

中長期エネルギービジョンと 主要技術

(一財)エネルギー総合工学研究所
松井 一秋、都筑 和泰

日本の特徴を踏まえたエネルギービジョンの考え方

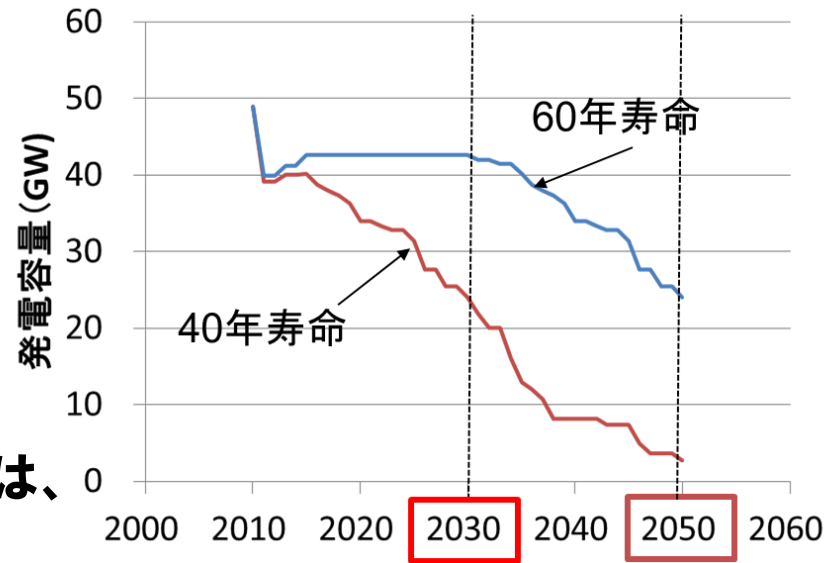
- 福島第一原子力発電所事故をうけて、原子力の社会受容性が低下
- 高い省エネルギー技術を保持
- CCSの貯留ポテンシャルが大きくない



- GRAPEの標準的なシナリオに対して下記の修正を実施
 - CO2削減目標は保持
 - 原子力は控えめではあるが、着実に推進
 - 再生可能エネルギー、省エネルギーを重点化
 - CCSは、少なくとも2050年までは利用しない。

Nuclear Application

- 原子力はエネルギー基本計画で「重要なベースロード電源」と位置づけられた。
 - 安全性及び社会受容性の確保は大前提
 - 2050年において25%程度以上の発電量シェアを維持するためには、新設・リプレースが不可避
- 一方、「原子力比率は可能な限り低減する」ともしている。
 - 原子力依存度低減の達成（安全かつ計画的な廃炉など）
 - 使用済燃料問題の解決に向けた取組と核燃料サイクル政策の推進
 - 世界の原子力平和利用と核不拡散への貢献



1. Issues related to the energy supply-demand structure in Japan

<Description in the Strategic Energy Plan of Japan>

Introduction

- The Government will do our utmost to achieve the reconstruction and recovery of Fukushima. This is the starting point for rebuilding Japan's energy policy.

1. Issues related to the energy supply-demand structure in Japan

- (1) Concerns over the safety of nuclear power generation and deteriorated public confidence in the government and operators
- (2) Outflow of national wealth and increase in dependency on the Middle East, price of electricity and greenhouse gas emission in Japan due to higher dependency on fossil fuels

2. Basic policy regarding measures concerning energy supply and demand

- (1) To pursue "Energy Security", "Economic Efficiency" and "Environment" on the premise of "Safety" as the basic viewpoint, in consideration of "global viewpoint" and "economic growth"
- (2) "Multilayered" supply structure where the strength of each energy source is to be maximized by appropriately offsetting each other's weakness

(Ref.) Adverse Effects due to Shutdown of NPPs after the Disaster

Energy Security

1 . Increase in dependency on fossil fuels from overseas

➤ **88%** of total power generation is imported from overseas. **FY2013】**

- It is more than the level at the time of oil crisis (**76%**).

➤ Ratio of renewable energy : 2.2% (excl. Hydro) 【FY2013】

2 . Increase in fuel cost (due to increase in thermal power generation)

About USD 36 billion (National burden is about USD 30/person.)
【estimation in FY2013】

3 . Increase in price of electricity

An average of about 20% increase from the level before the disaster.

4 . Increase in greenhouse gas emissions

The amount of CO2 emissions from general electricity utilities increased by **about 110 million tons** in FY2012 compared to FY2010. (**about 9%** of the total amount of the emissions in Japan)

Peoples' Life and Economy

Global Warming

2. Evaluation and Policy Timeframe of Nuclear Power

<Description in the Strategic Energy Plan of Japan (Decided in April 2014)>

- ① **Nuclear power is an important base-load power source as a low carbon and quasi-domestic energy source**, contributing to stability of energy supply-demand structure, on the major premise of ensuring of its safety, because of the perspectives; 1) superiority in stability of energy supply and efficiency, 2) low and stable operational cost and 3) free from GHG emissions during operation.
- ② In case that the NRA confirms the conformity of nuclear power plants with the new regulatory requirements, which are of the most stringent level in the world, GOJ will proceed with the restart of the nuclear power plants.
- ③ GOJ will carefully examine a volume of electricity to be secured by nuclear power generation, taking Japan's energy constraints into consideration, from the viewpoint of stable energy supply, cost reduction, global warming and maintaining nuclear technologies and human resources.

3. エネルギーの需給に関する長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策

(4) 原子力政策の再構築

① 福島再生・復興に向けた取組

- ・福島再生・復興に向けた取組はエネルギー政策の再構築の出発点。
- ・廃炉・汚染水対策は、世界にも前例のない困難な事業。国が前面に立ち、一つ一つの対策を着実に履行する不退転の決意を持って取組を実施。

② 原子力利用における不断の安全性向上と安定的な事業環境の確立

- ・原子力の「安全神話」と決別し、世界最高水準の安全性を不断に追求。
- ・原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進める。その際、国も前面に立ち、立地自治体等関係者の理解と協力を得るよう、取り組む。
- ・事業者は、リスクマネジメント体制を整備し客観的・定量的リスク評価手法を実施。
- ・国は、競争が進展した環境においても、円滑な廃炉、迅速な安全対策、安定供給への貢献といった課題に対応できるよう、事業環境の在り方を検討。
- ・原子力災害対策の強化に加え、関係自治体の避難計画の充実化を支援。

③対策を将来へ先送りせず、着実に進める取組

1)使用済燃料問題の解決に向けた取組の抜本強化と総合的な推進

- ・国が前面に立って、高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた取組を推進。
- ・将来世代が最良の処分方法を選択できるよう、可逆性・回収可能性を担保。
- ・直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進。
- ・処分場選定では国が科学的見地から説明し、また、地域の合意形成の仕組みを構築。
- ・新たな中間貯蔵施設や乾式貯蔵施設等の建設・活用を促進、政府の取組を強化。
- ・放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための技術開発を推進。

2)核燃料サイクル政策の推進

- ・関係自治体や国際社会の理解を得つつ、核燃料サイクルを推進するとともに、中長期的な対応の柔軟性を保持。
- ・平和利用を大前提に、利用目的のないプルトニウムは持たないとの原則を引き続き堅持し、プルトニウムの回収と利用のバランスを十分に考慮してプルトニウムを適切に管理・利用。
- ・米仏等と国際協力を進め、高速炉等の研究開発を推進。
- ・もんじゅは、廃棄物の減容・有害度の低減や核不拡散関連技術等の向上のための国際的な研究拠点と位置付け、国の責任の下、十分な対応を進める。

④国民、立地自治体、国際社会との信頼関係の構築

- ・原発事故を踏まえ、科学的根拠や客観的事実に基づくきめ細やかな広聴・広報を実施。
- ・事故の経験から得られた教訓に基づき安全性を高めた原子力技術を提供し、世界の原子力安全、核不拡散及び核セキュリティに貢献するとともに、原子力新規導入国の人材育成・制度整備支援等を拡充。

4. 戦略的な技術開発の推進

重点的に研究開発するための施策を講ずべきエネルギー技術及び施策

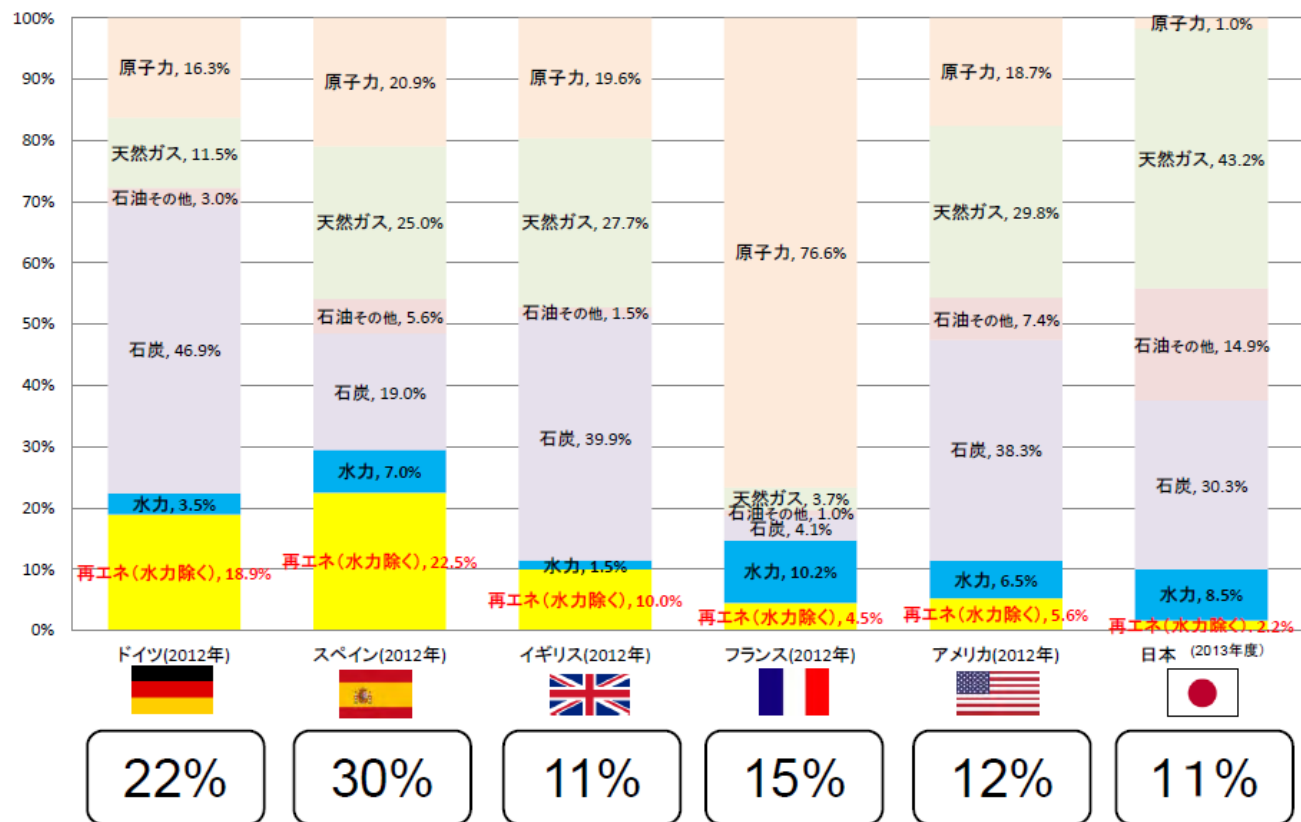
原子力発電技術に関するもの

- 準国産エネルギーに位置付けられる原子力については、万が一の事故のリスクを下げていくため、過酷事故対策を含めた軽水炉の安全性向上に資する技術や信頼性・効率性を高める技術等の開発を進める。また、放射性廃棄物の減容化・有害度低減や、安定した放射性廃棄物の最終処分に必要となる技術開発等を進める。
- 水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれ、固有の安全性を有する高温ガス炉など、安全性の高度化に貢献する原子力技術の研究開発を国際協力の下で推進する。

再生可能エネルギーの現状と課題

- 日本は欧米諸国と比較すると再生可能エネルギーの比率が低い。
- エネルギー基本計画では、電源シェア2割を上回ることを目標としている。

(発電電力量に占める割合)



【出所】日本:「電源開発の概要」等より作成
 ドイツ、スペイン、イギリス、フランス、イタリア、アメリカ:2012年推計値データ、IEA, Energy Balances of OECD Countries (2013 edition)

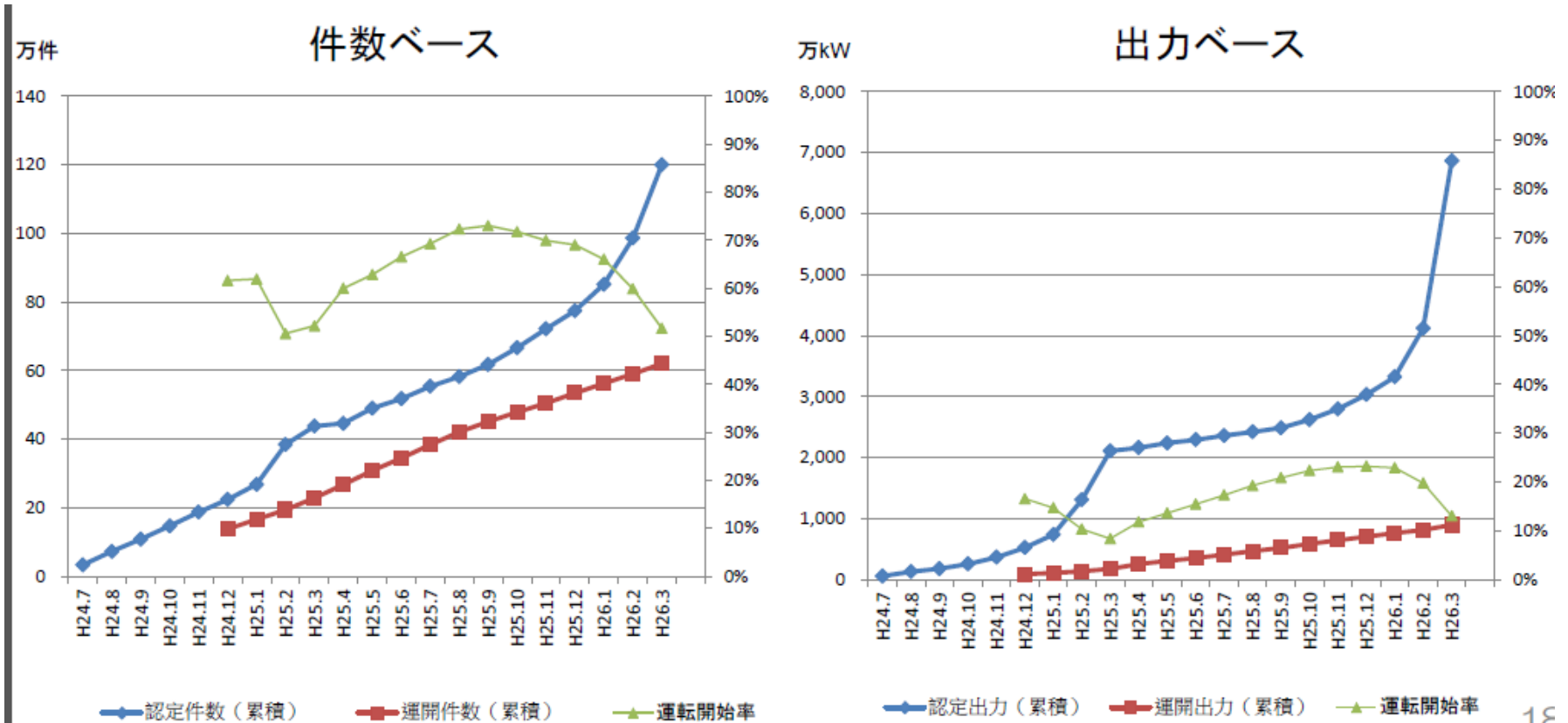
出所総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー
 分科会 新エネルギー小委員会(第1回)-資料3

太陽光発電の現状と課題

FIT導入後、申請件数が着実に増加しているが……

- 年度末に大きな駆け込み需要
- 出力ベースでは運転開始率が1割を切る状況(メガソーラーの運転開始率が低い)

➔ 2014年4月より、順次認定取り消しへ



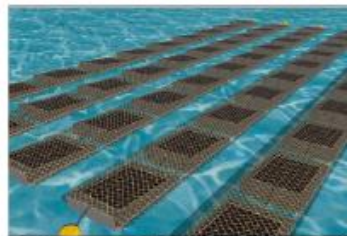
将来に向けた技術開発

更なる普及を進めるため、低コスト化、高効率化に向けた開発研究が進行中

導入可能量拡大、高付加価値化を目指した実証

○未利用ポテンシャル開拓

建物壁面、農耕地、傾斜地、水上、移動体など未利用地を開拓することを指向した実証等



○高付加価値化

低倍率集光太陽電池+熱利用システムの実証

ビルや集合住宅における太陽電池+熱利用の実証等

○実証を通じての課題の抽出・分析



蓄電機能付有機系太陽電池 (東大・ソニー)



独立電源型広告掲示板 (日本写真印刷)



デザインソーラーランタン (日本写真印刷)

【主な技術課題】



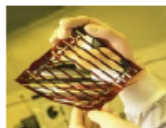
- 結晶シリコン太陽電池
 - ・低コスト製造技術の開発
 - ・高性能化技術の開発 等



- 薄膜シリコン太陽電池
 - ・大面積・高速製膜技術の開発
 - ・初期劣化の抑制技術の開発 等



- 化合物系薄膜太陽電池
 - ・モジュールの高性能化技術の開発
 - ・低コスト製造プロセス技術の開発 等



- 有機系太陽電池
 - ・モジュールの長寿命化技術の開発
 - ・実使用環境を想定したシステム開発・実証等

- 太陽電池用共通部材の高性能化・低コスト化
 - ・銀を使わない電極材の開発 等

- 評価技術等共通基盤技術検証
 - ・高精度性能評価技術の開発
 - ・太陽電池モジュールの信頼性評価技術の開発

風力発電の現状と課題

- 風力発電の発電量も着実に増加
- 洋上風力については、実証試験を実施中



長崎県五島(浮体式)

- ✓ 平成24年6月に、100kWの浮体式洋上風車を設置。
- ✓ 平成25年10月に、2,000kW級の浮体式洋上風車を設置、運転を開始。平成27年まで、データの取得、環境影響の調査・評価等を進める予定。



【国による実証事業の状況】



福島沖(浮体式)

- ✓ 平成23年度から5年程度の計画で、福島県の沖合約18km、水深約120m地点に、世界一となる本格的浮体式洋上風力発電を実現する実証。
- ✓ 平成25年11月に2,000kWの風車1基を設置、運転を開始。平成26年度には7,000kWの風車等2基を福島県沖に設置予定。

銚子沖(着床式)

- ✓ 平成24年10月に2,400kW風車の設置が完了。平成25年2月より発電開始。
- ✓ 平成26年度まで運転データや洋上の風速データなどの取得、太平洋における気象・海象の実態把握や送電面の課題把握等を実施予定。



提供: 東京電力(株)

北九州沖(着床式)

- ✓ 平成25年3月に2,000kW風車の設置が完了。平成25年6月より発電開始。
- ✓ 平成26年度まで運転データや洋上の風速データなどの取得、日本海における気象・海象の実態把握や送電面の課題把握等を実施予定。

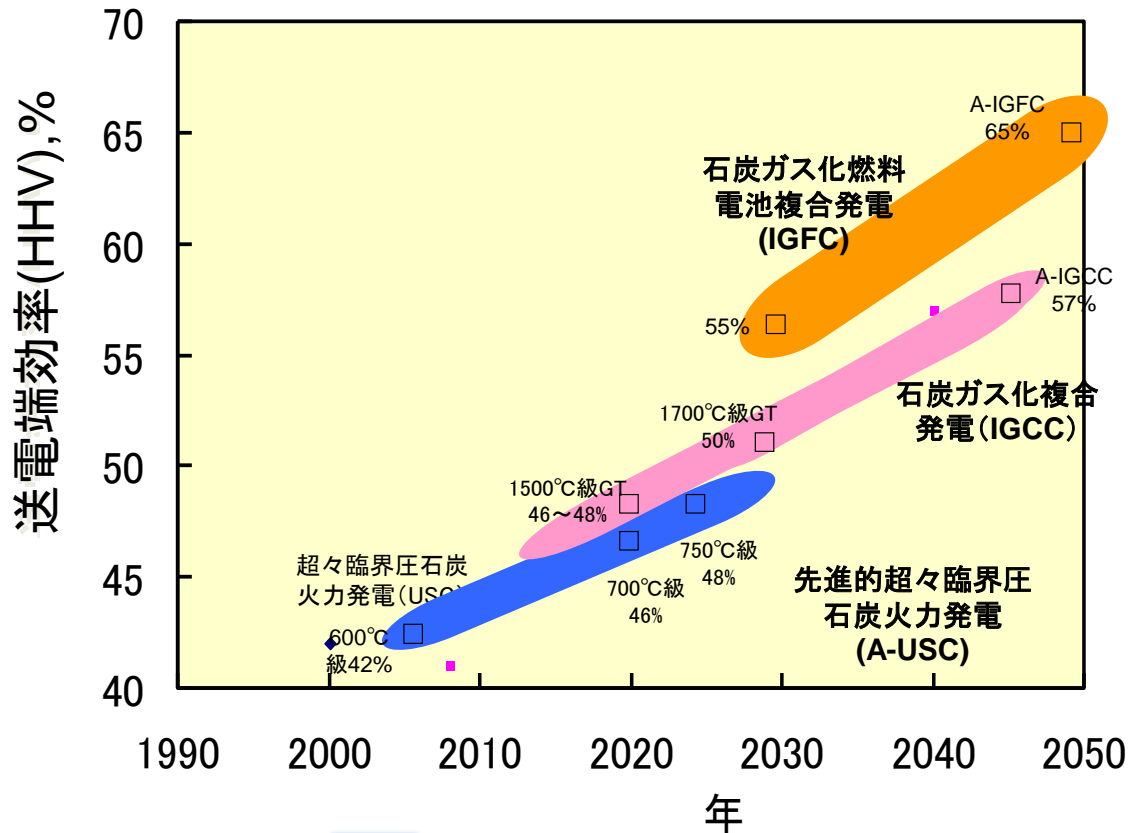


提供: 電源開発(株)

火力発電効率向上

- 火力発電は着実な効率向上を想定

- 温度上昇
- ガス化・複合化



がCool Earth エネルギー革新技術計画およびエネルギー技術戦略2008で作成した火力発電技術ロードマップ

Japanese National Project of IGCC: Nakoso 250MW IGCC Plant

- 
- A photograph of the Nakoso 250MW IGCC Plant, a large industrial facility with several tall chimneys and a complex network of pipes and structures. The plant is situated near a body of water, which reflects the sky and the structures. The sky is clear and blue.
- 1700 tons of coal is gasified every day
 - 2000 hours continuous operation in 2008
 - 5000 hours operation in June 2010
 - 46% Efficiency(net, HHV) with 1500 deg-C GT
 - **Converted to commercial plant as of 1st April, 2013**
 - After starting up on 28th June, 2013, the unit is continuously operated and as of **12th November, 2013 the continuous operation exceeded 3300 hours.**

産業部門の対策 ①鉄鋼

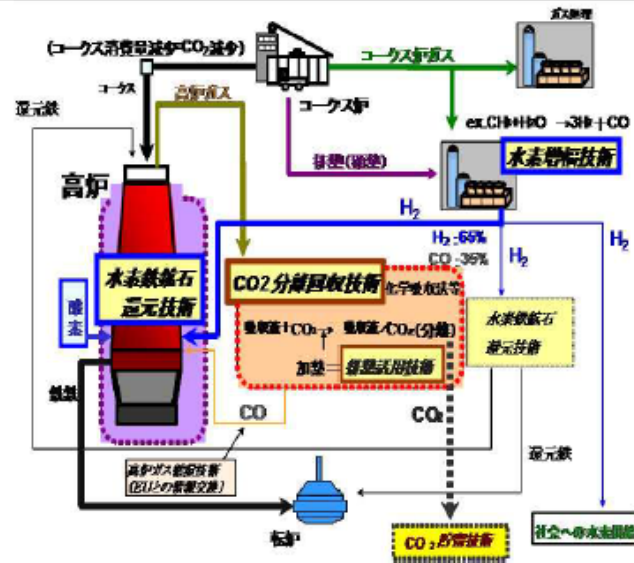
革新的製鉄プロセス技術開発(COURSE50)の推進

(※COURSE50: CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process by Innovative technology for cool Earth 50)

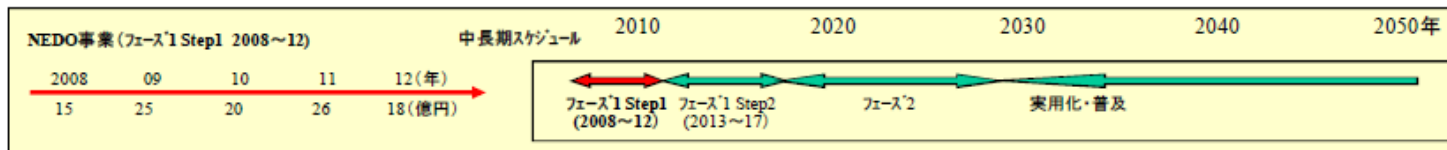
- 鉄鉱石の還元プロセスでは石炭を使用することから、CO₂の排出は不可避。
 - 水素による鉄鉱石の還元と高炉ガスからのCO₂分離回収により、総合的に約30%のCO₂削減を目指す。
 - 2030年頃までに1号機の実機化※、高炉関連設備の更新タイミングを踏まえ、2050年頃までに普及を目指す。
- ※CO₂貯留に関するインフラ整備と実機化に経済合理性が確保されることが前提

【プロジェクト概要】

1. 事業費総額(フェーズ1 Step1): 約100億円
2. 研究内容(技術開発)
 - ①未利用の кокс炉ガス顕熱(800℃)を活用した水素増幅技術開発
 - ②水素による鉄鉱石還元技術開発
 - ③製鉄所の未利用排熱を活用した高炉ガス(BFG)からのCO₂分離回収



【開発スケジュール】



13

日本化学工業協会は、地球温暖化問題への対応の柱として、以下の4本を提示している。

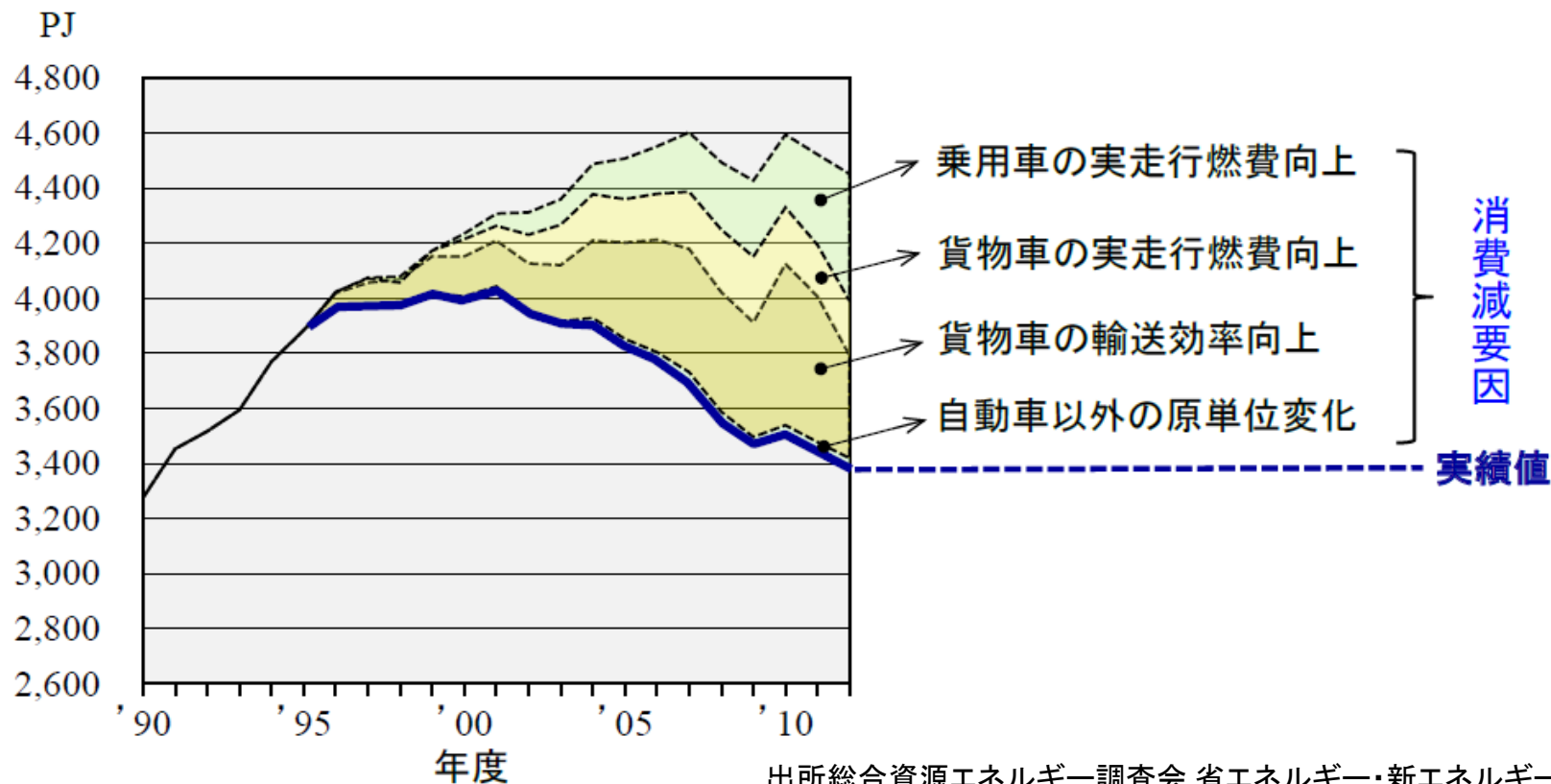
- 化学業界自身が排出する温室効果ガスの削減に努める。
 - すでに省エネは進んでおり削減規模は小さいが、削減努力は続ける。
- 化学業界が提供する製品により、温室効果ガス排出削減に貢献する。
 - LCA的に温室効果ガス排出が少なくなるような製品開発
- 海外への製品の普及・技術の移転により、GHG排出削減に貢献する
- 化学業界が推進する革新的技術・製品の開発、創出により、温室効果ガス削減に貢献する

化学プロセスの省エネ化技術の例

- 化学産業は日本の製造業エネルギー消費の40%を占めており、常に省エネ化への努力が求められている。さらに、そのうちの40%が蒸留分離プロセスで消費されているともいわれている。つまり、加熱・蒸発プロセスの省エネ化を進めることが重要であると考えられる。
- 堤らは加熱・蒸発プロセスの省エネ化に適した技術として、自己熱再生法を提案している
- 本手法は圧縮機を用いて熱再生を行うものであり、エネルギー消費量を $1/22 \sim 1/2$ に削減でき、省エネに有効な技術として有望視されている。
- Self-heat recuperation (SHR) is an emerging energy-saving technology for chemical processes. All waste heat can be recycled by process gas compression. When the process gas is compressed, the process gas temperature or its evaporation temperature rises. This rise in temperature is used as a heat exchange temperature difference to efficiently recover waste heat. SHR technology is being applied to CO₂ capture processes, sludge drying and seawater desalination. Chemical process simulations showed that a 20-95% reduction in energy consumption can be achieved. SHR technology has great potential to be applied to various heating and evaporating processes.
- 村本ほか、IHI 技報 Vol. 53 No. 2 (2013)

運輸部門のエネルギー消費の現状

- 運輸部門のエネルギー消費は、21世紀に入り、目覚ましい勢いで減少してきた。
- 自動車の燃費向上、貨物車の輸送効率向上が要因



出所総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会(第6回)-資料1

Trends of Future Technologies

/Further Improvement of Fuel Economy



バイオ燃料車



電気自動車



ハイブリッド車



燃料電池自動車



天然ガス車



プラグインハイブリッド車



クリーンディーゼル車



水素自動車

/Improve Distribution Systems Efficiency



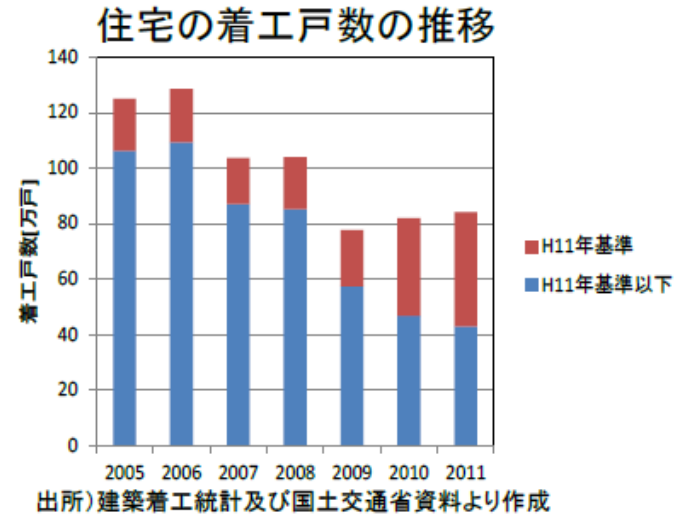
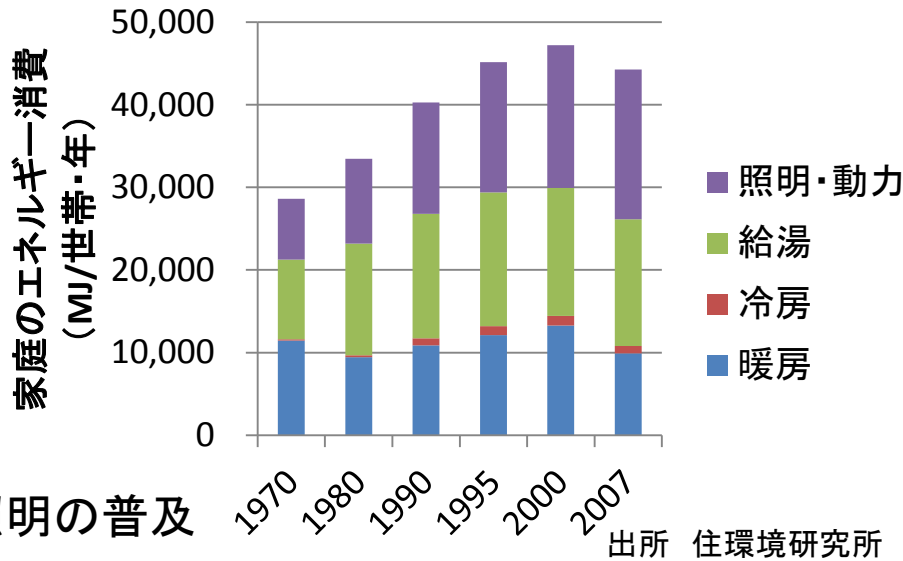
/Next Generation Vehicles Toyota FCV from December Honda from 2015

出所)(一財)エネルギー総合工学研究所シンポジウム2013
季報エネルギー総合工学2014. 1

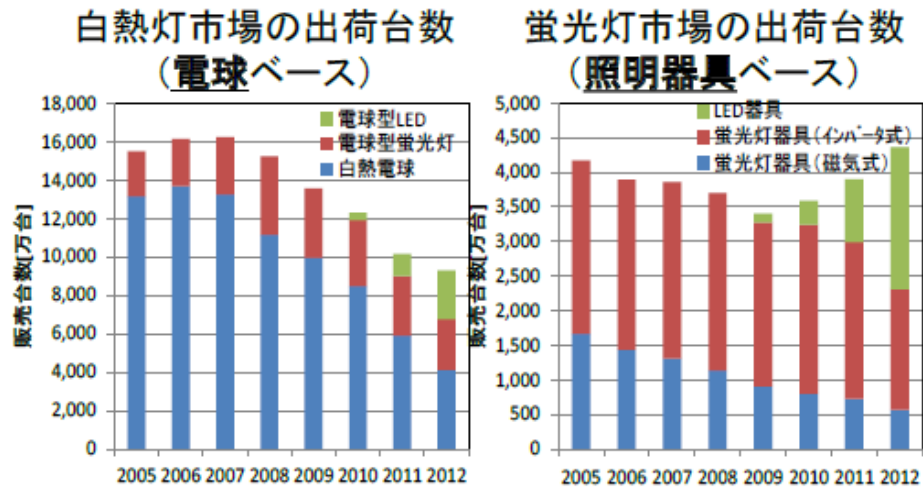
Vehicle-to-grid (V2G)

- **Vehicle-to-grid (V2G)** : electric vehicles communicate with the power grid to sell demand response services by either delivering electricity into the grid or storing the excess.
- Most of vehicles are parked an average of 95 percent of the time, their batteries could be used to let electricity flow from the car to the power lines and back, with a value to the utilities of up to \$4,000 per year per car. (US case)
- To improve battery performance; power density and charging cycle
- To create innovative integrated system with IT for power demand and supply control
- *Nissan starts demonstration of 250 kW and 400 kWh with its 24 Evs from June, 2015. (Nikkei, November 13, 2014)*

民生(家庭)の現状と対策

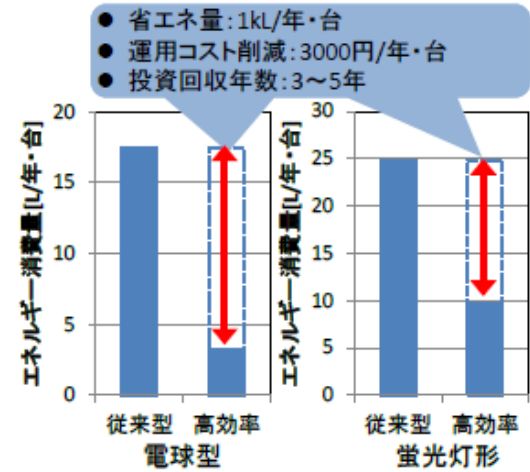


照明: LED照明の普及



出所 (左) 生産動態統計、(一社) 日本照明器具工業会の自主統計等より作成
 (右) 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 照明器具等判断基準WG 最終取りまとめ資料

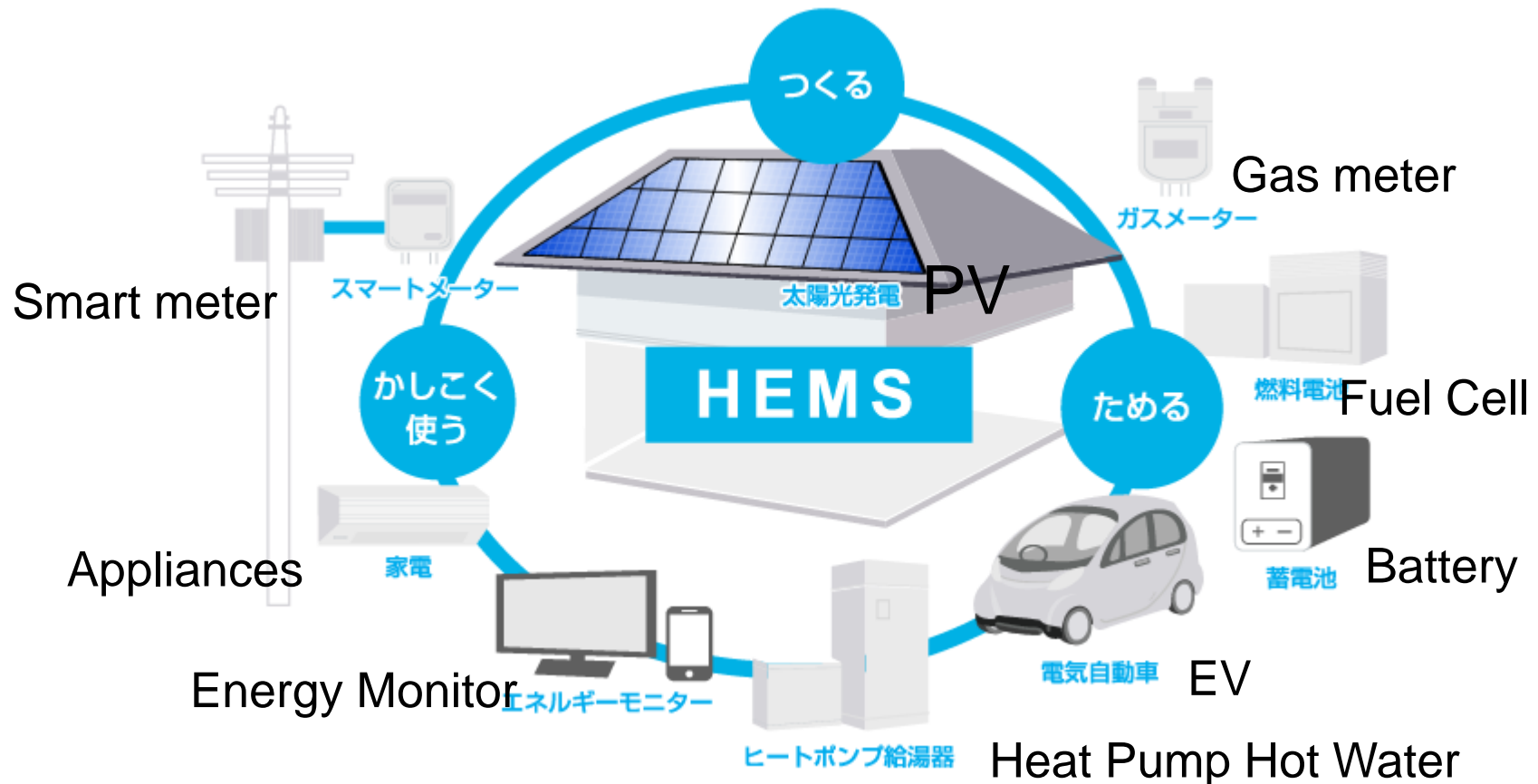
費用対効果の分析例



From Energy Conservation to Zero-energy Building

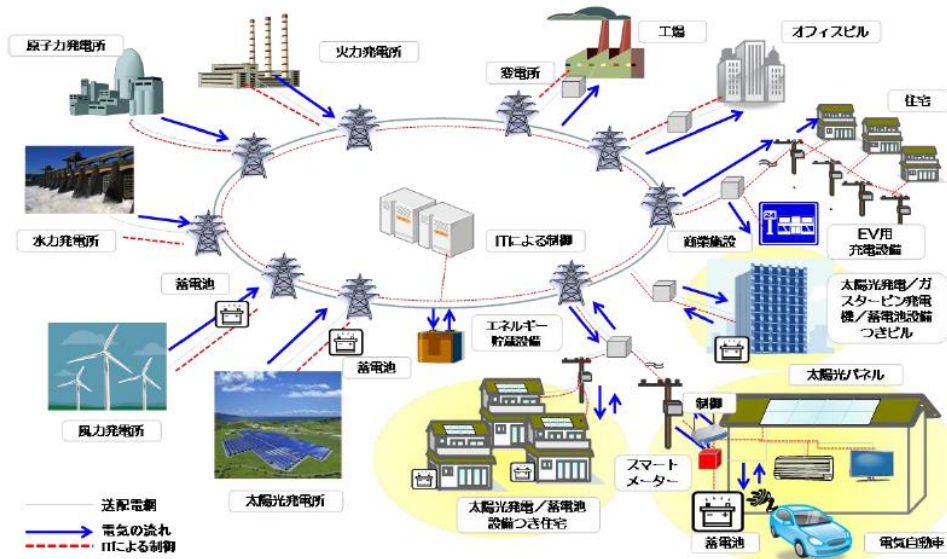
ZEB

- HEMS, BEMS, FEMS, CEMS



統合的な利用 スマート化に関連する技術開発

- エネルギー効率向上の他、活動量あたりのエネルギー消費量、CO2排出量が少ない需要へ代替する。
 - スマートグリッド
 - スマートコミュニティ



出所) (一財)エネルギー総合工学研究所シンポジウム2013
 季報エネルギー総合工学2014. 1

- エネルギー消費および二酸化炭素排出量は、技術により低減する余地は大きい。
- 国内二酸化炭素排出量を2050年において、2010年比半減することという目標実現に向け、これら技術の開発を着実に進める必要がある。

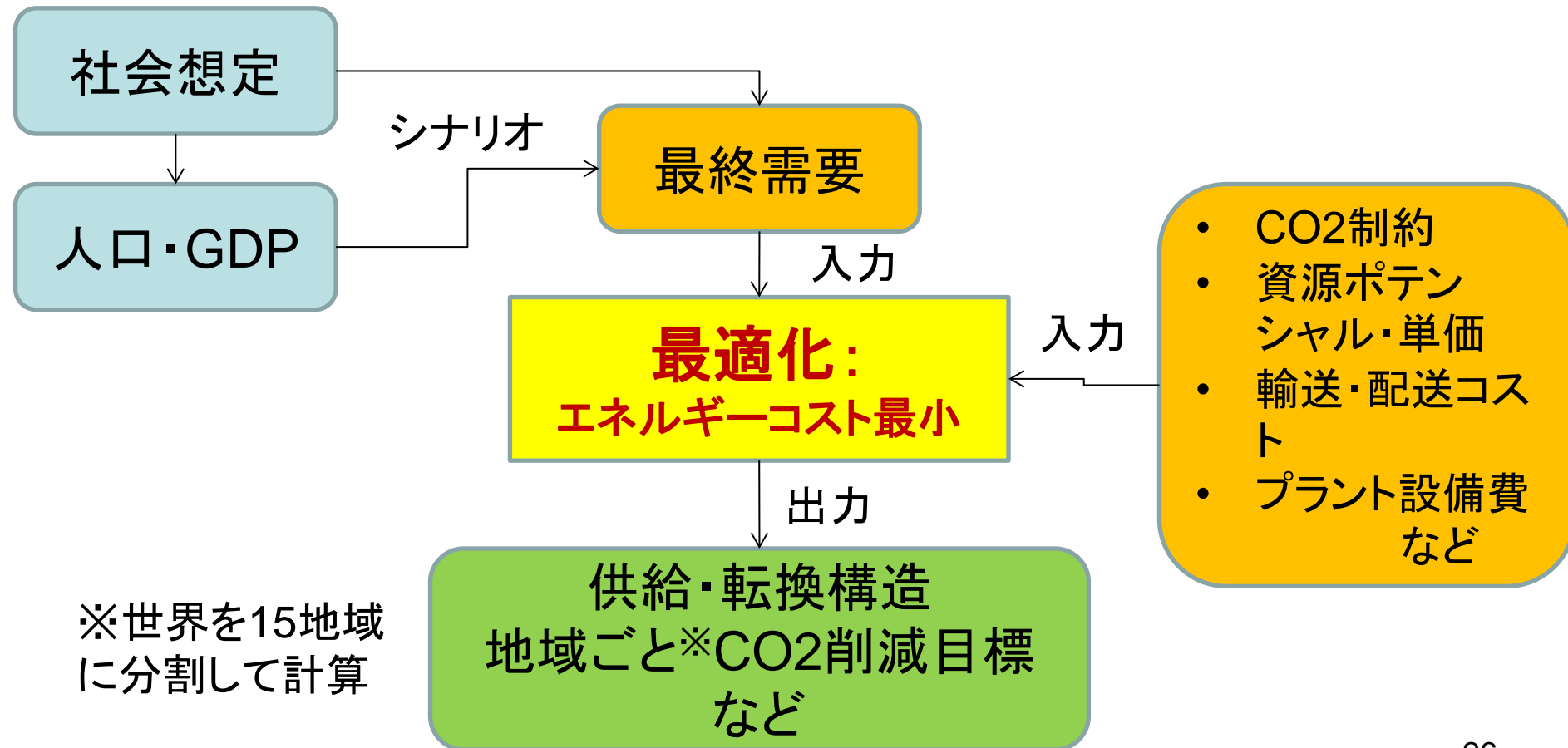
ご静聴ありがとうございました

エネルギーモデルGRAPEによる試算イメージ

- ・ Z650の実現性評価
 - ・ 実現見通しのある技術の組み合わせで成立し得るか



エネルギーモデルにより需給構造を試算



1. シナリオ想定

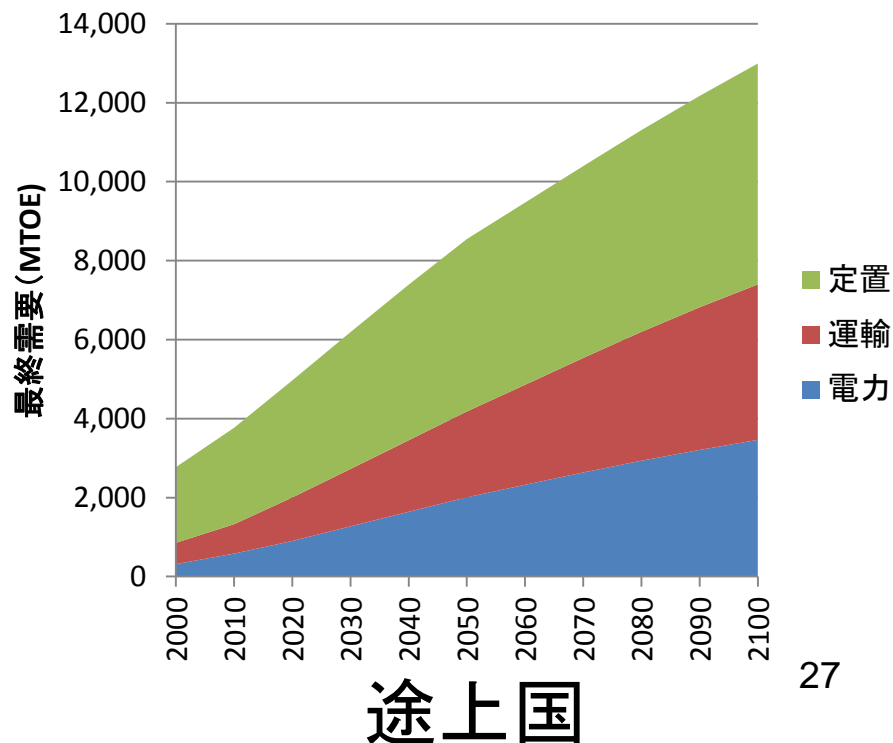
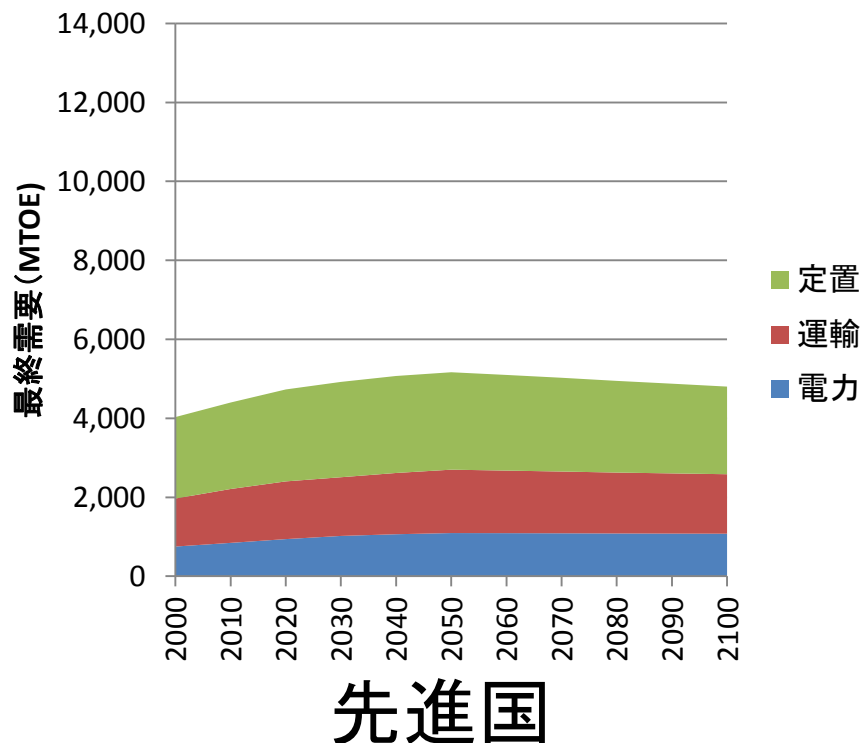
◆ 最終需要は途上国を中心に着実に増加

人口増加

生活水準の向上

◆ エネルギー効率の着実な増加は想定するが、社会構造の変革は想定しない。

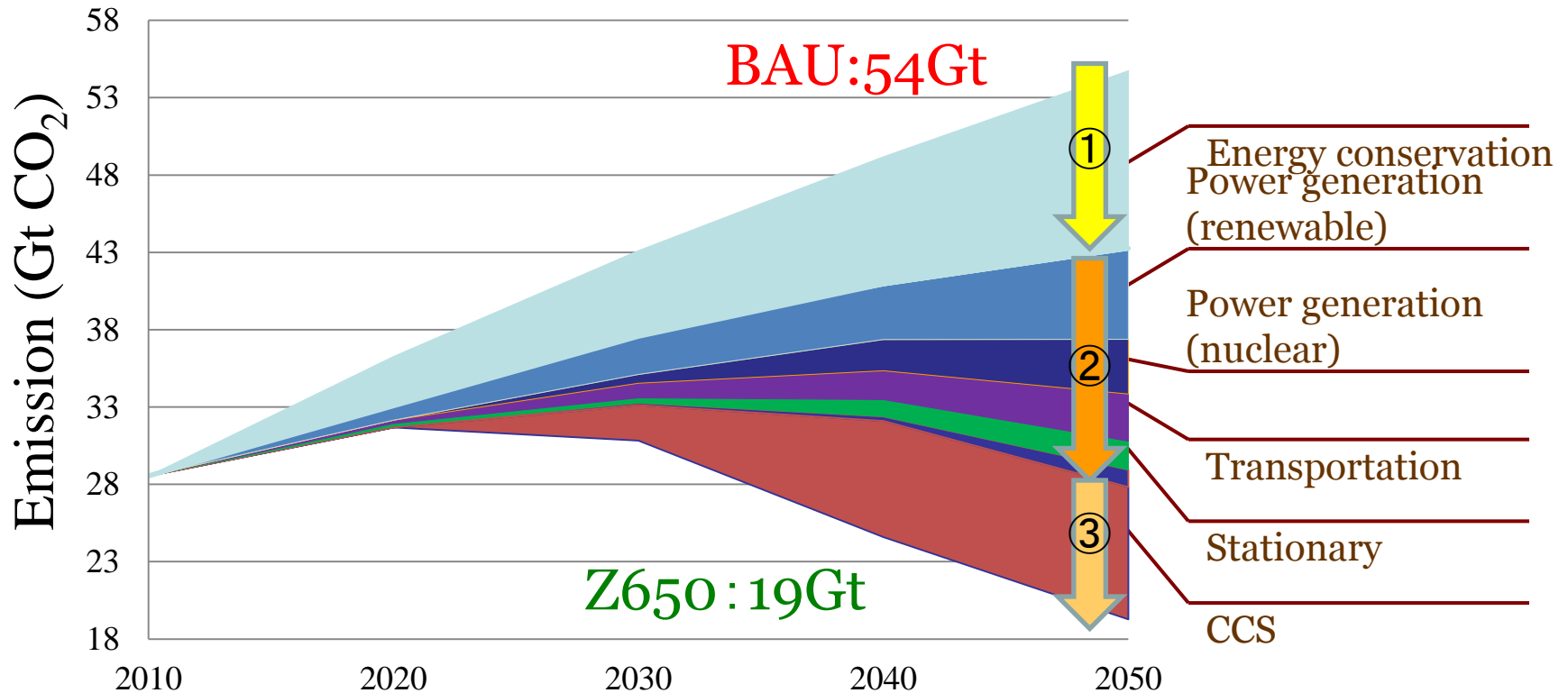
	電力	非電力
産業	電力	定置
民生	電力	定置
運輸	運輸	



4. Z650のエネルギー構成

CO₂制約を実現するためには、下記の3点が重要

- ① 消費エネルギーそのものの低減
- ② 非化石エネルギー（原子力、再生可能）のシェア向上
- ③ 二酸化炭素の回収・貯留



4. 1 省エネルギーシナリオ

(1) 基本的考え方

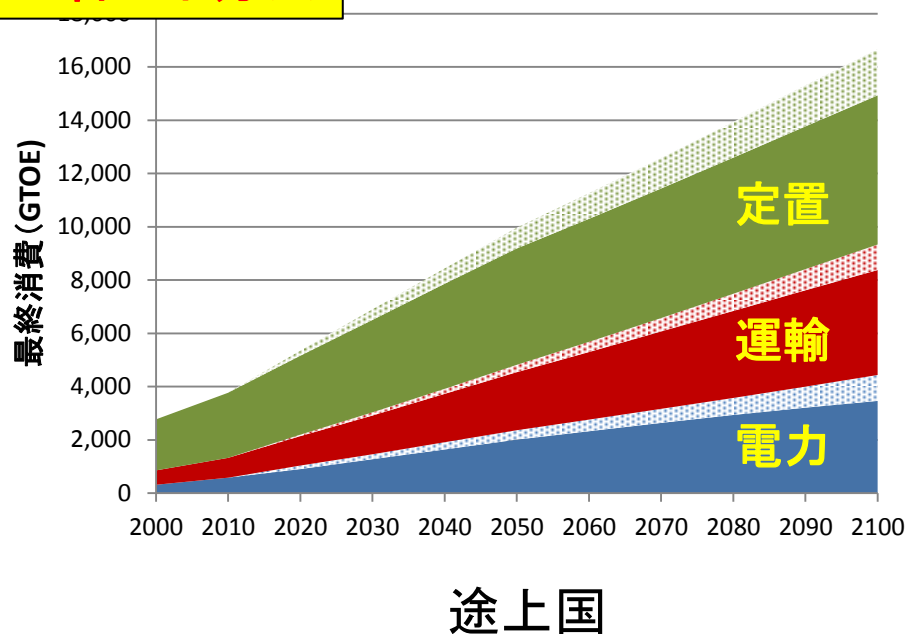
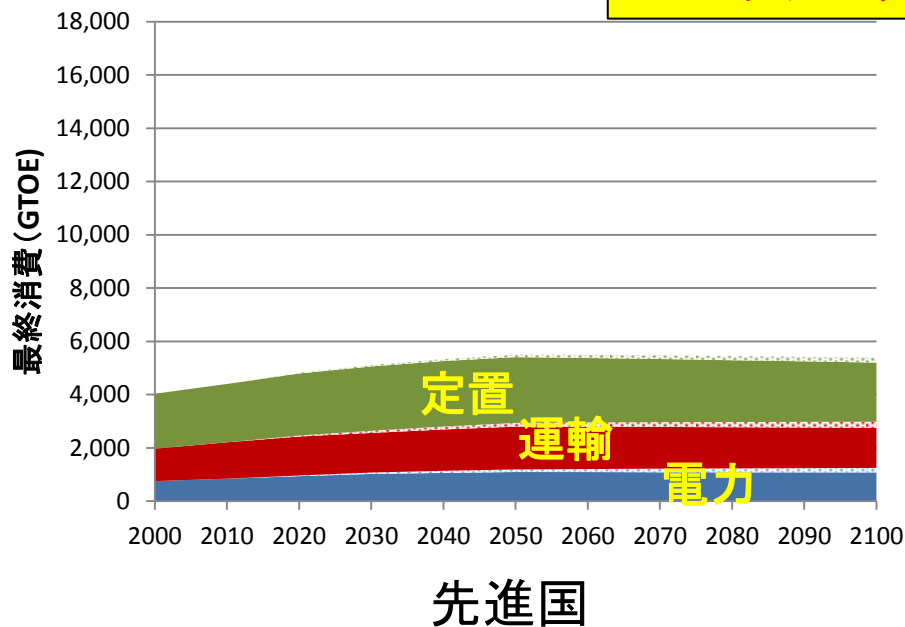
- 生産や消費者効用は保持しつつ、エネルギー効率を向上
- 機器の買い換え時に、高効率の機器が着実に普及。半強制的な措置・社会構造の変革は想定しない。

(2) 想定技術

- 産業
 - 高効率プロセス(鉄鋼、化学、セメントなど)
- 民生
 - トップランナー家電、住宅断熱、LED照明、BEMS、HEMS など
- 運輸。
 - 燃費向上、ハイブリッド など。

(2) 省エネ率とその位置づけ

※ハッチングが省エネ分※



- 途上国は、新規導入機器が中心になる分、省エネ率が高い。
先進国: 約6%、途上国: 約14% @2050年
- 世界の省エネはWEOのNew Policyシナリオ(現在予定されている政策・計画(未実施を含む)が着実に履行されることを想定)と同程度
- 日本の省エネは、中環審の低位シナリオと同程度。すなわち、現行ですすでに取り組み、あるいは想定されている対策・施策を継続

4. 2 供給側の低炭素技術（CCSを含む）

供給側の主要な技術は下記の通り

これらのうち、割安なもの（コスト増加に対するCO₂削減量が大きいもの）から導入が進む

（1）電力

- 原子力
- 風力・太陽光
- 火力+CCS

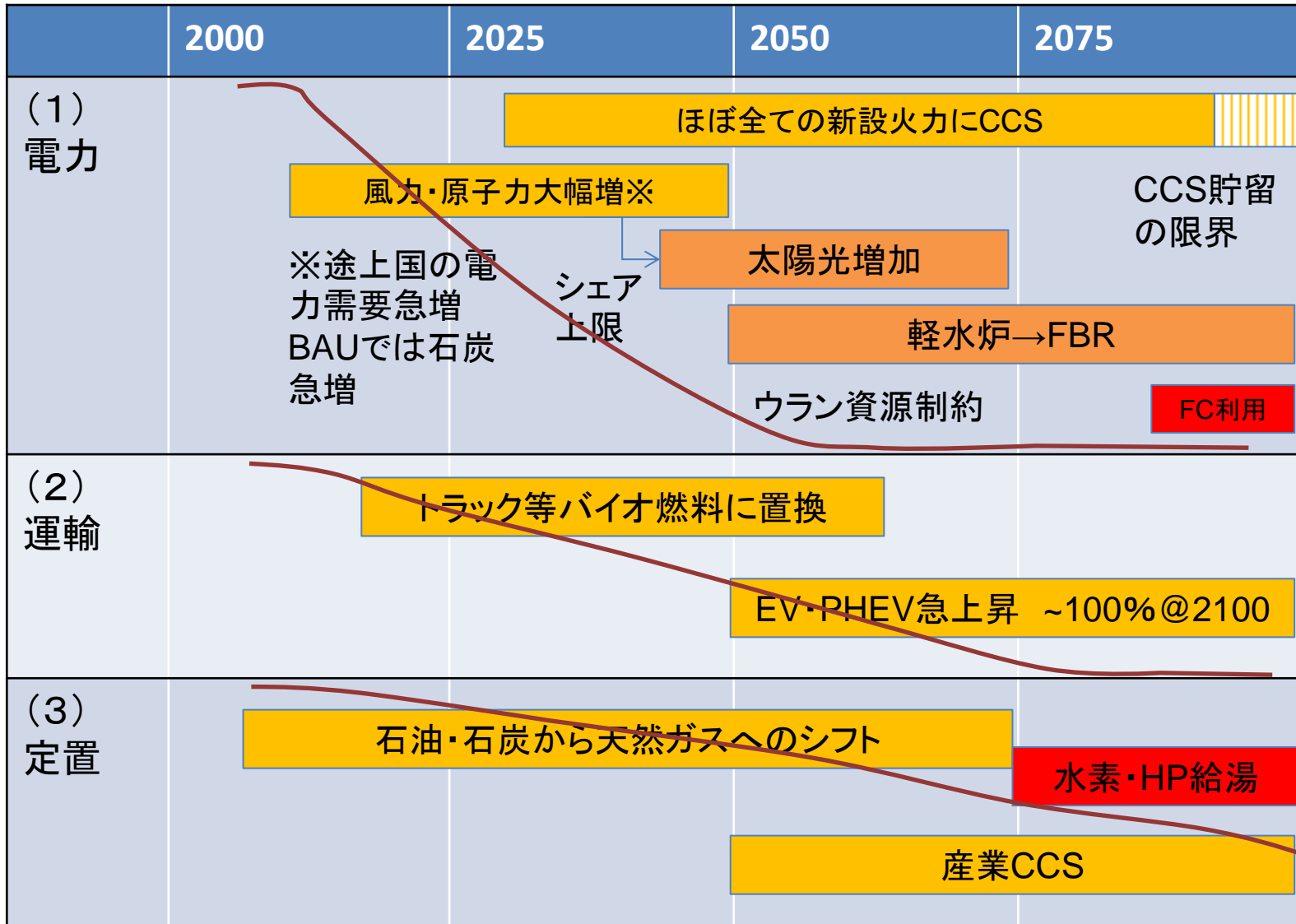
（2）運輸

- プラグインハイブリッド、電気自動車
- バイオ燃料

（3）定置＝産業・民生の熱源

- 燃料シフト（天然ガスの利用）
- バイオマス
- 水素利用
- 産業CCS

4.3 CO2対策技術概観



図中の曲線はCO2削減率 (Z650の排出/BAUの排出) のイメージ

4. 4 主要技術の評価

1) 風力と原子力の急増

2050年までの平均増加量

原子力: 36GW/年(稼働率85%)

風力: 90GW/年(稼働率25%)

これらは原子力の導入期の50GW/年(1980年代前半)、最近の風力の導入速度40GW/年と比べ、桁違いに大きい値ではない。

2) CCSの実用化

- ◆ 2030年以降のほぼすべての新設プラントにCCSを装備
- ◆ 2050年には火力発電所からのCO₂排出が実質的にゼロ
- ◆ EORを中心に欧米で実証プロジェクトが進行中であり、技術的には十分可能
- ◆ 炭素価格の状況によっては、経済的にも十分な競争力をもち得る

3) バイオ燃料

- ◆ 残渣とエネルギー作物だけでもポテンシャルは十分
- ◆ トラックや航空は電気への移行は困難であり、バイオ燃料によるCO₂削減に期待。