

⑮ バイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする 水素内燃エンジン搭載ハイブリッドトラックの検討

環境研究領域 ※山本 敏朗 佐藤 由雄 石井 素
東京理科大学 堂脇 清志
東京都市大学 伊東 明美

1. まえがき

現在、燃料電池自動車 (FCV) は、2015 年の実車販売を目指して車両開発、水素スタンドの整備等が進められている。FCV 用燃料の課題としては、燃料電池が水素燃料中の微量の CO、H₂S、NH₃ 等の不純物により劣化するため不純物除去が必要であること、この水素高純度化工程で使用されるエネルギーにより CO₂ 排出量が増加して使用過程での CO₂ 排出量の削減効果が低下することが挙げられる。また、バイオ水素燃料はカーボンニュートラルの特性により、CO₂ 排出抑止効果を有するが、製造時のガス中に多くの不純物が含まれるため、水素高純度化工程で使用されるエネルギー量が増加して、CO₂ 排出抑止効果を減じる可能性がある。本研究では、水素を燃料とする内燃エンジンが燃料電池とは異なり高純度の水素を必要としないことに着目し、CO、CH₄ 等を含むバイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする内燃エンジンを搭載したハイブリッドトラックを対象に、机上検討およびエンジンベンチ試験を行った。燃料製造過程から車両走行過程 (Well to Wheel) までの CO₂ 削減効果、排出ガス性能、エンジン出力性能について調査および分析を行い、水素燃料車としてのポテンシャルを探った。

2. 研究方法

本研究は、以下に示す共同研究および共同試験の成果をまとめたものである。まず、東京理科大学と

表 1. 燃料電池用水素燃料規格 (ISO14687-2) の抜粋

仕様	ISO-14687-2 2012年 Grade D
純度 (%)	99.97
全炭化水素 (ppm)	2
H ₂ O (ppm)	5
O ₂ (ppm)	5
He (ppm)	300
Ar, N ₂ (ppm)	100
CO ₂ (ppm)	2
CO (ppm)	0.2
S (ppm)	0.004
NH ₃ (ppm)	0.1

の共同研究により、木質バイオマスのガス化プロセスによる水素製造に関して、実証プラント (ブルーターワーガス化プラント) による運転データ⁽¹⁾ を基に、Well to Tank での CO₂ 削減量等を検討した。次に、東京都市大学と共同で行った水素内燃エンジンベンチ試験によって、バイオ水素を内燃自動車用燃料としたときに、燃料組成がエンジン出力や排出ガス性能に及ぼす影響を調査した。Well to Wheel での CO₂ 削減効果の推計には、東京都市大学が開発した水素内燃エンジン搭載ハイブリッドトラックによる横浜市内走行試験データから算出された実用走行燃費値を用いた。

3. 考察

3. 1. FCV 用水素燃料規格と燃料製造過程での CO₂ 排出量

FCV 用の燃料仕様は、2012 年 12 月に国際規格 ISO14687-2 の発効により、国際標準化された。表 1 に、その FCV 用水素燃料規格の抜粋を示す。同表より、要求される水素の純度は 99.97% と極めて高く、不純物の CO と S については、それぞれ 0.2ppm、0.004ppm が要求され、高純度の水素精製においては、不純物除去触媒の交換頻度の増加や運用エネルギーの増加により、間接あるいは直接的に投入エネルギーの増加が懸念される。次に、上記仕様のバイオ水素を製造するときに排出される CO₂ 量を、図 1 に示す。

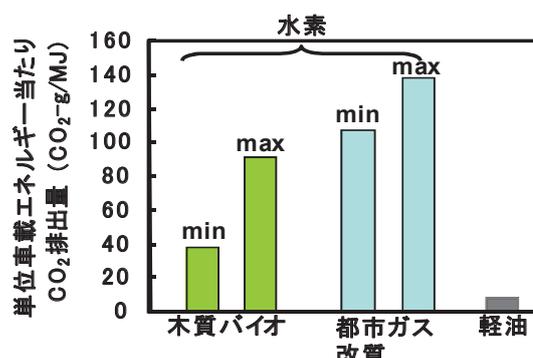


図 1. 水素製造過程での CO₂ 排出量^{(1)、(2)}

木質バイオ由来のminとmaxは、原料の輸送距離および含水率に幅を持たせて最小値と最大値を評価した結果⁽¹⁾である。現在、水素製造の主力パスである都市ガス改質も文献により値が異なるため⁽²⁾幅を持たせて示した。同図より、水素製造においては、軽油精製に比べて多くのCO₂が排出されることがわかる。

3. 2. バイオ水素製造過程の生成ガスを燃料とする水素内燃自動車の可能性

図2に、木質バイオマス水素製造の各工程におけるCO₂排出量内訳を示す。ここでは、プラントから50km圏内で原料を確保できるとし、原料輸送距離を5kmと50kmに仮定した。同図より、原料の輸送に係るCO₂排出が製造時の排出に大きく影響することがわかる。また、プラントの運転に必要な「所内動力」の占める割合が大きいことがわかる。この中には、生成ガス中の不純物を取り除いて水素を高純度化するPSA（圧カスイング吸着）工程が含まれ、この工程が「所内動力」でのCO₂排出の大半を占める。そこで、水素内燃エンジンがCH₄等を含むバイオ水素燃料を使用できれば、PSA工程を簡略化してCO₂排出量を抑制できる可能性がある。

図3に、バイオ水素中の主要不純物であるCH₄を10%混合調整したH₂-CH₄混合燃料を、ハイブリッドトラック用の吸気管噴射水素内燃エンジン（排気量4L、

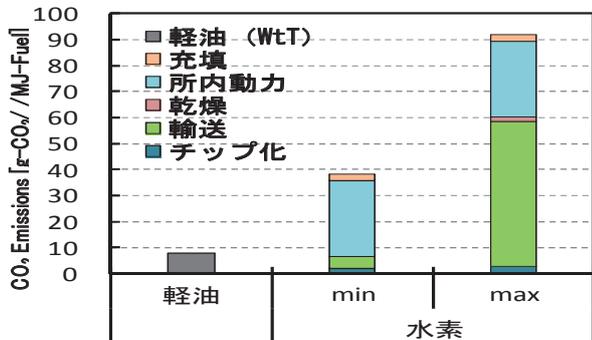


図2. 木質バイオマス水素製造の各工程におけるCO₂排出量内訳 (Well to Tank ベース)

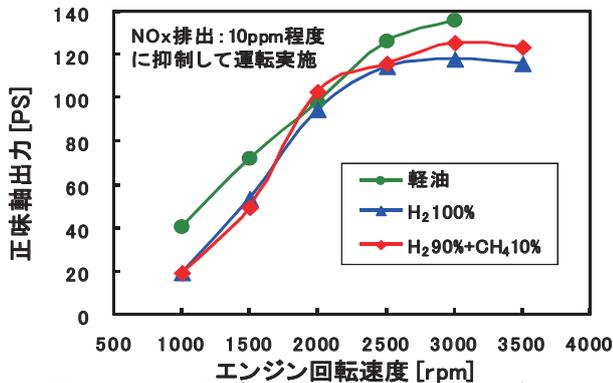


図3. H₂-CH₄混合燃料を水素内燃エンジンに用いたときのエンジン出力

4気筒過給ディーゼルエンジンを改造) に用いて、エンジン出力の変化を調べた結果を示す。同図より、CH₄10%混合燃料は、H₂100%燃料と同等の低NO_x濃度を保った上で、H₂100%燃料使用時よりも概ね高い出力が得られることがわかる。このように、バイオ水素製造過程の生成ガスが、水素内燃エンジン用の燃料として有効である可能性があることから、バイオ水素製造過程の「所内動力」を削減して製造した不純物を含む燃料を、水素内燃エンジン搭載ハイブリッドトラック（水素内燃HV）に用いた場合の1km走行当たりのCO₂排出量を試算した。その結果を、図4に示す。「所内動力」の削減を進めることにより、CO₂排出量が低減し、特にバイオ燃料製造エネルギーが最小で「所内動力」を75%削減した場合（この条件で発電機用エンジンの作動確認済み）、軽油ディーゼルハイブリッドトラック（カタログ燃費を使用）と比べても半分以下の排出量となっていることがわかる。

4. まとめ

バイオ水素製造過程において、高純度化工程（PSA工程）でのCO₂排出量が多いことから、PSA工程を削減して製造した生成ガスを水素内燃エンジンで活用することを提案した。水素内燃エンジンベンチ試験の結果から、CH₄10%混合燃料は、H₂100%燃料と同等の低NO_x濃度を保った上で、H₂100%燃料使用時よりも概ね高い出力が得られることがわかり、燃料製造過程のCO₂削減とエンジン性能向上の可能性を示すことができた。

参考文献

- (1) 渡辺佑太郎[他]: トラックの走行時燃費を考慮したBTL燃料のLCA, 日本LCA学会論文集, Vol. 9, No. 1, pp. 20-35 (2013)
- (2) 財団法人日本自動車研究所 総合効率検討作業部会: 総合効率とGHG排出の分析 報告書, p. 60 (2011.3)

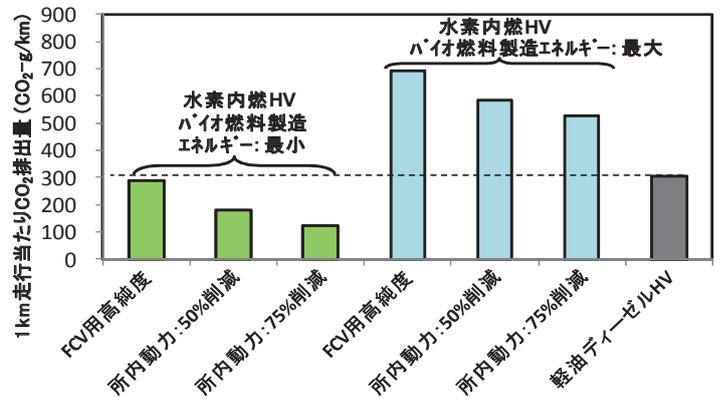


図4. 高純度化工程を削減したバイオ水素燃料を水素内燃HVに用いた場合の1km走行当たりのCO₂排出量