

アルゴン循環型水素エンジンの試み

1. はじめに

往復動内燃機関はコンパクトで比較的高い熱効率から、さまざまな分野にひろく用いられており、さらなる高効率化と低エミッションを目指して研究・開発が進められている。近年、とりわけ究極の高熱効率を目指してアルゴン循環型水素エンジンの実現が試みられている。これは、作動流体にアルゴンのような単原子分子気体を用いて、その比熱比の高さを活用して高効率化を目指すものである。本稿ではその原理と研究例について紹介する。

2. アルゴン循環型水素エンジンのコンセプト

一般的にガソリンエンジンのような火花点火エンジンの理論サイクルは、いわゆるオットーサイクルであり、そのサイクルは図1に示すように、断熱圧縮－等積加熱－断熱膨張－等積冷却で構成される。ここで、圧縮比を ϵ 、作動流体の比熱比を κ とすると、その理論熱効率は以下ようになる。

$$\eta_{th} = 1 - 1/\epsilon^{\kappa-1}$$

すなわち、 ϵ が大きいくほど、あるいは κ が大きいくほど熱効率は高くなり、その関係を図2に示す。ここで、火花点火エンジンの場合いわゆるノッキングと呼ばれる異常燃焼が生じるために ϵ はあまり大きくできない。また、 κ は空気を仮定すると約1.4で、空気－燃料の混合気であれば約1.3となり、これらの値が理論サイクルの熱効率を制限していることがわかる。ここで、作動ガスを例えばアルゴンのように単原子分子とすれば、 κ が約1.6程度と大きくなるために、通常空気あるいは空気－燃料混合気を用いた場合に比べて飛躍的に高効率化が見込める。ただし、作動ガスに希ガスであるアルゴンを用いる場合、そのまま排気を大気中に捨てずに吸気に戻さなければならぬために、クローズドサイクルにする必要がある。この際、排気中の燃焼生成物を取り除かなければならない。そこで、水素を燃料に用いれば燃焼生成物が水だけとなるために排気を冷や

すだけで容易に分離することが可能である。このようなエンジンシステムの基本コンセプトは京都大学のIkegamiらが1982年に提案している⁽¹⁾。図3はその概略であり、エンジンに吸気する前に酸素を添加し、筒内に直接水素を噴射して、圧縮圧力・温度で自着火燃焼させる。その後、排気は冷却水で冷やされ、燃焼生成物の水を分離除去する。また、同様のコンセプトは2010年にトヨタ自動車(株)のKurokiらによって提案されている⁽²⁾。これは、ガソリンエンジンをベースとし、吸気に水素と酸素を加えるとともに、火花点火により燃焼させるものである。図4によると、圧縮比および燃料供給方法等を最適化することによって、図示熱効率はベースとなったガソリンエンジンの38%から54%にまで大幅に向上することがわかる。また、筒内に水素を直接噴射して自着火燃焼させれば、ノッキングによる圧縮比の制限を受けないために、さらに高効率を目指せる可能性がある。この場合、高温・高圧のアルゴン－酸素雰囲気における水素噴流の自着火燃焼を制御する必要があり、基礎的な実験研究もなされている⁽³⁾。

3. おわりに

作動流体にアルゴンのような単原子分子気体を用いて、その比熱比の高さを活用して高効率エンジンの実現を試みる取り組みについて述べた。クローズドシステム等実際上の課題も残るものの、高効率エンジンの可能性に期待したい。

(原稿受付 2012年10月23日)

[川那辺 洋 京都大学]

●文献

- (1) Ikegami, M., Miwa, K. and Shioji, M., A Study of Hydrogen Fueled Compression Ignition Engines, *Int. J. Hydrogen Energy*, 7-4 (1982) 341-353.
- (2) Kuroki, R., ほか, Study of High Efficiency Zero-Emission Argon Circulated Hydrogen Engine, *SAE Paper*, 2010-01-0581, (2010).
- (3) Mansor, M. R. A., Nakao, S., Nakagami, K. and Shioji, M., Ignition Characteristics of Hydrogen Jets in an Argon-Oxygen Atmosphere, *SAE Paper*, 2012-01-1312, (2012).

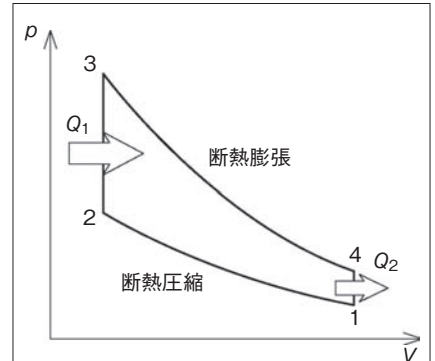


図1 オットーサイクル

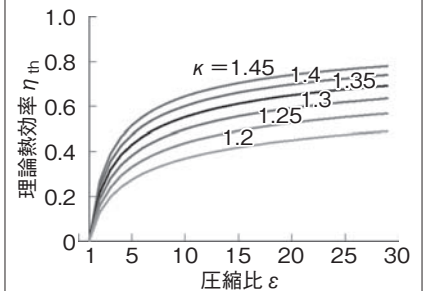


図2 オットーサイクルの熱効率

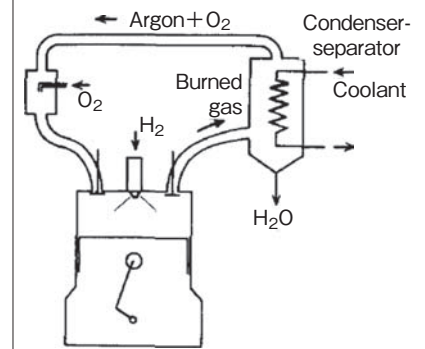


図3 クローズドシステムの概略⁽¹⁾

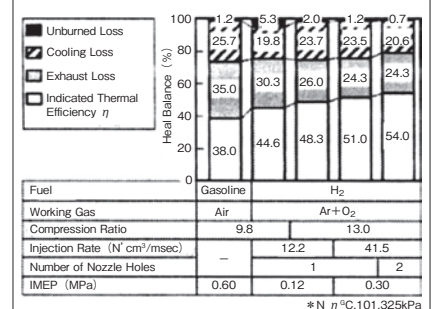


図4 熱効率の変化