

# 再生可能エネルギーの大量導入を踏まえた構造改革

原田 達朗

九州大学 炭素資源国際教育研究センター

<http://cr.cm.kyushu-u.ac.jp/>

<https://www.facebook.com/CarbonResources.KyushuUniv>

1. 日本の温室効果ガス排出抑制の約束、予想未来
2. 再エネ拡大の取り組みFIT
3. 再エネを多く利用する取り組み(再エネは余剰電力ではない)
4. 需給調整に需要家が参加



## 1. 日本の温室効果ガス排出抑制の約束、予想未来



## パリ合意; COP21

世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して2度未満に抑えること。そして、1.5度以内に抑えることの必要性にも言及。

### 日本の約束草案(2016.05.13閣議決定)

- ① 温室効果ガス削減中期目標(2030年度 26%減、▲3.6億t)の達成に向け取組む
- ② 長期的な目標(2050年80%減を目指す、▲11億t)を見据えた戦略的取組
- ③ 世界の温室効果ガスの削減に向けた取組

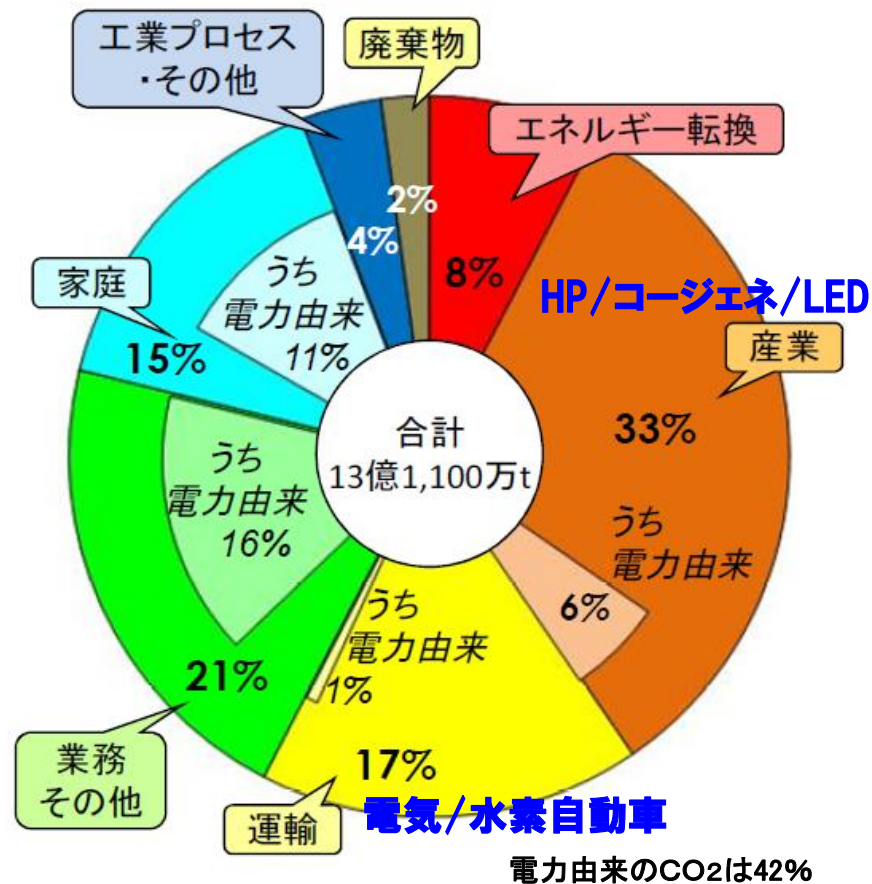
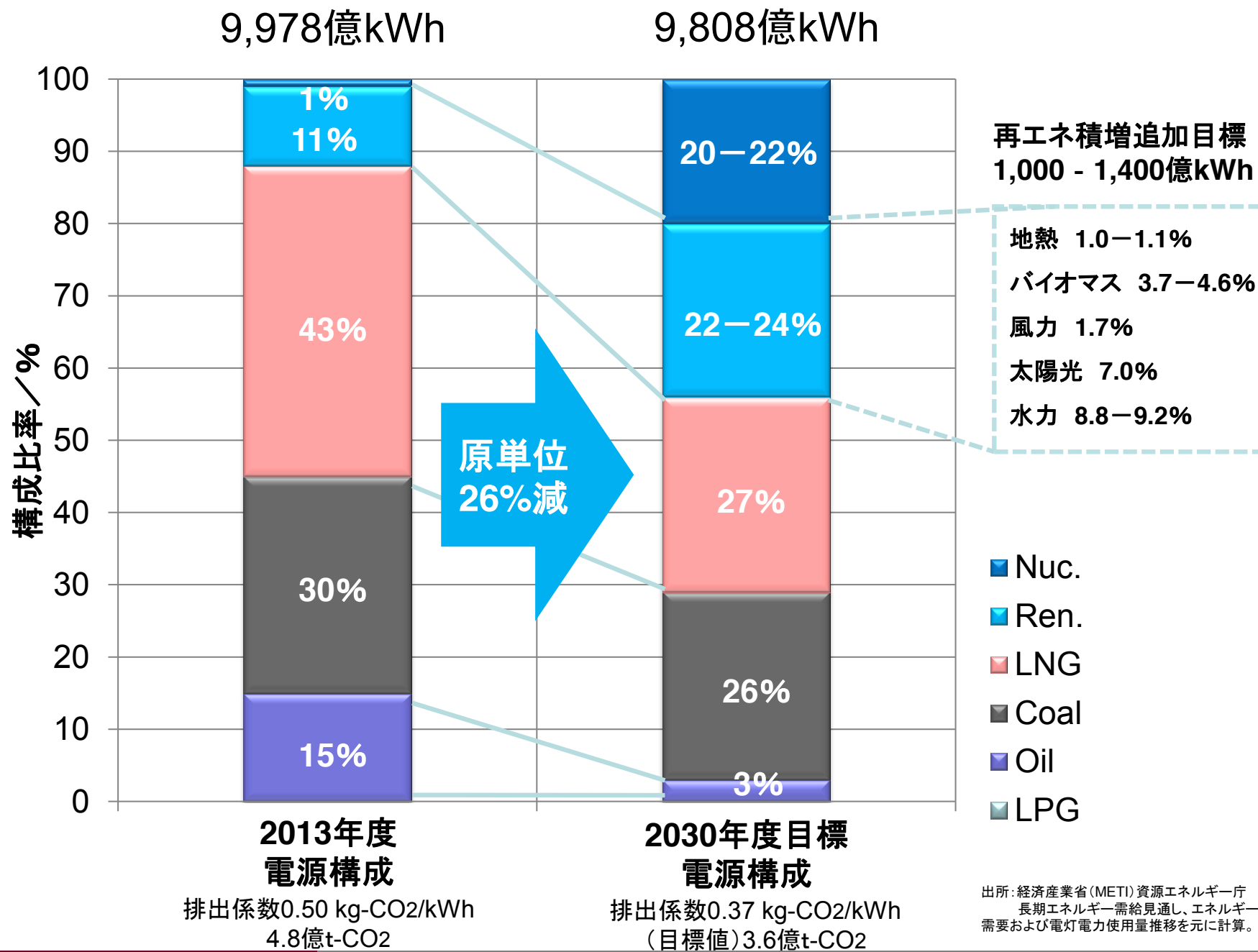


図 我が国の部門別の二酸化炭素排出量(2013年度)  
温暖化対策計画より

# 将来の電源構成目標



## 2030年電源構成達成で期待されるCO<sub>2</sub>削減効果

(資源エネルギー庁「日本のエネルギー」より筆者試算)

2013年度CO<sub>2</sub>排出量 ; 約14億t-CO<sub>2</sub>

内 エネルギー転換部門(発電)によるCO<sub>2</sub>発生量 ; 4.8億t-CO<sub>2</sub>

2030年度CO<sub>2</sub>削減目標: 14億t-CO<sub>2</sub> × 26% = **▲3.6億t-CO<sub>2</sub>**

エネルギー転換部門(発電)のCO<sub>2</sub>削減寄与 ; **▲1.2億t-CO<sub>2</sub>**

4.8億t-CO<sub>2</sub> - (0.37kg-CO<sub>2</sub>/kWh × 9,808億kWh)

**2030年電源構成目標達成で日本の削減目標1/3を達成**

残り2/3の積み増(経済性を確保しつつ)

- 省エネ(LED照明など)
- 熱電気最適化(ガスコージェネ、エネファームなど)
- 電化(エコキュート、HPなど)
- 輸送部門の低炭素化(電気自動車、水素自動車など)
- 再エネ自家消費促進(FITに頼らない拡充)

熱電併給  
電化がポイント

## ▲26%の挑戦(発電技術開発投資)

### Point

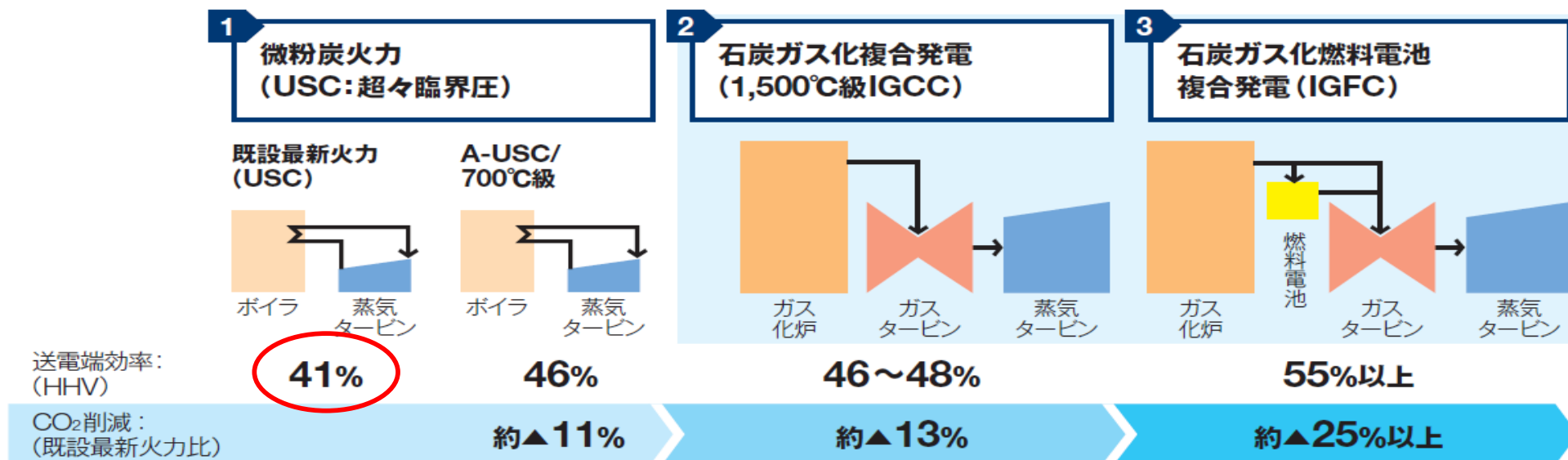
#### ① 火力発電の高効率化

- 発電効率改善余地の大きい(開発投資効率の良い)石炭発電技術への投資

#### ② 再生可能エネルギーの利用

- 火力発電技術と再エネの協調
- **パワーグリッドの考え方リフォーム**

### 次世代の石炭火力発電技術



▲26%の挑戦(運輸部門)

参考 (CO<sub>2</sub> 1kgで移動できる距離)

ガソリン車  
10.0 km/ℓ



4.3 km

普及率(2015.3)  
92.1% 5,570万台

ガソリン  
2.322 kg-CO<sub>2</sub>/ℓ

ハイブリッド車  
26.2 km/ℓ



11.3 km (38%)

普及率(2015.3)  
7.76% 470万台

電気  
0.37 kg-CO<sub>2</sub>/kWh  
(2030年ターゲット)

▲1.4億t

次世代自動車  
10 km/kWh



電気自動車

27.0 km (16%)

▲1.9億t



水素自動車

普及率(2015.3)  
0.19% 11.4万台

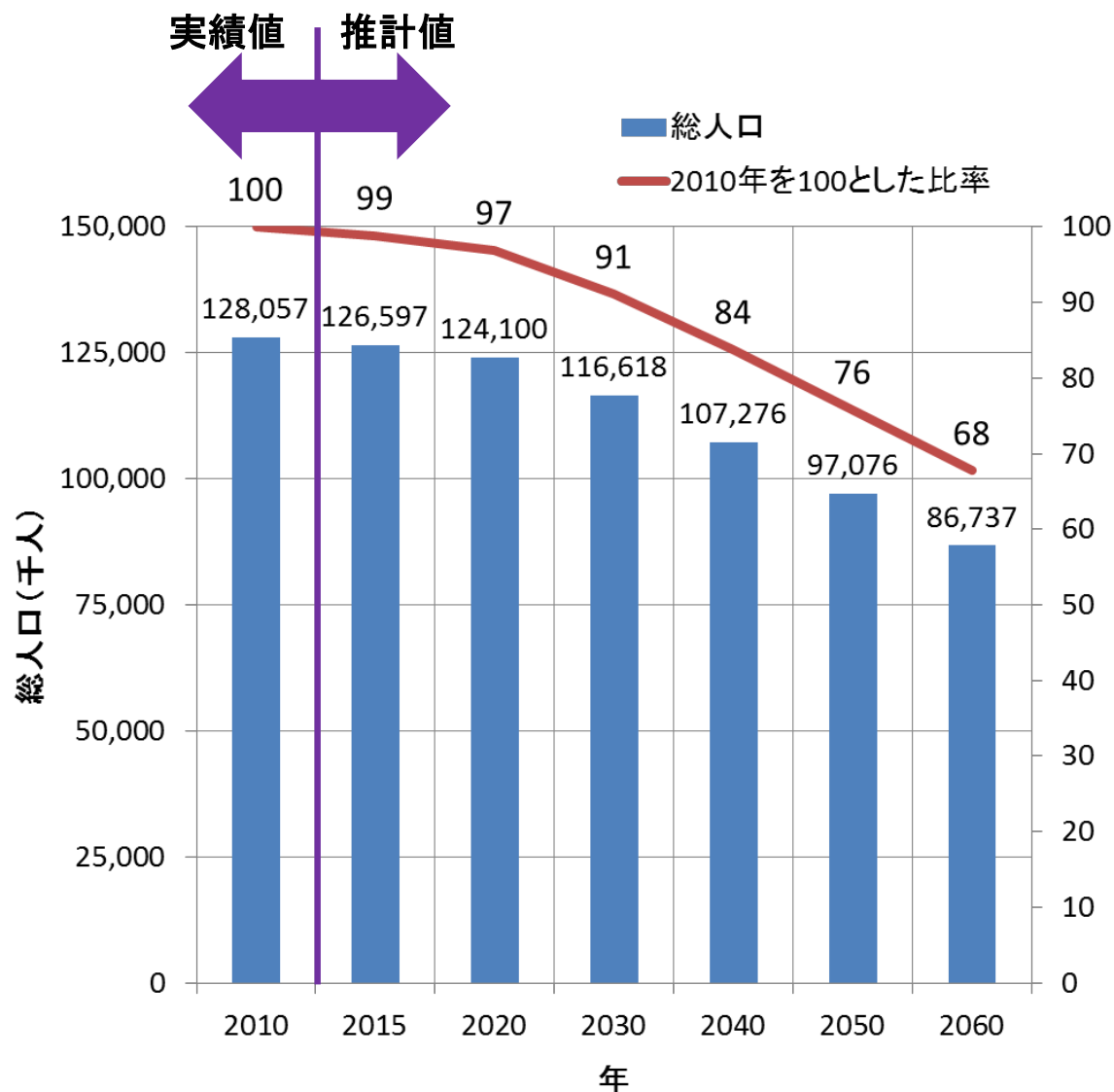
次世代自動車はエネルギー貯蔵/輸送手段としても期待  
イノベーションのキーテクノロジー

<http://blog.evsmart.net/electric-vehicles/ev-phev-market-share/#title02>





# 日本の人口推計



人口減少  
2010年比

2030年 ▲9%

2050年 ▲24%

本格的な人口減少が始まる

- 人口減少を前提とした公共/公益サービスモデルが必要
- 地方都市は先行的に変革
- 自治体の努力差で格差が生じる

人口減少を見据えたモデルが必要

内閣府HPデータより計算

[http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2012/zenbun/s1\\_1\\_1\\_02.html](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2012/zenbun/s1_1_1_02.html)

資料:2010年は総務省「国勢調査」、2015年以降は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成24年1月推計)」の出生中位・死亡中位仮定による推計結果

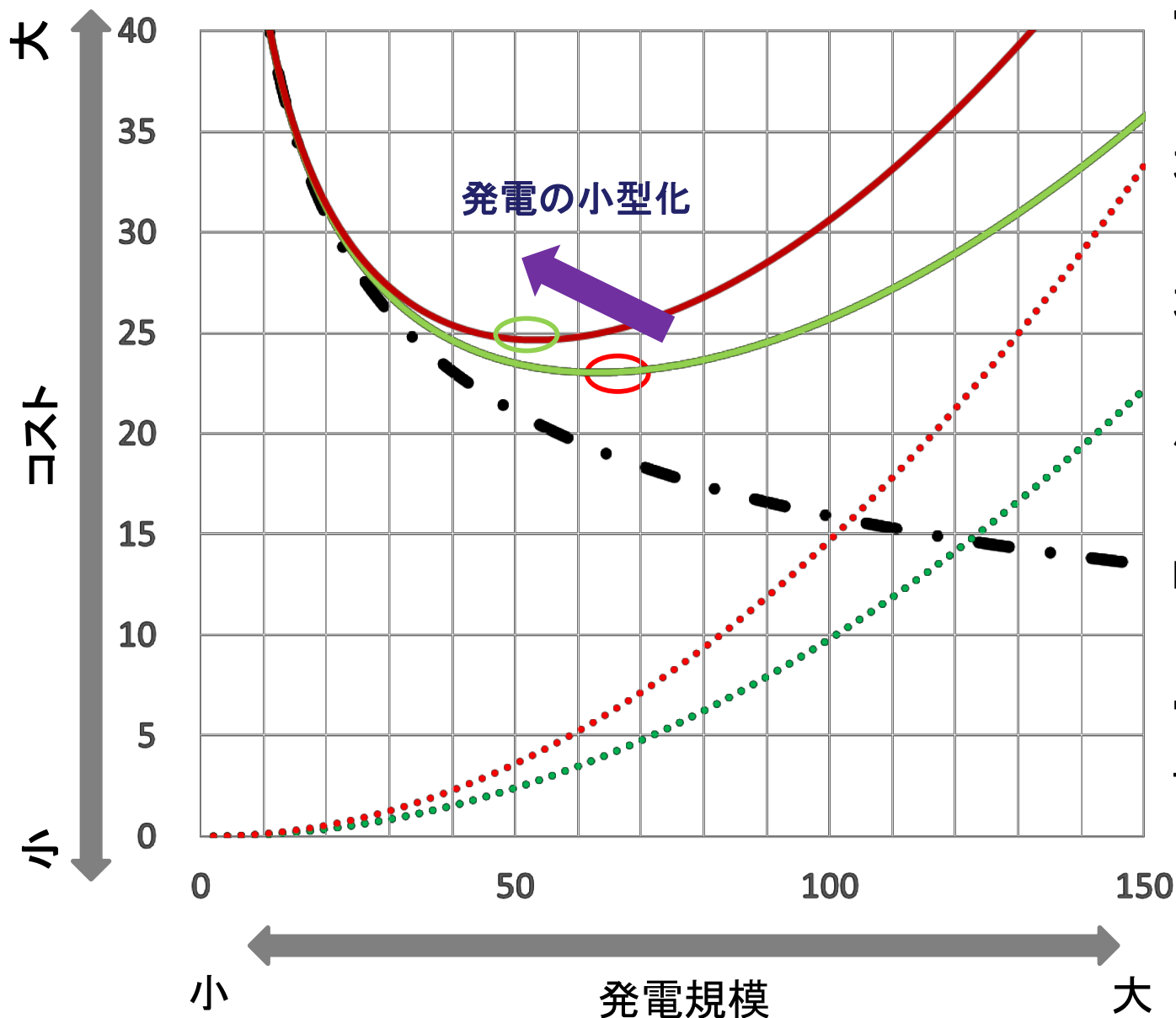
## 人口減少/省エネ(低炭素)で電力需要密度低下

- 人口減少と低炭素指向(省エネ)で需要密度減少
- 各電源は発電電力販売エリア拡大(託送距離が延びる)
- 大型電源の経済優位性が消滅(小型(分散)電源のほうが有利)



# 人口減少/省エネ(低炭素)で電力需要密度低下

発電原価: 輸送コスト: 電気の原価:



電力輸送コスト上昇



大規模電源の優位性薄れる



大規模電源の役割

(ベースロード)

小型/分散電源の役割

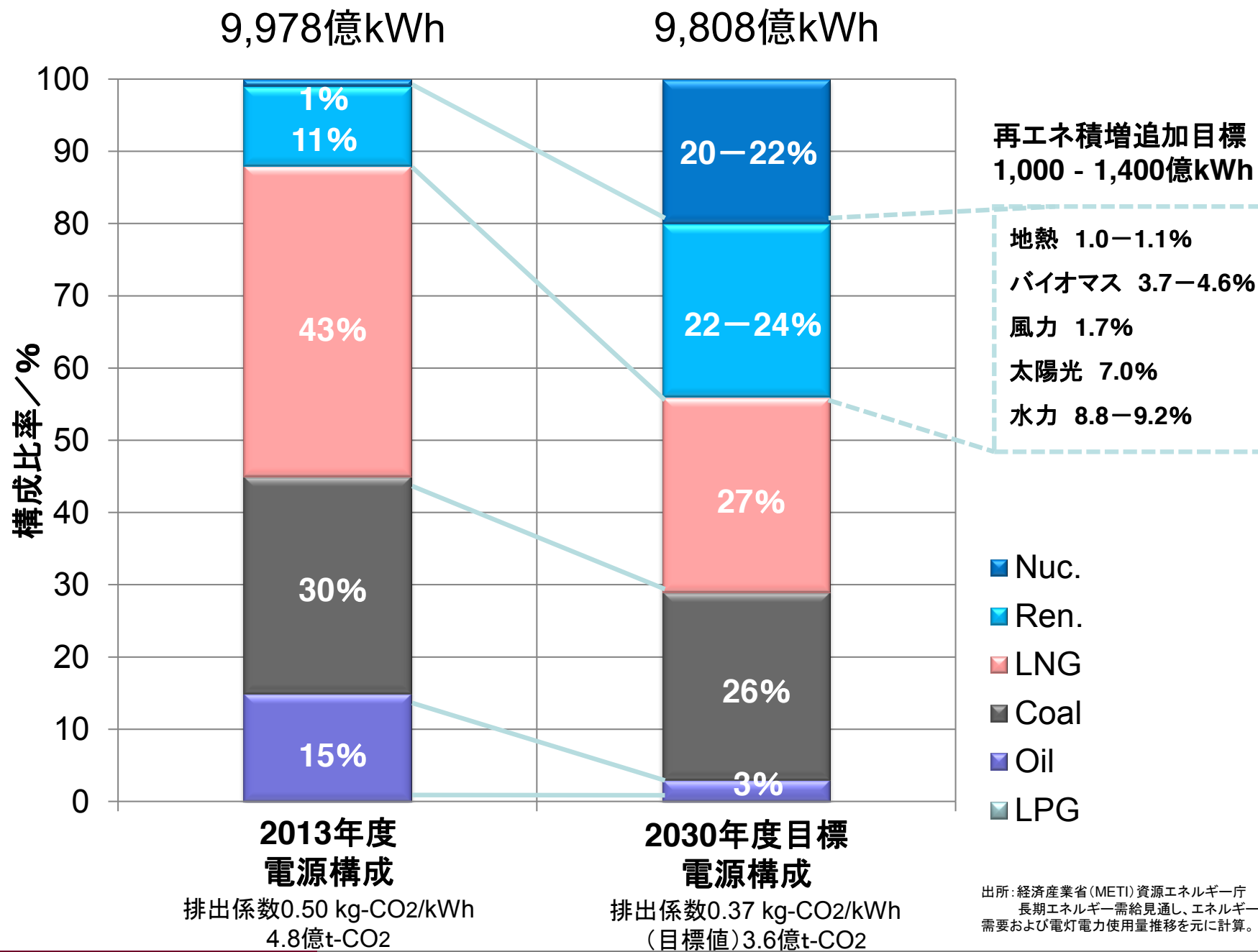
(調整機能: Local Energy Management)

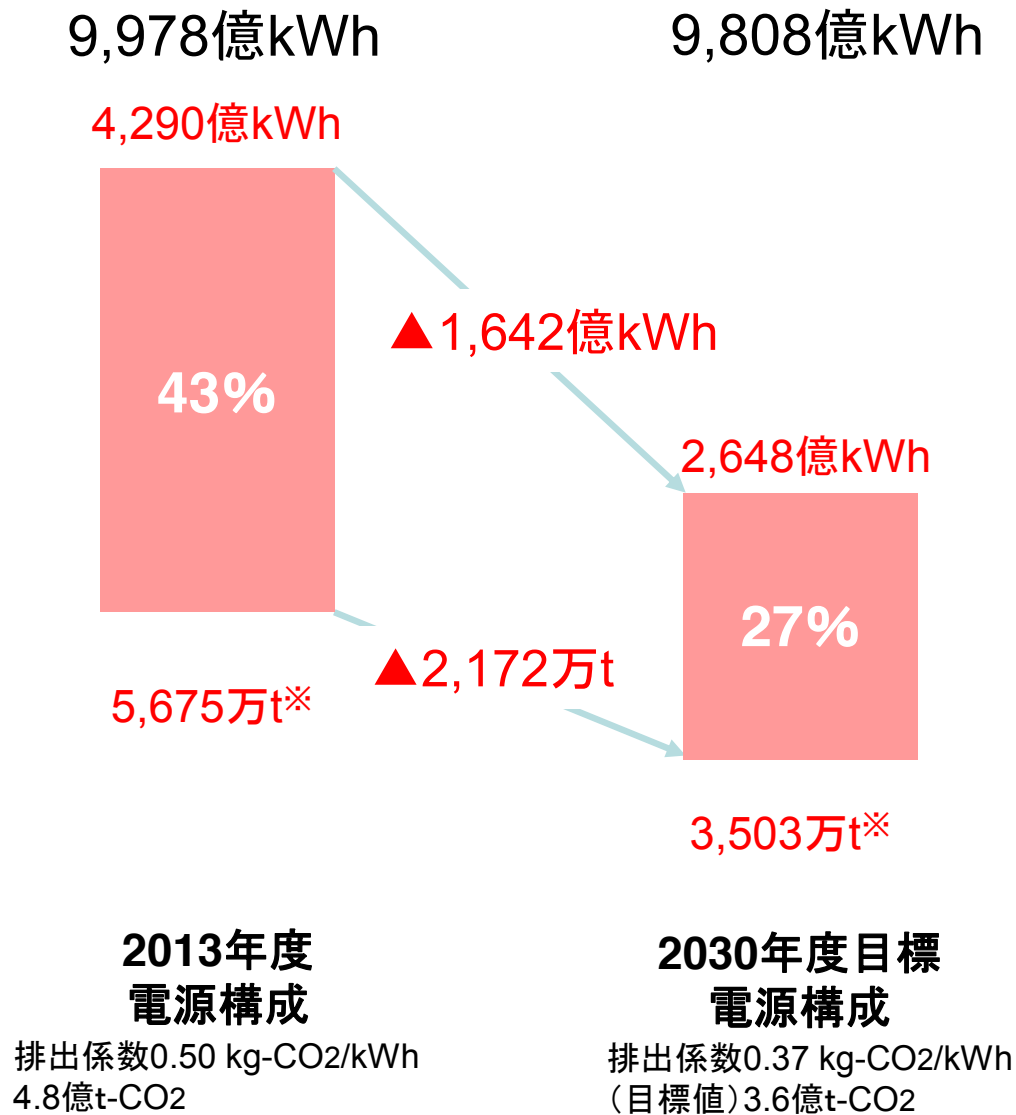


電力需給は電源と需要家が協力する時代



# 将来の電源構成目標





LNGのシナリオ

- ① 発電で使用するLNG需要が2,000万t縮小する。  
⇒ 余剰ガスの行方？  
小型分散電源燃料の価格低下
- ② LNG火力発電利用率が40%低下  
⇒ 設備の整理  
余剰設備の活用

※ 7.56 kWh/kg

- ・ LNG火力発電効率50%と想定
- ・ LNG発熱量 54.5MJ/kg (13,000 kcal/kg)

日本の調達量  
約8,800万トン  
(世界シェア約36%)

(事実)

◆ 低炭素、省エネ社会への転換を進めなければならない

◆ 日本の人口は減少に転じた

＜事実を受け止め、日本経済を後退させない戦略および将来の準備が必要＞

● 再エネ大量導入は必達

● 運輸部門をはじめ、様々なものが電化へと向かう。電力消費サイドも需給調整を担う

● IoTは供給と需要が連携し安定供給を達成する社会システムを支援する。さらに、このエネルギー情報を新たな社会サービス(社会福祉、交通etc)に展開

● 化石資源への依存を弱める低炭素社会で、ダイナミックな構造改革の可能性(LNG需要減退、石油依存度低下)



## 2. 再エネ拡大の取り組みFIT



### <2030年単純試算>

360億kWhのFITで1.3兆円(1.4円/kWh)(2015年1月実績)

3.9倍

1,400億kWhのFITは5.1兆円(5.7円/kWh)程度の負担になる可能性

単純計算で、2030年には1家庭1,710円/月の負担、20年間で41万円/家庭

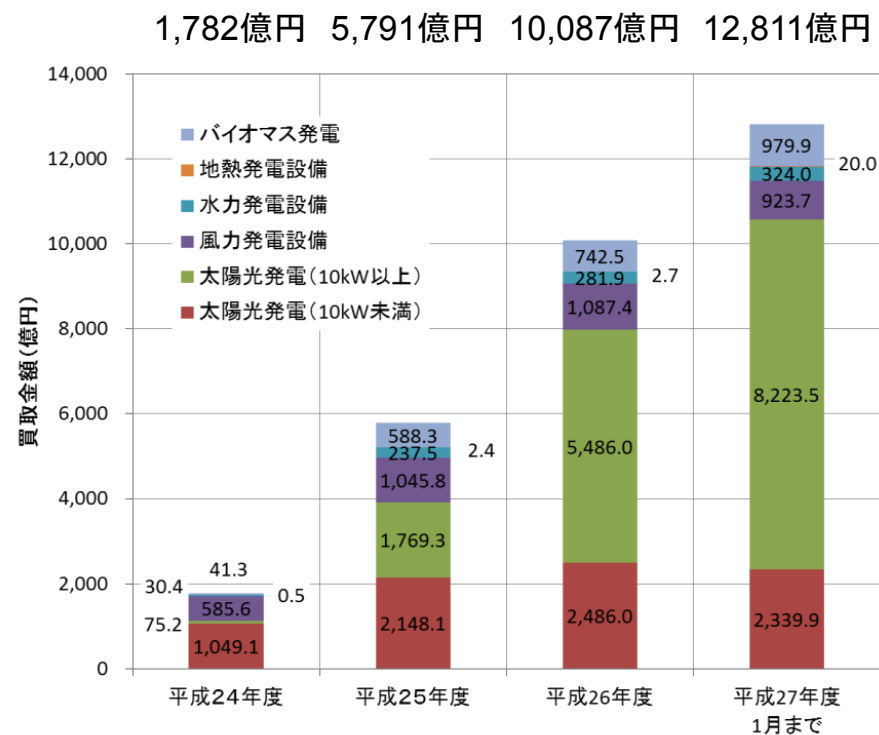
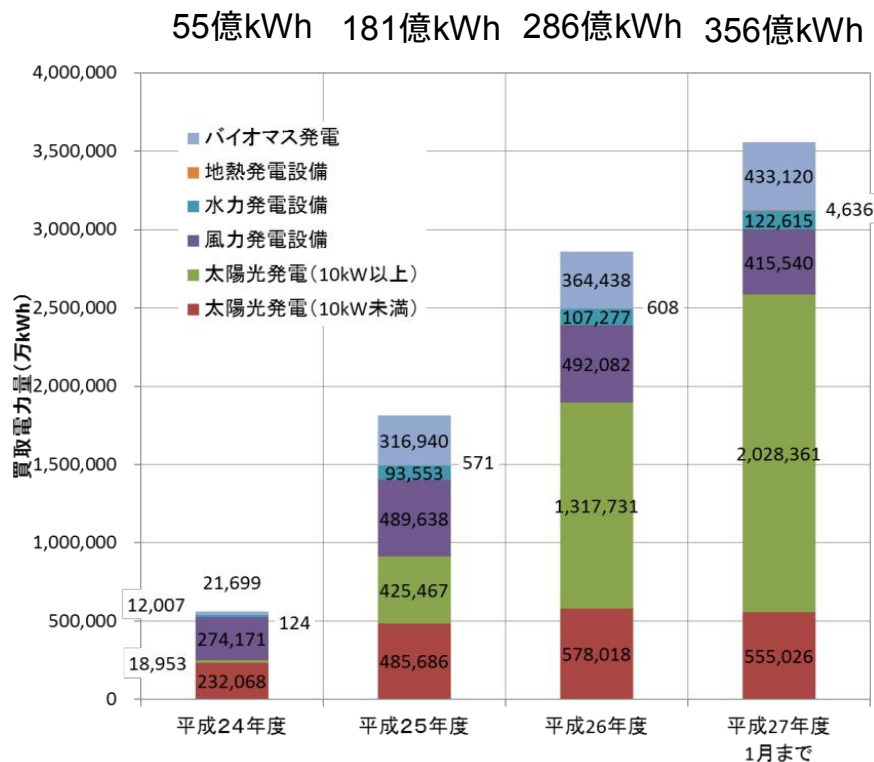


図 再生可能エネルギー固定価格買取制度実績(H24年度—H28年1月)

経済産業省資源エネルギー庁HPデータより試算  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaito/ri/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaito/ri/)





# FITの負担

# FITサーチャージ(再エネ賦課金)

	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度
収支の当初見込み (賦課金総額)	1306億円	3289億円	6520億円	1兆3222億円	1兆8025億円
賦課金単価 (標準家庭月額)	0.22円/kWh (66円/月)	0.35円/kWh (105円/月)	0.75円/kWh (225円/月)	1.58円/kWh (474円/月)	2.25円/kWh (675円/月)

賦課金収入の実績 (賦課金単価×販売電力量実績)	1302億円	3190億円	6360億円	1兆3168億円	-
交付金としての支出 の実績 (買取費用実績-回避可能費用実績)	1220億円	4008億円	7310億円	1兆1675億円	-
差額 (賦課金総額-交付金総額)	+82億円	▲818億円	▲950億円	1493億円	-
納付金と交付金の差額 (累積額)	+82億円	▲736億円	▲1686億円	▲193億円	-

(注1) 平成27年度の賦課金収入の実績・交付金としての支出の実績・差額は一部推計。  
 (注2) 旧制度(余剰太陽光買取制度)の付加金を含んでいない。  
 (注3) 平成27年度の賦課金単価は、平成26年度までの交付金財源不足分(1686億円)への対応を含めて算定している。

**FIT(再生可能エネルギー固定買取制度)は再エネ普及、機器コスト低減に貢献再エネ機器コスト低減で再エネは新たなステージを模索**

< 賦課金単価算定根拠 >

賦課金単価 2.25 円/kWh =

①買取費用 2兆3000億円 - ②回避可能費用 4975億円 + 費用負担調整機関事務費 2.9億円

③販売電力量 8025億 kWh

(内訳)

	平成27年度における想定	平成28年度における想定	主な要因
①買取費用	1兆8370億円	2兆3000億円	・平成28年度から新たに運転開始する設備の増加分及び住宅用太陽光の稼働率の向上
②回避可能費用	5148億円	4975億円	・燃料調整費の低下に伴う、回避可能費用の低下リスクを勘案
③販売電力量	8366億 kWh	8025億 kWh	・前年の販売電力量実績から、近年の減少傾向を踏まえて算出*

※減免費用のうち、賦課金負担となる分の電力量を控除



< 再エネ賦課金の算定方法 >

(平成28年5月分の電気料金から適用される単価)

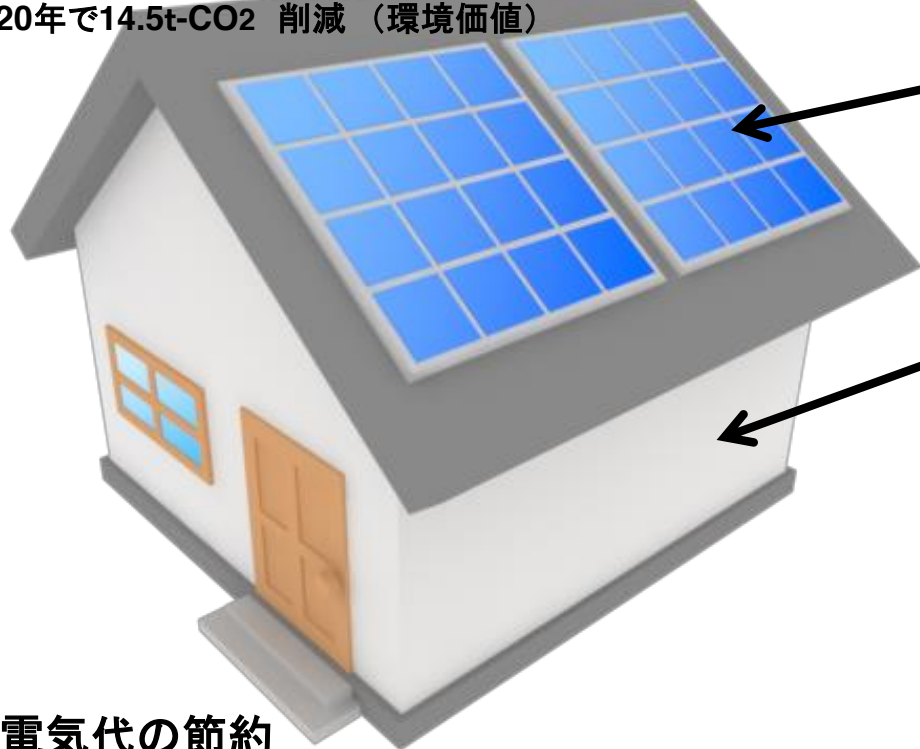
再エネ賦課金 = ご自身が使用した電気の量(kWh) × 2.25円/kWh\*

※1 ただし、大量の電力を消費する事業所で、国が定める要件に該当する方は、再生可能エネルギー賦課金の額の8割が減免されます。

# 自家消費太陽光の可能性

## 環境価値

$1,100\text{kWh}/\text{年} \times 0.66\text{kg} - \text{CO}_2/\text{kWh} = 726\text{kg} - \text{CO}_2/\text{年}$  削減  
20年で14.5t-CO<sub>2</sub> 削減 (環境価値)



1kW(10m<sup>3</sup>)の太陽パネルは1年間で約1,100kWhの電気を発生  
20年間で22,000kWhの電力を作る

平均的な家庭の電力消費量は300kWh  
/月年間3,600kWhの電力を消費

## 再エネ賦課金の節約

1kWの太陽パネルの電気を自家消費すると、  
 $1,100\text{kWh}/\text{年} \times 5.7\text{円}/\text{kWh} = 6,270\text{円}/\text{年}$   
20年の耐用年数で  
 $6,270\text{円}/\text{年} \times 20\text{年} = 125,400\text{円}$   
の再エネ賦課金節約になる

## 電気代の節約

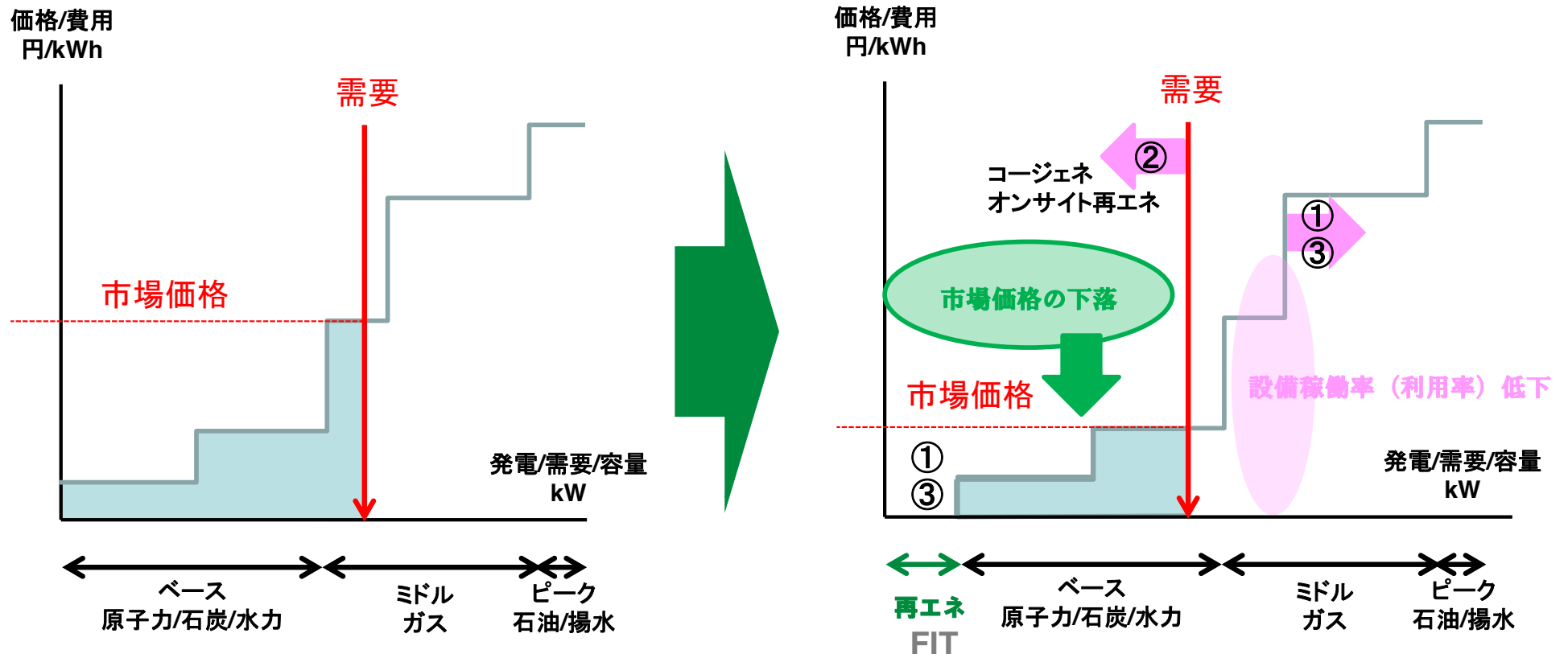
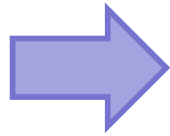
1kWの太陽パネルの電気を自家消費すると、  
 $1,100\text{kWh}/\text{年} \times 26\text{円}/\text{kWh} = 28,600\text{円}/\text{年}$   
20年の耐用年数で  
 $28,600\text{円}/\text{年} \times 20\text{年} = 572,000\text{円}$   
の電気代節約になる

自家消費再エネ設備導入という選択肢  
1kWの太陽光設備は20年耐用期間で  
電気代572千円、再エネ賦課金125千円  
合計697千円/kW便益



# メリットオーダー(再エネ普及の影響:特に限界費用ゼロ電源普及拡大)

- ✓ 原子力復帰、償却済再エネ電源拡大による余剰拡大 (低コスト電源)
- ✓ ガスコージェネなど小型熱供給電源の普及 (需要家サイドCO2削減、省エネの進展)
- ✓ 太陽光、風力などの燃料費のない電源建設費低下 (限界費用ゼロ電源増加)
  - ✓ 低コスト電源の市場持込み量拡大 (① 市場価格下落)
  - ✓ 自家消費増加 (② 市場価格下落)
  - ✓ 限界費用のない安価な電源増加 (③ 市場価格低下)



# JEPX平均システム価格推移

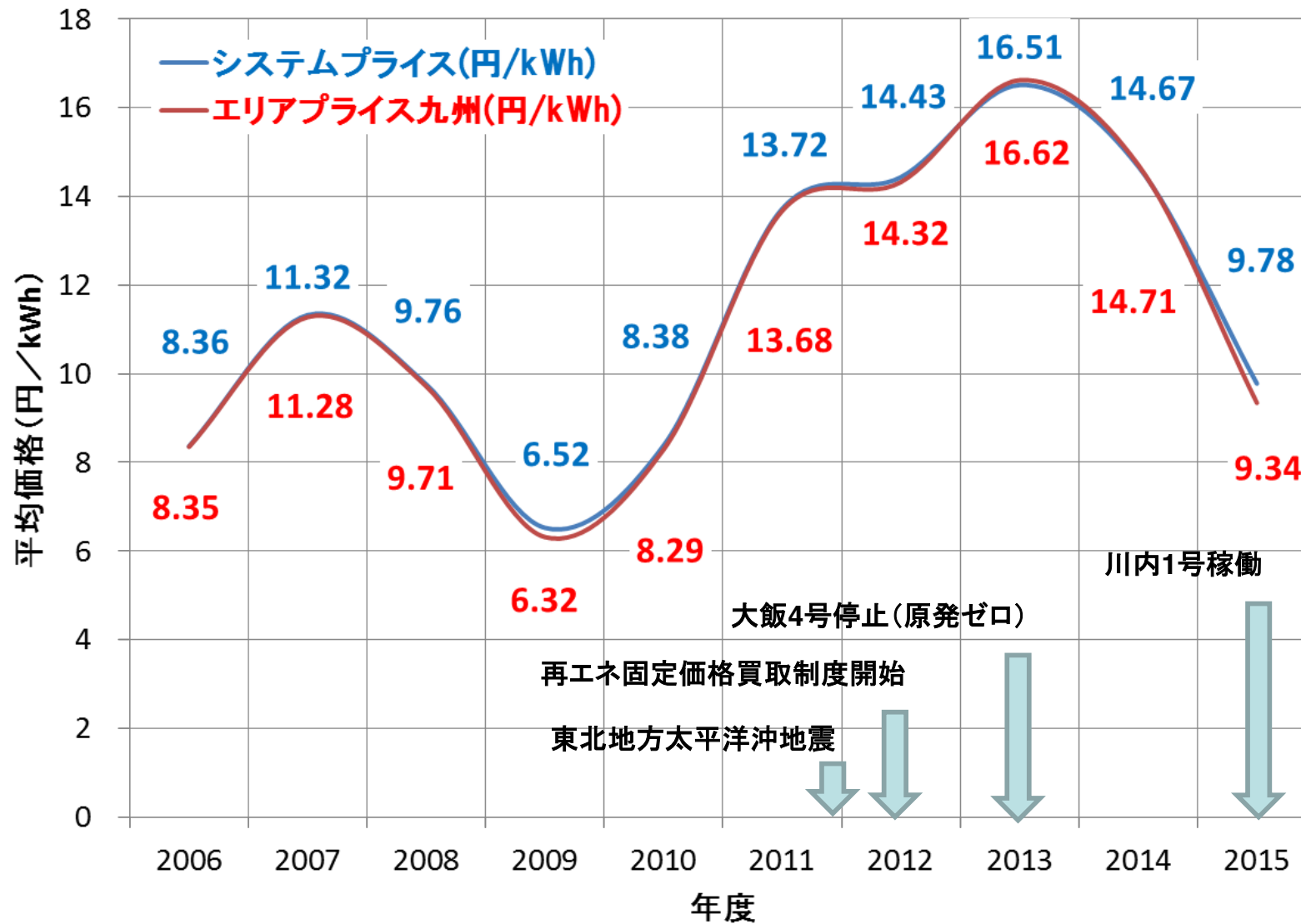


図 日本卸電力取引所年度別平均市場価格

JEPXスポット取引市場結果より筆者計算



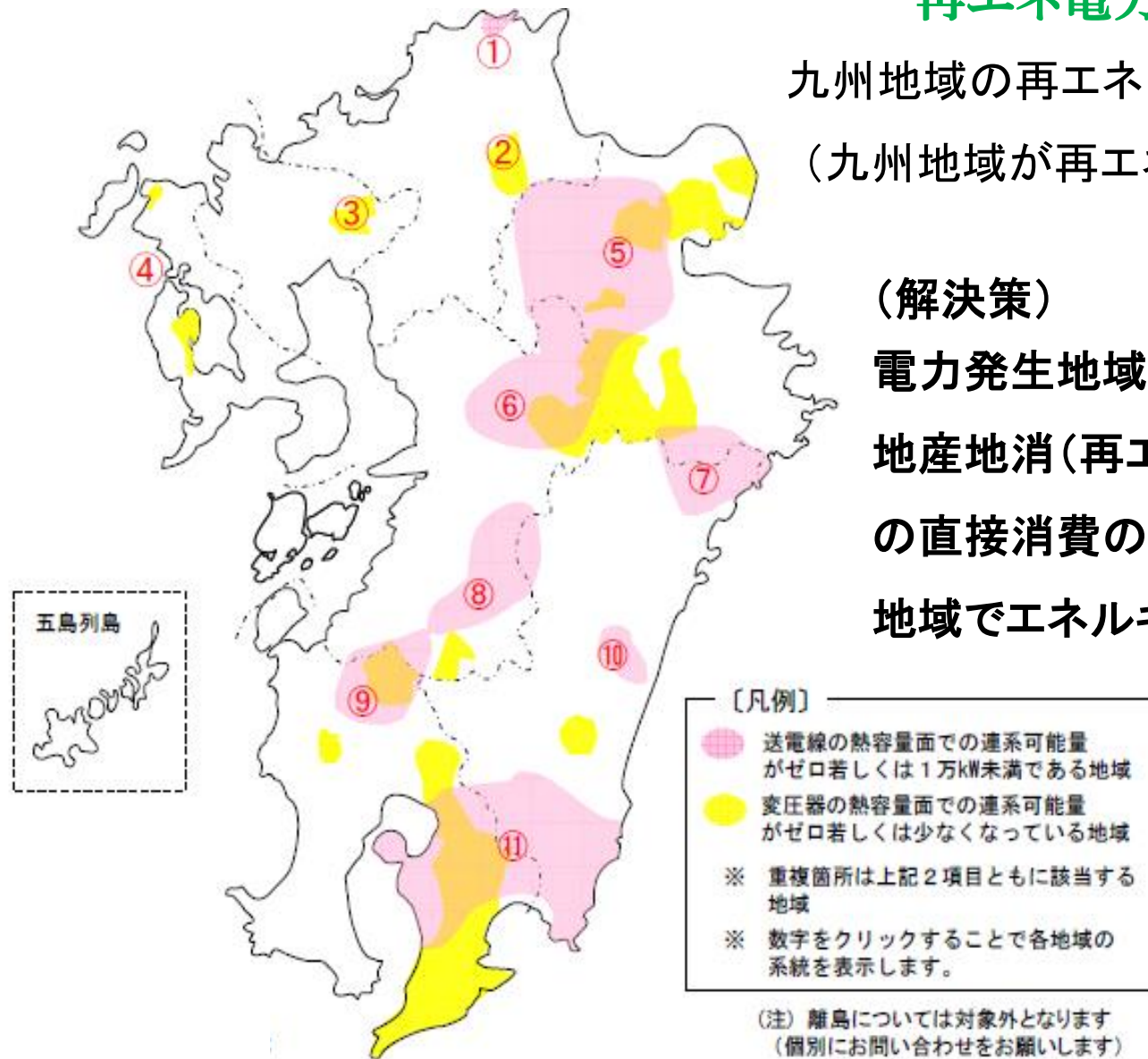
## 再エネ電力は遍在する

九州地域の再エネは既に系統連系が困難化  
(九州地域が再エネ適地であることの矛盾)

(解決策)

電力発生地域での、電力消費を促進  
地産地消(再エネ電力発生近隣地域での直接消費の促進)

地域でエネルギー需給をマネジメント



本来再エネは自家消費、ないしは限られたエリアでの消費(地産地消)が原則。

使いきれない分だけ送電

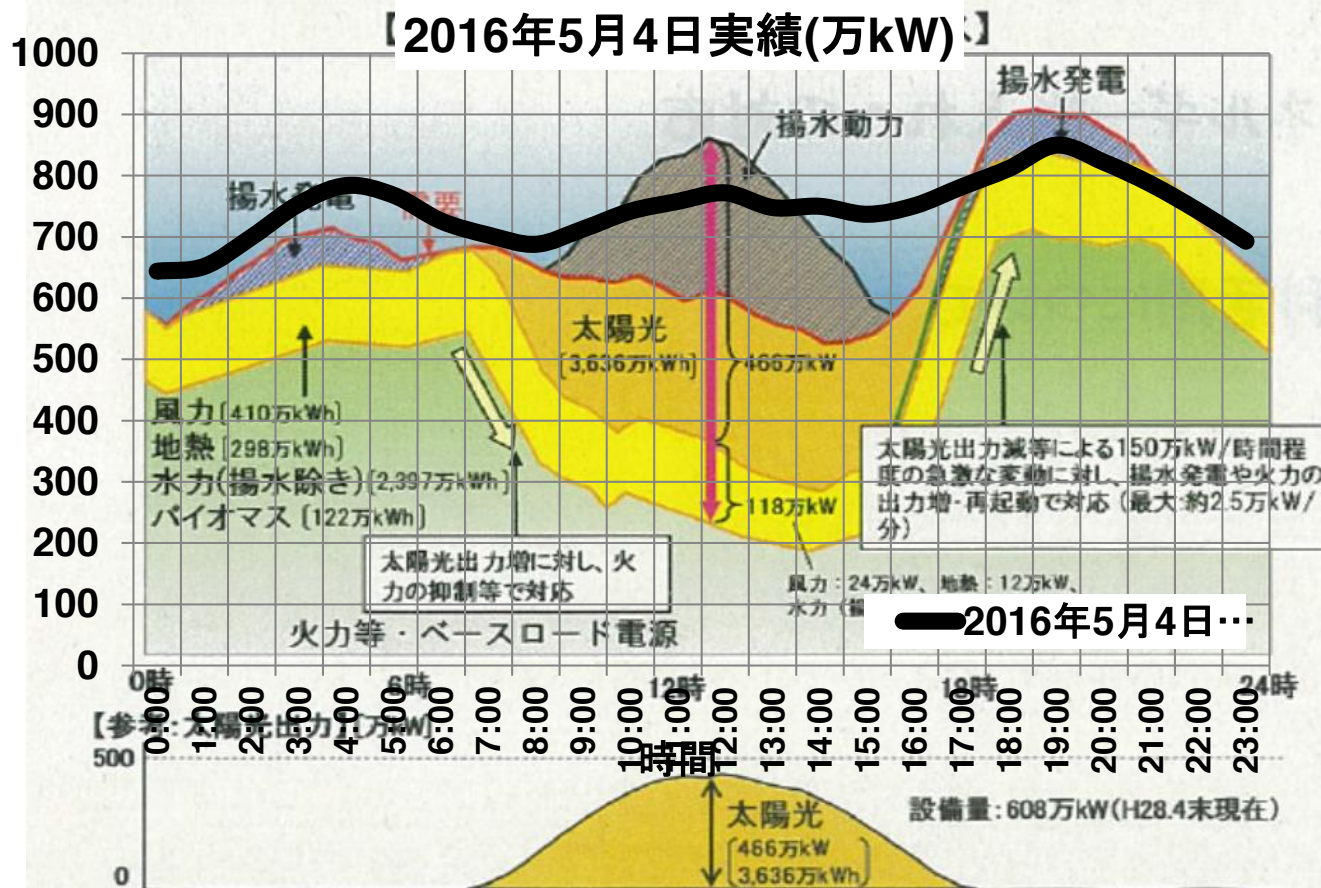
### 3. 再エネを多く利用する取り組み(再エネは余剰電力ではない)





# 震災後の九州電力最小需要

- 震災、FIT制度導入後最低需要日ピークは2割減少(900万kW⇒750万kW)
- 日間最大需要748万kWに対し、太陽光ピーク出力466万kW(6割)。玄海原子力復帰で2017年は再エネ出力抑制実施を示唆  
(原子力復帰で再エネを抑えるのは本末転倒)



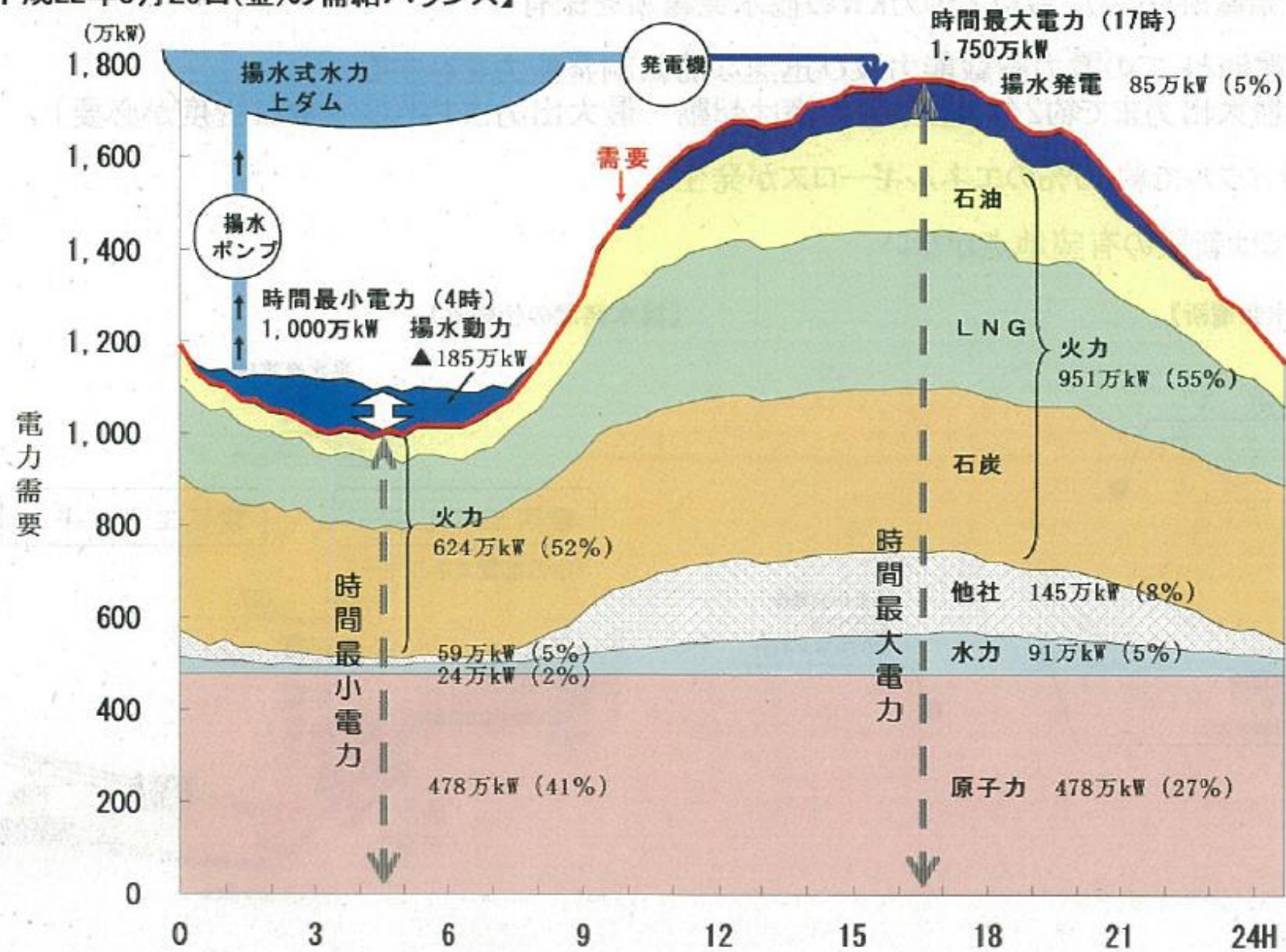
【再エネ発電実績】

天気	晴
需要(13時)	748万kW
再エネ電力	584万kW(78%)
日電力量	1.8億kWh
再エネ日電力量	0.7億kWh(38%)

九州電力  
SMBC九州水素フォーラム資料より

# 震災前の九州電力最大需要

【平成22年8月20日(金)の需給バランス】



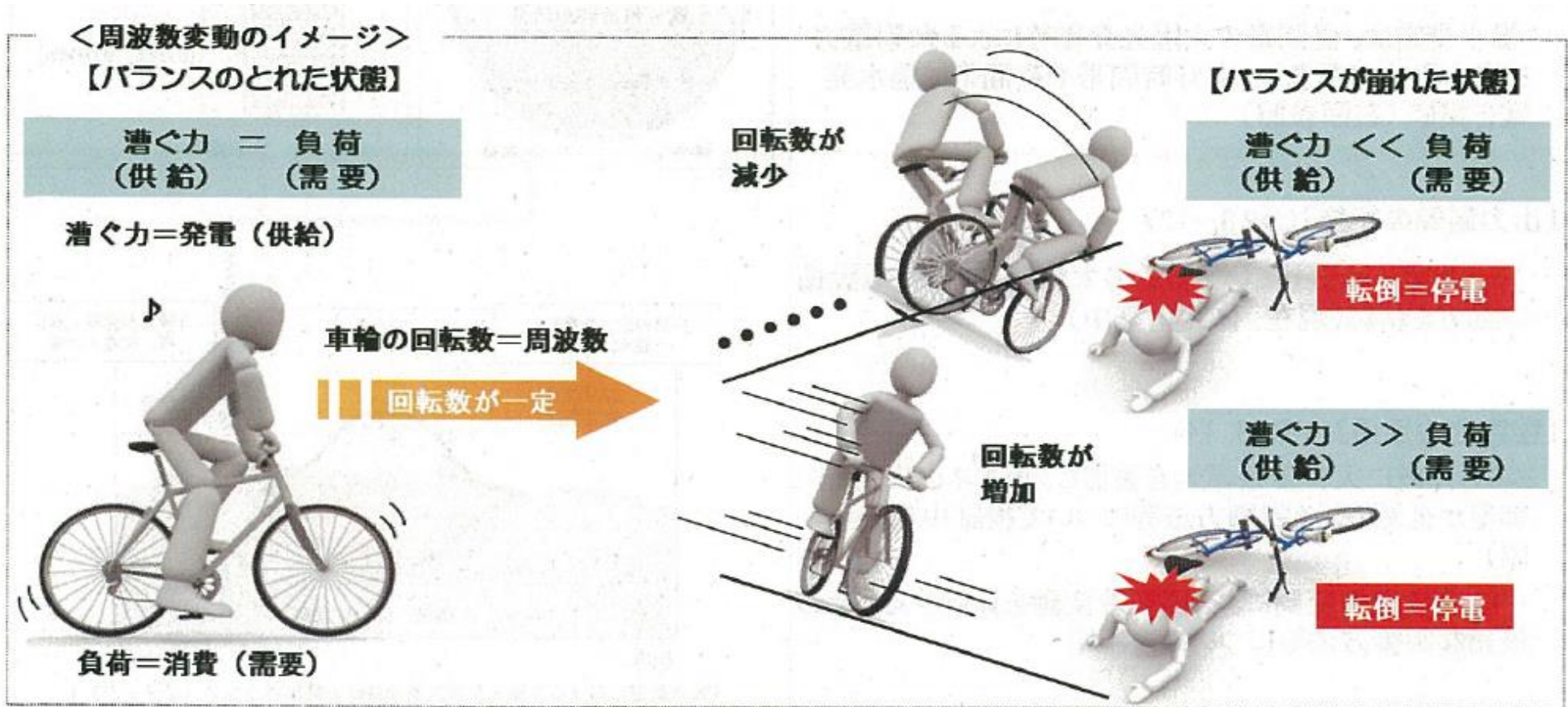
九州電力  
SMBC九州水素フォーラム資料より





# 電力需給について(電力会社で良く聞く説明)

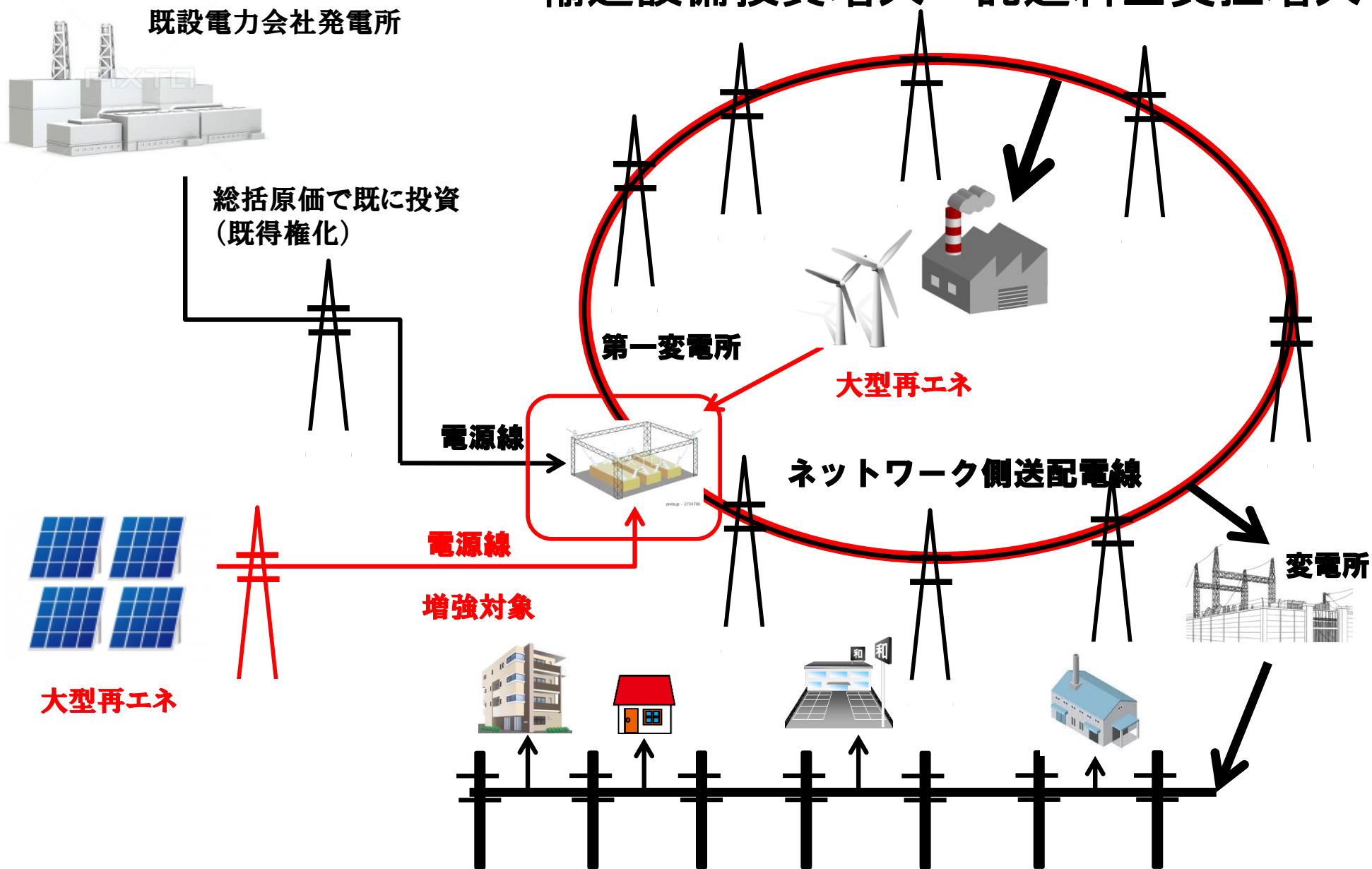
- 電力需給調整がうまくゆかないと信頼性が大きく揺らぐことを説明
- 電力供給サイドだけで調整する前提の思考
- 需要家も需給に参加できる(地産地消、地域電力)・需要によって坂道の角度を変える



電力需給をブレーキのない自転車で坂道(上り坂、下り坂)を運転するイメージで説明

九州電力  
SMBC九州水素フォーラム資料より

## 輸送設備投資増大 = 託送料金負担増大



## 日本の電源ネットワーク投資抑制のために(将来の不良債権抑制)

あるエリアにおける発電設備  $i$  の容量 :  $G_i$

$$(\text{電源線/第一変電所容量}) = \sum_{i=1}^n G_i \quad (\text{注意: 設備稼働率は考慮されていない})$$

あるエリアにおける需要設備  $i$  の容量 :  $D_i$

$$(\text{ネットワーク側送配電容量}) = \sum_{i=1}^n D_i \quad (\text{注意: 電力需要は電源設備増加ほど増えない})$$

今後、稼働率の小さな再エネFIT電源がエリアで大量普及  $\sum G_i \gg \sum D_i$

現状の電力ネットワーク設計では、電源側送電設備投資が $\infty$ に膨れ上がるリスク大。  
(需要が増えないネットワーク側容量は一定でも電源側ネットワーク投資のみ増加)

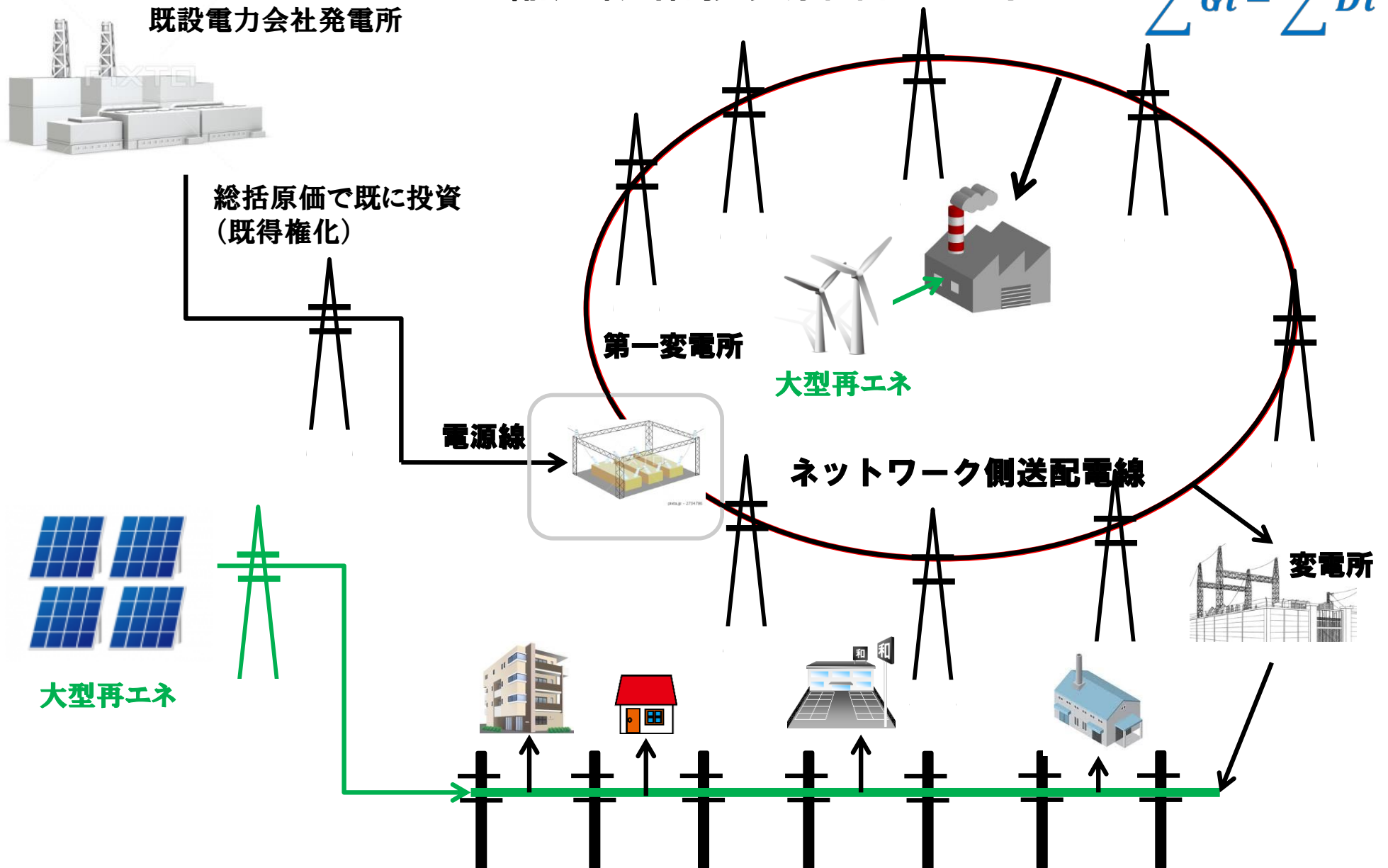


**エリア需要家が連携しエリア内(近隣)の電源を優先的に活用**

# プライベートグリッドによる再エネ利用

## 輸送設備投資抑制にも寄与

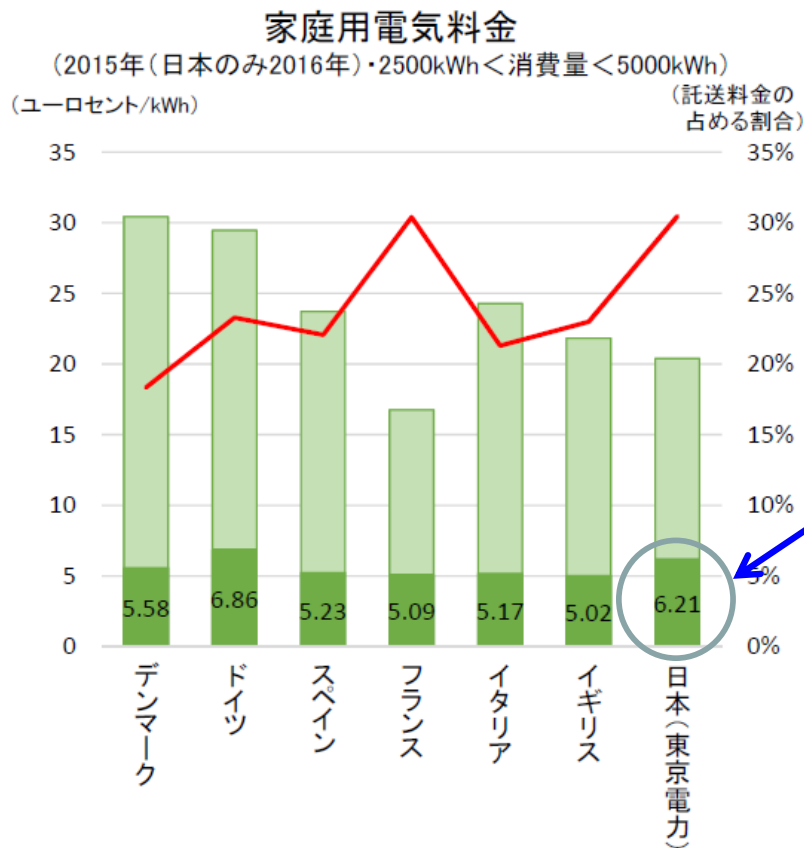
$$\sum Gi - \sum Di$$



# 託送料金

日本は託送料金が異常に高い(電力調達コストの約30%は託送料金)

地産地消など電力消費をローカライズすることで、大幅なコスト削減の可能性がある



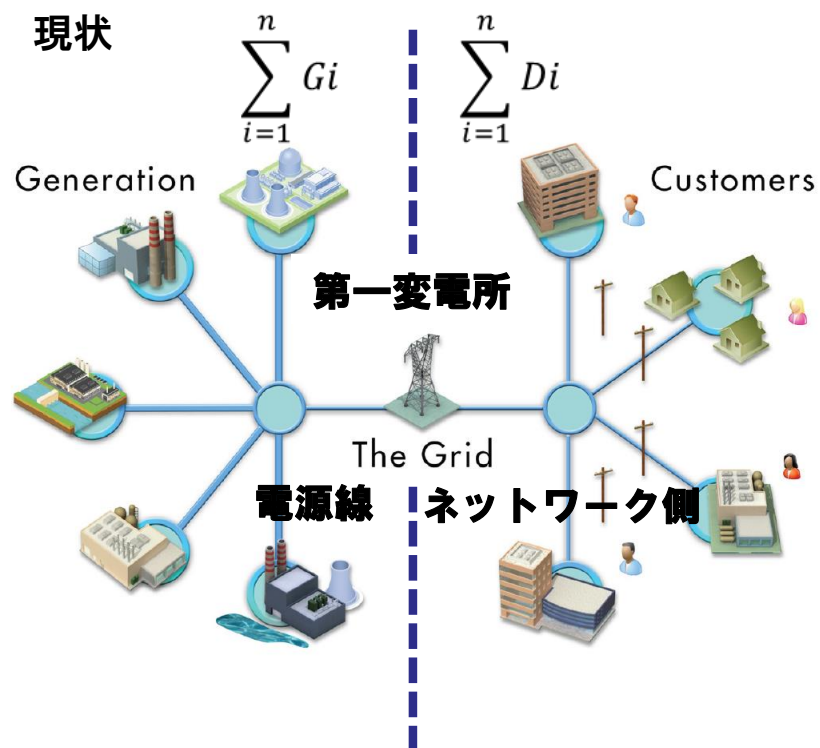
	低圧	高圧	特別高圧
北海道電力	8.76円程度	4.17円程度	1.85円程度
東北電力	9.71円程度	4.50円程度	1.98円程度
東京電力	8.57円程度	3.77円程度	1.98円程度
中部電力	9.01円程度	3.53円程度	1.85円程度
北陸電力	7.81円程度	3.77円程度	1.83円程度
関西電力	7.81円程度	4.01円程度	2.02円程度
中国電力	8.29円程度	3.99円程度	1.62円程度
四国電力	8.61円程度	4.04円程度	1.79円程度
九州電力	8.30円程度	3.84円程度	2.09円程度
沖縄電力	9.93円程度	5.20円程度	3.01円程度

■ 単価(ユーロセント/kWh) ■ Network costs(託送) — 託送料金の占める割合

平成28年6月29日(水) 消費者庁  
消費者委員会第4回電力託送料金に関する調査会

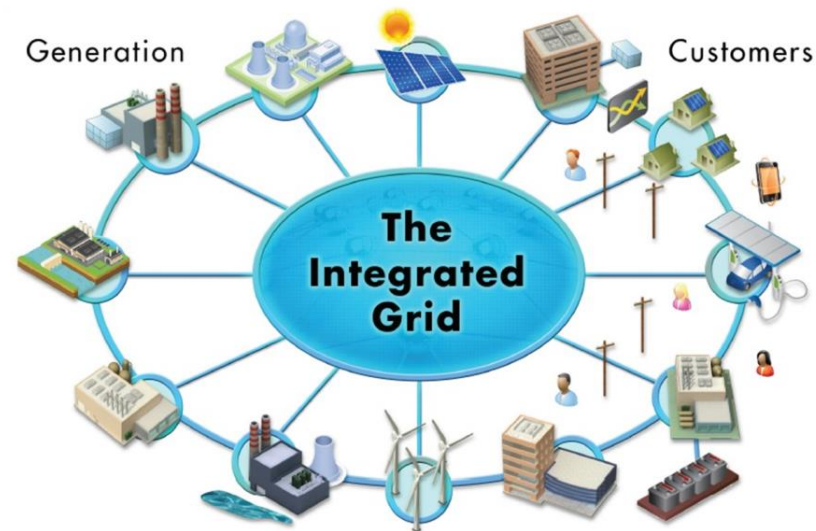


# 需給調整をローカライズする必要性



エネルギー地産地消の促進

$$\left| \sum G_i - \sum D_i \right|$$



<http://www.windpowerengineering.com/design/electrical/grid/e-pri-unveils-study-integrated-electric-grid/>

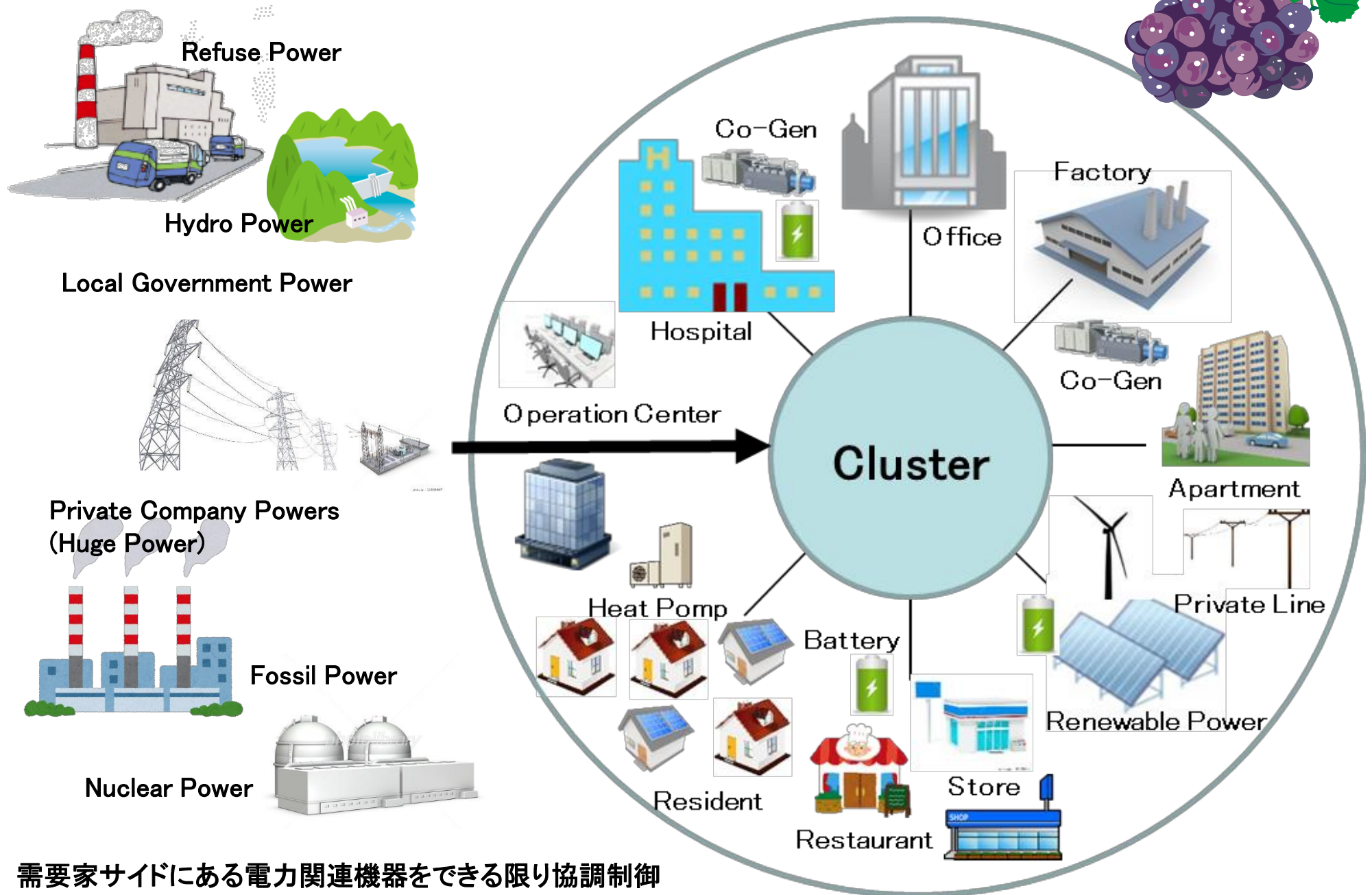
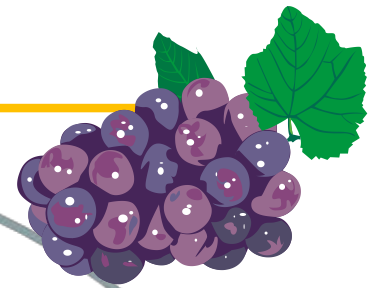
- 2030年の再エネ利用目標を達成するには、再エネを劇的に拡大する必要がある。
- 現状のネットワークシステムは、地域に小型分散する再エネ電源など稼働率の小さな電源でも許認可出力容量で系統関係コストを試算。
- 再エネ大量活用時には、自家消費、近隣エリアで消費すること(公共グリッドを使わない)は有効(地産地消)。
- 地域のコージェネ電源、あるいは電池、電気湯沸かし器などを活用すれば、エリアで電力をマネジメントすることも可能(LEMS、IOE)。



#### 4. 需給調整に需要家が参加



# Local Energy Management (Cluster)

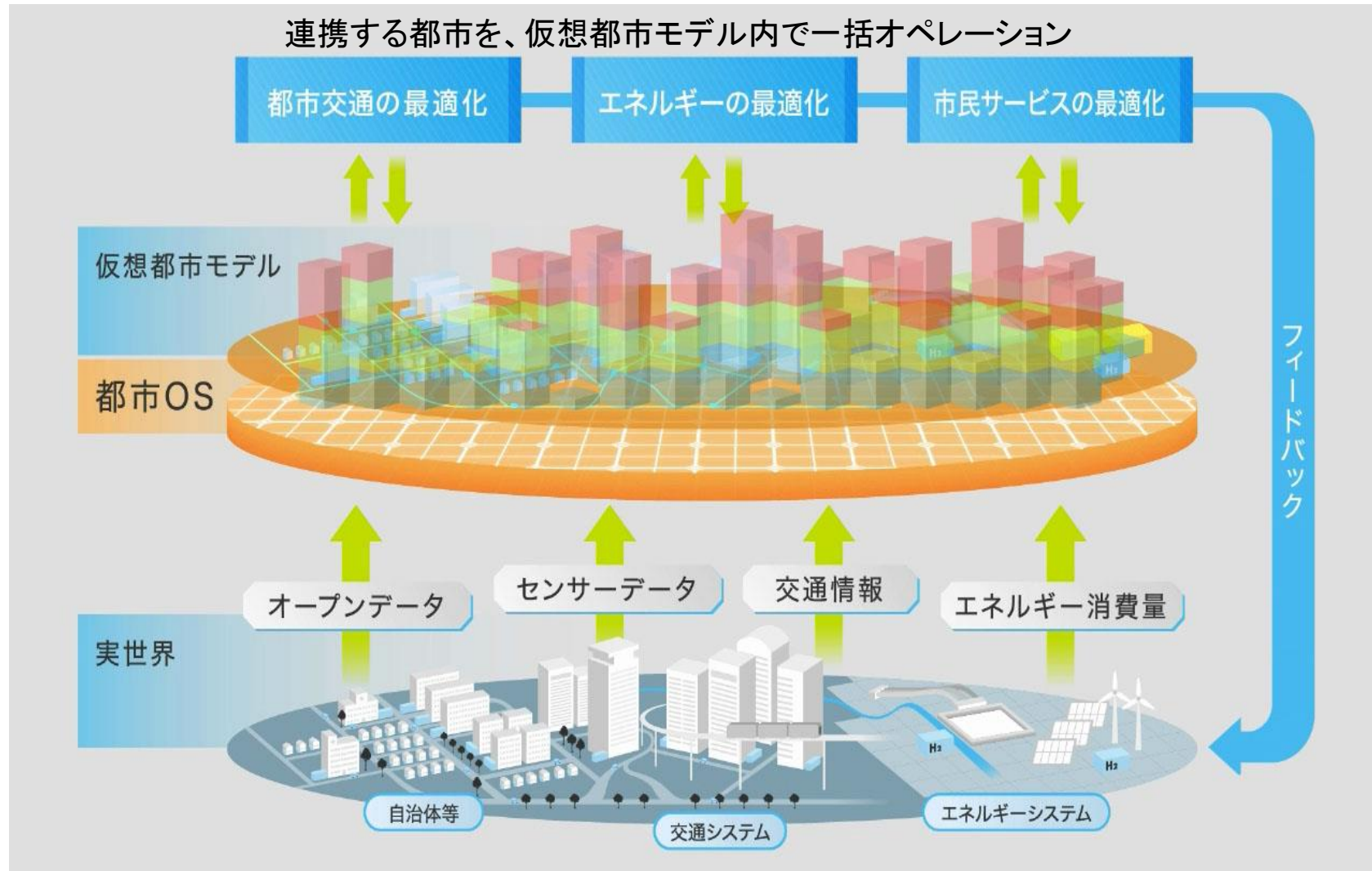


需要家サイドにある電力関連機器をできる限り協調制御





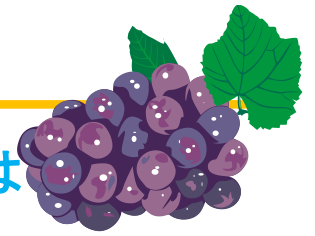
# 都市OSイメージ CPS(サイバーフィジカルシステム)



- ・電力消費を電力供給に合わせる工夫(農業電化、電気自動車、水素社会etc)
- ・電力消費は人間の動きに連動、エネルギーと都市活動を“共進化”

発電予測、消費予測、在庫管理、エネルギー賃借管理、環境価値管理etc

# Cluster 構想



- 系統に連携している再エネはクラスター間で共同利用 **水素・電気自動車の移動は**
- 小型再エネを地産地消(コミュニティのEMS) **送電と同じ効果(アンシラリーに寄与)**
- クラスターのエネルギー地産地消を支援  
水素の適正製造/在庫管理

需給をマネジメントする組織間で再エネ最大限利用を目的とした協力関係構築

再エネ&エリア電源を計画的に最大限利用する(大型電源を計画運用)



700気圧水素1ℓ = 2,100kcal/ℓ  
= 2.4 kWh/ℓ  
低圧電力託送料金は 9円/kWh

## まとめ

---

- COP21合意目標の達成には思考を抜本的に変える必要がある
- ✓ 低炭素電源を優先的に使う
- ✓ 供給側の専権事項であった需給調整を消費側も意識し、貢献する
- 2030年削減目標達成には、運輸セクターの電化、産業セクターの電化とコージェネ化。家庭、業務セクターは省エネとともに低炭素電力供給がポイント
- ✓ いつ、どのタイミングでエネルギーを使うか、貯めるか、放電するかをマネジメントすることが重要
- ✓ クラスタ（ユニット、セルetc）毎にマネジメントすることが重要
- 人口減少、省エネは需要密度の低下をまねき、電力輸送コストを押し上げる
- ✓ 送電線とコミュニティグリッドの役割を分ける
- ✓ コミュニティグリッドのマネジメントはローカルオペレーターで担う

**移動機関（運輸セクター）電化でローカルオペレーションはさらに重要性が増  
（電気自動車のチャージでビジネスは成立しない）**