

2020年10月26日  
アジア太平洋研究所  
「都市における IoT の活用」研究会

# 脱炭素社会実現に向けた 次世代エネルギーシステムの デザイン

北九州市立大学 牛房義明

# 研究会の問題意識

- スマートコミュニティ実証の経験を踏まえた消費者の省エネ・節電に対する行動変容とAI・IoT活用の可能性
- エネルギー分野における価格メカニズム（インセンティブ）とナッジの有効性
  - 節電・省エネに誘導するアプローチ

# 具体的な問題意識

- 消費者の省エネ行動を促すことによる省エネの可能性
- 消費者の行動変容において障害（バイアス）になることとその対応策
- 現状を大きく超える省エネへと、消費者の行動を（多少のライフスタイルの変化も含めて）変容させるには、どのような働きかけ方が求められるか

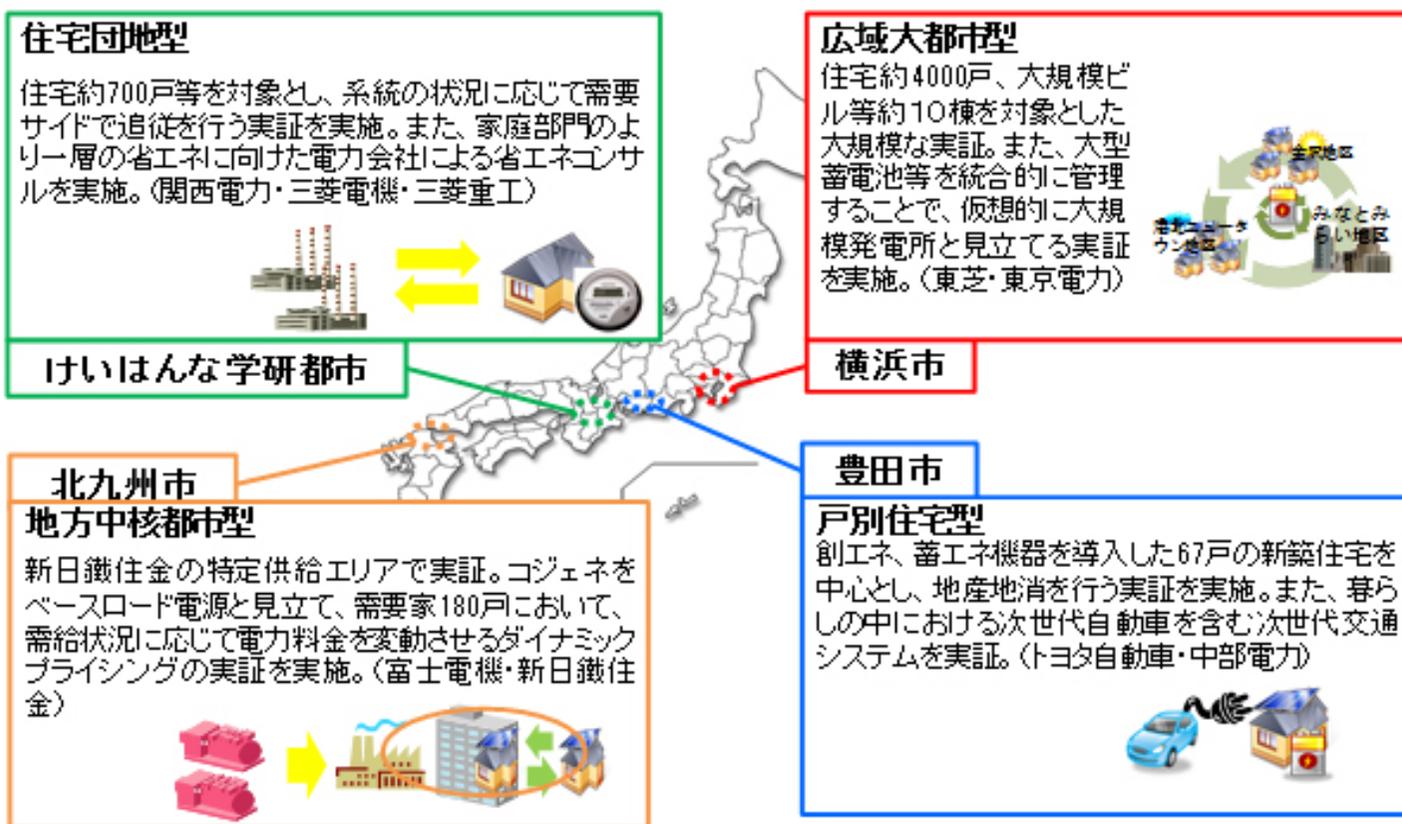
# 本日の内容

- **デマンドレスポンス実証**の紹介
  - 北九州、けいはんな、中部
- 現在取り組んでいるプロジェクトの紹介
  - 科学技術振興機構 社会技術研究開発センター（RISTEX）、「科学と社会」推進部の採択プロジェクト
  - **SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム**  
Solution-Driven Co-creative R&D Program for SDGs  
略称：SOLVE for SDGs

# スマートコミュニティ実証について

- 経済産業省 次世代エネルギー・社会システム実証
  - 横浜・豊田・けいはんな・北九州
  - スマートメーターの設置
  - HEMSによるエネルギーの見える化
- デマンドレスポンス で節電
  - 震災後の電力不足を補う
  - 情報や価格に需要応答
  - 時間帯別電力消費量見える化
  - 時間帯別電気料金を活用

# デマンドレスポンスの国内4実証地域 (2012～2014年度)



出所：日経スマートシティコンソーシアム

<http://bizgate.nikkei.co.jp/smartcity/interview/001948.html>

# エネルギー消費と行動経済学

## 経済学ができること

- エネルギー（電力）の消費を抑制する(省エネ・節電) ために、経済学は何ができるか。
  - **金銭的なインセンティブ**を与えることで電力需要をコントロール
    - 時間帯別料金（ピークロードプライシングの一種）の設定
    - 節電した人に対し報奨金
  - **非金銭的なインセンティブ**で電力需要をコントロール
    - 2011年の節電要請
    - ナッジ（Nudge）の活用

# エネルギー消費と行動経済学

## 省エネ・節電対策の手法と行動経済学的な手法

規制的手法	経済的手法	情報的手法
省エネ法 トップランナー基準	環境税 省エネ設備補助金 時間帯別料金制度  <u>価格インセンティブへの反応を高める設計</u>	電気予報 省エネラベリング エネルギーの「見える化」  <u>情報提供の効果を高める設計</u>

因果推論、フィールド実証、ランダム化比較試験 (RCT)

### Nudge (ナッジ)

省エネ・節電を促す上手い仕組みを考える。

# 北九州実証について

ダイナミックプライシング

節電行動について

# 北九州スマートコミュニティ創造事業の全体像

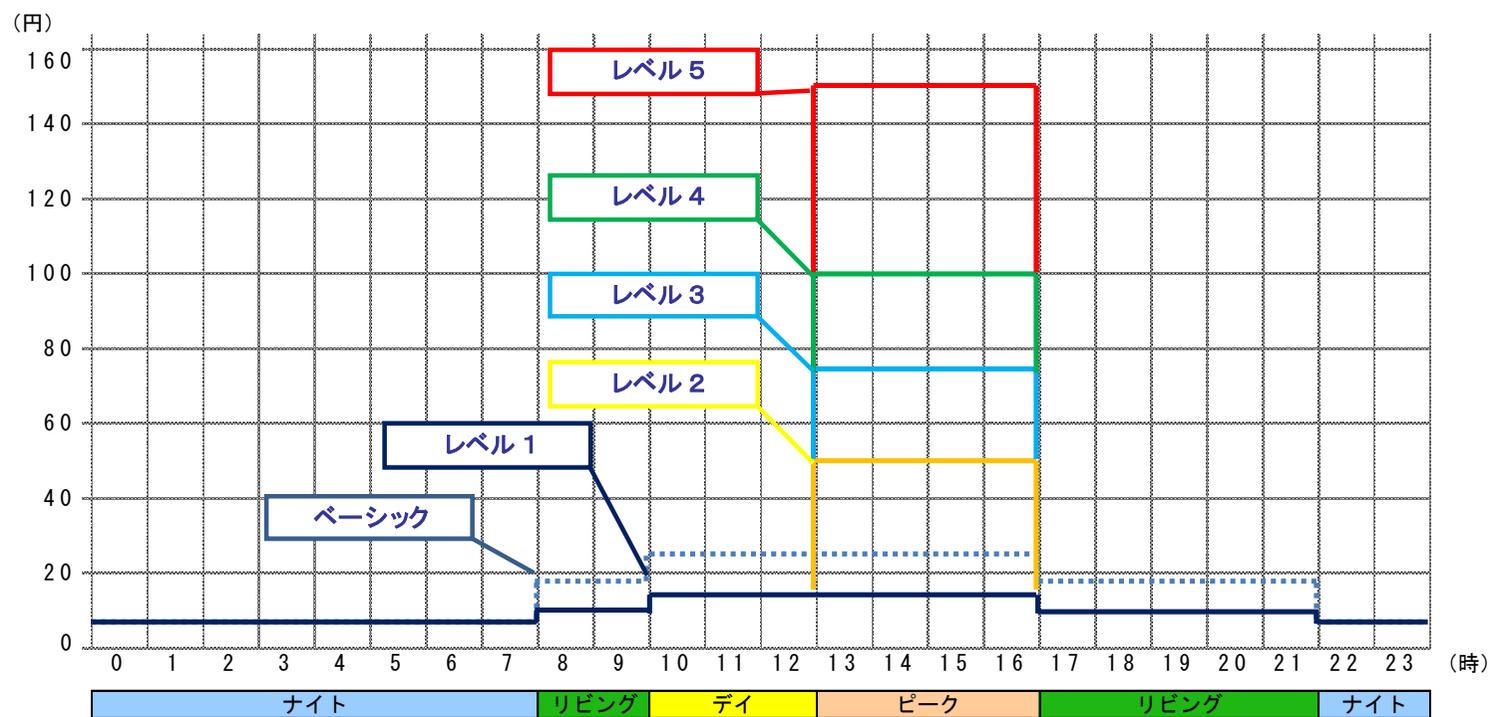


# 北九州実証の概要

- 2012年度の夏～2013年度の冬
- グループ分け
  - オール電化の集合住宅の居住者を対象
  - コントロール・グループ (N = 69)
  - ダイナミック・プライシング・グループ (N = 120)

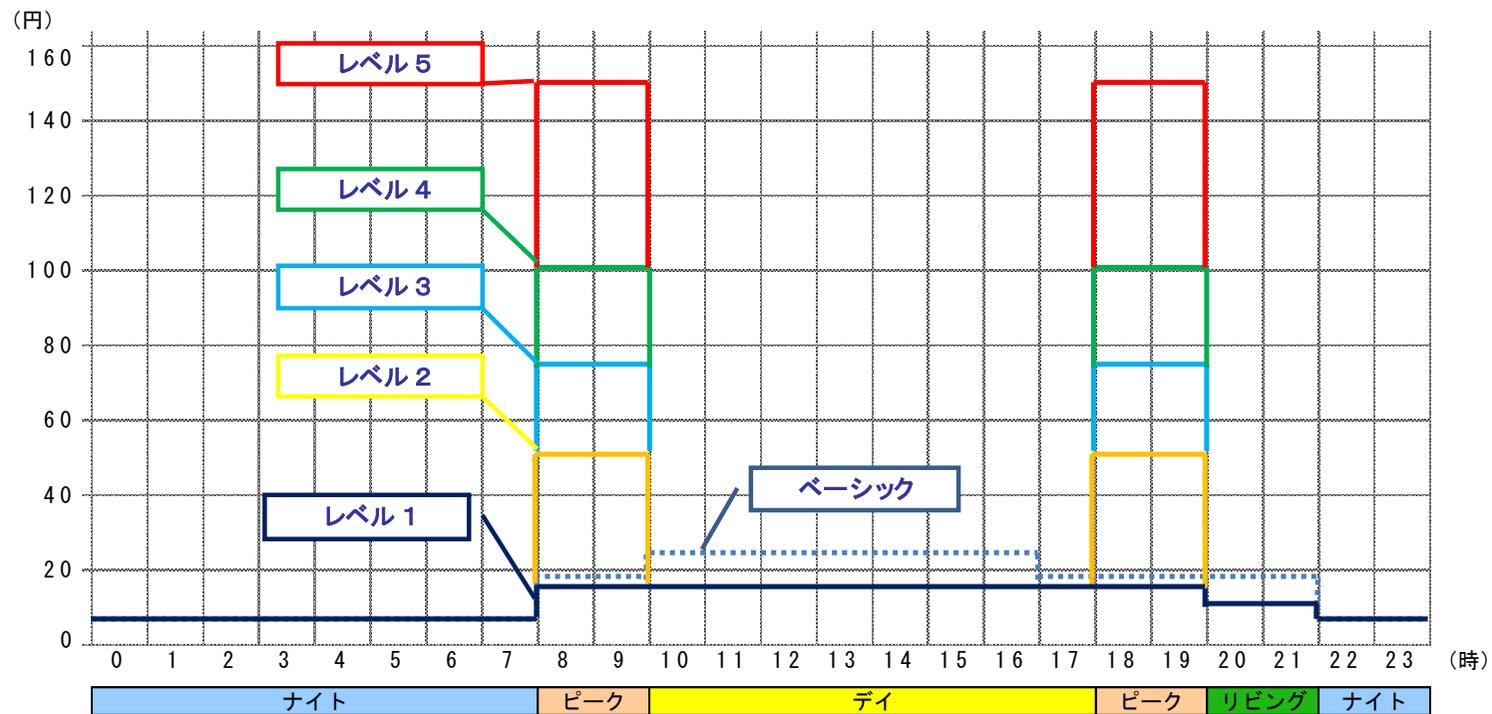
# 住宅向け料金テーブル 夏 (2012、2013)

<6月~9月>



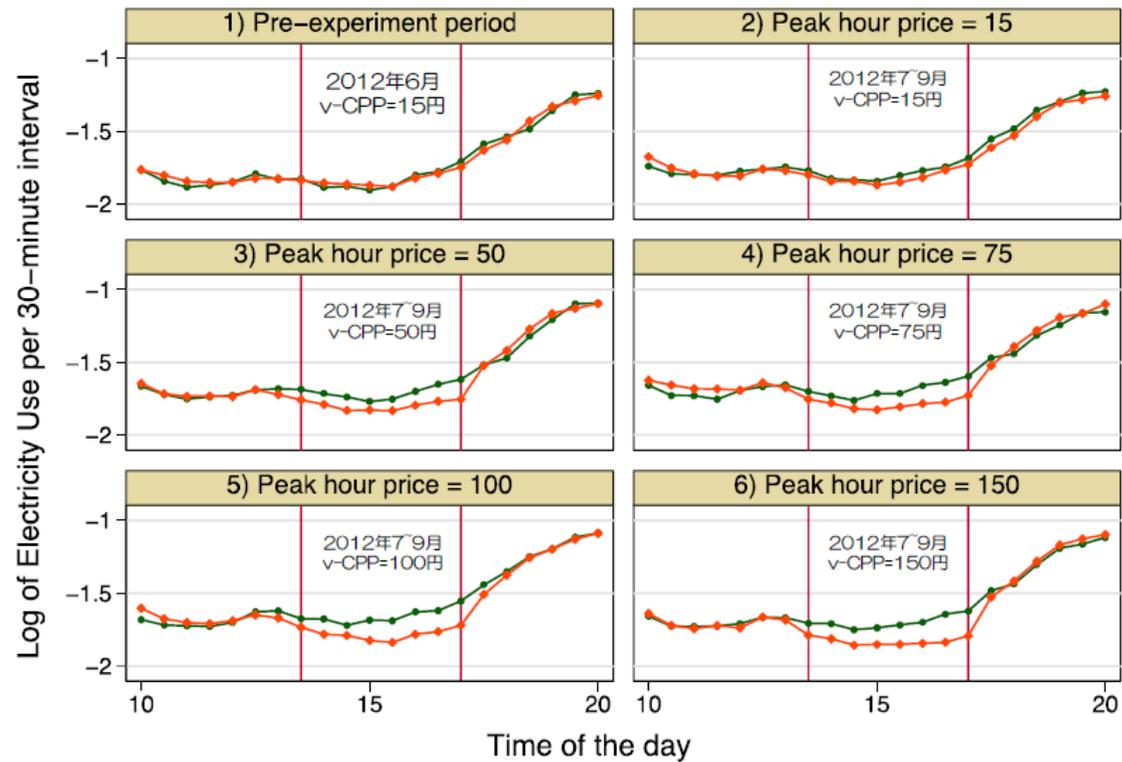
# 住宅向け料金テーブル 冬 (2012)

<12月~2月>



# 2012年度 夏期の結果

## 【ピークカット効果分析図解】



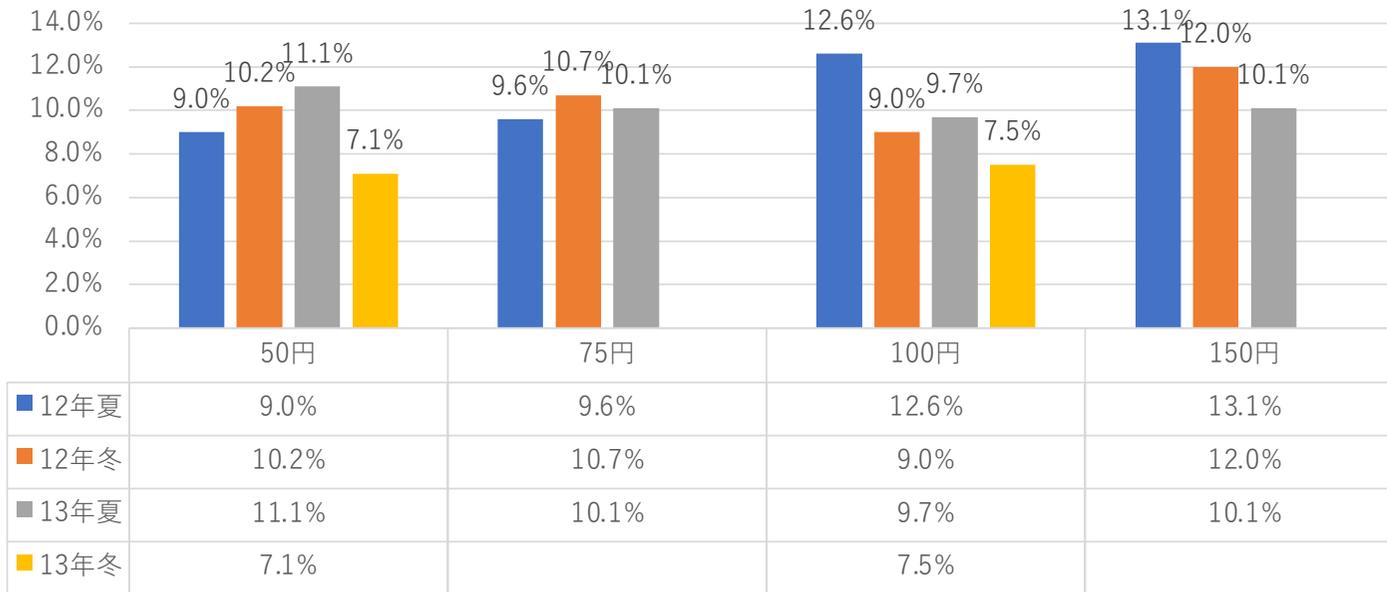
Graphs by CPP\_Treatment

出所：依田、田中、伊藤（2012）、  
次世代エネルギー社会システムにおけるデマンド・レスポンス経済効果調査事業  
北九州市における変動型CPP社会実証 2012年度夏期評価結果

## 2.エネルギー消費と行動経済学

北九州のダイナミックプライシング社会実証から言えること

ピークカット効果

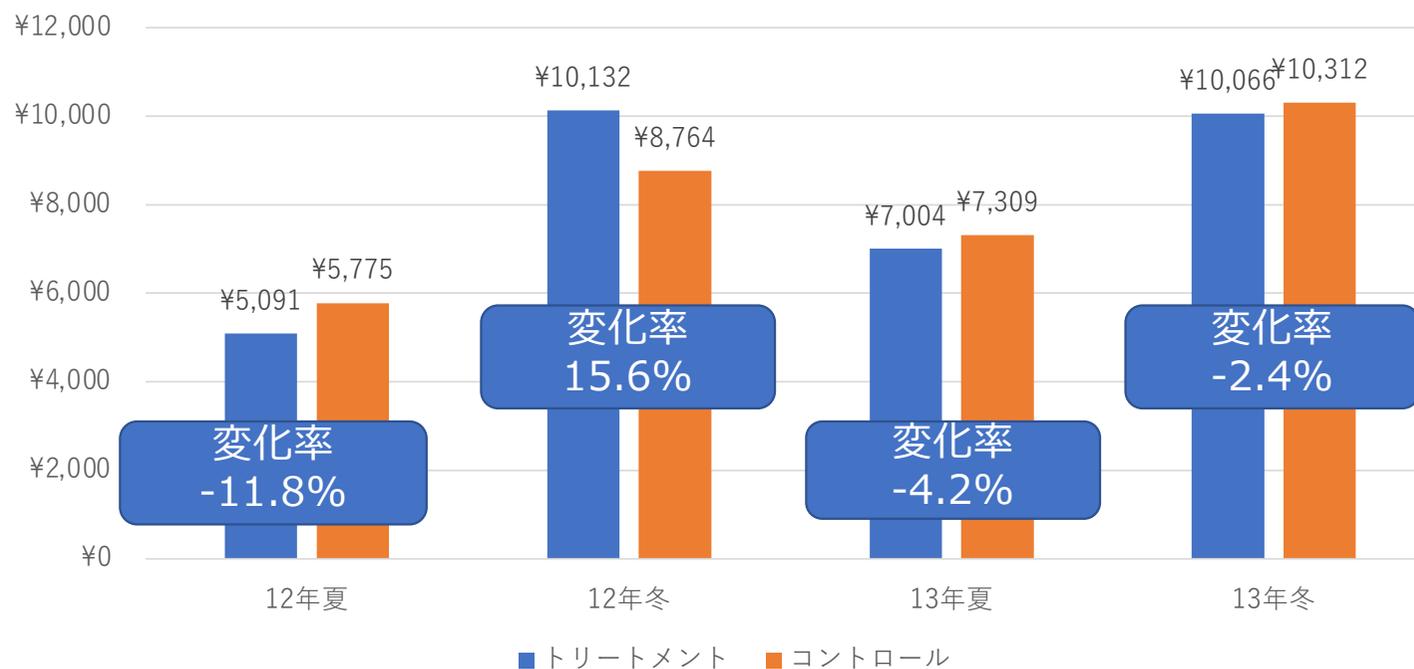


料金を上げたからといって、いつも節電効果が大きくなるとは限らない。

既存の経済理論では説明がつかない現象が生じている。

- 2012年夏は価格差に対して反応が見られたが、2012年冬、2013年夏では見られなくなった。
- 2013年冬は、価格差に対して反応はあるが、これまでの実証より**ピークカット効果が小さい**。

## 12年度夏、13年度夏の1世帯あたりの4ヶ月平均支払額



- 2012年度夏、2013年度夏、2013年度冬はトリートメントGの支払額はコントロールGより少ない。
- 2012年度冬はトリートメントGの支払額がコントロールGより高い。

# 需要家の節電行動の分析

- 電気料金の上昇に応じて、節電するのか？それとも一気に節電するのか？
- 一気に最大限の節電をした家の軒数  
全体の6.5～8.8%
- 価格上昇で起きた節電量全体に対し一気に行った節電が占める割合  
50～61%

全体の1割以下の世帯が節電全体の半分以上に貢献

# 最大限の節電をする世帯数の変化



# どんな家が一気に最大限の節電をしたか

- 高層階
- 面積が小さい
- ふだんの消費電力が小さい
- 世帯人員数が多い
- 世帯主の学歴が高い
  
- 以下については有意な関係はなかった。
  - 家族構成（親と小さな子供の世帯）
  - 商業施設の節電ポイントプログラム参加世帯

# けいはんな実証について

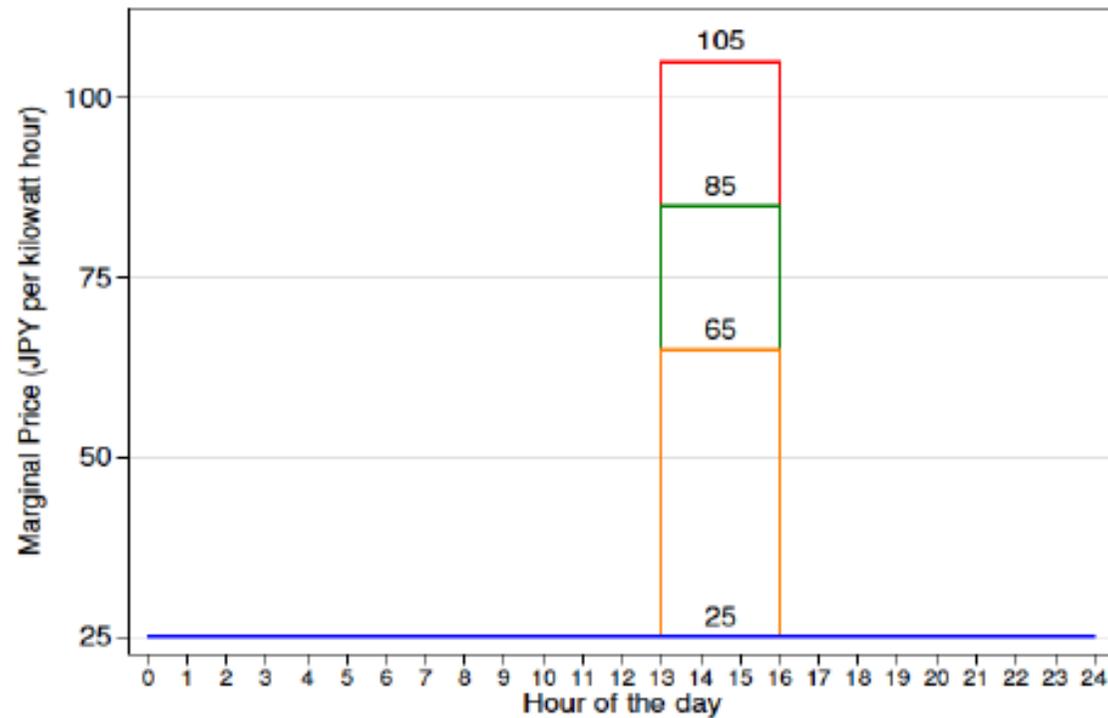
節電要請とダイナミックプライシング  
習慣形成について

# けいはんな実証の概要

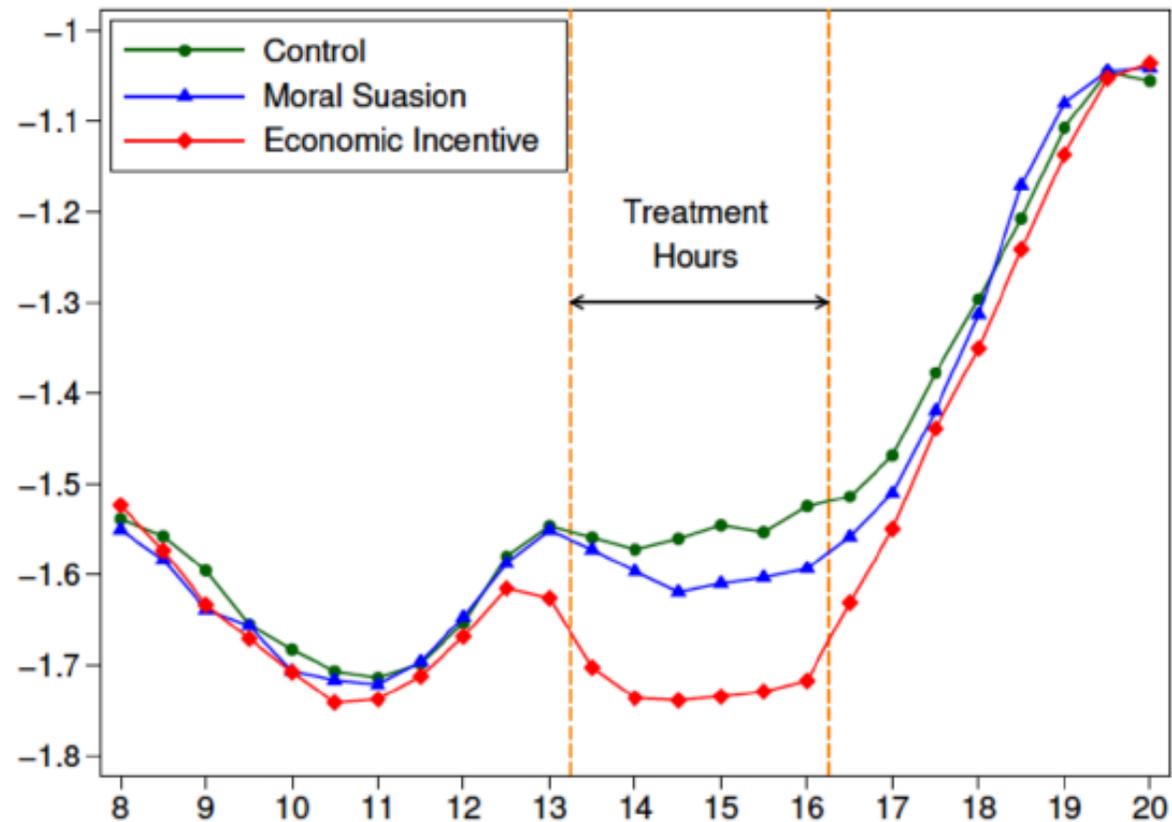
- 2012年度の夏～2013年度の冬
- グループ分け
  - 戸建住宅の居住者を対象
  - コントロール・グループ (N = 153)
  - 節電要請グループ (N = 154)
  - ダイナミック・プライシング・グループ (N = 384)

# 料金テーブル 夏 (2012、2013)

Figure 1: Monetary Incentives: Dynamic Electricity Pricing



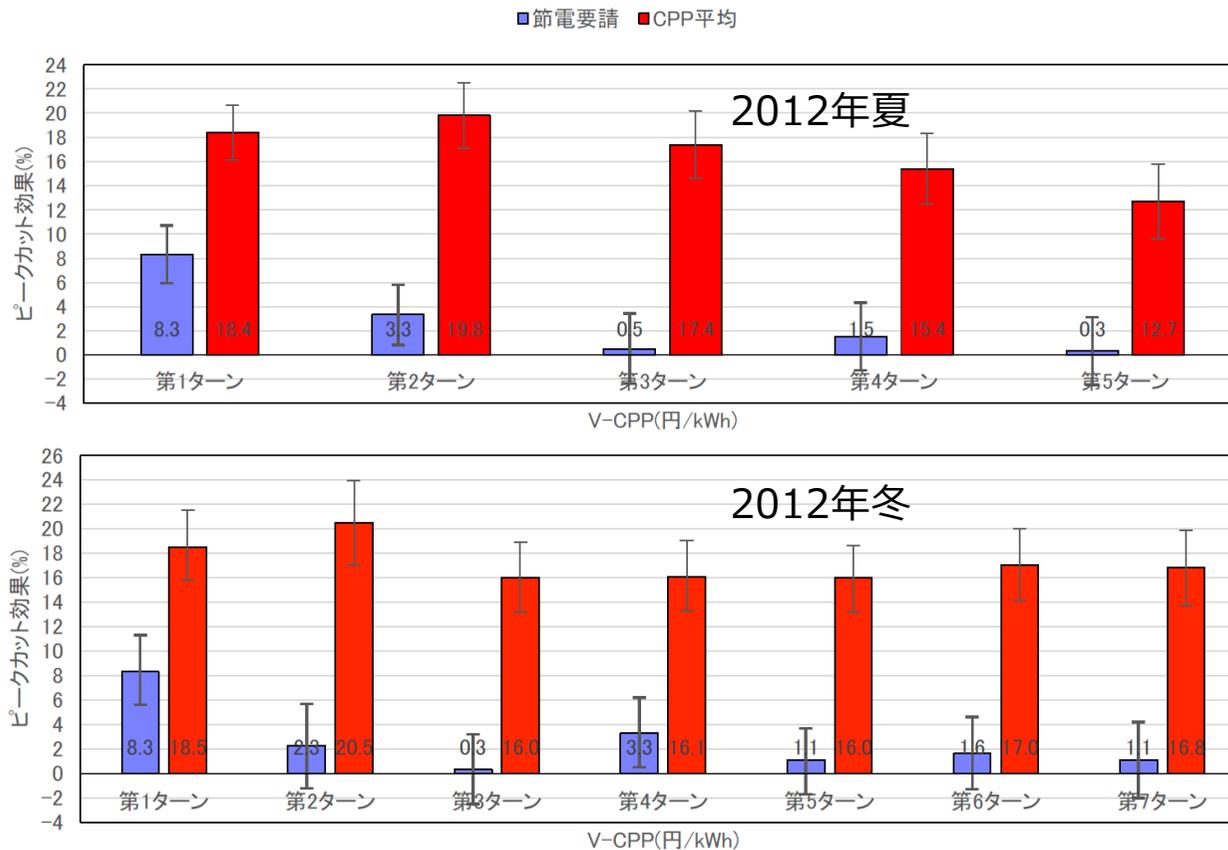
# 2012年夏の結果の図示



縦軸:電力消費量対数値。横軸:時間帯。

緑色:コントロール・グループ。青色:節電要請グループ。赤色:ダイナミック・プライシング・グループ。

# 節電効果は持続するのか



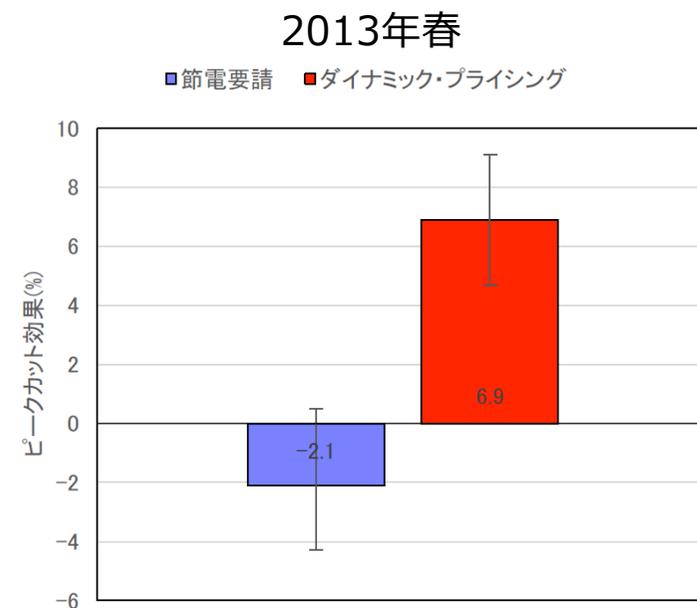
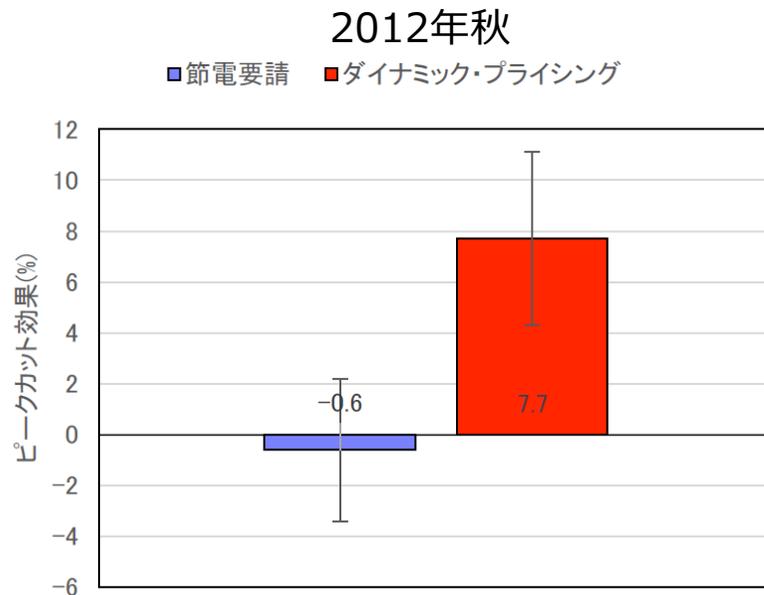
- 節電要請は平均3%、変動料金は平均17%の効果

- 節電要請は当初8%の効果もすぐに消滅

- 変動料金はほぼ15%の効果を持

# ピークカット効果の期間後の習慣形成

- 2012年秋、習慣形成は変動料金8%、節電要請ゼロ。
- 2013年春も、同様の習慣形成の傾向
- 習慣形成は、家電買換よりも、家電効率利用にあり



# ナツジ対リベートの異質介入効果

# JST 藤田CREST 節電社会実験

- 2020年冬、中部電力管内954世帯を以下のようにランダムに割当
- コントロール（327世帯）：見える化
- ナッジ（313世帯）：見える化+社会比較ナッジ
- リベート（314世帯）：見える化+リベート（100円/kWh）

## コントロール、リポート

ご家庭の電力消費量を、ご確認ください。

あなたのご家庭は、

- ・1日あたり **14.0** kWhの電気を使用しています。
- ・そのうち **3.6** kWhを**ピーク時間帯** (17~21時の4時間)に使用しています。

## 社会比較ナッジ

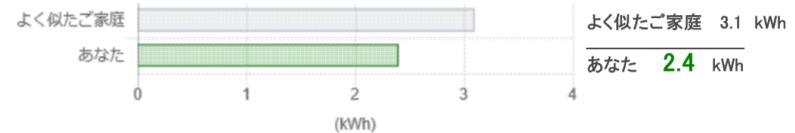
ご家庭の電力消費量を、ご確認ください。

あなたのご家庭は、

- ・1日あたり **17.7** kWhの電気を使用しています。
- ・そのうち **2.4** kWhを**ピーク時間帯** (17~21時の4時間)に使用しています。

**ピーク時間帯のご使用量** (17~21時の4時間) は、

よく似たご家庭とくらべて **22% 少なめ** です。



※「よく似たご家庭の使用量」:あなたのご家庭の月額電気料金や家族の人数、料金プラン、暖房・給湯設備などから予測される平均的な電力消費量を、「よく似たご家庭の使用量」として比較しています。

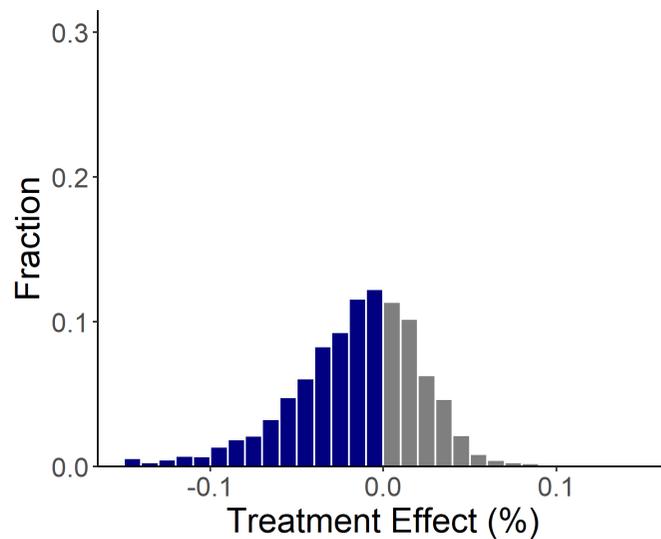
※12月1日~14日の2週間のご使用量から、平均消費量を計算しました。

※「ピーク時間帯」は、冬に一般的なご家庭で電気使用量が多くなる時間帯です。あなたのご家庭の使用量が多くなる時間帯とは、必ずしも一致しません。

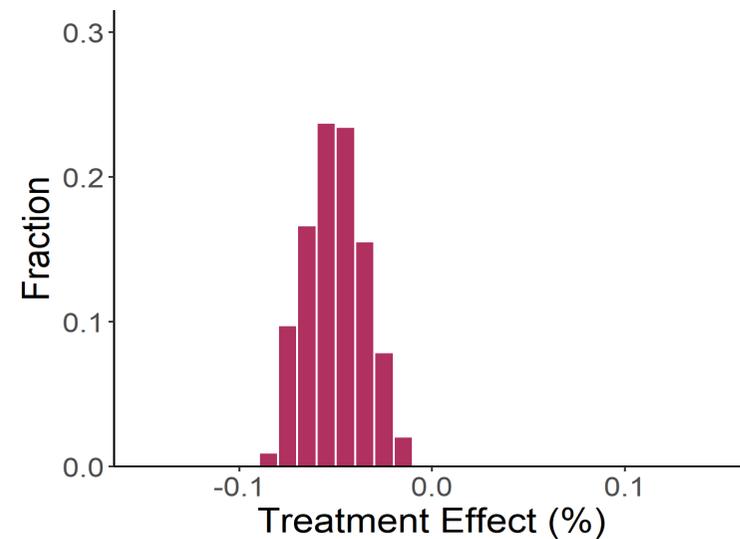
# ナッジ対リベートの異質介入効果

- 社会比較ナッジの節電効果ゼロ 効果は正負に広く分布
- リベートの節電効果4% 効果は負領域に狭く分布

社会比較ナッジ



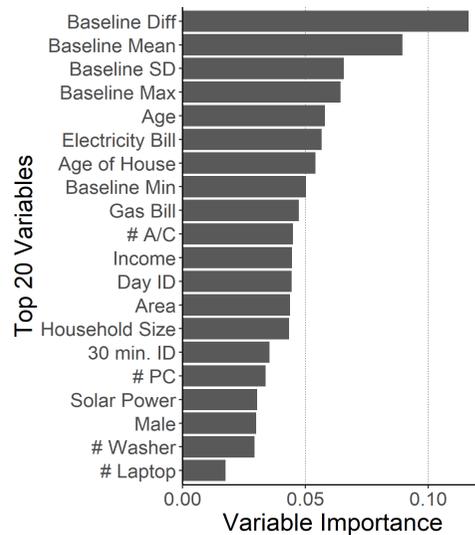
リベート



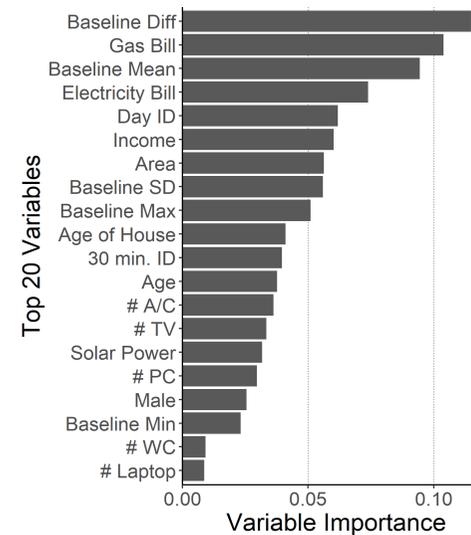
# 異質介入効果のメカニズムー変数重要度

- コウザルフォレストを育てるのに**重要な変数一覧**
- 説明力が高い変数は**ベースライン電力消費量**

社会比較ナッジ



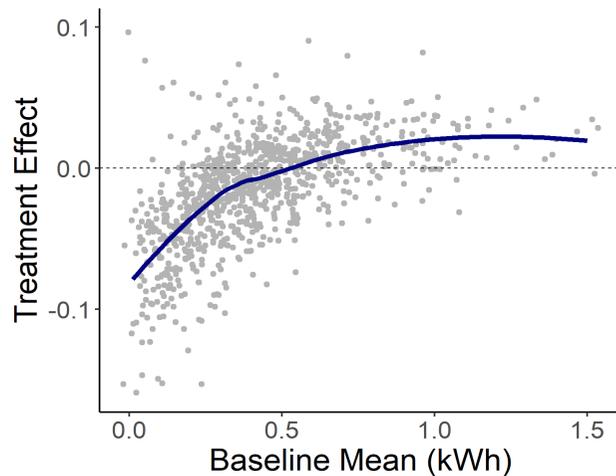
リベート



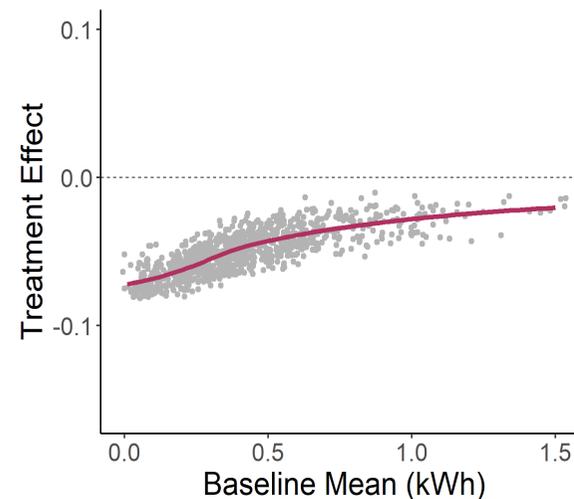
# ターゲティング

- ベースライン電力消費量は異質介入効果と正の相関
- 26%にナッジ、74%にリベートを割り当てるターゲティングによって6%の節電効果。

社会比較ナッジ



リベート



# 現在取り組んでいるプロジェクトの紹介

JST SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム  
(SOLVE for SDGs)

# 北九州市のエネルギー政策の取組み

## 響灘エリア

### ● 北九州次世代エネルギーパーク

太陽光発電や、陸上・洋上風力発電等の次世代クリーンエネルギーの拠点化 (H19年 経産省認定)



- 風力発電
- 太陽光発電
- 石炭
- 蒸気企業間連携
- バイオマス
- 天然ガス
- コジェネ
- 小水力発電
- グリーンオイル
- 石油備蓄

## 東田エリア

### ● 北九州スマートコミュニティ創造事業

次世代エネルギー・社会システム実証事業 (経産省 H22年~H26年)



### ● 北九州水素タウンプロジェクト

水素利用社会システム構築実証事業 (経産省 H23~H26)



## 城野エリア

### ● 城野ゼロ・カーボン先進街区形成事業

省エネ・創エネを備えたエコ住宅と、地域内のエネルギー最適化による持続可能なタウンマネジメント

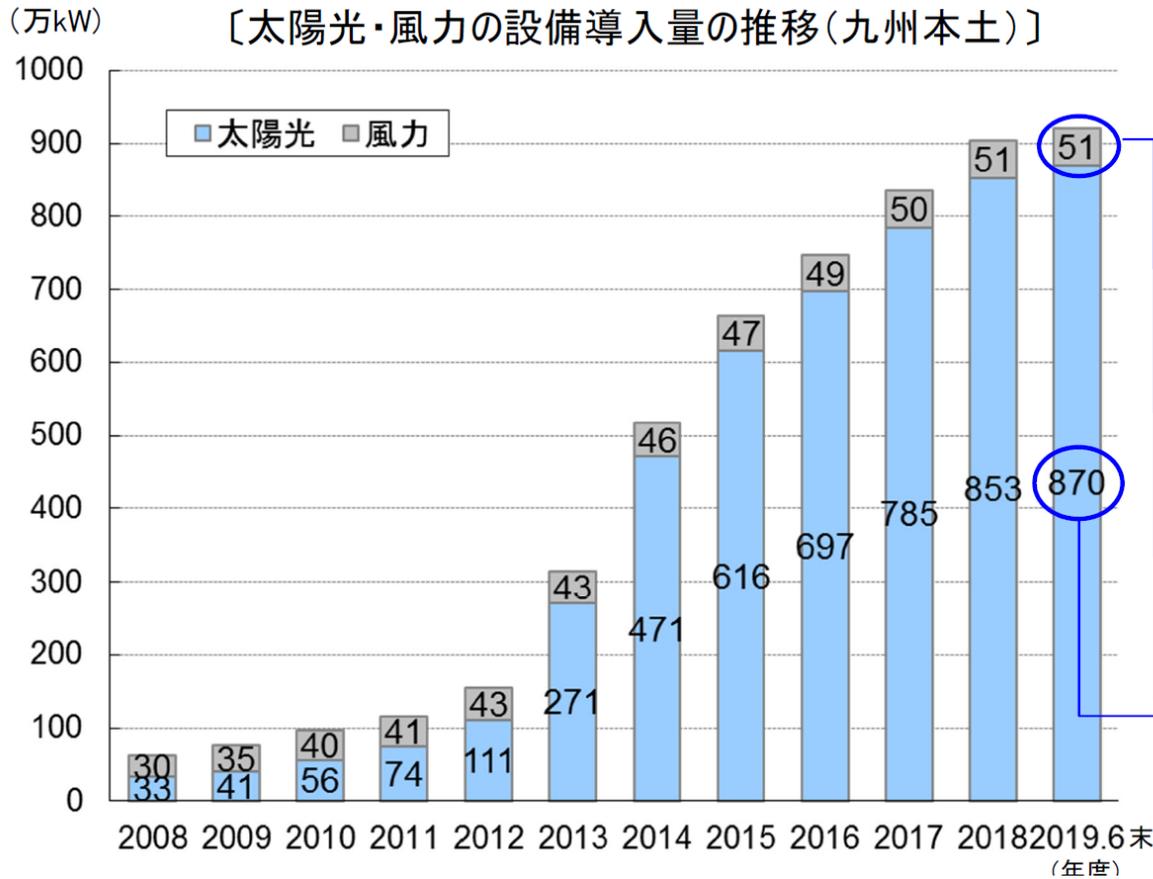


一般社団法人  
城野ひとまちネット  
(事務局 西部ガス)

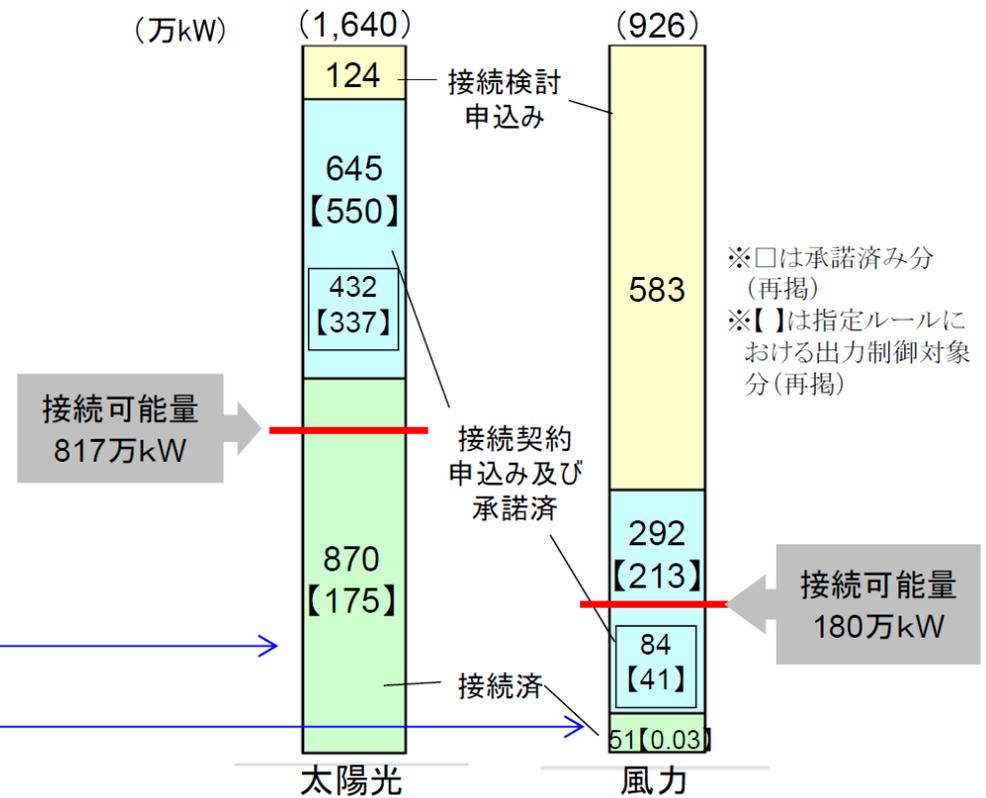
# 北九州市の課題

- FIT終了後の再エネの有効活用は決まっていない
  - 再エネ由来の水素（グリーン水素）実証
- 創エネ設備を所有しているユーザー（プロシューマー）がいるが、機器更新時にどうするか考えていない

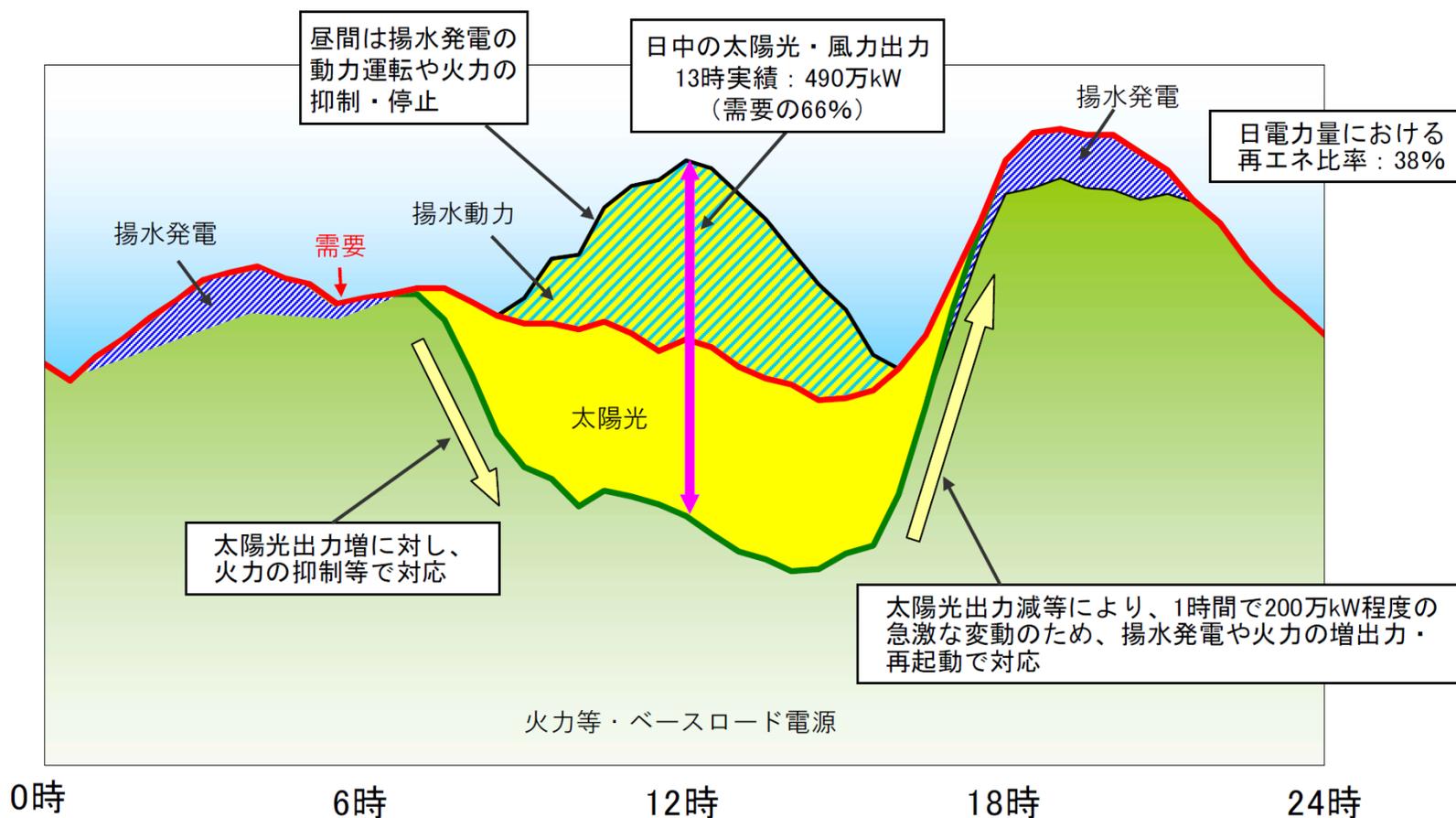
# 九州エリアにおける再エネ（太陽光・風力）



〔太陽光・風力の申込み状況(九州本土)2019.6末〕

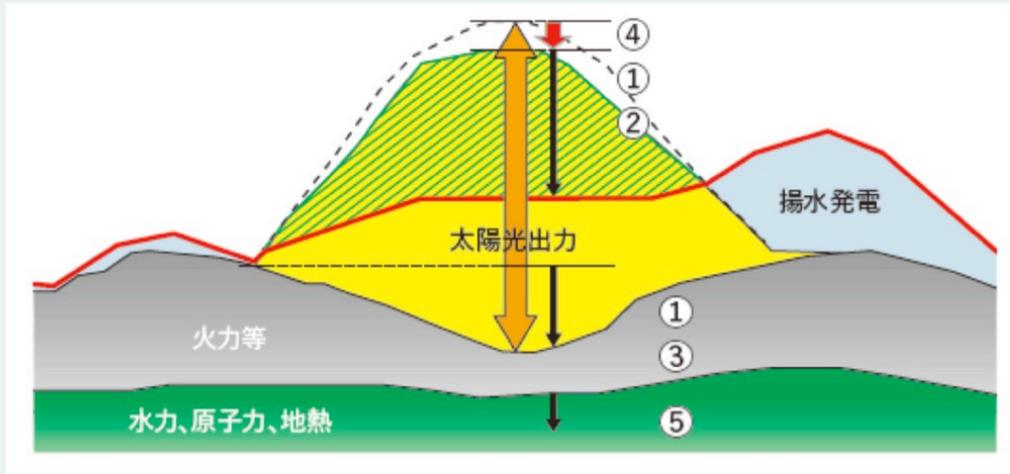


# 需要と供給のバランス（平成28年5月4日）



出所 九州電力 再エネの導入状況と至近の需給状況について 平成28年7月21日

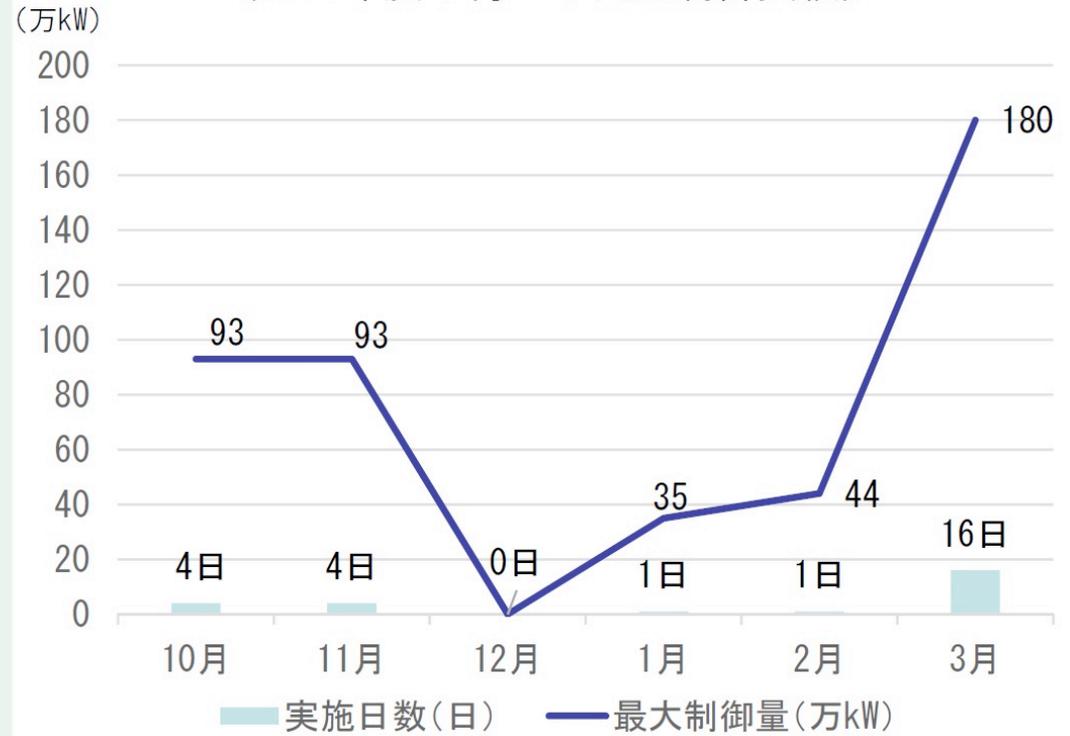
〈優先給電ルール〉



出力の制御等  
を行う順番

- ① 揚水運転による再生可能エネルギーの  
余剰電力の吸収、火力発電等の出力制御
- ② 関門連携線を活用した九州外地域への送電
- ③ バイオマスの出力制御
- ④ 太陽光・風力の出力制御
- ⑤ 水力、原子力、地熱の出力制御

〔2018年度の再エネ出力制御実績〕



出所 九州電力データブック2019

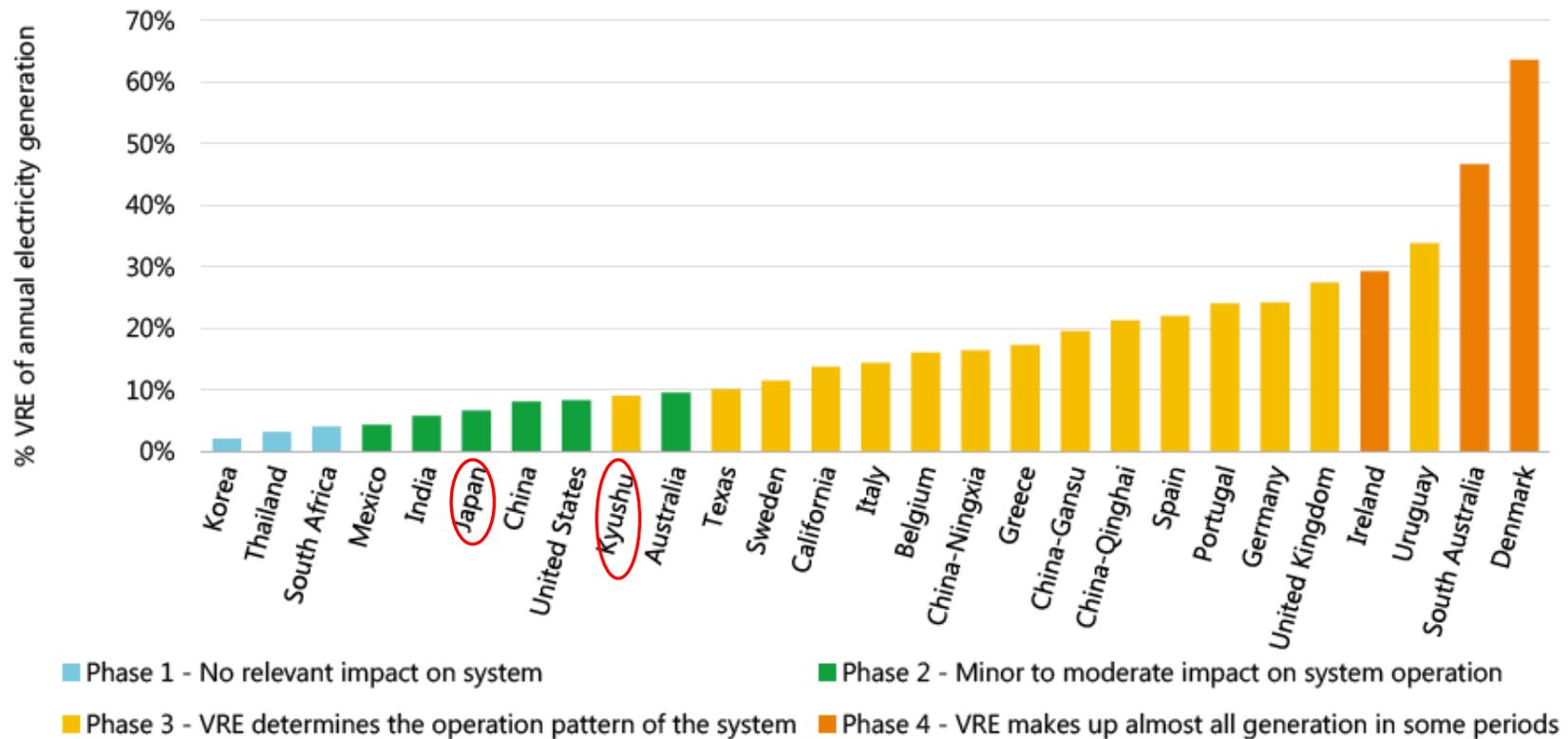
# 九州エリアの課題

- 系統に接続できな再エネ電源が多い
- 接続できない再エネの使い道の検討
- 再エネの出力変動に対する対応

# 変動性再エネ(VRE)の電力システム統合への6つのフェーズ

フェーズ	内容	移行への主な課題
1	VREは電力システムに顕著な影響を及ぼさない	既存の電力システムの運用パターンの僅かな変更
2	VREは電力システムの運用に僅かなもしくは中程度の影響を及ぼす	
3	電力システムの運用方法はVRE電源によって決まる	正味負荷および潮流パターン変化の変動がより大きくなる
4	電力システムの中でVREの発電が殆ど全てとなる時間帯が多くなる	VRE出力が高い時間帯での電力供給の堅牢性
5	VREの発電超過（日単位～週単位）が多くなる	発電超過および不足の時間帯がより長くなる
6	VRE供給の季節間あるいは年を超えた超過または不足が発生	季節間貯蔵や燃料生成あるいは水素の利用

# 国/地域別の変動性再エネの導入率



出所 : IEA(2019), Status of Power System Transformation 2019

<https://webstore.iea.org/status-of-power-system-transformation-2019-power-system-flexibility>



# SOLVE for SDGs

SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム

Solution-Driven Co-creative R&D Program for SDGs

社会技術研究開発センター (RISTEX)

「科学と社会」推進部



## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



# SOLVE for SDGsについて 1

- SDGsの達成に向けて、地域における社会課題に対するソリューションを創出
- 既に得られている**技術シーズを活用**したSDGs達成のアイデアを元に、研究者（自然科学、人文学、社会科学）と社会課題に取り組む当事者（協働実施者）と一緒に研究開発を行う

プロジェクト名：水素技術を活用し、住民参画を目指したクリーンエネルギープロシューマーモデルの開発

研究代表者：北九州市立大学

協力組織：理化学研究所、九州大学、東京工業大学

協働実施者：北九州市

北九州産業学術推進機構、北九州パワー、西部ガス、城野ひとまちネット

解決しようとする社会課題

- 再生可能エネルギー導入率の向上、FIT切れの対応、インバランス・出力制御の回避、同時同量の実現

SDGs達成のビジョン



脱炭素技術の  
開発



再生エネの更なる  
普及



気候変動対策  
に貢献

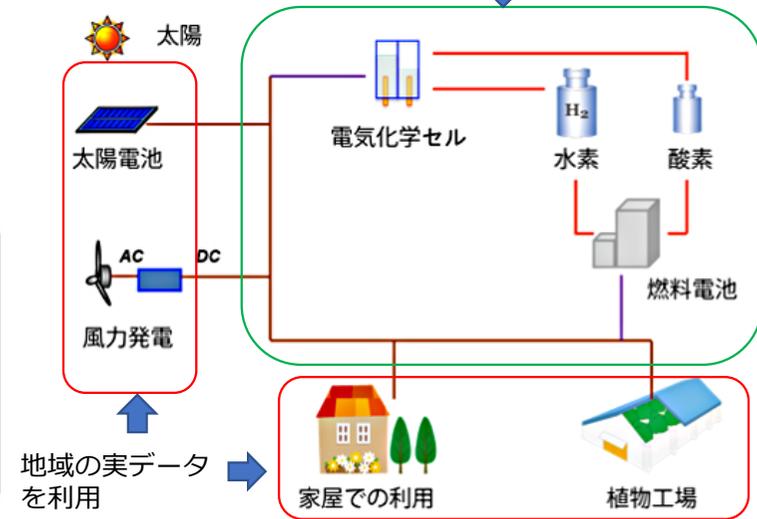


災害時にも対応  
自立電源確保

研究開発活動

- 実データに基づく水素システムの能力算定  
実際の再生エネ発電量、電力使用量を利用し、AI技術を活用した水素システムモデルの構築
- 地産地消システムの可視化  
水素システム導入率、再生エネ導入率、脱炭素度を指標とした水素システムの評価
- 社会実装方法の提示  
ボトルネックを分析・明確化  
水素システム導入による費用便益分析  
様々なステークホルダーとの対話・協働を通じた社会実装シナリオの策定

本プロジェクトの技術シーズ  
理研が開発した再生エネ由来の  
自立分散型水素エネルギーシステム



# ファッション誌もサステイナブルについて取り上げている



- Check! 脱炭素生活のヒント**
- エネルギー**
    - 再生可能エネルギーへの高い電力会社を選ぶ
    - 洗濯機はなるべく自然乾燥
  - 食卓**
    - 地元の旬の食材を買う(オーガニックもベター)
    - 動物・野菜と肉をバランスよく
    - 食品ロス減らす
  - 交通**
    - 移動や旅行で車を使わない(徒歩ならEVライドシェア、できれば公共交通機関を)
    - 飛行機での移動を減らす
  - モノ**
    - 修理して長く使うか、捨てずにリサイクル
    - 再生可能素材やリサイクル素材を選ぶ

