

# 乳化燃料によるアスファルトプラントの省エネ検証

(株)NIPPO 技術開発部 相田 尚  
(同) 片岡 直之  
(同) 黒坂 正昭

## 1. まえがき

現代の環境負荷低減への関心は、産業界のみでなく国民生活の中までも浸透してきている。これは、化石燃料の燃焼に伴う排出ガスによる大気汚染への影響が地球規模の環境破壊へと繋がるという警鐘から始まり、現在の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)削減という大きな動きとなっている。

一方、化石燃料の大半を海外からの輸入に頼っている我が国では、環境保護という観点の他、将来的な資源の枯渇、またそれに伴う原油価格の急激な高騰といった経済的観点からも省エネに対する取り組みは盛んに行われている。

化石燃料に頼らないという取り組みでは太陽光や風力、地熱などの自然エネルギーへの転換、バイオマスや再生可能エネルギーの積極利用等があるが、化石燃料の持つ取り扱いの容易さ、また温度の微調整に適した反応性の高さは熱加工が必要な多くの産業界では主燃料として重要な要素であり、完全に他燃料へ移行することは難しい現状である。

アスファルト合材製造・運搬に限定した場合、CO<sub>2</sub>排出量の約76%がアスファルト混合物製造時の加熱による<sup>1)</sup>。現在はアスファルトプラントにおいても様々なCO<sub>2</sub>削減の取り組みが行われているが、その中で燃料の改質という取り組みも行われている。

改質の方法には様々なものがあるが、代表的なものに水と油を乳化させたエマルジョン燃料がある。エマルジョン燃料は1973年のオイルショック後盛んに研究され、1990年代欧米で一時的に普及した。しかしながら水との

分離、配管や機器の腐食、乳化剤コストによる採算性が合わない等の理由で次第に姿を消すこととなった。日本国内では、近年の原油高、環境問題への関心から再び研究が盛んに行われているが、まだ本格的な実用化には至っていない。

本文では、既設アスファルトプラントへのエマルジョン燃料の導入による省エネ効果と、それにともなう問題点について概要を記す。

## 2. 水と油の乳化方法

水と油のエマルジョン化は食品や化粧品等様々な産業分野で活用されており、乳化技術も研究開発され確立されてきた。しかし、燃料のエマルジョン化では幾つもの提案が報告されているが、未だ確立されてはいない。

最も一般的な乳化方法は、乳化剤と言われる界面活性剤による化学的乳化法であるが、機械的な乳化方法としてはホモジナイザやコロイドミルによる乳化、膜乳化法等がある。

一般的な分類として、エマルジョン燃料には水の中に油が分散している水中油滴型(O/W)と油の中に水粒子が分散している油中水滴型(W/O)がある(図-1)。

熱量を必要とする燃料ではW/O型が利用される場合が多く、本適用においてはこれを用いた。

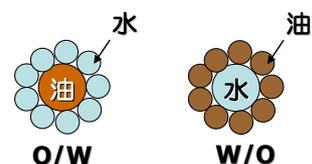


図-1 エマルジョン燃料の形式の種類

### 3. エマルジョン燃料の効果

エマルジョン燃料を燃焼することにより得られる効果は、一般的に次の4項目である<sup>2)</sup>。

#### ①燃焼効率の向上

エマルジョン燃料の中の水粒子が急激に気化することで、油が微細化され空気（酸素）との接触面積が増加し燃焼効率が向上する（図-2）。

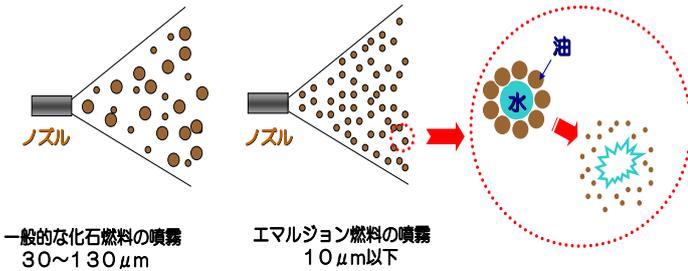


図-2 エマルジョン燃料の燃焼原理

#### ②熱量損失の低減

燃料が微細化されて空気と混合しやすくなることで燃焼用の空気量を減らすことができる。

#### ③煤塵、ススが減少

燃料の微細化により未燃の炭素分がガス化されて、可燃性のCO（一酸化炭素）になり、煤塵、ススが減る。

#### ④窒素酸化物（NOx）の減少

水粒子が気化熱を奪うこと、水性ガス化反応による吸熱作用により、燃焼ガス温度を低く抑えることになり、窒素酸化物の排出量が減少する。

### 4. エマルジョン燃料生成装置の選定

アスファルトプラントへの適用を検討するにあたり、数多くある乳化方法から、構造のシンプルさと出来るだけランニングコストを抑えたいという観点から、異なる製造方法による2種のエマルジョン燃料を使用することとし、それぞれ乳化装置を準備した。

#### A. 乳化剤混合型

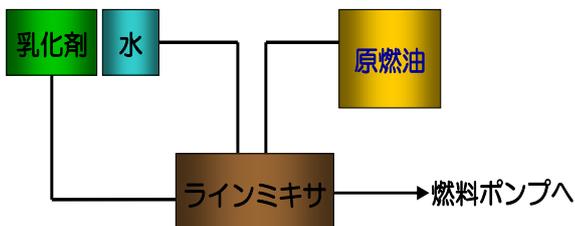


図-3 乳化剤混合型装置フロー

最もシンプルな構造であり、原燃油と水および乳化剤を定量ずつ計量し、ラインミキサにて混合してそのまま燃料ポンプへ送る方式である（図-3）。貯蔵タンクが不要で、貯蔵後分離の心配がない。

#### B. 機械式剪断型

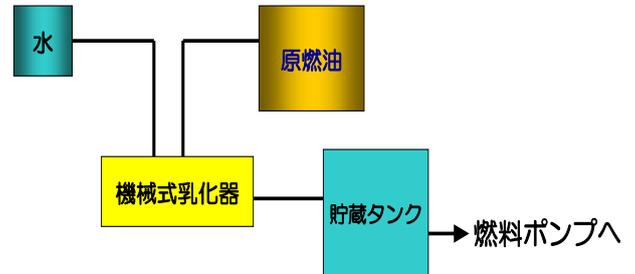


図-4 機械式剪断型装置フロー

乳化剤を使用せず、機械式（歯車剪断）の乳化機により、水と原燃油を剪断・粉砕しながら乳化する方式である。貯蔵タンクでは、循環と保温を行う（図-4）。

設置工場の選定は敷地等を勘案し、比較的温暖な関西地域と寒冷地である東北地域とした。

それぞれの特徴と設置条件をまとめたものを表-1に示す。

表-1 試験条件

	対象燃料	貯蔵タンク	乳化剤	補助添加剤	適用工場所在
A. 乳化剤混合型	灯油	無し	有り	無し	関西
B. 機械式剪断型	A重油	有り	無し	無し	東北

これらを既設アスファルトプラントに設置し、その効果および問題点を検証した。

### 5. アスファルトプラントへの適用

アスファルトプラントでは、バーナの燃焼空気量と燃料流量を骨材温度で同時に制御しており、その比率は式(1)に示す空気過剰率（空気比）で表され、通常は1.05～1.30<sup>3)</sup>が推奨されている。

$$m = A_w / A_o \dots \dots \dots \text{式 (1)}$$

m：空気過剰率（空気比）

A<sub>w</sub>：燃焼空気量（Nm<sup>3</sup>/min）

A<sub>o</sub>：理論空気量（Nm<sup>3</sup>/min）

前述のとおり、エマルジョン燃料は燃焼効率の向上に

加え、実際に燃焼する燃料も低減することから、これに見合ったバーナの制御設定が必要と考えた。

原燃料の理論空気量は式(2)で表されることから、例えば、乳化剤混合型を適用する工場の場合、原燃料に灯油を使用するので、燃料流量 500L/h 時の  $A_o$  は  $75.2\text{Nm}^3/\text{min}$  となる。この時の燃焼空気量の実測値が  $130\text{Nm}^3/\text{min}$  であったことから過剰空気率は 1.7 と算出される。これは、推奨とされる 1.05~1.30 まで空気量を抑えることが可能であることを表しているが、材料の変動や空気抵抗等の影響により実際は高い数値となる場合が大半である。

$$A_o = w \times \rho \times G_o / 60 \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

$A_o$  : 理論空気量 ( $\text{Nm}^3/\text{min}$ )

$w$  : 燃料流量 (L/h)

$G_o$  : 原燃料理論燃焼空気量 ( $\text{Nm}^3/\text{kg}$ )

$\rho$  : 原燃料比重

エマルジョン燃料は、14%の水を含むことから実燃料流量が 430L/h となり、同様に算出すると過剰空気率  $m$  は 2.0 となる。これにより、通常燃料の場合に比べさらに空気量を抑える必要があることがわかる。

以上の結果をもとに、製品の温度上昇に問題ない範囲でバーナの制御を行った。

また、通常のバーナでは風量制御ダンパが燃料流量制御弁とメカリンクで接続されている(図-6)ことから微妙な風量調整ができない。このため、インバータ制御のブロワモータを加え風量を制御することとした。

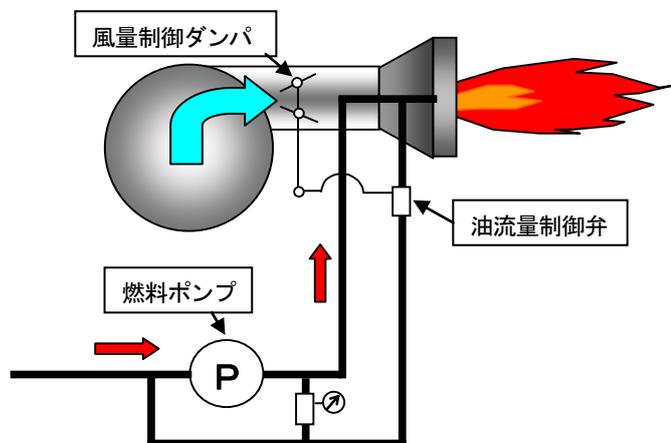


図-6 一般的なバーナの燃焼システム

## A. 乳化剤混合型

### (1) 導入

設置した工場は年間出荷数量が約 140,000 t で、新材ドライヤと再生ドライヤおよび脱臭炉と 3つの燃焼装置を保有する大型工場である。

当工場では、新材ドライヤ側のみエマルジョン装置を設置した。消防法に基づき危険物取扱所の変更許可申請手続きを行い、およそ 1ヶ月の工程で完了した。

写真-1 は、設置前の状況(左)と設置後の状況(右)、写真-2 は装置の全景である。



写真-1 設置前(左)と設置後(右)



写真-2 装置全景

### (2) エマルジョン燃料の製造

当工場では、原燃料は灯油を使用しており、乳化した燃料は白色に変わる(写真-3)。



写真-3 灯油(左)と乳化後(右)

水の添加率は、着火性等の基礎試験の結果から灯油に対し 14%とした。また、乳化剤は灯油に対して 0.3%が推奨であったが、着火性に問題がないことや分離が見られないことから、0.15%まで抑えることができた。

さらに、安定性にも優れており、3週間経っても外観上の分離は見られなかった。

### (3) 安全対策

配管内に残留するエマルジョン燃料の分離に起因するバーナの未着火に対処するため、既設配管にモータバルブを組み込み、着火時は灯油、安定燃焼でエマルジョン、骨材停止で灯油と自動で切り替える回路とし、配管内にエマルジョン燃料が留まらない構造とした。(図-5)。

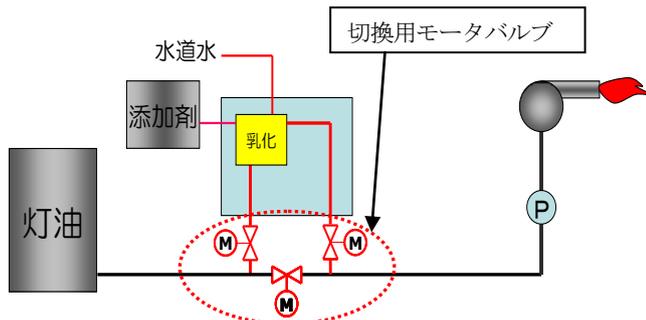


図-5 乳化装置の組み込みと安全対策

### (4) 効果の検証

エマルジョン燃料の効果を、灯油での燃焼と明確に比較するため、連続運転中の切換えで試験を実施した。

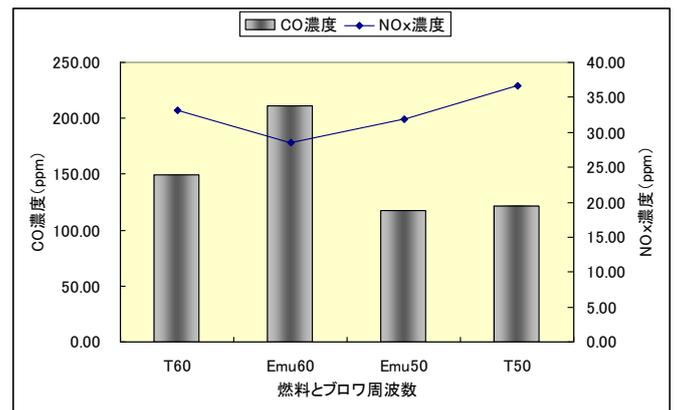
一般にボイラ等の燃焼機器では、O<sub>2</sub> (酸素) 濃度を基準に調整するが、アスファルトプラントは材料投入部や排出部、本体からのスカベンジャー等からのリークエアによって希釈され管理には適さない。したがって燃焼状態を排ガス成分の中の CO (一酸化炭素) 濃度を基準とした。また、全炭化水素 (THC) 濃度やばいじんも測定してみたが、バグフィルタを通過後はどちらもほぼ検出しなかった。

空気量の調整は、ダンパ制御の他に、インバータ制御のブロワモータを 60Hz と 50Hz に設定した状態で行った。測定結果を表-2 に示す。

表-2 乳化剤混合型試験結果

	エマルジョン燃料		灯油	
	風量50Hz	風量60Hz	風量50Hz	風量60Hz
骨材温度平均 (°C)	205.78	200.76	204.69	203.64
排ガス温度平均 (°C)	78.98	79.22	79.49	78.24
バーナ開度平均 (%)	57.93	58.71	57.02	57.36
排気ファン平均 (%)	45.00	47.85	45.00	48.00
燃油流量平均 (L/min)	7.81	7.95	8.59	8.57
煙道部排ガス温度 (°C)	74.37	72.10	74.10	72.10
O <sub>2</sub> 濃度 (%)	13.52	13.79	13.17	13.93
CO濃度 (ppm)	117.79	210.80	121.40	149.80
NO <sub>x</sub> 濃度 (ppm)	31.90	28.60	36.70	33.10

表-2 から、製品の基準となる骨材温度に問題はなく、燃油流量の平均が風量を 20% 落とした場合に、通常燃焼 (灯油) に比べ約 9% 少なくなっていることが分かる。また、CO 濃度はエマルジョン燃料で風量を落とした場合、極端に低くなっていることから、ほぼ計算値とおりの結果となった。また、エマルジョン燃料では NO<sub>x</sub> 濃度も下がるということが確認できた。CO 濃度、NO<sub>x</sub> 濃度の比較を図-7 に示す。



※以下図中の T50 は灯油で風量 50Hz, Emu60 はエマルジョン燃料で風量 60Hz を意味する。

図-7 CO, NO<sub>x</sub> 濃度比較

また、当工場で使用しているバーナは最大燃焼量 (960L/h) 時で過剰空気率 1.1 という低空気比バーナである。試験結果から単純に空気量を落としていくと酸素量が不足し、不完全燃焼に成り得る。現在のアスファルトプラントは再生合材の比率が向上しており、新材ドライヤは能力の 50% 程度の運転が殆どであるが、新材 100% で出荷する特殊合材では最大燃焼量に近い運転が求められる。そこで、最大燃焼流量の違いによる燃料の原単位を比較する試験を行った。その結果を図-8 に示す。

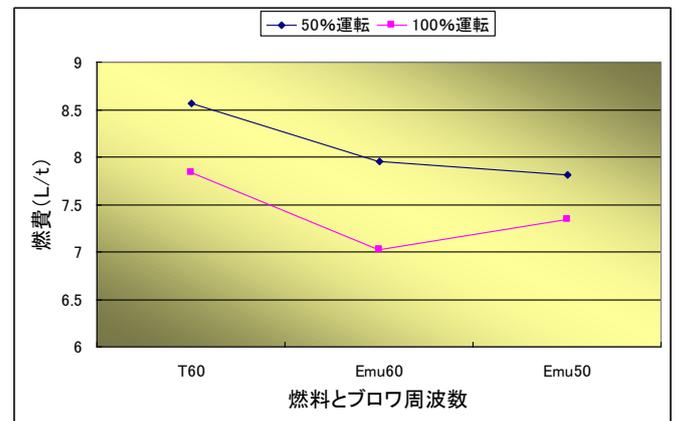


図-8 50%運転と 100%運転での原単位燃費比較

50%運転とは、90t/h の乾燥能力があるドライヤで骨材送り量を 45t/h にした場合であり、100%運転は 90t/h で送った場合である。

100%運転では、風量を絞らずに燃焼した方が燃料使用量が減少するという結果であった。これを受け風量の絞り方を低燃焼時に絞り、高燃焼時には通常とおりの 60Hz で運転するという自動制御を組み込んだ(図-9)。

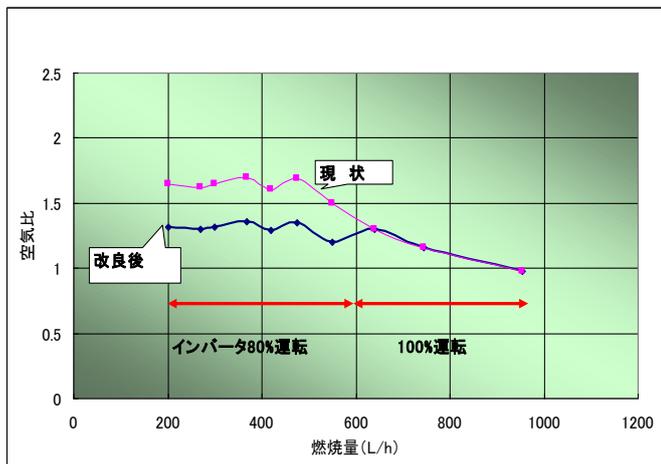


図-9 燃焼量に対する空気比の改造前後

#### (5) CO<sub>2</sub>削減効果

原単位での削減量を年間あたりに換算し、過去2年と比較した場合、CO<sub>2</sub>排出量でマイナス 390tCO<sub>2</sub>となりおよそ 12%減となった。

#### (6) まとめ

界面活性剤混入型のエマルジョン燃料で、一時貯蔵タンクを持たない製造方法では、不着火を起こすこともなく、配管システムのトラブルも無い。既存設備の調整をうまく行うことによって、排ガス成分を悪化させることなくCO<sub>2</sub>削減に寄与することが確認できた。

また、界面活性剤による製造コスト上昇は、合材1トンに対し約7円程度となり、燃料費の削減分から差し引いても、影響のない結果であった。

### B. 機械式剪断型

#### (1) 導入

東北の寒冷地に位置する工場へ、乳化剤を添加しない機械式乳化装置を設置した。当工場は年間生産量約 70,000t で新材ドライヤおよび再生材ドライヤを併設した一般的な工場である。ここでは、一つの製造装置から新材と再生材両方のドライヤへエマルジョン燃料を供給し、検証試験を行った。設置状況を写真-4 に示す。



写真-4 機械式剪断型乳化装置設置状況

関西での実施例に基づき同様の安全対策および空気量の調整を行った。

#### (2) エマルジョン燃料の製造

当装置は、一時貯蔵タンクを有していることから、製造後貯蔵したタンク内での分離を防ぐため、保温装置および終日の循環混合が必要であった。水添加率は寒冷地ということもあり当初 5%から 8%の範囲で調整した。

A 重油から製造したエマルジョン燃料は、コーヒートンクのような明るい色になり、顕微鏡で拡大すると水が分散されている様子が分かる(写真-5)。

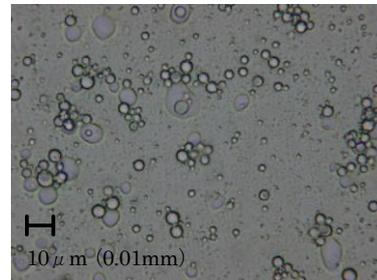


写真-5 機械式剪断型エマルジョン燃料(×400)

#### (3) 効果の検証

A と同様に風量を通常 (50Hz) 時と 20%ダウンした場合で連続運転中に行った。測定は、比較的安定燃焼を続けることが多い再生ドライヤ側で行った。測定結果の一例を表-3 に、CO 濃度、NO<sub>x</sub> 濃度のグラフを図-10 に示す。

30 分間毎に燃料と風量を切り替え、燃料消費量と排ガス成分を採取した。ここでも、一般に燃焼空気量を減らすと不完全燃焼気味になり CO 濃度が増加するが、逆に CO 濃度は減少する傾向になった。これは元々バーナの設計では過剰空気率がかなり多いことから、空気量を絞ることで適正空気量に近づいていることが想定される。

この結果では燃焼流量が若干ではあるが低減されてい

る。NO<sub>x</sub>濃度は若干ではあるが、エマルジョン燃料の方が低い結果となった。

表-3 機械式剪断型エマルジョン燃料測定結果

	エマルジョン燃料		A重油	
	風量40Hz	風量50Hz	風量40Hz	風量50Hz
骨材温度平均 (°C)	137.5	123.3	131.0	126.3
排ガス温度平均 (°C)	156.6	155.6	156.7	155.7
バーナ開度平均 (%)	24.9	35.9	22.1	28.5
排気ファン平均 (%)	40.0	51.0	40.0	49.0
燃油流量平均 (L/min)	5.80	6.60	6.10	6.70
CO濃度 (ppm)	162.40	193.60	231.80	306.60
NO <sub>x</sub> 濃度 (ppm)	19.02	18.86	19.02	19.46

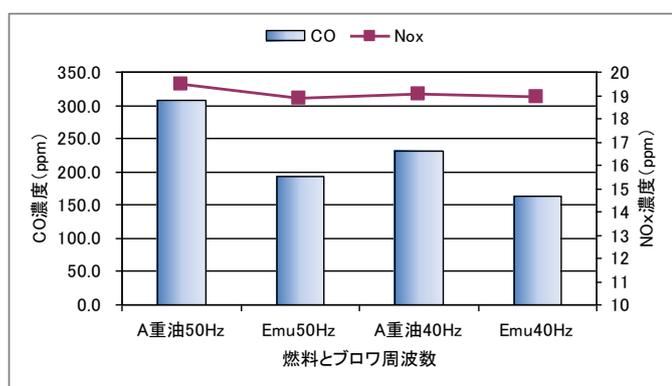


図-10 CO,NO<sub>x</sub>濃度比較(機械式剪断型)

今回の結果は、比較的安定した測定結果の一例である。その後の継続的な測定では必ずしも燃料消費量の削減効果については同様な結果とはならず、製造燃料の安定性に問題が残るものであった。

#### (4) エマルジョン燃料の分離・凍結

一時貯蔵タンクを有していることや、バーナまでの配管が長いことから、度々分離していることがあり、不着火や失火といった問題が生じた。特に冬期においては寒冷地特有の問題でもある配管機器の凍結が発生した。エマルジョン燃料の最大の問題点である水と油の分離が起

因している。写真-6は凍結した燃料フィルタの内部である。その後ドレン、ヒータおよび保温材を施した。

このように寒冷地におけるエマル



写真-6 凍結した燃料フィルタ

ジョン燃料の使用、特に一時保管タンクを要するタイプでは、配管内の原燃油循環の他にも、保温、ドレン等の様々な安全対策を取る必要がある。

## 5. 考察

2つのタイプのエマルジョン燃料をアスファルトプラントに実際に導入し、その効果を検証した。大前提としては安定した乳化状態の燃料を製造したときに、初めてその効果が発揮される。結果を以下に列挙する。

- 1) エマルジョン燃料は、通常の燃料の燃焼と比較してNO<sub>x</sub>の低減となる。
- 2) エマルジョン燃料を使用することにより、燃焼空気を絞ることが可能となり、排ガスを低減できることからCO<sub>2</sub>削減へと繋がる。
- 3) エマルジョン燃料に切り替えただけではほとんどの場合、燃料消費量削減とはならない。風量調整の他、設置対象設備との適正なバランス調整が重要である。

## 6. あとがき

エマルジョン燃料は、インターネットでの検索ヒット数も多く、今現在も多く製造業者や研究機関によって研究・開発が進められている環境対策シーズである。

今回、2種類の異なる製造方法によるエマルジョン燃料について、実際の使用を通じてその効果と問題を検証した。

まだ未知の要素はあるものの、うまく使うことによって一定の効果は期待できることが分かった。

環境問題への取組みは企業に与えられた使命でもあり、CO<sub>2</sub>削減へ向け今後も様々な努力を続けていきたいと考える。

## [参考文献]

- 1) 社団法人日本アスファルト合材協会：委員会活動報告  
<http://www.jam-a.or.jp/iinkai/a-sf-kankyoku/down/BaU070903.pdf>
- 2) 長岡高等専門学校 石田博樹：「燃焼炉におけるエマルジョン燃焼の技術」  
<http://www.nagaoka-ct.ac.jp/ec/mech2/gif/Emulsion.pdf>
- 3) 経済産業省 告示第66号：「工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準」,平成21年