

最新排出ガス規制適合の路線バスの アイドリングストップによるCO₂等の低減効果

小谷野 真司 岡村 整 宮城 実* 國領 和夫**
(*東京都交通局 **㈱現代企画社)

要 旨

新長期規制適合車等の新しい排出ガス規制に適合した路線バスについて、アイドリングストップによるCO₂、NO_xの低減効果を調査した。結果は次のとおりである。

- ① アイドリングストップによりCO₂の低減効果を得るためには、エンジンスタート時の増量分を考慮すると3~4秒以上のエンジン停止時間が必要であった。これは、過去に実施した旧規制適合車の調査結果と同程度である。
- ② 最新規制適合車は、エンジンスタート時のNO_x排出量が多いものもあった。車両による違いはあるが、アイドリングストップによる低減効果を得るには、4~21秒程度のエンジン停止時間が必要であった。
- ③ アイドリングストップによるCO₂低減効果は、平均車速が4~8km/h程度の渋滞走行では、特に大きく10~20%程度であった。
- ④ 平均車速とCO₂低減効果の関係から、路線の全区間の走行を通してCO₂低減効果を推計すると1~2%程度であった。

キーワード：アイドリングストップ、新長期排出ガス規制適合車

Reduction Effect of CO₂ by Idling Stop in the Case of Route Buses that met New Exhaust Emission Regulations

KOYANO Shinji, OKAMURA Hitoshi, MIYAGI Minoru*, KOKURYO Kazuo**

(*Bureau of Transportation, Tokyo Metropolitan Government, **Gendaikikakusha CO.,LTD)

Summary

The reduction effect of CO₂ and NO_x by idling stop was investigated about route buses which met new exhaust emission regulations, such as the new long-term regulation. The result is as follows.

- (1) In order to acquire the reduction effect of CO₂ by idling stop, the engine shutdown time for 3 - 4 seconds or more was necessary when loading of CO₂ at engine startup was taken into consideration. This is similar result as the past investigation using the vehicle that met old exhaust emission regulation. (2) Some vehicles which met the latest regulation discharged much NO_x at engine startup. Although there were difference among vehicles, in order to acquire the reduction effect of NO_x by idling stop, the engine shutdown time for about 4 - 21 seconds was necessary. (3) Reduction effect of CO₂ by idling stop was about 10-20% in traffic congestion of average road speed 4-8km/h. (4) Reduction effect of CO₂ by idling stop was about 1-2% throughout the whole route running.

Keyword: idling stop, new long-term exhaust emission regulation

1 はじめに

当研究所では、これまでにアイドリングストップによるCO₂やNO_xの低減効果を報じ¹⁻³⁾、アイドリングストップの取り組み推進に係る資料を提供してきた。

また、現在の路線バスでは、車両停止時に自動でエンジンが停止するシステム（以下「ISS」という。）が標準で装備されているISS付きバス車両が普及している。

本報では、新長期規制適合車等の排出ガス対策の進んだ路線バスについて、アイドリングストップによるCO₂、NO_x等の低減効果等を調査した結果を報告する。

2 調査概要

調査は、次により実施した。

(1) 路線バスの走行特性の調査

都内路線バス事業者の車両走行記録（車速データ等）を基に、路線走行における車両停止時間等の走行特性の実態を調査した。また、排出ガス調査に用いる代表的な路線バスの走行パターンを走行記録から抽出した。

(2) 排出ガス調査

ア アイドリング時等の排出ガス調査

長期規制（平成11年6月適用）、新短期規制（平成15年10月適用）、並びに新長期規制（平成17年10月適用）に適合した路線バス車両のアイドリング時やエンジンスタート時の排出ガスを当研究所の大型自動車排出ガス計測システムを用いて測定し、ISSによる車両停止時間とCO₂、NO_x等の低減効果の関係を確認した。

イ 路線走行時の低減効果の調査

シャシダイナモメータ上で(1)で抽出した路線バスの走行パターンの運転を行い、路線走行時のISSによるCO₂、NO_x等の低減効果等を確認した。

3 路線バスの走行特性の調査

(1) データ解析

路線バスの走行記録を次のとおり解析し、走行特性の把握を行った。なお、走行記録には、走行中の車速、エンジン回転数等が0.5秒毎に記録されている。

ア 解析対象期間

平成20年4月1日から9月30日の半年間

イ 対象路線

調査を行ったバス事業者の6営業拠点の各所から主要路線を1つずつ選定した。この計6路線（A～F路線）

は、全て都内区部の路線である。

ウ 車両台数

選定した6路線を走行する約460台。

エ 解析内容等

路線別、曜日別（平日、土曜、日曜・祝日）、時間帯別（ラッシュ時（7～9時台及び18～20時台）、日中（10～18時まで）、早朝夜間（7時以前及び21時以降）の3区分）に、平均車速(km/h)、停止時間率(%)、1回当たりの平均停止継続時間(sec)、平均停止回数等を解析した。

(2) 調査結果

A～Fの6路線の走行特性を表1に示す。6路線の平均車速を見ると、平日の日中が最も遅く8.4～11.9km/hであり、最も大きいのは日曜・祝日の早朝・夜間で10.9～16.4km/hである。また、路線長の短いC路線の平均車速は小さい。停止時間率は、平均車速が速いほど短くなるが、概ね40～50%程度である。1停止当たりの平均停止継続時間は、概ね20～30秒程度であった。

(3) 路線バスの代表走行パターンの抽出

代表的な路線バスの走行パターン（以下、「路線バス走行パターン」という。）を抽出するにあたっては、東京都実走行パターンの作成方法⁴⁾を参考にした。ここでは、先ず、路線走行の車速の記録を先頭から5分間ずつずらしながら20分の区間を小旅行区間として分割することで、10万ファイルを超える多くのサンプルを得た。抽出した6営業拠点の20分間の小旅行区間の平均車速の分布を図1に示す。次に、路線バス走行パターンは、出現する平均車速の範囲を6つに区分し、車速区分毎に排出ガス量を決定付けると考えられる走行諸特性（加速、減速、定速、アイドリングの出現状況等）が代表される走行を抽出した。抽出した6種の路線バス走行パターンの特徴を表2に、車速チャートを図2に示す。

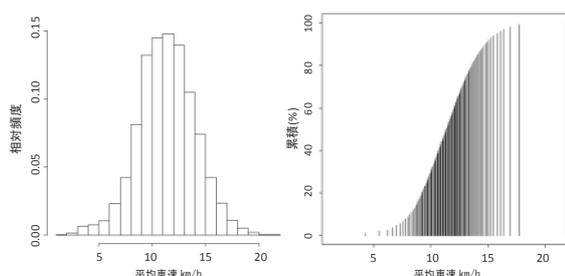


図1 小旅行区間の平均車速分布

表 1 主要 6 路線の走行特性

| 路線 | 路線分類 路線長 | 走行特性 | 平日 | | | 土曜 | | | 日曜・祝日 | | |
|----|-----------------|---------------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| | | | ラッシュ時 | 日中 | 早朝・夜間 | ラッシュ時 | 日中 | 早朝・夜間 | ラッシュ時 | 日中 | 早朝・夜間 |
| A | 往路 7.98km | 平均車速(km/h) | 12.8 | 11.9 | 14.7 | 14.2 | 12.5 | 15.9 | 15.1 | 13.8 | 16.4 |
| | | 停止時間率(%) | 43.4 | 45.1 | 40.3 | 40.6 | 44.5 | 38.6 | 39.9 | 42.8 | 38.0 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 21.3 | 21.2 | 20.2 | 19.7 | 20.8 | 20.9 | 20.7 | 20.5 | 21.7 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 76.1 | 78.5 | 73.7 | 76.1 | 79.2 | 68.4 | 72.1 | 76.9 | 64.4 |
| | 復路 7.98km | 平均車速(km/h) | 12.3 | 11.7 | 13.8 | 12.5 | 11.8 | 14.7 | 14.8 | 13.6 | 16.1 |
| | | 停止時間率(%) | 44.6 | 47.2 | 42.9 | 47.3 | 48.7 | 41.9 | 42.3 | 45.3 | 37.8 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 22.0 | 21.7 | 20.7 | 26.3 | 24.9 | 21.8 | 21.3 | 21.7 | 18.8 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 76.5 | 81.4 | 78.1 | 74.0 | 74.1 | 75.9 | 76.0 | 76.5 | 72.6 |
| B | 循環系統 11.02km | 平均車速(km/h) | 10.2 | 9.0 | 11.8 | 12.5 | 11.4 | 13.2 | 13.6 | 12.2 | 14.3 |
| | | 停止時間率(%) | 50.6 | 52.1 | 47.8 | 48.0 | 49.9 | 46.9 | 47.4 | 49.5 | 47.1 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 26.1 | 26.5 | 25.2 | 26.2 | 26.4 | 25.9 | 26.1 | 26.6 | 27.7 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 71.7 | 72.6 | 71.1 | 67.8 | 70.0 | 66.8 | 67.5 | 69.0 | 63.2 |
| C | 循環系統 7.05km | 平均車速(km/h) | 9.4 | 8.4 | 11.5 | 10.6 | 9.2 | 11.1 | 11.3 | 10.2 | 10.9 |
| | | 停止時間率(%) | 49.9 | 52.9 | 46.0 | 47.9 | 51.7 | 49.0 | 46.0 | 49.7 | 51.7 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 28.1 | 29.4 | 24.8 | 26.3 | 29.0 | 31.7 | 26.6 | 27.9 | 37.2 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 64.9 | 65.1 | 69.3 | 66.0 | 65.1 | 56.1 | 63.1 | 65.0 | 50.8 |
| D | 循環系統 13.09km | 平均車速(km/h) | 11.4 | 10.1 | 12.3 | 12.0 | 10.8 | 13.5 | 13.1 | 11.5 | 14.2 |
| | | 停止時間率(%) | 45.6 | 48.5 | 46.1 | 46.1 | 48.4 | 43.0 | 44.5 | 47.0 | 43.3 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 19.7 | 21.3 | 21.9 | 21.3 | 21.5 | 20.5 | 21.0 | 21.3 | 22.5 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 84.5 | 83.2 | 78.1 | 79.2 | 82.2 | 77.5 | 78.2 | 80.5 | 71.8 |
| E | 往路 12.35km | 平均車速(km/h) | 11.3 | 10.9 | 12.2 | 12.3 | 11.4 | 13.1 | 13.9 | 12.5 | 13.8 |
| | | 停止時間率(%) | 46.7 | 47.8 | 49.2 | 46.2 | 46.8 | 47.0 | 44.3 | 46.2 | 48.3 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 22.0 | 22.9 | 28.2 | 22.9 | 22.2 | 27.0 | 21.8 | 22.0 | 30.1 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 80.3 | 79.0 | 68.7 | 76.9 | 80.3 | 65.6 | 77.3 | 81.2 | 63.4 |
| | 復路 13.13km | 平均車速(km/h) | 13.2 | 11.4 | 14.9 | 13.2 | 11.4 | 15.4 | 14.8 | 13.6 | 15.9 |
| | | 停止時間率(%) | 42.8 | 46.4 | 39.7 | 43.3 | 47.0 | 39.3 | 41.1 | 43.1 | 39.0 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 19.8 | 21.4 | 18.5 | 20.4 | 22.2 | 18.0 | 19.3 | 19.3 | 18.8 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 81.2 | 81.2 | 78.8 | 79.8 | 79.7 | 81.0 | 79.8 | 84.8 | 76.2 |
| F | 往路 12.77km | 平均車速(km/h) | 11.9 | 11.2 | 12.9 | 12.4 | 11.6 | 13.0 | 13.9 | 12.4 | 15.5 |
| | | 停止時間率(%) | 44.8 | 45.8 | 44.0 | 44.8 | 46.4 | 46.2 | 42.7 | 45.1 | 35.7 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 20.2 | 19.9 | 20.1 | 21.3 | 20.5 | 23.4 | 20.0 | 19.1 | 17.8 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 82.7 | 85.1 | 81.3 | 78.3 | 84.4 | 74.2 | 79.5 | 87.2 | 73.4 |
| | 復路 13.16km | 平均車速(km/h) | 11.2 | 11.6 | 12.2 | 11.6 | 11.5 | 12.5 | 13.7 | 13.0 | 12.9 |
| | | 停止時間率(%) | 47.8 | 46.2 | 43.9 | 47.4 | 47.0 | 45.8 | 44.2 | 43.7 | 48.4 |
| | | 1 停止当たりの平均 停止継続時間(sec) | 23.2 | 22.0 | 20.8 | 25.0 | 21.5 | 24.1 | 22.0 | 20.1 | 34.7 |
| | | 平均停止回数 (回/hour) | 76.4 | 77.4 | 77.8 | 70.8 | 80.2 | 69.0 | 74.5 | 80.2 | 51.5 |

※本表は、折り返し地点等での待機時間も含まれて計算されている。

表 2 路線バス走行パターンの特徴

| パターン No. | 速度区分 | 抽出 路線 | 走行時間 | 走行距離 (km) | 平均車速 (km/h) | 停止回数 (回) | 停止時間 (sec) |
|-------------|-----------|----------|--------|--------------|----------------|-------------|---------------|
| 1 | 6km/h未満 | C | 18分58秒 | 1.507 | 4.8 | 22 | 736 |
| 2 | 6~9km/h | B | 19分53秒 | 2.778 | 8.4 | 19 | 661 |
| 3 | 9~12km/h | D | 20分42秒 | 3.654 | 10.6 | 23 | 551 |
| 4 | 12~15km/h | A | 20分7秒 | 4.505 | 13.4 | 25 | 389 |
| 5 | 15~18km/h | E | 20分29秒 | 5.814 | 17.0 | 22 | 376 |
| 6 | 18km/h以上 | F | 20分20秒 | 6.393 | 18.8 | 22 | 346 |

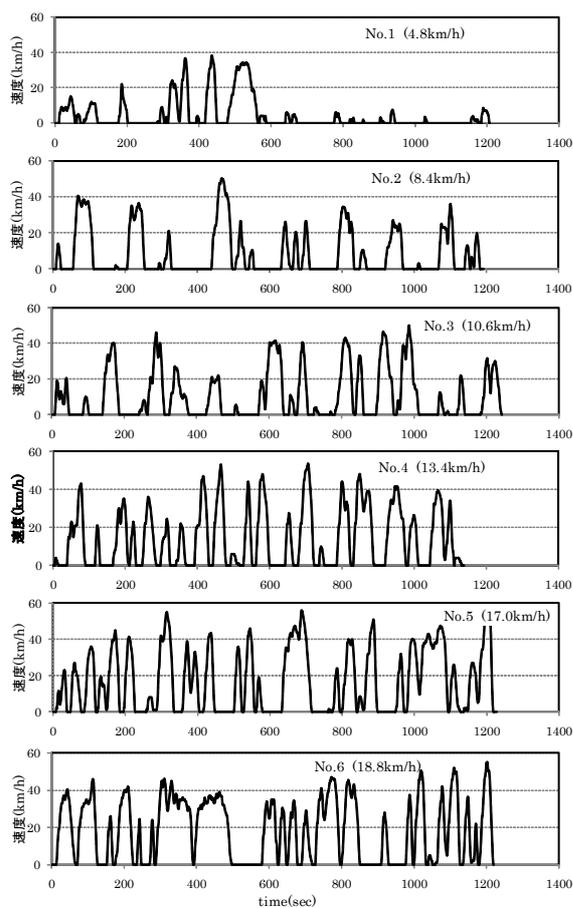


図2 路線バス走行パターン车速チャート

4 排出ガス調査

(1) 調査内容等

ア 調査時期

排出ガス調査は平成20年8月から平成21年1月の間に実施した。

イ 調査車両

調査車両は、長期規制適合車1台、新短期規制適合車

1台、新長期規制適合車2台の計4台で、その主要諸元を表3に示す。これらの車両は、本バス事業者が数多く使用している車種から選定した。

ウ 調査方法

①アイドリング時の排出ガス排出量

アイドリング20分間の排出ガス測定により、平均排出量(g/min)を求めた。

②エンジンスタート時の排出ガス排出量

エンジンスタート時の排出ガス測定は、次の2通りを実施した。

i エンジンスタート時の排出増量の推計

エンジンスタート、アイドリング、エンジン停止の繰り返しを行い、その間の排出ガス測定を行い、アイドリング時の排出ガス測定結果と比較することで、スタート時の排出増量を推計する。推計手法を図3に示す。なお、繰り返しサイクルは、30秒サイクル、60秒サイクル、120秒サイクルの3種を行った。

ii スタート時の排出挙動等

一定速度での10分間の暖機走行後、10秒間エンジンを停止させた後にエンジンを再スタートさせ、その後の排出ガス濃度の推移の確認を行った。

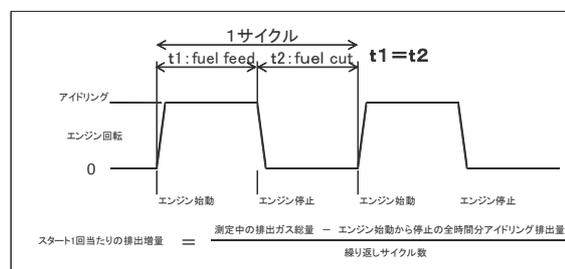


図3 エンジンスタート時の排出増量の推計方法

表3 測定車両の主要諸元

| 名称 | KL | PJ | PKG-SCR | PKG-DPF | |
|---------|--------------|----------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| 排出ガス規制 | 長期規制適合 | 新短期規制適合 (75%低PM車) | 新長期規制適合 | 新長期規制適合 | |
| 車両重量 | 8,940kg | 9,890kg | 11,000kg | 9,950kg | |
| 車両総重量 | 12,680kg | 13,960kg | 14,905kg | 14,020kg | |
| 乗車定員 | 68人 | 74人 | 71人 | 71人 | |
| 等価慣性重量 | 10,810kg | 11,925kg | 12,953kg | 11,903kg | |
| 原動機 | 排気量 | 8.0L | 7.8L | 7.8L | |
| | 最高出力 | 162kW/2,900min-1 | 191kW/2,700min-1 | 220kW/2,200min-1 | 191kW/2,400min-1 |
| | 最大トルク | 569Nm/1,600min-1 | 745Nm/1,400min-1 | 1,324Nm/1,400min-1 | 761Nm/1,450~2,200min-1 |
| 初度登録年月 | 平成15年9月 | 平成17年7月 | 平成18年9月 | 平成19年8月 | |
| 主な排ガス対策 | EGR、 酸化触媒 | クールドEGR、 酸化触媒 | 尿素還元触媒、 クールドEGR | クールドEGR、 連続再生式DPF | |

③ 路線バス走行パターンによる測定

抽出した6種の路線バス走行パターンにおいて、①ISSを使用しない場合(以下、「ISS無」という。)、②車両が停止した時は、ISSが作動可能な範囲で最大限使用した場合(以下、「ISSフル」という。)、③車両停止時間が10秒以下の場合ISSを使用しない場合(以下、「ISS10s」という。)、④車両停止時間が20秒以下の場合ISSを使用しない場合(以下、「ISS20s」という。)の4種のISS使用方法による測定を行い、ISS使用による排出ガス低減効果の確認を行った。なお、ISSフルの測定は、KLとPKG-SCRについては車両停止時間が4秒以下、PJとPKG-DPFについては7秒以下の場合にはISSを使用しないこととした。これは、それより停止時間が短い場合、エンジンの自動スタートが遅れ、走行パターンに追従できなくなることがあるためである。

なお、路線バス走行パターンの測定は、1台の車両について、2又は3種の走行パターンで全てのISS使用方法の測定を実施し、PJのみ、全ての走行パターンでISS無とISSフルによる測定を実施した。車両毎に排出ガス測定を実施した路線バス走行パターンとISS使用方法の一覧を表4に示す。また、ISS使用方法毎の車両停止時間とエンジン始動回数を表5に示す。

(2) アイドリング時の排出量等の調査結果

ア アイドリング時の排出量

アイドリング時の排出量の測定結果を表6に示す。

表4 測定した走行パターンとISS使用方法

| 車両 | ISS 使用方法 | 路線バス走行パターン | | | | | |
|---------|-------------|------------|------|------|------|------|------|
| | | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | No.6 |
| KL | ISS無 | | | ○ | | ○ | |
| | ISS7s | | | ○ | | ○ | |
| | ISS10s | | | ○ | | ○ | |
| | ISS20s | | | ○ | | ○ | |
| PJ | ISS無 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ISS7s | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | ISS10s | ○ | ○ | ○ | | | |
| | ISS20s | ○ | ○ | ○ | | | |
| PKG-SCR | ISS無 | | ○ | | ○ | ○ | |
| | ISS7s | | ○ | | ○ | ○ | |
| | ISS10s | | ○ | | ○ | ○ | |
| | ISS20s | | ○ | | ○ | ○ | |
| PKG-DPF | ISS無 | | ○ | | ○ | | ○ |
| | ISS7s | | | | ○ | | ○ |
| | ISS10s | | | | ○ | | ○ |
| | ISS20s | | | | ○ | | ○ |

表5 ISS使用方法毎のエンジン停止時間(sec)と始動回数(回)

| | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | No.6 |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ISS7s (KL, PKG-SCR) | - | 585 (19) | 471 (20) | 298 (20) | 290 (17) | - |
| (PJ, PKG-DPF) | 645 (17) | 584 (18) | 470 (19) | 295 (18) | 285 (14) | 260 (12) |
| ISS10s | 639 (14) | 561 (12) | 458 (14) | 290 (17) | - | 247 (9) |
| ISS20s | 584 (10) | 544 (11) | 410 (12) | 211 (8) | - | 217 (5) |

()内は始動回数

アイドリング時のCO₂排出量は、排気量の最も小さいKL(8.0L)が少なく、大きいPKG-SCR(9.2L)では多い。

NO_xについては、車両間の排出量に差があり、より新しい排出ガス規制適合車が少ない値とは限らなかった。

なお、PKG-SCRについては、アイドリングを開始する前の尿素還元触媒の温度状況等により、触媒内のアンモニア雰囲気異なり、NO_x還元能力に差が生じる。表6の値は、NO_x還元作用が殆どない時(以下、「還元能力(小)」という。)の測定値であるが、触媒等の効果が十分に得られている間(以下、「還元能力(大)」という。)は、NO_x排出量が1/10程度にまで少なくなることを確認している。ただし、渋滞走行等の車両停止時間が長く、車速が遅い場合は、表6の結果に近い排出量と考えられる。

PMについては、DPFを装着しているPKG-DPFは、ほぼ0であり、それ以外の3台については、ほぼ同等の結果であった。

イ エンジンスタート時の排出

① スタート時の排出増量

スタート時の排出増量の推計結果を表7に示す。なお、PMの測定は、60秒サイクルのみ実施した。

CO₂とNO_xについては、アイドリング排出量と同様にスタート時の排出増量もKLが最も少ない傾向にあり、PKG-SCRが多い傾向にあった。PKG-DPFとPJは同程度である。

表6 アイドリング時の排出量

| 項目 | KL | PJ | PKG-SCR | PKG-DPF |
|----------------------------|-------|-------|---------|---------|
| CO ₂ (g/min) | 42.7 | 46.4 | 52.8 | 44.3 |
| NO _x (g/min) | 0.31 | 0.26 | 0.55 | 0.38 |
| PM (g/min) | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.000 |

表7 エンジンスタート時の排出増量

| 項目 | サイクル | KL | PJ | PKG-SCR | PKG-DPF |
|--------------------------|------|-------|-------|---------|---------|
| CO ₂ (g/回) | 30s | 2.86 | 4.36 | 5.53 | 4.11 |
| | 60s | 5.32 | 6.89 | 6.68 | 5.05 |
| | 120s | 7.88 | 11.38 | 12.88 | 10.25 |
| NO _x (g/回) | 30s | 0.024 | 0.067 | 0.104 | 0.07 |
| | 60s | 0.034 | 0.092 | 0.127 | 0.1 |
| | 120s | 0.065 | 0.114 | 0.155 | 0.13 |
| PM (mg/回) | 60s | 2.6 | 0.0 | 0.5 | 0.0 |

PM については、PKG-DPF では、エンジンスターートを繰り返した排出ガス測定でも、PM の排出が見られなかった。PJ については、アイドリング時の排出量との差が小さいため、エンジンスターート時の排出増量の算出結果がほぼゼロとなった。KL については、スタート時の排出増量が多いが、後述する路線バス走行パターンの測定においては、スタート時の増量の影響が見られない。このことから、この値は、計測時に車両の排気管に付着していたPMの剥離等、何らかの異常値の可能性もある。

スタート時の排出増量は、CO₂、NO_x ともに、1 サイクルの時間が長くなると多くなることが確認された。エンジン停止時間が長いとスタート時の排出増量が多くなる理由は、エンジン停止中及びスターター起動によりバッテリーから消費された電力分をエンジンスター直後からの発電により回収するため、エンジン負荷が増大するためと考えられる。図4にエンジンスターートを繰り返した排出ガス測定時のバッテリー電圧と電流の出入りの状況を例示するが、120秒サイクルの測定時は、30秒サイクルの測定時に比較して発電量が多い。今回の測定では、エアコン、室内灯等の電源はオフとしているが、実際の路線バスの走行では、エンジン停止中の消費電力は今回の測定時以上に多いと考えられる。

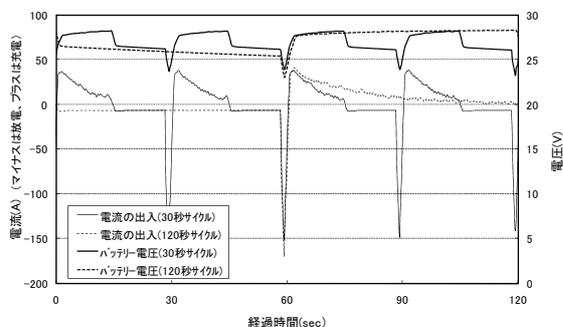


図4 エンジンスターート繰り返し時のバッテリー充放電状況

②エンジンスターート時の排出挙動等

エンジンスターート時のNO_x 排出挙動を図5に示す。スタート直後の排出のピークは瞬時的であり、スタート後概ね15秒以内では安定している。KLに比較して、新しい排出ガス規制に適合した車両のピーク時の排出量が多い。PKG-SCRは、触媒の還元能力(大)の時は、ピーク時の排出量も少ない。ウ エンジンスターート時の排出増量とアイドリングスト

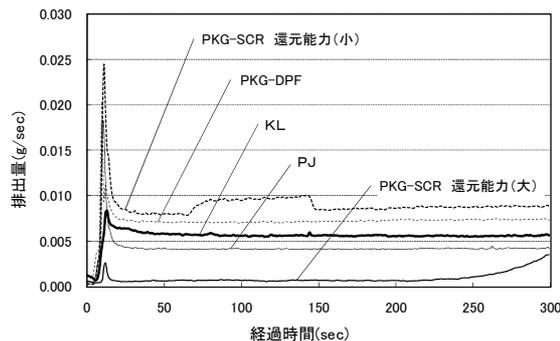


図5 エンジンスターート時のNO_x 排出挙動

ストップによる低減効果の関係

アイドリングストップによる排出削減量がエンジンスターート時の増量を上回れば、アイドリングストップによる低減効果が得られる。表6、表7に示した排出量を基に、1回のエンジン停止とエンジンスターートをする場合のエンジン停止時間とCO₂低減量との関係を図6に、NO_x低減量の関係を図7に示す。

CO₂については、図6から、全ての車両において3~4秒以上のエンジン停止時間があれば効果が得られる(図中CO₂低減量がプラス)ことになる。

NO_xは、KLでは3秒以上、PKG-SCR及びPKG-DPF

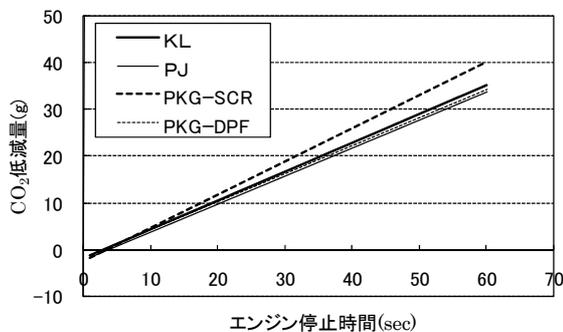


図6 エンジン停止時間とCO₂低減量の関係

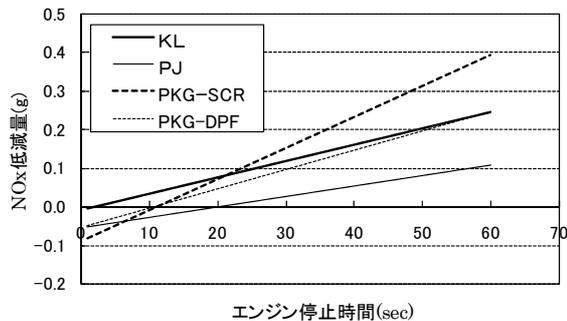


図7 エンジン停止時間とNO_x低減量の関係

では 11~12 秒以上、PJ は最も長く 21 秒以上のエンジン停止で低減効果が得られる結果となった。なお、図 7 では、PKG-SCR は、NO_x 還元触媒の還元能力 (小) の状態での低減量を示しているが、還元能力 (大) の場合は、ISS 使用の有無によらず NO_x 排出量が大幅に少なくなる。

PM は、スタート 1 回の増量が、KL ではアイドルリグ 23 秒相当、PKG-SCR では 6 秒相当の排出量になる。

(3) 路線バス走行パターンによる測定結果

ア ISS 無での測定結果

ISS 無の CO₂、NO_x、PM 測定結果を図 8~10 に示す。表の単位は、等価慣性重量の異なる車両間の比較ができ

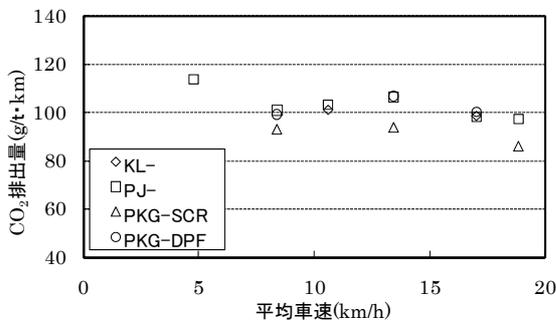


図 8 路線バス走行パターンにおける CO₂ 排出量

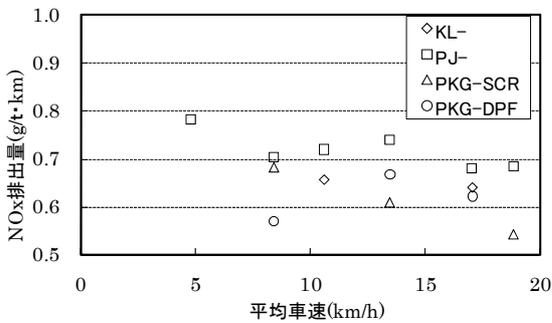


図 9 路線バス走行パターンにおける NO_x 排出量

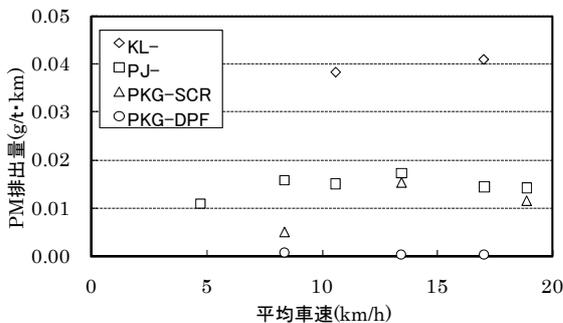


図 10 路線バス走行パターンにおける PM 排出量

るように、走行距離当たりの排出量(g/km)を等価慣性重量で除した値(g/t·km)としている。

CO₂ 排出量については、PKG-SCR がやや少ないが、その他の車両は同等であった。

NO_x 排出量については、No.4 パターン(13.4km/h)と No.6 パターン (18.8km/h) では、NO_x 還元触媒を備えた PKG-SCR の排出量が少なく、车速の遅い No.2 パターン(8.4km/h)では、PKG-DPF が少ない。また、PJ は、全域で NO_x 排出量が多い。

PM については、排出ガス規制年次の古い KL が最も高く、連続再生式 DPF を備えた PKG-DPF は低い。PJ は、新短期規制適合車であるが、規制値よりも PM を 75% 低減させた低 PM 車であり、酸化力の強い触媒を搭載しており、PKG-SCR と同レベルの PM 排出量である。

イ ISS 使用時の測定結果

ISS 使用時の排出ガス測定結果について、ISS 無の時の測定結果と比較した低減率を求め、表 8 に示す。なお、PKG-DPF の PM 低減率については、ISS の使用如何に関わらず PM 排出量が非常に少なく、ほぼゼロであるため、本表から除外した。

CO₂ については、平均车速が遅い走行パターンほど、

表 8 ISS 使用時の CO₂、NO_x、PM 排出量の低減率

| 車両 | ISS 使用方法 | 路線バス走行パターン：()内は平均车速(km/h) | | | | | |
|---------|----------|----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| | | No.1 (4.8) | No.2 (8.8) | No.3 (10.6) | No.4 (13.4) | No.5 (17.0) | No.6 (18.9) |
| KL | ISS7% | | | 8.4% 7.0% 2.2% | | 2.6% 1.8% 4.5% | |
| | ISS10s | | | 7.9% 6.6% 9.6% | | 1.0% 1.1% 2.0% | |
| | ISS20s | | | 5.5% 4.0% 11.3% | | 1.8% 0.4% 4.3% | |
| PJ | ISS7% | 20.2% 5.8% 10.7% | 12.0% 5.1% 8.5% | 6.6% 1.4% 12.2% | 0.3% -7.7% 10.7% | -1.2% -8.9% 4.7% | 0.4% -5.3% -178.2% |
| | ISS10s | 18.4% 9.2% -5.3% | 11.1% 5.8% 17.0% | 6.7% 2.5% 10.6% | | | |
| | ISS20s | 16.0% 6.7% -8.4% | 9.9% 6.0% 20.2% | 4.4% 2.4% -3.9% | | | |
| PKG-SCR | ISS7% | | | 11.3% 14.0% -55.4% | 2.9% 0.6% -36.4% | | 2.7% 11.5% -2.0% |
| | ISS10s | | | 11.2% 13.6% -70.8% | 1.2% 1.1% -15.7% | | 3.1% 16.6% -12.8% |
| | ISS20s | | | 12.1% 6.3% -60.0% | 2.1% 2.2% -37.9% | | 3.9% 8.6% 0.7% |
| PKG-DPF | ISS7% | | | | 0.4% -1.3% - | -0.1% -1.0% - | |
| | ISS10s | | | | 0.6% 1.3% - | 0.7% -0.6% - | |
| | ISS20s | | | | 0.5% 1.6% - | -1.3% -1.2% - | |

上段: CO₂、中段: NO_x、下段: PM

また、ISS の使用頻度を高めるほどエンジンの停止時間（アイドリングストップ）は長くなり、低減率は大きくなる。平均车速の遅い、No.1 (4.8km/h) や No.2 (8.8km/h) では、CO₂ 低減率は 10～20% 程度であった。

NO_x については、平均车速の高い No.4～6 では、ISS を使用した場合に排出量が増加するケースがあった。ISS 使用方法の違いによる NO_x 低減率を見ると、短いエンジン停止時間でも NO_x 低減効果が得られた KL では、ISS フルが大きく、ISS20s は小さくなったが、他の車両では、明確な違いは表れなかった。

PM については、PJ や PKG-SCR で悪化したケースがあった。しかし、従来規制車に比べて排出量そのものが非常に少なく、その影響は軽微である。

ウ 測定結果の確認

次に、路線バス走行パターンによる測定結果から求めた CO₂ 等の低減率（実測値）とエンジンスタート時の排出ガス測定により得られたエンジン停止時間と CO₂ 等の低減効果の関係から求めた低減率（計算値）との比較を行った。

低減率（計算値）については、まず、路線バス走行パターンの ISS フル、ISS10s、ISS20s におけるアイドリングストップによるエンジン停止時間に基づき、CO₂ 等の低減量を図 6、7 から計算した。そして、この CO₂ 等の低減量から ISS 無の実測結果を基準とした低減率（計算値）を求めた。これと表 8 に示した実測値に基づく CO₂ 等排出量の低減率（実測値）との比較を行った結果を図 11、12 に示す。

CO₂ の低減率については、実測値の低減率が計算値の低減率よりもやや高いものの、概ね一致した。実測値の低減率が高くなった理由としては、エンジンスタート直後に直ぐに走行する路線バス走行パターンでは、エンジンスタート時の排出ガス測定と異なり、エンジン回転数の上昇による効率的な発電や車両減速時の発電など、発電に必要とするエンジン負荷の影響が小さくなり、エンジンスタート時の排出増量が少なくなる可能性が考えられる。なお、低減率が小さい時の走行は、車両停止時間が短い走行であり、ISS 無と ISS 使用時の両者の測定における車両走行間の排出量の再現性（運転誤差）の影響を受けやすいため、実測値の低減率のばらつきが大きくなったものと考えられる。

NO_x の低減率についても、計算値と実測値は概ね近い

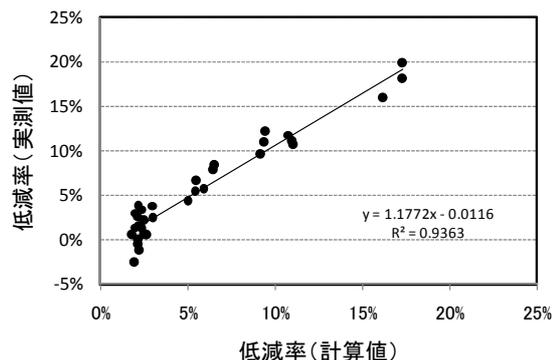


図 11 計算値と実測値の CO₂ 低減率

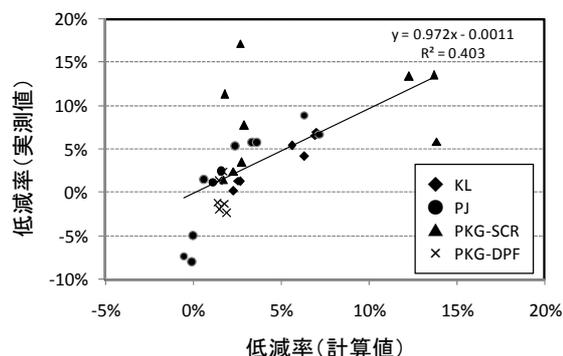


図 12 計算値と実測値の NO_x 低減率

値になったが、CO₂ の低減率と比較するとばらつきは大きい。PKG-SCR では、計算値と実測値が大幅に異なる結果があるが、これは、ISS 無と ISS 使用時の測定において、NO_x 還元触媒の能力が異なったことにより、NO_x 排出量に差が生じたものと考えられる。また、CO₂ と同様に、計算値の低減率が小さい走行では、実測値の低減率のばらつきは大きい。

5 路線走行全体の CO₂ 等低減効果の試算

次に、A～F の 6 路線の全区間の走行を通して ISS による CO₂ 等の低減効果の総量を次の条件により試算した。但し、PKG-SCR については、路線走行時の NO_x 還元触媒の性能状況が十分に把握できていないため除外した。

①各路線の全期間（全時間帯、曜日等）を通した CO₂ 等の排出量(g/km)は、路線バス走行パターンの No.1～6 の排出量(平均车速別の排出量(g/km))から、A～F の路線毎の平均车速の出現頻度（図 13：全測定期間を通した出現頻度）に基づいて加重平均により求める。

②KL 及び PKG-DPF の実測をしていない ISS 無の時の

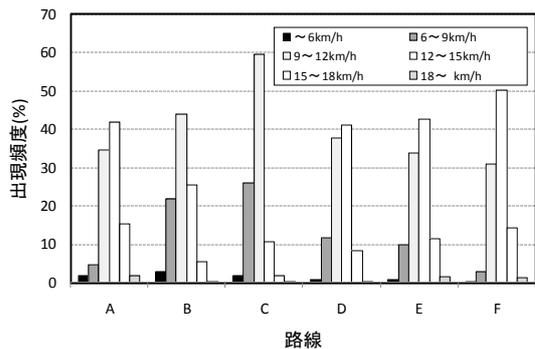


図 13 路線別平均車速の出現頻度

路線バス走行パターンの排出量については、No.1~6の全てのパターンの測定を行ったPJの測定結果を踏まえ、以下により算出する。

- i CO₂排出量は、等価慣性重量当たりでPJと同等とする。
 - ii NO_x排出量は、PJの路線バス走行パターンの等価慣性重量当たりの排出量との比率に基づき算出する。
- ③ISSによるエンジン停止時間とCO₂等の低減量の関係は図6、7を用い、また、ISSの使用により実際にエンジン停止している時間は、ISSの操作と作動時間を考慮し、車両停止時間から4秒を引いた時間とする。

以上により、試算した結果を表9に示す。ISS使用によるCO₂等の低減効果は、車両や路線でやや異なる。

CO₂の低減率を見ると、ISSフルでは1.4~2.1%であり、

ISS使用方法による差は、0.1~0.3ポイントである。

NO_xの低減効果は、KLでは1.5~2.2%、PKG-DPFでは1.1~1.8%であり、KLではISSフルが、PKG-DPFではISS20sの効果が高い。また、PJではISSフルの場合の効果はほとんど得られない。

6 まとめ

今回測定した新しい規制に適合した路線バスのISSによるCO₂等の低減効果をまとめると次のとおりである。

(1)ISSによりCO₂の低減効果を得るには、エンジンスタート時の排出増量を考慮すると、3~4秒以上のエンジン停止時間を必要とする。これは、短期規制に適合した貨物車等を用いた過去の調査結果の3~5秒程度³⁾と同等であった。

(2)エンジンスタート時のNO_x排出量は、新しい規制に適合したPKG-DPFやPJの方が、長期規制適合車のKLより多い傾向にあった。ISSによる低減効果を得るには、KLでは3秒以上、新短期規制適合車のPJでは21秒以上のエンジン停止時間が必要であり、車両による違いがあった。

(3)平均車速別のCO₂等の低減率を見ると、平均車速の遅い路線バス走行パターンNo.1(4.5km/h)やNo.2(8.8km/h)では、10~20%程度の低減効果が得られた。NO_xについては、同様に平均車速が遅い場合、PJ

表 9 路線全区間走行におけるISS使用によるCO₂等低減量

| 車両 | ISS使用方法 | 路線(路線長:km) | | | | | | 単位:g |
|---------|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------|
| | | A(7.98) | B(11.02) | C(7.05) | D(13.09) | E(12.35) | F(12.77) | |
| KL | ISS7ℓ | 152 (1.7%) | 244 (2.0%) | 159 (2.1%) | 263 (1.8%) | 241 (1.8%) | 235 (1.6%) | |
| | | 1.08 (1.9%) | 1.72 (2.2%) | 1.12 (2.2%) | 1.86 (2.0%) | 1.71 (1.9%) | 1.67 (1.8%) | |
| | ISS10s | 151 (1.7%) | 242 (2.0%) | 158 (2.0%) | 261 (1.8%) | 240 (1.7%) | 234 (1.6%) | |
| | | 1.06 (1.9%) | 1.69 (2.1%) | 1.10 (2.2%) | 1.84 (1.9%) | 1.69 (1.9%) | 1.65 (1.8%) | |
| | ISS20s | 130 (1.5%) | 218 (1.8%) | 146 (1.9%) | 227 (1.6%) | 207 (1.5%) | 197 (1.4%) | |
| | | 0.91 (1.6%) | 1.52 (1.9%) | 1.01 (2.0%) | 1.58 (1.7%) | 1.45 (1.6%) | 1.38 (1.5%) | |
| PJ | ISS7ℓ | 142 (1.4%) | 230 (1.7%) | 151 (1.7%) | 246 (1.5%) | 226 (1.5%) | 220 (1.4%) | |
| | | -0.01 (0.0%) | 0.16 (0.2%) | 0.15 (0.3%) | 0.02 (0.0%) | 0.00 (0.0%) | -0.09 (-0.1%) | |
| | ISS10s | 141 (1.4%) | 228 (1.7%) | 150 (1.7%) | 245 (1.5%) | 224 (1.5%) | 218 (1.4%) | |
| | | 0.06 (0.1%) | 0.28 (0.3%) | 0.24 (0.4%) | 0.15 (0.1%) | 0.11 (0.1%) | 0.02 (0.0%) | |
| | ISS20s | 124 (1.3%) | 209 (1.5%) | 140 (1.6%) | 216 (1.3%) | 197 (1.3%) | 187 (1.2%) | |
| | | 0.24 (0.3%) | 0.47 (0.5%) | 0.33 (0.5%) | 0.43 (0.4%) | 0.38 (0.4%) | 0.32 (0.3%) | |
| PKG-DPF | ISS7ℓ | 150 (1.5%) | 240 (1.8%) | 157 (1.8%) | 259 (1.6%) | 238 (1.6%) | 232 (1.5%) | |
| | | 0.66 (1.1%) | 1.21 (1.5%) | 0.83 (1.6%) | 1.18 (1.2%) | 1.06 (1.1%) | 0.96 (1.0%) | |
| | ISS10s | 148 (1.5%) | 237 (1.7%) | 154 (1.8%) | 255 (1.6%) | 235 (1.5%) | 229 (1.4%) | |
| | | 0.72 (1.2%) | 1.30 (1.6%) | 0.90 (1.7%) | 1.27 (1.3%) | 1.15 (1.2%) | 1.04 (1.1%) | |
| | ISS20s | 127 (1.3%) | 214 (1.6%) | 143 (1.7%) | 222 (1.4%) | 203 (1.3%) | 193 (1.2%) | |
| | | 0.77 (1.3%) | 1.36 (1.7%) | 0.92 (1.8%) | 1.36 (1.4%) | 1.23 (1.3%) | 1.14 (1.2%) | |

上段はCO₂低減量、下段はNO_x低減量。()内は、ISS無の走行時の排出量からの低減率

では、5～9%程度の低減効果が得られた。また、路線バスの平均車速を超える No.4(13.4km/h) 以上での低減効果は CO₂、NO_x 共に 0～3%程度である。

(4)路線の全期間を通した走行を見た場合の ISS による CO₂の低減効果は、概ね 1～2%程度と試算された。NO_xについては、PJ ではほとんど効果が得られないが、KL と PKG-DPF では概ね 1～2%程度の試算結果であった。

7 おわりに

路線バスの路線全体の走行を通して、アイドリングストップによる CO₂低減効果が確認された。このことから、路線バスにおけるアイドリングストップの着実な積み重ねは、CO₂削減に寄与するものと考えられる。ただし、このアイドリングストップによる路線走行時の CO₂低減効果は 1～2%程度であり、乗客数の変化やエアコン使用の有無などによる燃費の変動要因を踏まえると、バス事業者がアイドリングストップによる燃料費の節減を大きく実感できるレベルには至らない可能性がある。

また、本結果は、今回の排出ガス測定をベースに導かれたものであり、実際の路線走行では、エアコン等の使用でエンジン停止時の消費電力が異なること、PKG-DPF では DPF 再生時の燃料消費を考慮する必要があることなど、実走行による詳細な調査も必要であると考えられる。

本結果が、路線バス事業者等における環境対策の取り組み推進に向けての資料となれば幸いである。

本調査は、東京都交通局からの受託事業として実施したものである。排出ガス測定時の車両の提供、走行記録の提供等、様々なご協力頂いた東京都交通局自動車部の関係職員の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1)横田ら：アイドリング時エンジン停止の NO_x 低減効果、東京都環境科学研究所年報 1993、P148-153 (1993)
- 2)横田ら：路線バス用低公害車の評価、東京都環境科学研究所年報 1995、P159-167 (1995)
- 3)横田ら：エンジン始動時の NO_x 排出量、燃料消費量に関する基礎的検討、東京都環境科学研究所年報 1999、P145-152 (1999)
- 4)芳住ら：東京都内走行パターンの解析、自動車排出ガスに関する調査研究 (東京都公害研究所)、P1-28(1977)