



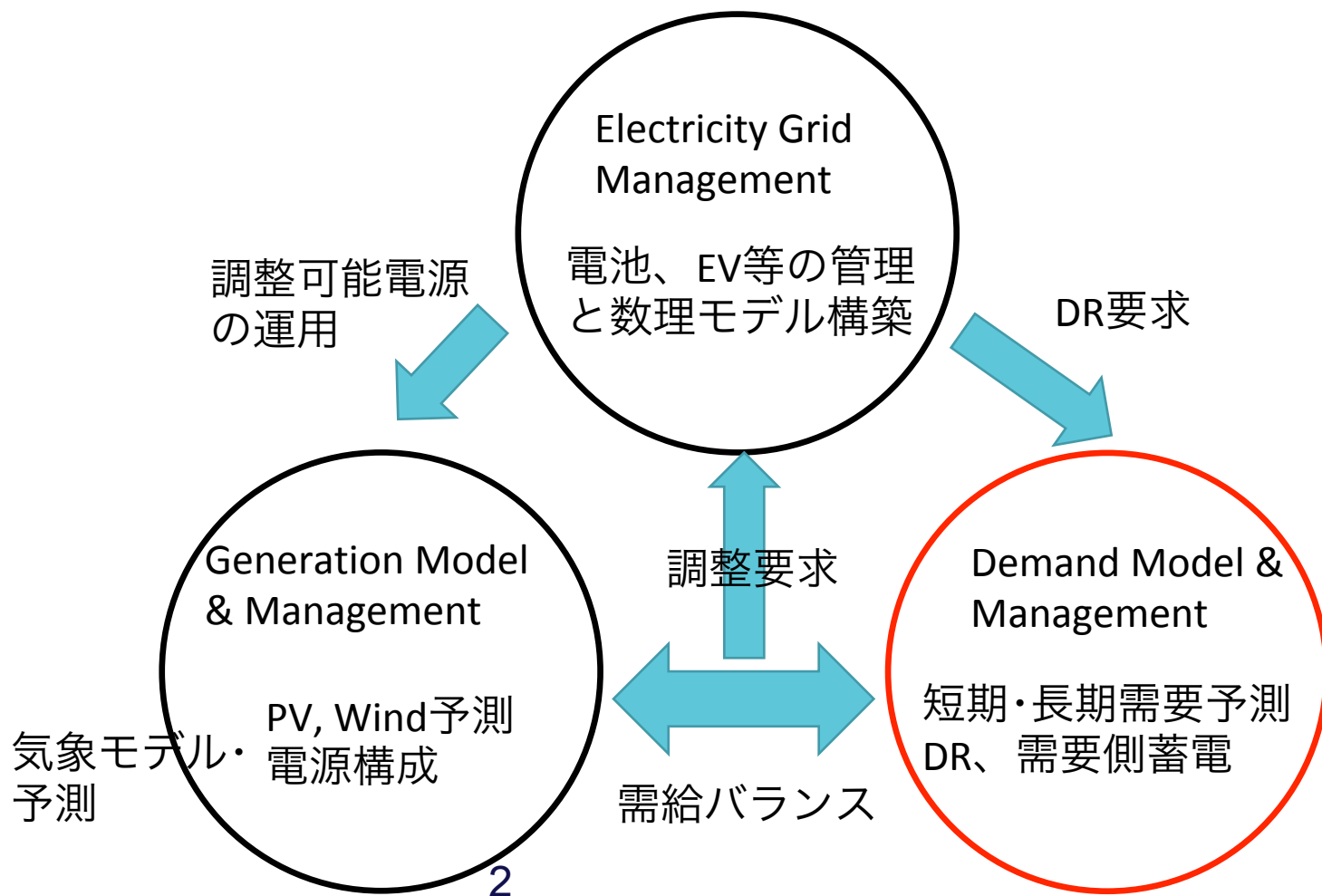
# 3年半のエネルギー需要科学SG の活動概要と今後の予定

2018.11.26

**CREST中島チーム需要研究SG**  
大阪大学・東京大学・東京工業大学  
下田吉之（大阪大学）



# 「分散協調型エネルギーマネジメントシステム」の構成





# 需要研究の課題

- エネルギー需要に関する論文は意外と多い（エネルギー・資源学会論文集だけで三十数年間に50編）が、研究分野として確立していないために、
  - 包括的な体系化
  - 手法の整理、有用な研究成果の伝達, 参照
  - 情報交換の場の形成

が上手くいっていない。個々の問題に対応した研究が散在しており、共通の研究プラットフォームが存在しない状況。



# 茅の恒等式（低炭素社会の指標）

$$\text{CO2排出量} = \frac{\text{CO2発生量}}{\text{エネルギー消費}} \times \frac{\text{エネルギー消費}}{\text{総生産}} \times \frac{\text{総生産}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$

エネルギーの  
Carbon Intensity

エネルギー効率  
省エネルギー・産  
業構造の転換

活動量  
経済成長だけでな  
い人間の幸福



# 脱炭素社会の指標

$$\text{カーボンフリーエネルギー} \geq \frac{\text{エネルギー需要}}{\text{サービス}} \times \frac{\text{サービス}}{\text{充足度}} \times \frac{\text{充足度}}{\text{人口}} \times \text{人口}$$

## ■ 需要の削減

- 温室効果ガス排出の大幅削減のために、可能な限りエネルギー需要（上式の右辺）を小さくする。
- 省エネルギーは充足度を落とす「我慢の省エネ」では駄目。

## ■ カーボンフリーエネルギーの供給可能量に応じた**需要パターンの時間シフト**

- 再生可能エネルギーの変動に応じてエネルギー需要を変化させるため、サービス需要とエネルギー需要の時間変化をずらす。



# ホロニックパス (茅、1988)

## →分散協調型エネルギーマネジメント?

小規模エネルギーシステムだけでなく、大規模システムとのベストミックス

再生可能エネルギーの大規模導入

大規模電力システムからのエネルギー供給

サービス要求に応じた最適エネルギー消費

分散型エネルギー供給システム

サービス要求 (熱・光・情報等)

分散システム (ZEB, ZEH, ゼロエネルギーコミュニティ)

大規模電力システム

- ① ローカルスケールでの再生可能エネルギー変動
- ② 大規模システム電力からの要求
- ③ エネルギー需要の3者を安定的に最適化する必要。そのために需要の能動化と、需要変化とサービスへの影響を定量化する必要。



# エネルギー管理のためのエネルギー需要科学

- 分散協調型エネルギーマネジメントにおいては、  
前述のエネルギー消費構造の要素分解に加え、
  - ① エネルギー需要を電力ロードカーブが推計できる時間粒度でエネルギー消費機器レベルに分解し
  - ② 機器稼働とサービス・快適性の関係を明らかにした上で
  - ③ 可制御負荷（供給側の要請で制御可能な負荷）とそれ以外に分解し、前者について制御（サービス調整、時間シフト）による負荷の変化とサービスの低下の関係を明らかにする必要がある。
- EMSのためのエネルギー需要学では**需要の分解**と**可制御負荷の分離**が重要なテーマになる？



# エネルギー管理のためのエネルギー需要科学

- 「誰が、どのくらいの量の、どのような種類のエネルギーを、どのような目的のために、どのくらいの期間必要とするのか？」 (Herman Daly 1976)
  - エネルギー消費を電力ロードカーブが推計できる時間粒度でエネルギー消費機器レベルに分解し
  - 機器稼働とサービス・快適性の関係を明らかにした上で
  - 可制御負荷とそれ以外に分解し、前者について制御による負荷の変化とサービスの低下の関係を明らかにする
- 時系列のエネルギー需要を対象とするため、**時間解像度の向上**が必要。
- 特に家庭では**居住者の行動**が需要の発生と密接な関係を持つ。
  - 居住者行動、DRなどサービス変化に対する受容性など「ひと」を中心とするアプローチが重要に。



# エネルギー需要をモデル化する2つのアプローチ

## ■ 要素分解型

- エネルギー需要を、さまざまなサービスを生み出すエネルギー消費機器と、それを操作する人間行動や制御装置などの要素から構成されるシステムとして表現し、気象条件や機器の普及、人間の慣習の変化、DR信号など外部からの働きかけによってこのシステムが変化するメカニズムを明らかにするアプローチ

## ■ 全体挙動型

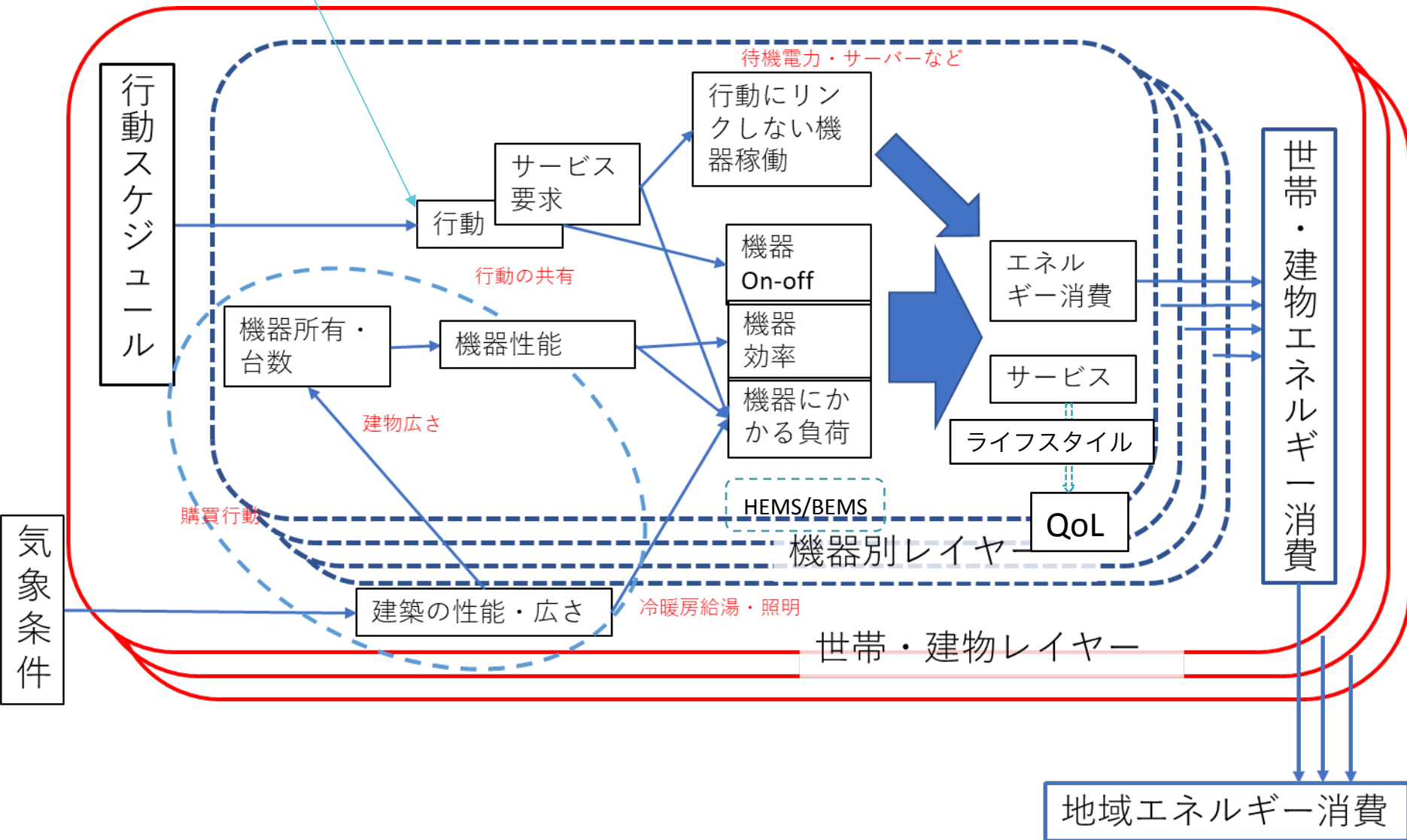
- エネルギー需要を細分化せず、その全体が居住者の消費・行動性向等によって決まる複雑なシステムとしてとらえ、その総体的な挙動を対象とするアプローチ。機械学習での予測など



# 家庭・地域のエネルギー需要はどう決まるか？

要素分解型アプローチ

エネルギー価格

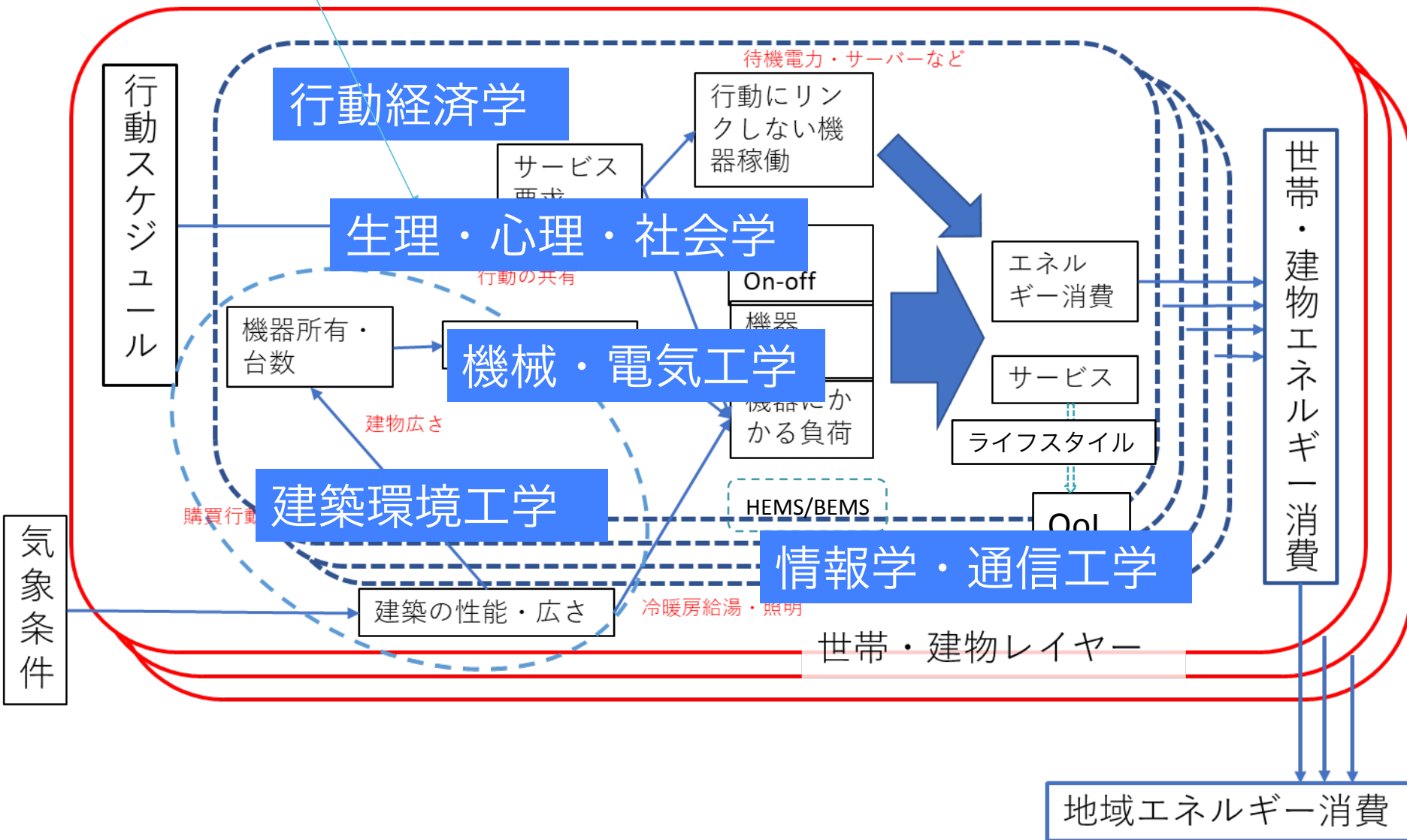




# 家庭・地域のエネルギー需要はどう決まるか？

要素分解型アプローチ

エネルギー価格



気象条件

行動スケジュール

行動経済学

生理・心理・社会学

機械・電気工学

建築環境工学

情報学・通信工学

世帯・建物エネルギー消費

世帯・建物レイヤー

地域エネルギー消費

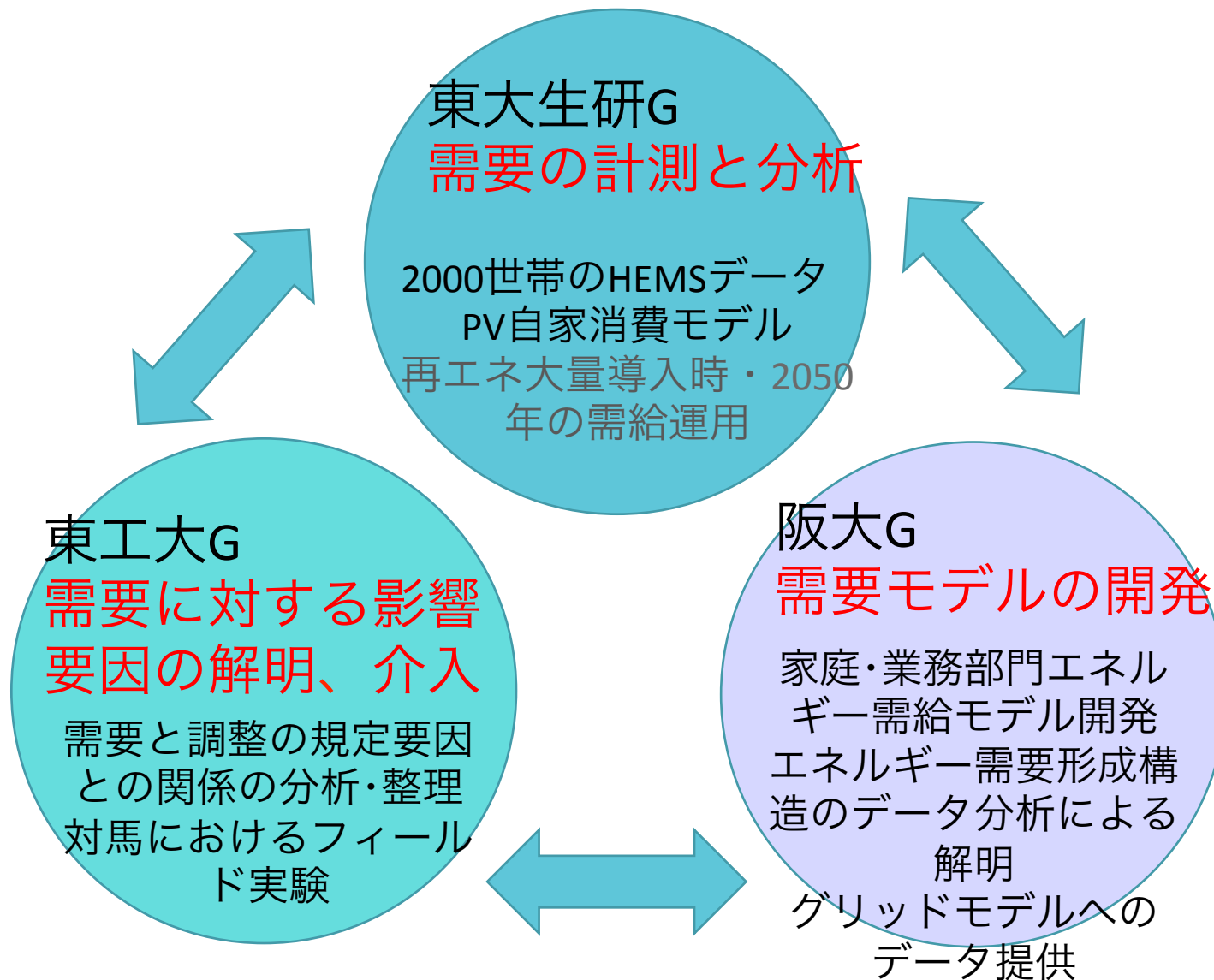


# エネルギー管理のための需要科学の研究分野

- **エネルギー需要の分析、DR** → **東大（岩船）**
  - エネルギー需要変動の計測も含む
  - 要素分解型と全体挙動型をつなぐ。
- **エネルギー需要モデルの開発** → **阪大（下田）**
  - 要素分解型研究の典型例
- **エネルギー需要に対する影響要因の解明、介入**
  - 全体挙動型の典型的な手法。マニュアルDRの観測など
- → **東工大（日高）**



# 中島チーム内需要3グループの関係





# グループ・サブグループ・チーム間連携

- 東大生研Gと阪大G:ヒートポンプ給湯器の実測データ分析とモデル化に関する連携
- 東海大Gと阪大G:気象データの空間粒度とエネルギー需要への影響に関する感度分析、住宅エネルギー消費時間変動の全国分布モデル。
- 林Tと阪大G:需要データのグリッドモデルへのインプット
- 鈴木Tと阪大G:自動車使用行動データを介した建物需要と自動車消費エネルギーとの関係
- 東工大Gと地球科学SG
- 東大生研Gと井村T

## 需要サブグループとしての進捗状況

### 需要科学3グループによる作業「需要科学の確立」

本プロジェクトにおけるエネルギー需要研究の意義、目指すべき研究の方向性、手法論の整理などを目的として、3グループで3年間に10回以上の会議を実施し、成果を以下の形で発表した。

### 1) 2016.11.21 東京大学生産技術研究所エネルギー工学連携センター(CEE) 第26回CEEシンポジウム

本グループから下田、日高、山口、岩船、内田Tから依田（京大）、その他西尾（電中研）が講演。

### 2) エネルギー・資源学会学会誌に 総説として投稿

本グループ全員の連名として「エネルギー需要科学の確立～エネルギーマネジメントにおける需要研究」として2017.4.1投稿、2017年9月号に掲載

236

エネルギー・資源 Vol. 38 No. 5 (2017)

展望・解説

#### エネルギー需要科学の確立 —エネルギーマネジメントにおける需要研究

Establishment of Energy Demand Science—Energy Demand Research for Energy Management

下田吉之\*・岩船由美子\*\*・日高一義\*\*\*・山口容平\*  
Yoshiyuki Shimoda Yumiko Iwafune Kazuyoshi Hidaka Yohei Yamaguchi

松岡綾子\*・八木田克英\*\*・錦織聡一\*\*\*・辻本将晴\*\*\*  
Ayako Matsuoka Yoshie Yagita Soichi Nishikiori Masabaru Tsujimoto

(原稿受付日: 2017年4月11日, 受理日: 2017年8月10日)

1. まえがき

エネルギーシステム研究において、エネルギー需要の精

起きているが、その要因は上記指標だけでは説明することができない。一方、建物単位などミクロなレベルでは、時系列予測手法を用い、直接的な要因に関する説明指標は気



## 需要サブグループとしての進捗状況

- **3) 2017.1.17 JST-CRDS 科学技術未来戦略ワークショップ「未来エネルギーネットワークと需要科学」～2050年超の一般家庭でのエネルギー需給構造の变革時代到来に向けて～**
  - 下田が「エネルギーマネジメントと需要研究」として、上記検討結果の一部について発表。
  - ワークショップ成果は戦略プロポーザル「未来エネルギーネットワークの基盤技術とエネルギー需要科学」として2017年3月に刊行。
- **2017年4月の総括面談**において、合田アドバイザーより、「このような取り組みが国際的にも無いのであれば、英文誌としての投稿を検討すべき」との助言

CRDS-FY2016-SP-04

戦略プロポーザル

未来エネルギーネットワークの基盤技術  
とエネルギー需要科学

～ 2050年超の一般家庭でのエネルギー需給構造変化に向けて～





# Dr. Alan Meier (LBNL, UC Davis)



- **米国 Lawrence Berkeley National Laboratory, Energy Technologies Area (旧Environmental Energy Technologies Division)に長く在籍。**
- **EETDは1975年にArthur Rosenfeldによって開設されてからEnergy Efficiencyに関する研究で著名な業績。(End-use demand forecasting, Energy efficiency standardなど)**
- **雑誌Energy and Buildingsの初代Chief Editor**
- **2017年8月より本件について指導を受ける。**

2018 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings  
Informal Session: "Energy Demand Science in a De-carbonized Society"  
Pacific Grove, CA, USA. Aug. 13, 2018





# ACEEE Summer Study の成果

- CRESTから合田アドバイザー、岩船、八木田、日高、山口、下田が参加。
- Informal Session ゆえ前日のビラまきと当日朝のニュースレターのための告知にもかかわらず、数十名の参加者を得て活発な議論
  - Allison Silverstein (ACEEE) システム全体の転換の問題、再生可能エネルギー変動への対応（自動化？）など
  - Hans Paul Siderius (Netherlands Enterprise Agency) “Energy efficiency and renewable energy in a decarbonized electric power system” という論文を受領。

25 September 2018 - 27 September 2018  
Nara, Japan

- ▶ Research Overview
- ▼ Research Programs
  - ▶ Advanced Systems Analysis
  - ▶ Air Quality and Greenhouse Gases
  - ▶ Ecosystems Services and Management
  - ▶ Energy
  - ▶ Evolution and Ecology
  - ▶ Risk and Resilience
  - ▼ Transitions to New Technologies
    - ▼ Events
      - ▶ 2016
      - ▶ About
      - ▶ Historical Case Studies of Energy Technology Innovation
      - ▶ Models and Databases
      - ▶ Education Resources
      - ▶ Publications

## Rethinking Energy Demand

**IIASA and RITE convened a discussion workshop on Rethinking Energy Demand, held on the premises of the Todaiji Temple in Nara, Japan, September 25-27, 2018.**



© Nishiyama Aoi on Unsplash

approaches.

The results of the workshops discussions are documented on this website.

Contributions to the workshop discussions in form of presentations and statements/remarks are posted here with links integrated into the Workshop [Agenda](#).

A Summary Text of the workshop discussions is posted here including also a list of

The aim of the workshop was to further an interdisciplinary dialogue on novel conceptualization of energy demand, providing a forum to discuss inter alia new concepts that might not be familiar across disciplines (e.g., decent living standards, new shared urban mobility models, Society 5.0 concepts, digital convergence, social practice theory, time budgets and resource implications); new insights and research questions from different fields; and novel conceptualizations of demand and modeling

### CONTACT DETAILS

**Arnulf Grubler**  
Acting Program Director  
Transitions To New Technologies  
T +43(0) 2236 807 470  
grubler@iiasa.ac.at

**Kywan Riahi**  
Program Director  
Energy  
T +43(0) 2236 807 491  
riahi@iiasa.ac.at

**Charlie Wilson**  
Research Scholar  
Transitions To New Technologies  
T +43(0) 2236 807 426  
wilsonch@iiasa.ac.at

DOWNLOAD WORKSHOP REPORT

MORE INFORMATION ▶

### RESEARCH PARTNERS

» The Research Institute of

RITE-IIASA Discussion Workshop “Rethinking Energy Demand”  
Nara, Japan. Sep 25-27, 2018





- ***Yoshiyuki Shimoda* presented novel research in Japan on residential/ household energy use. He introduced the concept of an “energy demand science.”** This approach combines detailed survey data on household characteristics, time use and occupant behavior, with housing stock and settlement characteristics, as well as environmental (climatological) data to model residential energy use over time and across different geographical settings. **Model calibration is performed drawing on big data approaches such as smart meter data and reveal excellent agreement between observations and modeled parameters.** Shimoda also presented recent assessments of various policy measures aimed at reducing GHG emissions in the residential sector of Japan. Absolute reductions in residential CO<sub>2</sub> emissions of up to 40% by 2030 are found to be feasible under current conditions, with larger reductions only possible with new technological and behavioral innovations. **It is also worth noting that under the extreme efficiency scenarios the influence of traditional variables of residential energy demand such as demographics or settlement type no longer play a significant influencing role. Instead, distributed on-site generation (PVs) and electromobility diffusion emerge as new important policy options and influencing variables.**



# 今後の予定

- **Renewable and Sustainable Energy Reviews**にレビュー論文を投稿予定
  - 阪大・東大・東工大グループ、Alan Meier
- **電気学会全国大会シンポジウム「エネルギー需要を科学する」**
  - 2019年3月13日午前開催 需要科学SG+大橋先生
- **ECEEE Summer Studyにて再度 Informal Session?**
  - 2019年6月3~7日、フランス
- **次期戦略目標候補「需要科学」**
  - 10月26日に合田アドバイザーの御仲介により、JSTと2020年度の戦略目標候補として「需要科学」を立てる検討をスタート
  - CREST-EMS領域内の需要関係の先生方と検討グループを形成すべく準備中