

# 環境変化に対応する電力市場制度の変革の可能性

---

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

研究理事 小笠原潤一

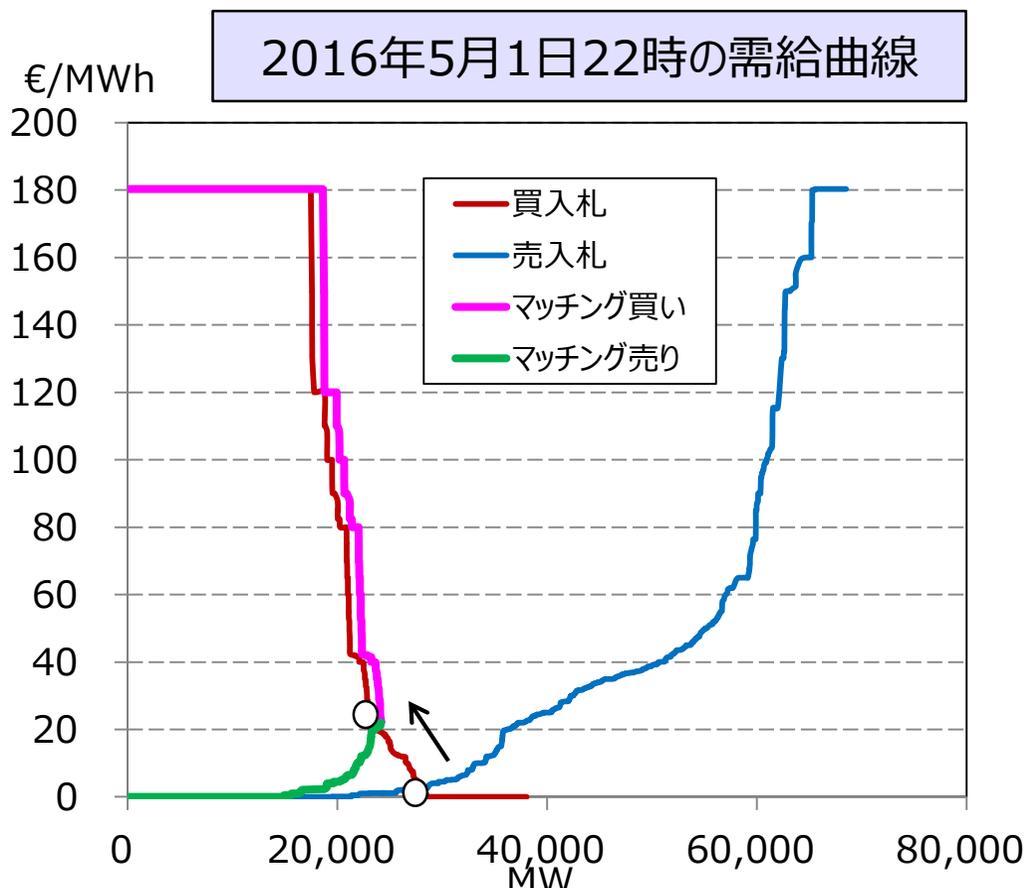
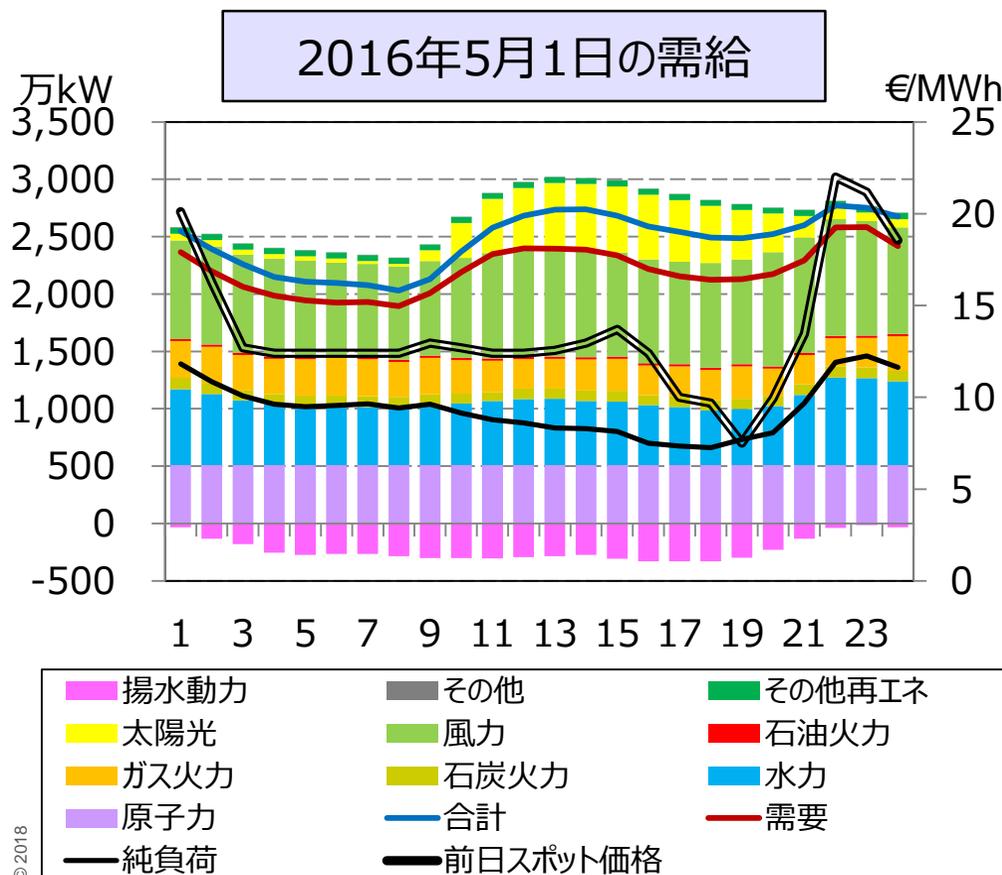
# はじめに

- 前日スポット市場は給電可能な供給力による取引で価格が形成され、技術的な制約は歯抜け防止のためのブロック入札で考慮する程度に止まっている。発電機の多様な技術的制約を考慮した全面プール型に比べ価格が安価になりやすい傾向がある。
- 今後、再生可能エネルギー発電の導入拡大に伴い、純負荷（＝需要－再エネ）のダックカーブ化が進展して発電機の技術的制約を考慮する必要性が増加する。
- 発電の固定費回収はエネルギー取引（kWh取引）が基本であり、過度に容量市場に依存する制度設計は合意が得られにくい。また容量市場の制度設計者がNet CONEの算定を行う場合、エネルギー取引の市場運営者ではないので正確性に欠ける懸念もある。
- これまで多様な機能を提供してきた火力発電の割合が低下していくことが予想され、そうした多様な機能を価値化して高機能な供給力の導入を促していくためにもネットワーク側が商品設計に関与できる全面プール制度への移行を検討すべきではないか。

# 1. 技術的制約の考慮

## (1) スペインのOMIE

- OMIEでは価格と量の入札以外に、indivisibility (連続運転制約 (ブロック入札))、load gradients (時間あたり追従性)、minimum income (最低収入) 及びscheduled stop (停止までに要する時間 (最大3時間指定可能)) を条件として付けて入札を行うことができる。同制約に基づき、単純な買入札・売入札の交点よりも高い売買価格で成約することがある。その結果、**石炭火力よりもガス火力が優先的に給電されている。**



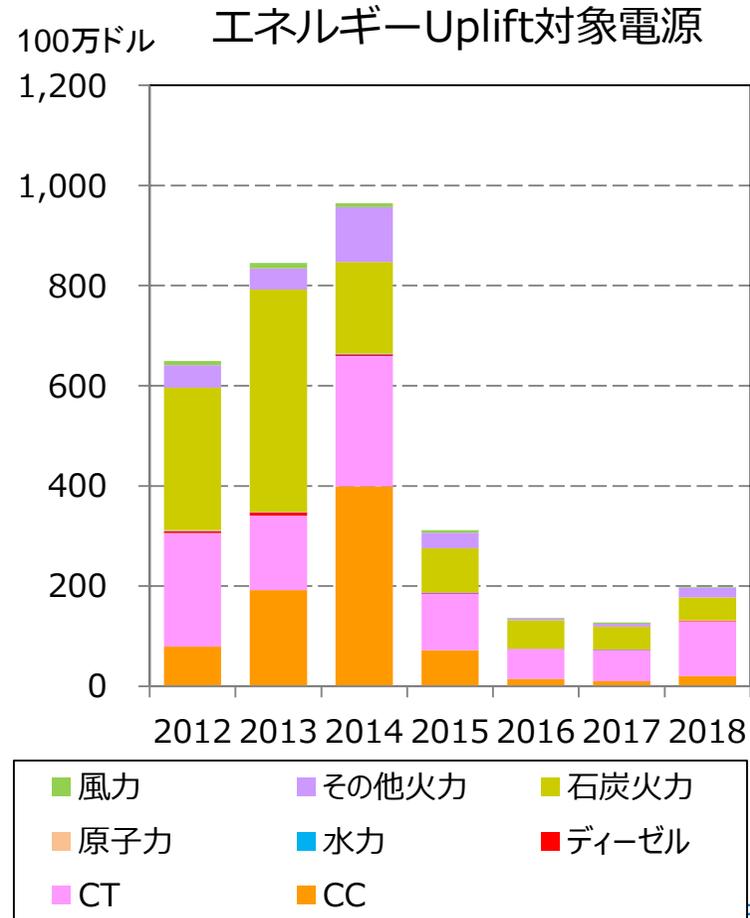
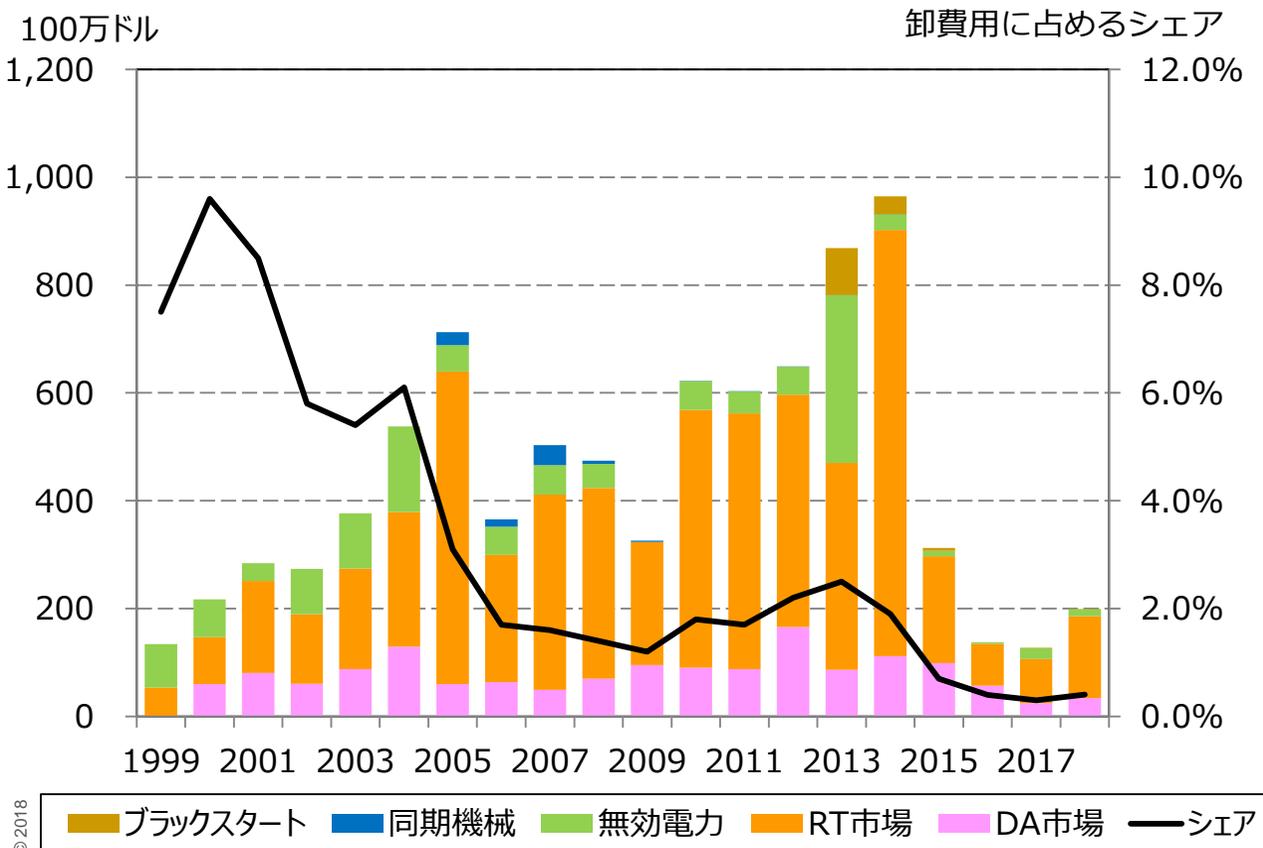
(出所) ENTSO-E, "Transparency Platform"

(出所) OMIE, "Market Results"より作成

# 1. 技術的制約の考慮

## (2) PJMにおけるUplift

- PJMでは前日エネルギー市場とリアルタイム市場の二重決済方式を採用しているが、この方式では発電量の減少という取引が無い場合、リアルタイム市場給電で減量させられた供給力が大きな損失を発生させる可能性がある。このため需要減や連系線潮流の変化で生じた発電減等を対象に機会費用損失等として、Upliftという形式で利益の補填を行っている。市場化当初は卸費用の10%近くあったUplift費用が現在では数%にまで低下している。



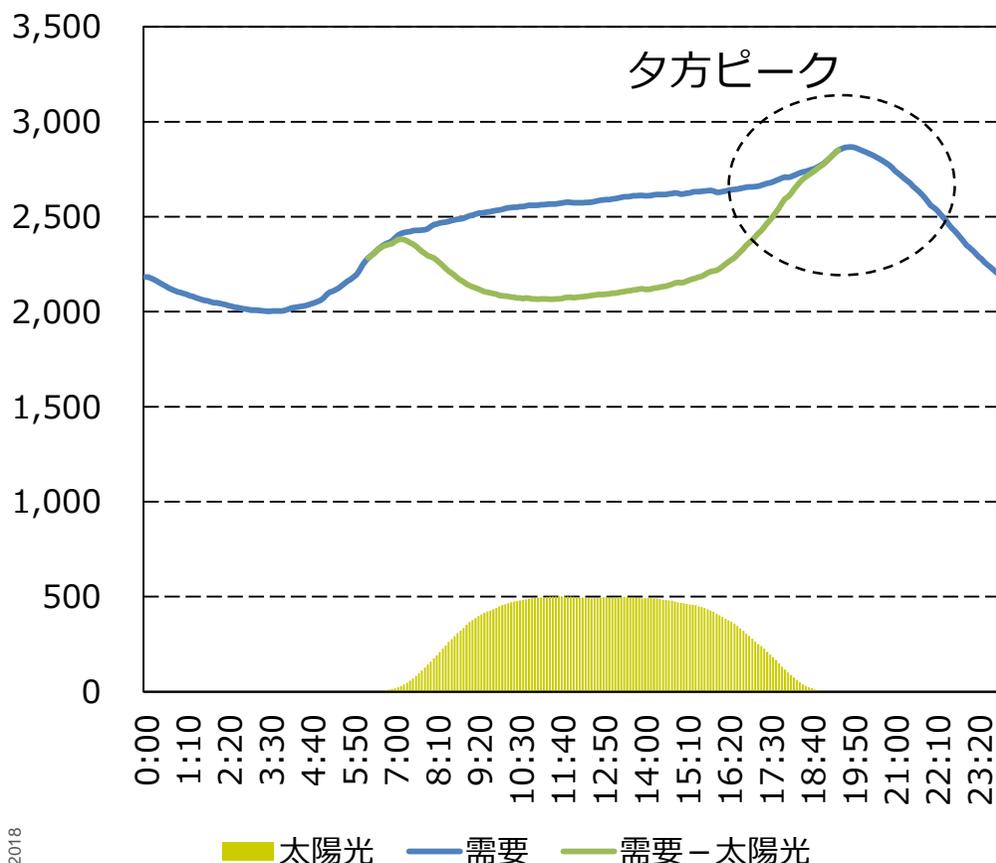
(出所) Monitoring Analytics, LLC, "State of the Market Report for PJM"

## 2. ダックカーブ化の課題

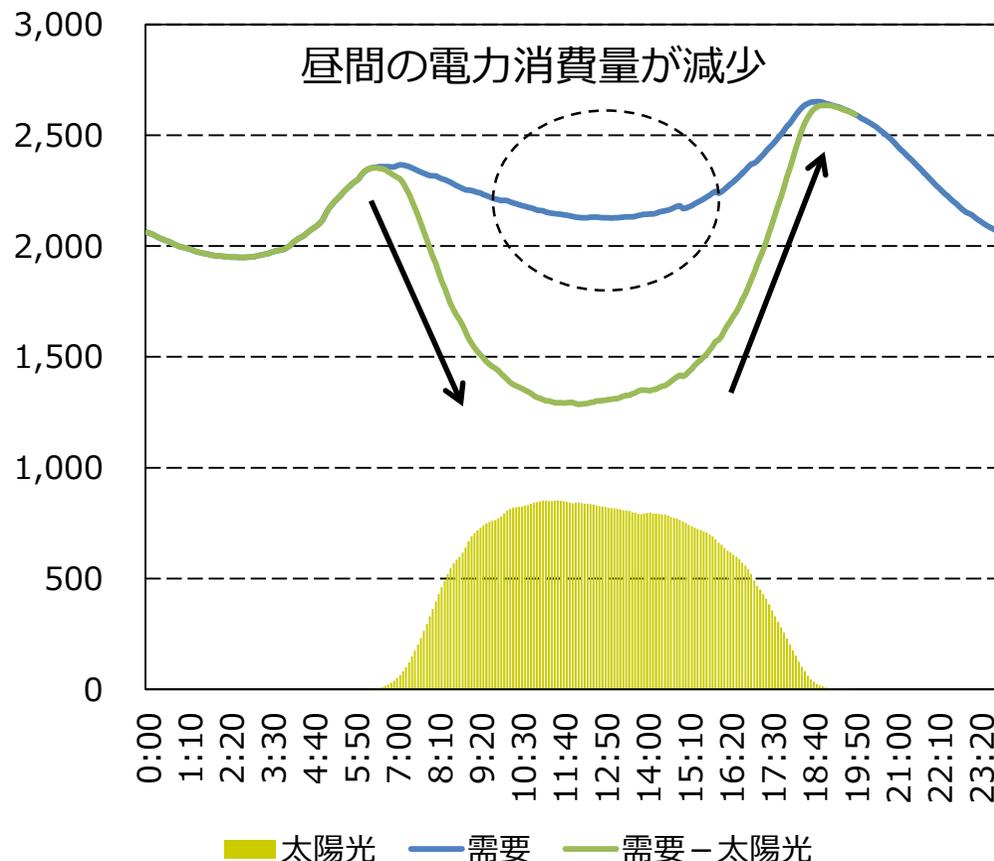
### (1) CAISOにおける2015年3月と2019年3月の比較

- カリフォルニア州では太陽光発電の自家用設置が進展した結果、昼間の系統電力需要が減少し、ダックカーブ（純負荷（需要－再エネ出力））の朝・夕方ピークの朝・夕方の変動がより急峻になっている。
- 急激な出力調整を行うことができる供給力の付加価値を高めていく必要がある。

万kW 2015年3月平均需要と太陽光発電



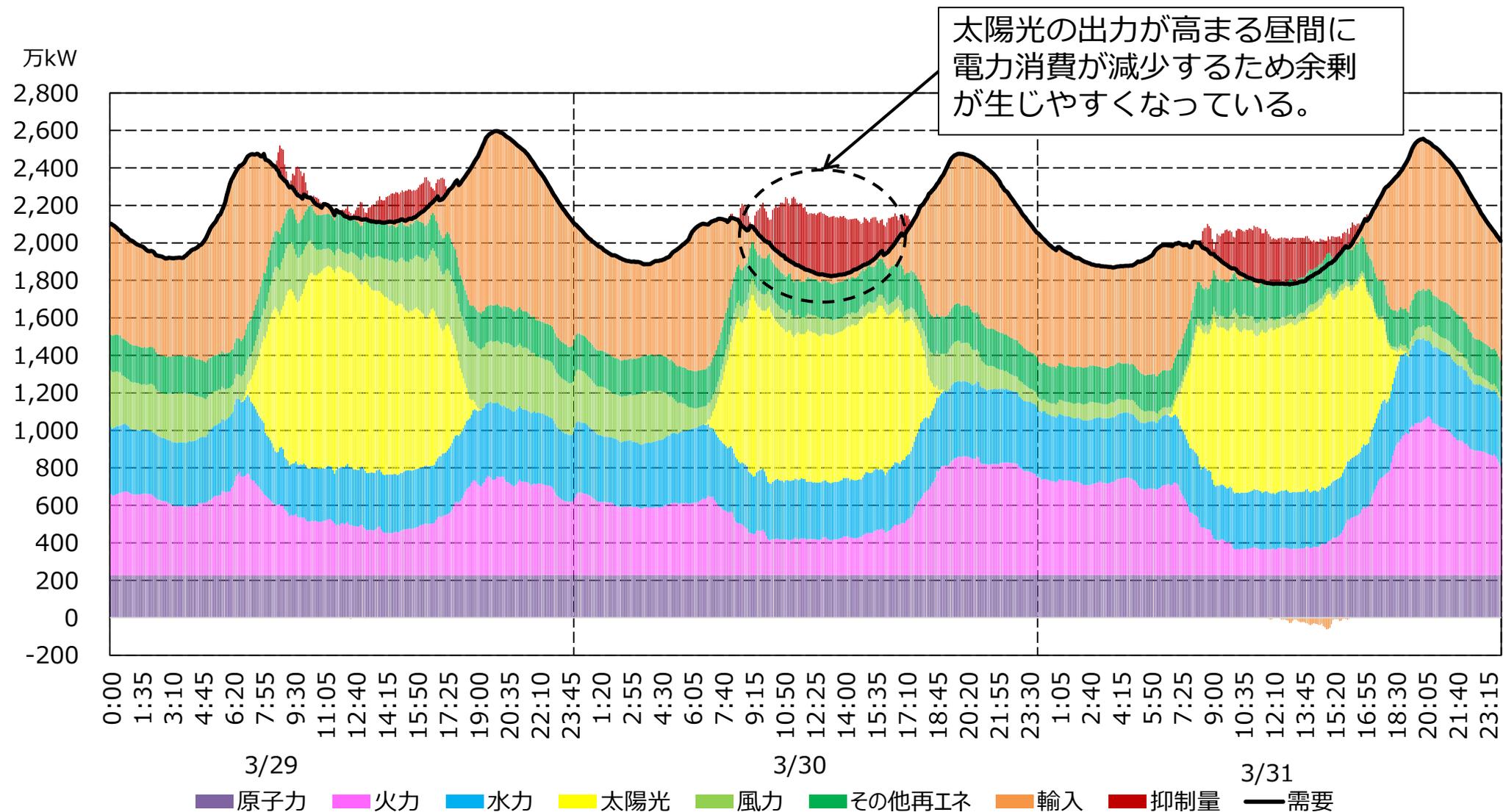
万kW 2019年3月平均需要と太陽光発電



(出所) California ISO, "Historical wind and solar curtailment"

# 2. ダックカーブ化の課題

## (2) CAISO2019年3月29日~31日の出力制御の状況



(出所) California ISO, "Historical wind and solar curtailment"

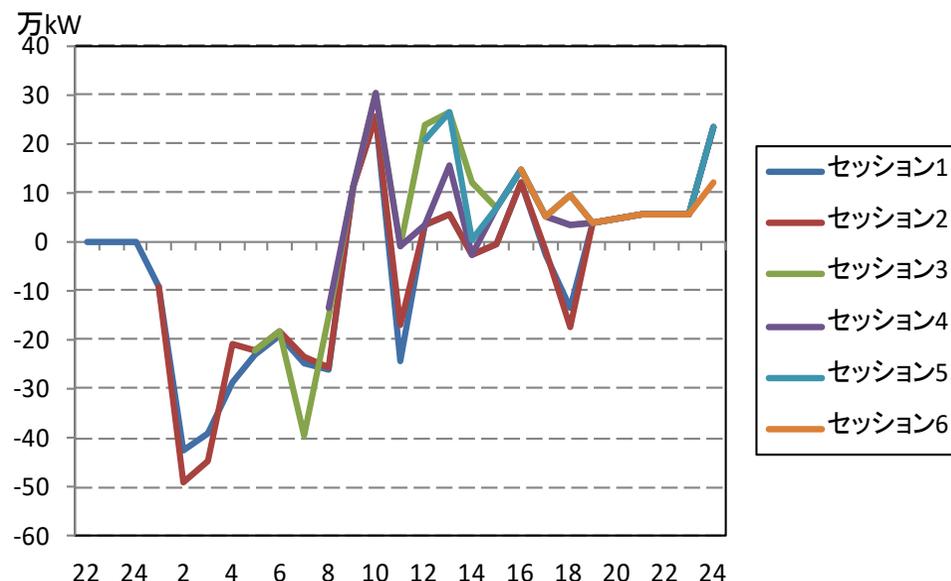
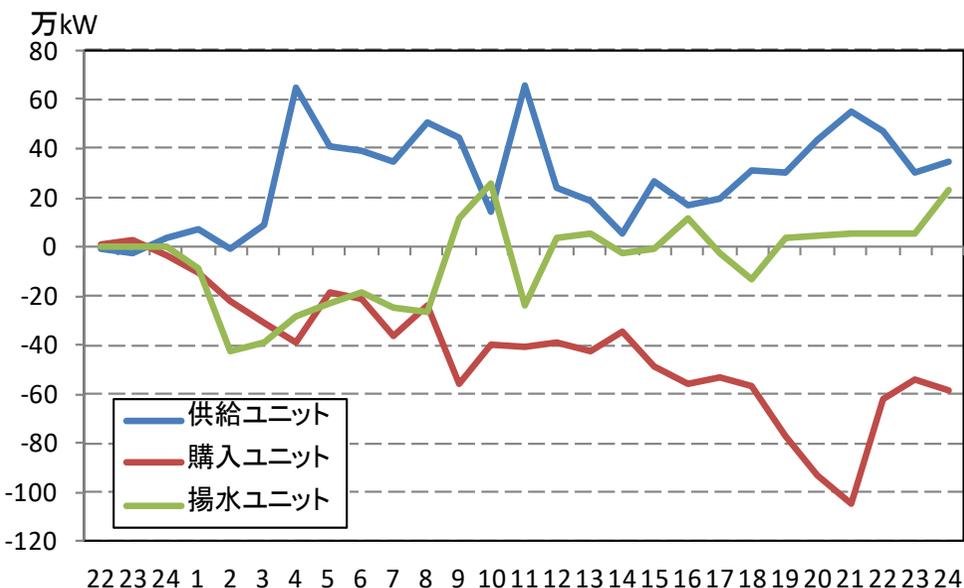
# 3. 再エネ予測誤差への対応

## (1) スペインの当日取引市場

- OMIEの提供している当日取引は、6つのセッションで取引を行っている。各セッションは①前日22:00～当該日24:00、②1:00～24:00、③5:00～24:00、④8:00～24:00、⑤12:00～24:00、⑥16:00～24:00に分かれており、時間帯を跨って発受電計画の修正を行うことができる。
- このため揚水発電も揚水動力と発電という逆方向の取引を一度に行うことができ、前日取引後の再生可能エネルギー発電の予測値の変化に対応するための揚水発電の能力を最大限活用することが可能になっている。

スペインOMIE当日市場  
(2016年1月16日セッション1)

スペインOMIE当日市場  
(2016年1月16日揚水発電計画変更)



(出所) 平成27年度国際エネルギー使用合理化等対策事業(海外における卸電力取引所・リアルタイム市場等制度調査)(2016年2月) ([http://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2016fy/000484.pdf](http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2016fy/000484.pdf))

### 3. 再エネ予測誤差への対応

#### (2) リアルタイム・時間前コミットメントと給電システム

- 純負荷のダックカーブ化等における追従能力確保に関して、将来時点の変化を見込んだ給電に向けたモデルの対応が始まっている。FERCはRTO・ISOにリアルタイム・時間前コミットメントと給電システムの情報提供を義務付けている。逐次方の給電では数時間先の再エネ出力変動への応答が困難という考え方（カリフォルニアISOのFlexible Capacity要件と同じ発想）。

	手続き	時間間隔・考慮する将来時間	実際のコミットメント	助言業務
CAISO	短期ユニットコミットメント	1時間毎・4時間先	○	○
	リアルタイムユニットコミットメント	15分間隔、60分～105分先	○	○
	リアルタイム経済給電	5分間隔、60分先	○	
ISONE	追加的RAA	必要に応じて運用日の需給バランス評価		○
	ユニット給電ソフトウェア	5分間隔	○	
MISO	当日RAC	必要に応じて運用日の需給バランス評価		○
	先読コミットメント	15分間隔、3時間先		○
	リアルタイムSCED	5分間隔	○	
NYISO	リアルタイムコミットメント	15分間隔、2時間・30分先	○	○
	リアルタイム給電	5分間隔、60分先	○	○
PJM	中期SCED	5分間隔、2時間先		○
	リアルタイムSCED	5分間隔	○	
SPP	当日RUC	必要に応じて運用日の需給バランス評価		○
	先読SCED	5分間隔、現行の時間間隔を超えた時間		○
	リアルタイム給電	5分間隔	○	

(注) RAA : Reserve Adequacy Analysis、RAC : Reliability Assessment Commitment Process、SCED : security constrained economic dispatch、RUC : Reliability Unit Commitment

(出所) FERC, "Staff Analysis of Operator-Initiated Commitments in RTO and ISO Markets", 2014年12月

## 4. 多様な機能の価値化

### (1) 各供給力の特性

- 火力発電は多様な性能を有しているが、再生可能エネルギー発電導入拡大と火力発電のシェア低下に伴い、そうした機能を代替する設備を導入するなり機能を強化していく必要がある。こうした多様な機能のうち幾つかは価値化されていない。

	ガス火力	石炭火力	原子力	風力	太陽光	貯水式水力	流込式水力	需要応答	貯蔵
発電	●	●	●	●	●	●	●	N/A	N/A
給電	●	●	△	×	×	●	×	●	●
燃料制約	●	●	●	×	△	●	△	△	△
起動時間	●	×	×	N/A	N/A	●	N/A	●	●
応答率	●	△	×	N/A	N/A	●	N/A	●	●
慣性力	●	●	●	△	×	●	●	×	×
周波数応答	●	△	×	×	×	●	×	×	●
無効電力	●	●	●	△	△	●	△	N/A	N/A
最低負荷制約	●	△	×	N/A	N/A	●	N/A	●	●
ブラックスタート	●	N/A	N/A	×	×	●	●	N/A	△
貯蔵性	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	△	N/A	N/A	●
需要地近接性	●	△	△	△	●	×	×	●	●

(注) ● : 相対的に有利、△ : 中立、× : 相対的に不利

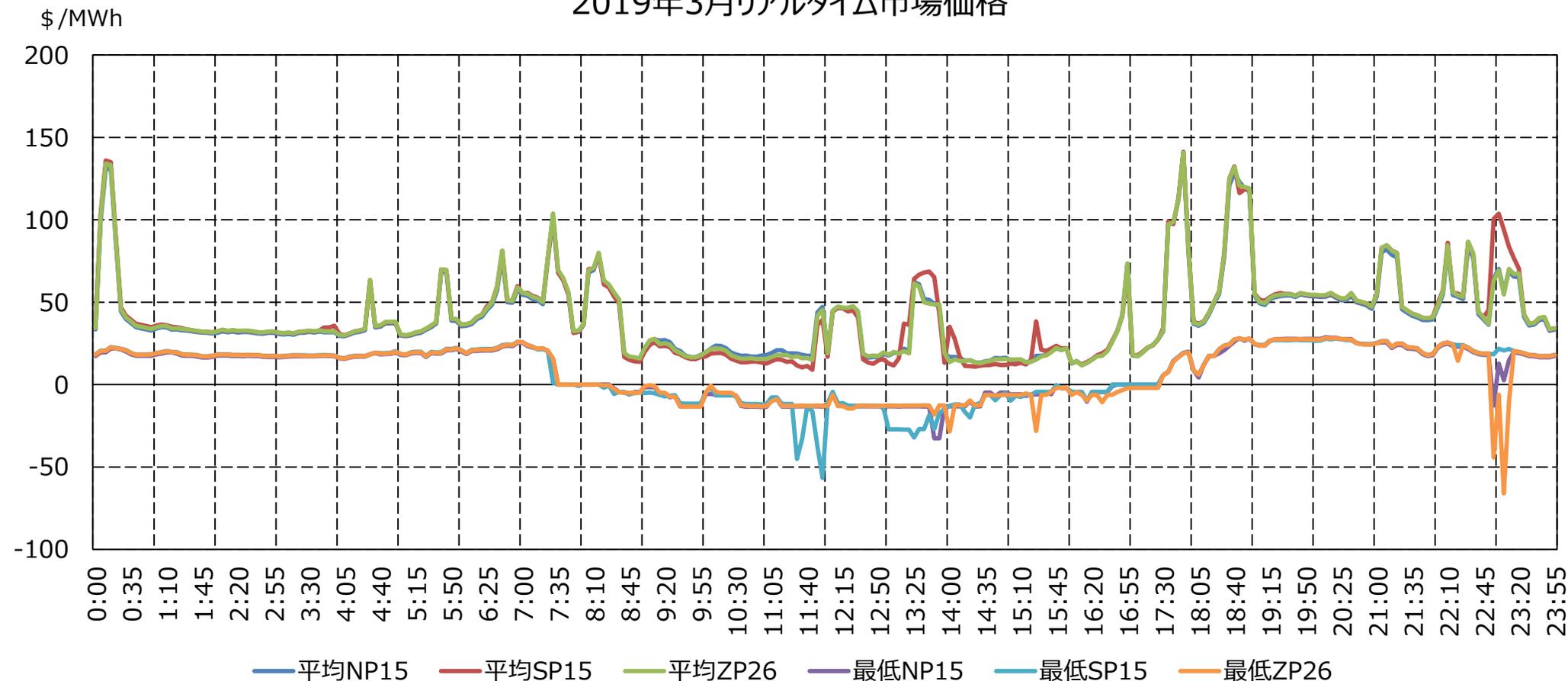
(出所) Brattle Group, "Diversity of Reliability Attributes - A Key Component of the Modern Grid", 2017年5月

# 4. 多様な機能の価値化

## (2) CAISO2019年3月リアルタイム市場価格

- カリフォルニアISOのリアルタイム市場での価格形成は5分間隔で行われている。平均値で見ても純負荷の朝ピーク時と夕方ピーク時に価格が高くなっている。従来は1時間平均値で価格形成を行っていたが5分間隔にすることで短時間稼動する限界費用の高いユニットの価値を可視化した。

2019年3月リアルタイム市場価格



(出所) LCG Consulting, "EnergyOnline"より作成

## 【参考】各種市場の関係

- 形式上は部分プール制度と分類されているイギリスやフランスも事実上の全面プール制度に近い運用を実施している。再生可能エネルギー発電の予測誤差・出力変動に対して揚水発電や蓄電池が活用可能な仕組みを求めていく必要がある。

	PJM	イギリス	フランス	日本
卸電力市場	全面プール制度	部分プール制度	部分プール制度	部分プール制度
容量市場	集中型容量市場 PJMが設計	集中型容量市場 TSOが設計	任意型容量市場 TSOが設計	集中型容量市場 広域機関が設計
容量市場義務の履行	供給力確保義務	緊急時供給力拋出	供給力確保義務	緊急時供給力拋出
インバランス解消	リアルタイム市場（参加義務）＋緊急時用予備力	balancing・メカニズム（一定規模以上参加義務）＋STOR（短期運転予備力）	mFRR	二次調整力②、三次調整力①②、余力活用
周波数維持	FCR、aFRR（周波数制御市場）	FCR、mFRR	FCR、aFRR	一次調整力、二次調整力①
揚水発電	揚水動力は蓄エネルギー扱い。PJMが直接運用可能。	Fast ReserveやFrequency Responseで活用。	揚水動力へ託送料金課金あり。原子力とピーク需要対策で使用。	揚水口スは託送料金の対象。調整力として活用か。
備考	2時間先の需給状況に対して安定供給を維持可能な確認しつつリアルタイム市場運用を行っている	イギリスはLMP型ではないがbalancing・メカニズムを通じて一定規模以上のユニットの発電計画を修正可能	プログラム責任事業者制により、前日から当日にかけて送電会社RTEは個別発電ユニットの発電計画を変更可能	需給ひっ迫時の停電コスト並みインバランス料金の導入を検討中

- エネルギー取引（kWh取引）及び調整力取引（ $\Delta$ kW取引）で相応の利益を得た後、固定費回収で不足する分を容量取引（kW取引）で補うのが健全な卸電力市場である。給電可能な供給力の同質性が高まるとエネルギー取引を通じて利益を得ることが難しくなるが、石油火力の廃止と脱石炭火力の動きもあり中長期的観点で卸電力市場のあり方を考えていく必要がある。
- 再生可能エネルギー発電の主力電源化を見据え、供給力の性能に応じて得られる対価が異なる市場が望ましく、各種機能・特性に配慮した価値化を検討していく必要がある。そのためにも供給力の特性を十分に理解した主体が各種市場の關係に留意しながら各種市場を運営し、市場の見直しを行える体制が必要と考える。