

2016年5月11日（水）14:00-17:00
京都大学 吉田キャンパス 本部構内
百周年時計記念館 2F 国際交流ホール

再生可能エネルギー大量導入に向けた 技術的・制度的課題

京都大学大学院 経済学研究科
再生可能エネルギー経済学講座

特定助教 尾形清一
ogata@econ.koyot0-u.ac.jp

研究概要 再生可能エネルギーに関する経済学

1 . 再生可能エネルギー経済学講座（共同研究）

再エネと分散型エネルギーシステムの普及策に関する国際比較研究
自治体のエネルギーシステム形成やエネルギー・ガバナンスの研究

2 . エネルギー政策講座（共同研究）

日本における均等化発電原価（Levelized Cost of Electricity : LCOE）の試算と
2030年段階のシナリオ分析に基づく発電原価の予測

3 . 再エネの社会的受容性研究 科研費24700923（若手B代表）2012～2015

陸上風力立地に関する合意形成に関する研究

4 . 再エネ大量導入とエネルギーインフラ再構築の研究

科研費16k21119（若手B代表）2016～2019

エネルギーインフラ再構築に関する制度研究と再エネ大量導入に向けた“トータルシステムコスト”の最適化に関する研究

5 . 再エネ研究の社会実装（学内の学際研究）

京都大学附属木津川新農場：Green Energy Farm 構想

農業生産と再エネ生産の両立（農エネ併産）

エネルギーと食料の併産で、新しい地産地消モデルと地方創成を目指す。

再エネ大量導入とエネルギーインフラ（EI）再構築の研究

エネルギーインフラ（EI）不足で大量のRE電力を消費者に送電できない



分散電源
変動RE

RE大量導入に向けたエネルギーインフラ（EI）拡充と再構築が必要

* EUでは、2030年RE比率を60%にするために、送電網等の改造と増強が4800km程度必要と試算

RE大量導入に向けた
エネルギーインフラ政策と制度改
革に関する総合研究の必要性

再エネ大量導入とエネルギーインフラ（EI）再構築の研究

- § RE転換で先行するEUでは、RE比率は全発電設備の約20%に達しておりEU政策として2030年に60%、2050年には80%とする目標が決定され実行に移されている。この政策目標によってRE大量導入を進めグリーンビジネス育成と地域発展に資するRE事業を推進し地域のwell-being向上を含めた新しい経済社会の構築を目指している。
- § EUでは上記のRE政策目標を達成するに、EI（送電網等）の改造と増強が4800km必要となり、これに1500億€の投資が必要となっている（EU委員会エネルギー総局、2013）。
- § そのためEU委員会は、EU加盟国間等の送電線連携強化拡充計画を公表。各加盟国に、REがエネルギーインフラに優先的に接続できるようエネルギーインフラ増強政策を法的に義務づけている。

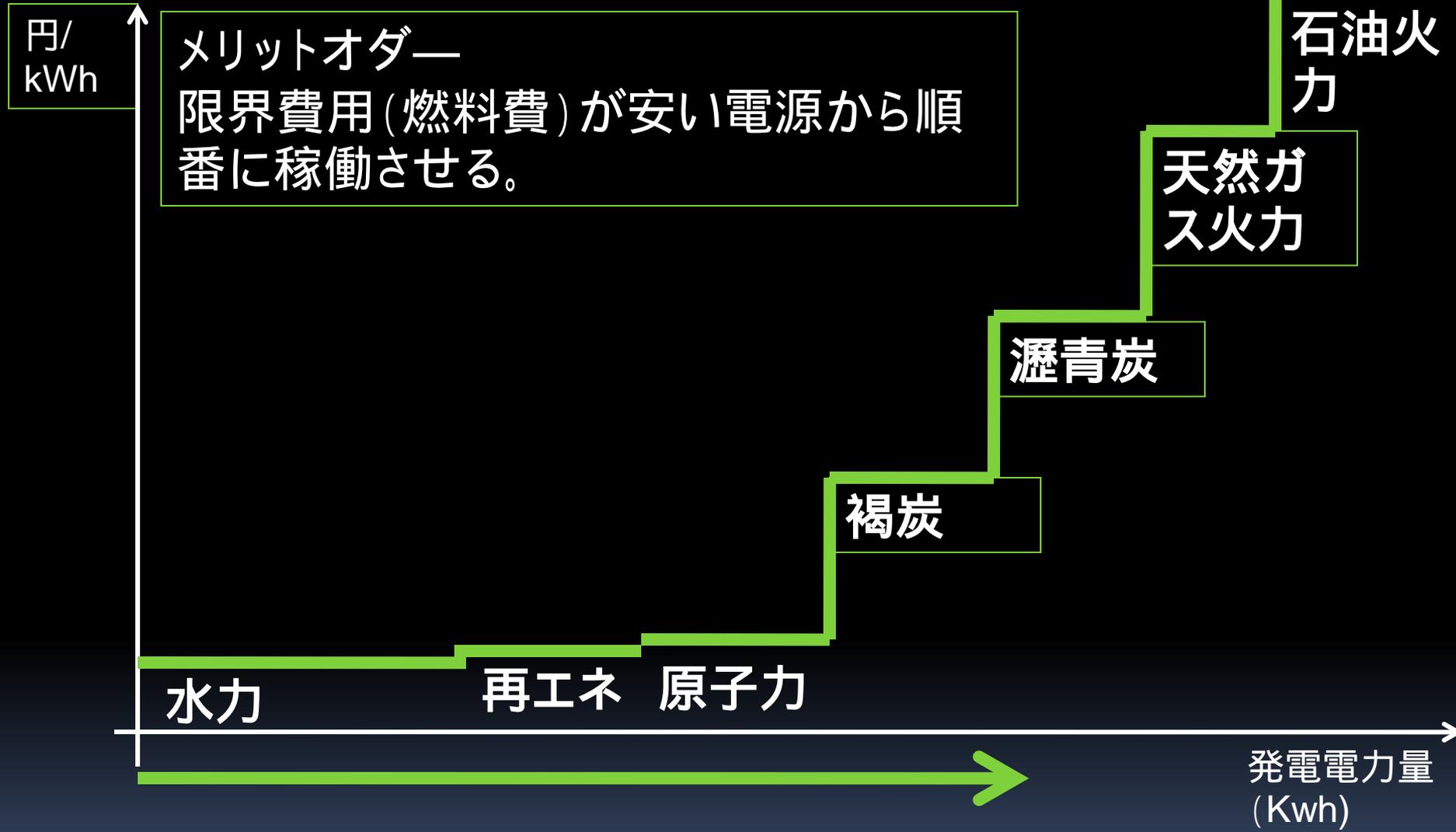
RE大量導入に「配慮したEI運用制度」

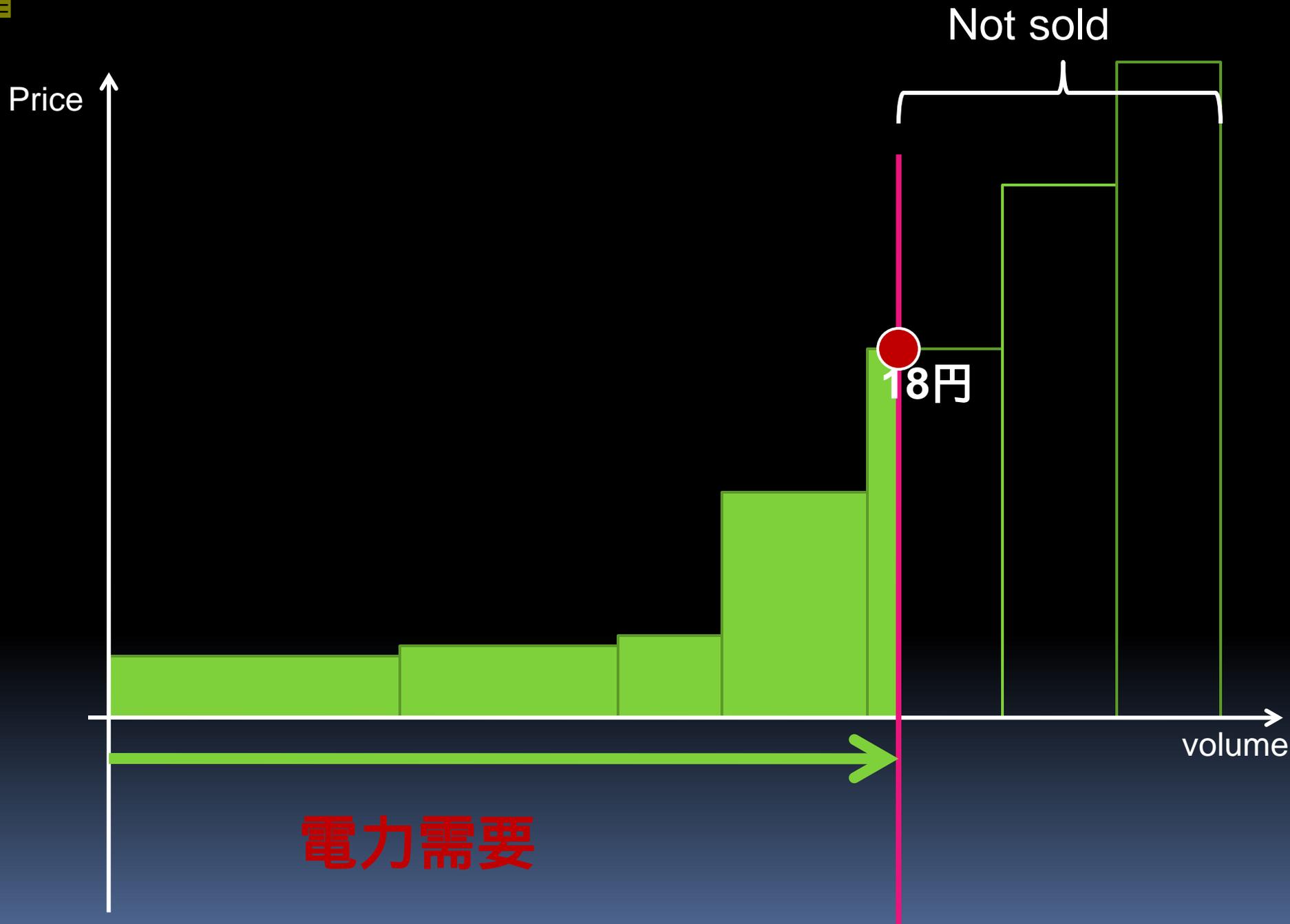
(EU指令の概要)

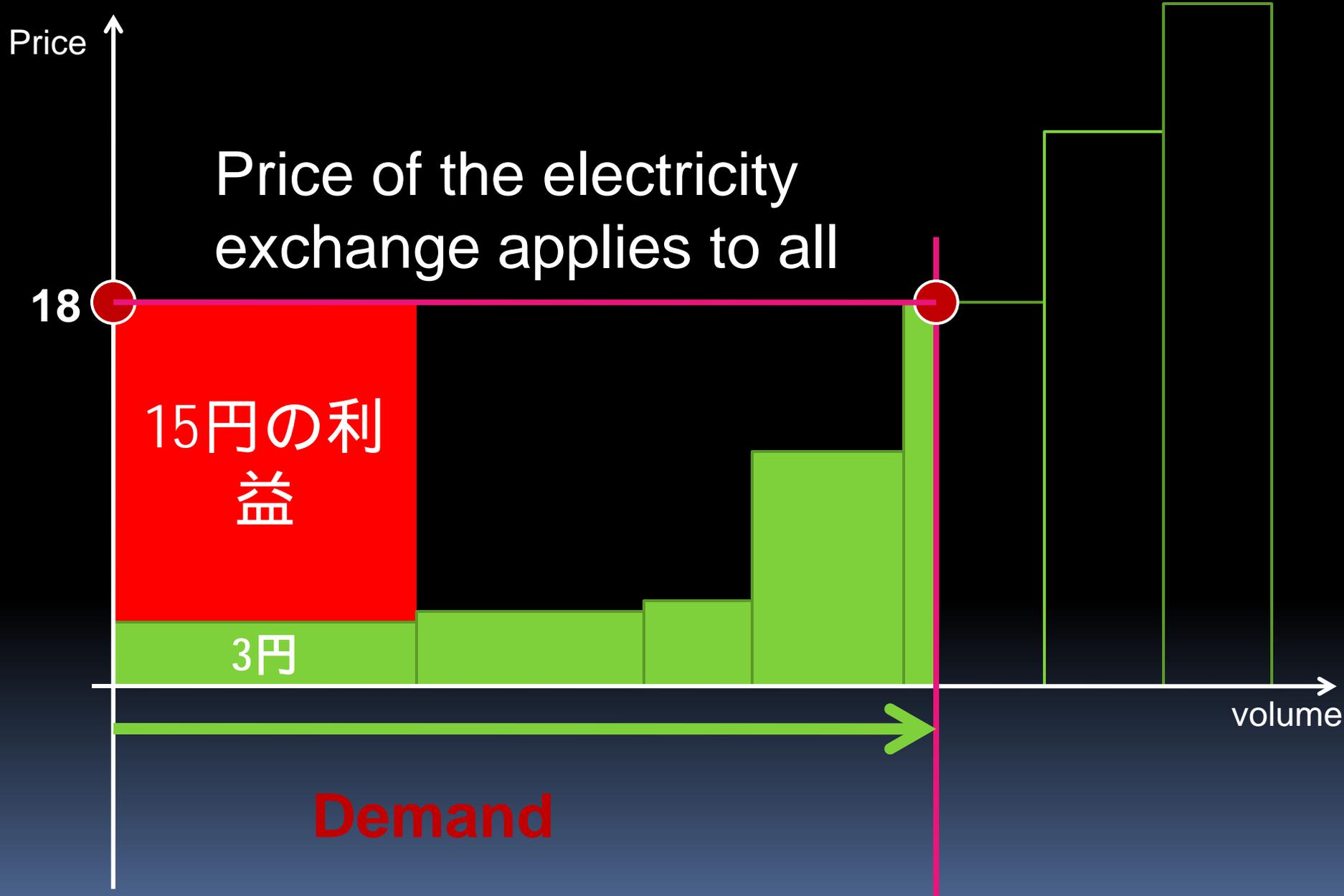
RE大量導入に「配慮したEI運用制度」の概要 (EU指令)	
RE優先義務	EI運用制度
REが接続のためにEI増強政策の義務 RE電力を送配電事業者に送電させる義務 REを送電網に優先接続し優先給電させる義務 RE出力抑制を最小化させる義務	RE接続のコスト負担ルールの設定 事業者の必要情報公開システム整備 EI利用料においてREを公平に扱う義務
RE大量導入電力系統対策と電力市場制度の関連	
送配電線の混雑回避(Redispatch)と系統安定化対策(インバランスコスト)の公平負担 柔軟性資源(揚水発電・デマンドレスポンス・ランプ率)の市場取引 送配電容量の(空き容量)利用に関する市場取引制度	



電力自由化後の再エネとエネルギーミックスの理論的課題



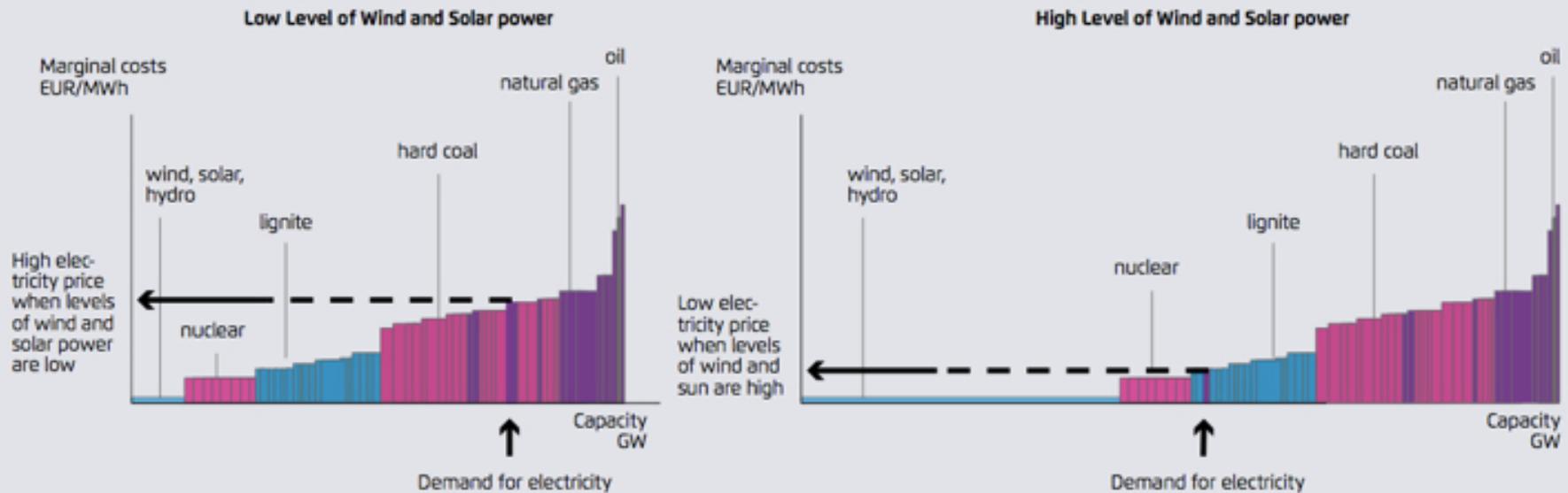




再エネ大量導入時のメリットオーダー効果

Electricity Prices and the Merit-Order Curve

10



電力自由化後の再エネとエネルギーミックス

§ メリットオーダー (merit order)

§ 自由化後の卸電力市場が完全競争的なものになるとすれば、発電所は限界費用*が安いものから順に稼働され、電力需要を満たす点まで稼働する。

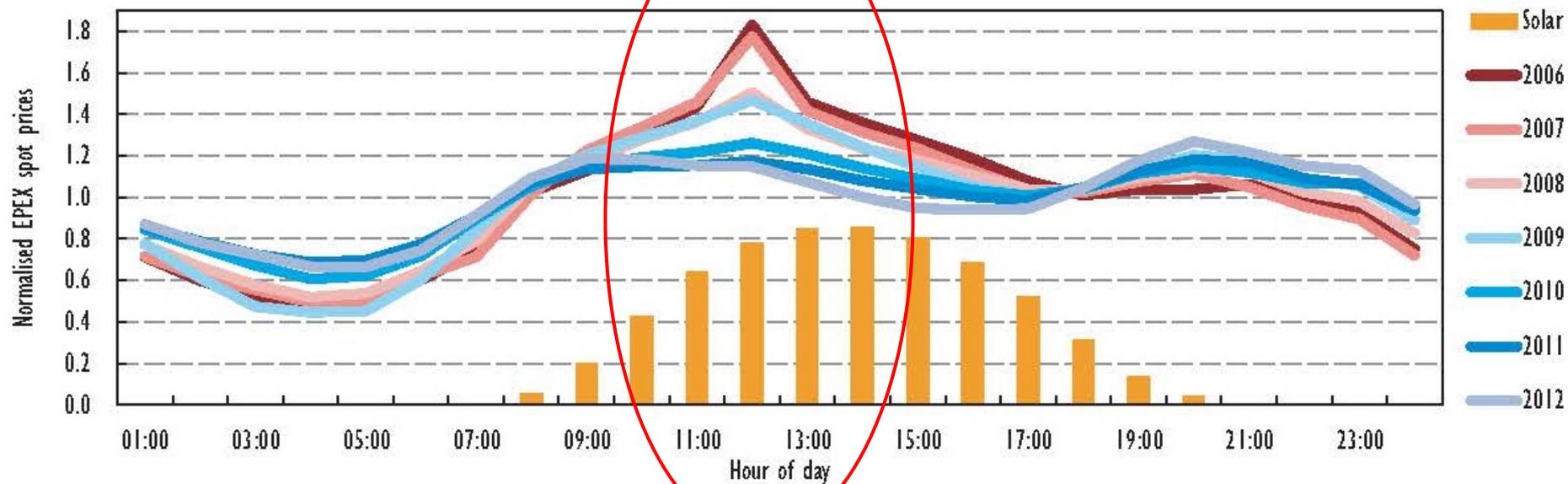
§ 完全競争が実現した電力市場におけるメリットオーダー効果

§ 限界費用がゼロに近い再エネが、電力市場へ参入することによって、卸電力市場（スポット市場）での価格低下
旧型の火力等では、固定費の回収が難しくなり市場から退出する。
これによって、調整力として有望なガス火力の建設が進まない。
変動再エネのバックアップとしての調整電源の確保が困難になる。

* 限界費用とは、電力市場では、1kwを追加的に発電するための費用である。この場合、燃料費と考えて良い。

PV増加によるスポット市場の価格低下

Figure 2.2 • Shift in German spot market price structure, 2006-12



Notes: solar shows indicative average generation profile. Spot prices are normalised to average market prices and shown for summer months.

Source: International Energy Agency (IEA) analysis, based on data from the European Energy Exchange (EEX) data.

Key point • Large shares of solar PV generation can change price structures on electricity markets.

再エネ大量導入課題とエネルギーマネジメントの課題 ： Net Load(残余負荷)とDuck curve

Net load - March 31

再エネ大量導入によるNet Load(残余負荷)の急激な変化をマネジメントすることが、今後重要となる。

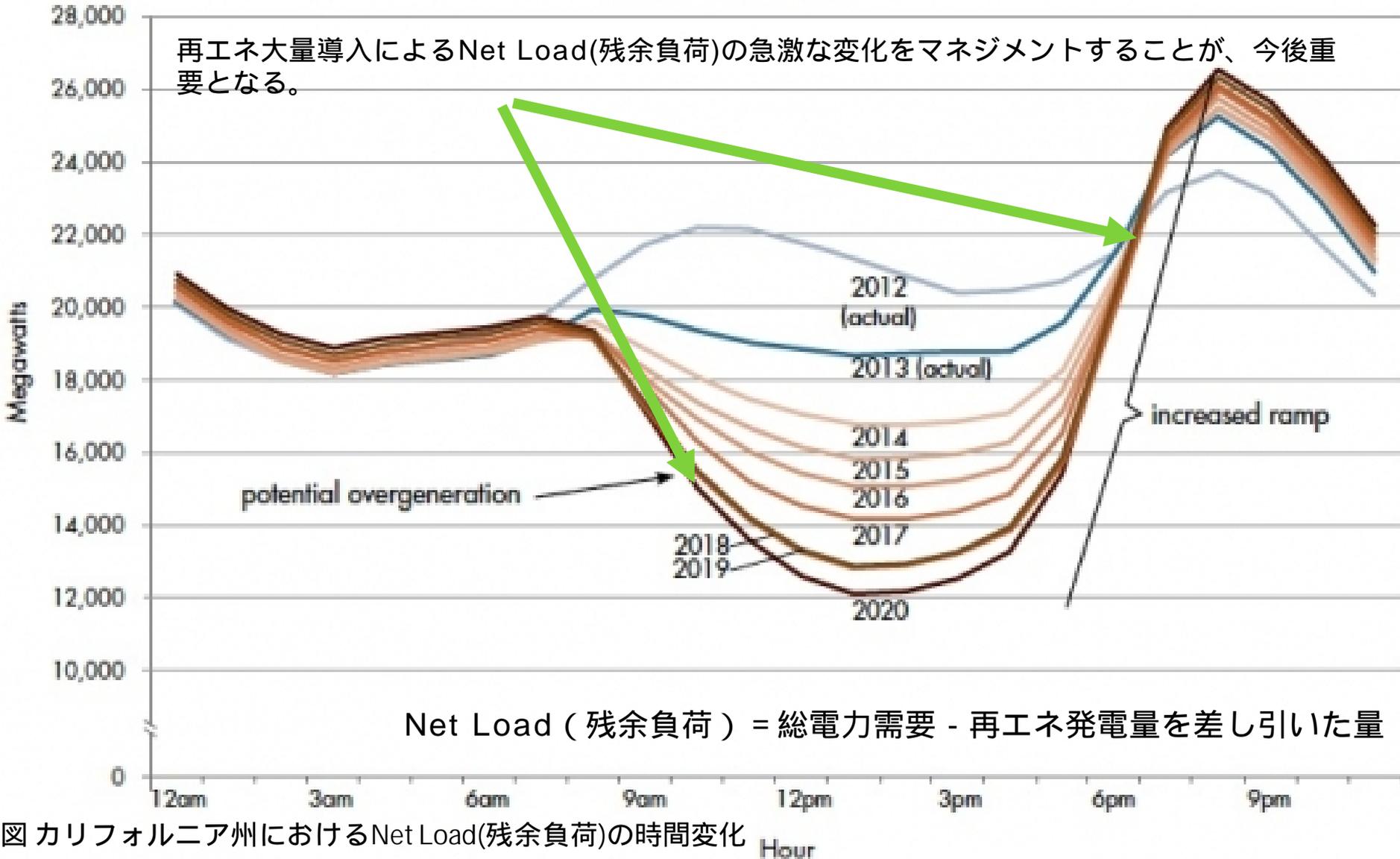


図 カリフォルニア州におけるNet Load(残余負荷)の時間変化

VREと柔軟性 (Flexibility sources) のマネジメントと経済的価値の付与が重要

Four sources of flexibility ...



**Grid
infrastructure**



**Dispatchable
generation**



Storage



**Demand side
integration**

International Energy Agency (IEA), *The Power of Transformation - Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems*, 2014



Technology spread

Geographic spread

Design of power plants

System friendly
VRE



Investments

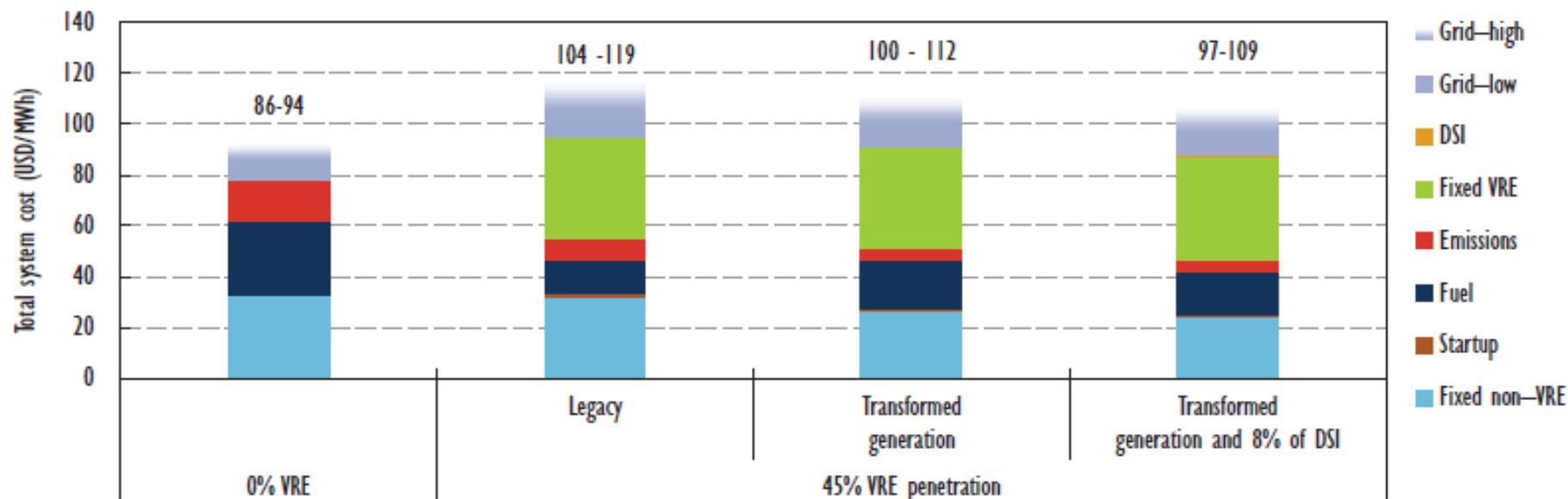


Operations

システム改革の戦略

グリッドへの投資とVRE拡大のタイミングの重要性

Figure ES.1 • Total system cost of a test system at different degrees of system transformation



Note: DSI = demand side integration

International Energy Agency (IEA), *The Power of Transformation - Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems*, 2014

VRE大規模導入であっても費用対効果の高い導入が可能である。ただし、VREの急速な増加は、統合コストを増加させる。

これら研究の（本当の）狙い

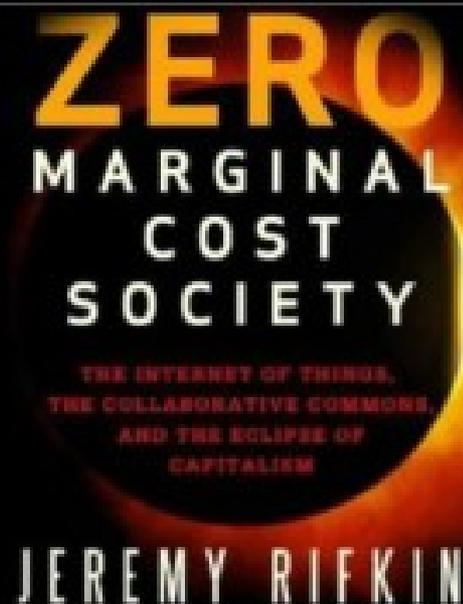
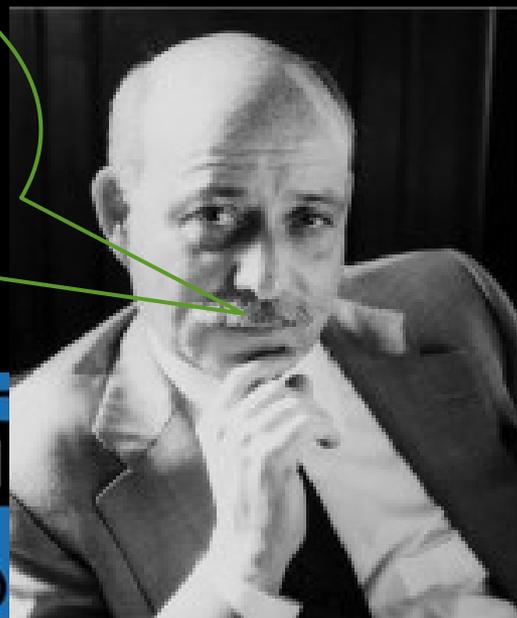
Transition Managementの追及と実現

- Energy Transition Management for Distributed Energy System
- 近年の再エネ研究では、発電サイドの研究（視点）のみでは不十分となっている。
- エネルギーシステムの転換においては、VREのGrid統合を低コストに実現する必要がある。
- 再エネ普及によるプロシューマ―化と消費者概念の脱構築
- DR等の柔軟資源（Flexibility sources）をICT/IOTの活用したEMS等による一体的管理するエネルギーマネジメントが不可欠である。

おわりに 限界費用ゼロ社会とインダストリー4.0へ

文明評論家：ジュレミーリフキン
ドイツ・メルケル政権のブレーン一人

第三次産業革命とは実質的には、デジタルによる計算と記録の方法の普及に伴って1960年代に始まったデジタル革命が長期にわたって展開してゆくことにほかならず、あらゆる機器をあらゆる人間とつなぎ、グローバルな形で相互接続したスマートな世界を生み出すべく設計されたデジタル方式のIoTが構築されることで、今やこの革命は完成しつつある。



「インダストリー4.0 (Industrie 4.0) 」とは、ドイツが官民を挙げて実施している巨大プロジェクト。「工業のデジタル化・スマート化」によって21世紀の製造業の様相を根本的に変え、製造コストを大幅に削減を目指す。

おわりに

ICT/IOTと再エネが生み出す「限界費用ゼロ社会」

～スマートエネルギー・マネジメントユニットが創り出す新しい社会像～

§ この新たな現実が最も如実に表れているのが、新しい再生可能エネルギーへの移行だ。すでに述べたように、ドイツでは再生可能エネルギーの大半が、一緒になって電力協同組合を結成した何百万もの家庭と何千、何万もの企業によって、おのこのの場所で生み出されている。そのグリーン電力はデジタル化されたエネルギー・インターネット全体でシェアされる。これはピアトゥピアのエネルギー生産・流通という新時代の始まりを告げている。

§ ドイツを動かしている電力は、2025年には、その45パーセントが太陽光と風力のエネルギーから生み出され、2035年には6割が再生可能エネルギーによって生産され、2050年にはその数字は8割に達する見通しだ。言い換えれば、ドイツは、財とサービスの生産・流通における電力生産の限界費用がしだいにほぼゼロに近づく、スマートでグリーンなデジタル経済への道を順調に進んでおり、生産性は劇的に上がり、限界費用は減少し、グローバル経済での競争で優位に立てるだろう。一方日本は、中央集中型でますますコストのかかる原子力と化石燃料のエネルギー体制におおむね執着しているので、日本企業は国際舞台での競争力を失う一方だ。

出所) ジェレミー・リフキン「日本人は『限界費用ゼロ社会』を知らなすぎる」東洋経済online 2015年10月28日からの抜粋
* 下線追記(尾形)

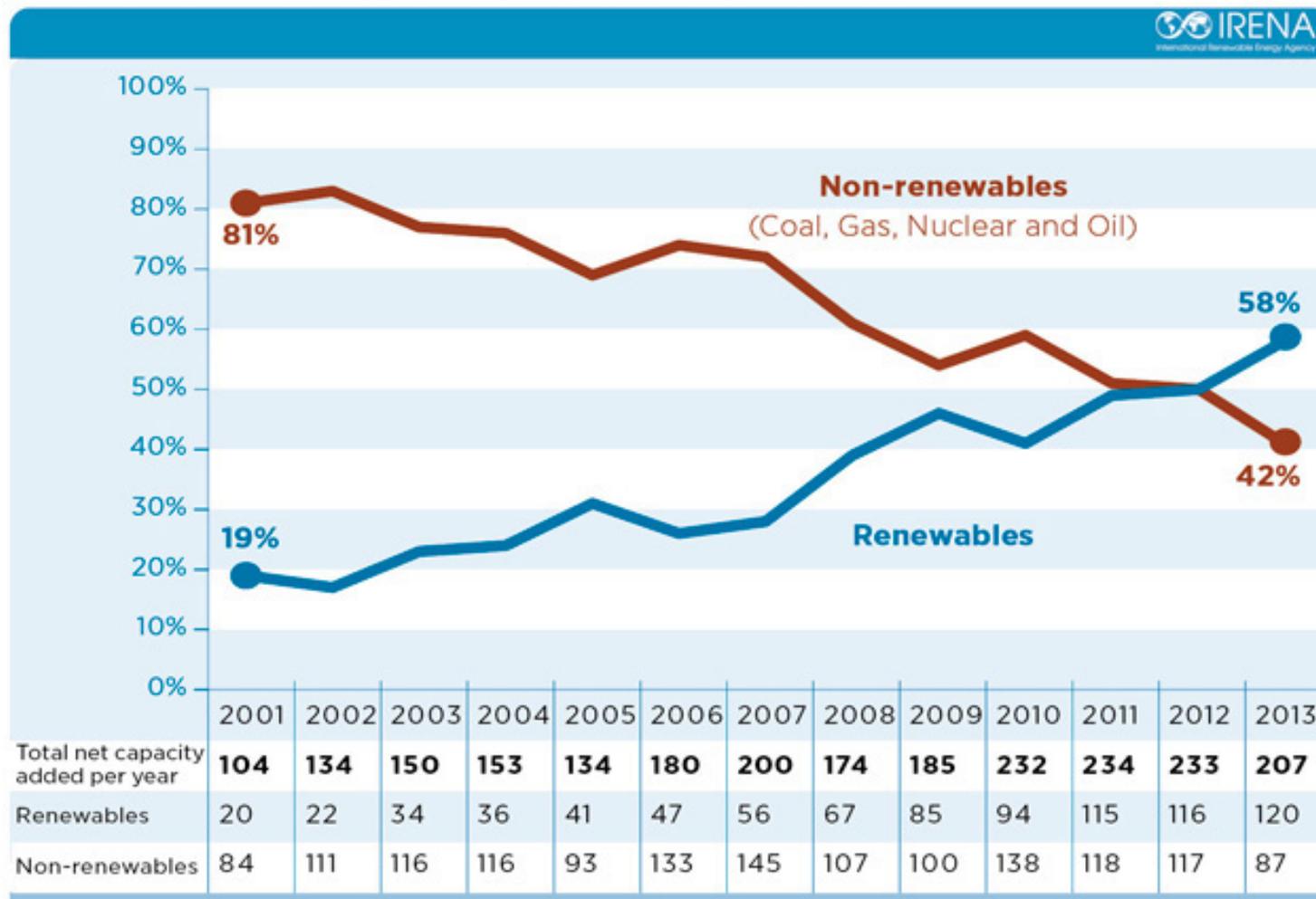


参考資料

再エネの世界的趨勢

再エネの世界的動向の確認

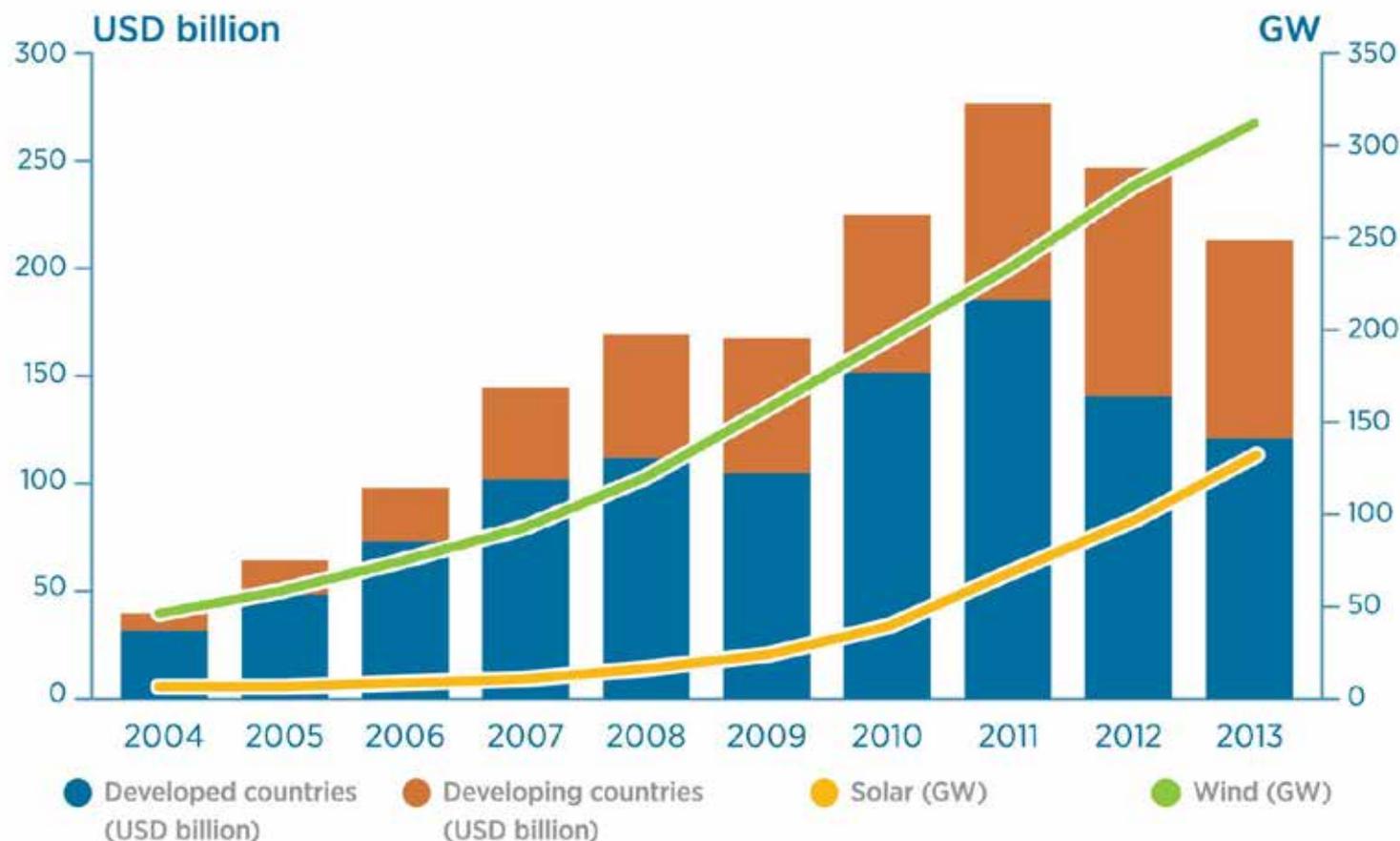
Renewables as a share of global capacity additions (2001-2013)



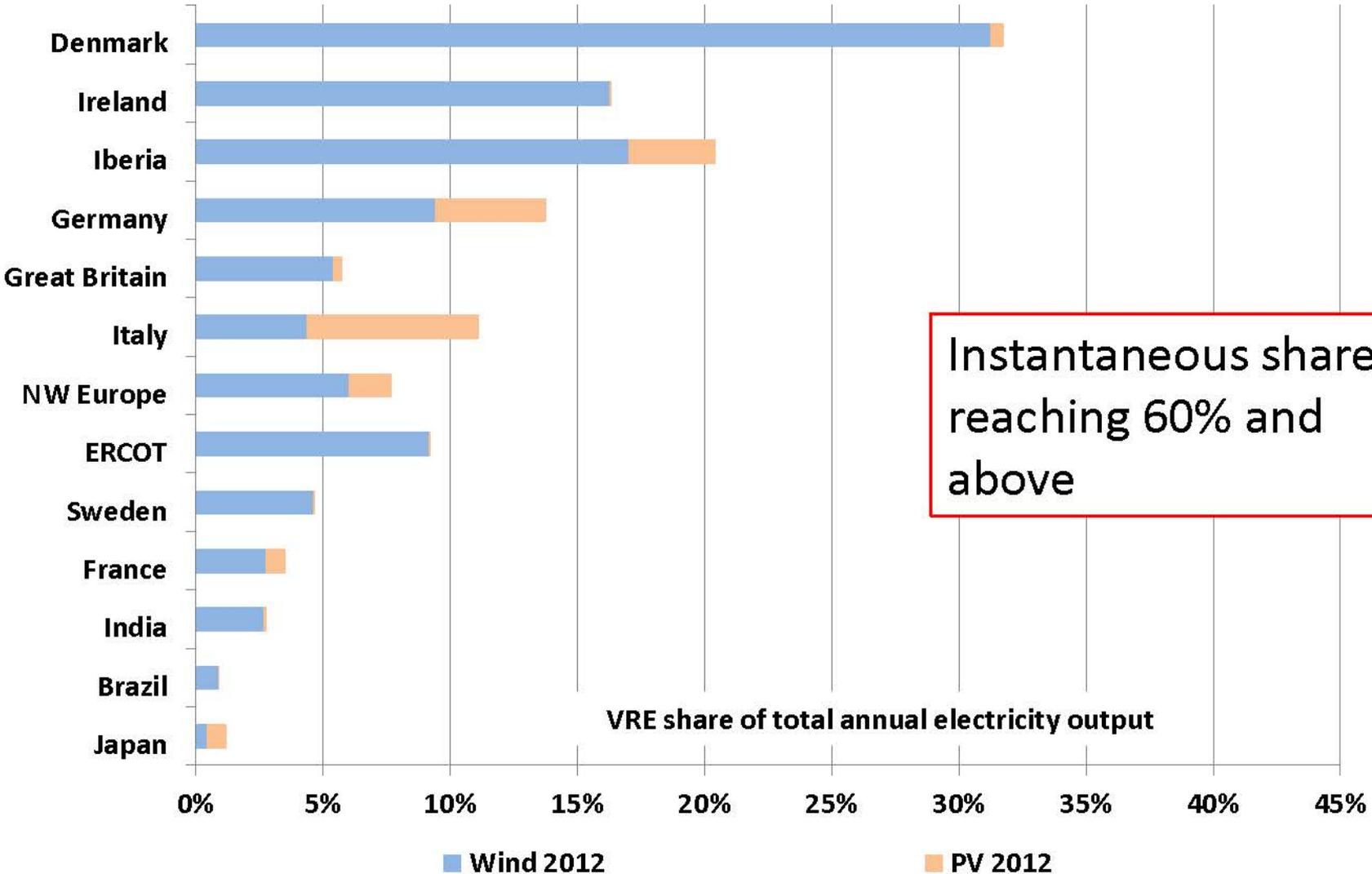
Source: IRENA database

発展途上国における再エネ技術

Global Investment in Renewable Energy

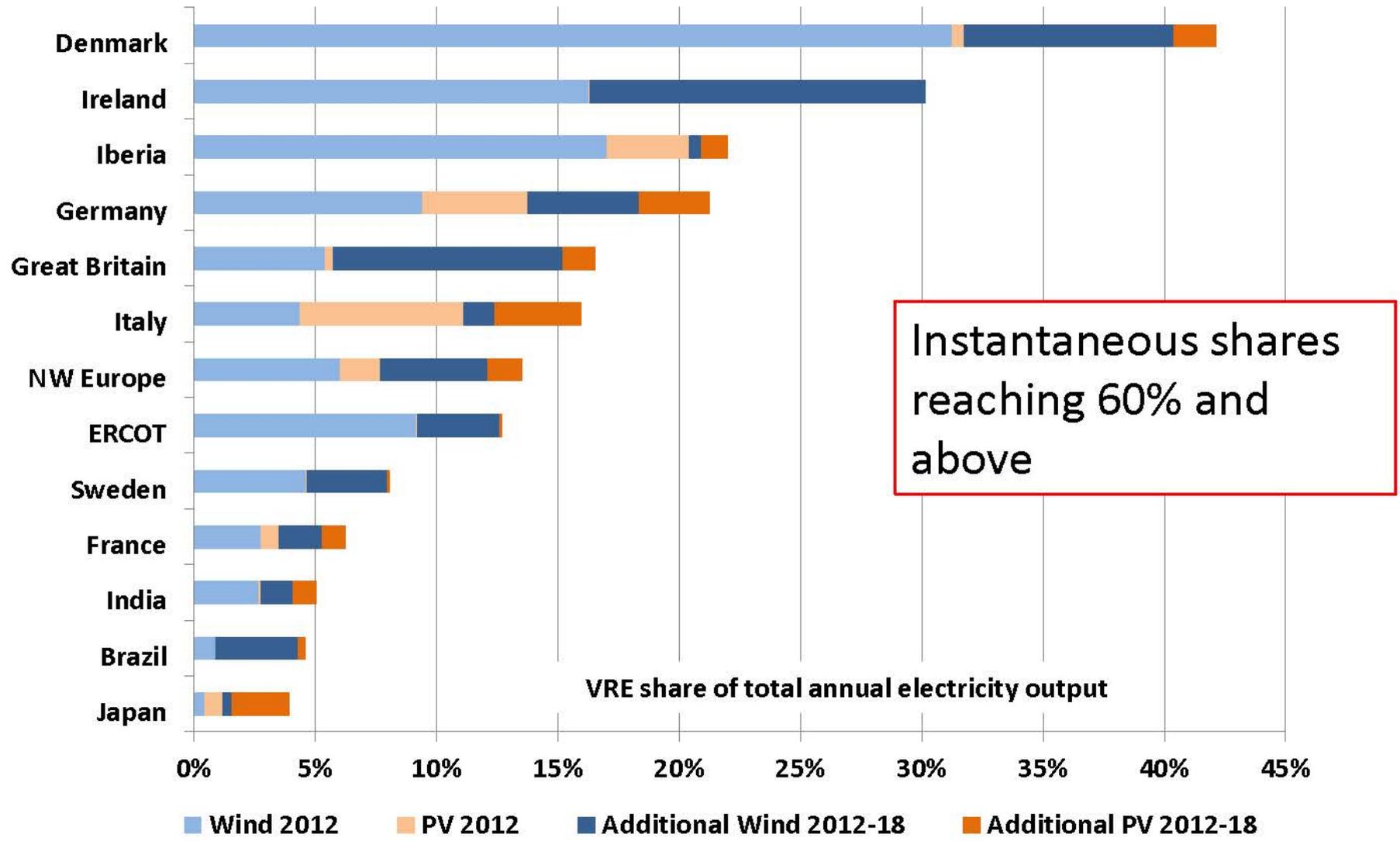


Current VRE shares and mid-term forecasts



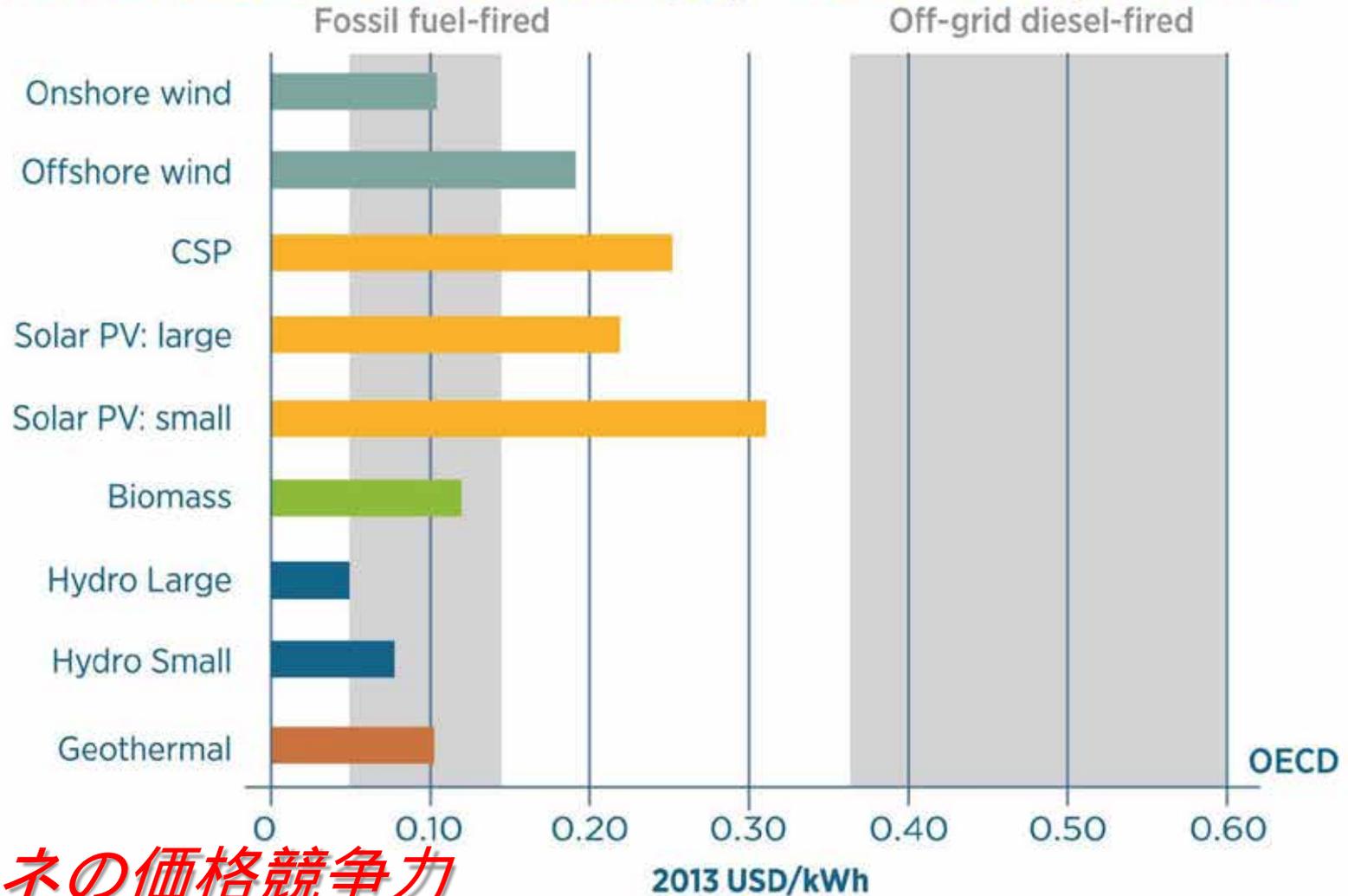
Instantaneous shares reaching 60% and above

Current VRE shares and mid-term forecasts



Source: IEA estimates derived in part from IEA Medium-Term Renewable Energy Market Report 2013.

Renewables are Increasingly Cost-Competitive

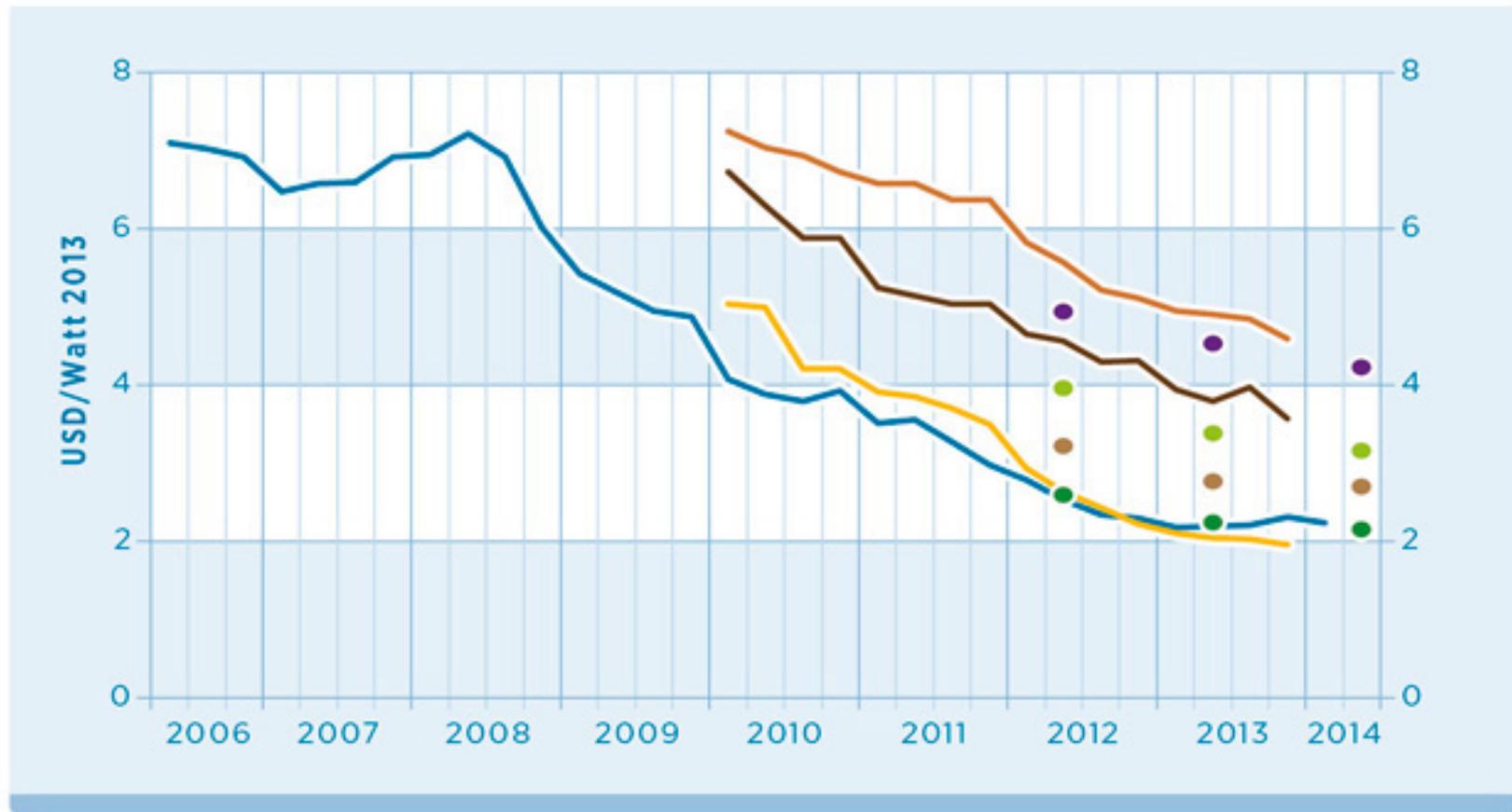


再エネの価格競争力

Note: The weighted average in OECD is at 10% WACC

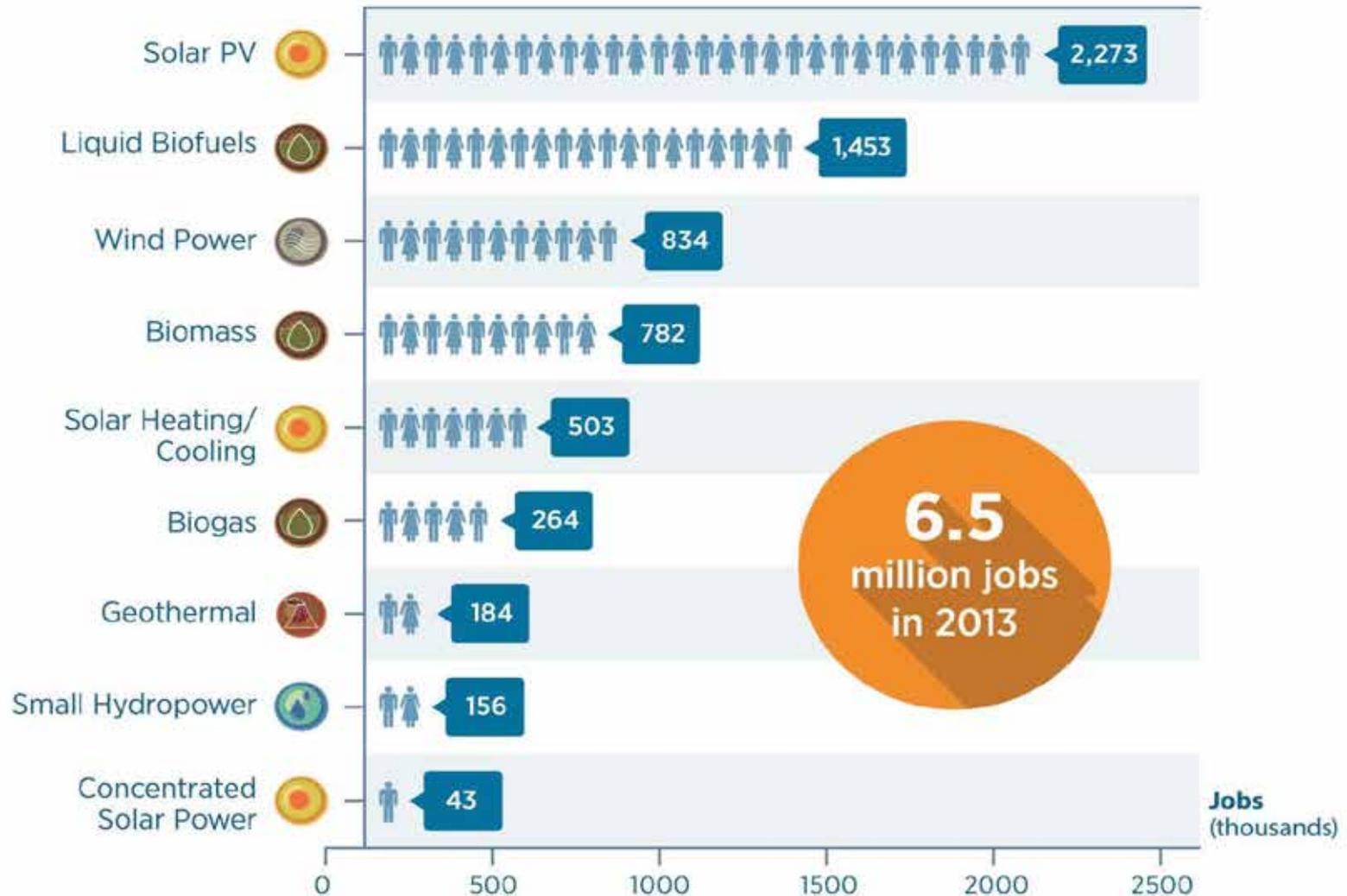
Residential Annual

- Germany
- US non-residential
- Australia
- Italy
- US residential
- US utility
- China
- Japan



Source: IRENA Costing Alliance (n.d.)

Renewable Energy Jobs



Socio-Economic Benefits of Renewables

6.5 million



In 2013, 6.5 million people worked in renewables worldwide

\$52 bn



China's PV industry generated \$52 billion in income in 2013

\$2.8 bn



Spain avoided \$2.8 billion in fossil fuel imports in 2010

13 million



In Bangladesh, 13 million people gained energy access through solar PV

New Investors, New Owners & New Players

\$16 bn



By mid-2014, green bonds had already been issued for over \$16bn to finance renewable energy projects

13 hours



Dutch households raised \$1.7 million in just 13 hours to buy shares in a cooperatively-owned wind turbine

\$1.4 bn



Google has invested over \$1.4 billion in wind and solar because it also generates "attractive financial returns"

46%



Nearly half of all renewable energy capacity in Germany is owned by individuals and farmers