

水素燃料純度の試験

性能、安全性、業界の脱炭素化に不可欠な技術

著者

George Gonzalez
Agilent Technologies, Inc.

概要

水素は炭素排出をゼロにできる可能性があるため、産業の脱炭素化において非常に重要です。水素は再生可能で幅広く利用できる資源であるため、1975 年以来、公共政策や投資の後押しを受けて需要が 3 倍に増加しています。¹ 水素燃料は、排気量の多い業界、特にエネルギー供給企業や輸送業で導入が進んでいくと予想されています。

水素燃料は、燃料電池内で電気を生み出すことで炭素排出ゼロを達成します。排出されるのは水蒸気と熱のみです。このプロセスで二酸化炭素やその他の有害な汚染物質が排出されることはありません。² 水素ガスは天然ガス、バイオマス、水などのさまざまな資源から、風力、太陽光、水力発電などを用いて製造できます。³ 再生可能エネルギーによる電気分解で生み出されるグリーン水素は温室効果ガスの排出がほぼゼロのため、脱炭素を目指す分野に最適です。⁴

このホワイトペーパーでは、水素燃料の純度の重要性について説明します。不純物は燃料電池の性能と安全性に影響する可能性があるため、一貫した燃料品質を実現するには、堅牢な標準化された試験メソッドが必要です。水素をクリーンエネルギー源として幅広く導入することを支援しつつ、長期的な信頼性と安全性を確保するには、水素燃料試験の基準と業界の共同努力が必要です。⁵

水素燃料の純度：必要性と基準

不純物とその水素燃料電池に対する影響

水素燃料には多くの場合、その性能と安全性に影響しうる不純物が含まれます。いくつか例を挙げると、硫黄化合物は燃料電池の触媒を汚染するため、効率性の低下と寿命の短縮につながる可能性があります。⁶ アンモニアは有害な窒素酸化物を生成するため、燃料電池の損傷と安全上の危険を招く可能性があります。⁷ 窒素化合物は電気化学反応に干渉するため、効率性が低下します。⁸ 二酸化炭素と一酸化炭素は触媒の活性点をブロックするため、出力が低下します。^{9、10} メタンは不完全燃焼の原因となるため、エネルギー効率の低下と安全性リスクを引き起こします。¹¹ サンプルング中に流れ込む酸素とアルゴンは、サンプルの完全性を損ないます。⁶

不純物レベルは、原材料や製造方法によって変わります。例えば、天然ガス蒸気の改質で生成される水素には、水電解から生まれる水素より多くの汚染物質が含まれる可能性があります。¹² このため、メーカーとユーザーにとっては確実な品質管理が緊急の優先事項になります。

水素純度の国際基準

水素燃料の純度は、燃料電池アプリケーションで安全で効率的に使用できるようにするため、複数の主要な基準と規制によって規定されています。ISO 14687:2025 は水素燃料の品質要件を規定する国際基準であり、一酸化炭素、硫黄化合物、アンモニアなどの不純物の最大許容濃度を定めています。¹³ また、必要な分析メソッドとサンプリング手法も定めています。米国自動車技術会が策定した SAE J2719_202003 は、燃料電池車の水素燃料品質のガイドラインを提供し、信頼性の高い安全な運用を確保するための汚染物質の制限値と試験メソッドを定めています。¹⁴ 中国の GB/T 3634.2-2011 と GB/T 37244-2018 は、水素燃料の一貫した品質と安全性を維持するために、その品質要件（不純物の最大濃度や検出メソッドなど）を定めた国内基準です。^{15、16}

これらの規制を後押しするため、ASTM Committee D03 on Gaseous Fuels は水素燃料純度の標準化された試験メソッドの策定において重要な役割を果たしています。¹⁷ この委員会は、水素などの気体燃料に関するサンプリング、分析、試験の知識の促進と、定義、仕様、分類、推奨手法、メソッドの策定に尽力しています。その取り組みの目的は、水素燃料が燃料電池への使用に必要な純度基準を満たせるようにすることです。

水素燃料導入における標準化の役割

標準化により、生産者、販売業者、エンドユーザーなどのあらゆる関係者に向けた、品質と安全性についての一貫したベンチマークを確立できます。これにより水素燃料が、効率的で安全な燃料電池運用に必要な純度レベルを満たせるため、水素燃料の長期的な実現可能性と信頼性について業界ユーザーや一般ユーザーに安心感を与え、規制当局の承認を受けやすくなります。また生産、試験、処理、標準化の共通のフレームワークを提供することで、サプライチェーン全体の統合、投資、イノベーションが進み、主流のクリーンエネルギー源として水素の採用が促進されることになります。

技術的課題と高度な技術

サンプリングと検出の難しさ

水素燃料試験は、特にサンプリング中に大きな課題に直面します。周囲空気が流れ込むとサンプルの完全性が損なわれ、燃料電池に適さなくなります。汚染は（図1の）水素サプライチェーン全体で発生し、下流の問題につながる可能性があります。揮発性硫黄化合物のような一部の不純物は、サンプル容器の壁に付着しやすいため、検出が困難です。水素は分子サイズが小さく、拡散性が高くて漏出しやすいため、試験プロセスがさらに複雑になります。このようなサンプリングの課題があるため、特殊な装置と厳格な安全プロトコルの使用が必要です。

さらに、微量不純物の検出が非常に重要です。わずかな汚染物質でも、燃料電池の性能に影響したり、破損の原因になったりする可能性があります。試験プロセスでは、高感度な分析手法と堅牢な品質管理手段により、燃料が厳格な純度基準を満たせるようにする必要があります。

不純物検出のための高度な技術

水素燃料の不純物試験の課題に対応するには、汚染を防ぐだけでは不十分です。そのためには、基本的な化学プロセスを包括的に理解し、サンプリングと分析の詳細に細心の注意を払い、最新の技術を使用して、燃料純度の厳しい基準を確実に満たす必要があります。

ガスクロマトグラフィーと質量分析の組み合わせ（GC/MS）では、ガスクロマトグラフィーの分離機能と質量分析の分析能力を併せて活用できます。GC/MSは精度と信頼性が高いため、水素製造の品質管理に不可欠なツールです。GC/MSは幅広い微量不純物の検出と定量に使用できます。また不純物の複雑な混合物を分析できるため、汚染源の特定と精製プロセスの改善に役立ちます。

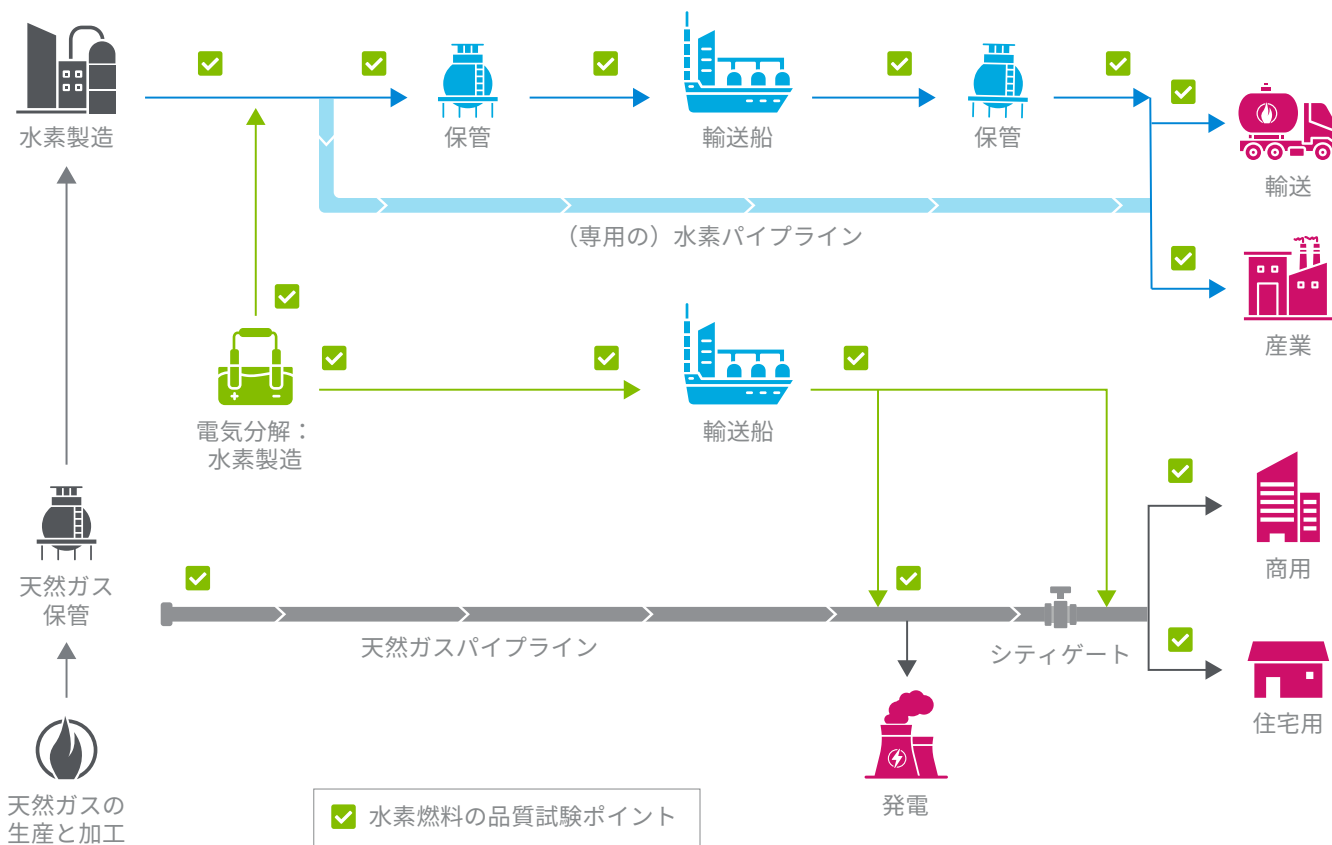


図1. 水素燃料と天然ガスの融合サプライチェーン

アジレントの貢献とイノベーション

水素アナライザの開発

アジレントは水素燃料のサプライチェーンを支援するため、GC ベースのソリューションを改良して、水素燃料中の永久ガス分析を超えた検出ニーズに対応できるようにしました。この機能拡張した一連の GC ソリューションは、ヘリウム、硫化水素、アンモニア、ホルムアルデヒド、ハロゲン化合物などの微量の汚染物質を検出できるように設計されています。これらの微量汚染物質は、GC と各種検出器（質量分析計、電子捕獲検出器、化学発光硫黄検出器、化学発光窒素検出器など）の組み合わせにより同定されます。

アジレントは、最も一般的な水素不純物を分析するためのソリューションを開発しました。詳細は次のアプリケーション総覧をご覧ください。水素燃料試験ソリューション

業界リーダーとの連携

アジレントは ASTM Committee D03 on Gaseous Fuels の専門家と緊密に連携して、バリューチェーン全体で水素燃料の品質を維持するために必要な、標準化された試験方法を開発しています。

また地域レベルでは、中国の Sinopec Research Institute of Petroleum Processing (RIPP) と連携し、水素ガス中の不純物を検出するための信頼性の高いメソッドの開発を支援しました。こうして ppb レベルの不純物を検出できる高度な分析メソッドの共同開発に成功しました。この新しいメソッドは、すでに中国の水素インフラ（初の水素燃料車補給ステーションラボなど）に導入されており、中国当局の認定を受けています。

信頼性と精度の確保

アジレントは水素中の微量不純物を検出するために、ガスクロマトグラフィシステム、質量分析計、特殊な検出器などの堅牢な分析機器を採用しています。アジレントは高度な技術と厳格な基準、包括的なトレーニング、専門家のサポートを組み合わせることで、水素不純物試験の信頼性と精度を高め、水素燃料の商業化を支援しています。

今後の見通しと業界への影響

不純物基準に準拠しなかった場合の結果

厳格な不純物基準に従わないと、水素燃料電池の性能、寿命、安全性に重大な影響を与え、効率性の低下や運用コストの増大、製品寿命の短縮などにつながる可能性があります。不純物によって安全上の危険が生じ、環境上のメリットが減り、水素燃料電池の経済的実現可能性が低下して、市場導入が遅れ、業界の評判が損なわれる可能性があります。また不純物基準に従わないと、規制当局より罰則が課せられる可能性もあります。このため、水素燃料電池の信頼性と持続可能性を確保するには、不純物に関する厳格な基準が必要です。

燃料純度が水素経済に与える影響

水素経済全体で高い純度基準を維持することは、水素技術の幅広い採用を実現し、投資家や一般の人からの信頼を確保し、世界的な脱炭素化の目標を推進するために非常に重要です。

製造においては、不純物が適切に管理されないと、精製コストの増大や物流の複雑化、クリーンエネルギー源としての水素の経済的実現可能性の低下など、サプライチェーン全体がデメリットを被る可能性があります。またユーザー側としては、不純物が危険な状態を招き、水素燃料システムの信頼性と安全性が低下して、市場導入が遅れる可能性があります。重要なのは、不純物によって危険な副産物が生まれると、クリーンエネルギー源としての水素の環境的メリットも損なわれる可能性があることです。

結論

水素は炭素排出をゼロにできる可能性があるため、業界の脱炭素化において非常に重要です。燃料電池の性能と安全性のためには、水素燃料の純度を確保することが不可欠です。不純物の検出には技術的課題があるため、これらの課題の克服に適した技術とアプリケーションは極めて重要です。

試験のメソッドと技術の絶え間ない進歩、および業界の連携と標準化は、高い純度基準を維持し、水素経済の成長を支えるために不可欠です。

参考文献

1. The Future of Hydrogen; International Energy Agency, Paris, 2019. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> (accessed May 22, 2025).
2. Hydrogen Benefits. Alternative Fuels Data Center; U.S. Department of Energy. <https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen-benefits> (accessed May 22, 2025).
3. Hydrogen Production Fact Sheet; Columbia University Center on Global Energy Policy. https://www.energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/pictures/HydrogenProduction_CGEP_FactSheet_052621.pdf (accessed May 22, 2025).
4. How Clean is Green Hydrogen?; Massachusetts Institute of Technology Climate Portal. <https://climate.mit.edu/ask-mit/how-clean-green-hydrogen> (accessed May 22, 2025).
5. Global Collaboration Boosts Green Hydrogen and Could Spur More Green Energy Partnerships; World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/2023/09/global-collaboration-boosts-green-hydrogen-and-could-spur-more-green-energy-partnerships/> (accessed May 29, 2025).
6. Goodwin, J. G., Jr.; Hongsirikarn, K.; Zhang, J.; Liu, Z. M.; Rhodes, W.; Colon-Mercado, H.; Finamooore, P. Effects of Impurities on Fuel Cell Performance and Durability; U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/new_fc_goodwin_clemson.pdf (accessed May 22, 2025).
7. Garzon, F. H.; Rockward, T.; Mukundan, R.; Kienitz, B.; Chlistunoff, J.; Brosha, E. L.; Sansiñena, J. M. Effects of Fuel and Air Impurities on PEM Fuel Cell Performance; U.S. Department of Energy. https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/progress10/v_c_1_garzon-10.pdf (accessed May 22, 2025).
8. Talke, A.; Misz, U.; Konrad, G.; Heinzel, A. Influence of Nitrogen Compounds on PEMFC: A Comparative Study. *J. Electrochem. Soc.* **2018**, 165, F3111–F3117.
9. Nachiappan, N.; Paruthimal Kalaiganan, G.; Sasikumar, G. Effect of Nitrogen and Carbon Dioxide as Fuel Impurities on PEM Fuel Cell Performances. *Ionics* **2013**, 19, 351–354.
10. Valdes-Lopez, V. F.; Mason, T.; Shearing, P. R.; Brett, D. J. L. Carbon Monoxide Poisoning and Mitigation Strategies for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells – A Review. Electrochemical Innovation Lab, University College London.
11. Uribe, F.; Brosha, E.; Garzon, F.; Mikkola, M.; Pivovar, B.; Rockward, T.; Valerio, J.; Wilson, M. Effect of Fuel and Air Impurities on PEM Fuel Cell Performance; U.S. Department of Energy. https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/progress05/vii_i_4_uribe.pdf (accessed May 22, 2025).
12. Hydrogen Production: Natural Gas Reforming; Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office, U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming> (accessed May 22, 2025).
13. ISO 14687:2025 Hydrogen Fuel Quality – Product Specification; International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/82660.html> (accessed May 22, 2025).
14. SAE J2719_202003: Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles; Society of Automotive Engineers. https://www.sae.org/standards/content/j2719_202003/ (accessed May 22, 2025).
15. GB/T 3634.2-2011: Hydrogen - Part 2: Pure Hydrogen, High Pure Hydrogen, and Ultra-Pure Hydrogen; Standardization Administration of China, 2011.
16. GB/T 37244-2018: Fuel Specification for Proton Exchange Membrane Fuel Cell Vehicles—Hydrogen; Standardization Administration of China, 2018.
17. Committee D03 on Gaseous Fuels; ASTM International. <https://www.astm.org/membership-participation/technical-committees/committee-d03> (accessed May 22, 2025).

謝辞

本書は主に以下のインタビュー記事をもとに執筆させていただきました。Wiley Analytical Science. Future Hydrogen Fuel Testing. <https://analyticalscience.wiley.com/content/article-do/future-hydrogen-fuel-testing> (accessed May 22, 2025).

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタマコンタクトセンタ

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、医薬品医療機器等法に基づく登録を行っておりません。本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに変更されることがあります。

DE-007735

アジレント・テクノロジー株式会社

© Agilent Technologies, Inc. 2025

Printed in Japan, September 30, 2025

5994-8477JAJP