



環境エネルギーの未来

岡崎 健

大学院理工学研究科 工学系長・工学部長
東京工業大学 環境エネルギー機構長
機械制御システム専攻 教授

(財)宇部興産学術振興財団
宇部全日空ホテル
2010年6月3日(木)

講演内容

1. 温暖化対策の論点

- ・CO2削減の量的寄与が必須

2. 温暖化対策の世界動向と日本の取り組み

- ・COP15(2009, 12/7-19, コペンハーゲン)までの各国の目標
- ・日本の政策的取り組みの経緯

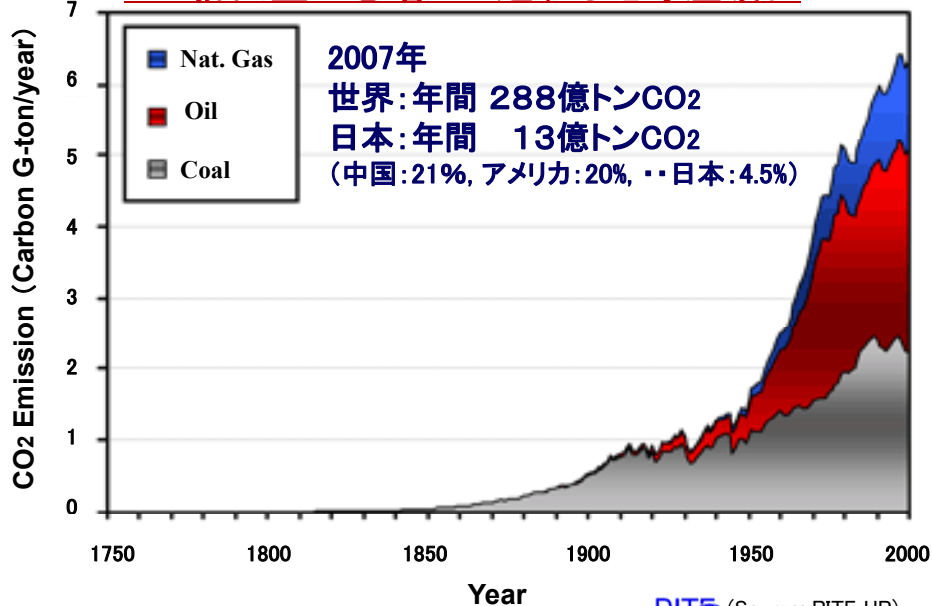
3. 2020年に1990年比でCO2排出25%削減の意味

- ・日本としては非常に高い目標、真水で実現可能なのか?
- ・技術的チャレンジ

4. 水素エネルギーの可能性

5. 東工大「環境エネルギー機構」について

CO2排出量の急増と加速する地球温暖化



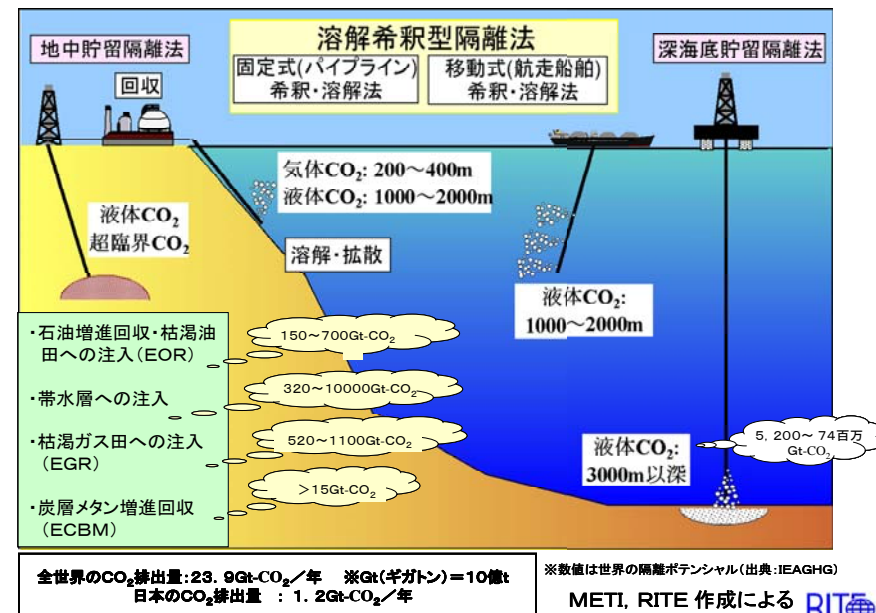
地球温暖化対策の論点

- ・地球温暖化は ← 異常なまでの**大量CO2**放出
- ・正味かつ**量的なCO2削減寄与**が最も重要(大型、普及)
- ・再生可能エネルギーによる寄与:現状では微小
- ・当面は、化石燃料に依存しながらCO2を出さない技術開発が急務
- ・省エネルギー・高効率化だけでは、CO2削減は不十分
- ・社会の変革、技術革新、経済的負担の調和
- ・すべての主要国間の**公平かつ実効性**のある枠組み

温暖化対策技術の相互比較

- ① 省エネルギーとエネルギー変換・利用効率の向上
高効率火力、複合発電、IGCC, IGFC, コージェネ
- ② 炭素分の少ない軽質燃料への燃料転換
石炭・石油→天然ガス(枯渇進行)
- ③ 再生可能エネルギーの大量導入
現状は極微量、長期的には必須 (キャリアは?)
- ④ 原子力エネルギーの利用拡大
社会的受容性が必要
- ⑤ CO₂の人工的隔離(分離・回収・貯留隔離:CCS)
一見華麗ではないが、顕著な量的寄与
各種技術との統合化 (発電・水素製造とCO₂分離・隔離)

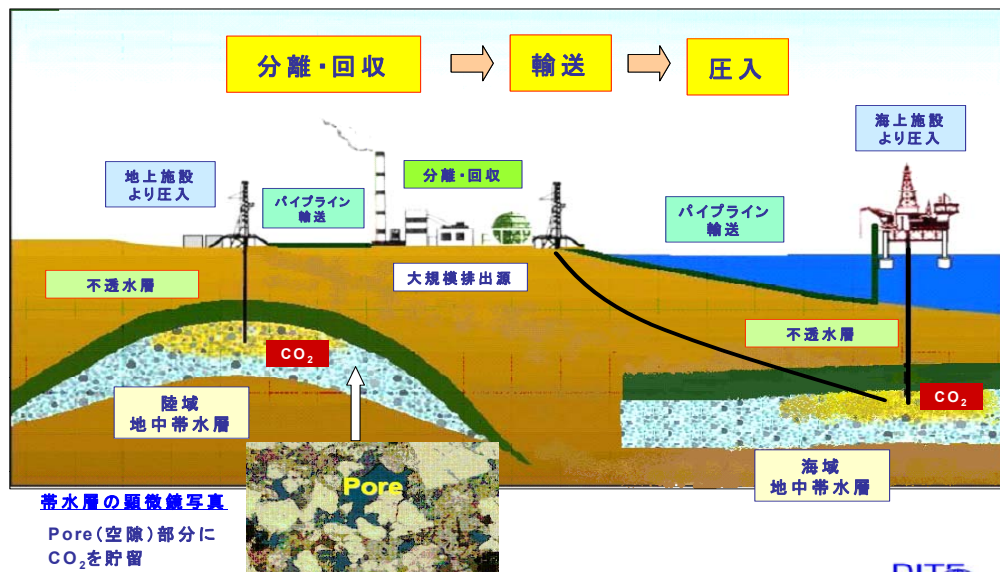
5



CO₂大量隔離技術と隔離ポテンシャル

6

CO₂地中貯留の概念

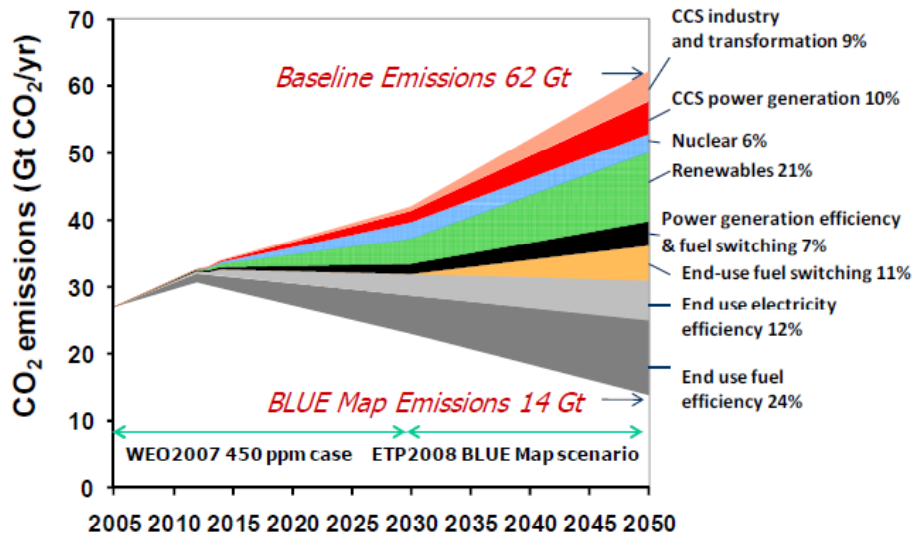


7

講演内容

1. 温暖化対策の論点
 - ・CO₂削減の量的寄与が必須
2. 温暖化対策の世界動向と日本の取り組み
 - ・COP15(2009, 12/7-19, コペンハーゲン)までの各国の目標
 - ・日本の政策的取り組みの経緯
3. 2020年に1990年比でCO₂排出25%削減の意味
 - ・日本としては非常に高い目標、真水で実現可能なのか?
 - ・技術的チャレンジ
4. 水素エネルギーの可能性
5. 東工大「環境エネルギー機構」について

8



● BLUEシナリオでは、WEO2007の450PPMシナリオの2030年までの試算(2030年まで)を起点として、2050年CO2排出量半減を目指して2030~2050年試算を行なっている

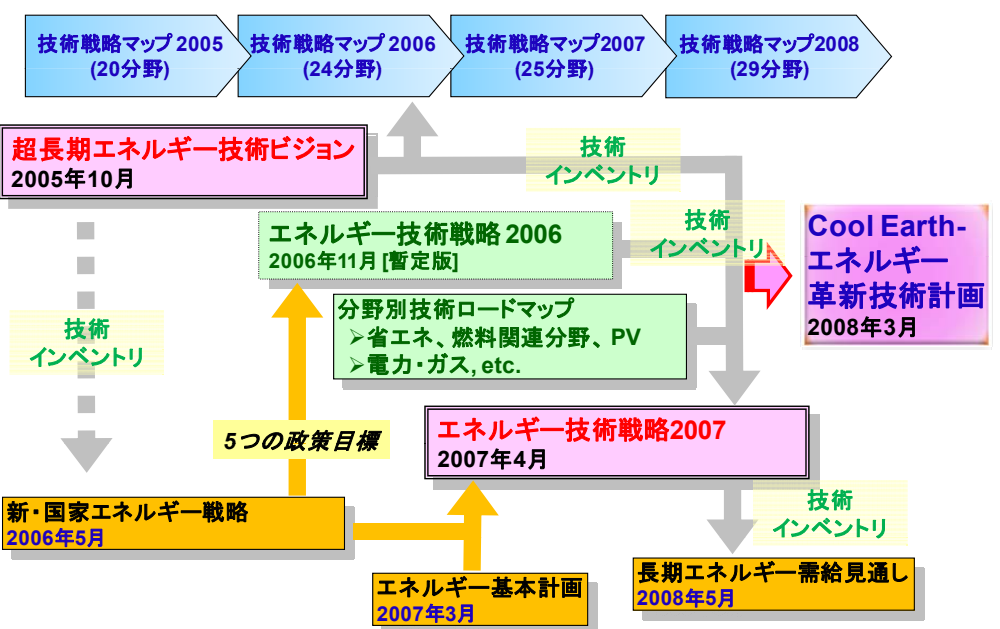
ETP 2008

COP15・CMP5の成果

AWG-LCA およびAWG-KPは結論出ず。
 - COP16まで交渉を継続。
 2009, 12

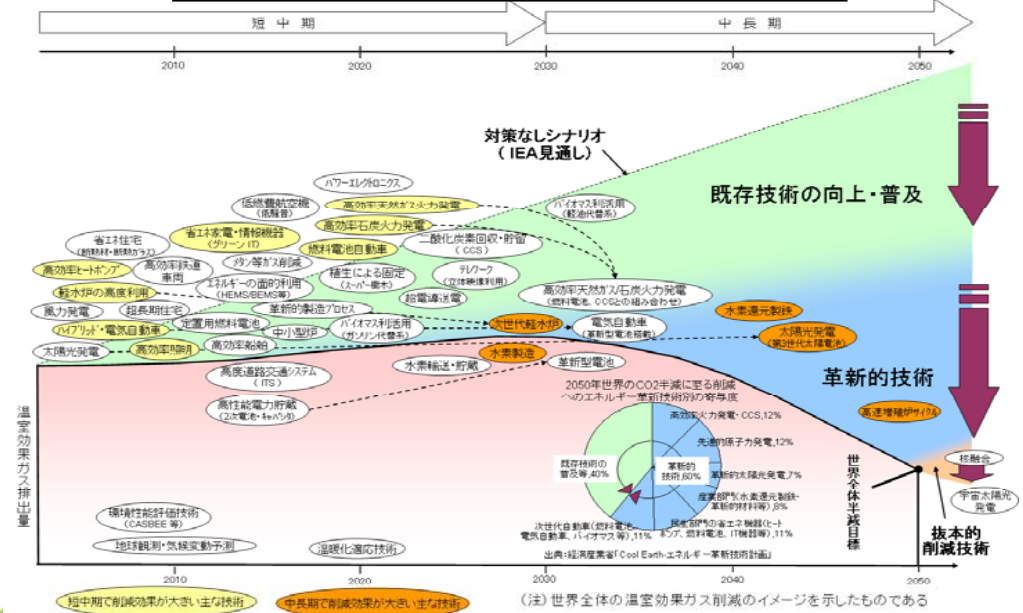
- 首脳会合の結果としてのコペンハーゲンアコード
- 最終的に2°C目標を目指す。
 - 先進国は、2020年の排出削減目標を2010年1月末までに提出。
 - 途上国は、国内で実施予定の排出抑制策を2010年1月末までに提出。そのうち先進国からの支援を受けたものは、国際的な評価を受けることになる。
 - 適応策を推進する。そのための資金を準備。
 - 新規の資金的支援。2010-2012年の間は300億ドル。中長期的には、2020年までに毎年1000億ドル。(公的資金以外の資金も含む)
 - 技術移転促進のための「技術メカニズム」の設立

2010, 2/4 国立環境研究所 藤野純一



産業技術総合研究所 赤井誠

環境エネルギー技術の開発と普及

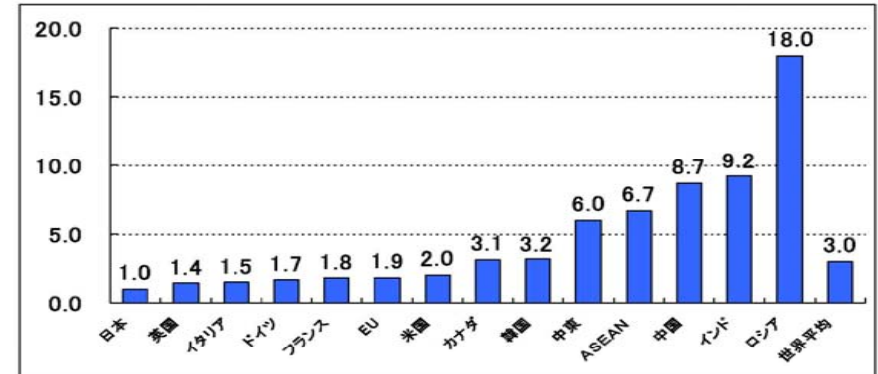


重点的に取り組むべきエネルギー革新技術

エネルギー革新技術の選定要件に基づき、エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO₂大幅削減を可能とする「21」技術を選定。(経産省「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」2008.3/5)



GDPあたりの一次エネルギー消費量の各国比較



※一次エネルギー消費量(石油換算トン/実質GDPを日本=1として換算)

GDPあたりの一次エネルギー消費量の各国比較

外務省資料

2008, 7 文部科学省 岡村直子 東工大講演資料

講演内容

1. 温暖化対策の論点

- ・CO₂削減の量的寄与が必須

2. 温暖化対策の世界動向と日本の取り組み

- ・COP15(2009, 12/7-19, コペンハーゲン)までの各国の目標
- ・日本の政策的取り組みの経緯

3. 2020年に1990年比でCO₂排出25%削減の意味

- ・日本としては非常に高い目標、真水で実現可能なのか?
- ・技術的チャレンジ

4. 水素エネルギーの可能性

5. 東工大「環境エネルギー機構」について

日本2020年は25%削減

Japan's mid-term target was announced by New Prime Minister Hatoyama on September 22nd, 2009. The target is



25 percent reduction from the 1990 level by 2020

	新政権	旧政権	京都目標
目標年	2020	2020	2008 - 2012
基準年	1990	2005(1990)	1990
国内削減(真水)	全部で25%のはず	15(8)%	0.6%
森林吸収		-	3.8%
海外クレジット		-	1.6%

New Prime Minister Hatoyama 鳩山由紀夫

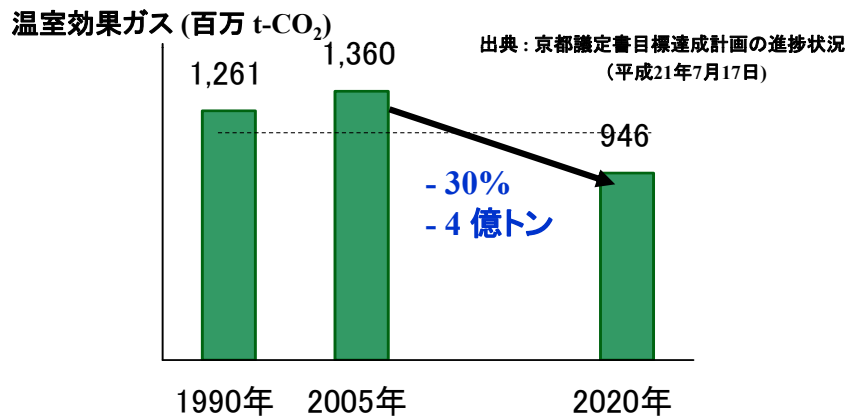
*Japan's Kyoto target (6% reduction) includes carbon sinks and credits through the Kyoto mechanisms.

条件: すべての主要国による公平かつ実効性のある枠組みの構築
すべての主要国による意欲的目標の合意

2020年の中期目標

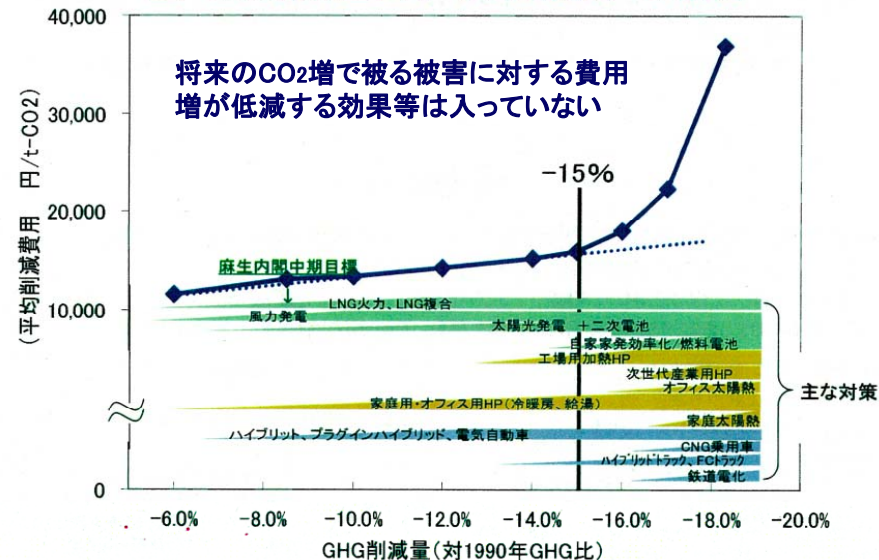
○ 2009年9月：鳩山総理発表
「1990年比 25%削減」を目標とすることを決断した。(2005年比30%削減)

参考 米国：1990年比 0%削減 (2005年比14%削減) 国外からの排出権を含む
EU：1990年比 20%削減 (2005年比14%削減) 国外からの排出権を含む



2010, 2/22 CCT研究会資料 (三菱重工)

GHG削減量と平均削減費用※の相関

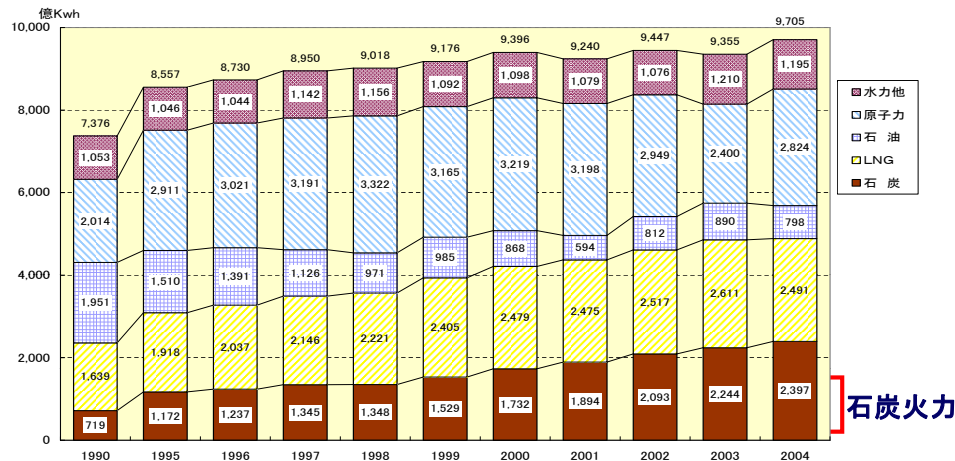


※2020年において、ベースケースから当該削減レベルまでCO₂を追加削減するために必要な総費用を CO₂削減量で除した値。

2010, 2/22 CCT研究会資料 (三菱重工)

最近の電源別比率推移

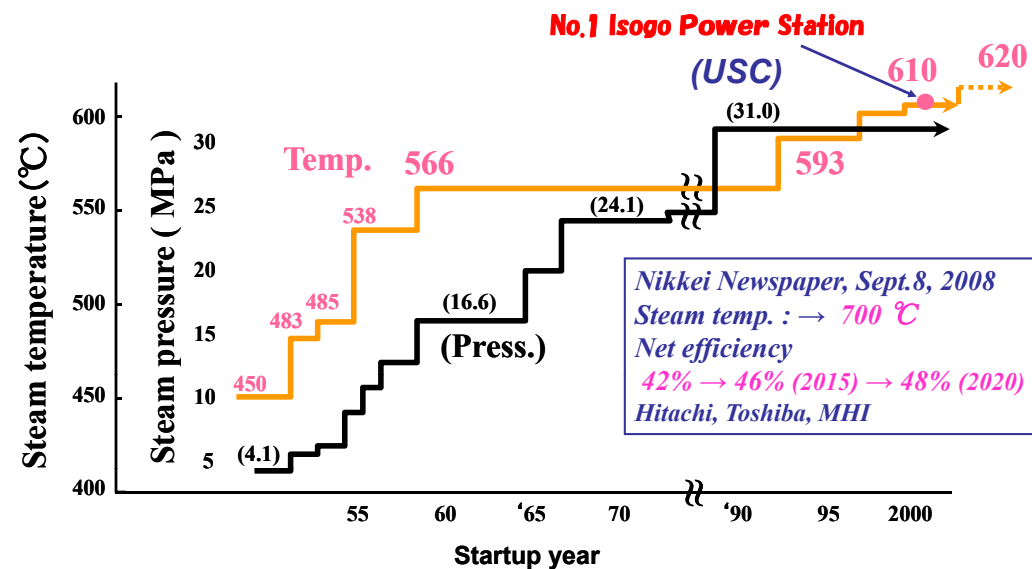
○日本の電源構成を見ると、石炭火力発電(25%)は、原子力(29%)、LNG火力(26%)に次ぐ重要なエネルギー源である。



出典：エネルギー経済統計要覧2006年版

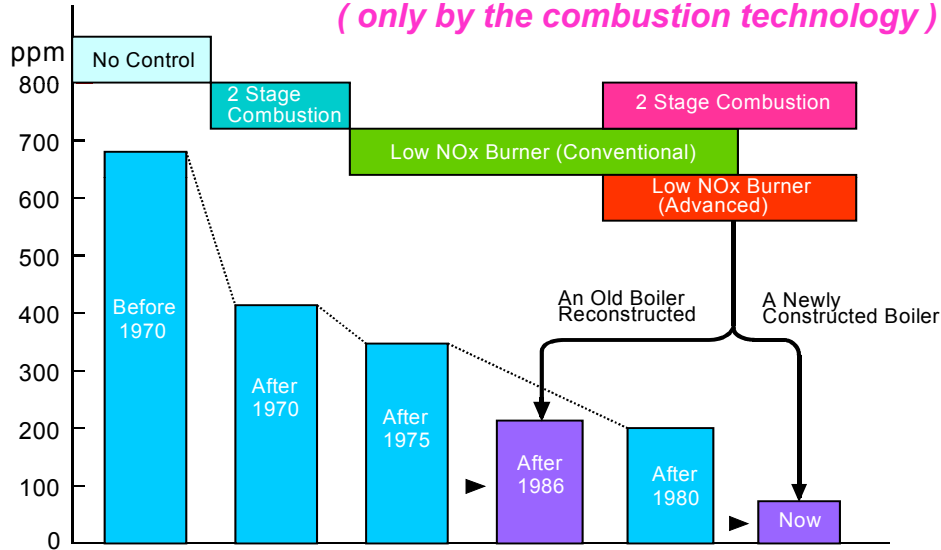
JCOAL CCT-WS, 2008.8 19

Change of Coal Fired Power Plant in Japan

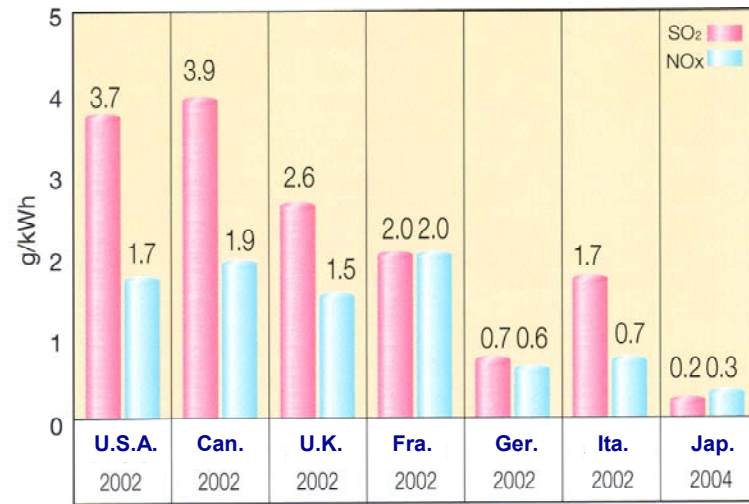


NOx Control Methods and the Progress in Japan

(only by the combustion technology)



日本のクリーンコールテクノロジー(CCT)の実際



In Japan
1 GW P.C. Stations
Net eff. > 40 %
NO_x < 100 ppm

Acid Rain
technology transfer
from Japan

CO₂ Problems
only increase of eff.
is not enough, and
new strategies are
definitely necessary.

NOx and SOx emissions from fossil fuel fired power stations

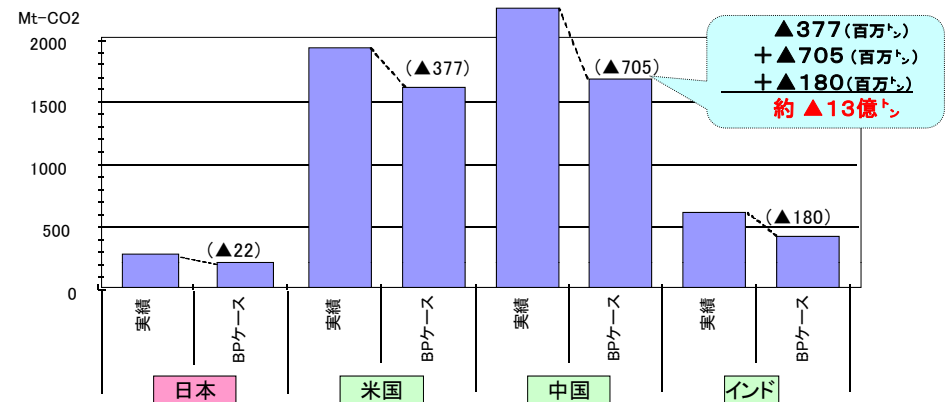
NO_x: 0.017, SO_x: 0.070 (Isogo No.1)



電源開発(株)磯子火力発電所(石炭火力 新1号機 60万kW) (2002年4月 営業運転開始)

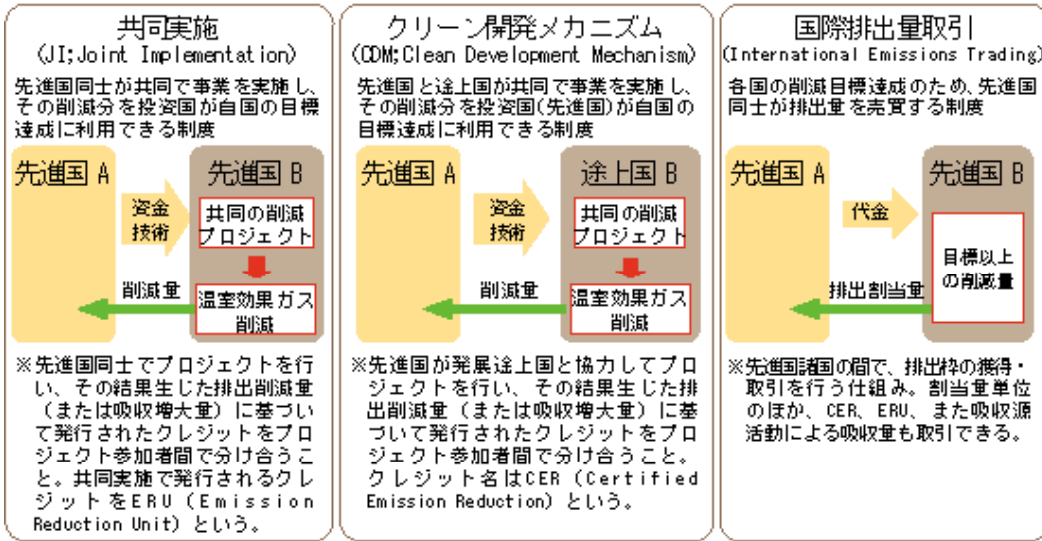
- ◆ 米、中、インドのCO₂削減ポテンシャル: 13億トン程度
- ◆ 2005年の世界の全CO₂排出量(266億トン)の5%に相当; 日本のCO₂排出量にほぼ匹敵

石炭火力発電からのCO₂排出 (2005年) 実績とJP磯子新1号技術適用ケースの試算

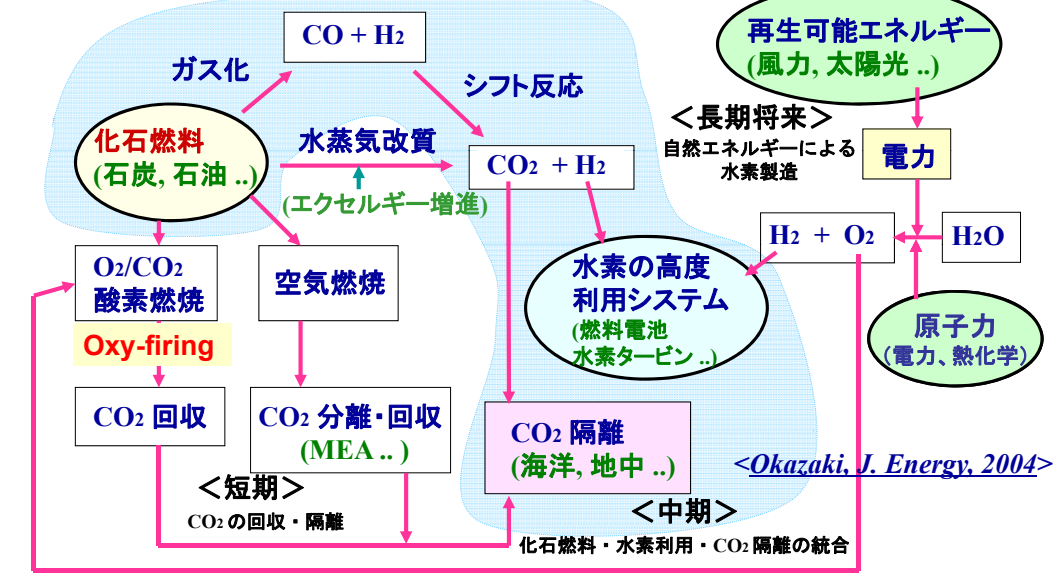


出典: IEA World Energy Outlook 2007, Ecofys International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO₂ Intensity 2008から作成

技術革新で勝負するなら、JI, CDMが好ましいが、実質的には機能していない

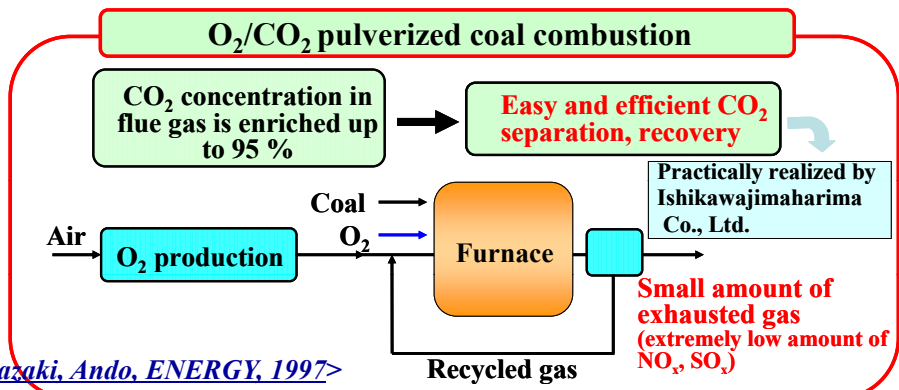


<地球温暖化対策の動向>

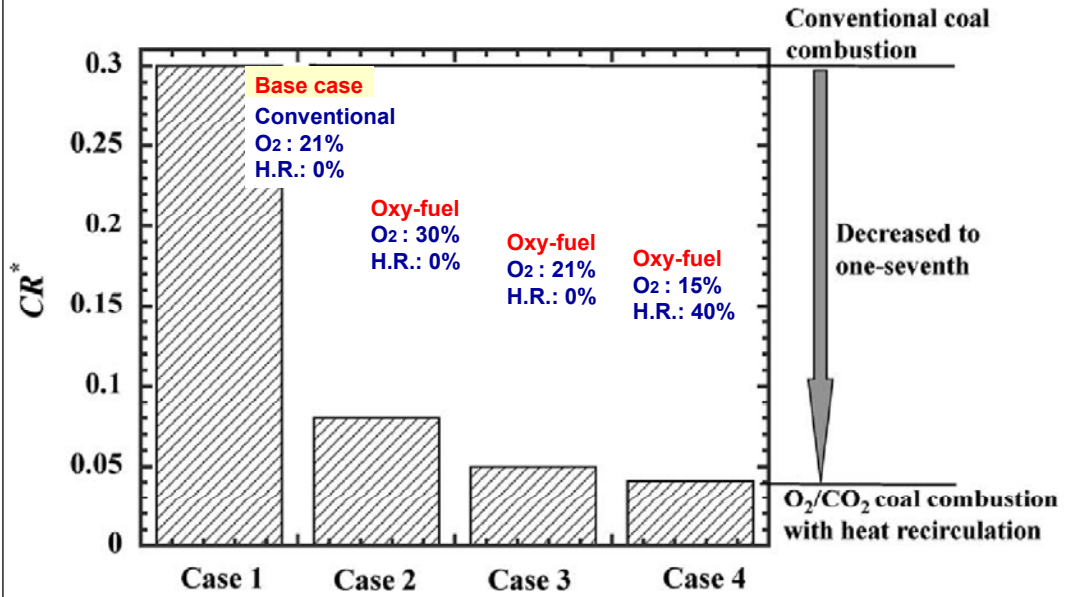


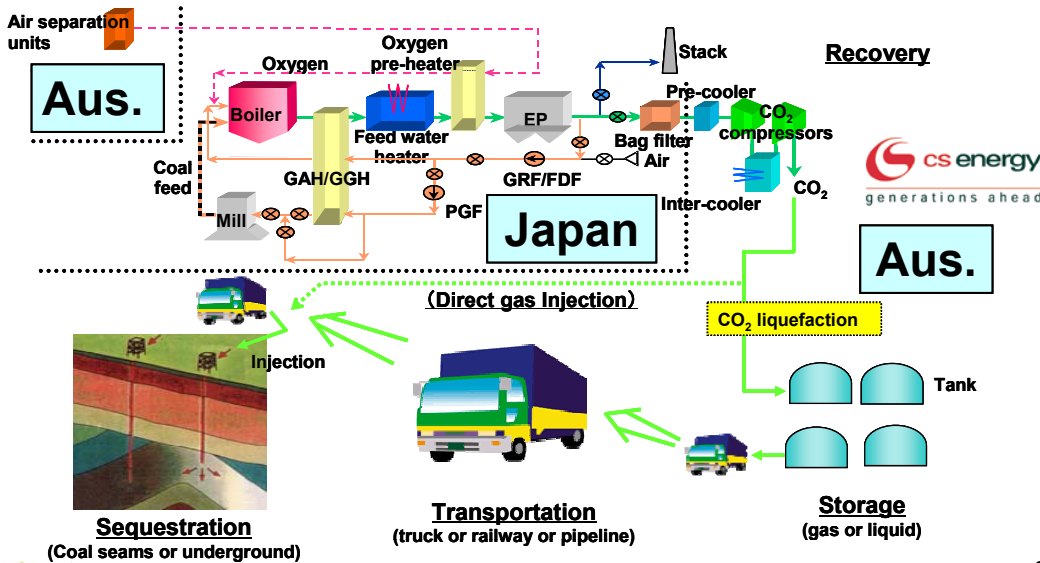
石炭火力プラントからの能動的CO₂回収

- ・排ガスからのCO₂分離(化学吸収)・回収
 - ・酸素燃焼(O₂/CO₂燃焼)・排ガス中のCO₂濃縮・回収
- Oxy-firing



Drastic Reduction of CR* (Fuel-N to NO_x) by Oxy-firing



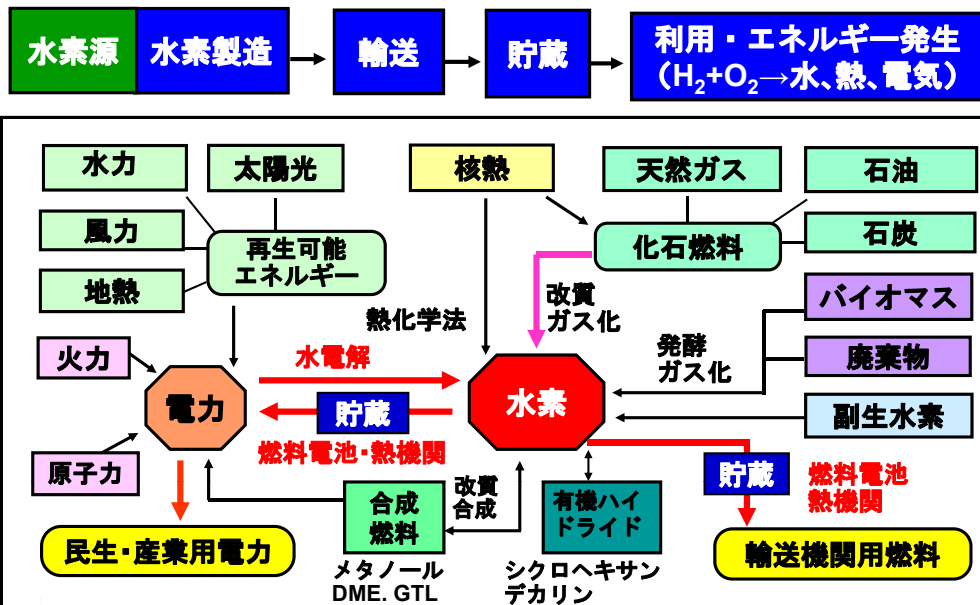


講演内容

1. 温暖化対策の論点
 - ・CO2削減の量的寄与が必須
2. 温暖化対策の世界動向と日本の取り組み
 - ・COP15(2009, 12/7-19, コペンハーゲン)までの各国の目標
 - ・日本の政策的取り組みの経緯
3. 2020年に1990年比でCO2排出25%削減の意味
 - ・日本としては非常に高い目標、真水で実現可能なのか?
 - ・技術的チャレンジ
4. 水素エネルギーの可能性
5. 東工大「環境エネルギー機構」について

水素エネルギーシステム

HESS 岡野一清氏のご厚意による



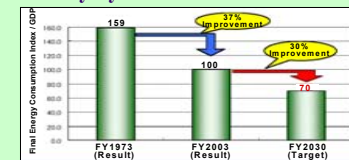
Next-Generation Vehicle Fuel Initiative

- In May 2007, METI announced “Next-Generation Vehicle Fuel Initiative” to achieve national energy targets.
- It clearly says the government takes “all in parallel” approach to achieve national energy target.

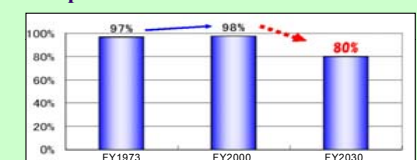
High Performance Hybrids	Full-range EVs	Next generation FCVs	Bio-fuels	World most user-friendly auto-society
CO2 emission: minus 1/2	CO2 emission: minus 3/4	CO2 emission: minus 2/3	CO2 emission: minus 3%	CO2 emission: minus 10%

National Energy Target Toward 2030

Improvement of national energy efficiency by 30%



Reduction of oil-dependency in transportation sector down to 80%



JHFC 2009-11

JHFC2 Participating Vehicles



Toyota FCHV



Nissan X-TRAIL FCV



Honda FCX



Daimler-Chrysler F-Cell



GM Hydrogen 3



Toyota/Hino FCHV-BUS



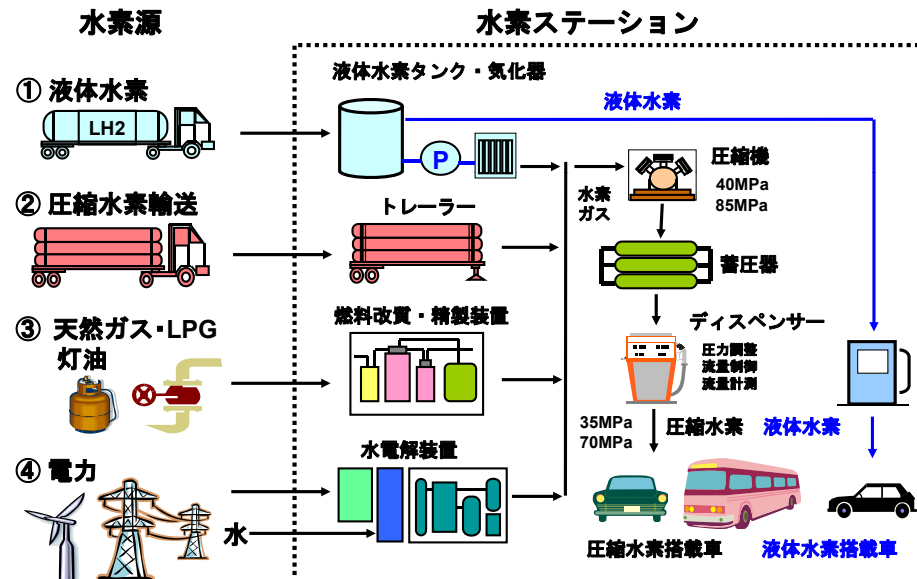
Suzuki MRwagon-FCV



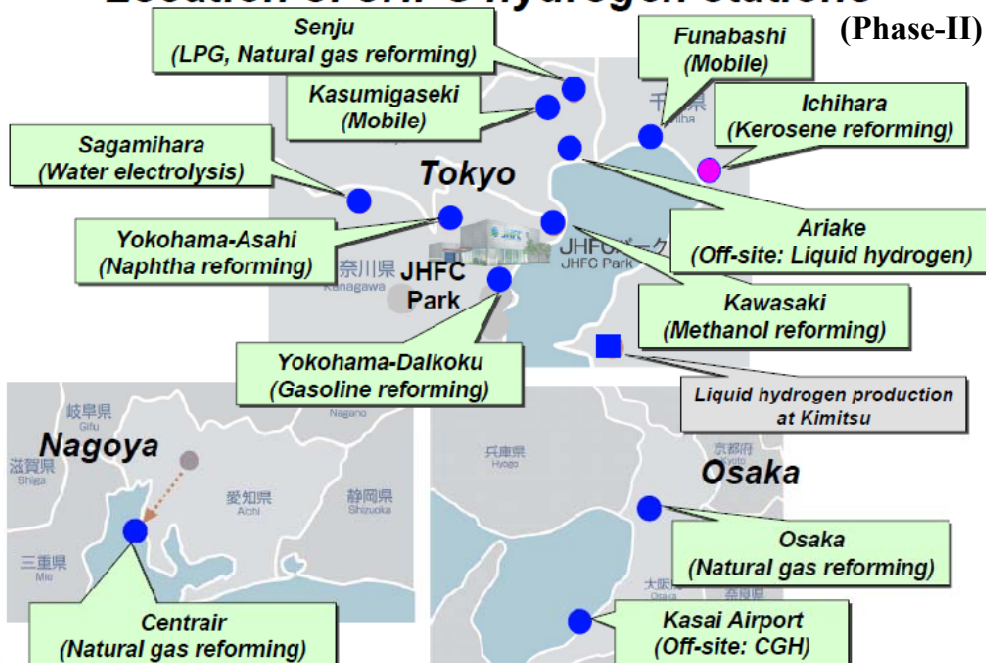
Mazda RX-8 Hydrogen RE*

* New ICV participants in JHFC2

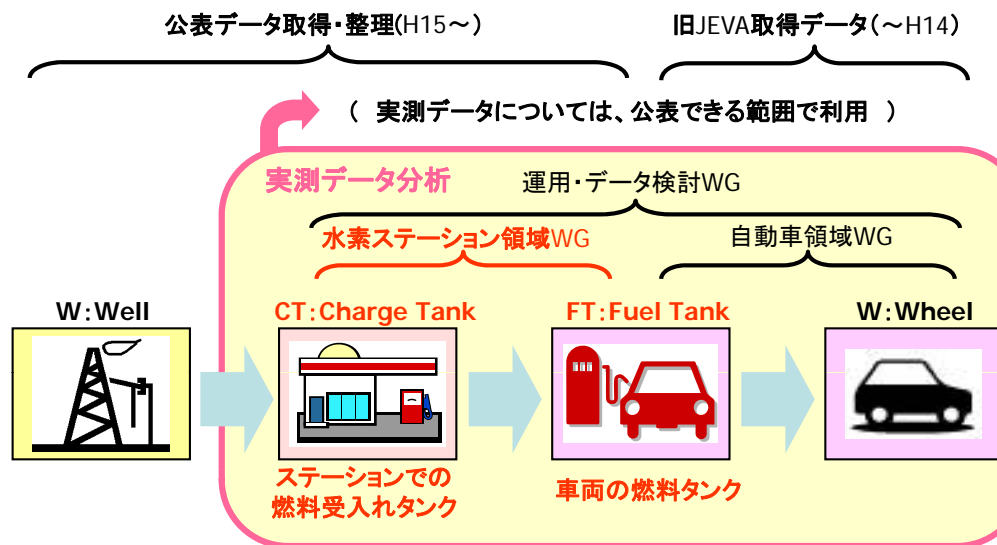
水素ステーションのシステム



Location of JHFC hydrogen stations



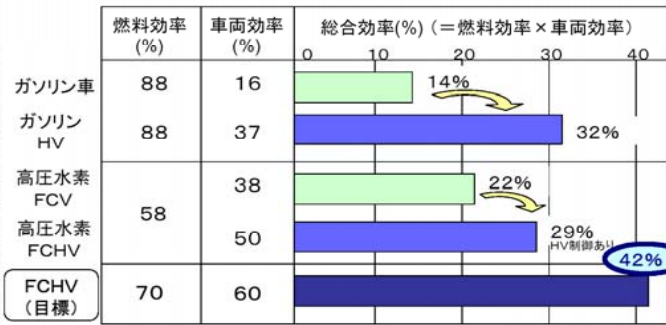
水素ステーションの取得データの検討 (毎年度末に実データ公表)



Well to Wheel Efficiency

水素燃料電池自動車と水素ステーション

燃料電池自動車の総合効率(燃料効率×車両効率)



(注) HV : ハイブリッド自動車 (Hybrid Vehicle)
 FCV : 燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle)
 FCHV : 燃料電池ハイブリッド自動車 (Fuel Cell Hybrid Vehicle)

水素ICEの総合効率 = $0.58 \times 0.16 = 0.093$, **9.3% < 14%** (ガソリンICE)

水素内燃エンジン車の総合効率は、既存のガソリンエンジン車より低い
 (水素を化石燃料から製造する場合)

新型燃料電池コンセプト車

燃料電池車の長を生かした改良型燃料電池車

■ホンダFCXコンセプト

- ・ 車両効率60%に
- ・ 35MPa容器、570km走行
- ・ 機器の床下収納
- ・ 低温始動-30℃
- ・ 2008年より米でリース販売



(06.9.25発表)

■GM Chevrolet Equinox

- ・ 耐久性8万kmのSUV
- ・ 70MPa容器で350km走行
- ・ 機器の床下収納、
- ・ 低温始動-30℃
- ・ 2007年に100台市場テスト



(06.9.17発表)

商業用を意識した海外の水素ステーション

HESS 岡野一清氏のご厚意による

■商業用を意図したステーションの例



ロサンゼルス空港。水電解式無人水素ステーション



ワシントンDCのGS併設水素ステーション。液水貯蔵式

CA州移動式水素ステーション



HF-150型水素配送充填装置。150kg貯蔵。35MPa



CEPベルリン。セルフ充填液体水素貯蔵式と水電解式

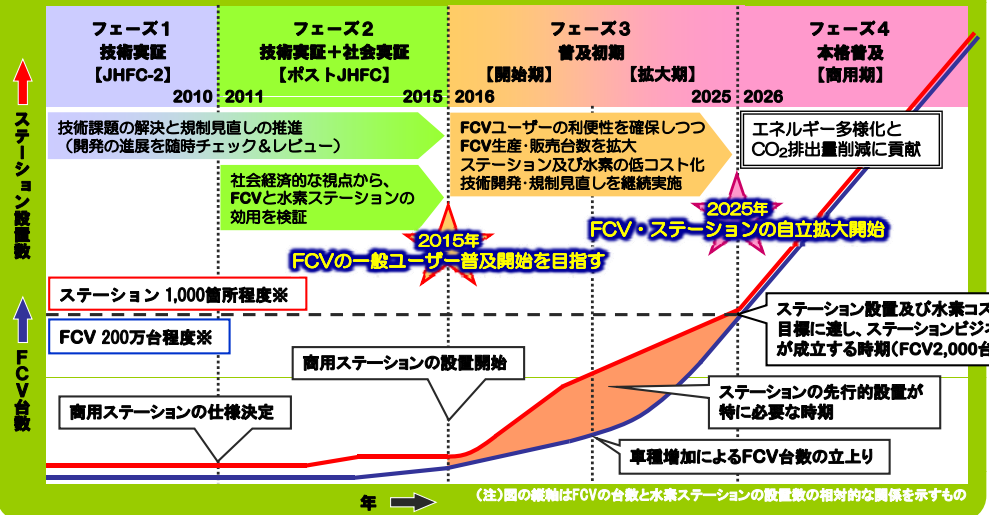


H-CUTEベルリン。セルフ充填液体水素貯蔵とLPG改質



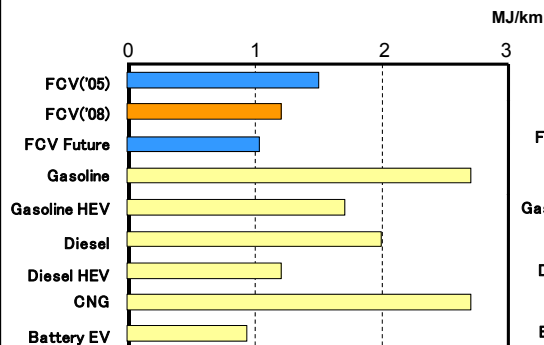
パーバンク。低コスト型PEM水電解。無人

FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ



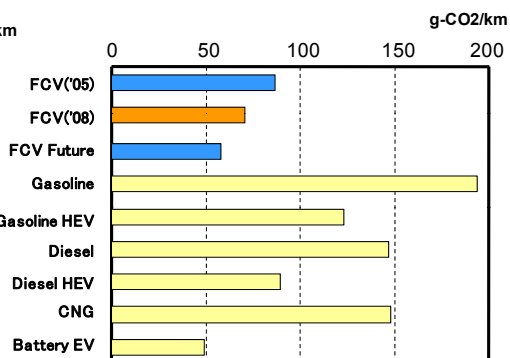
※前提条件: FCVユーザーのメリット(価格・利便性等)が確保されて、順調に普及が進んだ場合

Primary Energy input per 1 kilometer



Well to Wheel Efficiency

Total CO₂ Emission per 1 kilometer



Well to Wheel CO₂ Emission

FCV current: "hydrogen station" and "FCV" data are calculated by using JHFC demonstration top, while other data are calculated by published top.
 FCV future: calculated by using FC Stack Sys future efficiency 60% and published top.
 Electric power sources: *Japan Mix*
 Vehicle performance: Preconditions are the same except for Battery EV.

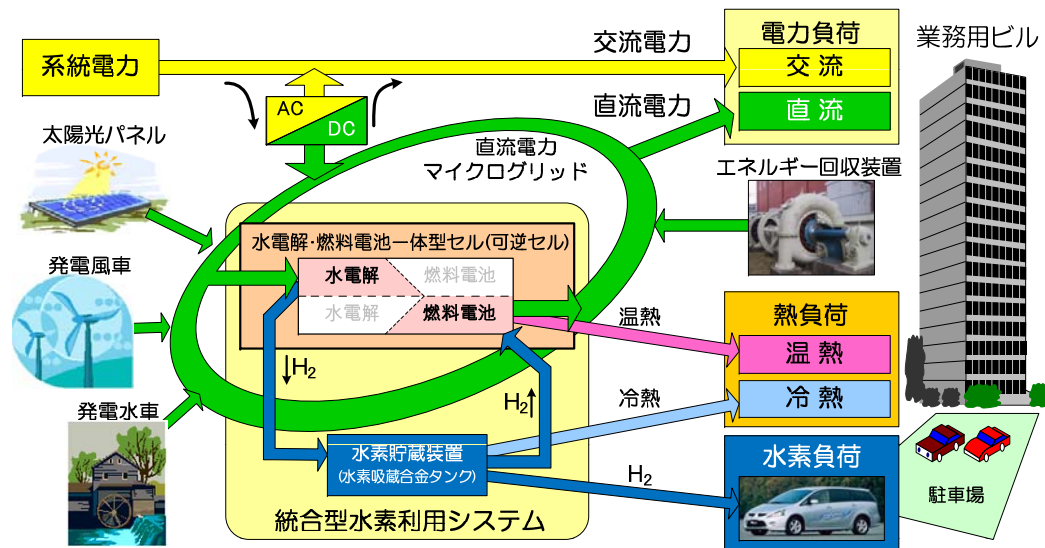
JHFC
2009-11

FCV, BEVの棲み分けイメージ

- FCVは車両サイズと航続距離の面において、既存のガソリン車を代替できる。
- 小型・短距離用途のBEVとFCVは共存して普及拡大が可能と考えられる。



定置式FCとの組み合わせ例



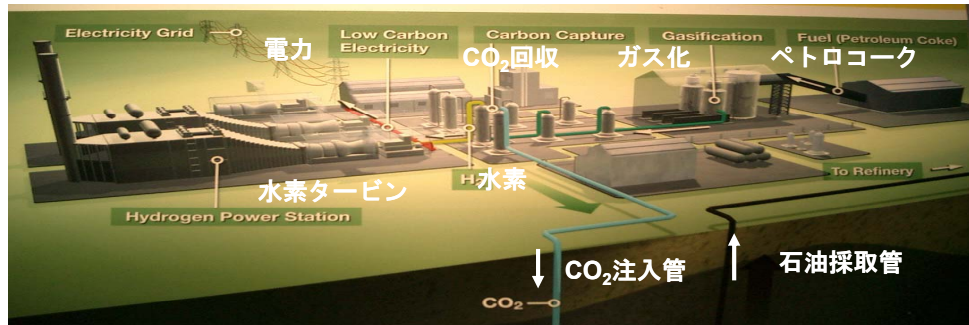
建築設備用統合型水素利用システム(高砂熱学工業、産業技術総合研究所)

米国の500MW水素タービン発電所計画

事業者： BP、Edison Mission Gr.
 設置場所：カリフォルニア州ロス近郊 Carson
 発電設備：500MW水素タービン（250MW×2）
 水素製造：ペトロコーク5,000t/dayをガス化
 CO₂処理：CO₂削減年間400万t（車100万台の
 排出量相当。Occidentalの油田注入）
 運転開始：2011年 投資額：10億ドル



設置場所のBP製油所

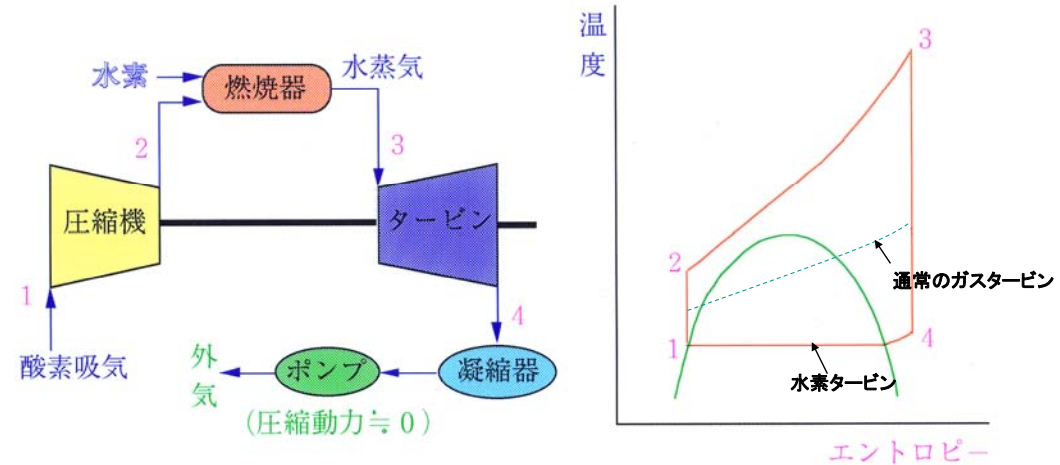


45

HESS 岡野一清氏
のご厚意による

水素の酸素燃焼による新サイクル

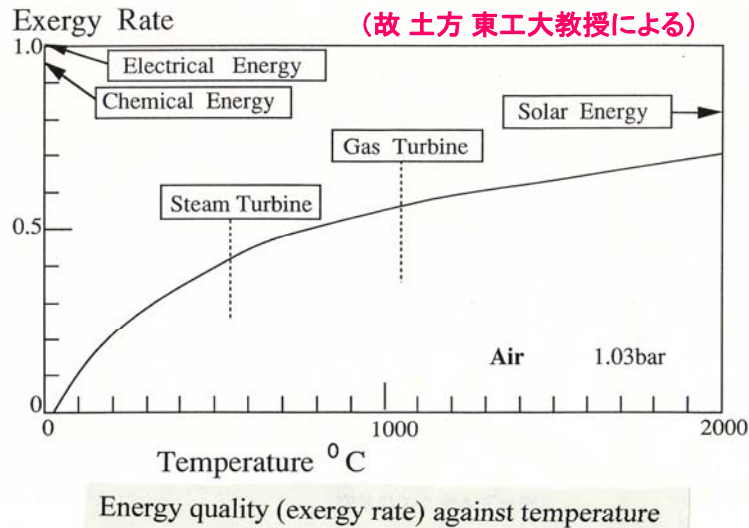
- ・ 燃焼生成物：水蒸気のみ（希釈ガスが水蒸気の場合）
- ・ ガスタービンと蒸気タービンの長所を兼ね備えた複合サイクル以上の性能（ブレイトンサイクル+ランキンサイクルの自動複合化）



46

水素を中間キャリアとした中・低温廃熱の高質化再利用

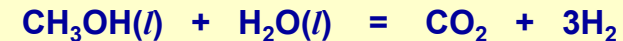
Energy Quality based on Exergy Rate



47

炭化水素系燃料の水蒸気改質

メタノールの水蒸気改質反応式(吸熱反応)



$\Delta_f H^0$	-238.6	-285.8	-393.5	0
$\Delta_f G^0$	-165.5	-237.1	-394.4	0
(kJ/mol)				(標準物質：C, H ₂ , O ₂ , N ₂ , (S))

$$\Delta H = (-393.5) - (-238.6 - 285.8) = 130.9$$

$$\Delta G = (-394.4) - (-165.5 - 237.1) = 8.2$$

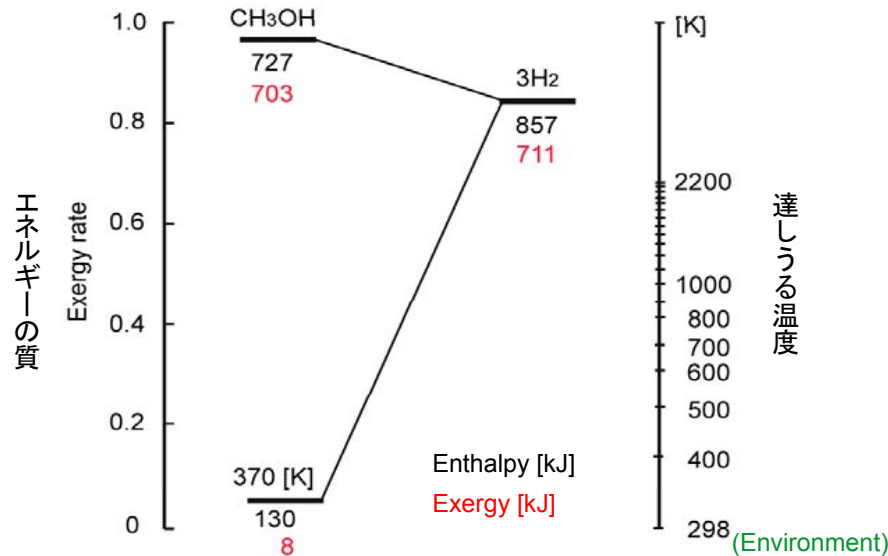
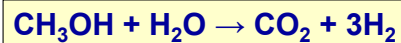
$$\Delta G / \Delta H = 8.2 / 130.9 = 0.06 = 6\% (90^\circ\text{C})$$

メタノールの水蒸気改質では

エクセルギー率6%(90°C)程度の低温廃熱が

水素の化学エネルギー(エクセルギー率83%)に取り込まれる

48



低温排熱の高付加価値化再利用

炭化水素系燃料の水蒸気改質反応

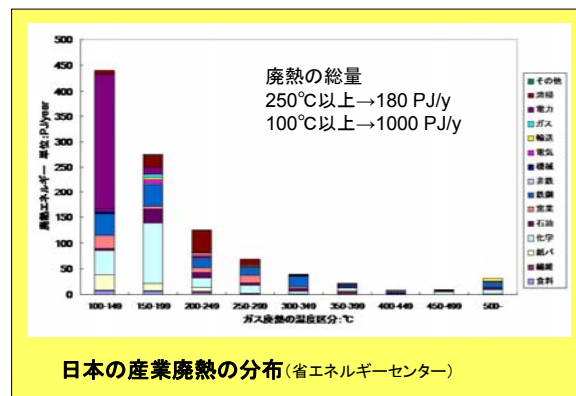
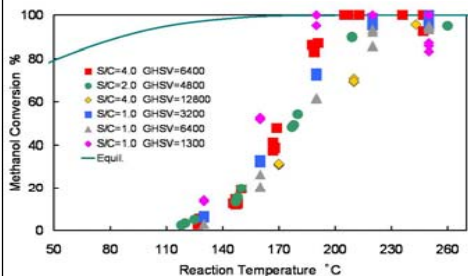
Reaction	Exergy Rate (%)	Temperature (K/°C)
$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$ (Methanol)	6.3	364 / 91
$\text{CH}_3\text{OCH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 6\text{H}_2$ (DME)	14.0	400 / 127
$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ (Methane)	51.6	1106 / 833
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 6\text{H}_2$ (Ethanol)	30.4	592 / 319
$\text{C}_2\text{H}_6 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 7\text{H}_2$ (Ethane)	43.8	860 / 587
$\text{C}_2\text{H}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 6\text{H}_2$ (Ethylene)	30.2	589 / 316
$\text{C}_3\text{H}_8 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{CO}_2 + 10\text{H}_2$ (Propane)	41.3	799 / 526

中低温廃熱の適用に適しているのは
 ◎メタノールの水蒸気改質反応
 ○DME(ジメチルエーテル)の水蒸気改質反応

改質温度の低温化により
 廃熱の適用量の増大へ

メタノールの水蒸気改質の低温化

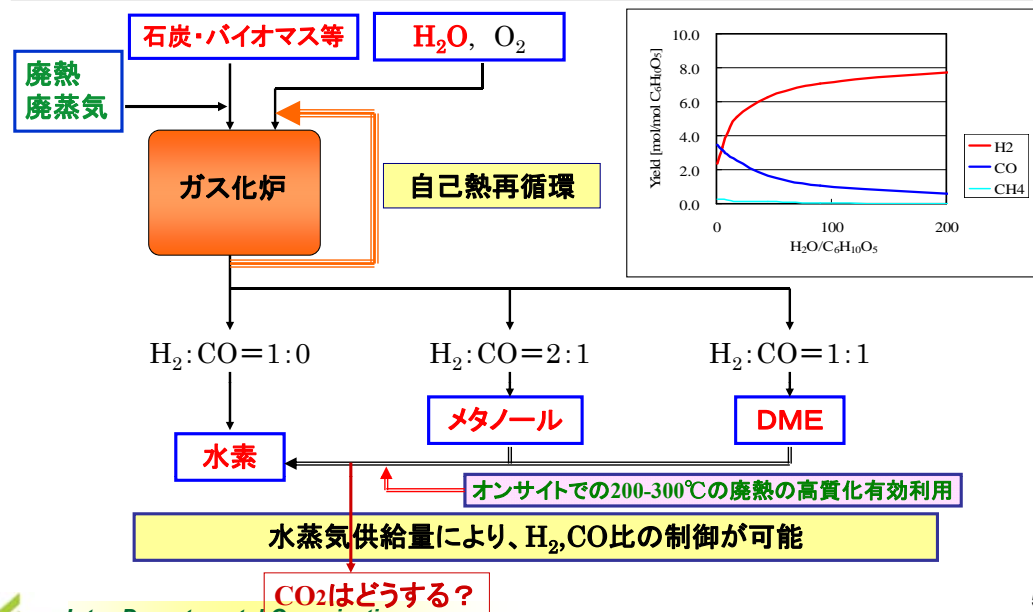
触媒活性評価(予備実験)



現状の市販触媒性能では、メタノール水蒸気改質を進行させるには250°C以上の温度が必要(反応速度の制約)

→メタノール水蒸気改質温度を反応の $\Delta G/\Delta H$ (6%)が示す100°Cに近づけるように低温化することで、より多量・低質な廃熱を高質化して利用

低温廃熱の高質化有効利用を組み込んだマルチパス水素利用システム



CO₂はどうする?

水素エネルギーの高度利用による高効率化だけでは
CO₂削減は不十分(地球温暖化の予想を超えた加速)

水素製造・水素インフラ → CO₂フリーへの対応

大型プラント → CO₂回収型石炭燃焼
CO₂回収型IGCC, IGFC
CO₂回収型水素タービン + CCS

分散エネルギーシステム(オンサイト、オフサイト水素製造)

→ CO₂対策をどうするか?
CCSとの組み合わせは成立するか?
CCSはどのようなシステムになるか?

53

水素の高度利用を核とした
複合化システム技術開発
(インターフェイス、量的・速度論的マッチング)
(産業間連携、コプロダクション)

個別技術開発
製造
輸送
貯蔵
利用

それぞれの高効率化だけではなく、システムとしての高度化が、水素だからこそできる大きなブレークスルーを生む

再生可能エネルギー導入促進

化石燃料からの水素製造
とCO₂回収・隔離の統合
(総合的地球温暖化対策)
(高効率化だけではCO₂削減は限界)

水素の多角的機能を活用した
中低質エネルギーの高質化再利用
(エクセルギー増進)

2015-2020年頃の実現に向けて、今から技術開発の行動を起こすべき

54

講演内容

1. 温暖化対策の論点

- ・CO₂削減の量的寄与が必須

2. 温暖化対策の世界動向と日本の取り組み

- ・COP15(2009, 12/7-19, コペンハーゲン)までの各国の目標
- ・日本の政策的取り組みの経緯

3. 2020年に1990年比でCO₂排出25%削減の意味

- ・日本としては非常に高い目標、真水で実現可能なのか?
- ・技術的チャレンジ

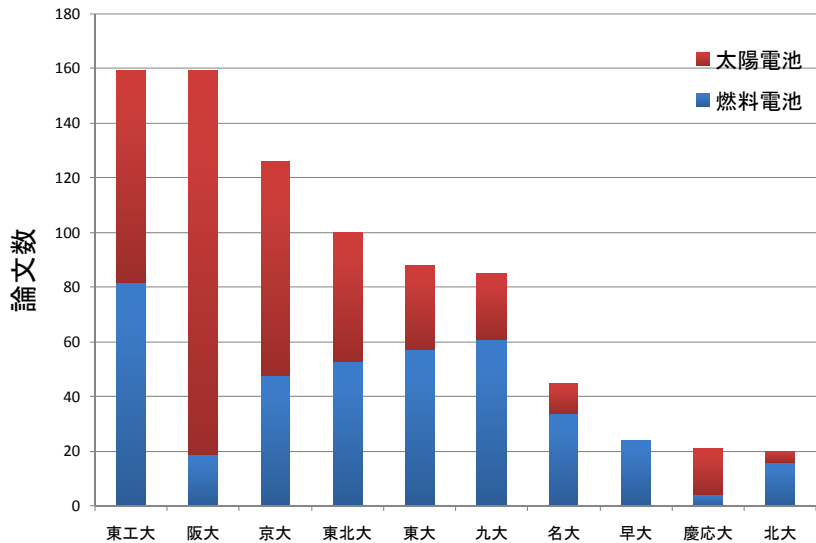
4. 水素エネルギーの可能性

5. 東工大「環境エネルギー機構」について

55

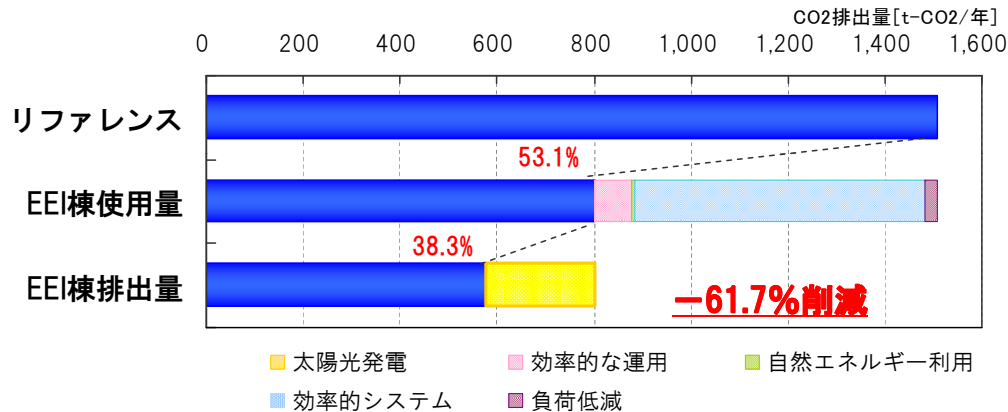


56

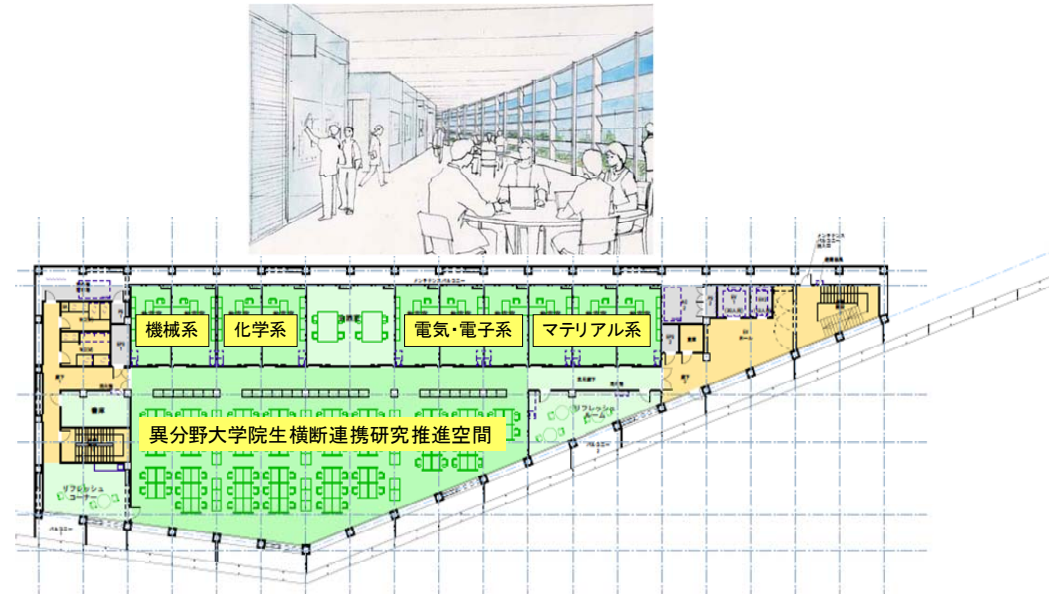


太陽電池、燃料電池をキーワードとする過去10年間の論文数比較
(第一著者の所属機関によって集計)





融合研究推進のための創造的コミュニケーション空間



東工大は「環境エネルギー機構」で何をするのか これまで、

- 個別技術・個別研究に強かった東工大
基礎原理、基礎現象、応用、新規プロセス、革新技術
- いかにか革新的なすぐれた技術でも、大量に普及しなくては地球温暖化対策にはならない

これから、(個別技術→異分野融合→連携→システム統合)

- 戦略的分野横断連携
- 学-学連携、産-学-官連携
- 課題解決型融合研究、新規技術革新、技術のフロンティア
- 技術面から低炭素社会実現へ挑戦(技術開発のインセンティブ)
- 社会からの受容性、経済成長、国際連携、政策提言・支援
- 環境エネルギー分野で国際的な戦略的リーダーシップ

グリーンイノベーション



ご静聴、有難うございました