

2024年12月23日

JARIシンポジウム「2050年環境負荷ゼロに向けて～GX への取組み～」



# 自動車セクターを対象とした 長期ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量の検討

金成 修一

Shuichi KANARI

一般財団法人日本自動車研究所(JARI)

環境研究部 LCAグループ

Japan Automobile Research Institute (JARI)

LCA Research Group Environment Research Division

# 説明項目

---

1. はじめに（背景, 目的）
2. 本手法の概要
3. 入力データ
4. シナリオ分析
5. おわりに

## 背景, 目的

---

- ◆ 日本政府は2030年:CO<sub>2</sub>46%削減, 2050年:カーボンニュートラルを目指すことを公表しており, 2035年もCO<sub>2</sub>60%削減とすることで調整
- ◆ 中長期目標を達成するためには, 早期の対策を実施する必要があるが, 自動車セクターの対策は多岐に渡っており, 有用性, 効率面などを考慮する必要がある
- ◆ JARIでは2050年までの中長期を対象とした自動車の技術進展, 消費者効用を考慮した自動車セクターの中長期CO<sub>2</sub>排出量モデル(CO<sub>2</sub> and Co-benefit **A**nalysis **M**odel Considering Multi**P**ATH Approaches for the Long-term Japanese Automotive Sector: CAMPATH)を開発しており, 様々なシナリオにおいて2050年までのCO<sub>2</sub>排出量およびそのコベネフィット効果を検討
- ◆ 本報では, CAMPATHの概要および検討した5つのシナリオにおいて, CO<sub>2</sub>排出量およびそれに関連する項目について分析した結果を紹介

# CAMPATHの推計対象とアウトプット

- ◆ 推計対象年:1980～2050年
- ◆ 旅客(輸送量のみ):乗用車, 二輪車, 公共交通(鉄道, バス)
- ◆ 物流(輸送量のみ):トラック, 鉄道, 船舶, 航空
- ◆ 自動車(全項目):乗用車, 二輪車, バス, トラック
- ◆ 施策:単体対策(燃費, 排出ガス, 次世代車普及), 統合対策(Adus, MaaS, カーシェアリングなど)
- ◆ 項目:技術別台数, エネルギー消費量

レアメタル消費量

CO<sub>2</sub>排出量, 年間費用

コベネフィット効果

(排出ガス, 騒音)

旅客/物流	対象交通機関	推計結果項目	車格	対象技術	推計結果項目
旅客	乗用車	旅客量 自動車台数 (乗用車, 二輪車, バス)	普通	ガソリン (バイオ, e-fuel) 軽油 (バイオ, e-fuel)	自動車台数 平均燃費 エネルギー消費量 燃料消費量 CO <sub>2</sub> 排出量 (TtW, WtW, LCA) 大気汚染 物質排出量 平均騒音レベル 年間費用 税金, 補助金 レアメタル消費量
			小型		
			軽		
	二輪車		小型	ハイブリッド プラグイン	
			軽		
			原付二種		
			原付一種		
公共交通 (バス, 鉄道)	大型	CNG			
	小型	LPG			
	電気				
物流	トラック	物流量 自動車台数 (トラック)	大型	水素 (エンジン, 燃料電池)	
			中型		
			小型		
			軽		
	鉄道				
船舶					
航空					



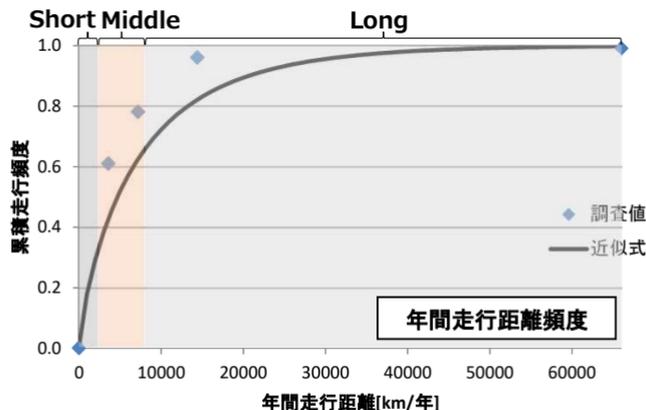
# 技術選択推計モデルの推計式

## ◆ 年間走行距離分布を作成し、短、中、長距離ユーザに区分

✓ 年間走行距離とユーザ比率は、日本自動車工業会および国土交通省のデータをベースに作成

## ◆ 配分モデルは既往パラメータ(価格、ラインナップ数)に加えて、インフラや充電航続距離を定量化したものを消費者効用とし、多項式ロジットモデル(1)、(2)式で選択確率を推計

✓ 全てのパラメータにて技術選択にどの程度影響を及ぼすか可視化できるよう、満足度で表現



$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum_{i=1}^I \exp(U_i)} \dots (1)$$

P: 選択確率, U: 効用, i: 選択対象

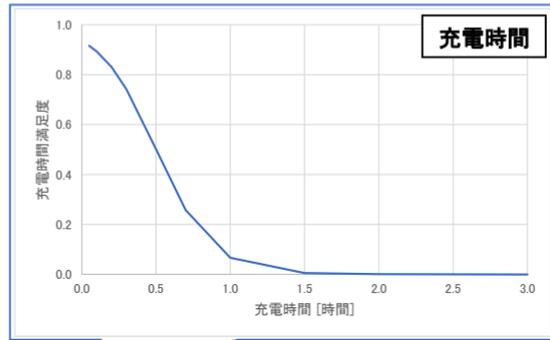
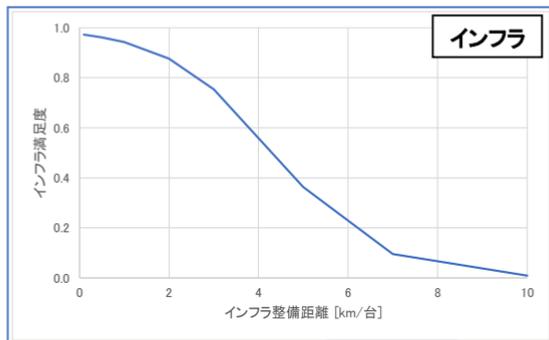
$$U_i = \alpha_1 \times Sc_i + \alpha_2 \times Sl_i + \alpha_3 \times Si_i + \alpha_4 \times Sd_i + \alpha_5 \times St_i \dots (2)$$

U: 効用, i: 対象技術,  $\alpha_1 \sim 5$ : 重み付け係数,  
Sc: 総費用満足度, Sl: ラインナップ数満足度  
Si: インフラ満足度, Sd: 航続距離満足度,  
St: 充電時間満足度

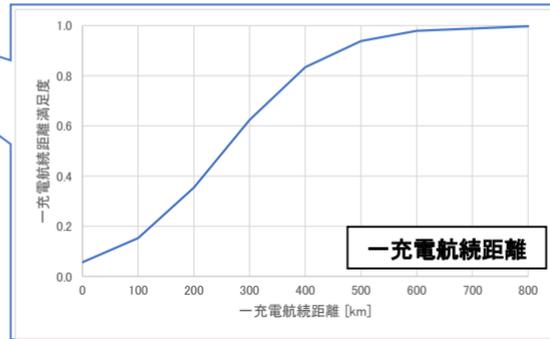
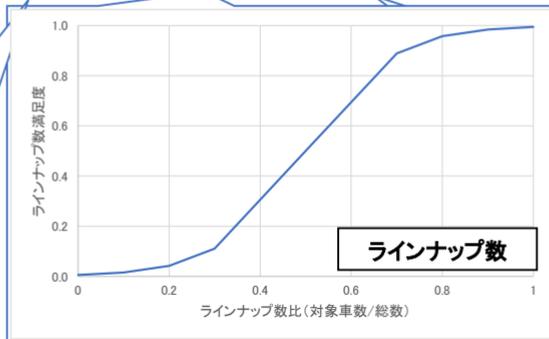
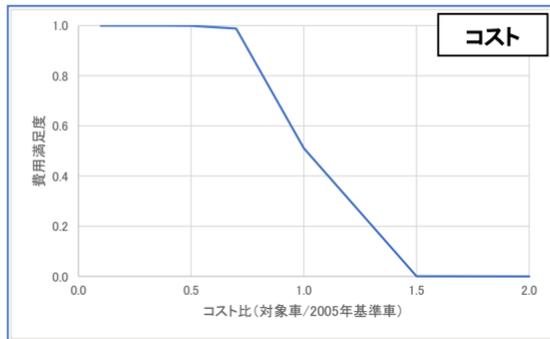
# 技術選択推計モデルの満足度

- ◆ 各パラメータは市場データおよびWebアンケート結果の結果を用いて無次元の満足度とし、どの満足度が技術選択に影響を与えるかが分かる形とした

U: 効用, i: 対象技術,  $\alpha_1 \sim 5$ : 重み付け係数  
Sc: 総費用満足度, Sl: ラインナップ数満足度  
Si: インフラ満足度, Sd: 航続距離満足度  
St: 充電時間満足度

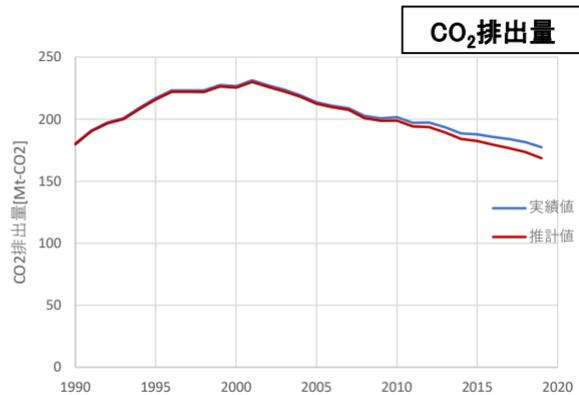
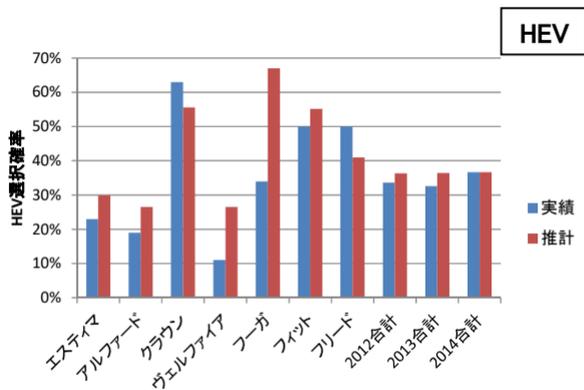


$$U_i = \alpha_1 \times Sc_i + \alpha_2 \times Sl_i + \alpha_3 \times Si_i + \alpha_4 \times Sd_i + \alpha_5 \times St_i \dots (2)$$



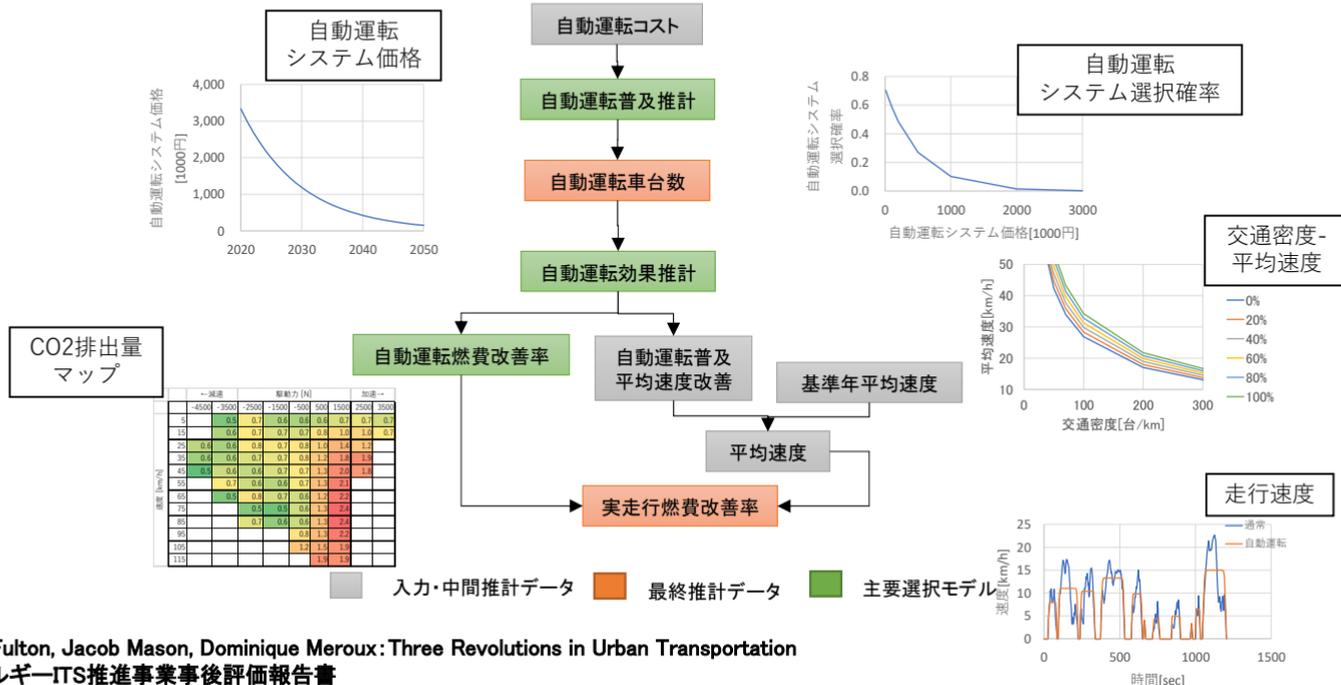
# 技術選択推計モデルの精度検証

- ◆ 2014年のガソリン車とハイブリッド車の併売車を対象に実績および技術選択モデルによる推計結果を比較. 車種別ではばらつきがあるが、全体で見ると、概ね再現
- ◆ 2019年までの次世代車(HEV, PHV, BEV, FCV)選択確率を実績および技術選択モデルによる推計結果を比較, 実績値よりやや少ないが傾向は概ね再現
- ◆ CO<sub>2</sub>排出量はほぼ実績値と同値で推計可能. 各排出ガスも2015年値は整合することを確認.



# 自動運転普及効果推計手法

- ◆ 自動運転のシステム価格低下※1による普及により、平均速度向上と走行挙動改善効果によるCO<sub>2</sub>排ガス削減効果※2を想定

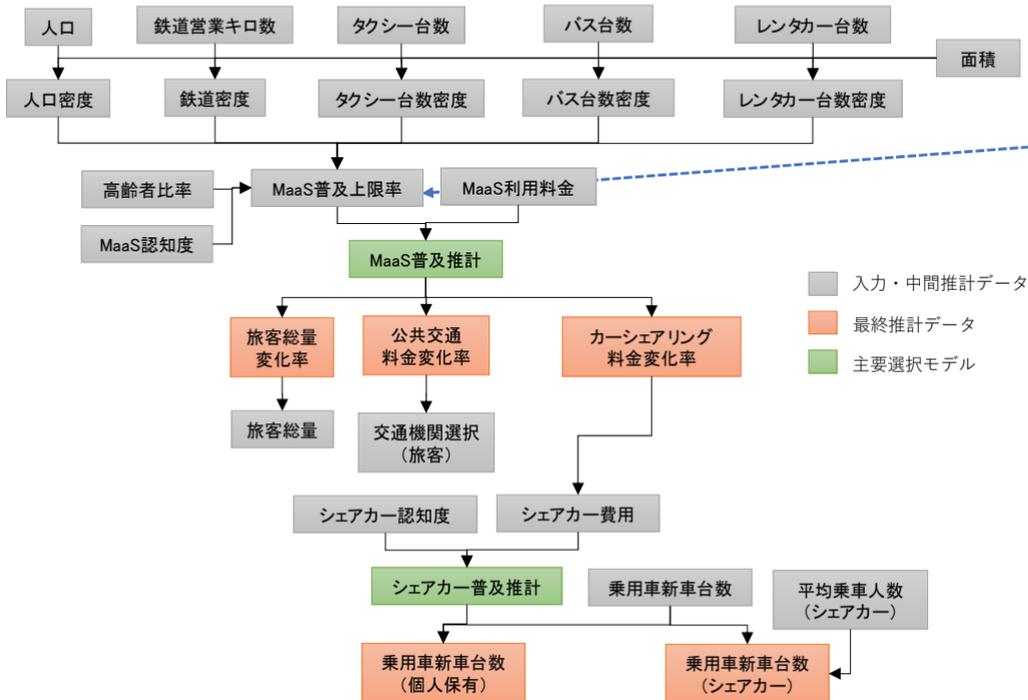


※1Lew Fulton, Jacob Mason, Dominique Meroux: Three Revolutions in Urban Transportation

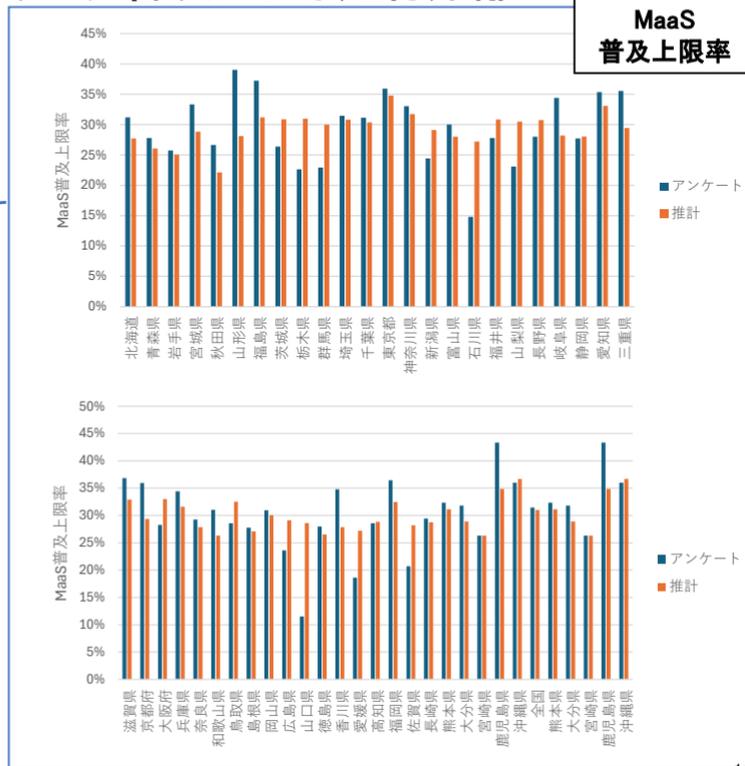
※2エネルギーITS推進事業事後評価報告書

# MaaS普及効果推計手法

◆ MaaS普及により, 誘発交通の発生, 公共交通へのモーダルシフトの効果を考慮. さらにカーシェアリングと連携し, カーシェアリング普及による走行距離減少と初期費用按分による次世代車普及を考慮



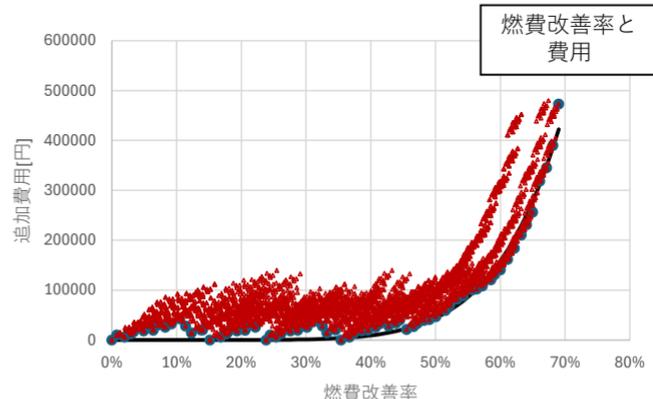
都道府県別  
MaaS  
普及上限率



# 従来車の燃費改善技術

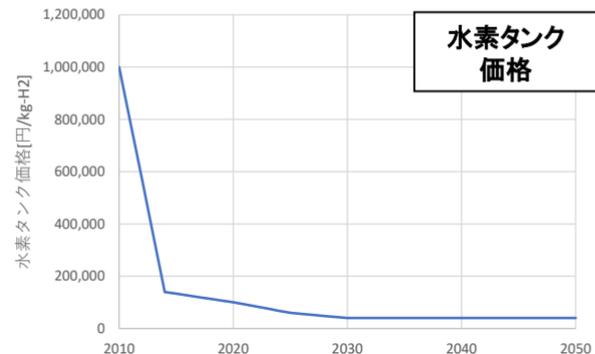
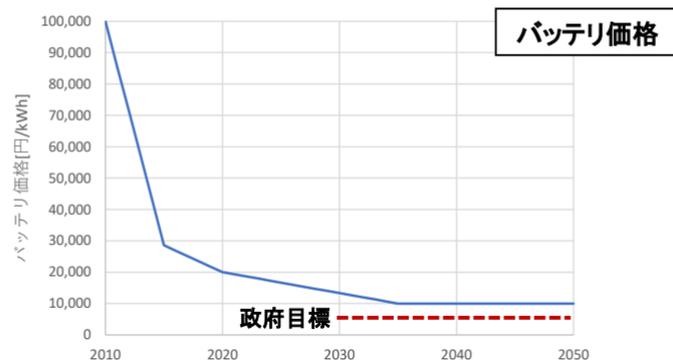
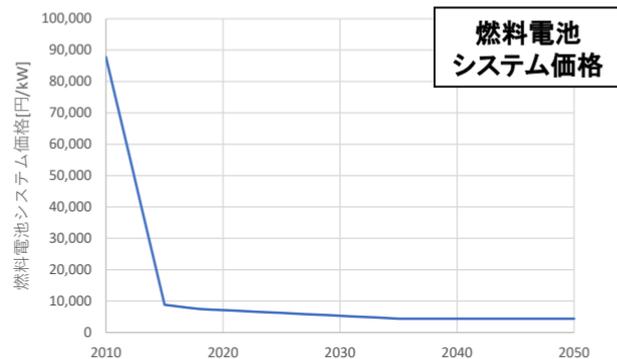
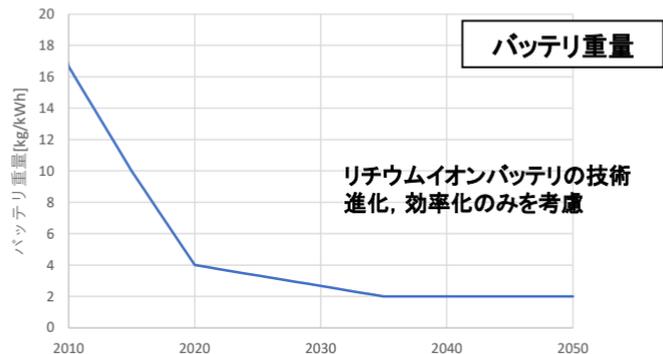
- ◆ 燃費改善技術はエンジン効率向上, トランスミッション, 補機類, 軽量化, 空気抵抗低減, 低抵抗タイヤ, 廃熱回収技術などを内包
- ◆ 各技術の燃費(CO<sub>2</sub>)改善率と追加費用の関係を整理し, 費用対効果の良い技術の組み合わせを抽出し, 近似曲線を作成

エンジン技術 改善率と費用	技術名	軽		小型		普通	
		燃費改善率	追加費用[円]	燃費改善率	追加費用[円]	燃費改善率	追加費用[円]
	エンジン機械ロス低減	1%	11,031	1%	11,031	1%	11,031
	シングルオーバーヘッドカム可変バルブリフト	3%	23,166	3%	34,760	3%	46,343
	シングルオーバーヘッドカム直噴燃焼	2%	38,614	2%	57,926	2%	77,239
	シングルオーバーヘッドカム気筒休止	6%	19,898	6%	23,475	6%	26,468
	ダブルオーバーヘッドカム可変バルブリフト	3%	34,915	3%	52,361	3%	69,819
	ダブルオーバーヘッドカム直噴燃焼	2%	38,614	2%	57,926	2%	77,239
	ダブルオーバーヘッドカム気筒休止	6%	19,898	6%	23,475	6%	26,468
	ターボチャージャー1	14%	61,250	14%	28,279	14%	70,691
	ターボチャージャー2	16%	129,412	16%	96,618	16%	181,630
	EGR	16%	176,562	16%	143,767	16%	228,779
	高圧縮比燃料1	12%	14,034	12%	14,752	12%	20,141
	高圧縮比燃料1+	14%	20,141	14%	20,858	14%	26,236
	高圧縮比燃料2(高圧縮比+EGR)	19%	47,017	19%	58,324	19%	72,723
	先進高圧縮比燃焼	15%	41,540	15%	55,950	15%	69,763
	ターボチャージャー, ダウンサイジング, 気筒休止	18%	81,148	18%	48,176	18%	94,177
	ターボチャージャー, ダウンサイジング, 先進気筒休止	20%	147,157	20%	114,185	20%	193,191



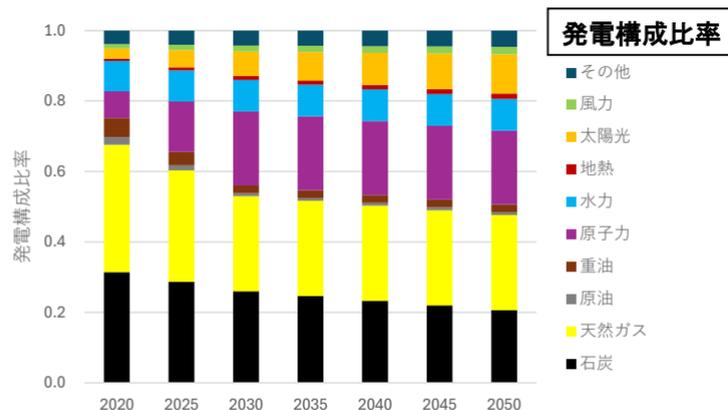
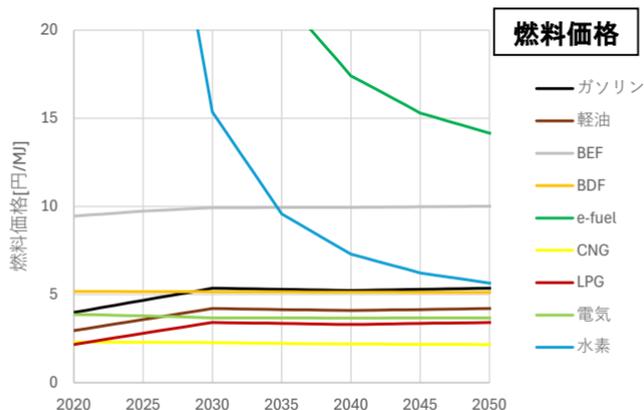
# 次世代車技術要素(バッテリー, 燃料電池関連)

- ◆ バッテリー, 燃料電池システム, 水素タンクはバッテリーと同様に将来の技術進化による効率向上や軽量化, 大量生産効果による価格低下を考慮



# 燃料価格，電力構成（ベースケース）

- ◆ 基準となる燃料価格，電力構成比率を示す。
- ◆ 燃料価格は日本エネルギー経済研究所のIEEJ2050モデルで算出したものを参考に，原料価格，原料比率等を最新データに更新
- ◆ 水素価格はステーション価格が考慮され，現状では補助金も考慮。補助金はNEVの補助率にて設定
- ◆ e-fuelは水素価格はIEEJ2050モデルのものを使用し，CO<sub>2</sub>排出量，その他価格はMETIの想定を引用し推計
- ◆ 電力構成比率は日本エネルギー経済研究所のエネルギーOutlookのデータを参考に設定



# 想定シナリオ

## ◆ 将来の技術進化, 大量生産等による価格低下, 交通流対策, 自動車の最適利用等を考慮した5シナリオを想定

✓ Business as Usual (BaU) ケース: 将来の新車技術レベルが2013年水準を維持

✓ Advanced Technology (ADV) ケース: 2050年まで従来車の燃費改善, 次世代車の効率向上, 大量生産効果による価格低下を想定

✓ Integrated Approach (ITA) ケース: ADVケースに交通流対策, 自動車の最適利用を考慮することを想定

✓ Feasible Maximum Technology (FMT) ケース: 2035年の従来車販売禁止, ポストリチウムイオンバッテリー導入, 再生可能エネルギー(バイオ燃料, e-fuel, 太陽光発電, 風力発電など)の導入促進を想定

✓ Carbon Neutral Achievement (CNA) ケース: 2050年Tank to Wheelカーボンニュートラルを想定. ゼロエミッション車の更なる導入促進, バイオ燃料, e-fuel, 再生可能エネルギーの更なる導入促進を想定

## ◆ 各シナリオで以下の項目を算出

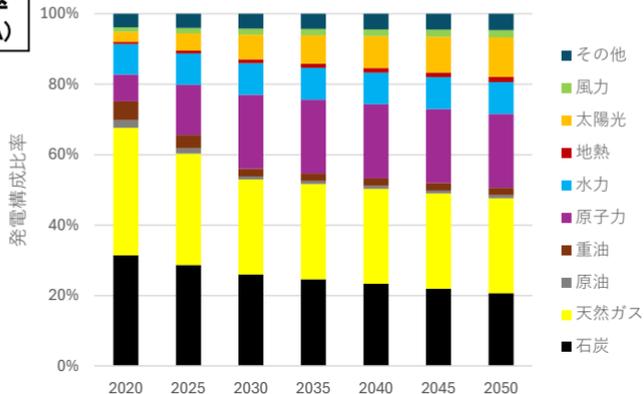
技術別自動車台数, エネルギー消費量, レアメタル消費量, CO<sub>2</sub>排出量(Tank to Wheel, ライフサイクル)コベネフィット効果(排出ガス量, 騒音レベル), 年間費用, CEV補助金

# 想定シナリオ

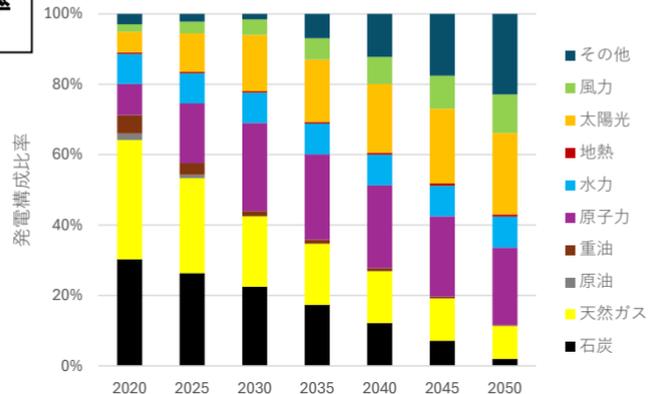
	BaU	ADV	ITA	FMT	CNA
従来車燃費性能	2013年水準	2050年まで改善（2030年基準は達成）			
次世代車燃費性能	2013年水準	2050年まで改善（2030年基準は達成）			
バッテリー価格	2013年水準	1万円/kWh		0.5万円/kWh	
乗用車ラインナップ数 （2050年）	2013年水準	環境省シナリオ		次世代車のみ （2035年以降）	
トラックラインナップ数 （2050年）	2013年水準	環境省シナリオ		軽，小型：次世代車のみ （2040年以降） 大型：環境省シナリオ	
BEF	0%	5%		10%	20%
BDF	0%	3%		6%	10%
e-fuel		0%		5%	80～90%
電源構成	IEEJレファレンス			IEEJ技術進展	
水素原料	天然ガス由来メイン				再エネ由来 メイン
電気，水素インフラ	2013年水準	政府目標相当			
交通流対策	無し		有り		
自動車最適利用	無し		有り		
CEV補助金	無し			現状相当	

# 電力価格, カーボンニュートラル燃料想定

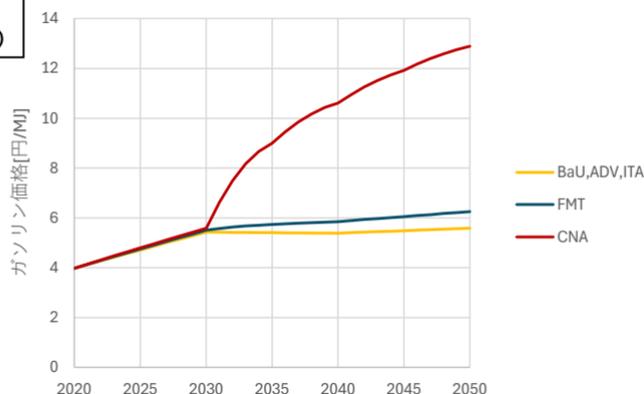
電力構成比率  
(BaU, ADV, ITA)



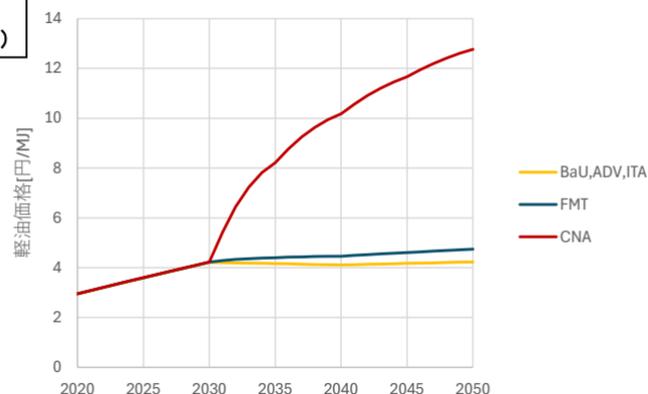
電力構成比率  
(FMT, CNA)



ガソリン価格  
(BEF, e-fuel混合)



軽油価格  
(BDF, e-fuel混合)



# 技術別乗用車台数

◆ 乗用車の各シナリオにおける技術別自動車台数を推計

◆ CNAケースでは年間費用が増加することで、保有台数が減少

◆ 2050年次世代車比率は以下の通り

✓ 新車: BaU: 9%, ADV: 52%

ITA: 55%, FMT: 100%

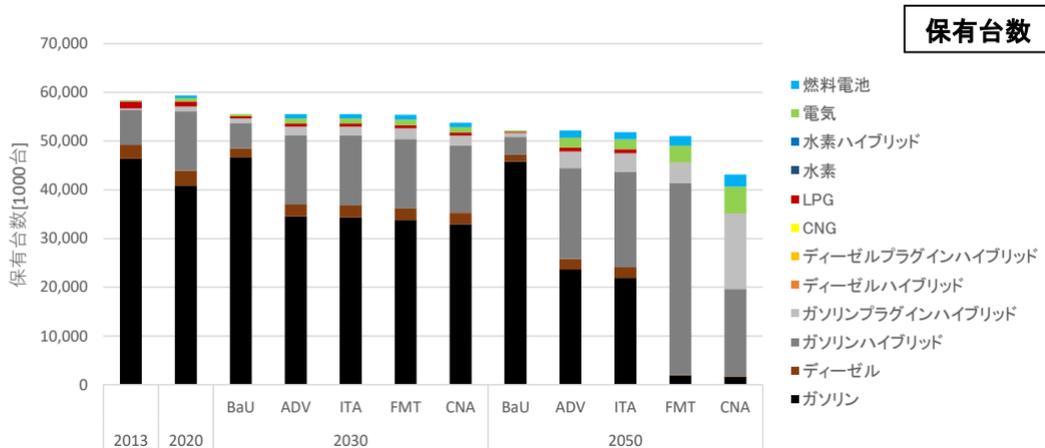
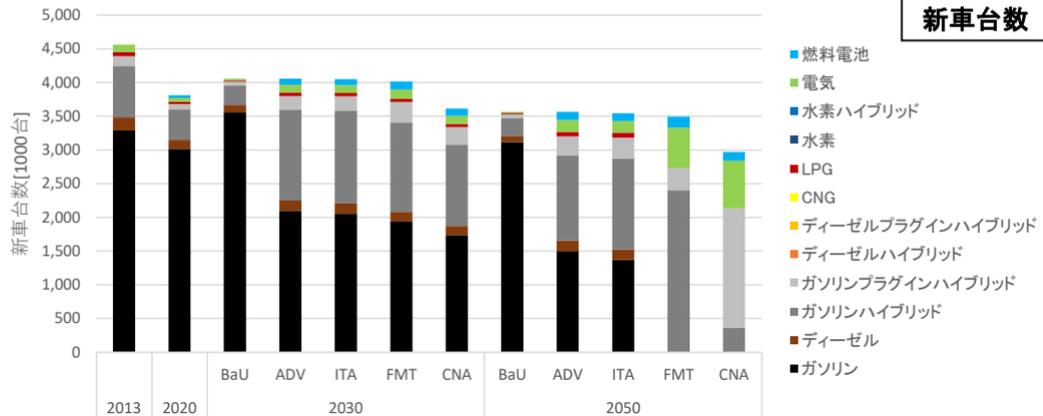
CNA: 100%

◆ 保有台数では2035年以前に販売された車両が残存

✓ 保有: BaU: 9%, ADV: 49%

ITA: 52%, FMT: 96%

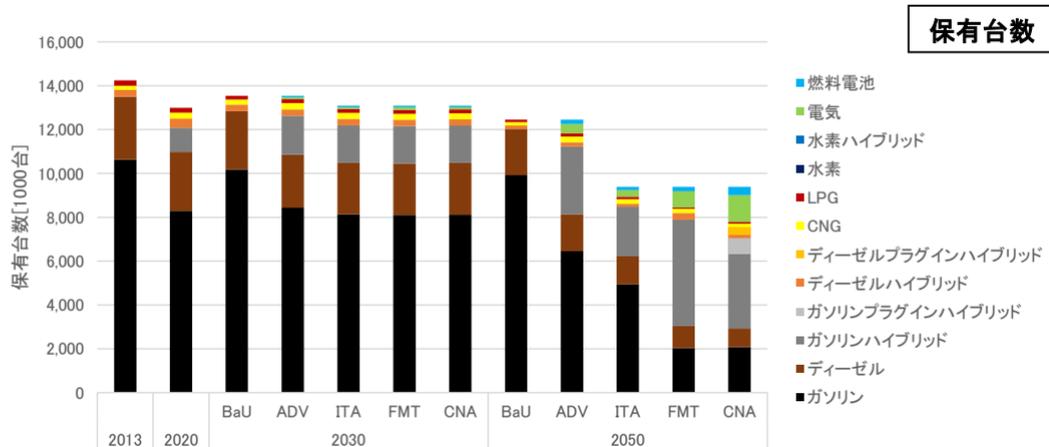
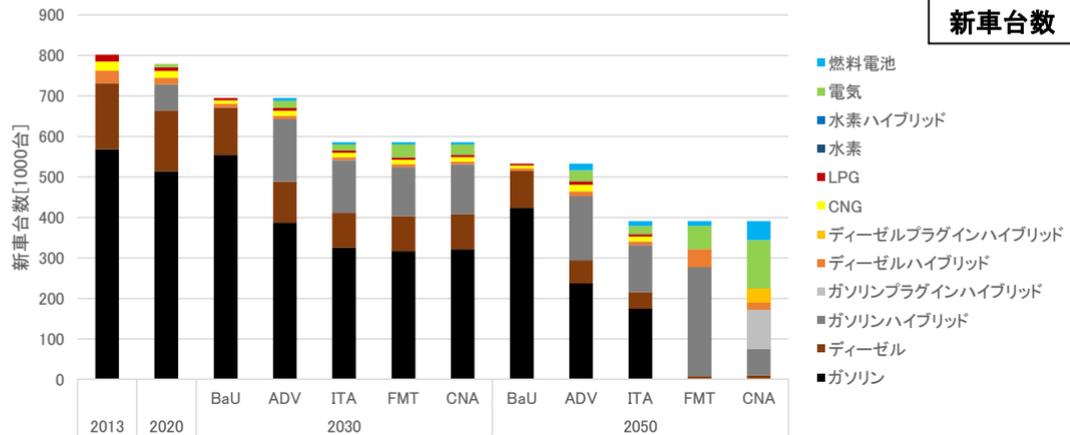
CNA: 96%



# 技術別トラック台数

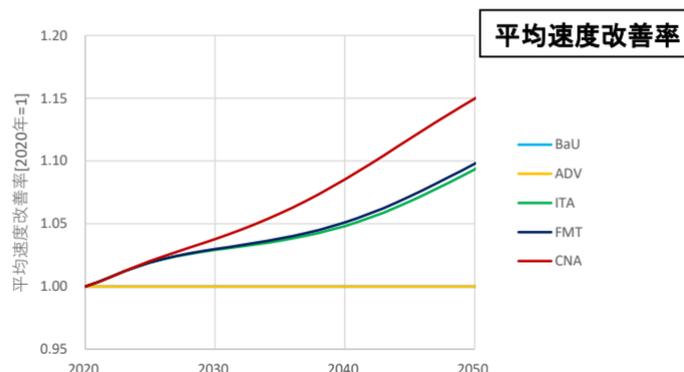
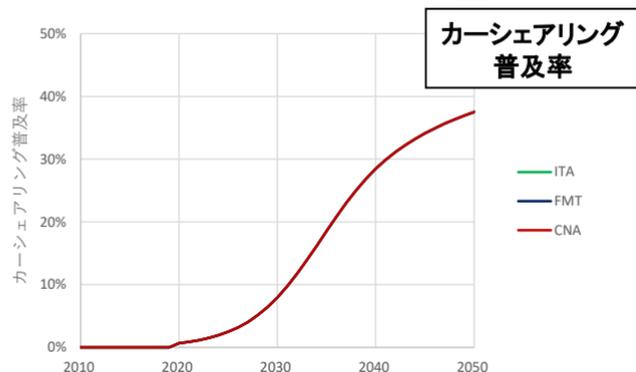
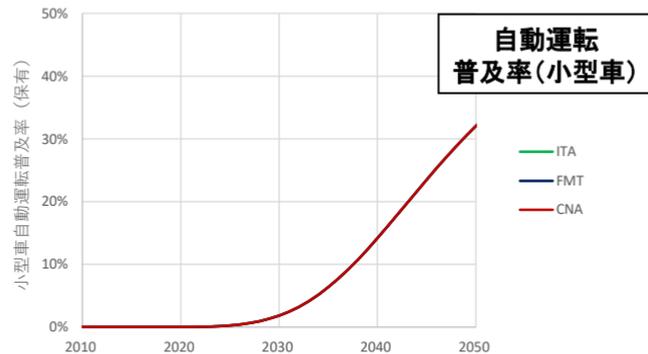
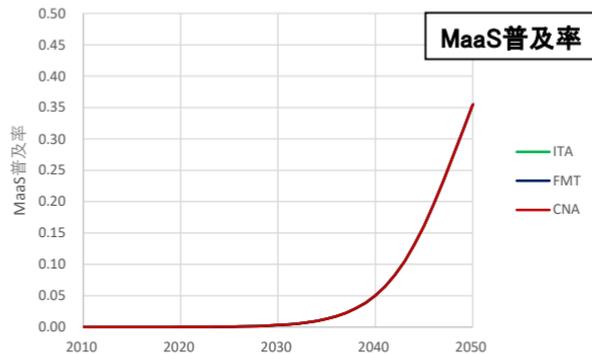
- ◆ トラックの各シナリオにおける技術別自動車台数を推計
- ◆ モーダルシフトは考慮しているが、代替手段が少ないため、年間費用が増加しても影響が少ない。
- ◆ 2050年次世代車比率は以下の通り
- ◆ 軽、小型トラックの従来車販売禁止が2040年であること、大型トラックは従来車販売を継続

- ✓ 新車: BaU: 1%, ADV: 40%
- ✓ ITA: 40%, FMT: 98%
- ✓ CNA: 98%, E7HI: 63%
- ✓ 保有: BaU: 1%, ADV: 31%,  
ITA: 30%, FMT: 65%
- ✓ CNA: 66%



# 交通流対策普及率および平均速度変化

- ◆ 自動運転, MaaS, カーシェアリングの将来普及率を推計. システムコストが安価になること, 認知度が上昇することで, 普及が促進. 政府がさらに施策を導入すると増加する可能性がある.
- ◆ 平均速度は自動運転に加え, 道路整備効果および保有台数の減少も相まって, 最大で15%速度が改善



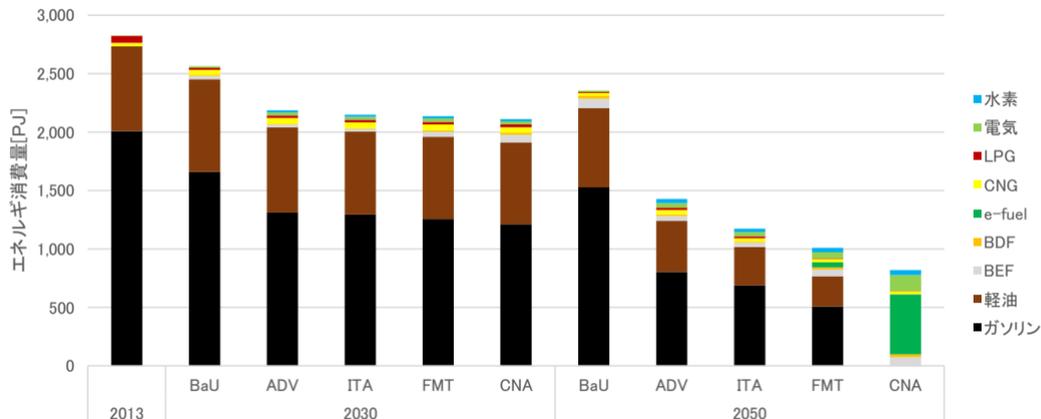
# エネルギー消費量

## ◆ 2050年のエネルギー消費量を推計

### ◆ 2013年比の2050年エネルギー低減率は以下の通り

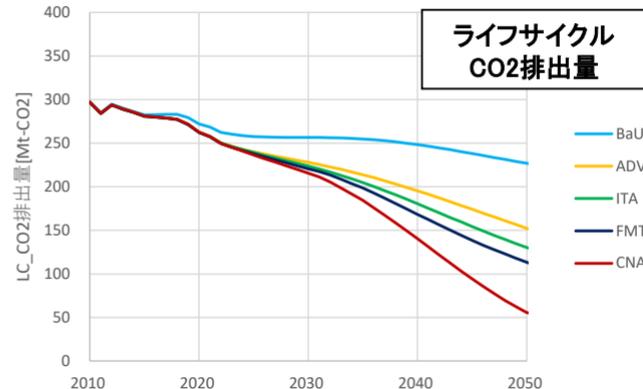
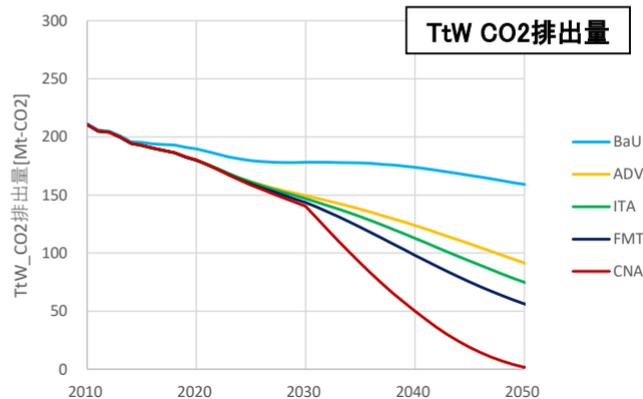
- ✓ BaU: 17% 車両代替と走行台数の減少
- ✓ ADV: 50% BaU+従来車燃費と次世代車普及効果
- ✓ ITA: 59% ADV+交通流対策, 最適利用による走行距離等の効率化
- ✓ FMT: 64% ITA+さらなる次世代車促進
- ✓ CNA: 71% FMT+さらなる次世代車促進

### ◆ CNAケースではe-fuelの消費量が増加. e-fuelを含むカーボンニュートラル燃料の確保が重要



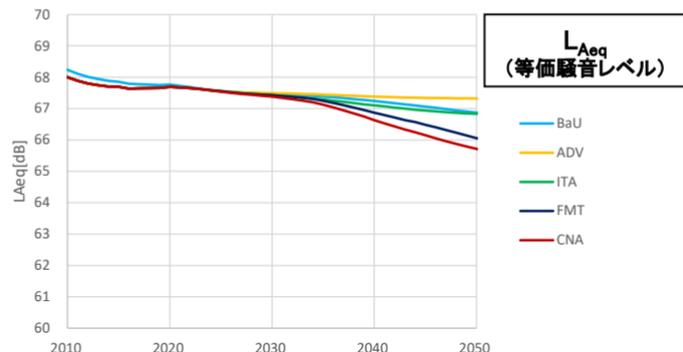
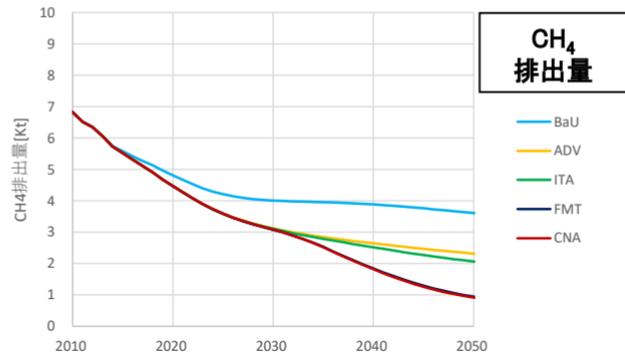
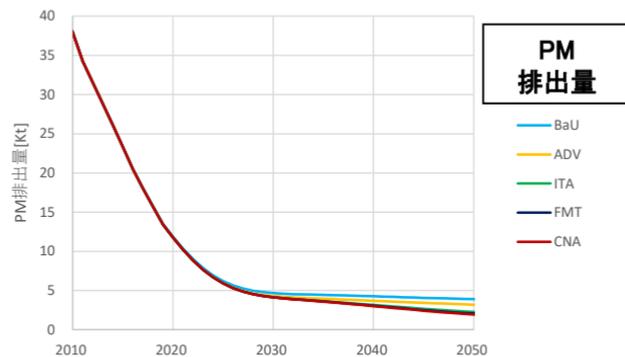
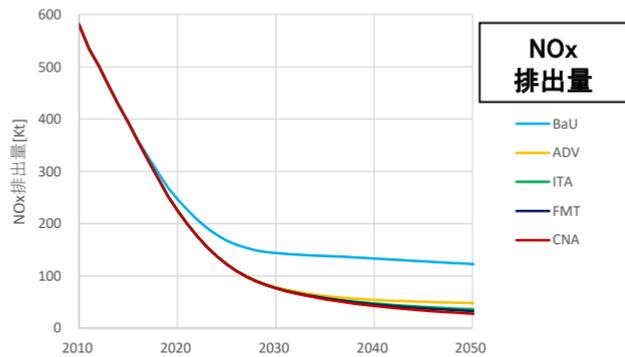
# CO<sub>2</sub>排出量 (Tank to Wheel, ライフサイクル)

- ◆ 2050年のTtW, ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量を推計
- ◆ 2013年比のTtWCO<sub>2</sub>削減率は以下の通り
  - ✓ BaU:21%, ADV:54%, ITA: 62%, FMT: 72%, CNA:99%
- ◆ 2013年比のライフサイクルCO<sub>2</sub>削減率は以下の通り
  - ✓ BaU:22%, ADV:47%, ITA: 55%, FMT: 61%, CNA:81%
- ◆ 現状で対策が進むADV, ITAや現状のエネルギー構成, レアメタル消費量と大きな差異が無いFMTケースにおいても一定の削減効果がある。
- ◆ CNAケースはTtWではカーボンニュートラルをほぼ達成するが, ライフサイクルで見ると, 80%の削減率となり, 自動車産業全体としては, さらなる取組が必要



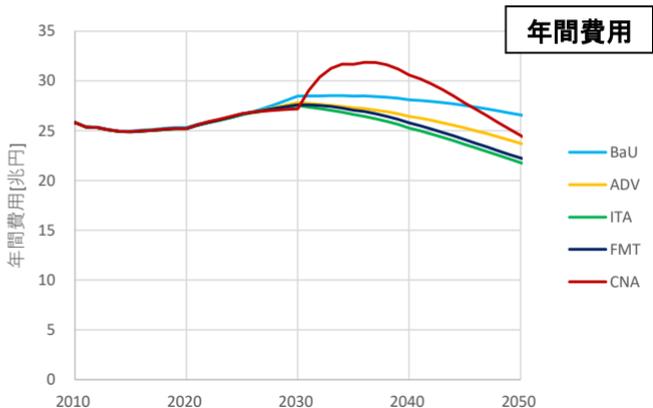
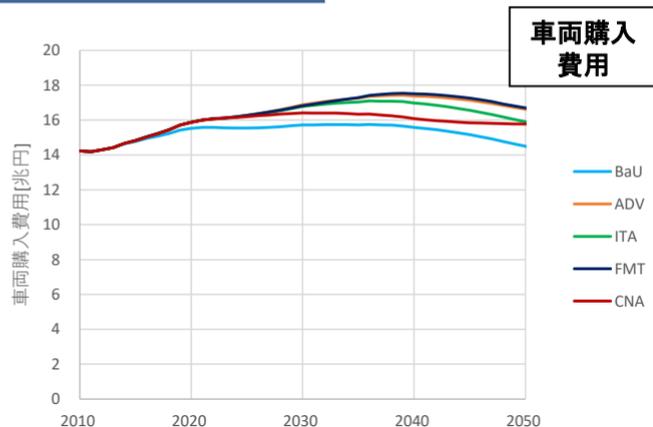
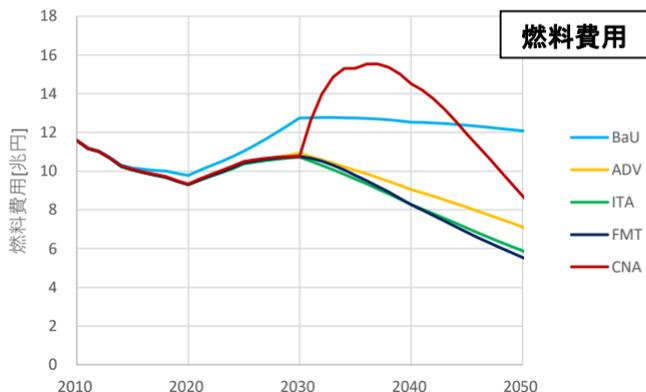
# コベネフィット効果(排出ガス, 騒音レベル)

- ◆ 各種排出ガス量と平均騒音レベルを推計
- ◆ 温暖化対策を進めることで、電動化が進み排出ガスも一定レベルで低減
- ◆ 騒音は電動化の効果が無く、平均速度の上昇分と走行台数の減少分が相殺され効果は微減



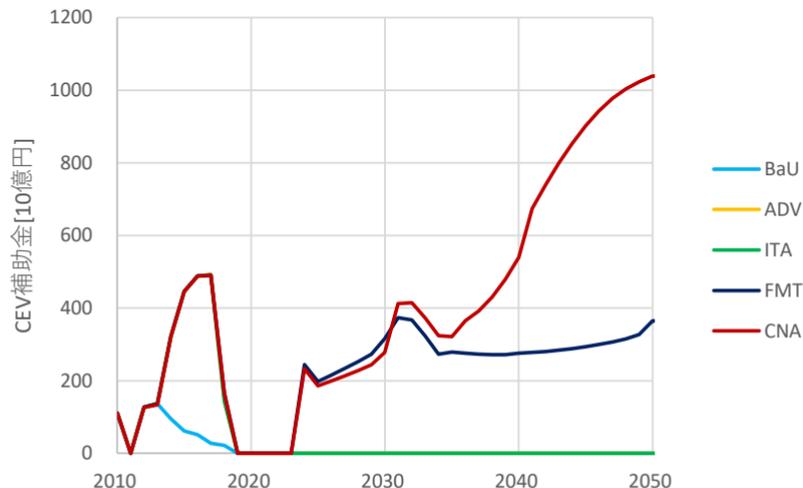
# 年間費用(車両購入費用, 燃料費用)

- ◆ 年間費用として、車両購入費用と燃料費用を推計
- ◆ 車両価格は概ねいずれのケースも15~18兆円を推移。次世代車は将来価格が安価になるが、従来車は燃費改善技術の分、高価となる。
- ◆ 燃料価格は、CNAケースで価格が高価なカーボンニュートラル燃料の利用するため、全体的に高価
- ◆ 年間費用は燃料価格の影響で、BaUケースを除き、CNAケースが最も高くなり、現状ベースでCO<sub>2</sub>削減対策を行うADVは安価となり、さらに自動車の最適利用で走行台数が減少するITA、FMTケースはさらに安価



# CEV補助金

- ◆ CEV補助金として、プラグイン、電気自動車はEV走行距離に応じて設定。FCVはベース車両との差額2/3を補助するものと設定
- ◆ FMTケースで最大で年間0.4兆円弱、CNAケースで最大で年間1兆円強の補助金が必要。
- ◆ 補助金の制度によっては、電気自動車の販売シェアを増加している海外メーカーへの資金流出を促す可能性があり、日本の自動車産業に有益となる補助金制度も重要



# まとめ

---

- ◆ JARIでは単体対策だけではなく、交通流対策、自動車の最適利用なども考慮した統合対策によるCO<sub>2</sub>削減が重要と考え、この考えに基づいた自動車部門の長期CO<sub>2</sub>排出量推計手法を開発
- ◆ 本報では5つのシナリオを想定し分析を実施。その結果、自動車産業が現状の成り行きで技術進展を進めた場合でも大幅なCO<sub>2</sub>削減に寄与できる
- ◆ カーボンニュートラルを目指そうとすると、次世代車生産体制の構築、エネルギー供給、資源供給、費用(ユーザーおよび政府負担)の面でネックとなる可能性がある
- ◆ FMTケースでは実現可能性が比較的高く、CO<sub>2</sub>削減が最大となるようなシナリオを検討した結果、Tank to Wheelで70%削減となった。カーボンニュートラルを目指すためには、さらなる取組みの強化が必要であり、大型車対策を中心に産学官を挙げて検討する必要がある。

論理的かつ明確な根拠に基づいた運輸部門のCO<sub>2</sub>削減目標の設定と  
目標を達成する上で、単独の対策に偏らない、包括的な  
CO<sub>2</sub>削減対策が重要であると考えられる  
CO<sub>2</sub>削減対策を促進する上で、環境対策(大気汚染, 騒音), 安全対策  
(ACC, 自動運転など)とのコベネフィット効果も期待できる  
JARIが一丸となり、環境, 安全, 利便性を考慮した将来シナリオを  
今後も検討し、自動車産業の発展に貢献していきたい



**ご清聴ありがとうございました。**

**日本自動車研究所**