

【助成 41-01】

CO₂を排出せずにプラズマで直接メタンをアセチレンに選択的に転換する効率の劇的向上

京都工芸繊維大学電気電子工学系 教授 比村 治彦

〔研究の概要〕

2050 年にカーボンニュートラルを達成することは、世界の共通目標として認識されている。アセチレンは化学分野の重要物質の一つであり、アセチレンから蓄電池の導電助剤や、クロロプレンゴムなどが作られている。アセチレンを作り出す主要な方法はカルシウムカーバイド法であり、現在でもこの方式が用いられている。ところが、この方式では CO₂ の排出を回避することができないため、代替方式が求められている。プラズマ化学合成法によって、アセチレン等の炭化水素が CO₂ を排出せずに作り出せることが知られている。本研究では、高周波プラズマを用いて、メタンと水素の混合ガスからアセチレンが生成されることを確認した。アセチレンの選択率はメタンの消費率に対して負の相関を有している。この結果は、アセチレンの合成に対して高周波の振動電場エネルギー密度が過剰であることを強く示唆している。

〔研究経過および成果〕

カーボンニュートラルを目指して、温室効果ガスの排出削減を進めることは、地球規模での喫緊の課題である。EU は、欧州グリーンディールとして 1 兆ユーロ、日本円に換算して 163 兆円、アメリカは 10 年の気象変動対策費として 3,690 億ドル、日本円に換算して 59 兆円、日本はグリーンイノベーション基金として、2 兆円の研究開発費を積んでいる。さらに日本政府は 2028 年から実質的な炭素税を賦課することを検討しており、温室効果ガスを排出する産業分野に対して代替手段を導入するよう圧力をかけている。

アセチレンガスは化学分野での重要物質の一つであり、アセチレンから蓄電池の導電助剤としても用いられるアセチレンブラックや、クロロプレンゴムなど、様々な化学物質が作られている。これまでアセチレンガスは石灰石に含有されているものをカルシウムカーバイド法と呼ばれる方法で取り出していた。カルシウムカーバイド法の利点は貯蔵にあり、アセチレンガスが

必要とされる時に必要な分だけを取り出せる。したがって、安定に、かつ、安全にアセチレンを取り扱うことができる点が長所であった。しかしながら、カルシウムカーバイド法は、その合成分離工程の最中に、温室効果ガス第一位の CO₂ を排出するという欠点も有している。このため、今の時代が目指すカーボンニュートラルに応じて炭素税を回避するために、カルシウムカーバイド法に代わるアセチレン生成方式が強く求められている。

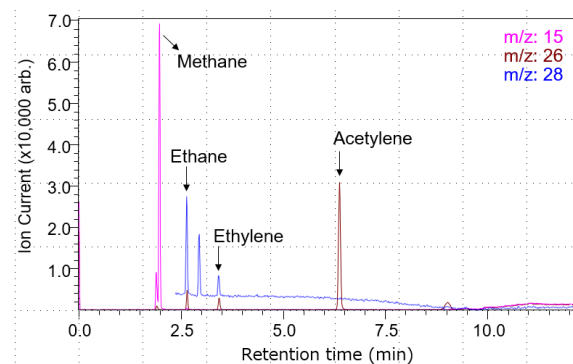


図 1 ガスクロマトグラフィーからの信号出力例。マイクロ波プラズマ 200 W の場合である。

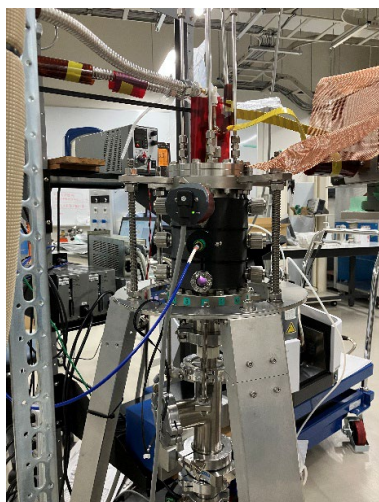


図 2 ラジオ波を用いた小型チェンバーの写真.

気体をプラズマ状態にすると、プラズマ中にはイオンや電子だけでなく様々なラジカルが生成されることが知られている。アセチレンがメタンと水素の混合気体をプラズマにすることによって生成されることは古くから知られている。それらの中でもマイクロ波プラズマが高いアセチレン生成効率を出しており、米国 TM 社方式では約 80%の生成効率値に達している。しかしながら、TM 社の方式は基礎研究スケールの装置での値であり、プラントスケールの装置での効率値は不明なままである。

そこで、筆者の研究室ではプラントスケールにまで大型化が可能な方式で実験を実施した。その方式の詳細は未発表のため、この報告書からは割愛する。図 1 はマイクロ波帯の高周波を用いた場合のガスクロマトグラフィーの信号例であり、マイクロ波のパワーは 200 W、原料ガスは水素とメタンであった。未反応メタンの次にアセチレンのピークが確かに現れていることが分かる。アセチレンのピークの次にエタンのピークが強く現れていることから、マイクロ波プラズマによるアセチレンの生成はメチルラジカル同士の 2 量化反応が主たる機構と推定される。この推定をベースとし

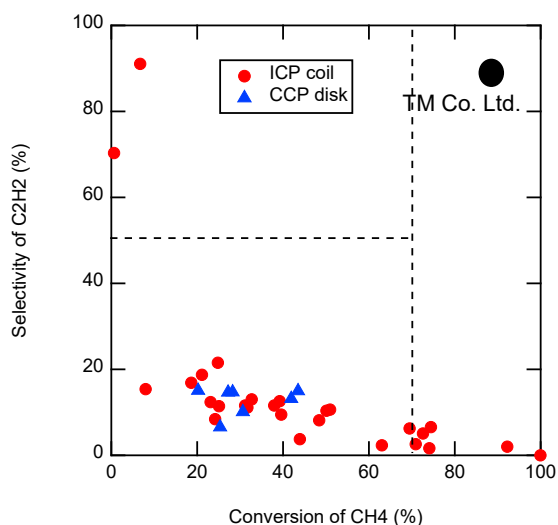


図 3 ラジオ波プラズマによるアセチレン選択率のメタン消費率依存性の初期結果.

たメタン+水素プラズマからのアセチレン生成過程について量子化学計算を行った結果、水素ラジカルの働きによって確かに 2 量化反応が進行できることが判明し、現在論文化をすすめている。

2 量化反応がさらに進むような反応場を作れば、アセチレンの選択率も同時に高くなると予想される。そのためには、プラズマの電子温度を上げればよいとの考え方に基づいて、高周波電源をマイクロ波からラジオ波 (13.56 MHz) に変更して同様の実験を行い、結果を比較することとした。その比較実験に先立ち、図 2 のような容積の小さなステンレス製チェンバーを用いて、ラジオ波プラズマでのアセチレン合成を実施した。図 3 は、アセチレン選択率のメタン消費率依存性の初期結果である。アセチレンの選択率は最大 90%に到達するものの、メタン消費率は約 10%にとどまっている。この結果は、アセチレンを生成するために適切な電子温度と密度を持つ反応場の大きさが極めて小さく、チェンバー内の大部分がメタンを分解するまでの高い電子温度状態であることを強く示唆しており、この電子温度を下げるのが課題として残される。