ガスエンジンと潤滑(1)*

-今まで分からなかったガスエンジン油の全てがわかる

鍵 渡 徳 彦** 花 島 脩***

Gas Engine and Its Lubrication
-Unresolved Phenomena in Lubrication and Their Clarifications

By Norihiko Kagiwata, Osamu Hanashima

First successful gas engine was the Lenoir atmosphere gas engine, which was invented around 1860. Since this engine did not use compression, thermal efficiency was very low. Ever since gas engines have had a very long history. However, the authors did not find any papers, which mention the reasons why nitration, deposit formation in combustion chamber and others occur in gas engine although diesel engine does not have any problems in these areas. In this article, those related reasons and also compilation of quality and performance requirements for gas engine oils for better understanding the gas engines were described.

1. はじめに

歴史上初めてガスエンジンが成功裏に運転されたのは1860年頃であった¹⁾。このガスエンジンは過給されていなかったため熱効率は非常に低かった。これ以来、ガスエンジンは非常に長い歴史を持っている。それにも拘わらずガスエンジンに特有な潤滑上の諸現象に関して、何故そのような現象が生じるのかその原因の根源について述べた文献は、著者が探す限り見当たらなかった。

上述の諸現象とは、ディーゼルエンジンでは問題になることの少なかった潤滑油のナイトレーションや燃焼室内堆積物が生じやすいこと。また、軸受オーバレイ寿命は、ガスエンジンの方が回転数が若干低いという負の要因があるとしても、残渣を若干含むA重油使用機関に比べれば有意差をもって長くなるはずであるが、実際にはA重油使用機関の場合と同等或いは短い場合が存在すること、などがあげられる。

そこで、著者はディーゼルエンジン油では問題にならない上記の潤滑上の諸現象が何故にガスエンジン油では問題になるのか、その原因の根源を探ることを試みると共に、より理解を深めるために、ガスエンジン油に対する性能上や品質上の要求項目等も併せて調べたのでそれらについても報告する。

尚、本稿ではガスエンジンの燃料は、主として天然ガス(主成分メタン)を対象とした。

2. ガスエンジンの種類

ガスエンジンは種々の可燃性ガスを燃料とする内燃機関で、ガスはディーゼルエンジンの燃料のように自然着火しないので、何等かの着火源を必要とする。ガスエンジンは着火方法や燃焼室のタイプにより次の四つに分類できる²⁾。

(1) 直接火花点火方式(ストイキ) (Spark-ignition gas engines)

理論空燃比の下で点火プラグによって着火させる。排出ガス中のNOxが高く、三元触媒で対応する。

(2) パイロット油直接圧縮点火方式(デュアルフューエル, Gas-diesel engines)

燃焼室内に約10%の石油系液体燃料油を直接噴射して、ディーゼルエンジンと同様に自然着火させる。排出ガス中のNOxが高く現在の規制には合わない。この場合、全量油焚きが可能である。

(3) 予燃焼室火花点火方式(リーンバーン)

予燃焼室のガスに点火プラグで着火させて、主燃焼室中の希薄混合気ของガスに着火させる。排出ガス中のNOxは低い。発電効率が向上できる。

(4) 予燃焼室パイロット油着火方式(マイクロパイロット, Dual-fuel engines)

この着火方式が最も新しい。予燃焼室中に約1%の石

*原稿受付 平成 18 年 10 月 5 日

**昭和シェル石油㈱(神奈川県愛甲郡愛川町中津 4052-2)

***Shell Marine Products(川崎市向原 3-19-13)

油系液体燃料油を噴射弁で噴霧して着火させ、主燃焼室の希薄混合気ของ의ガスに着火させる。排出ガス中のNOxは低い。この種の高効率ガス機関の出力および発電効率レベルは更に向上し、ディーゼルエンジンのレベルと同一になってきた。高BMEPにはマイクロパイロット着火燃焼技術が、発電効率向上には後述のミラーサイクルが寄与している²⁾。

尚、ミラーサイクルのガスエンジンは一般に圧縮着火させるには充分な圧縮温度に達しないため、補助手段としてエンジン起動時に起動用火プラグ(グロー或いは電気火花)により確実に油燃料に着火させる。

結論として、ガスエンジンを高出力高効率化するためには、予燃焼室パイロット油着火方式が必須である。表1²⁾に従来の方法との比較を示す。

表 1 着火エネルギーの比較²⁾

点火方式	火花点火	油 着 火
タイプ	予燃焼室, 希薄燃焼	
点火エネルギー	1	数千倍
低発熱量ガス安定燃焼	最低 20 MJ/Nm ³	最低 5 MJ/Nm ³
点火源の耐久性	2,000 h max	4,000~8,000 h
正味平均有効圧(B. M. E. P.)	1.5~1.8(2.0) MPa	2.0~2.2(2.5) MPa

3. ガスエンジンの用途とガスの種類

3.1. ガスエンジンの用途 ガスエンジンは種々な用途に広く使用されている。例として、ホテル、病院、工場(農業を含む)、店舗等で使用されるCHP(Combined heat/power generation, 時折、温室に於いてCO₂を活用する場合もある)やGHP(Gas engine driven heat pump), 自家発電所、原油やガス生産現場、下水処理場、埋立て地、ごみ処理場、LNG/LPG タンカー等である。上記の用途に応じて種々のガスが使用される。

3.2. ガスの種類 ガスの種類を下記に記す。
(1)天然に産出するガス(天然ガス)

天然ガスは、広い意味では天然に産するガスの総称で、ガス田・油田のガス、火山ガス、温泉ガス、炭酸泉の炭酸ガス等を全て含む。その構成成分は、メタン等の炭化水素類の他に、CO₂, N₂, H₂S等がある。

(2)製造ガス

(a)化学工業の過程で副生するガス

高炉ガス、石油精製や石油化学のオフガス及び液化石油ガス等がある。

(b)固体、液体燃料をガス化したガス

石炭ガス、発生炉ガス、原油熱分解ガス、接触分解

ガス、ナフサ改質ガス、LPG改質ガス、オフガス改質ガス等がある。

(c)都市ガス(town gas)

ガスエンジンで最も多用されているガスは、都市ガスである。都市ガスは各種ガスを一定の品質を保つように混合し、導管で家庭や工場に供給するガスである。

都市ガスの区分を表2³⁾に示す。都市ガスは当初、ガス事業法の昭和46年(1971年)に制定された「ガス用品関係法令」(通産省告示第306号)により、13種のガスグループに区分されていたが、平成7年(1995年)よりガス事業法の「ガス用品の技術上の基準に関する省令」の「別表三の(備考)」にL₁, L₂, L₃グループができ、現在7種類のガスグループが規定されている³⁾。都市ガスは、これを供給している都市ガス会社毎にガスの種類が異なっており、ガス事業法ではこれらの都市ガスを比重、熱量、燃焼速度の違いにより表2のように区分している。尚、日本国内には235のガス事業者(平成13年10月現在)が存在する³⁾。

表 2 都市ガスの区分³⁾

ガスグループ (燃焼性種別)	ウォッベ指数 (Wobbe Index)	燃焼速度 (MCP)
13A	52.7~57.8	35.0~47.0
12A	49.2~53.8	34.0~47.0
6A	24.5~28.2	34.0~45.0
L ₁ (6B, 6C, 7C)	23.7~28.9	42.5~78.0
5C	21.4~24.7	42.0~68.0
L ₂ (5A, 5B, 5AN)	19.0~22.6	29.0~54.0
L ₃ (4A, 4B, 4C)	16.2~18.6	35.0~64.0

表2中のガスグループの識別記号の数字、即ち、例として13Aの数字「13」は、ガスの発熱量のレベルを意味し、数字が大きくなるに従い発熱量は増加する。具体的には、ガスの総発熱量を過去使用されていた単位(kcal/Nm³)で表したウォッベ指数の平均値を1,000で割って、小数点以下を切り捨てたものにほぼ該当する³⁾。同ガスグループの識別記号のアルファベット、即ち、例として13Aの「A」は、燃焼速度のレベルを意味し、「A」は燃焼速度が遅く(38-40cm/sec),「B」は燃焼速度が中位(47-65cm/sec),「C」は燃焼速度が速い(64-68cm/sec)。従って、ガスグループ「13A」のガスは発熱量が高く、燃焼速度が遅いガスである。

表2中のウォッベ指数は、総発熱量(MJ/Nm³)をガスの空気に対する比重の平方根で割った値で、ウォッベ指数が同じなら同一圧力で同一のノズルから単位時間に供給される熱量は同じとなる。ウォッベ指数は、ガス器具での燃料ガス互換性の判断指標となる。

表2中の燃焼速度(MCP)は、燃料ガスの組成により決まり、計算式により得られる値である。MCPは、ガスの最大燃焼速度に近似するものとして定められたもので、Maximum Combustion Potentialの略である³⁾。

ウォッベ指数及び燃焼速度(MCP)の算出法は、過去、ガス事業法の「通産省告示第634号」に規定されていたが、現在では、ガス事業法の「ガス用品の技術上の基準に関する省令」の「別表三の(備考)」中に規定されている³⁾。更に、ウォッベ指数及び燃焼速度(MCP)の算出に必要な総発熱量その他は、日本工業規格JIS-K2301(燃料ガス及び天然ガス - 分析・試験法)中に規定されている旨、ガス事業法の「ガスの熱量及び燃焼性の測定方法を定める件」(昭和45年10月9日、通産省告示第634号)中に記述されている³⁾。

次に、都市ガスの変遷に関して触れると、1940年代後半迄では石炭を原料とするガスが主流であったが、1950年代前半～1960年代後半には、LPGやナフサ等の石油系ガス(6A, 6Bガス)に変わり、更に、1970年代からはクリーンな天然ガス系ガス(13A)への転換がなされた。尚、2010年には日本国内の都市ガスの全てが13A(12A)に統一される予定である⁴⁾。

次に、都市ガス13Aの組成の代表例を表3⁴⁾に示す。

表3 都市ガス 13A の組成の代表例⁴⁾

項 目	組 成	天然ガス 13A	プロパンエアー 13A
組 成	メタン(vol%)	89.6	0
	エタン(vol%)	5.62	0
	プロパン(vol%)	3.43	57.7
	ブタン(vol%)	1.35	3
	空気(vol%)	0	39.3
総発熱量 (MJ/Nm ³)		45.0	62.3
比重		0.64	1.35
ウォッベ指数		56.4	53.7
燃焼速度(MCP)		37.0	40.8
ガスグループ		13A	
メタン価		68.8	33.2
天然ガス 13A 組成：東京ガス株 プロパンエアー組成：日本ガス協会「PA-13A 導入にあたっての保安技術資料」より抜粋 メタン価資料：Evaluation of Antiknocking Property of Gaseous Fuels by Means of Methane Number and its Practical Application to Gas Engines, ASME 72-DGP-4			

(3) バイオガス(biogas)

バイオガスに関して触れる前にバイオマス(biomass)について述べる。バイオマスの意味は、2種類ある。第一に、生物体質量または生物量を意味する。即ち、ある時点で任意の空間内に存在する特定の生物群の量を質量やエネルギー量で表した乾燥質量を用い

ることが多いが、湿質量や時には生物体の主要な構成成分である炭素や窒素で表すこともある⁵⁾。次に第二の意味は、1973年の石油危機以降に使われ始めた意味であるが、植物を中心とする生物を原料としてエネルギーを生産することが考えられており、その原料をバイオマスと呼称する⁶⁾。本稿では、後者に関して触れる。

バイオマスは直接燃焼させて熱源として活用、或いはガスや液体燃料の原料として使用出来る。バイオマスは、太陽熱、太陽電池、風力、水力、地熱等と同様に再生可能エネルギー(renewable energy)資源の一つであり、光合成によって太陽エネルギーを有機化合物である炭水化物に転換して、それをエネルギーとして活用するので、間接的に太陽エネルギーを活用していると言える。

バイオマスは、1990年の時点で世界で消費するエネルギーの約14%程度を賄っているに過ぎないが、その潜在する総量は、世界で消費するエネルギーの総量を遥かに上回っている⁷⁾。

バイオマスとは、太陽エネルギーによる光合成によって作られた植物類、およびそれによってもたらされる例えば、森林の樹木、農作物の残渣物、畜産の残渣物、即ち、牛や豚の糞や尿、鶏糞、家庭、都市ごみや下水中の有機物質を総称したものである⁸⁾。

現時点の環境上の最重要課題は、地球温暖化に負の影響を与える大気中のCO₂量であろう。バイオマスは、CO₂バランスが維持できるレベルで生産される限り、バイオマスの処理・加工や燃焼時に発生するCO₂量と光合成のプロセス時に吸収するCO₂量はバランスする。即ち、バイオマスの生産時や輸送時に使用する石油系液体燃料油から発生するCO₂量を除外すると、バイオマスを燃料として使用した場合、大気中のCO₂量を増加させない。

上記に述べたバイオマスを熱化学的変換或いは生物化学的変換によって得た燃料ガスのバイオガス、即ち、メタンを得ることが出来る。

バイオガスには、次の様な種類がある。

(a) 消化ガス(digester gas)

畜産糞尿をメタン発酵させて、バイオガス(メタン成分：60-65%)を回収して燃料として使用する。メタン発酵は、酸素のない状態(嫌気性環境)でメタン細菌の作用により糞尿に含まれる有機物を分解して、メタンガスと炭酸ガスに転換する方法である。メタン発酵は、発酵槽を35℃前後に保持する中温発酵と55℃前後に保持する高温発酵がある。

(b) 下水処理の余剰汚泥(活性汚泥)のメタン発酵によるバイオガス

(c) 埋立地で発生するメタンガス(landfill gas)を

採取し活用する

実例として、東京都では東京湾内の埋立地で発生するメタンガスを採取してガスエンジンを駆動し、960kWの発電を行っている。

この項の纏めとして、各種ガスの性状例を表4⁹⁾に示す。

参考文献

- 1) Shell International Petroleum Co. Limited, An outline history of the oil engine and its lubrication, 1961, page 16
- 2) 後藤悟, 高効率ガス機関の開発-NO_x, SO_x, GHG, 全てに優しい高効率ガス機関, 日本内燃機関連合会講演会, 2006年3月16日

- 3) 和久井幹雄氏(東京ガス)から筆者宛e-mail, 2006年4月17日
- 4) 斉藤準(東京ガス), ガス燃料の特徴と使い方—日本で使用されている13Aとは—, 日本内燃機関連合会講演会, 2006年3月16日
- 5) 平凡社, 大百科事典, 1985年, 第11の頁877
- 6) 株式会社ティビーエス・ブリタニカ, ブリタニカ国際大百科事典, 1993年, 第16の頁66
- 7) Shell, Shell Briefing Service, 1994, Renewable energy, page 1 & 8
- 8) ibid, page 3
- 9) CIMAC No.19 (2000), Recommendations for the lubrication of gas engines, page 2

表4 ガスエンジン用燃料とその性状例⁹⁾

Gas type	Main Components	Heating Value, lower [MJ/Nm ³]	Wobbe Index	Methane Number	Harmful Components	Changes in Quality
Natural Gas	Methane, Ethane	36-40	50	70-100	H ₂ S	yes
LPG	Propane, Butane	89-116	75	32-10		no
Oil Field Gas Sweet & sour	Methane, Eth., Prop., Butane	36-89	60	40-100	H ₂ S	no
Refinery Gas	Prop., Butane	89-116	75	32-10	H ₂ S	yes
Digester Gas	Methane, CO ₂ , N ₂	21	25	100-140	H ₂ S, CHC ^{*)}	yes
Landfill Gas	Methane, CO ₂ , N ₂	16-20	15	160	Dust, H ₂ S, CHC ^{*)} Halides	yes
Bio Gas	Methane, CO ₂ , N ₂	21	20	140	H ₂ S, CHC ^{*)}	yes

*) : CHC = chlorinated hydrocarbons,
Data ex Zareh, A., Gas Engines, Lubrication, Vol. 81, No.4, 1995, Texaco Technical Publication, Brussels and Rau, B., Influence of Changing Gas Quality on Performance of Gas Engines, MTZ 44 No.6, Stuttgart 1983