

京都大学再生可能エネルギー経済学講座
第1回 部門A研究会

発送電分離の再エネへの影響に 関する欧米ヒアリング結果

2019年4月15日

京都大学経済学研究科 博士後期課程3年

杉本康太

sugimoto.kota.52v@st.kyoto-u.ac.jp

再生エネ普及に送電線の壁 容量不足が各地で顕在化

環境エネ・素材

2019/3/1 20:00 (2019/3/1 23:56更新) | 日本経済新聞 電子版

保存 共有 印刷 共有 ツイート その他

再生可能エネルギーが送電線の空き不足でつなげない問題が広がっている。東京電力ホールディングスの管内では茨城県で空きがなくなり、同社は工事費約300億円を投じて送電網の増強を検討している。ただ工期は約10年を見込み、新たに発電事業を行うには長期間、工事の完成を待つ必要がある。東北などでも送電網の空き不足が生じており、再生エネ普及の足かせになっている。

「茨城県で発電所の建設を計画していたが、時間がかかりそうだ」。太陽光発電事業者、サンテックパワー・ジャパン（東京・新宿）のガオ・ジャン社長は頭を抱える。再生エネをつくっても送電線の空きがない問題が起きているためだ。

茨城県は日照が良く平地が多いため太陽光発電が「著しく増加」（東電）し、北部で送電線の空きがなくなった。

東電傘下の送配電事業者の東京電力パワーグリッドと、国の認可法人の電力広域的運営推進機関は、同県で送電網を増強する検討を表明しており、使用を希望する事業者を募っている。

あがる不満の声

これから茨城県の大部分と栃木県の一部などで新たに発電所をつくる事業者は、新設される送電網の使用を申請し、空きを確保する必要がある。送電網の工事が終わるまではつなげない。



画像の拡大

高度成長期に整備した日本の送配電網は更新期を迎えつつある

各地で電力会社が送電線の増強を計画

(注) 増強力所数は2015年以降の案件を含む



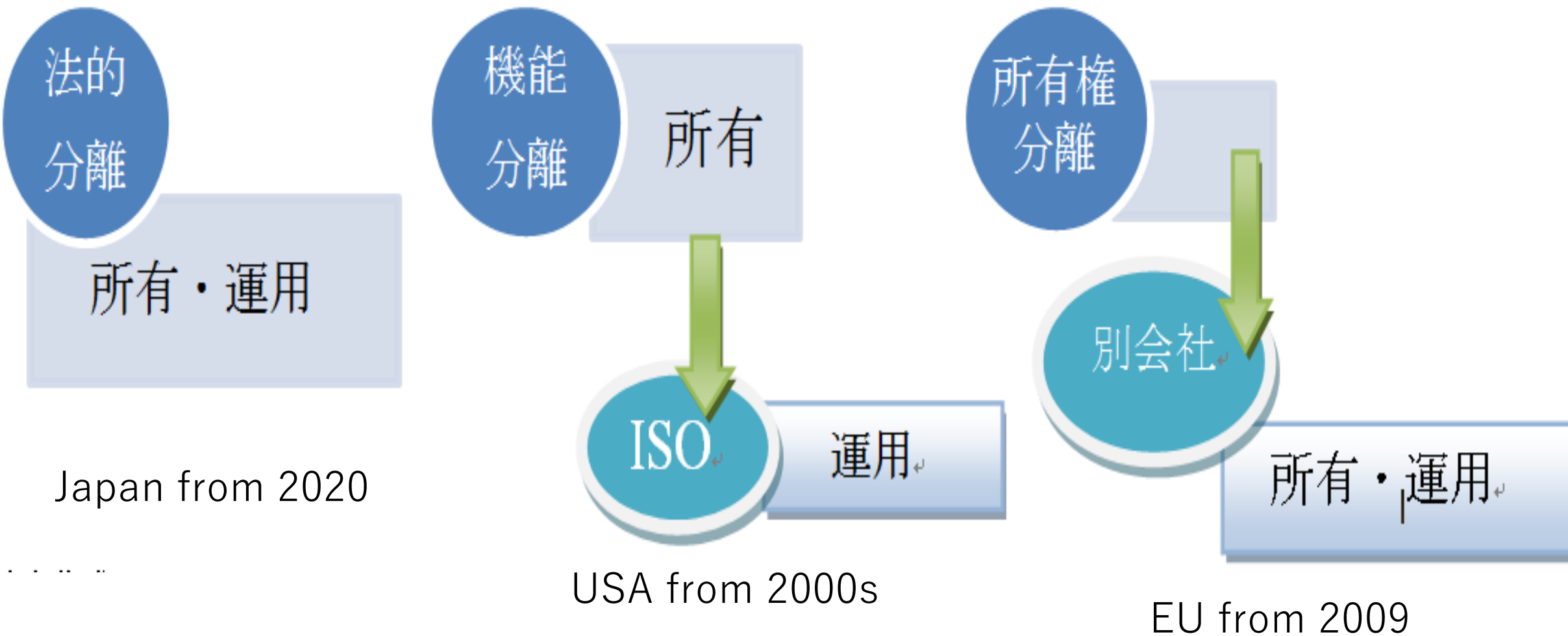
画像の拡大

- 現状はどうすれば改善するか？
- 発送電分離は解決策なのか？

博士論文における私の作業仮説

- 電力会社への発送電分離、特に日本が2020年までに実施する予定の送電会社を法的に分離させる程度では、垂直統合事業者（元電力会社）は、自らの保有する送電ネットワークを用いて自社の発電会社を優遇し、他社の発電事業を差別的に取り扱うインセンティブと能力を持つため、新規に参入する発電事業者は、系統接続および系統運用面で差別を受け、彼らによる再エネ導入が阻害される。再エネのための系統増強投資にも慎重になる。
- 法的分離以上の分離、具体的には
- **機能分離**（系統運用を非営利組織ISO/RTOに委ねたアメリカ）や
- **所有分離**（第三者に送電会社を売却したヨーロッパ）を実施すれば、
- 系列内の送電事業者と系列外の発電事業者の間の利害対立構造は解消し、新規に参入する発電事業者による再エネを増加させる効果を持つ。

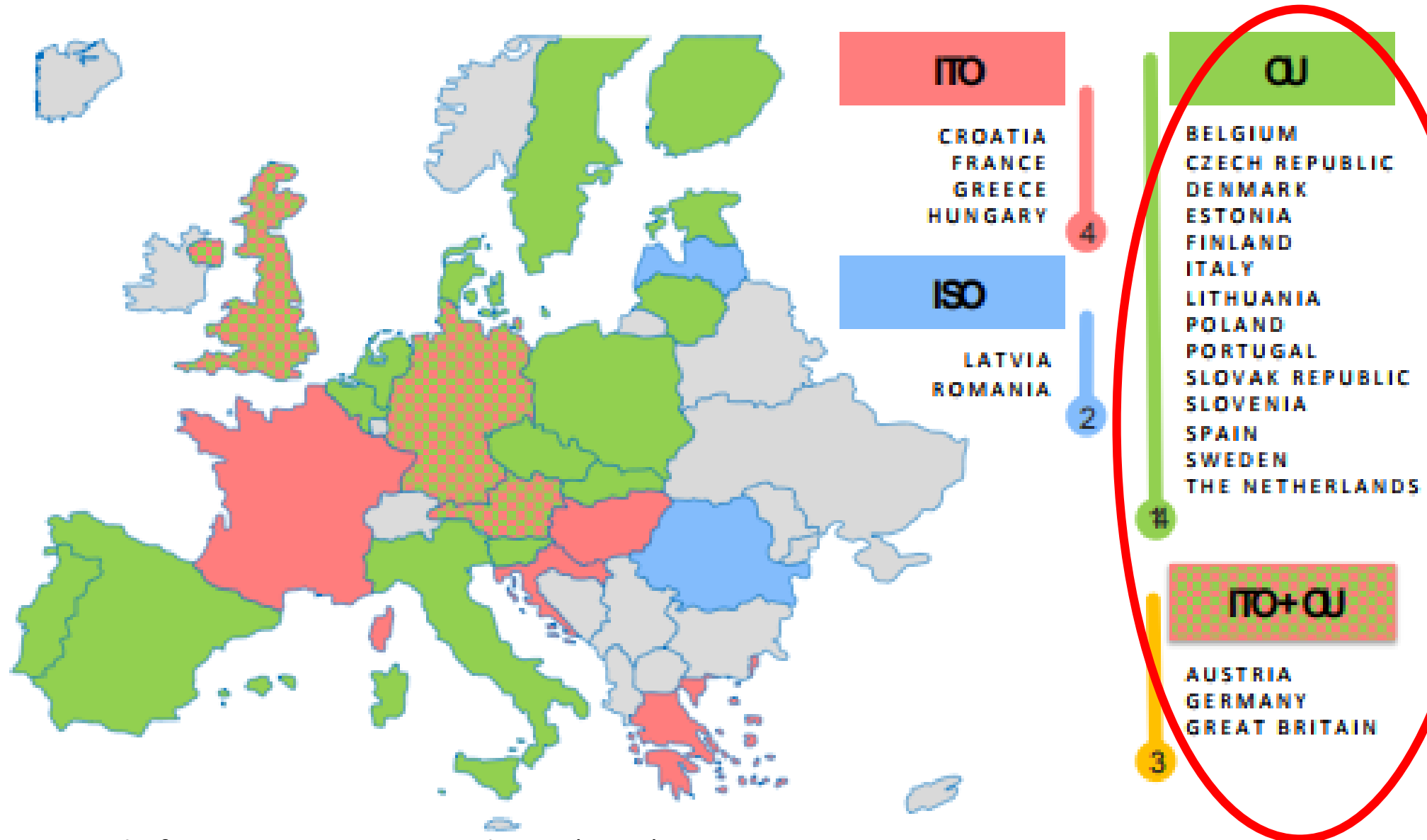
発送電分離は、競争導入のための構造規制改革。
送電系統の運用・所有を、垂直統合事業者の影響下から切り離す。



Stronger unbundling

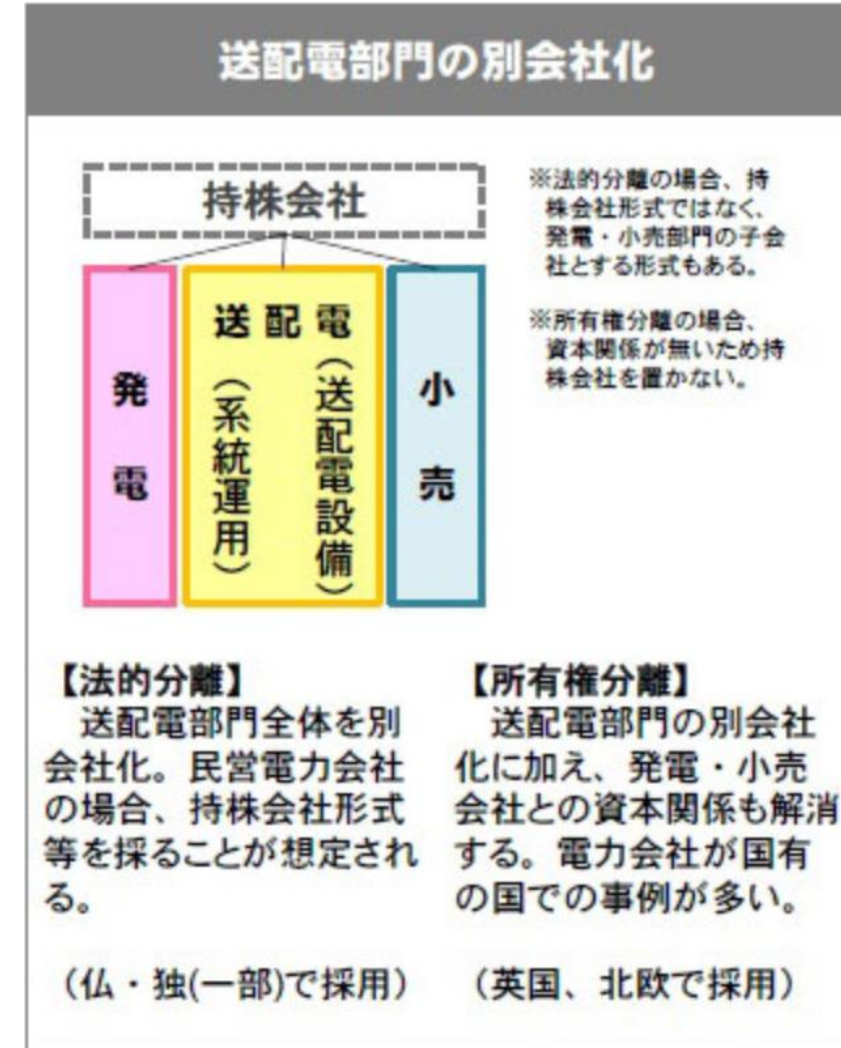


所有分離は、欧州では一般。ただしITOも選択可。



以降で登場する略語

- RE: 再エネ Renewable Energy、VREは変動性再エネ（太陽光発電・風力発電）。
- VIU：垂直統合事業者（分離がされていない事業者。元電力会社）。Vertically Integrated Utility(米)、Vertically Integrated Undertaking（欧州）
- LU：法的分離。LUにより誕生するTSOは、親会社（持ち株会社）のVIUに子会社として保有されることが多い（右図参照）。Legal Unbundling
- **ITO：独立送電事業者。欧州委員会の第三次指令で、所有分離の代わりに認められた法的分離。**VIUによるTSOの所有継続を認める代わりに、TSOの独立性を高めるための**行為規制**が追加的に課された。Independent Transmission Operator



- OU: 所有分離。Ownership Unbundling

右図：電力システム改革専門委員会報告書 2013年2月

LUとITOの違い（要点） 2. 4. 1

- ITOは業務に必要な資産を自ら所有し、人員を雇用しなければならない。
- **ITO下では、系列内のVIUから人を借りたり、サービスの契約を結んではならない。**
- ITOから系列内のVIUへのサービスは、**規制機関の許可**が必要となる。
- ITOは、ITOシステム・設備、セキュリティアクセスシステムを系列内のVIUと**共有**することも、それらに加え会計監査のために同じコンサルタントや外部契約者を持つことも許されない。
- ITOが将来に向けた投資または既存資産の代替が行えるように、系列VIUは遅延なく適切な財源を利用できるようにしなければならない。

INTERPRETATIVE NOTE ON DIRECTIVE 2009/72/EC
CONCERNING COMMON RULES FOR THE INTERNAL MARKET IN ELECTRICITY AND
DIRECTIVE 2009/73/EC CONCERNING COMMON RULES FOR THE INTERNAL MARKET IN NATURAL GAS
THE UNBUNDLING REGIME

LUとITOの違い（要点） 2. 4. 2

- ITOは、送電システムの運用・維持・開発に必要な資産に関して、系列内のVIUから独立した効果的な意思決定権を持たなければならない。
- 特に系列内のVIUは、日々の送電システムの運用やネットワークの管理、TYNDPの準備に関して、ITOの競争行動を直接・間接的に決定することは許されない。
- ITOは、資本市場で資金調達する力を持たなければならない。
- VIU系列内の発電会社と小売会社は、ITOの株式を直接的・間接的に保有することはできない。逆も然り。
- **ITOと系列VIU内の全ての取引・貸借関係は、ITOによるVIUへの融資を含めて、市場の条件に従わなければならない。必要に応じて規制機関に公開しなければならない。**
- **系列VIU内との正式な契約を生じさせる全ての取引・貸借関係は、規制機関の許可を得なければならない。**
- VIUはITOが業務を遂行を阻害する上でいかなる行動もとってはならず、**その業務遂行に際し、自身の許可を必要とさせてはならない。**

INTERPRETATIVE NOTE ON DIRECTIVE 2009/72/EC
CONCERNING COMMON RULES FOR THE INTERNAL MARKET IN ELECTRICITY AND
DIRECTIVE 2009/73/EC CONCERNING COMMON RULES FOR THE INTERNAL MARKET IN NATURAL GAS
THE UNBUNDLING REGIME

LUとIT0の違い（要点） 2. 4. 3

- 規制機関は、IT0の経営メンバーの人事に対し、他のVIUからの独立性が確保されていないと判断したときは、拒否することができる。
- IT0の経営メンバーになる者は、任命される過去**3年間**にVIUまたはVIUが支配する株主保有者と関係する、いかなる役職・職責も担うことはできず、利益または取引関係も持つことはできない。
- IT0の経営メンバーと従業員は、他のVIUと直接的・間接的にも関係する役職・職責・利益または取引関係を持つてはならない。
- IT0の経営メンバーと従業員は、他のVIUのいかなる部分からも、株式やその他の金銭的利益を、直接的にも間接的にも受け取ってはならない。
- IT0の経営メンバーと従業員の報酬は、系列内のVIUの活動結果に左右されてはならない。
- IT0の経営メンバーは、任期終了後**4年間**はVIUと関係する職位・職責を担うことはできず、利益または取引関係を持つこともできない。

INTERPRETATIVE NOTE ON DIRECTIVE 2009/72/EC
CONCERNING COMMON RULES FOR THE INTERNAL MARKET IN ELECTRICITY AND
DIRECTIVE 2009/73/EC CONCERNING COMMON RULES FOR THE INTERNAL MARKET IN NATURAL GAS
THE UNBUNDLING REGIME

コンプライアンス、監視機関

- ITOによる差別的行為の防止や発生時の対応のため、ITOはコンプライアンス・プログラムを定めるとともに、独立した立場で規制当局に対して情報提供などを行うコンプライアンス・オフィサーを設けることが義務付けられている。
- 年間・長期的な財務計画や債務のレベル、株主への配当額を決定する独立した監視機関（Supervisory Body）を設立することも義務付けられている。
- この監視機関はITOの日常の活動と系統の管理には関与しない。

INTERPRETATIVE NOTE ON DIRECTIVE 2009/72/EC
CONCERNING COMMON RULES FOR THE INTERNAL MARKET IN ELECTRICITY AND
DIRECTIVE 2009/73/EC CONCERNING COMMON RULES FOR THE INTERNAL MARKET IN NATURAL GAS
THE UNBUNDLING REGIME

電力中央研究所 研究報告書

ドイツにおける発送電分離の評価 —事業者における対応と課題—

- 後藤・丸山・服部（2014）より
- 『ITO化の下では、親会社は送電事業に対して戦略的影響を及ぼすことができず、単に投資対象として所有している状態に近い。
- そのために、実質的に所有権分離との違いはほとんどなく、グループ内での調整機能を維持しつつ送電部門の中立性を高める法的分離のメリットは失われる。
- 一方、配電事業に関しては、今のところ送電部門のような厳格な分離を求められていない。』

研究対象：欧米

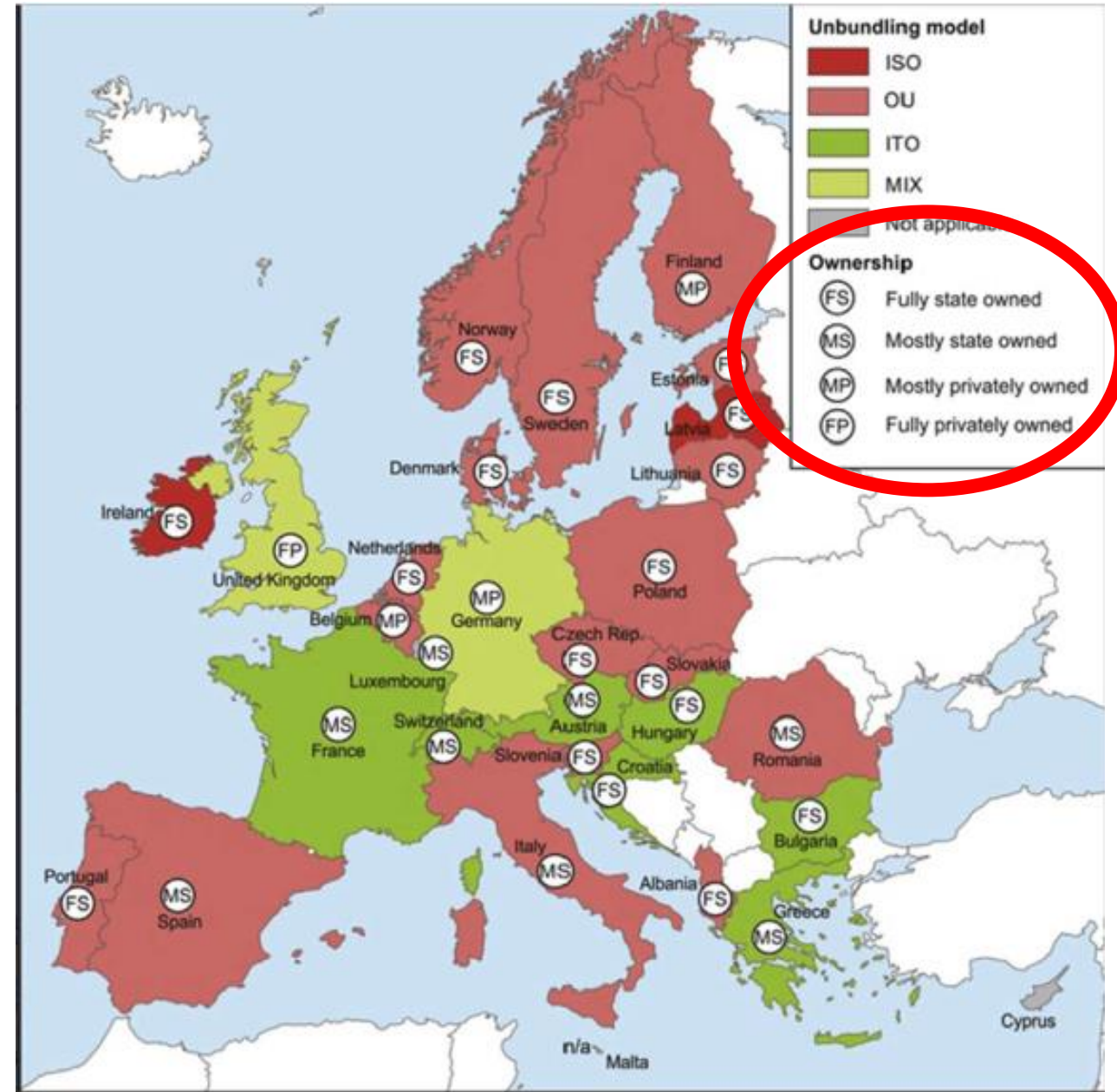
- 日本は2020年に法的分離を実施予定なので実施後のデータはなし
- しかし欧米では法的分離以上の分離を既に終えている。
- だから欧米には発送電分離前後のデータがある。
- なので欧米を対象にすれば観察研究が可能。
- Sugimoto(2019)では、機能分離したアメリカの州を対象に、パラメトリックな手法でパネルデータの分析（相関研究）を行った。
- 次の研究では、所有分離したヨーロッパを対象に、仮定の少ないセミパラメトリックな手法を用いて因果推論を行いたい。

なぜドイツか？

- ヨーロッパで所有分離をした国は多いが、
- もともと国有だったケースが多く、
- 民営の電力会社を持つ日本にとってあまり参考にならない

- ドイツは複数のTSOがあり、発送電分離の実施度合いに差があるので、その差を生かして分離の再エネ増加効果を識別できるかもしれない。

右図：Meletiou et al. 2018



Transmission System Operators

- ドイツには4つのTSOがある。
- いずれも旧電力会社（Big 4）から法的分離によって生まれた

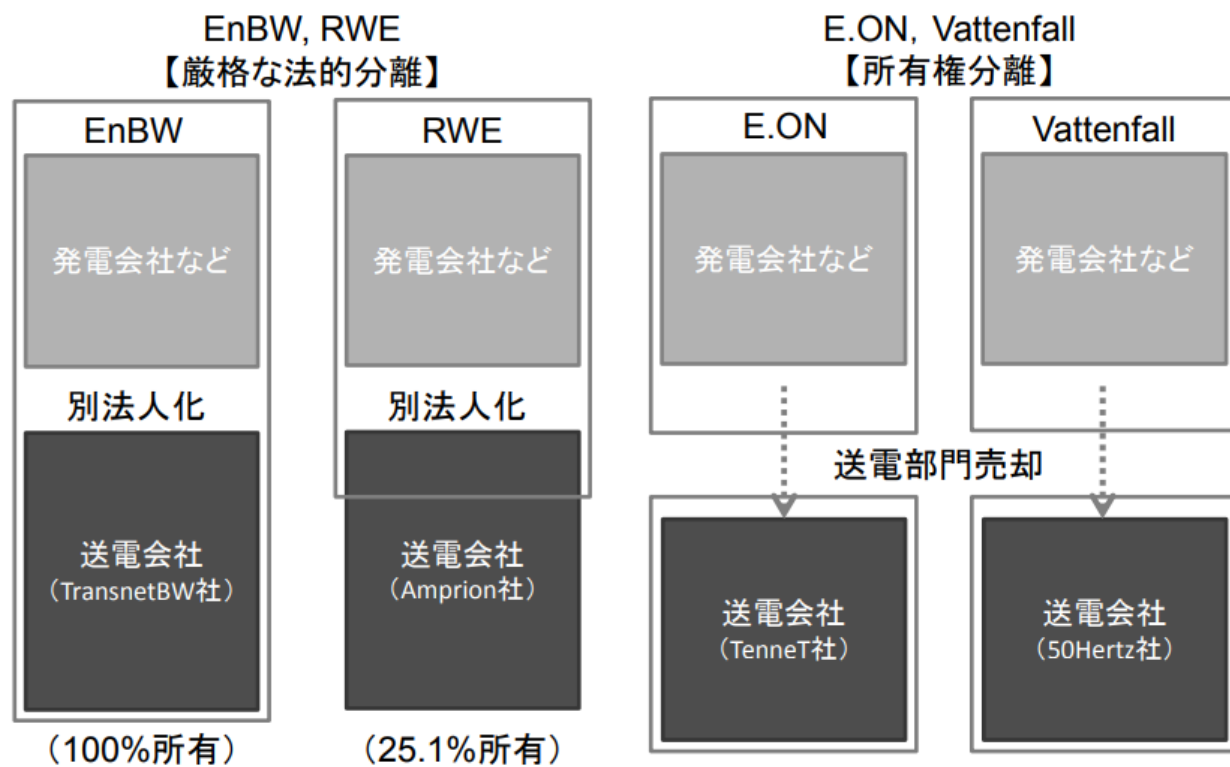
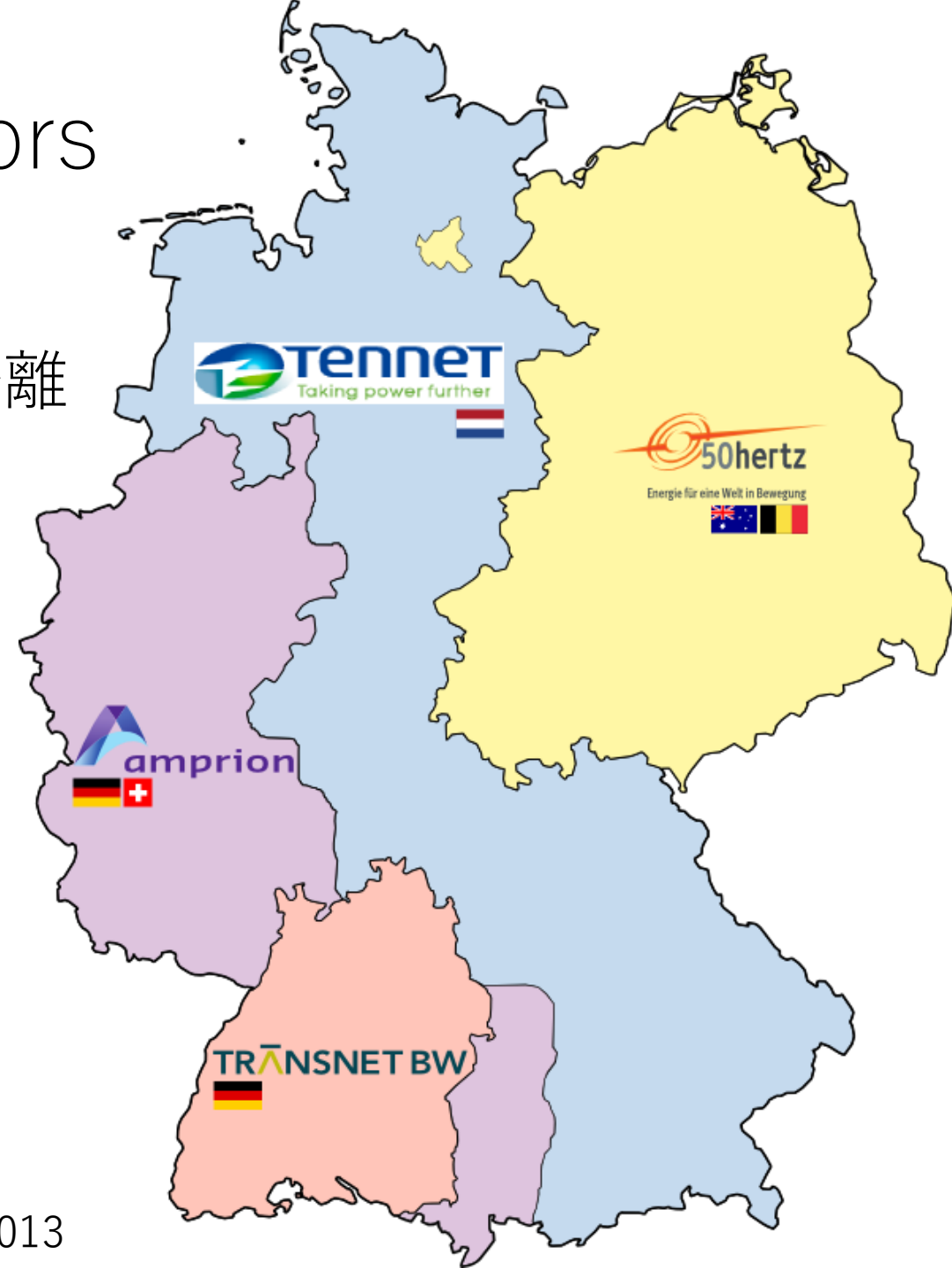


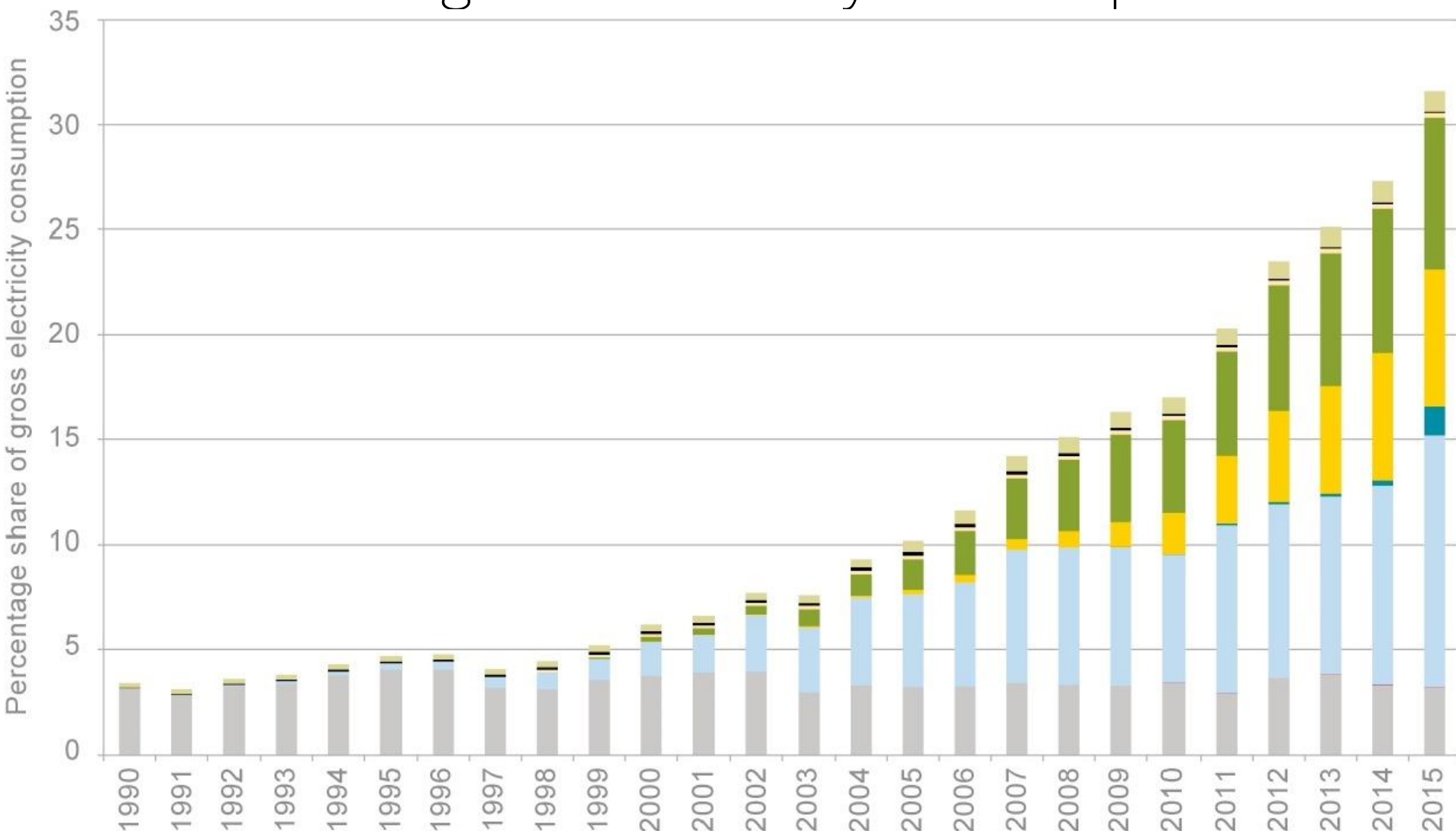
図 ドイツの発送電分離の形態

左表：後藤 et al. 2013



参考

Development of the share of renewable energy in gross electricity consumption in Germany



Biogenic part of waste Landfill gas Sewage gas Biogas Photovoltaics
Wind offshore Wind onshore Geothermal Hydropower

Source: Matschoss et al. 2019

第1部

発送電分離の再エネへの影響に
関するヒアリング結果

ヒアリング日程 (2月10日～24日)

- 12日 シカゴ大学で①伊藤公一朗先生と会う
- 14日 ワシントンDCでResources for futureの②Brennen氏、農業省の③Hitaj氏と会う。
- 18日 ヤーコプス大学ブレーメンで④Brunekreeft氏 & Meyer氏と会う。
- 19日 ベルリンのHertie School of Governanceで元バツテンフォールの⑤Hirth氏と会う。
- 21日 ケンブリッジ大学で⑥Pollitt氏と会う。
- 22日 サセックス大学で⑦Johnstone氏と、ロンドンのOfgemで⑧Thompson氏と会う。

ヒアリング結果の要約

- 「発送電分離が再エネ増加に影響を与えていると思うか？」という問いに関しては、その可能性は認めるものの、
- EEGの再エネの優先接続規定（独）、
- 接続に伴う系統増強費用のshallow負担方式（独）、
- EEGの再エネ出力抑制に対する補償（独）、
- コネクト&マネージ（英）、
- 独立した強力な規制機関の存在（独・英）
- などの別の制度の方が再エネ導入のための系統接続や系統運用にとっては重要だと答える研究者が多かった。
- ヨーロッパの方へのヒアリングでは、他の規制があれば法的分離を強化したITO化でも再エネの導入には有効だろうという意見が多かった。

伊藤公一郎氏

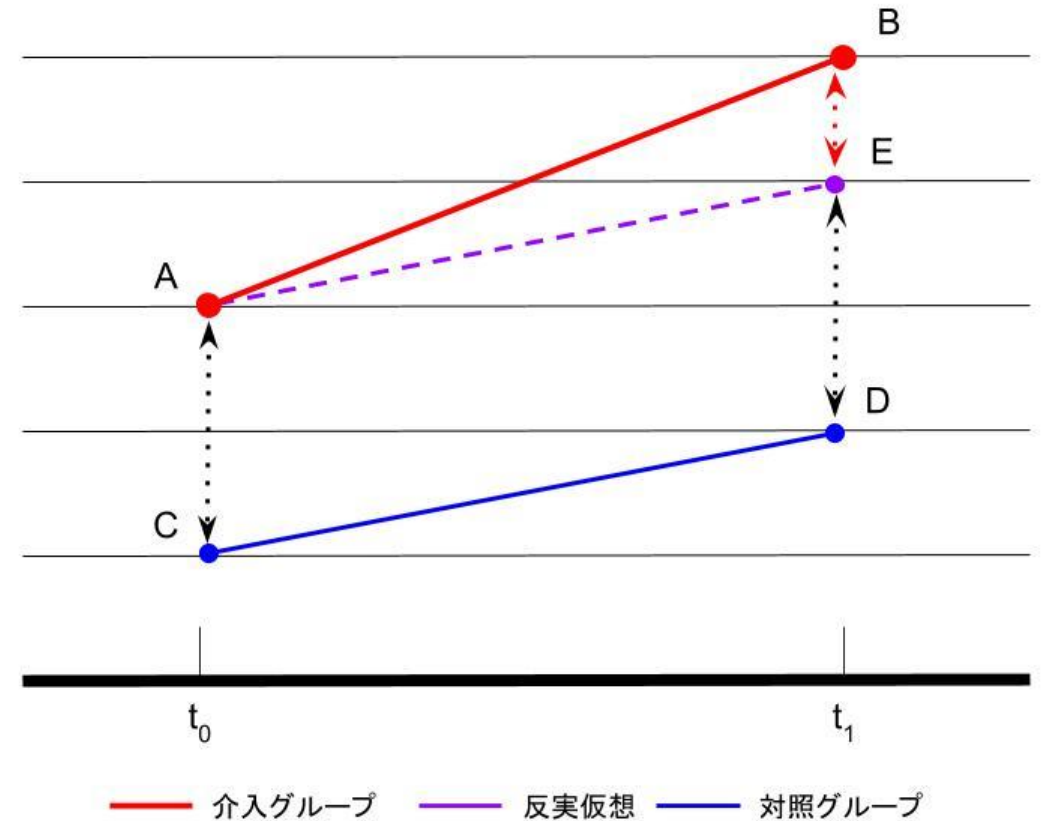
シカゴ大学 公共政策大学院ハリススクール 助教授

- 訪問目的
- 現在私が進めている発送電分離の影響を識別する方法論である Regression Discontinuity Design (RDD) のリサーチデザインについてアドバイスをいただくため。彼自身がRDDを使って、有力誌に電力の価格・政策に関する論文を多数発表している。
- 代表作
- Ito, Koichiro. 2014. "Do Consumers Respond to Marginal or Average Price? Evidence from Nonlinear Electricity Pricing." *American Economic Review*, 104 (2): 537-63.
- Ito, Koichiro. 2015. "Asymmetric Incentives in Subsidies: Evidence from a Large-Scale Electricity Rebate Program." *American Economic Journal: Economic Policy*, 7 (3): 209-37



Q.私のドイツの発送電分離の影響に関するリサーチデザインについて

- RDの前にまずDIDを検討してはどうか。平行トレンドが不成立のときに初めて、境界面に注目したRDの適用を検討すればいい。まずは平行トレンドの成立をみるべき。その成立いかんにリサーチデザインは依存する。
- 家計と異なり、発電事業者はどこに発電機を建てるかは選択できる。
- エリアAとBがあったとき、自分が入ると有利になるエリアに建てる。個人が一軒家を建てるのとは異なる。
- なので分離の効果にその効果（サンプルセレクション）が混ざってしまう可能性がある。



その他

- 風力以外のアウトカムもみるべき。石炭・太陽光など。風力だけでは、「なぜ全体のわずかにしか過ぎない風力が重要なアウトカムなのか」とつつこむ経済学者がいるだろう。
- 容量だけではなく発電量もみるべきだ。導入されたのはいいものの、実際は全然発電していないこともありえる。
- 面白いアウトカムが発見できれば、いい論文になる。効果ゼロでも公表する価値がある。
- もっと大風呂敷を引いたらどうか。発送電分離の「風力への影響」ではなく、「電力市場への影響」という風に。風力に絞らなくてもいい。その方が関心持つ読者を多くできるだろう。太陽光に影響ないかどうかも仮説検証したらいい。
- 新規参入再エネ事業者が電力会社にいじめられているというのなら、それを指摘する研究があってもいい。

Gert Brunekreeft氏

Adjunct Professor for Energy Economics

Head of Workgroup@ヤーコプス大学ブレーメン



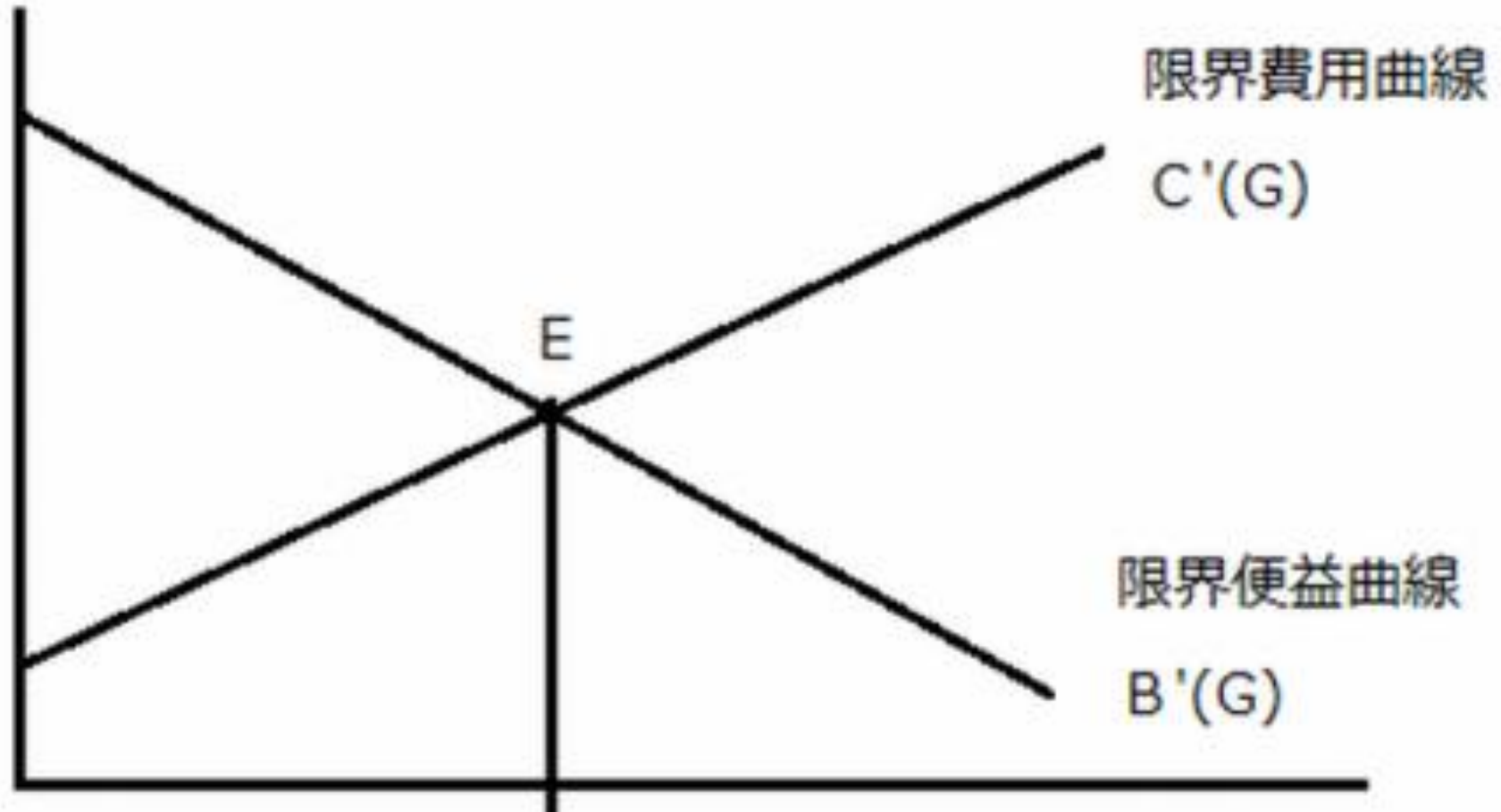
- 訪問目的
- ドイツでの発送電分離の影響研究についての第一人者であり、最近は「凋落する既存事業者と躍進する新規参入事業者について」も論文を書いているため。
- 代表作
- G. Brunekreeft, K. Neuhoff, D.N. Newbery. Electricity transmission: an overview of the current debate *Util. Policy*, 13 (No. 2) (2005), pp. 73-93
- Brunekreeft, G., 2008. Ownership Unbundling in Electricity Markets. A Social Cost Benefit Analysis of the German TSO's. EPRG Discussion Paper 08-15, University of Cambridge.
- Brunekreeft, G. **Network unbundling and flawed coordination**: experience from the electricity sector *Util. Policy*, 34 (2015), pp. 11-18
- Brunekreeft, G., Buchmann, M., & Meyer, R. (2016). **The Rise of Third Parties and the Fall of Incumbents Driven by Large-Scale Integration of Renewable Energies: The Case of Germany.** *Energy Journal*, 37, 243–262.

発送電分離の再エネへの影響に関して

- 発送電分離が再エネ導入に効果があるかどうかはわからない。
- 私はヨーロッパ・エネルギー規制機関連合（CEER）の「ITOはOUなしでも十分機能している」という評価に同意する。ITOでもOUでも、再エネ事業者にとっては違いはないと考える。
- ただし、LUは細則を定めた付帯制度と、履行を監視・適宜処罰する強力な規制機関があってはじめて機能する。
- 以前（2009年以前に）私が参加したイベントで、規制機関の人間が系統運用者の聴衆にむかって、「もし新規事業者を差別したらECに報告する。そうしたらOUが義務付けられるだろう。それが嫌なら、差別しないことだ」と言っていた。そういう脅し文句により、LUだけでも系統運用者は不差別対応をした可能性はある。

発送電分離の限界費用・限界便益曲線(イメージ)

- 縦軸は
- 便益・費用額
- 便益
- 競争の増加 など
- 費用
- 取引コスト増加など
- 横軸は
- 分離の強度



系統接続に関して

- 再エネの配電への系統接続に関しては、なんの不满もないと思う。
- 新規参入者の系統接続に関しては、ドイツにはEEG以外にも重要な法律がある。Kraftwerks-Netzanschlussverordnung(KraftNAV:発電所系統連系規制) というものだ。2007年に出た。系統接続の不当な遅れを禁じる規制だ。よほど不合理的な接続要請を例外として、すべての系統運用者に義務づけた。従わなければ金額は明示されていなかったと思うが罰がある。
- これがすごくうまく機能した。これは再エネ事業者ではなくnon-REを対象にした文書だが、副作用的にEEGとともに再エネ事業者の系統接続を強化した可能性はある。
- ただしこの時期に石炭のような非再エネ発電所の建設計画数は多くなく、20GWくらいか。少数の企業（ElectrabelやVattenfall）のロビーの成果だろう。電力需要地は南部にあるのに、北部から電気を輸送するための系統増強費用を負担したくなくて、石炭を最安で手に入れるにはハンブルクまで（海外から？）船で運べばよいから、彼らは北部に石炭発電所を建て、系統接続したかった。

配電分離について

- DAの時点では、再エネ事業者に系統運用面での取り扱いに関して不満はない。
- しかし当日・リアルタイム時点での柔軟性の提供に関しては、不満が出てくるかもしれない。
- 今後地域別にbalancing市場を創設し、DSOが混雑管理を行う可能性がある
- その際にDSOを競争部門から分離しない限り、以下の事態が懸念される。

①柔軟性の選択面での優遇 (Flexibility selection)

- 系列VPPの柔軟性ばかり調達する恐れ

②戦略的配電投資抑制 (Strategic investment withholding)

- DSOが系列の発電会社やVPPの利益のために配電線投資をあえて抑制
- 混雑放置のインセンティブ

③情報共有の懸念 (Information exchange)

- DSOが系列の発電会社・VPPの間でだけ混雑情報を共有する

従来のDSOの役割（配電網の運用とは？）

- 送電線から来る高圧の電気を低圧化し、需要家まで届けること。
- 新規の発電所の系統接続
- 配電線の保守・メンテナンス
- 必要に応じて配電線の追加投資

- ポイント①：DSOは潮流の制御という意味での”運用”はしない。
- 混雑管理（分散型電源の出力抑制やCCGTなどの再給電、柔軟性の確保）は、
- TSOがbalancing mechanism（英国）や調整市場（ドイツ）を通じて調達・実行している。

- ポイント②：DSOは管轄エリア内の発電側・需要側・混雑箇所などのデータを**所有**している。

欧州での配電分離の背景

- "DSOs need to facilitate new arrangements by acting as **neutral market facilitators** with the interest of the IEM at the forefront.
- This requires a sufficient level of **unbundling between suppliers and associated DSOs**.
- With the increasing penetration of distributed (including RES-based) generation, DSOs will be called to manage their systems in a more active way, similarly to TSOs, including by taking responsibility for managing congestions using local resources connected at the distribution level (with DSR among them).
- Therefore, the cooperation between DSOs and TSOs should be enhanced.
- Moreover the same level of **separation of DSO functions from other activities, as envisaged for TSOs, should be considered**.
- Exceptions could be maintained for very small DSOs, which are unlikely having to perform TSO-like functions. In this respect, we suggest significantly reducing the current de minimis threshold"
- ([Joint ACER-CEER response to European Commission's Consultation on a new Energy Market Design of 7 October 2015](#), p. 20, 21)」

Lion Hirth氏

Assistant Professor of Governance of Digitalisation and Energy Policy
Hertie School of Business



- 訪問目的
- 以前VIUの一つであるバッテリーフォールで働いていた経験があり、その観点から発送電分離について意見をいただくため。
- 代表作
- Lion Hirth, Falko Ueckerdt, Ottmar Edenhofer, **Integration costs revisited – An economic framework for wind and solar variability**, Renewable Energy, Volume 74, 2015, Pages 925-939.
- Lion Hirth, The market value of variable renewables: The effect of solar wind power variability on their relative price, Energy Economics, Volume 38, 2013, Pages 218-236

ヒアリング結果

- たしかにVIUに差別するインセンティブはあるだろう。競争の増加を通して、再エネを増加させた可能性はあるだろう。
- しかしそれは再エネ発電技術にかかわらず、全ての他社（第三者、IPP）の発電所に対して同様に持つだろう。
- ITOとOUに差はないだろう。
- 系統運用に関しても、EEGには出力抑制した場合は99%利益を補償しなければならない条件があるので、分離は特に関係ないのではないか。

ヒアリング結果

- Shallow cost方式も重要である。この制度が再エネ事業者の系統接続を容易にする。**この制度がないとVIUが系統接続面で他社を差別（非常に高い費用を請求し、実質的に接続を不可能にする）する恐れから、ドイツなどでこの制度ができたと思う。**系統に接続できないとき、VIUは自社の発電部門の売上が減るから、とか本音は言わず、系統全体の信頼性に悪影響だから、などと言うだろう。
- このように、再エネ新規参入者への差別防止には、細かい制度設計が大事だ。
- 市場も大事だ。
- 再エネは配電に接続するが、同様に抑制には補償が必要なので、そちらは有効。送電分離の影響は不明だ。

Michael Pollitt氏

Professor of Business Economics
Judge Business School, University of Cambridge



- 訪問目的
- 発送電分離の影響研究についての第一人者であるため。
- 代表作
- Michael Pollitt, **The arguments for and against ownership unbundling of energy transmission networks**, Energy Policy, Volume 36, Issue 2, 2008, Pages 704-713
- Michael G. Pollitt, **Lessons from the history of independent system operators in the energy sector**, Energy Policy, Volume 47, 2012, Pages 32-48, ISSN 0301-4215

ヒアリング結果

- 発送電分離と再エネは無関係、あってもごく少数ではないか。
- ドイツはEEGがあれば仮にLUのままでも再エネの導入に影響はなかっただろう。EEGの優先接続規定はRight to connectを意味している。そしてネットワーク・コストは社会化しているのだから。出力抑制にも補償がある。イギリスも国レベルの規制あれば、接続で差別はないだろう。
- ITOを選択したフランスのRTEに関しては、日々のオペレーションでOUと違いはないだろう。長期的な投資戦略は違うかもしれない。
- アメリカの機能分離であるISO/RTOの実施が安上がりだったのは、分離前からPower Poolがあったから、そこに機能を付け足すだけでよかったというのがある。これがISO化のメリットだ。
- 日本は分離の前にNational System Operatorの存在が必須ではないか。しかし日本はOUを実施しても分離の費用である再組織・取引コストは大きくないかもしれない。

Grendon Thompson氏

Head of ESO Regulation, Systems & Networks, Ofgem

- 訪問目的: イギリスの規制機関に発送電分離の意見について聞くため。
- 発送電分離の再エネへの影響は可能性としては否定しないが、確率としては大きくないと思う。
- 系統運用者は間歇性の再エネを嫌がる。しかし最近の再エネの成長を説明するのは2007年に導入したコネクト & マネージと、FITやCfDのような補助金だと思う。
- イギリスのBalancing Mechanismでは再エネを含めた全ての電源から調整力の入札を集めて、混雑を解消するように最適な約定を行っている。必ずしも最安の電源が落札されているわけではない。これがマネージの部分だ。どのように約定しているのかが外からはわからないという不透明さはあるかもしれない。

英国のコネクト & マネージについて

- コネクトに関しては、Transmission Entry Capacityを用意し、先着順に接続した発電所が事前に決められた容量を使えるようになっている。オークションではない。
- コネクトする際にファームとノン・ファームの2種類があり、時間がかかる手続きを嫌がる事業者はノン・ファームを選択することで、とりあえず接続することができる。ただし系統の状況によっては優先的に抑制を受けることになる。抑制されることで逸失収入を補償されることはない。
- 現在起きている問題は、DSOがこのノン・ファームを乱発したことで、再エネ事業者が抑制を受けやすくなっていることだ。今後何時間以上抑制された場合は補償するといった制度ができる可能性はある。再エネに厳しくいくなれば、接続の際に事業者がノン・ファームを選んだのならば自己責任で補償はしないという考えもあるが。

イギリスの再エネ導入結果について

- 総じて、再エネの統合が進んだことで系統運用者のコストが増えた。
- コストの内訳は、再給電、BMでの抑制分の支払い、送電投資設備費用等だ。
- 先日西側の海底に南北を結ぶ高圧交流送電ができた。
- イギリスの系統は、風力の適地が北部にあり、需要地は南部にあり、南北を結ぶ送電線の容量が不足しているという日本と似ている状況だ。
- 送電容量の利用率はOfgemとしては公開していない。各TSOはしているかもしれない。
- TSOは発電所はもちろん、連系線も保有することはできない。分離はちゃんとなされている。

調査全体を通じた感想

- 発送電分離の再エネへの影響は、欧米でも論争のある未解明（ヒアリング結果は回答者の感覚でしかない）。効果がないことがわかれば、分離への過度な期待を改め、より有効な他の規制の重要性を明らかにできる。
- 日本の現在のエネルギー政策は、アメリカよりもヨーロッパに近い。ヨーロッパの中では、再エネの導入促進と同じくらい導入の費用を重視する点で、ドイツよりはイギリスに近い。
- LU→OUより、VIU→LUの影響も調べてみるべきかもしれない。Brunekreeft氏の言う発送電分離の限界便益の逓減曲線が事実なら、最初は効果が大きくても、分離を強くしすぎるとだんだん便益は小さくなり、逆に費用は大きくなる可能性があるため。
- 送電だけではなく、配電部門の分離の再エネへの影響も調べたい。

第2部 その他参考になった点

- 欧米での再エネの主要な導入主体が非垂直統合事業者である要因は？
- なぜ既存の垂直統合事業者は再エネに消極的なのか？
- 陸上風力の立地場所の決定要因は？
- ドイツ・イギリスでの風力の出力抑制の比較
- 再エネの統合コストについて
- イギリスのエネルギー政策の傾向

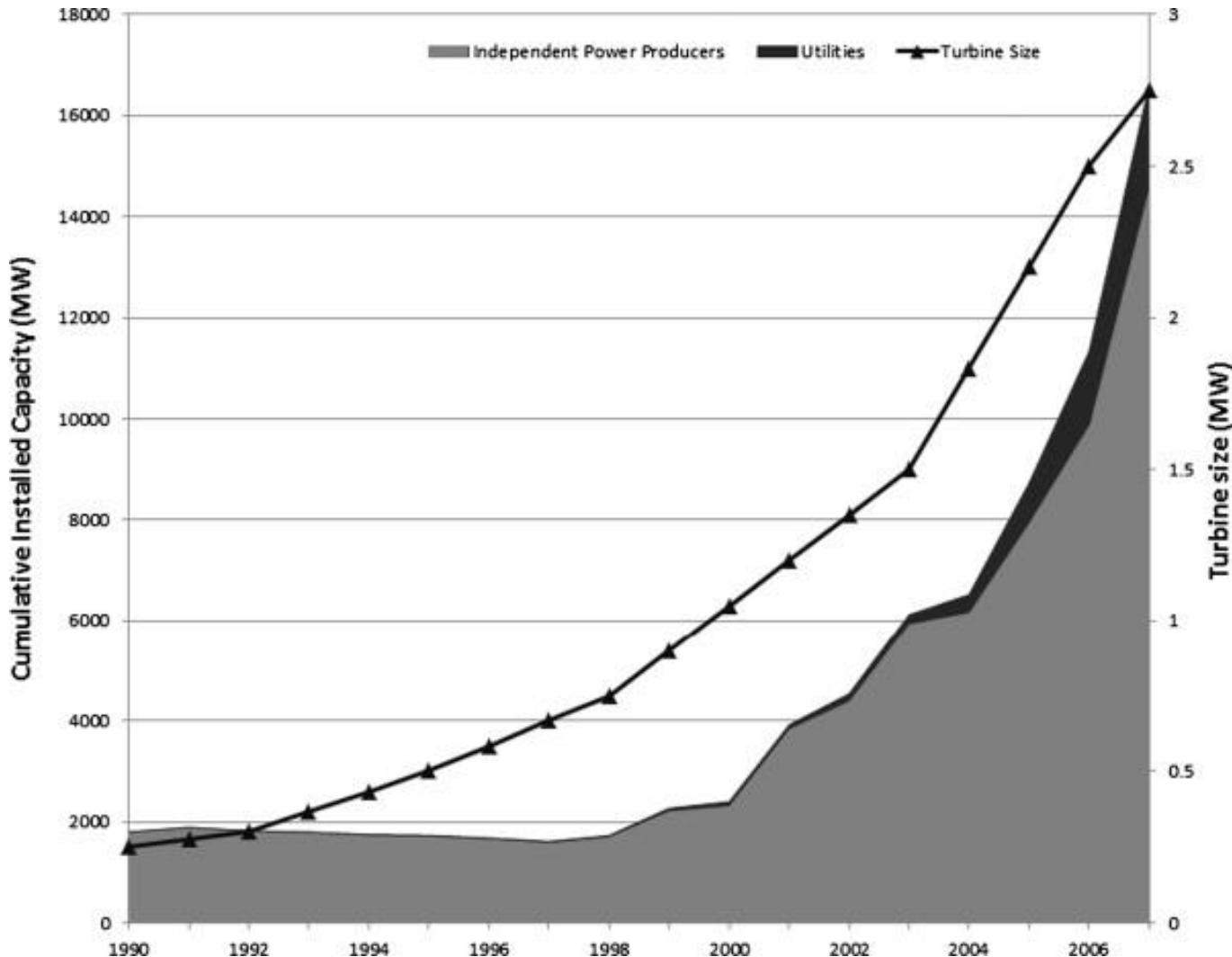
アメリカとドイツの対比から考える、 風力の導入主体と開発場所の決定要因



- **Claudia Hitaj**

- Economic Research Service, US Department of Agriculture, Washington, DC, United States
- 代表作
- Claudia Hitaj, Andreas Löschel, The impact of a feed-in tariff on wind power development in Germany, *Resource and Energy Economics*, Volume 57, 2019, Pages 18-35,
- Claudia Hitaj, Wind power development in the United States, *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 65, Issue 3, 2013, Pages 394-410,

米・独では、誰が風力を導入してきたか？



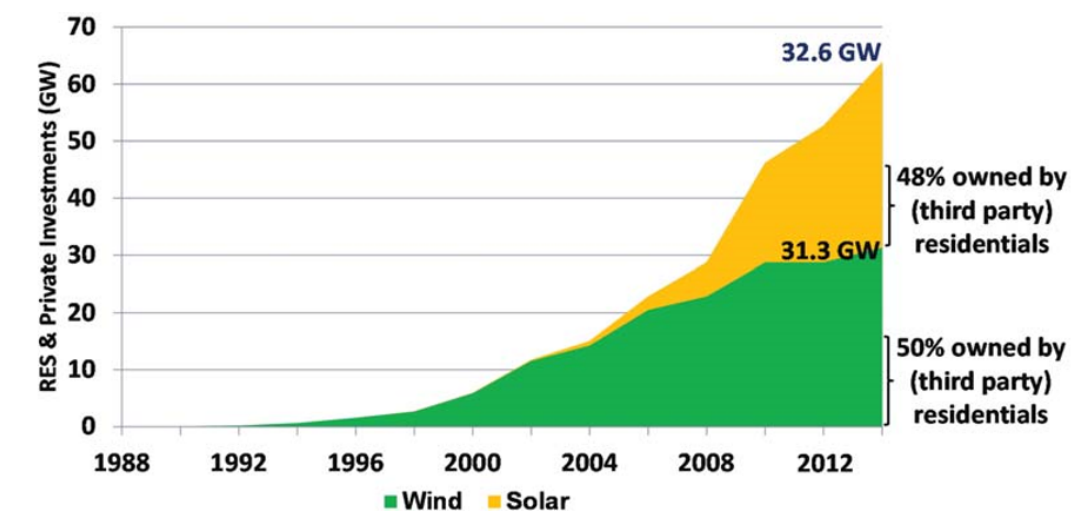
About 70% of States' wind power capacity was owned by IPPs in 2014 (AWEA, 2014).

Sugimoto(2019)では、アメリカでUtilityよりもIPPによる風力導入が大半な理由を、機能分離による送電システムの運用者の非営利化（利害対立関係の解消）の効果だと主張。

Cumulative installed wind power capacity (MW) by independent power producers and utilities [19] and turbine size (MW)

Claudia Hitaj (2013)

Figure 2: Installed RES capacity (PV & wind) in Germany between 1988 and 2012, and private investment in RES in 2012



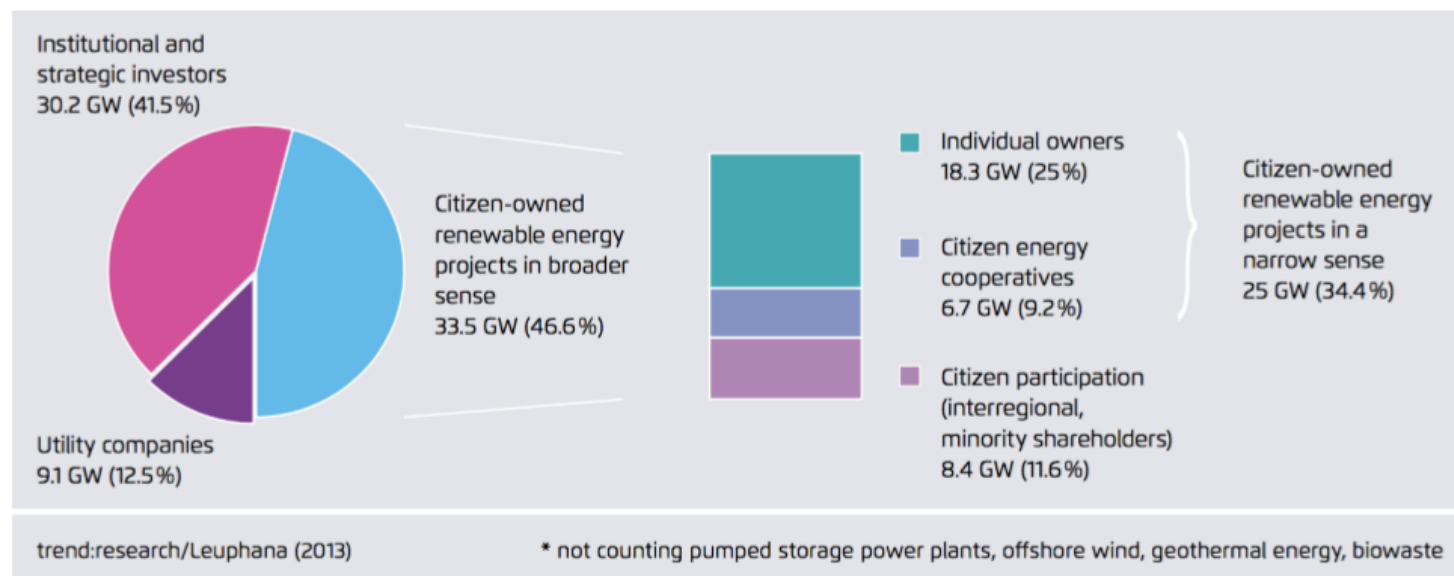
Source: own illustration based on data from BNetzA, 2009–2013 & trend:research, 2013.

Brunekreeft, G., Buchmann, M., & Meyer, R. (2016).

- ドイツでも、既存電力会社より
- 第三者による太陽光・風力導入が多い。
- FITが大きいだろうが、発送電分離の影響もあるか。



BIG 4 OWNED 5% OF TOTAL RENEWABLE CAPACITY IN 2012 – CITIZENS ARE PRIMARY INVESTOR IN RENEWABLES IN GERMANY



Source: Agora (2016)

なぜドイツで既存事業者が再エネ導入に後ろ向きだったか

- ドイツのFITは施行初期の数年間にはVIUによる再エネを対象外としていた。
- 最近ではVIUも再エネに熱心だ。先週陸上大規模太陽光の入札があり、補助金なしで落札したのはEnBWだ。もちろん洋上風力も盛んだ。
- Big 4は2016の論文では「共喰い（カニバリゼーション）から再エネ導入に消極的だ」と書いたが、
- RWEはwrite off expected lossで10～15billion euroの損失計上をしてからは再エネができるようになった。
- EnBWは緑の党の政権が再エネ推進なのでその方針に従って再エネ特に太陽光を熱心に入れている。
- E-ONは再エネをやるための会社をつくり、残りの火力部門は分離した。

補足 共喰い（carnivalization）現象について

- 従来型電源と再エネ発電は同じ顧客を奪い合う競合商品である。
- 新商品である再エネの投入は、既存電源を代替あるいは置換する。
- 全社レベルで利益が増えないのであれば、わざわざ再エネなどという新商品を投入する甲斐はない。
- つまり既存事業者にとって再エネを導入するインセンティブはそれほど大きくなるらない。
- 他方で新参企業にとっては、既存製品は販売していないので、共喰いが発生する余地がない。だからイノベーションに積極的になりやすい。

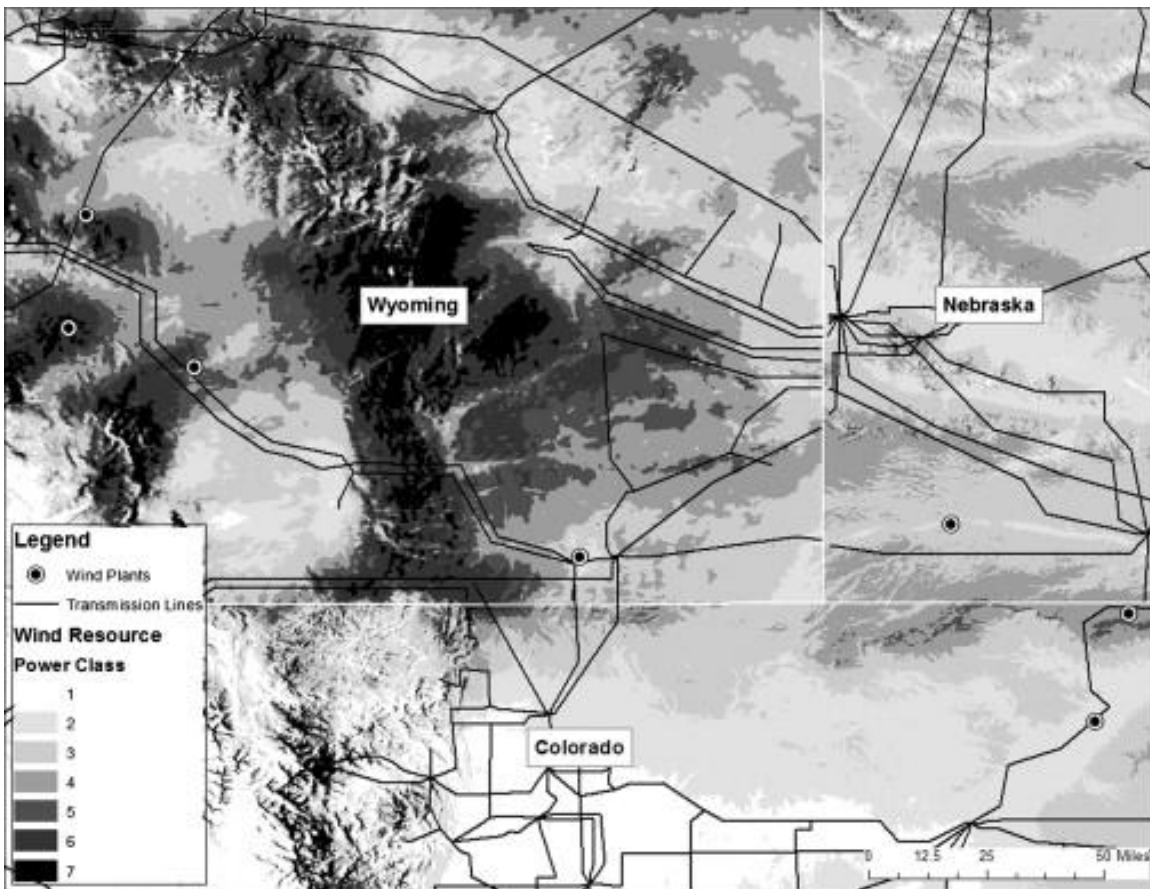
参考：伊神満（2018）「イノベーターのジレンマの経済学的解明」日経BP社

なぜVIUが当初REをやらなかったか



- Risk/Return比でREが相対的に魅力的ではなかったが最大の要因ではないか。大規模発電なら15~20%のリターンがある。しかし再エネは控えめだ。
- ちなみにFIT当初はVIUに資格がなかった。これも一因だ。
- ちなみにEEGにはエネルギーの民主化（Energy Democratize）の側面がある。Big 4による支配に、新規参入者を入れたかった。だからVIUに当初FIT申請の資格がなかったのかもしれない。
- 当然既存事業者のイデオロギーや慣性もある。間欠性の再エネは自由に出力を調整できた電源で構成されるlegacyのシステムに反している。（これはOfgemも指摘。）

米・独では、どこに風力は立地しているか？



Wind power plants in Wyoming, Nebraska, and Colorado locate alongside the electricity grid, foregoing locations with greater wind potential.

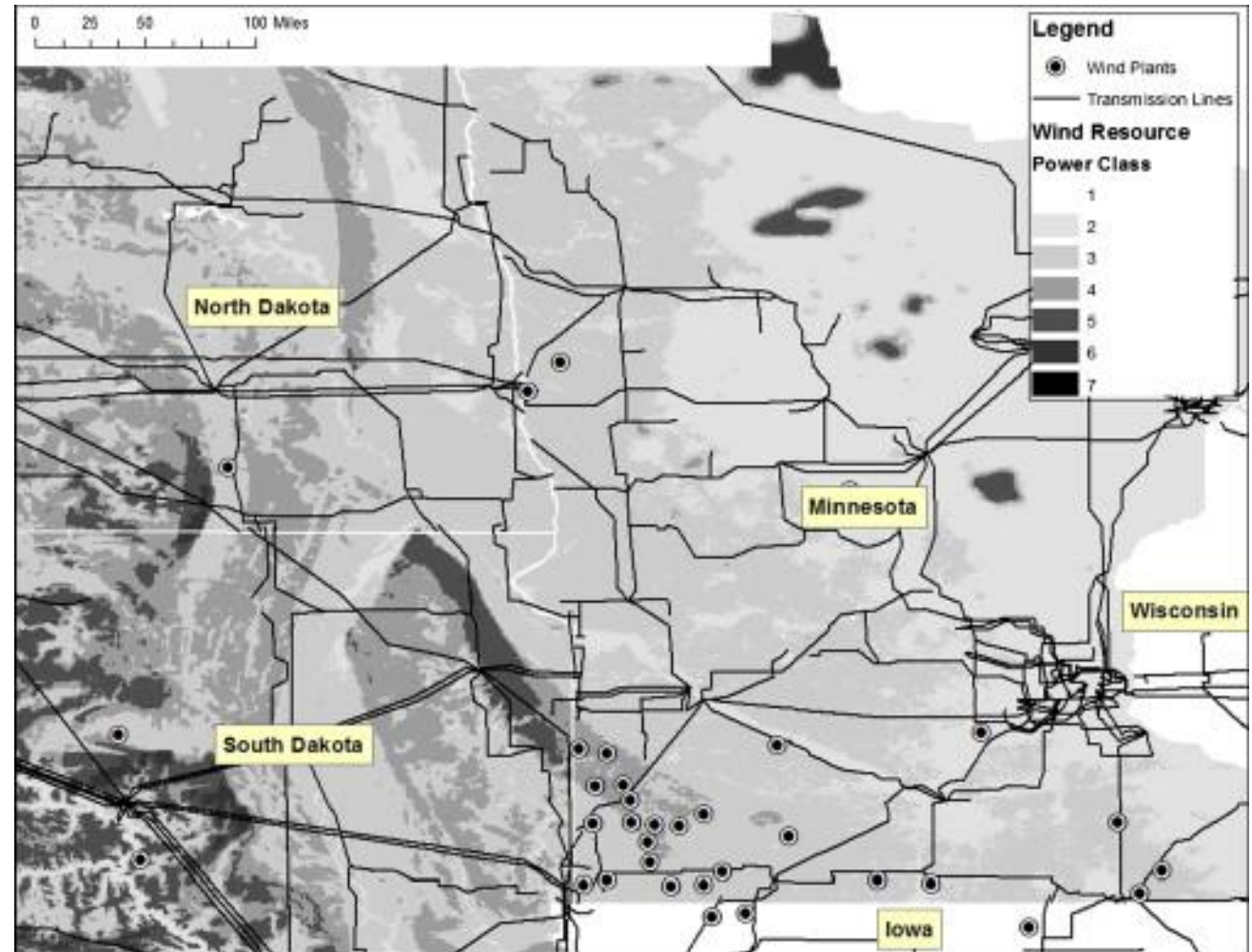
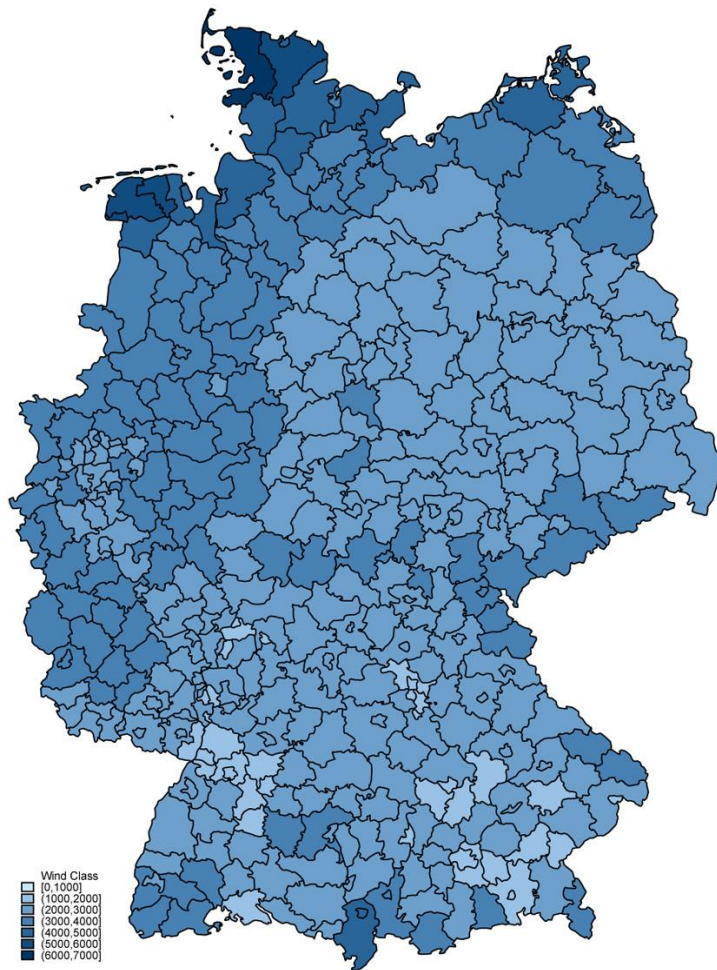
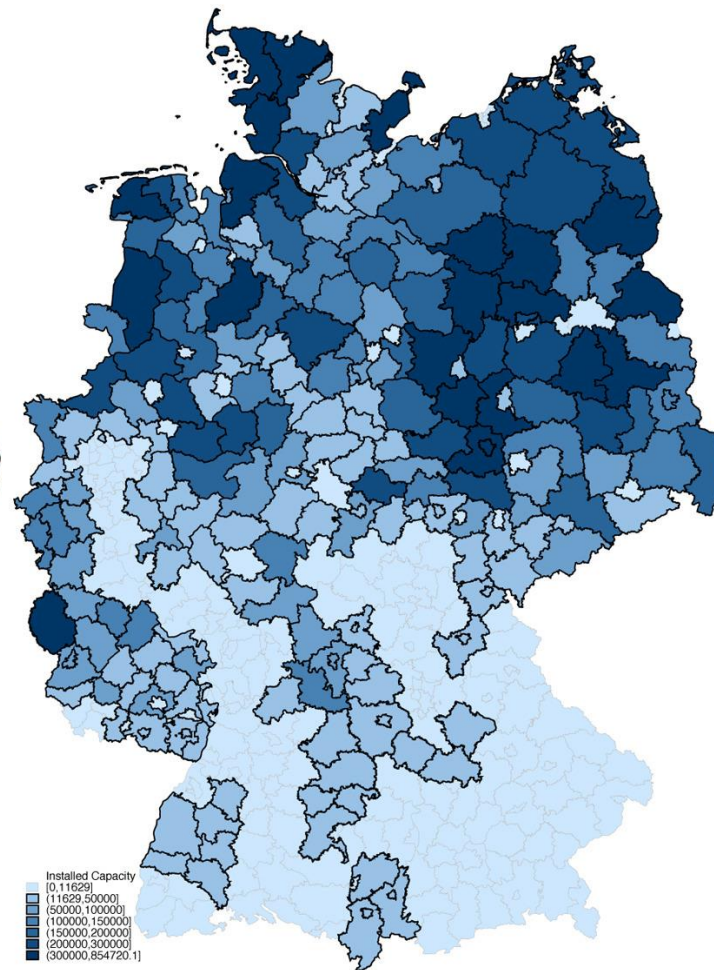


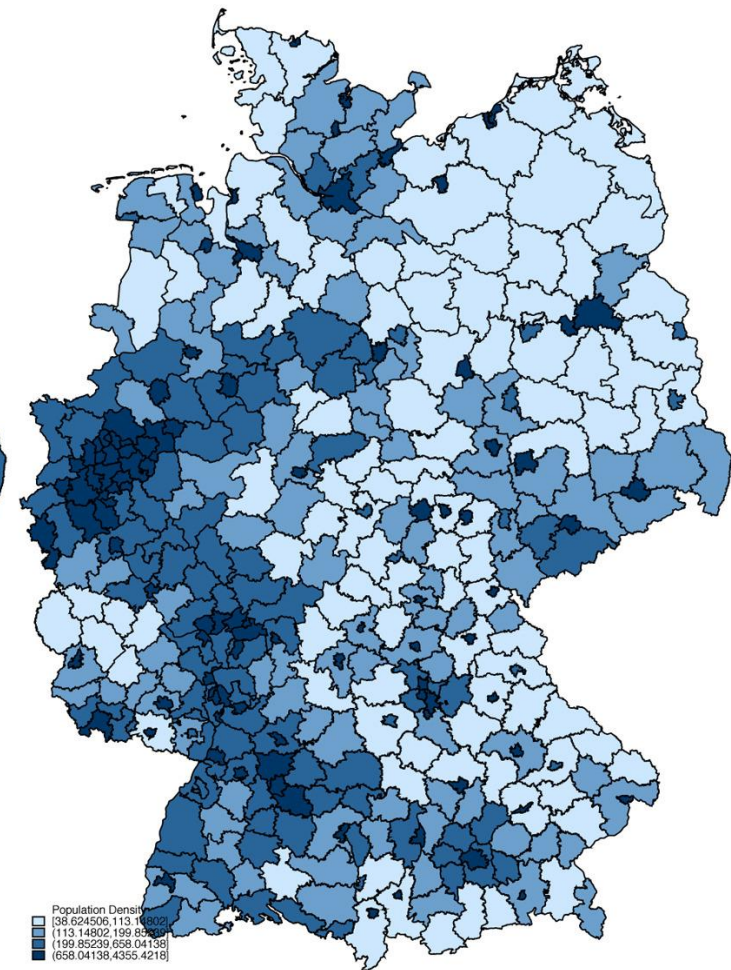
Fig. 2. Wind power plants cluster along the Southwest border of Minnesota, while greater wind resources are available in neighboring South Dakota.



(a) Wind power potential
(kWh/m²)



(b) Cumulative installed capacity (2010)



(c) Population density (2010)

- ドイツでは、北部の風況のいいエリアに満遍なく陸上風力が立地

Hitaj and Lösschel (2019)

この違いはどこから生じるか？

Hitaj and Lösschel (2019) & Hitaj(2013)より



- アメリカでは、再エネ発電機は系統増強費用の大半を負担しなければならず、これが再エネ開発事業者へ立地場所を選択するシグナルとして機能した。
- 実際Hitaj (2013) は送電線の密度が高い郡ほど、陸上風車が多く立地していることを統計的に確認した。
- アメリカでは、風力開発者は送電の密度が高いエリアを選択しているという解釈。
- ドイツでは**2000年のEEG改正で、新設の再エネ発電機は系統へのアクセスが保証され、系統運用者が必要な系統増強費用を負担することになった。**
- Hitaj and Lösschel (2019)は、送電線の密度が高い郡ほど陸上風力が多く立地したのは1996年から1999年の間だけで、2000年以降は統計的に有意な関係を見出すことができなかった（相関関係を見出せなかった）。

Hitaj and Löschel (2019) 続き

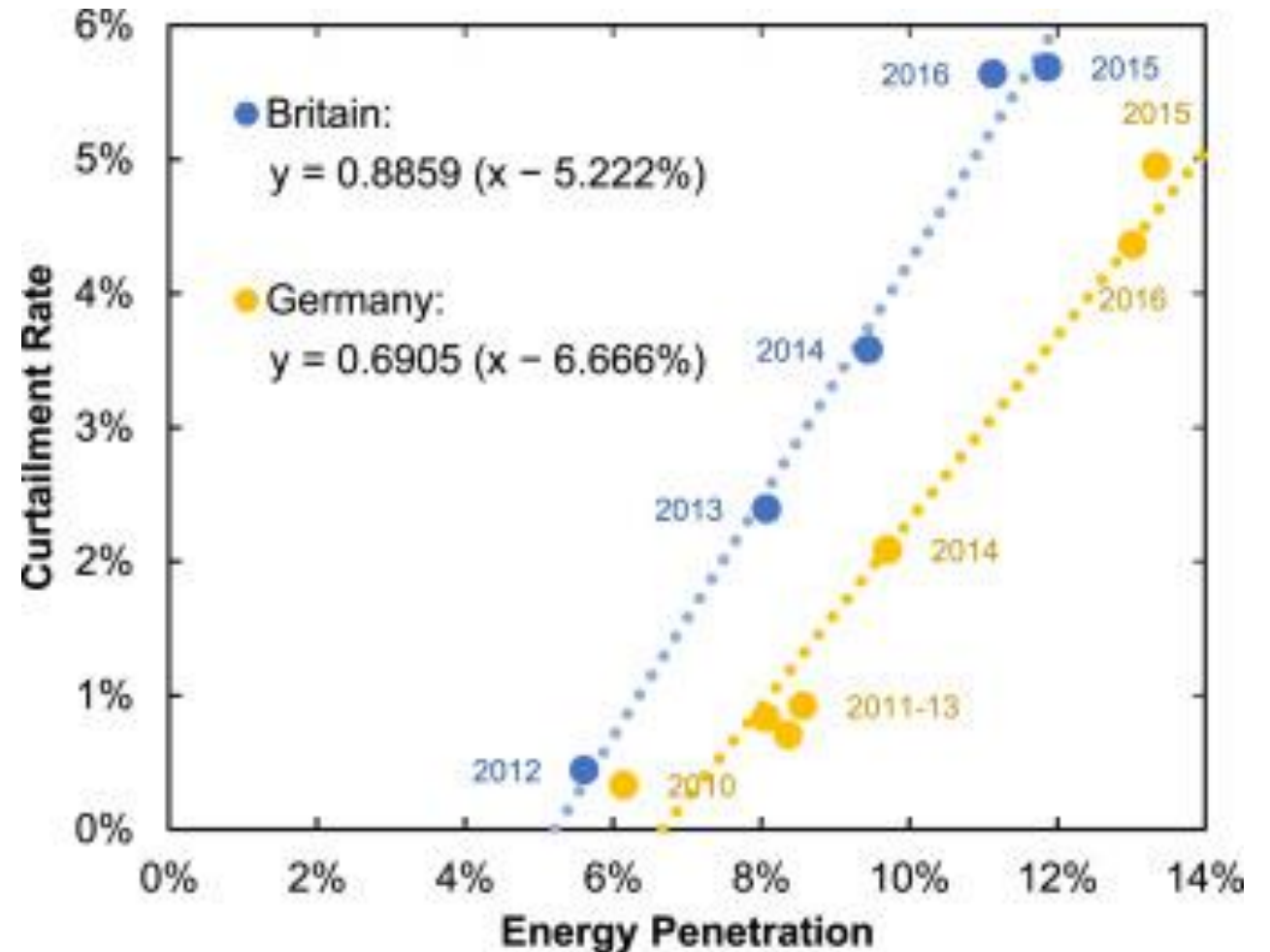
- 『ドイツでは2000年以後、風力開発者が立地地点を決定する際に系統接続費用はもはや考慮されなくなった。いくら系統接続費用が高い地点でも、風さえ吹けば開発した。』
- EEGの2000年の改正は風力開発者を利したかもしれないが、送電容量の多寡に関する立地場所のシグナルが欠如したことにより、既存系統インフラの（最善ではなく）次善的な利用を導くように陸上風力発電を分布させた可能性がある。
- 送電容量の不足情報を価格・費用によって示していれば、新しい送電回廊の投資の必要性を弱めたかもしれない。』

まとめ

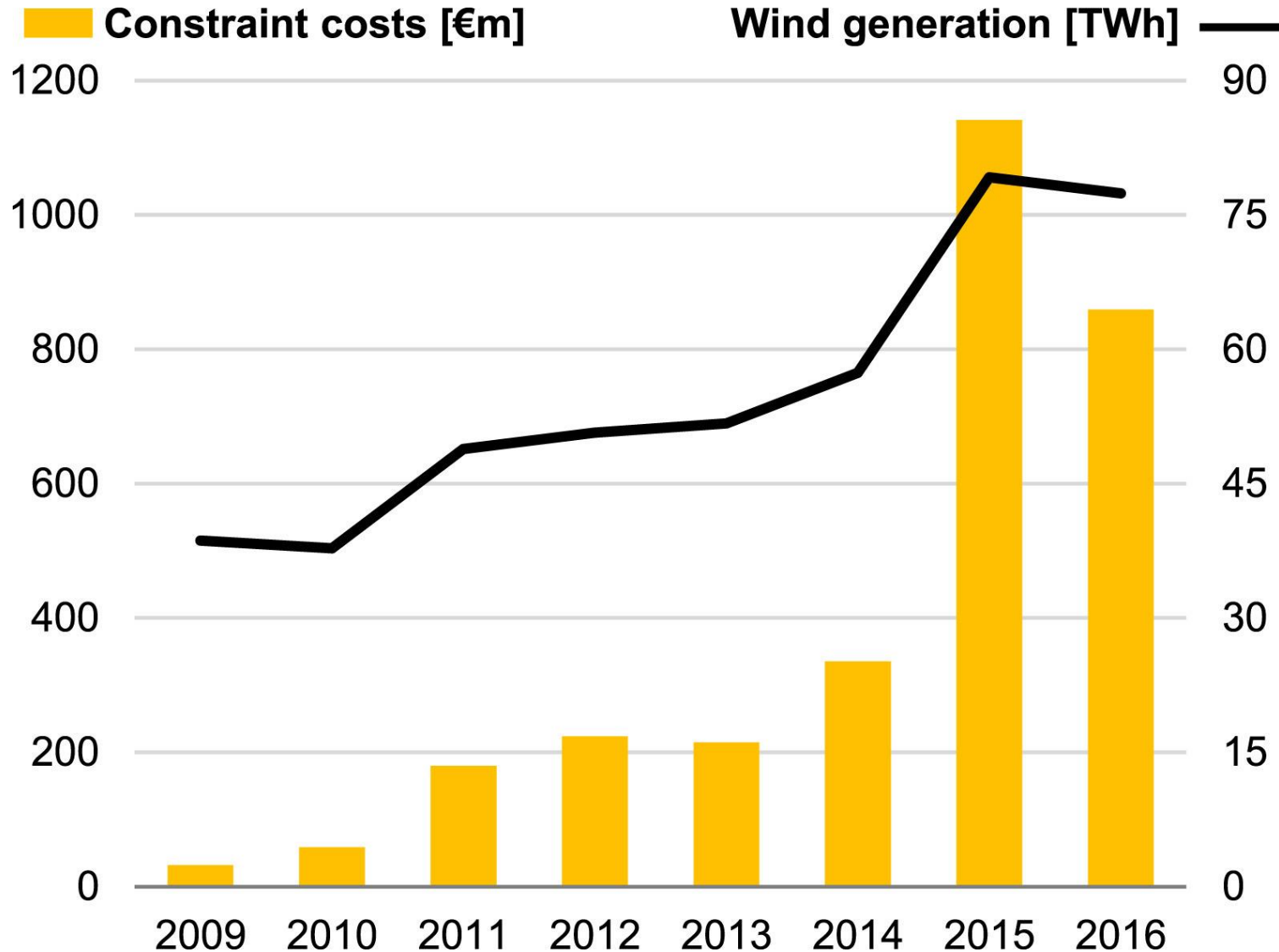
- 風況を最大限に活用した陸上風力開発を優先するならShallow方式は有効だが、既存インフラの最適活用（送電投資費用を問題視する）の観点からは効率的でない。
- （従来大規模電源の開発は送電線建設とセットだったが・・・）
- 疑問
- Hitajは、ナイーブに「EEGによりTSOは法律の条文を遵守して風力開発者の接続要求と費用負担にに応じてきた」と解釈しているが、本当か？TSOは再エネのための費用負担を嫌がったのではないか。分離前では利害が対立しているから。

ドイツ・イギリスの風力の出力抑制について

- Michael Joos, Iain Staffell,
- Short-term integration costs of variable renewable energy:
- Wind curtailment and balancing in Britain and Germany,
- Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 86, 2018, Pages 45-65,



Congestion management cost in Germany



費用の要因は
出力抑制への補償 + CCGTの再給電費用

Michael Joos, Iain Staffell,
Short-term integration costs of variable renewable energy:
Wind curtailment and balancing in Britain and Germany,
Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 86,
2018, Pages 45-65,

Development of congestion management and wind curtailment in Germany

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
curtailed wind [TWh]	0.13	0.41	0.36	0.48	1.22	4.12	3.53
share of total compensated curtailed energy	98.7%	97.4%	93.2%	86.6%	77.3%	87.3%	94.4%
wind feed-in (net generation) [TWh]	37.79	48.88	50.68	51.71	57.38	79.20	77.42
curtailment rate	0.33%	0.83%	0.70%	0.92%	2.08%	4.95%	4.36%
total curtailment compensation payments [€m]	10.2	33.5	33.1	43.7	183.0	478.0	372.7
Net costs of redispatch [€m]	48.4	129.4	164.9	114.9	186.7	435.4	230.4
Costs of reserve plants [€m]	–	17.0	26.0	56.0	66.0	227.8	256.3
total congestion management [€m]	58.6	179.9	224.0	214.6	435.7	1141.2	859.4

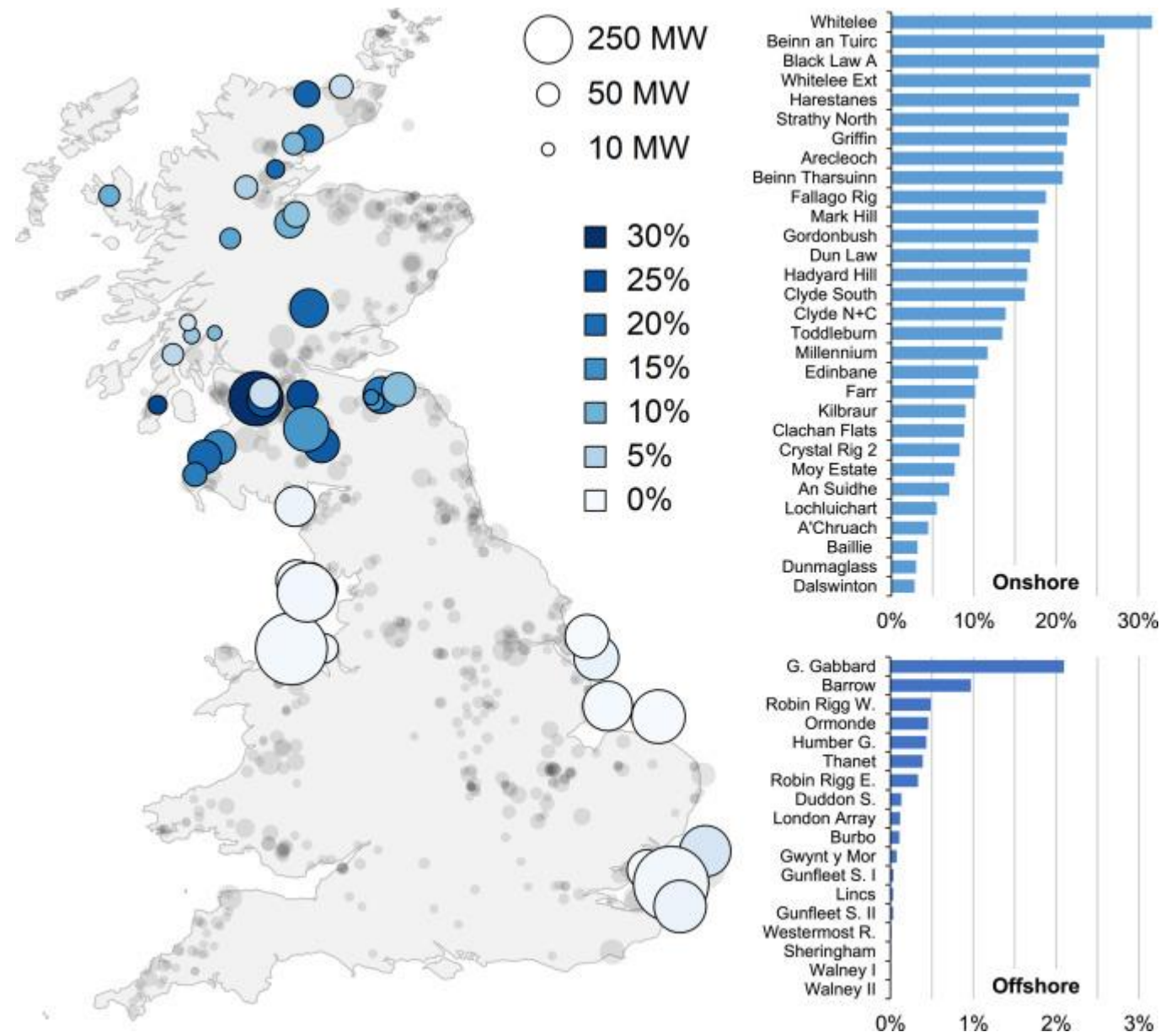
Michael Joos, Iain Staffell, Short-term integration costs of variable renewable energy: Wind curtailment and balancing in Britain and Germany, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 86, 2018, Pages 45-65,

イギリスのポイント

- **Only generators which can participate in the balancing mechanism, mainly large transmission connected plants, get compensated for curtailment.**
- **However most of VRE capacity is connected to the distribution grid.**
- **These generators receive no compensation for curtailment, and must accept the risk of curtailment** while benefitting from a lower cost non-firm connection.
- **主に洋上、スコットランドの大型陸上風力のみBMに参加し、補償を受けるが、配電に接続する小規模陸上風力は無補償**
- Ongoing grid reinforcements are supposed to relieve these constraints [\[31\]](#), [\[48\]](#), for example the Western link, a 2.2 GW subsea HVDC connection between Scotland and Wales, expected to be finished in 2017.
- However, constraints due to this regime (コネクト & マネージ) increased as more and larger generators joined, from £69.4 m in 2014 to £121.7 m in 2015.
- Notably, National Grid expects these costs to drop to nearly zero in 2017/2018 [\[54\]](#).
- ただし、系統の増強は進む。

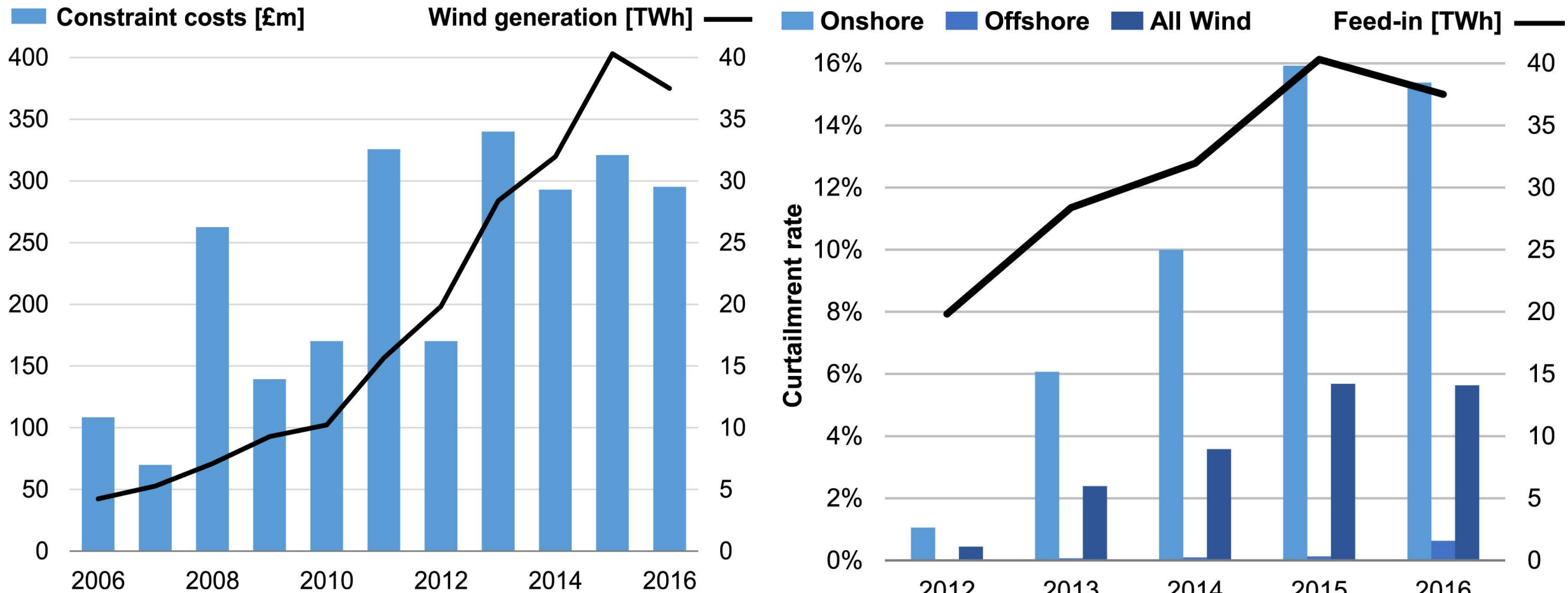
Fig. 4. Curtailment of BM participating wind farms during 2015–16

- 南部のイングランド地域に立地する大規模風力は抑制率が低い
- 北部のスコットランド地域の陸上風力は抑制率が高い



Michael Joos, Iain Staffell,
 Short-term integration costs of variable renewable energy:
 Wind curtailment and balancing in Britain and Germany,
 Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 86,
 2018, Pages 45-65,

curtailment rates for British wind farms which participate in the Balancing Market



Compensation payments for wind curtailment in Germany

Germany	2012	2013	2014	2015	2016
Compensation to wind [m€]	30.85	37.88	141.46	365.84	325.89
Curtailed wind output [TWh]	0.36	0.48	1.22	4.12	3.53
Average price per MWh [€]	86.05	78.86	115.81	88.69	92.32
Wind penetration	8.37%	8.56%	9.71%	13.34%	13.02%
Wind curtailment rate	0.70%	0.92%	2.08%	4.95%	4.36%
Cost per MWh feed-in [€]	0.61	0.73	2.47	4.62	4.21

Wind curtailment values are only for observed plant, which generated 50–55% of total UK wind feed-in.

Britain	2012	2013	2014	2015	2016
Compensation to wind [£m]	5.92	32.71	53.26	90.74	81.88
Curtailed wind output [TWh]	0.05	0.38	0.66	1.24	1.12
Average price per MWh [£]	130.31	86.13	80.91	72.99	72.88
Average price per MWh [€]	160.68	101.46	100.38	100.53	89.26
Wind penetration	5.61%	8.07%	9.45%	11.87%	11.13%
Wind curtailment rate	0.44%	2.39%	3.58%	5.68%	5.64%
Cost per MWh feed-in [£]	0.30	1.15	1.67	2.25	2.18
Cost per MWh feed-in [€]	0.37	1.36	2.07	3.10	2.67

Philip Johnstone 氏

Research Fellow, Sussex University



- 訪問目的
- イギリスにおける原発・フラッキングによるシェールガスの推進者が再エネの導入を遅らせる政策過程について分析した興味深い論文を書いております、（発送電分離とは関係が薄いですが）彼の研究について意見交換をするため。
- 代表作
- Johnstone, Philip, Stirling, Andrew and Sovacool, Benjamin (2017)
- *Policy mixes for incumbency: the destructive recreation of renewable energy, shale gas 'fracking,' and nuclear power in the United Kingdom.*
- Energy Research & Social Science, 33. pp. 147-162.

2010年以降の英国のエネルギー政策

Table 4. A UK policy mix for [Nuclear power](#).

Policy area	Policy
Legislation	Prime Minister David Cameron signing deal with China for investment in Hinkley C including permission for China to also build its own nuclear reactor at Bradwell in Essex.
R&D	£250 million of R&D announced for nuclear equalling half of all energy R&D for that 5 year period with particular focus on Small Modular Reactors (SMRs).
Financial incentives	Approval of a £2 billion loan guarantee for nuclear construction for Hinkley C.

Table 3. A UK policy mix for [shale gas fracking](#).

Policy area	Policy
Licensing	93 licenses granted by UK government for fracking across the UK
Planning & regulation	Planning applications for fracking 'fast tracked' from local decision making to 'nationally significant infrastructure'. Fracking allowed under national parks. Landmark decision sees Sajid Javid overturns the refusal by Lancashire county council of Cuadrilla's fracking application. The government changes trespass laws to allow underground access to oil and gas drilling companies.
Financial incentives	Enacting policies for councils to keep 100% of business rates from fracking developments Establishment of a 'shale wealth fund' to compensate local communities near shale sites.

2010年以降の英国のエネルギー政策

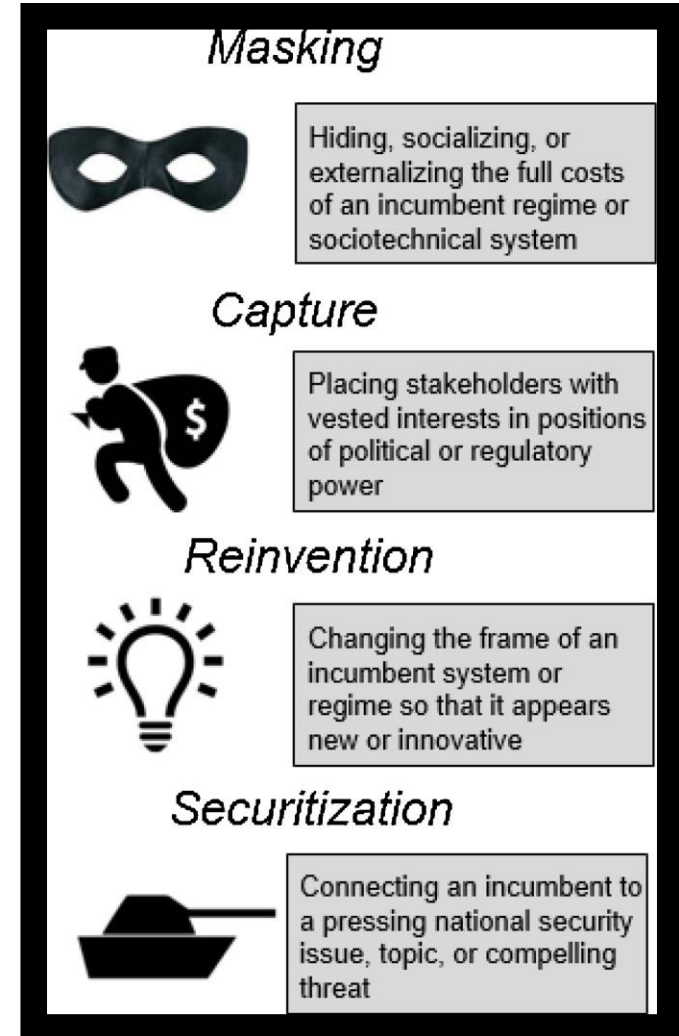
Table 2. A UK policy mix for renewables and energy efficiency.

Technology or relevant policy area	Brief description of changes
Onshore wind	Early end to subsidies for onshore wind farms with the stated aim to “halt the spread of onshore wind farms”
Solar power	85% reduction in the solar Feed-in-Tariff
Biomass	Removal of guaranteed renewables obligation subsidy for coal or other fossil fuel plants converting to biomass
Green homes scheme	Abolishment of the Green homes scheme
Green tax target	A target set during the last government to keep increasing the proportion of revenue from environmental taxes was dropped in Osborne’s emergency budget
Planning and regulation.	Removal of onshore wind from ‘nationally significant infrastructure’ meaning it is considerably harder to build.

- FIT賦課金による電気料金高騰の問題化
- 再エネ（太陽光、陸上風力）への補助の削減
- 「英国のエネルギー政策は、ヨーロッパの例外である。」

Policy mixes for incumbency: the **destructive recreation** of renewable energy, shale gas 'fracking,' and nuclear power in the United Kingdom

- 持続可能社会への移行はなぜすぐには起きないか？
- 既存産業・事業者は、既存のビジネスモデルを守るために、再エネのような新技術の導入を（市場支配やロビー活動のような非市場戦略を通して政治・政策的意思決定に影響を与えることで）阻害するから。
- 例. ロールスロイス



- 英国は長距離核弾頭ミサイルを搭載できる原子力潜水艦を巡回任務に使用。（地上発射型弾道ミサイルを持たない）
- 2010年前後に、国産の原子力工学（特に潜水艦建造）のための人材・技術維持の懸念が問題化。
- 2012年、ロールスロイスが、原子炉心と推進システムの供給を10億ポンド以上で防衛省と受注契約
- 2013年、ロールスロイスが（既存の潜水艦炉建造技術の知識を応用できる）小型モジュール炉の開発を発表。
- 2013/02~2014/04にロールスロイスの社員が「原子力サプライチェーンと技術」のためにエネルギー気候変動省（DECC）に出向
- 2014/05~2015/05にもロールスロイスの社員が「原子力開発」のためにDECCに出向
- 2015年、ヒンクリーC原発計画の好ましい入札者としてロールスロイスが推薦

彼の論文の脚注より 「ベースロード電源について」

- 原子力発電は“ベースロード電源”として必要不可欠であるとしばしば主張される [\[227\]](#). しかし、ベースロードという発電技術が信用できるかについては、増々疑問が呈されるようになっている。
- ベースロードという概念は未だにイギリスのエネルギー政策の正当化に使われているが、再エネで100%エネルギーを供給するというシナリオを示す沢山の査読付き論文によって、そのアイデアは異議を唱えられている [\[228\]](#), [\[229\]](#), [\[230\]](#), [\[231\]](#), [\[232\]](#), [\[233\]](#), [\[234\]](#), [\[235\]](#), [\[236\]](#), [\[237\]](#), [\[238\]](#), [\[239\]](#).
- ベースロードへの執着はイギリスでは特に強く見えるが、変わりつつある。元National Gridトップの人物は、2015年に「ベースロードという考えは時代遅れだ」と発言した。

彼の論文についてのヒアリング結果

- エネルギー移行についての近年の研究の潮流は、再エネのようなニッチな技術をどう増やすかという問いだけを研究していても現実はなかなか変わらないことを念頭に置き、「regime」や「state」を研究対象にしている。本論文もその一環だ。
- イギリスは日本のような他の原発保有先進国と異なり、自国に原発関連の有力産業がない。それなのに原発技術の維持に必死なのが謎だった。
- 世論を調べると陸上風力の支持率は85%、原発は35%、フラッキングは10%だ。民意を政策に反映させるべきだと思う。
- **イギリスの政治家や産業界は過去にとらわれている。**2基原発をかつて輸出した成功体験があるが、もう終わったことだ。

彼の論文についてのヒアリング結果

- イギリス人の中には福島事故を見て脱原発を決めたドイツの政策転換を非合理的だと思う人もいる。究極的にはリスクをどうみるか、どのようなリスクを受け入れるかという判断だ。日立が原発計画を凍結させたとき、会社の株価が大きく上昇した。原発事業のリスクを株主がどうとらえているかよく示していると思う。
- 本論文では因果推論を証明したものではないので、仮説を決定的に結論づけることはできない。
- 本論文の内容は2回もガーディアン紙に掲載され、しかも「我々の電気代は原発を支えるために使われている」というセンセーショナルなタイトルの記事だったにも関わらず、本論文を公表してからイギリス政府や（原子力潜水艦を製造する）ロールスロイスからは反響はなかった。単に読んでいないだけかもしれない。

Lion Hirth氏

Assistant Professor of Governance of Digitalisation and Energy Policy
Hertie School of Business



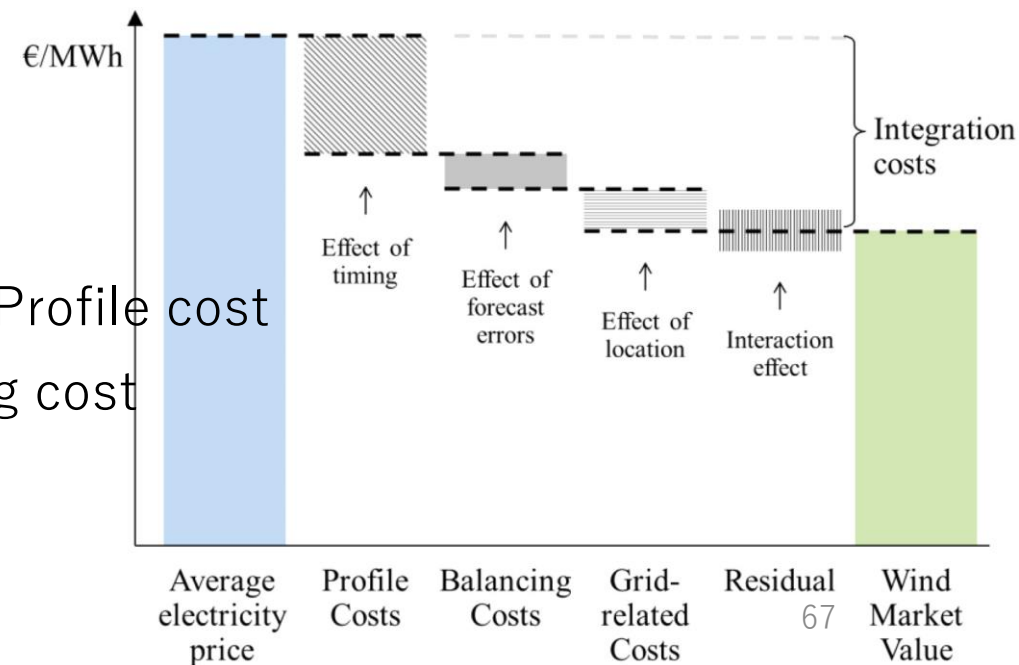
- 訪問目的
- 以前VIUの一つであるバッテリーフォールで働いていた経験があり、その観点から発送電分離について意見をいただくため。
- 代表作
- Lion Hirth, Falko Ueckerdt, Ottmar Edenhofer, **Integration costs revisited – An economic framework for wind and solar variability**, Renewable Energy, Volume 74, 2015, Pages 925-939.
- Lion Hirth, The market value of variable renewables: The effect of solar wind power variability on their relative price, Energy Economics, Volume 38, 2013, Pages 218-236

Integration costs revisited – An economic framework for wind and solar variability

- Web of Science が103 . . . 非常に多く引用されている論文。
- 再エネの「統合コスト」という概念には、学術的にもまだ厳密な定義のコンセンサスがない。
- 本論文では、社会的に最適な再エネ導入量を推定するための費用便益分析評価に使える定義を提案

統合コストの内訳を3つに分類して整理

- ①VREの時間変動性（特にピーク需要とのズレ）から生じるProfile cost
- ②VREの不確実性（事前予測との誤差）から生じるBalancing cost
- ③VREの既存系統との距離から生じるGrid-related cost



Integration costs revisited – An economic framework for wind and solar variability

- **誰が統合コストを負担するか？**

- 大前提として、VREは統合コストの原因ではない。VREと既存の電力システムとの相互作用（interaction）で生じる。統合コストはVRE発電機
の特性だけではなく、System-specificである。
- もし他に外部性がなく、完全競争市場が成立するのであれば、統合コストは原因者が負担する
- Profile costは前日スポット市場での収入減少として、
- balancing costは当日取引とインバランス料金との差額として、
- grid-related costは地点別スポット価格または地点別系統利用料金として負担される。

Integration costs revisited – An economic framework for wind and solar variability

- しかし現実世界では、市場は完全ではない。
- 例
- 再エネ以外の電源が出す負の外部性への内部化は不十分だ（例：炭素価格）。
- バランシング価格は限界費用ではなく平均費用のみを反映しており、典型的にはエネルギー費用はカバーするが、リザーブ容量費用までカバーしていない。
- 多くの電力システムでは、場所ごとの価格シグナルが欠如している。つまりスポット価格は入札ゾーン毎に決まり、系統利用料金はエリアで地点ごとに異なる価格に設定されておらず、再給電費用は社会化されている。
- 再エネは補助金を受けているので、間接的に統合コストを社会化している。

Integration costs revisited – An economic framework for wind and solar variability

- これらの潜在的な外部性を考慮した場合、少なくとも2つの結論が導かれる。
- 第一に、実際に観察された（私的）市場価値は、理論上の（社会的）限界価値と一致しないかもしれない。したがって、実際の市場価格に基づいた再エネの限界価値の推計では、様々な外部性による潜在的なバイアスを確認する必要がある。
- 第二に、効率的な資源配分のためには、全ての外部性は内部化されるべきだ。発電で生じる環境・健康への負の外部性は原因者に全て負担させ、スポット市場は容量の不足に対するか価格付けを行い、地点別価格が導入され、インバランス価格は調整力の限界費用を反映させるべきだ。
- これらの外部性が解消すれば、統合コストはもはや外部性を構成しない。

Michael Pollitt氏

Professor of Business Economics
Judge Business School, University of Cambridge



- 訪問目的
- 発送電分離の影響研究についての第一人者であるため。
- 代表作
- Michael Pollitt, **The arguments for and against ownership unbundling of energy transmission networks**, Energy Policy, Volume 36, Issue 2, 2008, Pages 704-713
- Michael G. Pollitt, **Lessons from the history of independent system operators in the energy sector**, Energy Policy, Volume 47, 2012, Pages 32-48, ISSN 0301-4215

ドイツのエネルギー政策の問題について

- 電気が汚い（石炭比率が高い）。
- 炭素価格が低い(英国は独自にやっている)。
- DSOの規模が小さすぎる。
- 連系線が充実しているから他国の電力システムにフリーライドできる
- 唯一良い点は、REを沢山入れていることだけだ。
- ドイツは政府が弱いから、日本の津波を言い訳にして脱原発にしゃがった。でも他国の事故なんて関係ないではないか。ドイツの卸売市場価格は再エネで下がっているって、これはhorrible economicsだ。最終家庭用電力価格はデンマークの次に高いではないか。
- イギリスもRE導入ペースではドイツに負けていない。特にここ最近。導入コストか再エネかのトレードオフではない。イギリスのように、オークションなどを駆使して安く再エネを導入するのが望ましい。洋上風力の開発に時間がかかるのはRegimeを新しくつくっているからだ。屋根に載せればすぐできるPVとはスケールが違う。