

**Fuel Cycle Analysis (LCA) and
Future Aspect of Engine Systems and Transportation**

同志社大学大学院工学研究科教授

千田 二郎

Fuel Cycle Analysis (LCA) and Future Aspect of Engine Systems and Transportation

Jiro SENDA

Spray & Combustion Science Lab.
in Mechanical Engineering Dept.
< <http://comb.doshisha.ac.jp> >
Director of Energy Conversion Research Center
< <http://www1.doshisha.ac.jp/~ene-cent/> >
Doshisha University, Kyoto JAPAN

Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

[Contents]

I Fuel Cycle Analysis (a part of LCA)

→ Well to Tank & Tank to Wheel Analysis

I - I Stationary Use - Assessment under our Hydrogen Diesel Project
for the Application to Co-Generation or
Distributed Power Supply

I - II Transportation Use

II Future Aspect of Engine Systems and Transportation

II - I Overview Summary = Basic Scenario

II - II Future Aspect of Engine Systems

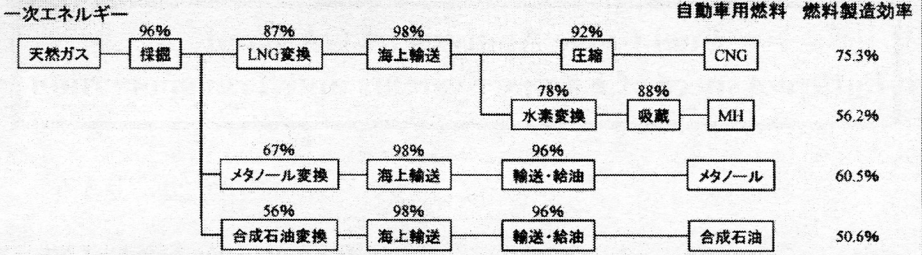
II - III Future Aspect of Transportation

Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

石油代替の1次エネルギー「天然ガス」の エネルギーフロー「燃料サイクル」

(自動車技術, 53-5, (1999-5), p.11)

製造プロセス

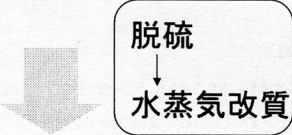


CO2排出原単位

	g-C / MJ		
	トータル	燃料製造段階	走行段階
CNG	17.8	4.3	13.5
MH	23.8	23.8	0.0
メタノール	22.1	5.5	16.6
合成石油	26.5	8.2	18.3

各種合成燃料と水素(2次エネルギー)の 天然ガスからの変換効率(現状)

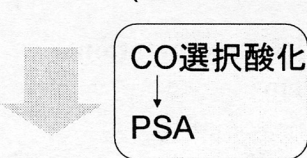
天然ガス



天然ガス → GTL

変換効率 : 61 % (HHV)
62 % (LHV)

合成ガス(水素, 一酸化炭素)



天然ガス → DME

変換効率 : 69 % (HHV)
70 % (LHV)

水素

天然ガス → 水素(水蒸気改質)

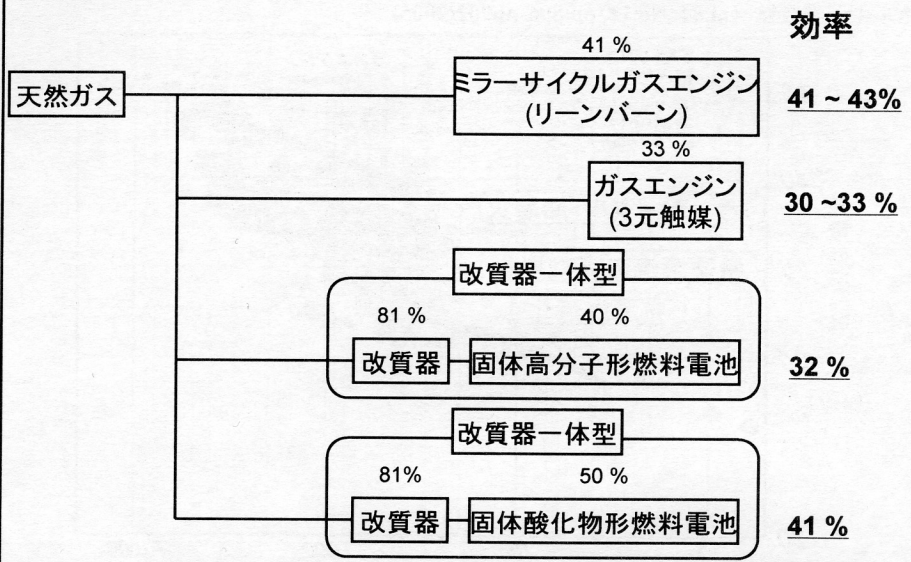
流量 : 数100Nm³/h (水素製造用)
変換効率 : 63 % (HHV)
58.8% (LHV)

Ref. NEDO, 天然ガスを燃料電池に用いた場合の総合効率の算定に関する調査, 平成12年度成果報告書

早野拓朗, 各種燃料の燃料電池自動車燃料用水素への変換効率, クリーンエネルギー, pp.36-pp.40.2003

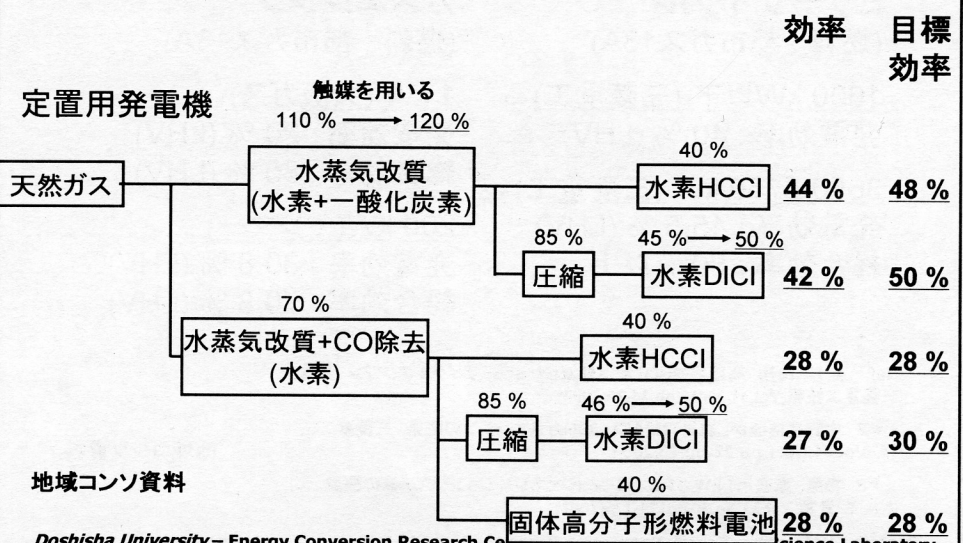
地域コンソ資料

定置用発電機を想定したTank to Wheel解析(現状)

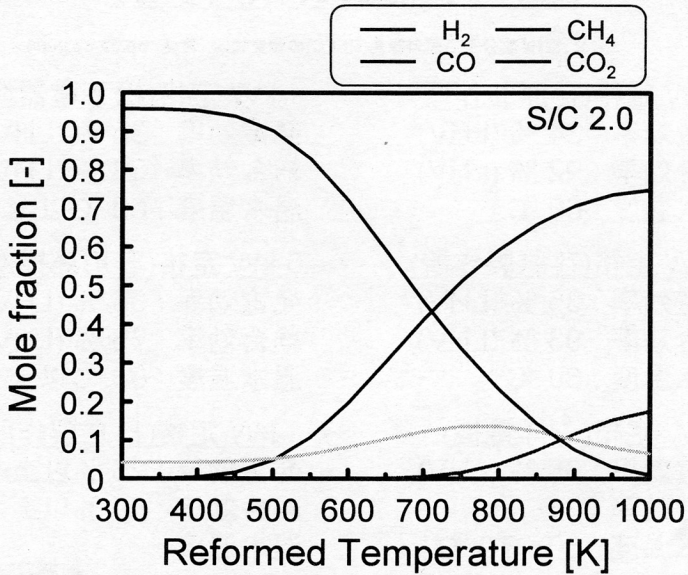


地域コンソ資料

天然ガス改質による水素製造時のエクセルギー上昇 を考慮したTank to Wheel (our Project)

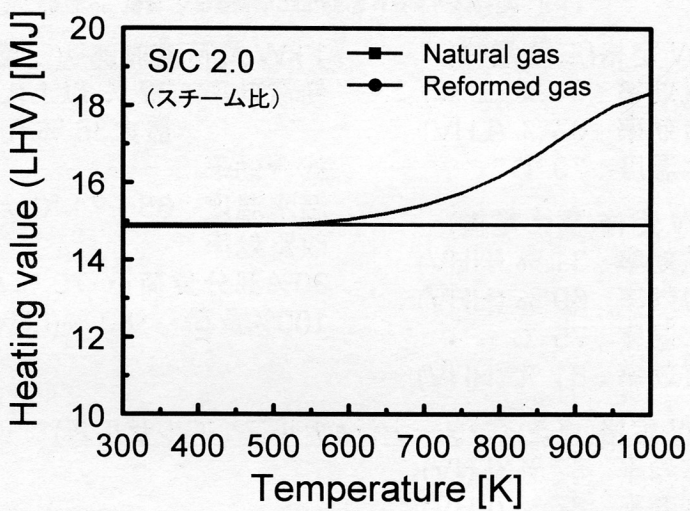


Natural gas reformed products under different temperature



Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

Effects of reformed temperature on heating value



Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

固体高分子形燃料電池 (PEFC)
(燃料：都市ガス13A) (参考)

Ref. 固体高分子形燃料電池(PEFC)の開発状況, 電機, pp.32-63.2004

1 kW 定格(荏原製作所)

発電効率：34 % (LHV)

総合効率：92 % (LHV)

温水温度：60 °C

1 kW 定格(荏原製作所)

発電効率：35 % (LHV)

総合効率：93 % (LHV)

温水温度：60 °C

1 kW 定格(三洋電機)

発電効率：35 % (LHV)

総合効率：

温水温度：60~70 °C

1 kW 定格(松下電器産業)

発電効率：35 % (LHV)

総合効率：82 % (LHV)

温水温度：60 °C以上

5 kW 定格(石川島播磨重工)

発電効率：35 % (LHV)

総合効率：75 % (LHV)

温水温度：60 °C以上

1 kW 定格(日立製作所)

発電効率：25 %以上 (HHV)

総合効率：60 %以上 (HHV)

温水温度：

地域コンソ資料

Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

固体高分子形燃料電池 (PEFC)
(燃料：都市ガス13A) (参考)

Ref. 固体高分子形燃料電池(PEFC)の開発状況, 電機, pp.32-63.2004

1 kW 定格(三菱電機)

発電効率：34 % (LHV)

総合効率：83 % (LHV)

温水温度：70 °C

1 kW 定格(富士電機)

発電効率：31 % (HHV)

総合効率：69 % (HHV)

温水温度：75 °C

改質効率：81 % (HHV)

1 kW 定格(東芝インターナショナルフュエルセルズ)

発電効率：37 % (LHV)

総合効率：87 % (LHV)

温水温度：

1 kW 負荷変動あり(三菱重工)

発電効率：32 % 以上(LHV)

最大36 % (LHV)

総合効率：

温水温度：65~71 °C

改質効率：

30%部分負荷...79 % (LHV)

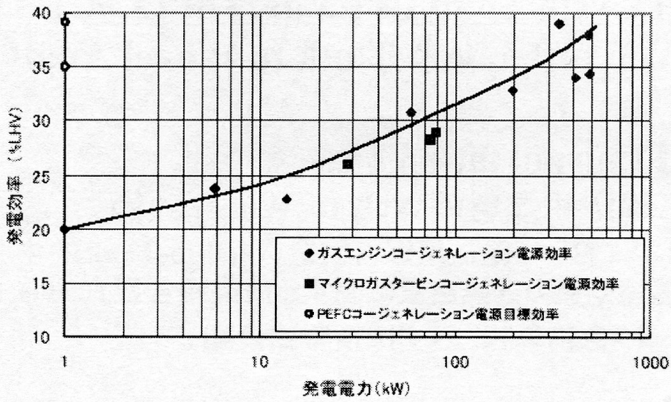
100%負荷...83 % (LHV)

地域コンソ資料

Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

各種小型コージェネレーション電源の発電効率比較(参考)

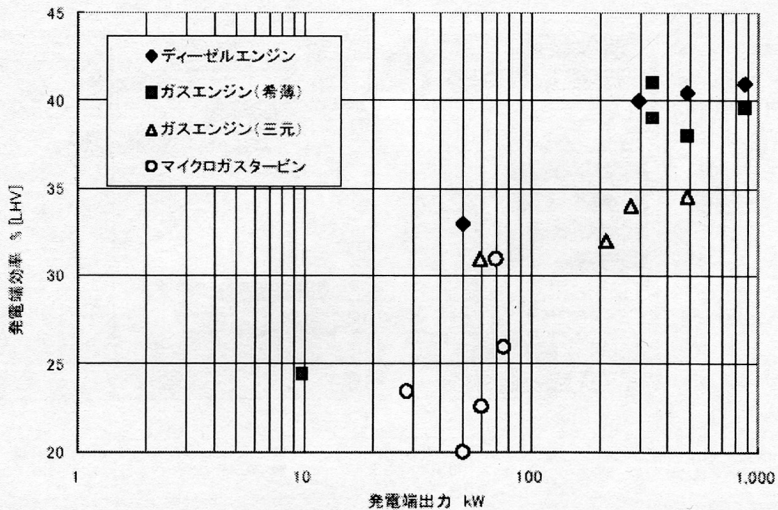
ref. NEDO, 燃料電池コージェネレーションシステムのエネルギー転換効率評価に関する調査,
平成13年度調査報告書



Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

小型原動機別発電出力と効率 (参考)

ref. NEDO, 燃料電池コージェネレーションシステムのエネルギー転換効率
評価に関する調査, 平成13年度調査報告書



Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

I Fuel Cycle Analysis (a part of LCA)

→ Well to Tank & Tank to Wheel Analysis

I - II Transportation Use

(Ex. 輸送用燃料のWell-to-Wheel 評価

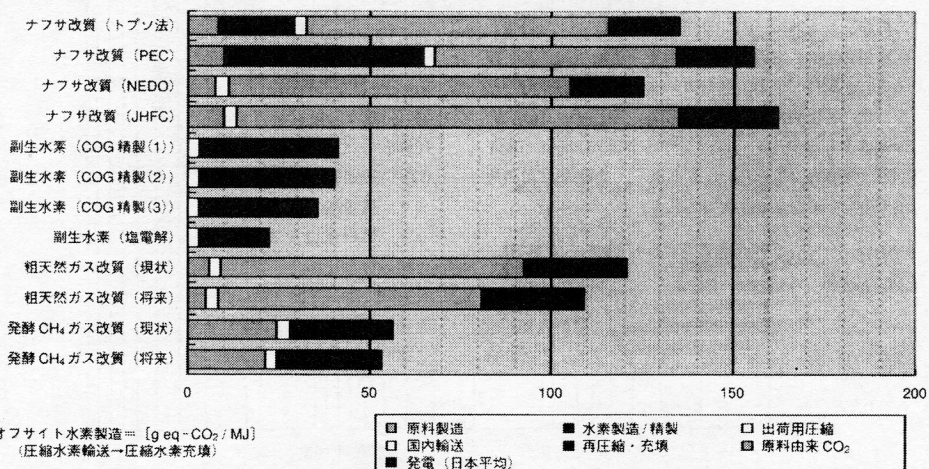
「日本における輸送用燃料製造(Well-to-Tank)を中心とした
温室効果ガス排出量に関する研究報告書」(2004.11)

トヨタ自動車株、みずほ情報総研株)

水素1MJ製造時における温室効果ガス排出量

(圧縮水素輸送→圧縮水素充填)

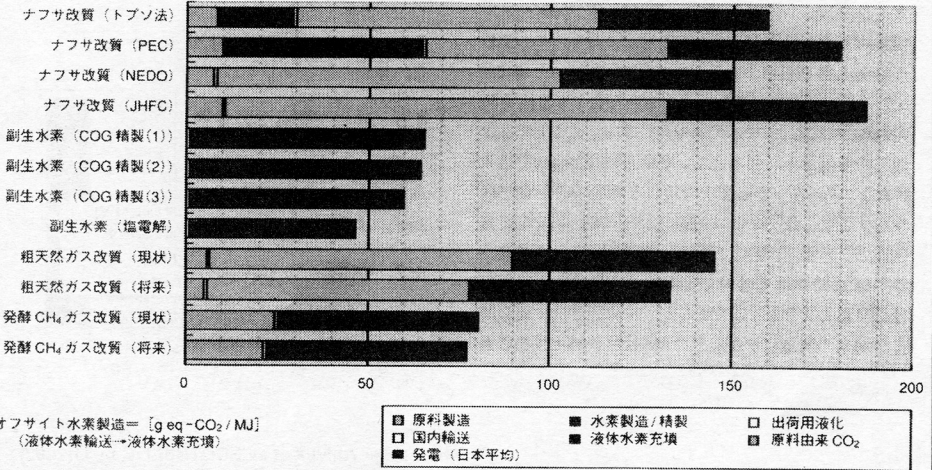
ref. 星博彦ほか, 水素の輸送用燃料としてのWTW評価, ENGINE TECHNOLOGY, vol.7, No.6, pp.48-pp53(2005)



水素1MJ製造時における温室効果ガス排出量

(液体水素輸送→液体水素充填)

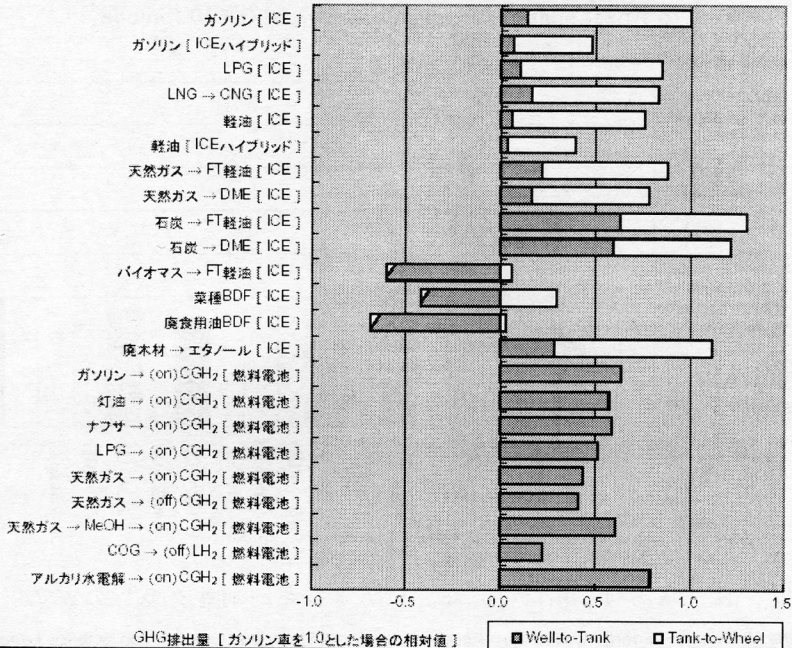
ref. 星博彦ほか, 水素の輸送用燃料としてのWTW評価, ENGINE TECHNOLOGY, vol.7, No.6, pp.48-pp53(2005)



Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

Well-to-Wheelでの温室効果ガスの排出量の算出例

ref. 星博彦ほか, 水素の輸送用燃料としてのWTW評価, ENGINE TECHNOLOGY, vol.7, No.6, pp.48-pp53(2005)

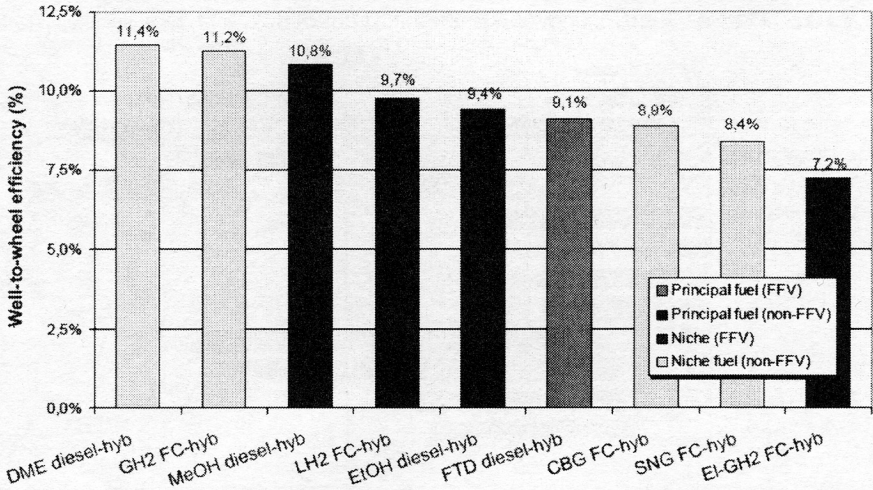


Dosl

ratory –

<参考-バイオマス起源>

System efficiency (well-to-wheel) for various fuels and powertrains
Best fuel/powertrain combination for each fuel – fuels from biomass



Ref: peter Ahlviik et al. ECOTRSFFIC pp31(2002)

ref. NEDO, WE-NET第二期研究開発 タスク1 システム評価に関する調査・研究, 平成14年度成果報告書<参考>

Well to Wheel energy consumption[MJ/km] for 10.15mode

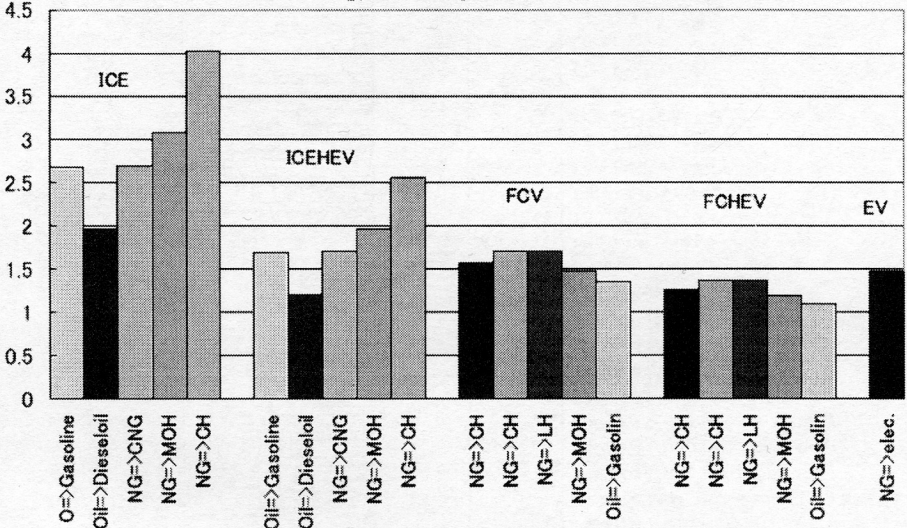


図 1.5.5-4 Well to Wheel エネルギー消費グラフの表示例

表 1.1 (A) 検討の対象とした燃料製造パス (石油起源)

<参考>

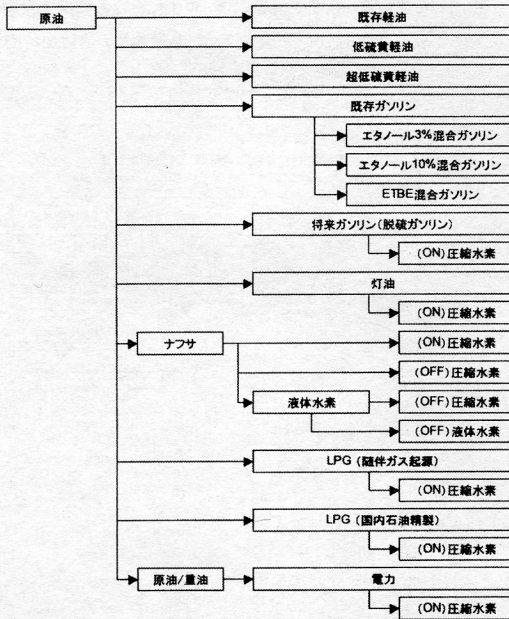
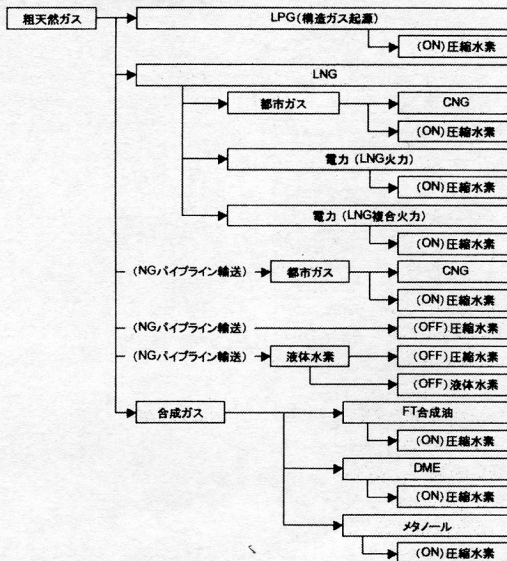


表 1.1 (B) 検討の対象とした燃料製造パス (天然ガス起源)

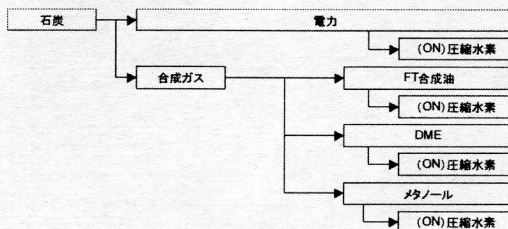
<参考>



ref. トヨタ自動車, みずほ情報総研, 日本における輸送用燃料製造(Well-to-Tank)を中心とした温室効果ガス排出に関する研究報告書(2004)

<参考>

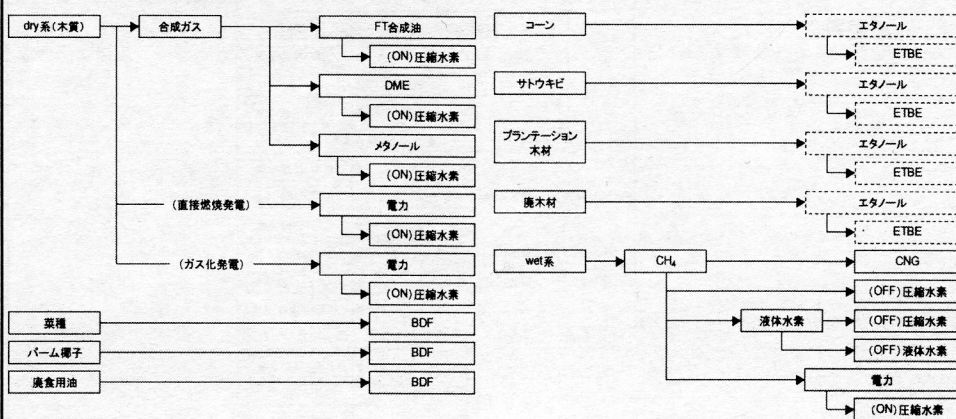
表 1.1 (C) 検討の対象とした燃料製造パス (石炭起源)



ref. トヨタ自動車, みずほ情報総研, 日本における輸送用燃料製造(Well-to-Tank)を中心とした温室効果ガス排出に関する研究報告書(2004)

<参考>

表 1.1 (D) 検討の対象とした燃料製造パス (バイオマス資源関連)



ref. トヨタ自動車, みずほ情報総研, 日本における輸送用燃料製造(Well-to-Tank)を中心とした温室効果ガス排出に関する研究報告書(2004)

<参考>

表 1.1 (E) 検討の対象とした燃料製造パス (電源ミックス (日本平均))

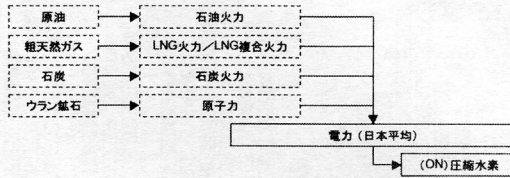
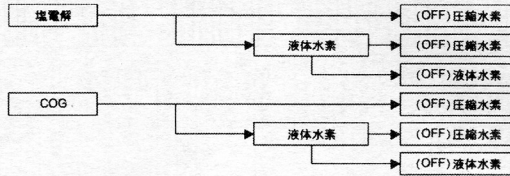
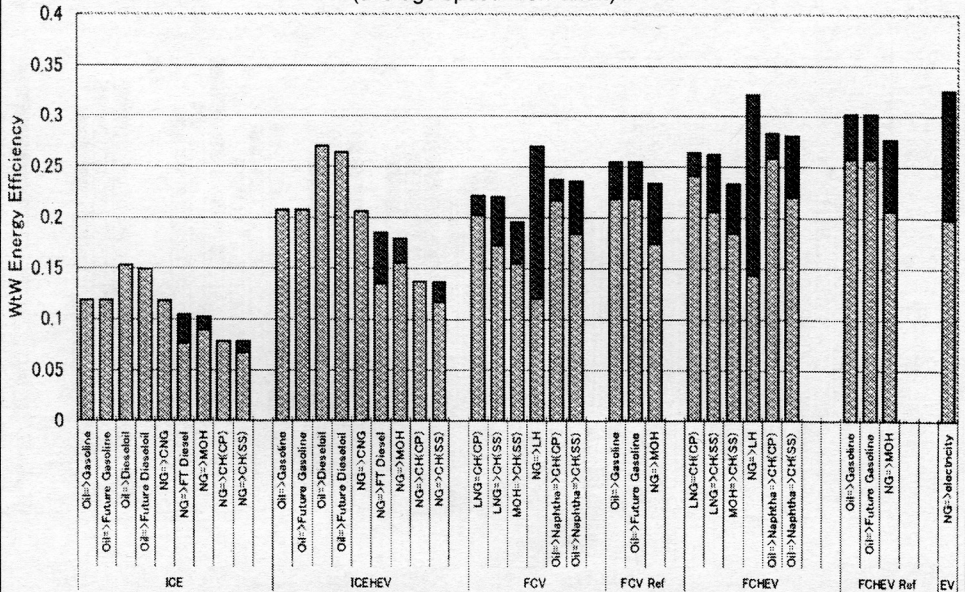


表 1.1 (F) 検討の対象とした燃料製造パス (副生水素)



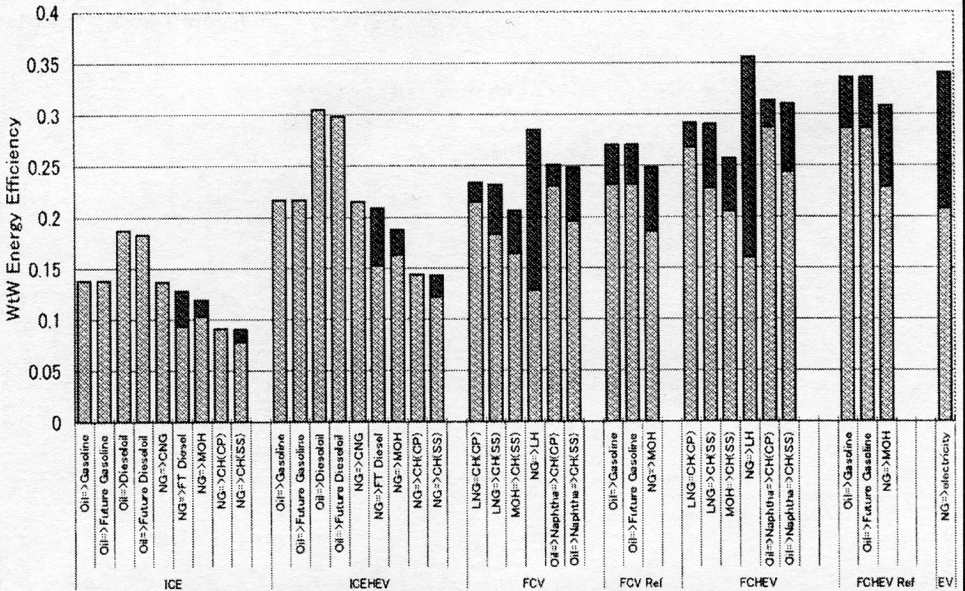
WtW Efficiency for ECE15
(average speed=18.7 km/h)

<参考>



WtW Efficiency for 10.15mode (average speed=22.7 km/h)

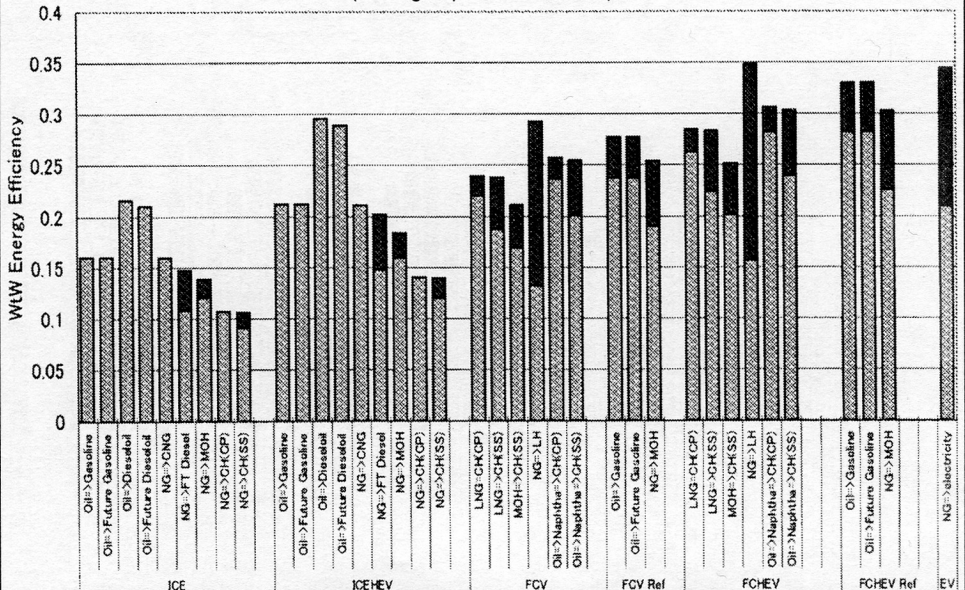
<参考>



ref. NEDO, WE-NET第二期研究開発 タスク1 システム評価に関する調査・研究, 平成14年度成果報告書
Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

WtW Efficiency forFUDS (average speed=31.4 km/h)

<参考>

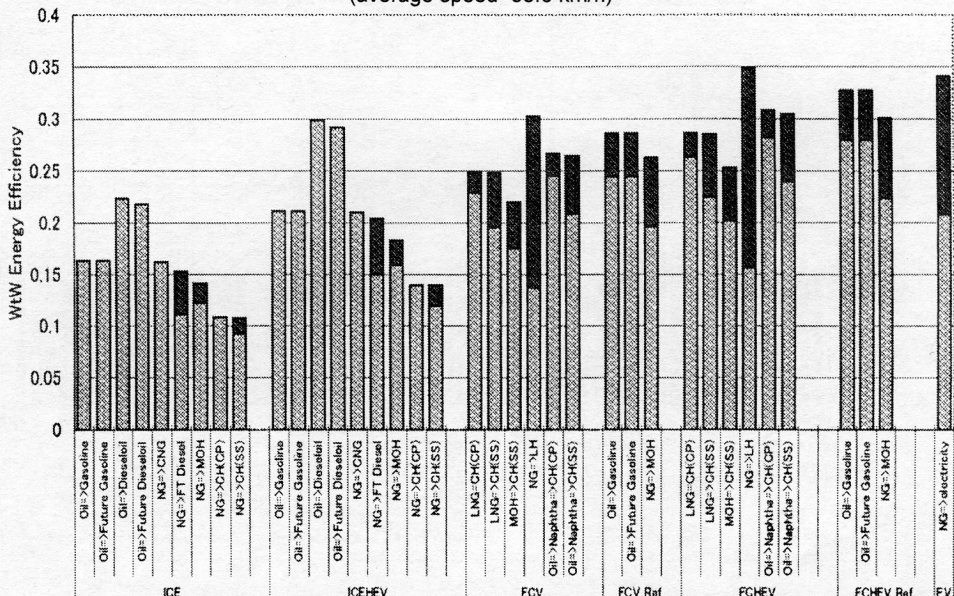


ref. NEDO, WE-NET第二期研究開発 タスク1 システム評価に関する調査・研究, 平成14年度成果報告書
Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

WtW Efficiency for NEDC

(average speed=33.6 km/h)

<参考>

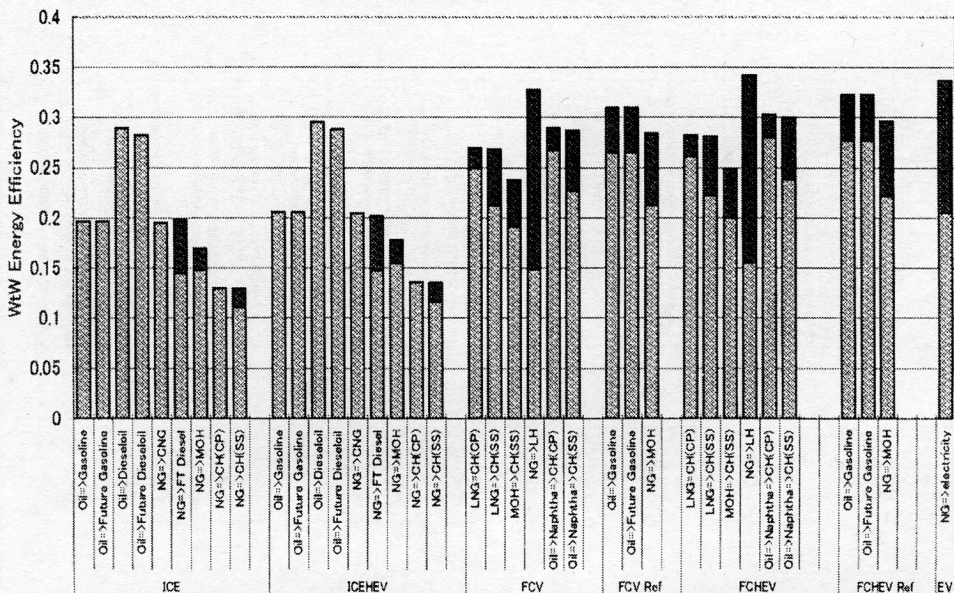


ref. NEDO, WE-NET第二期研究開発 タスク1 システム評価に関する調査・研究, 平成14年度成果報告書
 Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

WtW Efficiency for USHW

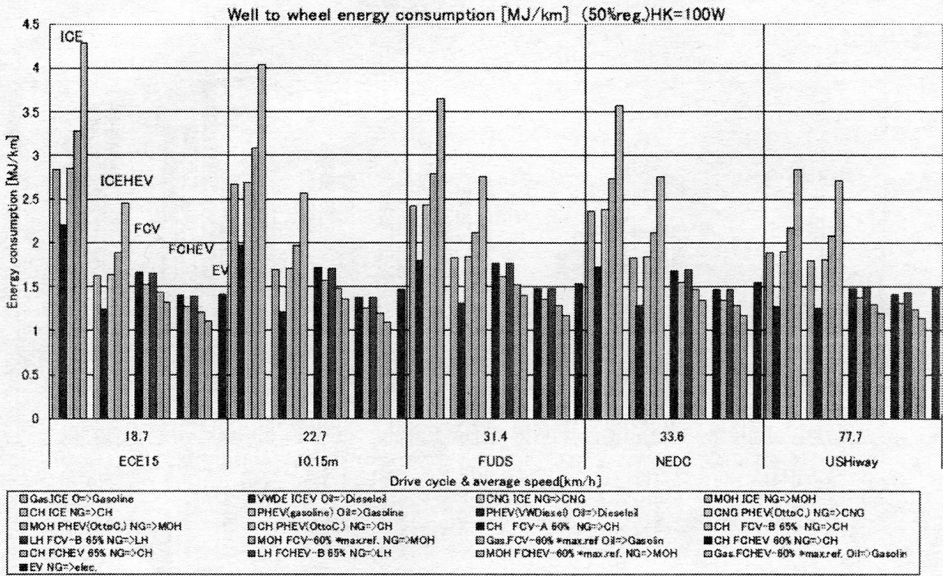
(average speed=77.7 km/h)

<参考>



ref. NEDO, WE-NET第二期研究開発 タスク1 システム評価に関する調査・研究, 平成14年度成果報告書
 Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

<参考>



ref. NEDO, WE-NET第二期研究開発 タスク1 システム評価に関する調査・研究, 平成14年度成果報告書
 Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

<参考>

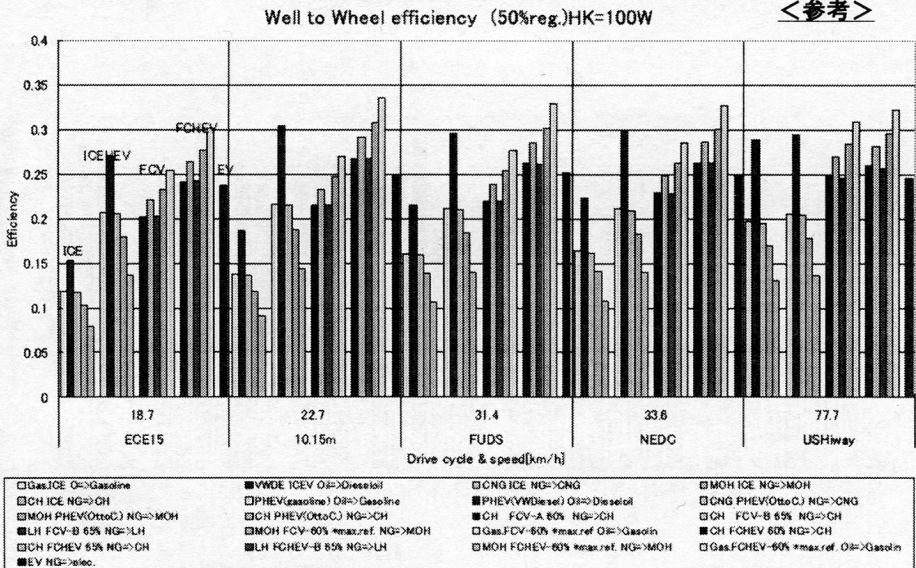
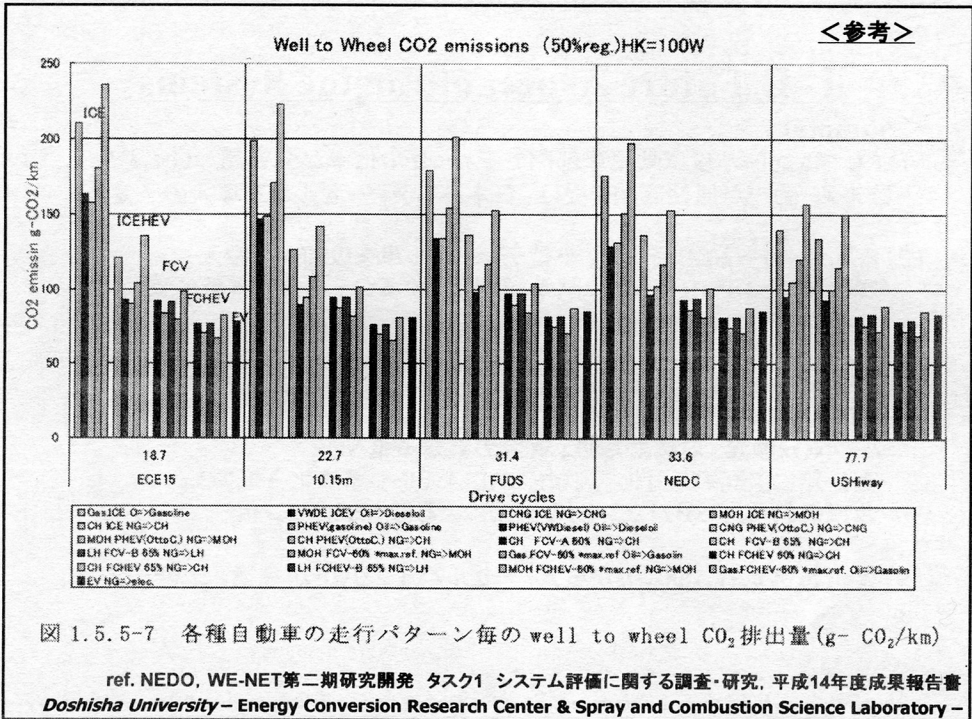


図 1.5.5-6 各種自動車の走行パターン毎の well to wheel 総合効率

ref. NEDO, WE-NET第二期研究開発 タスク1 システム評価に関する調査・研究, 平成14年度成果報告書
 Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -



II - Future Aspect of Engine Systems for Transportation

II - I Overview Summary = Basic Scenario

1. Present engine systems - Diesel and Gasoline Engines - still maintain the major position for several decades from their higher energy density and power density → Gasoline HV & Diesel HV → 2,4
2. In present engine systems, we are in the stage where engines should adapt to optimum fuels (including reformulation and synthesis) through well to tank (LCA) analysis. → *one of attempts is our fuel design approach*
3. Next generation power unit – Fuel Cell – will get a major position in the market at several decades after (around 2030~2040 ?) from the cost, durability, reliability and so on. → 5
4. Efforts for further higher efficiency and lower emissions in present engine systems or the transportation reach a limitation level.
 Therefore, introduction of next generation urban transportation system (TDM, ITS) and revolution of our life style (Car Shearing, Park & Ride) should be required. → 5
5. Eventually, the stage of “the right man (engine) in the right place”
 - several power unit systems are applied to the optimum use simultaneously through transportation distance and user density. → next slide

II - II Future Aspect of Engine Systems

<Summary>

- (1) EUでは2004年度に乗用車部門でディーゼル化率が50%超(2004-47%)
欧米メーカーが原油高騰を受け、日本へもディーゼル車を導入の予定
- (2) 日本メーカーもEU圏内で、小型ディーゼル車を以前から投入
(2002年ころDPNRヤリスに試乗、現代自動車のディーゼル開発が激しい)
- (3) ディーゼルエンジンにおいては
 - ・コモンレール噴射系適用による高圧・多段噴射→高効率・低PM
 - ・DPF,CRT,DPNR装着→低PM
 - ・リンNO_x触媒、旧蔵型触媒、SCRの装着→低NO_x
 - ・高過給による高出力化、広域EGRによるリン燃焼化→低NO_x
 - ・合成燃料(GTL,BTL,CTL)の適用による低エミッション化
- (4) Well to Wheel Analysisからディーゼルハイブリッドが今後メジャーとなる

Doshisha University - Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory -

ディーゼルエンジンの社会での Acceptability

<参考>

背景

1999.秋:石原都知事のすす封入ペットボトルアピール
「平成元年仕様10ton車 → 1km走行1gすす排出?」

東京都環境科学研究所:

- ・昭和58年規制車より換算
- ・dry soot+SOF → 全てdry sootに
- ・東京都の走行モード

2000.1: 尼崎公害訴訟の判決 → 自動車排気中のPM

検討すべき項目

- ・SPM,PMの健康面への影響度の定量化
(粒子径サイズ, Number Density)
- ・物流コストの上昇(燃ピ, 燃料代で実質65%上昇)
- ・次世代交通システムの導入(ITS,TDM)

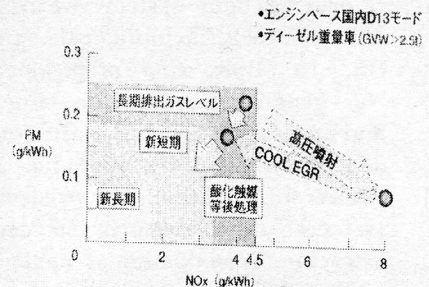
エンジンシステムの方向性

基本方針 = PMフリー化[高効率化] → PM ↓ & CO₂ ↓
NO_x触媒・SCR → NO_x ↓

短期: 高過給・高圧噴射

中長期: 最適燃料設計による超低排気エミッション化

ディーゼル排気ガス低減シナリオ



Spray & Combustion Science lab.
Doshisha Univ.

Borderless in Gasoline Eng. & Diesel Eng.

Gasoline Engine

Mixture formation

In recent gasoline engines & diesel engines...

- Mixture formation
- Combustion mode

No definite boundary

Hetero

diffusion combustion

premixed combustion

Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

Harmonization of Combustion Scheme in Gasoline Engine and Diesel Engine

→ Higher thermal efficiency and Lower emissions

1. Gasoline Engine → Direct Injection for higher efficiency
Diesel Engine → HCCI for lower emission

→ just Fuel is changed

→ Application of Mixing Fuels or on-board reformulation

→ FFV; Fuel sensing ?

2. Application of HCCI, HCSI, Rich-SI into one Engine (AVL)

→ Control of spark ignition

3. Several Variable Control in engine system

→ VVT (compression ratio), wide range EGR, higher pressure Fuel Injection, higher Boosting(T/C,S/C), ...

Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

2005東京国際自動車会議(日経新聞主催)での各社の戦略の抜粋

- <本田技術研究所> i-VTECと各種HV、次世代ガソリンHCCI研究 with VVT
<フォルクスワーゲン> 燃料→合成燃料(GTL, BTL)→今後25年間で50%を代替化
早期の水素FC導入には否定的
2015年頃に軽油でもガソリンでもない燃料の登場で新規燃焼プロセスが誕生
<GM> 2モード式HVの公共輸送バスへの導入(2003)
第1→第2世代の燃料電池(サプライチェーンの簡素化、システムがシンプル)
第1世代の実証期、2010年に第2世代システムへ
自宅での水素補給(1999～アメリカ・カリフォルニア燃料電池パートナーシッププロジェクト)
<トヨタ自動車> EVに否定的(電池のエネルギー密度はガソリンの1/100)
各種HV
<フォード> 水素FCの早期の導入には否定的、HV-SUV「エスケープ」の導入
<三洋電機> FCはコスト、耐久性、インフラの面で早期の導入は無理、
各種HVに注力→電池出力密度の向上＝燃費向上
現在主流のニッケル水素電池では2010年に2000W/kg
→リチウムイオン電池;2010年以降に4500W/kg
キャパシタは?→ストロングHVやEVになった際には長距離走行には不適か

Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

2006.1.8～北米自動車ショー開幕(デトロイト)

各社、環境・小型を前面に

- *トヨタ・フォードのがソリンハイブリッドの先行に対して
<米・GM> 1990年代後半に環境技術をFCに絞り込んだが、ダイムラー・BMW
と提携し、2007～ハイブリッドSUV開発

*ヨーロッパメーカーがディーゼル車を日本で販売
<独・ダイムラー> 2006.秋にベンツC, Eクラスで販売
<独・VW> 日本販売を検討中

*今後のメーカーの合従連衡の焦点は、ディーゼルハイブリッド技術
<仏・PSA-プジョー・シトロエン> 2006年に試作車開発
<仏・ルノー> 研究開発を加速

*燃料電池車をめぐる合従連衡もこれからが本番

Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

II-III Future Aspect of Transportation

ホロニック・エネルギーシステムの適用

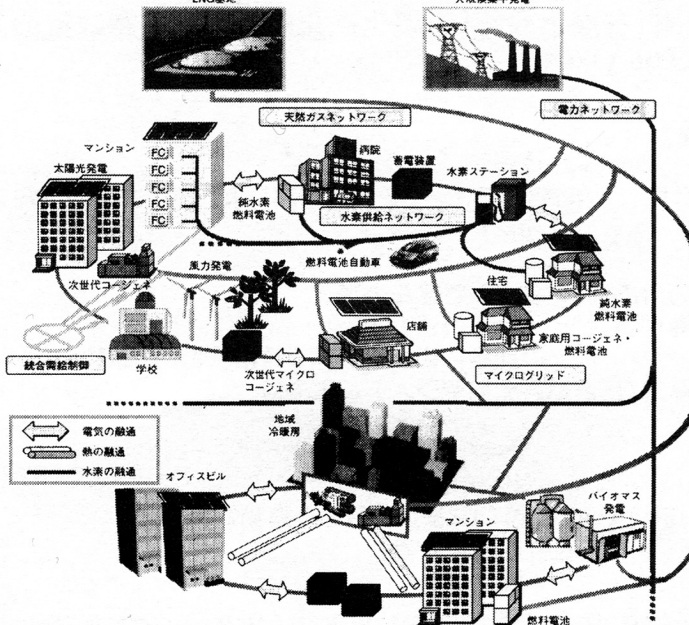
「エネルギーシステムの安定供給・環境保全・経済成長のトリレンマの解決のため、持続可能な社会の構築を目指して、分散型エネルギーと全体システムの有機的な調和を図るシステム」

→大規模集中システム中心の“ハードパス”と小規模分散型システム中心の“ソフトパス”を適材適所に配置することで
“ホロニックパス”を形成する

Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –

ホロニック・エネルギーシステムのイメージ

ref. 浅野 浩志, 日本機械学会誌, vol.108, No.1045, pp.946-pp947(2005)



Doshisha

Laboratory –

環境・エネルギーインパクト低減とモビリティ確保の両立化

(自動車技術, 53-2, (1999-2), p.16)

環境・エネルギーインパクト低減

1. 燃費向上 & 排出ガスクリーン化, クリーンエネルギー車への代替
⇒ 車両単体エネルギー効率向上
2. 交通流円滑化・渋滞緩和 ⇒ 走行エネルギー効率向上
3. 車の効率的利用・利用抑制 ⇒ 交通需要マネジメントによる走行車両数の抑制

4. **カーシェアリング** → ITSとの連動(位置モニタリング, 利用者認識, 課金システム)

- ・ 目的に合わせて必要十分な機能の車を使い分ける.
- ・ 特に乗用車トリップの大半を占める市街地での短距離トリップをインパクトミニマム化
(高齢者・女性の免許保有率向上 → 更なる短距離トリップへのシフト)

超小型EVをコミュニーターカーとして共同利用し,
カーシェアリングすることが今後のインパクト低減とモビリティの確保を両立させる.

国土交通省・有識者会議「温暖化防止に向けた道路政策の基本方針」(2006.1)

行動計画

対象年度 : 2006~2012年

CO2削減目標 : 年間800万トン = 交通量増加による2010までのCO2増加量

削減方法

1. 自動車利用の抑制・省エネ型運転の導入
2. 道路整備(拡幅など)による渋滞解消
3. ヒートアイランド現象の抑制—街路樹による緑化、保水性舗装
4. 路上駐車対策・自動料金収受システム(ETC)

--> ?

もっと積極的・体系的な施策は?

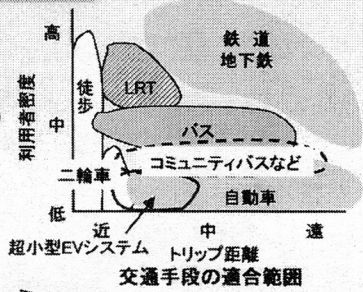
Sustainable Urban City 的な都市設計との連動が必要

21世紀のトランスポーテーションについて

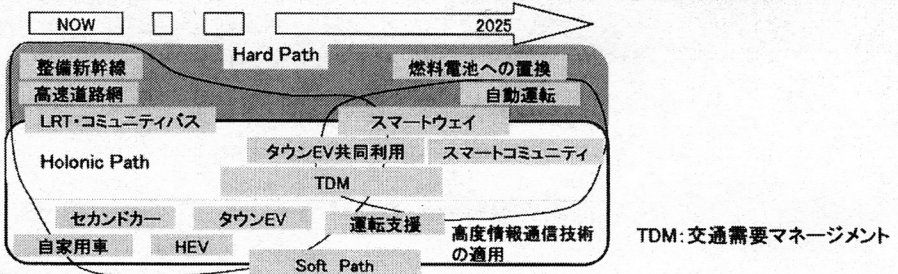
(自動車技術, 53-6, (1999-6), p.10)

都市交通の適合範囲

- ハードパス: 鉄道・バス(マストラ)
 ↳ 中規模輸送システム化(新交通システム)
 (Light Rail Transit)
 ソフトパス: 乗用車・タクシー
 ↳ 超小型EV化



30年後のトランスポーテーションシステム



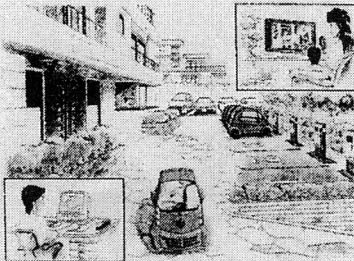
TDM: 交通需要マネージメント

超小型EVシェアリングシステム

(自動車技術, 53-2, (1999-2), p.19)

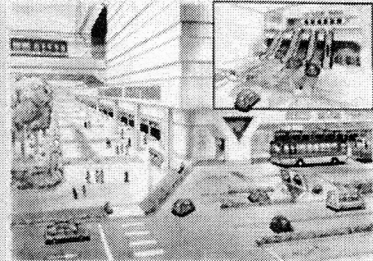
マンション居住者共同利用システム

- ・共同でEVを複数所有
- ・車両と充電設備はエントランス近くに設置
- ・住宅内CATVで利用予約・車両位置モニター



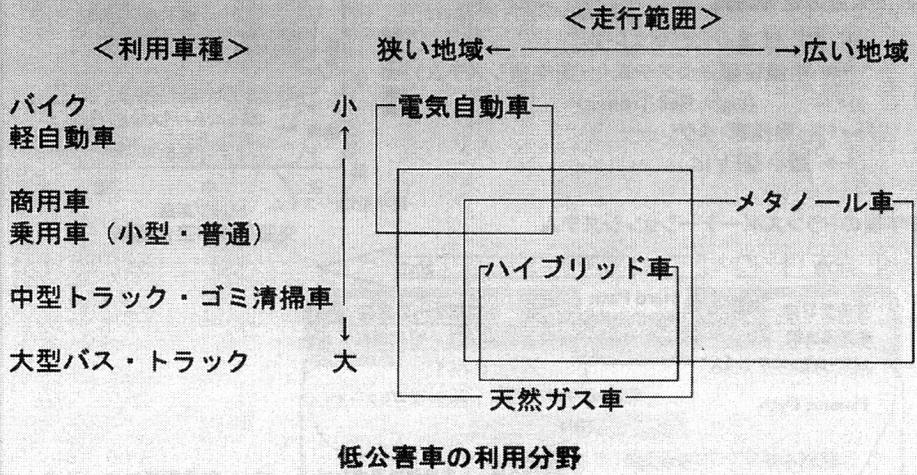
超小型通勤車のパーク&ライドシステム

- ・自宅—最寄駅と職場—最寄駅の往復に利用(door to doorを確保)
- ↳ コミューター+鉄道へのモーダルシフト

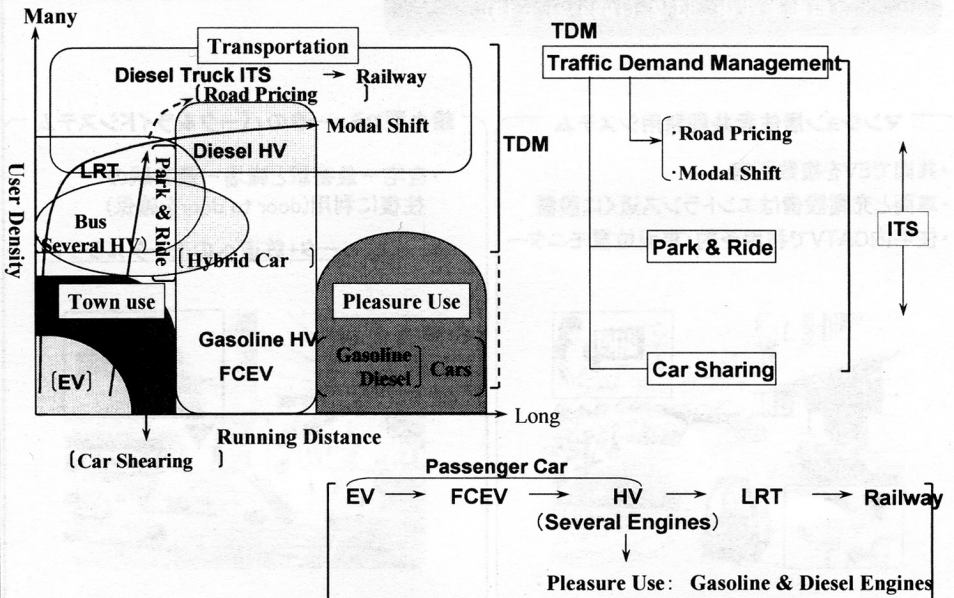


低公害車の利用分野

(エネルギー・資源, 15-5(1994-9), p.29)



Optimum Mapping of Transportation System (my private plan)



The END - 完 -

Thank you for your kind attention

Jiro SENDA
Spray & Combustion Science Lab.
Doshisha University, Kyoto JAPAN

Doshisha University – Energy Conversion Research Center & Spray and Combustion Science Laboratory –