



# 再生可能エネルギー・ バーチャルグリッド

2016年10月11日

電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センター

市川 晴久

2016/10/11

©info-Powered Energy System  
Research Center, UEC

( 1 )



# 本日の内容

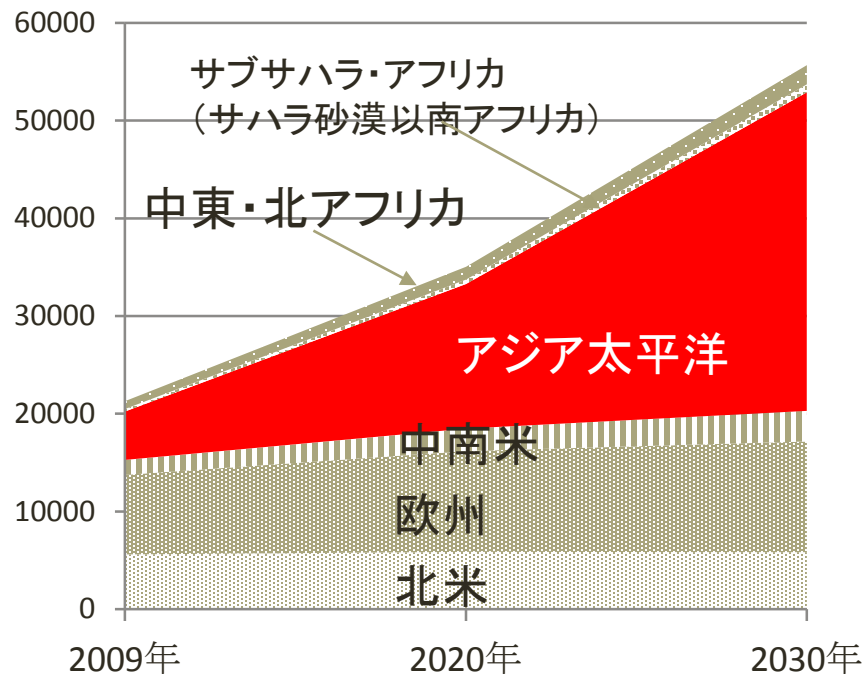
1. ターゲットとするエネルギー市場
2. 太陽光エネルギーの課題
3. 次世代電力インフラを考える
  - インタネットを登場させたイノベーションパラダイムに学ぶ
4. 再生可能エネルギー・バーチャルグリッド
  - 無電化地域から生まれるグリッドの可能性

# ターゲットとするエネルギー市場

# 世界のエネルギー消費の伸びに占める新興国比率は90%超

- ・世界のエネルギー消費の伸びに占めるOECD非加盟国比率は90%超の状態が2035年まで続く(IEA, World Energy Outlook 2013)
- ・BoP (Base of Pyramid/年収\$3,000以下、世界人口の約7割の40億人、多くが農村部に居住)層が エネルギー消費の伸びに大きく関わる

2005年購買力平価(10億ドル)



中間層消費の地域別内訳

上位10ヶ国

(2005年購買力平価(10億ドル)と世界シェア)

2030年			
1	インド	12,777	23%
2	中国	9,985	18%
3	米国	3,969	7%
4	インドネシア	2,474	4%
5	日本	2,286	4%
6	ロシア	1,448	3%
7	ドイツ	1,335	2%
8	メキシコ	1,239	2%
9	ブラジル	1,225	2%
10	フランス	1,119	2%

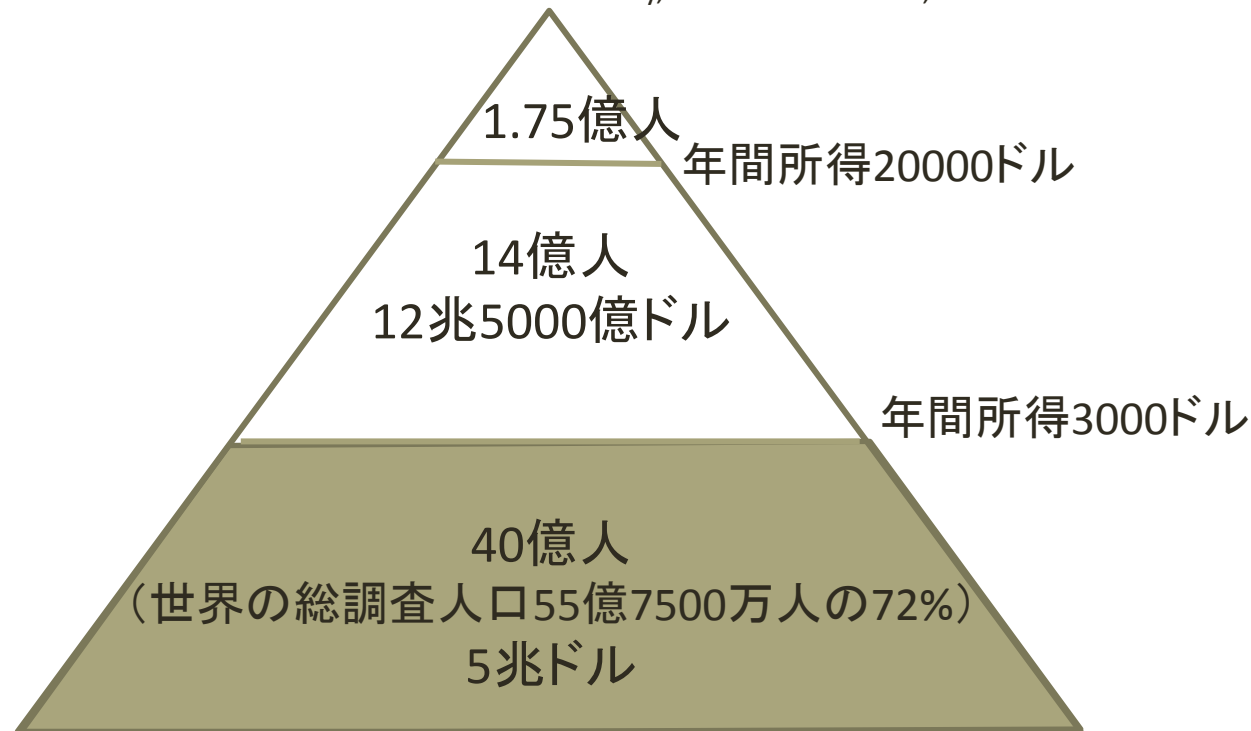
出典: H. Kharas, "The Emerging Middle Class in Developing Countries," Brookings Institution, June 2011.

# BoP (Base of Pyramid)

•BoP (Base of Pyramid) のニーズに対応する開発戦略が世界の長期的経済発展を実現する唯一の方法

- BoPの貧困者は高コスト経済の中で暮らしており、莫大な消費者余剰が存在
- 破壊的技術にとって理想的な市場
  - 破壊的技術の適用を阻害する要因が少ない
  - 低所得者市場向けに構築したビジネスは他市場に展開して利益を出し易い

S. L. Hart, "Capitalism at the Crossroads –Aligning Business, Earth and Humanity," Pearson Education, 2007.



出典: World Resources Institute and International Finance Corporation, "The Next 4 Billion," 2007

# 世界の無電化地域

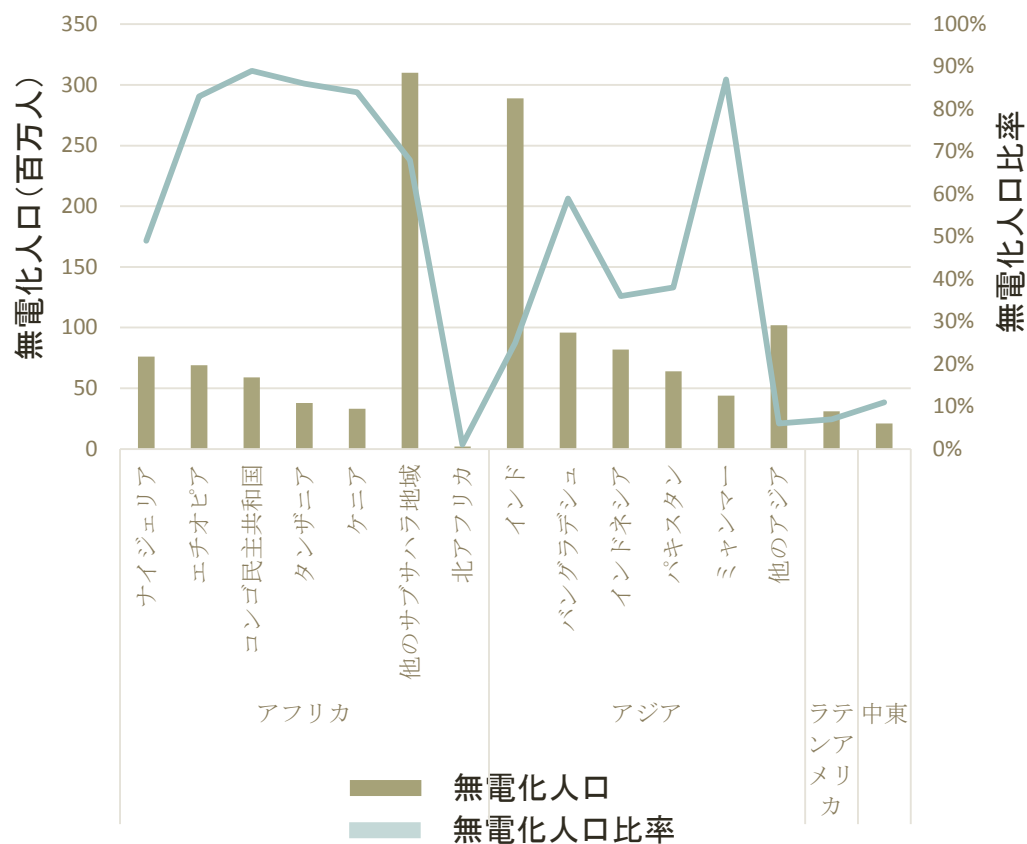
## 世界合計

無電化率	19%
無電化人口	1317（百万人）

出典：World Energy Outlook 2011

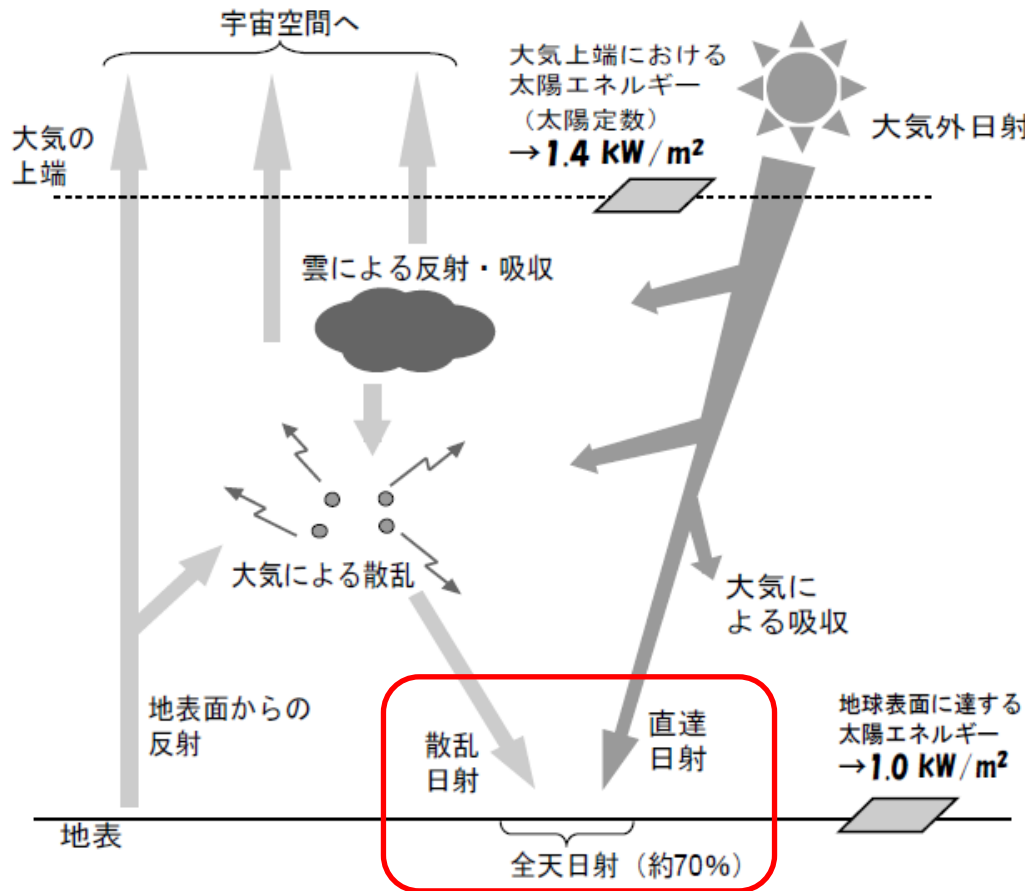
地域	無電化人口 (百万人)	無電化率 (%)
アフリカ	587	58%
ナイジェリア	76	49%
エチオピア	69	83%
コンゴ民主共和国	59	89%
タンザニア	38	86%
ケニア	33	84%
他のサブサハラ地域	310	68%
北アフリカ	2	1%
アジア	675	19%
インド	289	25%
バングラデシュ	96	59%
インドネシア	82	36%
パキスタン	64	38%
ミャンマー	44	87%
他のアジア	102	6%
ラテンアメリカ	31	7%
中東	21	11%
発展途上国	1314	25%
世界	1317	19%

国別無電化人口と比率



# 太陽光発電の課題

# 大気に入射した太陽光の日射収支



大気に入射する太陽放射は緯度、昼夜、季節で変化する。  
平均で $340 \text{ W/m}^2$ 。

## ■太陽定数■

単位面積当たり、単位時間に地球上（大気圏外）に降り注ぐ太陽エネルギー密度  
 $1.94 \text{ ly/min} = 1,353 \text{ W/m}^2$   
 (lyはlanglryのことで $\text{ly} = \text{cal/cm}^2$ )

## ■日射量■

地表面日射量 = 大気圏外日射量 - 大気圏の吸収量  
 (雲、オゾン、酸素、炭酸ガス、水蒸気、その他)  
 全天日射量 = 直達日射量 + 天空 (散乱) 日射

地上への日射量は $340 \text{ W/m}^2$ の約70%になるが、さらに天候などの影響で減少する。  
 東京で $150 \text{ W/m}^2$ 、 $2 \text{ kWh/day}$ から $4.5 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ 程度の日射がある。

図 1.1.3 大気に入射した日射の日射収支

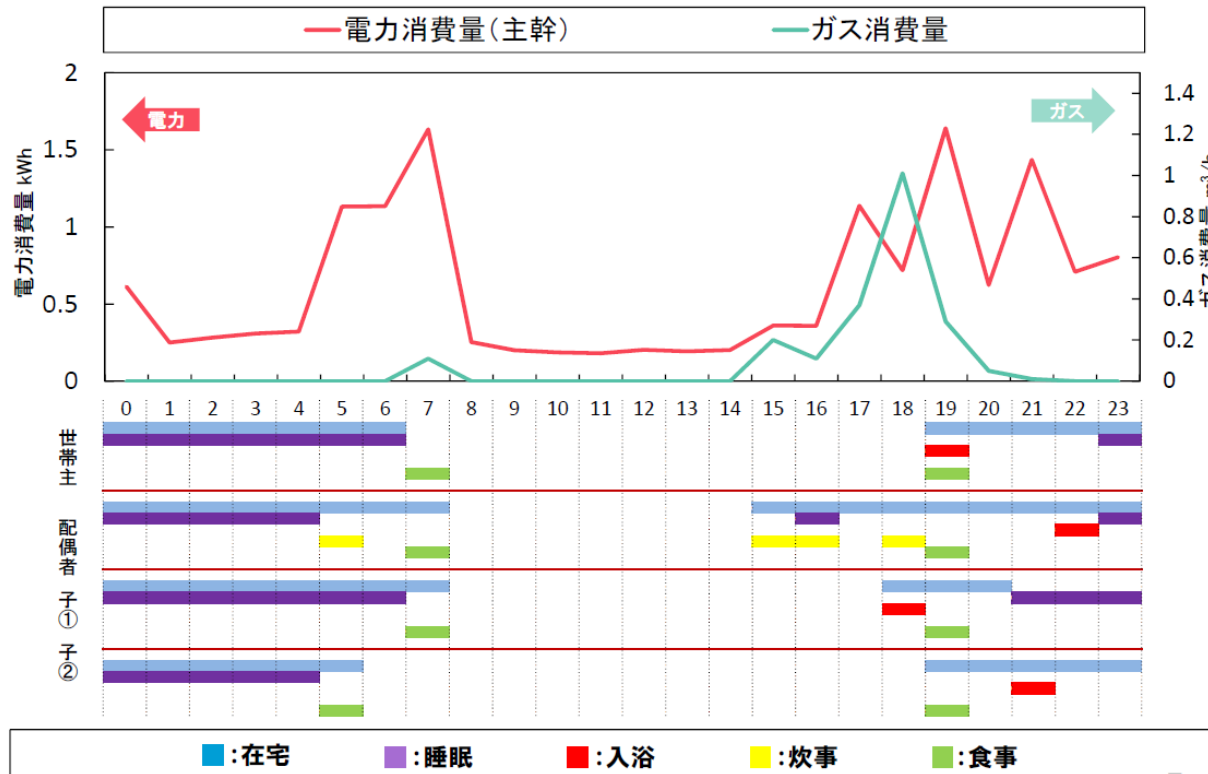
出所)「ソーラー建築デザインガイド」独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)



# 家庭におけるエネルギー消費の日変動

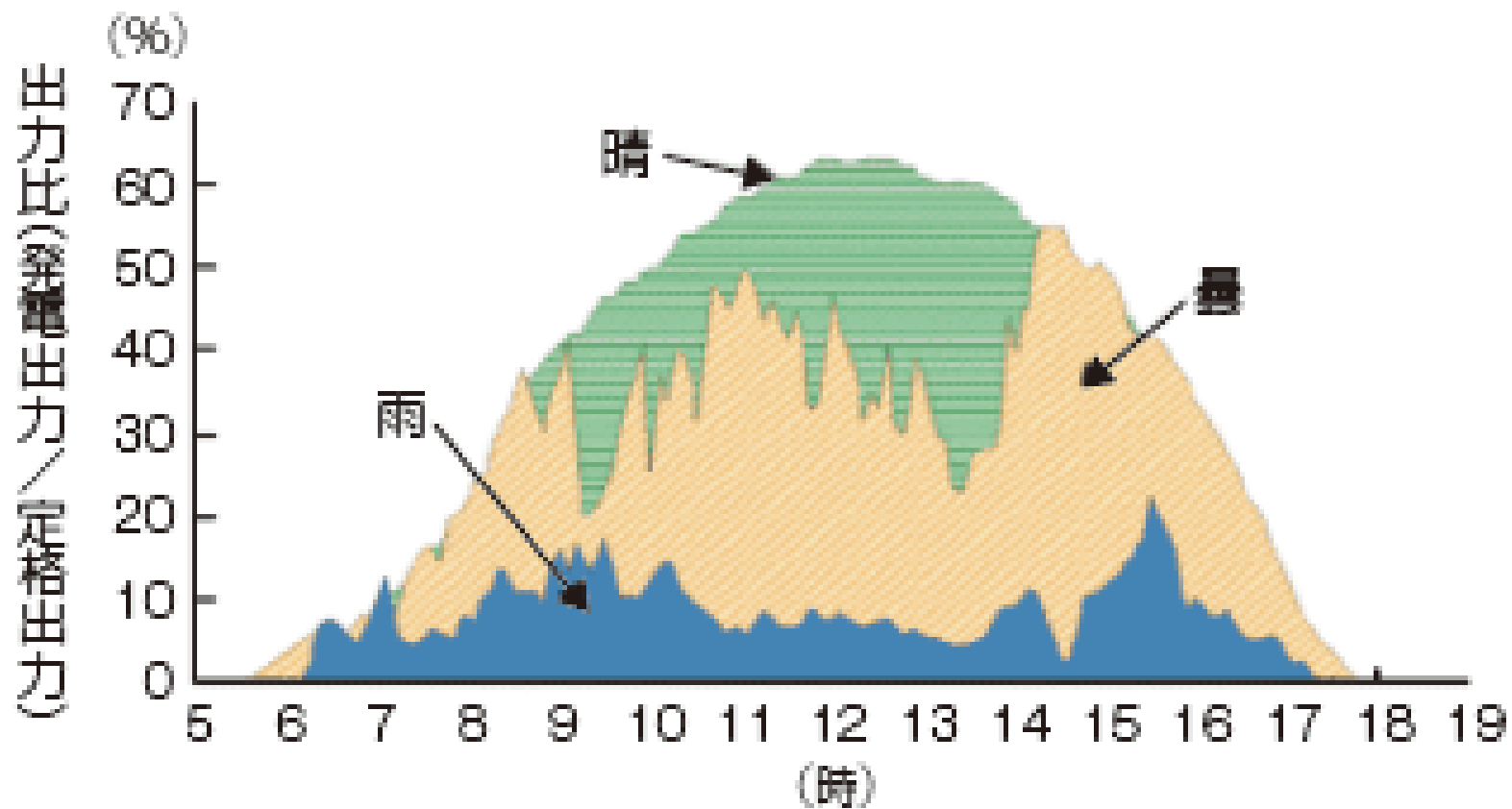
## 1. 取得データ抜粋②モデル世帯(例:消費エネルギーと行動の関係)

・ある世帯(アダルトファミリー(後期)、4人世帯)の1日の行動との関係を示す。



7

# 太陽光発電の天候別発電量推移

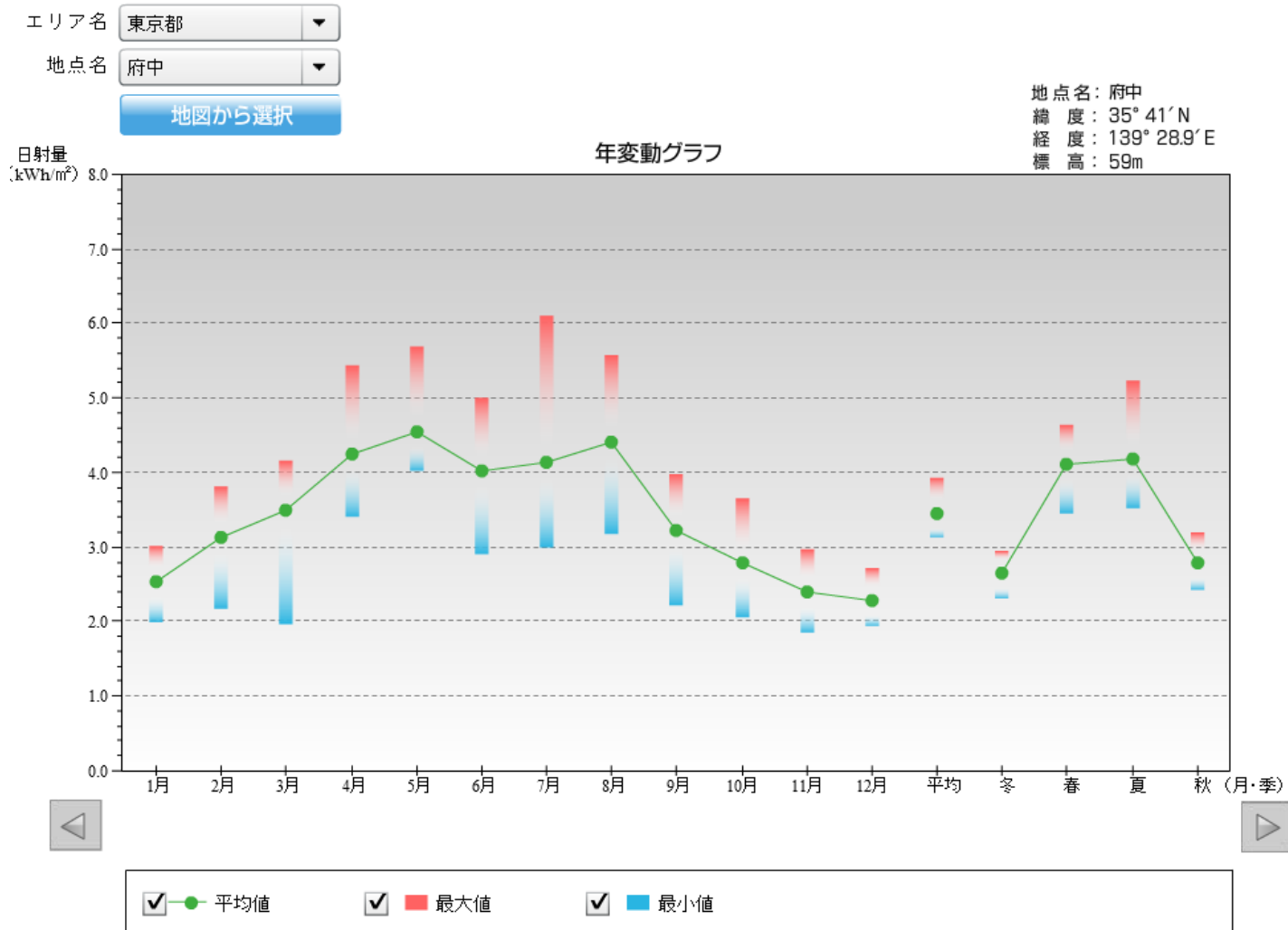


出典: 経産省資源エネルギー庁

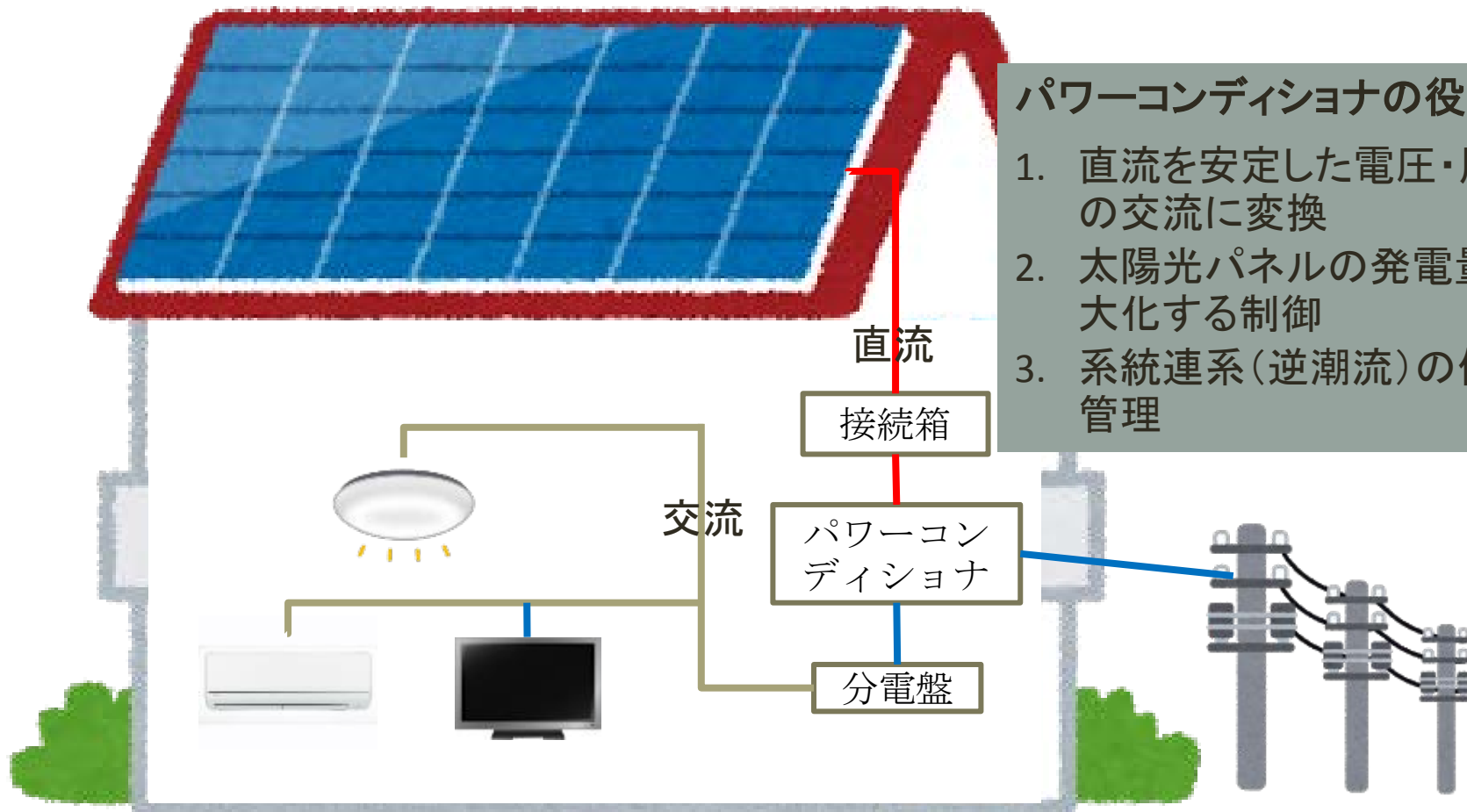
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/ohisama\\_power/about/kadai.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/ohisama_power/about/kadai.html)

# 日射量の年変動

出典: NEDO日射量データベース閲覧システム



# 住宅用太陽光発電システム



## パワーコンディショナの役割

1. 直流を安定した電圧・周波数の交流に変換
2. 太陽光パネルの発電量を最大化する制御
3. 系統連系(逆潮流)の保護と管理

# 太陽電池の設置パターン



屋上架台設置



勾配屋根設置



壁面設置



建材一体型設置



地上設置

# 太陽光発電の課題

## コスト

- 太陽電池パネル: 発電効率
- パワーコンディショナー: 発電量、電圧の変動に対し、負荷や電力系統に安定した品質(電圧、周波数)の電力を供給する。太陽光発電システムの中で最も故障が多いといわれる。
- 導入コスト
- 設置場所の緯度によって発電量が異なり、必要な設備量が異なる

## 発電量や電圧が変動する

- 時刻、天候、季節によって変動
- 電化製品などの負荷を壊さないように電圧制御

## 電力系統との接続

- 逆潮流: 電力網につながる他の需要家に悪影響が出ないように電力品質(電圧、周波数など)を維持する必要がある
- 雲の影に入るなどによる急激な発電電圧変動が電力系統を不安定化させる危険がある

# 次世代電力インフラを考える

# 産業競争力強化へのアプローチトレンド

科学技術創造のリニアモデルが崩壊

- 基礎研究 ⇒ 実用化 ⇒ 事業化

究極のオープンイノベーション:「ほとんどの技術開発資源を外部調達してもビジネスモデルを含めたシステムインテグレート能力でビジネスを勝ち抜くのがオープンイノベーション」

渡部, “オープンイノベーションと日本企業の知財戦略経営,” 季刊 政策・経営研究, 2009 vol.3, pp.36-49

プラットフォームリーダとなることが目標の時代

- 産業の基盤的な技術を支配しながら、周辺の補完的な技術のイノベーションが促進されるように他社に働きかける能力を有する企業。当該業界の発展が自社の利益になる。

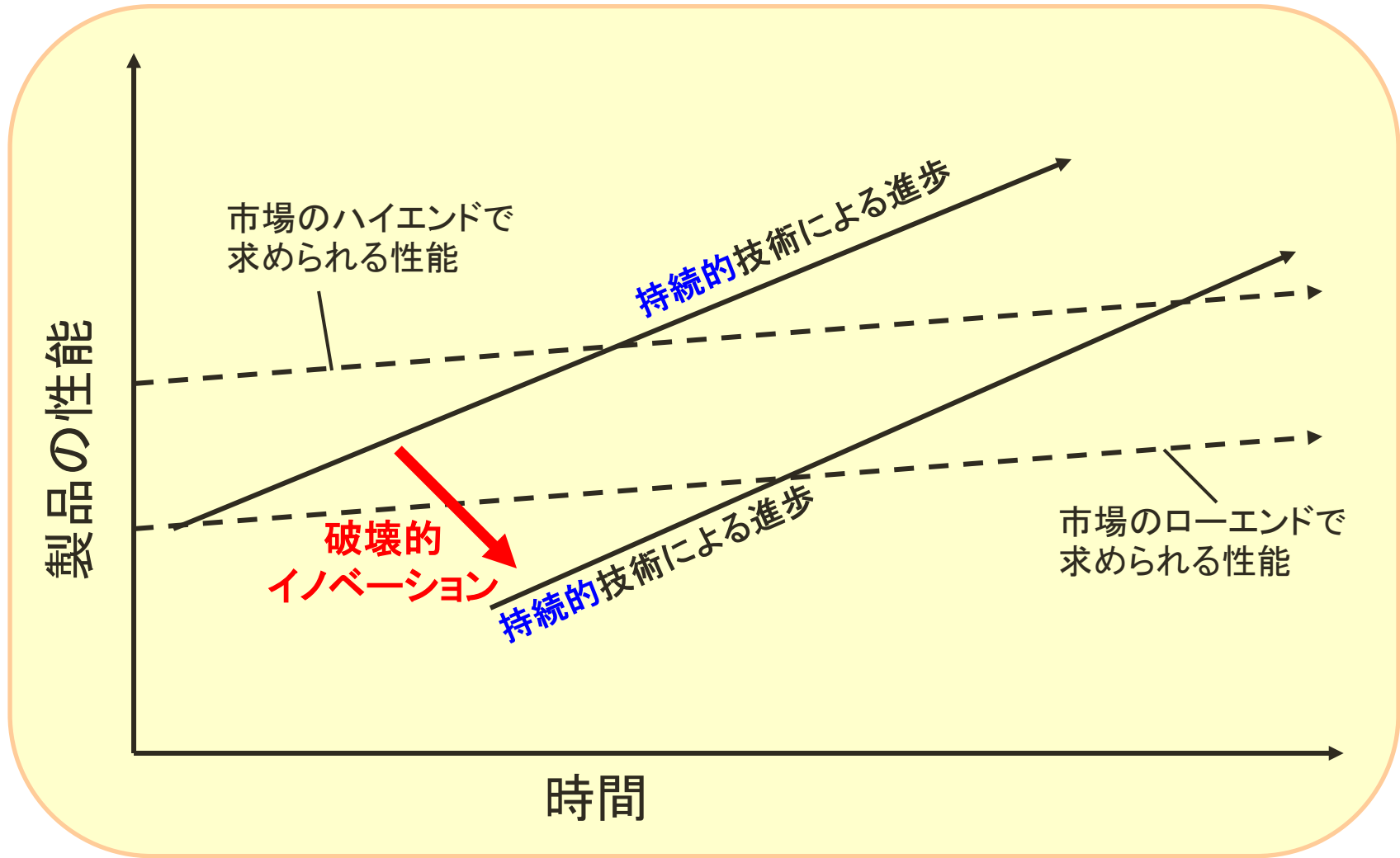


次世代産業を創造するイノベーションパラダイムは？



# インターネットを登場させたイノベーション・パラダイムに学ぶ

# 持続的イノベーションと 破壊的イノベーションの影響



クレイトン・クリステンセン“イノベーションのジレンマ”より引用

# 優れた経営が失敗につながる

## 破壊的技術の特徴

- 破壊的イノベーションを起こす技術は簡単なものであることが多い
  - 先端技術開発は持続的技術として研究され、抜本的に難しいものも多いが破壊的でない
- 破壊的技術は主要顧客にとって当初は使えないことが多い
  - 技術の価値はバリューネットワークによって全く異なる
- そのような市場は小規模で利益率も低いことが多い
- 新規市場での破壊的技術の技術革新のペースが需要のペースを上回り、利益率の高い主流市場の需要に追いつく場合がある

論文が書けない  
研究資金を獲得できない

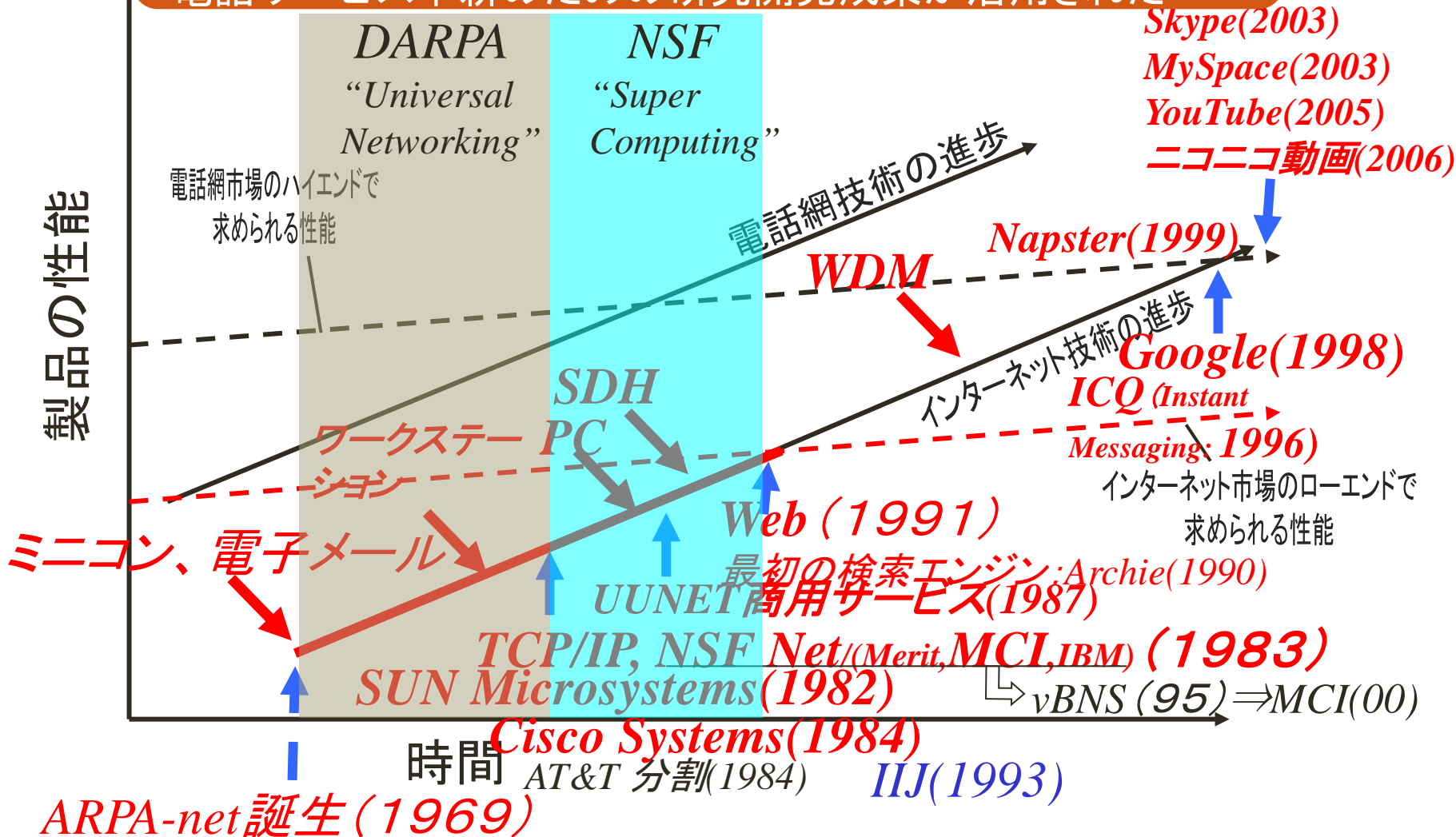
事業部が相手にしてくれない

優れた経営であればあるほど破壊的技術を育てるのが難しい

クレイトン・クリステンセン“イノベーションのジレンマ”より引用

# インターネットにおける破壊的イノベーション

- 商用化までに20年以上にわたり産官学が連携  
米国にインターネット産業創造プラットフォームを形成
- 電話サービス革新のための研究開発成果が活用された



# 次世代グリッドの設計スキーム

前提条件：需要、技術

要求条件

アーキテクチャ

- アーキテクチャ設計原則
- 構成要素モデル

インフラ確立シナリオ

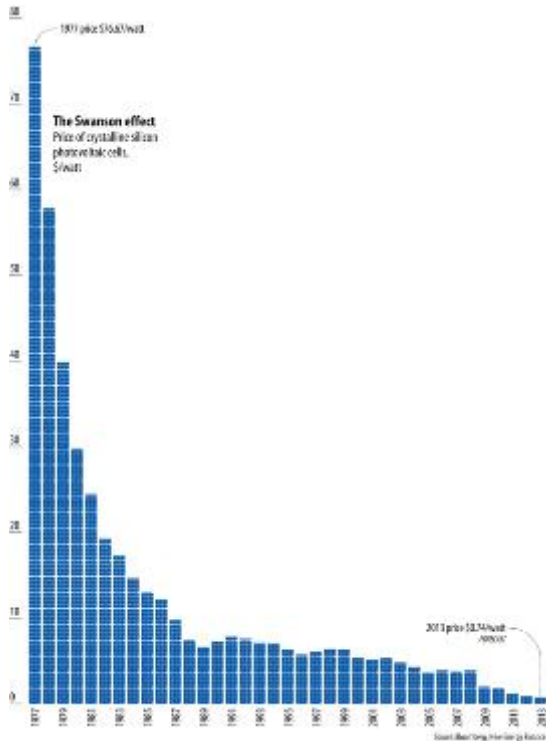
- キラーアプリケーション
- オープン開発
- 普及展開

# 将来グリッドを左右する技術と需要の動向

目指すべき再生可能エネルギー指向グリッドをデザインし、そこに向かってグリッドが遷移していく動きの創造が重要

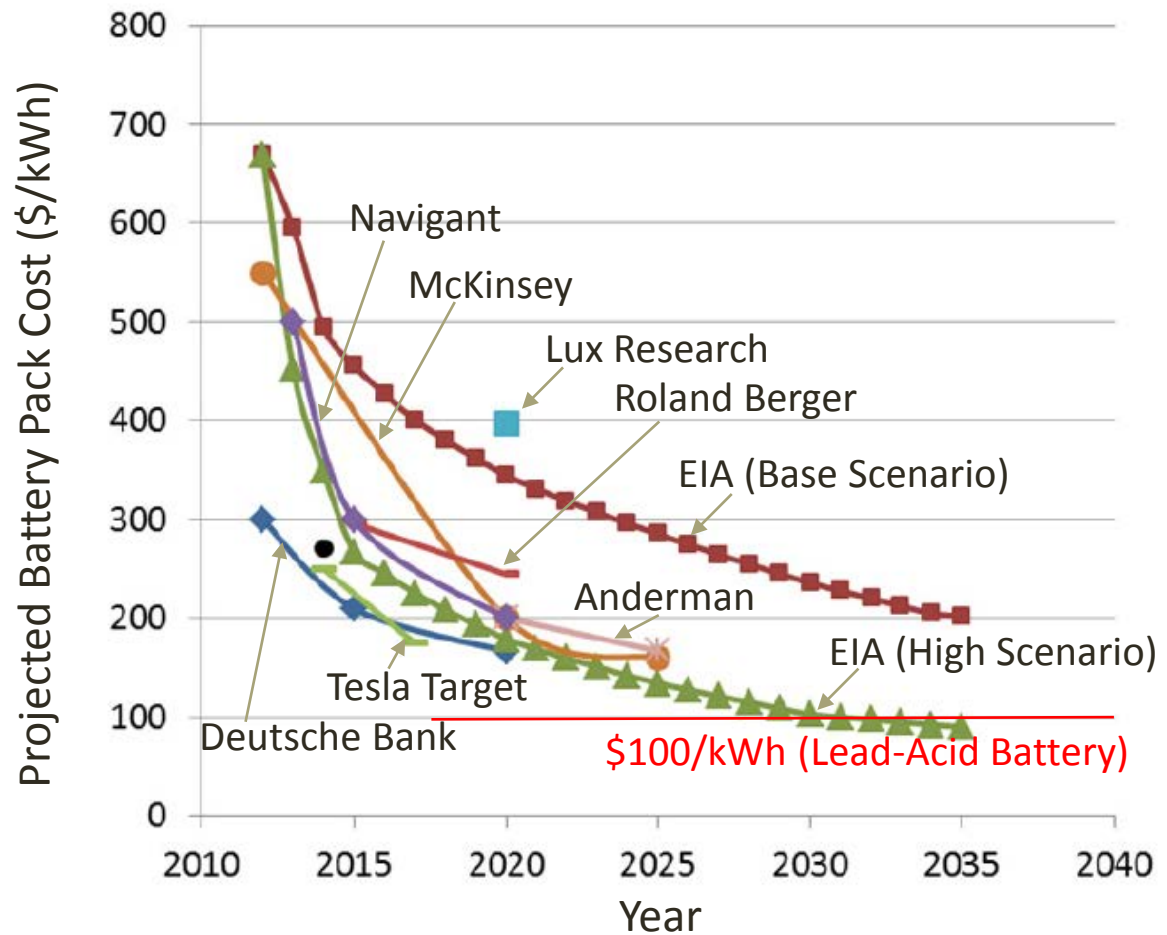
創エネ	✓ PVは、コスト・性能ともに十分に安くなっており、今後、さらに安くなっていく。
蓄エネ	✓ 蓄電池：コスト・性能（エネルギー密度・出力エネルギー密度・寿命など）が今後、5から7倍向上する。 ✓ EV：普及が大幅に進む。
負荷	✓ 低電圧DC負荷が増える。
給電	✓ AC-DC変換：DC-DC変換に比べて高価で、ロスが大きく、信頼性も低い。 ✓ DC-DC変換：高効率かつ安価。 ✓ DC給電標準化：主要な標準化は完了。USB PD・PoEが普及する。
需要	✓ BoP：非電化地域に12億人以上が住んでいる。発展途上国の需要は、未来のグリッドを決定できる。 ✓ 災害・セキュリティ：レジリエンス（復活力、堅牢性）を有するインフラが期待される。

# 太陽光発電システム部品の価格動向



Price of crystalline silicon photovoltaic cells

<http://cleantechnica.com/2014/09/04/solar-panel-cost-trends-10-charts/>



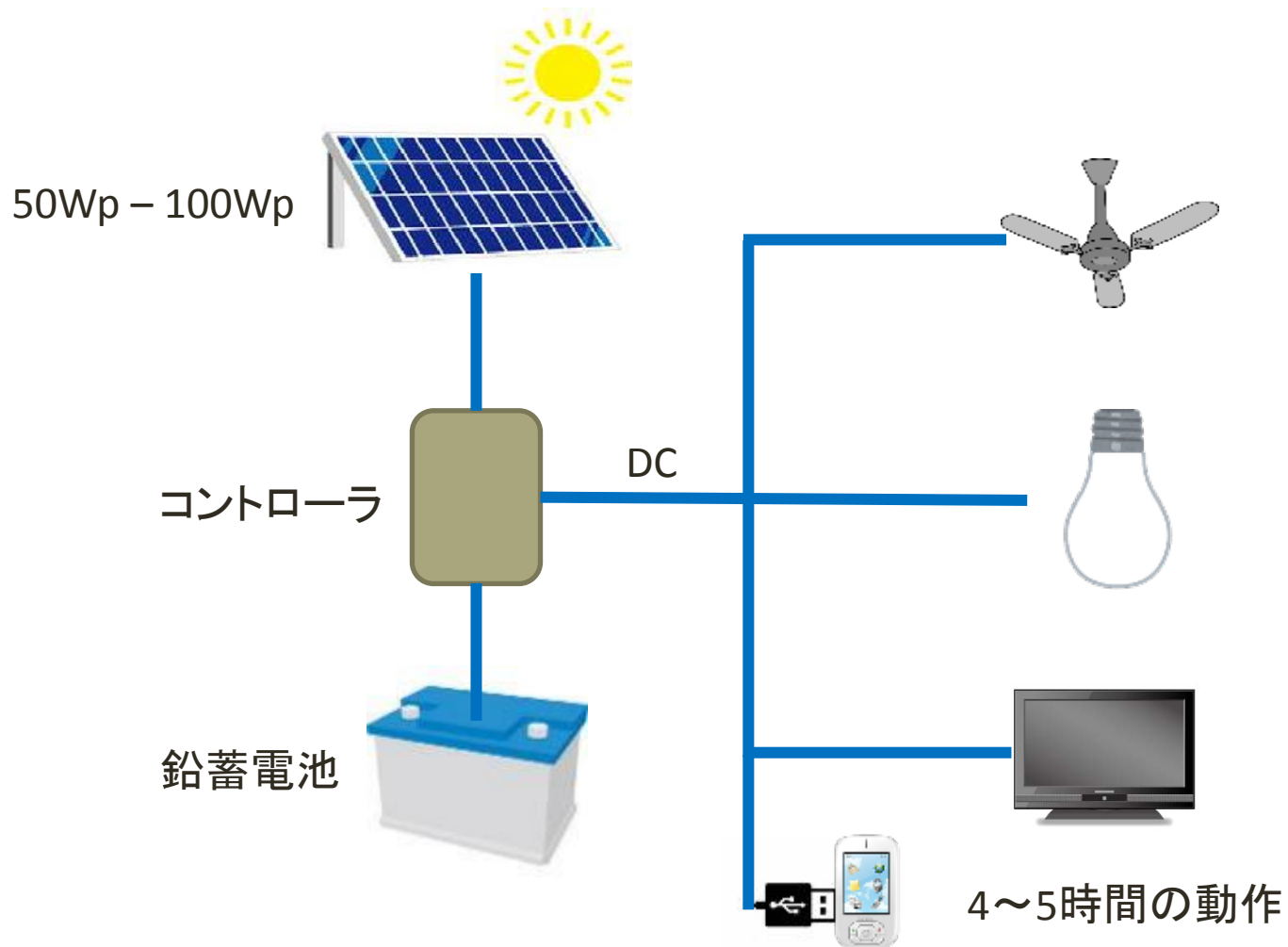
Projection of battery-pack price

<http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63332.pdf>

# 無電化地域から生まれるグリッドの 可能性：バングラデシュSHSプログラム



# Solar Home System (SHS)



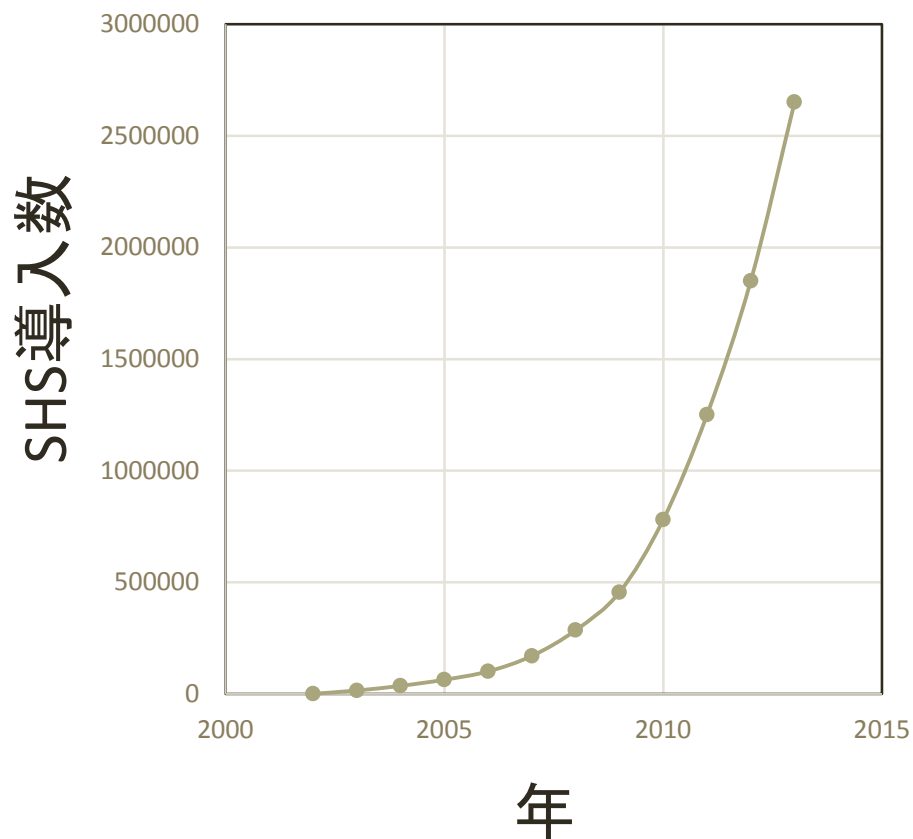
# バングラデシュIDCOLプログラムにより急拡大しているSHS

## SHSの課題

- 課題1: 鉛蓄電池の急増による環境汚染拡大
- 課題2: 送配電網のない電力網(従来型電力網に匹敵する性能の実現)

[注] Infrastructure Development  
Company Limited (IDCOL)

1997年5月にバングラデシュ政府  
が設立したノンバンク金融機関



# iPERCのビジョン

研究ターゲット: **中長期的に大規模化が期待できる市場**

グリッドタイプ	先進国	発展途上国	備考
成熟グリッド	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>・当面の市場規模が大きい</li> <li>・既存グリッドの供給電力量が大きく、安定、高信頼</li> </ul>
Off grid	○ (被災地)	○ (BoP農村地域)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発展途上国では、12億人以上が居住</li> <li>・現状は、ユーザの経済力が低く、電力需要は小さいが電力供給拡大への期待が大きい</li> </ul>
能力不足グリッド		○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境インパクトを考慮しつつもコスト優先</li> <li>・バックアップ電源としての蓄電システム需要は大きい</li> </ul>
Isolated grid			
新設大規模グリッド		(中国、インド、中東)	太陽光発電は他の方式に比べてコスト的に不利

## 要素技術

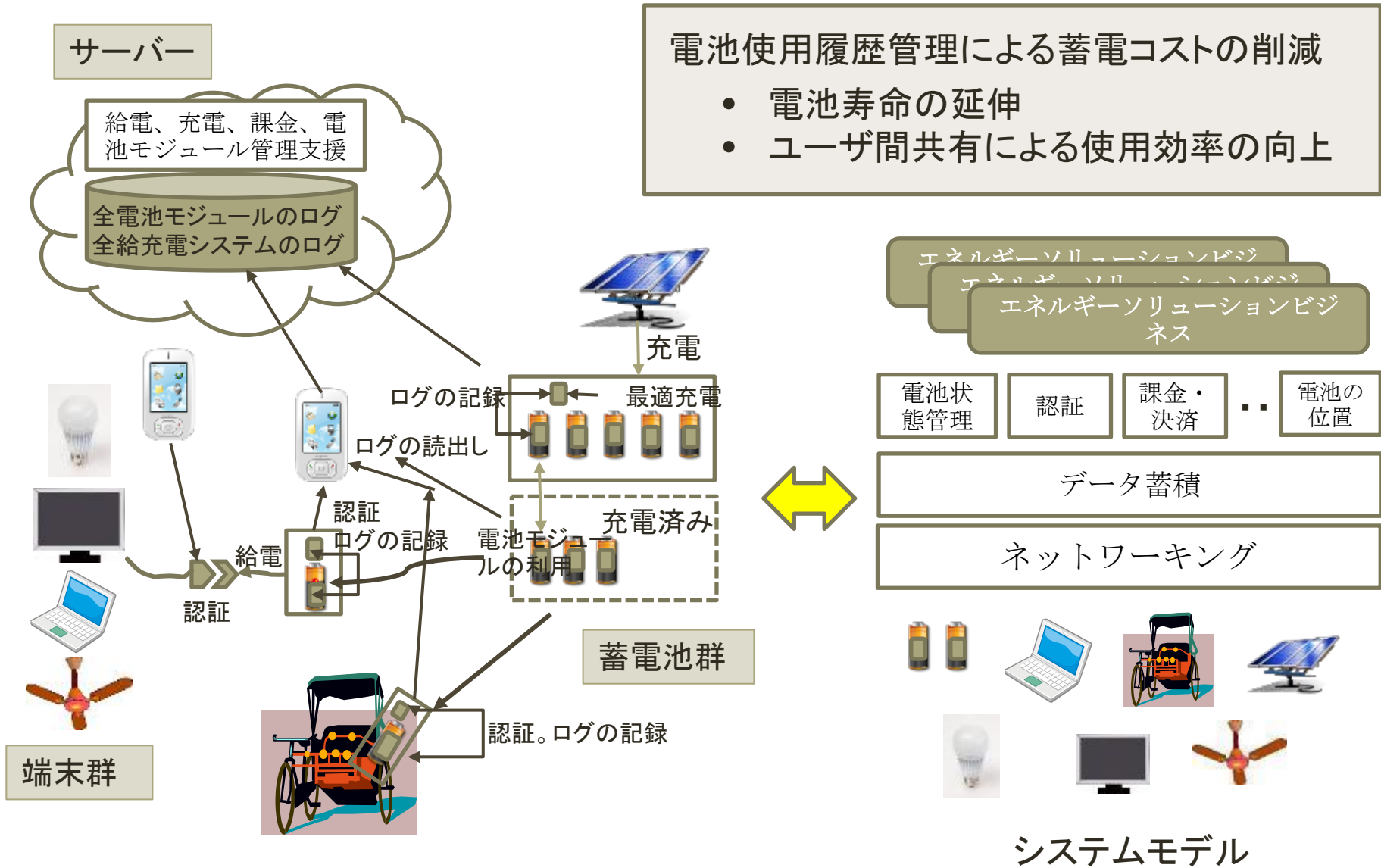


エネルギー分野におけるソリューション研究教育機能の強化

グローバルな産学官連携によって、**世界の重要エネルギー課題を解くソリューションとその共通プラットフォーム**を生み出し、**産業競争力向上とグローバル人材育成**に貢献

# 再生可能エネルギー・バーチャルグリッド

# 「バーチャルグリッド技術」で実現する送配電網のない電力網

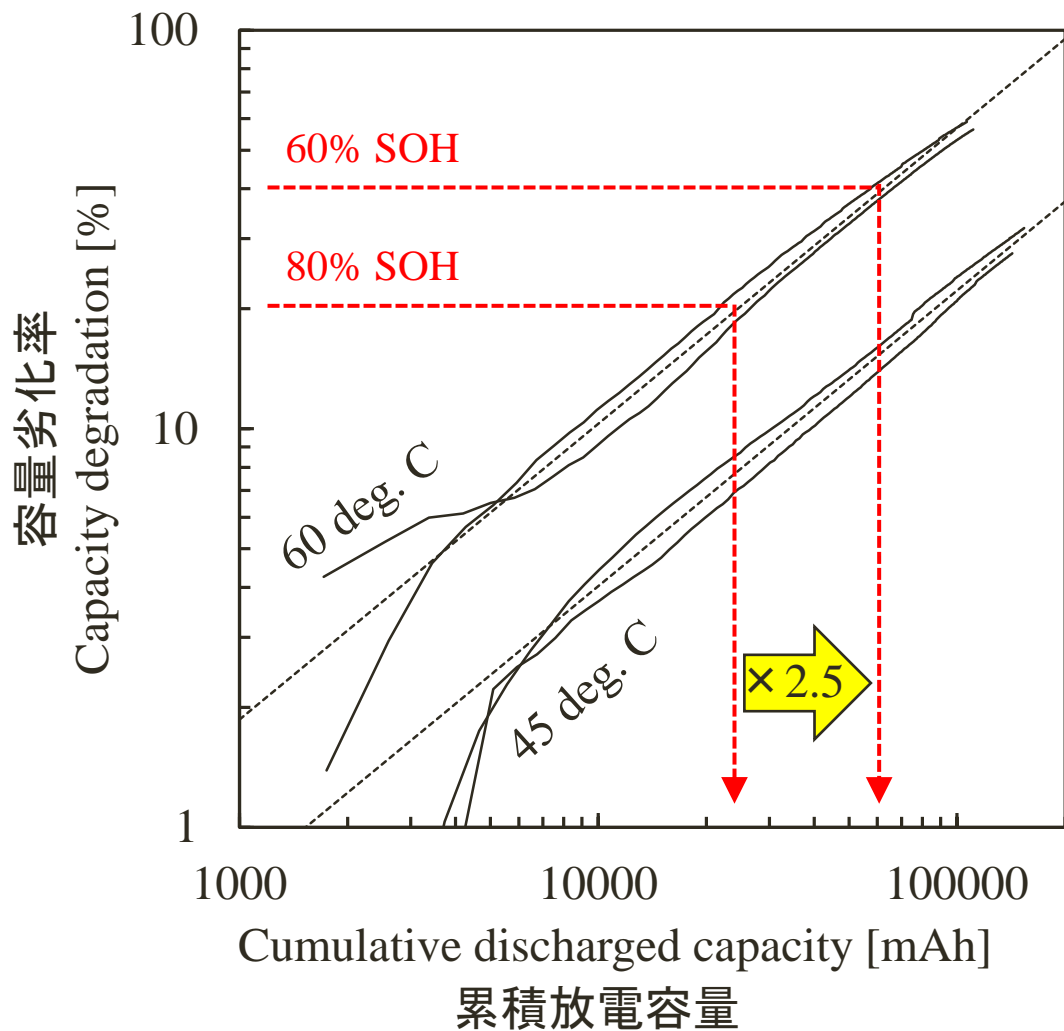


電池使用履歴管理による蓄電コストの削減

- 電池寿命の延伸
- ユーザ間共有による使用効率の向上

バーチャルグリッド(送配電網のない電力網)

# 累積放電容量と容量劣化率の関係



# バーチャルグリッドの課題

先進国グリッドと同等以上の利便性確保

- 電力のポータビリティと配電の利便性の両立

低コストかつ安定な電力供給

- エンドユーザによる建設・運用・保守が可能
- 蓄電コストの低減：最適充放電制御
- 発電／電力消費予測

安心、安全、セキュア

- サイバー攻撃・障害への対処：モデルベース制御セキュリティ
- 被災時の簡易・安全な独立電源確保

インフラへの成長シナリオ

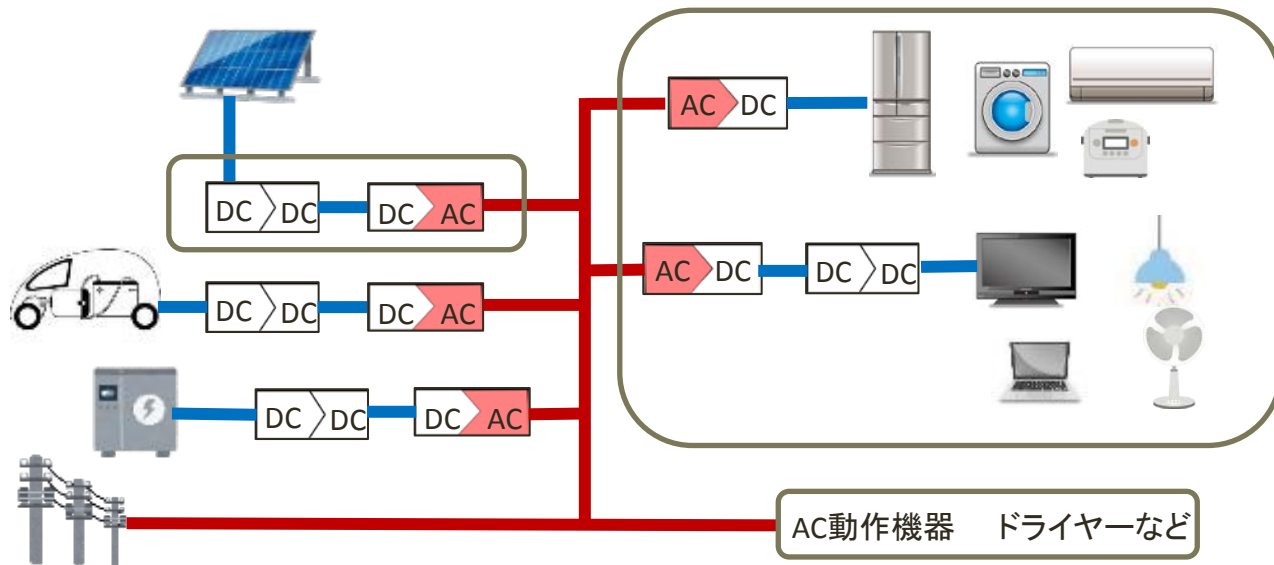
- 既存グリッド管理オペレーションが不要なグリッド拡張、技術革新
- オープン開発

# DC給電

出典: 日経スマートシティコンソーシアム  
<http://bizgate.nikkei.co.jp/smartcity/technology/000689.html>

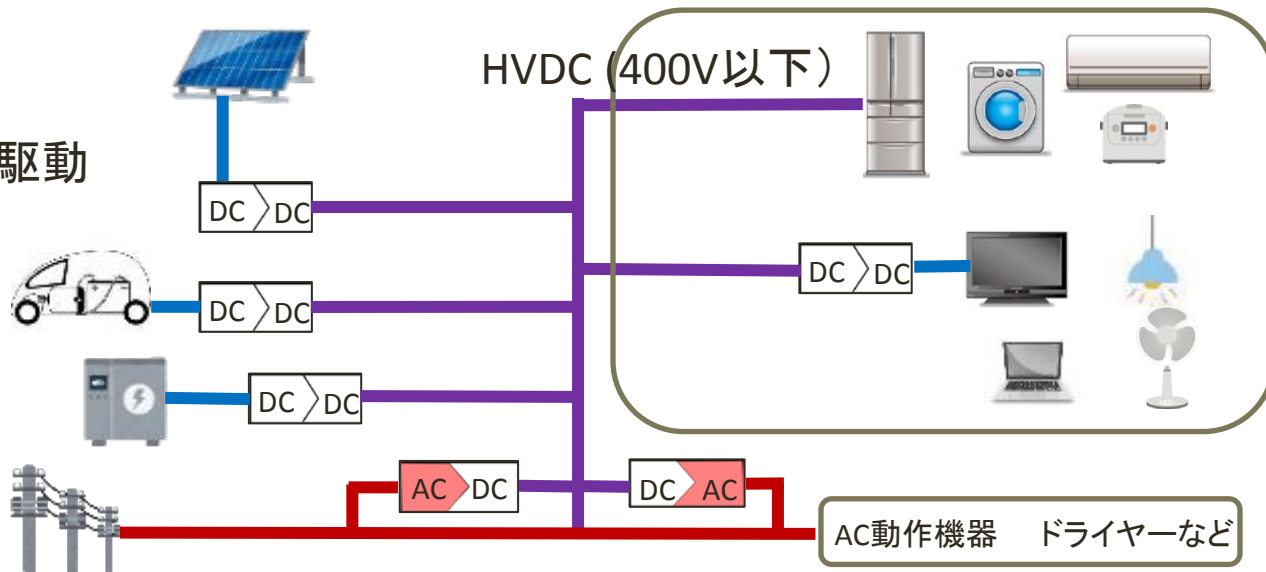
## AC給電システム

電力変換による電力ロスが多い



## DC給電システム

家電製品のほとんどはDC駆動  
太陽光発電の出力もDC  
DC給電にすると効率的





# 家庭やオフィスの直流給電化を進める

## USB PDとPOE

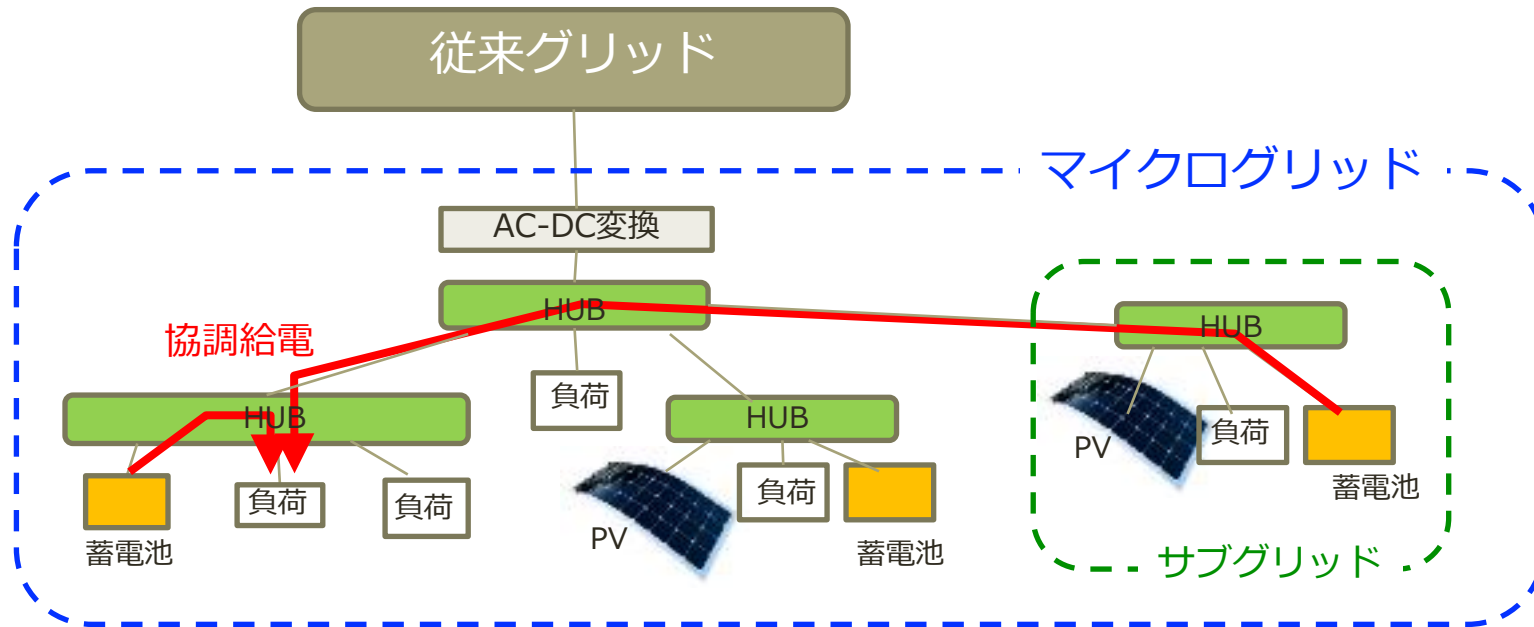
ほとんどすべての民生機器に電力供給：100Wまで供給

- USB PD
  - 20V-5Aで100Wの電力を供給可能
  - ロールスワップ：電力供給側と受給側、データ送信するUSBホストとデバイスの関係をスワップ可能
  - DisplayPort、HDMIなどの通信規格をUSBケーブル上で伝送可能。コネクタはUSB Type-Cに統一
- IEEE802.3at(POE+)
  - 30W. Linear Technologies社のLTPOE++は供給側が125W/portを供給し、受電側が90Wを受電

電源コンセントと情報コンセントを共通化

有線による機器間ネットワーク

# 低電圧DC給電グリッド



従来グリッド

: 基幹電力系統

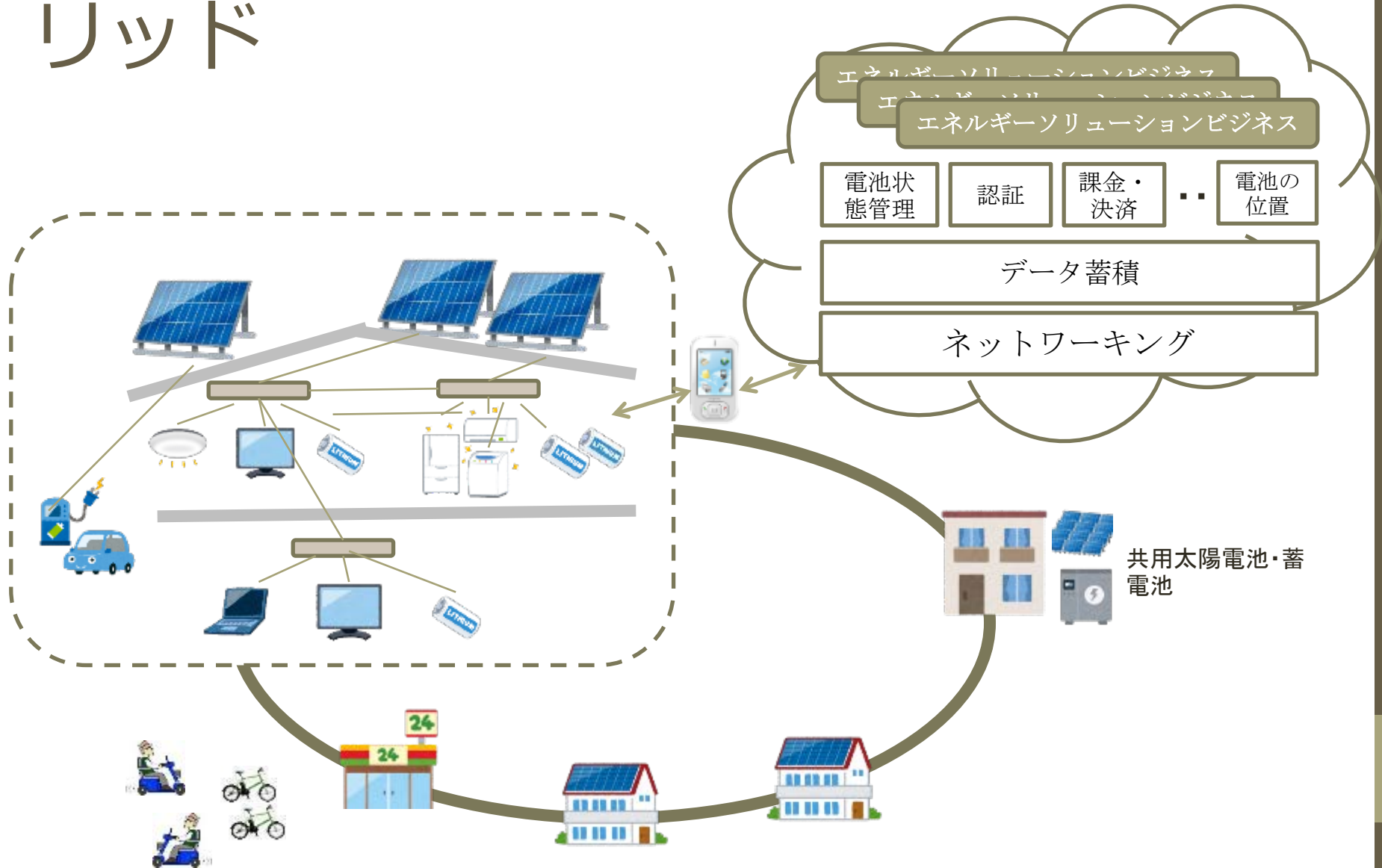
マイクログリッド

: 街、ビル、家単位の電力網

サブグリッド

: (街に対する) 家 (ビル、家に対する) 部屋  
単位の電力網

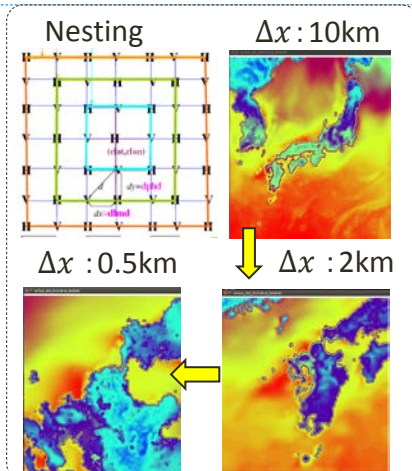
# 再生可能エネルギー・バーチャルグリッド



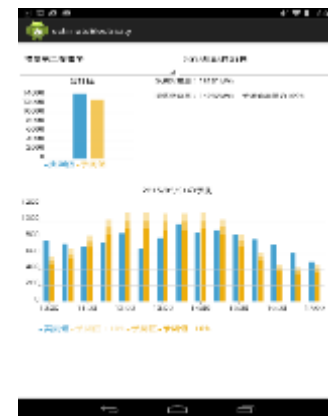
# 要素技術：発電／電力消費予測

WRFを用いた局所気象数値計算～500メートル精度

2.4MWソーラ発電所

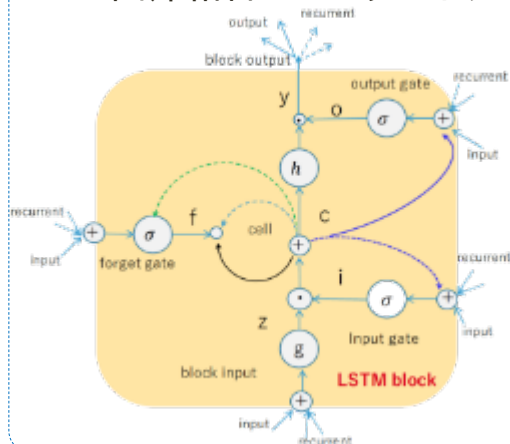


予測値と実測値の端末同時表示

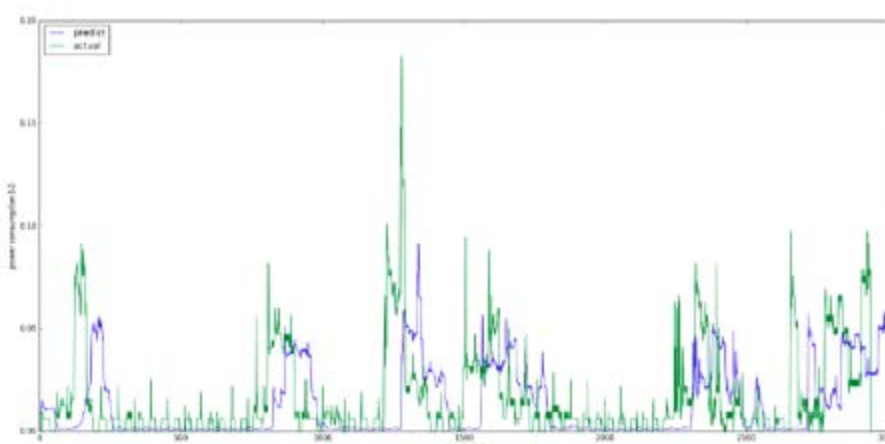


人工知能手法を駆使した電気消費量予測

回帰結合ニューラルネットワーク



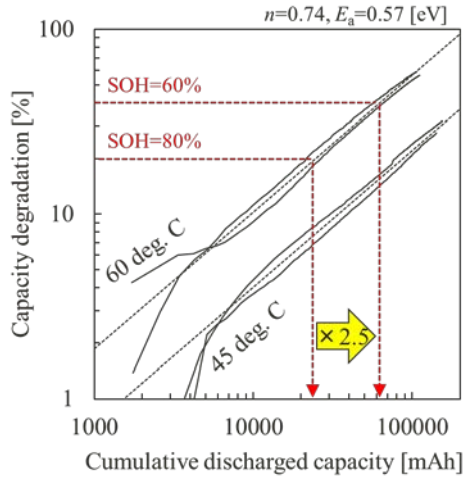
電気消費量の観測値と予測値の比較(1分間隔)



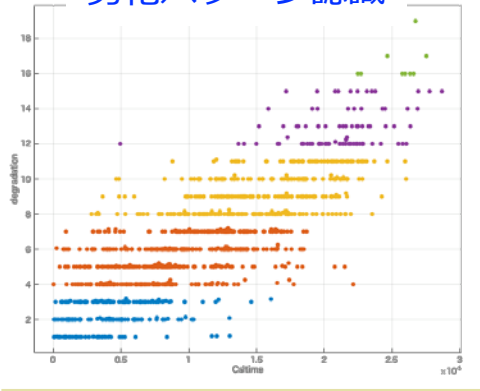
# 要素技術：蓄電予測

「環境条件」と「使われ方」のクラスタリングと劣化予測によるLiBの最適制御・保全

故障物理モデル



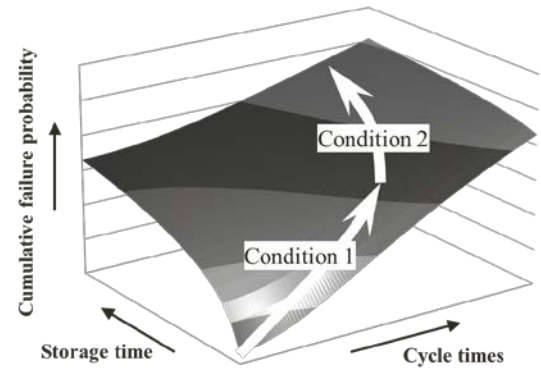
劣化パターン認識



劣化に寄与する特徴量抽出・回帰

予測・保全方策モデル

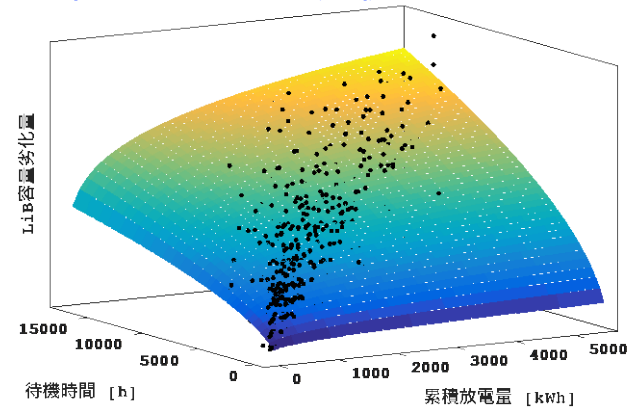
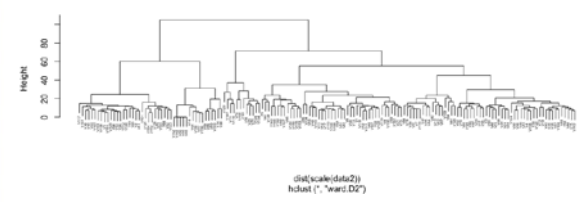
Drastic change in usage condition:  
Condition 1 → Condition 2



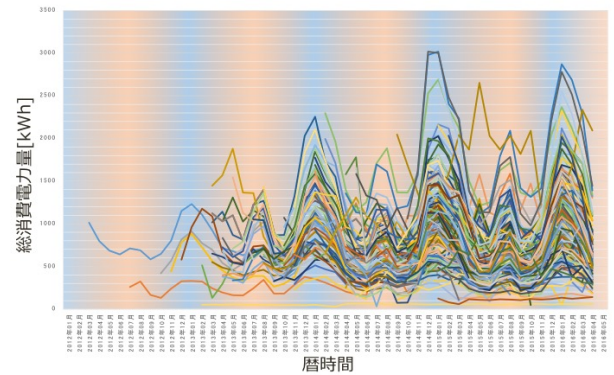
Condition 1: Higher frequency in cycle  
Condition 2: Longer storage time

フィールドデータ解析

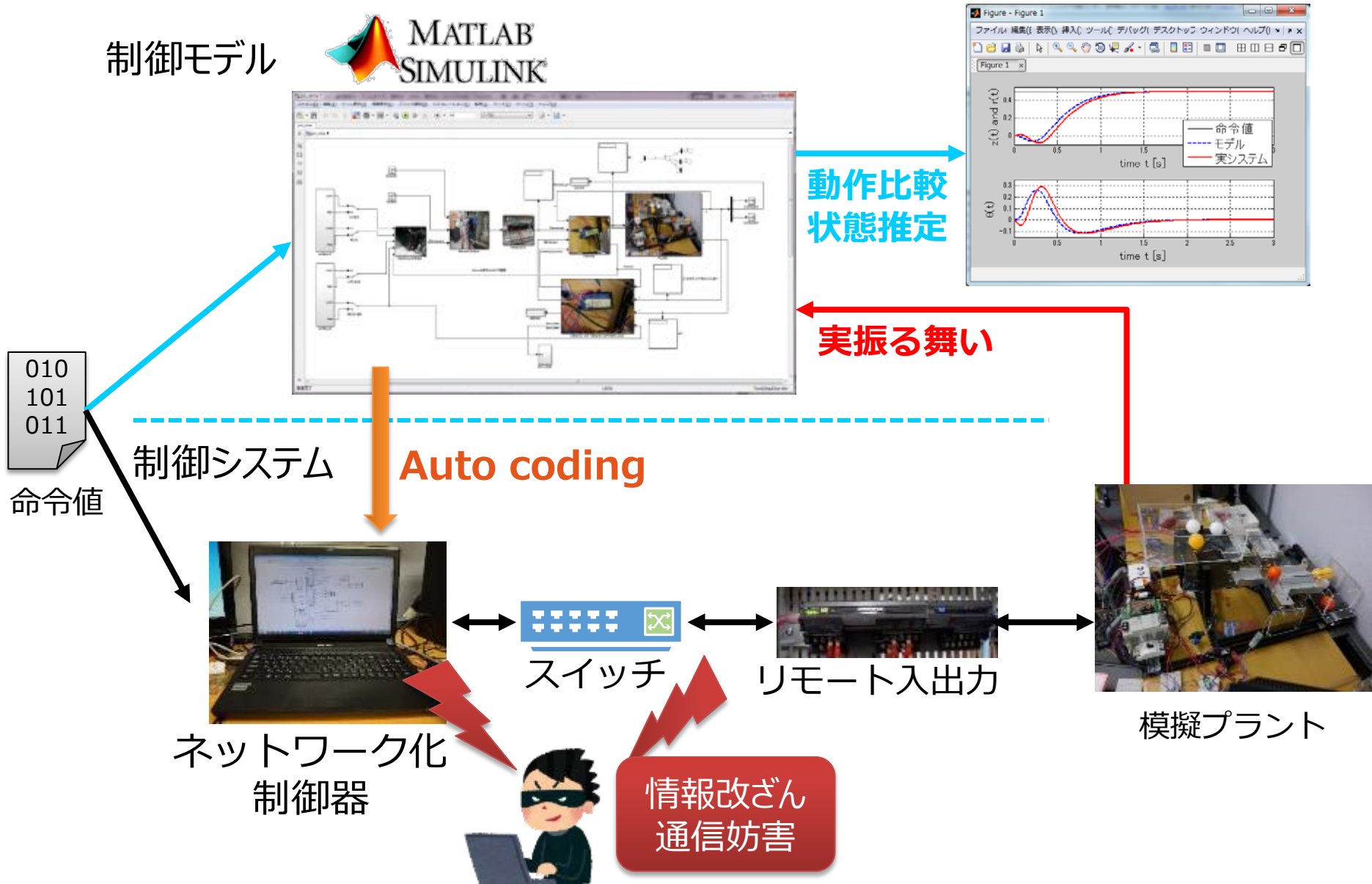
電力消費のクラスター分析



発電/蓄電/消費  
フィールドデータ



# 要素技術：モデルベース制御セキュリティ



# まとめ

1. 成熟グリッド発展型 ⇒ Off-Grid発展型
2. Off-Grid発展型 ⇒ 成熟グリッド発展型
3. 成熟グリッド発展型、Off-Grid発展型共存

インフラに成長する過程を保証するアーキテクチャが重要

