

船用燃料油の燃焼性評価方法の確立に関する 研究開発

最終報告 (2016年8月12日)

株式会社 Class NK コンサルティングサービス

株式会社 商船三井 技術部技術研究所

JXエネルギー株式会社

一般社団法人 日本海事検定協会 理化学分析センター

株式会社 ディーゼルユナイテッド

目次

1. 研究目的
2. 研究手法
3. 解析・分析結果
4. 考察
5. まとめ

1-1. 目的

世界的に供給されている低硫黄燃料油の性状・燃焼性が不明確
燃焼性が及ぼす船用ディーゼル機関等への影響に対する危惧
燃料油の燃焼性に関して有効な分析・解析手法の確立が急務



2013年5月より、硫黄分1.0w t %LSFOをターゲットに燃焼性を調査

- ①燃料油の燃焼性に関する分析・解析手法の確立
 - ②難燃性燃料油に対する運用指針の策定を目標
- をテーマに研究を実施した

『難燃性船用燃料油に関する分析・解析手法及び運用指針の確立に関する研究』

・ 2013年5月1日～2014年4月30日



本研究はこのテーマを深度化させるべく、全てのHF0を対象に継続研究を行い、
精度の高い燃焼性評価方法の確立を目指すもの

1-2. 前回研究 成果と課題

研究成果

- 炭化水素タイプ分析、FCA結果など複数の特殊分析結果により燃焼障害油の識別が可能。
- 予測式による燃焼性評価手法の確立。

課題点

- 燃焼障害サンプル1件のみによる評価手法。
予測式の有効性の検証必要
- 硫黄分1.0%LSFO以外の油種に適用可か検証必要。

前回の共研の枠組みに新たに舶用機関メーカーであるDUを招き入れ、5社体制の枠組みで燃料油に関する追加研究を検討。

1-3. 研究方針

研究方針

- 燃焼性：燃焼の“障害発生”ではなく”良否”で評価
⇒ 運航データから燃料の燃焼性を掴む
- ▶ 燃焼障害によるトラブルには様々な要素が影響する事や、燃焼障害発生からトラブル発覚に至るまで時間を要する事など、トラブル発生から燃焼良否を把握する事には課題があった。
本研究ではリアルタイムで取得できる運航データ(ビッグデータ)を活用し、燃焼のリアルタイム把握を目指す。



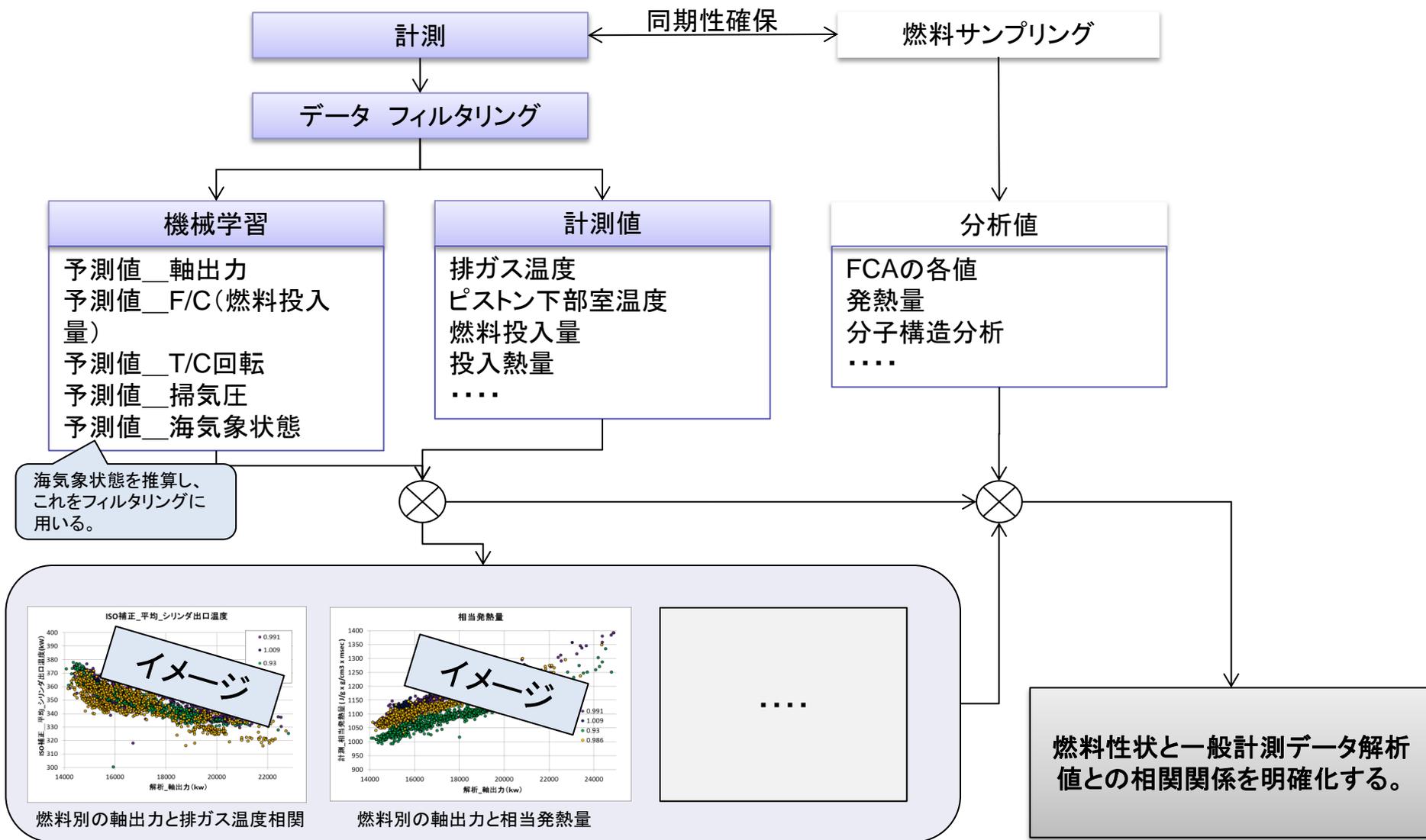
<目標>

- ① 本船における船用燃料油の燃焼性評価方法を追求する。
- ② 燃料油性状が燃費に及ぼす影響、不具合回避方法、メンテナンスコスト削減の可能性を追求する。

2-1. 研究手法

- 対象油はHF0
- 研究対象船を定め実運航データと燃料油サンプルを収集。
- 運航データ解析による燃料油の燃焼性の調査。
- ISO8217項目の一般分析、特殊分析実施。
- 分析結果を統計解析し燃焼良否に影響を与える項目を調査。

2-2. 研究の概要



2-3. 研究对象船

機械式制御機関搭載 自動車船

「VALIANT ACE」

Main Engine :
MITSUI-MAN B&W
7S60MC-C (Mark7)

就航航路
World wide

電子制御機関搭載 コンテナ船

「MOL CHARISMA」

Main Engine :
MITSUBISHI-Sulzer
11 RT-flex96C

就航航路
World wide

2-4. サンプル データ収集方法

燃料油サンプル

- 補油サンプル
- 清浄機入口サンプル
(前処理前サンプル)
- 機関入口サンプル

⇒3種のサンプルを用い
デットオイル影響を検証

実運航データ

- データ収集ツール
Fleet Monitorを利用
データを収集
- サンプリング
インターバル 1分毎

2-5. 燃料油使用状況、機器状況情報収集

燃料油 情報

- 補油量情報
- 補油前後の本船タンク油量
- 燃料油使用結果

機関使用状況 情報

- 本船機器の開放点検内容
- 整備記録
- 運転状況…etc



本船並びに船舶管理会社より必要データを取得

2-6. 燃料油分析

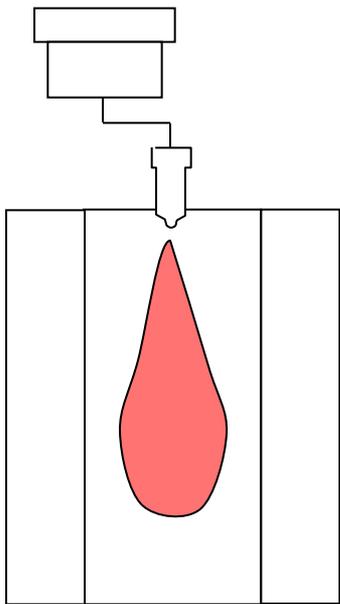
- 一般性状分析 (ISO8217項目)
- 燃烧解析装置 (FCA)
- 燃烧性に影響を与える要因を特定するための特殊分析項目

2-6-1. IS08217 (2005) 一般分析項目

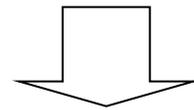
試験項目	単位	試験方法	
密度 (15°C)	kg/m ³	ISO 12185	
引火点(PM) B法	°C	ISO 2719	
動粘度 40°C	mm ² /s	ISO 3104	
動粘度 50°C	mm ² /s	ISO 3104	
酸価	mg KOH/g	ASTM D664	
水分(蒸留法)	vol%	JIS K2275-1	
流動点	°C	ISO 3016	
CCAI		ISO 8217	
残留炭素分	mass%	ISO 10370	
灰分	mass%	ISO6245	
实在セジメント	mass%	ISO 10307	
潜在セジメント	mass%	ISO 10307	
総発熱量	MJ/kg	JIS K2279	
真発熱量	MJ/kg	JIS K2279	
硫黄分	mass%	JIS K2541-4	
金属分	Si+Al	mass%	ISO 10478
	V	mass%	ISO 14597
元素分析	Al	mg/kg	JIS K0116
	Na	mg/kg	JIS K0116
	Si	mg/kg	JIS K0116
	V	mg/kg	JIS K0116
	Ca	mg/kg	JIS K0116
	Fe	mg/kg	JIS K0116
	Mg	mg/kg	JIS K0116
	Ni	mg/kg	JIS K0116
	P	mg/kg	JIS K0116
	Pb	mg/kg	JIS K0116
	Zn	mg/kg	JIS K0116

2-6-2. 燃焼解析装置 (FCA : Fuel Combustion Analyzer)

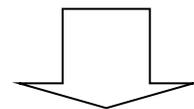
試験条件 圧力4.5MPa, 温度約500°C



容器内を所定の圧力
温度条件に設定



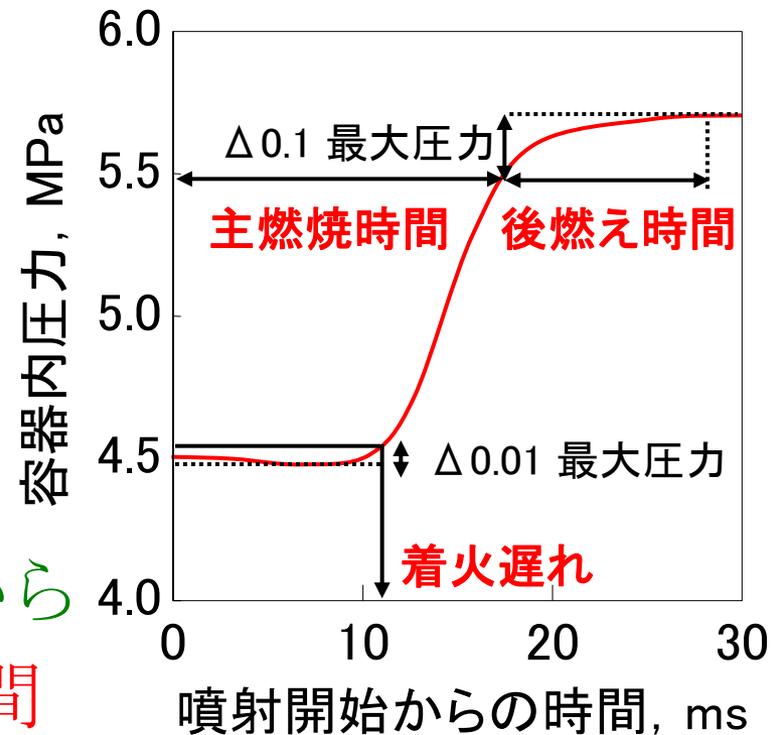
燃料を単発噴射



燃焼による圧力変化から

着火遅れ、後燃え時間

主燃焼時間、推定セタン価を測定



2-6-3. 燃焼性分析 特殊分析の選択と目的

	燃焼障害因子	パラメータ	測定項目	項目の意義
沸点分布	重質成分	沸点分布	GC蒸留	高沸点成分の配合度合
	分解系基材	炭化水素の沸点分布	GC profile (FID)	分解系-直留系の判断
	-	硫黄化合物の沸点分布	GC profile(SCD)	脱硫方式の推定
組成	芳香族量	芳香族/飽和成分比	芳香族 (HPLC) (1、2、3環以上)	芳香族および多環芳香族分の含有量
	難燃性成分	アスファルテン	重量法	アスファルテン全体量
		アスファルテン分子量	分子量分布 (GPC)	難燃性の高分子量アスファルテン含有率の把握
その他	極性物質	レジニン分 (カラムクロマト)	アスファルテンの分散性を評価 微小スラッジ形成による霧化悪化リスク	

2-6-3. 燃焼性分析 特殊分析の選択と目的

重質重油の特徴

- ・・・一般論として分解系基材，アスファルテンなどの高沸点成分は燃焼性が悪い。



GC蒸留

- ・・・沸点分布の評価（750°Cまで推定可能）

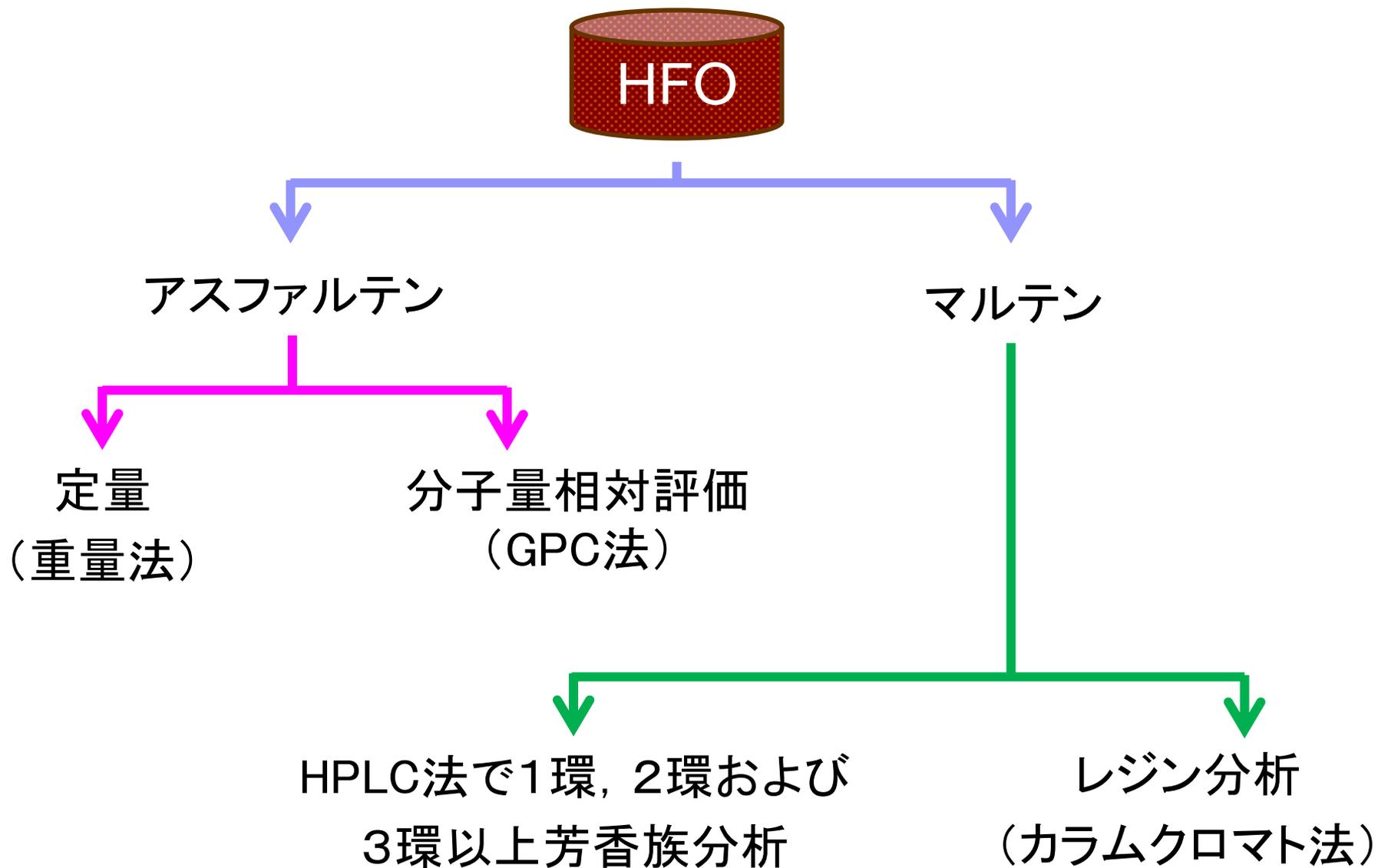
アスファルテン

- ・・・最も重質な成分（量）の把握

2-6-3. 燃焼性分析 特殊分析の選択と目的

- **芳香族** . . . 燃料中の芳香族あるいは多環芳香族分と燃焼性の相関
 - ①軽質な芳香族 : 1環, 2環および 3環以上の芳香族
 - ②重質な芳香族 : アスファルテン
- ↳ マルテン液の芳香族分を分析し,
1環, 2環および 3環以上の各芳香族組成比を評価
- **レジン分** . . . 極性物質量の評価
 - ↳ カラムクロマト法で実施

2-6-4. HFO組成分析フロー



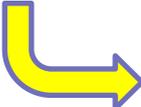
2-7-1. 運航データ解析

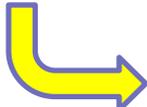
- ① Fleet Monitorから実運航データ収集
- ② 燃焼不良を生じると燃費が悪化する、後燃え時間が長くなることに着目
- ③ 解析による燃焼差比較
(機械学習を用いた外乱除去によるデータ解析)
- ④ 燃料油毎に比較検証

2-7-1. 運航データ解析

- Fleet Monitorから実運航データ収集
- 燃焼不良が機関運転データにもたらす影響に着目、燃焼変化による運転データ変化について解析
- 燃料毎に燃焼性を解析し、燃料毎に比較検証

燃焼変化が起きるとなにが発生するか

- 
- ✓ 後燃え長期化
 - ✓ 熱効率低下
 - ✓ ヒートバランス変化

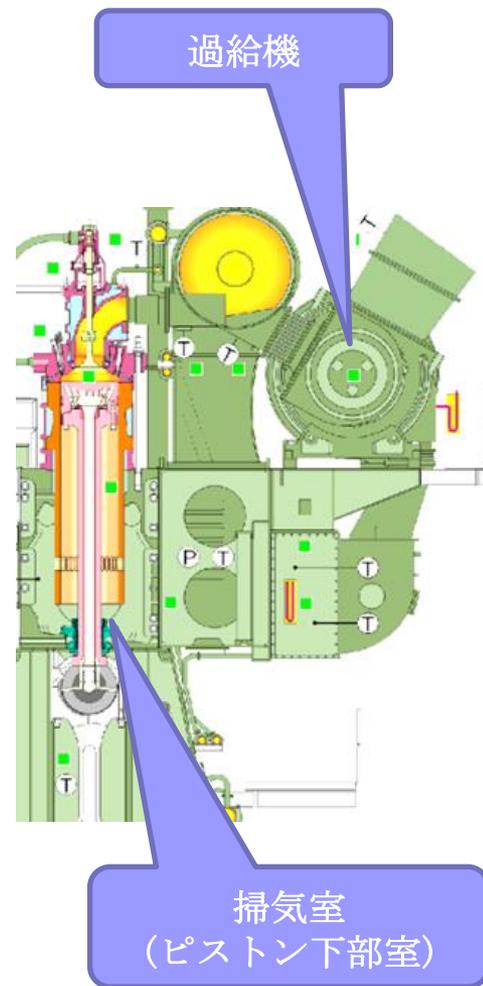


機関運転データに表れる影響:

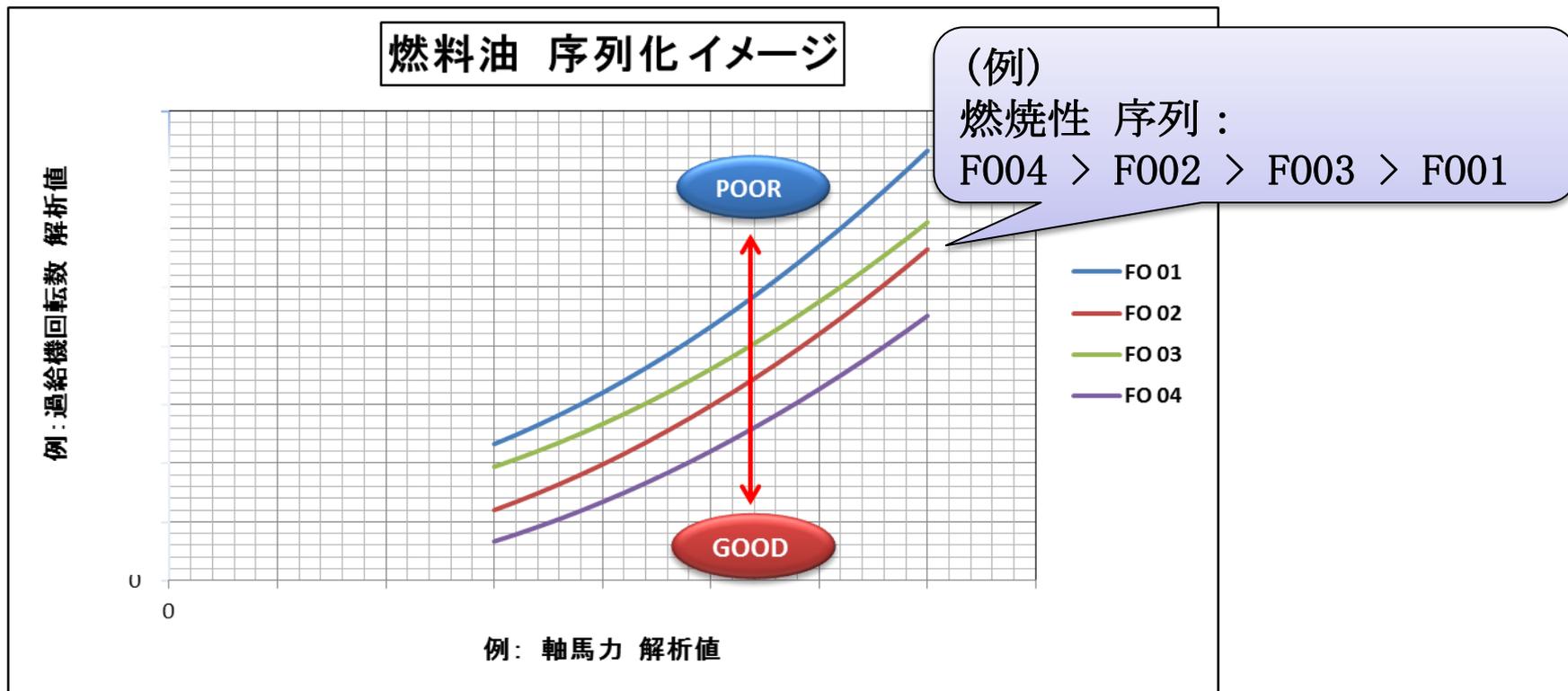
- 排気温度変化
- 過給機回転数変化
- 掃気室(ピストン下部室)温度変化
- 燃料消費量 変化

2-7-2. 燃焼性良否の定義付け

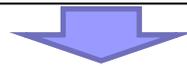
着目点	想定される現象
排気温度変化	燃焼性の差異によりヒートバランスが変化し、差が出る可能性
燃費変化	
過給機回転数変化	ヒートバランス、燃費変化により過給機への投入エネルギーが変化する可能性
掃気室（ピストン下部室）温度変化	後燃え有無により、ブローバック量に変化が発生し、掃気室温度に変化が出る可能性
（その他）	（さまざまな相関をチェックし差異の有無を確認していく）



2-7-3. 燃料の序列化 燃烧差把握



燃料油毎による燃烧影響について運航データを解析。
燃料の燃烧良否について序列化(順位づけ)を行う。



性状分析結果から、この序列に影響を与える性状要因を抽出

2-7-4. データ解析の流れ

実運航データには気象、潮流、風などの外乱影響が含まれている。精密な比較を行うためには、海気象影響の除外が必要となる。

外乱条件を揃えるか、外乱影響成分を除去あるいは補正したうえで比較する必要あり。

2-7-4. データ解析の流れ

研究対象船より運航データを収集



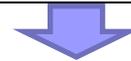
外乱 運航条件をフィルタリング。解析対象とするデータのみ抽出
更に吸気温度補正を行い、ISO条件に揃える



機械学習に取り込むデータを選定、相関モデル作成



相関モデルにより海気象状態を推算し、海気象影響が少ないデータ
のみを抽出



得られたデータを用い燃料の影響を解析



解析結果を燃料毎に比較し差を比較
蓄積したデータを用い、燃料による燃焼差序列を行う

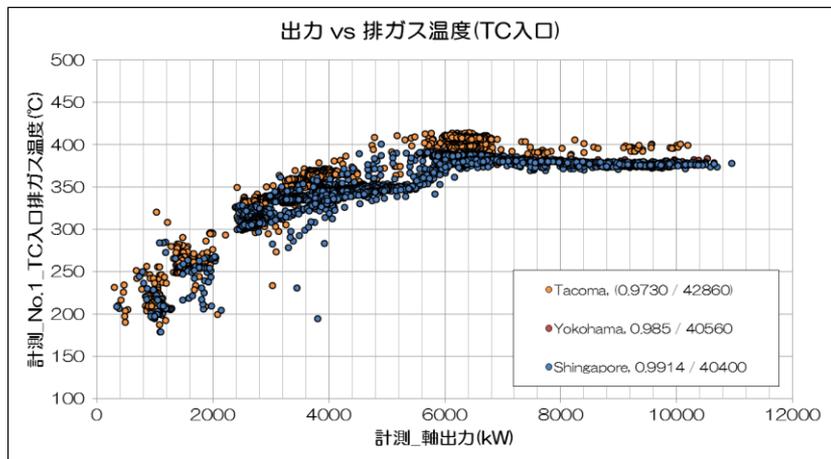
2-7-5. フィルタリングによる外乱成分 整理

フィルタリング条件

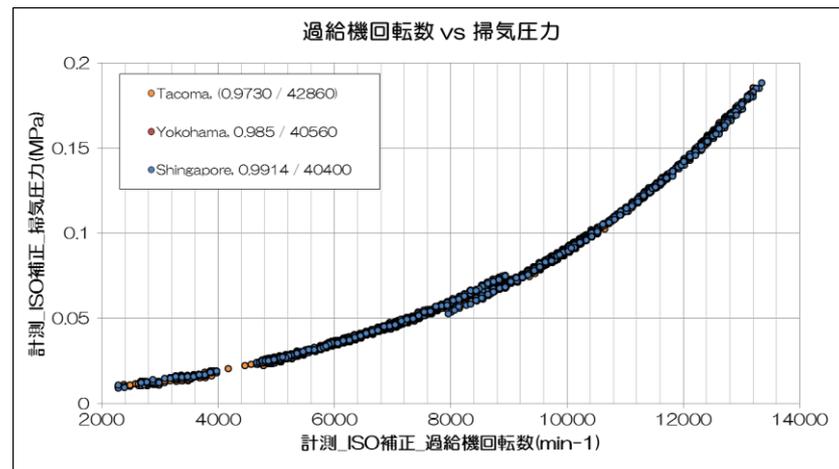
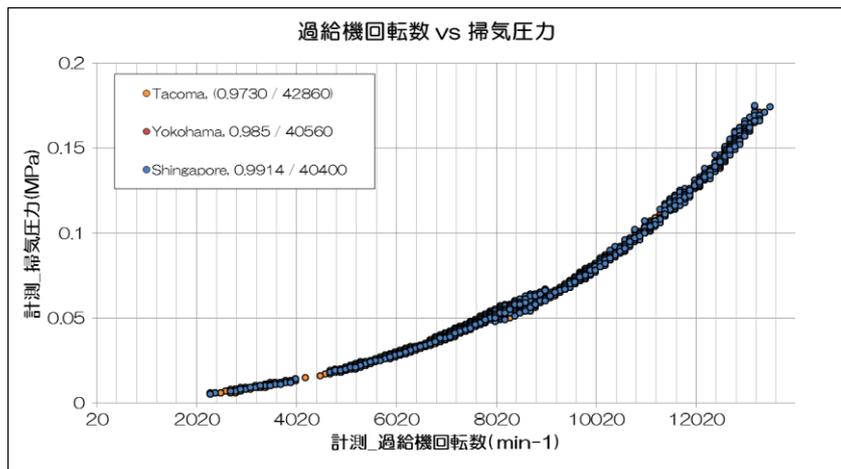
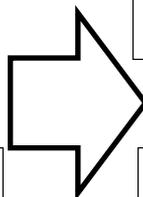
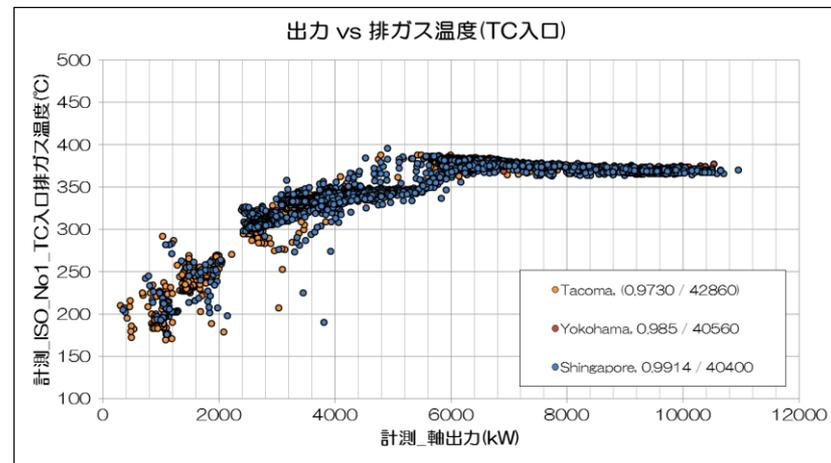
項目	フィルタリング条件	備考
ラダー角度	±5° 以内	
対水船速	9knot以上	設定値は船舶の定格に基づいて調整
水深	20m以上	値が「*****」は、20m以上とみなした。
軸回転速度変化率	±2rpm/min以内	設定値は機関の定格にもとづいて調整
軸出力変化率	±2000kW以内	設定値は機関の定格にもとづいて調整
燃料粘度	13~17mm ² /s	

2-7-6. フィルタリングによる整理、ISO状態への補正

計測生値



ISO標準状態補正



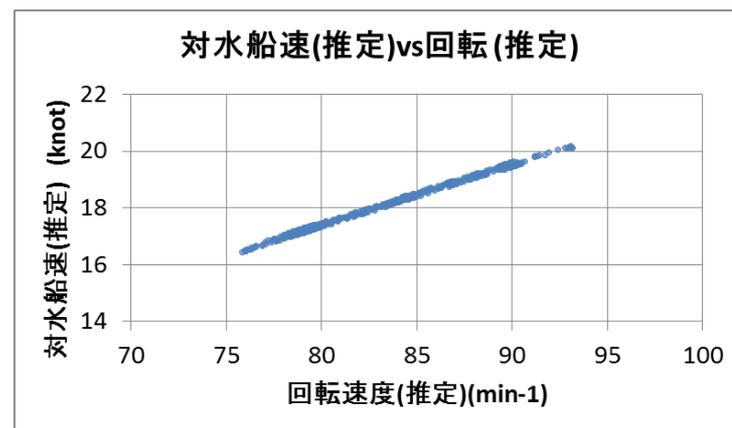
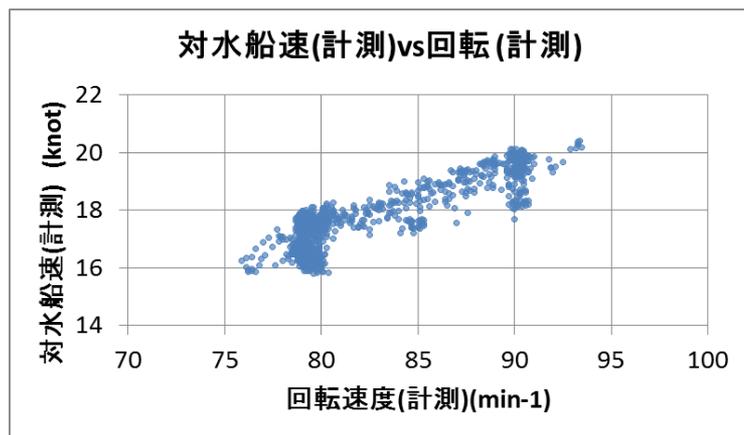
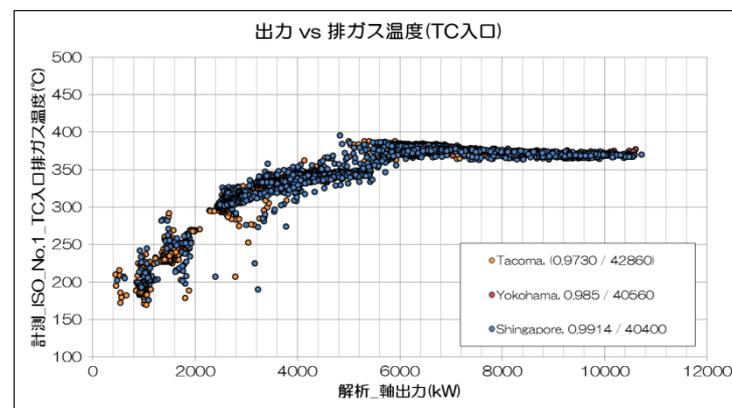
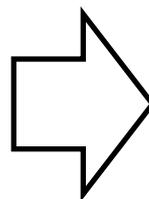
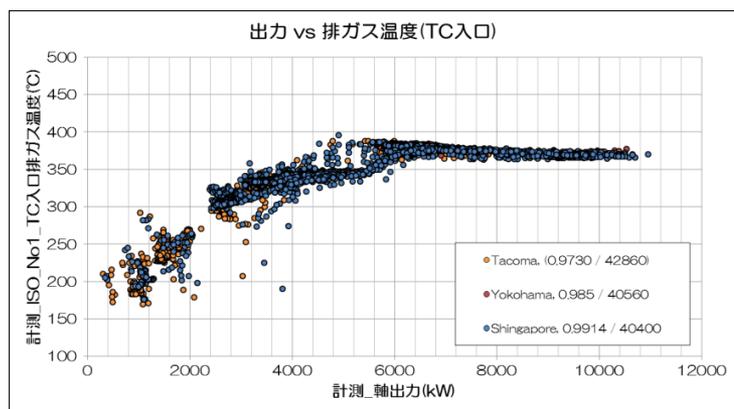
2-7-7. 機械学習アルゴリズム応用による解析

機械学習とは..

多量の計測値同士の相関関係を基に、計測項目間の「相関関係モデル」を自動的に生成する。

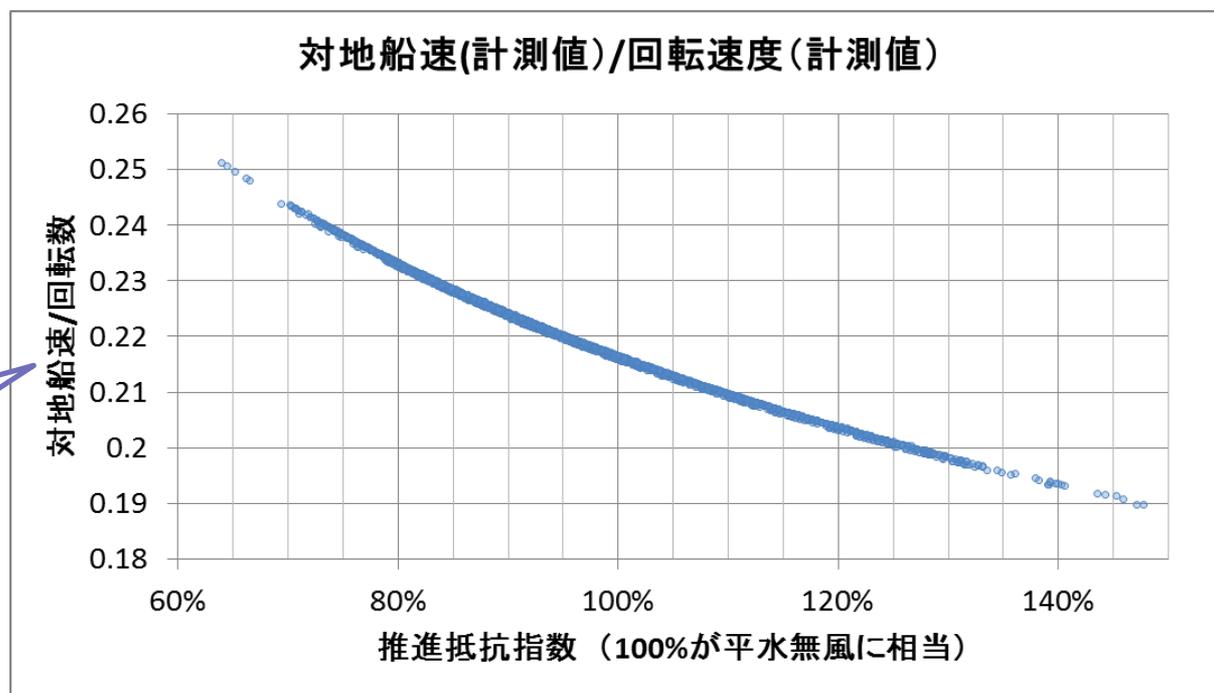
2-7-8. 機械学習による外乱補正例

主機関連のデータでは出力ベースなので、補正前後で大きな差は見られない。
推進関連では、海気象外乱を除いた推定値が示されている。



2-7-9. 機械学習による海気象外乱を除去する場合

- 推進性能検討において、機械学習を用いることにより下記の様に、推進抵抗を示す指数で整理することが出来る。
- 主機系の詳細検討を行う場合は、推進抵抗指数が100%付近のデータのみを用いて評価することにより、海気象条件による影響を最小限にする。
- なお、本推進抵抗指数は、船体汚損などの影響を受けにくい。



プロペラスリップ
が判る。

VALIANT ACEの例

本解析は、通常の機械学習手法とすこし異なります。

3. 結果

	相関比較検証		
	熱効率比較	ヒートバランス比較	後燃え比較
Case 1 VALIANT ACE	SHP vs 相当投入熱量	SHP vs 排気温度. (TC inlet)	SHP vs 掃気室(ピストン下部室)温度
		SHP vs 過給機回転数	
Case 2 MOL CHARISMA	掃気圧※ vs 相当投入熱量	掃気圧※ vs 排気温度 (全 cyl. 平均)	

※ MOL CHARISMAについては、SHP計に問題あり、軸馬力値が正常に計測されていなかった為、解析では軸馬力値と強い相関のある、掃気圧データを使用した。

3-1-1. Case① VALIANT ACE :Fuel Samples

コード	種類	補油日	補油地	補油量(MT)	使用開始日	使用終了日	使用結果・障害報告
VF01	Bunker						
VF02	Purifier Inlet	2015/9/22	YOKOHAMA	250	2015/10/14	2015/10/20	Non- trouble
VF03	Engine Inlet						
VF04	Purifier Inlet	2015/8/11	TACOMA	401.33	2015/9/23	2015/10/14	Non- trouble
VF05	Engine Inlet						
VF06	Bunker						
VF07	Purifier Inlet	2015/10/10	SINGAPORE	1450.424	2015/10/20	2015/12/9	Non- trouble
VF08	Engine Inlet						
VF09	Bunker						
VF10	Purifier Inlet	2015/11/16	SINGAPORE	1043.922	2015/12/9	2016/1/16	Non- trouble
VF11	Engine Inlet						
VF12	Bunker						
VF13	Purifier Inlet	2015/12/22	BALBOA	980.338	2016/1/16~2016/2/12, 2016/2/19~2016/2/27		Non trouble
VF14	Engine Inlet						
VF15	Bunker						
VF16	Purifier Inlet	2016/2/11	YOKOHAMA	259.777	2016/2/12	2016/2/19	Non- trouble
VF17	Engine Inlet						
VF18	Bunker						
VF19	Purifier Inlet	2016/2/20	SINGAPORE	1416.148	2016/2/27	2016/4/8	Non-trouble
VF20	Engine Inlet						

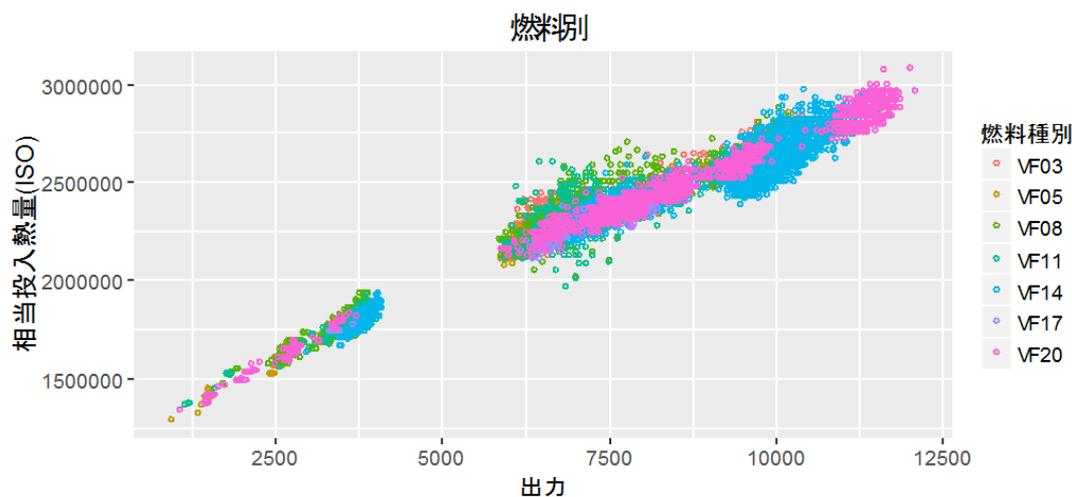
- ✓ 対象期間 : 22nd Sep. 2015~8th April. 2016
- ✓ 比較油種 : 機関入口サンプルに注目して分析・解析結果を比較
- ✓ 使用結果 : 障害報告なし

3-1-2. Case① データ解析結果

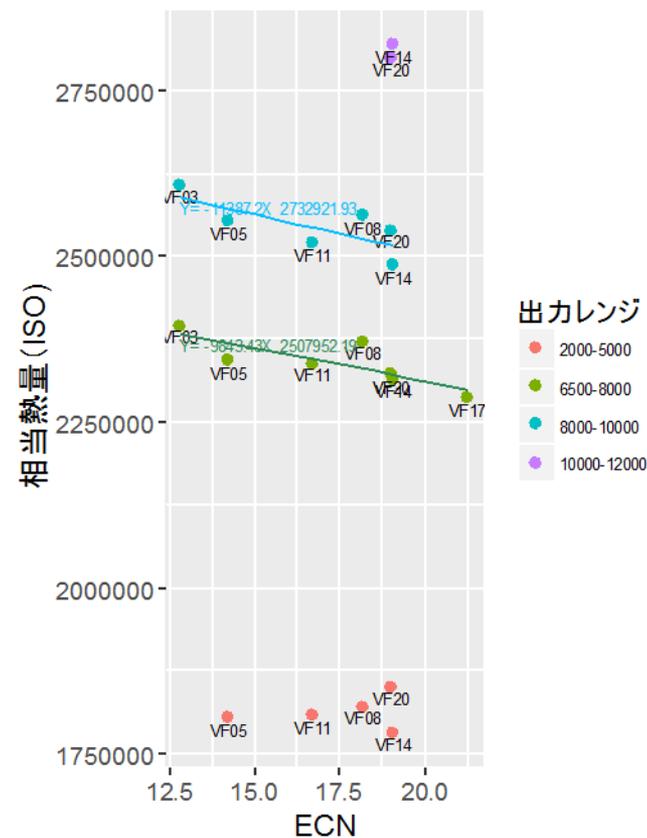
(例：相当投入熱量 対 出力値)

VALIANT ACE

(相当投入熱量=ポンプラックx真発熱量x比重)



出力レンジ内のデータを1次回帰を求め、その中央値をプロットしている。
 なお、低負荷域については、外乱要素の影響を大きく受けやすいなどより、相関性について考慮外としている。

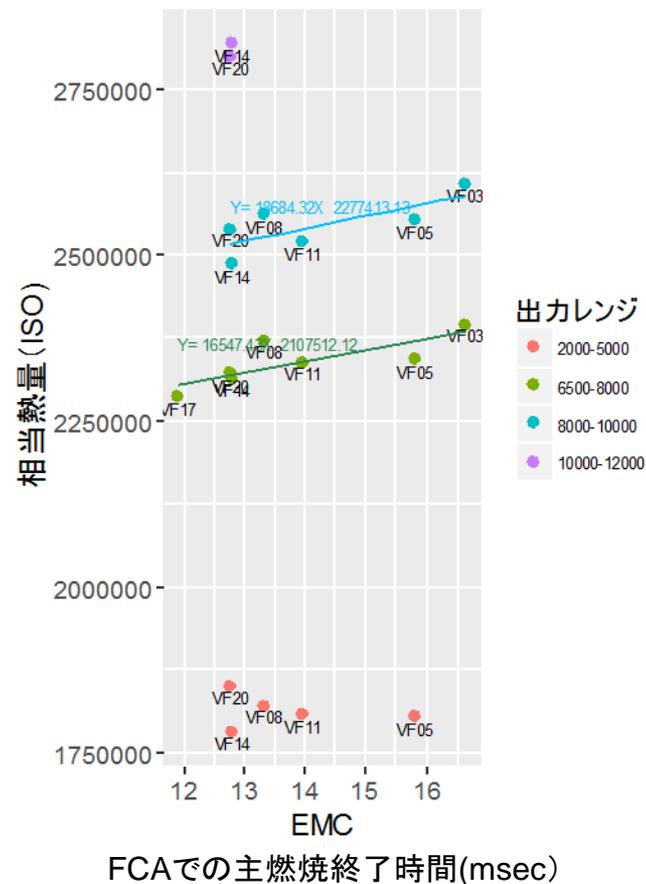
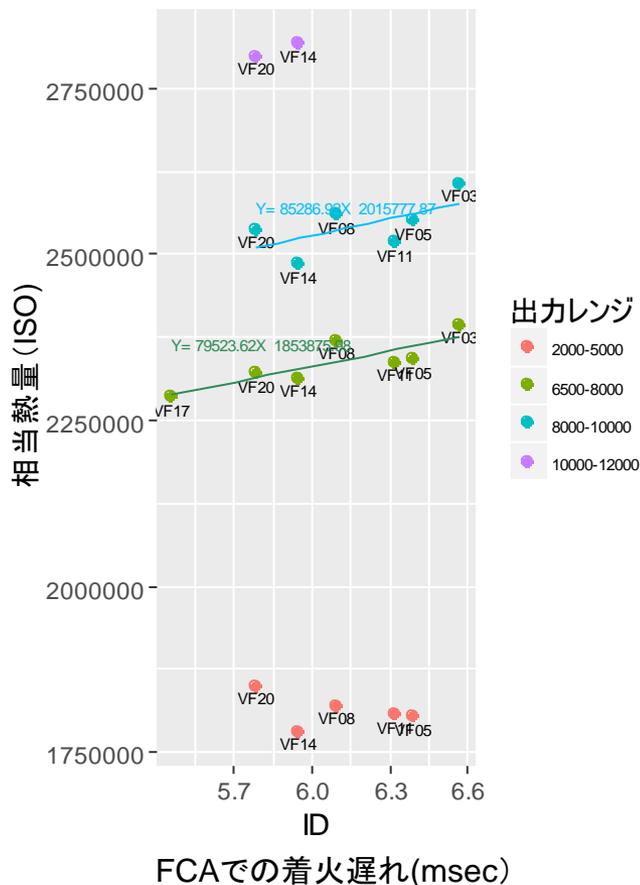


ECN(推定セタン価) と相当投入熱量に、中負荷域で有意な相関がみられる。

3-1-2. Case① データ解析結果

(例：FCA結果 対 出力レンジ別相当投入熱量)

VALIANT ACE



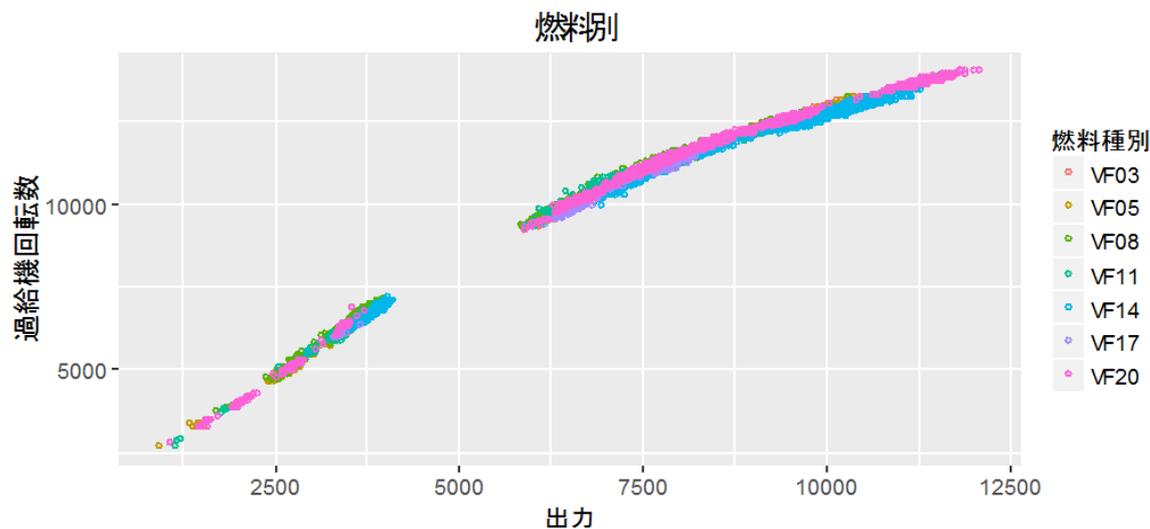
FCAでの着火遅れ、主燃焼時間と相当投入熱量に、中負荷域で有意な相関がみられる。

3-1-2. Case① データ解析結果

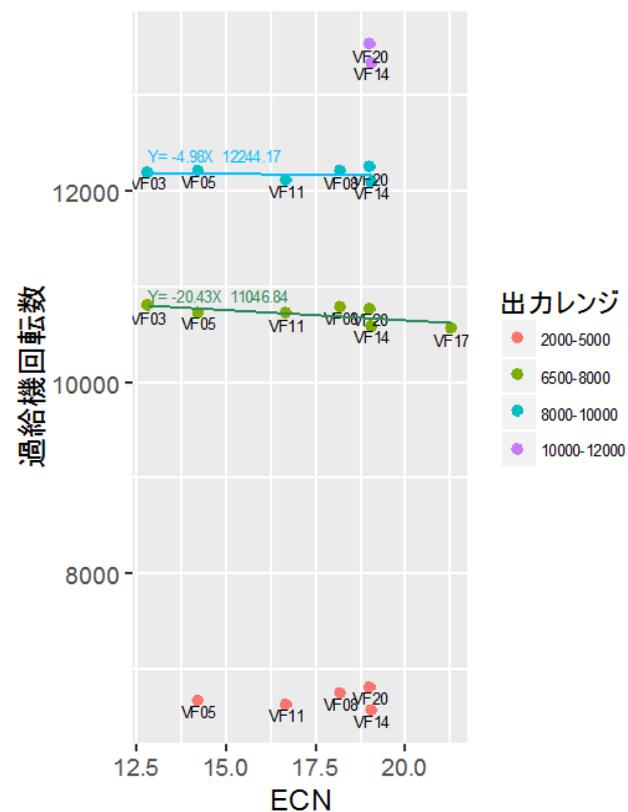
(例：過給機回転数 対 出力値)

ヒートバランスを比較するために、出力と過給機回転数の関係をまとめた例

VALIANT ACE



出力レンジ内のデータを1次回帰を求め、その中央値をプロットしている。
なお、低負荷域については、外乱要素の影響を大きく受けやすいなどより、相関性について考慮外としている。



ECN(推定セタン価) と過給機回転数に、中負荷域で相関性が示されている。

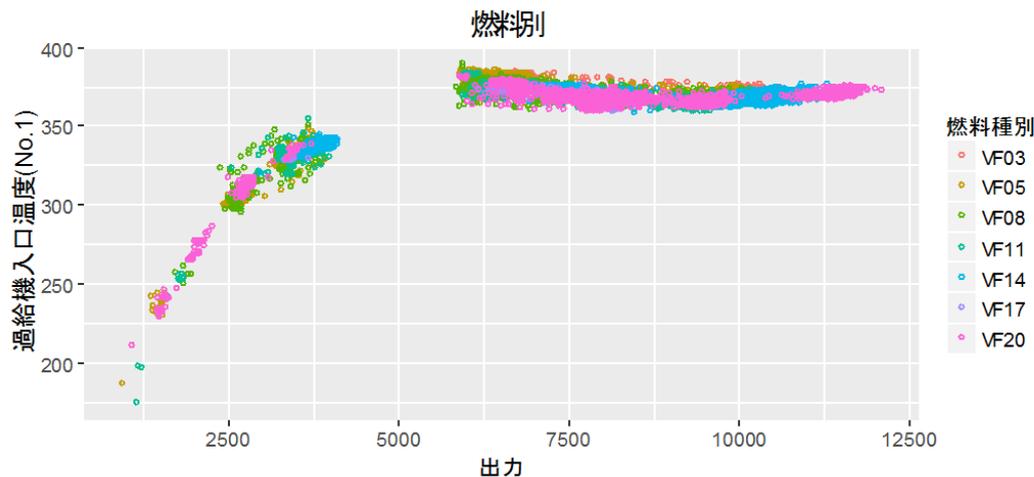
3-1-2. Case① データ解析結果

(例：排ガス温度 (TC入口) 対 出力値)

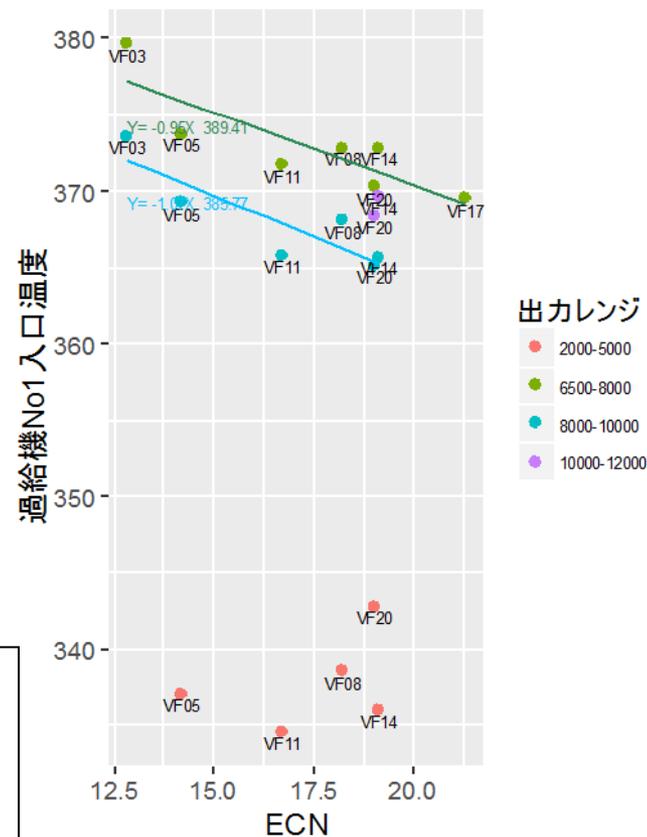
ヒートバランスを比較するために、出力と過給機入口温度の関係性をまとめた例

出力レンジ内のデータを1次回帰を求め、その中央値をプロットしている。
なお、低負荷域については、外乱要素の影響を大きく受けやすいなどより、相関性について考慮外としている。

VALIANT ACE



ECN(推定セタン価) と相当投入熱量に有意な相関がみられるが、影響度は小さく、ガス温度から燃料の燃焼性を判定することは困難と考えられる。



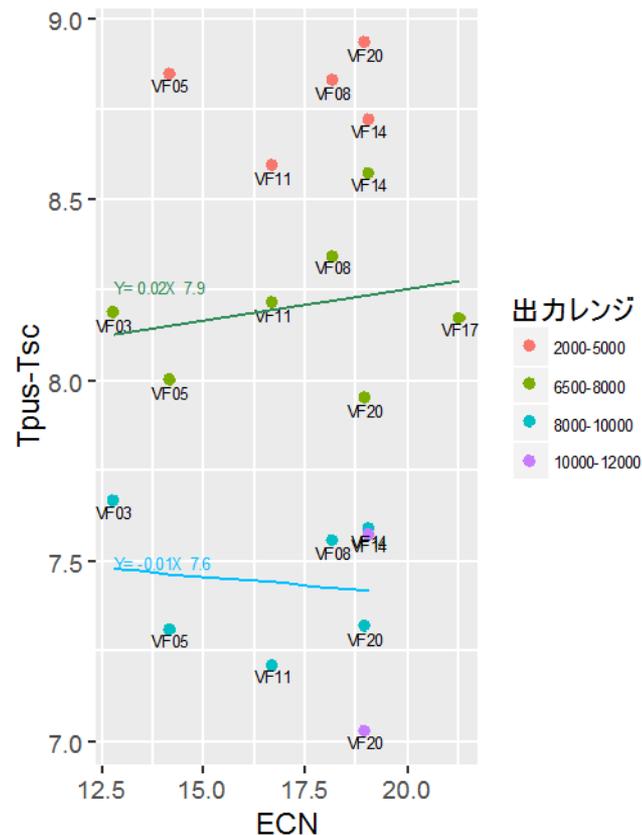
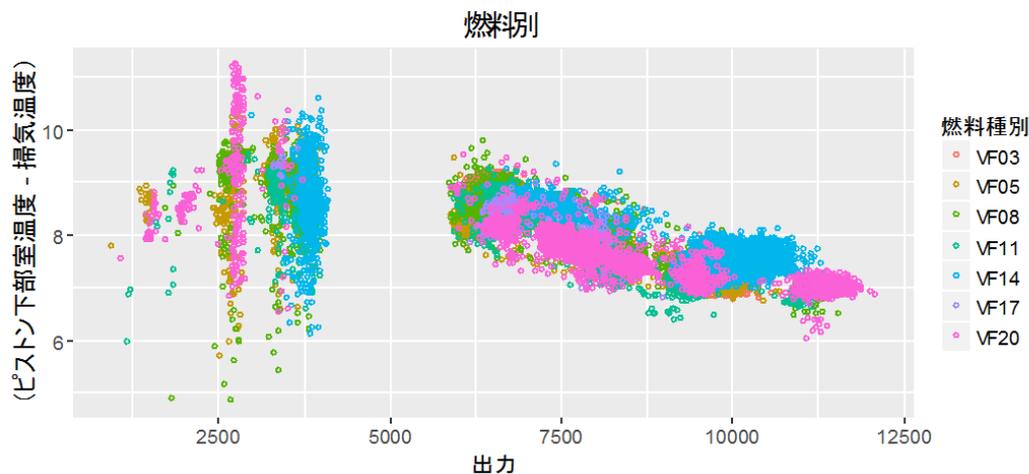
3-1-2. Case① データ解析結果

(例：ピストン下部室温度 対 出力値)

後燃えを比較するために、出力とピストン下部室
上昇温度の関係をまとめた例

出力レンジ内のデータを1次回帰を求め、その中央値をプロットしている。
なお、低負荷域については、外乱要素の影響を大きく受けやすいなどより、相関性について考慮外としている。

VALIANT ACE



今回の結果では、ECNとピストン下部室温度との相関は無いと考えるのが妥当である。

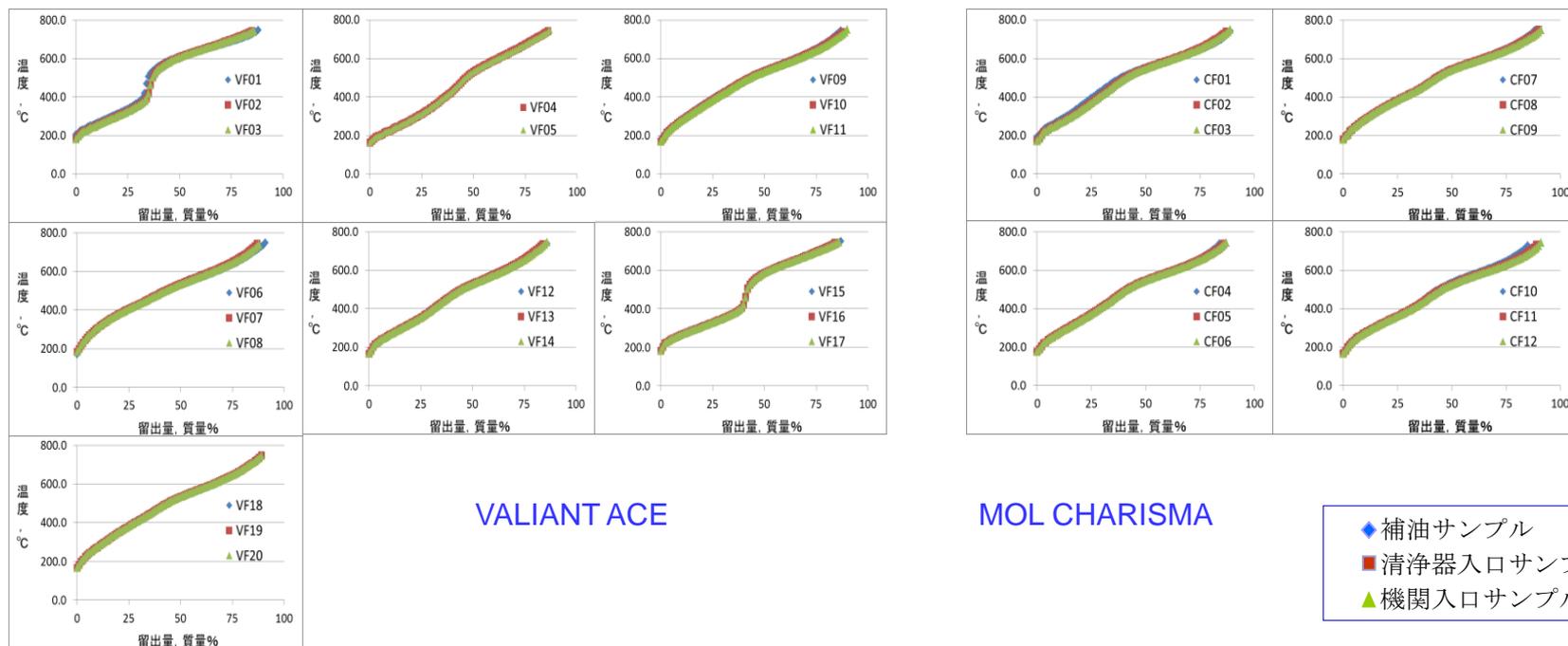
3-1-3. Case① 一般分析・FCA結果

	試験条件 試験項目	単位	VF03	VF05	VF08	VF11	VF14	VF17	VF20
密度	15℃	kg/m ³	987.2	987.4	992.1	991.4	989.6	977.6	990.5
引火点(PM) (B法)		℃	97	81	95.5	90	89	101	93
動粘度	40℃	mm ² /s	761	652	860	875	817	580	771
動粘度	50℃	mm ² /s	378	315	411	396	395	302	368
酸価		mg・KOH/g	0.22	0.42	0.02	0.34	0	0.05	0.10
水分(蒸留法)		vol %	0	0	0	0	0	0	0
流動点		℃	-9	-15	0	0	-3	-12	-3
CCAI			848	850	852	852	850	841	852
残留炭素分		mass %	16.9	16	13.8	14.5	15.8	16	15
灰分		mass %	0.047	0.047	0.039	0.048	0.061	0.022	0.042
实在セメント		mass %	0	0.03	0.02	0.02	0.02	0	0.02
潜在セメント		mass %	0.02	0	0.02	0.04	0.01	0	0.01
総発熱量		MJ/kg	42.87	42.64	42.63	42.43	42.35	42.61	42.79
真発熱量		MJ/kg	40.47	40.24	40.28	40.06	39.98	40.17	40.39
硫黄分	Sメータ	mass %	2.67	2.19	2.30	2.44	3.20	3.31	2.37
金属分	Si+Al	mass ppm	1	13	5	15	5	1未満	6
	V	mass ppm	77	130	120	170	280	94	150
元素分析	Al	mass ppm	1未満	4	1未満	7	2	1未満	3
	Ca	mass ppm	11	8	3	6	2	2	3
	Fe	mass ppm	25	30	18	16	5	14	21
	Mg	mass ppm	1未満	1	1未満	2	1未満	1未満	1
	Na	mass ppm	12	19	15	29	5	15	26
	Ni	mass ppm	34	52	41	51	61	31	40
	P	mass ppm	1未満	8	1	1未満	1未満	1未満	1未満
	Pb	mass ppm	1未満						
	Si	mass ppm	1	9	5	8	3	1未満	3
	V	mass ppm	77	130	120	170	280	94	150
	Zn	mass ppm	1未満	3	1	1	1未満	1未満	2
FCA	着火遅れ	ms	6.57	6.39	6.09	6.32	5.95	5.46	5.78
	後燃え時間	ms	9.05	8.87	7.04	7.27	6.16	4.82	5.87
	主燃焼時間	ms	16.66	15.8	13.34	13.95	12.81	11.91	12.77
	推定セタン価		12.8	14.2	18.2	16.7	19.1	21.3	19.0

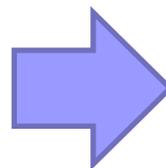
推定セタン価の序列は VF17 > VF14 > VF20 > VF08 > VF11 > VF05 > VF03 36

3-1-4. 特殊分析結果 — Dead oilの影響確認

補油サンプル，清浄機入口サンプル，機関入口サンプルの性状を比較した。



CF，VFともに，補油サンプル，清浄機入口サンプル，機関入口サンプルで大きな性状の差異は確認されなかった。



Dead oilの影響は少ない。

3-1-4. Case①特殊分析結果 — 燃料油性状の比較 VF 機関入口サンプル

● 分析値一覧

試験項目		単位	VF03	VF05	VF08	VF11	VF14	VF17	VF20
アスファルテン		mass %	5.7	8.7	6.8	7.5	10.8	6.5	8.0
アスファルテン	最少	-	111	179	118	74	125	150	174
分子量分布	最大	-	53809	65766	49878.5	43822	50933	56394	57384
	ピークトップ	-	16364	19345	12384	9626	13808	17364	13693
GC蒸留	I.B.P.	°C	180.6	162.6	183.4	168.0	166.0	180.6	166.8
	5wt%	°C	224.9	201.2	259.2	235.6	230.0	240.2	234.4
	10wt%	°C	251.9	224.9	308.6	276.0	264.0	264.0	273.8
	20wt%	°C	300.2	282.2	377.4	348	320.8	306.2	347.6
	30wt%	°C	353.7	347.2	429.2	415.6	388.6	349.0	411.2
	40wt%	°C	544.6	431.6	482.8	480.2	467.8	419.8	477.0
	50wt%	°C	605.1	530.8	531.8	530.6	525.8	583.6	532.0
	60wt%	°C	642.4	588.5	573.6	571.2	571.2	630.6	574.6
	70wt%	°C	677.4	641.9	617.2	614.2	621.8	670.8	618.2
	80wt%	°C	715.3	700.9	671.4	667	689.6	712.8	673.6
	90wt%	°C				750			
全芳香族分		mass %	29.5	27.0	31.5	32.6	31.4	27.4	28.9
1環芳香族分		mass %	12.5	12.8	15.9	15.2	14.9	11.3	13.7
2環芳香族分		mass %	13.4	10.9	11.0	12.4	12.6	12.3	10.9
3環以上の芳香族分		mass %	3.6	3.3	4.6	5.0	3.9	3.8	4.3
レジン分		mass %	22.7	22.2	18.3	18	17.5	20.1	18.8

3-1-4. Case① 特殊分析結果 — 燃料油性状の比較 VF 機関入口サンプル

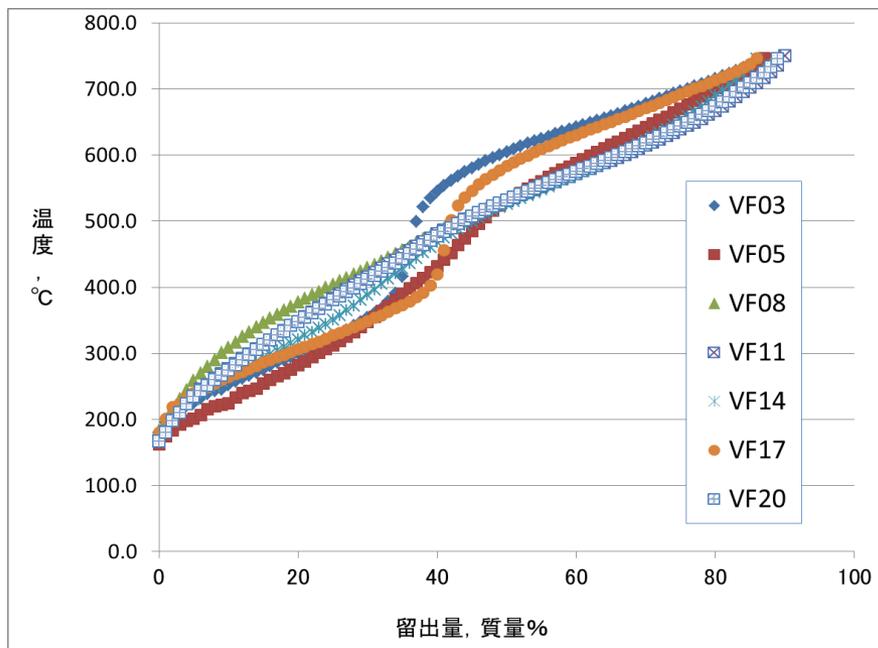
● 考察—アスファルテン，芳香族

1. アスファルテンの量はVF14が最も高く，VF03が最も低い。VF14はアスファルテンが10 mass%以上含まれていた。
2. アスファルテンの最大分子量はVF05が最も高く，VF08が最も低い特徴を持つ。
3. 全芳香族分の割合を見ると，27.0～32.4mass %とあまり差がない範囲に収まった。

ただし芳香族分の組成内訳を見ると，1環芳香族分ではVF08が最も高く，2環芳香族分はVF03が最も高く，3環芳香族分はVF11が最も高い特徴を持つ。

3-1-4. Case①特殊分析結果

● 考察—GC蒸留



— 燃料油性状の比較 VF 機関入口サンプル

1. VF03およびVF17は中間の留分が少なく重質成分と軽質成分に分かれる特徴を持つ。
⇒ VF03およびVF17はダンベル油の特徴をもつ。
2. その他の油は軽質分から重質分まで均一に配合されている。

3. VF03およびVF17はVRなどの重質油にカッター材としてLC0を調合したC重油, その他の油は常圧残渣をベースに調合されたC重油と推測される
4. ECNに注目すると, VF03は12.8と最も低いが、VF17は21.3と最も高い。
⇒ ダンベル油の特徴は、燃焼性に一律の影響を及ぼす要因にはなっていない。

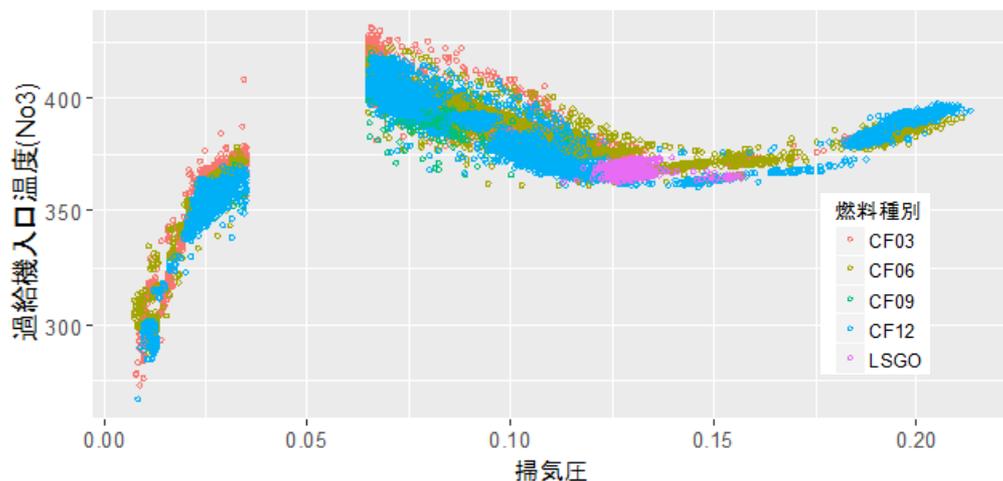
3-2-1. Case② MOL CHARISMA : Fuel Samples

サンプルID	種類	補油日	補油地	補油量(MT)	使用開始日	使用終了日	使用結果・障害報告
CF01	Bunker	2015/9/21	Rotterdam	4950	2015/10/17	2015/12/31	Non- trouble
CF02	Purifier Inlet						
CF03	Engine Inlet						
CF04	Bunker	2015/12/7	Rotterdam	5084.166	2015/12/31	2016/3/16	Non- trouble
CF05	Purifier Inlet						
CF06	Engine Inlet						
LSGO	Engine Inlet	2015/12/7	Rotterdam		2016/2/24	2016/3/4	
CF07	Bunker	2016/2/22	Rotterdam	4983.39	2016/3/16	2016/5/31	Non-trouble
CF08	Purifier Inlet						
CF09	Engine Inlet						
CF10	Bunker	2016/5/10	Rotterdam	5261.33	2016/5/31	2016/6/13	Non-trouble
CF11	Purifier Inlet						
CF12	Engine Inlet						

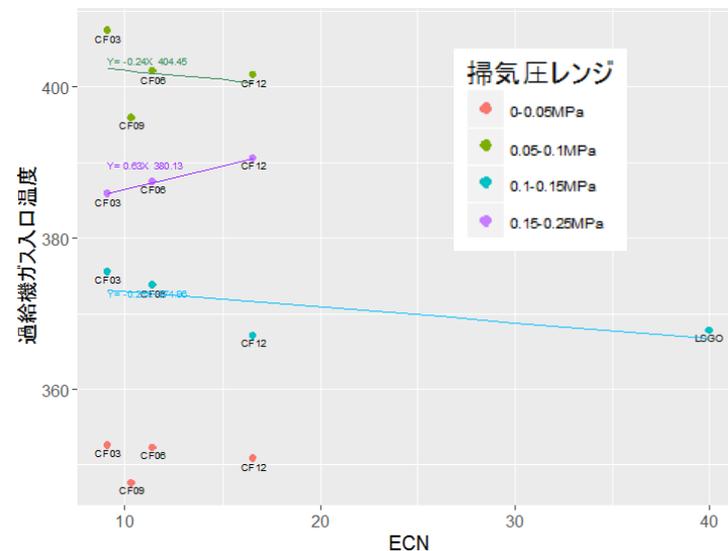
- 解析対象期間：20th August, 2015～13th June, 2016
- 比較油種：機関入口サンプルに注目して分析・解析結果を比較
- 使用結果：障害報告なし
- SHP計に不具合があり、軸馬力と相関の強い掃気圧データを解析に使用

3-2-2. Case② データ解析結果 (例：掃気圧力vs排ガス温度)

MOL CHARISMA



出力レンジ内のデータを1次回帰を求め、その中央値をプロットしている。
 なお、低負荷域については、外乱要素の影響を大きく受けやすいなどより、相関性について考慮外としている。

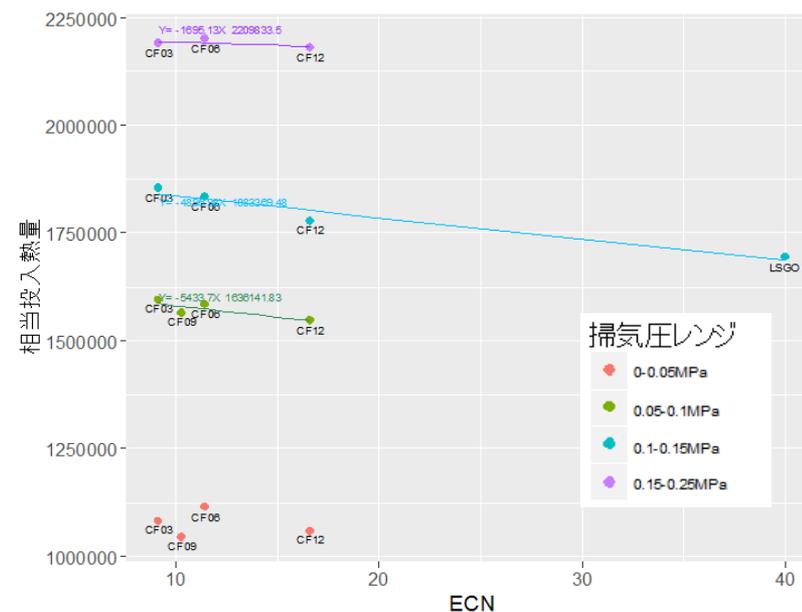
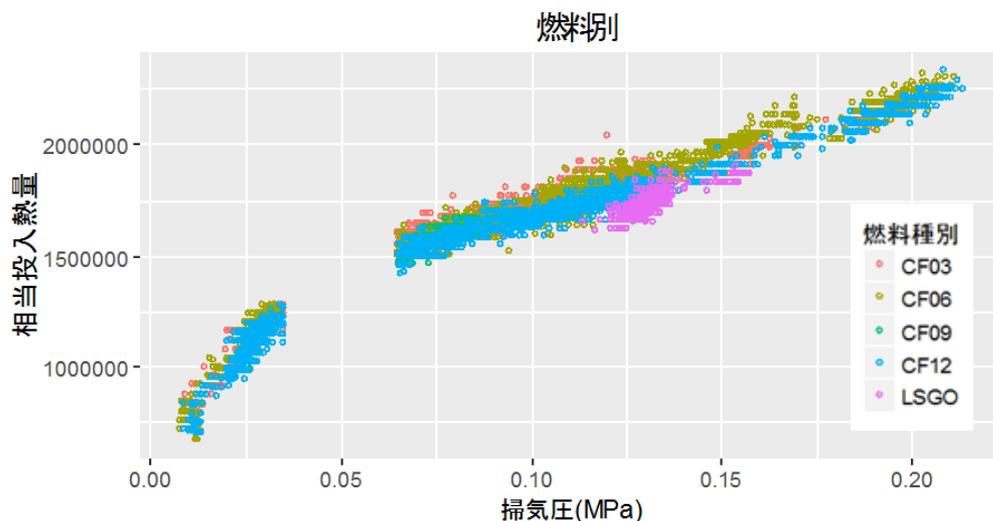


過給機入口温度は中負荷域と高負荷域で傾向が異なる。ただし、いずれも影響度合いは低い。(過給機入口温度は、過給掃気の影響が大きい。)

3-2-2. Case② データ解析結果 (例：掃気圧力vs相当発熱量)

出力レンジ内のデータを1次回帰を求め、その中央値をプロットしている。
 なお、低負荷域については、外乱要素の影響を大きく受けやすいなどより、相関性について考慮外としている。

MOL CHARISMA

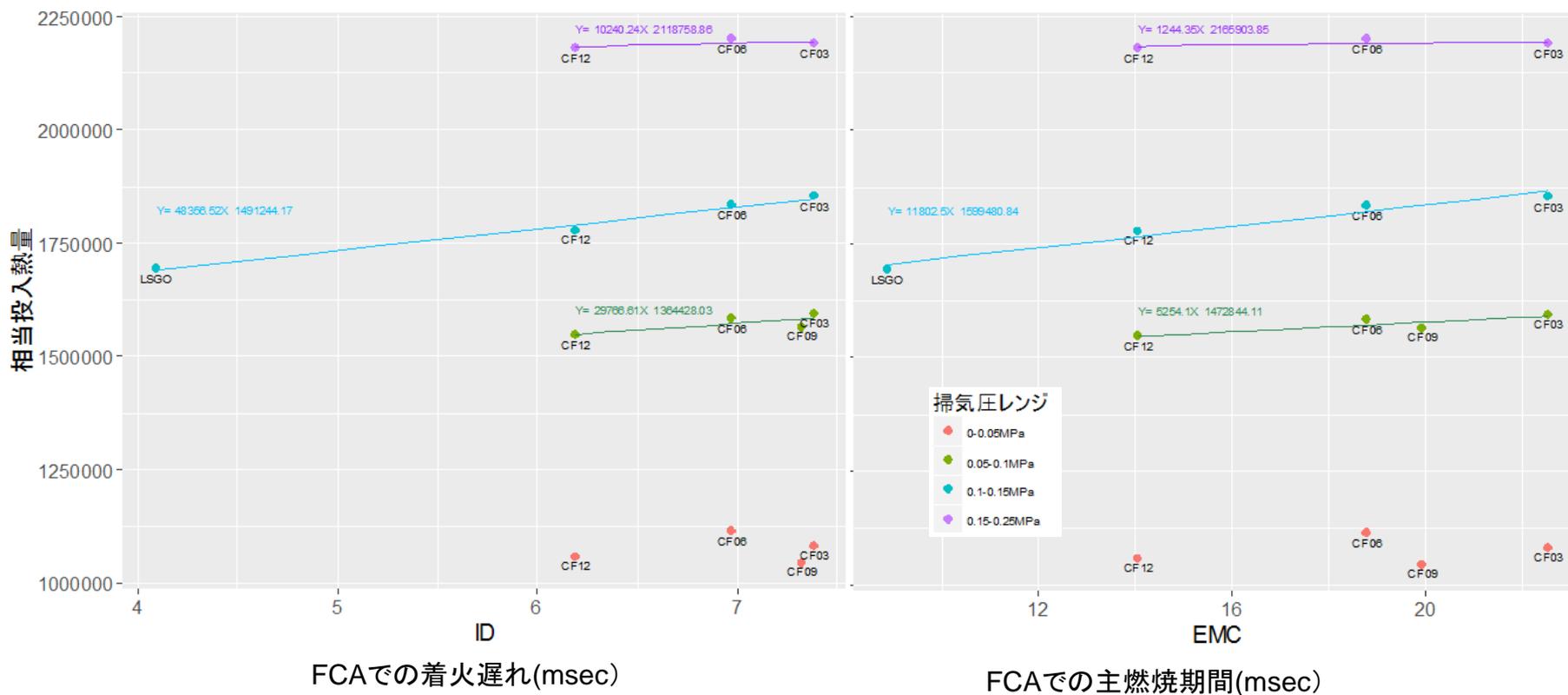


他の負荷域は、LSGOの運転データが無い
 ため、ECN値が近く相関が明確ではない。

相当投入熱量は中負荷域において、有意な相関がみられる。

3-2-2. Case② データ解析結果

(例： FCA結果 対 掃気圧レンジ別相当投入熱量)



FCAでの着火遅れ、主燃焼期間と相当投入熱量の間には、中負荷域で有意な相関関係がみられる。

3-2-3. Case② 一般分析・FCA結果

	試験条件 試験項目	単位	CF03	CF06	CF09	CF12	LSGO
密度	15°C	kg/m ³	1010.8	1007.9	1009.1	1004.9	882.4
引火点(PM) (B法)		°C	94	97	99	97	77
動粘度	40°C	mm ² /s	1150	1040	1080	1080	5.09
動粘度	50°C	mm ² /s	535	480	493	450	4.00
酸価		mg・KOH/g	0.16	0.14	0.07	0.07	0.02
水分(蒸留法)		vol %	0	0	0	0	0
流動点		°C	0	0	-3	0	-27
CCAI			868	866	867	864	825
残留炭素分		mass %	17.6	17.7	14.6	18.8	0.01
灰分		mass %	0.043	0.04	0.028	0.037	0.001
実在セメント		mass %	0.02	0.03	0.02	0	0
潜在セメント		mass %	0.02	0.03	0.01	0	0.01
総発熱量		MJ/kg	42.18	42.09	42.2	42.2	44.65
真発熱量		MJ/kg	39.87	39.85	39.92	39.89	41.87
硫黄分	Sメータ	mass %	2.29	2.69	2.24	3.15	0.09
金属分	Si+Al	mass ppm	4	4	4	3	1 未満
	V	mass ppm	150	130	94	140	1 未満
元素分析	Al	mass ppm	2	2	2	1	1 未満
	Ca	mass ppm	3	3	4	5	1 未満
	Fe	mass ppm	33	26	15	15	1 未満
	Mg	mass ppm	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
	Na	mass ppm	9	18	13	10	1 未満
	Ni	mass ppm	54	46	32	43	1 未満
	P	mass ppm	1 未満	1 未満	2	1 未満	1 未満
	Pb	mass ppm	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満	1 未満
	Si	mass ppm	2	2	2	2	1 未満
	V	mass ppm	150	130	94	140	1 未満
	Zn	mass ppm	2	5	4	4	1 未満
FCA	着火遅れ	ms	7.38	6.97	7.32	6.19	4.09
	後燃え時間	ms	12.26	10.15	11.08	8.00	6.97
	主燃焼時間	ms	22.53	18.78	19.93	14.06	8.86
	推定セタン価		9.1	11.4	10.3	16.6	40.0

推定セタン価の序列は LSGO > CF12 > CF06 > CF09 > CF03

3-2-4. Case②特殊分析結果

燃料油性状の比較 CF 機関入口サンプル

● 分析結果

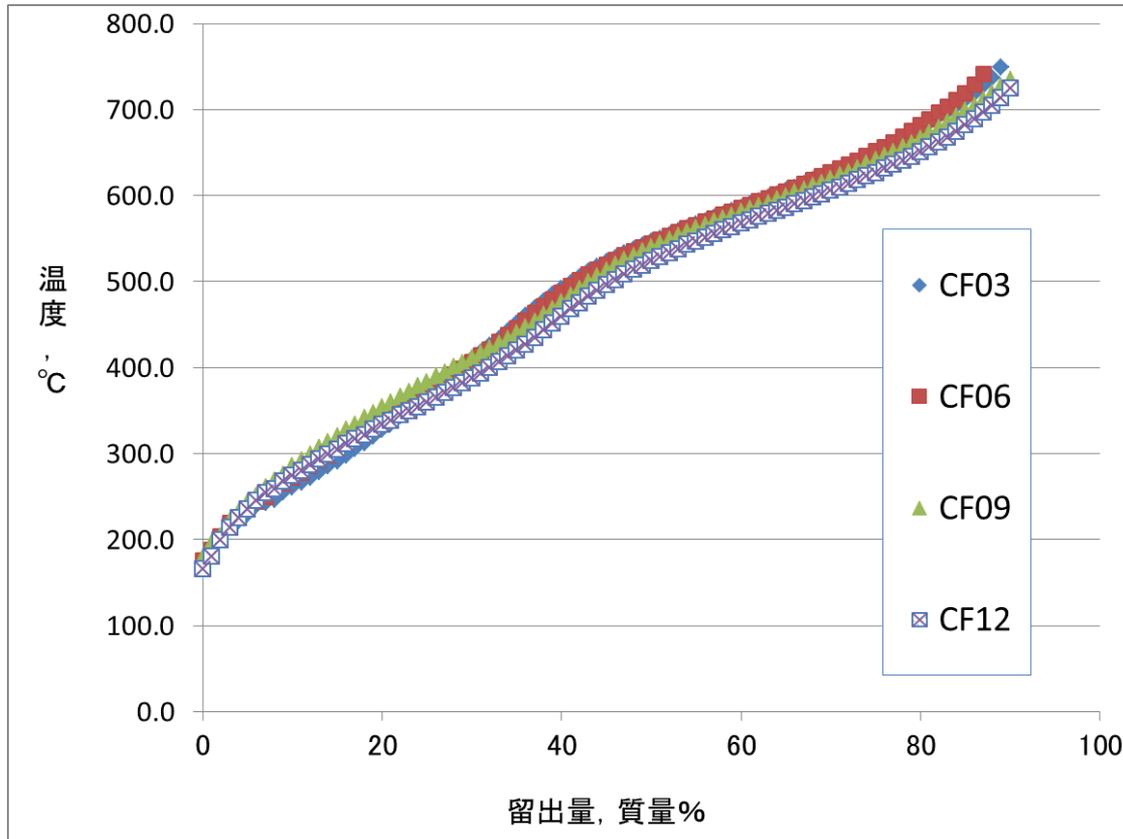
試験項目		単位	CF03	CF06	CF09	CF12
アスファルテン		mass %	8.5	9.3	6.3	11.7
アスファルテン	最少	-	134	125	135	126
分子量分布	最大	-	51289	52239	46767	37767
	ピークトップ	-	11,033	12143	8981	7260
GC蒸留	I.B.P.	°C	170.9	175.4	179.2	166.2
	5wt%	°C	229.4	236.6	243.0	235.0
	10wt%	°C	261.3	271.8	285.6	273.8
	20wt%	°C	328.0	336.6	353.4	333.4
	30wt%	°C	409.7	406.4	411.0	387.6
	40wt%	°C	491.9	487.4	476.0	459.4
	50wt%	°C	545.9	544.6	540.0	523.8
	60wt%	°C	585.9	585.2	580.8	567.6
	70wt%	°C	626.2	626.6	619.2	605.4
	80wt%	°C	677.9	681.8	666.8	650.6
	90wt%	°C			734.8	724.4
全芳香族分		mass %	31.8	32.7	33.6	30.7
1環芳香族分		mass %	13.4	14.4	13.0	14.2
2環芳香族分		mass %	13.8	13.4	14.2	13.5
3環以上の芳香族分		mass %	4.6	4.9	6.4	3.0
レジン分		mass %	22.3	21.2	21.0	17.3

芳香族分，レジン分，沸点範囲（GC蒸留結果）など全てのサンプルで近似した結果となった。

3-2-5. Case②特殊分析結果

燃料油性状の比較 CF 機関入口サンプル

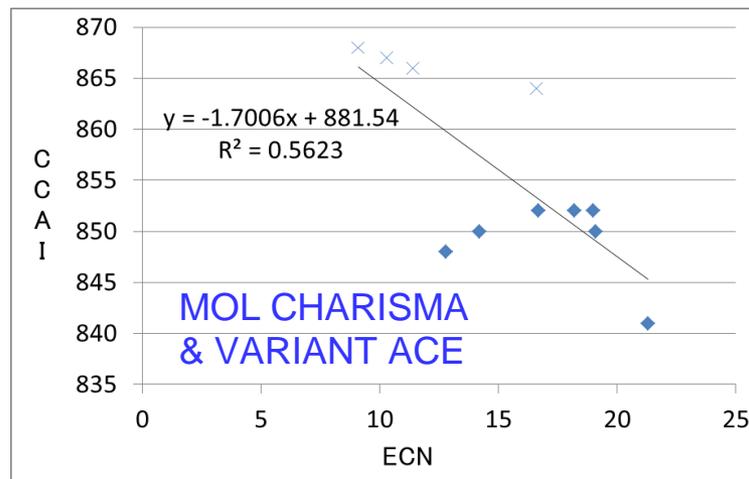
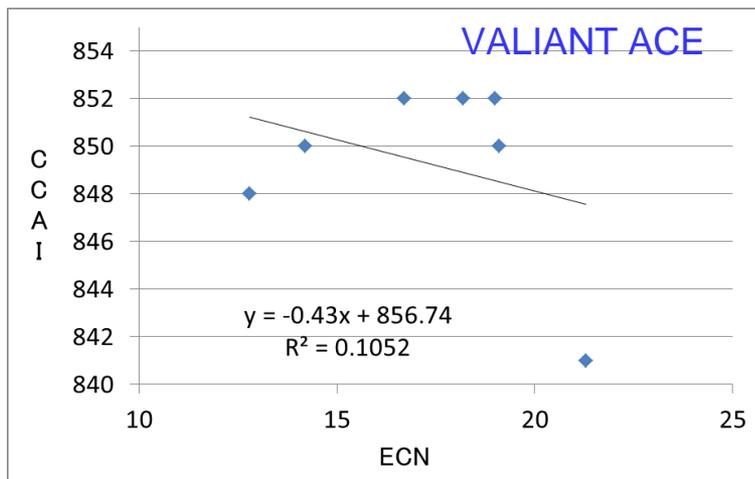
● 考察—GC蒸留



GC蒸留結果は何れの
燃料油も類似している。

3-3-1. ECNと一般分析項目

- ビッグデータの解析により熱効率-ECN間に相関が確認された。
- 分析結果とECNの間に相関が認められれば，分析結果から機関出力の良否を推定できる。
- 調査した2船の一般分析項目のうち，着火性の指標であるCCAIとECNの間には相関が認められなかった。



CCAIとECNの相関は低い

3-3-2. ECNと一般および特殊分析項目

- ECNを推定するため，一般項目特殊及び特殊分析項目結果を用い，重回帰分析を実施した。



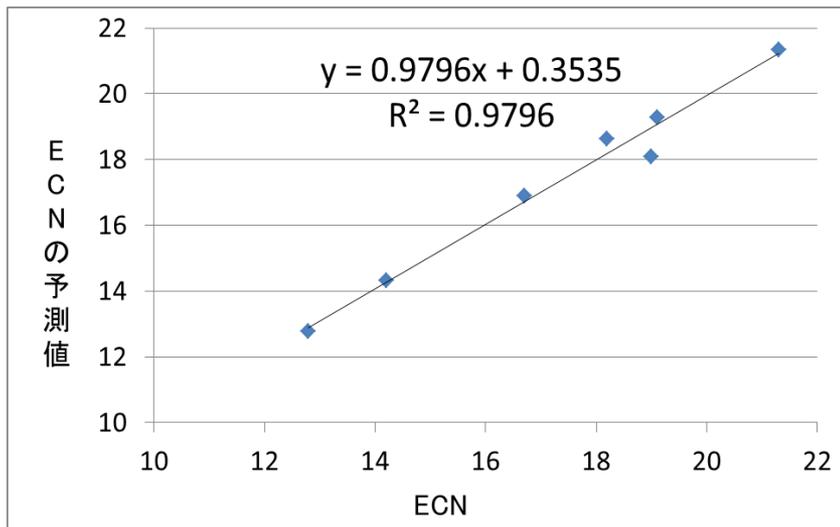
- 密度，GC蒸留20%留出温度，アスファルテンの3項目の試験結果を用いることで，高い相関を持つ計算式を導き出すことができた。

3-3-2. ECNと一般および特殊分析項目の相関(VFシリーズ)

GC蒸留, 密度, アスファルテンから
ECNを推定

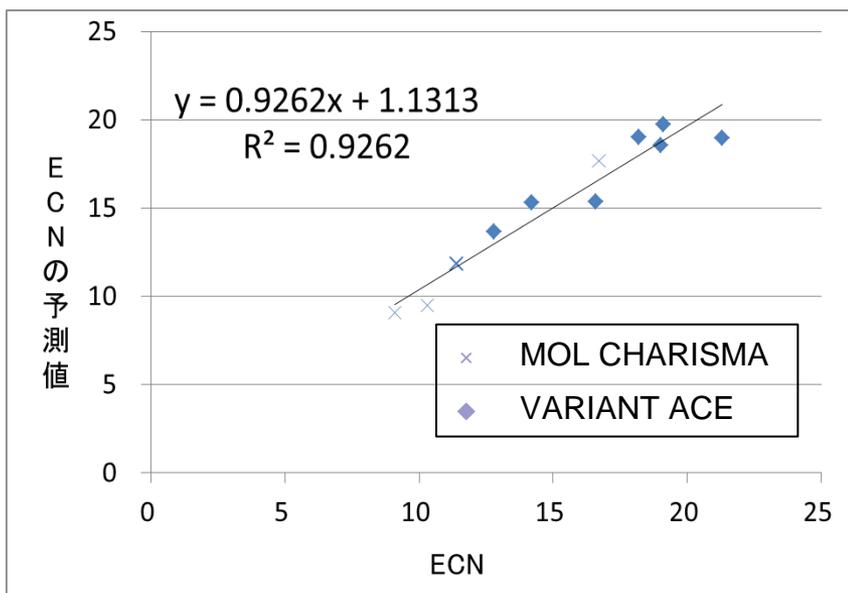
$$\begin{aligned} \text{ECN予測値} = & - \text{密度} \times 0.7264 \\ & + \text{GC蒸留20\%} \times 0.1049 \\ & + \text{アスファルテン} \times 1.1937 \\ & + 691.6030 \end{aligned}$$

...重回帰式(1)



3-3-3. ECNと一般および特殊分析項目の相関 (CF&VFシリーズ)

CFシリーズのみでは、データ点数が少ないため、VFシリーズと合わせて解析した。



GC蒸留, 密度, アスファルテンから
ECNを推定

$$\begin{aligned} \text{ECN予測値} = & - \text{密度} \times 0.4148 \\ & + \text{GC蒸留20\%} \times 0.0807 \\ & + \text{アスファルテン} \times 1.0635 \\ & + 392.8391 \end{aligned}$$

...重回帰式(2)

3-3-3. 使用するデータが異なる場合の推定式の変化

VFシリーズのみを使用した回帰式(1)とVFシリーズ、CFシリーズの両方を使用した回帰式(2)では、異なる係数が得られた。

	回帰式(1) VFシリーズのみ	回帰式(2) VF & CFシリーズ
データ数	7	11
密度	-0.7264	-0.4148
GC蒸留20%	+0.1049	+0.0807
アスファルテン	+1.1937	+1.0635
定数項	+691.6030	+392.8391
R ²	0.9796	0.9262

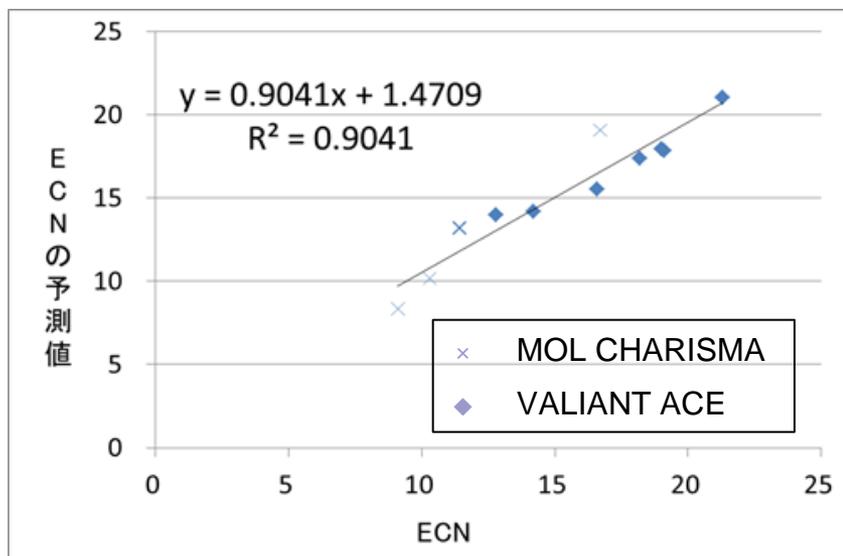


使用するデータが変われば、係数は変化する。
多くのデータを使用することにより推定精度が増すと期待される。

3-3-3. 一般性状からのECNの推定-重回帰分析

より一般的な分析項目を利用してECNの推定を試みた。

密度, 引火点, 動粘度, 流動点, 真発熱量からECNを推定



ECN予測値 =

$$\begin{aligned} & -0.1050 \times \text{密度@15}^\circ\text{C kg/m}^3 \\ & +0.1310 \times \text{引火点PM(B法)}^\circ\text{C} \\ & -0.0740 \times \text{動粘度50}^\circ\text{C mm}^2/\text{s} \\ & +0.6069 \times \text{流動点}^\circ\text{C} \\ & -5.6047 \times \text{真発熱量 kJ/g} \\ & +365.2266 \end{aligned}$$

...重回帰式(3)

3-3-3. 一般性状からのECNの推定-重回帰分析

- 一般項目の解析の結果，密度，引火点，動粘度，流動点及び真発熱量の5変数からECNを推定する推定式が導かれた

→ECNを推定する手法の道筋が示された

- ただし，本調査結果は以下の問題点がある
 - ・ データ数が少ない
 - ・ ECNが9.1～21.3と低セタン価に偏っている
 - ・ 補油地が限定的である
- 推定式は偏りを生じている可能性がある



任意の燃料油の分析値からECNを推定するためには，より多くのデータを収集し解析を実施する必要がある。

4. 考察

- デッドオイル混合率最大6%程度では燃料性状に及ぼす影響は小さく、補油サンプルから燃料性状を評価することに問題はないことが示された。
- 多変量解析により、GC蒸留、アスファルテン等の特殊分析結果を元にECNを推定する式が導かれた。
- 一般項目の分析結果からECNを推定する手法についても検討し、5変数による推定式が導かれた。
- これにより、分析値を元に燃料油の燃焼性の差異を間接的に予想する手法の道筋が示された。
- ただし、本調査で使用した燃料油はデータ数が少なくECNが9.1～21.3の狭い範囲に限られている。したがって得られた回帰式は本調査の範囲内でのみ有効であり、一般の燃料に適応することはできない。

4. 考察

- 負荷範囲毎の回帰値の中央値比較では、FCAの結果と各計測値間に相関がみられるものがある。特に相当投入熱量（燃費に相当）は、中負荷域で相関がみられる。
- これはFCAによる燃焼試験結果から見られる燃料油の着火性良否傾向が、実機の計測データでも見られていることを示しているといえる。
- 排気ガス温度などの一般計測項目においては、推定セタン価の相違による影響は小さく、一般計測項目から燃料燃焼性を評価することは困難と考えられる。
- すなわち、排ガス温度に大きな変化が現れた場合は、燃料の燃焼性不良のみに原因を求めるのではなく、他の要因も並行して調べる必要性を示している。

5. まとめ

- FCAの結果と熱効率との相関が定量的に示せたことは意義深い。ただし、機種の違いやチューニングの違いなどもあるため、今回の研究のみでは、一般化は困難である。
- 対象とした燃料油及び機関運転条件に限ってはああるが、運航データと分析結果から相関を見出す事ができ、さらには燃料油の一般分析値より間接的に燃焼性を予想する可能性が示された。しかしながら、今回の運航データ及び燃料油性状には、本研究目的である「本船での燃料の燃焼性の見える化」を実現する程の差はなかった。