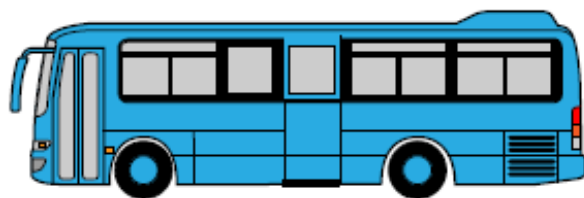


大型車の電動化への期待 ～大型電動車両の普及状況と現状性能の紹介を中心に～



交通安全環境研究所 フォーラム2022 招待講演
(2022年11月15日)

早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科 教授
(早稲田大学 電動車両研究所 所長)

紙屋 雄史

(<http://www.f.waseda.jp/kamiya/>)

1

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



目次

大型車の電動化への期待 ～大型電動車両の普及状況と現状性能の紹介を中心に～

- 1 大型車のカーボンニュートラル化を目指して
- 2 バスを例とした大型電動車両の普及状況紹介
- 3 実測データに基づく電動バス・トラックの現状性能紹介
- 4 まとめ

2

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



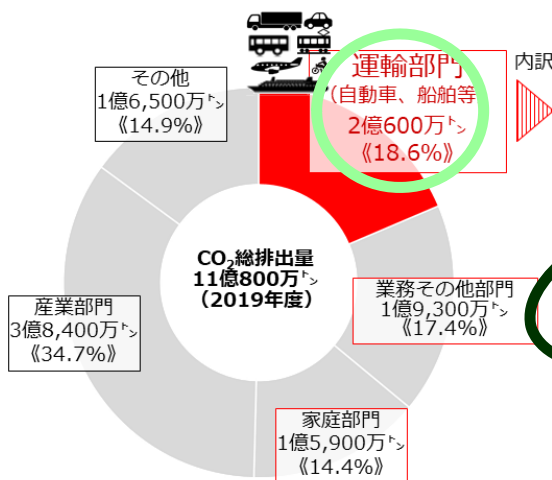
～2050年カーボンニュートラル脱炭素社会の実現を目指して～

我が国の運輸部門二酸化炭素排出量の特徴

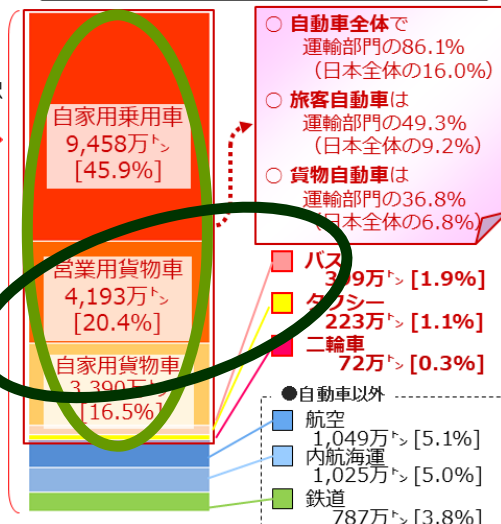
総排出量の約2割が運輸部門

- 運輸部門の約9割が“自動車”からの排出
- 運輸部門の約4割が地域交通や物流の支えとなる“大型車”からの排出

我が国の各部門におけるCO₂排出量



運輸部門におけるCO₂排出量



運輸部門における二酸化炭素排出量 (2019年度)

(https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sousei_environment_tk_000007)

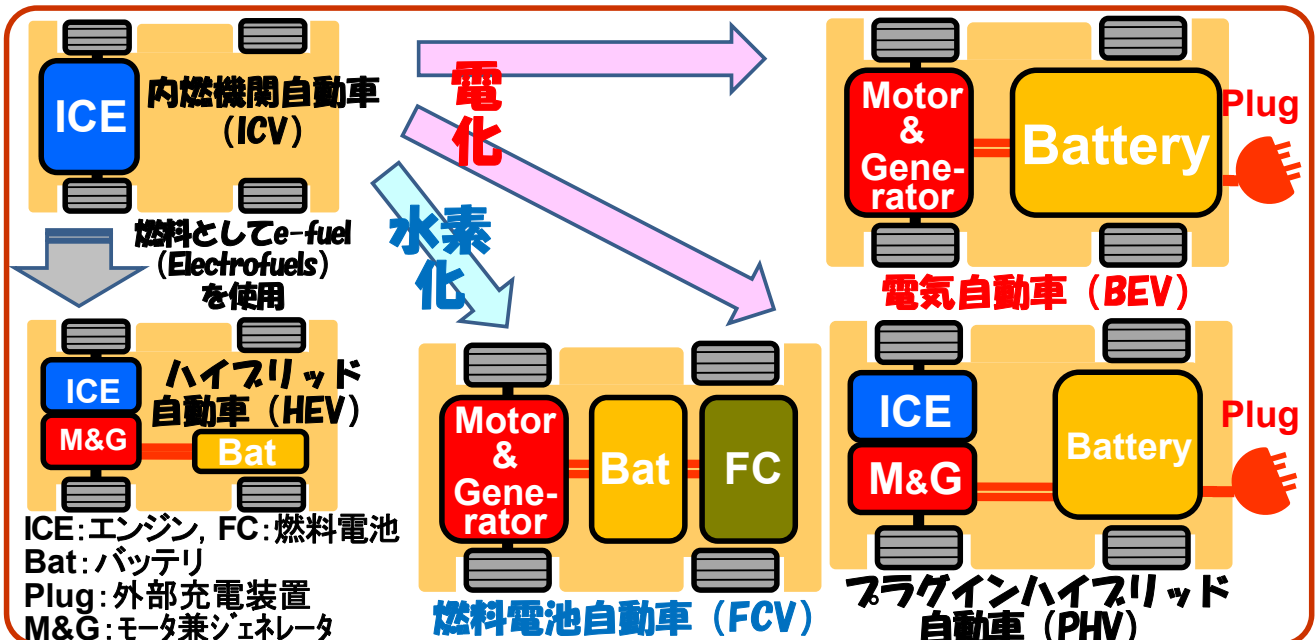
Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～2050年カーボンニュートラル脱炭素社会の実現を目指して～

自動車のカーボンニュートラル化に向けた方向性の例 (他にも多々あり)

- 電動化 (電化: BEV・PHV) ... 再生可能電力 → バッテリー・モータ
- (水素化: FCV) ... 再生可能電力 → G水素 → 燃料電池 → バッテリー・モータ
- e-fuel使用 ICV・HEV ... 再生可能電力 → G水素 → e-Fuel(H₂ & CO₂ 合成) → 内燃機関





大型車の電動化への期待

～大型電動車両の普及状況と現状性能の紹介を中心に～

1 大型車のカーボンニュートラル化を目指して

2 バスを例とした大型電動車両の普及状況紹介

3 実測データに基づく電動バス・トラックの現状性能紹介

4 まとめ



～電動バス（電気バス、燃料電池バス）に共通する長所～

◎ 高効率かつ低炭素効果に優れる & エネルギーシフト(脱石油)効果大

⇒ 環境・エネルギー問題に対処できる
“地球に優しい！”車両方式

◎ 乗車環境が良好

⇒ 変速ショック無し(もしくは変速回数少)
※変速機不要(もしくは段数少)
& 低騒音・低振動
“乗客に優しい(乗っているヒトに優しい)”

◎ 走行時に周囲環境へ与える負荷が微小

⇒ ゼロエミッション&低騒音
“走行ルート(特に生活道路)沿線の住民・建築物・
自然に優しい(周りのヒトとモノに優しい)”



環境・エネルギー問題への対応(⇒地球に優しい)に加え、
“ヒトにも優しい”ことから“バス”に最適！ (◎バス>○乗用車,トラック…)



～国交省地域交通グリーン化事業・導入実績①～

補助決定時期	導入地域(事業実施者)	導入車両
2021年 7月	山梨県(山梨交通)	電気バス2台(大型, 長距※1)
	東京都墨田区(日野自動車, 京成バス)	電気バス1台(小型, 長距)
	東京都羽村市(日野自動車, 西東京バス)	電気バス1台(小型, 長距)
	埼玉県ときがわ町(イーグルバス)	電気バス5台(小型, 長距)
	石川県小松市(日野自動車, 小松バス)	電気バス1台(小型, 長距)
	岐阜県美濃加茂市(新太田タクシー)	電気バス1台(小型, 長距)
	大阪府(関電L&G, 近鉄バス)	電気バス2台(小型, 長距)
2021年 2月	沖縄県国頭郡(新報トラスト)	電気バス1台(小型, 長距)
	京都府(関電L & A)	電気バス4台(小型, 長距)
2020年 6月	大阪府(阪急バス)	電気バス2台(大型, 長距)
	茨城県つくばみらい市(関東鉄道)	電気バス1台(小型, 長距)
	埼玉県久喜市(協同バス)	電気バス1台(小型, 長距)
	栃木県日光市(栃木県)	電気バス1台(大型, 長距)
	千葉県千葉市(平和交通)	電気バス2台(大型, 長距), 1台(小型, 長距)
	長野県飯田市(フリートEVインテグ)	電気バス1台(小型, 長距)
	沖縄県(新報トラスト)	電気バス1台(小型, 長距)
2019年 7月	岩手県盛岡市(岩手県交通)	電気バス1台(大型, 長距)
	埼玉県川越市(イーグルバス)	電気バス1台(中型, 長距)
	山梨県富士吉田市(富士急バス)	電気バス2台(大型, 長距)
	福岡県福岡市(西日本鉄道)	電気バス1台(大型, 短距※2, 改造※3)
	熊本県熊本市(熊本市)	電気バス1台(小型, 短距, 改造)
	沖縄県(伊江島観光バス)	電気バス2台(大型観光, 長距)

長距※1: 長距離走行夜間充電型, 短距※2: 短距離走行高頻度充電型, 改造※3: 車両改造メーカーによる製作

7

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～国交省地域交通グリーン化事業・導入実績②～

補助決定時期	導入地域(事業実施者)	導入車両
2018年 6月	岩手県盛岡市	電気バス1台(大型, 長距)
	福島県南会津郡	電気バス3台(中型, 長距)
2017年 5月	東京都	燃料電池バス3台(大型)
2016年12月	京都府京都市	電気バス3台(大型, 長距)
2016年10月	東京都	燃料電池バス2台(大型)
2016年 7月	東京都港区	電気バス2台(小型, 短距, 改造)
2015年 6月	東京都西多摩郡瑞穂町	プラグインハイブリッドバス1台(中型)
2015年 3月	埼玉県春日部市	プラグインハイブリッドバス1台(中型)
2014年 6月	神奈川県川崎市	電気バス1台(中型, 短距, 改造)
	京都府京都市	電気バス5台(大型, 長距)
2013年12月	福岡県北九州市	電気バス2台(大型, 短距)
2013年 6月	三重県伊勢市	電気バス1台(大型, 短距, 改造)
	宮城県気仙沼市	電気バス1台(中型, 短距, 改造)
2013年 3月	東京都千代田区・中央区	プラグインハイブリッドバス2台(大型, 改造)
	鹿児島県薩摩川内市	電気バス1台(大型, 短距)
2012年 7月	岩手県宮古市	電気バス1台(中型, 短距, 改造)
	東京都千代田区・中央区	プラグインハイブリッドバス2台(大型, 改造)
	石川県小松市	電気バス1台(小型, 短距)
2011年12月	東京都墨田区	電気バス1台(小型, 短距)
	東京都羽村市	電気バス1台(小型, 短距)

～71台の電動バス導入実績 (2021年度公募まで)～

電気バス: 60台 (短距離走行高頻度充電型: 14, 長距離走行夜間充電型: 46),

プラグインハイブリッドバス: 6台, 燃料電池バス: 5台

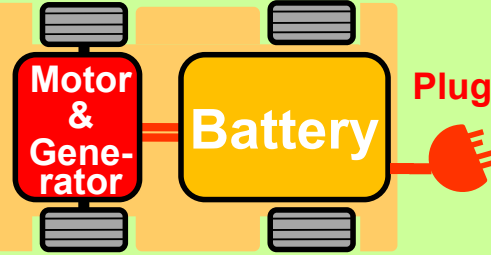
8

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～電気バスと燃料電池バスの特徴比較／電気バス①～

電動バスファミリーの中での“電気バス”の位置づけと特長



最もシンプルな動力システム構成！

しかも、
得られる環境調和性能は絶大！

究極の電動バス

二種類の電気バス設計コンセプト

“短距離走行・高頻度充電型”

走行ルート一周程度(もしくは半日走行分)を走破可能な小容量バッテリーを車載し便間(もしくは昼休)等に充電する方式
(高頻度充電により航続距離問題に対処)

※小容量のバッテリー車載

- 空車重量減による走行エネルギー削減
- 十分な車室空間・乗車定員確保

※便間(昼休み)充電が必要

- × 充電作業を短時間・安全・手間をかけずに行う必要あり
- × 適切な場所への急速充電装置整備要

“長距離走行・夜間充電型”

一日の走行距離を走破可能な大容量バッテリーを車載し夜間充電する方式
(夜間充電のみの対応で充電問題に対処)

※便間充電が不要

- 航続距離性能範囲内においてディーゼルバス完全代替が可能

※大容量のバッテリー車載

- × 空車重量増大
- × 乗車定員減少
- × 設計上の諸制約(専用設計車両要)

9

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～電気バスと燃料電池バスの特徴比較／電気バス②～

我が国の電気バス導入動向

国交省導入補助開始時期の状況(2011年～2016年頃)

- 大きく・重たく・高価で短寿命な“リチウムイオンバッテリー”の搭載量を最小限化出来る“短距離走行・高頻度充電型”電気バスの導入が主流
- ※当時のバス用途バッテリーは極めて高価

近年の状況(2016年頃～現在)

- ①廉価バッテリーを大容量搭載した海外製の“長距離走行・夜間充電型”電気バスの導入が加速

～海外製長距離走行・夜間充電型電気バスの現状～

●価格面のアドバンテージ

- ⇒バッテリー部分が極めて安価であるため小容量バッテリー搭載の国内製Dバス改造短距離走行・高頻度充電型よりも低価格

●電気バス専用設計ボディーの採用によるアドバンテージ

- ⇒Dバス改造短距離走行・高頻度充電型と比べ低床化・搭載機器レイアウト最適化・ボディー軽量化等が進展
- ⇒我が国の運用事情に合わせた大型短尺モデル等の販売も開始

●信頼性・耐久性やアフターサービス体制の充実化

10

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～電気バスと燃料電池バスの特徴比較／電気バス③～

我が国の電気バス導入動向

近年の状況(2016年頃～現在)

- ① 廉価バッテリーを大容量搭載した海外製の“長距離走行・夜間充電型”電気バスの導入が加速
- ② 車両複数台導入の主流化（シンボルの意味合いから本格的フェーズへ）

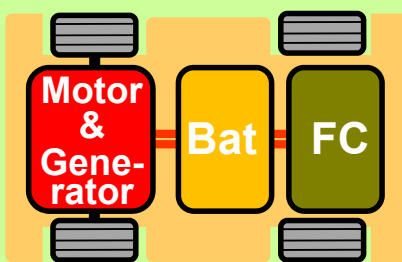
～電気バス充電問題の変化～

- 導入初期の“短距離走行・高頻度充電”型電気バスにおける充電問題
 - 充電作業を“短時間・安全・手間いらず”の状況にて実施する事が困難な点
 - … 対処技術開発／充電器側の高性能化が中心(例:ワイヤレス充電化)
 - 近年の“長距離走行・夜間充電”型電気バスにおける充電問題
 - “同一場所での複数車両への同時充電”が困難な点
 - ・ バスの夜間保管場所は狭小化が進む(特に都市部においてキュービクルや充電器本体等の機器を設置するスペースの確保が困難)
 - ・ 複数車両への同時充電は契約電力(基本料金)増大化を招く
- ※ “充電場所”と“充電時間帯”の両者に対する分散化マネジメントが今後のさらなる大量導入に向けて必要



～電気バスと燃料電池バスの特徴比較／燃料電池バス～

電動バスファミリーの中での“燃料電池バス”の位置づけと特長



- ① 航続距離性能に優れる
 - 長距離走行・夜間充電型電気バスやDバスと同様一日一回のエネルギー(水素)充填で運用可能
- ② 電気バス比較で短時間のエネルギー充填が可能
- ③ 水素は多様な一次エネルギーから製造可能
 - 資源に乏しい我が国にとって“エネルギーセキュリティ”面で好都合
- ③' 水素を低炭素な方法で製造できればCO2削減効果が良好

※ 導入は近傍に水素Stが存在 & 利用可能な路線に限定

※ 導入可能車両は事実上一車種のみ

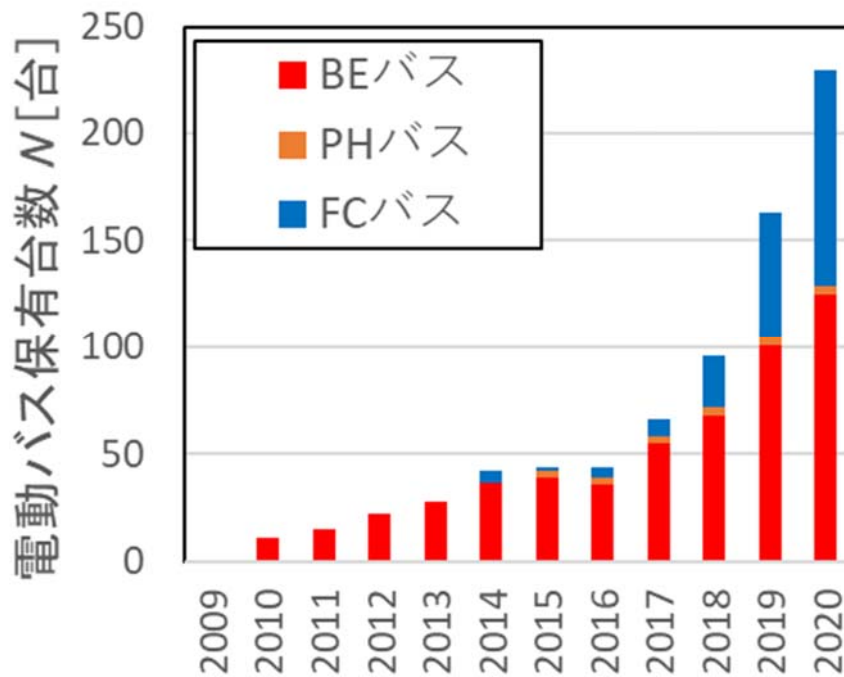
- 大型燃料電池バス(トヨタSORA)
 - ・ 全長×全幅×全高: 10.5×2.5×3.3m
 - ・ 乗車定員: 77人(客席26+立席50+運転手1)
 - ・ 航続距離: 150km
 - ・ モータ: 同期型110kW/ 335Nm×2
 - ・ 燃料電池: 固体高分子形114kW×2
 - ・ バッテリー: ニッケル水素型
 - ・ 水素タンク: 480ℓ@70MPa×8



出典: 東京都交通局HP



～バスを例とした大型電動車両の普及状況紹介～



我が国における各種電動バス
(電気バス, フラグインハイブリッドバス, 燃料電池バス)
保有台数の推移
資料) 自動車検査登録情報協会

13

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



目次

大型車の電動化への期待

～大型電動車両の普及状況と現状性能の紹介を中心に～

- 1 大型車のカーボンニュートラル化を目指して
- 2 バスを例とした大型電動車両の普及状況紹介
- 3 実測データに基づく電動バス・トラックの現状性能紹介
- 4 まとめ

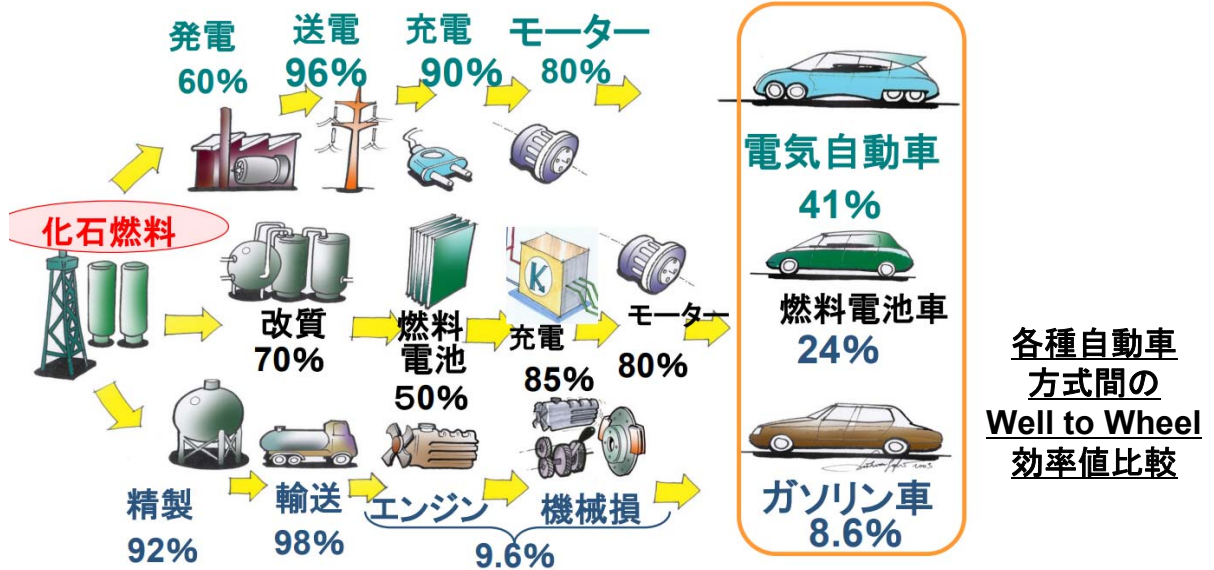
14

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～自動車を対象とした種々の性能評価方法～

- ①車両走行時のみの評価(Tank to Wheel評価)
- ②燃料採掘から走行までの総合評価(Well to Wheel評価)
- ③車両製造から走行・廃棄までの総合評価(LCA評価)



清水浩: 電気自動車のすべて, 日刊工業新聞

15

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



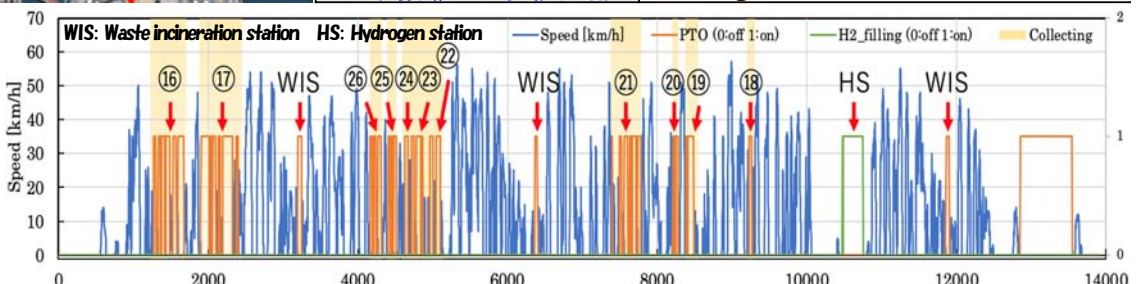
～燃料電池ごみ収集車を実例とした “TtoW” 性能分析①～

2019～2021年度 東京都 大学研究者による事業提案制度 (研究代表者: 早大・紙屋雄史)
「水素社会実現に向けた燃料電池ごみ収集車運用事業」



名称(ベース車)	“東京号”(日野自動車RANGER 4.0t)
乗車定員/最大積載量	3人/1750kg (株)フラットフィールド 改造)
空車重量/総重量	6080kg/7995kg
モーター	最高出力150kW/最大トルク450Nm
燃料電池	固体高分子形/最高出力33kW/620kg
バッテリー	26.5kWh (80Ah)/331V/重量336kg
水素搭載量/航続距離	4.2 kg (ボンベ55℃想定)/約80km

東京都港区
 における
 運用データ
 (例: 2021年
 8月17日/
 37km走行)



16

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY

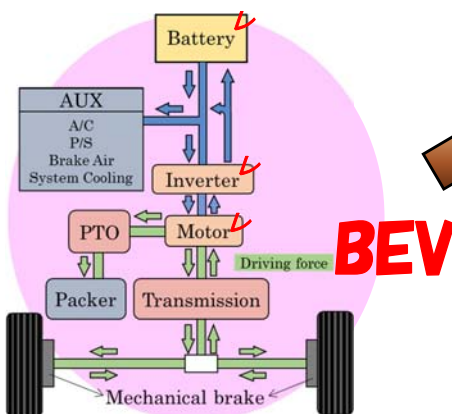


～燃料電池ごみ収集車を実例とした“TtoW”性能分析②～

燃料電池ごみ収集車の動力システム構成

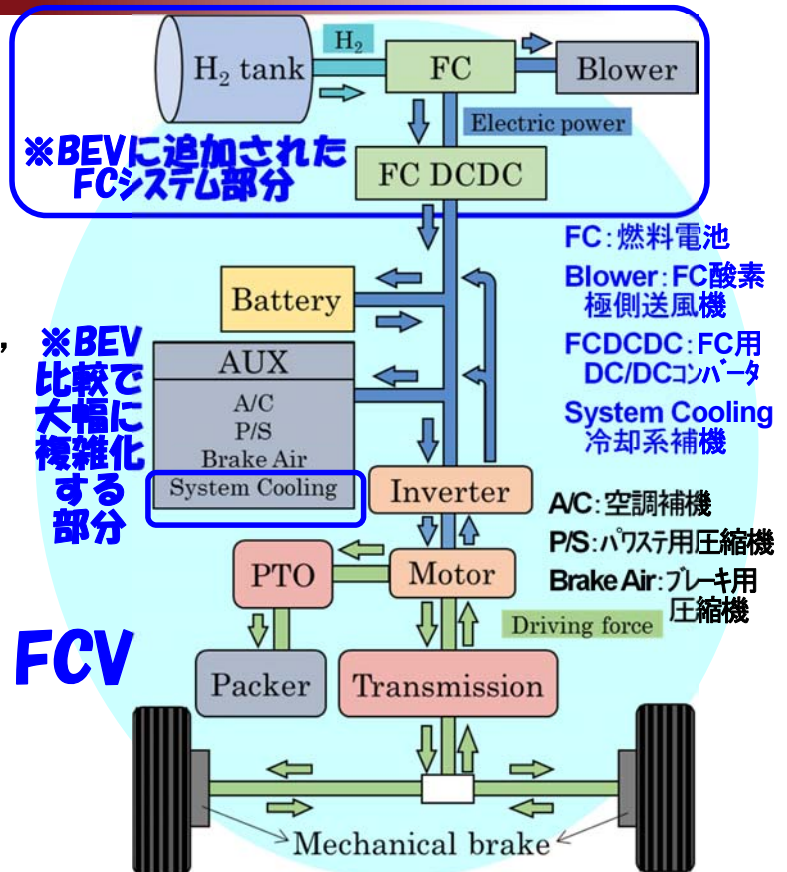
電気自動車 (BEV):
“車載電気エネルギーの直接利用”
⇒ シンプルな動力システム

燃料電池自動車 (FCV):
“水素to電気変換後のエネルギー利用”
⇒ 複雑な動力システム
⇒ 損失増 (車両効率低下)



※BEV比較で大幅に複雑化する部分

FCV



Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY

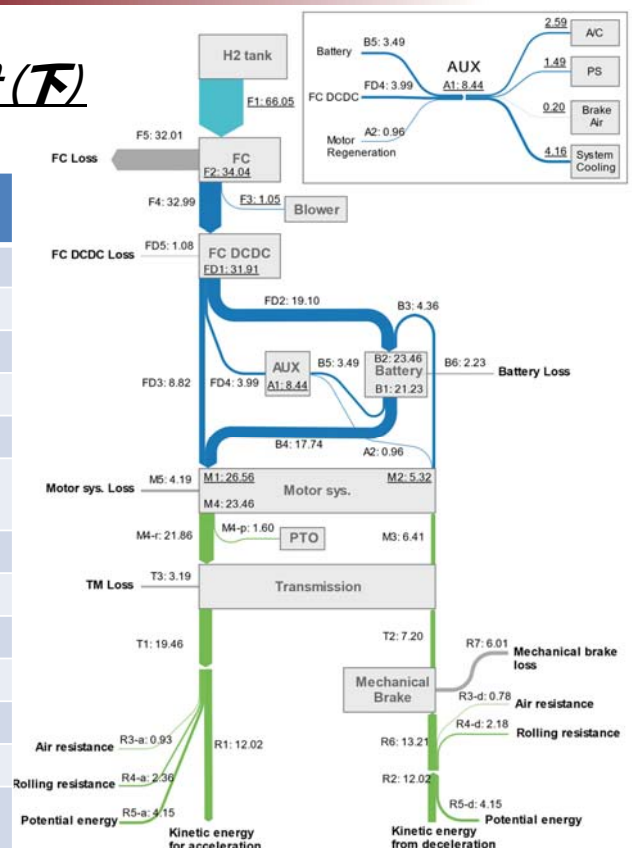
17



～燃料電池ごみ収集車を実例とした“TtoW”性能分析③～

燃料電池ごみ収集車内のエネルギーフロー (右) と損失発生量 (下) (2021年8月17日走行分集計)

各搭載機器における消費エネルギーor損失	エネルギー kWh	備考
消費水素エネルギー	66.05	
FC本体損失	-32.01	
FC Blower消費エネルギー	-1.05	
DCDCコンバータ損失	-1.08	
バッテリー充放電損失	-2.23	
補機消費エネルギー	-8.44	うちFC関連1.56kWh (冷却ファン+ポンプ)
モータシステム損失	-4.19	
PTO消費エネルギー	-1.60	
トランスミッション損失	-3.19	
バッテリー蓄電エネルギー	±0	0=23.46-21.23-2.23
車両走行エネルギー	-19.46	
回生エネルギー	7.20	
計	0	TtoW効率32% =(19.46+1.6)/66.05



Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY

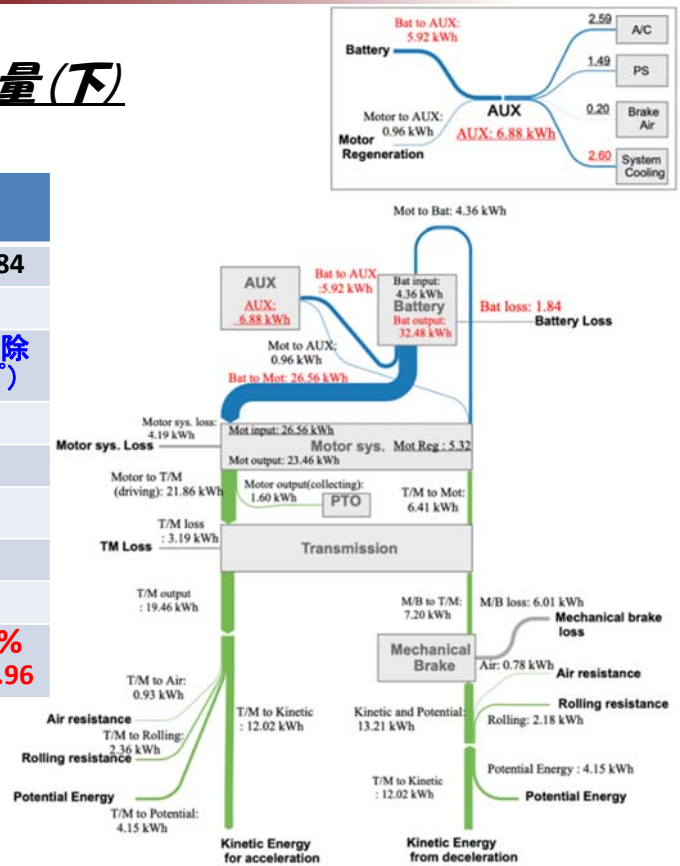
18



～電気ごみ収集車を実例とした“TtoW”性能予測～

電気ごみ収集車内の エネルギーフロー(右)と損失発生量(下) (2021年8月17日走行分集計)

各搭載機器における消費エネルギーor損失	エネルギー kWh	備考
消費電気エネルギー	29.96	(32.48-4.36)+1.84
バッテリー充放電損失	-1.84	
補機消費エネルギー	-6.88	FC関連1.56kWh削除 (冷却ファン+ポンプ)
モータシステム損失	-4.19	
PTO消費エネルギー	-1.60	
トランスミッション損失	-3.19	
車両走行エネルギー	-19.46	
回生エネルギー	7.20	
計	0	TtoW効率70% =(19.46+1.6)/29.96



19

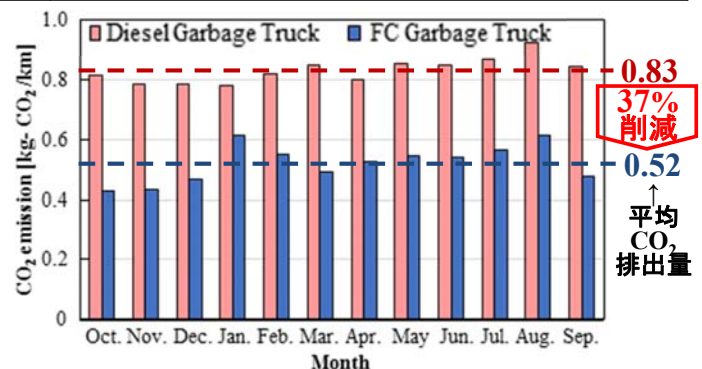
Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～“WtoW” 低炭素効果性能分析／燃料電池ごみ収集車の実運用試験 (2016年10月より1年間)～

山口県周南市における燃料電池車/ディーゼル車の比較実運用試験 [環境省事業]
 →年間平均37%のCO₂排出量削減効果(W to W)を実測確認(苛性ソーダ工場副生水素利用)

ディーゼルごみ収集車	車両諸元	燃料電池ごみ収集車“山口号”(株)フラットフィールド改造)
	5540kg 空車重量	6140kg
エンジン(151kW)	動力源	同期モータ(150kW)
-	PEMFC	33kW
-	LIB	27kWh
軽油タンク	燃料貯蔵	水素72L@70Mpaボンベ
給油(1回/日)	エネルギー補給	水素補給(2~3回/日, 約2分/回(バルブ差作業含まず))



CO₂排出率季節変動実測値(赤:D車, 青:FC車)

軽油:2.83kg-CO₂/L, 水素(苛性ソーダ副生):0.89kg-CO₂/Nm³

20

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～ “WtoW”

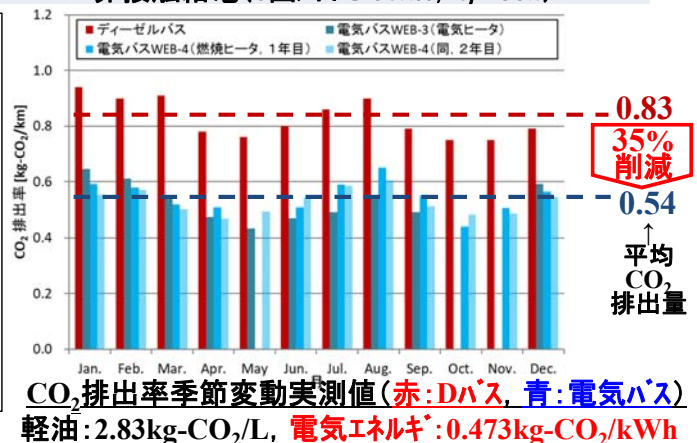
低炭素効果性能分析／

小型電気バスの実営業運用
(2011年12月より2.5年間) ～

長野市における小型電気バス(2台)/ディーゼルバスの比較実営業運用 [環境省事業]

→ Well to Wheel評価にて年間平均35%のCO₂排出量削減効果を実測確認

車両諸元	ディーゼル 小型バス (日野ポンチョ)	電気 小型バス (WEB-3)	電気 小型バス (WEB-4)
空車重量	5730 kg	6430 kg	5620 kg
定員	31人	25人	31人
動力源	エンジン(132 kW)	同期モータ(145 kW)	
LIB	—	44 kWh	35 kWh
ヒーター	エンジン廃熱+燃焼式	電気式(PTC)	燃焼式
エネルギー補給	給油(1回/日)	非接触給電(6回/日@30kW, $\eta=86\%$)	



21

Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



目次

大型車の電動化への期待

～大型電動車両の普及状況と現状性能の紹介を中心に～

1 大型車のカーボンニュートラル化を目指して

2 バスを例とした大型電動車両の普及状況紹介

3 実測データに基づく電動バス・トラックの現状性能紹介

4 まとめ

22

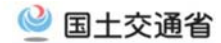
Kamiya Lab. WASEDA UNIVERSITY



～まとめ～

ヒトと地球に優しい大型電動車両

産学官連携による高効率次世代大型車両開発促進事業



令和4年度予算額 378百万円

運輸部門におけるCO₂排出量の約4割を占める大型車分野に関し、産学官連携のもと、電動化技術や内燃機関分野等の開発促進の強化を図り、2050年カーボンニュートラルの実現に貢献する。

大型車分野における次世代環境技術

電動化への対応



バッテリー搭載スペース確保に貢献するリアアクスルとモーターが一体化した次世代駆動系の開発、**水素燃料電池自動車の重電機燃費試験法の確立、走行中ワイヤレス給電に関する車両要件の構築**



道路データ（カーブ・勾配等）を活用し、燃費・排出ガスの観点から最適走行を評価する次世代大型車の新たな試験法の整備

水素燃焼の高効率化、e-fuelへの対応



効率的な燃焼達成に向けた、**水素燃焼メカニズムの解明、e-fuel使用時の排出ガス性能・車両影響の検証、それらの技術指針の策定**

空力性能の向上



大型車の空力性能改善に資する新たな車両形状の調査及び燃費基準で使用する空気抵抗係数の算出手法の高度化

本事業の実施体制



委託

中核的研究機関

新技術の評価法策定

大学・研究機関

基盤技術研究

メーカー

応用技術研究

「国交省資料より」