

①テキサスの電力事情 ②FERCのストレージ・オーダー

第85回京大再エネ講座研究会説明資料

2018年4月10日

京大再エネ講座特任教授 山家公雄

目 次

I .テキサスの電力事情

1. テキサス州の概要
2. エネルギー関係者
3. エネルギー政策:完全自由化
4. 電力市場:Energy-Only-Market
5. 予備力対策(アデカシー)
6. 再エネ政策:風力
7. 再エネ(DER)政策:太陽光
8. ERCOT電力市場取引の特徴

II .ストレージが従来電源とイコールに:FERCのOrder841

1. テキサス州の概要

- 全米2位の経済規模(2015年)(＜CA州)、世界10位
 - *1兆4700億ドル: エネルギー、ハイテク、農業・牧畜、鉱業、宇宙、金融、商業
- 全米2位の人口2700万人(＜CA州)、人口増加
 - *産業、ラティノ移民(NAFTA経済)
 - *ヒューストン、サンアントニオ、ダラス、オースチン、フォートワース
- 全米2位の面積(＜アラスカ州)、70万m²、日本の2倍
- 地理: 東南部に人口、経済集中、西は砂漠、風力、
- 独立Independent、Lone-State
 - *系統が独立、卸市場は州内、ERCOTはFERCの管轄下にはない
 - *州を跨るシステムになると管轄を受ける、州外との連系線整備は微妙な問題
 - *独立志向、自らの規制で

テキサス州の大都市

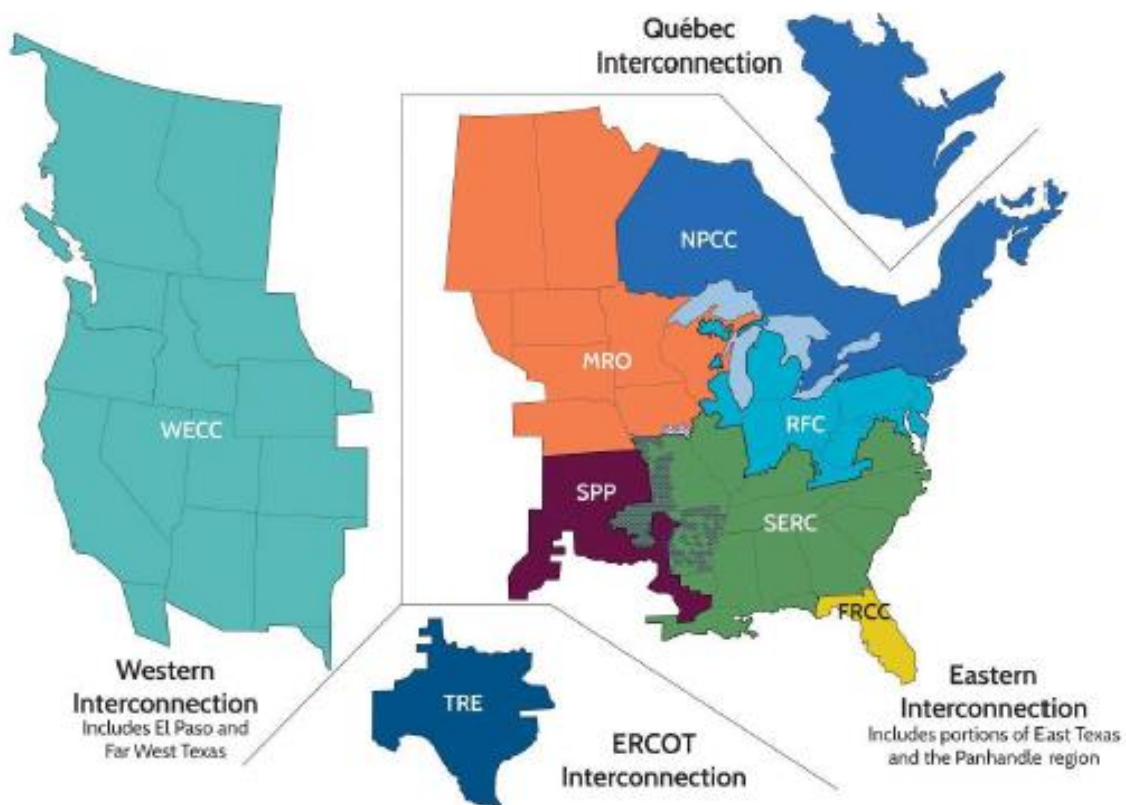


テキサス州 内人口順位	全米人口 順位	都市	人口 (2014 年)	地域
1	4	ヒューストン	2,239,558 人	南東部
2	7	サン・アントニオ	1,436,697 人	中央部
3	9	ダラス	1,281,047 人	北部
4	11	オースティン	912,791 人	中央部
5	16	フォートワース	812,238 人	北部
6	19	エル・パソ	679,036 人	西部

(出所) 幻冬社、Gold-Online

NERCとISO・RTO

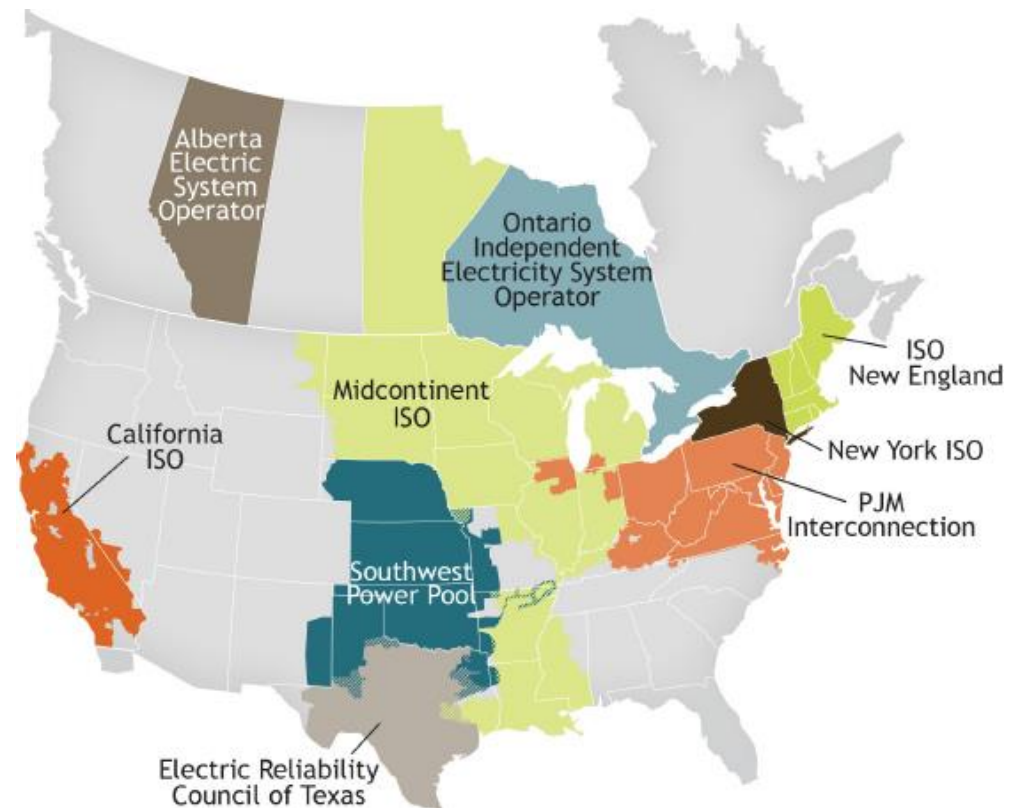
NERC マップ



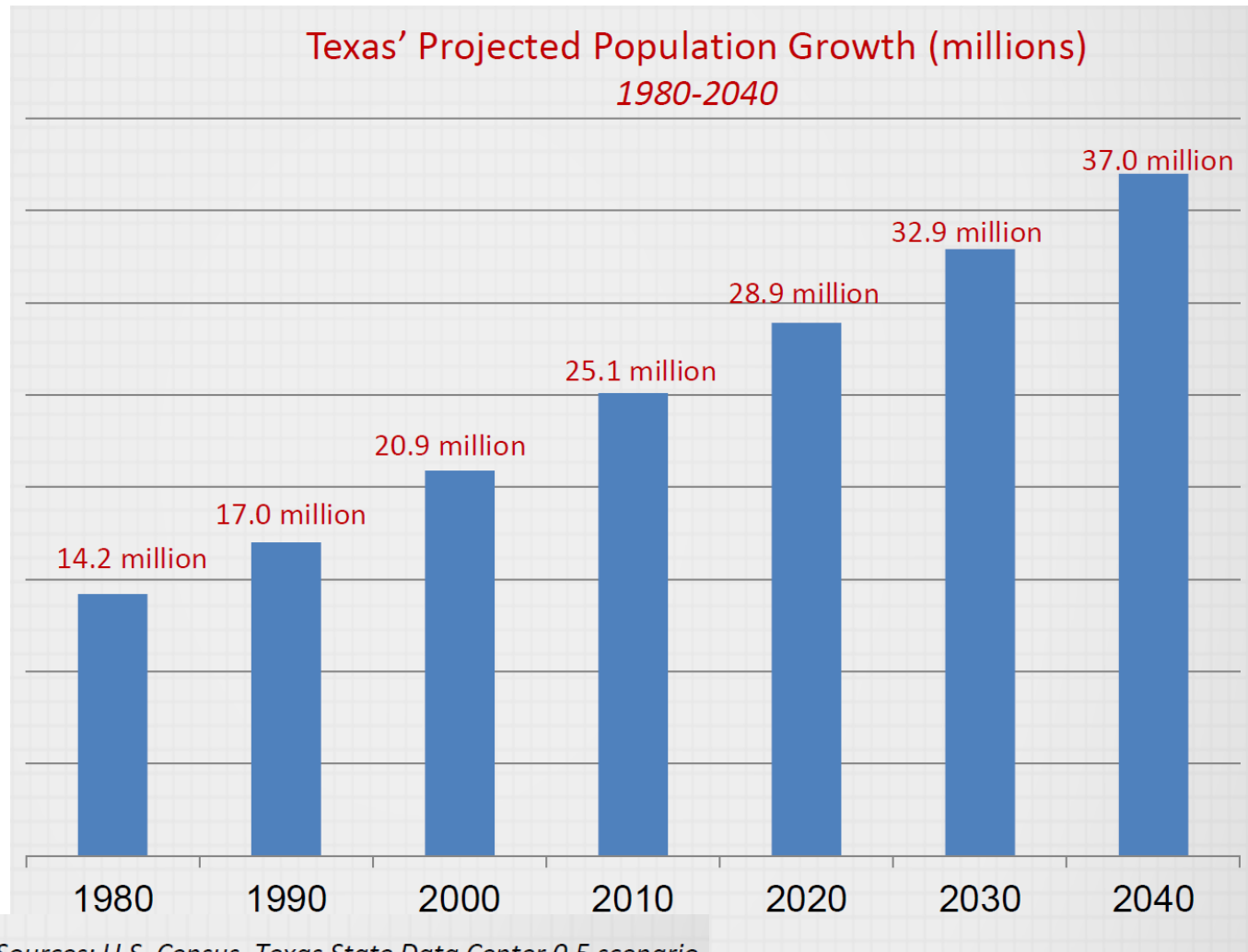
NERC: North American Electric Reliability Corporation
北米;電気信頼度協議会

(出所)ERCOT: NERC-Interconnection

ISO、RTOマップ



テキサス州の人口予想



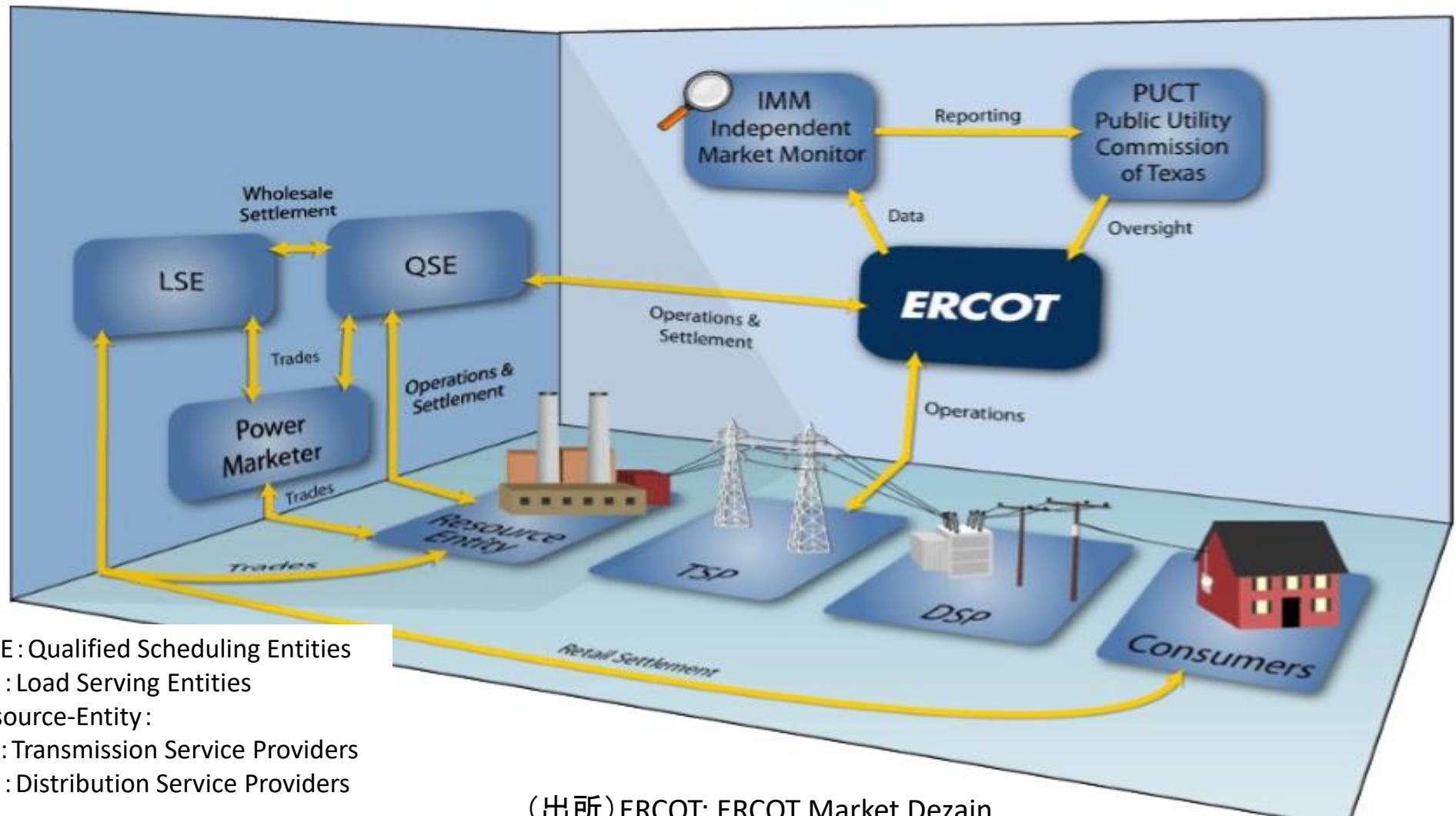
To meet increases in electric load created by Texas' rapid population and economic growth, Texas will require additional power, transmission and distribution, customer demand response and energy efficiency.

(出所) ACAT、the Wholesale Electric Market in ELCOT 2017

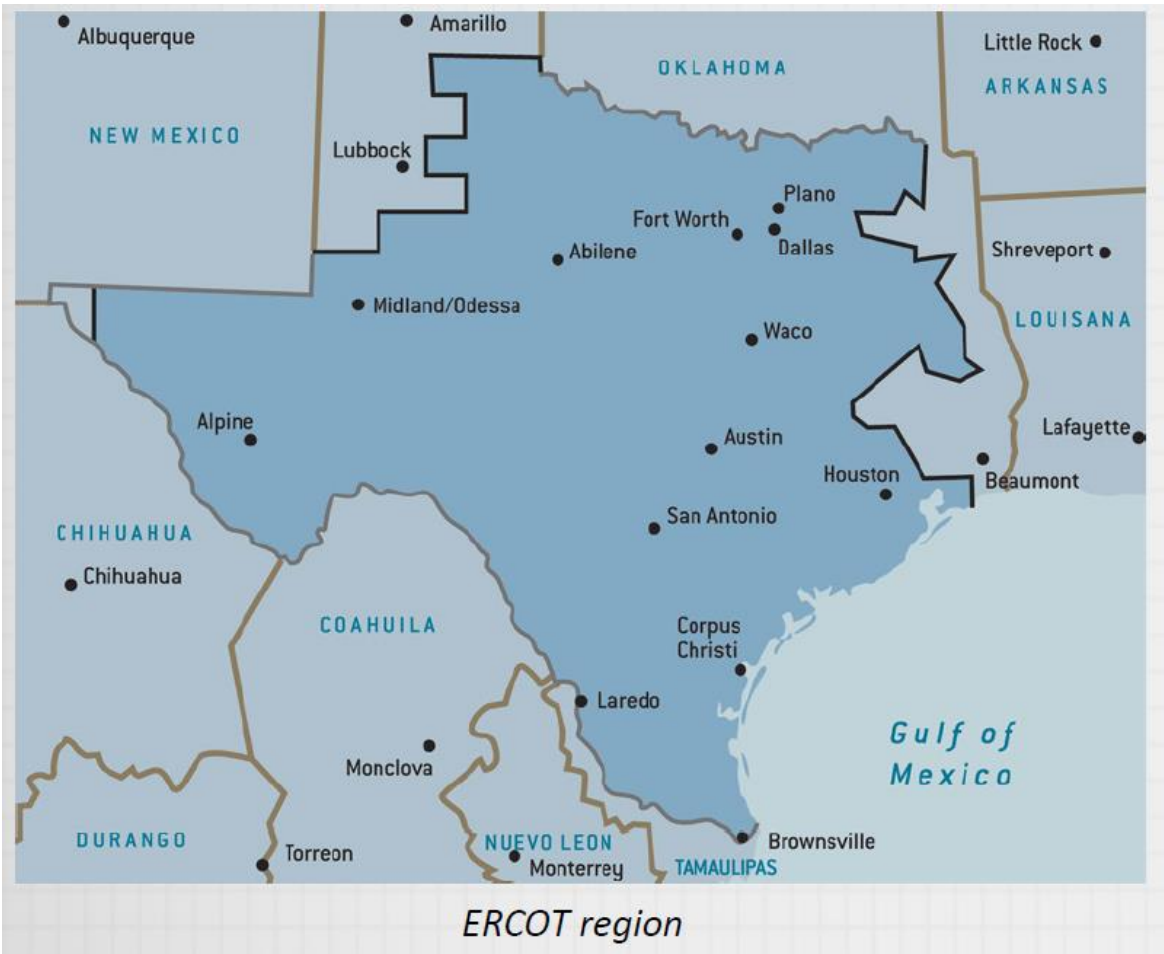
2. エネルギー関係者

- ・州政府、議会
- ・PUCT (Public Utility Commission of TX、公益事業委員会):
 - *政策執行、規制、消費者保護、ユテリティのタリフ、省エネ助成
- ・ERCOT: 電力信頼性維持機関、ISO、MO (市場取引運用者)
 - *電力需要の9割をカバー
 - *電力、ガス、上下水、通信等
- ・ユテリティ (送電TSP、配電DSP、ガスPL)
- ・発電: Resource Entities
- ・小売り: LSE (Local Service Entities)
- ・その他: アグリゲーター、マーケッター等
- ・発送電一貫の市営会社 (オースチン、サンアントニオ等)、COOP
- ・旧ユテリティ:
 - *ヒューストン: センターポイント、リライアント
 - *ダラス: TXU、Oncor

ERCOT: 市場参加者



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

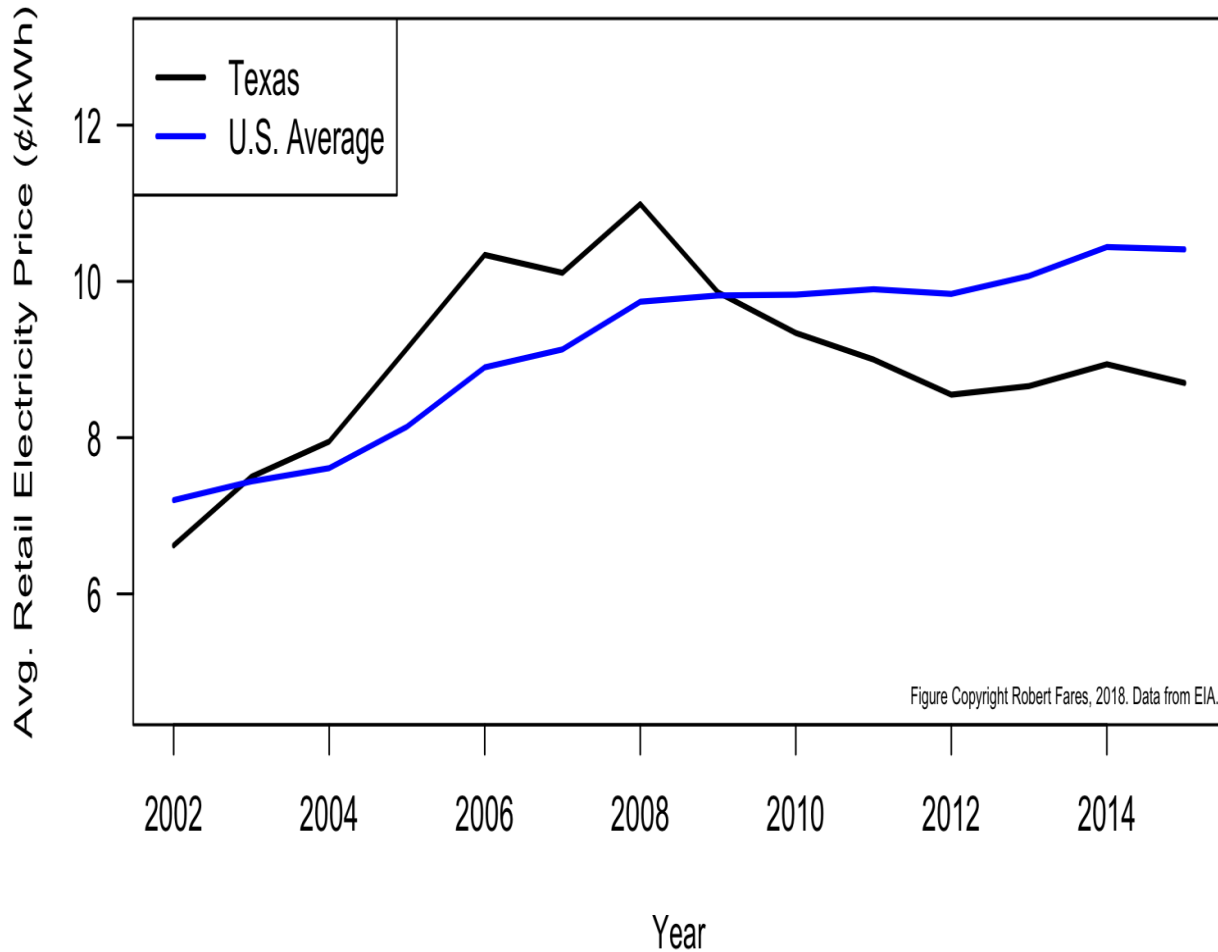
- 90% of the electric load in Texas is in ERCOT
- 75% of ERCOT's load is in the competitive market, including 24 million customers
- Over 550 generating units, providing 77,000 MW of generating capacity during peak demand
- 46,500 miles of high-voltage transmission

(出所) ACAT、the Wholesale Electric Market in ERCOT 2017

3. エネルギー政策：完全自由化

- ・完全自由化：徹底した自由化、デファクト（標準価格適用）なし、Power-to-Choose
 - *自由化：1999年州法、2002年完全自由化、2007年デファクト制度なくなる
 - *2014年容量市場問題決着→Energy-Only-Market
- ・構造改革（アンバンドリング）
- ・自由化、NO1の成功事例を継続、自由化思想
- ・小売り価格も下がる、小売り自由化制度はうまく機能
 - *92%はスイッチ、PUCの指令でDSOがweb創設、LSEが料金情報公開、PUCが監視
 - *Power-to-Choose：価格水準、再エネ比率、低所得者向け、固定と変動、前払い
- ・容量市場を創設せず
 - *2011～2014年容量市場について議論→十分に予備力あり、健全という結論
 - *予備率12%でOK：3年に1回の停電と適度の出力抑制で
 - *実際は予備率を13.4%に設定
 - *アデカシーの確保：エネルギー市場で確保できる（リアルタイム、前日、アンシラリー）
- ・再エネ普及：RPS（1999年）：絶対量の目標、2010年に前倒し達成
- ・省エネ促進（1999年）：小売りに義務化、助成

小売り電力料金の推移(全米、TX、2002～2015)



(資料) EIA (出所) Scientific-American

小売り事業者数と商品数(2016/9)

TDU Service Territory ³	Residential Suppliers	Number of Products
AEP Central	52	355
AEP North	49	295
CenterPoint	55	400
Oncor	55	390
Sharyland – McAllen	14	103
Sharyland Utilities	22	155
TNMP	49	320

(出所) PUCT: Scope of Competition in Electric Markets in Texas

Shop. Compare. Choose.

1-10 OF 198

1 2 3 ...

SORT BY

PRICE/kWh

VIEW

10 PER ...



COMPARE

Company

Plan Details

Price/kWh ▲

Pricing Details

Ordering Info



pennywise POWER

COMPANY RATING



HISTORY

- Wise Buy Complete 12
- Fixed Rate
- 12 Months
- 10% Renewable
- NEW CUSTOMERS

1,000 kWh
2.9¢
500 kWh 2000 kWh
5.8¢ 10.6¢

Cancellation Fee: \$150.00

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

(855) 265-9153
OR

SIGN UP



Infuse Energy

COMPANY RATING



HISTORY

- Keep It Simple Savings 12
- Fixed Rate
- 12 Months
- 15% Renewable
- NEW CUSTOMERS

1,000 kWh
2.9¢
500 kWh 2000 kWh
5.8¢ 12.9¢

Cancellation Fee: \$200.00

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

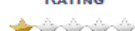
(844) 463-8732
OR

SIGN UP



LifeEnergy

COMPANY RATING



HISTORY

- Simple Life Green 12
- Fixed Rate
- 12 Months
- 100% Renewable
- NEW CUSTOMERS

1,000 kWh
3¢
500 kWh 2000 kWh
6¢ 12.4¢

Cancellation Fee: \$175.00

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

(844) 662-1222
OR

SIGN UP



Gexa ENERGY

COMPANY RATING



HISTORY

- Smart Choice 1000 Plus 12
- Fixed Rate
- 12 Months
- 6% Renewable
- NEW CUSTOMERS

1,000 kWh
3¢
500 kWh 2000 kWh
6¢ 9.9¢

Cancellation Fee: \$150.00

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

(866) 329-4392
OR

SIGN UP



express ENERGY

COMPANY RATING



HISTORY

- Quick 18
- Fixed Rate
- 18 Months
- 6% Renewable
- NEW CUSTOMERS

1,000 kWh
3.1¢
500 kWh 2000 kWh
6.2¢ 12.5¢

Cancellation Fee: \$20 per month remaining

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

(844) 361-2075
OR

SIGN UP



Infuse Energy

COMPANY RATING



HISTORY

- Keep It Simple Savings 9
- Fixed Rate
- 9 Months
- 15% Renewable
- NEW CUSTOMERS

1,000 kWh
3.1¢
500 kWh 2000 kWh
6.2¢ 13.6¢

Cancellation Fee: \$175.00

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

(844) 463-8732
OR

SIGN UP



Infuse Energy

COMPANY RATING



HISTORY

- Keep It Simple Savings 3
- Fixed Rate
- 3 Months
- 15% Renewable
- NEW CUSTOMERS

1,000 kWh
3.1¢
500 kWh 2000 kWh
6.2¢ 11.3¢

Cancellation Fee: \$100.00

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

(844) 463-8732
OR

SIGN UP



Infuse Energy

COMPANY RATING



HISTORY

- Keep It Simple Savings Green 6
- Fixed Rate
- 6 Months
- 100% Renewable
- NEW CUSTOMERS

1,000 kWh
3.1¢
500 kWh 2000 kWh
6.2¢ 14.7¢

Cancellation Fee: \$150.00

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

(844) 463-8732
OR

SIGN UP



Infuse Energy

COMPANY RATING



HISTORY

- Keep It Simple Savings Green 9
- Fixed Rate
- 9 Months
- 100% Renewable

1,000 kWh
3.1¢
500 kWh 2000 kWh
6.2¢ 13.7¢

Cancellation Fee: \$175.00

Fact Sheet
Terms of Service

Special Terms

(844) 463-8732
OR

SIGN UP

(出所)Power-to-choose

小売り電力料金比較(対自由化前、対全米)

Inflation-Adjusted Comparison of Residential Regulated and Competitive Rates (2016/9)

TDU Service Territory ⁶	Last Regulated Rate (2001), ¢/kWh ⁷	Last Regulated Rate, Adjusted for Inflation	Current Lowest Fixed Price ⁸	Percentage Change
AEP Central	9.6	13.1	5.6	-57.25%
AEP North	10.0	13.6	5.0	-63.24%
CenterPoint	10.4	14.1	5.4	-61.7%
Oncor	9.7	13.2	4.5	-65.91%
TNMP	10.6	14.4	5.0	-65.28%

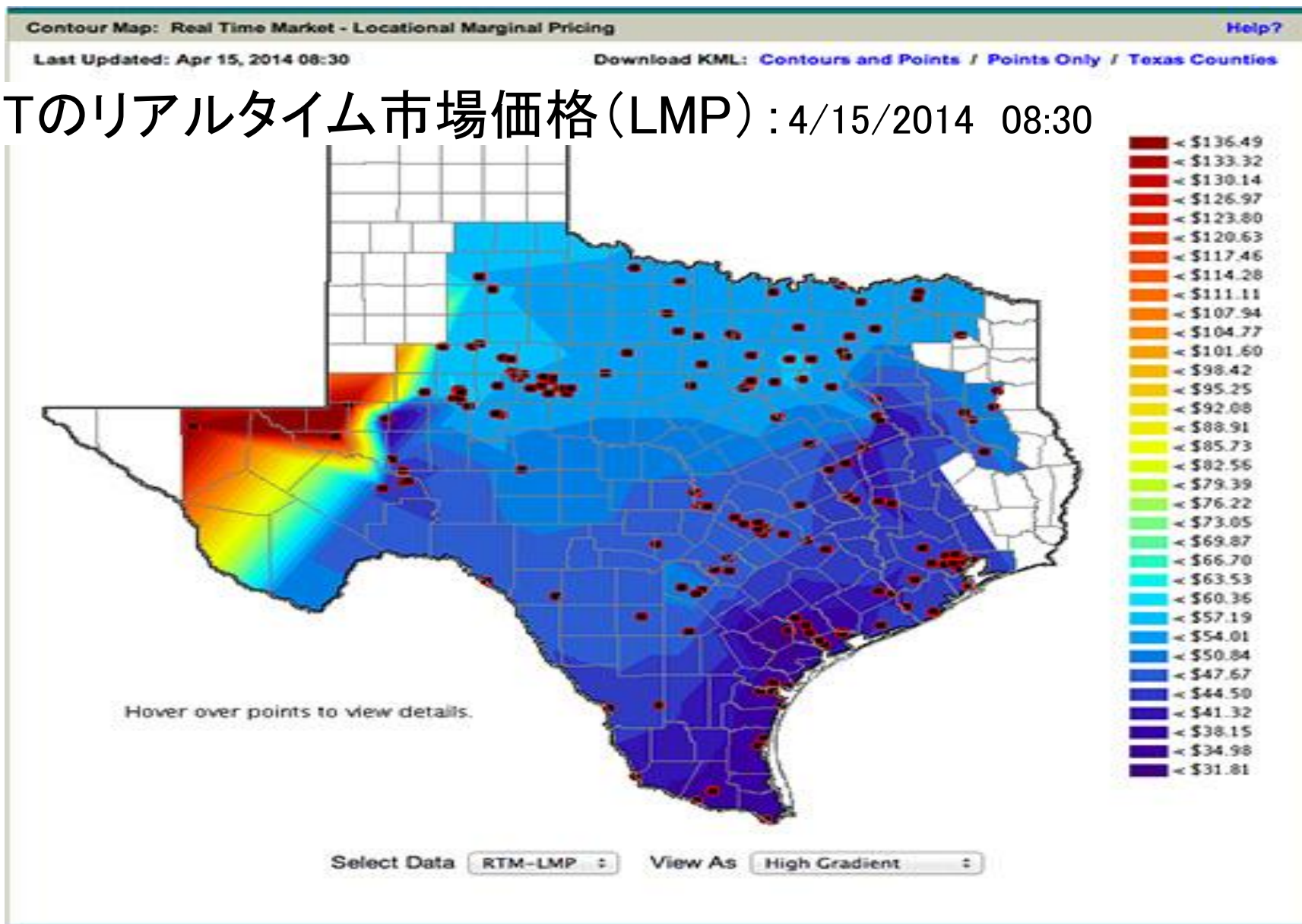
Current Lowest and Average Residential Plans by TDU Service Territory (2016/9)

TDU Service Territory	Current Lowest Fixed Price (¢/kWh) ¹¹	Current Average, All Available Plans ¹²	Nationwide Average ¹³
AEP Central	5.6	9.4	13.45
AEP North	5.0	9.4	
CenterPoint	5.4	9.1	
Oncor	4.5	8.3	
Sharyland – McAllen	5.6	9.8	
Sharyland Utilities	4.5	13.3	
TNMP	5.0	9.2	

(出所) PUCT: Scope of Competition in Electric Markets in Texas

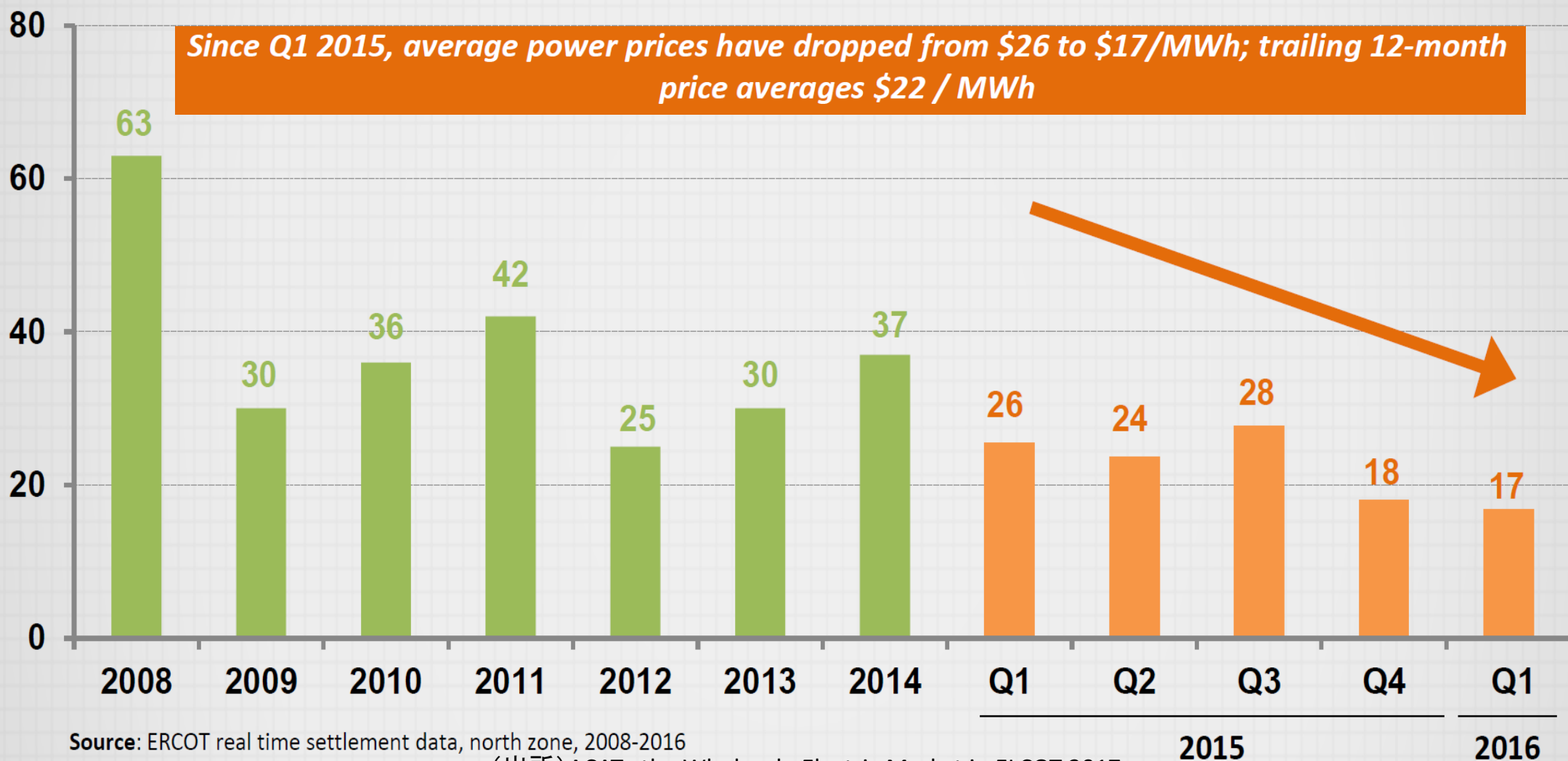
4. 電力市場: Energy-Only-Market

- ・リアルタイムが基本、多くの取引は相対
- ・前日取引: リスクヘッジが主 (金融取引)
- ・LMP (Locational Marginal Prices)、セトルメントは5つのゾーン
- ・電力コスト: リアルタイム価格 + α
 - *リアルタイムコストの殆どはガス価格による、ガス火力が主で限界設備 (均衡価格)
 - *限界設備対応のガス価格が各発電設備の稼働目安
- ・ α は予備力 (容量) コスト、アンシリリー等
- ・予備力コスト: VOLL (Value of Lost Load)、VCOR (Volume Curve of Reserve)、VOLLの価値は9000ドル/MWhでこれがRTのキャップ、
- ・卸市場 (エネルギー取引) は十分に機能
 - *価格は顕著に低下、数年で4割
 - *限界費用、風力↑、ガス↑、原子力→、石炭↓
 - *主因はガス価格低下、限界設備がガスなのでガス価格の低下はほぼそのまま電力価格の低下に繋がる

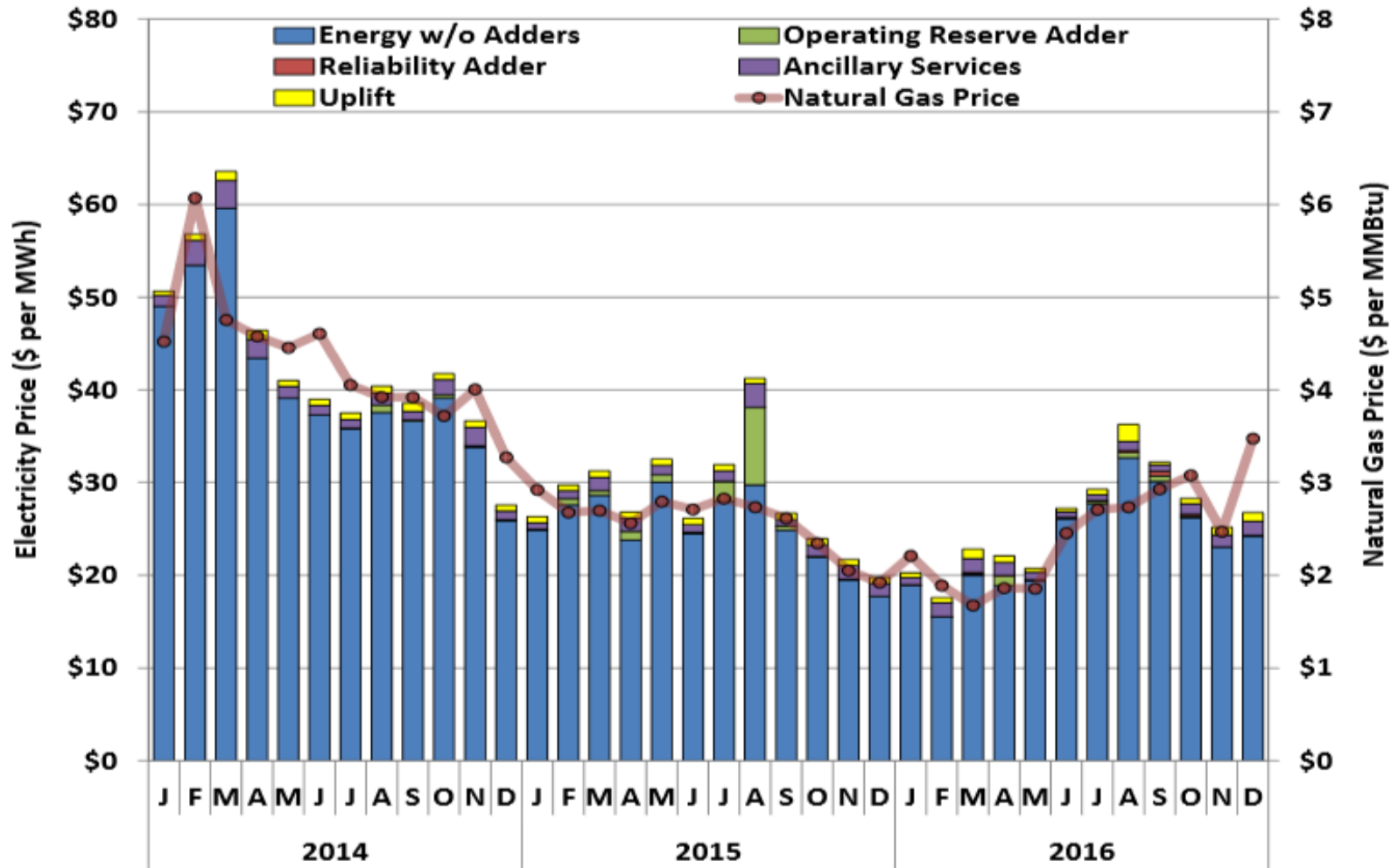


電力価格の推移 (ERCOT、リアルタイム、North-Zone)

Since Q1 2015, average power prices have dropped from \$26 to \$17/MWh; trailing 12-month price averages \$22 / MWh



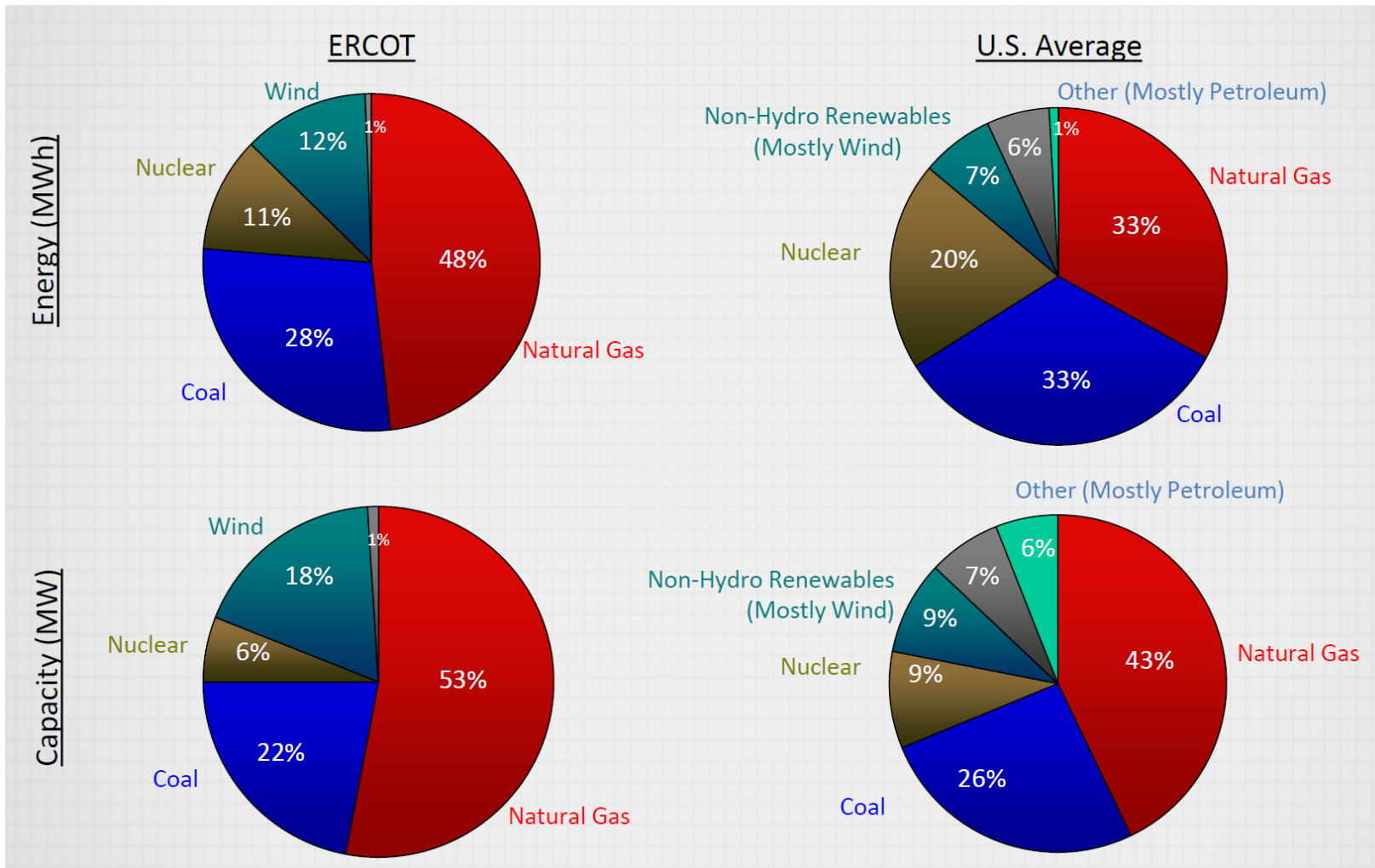
all-in平均リアルタイム価格の推移①(ERCOT、14/1～16/12)



For this analysis **uplift** includes:
 Reliability Unit Commitment
 Settlement, Operating Reserve
 Demand Curve (ORDC) Settlement,
 Revenue Neutrality Total,
 Emergency Energy Charges, Base
 Point Deviation Payments,
 Emergency Response Service
 (ERS) Settlement, Black Start
 Service Settlement, and Block
 Load Transfer Settlement.

(出所) 2016 State of the Market Report for the ERCOT Electricity Markets (5/2017)

ERCOTの電力ミックス(2015年): ガスが多い



Sources: ERCOT (2015 data); EIA (2015 data)

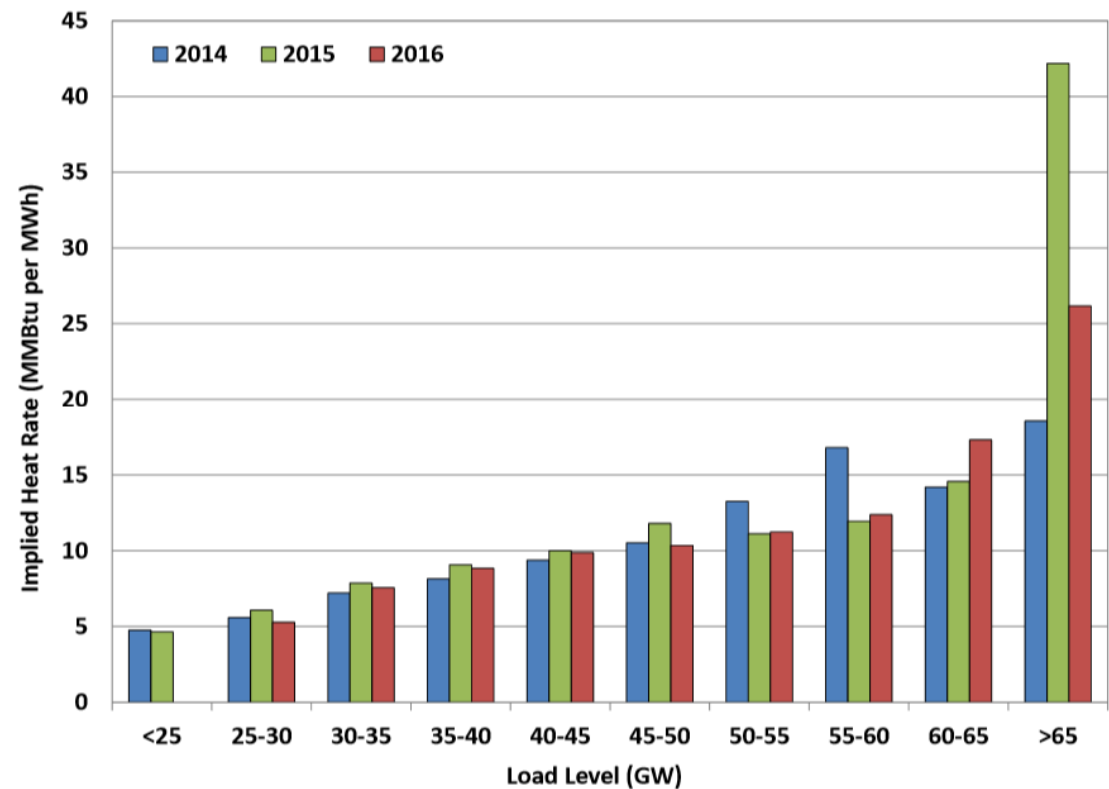
(出所) ACAT, the Wholesale Electric Market in ERCOT 2017

平均リアルタイム価格：ゾーン毎、の推移 ① (ERCOT)

年間平均リアルタイム価格の推移(ゾーン毎)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ERCOT	\$53.23	\$28.33	\$33.71	\$40.64	\$26.77	\$24.62
Houston	\$52.40	\$27.04	\$33.63	\$39.60	\$26.91	\$26.33
North	\$54.24	\$27.57	\$32.74	\$40.05	\$26.36	\$23.84
South	\$54.32	\$27.86	\$33.88	\$41.52	\$27.18	\$24.78
West	\$46.87	\$38.24	\$37.99	\$43.58	\$26.83	\$22.05
Natural Gas						
(\$/MMBtu)	\$3.94	\$2.71	\$3.70	\$4.32	\$2.57	\$2.45

Implied Heat Rate and Load Relationship



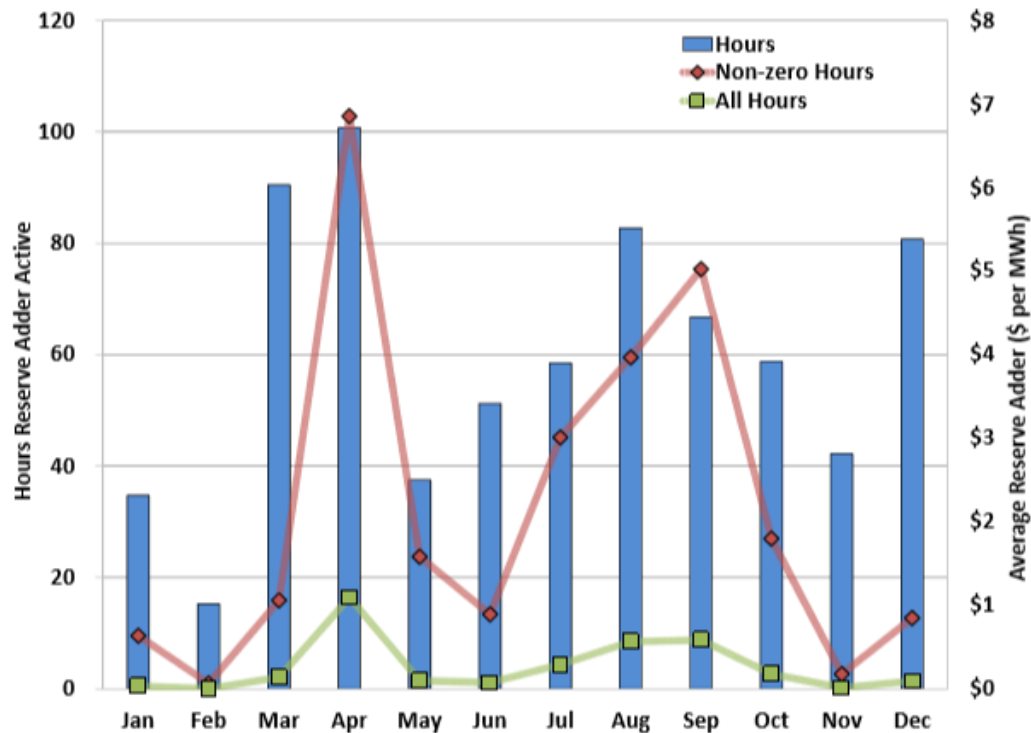
(出所) 2016 State of the Market Report for the ERCOT Electricity Markets (5/2017)

5. 予備力対策(アデカシー)

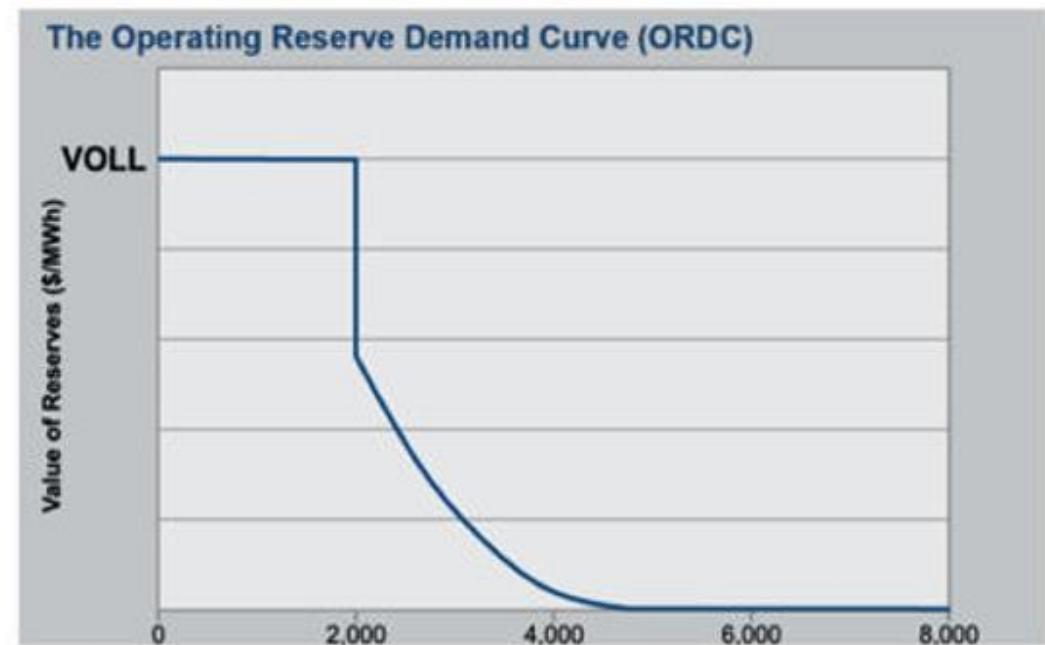
- ・容量市場を創設せず: Energy-Only-Market
 - *2011～2014年容量市場について議論
 - *ユテリティ系の発電会社vs産業、消費団体、NGO
 - 特に産業、エネルギー多消費型が多い、死活問題、
 - *十分に予備力あり、健全という結論
 - *予備率12%でOK:3年に1回の停電と適度の出力抑制で、実際は13.4%に設定
 - *アデカシーの確保:エネルギー市場で確保できる(リアルタイム、前日、アンシラリー)
- ・予備力確保対策とコスト:
 - *ORDC(Operating Reserve Demand Curve)
 - *VOR(Value of Reserve)
 - *VOLL(Value of Lost Load) ---VOLLの価値は9000ドル/MWhでこれがRTのキャップ、
- ・卸価格の顕著な低下
- ・苦境に立つ石炭、原子力:特に石炭
 - *TXUの破綻:Future-Energy-Holdingsの破たん、TXU-Energy、Oncor
- ・アデカシー不足を心配する向きも、容量市場創設を巡る論争:

アデカシーの備えと市場価格キャップ: ORDC

Operating Reserve Adder



ERCOT's new ORDC



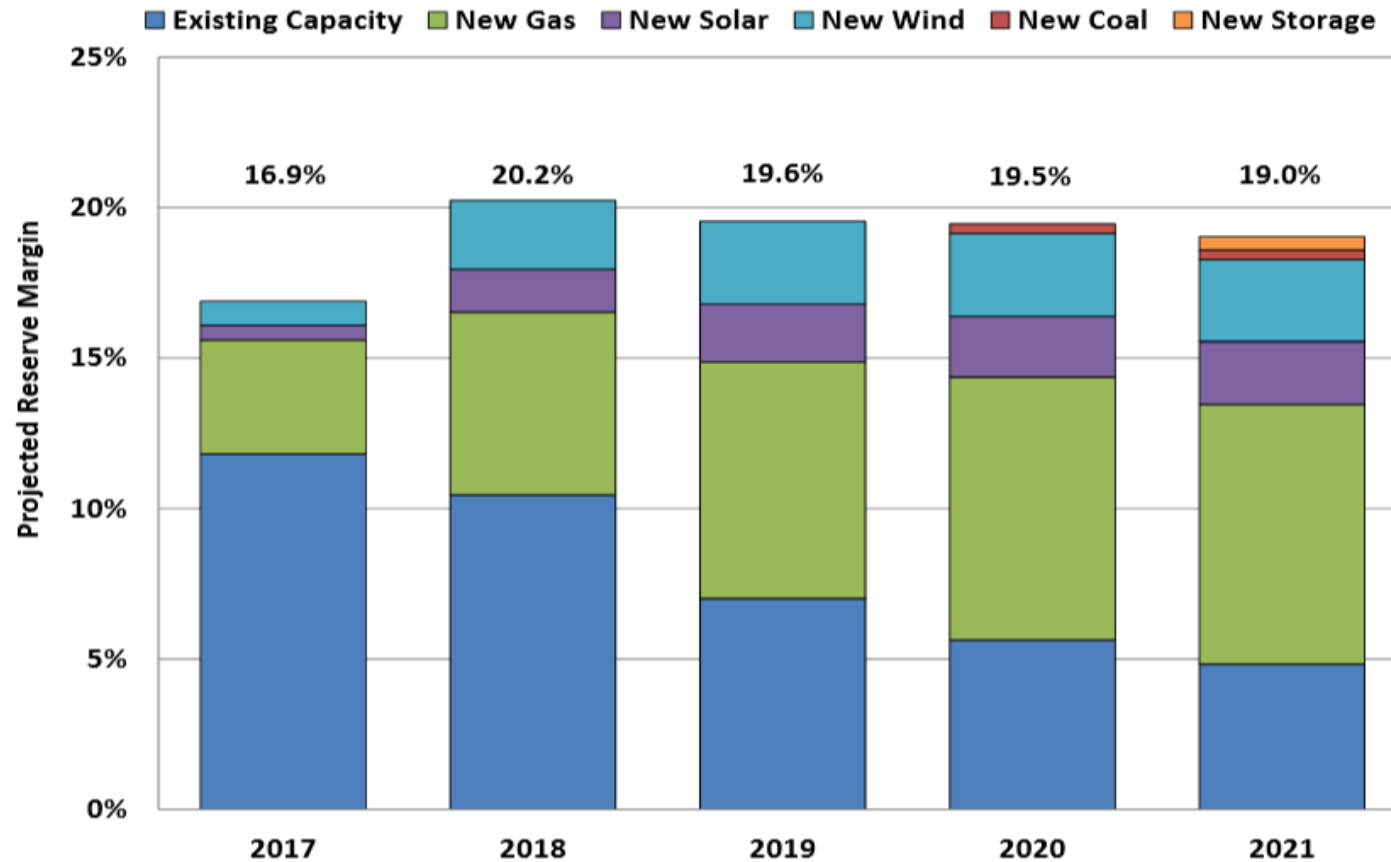
(注) 縦軸: Value of Reserves (\$/MWh)
 横軸: Operating Reserve Demand (MW)
 VOLL: the Value of Lost Load (9000 \$/MWh) : Cap
 LOLP: the Loss of Load Probability (10%)

(出所) 2016 State of the Market Report for the ERCOT Electricity Markets (5/2017)

(出所) Power-Market

リザーブマージンの予測

Projected Planning Reserve Margins



Source: ERCOT Capacity, Demand and Reserves Report - December 2016

(出所) 2016 State of the Market Report for the ERCOT Electricity Markets (5/2017)

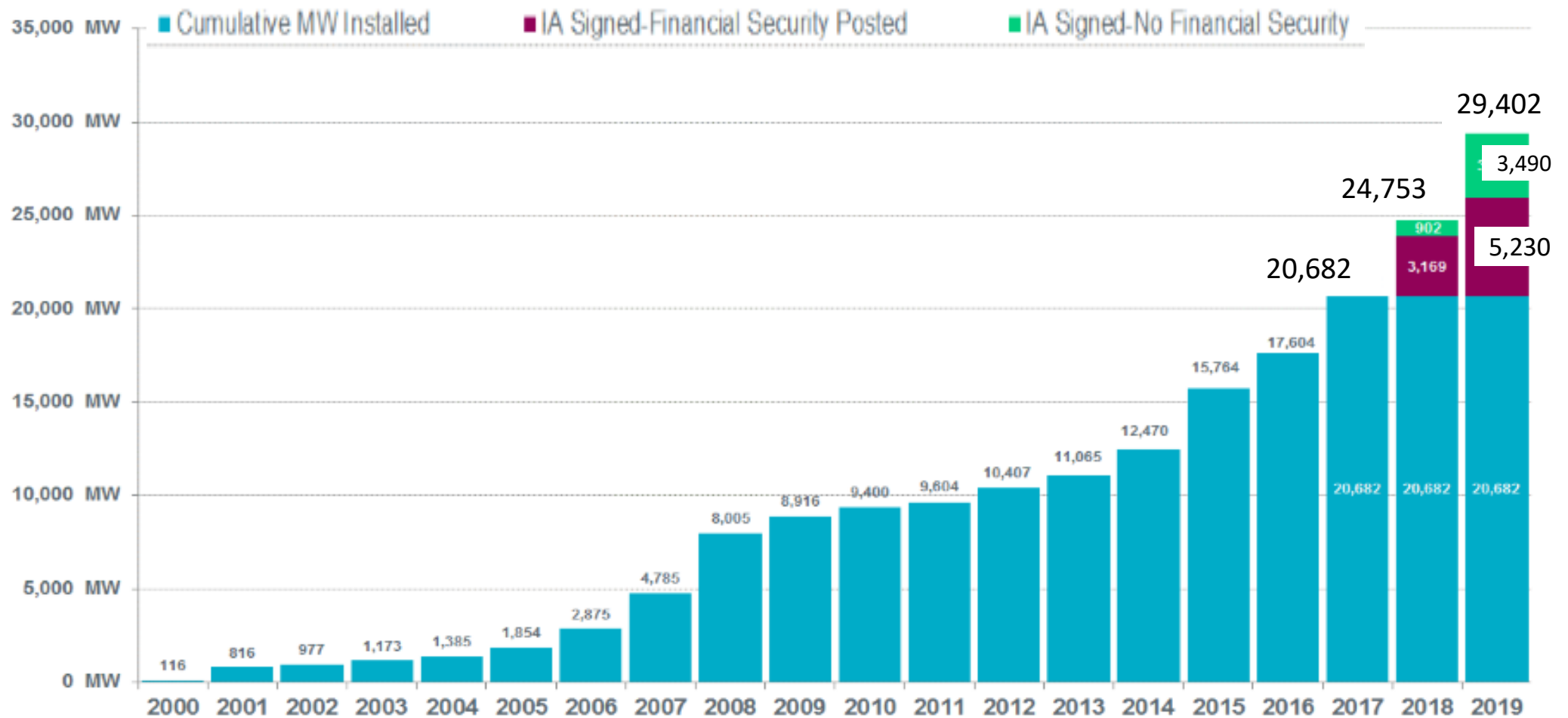
6. 再エネ政策：風力

- ・再エネ普及：RPS(1999年)：絶対量の目標、2010年に前倒し達成
(cf.) FIT、NMIは一部で
- ・風力：全米1位、世界NO4
- ・風力：西部、南部に集中
 - *7割は西部：夜間が主、3割は南部：昼間が主
- ・風力大規模インフラCREZ(Competitive Renewable Energy Zone)の整備で飛躍的に増加
政策主導(計画、料金制度)
 - *州政府が決める(2005年、08年)、CO2削減、RPS目標達成
 - *PUCが具体策とTSPへの指示、シミュレーション、ネットワーク使用料で回収
 - *計画：5つのゾーンから東の需要地へ、投資額69億ドル、18.5GW
 - *完成：2013年末、345kV、3600マイル、抑制率：17%(09)→1%(13)
 - *成功要因：西部は広大、州内で規制等が完結

○再エネ助成の課題

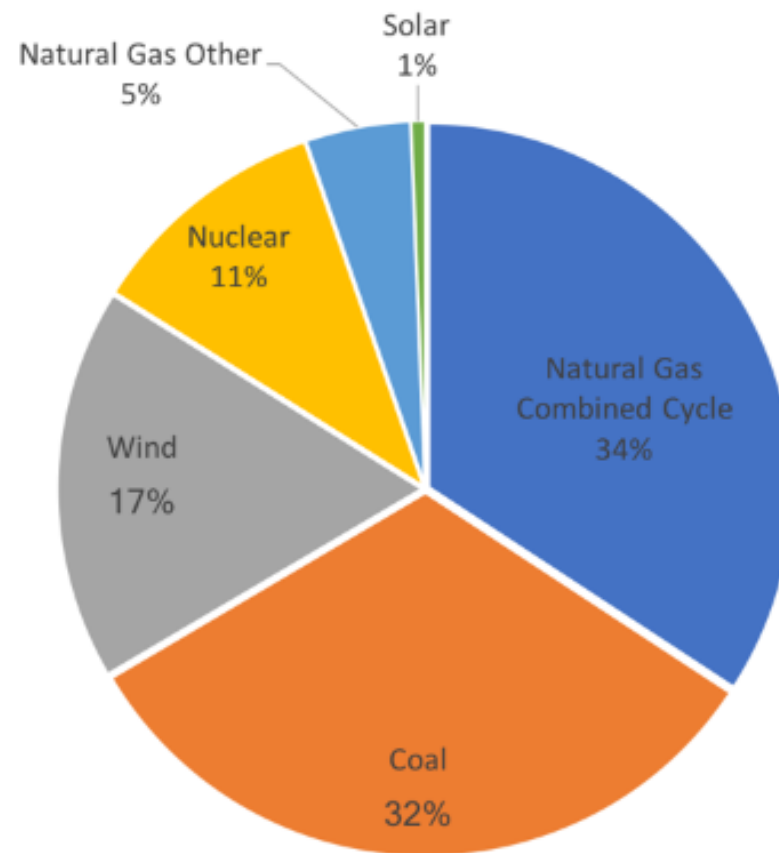
- ・市場を歪める：連邦政府の税制措置(PTC、ITC) vs リアルタイム市場のスパーク

風力発電導入量の推移と見込み (Ercot、2017/12)



(資料) ERCOT Generator (出所) Scientific-American

テキサスの発電電力量構成比(2017年、Ercot)



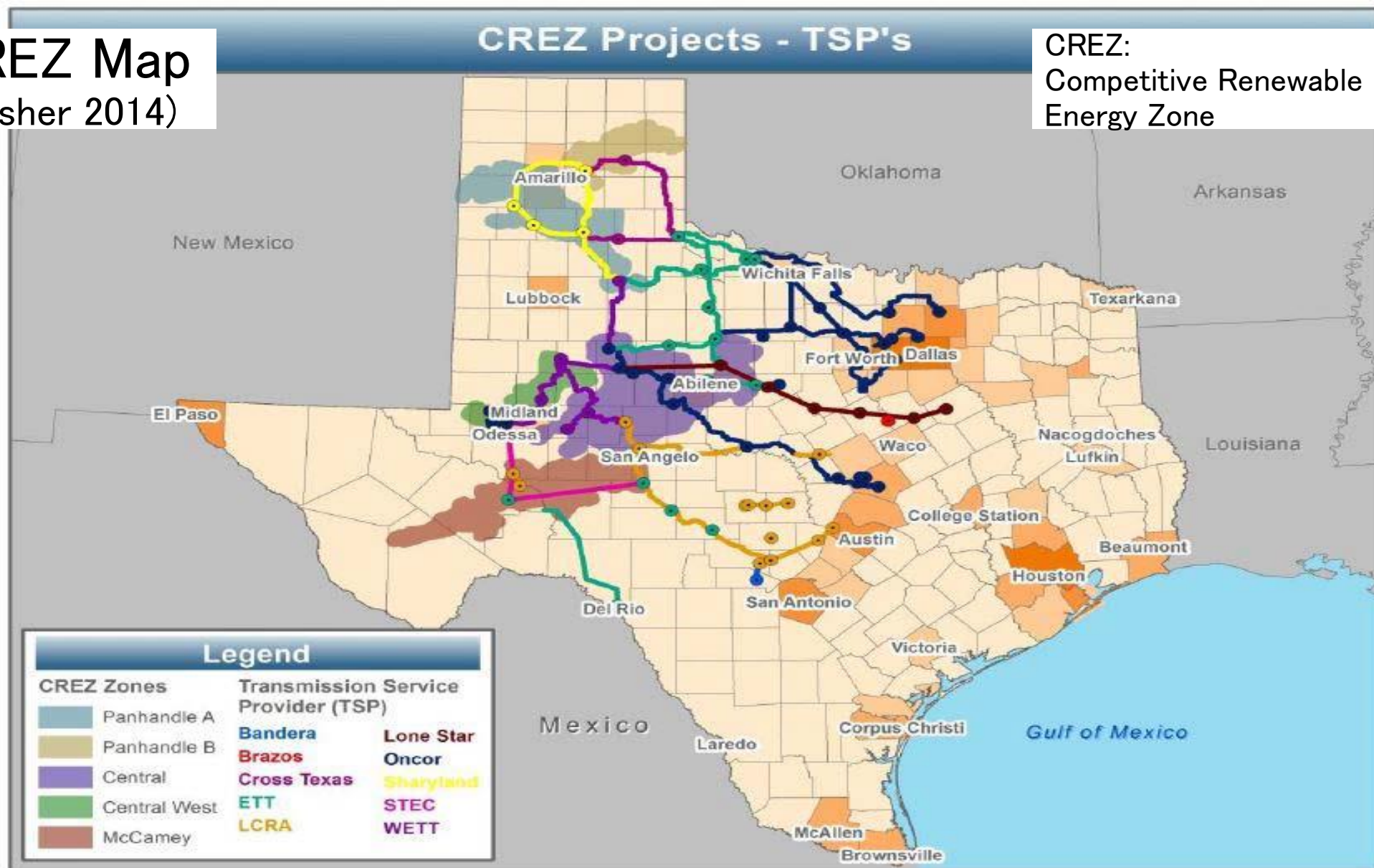
(資料)ERCOT (出所)Scientific-American

CREZ Map

(Lasher 2014)

CREZ Projects - TSP's

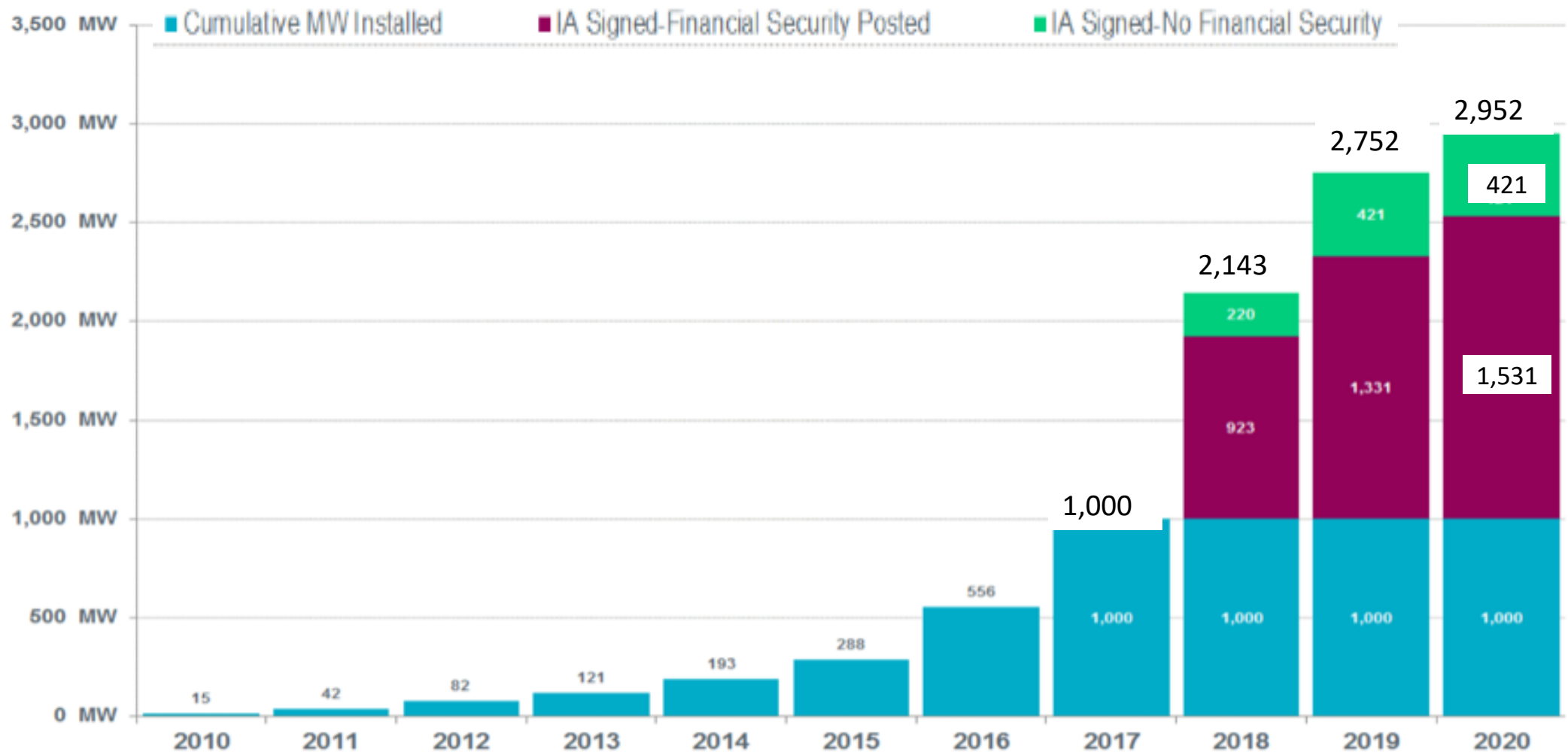
CREZ:
Competitive Renewable
Energy Zone



7. 再エネ(DER)政策: 太陽光

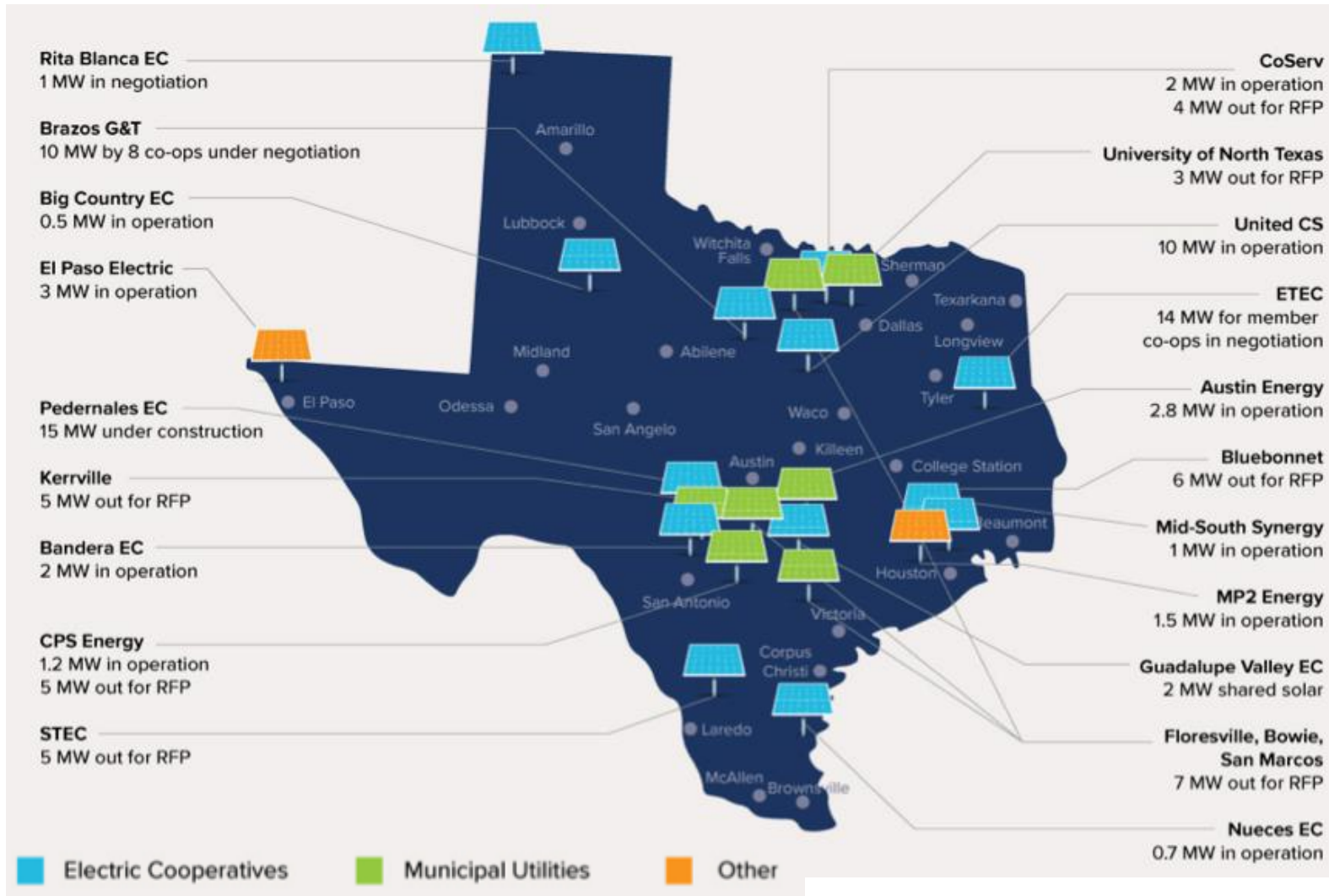
- 再エネ普及: RPS(1999年): 絶対量の目標、2010年に前倒し達成
- 太陽光: これから伸びる。特に中小規模(0.5~2MW)、Roof Top Solar
 - * 送配電設備の節約
 - * 電力コストの占めるNWコストの割合が急増、これをカバーできる
 - * 配電ユテリティと組む、発送配電一貫会社にとり合理的な選択

太陽光発電導入量の推移と見込み (Ercot、2017/12)



(資料) ERCOT Generator (出所) Scientific-American

More than 100MW of Texas Distributed-Scale Solar Project are Underway



Austin-EnergyのSmart-city

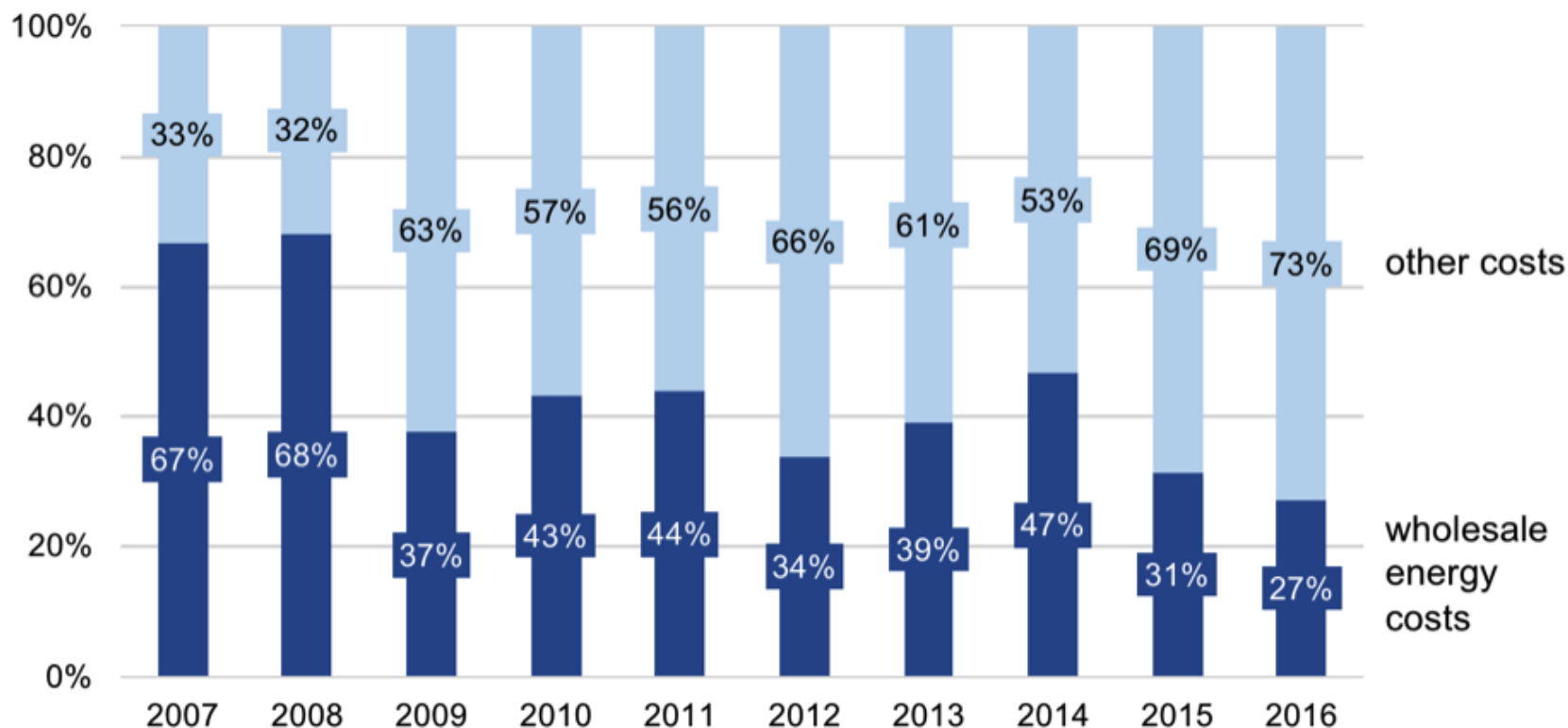


(資料) Rocky Mountain Institute (出所) GreenBiz (2/28/2018)

卸電力コストに占めるエネルギー比率の推移(全米)

Wholesale energy costs are now just one-third of costs of delivered electricity

Average US retail rate, broken down into wholesale power and other costs



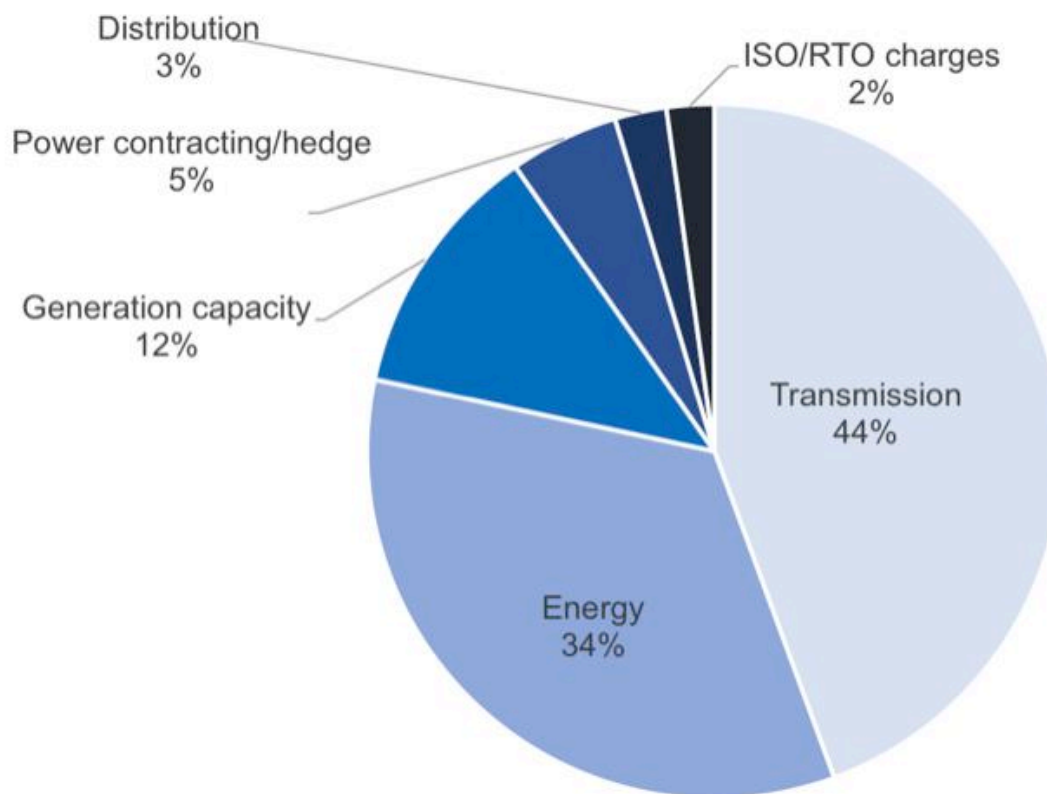
Source data: Potomac Economics and DOE EIA; US ISO/RTO wholesale energy costs used as proxy for US-wide wholesale energy

(出所) GreenBiz (2/28/2018)

分散型ソーラーの経済便益 (0.99MW、central-TX、co-ops)

Avoided energy costs are only one-third of solar PV benefits for some co-ops

20-year present benefit of 0.99 MW-AC distribution-scale solar array in central Texas, broken down by type of value



8. ERCOT電力市場取引の特徴

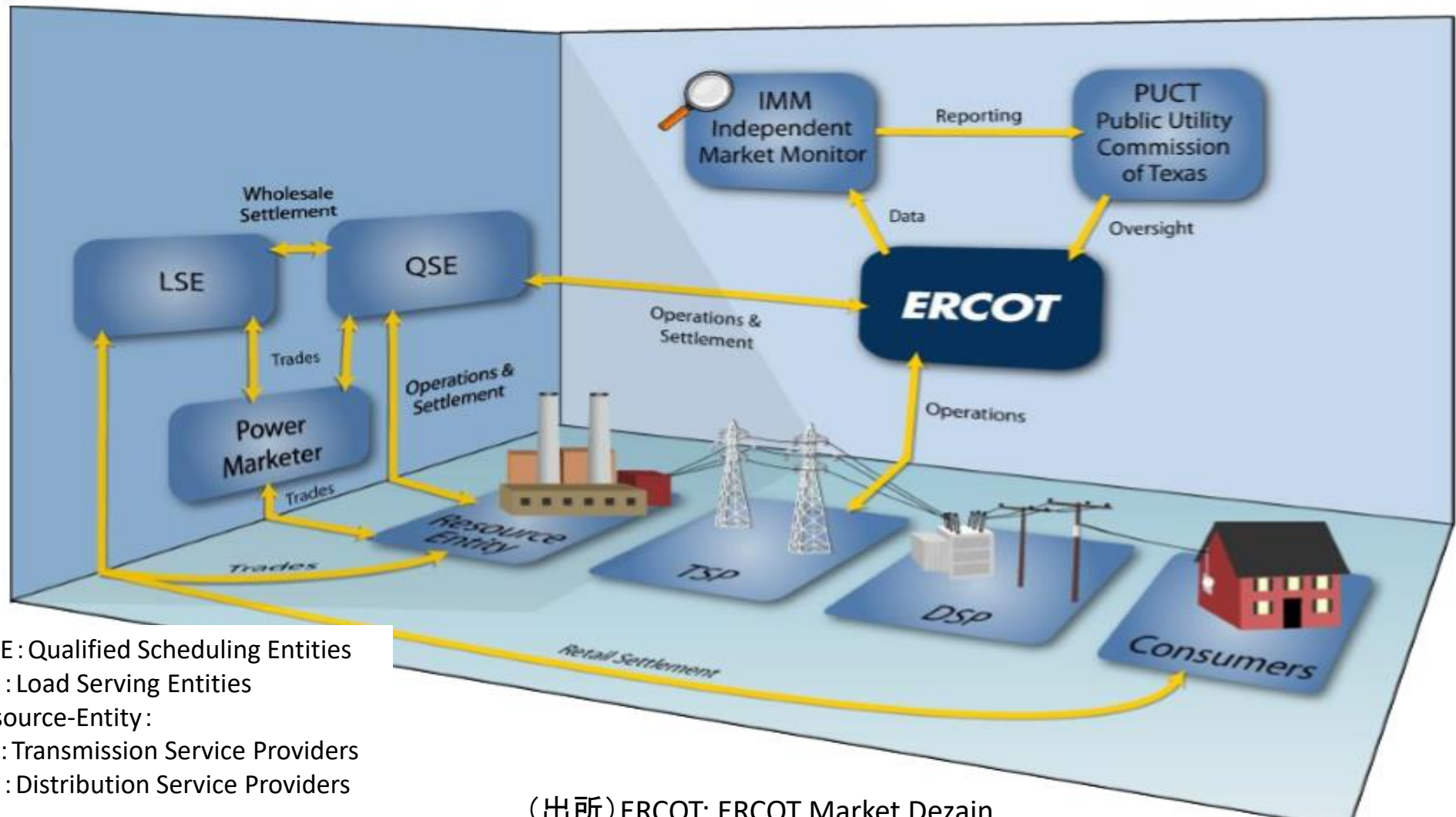
○市場

- 相対
- ERCOT市場の種類
 - * 前日アンシラリーサービス : Regulation、Responsive、Non-Spin
 - * 前日エネルギー : 1時間毎 (LMPs、SPPs)
 - * リアルタイムエネルギー : 5分毎 (LMPs、RPAs)、15分毎 (SPPs)

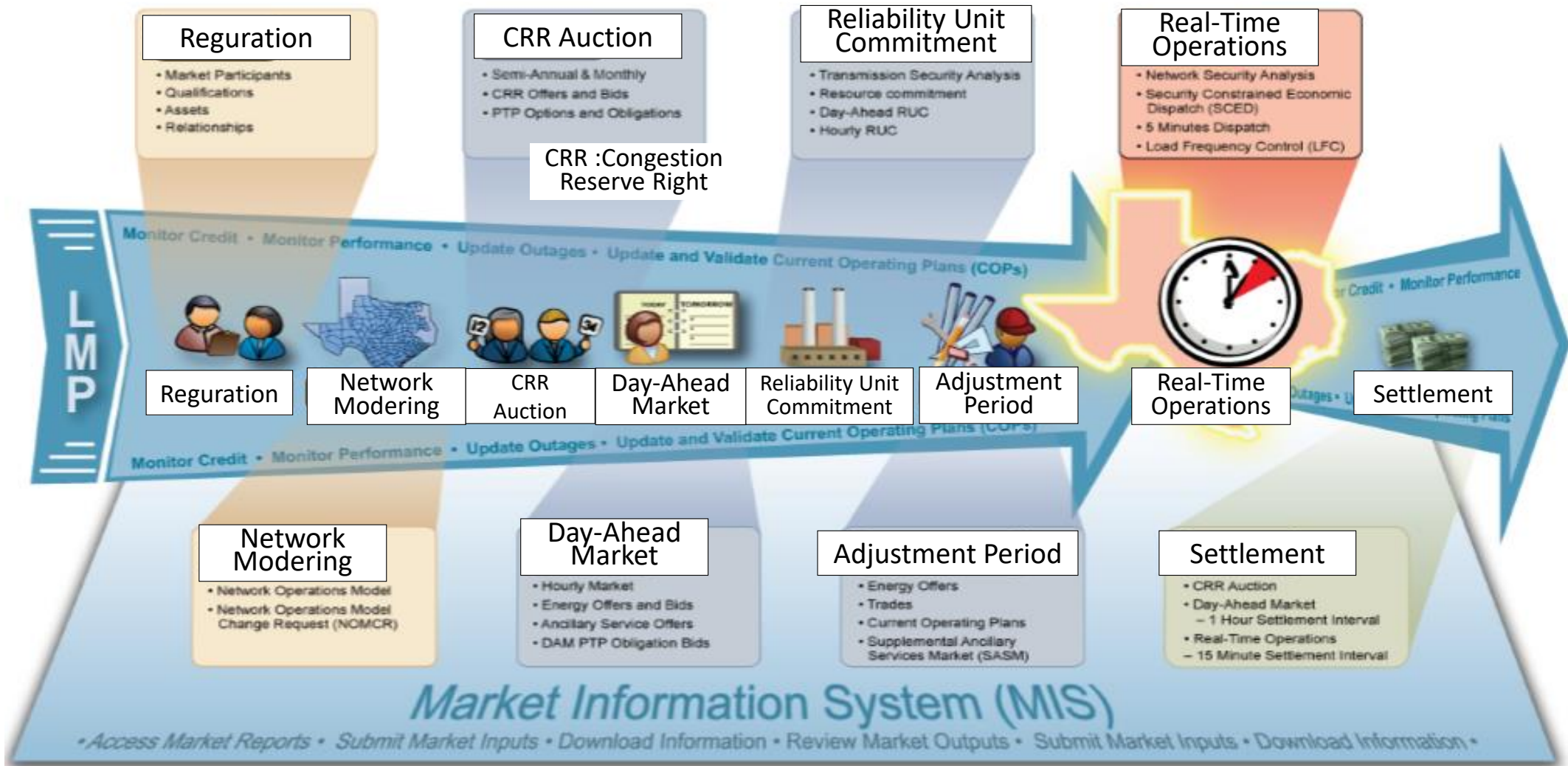
○ERCOT市場の特徴

- 混雑コストは直接配分、CRR (Congestion Revenue Right) でヘッジ
- Scarcity-Pricing
- LMPsとSPPs (Settlement Point Prices)
- RPA (Reserve Price Adders)

ERCOT: 市場参加者



ERCOT: 市場取引の流れ



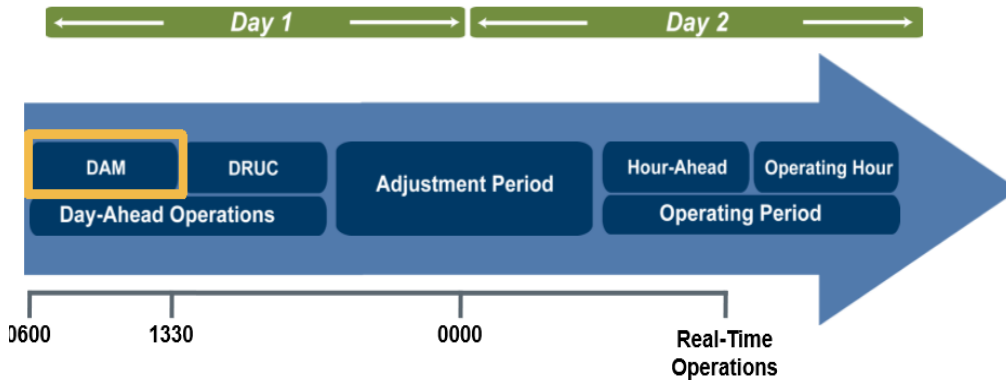
(出所) ERCOT: ERCOT Market Design

前日取引、リアルタイム取引の開始時期

Day-Ahead Market



- When does the Day-Ahead Market occur?
 - Market opens at 0600
 - Clearing Process begins at 1000
 - Results posted by 1330

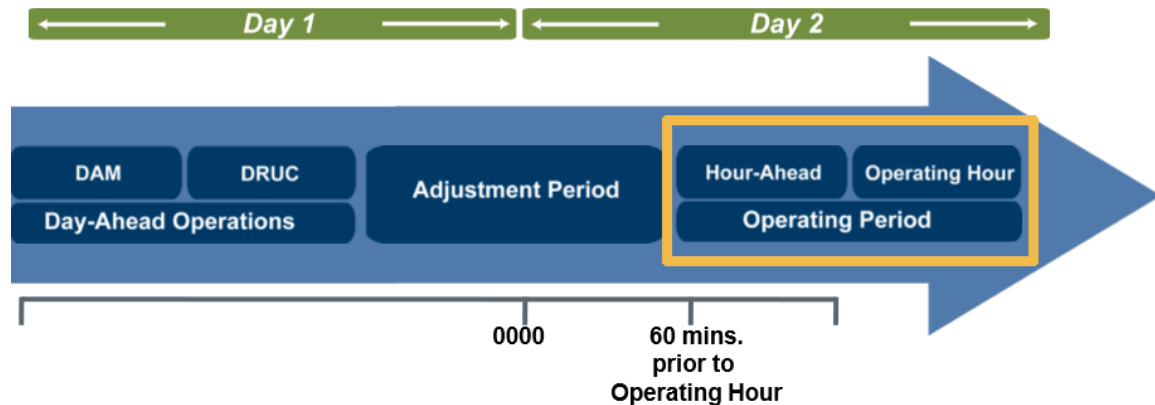


Real-Time Operations



When do Real-Time Operations occur?

- Operating Period
- Includes Operating Hour and Hour-Ahead



(出所) ERCOT: ERCOT Market Design

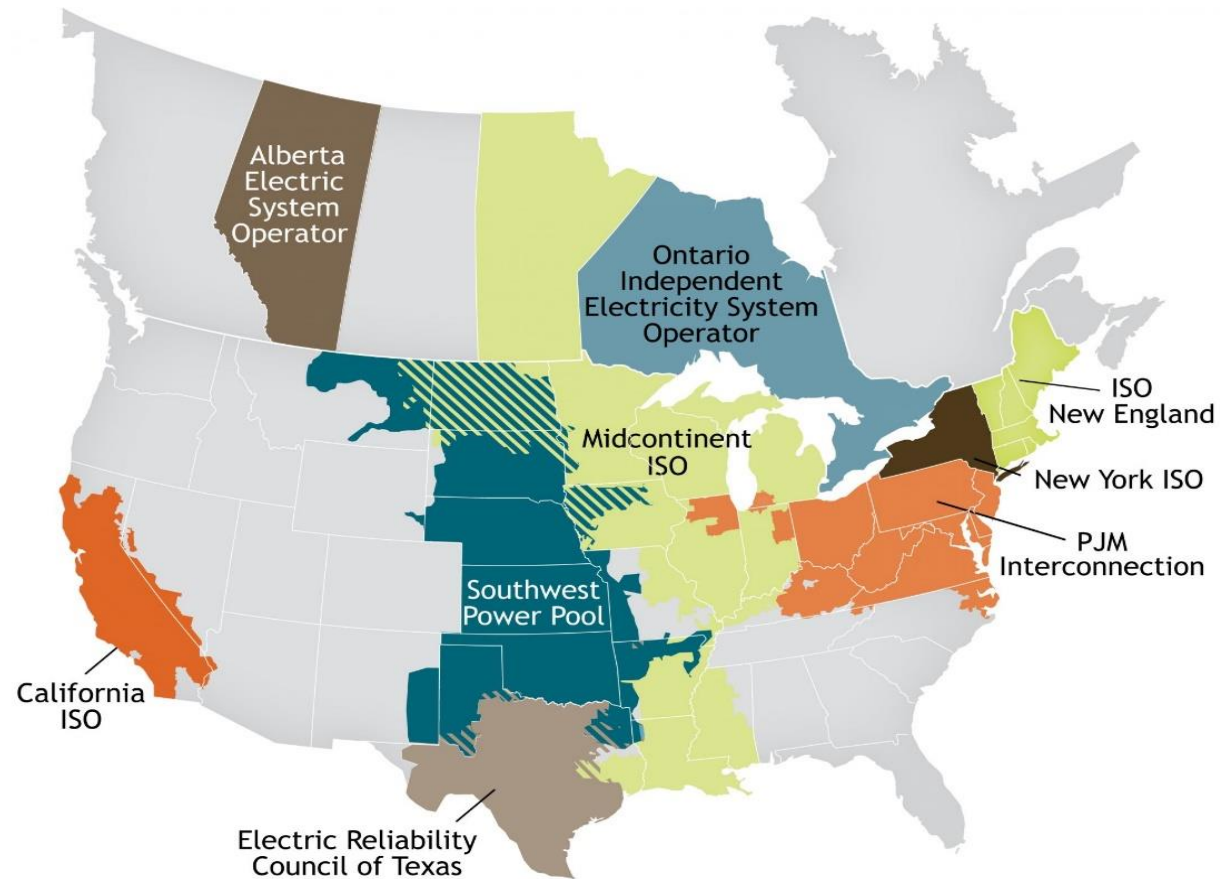
ストレージが従来電源とイコールに FERCのOrder841

2018年4月10日
山家

FERCのOrder 841

- ・FERC: オーダー841、2018年2月15日提示
 - －NOPR (Notice of Proposed Rulemaking) は11/17/2016
- ・各ISOに対して、ストレージ特有の価値を定量化できる仕組みを構築してストレージが市場に参入できる仕組みを構築せよ。
- ・地理的、機能的に幅広く捉えて、従来電源やエネルギー資源とイコールフットリングで市場に参加できるように。
- ・ISO、RTOの管轄エリア: 全米の3/4をカバー。
- ・エネルギー市場、アンシラリー市場、容量市場
- ・ストレージのもつ物理的、運用上の特徴を踏まえて可能な限り広範囲に。
 - * “a resource capable of receiving electric energy from the grid and storing it for later injection of electricity back to the grid.”
 - * Storage-Resources (バッテリー、フライホイール、揚水、蓄熱等)
- ・今後、ISO等は向こう9カ月のうちにタリフ変更を伴う市場ルール案を作成
- ・DER (分散型エネルギー資源) の市場参入は今次オーダーに含まれず。引き続き検討。4/11・12に技術会議を開催。

米国のISOとRTO



市場ルール整備の要件

- ストレージは3つの市場に適合することの確認
- ストレージはディスパッチが可能で卸市場での売り手買い手ともに決済できることの確認
- Bidding-Parameter等を通してストレージの物理的、運用上の特徴の説明
- 最小取引量要件の設定、100kWを超さない(25軒)
- 市場とストレージとの売買はLMPであること確立、
- **Technical Capability:** ensure that a resource using the participation model is eligible (的確な) to provide all capacity, energy, and ancillary services that the resource is technically capable of providing in the RTO/ISO markets
- **Dispatchability:** ensure that a resource using the participation model can be dispatched and can set the wholesale market clearing price as both a wholesale seller and wholesale buyer consistent with existing market rules that govern when a resource can set the wholesale price;
- **Physical and Operational Character Accounting:** account for the physical and operational characteristics of electric storage resources through bidding parameters or other means; and
- **Setting a Minimum Size:** establish a minimum size requirement for participation in the RTO/ISO markets that does not exceed 100 kW.

期待される効果

- 蓄電池を主とするストレージビジネスの拡大。蓄電池の普及。
- 供給信頼度維持。流通設備の効率的利用。
- 再生可能エネルギー、DERの普及。
- 既存大型発電設備の役割減少。

*Commissioner Richard Glick, a Democrat, noted that “energy storage capacity is expected to grow more than sevenfold over the next five years, with performance that is equal to or, in some cases, superior to conventional forms of generation.”

*FERCは、DOEのNOPR (Notice of Proposed Rulemaking) を否定。GridのResiliencyは90日もの燃料備蓄せずとも蓄電池で確保できる、

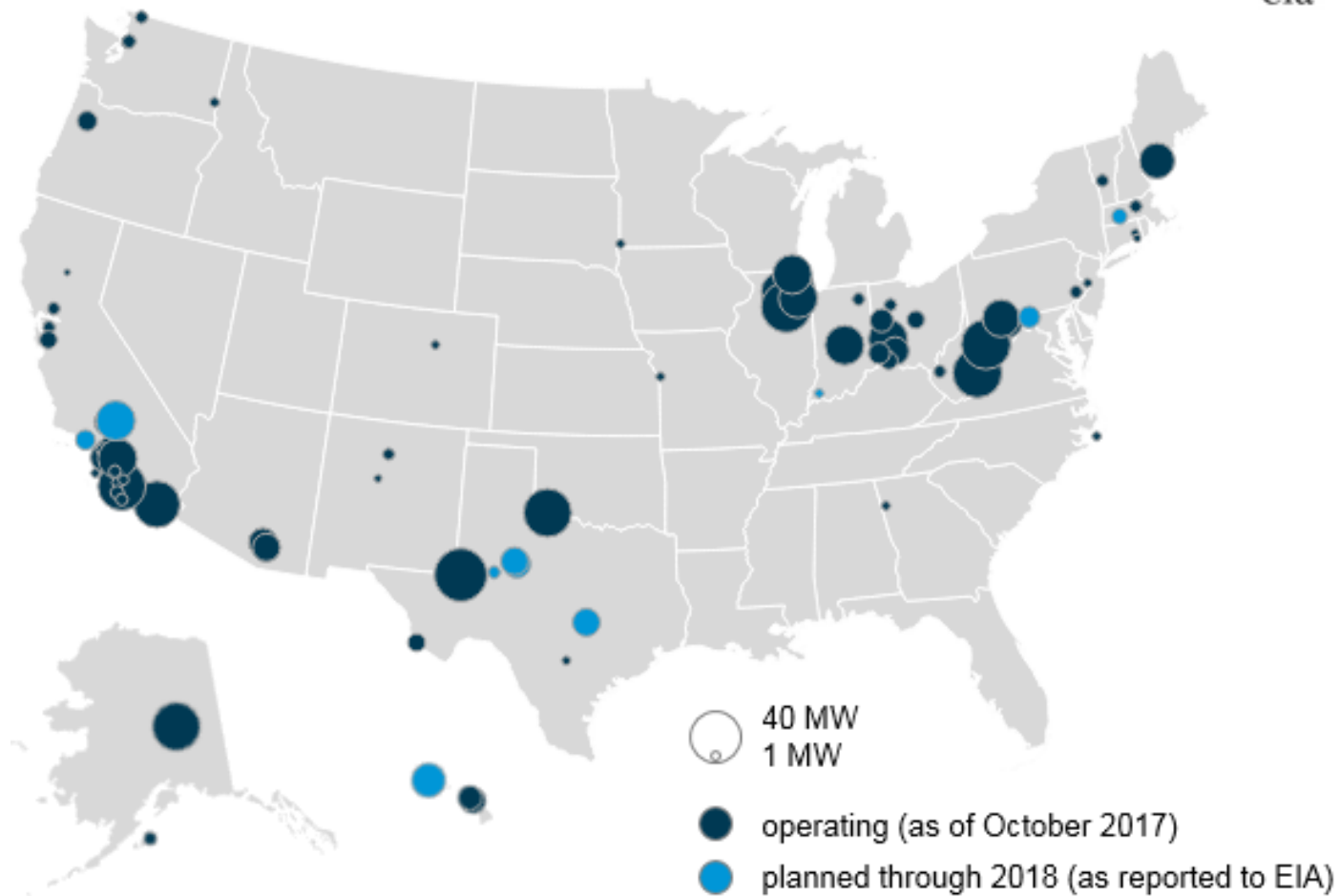
(参考) 北海道の蓄電池系統設置との比較

課 題

- DER(分散型エネルギー資源)の市場参入は今次オーダーに含まれず。引き続き検討。4/11・12に技術会議を開催。
- DER、ストレージ(分散型資源)のアグリゲーション。
- 蓄電池の複雑な機能。需要であり供給であり。
- 卸市場のためにDERを利用
- TSOの範囲外でISO等からは「よく分からないところ」であった。
- DSOへの影響。

ユ-テリティ規模蓄電池の設置状況 (米国、2017/10時点)

Operating and planned utility-scale battery power capacity



ユ-ティリティ規模ストレージの設置量推移(米国、MW)

U.S. utility-scale annual battery installations, 2003-2018
power capacity, megawatts (MW)

