

# 柔軟な電力市場の構築

## —デンマークとドイツの電力市場制度 の比較分析—

尚綱学院大学 東 愛子

E-mail: [a\\_azuma@shokei.ac.jp](mailto:a_azuma@shokei.ac.jp)

# 研究背景

## ■ 変動電源拡大にあたって、電力システムの備えるべき要件

- ① 安定的に電力を供給できること。(安定性)
- ② 再エネの変動に柔軟に対応できること。(柔軟性)
- ③ ①②を社会的な費用を抑制しながら行うこと。(効率性)

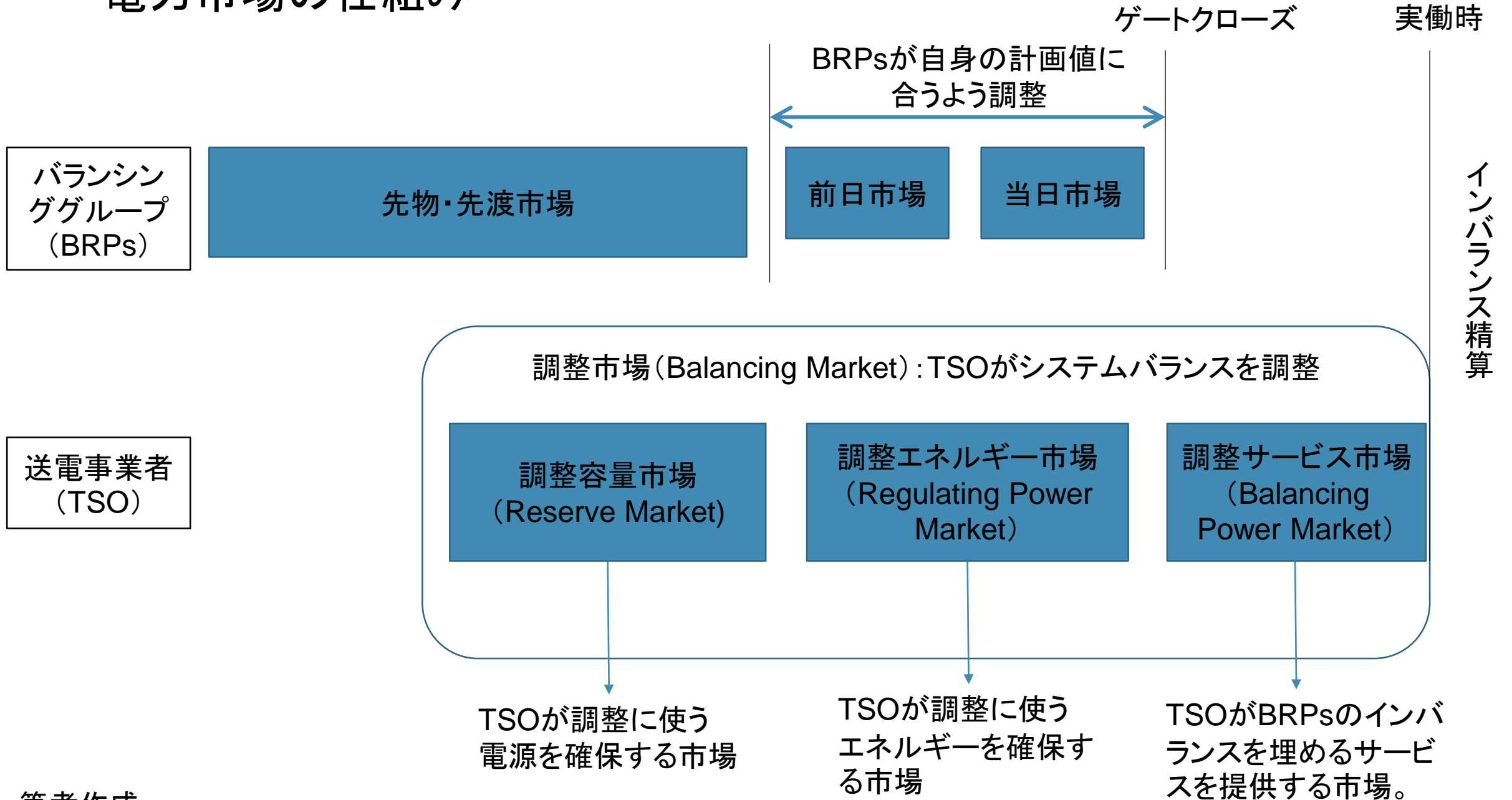
## ■ 先行研究

- 各国の電力市場制度の比較: 古澤・岡田・後藤(2014)、Musgens et al.(2014)、Neuhoff et al. (2015)
- 変動電源の拡大と電力市場制度設計: Hiroux & Saguan (2010)、Vandezande et al.(2010) , Scharff & Amelin(2016)
- 市場制度の構成要素がどのように組み合わせたり、安定性・柔軟性・効率性に影響を与えているかを検討した研究は少ない。

# 研究目的

- 電力市場の制度設計は、安定性・柔軟性・費用効率性にどのような影響をもたらすのか？
- 変動電源の普及で先行するドイツとデンマークを取り上げ、比較検討を行う。

# 電力市場の仕組み



# ドイツ: 電力市場の仕組み

2015.7.16~  
実動30分前

実働時

balancing  
group  
(BRPs)

先物・先渡市場



TSOに対する  
計画値、取引量の報告

イン  
バランス  
精算

調整容量と調整エネルギー価格を同時に入札

プライマリ  
(FRR)  
調整能力

セカンダリ  
(aFRR)  
調整能力

ミニット  
(mFRR)  
調整能力

調整市場

(調整容量市場: Balancing Capacity Market)

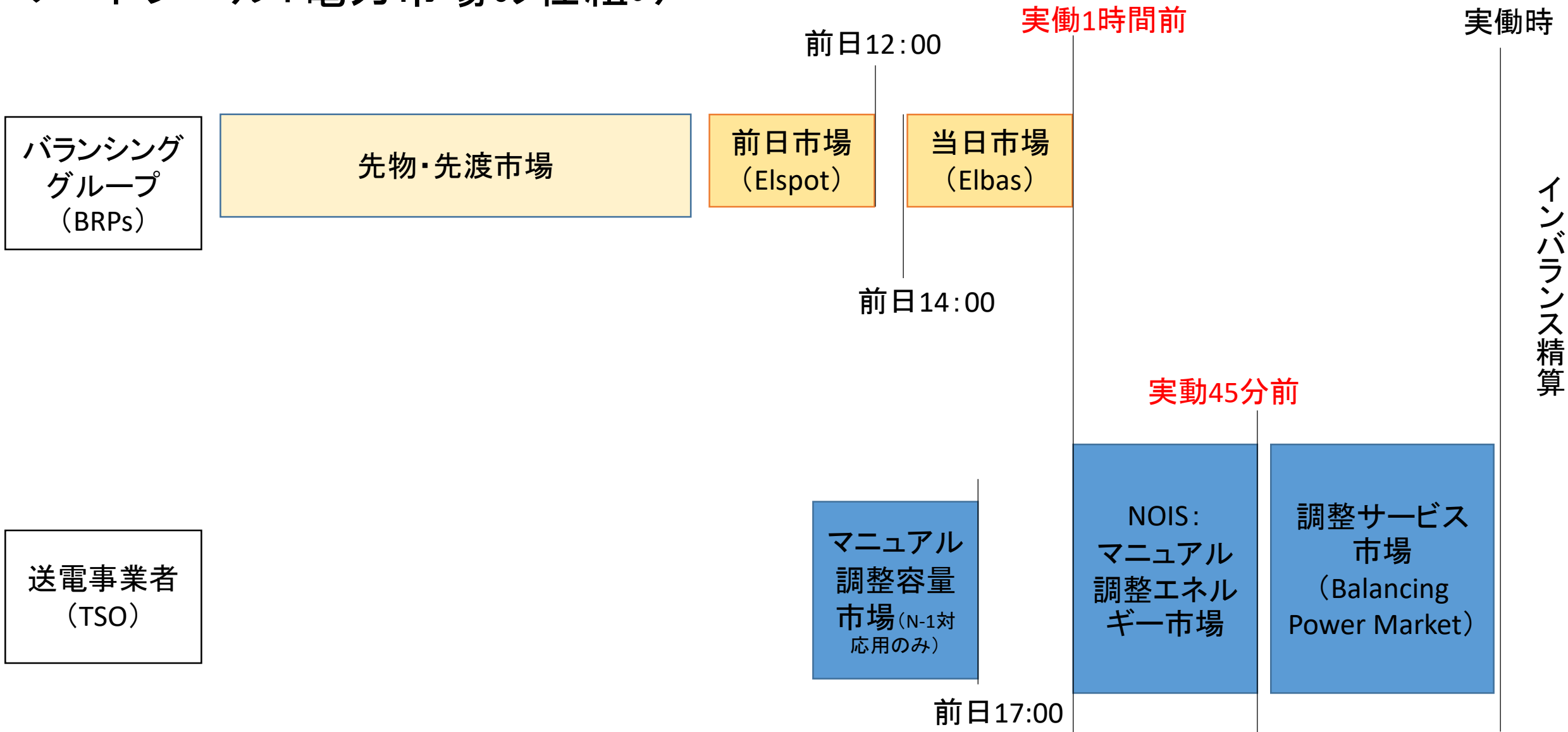
+

(調整エネルギー市場: Regulating Power Market)

調整サービス  
市場  
(Balancing  
Power Market)

前日10:00

# ノードプール: 電力市場の仕組み



基本的に、事前の容量入札はなく、調整エネルギー入札のみが行われる。

# 北欧におけるインバランス精算

当日市場で取引するかどうかは、Consumption imbalanceに適用される予測インバランス価格とIDM価格との関係に依存する。

D-1(前日市場終了時)	初期計画値提出	
	↕ 当日市場取引	↑ 修正計画値を提出しながら取引を行わない場合、Consumption imbalanceとしてインバランス精算。(Single Pricing)
h-1		
	↕ Regulating powerへの入札	
h-3/4	修正計画値提出	↑ 修正計画値と実発電の乖離は、Production imbalanceとして精算。(Dual Pricing)
h-0	実発電	

## Single Pricing

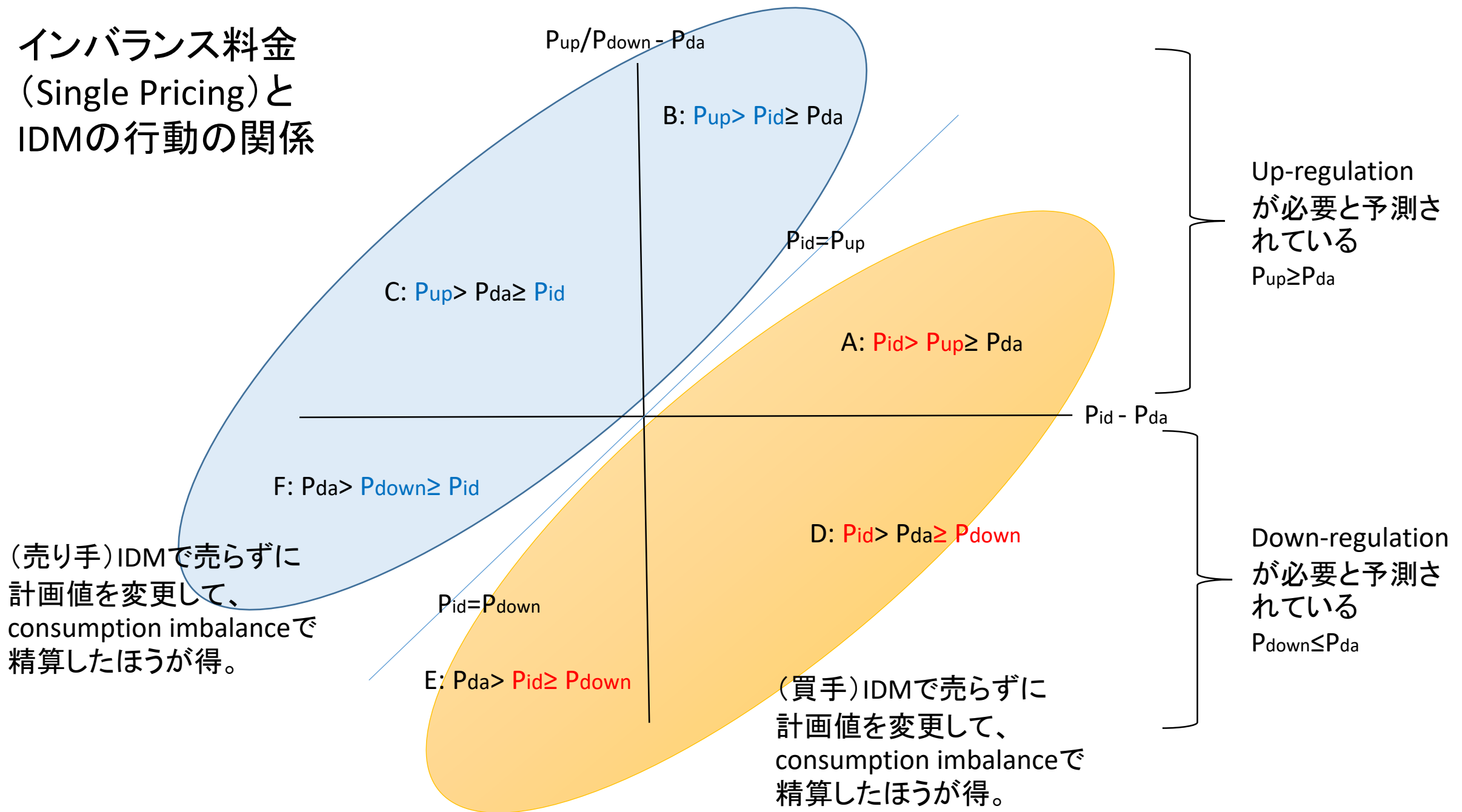
	System up-regulation (供給不足)	System Down-regulation (供給過剰)
Own deficit	Pay: $P_{up} \times E_{deficit}$	Pay: $P_{down} \times E_{deficit}$
Own excess	Receive: $P_{up} \times E_{excess}$	Receive: $P_{down} \times E_{excess}$

## Dual Pricing

	System up-regulation (供給不足)	System Down-regulation (供給過剰)
Own deficit	Pay: $P_{up} \times E_{deficit}$	Pay: $P_{da} \times E_{deficit}$
Own excess	Receive: $P_{da} \times E_{excess}$	Receive: $P_{down} \times E_{excess}$

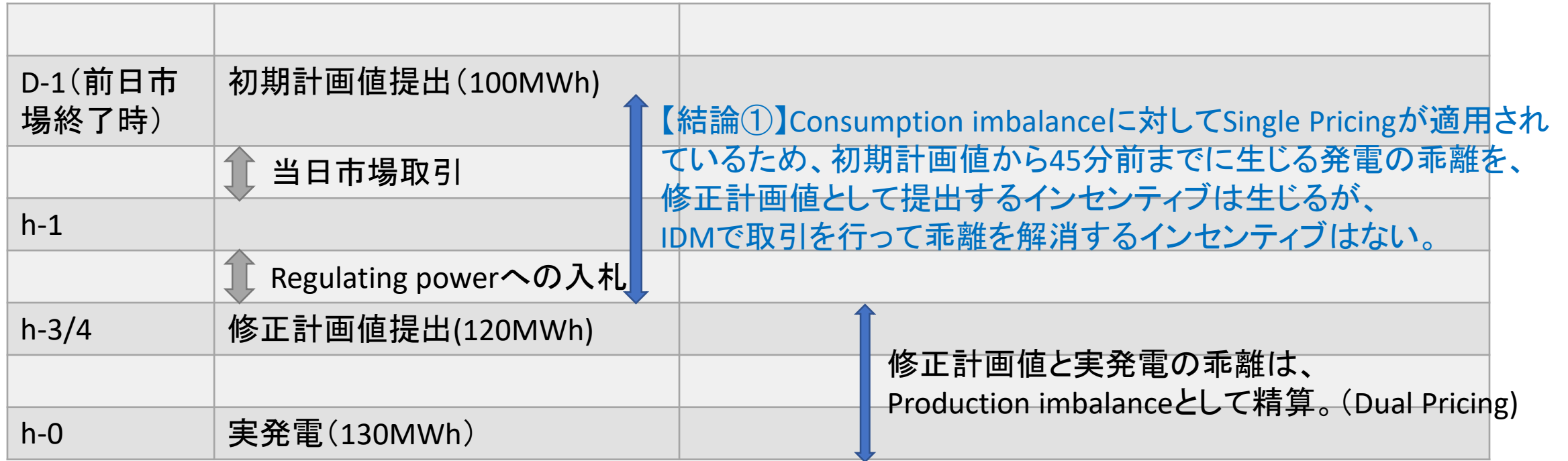
\* システムインバランスと逆のインバランスを発生させた場合、スポット価格(DAM価格)で清算される。

# インバランス料金 (Single Pricing)と IDMの行動の関係





# 北欧におけるインバランス精算方法が市場参加者の行動に与える影響①



## Single Pricing

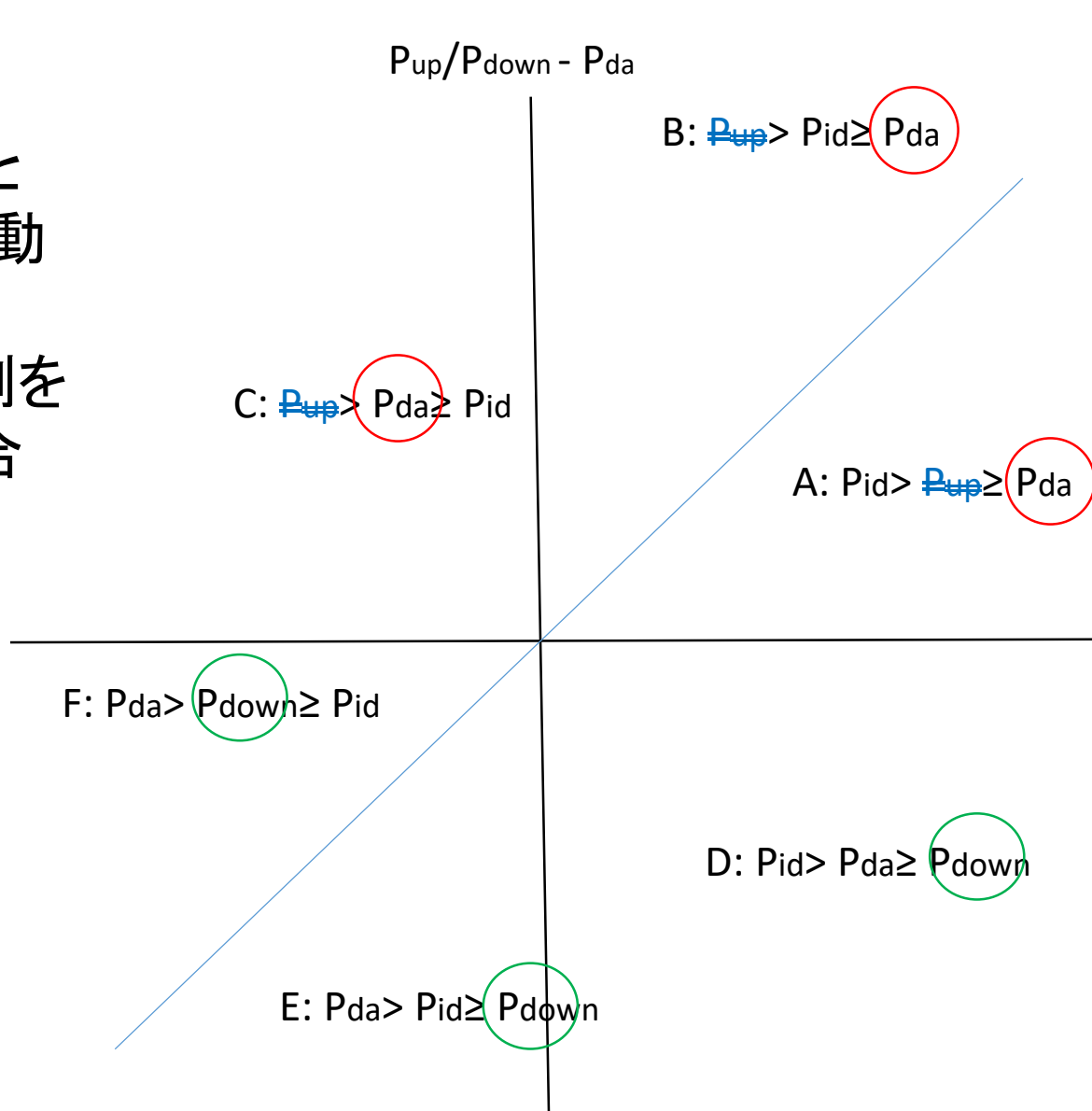
	System up-regulation (供給不足)	System Down-regulation (供給過剰)
Own deficit	Pay: $P_{up} \times E_{deficit}$	Pay: $P_{down} \times E_{deficit}$
Own excess	Receive: $P_{up} \times E_{excess}$	Receive: $P_{down} \times E_{excess}$

## Dual Pricing

	System up-regulation (供給不足)	System Down-regulation (供給過剰)
Own deficit	Pay: $P_{up} \times E_{deficit}$	Pay: $P_{da} \times E_{deficit}$
Own excess	Receive: $P_{da} \times E_{excess}$	Receive: $P_{down} \times E_{excess}$

# Production Imbalance料金 (Dual Pricing)と市場参加者行動

: 事業者が余剰を発生させる場合



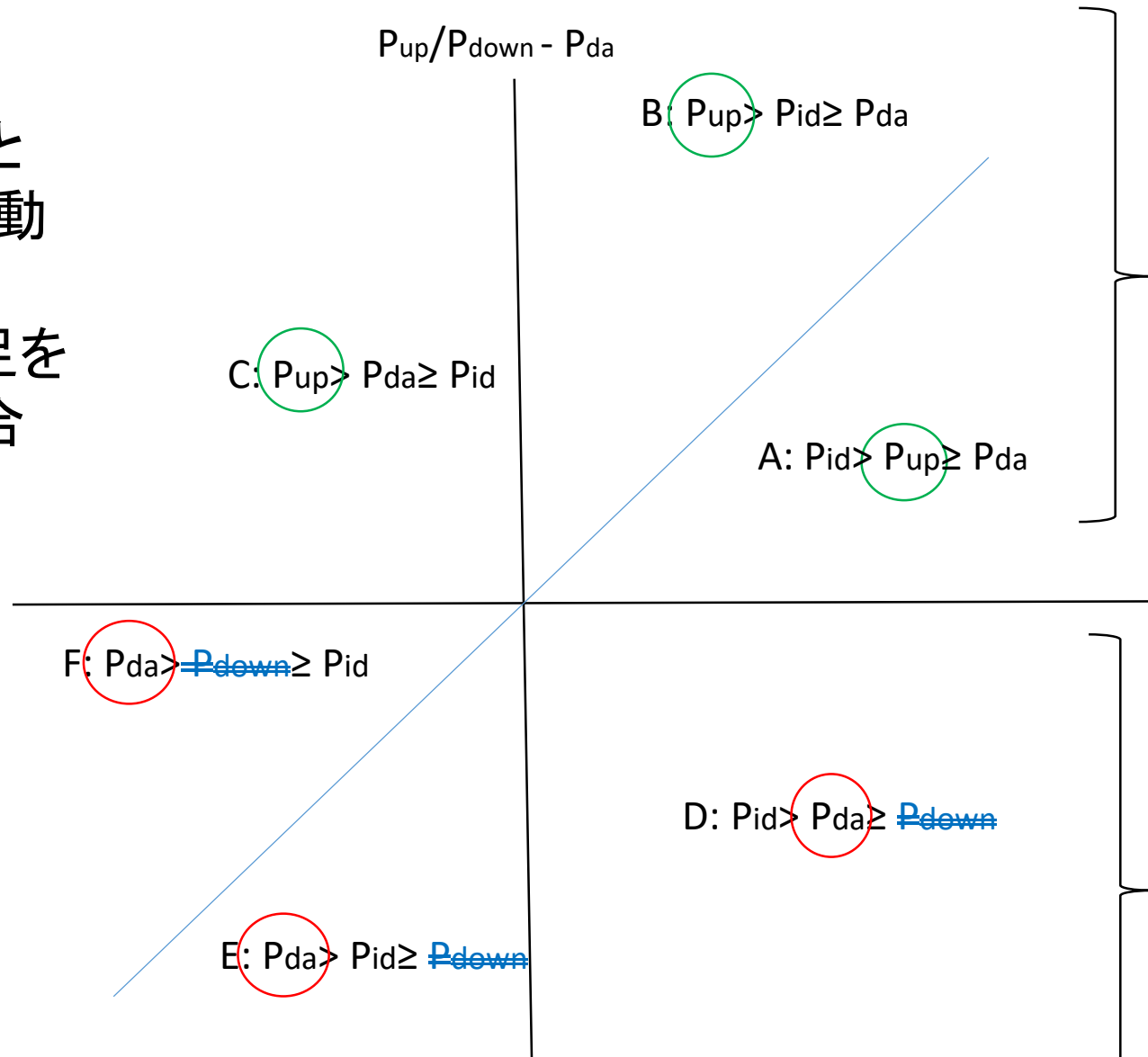
- システムインバランスを改善する Production imbalanceを発生させた場合、余剰発電の精算価格は $P_{da}$ 。
- 計画値を修正し、consumption imbalanceを発生させた場合は、余剰発電の精算価格は $P_{up}$ 。
- →45分前までに分かる発電変動は、できるだけ修正計画値に織り込み、production imbalanceを発生させないようにするインセンティブが働く。(戦略的にlongのポジションを取らない)

$P_{id} - P_{da}$

- システムインバランスを悪化させる Production imbalanceを発生させた場合、余剰発電の精算価格は $P_{down}$ 。
- 計画値を修正し、consumption imbalanceを発生させた場合も、余剰発電の精算価格も $P_{down}$ 。

# Production Imbalance料金 (Dual Pricing)と市場参加者行動

: 事業者が不足を発生させる場合

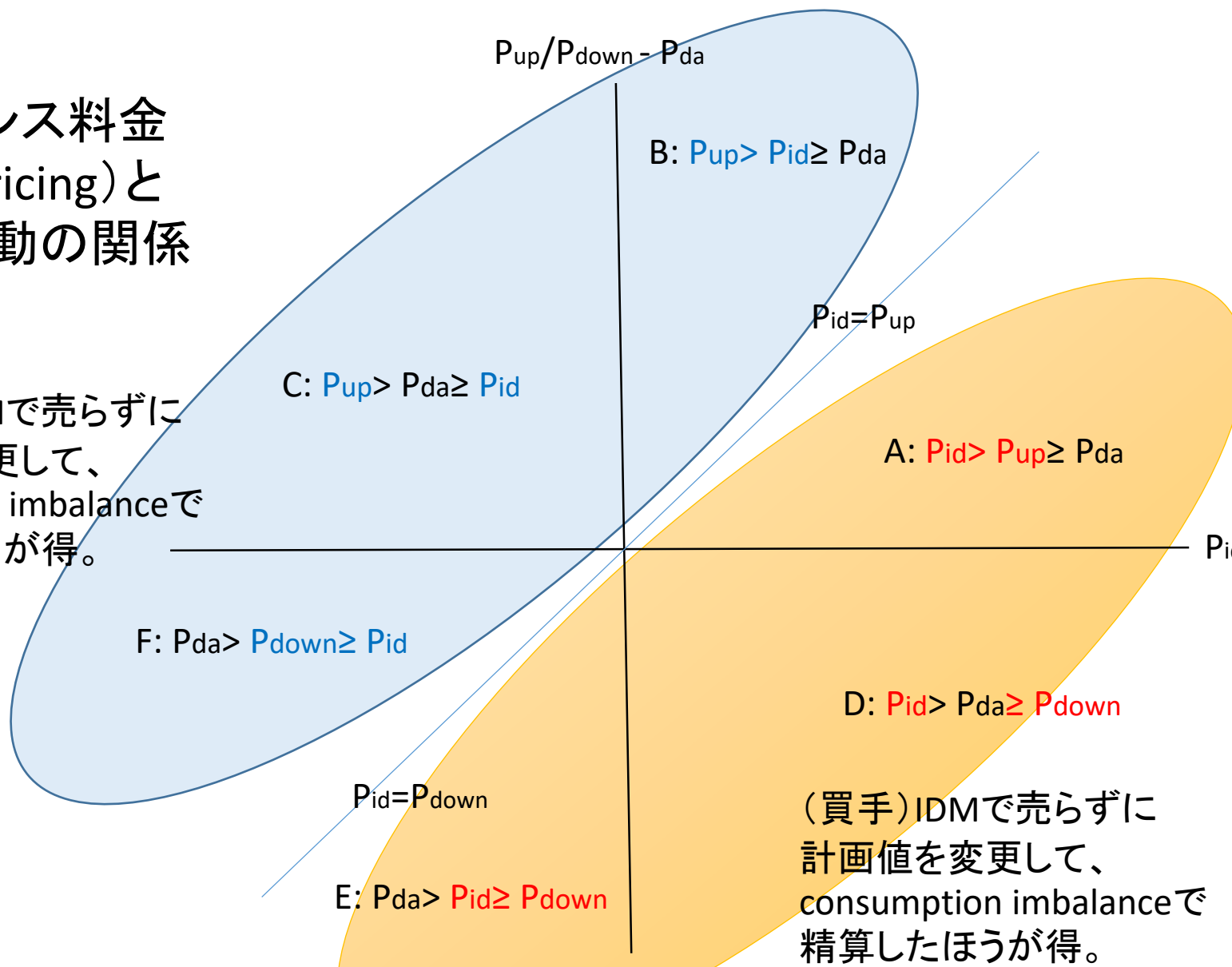


- システムインバランスを悪化させる Production imbalanceを発生させた場合、不足発電の精算価格はP<sub>up</sub>。
- 計画値を修正し、consumption imbalanceを発生させた場合も、余剰発電の精算価格もP<sub>up</sub>。

- システムインバランスを改善する Production imbalanceを発生させた場合、不足発電の精算価格はP<sub>da</sub>。
- 計画値を修正し、consumption imbalanceを発生させた場合は、余剰発電の精算価格はP<sub>down</sub>。
- →45分前までに分かる発電変動は、できるだけ修正計画値に織り込み、production imbalanceを発生させないようにするインセンティブが働く。  
(戦略的にshortのポジションを取らない)

# ドイツ: インバランス料金 (Single Pricing)と IDMの行動の関係

(売り手)IDMで売らずに  
計画値を変更して、  
consumption imbalanceで  
精算したほうが得。



Up-regulation  
が必要と予測さ  
れている  
 $P_{up} \geq P_{da}$

Down-regulation  
が必要と予測さ  
れている  
 $P_{down} \leq P_{da}$

(買手)IDMで売らずに  
計画値を変更して、  
consumption imbalanceで  
精算したほうが得。

Single Priceの下で、戦略的にlongやshortのポジションを  
取って、インバランス精算で利益を上げようとする行動を  
取る。→TSOの確保する調整力が多く必要になる。

## ②インバランス料金(罰則)の強化

$$\bullet \text{インバランス清算価格} = \frac{\text{セカンダリ+ミニッツのエネルギー価格}}{\text{セカンダリ+ミニッツの使用エネルギー量}}$$

### 【インバランス料金の補正】

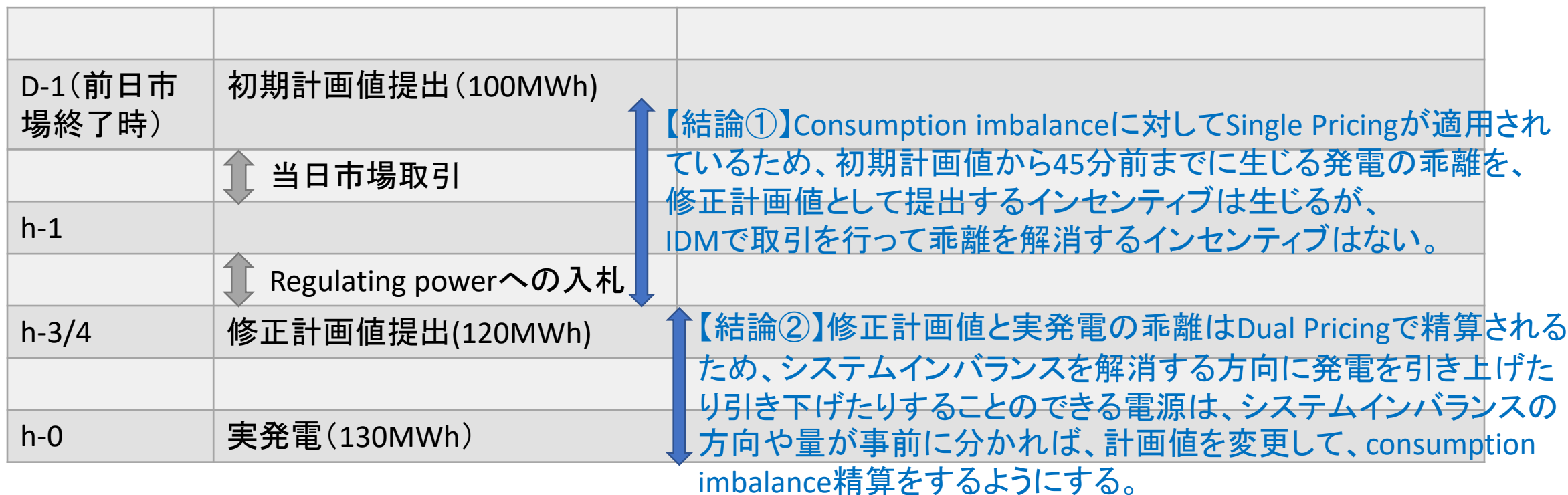
#### ①2012.12～改定済み

- (供給過多)インバランス料金  $\leq$  当日市場価格
- (供給不足)インバランス料金  $\geq$  当日市場価格

②待機する調整電源の80%が使用された場合、インバランス料金は当日市場価格の1.5倍。

→インバランスを抑制しようとするインセンティブを付与する。

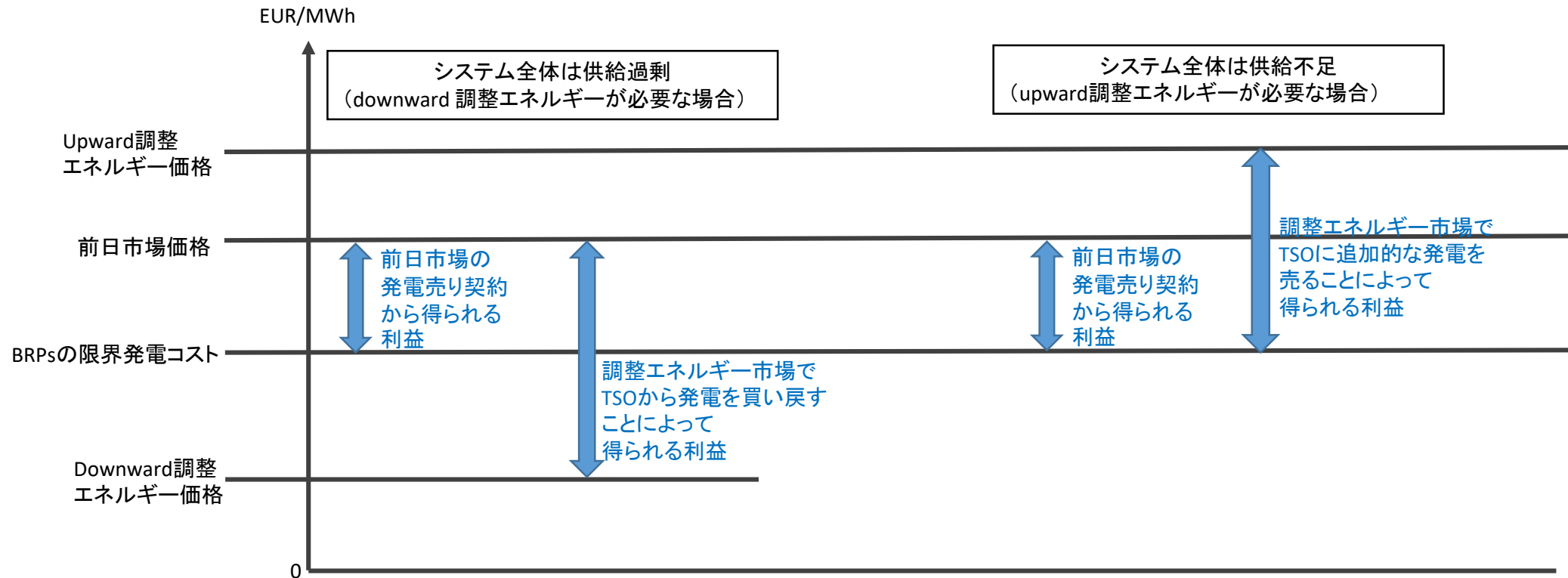
# 北欧におけるインバランス精算方法が市場参加者の行動に与える影響②



Single Pricing		
	System up-regulation (供給不足)	System Down-regulation (供給過剰)
Own deficit	Pay: $P_{up} \times E_{deficit}$	Pay: $P_{down} \times E_{deficit}$
Own excess	Receive: $P_{up} \times E_{excess}$	Receive: $P_{down} \times E_{excess}$

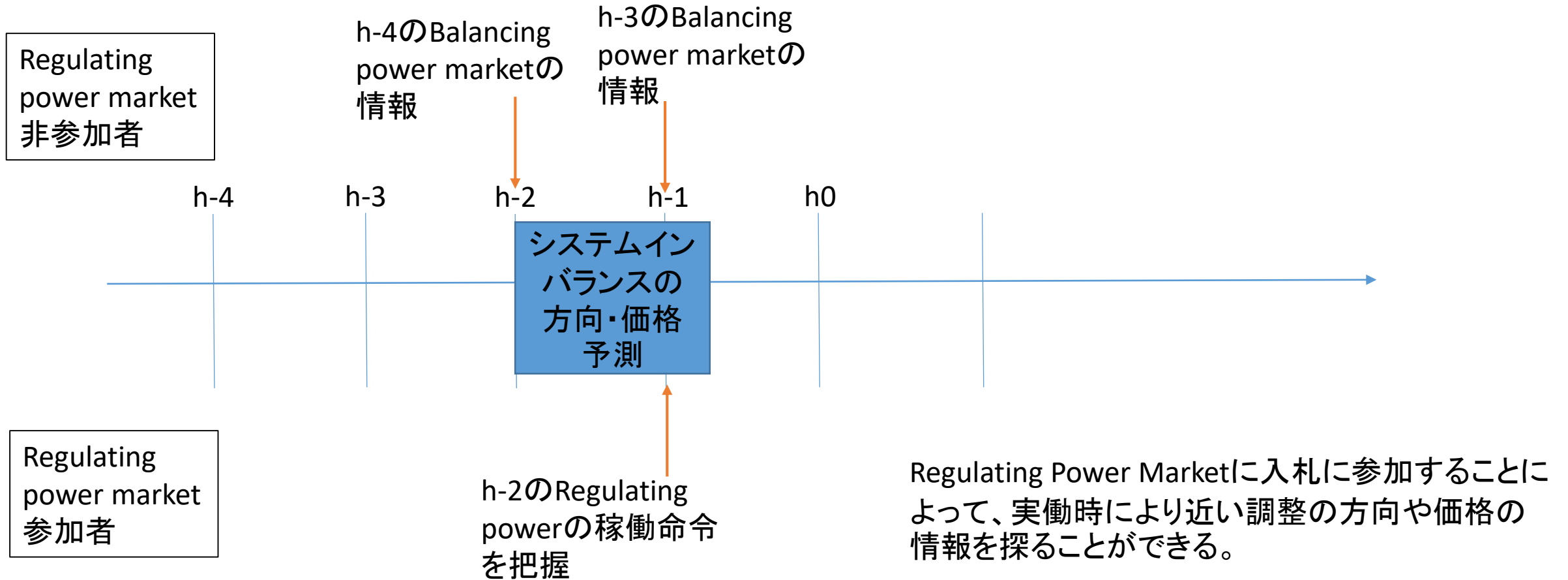
Dual Pricing		
	System up-regulation (供給不足)	System Down-regulation (供給過剰)
Own deficit	Pay: $P_{up} \times E_{deficit}$	Pay: $P_{da} \times E_{deficit}$
Own excess	Receive: $P_{da} \times E_{excess}$	Receive: $P_{down} \times E_{excess}$

# Regulating power marketの役割



システムインバランスを解消する方向に発電を引き上げたり引き下げることのできる電源は、Regulating Power Marketに入札して、追加的な収益機会を狙うことができる。

# Regulating power marketへの参加が 市場参加者のregulationの方向予測に与える影響





# 電力システムの要件と電力市場制度要素の関係

電力システムの安定性

当日市場を活用したBRPsのバランス調整

【条件①】当日市場価格とインバランス料金の関係  
インバランス価格計算方法と関わる。

【条件②】当日市場の活用しやすさ  
→ ゲートクローズや取引幅と関わる。

システムインバランスを考慮した  
計画値の調整、調整の柔軟性

【条件③】調整エネルギー市場の参入障壁撤廃  
→ 調整に対するBRPs役割の考え方と関わる。  
→ インバランス価格計算方法と関わる。

調整市場での安定性担保

【条件③】調整エネルギー市場の参入障壁撤廃  
→ 調整に対するBRPs役割の考え方と関わる。  
→ 参入資格、オークション開催時期、取引幅  
計画値の変更許可の有無。

調整の柔軟性・  
費用効率性

収益増加機会を狙って  
調整市場への参入増加。  
一方で、インバランス価格高騰リスク回避のため  
の参入も増加。