



自然エネルギー財団

RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

High integration of solar and wind power onto the grid in Japan

太陽光と風力を日本のグリッドに統合する

17 December 2018

Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030
A Frequency Stability and Load Flow Analysis

国際シンポジウム「2030年自然エネルギー主力電源化へ向けて」
大量導入と電力システムの安定性・柔軟性

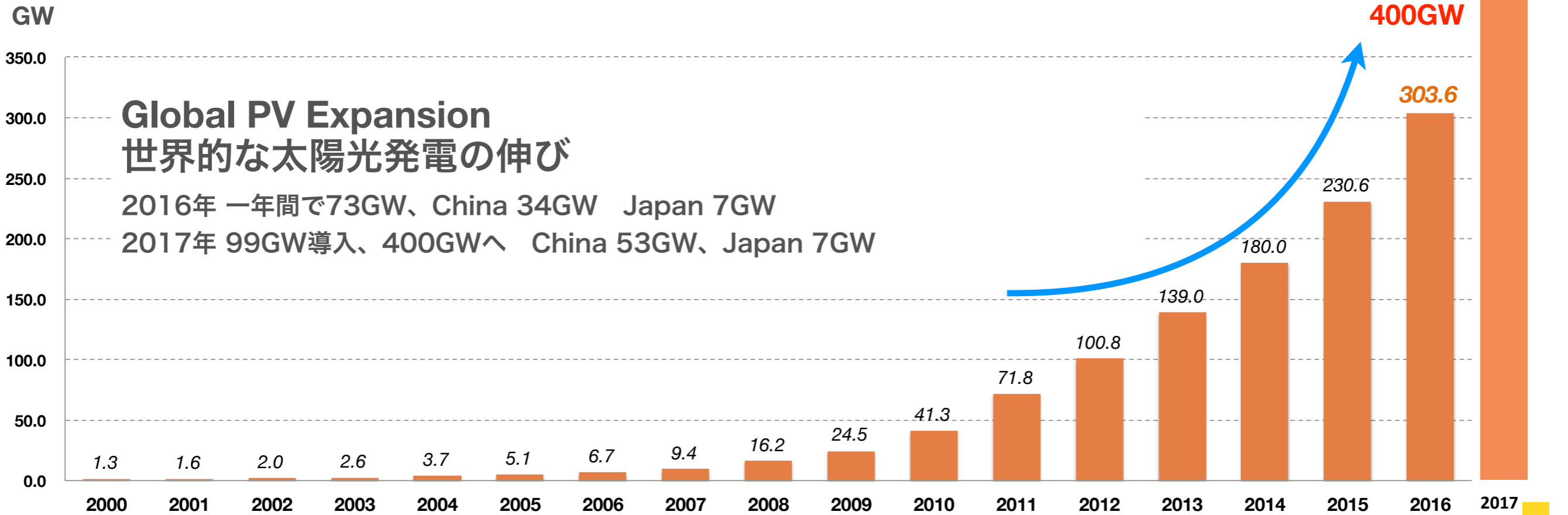
Mika Ohbayashi, Renewable Energy Institute

大林ミカ 自然エネルギー財団

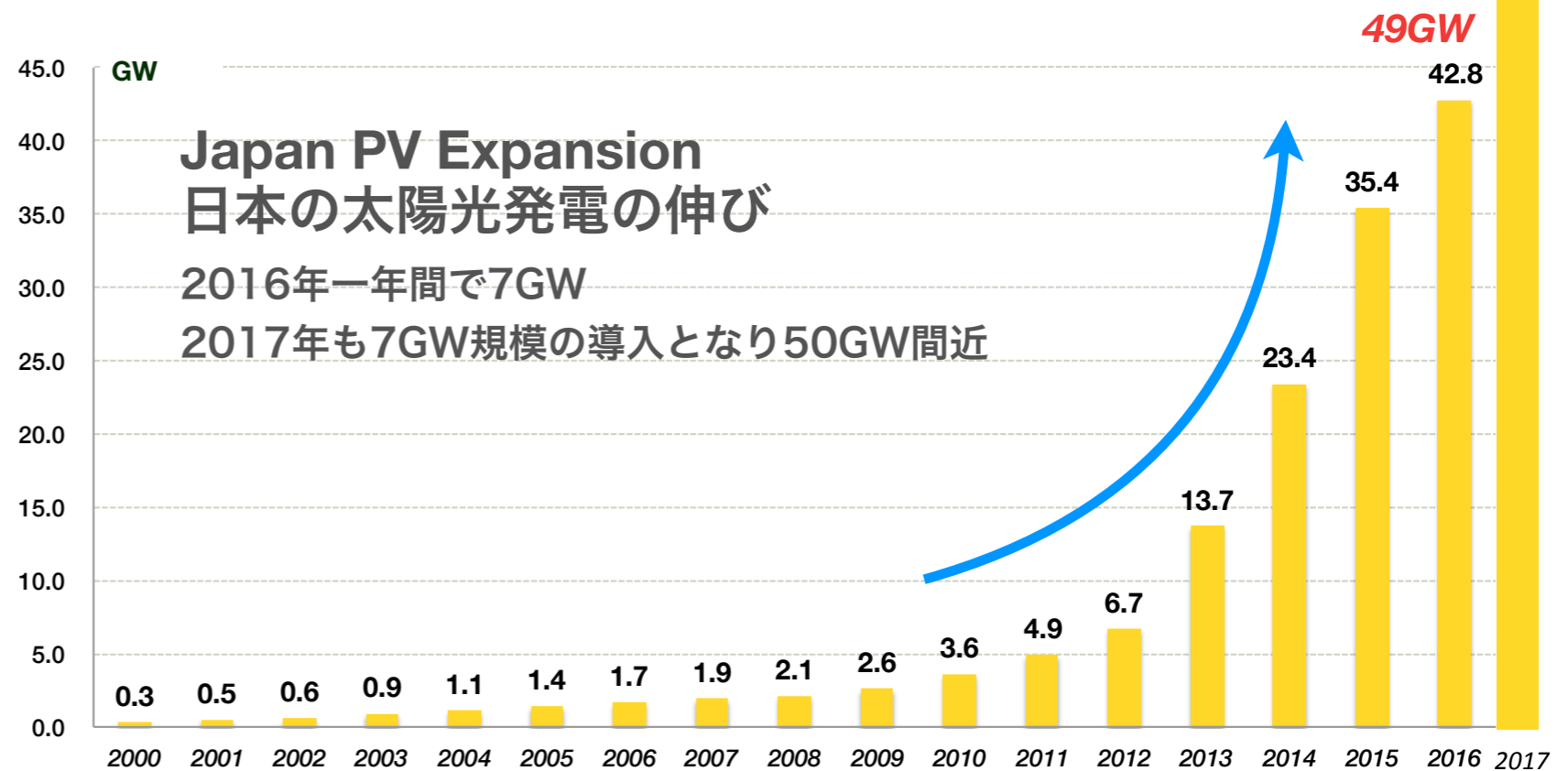
Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030

A Frequency Stability and Load Flow Analysis

2030年日本における変動型自然エネルギーの大量導入と電力システムの安定性分析



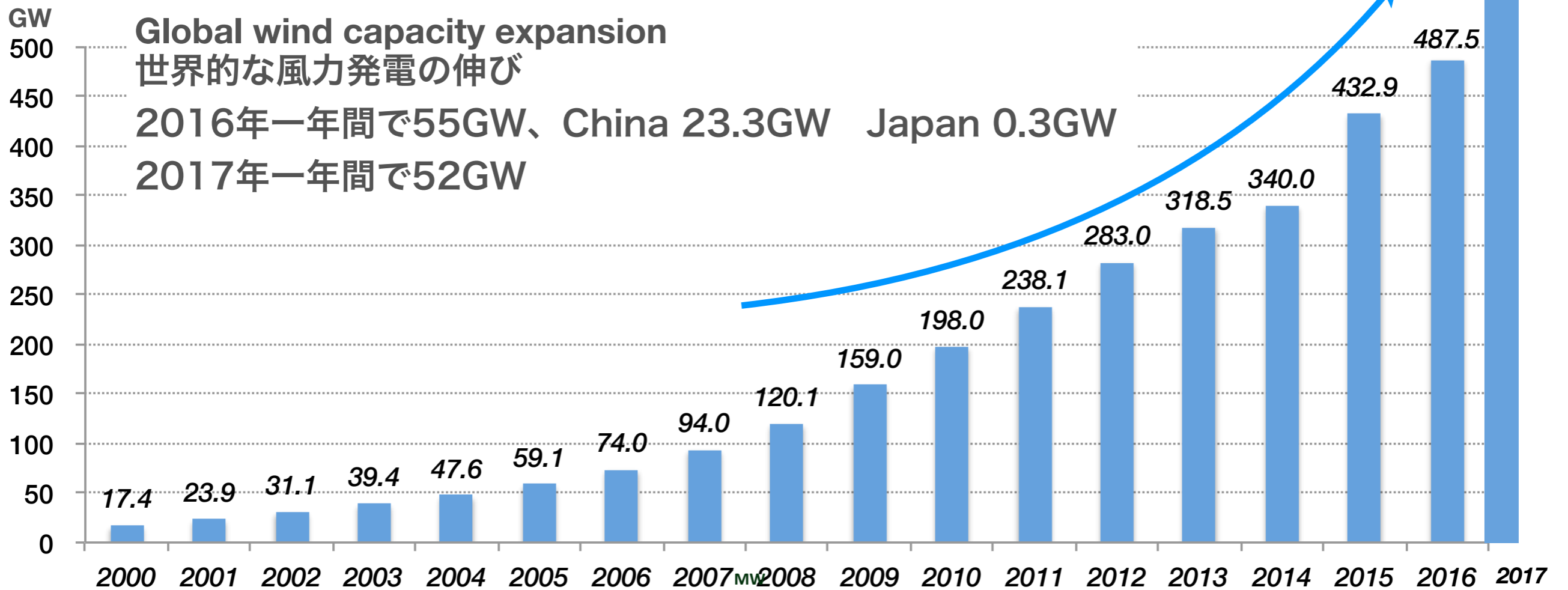
2017年：
世界全体で2017年99GW導入、400GW
へ。中国が53GWで世界の半分以上を導入。
日本7GWで、49GW到達。2030年の政府
見通し64GWの8割を達成。



Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030

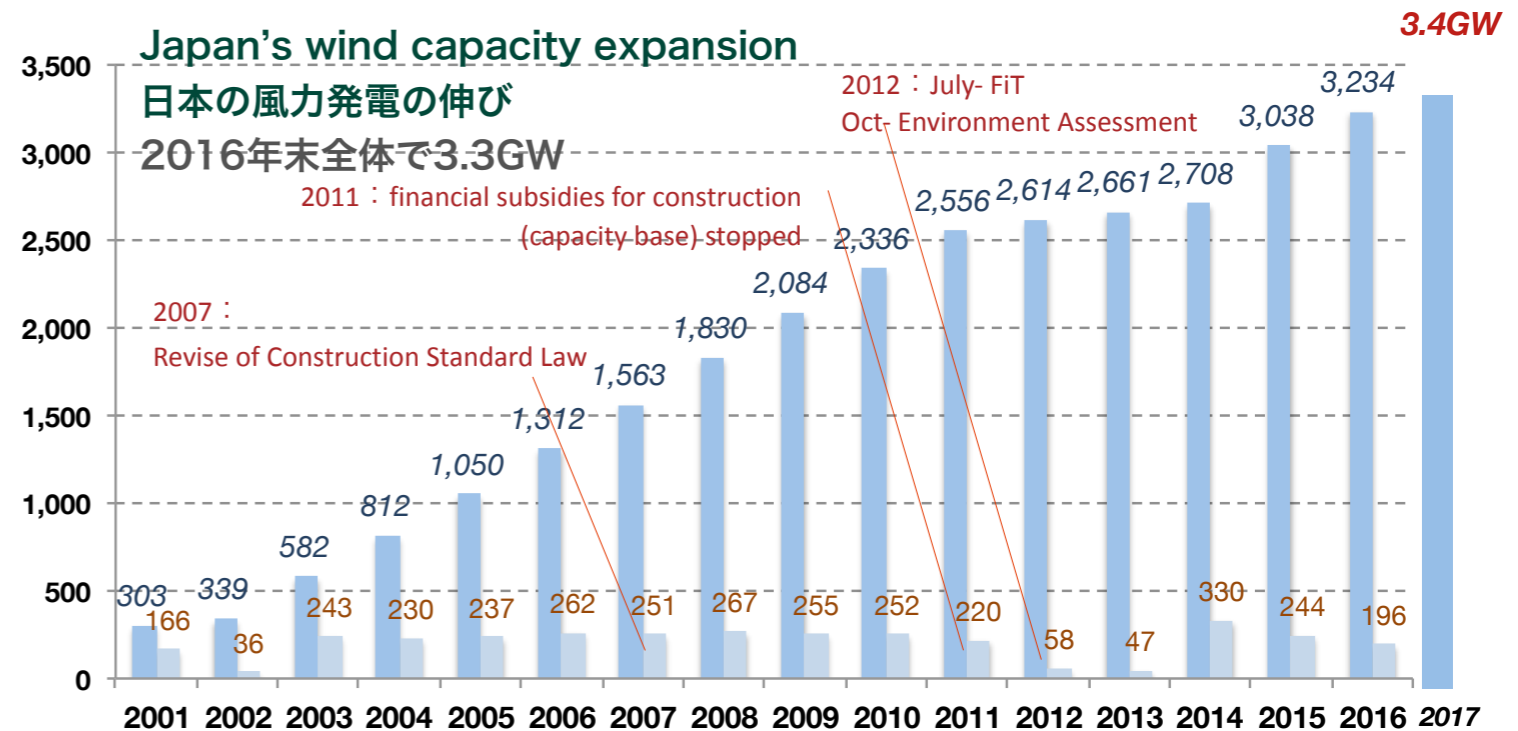
A Frequency Stability and Load Flow Analysis

2030年日本における変動型自然エネルギーの大量導入と電力システムの安定性分析



世界：2017年に52GWが導入。
中国が世界の導入量の約半分を導入。
日本の歩みは遅く、むしろFIT導入後に伸びが止まっている。

source:GWEC 2018より作成

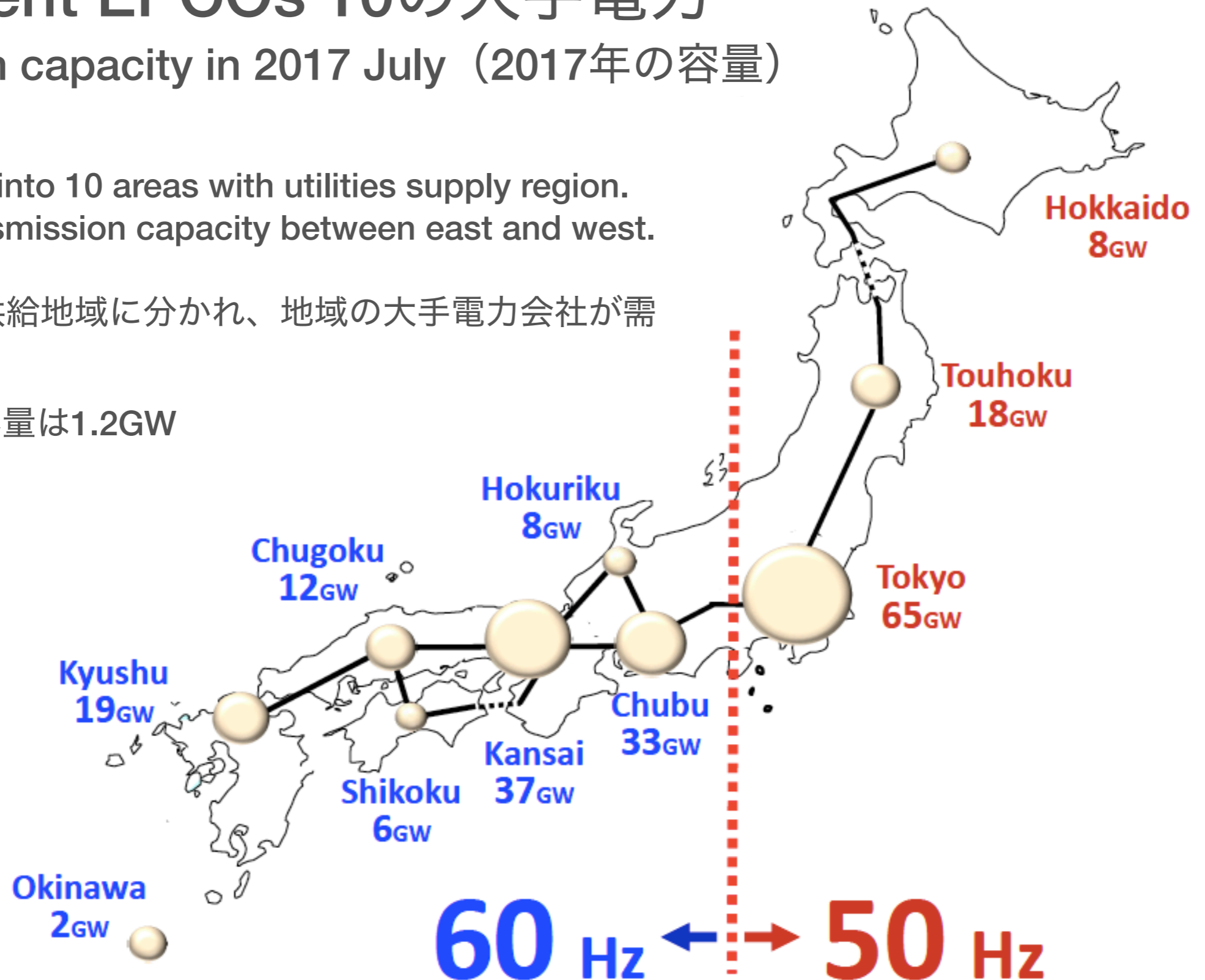




10 incumbent EPCOs 10の大手電力

with generation capacity in 2017 July (2017年の容量)

- Japan is divided into 10 areas with utilities supply region.
- Only 1.2GW transmission capacity between east and west.
- 日本は10の電力供給地域に分かれ、地域の大手電力会社が需給を調整している
- 東西の地域送電容量は1.2GW



Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030

A Frequency Stability and Load Flow Analysis

2030年日本における変動型自然エネルギーの大量導入と電力システムの安定性分析



Electricity supply and demand in Shikoku, 20 May 2018

RE102%: PV 73%, Hydro 25%, Wind 3%, Bioenergy 1%

四国電力エリアの需要の100%以上に (2018年5月20日)

自然エネルギー102%: 太陽光 73%, 水力 25%, 風力 3%, バイオ1%

GW

4

3

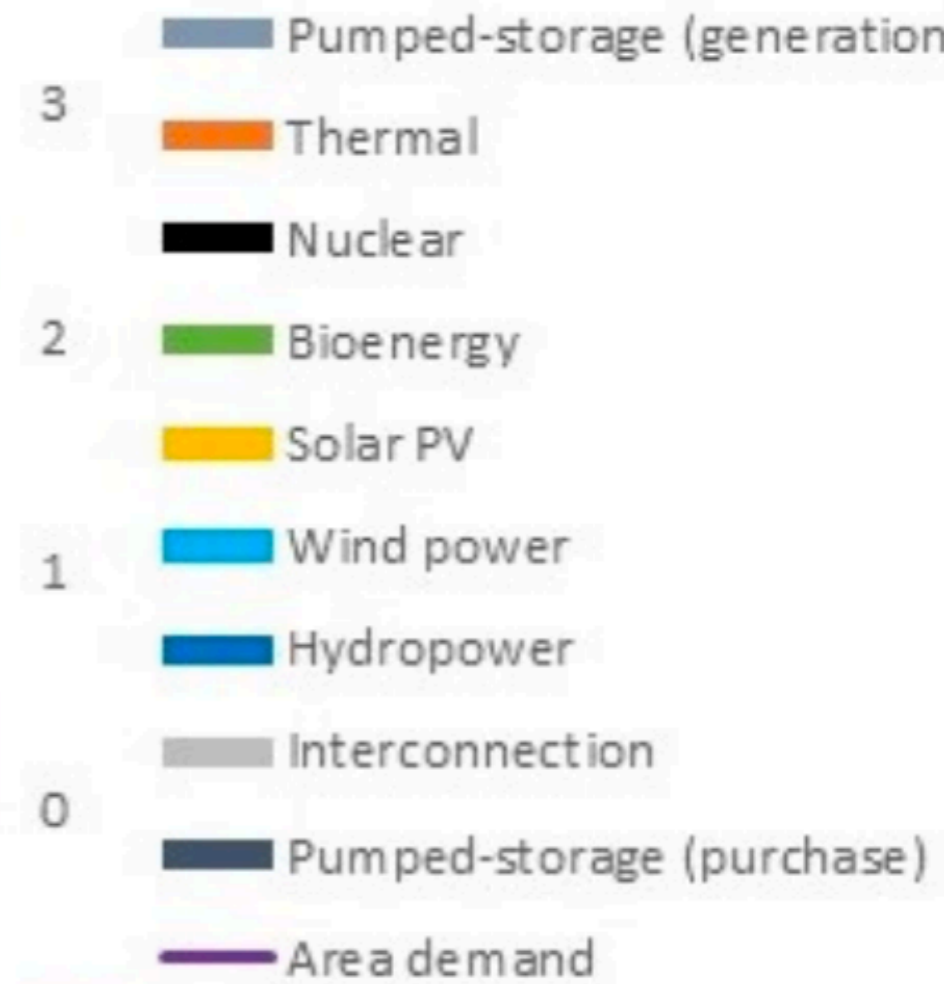
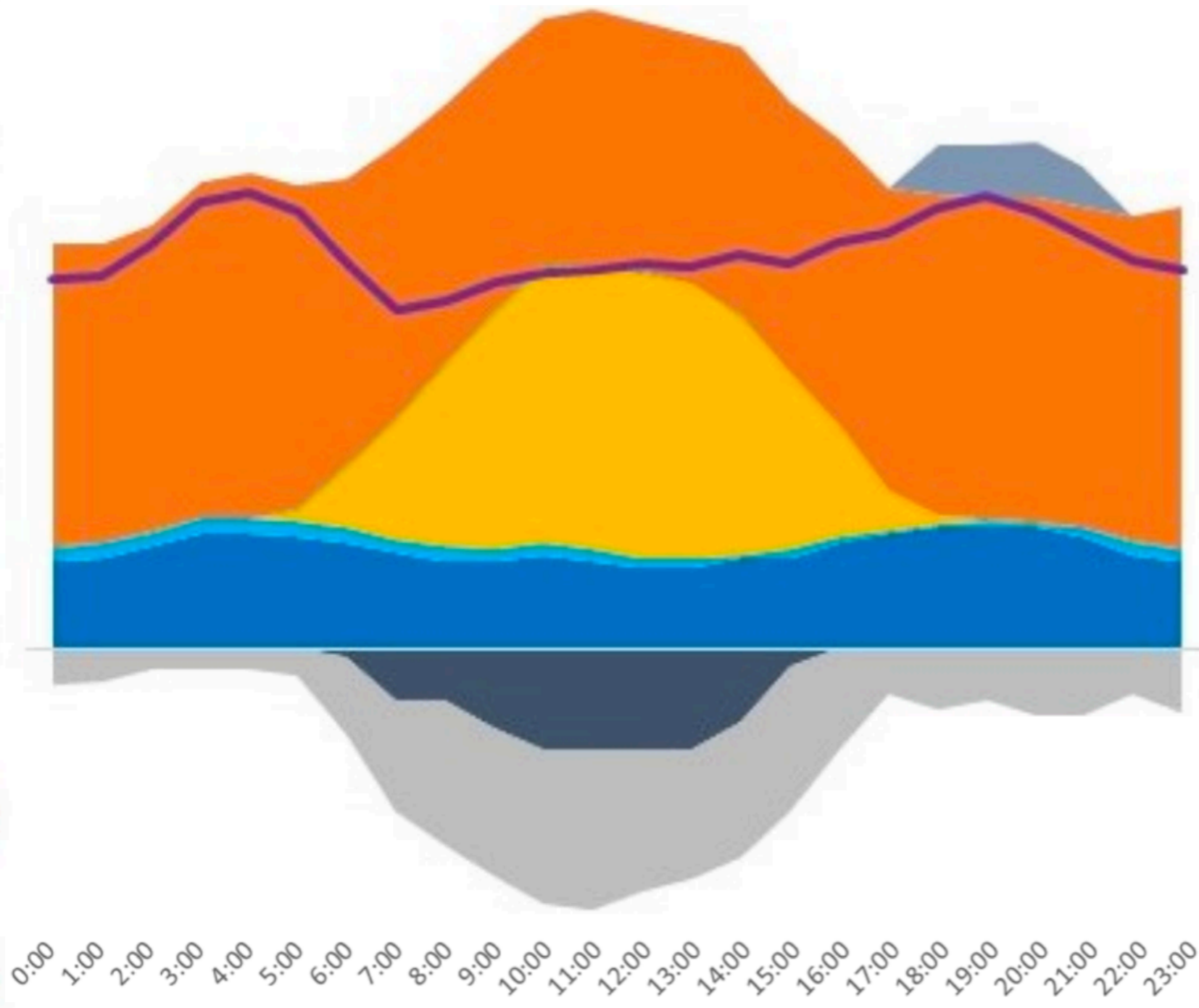
2

1

0

(1)

(2)



(1)

(2)

source: 「供給力を増す自然エネルギー：多数の電力エリアで一時需要の七割超えー2018年度第1四半期エリア需給データより」

自然エネルギー財団 木村啓二

https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20181005_1.php



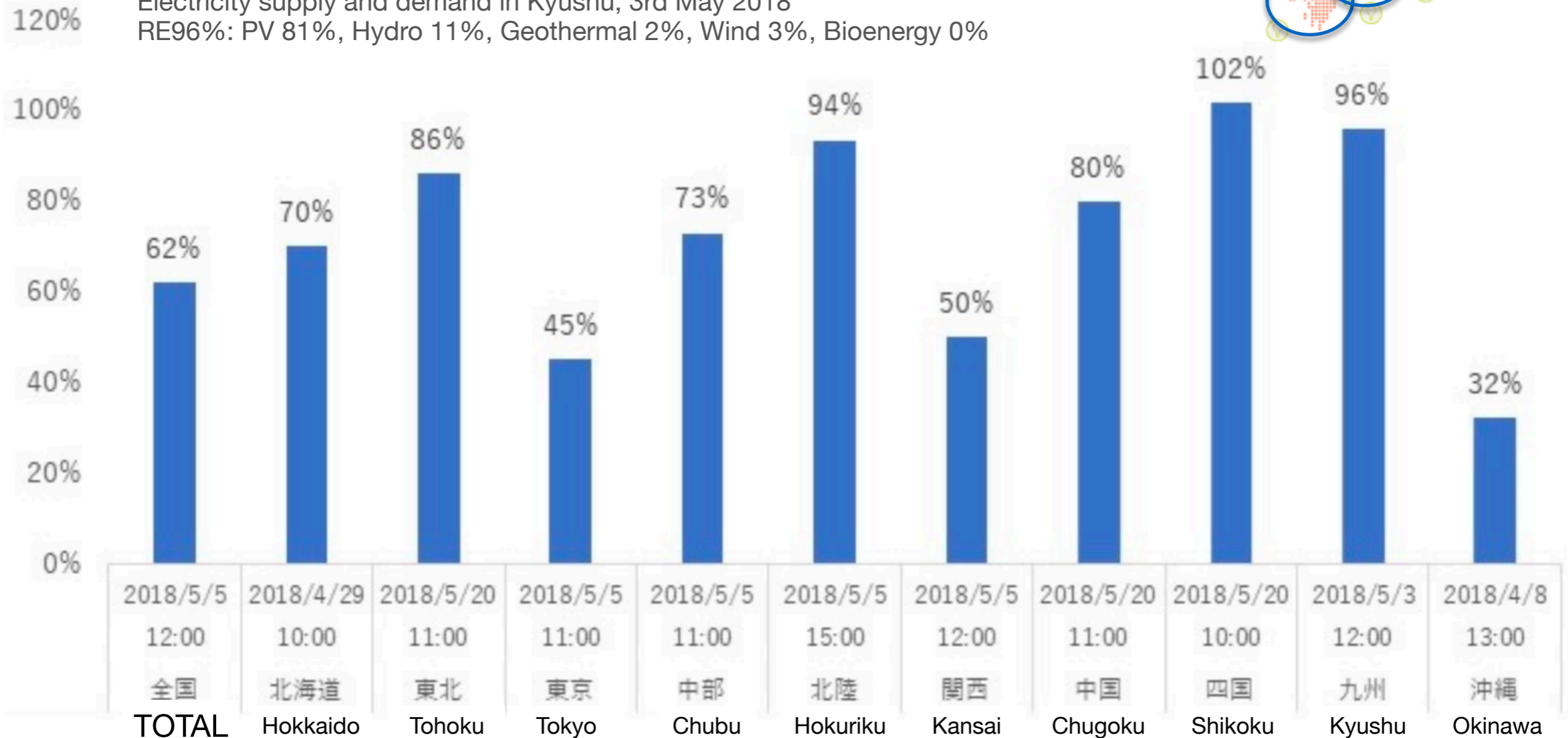
Largest share of RES in each demand/supply area それぞれの供給区域における最大自然エネルギー電力

九州電力エリアの需要の96%をカバー (2018年5月3日)

自然エネルギー96%: 太陽光 81%, 水力 11%, 地熱 2%, 風力 3%, バイオ 0%

Electricity supply and demand in Kyushu, 3rd May 2018

RE96%: PV 81%, Hydro 11%, Geothermal 2%, Wind 3%, Bioenergy 0%



Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030

A Frequency Stability and Load Flow Analysis

2030年日本における変動型自然エネルギーの大量導入と電力システムの安定性分析



©Bloomberg : 2050年 予測

再生可能エネルギーが電源構成の主役となる: Renewables become major electricity source

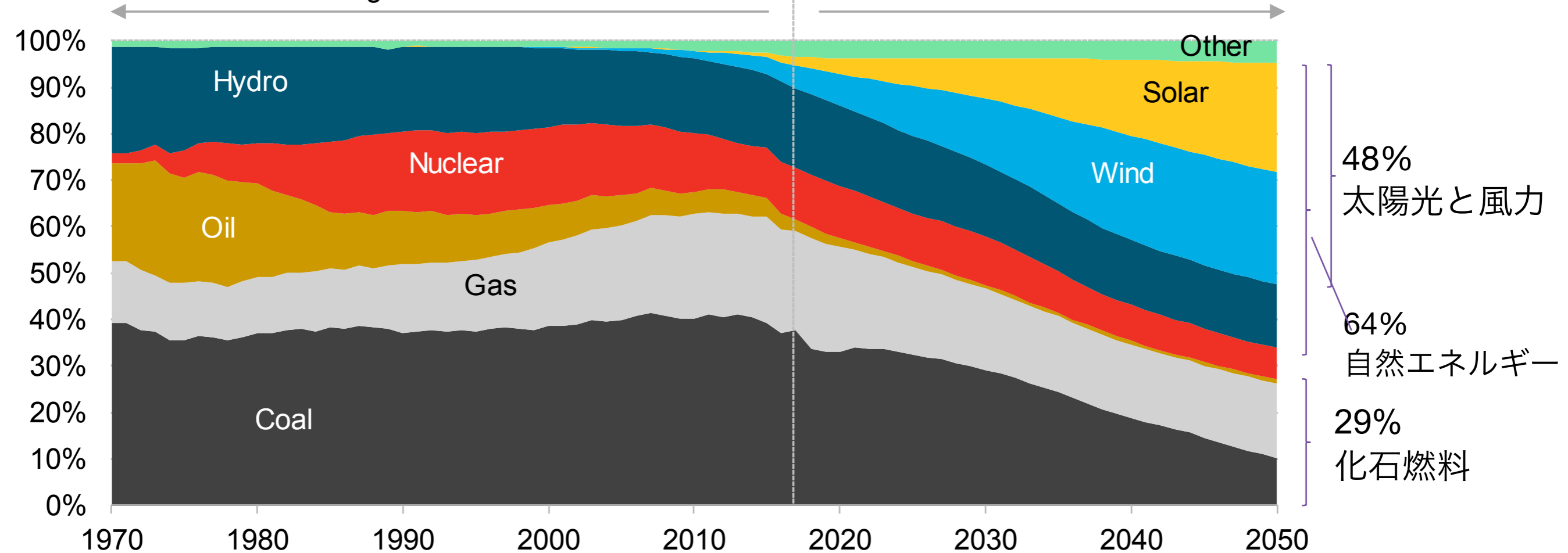
50%を風力と太陽光で、水力を併せると64% : 50% by wind and solar, 64% with hydro

これまでの世界の発電構成

Historical world power generation mix

ブルームバーグNEO2018シナリオ発電構成

NEO2018 power generation mix



Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030

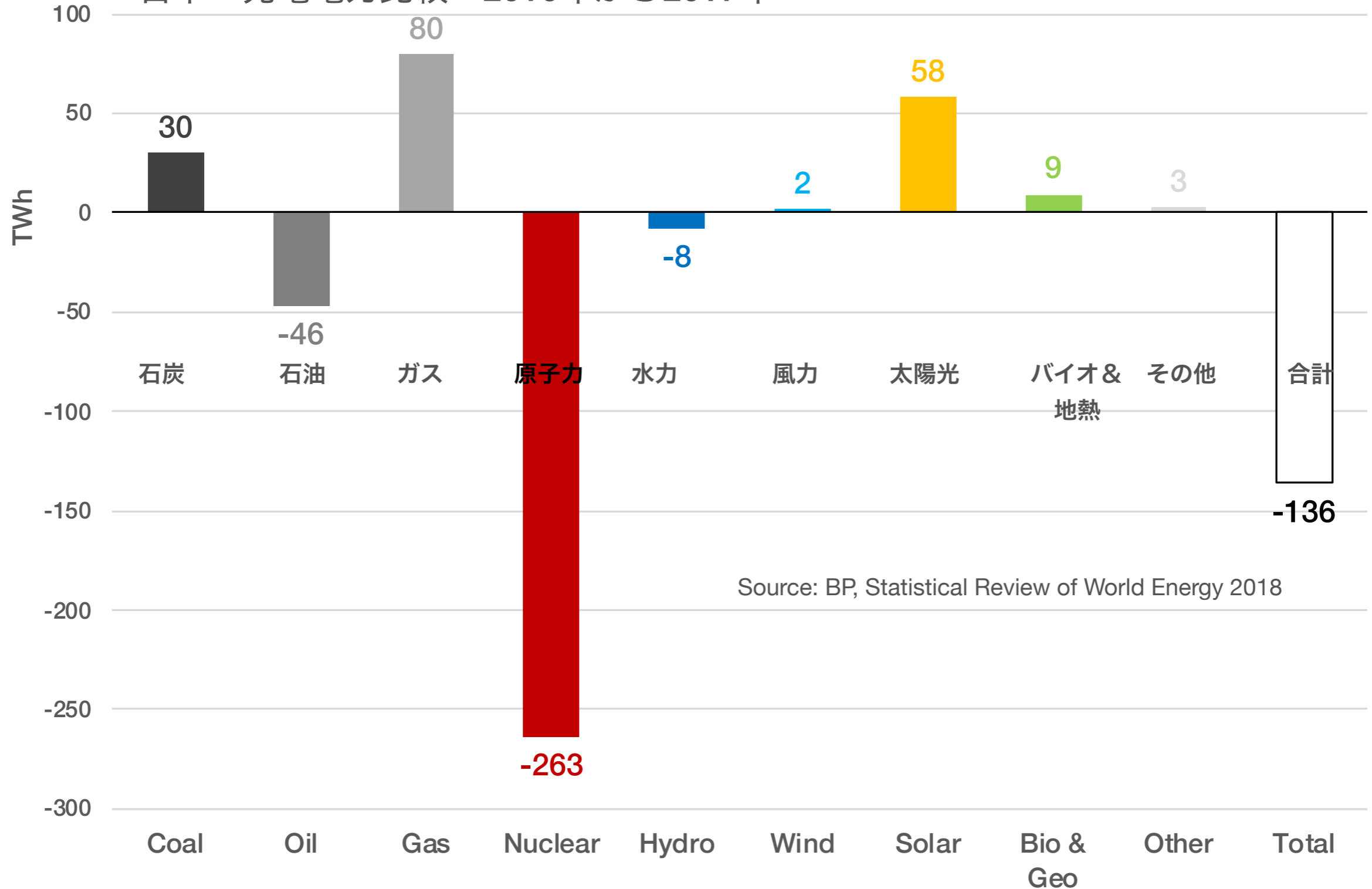
A Frequency Stability and Load Flow Analysis

2030年日本における変動型自然エネルギーの大量導入と電力システムの安定性分析



Japan Change in Electricity Generation 2010-2017

日本：発電電力比較 2010年から2017年



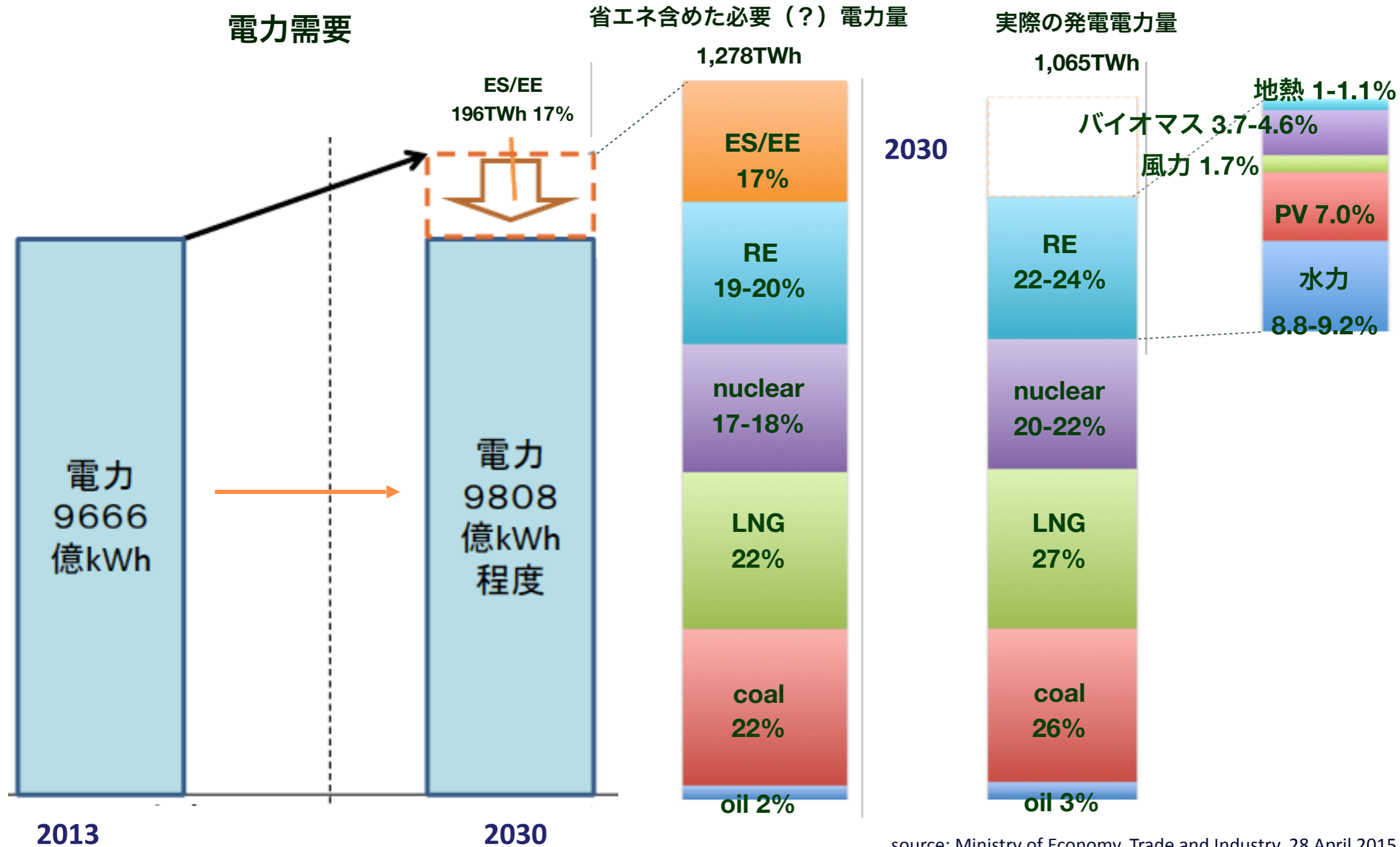
Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030

A Frequency Stability and Load Flow Analysis

2030年日本における変動型自然エネルギーの大量導入と電力システムの安定性分析



Japan electricity mix in 2030 日本の2030年電力ミックス





Renewables(RES) and Variable Renewables (VRES) - discussions in Japan:
RES, especially wind and solar cannot be predicted and intermittent so that highly disturb grid stability,
More and more VRES means more and more fossil for adjustment of power,
Supply by RES has limitation
VRES cannot supply electricity for industry

日本における自然エネルギーと変動型自然エネルギーの議論：

- **自然エネルギー、特に風力・太陽光は予測不能・不安定なので、システムを乱す**
- **自然エネルギーが入れば入るほど、（同じ量の）火力が必要になる**
- **自然エネルギーの供給力には限界がある**
- **自然エネルギー電力で産業需要を賄うことは出来ない**
.....などなど

Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030

A Frequency Stability and Load Flow Analysis

2030年日本における変動型自然エネルギーの大量導入と電力システムの安定性分析



Renewables Integration into the Japanese Power Grid by 2030

A Frequency Stability and Load Flow Analysis

2030年日本における変動型自然エネルギーの大量導入と電力システムの安定性分析

- 目的：
- 「自然エネルギー拡大の可能性と妥当性の証明」
 - 「系統情報公開の促進」
 - 「透明性のある議論の促進」

国際共同研究：アゴラ・エナジーヴェンデとエリア・グリッド・インターナショナル

- AIM:
- Assessment of possibility and adequacy of high integration of VRE
 - Acceleration of grid information disclosure
 - Acceleration of transparent discussion relates to grid integration of VRE

International joint study: Agora Energiewende + Elia Grid International



Key Insights

The Japanese power system can accommodate a larger proportion of wind and solar energy than is currently provided for in the government's 2030 targets, while still maintaining grid stability. An annual share of at least 33% RES (22% variable renewables - VRES) can easily be integrated, while still maintaining grid stability. A higher renewables share of 40% (30% VRES) could also be achieved with very low curtailment level.

There already exist a number of technical measures to improve grid stability in situations where a high proportion of variable renewables could place a strain on grid operations. Indeed, VRES can contribute to maintaining grid stability by providing fast frequency response (FFR). On conservative assumptions, this study shows that such FFR services would enable the existing Japanese transmission grid to incorporate instantaneous VRES penetration levels of up to 60% in eastern Japan and around 70% in western Japan, while still maintaining frequency stability. These assessments confirm the trends observed in 2018 in regions such as Kyushu or Shikoku, where hourly VRES penetration satisfied more than 80% of demand (corresponding to more than 55% of all power generation). By 2030, these high regional infeed levels could become the norm for the Japanese system as a whole. Furthermore, implementing additional technical measures would allow even higher penetration levels to be reached.

Integrated grid and resource planning can help mitigate the impact of wind and solar PV deployment on intraregional and interregional load flows. Increasing the proportion of VRES in the mix is expected to reduce power line loading in some regions and increase it in other parts of the system. The impact of VRES distribution on the grid must therefore be systematically taken into account in future grid development plans, in order to avoid creating line-loading hotspots.

Non-discriminatory market regulations, enhanced transparency, and state-of-the-art operational and planning practices facilitate the integration of a higher proportion of variable renewables. In particular, renewables should be incorporated into ancillary service provision, since they can contribute to frequency stability, balancing, and voltage control in tandem with other technologies (such as demand side response, conventional generation, and storage).



Key Insights - 要点

1. 日本の電力システムは、政府の定める2030年時点の目標以上に変動型自然エネルギーを導入しつつ、システムの安定性を維持することが可能である。少なくとも年間の電力消費の33%以上の自然エネルギーを容易に導入しながら（現在の目標値は自然エネルギー電力全体で22-24%、うち変動型自然エネルギーは10%未満）、システムの安定性を維持することが可能である。また、自然エネルギー40%（変動型自然エネルギー30%）の導入も、低い出力抑制で達成できる。
2. より変動型自然エネルギーの比率が高まることで系統運用に負担がかかる場合でも、安定性を維持することのできる技術的対策が既に存在している。実際に、変動型自然エネルギーそのものも、高速周波数応答（FFR）サービスの提供により、システムの安定性維持に貢献することができる。今回の研究の結果は、システムの安定性の確保を保守的に見積もった場合でも、こうしたFFRサービスを利用すれば、周波数安定性を許容範囲に収めながら、日本の既存の送電系統における変動型自然エネルギーの瞬時供給比率を東日本で最大60%、西日本で70%程度まで引き上げることが可能であることを示している。これらの評価は、2018年に九州や四国などの地域で見られた傾向を裏付けるものである。この2つの地域では、需要に占める時間あたりのVRES供給比率が80%以上（総発電量では55%以上）に達していた。2030年までにこうした一部地域における高い給電水準は日本全国で一般的になる可能性がある。更に追加の技術的対策を講じた場合、より一層高い供給比率を達成できるだろう。
3. 系統と電源を統合的に計画することにより、風力発電と太陽光発電の導入に伴う地域内系統および地域間連系線潮流への影響を緩和することができる。電源構成の中で変動型自然エネルギーの割合が増えた場合、系統内で送電線負荷が低下する地域と増加する地域が出てくることが予想される。そのため将来の系統整備計画においては、変動型自然エネルギーの分布が系統に与える影響を体系的に考慮し、送電線負荷の集中個所（ホットスポット）が生じないようにしなければならない。
4. 変動型自然エネルギーの導入拡大には、非差別的な市場規制、透明性の向上、最新の運用・計画実務が必要である。特に、自然エネルギーを、他の技術（デマンドレスポンス、在来型発電、蓄電など）と並んで周波数安定性や同時同量、電圧制御に貢献することが可能な電源として、アンシラリーサービス市場へと組み込む必要がある。



政策提言

政策担当者と規制当局への提言

- 自然エネルギー統合に向けた非差別的市場設計の実施：自然エネルギーがアンシラリー・サービス（需給調整市場、無効電力供給など）で果たす役割の可能性を検討する。これは自然エネルギーの新たなビジネスケースを後押しするとともに、自然エネルギーが電力システム全体の中でより大きな責任を担うことを可能にするだろう。
- データの透明性を向上し、第三者による日本のエネルギー部門について有意義な調査を実施可能にする。そうすることが、結果として議論の活性化と社会の関心を高めることにもつながる。
- 独立機関が参加する電力システム研究をさらに推進する：自然エネルギー統合は学際的プロジェクトであり、混雑管理やアデカシー、市場統合、運用計画の改定、接続要件、系統防御について、さらなる研究を進めていく必要がある。

Recommendations for policy planners and regulatory bodies

- Implement non-discriminatory market rules for renewable integration: consider the potential role of RES in ancillary services such as balancing markets and reactive power provision. This would boost the new business case for RES and allow RES to assume greater responsibilities within the power system as a whole.
- Foster data transparency to enable third parties to carry out meaningful studies on the Japanese energy sector. This will eventually result in more robust debate and help to raise public awareness.
- Encourage further power system studies involving independent parties: Integrating renewables is an interdisciplinary project and further studies should be conducted on congestion management, adequacy, market integration, operational planning adaptation, connection requirements, and system defences.



政策提言

送電事業者への提言

- 慣性力モニタリングの確立：慣性力は系統安定性の確保において鍵となる指標である。慣性力をモニタリングすることで、周波数の低下が発生した場合でも、送電事業者は主体的にその影響を抑えることができる。
- 自然エネルギーをアンシラリー・サービス供給に統合する：送電事業者は変動型自然エネルギーの能力を、周波数安定性の維持や調整電力の供給、電圧制御の実施に活用することができる。こうしたケースでは常に、送電事業者はサービス・プロバイダのポートフォリオを分散させる必要がある。
- 長期計画に必要な電力システムデータの透明性を向上させる。

Recommendations for system operators

- Establish inertia monitoring: inertia is a key parameter in ensuring system stability. By monitoring it, system operators can actively limit the consequences of frequency deviation incidents.
- Integrate renewables into ancillary service provision: system operators can make use of the capacity of VRES to maintain frequency stability and provide balancing power and voltage control. In all such cases, system operators should diversify their portfolio of service providers.
- Increase the transparency of the grid and power system data required for long-term planning.



政策提言

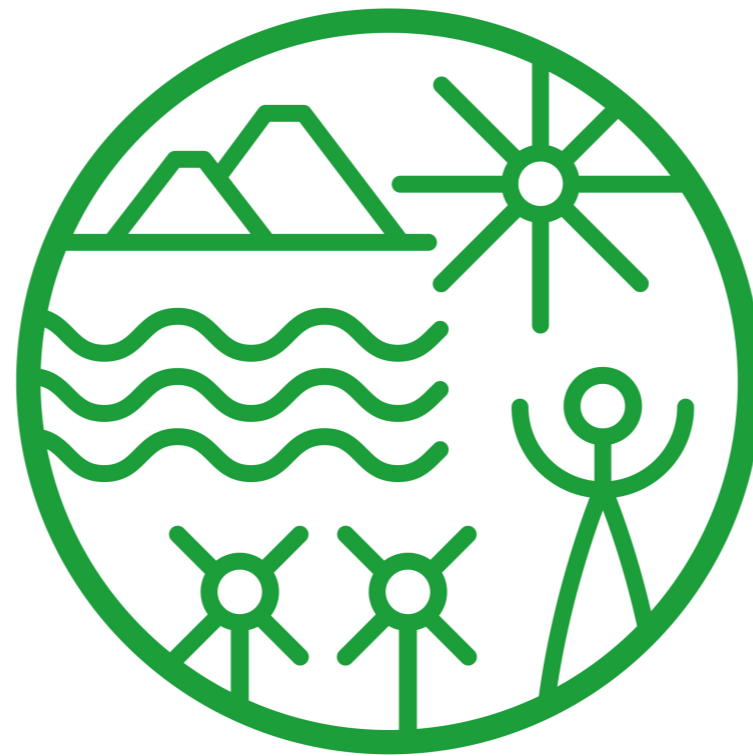
自然エネルギー事業者への提言

- 系統サービスの要件を予想する：日本のエネルギー業界は、間もなく、発送電分離と新たな市場の確立によって大きな変化を迎える。自然エネルギー事業者はその過程における自らの役割を主体的に見極め、新たな機会を追求する必要がある。
- 自然エネルギーが提供できる追加的サービスを探求する：すでに自然エネルギー資源は、単なるエネルギー供給以外のサービスを提供できるようになっている。さらに研究を進め、FFRやバランシング、無効電力などのサービスの利用例を示すよう提言する。これにより関係者すべてに利益をもたらす革新的ソリューションの開発が可能になる。

Recommendations for renewable developers

- Anticipate grid service requirements: the Japanese energy sector is set to undergo major changes in the near future as a result of unbundling and the establishment of new markets. Developers should actively define their role in this process and seek out new opportunities.
- Explore the additional services renewables may provide: renewable energy sources are already capable of providing other services beyond mere energy supply. We recommend carrying out further studies and defining use cases for services such as FFR, balancing, and reactive power. This will allow innovative solutions to be developed for the benefit of all parties.

Paradigm Shift in Energy



自然エネルギー財団

RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

CONTACT:

Mika Ohbayashi

Renewable Energy Institute

e-mail: [m.ohbayashi AT renewable-ei.org](mailto:m.ohbayashi@renewable-ei.org)

address: 1-13-1, Nishi-Shimbashi, Minato-Ku, Tokyo 105-0003, JAPAN