可溶性燃料添加剤によるディーゼル黒煙の低減特性*

宮本 登^{*1}, 侯 志新^{*2}, 原田 明^{*3}
小川 英之^{*1}, 村山 正^{*1}Characteristics of Diesel Smoke Suppression
with Soluble Fuel AdditivesNoboru MIYAMOTO, Zhixin HOU, Akira HARADA,
Hideyuki OGAWA, and Tadashi MURAYAMA

This research analyzes the nature of diesel soot suppression with soluble additives, aiming at efficient and sootless diesel combustion. A large number of additives were systematically examined for soot reduction and it was found that Ca and Ba were the most effective. The soot reduction ratio is expressed by an exponential function of the metal mol-content in the fuel, depending on the metal but independent of the metal compound. A rise in the excess air factor or gas turbulence in the combustion chamber increases the weight of a coefficient in the function, resulting in a larger reduction in soot with a fuel additive. In-cylinder soot sampling showed that the additive acted as a catalyst not only to improve soot oxidation but also to suppress soot formation.

Key Words: Internal Combustion Engine, Diesel Combustion, Soot Emission, Particulates Emission, Fuel Additive, Catalytic Combustion

1. ま え が き

ディーゼル機関における排出黒煙あるいはパティキュレートについては、長年にわたりその低減が図られてきたが、まだ十分なものとは言えない。黒煙低減の一方策として、可溶性燃料添加剤の利用はすでに知られているところのものであり、例えばバリウムなどの金属系化合物の黒煙抑制効果について検討がなされている^{(1)~(5)}。しかし、黒煙抑制に対する各種添加剤の評価、その利用条件による効果の程度あるいは黒煙低減のメカニズムなどについてはまだ不明な点が多く、また黒煙の低減とは逆に、添加剤の使用によってパティキュレートが増加するという報告も多いようである⁽⁶⁾。

本研究では、可溶性燃料添加剤の利用により機関出力性能および排気特性を悪化させずに、ディーゼル機関の完全無煙化を実現することを最終目的として、添加剤とその最適利用条件の系統的模索、黒煙低減特性

に対する一般的記述、およびその低減機構の解明などを試みた。まず、軽油に溶解得る添加剤について系統的な検討を行った結果、非金属系に比べて金属系、とくにカルシウムあるいはバリウム系の添加剤がその化合物の差異にほぼ無関係に黒煙低減に対して効果的であること、その際の黒煙低減量は添加金属濃度の指数関数として記述し得ること、さらにパティキュレート低減などの点からはカルシウム系添加剤が比較的有效であることなどの諸点が明らかになった。

一方、同一諸元の直噴式と予室式の機関を用い、前者ではスワール比を変えることによって、燃焼条件と添加剤の効果との関係について検討したが、とくに燃焼領域に対する酸素の供給状態が良い燃焼系において、黒煙低減に対する添加剤の効果が顕著であることが明確になった。なお、燃焼室内のガス採集により、添加剤による黒煙の低減過程を検討した結果、添加剤の使用によって、燃焼初期の黒煙生成期においても黒煙濃度が大幅に低下していることから、添加剤は、黒煙の酸化を促進する正触媒として作用するほかに、その生成を抑制する負触媒としても大きく作用していることが推察できた。

以下に、本研究で得られた結果について詳述する。

* 昭和62年1月22日 第6回内燃機関合同シンポジウムにおいて講演、原稿受付 昭和62年3月18日。

^{*1} 正員、北海道大学工学部 (〒060 札幌市北区北13条西8丁目)。

^{*2} 正員、北海道大学大学院。

^{*3} 准員、日野自動車工業(株) (〒191 日野市日野台3-1-1)。

2. 実験装置および方法

2・1 供試機関および燃料 実験に用いた機関は、水冷、横形、単気筒、無過給の渦流予室式四サイクルディーゼル機関（YANMAR TS-180C）であり、シリンダヘッドおよびピストンの交換によって直噴仕様にもなり得るものである。機関の主要諸元は、ボア×ストローク $\phi 102 \text{ mm} \times 106 \text{ mm}$ 、定格出力 $11.0 \text{ kW} / 2400 \text{ rpm}$ 、圧縮比 21.0 （直噴式では 16.7 ）であり、燃焼室形状は図 1 に示すとおりである。供試噴射ノズルについては、予室式ではスロットル形（NP-DN4SD24）を、また直噴式では 4 噴孔のホール形（YDLLA-155S314EO）をそれぞれ使用した。直噴式におけるスワール比は、シュラウド弁の回転によって調整した。供試燃料は、通常の 2 号軽油を使用した。なお、データ採取は、運転開始後 5 h から 10 h の間で行った。

2・2 各種測定機器 排気黒煙濃度の測定には、ボッシュスモークメータ（ディーゼル機器 EFAW-68）を用い、3 回の測定値の算術平均をもって排気黒煙濃度とした。

排気中のパティキュレートは、小形希釈トンネル（堀場 DLT-03100M 形）を介してテフロンコーティングフィルタ（Pallflex TX40HI20-WW $\phi 70 \text{ mm}$ ）により捕集し、その濃度を算出した。またドライストと SOF の分離は、パティキュレートを捕集したフィルタを一定時間ジクロロメタンに浸すことにより行っ

図 1 供試燃焼室形状

た。

全未燃炭化水素濃度の測定には、FID 全炭化水素分析計（堀場 MEXA-1120TFI）を、また窒素酸化物濃度の測定には化学発光法による排気ガス測定装置（堀場 MEXA-1120CLT）をそれぞれ使用した。

燃焼室内のガス採集は、予室内に挿入したパイプを介して高速ガスサンプリング装置により行った。採集位置は、図 1 に示す A 点であり、採集期間は約 15°CA 、その期間の中央値を採集時期とした。

2・3 供試添加剤 供試燃料添加剤としては、軽油に溶解し得るものを対象としたが、金属系としてマグネシウム、カルシウムおよびバリウムなどの II A 族アルカリ土類金属のほか、VIII 族中の鉄族、そしてマンガンおよび銅などその周辺の金属の塩を、また非金属系としてはニトロエタンおよびニトロプロパンをそれぞれ用いた。なお金属塩は原則としてナフテン酸塩を使用した。化合物の影響を見るためにスルホン酸塩あるいはステアリン酸塩も用いた。表 1 に各添加剤の一般的性状を示す。

3. 実験結果および考察

3・1 添加剤の種類と濃度が黒煙低減に及ぼす効果 まず各種の金属系添加剤を軽油に溶解し、それぞれがディーゼル黒煙の低減に及ぼす効果について検討した結果を図 2 に示す。この場合、図 2 の縦軸には無添加時の黒煙濃度（Bosch スモークメータの読み%） S_0 に対する添加時の黒煙濃度 S の比、つまり黒煙低減比を対数尺度で、また横軸には燃料中の金属モル濃度 x [mol/l] をそれぞれとっている。いずれの添加剤でもその増加によって黒煙濃度の減少が認められるが、その程度はとくにバリウムあるいはカルシウムのアルカリ土類金属において著しく大きい。のに対し、マンガン、鉄および銅では比較的小さく、ニッケルおよびアルカリ土類金属であるにもかかわらずマグネシウムに至っては極めて小さく、黒煙の低減効果はほとんど認めら

表 1 供試燃料添加剤

Additive	Chemical structure	Metal content (w-%)	State in normal temp.
Ca naphthenate	$\text{Ca}(\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{COO})_2$	3.0	Liquid
Ca stearate	$\text{Ca}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$	6.6	Powder
Ba sulfonate	$\text{Ba}(\text{R-SO}_3)_2$	22.5	Liquid
Ba stearate	$\text{Ba}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$	18.5	Powder
Mg naphthenate	$\text{Mg}(\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{COO})_2$	2.0	Liquid
Fe naphthenate	$\text{Fe}(\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{COO})_2$	5.0	Liquid
Mn naphthenate	$\text{Mn}(\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{COO})_2$	5.0	Liquid
Mn naphthenate	$\text{Mn}(\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{COO})_2$	10.0	Solid
Cu naphthenate	$\text{Cu}(\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{COO})_2$	10.0	Solid
Nitroethane	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NO}_2$	—	Liquid
1-Nitropropane	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NO}_2$	—	Liquid

れない。

なお、 $\ln(S/S_0)$ と x とがほぼ直線関係にあることから、黒煙の低減特性は

$$\ln(S/S_0) = -\alpha x$$

なる式でおおむね一般表示し得ることがわかった。表 2 には各金属添加剤に対する α 値の一例を示す。

一方、ニトロプロパンやニトロエタンなどの非金属系添加剤については、その黒煙低減効果はほとんど見られなかった。

そこで、黒煙の低減効果が著しいカルシウム系とバリウム系の添加剤について詳細に検討した。

まず図 3 は、カルシウムあるいはバリウムを含む化合物の相違が黒煙低減効果に及ぼす影響について示したものである。図 3 中、2 種類の化合物、すなわちナフテン酸塩あるいはスルホン酸塩とステアリン酸塩とについて比較してあるが、空気過剰率 $\lambda=1.4$ および 1.8 のいずれにおいても両化合物における黒煙濃度に差異がほとんどないことから、黒煙の低減効果は、同一金属における化合物の種類にほぼ関係なく、燃料中のカルシウムあるいはバリウムのモル濃度に依存することが明らかである。なお、金属化合物の差異により黒煙低減効果があまり変わらないことについては岡田らも同様の結果を得ている⁽⁵⁾。本研究における添加剤は原則としてナフテン酸塩を使用した。

図 4 は、カルシウムあるいはバリウムの添加量と機

関諸性能値との関係を示す結果の一例である。いずれの場合も、添加量が増加するにしたがって、黒煙濃度および全未燃炭化水素濃度は低下していくのに対し、パティキュレート濃度はいったん急激に減少したのち徐々に増加し、また正味熱消費率 (BSEC), NO_x 濃度などその他の性能値はほとんど変化しないことが明らかである。なおこの場合、図 4 中には示されていないが、着火遅れもほとんど変化しないことを確認している。カルシウムとバリウムとにおける黒煙およびパティキュレートの低減効果を比較すると、バリウムのほうが若干低濃度で黒煙の大幅な低減が得られるものの、その添加量が多い場合にはパティキュレートの増加傾向が著しくなっている。これは分子量の大きいバリウム酸化物の排出に起因するものと考えられる。すなわち図 4 中には、添加したカルシウムあるいはバリウムが酸化物 (BaO , CaO) となってすべて排出されるものと仮定した場合の濃度を細線でそれぞれ示してある。それによると、添加量が増加した場合のパティキュレートは、仮定した金属酸化物の量にある程度対応して増加するのがわかる。なお、パティキュレートについては、それが最小となる添加剤濃度が存在し、その値はバリウムで約 $0.7 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ 、またカルシウムでは $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ 程度であり、その際のパティキュレート濃度は両者ともにほぼ同一の値を示す。

以後はパティキュレート濃度の増加傾向、あるいは

表 2 主たる金属添加剤に対する α 値 ($\lambda=1.8$)

単位: l/mol

Additive	Ba	Ca	Mn, Fe	Ni, Mg
α	217	162	34	5.9

図 2 添加剤の種類と濃度が黒煙低減比に及ぼす影響 (予室式, $\lambda=1.8$, 1000 rpm, 噴射時期 15°C A BTDC)

図 3 Ca および Ba の化合物の種類が黒煙低減効果に及ぼす影響 (予室式, 1000 rpm, 噴射時期 15°C A BTDC)

毒性などの点から若干有利と思われるカルシウム添加剤に注目して実験を行った。

3・2 機関運転条件が添加剤の効果に及ぼす影響
本節では、燃料噴射時期、正味平均有効圧および回転速度などの機関運転条件が添加剤の効果に及ぼす影響について述べる。

図5は、燃料噴射時期を変化させた際の機関諸性能値に対するカルシウム添加の効果を示すものである。図5において、添加剤を用いると広範な燃料噴射時期に対して黒煙濃度が減少し、噴射時期が遅延した場合であってもほぼ無煙状態が得られている。

図6は、カルシウムの添加による機関諸性能値の変化を正味平均有効圧に対して示したものである。図6に見られるように、カルシウムの添加により広い負荷にわたって、正味熱消費率、 NO_x 濃度などの諸性能値がほとんど変化することなしに黒煙およびパティキュレート濃度は大幅に減少し、高負荷域を除いてほぼ無煙運転が可能となっている。さらに、カルシウムの添加によりHC濃度も減少の傾向を示しており、その程度は低負荷において著しい。

図7は、黒煙低減比の対数値 $\ln(S/S_0)$ とカルシウム

添加量 x との関係に対する空気過剰率および回転速度の影響を示したものである。図7から、いずれの空気過剰率においてもカルシウム添加量 x の増加に対して、 $\ln(S/S_0)$ はほぼ直線的に減少し、その程度は空気過剰率が大きいほど著しいことがわかる。この結果から、添加剤の効果に対して酸素の存在が何らかの重要な役割を果たしていることが示唆される。

なお、図7中の▲および○印は、空気過剰率1.8における機関回転速度1500 rpmおよび2000 rpmでのデータをそれぞれ示すが、回転速度が変わっても黒煙の低減特性はほとんど変化していないことから、空気過剰率が一定であれば、添加剤利用による黒煙低減の程度は機関回転速度に関係なくほぼ同一であるといえる。

3・3 燃焼室形式およびスワールが添加剤の効果に及ぼす影響 これまで、予室式機関での結果を中心に述べてきたが、本節では、同一諸元の直噴式機関における結果について記述する。

図8は、直噴式機関におけるカルシウム添加量と黒煙低減比との関係を示すものである。図8において、カルシウム濃度の増加にともない黒煙低減比の対数値は直線的に減少しており、その程度は空気過剰率が大きいほど著しいことから、直噴式と予室式とにおける添加剤による黒煙低減の特性は、定性的には同一であると言える。

図4 CaあるいはBaの添加量と機関諸性能値との関係 (予室式, $\lambda=1.8$, 1000 rpm)

図5 燃料噴射時期を変えた際の添加剤の効果 (予室式, $\lambda=1.9$, 1000 rpm, $\text{Ca}=1.3 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$)

図9は、空気過剰率が比較的小さい場合において、カルシウム添加による黒煙低減に対するスワール比の影響を示す結果の一例である。図9から、スワールが

存在しない場合にはカルシウム添加による黒煙の改善効果が非常に小さいのに対して、スワールの強化にともなってカルシウム添加による黒煙の低減効果が顕著になっていくのがわかる。図9中には同一空気過剰率における予室式での黒煙低減特性も示してあるが、その特性は直噴式におけるスワール比が零と1.5とのほぼ中間に対応している。以上のように、空気過剰率が大きいほど、また燃焼室内の空気流動が増加するほど、添加剤による黒煙の低減効果が大きくなることから、添加剤による黒煙の低減特性の差異は、燃焼領域における酸素の供給状態に関連して生ずるものと考えられる。すなわち、燃焼あるいは黒煙の生成・酸化領域に対して酸素が供給されやすい燃焼系、例えば空気過剰率あるいはスワール比が大きい場合には添加剤の効果が著しくなり、先に述べた指数関数中の α 値が増加する結果となる。

3.4 添加剤による黒煙低減の過程 添加剤を用いた際の黒煙の生成・酸化経緯について検討するために、予室内の燃焼ガスをサンプリングし、クランク角度ごとのパティキュレート濃度 (g/m^3) および黒煙濃度 (Bosch) を測定してみた。図10は、その結果の一例である。図10から、カルシウムの添加によって、すすの生成が支配的とされる燃焼初期からその酸化過程と言われる燃焼後期にわたって、黒煙およびパティキュレ

図6 正味平均有効圧が添加剤の効果に及ぼす影響 (予室式, 1000 rpm, $\text{Ca} = 1.3 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$)

図7 空気過剰率が添加剤の効果に及ぼす影響 (予室式, 1000 rpm)

図8 直噴式機関における添加剤の効果 (1000 rpm, スワール比 1.5)

図9 スワール比が添加剤の効果に及ぼす影響 (直噴式, $\lambda = 1.4$, 1000 rpm)

図 10 予室内の黒煙およびパティキュレート濃度の時間経緯 ($\lambda=1.8$, 噴射時期 15°CA BTDC, $\text{Ca}=1.3 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$)

ート濃度のいずれもが大幅に減少していることが明らかである。このことから、この種の添加剤は、すすの酸化過程での正触媒的作用に加えて、生成過程においてその生成を抑制する負触媒的な作用をも保有しているものと考えられる。

なお、熱てんびんを用いて添加剤を使用した場合に排出されるすすの燃焼速度に関して基礎実験を行った結果、添加剤の混入はすすの燃焼開始温度と活性化エネルギーを下げ、燃焼速度を大幅に増加させることが判明した。

4. 結 論

本研究で得られた結果を要約すると、およそ以下のとおりである。すなわち、

(1) 軽油に対する可溶性金属および非金属添加剤の中で、アルカリ土類金属のバリウム系あるいはカル

シウム系の添加剤は、黒煙およびパティキュレート低減に対して著しく有効である。なお、その使用によりディーゼル機関の出力性能などはほとんど影響を受けない。

(2) 金属添加剤の使用による黒煙の低減特性は、その金属化合物の種類によらずに金属のモル濃度に依存すると同時に、その指数関数として表示し得る。

(3) 添加剤による黒煙低減の特性は、機関回転速度にはほぼ関係なく空気過剰率に依存する一方、燃焼域への酸素供給状態によっても大きく影響され、例えば、空気過剰率あるいは直噴式機関のスワール比が大きいほど、添加剤による黒煙低減は著しくなる。

(4) 予室式と直噴式における添加剤の黒煙低減特性は定性的に同一である。

(5) 黒煙低減に対する金属系添加剤は、黒煙の酸化過程において正触媒的に、またその生成過程では負触媒的にそれぞれ作用するものと推察される。

(6) カルシウム系添加剤は、その黒煙低減効果、毒性、あるいはパティキュレートの増加傾向などの点から、バリウム系に比べて劣らぬ添加剤である。

本研究の遂行にあたり、北海道大学工学部 近久武美助教授、北海道工業大学 藤原康博助教授、および同 登坂 茂講師には多大なご協力をいただいた。また実験に際しては、北海道大学工学部大学院 山根浩二君、セイコー電子(株) 畑沢賢一君、4年目学生 角南秀樹君からも協力を得た。ここに記して感謝の意を表する次第である。

文 献

- (1) Norman, G. R., SAE Paper, 660339.
- (2) Golothan, D. W., SAE Paper, 670092.
- (3) Miller, C. O., SAE Paper, 670093.
- (4) Saito, T., ほか 1 名, SAE Paper, 730170.
- (5) 岡田, 舶用機関学会誌, 12-12 (昭 52), 891.
- (6) Hare, C. T., ほか 2 名, SAE Paper, 760130.

討 論

〔質問〕 伊 勢 一

(三菱石油(株)研究本部石油製品研究所)

(1) 487 ページ左欄 1 行め毒性などの点から Ca 塩が Ba 塩より有利する根拠は何かお示しいただきたい。

(2) 489 ページ左欄 8~10 行め Ca 塩の添加によりすすの燃焼速度、活性化エネルギーが変わるとある

が、これらのデータをお示し願いたい。

(3) 486 ページ左欄 23 行めナフテン酸金属塩を原則として使用したとあるが、図 4 の Ba 塩は何か明示いただきたい。

(4) ポッシュスモーク濃度の Ca 塩などによる低減はすすの生成防止と燃焼促進の両方に Ca 塩などが作用することで達成されていると結論されている。こ

の結論をもう少し定量的に裏付けるデータが示されていれば素晴らしいと考える。とくにすすの生成防止と燃焼促進にほぼ同じぐらいの効果があるのか、どちらかに重点的に効果があるのか非常に興味がある。

〔回答〕 (1) Ca 塩および Ba 塩の毒性については、実験で直接調査していないが、人体に対して、とくに水溶性の Ba 化合物は著しく有害であるのに対し、Ca 化合物は比較的害が少ないものが多いと通常言われている。

(2) 付図 1 は、熱てんびんを用いて求めたすすの酸化速度定数 K と温度 T との関係を示す結果の一例である。なお、酸化速度 dm_c/dt と K との関係は次式のとおりでである。

$$\frac{dm_c}{dt} = -n \cdot \sigma \cdot m_c \cdot P_{O_2} \cdot K$$

ここで、 n : $C + O_2 = CO_2$ の反応で単位体積の酸素と化合する炭素の質量 kg/m^3

$n = 273/T \cdot (12/22.4)$ である。

m_c : すす質量 kg

σ : すすの表面積 m^2/kg

P_{O_2} : 酸素の体積割合

付図 1 における直線の傾きは、酸化反応の活性化エネルギーと対応するので、Ca の添加によってすすの酸化速度定数が増加する一方、その活性化エネルギーは大幅に減少することがわかりいただけるものと思う。

(3) Ba 塩については、その入手の関係で、今回スルホン酸バリウムを用いた。なお、バリウム塩の種類が異なっても、その効果があまり変化しないことは本文中に述べたとおりである。

(4) Ca 塩添加がすすの生成と酸化の各々に対す

る影響については、著者らも興味を持っており、その一環としてまず Ca 塩添加がすすの酸化速度に及ぼす影響について調べたのであるが、その結果の一例はご質問(2)に対してお答え申し上げたとおりである。なお、これらの点については、現在さらに検討を進めている。

〔質問〕 飯田 訓正〔慶應義塾大学理工学部〕

金属添加剤の黒煙低減効果について明らかにされ敬意を表す。理解を深めるために結論(1)~(5)に関連して以下の点をお教え願いたい。

(1) 添加剤は出力性能にほとんど影響を与えないとしているが、これは熱発生率経過(あるいは指圧線図)が変化しないと解釈してよいか。

(2) 添加剤によるパティキュレート低減特性も黒煙(スモーク値)と同様指数関数として表示し得るか。

(3) 空気過剰率あるいはスワール比が大きいとき添加剤の効果が著しいことから、「燃焼領域の酸素供給状態が良いとき低減効果が大きい」と結論されている。これは「燃焼領域のバルク温度が低くなるような条件のときに効果が大きい」と考えることはできないか。

(4) Dry soot と SOF の分離を行ったとあるが、金属添加は SOF、ないしは SOF 中の多環芳香族の含有量に対して、どのような効果を持つか。

(5) すすの生成・消滅反応は燃焼室内で同時進行し得る。予室内の黒煙濃度履歴が低下することから、添加剤の生成と酸化に対する効果が結果としてすす濃度の減少する方向に作用することは理解できる。しかしこの結果からでは、必ずしも生成過程に対して負触媒として作用していると結論できないと思うが、いかがお考えか。

〔回答〕 (1) 燃料に Ca などを添加しても、指圧線図および熱発生率経過はほとんど変化しない。

(2) 排出されるパティキュレート中には、添加した金属の化合物も混在しているので、ボッシュ黒煙濃度の場合のように、パティキュレート濃度を単純な指数関数で表示あるいは評価することは大変難しいものと考えている。

(3) ご指摘のように、バルク温度が低いほど添加剤の効果が増加するという考え方も一面ではできようかと思われるが、厳密にそれを結論づけるには検討を要するものと思っている。なお、すすの酸化のみに注目すると、雰囲気温度が低くなるにともない、金属を添加したすすと添加しないすすとの間の酸化速度の差が増加することを熱てんびんによる基礎実験によって確認している。

付図 1 Ca 添加剤の有無によるすすの酸化速度定数 K

(4) 今回の実験結果によると, CaあるいはBaの添加量を増加させても, パティキュレート中のSOFの絶対量はあまり変化しないようである。一方, SOF中のPAH量は今回調べていないので, 今後検討してみたいと考えている。

(5) 図10の結果のみからは, すすの生成過程に対して添加剤が負触媒として作用すると言い切れないことはご指摘のとおりであり, 推論の域を脱し得ないものと考えている。今回の実験では, 燃焼の初期段階

においても添加剤を用いることにより黒煙の低下が生じている。すすの生成・酸化反応は同時進行するものであるが, どちらかというところ、燃焼の初期段階ではすすの生成のほうが支配的であるとの観点に立つと, すすの生成過程に対して添加剤が負触媒的に作用しているものと推論することもできるものと考えた次第である。この点につきましては, 今後さらに検討を進めたいと思っている。