



Title	圧縮着火機関における燃焼室壁面金属とメタノール燃料の着火安定性
Author(s)	侯, 志新; Hou, Zhixin; 原田, 明 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 137, 47-55
Issue Date	1987-10-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/42059">https://hdl.handle.net/2115/42059</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	137_47-56.pdf



## 圧縮着火機関における燃焼室壁面金属と メタノール燃料の着火安定性

侯 志新 原田 明 小川 英之  
近久 武美\* 宮本 登 村山 正\*

(昭和 62 年 6 月 30 日受理)

### Effect of the Metals in Combustion Chamber Wall on Methanol Ignition in Diesel Engines

Zhixin HOU, Akira HARADA, Hideyuki OGAWA,  
Takemi CHIKAHISA, Noboru MIYAMOTO and Tadashi MURAYAMA

(Received June 30, 1987)

#### Abstract

This research was conducted to investigate methanol ignition and combustion on different metals of the combustion chamber wall, and to determine means to improve ignitability.

The results indicate that among the metals tested, Fe is the most effective in improving methanol ignition. The in-chamber concentration of HCHO, an intermediate product of methanol combustion, appears to be an important determinant in methanol ignition. To achieve smooth ignition without misfiring, a certain HCHO concentration is necessary immediately prior to methanol injection in the combustion chamber.

In addition, it was found that ignition in IDI engines is more strongly affected than in DI engines, as in the case of combustion systems where unburnt methanol tends to remain more and longer.

#### 1. 序 論

現在、内燃機関用の石油代替燃料として有望視されているものの一つにアルコールがあるが、その利用によって、機関の熱効率向上と排気浄化とが期待できる。とくに圧縮着火機関においては、アルコールの着火性が低いために、その利用は決して容易とは言えないが、ディーゼル機関における原理的優位性と多種燃料性の向上を目標として、有効かつ高効率なメタノール燃焼を実現するための研究が急速に行われてきている。

本研究は、圧縮着火機関の燃焼室壁面に対して、各種金属の鍍金を施し、これが酸化触媒としてメタノールの着火に及ぼす効果について検討し、併せてメタノールの着火性、あるいは排気特性を改善しようとするものである。

金属触媒を使用して燃焼を促進させようとする研究、あるいは実例は数多くみられる。例えば、自動車からの排気ガス、あるいは工場からの悪臭ガス等の処理に対して、白金、パラジウム、ロジウム、コバルトあるいはニッケル系の触媒が利用されている一方、身近では、懐炉などにおけ

る白金利用は古くから知られている。また、ガスタービン燃焼器<sup>1)</sup>、あるいは水管ボイラ<sup>2)</sup>等においても触媒が積極的に用いられ、燃焼効率の向上が図られてきたし、ジェットエンジンのアフターバーナ火炎の安定化のために触媒が用いられた例<sup>3)</sup>なども報告されている。しかし、これらはいずれも定常火炎であって、反応物質の反応時間を十分にとり得る燃焼系であるが、本研究で対象とした圧縮着火機関においては、非定常噴霧燃焼であるため、触媒による燃料の反応時間が極めて短いのが特徴であって、この種の燃焼系における燃焼室内での触媒利用に関する系統的な研究はほとんどなされていない様である。

実験の結果、燃焼室壁面におけるいずれの金属もメタノールの着火性向上に及ぼす効果は必ずしも大きくないが、その程度は供試金属の中でも鉄(炭素鋼)において、直噴式よりも予室式において、また予室式の中では残留ガスが多い燃焼系においてそれぞれ著しく、この場合、燃料噴射直前におけるホルムアルデヒド濃度が着火性に対して評価因子になっていることなどが明らかになった。

## 2. 実験装置, および方法

供試機関は、横形・水冷・単気筒の4サイクル予室式圧縮着火機関であり、そのボア・ストロークは102×106 mm, 行程容積866 cm<sup>3</sup>, 圧縮21.0, 定格出力11 kW/2400 rpmであり、そのシリンダヘッド、およびピストンの交換によって直噴式(圧縮比20.6)にもなり得るものである。図1にそれぞれの燃焼室形状を示す。

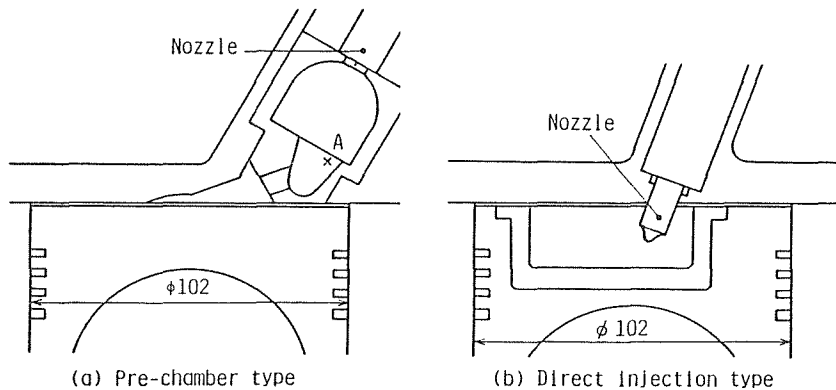


図1 供試燃焼系

実験に際しては、予室として供試機関に固有の予室(以下、「予室A」とする)の他、圧縮比および予室容積比は同一であるが連絡孔を長くした予室(以下、「予室B」とする)を、また予室壁面の加熱および温度測定のために予室Bを改造して試作した予室(以下、「予室C」とする)をそれぞれ用いた。それらの断面図を図2に示す。

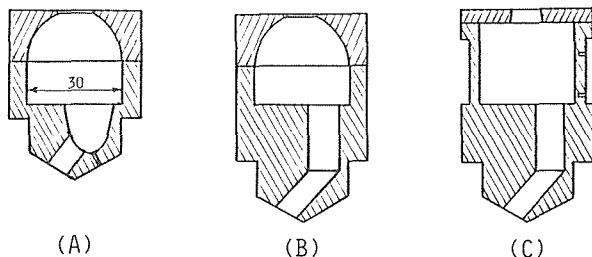


図2 予燃焼室形状

それぞれ用いた。それらの断面図を図2に示す。

供試燃料は純度99.5%のメタノールを使用した。機関性能比較のために自動車用2号軽油も用いた。

燃焼室内の苛酷な温度条件あるいは加工性を考慮し、予室の内壁面(S35C)に、また直噴式ではそのピス

トン冠部内壁面にそれぞれ金属鍍金を施した。

供試金属は、メタノールの分解反応を促進すると考えられる二つの金属群の中から選択した。すなわち、メタノールをホルムアルデヒドを介して水素と一酸化炭素へ分解と言われる Ni, Pt, W, Ru, Pd 等の第一群の金属中から Pt を、一方、メタノールをホルムアルデヒドを介して蟻酸メチルに変え、その後水素と一酸化炭素へと変換するところの、Cu と Ag をそれぞれ選んで実験に供した。この他、予室式では S35C を、また直噴式の場合には S40C をそれぞれ基準鉄材として使用した。

機関の運転に際しては、原則として冷却水温度 90°C、回転速度 1000 rpm とした。なお吸気温度は、吸気管内に電気ヒータを挿入することにより任意の値に設定した。

予室内におけるアルデヒドの分析に関しては、高速サンプリング装置によって、クランク角度でほぼ 20°CA の期間にわたって予室ガスを採取し、そのホルムアルデヒド濃度をガス検知管により定量した。

排気ガスの分析に関しては、NO<sub>x</sub> は CLD、CO は NDIR、また未燃メタノールは、ポラパック Q を充填剤としたガスクロマトグラフィによってそれぞれ測定した。

### 3. 実験結果、および考察

#### 3.1 直噴式機関における燃焼室壁面金属がメタノールの着火性に及ぼす影響

まず、直噴式機関において壁面金属がメタノールの着火性および排気特性に及ぼす影響について検討を行った。

燃料は、図 3 に示す様に、燃焼室キャビティの側面に向けて噴射したが、この噴射方式は、壁面に付着した燃料が徐々に蒸発するため、燃焼が穏やかになる特性を有すると同時に、壁面付近のクエンチングエリア内の燃料が未燃のまま排出される傾向が強い。本実験では壁面付近におけるアルコールの反応を重視したため、あえてこの方式を採用し、未燃燃料等のエミッションあるいは着火に対する壁面金属の影響を調査した。なお、メタノール着火の促進手段として吸気加熱を行った。

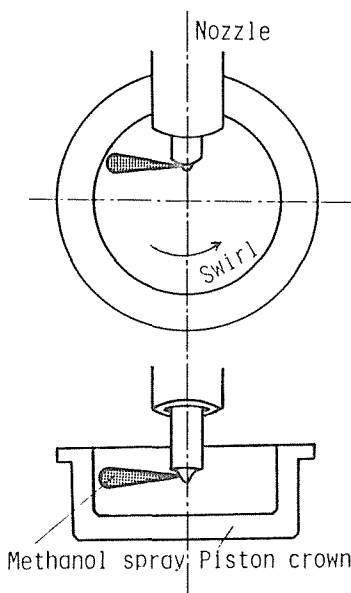


図 3 直噴式燃焼室形状

図 4 は、燃料噴射時期 15°CA BTDC、吸気温度 150°C における各種金属と排出未燃メタノール、およ

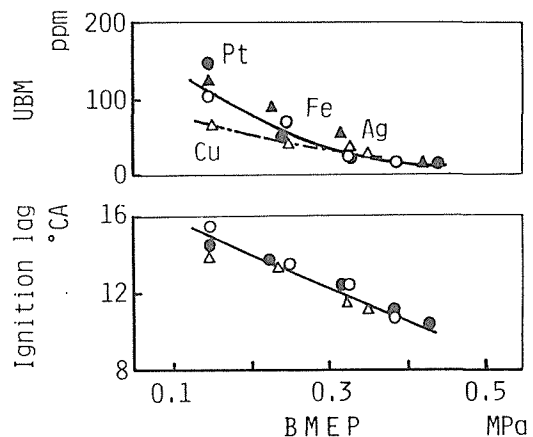


図 4 直噴式機関における各種壁面金属と未燃メタノール量および着火遅れ

び着火遅れとの関係を示したものである。図から、未燃メタノール UBM および着火遅れは、壁面金属の違いによって大きく変化していないことがわかる。また、熱消費率等の出力性能に対する壁面金属の影響は、機関運転条件の如何にかかわらずあまり大きなものではなかった。

すなわち、直噴式機関においては、燃焼室壁面の材質が着火性、機関性能、および排気エミッションに及ぼす影響は非常に小さいものと言い得る。

### 3.2 予室式機関における燃焼室壁面金属がメタノールの着火性に及ぼす影響

供試予室式機関に固有な予室 A の内壁面が鉄と銀の場合を例にとり、壁面金属が有効に作用するための燃焼条件を探索した。

図 5 は、空気過剰率 1.4 と 3.1 とにおいて噴射時期を変えた場合の着火性について調べた結果である。この場合、吸気温度を 115°C 一定に保持した。図から、燃料噴射時期の遅延にともなって、着火遅れおよびその変動が増加し、失火に至る場合も生ずるが、これらの傾向は鉄よりも銀において、また空気過剰率が大きい場合においてそれぞれ顕著になっていることがわかる。すなわち、空気過剰率が 3.1 と大きい場合には、噴射時期が遅れると、鉄に比べて銀では早い燃料噴射時期において失火が生じている。また、壁面金属の効果に対する機関回転速度の影響について調べた結果、両金属における着火性の差異は機関回転速度が高くなるにしたがって減少すること、すなわち高回転ほど壁面材質による着火性への影響は小さくなることがわかった。

一方図 6 は、鉄と銀とにおいて吸気温度がメタノールの着火性に及ぼす影響を示す結果の一例である。図から、鉄と銀とにおける着火性、すなわち着火遅れおよびその変動の差異は、吸気温度が高い場合にはほとんど認められないが、温度が低くなるに従って明確に現れ、鉄での着火性は銀に比べて明らかに優れている。

以上、壁面金属として鉄と銀とを例にとり、種々の運転条件下における両者の着火性を比較した結果を総合すると、予室式におけるメタノールの着火性は壁面金属の相異によって影響を受けるが、その程度は直噴式機関に比べて著しいと同時に、機関回転速度、および吸気温度が低いほど、空気過剰率が大きいほど、更に燃料噴射時期が遅いほどそれぞれ影響の程度が大きくなる。これらの条件はいずれも、壁面近傍にメタノールあるいは残留ガスをより多量に、またより長時

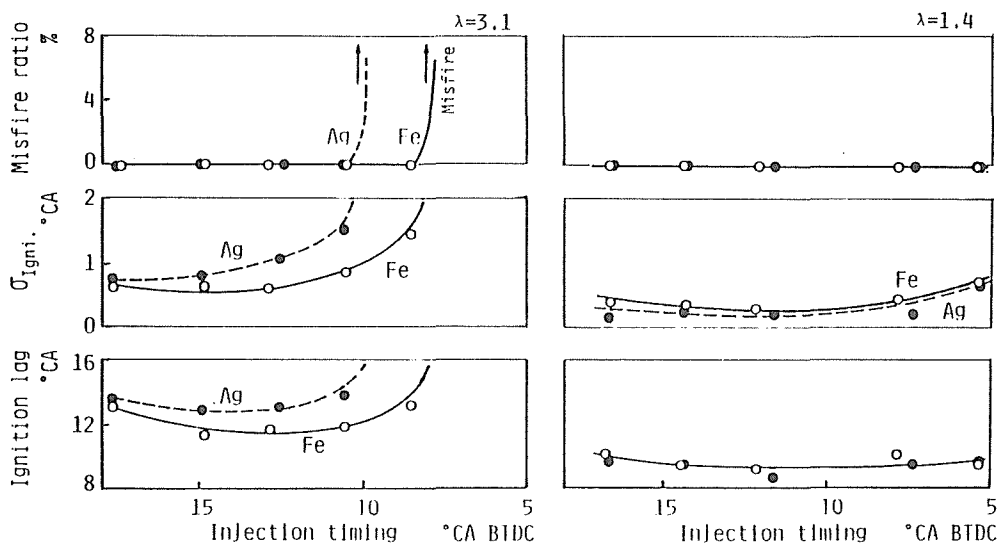


図 5 空気過剰率が着火安定性に及ぼす影響(予室 A)

間滞留させることに集約させて考えることができる。

### 3.3 長い連絡孔を有する予室における燃焼室壁面金属がメタノールの着火性に及ぼす影響

本節では、予室内に残留ガスおよび未燃メタノールを積極的に滞留させるために、予室連絡孔を長くした予室 B を試作し、これを用いることにより壁面金属とメタノールの着火性との関係を再度検討した。

壁面金属としては、白金、銀、銅、および鉄を用いた。実験の結果、残留ガスが比較的少ないと考えられる予室 A に比べて予室 B では、金属材質による着火性の差異が明確に現われ、その程度は、例えば燃料噴射時期が遅延するほど、あるいは機関回転速度が低いほど顕著になった。一例として図 7 に、各種金属に対する吸気温度と着火性との関係を示す。図において、いずれの金属においても、吸気温度の低下にともなって着火遅れ、その変動および失火率が増加し、着火性が低下する傾向が認められるが、特に失火率が急激に増加する温度すなわち失火限界吸気温度は鉄が最

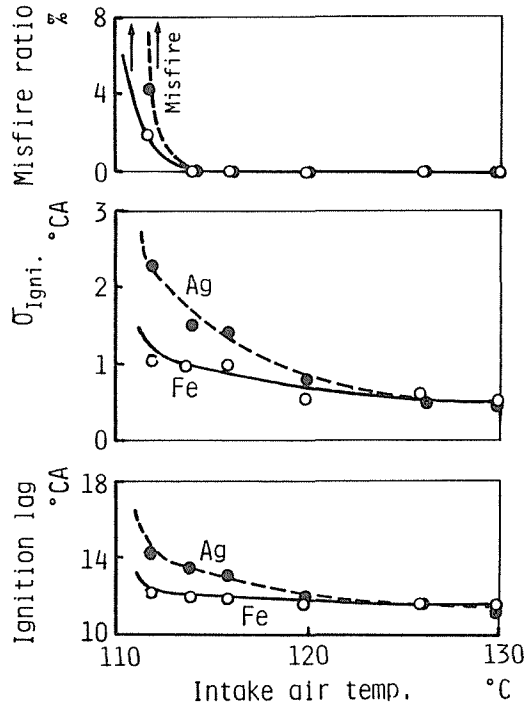


図 6 吸気温度と着火安定性 (予室 A)

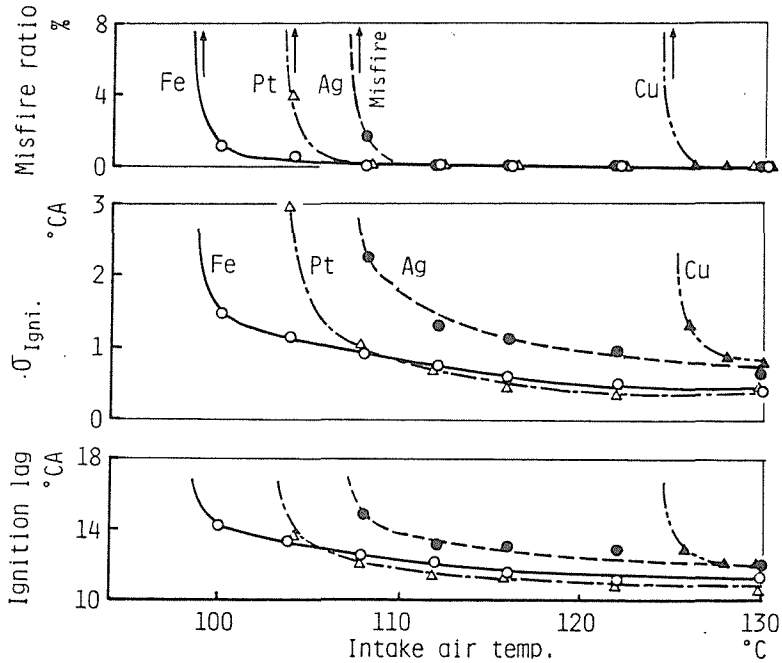


図 7 吸気温度と着火安定性 (予室 B)

も低く、次いで白金、銀、銅の順に高くなり最後の銅に至っては、他の金属に比べて著しく高い吸気温度でなければ失火が生じることになる。なお、鉄と銀とにおける失火限界吸気温度および着火遅れの変動についてみると、先に述べた予室 A に比べて、残留ガスが多い予室 B では、両金属の差が顕著に増加していることがわかる。これらの結果から、壁面金属の着火性に対する影響は、残留ガスの多い燃焼系においてより明確に得られると同時に、その効果は通常触媒作用が強いと言われる金属ほど概ね大きくなっているものの、鉄での着火性が最も良好であることが明らかになった。

なお、これらの結果に関して、金属鍍金を施したことにともなう予室内壁温の変化が考えられるため、壁面温度の制御が可能な予室 C を用いて、壁面温度に対する検討を行った。なお鍍金の厚さが約 0.05 mm 以下であるため、燃焼室壁面の熱伝導による温度変化は非常に小さい。

図 8 は、壁面材質が鉄と銀とにおける壁面温度の測定値を示す結果の一例である。図には、(a) および(b)の 2ヶ所(図 2 参照)における壁温を示しているが、いずれの測定点においても銀に比べて鉄の方が約 20°C ほど壁温が高くなっている。これは、銀に比べて鉄において、着火遅れおよびその変動の短縮にともなう燃焼の促進に起因するものと思われる。

そこで、鉄および銀において壁面温度を一定として、メタノールの着火性等を比較した結果を図 9 に示す。この場合、測定点(a)における壁面温度を 398°C 一定に保持した。図において、これまでに得られた結果と同様に、銀に比べ鉄での着火遅れが短縮し、また失火限界吸気温度が低下している。

すなわち、燃焼室壁面金属の相異にともなう燃焼状態の変化によって壁面温度が変化するにしても、金属材質による着火促進効果は明らかに存在することがわかる。

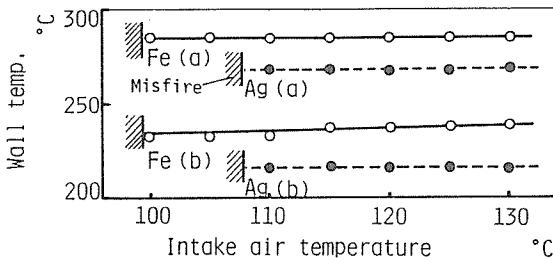


図 8 鉄と銀における壁面温度(予室 C)

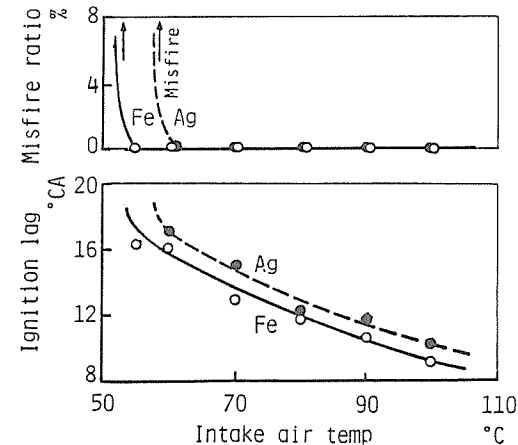


図 9 吸気温度と着火安定性(予室 C)

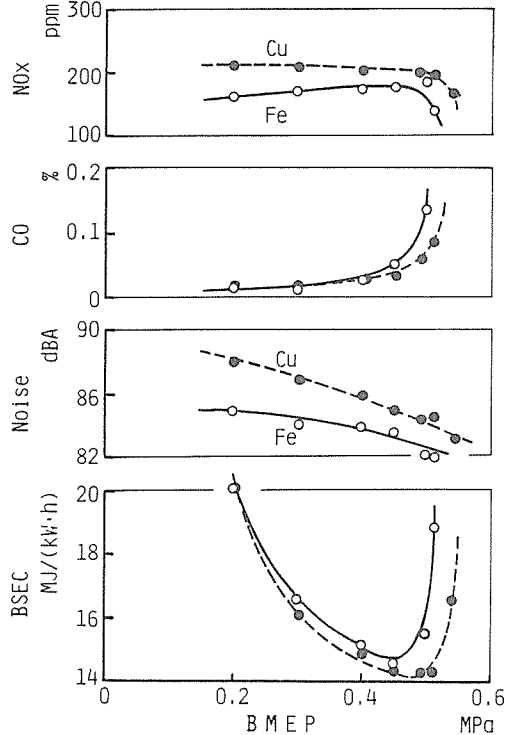


図 10 正味平均有効圧と機関性能(予室 B)

一方、今回の実験において着火性が最も良好であった鉄と、それが最も悪い銅とについて、機関性能の比較を行った結果を図10に示す。吸気温度は125°C一定とした。図に見られる様に、銅に比べて着火性が良好な鉄においては、高負荷域では燃費率が若干悪化するものの、負荷全域にわたって静粛、かつ低NO<sub>x</sub>の燃焼が行われていることが明らかである。これは、鉄において着火遅れが短縮し、予混合燃焼量の減少と拡散燃焼量の増加とが生じたことによるものと推定できる。

### 3.4 着火を促進する反応物質

金属触媒下において、例えば一酸化炭素および水素に至るメタノールの初期的分解反応過程はある程度明らかにされているが、いずれの金属触媒においても分解初期ではホルムアルデヒドが中間生成物として生成されている<sup>4)~5)</sup>。そこで本実験では、ホルムアルデヒドに注目した。すなわち、メタノールが予室内に噴射される直前における予室内ガスを高速サンプリング装置によって採取し、そのホルムアルデヒド濃度の測定を行った。

図11は、吸気温度を変えた場合における残留ガス中のホルムアルデヒド濃度を示したものである。いずれの金属においても吸気温度の低下にともなって、ホルムアルデヒド濃度が単調に減少している。また、同一吸気温度でのホルムアルデヒド濃度は、失火限界吸気温度が低い金属ほど増加しており、着火性と良く対応している。例えば、失火限界吸気温度が低く着火性が良好な鉄および白金においてはホルムアルデヒド濃度が最も高く、一方、着火性が最も悪い銅においてはホルムアルデヒド濃度が低くなっている。また、各金属の失火限界吸気温度は、図7にみられるように鉄ではほぼ100°C、白金105°C、銀108°Cおよび銅125°Cであるが、この吸気温度におけるホルムアルデヒド濃度は、図11の結果から、いずれの金属においても3~4 ppmであることが明らかである。

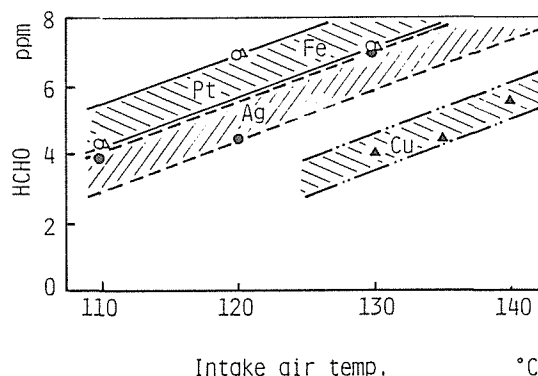


図11 メタノール噴射直前における予室内のホルムアルデヒド濃度

したがって、これらの金属の着火に対する触媒作用を支配し、あるいは評価するための化学物質の一つとしてホルムアルデヒドを挙げることができると同時に、メタノール燃焼において失火を生ずることなく着火を確保するためには、燃料噴射直前における燃焼室内のホルムアルデヒド濃度がある値以上に達していることが必要であると言い得る。

### 3.5 軽油による通常運転時における燃焼室壁面金属の影響

最後に、軽油における予室式機関の性能に対する壁面金属の影響について図12に示す。この場合の機関運転条件はメタノールを使用した場合と同様に、回転速度1000 rpm、噴射時期11°CA BTDCとし、予室Aを用いた。また、吸気加熱は行わずに、壁面材質は銅と鉄とにおける性能を比較した。図において、燃費率および着火遅れなどに対する壁面金属の影響はほとんど認められないが、排気吐煙は銅において、またNO<sub>x</sub>濃度は鉄においてそれぞれ若干ではあるが改善されている。なお、この場合の正味平均有効圧0.4 MPaにおける熱発生率およびシリンダ内圧力線図を図13に示すが、鉄に比べて銅における予混合燃焼量と最高圧力が若干ながら高いことから、銅でのNO<sub>x</sub>濃度が鉄に比べ高いことが理解できる。しかし、熱発生率における両金属の差異は非常に小さい。すなわち、軽油を燃料とする場合には壁面金属による性能あるいは燃焼に対する影響は

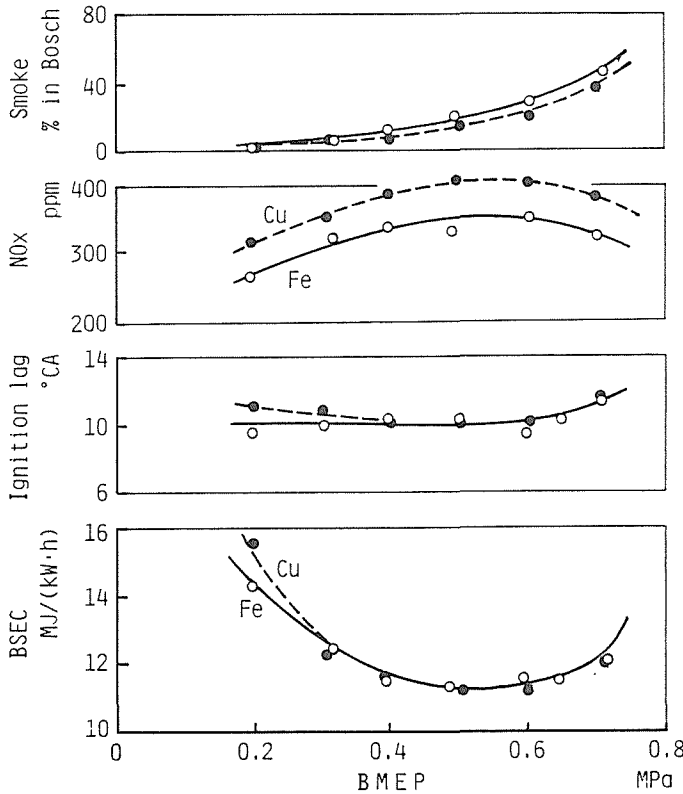


図12 軽油を燃料とした場合の機関性能比較 (予室A)

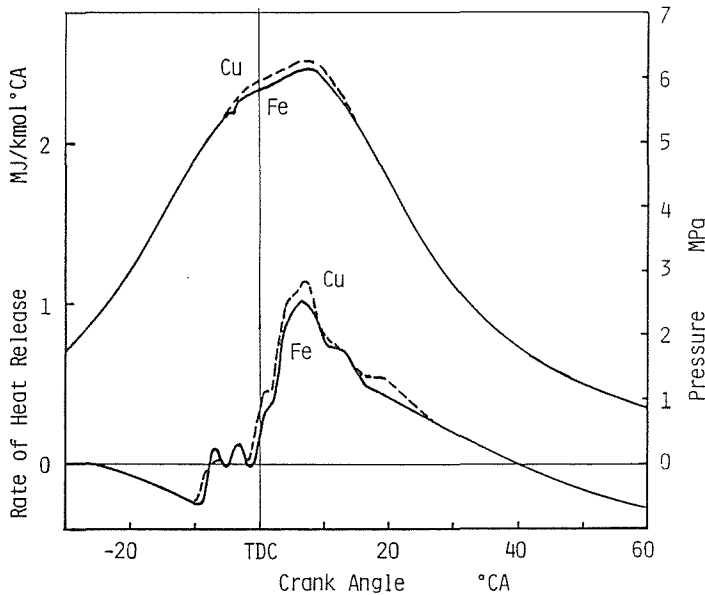


図13 軽油を燃料とした場合における熱発生率比較(予室A)

非常に小さいものと言い得る。

#### 4. 結 論

本報告では、メタノールを燃料とする圧縮着火機関においてその燃焼室壁面金属と着火性に関して、いくつかの有益な知見を得ることができた。すなわち、

(1) 予室内の壁面金属がメタノールの着火あるいはその安定性に及ぼす影響は、高速圧縮着火機関においても明らかに認められる。また、その影響の程度は低回転速度、低負荷、遅延燃料噴射、および残留ガスが多い燃焼系において著しい。これらの条件は、壁面金属近傍にメタノールをより多く、かつ長時間滞留させることに集約させて考えることができる。

(2) 予室式機関においては、メタノールの着火性は鉄を使用した場合に最も良好であり、白金、銀、銅の順に悪化する。

(3) 予室式機関において、壁面金属による着火性の差異は、メタノール噴射直前における予室内ガス中のホルムアルデヒド濃度によって評価し得る。例えば、いずれの金属においても、メタノールの噴射直前で予室内ホルムアルデヒド濃度が約 4 ppm 以下になると失火が生じる。

(4) 予室内壁面金属により、着火性および着火遅れが改善、あるいは短縮された場合、とくに高負荷域における熱効率と最大出力が低下する傾向がある。

(5) 予室式機関に比べて、直噴式機関においては、燃焼室壁面金属がメタノールの着火性、およびエミッションに及ぼす影響は比較的少ない。

(6) 通常の軽油による運転においては、壁面金属による燃焼性および機関性能への影響は吐煙および NO<sub>x</sub> 濃度に若干現れるがその程度は非常に小さい。

#### 参考文献

- 1) Anderson S. J., et. al.: ASME Paper, No. 81-GT-43 (1981)
- 2) Kesselring J. P., et. al.: PB Report, PB-81-236150 (1981)
- 3) Anpello. L. C., et. al.: ASME Paper, No. 80-GT-56 (1980)
- 4) 安盛他 1 名: 日本化学雑誌, 92- 8 (1971)
- 5) 水野: 表面, 19- 9 (1981)