

米国・PJMにおける調整力の取り扱い

MRI 三菱総合研究所

2024年3月18日

エネルギー・サステナビリティ事業本部

目次

1.PJMにおける調整力調達の概要	4
2.Reserveの取り扱い	7
3.Regulationの取り扱い	13
4.米国・PJMにおける調整力の取り扱い まとめ	24

注:本資料は、「令和5年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業(同時市場に関する詳細設計等に係る調査等事業)」の調査内容に基づいて作成・一部加工。

はじめに

- 第4回検討会では、PJMの卸電力市場(kWh取引)に係る入札制度や起動費の取り漏れ等に対するUplift支払いの仕組みについて、ご報告を行った。
- 今回、PJMで扱われている調整力の区分や調整力の入札・約定処理・精算の仕組み、卸電力市場と調整力市場における義務等について、文献調査を通じて把握できたため、今後の議論の参考としてその内容をご報告する。
 - PJMの調整力調達の仕組みは、前日市場からリアルタイム市場にかけて複雑な構造となっており、日本の調整力調達の考え方とも大きく異なる。そのため、PJMの仕組みを事細かにご報告するのではなく、今後の議論の参考となるように調整力調達の要点・特徴に絞ってご報告する。

PJMにおける調整力調達の概要

PJMにおける調整力区分

- PJMでは大きく3区分の調整力(Reserve、Regulation、Frequency Response)が存在する。
- このうち、日本の一次調整力(GF)に相当するFrequency Responseは強制供出となっており、それ以外のRegulation、Reserveが市場調達の対象となっている。
- 本日は、市場調達の対象であるRegulationとReserve(下表の**青枠**)を中心にご報告する。

PJMにおける調整力区分の概要

名称		特性	所定出力 到達時間	調達方法
Reserve	Synchronized Reserve	同期発電・需要リソースによる 10分以内での出力調整能力	10分以内	市場調達
	Non-Synchronized Reserve	非同期発電・需要リソースによる10分 以内での出力調整能力	10分以内	市場調達
	Secondary Reserve	30分以内での出力調整能力 (同期発電である必要なし)	30分以内	市場調達
Regulation		指令後5分以内での出力調整能力。 PJMからのAGCシグナルに従う機能 が必要	5分以内	市場調達
Frequency Response		ガバナまたは同等の制御装置を用いて、 系統周波数偏差に応じて自律的に出力 調整を行う能力。	—	強制供出

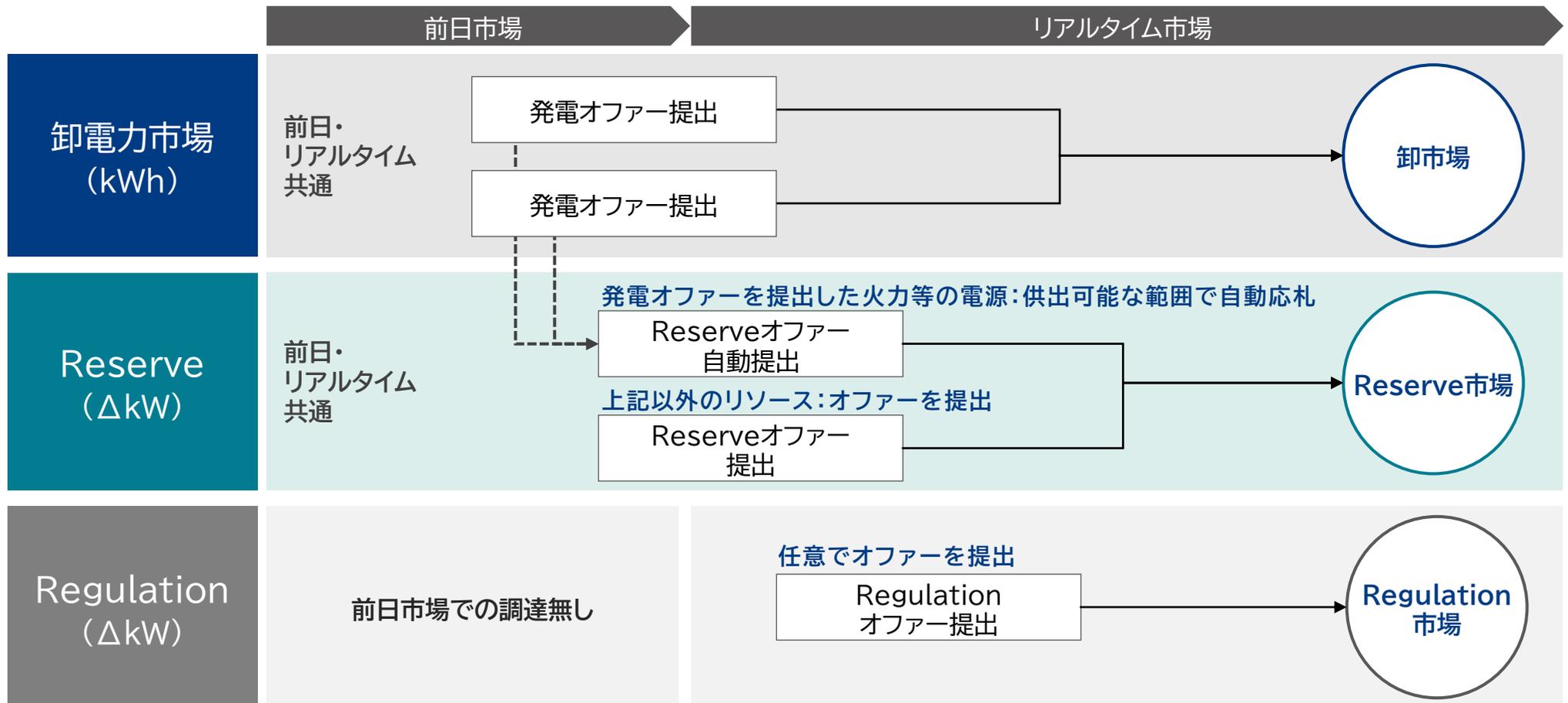
出所)電力広域的運用推進機関、「欧米諸国の需給調整市場に関する調査」, p.76, 2018年7月

PJM, "PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market Operations Revision: 129 (Effective Date: February 22, 2024)", p.12, p.27-30, p.83-84, p.104-107, 2024年2月22日

PJM, "Open Access Transmission Tariff, Effective Date: 1/3/2023 - Docket #: ER22-2110-000 - Page 5", 2023年3月1日より三菱総合研究所作成

PJMの卸電力市場取引と調整力取引との対応関係

- 容量市場で落札された電源は、卸電力市場とReserve市場の両方に応札する市場応札義務を有している。
※容量市場で落札されたDRリソースには市場応札義務は課されておらず、緊急時のデマンドレスポンスに応じる義務が課せられる。
- また、卸電力市場に発電オファーを提出した火力等の電源のうち、Reserveを供出可能な電源はReserve市場に応札したとみなされる。それ以外のリソースは、Reserve市場にオファーを提出することが出来る。
- Regulationはリアルタイム市場のみ調達しており、応札希望リソースはRegulationオファーを提出する。



出所)PJM, "PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market Operations Revision: 129 (Effective Date: February 22, 2024)", p.12, p.27-30, p.83-84, p.104-107, 2024年2月22日
PJM, PJM Manual 18: PJM Capacity Market Revision: 58 (Effective Date: November 15, 2023), p.137, 2023年11月15日より三菱総合研究所作成

Reserveの取り扱い

- 入札方法
- リソースの約定方法・約定価格の決定方法
- 調整力調達費用の負担の考え方

Reserveオファ어의情報

- Reserve市場に参加する場合、入札量、価格情報を登録する。
 - 火力等の電源のうち、発電オファ어를提出した電源はReserve市場に応札したとみなされ、卸電力市場のオファ어情報やランプレートに基づいて、PJMによって入札量が自動的に登録される。
 - それ以外のリソース(DRリソース、水力発電、蓄電池)は、事業者が入札量を登録する。
- 入札価格は、Synchronized Reserveのみ登録が認められている。Synchronized Reserve Penalty想定額(※1)が上限価格として定められ、現状では0.04\$/MWhと設定されている。
- 容量市場で約定した電源は、卸電力市場およびReserve市場に応札する市場応札義務が課せられている。市場応札義務を有する電源が、dispatchableな領域を持つにも関わらず、Reserve容量を供出可能(available)としない場合は、応札義務を満たしていないとみなされる。

Reserveオファ어의入札項目

項目		火力等の電源の場合(※2)	DRリソース、水力発電、蓄電池
入札量 Reserve Offer MW		電源の運転パラメータを用いて、PJMが入札量を算定(※3)	商品の応動要件を満たす範囲で、事業者が入札量を登録
入札価格 Reserve Offer Price	Synchronized Reserve	入札価格を登録 (現在の上限価格は0.04\$/MWh※1)	
	Non-Synchronized Reserve	価格登録不可(ゼロコストオファ어とみなされる)	
	Secondary Reserve		

※1: Synchronized Reserveとして約定したリソースがReserve供出できなかった場合、提供できなかった容量にリアルタイムのReserve約定価格を乗じたペナルティ額が課せられる。

※2: 太陽光・風力・原子力は、通常Reserve入札の適用外とされている。PJMの例外承認を得た場合、電源としてReserve市場に応札可能となる。

※3: Reserveオファ어項目以外にも、卸電力取引の入札に用いられるパラメーター(ランプレート、Economic Max等)も考慮して算定されている。詳細はp.9参照。

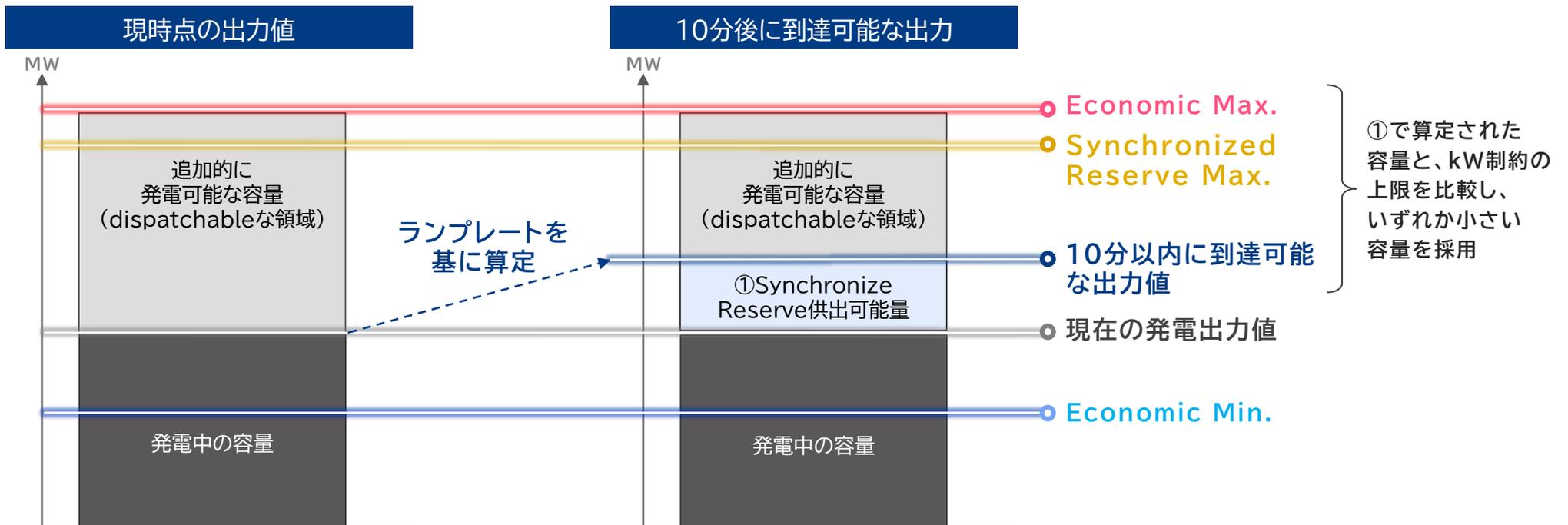
出所) PJM, "PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market Operations Revision: 129 (Effective Date: February 22, 2024)", p.102-134, 2024年2月22日

PJM, "PJM Regulation Market", p.4-8, 2018年8月10日より三菱総合研究所作成

(参考)火力等の電源における入札量の算定方法

- 発電オファーを提出した火力等の電源は、卸電力市場のオファー情報やランプレートに基づいてReserve入札量が自動的に登録される。PJMは下記の考え方に基づいてReserve供出可能量を算定する。
 - ① ランプレートを踏まえて、指令後10分以内に出力変動可能な容量を算出
 - ② 出力容量上限(Economic Max.)とReserve容量上限(Synchronized Reserve Max.)のいずれか低い容量上限と、同時最適化によって決定された出力値(MW)との差分を算出
 - ③ 算出した①と②の容量上限(kW制約)を比較し、いずれか小さい値をSynchronize Reserve供出可能量として決定

Synchronized Reserve入札量の算定方法



※Eco. Max. > Synchronized Reserve Max. > Eco. Min.の場合を記載しているが、kW制約はリソース特性等に応じて登録可能である。

出所) PJM, "Reserve Markets Overview", p.23, 2023年10月10日を基に三菱総合研究所作成

Reserveの約定方法: 約定リソース・約定価格の決定

- PJMでは、卸電力市場(kWh取引)とReserve市場が同時最適化されている。その為、Reserveの約定時に、事業者が登録したReserve入札価格に加えて、卸電力市場との同時最適化に係る逸失利益(※1)をPJM側で算定・上乗せして、リソース毎に実効コストが算定されている。

※1: PJMのマニュアル等においては、Opportunity Cost(機会費用)と表現されているものの、日本の需給調整市場ガイドライン(2023年3月10日改定、経済産業省)においては、kWhの持ち下げでΔkWを確保する場合の卸電力市場(kWh市場)価格(予想)と限界費用の差のことを「逸失利益」と表現しているため、本資料でも「逸失利益」と記載。以下のページの資料でも同様。

- Reserve必要量を満たすまで実効コスト(※2)が安いリソースから順に、メリットオーダーで約定させる。
- Reserveとして約定したリソースのうち、最も高い実効コストがReserve市場の約定価格(下表**青枠内**)となり、シングルプライスで決定される。

Reserveの約定方法(イメージ※3) | Reserve必要調達量: 35MWとした場合

リソース	Reserve入札量(MW)	実効コスト(※2)	約定量(MW)	約定価格
リソースA	10	0.10\$/MWh	10	0.20\$/MWh
リソースB	10	0.10\$/MWh	10	
リソースC	10	0.15\$/MWh	10	
リソースD	10	0.20\$/MWh	5 (マージナル)	
リソースE	10	0.50\$/MWh	0 (不落札)	—

※2: Reserveオファーの入札価格に加えて、卸電力市場との同時最適化に係る逸失利益(Opportunity Cost)を上乗せし、実効コスト(Effective Cost)として算定されていると表現されているが、その考え方は明確に確認できていないため、追加確認が必要である。

※3: ご議論の参考となる情報を提供するため、前日市場におけるReserveの約定方法を基に作成した。リアルタイム市場も同様の考え方を採用しているが、PJMでは実需給65分前～実需給10分前にかけて複数回の約定タイミングが存在するため、約定リソースや約定価格の決定方法がより複雑となっている。

出所)PJM, "Current Offer Structure and Pricing Outcomes for Reserve", p.15, 2023年11月26日より三菱総合研究所作成 ※価格算定の概念を簡略化して示したものである点にご留意頂きたい。

(参考) Reserveが不足している場合のReserveの価格上昇の仕組み

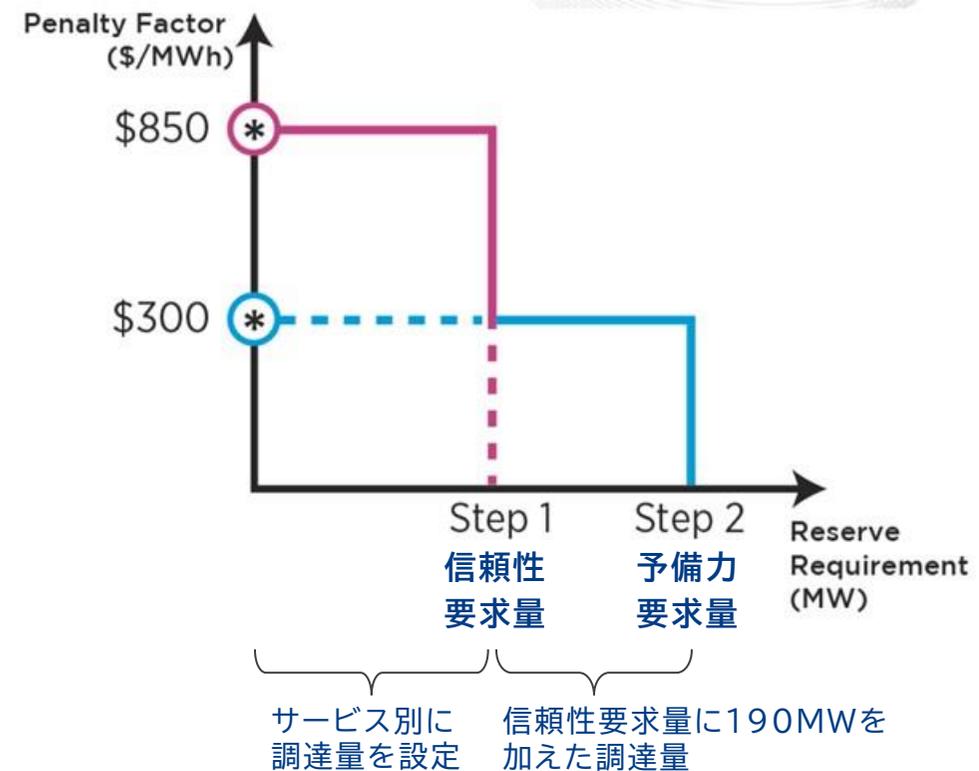


- PJMでは人為的にReserveの約定価格が上昇する仕組みが存在する。
- 調達目標量を満たしている平常時は、p.10の考え方に基づいて約定価格が算定される。一方、Reserveの調達不足が発生した場合は、域内全体とサブゾーン毎に人為的に作成されたReserveの需要曲線で定められたペナルティ価格(300\$/MWhまたは850\$/MWh)まで、人為的に約定価格が上昇する。

Reserveの需要曲線の形状と設定方法(平常時)

	Reserveサービス		
	Synchronized Reserve(SR)	Primary Reserve(PR)	30-minute Reserve
信頼性要求量 Reliability Requirement	最大の単一事故相当	Synchronized Reserveの信頼性要求量の150%	以下のうち、最大量を採用 ①Primary Reserveの信頼性要求量 ②3,000MW ③ガス供給に係る最大の不測事態を考慮した量
予備力要求量 Reserve Requirement	SRの信頼性要求量と追加予備力要求量*の合計	PRの信頼性要求量と追加予備力要求量*の合計	30-minute Reserveの信頼性要求量と追加予備力要求量*の合計

※追加予備力要求量(Extended Reserve Requirement)は、運用上の不確実性をカバーする追加予備力を調達するために設定される。現状では、平常時は190MWと設定されている。

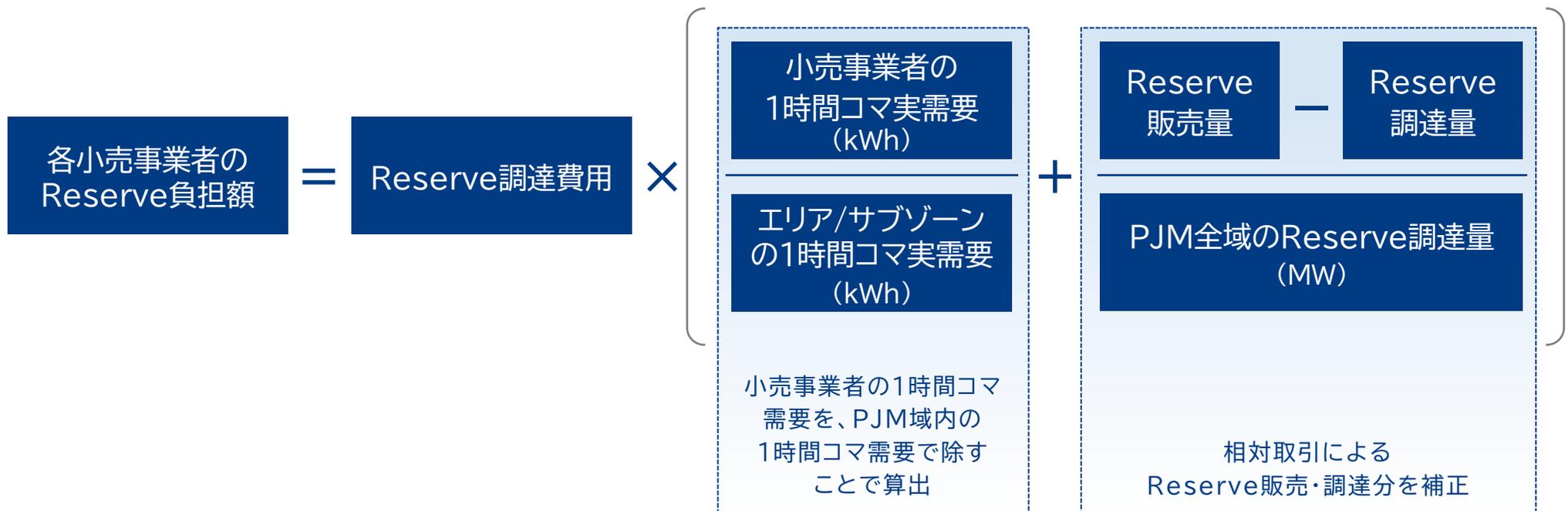


出所) PJM, "PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market Operations Revision: 126 (Effective Date: December 14, 2023)", p.101-110, 2023年12月14日
PJM, "Reserve Markets Overview", p.10, 2023年10月10日より三菱総合研究所作成・一部加筆

Reserve調達費用の負担の考え方

- PJMでは、小売事業者がReserve調達費用を金銭的に負担する義務を負う。
- 小売事業者は、1時間コマのエリア需要またはサブゾーン需要に対する、小売事業者間の実需要のkWh比率（シェア）に応じてReserve負担額を算定する。
 - PJMではReserveの相対取引(Bilateral Reserve Transaction)が存在するため、相対取引による販売分・調達分を差し引きし、小売事業者のReserve負担率(シェア)が補正される。

Reserve調達費用の負担方法



出所) PJM, "PJM Manual 28: Operating Agreement Accounting", p.28, p.69-70, 2023年11月15日

PJM, "PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market Operations Revision: 129 (Effective Date: February 22, 2024)", p.133, 2024年2月22日より三菱総合研究所作成

Regulationの取り扱い

- 入札方法
- リソースの約定方法・約定価格の決定方法
- 調整力調達費用の負担の考え方

Regulationオファーの情報

- PJMのRegulation市場に参加する場合、入札ステータス、RegulationのkW制約上下限、入札量、価格情報(詳細はp.21参照)など、様々な項目を登録する。PJMは提出されたRegulationオファーに基づいて約定処理を行う。
- 入札ステータスをSelf-Scheduledとして登録することで、価格情報をゼロ(プライステイカー)とみなして約定処理が行われる。

Regulation Offerの入札項目一覧

入札項目		登録内容
入札ステータス Regulation Status		<ul style="list-style-type: none"> ■ Regulationの利用可否を登録 (応札を希望する場合: Available, プライステイカーとして応札を希望する場合: Self-Scheduled、応札を希望しない場合: Unavailable)
kW制約	Regulation Max.	■ Regulationへ入札可能な出力上限(MW)を登録
	Regulation Min.	■ Regulationへ入札可能な出力下限(MW)を登録
入札量 Regulation Capability		<ul style="list-style-type: none"> ■ Regulationへの入札量(MW)を登録 ■ 上げ方向・下げ方向の片側容量として登録するが、約定時には上げ・下げ両方を調達
シグナルタイプ(※) Regulation Signal type		■ シグナルタイプ(RegA or RegD)を選択
価格情報 (p.21参照)	容量価値 Capability cost又は Capability price	<ul style="list-style-type: none"> ■ Regulationとして確保された容量(MW)に対する入札価格(\$/MW)を登録 ■ Self-Scheduledとして登録された場合、0と評価される
	応動価値 Performance cost 又は Performance price	<ul style="list-style-type: none"> ■ Regulationとして稼働した容量に対する価格(\$/ΔMW)を登録 ■ Self-Scheduledとして登録された場合、0と評価される

※Regulationには2種類の信号があり、RegAは出力変化速度に制限がある従来電源(汽力、燃焼タービン、コンバインドサイクル等)に対応し、RegDはエネルギー量(kWh)に制限のあるリソース(蓄電池、フライホイール、デマンドサイドリソース等)に対応する。

出所) PJM, "PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market Operations Revision: 126 (Effective Date: May 31, 2023)", p.83-84, 2023年3月31日

PJM, "PJM Regulation Market", p.4-8, 2018年8月10日

PJM, "Regulation Control", p.3, 2022年より三菱総合研究所作成

Regulationの入札方法

- Regulationオファーを行う場合、入札価格を登録する際はAvailableとして登録し、プライステイカーとして登録する場合はSelf-Scheduledとして登録する。(※両者の違いはp.22参照)
- リソースの特性を踏まえてRegulationのkW制約の上下限(Reg. Max.とReg. Min.)を登録する。この範囲内において、Regulation入札量を設定することが出来る。

Regulationオファーの入札方法

Regulationの入札方法(イメージ図)		
	Energyオファーのみの場合	Regulationオファーを行う場合
①ステータス情報を登録	Regulationへ応札しない場合: Unavailableとして登録	入札価格を登録して応札する場合: Availableとして登録 プライステイカーとして応札する場合: Self-Scheduledとして登録
②発電量およびRegulation入札可能量を登録	<p>Economic Max.: Economic Dispatchに従うことができる最大の出力増分値</p> <p>Economic Min.: Economic Dispatchに従うことができる最小の出力増分値</p> <p>Regulation Max.: Regulationを入札可能な最大の出力値(注:リソースの特性による)</p> <p>Regulation Min.: Regulationを入札可能な最小の出力値(注:リソースの特性による)</p>	

※仮にDispatchable Rangeを超えてRegulation Max./Minが設定された場合、Economic Max.またはEconomic Min.やそれ以外の最も厳しい制約条件によって入札可能量が補正される。図はEco. Max. > Reg. Max. > Reg. Min. > Eco. Min.の場合を記載しているが、リソース特性に応じて任意の値で登録可能である。

出所) PJM, "PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market Operations Revision: 126 (Effective Date: May 31, 2023)", p.85, 2023年3月31日

PJM, "PJM Regulation Market", p.4-8, 2018年8月10日

PJM, "PJM Manual 12: Balancing Operations Revision: 50 (Effective Date: November 10, 2023)", p.41, 2023年10月10日より三菱総合研究所作成

Regulationの約定方法: 約定リソースの決定

- 登録されたオファー価格(容量価値と応動価値)に、Regulation供出による卸電力市場での逸失利益を合計した値を**Rank**と呼び、Rankの合計値が最も低いリソースからメリットオーダー順に約定リソースを決定する。
 - 逸失利益(※)はPJMが同時最適処理時に算定し、Rank評価時に考慮される。
※逸失利益の定義は約定処理時・約定価格算定時・リソースへの対価の精算時においてそれぞれ異なる。詳細はp.19参照。
- 過去の応動実績からリソース毎にパフォーマンス値(0~1)が算定され、オファー価格および逸失利益をパフォーマンス値で除すことにより、リソース別にRankの補正処理を行っている。パフォーマンス値が低い(つまり、0に近い)ほど高く補正され、約定処理上は不利になる。

Regulationの約定処理に用いるRankの考え方



Regulationの約定方法の考え方

リソース	入札ステータス	パフォーマンス値	容量価値	応動価値	逸失利益 (p.19参照)	Rank	
						補正前	補正後
リソースA	Self-Scheduled	1	0	0	0	0	0
リソースB	Available	1	5	2	1	8	8
リソースC	Available	0.8	5	1	2	8	10 ※パフォーマンス値0.8で除した値
リソース...

必要量を満たすまで、補正後Rankのメリットオーダーで約定リソース決定

出所) PJM, "Regulation Overview", p.28-32, 2022年3月22日

PJM, "PJM Regulation Lost Opportunity Cost Overview", p.3-4, 2022年9月20日

PJM, "PJM Manual 12: Balancing Operations Revision: 51 (Effective Date: December 20, 2023)", p.51, 2023年12月20日より三菱総合研究所作成

※約定方法の概念を簡略化して示したものである点にご留意頂きたい。

Regulationの約定方法: 約定価格の算定

- Regulationの必要調達量が50MWとした場合、Rank(容量価値、応動価値、逸失利益の合計)が最も低いリソースからメリットオーダー順に、必要調達量を満たすまでリソースを約定する。その後、約定したリソースのRankと応動価値をもとに、Regulationの約定価格を以下のように決定する。
 - ① 約定したリソースのうち、最も高い補正後RankをRegulation総約定価格として決定する(下表青枠)。補正後Rankは容量価値と応動価値を含む概念であるため、両者を切り分ける必要がある。
 - ② そこで約定したリソースのうち、最も高い応動価値を、**応動価値のシングルプライスと決定**する(下表緑枠)。
 - ③ ①で算出したRegulation総約定価格から、②で算出した応動価値のシングルプライスを差し引くことで、**容量価値(※)のシングルプライスを決定**する。(= 青枠の金額 - 緑枠の金額)
※この時、逸失利益に関する価値も一部内包される。また逸失利益の定義は約定処理時・約定価格算定時・リソースへの対価の精算時においてそれぞれ異なる。詳細はp.19参照。
- シングルプライス約定額を算定した後、リソースのパフォーマンス値に応じて実際の調整力収入が補正される。

Regulationの約定価格の算定方法(イメージ) | Regulation必要調達量: 50MWとした場合

リソース	入札ステータス	パフォーマンス値	容量価値	応動価値	逸失利益 (p.19参照)	Rank		約定量 (MW)
						補正前	補正後	
リソースA	Self-Scheduled (プライステイカー)	1	0	0	0	0	0	20
リソースB	Available	1	5	2 (最も高い 応動価値)	1	8	8	15
リソースC	Available	0.8	5	1	2	8	10	10
リソースD	Available	1	7	1	5	13	13 (総約定価格)	5 (マージナル)
リソースE	Available	1	10	2	3	15	15	0 (非約定)

出所) PJM, "Regulation Overview", p.28-32, 2022年3月22日より三菱総合研究所作成 ※価格算定を簡略化して示したものである点にご留意頂きたい。

Regulationの精算方法

- 調整力提供者には、シングルプライスで決定された約定価格(容量価値・応動価値)にRegulation約定量を乗じた金額の対価が得られる。応動価値・容量価値はリソース毎のパフォーマンス値によって精度の高いリソースほど高対価となるように補正され、さらに応動価値はマイレージ比率(シグナルタイプの選択に応じた応動量の補正)によって補正される。
- 前項の通りシングルプライスで決定された容量価値には、マージナルなリソースの逸失利益が一部内包されている。また、逸失利益の取り漏れが発生する場合はその費用が補填される。
(※逸失利益の定義は約定処理時・約定価格算定時・リソースへの対価の精算時においてそれぞれ異なる。詳細はp.19-20参照)

Regulation Marketの精算(容量価値・応動価値)

区分	計算式
容量価値 Capacity Cost	Regulation Market Capability Clearing Price(RMCCP) Credit = Five minute integrated Regulation MW * Five minute Performance Score ^{※1} * Five minute RMCCP / 12) リソースが受け取る容量価値 = 5分コマのRegulation量(MW) × 5分コマにおけるパフォーマンス値 × 5分コマにおける容量価値の約定価格 ÷ 12
応動価値 Performance Cost	Regulation Market Performance Clearing Price(RMPCP) Credit = Five minute integrated Regulation MW * Five minute Performance Score ^{※1} * Mileage Ratio ^{※2} * Five minute RMPCP / 12 リソースが受け取る応動価値 = 5分コマのRegulation量(MW) × 5分コマにおけるパフォーマンス値 × マイレージ比率 ^{※1} × 5分コマにおける応動価値の約定価格 ÷ 12

※1:Performance Scoreは、Regulationを提供するリソースの精度を評価した1時間当たりの値。PJMは、10秒ごとにRegulation信号とリソースの動作状況を収集し、Performance Scoreを計算する。

※2:Mileageとは、Regulation制御信号によって要求される応動量のこと。Mileage Ratioとは、RegA信号の時間当たりMileageに対する、リソースのシグナル種別に応じた時間当たりMileageの比率であり、一般にRegDシグナルを選択したほうがより高い対価に補正される。RegA信号を選択した場合の比率は1となる。

出所) PJM, "Regulation Overview", p.28-32, 2022年3月22日,

PJM, "PJM Manual 28: Operating Agreement Accounting", p.29-30, 2023年11月15日

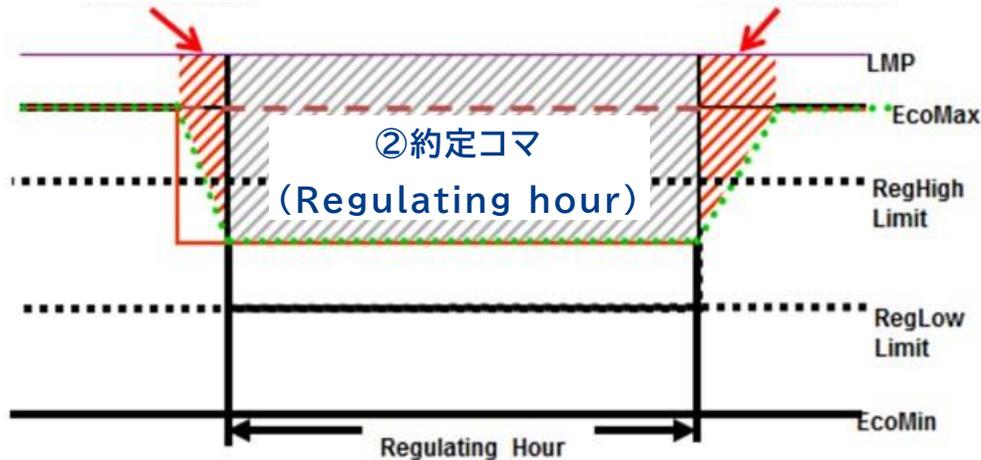
PJM, "PJM Manual 12: Balancing Operations", p.50, 2023年9月20日より三菱総合研究所作成

(参考)Regulationにおける逸失利益の範囲

- Regulationにおける逸失利益には3種類存在する。
 - ① 約定コマの前に、約定コマの出力値に向けた出力変化時に発生する逸失利益(Shoulder interval before)
 - ② 約定コマに発生する逸失利益(Regulating hour)
 - ③ 約定コマの後に、次の約定コマの出力値に向けた出力変化時に発生する逸失利益(Shoulder interval after)
- 約定処理時、約定価格の算定時、リソースへの対価の精算時に考慮される逸失利益の範囲や採用する値(予想値または実績値)が異なる。
 - 約定処理時: 約定コマの前と約定コマにおける逸失利益(予想値)を考慮
 - 約定価格の算定時: 約定コマにおける逸失利益(実績)を考慮
 - 対価の精算時: 約定コマの前後と約定コマにおける逸失利益(実績)を考慮

逸失利益の種類

- ① 約定コマの前の時間 (Shoulder interval before) ③ 約定コマの後の時間 (Shoulder interval after)



約定・価格算定・精算時の逸失利益の対応関係

	逸失利益の種類		
	① 約定コマの前	② 約定コマ	③ 約定コマの後
約定処理	○ (予想値)	○ (予想値)	—
約定価格の算定時	—	○ (実績)	—
対価の精算時	○ (実績)	○ (実績)	○ (実績)

出所) PJM, "Regulation Uplift and Lost Opportunity Cost: Sample Calculations",

(<https://www2.pjm.com/-/media/markets-ops/ancillary/regulation-uplift-and-lost-opportunity-cost.ashx>)より三菱総合研究所作成・一部加筆

(参考)逸失利益の取り漏れが発生したリソースへの補填

- プールスケジュール(※1)としてRegulationに応札したリソースが約定した場合、Regulation収入を受け取ってもなお逸失利益の取り漏れが発生した場合はPJMから補填を受ける権利を有する。
※1:卸電力市場とRegulation市場への入札ステータスは個別に登録するため、この場合はRegulation市場にプールスケジュールとして登録したことを指す。
- リソースへの精算時における逸失利益の対象は、約定コマと約定コマの前後の時間に発生した逸失利益の合計となる。(※約定処理や約定価格算定時の逸失利益の定義とは異なる。詳細はp.19参照)
- Regulation市場での逸失利益の取り漏れは、以下の計算式に基づいて計算される。
 - Regulationオファーと逸失利益の合計額を12で除した値(※2)が、Regulationの約定収入合計額よりも大きい場合、下記の逸失利益判定式の結果が正の値となる。その場合は逸失利益が発生しているとみなされて補填される。下記の判定式の結果がゼロまたは負の値となった場合、Regulationの約定収入合計額によって逸失利益は回収済みとみなされ、逸失利益の補填額はゼロとなる。

Regulationの逸失利益の取り漏れ判定

$$\text{逸失利益の補填額} = \left(\frac{\text{Regulation オファー} + \text{Regulationによる逸失利益 (p.19参照)}}{12^{※2}} \right) - \text{Regulationの約定収入合計額}$$

※2:12で除す理由は、PJMのリアルタイム市場は5分×12コマに分割されて運用されているため、5分コマあたりの金額に換算する必要があることに由来する。

(参考)Regulationにおける価格規律

- PJMではRegulation市場における応札者の市場支配力行使の可能性を防ぐために、以下のような取り組みを実施している。
 - **価格規律**: 応札を希望するリソースはコストベースでの入札価格登録が要求されている。コストベースの入札価格を登録した事業者は、プライスベースでの入札も任意で認められている。
 - **潜在的な市場支配力行使に対するPJMの緩和措置**: 登録されたRegulationオファーに基づき、PJMは市場支配力を行使する可能性のあるオファーを特定するために、Three Pivotal Supplier Test (TPS Test)を実施する。TPSテストをクリアできなかったリソースは、市場支配力を行使する可能性があるともみなされ、PJMによってコストベースまたはプライスベースの入札価格のうち、より安価な入札価格が上限 (offer-capped)となる。
- Regulation市場にコストベースの入札価格を登録する場合、PJMの“Cost Development Guideline”に定められた価格規律に従ってオファーコスト(容量価値、応動価値)を算定する必要がある。
 - Regulationを入札することに伴う熱効率の低下や燃料費増加分、定格出力以下で運転することによる運転維持費の変動等を考慮した価格以下で登録することが求められている。また、容量価値(Capability cost)には、マージン(12\$/MWh)を上乗せすることが認められている。
(※詳細なコストの考え方については別途精査が必要である。)

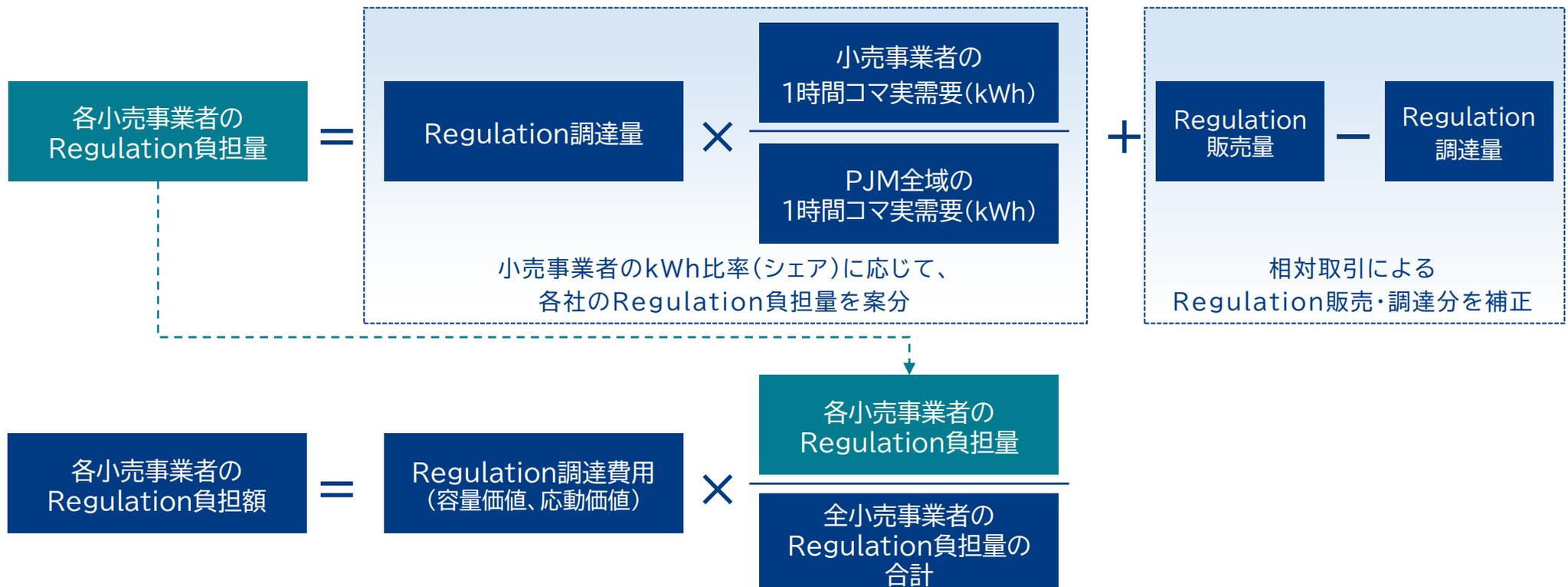
(参考)ゼロコスト入札とセルフスケジュール入札の違い

- Regulation入札時には①入札ステータスをAvailableとして登録した上で、オファー価格をゼロコストとして入札する方法と、②入札ステータスをセルフスケジュールとして登録することで、プライステイカーとみなして入札する方法の2種類が存在する。
 - 前者は、オファー価格はゼロコストであるが逸失利益が発生する可能性がある。
後者は、逸失利益を含めてプライステイカーとみなされるため、逸失利益が発生する可能性のあるゼロコスト入札よりもメリットオーダーでは優位となる。
 - Regulationに約定した後、Regulation収入を受け取ってもなおリソースの逸失利益等の取り漏れが発生した場合、前者の場合は取り漏れ費用が補填されるが、後者の場合は取り漏れが発生しても補填されない。
(詳細はp.20参照)
- もしゼロコスト入札とセルフスケジュールとして登録されたオファーの合計量が、Regulation必要調達量を超過した場合、パフォーマンス値の高いリソースから順に決定される。

Regulation調達費用の負担の考え方

- PJMでは、小売事業者がRegulation調達費用を金銭的に負担する義務を負う。
- 小売事業者は、1時間コマのエリア需要に対する、小売事業者間の実需要のkWh比率(シェア)に応じてRegulation負担量(Regulation Obligation)を算定する。
 - PJMではRegulationの相対取引(Bilateral Regulation Transaction)が存在するため、相対取引による販売分・調達分を差し引きし、小売事業者のRegulation負担量が補正される。
- 各社のRegulation負担量の比率(シェア)に応じて、調達費用を案分負担する。

Regulation調達費用の負担方法



出所) PJM, "PJM Manual 28: Operating Agreement Accounting", p.28, p.34-35 2023年11月15日

PJM, "PJM Manual 11: Energy & Ancillary Services Market Operations Revision: 129 (Effective Date: February 22, 2024)", p.88, 2024年2月22日より三菱総合研究所作成

米国・PJMにおける調整力の取り扱い まとめ

PJMにおける調整力の取り扱い：まとめ

- 調整力の種類に応じて市場応札義務と入札方法が異なるが、Regulation・Reserveの場合は、応札された登録項目を踏まえて調整力必要量を満たすまで、メリットオーダー順にリソースを約定させる。調整力調達費用は、原則として1時間ごとに要した費用を当該1時間コマの需要シェアに案分負担となる。(更に相対取引の調達分を補正し、事業者別の最終的な調達費用負担額を算定する。)
- 日本の需給調整市場と比較すると、逸失利益やその他(一定額)については、形は違えど、一定の配慮はなされているように思われる。一方、機会費用(起動費や最低出力費用のためにかかる費用)は Δ kWの入札・約定価格では、一見考慮されておらず、おそらくUplift等、他の方法で回収されているものと思われる。この点は引き続き調査が必要である。

区分	市場応札義務	入札方法	約定方法	約定価格	調達費用負担
Reserve	容量市場で約定した電源： Reserve市場への市場応札義務有 ※容量市場で約定したDRには市場応札義務はない	火力等の電源： Reserveの提供機能を持つ場合、発電オファーを提出した電源は自動的に登録※1 DRリソース、水力、蓄電池： 任意で応札可能	オファー価格・逸失利益(※2)から構成される実効コストを算出し、必要量を満たすまで実効コストのメリットオーダー順に約定	マージナルなリソースの実効コストを参照してシングルプライスで決定(※3)	原則として、1時間毎に要した調整力費用を、当該1時間コマの需要シェアに応じ小売事業者が案分負担 ※PJMでは調整力の相対取引(Bilateral transaction)による調達・販売分を考慮し、最終的な負担比率が補正される。詳細はp.12, p.23参照。
Regulation	全てのリソース： 応札義務なし	Regulationオファーを提出	オファー価格(容量価値、応動価値)と逸失利益(※4)の合計額であるRankを算出し、各リソースのパフォーマンス値でRankを補正 調整力必要量を満たすまで、補正後Rankのメリットオーダー順に約定	応動価値：マージナルな約定リソースの応動価値を、シングルプライスとして決定。その後、パフォーマンス値とマージン比率で対価を補正。 容量価値：マージナルな補正後Rankから、応動価値のシングルプライス約定単価を差し引くことで決定。その後、パフォーマンス値で対価を補正。 ※逸失利益(※4)の取り漏れが発生した場合、当該リソースに補填	
Frequency Response	強制供出	—	—	—	—

※1：太陽光・風力・原子力は通常、応札義務の適用外とされている。PJMの承認を得た場合、これらの電源もReserve市場に応札可能。

※2：Reserveにおけるリソース別の逸失利益(Opportunity cost)の考え方については別途精査が必要である。

※3：ご議論の参考となる情報を提供するため、前日市場におけるReserveの約定方法を基に作成した。リアルタイム市場も基本的な考え方は同様だが、より複雑な約定・価格算定方法が採用されている。

※4：Regulationにおける逸失利益の考え方は、リソース約定時・価格算定時・リソースへの対価の精算時によってそれぞれ異なる。詳細はp.19を参照。

未来を問い続け、変革を先駆ける

MRI 三菱総合研究所