

日本のエネルギー戦略 - 技術開発と国際展開 -

岡崎 健

Ken OKAZAKI

東京工業大学 教授
大学院理工学研究科 機械制御システム専攻



一橋大学・経済研究所 政策フォーラム
一橋大学 一橋講堂
2013年6月4日(火)

1



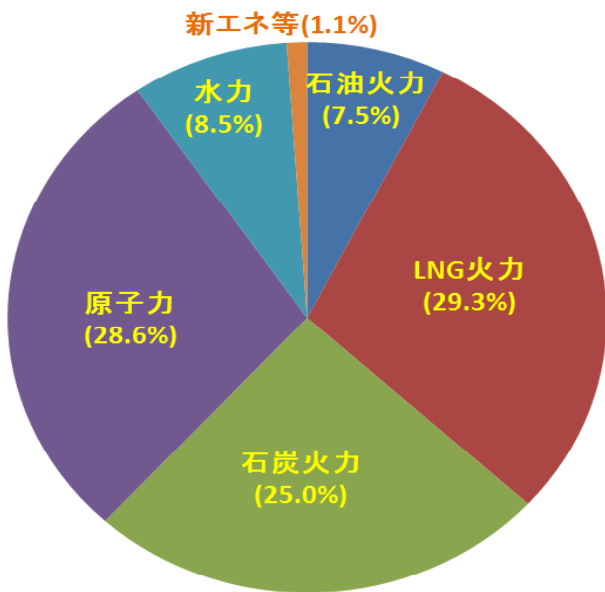
講演の論点

1. エネルギー・環境戦略についての議論では、**量的寄与**、**時間スケール**、**空間スケール**を踏まえた総合的判断が不可欠
一面のきれいごとだけでは地球環境やエネルギー問題を語れない
再生可能エネルギー(太陽光、風力、...)、量的寄与:微小、コスト高
固定価格買取制度(FIT)の限界、電力料金上昇
2. 脱原発、火力燃料費増、貿易赤字、CO₂排出増、世界動向
シェールガス革命、日本では天然ガス価格が低下しない、リスク、課題
CO₂排出枠価格の下落、石炭価格の低下
3. ベース電力としての最新鋭石炭火力の役割上昇(ホットな話題)
安価、埋蔵量、産地偏在なし、安定供給、高度な発電技術の国際展開
微粉炭火力のクリーン・高効率(USC:超々臨界)、IGCC、IGFC、CCS
4. 水素への期待、技術開発(製造、輸送、貯蔵、利用)、導入促進
5. CO₂フリー水素チェーンの国際ネットワーク(石炭と水素の統合)

2



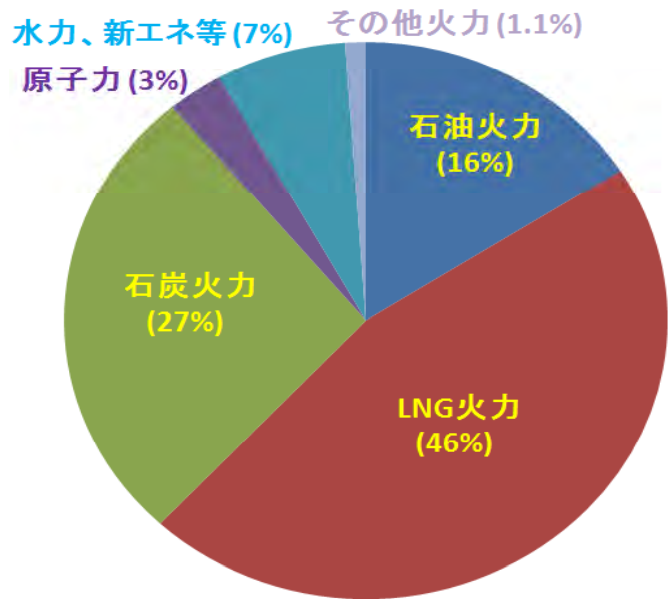
震災前の日本の電源別発電量
(2010)



エネルギー源の多様化
バランスが取れていた



震災後の日本の電源別発電量
(2012.9、電気事業者)

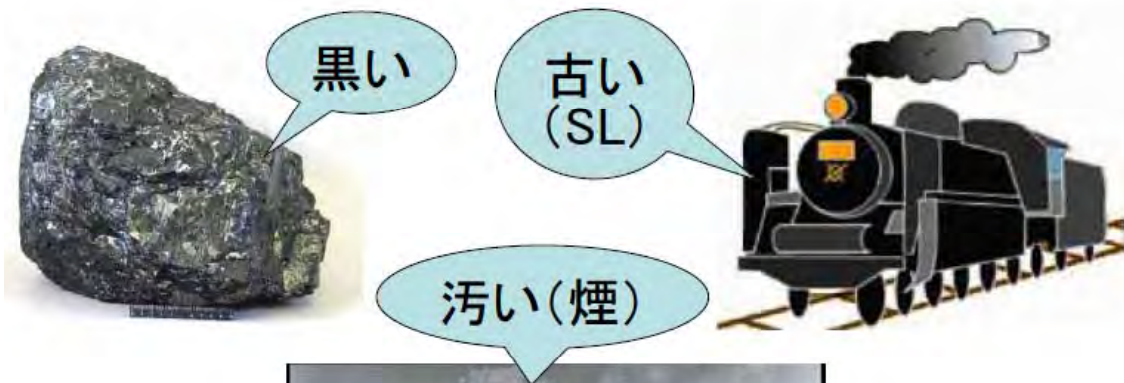


火力発電だけで90%



石炭の古いイメージ

→ 現在は違う 高効率・クリーン
地球環境保全へ



(電源開発 笹津浩司、クリーンコールセミナー福岡、2010, 10/29)



最新の日本の石炭火力発電所(世界最高性能)



Jパワー橋湾火力発電所(徳島県)



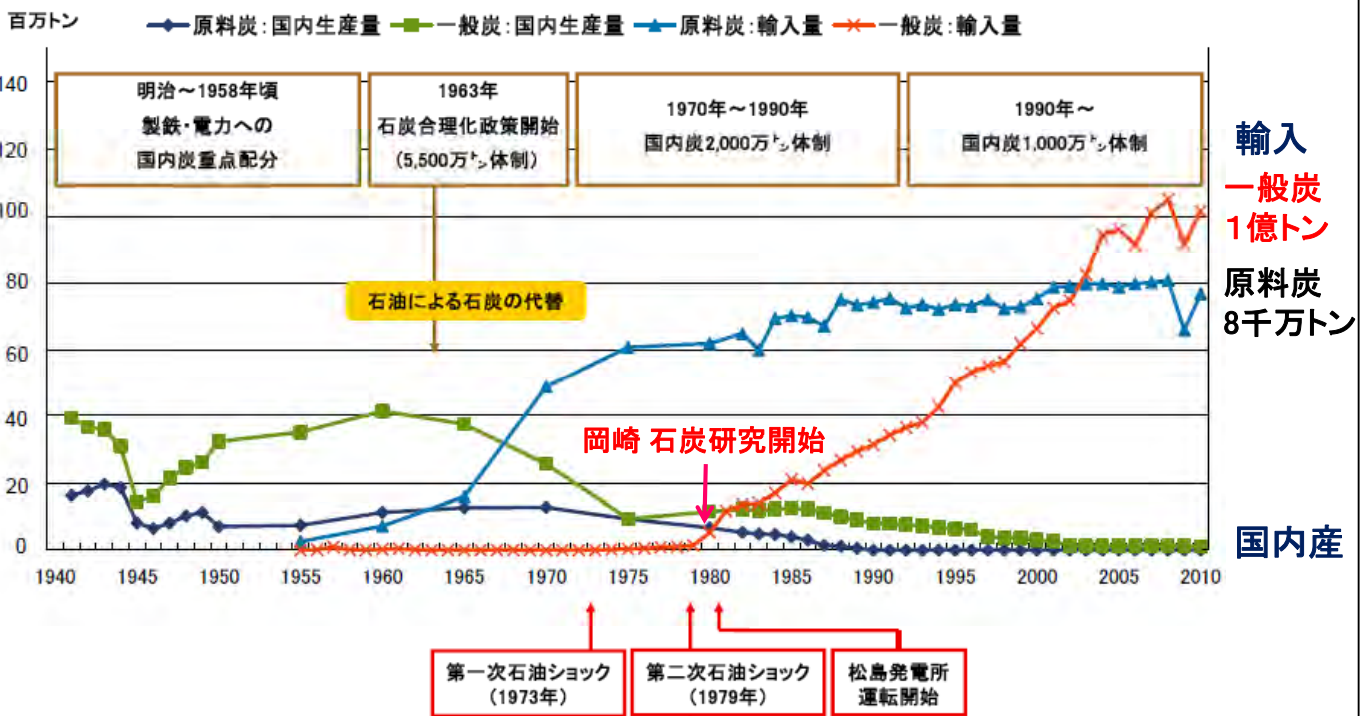
Jパワー磯子火力発電所(神奈川県)

(電源開発 笹津浩司、クリーンコールセミナー福岡、2010, 10/29)

【最新の仕様】

- SOx : < 10ppm
- NOx : < 13ppm
- 煤塵 : < 5mg/Nm³
- 発電効率 : 43%HHV

日本における石炭利用の歴史

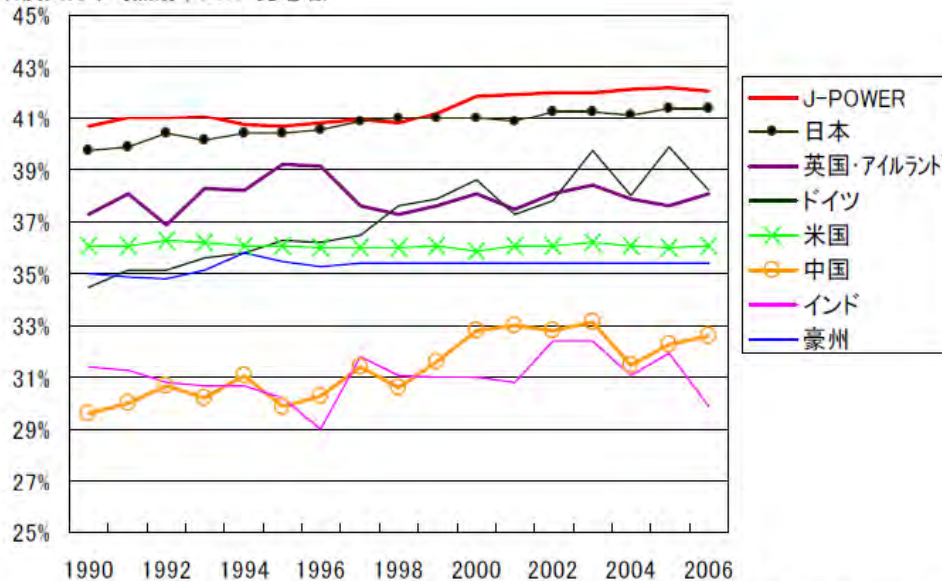


(三菱商事 衣川潤、クリーンコールセミナー東京、2011, 12/16)

世界の石炭火力の効率

世界の石炭火力には
効率向上 = CO2削減の余地がある

各国の石炭火力平均熱効率(LHV・発電端)



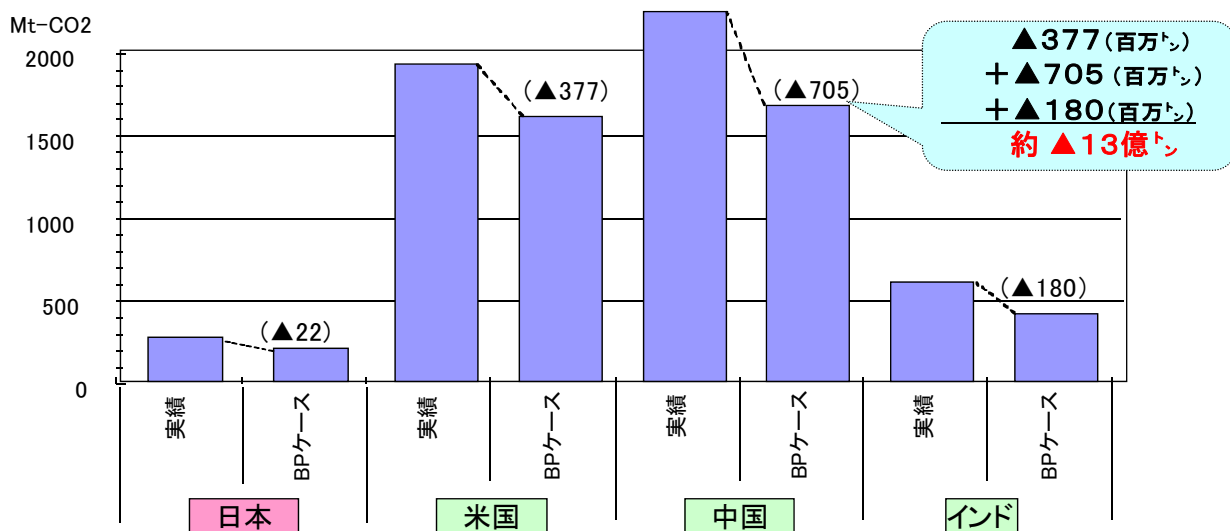
出典 「Ecofys International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO2 Intensity 2009(電事連提供)」から作成

(JCOAL 中垣喜彦、クリーンコールセミナー東京、2010、12/10)



- ◆ 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 CO₂削減は世界規模での協調が不可欠

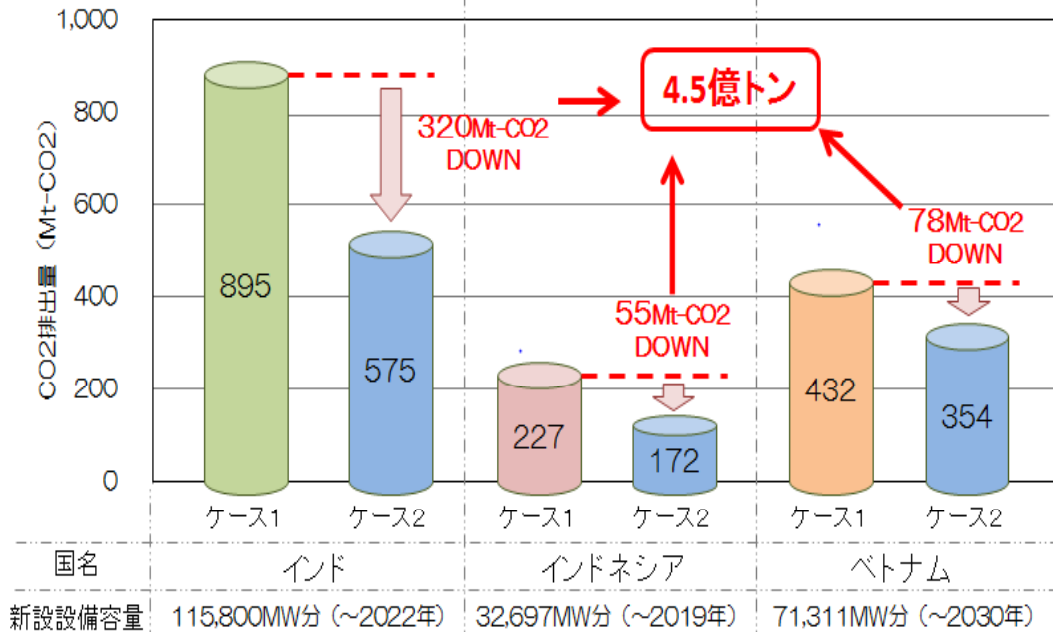


出典: IEA World Energy Outlook 2007、Ecofys International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO₂ Intensity 2008から作成



海外における効率的CO₂排出削減（石炭火力の国際展開） （日本の高効率石炭火力のアジアへの導入ケース）

【石炭火力発電からのCO₂排出量（既存技術導入ケースと我が国技術導入ケースの比較）】



ケース1: 現状導入されている技術が引き続き導入された場合

ケース2: 我が国技術が導入された場合

※ 新規石炭火力発電所における稼働率を70%と仮定。

出典:

- ・ IEA CO₂ EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION Highlights (2011 Edition)
- ・ 地球温暖化対策計画書 (平成22年11月30日J-POWER)
- ・ RUPTL10-19, CEA "National Electricity Plan"
- ・ INSTITUTE of ENERGY "VIETNAM POWER sector power master plan"

(2013,1/31 安居徹 講演資料より)

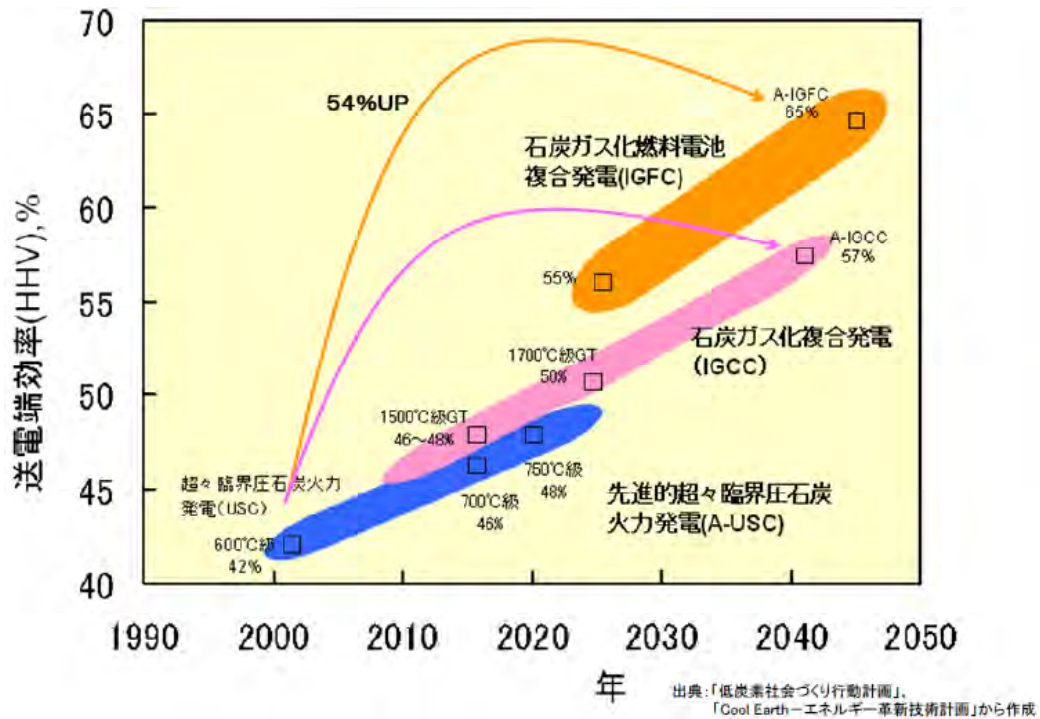
石炭利用高効率発電技術

- ◇ **微粉炭火力:** 微粉炭火力は蒸気タービン(ST)のみで発電する方式、現在の石炭火力の主流。蒸気の温度・圧力条件を上げることで効率が向上。現在、700℃級のA-USCの開発が計画中。
- ◇ **石炭ガス化複合発電:** IGCCはガスタービン(GT)とSTの複合発電、微粉炭火力に比べ高効率発電が可能。ガスタービン入口ガス温度を上げることで効率は向上する。
- ◇ **石炭ガス化燃料電池複合発電:** IGFCは、IGCCに燃料電池(FC)を組み合わせたトリプル複合発電方式。IGCCに比べ更に高効率発電が実現できる。

微粉炭火力		石炭ガス化複合発電 (1500℃級IGCC)	石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC)
最新火力(USC)	700℃級A-USC	ガス化炉	ガス化炉
発電端: 43%(HHV) 送電端: 41%(HHV) (比較ベース)	発電端: 48% 送電端: 46% CO ₂ 低減: 約11%	発電端: 51~53% 送電端: 46~48% CO ₂ 低減: 約▲13%	発電端: 60%以上 送電端: 55%以上 CO ₂ 低減: 約▲25%以上

※ CO₂低減割合は最新石炭火力をベースにしており、既設石炭火力をベースにすれば更に大きくなる。電発石炭発電講座より

日本の石炭火力の効率向上ロードマップ



(資源エネ庁 橋口昌道、クリーンコールセミナー東京、2011、12/16) 11



Integrated Coal Gasification Combined Cycle

IGCC (Integrated Coal Gasification Combined Cycle)

- Clean Coal Power R&D Co., Ltd.
- Air blown, entrained-flow gasifier
- 250MW demonstration, 2007-2009
- High efficiency (20% CO₂ reduction)



Bird eye's view of the demonstration plant

2013より常磐共同火力で商業運転中

IGFC (Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle)

- EAGLE Project
- Oxygen blown, entrained-flow gasifier
- 150t/d pilot test, 2001-2009
- High efficiency (30% CO₂ reduction)
- CO₂ capture test, 2007-



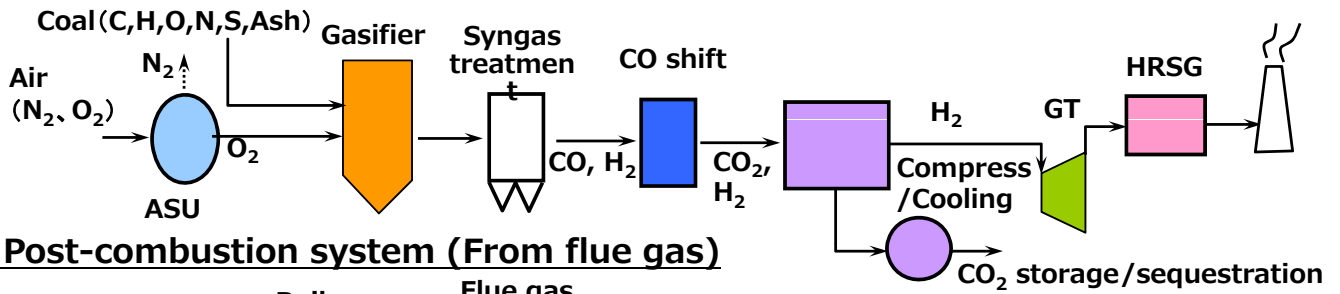
Pilot plant at Wakamatsu Res. Inst., JPower

2013より大崎クールジェンプロジェクトに発展 12

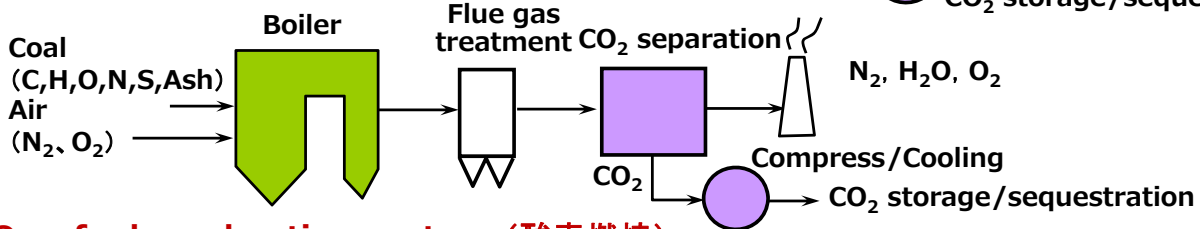


石炭火力からのCO₂回収技術

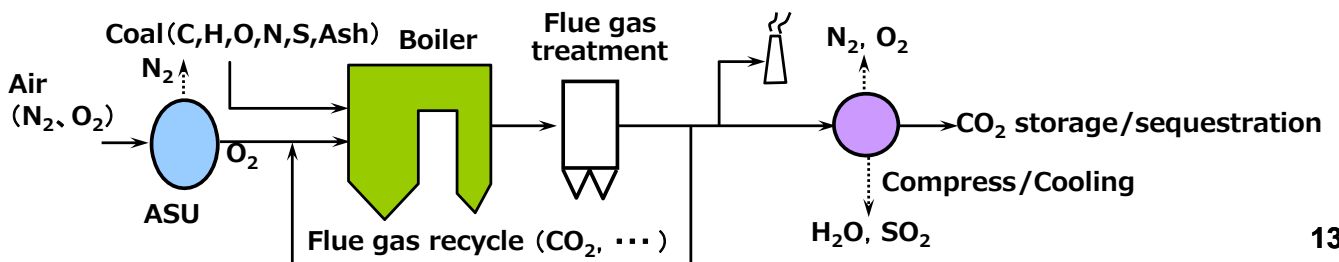
1. Pre-combustion system (Gasifier)



2. Post-combustion system (From flue gas)



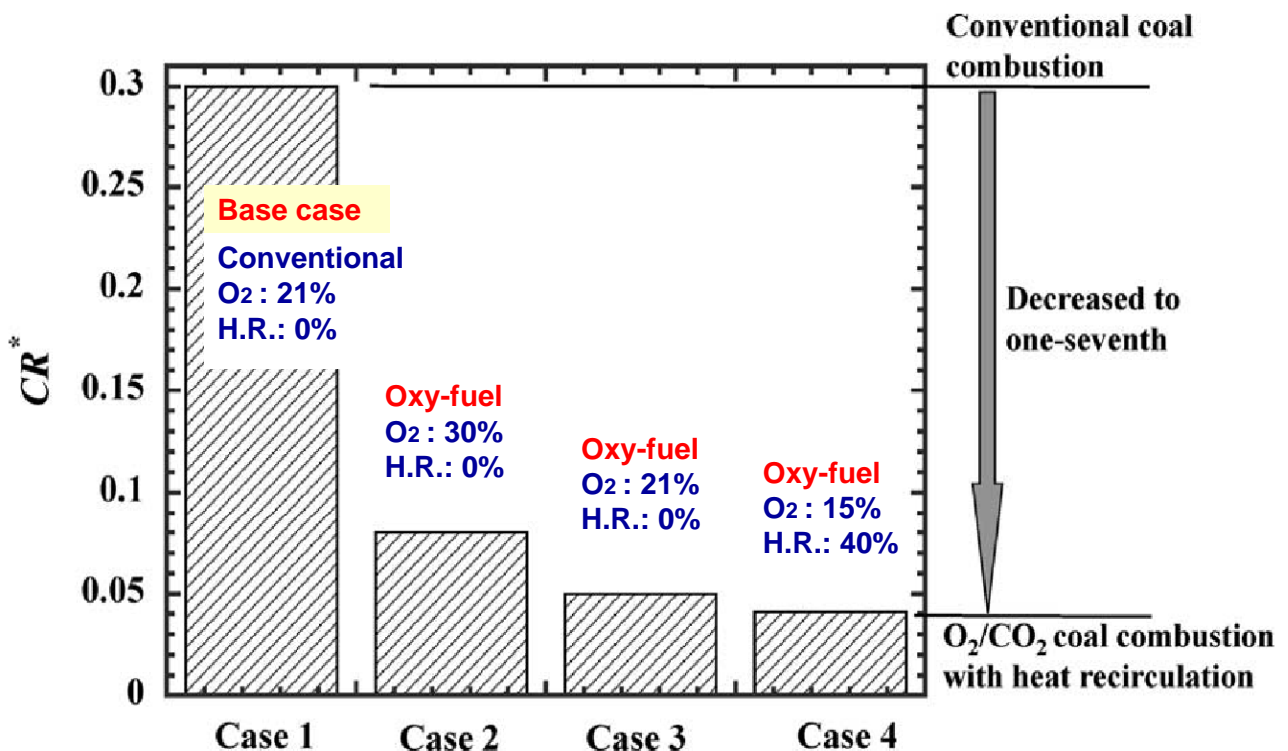
3. Oxy-fuel combustion system (酸素燃焼)



13



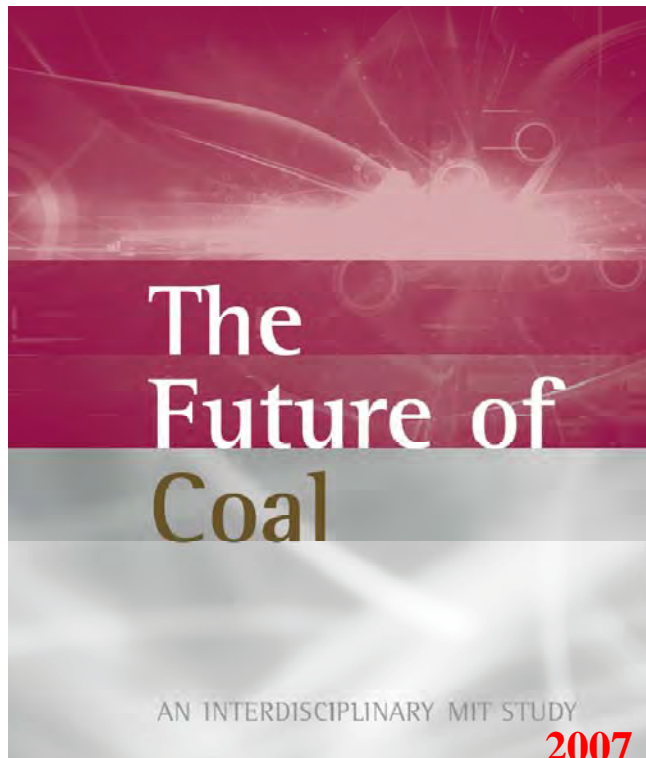
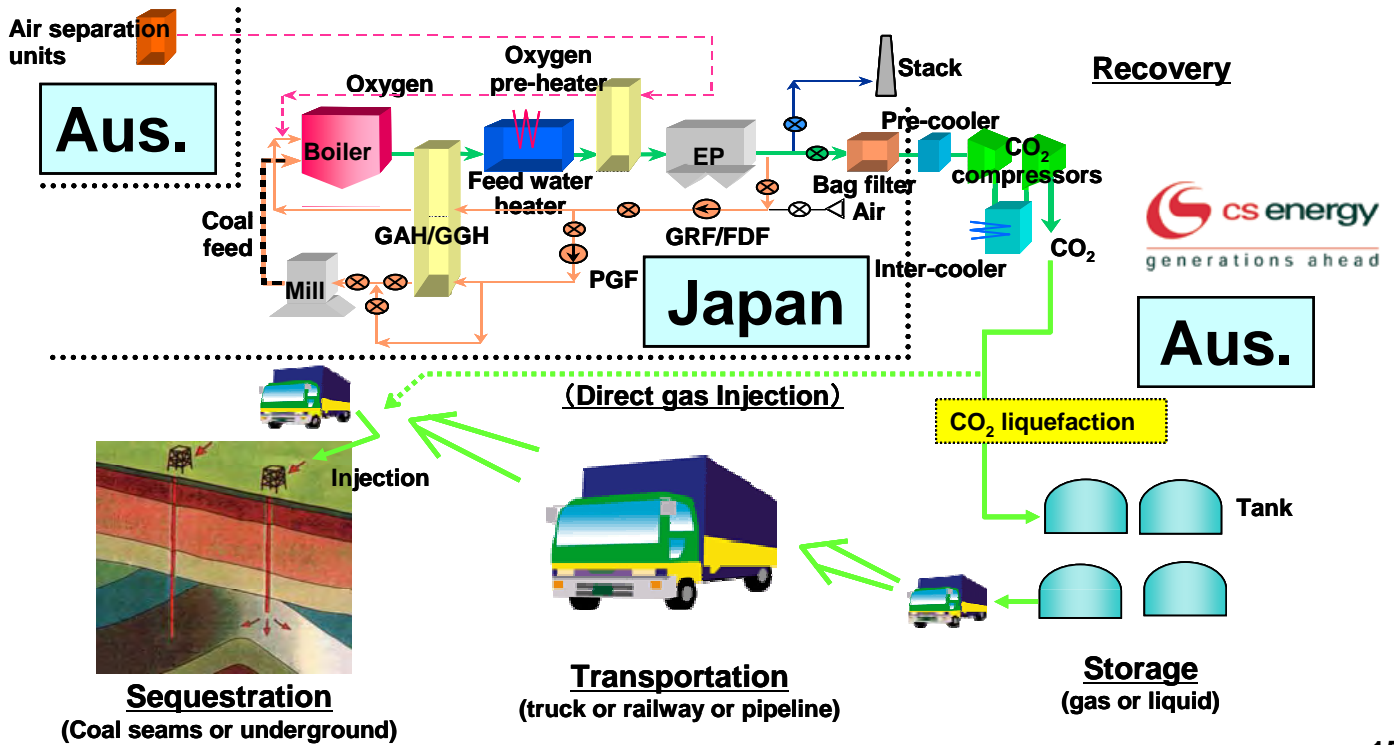
酸素燃焼による Fuel-NからNO_xへの転換率の大幅な低下



<Liu & Okazaki, FUEL, 2003>

14





OPTIONS FOR A
CARBON-CONSTRAINED WORLD

Study Participants

PROFESSOR STEPHEN ANSOLABEHERE
Department of Political Science, MIT

DR. JAMES KATZER
Executive Director

PROFESSOR JANOS BEER
Department of Chemical Engineering, MIT

PROFESSOR JOHN DEUTCH - CO-CHAIR
Institute Professor
Department of Chemistry, MIT

DR. A. DENNY ELLERMAN
Alfred P. Sloan School of Management, MIT

DR. S. JULIO FRIEDMANN
Visiting Scientist, Laboratory for Energy and the Environment, MIT
Carbon Management Program
Energy & Environment Directorate
Lawrence Livermore National Laboratory

HOWARD HERZOG
Laboratory for Energy and the Environment, MIT

PROFESSOR HENRY D. JACOBY
Alfred P. Sloan School of Management, MIT

PROFESSOR PAUL L. JOSKOW
Elizabeth and James Killian Professor of Economics and Management
Department of Economics and Alfred P. Sloan School of Management, MIT
Director, Center for Energy and Environmental Policy Research

PROFESSOR GREGORY MCRAE
Department of Chemical Engineering, MIT

PROFESSOR RICHARD LESTER
Director, Industrial Performance Center
Department of Nuclear Engineering, MIT

PROFESSOR ERNEST J. MONIZ - CO-CHAIR
Cecil and Ida Green Professor of Physics and Engineering
Department of Physics, MIT
Director, Laboratory for Energy and the Environment

PROFESSOR EDWARD STEINFELD
Department of Political Science, MIT

Earnest J. Moniz
次期DOE長官指名
米国上院、2013、4/18

Copyright © 2007 Massachusetts Institute of Technology. All rights reserved.

ISBN 978-0-615-14092-6



BOX 1 ILLUSTRATING THE CHALLENGE OF SCALE FOR CARBON CAPTURE

- Today fossil sources account for 80% of energy demand: Coal (25%), natural gas (21%), petroleum (34%), nuclear (6.5%), hydro (2.2%), and biomass and waste (11%). Only 0.4% of global energy demand is met by geothermal, solar and wind.¹
- 50% of the electricity generated in the U.S. is from coal.²
- There are the equivalent of more than five hundred, 500 megawatt, coal-fired power plants in the United States with an average age of 35 years.²
- China is currently constructing the equivalent of two, 500 megawatt, coal-fired power plants per week and a capacity comparable to the entire UK power grid each year.³
- One 500 megawatt coal-fired power plant produces approximately 3 million tons/year of carbon dioxide (CO₂).³
- The United States produces about 1.5 billion tons per year of CO₂ from coal-burning power plants.
- If all of this CO₂ is transported for sequestration, the quantity is equivalent to three times the weight and, under typical operating conditions, one-third of the annual volume of natural gas transported by the U.S. gas pipeline system.
- If 60% of the CO₂ produced from U.S. coal-based power generation were to be captured and compressed to a liquid for geologic sequestration, its volume would about equal the total U.S. oil consumption of 20 million barrels per day.
- At present the largest sequestration project is injecting one million tons/year of carbon dioxide (CO₂) from the Sleipner gas field into a saline aquifer under the North Sea.³

Notes

1. IEA Key World Energy Statistics (2006)
2. EIA 2005 annual statistics (www.eia.doe.gov)
3. Derived from the MIT Coal Study

(from FOREWARD)

Our audience is government, industry and academic leaders and decision makers interested in the management of the interrelated set of technical, economic, environmental, and political issues that must be addressed in seeking to limit and to reduce greenhouse gas emissions to mitigate the effects of climate change. Coal is likely to remain an important source of energy in any conceivable future energy scenario. Accordingly, our study focuses on identifying the priority actions needed to reduce the CO₂ emissions that coal use produces. We trust that our integrated analysis will stimulate constructive dialogue both in the United States and throughout the world.

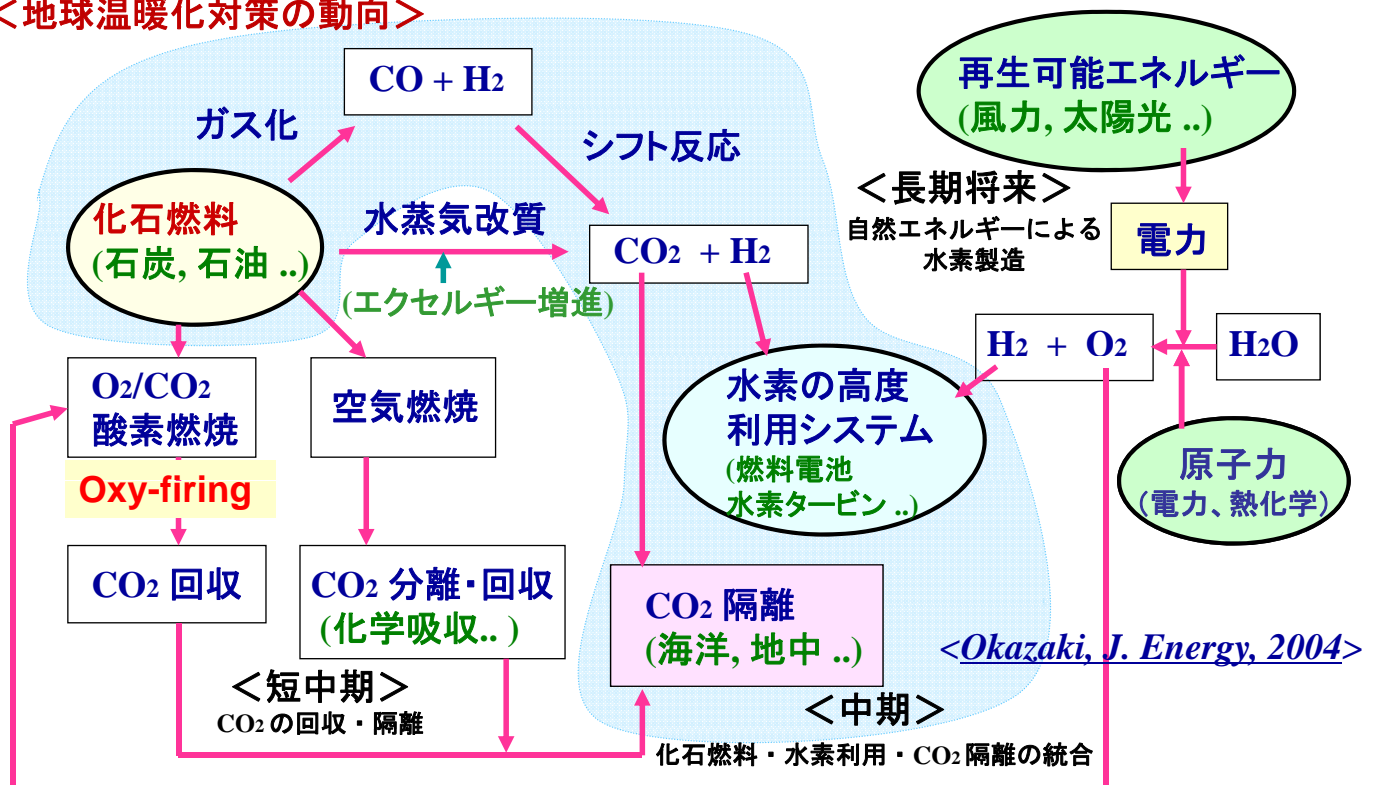
This study reflects our conviction that the MIT community is well equipped to carry out interdisciplinary studies of this nature to shed light on complex socio-technical issues that will have major impact on our economy and society.

(from EXECUTIVE SUMMARY)

We conclude that CO₂ capture and sequestration (CCS) is the critical enabling technology that would reduce CO₂ emissions significantly while also allowing coal to meet the world's pressing energy needs.



<地球温暖化対策の動向>

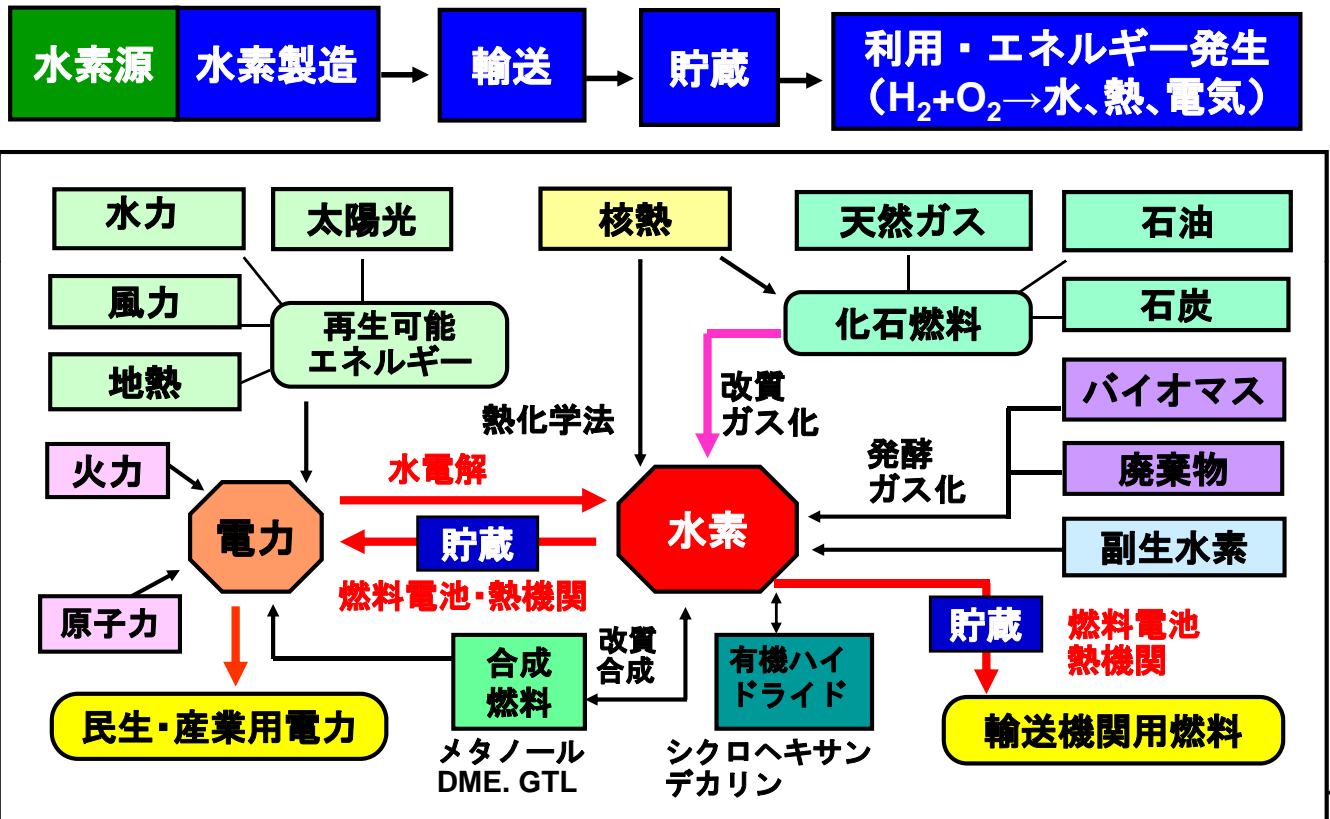


化石燃料・水素・再生可能エネルギー・CO₂ 隔離の統合 エネルギー・地球環境戦略 将来の「再生可能エネルギー + 水素」時代へのソフトランディングシナリオ



水素エネルギーシステム

九大 岡野一清氏
のご厚意による



19

燃料電池自動車の市場導入

Specifications of the advanced Fuel Cell Vehicles developed by Toyota and Honda were disclosed recently. The elongated cruising range was achieved through improved stack efficiency in FCX Clarity, while the FCHV-adv's cruising range exceed 500miles by introducing 70MPa high pressure hydrogen tank.

HONDA FCX Clarity (July 2, 2008)



Cruising Range : 620km (390miles)
 Fuel Cell Stack : 100kW
 Top Speed : 160km/h (100mph)
 Pressure of Hydrogen Tank : 35MPa

TOYOTA FCHV-adv (June 6, 2008)

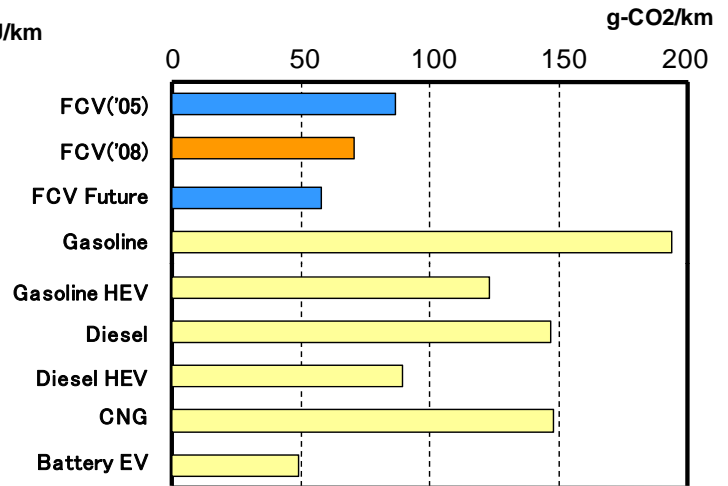
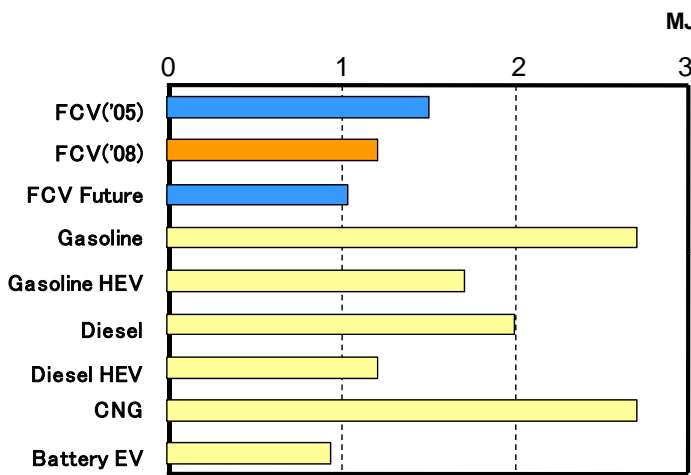


Cruising Range : 830km (520miles)
 Fuel Cell Stack : 90kW
 Top Speed : 155km/h (97mph)
 Pressure of Hydrogen Tank : 70MPa

20

1 km 走行に必要な一次エネルギー

1 km 走行で排出する全CO₂量



Well to Wheel Efficiency

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.

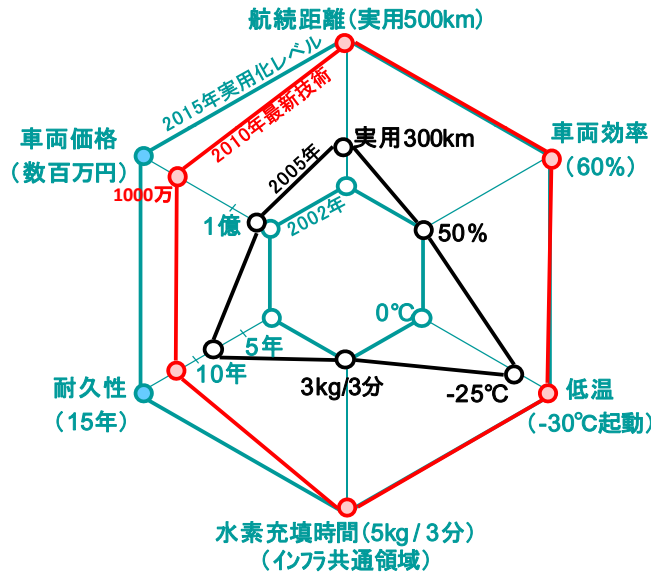


FCV, BEVの棲み分けイメージ

- 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。



●JHFC1、JHFC2の9年間でFCVの性能は大幅に向上
2015年の実用化レベルについて、ほぼ見通し

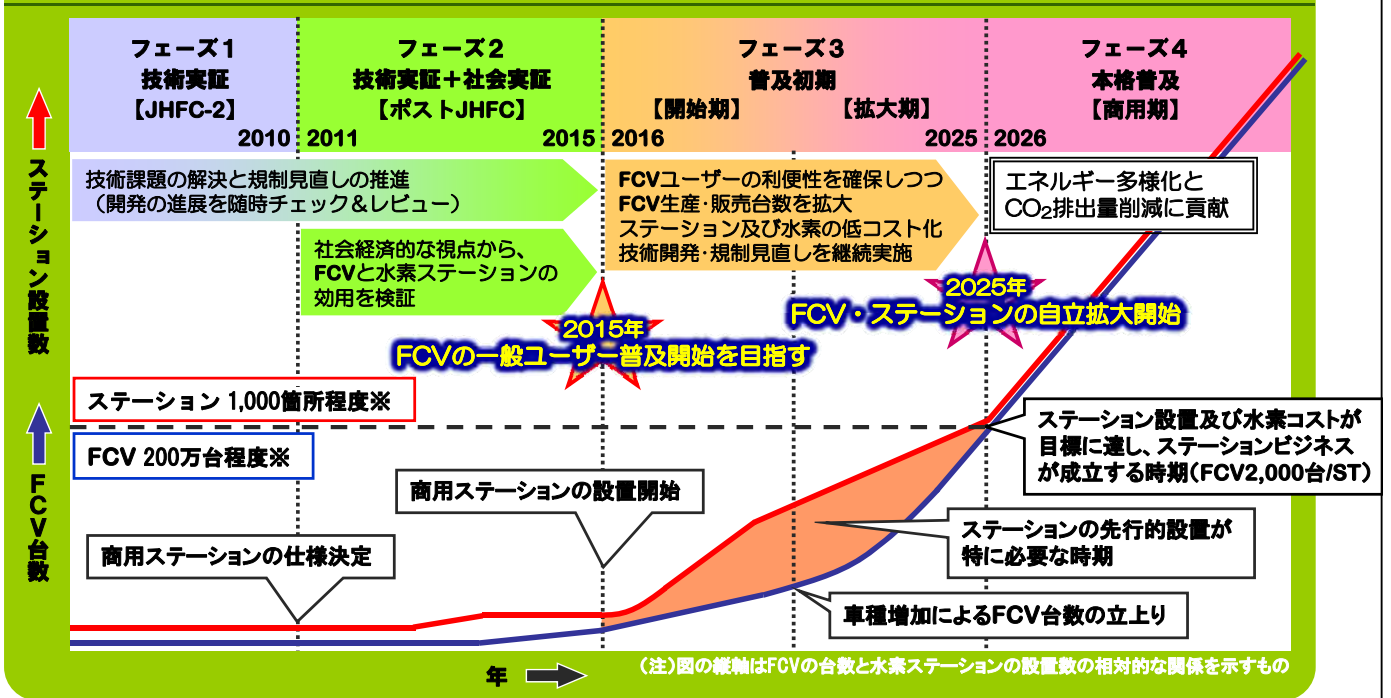


FCV開発状況(トップランナー)

JHFCセミナー、2011, 3

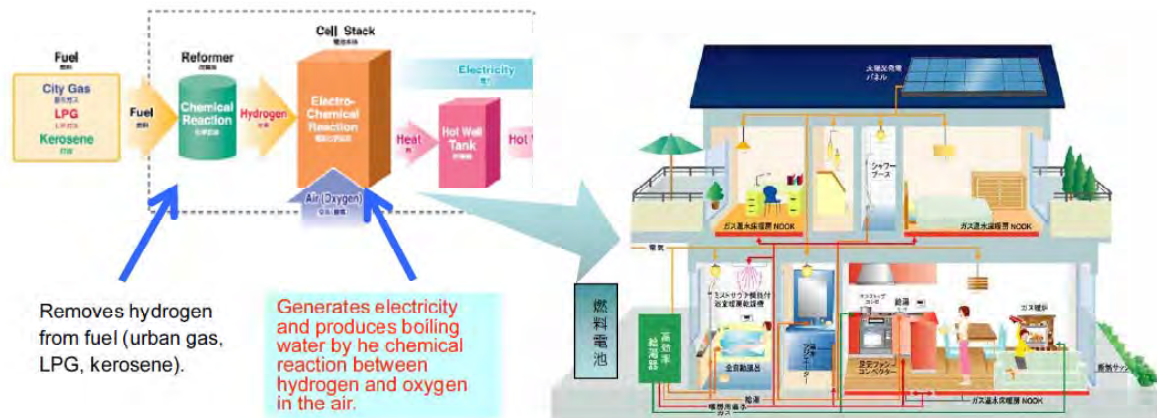
※ 実証試験結果, 各社発表資料, ヒアリングによる推定

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

定置型燃料電池システム(一般家庭用の例)



Removes hydrogen from fuel (urban gas, LPG, kerosene).

Generates electricity and produces boiling water by the chemical reaction between hydrogen and oxygen in the air.

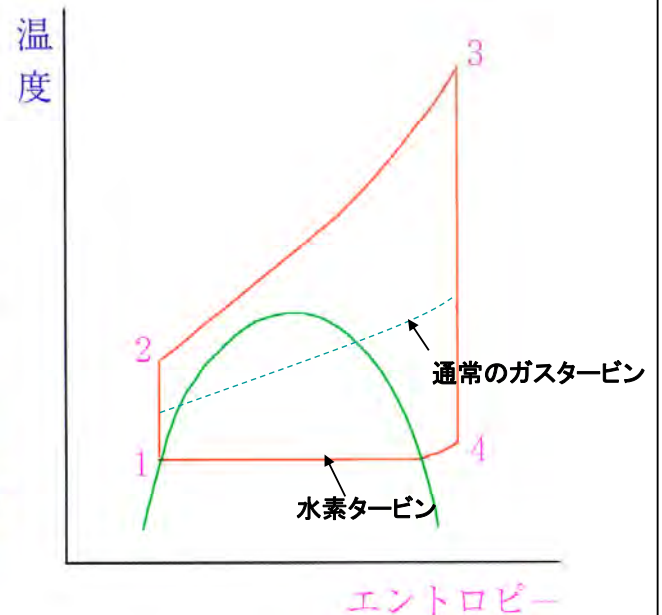
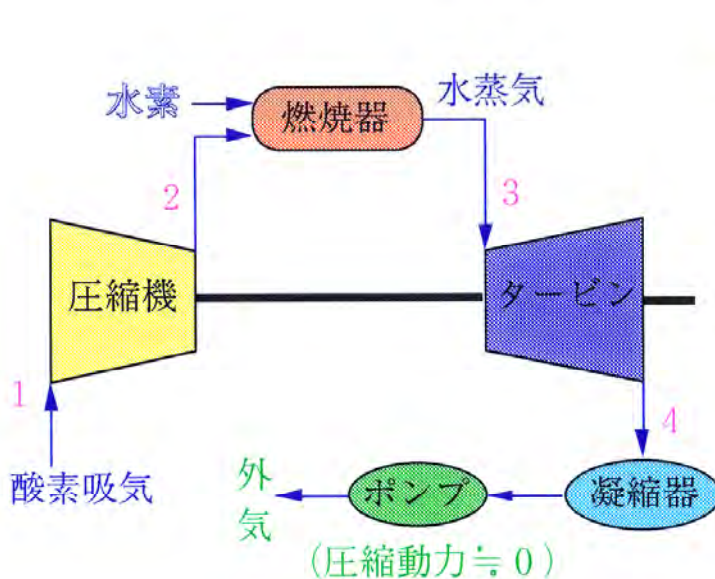
世界に先駆けて2009年に同一ブランド名で市販開始



25

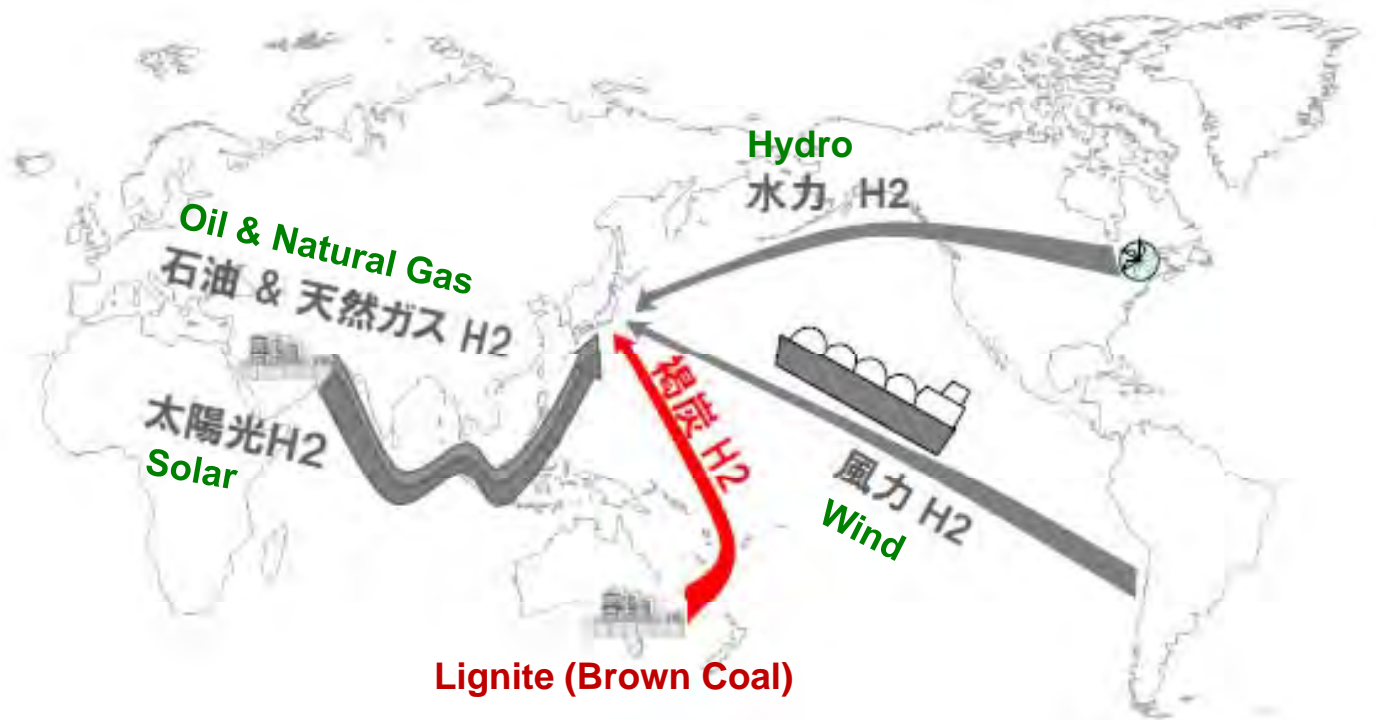
新しい水素利用技術(水素の酸素燃焼による新サイクル)

- ・ 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)



26

海外からのCO₂フリー水素チェーン構想



IAE-CO₂フリー水素チェーン・アクションプラン研究会 27



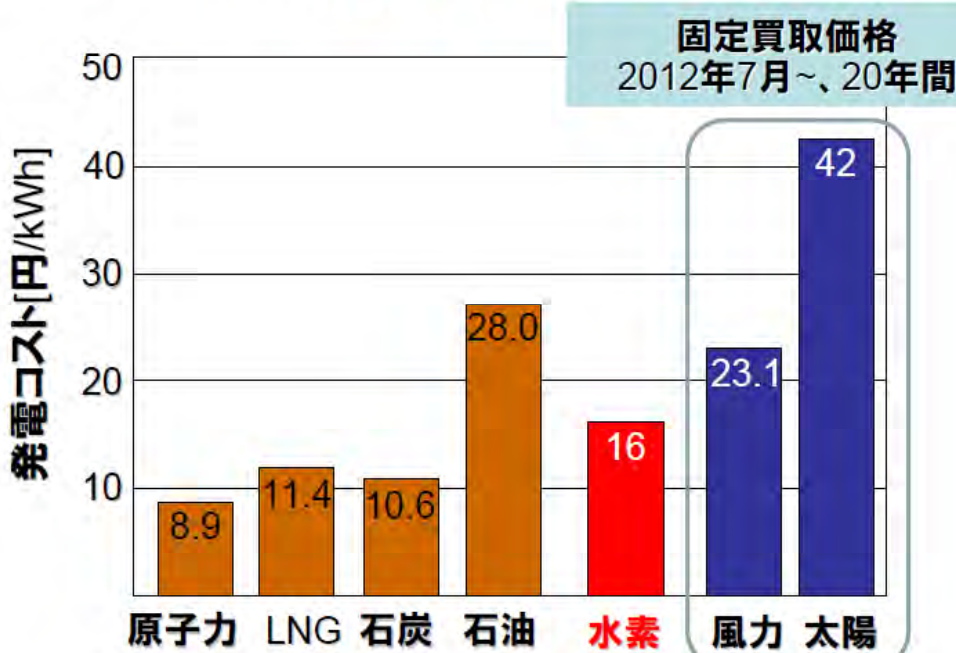
石炭と水素を統合した国際展開

川崎重工許可済
当社の許可なく本資料の内容を第三者に開示・公断する等の行為を禁止します。 © Kawasaki

CO₂フリー水素チェーンコンセプト



化石燃料発電よりは高いが、CO₂フリーエネルギーの中では、再生可能エネルギーより安く、かつ安定で大量に利用可能である



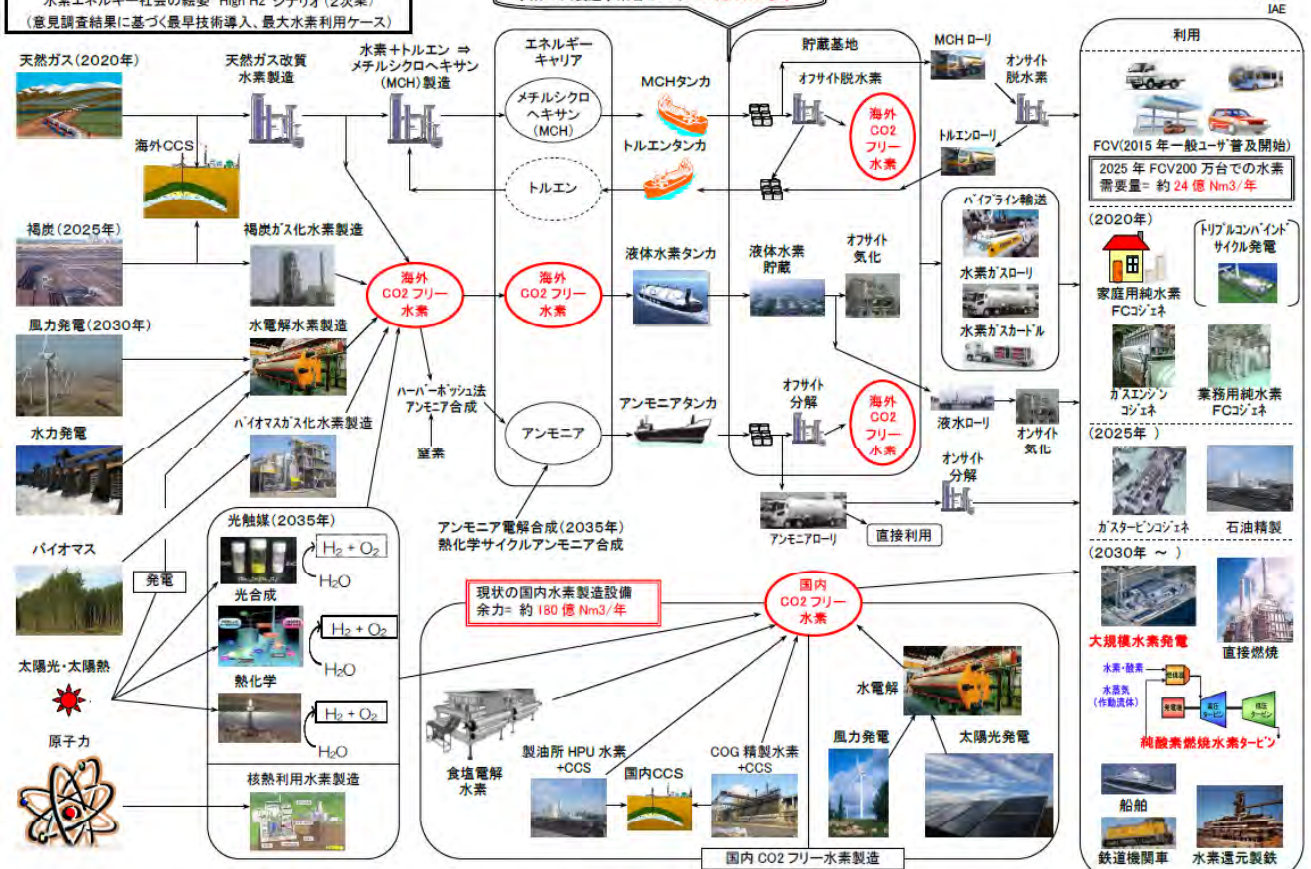
※出典: エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会報告書 2030年モデルプラント 川重試算



『CO₂フリー水素チェーン実現に向けたアクションプラン研究会』
水素エネルギー社会の絵姿 High H₂ シナリオ(2次案)
(意見調査結果に基づく最早技術導入、最大水素利用ケース)

2020年頃における日本港着の輸入CO₂フリー水素コスト(製造事業者のFS)=30円/Nm³以下

IAE-CO₂フリー水素チェーン-アクションプラン



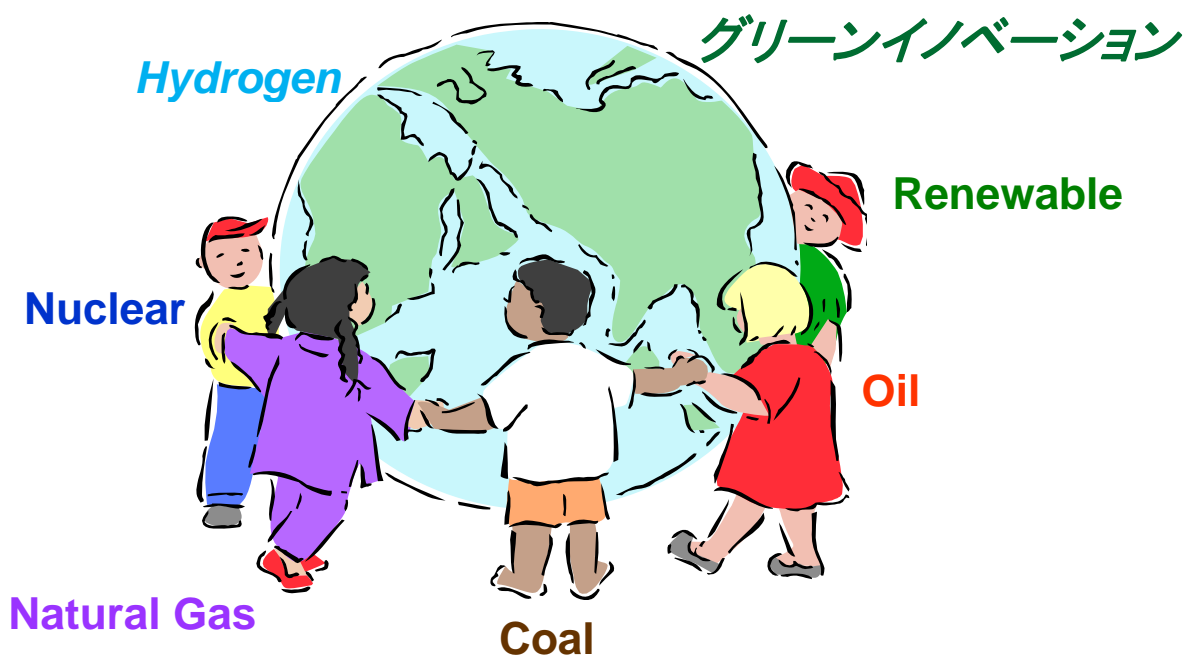
まとめ

1. エネルギー・環境戦略についての議論では、量的寄与、時間スケール・空間スケールを踏まえた総合的視点が不可欠である。一面の綺麗ごとに左右されない確固たる現実的判断が要求される。
2. 脱原発の流れの中で、ベース電力としての石炭火力の役割が急上昇しており、認知度も高まっている(報道ステーション 5/17、NHK BS-1 5/19)。クリーン・高効率に加え、CO₂を出さない石炭利用技術は、最先端技術の一つである。これらの分野で日本は世界を断然リードしている。発展途上国へ国策として国際貢献(インフラ輸出)に生かすべきである。
3. スマートグリッド、ホロニックエネルギーシステムにおいて、エネルギーキャリアとしての水素の役割が増大している。水素製造、輸送、貯蔵、利用の技術開発が、水素大量導入に向け急速に進んでいる。(燃料電池自動車、定置型燃料電池コジェネ、…)
4. 海外の余剰エネルギーによるCO₂フリー水素チェーンの国際ネットワークへの期待が高まり、検討が進められている。

31



すばらしい地球を守るために
産業基盤を支える技術革新が進んでいます



ご静聴、有難うございました

32

