

途上国の自動車用燃料品質の現状と 品質管理政策の効果分析

紀伊 雅敦¹・亀岡 敦志²・湊 清之³

¹正会員 日本自動車研究所 総合企画研究部 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間2530)

E-mail:mkii@jari.or.jp

²日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部

³日本自動車研究所 総合企画研究部

途上国では急速にモータリゼーションが進展し、自動車排出ガスに起因した大気汚染が深刻化している。ASEAN諸国は排出ガス規制導入を目指しており、それには燃料性状改善が必要である。これには石油精製の高度化に加え、流通末端の品質確保が必要であり、これを担保するシステムが不可欠となる。

本研究では、フィリピンとインドネシアを対象に流通末端の燃料品質分析を行い、流通品質の検査体制の評価手法を作成した。分析の結果、不適合燃料が相当程度検出され、製油所出荷からスタンドまでの流通段階での品質劣化の可能性が示された。また、検査体制の評価手法をフィリピンに適用し、現在の公的品質検査はサンプル数の上で不十分である可能性を示した。

Key Words : *fuel quality management system, automobile emission standard, air pollution*

1. はじめに

途上国大都市では急速なモータリゼーションの進展に伴い、自動車排出ガスに起因した大気汚染が深刻化している。2004年5月カンボジアで開催されたAMEICQ(日・アセアン経済産業協力委員会)の自動車ワーキンググループでは、こうした問題を背景に、2005年にEURO2、2010年末までにEURO4導入を目標にすることが合意された。そこでは、燃料性状は排出ガスに大きく影響するため、排出ガスの規制レベルに応じた燃料品質が必要との共通認識を得ている。

新たな燃料規格を導入し、燃料品質を確実なものとするには、精製設備の改善と共に、製品輸入や流通段階での品質管理の改善が必要であり、特に、多様な主体が参加する競争的な石油流通市場では公的な品質モニタリングの必要性が高い。わが国がこの取り組みを支援することは、当該国の都市大気環境の改善とともに、将来アジア域内での燃料品質の基準調和の礎となるため、産業振興の観点からも意義は高い。

先進国の経験では、燃料流通市場の発展期に流通末端での燃料が規格外となる事例がしばしば生じたため、公的な燃料品質管理制度(Fuel quality management system, FQMS)が整備された。規格外品が発生する原因として、

輸送や貯蔵における品質管理といった技術的な要因に加え、燃料種や基材の価格差や税額差に起因する意図的な規格外燃料の混入など経済的な要因も存在する。この問題に対し、先進国では、政府が流通末端でのモニタリングを行い、規格外品が発見された場合には厳格な罰則をもって対応している。

途上国ではモータリゼーションに伴い、石油流通市場が拡大しており流通段階での品質低下の可能性が指摘されている。これに対し、多くの国で燃料品質の管理制度が整備されているが、予算制約などから実施体制が不十分な国も存在する。これらの国で燃料品質確保策の効果を示すことは、その実施体制の強化に資すると考えられる。

本研究では、まずフィリピンとインドネシアを対象に流通末端での燃料品質の現状を調査し、両国の品質規格の適合状況を把握する。つぎに、FQMSのうち末端での品質検査の効果を分析するため、規格外燃料の発生構造と、検査費用と効果の概念を整理し、途上国における対策強化の必要性を示す。その上でFQMSが流通事業者の品質確保行動に与える影響をモデル化し、最適な検査数の存在を示す。最後にこのモデルをフィリピンに適用し、燃料流通市場の拡大期における効果的なFQMSを検討する方法論の提示を目的とする。

2. 途上国における自動車燃料品質の現状

ここでは、途上国の自動車燃料品質の例としてフィリピンとインドネシアにおける流通末端で販売されている燃料分析の結果と各国規格への適合状況を示す。

フィリピンのガソリンは無鉛化されており、販売されているレギュラーガソリン、プレミアムガソリン、軽油の3種類をサンプリング対象とした。インドネシアでは、ジャカルタにおいて無鉛ガソリン2種類（Pertamax, Pertamax plus）と有鉛ガソリンの合計3種類のガソリンが販売されているが、その他の地域では無鉛ガソリン（Pertamax）と有鉛ガソリンが販売されている。このため、ジャカルタにおいてはガソリン3種類と軽油、その他の地域ではガソリン2種類と軽油をサンプリングした。サンプリング地域は、燃料販売量、販売店数、シェア、流通ルートなどを考慮して各国10都市を対象とし、調査は2004年8月～9月に行った。

(1) 各国の燃料品質規格

各国では自動車の燃料規格は法に基づき定められているが、AMEICC自動車WGでは、ASEAN各国の燃料規格の目標としてAAF推奨値(ASEAN Automotive Federation Proposal of Gasoline/Diesel Specification for EURO2 to AMEICC)が提示されている。これはWWFC (World Wide Fuel Charter)やEN規格を基にASEANの実情を考慮して制定されており、EURO2およびEURO4レベルの排出ガスを達成するために必要な品質が示されている。現状での両国の品質規格を、EURO2で求められるAAF推奨値と比較すると、硫黄分や鉛など排出ガスに大きな影響を及ぼす項目についてEURO2レベルには至っていない。各国における品質規格は品質確保システムの基準となるため、排出ガス規制レベルに応じた規格に改善する必要がある。

(2) サンプリング・分析結果

各国の品質規格への適合性の評価結果を表-1に示す。ここでは、ガソリン35項目、軽油25項目を分析し、1項目でも規格を満たさないものを不適合品として集計している。これより、ガソリンでは規格に適合していない燃料がほぼ半数存在することがわかる。

この結果は、不適合項目数や規格からの乖離の程度は考慮していないため、必ずしも不適合サンプルの全てが排出ガスや車両の安全性に悪影響を与えているとはいえない。しかし、フィリピンではメジャー2社、インドネシアでは国有石油会社1社が品質規格に基づき国内製造を行っており、政府によるサンプル調査からも製品出荷段階での不適合率は極めて低いことから、流通段階で品質劣化が相当程度生じていることが示唆される。

表-1 燃料品質の各国規格への適合状況

		サンプル数	不適合数	不適合率
フィリピン	ガソリン	68	32	47%
	軽油	46	8	17%
インドネシア	ガソリン	90	55	61%
	軽油	36	1	3%

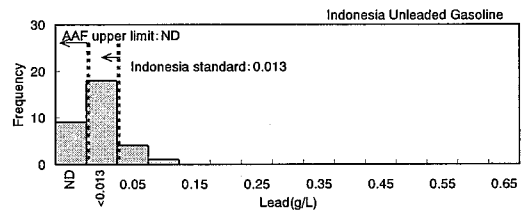


図-1 インドネシア無鉛ガソリンの鉛分布

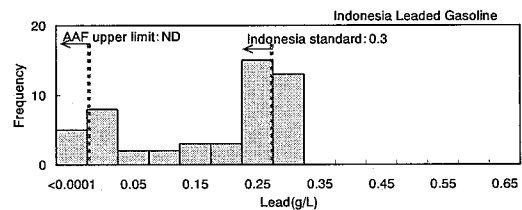


図-2 インドネシア有鉛ガソリンの鉛分布

なお、フィリピンでは灯油価格が上昇し軽油と同程度の価格となっているため、2004年時点では、軽油と灯油の混入は生じていないとされている。

次に性状の事例として、インドネシアの無鉛ガソリン、有鉛ガソリンの鉛分の分布を図-1、図-2に示す。インドネシアの規格値は、無鉛ガソリンで0.013g/L、有鉛ガソリンで0.3g/Lであるが、規格値を外れたサンプルが多く存在することがわかる。現地でのヒアリングでは、規格の異なる別用途の燃料混入の可能性が指摘されている。

3. 規格外燃料の発生構造とFQMSの効果

(1) 規格外燃料の発生構造

規格外品が発生する原因として、輸送や貯蔵における品質管理といった技術的な要因とともに、燃料種や基材の価格差、税額差に起因する意図的な燃料混入など経済的な要因も存在する。

このような規格外燃料の発生、流通は、FQMSの強化、すなわち公的機関など第三者による十分な監視と、違反に対する罰則の厳格な適用により抑止が可能と考えられる。しかし、流通末端の全燃料の品質を監視することは

コスト面で現実的ではなく、また一般に石油流通は複数の事業者が担っていることから、末端の監視だけでは誰に責任を帰すべきかの判断が困難となる。このため先進国では、公的機関が流通の中間段階、および末端での燃料サンプリングにより品質を監視し、違反に対する責任を明確にすることで規格外品の発生を抑制している。

一方、対象とするフィリピン、インドネシアでは、従来、石油流通市場への参入が厳しく規制され、少数の企業や政府機関による独占、寡占状態であったため、品質確保の責任はそれらの企業や機関が担っていた¹⁾²⁾。しかし、近年の国際的な市場化圧力に応じ参入規制の緩和が進められ、流通構造が複雑化しつつあることから³⁾、公的なFQMSの強化が必要とされている。多くの途上国では品質規格および違反に対する罰則等の法整備が進められているが、品質検査の財源確保など実施体制が不十分な国も多い。このため、効率的なFQMSを検討することが必要である。

(2) FQMSの効果

FQMSの効果は規格外品の発生、流通を抑制し、健全な流通市場を維持するとともに、車両の安全確保、大気環境の保全を通じた社会的不便益を抑制することにある。一方、FQMSの強化はサンプリングと分析の費用を増大させるため、適切な運用が求められる。

検査が十分ランダムに行われているならば、流通事業者にとって、規格外品の流通、販売のリスクは検査を受ける確率と処罰の重さの積と想定できる。検査強化はそのリスクを高めるため、流通事業者の品質管理を促進し、異種燃料の混入などの不正を抑制すると考えられる。FQMSの要件として罰則とサンプリングがあげられていることから⁴⁾このように考えることは自然であろう。一方、調査分析費用はサンプル数に応じて増加する。ここで、規格外品の販売量と環境劣化費用が比例関係にあると仮定すると、図-3に示すように総費用を最小化するサンプル数が存在することが想定される。途上国では財源が不十分であることから、現状のサンプル数は最適値よりも少ない可能性がある。

4. FQMSの効果分析モデル

前節で示したように、FQMSは流通事業者の行動を通じて効果をもたらすと考えられる。このような規制の影響分析は欧米ではRIA (Regulatory Impact Analysis)⁵⁾として様々な規制の実施に先立ち行われている。しかし、RIAでは、一般的に規制は遵守されるものとして扱われており、規格外品の発生を無視し得ない場合、その手法を

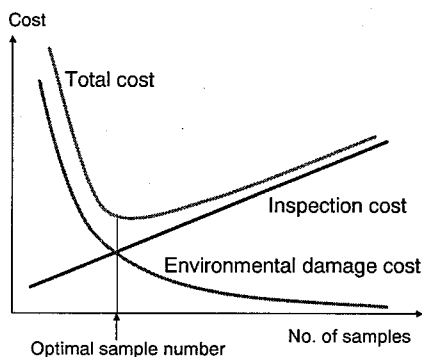


図3 品質検査体制の総費用への影響

FQMS評価にそのまま適用することはできない。

ここではガソリンスタンド（以後 SS）でのサンプリングが販売事業者（以後、事業者）の行動に与える影響をモデル化し、それに基づく環境劣化費用と検査費用の推計方法を示す。

まず、事業者は規格品と規格外品のいずれかを販売するとし、その将来利益の期待現在価値に基づきどちらを販売するか決定する。ただし、規格外品を販売する場合、FQMSのサンプル数に応じた確率で検査され、罰則を受ける。また、偶発的な品質劣化は発生しないと仮定する。

規格品販売による年間利益を P_0 、規格外品の利益を P_1 ($P_1 > P_0$) とし、全 SS の数を N 、1 年間の検査サンプル数を n 、不適合に対する罰金を q_1 とする。規格外品を販売する場合、罰則を受ける確率はサンプル数を SS 数で除したものとする。また、検査は十分ランダムに行われ、SS が事前に検査時期を知ることはないとする。利子率を r とすると、規格品、規格外品の販売利益の現在価値 Q_0 、 Q_1 は次式で与えられる。ただし、規格外品販売の場合、罰則として免許が剥奪される場合と罰金の場合の 2 つのケースを想定する。

規格品の販売利益の現在価値：

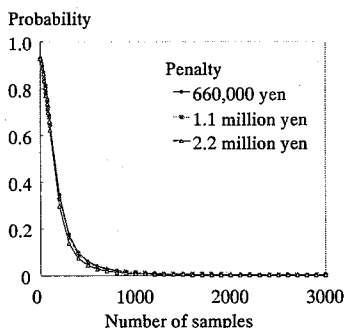
$$Q_0 = \sum_{t=0}^{\infty} \left(\frac{1}{1+r} \right)^t P_0 = \frac{1+r}{r} P_0 \quad (1)$$

規格外品の販売利益の現在価値：

1) 発見時に免許が剥奪される場合

$$Q_1 = \sum_{t=0}^{\infty} \left(\frac{1}{1+r} \right)^t \left(P_1 - \frac{n}{N} q_1 \right) \left(1 - \frac{n}{N} \right)^t = \frac{1+r}{r + n/N} \left(P_1 - \frac{n}{N} q_1 \right) \quad (2)$$

a) 免許剥奪あり



b) 免許剥奪なし

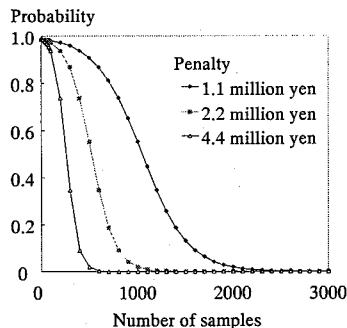


図4 不適合品の販売確率

2) 発見時に免許が剥奪されない場合

$$Q_1 = \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{1}{1+r} \right)^i \left(P_1 - \frac{n}{N} q_1 \right) = \frac{1+r}{r} \left(P_1 - \frac{n}{N} q_1 \right) \quad (3)$$

ここで、それぞれの販売利益はガンベル分布に従う誤差を有すると仮定すると、規格外品の販売確率は次式のロジットモデルで与えられる⁹⁾。

$$Pr_1 = \frac{\exp(\theta \cdot Q_1)}{\exp(\theta \cdot Q_1) + \exp(\theta \cdot Q_0)} \quad (4)$$

ただし、 θ は分散パラメータである。

これより、規格外品を販売する店舗数は次式で与えられる。

$$N_1 = Pr_1 \times N \quad (5)$$

一店舗あたりの規格外品販売による1年間の環境劣化費用を C_1 、サンプル当たりの検査費用を C_2 とすると、年間の総費用 C は次式で与えられる。

$$C = C_1 \times N_1 + C_2 \times n \quad (6)$$

結局、総費用 C はサンプル数 n の関数であり、 n に関する総費用の変化量は次式で与えられる。

$$\frac{\partial C}{\partial n} = C_1 \frac{\partial N_1}{\partial n} + C_2 \quad (7)$$

$$\frac{\partial N_1}{\partial n} = N \cdot Pr_1 (1 - Pr_1) \cdot \theta \frac{\partial Q_1}{\partial n} \quad (8)$$

式(2)、(3)より $\partial Q_1 / \partial n < 0$ であることから、規格外品の発生確率は n に関して単調減少であり、また、 n が増大すると N_1 は 0 に漸近するため、 C は最小値を有し、図-3に示す最適サンプル数が存在する。

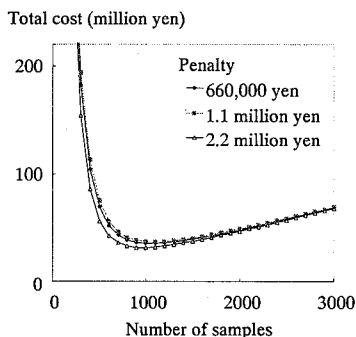
5. FQMS の効果分析

上記モデルをフィリピンを対象に適用し、FQMS の現状と効果を分析する。フィリピンエネルギー省のヒアリングより 2003 年の SS 数は 3934 であり、1店あたりの年間ガソリン販売量は 939kL、軽油は 1158 kL、ガソリン、軽油の平均価格は 59.6 円/L、47.1 円/L である。SS のマージンを 5%、運営費用を 400 万円と仮定すると¹⁾、年間利益は 153 万円となる。一方、規格外燃料を販売する場合、ガソリン 1 リットル当たり 0.5 円の利益が得られると仮定すると²⁾、年間利益は 206 万円となる。この条件に基づき発見時の免許取り消し措置の有無別に規格外燃料の販売確率を求めた。ただし、モデルの分散パラメータの設定値は、現在の検査サンプル数を 400 とし、免許取り消しがある場合は発見時の罰金を 110 万円、ない場合は 440 万円のと看、不適合率が 9% となるよう設定した。また利子率は 10% と仮定した。このモデルを用い、規格外品の販売確率を推計したものを図-4 に示す。

図より、免許取り消しがない場合、罰金の額により規格外品の発生確率が大きく変わるが、ある場合、罰金はほとんど影響しない。これは、免許取り消しが総利益に与える影響が非常に大きく、罰金はほぼ無視しうるためである。これより、罰則の周知と厳格な運用は規格外品の抑制効果が高いといえるが、品質分析のみで意図的な不正行為と、偶発的な異種燃料混入を判断することは容易ではなく、また、規格外品の原因となった主体の把握も困難である。店舗閉鎖などの厳しい罰則の適用は、不正行為と原因者が明確な場合などに限られることから、実際には、2つのモデルの中間的な状況が考えられる。

次に、総費用を最小化する検査サンプル数を分析する。これには、1店舗あたりの規格外品販売の環境劣化費用を設定することが必要だが、ここでは Wordbank³⁾ を参考に、1店舗あたり 27 万円の環境劣化費用が生ずると仮定する⁴⁾。また 1 サンプルあたりの検査費用は 22

a) 免許剥奪あり



b) 免許剥奪なし

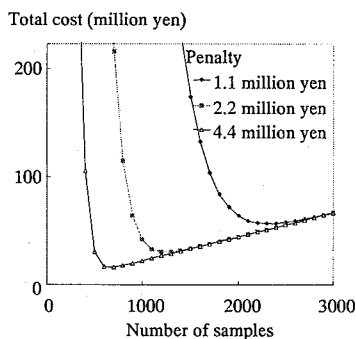


図5 サンプル数に対する総費用（環境劣化費用+検査費用）変化

万円と仮定する。この条件の下、サンプル数に対する総費用の変化を推計したものを図-5に示す。

これより、免許取消がある場合、総費用を最小化するのは、約 1000 サンプルである。一方、取り消しがない場合には総コストを最小化するサンプル数は罰金額が大きく異なり、罰金が 440 万円の場合は一油種あたり 700 サンプル程度でよいが、110 万円の場合は 2300 サンプルが総費用を最小化する。ただし、対象国の検査サンプル数は流通の全段階、全油種で 1500 であり、1 油種当たり 400 サンプル程度となっていることから、いずれの油種も最適サンプル数を下回っており、効率性の観点からは不十分な可能性がある。一方、設定した条件下ではサンプル数が多すぎる場合、限界的な環境改善額が分析コストを下回るため総費用が増加することになる。

なお、両モデルは、設定の違いから異なるパラメータを用いているため、免許取消有無の単純比較は適切ではないが、免許取消がなく、罰金が低額ならば、総費用を最小化するにはより多くのサンプルが必要であり、かつ環境劣化費用も高水準にとどまる可能性がある。

また、販売マージンの感度を分析した結果を図-6に示す。これより、マージンが低下するに従い規格外品の発生確率が高まり、総費用、最適サンプル数ともに増加することがわかる。規制緩和による市場競争は製品価格の低下を通じ消費者に利益をもたらす一方、過当競争による事業者のマージン低下は品質管理費用の削減等の誘因を高めることから、モニタリング費用、環境劣化費用ともに増加させる可能性がある。

調査対象とした両国では消費者の価格に対する選好が強い一方、燃料品質に関する情報は十分周知されていないことから、不適合品の流通は反射的に適切な品質管理を行っている事業者の損失となりうる。したがって、健全な競争市場を形成するためにも FOMS の強化は必要と考えられる。

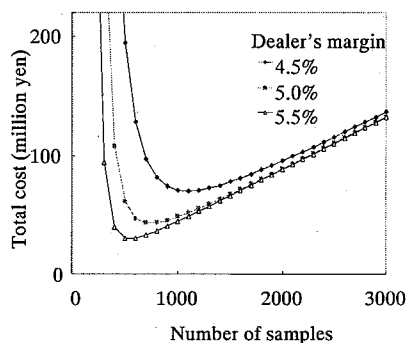


図6 販売マージン変化に対する総費用の感度

6. まとめ

自動車排出ガス規制の導入には車両側の対応のみならず、燃料側の対応が必要である。途上国では燃料流通市場の自由化が進められ、公的な燃料品質管理制度の重要性が増大しているが、運用体制はこれに十分対応しているとは言えない。

本研究では、フィリピンとインドネシアを対象に、流通末端での燃料品質の分析を行った。その結果、規格外燃料が相当程度検出され、流通段階での品質劣化の可能性が示された。新たな排出ガス規制の導入には、対応規格の制定のみならず、流通末端の燃料品質の保障制度と実施体制が必要である。今回の調査結果より両国ではそれらが不十分であり、現状では排出ガス規制の導入効果は必ずしも担保されないと考える。

このため本研究では、流通事業者の品質管理行動をモデル化し、FOMS の効率性評価手法を作成した。これをフィリピンに適用した結果、現在の公的な品質検査ではサンプル数が不十分である可能性が示唆された。

競争市場における品質確保のためには公的モニタリン

グの強化が必要だが、その経済的な効率性は、違反に対する罰則や市場競争の程度等に依存する。このため、FQMS の設計においては、モニタリング費用と規格外品流通に伴う外部費用の考慮とともに、市場競争の進展に伴う流通事業者の行動変化も検討すべきであろう。本研究で提案した手法は、これらの制度が流通事業者の収益を通じて、品質管理行動に与える影響の分析に適用可能であり、流通市場が自由化しつつある途上国の FQMS の設計において活用しようと考えられる。

ただし、提案した FQMS の評価分析手法は、フィリピン1カ国を対象とした試算にとどまり、また事業者の運営費用や規格外品流通に伴う環境劣化費用の設定、およびモデルの信頼性を十分検証できていない。また、流通末端の事業者のみを対象としており、中間事業者は対象としていない。このため、本研究で得られた結果を直ちに一般化することは不適切であるが、試算を通じて流通事業者の品質管理行動を考慮した FQMS 評価の一手法を例示できたと考える。実際の制度設計に活用するには、設定費用とモデルの検証を行うための調査、分析が必要であるが今後の課題とする。

謝辞：本研究は（独）日本貿易振興機構の先導的貿易投資環境整備実証事業として受託した自動車燃料性状品質確保事業の成果の一部を取りまとめたものである。関係各位に記して謝意を表する。

注：

[1]一般工職の年収を28.6万円、従業員数7名として、人件費を約200万円と想定し、それと同程度の固定費、その他可変費用が発生する仮定して、運営費用を400万円と設定している。

[2]ガソリンに灯油を5%混入する場合に価格差より得られる利益に相当する。

[3] 文献7) では大気中のPM10により約100億円の健康被害が推計されており、このうちガソリン車の寄与は10%と推計される。ここでは、将来、全SS（3934店）でガソリンに5%の異種燃料混入を行った場合に、同額の被害が生じると想定し、1店舗あたり27万円と設定した

参考文献

- 1) Catindig, T.: THE ASEAN COMPETITION LAW PROJECT: THE PHILIPPINES REPORT, 2001,
http://www2.jftc.go.jp/eacpf/02/philippines_r.pdf
- 2) US Embassy, Petroleum report 2003 Indonesia,
<http://www.usembassyjakarta.org/petro2003/Petroleum%202003.pdf>
- 3) Labadan, C. : Competition Policy in the Philippines: Experience and Challenges, APEC Training Program on Competition Policy,
<http://www.jftc.go.jp/eacpf/05/APECTrainingProgramMarch2004/philippinecompetition.pdf>
- 4) Liisa Kiuru, Monitoring and Enforcement of Fuel Quality Policies, Fuel Quality Strategy Training Workshop, Asian Development Bank, 2003.
- 5) 規制に関する政策評価の手法に関する調査研究報告書，規制に関する政策評価の手法に関する研究会，2004.
- 6) Ben-Akiva, M. and S. Lerman, Discrete Choice Analysis - Theory and Application to Travel Demand, MIT Press, 1985.
- 7) Shah, J.J. and T. Nagpal: Urban Air Quality Management Strategy in Asia : Metro Manila Report, World Bank, 1998.

A STUDY ON AUTOMOTIVE FUEL QUALITY AND ITS MANAGEMENT SYSTEM IN DEVELOPING COUNTRIES

Masanobu KII, Atsushi KAMEOKA and Kiyoyuki MINATO

Most of Asian developing countries are facing rapid motorization and consequent severe air pollution problems. Some ASEAN countries are setting out their new automobile emission standards, that require automotive fuel quality improvement at the retail stage.

In this study, automotive fuels in Philippine and Indonesia were sampled at pumps and analyzed, and a new evaluation method of fuel quality management systems (FQMS) was developed and applied to Philippine. As a result, it was found that a considerable number of samples was incompliant with the national standards, and that the FQMS was probably not enough intensive to secure the fuel quality. The results suggest that more intensive FQMS will be needed for the new automobile emission standards.