

分散協調システム設計学

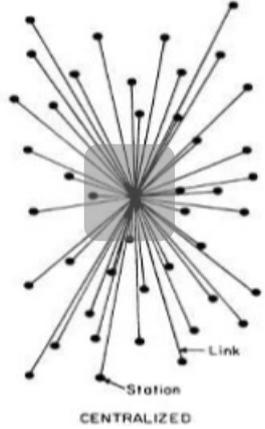
東京大学大学院工学系研究科
技術経営戦略学専攻
准教授 田中謙司

分散協調システム設計学 位置づけ

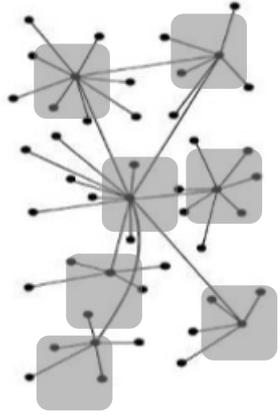
(既存研究領域)

(21世紀型システム)

集中管理
全体最適

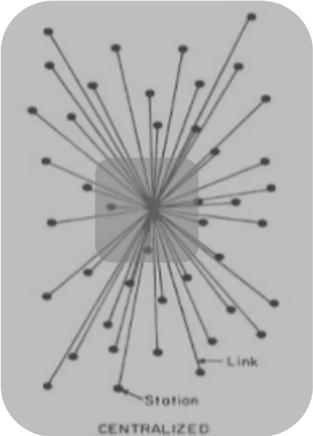


大規模
集中リソース

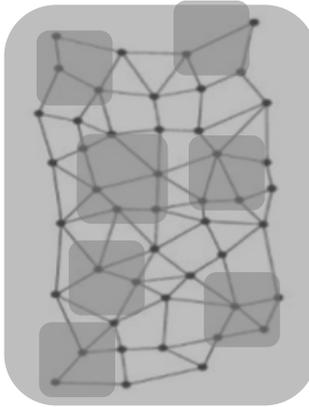


分散管理
個別最適

分散管理
全体最適



小規模
分散リソース



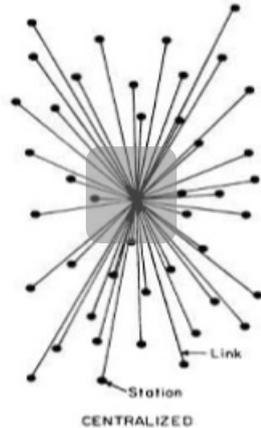
分散管理
協調誘導

分散協調システム設計学

集中型システムの課題と分散リソース活用

(既存研究領域の課題)

集中管理
全体最適



所与の制約条件のもと
集中管理下の限定的な
リソース内での全体最
適を行う

集中型

分散型

利用可能リソースを全体最適下で信頼性高く、効率的に活用可能

提供者がリソースを管理制御できる状態であることが前提で、対象リソースは自社保有など限定的(車両、倉庫、発電所)

利用可能リソースの相対的に減少で効果も限定的、または高コスト

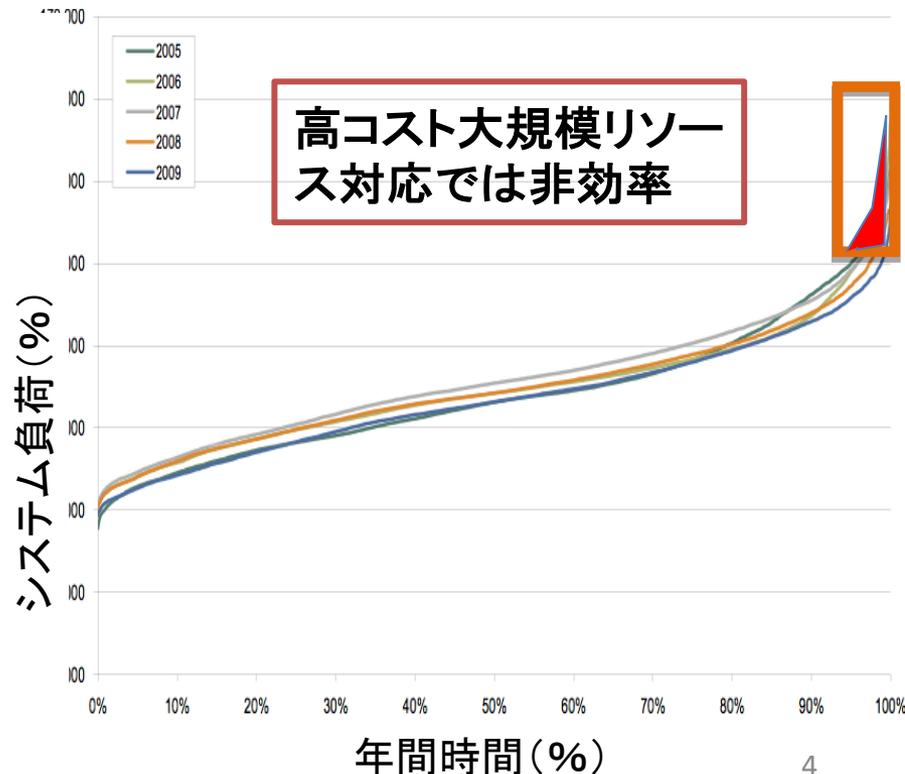
信頼性	効率	利用可能リソース	調達コスト	効果範囲
○	○	▲	▲	限定
▲	▲	◎*	○	○

*全体最適への分散リソース活用には個別制御との協調が必要

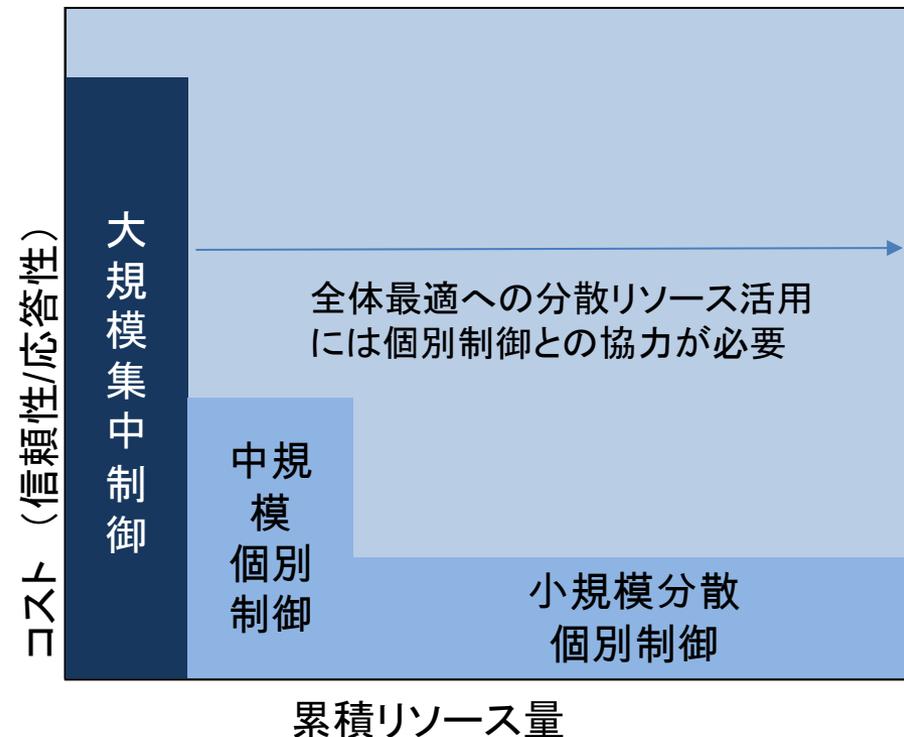
背景： 分散リソース活用の可能性

- 今後は需要家保有型、個別分散型リソースの確保は社会問題解決に必要不可欠と思われる

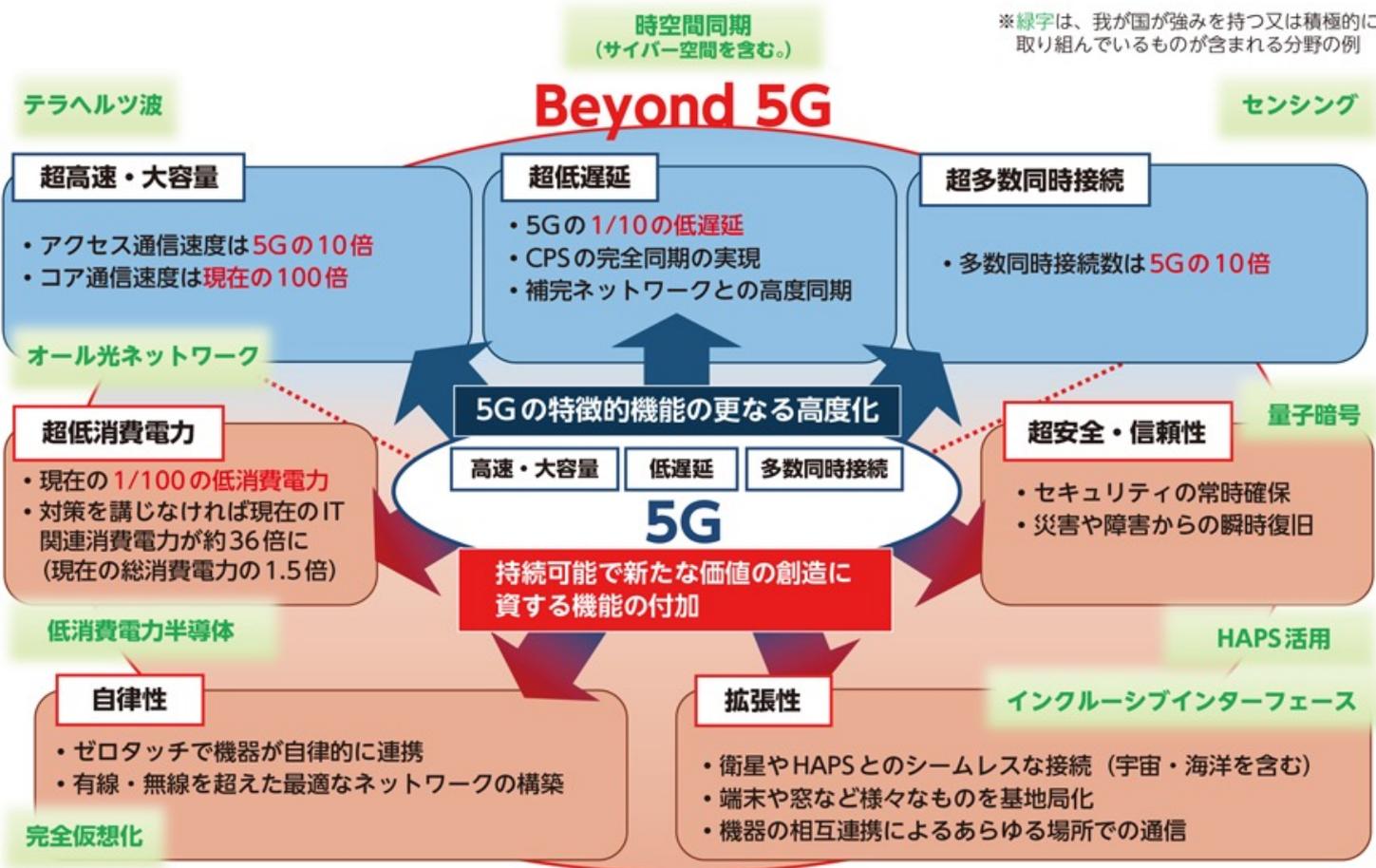
システム負荷ピーク分布



利用可能リソースの拡がり



背景： 技術の進展による自律分散型システムの実現



自律性
超多数
信頼性
拡張性
インクルーシブ

資料: 総務省

[1]山中他, Beyond 5G 時代のネットワークビジョン—2030年に向けたアーキテクチャとブレイクスルー技術の鳥瞰, 電子情報通信学会論文誌 J104-B(3), 2021

背景:

Edge Computingの進展と分散リソースの高度化

「IoT普及とクラウドサービスの成功は、ネットワーク末端でデータを処理する新しいコンピューティングパラダイム、エッジコンピューティングを進めている」(Weisong Shi, 2016)

Table 1 エッジコンピューティング論文数推移

2021	(8,249)
2020	(6,710)
2019	(5,503)
2018	(3,552)
2017	(1,924)
2016	(1,252)
2015	(965)

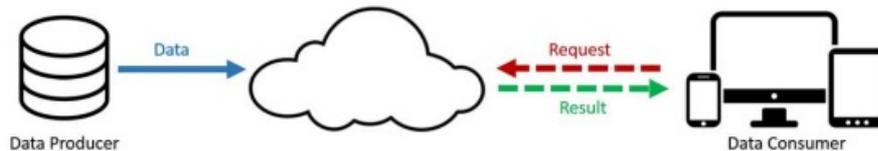
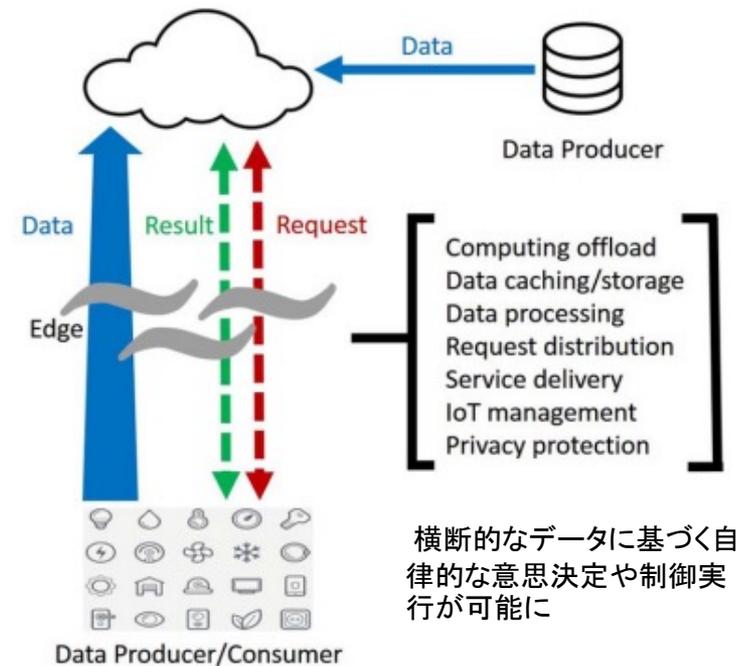


Figure 1 クラウドコンピューティング



横断的なデータに基づく自律的な意思決定や制御実行が可能に

Figure 2 エッジコンピューティング

背景： 分散協調システム設計学の目的

- すべての集中・分散リソースが自律運用システムを持つ時代において、これらのIoT機器や関連プレイヤーを講義に対象に含めた分散リソースを協調誘導する方式でシステム設計に取り入れることを目指す



通信 センシング 分散制御 データ処理技術

センシング、通信技術、データ分析技術などが進歩し、分散協調システム設計が可能となったのは2010年代に入ってから。
未成熟な学問領域

分散協調システム設計学 主な設計フロー図

① 狭義の対象領域の特定

① 狭義システムにおける関連要素(リソース)リストアップ

② 広義対象システム要素の時系列データ取得
[センサーネットワーク設計とDB化]

③ 各分散リソースの基本行動原理の行動モデル化(予測法)

④ 対象要素における稼働ピークと制約条件の特定

⑤ システム全体におけるボトルネック特定と誘導施策設計

⑥ 未来予測とシミュレーションによる再現、実証実験による検証

⑦ 分散協調システム設計

研究要素/技術

解の探索範囲の拡大

個別情報デジタル取得
設計変数の定義

予測法(行動モデル化・
複雑現象のパターン認識)

個別最適をベースのシステム
モデル化と解の探索範囲の定義

個別最適をベースとした
協調設計解の探索

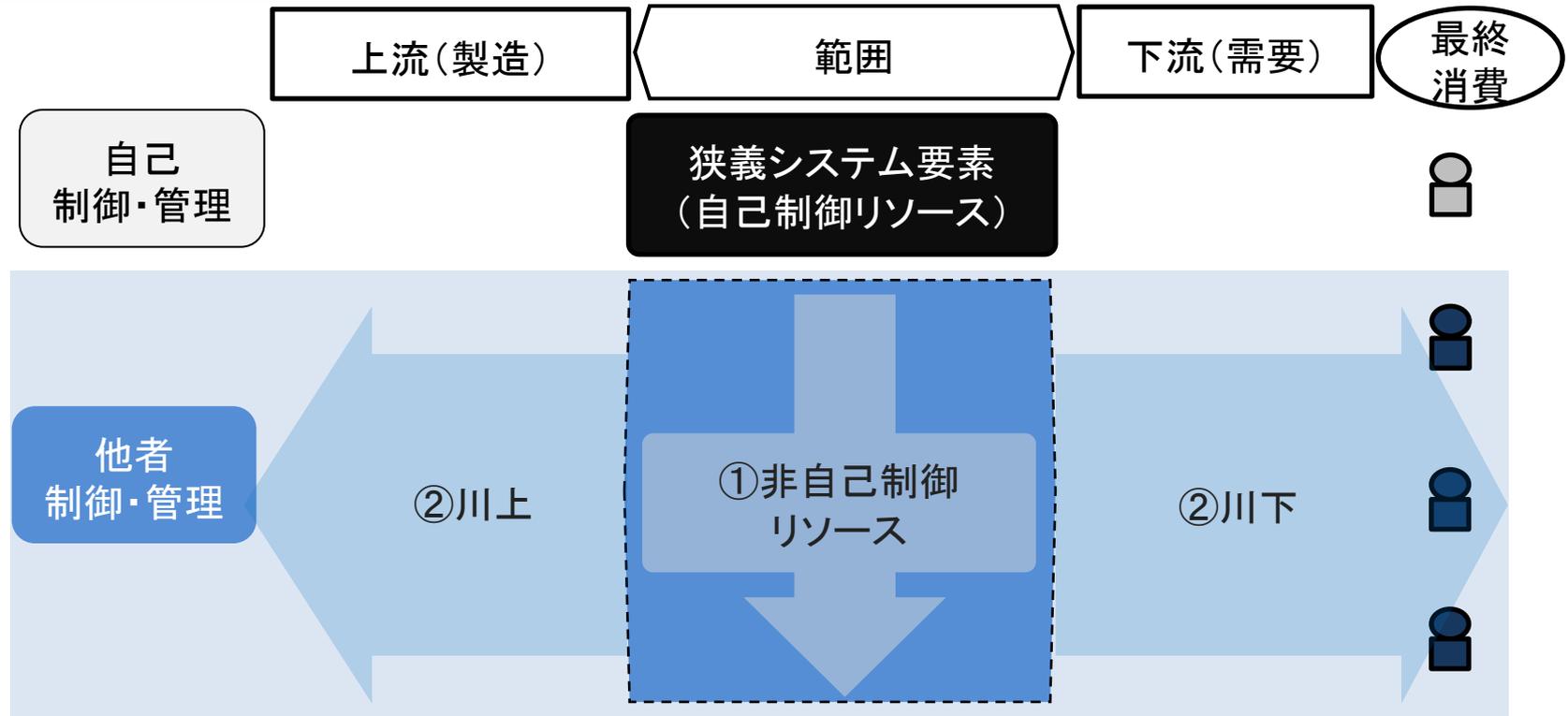
実証実験に基づくシステム
係数の検証と再探索

個別最適をベースとした
全体寛解を導く仕組み導出

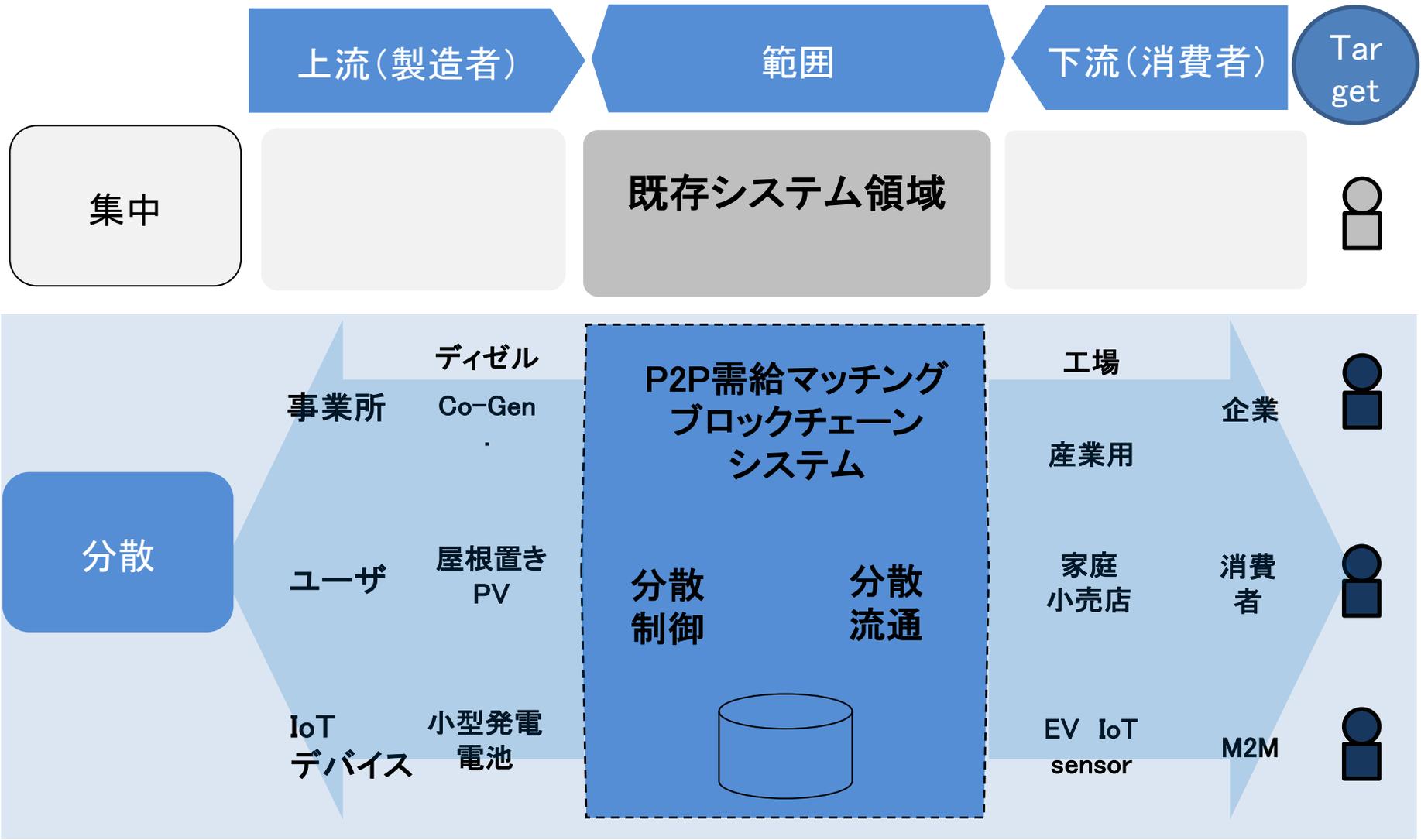
- ① 狭義システムにおける関連要素(リソース)リストアップ
 - ② 広義対象システム要素の時系列データ取得
- 分散協調システム設計学における解の探索範囲の拡張

既存研究で扱う狭義の最適化対象のシステム内リソースに加え、利用可能な周辺領域の分散リソースのリストアップし関係解析を行う。また、各要素の行動履歴に関する取得可能な時系列データベースの構築も行う

広義の分散協調システム範囲の定義とセンサ・データベース構成

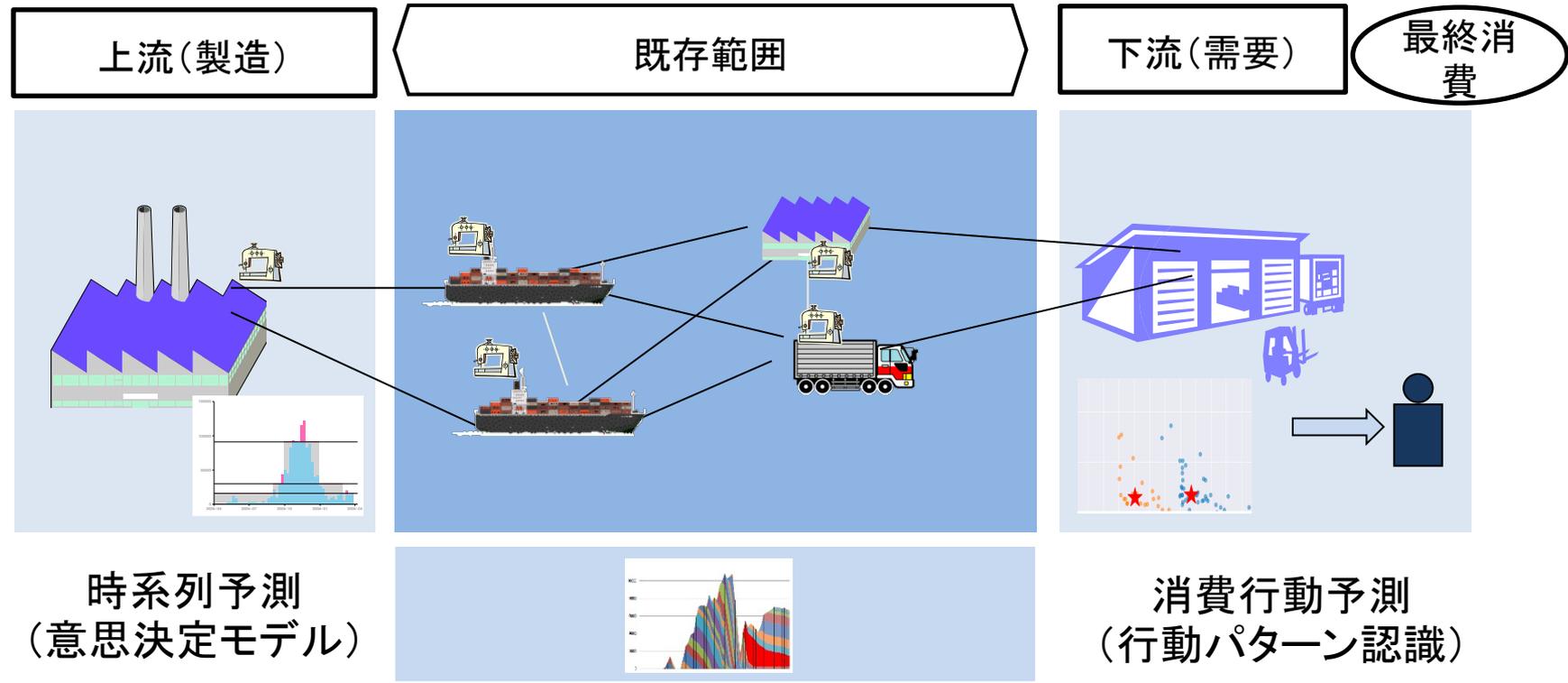


① 広義システムにおける関連要素(リソース)リストアップ 分散協調システム設計学における解の探索範囲の拡張



物流における応用例 分散協調システム設計学の背景

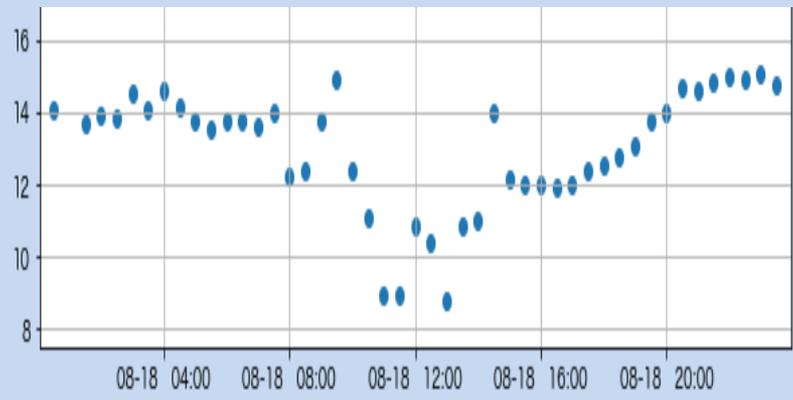
これまでの多くの物流研究は静的なOD (Origin-Destination) が所与として、その制約条件下で最適なネットワークと探索し成果を上げてきたが、需要ピークを所与条件とする研究ではこれ以上の最適化・効率化には限界があった。



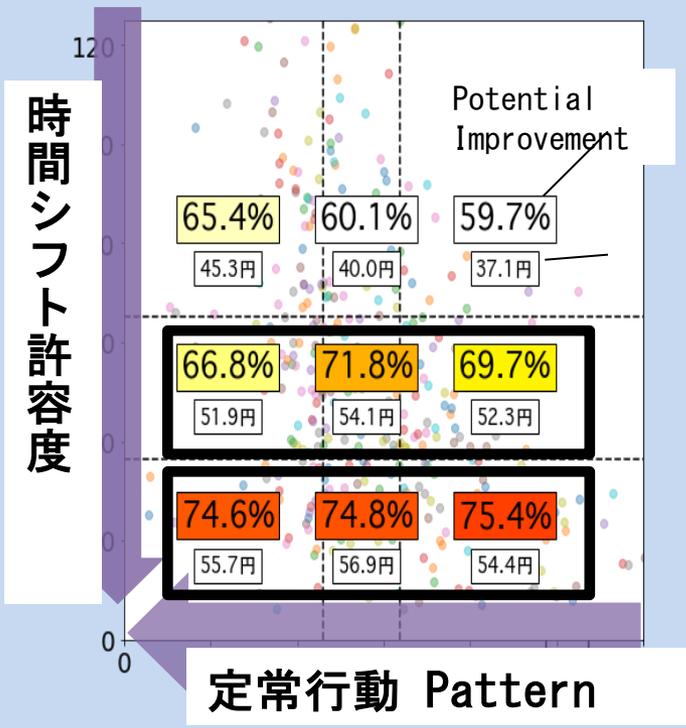
③各分散リソースの基本行動原理・行動モデル化(予測法)

時系列データと関連データに基づき、分散リソース(要素)の行動モデル化(予測法開発)を行う。その際に、個別リソースの協調可能性も同時にモデル化を行う

時系列予測 (リソース稼働率予測)

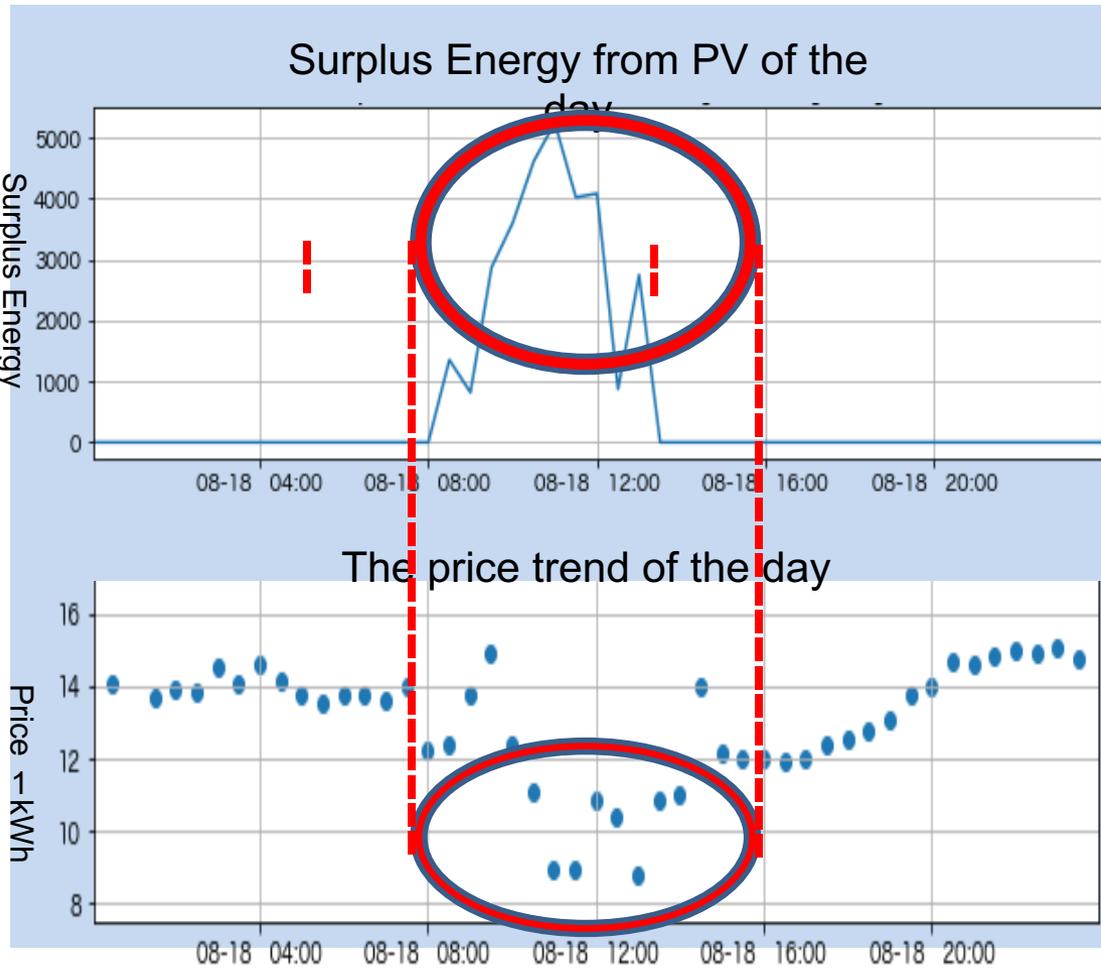


協調行動可能性分析

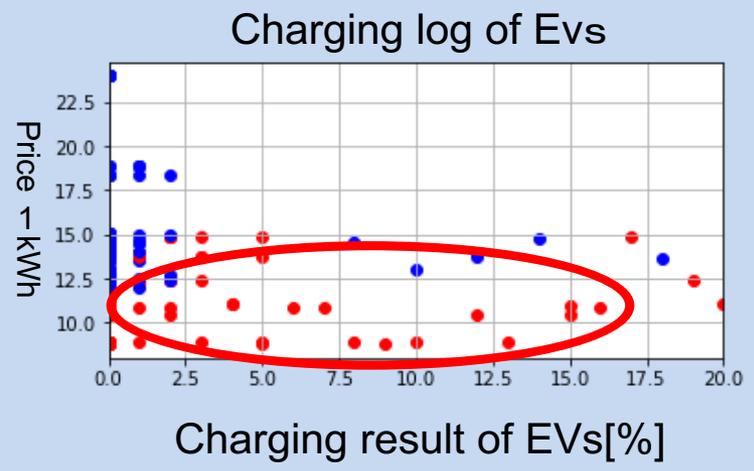


④対象要素における稼働ピークと制約条件の特定

位相ずれ特定(時系列分析と需要予測に基づき、分散リソース間の稼働ピークの差を発見)
時間シフト制約(需要発生時間の時間シフト柔軟性条件:倉庫、蓄電池など)



位相ずれを解消する分散リソース間の協調インセンティブ設計をシステムへ組込む



⑥ 未来予測とシミュレーションによる再現 実証実験による検証と再探索

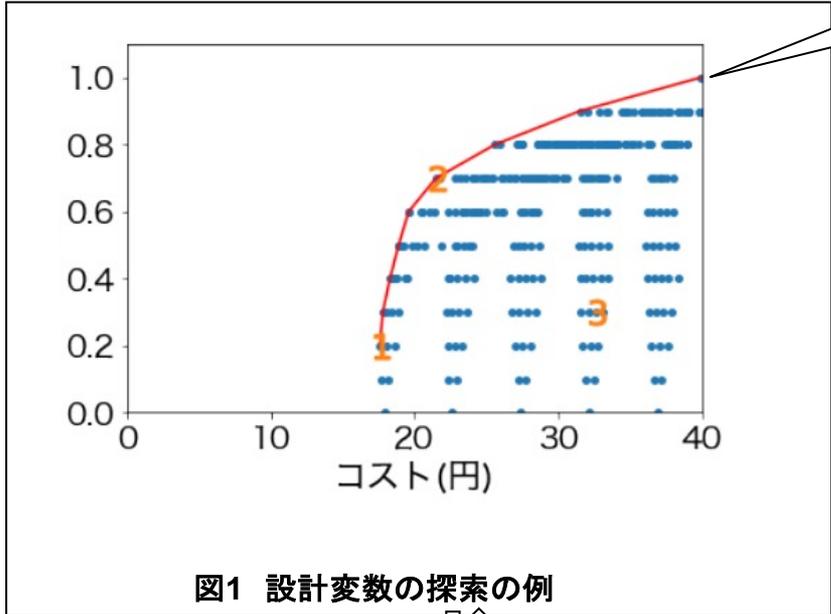


図1 設計変数の探索の例

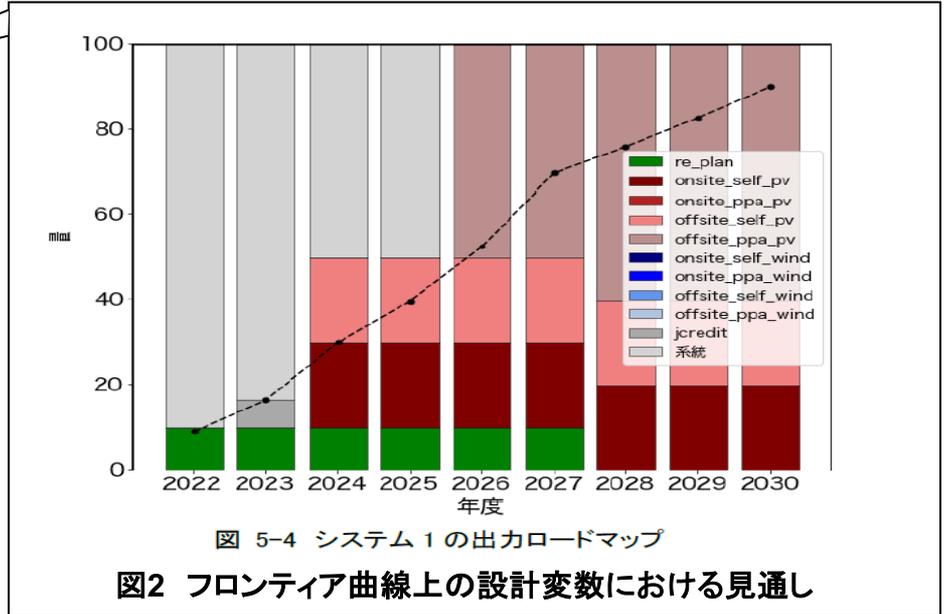


図 5-4 システム 1 の出力ロードマップ

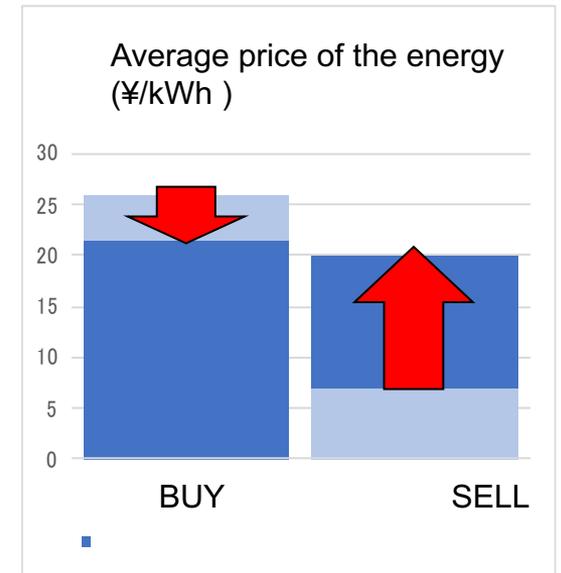
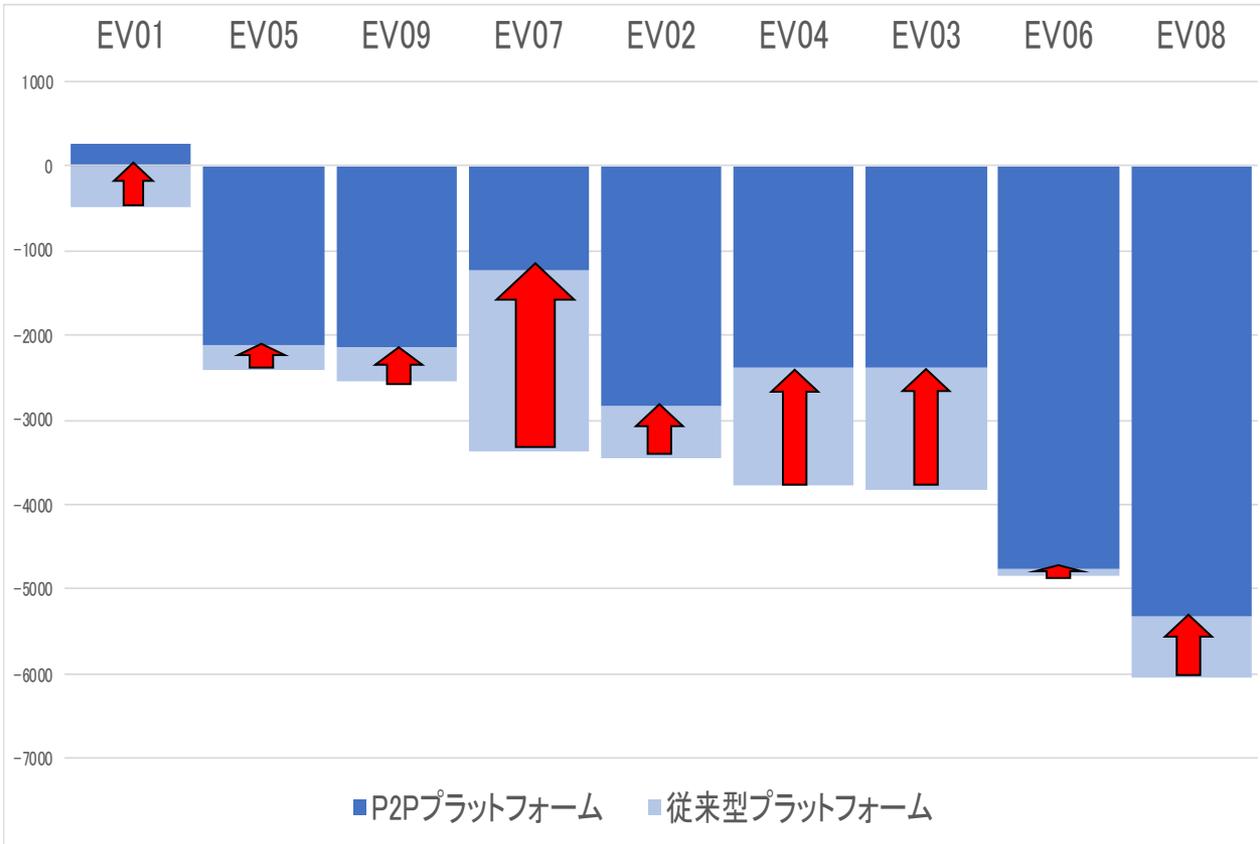
図2 フロンティア曲線上の設計変数における見通し



図3 実証実験による係数の検証と修正

⑥ 未来予測とシミュレーションによる再現、実証実験による検証

Energy Cost reduction of household (2020 Aug)



※result of 2020 Aug