

The Future of Renewable Energy and Integration of Variable Renewables

Dr. Eric Martinot

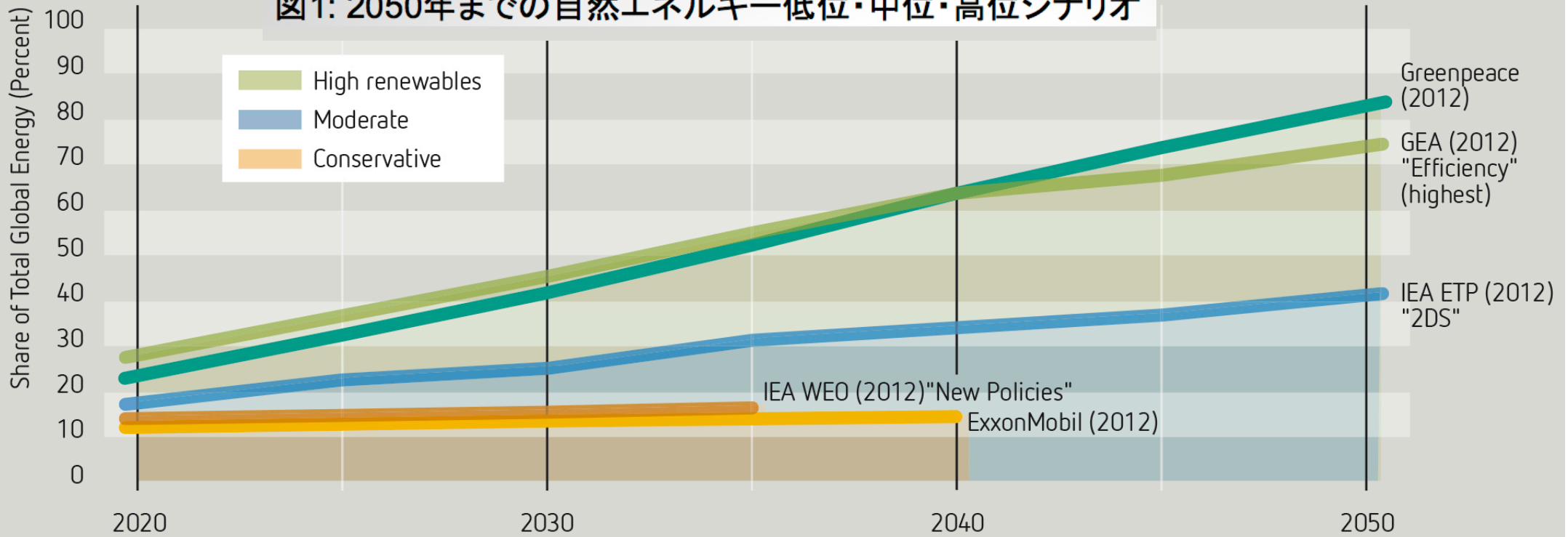
Professor, Beijing Institute of Technology, School of Management and Economics
Senior Policy Advisor, Japan Renewable Energy Foundation
Visiting Fellow, California Public Utilities Commission

eric@martinot.info
<http://www.martinot.info>

REvision 2015 Removing the Barriers to RE Development in Japan
March 4, 2015
Tokyo

Figure 1: Conservative, Moderate, and High-Renewables Scenarios to 2050

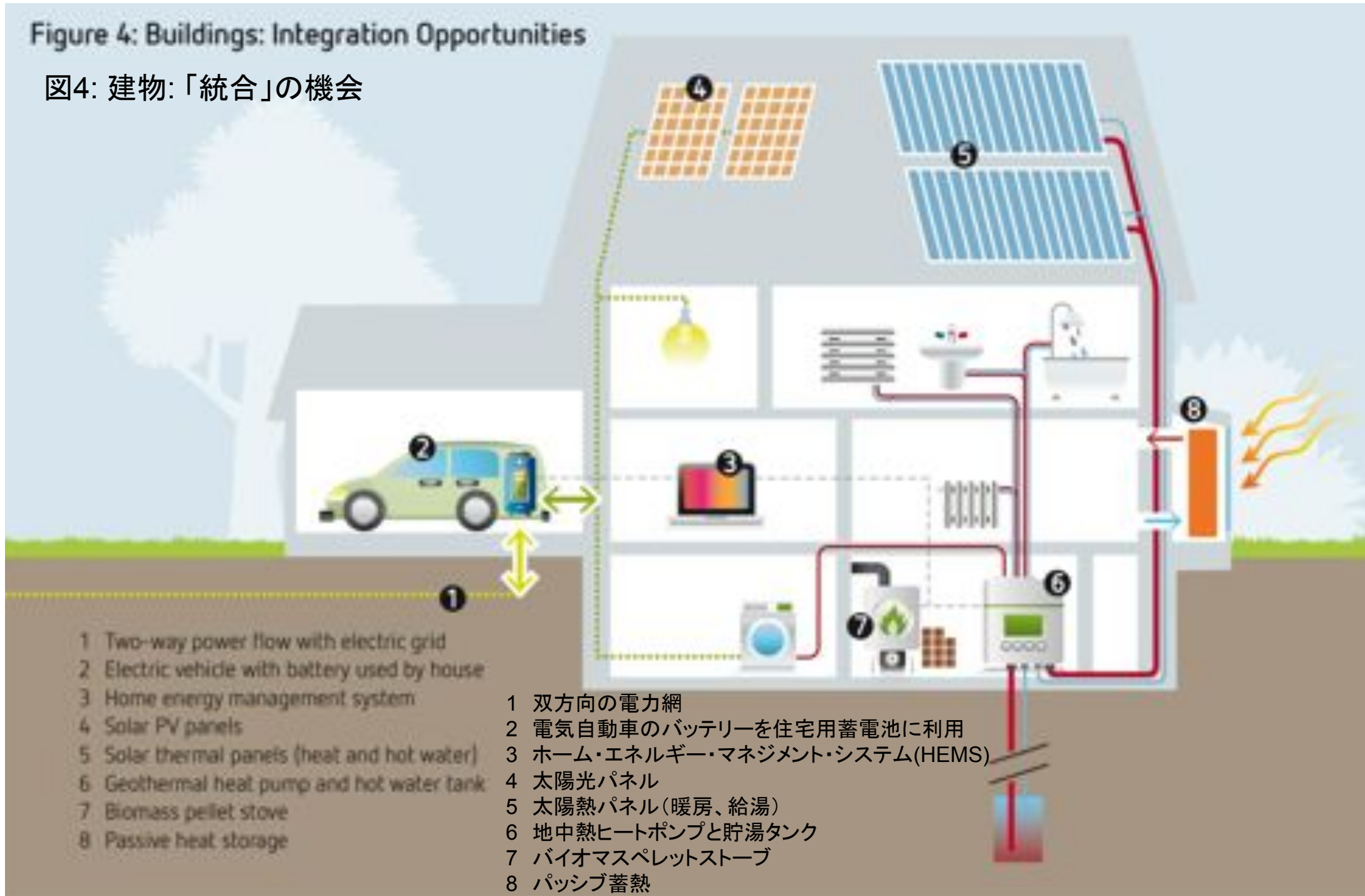
図1: 2050年までの自然エネルギー低位・中位・高位シナリオ



Source: See Annex 2 for full scenario names and citations.

Figure 4: Buildings: Integration Opportunities

図4: 建物:「統合」の機会





Roles of Different Types of Companies

企業タイプ別の役割

- **Electric Utilities**
電力事業者
- **Oil companies**
石油会社
- **Automakers**
自動車製造業者
- **Information-technology (IT) companies**
情報技術 (IT) 企業
- **Technology integration companies (i.e., Siemens)**
総合技術企業 (シーメンスなど)
- **Buildings materials manufacturers (i.e., architectural glass)**
建設資材製造業者 (建設用ガラスなど)

New Sources of Finance 新しい資金源

- Pension funds
年金基金
- Insurance funds
保険資金
- Aggregated securities funds (like mortgage-backed securities)
集約型の証券ファンド（不動産担保証券など）（仮）
- Community funds
コミュニティ・ファンド
- Oil companies
石油会社
- Equipment suppliers / vendors
機器販売会社／メーカー
- Sovereign wealth funds and national governments
政府系ファンドおよび国家

Future Strategies for Renewable Energy

自然エネルギーのための将来戦略

1. Electric utility policy and markets
電力事業政策と市場
2. “Priority grid access”
「優先接続」
3. Transmission planning and wind farm siting
送電網計画と風力発電立地
4. Buildings and construction practices, codes, and standards
建築物と建設の実践、建築規準
5. Transport integration: electric vehicles, charging points, and smart grids
交通の統合：電気自動車、充電設備、スマートグリッド
6. Business models, finance, and entrepreneurship
ビジネスモデル、ファイナンス、起業家精神

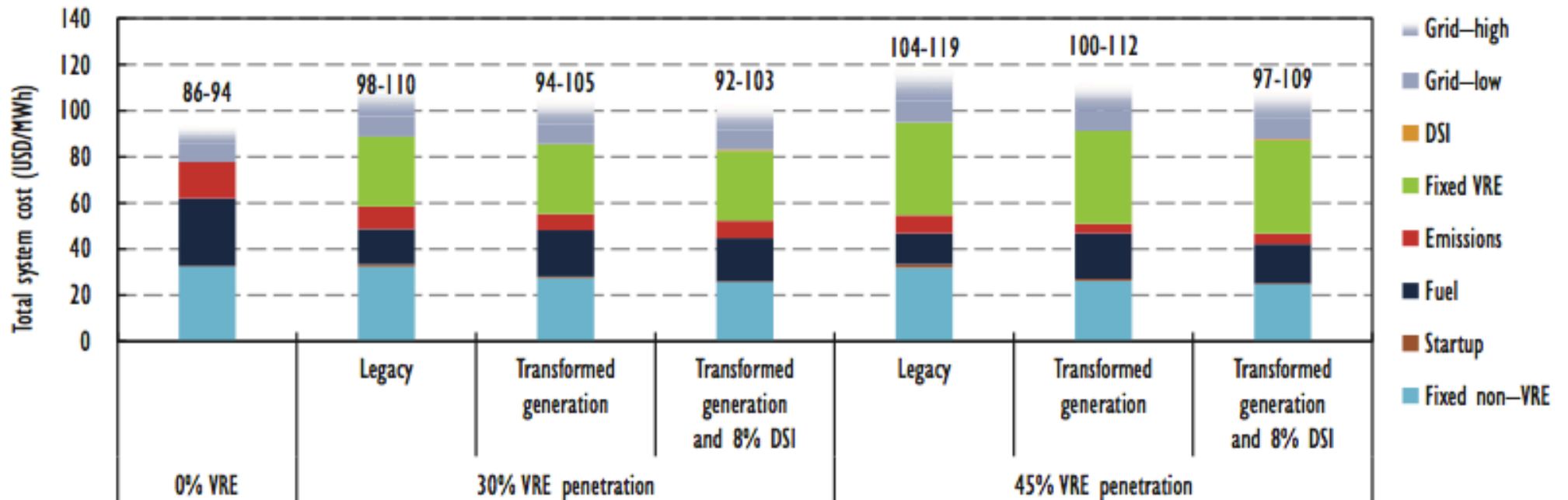
Please note that this PDF is subject to specific restrictions that limit its use and distribution. The terms and conditions are available online at <http://www.iea.org/termsandconditionsuseandcopyright/>



The Power of Transformation

*Wind, Sun and
the Economics of
Flexible Power Systems*

Figure 8.10 • Total system cost of IMRES system at different degrees of system transformation



Key point • System transformation reduces total system cost at high shares of VRE.

電力系統: 変動する自然エネルギーを調整するための 技術、計画、市場、規制に関する選択肢

- 高度な柔軟性をサポートする新しい電力市場の設計
- 系統制御区域内での多様な資源の開発
- 系統運用機関による、需給調整区域での調整/統合
- 市場と系統運用のメカニズムを通じた、需給調整レスポンスタイムの迅速化
- 新しいタイプの システム最適化
- 前日の天候予測を組み込んだ電力配分モデル
- 自然エネルギーの発電出力抑制
- デマンド・レスポンス
- ガス火力発電(ピーク対応/オフピーク対応)
- 送電容量と連系線の強化
- 蓄電
- 化石燃料発電所の日単位の出力調整

Major Studies of Renewables Integration Show High Shares Possible

多くの権威ある研究が、自然エネルギーの大量導入が可能だと結論付けている

Study	By 研究機関	Result of Study 研究結果
PJM (ISO)	GE Energy Consulting	<p>“The study findings indicated that the PJM system, with adequate transmission expansion and additional regulating reserves, will not have any significant issues operating with up to 30% of its energy provided by wind and solar generation.” 「我々の研究によると、PJMシステムは、送配電網を適度に拡張し、予備容量の規定を整えれば、風力・太陽光エネルギーを30% 導入しても大きな問題はない。」</p>
ERCOT (ISO)	Brattle Group	<p>“Our models found no technical difficulties accommodating much higher levels of variable wind and solar energy, while fully preserving reliability.” (Wind + Solar = 60 GW Total by 2032)</p> <p>「我々のモデル分析の結果、変動型風力・太陽光エネルギーの導入率を大幅増加するにあたり、技術的困難は見当たらない。信頼性は維持できる」 (2032年までに風力+太陽光=60GW)</p>
Western U.S. West-Connect (region)	NREL and GE Energy Solutions	<p>“The technical analysis performed in this study shows that it is feasible for the WestConnect region to accommodate 30% wind and 5% solar energy penetration. This requires key changes to current practice, including substantial balancing area cooperation, sub-hourly scheduling, and access to under-utilized transmission.” 「この研究における技術分析によると、WestConnect管轄地域において風力30%、太陽光5%の導入が可能である。そのためには、バランシングへの協力、1時間未満毎のスケジューリング、フル活用されていない送配電網へのアクセスなど、現行の手法を大きく変える必要がある。」</p>

How Is California Integrating and Balancing Renewable Energy Today?

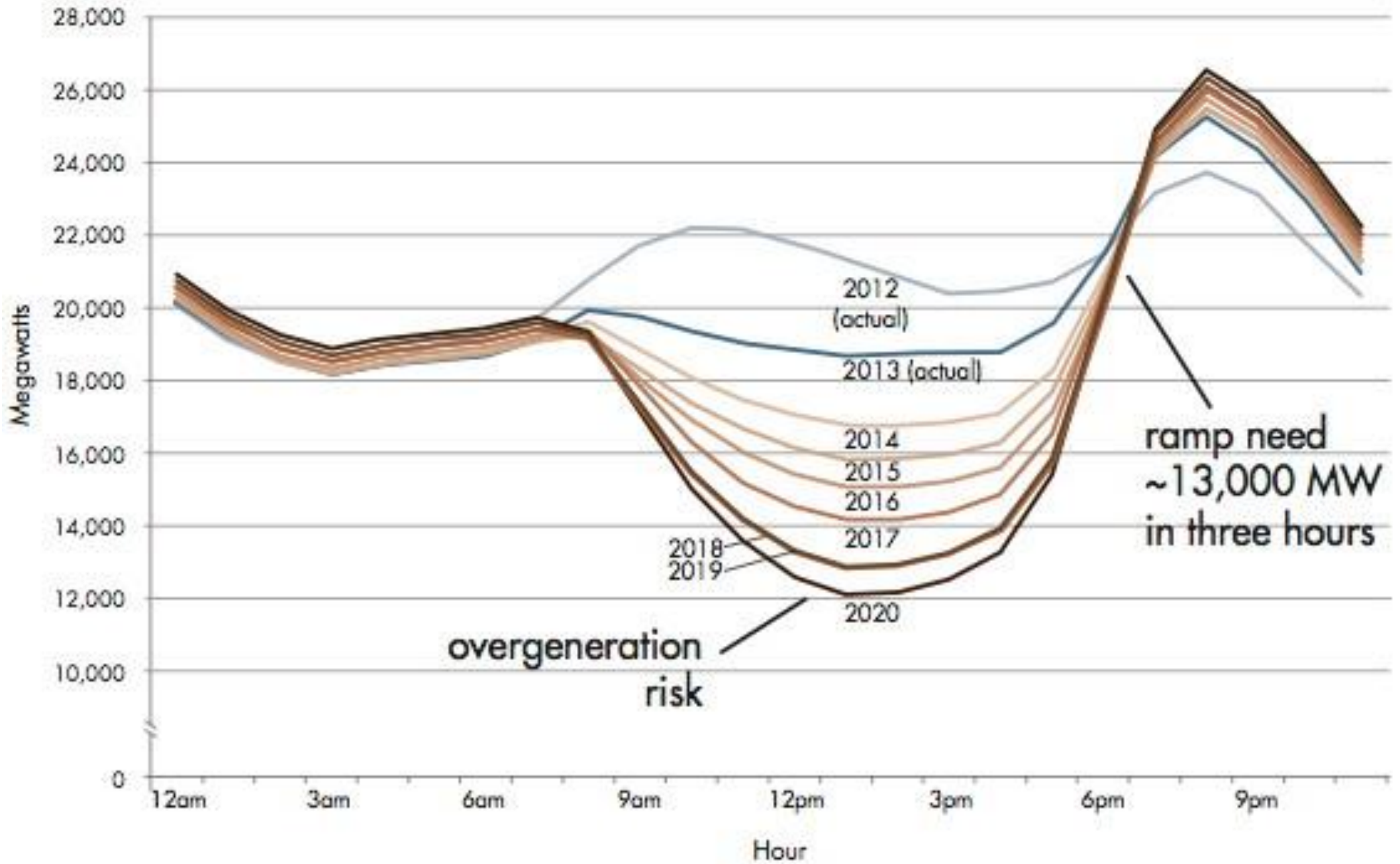
カリフォルニアにおける自然エネルギーの系統への拡大導入と需給バランスの現状

1. Electricity markets: day-ahead and ancillary/balancing + inherent flexibility of natural gas
電力市場：1日前市場およびアンシラリー市場／同時同量＋天然ガス火力固有の柔軟性
2. Resource Adequacy (RA) regulatory framework (monthly and annual “showings”)
資源適性（RA）規制枠組み
(十分なバランス機能を提供できることを、月および年ベースで証明する義務)
3. Long-Term Procurement Planning (LTPP) regulatory framework (10-year horizon)
長期調達計画（LTPP）規定の枠組み（10年計画）
4. Day-ahead weather forecasting
翌日の気象予測
5. ISO flexibility “must offer” capacity mandate (FRAC-MOO) for day-ahead market
ISOの柔軟性 一日前市場への「給電義務」に対応可能な容量確保命令（FRAC-MOO）
6. ISO “Flexible Ramping Product” structures “must offer” capacity into a new market
ISO「フレキシブル・ランピング・プロダクト」が「給電義務」対応容量を新市場へ
7. “Energy Imbalance Market” using inter-regional transmission for real-time balancing of wind imbalances (north-south) and solar imbalances (east-west).
風力のインバランス（南北）と太陽光インバランス（東西）をリアルタイムでバランスングするための、地域間融通による「エネルギー・インバランス市場」
8. Power grid reliability calculations and dispatch 電力系統の信頼度計算と給電指令

California (Future Issues) カリフォルニア (課題)

- Ramping rates
ランピング率
- Over-generation + curtailment
供給過多+出力抑制
- Grid reliability frameworks and modeling methodologies
系統の信頼性確保の枠組みとモデリングの方法論
- Conventional plant retirements
従来型発電所の閉鎖
- Capacity payments
容量支払
- Rate design and interconnection
料金設計および連系
- Demand response (business models, “supply-side” vs. “load-reducing”)
デマンド・レスポンス (ビジネスモデル、「供給側」 vs 「負荷削減」)
- Energy storage tariffs and interconnection
エネルギーの貯蔵料金および連系
- Advanced power system modeling methodologies (deterministic vs. stochastic)
先進的電力システムのモデル化手法 (決定論的vs確率論的)

California ISO "Duck Curve" Showing Net Load and Ramping in 2020



Regulatory and Policy Challenges of Renewable Energy Integration into Power Grids

電力系統への自然エネルギー導入における規制・政策面の課題

- Electricity market design 電力市場設計
- Electricity pricing 電力料金設定
- Capacity markets or mandates 容量市場、稼働指令
- Transmission planning 送電計画
- Distribution system planning 配電システム計画
- Control of distributed generation resources 分散型電源の統括
- Sufficiency of hourly ramping capacity 1時間で急激に出力変動できる容量の確保
- Integration of “smart” inverters 「スマート」インバーターの統合
- Grid interconnection rules for storage and distributed generation
蓄電および分散型発電のための系統連系のルール
- Business models for demand response and energy storage
デマンドレスポンスとエネルギー貯蔵のビジネスモデル
- The changing role of traditional electric power companies 従来の電力会社の役割の変化
- The interaction between distribution and transmission grids 配電網と送電網の間の相互作用