
船用燃料油初期判定用簡易分析装置 及び それによる判定技術の研究開発

目次

1. 目的
 2. 研究開発内容
 3. 燃料油簡易分析装置 概要
 4. 簡易分析による燃焼性推定方法の検討
検討方針、供試燃料油、試験条件
 5. 検討結果
 - 5-1 試験結果 発火温度、温度vs.試料油重量
 - 5-2 補正発火温度によるECNの推定
 - 5-3 蒸発特性によるECNの推定
 6. まとめ/今後の課題
-

1.目的

船上で容易に短時間で実施出来る 燃料油分析装置/分析手法の開発

開発の効果:

- 燃料油積込み時にその使用可否を速やかに判断することが可能となり、
 - その結果、燃料油に起因するトラブル発生が少なくなる。
-

2. 研究開発内容

分析対象燃料油を一定量、炉内で温度を変化させながら蒸発/燃焼させ、常温から800°C付近までの重量減少量を計測し、その値の変化の様子により燃焼性の良否を判定することが有効と考えられる。

そこで、次の①、②の実施により、燃焼性判定に有効な分析装置/分析手法を開発する。

- ① 蒸発/燃焼中の燃料重量減少量を簡易に計測可能な装置の開発
 - ② その装置により計測した重量減少量の変化の様子と燃料油の燃焼性の良否との相関の確認
-

2. 研究開発内容 研究開発期間

Phase 1

- (1) 簡易分析装置製作 : 2011年1月～5月
- (2) 簡易分析装置による計測手法の
調査とその有効性の確認 : 2011年6月～9月

Phase 2

- (1) 簡易分析装置からの改良 : 2011年10月
～ 2012年3月
 - (2) 改良型簡易分析装置による
分析手法の有効性の確認 : 2012年4月～9月
- 報告書作成 : 2012年10月
-

3. 燃料油簡易分析装置 概要

(1) 基本仕様

一定量の燃料油を炉内で温度を変化させながら
蒸発/燃焼させ、常温から800°C付近迄の
加熱温度と重量減少量の関係を計測/取得出来る
小型電気炉

3. 燃料油簡易分析装置 概要

(2) 性能

試料 : 燃料油 約200 mg

重量計測精度 : ±1~5 mg

蒸発/燃焼室

加熱温度 : 最高 約800°C

昇温速度 : 最高 20°C/分 程度

雰囲気 : 蒸発/燃焼用空気を機械式装置にて供給、
蒸発/燃焼ガスは煙突にて自然排出

計測項目 : 時間、雰囲気温度、試料容器周辺温度、
試料重量

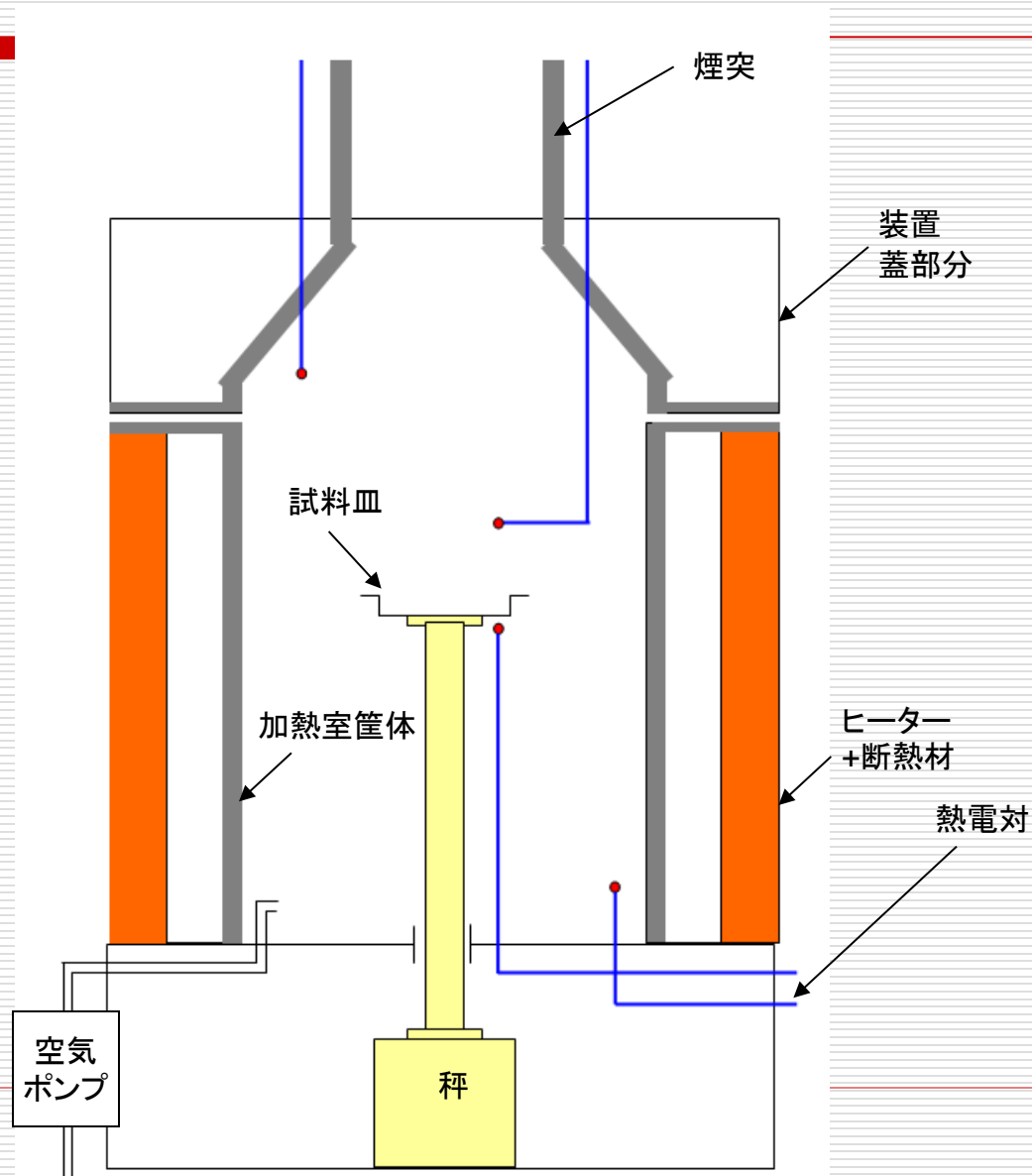
3. 燃料油簡易分析装置 概要

(3) 要素構成

試料皿	:	1個	
本体	:	1台	
重量計測装置	:	1式	電磁平衡式秤
温度計測装置	:	4本	熱電対
加熱装置	:	1式	電気式、1.5kW、
空気供給装置	:	1式	機械式、供給量調整可能
降温装置	:	1式	機械式強制通風冷却
計測データ記録装置	:	1式	
データ表示装置	:	1式	

3. 燃料油簡易分析装置 概要

(4) 装置概念図



3. 燃料油簡易分析装置 概要

(5) 装置写真



4.簡易分析による燃焼性推定方法の検討

検討方針

燃焼性は、英国規格IP541/06に基づいた燃焼試験装置FIA-100/FCAによる推定セタン価(ECA)で表される。

一般に、ECNが低いほど難燃性の度合いが強くなり、NK指針によれば、燃焼トラブルは、ECN20以下の燃料で発生する可能性があるといわれている。

本研究では、燃料油試料のECNはNK技研で分析し、燃料油簡易分析装置の試験結果から、次の二つの方針で、ECNを推定する方法を導くことにした。

- ①発火温度による判定
 - ②蒸発特性による判定
-

4.簡易分析による燃焼性推定方法の検討

①発火温度による判定

分析装置を用いて試料油を蒸発させた場合、試料油が発火する場合と発火しない(蒸発する)場合とがある。

本研究では、発火した試料油について、発火温度からECNを推定する方法を検討する。

②蒸発特性による判定

「時間vs試料油重量」及び「温度vs試料油重量」の特性カーブが得られるので、これらの特性カーブから必要となる情報をパラメータ化し、試料油のECNを推定する方法を検討する。

4.簡易分析による燃焼性推定方法の検討

供試燃料油

燃焼性の判っている26種類の燃料油を供試燃料油として採用した。

燃料油種類		サンプル数	ECNの範囲
A重油		3	35.9-46.9
C重油	180 cSt	9	14.0-37.4
C重油	380 cSt	8	14.7-21.7
C重油	500 cSt	6	8.1-21.0

4. 簡易分析による燃焼性推定方法の検討

試験条件

以下のような試験条件により、試験を実施した。

試料油重量	200 mg
加熱温度	100°C~800°C
ヒーター出力	1.5 kW
空気流量	5 L/min

5. 検討結果

5-1 試験結果 発火温度、温度VS. 試料油重量

①発火温度

発火温度は以下の表のようになった。

試料油 ID	種類	粘度 (cSt)	ECN	発火温度 (°C)	発火による重量減少 (mg)
A-1	A重油	3.03	46.9	発火せず	—
A-2	A重油	3.24	40.7	発火せず	—
A-3	A重油	4.38	35.6	発火せず	—

5. 検討結果

5-1 試験結果 発火温度、温度VS. 試料油重量

試料油 ID	種類	粘度 (cSt)	ECN	発火温度 (°C)	発火による重量減少 (mg)
180-1	C重油	180	37.4	479.1	69
180-2	C重油	180	34.5	発火せず	—
180-3	C重油	180	30.7	486.1	90
180-4	C重油	180	24.4	482.7	109
180-5	C重油	180	21.8	490.8	68
180-6	C重油	180	18.2	496.1	64
180-7	C重油	180	17.3	484.9	62
180-8	C重油	180	15.9	491.2	74
180-9	C重油	180	14.0	506.6	51

5. 検討結果

5-1 試験結果 発火温度、温度VS. 試料油重量

試料油 ID	種類	粘度 (cSt)	ECN	発火温度 (°C)	発火による重量減少 (mg)
380-1	C重油	380	21.7	495.9	72
380-2	C重油	380	20.2	489.6	87
380-3	C重油	380	19.4	513.9	37
380-4	C重油	380	19.1	486.0	94
380-5	C重油	380	19.0	発火せず	—
380-6	C重油	380	18.7	498.1	78
380-7	C重油	380	18.5	490.5	90
380-8	C重油	380	14.7	514.3	42

5. 検討結果

5-1 試験結果 発火温度、温度VS. 試料油重量

試料油 ID	種類	粘度 (cSt)	ECN	発火温度 (°C)	発火による重量減少
500-1	C重油	500	21.0	発火せず	—
500-2	C重油	500	19.7	発火せず	—
500-3	C重油	500	16.6	発火せず	—
500-4	C重油	500	14.3	486.9	67
500-5	C重油	500	11.3	493.3	94
500-6	C重油	500	8.1	510.0	99

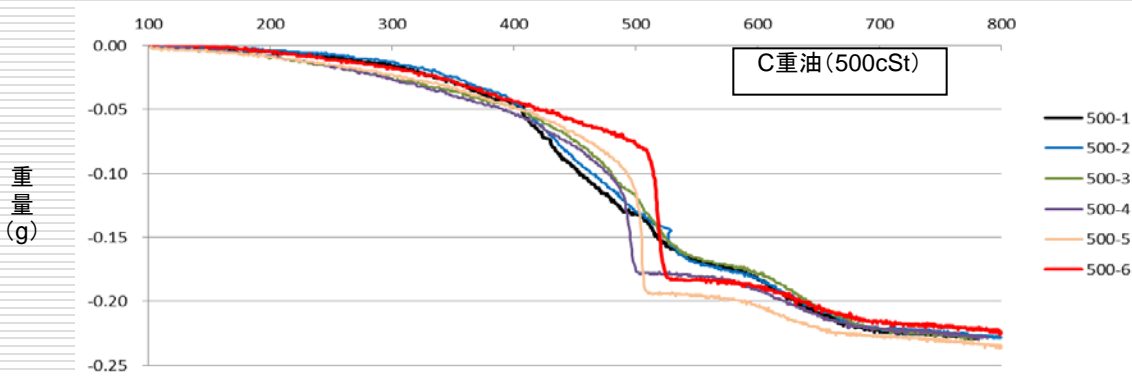
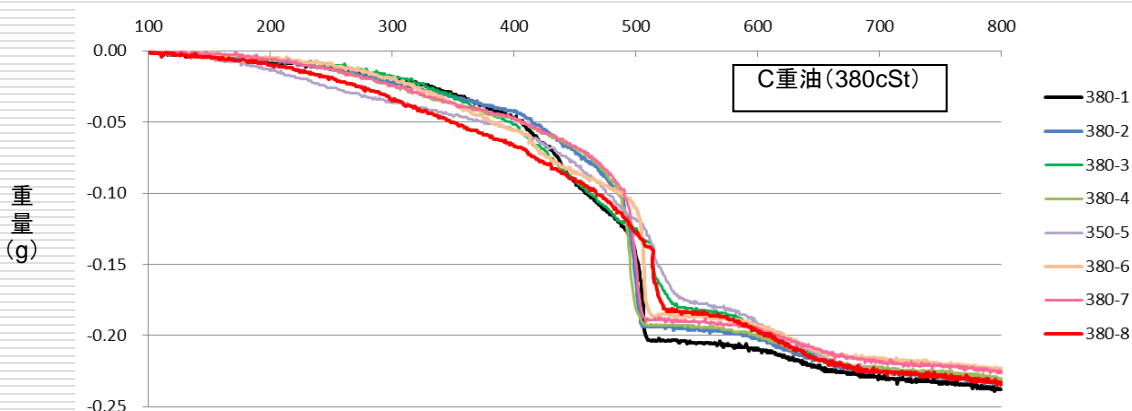
ECNが低い(燃焼性が悪い)ほど、発火温度が高くなる傾向にある。

5. 検討結果

5-1 試験結果 発火温度、温度VS.試料油重量

□ 180及び380cStの場合、
燃烧性が悪い試料油(赤線)は、
300°C程度から目立った蒸発が生じ、
蒸発曲線の勾配が緩い状態で
発火となる。逆に、燃烧性の
良い試料油の蒸発曲線は、
それまで緩やかだったものが、
400°C付近から急に勾配が大きくなり、
発火となっている。

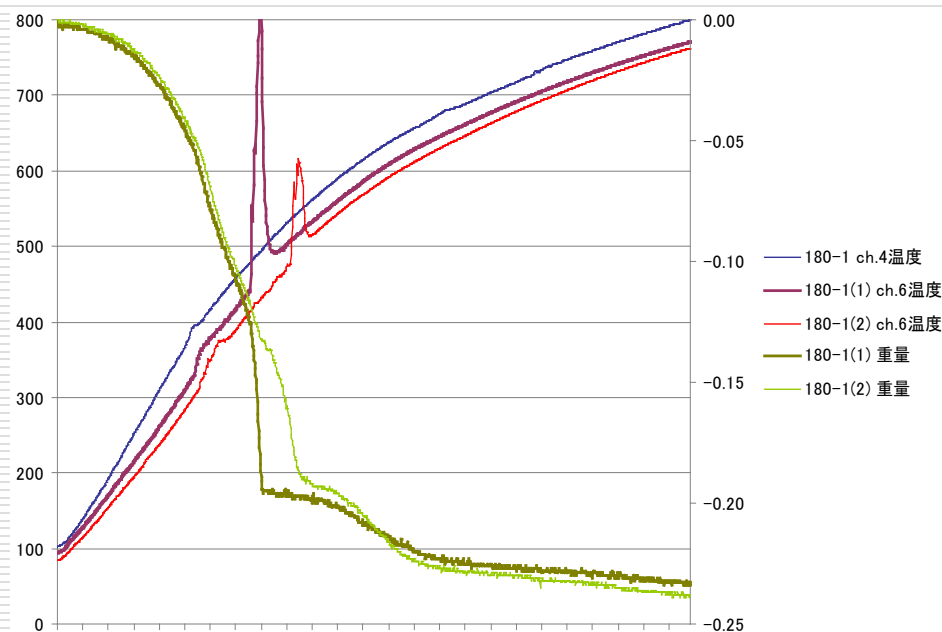
□ 500cStの場合、燃烧性が
悪い試料油は全般的に蒸発
曲線の勾配が緩く、燃烧性の
良い試料油は400°C付近から
急勾配となっている。



5. 検討結果 5-2補正発火温度によるECNの推定

補正発火温度によるECNの推定

発火現象自体は不安定な現象であり、再現性があまりない。右図は、燃焼性の良い試料油180-1を2回試験した例である。1回目の試験では500°C以下で発火し、2回目の試験では500°Cを超える温度で発火した。2回の試験における発火温度と重量減少との関係は下表のとおりである。



試料油ID	発火温度(°C)	発火時重量(g)	発火による重量減少(mg)
180-1(1)	479.1	-0.126	69
180-1(2)	520.1	-0.169	21

5. 検討結果

5-2補正発火温度によるECNの推定

試料油180-1(2)においては、480°C付近になっても何らかの事情で発火条件を満たさなかったため、そのまま蒸発し続け、その後、ガス濃度は低くなったが、より高温(520.1°C)となって発火条件を満たすようになったため発火したものと考えられる。ただし、520.1°Cの時点では蒸発したガスの大部分が炉外に排出されており、また、残りの燃料も少なくなっていたため、発火・燃焼の規模は小さい。

この現象を踏まえ、発火温度が500°Cを超える高温域で発火する場合があることを考慮し、次のように発火温度を補正することとした。

発火温度 $T(^{\circ}\text{C})$ が 510°C 以上で、かつ、発火による重量減少 $W(\text{mg})$ が 50mg 以下の場合、補正発火温度 $T_c(^{\circ}\text{C})$ を次式で算出する。

$$T_c = T - 1.8 (50 - W)$$

補正後のデータは次頁以降の表のようになる。

補正したデータは赤字で示した。

5. 検討結果

5-2補正発火温度によるECNの推定

試料油 ID	粘度 (cSt)	ECN	発火温度 (°C)	発火による 重量減少 (mg)	補正後の 発火温度 (°C)
180-1(1)	180	37.4	479.1	69	479.1
180-1(2)	180	34.5	520.1	21	467.9
180-3	180	30.7	486.1	90	486.1
180-4	180	24.4	482.7	109	482.7
180-5	180	21.8	490.8	68	490.8
180-6	180	18.2	496.1	64	496.1
180-7	180	17.3	484.9	62	484.9
180-8	180	15.9	491.2	74	491.2
180-9	180	14.0	506.6	51	506.6

5. 検討結果

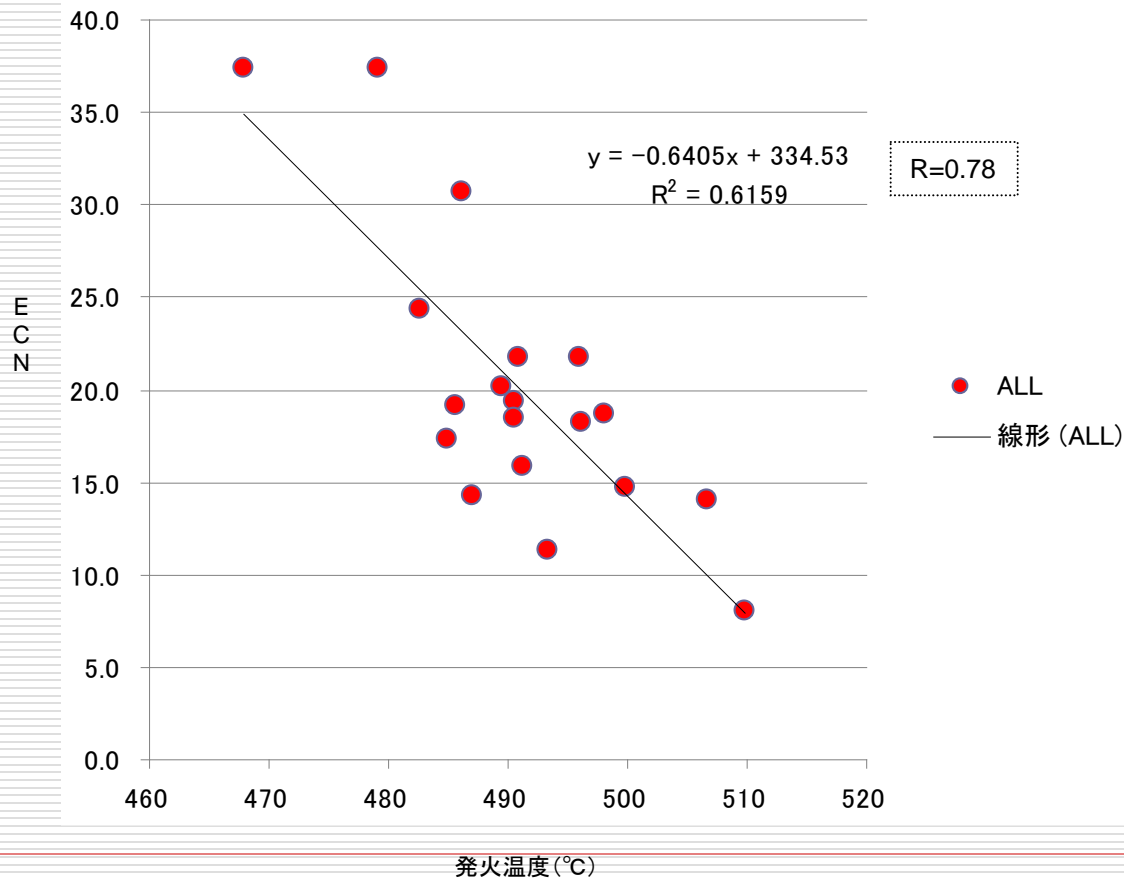
5-2補正発火温度によるECNの推定

試料油 ID	粘度 (cSt)	ECN	発火温度 (°C)	発火による重量減少(mg)	補正後の発火温度(°C)
380-1	380	21.7	495.9	72	495.9
380-2	380	20.2	489.6	87	489.6
380-3	380	19.4	513.9	37	490.5
380-4	380	19.1	486.0	94	486.0
380-6	380	18.7	498.1	78	498.1
380-7	380	18.5	490.5	90	490.5
380-8	380	14.7	514.3	42	499.9
500-4	500	14.3	486.9	67	486.9
500-5	500	11.3	493.3	94	493.3
500-6	500	8.1	510.0	99	510.0

5. 検討結果

5-2補正発火温度によるECNの推定

補正発火温度とECNとの関係は、以下のグラフのようになり、相関係数は $R=0.78$ である。

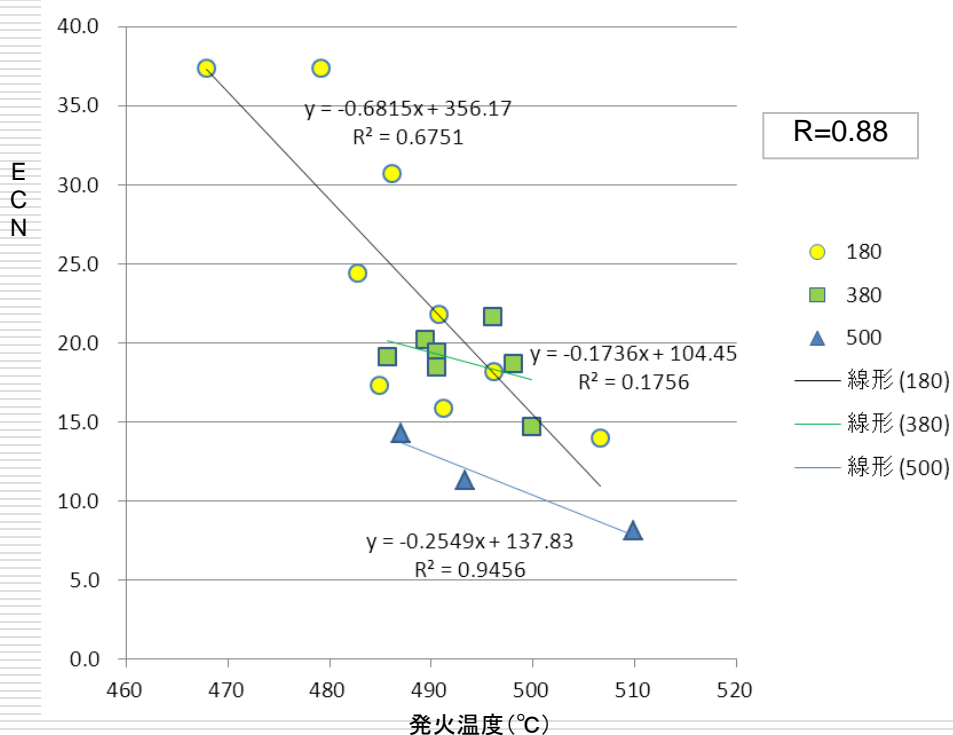


5. 検討結果

5-2補正発火温度によるECNの推定

更に、補正発火温度とECNとの関係を試料油の粘度別に整理すると、推定精度が向上し、以下のグラフのようになる。

この場合、データ全体の相関係数は $R=0.88$ である。



5. 検討結果

5-3 蒸発特性によるECNの推定

蒸発特性によるECNの推定

本分析装置を用いた試験では試料油が発火しない場合があるので、温度vs.試料油重量のデータから、W1、W2を以下のように定義し、蒸発特性であるW1、W2 からECNを推定する。

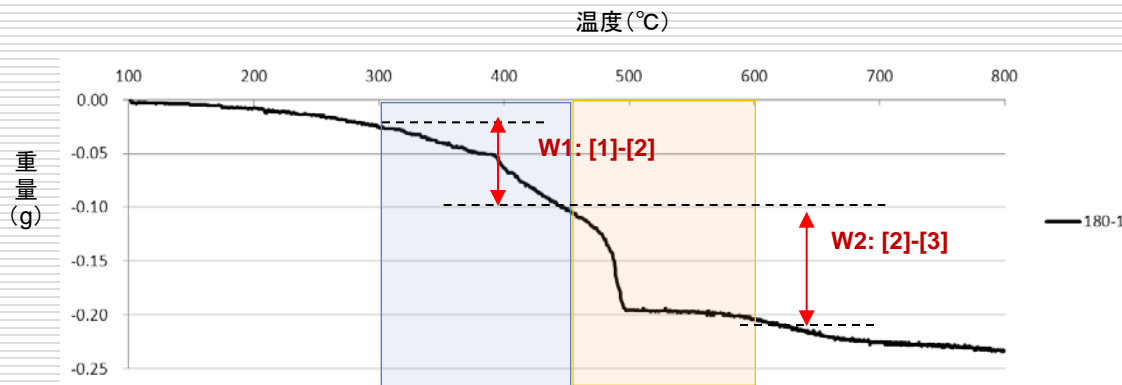
-W1: 300°C~450°Cの温度範囲における重量減少(g)

-W2: 450°C~600°Cの温度範囲における重量現象(g)

W1は、燃料が主燃焼となる前の蒸発量を示すものである。

呼び水の的な効果により、この数値が大きいほど一般に燃焼性が良い。

W2は、主燃焼による燃焼の減少に対応する。



5. 検討結果

5-3 蒸発特性によるECNの推定

試料油 ID	[1]重量 @300°C (g)	[2]重量 @450°C (g)	[3]重量 @600°C (g)	W1 (g) [1]-[2]	W2 (g) [2]-[3]	ECN	ECN 推定値
180-1	-0.026	-0.103	-0.204	0.077	0.101	37.4	30.0
180-2	-0.022	-0.115	-0.204	0.093	0.089	34.5	33.4
180-3	-0.034	-0.091	-0.205	0.057	0.114	30.7	24.8
180-4	-0.035	-0.080	-0.210	0.045	0.130	24.4	25.7
180-5	-0.029	-0.094	-0.201	0.065	0.107	21.8	26.0
180-6	-0.034	-0.086	-0.189	0.052	0.103	18.2	16.5
180-7	-0.033	-0.107	-0.204	0.074	0.097	17.3	26.3
180-8	-0.033	-0.088	-0.195	0.055	0.107	15.9	20.2
180-9	-0.048	-0.098	-0.193	0.050	0.095	14.0	11.4

5. 検討結果

5-3蒸発特性によるECNの推定

試料油 ID	[1]重量 @300°C (g)	[2]重量 @450°C (g)	[3]重量 @600°C (g)	W1 (g) [1]-[2]	W2 (g) [2]-[3]	ECN	ECN 推定値
380-1	-0.019	-0.092	-0.209	0.073	0.117	21.7	20.9
380-2	-0.022	-0.071	-0.202	0.049	0.131	20.2	20.2
380-3	-0.018	-0.092	-0.195	0.074	0.103	19.4	18.9
380-4	-0.025	-0.069	-0.200	0.044	0.131	19.1	19.6
380-5	-0.037	-0.079	-0.192	0.042	0.113	19.0	16.6
380-6	-0.019	-0.085	-0.194	0.066	0.109	18.7	18.9
380-7	-0.024	-0.067	-0.195	0.043	0.128	18.5	19.0
380-8	-0.035	-0.091	-0.197	0.056	0.106	14.7	17.2

5. 検討結果

5-3蒸発特性によるECNの推定

試料油 ID	①重量 @300°C (mg)	②重量 @450°C (mg)	③重量 @600°C (mg)	W1 ①-②	W2 ②-③	ECN	ECN 推定値
500-1	-0.016	-0.096	-0.183	0.080	0.087	21.0	21.2
500-2	-0.013	-0.090	-0.182	0.077	0.092	19.7	20.0
500-3	-0.026	-0.074	-0.179	0.048	0.105	16.6	15.5
500-4	-0.027	-0.079	-0.191	0.052	0.112	14.3	14.4
500-5	-0.023	-0.070	-0.204	0.047	0.134	11.3	9.7
500-6	-0.018	-0.059	-0.188	0.041	0.129	8.1	10.3

5. 検討結果

5-3蒸発特性によるECNの推定

W1、W2をパラメータとする重回帰分析を行い、粘度別のECN推定式を導出した。

以下の表に、粘度別ECN推定式を、また、その推定値と実際のECNとの相関係数を示す。

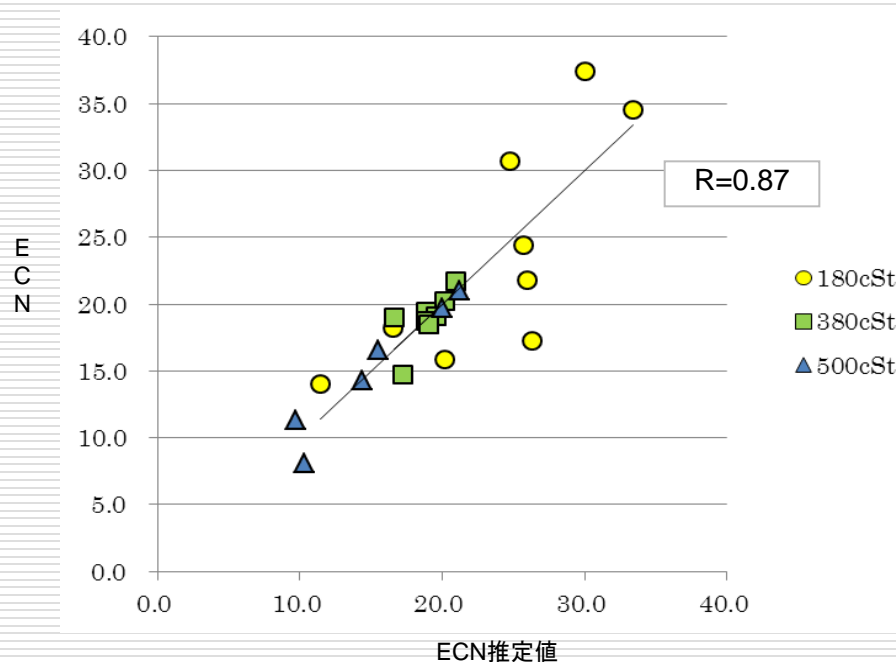
粘度	ECN推定式	相関係数R
180	$ECN(\text{推定値}) = -63.94 + 578.31 \times W1 + 489.05 \times W2$	0.79
380	$ECN(\text{推定値}) = -5.57 + 118.90 \times W1 + 152.16 \times W2$	0.72
500	$ECN(\text{推定値}) = 33.05 + 66.23 \times W1 - 197.48 \times W2$	0.96

5. 検討結果

5-3 蒸発特性によるECNの推定

ECN推定式による推定値と実際のECNとの関係は以下のグラフのようになる。

この方法でECNを推定したときの全体の相関係数は $R=0.87$ となり、発火温度によるECN推定とほぼ同じ推定精度となっている。



6.まとめ/今後の課題

まとめ

製作した燃料油簡易分析装置を使用して、燃焼性の判っている26種類の燃料油を試験した。その結果、以下のことがわかった。

(分析装置の開発)

- ①本装置にて、加熱温度に対する重量変化のカーブを取得出来る。そして、その重量変化カーブは、その燃料油の燃焼特性を表すデータとして使用できる。即ち、ある温度範囲で比較的燃焼特性の良い成分が蒸発または燃焼し、ある温度範囲で比較的燃焼特性の悪い成分が蒸発又は燃焼していく状況を、燃料油特性データとして記録/蓄積することができる。

(分析手法/燃焼性簡易推定方法の検討)

- ②本装置による試験で、発火温度、または、ある温度範囲での重量変化を基に、推定セタン価(ECN)の概略値を導出することができる。そして、これらの概略値は、試料燃料油の推定セタン価(ECN)と相関が確認できるものである。従い、サンプル調査のデータ数を増やすことで推定精度を向上させ、本推定方法の実用化につなげ得る可能性がある。
-

6.まとめ/今後の課題

今後の課題

本研究の第二段階として、以下の課題を進めていく必要がある。

①燃料油簡易分析装置の改良

重量計測精度の向上、データ処理ソフトの改良、装置の一体化、小型化、軽量化、操作性の向上

②初期判定技術の精度向上

燃焼性の判っている多種多様な燃料油を多く集め、試験を実施することで、推定セタン価(ECN)概略値を導き出す機能の精度向上と燃料油特性データの蓄積を行う。
