

# 夏季環境条件におけるエアコン使用時の燃費推計方法に関する検証

Evaluation of Estimation Method for the Fuel Consumption under the A/C Operating Condition in the Summer

羽二生 隆宏 \*1  
Takahiro HANIU

松浦 賢 \*1  
Ken MATSUURA

## Abstract

It was known that the vehicle fuel consumption under the mobile air conditioner (A/C) operation is increased in accordance with increase of the specific enthalpy in the test cell. In this study, we evaluated the estimation method for the fuel consumption under the A/C operating condition in the representative summer condition based on the relationship between the specific enthalpy in the test cell and fuel consumption. It was found that the difference between the estimated fuel consumption and the measured fuel consumption in the environmental condition of 71 kJ/kg(DA) was approximately 1.6%.

## 1. まえがき

現在、自動車の燃費は、国土交通省による燃費基準の策定や自動車メーカーによる燃費改善技術の開発により、着実な改善が図られている。一方で、カタログ等の諸元表に記載されている「カタログ燃費」と実際にユーザが路上を走行した際の「実走行燃費」には二割程度の差があるとの報告<sup>1)</sup>もあり、カタログ燃費と実走行燃費の差をできるだけ小さくすることが望まれている。カタログ燃費と実走行燃費に差が生じる要因のひとつとして、エアコン（冷房）の使用があげられる。カタログ燃費は、自動車の燃費性能を比較するための指標として、試験室内でシャシダイナモメータを用いて、一定条件下（標準大気状態、エアコンや電気デバイスの不使用など）において試験法で定められた走行パターンを走行して測定されている。しかし、実走行では、エアコンを使用するなど様々な条件が異なり、一定の条件下で測定したカタログ燃費とは差が生じる場合がある<sup>2)~5)</sup>。これまで筆者らは、シャシダイナモメータを用いたエアコ

ン使用時の燃費測定方法を検討し、試験室の温湿度や日射強度などの外気環境、あるいは車室内温度設定や風量設定などのエアコン設定条件がエアコン使用時の燃費に及ぼす影響を整理し、試験室空気の比エンタルピやエアコンの風量設定が高くなるに従い燃料消費量が増加する傾向にあることを明らかにした<sup>6)</sup>。なお、エンタルピとは、空気のもつ全熱量をあらわし、乾き空気の熱量と空気に含まれる水蒸気の熱量の合計である。また、比エンタルピとは、単位質量あたりのエンタルピをあらわし、0°Cの乾き空気を基準としている。比エンタルピの単位は、kJ/kg(DA)である。

エアコン使用時に燃料消費量が増加すると考えられる夏季環境条件におけるエアコン使用時の燃費を測定するためには、試験室内の温度や湿度を夏季環境条件に設定可能な環境型シャシダイナモ設備が必要となるが、既報の試験室空気の比エンタルピとエアコン風量を考慮することにより、現状の一般的な常温型シャシダイナモ設備により測定できる可能性がある。

\*1 一般財団法人日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部

そこで、本研究では、夏季環境条件におけるエアコン使用時の燃費の推計手法として、試験室空気の比エンタルピを変えることによる推計手法およびエアコン風量を変えることによる推計手法を開発し、実験結果と比較することで、その推計精度を調査した。試験室空気の比エンタルピによる調査では、常温型シャシダイナモ設備において設定可能な、試験室空気の比エンタルピが異なる二つの環境条件にて、八台の車両を用いてエアコン使用時の燃料消費量を測定し、測定値の変化量から夏季環境条件の比エンタルピにおけるエアコン使用時の燃料消費量を外挿補間して推計する方法を調査した。エアコン風量による調査では、四台の車両を用いて、風量の異なる二つの条件におけるエアコン使用時の燃料消費量を測定し、夏季環境条件と同等のエアコン冷房負荷における燃料消費量を外挿補間して推計する方法を調査した。推計した結果は、環境型シャシダイナモ設備にて実測した夏季環境条件でのエアコン使用時の燃料消費量と比較し、推計精度を検討した。

## 2. 夏季環境条件における燃費の推計方法

### 2.1 エアコン使用時の冷房負荷

エアコンの冷房負荷は、その構造や原理から空気流路の伝熱が小さいと考えた場合、エバポレータでの熱交換量、すなわちエバポレータ入口空気と出口空気の単位体積あたりの熱量の差とエバポレータを通過する空気流量によって求めることができる。Fig. 1にエバポレータにおける熱交換を示す。また、空気の熱量の指標としては、温度（顕熱）に加えて空気中に含まれる水分の熱量（潜熱）を含んだ比エンタルピを用いることが適切と考えられる。式（1）にエアコン使用時の冷房負荷の算出式を示す。

$$\dot{Q} = (h_{in} - h_{out}) \times \dot{m} \quad (1)$$

ここで、 $\dot{Q}$  はエアコンの冷房負荷 (kW)、 $h_{in}$  はエバポレータ入口（エアコンフィルタ部）の空気の比エンタルピ (kJ/kg(DA))、 $h_{out}$  はエバポレータ出口の空気の比エンタルピ (kJ/kg(DA))、 $\dot{m}$  はエバポレータを流れる空気流量 (kg/s) を示している。

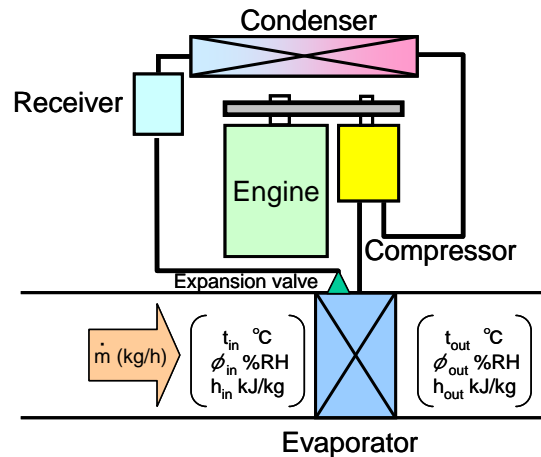


Fig. 1 Heat exchange on the evaporator

### 2.2 試験室空気比エンタルピによる推計手法

エアコン使用時の冷房負荷は、風量が一定かつ外気導入設定の場合、外気の比エンタルピに応じて高くなり、試験室空気の比エンタルピとエアコン使用時の燃費は線形関係になると知られている。このため、常温型シャシダイナモ設備で設定できる二つの異なる環境における燃費値を測定し、比エンタルピと燃費の関係を求めることで、夏季代表環境条件などの任意の外気環境における燃費値を外挿補間によって推定することができると考えられる。本推計手法を常温環境二点補正法とする。Fig. 2に常温環境二点補正法の推計方法のイメージを示す。また、式（2）に試験室空気の比エンタルピを用いた燃費推計値の求め方を示す。

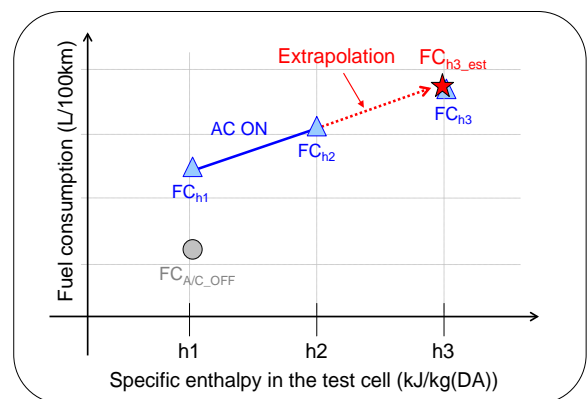


Fig. 2 Image of estimation based on specific enthalpy in the test cell

$$FC_{h3\_est} = \frac{(FC_{h2} - FC_{h1})}{(h2 - h1)} \cdot (h3 - h1) + FC_{h1} \quad (2)$$

ここで、 $FC_{h3\_est}$  は、試験室空気の比エンタルピ  $h3$  におけるエアコン使用時の燃料消費量推計値 (L/100km)、 $FC_{hi}$  は、試験室空気の比エンタルピ  $hi$  におけるエアコン使用時の燃料消費量測定値 (L/100km)、 $hi$  は、試験室空気の比エンタルピ (kJ/kg(DA)) を示している。

### 2.3 エアコン風量 (冷房負荷) による推計手法

試験室の環境条件を変化させる方法のほか、エアコンの風量を多くすることによってもエアコンの冷房負荷を変化させることができると考えられる (Fig. 3)。式 (3) にエアコンの風量によってエアコン冷房負荷を変化させた場合の燃費推計算出式を示す。

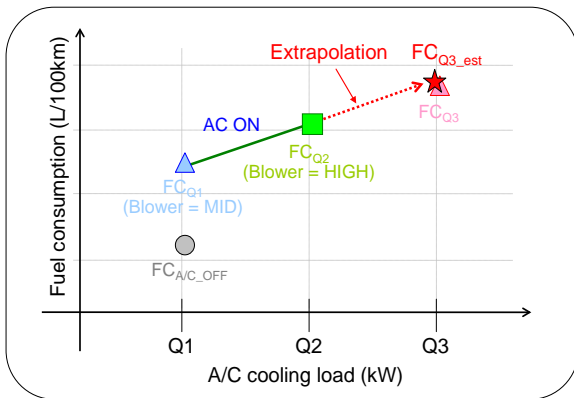


Fig. 3 Image of estimation based on blower mass flow

$$FC_{h3\_est} = \frac{(FC_{Q2} - FC_{Q1})}{(Q2 - Q1)} \cdot (Q3 - Q1) + FC_{Q1} \quad (3)$$

ここで、 $FC_{Q3\_est}$  は、エアコン冷房負荷  $Q3$  におけるエアコン使用時の燃料消費量推計値 (L/100 km)、 $FC_{Qi}$  は、エアコン冷房負荷  $Qi$  におけるエアコン使用時の燃料消費量測定値 (L/100 km)、 $Qi$  は、エアコン冷房負荷 (kW) を示している。

### 2.4 東京の代表的な夏季環境条件

自動車使用時の平均的な外気環境条件は、時間帯別の環境条件 (気温、比エンタルピおよび日射量) と時間帯別の交通量を加重平均することによって求められる。東京の気象情報は、2005年から2010年の気象庁アメダス情報<sup>(7)</sup>を用い、時間帯別交通量は、JCAPの2000年全国二次メッシュ交通

流<sup>(8)</sup>から東京部分を抽出して用いた。時間帯別の環境条件と交通量を加重平均した結果を表1に示す。東京における自動車使用時の平均的な環境条件は、比エンタルピ70.3 kJ/kg(DA)、日射量238 W/m<sup>2</sup>であった。日射量238 W/m<sup>2</sup>とは、曇りに相当する強度で燃費への影響は大きくないと考えられる。このため、本調査では、代表的な夏季環境条件として、比エンタルピがほぼ同等となる、30℃、60%RH、71 kJ/kg(DA)、日射なしの条件を設定した。

Table 1 Representative environmental condition of traveling in August at Tokyo

Temperature	28.4	[degC]
Specific enthalpy	70.3	[kJ/kg(DA)]
Amount of solar radiation	238	[W/m <sup>2</sup> ]

### 3. 実験方法

供試車両は、マニュアルエアコンを搭載した車両四台およびオートエアコンを搭載した車両四台を用いた。供試車両の主な諸元を表2に示す。

エアコン使用時の燃費試験は、幅広い温度湿度環境を再現できる環境型シャシダイナモ設備 (温度設定範囲-10℃~+40℃、明電舎95 kW交流式ダイナモメータ) を用いて、表3に示す環境条件に設定した際のエアコン使用時の燃費を測定し、試験室空気の比エンタルピの影響度を調査し、夏季代表環境条件における燃費の推計手法の精度を検証した。夏季代表環境条件は、試験室空気の比エンタルピ71 kJ/kg(DA)に設定した。排出ガスは、ガソリン車は堀場製作所MEXA-7200LEを用い、ディーゼル車は堀場製作所OBS-2200を用いて分析した。

燃費の測定には、Worldwide Light duty Test Cycle<sup>(9)</sup> (以下、WLTCという) の車両クラス3bに適用されるLow3、Medium3-2 およびHigh3-2の組み合わせを用いた (Fig. 4)。走行抵抗は、23℃環境において標準大気状態 (20℃環境) における走行抵抗を設定し、環境条件を変化させた場合も同一の設定で試験を実施した。試験前の暖機走行は、エアコンを作動させた状態で60±2 km/hの定常走行を30分間行った。

エアコン設定は、オートエアコン車は20℃、外

気導入 (Fresh), 風量MID (以下, 20FMという) に設定し, マニュアルエアコン車は温度最冷 (Lowest), 外気導入 (Fresh), 風量MID (以下, LFMという) に設定した. また, オートエアコン車は, 環境条件50 kJ/kg(DA)設定において20°C, 外気導入, 風量HI (以下, 20FHという) の試験を追加で実施した.

なお, ディーゼル乗用車である車両A4は, 排出ガス後処理装置としてDiesel Particulate Filter (以下, DPFという) が搭載されているが, 本調査では, 再生運転が行われていない条件で試験を実施した.

Table 2 Specification of test vehicles

Vehicle ID	M1	M2	M3	M4
Vehicle type	PC	PC	PC	CV
Fuel type	Gasoline	Gasoline	Gasoline	Gasoline
Engine capacity (cc)	1329	658	1198	1998
Maximum power of Engine (kW)	70	38	58	96
Maximum power of Motor (kW)	-	-	-	-
Transmission type	CVT	CVT	CVT	5AT
Air conditioner type	Manual A/C	Manual A/C	Manual A/C	Manual A/C
Idling stop device	Yes	Yes	Yes	No
Vehicle ID	A1	A2	A3	A4
Vehicle type	PC	PC	PC	PC
Fuel type	Gasoline	Gasoline	Gasoline	Diesel
Engine capacity (cc)	658	1496	1496	2188
Maximum power of Engine (kW)	47	81	54	129
Maximum power of Motor (kW)	-	22	45	-
Transmission type	5AMT	7AT	CVT	6AT
Air conditioner type	Auto A/C	Auto A/C	Auto A/C	Auto A/C
Idling stop device	Yes	Yes	Yes	Yes

Table 3 Environmental conditions

Specific enthalpy (kJ/kg(DA))	Temperature (degC)	Relative humidity (%RH)	Test vehicle								
			M1	M2	M3	M4	A1	A2	A3	A4	
50	23	60	-	●	●	●	●	●	●	●	●
	25	50	●	-	-	-	-	-	-	-	-
55	25	60	-	●	●	●	●	●	●	●	●
	27	60	-	●	●	●	●	●	●	●	●
61	28	55	●	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	60	-	●	●	●	●	●	●	●	●
71	30	60	-	●	●	●	●	●	●	●	●
	35	40	●	-	-	-	-	-	-	-	-

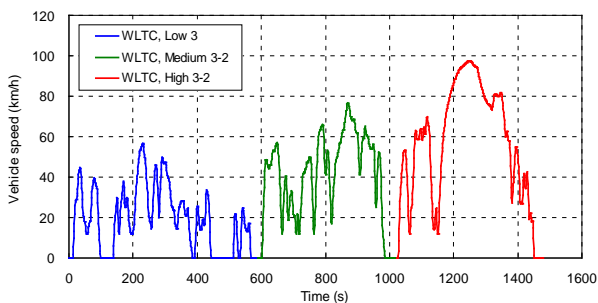
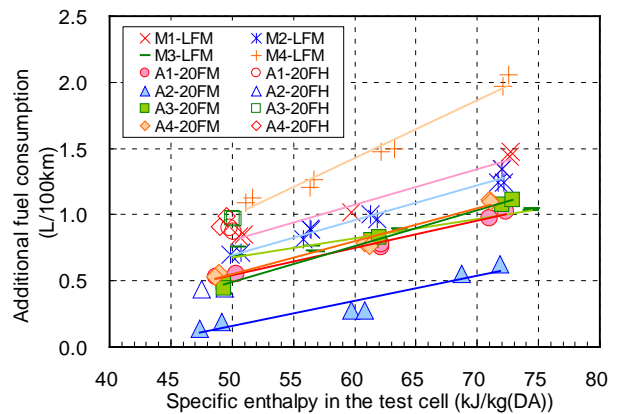


Fig. 4 WLTC (Low-Medium-High)

## 4. 試験結果および考察

### 4.1 比エンタルピと燃料消費量の関係

試験室空気の比エンタルピとエアコン使用時における燃料消費量の増加量の関係をFig. 5に示す. 燃料消費量の増加量は, 環境条件50 kJ/kg(DA)設定におけるエアコン不使用時の燃料消費量を基準とした際のエアコン使用時の燃料消費量の変化量を表す. いずれの車両も, 試験室空気の比エンタルピが50 kJ/kg(DA) から71 kJ/kg(DA)の範囲において日射がない条件では, 試験室空気の比エンタルピ (試験室温度) が高くなるに従って, 燃料消費量が増加する傾向にあり, ハイブリッド車やディーゼル車を含む本調査での車両では, 試験室内空気の比エンタルピと燃料消費量の増加の関係は線形関係になった.



\*Legend: Vehicle ID - A/C setting\*\*  
\*\*LFM: Lowest-FRESH-MID, 20FM: 20°C-FRESH-MID, 20FH: 20°C-FRESH-HI

Fig. 5 Relationship between specific enthalpy in the test cell and additional fuel consumption

### 4.2 常温環境二点補正法の推計精度

常温型シャシダイナモ設備で設定可能な環境条件である試験室空気の比エンタルピとして50 kJ/kg(DA), 55 kJ/kg(DA) および61 kJ/kg(DA) 設定の燃費測定値を用いて試験室空気の比エンタルピ71 kJ/kg(DA)設定における燃料消費量を推定した. 例として, Fig. 6に車両M3の試験結果を示す. 環境条件50 kJ/kg(DA)設定の燃費測定値は5.49 L/100km, 環境条件55 kJ/kg(DA)設定の燃費測定値は5.49 L/100km, 環境条件61 kJ/kg(DA)設定の燃費測定値は5.65 L/100km, 環境条件71 kJ/kg(DA)設定の燃費測定値は5.80 L/100kmであった. 試験室空気の比エンタルピ50 kJ/kg(DA)

設定および61 kJ/kg(DA)設定の測定値の単位比エンタルピあたりの変化量は、0.012 (L/100km)/(kJ/kg(DA))であり、この変化の傾きを用いて71 kJ/kg(DA)設定の燃費値を外挿補間で求めると5.77 L/100kmになった。測定値5.80 L/100kmと比較すると、その差は-0.4%であった。次に、二つの環境条件の比エンタルピ差が小さい場合について検証を行った。50 kJ/kg(DA)設定および55 kJ/kg(DA)設定の燃費測定値を用いて試験室空気の比エンタルピ71 kJ/kg(DA)設定における燃費を推定した場合、推計値は5.51 L/100kmになり、実測値に対して-4.9%の差になった。

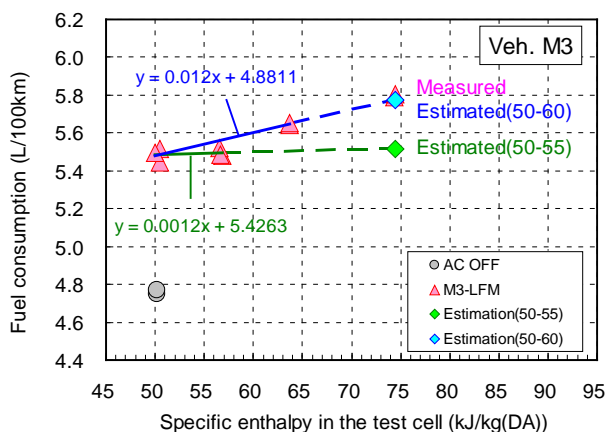


Fig. 6 Test result of Vehicle M3

Fig. 7に試験室空気の比エンタルピ50 kJ/kg(DA)設定 および61 kJ/kg(DA)設定の測定値を用いた場合の各車両の外挿補間で求めた71 kJ/kg(DA)の燃費値の推計結果の一覧を示す。今回の調査の範囲では、推計値は、測定値に対して、平均-1.6% (-4.7%~+0.7%)の誤差となり、推計精度が高いことが確認できた。一方で、推計値が測定値に対してやや低い値になる傾向があることが見られた。WLTC走行中にエアコンを作動させると、外気温が高いエアコン負荷が高い条件では、全開に近い走行の発生頻度が増加するなどエンジン使用条件が変わるため、燃料をより多く消費する。このため、環境条件71 kJ/kg(DA)では、推計値よりも実測値の燃料消費量が多くなる傾向になったと考えられる。

試験室空気の比エンタルピが50 kJ/kg(DA)設定および55 kJ/kg(DA)設定の燃費測定値を用い

て試験室空気の比エンタルピ71 kJ/kg(DA)設定における燃費を推定した結果をFig. 8に示す。燃費推計値は、測定値に対して、今回の調査の範囲では、平均+2.5%の誤差であり、誤差が大きくなる傾向にあった。推計に用いる二つの実測値の環境条件(試験室比エンタルピ)をできる限り離すことが精度向上につながると考えられる。

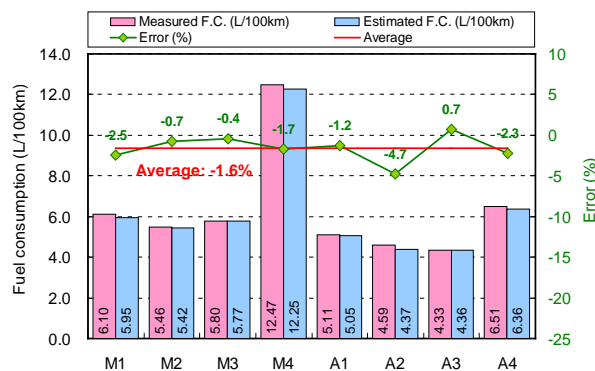


Fig. 7 Difference between measured value and estimated value in the representative summer condition based on the measured values of 50 kJ/kg(DA) and 61 kJ/kg(DA)

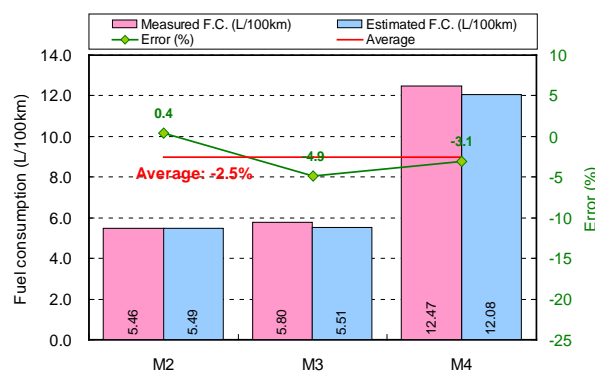


Fig. 8 Difference between measured value and estimated value in the representative summer condition based on the measured values of 50 kJ/kg(DA) and 55 kJ/kg(DA)

#### 4.3 エアコン風量(冷房負荷)と燃料消費量の関係

式(1)に示すように、エアコンの冷房負荷はエバポレータ前後の比エンタルピ差および風量で求められる。エアコン冷房負荷とエアコン使用時における燃料消費量の増加量の関係をFig. 9に示

す。エアコン設定を20FMに固定して、試験室環境設定を50 kJ/kg(DA), 61 kJ/kg(DA)および71 kJ/kg(DA)に変化させた場合、エアコン冷房負荷の増加に従って燃料消費量が増加した(図中の●, ▲, ■)。また、試験室環境50 kJ/kg(DA)設定にて風量をMIDからHIに増加させた場合も燃料消費量が増加した(図中の◆)。車両A1, A2およびA3では、エアコン冷房負荷と燃料消費量の増加量の関係は、同一エアコン設定で試験室環境を変化させた場合と同一環境で風量を変化させた場合では同じ程度の傾きであった。しかしながら、車両A4では、環境条件50 kJ/kg(DA)設定において風量HIにすると燃料消費量が増加するが、エアコン冷房負荷と燃料消費量の増加量の関係が風量MID時と同等にならなかった。車両A4では、風量HIなど消費電力が多くなる条件では、発電制御が変わり、エンジンによる発電量が他の試験条件より多くなったため、燃料消費量が増加したと考えられる。

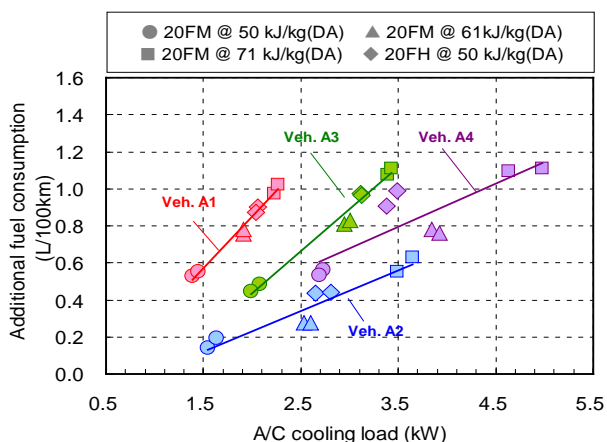


Fig. 9 Relationship between A/C cooling load and additional fuel consumption

車両A1, A2およびA3では、エアコン冷房負荷と燃料消費量は線形関係であることから、常温シヤシダイナモ設備において風量設定を変化させ、エアコン冷房負荷と燃料消費量の関係を求めることで、夏季環境条件におけるエアコン使用時の燃料消費量を推計することができると考えられる。例として、車両A1における試験結果をFig. 10に示す。車両A1では、環境条件50 kJ/kg(DA)設定におけるエアコン設定20FMの測定値と20FHの測定

値から環境条件71 kJ/kg(DA)設定における20FMのエアコン使用時の燃料消費量を推計した場合、測定値5.11 L/100kmに対して、推計値は5.11 L/100kmになり、誤差は-0.1%であった。

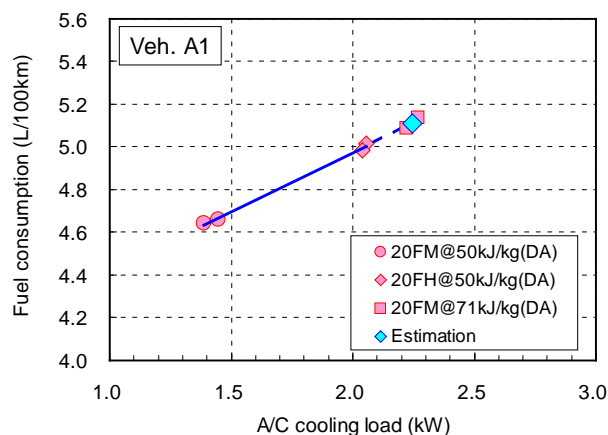


Fig. 10 Test result of Vehicle A1

また、車両A2およびA3における誤差は、それぞれ、+1.1%, +0.2%であり、誤差が小さかった。しかし、車両A4では、測定値6.51 L/100kmに対して、推計値は7.13 L/100kmになり、誤差は+9.5%であった。Fig. 11に、各車両における推計値と測定値の比較結果を示す。本調査の四台の結果の範囲では、測定値に対する推計精度は、平均2.7% (-0.1%~+9.5%) になり、ある程度の推計精度を持つことが確認された。従って、本手法は、既存の常温試験設備にて夏季環境条件におけるエアコン使用時の燃費を推計する手法の一つの方法として有効と考えられる。ただし、消費電力などによって大きく制御を変える車両などに対して課題があることが確認された。

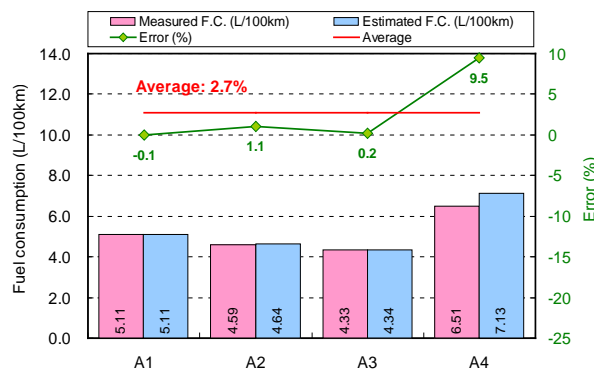


Fig. 11 Difference between measured value and estimated value in the representative summer condition based on the measured values of A/C setting of 20FM and 20FH in the environmental condition of 50 kJ/kg(DA)

## 5. まとめ

本研究では、エアコンの冷房負荷とエアコン使用時の燃費が一定の関係にあることを利用して、通常の排出ガス燃費試験に用いられる常温型シャシダイナモ設備を用いて、夏季環境条件（71 kJ/kg(DA)設定）におけるエアコン設定20FM（20℃設定、外気導入、風量MID）のエアコン使用時の燃料消費量を推計する手法を検証した。以下に結果をまとめる。

- (1) 今回の調査の試験室空気の比エンタルピが50 kJ/kg(DA)から71 kJ/kg(DA)までの範囲で日射がない条件では、エアコン設定を外気導入・風量MID設定に固定した場合、試験室空気の比エンタルピが高くなるに従い、燃料消費量が増加した。試験室空気の比エンタルピと燃料消費量は線形関係であった。
- (2) 常温型シャシダイナモ設備において設定可能な試験室空気比エンタルピ50 kJ/kg(DA)設定および61 kJ/kg(DA)設定の二つの環境条件にて、エアコン設定20FM（20℃設定、外気導入、風量MID）の燃料消費量を測定し、測定値の変化量から夏季環境条件の比エンタルピ（71 kJ/kg(DA)設定）におけるエアコン使用時の燃料消費量を外挿補間して推計した場合、測定値に対して、今回の八台の調査の範囲では、平均-1.6%（-4.7%～+0.7%）の誤差になり、精度よく推計できた。
- (3) 今回の調査の範囲では、エアコン冷房負荷と燃料消費量は、線形関係にあった。試験室空気の比エンタルピ50 kJ/kg(DA)環境設定にてエアコン設定20FM（温度20℃設定、外気導入、風量MID）および20FH（20℃設定、外気導入、風量HI）の二つの異なるエアコン設定条件でエアコン使用時の燃料消費量を測定し、夏季環境条件と同等のエアコン冷房負荷における燃料消費量を外挿補間して推計した場合、今回の四台の調査の範囲では、測定値

に対して、平均+2.7%（-0.1%～+9.5%）の誤差になった。

- (4) 常温型シャシダイナモ設備において、試験室環境や風量設定を変化させ、エアコン冷房負荷と燃料消費量の関係を求めることで、常温シャシダイナモ設備にて夏季環境条件におけるエアコン使用時の燃料消費量を推計することができる可能性があることが確認された。

本研究では、再現性の高い試験を実施するため、エアコン制御の影響を極力除外した外気導入に固定して、環境条件および風量設定を変化させた。このため、市場における代表的なエアコン使用方法とは異なる場合がある。

## 参考文献

- (1) 一般社団法人日本自動車工業会：気になる乗用車の燃費～カタログとあなたのクルマの燃費の違いは？～，[http://release.jama.or.jp/sys/news/detail.pl?item\\_id=1617](http://release.jama.or.jp/sys/news/detail.pl?item_id=1617), (2013.05.08)
- (2) J. Steve Welstand, et. al. : Evaluation of the Effect of Air Conditioning Operation and Associated Environmental Conditions on Vehicle Emissions and Fuel Economy, SAE Technical Paper 2003-01-2247 (2003)
- (3) 笠井純一ほか：暖機運転およびエアコン使用の燃料消費への影響，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 98-05, p.1-p.2 (2005)
- (4) 村上雅彦ほか：ガソリン車排出ガス中の有害成分排出に対するエアーコンディショナー負荷の影響，東京都環境科学研究所年報 (2006)
- (5) 西尾唯ほか：エアコン使用時の燃費評価に関する考察，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 66-08, p.5-p.10 (2008)
- (6) 羽二生隆宏，松浦賢：乗用車のエアコン使用時の燃費に関する研究，自動車技術会論文集，Vol.44, No.2, p.715-p.720 (2013)
- (7) 気象庁ホームページ，過去の気象データ，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (2015.04.01)
- (8) (財)石油産業活性化センター JCAP 推進部：JATOP 技術報告書 大気改善研究 公開モデル報告 PEC-2007AQ-03 (2008)
- (9) UNECE ホームページ，WLTC finalized test cycle, WLTP-DHC-16-06e\_rev.xlsx, <https://www2.unece.org/wiki/display/trans/DHC+16th+session>, (2013.01.14)