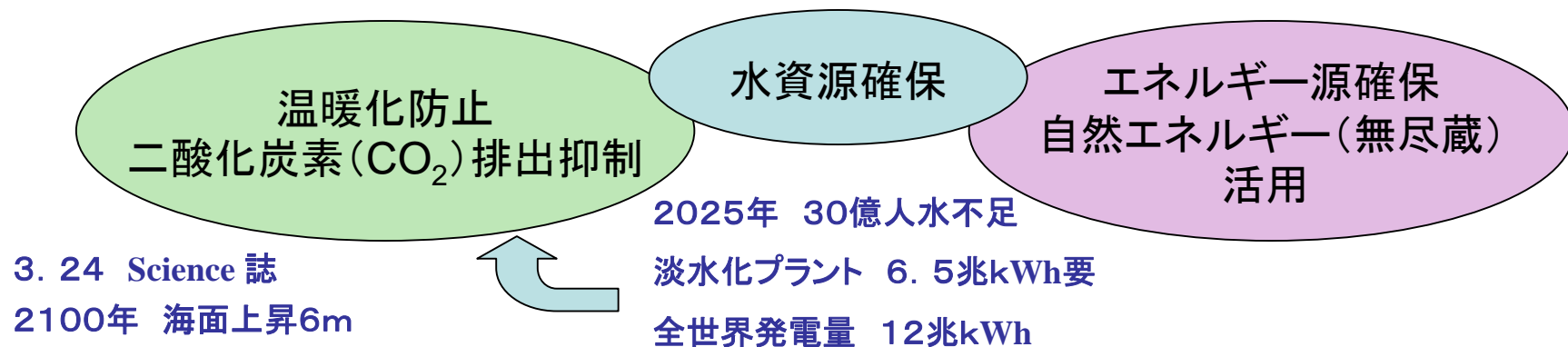


人類のエネルギー問題を解決する 太陽光励起レーザーを用いたマグネシウムエネルギーサイクル

—循環型太陽エネルギー社会の構築を目指して—



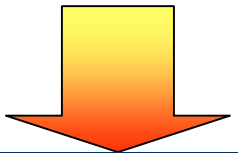
 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

内田成明、矢部 孝

第12回「日本水素エネルギー産業会議」 2009年6月10日 東京大学 本郷キャンパス



太陽エネルギー




1kW/m² km²=火力発電所1基

サハラ砂漠 860万 km²=860万基
ゴビ砂漠 130万 km²=130万基


世界の年間電力量 12兆KWh = 太陽光受光面積 1万km²
(1991)


100x100km の太陽でまかなえる

日照時間: 1日8時間、年間200日として

 平均日照時間(日本) 4時間

残りの20時間のエネルギーをどうするか

 サンベルト地帯で受けた太陽エネルギーの輸送は？

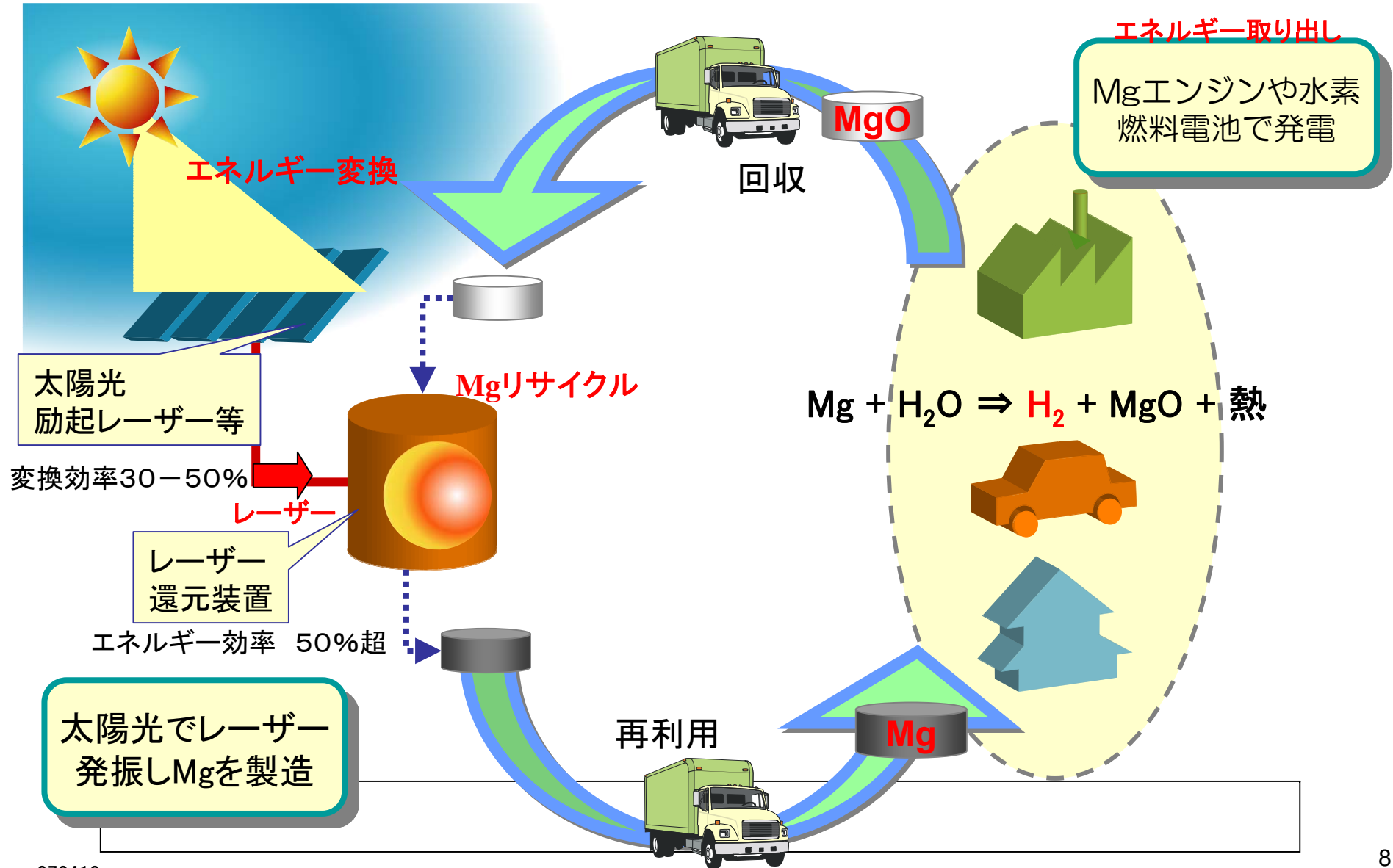
 建設費 & Energy Payback Time は？



Entropia Laser Initiative

マグネシウムはリサイクル可能な燃料

Tokyo Inst. of Technology



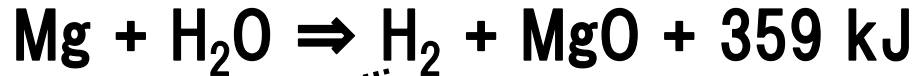


マグネシウム燃料の特長



- **Mg資源は無限**
 - 海水中に1800兆トン \leftrightarrow 年使用量 石炭：35億トン 石油：35億トン
- **Mg エネルギー密度は石炭に匹敵(対石油重量比)**
 - 25MJ/kg \leftrightarrow 石炭：30MJ/kg、ガソリン：43MJ/kg (jet prop.)
- **対水素比エネルギー蓄積密度が高い**
 - 43GJ/m³ \leftrightarrow 4.3GJ/m³ (700気圧の水素)
- **パワー制御性が良い**
 - 100グラムMg \rightarrow 1~100 kWの間を制御(これは一例)
- **二酸化炭素を減らしながらエネルギーを取り出せる**
 - $\text{CO}_2 + 2\text{Mg} \rightarrow 2\text{MgO} + \text{C} + \text{熱}$
- **安全性**
 - 塊上のマグネシウムは引火しない
 - フレーク状のものが600度水蒸気と反応して水素を発生(反応は自走)
 - 長距離輸送が可能
- **汎用性**
 - 熱と水素が出るので様々な熱機関や燃料電池にそのまま利用可能
 - 種々のパワー利用形態に適用可能

何故今までなかったか？：エネルギーとしてリサイクルできなかった \rightarrow
太陽光励起レーザーを利用した4000度還元によりリサイクル可能となった



600度以上で



または~601 kJ/mol

数百度の水蒸気が容易に生成可能

水素燃焼反応の制御による反応生成物の選択

- ① 水素生成⇒燃料電池 (Mg水素発生装置)

Mg形状、水流量および無酸素状態による水素生成

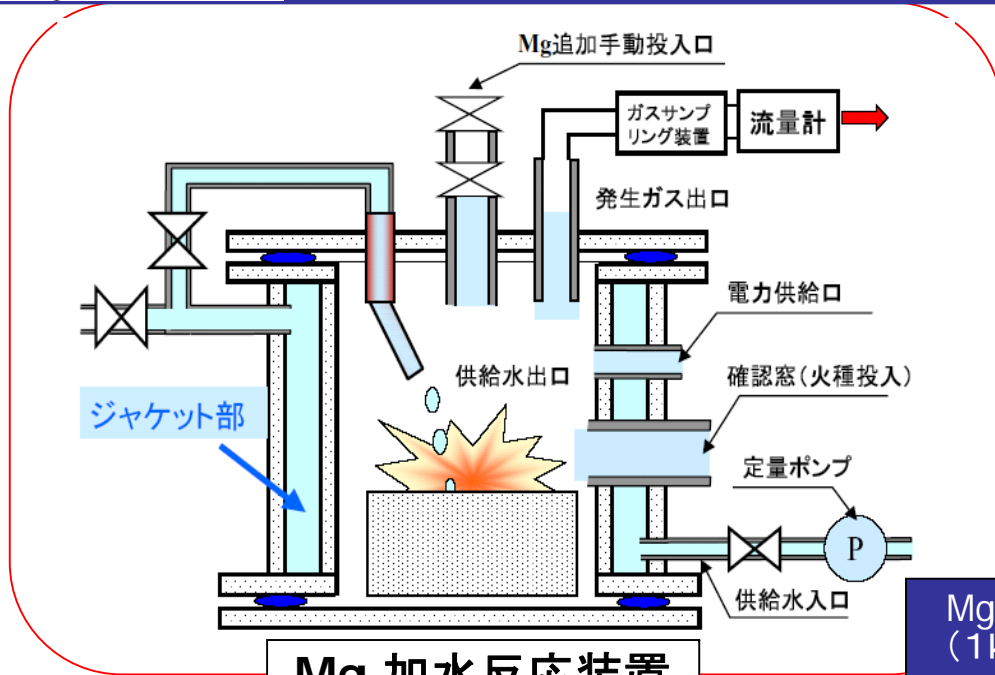
- ② 高温水蒸気発生⇒内燃機関、ジェット機関など

酸素注入と温度制御



研究の現状～水素と熱の同時発生

Tokyo Inst. of Technology



Mg 加水反応装置

Mg 100gで水素発生 (1kW相当)40分持続

Mg燃料電池の特長

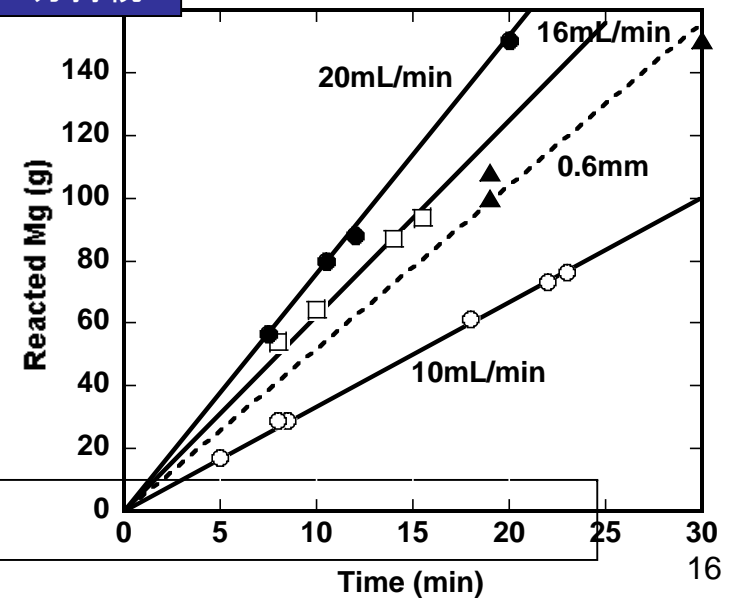
- 白金、炭化水素に依存しない燃料電池が可能
- 高効率で中くらいの動作温度(600°C)
- パワー規模が可変
- 空気金属電池も可能



Mg はフレーク状 (厚さ0.3mm)



予備実験全体図





Entropia Laser Initiative

Mg燃料電池の効率

Tokyo Inst. of Technology

電気エネルギー直接変換



Lithium-ion Battery	200 Wh/kg (通常)	630 Wh/kg (最高)
Zn fuel cell	500 Wh/kg	
Mg fuel cell	1500 Wh/kg	
Al fuel cell	3000 Wh/kg	



Sadeg Faris

>600km走行・ギネス記録





Entropia Laser Initiative

マグネシウム新型エンジン (熱機関)

Tokyo Inst. of Technology




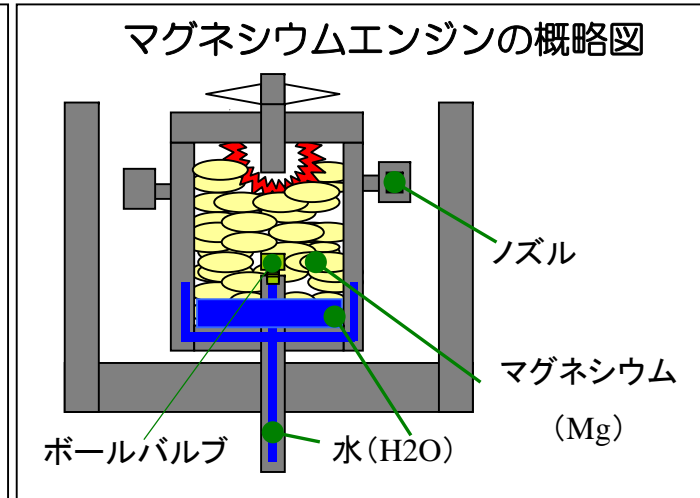
86 kcal/mol
300kWh out

マグネシウムエンジンの原理

Mg + H₂O → MgO + H₂ 57.8 kcal/mol
200kWh out

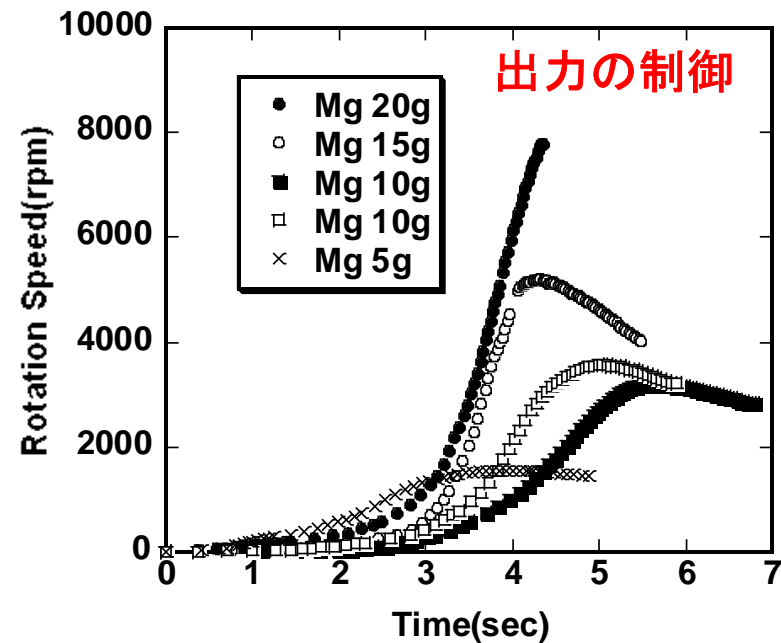
+ O₂ → H₂O

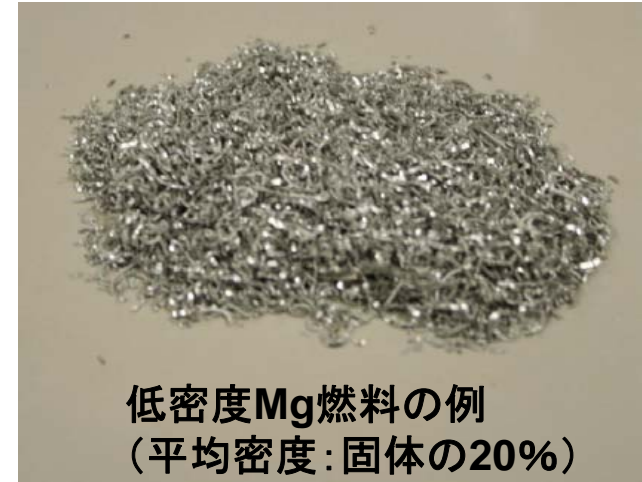
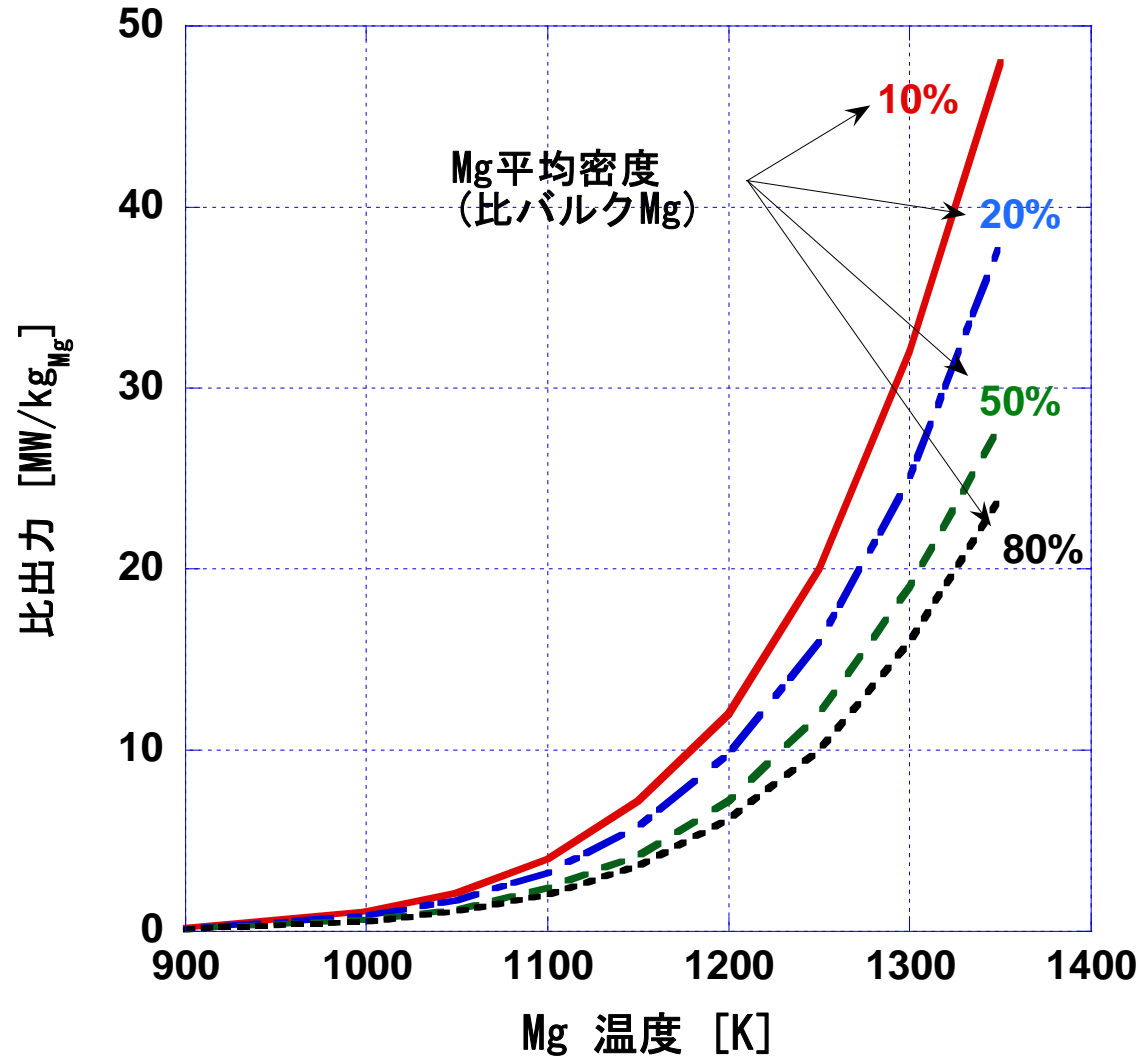
8000 rpm達成!!

外燃型エンジン

右の燃焼部からの噴出でタービンを回転





- Mgの発生パワーは表面積と温度で決まる
- 100馬力(73 kW出力に必要なMg(2.5 g)のサイズ“エンジン排気量” ~ 14 cc

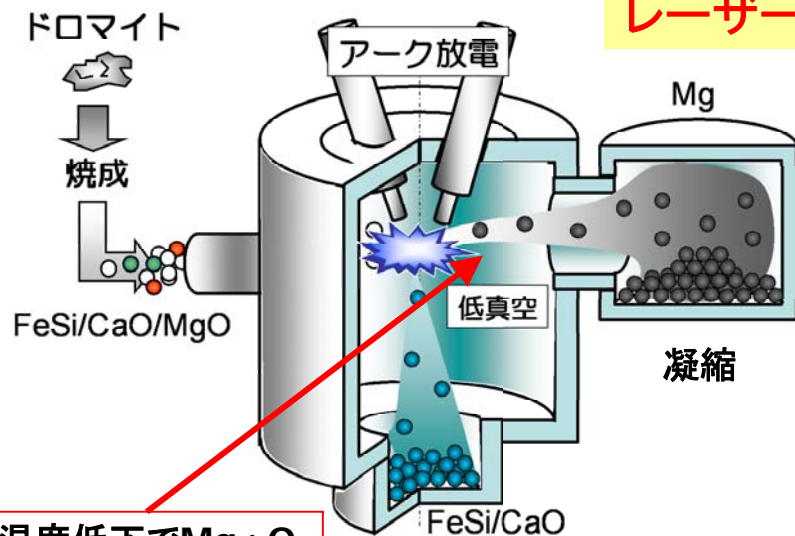


MgOのリサイクル技術は還元剤不要の製錬



従来の製錬の例(熱還元法)

還元剤により低温1500度で還元、Mg蒸気を凝縮



温度低下でMg+Oの反応抑制

実験(大気中&低真空)

32.6%Mg分離を観測

61ton/GWh

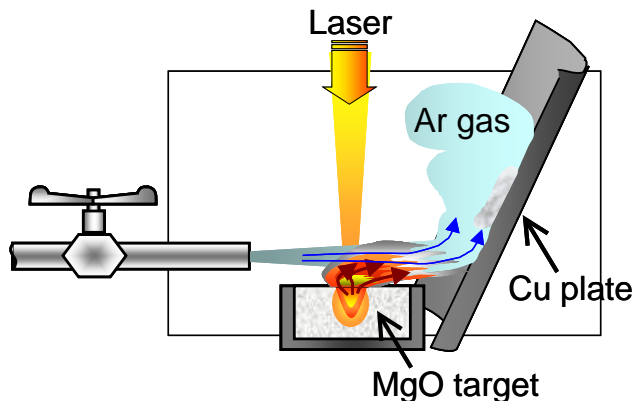
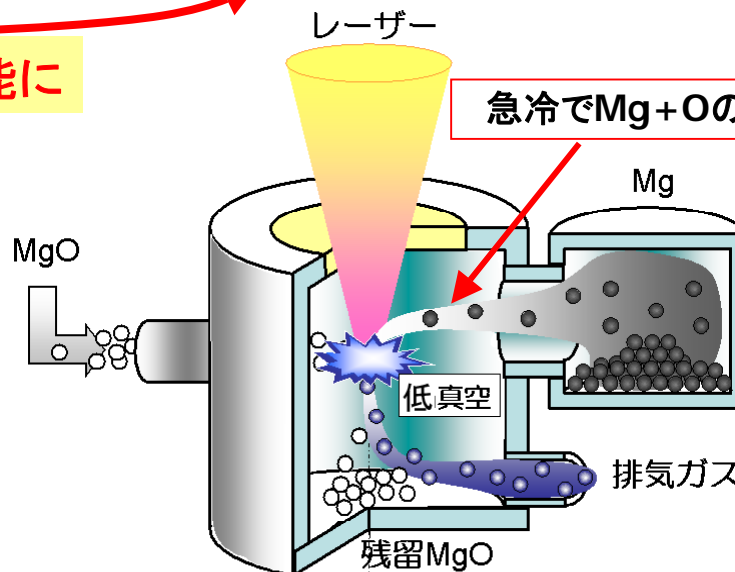
実用機目標

68ton/GWh

本レーザー方式

還元剤なし、高温>4000K(瞬時)で還元、Mg蒸気を凝縮

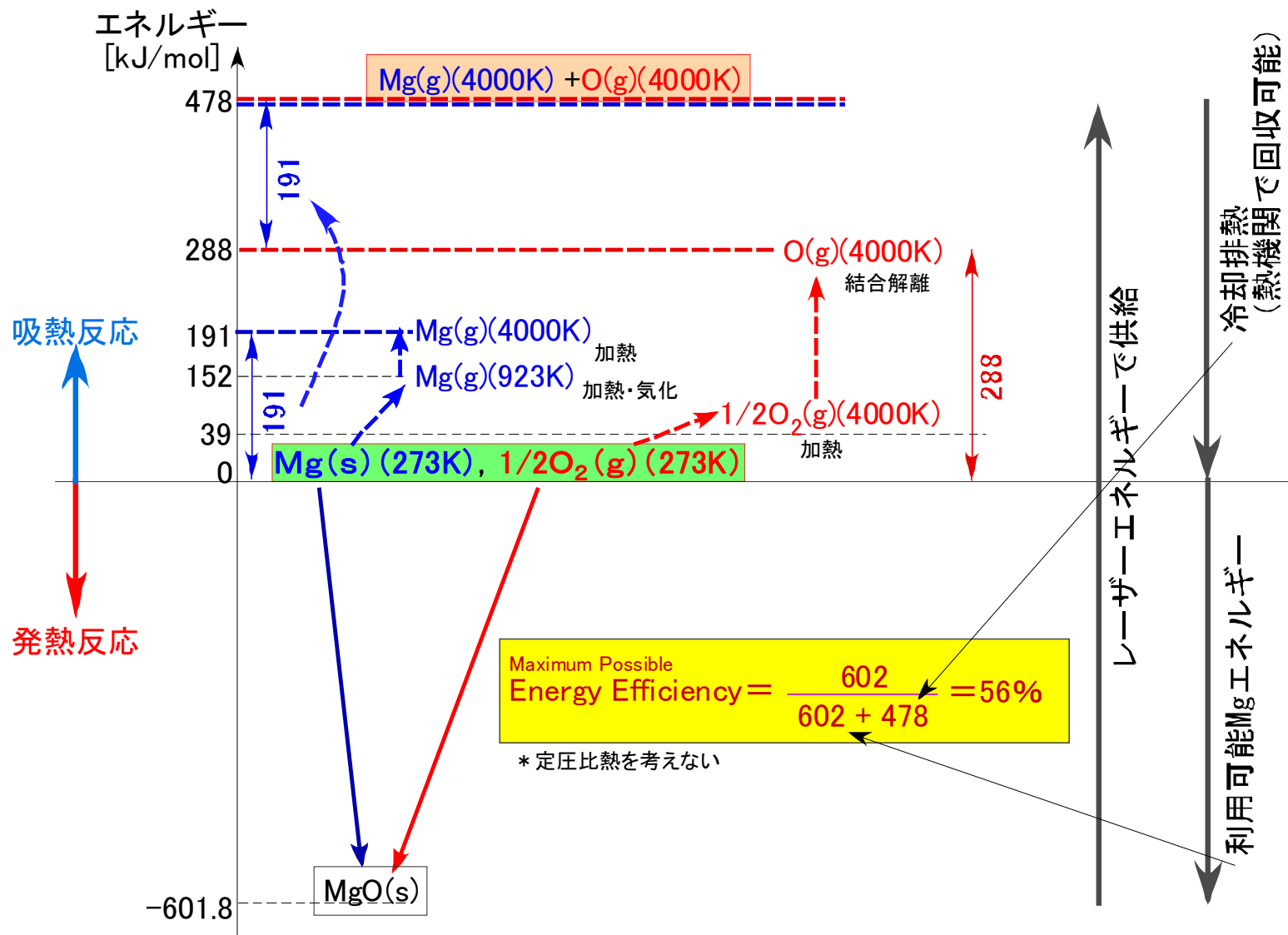
レーザーで可能に



Arガス流で酸素との再結合抑止

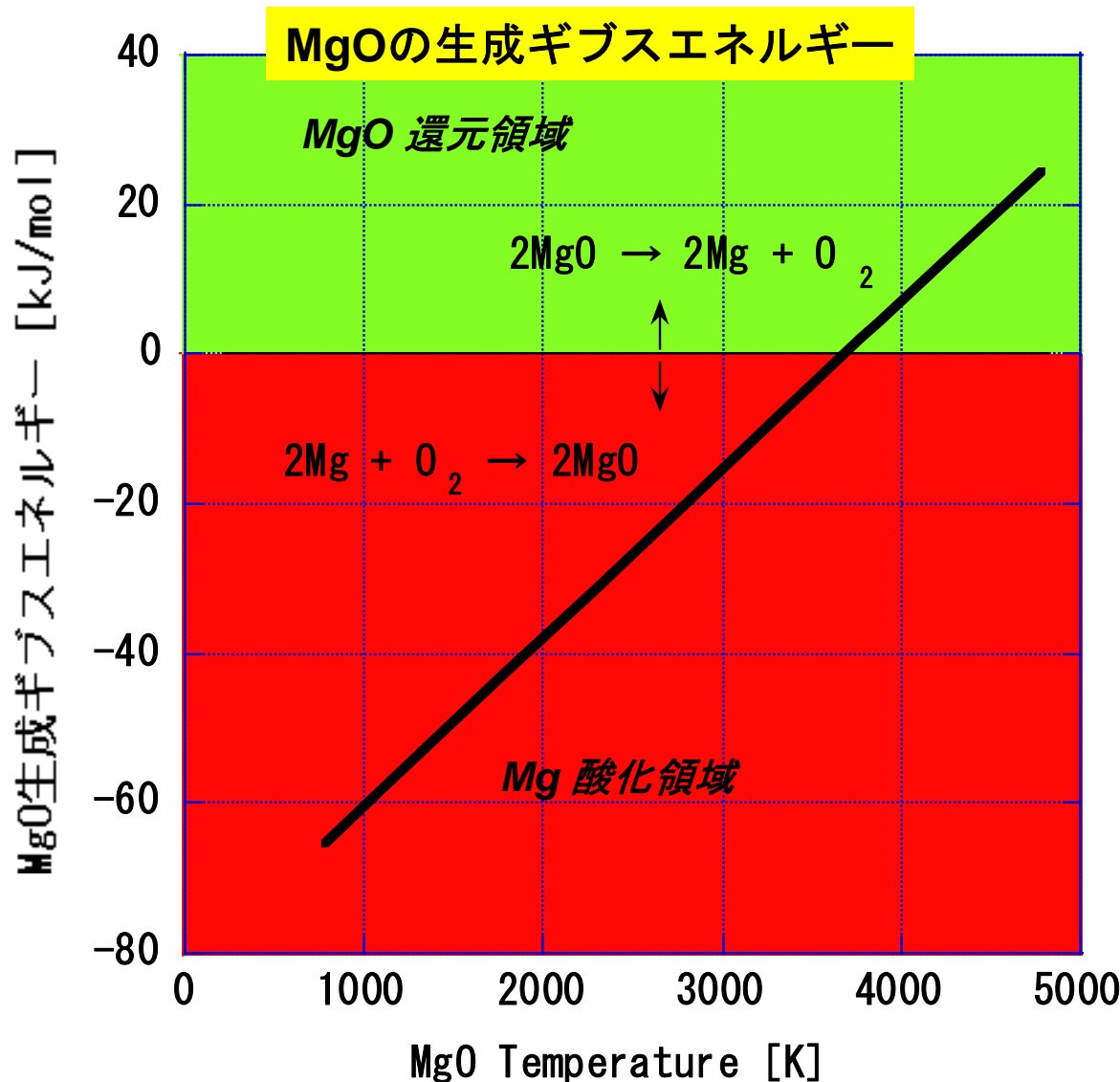


大気中1kW-cw-CO2レーザー





MgOの還元に必要な温度条件



Change of Gibbs Free Energy of a Reaction

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

ΔG が負なら自発的
反応

H: エンタルピー

T: 温度

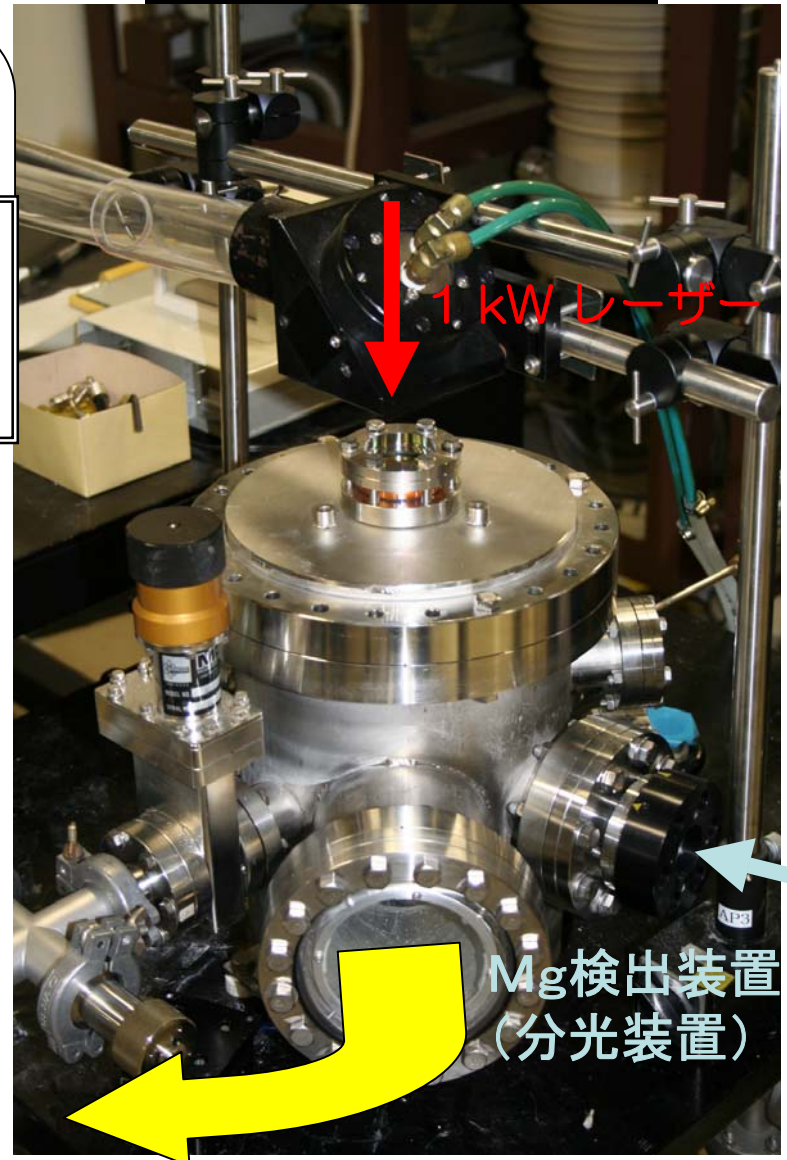
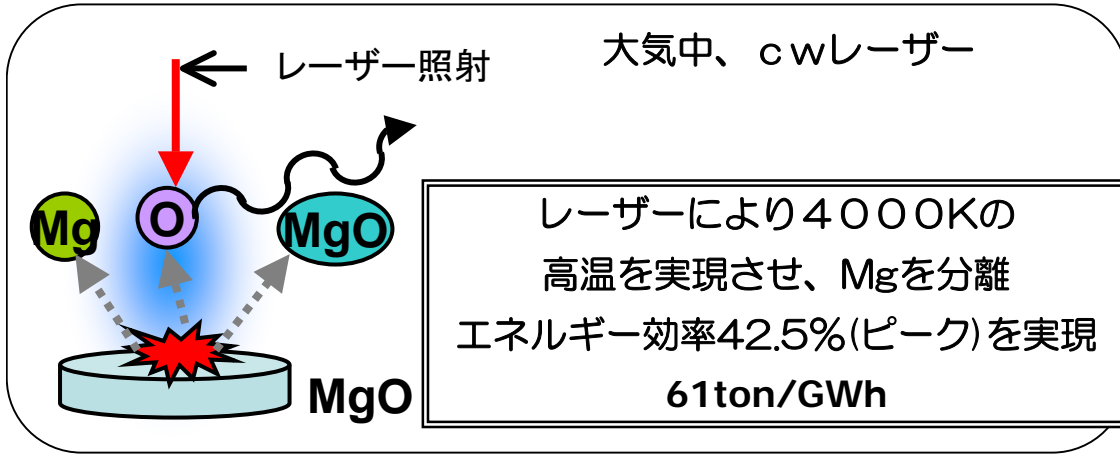
S: エントロピー



Entropia Laser Initiative

酸化マグネシウム (MgO) 還元反応実験

Tokyo Inst. of Technology

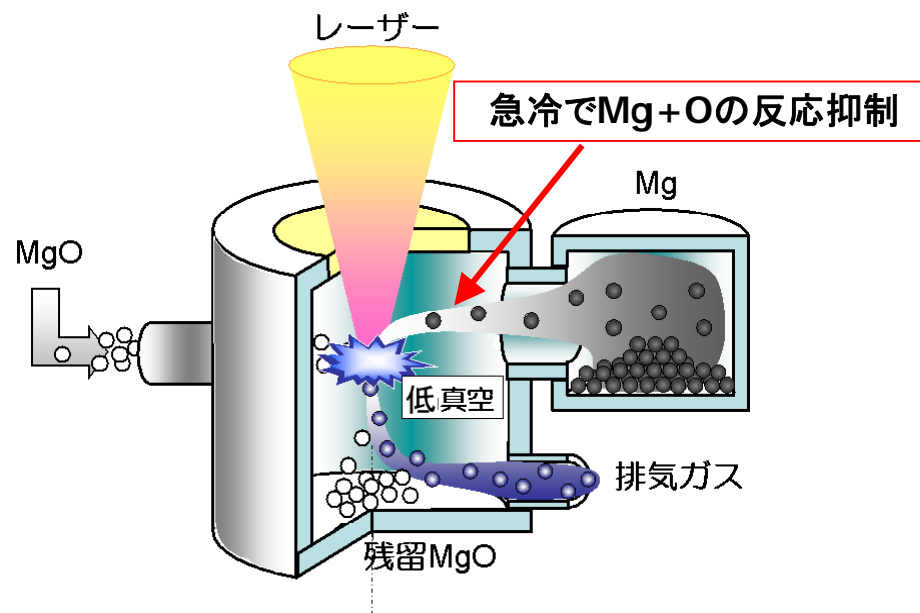




レーザーによる高融点物質の蒸発現象



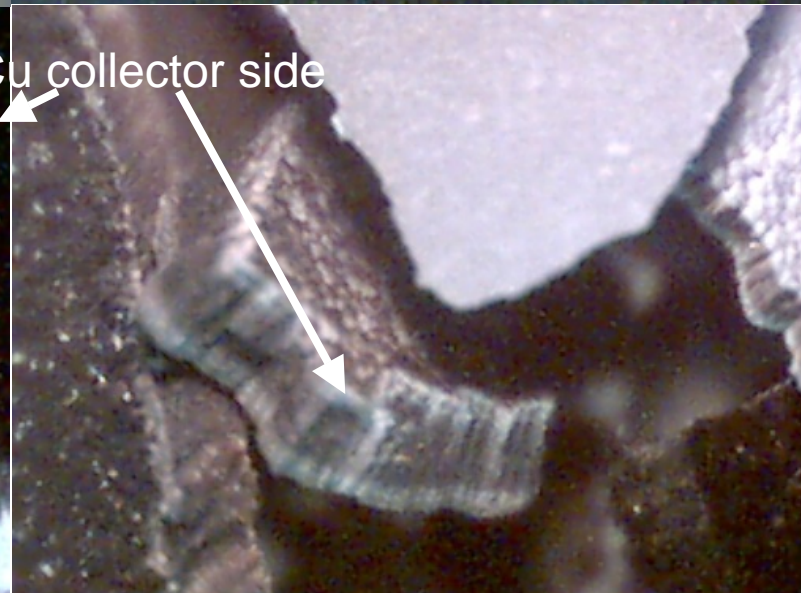
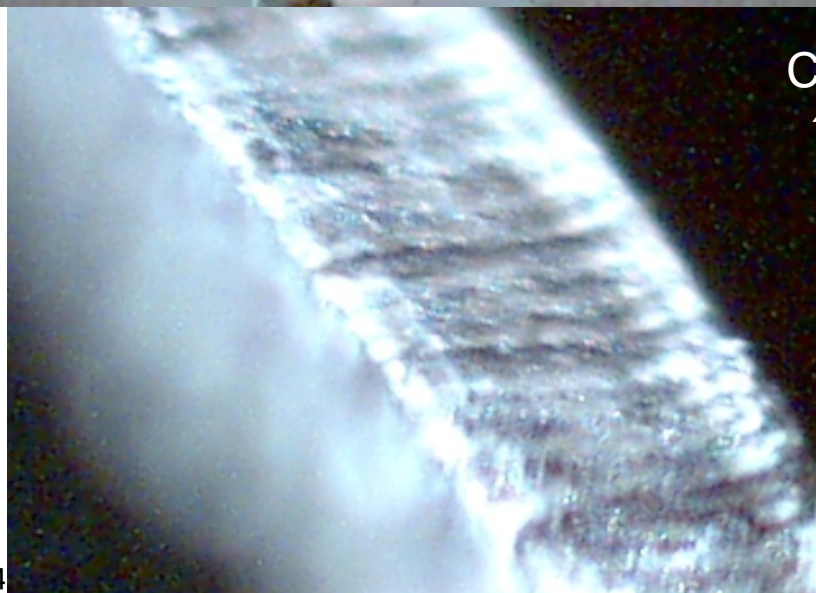
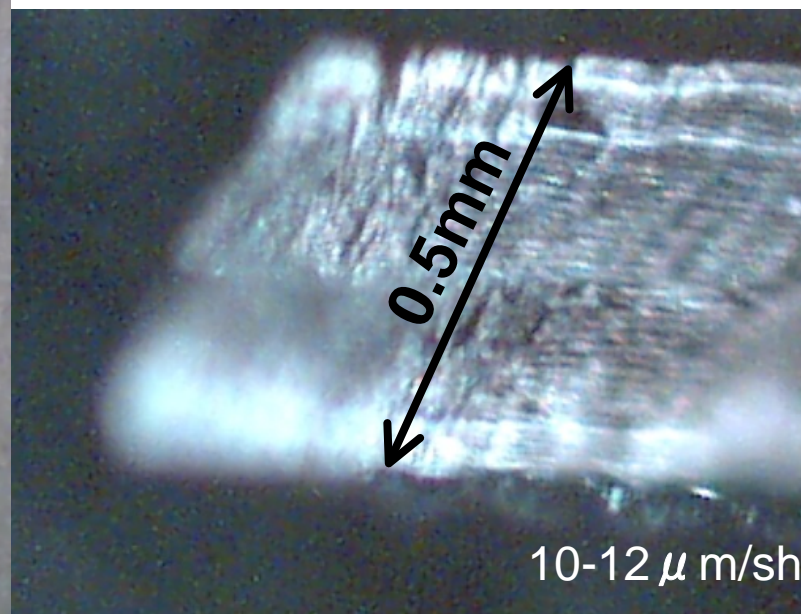
レーザーの高強度集光はMgOの蒸発熱を十分に供給することができる



大気中1kW-cw-CO₂レーザー



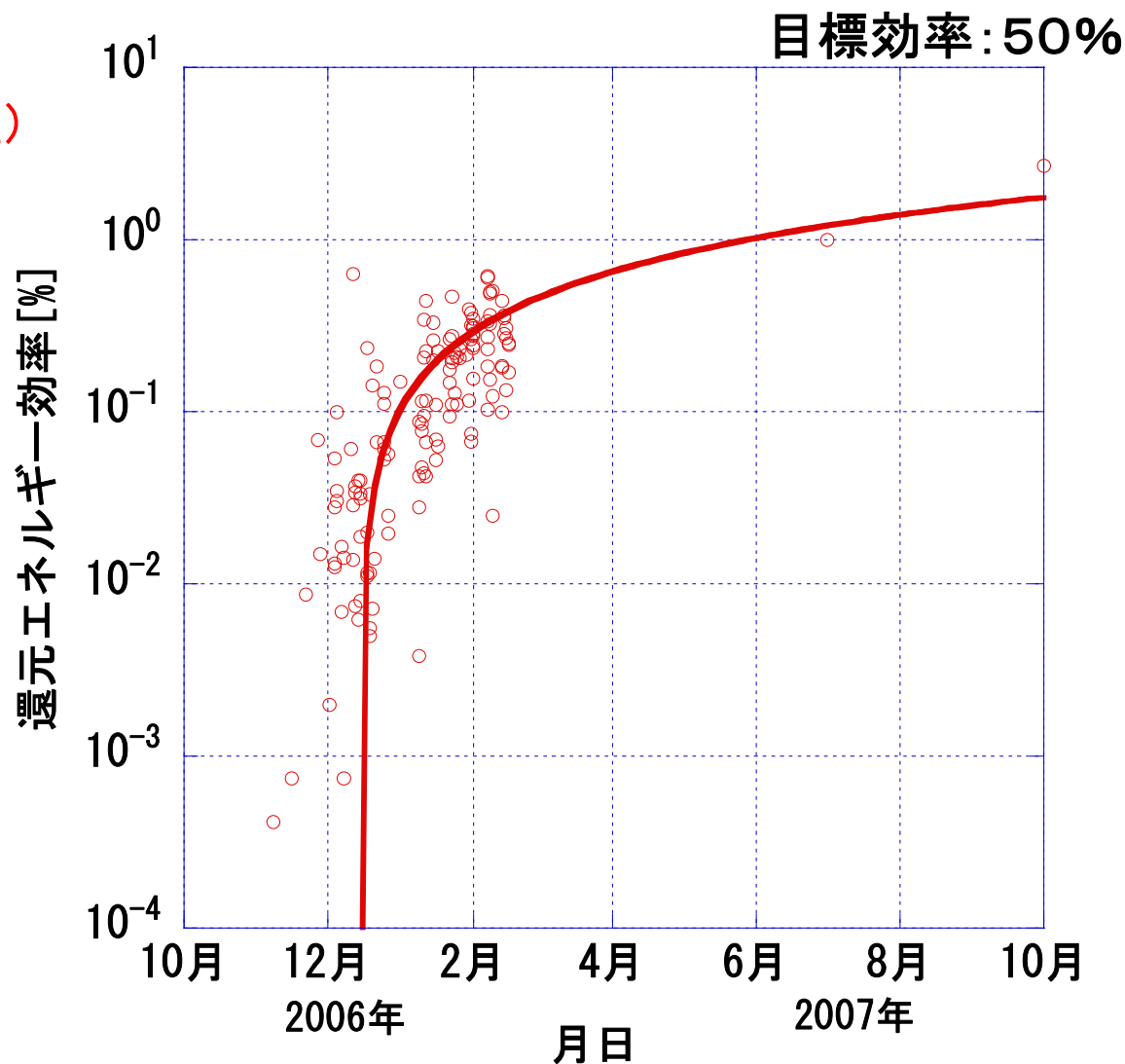
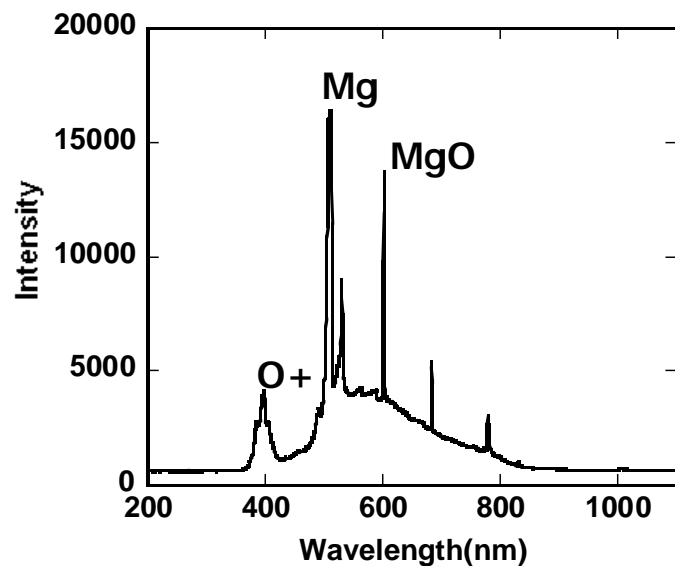
Mg, MgO堆積





バルク材効率 (水素発生量から求めたMg量)

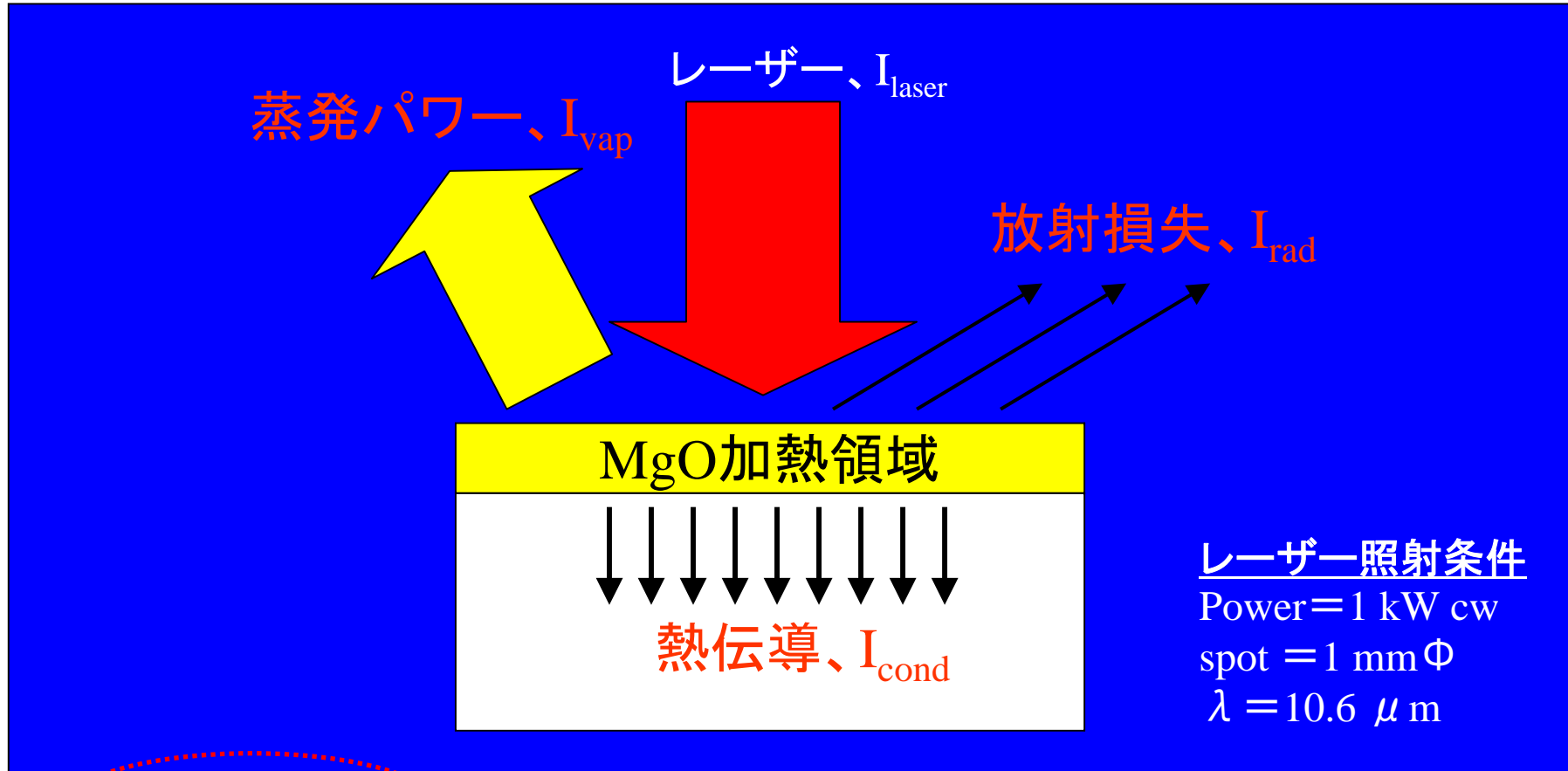
- ・レーザー照射条件
- ・バッファガス(背圧)
- ・コレクター





MgO還元反応に必要なパワー密度

(なぜレーザーが必要か?)

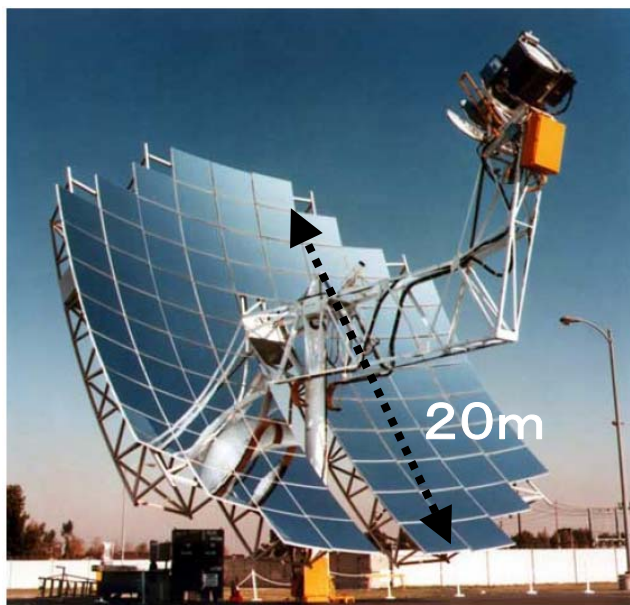


- $I_{laser} (10^5 W/cm^2) > I_{vap} (8 \times 10^4 W/cm^2) + I_{rad} (10^3 W/cm^2) + I_{cond} (10^3 W/cm^2)$
- I_{vap} はMgOの熱容量(0.9 kJ/K·kg)、解離エネルギー(9.2 kJ/g)を含む。熱伝導、蒸発速度(0.05 g/s)は測定値
- 太陽光の集光限界は $10^3 W/cm^2$ (その理由は次のページ)
- **MgOの効率的な解離を維持するためにはレーザー強度が必要 > 太陽集光 × 100**
- 回折限界品質よりもパワー変換効率



- MgO蒸発パワーに匹敵するパワー(100,000W/cm²)が必要

太陽光を大きな鏡で集める...



集光強度は1,000 W/cm²が限度

レーザーを使うと...



集光強度は100,000 W/cm²以上



この小さな装置から

本研究で開発した
レーザー装置



Entropia Laser Initiative

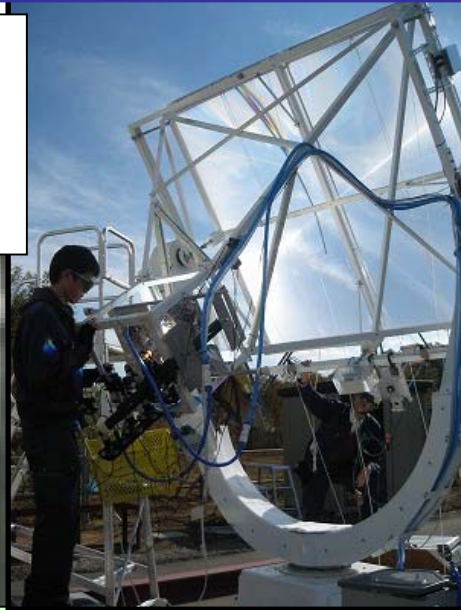
研究の現状

レーザー装置

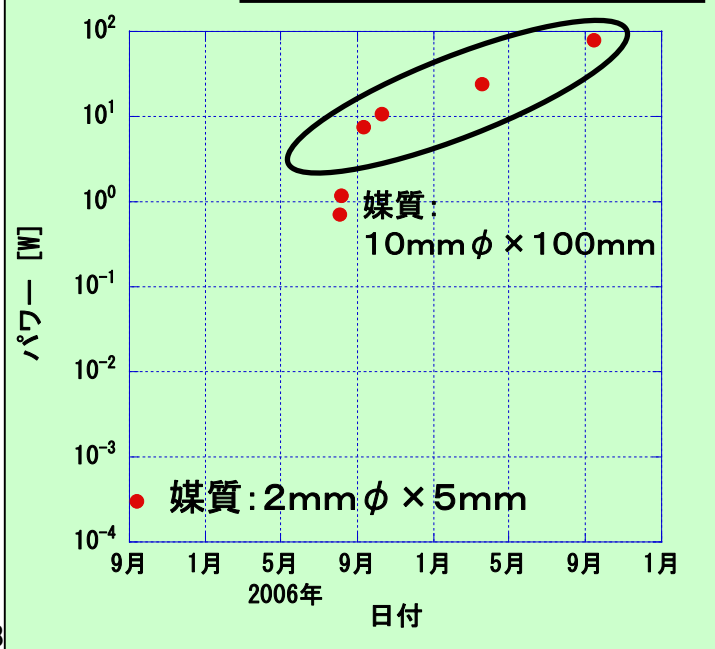


Tokyo Inst. of Technology

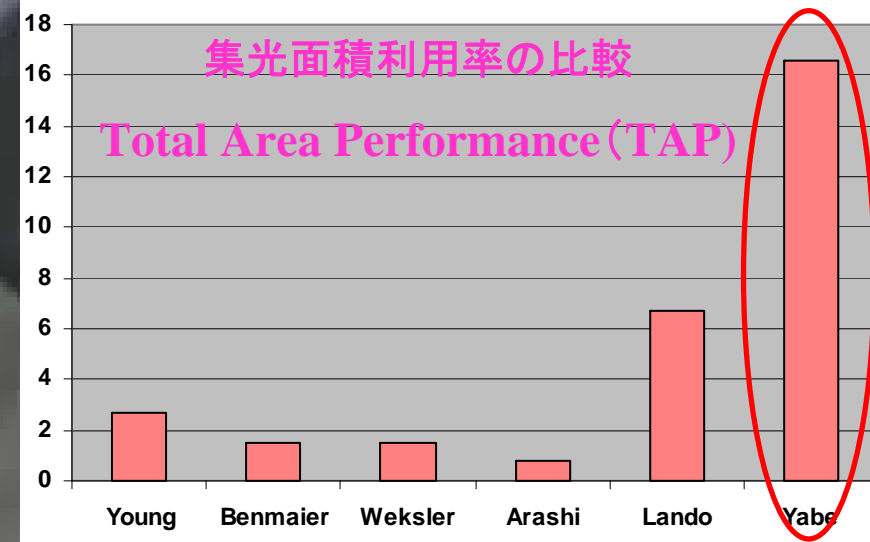
太陽追尾
集光レンズ
とレーザー
装置



太陽励起レーザーによる世界初のMgO蒸発



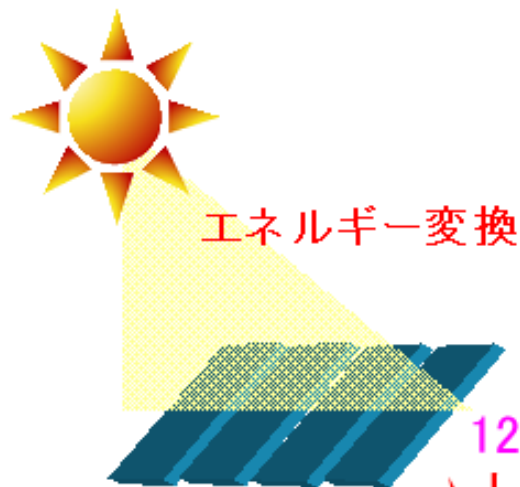
- コンパクト・軽量の太陽集光レンズ
- 量産化に適した太陽光を効率よく吸収するセラミックレーザー結晶(日本独自技術)
- 太陽光利用に適したレーザー結晶励起装置



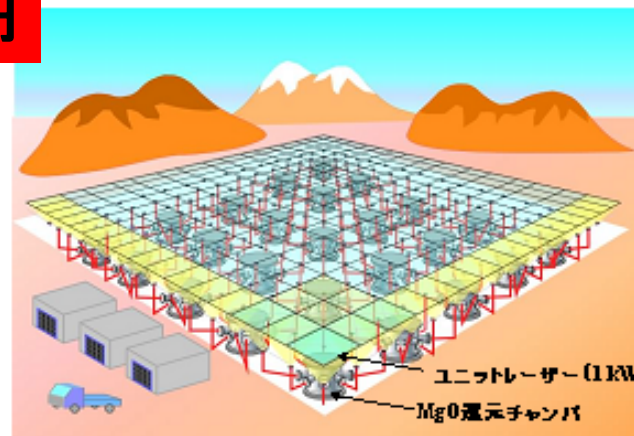
研究グループ



実用システムの総合効率

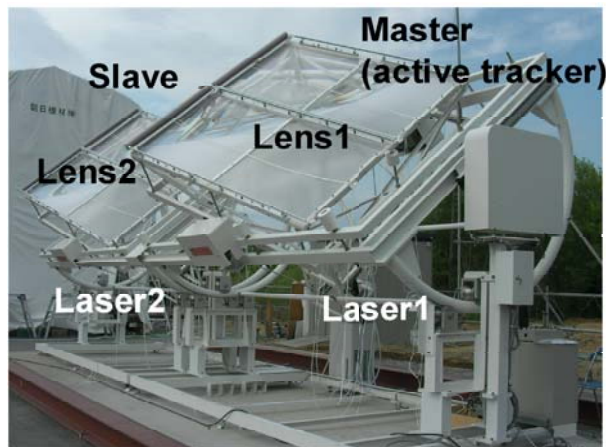


1000億円



- 1 GW(100万キロワット)レーザープラント
 - 約3 km四方の敷地
 - 100万台の1kWレーザー
 - 一台当りコスト~¥100,000

太陽励起レーザー
2ユニットシステム(東工大)



Mgリサイクル



40%
(コージェネ効果10%含まず)

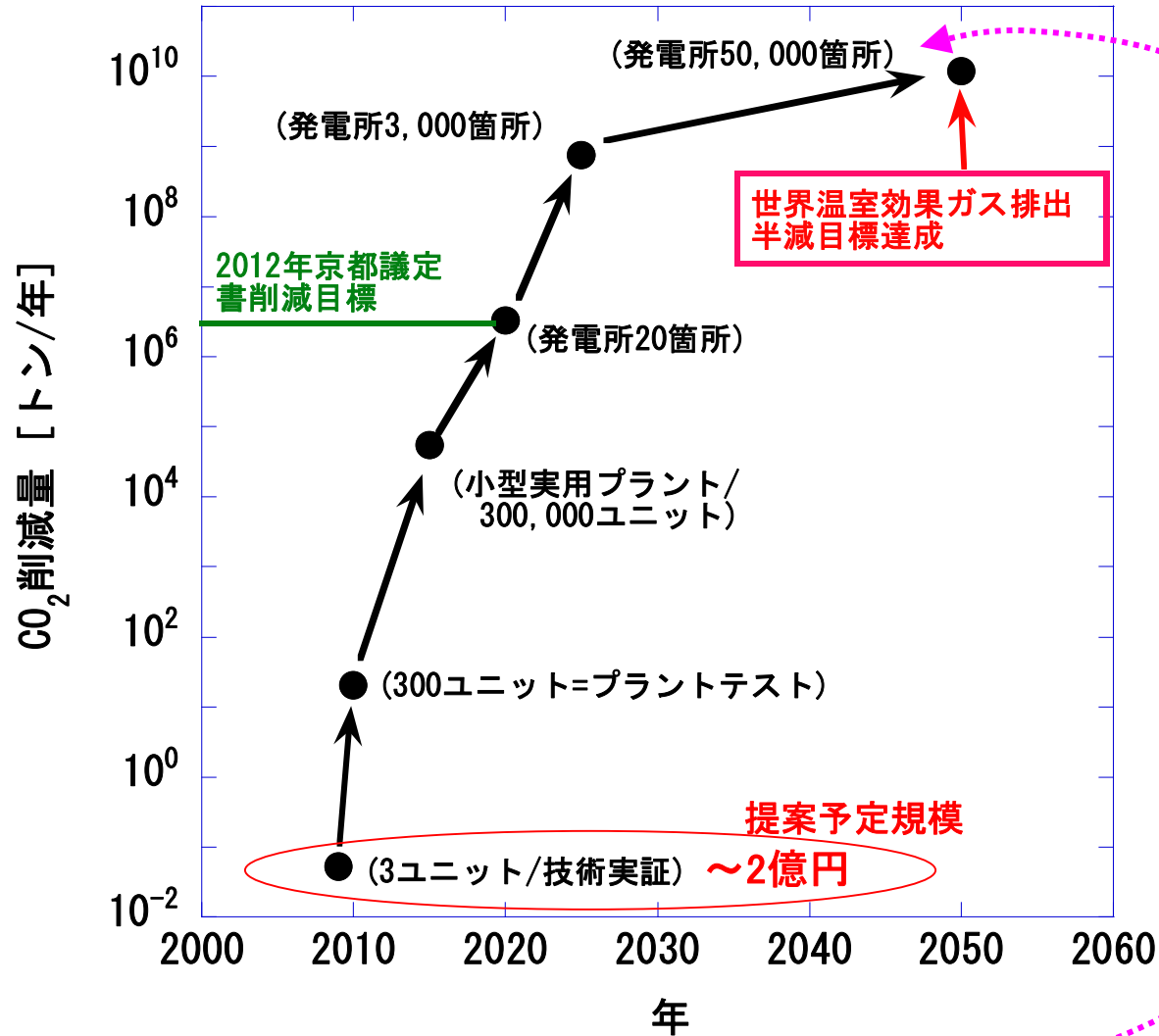
Mg燃料

50 W/m²

Mg



炭酸ガス削減ロードマップ



• この削減をバイオで実現するには1000万倍以上の面積が必要