

# 放電場でのプラズマ反応に対する音波の照射効果

日大生産工 千葉工大工  
○岡田昌樹 山口達明  
なかねともお 尾上 薫  
ふるかわしげき 古川茂樹  
すずきようち 鈴木庸一

## 1. 緒言

これまでプラズマを化学反応に応用することを目的に、様々な放電形式の適用や放電場への触媒の充填などが検討されてきた。また、核融合炉の開発においては磁場を用いたプラズマ制御が試みられている。これらの制御技術に対して、新しい手法として音波の照射による放電の制御が報告されている<sup>1)</sup>。同法はプラズマの形成が媒質の荷電粒子化にあること、ならびに媒質密度が音波により変化することを利用したものであり、照射した音圧に依存して放電空間が拡張することが報告されている。

そこで、本報告では放電場でのプラズマ反応に対する音波の照射効果を明らかとし、非接触でのプラズマ反応の制御の可能性について検討した結果について報告する。

## 2. 実験装置および方法

### 2-1 反応装置

アクリル製音響管中に電極を設置し、反応管の一端から共鳴周波数に相当する音波を照射できる構造とした(Figure 1)<sup>2)</sup>。図中の破線は共鳴周波数の音波を付与した際に、反応管に形成される定在波音場の音圧を示し、電極は媒質の粒子速度が極大となる音圧分布の節の位置に設置した。

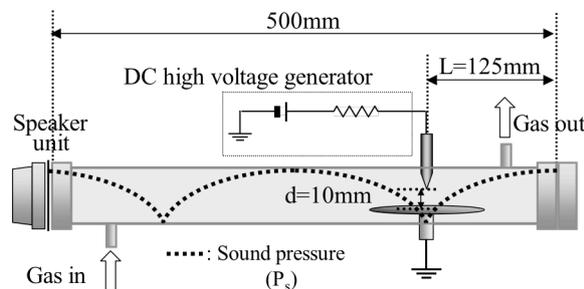


Figure 1 Reactor under sound irradiation

電極はSUS製の針と銅製の平板からなる針-平板型とし、平板をアース極に正の直流高電圧を印加することでストリーマ放電を発生させた。実験を通して針電極と平板電極の間の距離は10mmで一定とした。

### 2-2 実験操作

原料ガスとして、マスフローコントローラー(Kofloc社製 Model3650)を用いて総流量と混合比を調整したCO<sub>2</sub>-Ar混合ガスもしくはCH<sub>4</sub>-Ar混合ガスを供給した。反応は15~20 kVの直流パルス高電圧(55 kHz)を印加し、放電方向と垂直に音波の照射をして行った。音圧は外部回路のアンプで調節し、予め測定したアンプ目盛と音圧の関係から決定した。原料ガスならびに生成物の定性・定量はガスクロマトグラフにより行った。原料ガスの転化率(X)ならびに生成物の選択率(S)は供給炭素基準で算出した。

## 3. 実験結果および考察

### 3-1 音波の照射による放電形状の変化

Ar 雰囲気での放電に対して、共鳴周波数の音波を照射した際のストリーマ形状の変化をFigure 2に示す。Figure2(a)は音波を未照射(P<sub>s</sub>=0 Pa)、(b)は音波を照射した際(P<sub>s</sub>=550 Pa)の放電形状である。照射なしでは1本の帯状のストリーマが確認されたのに対し、照射時にはストリーマが扇状に広がる現象が確認された。これは音波の照射により、電極近傍における媒質密度の微視的変動が発生し、パッシュェンの法則におけるpd値(p:ガス圧力、d:電極間距離)の小さな方向への放電が起こったためと推測される<sup>3)</sup>。一方、放電に際してのV-I曲線の変化に注目すると、音波の

## Effect of sound-wave irradiation on plasma reaction in DC-discharge field

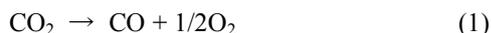
Masaki OKADA, Tomoo NAKANE, Shigeki FURUKAWA, Yohichi SUZUKI,  
Tatsuaki YAMAGUCHI and Kaoru ONOE

照射にともなう曲線の高電圧シフトが確認され、音波は放電の阻害因子として作用していることが明らかとなった。これは媒質の振動により電界に乱れが生じたためと推測される。

### 3-2 CO<sub>2</sub> 直接分解に及ぼす音波の照射効果

音波の照射によるストリーマの広がりや反応の効率に及ぼす影響を検討した。Figure 3 に音波の照射にともなう CO<sub>2</sub> 転化率の変化を示す。図の横軸は反応時間、図中の実線は照射した音波の音圧である。

音波未照射での転化率が約 8%であったのに対し、1.4kPa の音波を照射した際には約 16%まで向上した。また、CO<sub>2</sub> 転化率は音圧の段階的な増加と共に向上し、音波の照射を止めると直ちに照射前の CO<sub>2</sub> 転化率まで低下した。このとき CO ならびに O<sub>2</sub> の生成速度は化学量論的な関係にあり、式(1)に示す直接分解のみが起こっていることが確認された。



### 3-3 CH<sub>4</sub> 転換反応に及ぼす音波の照射効果

二酸化炭素の直接分解反応に比べて活性種の性状や反応の経路にバリエーションが豊富なメタンの転換反応に対する音波の照射効果を検討した。Figure 4 に音波の照射にともなう CH<sub>4</sub> 転化率ならびに炭素鎖長別に整理した選択率の変化を示す。なお、図の横軸は標準マイクを用いて実測した音波の音圧(P<sub>s</sub>)であり、0 Pa は音波の照射なしでの実験結果を表す。音波の照射なしでの CH<sub>4</sub> 転化率は約 17 %であったのに対し、0.6 kPa の音波を照射した時の CH<sub>4</sub> 転化率は約 34 %に達した。これは音波の照射に伴う放電空間の広がりや、プラズマ反応の効率の向上に寄与したためと推測される。一方、生成物の選択率に注目すると、音波の照射に伴いガス状生成物(S<sub>C2</sub> および S<sub>C3-5</sub>) が減少し、析出炭素や油状成分に対する選択率(S<sub>C&oil</sub>)が増加する傾向を示した。また、C<sub>2</sub> 炭化水素類の内訳は、僅かにアセチレンに対する選択率(S<sub>C2H2</sub>)の向上が確認された。

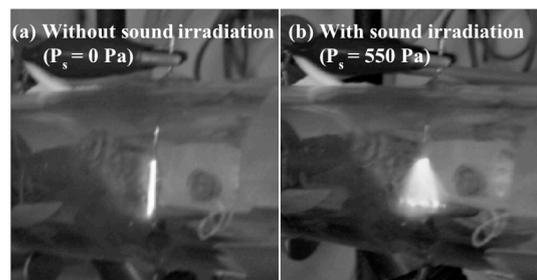


Figure 2 Comparison of discharge state

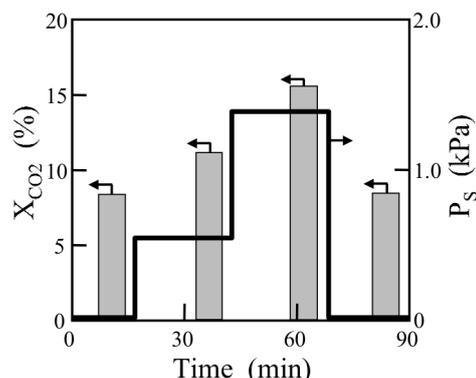


Figure 3 Effect of sound pressure on CO<sub>2</sub> conversion

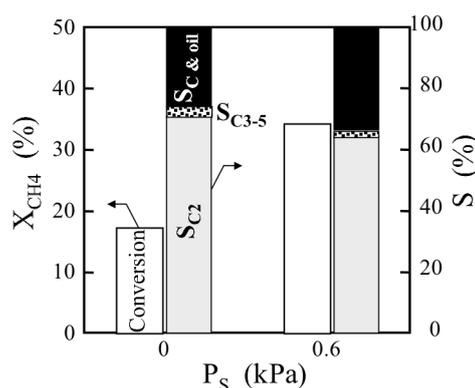


Figure 4 Effect of sound pressure on conversion and selectivity

## 4. 結言

直流パルス放電場への音波の照射によりプラズマ反応の効率や生成物分布を変化させられることが明らかとなった。また、メタン転換反応における生成物分布から、音波の照射により形成される活性種が変化している可能性が示唆された。

- 1) 中根偕夫, 静電気学誌, **25**(2), pp.84-90 (2001)
- 2) 岡田ほか, 石油学会第 56 回研究発表会要旨集, 東京, C07(2007)
- 3) 堤井信力, 小野 茂, プラズマ気相反応工学, 内田老鶴圃(2000)