

発表番号		学籍番号		氏名	
題目	亜酸化窒素除去にむけた水蒸気雰囲気でのプラズマ放電特性研究				
Research title	Study in Plasma Characteristics at High Humidity Condition for N ₂ O Removal				
指導教員	段 智久 教授				

1. 研究背景

近年、脱炭素化に向けた取り組みの一つとして、船用燃料には低質油の代わりとなるアンモニア燃料が注目されている。アンモニア燃料は水素燃料と比べてエネルギー密度が高く、自然発火のリスクが小さいなどのメリットがある。しかし、船用アンモニア燃料の燃焼過程において亜酸化窒素が発生する、そのまま大気中に排出すると環境に悪影響を及ぼす。亜酸化窒素を水素原子で分解させると無害の窒素と純水にできる。この反応を発生させるために水素原子が必要です。水素原子を作る方法の一つとして水蒸気に電圧をかけるとプラズマ状態になり、水素原子が発生する。しかし、水蒸気中の放電状況がまだ不明である為、本研究では、水蒸気雰囲気条件でのプラズマ放電特性を解明するための実験を行った上、容器内に亜酸化窒素ガスを封入し、亜酸化窒素の除去実効も検証した。

2. 実験方法

実験装置の概略図を図1で示す。実験装置では赤色で示すねじ棒電極に放電を誘導させるナットを四つねじり込み、複数穴があけられたインコネルチューブと絶縁チューブを容器内に通し、電極の陽極につなぐ。これで、ナットとインコネルチューブの間でプラズマ放電が発生する。この他、実験装置は圧力ゲージとジョイントシートガスケット、陰極に繋ぐ金属平ふた、圧力容器胴体、高圧直流電源、高電圧導入プラグとIHコンロです。

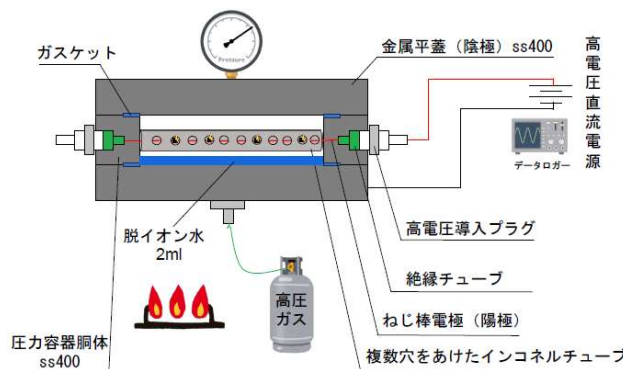


図1.実験装置の概略図

本研究では、圧縮空気封入および脱イオン水を圧力容器内部に注入し、IHコンロで加熱する方法で大気雰囲気と水蒸気雰囲気を作る。異なる圧力における大気雰囲気および水蒸気雰囲気での放電特性を調べた上で、3ppmの亜酸化窒素を圧力容器内に封入し、水蒸気、窒素、酸素、亜酸化窒素系と水蒸気なしの窒素、酸素、亜酸化窒素系でそれぞ

れ放電実験を行い、亜酸化窒素濃度の変化量を比較した。

放電特性実験では直流電源の電圧の30キロボルトを上限値と設定し、0-30キロボルトまで自由に変動できるようにしている。電流値設定条件は0.3から1.3マイクロアンペア範囲で0.1マイクロアンペア置きに電流値を設定し、計11パタンの電流設定値条件を作った。雰囲気圧力は、常圧0.04Mpa、0.08Mpa、0.12Mpaの四パタンの圧力条件を設定している。一秒間隔で出力された実測電流、実測電圧値を直流電源のデータロガーで測定する。これらの測定値の平均値を取り、放電特性を評価する。

放電による亜酸化窒素の濃度変化測定実験では雰囲気圧力を0.08Mpaの一定値にして、電流値条件を0.3mA、0.5mA、0.7mA、0.9mA、1.1mAの五つの条件と設定し、亜酸化窒素の除去実効を評価する。

3. 実験結果

大気雰囲気での放電実験結果を図2で示す。この図より、大気雰囲気での放電特性では実測電圧値は実測電流値と正の相関があり、すべて安定したプラズマ放電であることが確認できる。同じ電流値において、気圧が高いほど、電圧値も高いことが分かる。これは雰囲気の抵抗率が圧力上昇とともに高くなり、アーク放電が起こりにくくなるためだと考える。

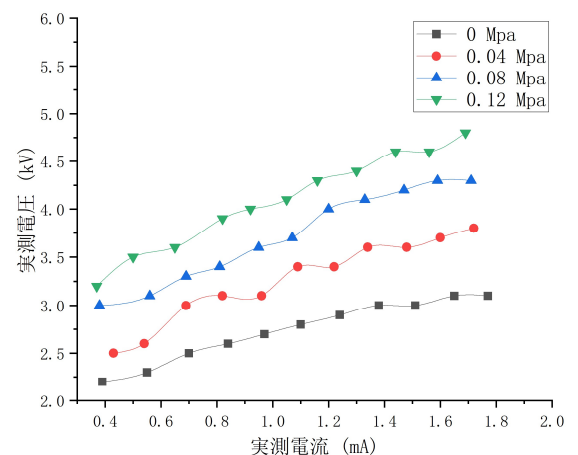


図2.大気雰囲気放電実験結果

水蒸気雰囲気での放電実験結果を図3で示す。この図より、水蒸気雰囲気での放電特性は空気雰囲気と比較すると電圧の波動が大きく放電状態が不安定になることが確認できる。これは脱イオン水が

入った压力容器を加熱した際、湿り飽和蒸気が少量発生し、雰囲気中に液状の粒が多く存在し、放電状態に悪影響を及ぼすためだと考える。また、雰囲気圧力の 0.08Mpa、0.12Mpa の条件では放電状態が比較的に安定することがわかる。

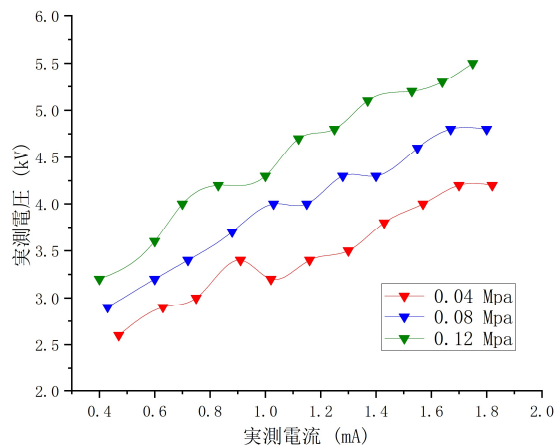


図 3.水蒸気雰囲気放電実験結果

水蒸気が混入されない雰囲気における放電実験結果を図 4 で示す。亜酸化窒素の増加量は設定電流値と正の相関があり、設定電流値が大きいほど亜酸化窒素の増加量が大きくなることわかる。

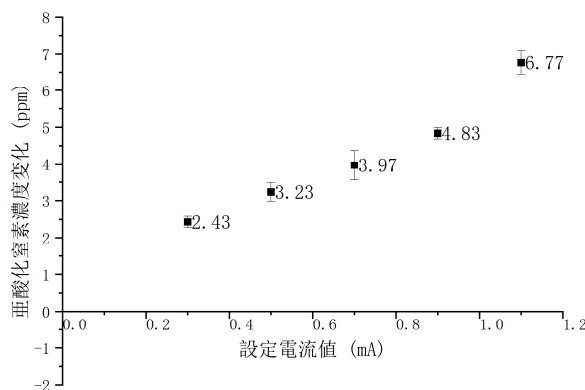


図 4. 亜酸化窒素濃度変化測定結果 (水蒸気なし)

水蒸気が混入された雰囲気における放電実験結果を図 5 で示す。亜酸化窒素の増加量は設定電流値と負の相関があり、設定電流値が大きいほど亜酸化窒素の増加量が少なくなることがわかる。

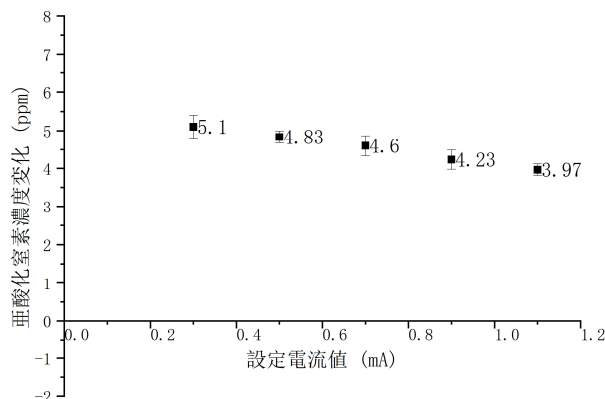


図 5. 亜酸化窒素濃度変化測定結果 (水蒸気あり)

また、電流値を 0.9mA 以下とした際に水蒸気が亜酸化窒素の生成を促進していることがわかる。0.9mA より大きく電流値を設定する場合、水蒸気が亜酸化窒素の生成を抑制していることが分かる。この原因について、高温水蒸気の中に一部亜酸化窒素が溶解する可能性がある。水蒸気が放電により分解し、水素原子が発生し、一部亜酸化窒素を還元した可能性もある。

しかし、水蒸気雰囲気では、電流値が小さく設定すると、亜酸化窒素の増加量が逆に増えていることについて、電流値が低いほど、蒸気の導電率が通常の理想気体より大きいこと、一分間スパーク放電の回数が増えることが原因だと考える。今後では高い電流値や高圧水蒸気雰囲気に更に高いエネルギーの放電条件で検討する必要がある。また、同位体で原子をマークする実験で、水蒸気雰囲気放電による亜酸化窒素の生成抑制メカニズムの解明が期待できる。

4. 結言

本論文の研究では、低圧下 (ゲージ圧 0.08Mpa) で高温水蒸気の有無が放電による亜酸化窒素の除去実効に与える影響を調べるために、压力容器と IH ヒーターを用いて、以下の実験を行った。

- ① 異なる圧力における大気雰囲気および水蒸気雰囲気での放電特性実験
- ② 水蒸気有無の雰囲気放電により N_2O 濃度変化の測定

その結果、以下のような結論を得た。

- ① 空气中放電では同じ電流値において、気圧が高いほど、電圧値も高い。
- ② 水蒸気雰囲気は空気雰囲気と比較すると電圧の波動が大きく放電状態が比較的に不安定です。
- ③ 高温水蒸気なしの条件では亜酸化窒素の増加量は電気エネルギーと正の相関がある。
- ④ 高温水蒸気ありの条件では亜酸化窒素の増加量は電気エネルギーと負の相関がある。
- ⑤ 電流値を 0.9mA 以下とした際に高温水蒸気が亜酸化窒素の生成を促進し、電流値を 0.9mA 以上とした際に高温水蒸気が亜酸化窒素の生成を抑制する。

N_2O の生成過程及び分解過程にはわかっていない部分が多く、反応速度も導出できなかった。そのため、さらに高い電気エネルギー条件ではどのような反応になるかは推定できなかった。よって、今後の課題として、さらに高いエネルギー条件と高い雰囲気圧力における放電実験にて N_2O 濃度がどのように増減するかを実際に確認する必要がある。