

平成 26 年 6 月 24 日
九州大学
東京大学
早稲田大学

**将来のエネルギーシステムのあり方・方向性に関する現状と課題を整理
— 根拠に基づく客観的な議論に向けて —**

概要

九州大学稲盛フロンティア研究センター／カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (I²CNER) の古山 通久 教授と I²CNER の木村 誠一郎 学術研究員および板岡 健之 教授、東京大学の菊池 康紀 特任講師、早稲田大学の中垣 隆雄 教授らの研究グループは、技術的選択肢の観点から日本におけるエネルギーの現状と課題について整理しました。日本における現在そしてこれからのエネルギーを支える技術や関連する情報を集約したもので、将来のエネルギーシステムを議論していく上で有用な根拠となります。

本研究成果は平成 26 年 6 月 26 日午前 0 時に、国際学術誌『Journal of Chemical Engineering of Japan』にオンライン公開されます。

背景

日本では、平成 26 年 4 月 11 日にエネルギー基本計画が閣議決定されたものの、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災およびその後の福島第一原子力発電所の事故に関連し、日本のエネルギーシステムの展望は不透明な部分が多く残されています。将来のエネルギーシステムには唯一の解が存在するものではなく、多様な価値観や観点からの議論がなされるべきです。議論に際しては、主観や偏見、合理的根拠と乖離した倫理観が全面に出た強弁や誤謬に満ちた主張に依るのではなく、根拠に基づいて可能な限り客観的に将来のあり方を論じていくことが重要であり、このような議論のあり方が将来の世代に対する責任ある態度と考えられます。

内容

研究グループは、そのような議論に資する根拠のうち、特に技術的な観点から定量的な根拠を可能な限り網羅的にまとめ、エネルギーの供給と消費の両面から今後の方向性に関する課題や論点について示しました。また現状は踏まえつつも、既存のパラダイムに縛られることなく将来の姿を議論する上での論点についてもまとめました。個別の内容について以下に示します。また、下記内容を補足する資料を添付いたします。

○現状について

- 震災以降の電力供給力不足について、平成 23 年 3 月、平成 23 年夏、その後と分けて整理しました。
- 国内において一次資源がエネルギーとして、どのような分野で最終的にどれだけ消費されているのか、「総合エネルギー統計 エネルギーバランス表」に基づき定量的なエネルギーフローとして整理しました。
- 産業、民生、業務、運輸などの分野ごと、燃料種ごとのエネルギー需要についても「総合エネルギー統計 エネルギーバランス表」に基づき定量的に整理しました。また電力需要の時間・季節変化については各電力会社の公表データに基づき、地域ごとに整理しました。
- 都市ガス、石油、液化石油ガスの供給、電力の送配電網の現状について、「エネルギー白書」や「各地域間連系設備の運用容量算定結果」（一般社団法人電力系統利用協議会公表）等に基づき整理しました。

一大規模なエネルギー変換技術として、火力発電、原子力発電、水力発電、太陽光発電、風力発電、地熱発電、バイオマス発電を取り上げ、「火力・原子力発電所設備要覧」（一般社団法人火力原子力発電技術協会発行）、「平成 23 年版電気事業便覧」（経済産業省資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 監修、電気事業連合会統計委員会 編）に加え、経済産業省、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、環境省、一般社団法人日本風力発電協会、太陽光発電技術研究組合、みずほ情報総研株式会社、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社などによる各種調査報告書等に基づき、現状および将来の貢献可能性の現状認識について整理しました。原子力については国内の立地、発電容量、稼働開始年を、火力発電所については発電容量、稼働開始年、発電効率について整理し、再生可能エネルギーについてはこれまでの設置量および将来の導入の可能性について容量（kW）と期待される発電量（kWh）を整理しました。

○将来に向けた論点について

一現在、原子力の安全性の議論が収束を見ていないことから、原子力発電の役割が減少し、火力発電の役割が増加しています。エネルギーを考える上では経済性、環境適合性、エネルギー保障が重要な観点であり、化石資源依存度の増加は望ましい状態ではありません。当然の方向性として、再生可能エネルギーの役割を増加させると同時に、化石資源の利用効率の向上と利用量を削減することが喫緊の課題となっています。その中で、分散型エネルギー（太陽光発電や燃料電池など）や二酸化炭素分離回収技術など次世代の技術の役割が見直されてきています。分散型エネルギーや省エネの果たし得る役割の増加とあいまって、これまでは国策としてエネルギーのあり方が議論されてきましたが、地方自治体が主導したエネルギー戦略の策定が活性化してきています。それらの中では、省エネ、分散型エネルギーシステムの活用、エネルギーのエリアマネジメントなどが議論されており、それらを踏まえた今後の方向性の議論が必要です。

一再生可能エネルギーの中でも、需要に合わせた発電をすることのできない太陽光・風力発電の大規模導入が国内において見込まれます。現在、電力網に接続された太陽光・風力発電の出力変動は、電力会社の責任で他の発電技術や制御技術によって調整しています。将来、太陽光・風力発電の寄与が全発電量の 20%、30%となる社会を想定した時には、電力会社のみによる調整では対応が不可能となります。現在のパラダイムでは、電力会社で対応可能な範囲までの接続量として連系可能量を設定していますが、その範囲において太陽光・風力発電の寄与を 20%・30%と高めていくことは現実的に期待できません。したがって、出力変動の対応のための新たなパラダイムへの転換が必要となります。

一今後の日本において、一人当たりのエネルギー消費が増え続ければ、人口が減少していく中でもエネルギー消費の総量が増えてしまいます。したがって、民生・業務・産業の各部門における対策として、省エネを推進することが必須となります。

民生・業務部門においては、冷暖房・給湯に係るエネルギー消費が大きな割合を占め、冷蔵庫・照明・テレビなどの電子機器などにもエネルギーが消費されます。この中で、ヒートポンプ技術、燃料電池技術、超省エネ電子デバイスなど今後のエネルギー消費削減への貢献が大きい技術を取り上げ、今後の技術開発の展望を記しました。

産業部門においては、エネルギー消費は業態ごとに多様です。設置されている分散エネルギーシステムや熱マネジメントの高度化、複数業種間での熱融通の推進などの対策技術に加え、超長期的な展望で貢献し得る技術について重要性を指摘しました。

一運輸部門におけるエネルギー消費は、大部分は自動車による消費であり、中でも乗用車での消費が大きくなっています。エネルギー消費削減のための対策は交通流対策やエコドライブなど様々ありますが、自動車本体の燃費改善が最も効果的であり、内燃機関自動車（ガソリン車などのエンジンを動力源とする自動車）の燃費向上に加えて次世代自動車（ハイブリッド車や電気自動車、燃料電池自動車など）の普及の重要性を指摘しました。

一電力会社等による大規模発電の役割は高品質な電力を消費者に届けることです。原子力の役割が減少する今後の数十年の中で、火力発電の役割は重要であり、その高効率化と二酸化炭素排出対策が重要です。一次資源ごとに今後の高効率化の方向性を展望するとともに、二酸化炭素分離回収技術について課題を指摘しました。また、出力調整の不可能な再生可能エネルギーの大量導入に向けて、蓄電技術について概観しました。

■今後の展開

温室効果ガスの排出を劇的に減らしつつ安定なエネルギー需給を実現するためのあり得べき姿とそこへの道筋を明らかにするため、多様な観点からの議論を継続します。同時に、関連する技術の将来の進展見込みを調査し、根拠に基づき持続可能な低炭素社会への道筋を示し、社会へ発信していく予定です。

【研究内容に関するお問い合わせ】 九州大学 稲盛フロンティア研究センター 教授 古山 通久 (こやま みちひさ) 電話：092-802-6968 Mail：koyama@ifrc.kyushu-u.ac.jp	【広報に関するお問い合わせ】 九州大学 広報室 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 電話：092-802-2130 FAX：092-802-2139 Mail：koho@jimukyushu-u.ac.jp
東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座 特任講師 菊池 康紀 (きくち やすのり) 電話：03-5841-1597 Mail：kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp	東京大学 工学系研究科／工学部 広報室 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 電話：03-5841-1790 FAX：03-5841-0529 Mail：kouhou@pr.t.u-tokyo.ac.jp
早稲田大学 総合機械工学科 教授 中垣 隆雄 (なかがき たかお) 電話：03-5286-2497 Mail：takao.nakagaki@waseda.jp	早稲田大学 広報室 広報課 〒169-8050 東京都新宿区戸塚町 1-104 電話：03-3202-5454 FAX：03-3202-9435 Mail：koho@list.waseda.jp

【論文情報】

タイトル：Present Status and Points of Discussion for Future Energy Systems in Japan from the Aspects of Technology Options

著者：Michihisa KOYAMA, Seiichiro KIMURA, Yasunori KIKUCHI, Takao NAKAGAKI and Kenshi ITAOKA

根拠に基づく中庸な議論の必要性

強弁ではなく論理的、双方向的な議論を！

詭弁は論外として誤謬は避けよう！

詭弁：意図した 論理の誤り (誤りを正しく見せた自己正当化の論法)

誤謬：意図しない 論理の誤り

強弁の例：

根拠を述べない、罪の引き算（相殺）、価値観の押し付け、
難解語・抽象語で煙に巻く、など

詭弁・誤謬の例：

伝統論証、自然主義的誤謬、道徳主義的誤謬、感情が充填された語、
印象論、知性への脅し、対人論証・人格批判、連座の誤謬、権威論証、
多数論証、未知論証・悪魔の証明、反語、多重尋問の誤謬、分割の誤謬、
誤った二分法、早まった一般化、観測結果の選り好み、
前後即因果の誤謬、擬似相関、誤った類推、ドミノ理論、論点先取

(<http://ronri2.web.fc2.com/index.html>)

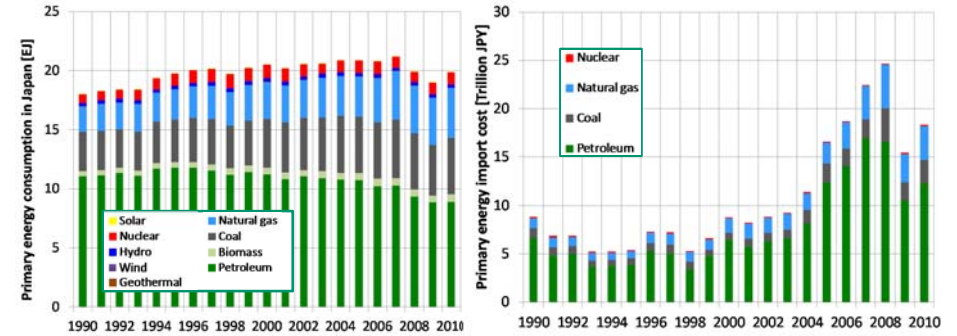


客観性・透明性の担保と前提の共有

1

資源消費量と輸入コスト

2



1990～2010年度の国内一次エネルギー消費 (HHV Base)

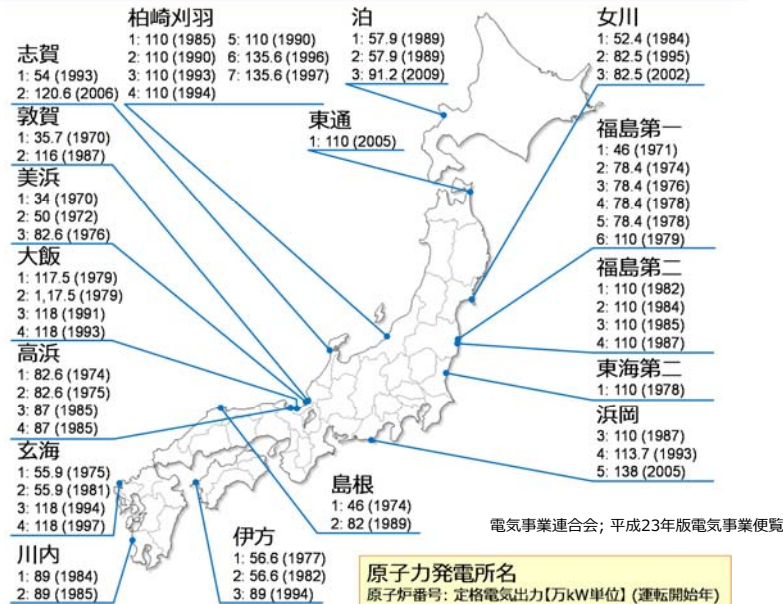
1990～2010年度のエネルギー資源輸入コスト

経済産業省資源エネルギー庁；“平成22年度総合エネルギー統計 エネルギー需給バランス表”，(2012)

財務省；“貿易統計”，
http://www.customs.go.jp/toukei/info/index_e.htm

根拠の例：原子力発電所

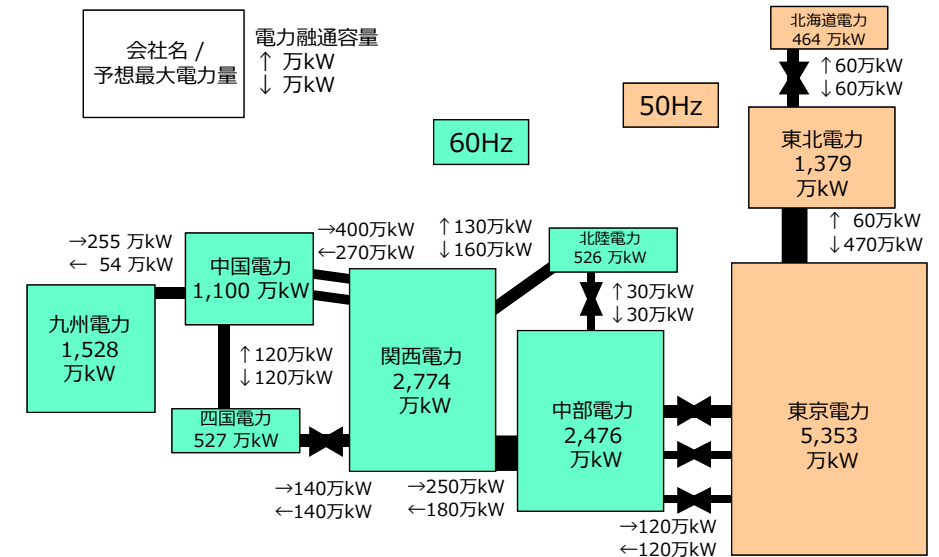
3



原子力発電所名
原子炉番号：定格電気出力[万kW単位] (運転開始年)

根拠の例：系統電力網

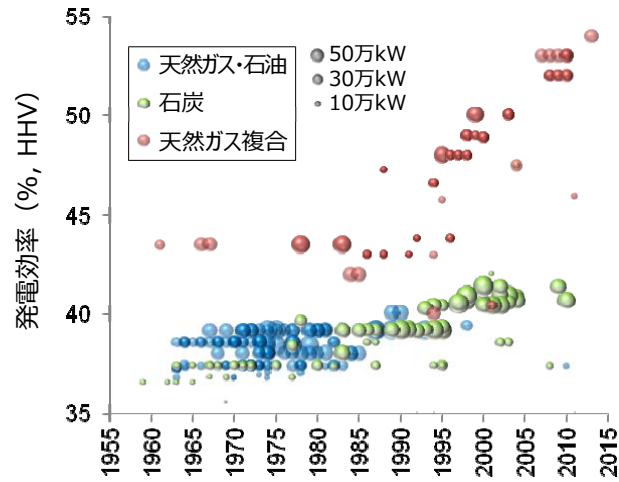
4



電力系統利用協議会；“各地域間連系設備の運用容量算定結果 - 平成25年度 - ”

根拠の例：火力発電

5



火力原子力発電技術協会; “火力・原子力発電所設備要覧”

発電オプションの現状とポテンシャル

6

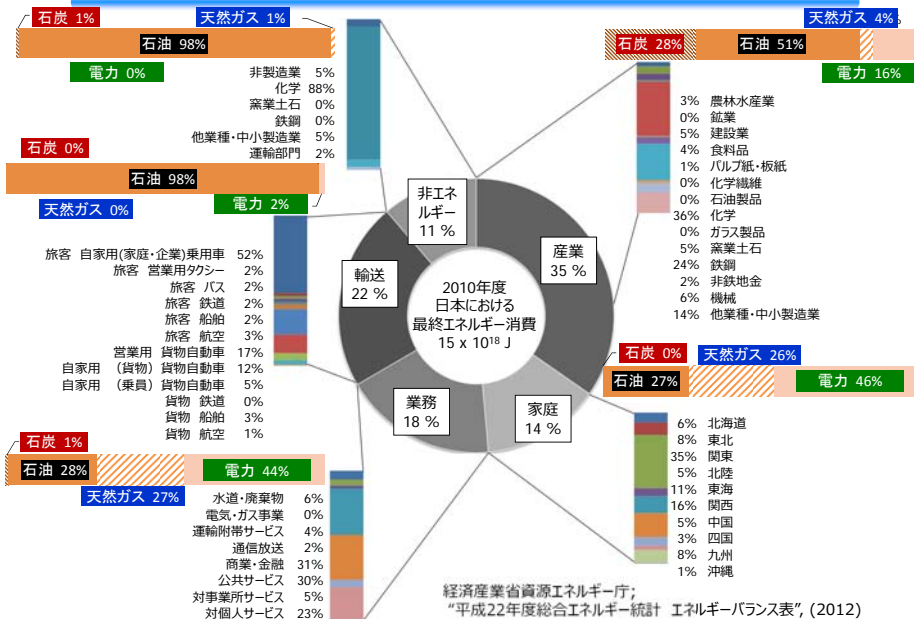
	現状 (2011年3月)		ポテンシャル		設備稼働率
	定格容量 (GW)	年度発電量 (TWh)	発電容量 (GW)	年間発電量 (TWh)	
火力	182.4	771.3	N/A	N/A	N/A
原子力	49.0	288.2	N/A	N/A	N/A
水力	48.1	90.7	17.9	7.3	N/A
太陽光 (住宅用)	3.0	N/A	13.8 - 193.6	14.5 - 203.5	12%
(非住宅用 合計)	0.6	N/A	25.3 - 359.5	26.6 - 377.9	
民生業務用ビル	N/A	N/A	0.8 - 23.9	0.8 - 25.1	
公共施設	N/A	N/A	1.6 - 45.7	1.7 - 48.0	
工業施設	N/A	N/A	17.5 - 96.6	18.4 - 101.5	
低・未利用地	N/A	N/A	2.3 - 79.8	2.4 - 83.9	
農業関連地帯	N/A	N/A	3.1 - 113.5	3.3 - 119.3	
風力 (陸上)	2.3	4.0	65.2 - 1546.2	114.2 - 2708.9	20%
(洋上 合計)	N/A	N/A	68.2 - 2038.9	179.2 - 5358.2	30%
着床式	N/A	N/A	29.5 - 368.4	51.7 - 645.4	
浮体式	N/A	N/A	38.7 - 1670.5	67.8 - 2926.7	
地熱	0.5	2.6	2.2 - 23.6	15.4 - 165.2	80%
バイオマス 合計	2.0	N/A	N/A	15.3	N/A
木質系	N/A	N/A	N/A	5.1	20%*
メタン製造	N/A	N/A	N/A	10.2	45%*

*発電効率 (HHV)

The Federation of Electric Power Companies of Japan; 2011, The Japan Electric Association, Tokyo, Japan; METI 2008; Photovoltaic Power Generation Technology Research Association, 2001; NEDO, 2009; EX Corporation et al., 2010, 2011; Mizuho Information & Research Institute, 2011; JWPA, 2010; Saito, 2010, 2011; Itochu Techno-Solutions Corporation, 2011.

根拠の例：分野ごとエネルギー使用

7



経済産業省資源エネルギー庁; “平成22年度総合エネルギー統計 エネルギーバランス表”, (2012)

再生エネの大規模導入時の課題

8

初期課題:

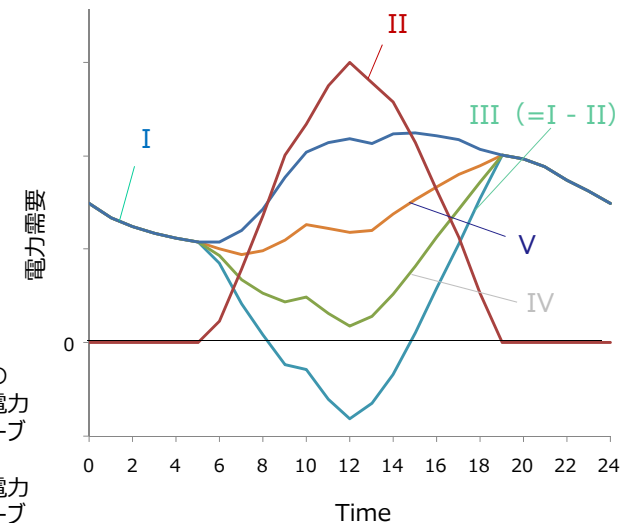
周波数変動対策

将来課題:

需要と供給の大幅な時間 (および空間) 的ギャップを埋める対策が必要

模式図 (右)

- I: 将来の仮想的電力需要
- II: 太陽光が年間電力需要の30%(kWh)を供給する時の晴天時の発電量
- III: 既存制度上で系統電力網が供給すると期待される電力供給カーブ (I - II)
- IV: 太陽光が年間電力需要の20%を供給する時の系統電力網に求められる電力供給カーブ
- V: 太陽光が年間電力需要の10%を供給する時の系統電力網に求められる電力供給カーブ



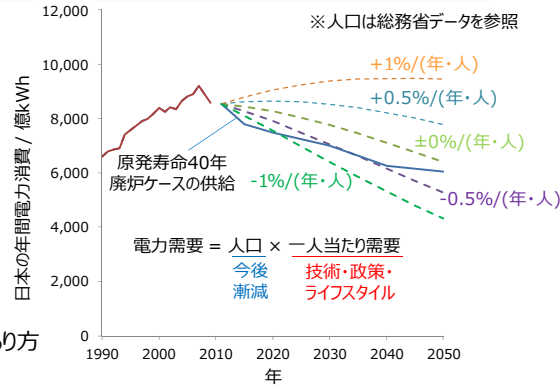
人口減と省エネ

○人口減少と省エネ

人口予測
 現在 2050年
 1億2780万人 9700万人
(総務省; 日本の統計2013)

一定の需要変化を仮定

- 1.0 %/yr/capita ⇒ ca. -50%
 - 0.5 %/yr/capita ⇒ ca. -40%
 - +0.5 %/yr/capita ⇒ ca. -10%
 - +1.0 %/yr/capita ⇒ ca. +10%
- ⇒省エネが必須!



$$\text{電力需要} = \text{人口} \times \text{一人当たり需要}$$

今後 技術・政策・ライフスタイル

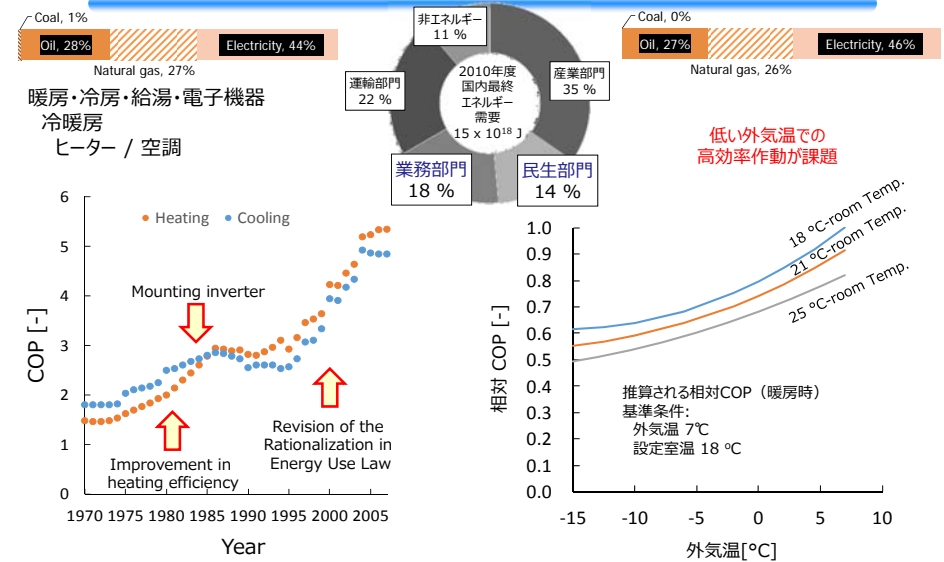
○(電力) エネルギー・マネジメントのあり方 従来:

電力会社: 電力システムを運用
 消費者: 運用を全く意識せず

将来:

消費者も運用に協力 (効率的で安価となる可能性)
 エネルギー消費をピーク時から余力のある時間帯へ
 キーワード: エネルギー・マネジメントシステム・デマンドレスポンス
 分散エネルギーシステム
 ⇒調整力のない再生可能エネルギーとの親和性あり

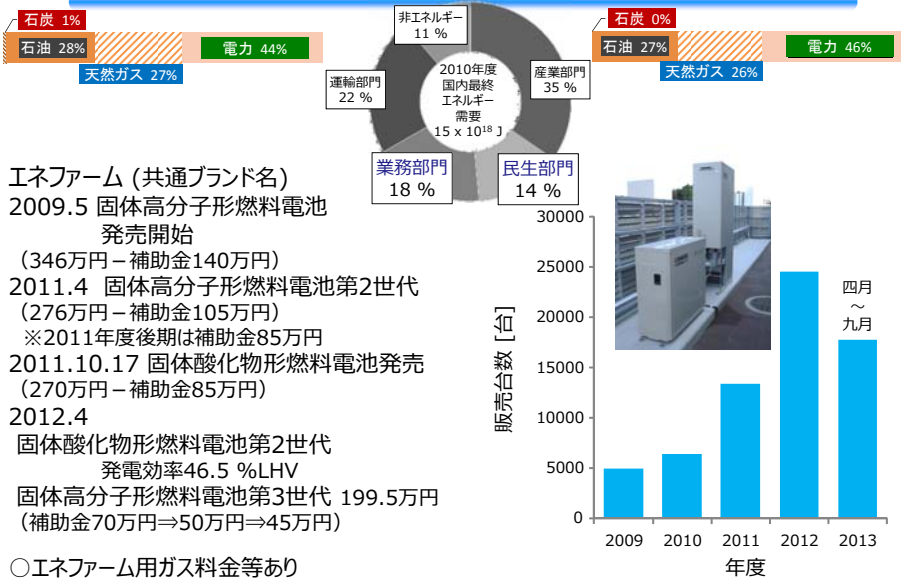
民生: 高効率利用技術の例 (空調)



全国地球温暖化防止活動推進センター; “省エネルギー家電ファクトシート” (2007)

Ueno, T., and H. Kitahara; CRIEPI report R10009 (2011); CRIEPI report R11017 (2012)

民生: 高効率利用技術の例 (燃料電池)



エネファーム (共通ブランド名)

- 2009.5 固体高分子形燃料電池 発売開始 (346万円 - 補助金140万円)
- 2011.4 固体高分子形燃料電池第2世代 (276万円 - 補助金105万円) ※2011年度後期は補助金85万円
- 2011.10.17 固体酸化物形燃料電池発売 (270万円 - 補助金85万円)
- 2012.4 固体酸化物形燃料電池第2世代 発電効率46.5 %LHV
- 固体高分子形燃料電池第3世代 199.5万円 (補助金70万円⇒50万円⇒45万円)

○エネファーム用ガス料金等あり
 しかし、コスト削減必須 (2016年度補助金ゼロ)

コーエネレーション・エネルギー高度利用センター資料より作成