

地球温暖化の抑制を目指す！

二酸化炭素の回収及び地中貯留の実現に向けて



2003年10月16日

三菱重工業株式会社
飯島正樹

目次

1. 地球温暖化問題と対策
2. 温暖化対策としてのCO₂回収利用・処分方法
3. 今後のエネルギー問題は何か
4. CO₂回収・処分技術開発の状況
 - 4-1. 当社におけるCO₂回収技術開発の状況
 - 4-2. 世界の動向
 - ・ 温暖化対策技術国際会議
 - ・ メジャーの動向
 - ・ IPCC特別報告書
5. 世界のCO₂回収処分(有効利用)プロジェクト
6. 民間企業としてCO₂回収技術をどう実用化しようとしているか
7. CO₂回収技術適用の現状と今後の展望
8. 我が国の温暖化対策、エネルギー政策への提言

地球温暖化問題と対策

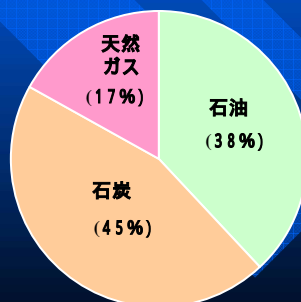
地球温暖化問題と対策 (1/3)

石油、石炭、天然ガスの利用拡大による大気中のCO₂濃度の上昇

- ・ CO₂問題は化石エネルギー利用の裏がえし
(現代文明の豊かさの産物)

燃料別CO₂排出量

(1985年 統計)



地球温暖化問題と対策 (2/3)

分野別CO₂排出量



世界のCO₂排出量
約220億トン

IPCC (気候変動に関する政府間パネル) の勧告

- ・ 温室効果ガスの排出量を1990年レベルの50%にしないと地球温暖化は止まらない
(現状では1990年レベルよりも10～20%増加)

地球温暖化問題と対策 (3/3)

CO₂削減の対策

- ・ 節約
- ・ 省エネルギー・高効率化
- ・ 炭素の少ないエネルギーへの転換
石油・石炭 天然ガス
- ・ 化石エネルギーから原子力へ
- ・ 自然エネルギーの利用拡大
- ・ CO₂回収・処分(隔離)

注: 水素は一次エネルギーではない。

IEA (国際エネルギー機関) は、2000年頃より次のように指摘している。

⇒ 現状においてCO₂対策として対策量、コストの面からCO₂回収・処分に頼らないと、温暖化対策は困難。

温暖化対策としてのCO₂回収利用・処分方法

温暖化対策としてのCO₂回収利用・処分方法 (1/2)

CO₂回収の対象

- ・ 発電所等の大量固定CO₂発生源

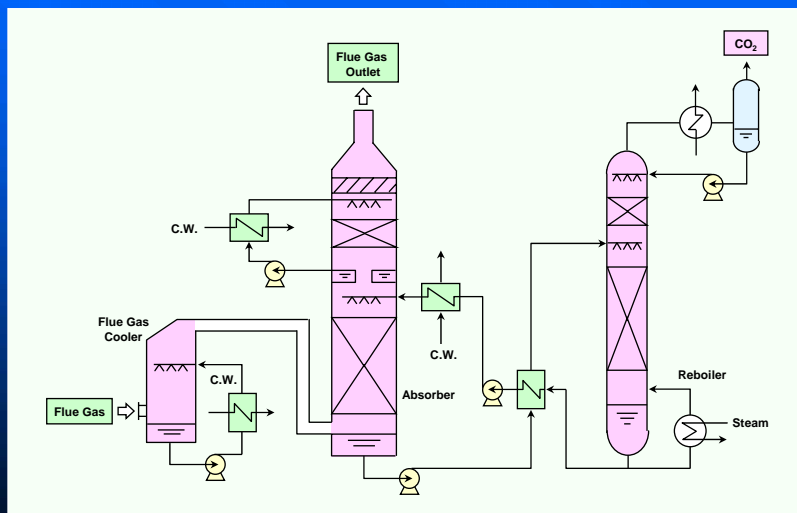
燃焼排ガスの性状

- ・ 大気圧
- ・ CO₂濃度 3～15 vol. %
- ・ 酸素、SO_x、NO_x、バイジンを含む

CO₂回収方法

- ・ 化学吸収法
- ・ 物理吸収法
- ・ 吸着法
- ・ 膜分離法
- ・ 冷凍分離法
- ・ O₂燃焼法

Process Flow



温暖化対策としてのCO₂回収利用・処分方法 (2/2)

CO₂利用方法

- ・ 化学的利用
 - 尿素
 - メタノール
 - ディメチルエーテル(DME)
 - Gas to Liquid (GTL)
 - ソーダ灰

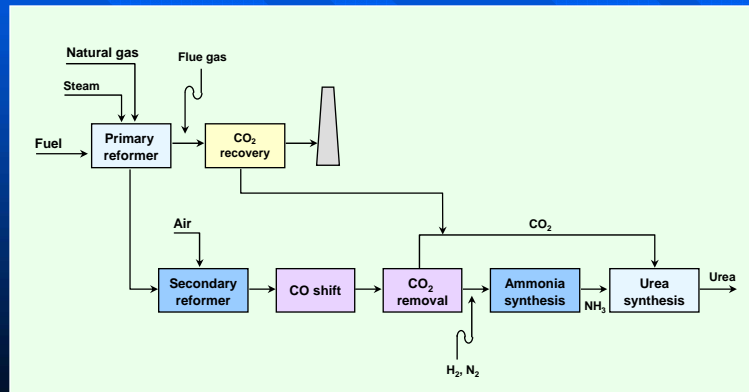
- ・ 原油増進回収
- ・ 炭層メタン回収
- ・ 生物学的利用

CO₂処分方法

- ・ 地中処分
 - 帯水層
 - 廃油田、ガス田
 - 炭層
- ・ 海洋処分

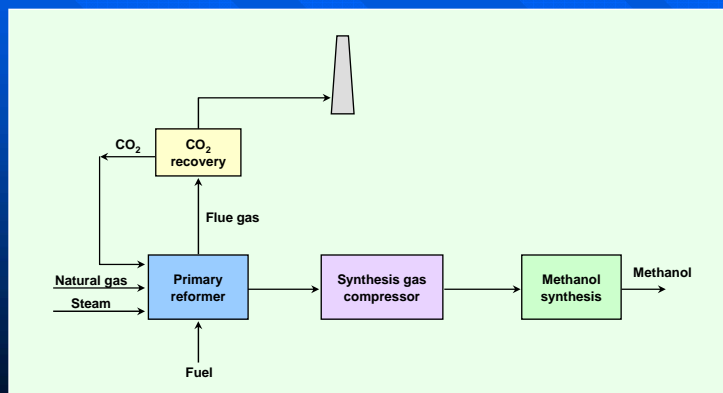
Urea Production

In natural gas based ammonia and urea plants, CO_2 is recovered from the primary reformer flue gas and added back to urea synthesis to increase the production of urea.



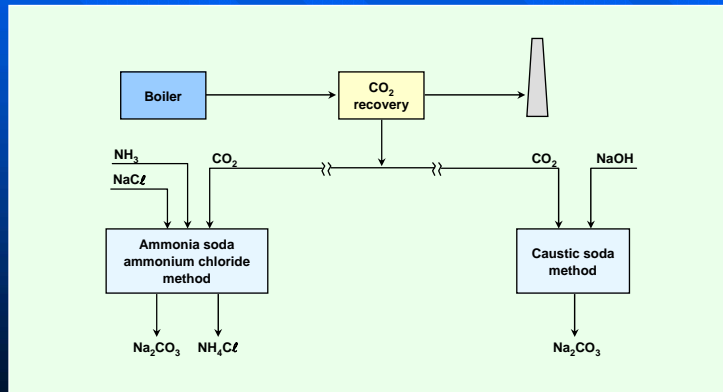
Methanol Production

The carbon/steam ratio is adjusted by adding CO_2 from the primary reformer flue gas, thus increasing the production of methanol.

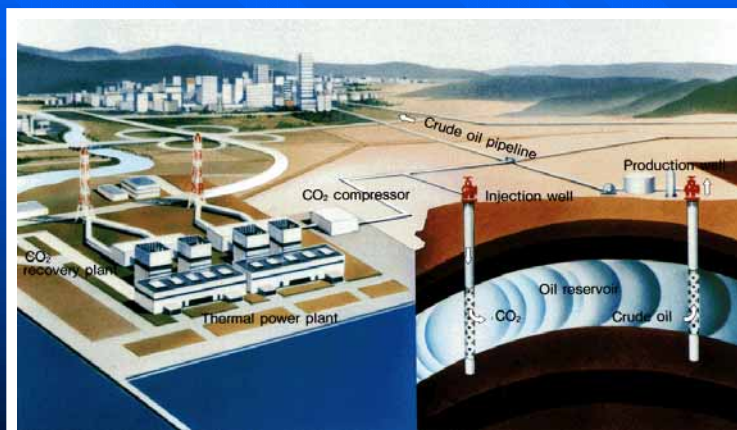


Soda Ash Production

CO_2 is recovered from the boiler or cement kiln and used for soda ash production.



Enhanced Oil Recovery



CO₂による原油増進回収法(EOR)

EORは原油回収率向上に最も期待出来る方法

- ・ 一般原油・・・ CO₂及び天然ガス(C₂, C₃成分)圧入
- ・ 重質原油・・・ スチーム圧入

現在のCO₂ EOR

- ・ 主にCO₂ガス田のCO₂が用いられ
200,000バレル/日の原油を生産

CO₂の供給コスト

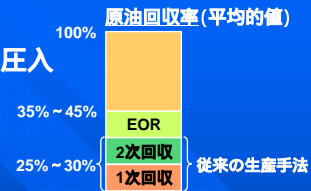
～1995年 25～30ドル/トンCO₂

1995年～ 12～15ドル/トンCO₂

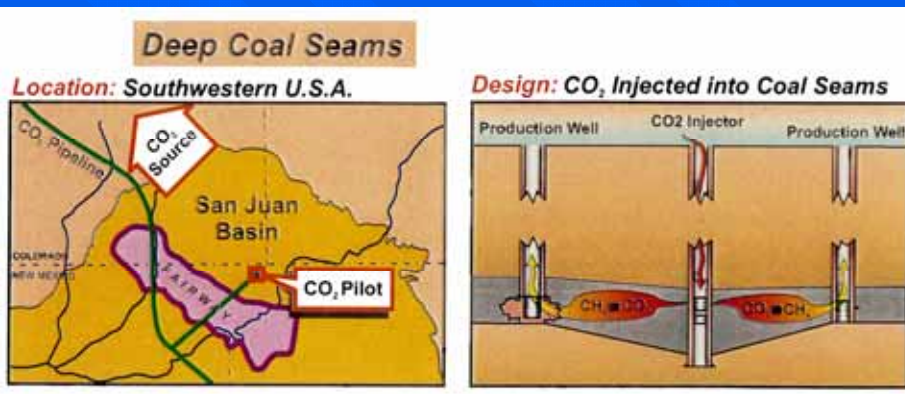
原油生産に必要なCO₂量(平均値)

2トンCO₂/トン原油生産量

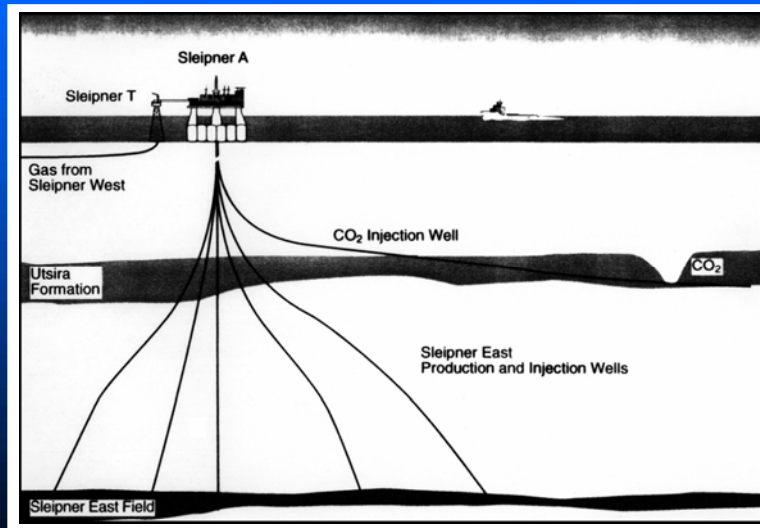
産油国及び石油生産会社は、CO₂ EORとCO₂削減による排出権取引に強い興味を持ち始めている。



CO₂炭層処分



CO₂ Disposal in Norway



今後のエネルギー問題は何か

21世紀のエネルギー問題は何か (1/3)

石油の供給不足 ----- 2010年頃より(?)

天然ガスの供給不足 ----- 2020 ~ 2030年頃より(?)



安価で使い易いエネルギーの不足

- 米国は既に石油・天然ガスの供給不足に陥っている。

解決策は何か

石 油

- ・ 原油回収率の向上
- ・ 非在来石油の生産、改質
 - 超重質油(オリノコタル 他)
 - オイルサンド(カナダ 他)
 - オイルシェール
 - 天然ガスから石油相当製品の製造 ... Gas to Liquid (GTL)
 - 超重質油、石炭ガス化 Gas to Liquid

21世紀のエネルギー問題は何か (2/3)

天然ガス

- ・ 遠隔地、中小ガス田の開発
- ・ 炭層メタン
- ・ 超重質油・石炭ガス化
- ・ ハイドレイト ?

石 炭

- ・ 利用拡大
- ・ 石炭ガス化、液化

原子力

21世紀のエネルギー問題は何か (3/3)

自然エネルギー

- ・ 水 力
- ・ 風 力
- ・ 太陽電池
- ・ 地 熱
- ・ バイオマス

省エネルギー・高効率化

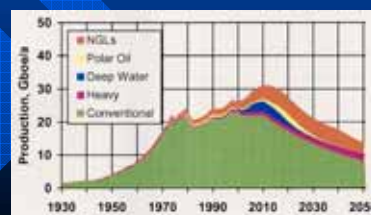
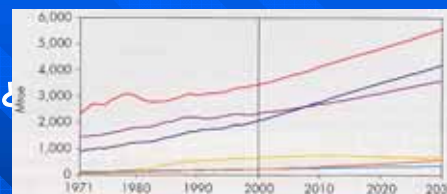
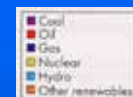
節 約

エネルギー分野における2つの問題

地球温暖化問題

石油供給不足問題

- IEA等は石油需給は今後も年まで順調に拡大する
- Dr. C.J. Campbellらのグループはこのまま石油消費の拡大が続くと、2010年以降石油供給不足となる事を警告している。
(世界の1万以上の主要油田のデータ解析から右図の結論が示された。)



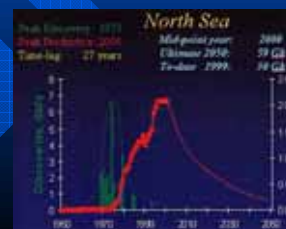
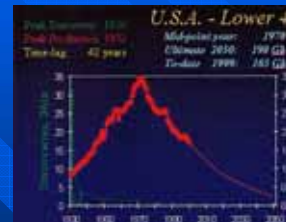
Dr. C.J. Campbellらによる石油生産減退の主な理由

IEA, Oil & Gas Journal, World Oilらは世界全ての油田データを持たず、また十分な解析を行っていない。

探鉱技術が発達し、世界の主要油田のほとんどが見つかり、これから見つかる油田は少ない。

1981年以降石油消費が石油発見量を上廻っている。

石油生産はピークを過ぎると2度と回復しない。米国がその良い例。



北海油田も今がピーク
2010年には現在の40%に低下。
天然ガスも2020年頃がピーク

CO₂回収・処分技術開発の状況

当社におけるCO₂回収技術開発の状況

技術開発の経緯

Sakaiko Bench Scale Testing Facility



技術開発の経緯

Nanko Pilot Plant



技術開発の経緯

Themes of the Power Plant CO₂ Recovery

- (1) Drastic reduction of the thermal energy for regeneration of solution.
- (2) Drastic reduction of power for a boiler flue gas blower.
- (3) Providing a large capacity for the facilities and reducing their size.
- (4) Reduction of amine loss.
 - Minimizing an outflow of the amines to outside of the system.
 - Prevention of deterioration of the amines.
- (5) Taking care of the impurities in the boiler flue gas.
- (6) Optimizing the steam system integrating the power generating system and the CO₂ recovery system.

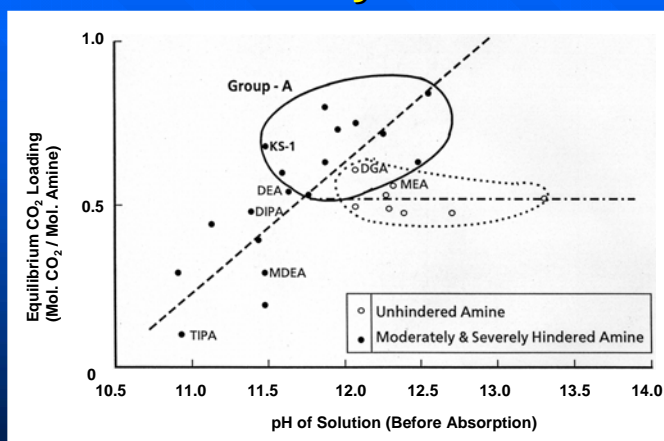
技術開発の経緯

Reaction between Alkanolamines and CO₂



技術開発の経緯

Laboratory Test Data

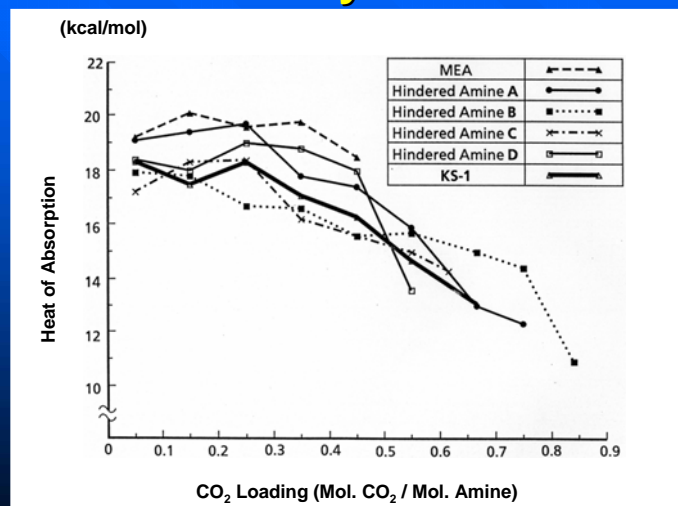


Group-A Amine is attractive for flue gas CO₂ recovery.

pH and Equilibrium CO₂ Loading
(40 ° C, Atmospheric Pressure, CO₂ 10 Vol.%)

技術開発の経緯

Laboratory Test Data



Heat of Absorption

技術開発の経緯

Table 1 - Corrosion Test Result

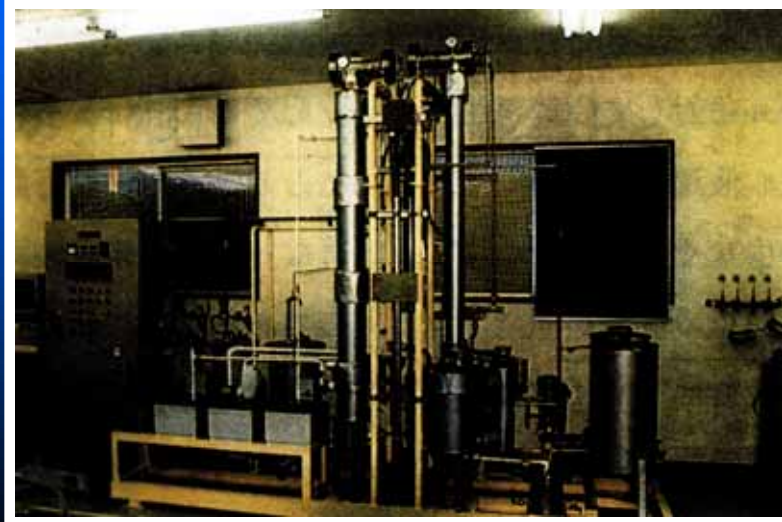
(Unit : mils per year)

	Test 1	Test 2
MEA	93.0	76.4
MEA + inhibitor	9.5	8.3
KS-1	3.1	3.6
KS-2	2.0	2.2

Test condition : 130 ° C, in the presence of O₂

技術開発の経緯

Absorption & Regeneration Bench Scale Testing Facility



技術開発の経緯

MHI's Experience on Flue Gas CO₂ Recovery

PILOT PLANT

Location : Nanko Power Plant, Osaka, Japan

Capacity : Flue Gas 600 Nm³/H
CO₂ Recovery Rate 2 Ton/D

Start Up : April, 1991

Purpose of the Plant

- Development of Energy Minimizing Solvent
- Development of Equipment Size Minimizing Technology

Result of the Development

- New Solvent KS-1 and KS-2 have been developed. These two solvent can reduce steam consumption about 20% than MEA.
- New high efficient and very low pressure loss Packing (KP-1) has been developed.
- Energy efficient steam systems have been developed.



技術開発の経緯

Research and Development Activities

MHI has been working with the Kansai Electric Power Co. on a comprehensive series of long-term research projects to develop countermeasures for global warming. Recovery of CO₂ from power plant flue gas is the main subject of the new energy-saving technology being developed.

Current research projects are as follows:

- Laboratory tests
- Bench scale tests
- Pilot plant tests
- Feasibility studies for recovery of CO₂ from power plants



Laboratory test



Bench scale test



Pilot plant test

開発技術の内容

MHI's Experience on Flue Gas CO₂ Recovery

PILOT PLANT

Location : Nanko Power Plant, Osaka, Japan

Capacity : Flue Gas 600 Nm³/H
CO₂ Recovery Rate 2 Ton/D

Start Up : April, 1991

Purpose of the Plant

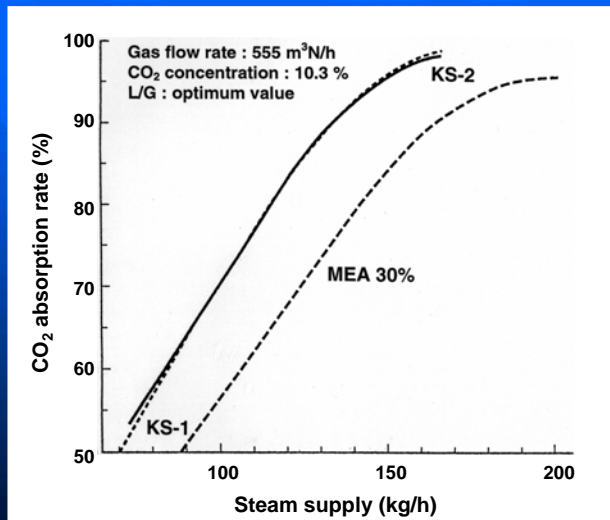
- Development of Energy Minimizing Solvent
- Development of Equipment Size Minimizing Technology

Result of the Development

- New Solvent KS-1 and KS-2 have been developed. These two solvent can reduce steam consumption about 20% than MEA.
- New high efficient and very low pressure loss Packing (KP-1) has been developed.
- Energy efficient steam systems have been developed.



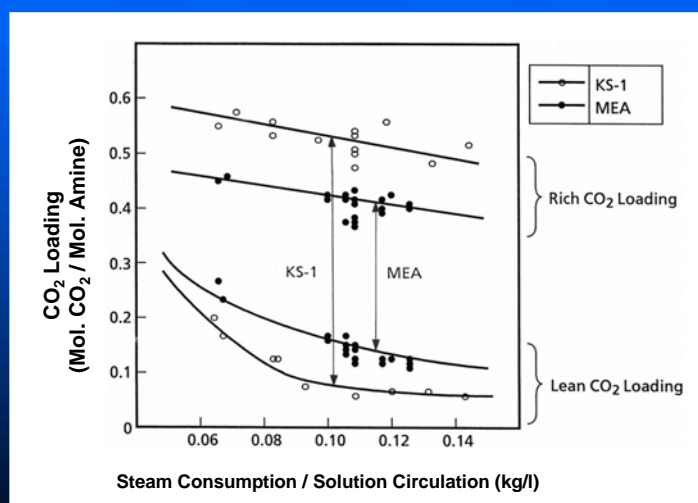
開発技術の内容



Relationship between Steam Consumption and CO₂ Recovery in Pilot Plant

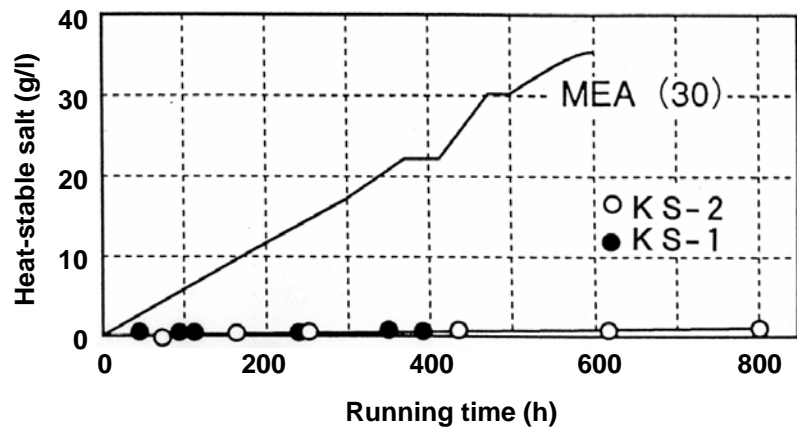
開発技術の内容

Pilot Plant Test Data



Steam Consumption / CO₂ Loading

開発技術の内容



Deteriorated Product of MEA, KS-1 and KS-2

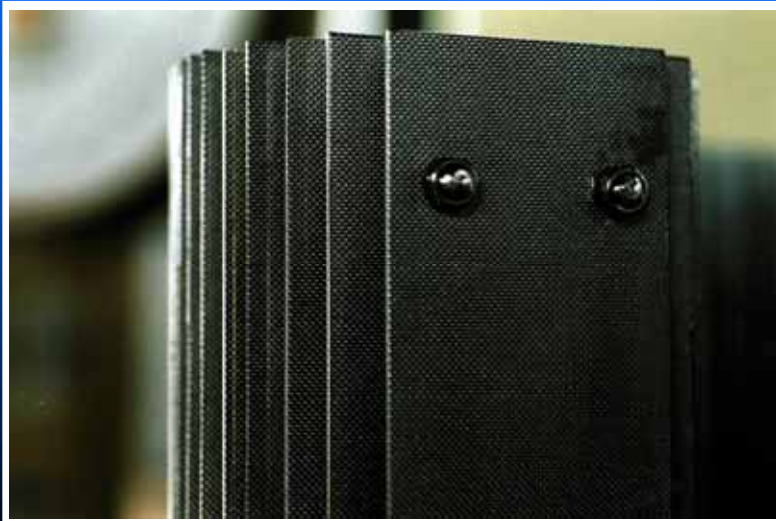
開発技術の内容

Conventional Tower Packing

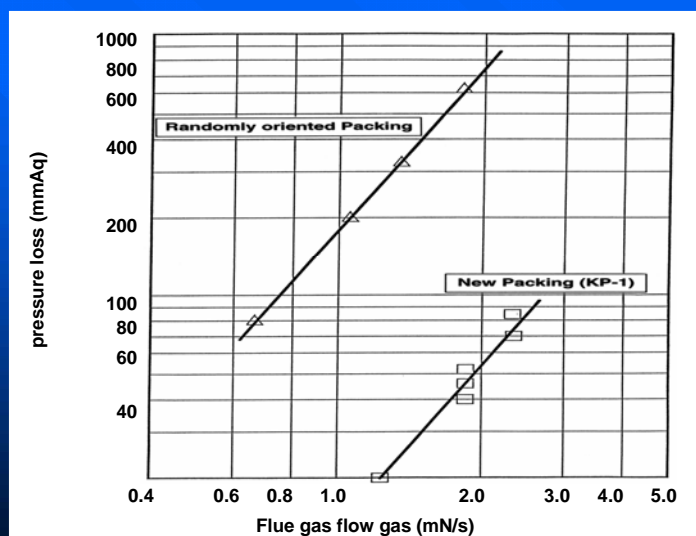


開発技術の内容

KP-1 Packing

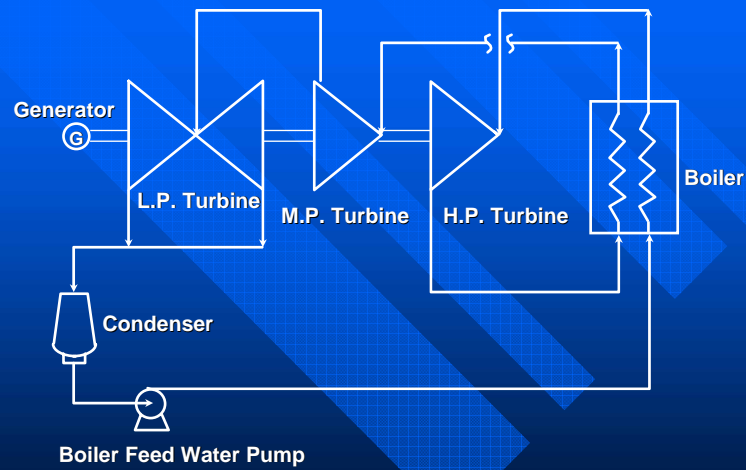


開発技術の内容



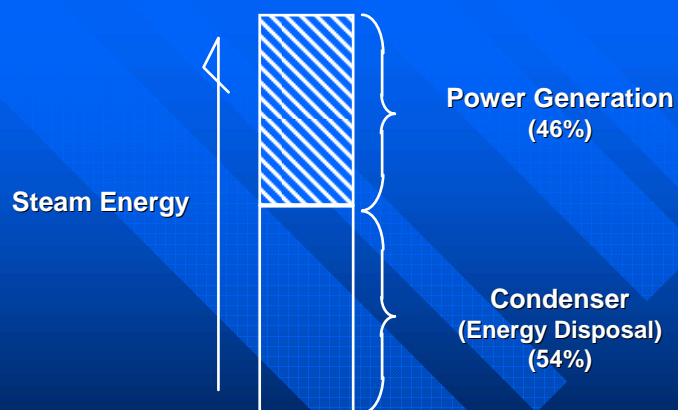
CO₂ Absorber Absorption Part Pressure Loss

開発技術の内容



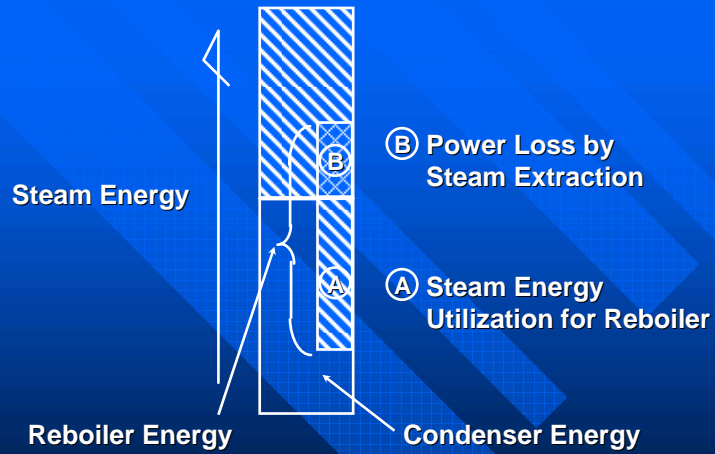
Power Plant Steam System

開発技術の内容



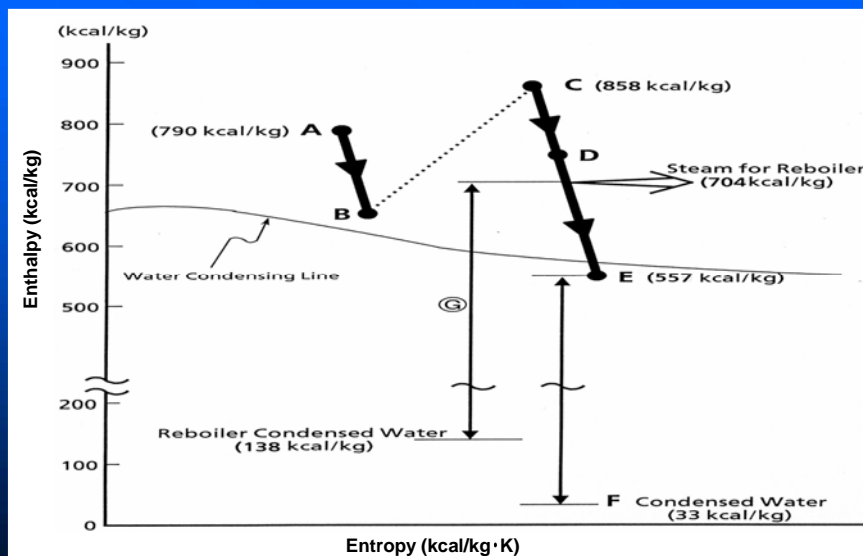
Steam Energy Utilization of Power Plant

開発技術の内容



Steam Energy Utilization of Power Plant and CO₂ Recovery

開発技術の内容



Enthalpy-Entropy Curve Power Plant Steam System

開発技術の内容

A Plant In Commercial Operation



MHI was awarded a flue gas CO₂ recovery plant by using MHI/KEPCO's new solvent (KS-1). The plant is located in Malaysia and form a part of the ammonia/urea plant which is now in commercial operation.

MHI/KEPCO's new technology for flue gas CO₂ recovery has been selected by Petronas Fertilizer Kedah for its high energy efficiency and competitive price.

Project Outline

- Client : Petronas Fertilizer (Keda) Sdn. Bhd.
- Location : Kedah Darul Aman, Malaysia
- Flue Gas Source : Steam Reformer Flue Gas
- Capacity : -Flue Gas 47,000 Nm³/H
-CO₂ Recovery 210 Tons/Day Max
- Solvent : KS-1 Solvent
- Use of CO₂ : Urea Production
- Start of Operation : October 1999
- Project Scope : Turnkey Lumpsum

設備の大容量化

大容量化プラントの試設計完了 3000T/Dプラント / 1系列納入可能



3000T/Dプラント鳥瞰図

世界の動向

世界の動向

温暖化対策技術国際会議 (GHGT) の動向

- ・ 2000年8月 オーストラリア ケアンズで開催されたGHGT-5において、IEAはCO₂回収・処分を行わない限り温暖化対策は達成出来ないと発表
- ・ 2002年10月 京都で開催されたGHGT-6における発表論文の75%がCO₂回収・処分にに関するもの。また、65%がCO₂回収・地中処分にに関するもので占められていた。
(CO₂地中処分の論文が全体の約50%)

メジャーの動向

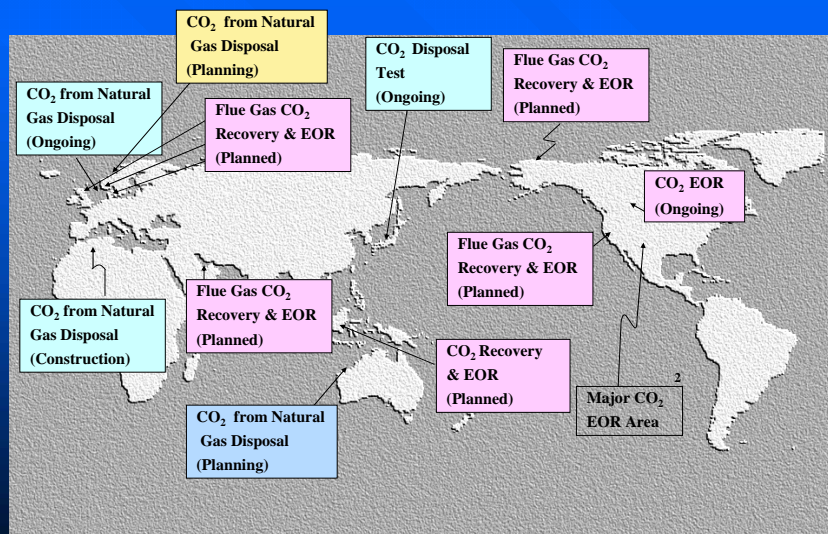
- ・ Exxon Mobilを除くメジャーを中心に2001年からCO₂ Capture Projectを設立し、CO₂回収・処分(EOR)の技術確立を目指す。

IPCC CO₂回収・処分特別報告書

- ・ 2001年11月 COP-7において、CO₂回収・処分特別報告書を作成する事を決定。2005年初頭におけるCO₂回収・処分の温暖化対策としての認定をめざす。

世界のCO₂回収処分(有効利用)プロジェクト

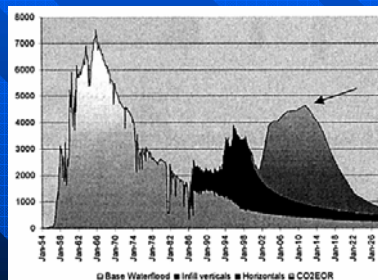
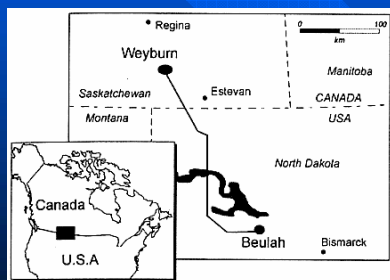
世界のCO₂処分の状況



2 : Projects in this area are not CO₂ mitigation projects.

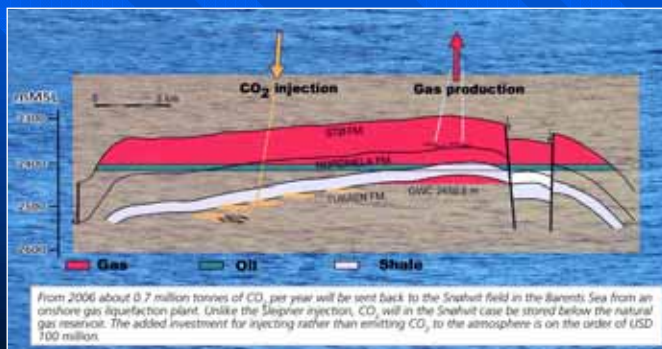
カナダウェイバーン CO₂ EORプロジェクト

ノースダコタ(米) 石炭ガス化プラントからのオフガスCO₂を利用
 2001年秋からCO₂の圧入開始 5,000T/D CO₂
 2002年中旬 5,400BBL/Dの増油量を確認



ノルウェー スノービット LNGプロジェクト CO₂ 地中処分計画

2006年から操業開始予定
 CO₂処分量 70万トン/年



オーストラリア ゴーゴン LNGプロジェクト CO₂ 地中処分計画

2008～2010年 操業開始予定
CO₂処分量 520万トン/年

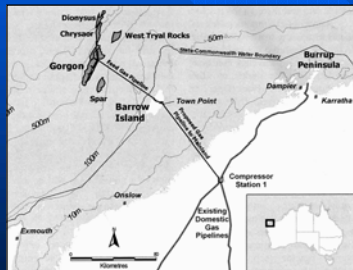


Figure1: Location of Barrow Island and the Gorgon Gas Field

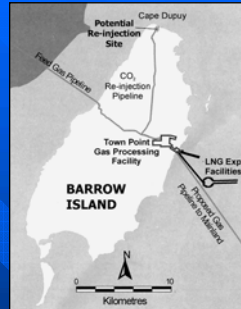


Figure2: Development Concept

	Reservoir CO ₂ Re-injected	Reservoir CO ₂ Vented	Flue Gas Emissions	Total Atmospheric Emissions
With CO ₂ Re-injection	5.2	0	3.3*	3.3
Without CO ₂ Re-injection	0	5.2	2.9	8.1

Table1: Summary of CO₂ Emissions

*Includes additional flue gas emissions of the CO₂ re-injection compressor

民間企業としてCO₂回収技術を
どう実用化しようとしているか

民間企業としてCO₂回収技術をどう実用化しようとしているか

製品が売れる条件

- ・ 技術が使いものになる事
- ・ 経済性が成り立つ事 (利用者が利益を得るもの)
- ・ 十分なマーケットが有る事

⇒ 温暖化対策としては、未だ売れる条件が整っていない。

CO₂排出規制、CO₂排出権売買が開始され、
かつ経済性が成り立つ状態となる事
(CO₂排出権売買価格 20ドル/CO₂トン 以上)

現在我々のビジネスのターゲット

- ・ 化学的利用
- ・ 石油増進回収法

CO₂回収技術適用の現状と今後の展望

CO₂回収技術適用の現状と今後の展望 (1/3)

CO₂回収技術

燃焼排ガスからのCO₂回収技術は確立されている

CO₂有効利用分野において実用化されており、
利用拡大が目標

CO₂回収の省エネルギー、大容量化、コストダウンを
さらに推進する必要あり

CO₂回収技術適用の現状と今後の展望 (2/3)

CO₂の利用・処分

化学的利用分野 ----- 利用拡大

- 尿 素 ----- 実施中
 - メタノール
 - ディメチルエーテル(DME)
 - Gas to Liquid(GTL)
- } 天然ガスの液化燃料化の
切り札となりうるか？

原油増進回収法(EOR)

- ・ 現在マーケット開拓中。早期実現をめざす。
 - ⇒ 量的にCO₂対策になりうる。CO₂排出権売買が
開始されると経済性が一層向上
 - ⇒ 石油供給不足の切り札となりうるか？

CO₂回収技術適用の現状と今後の展望 (3/3)

炭層メタン回収

- ・ 技術確立はこれから。CO₂処分量としては原油増進回収法(EOR)より大。

帯水層処分

- ・ CO₂処分量としてはかなり期待出来る。日本においてもある程度可能性有り。
- ・ 欧米では主要温暖化対策手段となりうる。(処分場所多し)

海洋処分

- ・ 広くコンセンサスを得なければならない。

我が国の温暖化対策、エネルギー政策への提言

我が国の温暖化対策、エネルギー政策への提言

今までの考え方としての油田の利権がエネルギービジネスの中心であったが、近い将来、原油の供給不足が予測され始めており、温暖化問題とも相まって、コア技術と新しいビジネスモデルにより我が国として最も弱いアップストリームの権益を得る施策を取る時期到来。

エネルギー政策と温暖化対策とを一体のものとして考えるべき
CO₂ EORを産油国とのCDM、JIとして実施し、CO₂排出権獲得と共に原油安定供給につなげる。

1億トン/年 程度のCO₂排出権獲得は可能

老朽油田の利権を獲得し、CO₂ EORを推進

ガス田利権獲得LNG、GTL、DMEの開発輸入

CO₂ Emission Free LNG, GTL, DME プラント

炭田の利権を獲得し将来の石炭ガス化GTL、DME開発輸入に備える