

筒内直噴ガソリン機関の冷間始動～暖機過程における PM 排出特性に関する研究

日大生産工 (院) ○武田 拓也 日大生産工 岩田 和也
日大生産工 今村 宰 日大生産工 秋濱 一弘

1. 緒言

過給ダウンサイジングガソリンエンジンは、走行燃費向上に有利であるため普及が進んでいる。しかしポート噴射型ガソリンエンジンに比べて、筒内直接噴射型ガソリンエンジンでは燃料と空気の混合時間が短いことから、粒子状物質(PM)の排出量が多い。特に冷間始動、暖機過程及高負荷条件の場合にその傾向が顕著に表れている⁽¹⁻³⁾。そのような背景から欧州を中心に乗用車から排出されるPM規制が厳格化している。そこで、本研究では、直噴ガソリン機関の冷間始動から暖機過程までにおけるPMの排出特性を明らかにすることを目的に、試験用単気筒エンジンを用いて、冷却水温度として8°Cの条件も加え、8°C、30°C、80°Cの3条件において燃料噴射条件(吸気～圧縮行程噴射)などがPM排出質量濃度に及ぼす影響を調べた。

2. 実験方法及び方法

供試機関として、10MPaまでの高圧噴射が可能な燃料噴射システムを実装した4サイクル・単気筒・直噴ガソリンエンジンを用いた。表1に本研究で用いたエンジンの主要諸元を示す。実験条件を表2に示す。エンジン回転数を1200rpm、吸気温度は暖機過程条件を模擬するために30°Cで一定とした。また、冷間始動～暖機過程における温度条件を模擬するため、Chiller (PAU-AZW8000SE-HC, APISTE) を用いて冷却水温を8°Cから80°Cまで変化させ、冷却水温がPM(すす)排出特性に及ぼす影響を調べた。熊らの論文では冷却水温8°C～80°Cにおける吸気行程噴射時のすす排出特性を示されている⁽⁴⁾。しかし、冷間始動時から暖機過程においては圧縮行程噴射時の燃料噴射時期がすす排出特性に強く影響を及ぼすことが考えられるため、-320deg.ATDCから-90deg.ATDCまで変化させ、吸気～圧縮行程での単段噴射を対象にすす排出挙動を調べた。また、排出ガス分析計 (MEXA-7100D, HORIBA) を用いて排ガ

ス中のCO₂、CO、THC、NO_xを計測した。負荷(グロス図示平均有効圧, IMEP_{gross})と燃焼位相(CA50)及び空気過剰率を、それぞれ0.7MPa、≒9deg.ATDC及び1.0に合わせた。燃料噴射圧は10MPa一定とした。

図1に実験装置図を示す。すす計測法として光学式スモークメータ (LEX-635s, 司測研) を排気ポート出口より200cm下流側に取り付け、サージタンク直後に設置し直接サンプリングを行った⁽⁵⁾。燃焼分析システムKiboxを使用し負荷(グロス図示平均有効圧, IMEP_{gross})と燃焼位相(CA50)を測定した。

Table 1 Engine specifications

Type	4-stroke, 4-valve single cylinder
Fuel injection system	Side-mounted direct injection
Displacement	404.6cm ³
Bore × stroke	Φ79.7 × 81.1mm
Compression ratio	9.55

Table 2 Engine Experimental conditions

Engine speed	1200rpm
Intake air temperature	30°C
Intake air pressure	80.0~85.0KPa
IMEP _{gross}	0.7MPa
CA50	≒9 deg. ATDC
Coolant temperature	80°C, 30°C, 8°C
Oil temperature	74°C, 24°C, 22°C
Start of fuel injection (SOI)	-320 ~ -90 deg. ATDC
Fuel	Commercially available gasoline (RON=100)
Excess air ratio	1.0
Fuel injection pressure	10MPa

A Study of Particulate Matter Emissions from a DI Gasoline Engine at Cold Start and Warming-up Conditions

Takuya TAKEDA, Kazuya IWATA, Osamu IMAMURA and Kazuhiro AKIHAMA

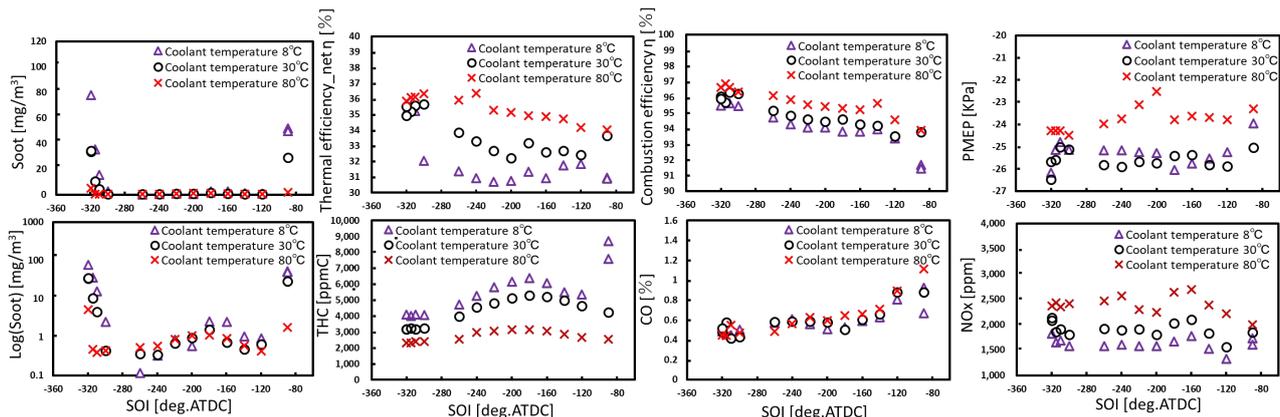


Fig.2 Effect of coolant temperature on Soot, Log(soot), thermal efficiency_net, combustion efficiency, THC, NOx, PMEP, CO with different SOI conditions

3. 実験結果

図2に各冷却水温、噴射時期における熱効率、燃焼効率、THC、NOx、ポンプ損失、CO、すすの排出質量濃度を示す。この図から2つのすす生成挙動が明確に表れていることが分かる。冷却水温を8°C、30°C、80°Cに変化させた場合、冷却水温8°Cのすす排出量は増加することが分かった。まず、-300 deg.ATDC~-120 deg.ATDCのピストン頂面とインジェクターとの距離が確保されている燃料噴射条件ではすす排出量は冷却水温の影響が少ないことが分かった。一方、-320 deg.ATDCや-90 deg.ATDCですすが増加している。どちらの燃料噴射条件もピストン頂面に噴霧燃料が付着し、液膜を形成するプール燃焼が発生したためすすが増加したと考えられる。すすの量は冷却水温の影響も受ける。また-90 deg.ATDCでは燃料と空気の混合不良も一因と考えられる。

冷却水温8°Cの場合、熱効率と燃焼効率は80°Cに比べ低下している。それに伴いポンプ損失やNOxは低下している。THCは冷却水温が8°Cの場合に増加する結果となった。燃料噴射条件に着目すると、圧縮行程に近づく燃料噴射条件につれて熱効率、燃焼効率は低下しCOやTHCが増加する傾向となった。これは筒内において不完全燃焼が発生したためと考えられる。

4. 結言

本研究では、筒内直噴ガソリンエンジンを用いて、負荷 (IMEP_gross:0.7MPa) と燃焼位相 (CA50≒9 deg.ATDC) を一定に保ち、冷却水温と燃料噴射条件(吸気～圧縮行程噴射)がすす排出特性に及ぼす影響を調べた。得られた知見を以下に示す。

1. 冷却水温を8°C、30°C、80°Cに変化させた場合、冷却水温8°Cのすす排出量が多いことが分かった。一方、-300 deg.ATDC~-120 deg.ATDCではすす排出量は冷却水温の影響が小さいことが分かった。
2. 吸気～圧縮行程噴射時においてピストン頂面がインジェクターに近づく噴射条件-320deg.ATDC、-90deg.ATDCではすすは増加する傾向にある。ピストン頂面に燃料が付着しプール燃焼が発生したためすすが増加したと考えられる。また-90 deg.ATDCでは混合不良による局所的なリッチ領域からのすす生成も要因と考えられる。
3. 冷却水温8°Cの場合、熱効率と燃焼効率は80°Cに比べ低下している。それに伴いポンプ損失やNOxは低下している結果となった。THCは冷却水温が8°Cの場合に増加する結果となった。
4. 燃料噴射条件に着目すると何れの冷却水温においても噴射時期が圧縮行程に近づくにつれて熱効率、燃焼効率は低下しCOを増加する傾向となった。これは筒内において混合気形成時間が短くなることによる混合不良によって不完全燃焼が発生しCOやTHCが増加したと考えられる。

参考文献

- 1) Martin Weilenmann, Jean-Yves Favez, Robert Alvarez, Atmospheric Environment 43 (2009) 2419–2429
- 2) F Zhao, M.-C Laia, D.L Harringtonb, Vol.25, No.5(1999), pp. 437–562
- 3) Ketterer, J and Cheng, W.SAE Int. J.Engines,vol.7 No.2 (2014),pp.986-994
- 4) 熊ほか, 機械学会年次大会, G0700301,(2017)
- 5) 熊ほか, 自動車技術会春季大会,(2018)