



# e-fuel : CO<sub>2</sub> と再生可能エネルギーから作る 合成燃料 - OME の燃料特性

金野 満

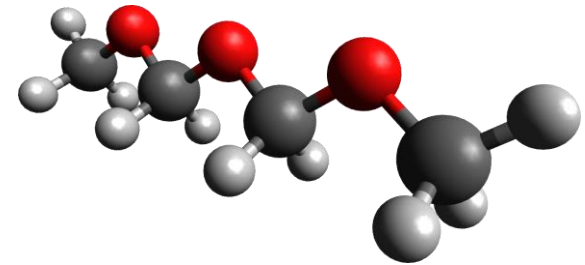
(茨城大学大学院 工学野 機械システム工学領域)

カーボンリサイクル技術により捕集した CO<sub>2</sub> と再生可能エネルギー由来の H<sub>2</sub> から合成する液体燃料 : e-fuel は、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度削減に貢献し (Carbon Negative) , バッテリーに比べてエネルギー密度が高いため、次世代モビリティのエネルギー源として注目され始めている。当講演では、ディーゼルエンジンの代替燃料候補の一つである Polyoxymethylene dimethyl ether (OME) の燃料特性を紹介する。また、次世代モビリティ教育研究センターで実施しているガソリンエンジン用代替燃料や燃料電池の研究を紹介する。

# 本日の講演内容

---

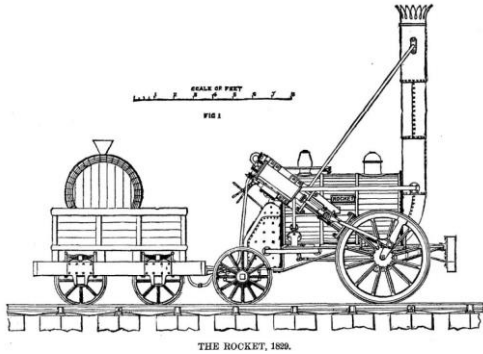
- e-fuelとは？
- ディーゼル代替燃料OME
- OMEの燃料物性
- OME燃料を用いたときのエンジン性能/燃焼観察
- 次世代モビリティセンター・エネルギー分野  
その他の研究(ガソリン代替燃料, 燃料電池)



# 100年に一度の大改革期

蒸気機関車 19世紀

内燃機関自動車 20世紀



スチーブンスンのロケット号 1829年

T型フォード 1908 - 1927年

CASE

Connected  
Autonomous  
Shared  
Electrified

21世紀

?

読売新聞朝刊 2020年12月4日

## 新車は「電動」30年代半ば

経産省 年内に実行計画策定

経産省は、2030年代半ばに国内で販売される全ての新車について「電動」(EV)や燃料電池車(FCEV)の割合を50%以上にする目標を掲げ、年内に実行計画を策定する。EVの割合は、2030年代半ばに50%以上とする。FCEVは、2030年代半ばに10%以上とする。また、EVの割合は、2030年代半ばに50%以上とする。FCEVは、2030年代半ばに10%以上とする。

年次	EV	FCEV
2019年	4%	61%
2030年(時点)	50-70%	30-50%
2030年(半ば)	100%	0%

脱ガソリン 排出削減加速

読売新聞朝刊2020年12月4日

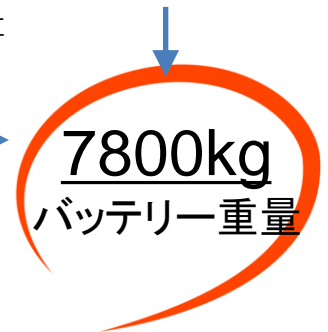
# バッテリー容量と燃料の発熱量の比較

エネルギー単位の変換 : 1kWh = 3.6 MJ  
 ガソリン／軽油のエネルギー : 33／35 MJ/L

車種	日産リーフ	三菱i-MiEV	BMW i3	テズラ S	トヨタヤリス (ガソリン)	10tトラック (軽油)
容量	62 kWh	16 kWh	42.2 kWh	100 kWh	40 L	400 L
エネルギー	223 MJ	58 MJ	152 MJ	360 MJ	1320 MJ	14,000 MJ
重量	440kg	80kg <sup>*1</sup>	210kg <sup>*1</sup>	500kg <sup>*1</sup>	31.2kg <sup>*2</sup>	332kg <sup>*3</sup>

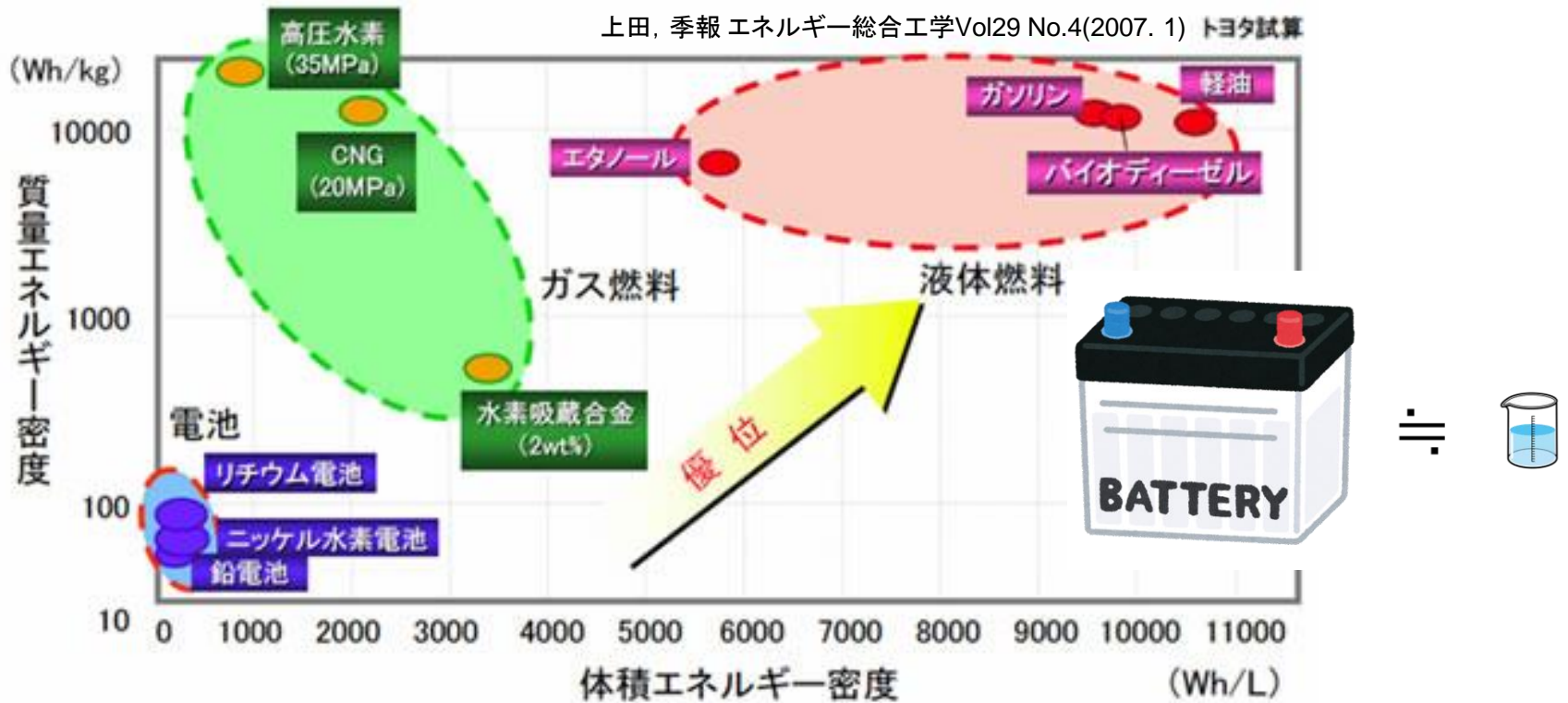
\*1 200Wh/kgとして計算, \*2 ガソリンの密度0.78kg/Lとして計算, \*3 軽油の密度0.84kg/Lとして計算

リチウムイオン電池の開発目標値@2030\* = 1.8MJ/kg  
 乗用車はBEV化は可能かもしれないが、  
 重量貨物車の電動化は現状の電池技術では難しい。



\* 二次電池技術開発ロードマップ2013

# 様々なエネルギー源のエネルギー密度



バッテリーのエネルギー密度は液体燃料の1/20~60, 水素は1/10  
**液体燃料は高エネルギー！**

## トヨタ・日産・ホンダが本腰、炭素中立エンジンに新燃料

日経クロステック

2020.07.03

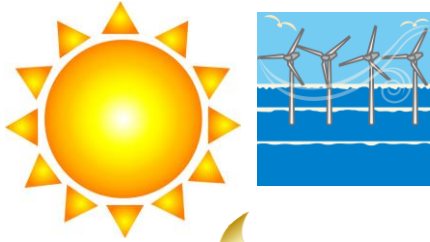
トヨタ自動車や日産自動車、ホンダはそれぞれ、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と水素(H<sub>2</sub>)の合成液体燃料「e-fuel」の研究開発に本腰を入れる。エネルギー生成段階を含むハイブリッド車(HEV)のCO<sub>2</sub>排出量で、電気自動車(EV)を下回る水準を目指す。2030年に一層厳しくなる環境規制に備える。



(出所：Audi)

# e-fuel

再生可能エネルギー

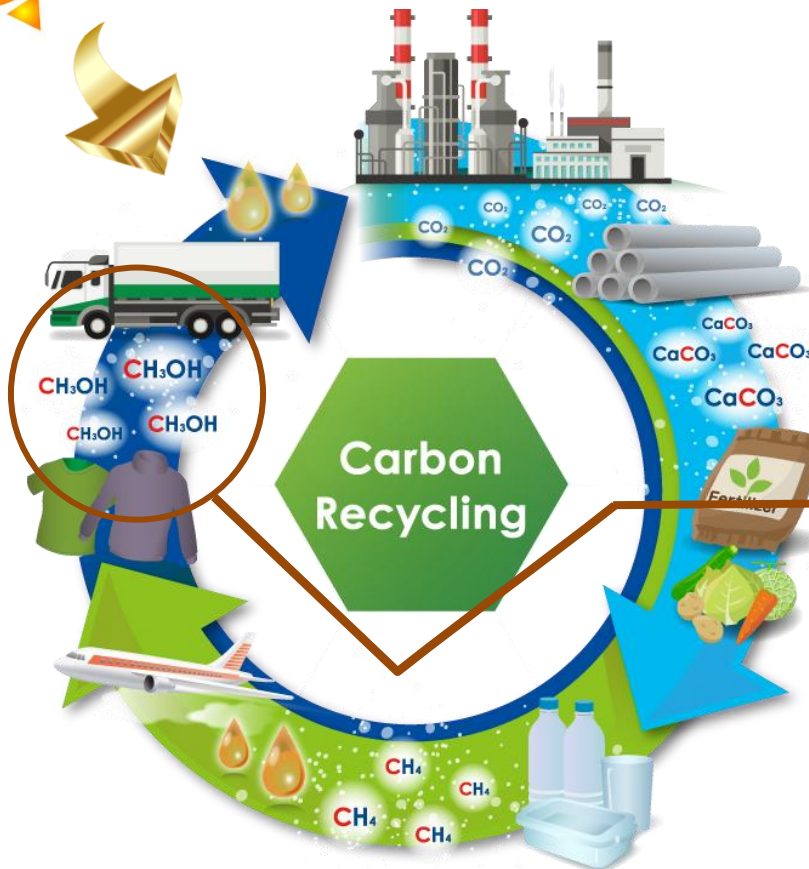


回収CO<sub>2</sub>と再生可能エネルギー由来のH<sub>2</sub>から合成する燃料



**e-fuel**

- 高エネルギー密度
- 長期貯蔵が可能  
⇒ 需給アンバランスの解消
- ハンドリング性に優れる



ガソリン代替

メタン, メタノール, フラン,  
e-ガソリン,

軽油代替

DME, **OME**

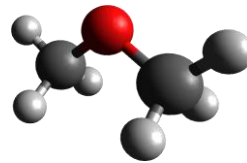
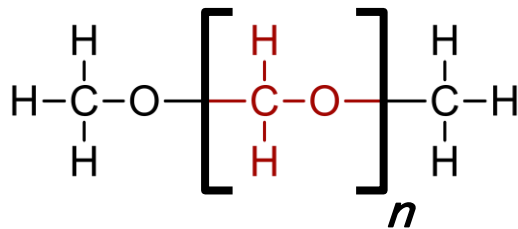
# OMEとは？

## Polyoxymethylene Dimethyl Ethers

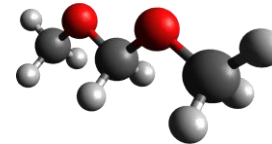
CH<sub>3</sub>-O - (CH<sub>2</sub>-O)<sub>n</sub> - CH<sub>3</sub>の分子構造を持つ分子の総称

合成燃料のひとつで、軽油の代替燃料として期待されている。最近、欧州や中国を中心に研究が始まった。

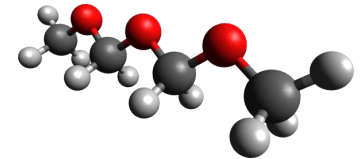
### OMEの構造



DME  
 $n=0$



DMM  
 $n=1$



OME<sub>2</sub>  
 $n=2$

### OMEの特徴

#### ハンドリング性が良い

OME<sub>2</sub>~は標準状態で液体のため、保管や運搬が容易である。軽油に混合できる。

#### 無煙燃焼する

酸素分子を含むことから、燃焼の際に殆ど煤が発生しない。ただし、発熱量は軽油の半分以下。

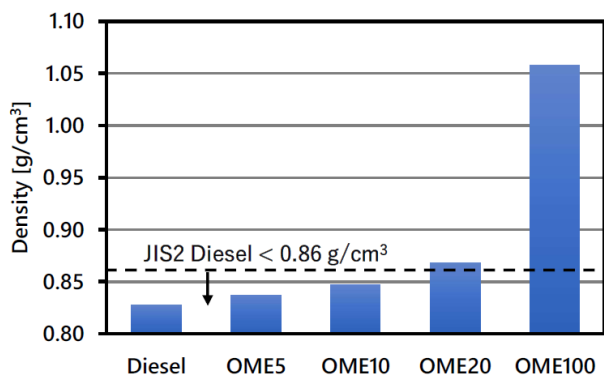
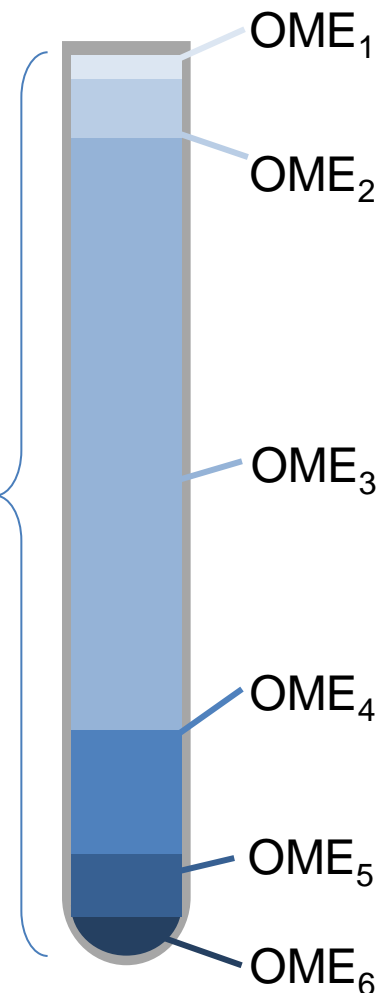
#### 着火性に優れる

セタン価が軽油より高い。

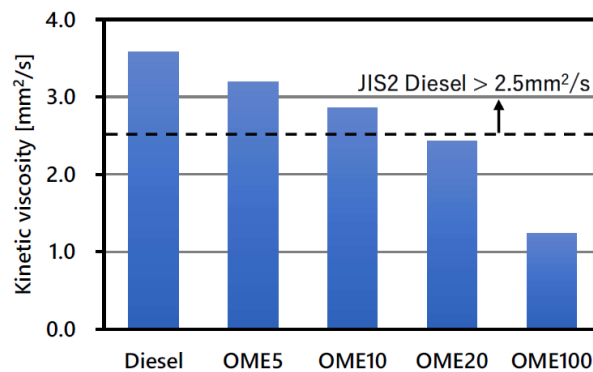


# OME混合燃料の物性

	軽油	OMEを軽油に混合		OME100%
Fuel name	Diesel fuel	OME10	OME20	OME100
OME fraction [wt%]	0	10.8	21.5	100
Cetane number	53.3	55.5	59.0	56.6
Distillation (10,90%) [°C]	208~333	180~332	168~328	159~210
Pour point [°C]	-25.0	-27.5	-32.5	-40.0
Density [g/cm <sup>3</sup> ]	0.824 (293 K)	0.844 (293 K)	0.864 (293 K)	1.052 (293 K)
Lower heating value [MJ/kg]	43.08	40.25	37.49	19.44
A/F <sub>stoich</sub> [-]	14.61	13.75	12.88	5.97

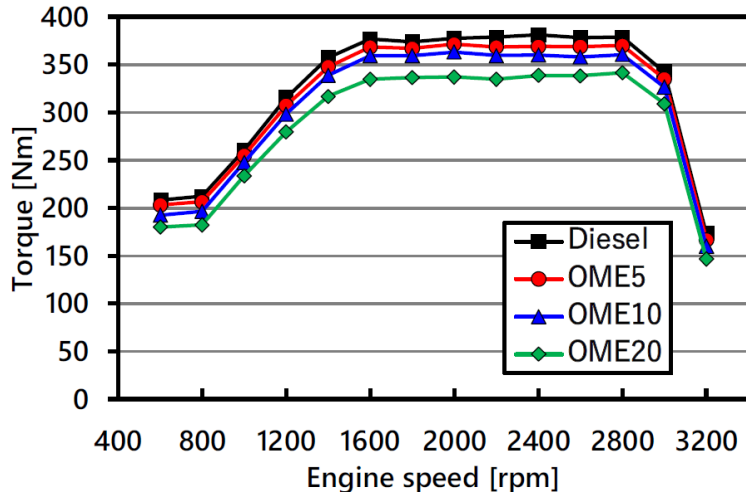


OME混合燃料の密度

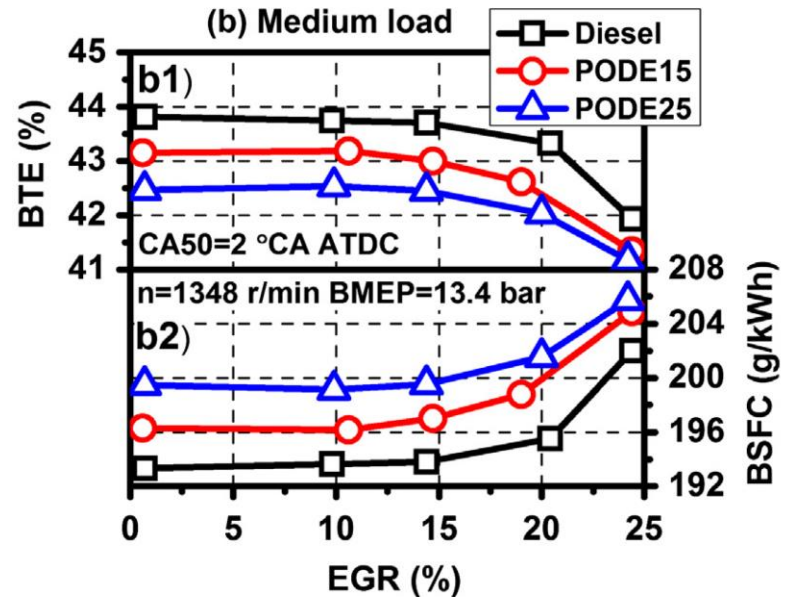


OME混合燃料の動粘度

# エンジン性能



3L, 直4過給, Euro V対応機関の性能  
森田ら, 第31回内燃機関シンポジウム, 2020

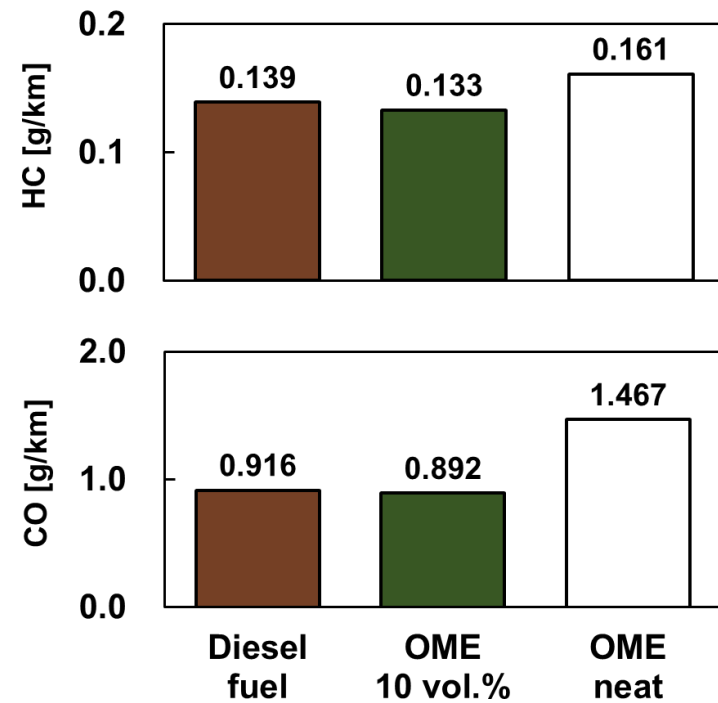
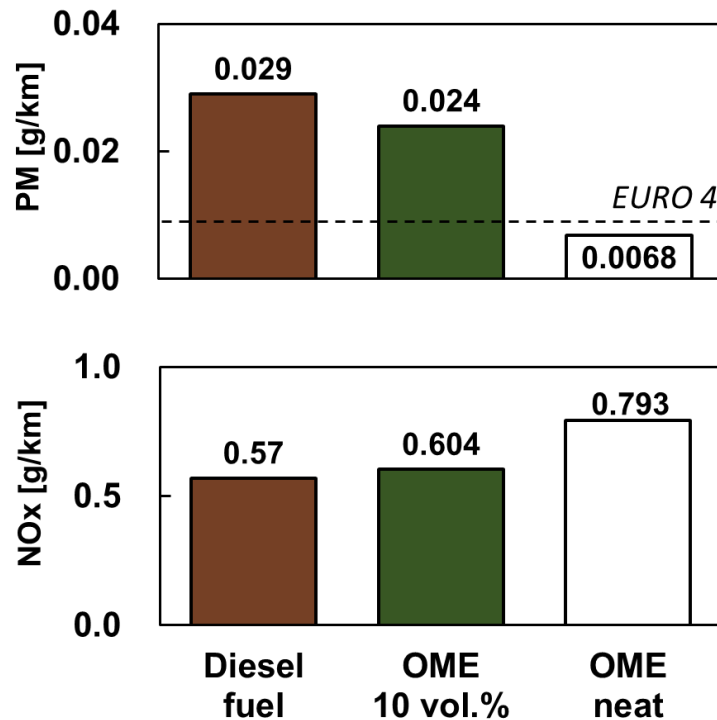


8.4L, 直6過給機関の性能  
Jialinら, Fuel, Vol. 177, pp. 206-216

燃料特性に合わせたエンジンの調整を行わないと,

- OMEが混合すると発熱量が減少するため出力が低下
- 燃焼期間の増加?, 熱損失の増加?などにより熱効率が低下

# 排気性能



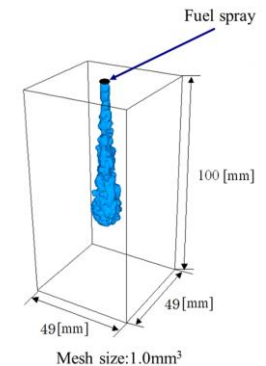
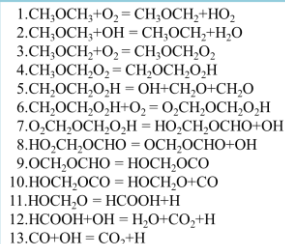
1.9L, 直4過給機関の排気性能  
Leonardoら, SAE 2013-01-1035, 2013

- OMEが混合するとPMが大きく減少
- CO, HCは大きな変化なし
- NO<sub>x</sub> 排出量は増加？

# OME燃料の噴霧特性，燃焼特性の把握

OMEの特性に合わせた既存エンジンの最適化，OME専用エンジンの開発には，ディーゼル燃焼を支配する噴霧および燃焼特性の把握が必要

- ⇒ 噴霧特性，燃焼特性の把握
- ⇒ OMEの酸化反応モデル
- ⇒ 分裂，蒸発，周囲気体との混合過程の噴霧モデル



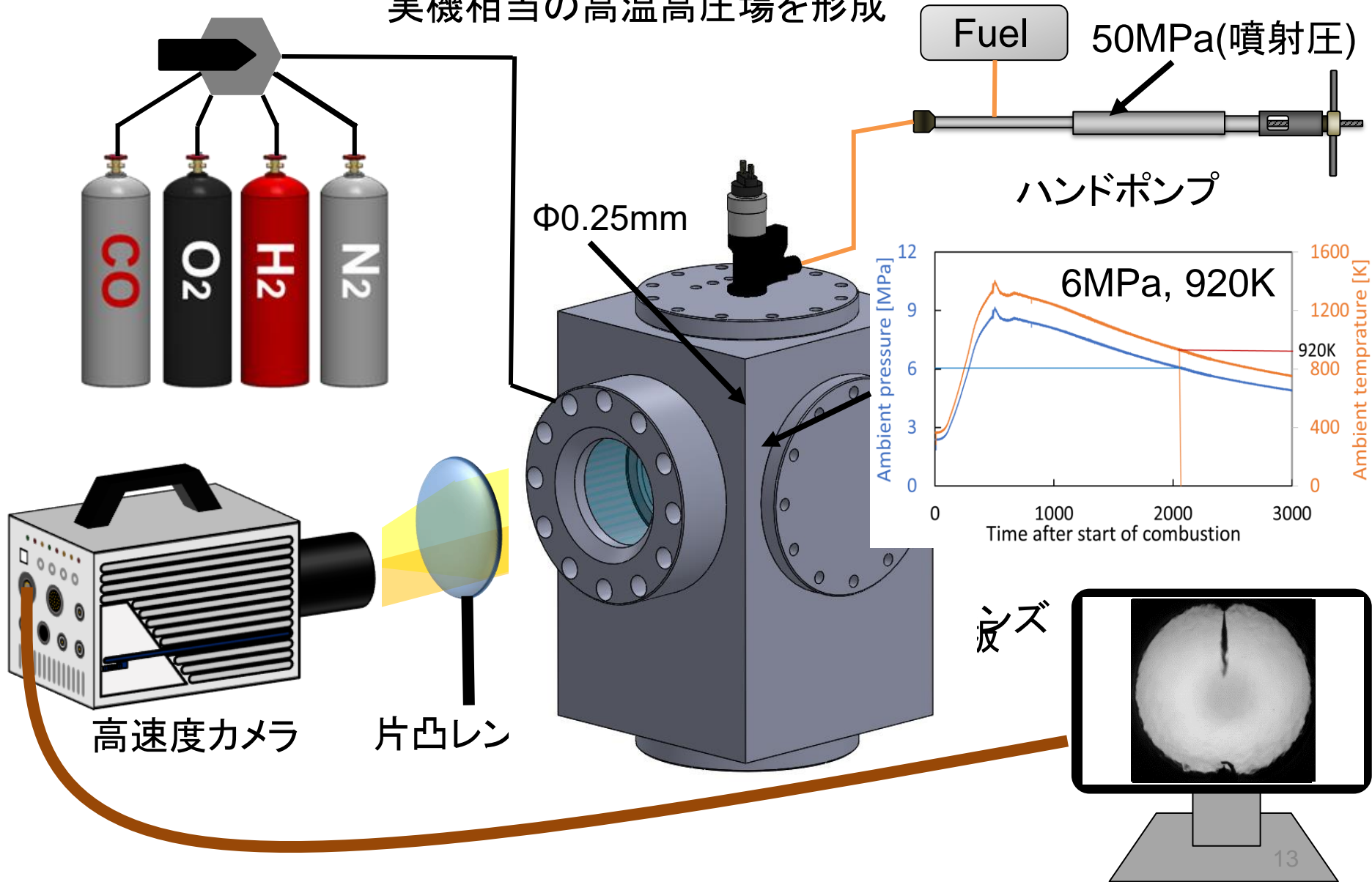
OMEが軽油に混合して用いられることを想定し，同一噴射条件におけるOME軽油混合燃料の蒸発性を含めた噴霧特性と軽油にOMEを混合した際の燃焼特性への影響を把握する



定容容器内に形成した高温高圧場において単噴孔インジェクタから噴射したOME軽油混合燃料の非燃焼噴霧および燃焼噴霧の観察を行い，同条件における軽油およびOME噴霧と比較した

# 噴霧観察のための実験装置

実機相当の高温高圧場を形成



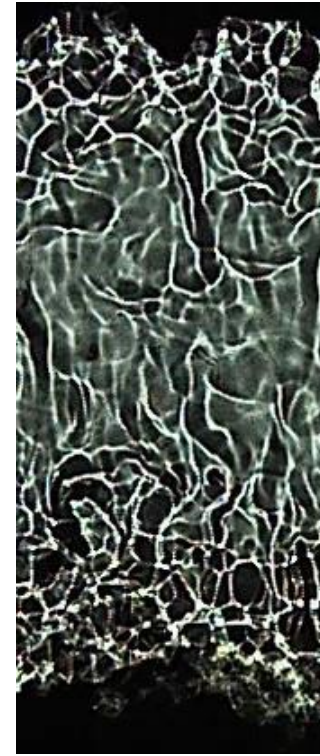
# 燃焼噴霧の比較



Diesel fuel



OME20

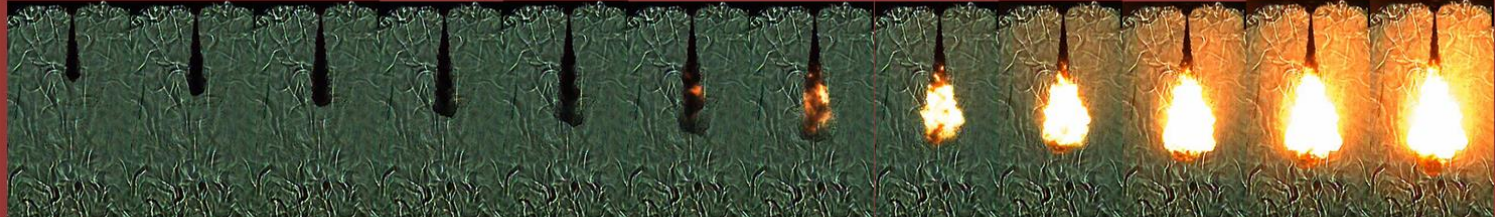


OME100

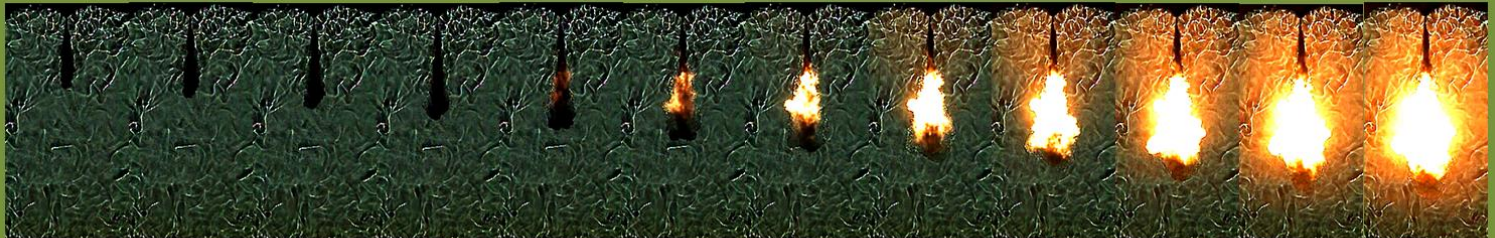
- ・OME100の火炎輝度が最も低い ⇒ PM生成が極めて少ない
- ・OME20の火炎輝度は軽油と変わらない
- ・着火遅れはOME100, OME20, 軽油の順に短い

# 燃焼噴霧の観察結果

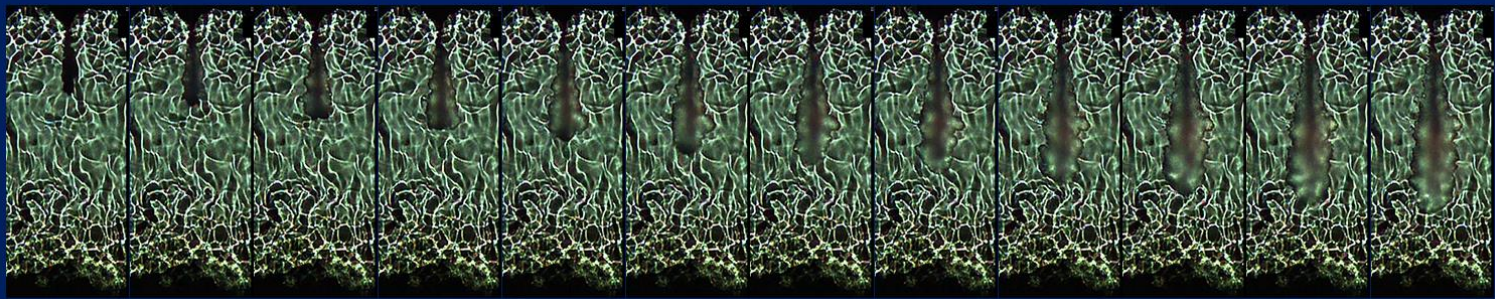
Diesel fuel Shadowgraph



OME20 Shadowgraph



OME100 Shadowgraph



0.14 0.18 0.22 0.26 0.30 0.34 0.38 0.42 0.46 0.50 0.54 0.58ms

- 火炎輝度はOME100が最も低く、OME20は軽油と同程度
- 着火はOME100, OME20, 軽油の順に早い
- フレームリフトオフ長さはOME100, OME20, 軽油の順に短い<sup>15</sup>

# OMEに関するまとめ

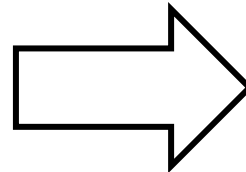
1. 回収CO<sub>2</sub>を資源とし、合成時のエネルギーを再生可能エネルギーから調達するe-fuelは、貨物車、船、飛行機などの高負荷、長距離移動体の低炭素化に貢献できる。
2. e-fuelの中でも、オキシメチレンジメチルエーテル（OME）は、液体で着火性に優れ、PM生成傾向が小さいため、大型輸送機器の主力動力源であるディーゼル機関の代替燃料となり得る。
3. 20%程度を限度に軽油に混合して用いる場合、OME混合軽油の燃料・燃焼特性は軽油と大きく異ならないため、大きな変更なしに現在のディーゼル機関に適用可能であり、ドロップイン燃料として現在の燃料インフラを利用して低炭素化に貢献できる。
4. 今後、潤滑性、シール材への影響を見極める必要がある。

	軽油	DME	OME	OME+軽油
機関性能	◎	◎	?	○
排気特性	×	◎	◎	○
製造	◎	○	△	○
市場性	◎	○	△	○
物性, ハンドリング	◎	△	○	◎




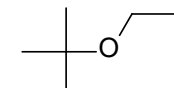
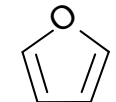
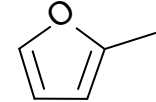
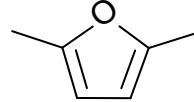
# バイオ燃料の利用 (田中光太郎教授)

- CO<sub>2</sub> 削減
- 石油依存度の低減



バイオ燃料

Fuel properties

	Gasoline <sup>[1][2]</sup>	Ethanol <sup>[3]</sup> 	ETBE <sup>[4]</sup> 	Furan <sup>[3]</sup> 	2MF <sup>[3]</sup> 	DMF <sup>[3]</sup> 
Research Octane Number	≥96	111	110 - 119	108.7	102	101.2
Lower Heating Value [MJ/L]	31.9	21.1	26.4	-	27.8	28.0
Water Solubility	Insoluble	Highly soluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble

- 高オクタン価燃料はノック抑制に効果的で、火花点火機関の高効率化に貢献することができる。

バイオ燃料の生産性から、既存燃料に混合して使用することが現実的であり、既存ガソリンにバイオ燃料を混合した際の自着火特性を明らかにする必要がある。

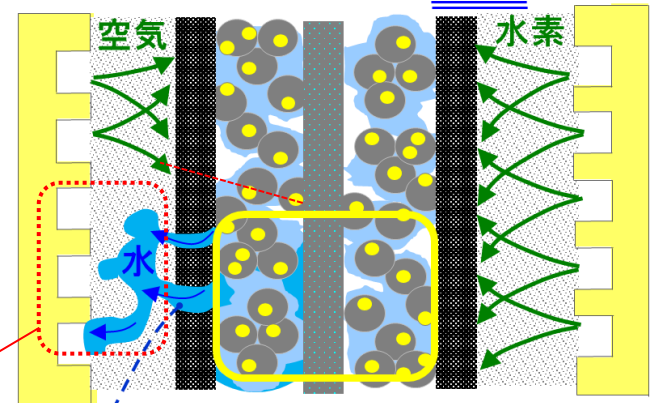
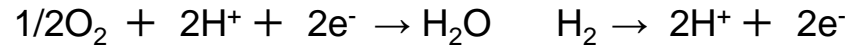
[1]JIS K 2202 (2012). [2]METI, [http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total\\_energy/pdf/stte\\_012.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/stte_012.pdf)

[3]Ohtomo et al., 2011. [4] R. Magnusson et.al., Fuel 90, 1145-1154, 2011.

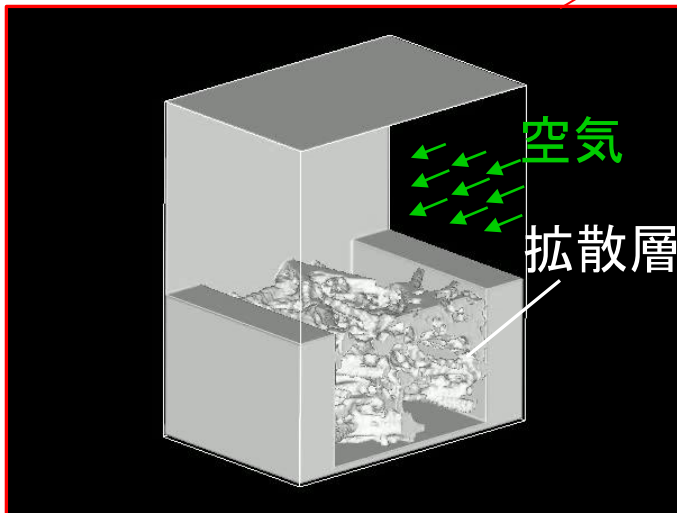
# 固体高分子形燃料電池の水輸送(境田助教)

固体高分子形燃料電池は走行時に水しか排出されないクリーンな動力源。  
水が電池内部に滞留すると空気の拡散が阻害され性能が低下。

マイクロオーダーかつ複雑な固体高分子形燃料電池内部の水輸送に対し、格子ボルツマン法を用いた高速計算可能な解析手法を構築



空気拡散阻害 非発電領域 (酸素が不足)



拡散層の一部を撥水処理した時の計算例

