

論文名 **最新小型ディーゼル車の低温運転性に及ぼす燃料供給システムの影響**

掲載誌 自動車技術会論文集 Vol. 37, No. 6

受賞理由

ディーゼル車は排出ガス低減のため燃料の高圧噴射化が進んでおり、併せて燃料供給ラインの異物除去を目的としたフィルタの改良も行われている。一方低温運転性（始動性、走行性）はフィルタを含む燃料供給システムに大きく影響される。

そこで燃料供給システムの違う代表的な市販小型ディーゼル車 11 台を使用し、システムと低温運転性の関係を詳細に調査・解析した。その結果、燃料供給システムが低温運転性に影響する要因がフィルタの装着位置・容量、燃料ラインの容量、燃料流量等であることを見出し、具体的な悪化対策として適正なフィルタ装着位置や容量、各部の加熱等を提案した。調査内容は現状で考えられうる広範囲なシステム・条件を含み信頼性が高く、その結果は今後のディーゼル車設計に一つの指針を提供するものであり極めて有用性が高い。

377 最新小型ディーゼル車の低温運転性に及ぼす 燃料供給システムの影響 *

瀬戸浩志^{1,2)} 大森敬朗^{1,3)} 那須野一八^{1,4)} 野村守^{1,5)} 吉田強^{1,6)} 小林秀一^{1,7)} 古田智史^{1,8)}

Influence of fuel supply system design on low temperature operability of light duty diesel vehicles

Hiroshi Seto Noriaki Ohmori Kazuya Nasuno Mamoru Nomura Tsutomu Yoshida Shuichi Kobayashi Satoshi Furuta

Japan Petroleum Institute has conducted cold weather tests on recent light duty diesel trucks.

Though the low temperature properties of the diesel fuel are almost the same as before, number of vehicles which demonstrated poor startability and/or drivability under cold weather conditions has been increasing due to modifications on fuel supply system design to cope with recent stringent emission regulations. One of the major observations is the installation of fine-mesh filters into fuel pump.

The results of this study indicate that removal of filters from fuel pump and installation of fuel heating device improve low temperature operability.

Key Words: Cold Weather Test, Drivability, Fuel System / Diesel Fuel, Wax, Filter Plugging, Startability ③

1. まえがき

ディーゼル車の実用性能を設計する上で、排ガス性能とともに低温性能も重要な商品品質である。

軽油は低温時にワックス分が析出するため、使用条件によっては燃料系統に設置されたフィルタを閉塞させ、始動性や走行性に不具合を起こす場合がある。これを防ぐため、軽油は特1号から特3号まで低温流動性の異なる5つのグレードに分類されており、冬季用一般軽油の2号軽油では月別最低気温が -10°C 以上である地域での使用が推奨されている⁽¹⁾。言い換えれば、2号軽油を使用する場合には、 -10°C においても不具合のないことが期待されているといえる。

国内ディーゼル車はここ数年の排ガス規制強化に対応した

改良が進められており、従来の列型・分配型燃料噴射ポンプを搭載したのものから、高圧分配型・コモンレール式等の高圧燃料噴射システムを搭載したものに移行しつつある。一方、燃料も排ガス低減のための新規車両技術から要請されるサルファーフリー化を行いながら、低温性状については以前と同等のレベルを維持して生産されている。

これら高圧燃料噴射システムへの改良・見直しと同時に、燃料供給システム全体の設計も変更されている⁽²⁾。特に、燃料ラインの異物除去を目的とした各種フィルタについては、ポンプ内部の保護のために目の細かいフィルタ（ポンプ内フィルタ、Fig.1）が装着される傾向にあり、またメインフィルタが小型化されていたり、特に小型トラックの場合にはその設置位置がエンジン近傍（運転席下）から荷台下に変更されている車両が増えている。

*2006年5月26日自動車技術会春季学術講演会において発表

1) (社)石油学会 製品部会 燃料油分科会 ディーゼル車の燃料供給システム調査専門委員会 (102-0093 千代田区平河町1-3-14)

2) エクソンモービル(有)

3) 東燃ゼネラル石油(株)

4) 新日本石油(株)

5) 出光興産(株)

6) 昭和シェル石油(株)

7) コスモ石油(株)

8) (株)JOMO テクニカルリサーチセンター

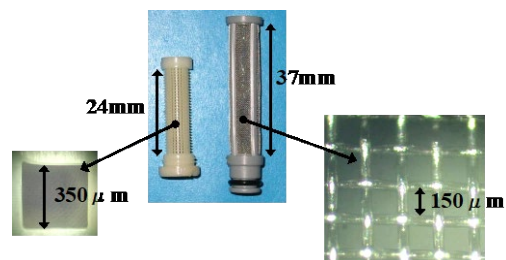


Fig.1 Magnifications of pump filter (right) and traditional pre-filter (left)

ディーゼル車の低温運転性は軽油の低温流動性と関係が極めて深いため、前述のような燃料供給システムの変更に より低温運転性の悪化が懸念される。

これらの状況を鑑み、(社)石油学会は(株)石油産業技術研究所の委託により、1998年よりディーゼル車の低温性能に関する調査活動を行っている。具体的な調査内容としては、①小型トラック、乗用車を中心とした既販ディーゼル車の諸元および燃料供給システムの実態調査、②市場台数や占有率などの調査、③ ①および②の調査結果に基づいて選定した車両の低温実車試験の実施、などである。また、これらの調査から明らかになった問題点を技術情報として発信することも活動目的のひとつとしている。

本稿ではこれまでの(社)石油学会による調査結果^(3,4,5,6,7)を総括し、低温実車試験の結果を中心に、ディーゼル車の燃料供給システム全体の中で低温運転性に影響を及ぼす因子について述べる。さらに、それらの結果を踏まえ、低温性能の観点から理想的な燃料供給システムの設計についても言及する。

2. 調査の概要

2.1. 諸元調査および試験車両選定

小型トラックを中心とした既販ディーゼル車について、幅広く諸元および燃料供給システムの構成を調査した。また、市場での販売台数、市場占有率などについても調査を行った。調査には以下の資料等を用いた。

- ・ 新型車解説書等の構造説明書、自動車検査証、カタログ、各種出版物、インターネット情報など
- ・ 燃料ポンプ、メインフィルタ、燃料タンクおよび燃料ライン等の実部品
- ・ 実車における燃料流量の計測

以上のような調査の結果、新規規制対応車両の燃料供給システムは従来の短期規制対応車両と比較して以下の特徴が見られた。

- 1) 燃料ポンプ内に目の細かい微小なサイズのフィルタ (ストレーナ) が装着されているものが増えている。
- 2) 小型トラックにおいてはメインフィルタの設置位置が運転席下から荷台下に変更されている車両がさらに増加している。
- 3) 一部車種のメインフィルタがモジュール型 (ハニカム型) に変更されていたり、小型化されている。
- 4) 高圧分配型ポンプ搭載車両では燃料流量が増大している場合が多い。

これらの調査結果をベースに、Table.1 に示すように異なる特徴をもった短期規制適合車 (列型, 分配型) 4 台, 長期規制適合車 (高圧分配型) 3 台, 新短期規制適合車 (コモンレール式) 4 台, 計 11 台を選定し、低温実車試験を実施した。

2.2. 低温実車試験

供試燃料は Table.2 に示すような市販の 2 号軽油を用いた。

Table.2 Test Fuels Properties

Fuel Name Item	JPI grade2(1)	JPI grade2(2)	JIS spec	Test Method
CFPP, °C	-10	-8	less than -5	JIS K2288
Pour Pt., °C	-16	-18	less than -7.5	JIS K2269
Wax content at -10°C, mass%	1.67	1.61	NA	Low-temp filtration or DSC*

* DSC: Differential Scanning Calorimetry

試験は「低温シャシによるディーゼル車低温運転性試験マニュアル」(石油学会, 平成 13 年版) に従い、Fig.2 の手順で

Table.1 Features of the Test Vehicles

Vehicle Name	Truck-A				Truck-B			Truck-C			Van-D
	In-line	Distributor	High Pressure Distributor	Common Rail	In-line	High Pressure Distributor	Common Rail	Distributor	High Pressure Distributor	Common Rail	Common Rail
Emission regulation	Short-term	Short-term	Long-term	New short-term	Short-term	Long-term	New short-term	Short-term	Long-term	New short-term	New short-term
Main filter type	Pleat	Spiral	Spiral	Spiral	Pleat	Spiral	Pleat	Spiral	Module	Pleat	Module
Main filter location	Engine room	Engine room	Engine room	Under carrier	Engine room	Under carrier	Under carrier	Engine room	Under carrier	Under carrier	Engine room
Fuel flow rate at 50km/h (L/h)	41	32	110	22	30	110	22	37	110	24	30
Pump filter mesh size (micron)	None	150	150	150	None	150, 70	None	150	150	150	None
Line volume (mL) *1	Not measured	22	22	107	Not measured	290	290	22	82	100	21
Other features	Pre-filter (350micron)			*2	Pre-filter (500micron)		*3			*2	*2

*1: Volume between main filter and fuel pump

*2: Electric heater equipped optionally for cold area version

*3: Fuel Recirculation System equipped as a standard fitment

実施した。なお、試験温度（設定した雰囲気温度）までの冷却速度は、実際の気象条件を参考にして軽油の低温流動性に厳しい1°C/hの徐冷とすることを基本とした。

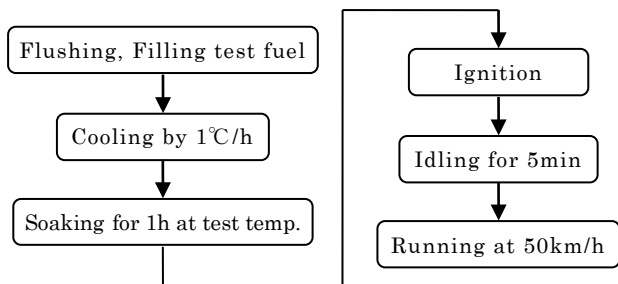


Fig.2 Schema of Cold Weather Test at JPI

試験結果については、従来から市場に存在し現在も占有率が比較的高いトラック A (列型) を基準として相対評価した。また、試験にあたり、車両各部の雰囲気温度および燃料油温、メインフィルタ前後の燃料圧力等を計測し、必要に応じてこれらのデータを用いて試験結果を整理し、解析した。

3. 試験結果および考察

3.1. 小型トラックの作動限界温度

始動時、アイドリング時および走行時のいずれにも不具合が生じなかった最低試験温度を『作動限界温度』と定義し、評価した結果を Fig.3 に示す。

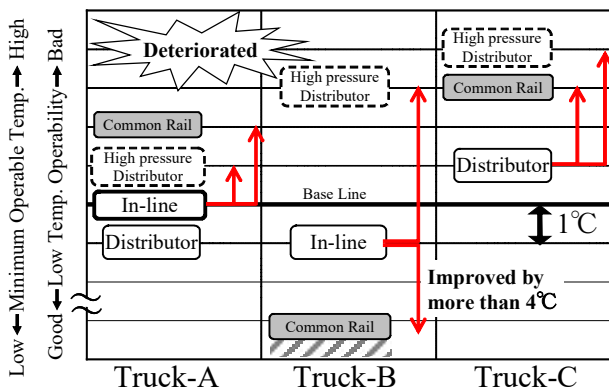


Fig.3 Summary of Cold Weather Test Results

3.1.1. トラック A の低温試験結果

本車両では列型を除いてポンプ内フィルタが装着されている。さらに、従来型（短期規制適合）である列型、分配型車両と比較して、長期規制適合の高圧分配型車両は燃料流量が約3倍に増加している。一方、新短期規制適合のコモンレール式車両はメインフィルタが運転席下から荷台下に移動しているという特徴がある。

試験の結果、これらの新型車両は従来型（列型、分配型）よりも作動限界温度が1~3°C劣る（高い）結果となった。特

にコモンレール式車両では、それ以前の燃料供給システムでは見られなかった始動性の不具合が発生した。

3.1.2. トラック B の低温試験結果

従来型（短期規制適合）である列型車両と比較して、長期規制適合の高圧分配型車両はメインフィルタが荷台下に移動しているとともに、ポンプ内フィルタが装着されているという特徴がある。また、燃料流量も列型車両と比較して約3倍に増加している。試験の結果、この車両の作動限界温度は走行性の不具合により従来型（列型）よりも4°C悪化した。

一方、最新型のコモンレール式車両ではメインフィルタは荷台下に設置されているが、ポンプ内フィルタは装着されておらず、また燃料流量も従来型（列型）と同等レベルである。さらに本車両の最大の特徴は低温時にはリターン燃料を直接メインフィルタに戻す「燃料リサーキュレーションシステム」を“標準装備”していることである。試験の結果、この車両の作動限界温度は従来型（列型）と比較して4°C以上改善されていた。このことは、厳しい排ガス規制に適合させつつも、低温運転性を従来よりも向上させることが可能であるという重要な事実を示している。

3.1.3. トラック C の低温試験結果

本車両ではすべてのモデルにポンプ内フィルタが装着されている。さらに、従来型（短期規制適合）である分配型車両と比較して、長期規制適合の高圧分配型車両はメインフィルタがモジュール型に変更され、かつ荷台下に移動していること、さらに燃料流量が約3倍に増加していることが特徴である。また、新短期規制適合のコモンレール式車両はプリーツ型（菊花型）のメインフィルタが荷台下に設置されており、差圧感知式のヒーターが寒冷地仕様車にオプション設定されている。

試験の結果、すべてのモデルで始動性の不具合が認められた。また、新型車両の作動限界温度は従来型（分配型）と比較して2~3°C悪化していたが、より新しいコモンレール式車両の方が1°C程度良好であった。さらにコモンレール式車両では、ヒーターが作動することで、走行可能温度（不具合無しに走行可能な最低温度）が6°C以上改善することを確認した。ただし、始動性は改善されなかった。

3.2. 低温始動性の支配要因

3.2.1. ポンプ内フィルタの影響

各車両の低温始動性を試験温度で整理した結果を Fig.4 に示す。ポンプ内フィルタが装着されていない車両では、試験した温度範囲での低温始動性の不具合はまったく見られなかった。一方、ポンプ内フィルタが装着されている車両では、車両によって温度が異なるが、全ての車両で始動性不具合が認められた。不具合の発生温度はメインフィルタが荷台下に

設置されている車両の方が高く（悪く）なる傾向を示した。

これらのことから、始動性の不具合は目が細かくサイズも微小なポンプ内フィルタが、メインフィルタから燃料ポンプに至る燃料ライン内の燃料から析出したワックス分によって少量で閉塞するために発生するものと考えられる。また、メインフィルタが荷台下にある車両は、運転席下にある車両と比較してメインフィルタ～燃料ポンプ間のラインが長く（容量が大きく）なるため、ライン内にある燃料から析出するワックス量が相対的に多くなり、より高い温度でも始動性不具合が発生したのと考えられる。

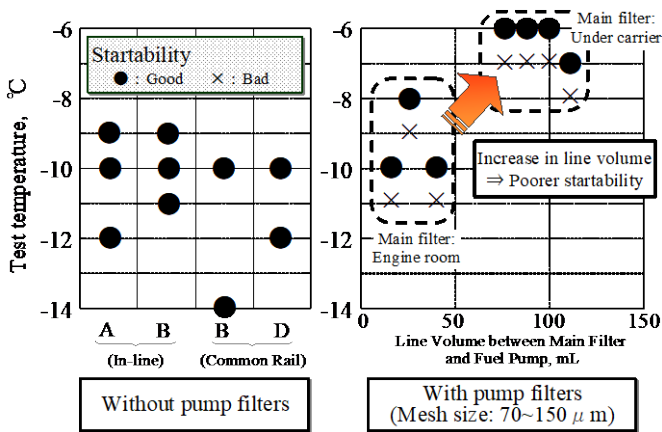


Fig.4 Dominant Factors to Low Temperature Startability

3.2.2. 試験温度までの冷却速度の影響

次に、試験温度までの冷却速度が始動性に及ぼす影響を検討した結果を Fig.5 に示す。徐冷した場合 (1°C/h) には -9°C 試験で始動性不具合が認められたが、急冷した場合 (10°C/h) にはソーキング時間を 5 時間に延長したにもかかわらず、-12°C 試験でも始動性不具合は発生しなかった。すなわち、作動限界温度としては急冷で評価した方が徐冷に比べて 4°C 程度甘い結果となった。

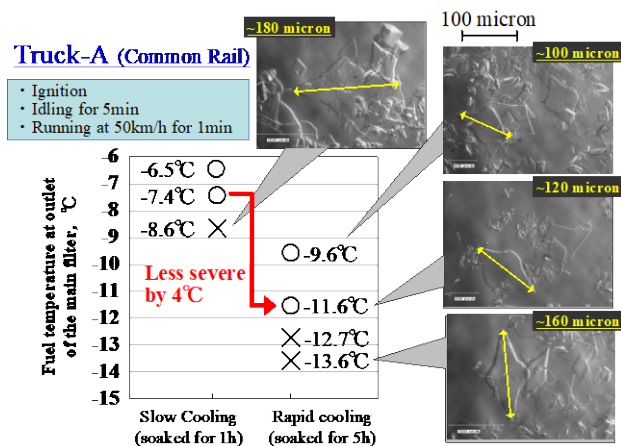


Fig.5 Influence of Cooling Rate on Startability

各試験温度での燃料を顕微鏡観察した結果、徐冷条件では

ワックスの結晶が 180 μm 程度まで成長していたのに対し、急冷条件ではそれよりも小さかった。これは、急冷した場合にはワックスの結晶核が同時に多数生成する一方、徐冷に比べて冷却過程での結晶核成長が十分に行われず、また試験温度到達後長時間保持しても新しいワックスの結晶核生成や、既に生成した結晶核同士の結合が見込めない為と考えられ、全体として結晶サイズが小さくなったものと推察される。また、急冷による細かいワックス結晶はポンプ内フィルタ（目開き約 150 μm）を通過することができるので、試験結果が甘くなったのと考えられる。言い換えれば、低温試験を実施する際に試験温度まで急冷してしまうと、いくらソーキング時間を長く伸ばしてもワックスの析出が始動性に及ぼす影響を正確に評価できないことになる。したがって、車両の低温性能評価を行う場合には、実際の気象条件に即した冷却速度で行うことが重要である。

3.3. 低温走行性の支配要因

次に走行性の評価結果を示す。なお、始動時に不具合が発生した場合でも、燃料ポンプを加熱してポンプ内フィルタに詰まったワックス分を十分に溶かすことによりエンジン始動が可能であったので、走行性の支配要因を評価するため、始動可能時と同様に走行性の評価を行った。

3.3.1. 走行試験における燃料の圧力と温度変化

走行試験結果の一例として、トラック A (列型) の -9°C と -10°C における走行試験中のメインフィルタ前後の差圧およびフィルタ内部燃料油温の変化を Fig.6 に示す。これを見ると、いずれの試験においても走行に伴って差圧も燃料油温も上昇していることがわかる。

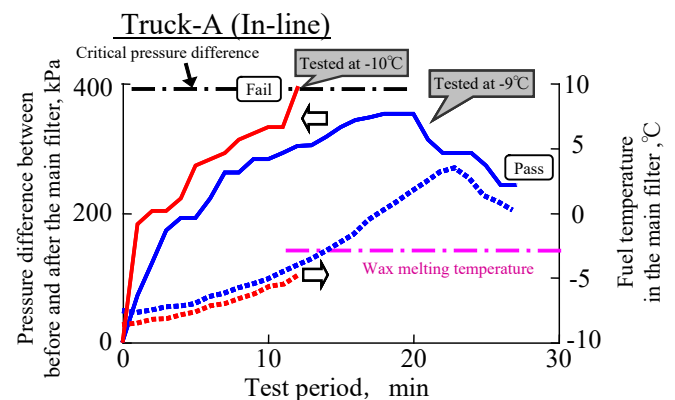


Fig.6 Change in Pressure Difference and Fuel Temperature during the Test

走行性 PASS (-9°C 試験) の場合、燃料油温が上昇しワックス溶解温度に達した後、差圧は減少に転じ、その後十分に低下するまで不具合なく走行できた。一方、走行性 FAIL (-10°C 試験) の場合、燃料油温がワックス溶解温度に達するよ

り先に差圧が走行不良の限界値を超え、十分な量の燃料が供給されなくなったために車速 (50km/h) を維持できなくなった。

これらのことから差圧が上昇するのはメインフィルタ内にワックスが堆積して燃料が通りにくくなるためであると考えられる。また、走行性 PASS の場合に差圧が減少に転じたのは、エンジンからの輻射熱や温められたリターン燃料によって燃料油温が上昇し、堆積したワックスが溶解し始めたためと考えられる。このように、メインフィルタの昇温速度は低温時の走行性に対する重要な影響因子のひとつである。

3.3.2. メインフィルタ昇温速度の影響

次に、各試験で得られた走行可能温度と低温走行時のメインフィルタ内部の昇温速度との関係を Fig.7 に示す。メインフィルタが荷台下に設置されている車両では、運転席下に設置されている車両よりも走行可能温度が高く (悪く) なっていることがわかる。すなわち、このような車両ではメインフィルタが直接外気にさらされ、エンジンの輻射熱を受けられないために温度が上昇しにくくなっており、低温時の走行性に対しては不利であることを示している。

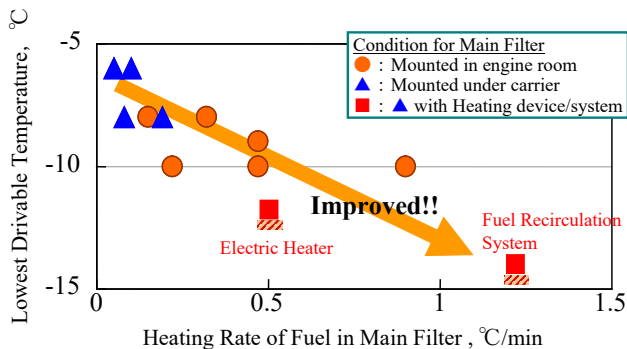


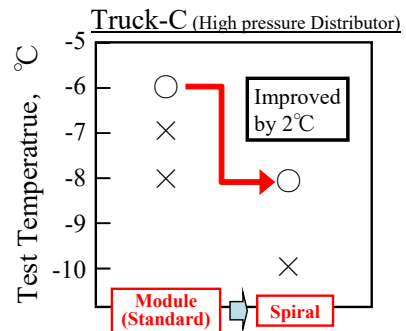
Fig.7 Relation between Heating Rate of Fuel in Main Filter and Low Temperature Drivability

その一方で、メインフィルタが荷台下に設置されている場合でも、差圧感知式ヒーターや燃料リサーキュレーションシステムなどの燃料加熱装置を装備している車両では、メインフィルタが運転席下に設置されている車両よりもさらに走行可能温度が低く (良好に) なっており、加熱装置の効果は非常に大きいといえる。両者を比較した場合、ヒーターでは一定量のワックスが堆積して差圧が上昇しないと作動しないのに対し、燃料リサーキュレーションシステムではワックスがメインフィルタで捕捉され差圧が上昇し始めるよりも前に溶解されるので、メインフィルタ閉塞に対してヒーターよりもさらに高い効果を示すことも確認された。

3.3.3. メインフィルタ形状の影響

次に、メインフィルタ形状が走行性におよぼす影響を検討

するために、トラック C (高圧分配型) において標準であるモジュール型から、旧モデル用の同サイズのスパイラル型 (ロール型) に変更して走行試験を行った結果を Fig.8 に示す。モジュール型では -7°C で走行性 FAIL となったが、スパイラル型では -8°C でも走行性 PASS であったので、フィルタ形状の変更により走行可能温度は 2°C 改善したことになる。モジュール型はろ過面積を大きく取ることができ、メインフィルタの小型化、ろ過効率の向上に寄与すると言われているが、燃料の流路が狭くなるためにワックスによる閉塞に対しては弱くなると考えられる。このことは Fig.8 におけるワックス許容量 (限界捕捉量) の違いにも現れている。



Wax capacity: 45g 80g
Fig.8 Influence of the type of Main Filter on Low Temperature Drivability

3.3.4. 燃料流量の影響

次に、トラック A (分配型、高圧分配型) の -10°C 試験におけるメインフィルタ前後の差圧変化を Fig.9 に示す。両車両の燃料供給システムは燃料ポンプ形式と燃料流量が異なる以外、基本的には同じ構成である。分配型車両では始動から最大差圧に達するまでに 20 分以上を要しており、最終的には差圧が減少して走行性 PASS となったのに対し、高圧分配型車両では数分間で最大差圧に達し、その後走行性に不具合が発生したので、試験結果は FAIL となった。

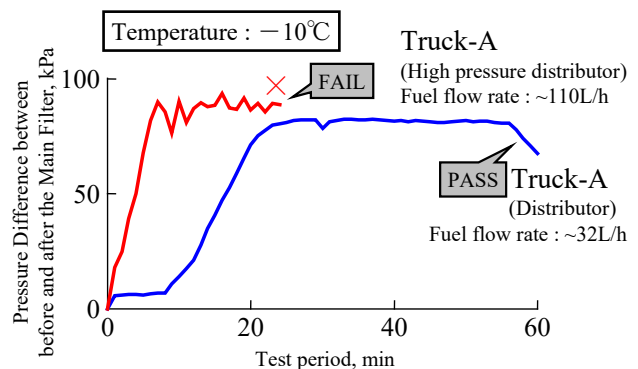


Fig.9 Influence of Fuel Velocity on Increase in Pressure Difference

この場合、メインフィルタ前後の差圧は、ワックスがメインフィルタに堆積して燃料が流れにくくなることによって発生すると考えられるので、差圧の上昇が速いことはワックスの堆積速度が大きいことを意味する。すなわち、燃料流量が多いと、メインフィルタを通過する燃料量が増えるために単位時間当りに捕捉されるワックス量が増え、その結果、燃料油温が上昇する前にメインフィルタのワックス許容量（限界捕捉量）に達しやすくなり、走行性に不具合が発生する可能性が高まると考えられる。

3.4. まとめ

以上より、燃料供給システムにおける低温運転性（始動性、走行性）への悪化要因をまとめると、以下のようになる。

1) 始動性悪化要因

- －ポンプ内フィルタの装着
- －メインフィルタの設置位置変更によるメインフィルタ～ポンプ間の燃料ライン容量の増加

2) 走行性悪化要因

- －メインフィルタの設置位置変更による昇温速度低下
- －メインフィルタの形状変更（モジュール型）、小型化によるワックス許容量の減少
- －燃料流量増加

4. 理想的な燃料供給システム

これまで述べてきた内容を踏まえると、ディーゼル車の低温性能の観点から理想的な燃料供給システムとして、以下のような設計例が考えられる。

1) 始動性対策

- －ポンプ内フィルタはできるだけ装着しない
- －どうしてもポンプ内フィルタを装着する場合には、目開きや寸法をできるだけ大きくする
- －メインフィルタはエンジン近傍に設置する
- －エンジンルーム外に設置する場合には、メインフィルタ～ポンプ間に析出するワックスの対策を施す（例えばラインヒーターなど）

2) 走行性対策

- －メインフィルタはできるだけワックス許容量の大きな形状（スパイラル型、ブリーツ型）及びサイズとし、エンジン近傍に設置する
- －エンジンルーム外に設置する場合には、加熱装置を装備する
- －燃料流量はできるだけ少なくする

5. 終わりに

軽油の低温流動性は重要な実用性能のひとつであり、石油業界は硫黄分低減以降も従来どおりの性能を満足するよう品質設計を行っている。

今後、新長期規制に対応するモデルが市場に導入されてくるが、車両設計に対しては、従来モデル並みの低温時の作動限界温度を基準にし、また、使用環境に即した条件で評価を行い、ワックスによる低温運転性悪化要因に十分配慮した燃料供給システムの導入、拡大を希望する。

最後に本活動にあたって（財）石油産業活性化センター石油基盤技術研究所のご協力を頂いたことに感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1)日本規格協会：軽油使用ガイドライン，JIS K 2204（軽油），解説，参考b)
- (2)野村守：軽油の低温性能，エンジンテクノロジー，Vol.5，No.4，2003，p.60－65
- (3)田中重行：ディーゼル車の燃料供給システム調査，石油学会，1999年石油製品討論会，1999，p.149－155
- (4)那須野一八：ディーゼル車の低温時フィルタ閉塞性試験調査，石油学会，2001年石油製品討論会，2001，p.130－136
- (5)野村守：最新ディーゼル車の燃料供給システム調査，石油学会，2002年石油製品討論会，2002，p.123－134
- (6)那須野一八：ディーゼル車の燃料供給システム調査（2003年度），石油学会，2004年石油製品討論会，2004，p.35－44
- (7)大森敬朗：ディーゼル車の燃料供給システム調査（2004年度），石油学会，2005年石油製品討論会，2005，p.60－67