

---

日本機械学会 動力エネルギーシステム部門、カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵技術研究会報告会  
早稲田大学西早稲田キャンパス 61 号館 210 室、2024年3月14日(木)

## カーボンニュートラル実現に向けたエネルギー貯蔵への期待

東京大学 大学院工学系研究科

小宮山 涼一

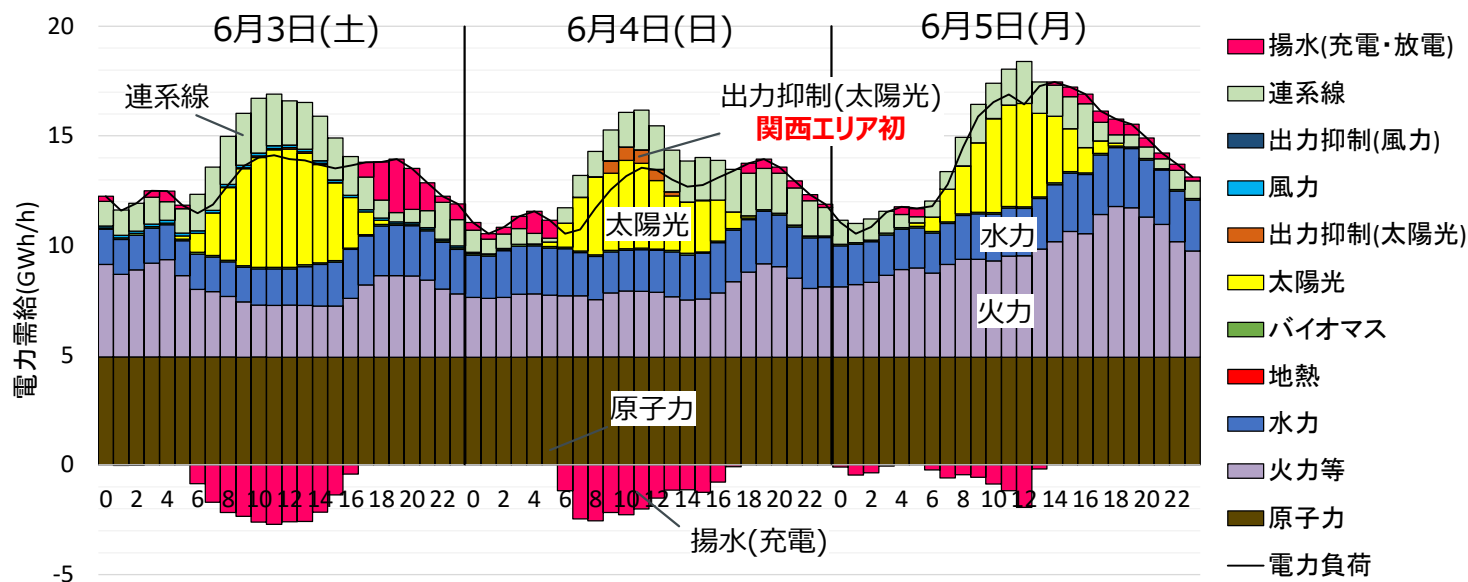


THE UNIVERSITY OF TOKYO

# エネルギー貯蔵ニーズの背景

太陽光発電の大量導入(2022年度末 約7,070万kW)、再エネ主力電源化(2030年度、再エネ比率36-38%[2021年度 20.3%])、カーボンニュートラル、火力廃止措置の進展、調整力の確保( $\Delta kW$ )(需給調整市場)、電力系統の混雑・再エネ出力抑制(2024年度、関東エリア)、電力消費の増加(データセンター、半導体工場)  
 →エネルギー貯蔵に対するニーズの拡大

電力需給運用 (関西エリア) : 2023年6月3日(土)~5日(月)



(出典) 関西電力需給実績より作成

# 再エネ主力電源化に向けた課題

電力エネルギーシステムの柔軟性、系統安定性の確保が重要な課題

## 送配電容量の確保

(系統混雑管理、調整力広域調達)

基幹系統(地域間連系線含む)  
ローカル系統、配電系統  
接続ルール(ノンファーム接続等)

## 慣性力の確保(系統安定性)

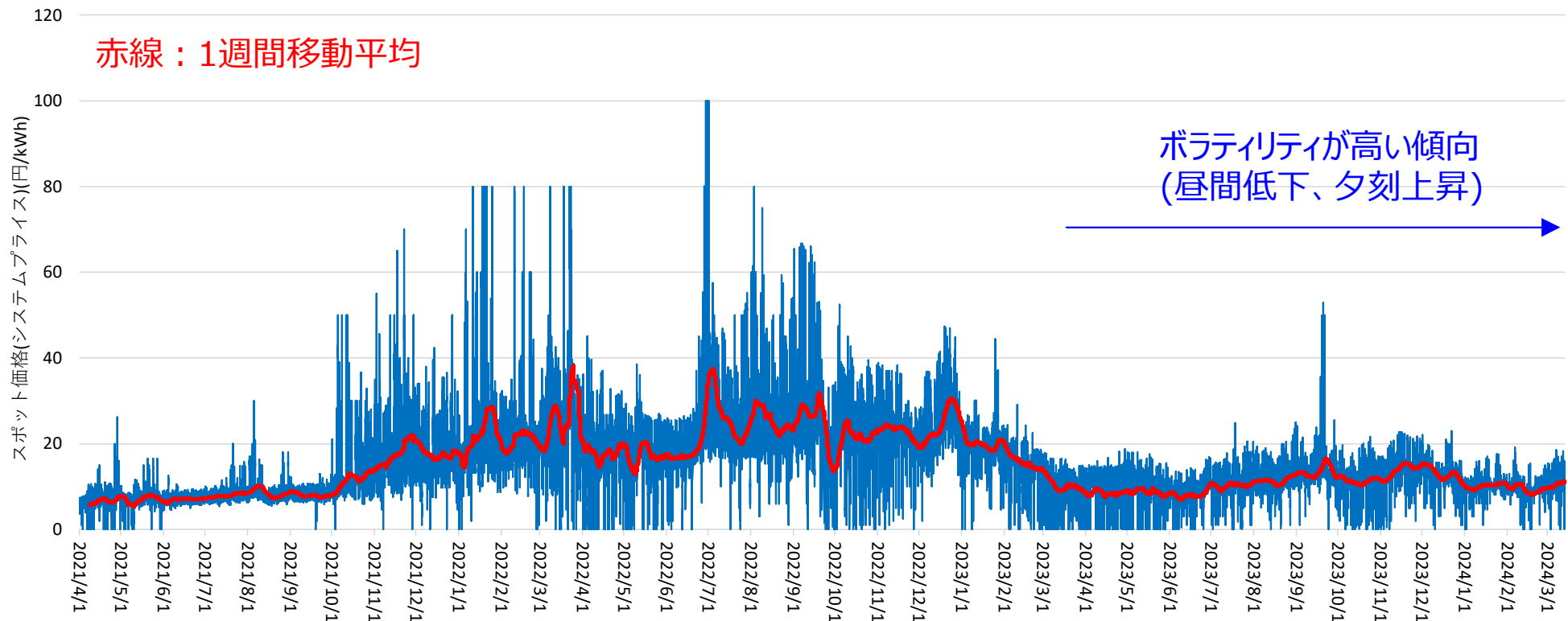
インバータ電源(IBR)の影響緩和  
同期調相機、同期発電機、疑似  
慣性など

## 調整力の確保(同時同量)

火力(LNG複合、水素発電など)  
エネルギー貯蔵(揚水、蓄電、蓄熱など)  
DR(需要側機器、行動変容など)

# 卸電力価格の動向(システムプライス)

- 再エネ大量導入→火力発電の稼働率の低下、卸電力価格の低下→火力の事業性の低下→火力廃止
- JEPXの最低価格(0.01円/kWh)、ネガティブ価格(マイナス価格)の導入(欧米)[蓄エネのインセンティブ]



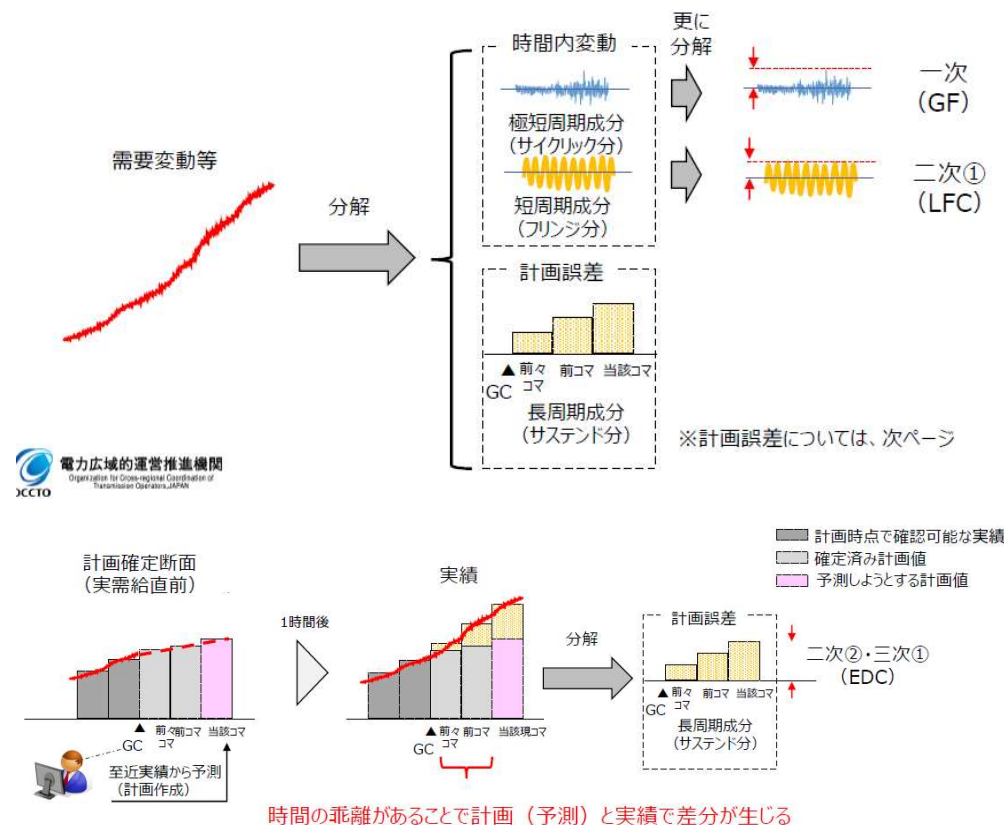
(出典) JEPXウェブサイトより作成

# 調整力の確保(需給調整市場、2024年度～)

再エネ普及拡大が予見される中、需給バランスの変動、予測誤差等に対する調整力の確保が重要な課題

	一次調整力	二次調整力①	二次調整力②	三次調整力①	三次調整力②
英呼称	Frequency Containment Reserve (FCR)	Synchronized Frequency Restoration Reserve (S-FRR)	Frequency Restoration Reserve (FRR)	Replacement Reserve (RR)	Replacement Reserve-for FIT (RR-FIT)
指令・制御	オフライン (自端制御)	オンライン (LFC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン
監視	オンライン (一部オフラインも可※2)	オンライン	オンライン	オンライン	専用線：オンライン 簡易指令システム：オフライン※2,5
回線	専用線※1 (監視がオフラインの場合は不要)	専用線※1	専用線※1	専用線※1	専用線 または 簡易指令システム
応動時間	10秒以内	5分以内	5分以内	15分以内※3	45分以内
継続時間	5分以上※3	30分以上	30分以上	商品ブロック時間(3時間)	商品ブロック時間(3時間)
並列要否	必須	必須	任意	任意	任意
指令間隔	- (自端制御)	0.5~数十秒※4	1~数分※4	1~数分※4	30分
監視間隔	1~数秒※2	1~5秒程度※4	1~5秒程度※4	1~5秒程度※4	未定※2,5
供出可能量 (入札上限)	10秒以内に出力変化可能な量 (機器性能上のGF幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (機器性能上のLFC幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	15分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	45分以内に出力変化可能な量 (オンライン(簡易指令システムも含む)で調整可能な幅を上限)
最低入札量	5MW (監視がオフラインの場合は1MW)	5MW※1,4	5MW※1,4	5MW※1,4	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW
刻み幅 (入札単位)	1kW	1kW	1kW	1kW	1kW
上げ下げ区分	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ

- ※1 簡易指令システムと中給システムの接続可否について、サイバーセキュリティの観点から国で検討中のため、これを踏まえて改めて検討。
- ※2 事後に数値データを提供する必要有り (データの取得方法、提供方法等については今後検討)。
- ※3 沖縄エリアはエリア固有事情を踏まえて個別に設定。
- ※4 中給システムと簡易指令システムの接続が可能となった場合においても、監視の通信プロトコルや監視間隔等については、別途検討が必要。
- ※5 簡易指令システムには上り情報を送受信する機能は実装されていない。現時点ではDRの参入がその大半を占めることが想定され、エリア需要値の算定に影響は生じないが、今後、VPP等の発電系が接続することでエリア需要の算定精度が低下することが考えられるため、上り情報が不要な接続容量の上限を設ける等の対応策を検討。



(出所) 電力広域的運営推進機関：需給調整市場における契約および資格要件について、第8回需給調整市場検討小委員会 資料5 (2019年)  
 資源エネルギー庁・電力広域的運営推進機関：同時市場における調整力確保に関する検討の進め方について、第2回 同時市場の在り方等に関する検討会 資料6 (2023年)

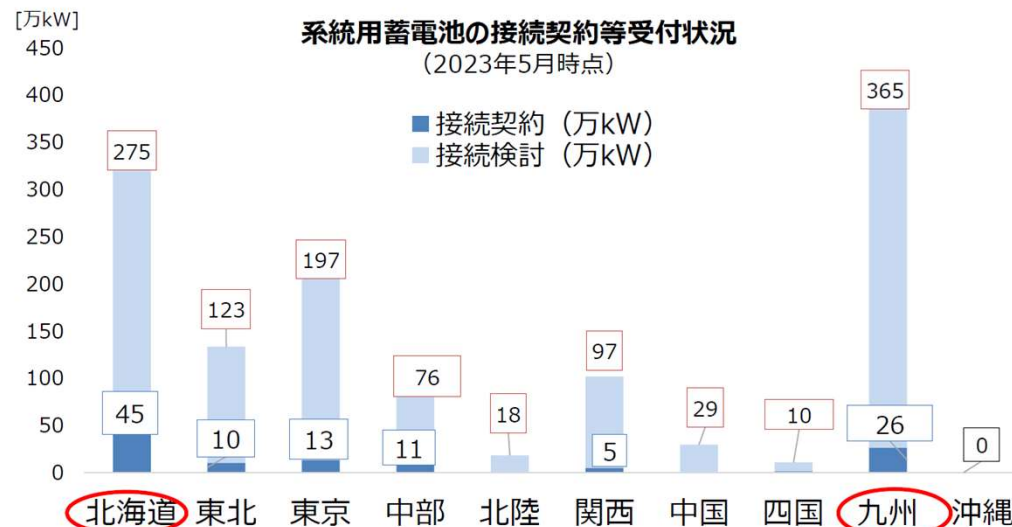
# 系統用蓄電池の動向

再エネ出力変動等に対する調整力としての役割への期待

## 国内における定置用蓄電池の進展

- 調整力の確保のためには、電力系統に直接接続する系統用蓄電池に加え、需要家側に設置され電力需要の最適化（デマンドリスポンス）等に活用される家庭用蓄電池、業務・産業用蓄電池が必要。
- 再エネの出力制御等に活用される系統用蓄電池は、ここ1、2年で急速に導入が拡大。全国で接続検討受付が約1,200万kW、契約申込が約112万kWとなっている※。特に北海道や九州で導入が進んでいる。
- また、家庭用や業務・産業用蓄電池についても、太陽光発電設備との併用による自家消費や、電力需要の最適化（デマンドリスポンス）を行うなど、需要側から電力の需給バランスを改善する取組が広がっている。

※接続検討のすべてが接続契約に至るものではない。なお、通常、契約から設置まで2年程度を要する。



(出所) 第47回 系統WG (2023年8月3日) 資料1 より抜粋

21

(出典) 内閣官房GX実行推進室: 分野別投資戦略について③ (蓄電池・自動車、SAF・航空機、船舶、資源循環) (2023年)

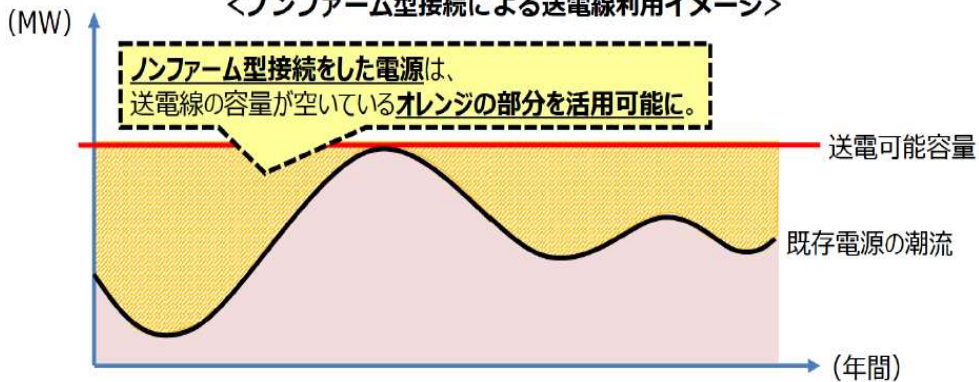
# 電力システムの混雑管理

- ・ ノンファーム型接続等のルール整備を受け、再エネ系統連系拡大(2027,2028年に全国的に混雑発生の可能性)
- ・ エリア全体の需給バランス、各エリア内の送電線混雑管理が重要な課題(混雑管理方法：再給電方式)

## 「ノンファーム型接続」

送電線混雑時の出力抑制を条件に新規接続を許容  
 系統増強費用の負担が不要で接続可能。ただし、系  
 統利用の際に劣後(出力抑制を受ける)

### ＜ノンファーム型接続による送電線利用イメージ＞



(出典) 経済産業省

	基幹系統混雑			ローカル系統混雑			系統図
	①適用系統	②適用電源	③制御対象	①適用系統	②適用電源	③制御対象	
基幹系統 (上位2電圧)	2021.1 基幹系統	2022.4 全電源	(調整電源活用) 2022.12 (一定の順序) 2023.12				
ローカル系統 ※上位2電圧以外かつ配電系統として扱われない系統		2023.4 全電源	2023.12以降 必要に応じて拡大	2023.4 ローカル系統	2023.4 全電源	全電源	
配電系統 (高圧以上)					全電源		
配電系統 (低圧)						10kW未満	
④制御方法	再給電方式			再給電方式 (一定の順序) の出力制御順に基づく制御 (一律制御の対象は計画値変更)			

①適用系統：ノンファーム型接続の考え方をどの送電線設備に適用するか  
 ②適用電源：ノンファーム型接続の考え方をどの電源に適用するか  
 ③制御対象：利用(出力制御)の考え方をどの電源に適用するか  
 ④制御方法：平常時及び事故時において系統容量を超過した場合に電源をどのように出力制御するか

(出典) 経済産業省：日本版コネクト&マネージにおけるノンファーム型接続の取組、系統WG 資料1-1 (2023年2月)

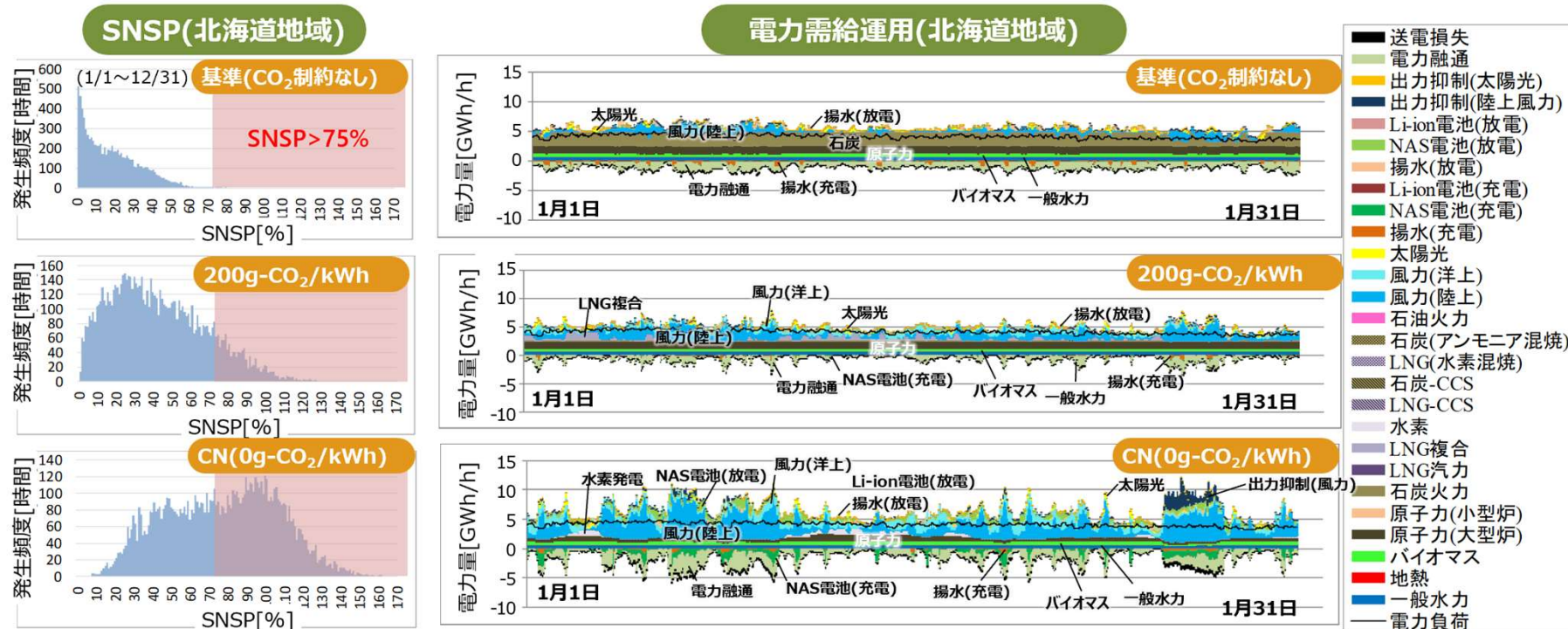
# 慣性力の確保

## ご紹介するツールの主機能4：時系列の再エネ比率評価



慣性力強化を要する期間・量の導出が可能。慣性強化施策の効果定量評価が可能

再エネインバータの擬似慣性制御、同期調相機、グリーン火力(水素、CCSなど)、原子力、揚水式水力、蓄熱発電など



SNSP: the System Non-Synchronous Penetration (非同期電源比率)

(出典)小宮山, 藤井, (シンポジウム講演)カーボンニュートラル時代の電力需給解析, 電気学会全国大会(令和4年)(2022)での分析結果より作成

© H-UTokyo Lab. 2023. All rights reserved. 8

(出典) 小宮山涼一:「2050年カーボンニュートラルを想定したエネルギーシミュレーション」,日立東大ラボ 第5回産学協創フォーラム『Society 5.0を支えるエネルギーシステム』, 東京大学 安田講堂, 2023年1月25日 (2023)

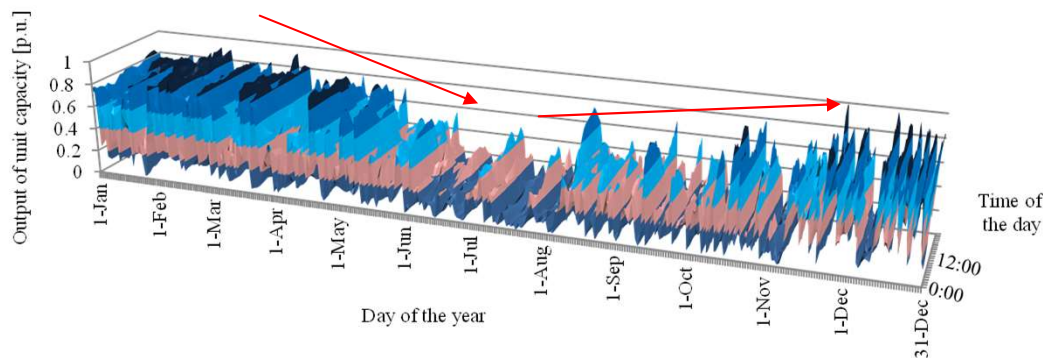


# 再生可能エネルギーの出力変動(長周期変動など)

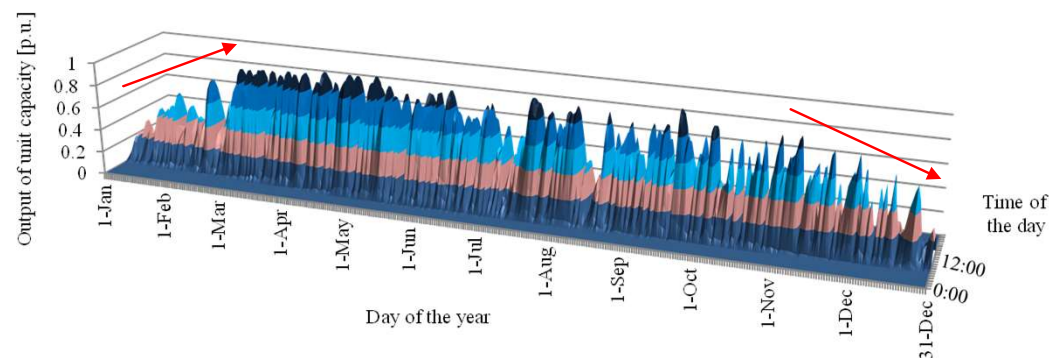
再エネ大量導入実現に向けては再エネ出力変動(分、時間、日間、季節間)への総合的対策も必要に

- 風力発電、太陽光発電は短周期(分、時間、日間)での出力変動に加え、長周期(季節間)でも変動
- 風力発電：夏季付近で相対的に出力低下、太陽光発電：冬季付近で相対的に出力低下
- 自然変動電源大量導入時での再エネ電力の有効活用のためには、季節間の変動への対応が重要な課題
- 課題：長期間でのエネルギー貯蔵が必要、充放電の機会が限定的→投資回収が容易ではない

風力発電出力実績(2021年1/1~12/31、東北地域)



太陽光発電出力実績(2021年1/1~12/31、東北地域)



(出典)東北電力ネットワーク エリア需給実績をもとに作成

# 結 語

## ● 蓄熱エネルギー技術への期待

- コスト競争力、長期貯蔵、多目的利用(熱利用)、慣性力の提供(原動機併設)
- 再エネ主力電源化を巡る競合技術や政策の動向の影響：調整力(蓄電池、DR、アグリゲーションなど)、送電線増強・利用ルール、慣性力(GFIなど)、電力市場制度(ネガティブプライス)ほか