

# グリーンエネルギーを利用した マグネシウム製錬の可能性 -マグネシウム還元法の種類-

東北大学 多元物質科学研究所  
サステナブル理工学研究センター  
材料分離プロセス研究分野

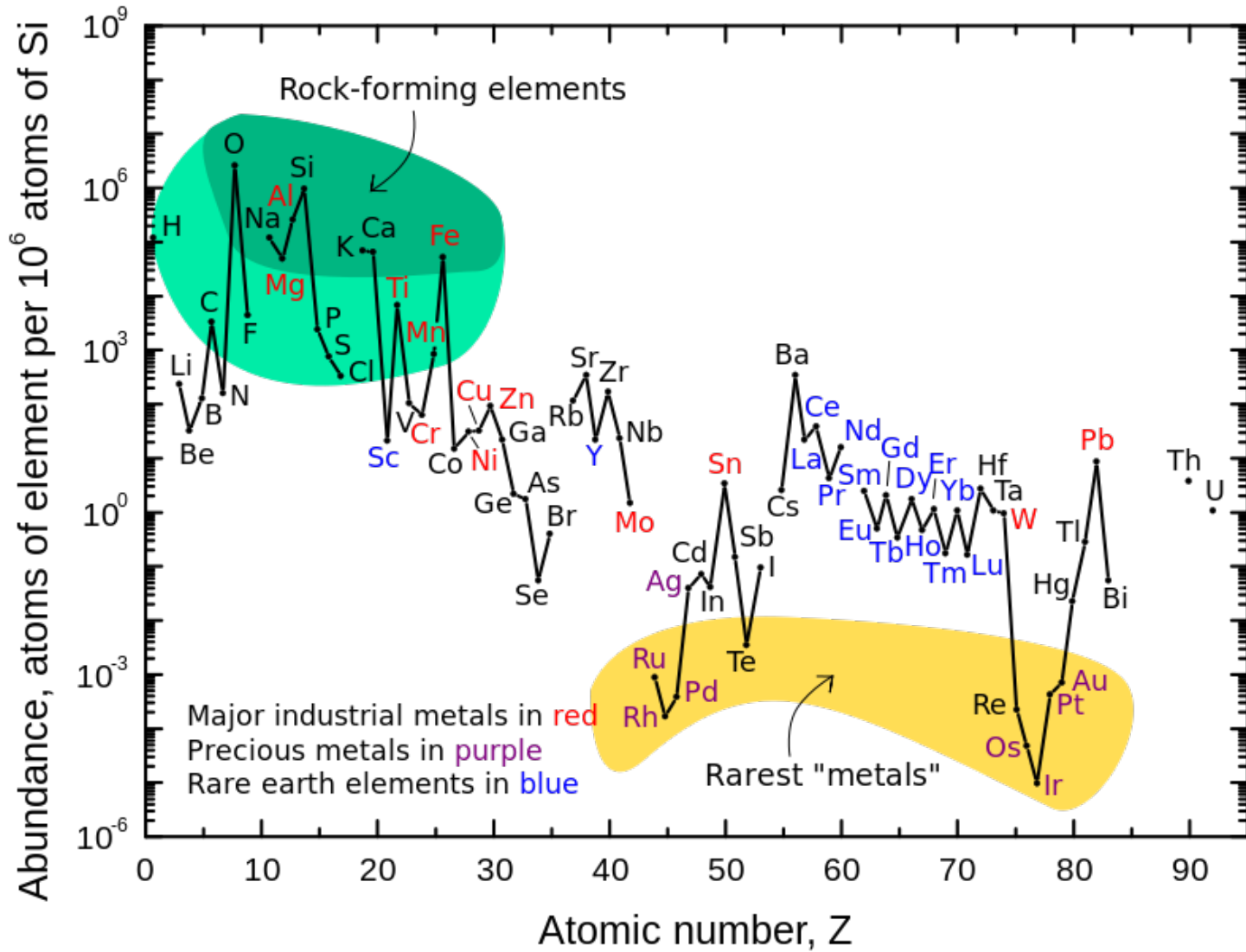


東北大学

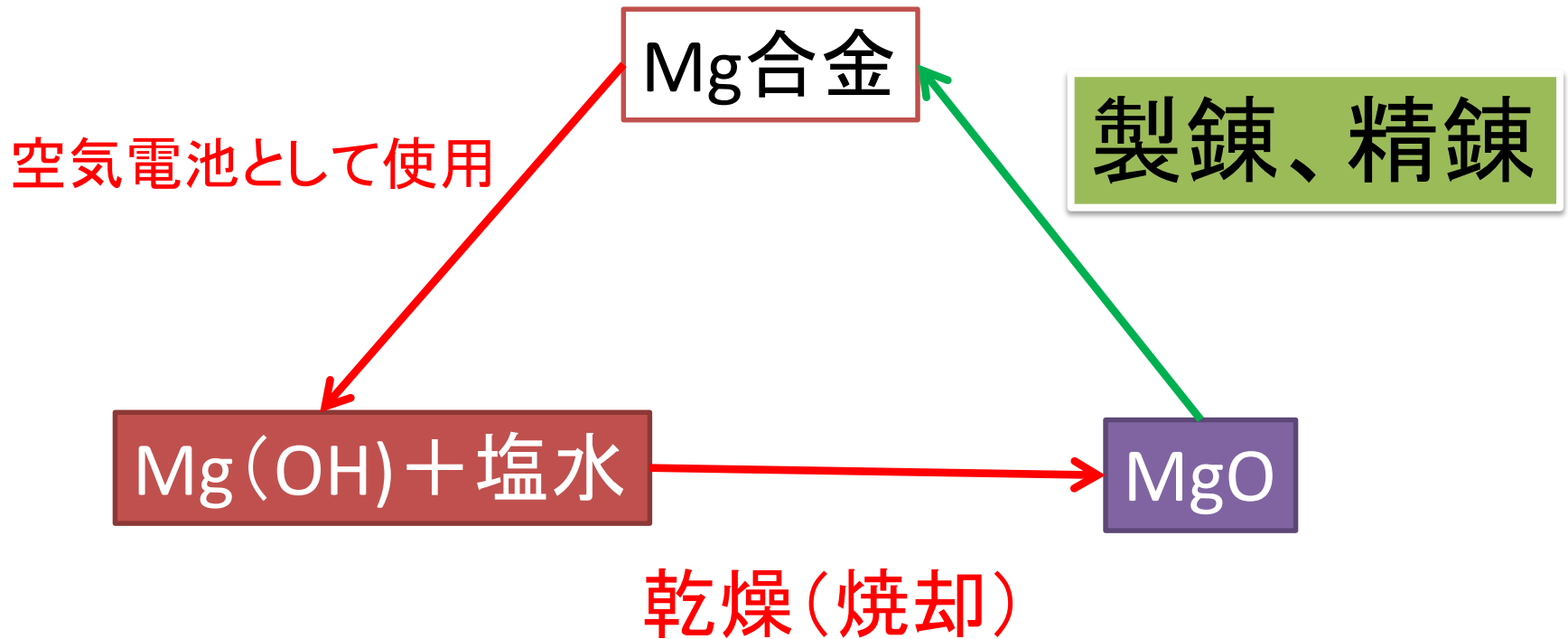
柴田浩幸



# 元素の存在量



# 例：Mg空気電池のリサイクル



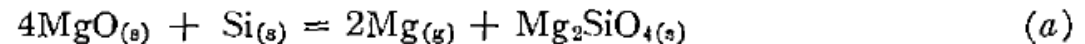
# Mgの製錬法: Siを利用する

## HIGH-TEMPERATURE STUDIES OF METALLURGICAL PROCESSES PART I. THE THERMAL REDUCTION OF MAGNESIUM OXIDE WITH SILICON<sup>1</sup>

J. M. TOGURI<sup>2</sup> AND L. M. PIDGEON<sup>3</sup>

### ABSTRACT

The rate of reaction (*a*) has been studied over the temperature range 1140–1460° C, by following the loss in weight of the reactants in high vacuum.



The loss in weight of the reactants was found to be greater than that which can be accounted for by the above reaction. The excess weight loss was found to be due to a brownish, glassy deposit which appeared outside the reaction zone. This material was analyzed by X-ray diffraction and found to be an intimate mixture of  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  and Si. Experiments conducted showed that both of these materials are not appreciably volatile at 1350° C. This transfer of silicon and silicate is postulated to occur by the formation of gaseous SiO formed from the reaction mixture. Based on this assumption a possible mechanism for this reaction is postulated.

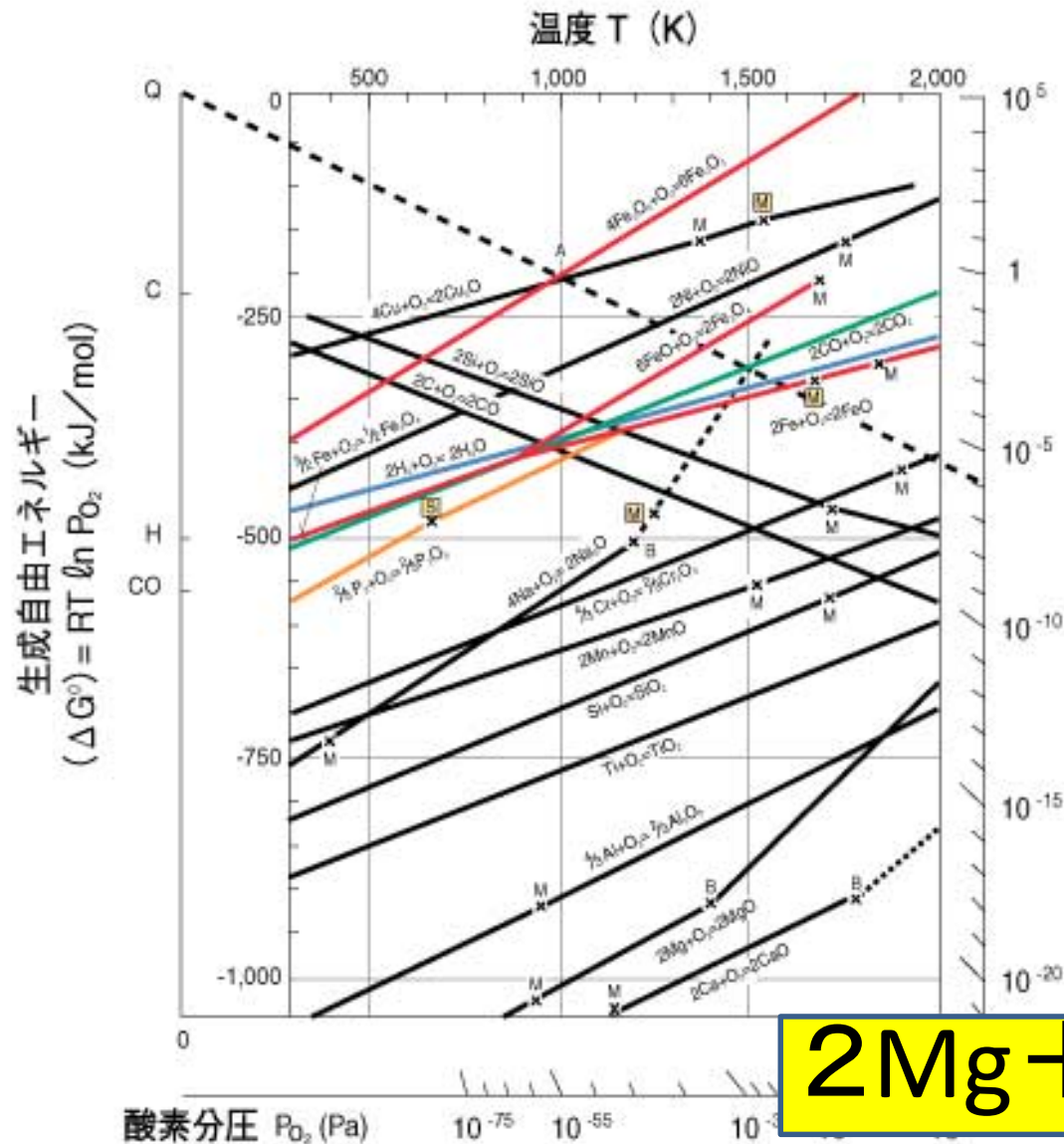
<sup>1</sup>Manuscript received October 21, 1960.

Contribution from the Metallurgical Engineering Laboratory, based on a thesis submitted by J. M. Toguri in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy to the School of Graduate Studies, of the University of Toronto, Toronto, Ontario.

<sup>2</sup>Now at Norges Techniske Høgskole, Trondheim, Norway.

<sup>3</sup>Professor and Head of Department of Metallurgy, University of Toronto.

# 酸化物の安定性



# マグネシウム作製方法 (ピジョン法)

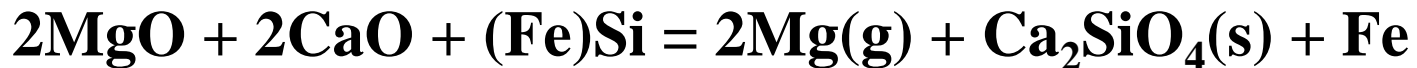
## 1. Calcination of Dolomite,



## 2. Ferrosilicon Alloy Production ,



## 3. Silicothermic Reduction of MgO by Ferrosilicon,



Toguri and Pidgeon, *Can. J. Chem.*, 40, 1769 (1962)

Mg 融点 : 650°C 沸点 : 1091°C

# ピジョン法の原理の実験

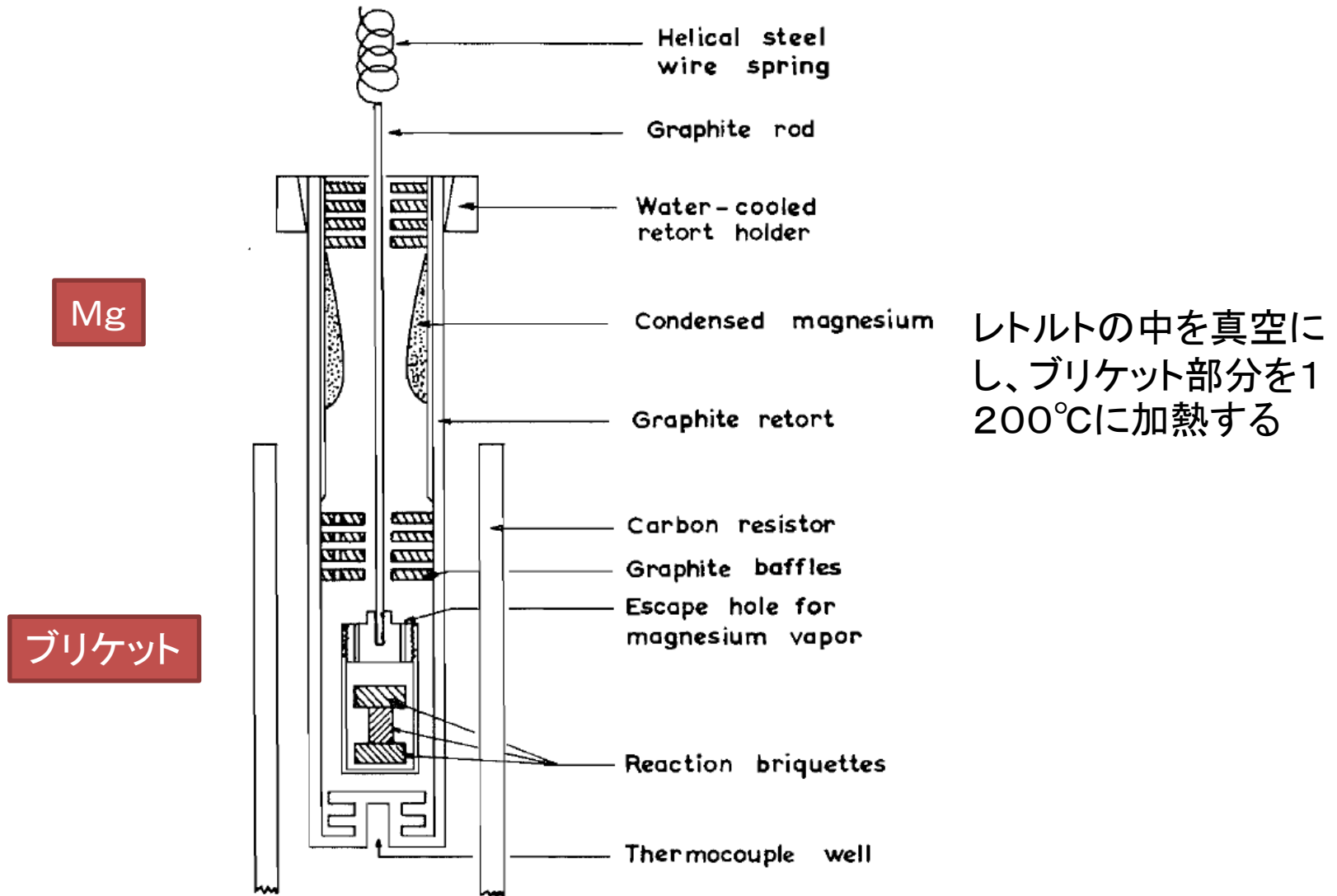
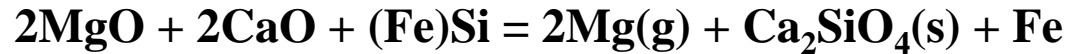
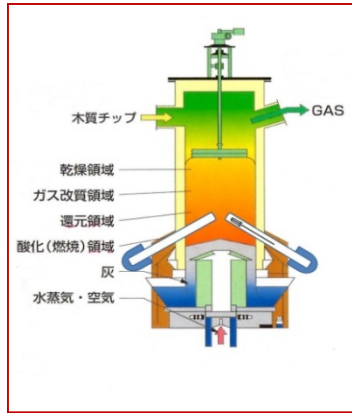


FIG. 1. Diagram of graphite retort.

# グリーンエネルギーの候補

1. 太陽炉
2. バイオマス
3. 工場排熱



廃材(ガキ)



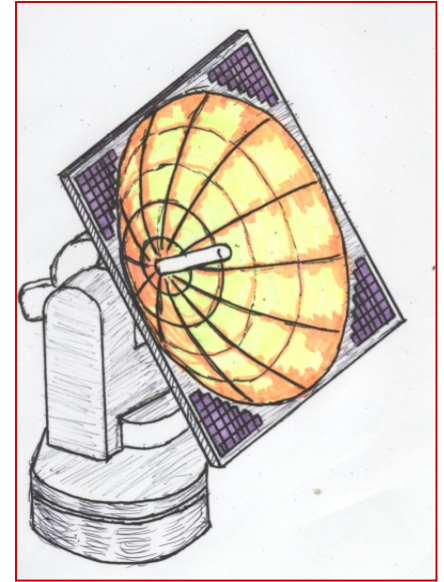
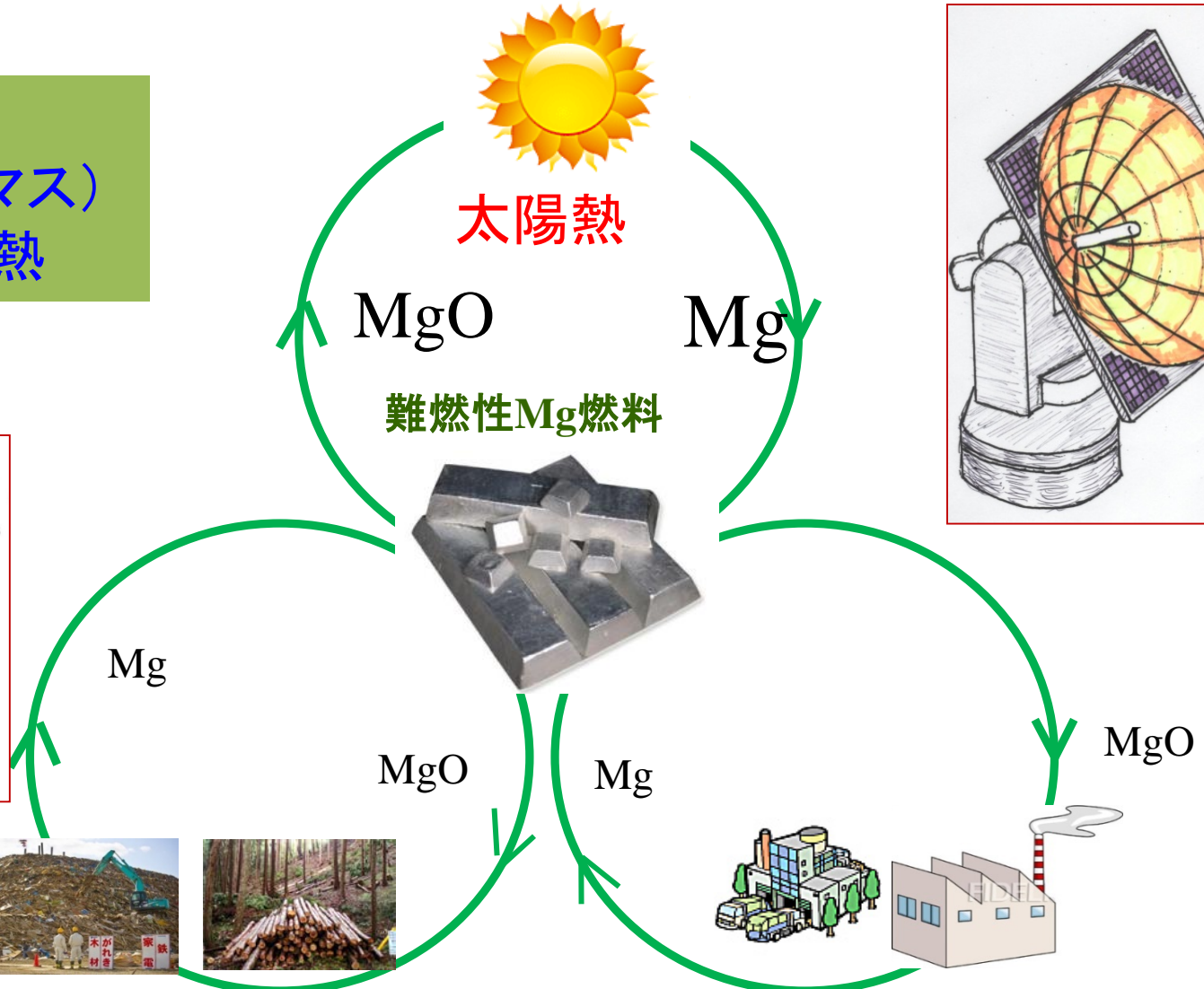
間伐材



ゴミ焼却炉



工場排熱





# グリーンエネルギーを利用するには。。。。

太陽光エネルギーの利用

バッチ処理が適している

製錬時間の短縮

Mg製錬法： 熔融塩電解

ピジョン法（乾式法）

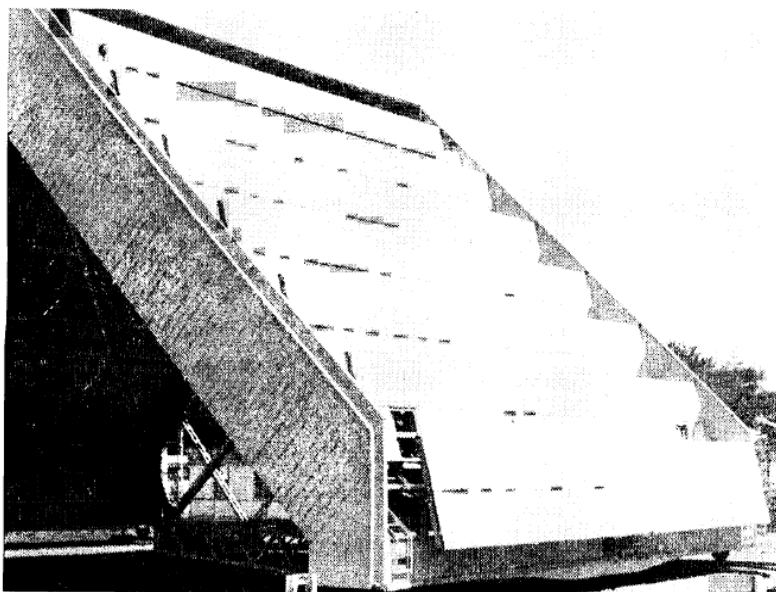
製錬反応高効率化が必要

ピジョン法の改良

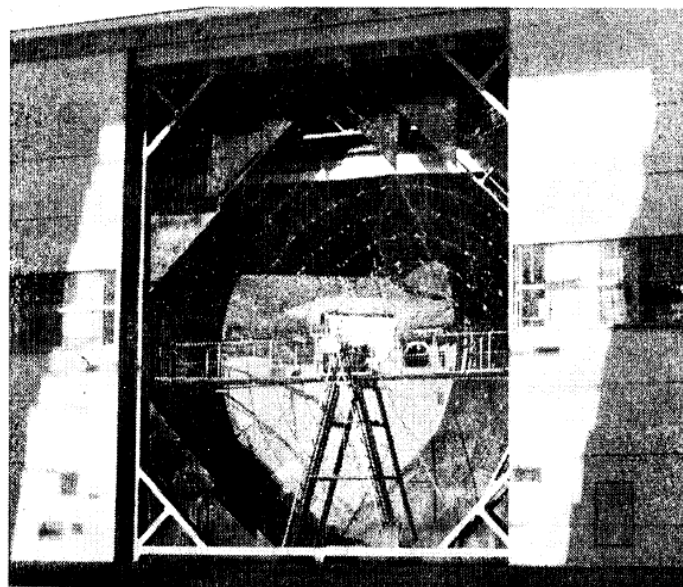
- ・製錬温度の高温化 1200°Cより高温1500°C
- ・グリーンな還元剤の探査
- ・新奇な高効率精練プロセス開発

# 東北大学の太陽炉（旧科学計測研究所）

1963年3月完成



(a) ヘリオスタット



(b) 放物面鏡

写真 1 東北大学科学計測研究所の大型太陽炉

光学 第12巻第3号 (1983年6月)

直径: **10M** 焦点距離: 3.2M 集光サイズ: 約 **3cm**

最高到達温度: 摂氏 **3,700**度 耐火煉瓦を溶かしたデモが展示されている

石亀: 光学 第12巻第3号 (1983年6月)、

# マグネシウム製錬を目指している太陽炉

## 1. ニコン

反射鏡方式

## 2. 三鷹光機

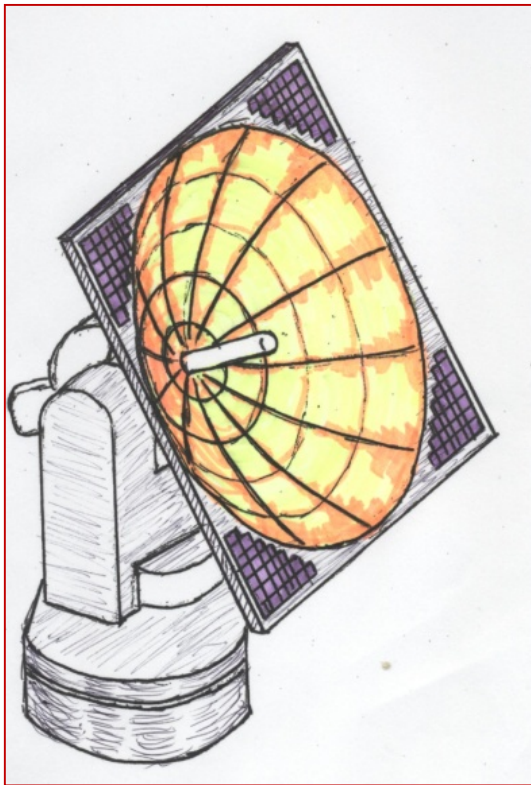
ヘリオススタット ビームダウン方式

## 3. 若狭湾エネルギーセンター

フレネルレンズ方式

# マグネシウム製錬を目指している太陽炉

ニコン  
反射鏡方式



若狭湾エネルギーセンター  
フレネルレンズ方式



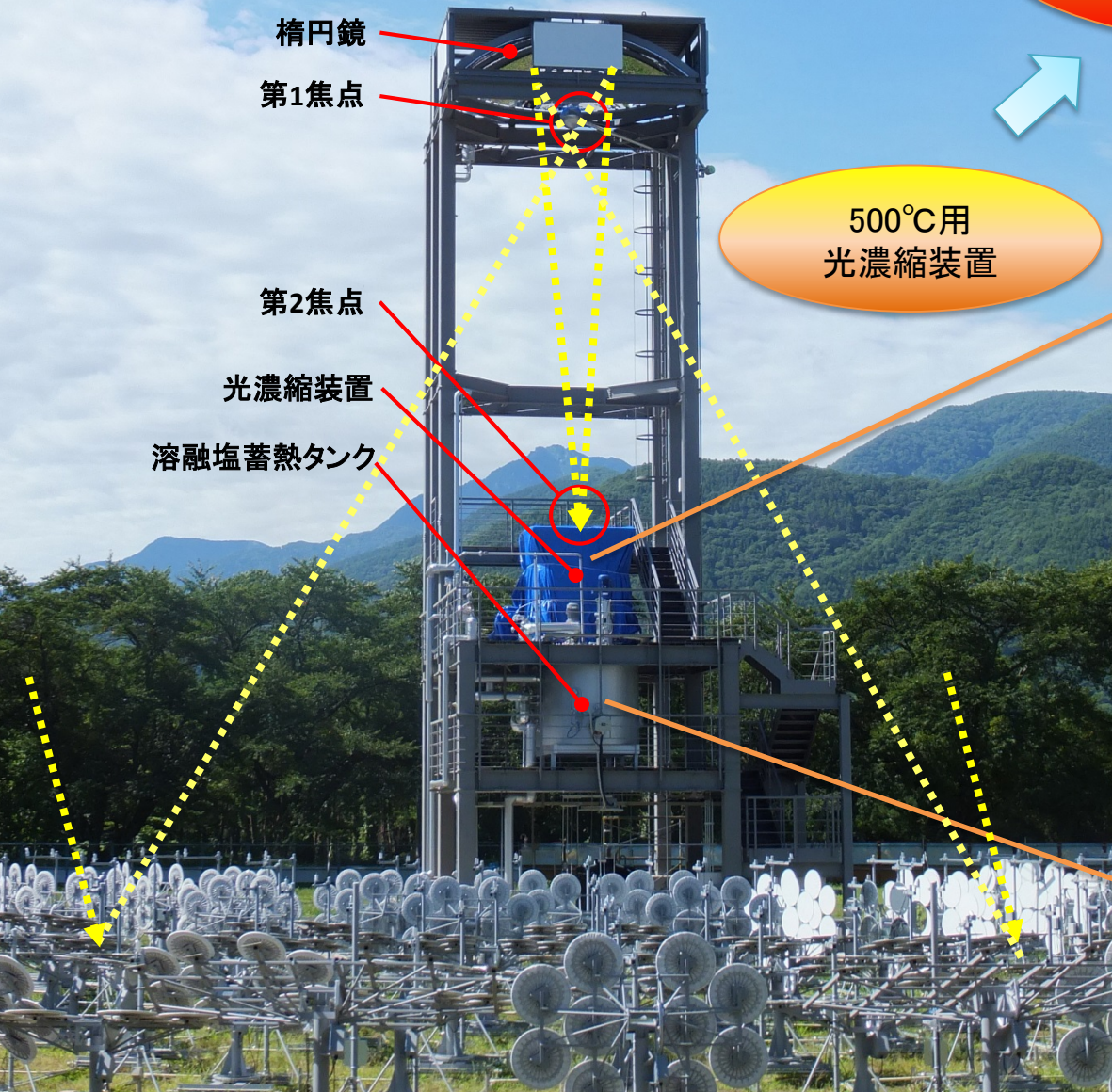


# 三鷹光機器 ビームダウン太陽集光装置





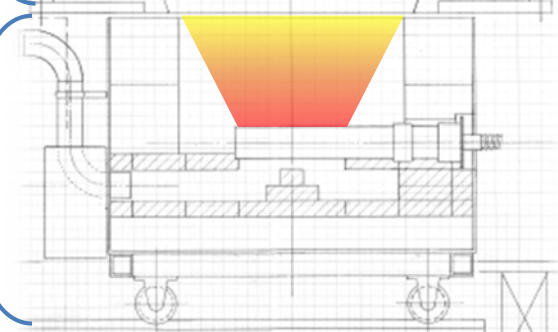
# 太陽光を集光・高熱変換・蓄熱する 高効率発電用熱源装置



1400°C用  
光濃縮装置に変更

500°C用  
光濃縮装置

MSC  
Multi Segment Concentrator



平成23年度NEDOイノベーション事業によるビームダウン式太陽熱集光装置  
(三鷹光器 富士見町研究所)

新型レトルト用  
ビームダウン太陽炉



# ビームダウン太陽集光装置



← 宮崎大学 50kW級

10枚ヘリオスタット:88台  
ミラー総面積 :173m<sup>2</sup>

三鷹光器(株) 富士見町研究所 →  
250kW級

10枚ヘリオスタット:220台  
24枚ヘリオスタット:20台  
ミラー総面積 :526m<sup>2</sup>



## 東京工業大学との マイクロ波ピジョン法における マグネシウム還元

2017年6月7日

オリコン・エナジー株式会社



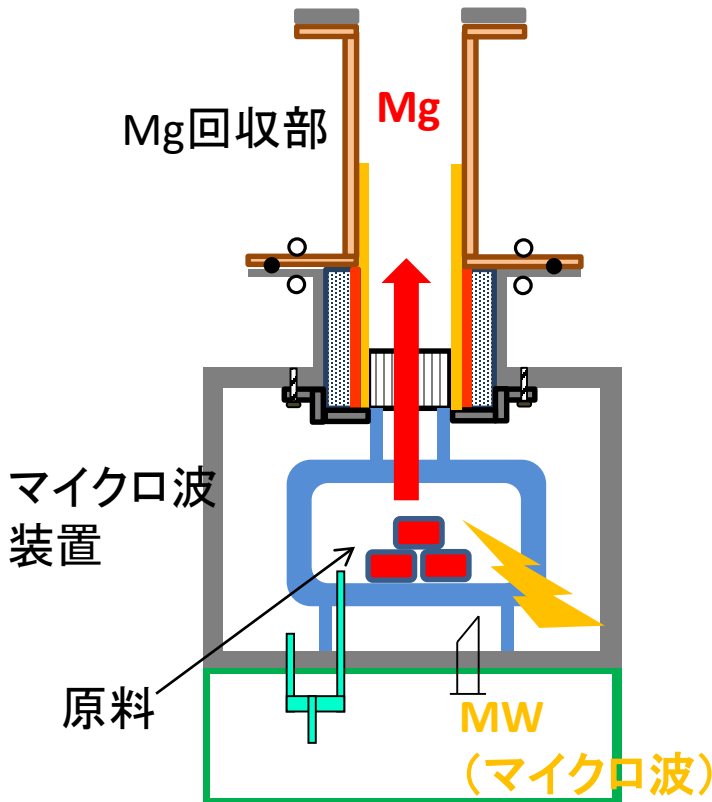
# 1. 技術開発の背景

技術開発の概要

## マイクロ波ピジョン法

マイクロ波を熱源として使用した、日本発信の新しい金属還元システム

### マイクロ波ピジョン法の特徴



マイクロ波ピジョン法イメージ図

#### 物質選択加熱

- ・原料のみを加熱することができる
- ・装置全体を加熱する必要がない

#### 迅速加熱

- ・原料へ直接エネルギーを供給できる
- ・熱媒体を必要としない

#### 接点加熱

- ・団鉱接点での高効率加熱(検証中)

#### 特殊効果

- ・反応温度の低下 (検証中)

#### 波及効果

- ・CO<sub>2</sub>の大幅な削減

**省エネ効果**

**高純度Mg製錬**

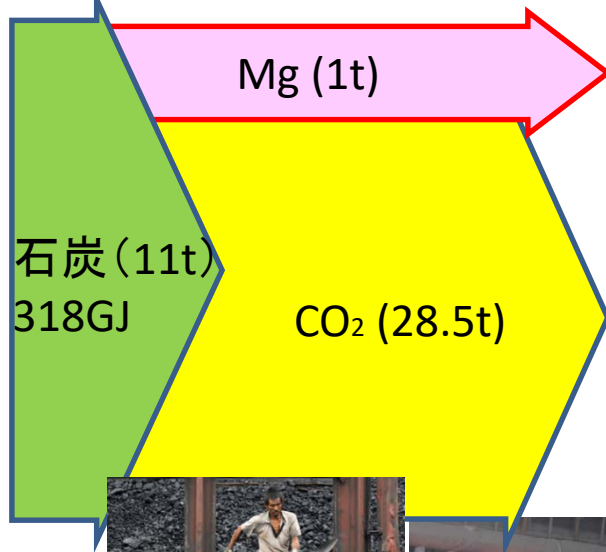
**環境負荷低減**

# 2. 技術開発の背景

技術開発の独自性、優位性

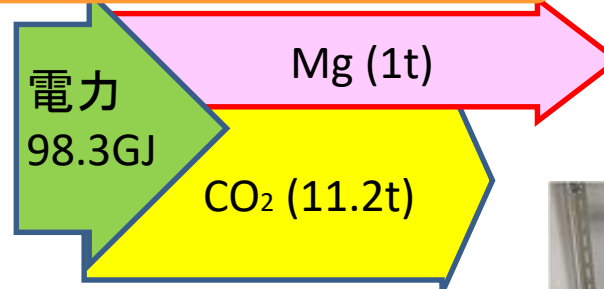


従来ピジョン法

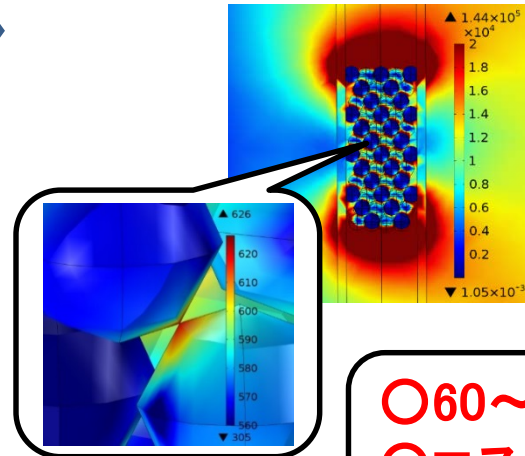


大気汚染・CO<sub>2</sub>排出

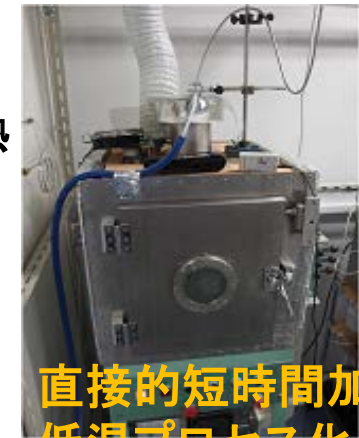
マイクロ波ピジョン法



充填粒子の効率的加熱



事前検討より概算

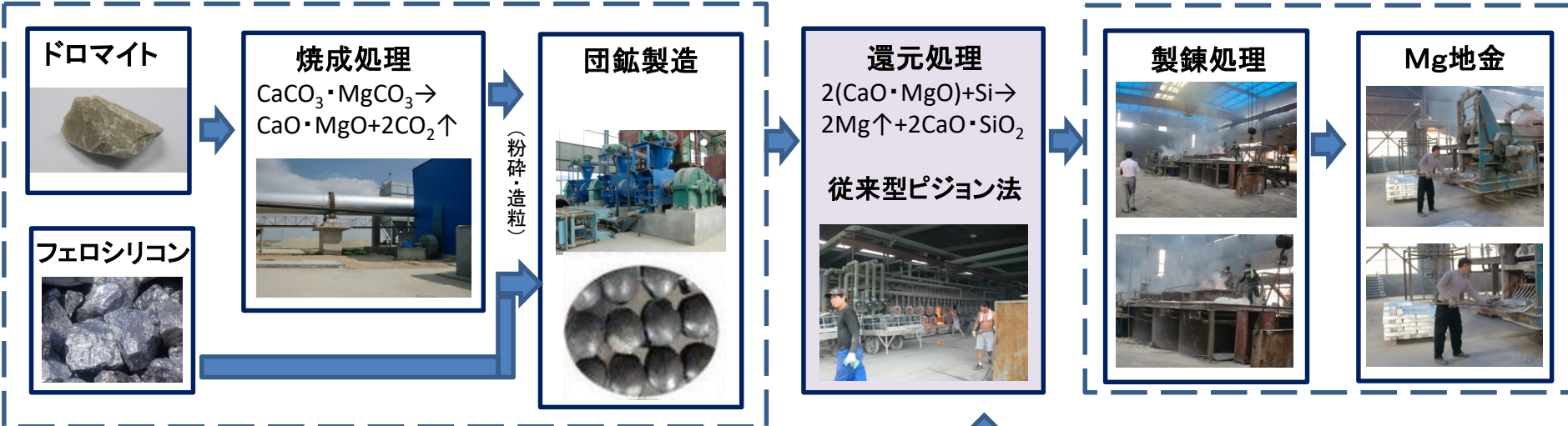


直接的短時間加熱  
低温プロセス化

- 60～85%省エネルギー
- コスト33%減
- CO<sub>2</sub>排出の大幅な削減

# 3. マイクロ波ピジョン法

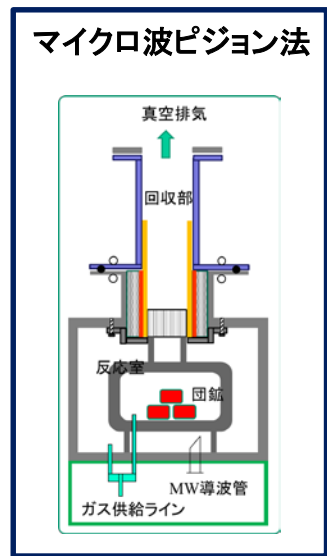
## ピジョン法によるマグネシウム製錬の工程



### 還元プロセスの比較

項目	従来型ピジョン法	マイクロ波ピジョン法
エネルギー源	化石燃料(石炭、天然ガス等)	電力
必要エネルギー量 (Mg1t還元当たり)	<b>192.1 GJ</b>	<b>58.6 GJ (*)</b>
CO <sub>2</sub> 排出量 (Mg1t還元当たり)	大量 (石炭 17.3t-CO <sub>2</sub> 、 天然ガス9.5t-CO <sub>2</sub> )	0
オペレーション & メンテナンス	外部加熱の全体加熱のためエネルギーの損失が大。高価なレトルトの超高温使用による消耗大。炉の温度の上げ下げはレトルトの劣化を早めるため常時火力維持の不経済。作業は労働集約型。	アンテナ効果(原料の共振構造)によるエネルギーの効率的利用。 内部加熱、選択加熱、迅速加熱等のマイクロ波の特長により炉全体が高温にならず、装置の耐久性、操作性、経済性に有利。

(\*)ラボスケール実験結果から算出したベストの見込値



**クリーンで  
効率的な  
還元法**

「マイクロ波を利用した  
マグネシウム製錬装置  
及び製錬方法」  
特許登録番号  
第5945373号

# 他の金属は？ 周期律表

元素の周期表

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0		
1	H															He		
2	Li	Be								B	C	N	O	F		Ne		
3	Na	Mg								Al	Si	P	S	Cl		Ar		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	L	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	A															
			L	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			A	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- 典型金属元素
- 半金属元素
- 非金属元素
- 遷移金属元素
- 希ガス



Copyright © 2002 FCCS

# まとめ

- Mgの酸化物は安定な物質である。製錬条件の効率化は温度と還元剤が重要。
- 太陽炉の実用化は効率化は製錬時間の短縮と大型化がポイント。
- マイクロ波ピジョン法は大型化がポイント。