

燃料電池を用いた電力システムの インバランス補償システムのモデル分析

東京大学 COI-サテライト ワークショップ

2019.12.03

E-konzal 越智雄輝



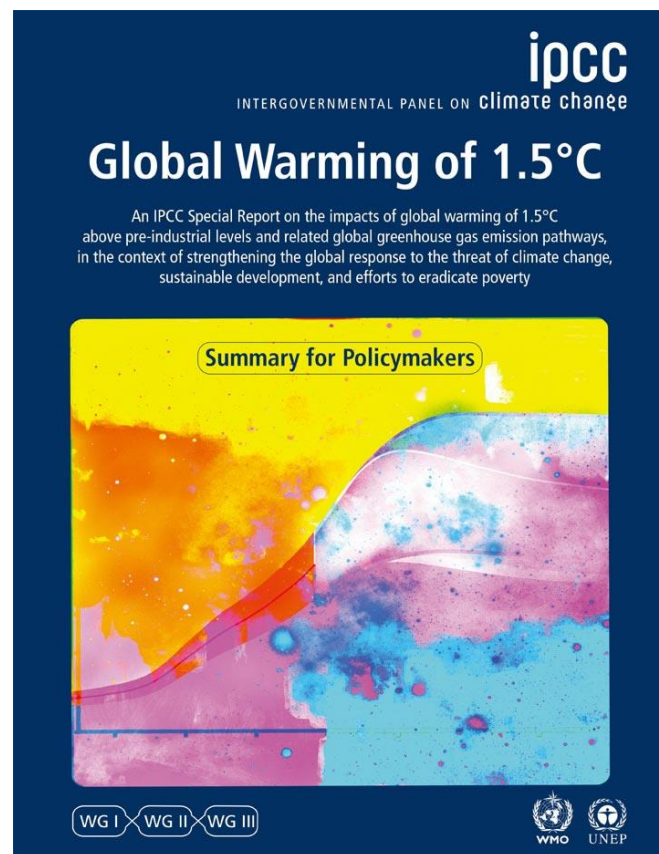
E KONZAL

脱炭素化と再生可能エネルギーの普及拡大

- パリ協定の採択、IPCC1.5℃特別報告書の発行を受け、世界の潮流は脱炭素へ。
- 脱炭素化の実現には再生可能電源の普及拡大が不可欠。
- 再生可能電源の大量導入にはエネルギー需給の安定性が課題。



出典: UNFCCC



出典: IPCC

卒FIT電源の活用とインバランスのリスク

卒FIT

- 2019年度からFITによる買取期間の終了する住宅用PVが現れる。
 - 2019年11月、12月だけで約53万件。
 - 2021年には100万件に達する見込み。
- 卒FIT電源は法律による旧一般電気事業者の買取義務がなくなる。
- 自由な契約により新電力事業者も需要家との卒FIT電源からの調達が可能。
- 新電力事業者事業者にとっては供給源の幅が広がる好機である一方、PVの予測誤差がリスクとなる。

インバランス料金制度

- 発電・小売事業者の発電・需要の計画値に実績との差（インバランス）が生じた際に、余剰・不足分の電力量について一般送配電事業者と精算を行う。
 - **不足インバランス料金単価** = $\alpha \times \text{市場価格} + \beta + K$
 - **余剰インバランス料金単価** = $\alpha \times \text{市場価格} + \beta - L$
- 2022年度から新たなインバランス料金制度を開始することが提案されている。
 - 各時間帯に稼働した調整力の限界的な調整力kWh価格をインバランス料金とする。
 - 需給ひっ迫時にインバランス料金が上昇することが想定。
- 小売電気事業者にとって、インバランスをいかに回避するかが今後さらに重要になる。

燃料電池によるインバランス補償

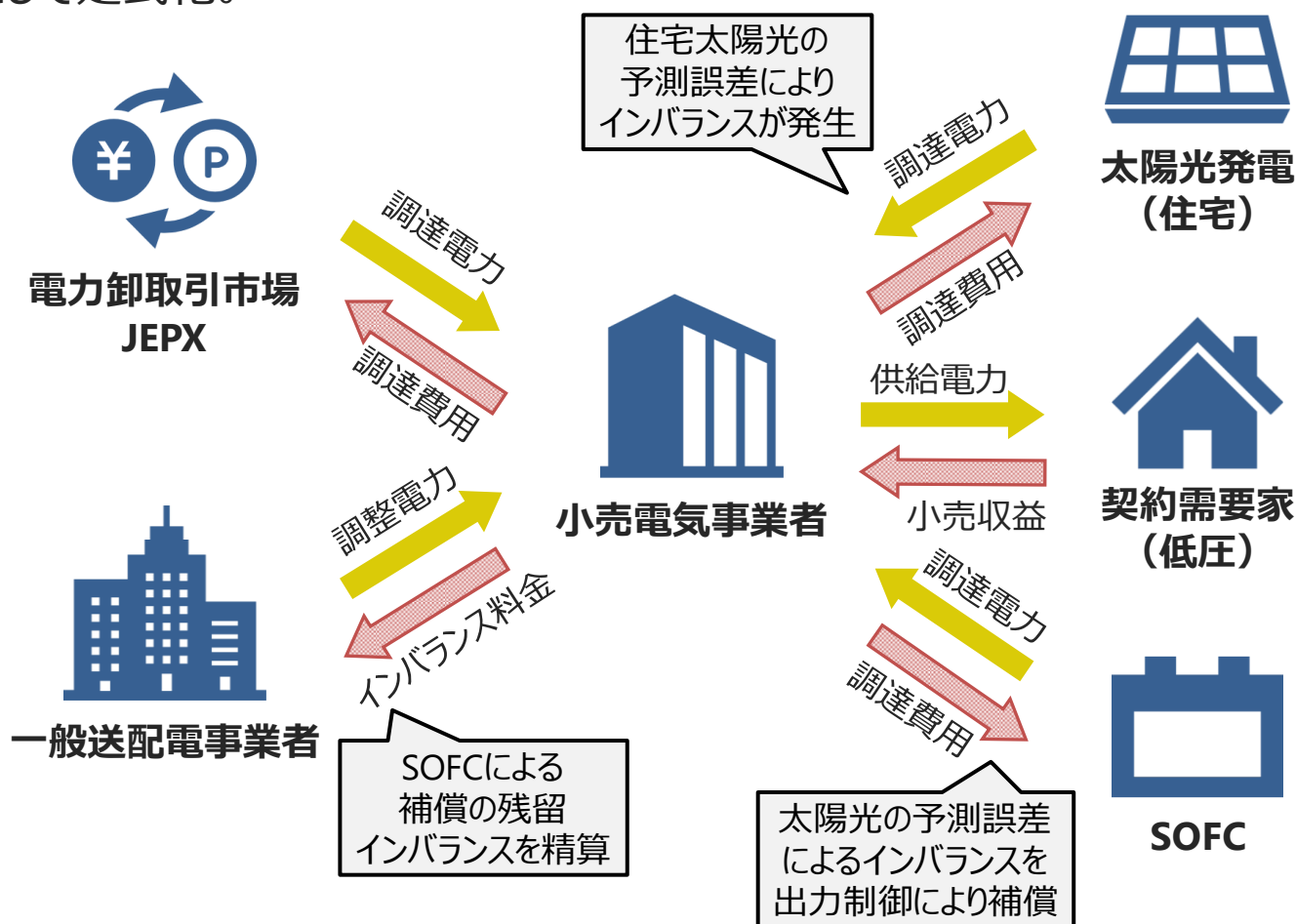
卒FIT電源を調達する新電力事業者を想定し、
住宅用PV及び家庭用燃料電池からの調達を考慮した
エネルギー需給とその収支を表現するモデルを開発



燃料電池による電力需給の安定性と経済性の向上、
温室効果ガスの排出削減への寄与を評価

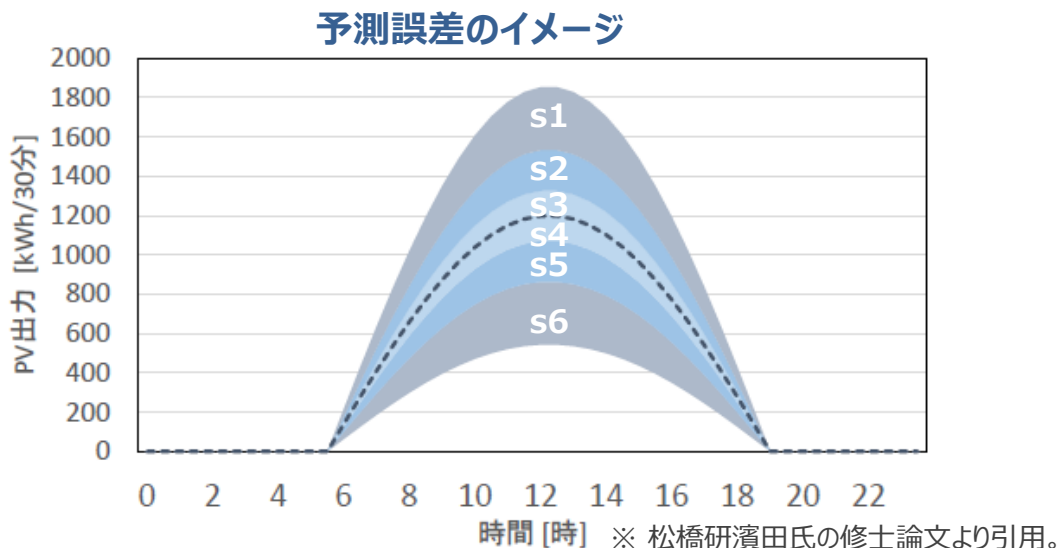
- 小売電気事業者の視点で需要側から需給を調整する手段
 - 蓄電池、ヒートポンプ給湯機、燃料電池
- 燃料電池、特に**固体酸化物形燃料電池（SOFC）**によるインバランス補償を分析。
 - 固体高分子形燃料電池（PEFC）
 - ・ 発電効率が比較的低い一方、排熱回収効率が高く起動停止が容易。
 - ・ 2009年から「エネファーム」の名称で販売が開始。
 - 固体酸化物形燃料電池（SOFC）
 - ・ 発電効率が高い一方、熱回収効率は比較的低い。
 - ・ 700℃以上の高温で動作するため起動停止せず24時間連続での運転に向いている。
 - ・ 以前は出力変動が期待できないとみられていたが、近年の研究では負荷追従性が確認されている。
 - ・ 現在、大阪ガス、アイシン精機、京セラ、ノーリツが共同開発した「エネファーム type S」が販売。

- 低圧(家庭)の需要に対して、住宅のPV、電力卸取引市場(JEPX)、住宅のSOFCから電力を調達し供給。
- 卒FITの住宅用PVの電力を調達する際の予測誤差をSOFCの出力制御により補償。
- インバランスを考慮した新電力事業者の年間の利潤の期待値を最大化する最適化問題として定式化。



太陽光発電の予測誤差と代表日の設定

- 住宅用太陽光の予測誤差をラプラス分布に基づき6つの確率帯に離散化。



- 季節・曜日・日射量の3つの要因に基づき代表日を設定。
 - 太陽光発電：季節と日射量ごとに予測値を設定。
 - 電力需要、市場価格、インバランス単価：季節と曜日ごとに設定。

3	×	2	×	3
季節		曜日		日射量
夏期		平日		大
冬期		休日		中
中間期				小

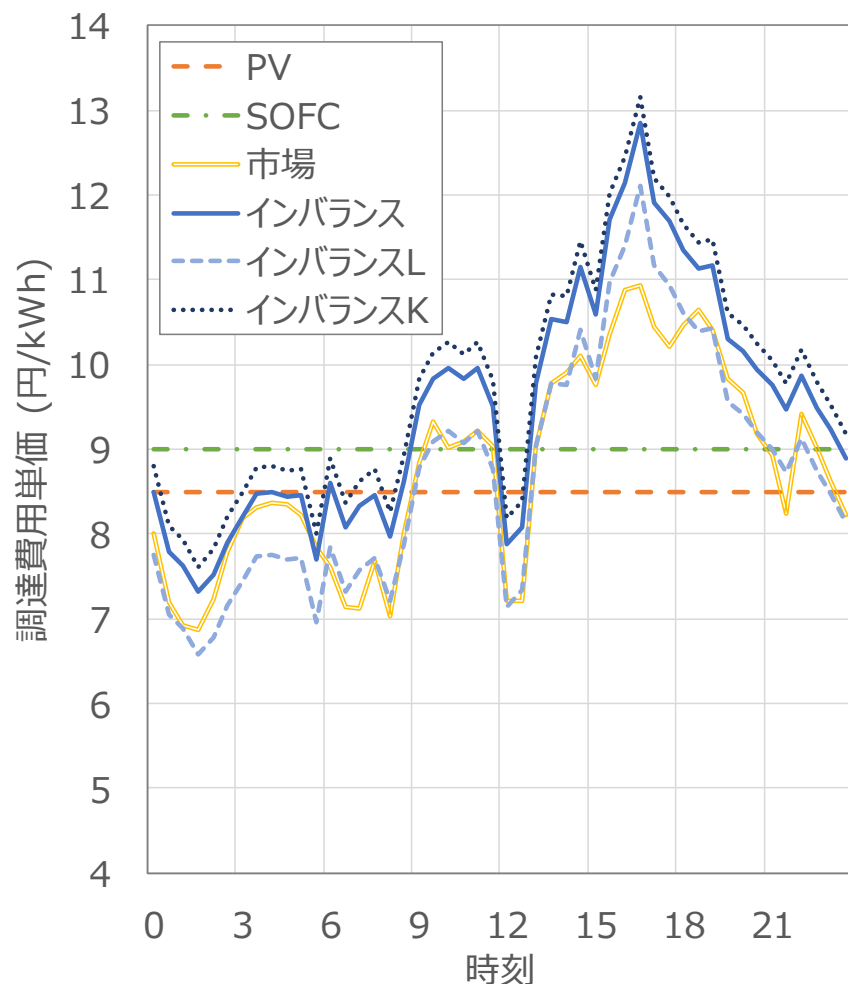
18種類の条件下における各確率帯のSOFCの運転パターンを計算。

- 関西エリアの2018年度を想定。
- 小売電気事業者の需給及び収支に関するデータを収集し、モデルの設定を行った。

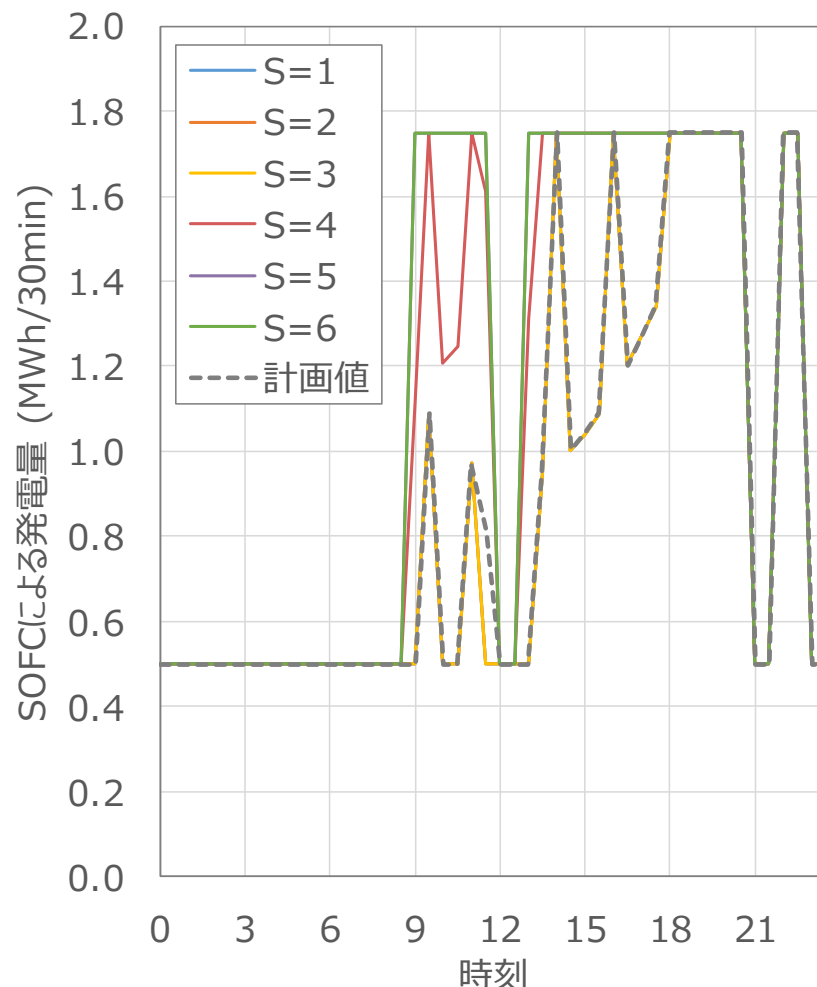
低圧小売契約の基本料金・従量料金単価	関西エリアの小売電気事業者の料金メニューを参考に設定
託送の基本料金・電気量料金単価	関西電力の設定料金
PVの導入容量	20MW (平均4kW/件×5,000件)
PVのkW当たり発電量の計画値	気象庁ウェブサイト「過去の気象データ・ダウンロード」より「大阪」の2018年度の全天日射量を用いて算定
PVからの調達単価	関西エリアの小売電気事業者の卒FIT買取価格を参考に設定
SOFCからの調達単価	大阪ガスの2018年度のエネファーム余剰電力買取単価を引用
インバランス料金単価	2018年度の関西エリアのインバランス単価
K, L値	2019年度の関西エリアの適用値
SOFCの導入台数	1,000～10,000台 (1,000台単位)
SOFCの定格出力	700W/台
SOFCの最小出力	200W/台
SOFCの最大出力	700W/台

- 午前9時までは市場価格が安いためJEPXからの調達が増え、SOFCの出力は最小。
- PVの発電のある日中は予測誤差による不足インバランスを補う余力を残すため、SOFCの出力は計画段階では上限まで上がりきらない。

料金単価の推移

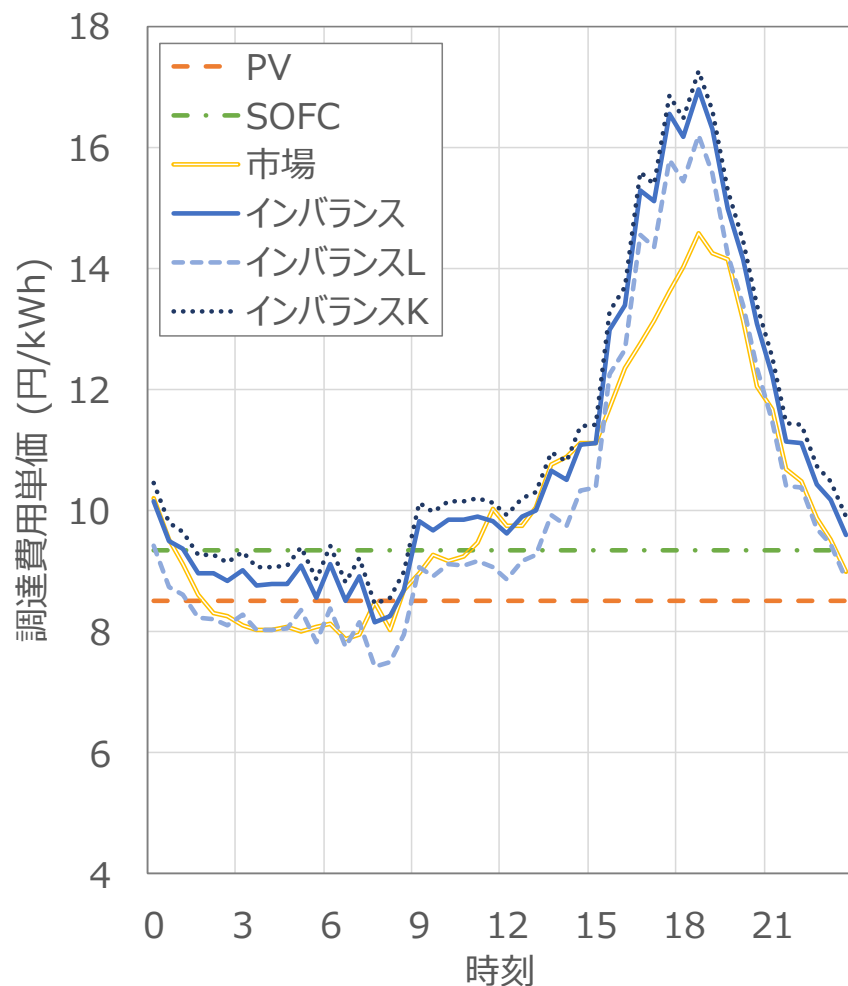


SOFC発電量の推移

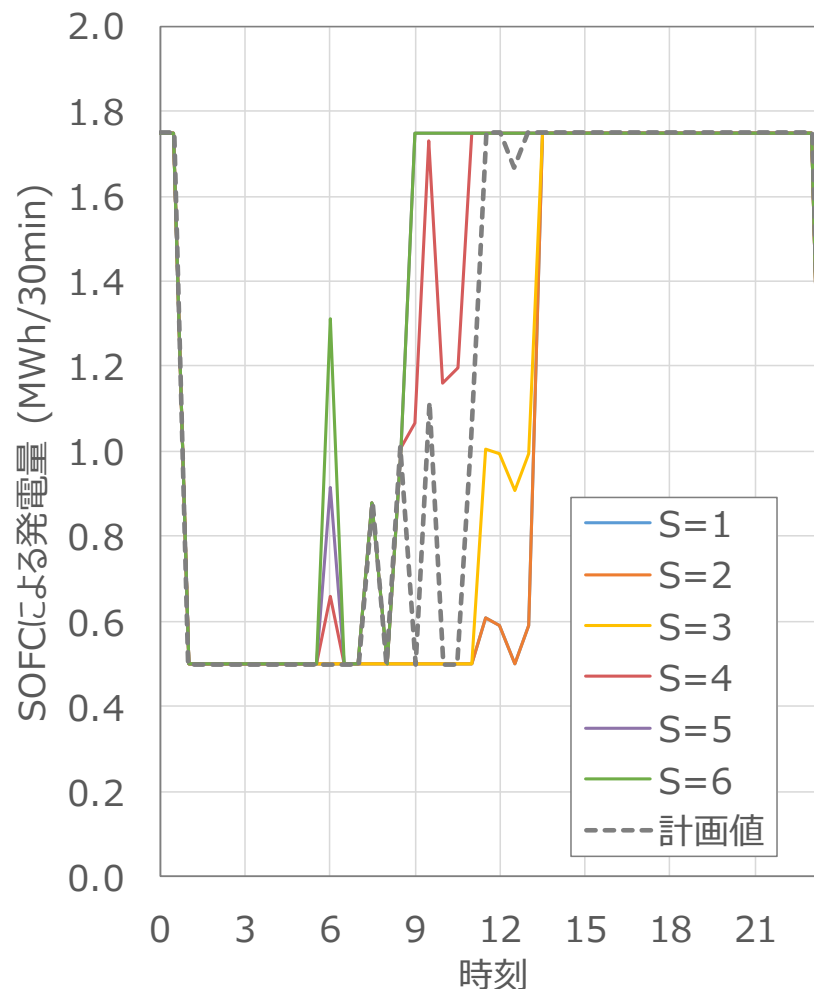


- 午前中は市場価格とSOFCの買取単価の差が小さくSOFCの出力は控えめ。
- 午後に市場価格とインバンス単価が大幅に上昇、SOFC単価に比べて高くなるため、SOFCの出力は最大に。

料金単価の推移



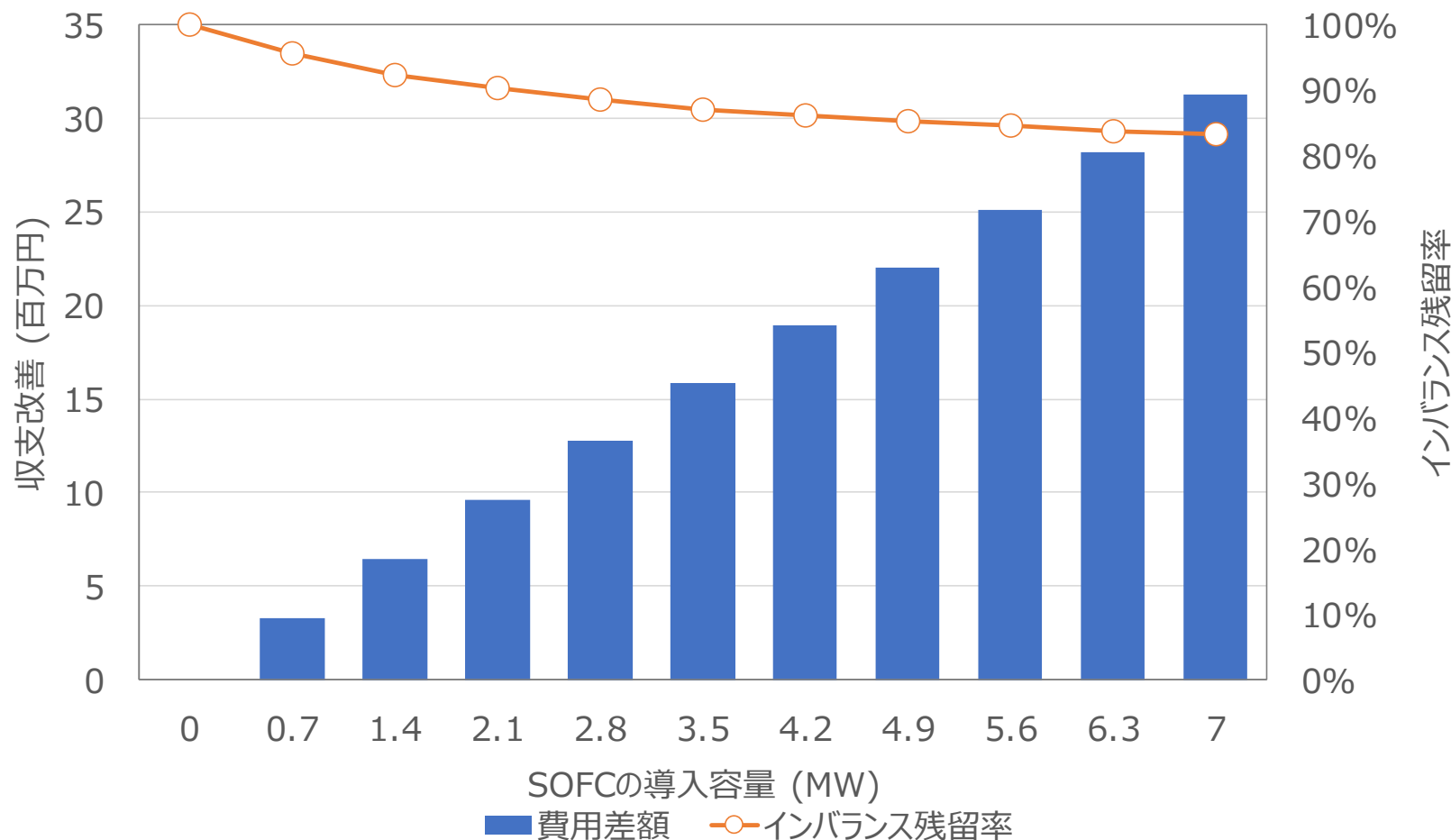
SOFC発電量の推移



SOFCによるエネルギー需給の安定性と経済性の向上

- SOFCからの調達が多いほど**インバランスは減少**し、**収支は改善**する。
- 5,000台のSOFCからの調達でインバランスは13%削減、収支は1,600万円改善。
- 調達量が増えるにつれて追加的な導入効果は逡減する。

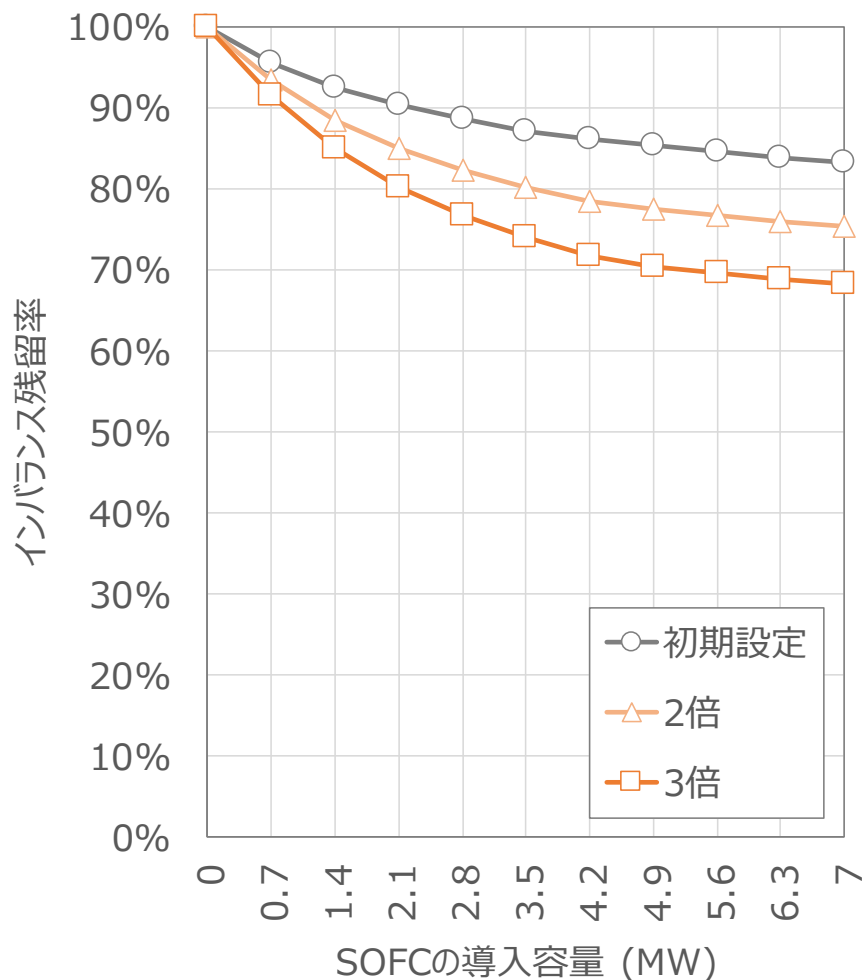
インバランス削減率と収支の改善



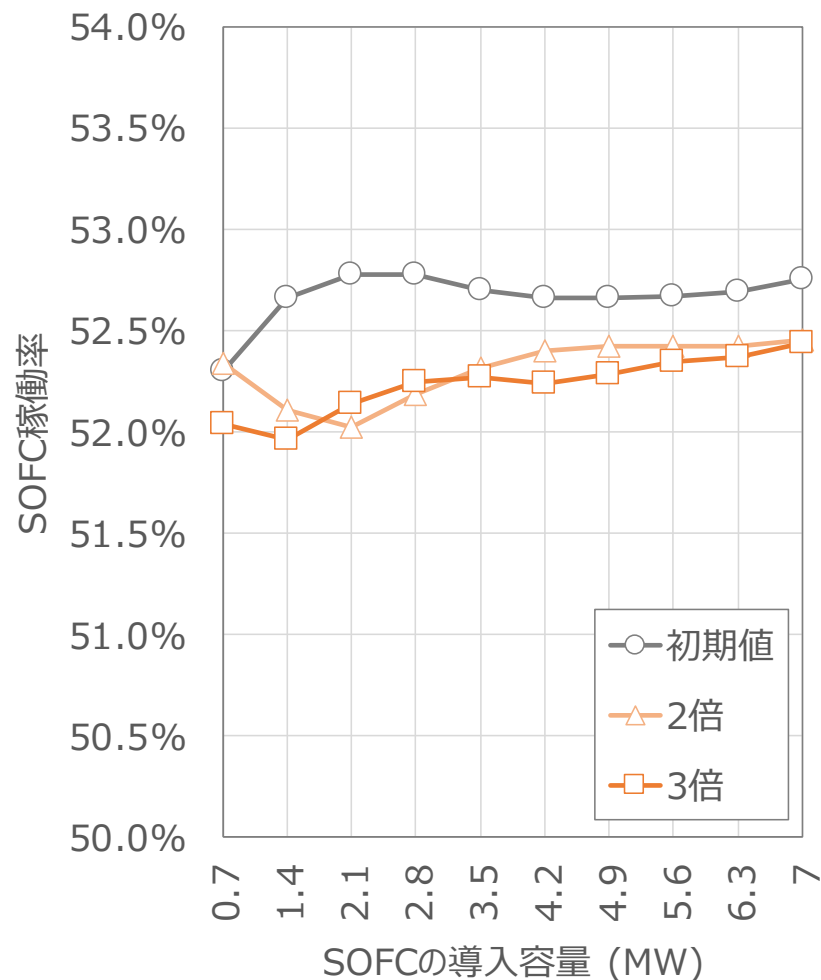
K値・L値の変化に対する感度分析

- K値及びL値が現状よりも大きくなるにつれ**インバランスの削減率が向上**。
 — 余剰・不足の双方においてSOFCからの調達が有利になる時間帯が増加。
- SOFCの稼働率は概ね52～53%で推移。

インバランス削減率の変化



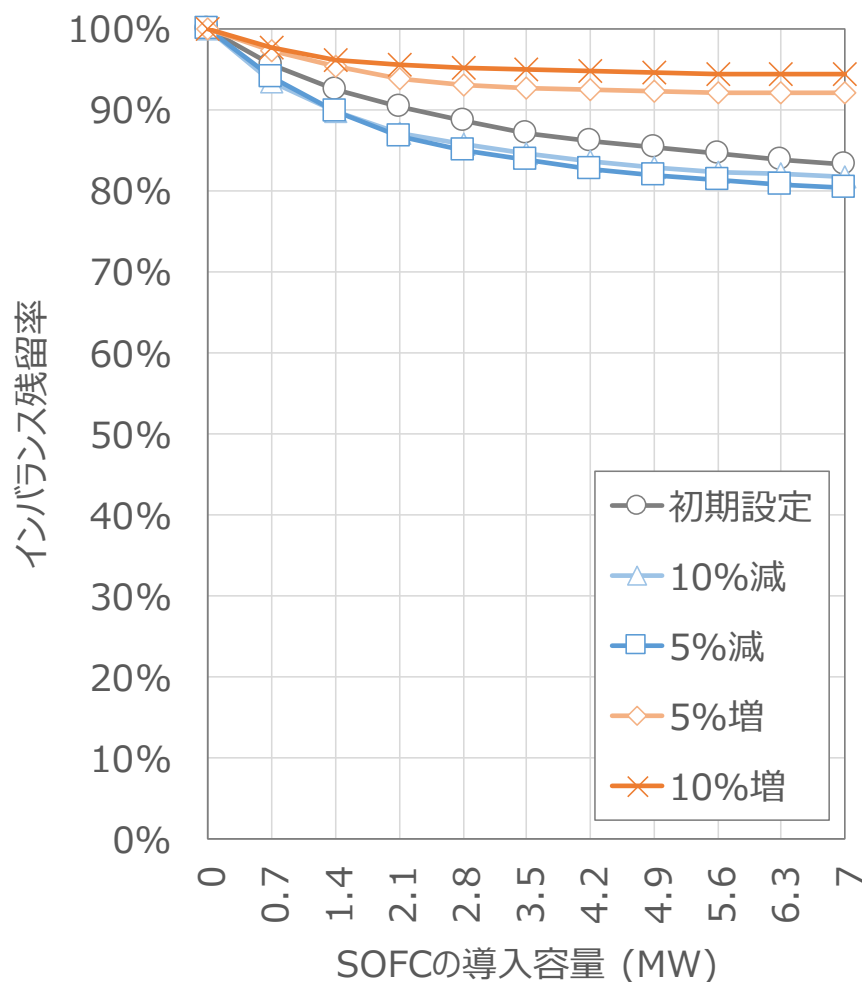
SOFCの稼働率の変化



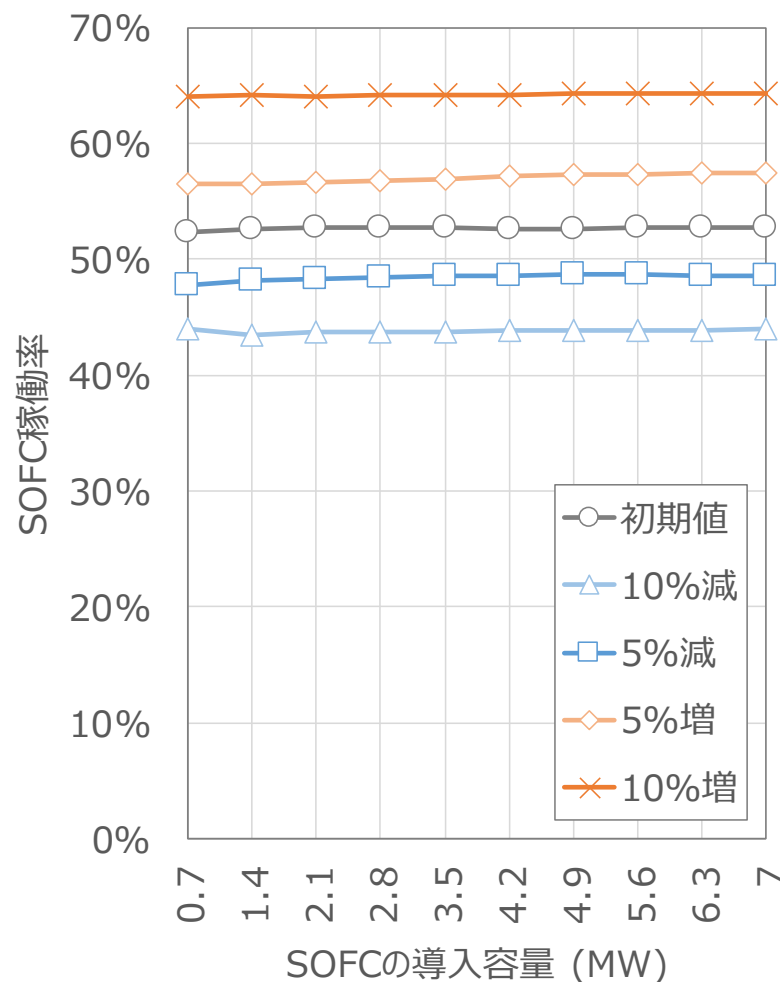
市場・インバランス単価全体の変化に対する感度分析

- 単価が下がるとSOFCによるインバランス削減率が向上。
- SOFCの稼働率は単価が上がると上昇。
 - SOFCからの調達が市場価格及びインバランス料金より有利になる時間帯が増加。

インバランス削減率の変化



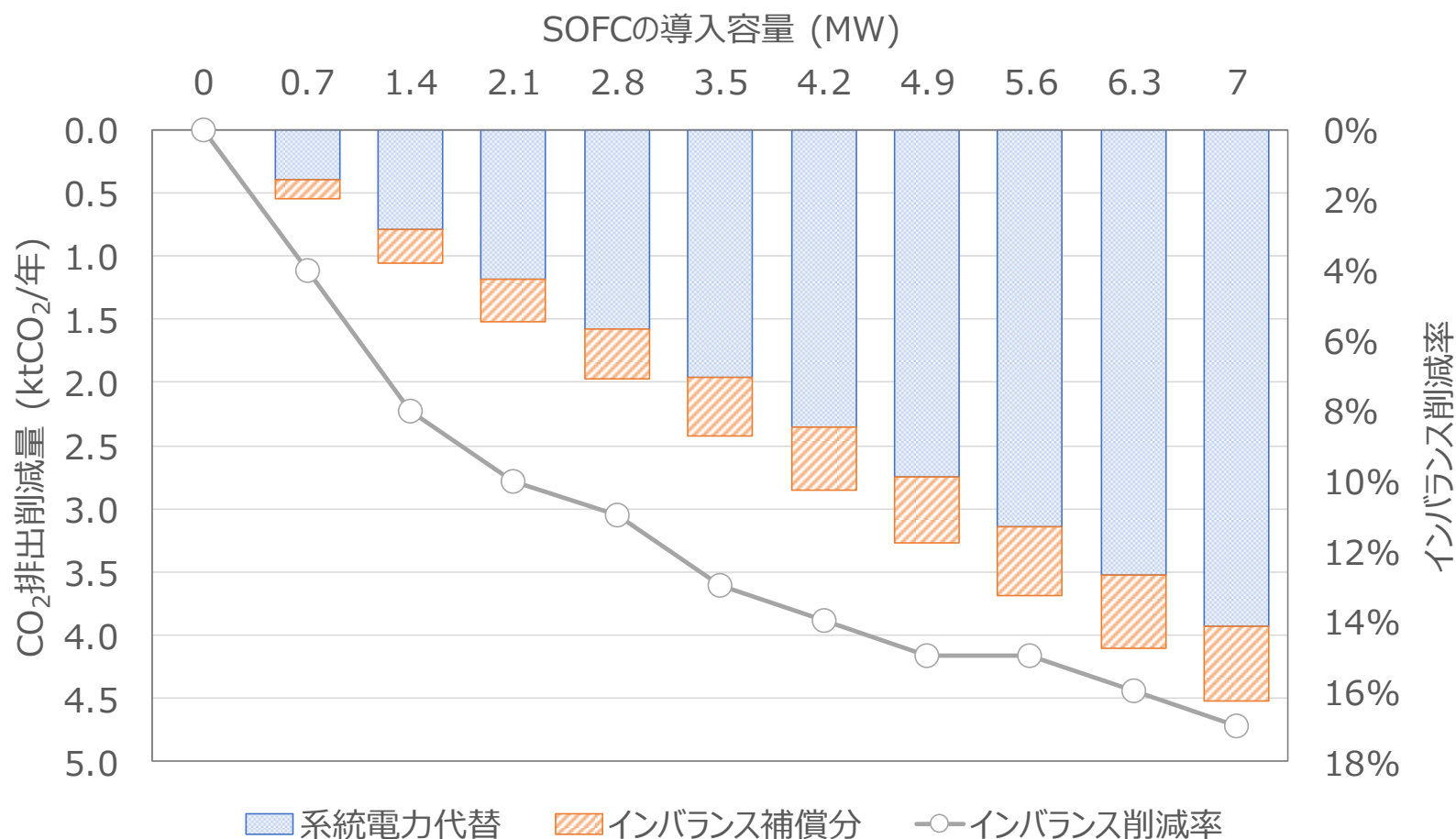
SOFCの稼働率の変化



SOFCによる温室効果ガス排出量の削減効果

- SOFCによる温室効果ガスの排出削減への貢献
 - SOFCの発電した電力が**系統電力を代替**することによる削減効果
 - SOFCの出力調整により**予測誤差が補償された分のPVの発電量**による削減効果
- PVの電力の安定的な供給に貢献しているという点で、排出削減に間接的に寄与。

CO₂排出削減量



- 住宅用のPV及びSOFCの発電した電力の調達を考慮した小売電気事業のエネルギー需給と収支を計算するモデルを開発した。
- 卒FITのPVを供給源として調達する新電力事業者を想定し、SOFCの出力調整でPVの予測誤差を補償することによる電力需給の安定性と経済性の評価を行った。
- 小売電気事業の年間利益の期待値が最大となるようにSOFCの出力を制御することで、SOFCからの調達によりインバランスが減少し、収支が改善することが示された。
- インバランス料金のK、L値が大きくなると、SOFCによるインバランス削減率は向上。
- 2022年度にインバランス料金制度が改定されると、インバランスの発生によるリスクはさらに大きくなることが予想される。
- SOFCによるインバランス補償の価値は将来的により一層大きくなると考えられる。
 - 小売電気事業者：経済性向上への貢献
 - 電力システム全体：安定性向上への貢献
 - 社会の脱炭素化：温室効果ガス排出量の削減
- 燃料電池の家庭への普及率はまだ低く、小売電気事業者が調整力として十分に活用するには普及拡大が必要である。
- 小売電気事業の事業性のみならず、家庭や街区といった消費者側の視点も含めたSOFCの経済性の評価が重要である。