

温暖化への対応姿勢と 長期技術の開発

茅 陽一

(地球環境産業技術研究機構)

2010.12.2

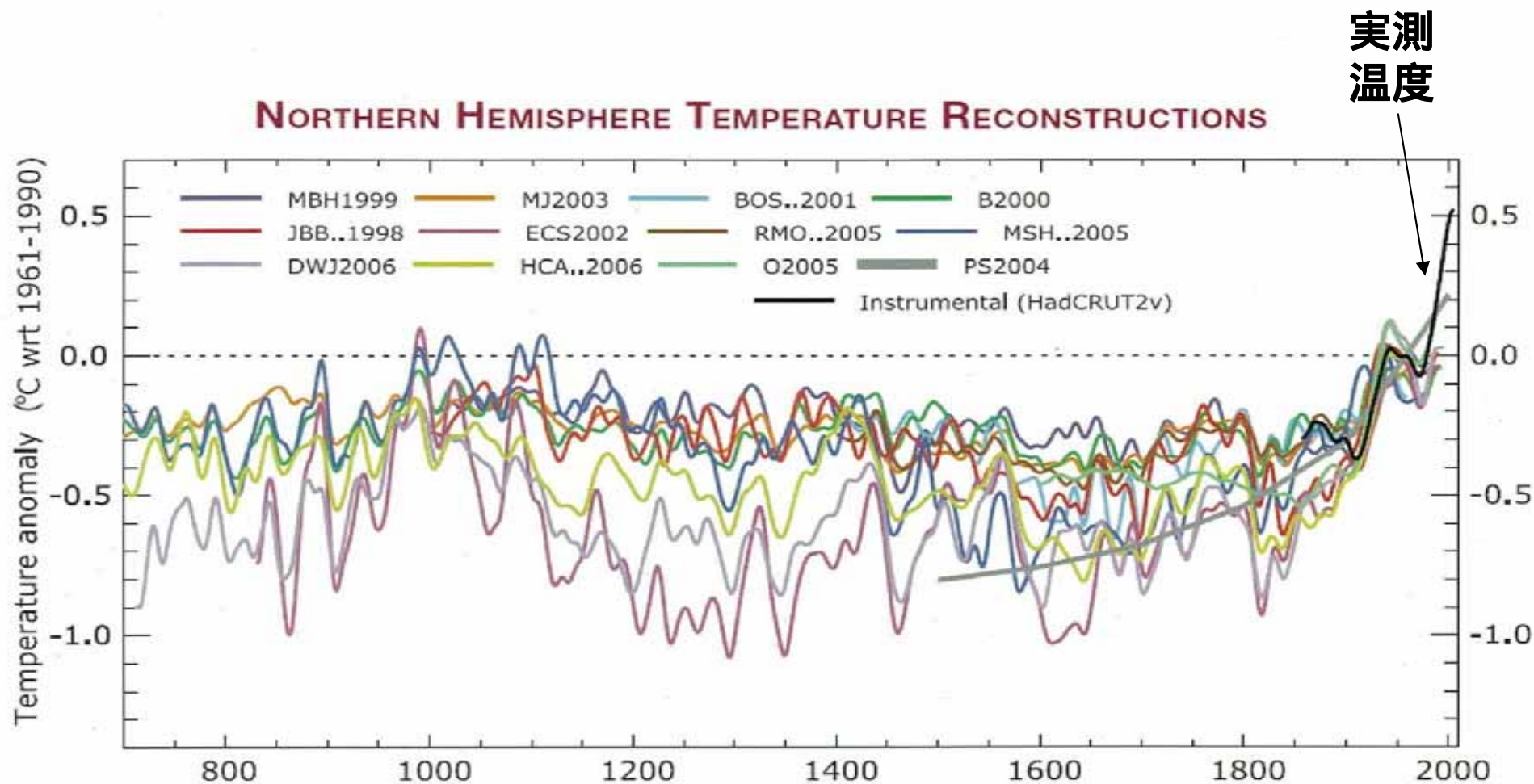
目次

- 1 . 温暖化をめぐる懐疑論
- 2 . 温暖化対応の基本姿勢
- 3 . 原子力とF B R
- 4 . 自然エネルギーの利用
 - 1) 電力ー宇宙太陽光発電 (S P S)
 - 2) 熱ー地中熱
- 5 . 将来の自動車エネルギーとバイオ燃料
- 6 . 産業生産の低炭素化
- 7 . まとめ

温暖化に関するさまざまな懐疑論

－ 3つのタイプ－

1. 近年の温度上昇は自然的原因ではないか？
(アラスカ大赤祖父など)
2. 温度上昇の原因は宇宙線の変化による下層雲の変動が原因ではないか？
太陽黒点周期変化と大気温変化の相関の高さ
(デンマークグループ、東工大丸山など)
3. 温度上昇がCO₂上昇を引き起こしたのではないか？
(温度上昇－CO₂上昇の因果関係が逆？)
(植田など)



図：北半球の過去1000年の推定大気温度

Source: IPCC AR4 WG1, Technical Summary p.55

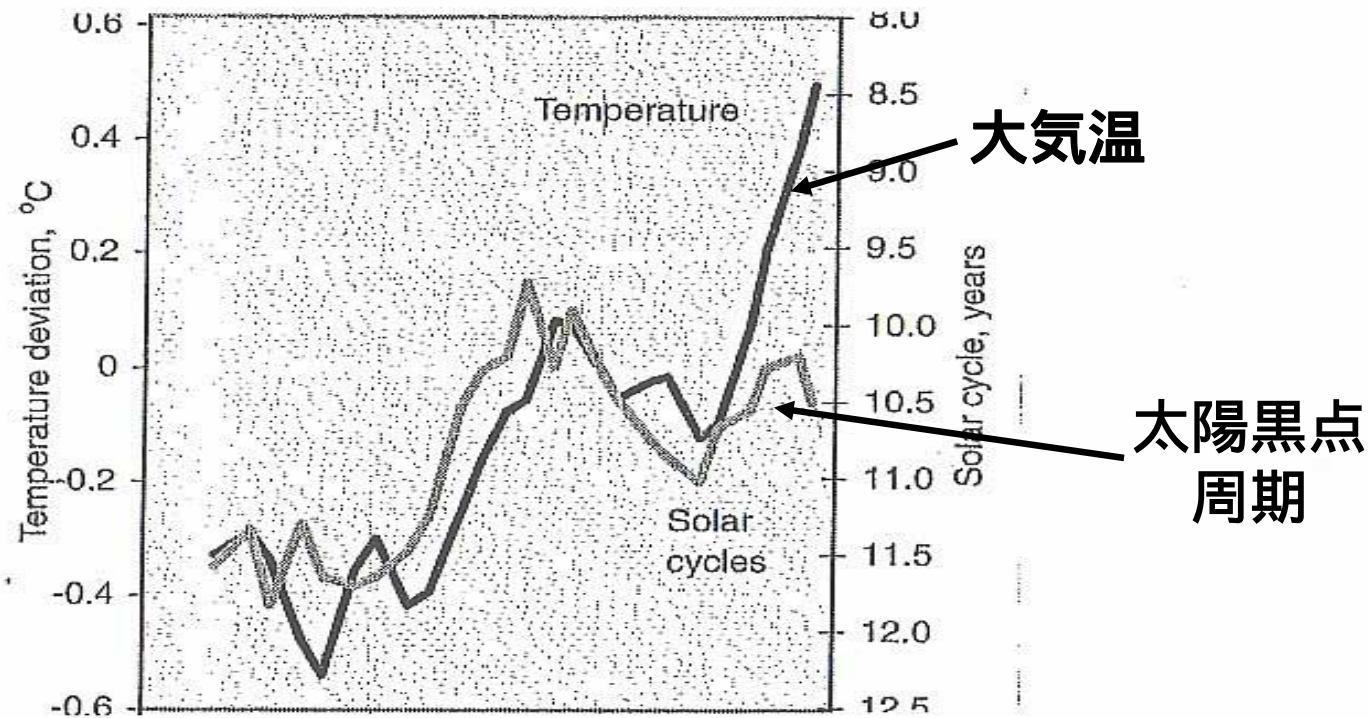


図1: 太陽黒点周期と地球温度上昇

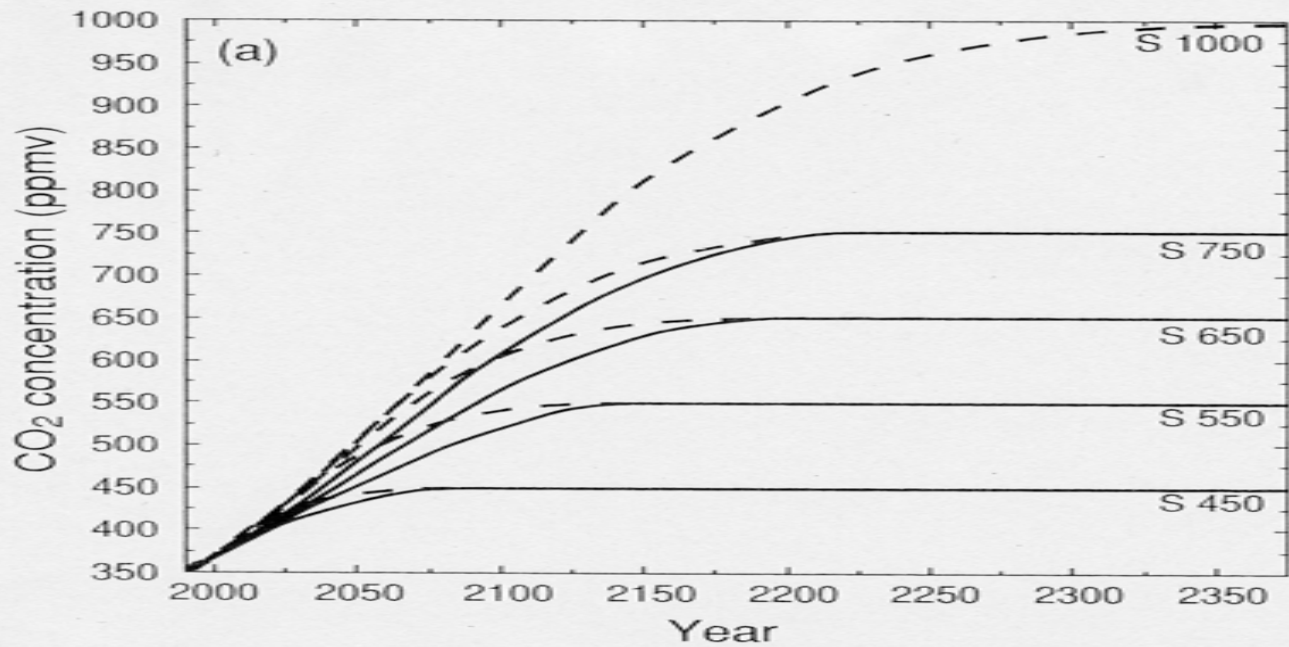
source: Thejll,P. and K.Lassen, J. of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics, 2000, Vol.62

IPCCの基本メッセージ

— 第4次報告から —

1. 地球温暖化が起きていることは疑う余地がない
2. 20世紀後半以降に生じた温度上昇の大部分が、人為起源温室効果ガスの濃度増加によるものである可能性が非常に高い

上記については世界の多くの科学団体・国際研究プログラムが合意



注1: 出所
IPCC第3次報告

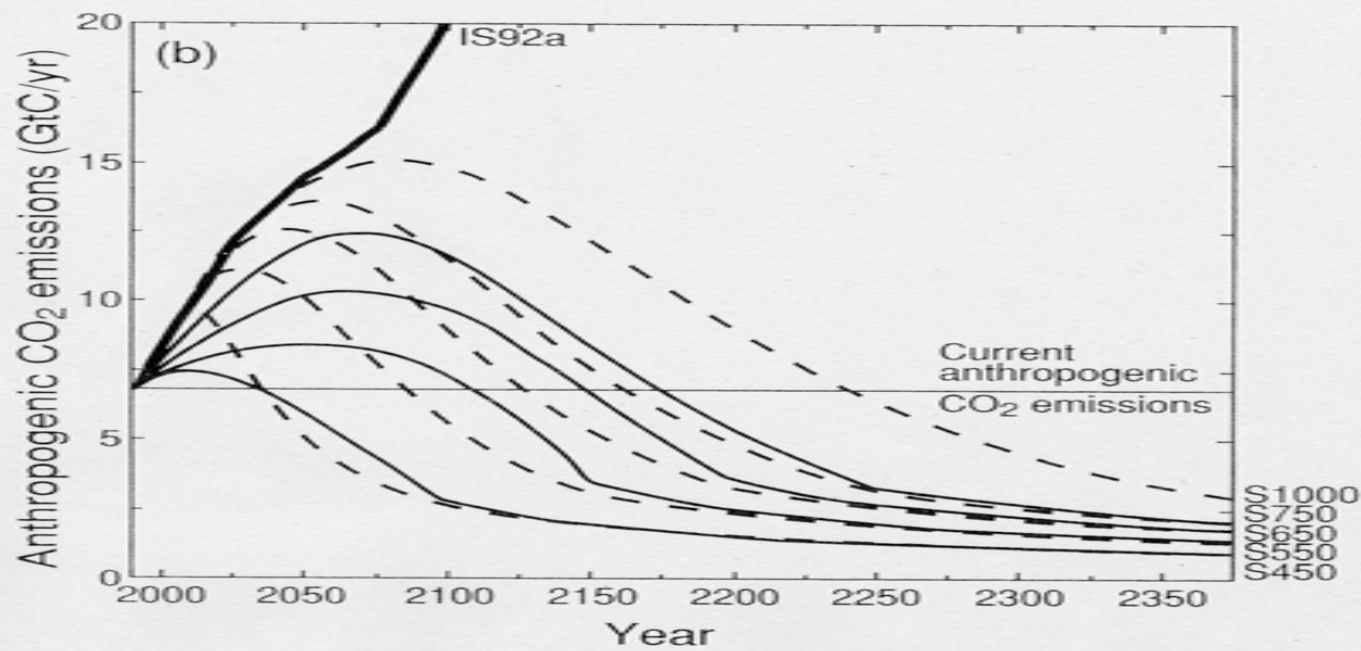


図1: CO₂濃度安定化: 排出の時間変化シナリオ

温暖化への基本姿勢

1. 温暖化の科学についての信頼

IPCCの基本メッセージへの大多数の科学者の
信頼

2. 温暖化対応を放置し、将来その影響が顕在化したとき

影響	子々孫々
責任	現在の人類

長期の将来にわたって

温室効果ガスの削減に努力すべき

注: 発電以外はすべて非電力
需要からのCO2排出

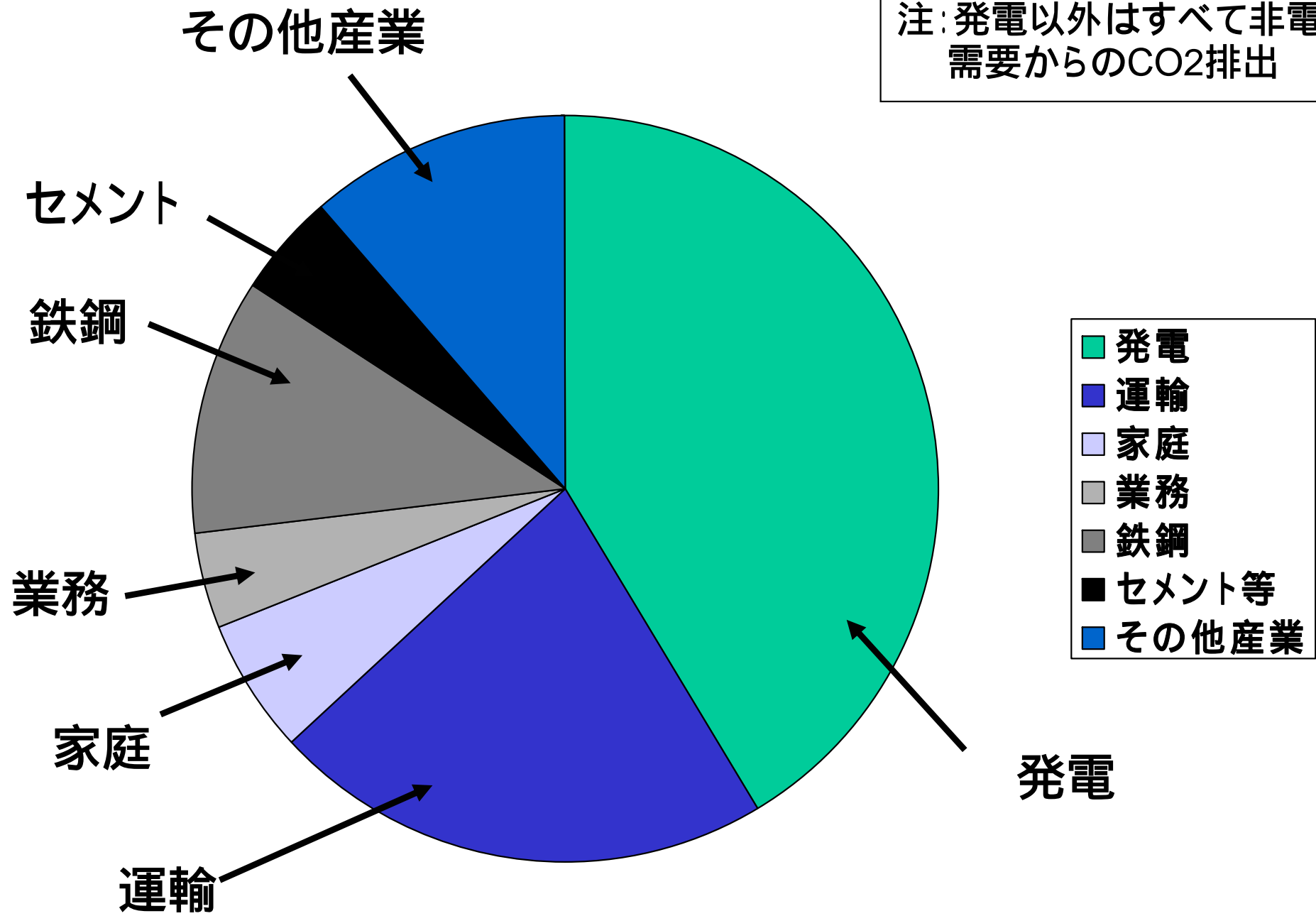


図1: 日本でのCO2排出内訳(07)

発電の低炭素化

1. 非炭素資源の利用

1) 原子力発電

2) 自然エネルギーの利用

水力発電

太陽光発電－風力発電－波力発電

2. 排ガスよりのCO₂回収貯留 (CCS)

高速増殖炉 (FBR)の必要性

1. 現状の軽水炉での利用ではウラン資源が不足。
(利用されるU235は全ウランの0.7%)
2. 残りのU238(99.3%)の利用がしたがって不可欠。

FBR:



P239は核反応を引き起こす。

Uraniumの利用

1. ウラン資源

99.3% U238

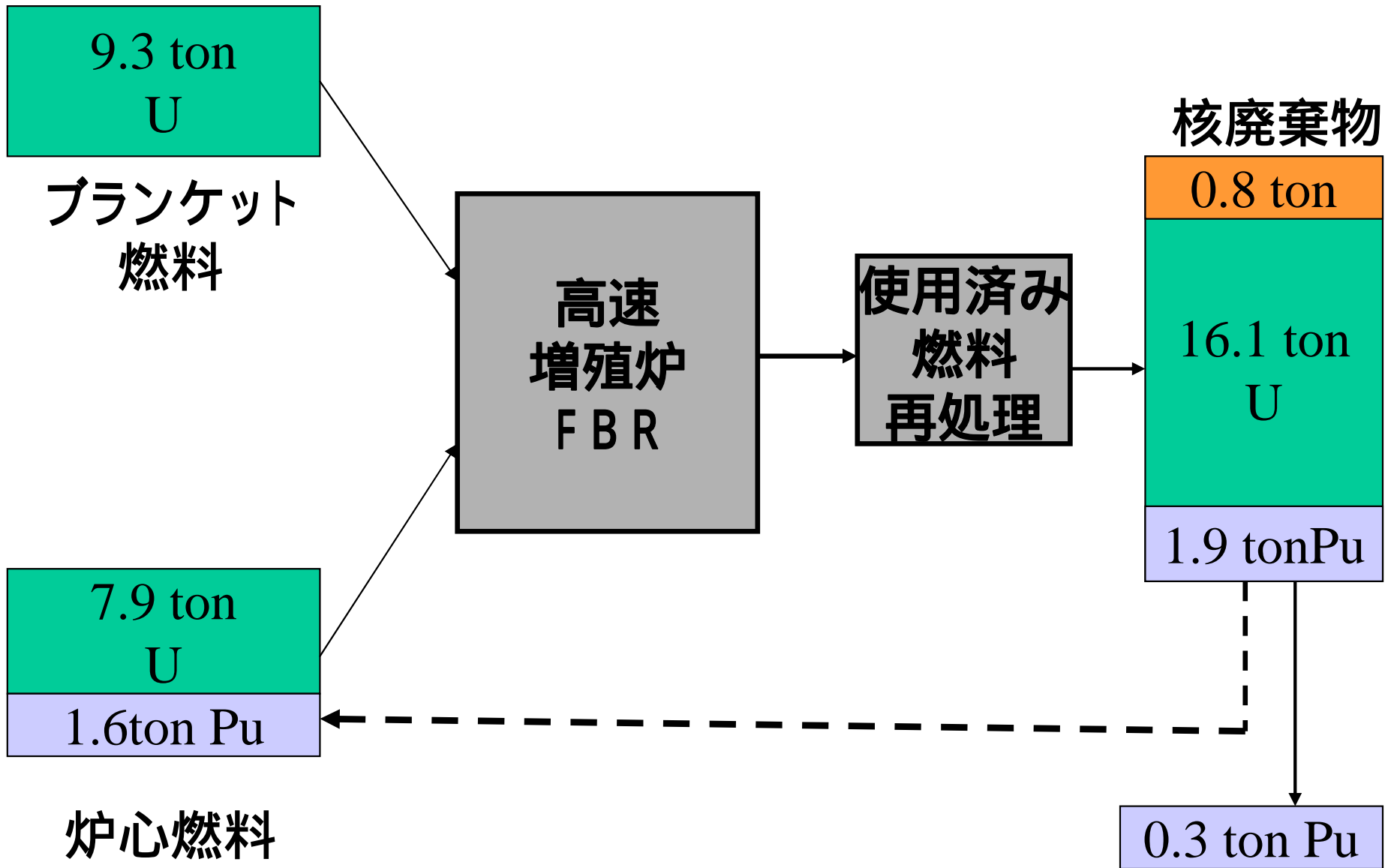
0.7% U235

軽水炉

2. 高速増殖炉

中性子 ← Pu239
U238 Pu239

核分裂



図：高速増殖炉におけるPu生産

資料：鈴木、原子力の燃料サイクルp.54-55

	耐用年数 (確認U埋蔵 量ベース)	耐用年数 (究極U埋蔵 量ベース)
現在の軽水炉 (once through)	85 年	270 年
高速増殖炉	2,500 年	8,500 年

表: ウラン資源の耐用年数

資料: OECD/NEA, Trends in nuclear fuel cycle, 2005

	直接処分	核燃料サイクル (プルサーマル)	核燃料サイクル (FBR)
燃料利用効率	1	1.18	約30
高レベル廃棄物体積	1	0.37	
高レベル廃棄物放射能 有害度(1,000年後) KWHあたり	1	1 / 8	1 / 240
処理コスト (円 / kwh)	0.9-1.1	1.6	

表：使用済燃料処理方法の比較

出所：経済産業省、原子力立国計画等より

自然エネルギーの特性

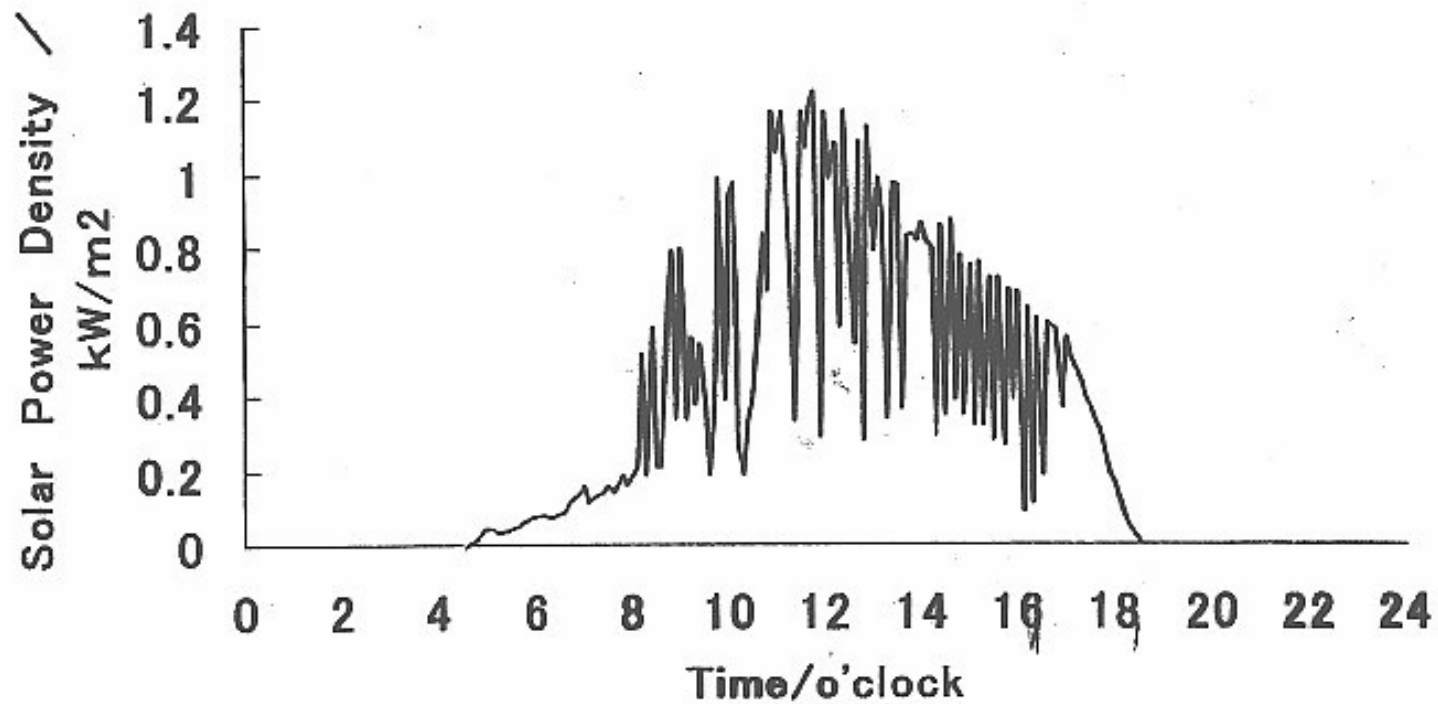
1. 利点

- 1) フロー型のエネルギー
枯渇の心配がない
- 2) ゼロエミッション

2. 問題点

- 1) 高コスト
- 2) 出力の不規則変動: 間欠性 (intermittency)
(太陽光、風力、波力など)

Promising but barrier of time-changeability



図：太陽エネルギーの一日の変動

太陽光発電の間欠性 (intermittency) 対応の方策

1. 従来型の方策

バッファ-貯留装置導入

1) バッテリー

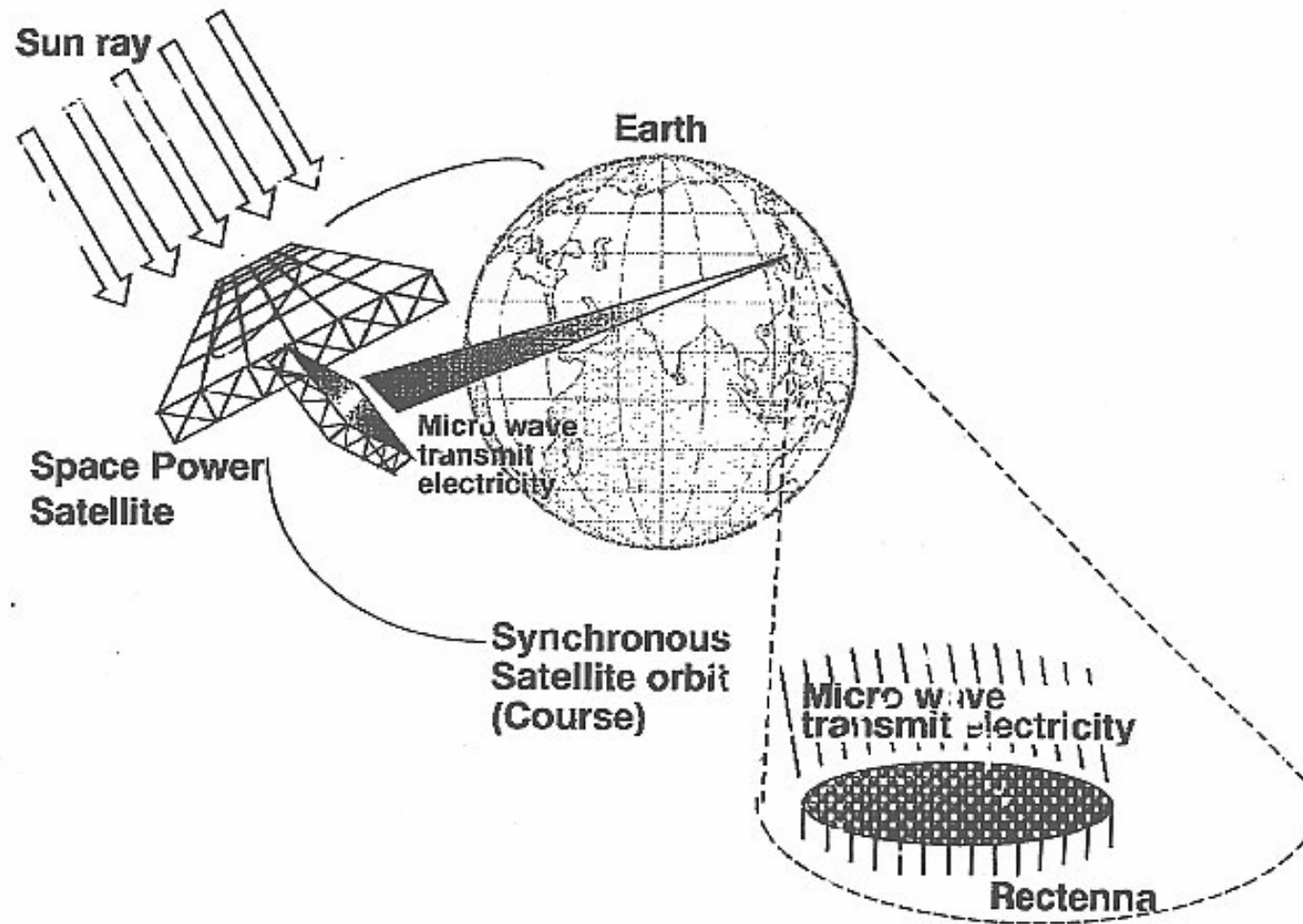
2) 熱貯蔵 + 圧縮空気貯蔵

バッファ-の価格低減努力が必須

2. 安定出力発電の利用

宇宙太陽光発電の利用

図: マイクロ波輸送による宇宙発電 Space Power Generation System



宇宙太陽光発電の利点問題点

利点

1. 一年24時安定な出力が得られる
2. 世界どこでも同程度に利用が可能

欠点

1. 高コスト
2. マイクロ波・レーザーの超長距離輸送の経験がないこと
3. 宇宙空間での大型構造物製作の経験不足

発電システム 発電方式	太陽電池発電/マイクロ波変換送電
システム規模 パネル 全重量	2.5km × 2.4 km 26,600 ton
運行軌道	静止軌道 (35,800km上空)
地上システム マイクロ波 レクテナ直径	5.8 GHz 3.5 km

表: 1 GWのSSPSの構成 (USEF, 2007)

石炭火力	975 g - CO ₂ /kwh
石油火力	740
LNG火力	610
原子力発電	22
太陽光発電(地上)	50 - 80
宇宙太陽光発電	30

表: 各種発電方式のライフサイクルCO₂排出量

資料: 吉岡他、宇宙太陽発電衛星のある地球と将来、慶大、p102

太陽電池コスト	50 円/ KW
レクテナ建設単価	76 億円/ km ²
輸送費単価 (打上げ、輸送総和)	0.53 億円 / ton
経済寿命	40 年
発電単価	15.9 円/ KWH

表: 1GW SSPSのコスト推定(2007、USEF)

注: 諸単価はいずれも将来の大幅低下を前提

将来のSPS利用

1. マイクロ波による送電
安定なベース電源としての利用
2. レーザによるエネルギー輸送
太陽光によるレーザー発振—電力/水素利用

利用方式

- 1) 定常出力、ベース電源
- 2) 水素製造とのcoproduction
ある程度の調整運転可能
- 3) 異なる地域への並列供給

CCSつき石炭火力の役割

1. 原子力、太陽光、風力、SPSいづれもベース電源向き

他に出力調整電源が必要

(AFC, ELD対応)

2. 石炭は化石燃料の中でもっとも豊富

CCSつき石炭火力はゼロエミッションの出力調整電源として有効

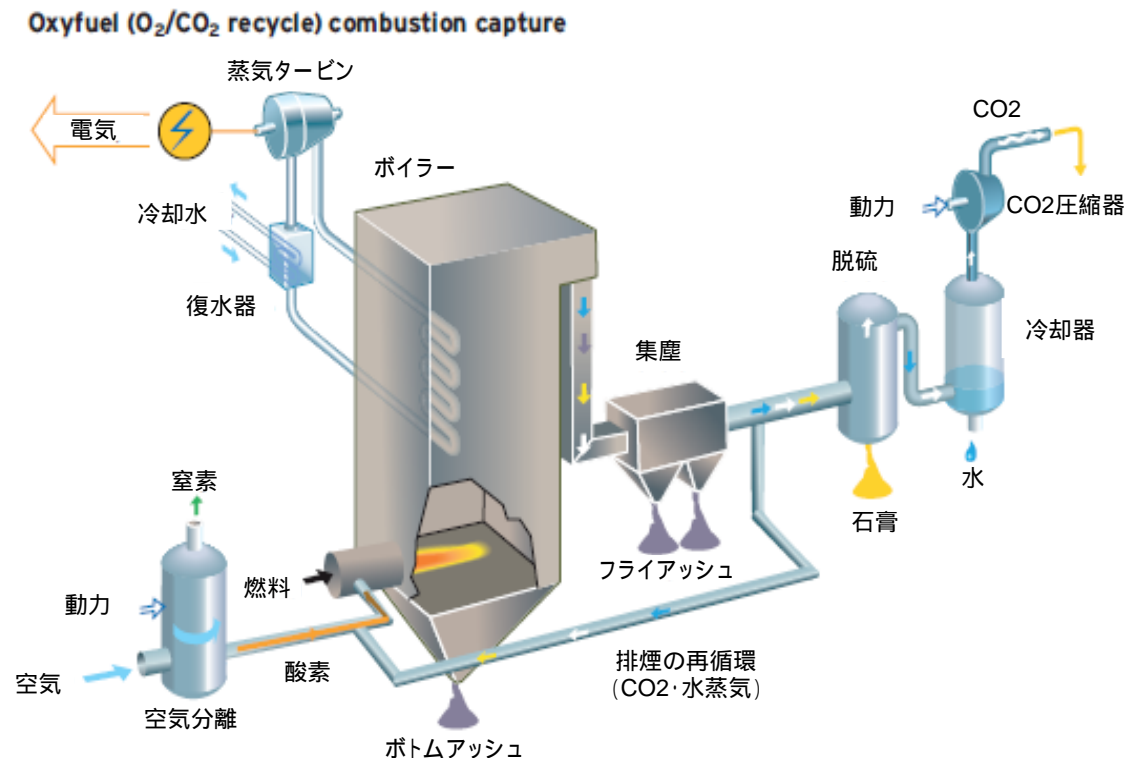
石炭火力へのCCSの例 —ドイツSchwarze Pumpe—

酸素燃焼方式、世界初のCCS

30MWth、2008年9月9日運転開始、3年間運用予定

それ以後実証プラント(650MWth, 250~350MWe)、商業プラントに活用する計画。

プロジェクト概要	
事業主体:	Vattenfall電力会社 (スウェーデン)
投資額	: €70M
発熱量	: 30MWth
燃料	: 石炭 (褐炭及びハードコール)
貯留場所	: Zechstein Sealにお ける Altmarkガス田 (枯渇天然ガス田)
距離350kmをローリーで輸送	



具体的計画例 ーロッテルダムー

1. CO₂の回収

周辺石炭火力発電所のCO₂を分布パイプラインで収集

2. CO₂の貯留

沖合い廃ガス田

3. 全体規模

2,000万トンCO₂ / 年

超長距離自然エネルギーの利用

1. アフリカ・南米の水力
2. パタゴニアの風力
3. サハラ・アラビア砂漠の太陽光

これら需要地から数千キロ以上離れた
自然エネルギーの利用

輸送媒体をどうするか？

電力？ 水素？

浅部地中熱の利用 — 民生暖房給湯への対応 —

原理

ヒートポンプの理想効率 $(T_r - T_o) / T_r$

T_r : 出力温度 T_o : 地中熱温度 > 大気温度

1. 利点

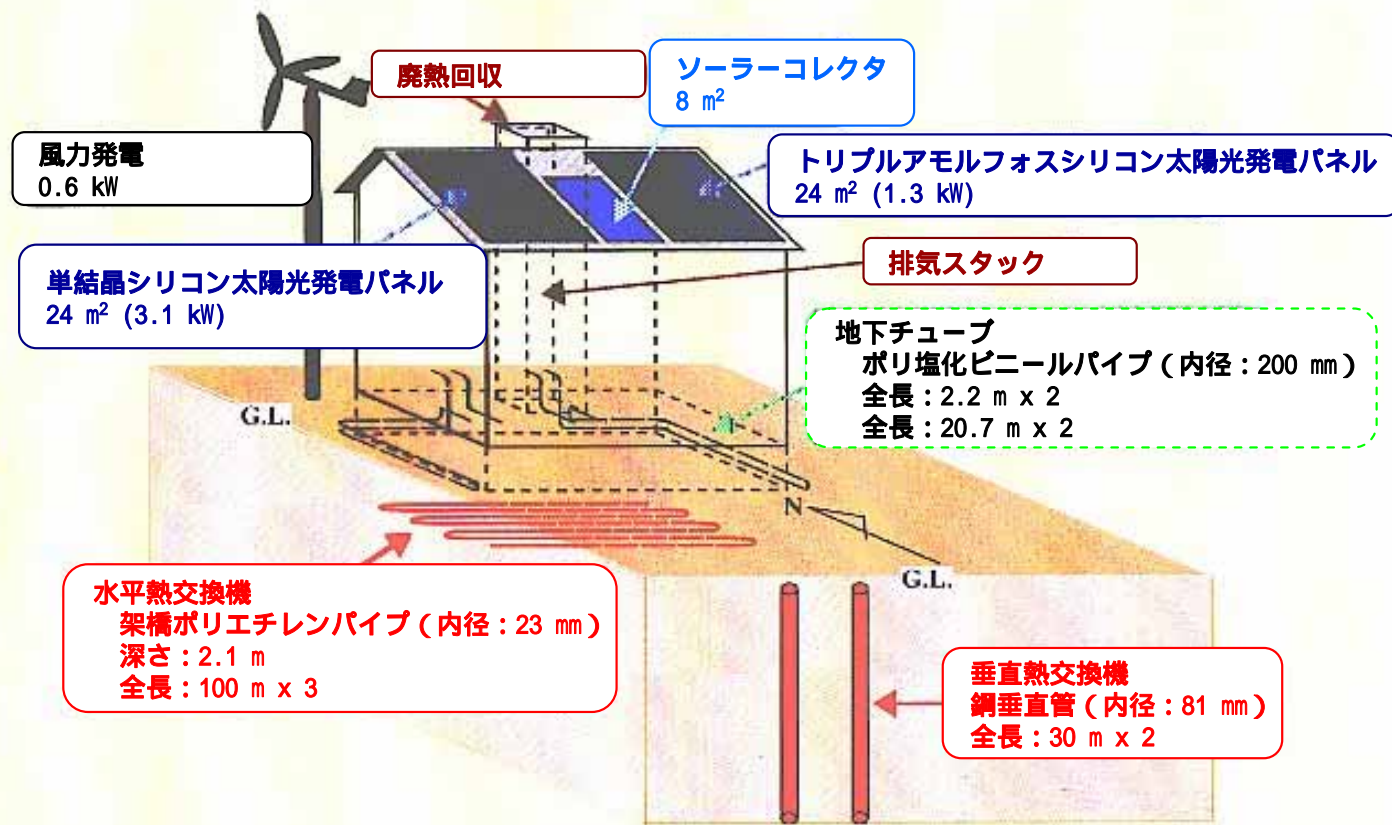
周辺にある自然エネルギーで接近容易
都会・田舎を問わず利用可能

2. 問題点

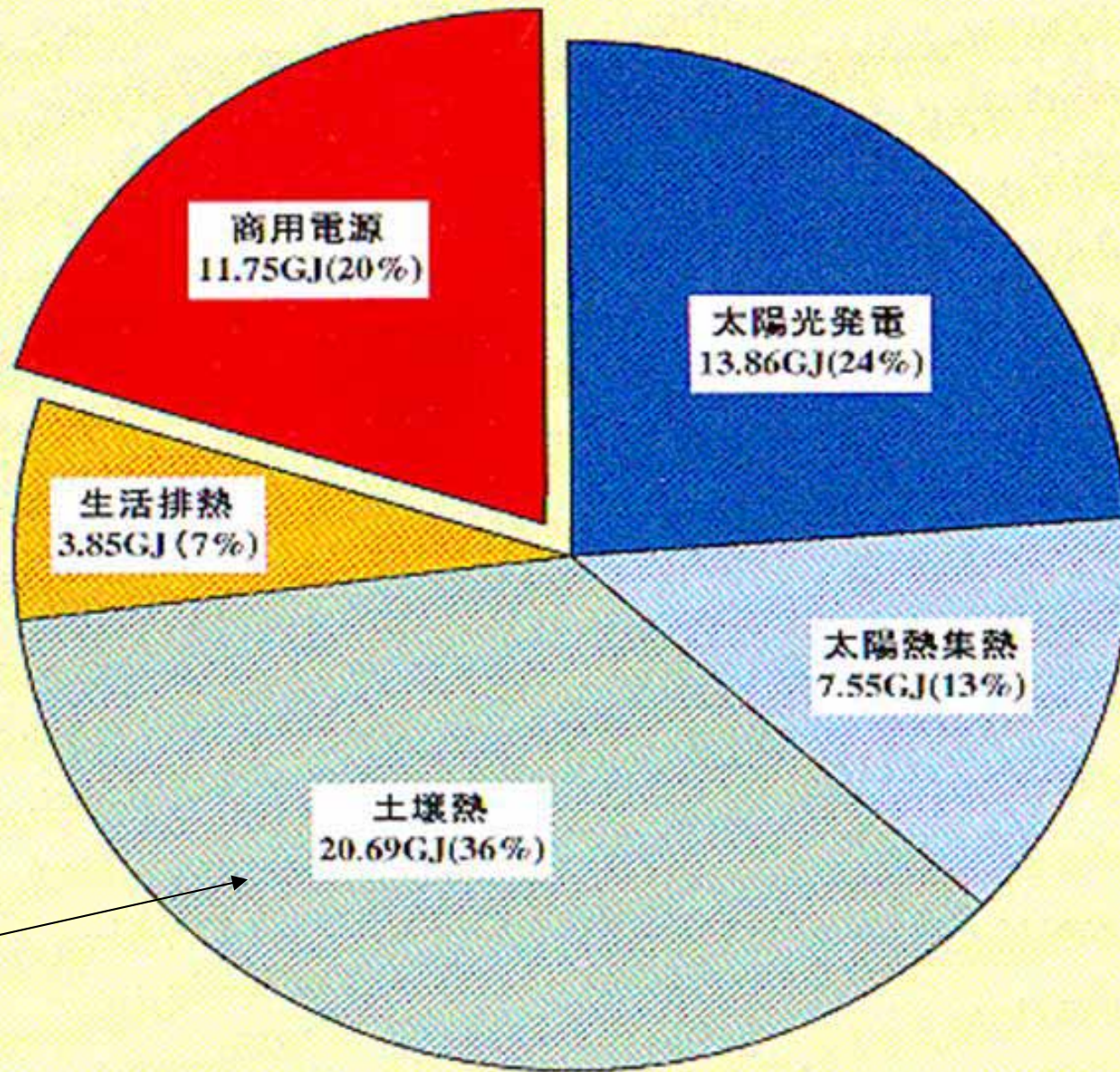
地中構築物(含むパイプライン)のコスト

ローエネルギーハウス





「ローエネルギーハウス」の設備



地中熱

年間エネルギー種別利用量の内訳

バイオ燃料の運輸への利用

1. バイオ燃料の利点

1) カーボン中立性

2) 現在の自動車に殆どそのまま適用可能

2. 現在の問題点

1) 高コスト

2) 食料との競合: 特にとうもろこし起源

非食料セルロースの利用

高生産性バイオリアクタの利用

CO₂多排出産業のプロセス改善

1. 鉄鋼

酸化鉄の炭素還元

水素還元

2. セメント

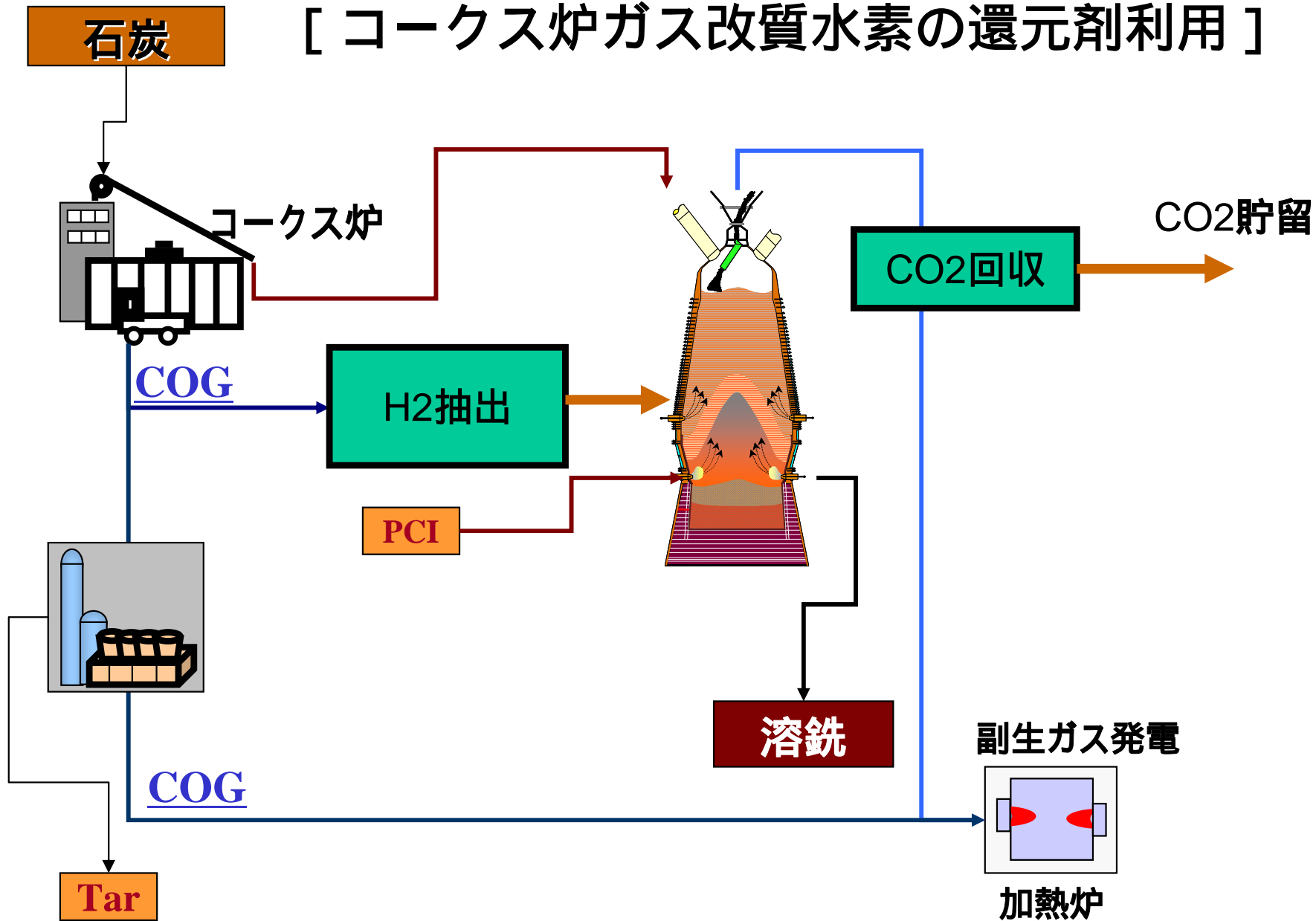
$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

CO₂ セメント吸収？

(東大柳沢教授提案)

図 . COURSEシステム

[コークス炉ガス改質水素の還元剤利用]



まとめ

1. 温室効果ガスの削減の有用性は多くの科学者の一致した意見。超長期にわたっての削減に努力すべき。
2. 超長期の視点からは、原子力におけるFBR, 自然エネルギーにおけるSPSなどの革新的技術に努力を傾注すべき。
3. CCS付きの石炭火力は自然エネルギー利用拡大に必要な出力調整機能を持ちうる。既存火力との継続性の意味でも重要。