

CO₂マイクロ波プラズマ/ バイオマス流動層によるCO製造

九州大学 大学院工学研究院 化学工学部門
准教授 山本 剛

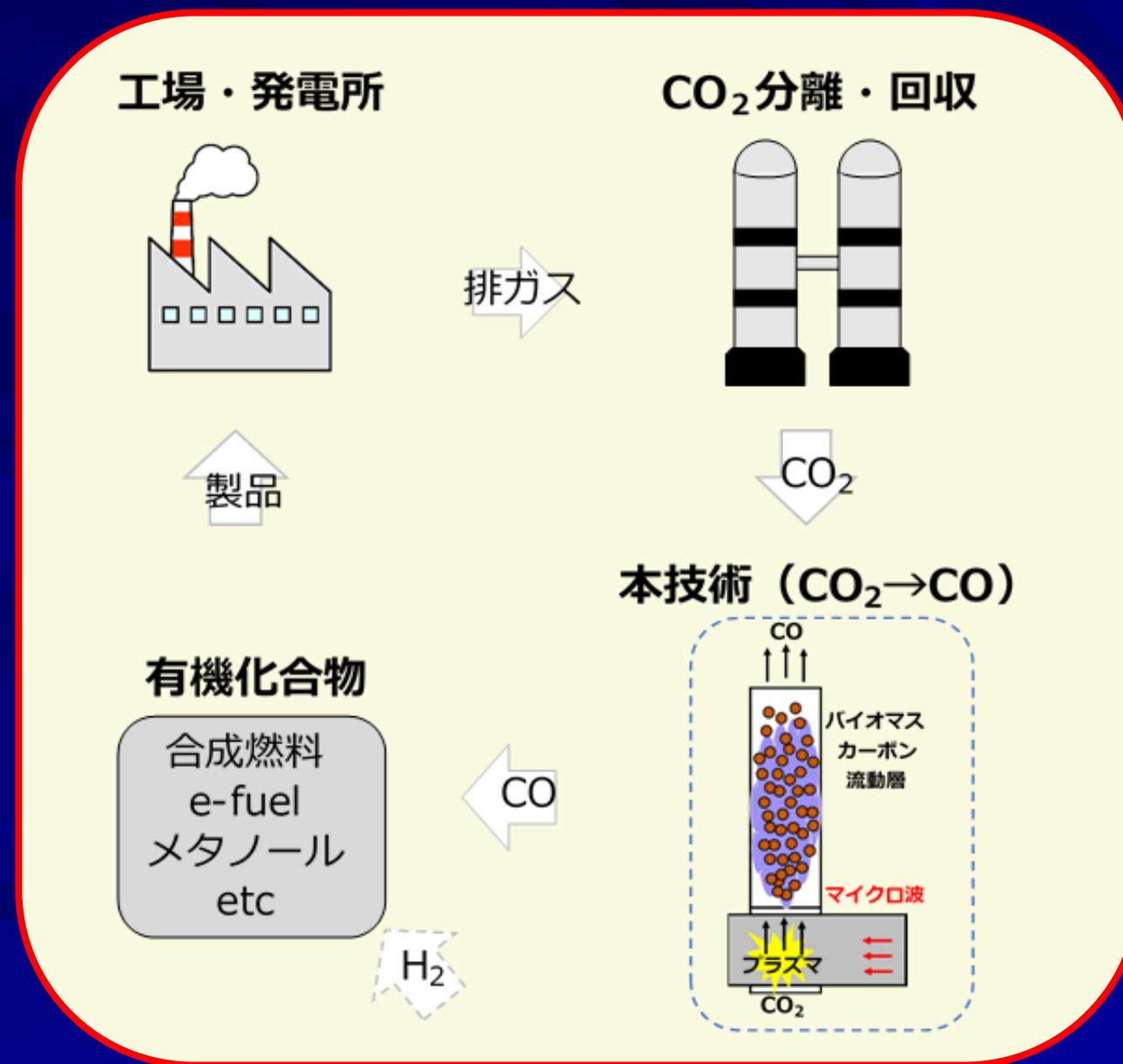
2025年8月7日

CO₂マイクロ波プラズマ支援流動層燃焼器



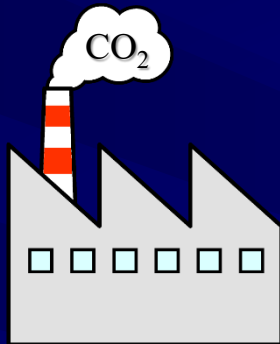
- ・ 減圧下
(数kPa)
- ・ マイクロ波
プラズマ
- ・ CO₂
(CO₂ → CO + O)
(C + O ; 発熱反応)
(C + CO₂ ; 吸熱反応)

本技術とカーボンリサイクルの流れ

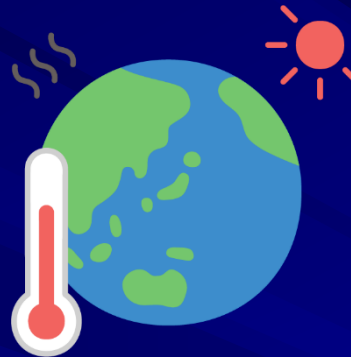


研究背景

工場・発電所



地球温暖化



温暖化防止

CO₂等の温室効果ガス
を削減



カーボンニュートラル

日本政府は、2030年において温室効果ガス46%削減（2013年度比）を目指すこと、2050年までに温室効果ガスの排出量を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを目指すことを宣言。

CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)

CCS

CO₂分離・回収 実証試験
CO₂の地中への圧入開始

CCU

カーボンリサイクル技術
さらなる研究開発・社会実装が望まれる

CO₂カーボンリサイクル技術の開発状況

(参考) カーボンリサイクル技術・製品概要

- ※ 1 現状のカーボンリサイクル製品の価格は事務局調べ
- ※ 2 既成製品の価格は統計情報や調査結果等に基づく参考値
- ※ 3 「CO₂等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性
(第8回 産構審GIプロジェクト部会 エネルギー構造転換分野 WG(2021年12月23日))における目標値
- ※ 4 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(2021年6月)における目標値

	CO ₂ 変換後の物質	カーボンリサイクル技術開発の現状	課題	既存製品の価格 (2023年1月現在)	2030年	2040年以降
基幹物質	合成ガス メタノール等	一部実用化、革新的プロセス (光、電気等利用)は技術開発段階	変換効率・反応速度の向上、 触媒の耐久性向上 等	—	製造コストの低減	製造コストの 更なる低減
化学品	汎用品 (オレフィン、BTX等)	一部実用化(石炭等から製造した 合成ガス等を利用) その他は技術開発段階	転換率・選択率の向上 等	約180円/kg ^{※2} (エチレンの国内販売価格)	製造コストの低減	製造コストの 更なる低減
	含酸素化合物	一部実用化(ポリカーボネート等)、 その他は技術開発段階 【価格例】 既存の同等製品程度(ポリカーボネート)	ポリカーボネートはCO ₂ 排出量 の更なる削減 ポリカーボネート以外の実用化 (転換率・選択率の向上)	約400円/kg ^{※2} (ポリカーボネートの 国内販売価格)	既存製品と同等のコスト	製造コストの 更なる低減
	バイオものづくり、 バイオ由来化学品	技術開発段階(CO ₂ や非可食性バ イオマス等を原料とした物質生産)	低コスト・効率的な前処理技 術、微生物改変技術 等	—	既存製品の 1.2倍程度のコスト	更なる低コスト化
	液体燃料 (バイオ燃料 (SAF))	技術開発/実証段階 【価格例】SAF1600円/L ^{※1}	生産率向上、低コスト・効率的 な前処理技術 等	100円台/L ^{※2} (ジェット燃料の国内販売価格)	製品コストの低減	更なる低コスト化
燃料	液体燃料 (合成燃料(e-fuel))	技術開発段階(合成燃料(e-fuel)) 【価格例】 合成燃料 約300~700円/L ^{※1}	現行プロセスの改善、 システム最適化 等	約170円/L ^{※2} (ガソリンの国内販売価格)	—	既存の製品と 同等のコスト (約100-150円/L) ^{※3}
	ガス燃料 (合成メタン、LPガス等)	技術開発/実証段階	システム最適化、スケールアップ、 高効率化 等	105円/Nm ^{3※2} (天然ガスの輸入価格)	製造コストの低減	既存の製品と 同等のコスト (40-50円/Nm ³) ^{※4}
鉱物	コンクリート、セメント、炭酸 塩、炭素、炭化物	一部実用化、 低コスト化に向けた技術開発段階 【価格例】数百円/kg(道路ブロック)	CO ₂ と反応させる有効成分の 分離、微粉化、低コスト化 等	30円/kg ^{※2} (道路ブロック用プレキャスト コンクリートの国内販売価格)	道路ブロック等、技術成熟 度が高い製品について、既 存の製品と同等のコスト	新たに用途拡大された 製品について、既存製 品と同等のコスト
共通技術	CO ₂ 分離回収 (DAC含む)	一部実用化(化学吸収法)、 その他手法は技術開発段階 【価格例】 約4000円~6000円/t-CO ₂ (化学吸収法)	所要エネルギーの削減 等	—	1000-2000円台/t-CO ₂ (共通技術(CO ₂ 分離回 収技術)のスライド参照)	1000円以下/t-CO ₂ 2000円以下/t-CO ₂ (DAC)
基盤物質	水素	概ね技術確立済み(水電解等)、 他の手法含め低コスト化に向けた 技術開発を実施	低コスト化 等	—	30円/Nm ^{3※4}	20円/Nm ^{3※4} (プラント引き渡しコスト) ^{※4}

経済産業省 資源エネルギー庁「2023年6月23日カーボンリサイクルロードマップ資料」P15より転載

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_recycle_rm/pdf/20230623_03.pdf

燃烧排ガス中のCO₂と先行技術

CO₂

主に化石燃料の燃焼により生成



不純物 (SO_x, NO_x, N₂, O₂) が含まれる

先行技術

- ① 水性ガス逆シフト反応, ② CO₂ケミカルルーピング
- ③ CO₂リフォーミング, ④ CO₂電気分解

先行技術のデメリット

- | |
|--|
| ①, ②, ③, ④触媒を使用. SO _x により被毒の可能性 |
| ①, ②H ₂ , ③天然ガス, ④H ₂ O由来のHを消費 |
| ①, ②, ③生成ガスは化学種が多くCO濃度は高くない |
| ④O ₂ の前処理必要 |

- ・ 燃烧排ガスへの適用困難
- ・ 貴重な資源・H₂の消費
- ・ CO分離コスト高
- ・ 不純物対策必須



燃烧排ガス中のCO₂にも適用可能な革新技术の開発が待たれる.

目的

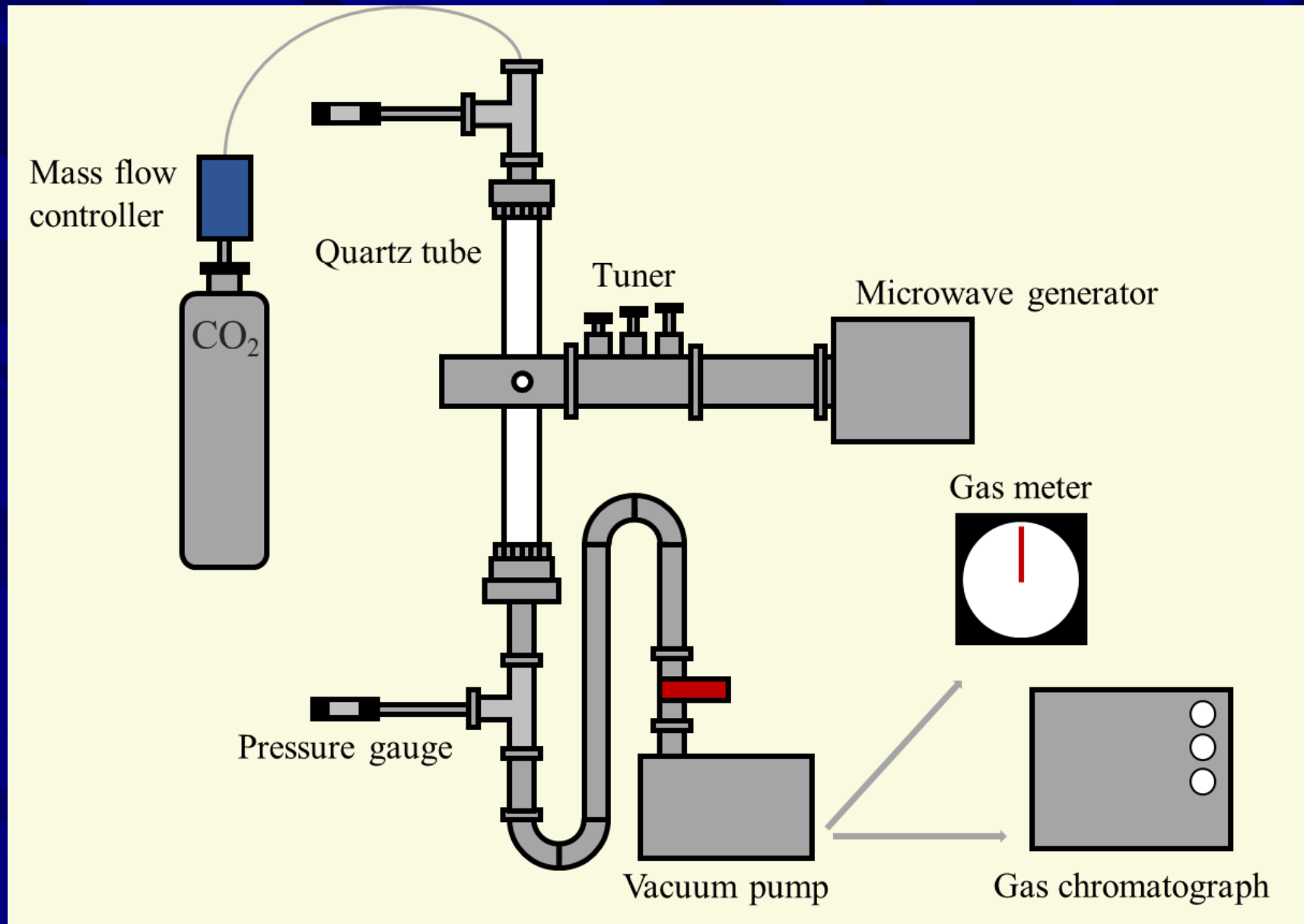
目的

減圧タイプのマイクロ波プラズマにより
CO₂から直接COを製造

- マイクロ波プラズマを100%CO₂ガスに重畳
CO₂→CO変換に関する実験的検討を行う
- また、その反応特性について検討する

実験装置および方法

実験装置



CO₂プラズマ

実験装置概略図

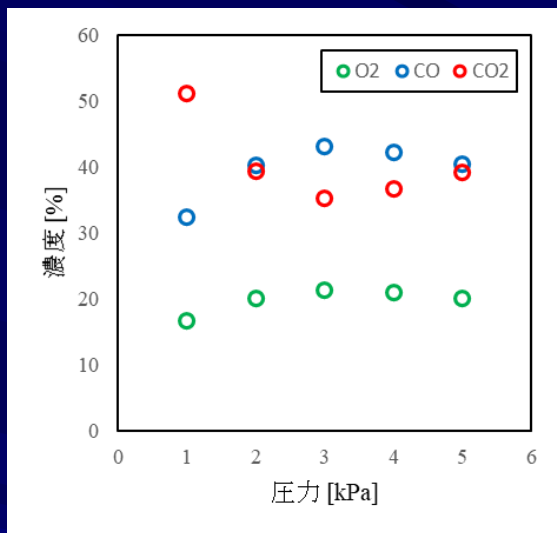
実験条件

実験条件

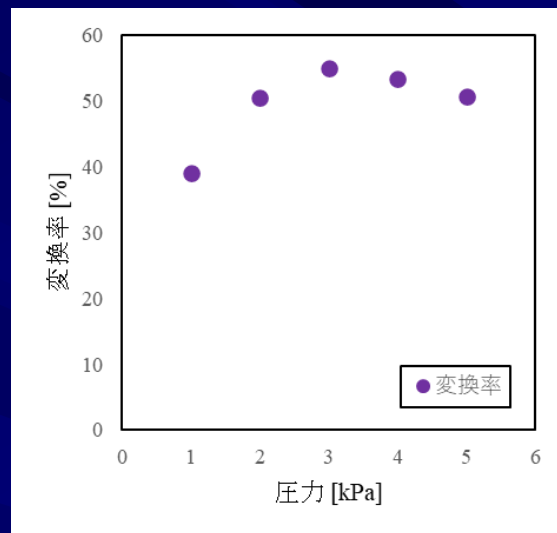
マイクロ波出力	1,000	[W]
供給ガス	CO ₂	
CO ₂ 流量	1.0	[L/min]
圧力	1.0 – 5.0	[kPa]

結果と考察

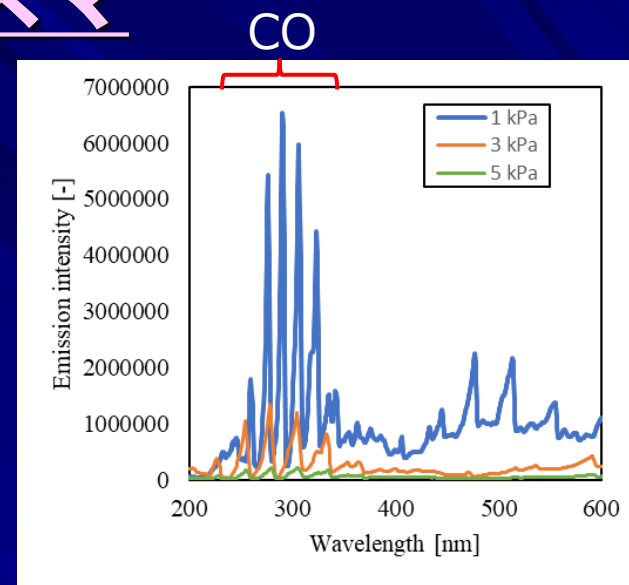
マイクロ波プラズマ



ガス組成



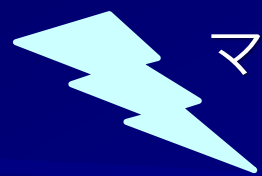
CO₂変換率



発光スペクトル

最大値

CO ₂ L/min	CO%	O ₂ %	CO ₂ %	生成CO/投入CO ₂ (分解率)
0.5	43.3	21.4	35.3	0.55



マイクロ波プラズマ



Oラジカルの反応



Oラジカルをどうするか？

目的

目的

マイクロ波プラズマと バイオマスカーボンを利用

- マイクロ波プラズマにより $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$ という反応を起こし、 CO_2 由来のCOを製造
- また、生成したOラジカルとバイオマスカーボンの反応により、カーボン由来のCOを製造

結果と考察

マイクロ波プラズマ + バイオマスカーボン

充填層バージョン

CO₂ 0.5 L/min, 3kPa (100% CO₂)

流量 L/min	CO濃度 %	O ₂ 濃度 %	CO ₂ 濃度 %
0.5	63.3	1.6	34.8
流量 L/min	CO L/min	O ₂ L/min	CO ₂ L/min
0.5	0.52	0.013	0.28

生成CO
投入CO₂

1.04

CO₂ 1 L/min, 3kPa (100% CO₂)

流量 L/min	CO濃度 %	O ₂ 濃度 %	CO ₂ 濃度 %
1.0	48.9	2.3	48.7
流量 L/min	CO L/min	O ₂ L/min	CO ₂ L/min
1.0	0.68	0.032	0.68

生成CO
投入CO₂

0.68



Microwave Plasma + Biomass Carbon

流動層バージョン

CO₂ 0.5 L/min, 3kPa (100% CO₂)

流量L/min	CO濃度 %	O ₂ 濃度 %	CO ₂ 濃度 %
0.5	72.8	0.1	27.1
流量L/min	CO L/min	O ₂ L/min	CO ₂ L/min
0.5	0.58	0.001	0.22

生成CO
投入CO₂
1.16

CO₂ 1 L/min, 4kPa (100% CO₂)

流量L/min	CO濃度 %	O ₂ 濃度 %	CO ₂ 濃度 %
1.0	66.5	0.2	33.3
流量L/min	CO L/min	O ₂ L/min	CO ₂ L/min
1.0	1.10	0.004	0.55

生成CO
投入CO₂
1.10



まとめ

- ・ マイクロ波プラズマを形成するためのエネルギーのみで二段階の反応を行う装置



→ CO₂由来のCO



→ カーボン由来のCO

- ・ 投入CO₂量と同等以上のCOを製造

本技術の長所

- ・ COの分離コストが低い
- ・ H₂等を使用・消費しない
- ・ 触媒を使用しない
- ・ 不純物の対策が必要ない



直接CO₂から高濃度COを製造する革新技術
カーボンリサイクル技術の核

新しいプラズマ形成手法の開発

CO₂ 0.5 L/min, 4.0 kPa (100% CO₂), 1 kW

流量 L/min	CO濃度 %	O ₂ 濃度 %	CO ₂ 濃度 %
0.5	83.9	0.04	15.9
流量 L/min	CO L/min	O ₂ L/min	CO ₂ L/min
0.5	0.69	0.00033	0.13

生成CO
投入CO₂

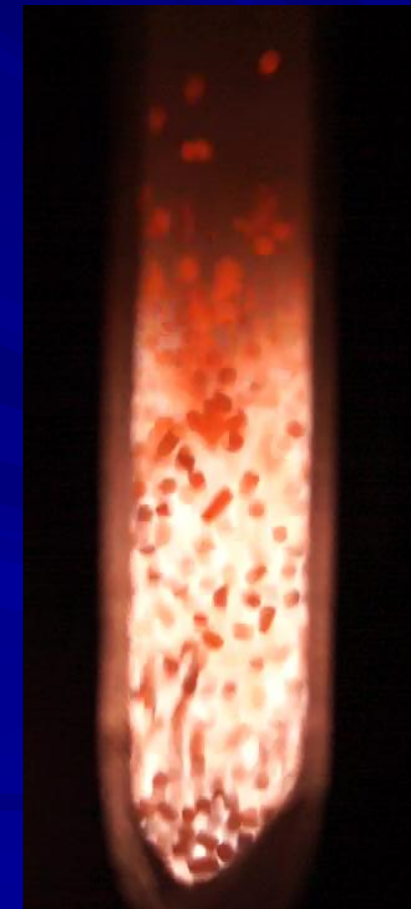
1.38

CO₂ 0.25 L/min, 4.6 kPa (100% CO₂), 1kW

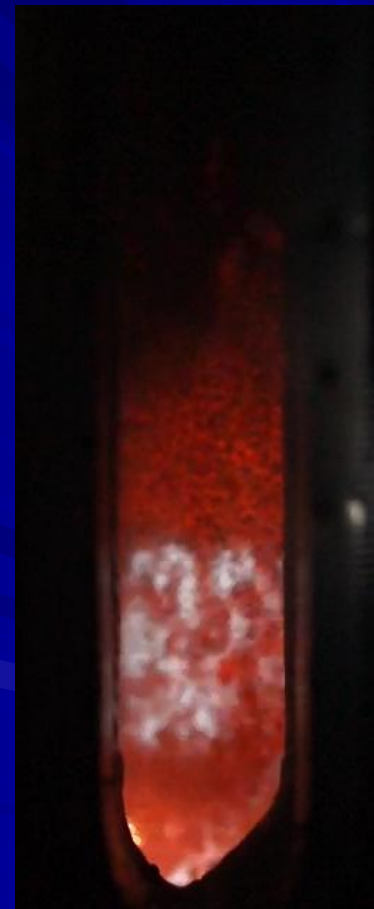
流量 L/min	CO濃度 %	O ₂ 濃度 %	CO ₂ 濃度 %
0.25	93.4	0.08	6.3
流量 L/min	CO L/min	O ₂ L/min	CO ₂ L/min
0.25	0.45	0.00040	0.031

生成CO
投入CO₂

1.80



新手法



従来法

今後の方針について

現在：

- 触媒・H₂を使用せず，実用レベルの高いCO製造性能を開発.

今後：

- ラボスケールの試作機を製作.
- 実用化に向けて
 - ・ CO製造コストの削減.
 - ・ 装置のスケールアップ.

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	<ul style="list-style-type: none">・マイクロ波プラズマとバイオマス流動層を融合した装置構築・H₂を消費しない, 触媒を使用しないCO₂カーボンリサイクルを開発	
現在	<ul style="list-style-type: none">・均一なプラズマ流を形成する新手法を開発・実用レベルの高いCO製造性能を実現	
1年後	<ul style="list-style-type: none">・ラボスケールの試作機を製作・CO製造コスト削減	: PARKS スタートアップ創出プログラムStep2-1へ応募し研究資金獲得
3年後	<ul style="list-style-type: none">・スケールアップ装置の製作・実燃焼排ガスへの適用	: PARKS スタートアップ創出プログラムStep2-2へ応募し研究資金獲得
5年後	<ul style="list-style-type: none">・実際の現場にて技術実証を開始	: JSTの研究成果展開事業へ応募し研究資金獲得

- 燃焼排ガスには不純物が含まれるが、本技術はその対策が必要なく、そのまま適用できる。
- 分離・回収前の燃焼排ガス中のCO₂（N₂:7～8割含有）対しても高いCO製造性能を有する。
- 燃焼排ガス中のCO₂の利活用に向け、本技術の実証試験に協力いただける企業を探しています。

本技術に関する知的財産

- 発明の名称 : 一酸化炭素の製造方法及び
一酸化炭素製造装置
- 出願番号 : 特願2024-157145
- 出願人 : 九州大学
- 発明者 : 山本剛

- 発明の名称 : プラズマ生成装置及び
ガスの製造方法
- 出願番号 : 特願2025-117105
- 出願人 : 九州大学
- 発明者 : 山本剛

九大OIP株式会社
サイエンスドリブンチーム

TEL :

092-400-0494

e-mail :

transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp

ご清聴ありがとうございました.