

講演 2

**燃料電池自動車の水素燃料消費率測定法の
バリデーションと国際基準調和への展開**

環境研究部 主任研究員

小鹿 健一郎

燃料電池自動車の水素燃料消費率測定法のバリデーションと国際基準調和への展開

環境研究部 主任研究員 小鹿 健一郎

本日の講演内容

1. 研究の背景と目的
2. 水素燃料消費率測定方法の概要
3. 実車両を用いた試験法のバリデーション
4. 国際基準調和活動への展開

研究の背景

- 量産型燃料電池自動車 (FCV) がトヨタおよびホンダからそれぞれ2014年および2015年に販売開始された。
- その後、2017年に、FCVの水素燃料消費率測定方法を含むWLTP (the Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures) が GTR (the global technical regulation) No.15として成立した。
- 日本政府はWLTPを国内法規として取り入れる作業を実施している。



UNECE

Global Technical Regulations (GTRs)
1998 Agreement on Global Technical Regulations (GTRs)

Registry of Global Technical Regulations
ECE/TRANS/180 - Global Registry

English [DOC](#) [PDF](#)

French [DOC](#) [PDF](#)

Russian [DOC](#) [PDF](#)

国内導入





国土交通省

自動車

ホーム > 政策・仕事 > 自動車 > 道路運送車両の保安基準 (H30.12.28現在)

道路運送車両の保安基準 (H30.12.28現在)

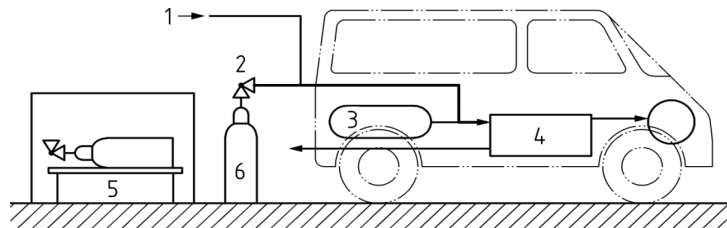
保安基準	細目告示			適用整理
	第1節	第2節	第3節	
第1条 用語の定義	1-2	202		
第1条の2 燃料の規格		2		

研究の背景と目的

- WLTPの国内法規として取入れの一環として、交通研が、水素燃料消費率測定方法のバリデーションを行うこととなった。
- 本WLTPの草案が国際基準調和活動の場で議論されていたころ、量産型車両の発売はまだ行われていなかったため、このバリデーションは量産型車両を対象とした公的研究機関において初めてのバリデーションとなる。
- 本研究では、量産型車両を使用して、水素燃料消費率の測定において影響を与える因子を抽出し、その影響度合いを明らかにするとともに実際の試験方法として実施可能であるか判断することを目的とする。

WLTPに規定されている水素燃料消費率測定方法の概略

重量法



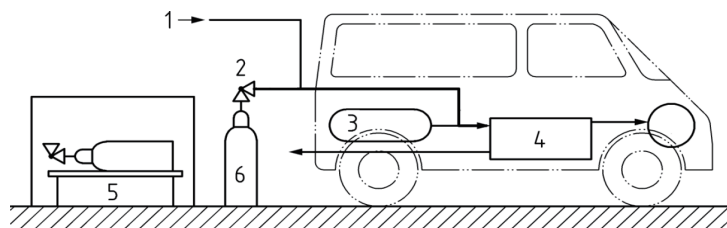
This figure is described in WLTP.

水素燃料消費率は、試験走行前後の外付けタンクの重量を計量し、走行距離と消費された水素の量から計算される。

詳細な試験手順はGTR-No. 15 Annex 8, Appendix 7に記載されている。

WLTPに規定されている水素燃料消費率測定方法の概略

本研究において注目する要素

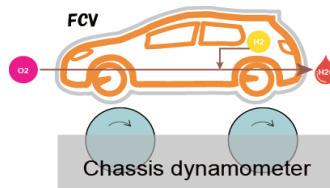
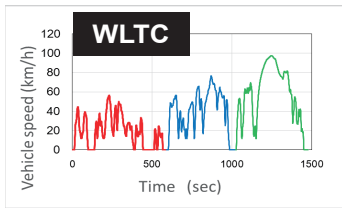


This figure is described in WLTP.

FCVに特有の要素として、ポンベの計量と水素供給配管での水素ロスに焦点をあてて影響評価を行う。

試験法バリデーションの概略

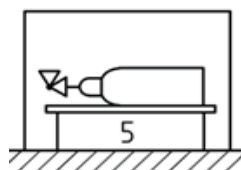
1. WLTPに基づく水素燃料消費率の試験を実施



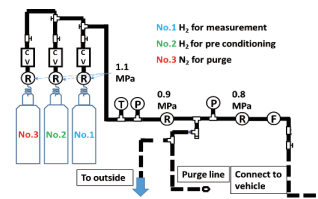
2. FCVを対象とした試験特有の要因に着目した感度分析

- 計量読み取り精度
- 配管内のデッドボリウム
- 配管切り替えの遅れ

電子天秤



水素供給配管



2年間で2台の車両を試験

2台の量産型燃料電池自動車を対象に調査を実施



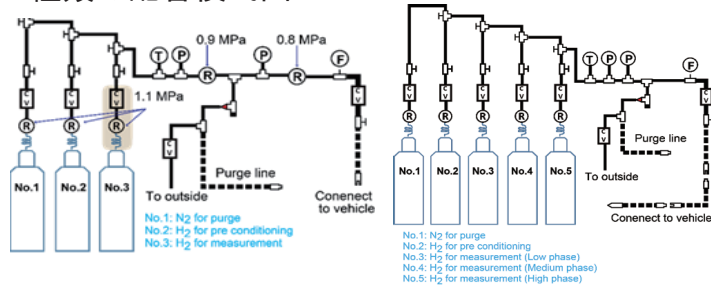
天秤は同じものを使用し、試験車両ごとに水素供給配管を準備した。

天秤外観

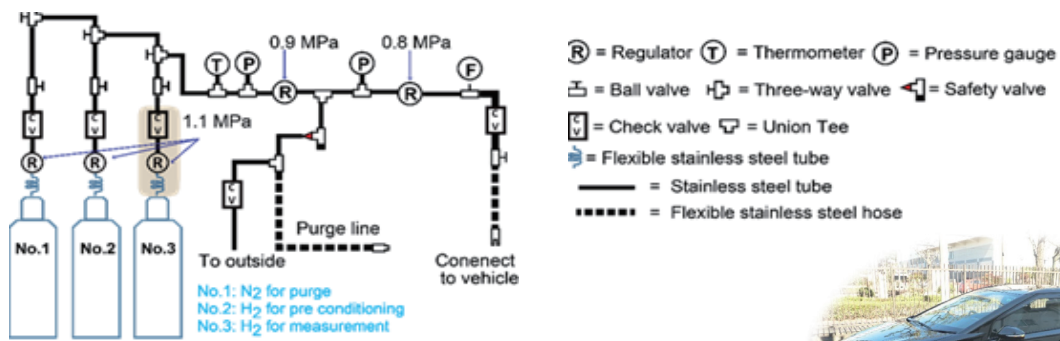


最小読み取り値 (0.005 g)

2種類の配管模式図

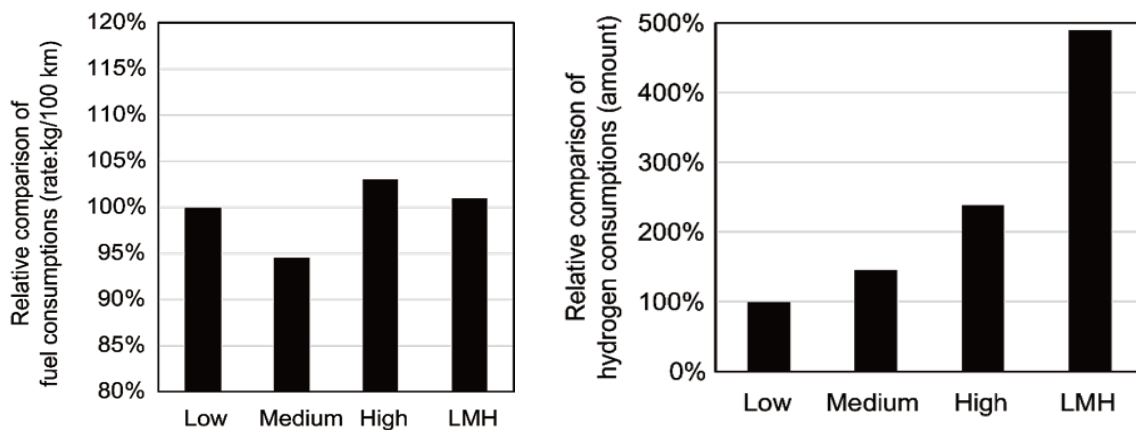


試験車両Aの水素供給配管



水素のロスが最小になるように設計

試験車両Aの水素燃料消費率と消費量の相対比較



- Lowフェーズの水素燃料消費率を基準にした相対比較では値の幅は95%-103%であった。
- 水素消費量はLowフェーズが最も少なかった。

消費した水素量の計測精度が最も影響を与えるのはLowフェーズの水素燃料消費率測定であることが明らかとなった。

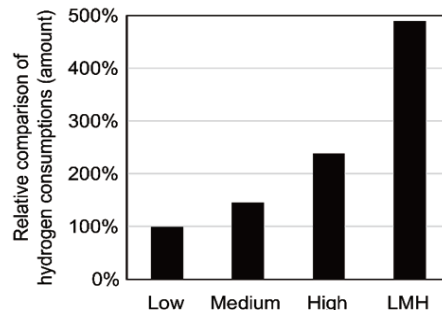
FCV特有の要因に関する感度分析

感度分析のための条件設定

0.67 kg/ 100 km in Low phase

20.6 g / 3.095 km

150 km/kg (Lowフェーズ)
日本表記



実際の車両試験の結果と、今後の車両性能の向上を想定し、Lowフェーズの水素燃料消費率150 km/kgの車両を想定した。

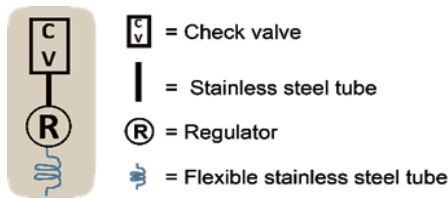
水素消費量計測による影響

水素消費量が0.1 g 変化した際の水素燃料消費率

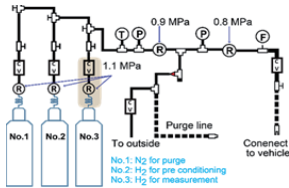
Change	Amount	Rate	Relative change
Original	20.6 g	150.2 km/kg	-
+ 0.1 g	20.7 g	149.5 km/kg	-0.5 %
- 0.1 g	20.5 g	150.9 km/kg	+0.5 %

水素消費量0.1 g(WLTPで規定されている重量計の最小読み取り値)の対するズレに水素燃料消費率への影響は最大0.5%であった。

水素供給配管のデザインによる影響(過大に見積もられるケース)



Parts	Length mm	Diameter mm	Pressure MPa	Hydrogen mg
Check valve	55	4.6	1.1	0.8
Stainless steel tube	15	4.6	1.1	0.2
Regulator	150	4.6	14.7	29.2
Flexible stainless steel tube	1000	1.6	14.7	23.3
Total				53.5



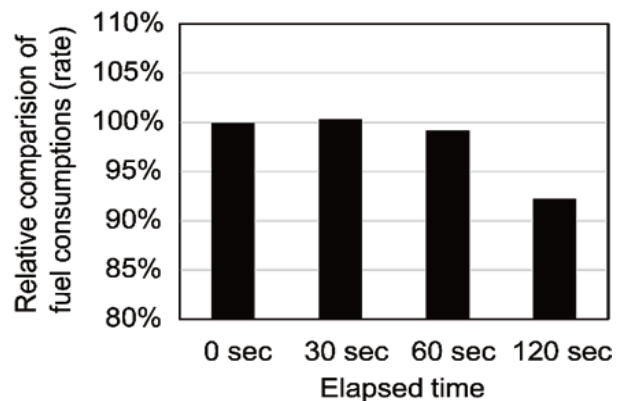
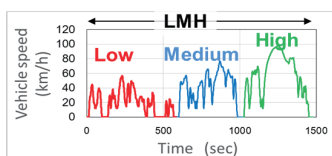
配管体積をもとに推計された最大損失量 0.053 g
 = 最小読み取り値(0.1 g)の半分程度

水素燃料消費率への影響は、最大0.3%程度と想定された。

水素供給配管の切り替え遅れによる影響

試験条件

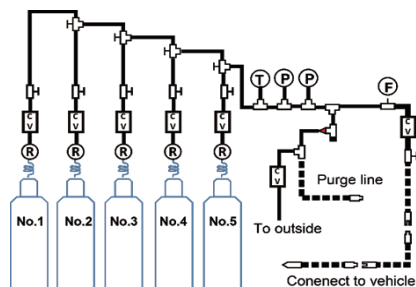
Lowフェーズ走行終了後、ブレーキを踏みながらアイドル状態を維持(30秒、60秒、120秒)



60秒まで水素燃料消費率はほとんど変化しなかった。

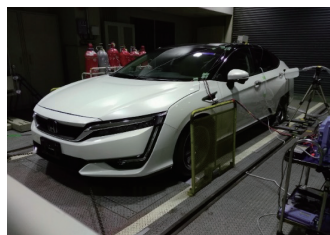
仮に配管の切り替え作業が2-3秒程度遅れたとしても、水素燃料消費率の計測結果に影響を与えないことが確認された。

試験車両Bの水素供給配管



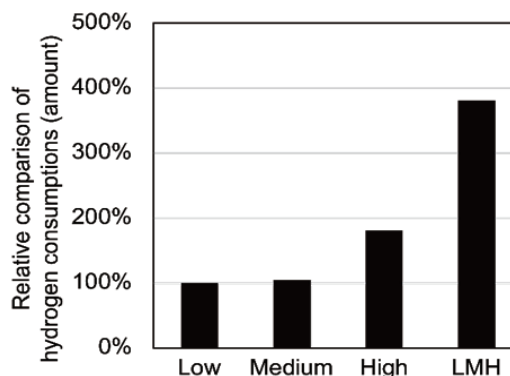
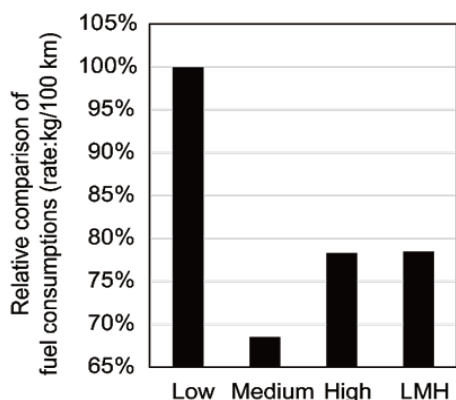
No.1: N₂ for purge
 No.2: H₂ for pre-conditioning
 No.3: H₂ for measurement (Low phase)
 No.4: H₂ for measurement (Medium phase)
 No.5: H₂ for measurement (High phase)

Ⓡ = Regulator Ⓣ = Thermometer Ⓟ = Pressure gauge
 Ⓜ = Ball valve Ⓜ = Three-way valve Ⓜ = Safety valve
 Ⓜ = Check valve Ⓜ = Union Tee
 — = Flexible stainless steel tube
 — = Stainless steel tube
 = Flexible stainless steel hose



Low, Medium, Highフェーズを連続で試験できるように設計

試験車両Bの水素燃料消費率と消費量の相対比較



- Lowフェーズの水素燃料消費率を基準にした相対比較では値の幅は68%-100%であった。
- 水素消費量はLowフェーズが最も少なかった。

消費した水素量の計測精度が最も影響を与えるのはLowフェーズの水素燃料消費率測定であることが明らかとなった。

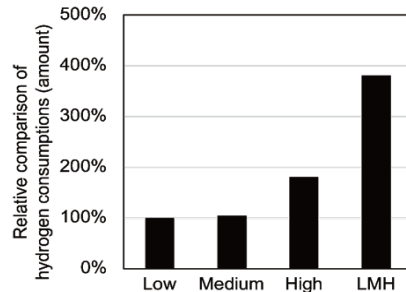
FCV特有の要因に関する感度分析

感度分析のための条件設定

0.67 kg/ 100 km in Low phase

20.6 g / 3.095 km

150 km/kg (Lowフェーズ)
日本表記



- 試験車両BのLowフェーズでの水素消費量は20.6 gよりも大きかった。

引き続き、Lowフェーズの水素燃料消費率150 km/kgの車両を想定して感度分析を行うこととした。

水素消費量計測による影響

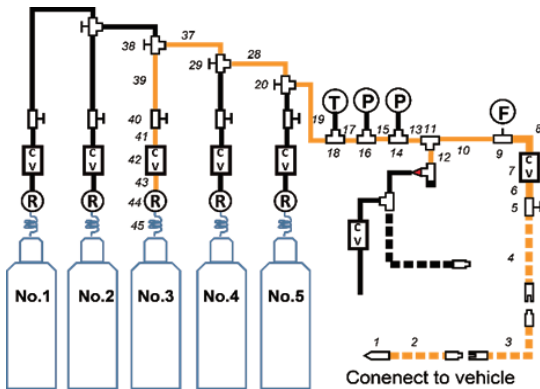
水素消費量が0.1 g 変化した場合の水素燃料消費率

Change	Amount	Rate	Relative change
Original	20.6 g	150.2 km/kg	-
+ 0.1 g	20.7 g	149.5 km/kg	-0.5 %
- 0.1 g	20.5 g	150.9 km/kg	+0.5 %

水素消費量0.1 g(WLTPで規定されている重量計の最小読み取り値)のズレに対する水素燃料消費率への影響は最大0.5%であった。

水素供給配管のデザインによる影響(過少に見積もられるケース)

水素配管のデザインにより走行に使用された水素が過少に見積もられるケースを再現し、その影響の大きさを評価した。



本ケースが発生する例

試験前の配管内圧力が2.3 MPaに設定されているが、試験終了時に配管内圧力が1.7 MPaまで低下している。

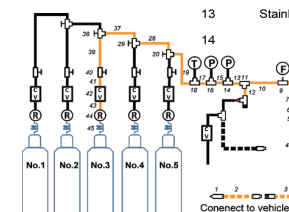
この場合、FCVはタンクからだけでなく、配管内に存在した水素も消費して走行したことになる

試験前後で配管内圧力が変化するように意図的に設定しその影響を評価する。

水素供給配管のデザインによる影響(過少に見積もられるケース)

該当部分の配管体積の計算

No	Parts	Length mm	Diameter mm	Volume mL	
1	Hydrogen filling gun	270	10.2	22.1	
2	Flexible stainless steel hose	2150	10.2	176.0	
3	Flexible stainless steel hose	2150	10.2	176.0	
4	Flexible stainless steel hose	3050	10.2	249.6	
5	Ball valve	120	10.2	9.8	
6	Stainless steel tube 1/2 inch	20	10.2	1.6	
7	Check valve	85	10.2	7.0	
8	Stainless steel tube 1/2 inch	10	10.2	0.8	
9	Filter	75	10.2	6.1	
10	Stainless steel tube 1/4 inch	45	4.6	0.7	
11	Union Tee	50	4.6	0.8	
12	Stainless steel tube 1/4 inch	90	4.6	1.5	
13	Stainless steel tube 1/4 inch	25	4.6	0.4	
14	Pressure gauge	50	4.6	0.8	
15	Stainless steel tube 1/4 inch	25	4.6	0.4	
16	Pressure sensor	50	4.6	0.8	
17	Stainless steel tube 1/4 inch	25	4.6	0.4	
18	Temperature sensor	50	4.6	0.8	
19	Stainless steel tube 1/4 inch	615	4.6	10.1	
20	Three-way valve	60	4.6	1.0	
28	Stainless steel tube 1/4 inch	340	4.6	5.6	
29	Three-way valve	60	4.6	1.0	
37	Stainless steel tube 1/4 inch	320	4.6	5.3	
38	Three-way valve	60	4.6	1.0	
39	Stainless steel tube 1/4 inch	25	4.6	0.4	
40	Ball valve	160	4.6	2.6	
41	Stainless steel tube 1/4 inch	25	4.6	0.4	
42	Check valve	60	4.6	1.0	
43	Stainless steel tube 1/4 inch	25	4.6	0.4	
44	Regulator	160	4.6	2.6	
45	Flexible stainless steel tube	1000	1.6	2.0	
				Total	689.1



影響を受ける配管内の体積を0.689 Lと見積もった。

過少評価される水素重量の算出

圧力差を意図的に生じさせない場合

	Setting value MPa	Mesured value MPa	Hydrogen g
Condition 1	0.00	0.13	0.036 ←
Condition 2	0.30	0.29	0.082
Condition 3	0.60	0.70	0.195

試験を行うと約0.1 MPaの圧力差が、圧力差を意図的に生じさせない場合でも発生した。この時配管内から供給された水素は0.036 gであり、Lowフェーズ150 km/kgに対する影響は0.2%であった。

これは規定された天秤の最小読み取り値 (0.1 g) よりも小さい値であった。

過少評価される水素重量の算出

圧力差を意図的に生じさせた場合

	Setting value MPa	Mesured value MPa	Hydrogen g
Condition 1	0.00	0.13	0.036
Condition 2	0.30	0.29	0.082 ←
Condition 3	0.60	0.70	0.195 ←

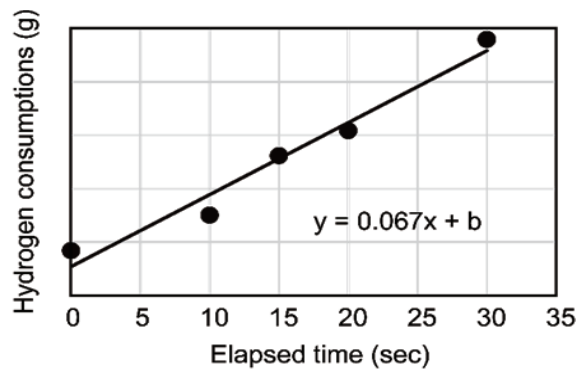
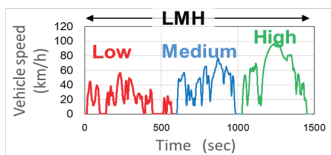
条件2および3における配管内から供給された水素の量はそれぞれ0.082 g と0.195 gであった。

今回の実験系では試験前後の圧力差が 0.35 MPa未満であれば、過少評価される水素量は 0.1 g未満であると推定された。

水素供給配管の切り替え遅れによる影響

試験条件

Lowフェーズ走行終了後、ブレーキを踏みながらアイドル状態を維持(10秒、15秒、20秒、30秒)



本試験車両の場合、グラフの傾きより1秒あたり0.067gの水素が消費されていることが明らかとなった。よって、配管の切り替えが1秒遅れた場合、150 km/kgの水素燃料消費率に対して、約0.3%の影響を生じると推定された。

バリデーションのまとめ

- » WLTPに記載された方法によりFCVの水素燃料消費率を測定を実施した。
- » 実際の試験により得られた結果をもとに、Lowフェーズにおける水素燃料消費率が150 km/kgの車両を想定して、水素燃料消費率に影響を与える要因の感度分析を行った。
- » 本調査において評価した項目の影響度はどれも0.5%未満であったことからWLTPに記載された方法でFCVの水素燃料消費率が適正に測定できると結論づけた。
- » また、今回のバリデーションでは、配管の設計や制御が水素燃料消費率の測定に影響を与える可能性が示唆された。(今回の調査では、問題はなかったが、将来問題となるケースが起こる可能性がある。)

国際基準調和活動への展開

FCVの水素燃料消費率

- » 交通研でのバリデーションの結果をもとに、『配管に由来する影響があった場合、その影響を補正できる』ように試験法の修正提案を行った。
- » 審議は、WLTP-IWGおよびGRPEを通過し、2019年6月に開催されるWP29で投票が行われることになっている。
- » WP29で可決されるとFCVの水素燃料消費率の測定方法に、『配管に由来する影響を補正』の項目が正式に追加されることとなる。

FCVの一充填走行距離測定法

- » 現在、WLTPに規定のないFCVの一充填走行距離測定法を交通研にて検討中。