セント/kWh未満。

予測と「見える化」

EEXのサイトで、風力や太陽光の出力予測と現時点での出力が毎日公表されている

Actual production (power)

Planned production (power)

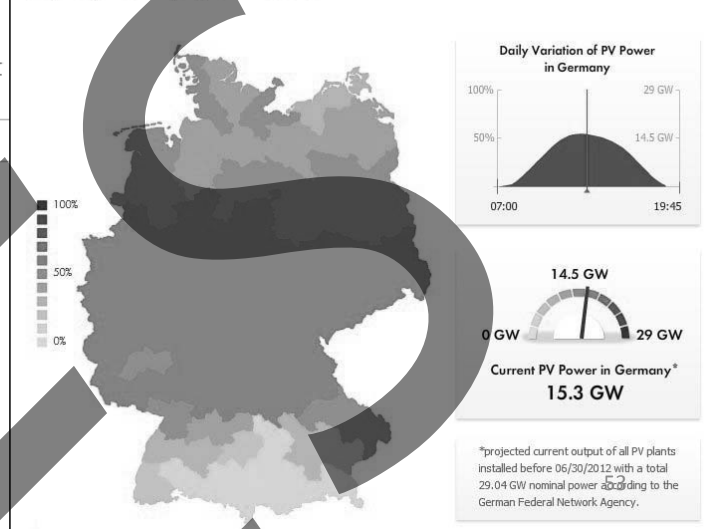


Show all data:
[Conventional \(≥ 100MW\)](#), [Wind](#), [Solar](#)

Show all data:
[Conventional \(≥ 100MW\)](#), [Wind](#), [Solar](#)

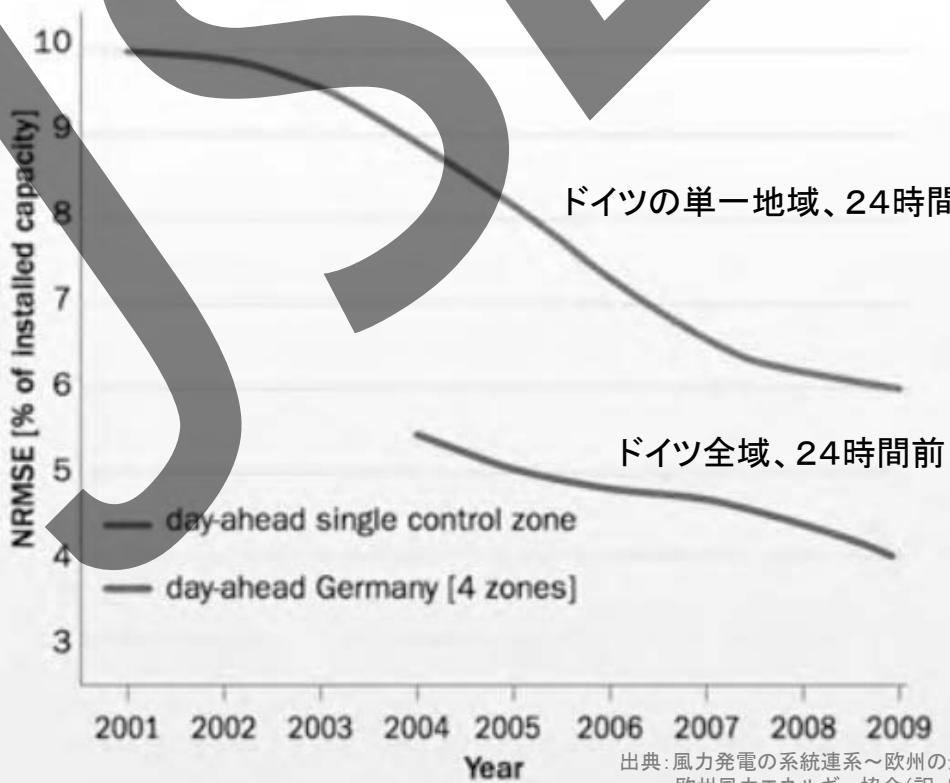
Legend: ■ Conventional ■ Wind ■ Solar

Relative output from 09/30/2012 - 13:30 CET



SMAのサイトで太陽光の発電状況がわかる

風力発電における出力予測の誤差の実例

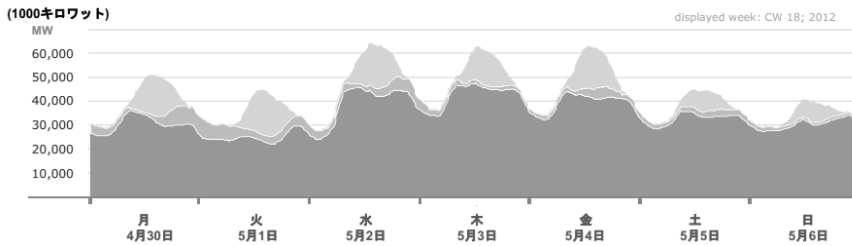


出典: 風力発電の系統連系～欧州の最前線～
欧州風力エネルギー協会(訳: 日本風力エネルギー学会)
ISBN: 978-4-906826-00-1

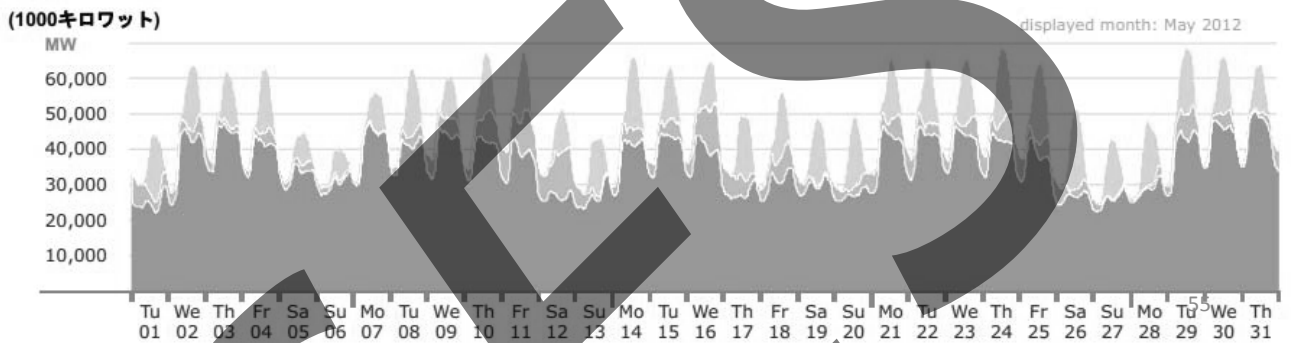
- ・単一のウインドファーム毎にみれば、予測誤差は10～20%ぐらい残る
- ・広い地域で見れば、風力の出力予測の誤差は数%程度に抑えられる
(=9割方「アテに出来る」電源になる)

出力が変動しても、風力も太陽光も
ちゃんと実用になる

発電実績値
Actual production



発電実績値
Actual production



解説資料

太陽光発電全般

- ・産総研 太陽光発電研究センターの解説「太陽光発電とは」
http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/index.html
- ・「波に乗れ にっぽんの太陽電池」
各国動向と助成制度のポイントを解説
- ・「図解 最新太陽光発電のすべて」
技術的な話をご紹介
- ・「太陽と風のエネルギー」
小・中学生向け図鑑(やや高価)
- ・「国民のためのエネルギー原論」
エネルギーや政策の議論の叩き台に

助成制度

- ・なっとく！再生可能エネルギー
<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/index.html>
- ・「フィードインタリフ制度」(固定価格買取制度)解説
<http://ksakurai.nwr.jp/R/slides/WhyFIT/>

だまされないために

- ・ニセ科学の見分け方
<http://ksakurai.nwr.jp/R/slides/Nisekagaku.pdf>

