

# 周波数オークションの設計

佐野 隆司

横浜国立大学大学院国際社会科学研究院

価額競争の実施方法に関する検討作業班 第1回

2025年7月16日

1. なぜオークションをするのか
2. 周波数オークションの設計変数
  - 共通設計
  - 主要な設計変数
  - その他の変数
  - SMRA, CCAのメリット・デメリット
3. 参入促進政策

参考. 代表的な方式の数値例など

# 1. なぜオークションをするのか

- 行政は、どのような割当が社会的に望ましいか（=各事業者が周波数をどれだけ有効に活用し、価値を生み出せるのか）について十分な情報を持たない
- オークションは、各事業者が生み出せる価値を正しく引き出し、望ましい割当を実現できる（唯一の）仕組み
  - Green and Laffont (1977), Holmstrom (1979)
  - 素朴な市場メカニズムでは解決できない
    - 取引費用や情報の非対称性があると、市場メカニズムは正しく機能しない
- 「オークション」なら何でも効率的な割当を実現できるわけではない
  - 1990年ニュージーランドの大失敗
  - 「マーケットデザイン」の誕生と発展
  - その国、その時の事情に合わせた精緻な制度設計が重要

## 2. 周波数オークションの設計変数

- 前提：
  - 一般に複数免許を割当
  - 事業者は複数免許を獲得可能
- 代表的なオークション方式：
  1. **同時競り上げオークション** (Simultaneous Multiple-Round Auction; **SMRA**)
    - Paul Milgrom, Robert Wilson, Preston McAfee
    - 1993年米国で採用、2000年前後の3Gオークションの主流
  2. **組合せ時計オークション** (Combinatorial Clock Auction; **CCA**)
    - Ausubel-Cramton-Milgrom (2006), Ausubel-Baranov (2017), etc.
    - 4Gオークション以降欧州などを中心に採用 (Mochon-Saez, 2017)
- ルールを部分的に変更したり、両者のハイブリッドのようなルールもある  
(後述)

# 共通設計

## • 競り上げ（多段階）方式

- 事業者自身にとっても周波数の価値は不確実（共通価値）（**勝者の呪い**）
- 特に財が複数の場合、財の組合せ（個数）に対する価値の把握が困難
- 価格の推移を観察することで事業者間での「相場感」の形成を促し、勝者の呪いを軽減する効果（**価格発見機能**）

cf. 封印入札：相場感がないと入札困難

## • 同時開始・同時終了

- 価格裁定（一物一価法則）が機能し、代替財（品質の近い周波数）に同程度の価格づけ
- cf. 順番にオークションにかけると、価格メカニズムが上手く働かない

## • 活動ルール（activity rule）

- 積極的な入札行動の促進
- 入札の遅延（様子見）や、終了間際の狙い撃ち（sniping）を防止
- 様々なバリエーション有（参考4を参照）
  - 入札ポイント制（eligibility points activity rule）
  - 顕示選好ルール（revealed preference activity rule）

# 主要な設計変数

## • 競り上げ方式

- **指値方式**：入札者自身が価格入力
  - 入力ミス、暗号入札対策が必要（click box入札）
- **時計方式**：競り人が価格提示、入札者は需要入力
  - 競り上げ幅の決め方に注意が必要

## • パッケージ入札

（複数スロットの束に入札）

- **無し**
  - 補完財問題（コーヒーとケーキ）有
  - 戦略的入札（需要削減）有
- **有り** →
  - **補助入札ラウンド有**
    - 二位価格方式：戦略的入札無(?)
    - ルールの複雑性↑
    - 勝者決定問題（組合せ問題）
  - （補助入札ラウンド無）

## • 同質化（「枠数」で入札）

（具体的な帯域を指定しない）

- **無し**
  - 枠が多数あるときは煩雑
- **有り** → **2段階オークション**（assignment stage）
  - 具体的な枠を確定するための追加ステージ（オークション）を実施
  - ルールの複雑性↑
  - 同質性が十分高いならば、裁量で決めても良い？

# 主要な設計変数

## 同時競り上げオークション (SMRA)

### • 競り上げ方式

- **指値方式**：入札者自身が価格入力
  - 入力ミス、暗号入札対策が必要 (click box入札)
- **時計方式**：競り人が価格提示、入札者は需要入力
  - 競り上げ幅の決め方に注意が必要

### • パッケージ入札

(複数スロットの束に入札)

- **無し**
  - 補完財問題 (コーヒーとケーキ) 有
  - 戦略的入札 (需要削減) 有
- **有り** →
  - **補助入札ラウンド有**
    - 二位価格方式：戦略的入札無(?)
    - ルールの複雑性 ↑
    - 勝者決定問題 (組合せ問題)
  - (補助入札ラウンド無)

### • 同質化 (「枠数」で入札)

(具体的な帯域を指定しない)

- **無し**
  - 枠が多数あるときは煩雑
- **有り** → **2段階オークション** (assignment stage)
  - 具体的な枠を確定するための追加ステージ (オークション) を実施
  - ルールの複雑性 ↑
  - 同質性が十分高いならば、裁量で決めても良い?

# 主要な設計変数

## 組合せ時計オークション (CCA)

### • 競り上げ方式

- **指値方式**：入札者自身が価格入力
  - 入力ミス、暗号入札対策が必要 (click box入札)
- **時計方式**：競り人が価格提示、入札者は需要入力
  - 競り上げ幅の決め方に注意が必要

### • パッケージ入札

(複数スロットの束に入札)

- **無し**
  - 補完財問題 (コーヒーとケーキ) 有
  - 戦略的入札 (需要削減) 有
- **有り** →
  - **補助入札ラウンド有**
    - 二位価格方式：戦略的入札無(?)
    - ルールの複雑性 ↑
    - 勝者決定問題 (組合せ問題)
  - (補助入札ラウンド無)

### • 同質化 (「枠数」で入札)

(具体的な帯域を指定しない)

- **無し**
  - 枠が多数あるときは煩雑
- **有り** → **2段階オークション** (assignment stage)
  - 具体的な枠を確定するための追加ステージ (オークション) を実施
  - ルールの複雑性 ↑
  - 同質性が十分高いならば、裁量で決めても良い?

# 主要な設計変数

## 同時時計オークション (?)

### • 競り上げ方式

- **指値方式**：入札者自身が価格入力
  - 入力ミス、暗号入札対策が必要 (click box入札)
- **時計方式**：競り人が価格提示、入札者は需要入力
  - 競り上げ幅の決め方に注意が必要

### • パッケージ入札

(複数スロットの束に入札)

- **無し**
  - 補完財問題 (コーヒーとケーキ) 有
  - 戦略的入札 (需要削減) 有
- **有り** →
  - **補助入札ラウンド有**
    - 二位価格方式：戦略的入札無(?)
    - ルールの複雑性 ↑
    - 勝者決定問題 (組合せ問題)
  - (補助入札ラウンド無)

### • 同質化 (「枠数」で入札)

(具体的な帯域を指定しない)

- **無し**
  - 枠が多数あるときは煩雑
- **有り** → **2段階オークション** (assignment stage)
  - 具体的な枠を確定するための追加ステージ (オークション) を実施
  - ルールの複雑性 ↑
  - 同質性が十分高いならば、裁量で決めても良い?

# SMRAのメリット・デメリット

## メリット

- ルールが比較的シンプル
- 周波数が全て代替財（コーヒーと紅茶）であり、入札者が正直に（非戦略的に）行動するならば、SMRAは「市場価格」に収束し、効率的な割当を実現する
  - Milgrom (2000), Gul-Stacchetti (2000)

## デメリット

- 補完財（シナジー）があると、露出問題が生じる
  - 両足の靴を買い揃えるためには、各足の靴に対して、それ単体の価値よりも高い入札を出さなければならない
  - 地域免許間のシナジー、帯域幅が増大することのシナジー？
- 入札者は戦略的に入札するインセンティブがある
  - 需要削減：本来よりも少なめに入札して価格上昇を避ける（Ausubel-Cramton-Pycia-Rostek-Weretka, 2014）
  - 談合に脆弱：個別入札の情報が多く、協調の維持が簡単（Cramton-Schwartz, 2000; Brusco-Lopomo, 2002; Grimm-Riedel-Wolfstetter, 2003）

# CCAのメリット・デメリット

## メリット

- 補完財に関する問題を解消
- 入札者が正直に（非戦略的に）行動するならば、ある程度競争的な価格と効率的な割当を実現
  - Ausubel-Milgrom (2002)
- **二位価格方式**（VCG／コア選択）：入札者の戦略的入札インセンティブ少（？）
  - 反論：Levin-Skrzypacz (2016)など
- SMRAに比べ、最低落札価格や周波数キャップの複雑な条件付けが可能

## デメリット

- ルールが複雑
- 組合せ問題
  - オークションの規模によっては、最適割当のための計算量が膨大
- 戦略的入札インセンティブの可能性
  - 追加入札でのmissing bids（←入札を補助するようなUIがあるとよい）
  - 追加入札で「いじわる」が可能（Levin-Skrzypaczなど）

# その他の設計変数

- 開示する入札情報
  - 競り上げで価格発見機能が働くためには、各ラウンドでの入札情報を積極的に開示することが必要
  - 開示情報が多すぎると、それを利用した暗黙の談合（非競争的入札）を誘発しやすい
- 入札取り消し
  - 取り消した入札額とその枠の最終落札額の差額を罰金として支払う
  - パッケージ入札無し+補完財の場合のリスク回避として必要
  - 回数制限など何らかの制約がないと、濫用される（暗黙の談合の誘発など）
- 競り上げ幅
  - 小さすぎると時間がかかりすぎる
  - 大きすぎると適切な価格づけができない
  - ラウンド内入札（Intra-round bid）を使う方法もある
- 最低落札価格
  - =売り手が考える枠の価値に設定するべき
  - パッケージ入札有りの場合は、「パッケージの最低落札価格」に対する考え方を決める必要あり（バリエーション有）
    - 二位価格方式の場合、競り上げ価格 > 落札価格 = 最低落札価格になることは稀ではない

# 暗黙の談合抑止策

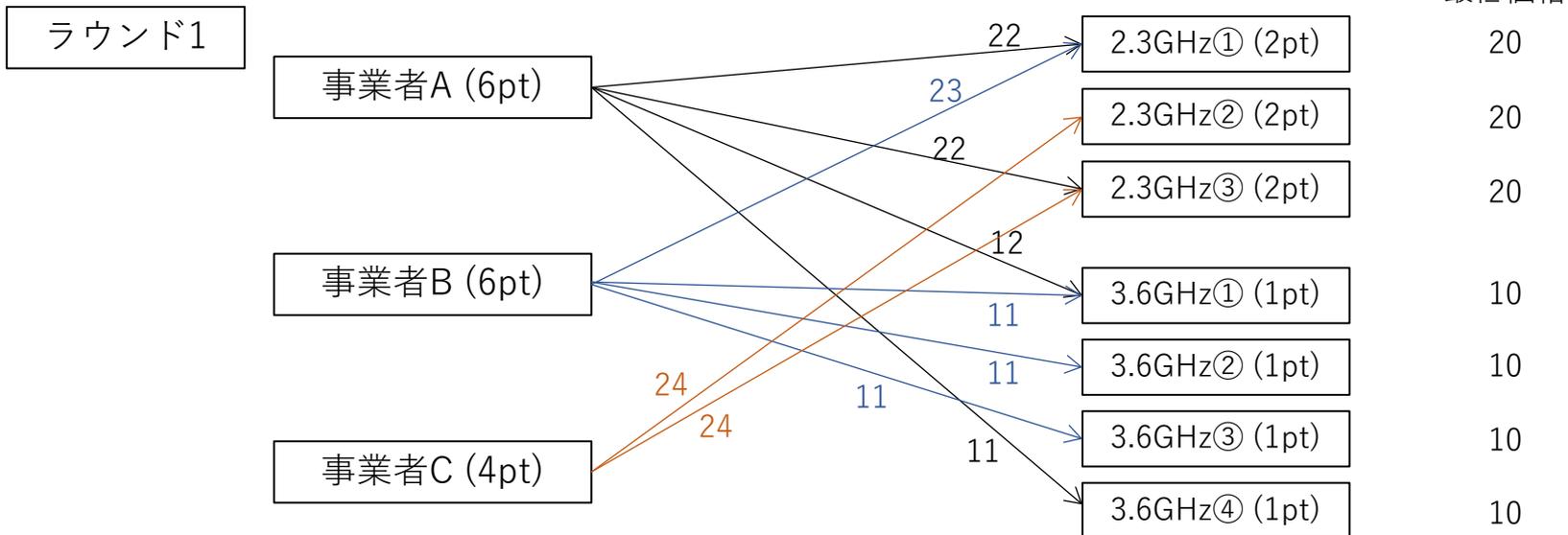
- 一般論として、複数財オークションは談合しやすい
  - 事前に各自の取り分を話し合っておき、オークションではそれ以上入札しない
  - 誰かが裏切った場合、入札を継続することで直ちに報復できるので、誰も裏切らない
- 談合抑止策1：入札中のコミュニケーションを防ぐ
  - 時計方式を採用する
  - 指値方式の場合、入札額の端数で暗号を送らないよう選択式（クリックボックス入札）にする
  - 入札取り消しに回数制限
- 談合抑止策2：情報開示の制限
  - 出来るだけ個別の入札者情報を非公開にする
  - 時計方式：個別入札者の需要ではなく総需要のみを開示する
  - 指値方式：誰の入札かは非公開にする

# 3. 参入促進政策

- 金銭的優遇（入札割引）
  - 最適な優遇の程度が不明瞭
  - ダミー企業による大手企業の参入（今回はあまり懸念する必要ない？）
  - 事後的な買収のおそれ
- 後払い
  - 破綻リスク
  - 破綻リスクの高い事業者が参入しやすい
- 取り置き（新規専用枠）
  - 金銭的優遇と同様の問題（ダミー企業、買収）
  - 非効率な事業者の参入のおそれ
  - 売れ残りのおそれ
    - ←売れ残ったら大手企業も入札可能にする（2013年オーストリア）
- ↑このあたりで学術的にいい話はあまり聞かない
  - Cramton (2013)

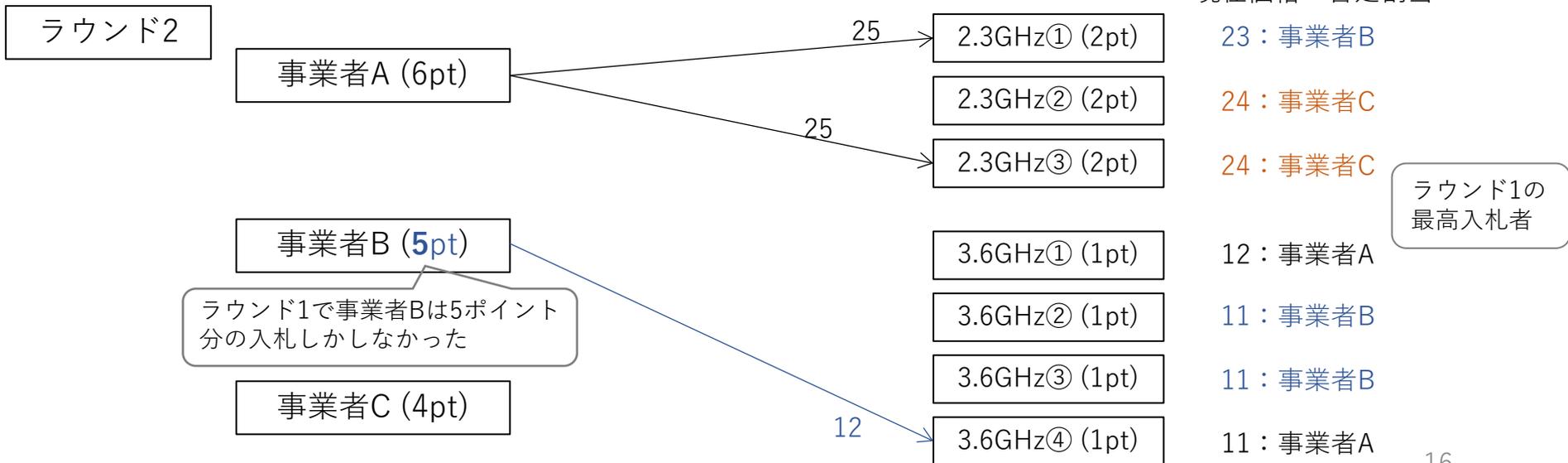
# 参考1. SMRA (1)

- 各周波数について、「競り上げオークション」を同時開始
- 全てのオークションは同時終了
  - 途中である周波数に対する新しい入札が無くなったとしても、別の周波数に対する入札が続いている限り、いつでも再び入札可能
- 活動ルール：競り上げの途中で、入札する周波数の数を増やしてはならない
  - 事前の保証金等により、入札者ごとに総入札ポイントの初期値が決まる
  - 正確には、帯域幅・品質に応じて個々の周波数に「入札ポイント」が定められており、入札者は各ラウンドで入札する周波数の総入札ポイントを増やすことはできない
- 途中で入札取り消しが可能
  - ペナルティとして、取り消した入札額と落札額の差額を支払う



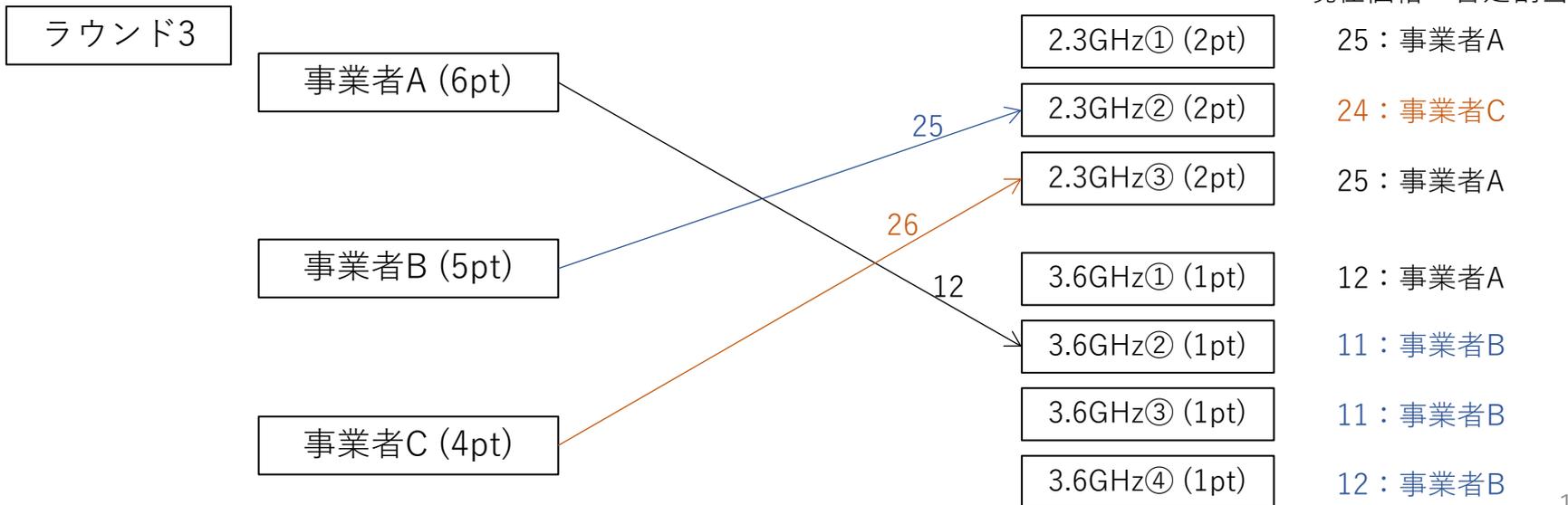
# 参考1. SMRA (2)

- 各周波数について、「競り上げオークション」を同時開始
- 全てのオークションは同時終了
  - 途中である周波数に対する新しい入札が無くなったとしても、別の周波数に対する入札が続いている限り、いつでも再び入札可能
- 活動ルール：競り上げの途中で、入札する周波数の数を増やしてはならない
  - 事前の保証金等により、入札者ごとに総入札ポイントの初期値が決まる
  - 正確には、帯域幅・品質に応じて個々の周波数に「入札ポイント」が定められており、入札者は各ラウンドで入札する周波数の総入札ポイントを増やすことはできない
- 途中で入札取り消しが可能
  - ペナルティとして、取り消した入札額と落札額の差額を支払う



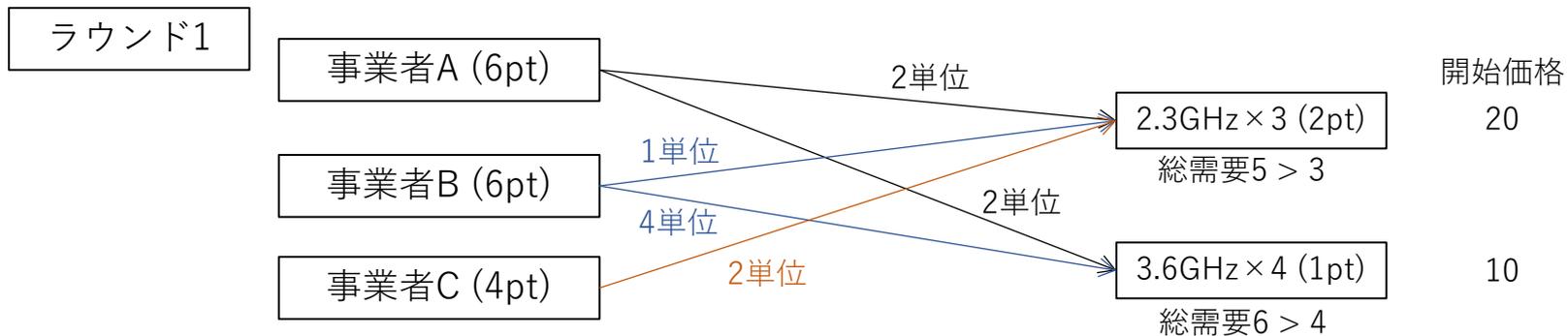
# 参考1. SMRA (3)

- 各周波数について、「競り上げオークション」を同時開始
- 全てのオークションは同時終了
  - 途中である周波数に対する新しい入札が無くなったとしても、別の周波数に対する入札が続いている限り、いつでも再び入札可能
- 活動ルール：競り上げの途中で、入札する周波数の数を増やしてはならない
  - 事前の保証金等により、入札者ごとに総入札ポイントの初期値が決まる
  - 正確には、帯域幅・品質に応じて個々の周波数に「入札ポイント」が定められており、入札者は各ラウンドで入札する周波数の総入札ポイントを増やすことはできない
- 途中で入札取り消しが可能
  - ペナルティとして、取り消した入札額と落札額の差額を支払う



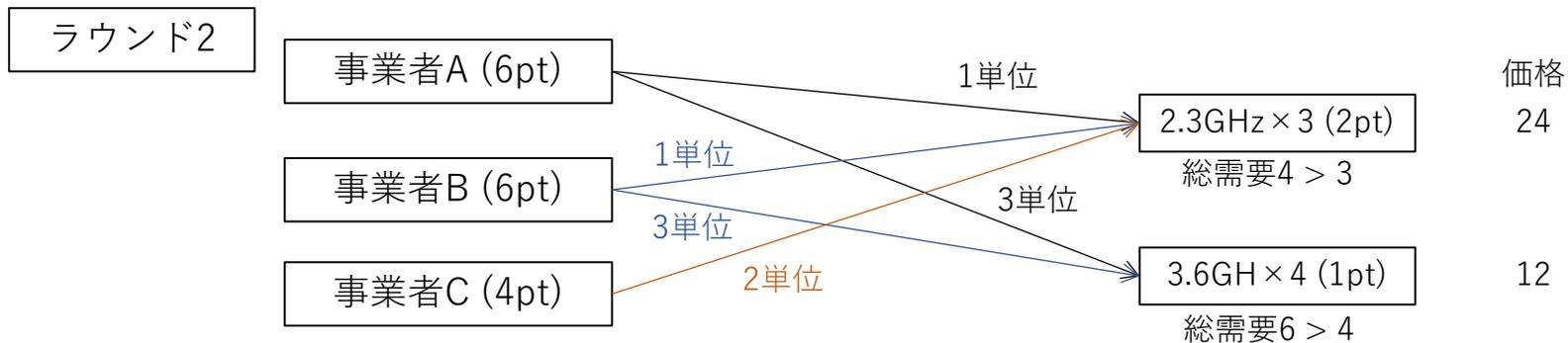
# 参考2. CCA (1)

- 準備
  - 周波数の「同質化」：同じ帯域の周波数は同質財として扱う
- 第1段階-1：時計オークション
  - 競り人（売り手）が周波数1単位あたり価格を提示
  - 入札者は、需要量を申告
  - 各周波数帯域について、需要 > 供給である周波数の価格を上げる。需要 ≤ 供給となった周波数の価格は据え置く
  - 全ての帯域について需要 ≤ 供給になったとき終了
  - 活動ルール：SMRAと同様の活動ルールを適用（他のヴァリエーションもある）



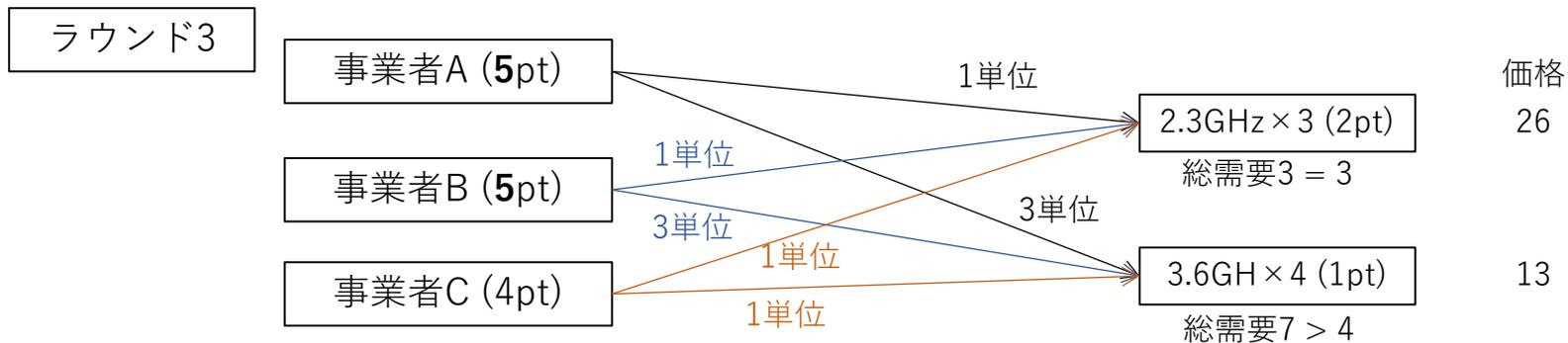
## 参考2. CCA (2)

- 準備
  - 周波数の「同質化」：同じ帯域の周波数は同質財として扱う
- 第1段階-1：時計オークション
  - 競り人（売り手）が周波数1単位あたり価格を提示
  - 入札者は、需要量を申告
  - 各周波数帯域について、需要 > 供給である周波数の価格を上げる。需要 ≤ 供給となった周波数の価格は据え置く
  - 全ての帯域について需要 ≤ 供給になったとき終了
  - 活動ルール：SMRAと同様の活動ルールを適用（他のヴァリエーションもある）



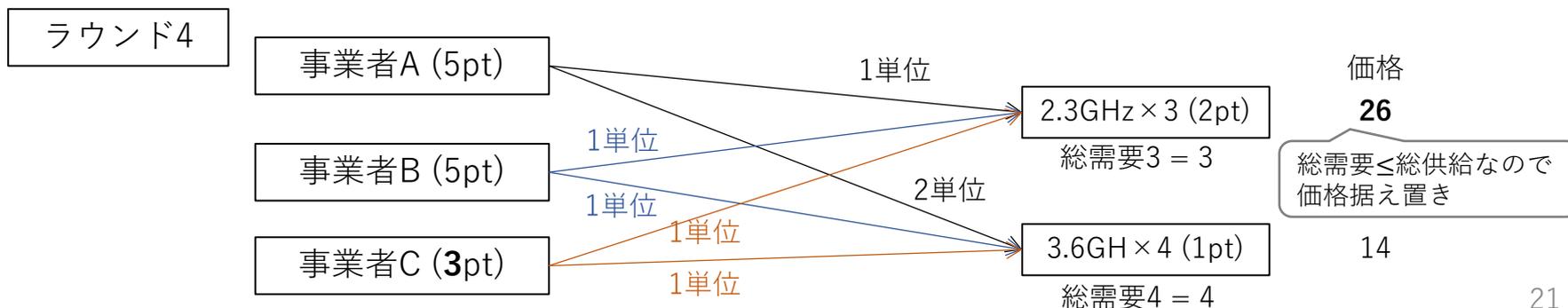
## 参考2. CCA (3)

- 準備
  - 周波数の「同質化」：同じ帯域の周波数は同質財として扱う
- 第1段階-1：時計オークション
  - 競り人（売り手）が周波数1単位当たり価格を提示
  - 入札者は、需要量を申告
  - 各周波数帯域について、需要 > 供給である周波数の価格を上げる。需要 ≤ 供給となった周波数の価格は据え置く
  - 全ての帯域について需要 ≤ 供給になったとき終了
  - 活動ルール：SMRAと同様の活動ルールを適用（他のヴァリエーションもある）



## 参考2. CCA (4)

- 準備
  - 周波数の「同質化」：同じ帯域の周波数は同質財として扱う
- 第1段階-1：時計オークション
  - 競り人（売り手）が周波数1単位あたり価格を提示
  - 入札者は、需要量を申告
  - 各周波数帯域について、需要 > 供給である周波数の価格を上げる。需要 ≤ 供給となった周波数の価格は据え置く
  - 全ての帯域について需要 ≤ 供給になったとき終了
  - 活動ルール：SMRAと同様の活動ルールを適用（他のヴァリエーションもある）



## 参考2. CCA (5)

- 準備
  - 周波数の「同質化」：同じ帯域の周波数は同質財として扱う
- 第1段階-1：時計オークション
  - 競り人（売り手）が周波数1単位当たり価格を提示
  - 入札者は、需要量を申告
  - 各周波数帯域について、需要 > 供給である周波数の価格を上げる。需要 ≤ 供給となった周波数の価格は据え置く
  - 全ての帯域について需要 ≤ 供給になったとき終了
  - 活動ルール：SMRAと同様の活動ルールを適用（他のヴァリエーションもある）
- 第1段階-2：（封印）補助入札
  - 入札者は、任意の周波数パッケージに対して、追加入札
  - 活動ルール（Relative cap）：時計オークションでの入札行動に応じて、追加入札できる金額に条件
  - 時計オークション、追加入札の全ての入札額の下で、総価値が最大となる周波数配分量を決定
  - **2位価格方式**：各入札者の支払額は、Vickrey価格（またはVickery-nearestコア選択価格）とする。  
（=その周波数を落札するために必要であった最低金額 ≤ 入札額）

事業者A

例

- $2.3\text{GHz} \times 1 + 3.6\text{GHz} \times 2$  に 60 ( $\geq 26 \times 1 + 14 \times 2$ )
- $2.3\text{GHz} \times 1 + 3.6\text{GHz} \times 3$  に 72 ( $\geq 60, \leq 60 + 14 \times 1$ )
- $2.3\text{GHz} \times 1 + 3.6\text{GHz} \times 4$  に 80 ( $\geq 72, \leq 72 + 12 \times 1$ )

活動ルールによる制約

## 参考2. CCA (6)

- 準備
  - 周波数の「同質化」：同じ帯域の周波数は同質財として扱う
- 第1段階－1：時計オークション
  - 競り人（売り手）が周波数1単位当たり価格を提示
  - 入札者は、需要量を申告
  - 各周波数帯域について、需要 > 供給である周波数の価格を上げる。需要 ≤ 供給となった周波数の価格は据え置く
  - 全ての帯域について需要 ≤ 供給になったとき終了
  - 活動ルール：SMRAと同様の活動ルールを適用（他のヴァリエーションもある）
- 第1段階－2：（封印）補助入札
  - 入札者は、任意の周波数パッケージに対して、追加入札
  - 活動ルール（Relative cap）：時計オークションでの入札行動に応じて、追加入札できる金額に条件
  - 時計オークション、追加入札の全ての入札額の下で、総価値が最大となる周波数配分量を決定
  - **2位価格方式**：各入札者の支払額は、Vickrey価格（またはVickrey-nearestコア選択価格）とする。  
（＝その周波数を落札するために必要であった最低金額 ≤ 入札額）
- 第2段階：割当ステージ
  - 第1段階での落札者は、具体的に希望する周波数帯域に入札する（封印入札）
  - 第2段階の全ての入札額の下で、総価値が最大となる割り当てを決定
  - 2位価格方式

## 参考3. Ausubelオークション

- Ausubel (2004)が提案
- 枠が全て同質、かつ補完財の可能性が無い場合に実行可能
- 時計方式
- パッケージ入札無し
- 二位価格方式
  - 競り上げの途中で「落札内定」が生じた時点で取引を確定していく
  - 戦略的入札無し

## 参考4. 活動ルール

### 1. 入札ポイント制

- 免許毎に必要な「入札ポイント」を設定
- 事前の保証金額によって、最初に入札可能な総ポイント数が決定される
- 直前のラウンドで入札した免許の総ポイント数以下の入札しかできない（≡入札する免許数を途中で増やすことができない）

### 2. 顕示選好ルール（の例）

- 考え方：「（過去の）入札は、そのラウンドの価格で最も購入したい免許に入札していたはずだ」
- 過去のラウンド $s$ 、価格 $p^s$ の下で免許（パッケージ） $x^s$ に入札したということは、それ以外の免許 $x$ について

$$v(x^s) - p^s \cdot x^s \geq v(x) - p^s \cdot x$$

であったはず

- ラウンド $t > s$ で入札する免許 $x$ は

$$v(x) - p^t \cdot x \geq v(x^s) - p^t \cdot x^s$$

となるはずだから、

$$(p^t - p^s) \cdot x \leq (p^t - p^s) \cdot x^s$$

を満たすような $x$ しか入札してはならない

- 競り上げでは入札ポイント制、CCA補助入札ステージでは顕示選好ベースの活動ルールが課されることが多い

# 参考文献

- Ausubel, L., “An efficient ascending-bid auction for multiple objects,” *Amer. Econ. Rev.* (2004)
- Ausubel, L., and Baranov, O. “A practical guide to the combinatorial clock auction,” *Econ. J.* (2017)
- Ausubel, L., Cramton, P., Milgrom, P., “The clock-proxy auction: a practical combinatorial auction design,” In: Cramton, P., Shoham, Y., Steinberg, R., (eds.) *Combinatorial Auctions*, MIT Press (2006)
- Ausubel, L., Cramton, P., Pycia, M., Rostek, M., Weretka, M., “Demand reduction and inefficiency in multi-unit auctions,” *Rev. Econ. Stud.* (2014)
- Ausubel, L., Milgrom, P., “Ascending auctions with package bidding,” *Frontier Theor. Econ.* (2002)
- Brusco, S., Lopomo, G., “Collusion via signaling in simultaneous ascending bid auctions with heterogeneous objects, with and without complementarities,” *Rev. Econ. Stud.* (2002)
- Cramton, P. “Spectrum auction design,” *Rev. Ind. Organ.* (2013)
- Cramton, P., Schwartz, J., “Collusive bidding: lessons from the FCC spectrum auctions,” *J Regul. Econ.* (2000)
- Green, J., Laffont, J-J., “Characterization of satisfactory mechanisms for the revelation of preferences for public goods,” *Econometrica* (1977)
- Grimm, V., Riedel, F., Wolfstetter, E., “Low price equilibrium in multi-unit auctions: the GSM spectrum auction in Germany,” *Int. J Ind. Organ.* (2003)
- Gul, F., Stacchetti, E., “The English auction with differentiated commodities,” *J Econ. Theory* (2000)
- Holmstrom, B., “Groves schemes on restricted domains,” *Econometrica* (1979)
- Levin, J., Skrzypacz, A., “Properties of the combinatorial clock auction,” *Amer. Econ. Rev.* (2016)
- Milgrom, P., “Putting auction theory to work: the simultaneous ascending auction,” *J Polit. Economy* (2000)
- Mochon, A., and Saez, Y., “A review of radio spectrum combinatorial clock auctions,” *Telecomm. Policy* (2017)