

グリーン社会実現にもう一つの選択肢を！

主催：山口県、山口県産業技術センター
環境・エネルギー研究会、やまぐちR&Dラボ合同セミナー
水素関連セミナー — 水素発電と内燃機関の水素化 —
2021年2月3日

内燃機関の水素化技術と 今後の市場の可能性

山根 公高 博士(工学)
i Labo 株式会社
山根研究所 所長

1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯
2. 水素社会の意義
3. 内燃機関の水素化技術
4. 内燃機関の水素化の意義と効果
5. i Laboが目指す市場
6. まとめ

1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯

【研究の始まり：1969年】

世界中で自動車による大気汚染問題と30年後石油が枯渇するのではないかとということが大きな社会問題として取り上げられた1960年代後半、武蔵工業大学（現：東京都市大学）内燃機関研究室教授古浜庄一先生（後、武蔵工業大学学長）が、「大学の教授は、企業では難しい、目先課題ではない20～30年先の社会問題を考え、学生に夢を持たせながら一緒に、先行して研究開発をはじめ、社会が必要となったときに、これをお使いくださいと提案できることが大学の教授たる値打ちがある。それで、恩師古浜先生は、水素に注目して水素内燃機関の研究をはじめた。とよくお話をしていました。

一方、私は、中学時代に英語の家庭教師であった明楽進さん（現：神経内科医師）から、世界の知見者の集まりであるローマ会議であと30年したら、石油は枯渇化する。そうすると、われわれは、自動車を利用できなくなるので大変だといわれたとき、化学実験が大好きであった私は、それは大丈夫太陽エネルギーと水から電気分解で人工的に無尽蔵の水素を製造できる。それを自動車の燃料として用いれば、排気は水で大気汚染にはならないし、永遠に自動車の燃料として使えるはずであると答え、水素は環境問題とエネルギー問題を同時に解決でき物質と考え大変興味を持って、武蔵工業大学に入学しました。

恩師古浜先生の3年後期の卒業研究紹介で、たくさんのテーマの中に「水素内燃機関の研究」というテーマがあり、修士まで大学で研究をするときめていましたので、これこそ武蔵工業大学でやることであると飛びつき、恩師古浜先生に、そのあとすぐに、パートナー湯浅君とともに直訴をして、今すぐ、春休みを使って研究を始めますから、我々にそのテーマの研究を始めさせてくださいと懇願した次第です。そこでは、4年になりほかの学生の希望を募り決定するので、今は決められないが、春休みから研究室に来てほしいというお墨付きを得ました。

1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯

【最初の水素内燃機関エンジンの実験:1970年】



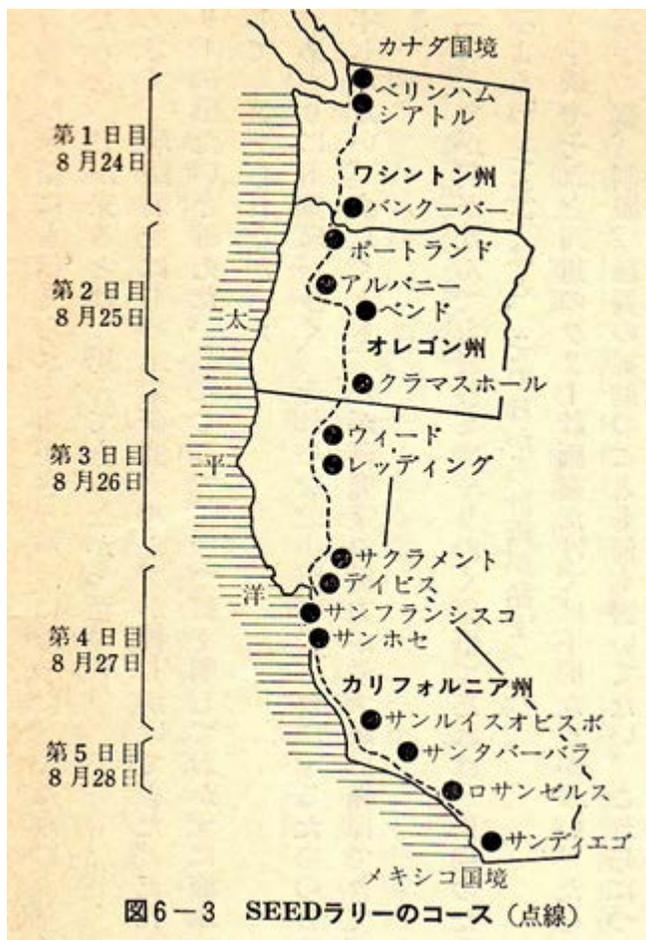
1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯

【水素ボンベ10本を積んで、仮ナンバーで環状8号線の走行実験:1974年】



「NHK明日への記録より」

1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯



武蔵2号車(液体水素搭載、予混合)で1975年米国学生ラリー(SEEDSRALLY)に参加
ワシントン州ベリンハムからロスアンゼルス2800km完走、総合4位
(NHK明日への記録より)参加学生が8mmフィルムで記録

1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯

バックファイアを完全に起こさない手法として高圧水素をエンジン内に高圧で噴射する筒内噴射を採用、点火方法の研究、噴射時期の研究、NOx低減研究、筒内噴射のための水素高圧噴射弁の研究、車載液体水素を液体水素高圧ポンプの研究



武蔵8号車（1990年） 日産追浜テストコース走行、最高時速130km/h、4サイクルエンジン、筒内高圧噴射、火花点火、液体水素、第8回国際水素エネルギー学会出展

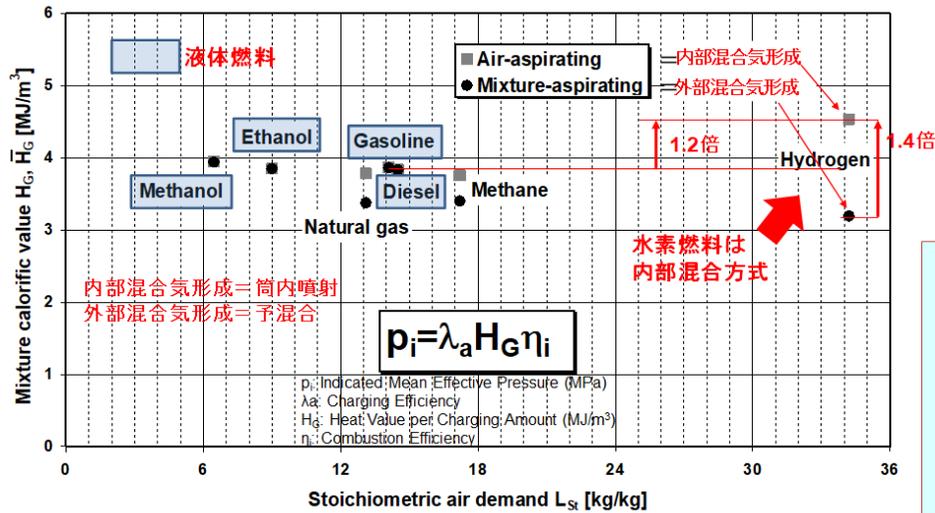
1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯



武蔵11号車（2009年）可変ターボ過給リーンバーン吸気管噴射火花点火水素エンジンバス
水素内燃機関で初めて白ナンバー取得横浜みなとみらい走行

1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯

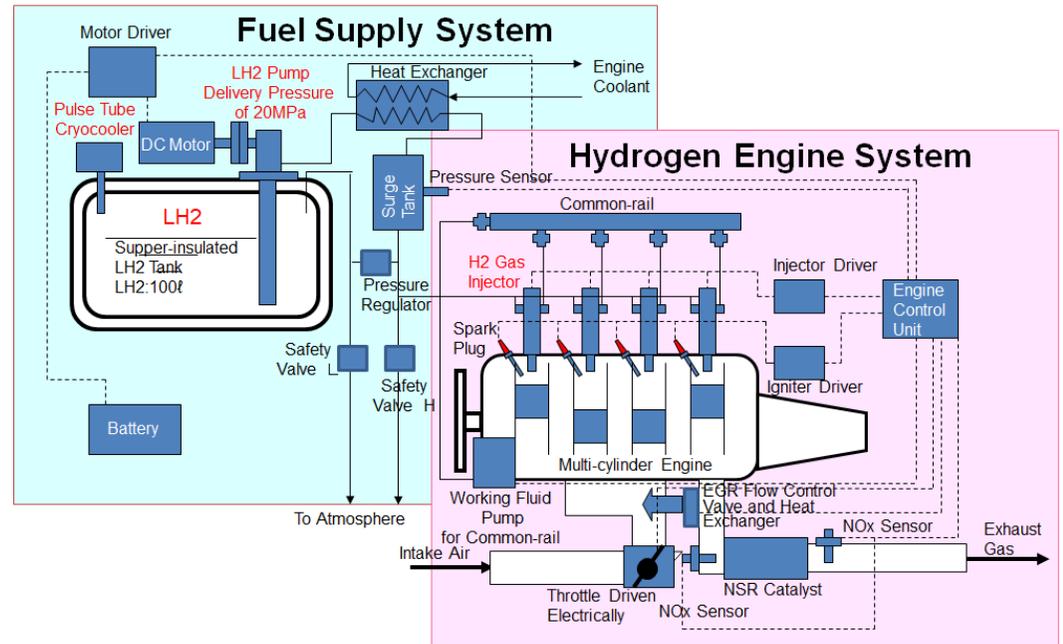
高出力、高効率、ゼロエミッションが期待できる、高圧筒内噴射水素内燃機関の研究



Mixture calorific values for various fuels

Copyright © 2003 Society of Automotive Engineers, Inc
 The Potential of Hydrogen Internal Combustion Engines in a Future Mobility Scenario

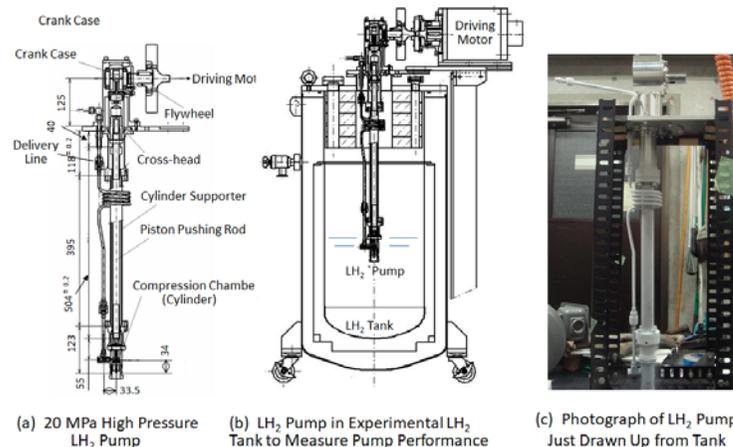
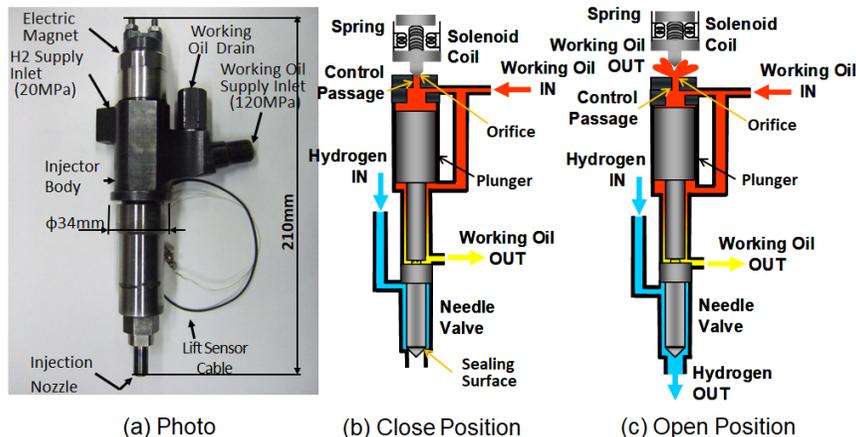
各種燃料の外部混合方式と内部混合方式による発熱比較



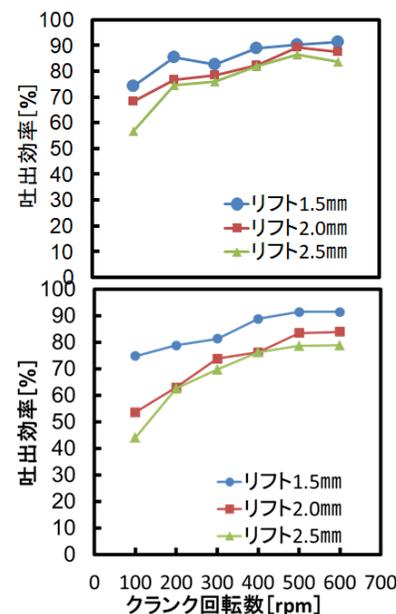
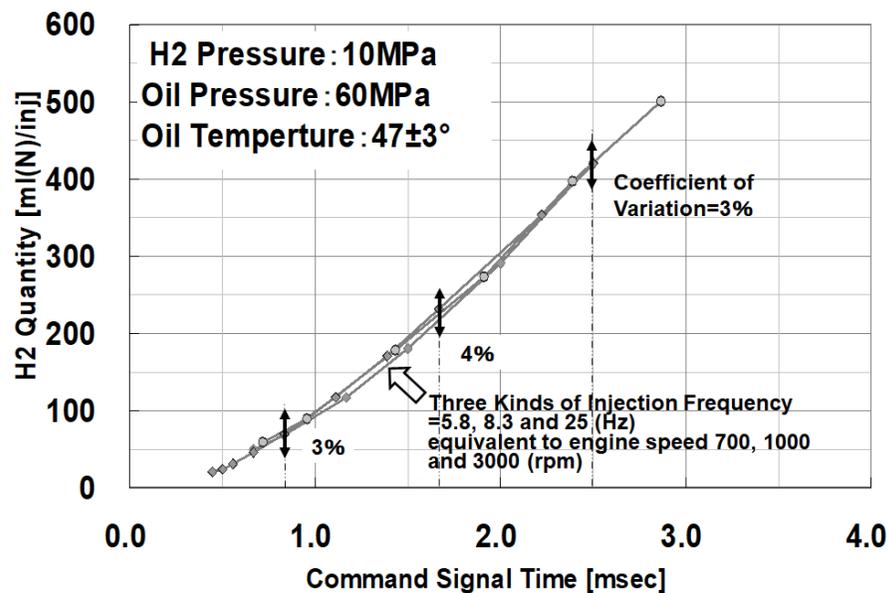
東京都市大学式水素エンジンシステム

1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯

高出力、高効率、ゼロエミッションが期待できる、高圧筒内噴射水素内燃機関の研究の現状

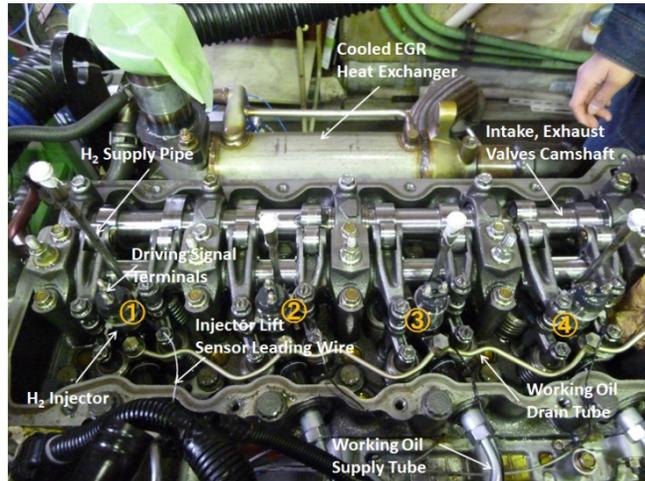


High Pressure LH2 Pump Delivering 6.7 cc LH2/stroke at 20 MPa⁽⁵⁾

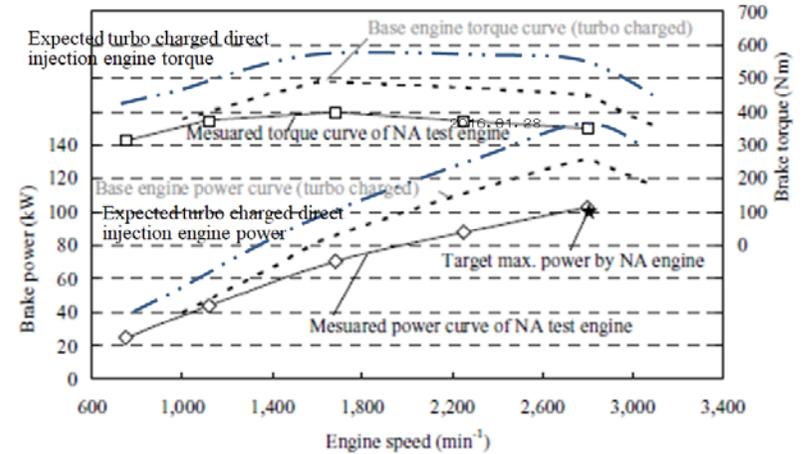


1. 日本における水素内燃機関のはじまりと経緯

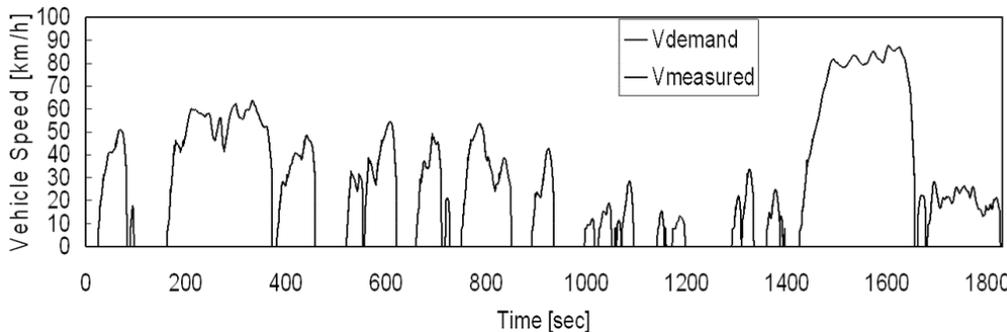
高出力、高効率、ゼロエミッションが期待できる、高圧筒内噴射水素内燃機関の研究の現状



A Photo of the Engine Head with Four Injectors Installed⁽³⁾

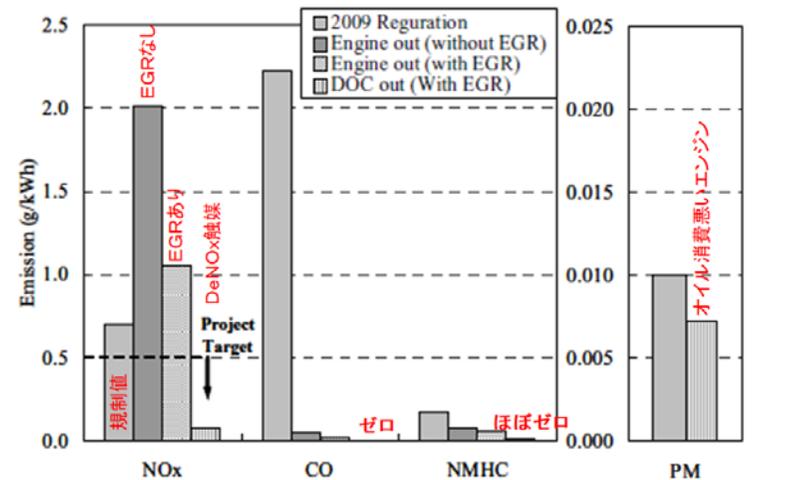


供試コモンレール方式高圧水素筒内噴射エンジンJ05Hの動力特性⁽³⁾



供試コモンレール方式高圧水素筒内噴射エンジンJ05HのJE05モード運転
モード運転コマンド車速と実測速度の比較⁽³⁾

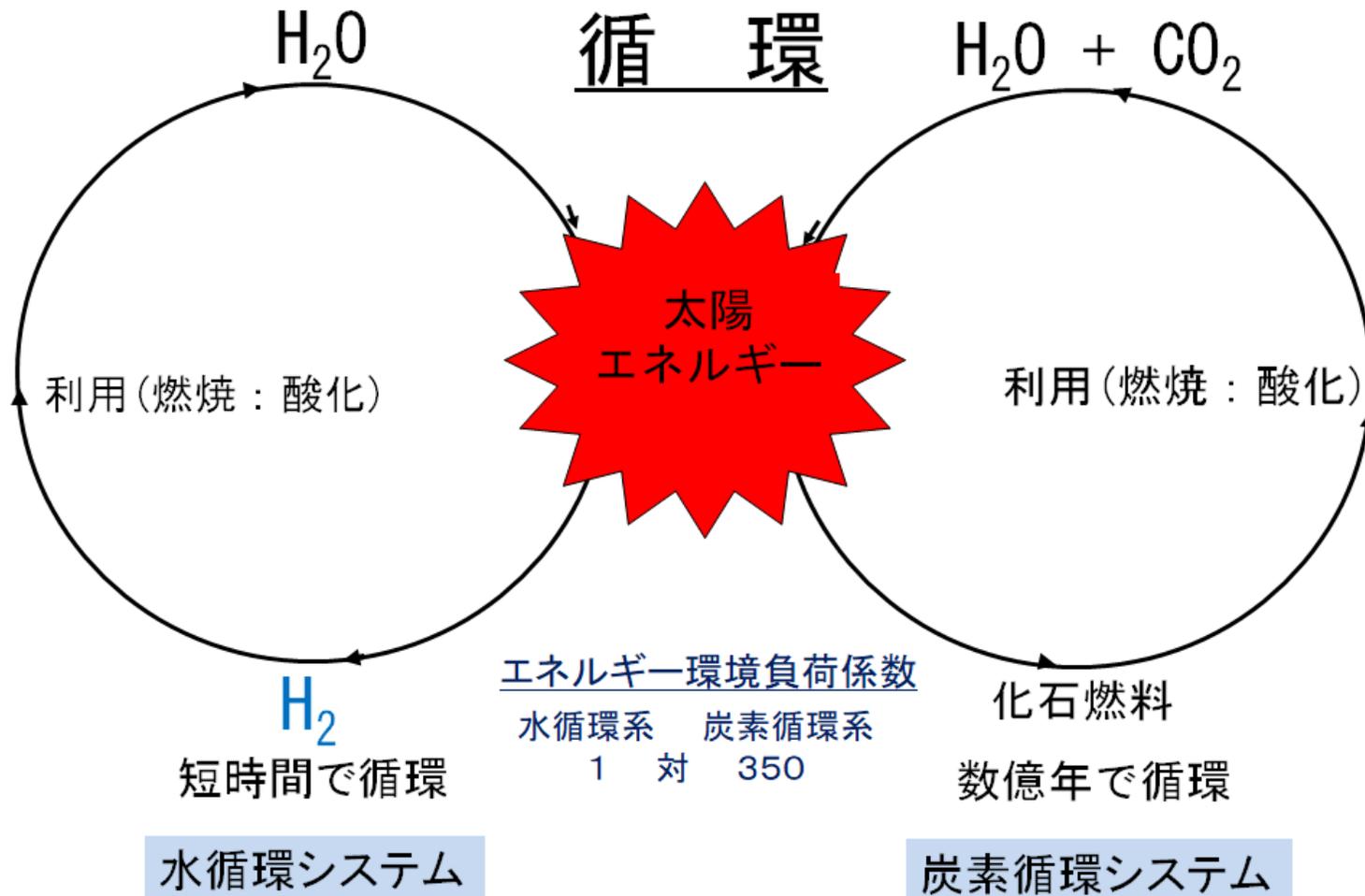
(交通安全研究所シミュレーション運転台にて実施)



供試コモンレール方式高圧水素筒内噴射エンジンJ05Hの排気特性⁽³⁾

2. 水素社会の意義

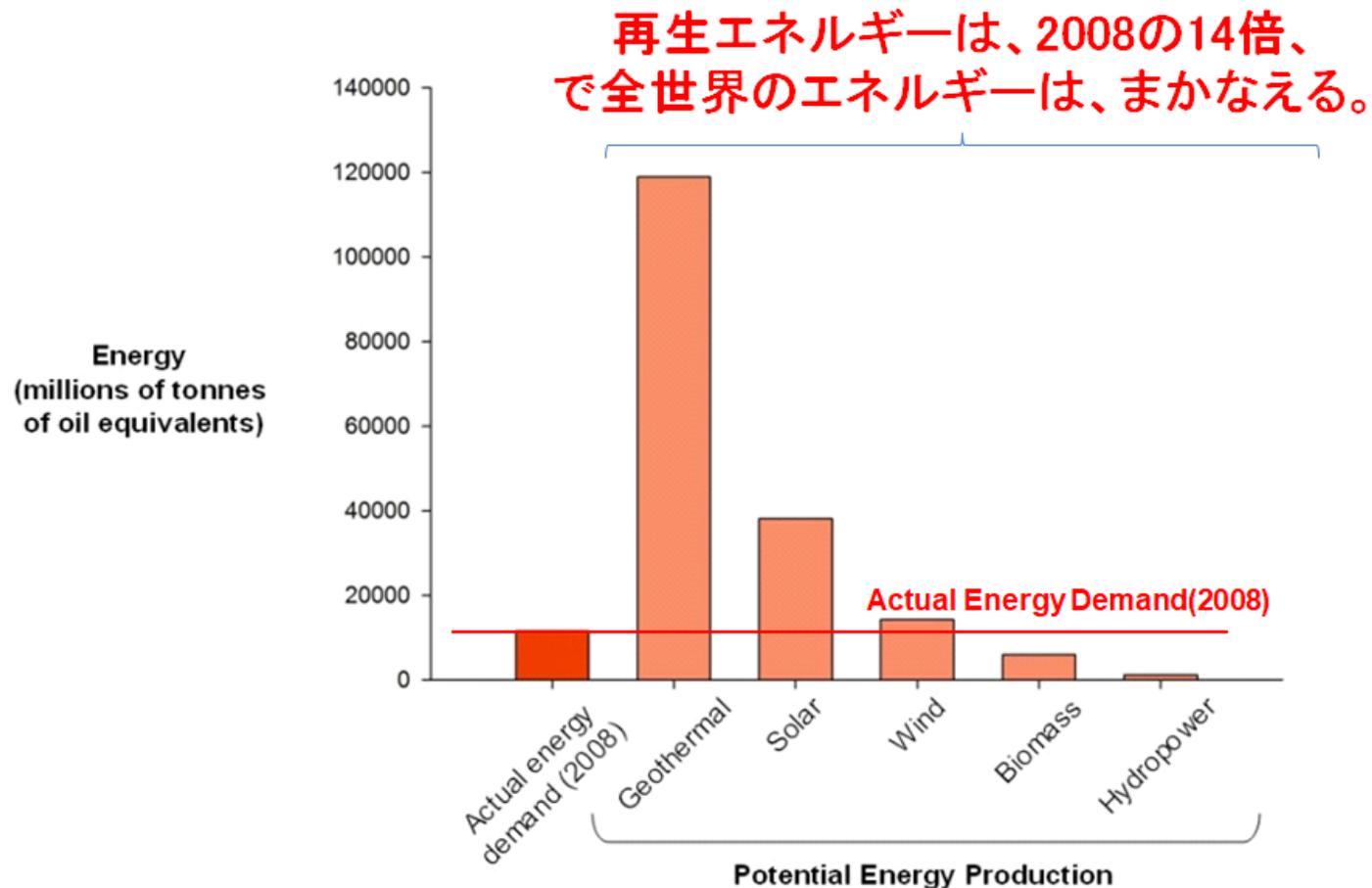
水素は、太陽と水から人工的に無尽蔵に製造可能である。もちろん、同時に太陽から作られた電気も同時に利用する。



環境負荷が小さくて、短時間に再循環可能

2. 水素社会の意義

太陽や地熱を利用した再生可能エネルギーは、経済的観点からみてそのポテンシャルは、十分ある。



出典: Thomas B. Johansson, Kes McCormick, Lena Neij, Wim Turkenburg, "The Potentials of Renewable Energy", International Conference for Renewable Energies, Bonn, 2004

世界エネルギー需要量に対する自然エネルギーの潜在生産量

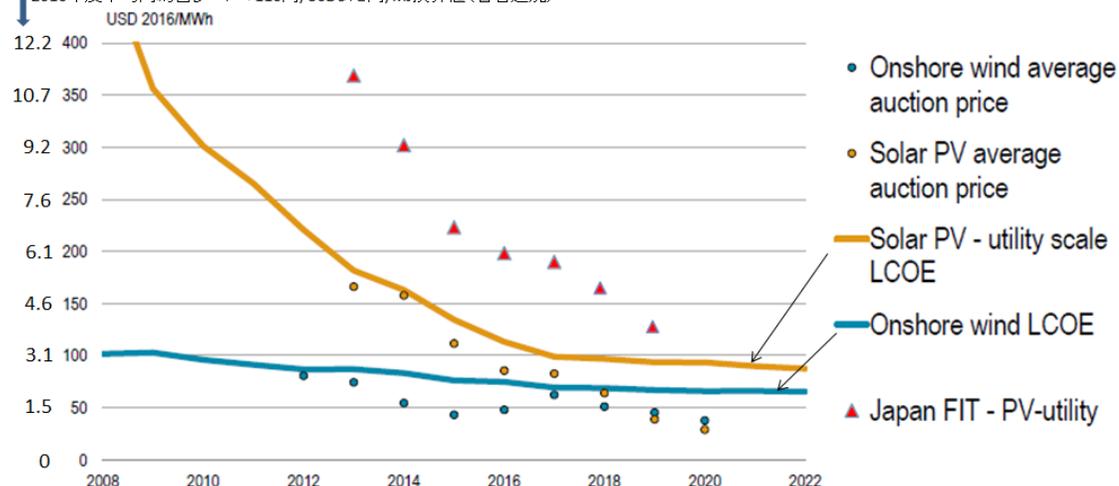
2. 水素社会の意義

かつ、この数年、多量に、安価に供給される可能性が大きくなってきている。

水素燃料、ガソリン、ディーゼル燃料のMJ当たりの価格比較

燃料の種類	現在の価格 (円./リットル)	税込単位MJ 当たりの価格 (円/MJ)	税額抜価格 (円./リットル)	税抜単位MJ 当たりの価格 (円/MJ)
ガソリン	150	4.57	96.2	2.93
ディーゼル燃料	120	3.34	87.9	2.45
	(円./kg)		(円./kg)	
水素	1000	8.33	1000	8.33
水素	1100	9.17	1100	9.17
	(円./Nm ³)		(円./Nm ³)	
2018年ステーション 水素価格	100	9.33	100	9.33
2030年ステーション 水素価格	30	2.80	30	2.80
2050年ステーション 水素価格	20	1.87	20	1.87

↓ 2016年度平均円為替レートキ110円/USDした円/MJ換算値(著者追加)



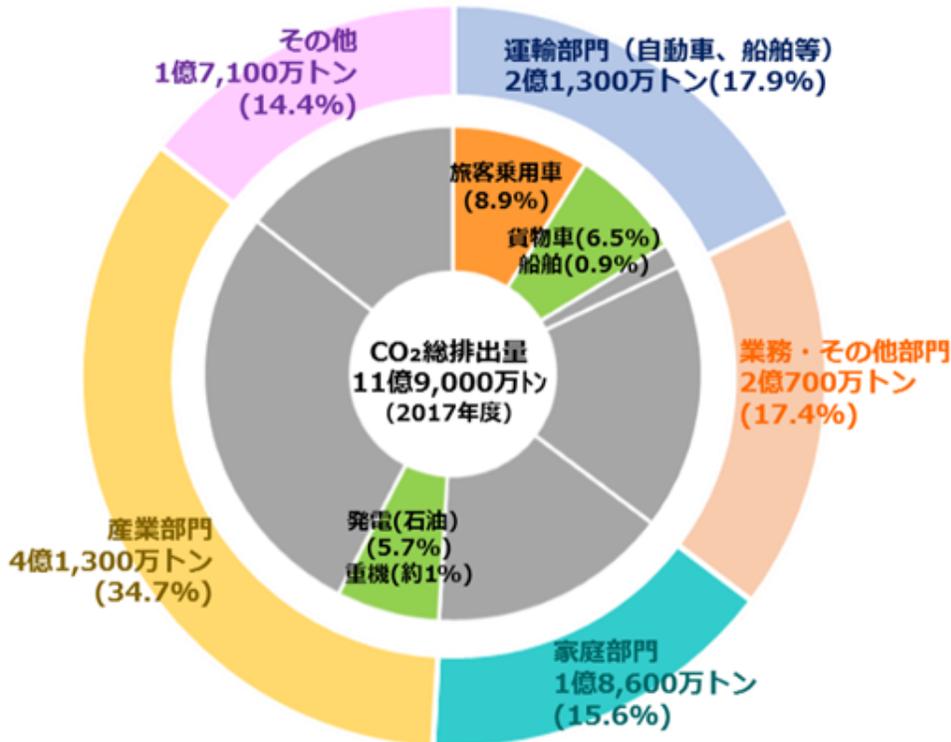
※IEA Renewables 2017をもとに資源エネルギー庁作成。

再生可能エネルギーのコストの状況

出展: 資料1 国内外の再生可能エネルギーの現状と
今年度の調達価格等算定委員会の論点案

2. 水素社会の意義

日本のCO2排出の現状、運輸関係約20%、その内輸送・建機・発電・船は、乗用車の1.5倍以上のCO2を排出



* 平成31年4月23日付 国土交通省 運輸部門における二酸化炭素排出量データを使用し、i Laboが計算

旅客乗用車 8.9%

VS.

貨物車	6.5%
船舶	0.9%
発電(石油)	5.7%
重機	1.0%程度
合計	14.1%



継続的に高い出力を必要とする
機器が化石燃料を使用し排出する
CO₂量合計は、旅客乗用車の
CO₂排出量の

1.5倍以上

我が国のCO₂排出ガス量削減目標 (2017年 → 2030年) :

- ・ 全体 : Δ26,300万トン-CO₂ (119,000万トン → 92,700万トン)
- ・ 運輸部門 : Δ5,000万トン-CO₂ (21,300万トン → 16,300万トン)
- ・ 産業部門 : Δ2,200万トン-CO₂ (41,300万トン → 40,100万トン)

2. 水素社会の意義

日本政府も、2050年までに、温暖化ガスであるCO2放出実質ゼロ化政策を明らかにした。



所信表明演説する菅首相

引用 : <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO65465240W0A021C2000000/>

「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします」。菅首相は力強く宣言した。

2. 水素社会の意義

その結果

- 温暖化は早期に解決の方向に向かう。
- 大気汚染問題は解消する。
- 台風、豪雨、豪雪、強風等の異常気象が減り、自然災害減少、環境安定化（農作、事業、山/川の維持管理）、正常自然循環の実現、最終的に美しい・住みよい地球が確保できることが期待される。
- 日本の基幹産業である自動車産業、製造設備、雇用を守ることができる。イノベーションが起こり、人材育成、経済が活性化する。
- 化石燃料社会から脱却して、水素・電気をエネルギーすなわち、水素社会が実現可能となる。

3. 内燃機関の水素化技術

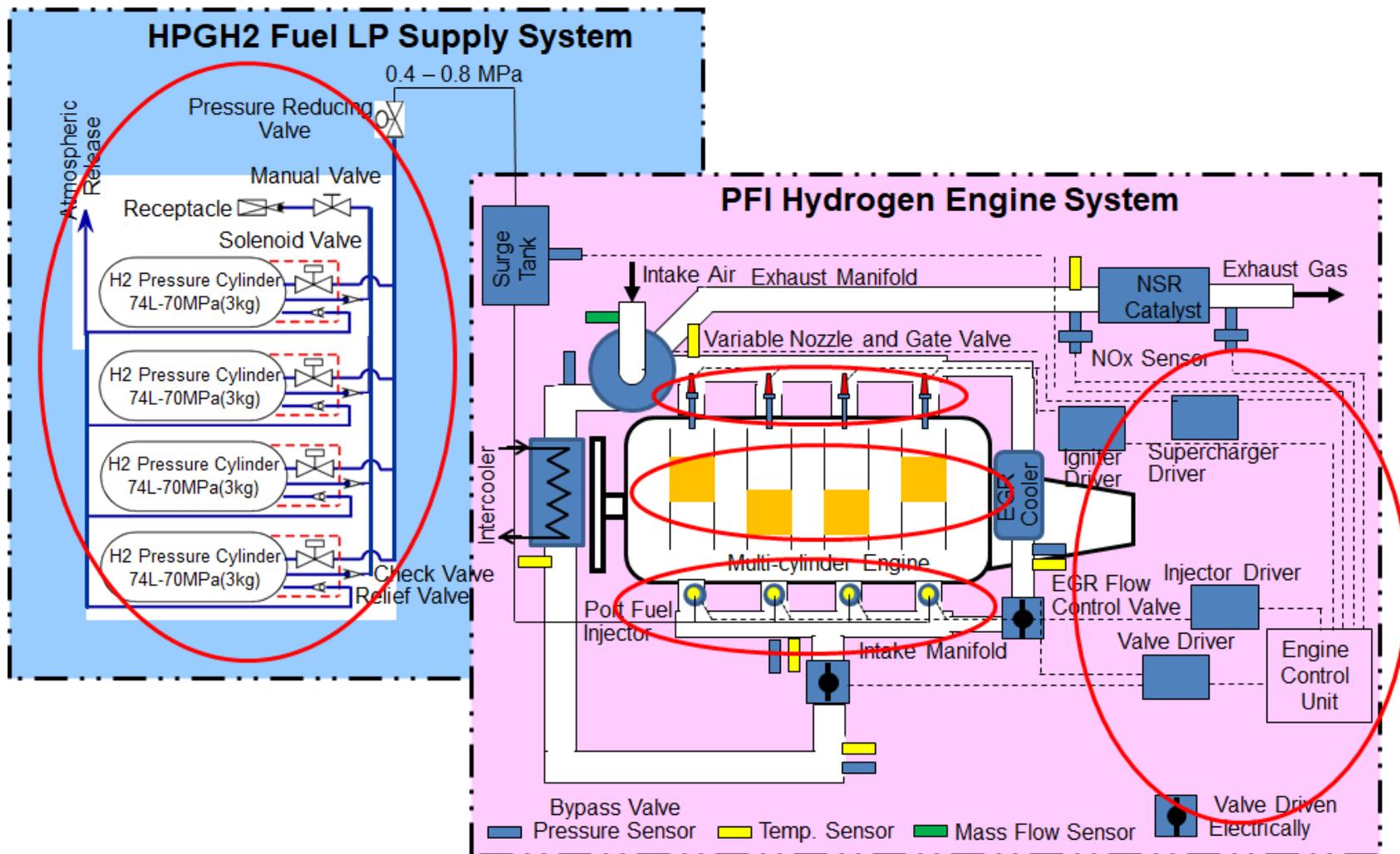
**従来のガソリン、ディーゼル燃料、プロパン、天然ガスの代わりに、それを水素に変え、
内燃機関で水素を燃料として使えるようにする技術**

1. 燃料供給システム
 - 燃料タンク →高圧水素タンク、液体水素タンク
 - 燃料移送装置（高圧水素、液体水素用に変更）
2. エンジンシステム
 - 水素燃料に合わせる。（燃料噴射弁、点火装置、燃焼室（圧縮比、燃焼室形状等）、材料等）
 - 水素内燃機関で高出力、高効率、ゼロエミッション化を狙ったエンジン制御システムの構築（方法は、化石燃料と同じ）
3. 安全システム
 - 水素漏洩検知システム

よって、今まで使ってきた内燃機関の技術が利用できる。

3. 内燃機関の水素化技術

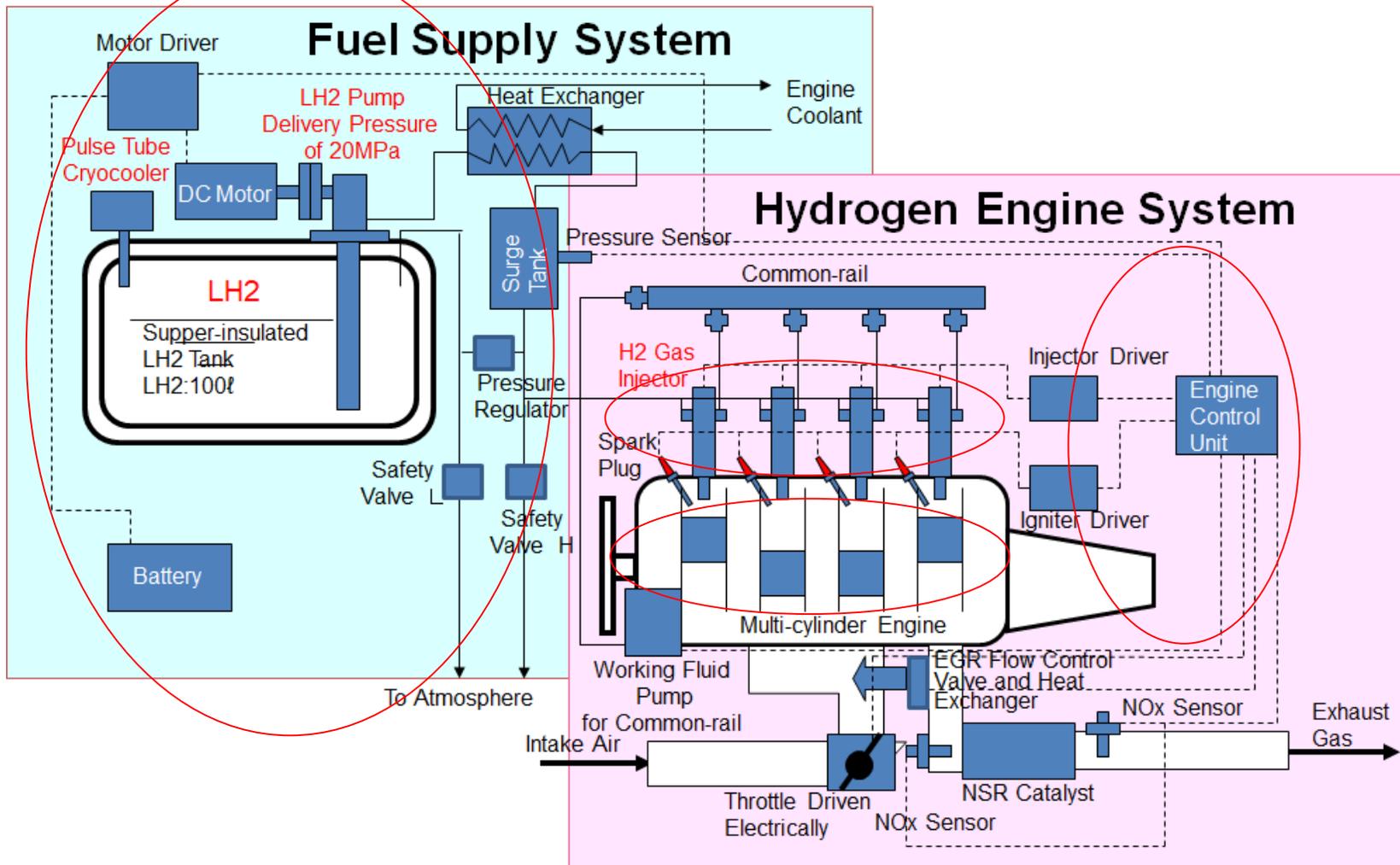
予混合 (PFI) の場合 ディーゼルエンジン⇒水素化



HPGH2 Fuel LP Supply and PFI Hydrogen Engine Systems

3. 内燃機関の水素化技術

筒内噴射の場合 ディーゼルエンジン⇒水素化



東京都市大学式水素エンジンシステム

4. 内燃機関の水素化の意義と効果

- 水素を燃料とすることから燃料電池自動車と共に、水素の需要を増やすことが可能となる。グリーン水素を使えば、最短時間で大きいCO2削減につながる。
- 潤滑油由来のエミッションはあるが、Zero-impact Emissionsであり、FCEVやBEVに最も近い、Near-zero Emissionsが実現できる。かつ、安価でシンプルである。
- 特に、大型のトラック1台を水素化すると、トラックの稼働率が大きいことと、排気量が大きいことにより、1台の燃料電池乗用車が消費する水素量の約70倍の水素を消費する。このことは、水素ステーションの水素売り上げが増加することを示し、水素ステーションビジネス運営成り立つ。結局、CO2削減の速度が速くなることが期待できる。
- 100年以上も培った内燃機関技術、設備、工場や雇用をそのまま維持できる。
- レトロフィット化が可能である。

5. i Laboが目指す市場

世界中でCO2フリー、ゼロエミッションが叫ばれている中、乗用車部門を中心にEV（電気）やFCV（燃料電池）の開発が進んでおります。しかし、これらの方式は、現在内燃機関を使用している機器の中でも継続的に高い出力効率を必要とする用途に対応するのは、技術・経済の両面で非常に難しい事と考えております。

そこで、i Labo株式会社は、FC利用に加えて、継続的に高い出力効率を必要とする以下の機器を対象に、内燃機関の水素化という選択肢を実用化する事により、水素利用の普及、CO2放出ガス削減及びゼロエミッション化の早期実現を提案致します。

i Laboの水素内燃機関事業の市場



5. i Laboが目指す市場

事業No.1: Conversion (試作・改造) 事業
(I Laboとの協業による車種・エンジン別の
水素化仕様決定のための改造・試作事業)



中古ディーゼル
または
CNGトラック



クリーンH2トラック

事業No.2: Conversion (リピート) 事業
(試作・改造事業により水素化が確立したエンジンに
ついては、i Labo Gによるリピート改造品、又は
専門メーカーの標準水素エンジン購入)

7. まとめ

太陽エネルギーと地球上にある水資源を利用して人工的に無尽蔵に製造可能な水素をエネルギーの媒体として活用することは、この地球の環境問題と化石燃料枯渇化問題を同時に解決でき、永遠に地球は、人類にとって住みやすく、優しい惑星となると思います。

自動車は、人類にとって社会活動をしてゆくために、必需品であり、それは今後もずーと続くと思われれます。

地球の環境問題、エネルギー問題に大きく係る自動車の影響は大きい。

水素内燃機関は、高い技術力に支えられて発展してきた貴重な資源を有効活用して脱化石燃料化の早期実現に貢献する重要な選択肢の一つであるとi Laboは思っています。



長い間、ご清聴いただきありがとうございました。
お疲れ様でした。