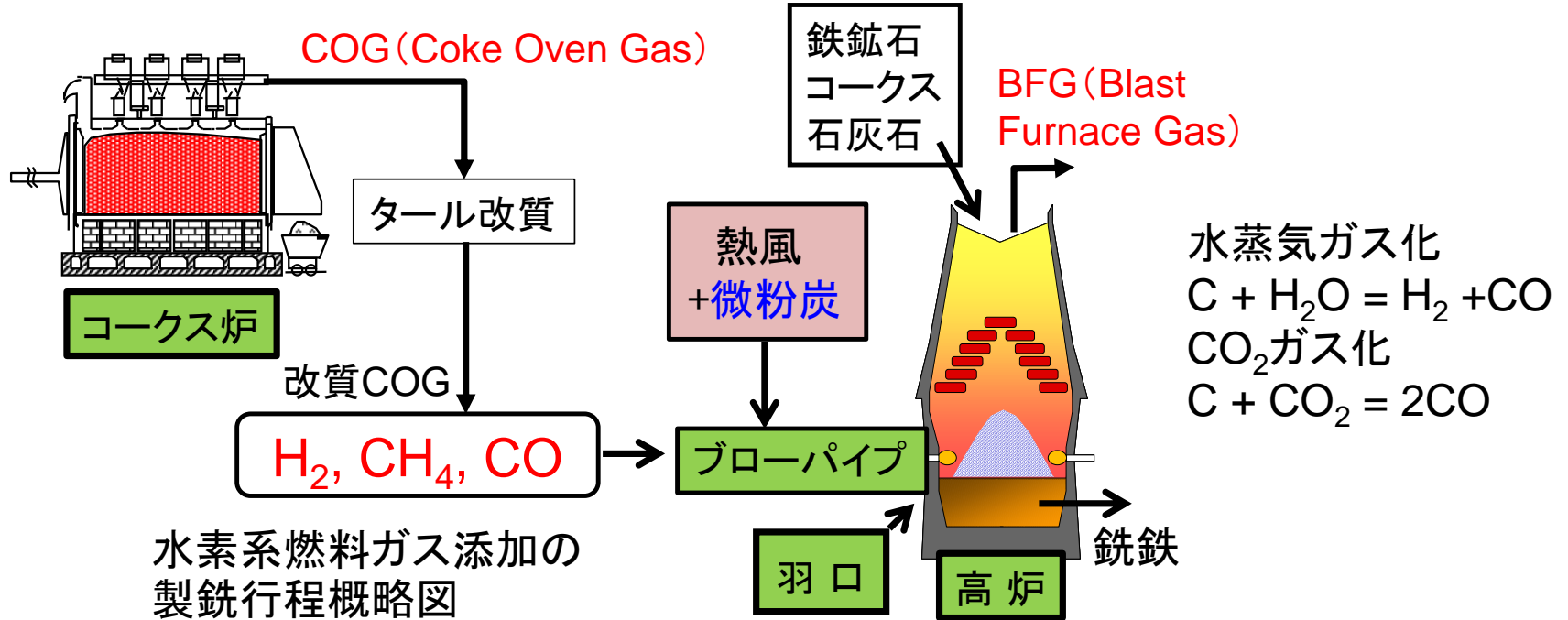


# 微粉炭の反応挙動に及ぼす水素系燃料ガス添加の影響

## 研究背景

鉄鋼業界においてCO<sub>2</sub>排出削減に向けた新たな製鉄プロセスの確立が検討されている。その一つとして微粉炭とともに水素系ガス燃料を吹き込む方法が考えられている。



ブローパイプへ**微粉炭**と空気, **H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO**の吹き込み

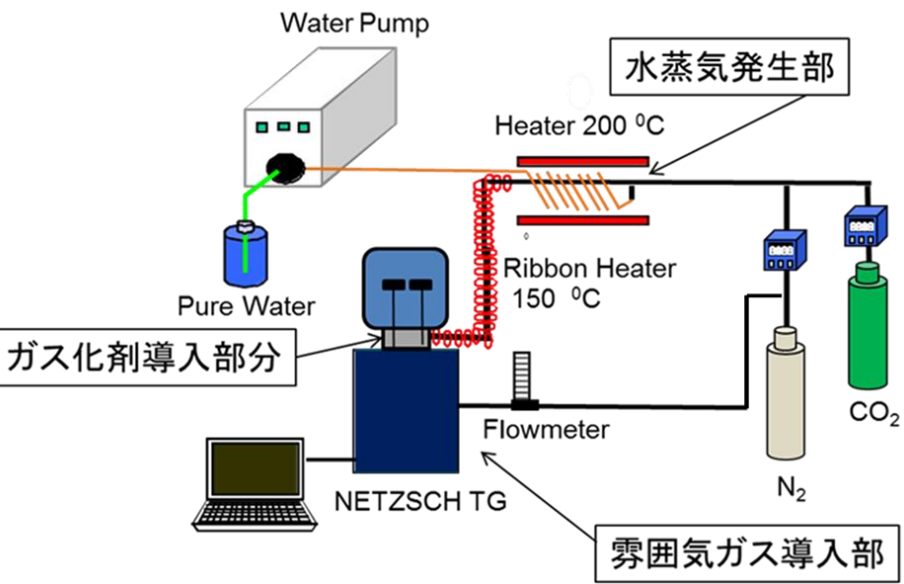
ブローパイプ中で**H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO**が燃焼し**CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O**生成

**CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O**による**微粉炭**のガス化反応

研究目的: 高温下における微粉炭ガス化反応挙動の解明

# 研究内容

## 実験装置図

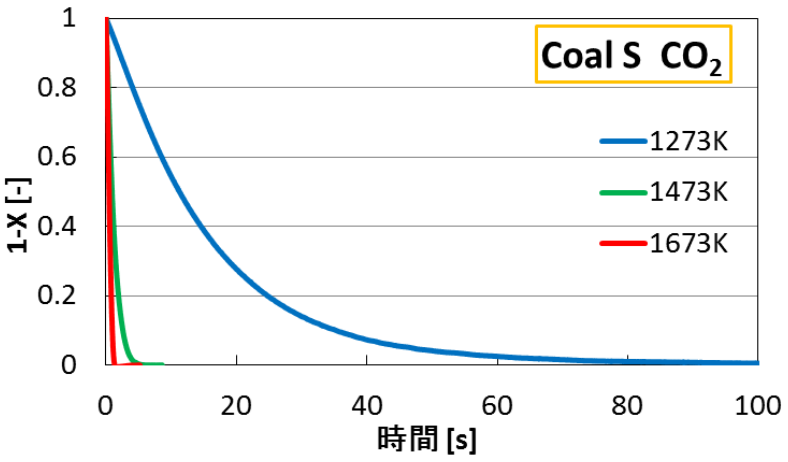


熱重量測定装置を用いて  
実験を行い以下の項目を検討

- ・ガス化反応の温度依存性  
⇒1273, 1473, 1673K
- ・炭種による反応性の相違  
⇒Coal S(低揮発分炭), Coal E(高揮発分炭)
- ・ガス化剤による反応性の差異  
⇒CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O(水蒸気)

以下の式を用い、定式化

## 実験結果



- 容積反応モデル  

$$\frac{dX}{dt} = k_v(1 - X)$$

X:反応率[-]  
t:時間[s]  
k<sub>v</sub>:速度定数(容積)[1/s]
- グレインモデル  

$$\frac{dX}{dt} = k_g(1 - X)^{\frac{2}{3}}$$

k<sub>g</sub>:速度定数(グレイン)[1/s]  
k<sub>p</sub>:速度定数(細孔)[1/s]  
φ:細孔構造係数[-]
- 細孔モデル  

$$\frac{dX}{dt} = k_p(1 - X)\sqrt{1 - \phi \ln(1 - X)}$$

# 微粉炭燃焼ボイラ内における灰付着機構解明とその制御

## 研究背景

微粉炭燃焼ボイラ内における灰付着問題

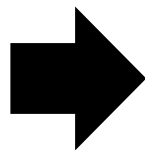


### スラッキング (Slagging)

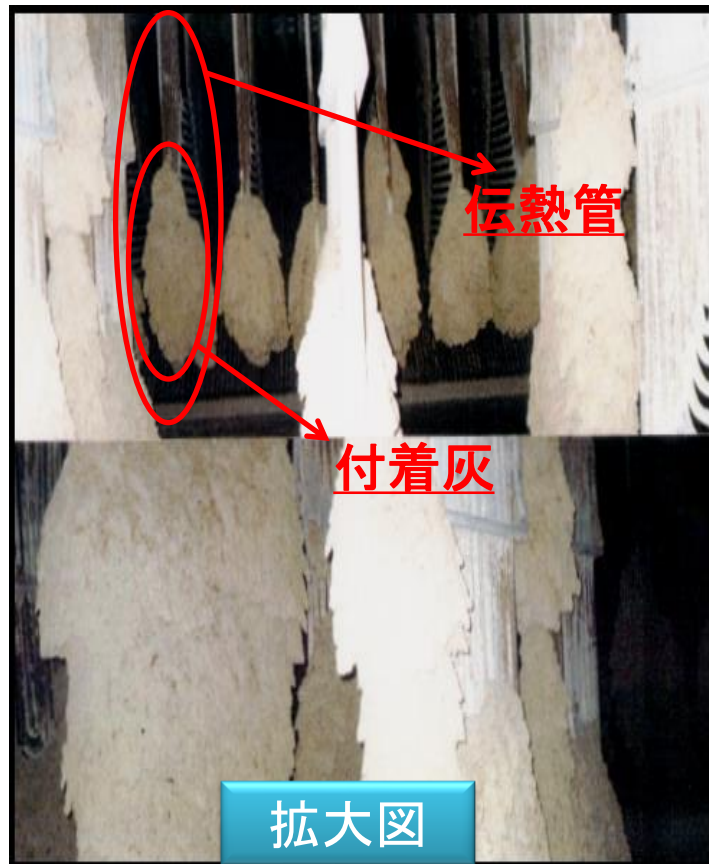
溶融した灰粒子が炉壁に衝突し灰付着層を形成

### ファウリング (Fouling)

溶融・気化した低融点灰が、伝熱管や熱交換器に付着し灰付着層を形成



- ✓ ボイラの運転阻害
- ✓ 熱交換効率の低下
- ✓ 伝熱管の腐食



電力事業用微粉炭燃焼ボイラ内のファウリングの様子(2年間操業後)

灰付着抑制



高効率化



CO<sub>2</sub>削減

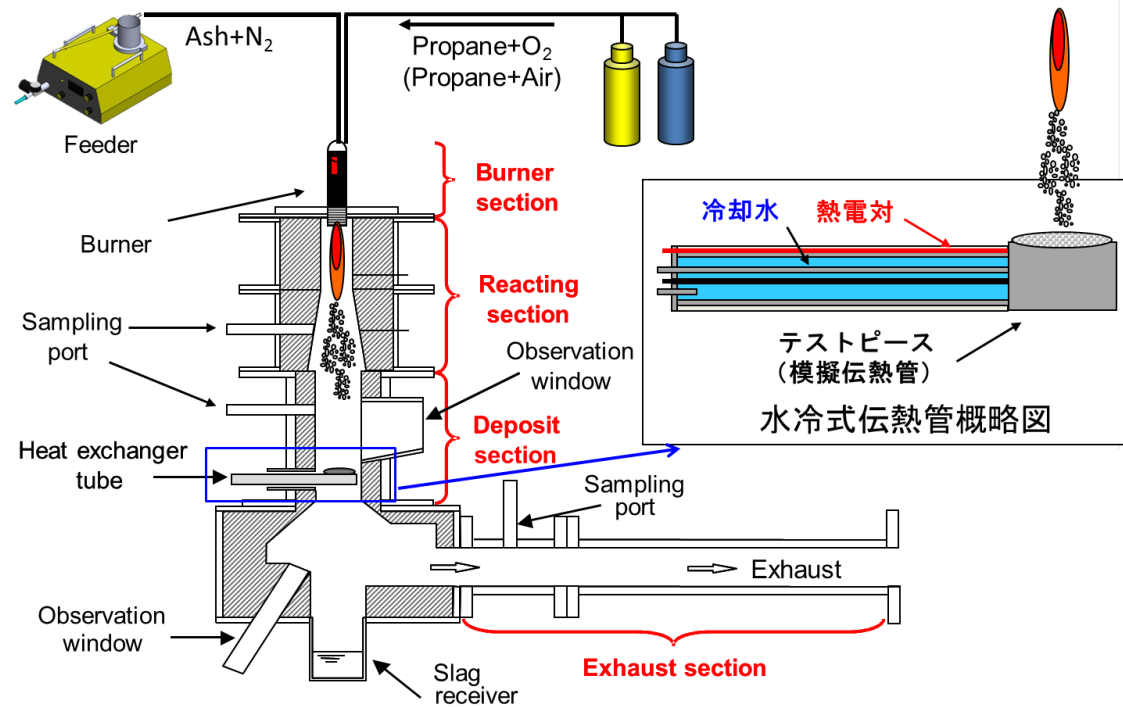
# 研究目的・研究内容

## 研究目的

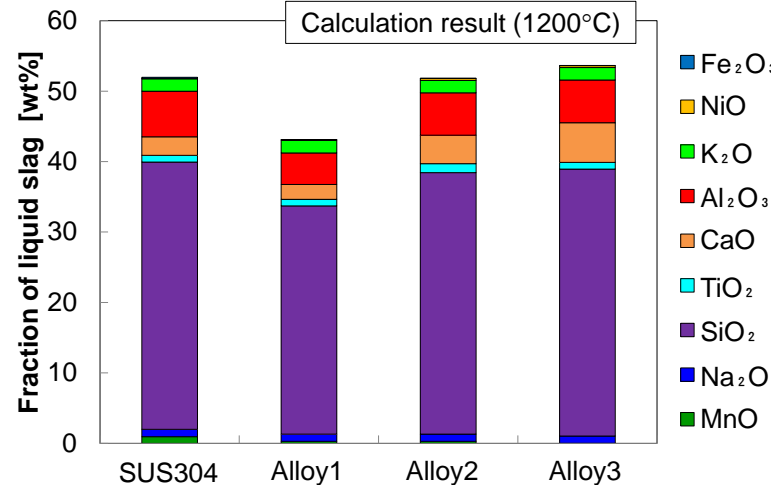
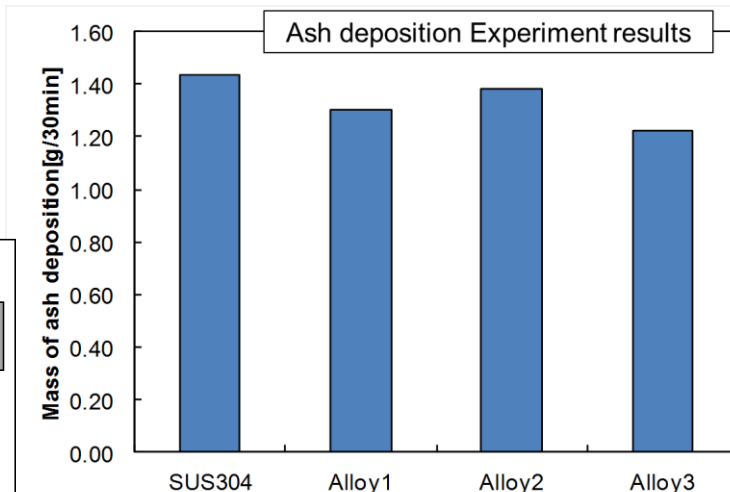
微粉炭燃焼ボイラ内での灰付着制御

## 研究内容

- 1 縦型灰付着炉を用いた灰付着実験
- 2 熱力学平衡計算を用いた伝熱管の差異の理論的考察
- 3 SEM/EDXを用いた灰付着界面での抑制効果の考察



プロパンバーナを用いた縦型灰付着炉の概略図



# LIBSによる灰中未燃炭素の測定

## 研究背景



- 石炭ガス化プロセスでは、石炭中の有害微量元素が問題となる。



- リアルタイムで監視する必要がある。

## 従来の手法

試料の前処理が必要



成分調整までの時間が**遅い**

## LIBS※

溶鋼中の成分計測が可能

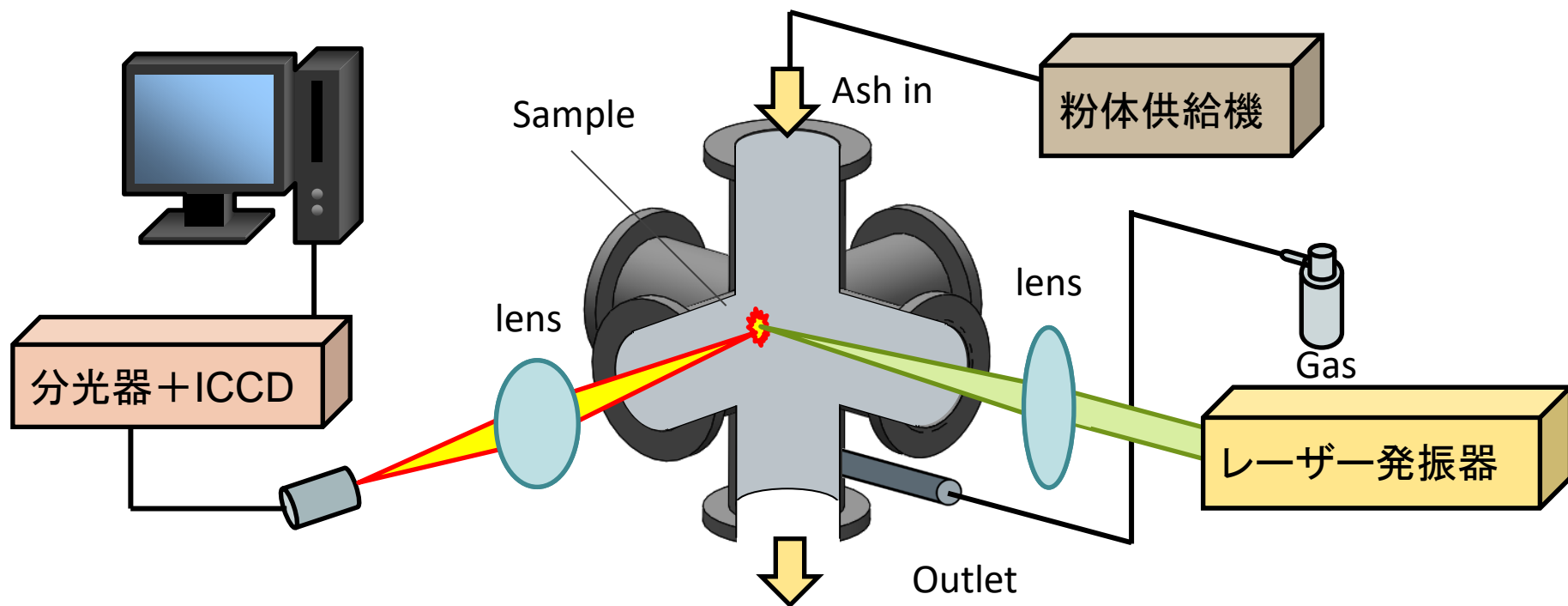


成分調整までの時間が**早い**

## ◆本研究の目標

灰中の未燃炭素計測における最適な分析条件の決定

# 研究内容



レーザーを試料へ照射



試料からプラズマ光が発生



分光器とICCDで測定

ICCD: ナノ秒オーダーの瞬間現象を測定することが可能な検出器

分光器: 光の電磁波スペクトルを測定



ケイ素との比を用いて灰中の炭素の検量線の作成

# バイオマス・石炭混焼拳動

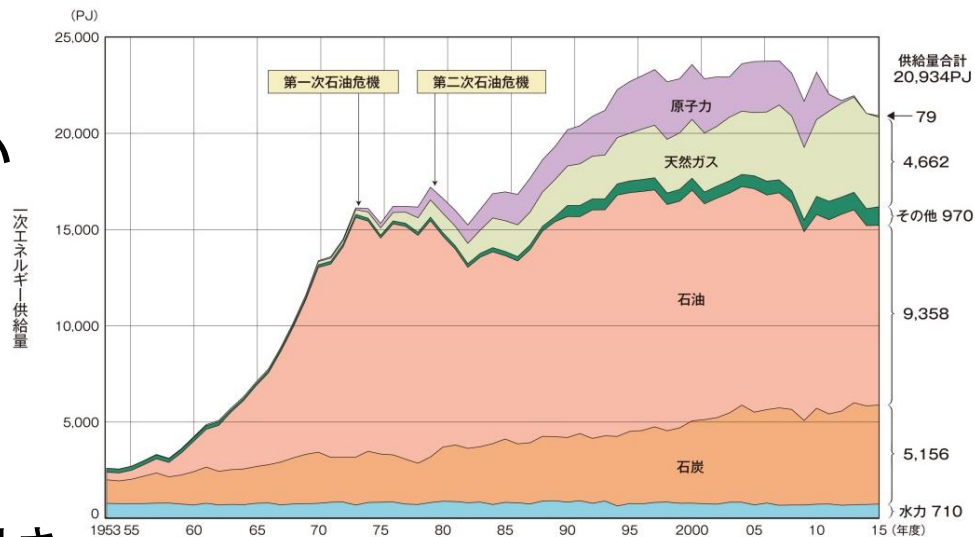
## 研究背景

化石燃料への依存度が非常に高い

- 化石燃料は限りある資源
- CO<sub>2</sub>の排出量が多い

火力発電における,  
CO<sub>2</sub>排出量削減へ向けた動き

日本の一次エネルギー供給実績



原子力・エネルギー図面集2016

## 石炭火力発電でのバイオマス混焼に注目

### バイオマス

- 化石資源を除く動植物に由来する有機物であり, エネルギー源として利用可能
- バイオマスエネルギーはCO<sub>2</sub>排出しないものとされ, 地球温暖化対策として有効





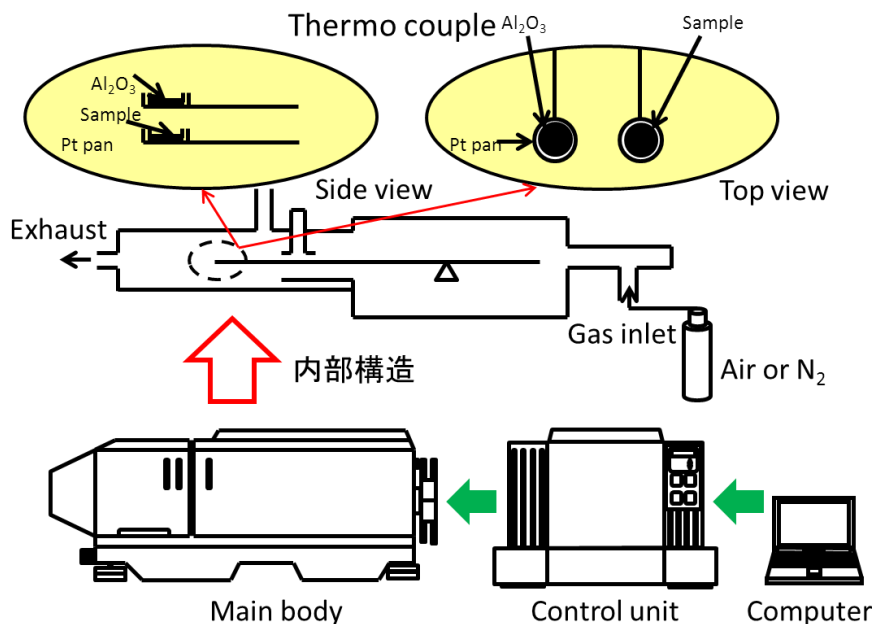
# バイオマス・石炭混焼挙動

## 研究目的

- 微粉炭燃焼場でのバイオマス混焼利用を対象
- バイオマス燃料の混焼率や燃料種が燃焼性, 灰性状に与える影響の解明

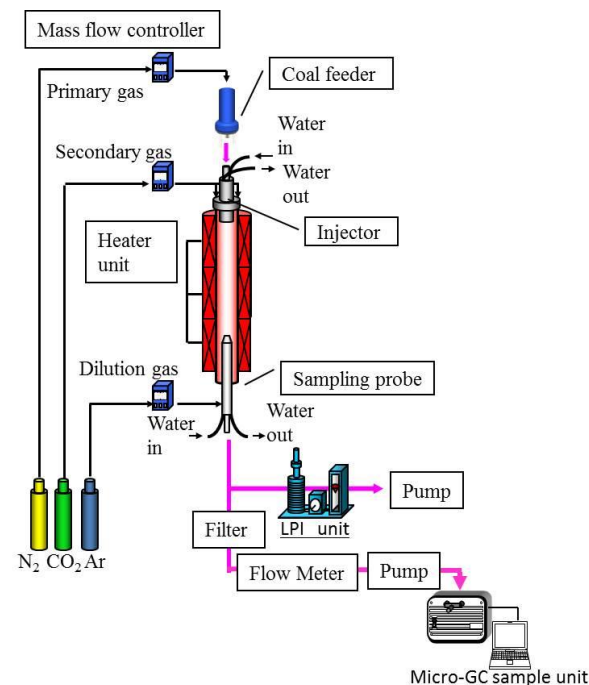
## 研究内容

- 熱重量分析装置による評価



熱重量分析装置概略図

- ドロップチューブ電気炉による混焼挙動評価

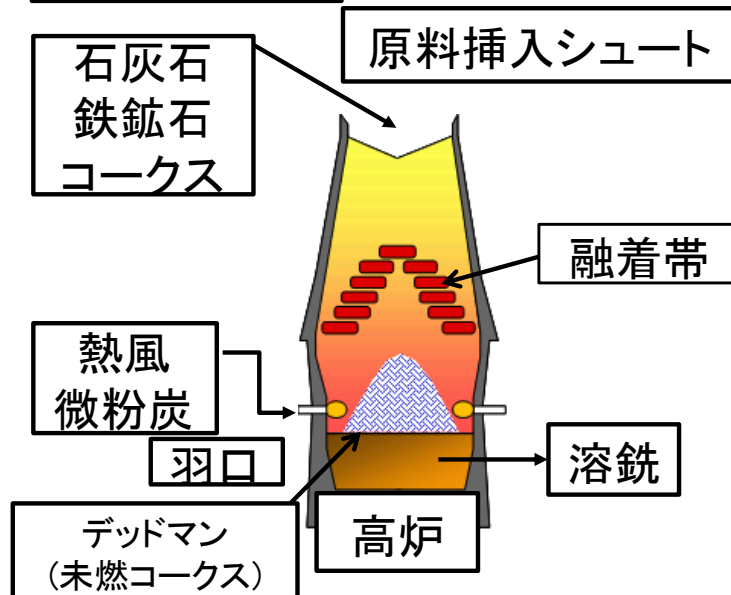


ドロップチューブ電気炉概略図



# コークス反応過程における灰粒子挙動

## 製鉄プロセス



## 高炉におけるコークスの役割

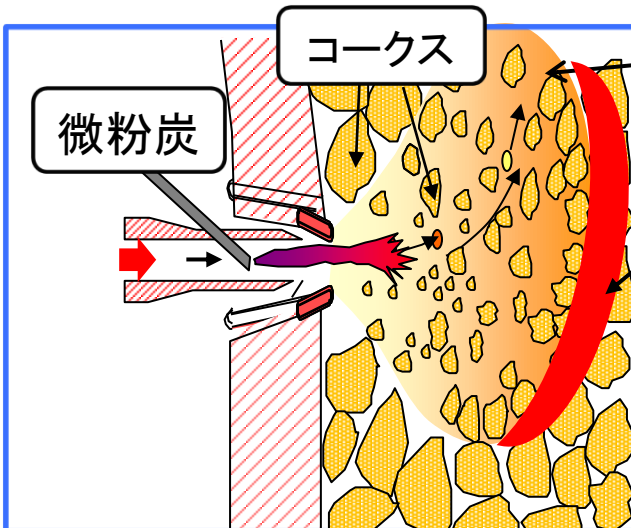
- ・熱源(燃焼反応)
- ・還元ガス生成(ガス化反応)
- ・浸炭源
- ・通気・通液性の維持

高炉の安定操業のために最重要

コークスおよび微粉炭中の  
灰粒子

レースウェイシェルを形成

高炉炉下部の通気性を低下

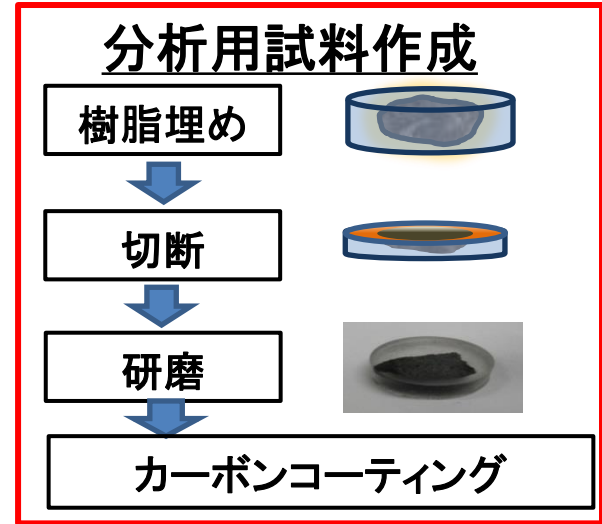
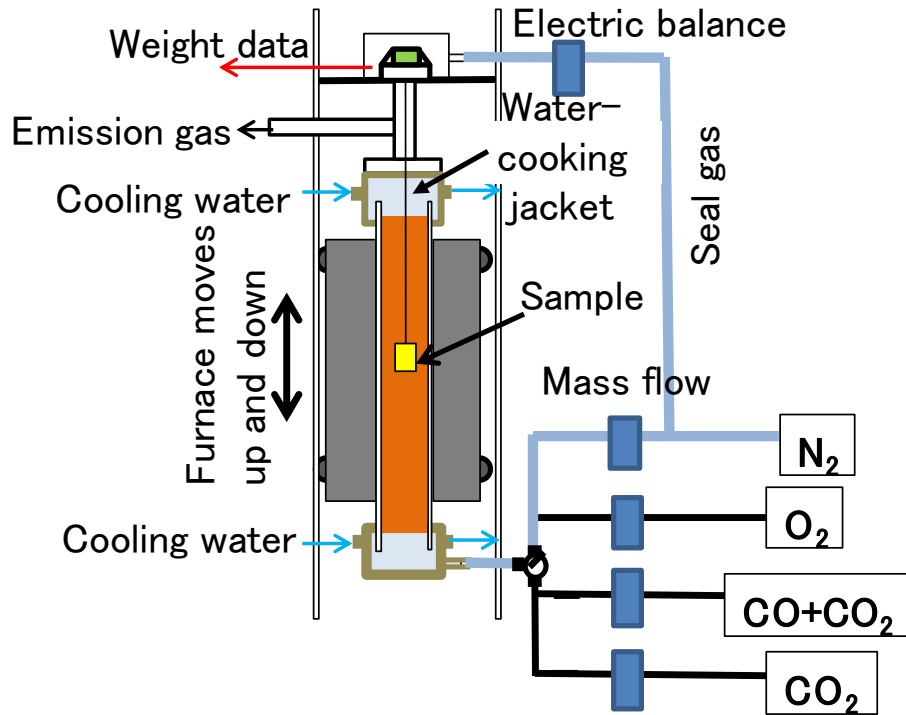


研究目的

コークス反応過程における  
灰粒子挙動の解明

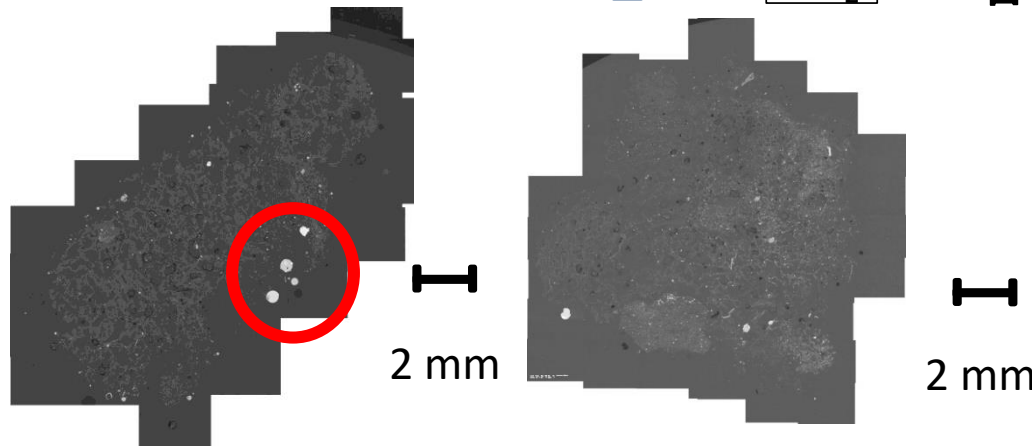
レースウェイ近傍模式図

# コークス反応過程における灰粒子挙動



## SEM断面解析

- ・断面画像の三値化
- ・各灰粒子、炭素質、空隙の面積解析



1400°C 燃焼 SEM画像      1400°C ガス化 SEM画像

**燃焼**では界面付近に大きな灰粒子が存在⇒界面で**燃焼**反応が進行

**ガス化**では全体的に多くの気孔が分布⇒コークス内部でも**ガス化**反応が進行

# 酸素富化空気による湿潤バイオマスのガス化

## 化石燃料

- ・地球温暖化の原因であるCO<sub>2</sub>を排出
- ・賦存量が有限



化石燃料に代わる新たな燃料が必要

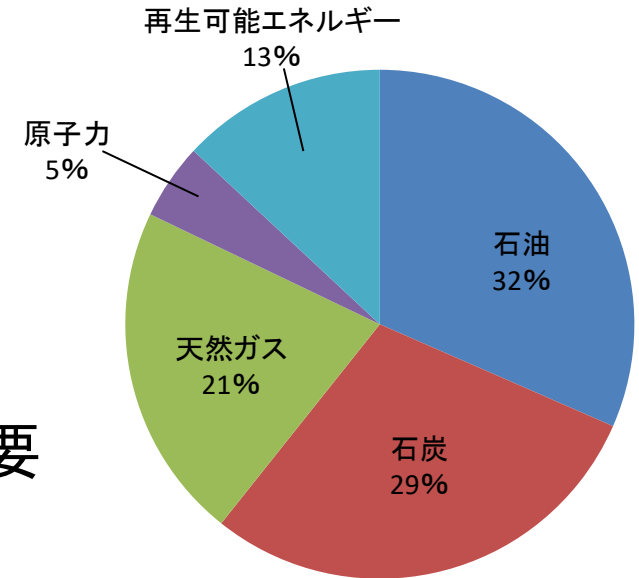
## バイオマス

### 利点

- ✓ カーボンニュートラル
- ✓ 再生可能エネルギー

### 欠点

- ✓ 低エネルギー密度
- ✓ 地域遍在性

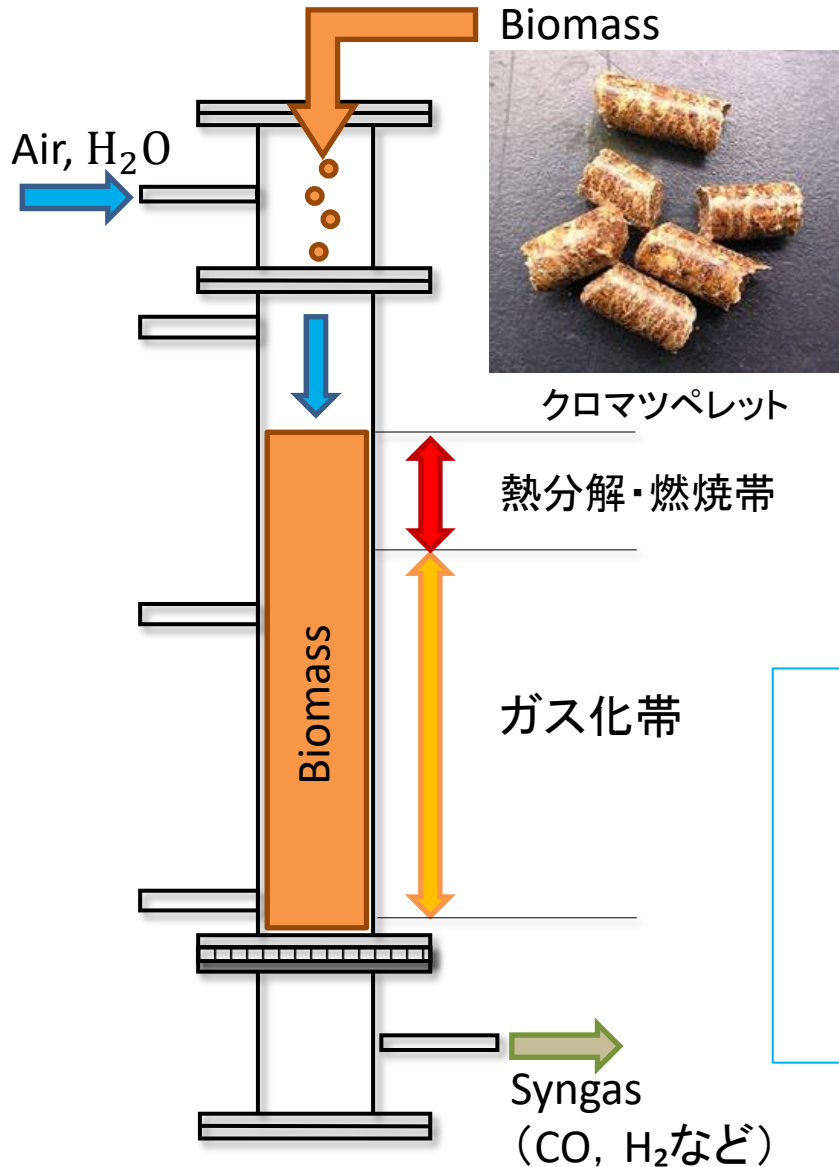


出典: IEA Renewable Information 2014



高効率ガス化技術が必要

# 酸素富化空気による湿潤バイオマスのガス化



従来

- ・バイオマスを乾燥 → ガス化
- ・乾燥のためにエネルギー消費

湿潤バイオマスの直接ガス化

酸素富化空気の導入

## 研究内容

- ・最適なガス化条件の探求
- ・反応管内の温度分布の時間変化計測
- ・ガスクロマトグラフィーによる生成ガス分析

充填層ガス化炉

# 脱硝触媒表面でのSi化合物付着特性

## 研究背景

エネルギー源として石炭に注目  
可採埋蔵量→多  
埋蔵地域の遍在性

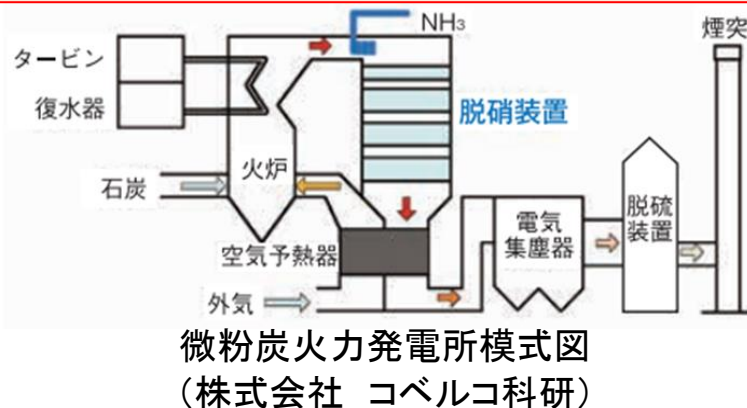
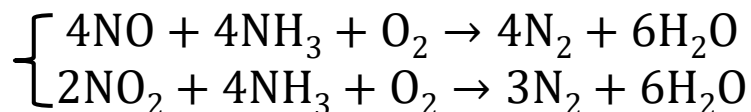


石炭火力発電に注目  
大量のNO<sub>x</sub>排出

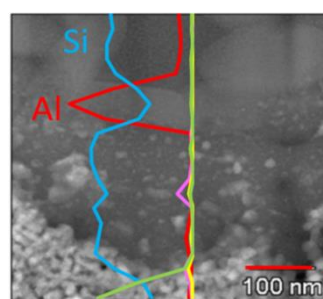
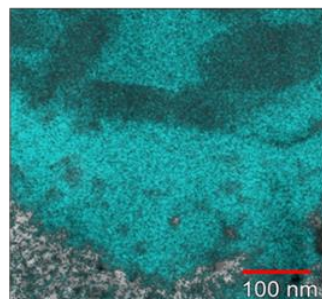
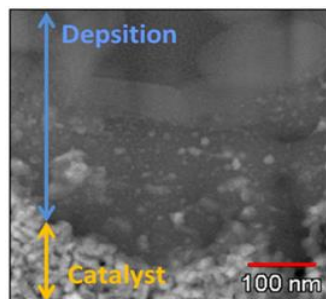
NO<sub>x</sub>を脱硝触媒により還元する必要性の増加

NO<sub>x</sub>除去技術  
選択接触還元法

SCR: Selective Catalytic Reduction



様々な原因により劣化し性能が低下



マッピング結果 ■ Si

■ Si/ ■ Ti/ ■ Al/ ■ Ca/ ■ S

線分析

6年間使用した触媒のTEM/EDX分析結果

Si化合物が付着



劣化原因

TEM (透過電子顕微鏡)

# 脱硝触媒表面でのSi化合物付着特性

## 研究目的

Siが触媒劣化の原因物質



触媒表面へのSi化合物の  
付着可能性および触媒性能評価

## 研究内容

1) 触媒表面へのシロキサンガス暴露試験  
・濃度を保ったシロキサンガスを350°Cに熱した触媒に暴露

・SiO<sub>2</sub>を付着

2) 触媒へのシロキサン浸漬試験

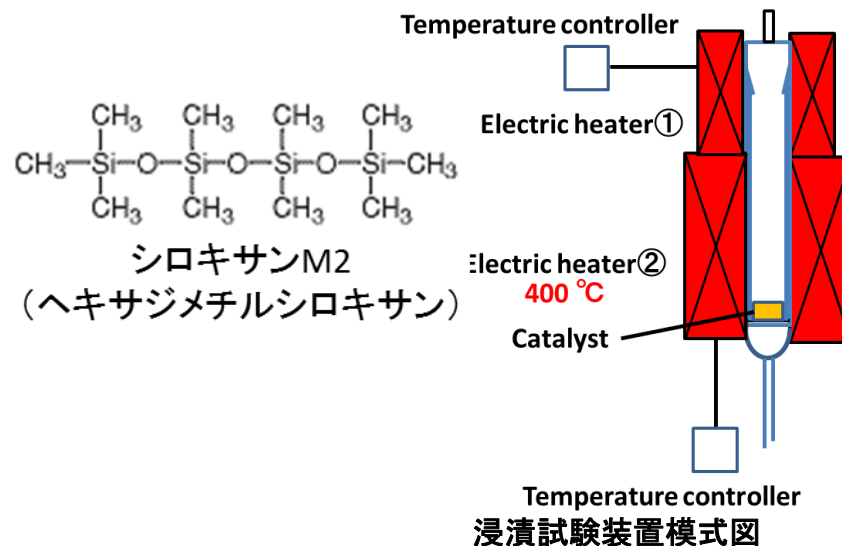
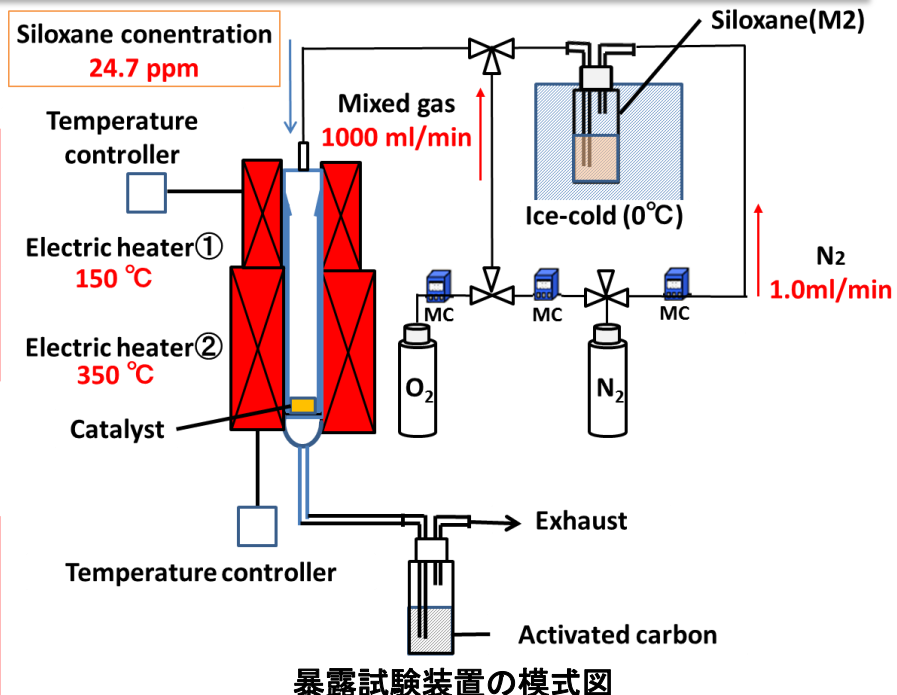
・脱硝触媒をシロキサンに浸漬.

・400°Cに熱したヒーター中で焼成.

→SEM/EDXで表面定量分析, 断面線分析

→触媒の性能評価

SEM (走査型電子顕微鏡)  
EDX (エネルギー分散型X線分析)



# 固体酸化物燃料電池の劣化挙動

## 研究背景

### SOFCのメリット

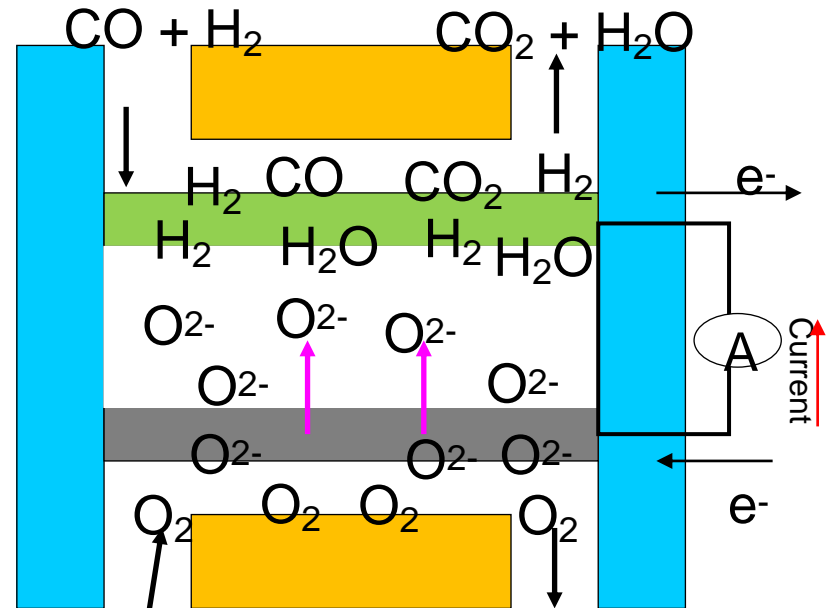
- ダイレクトに電気エネルギーが取り出せるため、ロスが少なく、高い発電効率を得ることができる。
- SOFCは、イオン伝導性のセラミックスで構成され、900~1000°Cという高温で作動するため、ガスタービンとの複合発電できることにより、他の燃料電池より高い発電効率を得ることが可能である。

### 実際のSOFC燃料の微量成分

- 硫黄系不純物
- ハロゲンガス(水中のCl<sub>2</sub>ガス、石炭ガス中のHCL等)
- アンモニア(バイオガス)
- 芳香族化合物(石油関連燃料)

! 発電効率の低下

! セルの寿命低下



燃料電池化学反応概略図

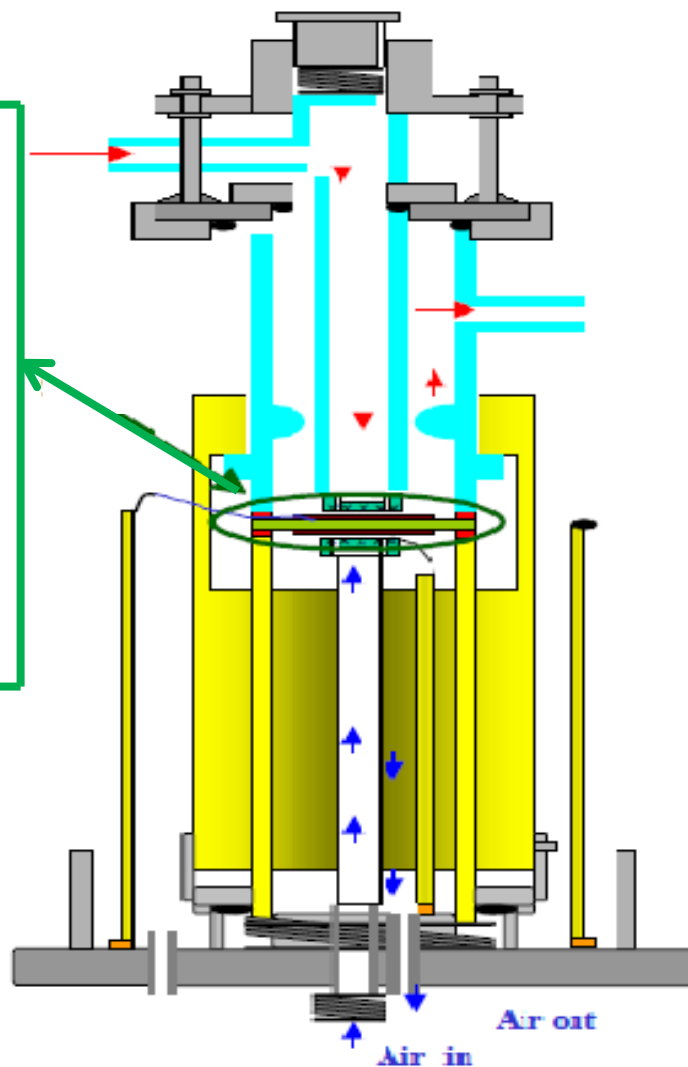


# 実験装置・実験内容

## 実験装置(SOFC試験装置)

## 実験内容

1. Factsageを用いた熱力学平衡計算  
・石炭ガス化雰囲気における微量炭化水素の化合物形態の解析
2. SOFC試験装置による発電試験  
・模擬ガスによるSOFC発電試験における微量成分の発電への影響
3. SEM/EDXを用いた発電実験前後のセルの表面観察



集電体

アノード

電解質

カソード

発電セルの概略図

# 微粉炭燃焼ボイラ内における灰付着機構解明とその制御

微粉炭燃焼ボイラ内における灰付着問題

## スラッキング (Slagging)

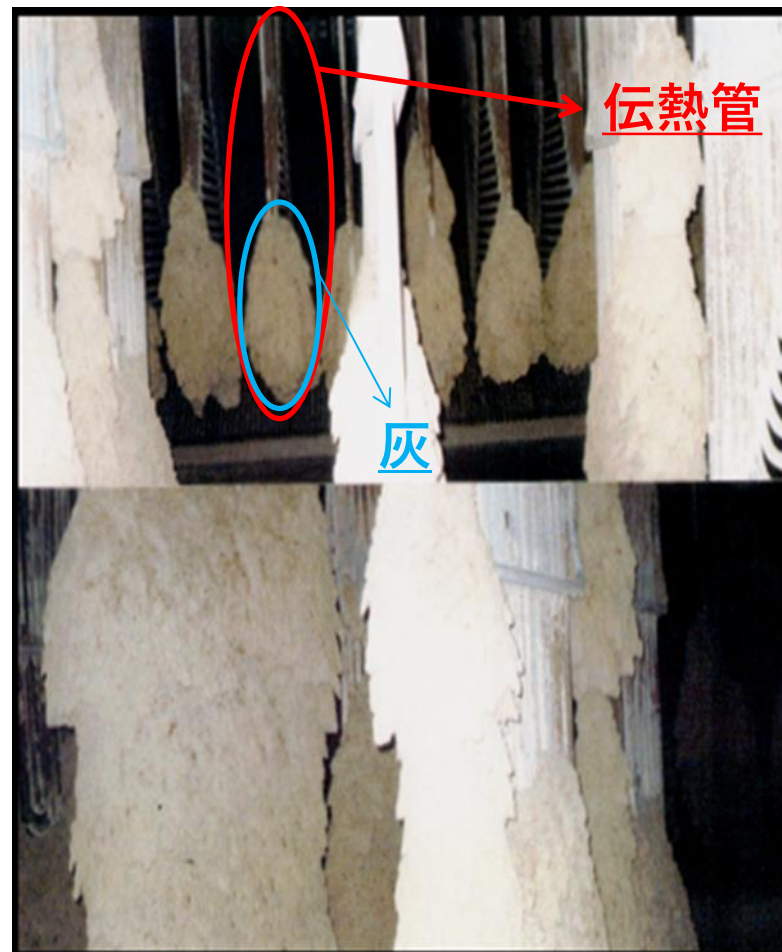
溶融した灰粒子が炉壁に衝突し  
灰付着層を形成

## ファウリング (Fouling)

溶融・気化した低融点灰が、  
伝熱管や熱交換器に付着し  
灰付着層を形成



- ボイラの運転阻害
- 熱交換効率の低下
- 伝熱管の腐食



電力事業用微粉炭燃焼ボイラ内の  
ファウリングの様子  
(2年間操業後)

# 微粉炭燃焼ボイラ内における灰付着機構解明とその制御

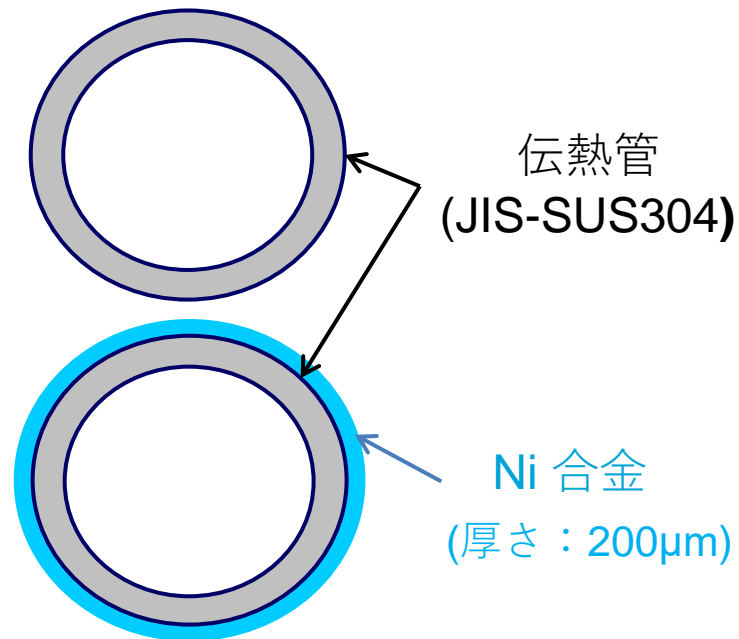
灰付着抑制 → ボイラの高効率化 → CO<sub>2</sub>削減

灰付着抑制方法として…

伝熱管の表面処理技術（溶射）に着目

溶射

燃焼炎やプラズマを用いて溶射材と呼ばれる材料を溶かし、噴霧することで基材を被膜すること



以下の3つの観点から灰付着抑制効果を考える

1. 縦型灰付着炉を用いた灰付着実験
2. FactSageを用いた熱力学平衡計算
3. SEM/EDXを用いた灰付着界面の観察

# 廃棄物燃焼過程におけるNOxの生成挙動解明

廃棄物の主な処理方法: 焼却

NOxの発生

研究目的

- 廃棄物の燃焼時の排ガス測定
- ごみの燃焼シミュレーション

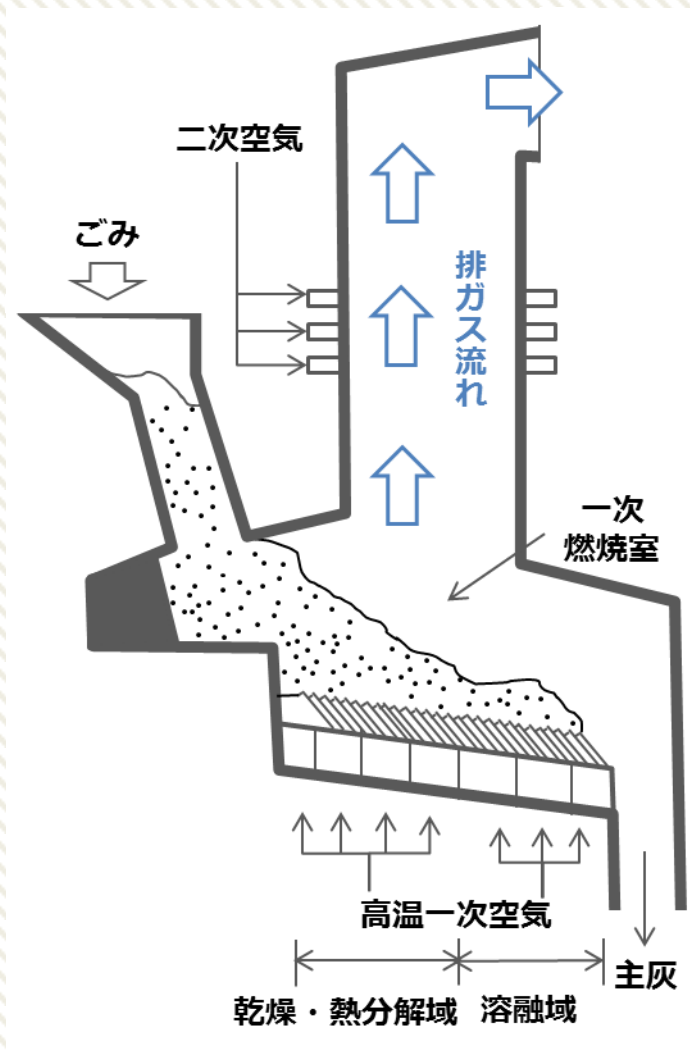
実験試料: RDF

廃棄物固形燃料  
一般廃棄物から  
製造した固形燃料



RDF

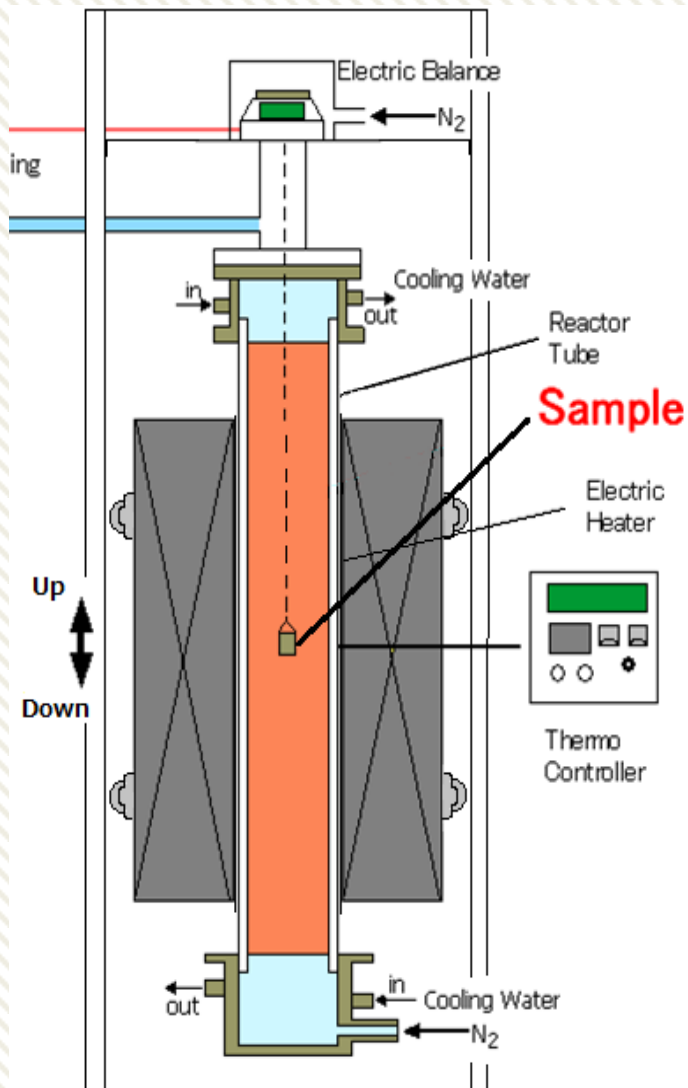
(Refuse Derived Fuel)



ストーカ炉概略図

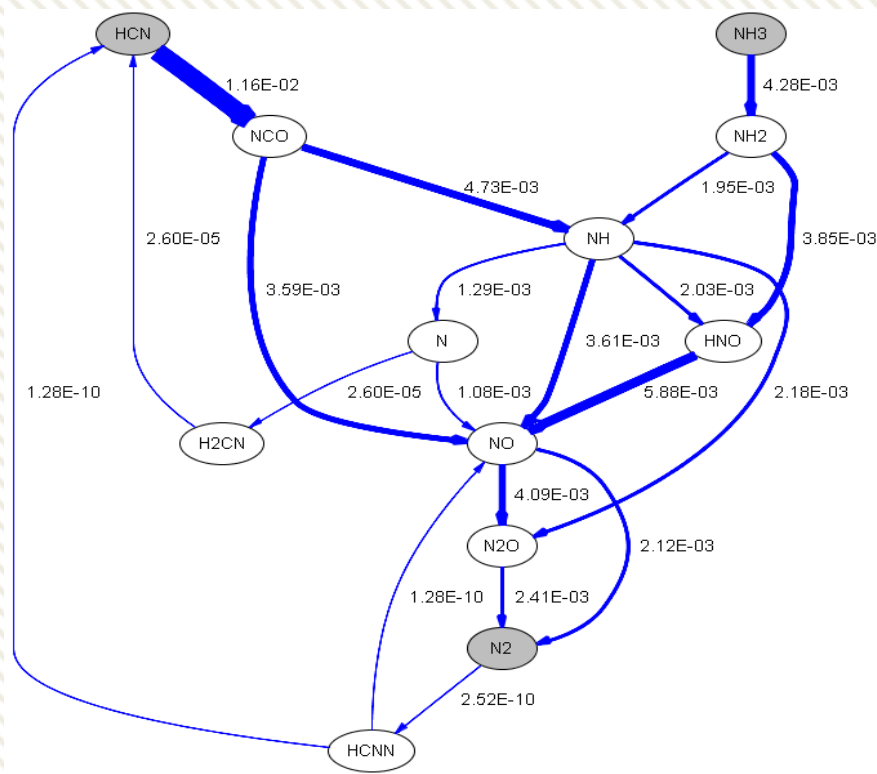
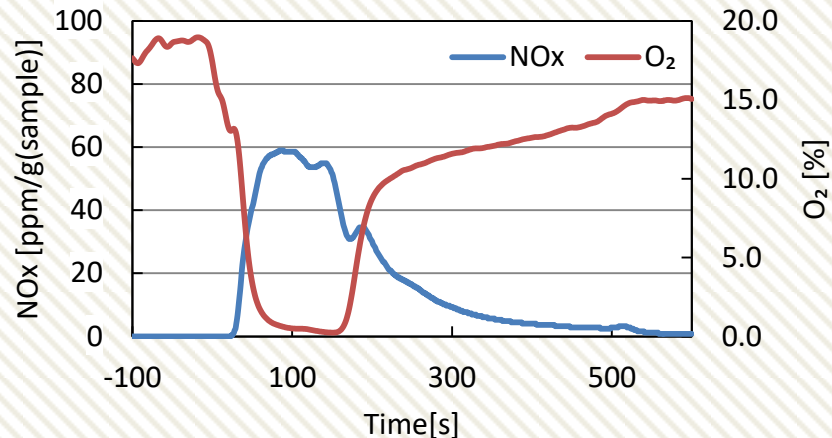
# 実験

バッチ炉でRDFを急速燃焼  
重量変化と排ガス濃度の測定を実施



バッチ式縦型管状炉

# 実験結果の一例



燃焼シミュレーション(LOGE)

# 流動層を用いたバイオマス専焼挙動

## 研究背景

日本は**化石燃料**の依存度が高い



- ・二酸化炭素排出による温暖化の原因
- ・有限である



化石燃料に代わる  
代替エネルギー

**バイオマス**

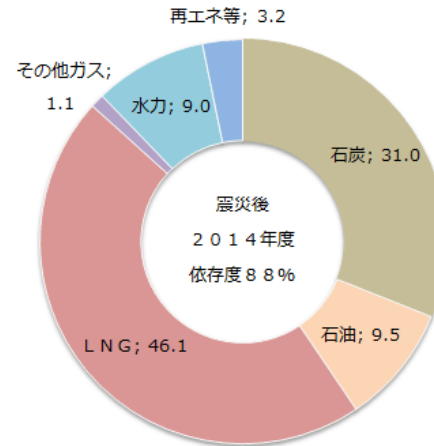
### 利点

- ・カーボンニュートラル
- ・再生可能資源
- ・膨大な量が存在

### 欠点

- ・エネルギー密度が小さい
- ・単位当たりの生産量が少ない

バイオマス燃料の使用量拡大が見込まれる



2014年度の一次エネルギー国内供給量[経済産業省]

ホワイトペレット



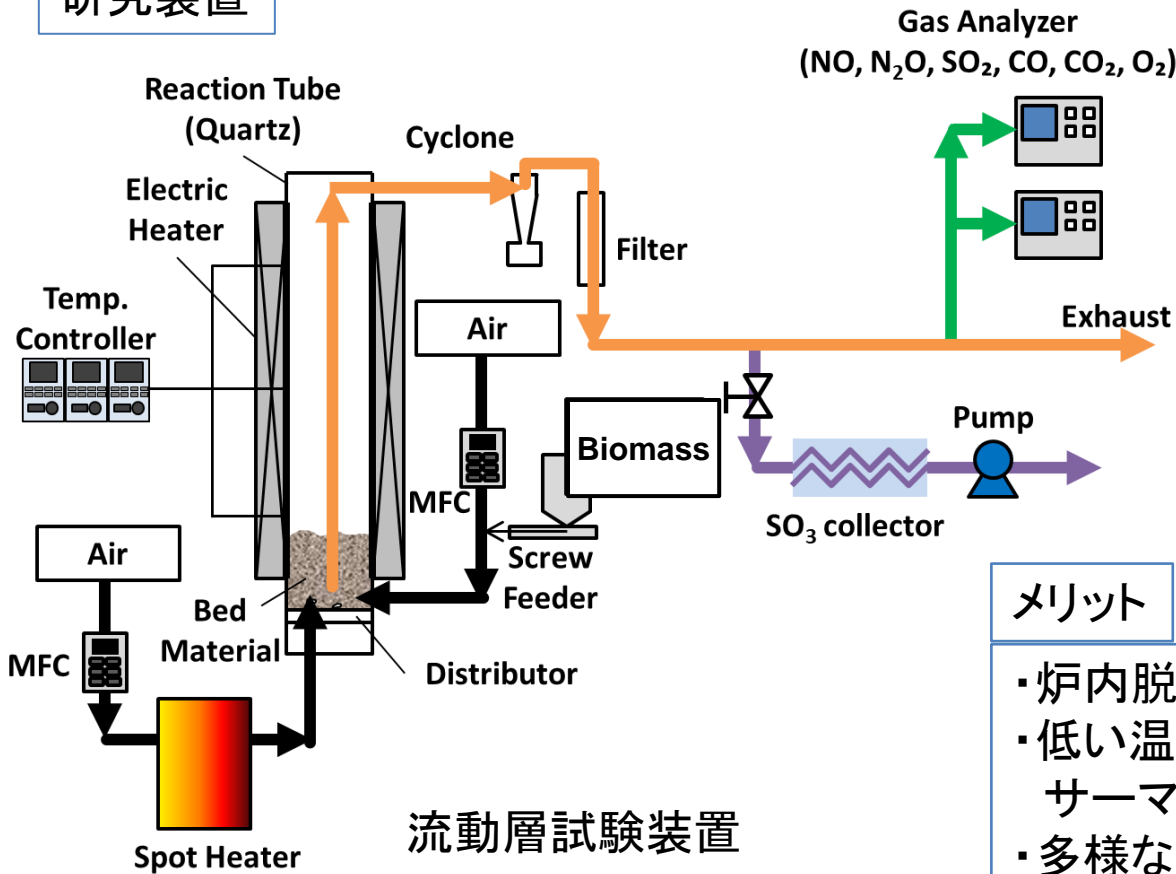
PKS(パームやし殻)





# 流動層を用いたバイオマス専焼挙動

## 研究装置



## 原理

ボイラ内の粒子状物質にボイラ下部からガスを供給する

粒子が高温の流動状態になる

燃料が 瞬時に乾燥・着火される  
均一に分散する

## メリット

- ・炉内脱硫が可能
- ・低い温度(900°C)以下で運転するためサーマルNO<sub>x</sub>を抑えることができる
- ・多様な燃料に対応

## 研究内容

流動層燃焼場でのバイオマス燃料の混焼率や燃料種(ホワイトペレット、PKS)が燃焼性や灰性状に与える影響を明らかにする



# バイオマス燃焼ボイラ内における灰付着機構解明とその制御

バイオマス燃焼ボイラにおける  
灰付着問題



## スラッキング

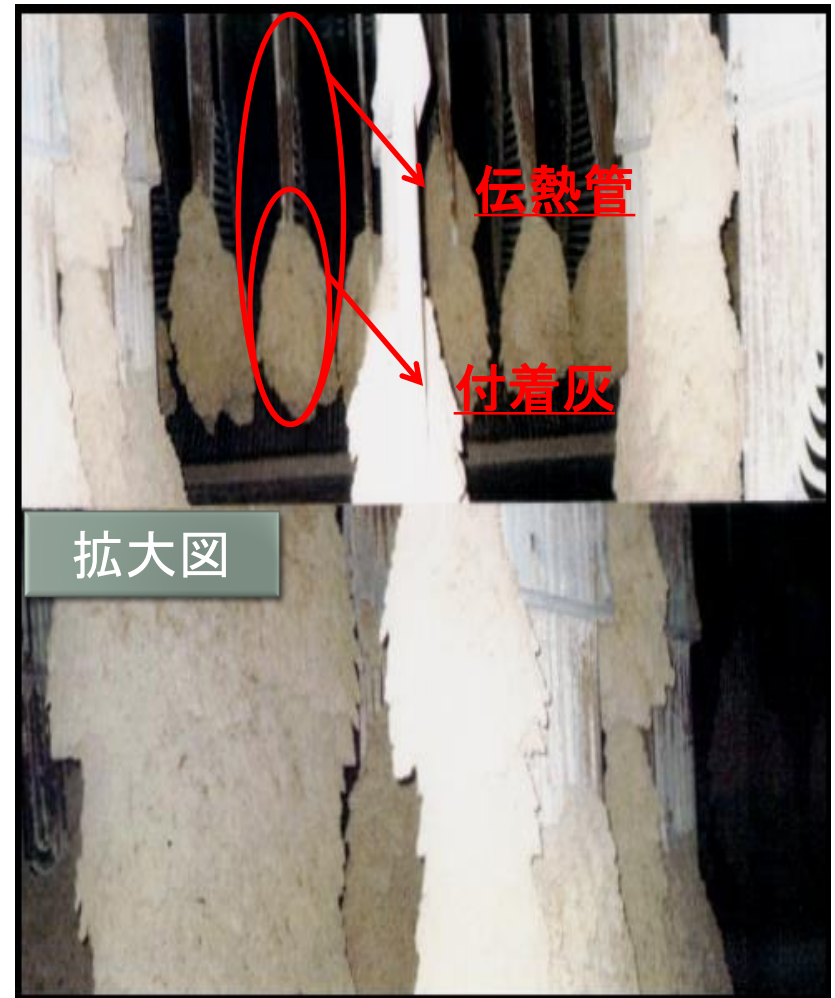
溶融した灰粒子が炉壁に衝突し  
灰付着層を形成

## ファウリング

溶融・気化した低融点灰が伝熱管に付着し灰付着層を形成



- ✓ ボイラの運転阻害
- ✓ 伝熱阻害
- ✓ 伝熱管の腐食



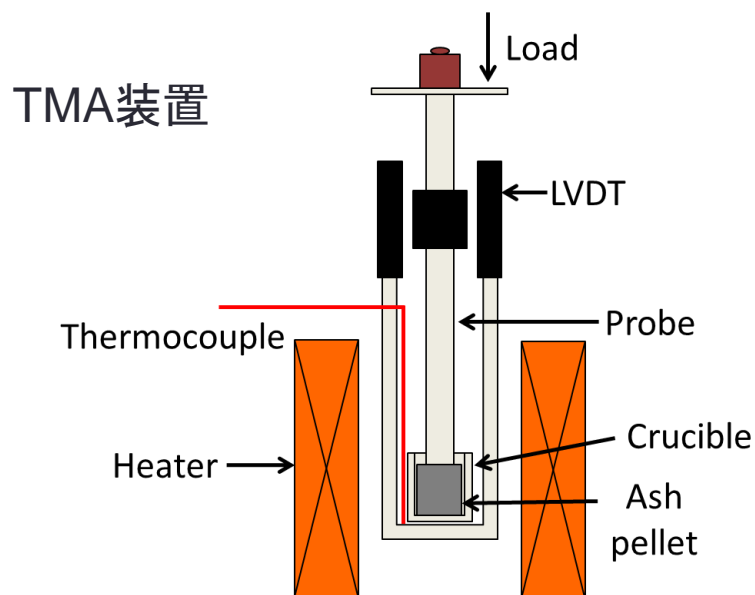
ファウリングの様子

# 研究目的

バイオマス燃焼場における灰付着挙動の解明

## 研究内容

- ①熱機械分析 (TMA)を用いた灰溶融特性の考察
- ②縦型灰付着炉におけるバイオマスの灰付着実験
- ③熱力学平衡計算を用いた伝熱管の差異の理論的考察
- ④SEM, EDXを用いた灰付着界面での抑制効果の考察



RIGAKU TMA8311

→温度プログラムに従って圧縮荷重を加え、試料の変位を温度の関数として想定することができる

TMA : Thermomechanical Analysis  
SEM : Scanning Electron Microscope  
EDX : Energy Dispersive X-ray spectrometer

# 排ガス中水銀の吸収機構の解明

## 水銀の特性

- ・強い毒性
- ・高い揮発性



大気汚染物質としての懸念

## 世界の人為的な水銀排出量

総排出量▶1960トン/年  
その内5%が廃棄物由来  
廃棄物由来の水銀排出量は、  
年間98トンに及ぶ

( UNEP (2013) )



排ガス中水銀の吸着・捕集の必要性

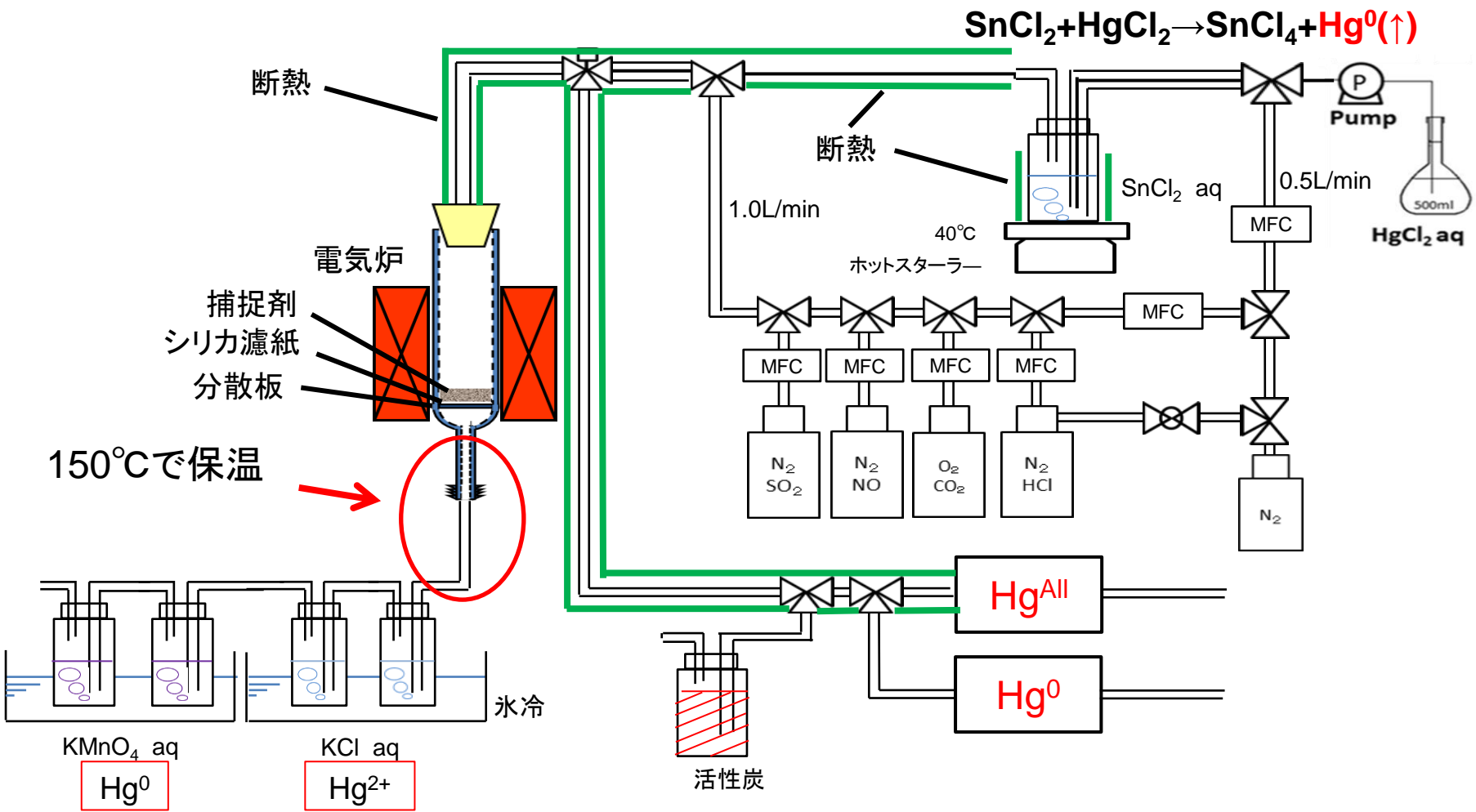
## 研究目的

- ・吸着剤によって、水銀排出を抑制する
- ・水銀の吸着機構・酸化機構を明らかにする

# 排ガス中水銀の吸収機構の解明

## 研究項目

- ・低コスト，高効率な捕捉剤の探求
- ・水銀吸収機構，酸化機構の考察



# バイオマスガス化過程における 微量成分の放出挙動解明

## 研究背景

- ・ **化石燃料**：国内エネルギー供給の8割以上
  - ・ 資源の枯渇問題
  - ・ 地球温暖化の原因物質である二酸化炭素の排出量増加



**バイオマス燃料**：代替エネルギー資源の一部

長所	短所
・再生可能 ・カーボンニュートラル	・低エネルギー密度 ・収穫・収集インフラが未整備
等	等

## 研究目的

バイオマス中の微量成分の影響は？



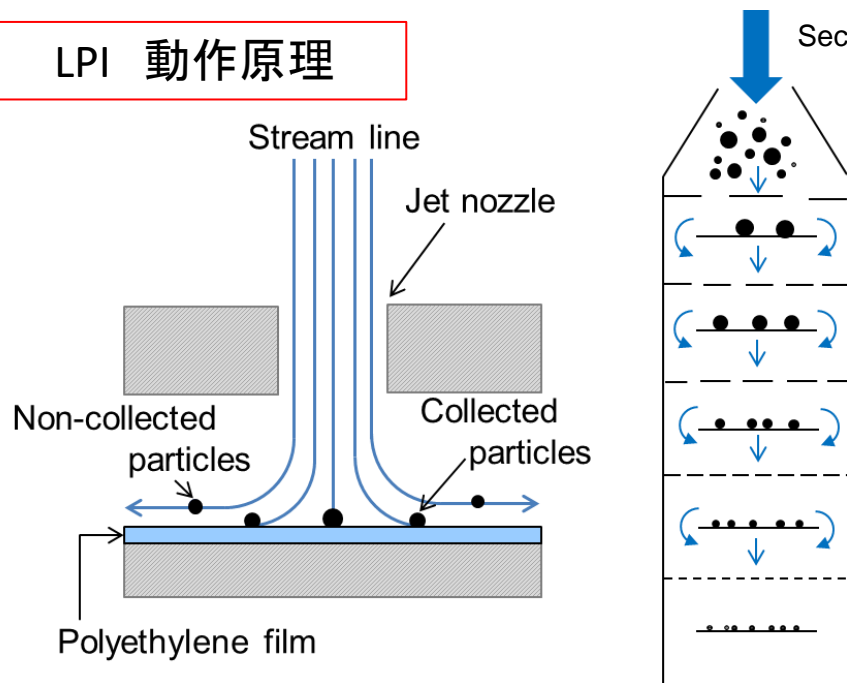
バイオマスガス化雰囲気において生成される微量金属成分を含む微粒子の排出特性を解明

## 研究内容

・電気加熱式ドロップチューブ炉を用いたバイオマスガス化実験

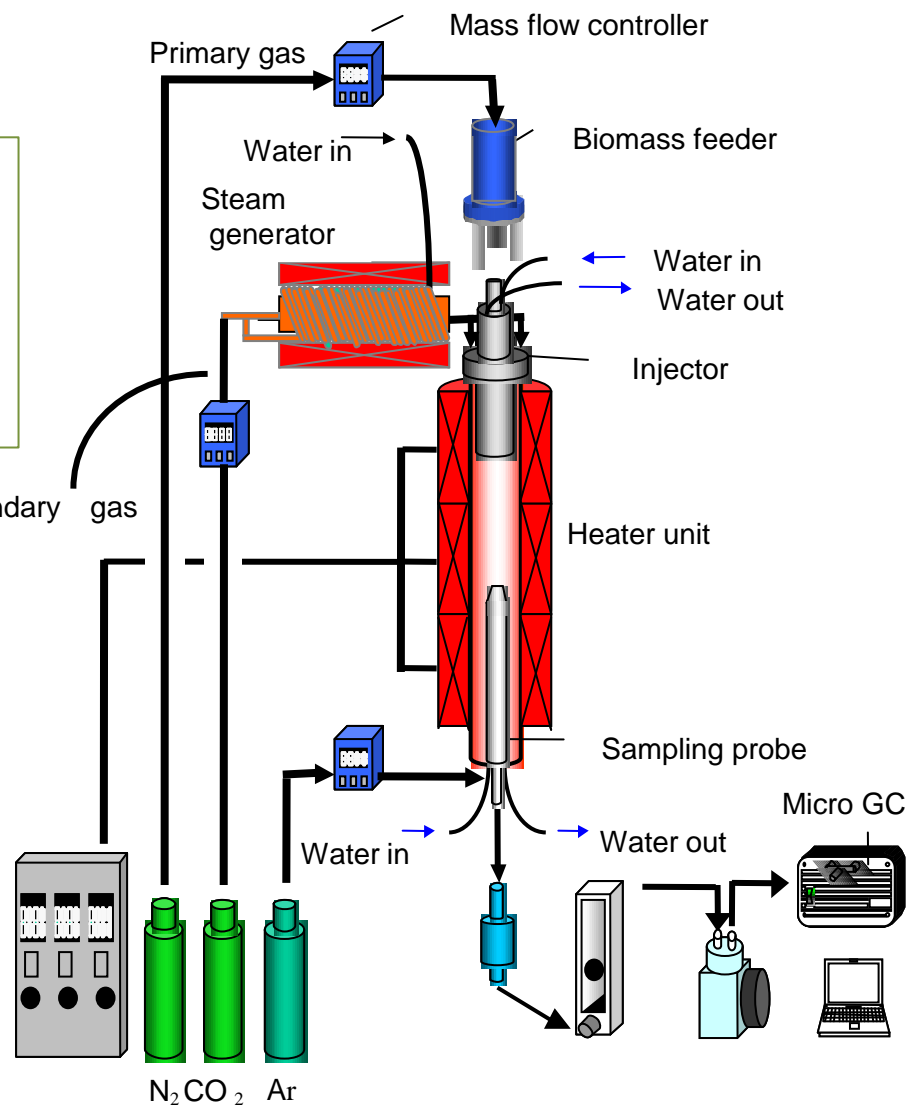
1. Micro-GCによる生成ガス分析
2. LPIによるガス化過程粒子の粒径別採取
3. →誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (ICP-AES)を用いた粒径別の微量成分濃度の測定

## LPI 動作原理



LPI: Low Pressure Impactor

## 実験装置図 (DTF)



DTF : Drop Tube Furnace

# 充填層によるバイオマスガス化挙動の解明

## 背景

### 化石燃料

- ✓ 地球温暖化の原因であるCO<sub>2</sub>を排出
- ✓ 賦存量が有限



化石燃料に代わる新たな燃料への要求

### バイオマス

#### 利点

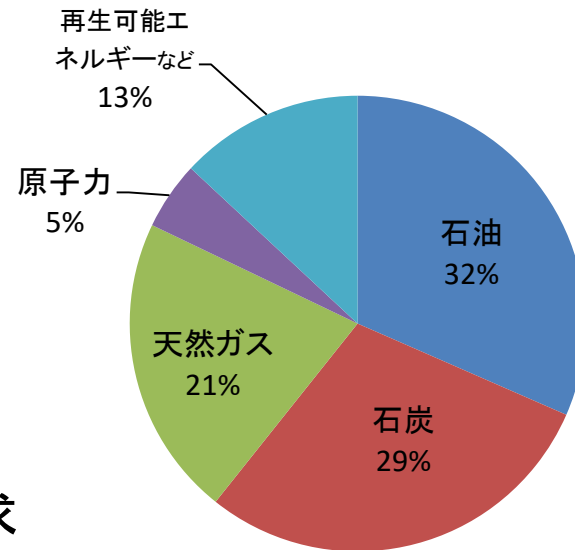
- ✓ カーボンニュートラル
- ✓ 再生可能エネルギー
- ✓ 膨大な賦存量

#### 欠点

- ✓ 低エネルギー密度
- ✓ 地域遍在性



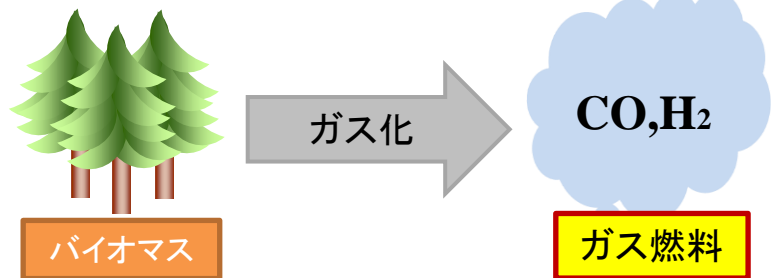
高効率ガス化技術が必要



引用: IEA Renewables Information 2014



# 充填層によるバイオマスガス化挙動の解明

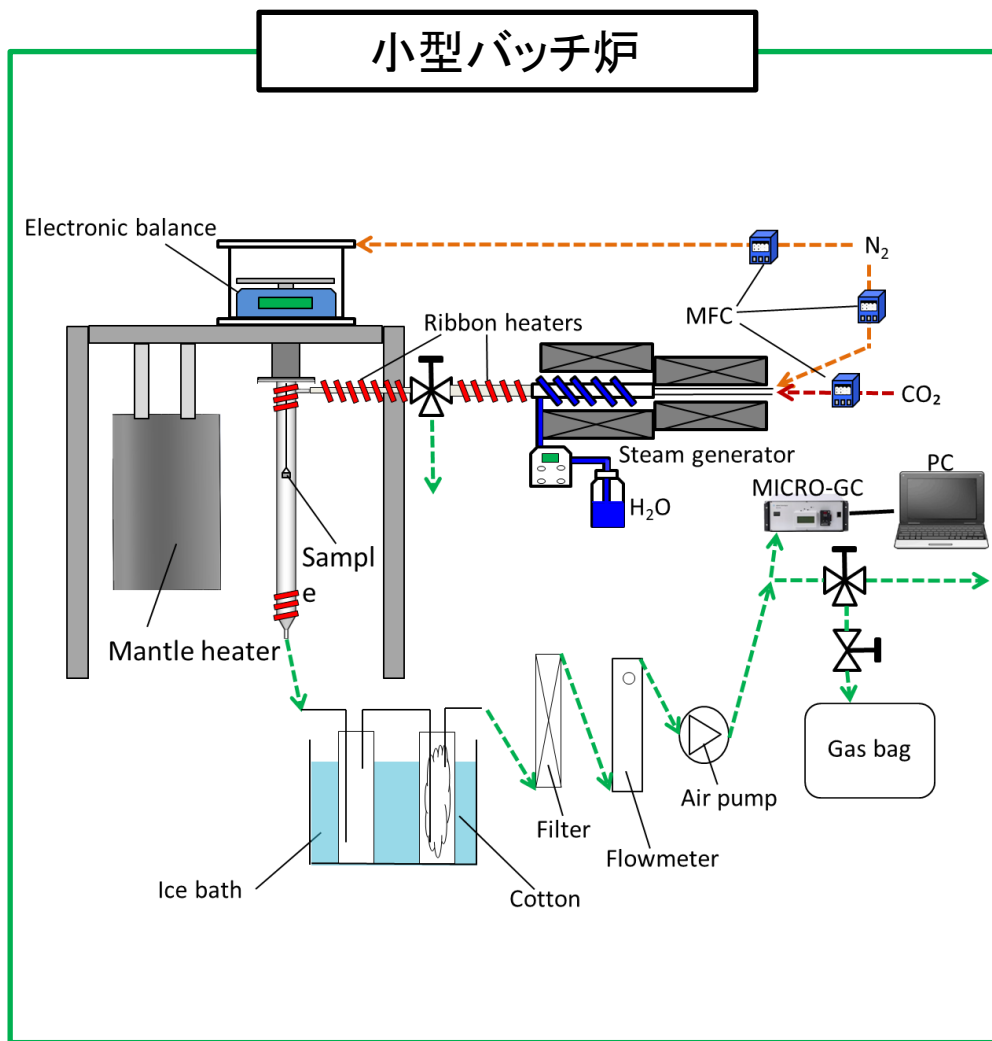


目的

バイオマスガス化効率の向上

研究内容

バイオマスガス化挙動の解明



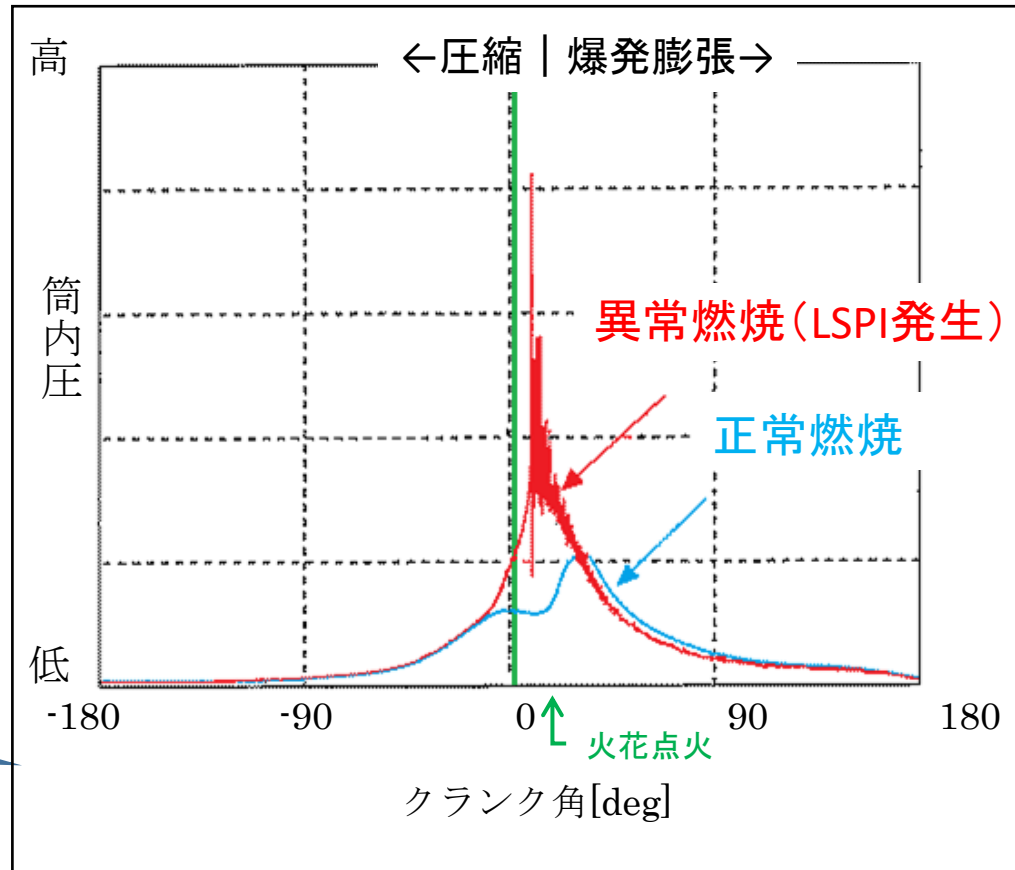
# 内燃機関における早期着火 (LSPI) の基礎特性の解明

## 研究背景

効率向上を目的に、  
エンジン運転条件が  
高負荷化

エンジン内高温・高圧化

低速早期着火 (LSPI) の  
発生が問題



LSPI (Low-Speed Pre-Ignition) とは

エンジンの低回転高負荷域において、突発的に着火時期が早まり、異常燃焼が発生。

# 研究内容

LSPI・・・エンジン内付着物・潤滑油・燃料もしくは  
これらの混合物の自着火により発生  
⇒発生解明には、これらの研究が必要

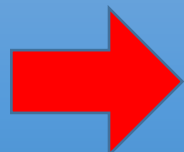
## 研究内容

目的・・・LSPI起因解明

①実機試験

②潤滑油分析

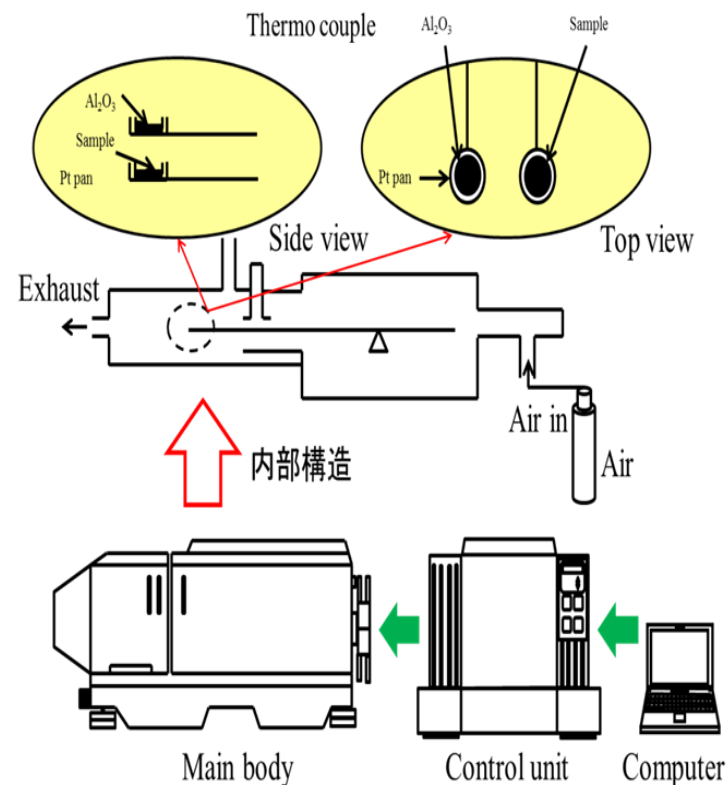
③エンジン内付着物分析



- 工業分析
- 発火点分析
- ICP分析



ICP装置図



工業分析，発火点分析を行うTGの模式図

※Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP)

# LIBSによる灰中未燃炭素分の瞬時分析

## 研究背景

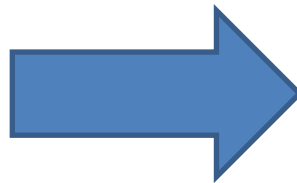
- ・プラントからHCl, Nox等の有害な物質が排出されている
- ・低燃焼効率のとき未燃炭素が多く残っている



リアルタイムでの監視技術が必要！

## 既存の方法

前処理が必要

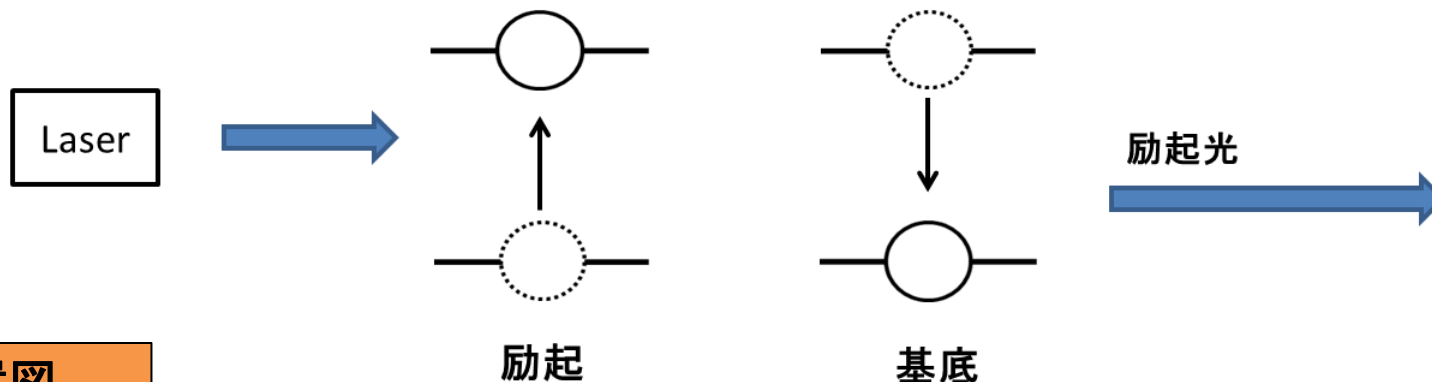


## LIBS

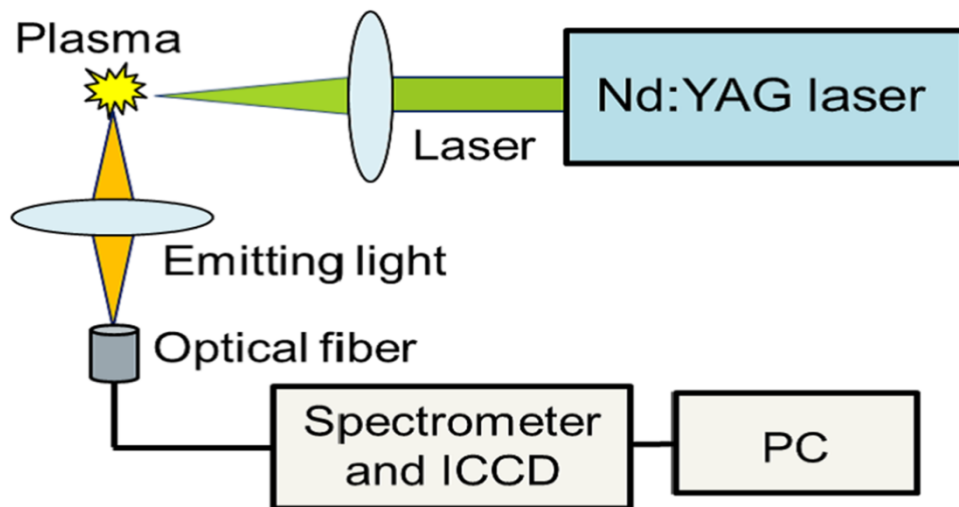
前処理が不要  
高速の分析可能

# LIBSの原理

- i) サンプルをレーザーで照射し、原子を励起させる。
- ii) 励起した原子が基底状態に戻るときその原子固有の波長の光が発生する。
- iii) 励起光を分光し分析する。



## 実験装置図



灰を降らせた状態で  
未燃炭素分のガス中  
分析を目標に研究

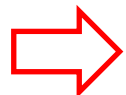
# 石炭のオキシ燃焼場におけるSO<sub>3</sub>の挙動解明

## 研究背景

### 一次エネルギー資源の利用状況

世界的に石油が中心

- 可採年数: 53年
- 埋蔵地域が偏在
- 安定供給に不安



石炭に注目

### 長所

- 可採年数: 109年
- 埋蔵地域が世界各地に分散

### 短所

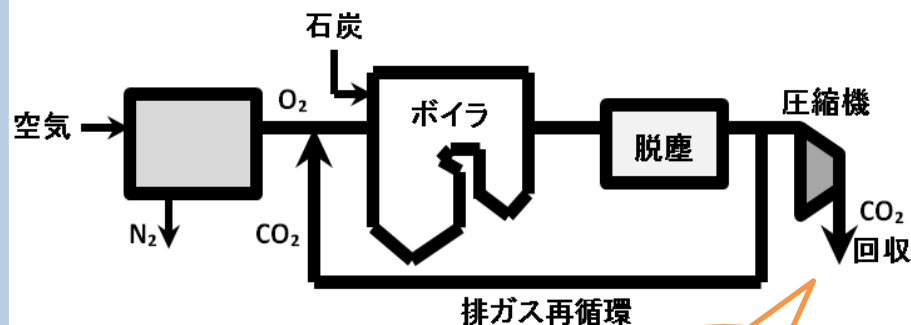
- 他の化石燃料に比べ CO<sub>2</sub> 排出量大
- 窒素酸化物, 硫酸酸化物が発生



高効率・CO<sub>2</sub> 回収  
燃焼技術の開発

Oxy-Fuel 燃焼  
+  
流動層

## Oxy-Fuel 燃焼

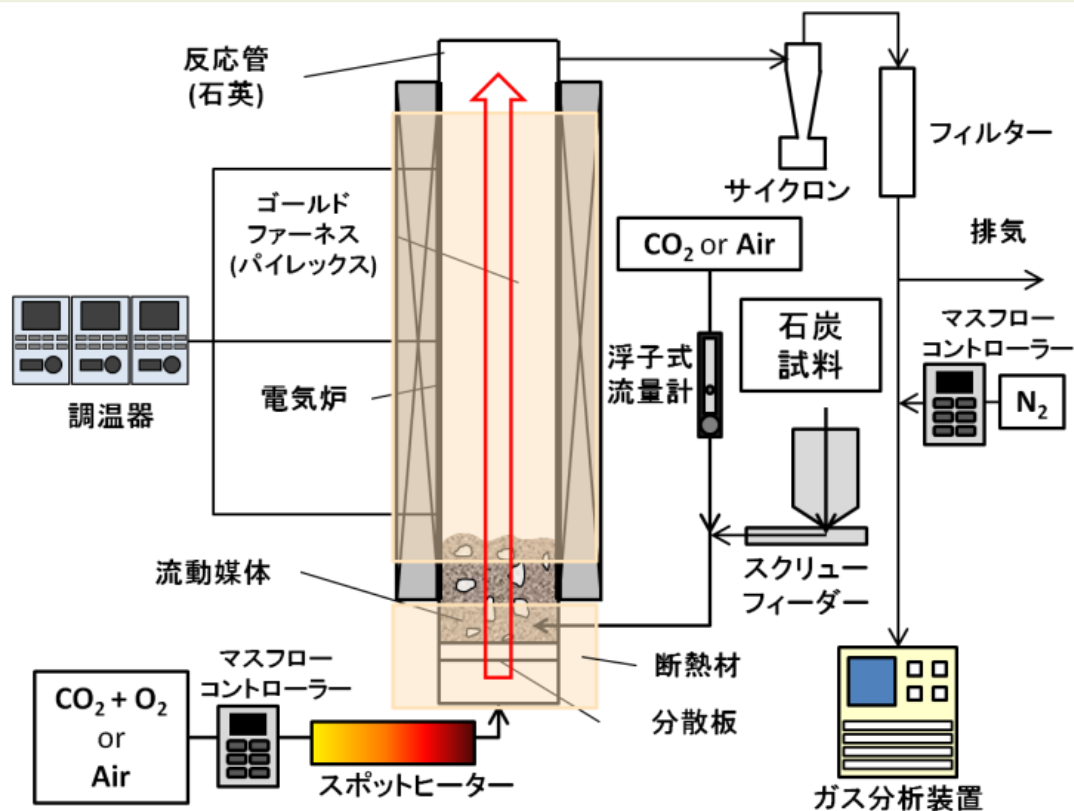


高濃度 CO<sub>2</sub>  
(90%以上)

### 長所

- CO<sub>2</sub> の分離・濃縮が必要なく, 冷却・圧縮のみで容易に液化回収可能
- 排ガス再循環経路を追加するのみで, 従来のボイラの改造で利用可能
- NO<sub>x</sub> 低減の可能性有

# 流動層



## 特徴

- 流動媒体にCaCO<sub>3</sub>を投入することで炉内脱硫が可能
- 流動化ガスと燃料の効率的な混合が起こることによって効率よく燃焼
- 低温(900°C以下)で運転するためサーマルNO<sub>x</sub>排出を低減

## 研究目的

- 気泡流動層による石炭のOxy-Fuel燃焼特性を解明
- 空気雰囲気, CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>雰囲気, Oxy-Fuel雰囲気における燃焼特性の比較