

テキサス州で発生した大停電の要因

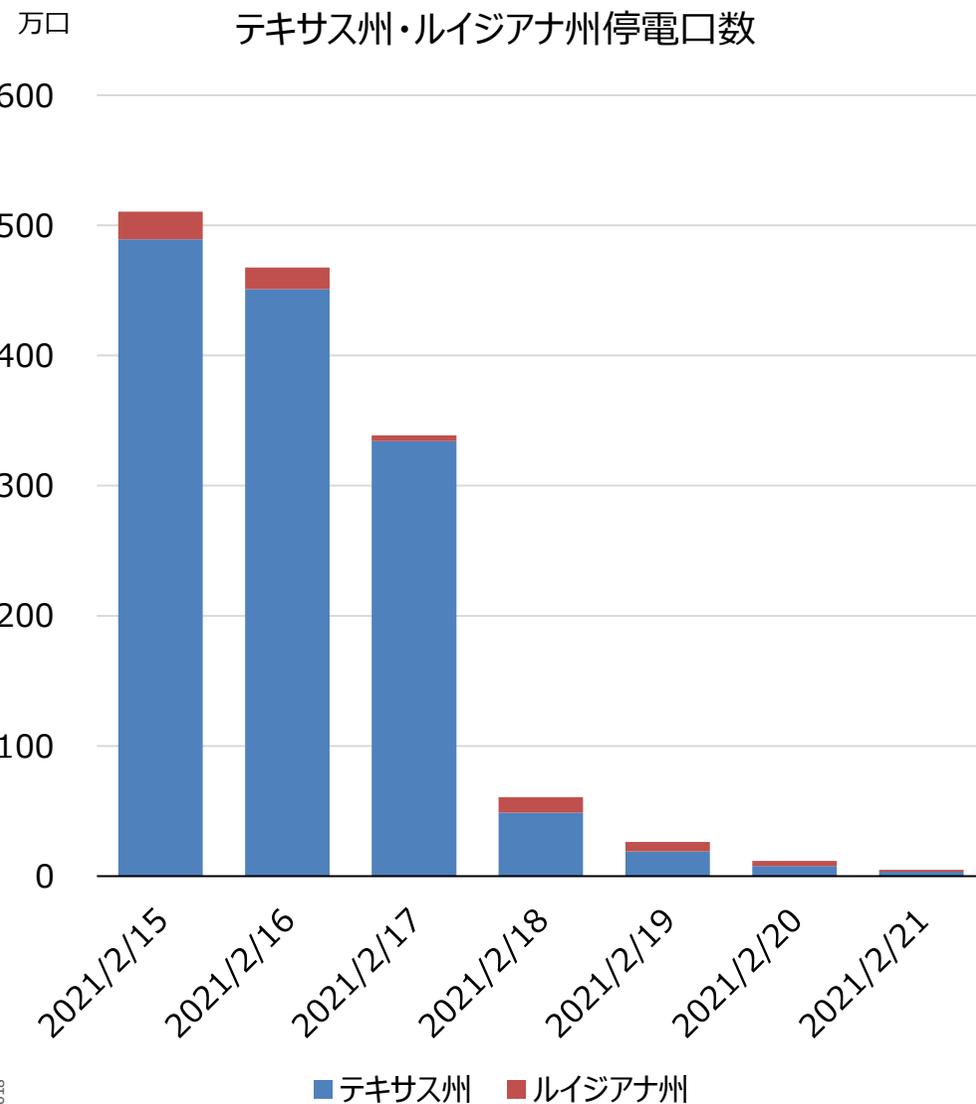
一般財団法人日本エネルギー経済研究所

研究理事 小笠原潤一

ERCOTのプレスリリースのタイムライン

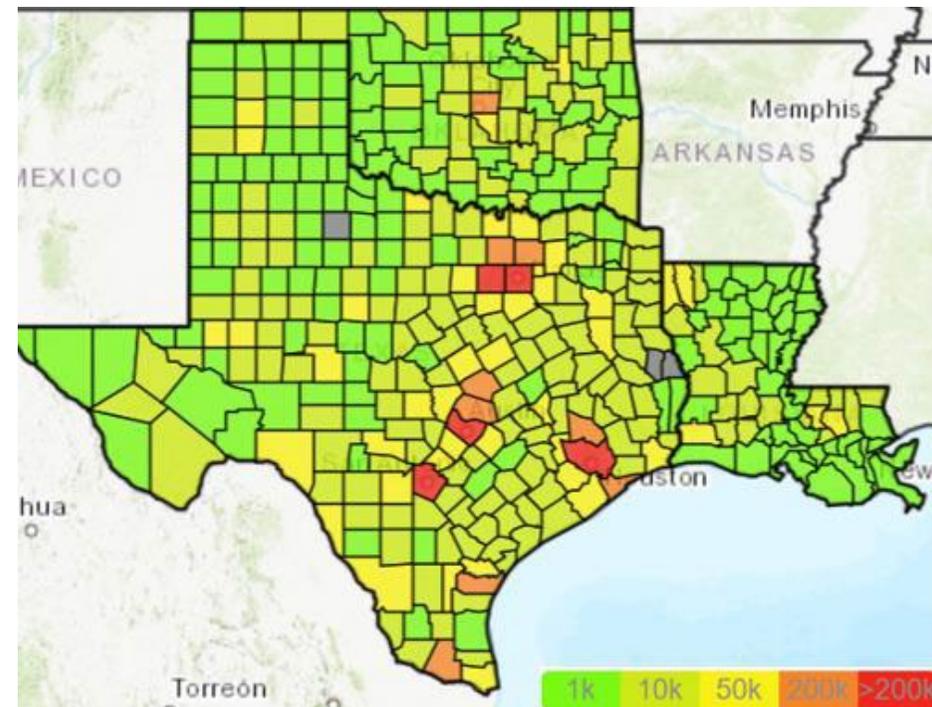
- 2月11日：数十年で経験した中で最も寒い天候となり、記録的な電力需要となる見込みを公表。
- 2月14日：風力タービンの凍結と天然ガスの供給制限による供給力の低下のため、消費者と企業に節電を要請。
- 2月15日：1:25から輪番停電を開始し、最大で約200万世帯へ供給する電力に相当する1,050万kWの輪番停電が実施されたことを公表。3,000万kWを超える発電設備が強制的に系統からオフラインになっていることも明らかにした。
- 2月15日：送電会社に約1,400万kWから1,650万kWの負荷を抑制するよう指示していることを明らかにした。3,400万kWの発電設備が系統からオフラインになっているとしている。
- 2月17日：約350万kW、概ね70万世帯の停電を復旧させたと明らかにした。午前9時の時点で約280万世帯に相当する1,400万kWの負荷削減を地元電力会社に指示しているとしている。同時点でオフラインになっている発電設備は火力2,800万kW、風力・太陽光1,800万kW（計4,600万kW）である。
- 2月17日：朝から約800万kW、概ね160万世帯の停電を復旧させたと明らかにした。午後には1時間毎に100万kWの復旧を計画。午後6時の時点で極端な寒波により約4,300万kWがオフラインとなっており、火力が2,650万kW、風力・太陽光が1,700万kW近くである。
- 2月18日：一晩で停電からの復旧が進展したが州の一部で停電が残っていると明らかにした。約4,000万kWがオフラインとなっており、火力が2,350万kW、残りが風力・太陽光である。
- 2月18日：一日を通じて追加の停電なく需給をバランスさせることができたと明らかにした（配電設備の故障で停電となっている場合等を除く）。約3,600万kWがオフラインとなっており、火力が2,140万kW、残りが風力・太陽光である。
- 2月19日：通常の運用状態に復帰したことを宣言し、夜間の間に追加的な停電の必要が無かったことを明らかにした。7:30時点で約3,400万kWの発電設備がオフラインとなっており、約2,000万kWが火力で、残りが風力・太陽光である。

(出所) ERCOTニュースリリースより作成



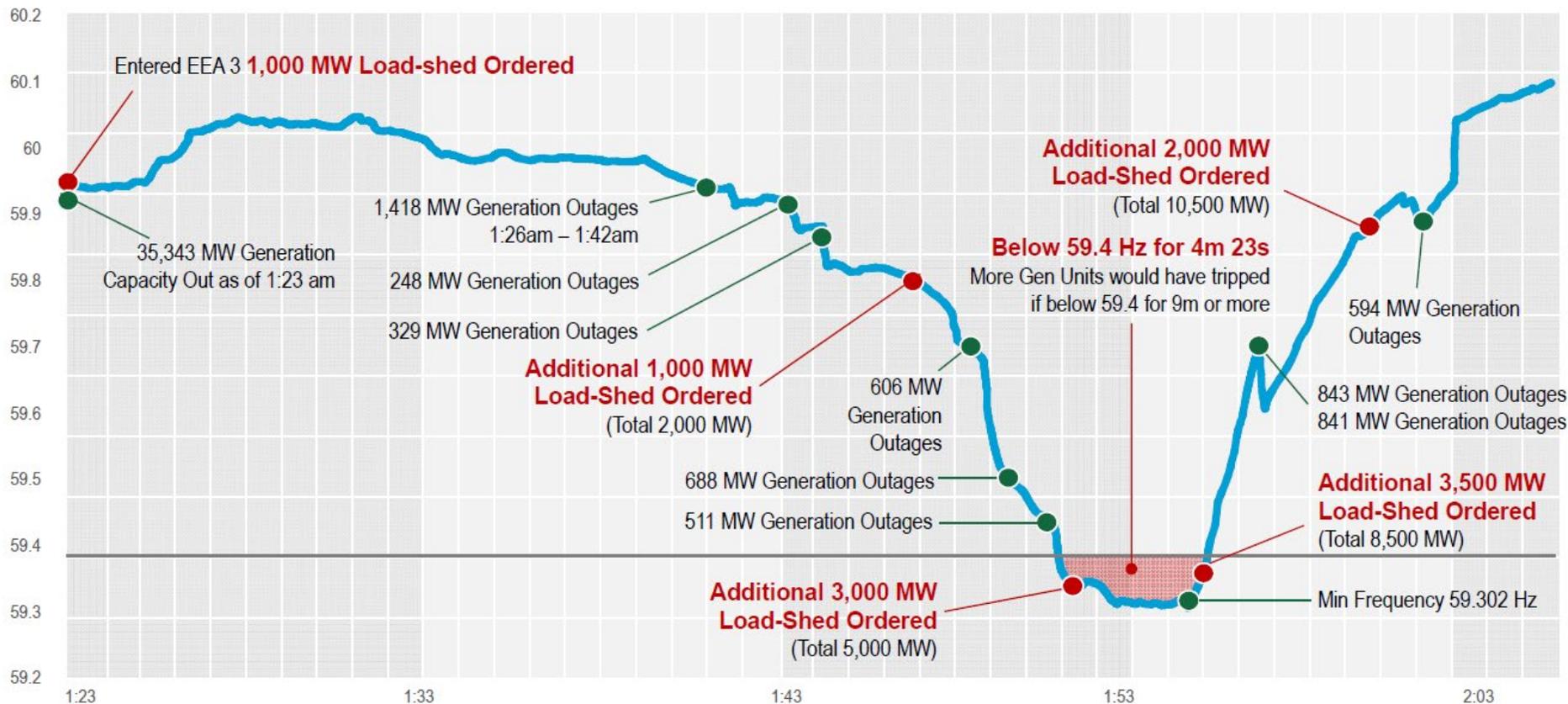
- テキサス州の停電口数は最大で489.3万口（州の27%）に達し、ルイジアナ州は21.1万口（州の2%）に達した。2月17日中に停電からの復旧が進み、2月18日9:30時点で停電からの復旧率90%となり、州内の停電口数の割合は4%まで縮小した。

2月16日停電地域



輪番停電開始後の周波数低下

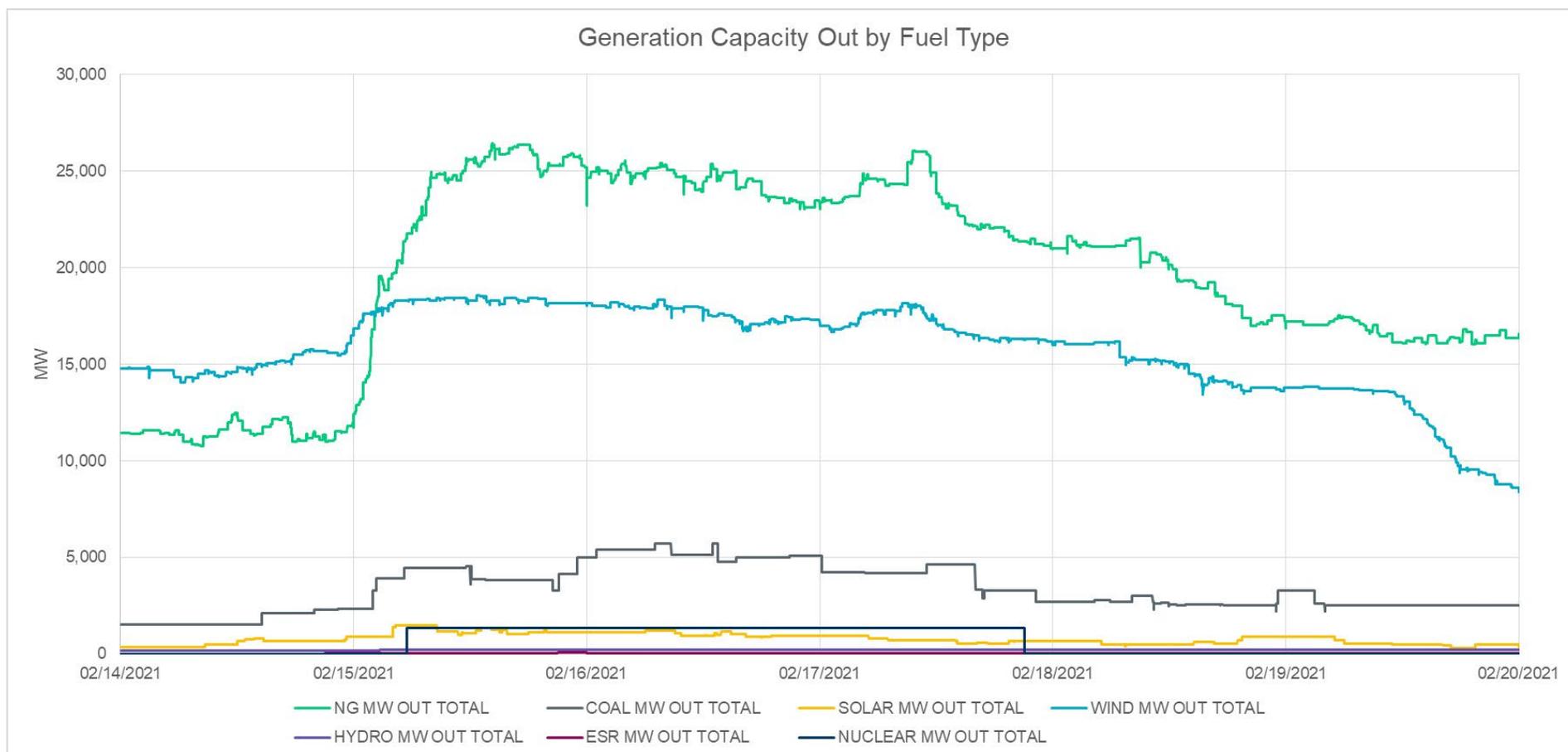
- 2月15日1:25に輪番停止開始後、複数の発電機の計画外停止により59.302Hzまで周波数が低下した。ERCOTは輪番停電の規模を増やし周波数の回復に努めた。低周波数負荷遮断が59.3Hzで設定されているため、ぎりぎりの状態であったと言える。



(出所) ERCOT, "Review of February 2021 Extreme Cold Weather Event – ERCOT Presentation" 2021年2月24日

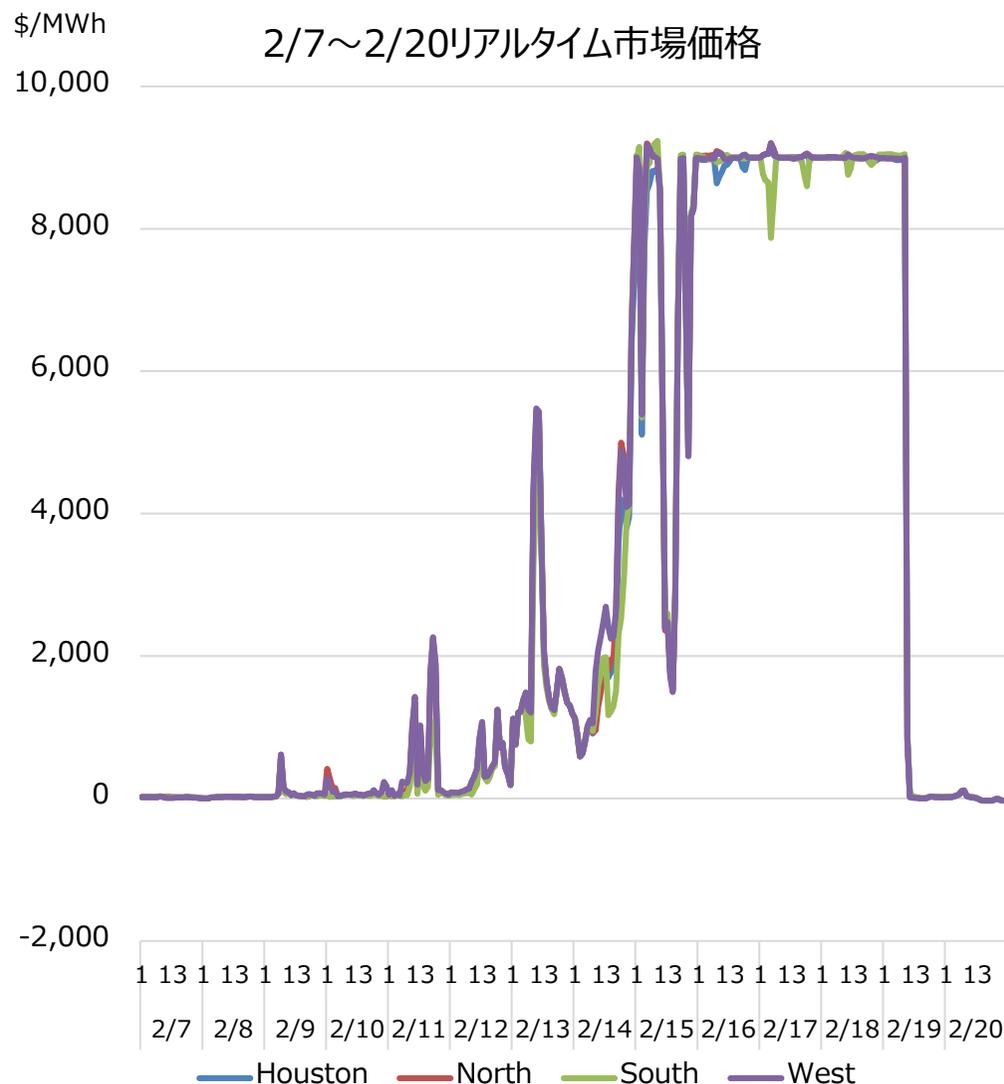
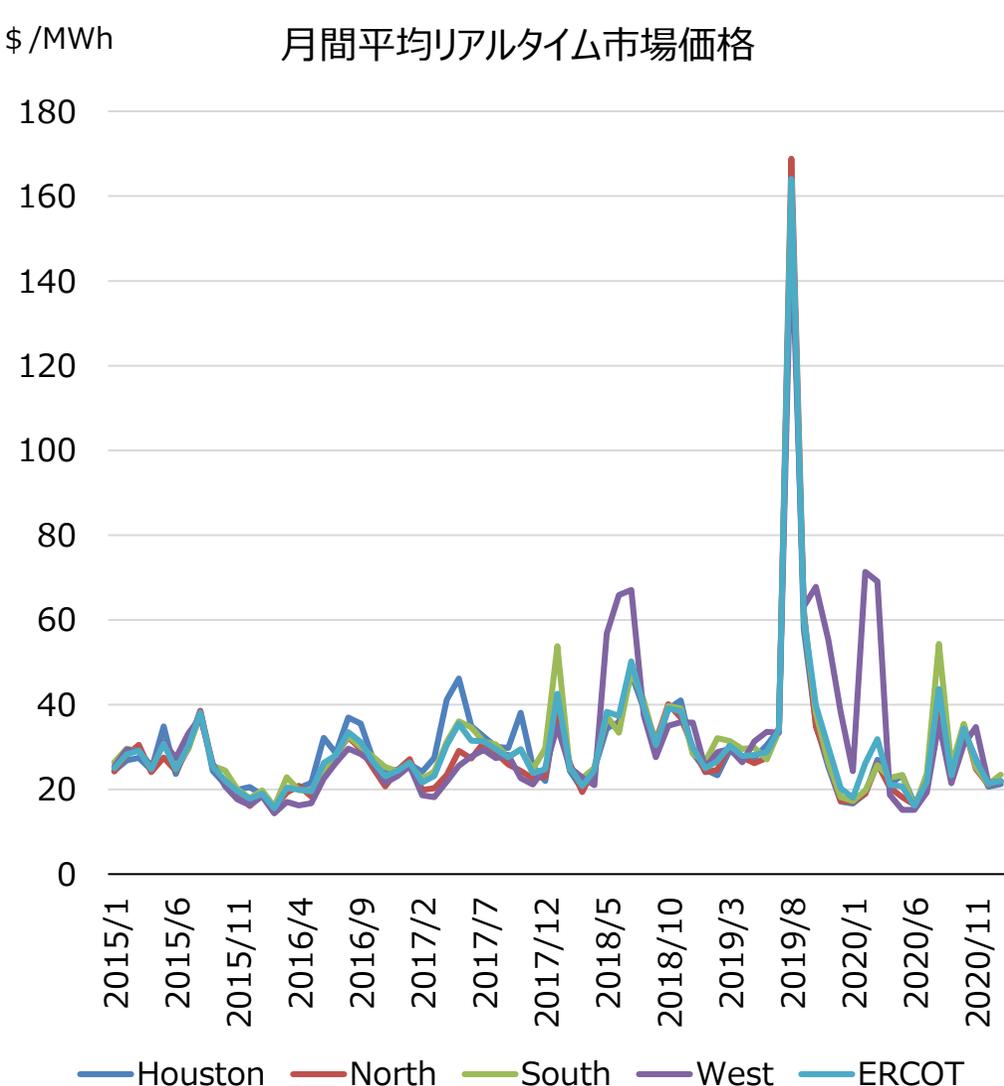
発電設備の停止容量

- 2月14日時点で280万kWが計画停止、1,400万kWの風力・太陽光を含む2500万kWが計画外停止があった（合計で2,800万kW弱）。2月15日1:25に輪番停止開始後、ガス火力発電を中心に停止容量が急増し、最大で5,227.7万kW（48.6%）が停止した。



(出所) ERCOT, "Review of February 2021 Extreme Cold Weather Event – ERCOT Presentation" 2021年2月24日

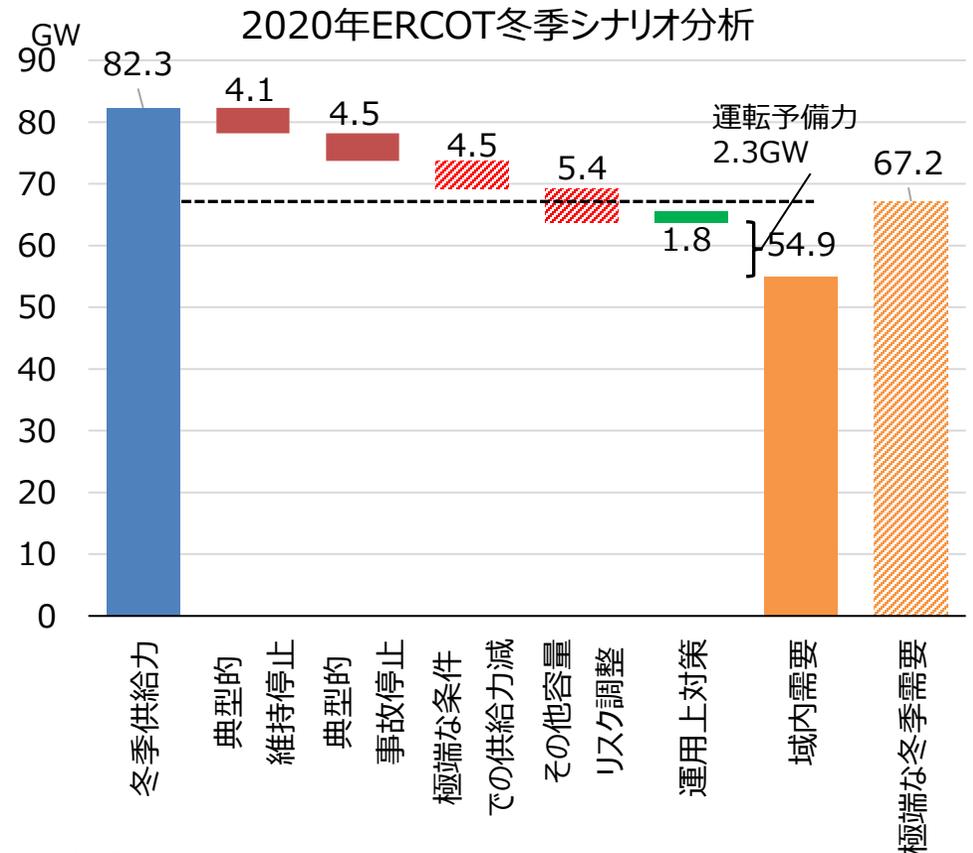
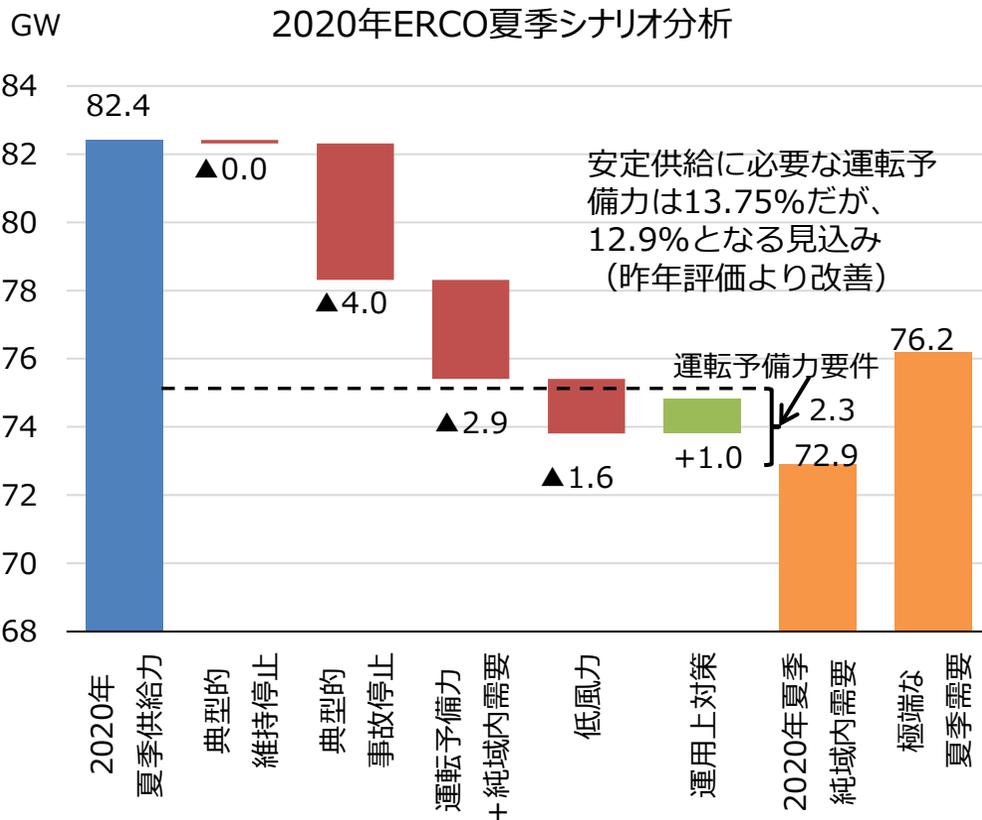
ERCOT卸電力価格



(出所) Potomac Economics, "ERCOT Wholesale Electricity Market Monthly Report"より作成 (出所) LCG Consulting, "ERCOT Real Time Prices"より作成

2020年夏季・冬季信頼度評価

- テキサス州ERCOT電力系統では、2018年1月・2月に441.9万kWの石炭火力発電所が廃止されたことに伴い、北米信頼度機関であるNERCの2018年夏季信頼度報告書以降の夏季・冬季信頼度報告書では猛暑や寒波など極端な条件で需給ひっ迫になる恐れありとの指摘を毎回受けている。2019年8月には需給がタイト化し卸価格が高騰した。
- 今冬の電力需要は極端な冬季需要との想定の上回る夏季並みの電力需要となり、暖房用ガス需要との競合やガス生産の落ち込みがあり、安定供給を確保することは困難であった。



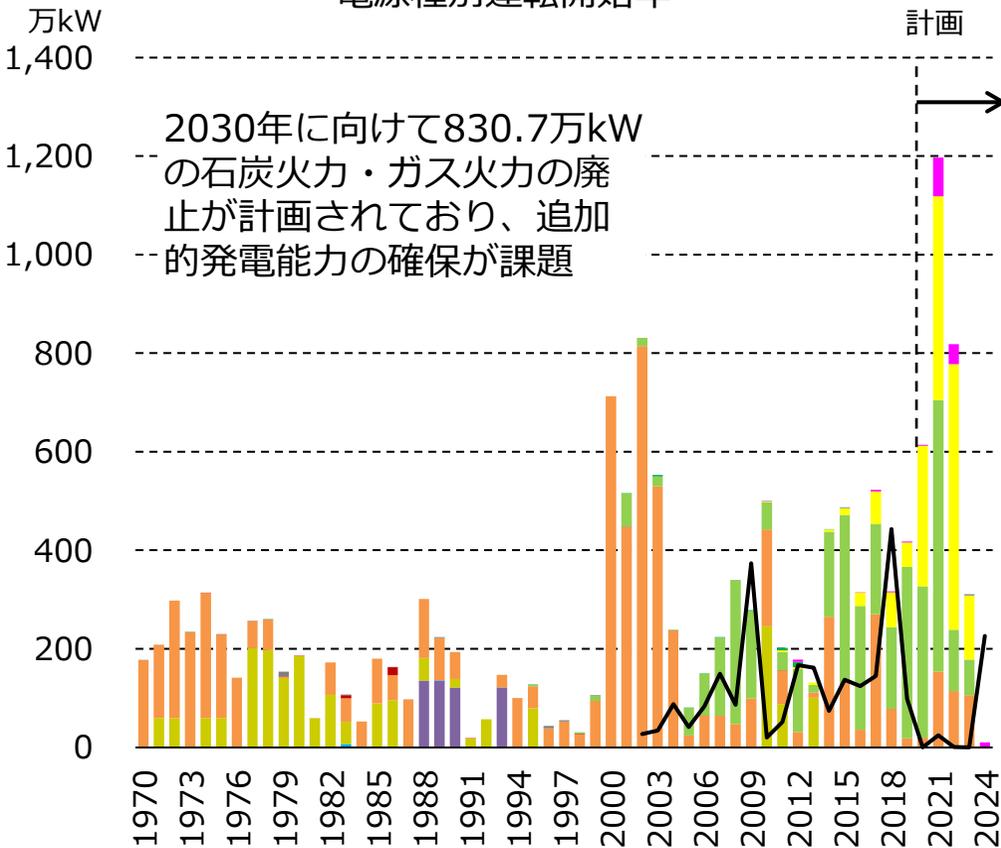
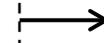
(出所) NERC, "2020 Summer Reliability Assessment", 2020年6月

(出所) NERC, "2020-2021 Winter Reliability Assessment", 2020年11月

ERCOTにおける運転開始・廃止容量

電源種別運転開始年

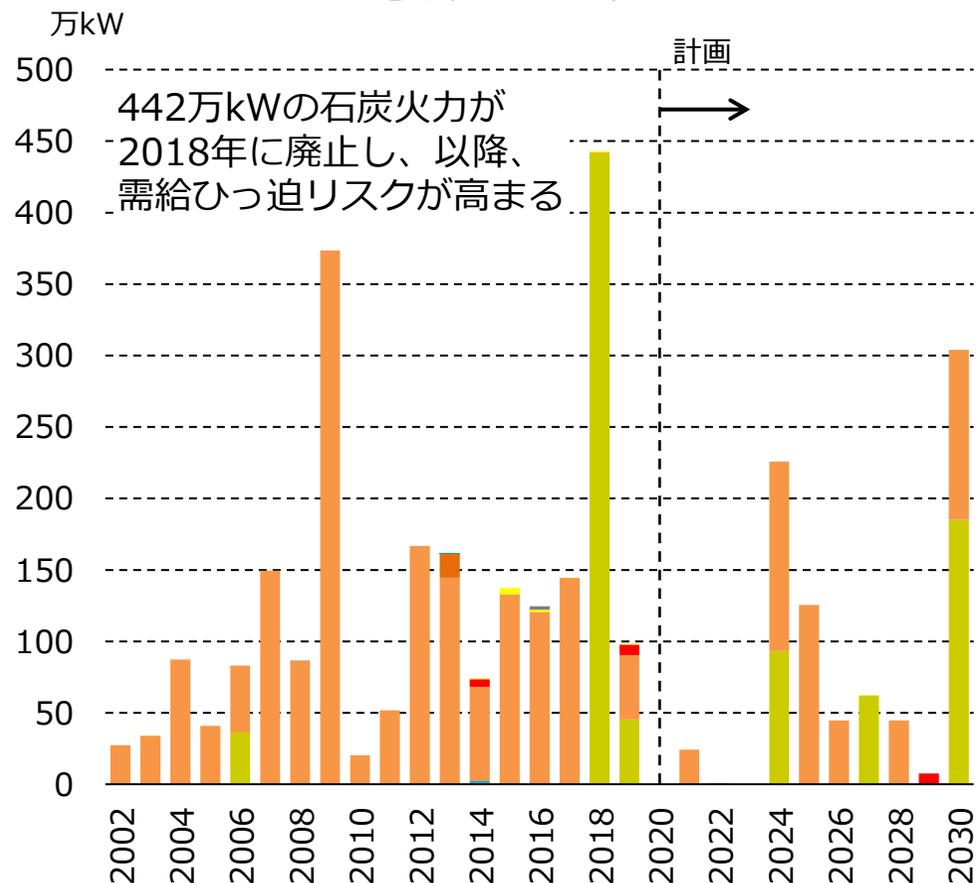
計画



- 原子力
- 水力
- 石炭火力
- ガス火力
- 石油火力
- 陸上風力
- 太陽光
- その他再エネ
- 蓄電池
- その他
- 廃止

電源種別廃止年

計画

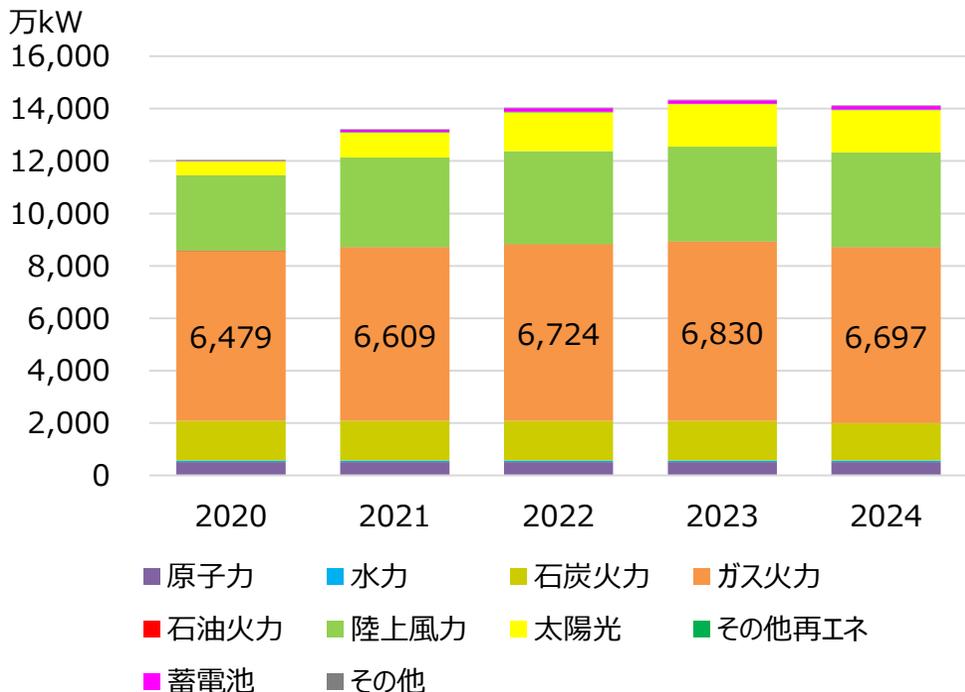


- 原子力
- 水力
- 石炭火力
- ガス火力
- 石油火力
- 陸上風力
- 太陽光
- その他再エネ
- 蓄電池
- その他

(出所) EIA, "Preliminary Monthly Electric Generator Inventory"(2020年11月時点)

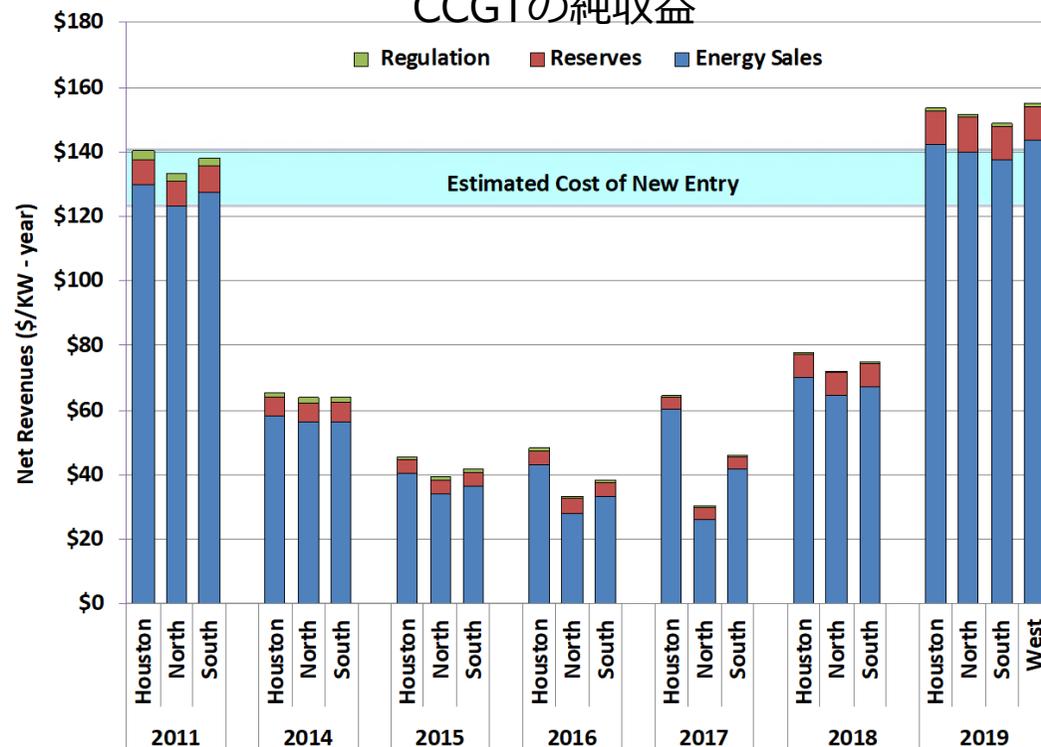
- ERCOTエリア発電設備見通しを見ると石炭火力の廃止が進むが、ガス火力の新設もあることから2024年までに従来型設備が124万kW増でガス火力依存が進む見込み。そのため寒波に備えたガス供給の見直しやガス火力の寒波対策が必要と考えられる。
- CCGTの純収益推定値は2011年及び2019年で利潤が出る水準だが、それ以外の年では固定費を回収できない水準であった。2030年に向けて新規のガス火力発電を呼び込むのが難しい状況にあるため、収益性改善を進める必要がある。

ERCOTエリア発電設備見通し



(出所) EIA, "Preliminary Monthly Electric Generator Inventory"(2020年11月時点) より作成

CCGTの純収益



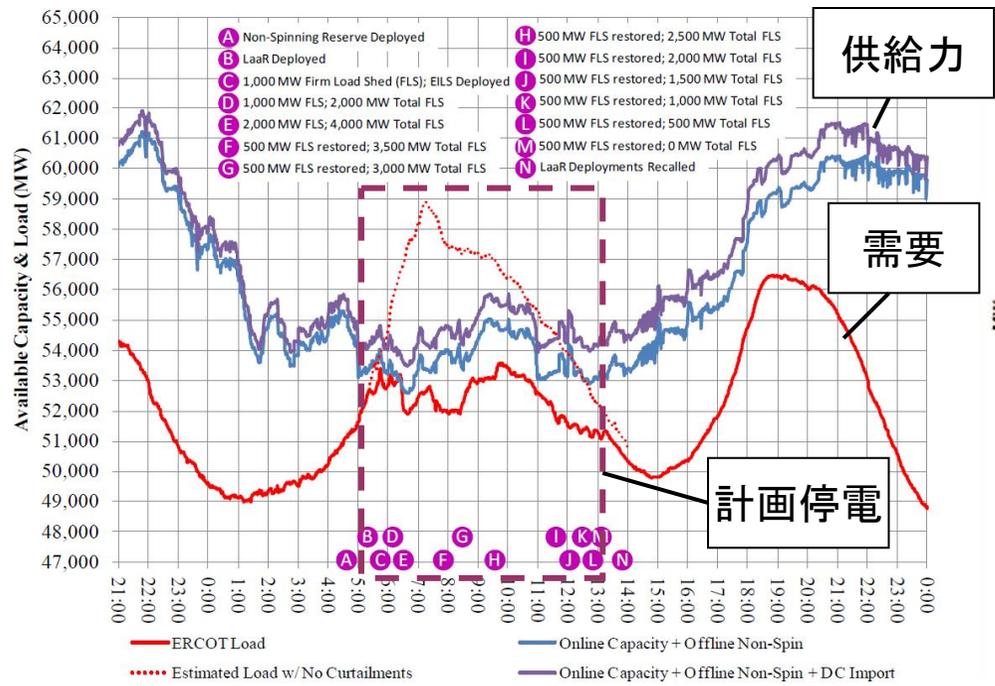
(出所) Potomac Economics, "2019 State of the Market Report for the ERCOT Electricity Markets", 2020年5月

【参考】2011年2月2日ERCOT輪番停電

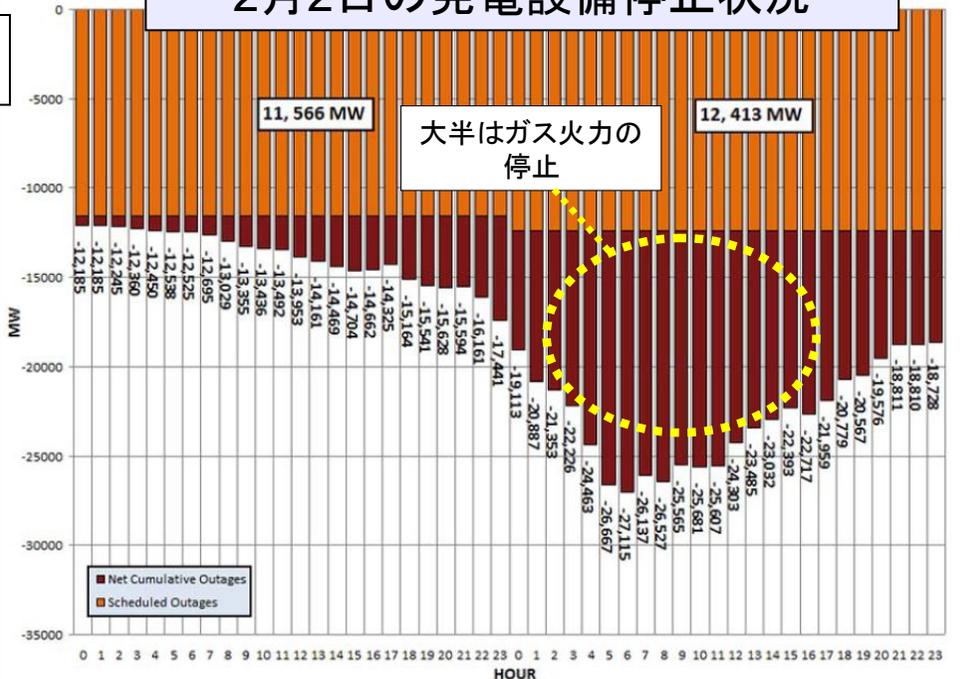
2月初旬の寒波はテキサス州を中心にエネルギー供給に大きな影響を与えた。2月2日には設備の凍結や天然ガスの供給停止等に起因した深刻な発電設備の計画外停止が生じ、当日の最大電力が6,000万kW近くまで増加することが予想されたことで、供給力不足に陥った。そのためERCOTは累計で400万kWの輪番停電を実施し、320万口の需要家に影響が生じた。

時刻	措置
5:20	ERCOTは応答予備力サービスを契約している需要家の負荷を削減、5:46までに緊急時負荷遮断サービス及びその他需要反応サービスを実施。
5:43	寒波の到来に伴う多数の発電設備停止に伴い、ERCOTがエネルギー緊急時警報（EEA）レベル3を宣言するとともに100万kWの輪番停電実施
6:30	ERCOTは累計で400万kWの輪番停電実施
8:00	ERCOTは50万kWの輪番停電からの復旧を開始
13:00	ERCOTは輪番停電からの復旧を終了

2月2日の需給と計画停電

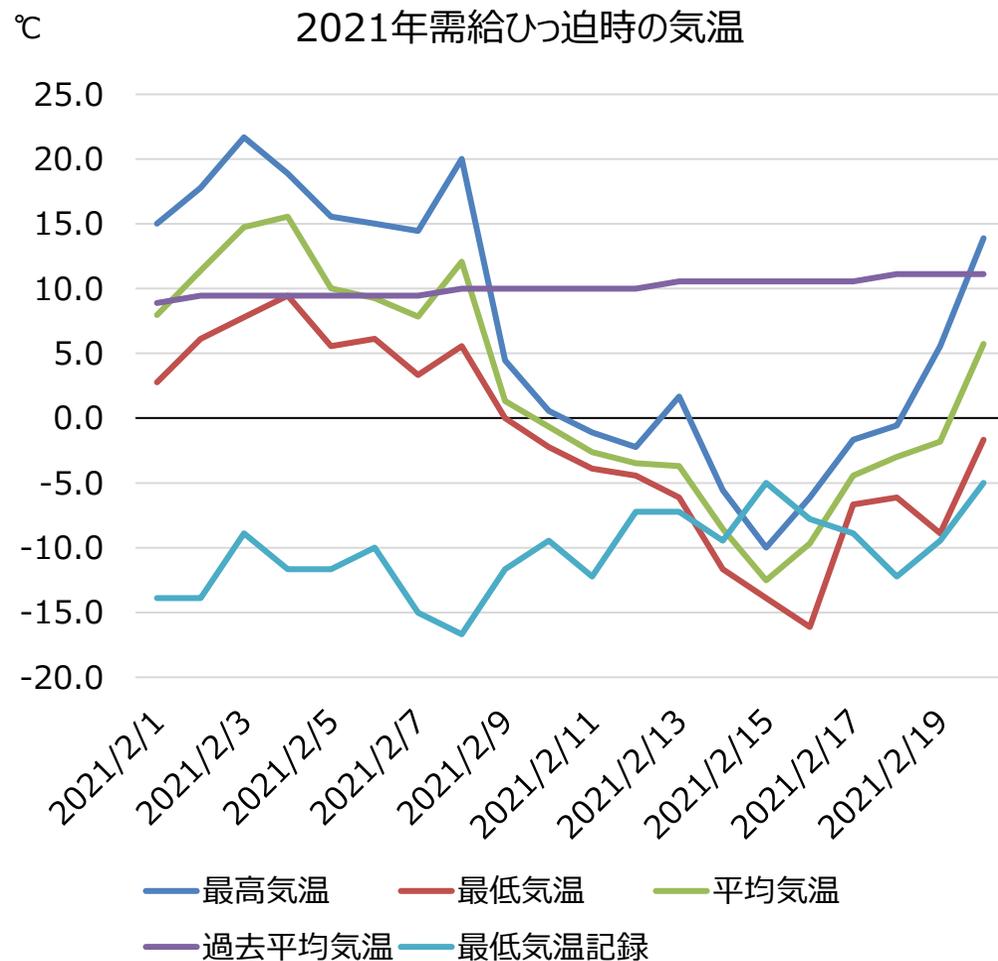
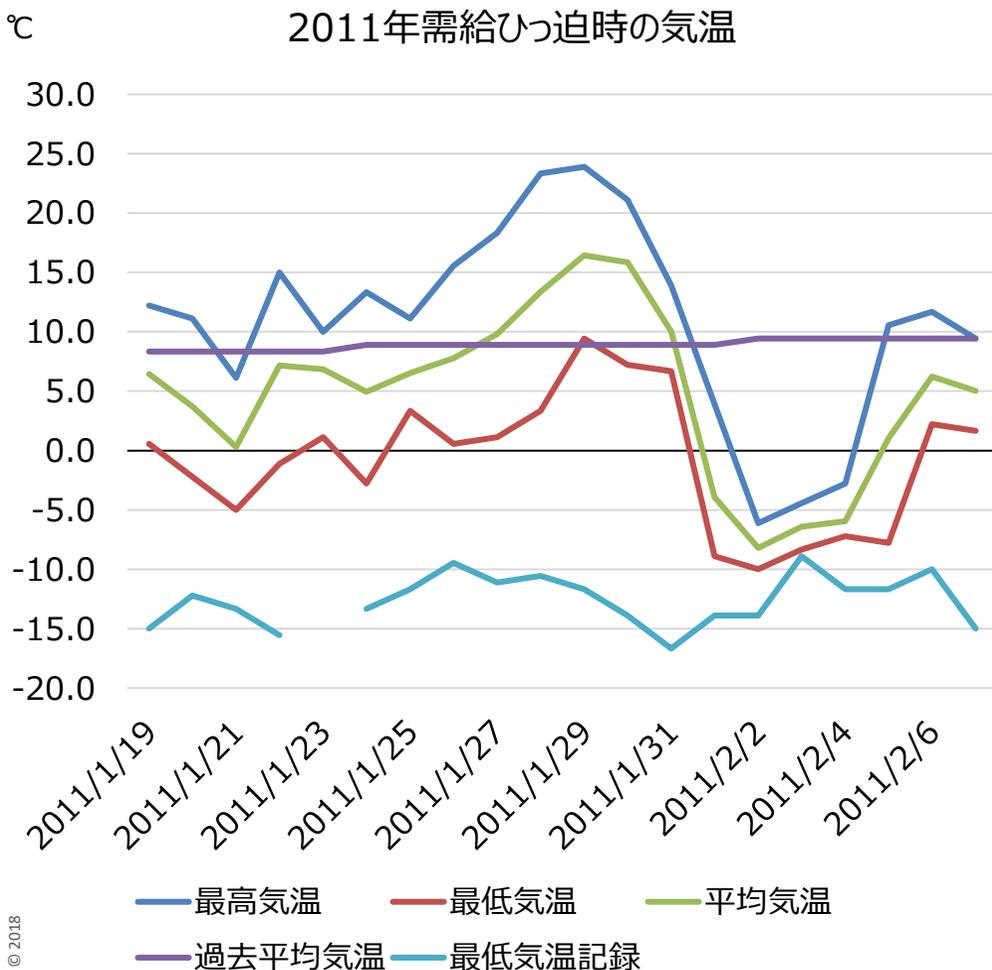


2月2日の発電設備停止状況



2011年・2021年需給ひっ迫時の気温（ダラス）

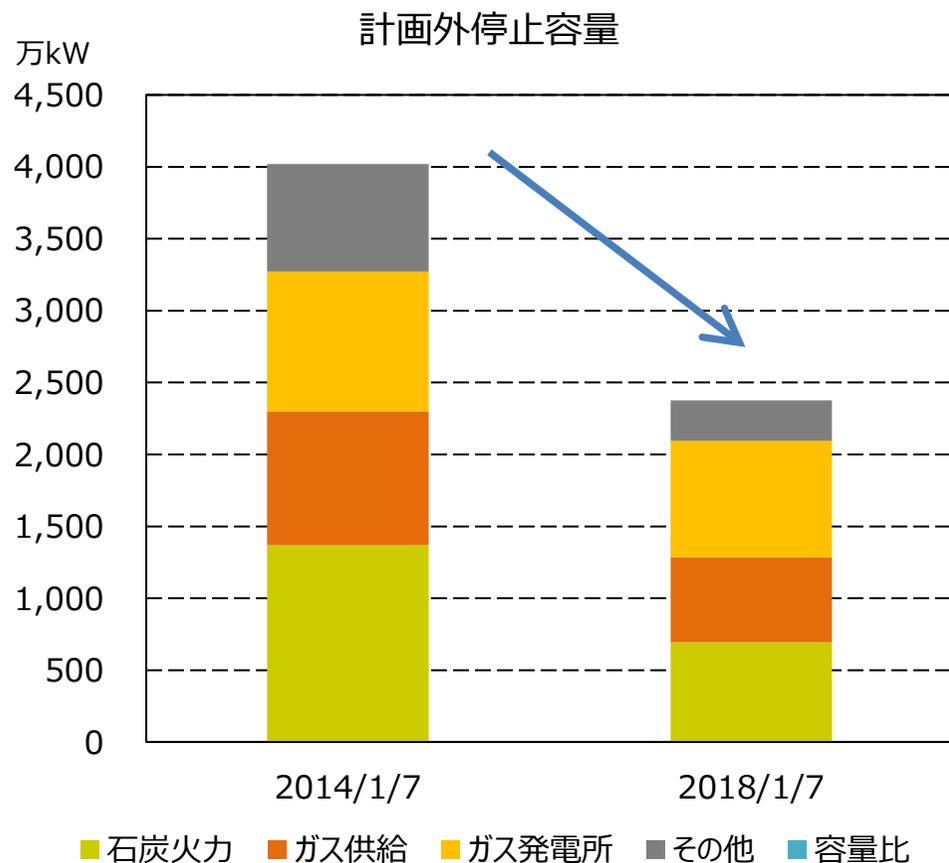
- 2011年の需給ひっ迫時に比べても2021年は低気温の期間が長く気温も低水準であった。FEMA（Federal Emergency Management Agency）の見通しでも2月13日までは1年～5年に一度の寒さと予想していたが、翌14日に5年から10年に一度に変更されており、寒さが予想外であったことが分かる。



(出所) Weather Underground (<https://www.wunderground.com/>) より作成

PJMのCapacity Performance制度

- PJMでは2016年受渡分からCapacity Performanceという制度を容量市場に導入した。受渡年において極端な気象条件でも稼働を確保するため、必要な運転維持投資を行うことが期待される（寒波時に燃料、コンベア、配管が凍結しないような措置等）。



- 2014年1月初旬の寒波時に比べると2018年1月初旬の寒波時には低気温が長く続き計画外停止容量が増加したが、2014年1月初旬に比べると計画外停止容量が減少して、寒波の影響が緩和している。
- なおCapacity Performance制度に参加している供給力はNet CONEにバランス率（2022/23年受渡分は77.57%）を乗じた値で入札することができる。
- ※ バランス率は容量市場に参加しないEnergy Only型供給力に比べてCapacity Performance供給力が不利にならないための措置である。緊急時のEnergy Only型供給力の容量提供に追加的な報酬が支払われるが、それに見合う報酬を確保するために比率が算定される。

(出所) PJM, "PJM Cold Snap Performance Dec. 28, 2017 to Jan. 7, 2018", 2018年2月

ERCOTの寒波対策について

- テキサス州では2011年2月2日に続き2014年1月6日にも寒波で需給ひっ迫を起こしたことで、テキサス州公益事業委員会は2014年6月24日に§ 25.53 - Electric Service Emergency Operations Plans を制定し、発電事業者は冬季（12月から2月）に高い信頼度を維持するために不可欠な設備の気候への耐性を確保する計画を策定し、実施することが求められることになった。自らの取った対策を毎年公益事業委員会へ提出し、必要な対策を取っていることを宣言することが求められる。
- こうした対策により、2017年1月7日及び2018年1月17日の寒波でも凍結による設備の停止量は大きく減少した。そうしたことを踏まえると今回の寒波は過去の寒波に比してより厳しく地域的にも広範囲であったことが大量の設備停止に繋がったと考えられる。

過去の寒波との比較

	2011/2/2	2014/1/6	2017/1/7	2018/1/17	2021/2/15
Dallas	-10.6℃	-9.4℃	-10.0℃	-10.6℃	-13.9℃
Houston	-6.1℃	-2.8℃	-6.1℃	-7.2℃	-7.8℃
San Antonio	-7.2℃	-2.8℃	-6.7℃	-5.0℃	-12.8℃
Austin	-7.8℃	-6.7℃	-7.2℃	-7.8℃	-12.2℃
Brownsville	0.0℃	2.8℃	-1.1℃	-1.1℃	-17.8℃
Abilene	-13.9℃	-11.7℃	-12.8℃	-13.3℃	-18.9℃
Midland	-14.4℃	-10.0℃	-12.2℃	-2.2℃	-18.9℃
状態	EEA3 最大400万kW負荷遮断 最大計画外停止容量 2,972.9万kW	EEA2	平常運用	平常運用	EEA3 最大2,000万kW負荷遮断 最大計画外停止容量 4,624.9万kW

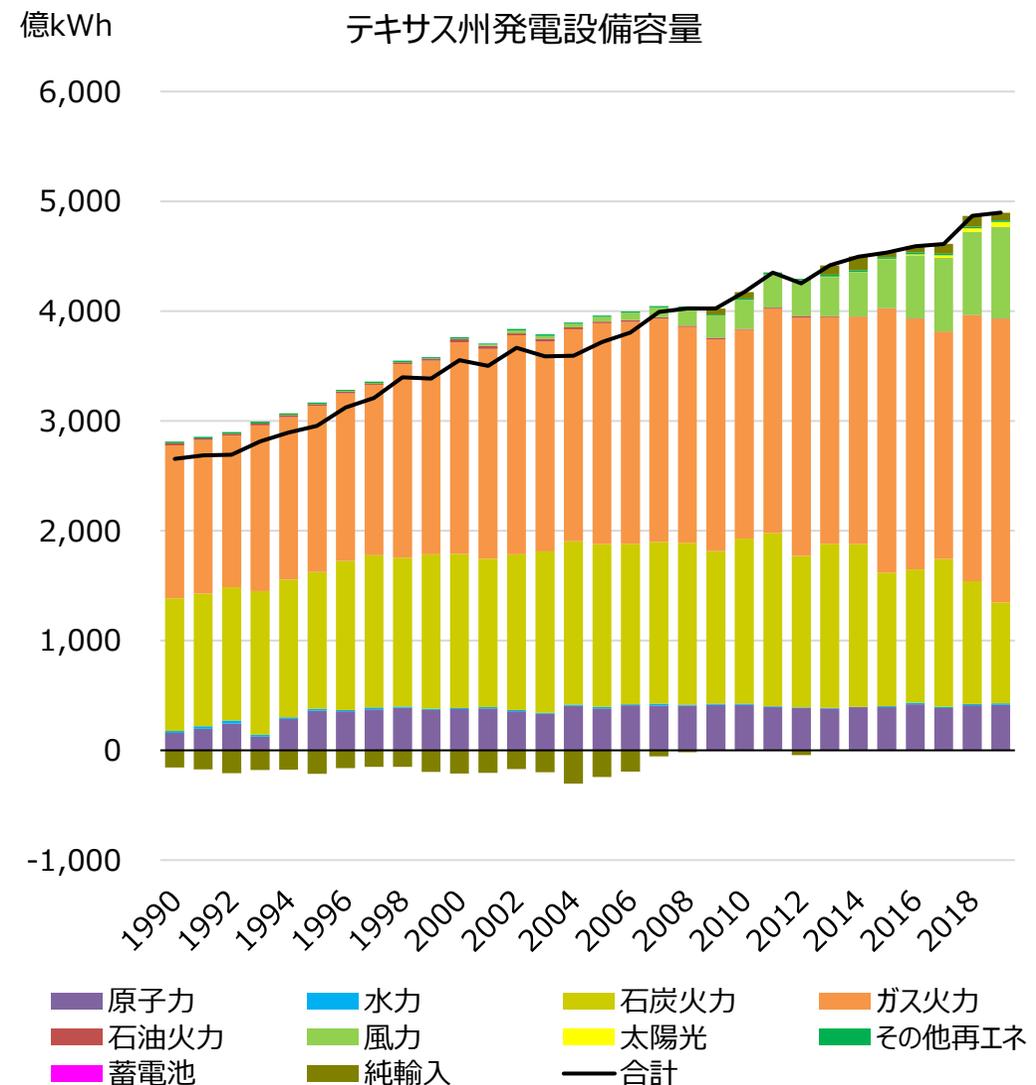
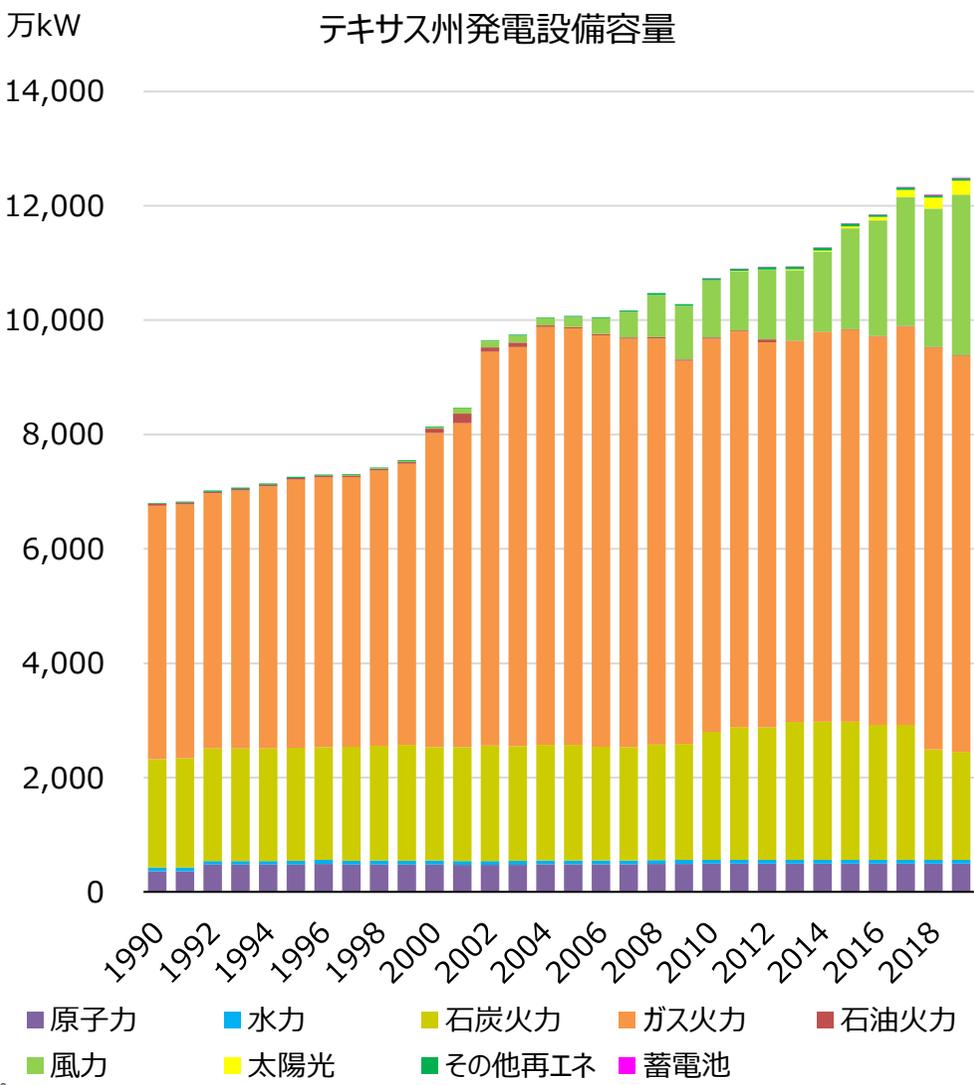
(注) EEA (Energy Emergency Alert) 3は輪番停電の宣言

(出所) ERCOT, "MISO Winter Readiness Workshop", 2018年10月に追記

まとめ

- テキサス州ERCOTはEnergy Only型卸電力市場である。2011年2月にも寒波で輪番停電を引き起こしたが、10年振りに再度需給ひっ迫に至った。2018年1月・2月に441.9万kWの石炭火力発電所が廃止されたことに伴い、それ以降の短期信頼度評価では猛暑・寒波時に需給ひっ迫が生じる可能性が指摘されていた。
 - 今回の需給ひっ迫は寒波による風力発電の停止とガス生産の減少により供給力が減少して輪番停電に至った。停電は2月15日1:25に開始され、2月17日中にほぼ平常運用に復帰した。発電設備の停止が回避されたとしても、過去の最低気温の記録を超える低い気温になり、夏季の猛暑時の最大電力に近い電力需要となった。このためガス発電用ガス需要が暖房用ガス需要と競合するため、需給ひっ迫の回避は難しかったと考えられる。
 - テキサス州では石炭火力の廃止が進展しており、従来型発電設備に占めるガス火力の割合が増加する見込みである。ERCOTでも2014年から発電設備への寒波対策を実施しており、2017年・2018年の寒波では停止設備は大きく減少した。今回の寒波は過去に比して厳しく広範囲であったことが大量の設備停止を招いた。一方でこうした対策がガス供給設備まで及んでいたかは疑問である。
 - 今回のERCOTの需給ひっ迫はベース型の石炭火力の廃止とガス供給不足が原因であり、卸スポット価格の高騰を含め日本の1月の需給ひっ迫と類似性が高い。
- ※ 連系線強化による域外供給力の調達は隣接州に大規模事業者がおらず、州を跨るプロジェクトとなるため現実性は低いと考えられる。

【参考】テキサス州発電設備容量・発電電力量



(出所) EIA, "State of Electricity Profile"より作成