



低温プラズマを燃焼室内で放電させる 試みとその特性

— An Attempt to Discharge Cold Plasma inside the Combustion Chamber and its Characteristics —

神戸大学海事科学研究科海事科学専攻

内燃機関工学研究室

都築 賢三郎

概要

1. 初めに

- 研究背景
- プラズマ支援燃焼とは
- 研究目的

2. 実験装置

- 高電圧電極の設置
- 高電圧電極の形状
- エンジン概要

3. 実験方法

- 実験条件・測定項目

4. 実験結果

- 電極Aにおける燃焼室内放電現象
- 電極Aにおける排ガス分析
- 電極Aにおける実験結果の考察

- 電極Bにおける燃焼室内放電現象
- 電極Bにおける排ガス分析
- 電極Bにおける実験結果の考察

5. 今後の課題



概要

1. 初めに

- 研究背景
- プラズマ支援燃焼とは
- 研究目的

2. 実験装置

- 高電圧電極の設置
- 高電圧電極の形状
- エンジン概要

3. 実験方法

- 実験条件・測定項目

4. 実験結果

- 電極Aにおける燃焼室内放電現象
- 電極Aにおける排ガス分析
- 電極Aにおける実験結果の考察
- 電極Bにおける燃焼室内放電現象
- 電極Bにおける排ガス分析
- 電極Bにおける実験結果の考察

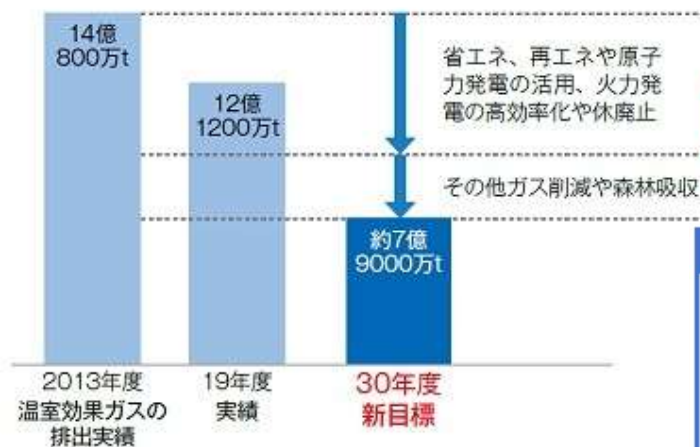
5. 今後の課題



1. 初めに

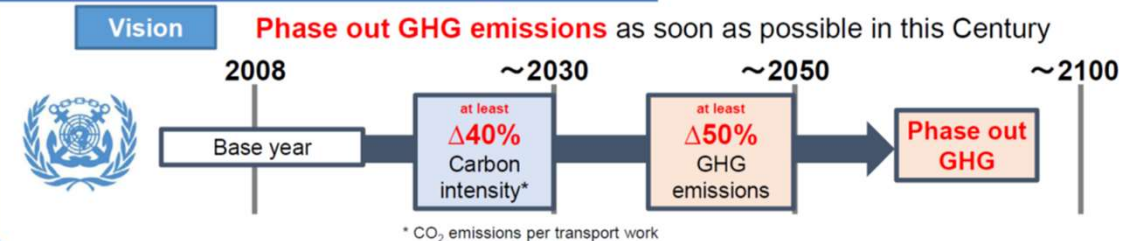
－ 研究背景 －

■ 2030年に向けて大幅削減が必要になる



2013年度比
46%削減

IMO's initial GHG Reduction Strategy (Apr 2018)

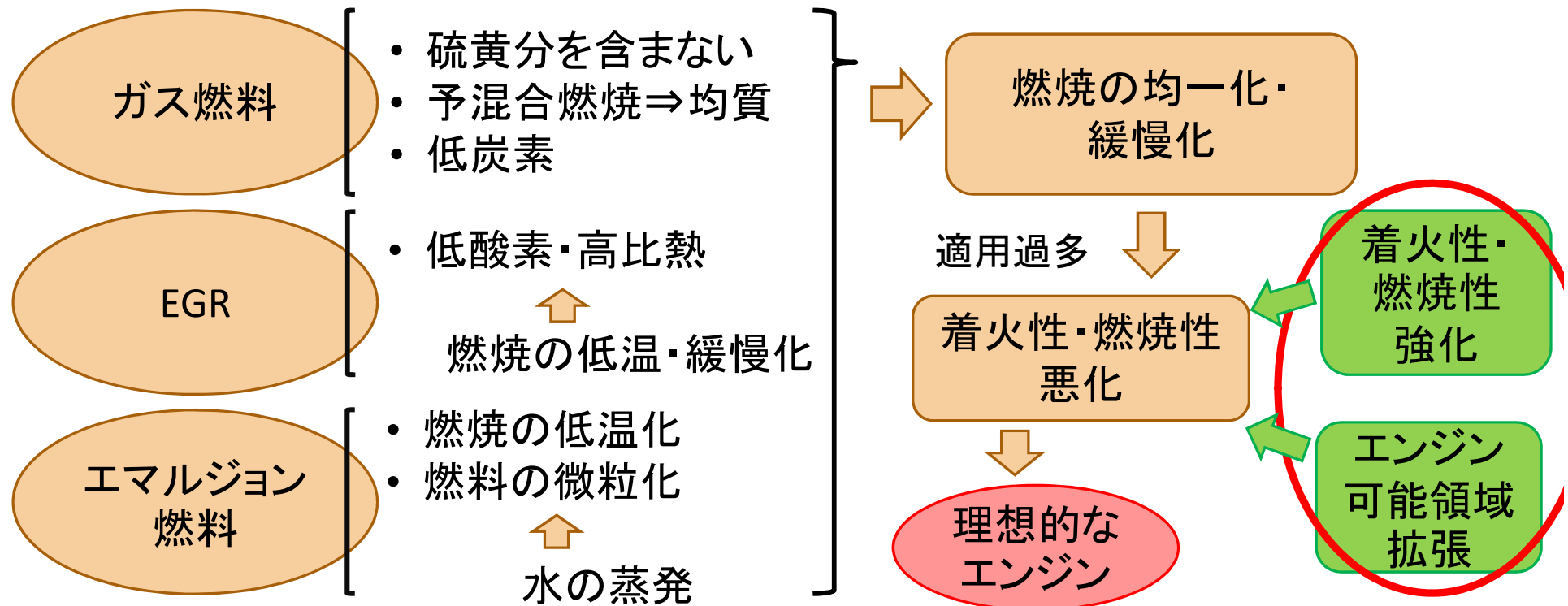


参考文献:

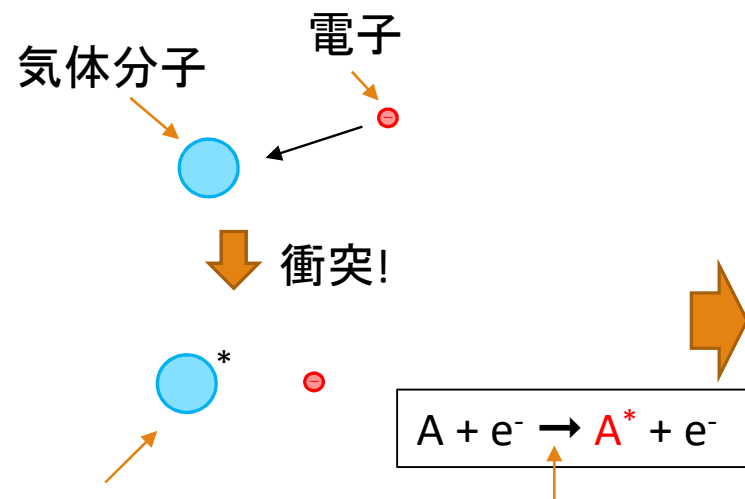
- 馬場 未希, どう挑む温室効果ガス46%削減 日本が2030年目標を引き上げ、日経ESG、2021.04.26
<https://project.nikkeibp.co.jp/ESG/atcl/column/00005/042600071/>
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Roadmap to Zero Emission from International Shipping

1. 初めに

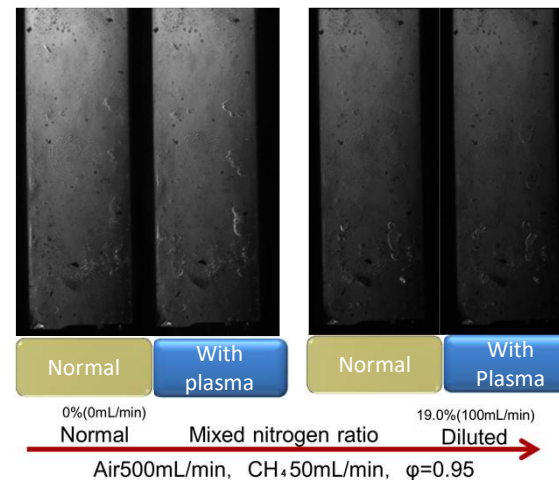
－ 研究背景 －



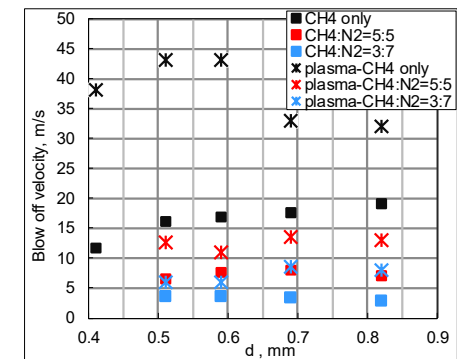
1. 初めに – プラズマ支援燃焼とは –



高化学反応性 = 高燃焼性



火炎伝播速度向上



噴流拡散火炎

火炎吹き飛び速度向上

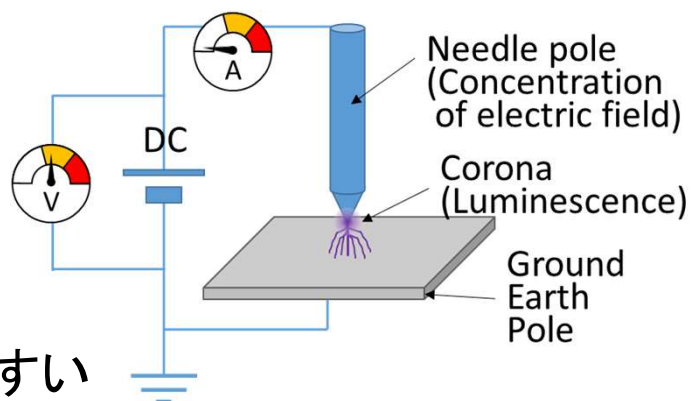
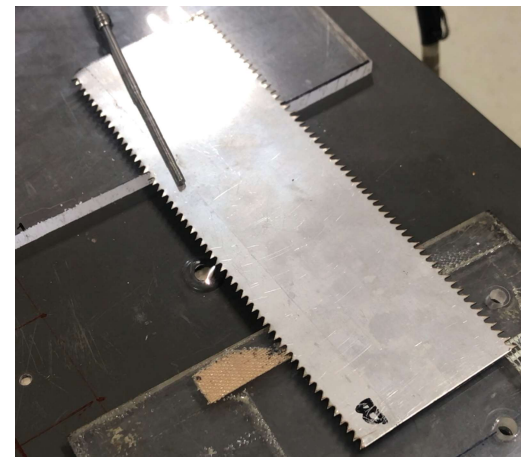
Source:
Hirosawa K., Akamatsu H. Yoshimoto T: "The Study of Plasma Assisted Combustion on Various Types of Flames"

1. 初めに – プラズマ支援燃焼とは –

	温度		所要 エネルギー	放電		放電方式
	気体	電子		電圧	電流	
高温 プラズマ	≈10k [K]	≈10 eV	High	kV	A<	アーク、 火花
低温 プラズマ	室温+α	≈10 eV	Low	kV	<mA	コロナ、 誘電体 バリア

熱量に対して
0.1%

1. 初めに – プラズマ支援燃焼とは –



- シンプルな構造
- スパーク放電に移行しやすい

1. 初めに

－研究目的－

1. 低温プラズマを燃焼室内で発生させ、エンジンの連続運転を可能にすること。
2. 排ガスを分析や筒内圧と電流電圧値の関係を調べ、プラズマ支援による効果を確認。

概要

1. 初めに

- 研究背景
- プラズマ支援燃焼とは
- 研究目的

2. 実験装置

- 高電圧電極の設置
- 高電圧電極の形状
- エンジン概要

3. 実験方法

- 実験条件・測定項目

4. 実験結果

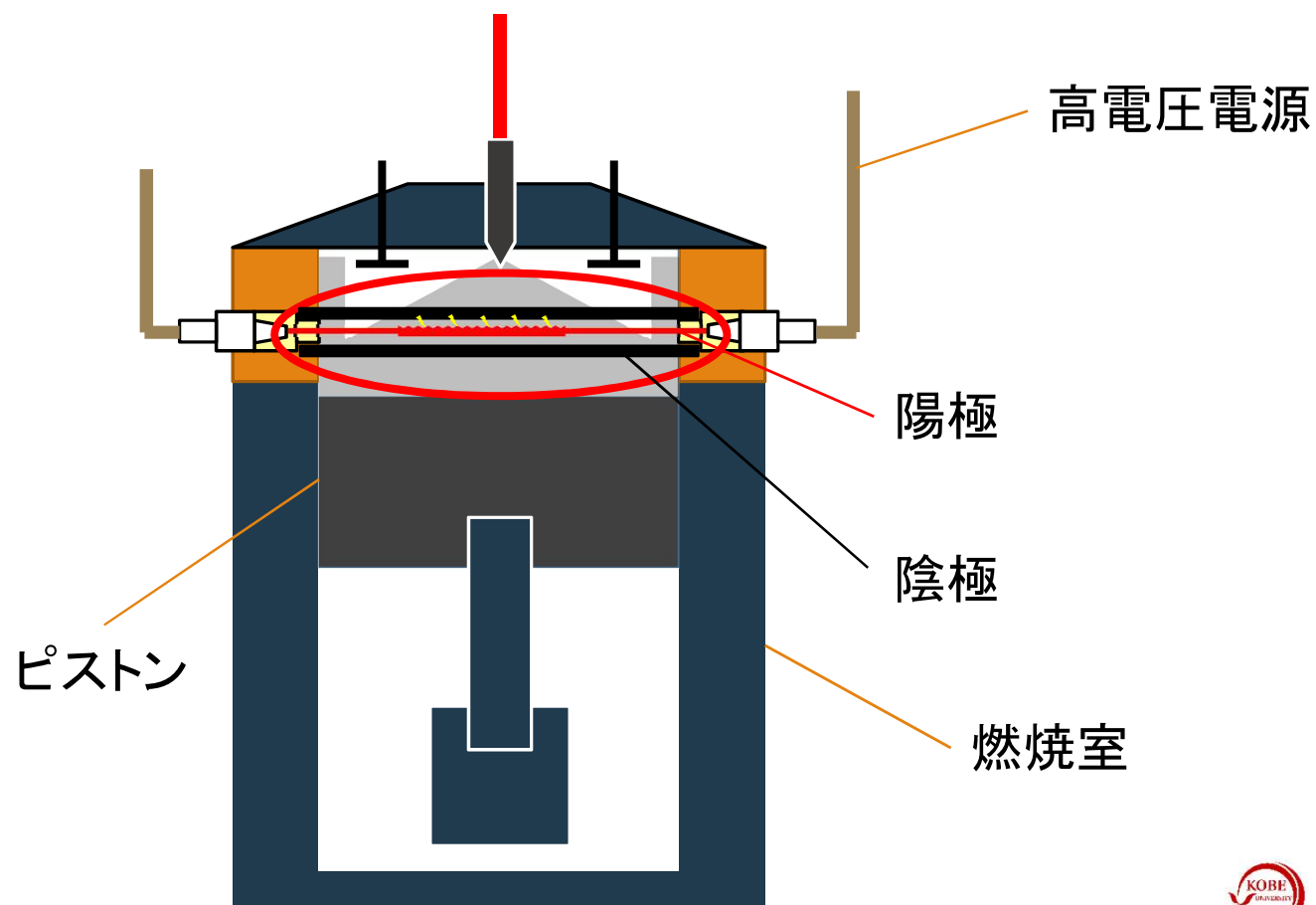
- 電極Aにおける燃焼室内放電現象
- 電極Aにおける排ガス分析
- 電極Aにおける実験結果の考察
- 電極Bにおける燃焼室内放電現象
- 電極Bにおける排ガス分析
- 電極Bにおける実験結果の考察

5. 今後の課題



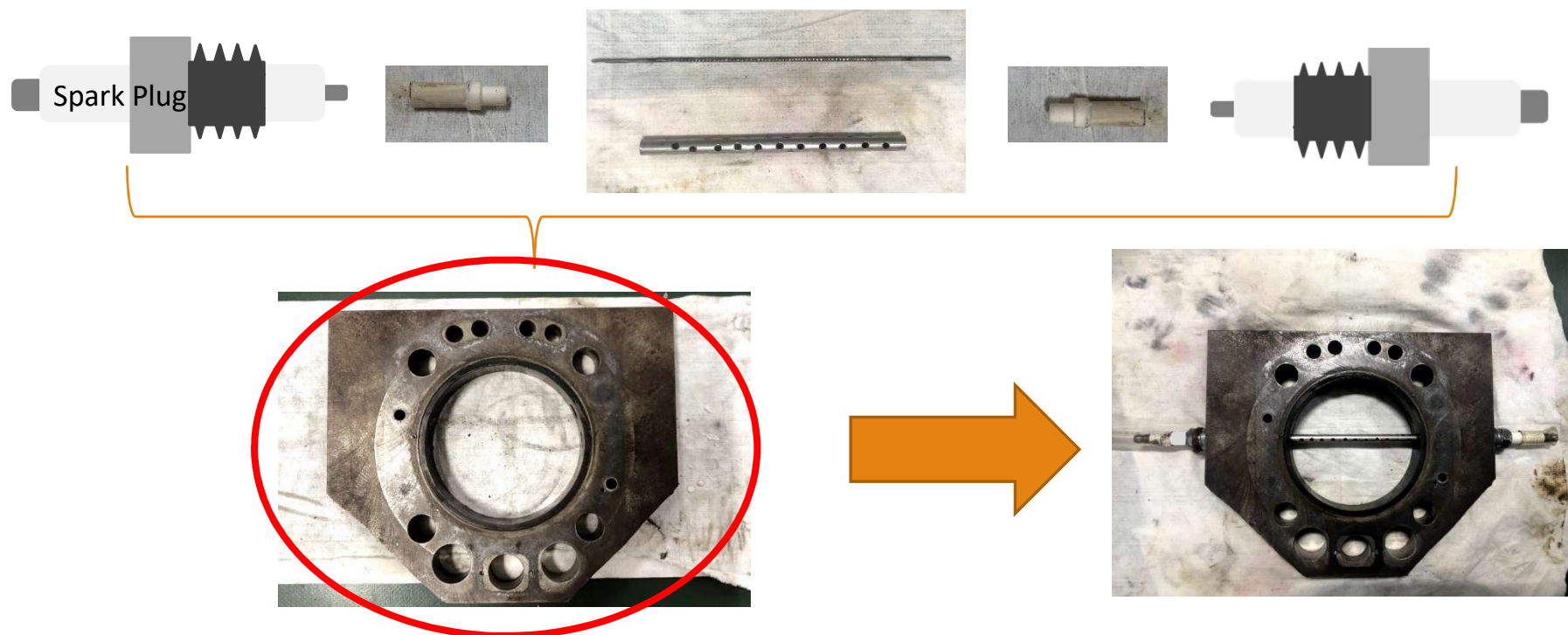
2. 実験装置

－ 高電圧電極の設置 －



2. 実験装置

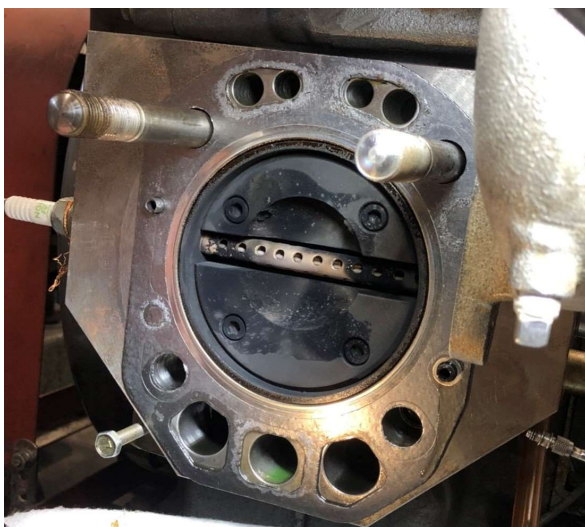
－高電圧電極の設置－



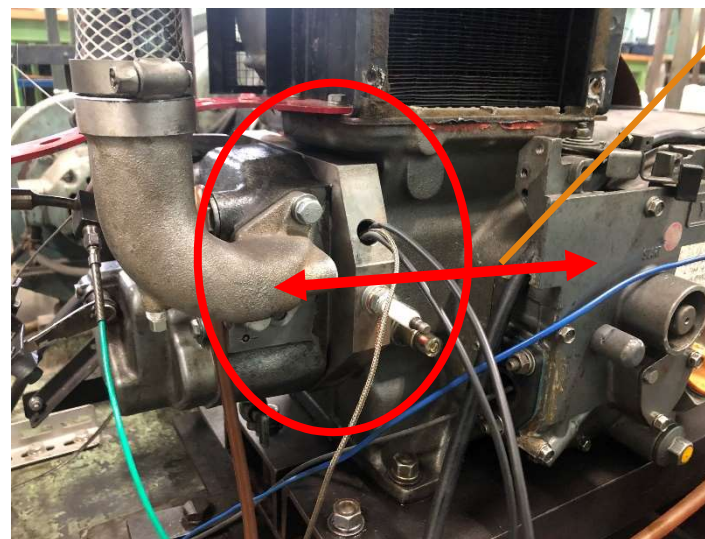
2. 実験装置

－高電圧電極の設置－

燃焼室内



組み立て後



ピストンの方向

2. 実験装置

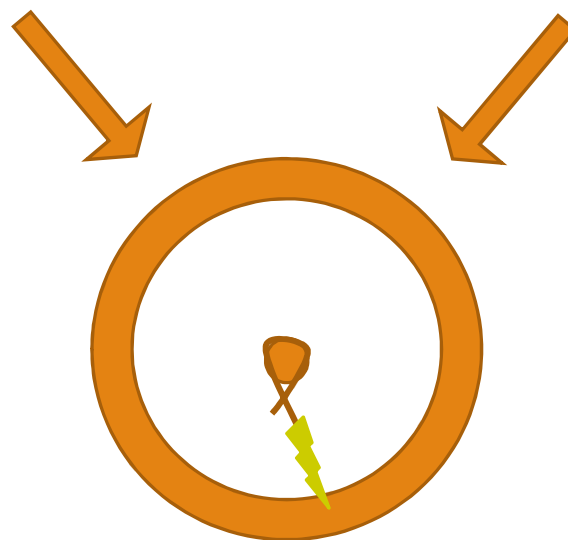
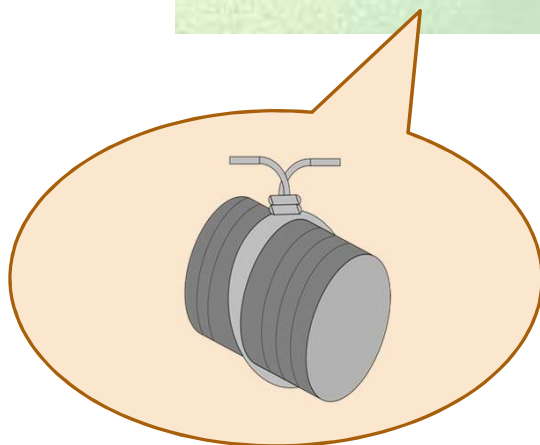
－高電圧電極の形状－

電極A

陽極



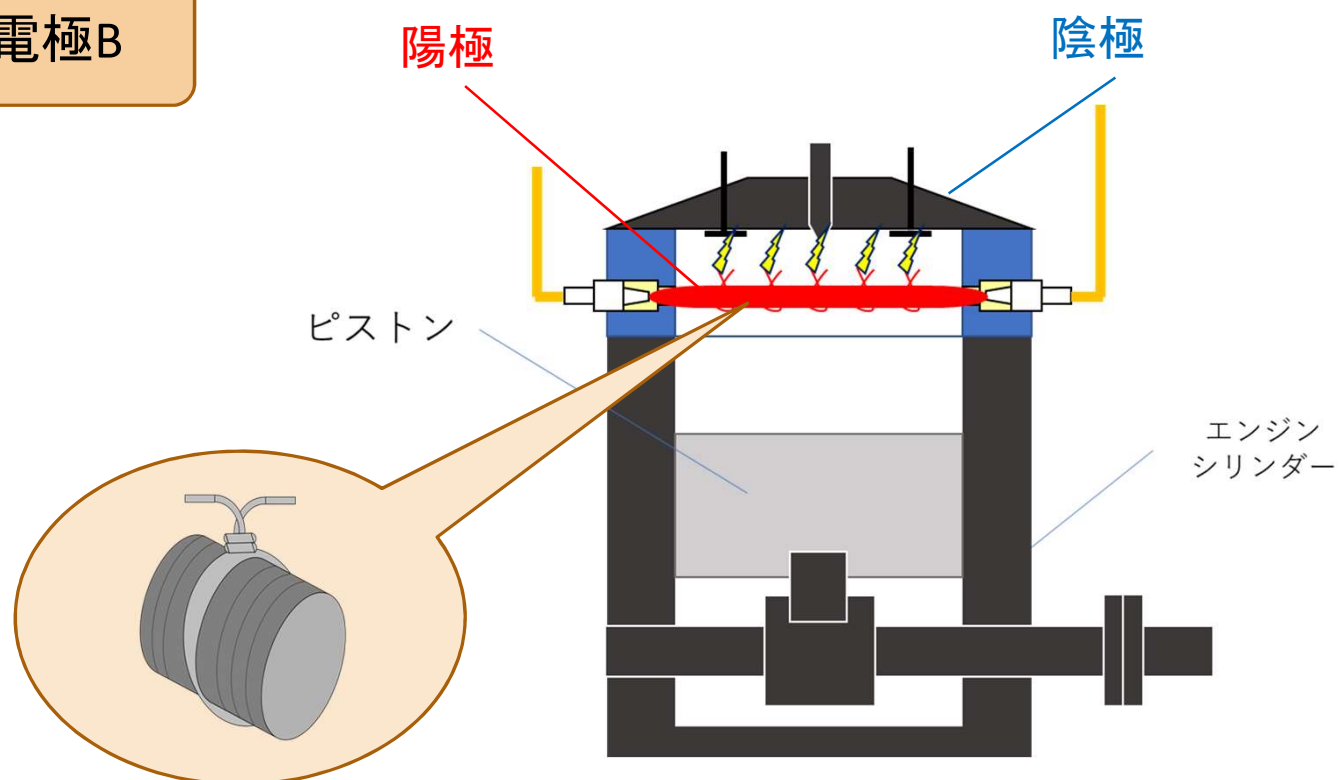
陰極



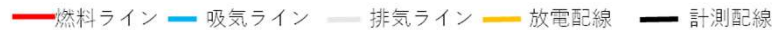
2. 実験装置

－高電圧電極の形状－

電極B



— エンジン概要 —



- Test Engine


KOBE UNIVERSITY

概要

1. 初めに

- 研究背景
- プラズマ支援燃焼とは
- 研究目的

2. 実験装置

- 高電圧電極の設置
- 高電圧電極の形状
- エンジン概要

3. 実験方法

- 実験条件・測定項目

4. 実験結果

- 電極Aにおける燃焼室内放電現象
- 電極Aにおける排ガス分析
- 電極Aにおける実験結果の考察
- 電極Bにおける燃焼室内放電現象
- 電極Bにおける排ガス分析
- 電極Bにおける実験結果の考察

5. 今後の課題



3. 実験方法

－ 運転条件・測定項目 －

1. 燃料運転

- 燃料: 軽油
- エンジン回転数: 2000 [rpm]
- 負荷: 1.5 [kW]
- コモンレール蓄圧: 100 [MPa]
- 燃料噴射タイミング: 圧縮上死点の17° 前
- エンジンの筒内圧: [MPa]
- 電圧: 最大出力 (30[kV])
- 電流:
 - 電極A: 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 [mA]
 - 電極B: 0.0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 [mA]

2. 排ガス分析

- HC [ppm]
- CO [ppm]
- CO₂ [%]
- NO [ppm]
- NO₂ [ppm]
- NO_x [ppm]

概要

1. 初めに

- 研究背景
- プラズマ支援燃焼とは
- 研究目的

2. 実験装置

- 高電圧電極の設置
- 高電圧電極の形状
- エンジン概要

3. 実験方法

- 実験条件・測定項目

4. 実験結果

- 電極Aにおける燃焼室内放電現象
- 電極Aにおける排ガス分析
- 電極Aにおける実験結果の考察

- 電極Bにおける燃焼室内放電現象
- 電極Bにおける排ガス分析
- 電極Bにおける実験結果の考察

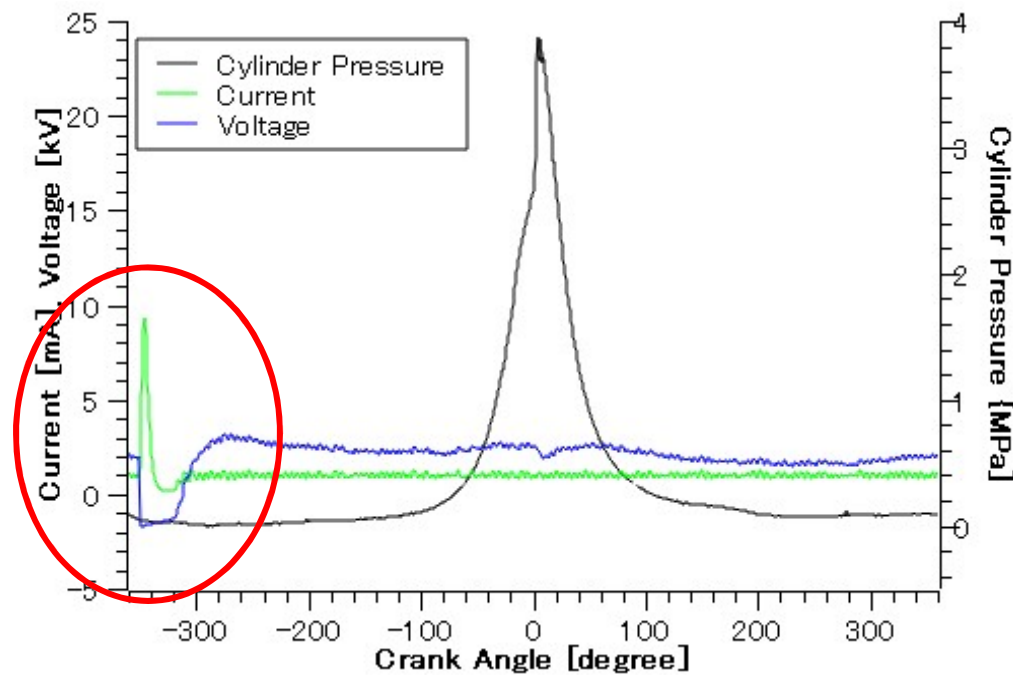
5. 今後の課題



4. 実験結果

－電極Aにおける燃焼室内放電現象－

電極A: 1.0 mA



標準偏差:

- 電流値: 0.668 [mA]
- 電圧値: 0.896 [kV]

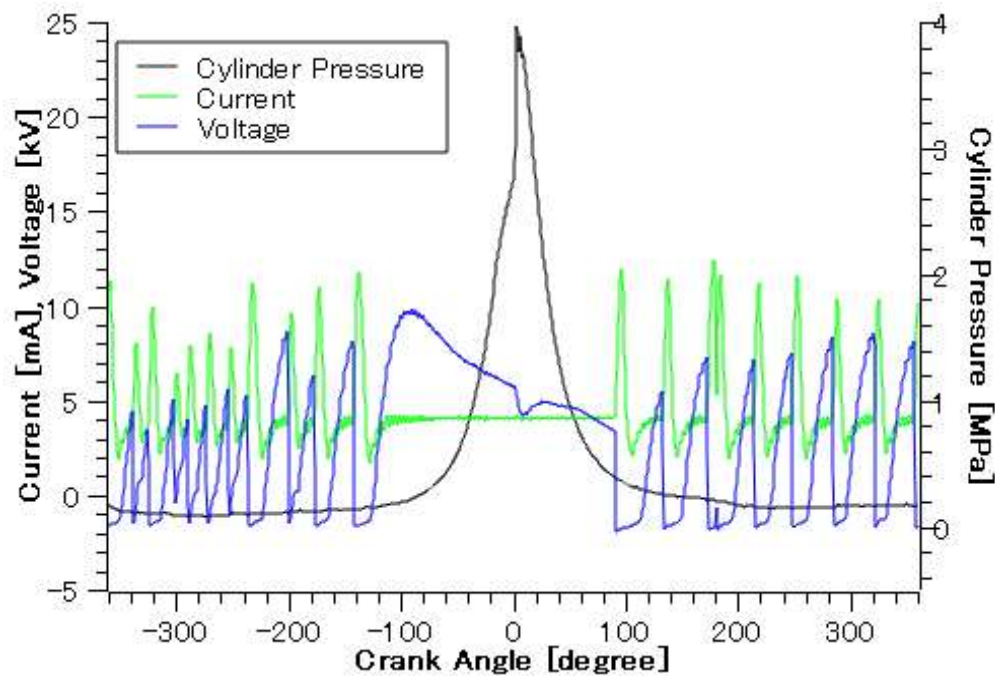


KOBE UNIVERSITY

4. 実験結果

－電極Aにおける燃焼室内放電現象－

電極A: 4.0 mA



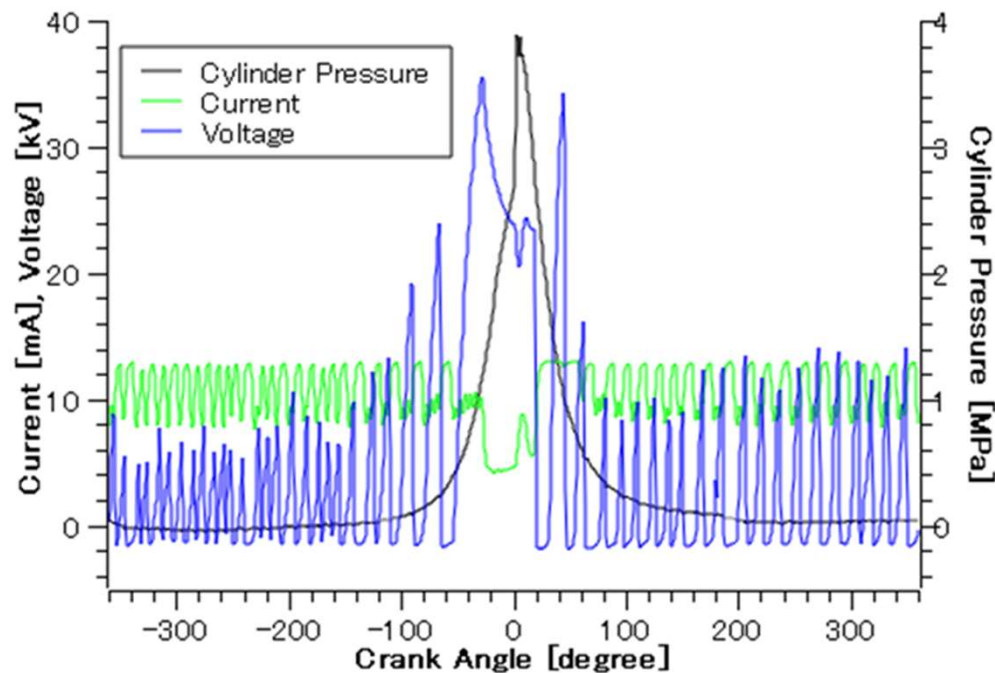
標準偏差:

- 電流値: 2.09 [mA]
- 電圧値: 3.56 [kV]

4. 実験結果

－電極Aにおける燃焼室内放電現象－

電極A: 10.0 mA

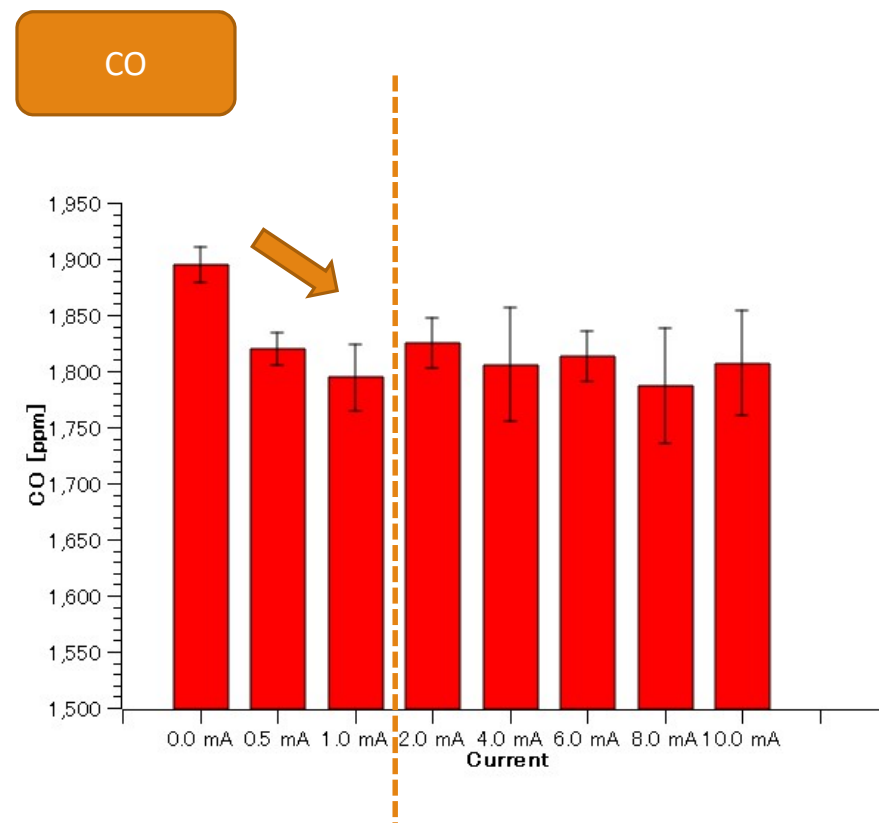
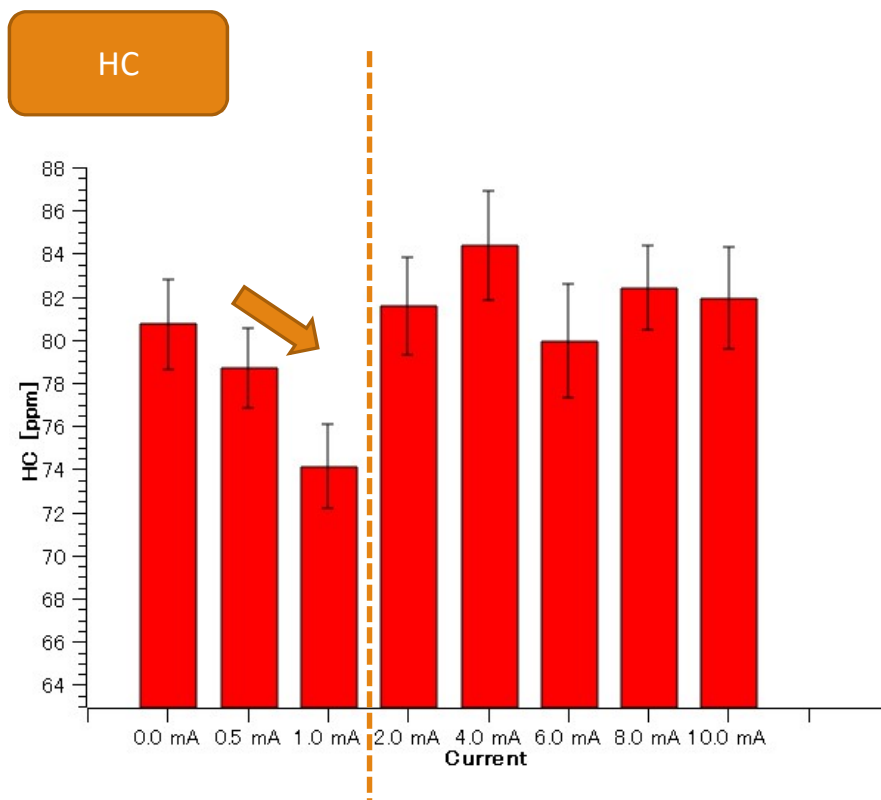


標準偏差:

- 電流値: 2.16 [mA]
- 電圧値: 8.68 [kV]

4. 実験結果

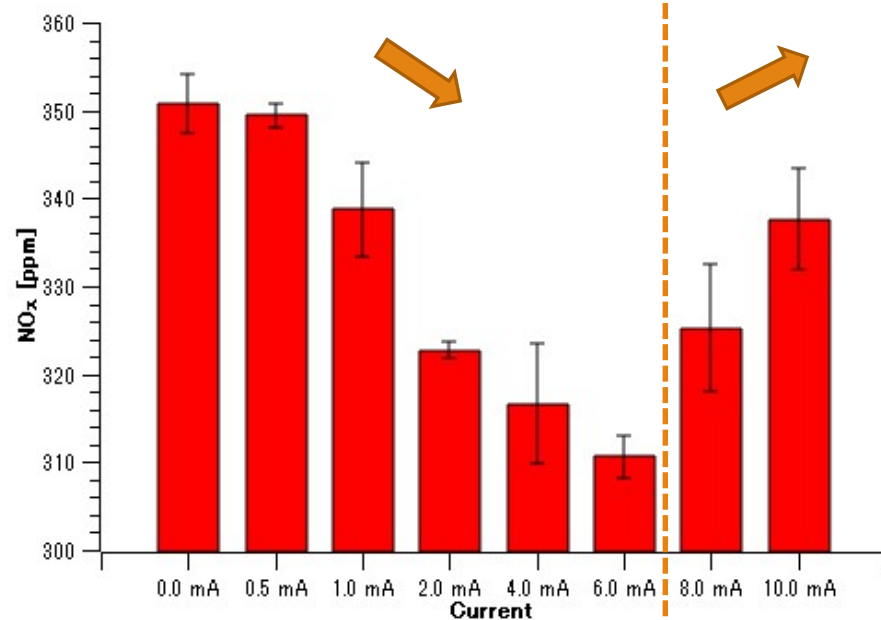
－電極Aにおける排ガス分析－



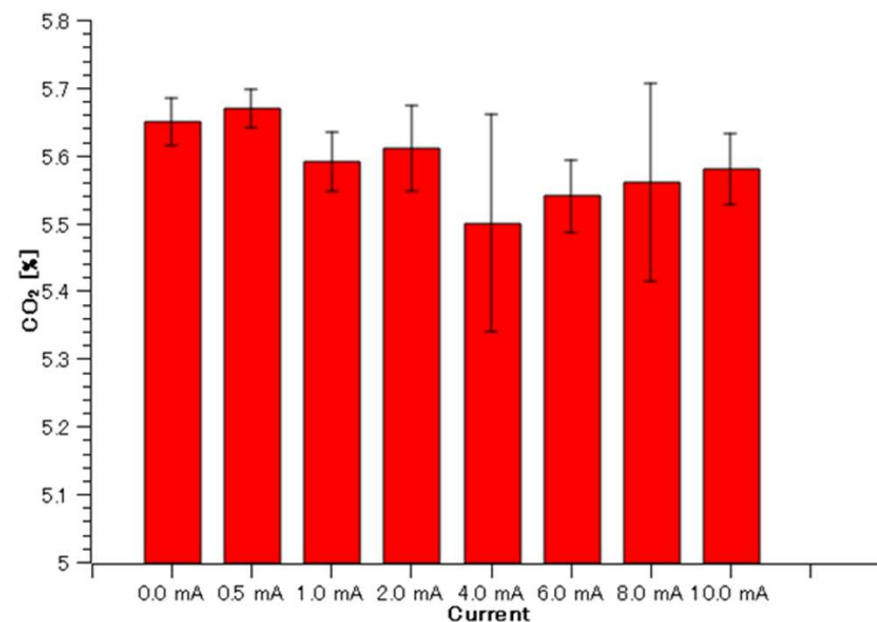
4. 実験結果

－電極Aにおける排ガス分析－

NO_x



CO₂



KOBE UNIVERSITY

4. 実験結果

— 電極Aにおける実験結果の考察 —

1. 電流値が2.0mA以上になるとスパーク放電が頻繁に発生し、電流電圧値が**不安定**になる。

↑
ストリーマ理論より

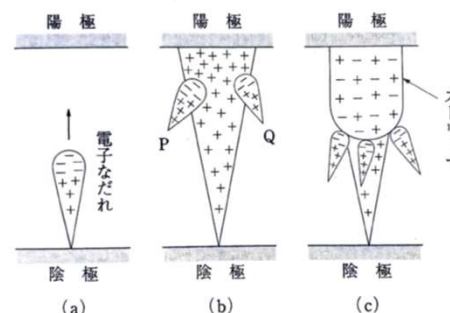
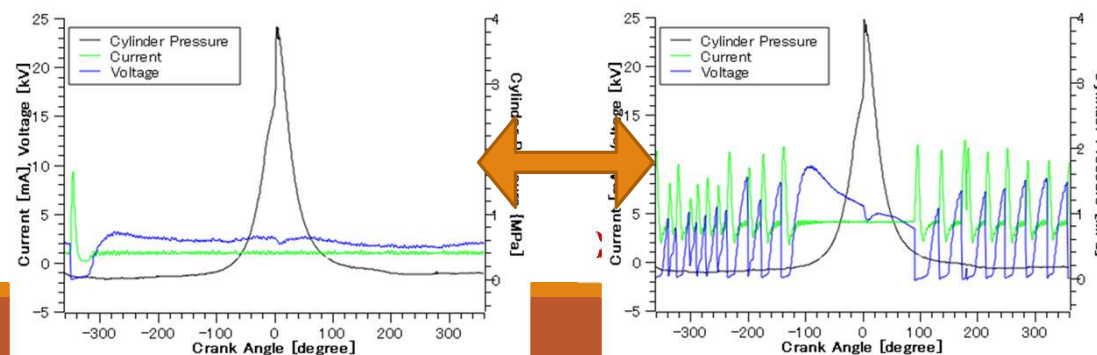


図 2.17 電子なだれからストリーマへの転換

参照: 林泉:「電気・電子・情報・通信 基礎コース 高電圧プラズマ工学」、丸善株式会社

2. 未燃性成分では0.0~1.0mAの範囲では電流値を上げていくと**減少**することができたが、2.0mA以上となると傾向が見受けられなかった。

↑
0.0~1.0mAではコロナ放電が安定的に発生



4. 実験結果

－電極Aにおける実験結果の考察－

3. NO_x の値は6.0mAまでは減少していき、8.0mA以上では上昇していった。



NO_x は高温プラズマと低温プラズマを発生させることで分解される

しかし高温プラズマである8.0mA以上では高温中の N_2 分子と O_2 分子の反応を促進

参照:

- 高木浩一:「低温プラズマによる排ガス中の NO_x 除去」岩手大学工学部、電気学会論文誌A、2004、第124巻、5号
- 番場良夫 森棟隆昭:「熱プラズマによるラジカル生成と燃焼排ガス中の NO_x 除去」湘南工科大学、関西支部講演会講演論文集、2001、76巻

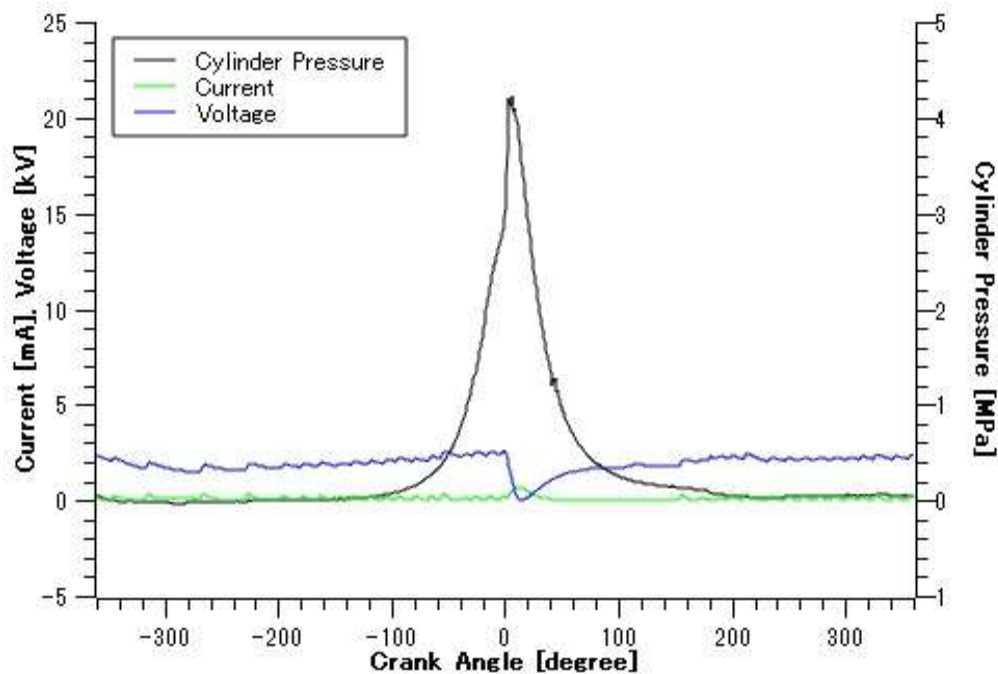


KOBE UNIVERSITY

4. 実験結果

－電極Bにおける燃焼室内放電現象－

電極B: 0.1 mA



標準偏差:

- 電流値: 0.107 [mA]
- 電圧値: 0.435 [kV]

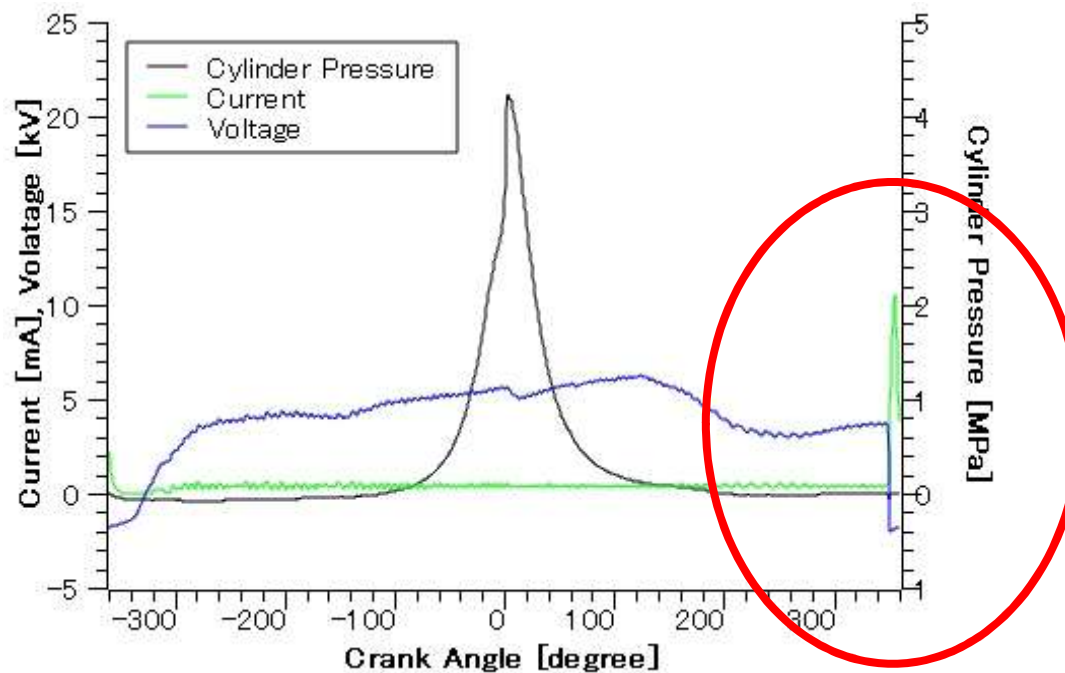


KOBE UNIVERSITY

4. 実験結果

－電極Bにおける燃焼室内放電現象－

電極B: 0.4 mA



標準偏差:

- 電流値: 0.849 [mA]
- 電圧値: 1.79 [kV]

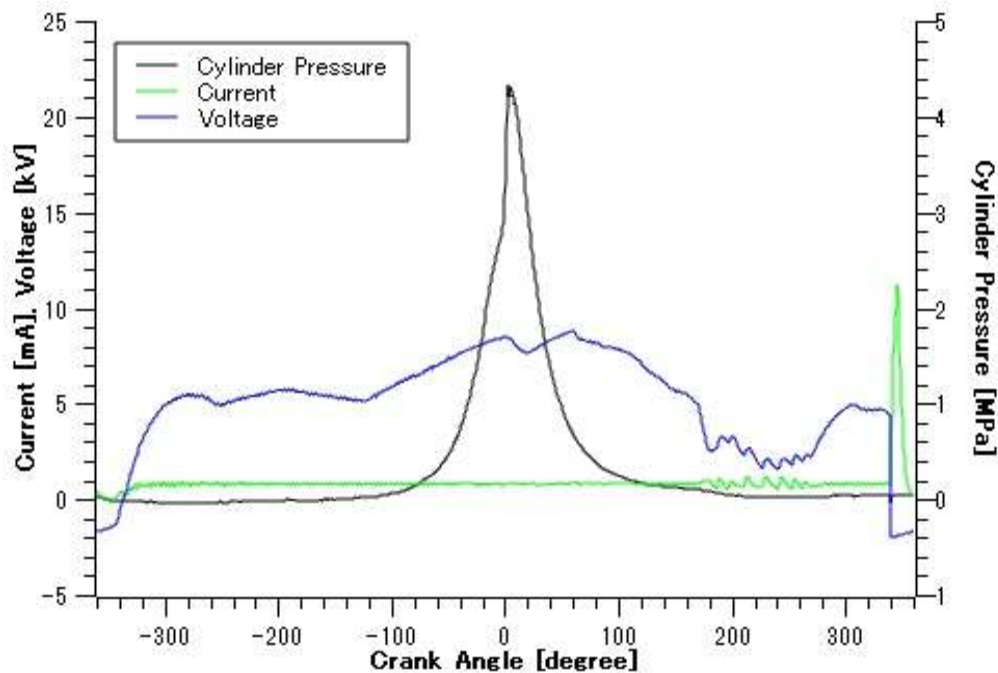


KOBE UNIVERSITY

4. 実験結果

－電極Bにおける燃焼室内放電現象－

電極B: 0.8 mA



標準偏差:

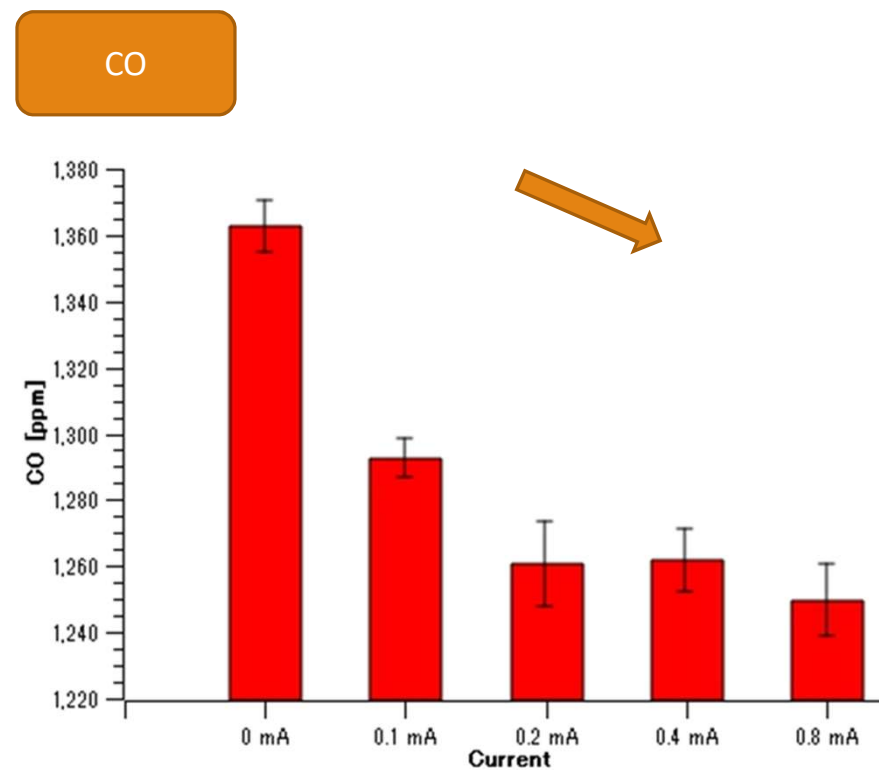
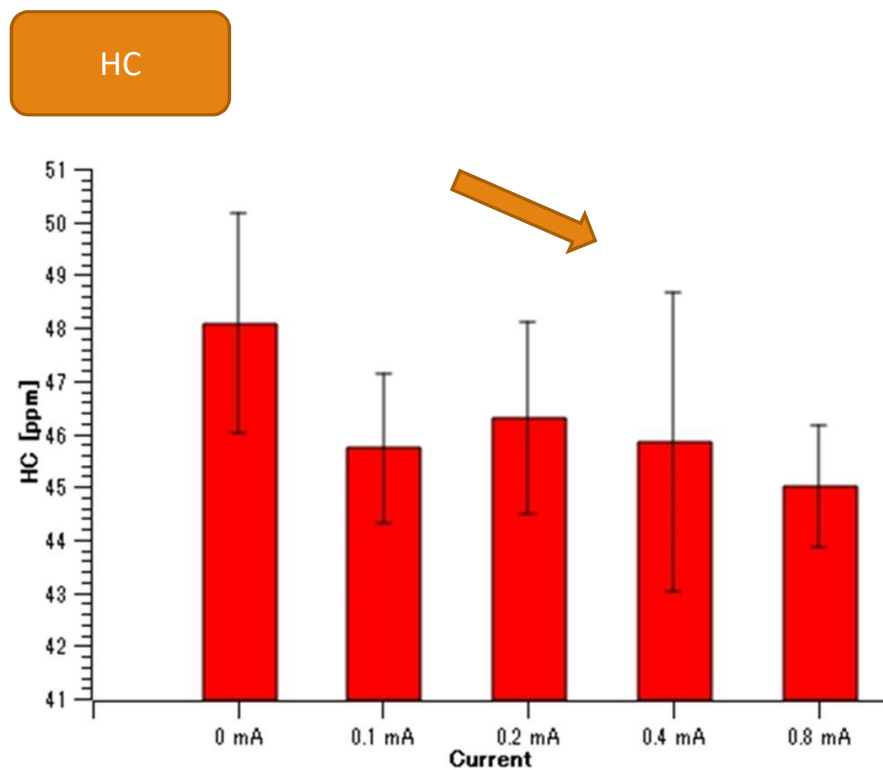
- 電流値: 0.891 [mA]
- 電圧値: 2.55 [kV]



KOBE UNIVERSITY

4. 実験結果

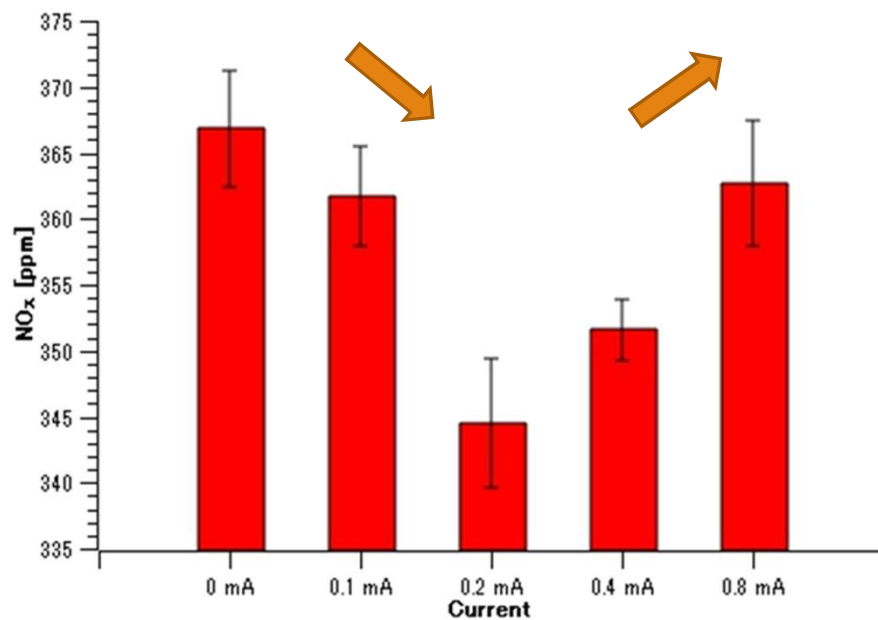
－電極Bにおける排ガス分析－



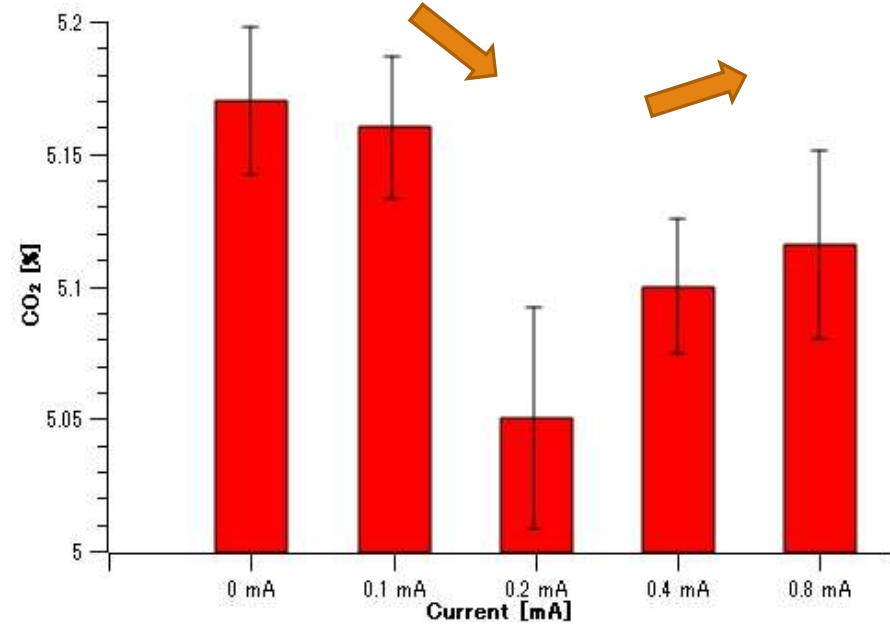
4. 実験結果

－電極Bにおける排ガス分析－

NO_x



CO₂



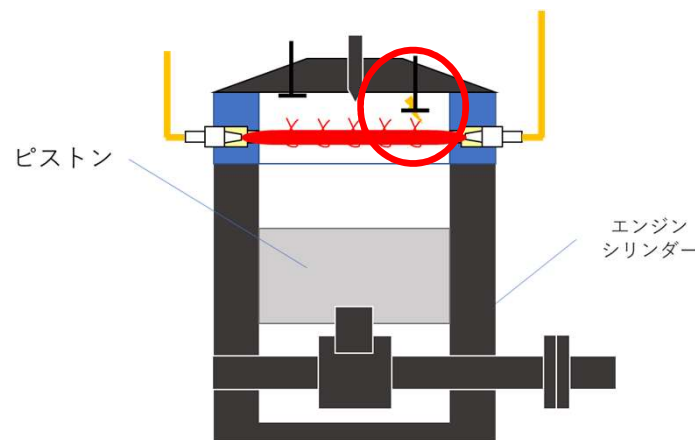
4. 実験結果

－電極Bにおける実験結果の考察－

1. 排気工程と吸気工程の間でスパーク放電が0.2mA以上となると発生してしまう。



- 吸排気バルブが近づきスパーク放電が起きてしまった。
- 燃焼した燃料により塵や煤が集中し、スパーク放電を誘発してしまった。



2. 電極Aと比べ、スパーク放電が起きる頻度が減少した。



- 設定電流値を低く設定することで電圧値を抑え、スパーク放電を起きにくくさせた。

4. 実験結果

－電極Bにおける実験結果の考察－

3. 未燃性成分(HC,CO)は電流値を上げていくと**減少傾向**にあることが確認された。



コロナ放電によって生成されたラジカルにより

4. NO_x、CO₂の値は0.0～0.2mAの間では**減少傾向**にあり、0.2～0.8mAでは**増加傾向**にあることが確認された。



コロナ放電(低温プラズマ)によって生成されたラジカルによりNO_xやCO₂は**除去や低減**(0.0～0.2mAの範囲)

コロナ放電によって生成されたラジカルにより燃焼性の向上によりNO_xやCO₂は**増加**(0.2～0.8mAの範囲)

参照:

- 高木浩一:「低温プラズマによる排ガス中のNOx除去」岩手大学工学部、電気学会論文誌A、2004、第124巻、5号
- Ming-wei Lei, Gen-hui Xu, Yi-ling Tian, Li Chen, Hua-feng Fu:「Carbon Dioxide Reforming of Methane Using DC Corona Discharge Plasma Reaction」, Department of Chemistry and School of Chemical Engineering Tianjin University, The Journal of Physical Chemistry A, 2004, 108, 1687-1693



KOBE UNIVERSITY

概要

1. 初めに

- 研究背景
- プラズマ支援燃焼とは
- 研究目的

2. 実験装置

- 高電圧電極の設置
- 高電圧電極の形状
- エンジン概要

3. 実験方法

- 実験条件・測定項目

4. 実験結果

- 電極Aにおける燃焼室内放電現象
- 電極Aにおける排ガス分析
- 電極Aにおける実験結果の考察
- 電極Bにおける燃焼室内放電現象
- 電極Bにおける排ガス分析
- 電極Bにおける実験結果の考察

5. 今後の課題



5. 今後の課題

1. 電極のさらなる改善 
 - 電極A:
 - 対象気体にプラズマを晒しにくい
 - 電極B:
 - 絶縁管が破損し、エンジンに損傷させる可能性あり

2. エンジンの燃焼室・圧力容器の可視化 
 - 分光計を使用し、プラズマ化されている成分を分析

3. 交流電源の使用 
 - 神戸高専の赤松先生の交流電源を使用

ご清聴ありがとうございました



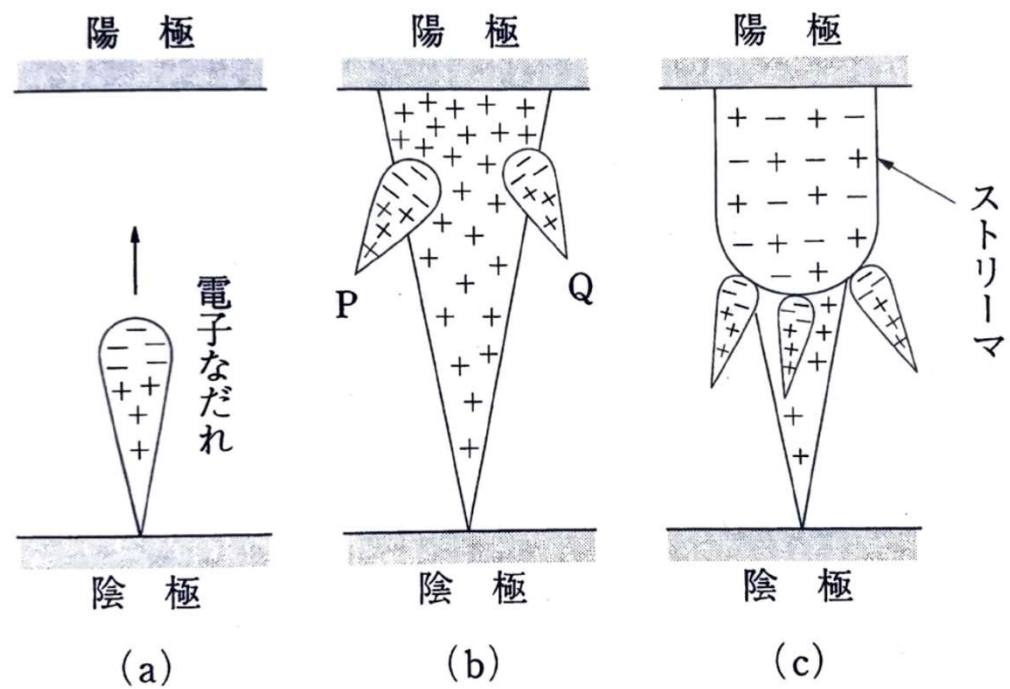


図 2.17 電子なだれからストリーマへの転換