

# マグネシウム精錬プロセスへのCBMの利用と CO<sub>2</sub>炭層固定の可能性

NPO法人地下資源イノベーションネットワーク  
出口 剛太

北海道大学大学院工学研究科資源システム工学研究室  
大賀 光太郎

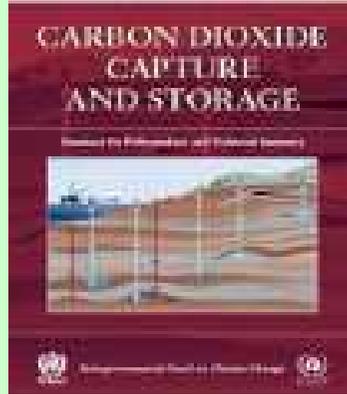
## 内 容

- 背景
- CCSとCO<sub>2</sub>-ECBM
- 中国のCBM開発
- 中国マグネシウム精錬産業の現状とCO<sub>2</sub>排出
- ピジョンプロセスへのCO<sub>2</sub>-ECBM適用可能性
- まとめ

## 背景

- 世界の一次マグネシウムの約80%は中国で生産
- 熱還元法(ピジョンプロセス)による生産
  - ・エネルギー多消費(主に石炭燃料)
  - ・CO<sub>2</sub>排出係数が高い
- 中国マグネシウム生産の約80%は山西省に集中
- 山西省は中国有数の石炭 & 炭層メタン(CBM)賦存地域
- 中国11次5カ年計画
  - ・2010年にはCBM生産量を2006年比で20倍に
- CO<sub>2</sub>排出削減対策(燃料転換 & CCS, CO<sub>2</sub>-ECBM)
  - ・CBMをマグネシウム精錬のエネルギー源に
  - ・CO<sub>2</sub>分離回収・炭層固定      CBM増産

# CCS:CO<sub>2</sub> Capture and Storage



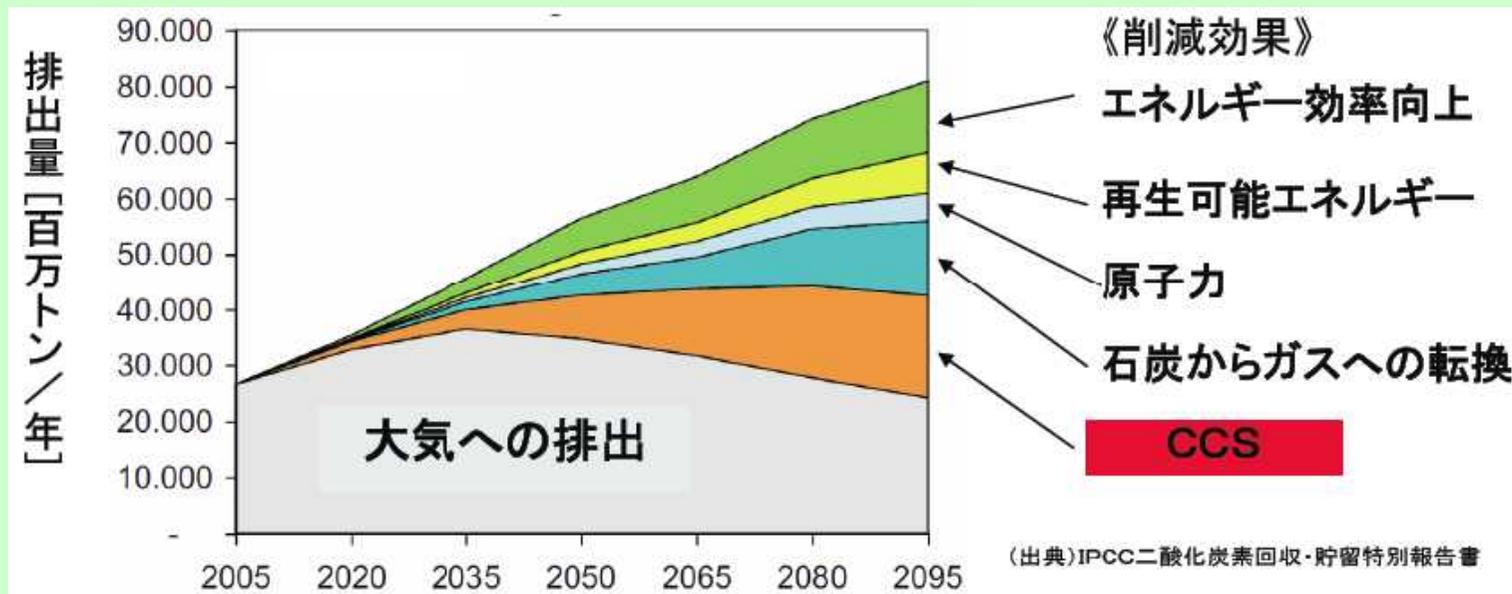
## 二酸化炭素の回収・貯留に関する特別報告書 Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage

モントリオールで開催されたIPCC 第3作業部会において発行承認  
(2005年9月)

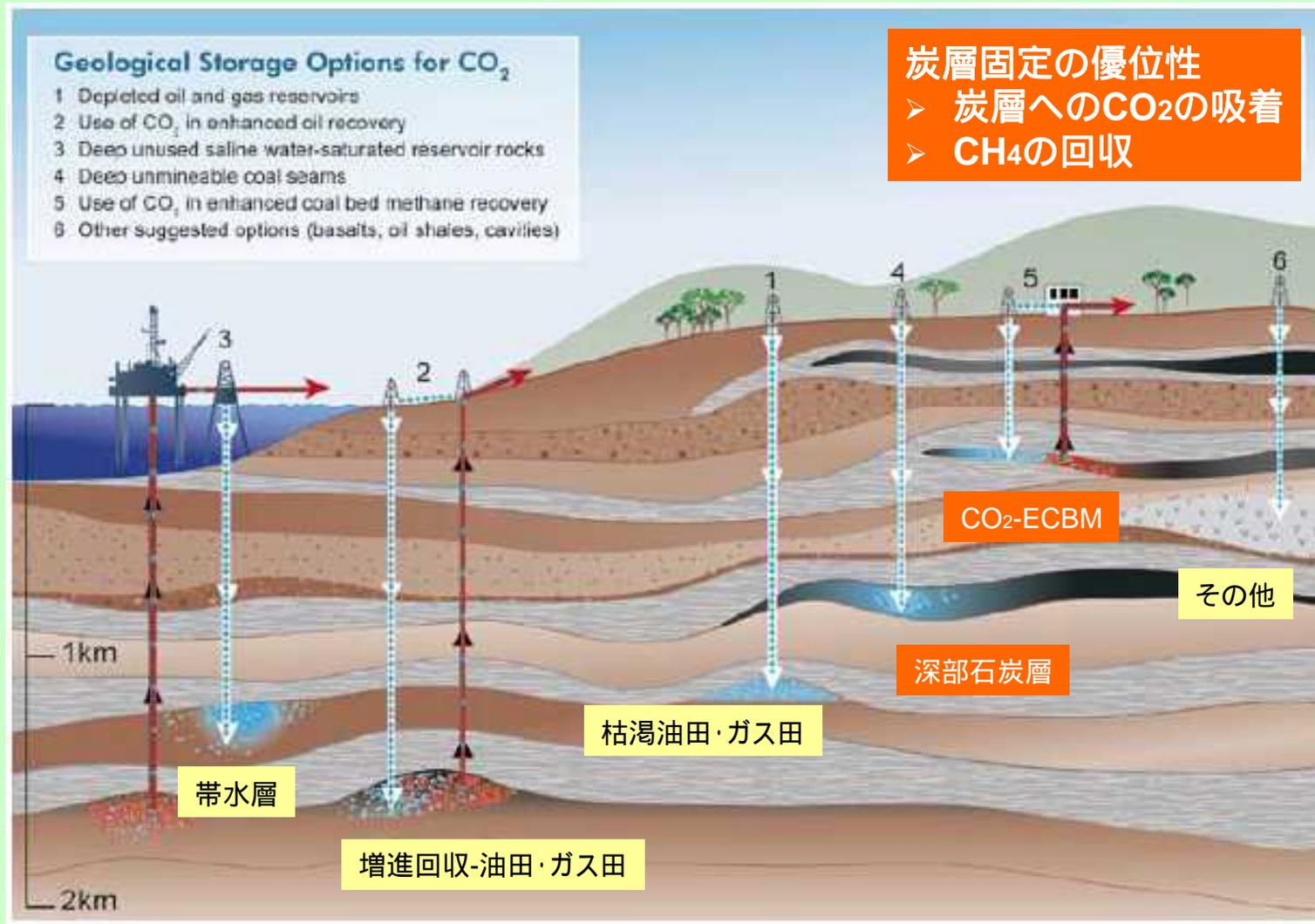
- 大規模排出源でCO<sub>2</sub>を分離・回収し、長期間にわたり貯留・隔離することで大気中へのCO<sub>2</sub>の放出を抑制する技術
- CO<sub>2</sub>の分離・回収、輸送、圧入、及び貯留という4つの機能
- 分離・回収には、化学吸収法、物理吸収法、膜分離、物理吸着、及び深冷分離等がある
- 輸送はパイプライン、タンクローリー、船舶等
- 地中貯留と海洋貯留に分けられるが、地中貯留が先行
- 地中貯留には、帯水層貯留、石油・ガス増進回収(EOR、EGR)、枯渇油・ガス層貯留、及び炭層固定(ECBM含む)等

# CCSの有効性

- ▶ 地中貯留のポテンシャル: 2兆トンCO<sub>2</sub>  
(世界の排出量の80年分)
- ▶ 海洋貯留のポテンシャル: 数兆トンCO<sub>2</sub>
- ▶ 2100年までに世界全体の排出削減対策のうち、CCSは累積で15～55%貢献する

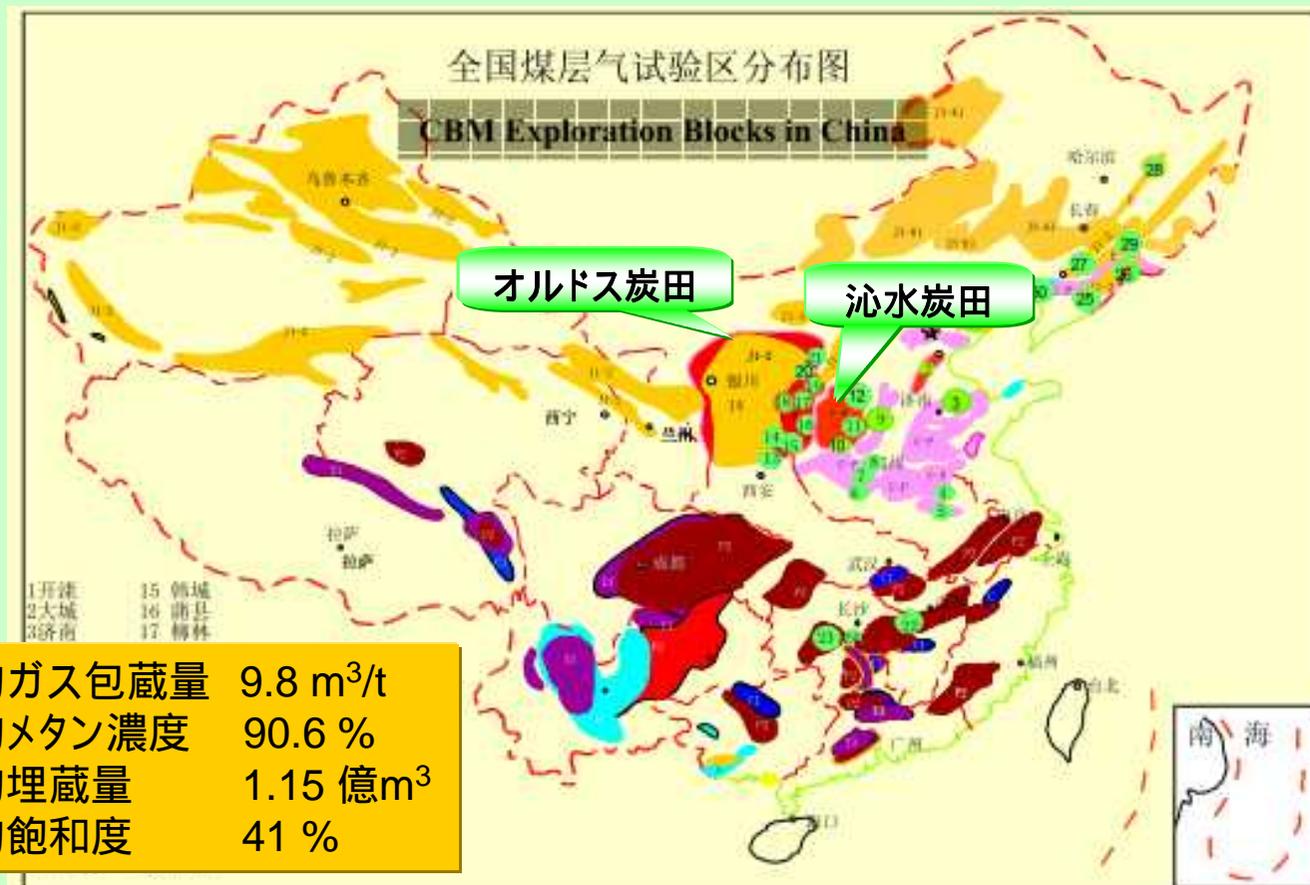


# CCS:CO<sub>2</sub>地中貯留の区分



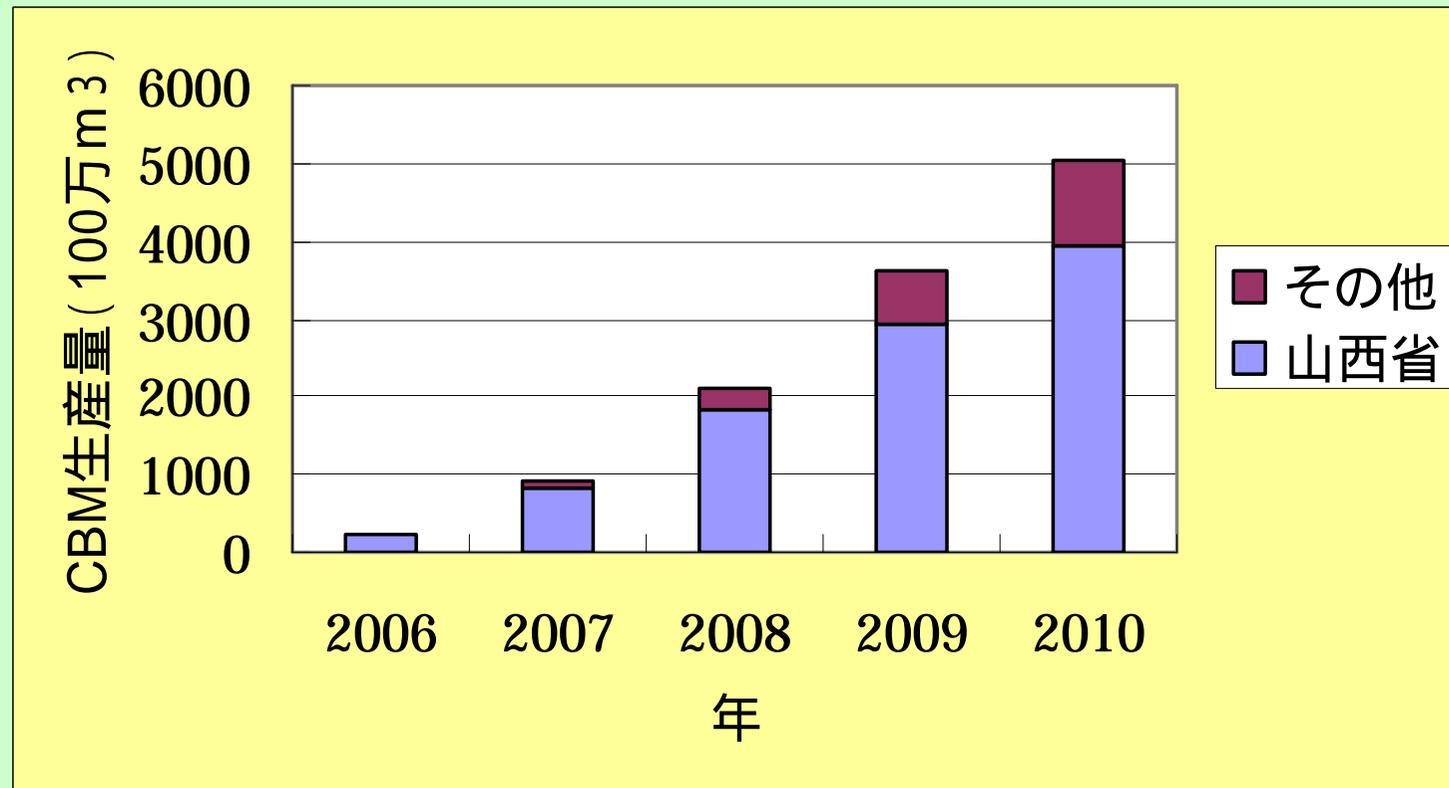
# 中国のCBM資源

- C B M資源量 3 1 兆 $m^3$  (300-2,000m)
- 在来型天然ガス資源量 30兆 $m^3$
- CBM有望区域 - 115区域 (平均ガス包蔵量 9.8  $m^3/t$ )



# 中国におけるCBM開発

- 11次5ヵ年計画(2006)
- CBM生産量**2.5億m<sup>3</sup>**(2006) **50億m<sup>3</sup>**(2010)
- 主に山西省(沁水炭田・オルドス炭田)



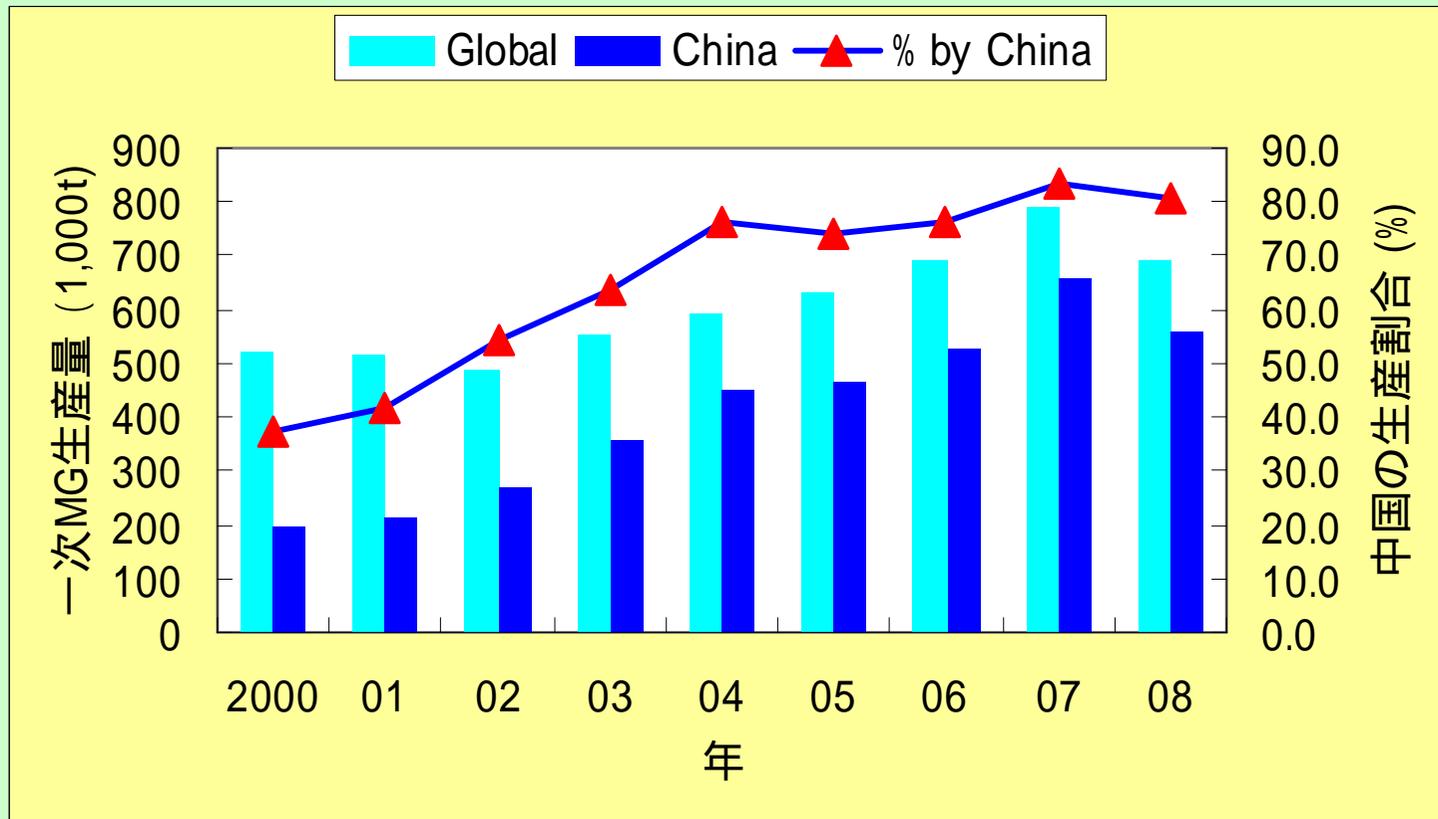
中国のCBM生産計画 (11次5ヵ年計画より作成)

## 主要CBM区域の状況

項目	単位	沁水炭田	オールドス炭田(東翼)
炭層深度	m	300 ~ 1,000	500 ~ 1,500
炭層厚さ	m	-	8 ~ 13
CBM包蔵量	m <sup>3</sup> /t	19 ~ 26	12 ~ 23
ガス透過率	md	0.5 ~ 1.0	1.0
CBM埋蔵量	m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	2	-
計画生産能力	億m <sup>3</sup>	30	16
計画生産量	億m <sup>3</sup>	40	11

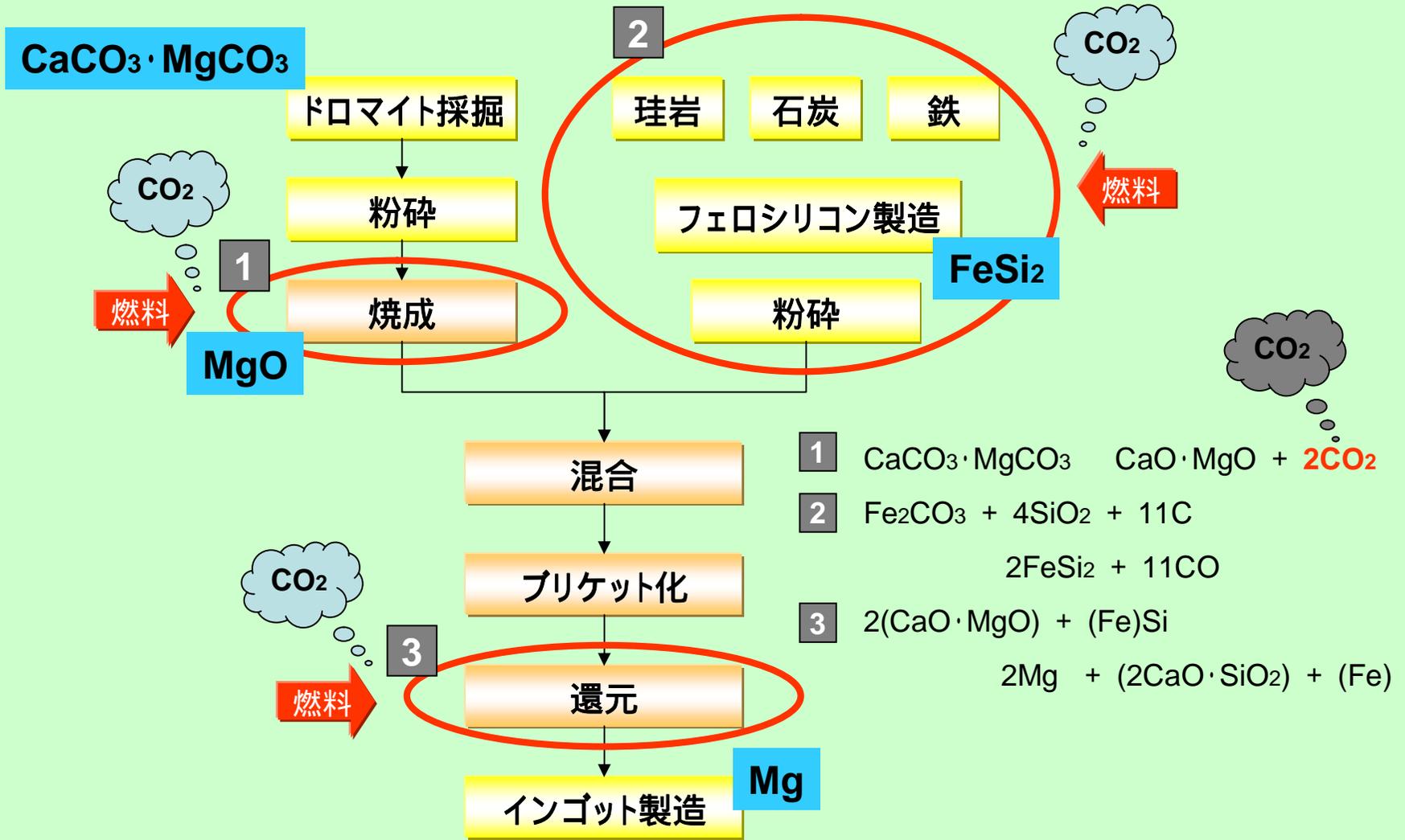
# 中国マグネシウム精錬の現状

- 中国の生産量 約66万トン(2007)
- 全世界生産量の約80%
- 中国の約80%は山西省で生産



一次Mg生産量の推移 (世界マグネシウム協会資料より作成)

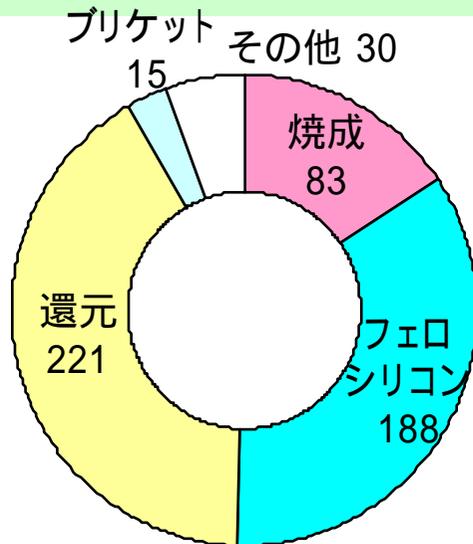
# マグネシウムの精錬工程



# 一次マグネシウム精錬工程のLCA (石炭使用)

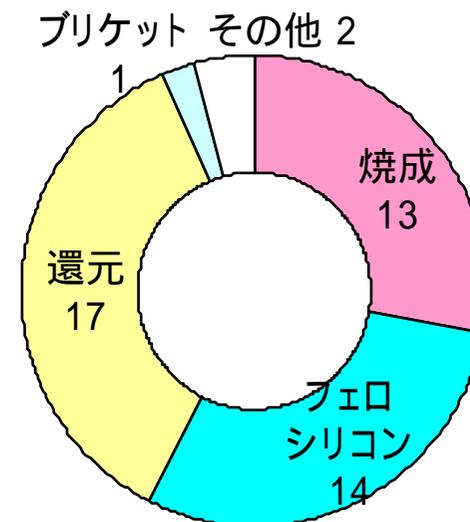
## Energy Balance

537MJ/kg-Mg



## GHG Balance

47kg-CO2/kg-Mg

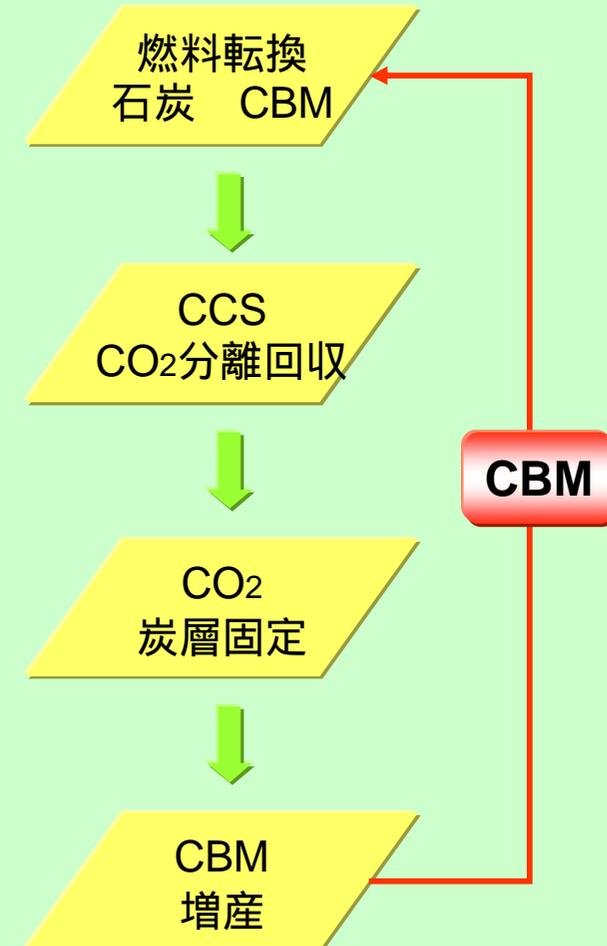


# ピジョンプロセスへのCO<sub>2</sub>-ECBM適用可能性

モデルケース(山西省)

- ・ 操業規模(Mg年間生産量): 10,000トン)
- ・ 操業年数: 15年
- ・ 稼働率: 95%
- ・ 燃料: 石炭

CO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> /y)	Fe-Si生産	140,000
	ドロマイト焼成	130,000
	(非エネルギー起源)	(40,000)
	Mg還元	170,000
	ブリケット化	10,000
	その他	20,000
	合計	470,000
エネルギー (GJ/y)	Fe-Si生産	1,880,000
	ドロマイト焼成	830,000
	Mg還元	2,210,000
	ブリケット化	150,000
	その他	300,000
	合計	5,370,000



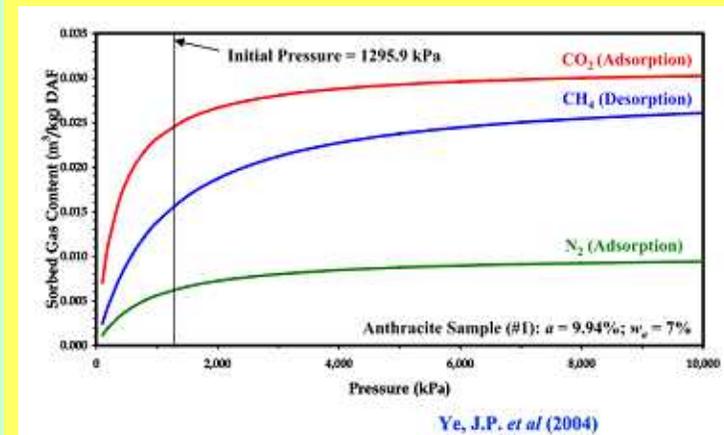
# CBMに関する基本条件

項目	単位	数値
CBM埋蔵量	Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	200
CBM可採埋蔵量	Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	100
CBM可採埋蔵量 (CO <sub>2</sub> -ECBM)	Mm <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	150
CO <sub>2</sub> -ECBM増産率	%	50
最大CO <sub>2</sub> 貯留量	t-CO <sub>2</sub> /km <sup>2</sup>	450,000
CBM生産量	m <sup>3</sup> /d 1坑井当り	3,000
CBM生産量 (CO <sub>2</sub> -ECBM)	m <sup>3</sup> /d 1坑井当り	4,500
CO <sub>2</sub> 圧入量	t-CO <sub>2</sub> /d 1坑井当り	40

炭層厚さ: 10m  
ガス包蔵量: 16m<sup>3</sup>/t

初期貯留層圧での吸着量  
CH<sub>4</sub>: 13m<sup>3</sup>/t  
CO<sub>2</sub>: 20m<sup>3</sup>/t

石炭の吸着特性(沁水炭田の石炭)



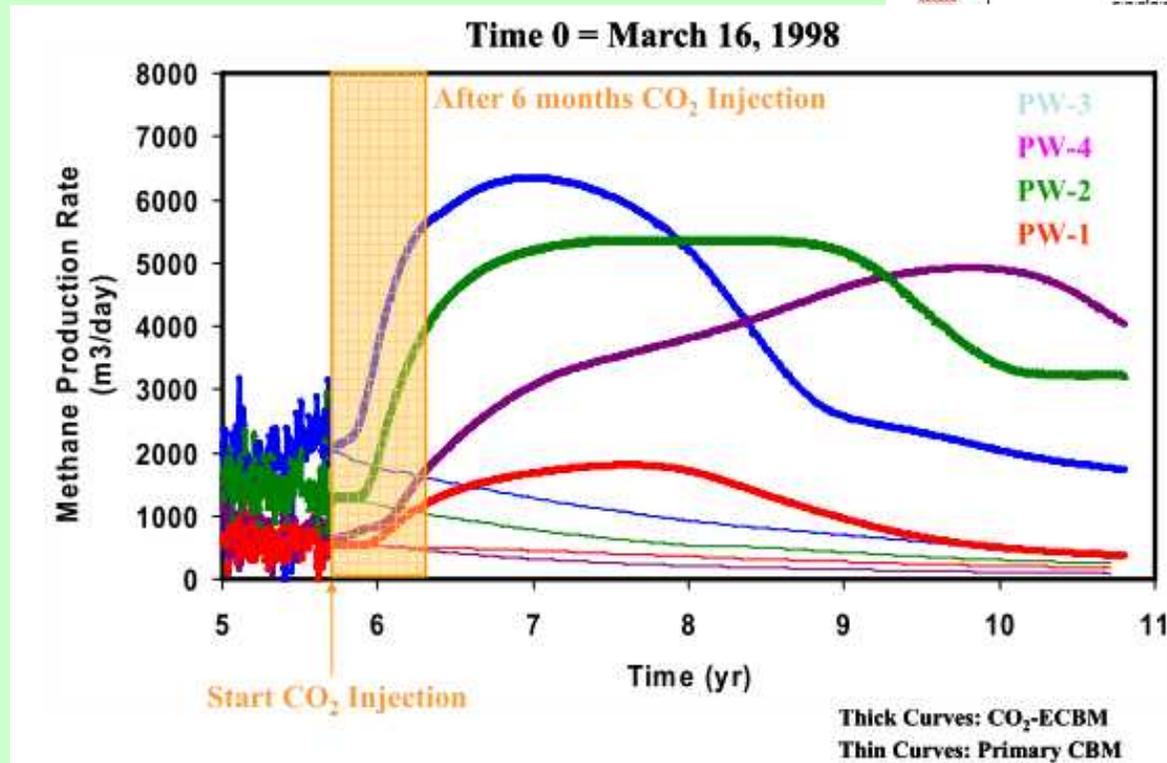
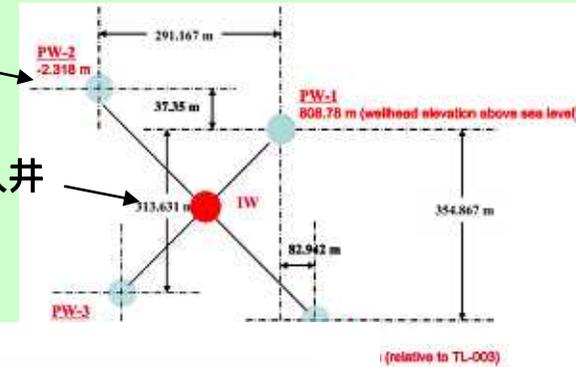
Alberta Research Council: Development of China's CBM Technology / CO<sub>2</sub> Sequestration Project, Final Project Report, Project No. A-030841, Canada, March 2007

# 沁水炭田でのCO<sub>2</sub>-ECBM解析事例 (by ARC)

- ・炭層深度: 470m
- ・炭層厚さ: 6m
- ・ガス包蔵量: 16m<sup>3</sup>/t
- ・ガス透過率: 2md
- ・初期貯留層圧: 1.3MPa

生産井

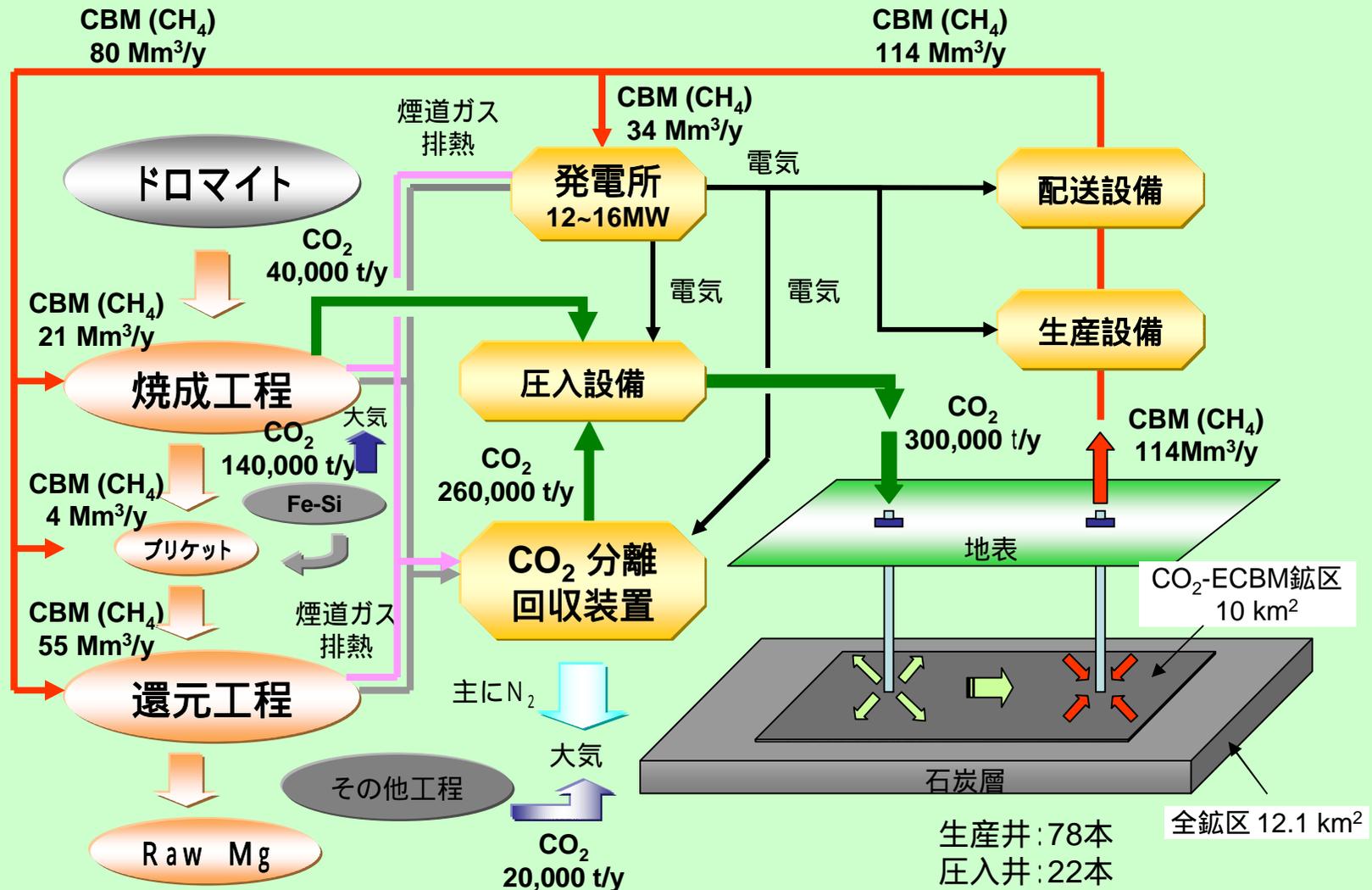
注入井



Alberta Research Council: Development of China's CBM Technology / CO<sub>2</sub> Sequestration Project, Final Project Report, Project No. A-030841, Canada, March 2007

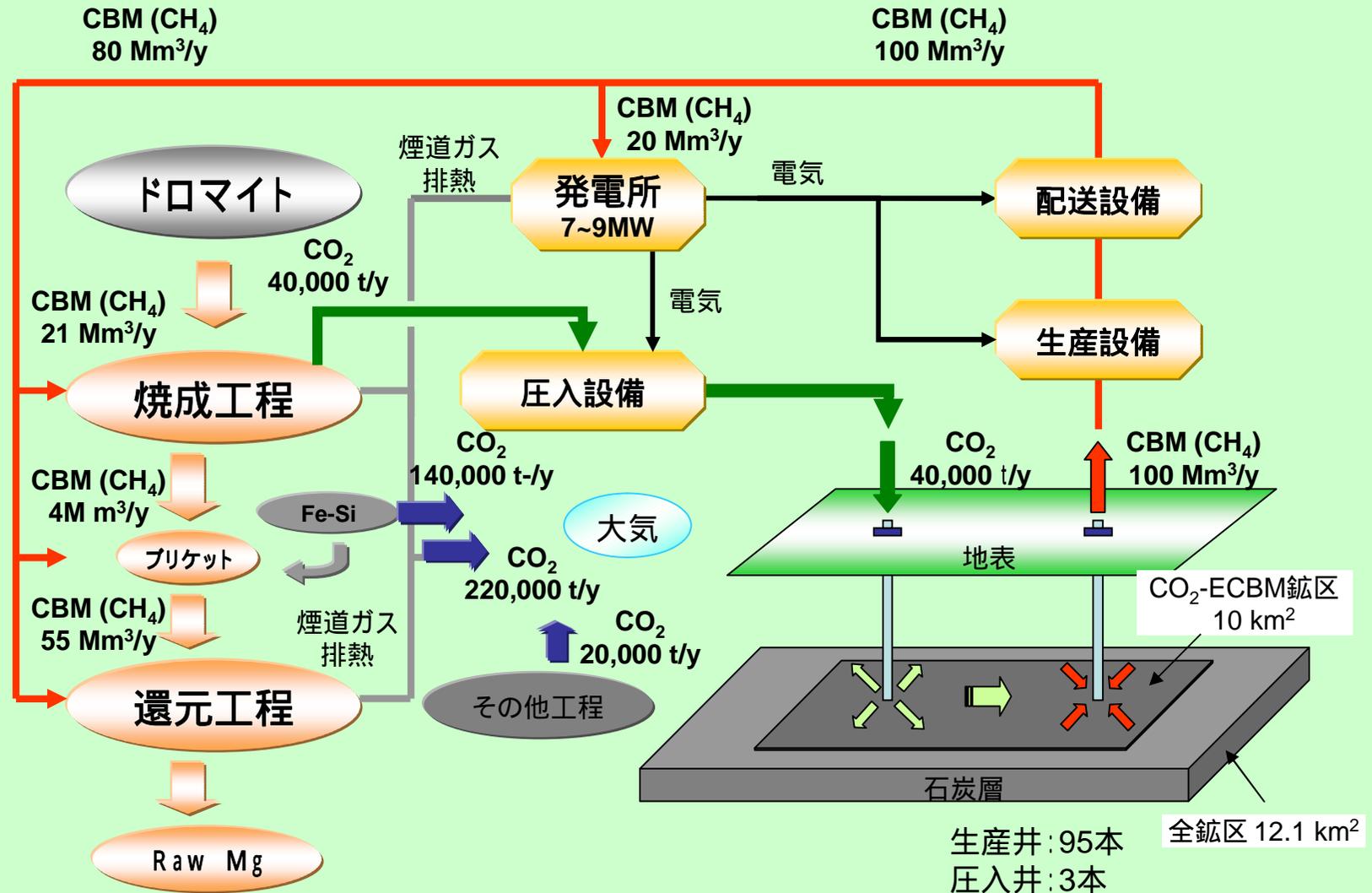
# CO<sub>2</sub>-ECBMを適用したMg精錬主要工程

CO<sub>2</sub>排出削減: 47万トン 16万トン



# CBM燃焼によるCO<sub>2</sub>分離回収を伴わない場合

CO<sub>2</sub>排出削減: 47万トン 38万トン



## まとめ

- 中国のマグネシウム生産量は世界の80%(66万トン, 2007)
- 大部分が石炭を燃料とするピジョンプロセスにより生産
- マグネシウム1トンの生産  
47トンのCO<sub>2</sub>を排出
- マグネシウム精錬工場は山西省に集中(80%)
- 山西省は石炭資源が豊富で、CBMの賦存量も多い
- 燃料転換 + CCS技術(CO<sub>2</sub>-ECBM)を適用  
大幅なCO<sub>2</sub>排出削減が可能
- 年産1万トンのモデルケースでは66%の削減が可能
- 天然ガス・コークスガス・石炭ガスや廃熱の利用も開始
- 現地調査に基づくシミュレーションや経済性検討が必要
- 我が国に蓄積された経験・技術が果す役割は大きい