

# テキサスEnergy-Only-Marketの 効果と見直し論

京都大学再エネ講座 特別講演  
ご説明資料

2023年4月24日  
京都大学大学院経済学研究科 特任教授  
山家公雄

# 目 次

1. 最近の米国電力情勢 バッテリー事業離陸
2. 市場機能で躍進するテキサス州
3. テキサス電力システム ERCOTの特徴
4. 2021年2月の大停電
5. 停電後のReliability対策と市場改革議論

まとめ

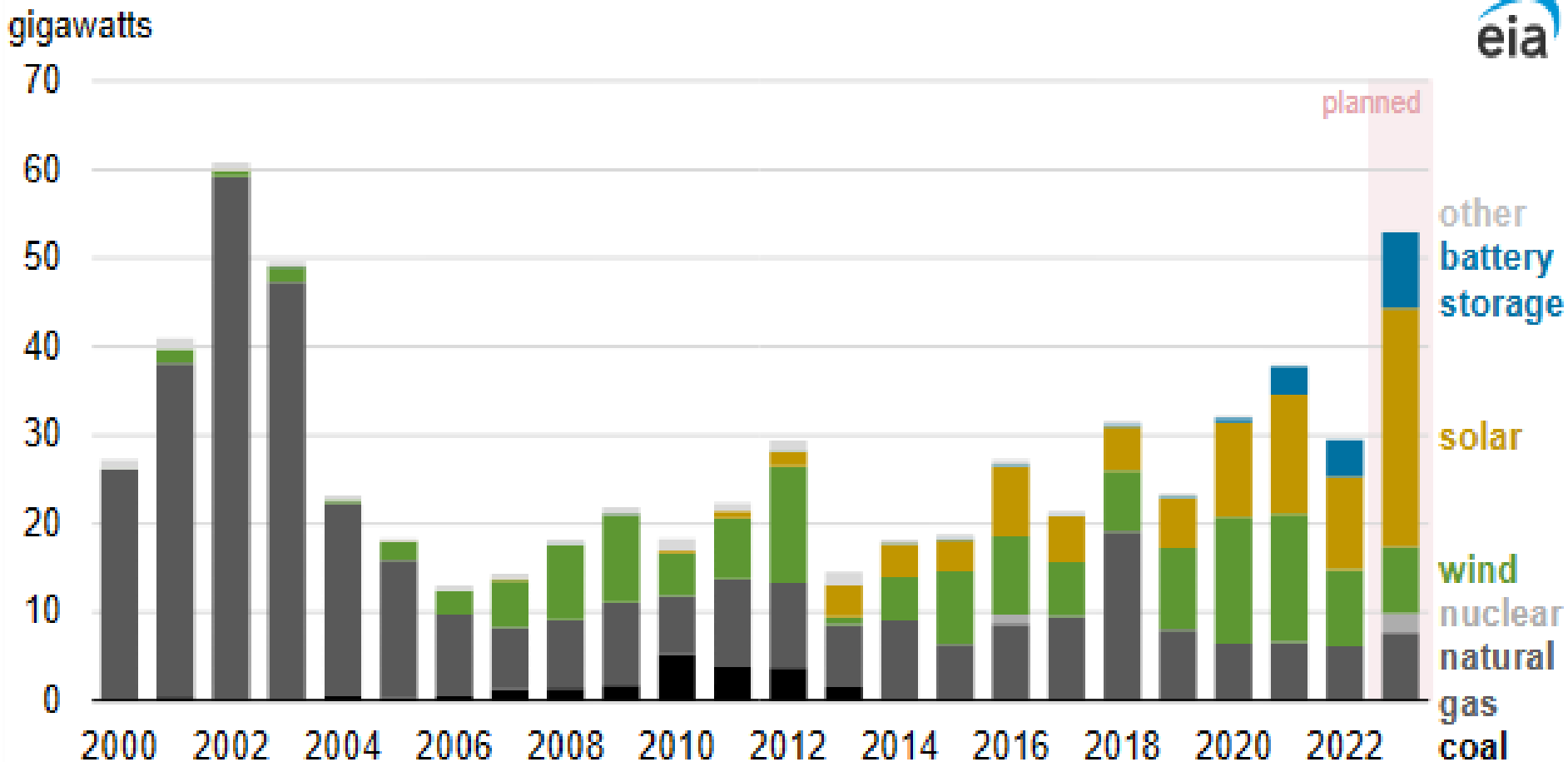
# 1. 最近の米国電力情勢 バッテリー事業離陸

## -太陽光・風力が主役、商業化するバッテリーストレージ事業-

- 2021年、2022年の新規電源の8割は風力・太陽光・蓄電設備（ストレージ）。23年は太陽光過半（54%）、ストレージ2位（17%）。CA・TXが牽引。
- 背景はコスト低下、環境価値、VRE拡大に伴う柔軟性需要拡大。
- 価格機能に減税効果も加わり、投資を喚起。
- 「再エネ＋蓄電」でエネルギー（kWh）と柔軟性等（ $\Delta$ kW）を調達、各地でガス火力を駆逐する動きも。
- 蓄電サービスは周波数調整でPJM（2012年）、ダックカーブ緩和でCPUC（2013年）が導入。2018年にFERCがOrder841にてストレージサービス導入をISO/RTOに指示。
- 蓄電は、減税措置により太陽光との併設（ハイブリッド）で伸びてきたが、テキサスを主に価格機能にて単独（マーチャント）も登場。
- 大規模グリッドストレージ事業の嚆矢は、カリフォルニア州でPG&Eがテスラ、VistraとMoss-Landingに設置する事業（2018年～）。TXは市場価格効果で急増。
- 2022年8月施行の「インフレ抑制法」にて10年間の再エネ・蓄電を支援する減税措置が導入。

# 米国年間追加電源量の推移 (GW)

Annual U.S. electric-generating capacity additions (2000–2023)

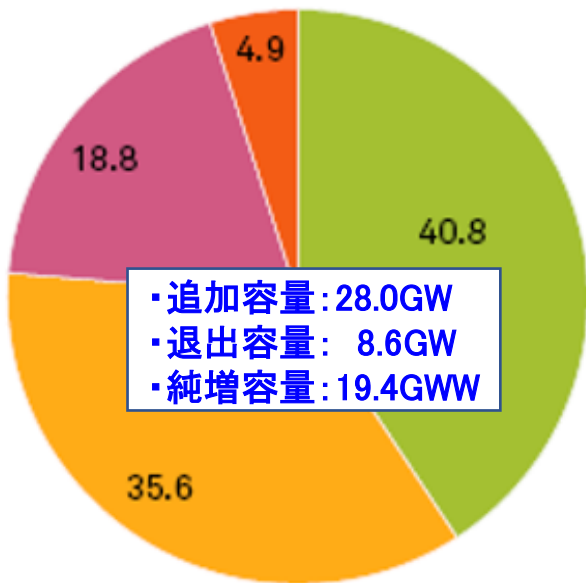


(出所) EIA “Preliminary Monthly Electric Ggenerator Inventory (2023/1)”

# 米国2021年度追加発電容量 (電源種別シェア、ISO/RTO別容量)

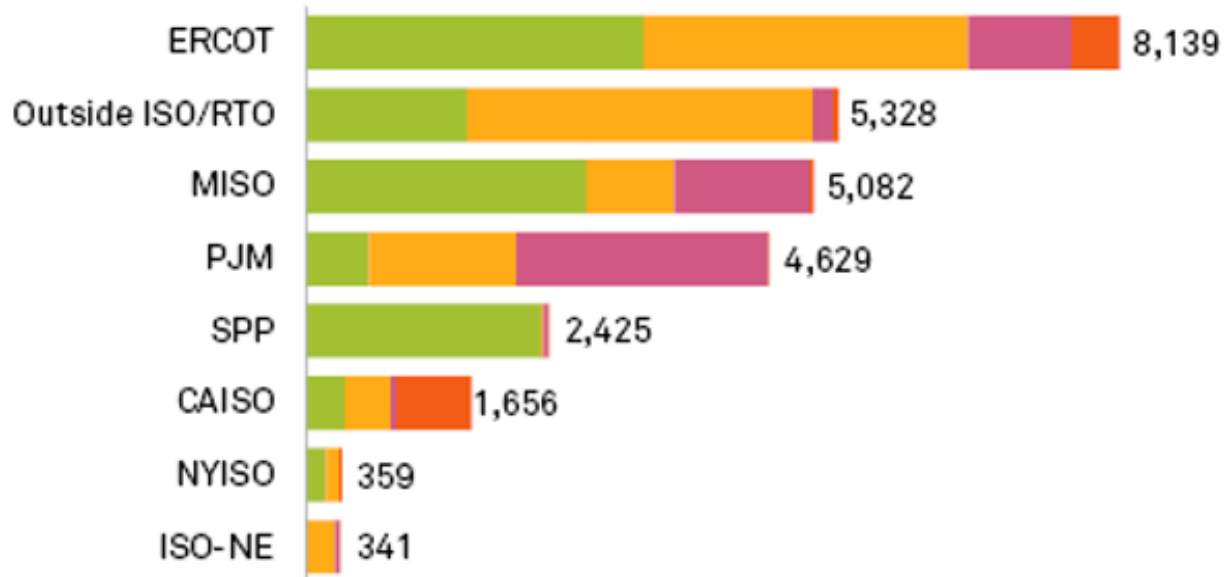
■ Wind ■ Solar ■ Gas ■ Other\*

By fuel type (%)



・追加容量: 28.0GW  
 ・退出容量: 8.6GW  
 ・純増容量: 19.4GWW

By ISO/RTO region (MW)



Data compiled Jan. 11, 2022.

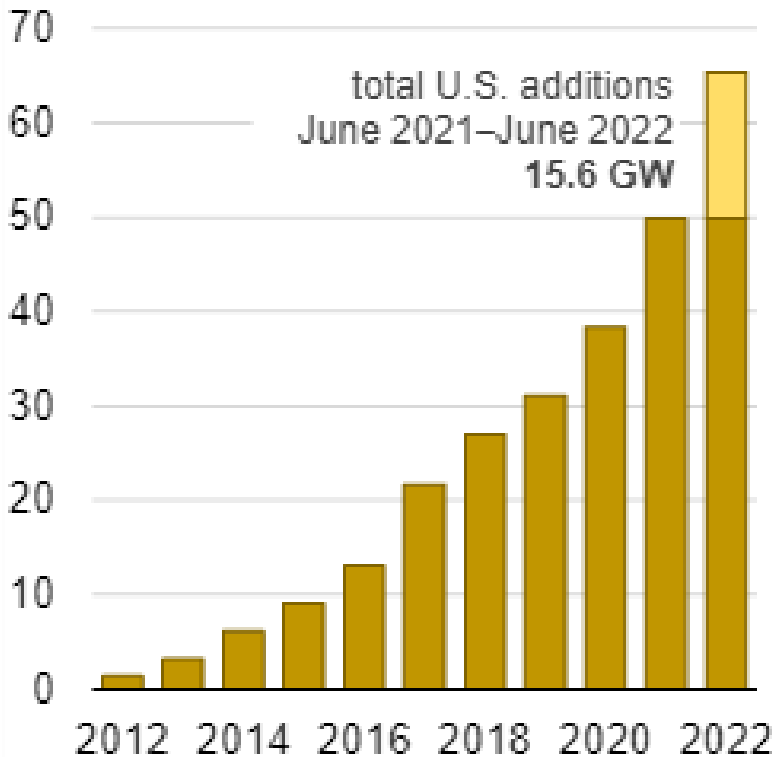
\* Includes hydro, biomass, oil, geothermal and energy storage capacity.

Source: S&P Global Market Intelligence

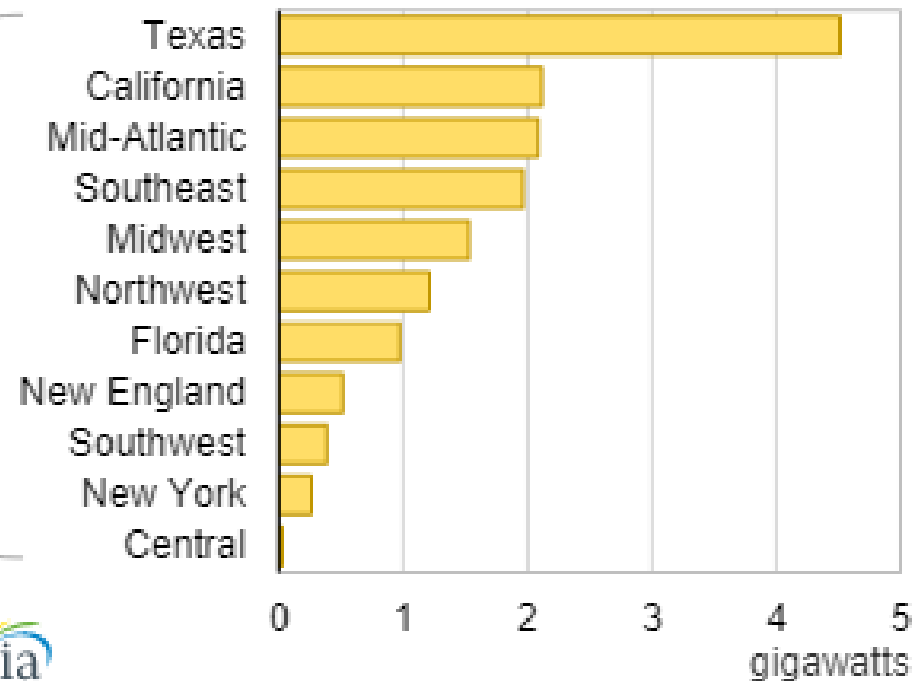
(出所) S&P Global Market Intelligence

# 太陽光発電設置容量の推移(2012~2022)と 直近1年間の地域毎新規導入量(21/6~22/6)

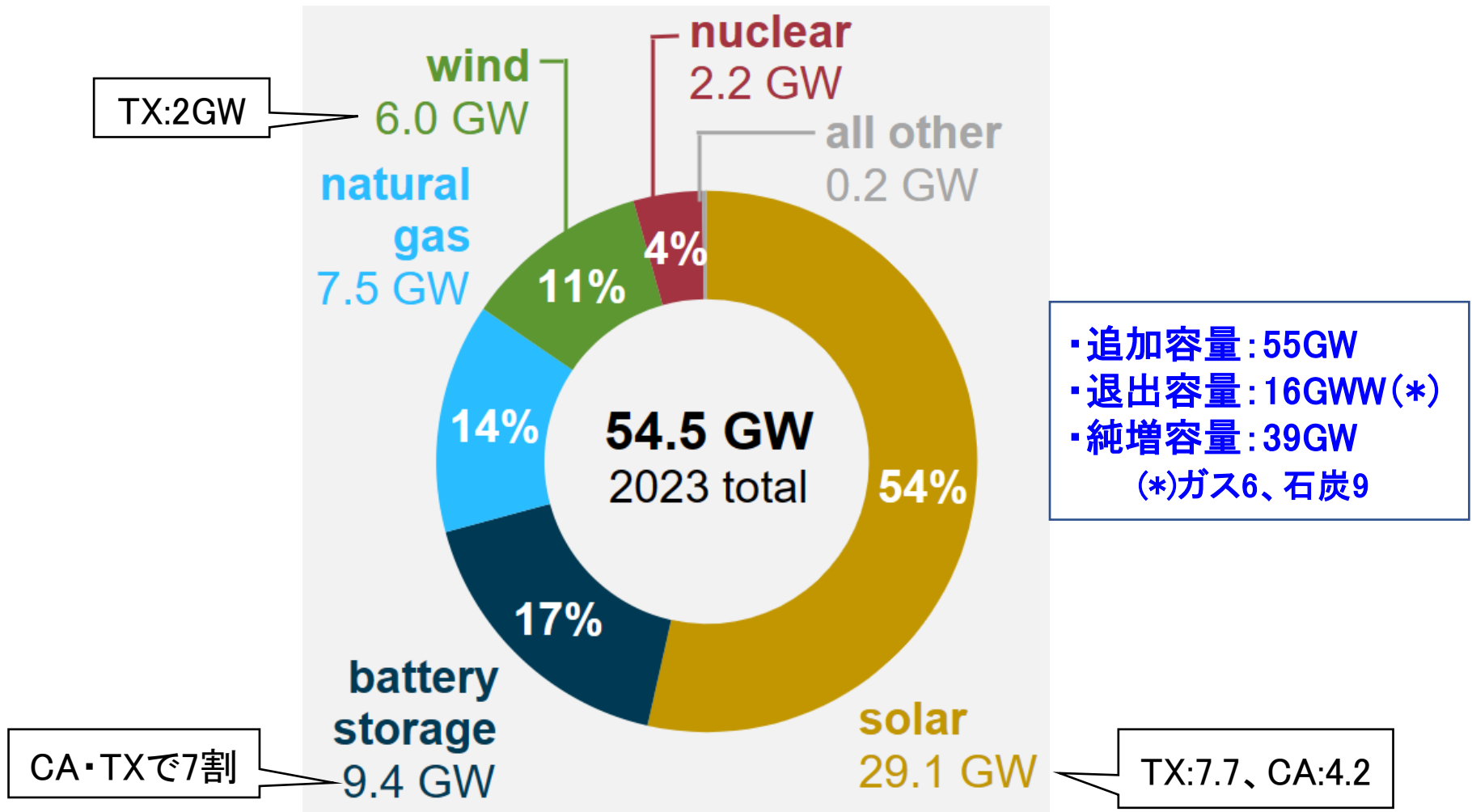
U.S. solar PV capacity as of June 1 (2012-2022)  
gigawatts (GW)



solar capacity additions by region  
June 2021-June 2022



# 米国系統電源追加予定量(2023年 GW、%)



# 米国のBattery-Storage設置容量推移と見通し(GW)

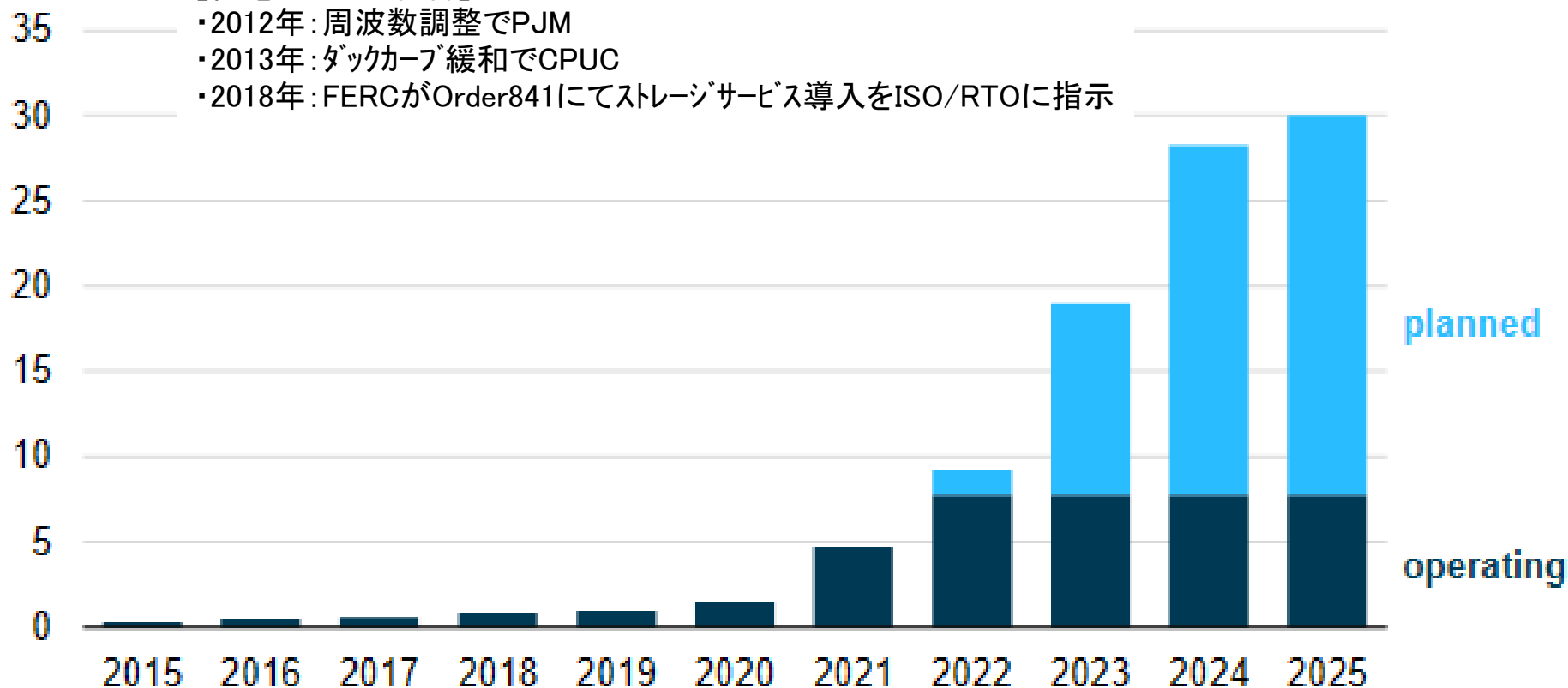


## U.S. battery storage capacity (2015–2025)

gigawatts

### 【蓄電サービスの経緯】

- 2012年:周波数調整でPJM
- 2013年:ダックカーブ緩和でCPUC
- 2018年:FERCがOrder841にてストレージサービス導入をISO/RTOに指示

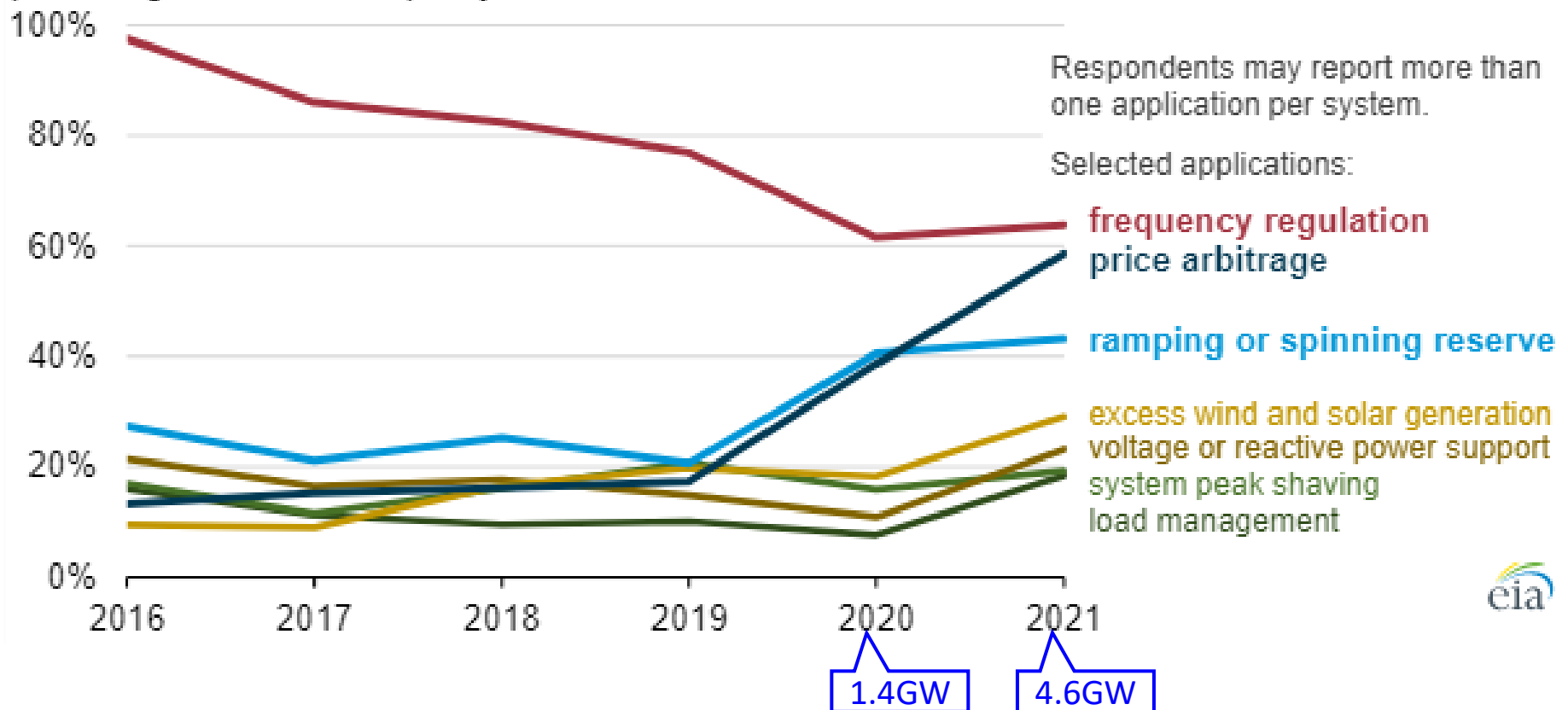


(出所) EIA “Preliminary Monthly Electric Ggenerator Inventory (2022/10)”

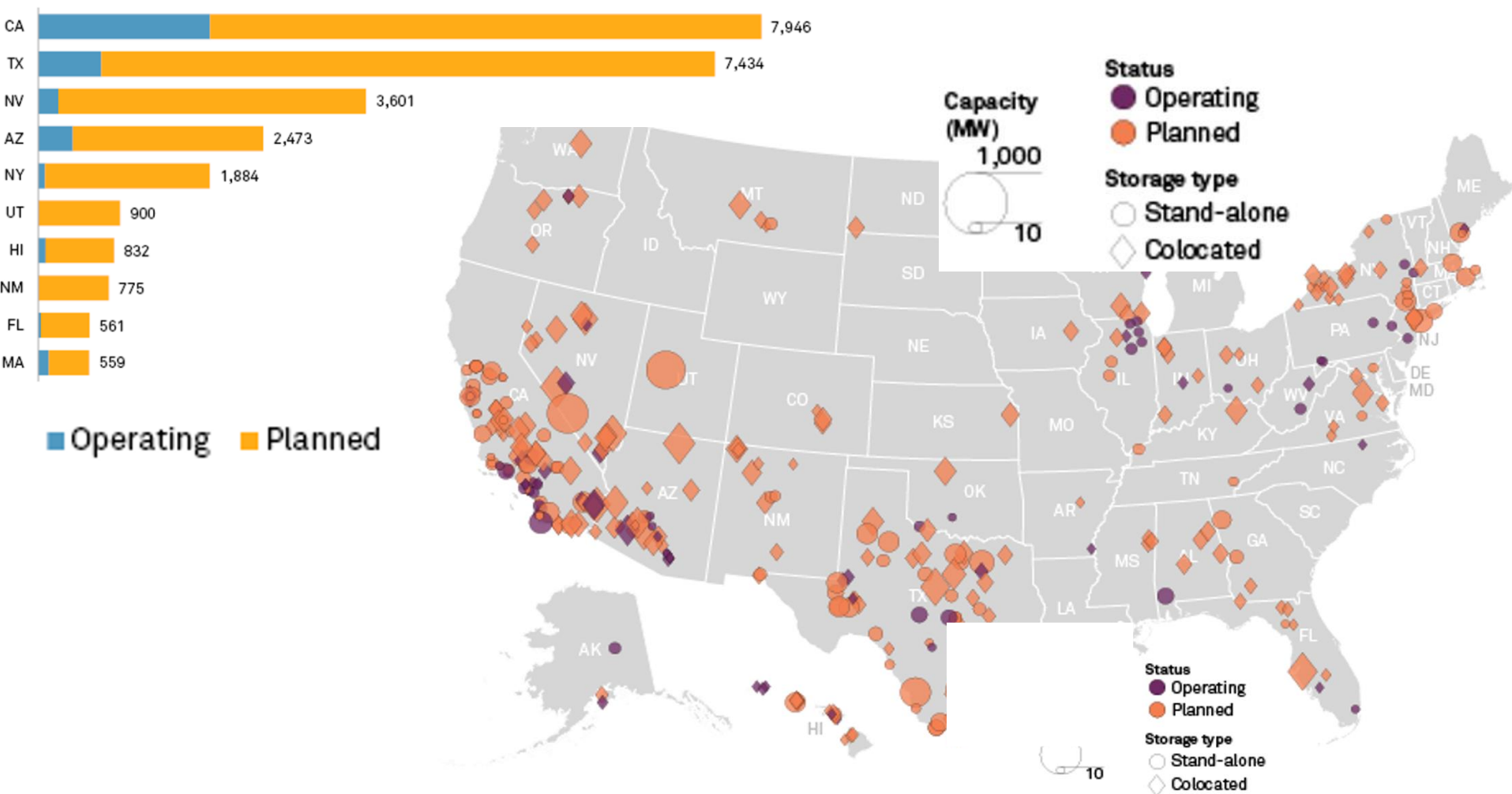


# バッテリー・ストレージの用途別シェアの推移 (2016~2021、%)

Applications of U.S. utility-scale battery storage capacity (2016–2021)  
percentage of installed capacity



# 米国Utility Scale Energy Storage事業の位置と上位10州



(注) 2021年12月2日時点

揚水・10MW未満・運開時期未定の事業を除く

(出所) S&P Global Market Intelligence

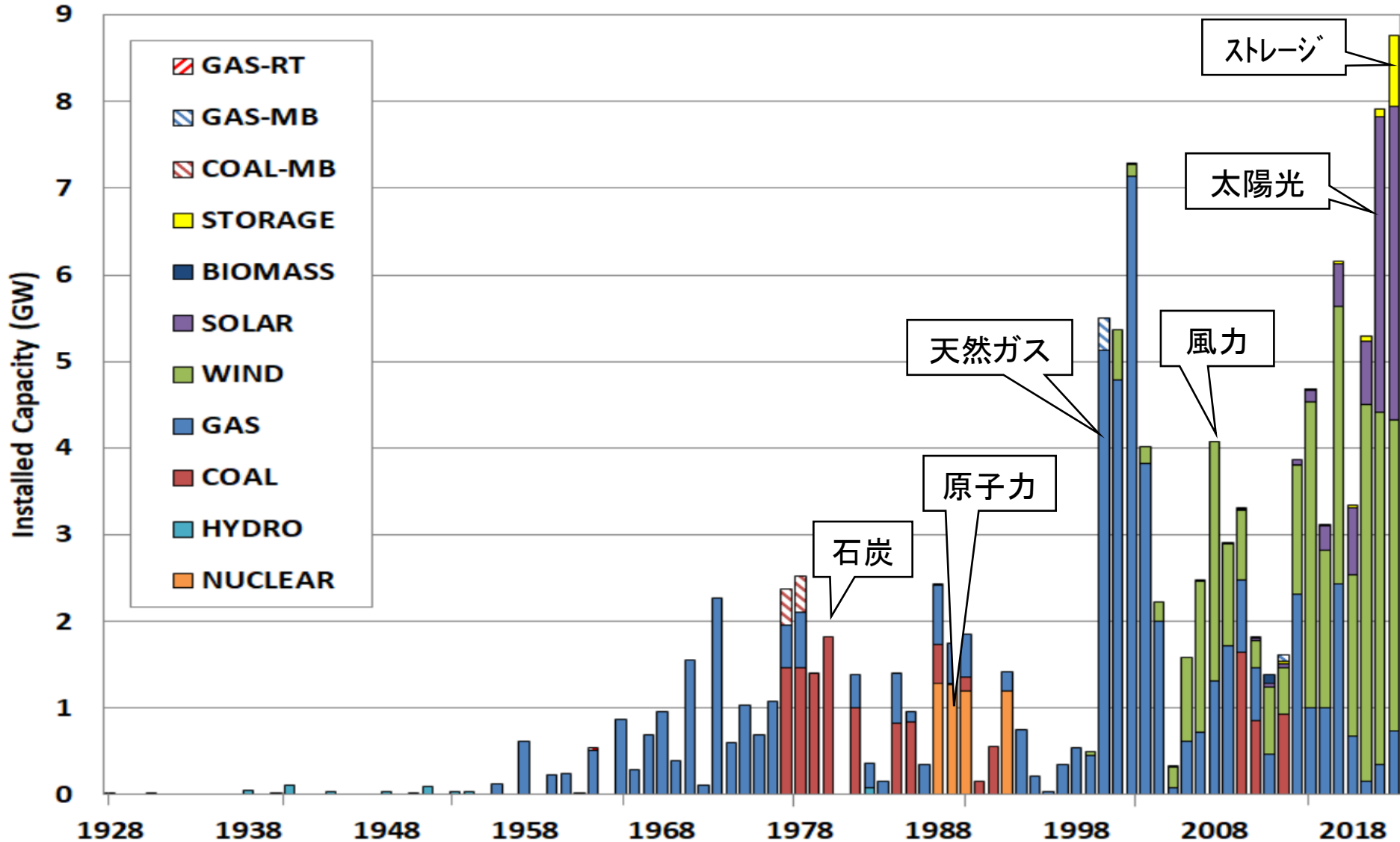
## 2. 市場機能で躍進するテキサス州 -風力は規模で、太陽光・蓄電は伸びでNo.1-

- 経済成長、人口増で躍進するテキサス州。
- 同州電力取引の9割を占めるISO「ERCOT」は、最も価格機能が発達した市場。容量市場を持たないEnergy-Only-Market、孤立システムでFERCより独立。
- ERCOT市場は基本的に低コスト。
- 全米一の化石資源、発電電力量を誇る。風力は断トツ全米1位を継続(世界で5位)、太陽光・ストレージは伸びが断トツ。
- 2012～2018年度は低市場価格で火力は苦境で石炭の廃止が増える。
- 2019年度にスパイク、2021/2に120年振りの寒波到来で大停電で発電設備の収益増、特に太陽光・ストレージの市場価格が上昇。
- 2019年より投資が急増し、予備率は2018年の6%から2022年度は24%、23年度以降は40%前後に。

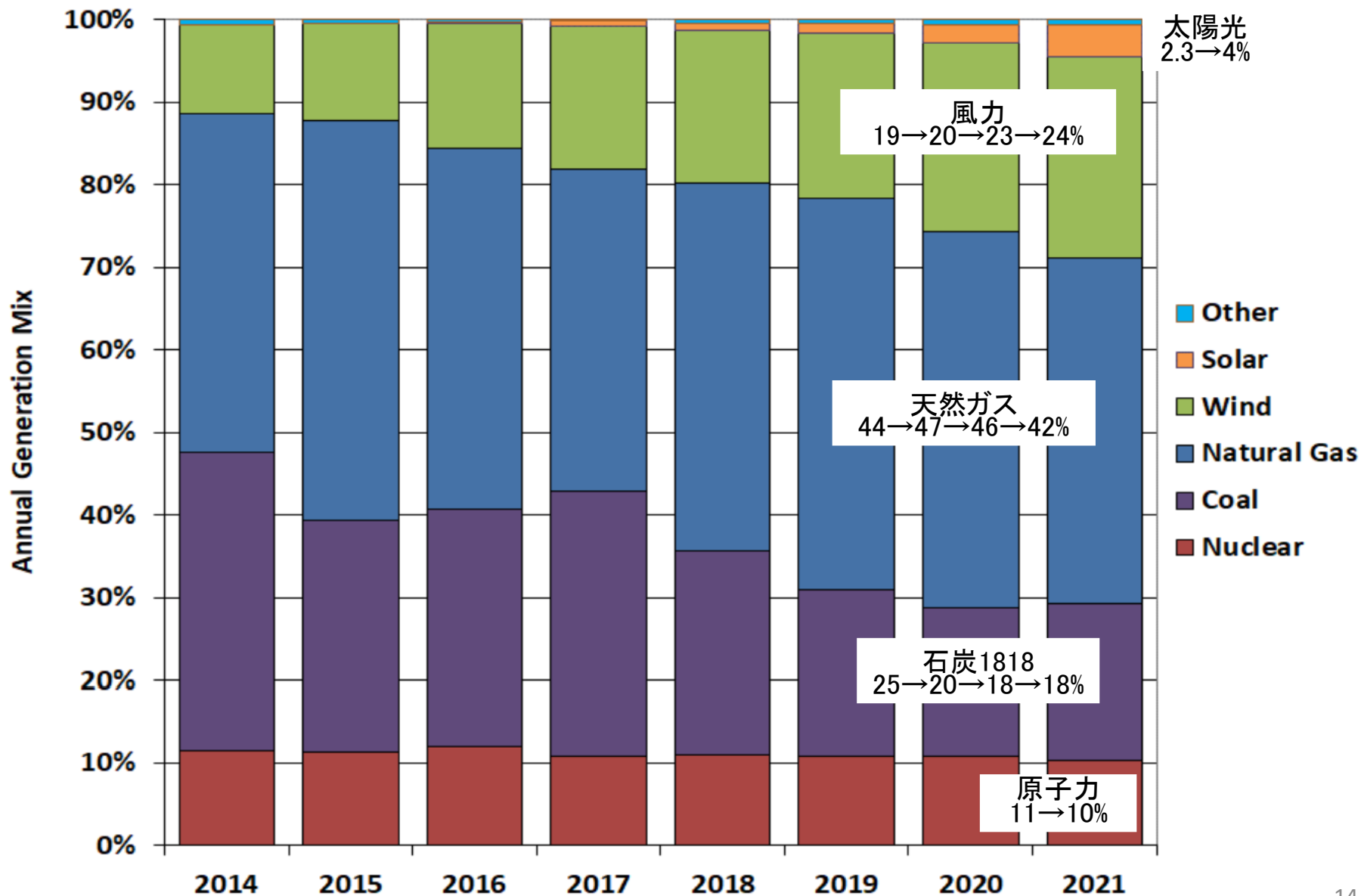
# テキサスの特徴

- “The Lone Star State” 共和党 競争市場 NAFTA経済
- 人口増(+30万人/年)、GDP増、低コスト、多彩な産業構造で成長を牽引
  - 人口全米2位 GDP2位(世界10位)
- 自動車、半導体・ICT、エネルギー(シェール革命)、宇宙、食料、運輸
- 日系企業も投資拡大
  - JETRO調査日系企業数321社(2013)→431社(2019)
  - トヨタ(テスラ)、パナソニック、ダイキン、大ガス、東ガス、J-Power

# 年間電源設置容量の長期推移 (ERCOT 1928~2021)

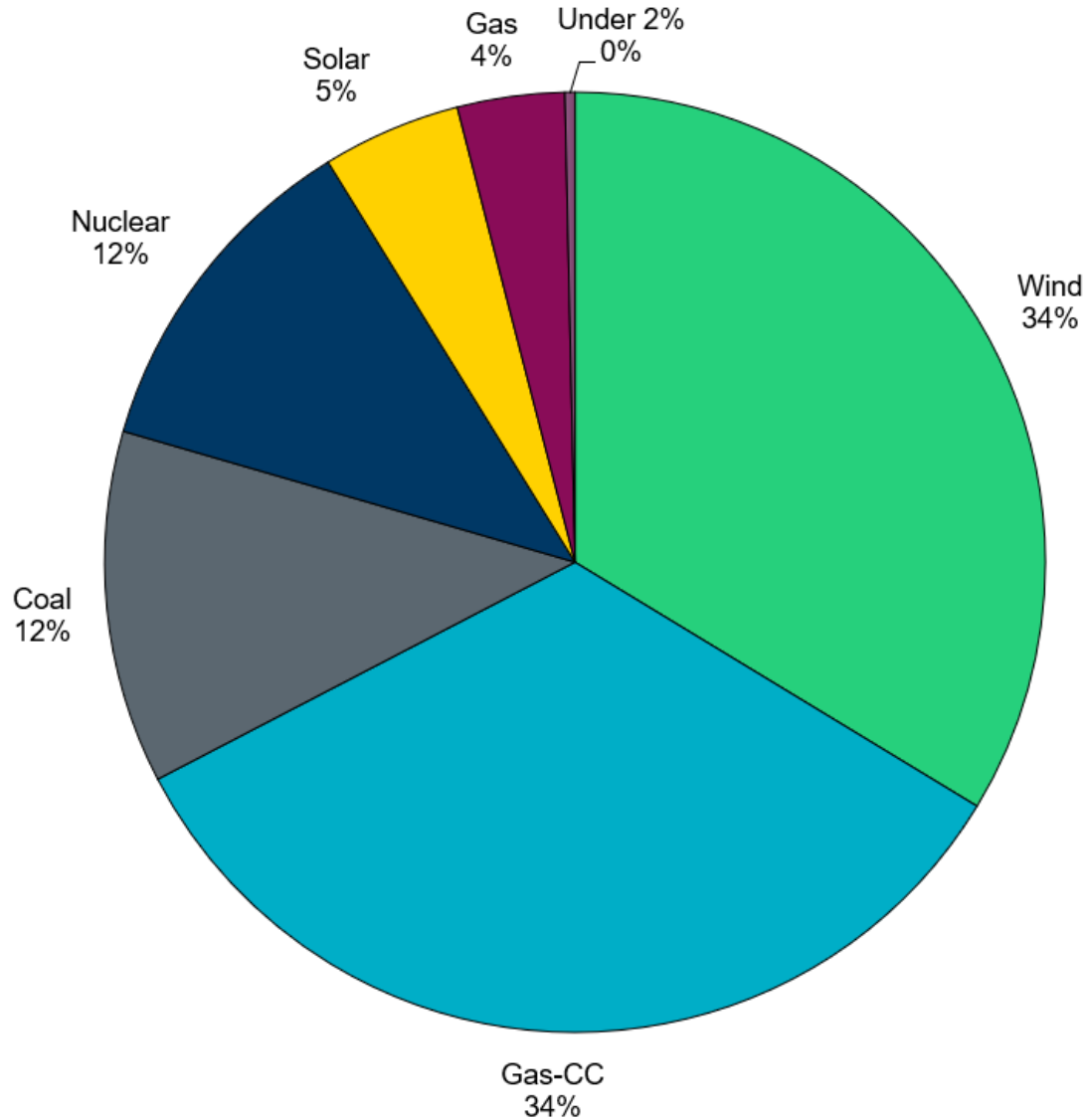


# ERCOT市場の発電電力量シェアの推移(2014~2021)



# ERCOT市場の発電電力量シェア(2023年予想)

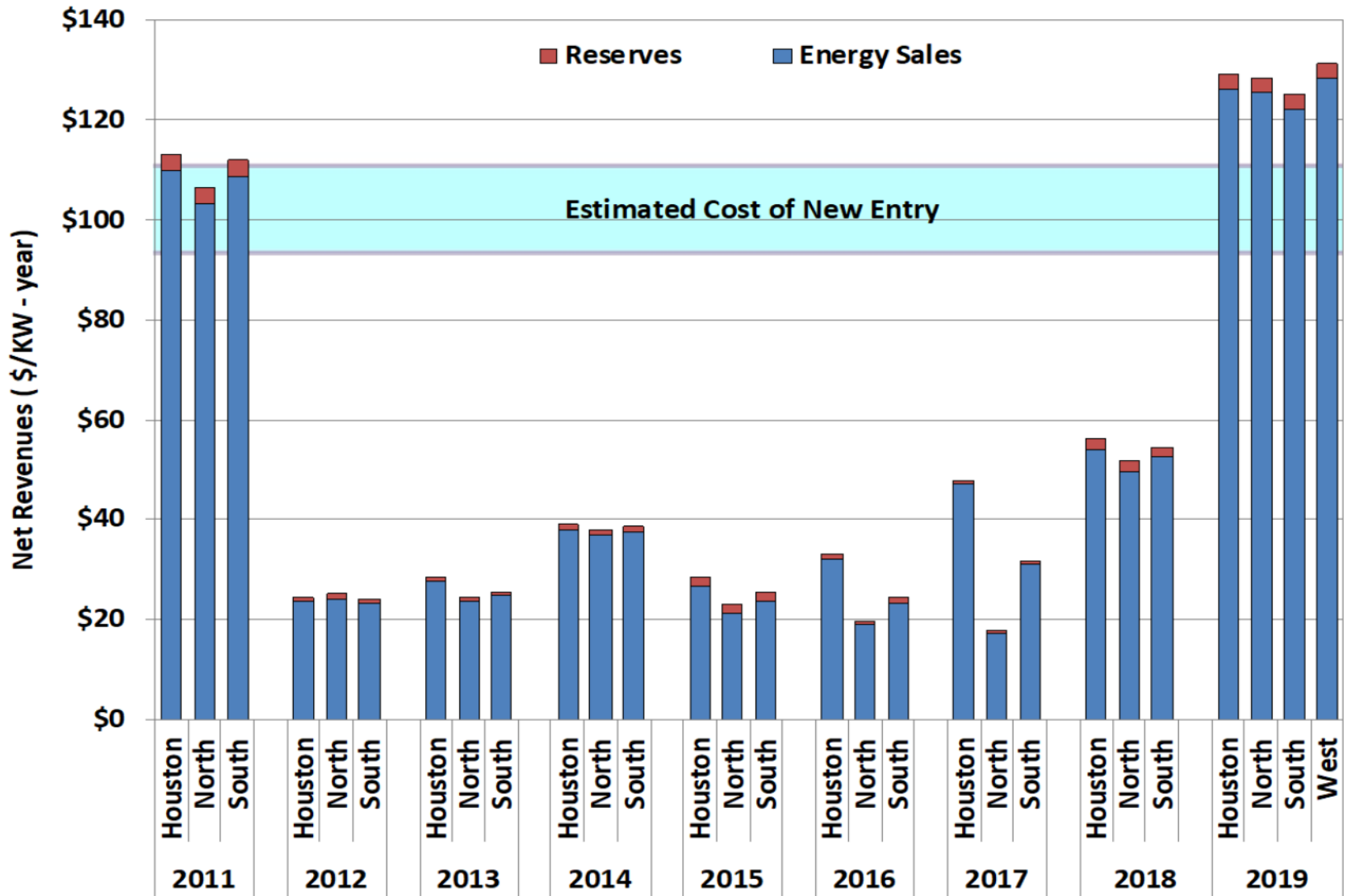
## Energy by Fuel for 2023



(出所)ERCOT

■ Wind ■ Gas-CC ■ Coal ■ Nuclear ■ Solar ■ Gas ■ Under 2%

# 燃焼タービン発電ネットレベニューの推移 (ERCOT)



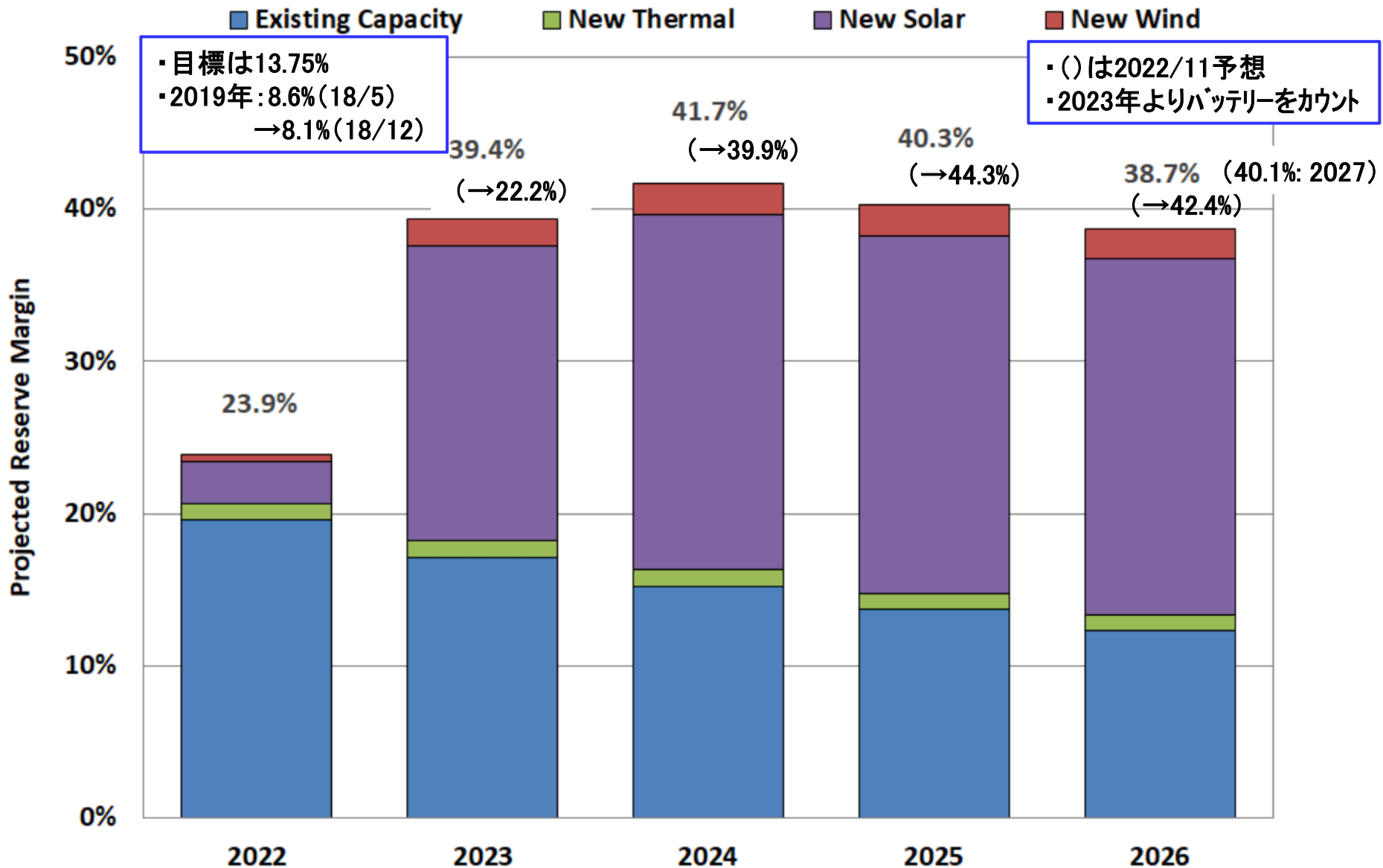


## 電源種別平均市場価格の推移(2017~21 ERCOT)

Generation Type	Output-Weighted Price				
	2017	2018	2019	2020	2021
Coal	\$26.32	\$33.31	\$43.92	\$24.84	\$148.06
Combined Cycle	\$28.45	\$35.53	\$47.06	\$24.60	\$207.84
Gas Peakers	\$50.21	\$71.64	\$126.16	\$60.26	\$1,023.09
Gas Steam	\$43.34	\$66.09	\$135.16	\$41.90	\$405.10
Hydro	\$27.47	\$34.40	\$42.90	\$23.88	\$305.15
Nuclear	\$24.73	\$29.00	\$35.38	\$20.31	\$137.71
Power Storage	\$47.71	\$103.19	\$154.80	\$80.50	\$109.29
Private Network	\$30.05	\$34.41	\$46.16	\$24.08	\$176.76
Renewable	\$23.91	\$39.84	\$141.09	\$35.23	\$43.54
Solar	\$24.34	\$35.37	\$61.45	\$25.49	\$75.97
Wind	\$16.57	\$19.26	\$20.54	\$11.45	\$60.53

(出所) 2020・21 State of the Market Report for the ERCOT Electricity Markets (5/2021・22)

# 計画予備率の予想 (ERCOT 2022、2023年)



Source: ERCOT Capacity, Demand and Reserves Report, December 2021

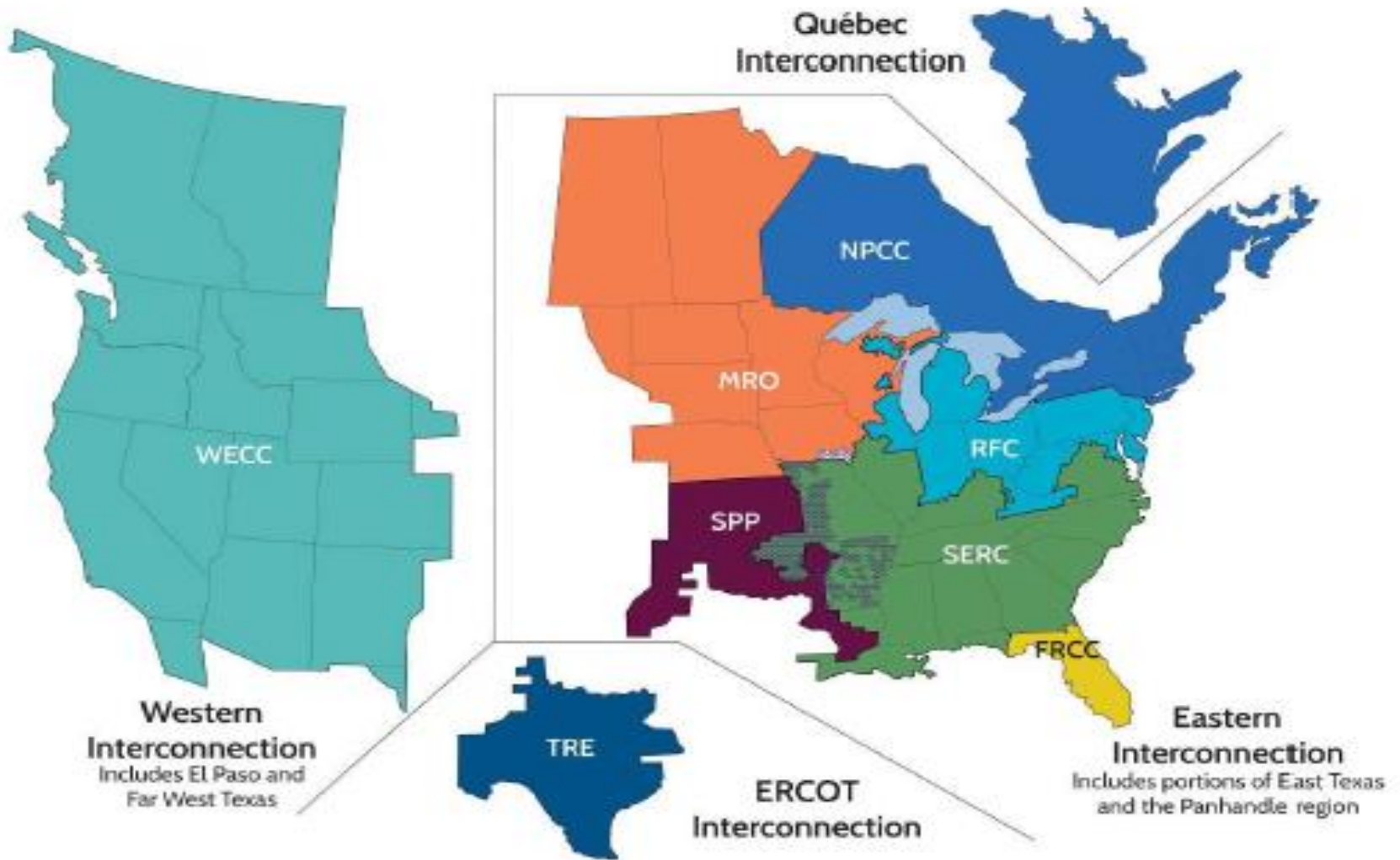
(出所) 2021 State of the Market Report for the ERCOT Electricity Markets (5/2022) に加筆

# 3. テキサス電力システム ERCOTの特徴

# テキサスERCOTの特徴① 基本的な特徴

- 独立(孤立)系統 競争市場
- 競争市場への経緯
  - 1999年州法で自由化規定(ERCOTはISOに)
  - 2002年小売り自由化、2007年デフォルトタリフ廃止
  - 2010年Zonal→Nodal
  - 2014年容量市場否決
  - 2023/1: PCM(Performance Credit Mechanism) 提案 by PUC
  - 2023/4: 上院、ガス火力支援・アンチ再エネ法案を議決
- 競争市場の特徴
  - 小売り完全自由化 アンバンドリング
    - Energy-Only-Market 容量市場なし → 疑似CM創設?
  - リアルタイム市場: SCED ORDC

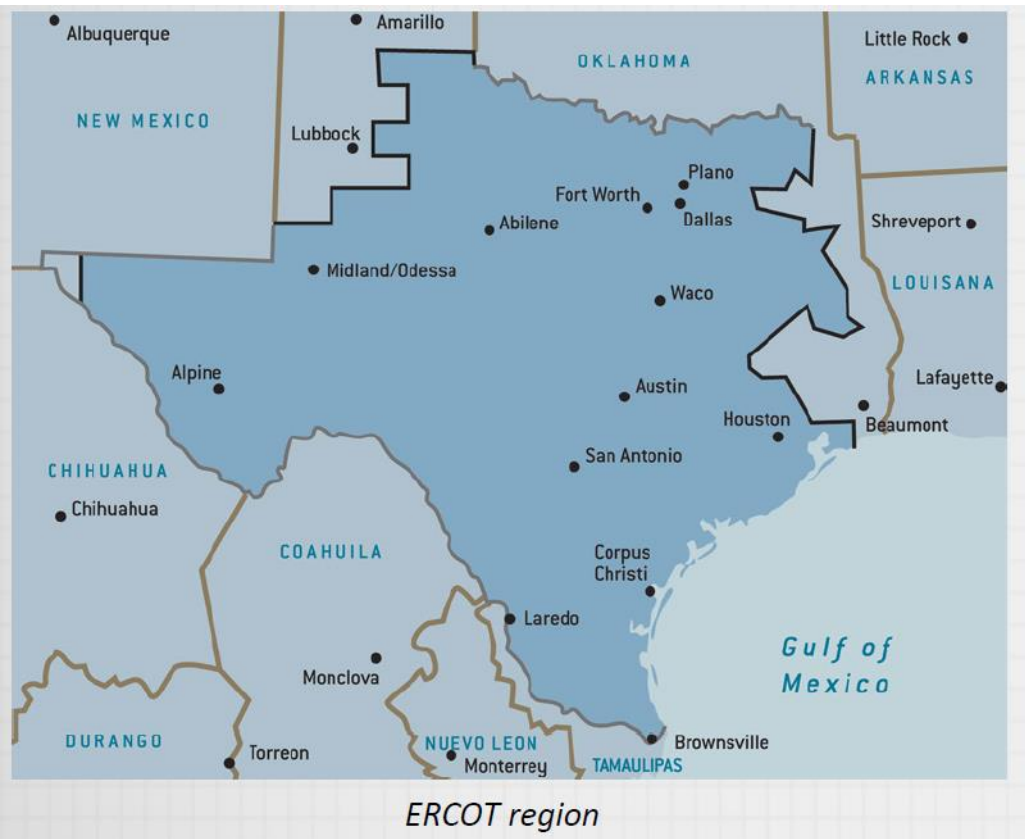
# NERCマップ



NERC: North American Electric Reliability Corporation  
北米; 電気信頼度協議会

(出所) ERCOT: NERC-Interconnection

# ERCOTの概要



## ERCOT Responsibilities

- System reliability – planning and operations
- Wholesale market settlement for electricity production and delivery
- Retail switching process for customer choice
- Open access to transmission

## ERCOT: By the Numbers

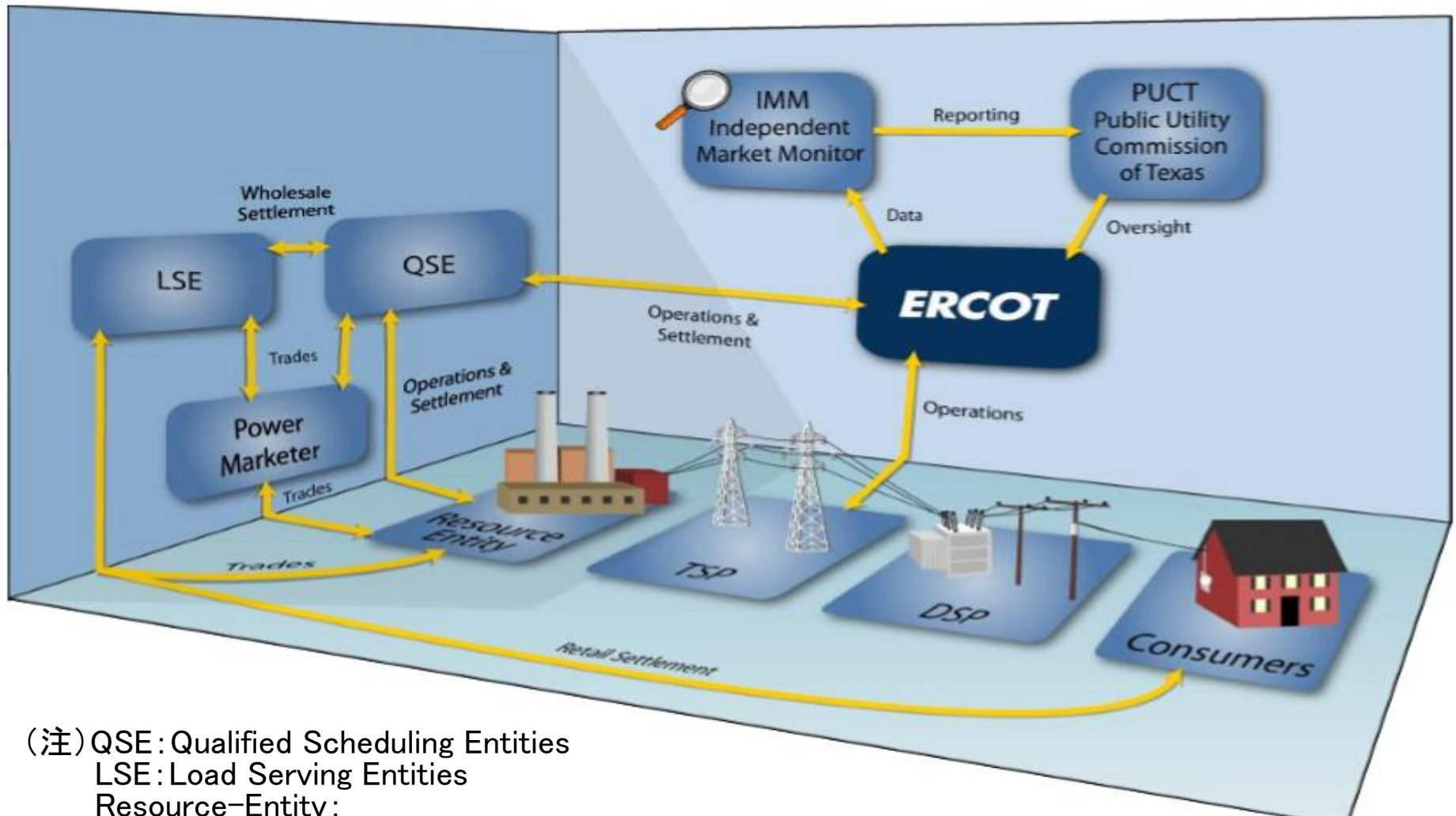
- 90% of the electric load in Texas is in ERCOT
- 75% of ERCOT's load is in the competitive market, including 24 million customers
- Over 550 generating units, providing 77,000 MW of generating capacity during peak demand
- 46,500 miles of high-voltage transmission

# テキサスERCOTの特徴② EOMとして

- 容量市場なし ⇒ ORDC
- リアルタイムが最重要市場
  - SCED 5分毎の出力決定(ディスパッチ)
  - ORDC (Operating Reserve Demand Curve) 運転予備力需要曲線 ≡ 短期の容量市場
- 信頼度維持対策
  - 価格機能が基本
  - 予備力確保: ORDC アンシラリーサービス市場 RUC DR  
長期予備力予想
  - RUC (Reliability Unit Commitment)  
混雑対策用(再給電)指令
  - 価格変動リスクヘッジ: 相対、先物、前日
  - 混雑費用ヘッジ: CRR: 前日までの混雑費用ヘッジ  
PTP取引: DA~RTの混雑費用ヘッジ



# ERCOTの市場参加者

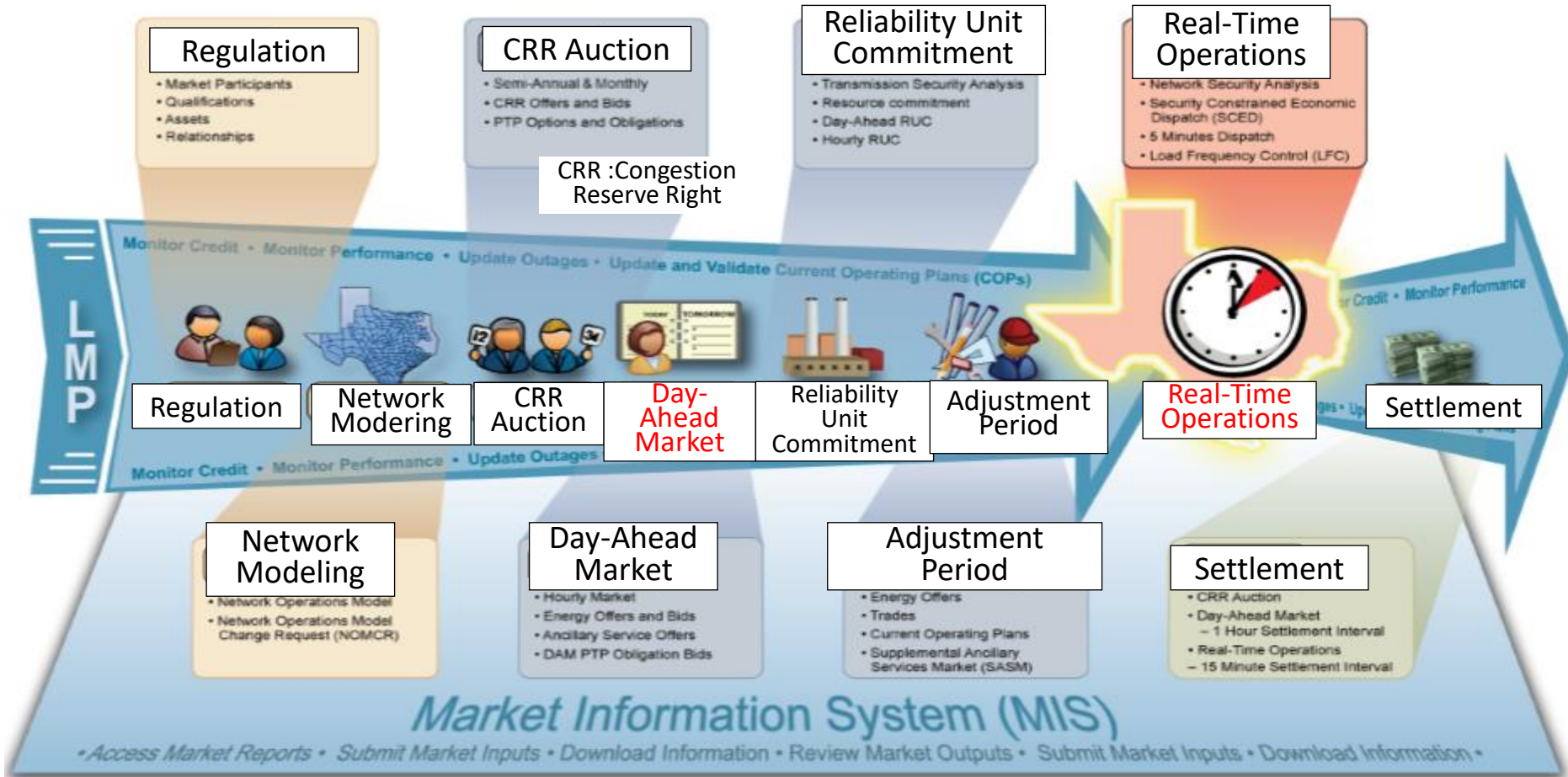


(注) QSE: Qualified Scheduling Entities  
LSE: Load Serving Entities  
Resource-Entity:  
TSP: Transmission Service Providers  
DSP: Distribution Service Providers

(出所) ERCOT: ERCOT Market Design

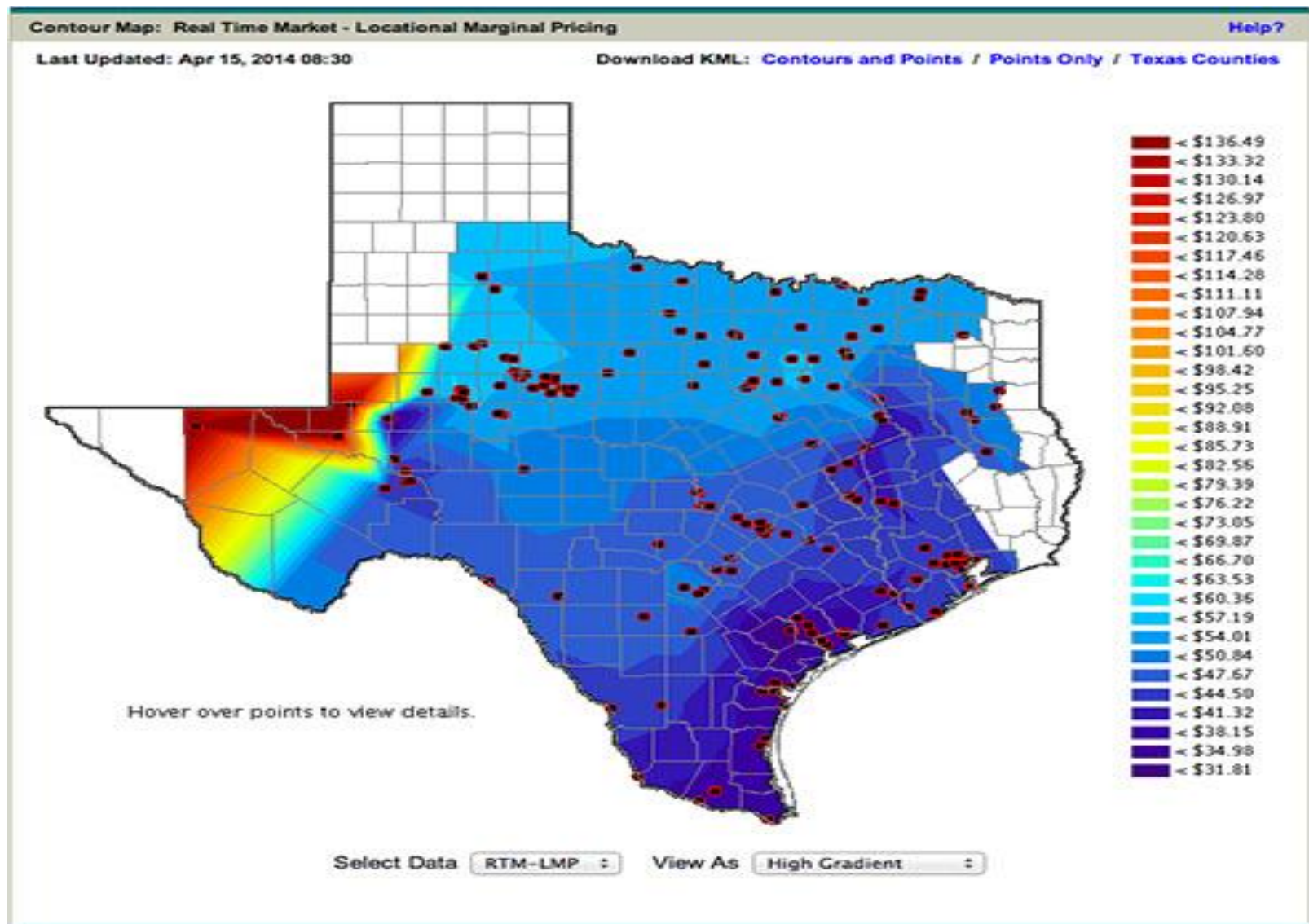


# ERCOT: 市場取引の流れ①



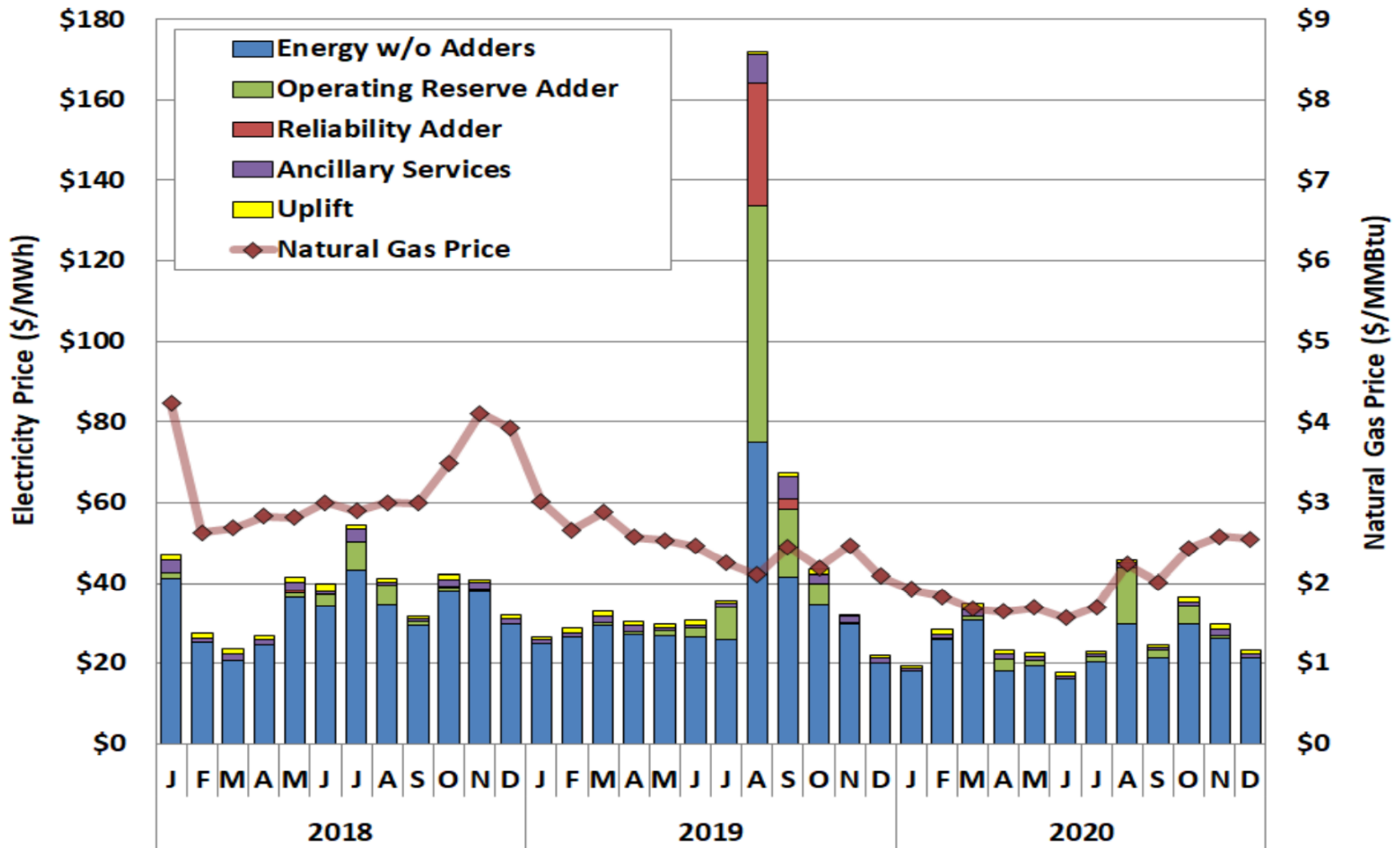
(出所)ERCOT: ERCOT Market Design

# ERCOTのリアルタイム市場価格 (LMP) : 4/15/2014 08:30



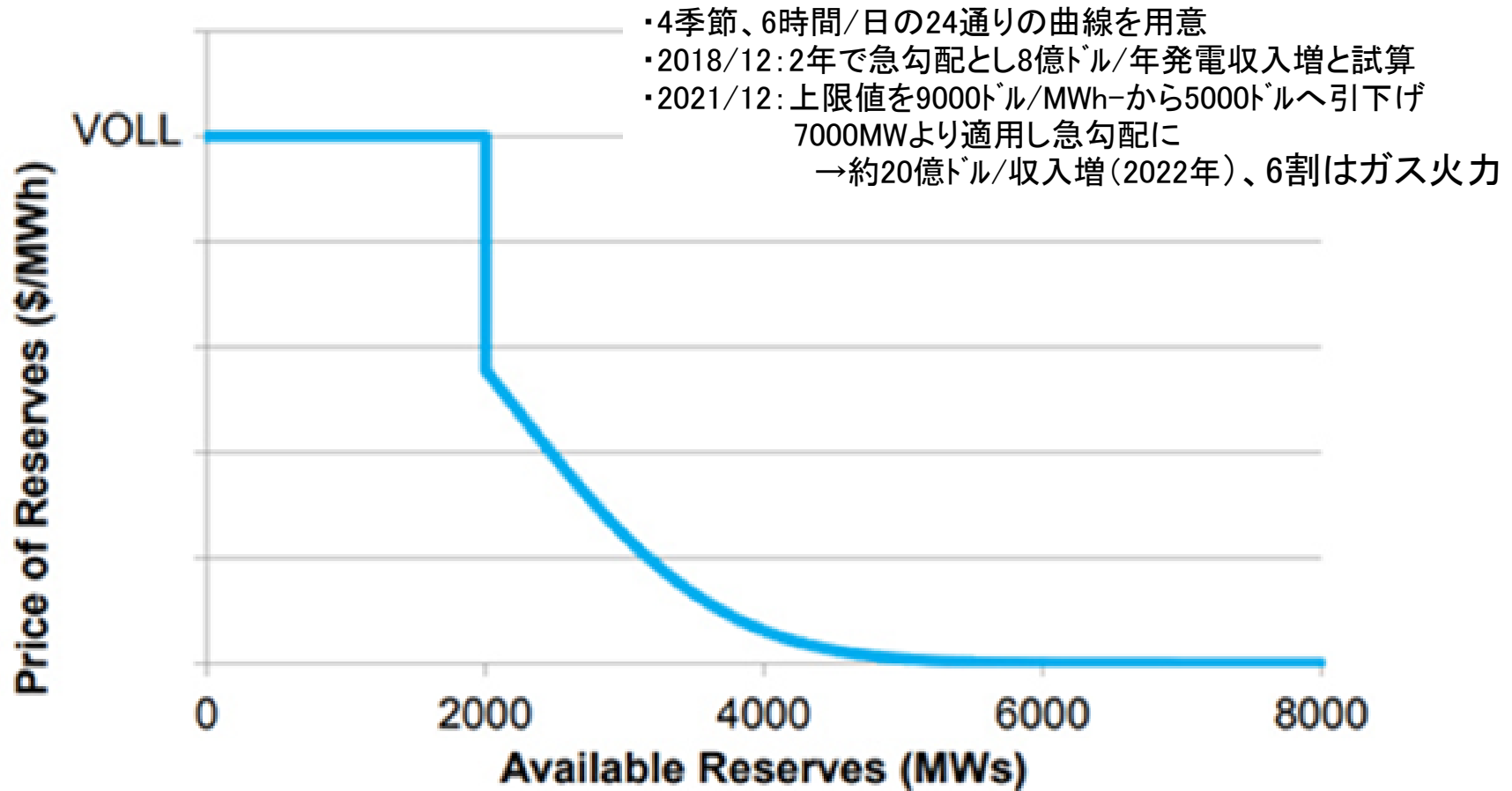
(出所)ERCOT

# all-in平均リアルタイム価格の推移 (ERCOT 18/1~20/12)



(出所) 2020 State of the Market Report for the ERCOT Electricity Markets (5/2021)

# ORDC(運転予備力需要カーブ)の概念と変更



(注) 縦軸: Value of Reserves: キャップ ( \$/MWh)

横軸: Operating Reserve Demand (MW)

VOLL: the Value of Lost Load ( \$9000/MWh ) : Cap → \$5000 (2023/1)

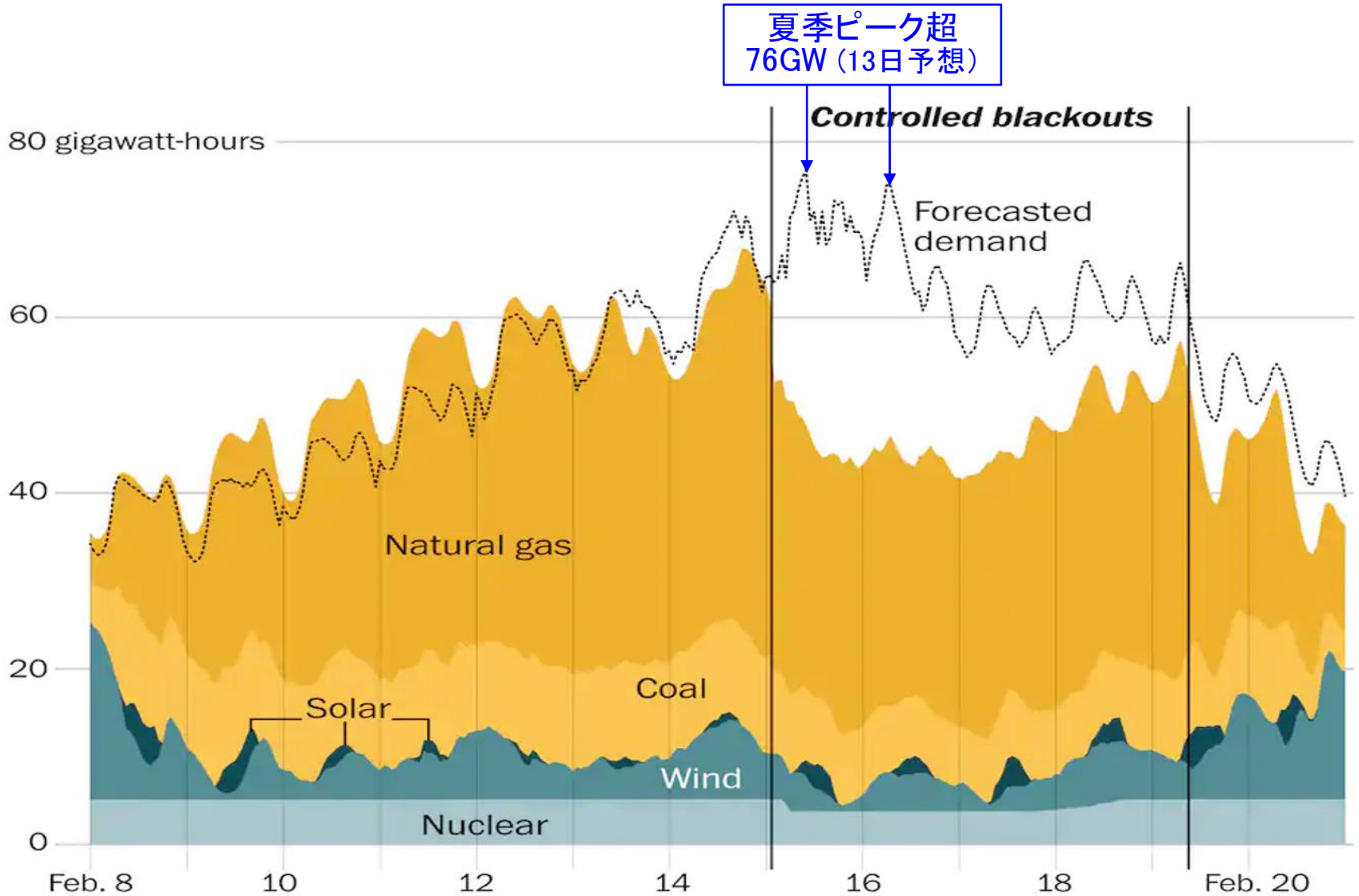
LOLP: the Loss of Load Probability

(出所) ERCOT

# 4. 2021年2月の大停電

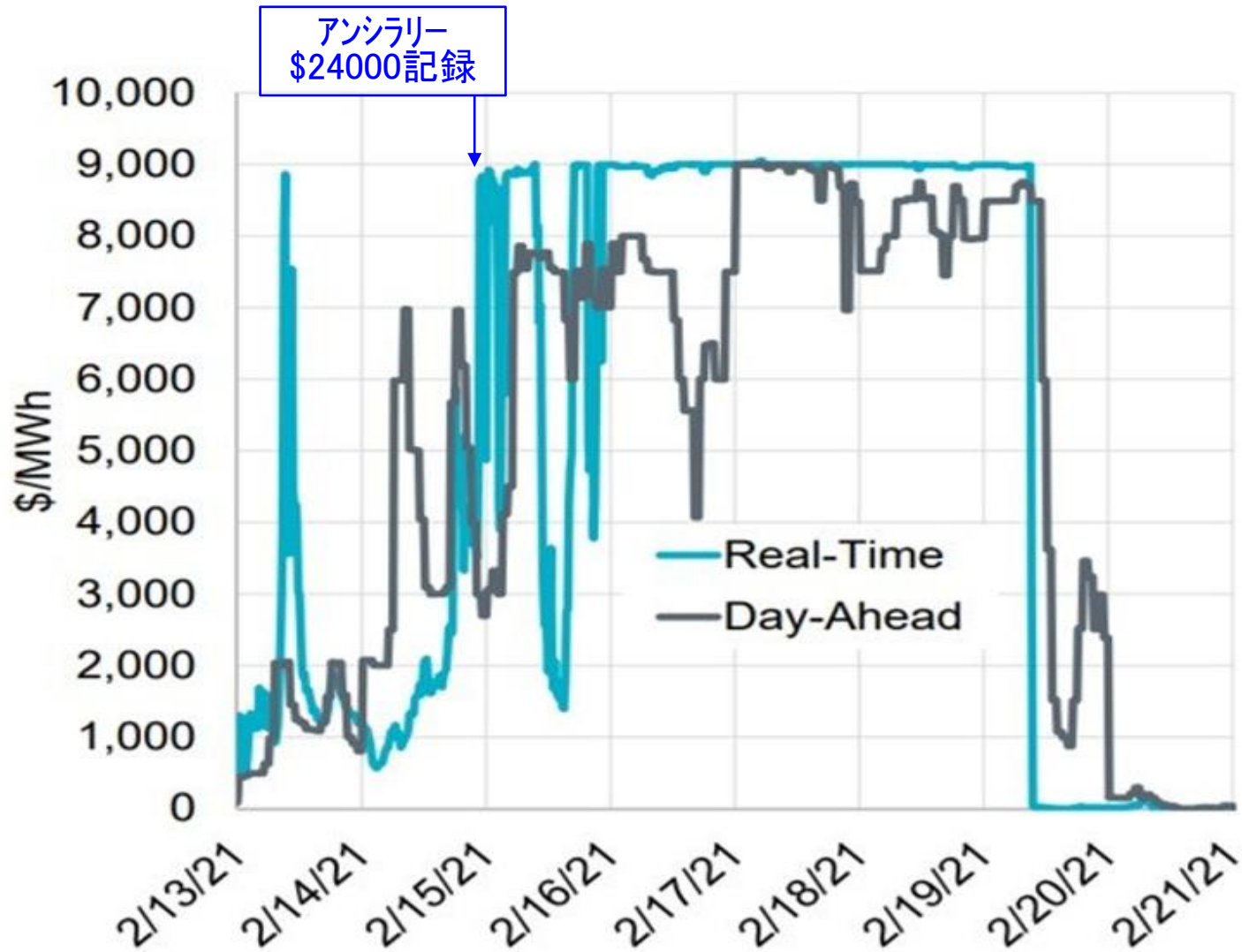
- **要因**: 120年来の大寒波 防寒対策不備 電力・ガスの連携不備  
ERCOTシステムの問題にあらず
- **現象・需要**: ピーク需要大幅更新(予想)
- **現象・供給**: 電源1/2凍結停止
  - ・あらゆる電源が凍結: 汽力、風車(想定以上に発電)
  - ・凍結の主役はガス火力: ガス生産・輸送も(が)凍結
- **ERCOTシステムは想定通り機能**
  - ・正確な予測 価格機能発揮
  - ・「二重苦」「両肺機能不全」の中でシステムダウンを防ぐ
  - ・1週間で正常に戻る
- **ERCOTの基本システムは維持 ⇒市場改革議論**
  - ・独立系統→隣接州も停電
  - ・エネルギーオンリー市場→予備力は存在、防寒対策
  - ・予測力は反省点?

# テキサス停電時の需給推移 (2021/2/8~2/20)



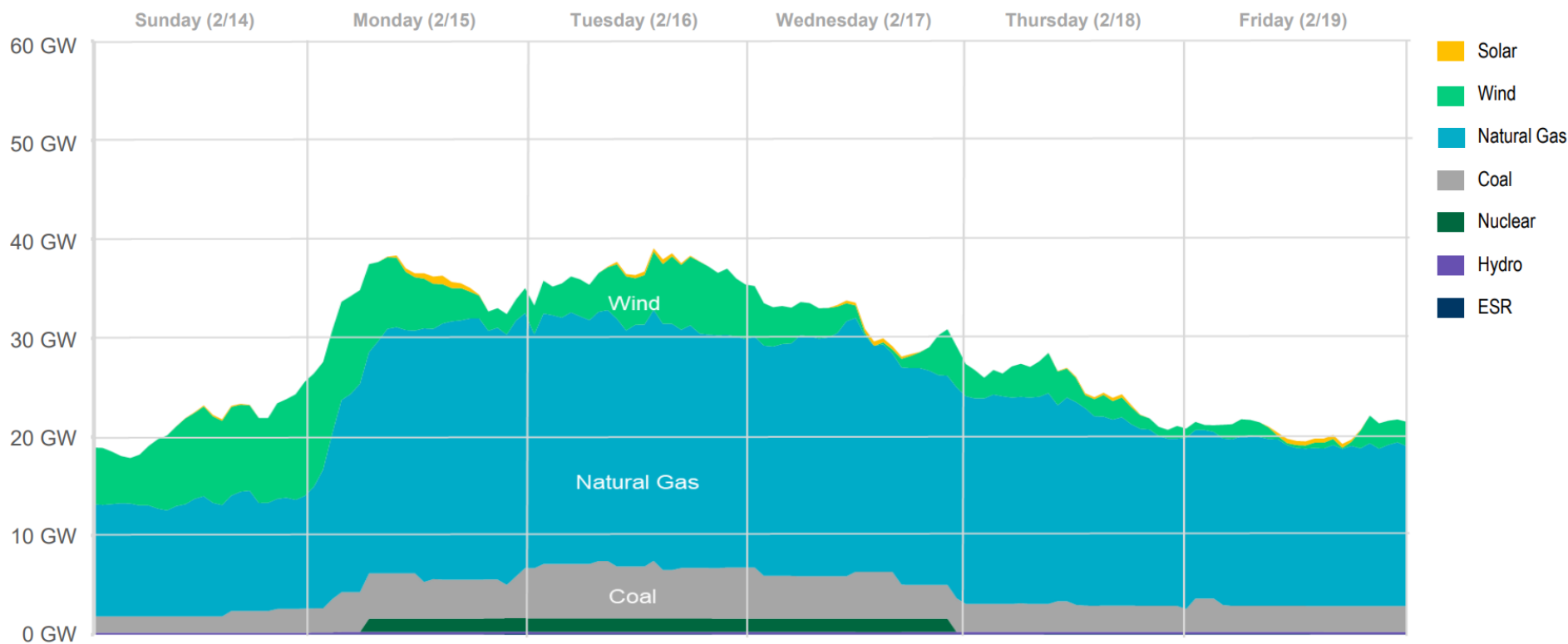


# ERCOTの昨日・リアルタイム市場価格の推移(2021/2/13~21)



(出所) ERCOT 一部加筆

# ERCOTの発電設備停止水準の推移 (GW 2021/2/14~19)



Version Date: 4/22/2021



# 5. 停電後のReliability対策と市場改革議論

○州議会がPUCT対策提出を含む法案を成立(2021/6)

○処置済み(2021年度より適用)

- ・Wetherization: 発電、送電、ガス設備
- ・電力事業とガス事業の連携: 緊急時の電力利用用ガス設備の特定と公表
- ・ORDCの修正: 上限値の引下げ\$9000→\$5000/MWh、稀少予備力価値増

○検討中: PCM(Performance Credit Mechanism)

・概要: Dispatchable-EnergyにLSEがクレジットを提供しひっ迫時稼働に応じて支払い。  
ERCOTが仲介・精算。追加負担57億ドルも

・経過: PUCが2023/1に提案(EOMとCMのハイブリッド) / 議会: 検討し夏頃に決定

・ステークホルダー(賛成): 大規模発電事業者、アボット州知事

・ステークホルダー(反対): 製造業、資源産業、消費団体、環境組織、IMM、学者等

\*分り難い・複雑、実装に時間、高コスト、効果不明、現状問題ない、ベターな案あり

・対案等: ①省エネ、DR: 低コスト、即効性

②VRR対応AS提案: “DRRS: Dispatchable Reliability Reserve Service”  
17(9)憶ドル負担、IMM “Uncertainty Product”

○州上院議会はガス火力支援・アンチ再エネ法案を可決

⇒下院も通れば、世界に誇る市場機能は崩壊の危機に。

# 上院議決proガスanti再エネ法(2022/4/6)

- **SB 6(非常用ガス火力新設)**: 政府保証dispatchable-generators(ガス火力等)10GWの新設。Texas Energy Insurance Program、市場外運用、予想建設費180億ドル。既存火力メンテ費用に低利融資制度。
- **SB 7(柔軟電源特化AS創設)**: dispatchable-generators用のアンシラーサービス新設、ERCOTが信頼性価値を試算。
- **SB 1287(再エネ新規接続の制限)**: ERCOTは系統接続費用上限を設定、電気料金の削減
- **SB 2010(市場支配力監視)**: IMMに市場支配力、ルール違反に係る情報をPUCへ報告し、PUCは年次報告を公表。
- **SB 2011(市場支配力監視)**: Voluntary Mitigation Planの改訂
- **SB 2012(PCMコスト抑制)**: PUCが創設するPCM(the Performance Credit Mechanism)のコスト抑制。
- **SB 2013(インフラ防止)**: グリッドへの攻撃防止策の強化
- **SB 2014(再エネの優遇削減)**: 再エネクレジットを排除しdispatchable generationとイコールフットイングを実現。
- **SB 2015(再エネ電力の抑制)**: dispatchable energy50%目標を設定し、再エネ電力とのイコールを図る

# まとめ

- 欧米の市場に比べて、日本は未整備、複雑で価格機能面で劣る。
- 米国は、ここ2年間で、新規電源の8割は風力・太陽光・蓄電(特にバッテリー)。23年予想では太陽光54%、バッテリーは2番手の17%。
- バッテリーは、ダックカーブ緩和等を目的に太陽光併設(ハイブリッド)が主流であったが、系統安定を目的とする単独(スタンドアロン)もTXで増加。2022年8月に成立したインフレ抑制法により、再エネや蓄電池の成長は約束。
- テキサスのERCOT市場は、容量市場がなく価格機能が最も働くが、風力容量は全米断トツ、太陽光・バッテリーは追加で最大、予備率は2~4割を実現。
- 経済性と信頼度を両睨みするために市場機能を活用するSCEDは、米国ISO/RTOの基本でありエネルギー基盤だけでなくCN実現、技術革新を促す。なかでも最も競争的で価格機能を利用するのはテキサスのERCOTである。
- ERCOTは、2020/2に120年振りの寒波により大停電が生じたが、価格機能による投資増が生じ、ASの見直し、Weatherization、ガスと電力の連携強化等の実施により、よく機能しているとの評価が多い。
- 一方、アボット州知事、共和党は、再エネ急増や化石関連者の意向を受け、新たな容量メカニズムが検討され、上院はproガス火力anti再エネ法案を可決した(2023/4)。世論や下院の判断が注目される。
- 日本も先着優先見直し、混雑管理に踏み切っており、米国型Nodal方式を目指すとしている。米国のSCED、なかでもERCOTシステムは学ぶことが多い。<sup>35</sup>

ご清聴、ありがとうございました。

質疑応答

# 参考文献

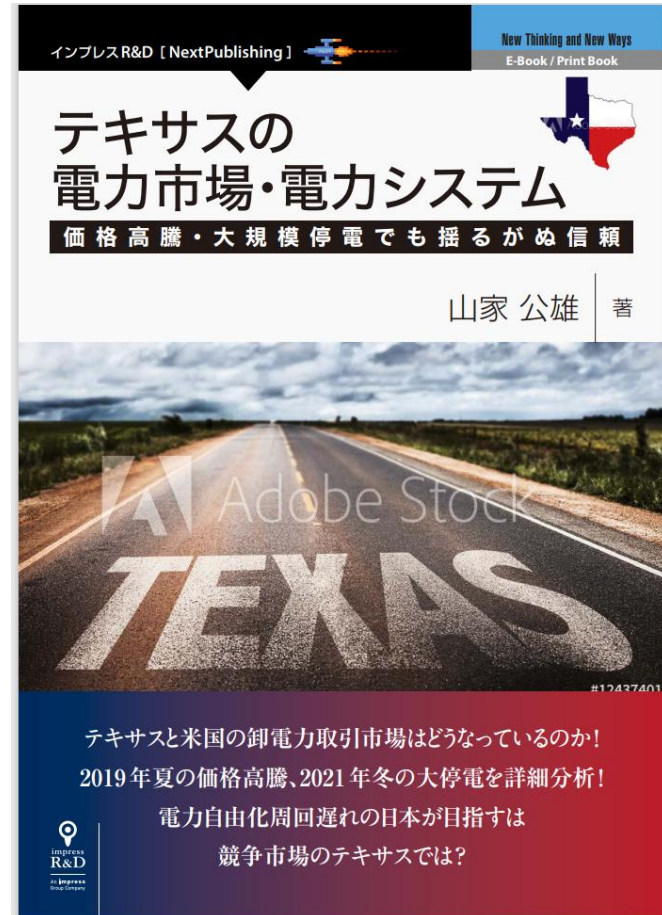
2020年3月



2020年はじめに - 2020年代は再生可能エネルギーの時代 -

- 第1章 2020年のもつ意義
- 第2章 日本のエネルギー情勢 - 2020年発動のパリ協定が再エネ主力化を迫る -
- 第3章 再エネ調達を意識する産業界 - 加速するRE100などへの加入 -
- 第4章 前途多難な和製電力市場 - 価値ごとに整備される「市場」 -
- 第5章 白熱する洋上風力開発 - 地域指定競争は政策を動かすか -
- 第6章 FITからFIPへ - ドイツ10年間の経験に学ぶ -
- 第7章 迷走する日本のFIT見直し - FITに留まるも地獄、FIPに進むも地獄 -
- 第8章 送電事業分離が促すネットワーク革新 - 東電PG方式の登場と衝撃 -
- 終わりに - 再エネ主力化対策「短観」: 肝心の支援策がネガティブ -

2021年8月(予定)



- 第1章 テキサスの電力情勢 - 独立と競争市場が生む低価格 -
- 第2章 米国の電力市場とERCOTの特徴
- 第3章 ERCOTのエネルギーオンリーシステム
- 第4章 ERCOTの市場プロセスと前日市場
- 第5章 2019年ERCOT市場の価格スパイク - 8年間待った発電事業者に慈雨 -
- 第6章 ERCOTの信頼度対策 - 予備力確保・混雑管理・RUC -
- 第7章 ERCOTの競争環境整備 - 外部評価と手法 -
- 第8章 2021年2月の停電を考える - ERCOTの本質は変わらない -
- 第9章 テキサスとの比較で日本を考える
- 終わりに 市場機能の浸透なしに脱炭素は困難