

火花放電による水素－酸素－窒素の最小着火エネルギー計測

学生証番号 47-096056 氏名 井関 紘士
(指導教員 小野 亮 准教授)

Key Words : hydrogen, ignition, discharge, energy

環境問題への危機意識が高まりつつある今日、次世代を担うクリーンなエネルギー創造法が挙げられ、研究開発・実用化が進んでいる。その中でも水素は、燃料電池を介して電気エネルギーや熱エネルギーを生み出せる他、貯蔵可能なエネルギー源であり、注目を集めている。しかしながら、水素は空気中において最小着火エネルギーが0.019[mJ]と極めて小さく、わずかなエネルギーで爆発を起こしてしまう危険な気体である。水素の安全性の確保は、水素エネルギー社会を実現する上で大前提となるものである。水素の安全性を確保するためには、水素の着火についてよく理解する必要があるが、着火メカニズムはわかっておらず、高酸素中における最小着火エネルギーに関するデータもほとんど存在しない。このような背景のもと、本研究では水素の最小着火エネルギーを水素濃度、酸素濃度、ギャップ長というパラメータを変えて計測を、火花放電により行った。

爆発容器内をロータリーポンプで真空引きしたあと、水素、酸素、窒素を所定の圧力に到達するまで導入する。導入した混合気の合計圧が1気圧になるようにする。圧力はバラトロン真空計で測定する。水素、酸素、窒素の混合比はそれぞれの分圧比から求める。電極はタングステン製の針－針電極を用い、マイクロメータでギャップ長を変更出来るようになっている。電源から高耐圧抵抗を介して、電極と並列に取りつけられたセラミックコンデンサに充電させ、放電を発生させる。高抵抗 R_p とセラミックコンデンサ C_c の値は時定数を考慮して組み合わせている。実験装置自体が持つ浮遊容量を C_e とすると、全体での静電容量は $C=C_c+C_e$ となる。 C_c はLCRメータで計測した値を用いて、条件に応じて適切なものを選択した。 C_e はセラミックコンデンサを装着していない状態で放電を発生させ、2.3Ωの抵抗を介して計測した電流波形の時間積分値を放電電圧で割ることにより求めた。その10ショット平均の結果、浮遊容量 $C_e=1.7$ [pF]となった。放電エネルギーは放電電圧を V_d として $CV_d^2/2$ で定義し、 C と V_d を変化させて調節した。放電は2-4.5[kV]の間で行った。測定は各条件につき最低100ショット分行い、最小値を最小着火エネルギーとして記録した。

本実験では、水素以外が $O_2/(O_2+N_2)=0.35, 1.00$ となるようなガス組成にして計測した。1.00では、水素－酸素混合気ということになる。水素濃度は8、10、12、15[%]、これ以降は5[%]ずつ増加させて80[%]まで変化させた。また、ギャップ長は、0.3、0.5、0.7、1.0[mm]と変化させた。ギャップ長を0.5[mm]に固定して、 $O_2/(O_2+N_2)=0.35, 1.00$ のデータを $O_2/(O_2+N_2)=0.21$ （水素－空気混合気、本研究室の先行論文によるデータ）と比較を行った結果、酸素濃度が高くなるにつれて、最小着火エネルギーが最小となる箇所は水素濃度が高い方へシフトする傾向を確認した。またガス組成を水素30[%]、 $O_2/(O_2+N_2)=0.35$ で固定し、ギャップ長を0.3[mm]までは0.05[mm]間隔、1.0[mm]までは0.1[mm]間隔として計測を行ったところ、ギャップ長が0.3[mm]より短くなると、急激に着火エネルギーが増加した。このことにより、消炎距離の影響を確認した。 $O_2/(O_2+N_2)=0.35$ で固定し、ギャップ長を変化させて行った計測では、ギャップ長0.5[mm]、水素30[%]のときに最小着火エネルギー5.7[μJ]を記録した。 $O_2/(O_2+N_2)=1.00$ で固定し同様にギャップ長を変化させて実験も行ったが、実験装置の性能上測定不可能な領域が存在した。最小着火エネルギーは数100[nJ]というオーダーになると予想される。本実験装置の計測限界は約0.004[mJ]である。これより小さいエネルギーを計測するためには、実験装置自体が持つ浮遊容量を減らす、また放電電圧を小さくするなどの対策が必要だが、数100[nJ]というオーダーの放電エネルギーを扱うのは困難なのが現状である。

本実験では $O_2/(O_2+N_2)=0.35, 1.00$ での最小着火エネルギーを実験的に求め、水素着火の酸素濃度、ギャップ長依存性を計測することに成功し、水素の着火安全性の評価に大きく貢献することができた。