

## 4. タスク4 動力発生技術の開発

### 4.1 研究開発目標

#### 4.1.1 WE-NET 第 期 (H11～15 年度) 開発目標

- (1) 第 期以降において、送電端効率 40% 程度のオープンサイクル水素ディーゼルエンジン (600kW 級システム) を開発することを念頭において、単筒機で 100kW 級オープンサイクル水素ディーゼルエンジンを開発する。
- (2) 開発した単筒機の性能評価試験を実施し、実用化のための研究開発課題を抽出する。

#### 4.1.2 平成 13 年度目標

- (1) オープンサイクル水素ディーゼルエンジンシステムの要素技術について、水素噴射装置の機能を試験により確認する。単筒実験機システムについては、実験機と試験設備 (水素エンジン実験室建家および水素圧縮・供給設備) の製作を完了する。
- (2) 水素エンジンシリンダー内現象の数値解析を行い、エンジン開発に反映させる。

## 4.2 平成 13 年度の研究開発成果

### 4.2.1 要素技術開発

#### (1) 水素噴射装置の開発

100kW 級単筒実験機用の電子制御油圧駆動方式の水素噴射装置の機能を単体で確認する試験を行い、噴射弁、電磁弁コントローラ、油圧ユニットの作動を確認した。定格噴射量の噴射期間は目標の 25° クランク角に対し現状は約 40° となっている。

### 4.2.2 単筒実験機システムの検討

#### (1) 熱効率向上策の検討

燃料が水素と石油系のディーゼル (定圧燃焼) サイクルの PV 線図から熱効率を算出して比較した。その結果、同じ圧縮比で比較すると水素エンジンは石油系ディーゼルより燃焼で発生する水蒸気量が増大して図示熱効率が低下するが、燃焼熱量当たりの空気量が少ないことを利用して低給気圧高圧縮比化すれば、図示熱効率が石油系燃料のエンジンとほぼ同じとなることが分かった。

噴霧運動量理論による噴流の検討から、水素噴流は噴流内空気過剰率が石油系燃料の 2 倍となることが分かった。このことにより、水素エンジンは石油系ディーゼルより熱発生期間が短縮されて熱効率が向上することが期待される。

エンジン性能シミュレーション計算の結果、現状の熱発生期間 100° クランク角程度を 80° 程度に短縮すると、水素エンジンの開発目標値である石油系ディーゼル実績値に対する 2 ポイント向上を熱発生期間短縮で実現できる見通しを得た。

#### (2) 着火の検討

作動ガスの圧縮温度と平成 10 年度の自着火基礎試験結果から、高圧縮比化した水素エンジンでの自着火の可能性につき検討した。その結果、水素は通常の給気温度では自着火可能と考えられるが、過給機コンプレッサでの圧縮による給気温度上昇がない始動時には、強制着火装置が必要となることが分かった。

### (3) NOx 低減策の検討

高圧噴射方式水素エンジンの NOx 排出率として、MAN B&W の報告で最も NOx 排出の多い噴射タイミングが早い場合と同じ 10g/kWh レベルを想定し、大都市近郊自治体のガスエンジンの NOx 指導要綱の最も厳しい値 0.35g/kWh 相当まで低減するには、水素エンジンの NOx 低減率目標は 30 分の 1 程度が必要となることが分かった。

水素の供給形態が液体の場合は、その冷熱による給気冷却が NOx 低減に有効となることが分かった。

## 4.2.3 単筒実験機システムの製作

### (1) 単筒実験機本体の製作

オープンサイクル水素エンジンの単筒実験機を試作した。軽油燃料の従来型ディーゼル単筒実験機を製作し、燃料噴射系を水素噴射装置で置き換えた。製作した実験機の写真を図 4.2.3-1 に示す。



図 4.2.3-1 単筒実験機組立

## (2) 試験設備の製作

水素エンジンの実験室建家を建設するとともに、ガス供給設備と水素圧縮機を製作して設置した。実験室建家の外観写真を図 4.2.3-2 に示す。水素カードルの設置写真を図 4.2.3-3、水素圧縮機の写真を図 4.2.3-4 に示す。

## (3) 計測装置および電気動力計の設置

水素エンジン単筒実験機の試験データの計測・収録装置を運転制御室に設置した。



図 4.2.3-2 実験室建家外観



図 4.2.3-3 水素カードル



図 4.2.3-4 水素圧縮機

#### 4.2.4 数値解析の実施

##### (1) オープンサイクル水素ディーゼル機関の自着火に関する検討

オープンサイクルにおける自着火条件を調査するため、シリンダ内雰囲気従来検討を進めてきたアルゴンから空気に変え、圧縮比・筒内初期温度を変更することにより、シリンダ内温度を上昇させて燃焼解析を行った。その結果、水素噴射時におけるシリンダ内温度が 1000K 以上あれば自着火するが、900K 以下の場合には自着火しないことが分かった。

##### (2) 実機モデルによる水素燃焼解析と検証

水素ガス噴射における燃焼過程を数値解析するため、燃焼解析モデルを作成し、実験結果と比較することにより、モデルの妥当性について検討した。昨年度の急速圧縮・膨張装置による検証実験で使用したピストン（実機の 1/4 サイズを模擬した形状）に、2 噴孔を有する噴射弁を組み合わせた解析モデルを作成し、素反応式を用いた燃焼モデルを用いて水素ガス燃焼解析を行った。シリンダ内圧力について、解析結果と実験結果を比較した結果、概ね一致することから、実機における水素燃焼解析の見通しを得た。

### 4.3 今後の研究開発課題

#### 4.3.1 水素噴射装置要素技術開発

噴射期間短縮のため実測データをもとにシミュレーションで改善策を検討した結果、運動部質量（作動ピストンと針弁）削減、ばね力の強化、作動油の出入口オリフィスのマッティングを実施する。

#### 4.3.2 単筒実験機システムの開発

##### (1) 着火システム開発試験

石油系燃料の従来ディーゼルエンジンより高圧縮比化した水素エンジンの自着火特性を単筒実験機試験により評価し、強制着火を必要とする給気条件、負荷・回転数の領域を明らかにする。そのうえで、可燃混合気の存在する場所およびタイミングに着火エネルギーを供給可能なことと、十分な耐久性を有することを考慮して点火装置の種類と設置場所を選定する。

##### (2) 基礎性能試験

水素エンジンの熱効率向上策、NO<sub>x</sub> 低減策を折り込まない仕様での熱効率、排ガス、燃焼室温度等の基礎性能データを単筒実験機試験により取得する。

##### (3) 熱効率向上試験

水素エンジンの低給気圧高圧縮比化による熱効率向上効果を評価する。さらに、燃料噴射期間短縮や燃焼室内ガス旋回流による混合促進による熱発生期間短縮効果を評価し、熱効率改善効果を評価する。

##### (4) NO<sub>x</sub> 低減試験

排ガス再循環を含めたエンジン燃焼上の対策の効果を評価するとともに、選択的触媒脱硝装置による低減との組み合わせを検討する。