

令和2年(第20回)海上技術安全研究所研究発表会

アンモニア混焼ディーゼルエンジンの現状と課題

アンモニアの概要

アンモニアエンジンの課題

小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

まとめ



環境・動力系

仁木洋一、市川泰久、新田好古、平田宏一



アンモニアの概要

- (1) 人間への影響
- (2) 物性値比較
- (3) 製造と価格
- (4) 代替燃料としてのアンモニア

アンモニアの概要

(1) 人間への影響

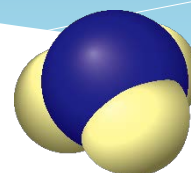
濃度	影響
30 ppm	強い匂い
150 ppm	視力障害
1000 ppm	皮膚刺激、呼吸困難
5000 ppm	高い死亡率
20000 ppm	数秒しか耐えられない

アンモニアの概要

液化水素

液化アンモニア

(2) 物性値比較



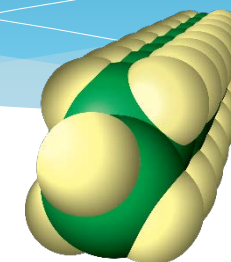
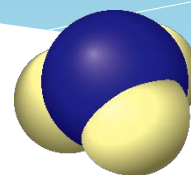
分子式	H ₂	NH ₃
貯蔵温度 [K]	20 (30)	298
貯蔵圧力 [MPa]	0.1 (1)	1
密度 [kg/m ³]	71	602.8
水素密度 [kg-H ₂ /m ³]	71	106

アンモニアの概要

(2) 物性値比較

液化アンモニア

軽油・重油

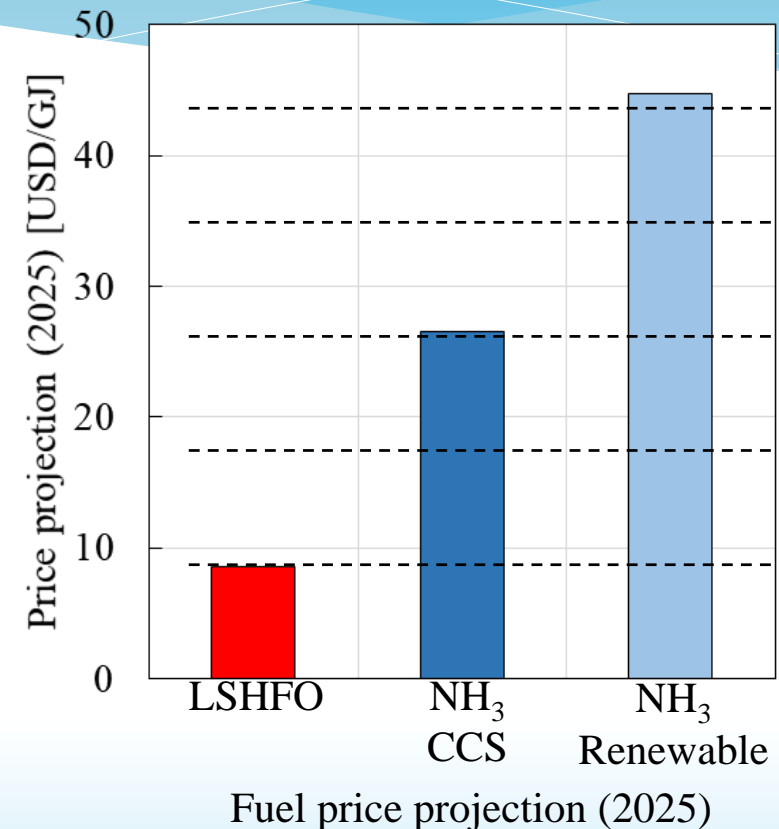


分子式	NH ₃	Hydro carbons
貯蔵温度 [K]	298	-
貯蔵圧力 [MPa]	1	-
密度 [kg/m ³]	602.8	830-860
水素密度 [kg-H ₂ /m ³]	106	-
低位発熱量 [GJ/m ³]	11.2	35.7-38.7
層流燃焼速度 [m/s] (at 298K, 0.1MPa)	0.08	0.35-0.40
着火温度 [K]	924	520-560

アンモニアの概要

(3) 製造と価格

- ◆ 肥料または肥料の原材料、冷凍機の冷媒として、使用されている。
- ◆ LNG、石炭、廃プラ等を原材料として得られた水素ガスからハーバーボッシュ法により合成される。
- ◆ 製造コストに関する予測¹⁾では、水素の製造方法によって、価格が異なる。
- ◆ 予測¹⁾では、熱量当たりの価格が低硫黄A重油の4倍程度と見積もられている。



アンモニアの概要

(4) 代替燃料としてのアンモニア

- ◆ MAN社、Wärtsilä社において、アンモニア燃料利用エンジンの開発について公表している²⁾³⁾。
- ◆ 日本⁴⁾、中国⁵⁾において、MAN社のアンモニア焚機関を搭載した船舶の開発に関して発表があった。
- ◆ MAN社では、LGIPと呼ばれるLPGを燃焼室に直接噴射するタイプの機関を利用して、アンモニア焚機関を開発している(右図)。ただし、NH₃の燃焼方法については、詳細な発表はない。

The New MAN B&W ME-LGIP Engine

LGIP Technologies Confirmed at RCC - LGIP Injection Concept

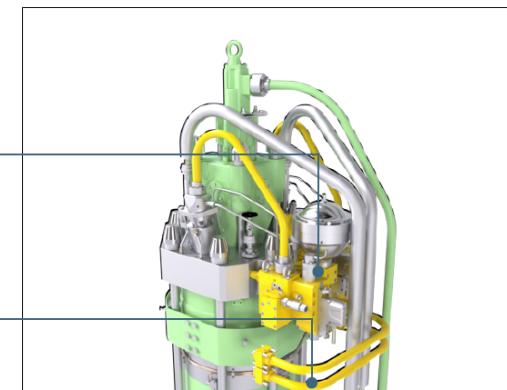
Cylinder cover with LPG injection valve and gas block – same system to be used for NH₃

Valve control block:

- ELWI-valve (fuel pressurization)
- ELGI-valve (injection timing)
- Hydraulic accumulator
- Hydraulic and sealing oil connections

Double wall gas piping:

- LPG inlet
- LPG return



MAN Energy Solutions

Public

Lars R. Juliusen – Research Centre Copenhagen – ©2018 03.09.2018 10

MAN社アンモニア焚機関資料より抜粋²⁾

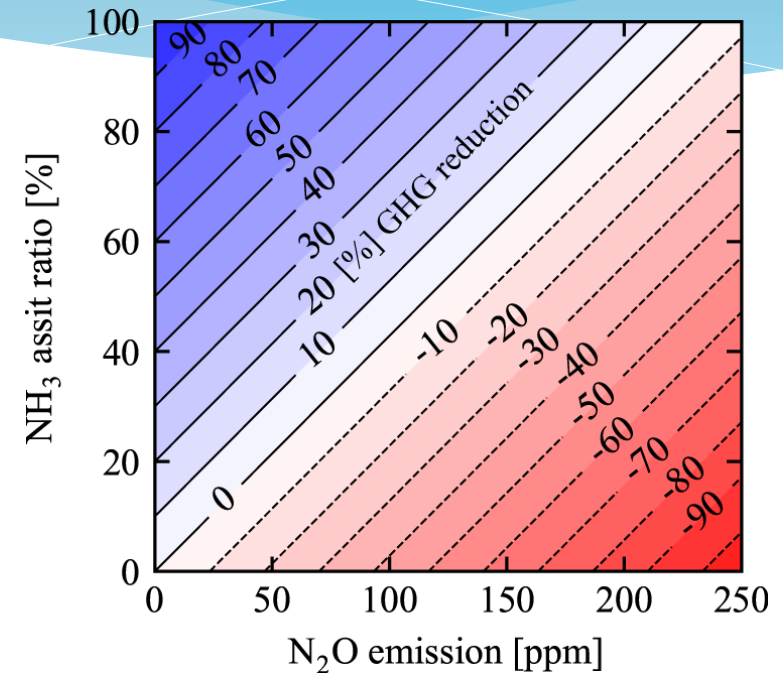
- 2) <https://www.ammoniaenergy.org/paper/ship-operation-using-lpg-and-ammonia-as-fuel-on-man-bw-dual-fuel-me-lgip-engines/>
- 3) <https://www.wartsila.com/media/news/25-03-2020-wartsila-advances-future-fuel-capabilities-with-first-ammonia-tests-2670619>
- 4) <https://www.imazo.co.jp/news/200430/>
- 5) <https://www.ammoniaenergy.org/articles/ammonia-fueled-ships-entering-the-design-phase/>

アンモニアエンジンの課題



アンモニアエンジンの課題

- ◆ 体積当たりの発熱量が小さい。軽油・重油の3分の1程度
- ◆ 軽油・重油に比べて、燃えにくい。
(着火・燃焼の方法、未燃NH₃の排出)
- ◆ 燃焼時に温室効果ガス(GHG)であるN₂Oを排出する恐れがある。(CO₂の310倍の温室効果)



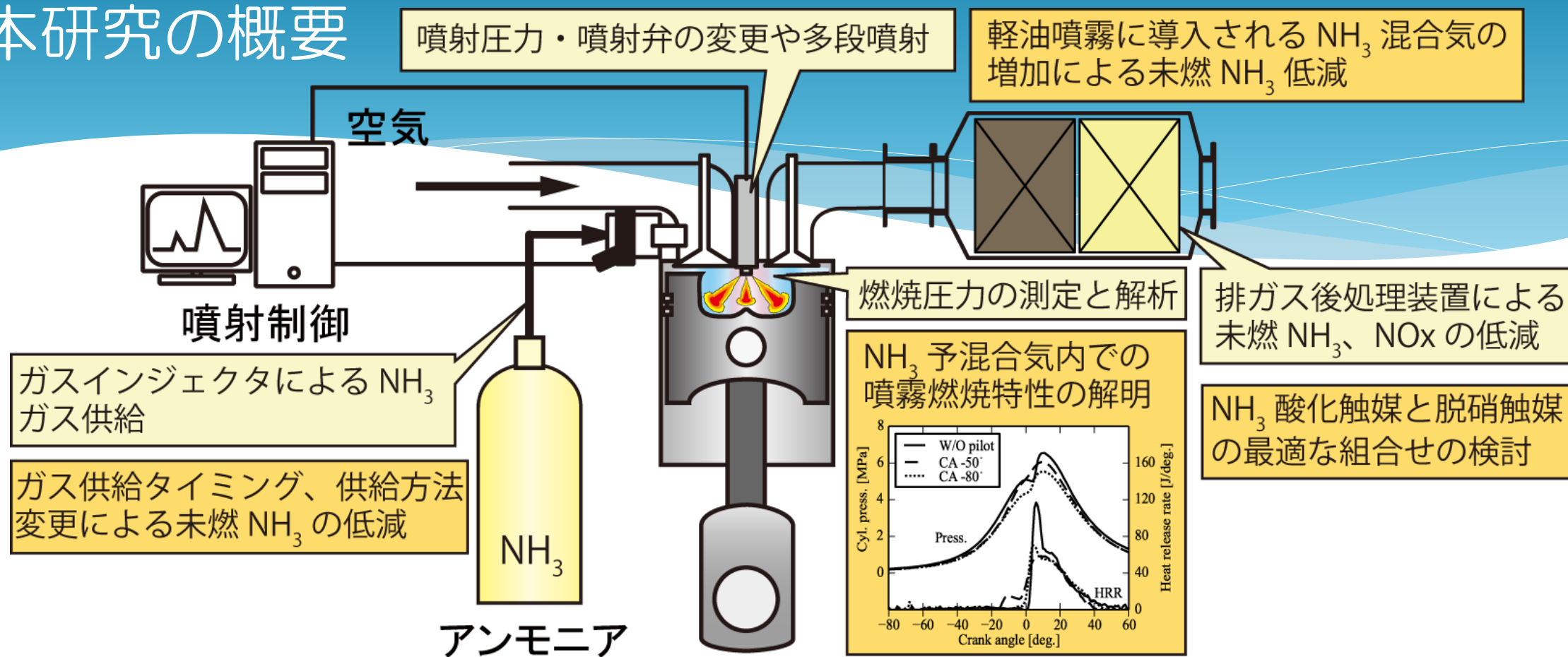
Inhibition effect of N₂O on GHG reduction ratio

小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

- (1) 本研究の概要
- (2) 実験装置概要
- (3) アンモニア混合の影響
- (4) 軽油早期噴射による燃焼改善



本研究の概要

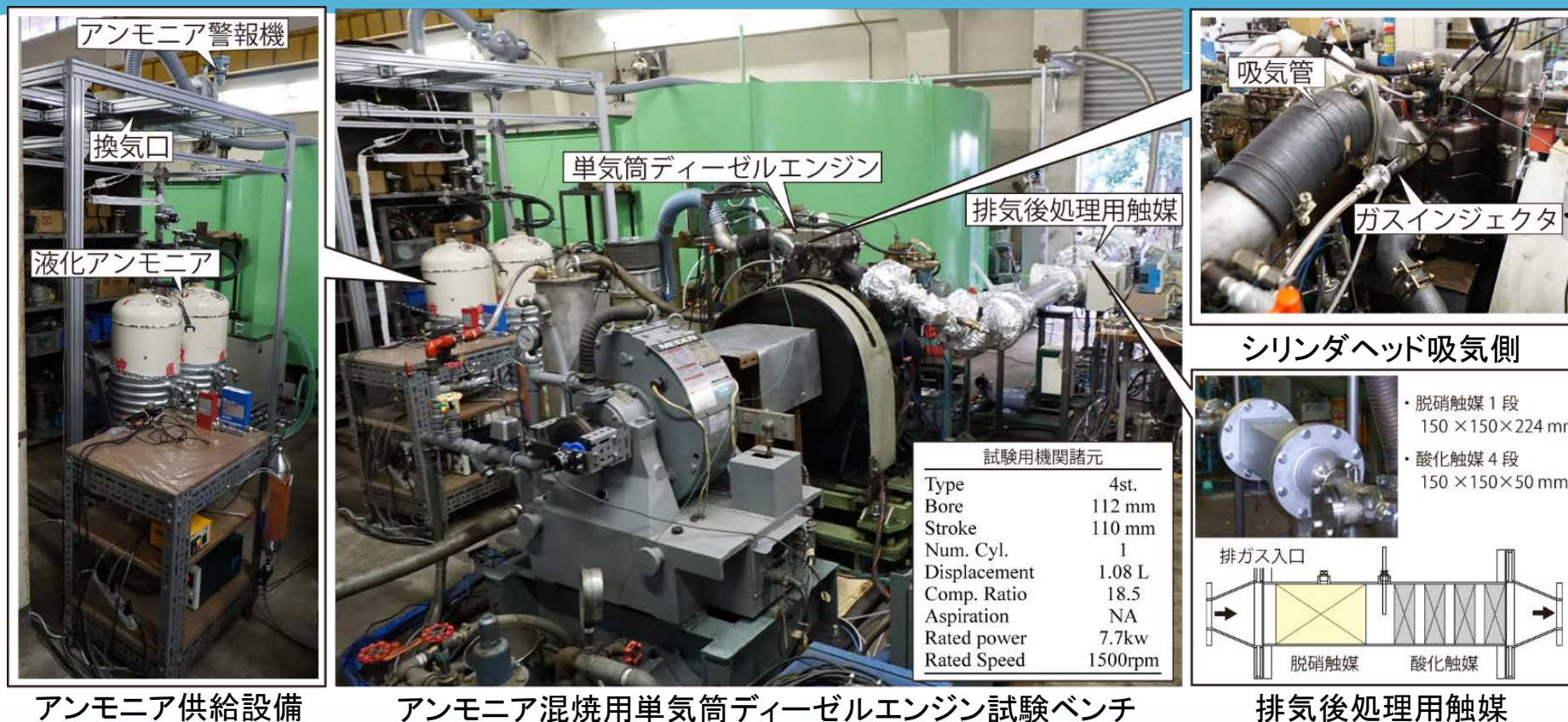


研究概要

ディーゼル機関での NH_3 燃焼方式の検討をするために、ディーゼル機関の吸気にアンモニアガスを混合し、燃焼生成物・筒内圧力の計測及び燃焼解析を行う。

小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

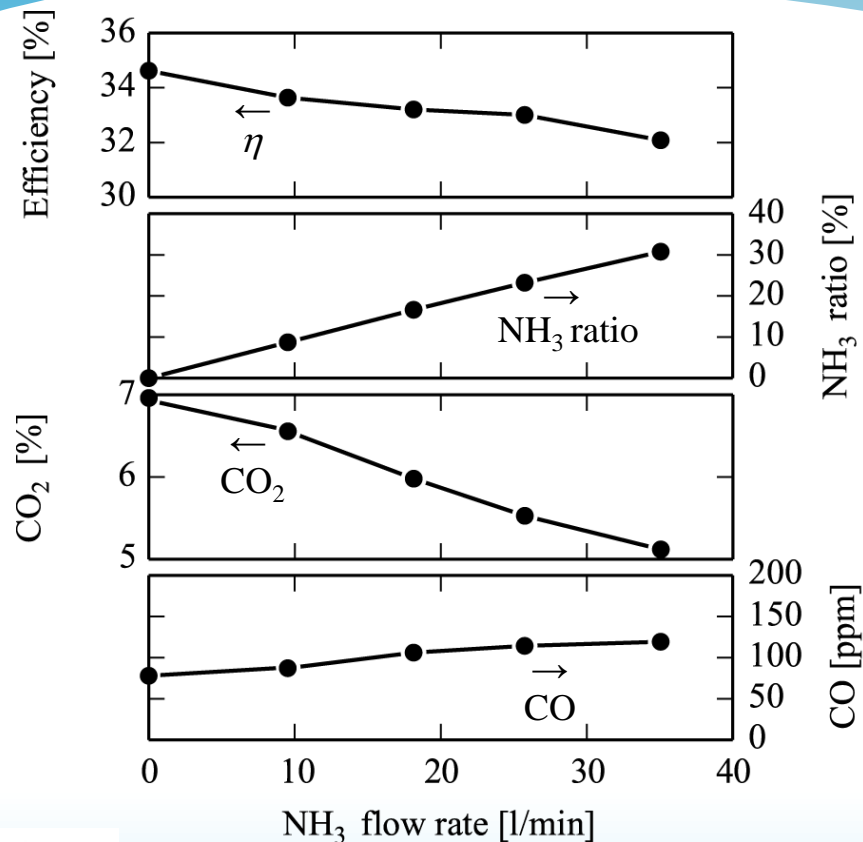
(1) 実験装置概要



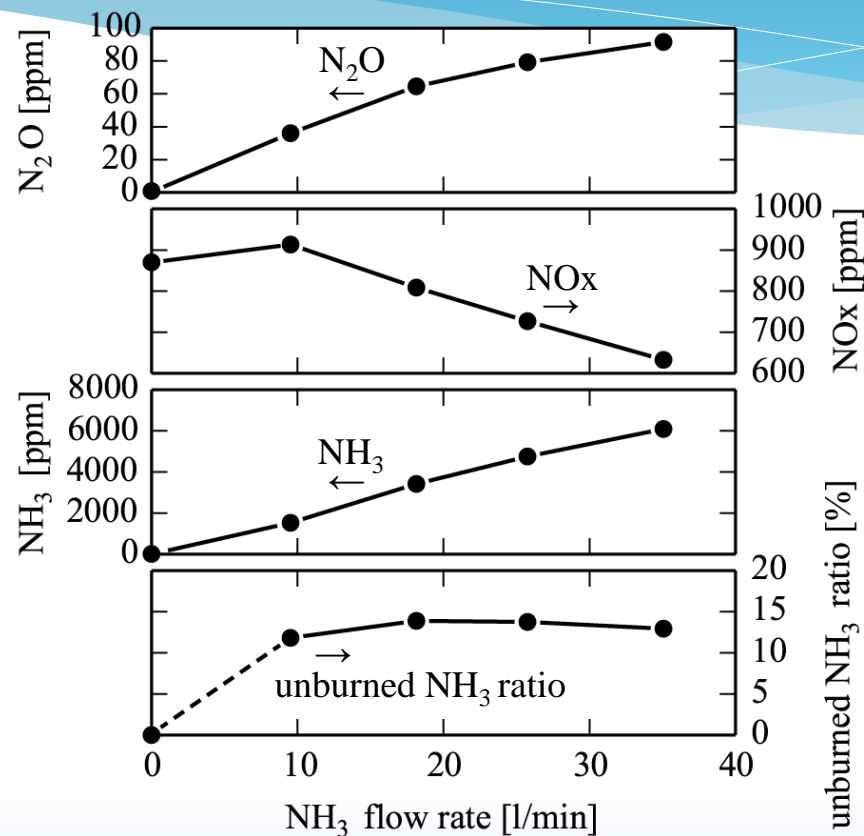
- ◆ 液化アンモニアタンクを保温することでアンモニアガスを安定して供給できる。
- ◆ 筒内圧力計・吸排気絶対圧力計・アングルエンコーダを設置した。
- ◆ 排ガス分析は、FTIR(岩田電業)及びFID(CAI600)を使用している。

小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

(2) アンモニア混合の影響



Efficiency, NH_3 ratio, and emissions
(1500 min^{-1} , 51 Nm, 8 kW)

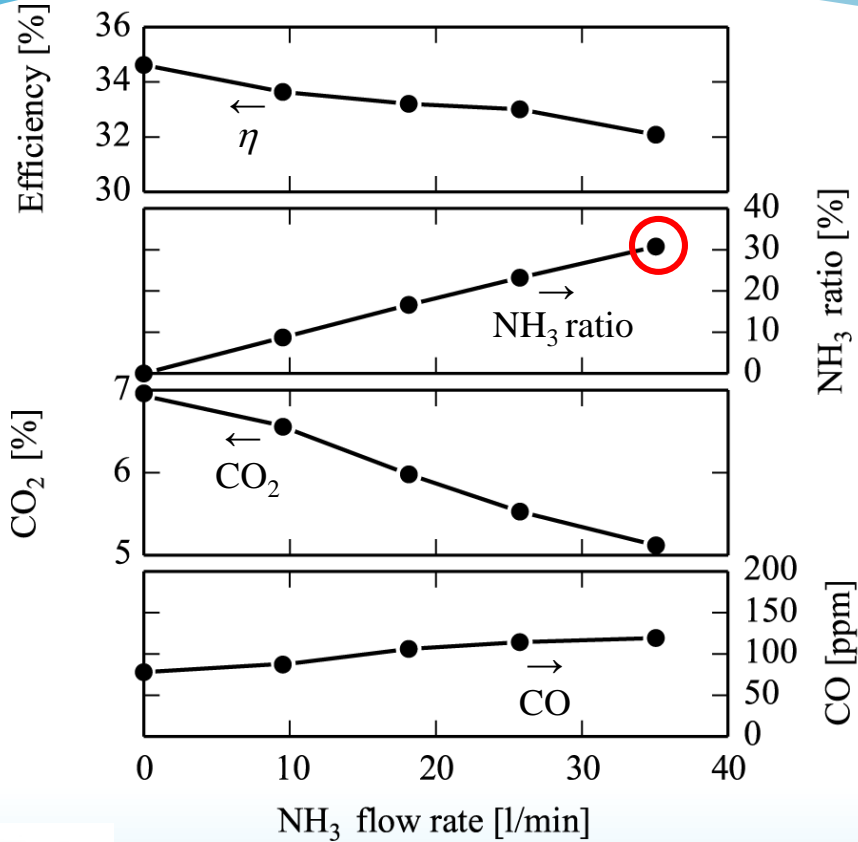


Emissions and unburned NH_3 ratio
(1500 min^{-1} , 51 Nm, 8 kW)

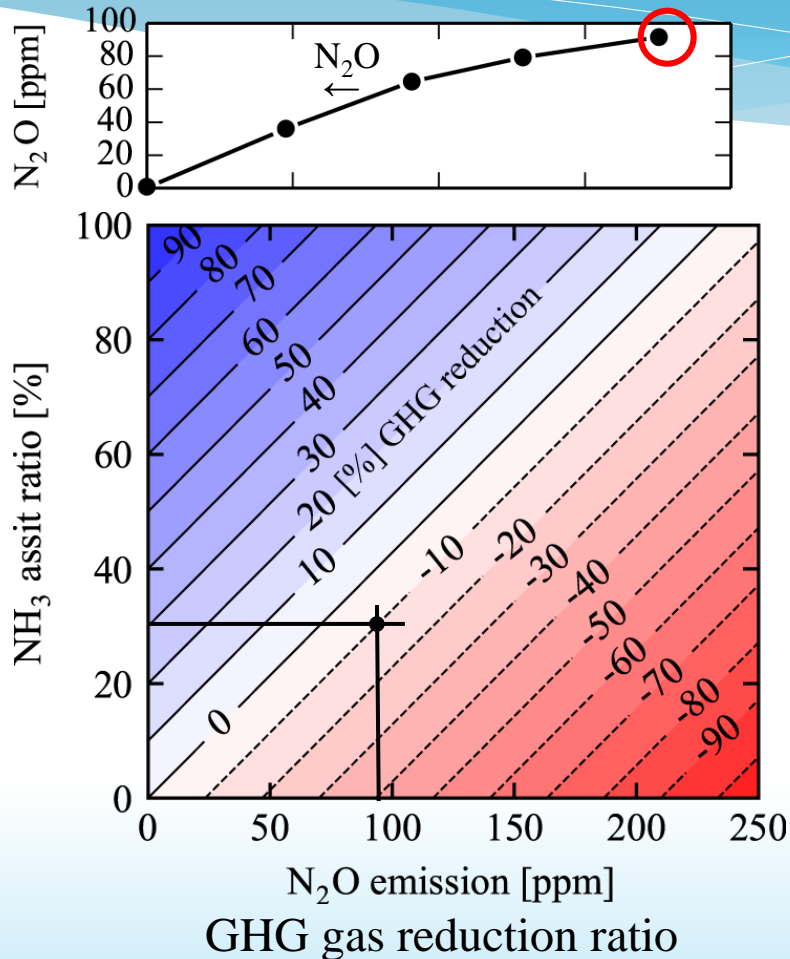
- ◆ 混焼率は、最大で30%程度、未燃率は14%程度であった。
- ◆ アンモニアの混合により、 CO_2 は低減されるが、 N_2O の排出量増加が確認された。
- ◆ N_2O は、 CO_2 の310倍程度の温室効果を持つので、 N_2O の排出には注意が必要である。

小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

(2) アンモニア混合の影響



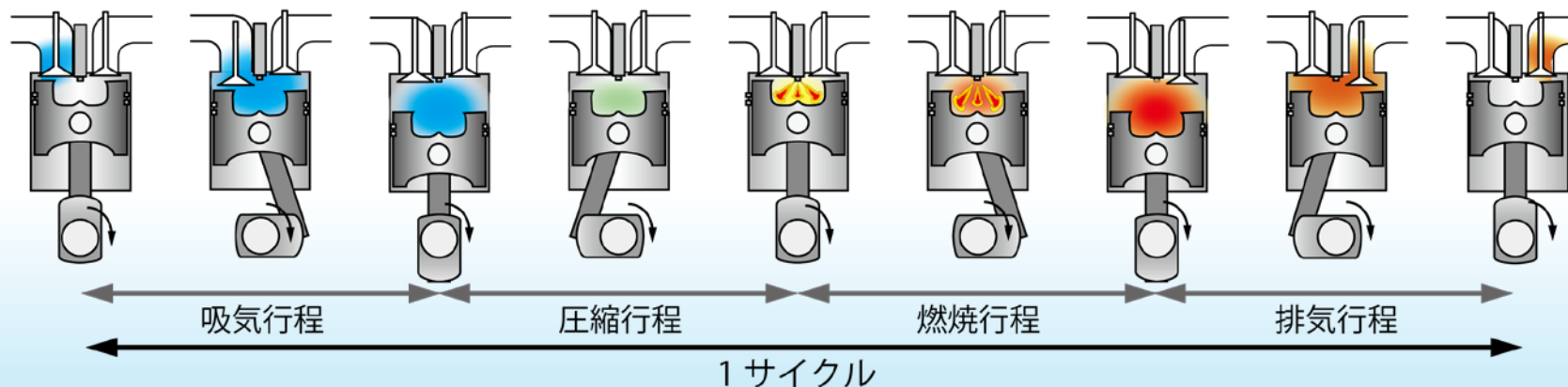
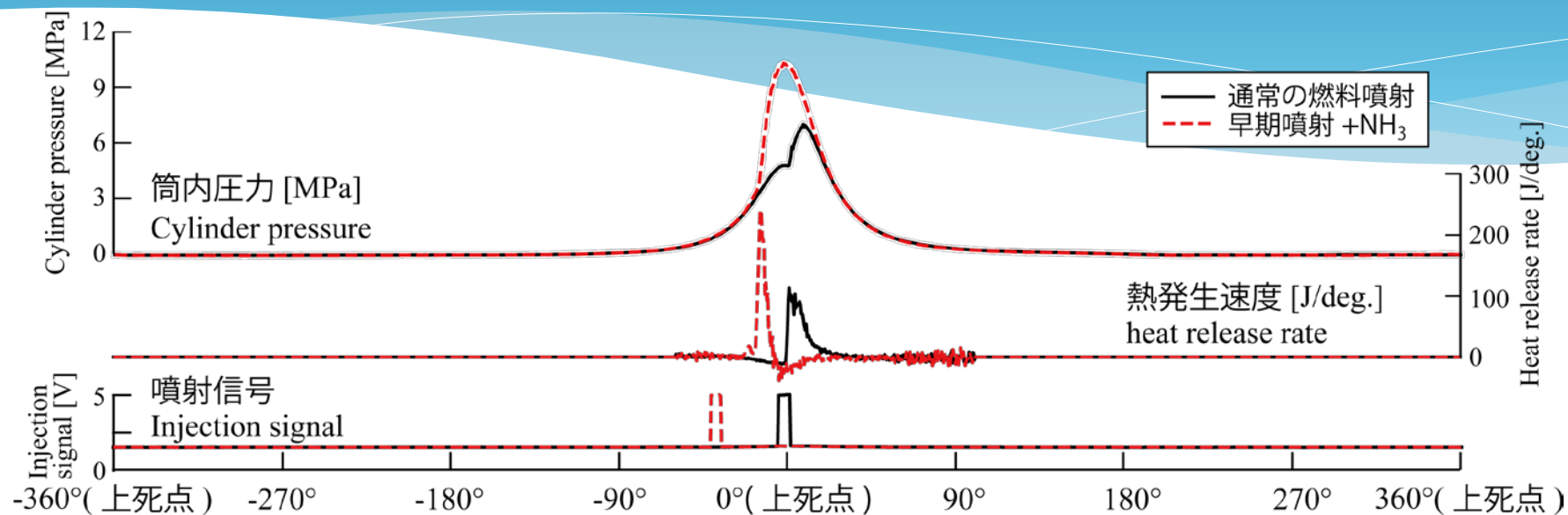
Efficiency, NH₃ ratio, and emissions
(1500 min⁻¹, 51Nm, 8 kW)



- ◆ 混焼率は、最大で30%程度、未燃率は14%程度であった。
- ◆ アンモニアの混合により、CO₂は低減されるが、N₂Oの排出量増加が確認された。
- ◆ N₂Oは、CO₂の310倍程度の温室効果を持つので、N₂Oの排出には注意が必要である。

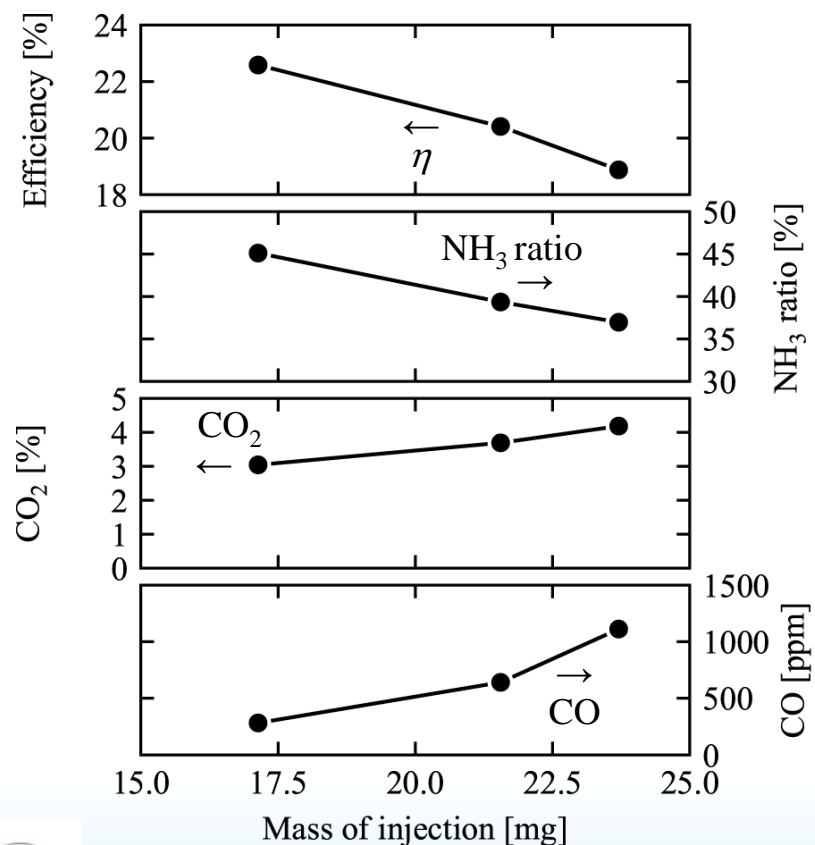
小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

(3) 軽油早期噴射による燃焼改善(早期噴射の適用)

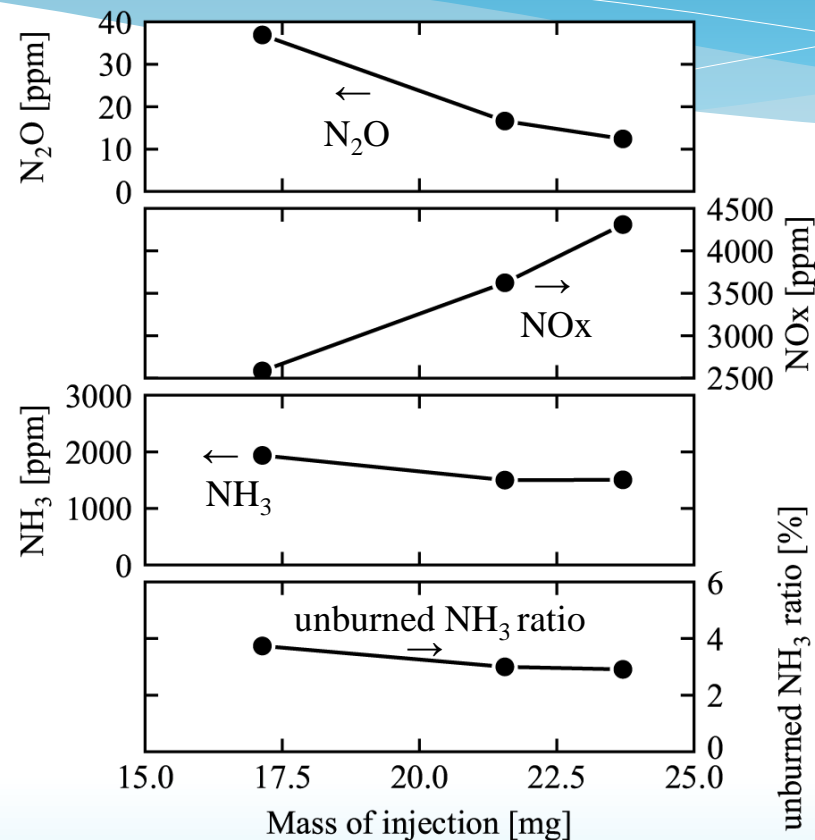


小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

(3) 軽油早期噴射による燃焼改善 (早期噴射 + NH₃ 流量固定)



Efficiency, NH₃ ratio, and emissions
(1500 min⁻¹, pilot 40 BTDC, NH₃ 34 l/m)

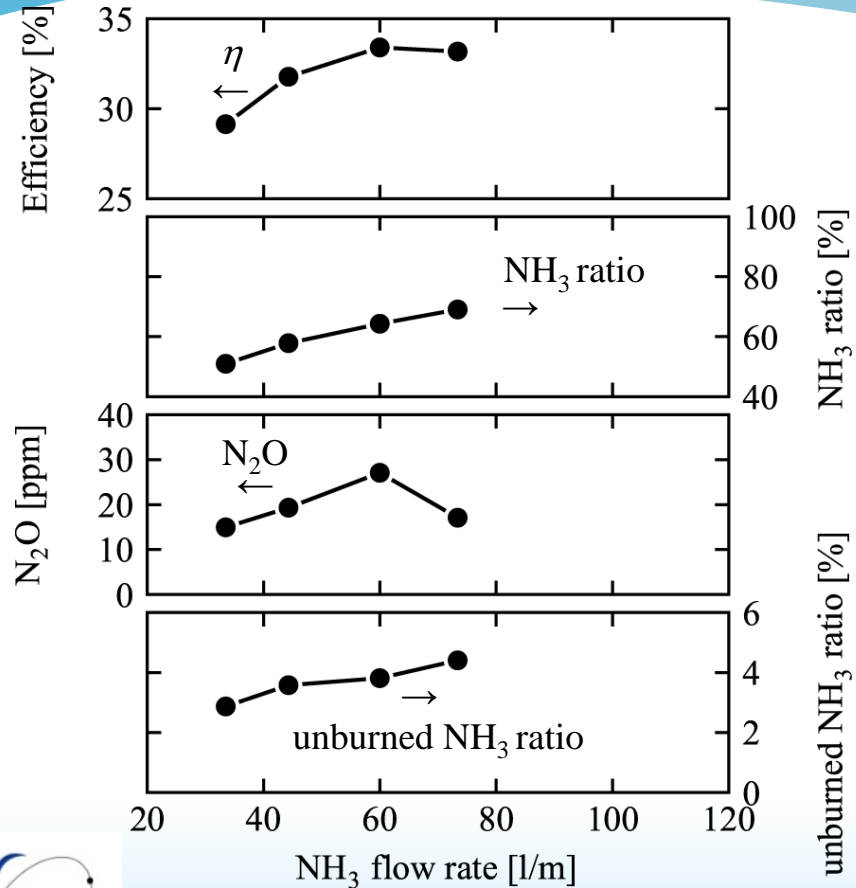


Emissions and unburned NH₃ ratio
(1500 min⁻¹, pilot 40 BTDC, NH₃ 34 l/m)

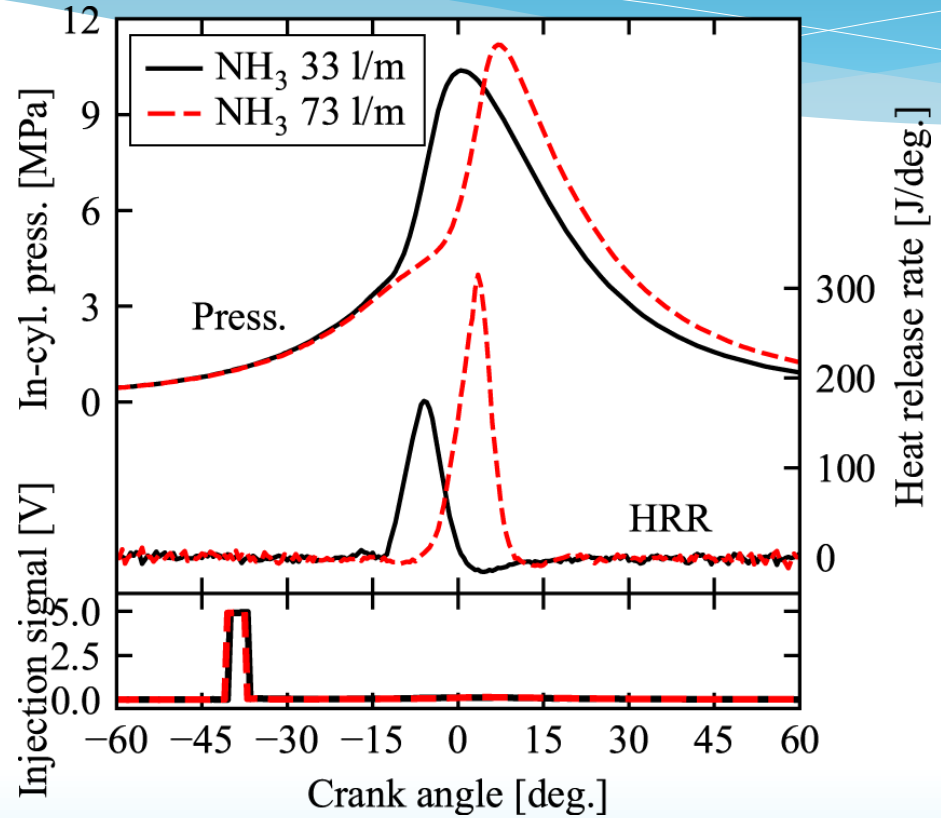
- ◆ 通常の燃料噴射タイミングよりも、早期に燃料を噴射すること(早期噴射、パイロット噴射)により、未燃NH₃、N₂Oの削減に効果があることを確認した。
- ◆ 通常噴射時と比較して、NH₃未燃率は14→4%以下、N₂Oは90→40 ppm以下であった。
- ◆ NH₃を吸気に混合した場合と比較すると、CO、NOxの増大、熱効率の低下が確認できる。

小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

(3) 軽油早期噴射による燃焼改善 (早期噴射固定 + アンモニア流量の増加)



Efficiency, NH₃ ratio, and emissions
(1000 min⁻¹, pilot 40BTDC, 20 mg)

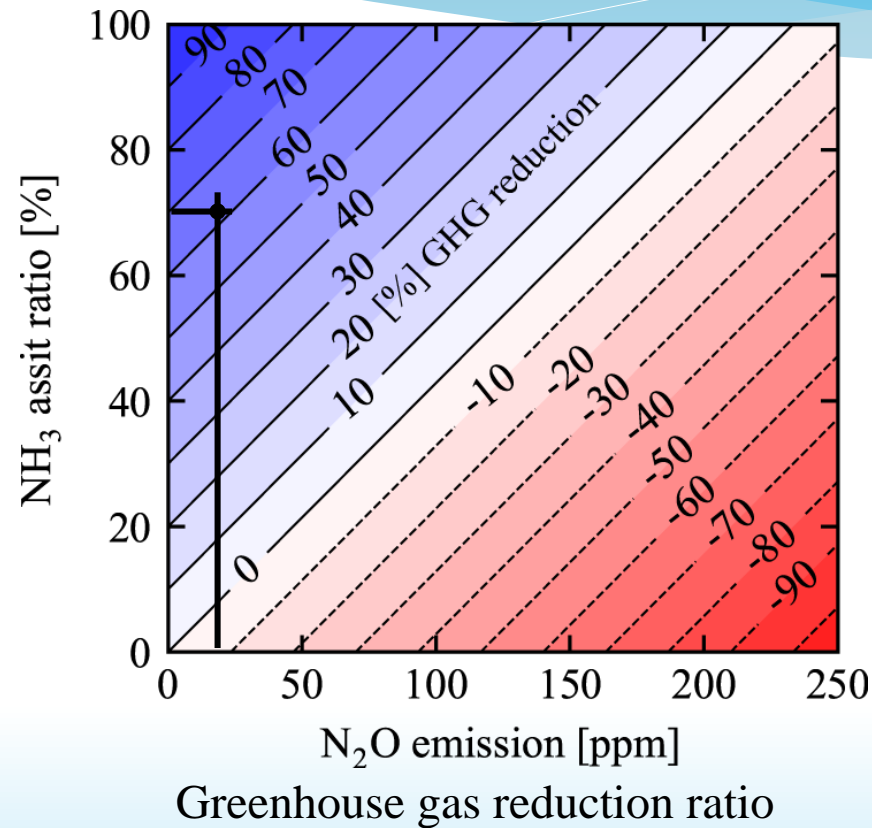
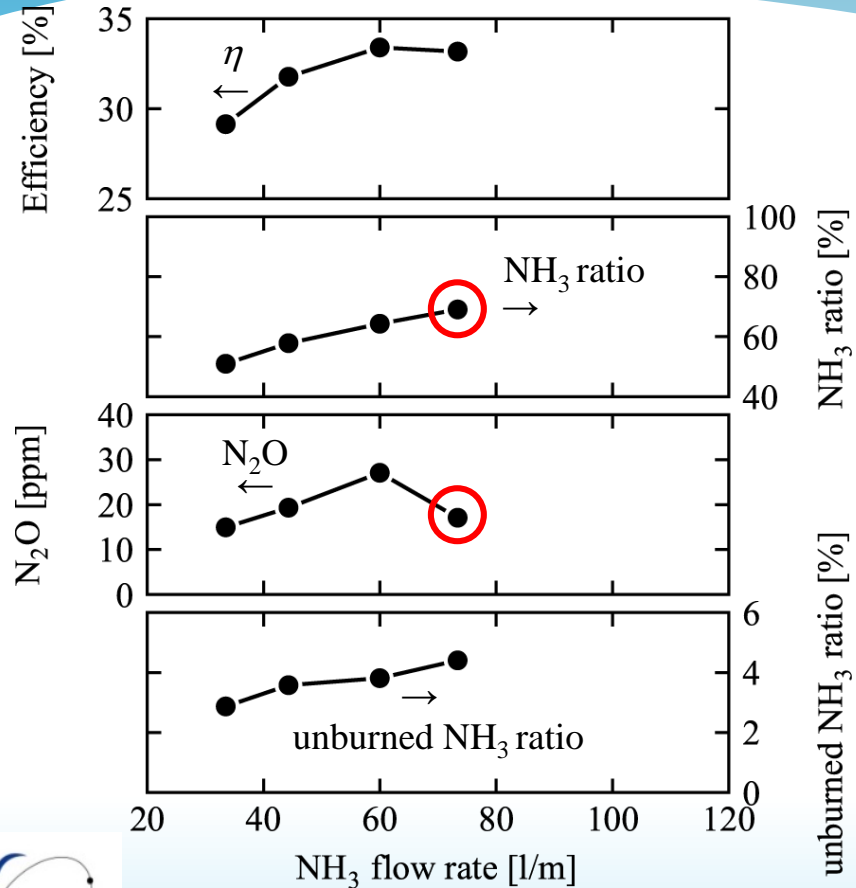


Cylinder press. heat release rate, cum. HRR,
and injection signal
(1000 min⁻¹, pilot 45BTDC, 20 mg)

- ◆ NH₃噴射量を33から73 L/mに増加させた。
出力: 4.2から7.7 kW
NH₃混焼率: 51から69%
- ◆ NH₃流量の増加により、
着火時期が遅れている。
軽油とNH₃の混合比の調整によっても着火を制御
できる可能性がある。

小型ディーゼルエンジンによるアンモニア混焼試験

(3) 軽油早期噴射による燃焼改善(早期噴射固定+アンモニア流量の増加)



- ◆ NH₃噴射量を33から73 L/mに増加させた。
出力:4.2から7.7 kW
NH₃混焼率:51から69%
- ◆ NH₃流量の増加により、着火時期が遅れている。軽油とNH₃の混合比の調整によっても着火を制御できる可能性がある。



Efficiency, NH₃ ratio, and emissions (1000 min⁻¹, pilot 40BTDC, 20 mg)



まとめ



まとめ

- ① NH_3 は、水素に比べて液化しやすいため貯蔵や運搬が比較的容易であり、既にタンクや液化アンモニア運搬船を用いて流通されており、船用燃料として利用可能な環境が整っている。
- ② NH_3 は、現状では炭化水素燃料を原料として製造されているため、代替燃料として利用する場合、カーボンキャプチャ技術や再生エネルギーを利用して製造された水素からの NH_3 合成が必要である。
- ③ 小型ディーゼル機関の吸気に NH_3 ガスを導入し、軽油と混焼させると CO_2 低減効果は得られるが、未燃 NH_3 や温室効果のある N_2O の排出量の増加に注意が必要である。
- ④ 電子制御噴射弁による軽油の早期噴射により、未燃 NH_3 及び N_2O の低減に効果があることを確認した。

