

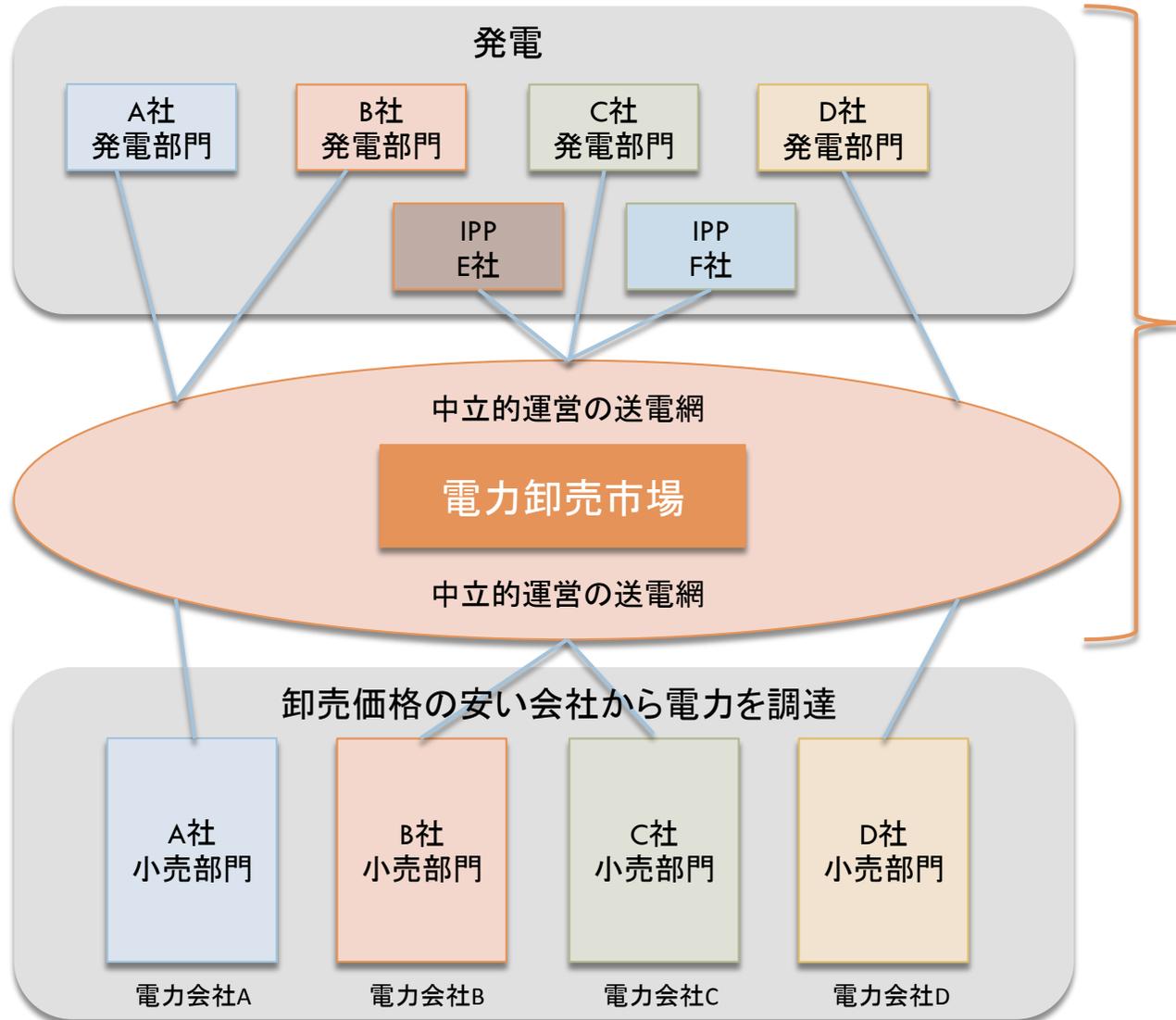
米国ではデマンドレスポンスがなぜ
必要とされ、何に効果があるか？

インフラ投資ジャーナル 今泉大輔

夏場ピークに数倍に高まる 米国の電力卸売価格

PJMの場合

典型的な米国の電力卸売市場



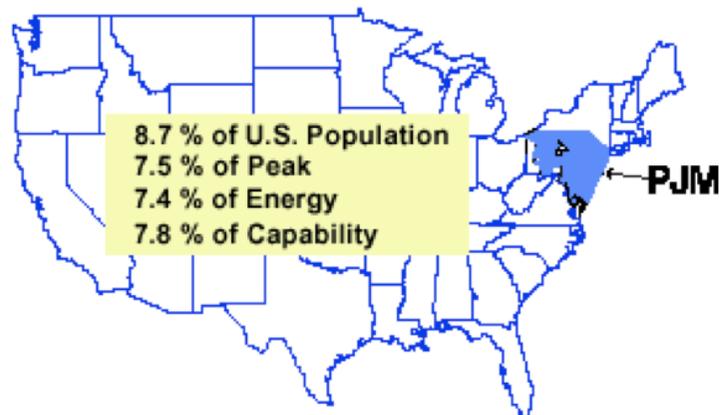
- 米国では州ごとに電力自由化の進展度合が大きく異なる
 - だが、この部分はどの州においても自由化されている
 - すなわち、電力小売会社は必ず電力卸売市場から調達しなければならない
- (州によっては自社の発電部門を持つことが認められているケースがあり、その場合は不足分のみ卸売市場から調達)

PJMの概要

- PJMとは、ペンシルバニア州、ニュージャージー州、メリーランド州を中心にしたRTO (Regional Transmission Operator)

- 制御地域 (州) (約12万km²程度)
ペンシルバニア、ニュージャージー、メリーランド、デラウェア、
ヴァージニア、ワシントンD.C.
- 総人口約2,300万人
- 需要規模
最大需要 : 5,170万kW (1999年のピーク需要、1999年7月6日14:00)
需要電力量 : 2,554億5,700万kWh (1999年)
- 電源容量 : 5,800万kW (夏季におけるネット値、1999年)

東京電力の年間販売電力量(2,900億kWh)とほぼ同じ規模

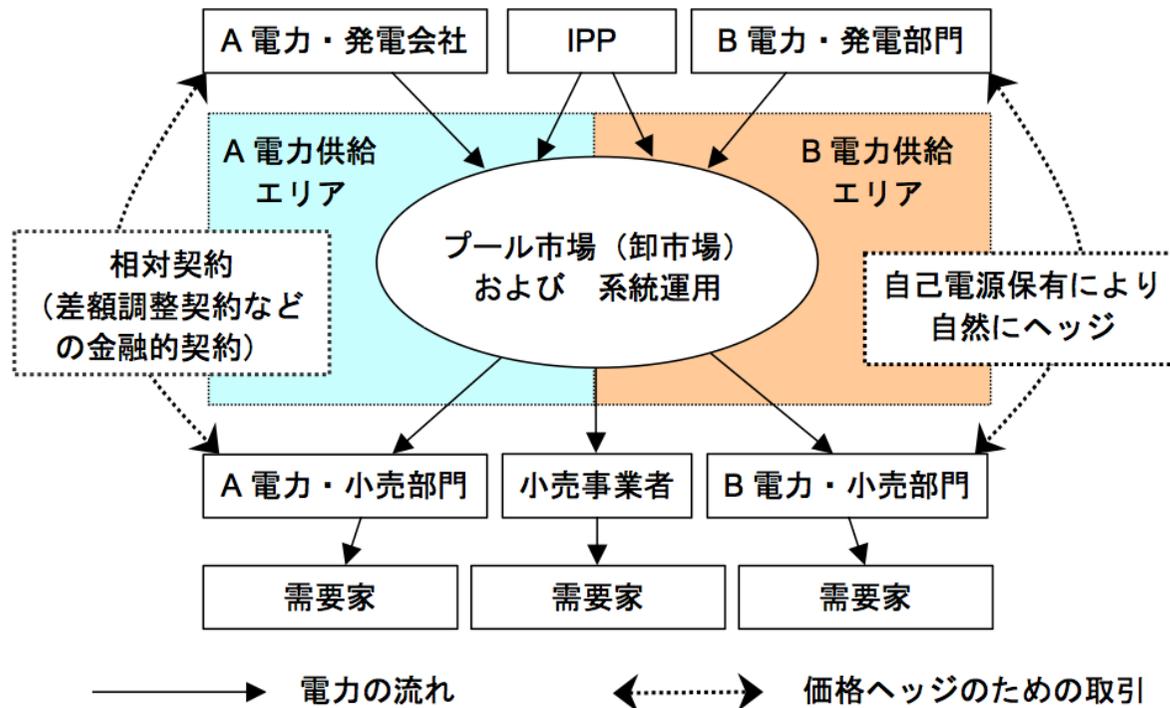


PJMで運営されている市場

- 設備容量市場（ICAP市場）
 - 小売事業者（LSE）が発電設備容量確保義務を果たすために、発電設備容量（Installed Capacity）をクレジットとしてやりとりする市場
 - 1998年10月開設
- 卸電力市場
 - 前日市場（Day Ahead Market）
 - 2000年6月開設
 - リアルタイム市場（Real Time Market）
 - 1997年6月開設、ただしコストベースの入札のみによる市場
 - 1999年4月より市場価格ベースでの入札が可能に
- 周波数調整市場
 - 自動発電機制御（AGC）による周波数調整サービス（アンシラリーサービスの一つ）の調達が行われる市場
 - 2000年6月開設
- 金融的送電権（FTR: Fixed Transmission Rights）市場
 - 前日市場において発生する混雑料金を受け取る権利（金融的送電権）のオークション市場
 - 1999年開設

PJMの卸電力市場

- 小売事業者は、自己保有電源を持つこともできるし、相対契約により「時価」で買わないようにすることもできる
- しかし、自己保有電源と相対契約で不足した分は卸市場から買わなければならない



PJMの卸電力市場

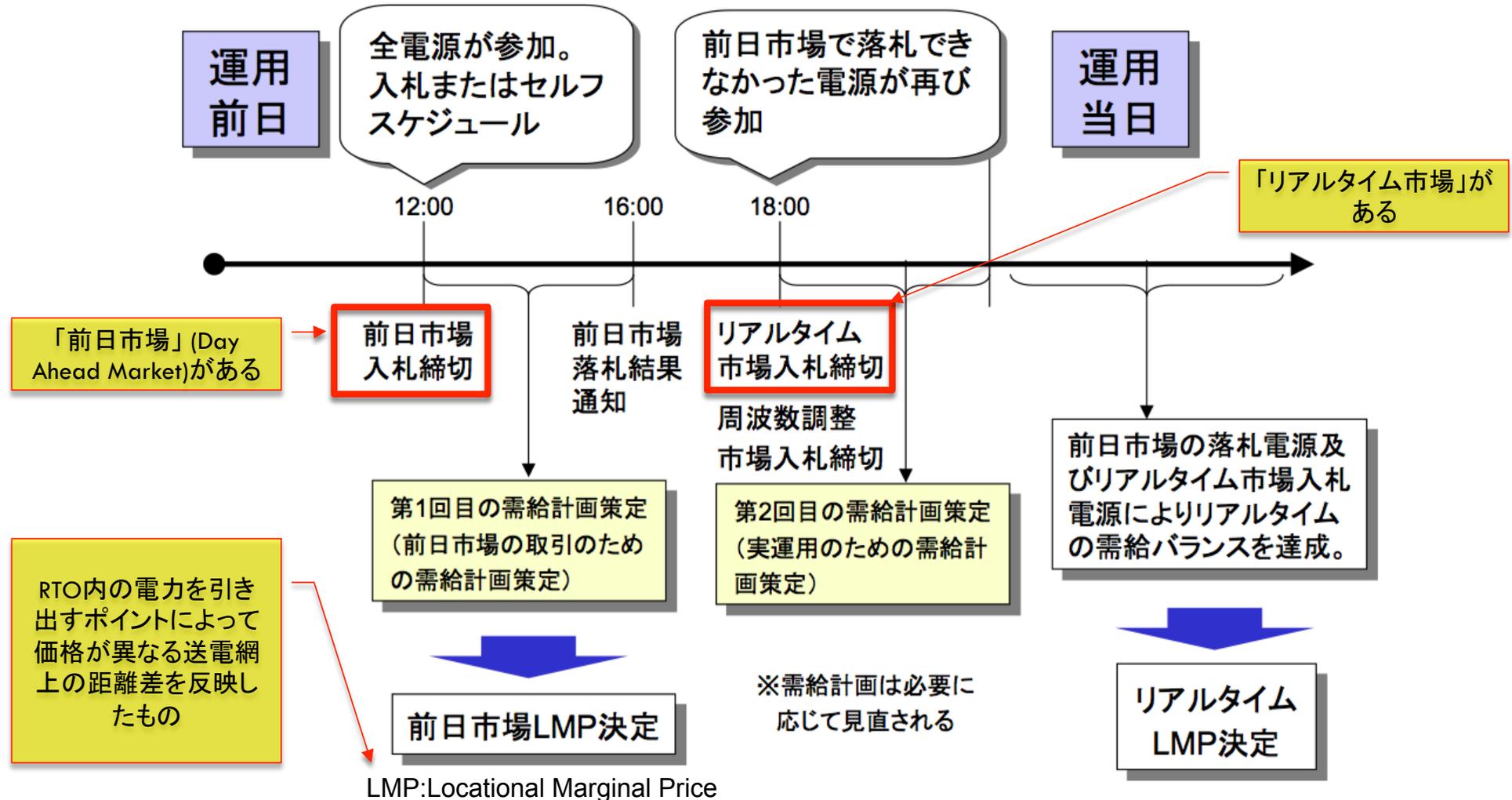
□ 以下の「スポット」が「時価」での取引

- 2000年実績における取引内容（電力会社以外のLSEも含む）は以下のとおり。
- 電力会社の発電子会社への発電資産移管もしくは売却が進んだため、2001年にはセルフサプライ（自社電源による）はほぼ0%に近くなり、相対取引が80%程度となる予定

種別	割合
相対取引	52%
セルフ・サプライ	27%
スポット	18%
純輸入	3%

この部分も、PJMの卸電力市場を通じて取引される

卸電力市場の取引の手順



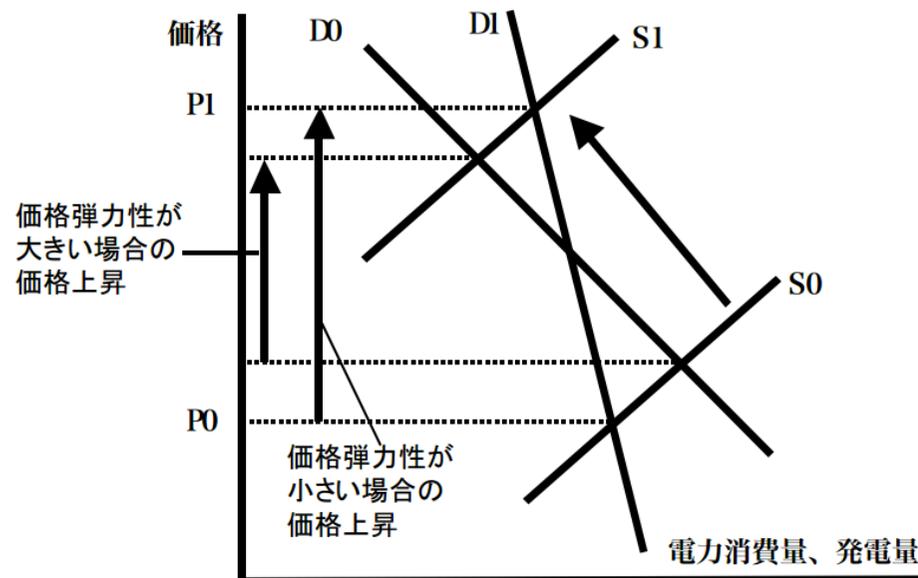
出典: カリフォルニア州の電力危機と PJM の概要 (電力中央研究所 研究参事 矢島 正之)

需要と価格に関するお勉強(1)

日本エネルギー経済研究所 電力グループマネージャー研究主幹 小笠原潤一氏の論考
「電気事業分野における2005年エネルギー政策法の意義～その3」から

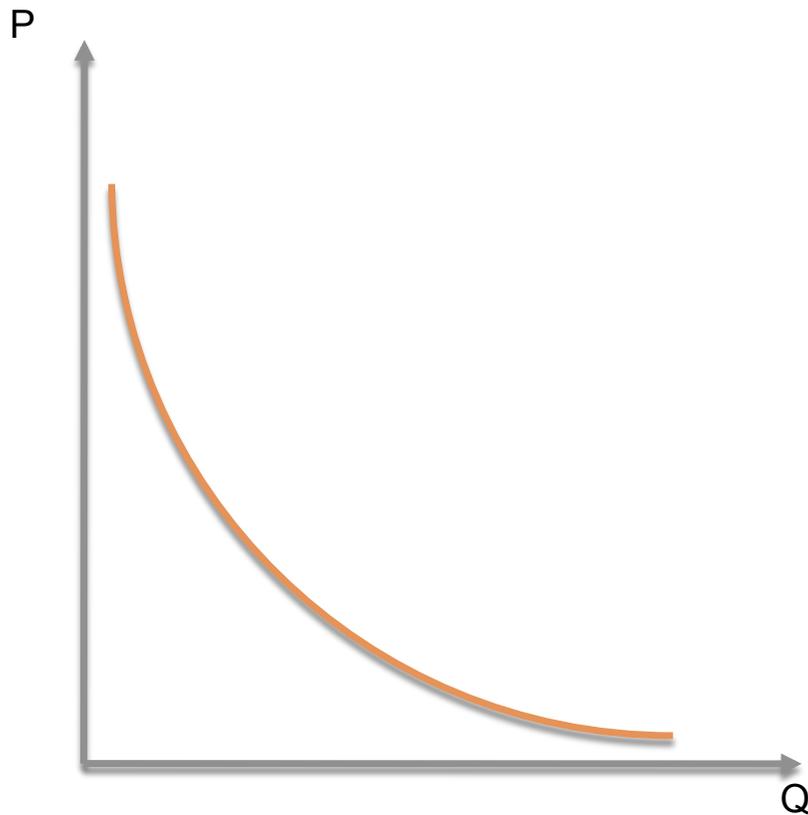
図2に示す通り、価格弾力性の大きい需要曲線 D_0 に比べ、それが小さい D_1 の方が、供給曲線の上方シフト ($S_0 \rightarrow S_1$) に対し価格の上昇幅が大きくなる。現在の卸電力市場の場合、このように価格弾力性が小さいことが多いと推察され、特に全面プール(全事業者が卸電力取引をプール市場と呼ばれる取引市場を介することが義務づけられている市場)の場合には価格弾力性が非常に小さくなり(場合によってはゼロ)、価格の大幅変動の原因となっている可能性がある。需要反応はこうした電力市場において、需要家が卸電力市場の状況に反応して自らの消費量を変化させること等を可能とするものであり、価格弾力性を小さくする効果があると考えられている。

図2 価格弾力性と価格変動の関係



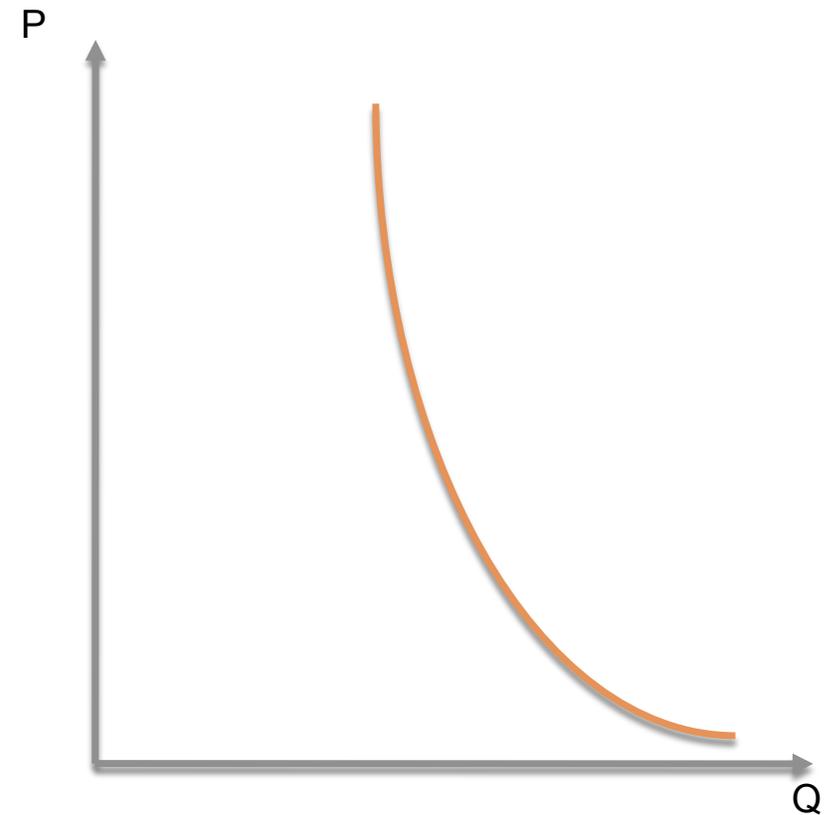
需要と価格に関するお勉強(2)

- 需要曲線のお約束



価格が安いうちは需要が膨大にあるが、価格が高くなると需要が相応に減る
= 価格弾力性が高い

需要曲線はなだらか

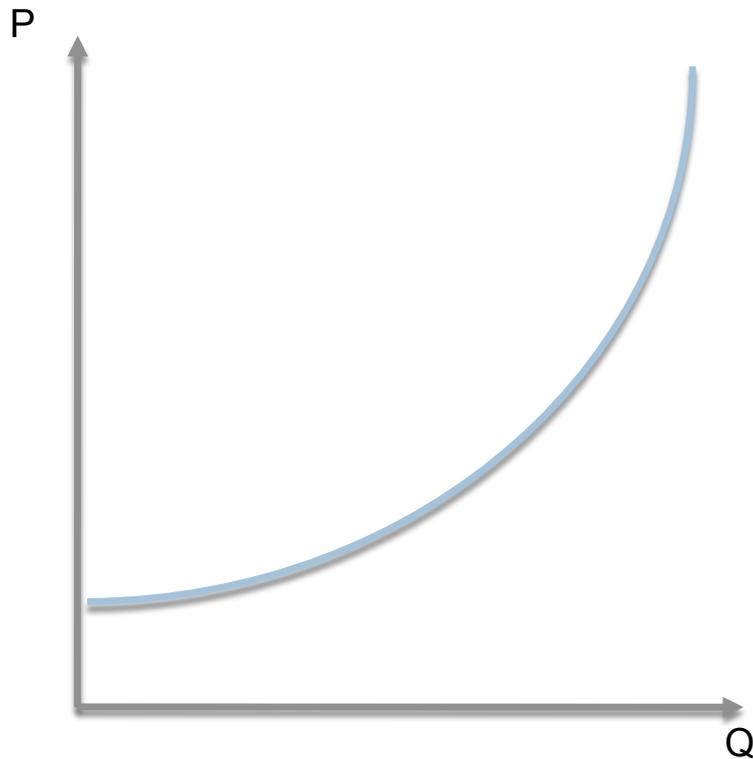


価格が高くなっても需要はあまり減らない
= 価格弾力性が低い

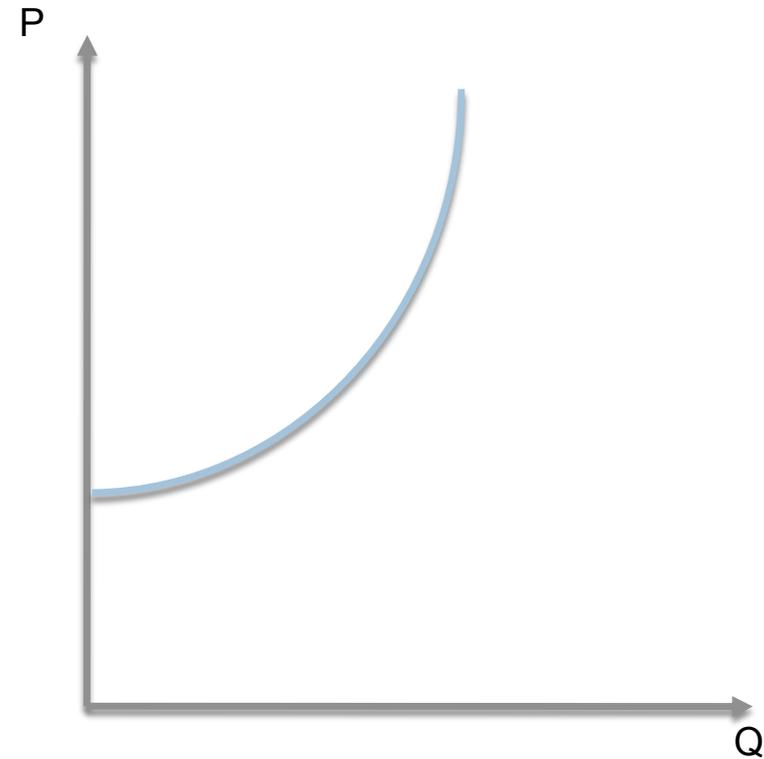
需要曲線は急峻

需要と価格に関するお勉強(3)

- 供給曲線のお約束

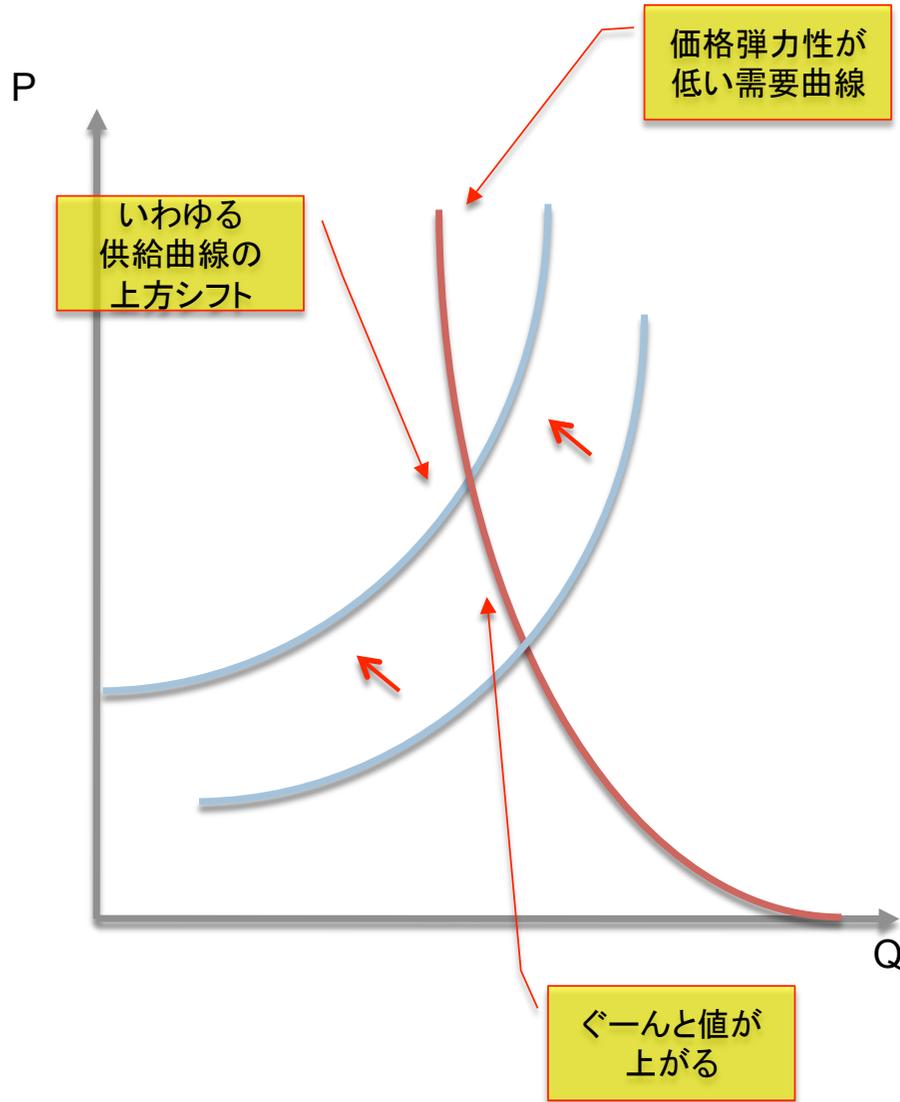


価格が一定水準を超えると供給が始まり、価格が高くなるにつれて供給も増える。ごく普通の供給曲線



供給者が「出し惜しみ」をする状況
価格がかなり高くないと供給が始まらず、価格が高くなってもさほど供給が増えない

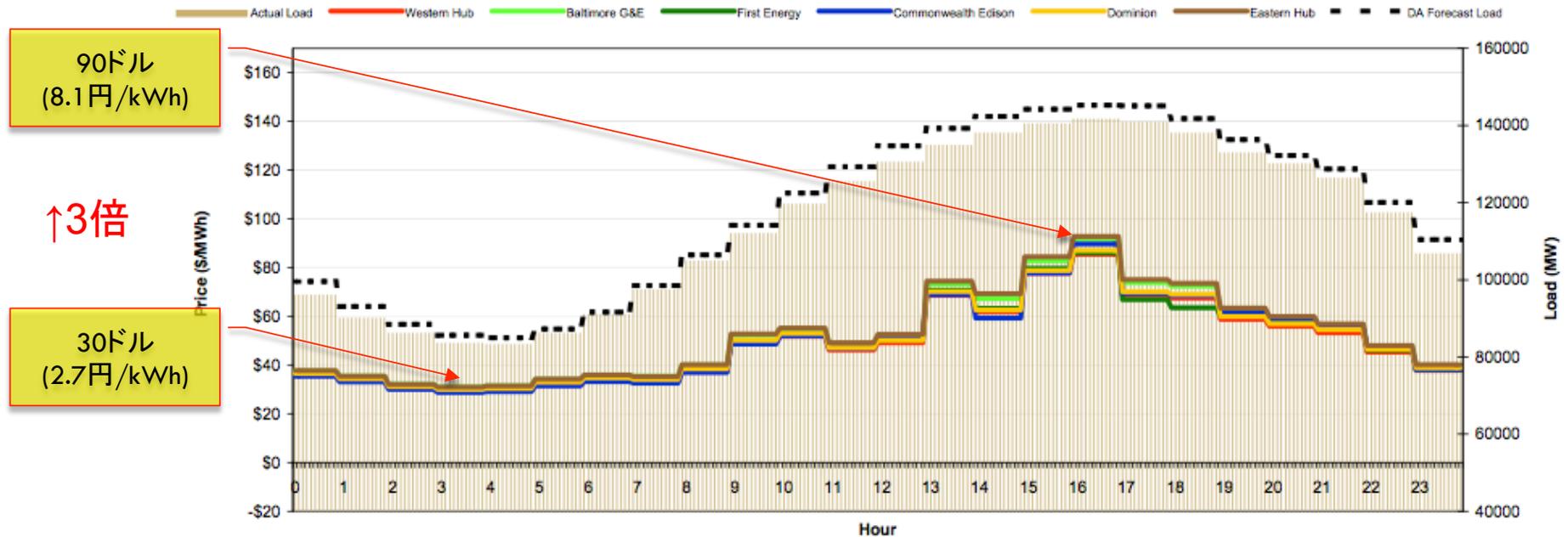
自由化された電力卸市場で起こりうること



- 供給曲線の上方シフトとは、供給者が「出し惜しみ」をしている状況
- なぜ出し惜しみをするのか？
- 価格弾力性が低いため、価格が上がっても下がっても、需要はあまり変化しない
- 出し惜しみをすることで、価格を「高くつり上げる」ことができる
- 少し出し惜しみをするだけでも、価格上昇幅は大きい
- 逆に、供給を少し増やすだけでも、価格はぐーんと下がる

おだやかな日： PJMリアルタイム市場2011年8月2日火曜日

Preliminary Real-Time Prices with Forecasted and Actual System Load																												
Hour Ending:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Avg. Hr \$			
Western Hub	35.88	33.79	30.75	29.68	30.18	32.84	34.42	33.71	38.00	49.34	51.85	46.25	49.17	66.71	61.81	77.70	85.51	68.75	67.45	58.78	56.00	53.29	45.28	37.83	49.04	56.98	All	On Pk
Baltimore G&E	37.56	35.36	32.06	30.93	31.43	34.19	35.91	35.38	40.05	52.23	54.76	48.73	52.18	73.27	67.28	82.77	91.55	73.84	72.34	62.51	59.35	56.41	47.81	39.92	51.99	60.65		
First Energy	36.14	33.99	30.89	29.94	30.37	32.98	34.61	33.69	38.07	49.80	52.69	47.20	50.43	70.73	63.25	79.62	86.09	66.81	63.51	60.02	57.41	54.79	46.14	38.16	49.47	57.52		
Commonwealth Edison	35.48	33.16	29.98	28.73	29.19	31.46	33.27	32.65	36.93	48.64	51.92	46.92	51.77	68.93	59.24	77.72	89.69	69.38	68.49	61.65	58.17	56.18	46.98	38.09	49.40	57.89		
Dominion	36.61	34.35	31.13	29.98	30.44	32.98	34.73	34.18	38.54	50.22	52.94	47.07	50.22	70.19	62.60	78.74	87.05	70.07	69.04	59.92	57.02	54.55	46.50	38.87	49.91	58.05		
Eastern Hub	37.78	35.47	32.15	30.93	31.44	34.32	35.97	35.28	40.13	52.69	55.15	49.14	52.65	74.48	69.34	84.44	92.81	75.12	73.49	63.35	59.98	56.87	48.01	40.13	52.55	61.43		
DA Forecast Load (GW)	96.14	90.14	86.24	83.70	83.34	86.29	91.09	97.51	104.97	112.14	119.69	125.54	130.59	134.97	138.15	140.52	141.81	140.94	138.15	133.05	130.16	126.48	117.47	106.87				
Forecast Error %	-3.4%	-3.1%	-2.5%	-2.3%	-1.9%	-1.1%	-0.6%	-1.0%	-1.4%	-1.8%	-2.3%	-2.9%	-3.1%	-3.1%	-2.9%	-2.6%	-2.4%	-2.9%	-2.5%	-2.4%	-1.6%	-1.8%	-2.2%	-3.2%				



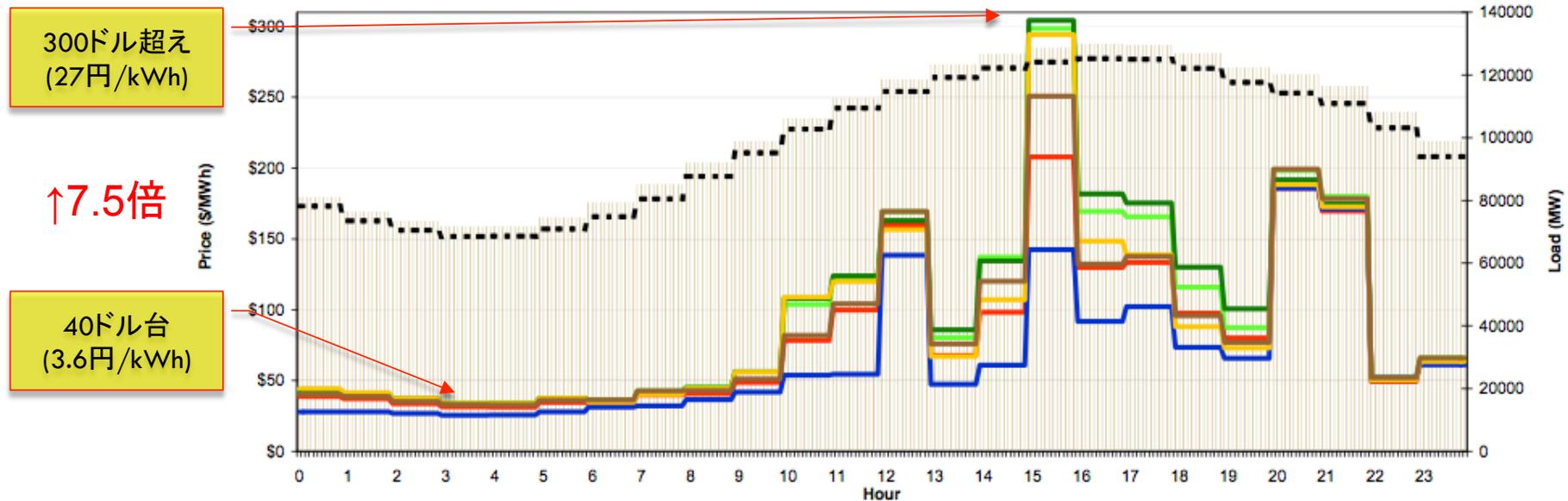
出典: FERC(連邦エネルギー規制委員会)が提供しているPJMのデータ

ピークになると? :

PJMリアルタイム市場2010年8月10日月曜日

Preliminary Real-Time Prices with Forecasted and Actual System Load																									Avg. Hr \$	
Hour Ending:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	All	On Pk
Western Hub	38.63	37.15	33.57	31.47	31.29	34.46	34.31	39.89	40.79	48.63	78.37	99.66	159.59	67.55	98.20	207.90	129.69	133.41	97.40	80.01	185.82	169.67	49.38	62.43	82.89	105.37
Baltimore G&E	43.22	40.62	36.92	33.81	33.89	37.56	36.24	42.74	45.30	56.12	103.74	121.94	169.20	80.17	137.19	296.54	169.37	165.58	115.77	87.41	198.24	180.09	52.46	66.04	98.01	126.49
PEPCO	43.66	40.74	37.04	33.69	33.84	37.50	35.52	41.71	44.91	56.26	107.99	123.90	163.00	85.86	134.50	304.21	181.78	175.41	129.99	100.69	191.75	174.77	51.03	64.57	99.76	129.23
Commonwealth Edison	27.85	27.84	26.80	25.39	25.72	27.79	31.10	32.08	36.56	41.82	53.64	54.40	138.47	47.24	60.76	142.33	91.71	102.07	73.42	65.74	185.70	171.05	51.92	60.96	66.76	84.31
Dominion	44.33	41.39	37.39	33.94	33.92	37.61	34.82	40.17	44.45	55.93	108.87	119.85	156.59	67.04	107.03	294.29	148.38	138.83	88.11	72.99	188.49	172.76	50.49	63.55	90.88	115.89
New Jersey Hub	40.23	38.77	35.16	32.94	32.70	35.94	36.21	42.66	42.93	51.15	81.76	104.06	169.27	75.94	120.05	250.76	132.33	137.50	95.72	76.87	199.18	178.40	51.95	65.87	88.68	113.16
DA Forecast Load (GW)	81.09	76.49	73.58	71.76	71.84	74.65	79.50	85.27	92.15	98.96	106.22	112.79	118.65	123.43	126.81	128.86	130.05	129.61	127.06	122.52	120.36	116.54	108.26	99.05		
Forecast Error %	3.7%	4.1%	4.4%	4.8%	4.7%	5.3%	6.3%	5.9%	5.1%	3.9%	3.4%	3.1%	3.4%	3.5%	3.8%	3.8%	3.9%	3.7%	4.0%	4.2%	5.3%	5.1%	4.9%	5.4%		

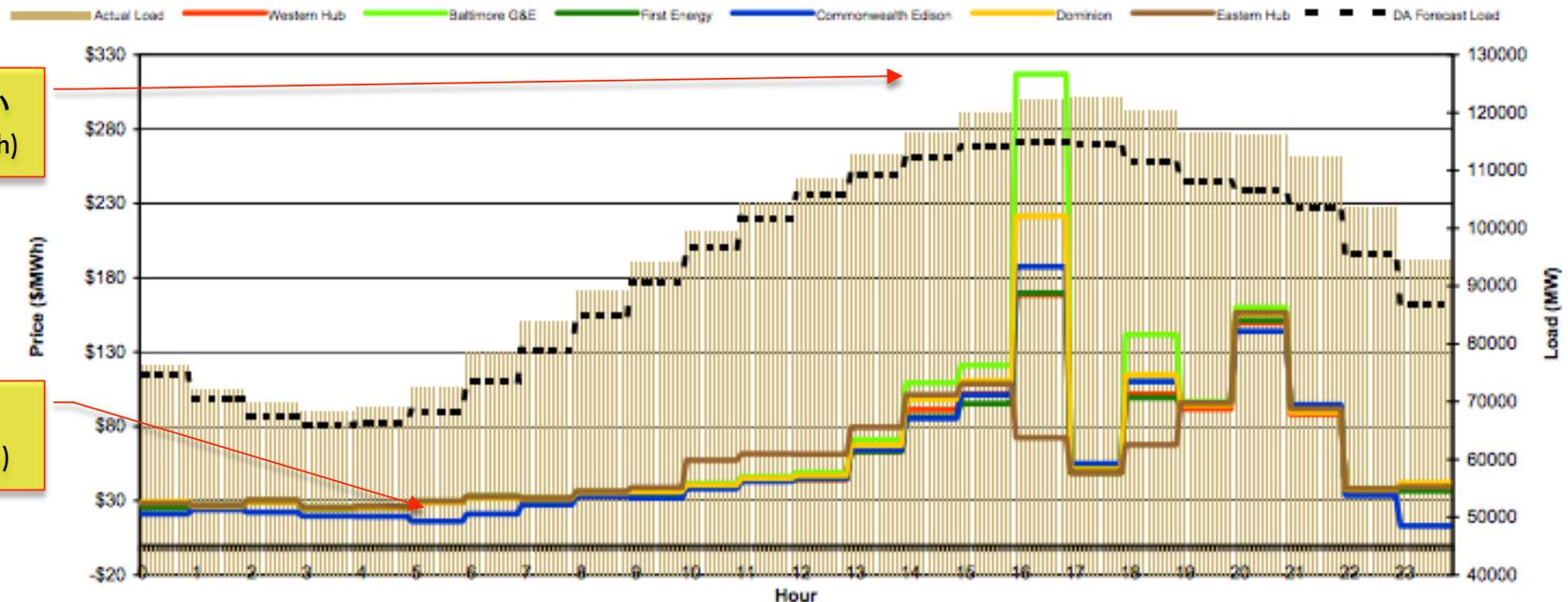
Actual Load Western Hub Baltimore G&E PEPCO Commonwealth Edison Dominion New Jersey Hub DA Forecast Load



出典:FERC(連邦エネルギー規制委員会)が提供しているPJMのデータ

もっとすごいピークでは？： PJMリアルタイム市場2011年8月24日水曜日

Preliminary Real-Time Prices with Forecasted and Actual System Load																												
Hour Ending:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Avg. Hr \$			
Western Hub	27.05	26.20	29.50	24.79	25.90	28.75	31.93	30.67	34.71	34.51	39.36	43.67	44.35	63.48	91.40	102.00	168.62	48.76	101.60	91.82	149.75	88.18	36.45	37.72	58.37	73.08	All	On Pk
Baltimore G&E	28.48	27.08	30.39	25.52	26.24	29.67	33.12	31.94	36.38	36.81	41.70	46.28	49.04	70.90	109.18	121.04	317.05	53.06	141.76	96.85	160.13	92.68	38.40	40.18	70.16	90.20		
First Energy	25.21	26.05	29.64	24.83	25.61	29.14	32.45	30.93	34.68	33.67	39.70	44.28	44.64	63.28	86.41	95.41	169.65	49.05	99.25	95.86	151.45	92.43	37.50	36.74	58.24	73.01		
Commonwealth Edison	21.01	23.88	22.30	19.69	19.40	16.13	21.03	27.37	32.86	31.81	38.04	43.03	45.12	64.09	85.29	101.22	167.60	54.91	110.31	95.68	144.05	94.55	33.75	13.11	56.09	74.35		
Dominion	29.37	26.37	29.50	24.88	25.58	28.87	32.29	31.17	35.47	35.94	40.52	45.06	46.85	67.20	98.51	110.34	221.48	51.22	114.75	94.40	155.63	89.74	37.47	41.97	63.11	79.73		
Eastern Hub	28.27	27.35	30.66	25.69	26.40	29.78	33.09	31.91	36.37	36.85	57.25	61.44	61.23	79.52	101.28	108.66	72.38	49.57	67.62	95.89	156.61	91.97	36.06	39.30	57.89	71.79		
DA Forecast Load (GW)	76.37	72.12	69.68	68.39	68.89	72.42	78.58	83.96	89.19	94.15	99.51	104.21	108.47	112.82	116.38	119.78	122.04	122.58	120.40	116.47	116.00	112.20	103.71	94.63				
Forecast Error %	2.2%	2.4%	3.3%	3.6%	3.9%	5.9%	6.8%	6.2%	5.2%	3.7%	3.0%	2.4%	2.6%	3.1%	3.6%	5.0%	6.2%	7.1%	8.0%	7.8%	6.7%	8.4%	8.6%	9.1%				



320ドル近い
(28.8円/kWh)

↑16倍

20ドル強
(1.8円/kWh)

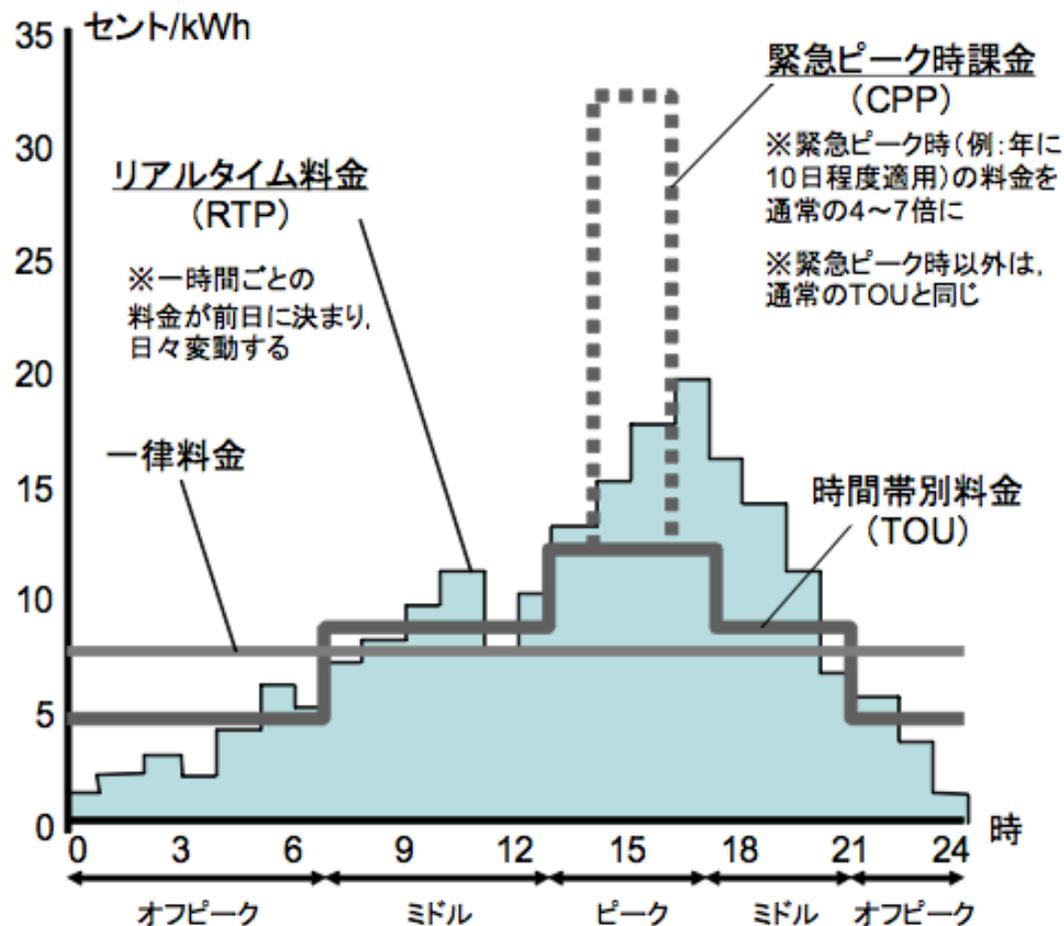
ものすごいピークの日にはPJM全体でピークに支払われる金額を計算してみた

- 早朝5時台(1時間分の調達総額): 140万ドル
- 午後4時台(同): 3,840万ドル
- 差額3,700万ドル(日本円で約33億円)
- PJMの年間平均価格34.57ドル/MWhとの乖離で見ても3,420万ドル(同31億円)
- 仮にもものすごいピークが年に5回、計5時間だけ出現するとしても、ピークに対する追加支払額(平均に対する追加)は約150億円
- 普通のピーク等を勘案すれば、年間1,000億円程度はピーク負担額になっているはず

東京電力とほぼ同じ規模を持つPJMでは年間1,000億円までをデマンドレスポンスに投下できる経済合理性がありそう

米国のデマンドレスポンス

デマンドレスポンスの基本 - ただし消費者向け



- しっかりと理解したい方は電力中央研究所報告「米国における家庭用デマンドレスポンス・プログラムの現状と展望 -パイロットプログラムの評価と本格導入における課題」をお読みいただくのが一番

出典: 電力中央研究所報告「米国における家庭用デマンドレスポンス・プログラムの現状と展望 -パイロットプログラムの評価と本格導入における課題」

デマンドレスポンスの基本

- TOU (Time Of Use)/時間帯別料金:
 - ▣ オフピークとピークとの時間帯によって料金体系を変えるだけ。日本の消費者向け深夜電力料金が一例
 - ▣ 米国の様々な事例を集めた前掲報告書によると、TOUは、需要削減にはあまり効果がない。消費者はめんどくさがり
- CPP (Critical Peak Pricing)/緊急ピーク時課金:
 - ▣ ピーク時に電力卸料金が急上昇しそうであれば、注意報を流して、非常に高い料金を課すことを伝達する。通常、前日に注意報を流す。年に10日～15日程度
 - ▣ 消費者は「はっ」とするので、自発的に消費電力削減行動を取る。効果は比較的高い
- RTP (Real Time Pricing)/リアルタイム料金:
 - ▣ 前日に翌日の時間帯別料金(卸価格)がわかった時点で、消費者に翌日の1時間ごとの料金を伝達する
 - ▣ 消費者はそう毎日、「翌日の時々刻々と変わる料金」を気にするわけではなく、あまり効果はない
- PTR (Peak Time Rebate)/緊急ピーク時リベート:
 - ▣ ピーク時に電力消費を削減してくれた消費者に対して、リベートを支払う
 - ▣ お金をもらえることが確実な世帯では、これに従うが、削減してもあまり大したリベート額にならない世帯では無視する。全体としての消費削減効果は大きくない

同報告書が提供している知見

(インターテックリサーチ新谷さんのブログからコピペですが)

- ① **大口需要家の負荷制御 (Interruptible Load)**の方が、一般家庭よりもピーク需要削減に貢献している
- ② 一般家庭では、TOU/CPP/RTP/PTRといった料金メニューでのDRより、**従来からあるDSM－直接制御 (DLC, Direct Load Control)**の方が、ピーク需要削減効果が高い
- ③ TOUの効果は、CPPなどのダイナミック料金と比べて小さい
- ④ **スマートサーモスタットなどの支援技術を伴う場合**の方が、TOUやCPP単体の場合より良い結果が得られている
- ⑤ スマートサーモスタット等の支援技術は、消費電力の大きな家庭への導入が効果的である
- ⑥ 冬季は夏季に比べてCPP等の効果が小さいか、効果が認められない
- ⑦ **ピーク需要の削減量の大きい上位30%の需要家で、ピーク需要の削減量全体の80%を占める**
- ⑧ セントラルエアコンを所有している等、消費電力量の大きい需要家の方がDRの効果が出やすい。他方、消費電力量の少ない需要家の方が、年間電気料金削減幅が大きい傾向にある

Progress Energyが行っている 「需要刈り込み」方策EnergyWise (1)

- フロリダなどで営業するProgress Energyはオバマ政権のスマートグリッド助成金2億ドル(最大のもの)を得た6社の1社。米国を代表するフラッグシッププロジェクトだと言える
- 同社は“Optimized Energy Value Chain”と呼ばれるVirtual Power Plantプロジェクトを実施中
- VPPとは、電力会社の送配電網に接続されている発電所、企業の自家発電、家庭の再生可能エネルギー発電、EVの蓄電池、さらには企業と家庭の「需要の固まり」などをすべて仮想的にプールして、それを仮想的な発電所に見立てて活用しようという発想

Progress Energyが行っている 「需要刈り込み」方策EnergyWise (3)

- 同社はEnergyWiseと呼ばれるデマンドレスポンスプログラムを消費者に提供。同社顧客は無料で加入できる
- 節電成果が出れば年間最大150ドル程度の金銭メリットが消費者に生じる
- EnergyWise加入世帯にはスマートメーターに加えて「自動節電信号受信装置」とエアコンなどに付ける「自動節電機能アタッチメント」を無料で設置(ひょっとするとスマートメーターを必ずしも必要としない仕組みかも知れない)
- 対象機器は、温水器、エアコン、プール用ポンプなど電力消費量の多いもの3-4種
- 電力卸売価格が高騰するピークになると、Progress Energyが営業管内で電波シグナルを発し、それを家庭の装置が受信して、自動的にエアコンなどをセーブモードにする

Progress Energyが行っている 「需要刈り込み」方策EnergyWise (4)

- 消費者が何もしなくても、自動的にピーク時間帯の電力消費が削減できることがポイント！
- これはいわゆるDLC (Direct Load Control) = 電力需要の自動刈り込み

わかったこと

- 米国では電力自由化を進め、卸売電力市場からみんなが買う仕組みにしたために、売り惜しみする人が出て電力料金が高くなっている
- その結果として、小売事業者はデマンドレスポンスに取り組む経済合理性が出てきた
- 東京電力と同じ規模を持つPJMでは、年間1,000億円程度までならDRに投下してもよさそう
- ただし、消費者向けのDRは一般論としては、芳しくない。Progress EnergyのようなDLCなら効果がありそう。もっと効果があるのは大口需要家のDR (特にDLC)