



## 本日の講演内容

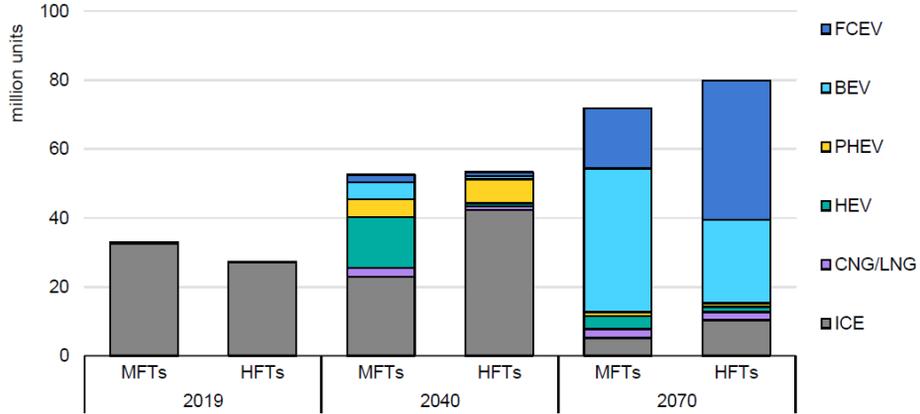


- モビリティにおける水素利活用
- 東京都市大学の水素エンジン搭載トラック・バス
  - 武蔵7号
  - 水素燃料エンジンバス
  - 水素ハイブリッドトラック
  - 最近のとりくみ
- 水素エンジン実用化のための課題
  - タンク
  - 水素ステーション
- まとめ

# 重量車の脱炭素化



Figure 5.6 Heavy-duty truck fleet by powertrain in the Sustainable Development Scenario



IEA 2020. All rights reserved.

Notes: FCEV = fuel cell electric vehicle; BEV = battery electric vehicle; PHEV = plug-in electric vehicle; HEV = hybrid electric vehicle; CNG/LNG = compressed natural gas/liquefied natural gas vehicle; ICE = internal combustion engine; MFTs = medium-freight trucks; HFTs = heavy-freight trucks.

出典：IEA「World Energy Perspectives 2020」

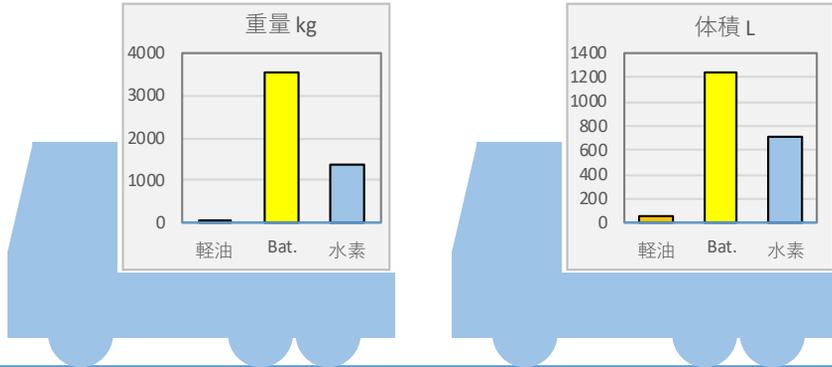
# 重量車の脱炭素化



<https://car.watch.impress.co.jp/do/cs/news/1256450.html>

▶ 荷室の7割程度をバッテリーが占める！？

## 重量車の脱炭素化



- ▶ 水素燃料は軽油よりかさばるし重くなるが、バッテリーより体積・重量とも優れる

## 重量車の脱炭素化

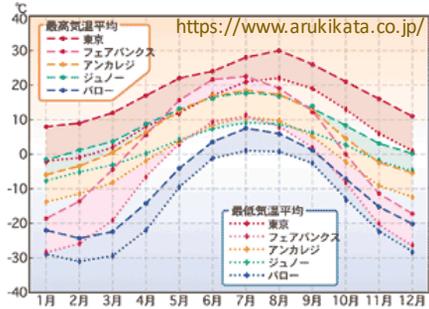


普通充電で  
11時間!

# 重量車の脱炭素化



<https://bestcarweb.jp/20200408-future-fcv-truck>



	効率	低温性能	航続距離	コスト	水素純度要求
燃料電池車	○	△	△	△	高
水素エンジン車	△	○	△	○	低

# 水素エンジンを取り巻く状況



- AVL: 3.5l以上の車両向け水素エンジン開発中**  
水素スタートアップ keyou、EUの資金獲得
- MAN: H2エンジン、FC両方で輸送用トラック実証試験を計画 (2020.10) (ドイツ)**
- Westport Fuel Systems: HDトラック試走中(カナダ) 2021.3高圧直噴**
- Pure Energy Centre 水素エンジンコンバージョン事業**
- JCB 水素エンジン搭載建機(英) コスト重要視(2021.5)**
- FEV: 水素エンジン開発ベースアップ。7ベンチ稼働(2021.5)**
- アクエリアスエンジンの発電用水素エンジン (イスラエルのベンチャー)**
- Tupy とAVLの共同研究では耐久性試験まで着手。水素脆化に強い材料の検討。**

[Internal Combustion Engine | EU Finds Hydrogen Combustion Engine Project | springerprofessional.de](https://www.springerprofessional.de/internal-combustion-engine-in-eu-finds-hydrogen-combustion-engine-project)  
[Aquarius Engines Unveils New Hydrogen Engine That Overcomes Fuel Cell Shortcomings \(prnewswire.com\)](https://www.prnewswire.com/news-releases/aquarius-engines-unveils-new-hydrogen-engine-that-overcomes-fuel-cell-shortcomings-301488881.html)  
[JCB unveils hydrogen-fuelled combustion engine technology | Autocar](https://www.autocar.co.uk/news/industry/autocar-unveils-hydrogen-fuelled-combustion-engine-technology)  
[MAN presents hydrogen roadmap: use in fuel cells and combustion engines - Green Car Congress](https://www.green-car-congress.com/news/man-presents-hydrogen-roadmap-use-in-fuel-cells-and-combustion-engines)  
[Hydrogen engine design success | Engineer Live](https://www.engineerlive.com/industry/hydrogen-engine-design-success)

<https://lh3.googleusercontent.com/proxy>

## 本日の講演内容



- モビリティにおける水素利活用
- 東京都市大学の水素エンジン搭載トラック・バス
  - 武蔵7号
  - 水素燃料エンジンバス
  - 水素ハイブリッドトラック
  - 最近のとりくみ
- 水素エンジン実用化のための課題
  - タンク
  - 水素ステーション
- まとめ

## 水素エンジンの研究スタート



日本は石油がとれない。  
でも水素なら、水を電気分解すれば  
いくらでも作れる。  
そして燃えればまた水に戻る。



1970年(昭和45年)  
屋外に設置したベンチで  
研究は始まった。

# 武蔵 7 号



1974年 武蔵1号



1975年 武蔵2号 米国SEEDラリー参加

吸気管間欠噴射、火花点火、液体水素

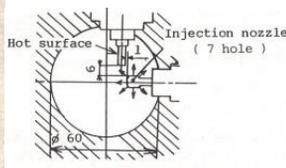
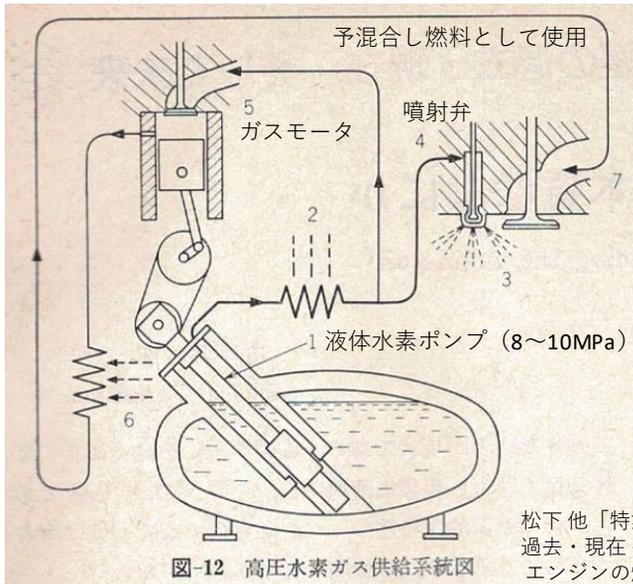
1986年 武蔵7号

液体水素、圧縮行程後期 筒内噴射 熱面点火式

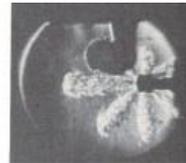
後に液体水素を利用した冷凍車、武蔵9号に改造



# 武蔵 7 号



1.040



SAE paper 861579

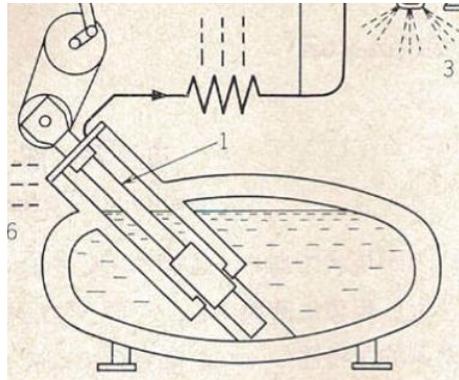
図-12 高圧水素ガス供給系統図

松下他「特集・武蔵工業大学古浜研究室の過去・現在そして未来『水素噴射熱面点火エンジンの燃焼改善に関する研究』」内燃機関27巻4号,p.44-49,1988

## 武蔵7号



- ▶ 液体水素ポンプのガス圧縮発生により噴射圧低下
- ▶ 水素噴射弁のシール不全

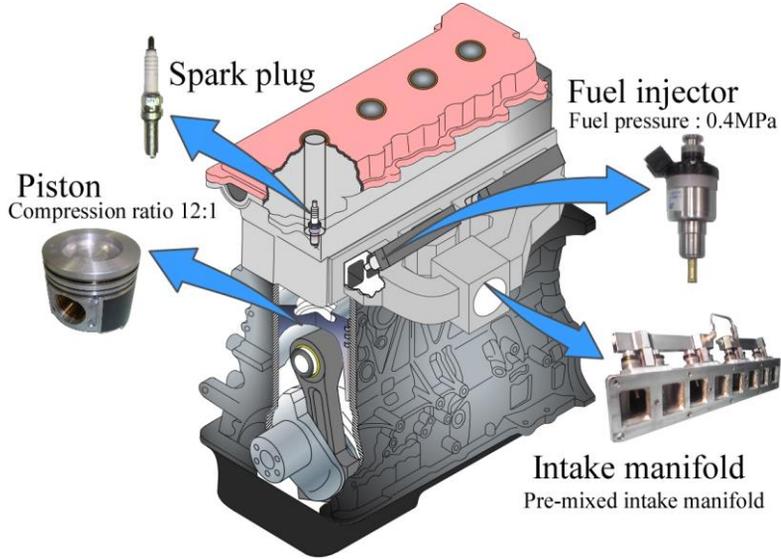


## 水素燃料エンジンバス



- ▶ 公道走行を目指して {
  - ・ 35MPa水素ガスを使用
  - ・ ロバストな技術を採用・・・予混合・火花点火式

## 水素燃料エンジンバス



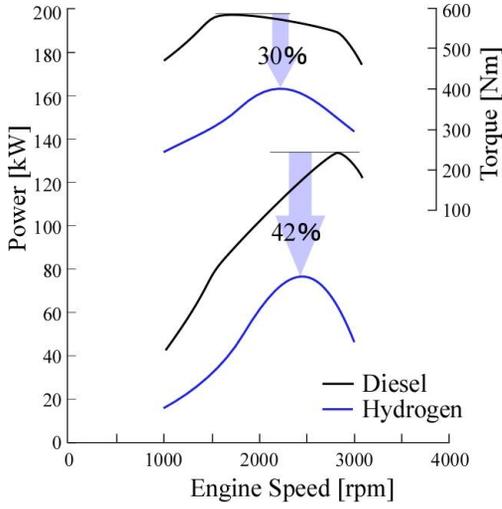
SAE 2011-01-0674

## 水素燃料エンジンバス

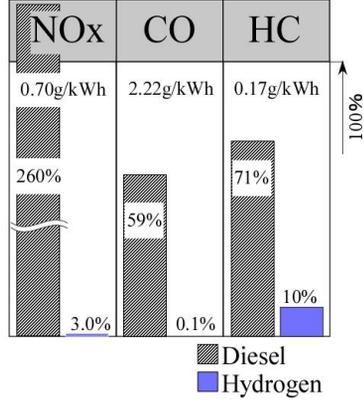


Engine type	J05-H2
Displacement [L]	4.728
Bore × Stroke [mm]	112 × 120
Compression ratio	11
Number of cylinder	4
Injection system	Port injection
Valve train	OHV

# 水素燃料エンジンバス

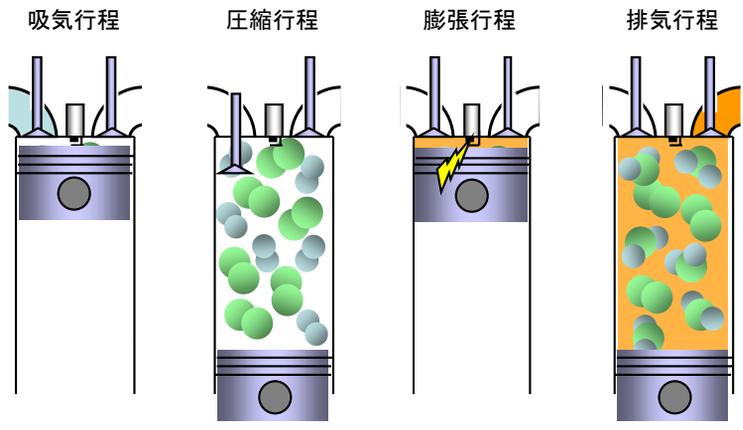


Japan post new long term regulation

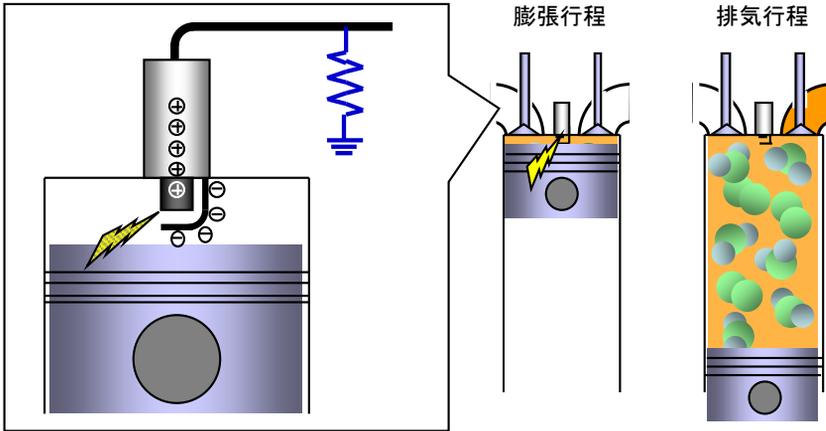


▶ 出力向上を阻むバックファイア

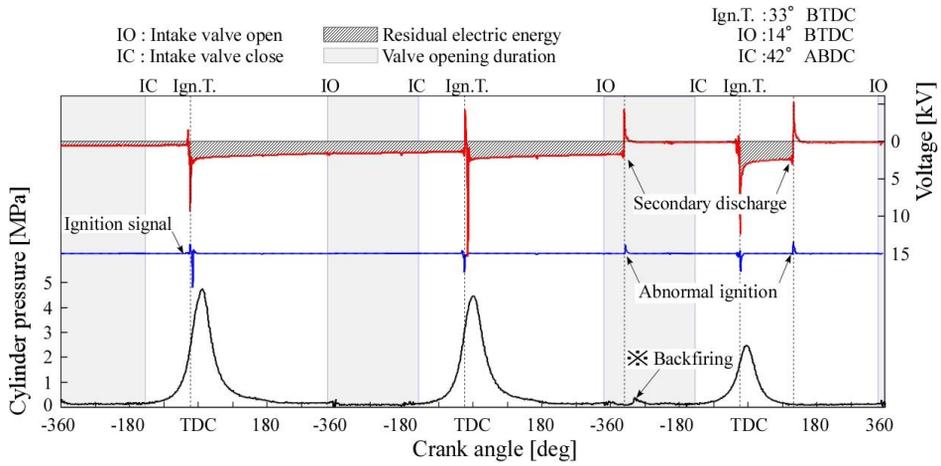
# 水素燃料エンジンバス



# 水素燃料エンジンバス



# 点火系の残存エネルギー



SAE 2011-01-0674

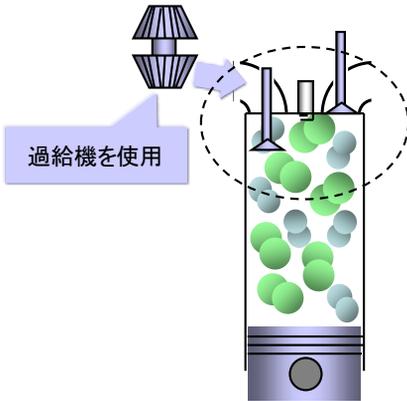
# 水素エンジンの高出力化



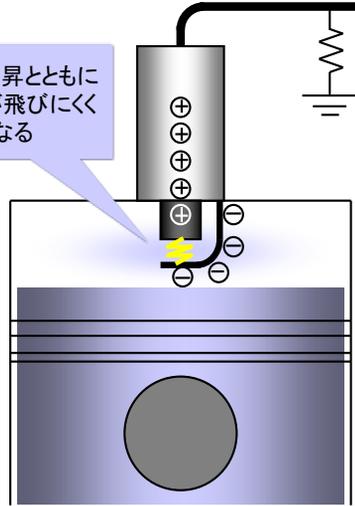
## 出力低下の要因

- 燃料体積が大きく空気が入らない
- NOx対策のための超希薄燃焼

より多くの空気と燃料をシリンダ内に供給



圧力上昇とともに  
火花が飛びにくくなる

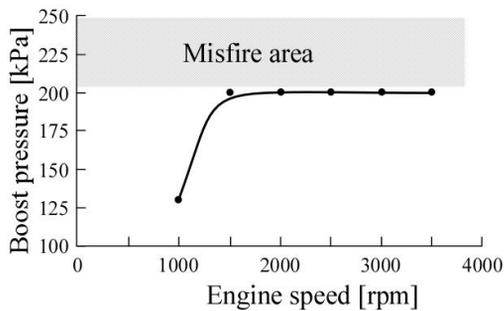


# 水素エンジンの高出力化

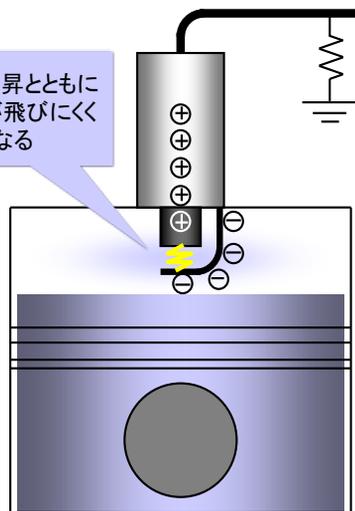


## Operating condition

TCI ignition + Modify cable  
 Water temp. 80°C  
 Air temp. 45°C  
 Ignition timing MBT  
 Excess air ratio 2.5



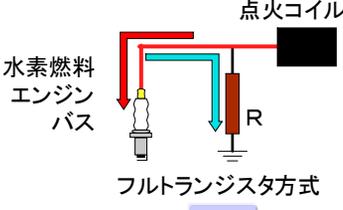
圧力上昇とともに  
火花が飛びにくくなる



SAE 2011-01-0674

## 水素エンジンの高出力化

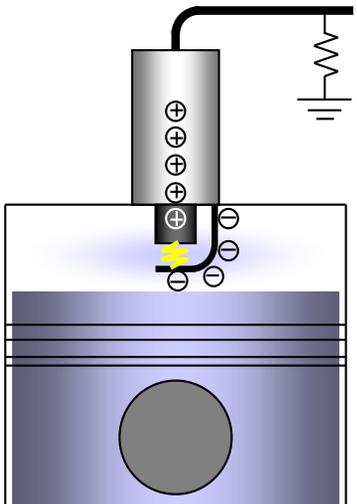




水素燃料  
エンジン  
バス

点火コイル

フルトランジスタ方式



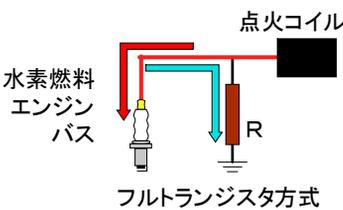
水素HV  
トラック

点火コイル

C.D.I.方式  
Capacitor Discharge  
Ignition system

## 水素エンジンの高出力化

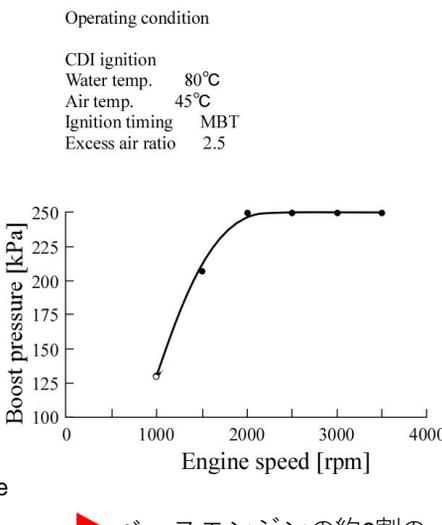




水素燃料  
エンジン  
バス

点火コイル

フルトランジスタ方式



水素HV  
トラック

点火コイル

C.D.I.方式  
Capacitor Discharge  
Ignition system

Operating condition

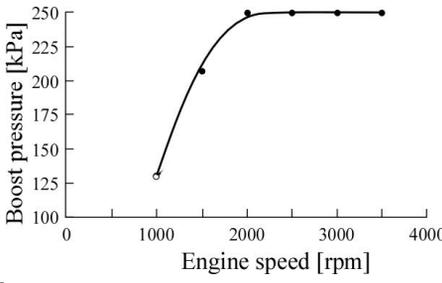
CDI ignition

Water temp. 80°C

Air temp. 45°C

Ignition timing MBT

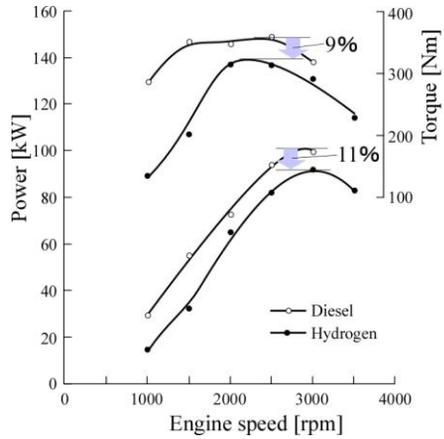
Excess air ratio 2.5



Engine speed [rpm]	Boost pressure [kPa]
1000	135
1500	210
2000	250
2500	250
3000	250
3500	250

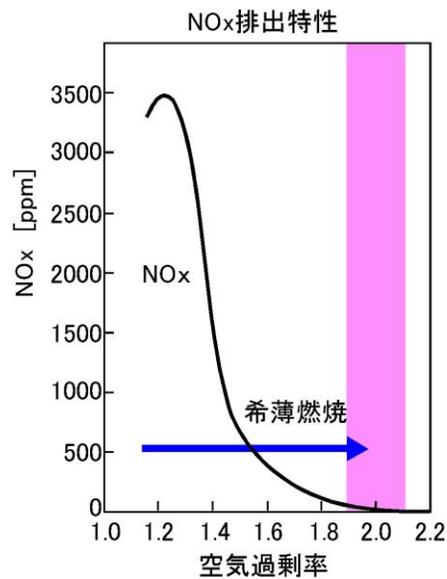
▶ ベースエンジンの約9割の  
最高出力を確保

## 水素HVトラック



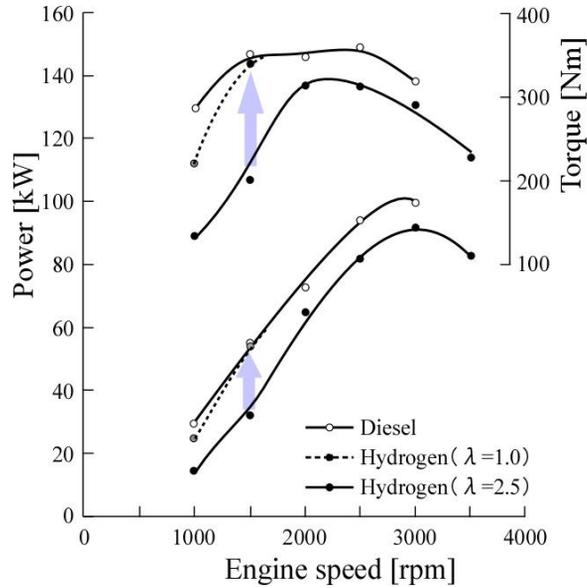
- ▶ 点火系の改善によりVGターボの性能をフルに活用
- ▶ 低速トルクの向上が課題

## 低速トルクの向上



- ▶ 方策 A  
NOx触媒の利用を前提に低速側を rich条件で運転
- ▶ 方策 B  
ハイブリッドシステムを活用しモータにより低速トルクをアシスト

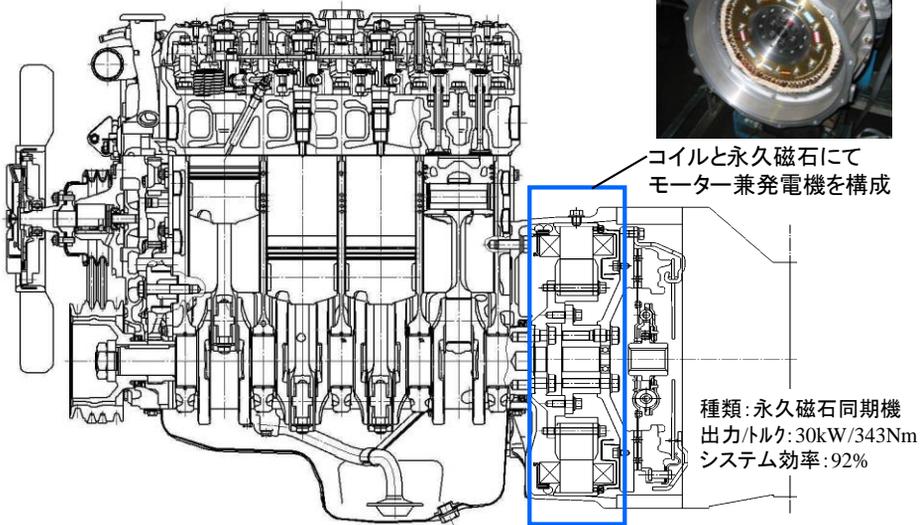
## 低速トルクの向上



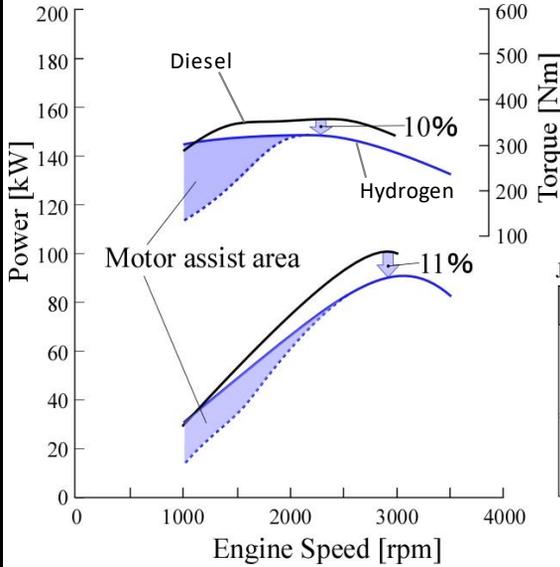
## 低速トルクの向上



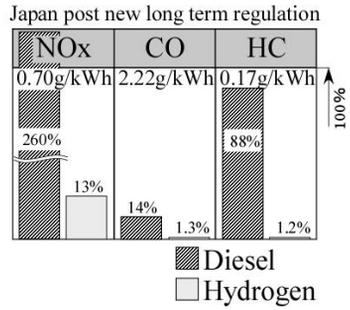
### ハイブリッドシステムのしくみ (パラレルハイブリッド)



# 低速トルクの向上



最高出力 93kW(127PS)  
最大トルク 338Nm(34.4kgm)



# 最近の取組み



環境省  
脱炭素社会構築に向けた再エネ等由来水素活用推進事業  
(2) 水素活用による運輸部門等の脱炭素化支援事業  
「既販中型重量車の水素化事業性検証プロジェクト」



## 最近の取組み



### 重量車の カーボンフリー化

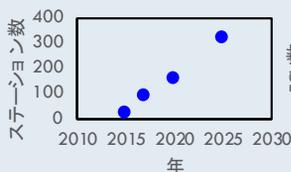


宅配等：EV化の方向

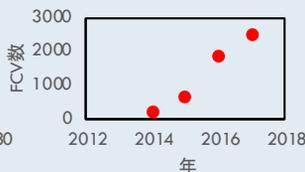


電動化困難領域：e-Fuel?

### 水素ステーションの現状



乗用車に供給するには  
少なすぎるST数



ST損益分岐点に達しない  
水素燃料利用車両数

### 走行エリアが限られるトラックなら

エリア内あるいは拠点付近に水素ステーション  
があればOK

1台あたり水素使用量が多いため少ない台数  
でもST損益分岐点に到達可能

## 最近の取組み



### 「既販中型重量車の水素化事業性検証プロジェクト」

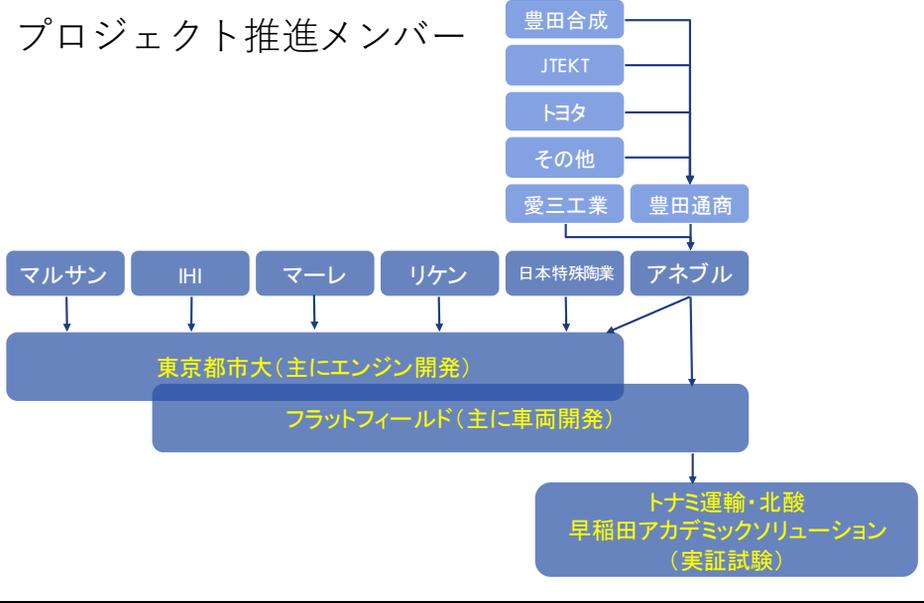
2021年度～2023年度

- ▶ ハイブリッドシステムに頼らない高トルク・高出力化  
・尿素SCRの活用
- ▶ 信頼性・耐久性評価のための耐久試験を実施
- ▶ トナミ運輸による実証試験

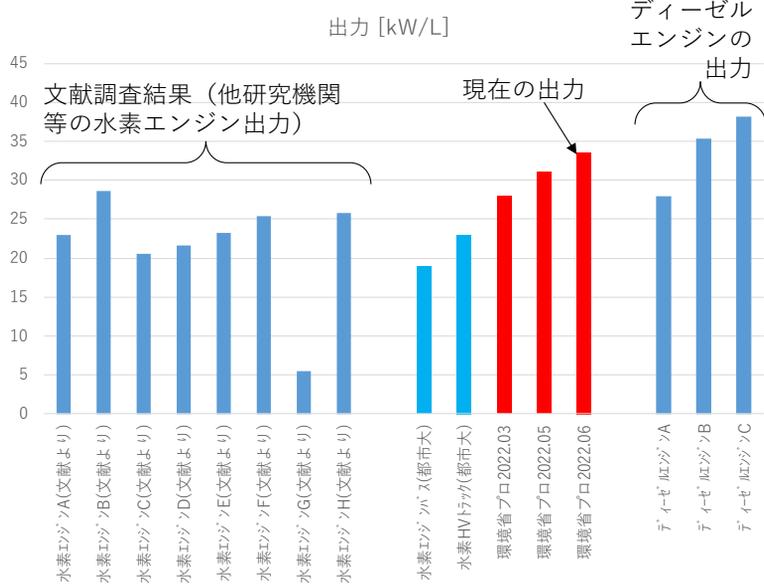
# 最近の取組み



## プロジェクト推進メンバー



# 最近の取組み



## 本日の講演内容

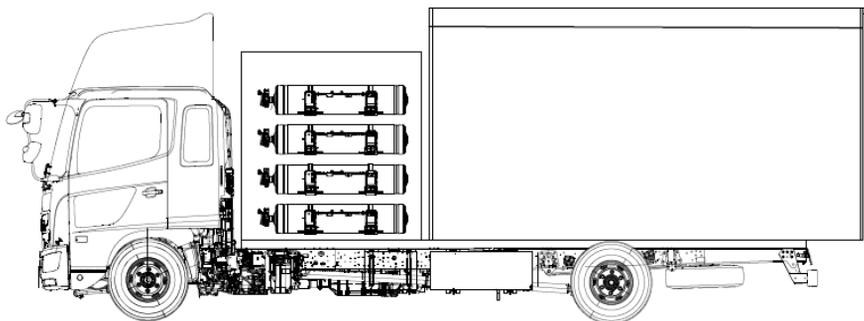


- モビリティにおける水素利活用
- 東京都市大学の水素エンジン搭載トラック・バス
  - 武蔵7号
  - 水素燃料エンジンバス
  - 水素ハイブリッドトラック
  - 最近のとりくみ
- 水素エンジン実用化のための課題
  - タンク
  - 水素ステーション
- まとめ

## タンクの短期的課題



- ・ コスト低減
- ・ 軽量化
- ・ 積載効率向上



## タンクの長期的課題



<https://response.jp/article/img/2020/12/15/341329/1589075.html>

液体水素関連技術の研究開発

- ・液体水素タンク
- ・液体水素ポンプ
- ・液体水素供給システム

## 本日の講演内容

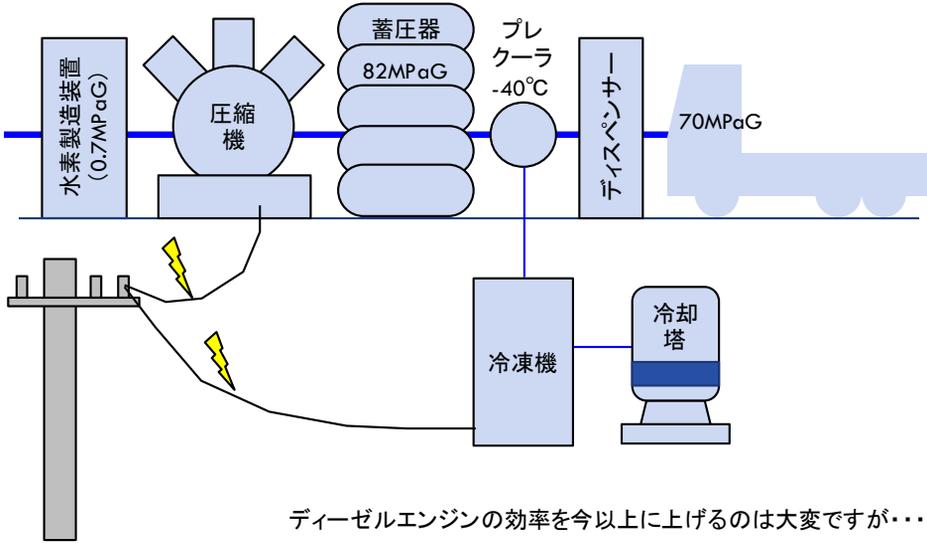


- モビリティにおける水素利活用
- 東京都市大学の水素エンジン搭載トラック・バス
  - 武蔵7号
  - 水素燃料エンジンバス
  - 水素ハイブリッドトラック
  - 最近のとりくみ
- 水素エンジン実用化のための課題
  - タンク
  - 水素ステーション
- まとめ

## 水素ステーションの課題



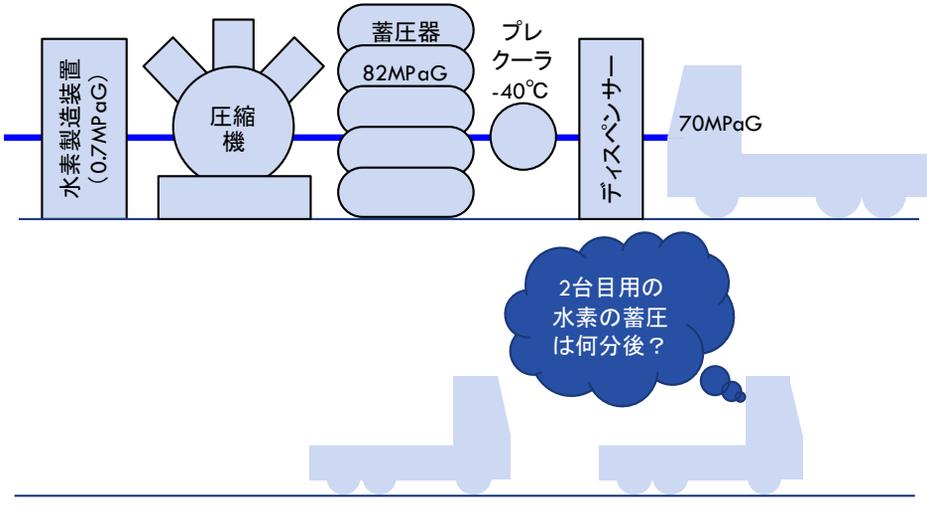
オンサイト式を例に



## 水素ステーションの課題



■ 水素ステーション オンサイト式を例に



## 本日の講演内容



- モビリティにおける水素利活用
- 東京都市大学の水素エンジン搭載トラック・バス
  - 武蔵7号
  - 水素燃料エンジンバス
  - 水素ハイブリッドトラック
  - 最近のとりくみ
- 水素エンジン実用化のための課題
  - タンク
  - 水素ステーション
- まとめ

## まとめ



モビリティのための水素利活用はCO<sub>2</sub>排出量削減のために真剣に検討すべき方策です。

水素エンジンはやればできてしまう技術です。  
今後の日本の自動車産業を守るために、諸外国に劣らぬ技術の蓄積が求められています。

我々は、エネルギー問題を政治的判断に委ねず、合理的判断に基づき進むべき道を考えていかねばなりません。

