ナノ粒子添加と重水を用いた冷媒の研究

Research on Coolant Using Nano Additives and Heavy Water

村　井　　悠*
Yu MURAI

要　旨

エンジンの冷媒の熱物性向上により車体のラジエータ冷却効率を向上し空力に貢献することを目的として，冷媒の研究をおこなった．

ナノ粒子添加により熱伝導性を向上させ，溶媒に重水を用いることで比熱を上げた冷媒で効果を確認した．実機冷却性能評価では，従来の水を用いた冷媒に対して差を明確にすることができなかったため，精密熱伝達測定技術を確立し，熱伝達に対する影響因子を明確にすることで，エンジン用冷媒開発の方向性を定めた．

ABSTRACT

Research was done on coolants with the objective of increasing automobile radiator cooling efficiency and contributing to aerodynamics by enhancing the thermophysical properties of engine coolants.

The research confirmed the effectiveness of adding nano additives to enhance heat conductance, as well as using heavy water in solvent to increase specific heat of the coolant. Because evaluations of cooling performance in actual engines have not shown a clear difference from conventional coolants using water, a precise heat transfer measurement technology was established to clarify the factors affecting heat transfer, and from this, directions were established for the development of engine coolants.

1．まえがき

従来は F1 エンジンの冷媒には水を用いていた．冷媒をエンジンとラジエータの間で循環させ放熱をおこなっている．ラジエータの冷却効率を向上させることで，ラジエータダクト開口面積を小さくし，空力抵抗を低減することが可能である．またはラジエータ小型化により，軽量化と空力特性向上へ貢献できるデザインが可能になり，ラップタイム短縮の可能性がある．

冷媒の熱物性向上によりダクト開口面積１ランク分(冷媒温度４℃低減相当)の冷却効率向上を目標とした．量産車研究の熱輸送流体の特許[1]をもとに，ナノ粒子高濃度添加と重水の使用により熱物性を向上させた冷媒の試作をおこない，熱伝達係数向上に取り組んだ研究内容を紹介する．

2．材料開発

冷媒の熱輸送能力は一般に式(１)で示されるように，単位体積あたりの比熱と熱伝達率から計算される．式(１)に式(２)を代入して得た式(３)から，熱輸送能力は熱伝導率を上昇，比熱を上昇，粘度を低下させることで向上すると考えられる．

熱輸送能力＝

$$\underset{[Cp\times\rho]}{\text{単位体積あたりの比熱}} \times \underset{[Pr^{1/3}\times\lambda\times(U/\nu)^{1/2}]}{\text{熱伝達率}} \qquad (1)$$

$$Pr=\frac{\nu\times Cp\times\rho}{\lambda} \qquad (2)$$

(２)を(１)に代入すると

熱輸送能力＝

$$[Cp\times\rho]\times[\nu^{-1/6}\times(Cp\times\rho)^{1/3}\times U^{1/2}\times\lambda^{2/3}] \qquad (3)$$

Pr: プラントル数，Cp: 比熱，ρ : 密度，ν : 動粘度
U: 流速，λ : 熱伝導率

試作した冷媒の物性を Table 1 に示す．熱輸送流体の特許をもとにカップスタック型カーボンナノチューブ(以下 CS-CNT)添加による，冷媒の熱伝導率上昇をねらった．水

＊四輪R&Dセンター

Table 1　Thermal properties of coolant

Material	Additive	Dispersant	Thermal conductivity W/(mK)	Specific heat J/(cm³K)	Kinetic viscosity mm²/sec	Density g/cm³
H_2O (Base)	–	–	0.61	4.2	0.7	1.00
DW178	CNT 10%	$ROSO_3$-Na	0.74	4.0	1.4	1.06
$H_2O+Al_2O_3$	Al_2O_3 30%	–	0.73	4.0	1.5	1.27
D_2O	–	–	0.60	4.6	0.9	1.11
$D_2O+Al_2O_3$	Al_2O_3 30%	–	0.79 (+30%)	4.5 (+7.7%)	2.5 (+270%)	1.41

に分散剤を用いてCS-CNTを10 wt%分散させた冷媒DW178を試作し，ウインドシミュレータ(2)でテストしたがラジエータ詰まりが発生し評価できなかった．原因として，F1で使用する 100 ℃以上の冷媒温度域では分散剤の耐熱性が不足したことが考えられる．

耐熱性に懸案のある分散剤を用いないことで熱伝導率上昇を，重水を用いることで比熱上昇をねらった．スパッタ急冷法で生成した Al_2O_3 ナノ粒子(以下 Al_2O_3)は CS-CNT に比べ水への分散性が優れるため，添加剤として使用した．比熱を上昇させるために，軽水(以下 H_2O)に比べ，容積比熱が 10%高い重水(以下 D_2O)を使用した． D_2O に Al_2O_3 を 30wt% 添加することで，熱伝導率が 30%，比熱が 7.7%上昇した．一方，粘度は 270%も上昇した．

Al_2O_3 添加 H_2O，Al_2O_3 添加 D_2O，D_2O の３仕様をウインドシミュレータでテストした．シリンダヘッドの温度が 2 - 5 ℃低下したが，同時にエンジン出力が 4 - 8 kW 低下しており，試験結果に相関がなく再現性も低かった．そこで，各冷媒の流れの影響を考慮した流体と固体の境界面の熱伝達と固体内の熱伝導を切り分け評価する手法を構築し，効果を明確にすることとした．

３．単体評価結果

Fig. 1に示すような液循環式熱交換試験機を作製した．熱伝達係数の流速依存性を測定した結果を Fig. 2 に示す．開発仕様は 0.5 m/sec 以下の低流速域では水に比べ冷却性能が向上するが，0.5 m/sec以上では，冷却性能が低下することが示された．シリンダヘッド水通路内の流速は 2 - 6 m/sec でありラジエータチューブ内の流速は 1 - 2 m/sec であるため，F1用冷媒に適用すると冷却効率が低下すると推察される．

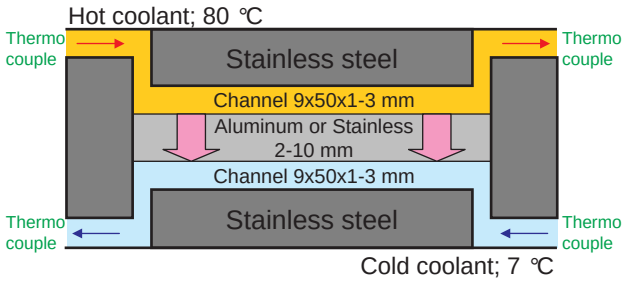

Fig. 1　Overview of heat transfer coefficient measurement apparatus

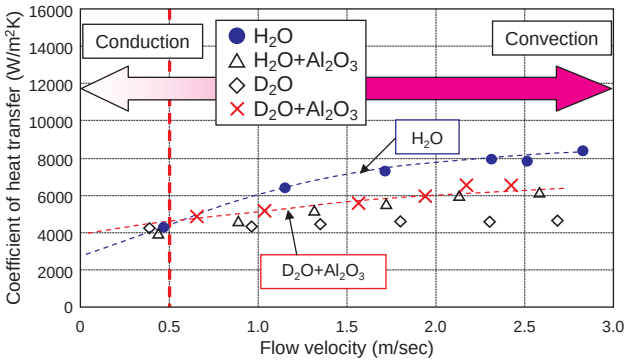

Fig. 2　Relationship between heat transfer and flow rate

以上より，低流速域については液体の熱伝導率の影響が大きいが，高流速域では粘度の影響が大きくなる．つまり低流速域では物質内もしくは物質間の伝熱が支配的だが，高流速域では物質自体の移動による伝熱が支配的になる．自動車用エンジン冷媒としては，熱伝導率上昇と粘度低減をバランスよく成立させる必要があることが明らかになった．

４．まとめ

本開発ナノ流体は，熱伝導率は上昇するが，添加物の粒子間相互作用の影響により同時に粘度上昇も起こすことから，F1エンジン用冷媒として用いる流速域においては冷却効率が低下することが示された．よって，エンジン用冷媒としては熱伝導率の上昇と粘度上昇の抑制をバランスよく成立させることが必要である．

参考文献

（1）特開 2008-201834
（2）中村聡，本橋康弘，早川修：ウインドシミュレータ装置開発による F1 エンジン吸気事象解析，Honda R&D Technical Review, F1 Special (The Third Era Activities), p.90-95

■著　者■

村井　悠