

2015年3月4日
一般財団法人 大阪科学技術センター

デマンド・レスポンスの行動経済学的研究

京都大学大学院経済学研究科 教授

依田 高典

スマートグリッド社会実証 —米国の経験を踏まえて—

二兎を追い収斂する日米のスマートグリッド

【米国】

2000年代初頭カリフォルニア電力危機から、オバマ政権グリーンニューディールへ。

【日本】

再生可能エネルギー導入に伴う余剰吸収から、震災後電力不足に伴うデマンドレスポンスへ。

先行する米国のスマートグリッド社会実証

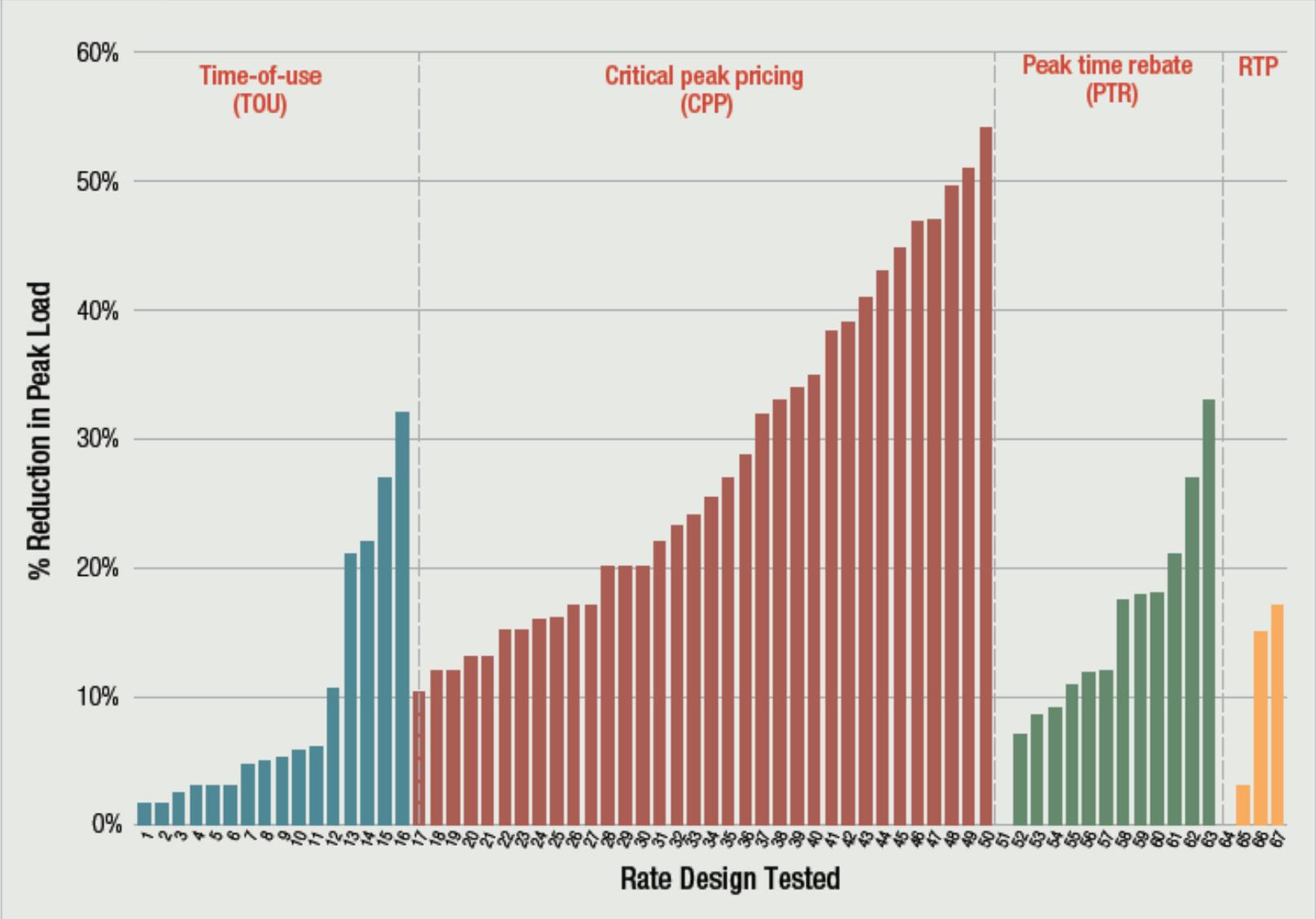
- 100近い社会実証が行われてきた。
- ピークカット効果はゼロから50%まで千差万別。
- 不適切な社会実証に関する疑問が噴出。
- 多額の予算をかけながら膨大な社会実証が無駄に。
- 米国エネルギー省はガイドラインを設け、Randomized Controlled Trial (RCT、無作為化比較試験)を義務付け。

Dynamic Pricing(変動料金制)の整理:

過去の実証実験では主に以下の4種類の料金が試されてきた

料金名	ピーク時の価格	価格変動	価格 アナウンス
CPP (Critical Peak Pricing)	通常価格の6倍から10倍 (料金は事前に固定)	季節毎10日から14日のCPP-day。CPP-dayのPeak-hoursの間のみ価格が上昇する。	前日
PTR (Peak Time Rebate)	CPPと同様だが消費削減分へのリベートとして払われる	CPPと同様	前日
RTP (Real Time Pricing)	卸売り市場価格に従う	前日の卸売り市場価格変動と連動	前日
TOU (Time of Use)	ピーク時:通常 価格の2、3倍	季節別、時間帯別 (事前に固定)	契約時

FIG. 5 DR ESTIMATES SORTED BY RATE DESIGN



Source: Faruqi, Ahmad, Ryan Hledik and Sanem Sergici, "Rethinking pricing: the changing architecture of demand response, The Public Utilities Fortnightly, January 2010.

ダイナミック・プライシングの反論と再反論

神話1 消費者はダイナミック・プライシングに反応しない

- 24のパイロットの109のダイナミック・プライシング実証実験は中央値で12%のピークカット効果を持っている。

神話2 デマンド・レスポンスはダイナミック・プライシングに応じて変化しない

- 信頼度の高い33のランダム・コントロール実証実験(RCT)によれば、ピーク・オフピークの価格比率とピークカットの係数は0.073である。

$$|\Delta Y/Y| = 0.073 (7.048) \times \ln [P_p / P_{op}] \dots 5倍で12\%、10倍で17\%$$

FIGURE 2
Distribution of 109 Pilot Results

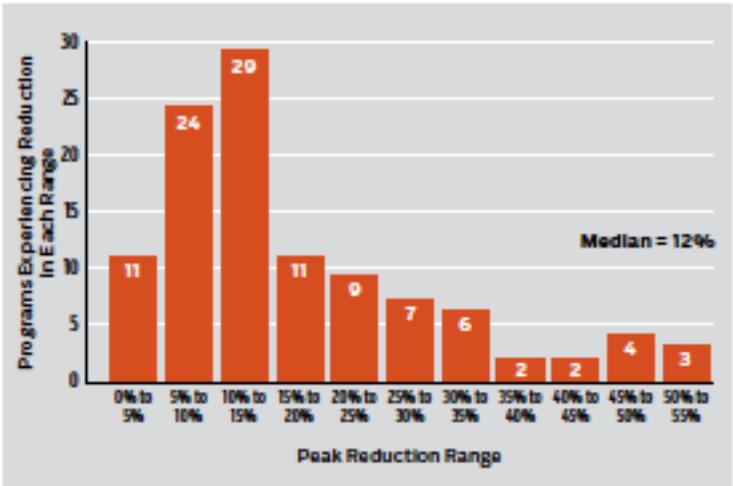
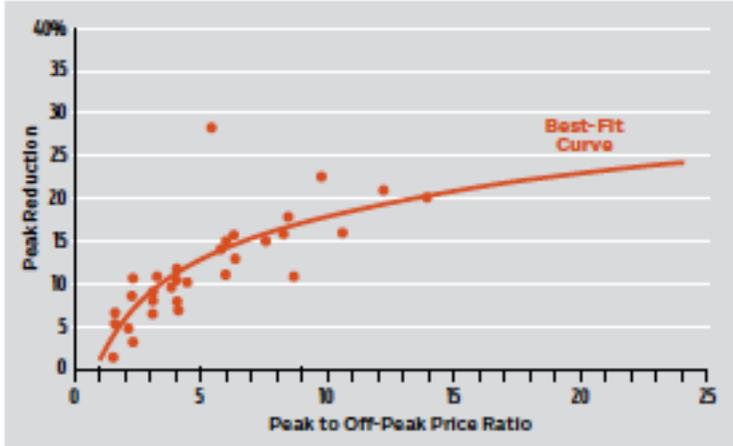


FIGURE 3
Pilot Results by Peak to Off-Peak Price Ratio
 Price-only results



ダイナミック・プライシングの反論と再反論

神話3 デマンド・レスポンスは情報提供・補助技術に応じて変化しない

- デマンド・レスポンスはWebポータル・ホームディスプレイ・自動温度設計・警告装置などによって高まる。補助技術・情報提供を用いた39のダイナミック・プライシング実証実験は中央値で23%のピークカット効果を持っている。
- 補助技術・情報提供を用いた場合、ピーク・オフピークの価格比率とピークカットの係数は0.12である。

$$|\Delta Y/Y| = 0.120 (5.187) \times \ln [P_p / P_{op}] \quad \dots \quad 5倍で19\%、10倍で28\%$$

FIGURE 5

Distribution of 39 Pilot Results
Only results with enabling technology

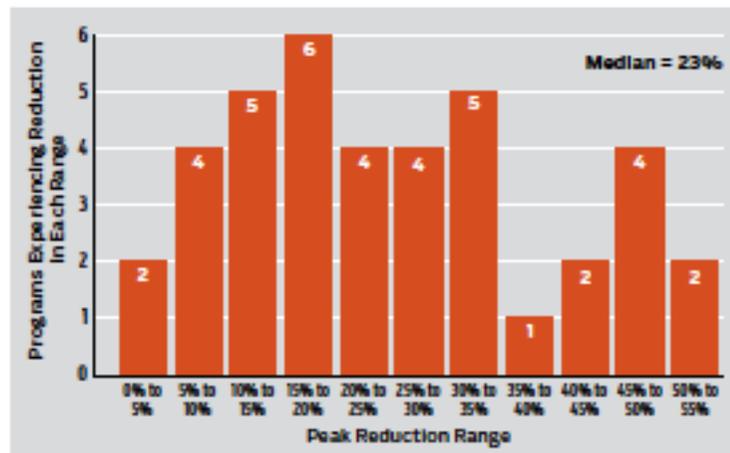
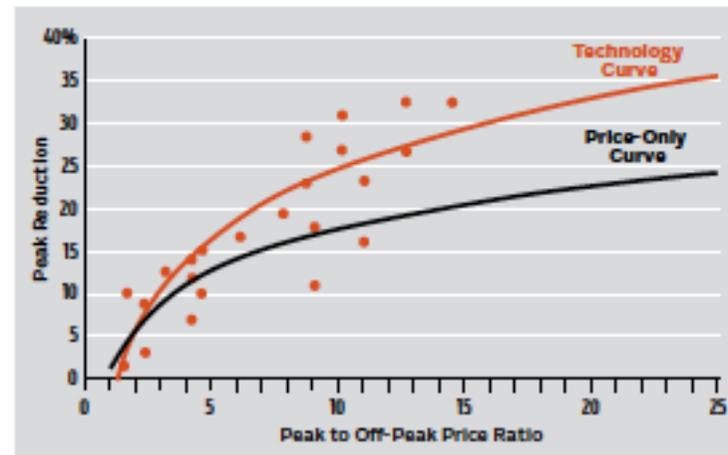


FIGURE 4

Pilot Results by Peak to Off-Peak Price Ratio
Results with enabling technology



ダイナミック・プライシングの反論と再反論

神話4 デマンド・レスポンスは持続しない

- 2003-4年のカリフォルニアの社会実験(CPP)では13%のデマンドカットに変化は見られなかった。
- 2008-9年のボルチモアの社会実験(PTR)では18%から33%に効果が伸びた。
- 2009-10年のカリフォルニアの実験(CPP)では15%と14%であった。

神話5 低所得者はダイナミック・プライシングによって損をする。

- レベニュー・ニュートラルCPPのシミュレーション結果によれば、支出増の消費者と支出減の消費者は半分半分と考えられるが、低所得者の電気利用パターンはより高所得者よりも平坦なために、65%の低所得者が支払を減らすことに成功している。

出所

Faruqui, A. and Palmer, J. (2011) "Dynamic Pricing and its Discontents," Regulation 34.3: 16-22.

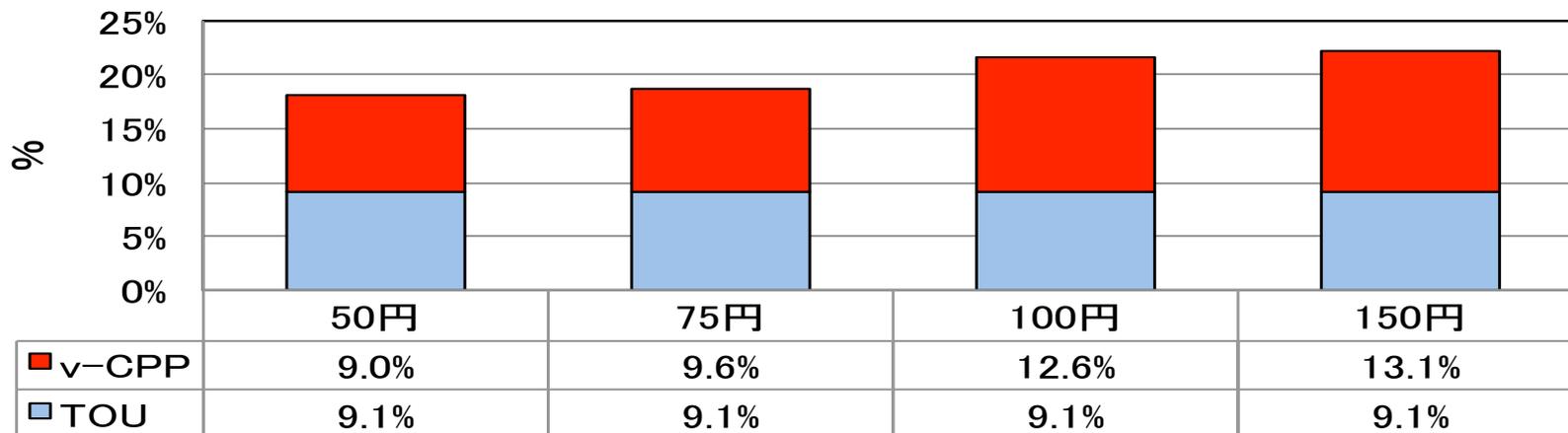
スマートグリッド社会実証 —日本4地域社会実証の教訓—

ピークカットに関する日本の経験

- 全国4地域(横浜、豊田、けいはんな、北九州)で、スマートコミュニティの実験。
- 北九州市では、30度を超える夏日に世界初の4レベルの変動型CPPを設定。
 - * ピーク時に15円/kWhの電気料金を50/75/100/150円に引き上げる。
- CPPとTOUを合わせて、約20%のピークカット効果が得られた。
 - * 米国とほぼ同様の計測結果。
- 価格レベルを上げれば、次第に効果も高まる。
- 消費者保護策と合わせて、約13%の電気代節約。
- けいはんな学研都市・豊田市でも、北九州市同様のピークカット効果を計測。

ピークカット効果

* v-CPPは変動型CPPの略。



- 今後とも、デマンドレスポンスの時間帯別・季節別の電気料金メニューを選択できる社会に移行し、需要側のピークコントロールを進めていく必要がある。

けいはんな

- 電力会社リソースを活用
- 行き届いた地域調査
- 斬新な省エネコンサル
- オール電化世帯中心

- ガス併給世帯への拡張
- エコ・ポイントとダイナミック・プライシングの差別化

横浜市

- 規模の大きさが魅力
- PV設置と非設置の比較
- 多種多様なダイナミック・プライシングのDR
- ADRアップグレード

- PV非設置サンプルの確保
- EV社会実証との連携

北九州市

- 熱意溢れる地域一帯の取組
- 現金を用いたダイナミック・プライシング
- スマートフォンの活用
- 地域型インセンティブの活用

- サンプル数が限られる
- 既に十分高効率世帯対象

豊田市

- 世界一の社会実証技術
- 最高級スマートホーム
- EV/PHEV家庭充電が中核
- ADRアップグレード

- サンプル数が少ない
- EV/PHEV家庭充電がランダム化されない

1. フィールド実験という経済学の革命

- 経済学は**実験**ができない学問か？
 - 実験によって理論の正しさが検証できない**言ったもの勝ち**
 - データは**自己選抜バイアス**に汚れ、実証分析は信頼できない
 - **無作為比較対照実験(RCT)**を実生活でやるという蛮勇
- **スマートグリッド**を舞台に繰り広げられる日米の競争
 - **オバマ政権**はRCTを条件に10の地域を指定
 - **経産省**は横浜・豊田・けいはんな・北九州4地域を指定
 - 私はアドバイザーとして**実験設計・経済効果測定**を担当
 - **東日本震災**を挟んで社会的重みが激変(天意なのかも)
- **行動経済学**のまだ解かれていない課題
 - 寄附など**社会的行為**・運動など**行動変容**を促す動機付け
 - **内発的動機**(節電要請)対**外発的動機**(変動型電気料金)
 - **長期的持続効果**・**習慣形成**が重要

2. けいはんなフィールド実験

● 実験の概要

- 経済産業省・NEPC・関西電力・三菱重工との共同研究
- けいはんな学研都市
- 2012年夏・2013年冬
- 全4万世帯から手を上げた2千世帯の中から7百世帯を対象

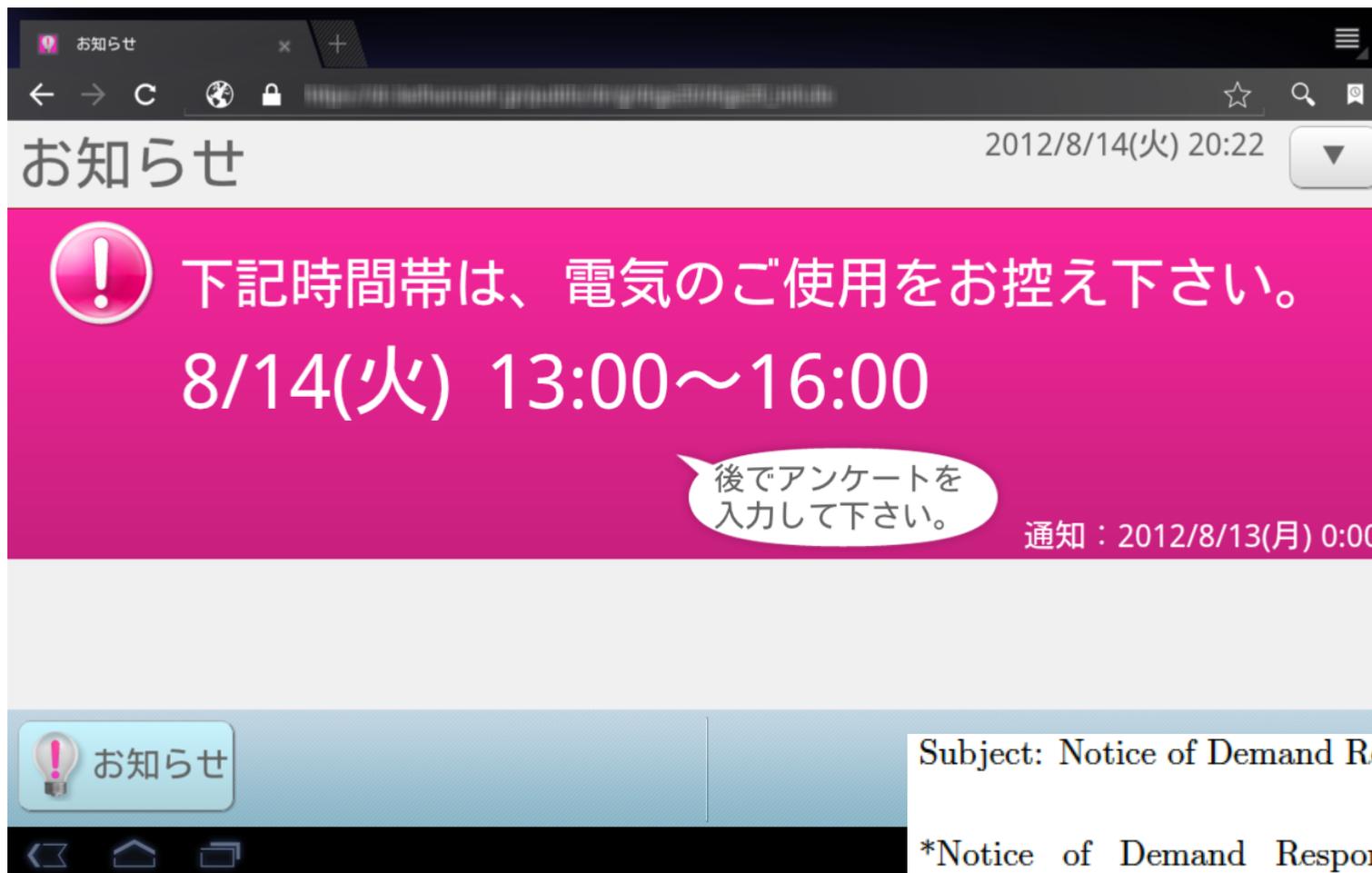
● ランダム化グループ分け

- コントロール・グループ(N=153)
- 節電要請(内発的動機)グループ(N=154)
- 変動型電気料金(外発的動機)グループ(N=384)

● 内的妥当性と外的妥当性

- 内的妥当性はランダム化で保証
- 外的妥当性は保証されないが事後チェック

節電要請(内発的動機)グループが受け取るメッセージ 2012年夏15日・2013年冬21日



Subject: Notice of Demand Response

Notice of Demand Response In the following hours, please save electricity.
8/21(Tuesday) 1 pm - 4 pm

変動型電気料金(外発的動機)グループが受け取るメッセージ 2012年夏15日・2013年冬21日

お知らせ

2013/7/24(水) 20:05

デマンドレスポンスの時間帯は、電気料金が非常に高額になります。電気のご使用をお控え下さい。

7/25(木) 13:00~16:00

1kWh : +60円

後でアンケートを入力して下さい。

通知 : 2013/7/24(水) 16:30

お知らせ ポイント残高 電気の使用履歴

Subject: Notice of Demand Response

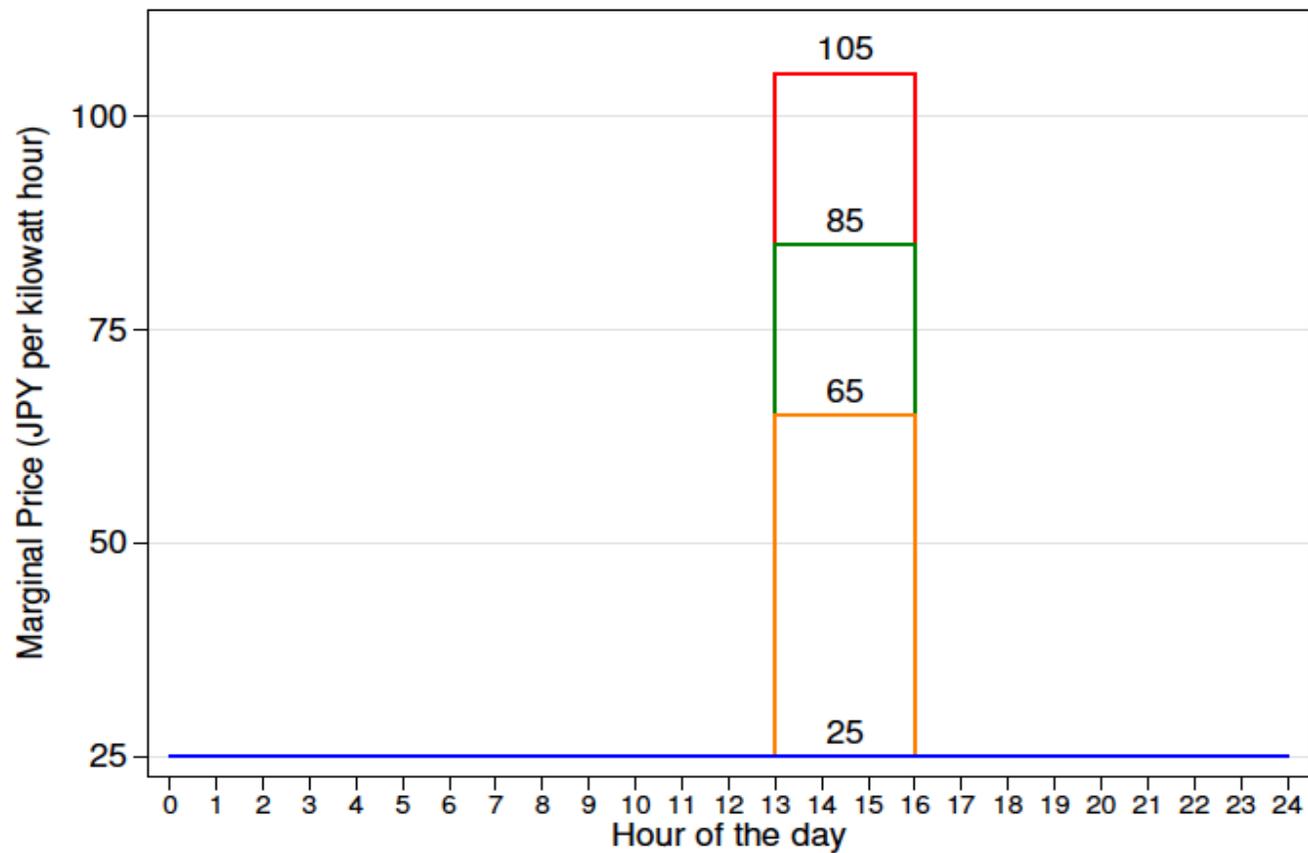
Notice of Demand Response In the demand response hours, your electricity price will be very high. In the following hours, please save electricity.

8/21(Tuesday) 1 pm - 4 pm

1 kWh: +60 yen

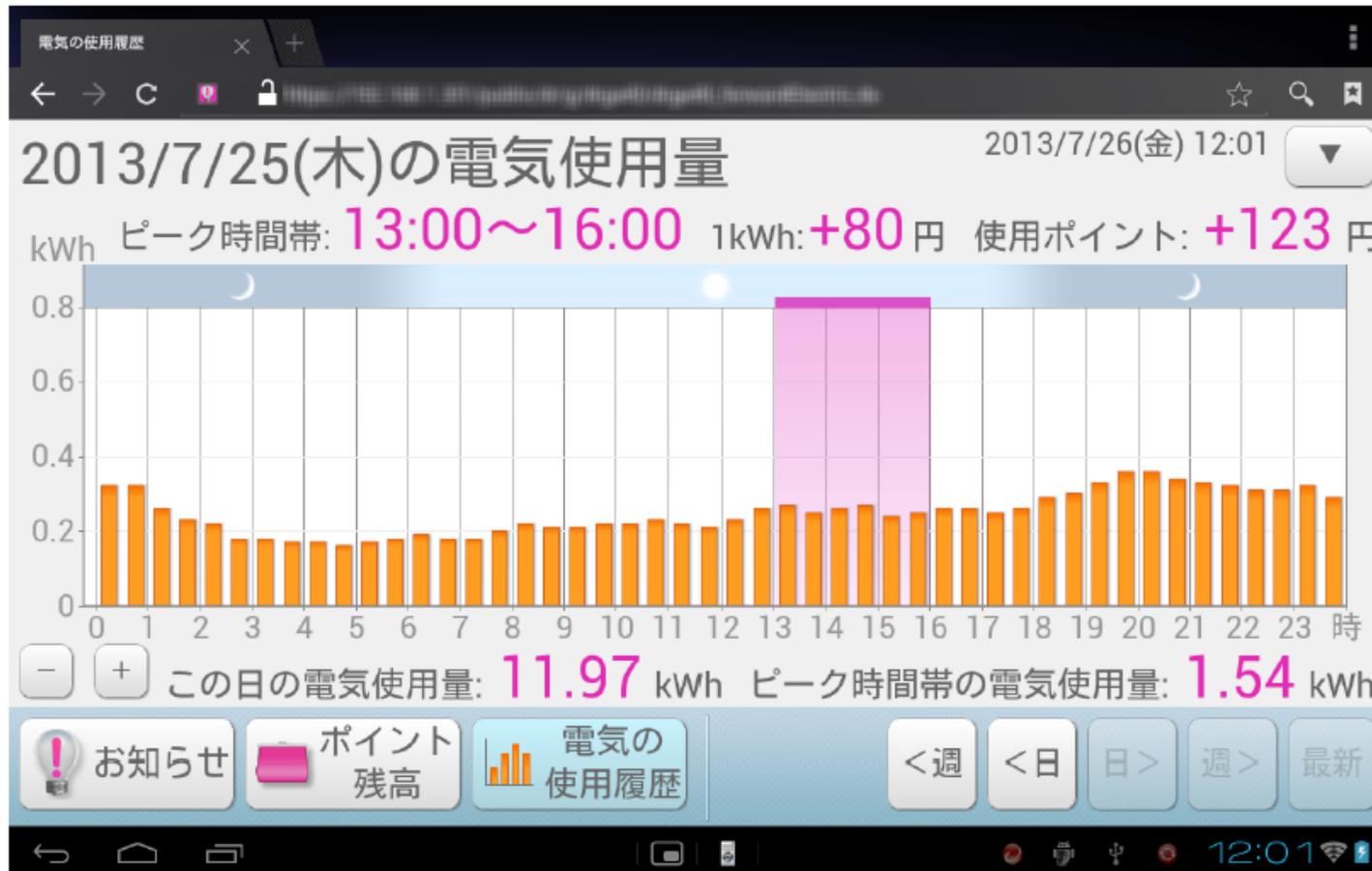
変動型電気料金(CPP=¥65/¥85/¥105)
2012年夏昼間13～16時×15回
2013年冬夕方18～21時×21回

Figure 1: Monetary Incentives: Dynamic Electricity Pricing



変動型電気料金(外発的動機)グループが見る ホーム・エネルギー・マネージメント・システム画面

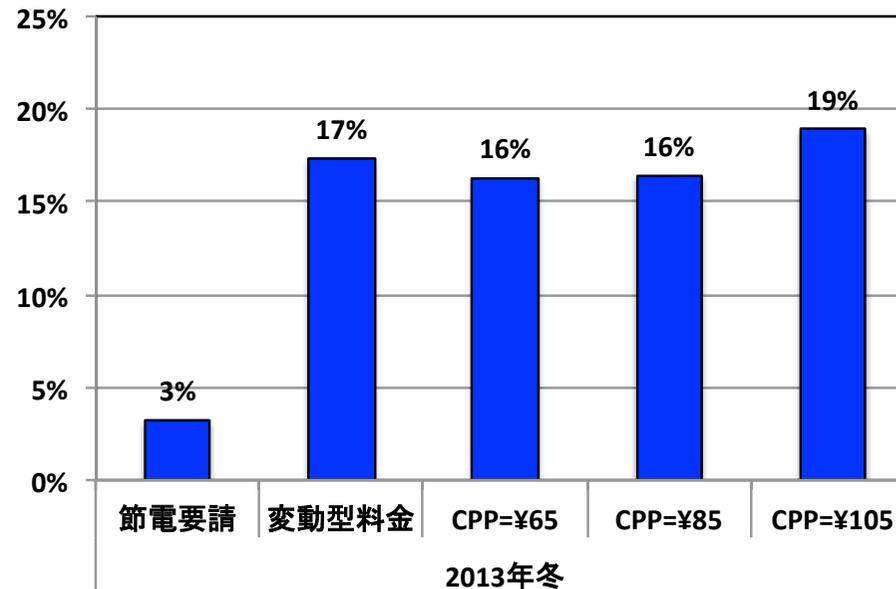
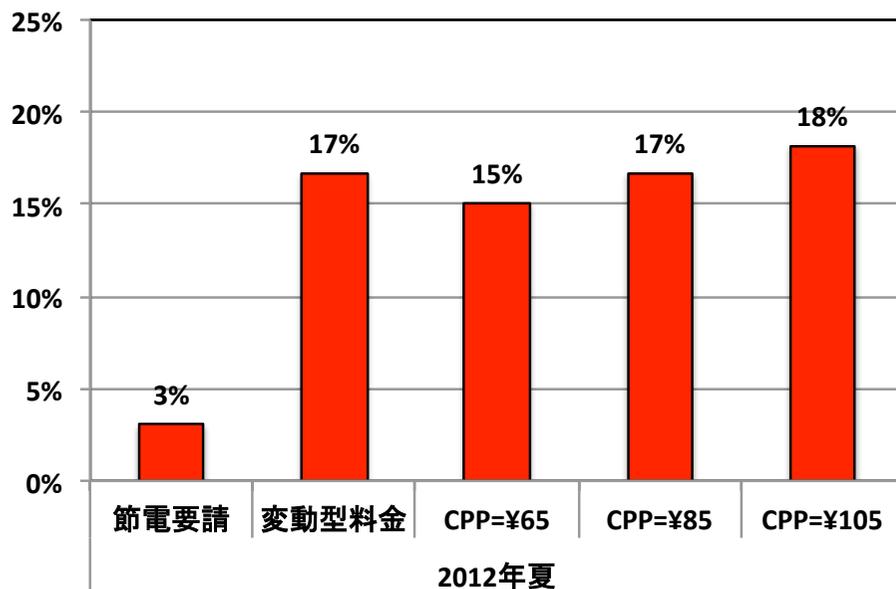
Figure A.1: Information Provided by an In-Home Display



Notes: This figure shows an example screenshot of the in-home displays that were installed for both the control and the treatment consumers in the experiment.

3. ピークカット効果の結果

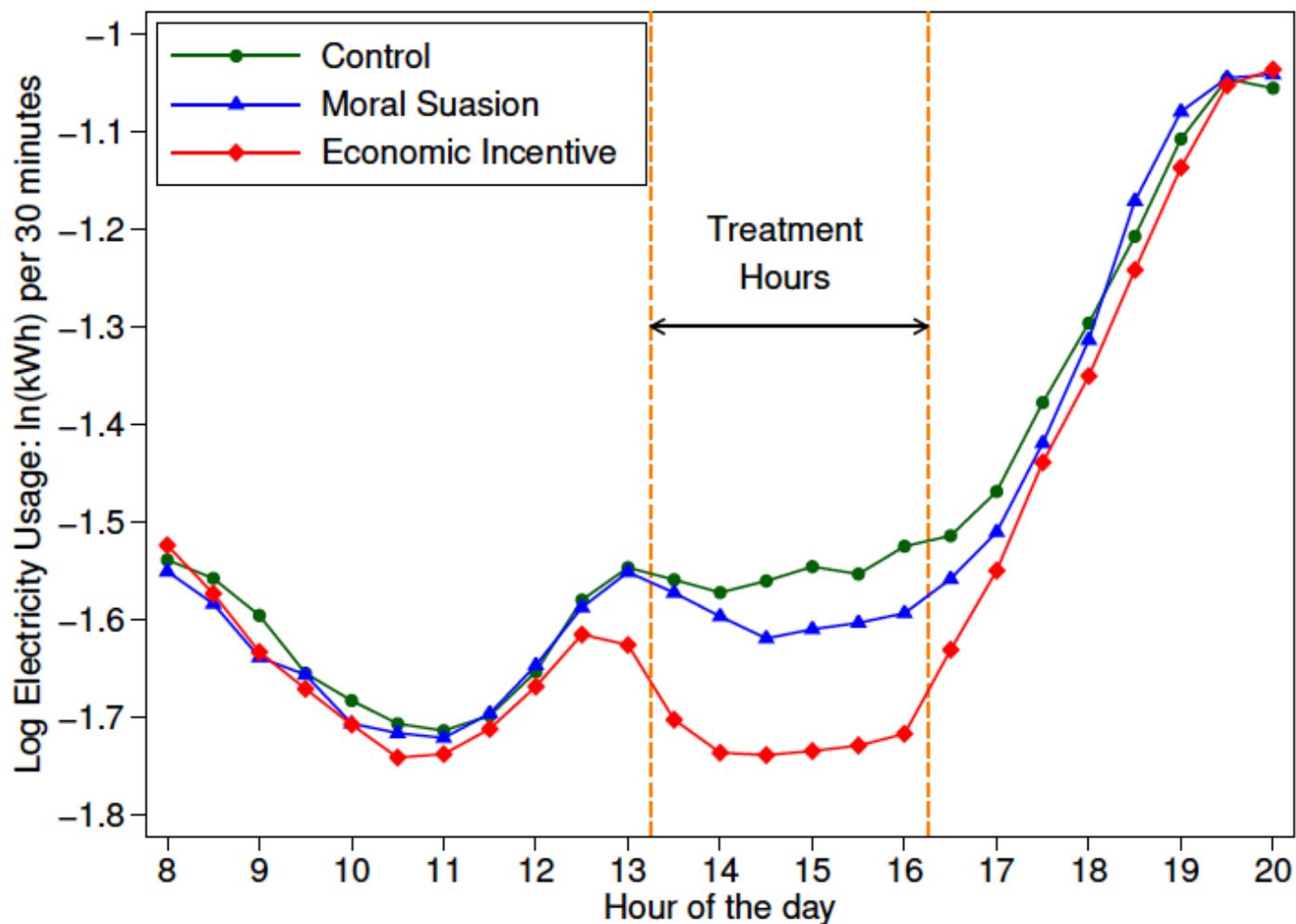
- 節電要請のピークカット効果は夏3%・冬3%(有意)
- 変動型電気料金のピークカット効果は夏17%・冬17%(有意)
 - CPP=¥65の効果は夏15%・冬16%(有意)
 - CPP=¥85の効果は夏17%・冬16%(有意)
 - CPP=¥105の効果は夏18%・冬19%(有意)



3. ピークカット効果の結果

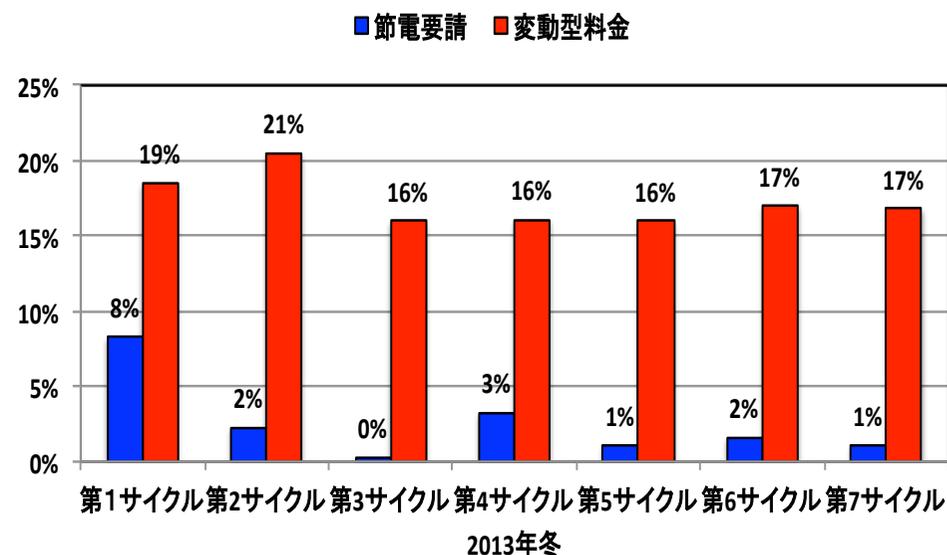
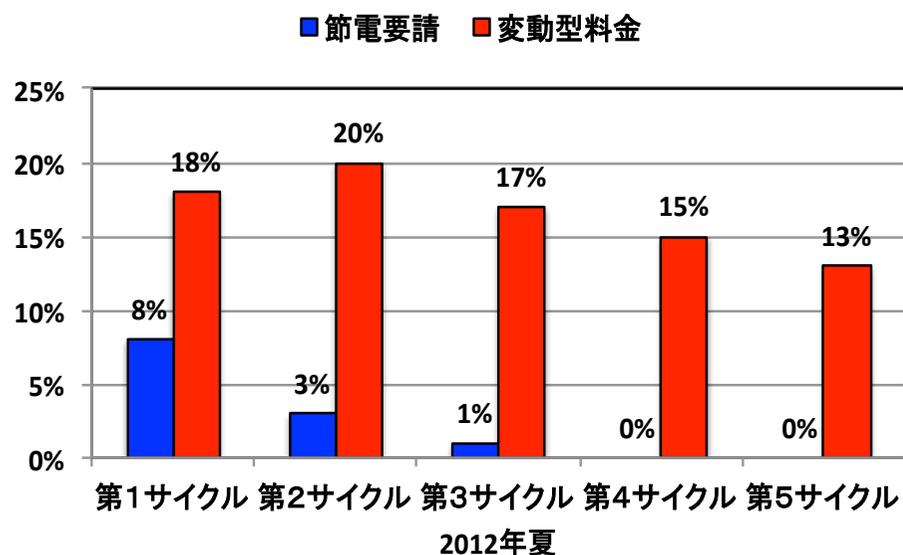
2012年夏の結果の図示

Figure 2: Effects of Moral Suasion and Economic Incentives on Electricity Usage



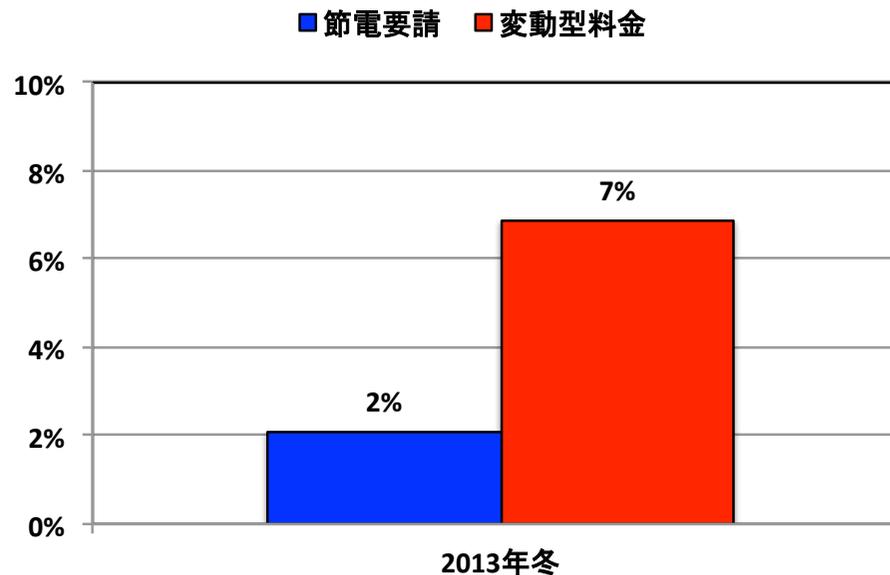
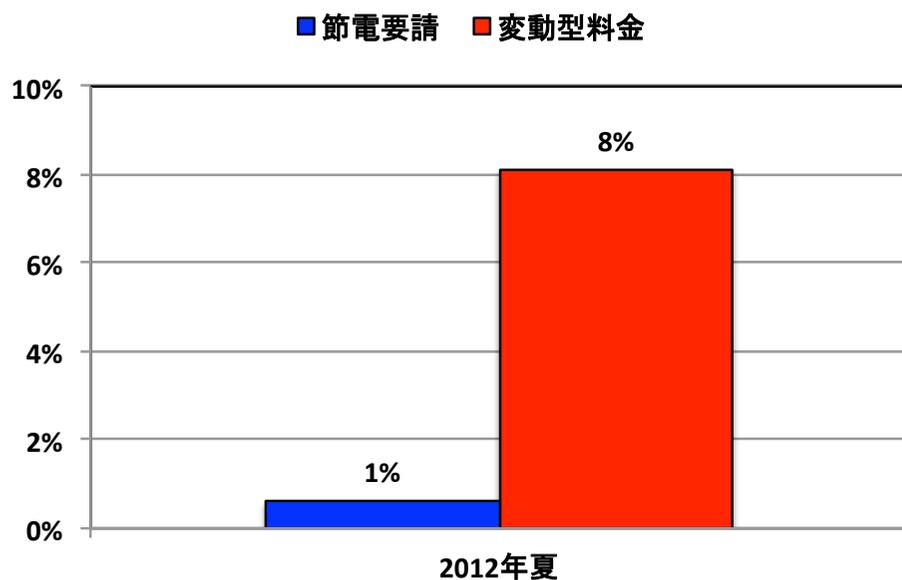
4. ピークカット効果の期間中の持続

- 節電要請の効果の持続はなし
 - 第1サイクルの効果は夏8%・冬8%(有意)
 - 第5サイクルの効果は夏0%・冬1%(非有意)
- 変動型電気料金の効果の持続はあり
 - 第1サイクルの効果は夏18%・冬19%(有意)
 - 第5サイクルの効果は夏13%・冬16%(有意)



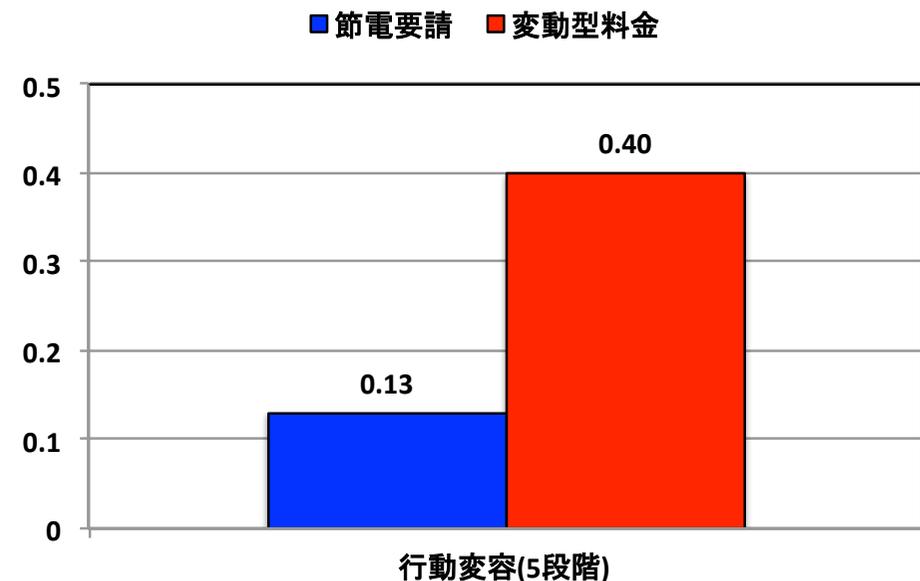
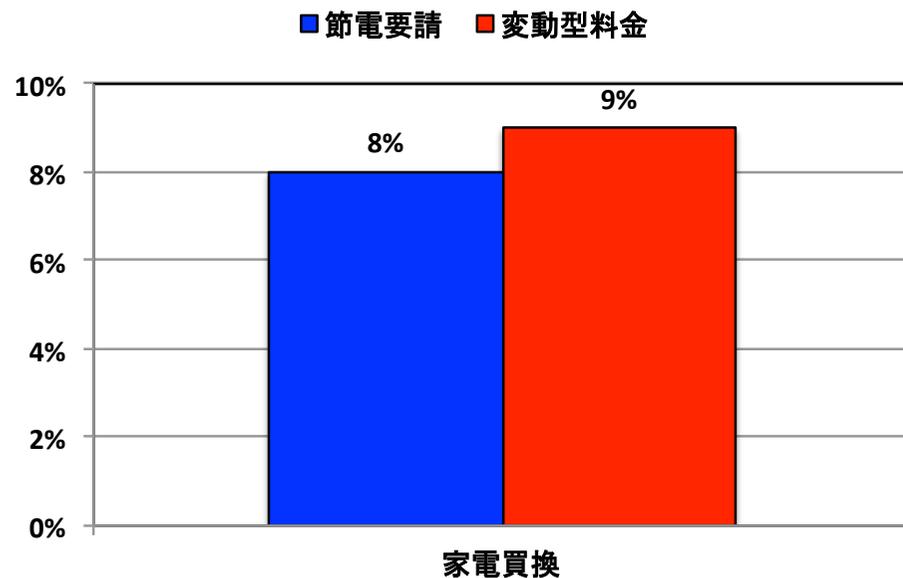
5. ピークカット効果の期間後の習慣形成

- 節電要請の期間後の習慣形成はなし
→ 習慣形成の効果は夏1%・冬2%(非有意)
- 変動型電気料金の期間後の習慣形成はあり
→ 習慣形成の効果は夏8%・冬7%(有意)



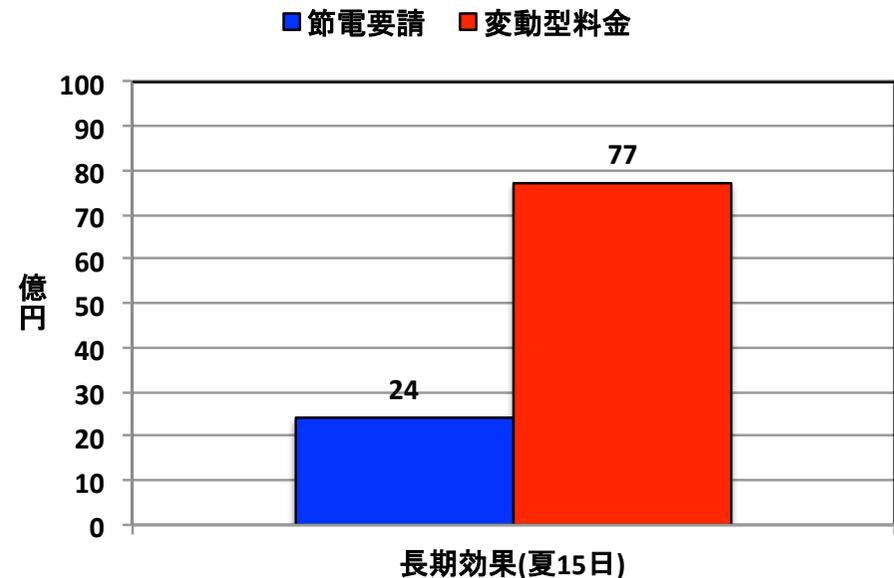
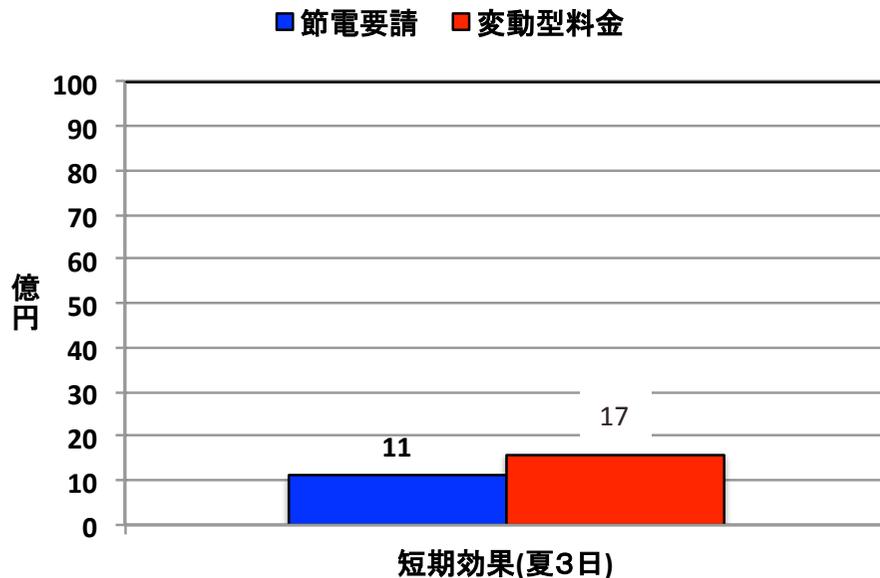
7. 習慣形成のメカニズム

- 節電要請の家電買換は8%増加(有意)
 - 変動型電気料金の家電買換は9%増加(有意)
 - 節電要請の行動変容(5段階)は0.13ポイント増加(非有意)
 - 変動型電気料金の行動変容(5段階)は0.4ポイント増加(有意)
- 習慣形成の差は家電買換ではなく行動変容による



8. 社会厚生効果

- 節電要請の短期効果(夏3日)は11億円
 - 変動型電気料金(¥65)の短期効果(夏3日)は17億円
 - 節電要請の長期効果(夏15日)は24億円
 - 変動型電気料金(¥65)の長期効果(夏15日)は77億円
- 節電要請と変動型料金の長期効果の差は大きい(50億円)
- 変動型料金が¥85/¥105となれば差は開く(80億円/110億円)
- 電源投資を考慮に入れば社会厚生効果は年1000億円



【日本の社会実証の意義】

- スマートメーター普及からダイナミック・プライシング導入へと軸を移してきた米国の社会実証に比べて、規模とスピードでは劣るが、日本の社会実証は再エネ導入技術実証から派生してきたので、技術水準は一段上を行く。日本のベンダー・自動車会社への注目も高く、ビジネス・チャンスはある。
- 米国のスマグリ社会実証2.0では、ダイナミック・プライシング導入のみならず、EV/PHEV連系とADR移行に重点が置かれる可能性が高い。また、省エネ教育とスマート家電活用には力を入れている。情勢の先回りをする必要あり。
- 日本の社会実証の実績を海外に情報発信し、国際標準に沿って日本のアドバンテージをPRしていく戦略が必要。上から下までオールジャパンでやろうとするとガラパゴス化する。

The Washington Post

Storyline · The Cost Of Climate Change

Want people to save energy? Just ask nicely. (It works)

The results of a new study point to the surprising economic power of polite reminders.

By **Jeff Guo** January 8

In October, we described an experiment that tried [peer pressuring](#) Americans into conserving electricity during peak hours. (Here's [why](#) that's important.) On high-demand days, a company called Opower telephoned people to remind them to cut back on their energy use. Each time, it followed up with e-mails telling people how much they saved compared with their neighbors.

Perhaps it was peer pressure, or perhaps it was the telephone calls themselves that did the trick. Either way, people on those days used almost 3 percent less electricity on average, which is a pretty big decline as far as these things go.

Recently, the results of a similar experiment in Japan came out. That program posted similar numbers, but with an even milder nudge.

All they did was ask politely.