

# ナノ粒子排出特性に及ぼす 燃料着火性の影響

環境・動力系

環境エンジン研究グループ

\*高木 正英, 大橋 厚人




平成26年度(第14回)海上技術安全研究所研究発表会  
2014年6月25日

# 目次

1. はじめに  
~これまでの研究~
2. 実験条件
  - ・燃料噴射パターン, 供試燃料
3. 実験装置
  - ・計測系
4. 解析方法 ~分布関数への変換~
5. 実験結果
  - ・燃料変更
  - ・燃料噴射率の影響
  - ・pilot噴射の効果
6. 解析結果
  - ・粒子数との相関関係
7. まとめ

# はじめに

燃料中硫黄分規制強化  { 指定海域 : 1.0%→0.1% 2015年  
一般海域 : 3.5%→0.5% 2020年

船用機関に用いられる低硫黄燃料は？

 LCO (Light Cycle Oil, S<0.6%)の混入量の増加の可能性

- ・多環芳香族炭化水素 : 増加
- ・飽和炭化水素 : 減少



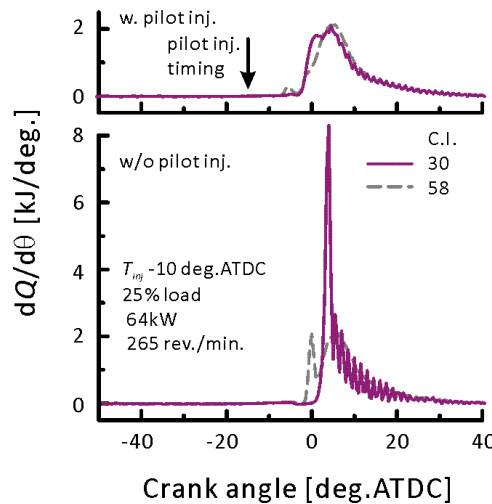
着火性 (セタン価)の低下

# はじめに これまでの研究

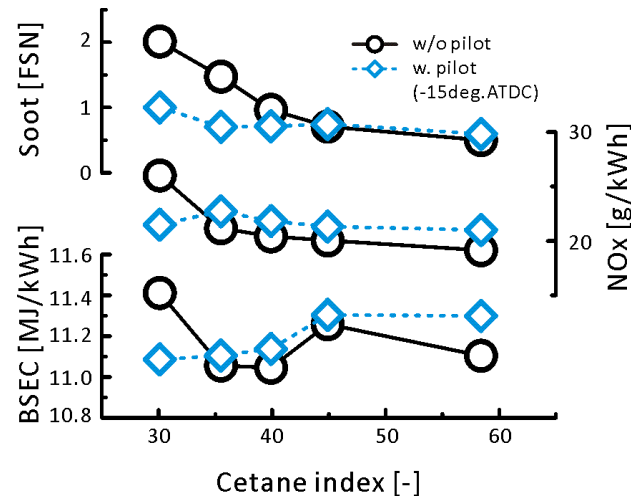
LCO/軽油混合燃料の着火性(セタン指数)を30~58に変更

pilot噴射によって, セタン指数の影響が小さくなる

セタン指数; 燃料密度と蒸留温度から求められる着火性指標



熱発生率

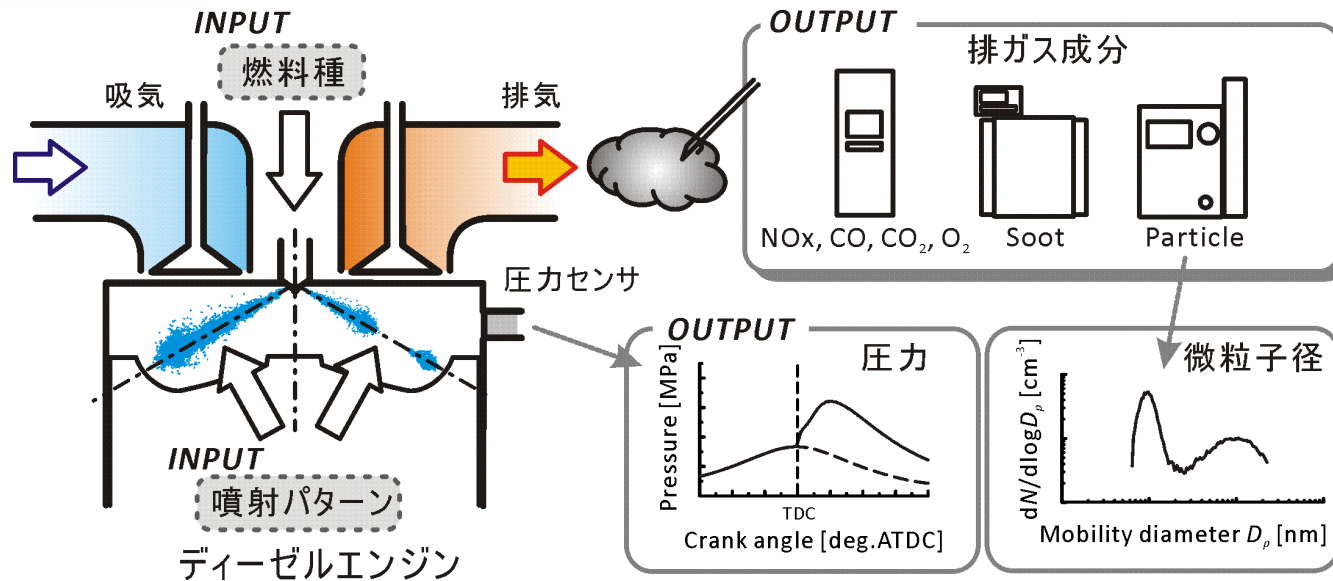


燃費・排気特性

高木他, JIME48-6, pp.854(2013)

人体への影響が大きいと言われるナノ粒子排出  
に及ぼす燃料種の影響は?

# 実験条件 エンジン諸元

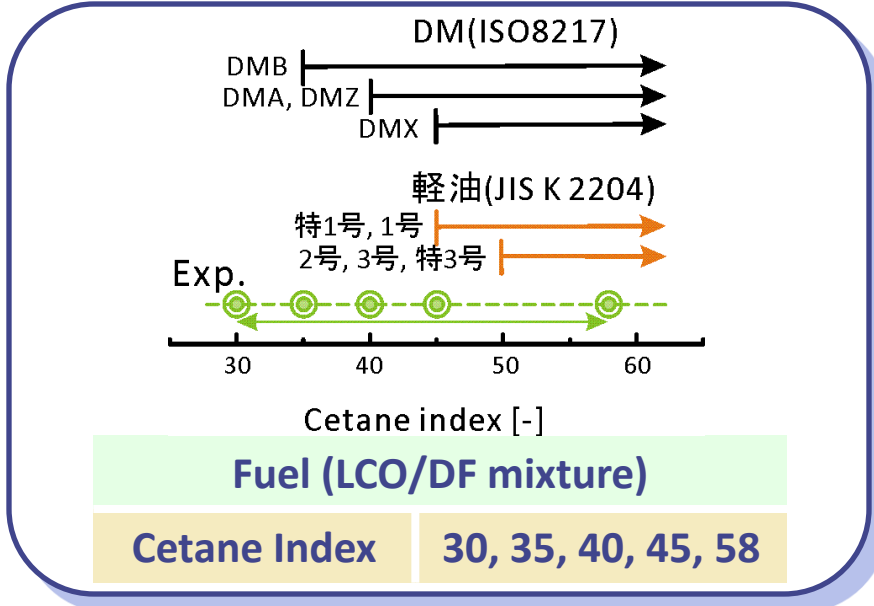
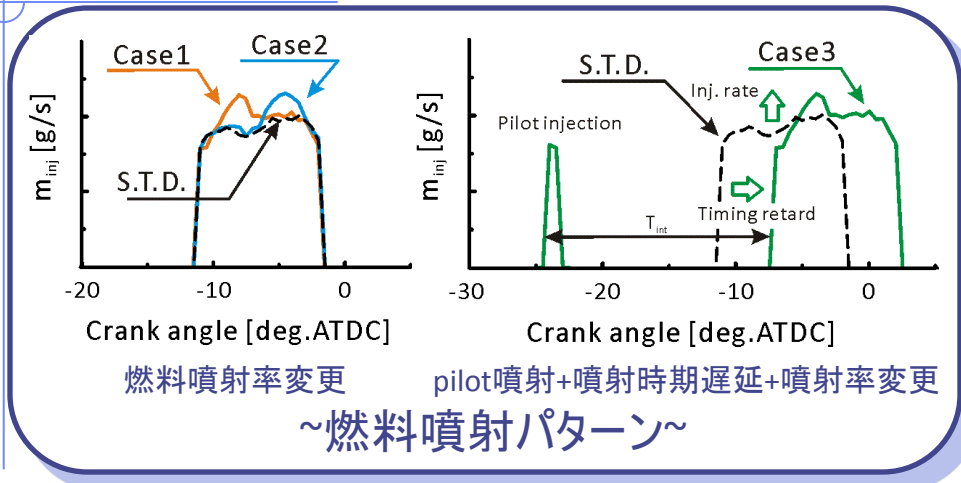


Matsui iron works co., ltd. MU323DGSC

3cylinder, 4 stroke, Inter-cooled, turbo-charged diesel engine

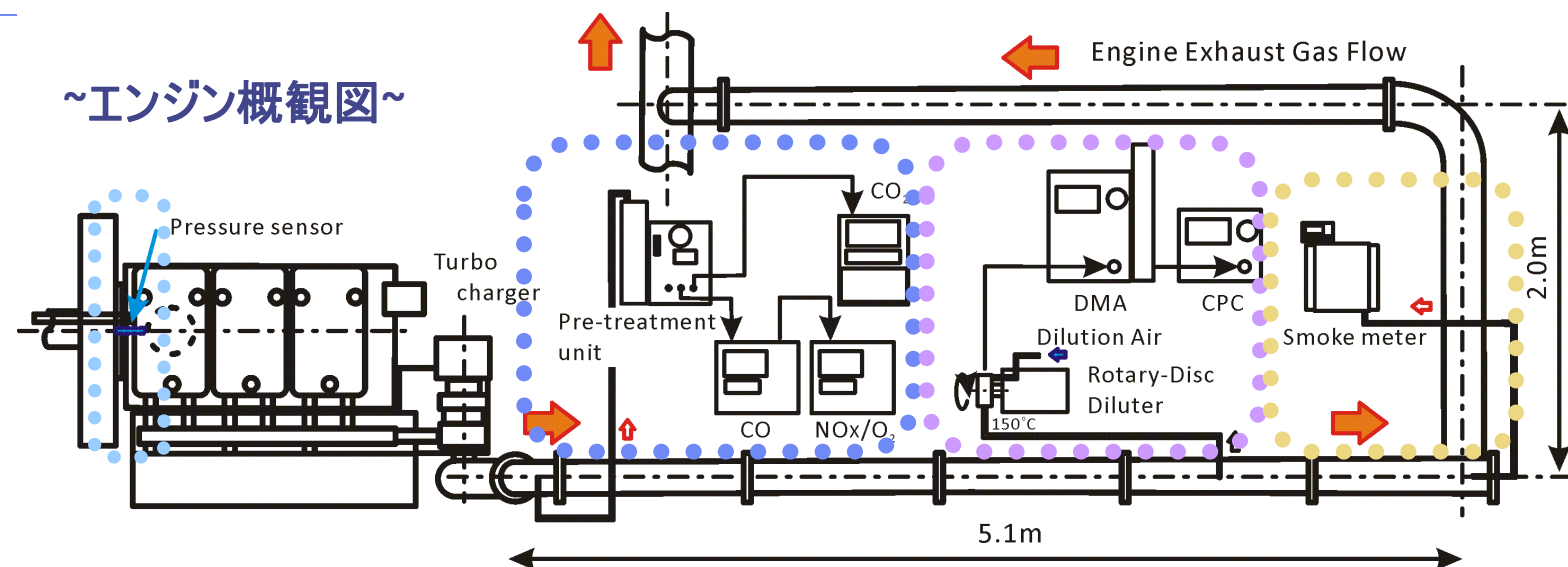
Bore × stroke	230 × 380 mm	Fuel injection system	Hybrid inj.system
Displacement	47364cm <sup>3</sup>	Combustion system	Direct injection
Compression ratio	13.7	Inj. opening pressure	26 MPa
Maximum output	257kW/420 rpm	Nozzle hole	φ 0.32 x 7-120°
Combustion chamber	Shallow dish		

# 実験条件 燃料噴射パターン, 供試燃料



S.T.D.	
Main injection	
$T_{main}$ [deg.ATDC]	-10.0
Case1, Case2 (Injection pattern)	
Case1	Inj. Rate ; Front ↑
Case2	Inj. Rate ; Rear ↑
$T_{main}$ [deg.ATDC]	-10.0
Case3 (Pilot injection, Timing retard)	
Injection pattern	Case1
$T_{main}$ [deg.ATDC]	-7.5
$m_{pilot}/m_{main}$	≅ 0.1 (25% load)
$T_{int}$ [deg.]	17.5
Load	25, 75% (64kW, 265 rev./min.) (193kW, 382 rev./min.)

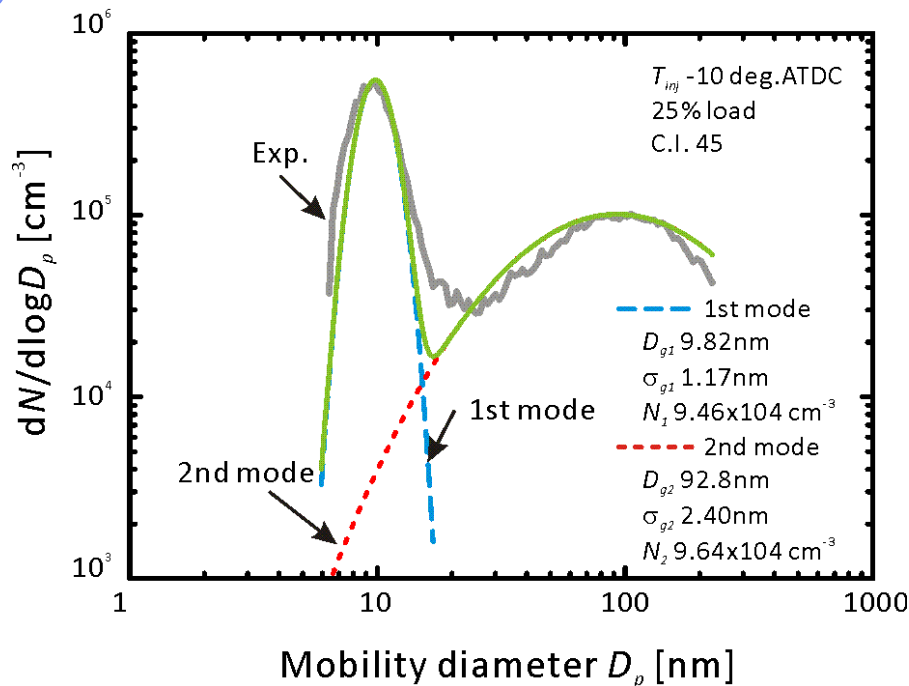
# 実験装置 計測系



Emissions	
NO <sub>x</sub> , O <sub>2</sub>	Nippon Thermo 5100-O
CO	Nippon Thermo 4100-2
CO <sub>2</sub>	Shimadzu CGT-7000
Smoke	AVL415S

Nano particle (SMPS)	
DMA, CPC	TSI Model 3936 -SMPS L76
Rotating Disk Diluter	Matter Aerosol Engineering AG MD19-2E
Pressure (Charge Amp.)	Kistler 6061B (5018A1010)

# 解析方法 分布関数への変換



## 対数正規分布の適用

bimodalな粒径分布の場合、通常に対数正規分布では実験結果を表現できない



対数正規分布の和を用いる

## 定数の選定 6個

- (1)  $N_1$  パラメータ, (2)  $N_2 = N_t - N_1$
- (3)  $D_{g1}$ , (4)  $D_{g2}$  モード値
- (5)  $\sigma_{g1}$ , (6)  $\sigma_{g2}$  パラメータ

## 対数正規分布(bimodal)

Seinfeld, J. and Pandis, S.

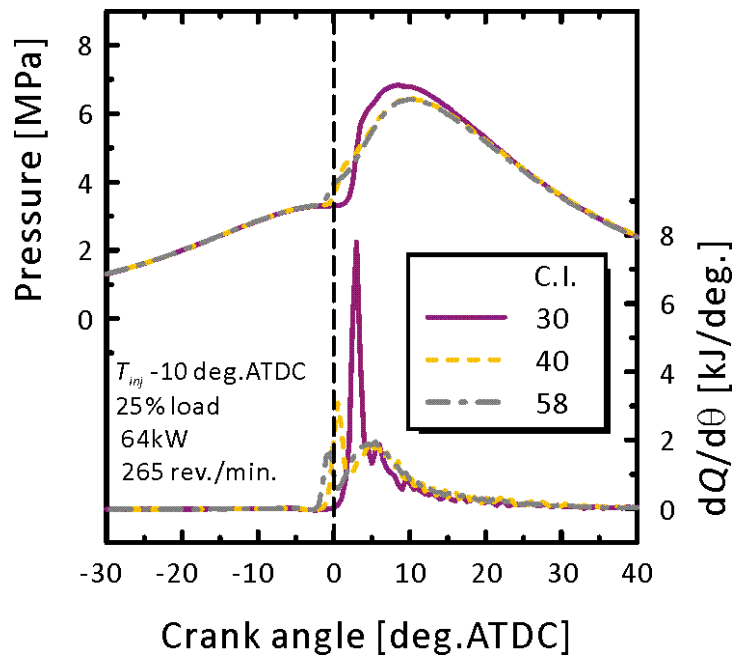
Atmospheric Chemistry and Physics, Wiley & Sons, 2006.

$$\frac{dN}{d \log D_p} = \sum_{i=1}^2 \frac{N_i}{\sqrt{2\pi} \log \sigma_{gi}} \exp \left\{ - \frac{(\log D_p - \log D_{gi})^2}{2 \log^2 \sigma_{gi}} \right\}$$



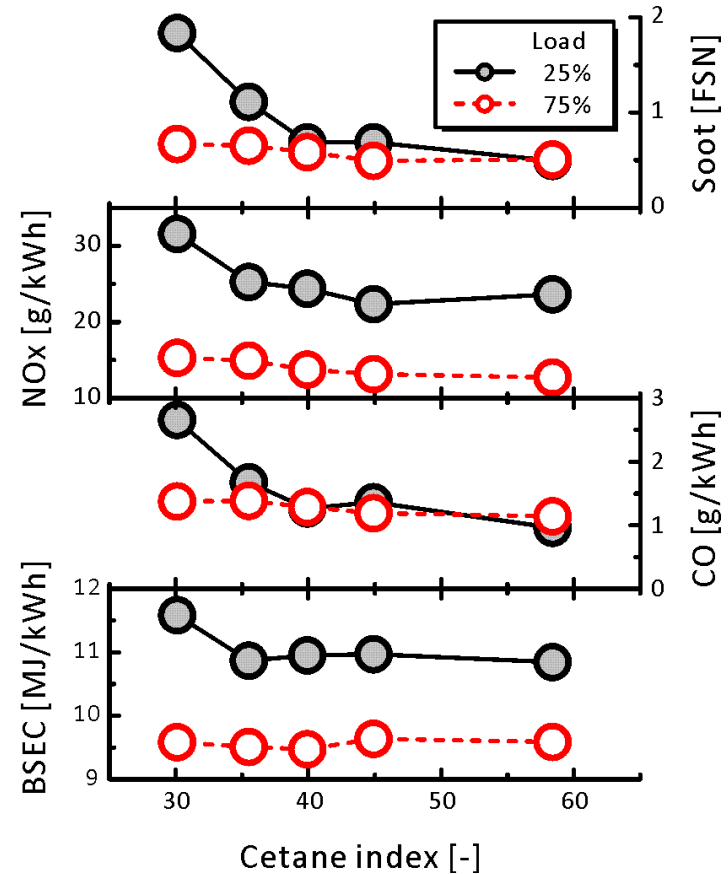
# 実験結果 燃料変更(着火性変化)

## 熱発生率, 排気特性



燃料の着火性が低くなると,

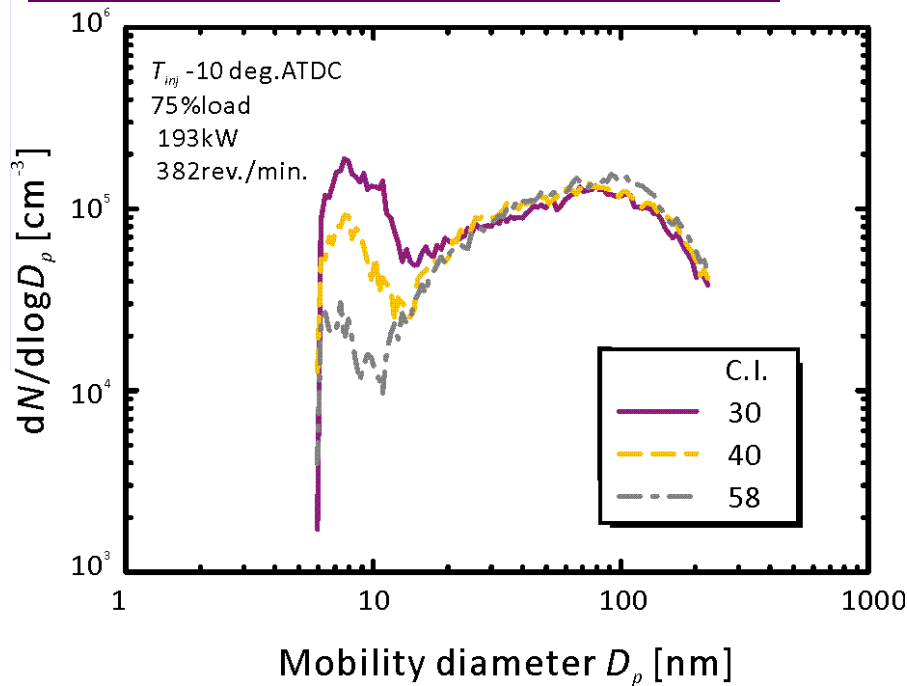
- ・予混合的な燃焼が大きくなる  
(燃焼終了時期は変わらない)
- ・排気性能は悪化する  
(負荷が高くなるとその傾向は弱くなる)



エネルギー消費率[MJ/kWh]  
 = 燃料消費率[g/kWh] × 低位発熱量[MJ/g]

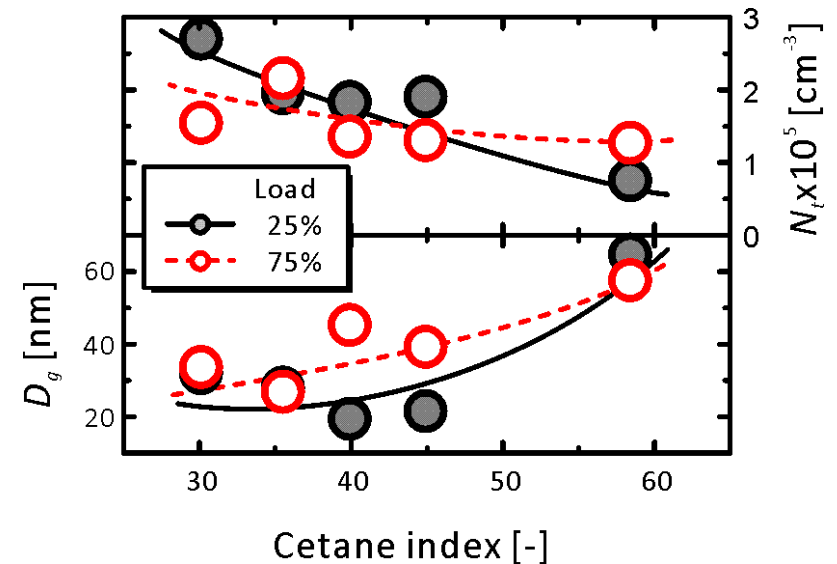
# 実験結果 燃料変更(着火性変化)

## 微粒子; 粒径分布, 特性値



燃料の着火性が低くなると,

- ・1stモードの粒子数ピークが高くなる
- ・平均径は小さく, 粒子数は多くなる



・幾何平均径

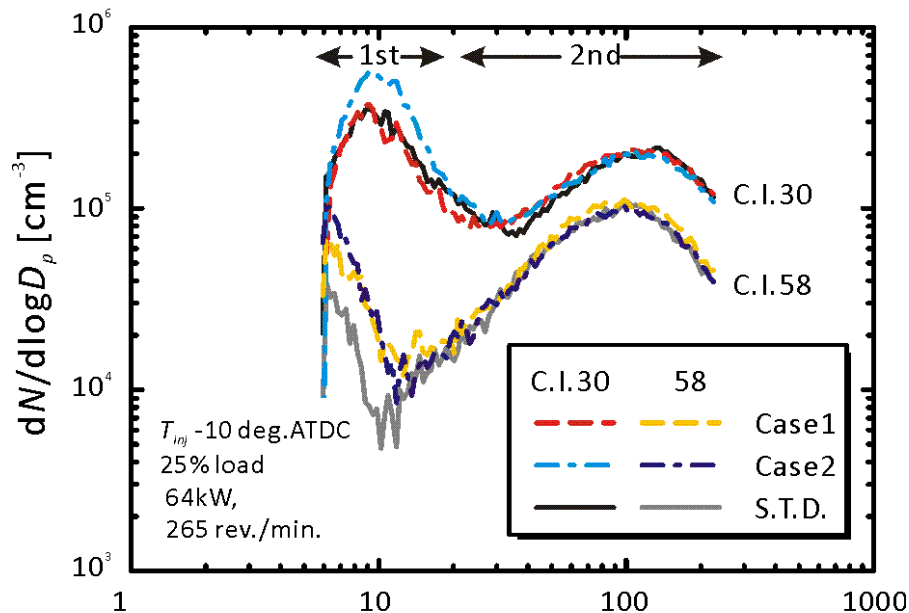
(Geometric mean diameter; G.M.D.)

$$D_g = \left( \prod_i D_{pi}^{n_i} \right)^{1/N_t}$$

$N_t$ : 全個数,  $n_i$ : 各粒径の個数,  $D_{pi}$ : 粒径

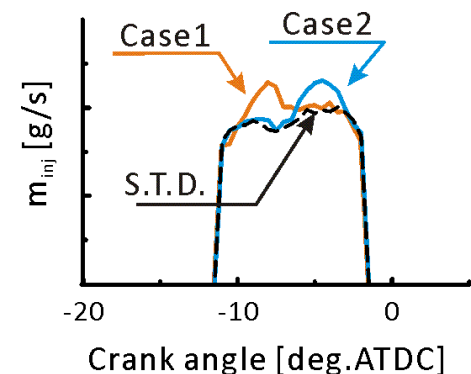
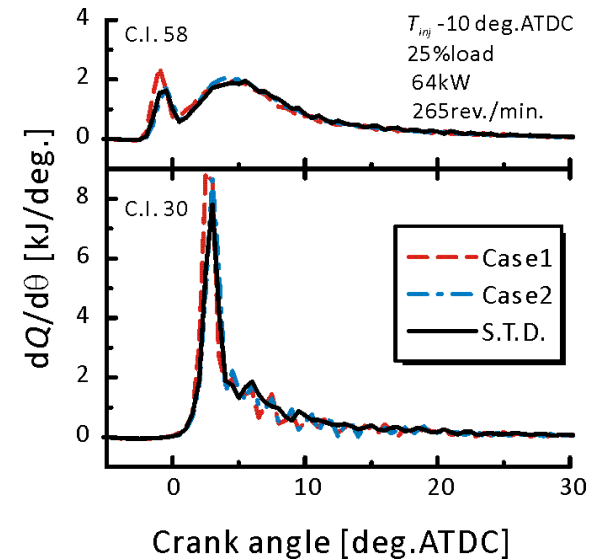
# 実験結果 燃料噴射率変更 (Case1,2)

## 微粒子; 粒径分布, 熱発生率



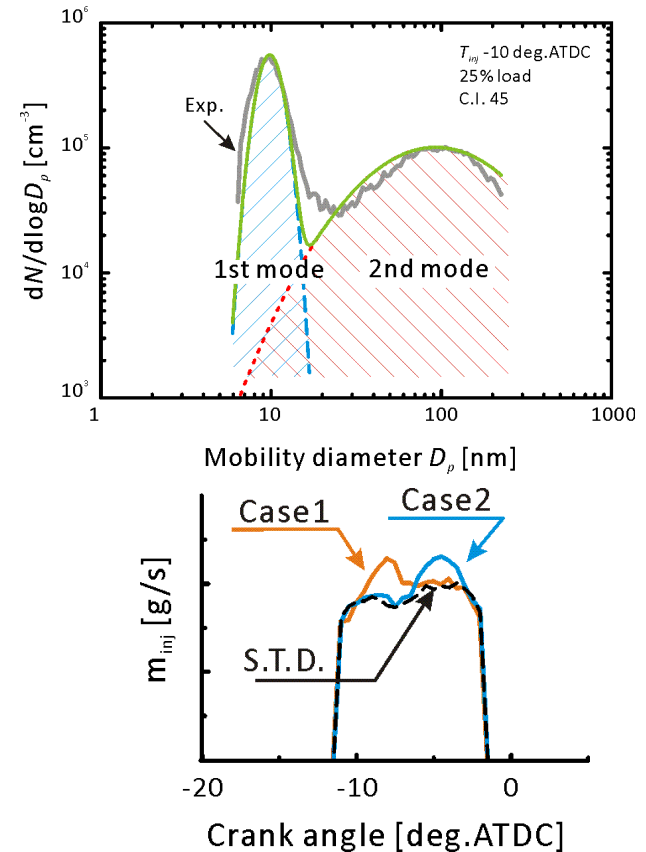
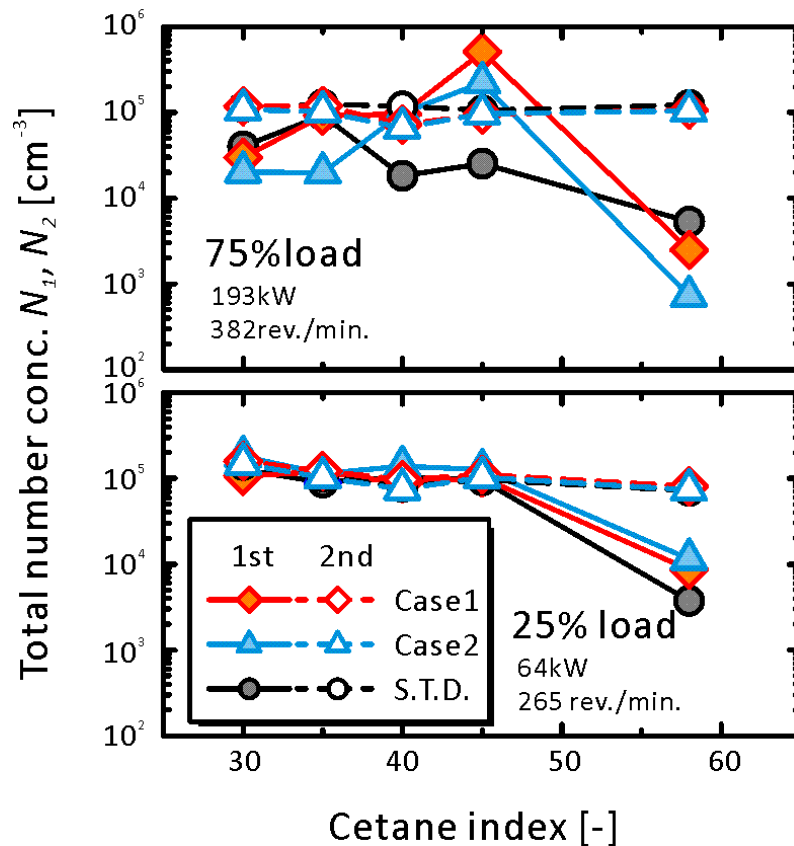
Mobility diameter  $D_p$  [nm]  
 燃料噴射率変更

- ・予混合的な燃焼量増加
- ・燃焼終了時期は変わらない
- ・1stモードの粒子数が増加



# 実験結果 燃料噴射率変更 (Case1,2)

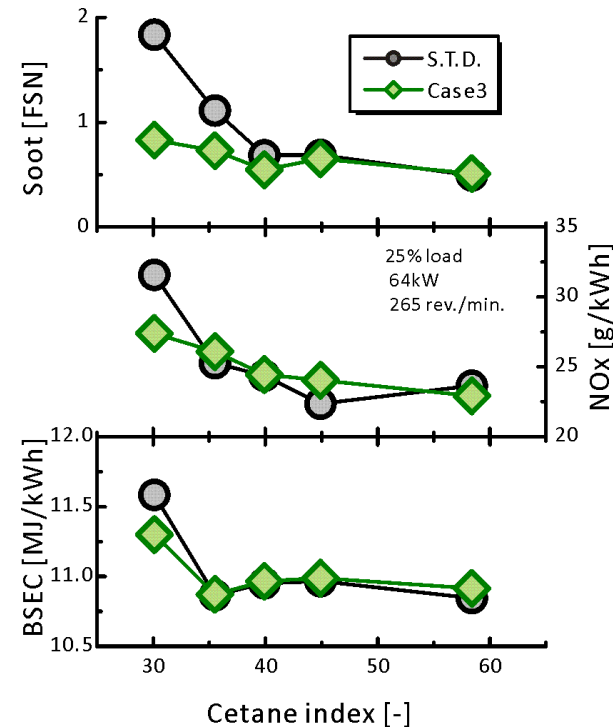
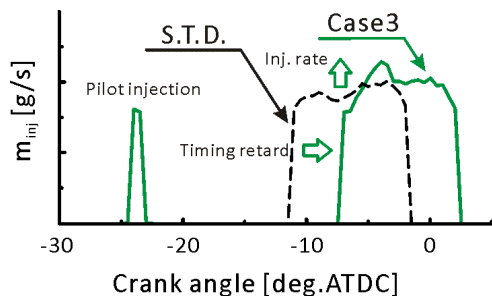
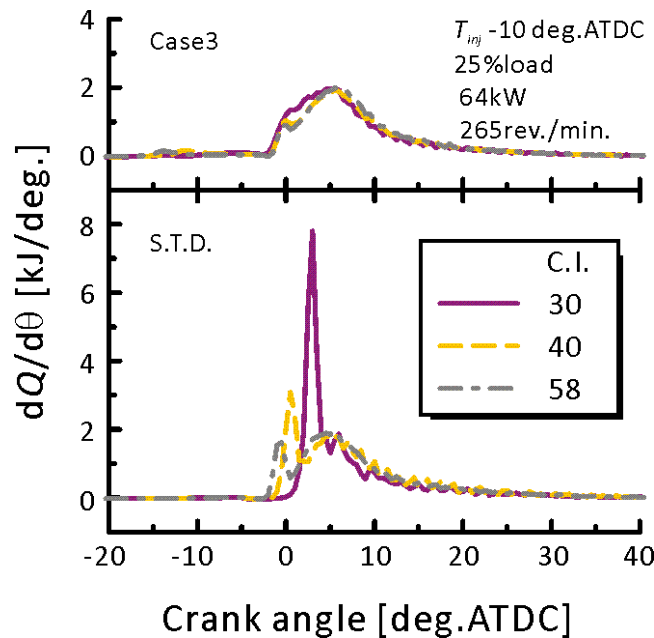
## 微粒子; 粒子数



1st, 2ndモードの微粒子とも、  
燃料噴射率よりも燃料の影響が大きい

# 実験結果 pilot噴射+噴射率変更 (Case3)

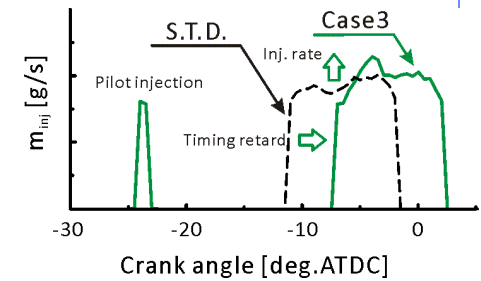
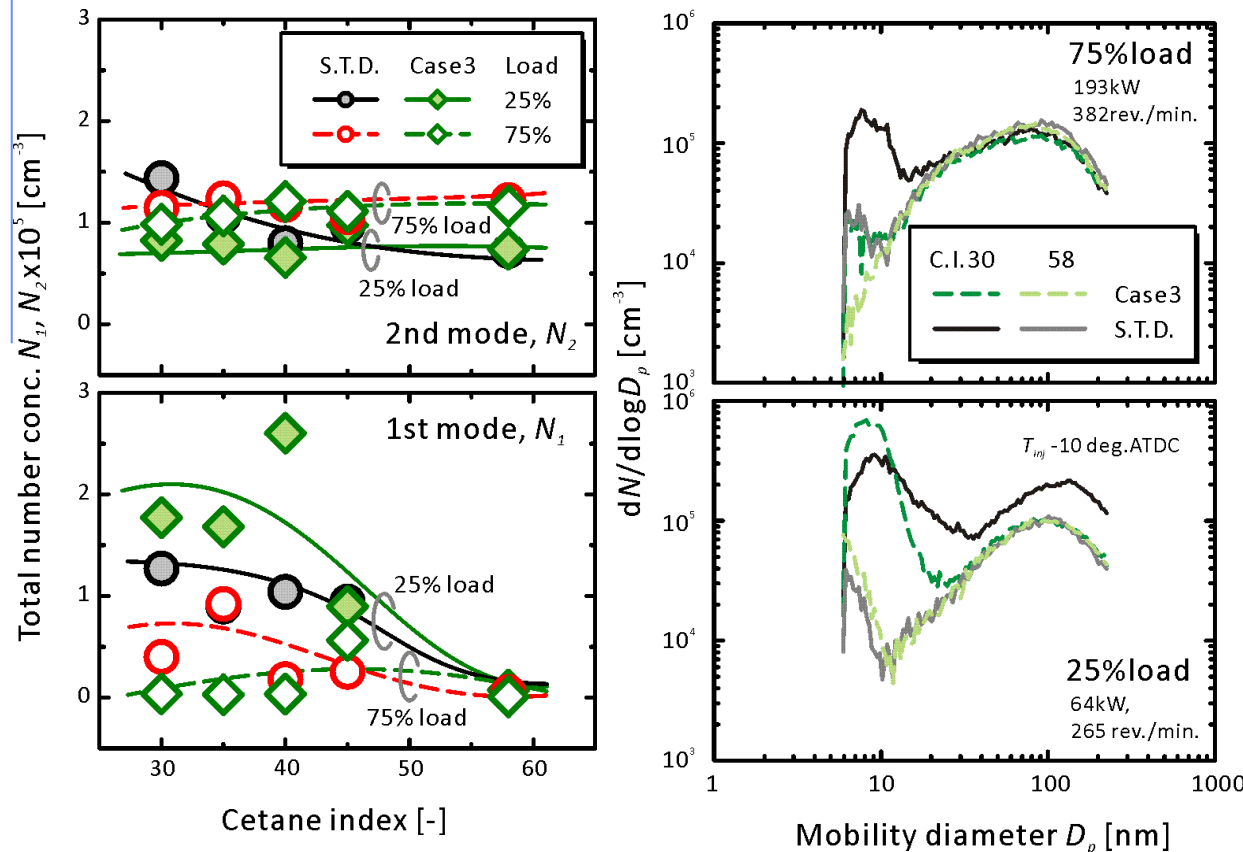
## 熱発生率, 排気特性



pilot噴射, 噴射率の変更によって,  
 排気, 熱発生率への燃料影響  
 が小さくなる

# 実験結果 pilot噴射+噴射率変更 (Case3)

## 微粒子; 粒子数, 粒径分布

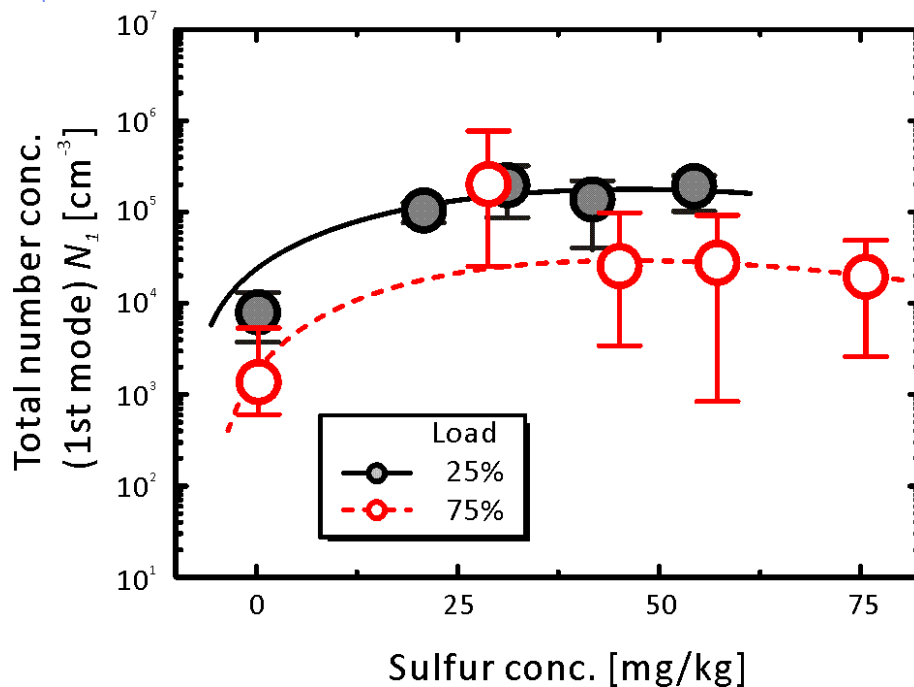


排気, 燃費改善のため  
pilot噴射, 噴射率変更



- ・微粒子と相関がない
- ・1st, 2ndモードとも負荷を変更しても粒子数のオーダーは変わらない

# 解析結果 微小粒子の排出要因 (1st mode)



（エラーバー；  
S.T.D., Case1~3の最大値, 最小値）

微小粒子の排出は？

- ・未燃炭化水素
- ・硫黄化合物

$$\text{Sulfur conc.} = \frac{w_{GAM} \times q_{mf}}{q_{mew}}$$

$w_{GAM}$ : 燃料中硫黄分 [ppm]

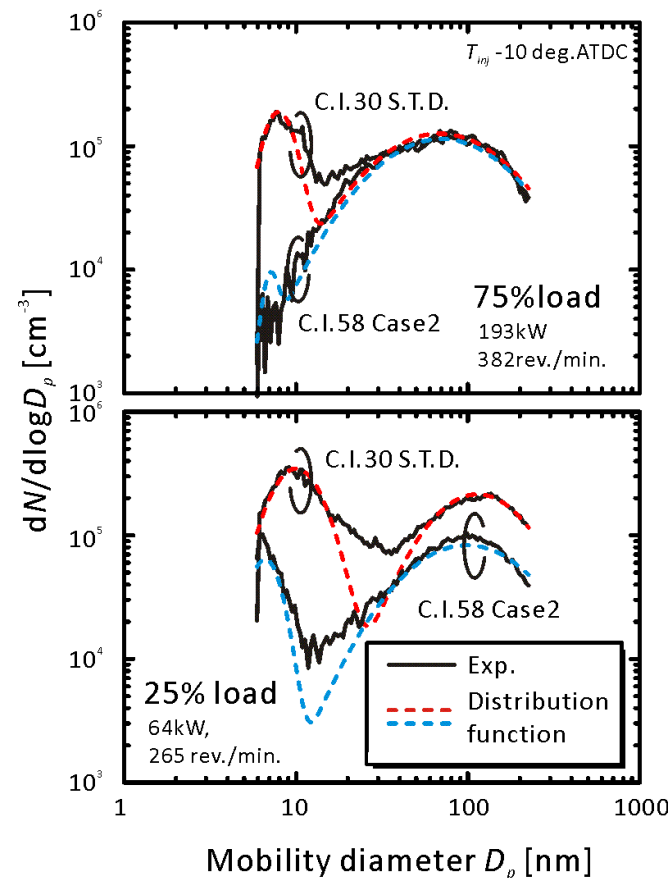
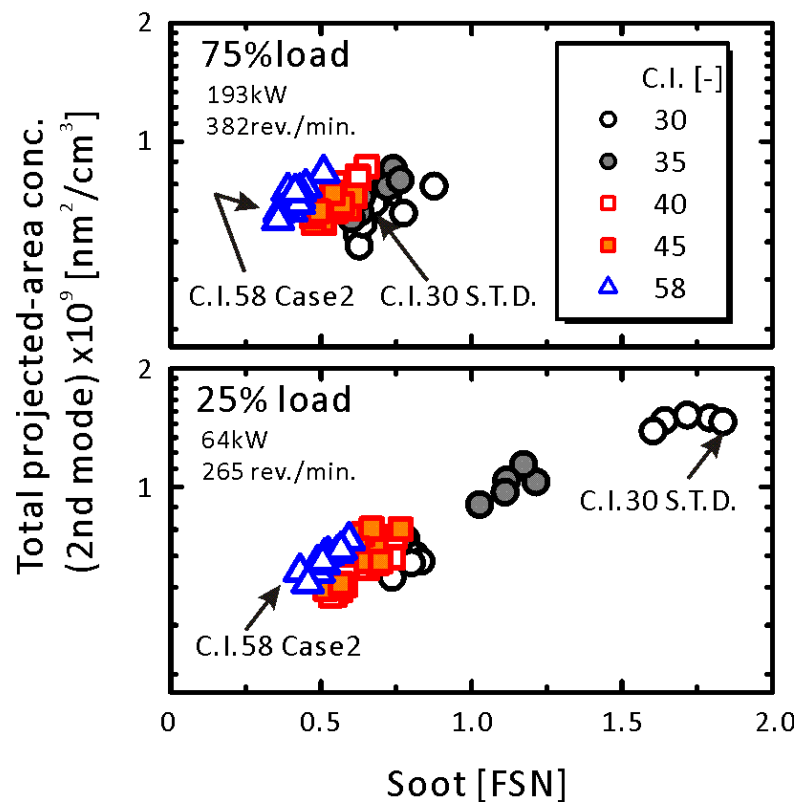
$q_{mf}$ : 燃料流量 [kg/h]

$q_{mew}$ : 排ガス流量 [kg/h]



- ・1st modeの粒子数
- 負荷によらず, 排ガス中硫黄
- ⇒ 濃度がある濃度を超えると一定になる

# 解析結果 Sootとの関係 (2nd mode)



Soot; フィルタ捕集物質の反射率を計測

燃料, 噴射パターンによるSootの増加  
 ⇒ 2ndモードの総投影面積と相関有り

負荷が増加すると2ndモード  
 の最大値は変わらなくなる



## まとめ

着火性の異なる5種類のLCO/軽油の混合燃料を用いて燃料噴射パターンの変更(噴射率変更, pilot噴射)を行った時の「ナノ粒子排出特性」を調査し, bimodalな粒径分布を1stモード(小粒径側), 2ndモード(大粒径側)の2つの対数正規分布を用いて解析した結果, 以下の知見を得た。

- (1) 燃料の着火性が低くなると微粒子数は増加し, 平均径は減少する。
- (2) 排気, 燃費改善のためにpilot噴射を行い, 噴射率を変更しても, 微小粒子の増減とはほとんど相関がない。負荷を変更しても粒子数のオーダーは変わらない。
- (3) 1st modeの粒子数は負荷によらず, 排ガス中硫黄濃度が小さい時には濃度の増加に対して粒子数は増加するが, ある一定濃度を超えると一定になる。
- (4) 2nd modeの粒子はSoot排出量と相関がある。

本発表の一部は, 日本財団の助成事業である(一財)日本船舶技術研究協会のH24年度「大気汚染防止規制の円滑な導入のための調査研究(大気汚染防止規制導入プロジェクト)」で実施されたものです。また, 燃料に関してはJX日鉱日石エネルギー(株)との共同研究により提供いただきました。ここに謝意を表します。

この講演資料はPDF版をダウンロードできます。  
[http://www.nmri.go.jp/energy/mtakagi/nmri14th\\_no17.pdf](http://www.nmri.go.jp/energy/mtakagi/nmri14th_no17.pdf)