

P15) 水素を燃料とする自動車(FCV)の排気ガス特性-走行時

東大院化シス¹・日本自動車研究所²・多摩火薬³・HysafeNohmi⁴
○吉山有希¹・茂木俊夫¹・山崎浩嗣²・児島郁男³・藤井妥依子⁴・菅原順一⁴・*能美隆⁴

*e-mail 吉山

*電話 吉山

1. 緒言

2050 年のカーボンニュートラル達成に向け、CO₂ を排出しない様々なエネルギー源の中で H₂ 利用が進められており、燃料電池自動車 (FCV) についても、飛躍的に高効率かつコンパクトな新モデル (2nd Gen. Mirai と呼ぶ) が登場している (Fig. 1a)。一方で H₂ 利用においてはその爆発範囲の広さや影響度から、安全性の考慮も重要となる。FCV の排気ガス基準に関する GTR(Global technical regulation) によると、燃料電池排出システムは、排出ポイントにおける起動と停止を含む通常運転中の任意の移動 3 秒間の時間間隔において、H₂ 濃度レベルが体積平均で 4% を超えてはならず [1]、排気に含まれる水素濃度を高速でどのように測定するかが課題となっている。

先行研究では、燃料電池車の排出ガス中の CO₂、H₂ 濃度の測定や [2, 3]、以前のモデル (1st Gen. Mirai) について H₂ 濃度をモニタリングしているが [4, 5]、本研究では新モデルで H₂ を含んだ複数成分の排出ガスのモニタリングを高速道路上で行い、アイドリング時の結果とともに比較検討したので報告する。

2. 実験手法

排気ガスモニタ用のサンプリングキャピラリーを FCV 排気管の先端の中心に取り付け、質量分析計 Sx (HysafeNohmi) で H₂, N₂, O₂, Ar, CO₂ のガスをモニターした (Fig. 1b)。計測時に排気管より水が排出される場合があるため、キャピラリー先端にはフィルターを被せた。計測は、FCV のアイドリング時ならびに走行時 (60 ならびに 110 km/h) について 200 ミリ秒間隔で行った。

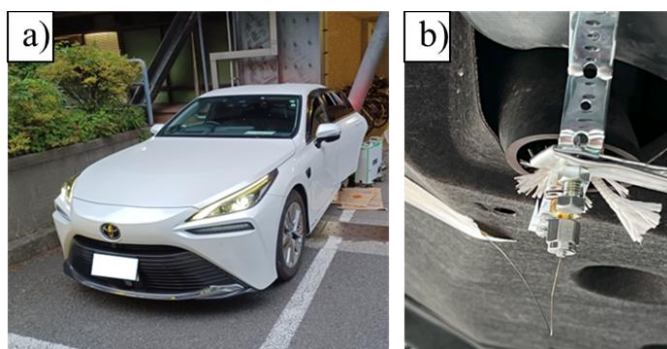


Fig. 1 Image of a) FCV and b) measured point

3. 結果と考察

3.1 アイドリング時

アイドリング時における排出ガス中の成分濃度に関する経時変化を Fig. 2 に示した。Fig. 2a には H₂, N₂, O₂, Ar, CO₂ の濃度を計測時間に対して示している。N₂, O₂ については変動のタイミングが一致しており、約 100 秒ごとの周期であった一方、H₂ は周期的に変動しているものの、N₂, O₂ の周期とは一致しておらず、変動の周期も 100–200 秒とより幅広い変化が確認された。Fig. 2b には窒素と酸素濃度の時間変化を示す。大気組成である窒素約 78%、酸素約 21% の状態から、30 秒ほどの間酸素が 8% まで低下、窒素が 92% まで上昇し、その後 60 秒間ほど大気組成に戻る、という周期が繰り返されていた。これは陽極で空気中の酸素が消費され窒素濃度が上昇した影響であると考えられる。次に、エンジン始動直後とその後の周期的な水素のピークにあたる、Fig. 2a 最初のピーク (Fig. 2c) と二番目のピーク

ク (Fig. 2d) について拡大し、経時変化を示した。エンジン始動直後のピークは、1-2%の濃度で5秒ほど放出されたのち、6%で1秒間ほどのピークがみられた。一方、その後の周期的なピークでは Fig. 2d に代表されるように最大4%の1-2秒の三つのピークが連続している様子が確認された。

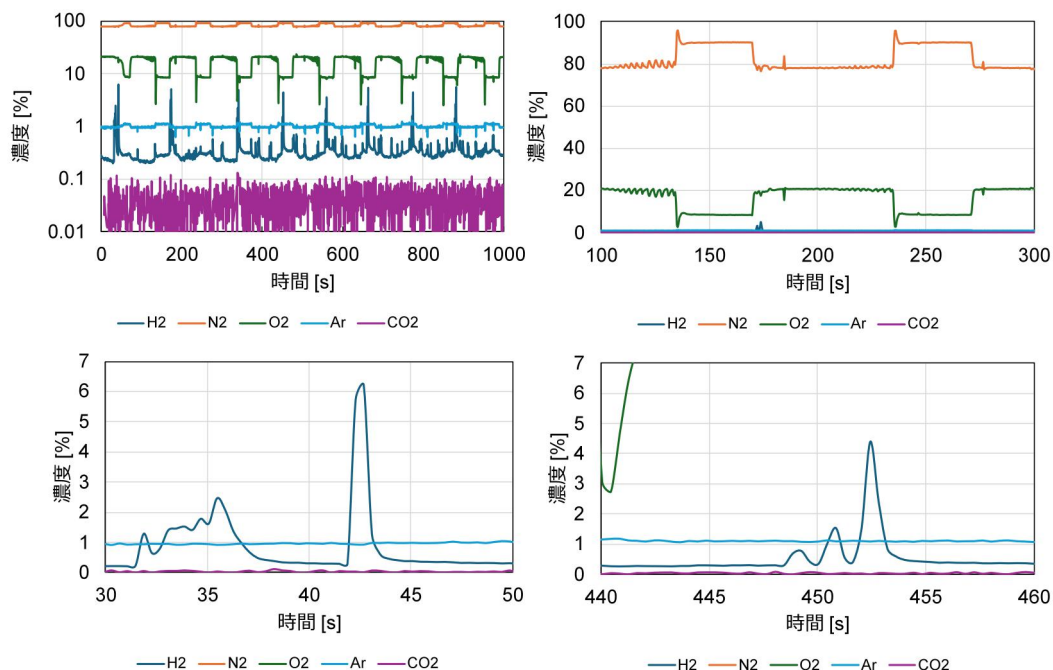


Fig. 2 Gas concentrations of exhaust gas on idling state: a) logarithmic scale for whole measurement, b) linear scale for 100–300 s, c) magnified 1st hydrogen peak, d) magnified 2nd hydrogen peak

3.2 60 km/h 走行時

60 km/h 走行時における排出ガス中の水素濃度の経時変化を Fig. 3 に示した。Fig. 3a に示した 1000 秒間の計測結果では、アイドリング時と同様にピークがほぼ 100 秒おきに観測されたが、その濃度は最大でも 3%、その他は 0.5% 未満とアイドリング時に比べると低い値が観測された。また、最大濃度が観測されたピークについて拡大してみると (Fig. 3b)、1 秒ほどの一つのピークであることが確認された。

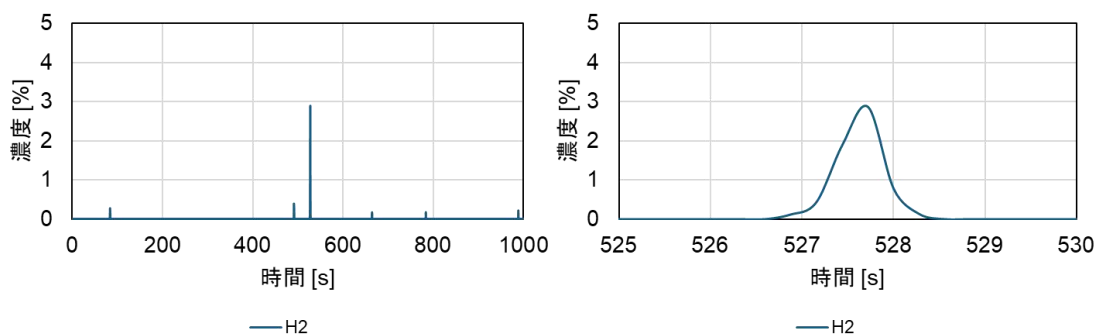


Fig. 3 Hydrogen concentrations of exhaust gas on 60km/h highway driving: a) whole measurement, b) magnified largest hydrogen peak

3.3 110 km/h 高速度走行時

110 km/h 走行時における排出ガス中の成分濃度を Fig. 4 に示した。Fig. 4a には測定した全成分の経

時変化を対数スケールで示している。アイドリング時と同様に、窒素・酸素については約100秒ほどの周期で大気組成と酸素濃度低下・窒素濃度上昇の状態を繰り返しているが、その2状態の時間比率は異なっていることがわかる。また、水素については停止状態と比べてピークが検出される間隔が短くなっていた。Fig. 4b には窒素・酸素の濃度変化の詳細を線形スケールで全成分の経時変化を示した。アイドリング時同様に酸素が9%まで低下、窒素が90%まで上昇していたが、酸素の消費状態は90秒ほど続き、10秒ほど大気組成に戻る周期を繰り返しており、アイドリング状態における酸素の消費状態が60秒であったことを考えると、長い間酸素を消費していると考えられる。Fig. 4c には測定時間全体における水素濃度を、Fig. 4d には各ピークの特徴が見えるよう短い時間間隔における水素濃度を示した。Fig. 4c を見ると、水素の検出間隔は10–50秒であり、アイドリング時や60 km/h 走行時に比べると非常に短い間隔であることが確認できる。一方、確認された濃度は60 km/h 走行時同様に最大でも4%未満と低く、アイドリング時と比べると比較的低い濃度であった。Fig. 4d における一つ一つのピークを見ると、60 km/h 走行時同様に一つの1秒ほどのピークとして検出された。

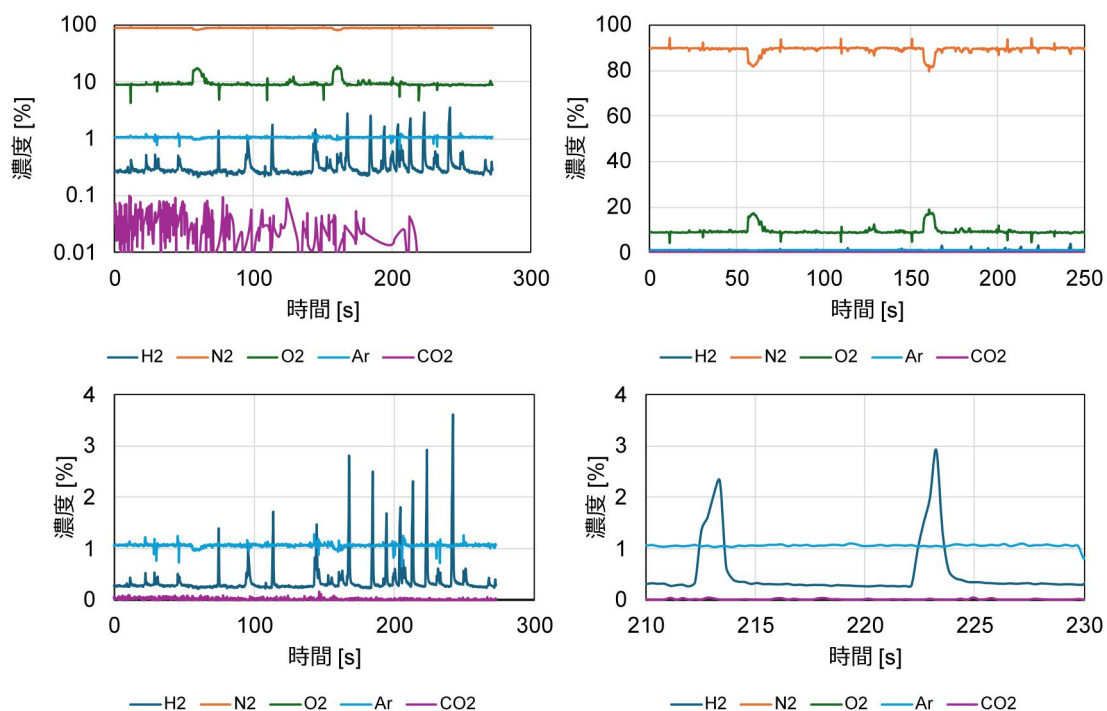


Fig. 4 Gas concentrations profiles of exhaust gas on 110km/h highway driving: a) logarithmic scale for whole measurement, b) linear scale for 0–250 s, c) hydrogen profile for whole measurement, d) magnified hydrogen peak

3.4 比較と考察

酸素と窒素の変化について着目すると、アイドリング時も走行時も大気組成と大気組成から酸素を消費し窒素が増加した状態とを周期的に繰り返しており、1周期は同じ100秒ほどであることが確認された。ただし、酸素を消費している時間はアイドリング状態では約30秒間であったのに対し、110 km/h 走行時には約90秒と長く、電力の消費状況が燃料電池の電力生成に影響を及ぼしていることが確認された。

次に周期的な水素のピークについては、アイドリング時や60 km/h 走行時には100–200秒おきに観察されたのに対して、110 km/h 走行時には10–50秒という非常に短い間隔でピークが観測された。酸

素・窒素変化の周期とは異なり、スピードや電力消費量に伴って排出の間隔が変化していくものだと考えられる。

最後にこれらの水素のピーク一つ一つに着目すると、アイドリング時の周期的な検出の際には3つのピークとして観測されていた(Fig. 2d)のに対し、走行中(Fig. 3b, 4d)は速度に依らず一つのピークとして観測された。また、観測された最大濃度についても、アイドリング時には6%であったのに対して、走行時には最大3%と比較的薄い濃度が観測された。アイドリング時には外気と混じりにくく細かい変化が観測されたのに対し、走行時には外気と混ざることによって水素濃度が低下して濃度の低いピークが検出されなくなったか、あるいは拡散によって一つのピークとして検出されたのだと考えられる。

4. 結言

アイドリング時及び走行時における、水素を含む複数成分について数百ミリ秒間隔での測定を行った。測定結果よりアイドリング時は最大6%で一秒程度のピークが観測された。高速道路走行時60km/h、110km/hにおいては最大で3%とアイドリング時よりも低い濃度の水素ガスが排出され、その間隔はスピードと共に増大した。今回の計測では、排気管先端でサンプリングを行ったために大気へ放出する直前の濃度について測定を行ったが、走行時には外気と混合したことでアイドリング時と異なりピークがぼやけたり、濃度が低下するなどの現象が観測された。外気混合前の排出ガスや、燃費との関係等のさらなる解析のため、今後は排気管の奥でもサンプリングを行い、外気の影響を受けない状態についても解析を行いたい。

Exhaust Gas Characteristics of Hydrogen-Fueled Vehicles (FCVs) During Operation

Yuki Yoshiyama¹, Toshio. Mogi¹, Koji Yamazaki², Ikuo. Kojima³, Taeko Fujii⁴, Yorikazu Sugawara⁴, Takashi Nohmi⁴
1)The University of Tokyo, 2)JARI, 3)Tama Kayaku Kikou Co. Ltd., 4)Hysafe Nohmi
E-mail: y-yoshiyama@pse.t.u-tokyo.ac.jp, Tel: 03-5841-6876

References

- [1] ECE/TRANS/180/Add.13, HFCV-GTR,
http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob_registry.html
- [2] Nohmi, T., Maekawa, M., Mogi, T., Hydrogen Ion Sensor, HESS, Vol.33, No.2, 1(2008)
- [3] Furusawa, K., Nagoshi, K., Tanimoto, S., Honda R&D Technical Review 23, No.24, 279(2012)
- [4] Matsumoto, M., Shimizu, K., Research of Simulation Method of Hydrogen Diffusion for Fuel Cell Electric Vehicle Development, Honda R&D Technical Review 23, No.1, April, p.56-61(2011).
- [5] Nohmi, T., Mogi, T., "Monitoring H₂ Bubbles Behaviors by real time H₂ sensor", No.229, ICHS2017Hamburg(2017)
- [6] Mogi, T., Nohmi, T., No.234, "Measurement of Hydrogen mixing process by high response hydrogen sensor", ICHS2017Hamburg (2017)