

第13回 EST普及推進フォーラム ～地域一体となって取り組む交通のカーボンニュートラル～ (2023/7/18)

モビリティ革命が脱炭素化を 実現するための条件

※環境研究総合推進費（環境対応型）1G-2001の成果報告が含まれます

名古屋大学大学院環境学研究科
附属持続的共発展教育研究センター
(未来社会創造機構脱炭素社会創造センター・モビリティ社会研究所兼務)

EST普及推進委員会 委員長

加藤 博和

注目ワード
 [新型コロナ 国内感染者数](#)
[新型コロナ ワクチン（日本国内）](#)
[オリンピック・パラリンピック](#)
[気象](#)
[事件](#)
[もっと見る](#)

[事故](#)
[IT・ネット](#)



菅首相 2030年の温室効果ガス目標 2013年度比46%削減を表明

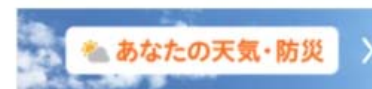
2021年4月22日 23時05分

2030年に向けた温室効果ガスの削減目標について、菅総理大臣は、政府の地球温暖化対策推進本部の会合で2013年度に比べて46%削減することを目指すことを表明しました。さらに、50%の高みに向けて挑戦を続けていくと強調しました。

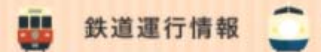
政府は、22日夜、総理大臣官邸で、地球温暖化対策推進本部の会合を開き、菅総理大臣のほか、梶山経済産業大臣や小泉環境大臣らが出席しました。

この中で、菅総理大臣は「集中豪雨、森林火災、大雪など、世界各地で異常気象が発生する中、脱炭素化は待ったなしの課題だ。同時に、気候変動への対応は、わが国経済を力強く成長させる原動力になるという思いで『2050年カーボンニュートラル』を宣言し、成長戦略の柱として取り組みを進めてきた」と述べました。

そして、菅総理大臣は、2030年に向けた温室効果ガスの削減目標について、2013年度に比べて46%削減することを目指すことを表明し「さらに50%の高みに向けて挑戦を続けていく」と述べました。



気象 データマップ



ニュースを検索 [検索](#)

ソーシャルランキング

この2時間のツイートが多い記事です



管内閣不信任決議案 反対多数で否決



NHK 受信料の契約か

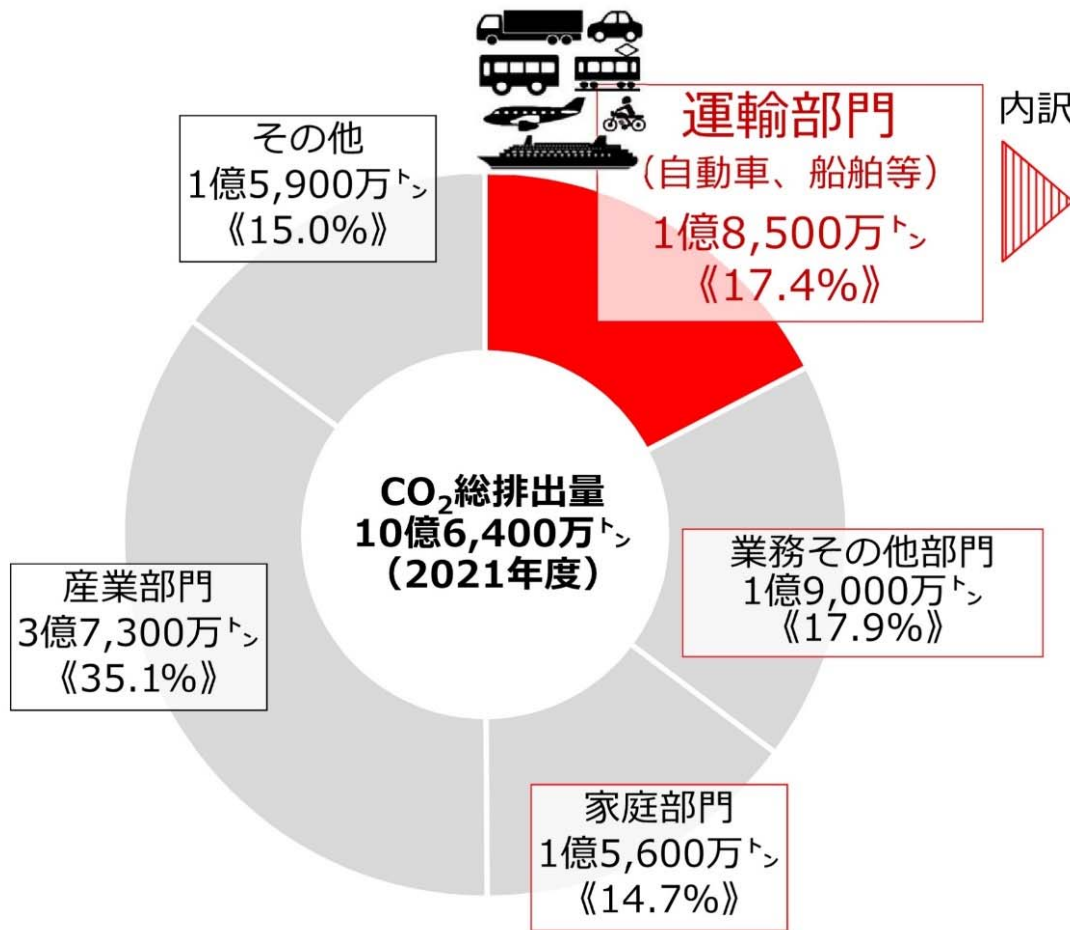
「カーボンニュートラル」

「温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」（CO₂等の温室効果ガスの排出量から、森林などによる吸収量を差し引いた量をゼロに）

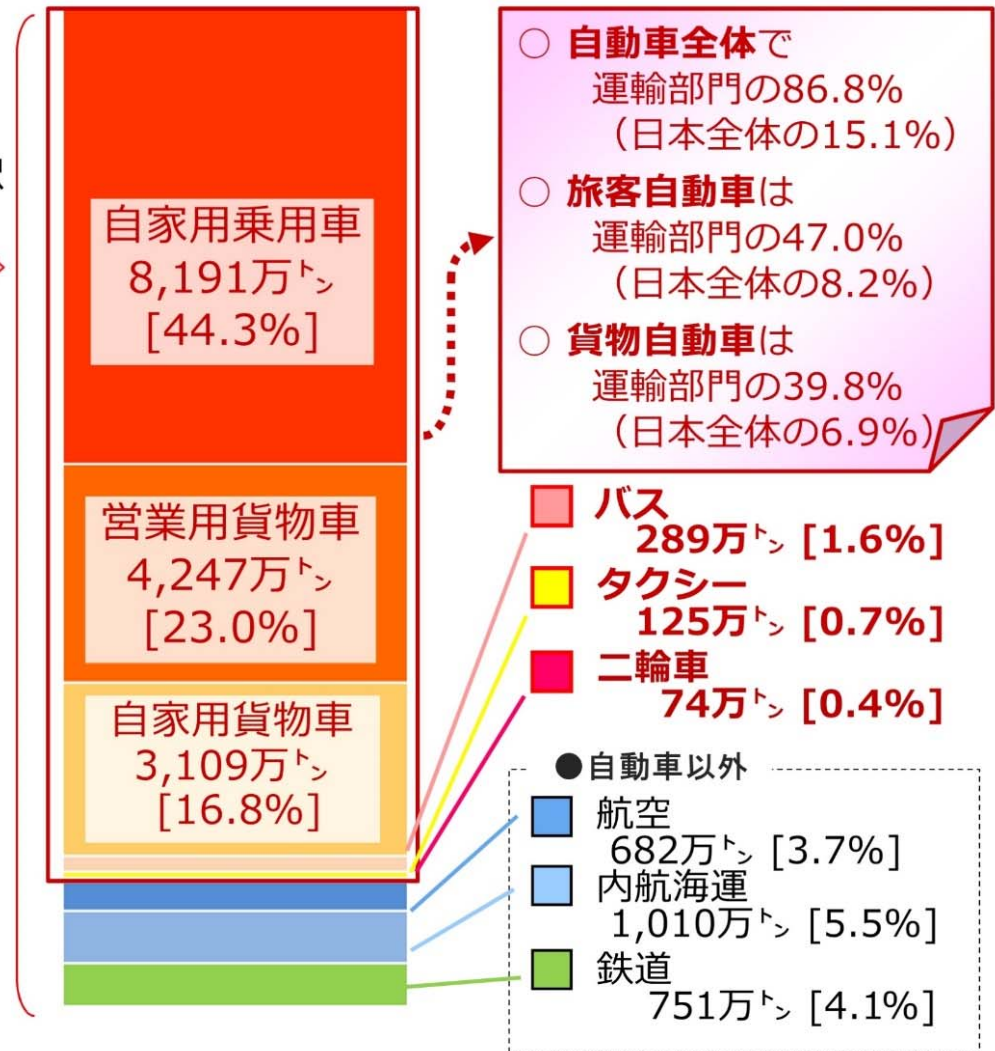
2050年までにこれを実現、脱炭素社会を目指すと菅首相が宣言

運輸部門における二酸化炭素排出量 (2021年度 (国土交通省HP))

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



※ 端数処理の関係上、合計の数値が一致しない場合がある。

※ 電気事業者の発電に伴う排出量、熱供給事業者の熱発生に伴う排出量は、それぞれの消費量に応じて最終需要部門に配分。

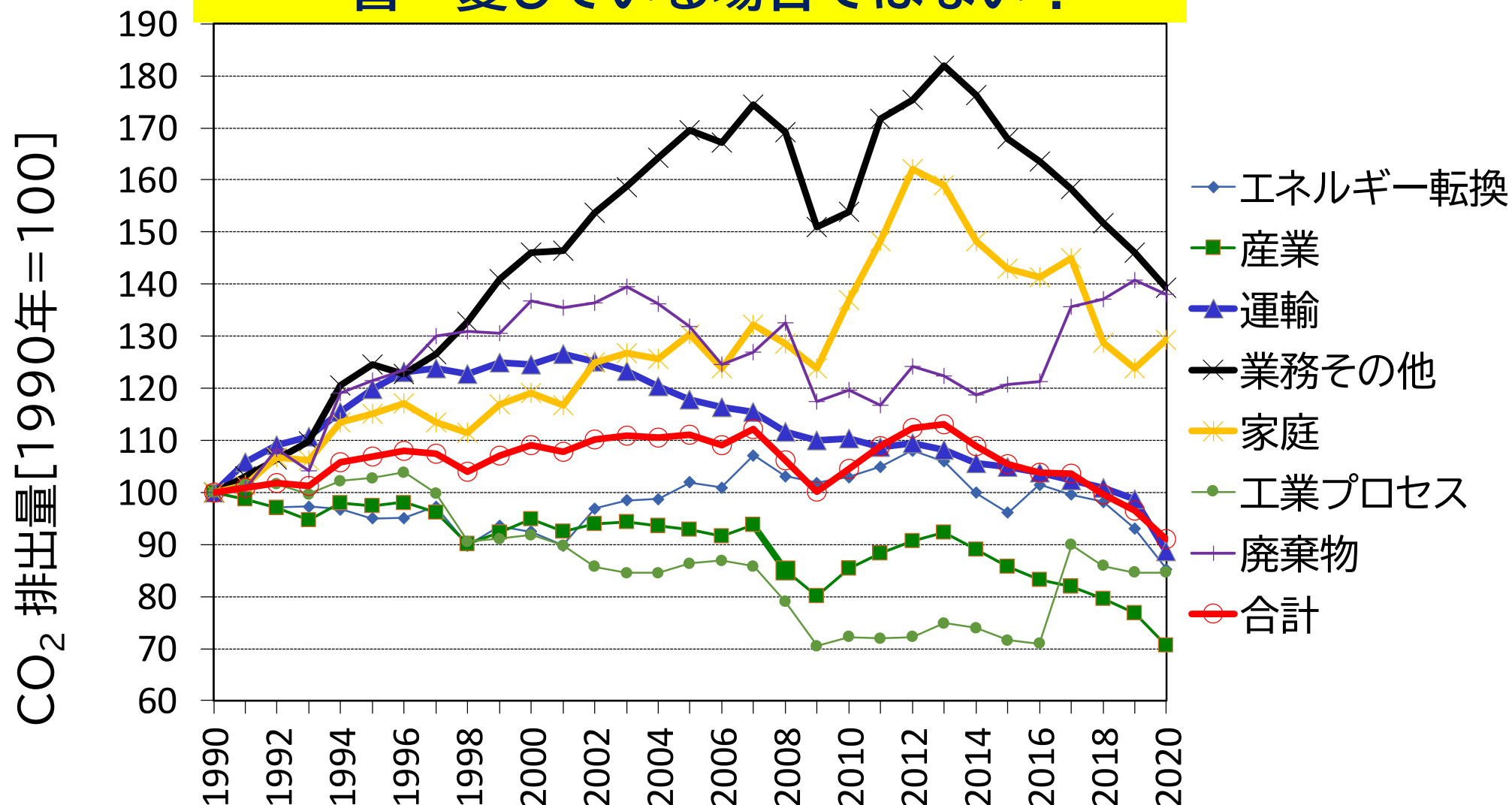
※ 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ (1990～2021年度) 確報値」より国土交通省環境政策課作成。

※ 二輪車は2015年度確報値までは「業務その他部門」に含まれていたが、2016年度確報値から独立項目として運輸部門に算定。

日本のCO₂排出量の推移（1990～2020）

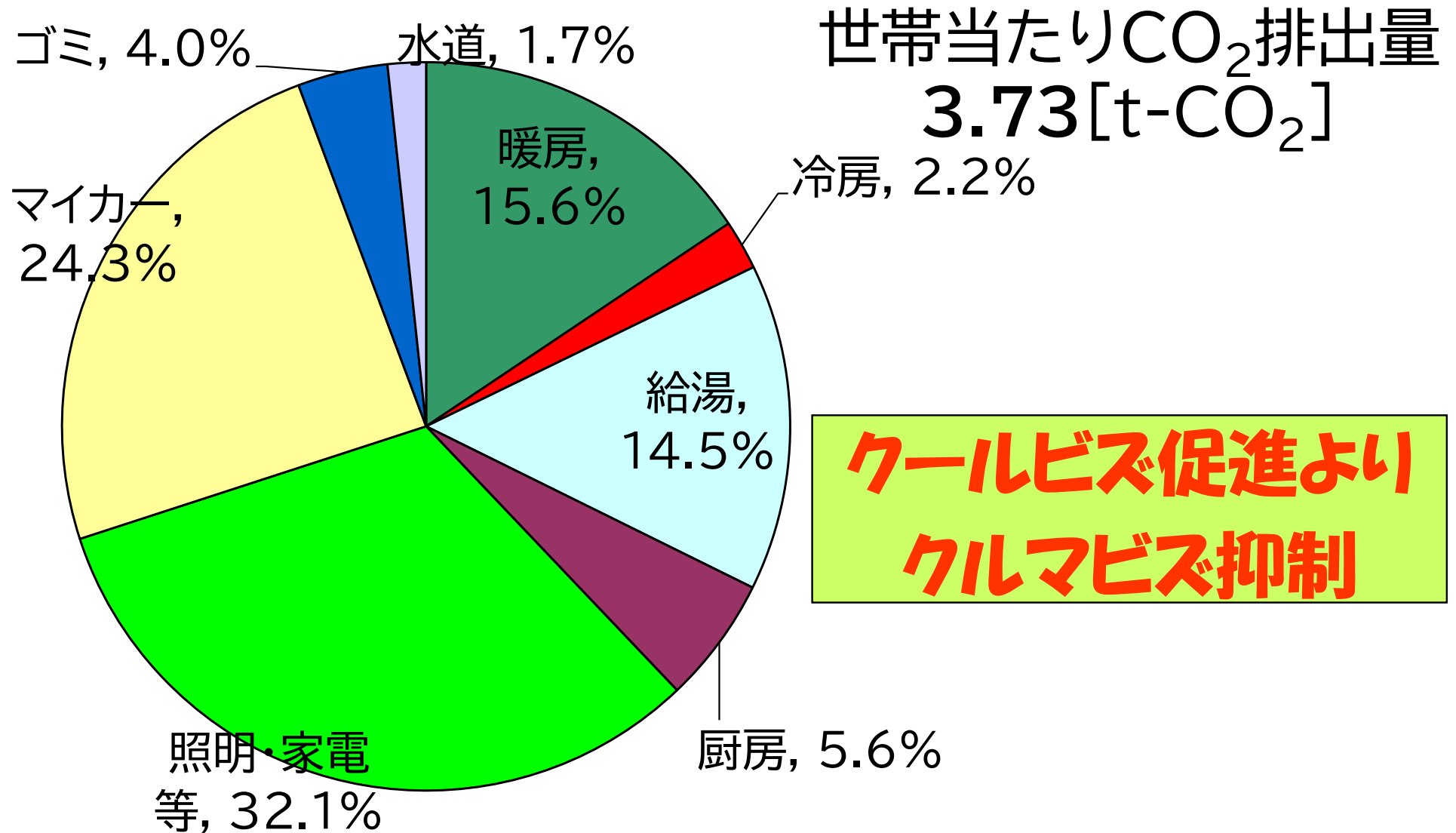
環境省公表データ

一喜一憂している場合ではない！



クルマは環境負荷をたくさん出す

-日本の家庭からのCO₂排出量の内訳（2021年度）-



国立環境研究所公表データ

ESTとは？

Environmentally Sustainable Transport 環境的に持続可能な交通

- 「交通に伴う様々な環境負荷を減らすことで、持続可能な社会を築く一助となること」(OECDが1990年代後半に提唱)
 - 環境負荷を目標値以下にすることを条件とする
 - そのために何が必要か？
 - 環境負荷を減らすことは、自動車技術向上だけでは足りないと予測
 - 技術向上だけで補えない部分を、交通活動の変更でカバーする(クルマを「かしこく」「ほどほどに」使う)
- 人間の行動を変えないと持続可能にならない

SDGsはまさにESTの発展形



トップダウン(上から下へ)・アウトカム(結果)思考で考える

- SDGsは17の目標と、その下の169のターゲットからなる→1.基準
- これらを2030年までに達成することを世界中の国が約束
- そのためにどんな施策が必要かを考える→2.バックカスティング
- 先に施策があるなら、それがSDGsのどのターゲットに貢献できるかをチェックし、意識する
- お手本があるなら参考にする→3.ベストプラクティス

ESTその1「EST基準」

-温暖化だけじゃない！-

定義: 公共衛生や環境システムに害を及ぼさない交通システム

(a) 再生速度を上回らない速度で、再利用可能な資源が活用可能

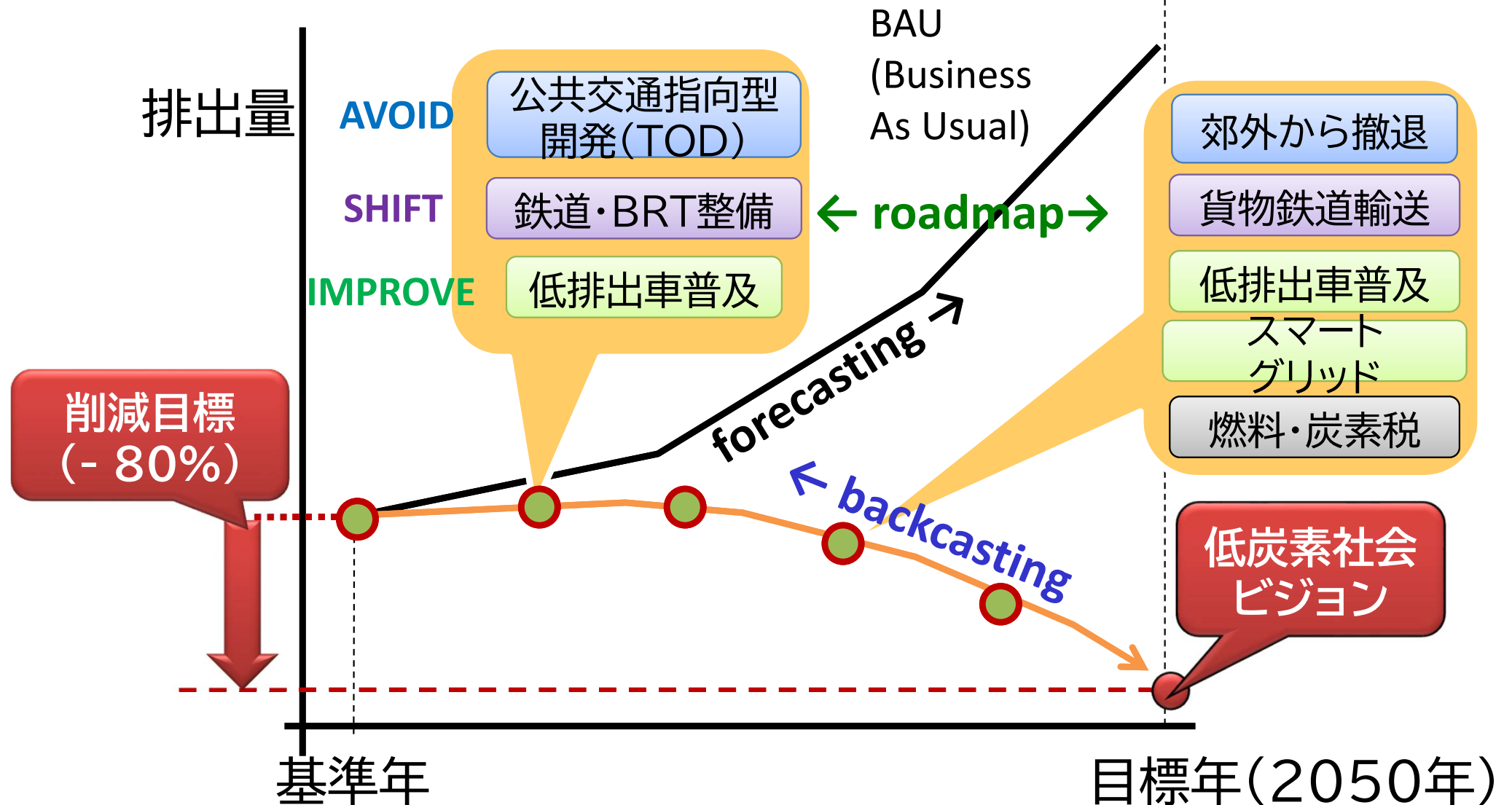
(b) 再利用が不可能な資源であっても、代替し得る再利用資源の
開発の速度を上回らない速度で活用可能

基準

CO ₂	1990年から50～80%削減
PM	1990年から55～99%削減が望ましい
NO _x	1990年から90%削減
騒音	騒音レベル昼間55db、夜間45db以下
VOCs	1990年から90%削減
土地利用	1990年と比較し、緑地の修復・拡張

- あくまで1990年代の基準
- いまはパリ協定やSDGsなど新たな基準を意識すべき

ESTその2「バックキャスティング」



バックキャスティング(backcasting)

「目標を達成するために何をしなければならないか」
という発想(大学受験がいい例)

交通起源環境負荷削減のための施策の整理

(中村・林・宮本編「都市交通と環境－課題と政策－」の表に加筆)

		AVOID 戦略IMPROVE SHIFT				
		交通需要の減少	車利用の削減	代替交通手段の改善	道路網の改善	車両改善
手段	技術: インフラストラクチャー 車両・燃料	公共交通指向型開発(TOD) 職住近接	歩行者・自転車道路 歩車共有道路	鉄道 LRT・BRT 自転車・徒歩 新モビリティ	新規道路 新規駐車設備	低燃費車 代替燃料車
	規制: 管理 制御 サービス	土地利用規制 郊外化規制	都市部乗り入れ制限 駐車制限 交通静穏化	軌道・バス優先 公共交通サービス改善	整流化のための通行規制	燃費基準 燃料質に関する規制
	情報: 助言 啓発 通信	テレワーキング	意識キャンペーン モビリティ・マネジメント	リアルタイム公共交通情報提供システム ITS	カーナビゲーション 安全広告 交通情報提供	エコ意識 ドライブレコーダー
	経済: プライシング 課税	土地税	道路プライシング 駐車料金 自動車関連税	運賃政策	道路プライシング	自動車関連税

脱自動車依存型
(=脱炭素)

地域・交通システム

対応できる交通システムとライフスタイルが

なければモビリティ(=QOL)を

低下させてしまう

ESTその3「ベストプラクティス」

目標を達成するためには・・・

お手本があるとやりやすい

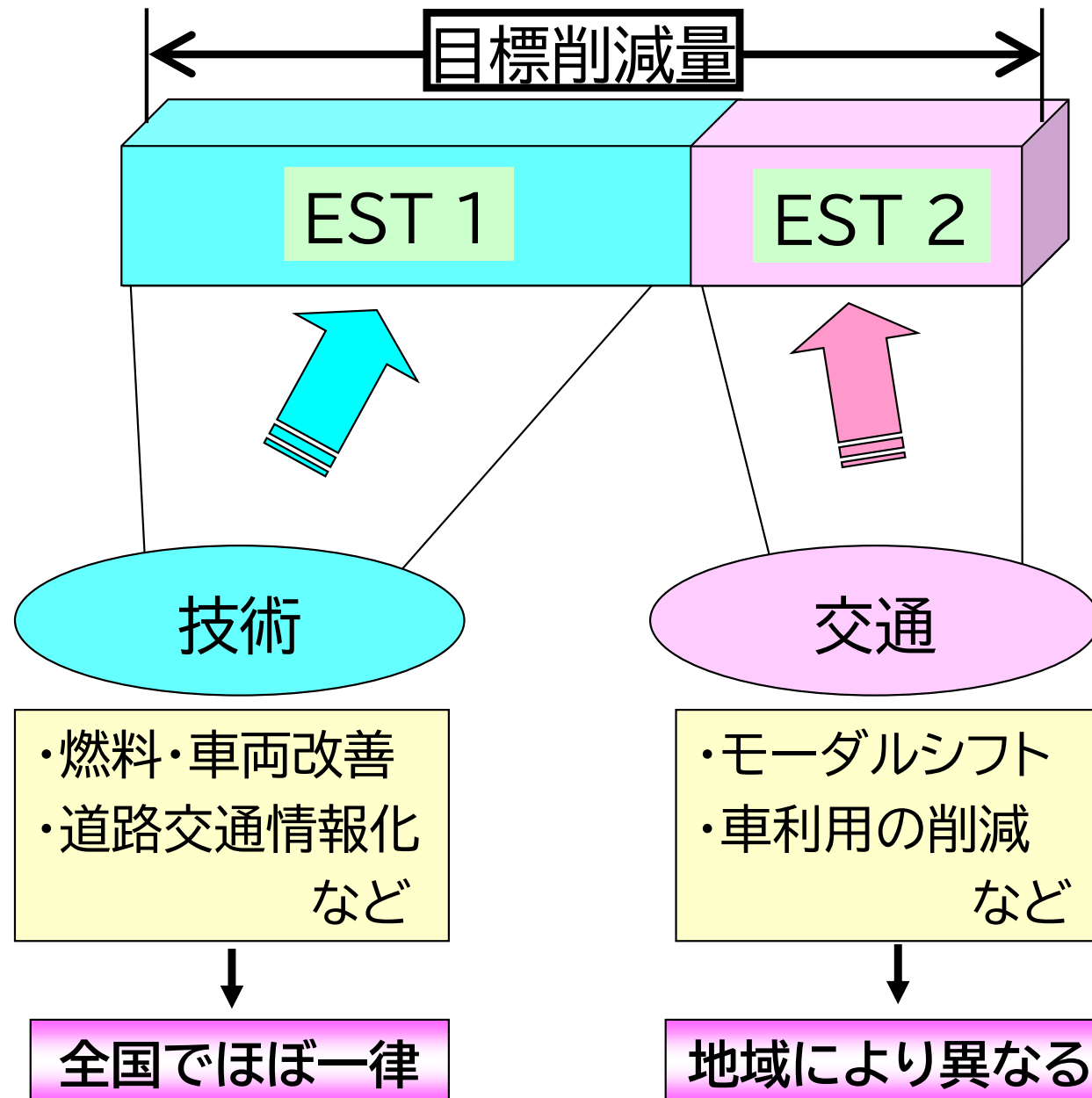
→お手本となるような地域を探し出し、そこを広くみなさんに知ってもらう。その1つの方法が「表彰」
EST普及推進委員会が選んでいるのが

「EST交通
環境大賞」

第13回EST交通環境大賞
受賞団体の決定について
2023年5月24日

賞	受賞団体名	主な取り組みの名称
大賞 【国土交通大臣賞】	T-PLAN株式会社、一般社団法人姫島エコツーリズム (大分県東国東郡姫島村)	離島の課題に再エネと小型EVを活用した取り組み
大賞 【環境大臣賞】	鹿追町 (北海道河東郡鹿追町)	「家畜ふん尿由来水素」を核としたESTモデル事業
優秀賞	世界遺産石見銀山大森地区におけるGSMを中心とした地域内交通整備事業コンソーシアム (島根県大田市)	世界遺産石見銀山大森地区におけるグリーンスローモビリティ(GSM)「ぎんざんカート」の運行
奨励賞	奥入瀬渓流利用適正化協議会、奥入瀬渓流エコツーリズムプロジェクト実行委員会 (青森県十和田市)	奥入瀬渓流エコツーリズムプロジェクト
奨励賞	城崎温泉交通環境改善協議会 (兵庫県豊岡市城崎町)	地域一体となった「そぞろ歩きルール」の実施
奨励賞	和歌山県 (和歌山県全域)	WAKAYAMA800 ～サイクリングを活用した、持続可能な観光地づくり～

EST実現のための技術施策と交通施策



技術施策(EST1)
だけで乗り越えられ
れば、交通施策
(EST2)は不要

→まず技術革新トレ
ンド(EST1)を予測

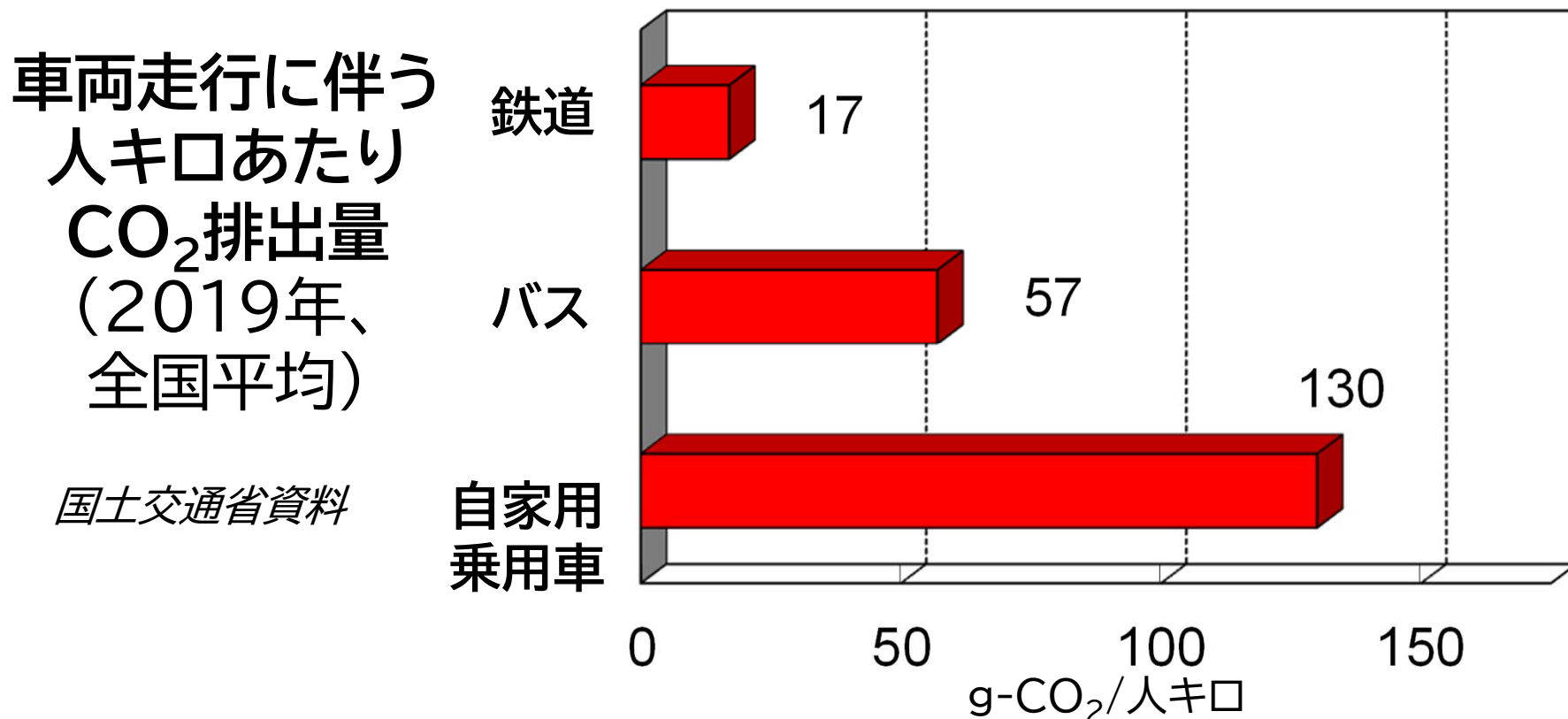
→もし足りない見込
みであれば、必要な
交通施策(EST2)を
地域別に見積もる

$$\text{EST 1} + \text{EST 2} \\ = \text{EST 3}$$

国・メーカーの取組が重要

地域(自治体・住民)の取組が重要

乗用車と乗合交通で CO₂排出量はどれくらい違うか？

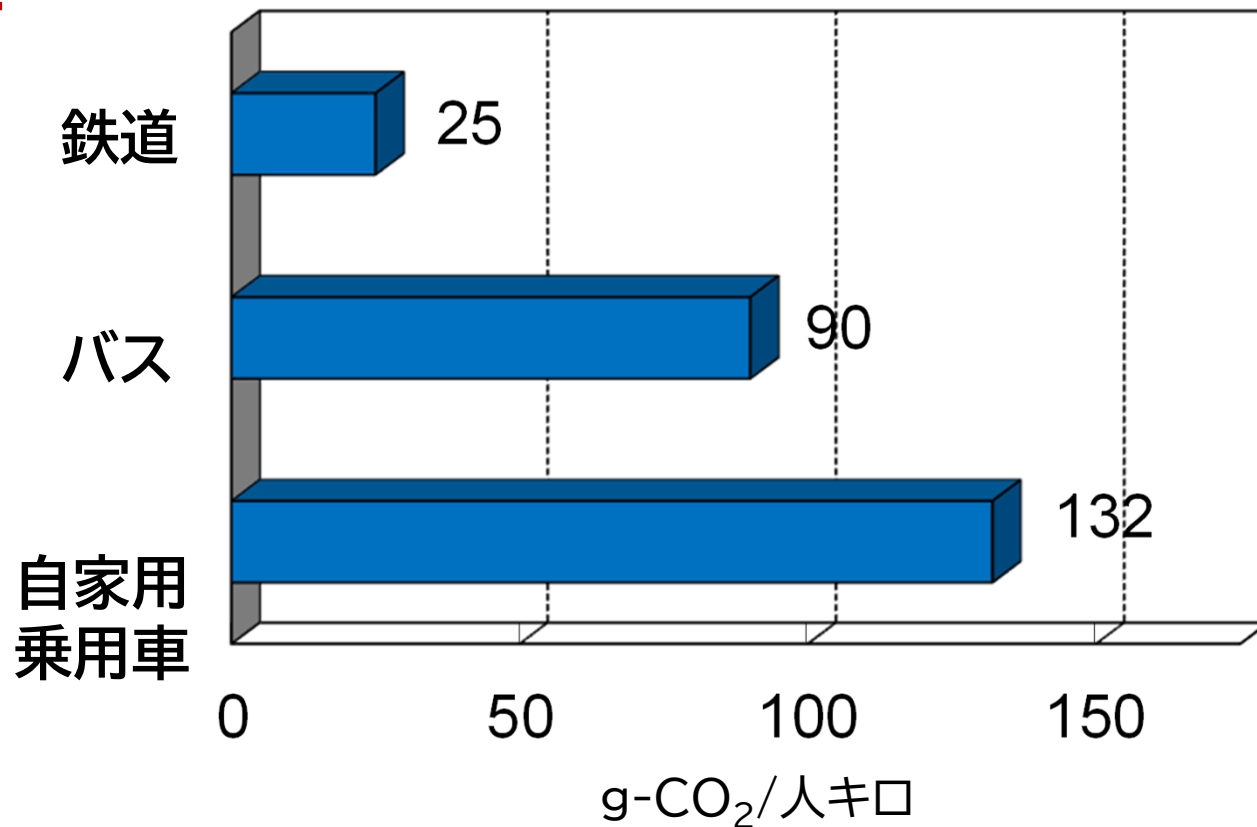


- 個人が自動車から乗合交通に乗り換える場合はこの値でよい
- しかし、**転換してもらうために本数や路線を増やす(供給を変える)場合、この値は変化する**
- **逆効果の場合も(建設時排出卓越、ガラガラ)**
→ たくさん乗り合うことではじめて効果が現れる

乗用車と乗合交通で CO₂排出量はどれくらい違うか？

車両走行に伴う
人キロあたり
CO₂排出量
(2021年、
全国平均)

国土交通省資料



- コロナ禍で乗合交通の輸送密度が低下（乗客減、本数変わらず）
 - 一方、マイカー（自家用乗用車）は走行量が減少（1台当たり乗車人数は安定的）
- たくさんの人が一緒に動くときに乗合交通は有利となることの結果

EST実践のキーワード

- 温室効果ガスが出せない時代(化石燃料が使えない)
- 都市・地域内旅客の重要性(対策の余地多い)
- 長期戦(一夜漬けではダメ、じわじわと変えていく)
- 環境負荷の「見える化」(ライフサイクル思考)
- ストックとなる施策を核に(幹線・結節点整備)
- 乗合・相乗り・混載(低費用・高利便・低炭素を同時実現)
- まちづくり・ひとづくりとの連携(人を変える:環境教育・モビリティマネジメント、まちを変える:コンパクト化)
- 総力戦(しくみを変える:縦割りではダメ)

脱炭素社会実現に必要な施策の導出

「モビリティ革命が脱炭素化を実現するための 条件を明らかにする手法の確立」

原動力となるITや新エネルギー技術を用いた
新たなサービス(とその組み合わせ)について
CO₂排出量をライフサイクルで評価する方法論
(実務で利用できるもの)を構築し、評価を実施

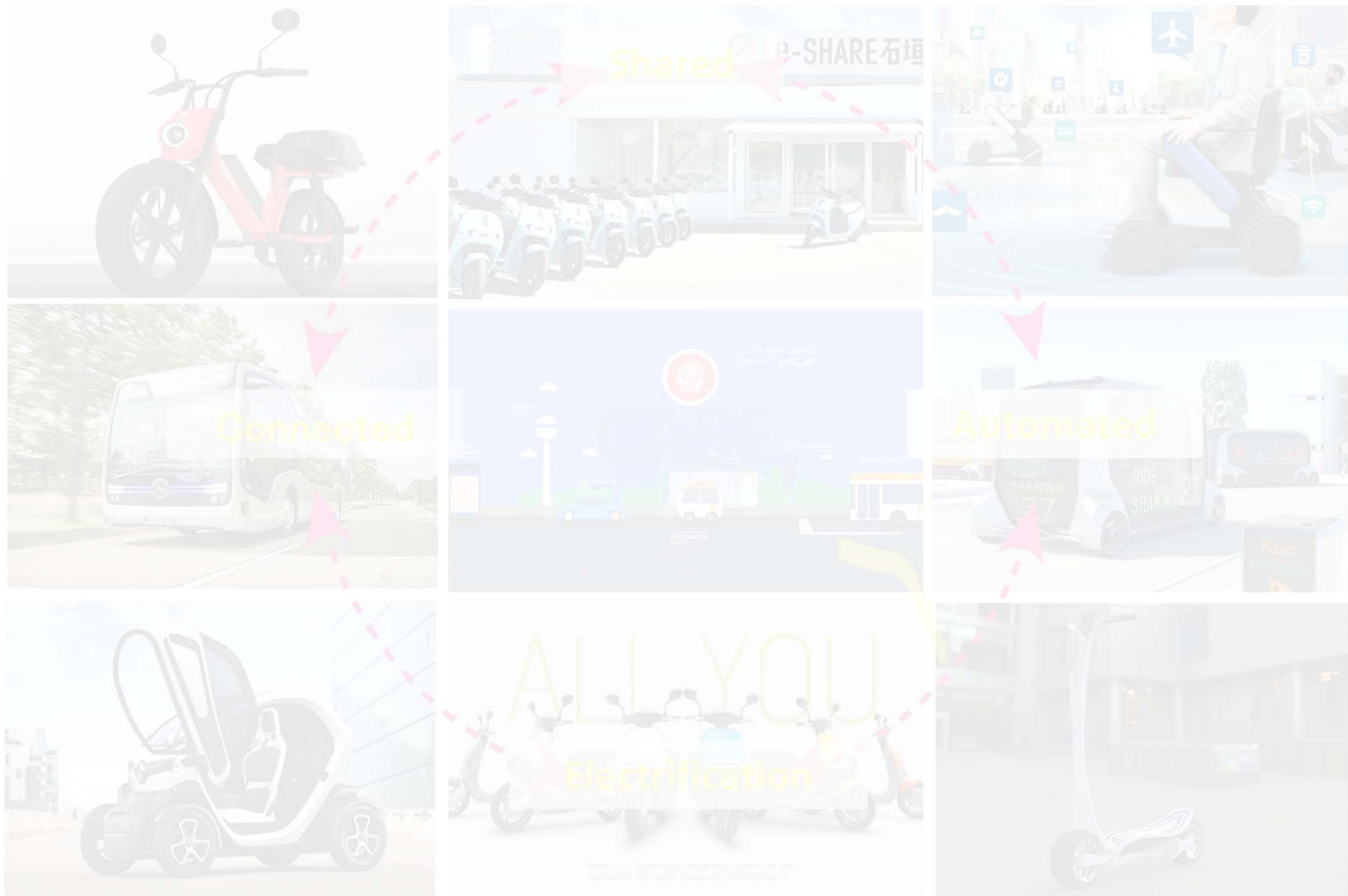
方法論を実際都市・地域へ適用
その状況・特性に応じて、新モビリティサービスを
いかなる形で導入すれば、QOL(生活の質)向上と
脱炭素化を両立できるかを検討、具体的な交通システムを示す



都市・地域における交通活動の
脱炭素化を担保する施策を示す
(国・自治体等が立案する際に活用できる検討手法を提供)

100年に一度の「モビリティ革命」

新モビリティの登場、モビリティシステム・サービスの進化



※出典：トヨタHP・日産HP・e-share石垣HPなど

モビリティ革命が 脱炭素社会を導く保証は全くない

新車すべてCO2**ゼロ**

「灰色のEV」克服、総力戦

※出典：A新聞社HPより。

電気自動車 (EV)



EV Electric Vehicle
電気自動車

走行時CO₂排出ゼロ 100%電気で走る

外部の充電器からバッテリーに充電した電気でモーターを回転させて走ります。
充電用コンセントを設置すれば、家庭でも簡単に充電できます。 ※出典：B市HPより。



「環境にやさしい」？ 「走行時CO₂ゼロ」？

環境負荷の増減を予測・モニタリングしてこそEST

しかし、モビリティ革命をもたらす新技術・サービスに関する
客観的・学術的な環境負荷評価事例は少ない

LRT・BRT導入による CO₂削減効果の簡易推計に ついての留意点

2019.4.3

EST普及推進委員会 委員長 加藤博和

<http://www.estfukyu.jp/pdf/2019kotsukankyotaisho/co220190403.pdf>

LCA(Life Cycle Assessment)の一般的手順

Goal & scope definition

Life Cycle

Inventory analysis

Inventory

Impact assessment

Impact category

Integration

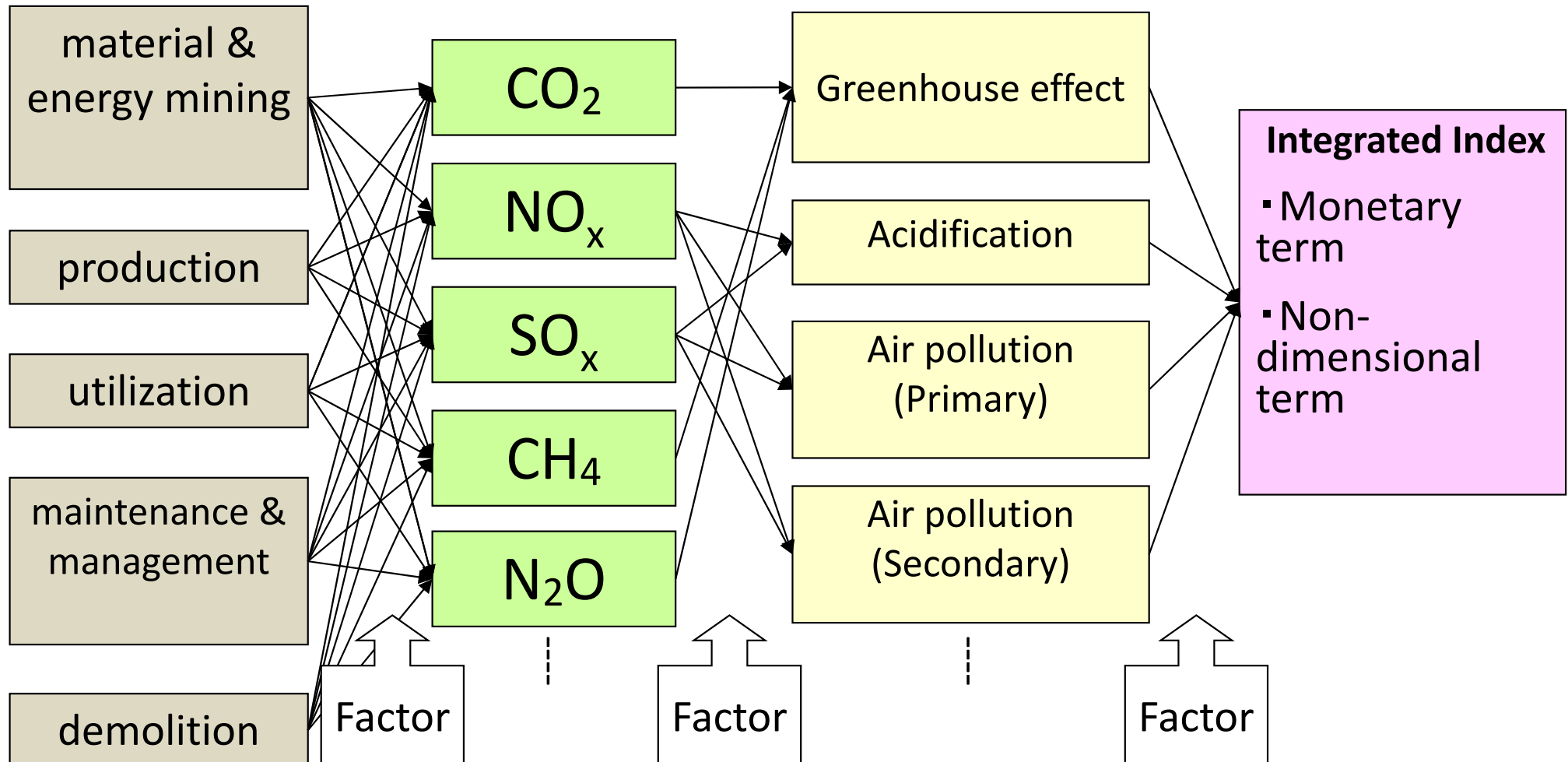
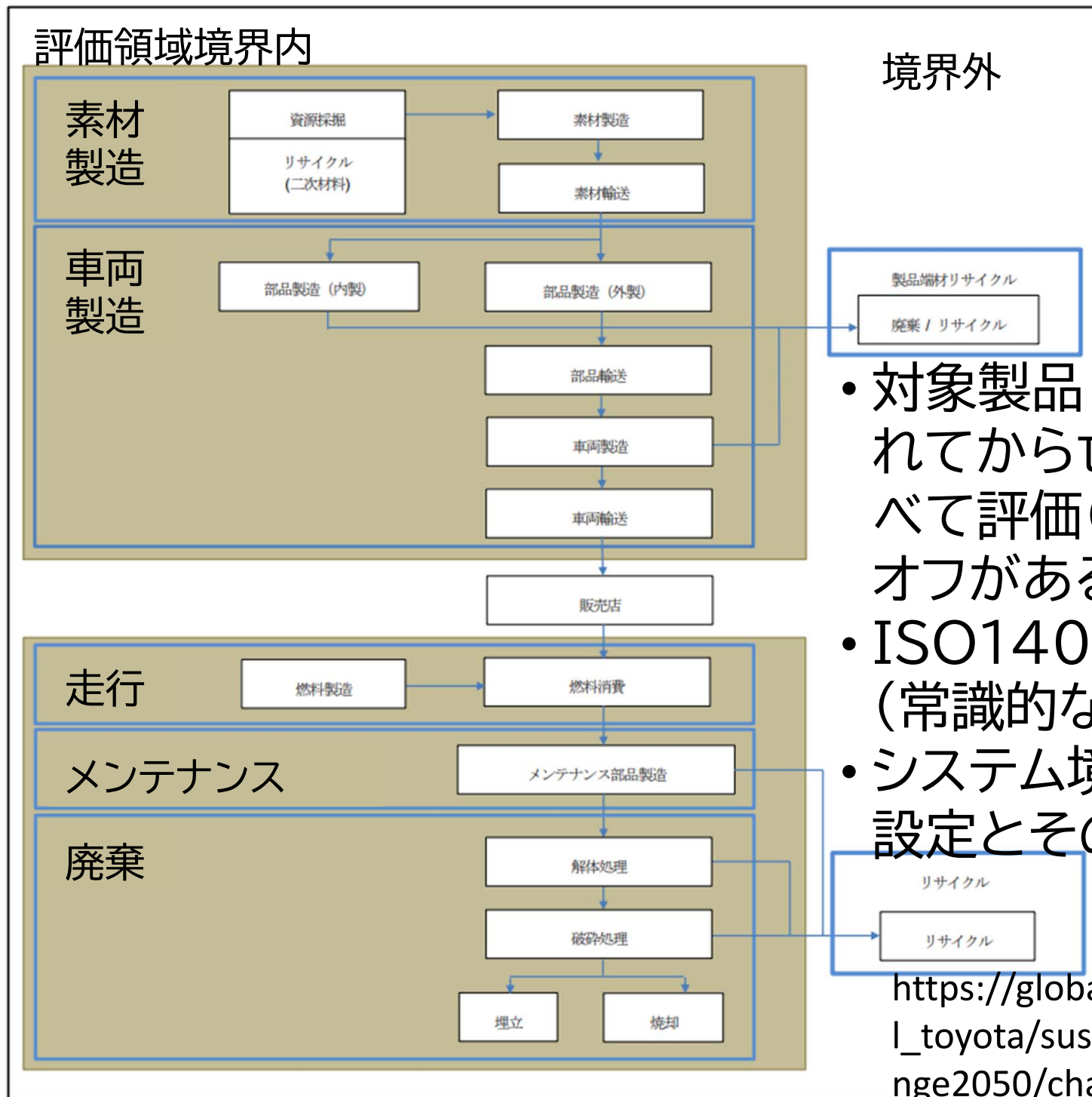


図2: 評価領域



(参考)我が国の排出量バウンダリに関連する業種と主な気候変動対策

- 2030年度燃費基準がWtWベースに拡大したことで、燃料精製段階の規制値(電源構成等)を踏まえた燃費基準値となった。
- エコカー減税・グリーン化特例・環境性能割もそれに連動する形で、インセンティブの範囲が拡大。

自動車によるCO2削減又は省エネに関連する主な気候変動対策

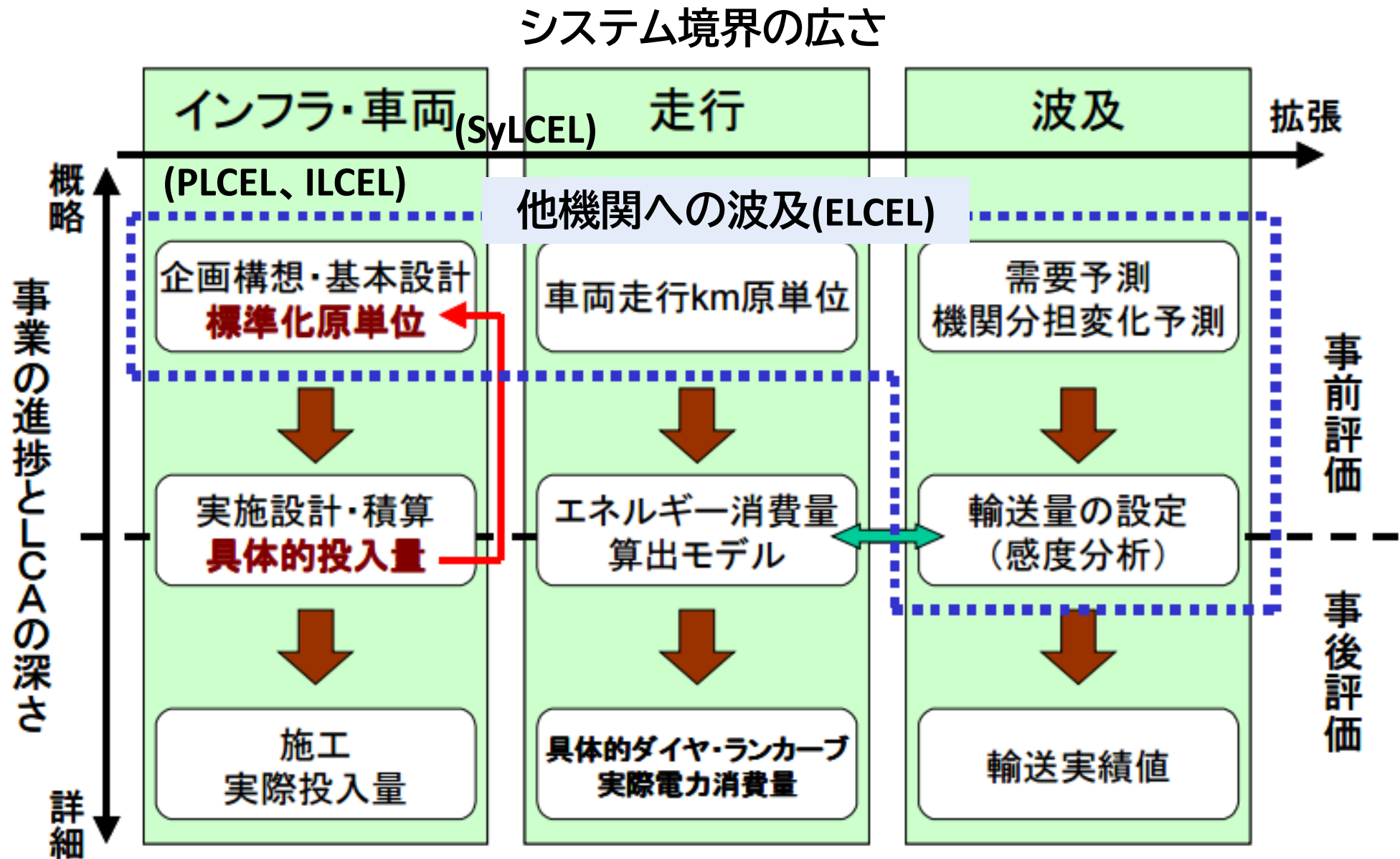
バウンダリ	Tank to Wheel		Well to Wheel					Life-cycle Assessment				
	走行	燃料精製		素材	部品製造	車両製造	廃棄					
業種	自動車製造	鉱業／石油精製	電気業	鉄鋼／窯業土石／化学工業等	自動車・同付属品製造	(再掲)自動車製造	廃棄物処理					
政策	省エネ法(燃費基準)	※2030年度基準からWtWへの変更に伴い影響範囲が間接的に拡大		仮に燃費基準のバウンダリをLCAIに拡大する場合はこのバウンダリまで間接的に拡大								
	省エネ法(工場・事業場に対する報告義務)											
		省エネ法(ベンチマーク)	省エネ法(ベンチマーク) エネルギー供給構造高度化法	省エネ法(ベンチマーク)								
規制的手法	地球温暖化対策のための税(炭素税)・石油石炭税											
	省エネ再エネ高度化投資促進税制											
	エコカー減税等	※2030年度基準から間接的に拡大		仮に燃費基準のバウンダリをLCAIに拡大する場合はこのバウンダリまで間接的に拡大								
経済的手法	CEV補助金		固定価格買取制度									
	自主的取組	低炭素社会 実行計画	低炭素社会 実行計画	低炭素社会 実行計画	低炭素社会 実行計画	低炭素社会 実行計画	低炭素社会 実行計画					

(出典)各種資料を参考にみずほ情報総研作成。

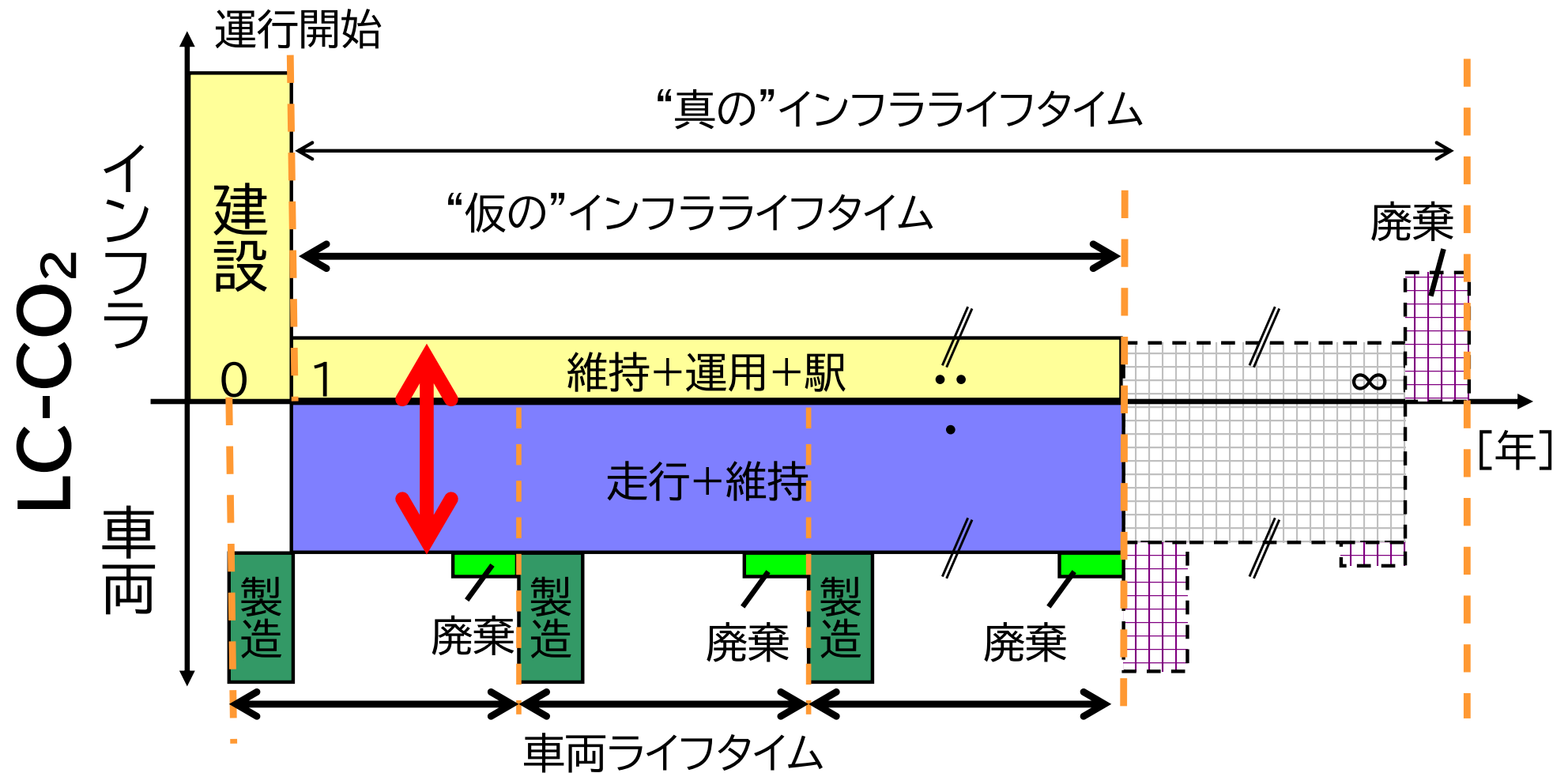
6

2030年から日本の燃費基準はWell to Wheelへ。欧州はLCAへ

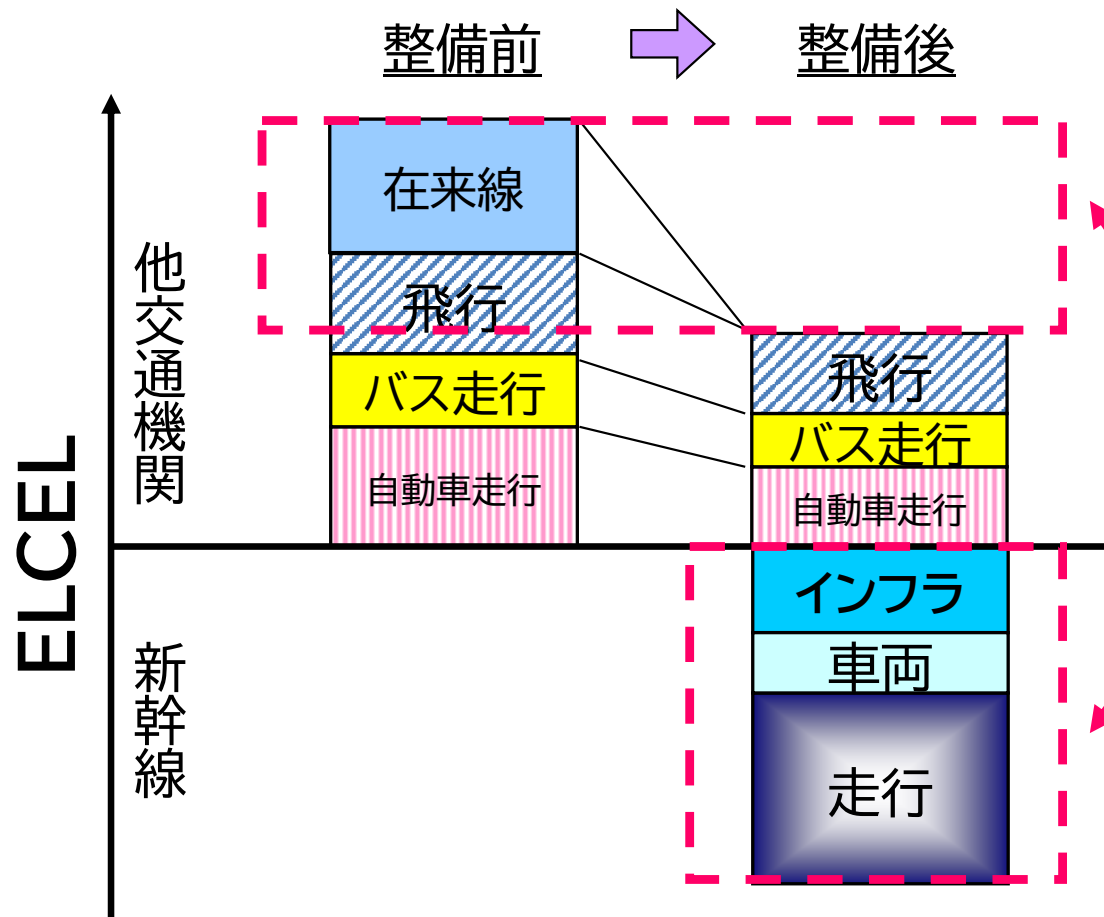
鉄道整備のInventory（目録）作成 におけるシステム境界の拡張



鉄道システムのライフサイクル環境負荷(SyLCEL)



ELCEL(Extended LCEL)の考え方 ～新幹線新設～



新幹線供用後も
他交通機関のインフラ・
車両は減少しないと仮定

新幹線の需要

- A) 在来線特急からの転換
- B) 航空機からの転換
- C) 高速バスからの転換
- D) 自動車からの転換
- D) 経路変更
- E) 誘発需要
- F) 経済発展等に伴う増

...

→不確実のため、
感度分析が必要

(独)環境再生保全機構
環境研究総合推進費（環境対応型）

【課題番号】 1G-2001 【実施期間】 2020～2022年度

モビリティ革命が脱炭素化を 実現するための条件

代表:加藤博和(名古屋大学)

サブテーマ1: 名古屋大学	加藤博和, 朴秀日
サブテーマ2: 早稲田大学	紙屋雄史, 井原雄人, 楊イ翔
サブテーマ3: 岡山大学	氏原岳人
サブテーマ4: 国立環境研究所	松橋啓介

研究開発目的

「モビリティ革命」を実現する新技術・サービスが
交通システムの低炭素性に与える影響の評価
手法開発→「脱炭素を実現する条件」を提示

※同じものでも場合によって是非が変わってくる

- 研究代表者が開発してきた交通システムのLCA (Life Cycle Assessment)・WtoW(Well to Wheel)評価手法を援用・拡張(新技術・サービス評価のためのデータ整備を実施)
- 需要・供給状況(コロナの影響も調査検討)やインフラ整備・IT・エネルギー技術等の要因による変化も考慮できる手法へ発展
- 地域ごとに、社会経済トレンドを考慮しながら、モビリティ革命が利便性・効率性向上のみならず脱炭素を実現する交通システムとなるための条件を提示し、実現に必要な施策を提言
- 国の低炭素技術導入支援事業における評価手法を提供。自治体におけるEBPM(Evidence Based Policy Making)にも貢献

研究目標

「モビリティ革命が脱炭素化を実現するための 条件を明らかにする手法の確立」

原動力となるITや新エネルギー技術を用いた
新たなサービス(とその組み合わせ)について
CO₂排出量をライフサイクルで評価する方法論
(実務で利用できるもの)を構築し、評価を実施

方法論を実際都市・地域へ適用
その状況・特性に応じて、新モビリティサービスを
いかなる形で導入すれば、QOL(生活の質)向上と
脱炭素化を両立できるかを検討、具体的な交通システムを示す



都市・地域における交通活動の
脱炭素化を担保する施策を示す
(国・自治体等が立案する際に活用できる検討手法を提供)

研究目標

【サブ1(名古屋大)】：交通システム

モビリティ革命が交通活動の脱炭素化に資する方向に進むために必要な**施策**や**技術**を見出すために、様々な**新技術・サービス**導入によって様変わりする**交通システム**の**低炭素性**を**定量評価**する手法を**開発**する。

これは、**国・自治体や企業等**がその**施策・企画検討**のために**活用できる**ものとする。

【サブ2(早稲田大)】：交通具・エネルギー

電動車両および**新モビリティ**の低炭素性評価手法を整備する。その中で、今後の**電源構成の変化**を踏まえた排出原単位を導入し、**WtoW**評価を行うことを通して、**電動車両**および**新モビリティ**の低炭素性評価手法を整備する。

【サブ3(岡山大)】：IT等交通マネジメント

ITによってシームレスにつながった交通サービスを提供する**MaaS**や、**オンデマンド・シェアリング**など、モビリティ革命の核となる**新たな交通具利用形態**に着目し、それらの低炭素性を評価する手法を開発し、各事例を評価する。あわせて、このようなモビリティ革命が利用者の**生活の質**にどのような影響を及ぼすのかを分析し、低炭素でかつ生活の質を高める交通システム実現の方向性を明らかにする。

【サブ4(国環研)】：地域の社会・空間構造変化

将来の地域の**社会・空間構造**の**長期変化**とそれに伴う**ライフスタイルの変容**を踏まえた交通需要変化を**シナリオ化**し、炭素排出量の長期的推移の予測を行う。さらに、各サブテーマの成果による**新技術・サービス**導入・組み合わせを考慮した場合の低炭素性を評価し、**各地域**の将来変化に合わせたモビリティ低炭素化の**方向性**を示す。

研究計画



脱炭素社会に向けた中長期的な交通政策の検討へ貢献
地域循環共生圏形成へ貢献できるモビリティサービスのあり方を提案

研究開発内容

中間評価以降に着手

【サブ1(名古屋大)】：交通システム

- ①次世代モビリティ・技術・サービスのCO₂変動要因の整理と定式化
- ②旅客交通システムのLCAに基づく低炭素性評価方法論の開発
- ③技術・交通施策群を脱炭素の観点から中長期的に評価するパッケージの構築
- ④都市・地域圏スケールで必要な施策のバックキャストによる検討と提案

【サブ2(早稲田大)】：交通具・エネルギー

- ①電動バス・新モビリティの実走行時の電費情報の収集
- ②電動車両のWtoW評価のための地域・時間ごとの電源構成の把握
- ③低炭素効果を最大化する充電スケジュール構築と実施コストの把握

【サブ3(岡山大)】：IT等交通マネジメント

- ①超小型EV・グリーンスローモビリティ導入による行動変化とCO₂への影響
- ②MaaSの現況利用実態、および将来の利用可能性評価
- ③利用者視点での脱炭素に向けたIT等交通マネジメントの方向性提示

【サブ4(国環研)】：地域の社会・空間構造

- ①人口構成・分布の長期変化による乗用車CO₂の推計
- ②性・年齢別の免許保有者数・運転者数の推移の分析
- ③全国市区町村別の乗用車走行距離・CO₂の車検証データを用いた推計
- ④歩きやすい地域の居住人口の評価

成果の概要

サブテーマ
(1)(2)(3)

モード(車両/インフラ)

サービス(IT)

ライフスタイル(交通主体)

製造(車両)

/建設(インフラ)

走行(車両)

/使用(インフラ)

電動化

回生

充放電
コントロール

再エネ

気温

基幹公
共交通

パーソナル
モビリティ

MaaS
(乗継)

混雑率
(乗合)

地形
(勾配)

エネルギー

人口構成
・分布

交通需
要・行動

交通
サービス

(A) モビリティ革命の
推進力となる要素の抽出

(B) LC-CO₂プロセス
ツリーの作成

(C) LC-CO₂排出原単位
の整備(モード別)
影響要因の
詳細分析と定式化

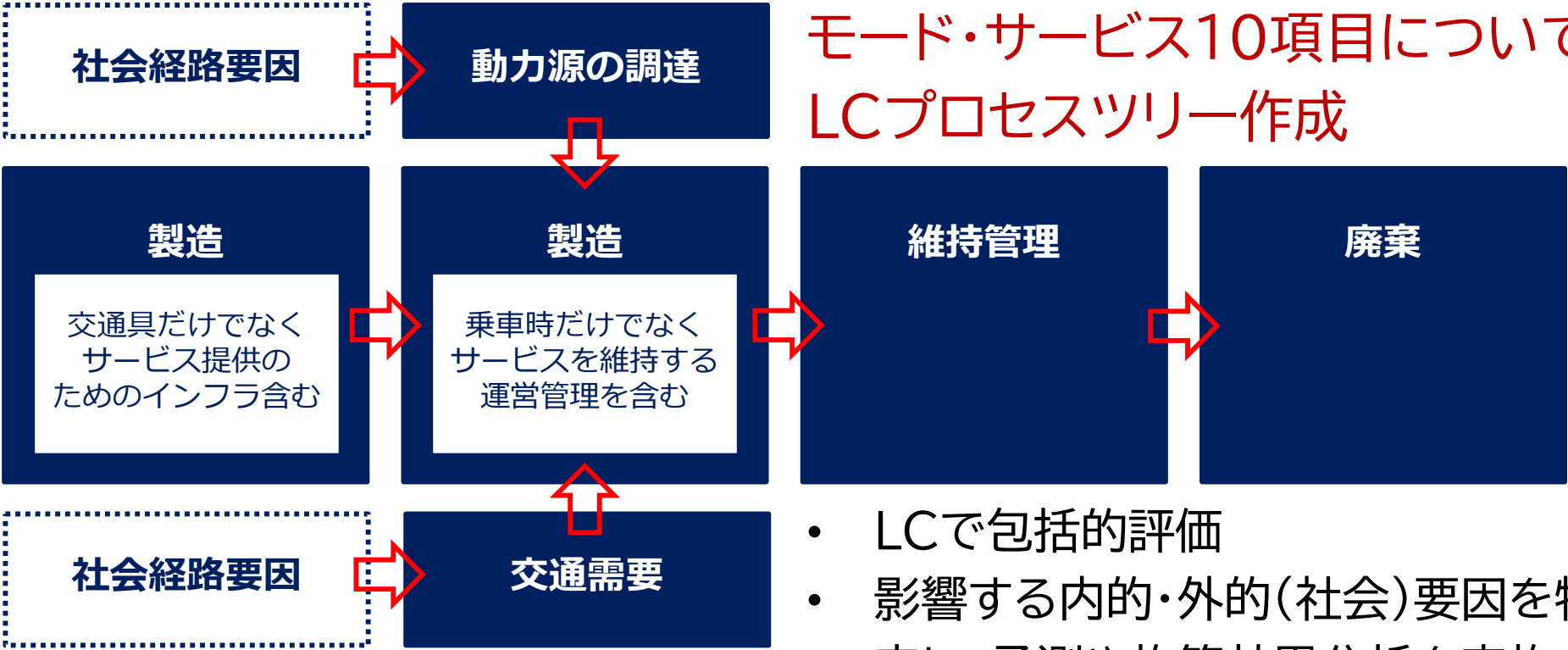
(D) 将来シナリオ設定
(トレンド/施策群)

(E) 低炭素性評価 (LC-CO₂推計/シナリオ評価/感度分析)、認証制度提案

(F) 脱炭素目標達成に必要な施策群のバックキャストिंग

脱炭素社会実現に向けた「モビリティ革命の条件」を提示

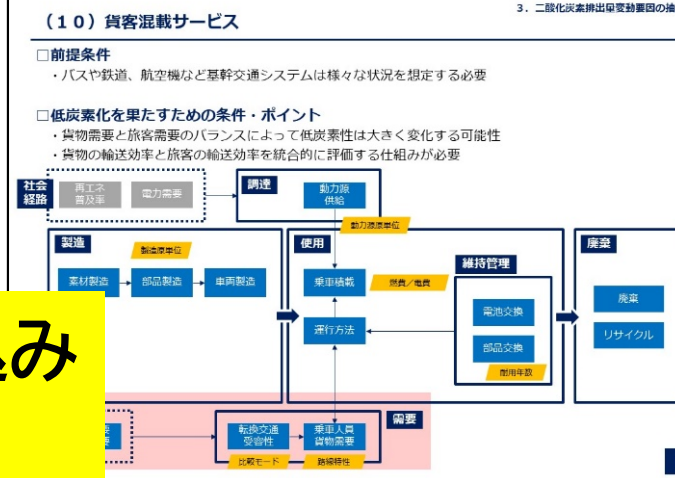
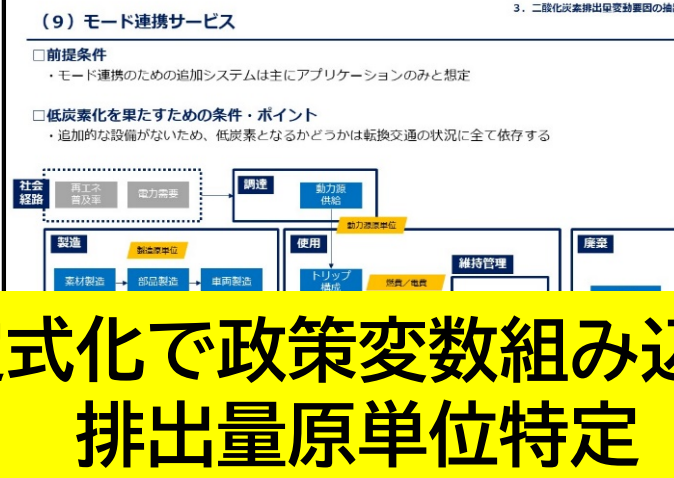
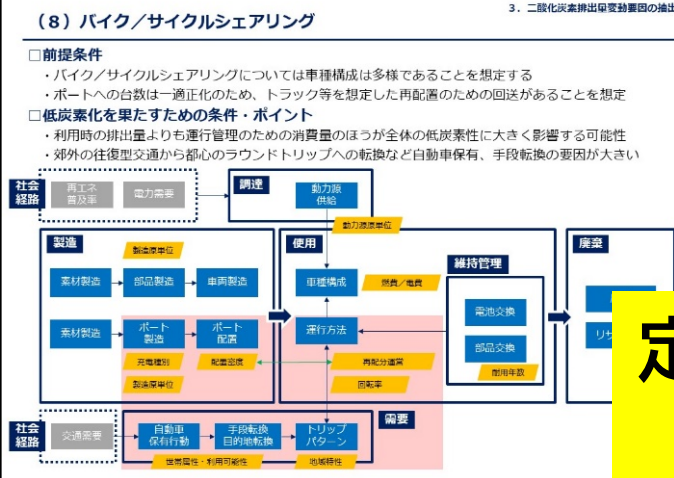
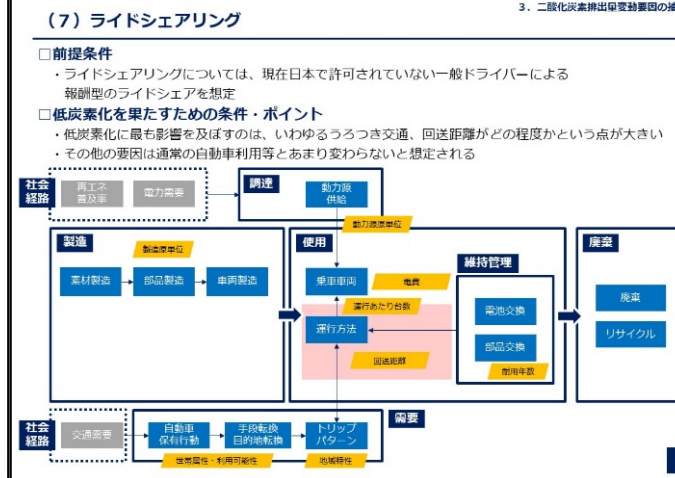
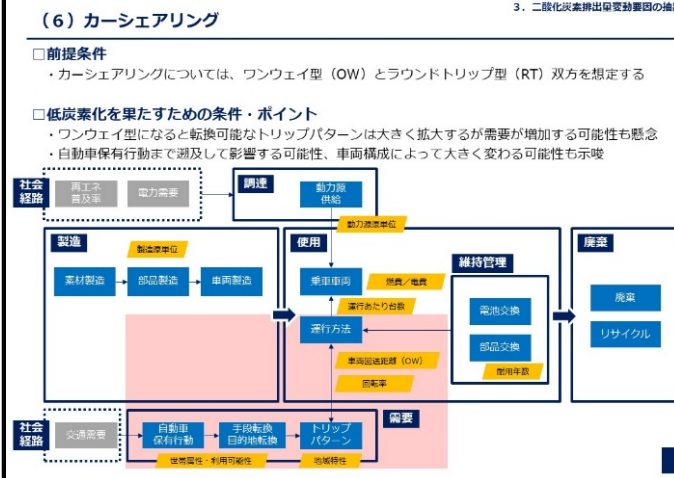
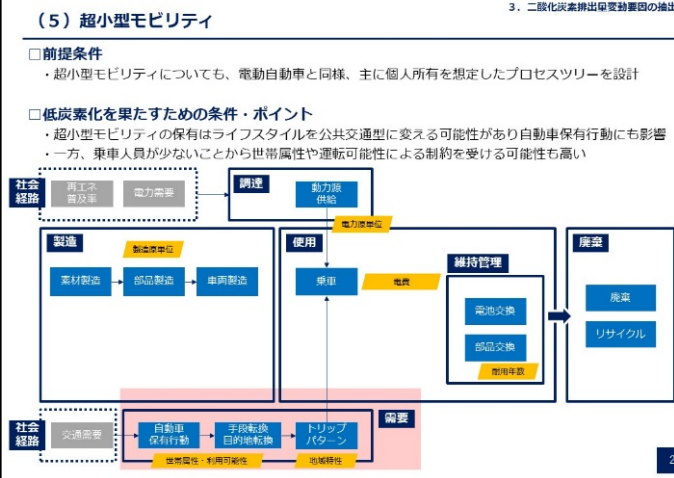
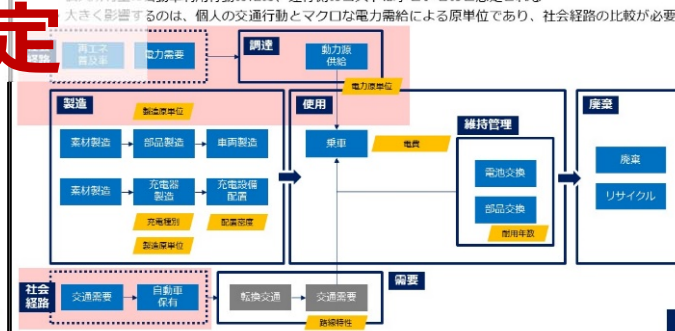
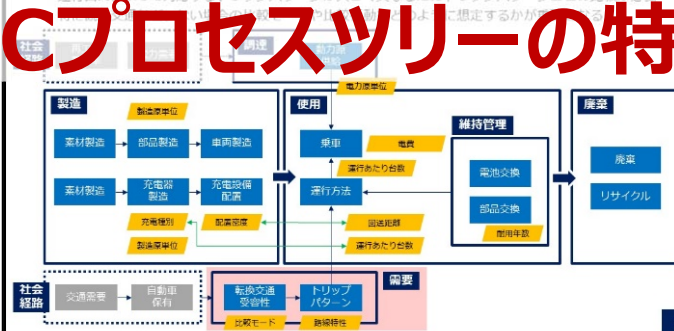
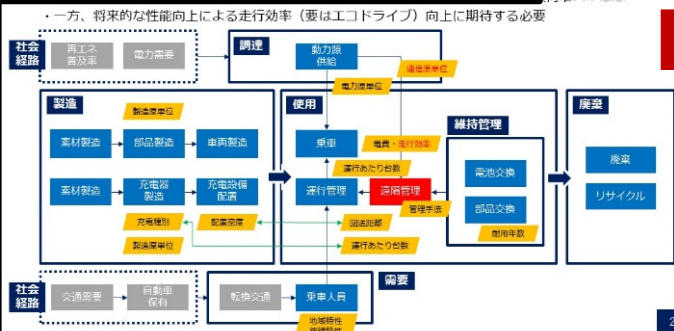
	モード(交通具)M	サービス(交通路)S	ライフスタイル(交通主体)L
分類	電動バス	カーシェアリング	リモートワーク
	自律走行バス	ライドシェアリング	フレキシブルオフィス
	GSM	バイク／サイクルシェアリング	EC・デリバリー
	電気自動車／水素自動車	モード連携サービス	オンライン診療
	超小型EV	貨客混載サービス	



(B) LC-CO₂プロセスツリーの作成

各技術・サービスの LCプロセスツリーの特定

サブ1
(名古屋大)



定式化で政策変数組み込み
排出量原単位特定

<乗合輸送機関 m のSyLC-CO₂排出量 E^m >

$$E_{SyLC}^m = \left(\frac{e_{v,c}^m \times x^m}{T_v^m} \right) + \left(\frac{e_{l,c}^m \times y^m}{T_l^m} \right) + E_{v,r}^m + E_{l,r}^m$$

$$E_{v,r}^m = e_{v,r}^m \times P$$

$$E_{l,r}^m = E_{v,r}^m \times b^m$$

<個別輸送機関 m のLC-CO₂排出量 D^m >

$$D_{LC}^m = \left(\frac{D_c^m \times x^m}{T^m} \right) + (e_r^m \times \gamma^e \times x^m \times K_r^m)$$

v : 車両, l : インフラ
 $e_{v,c}$: 車両製造時CO₂排出量[t-CO₂/台]
 x : 必要台数[台]
 $e_{l,c}$: インフラ建設時CO₂排出原単位[t-CO₂/m, 本, 駅]
 y : インフラ構造物投入量[m, 本, 駅]
 T : ライフタイム[year]
 $E_{v,r}$: 車両走行時CO₂排出原単位[t-CO₂/year]
 $E_{l,r}$: インフラ運用時CO₂排出原単位[t-CO₂/year]
 $e_{v,r}$: 車両走行時CO₂排出原単位[t-CO₂/台km]
 P : 輸送量[人km/year]
 b : 車両走行時に対するインフラ運用時の比率

D_c : 製造時CO₂排出原単位[t-CO₂/台]
 T : ライフタイム
 x : 必要台数[台]
 e_r : 電力(燃料)消費量[Wh(L)/km]
 γ^e : 電力(燃料)CO₂排出係数
[t-CO₂/Wh(L)]
 K_r : 走行距離[km/台]

<乗合交通 (中大量)>・・・最新の値へ更新、中量輸送が追加

交通具	編成定員	ライフタイム	車両製造時	インフラ製造時			車両走行時
			素材：ステンレス	軌道(単線)	支柱/架線柱	駅	走行原単位
単位	[人]	[年]	[kg-CO ₂ /台]	[kg-CO ₂ /m]	[kg-CO ₂ /本]	[kg-CO ₂ /駅]	[kg-CO ₂ /編成km]
地下鉄	516	30	1.09×10 ⁵	9.28×10 ²	-	3.12×10 ⁷	4.45
跨座式モノレール	410	20	1.14×10 ⁵	6.63×10 ²	1.00×10 ⁴	3.81×10 ⁶	3.54
AGT	264	30	5.06×10 ⁴	1.02×10 ³	8.82×10 ³	3.81×10 ⁶	2.67
懸垂式モノレール	224	20	6.94×10 ⁴	2.34×10 ³	2.52×10 ⁴	3.81×10 ⁶	1.78
LRT	155	30	5.06×10 ⁴	5.48×10 ²	2.85×10 ²	1.47×10 ⁴	1.18
BRT	70	15	3.16×10 ⁴	4.81×10 ²	-	3.85×10 ³	1.05
GWB	70	15	4.18×10 ⁴	8.69×10 ²	8.82×10 ³	3.81×10 ⁶	1.05

<個別交通 (少量)>・・・いままで全くなかった

パーソナルモビリティツール	乗車定員 [人]	ライフタイム [年]	製造時CO ₂ [t-CO ₂ /台]	走行時CO ₂ [g-CO ₂ /台km]	走行時電力 [Wh/台km]
ガソリン自動車(GV)	5	10	3.2	(右参照) →	
ハイブリッドガソリン自動車(HV)	5	10	3.7		
電気自動車(EV)	5	10	6.0		
二輪車(400cc)	1	5	0.62	116	—
超小型モビリティ(超小型EV)	1	7	1.75	—	103
原付(50cc)	1	5	0.20	85.5	—
電動キックボード	1	5	0.149	—	19.3
電動アシスト自転車	1	3	0.0747	※16.0	10.2
自転車	1	3	0.0465	※22.2	—

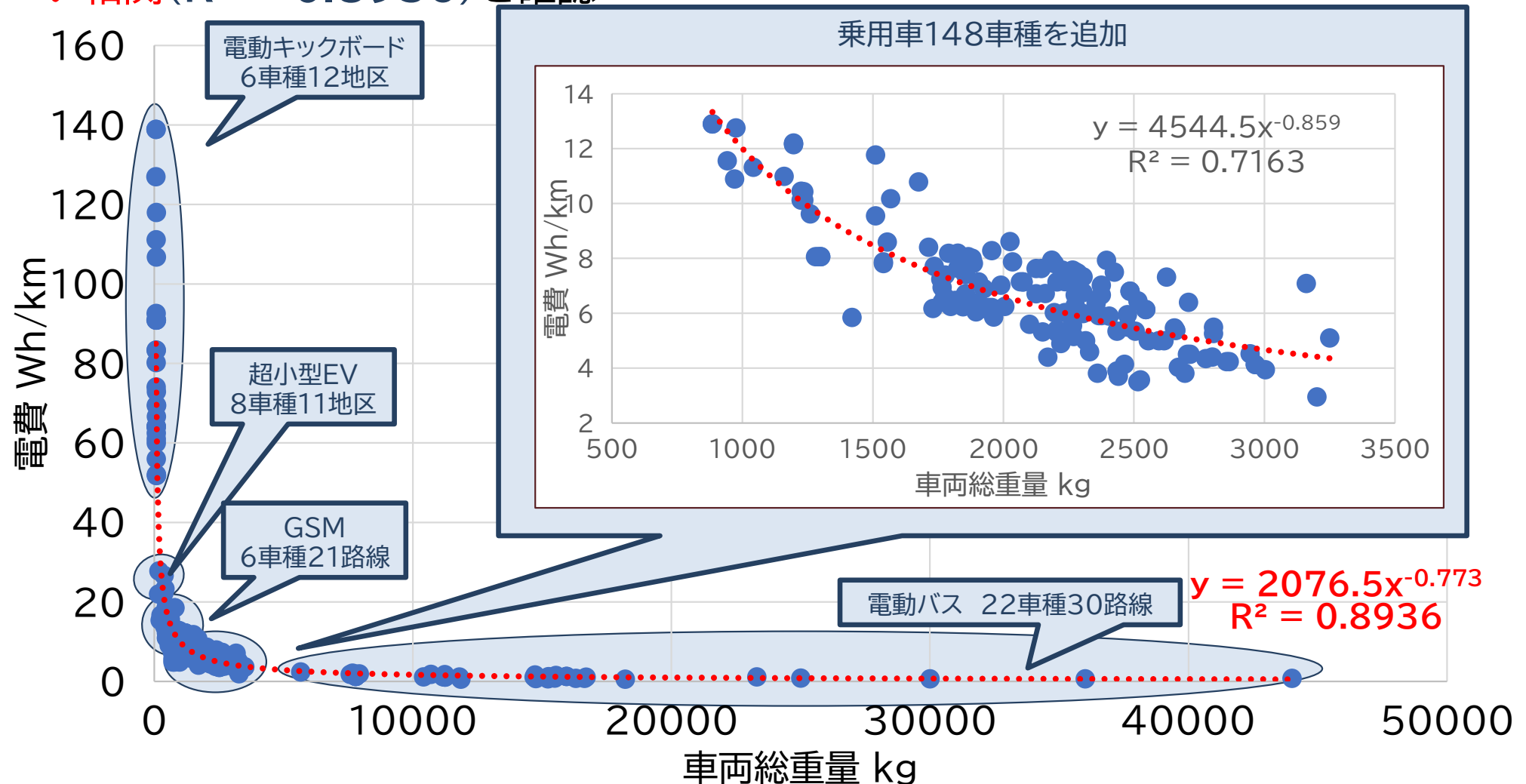
<GV・HVの走行時CO₂排出量>

	乗車人数	1	2	3	4	5
GV	走行時CO ₂	106	112	118	123	129
HV	[g-CO ₂ /台km]	50.7	53.2	55.7	58.2	60.7

<EVの走行時電力消費量>

	乗車人数	1	2	3	4	5
EV	走行時電力消費量	107	111	115	120	124
	[Wh/台km]					

電動バス(22車種30路線)、GSM(6車種21路線)、超小型モビリティ(8車種11地区)、電動キックボード(6車種12地区)における実走行時の電費に加えて、乗用車EV148車種のWTLCモードでの電費を調査し、電費と車両総重量の分析を行い、高い相関($R^2 = 0.8936$)を確認

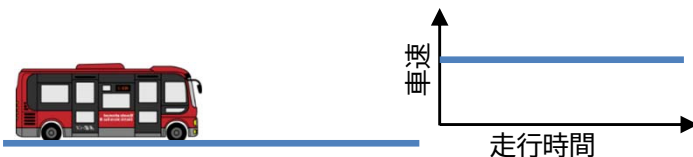


電費に影響を与える走行パターンの要素として、**車速**と**勾配**に着目し、
簡易電費予測モデルを構築

EC	電費 [kWh/km]											
車両 条件	η_G	ギア効率	固定 条件	g	重力加速度 [m/s ²]	勾配 条件	E_{Air_DS}	空気抵抗消費分エネルギー(減速区間) [J]				
	η_{Mot}	モータ効率		ρ	空気密度 [kg/m ³]		E_{Roll_DS}	転がり抵抗消費分エネルギー(減速区間) [J]				
	m_{Car}	車両質量 [kg]		走行 条件	X		全ルート走行距離 [m]	E_{Reg_K}	回生エネルギー(減速分) [J]	E_{Air_DS}	減速区間空気抵抗エネルギー [J]	
	A	投影面積 [m ²]			V		ルート平均速度 [m/s]	E_K	運動エネルギー(加速で蓄積) [J]	E_{Roll_DS}	減速区間転がり抵抗エネルギー [J]	
	P_{Aux}	補器消費 [W]			T		全ルート走行時間 [s]	E_{Reg_P}	降坂による回生エネルギー [J]	E_P	放出位置エネルギー [J]	
			m_{Pas}	乗客質量 [kg]								
			C_d	空気抵抗係数								
			C_r	転がり抵抗係数								
			F_{Air}	空気抵抗 [N]								
			F_{Roll}	転がり抵抗 [N]								

低精度 予測

- 空気抵抗・転がり抵抗 ← **平均速度**
- 補機消費・動力システム効率 ← **車両諸元**



$$EC = f(V) = \frac{E}{X} = \frac{1}{\eta_G \cdot \eta_{Mot}} \cdot \left[\frac{1}{2} \rho A C_d V^2 + C_r (m_{Car} + m_{Pas}) g \right] + \frac{P_{Aux}}{V}$$

中精度 予測

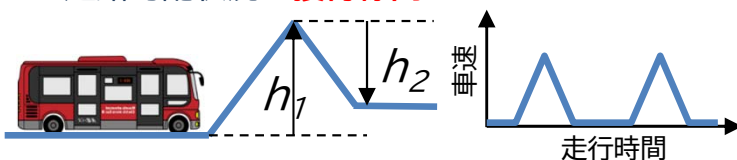
- 平坦路 & 定速走行に加えて
- 加速/減速/停車 ← **発停車回数、停車時間**
- 電動車両の回生 ← **運動エネルギー利用率**



$$EC = f(V, \alpha, n) = \frac{1}{\eta_G \cdot \eta_{Mot}} \cdot \left[\rho A C_d \frac{V^2}{(1 - \alpha)^2} + C_r (m_{Car} + m_{Pas}) g \right] + \left(\frac{1}{\eta_G \cdot \eta_{Mot}} - \eta_K \right) (m_{Car} + m_{Pas} + m_{Rot}) \frac{n V^2}{500 (1 - \alpha)^2} + \frac{P_{Aux}}{V}$$

高精度 予測

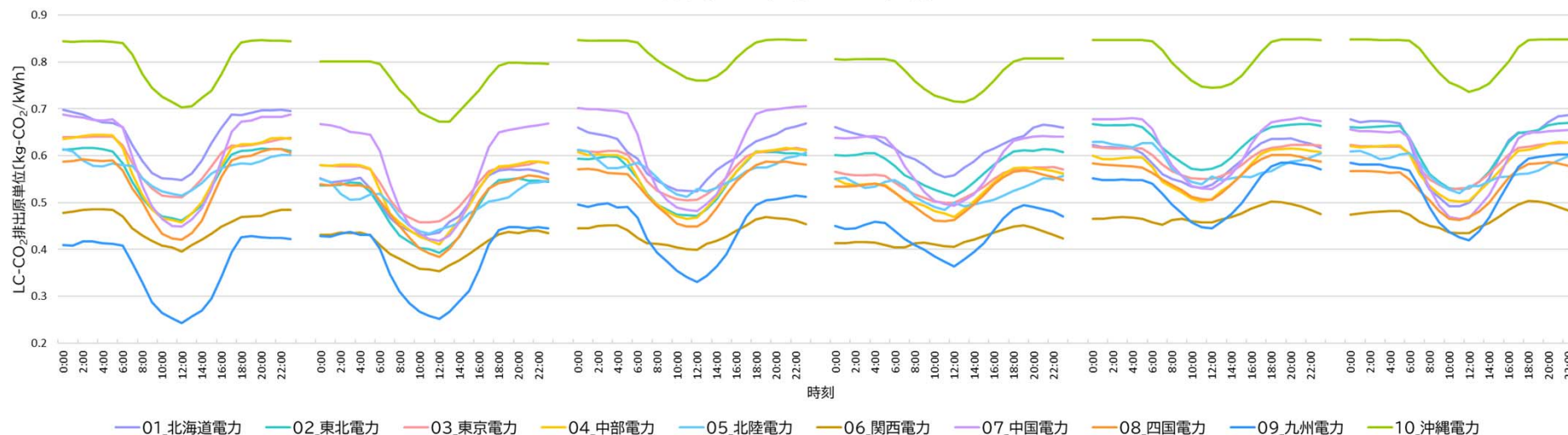
- 平坦路 & 三角波走行に加えて
- 道路勾配状況 ← **獲得標高**



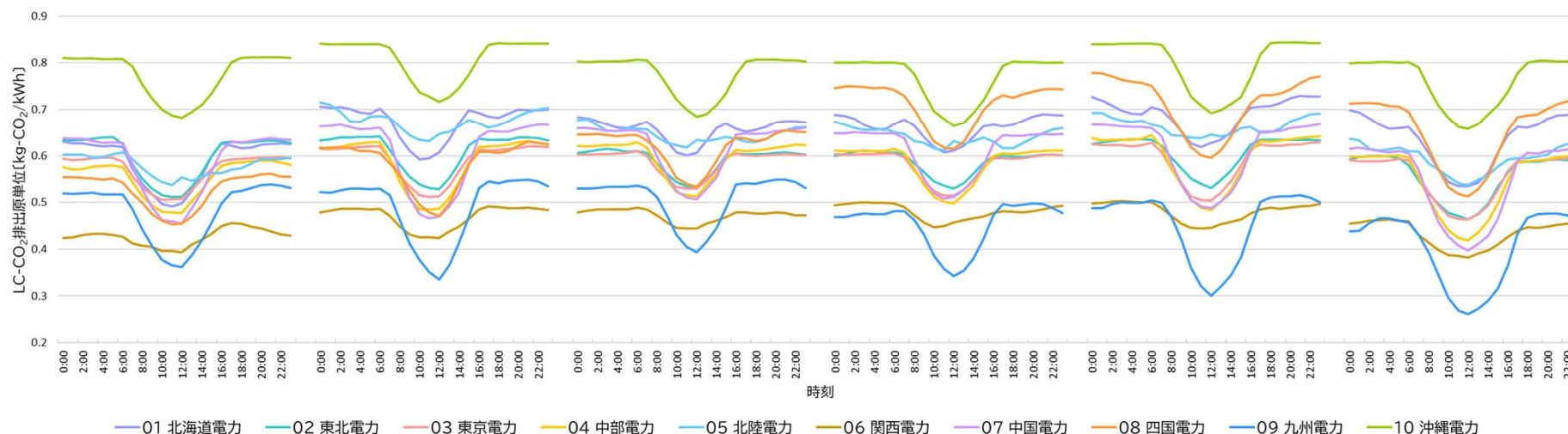
$$EC = f(V, \alpha, n, \frac{\sum h}{X}) = \frac{1}{\eta_G \cdot \eta_{Mot}} \cdot \left[\rho A C_d \frac{V^2}{(1 - \alpha)^2} + C_r (m_{Car} + m_{Pas}) g \right] + \left(\frac{1}{\eta_G \cdot \eta_{Mot}} - \eta_K \right) (m_{Car} + m_{Pas} + m_{Rot}) \frac{n V^2}{500 (1 - \alpha)^2} + \frac{P_{Aux}}{V} + (m_{Car} + m_{Pas}) g \left(\frac{1}{\eta_G \eta_{Mot}} \frac{\sum h^+}{X} + \eta_P \frac{\sum h^-}{X} \right)$$

一般送配電事業者より公表されている時間帯別の発電構成および発電手段ごとのLC-CO₂を踏まえて、地域別・時間帯別のCO₂排出係数を把握

平日（2019年4月～2019年9月）

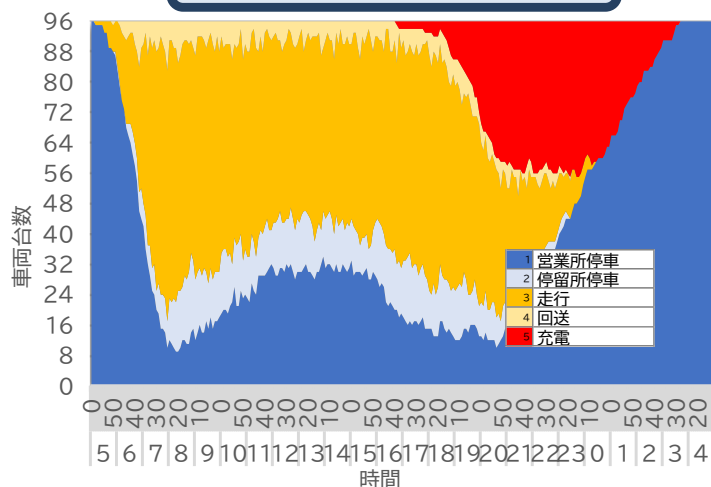


平日（2019年10月～2020年3月）

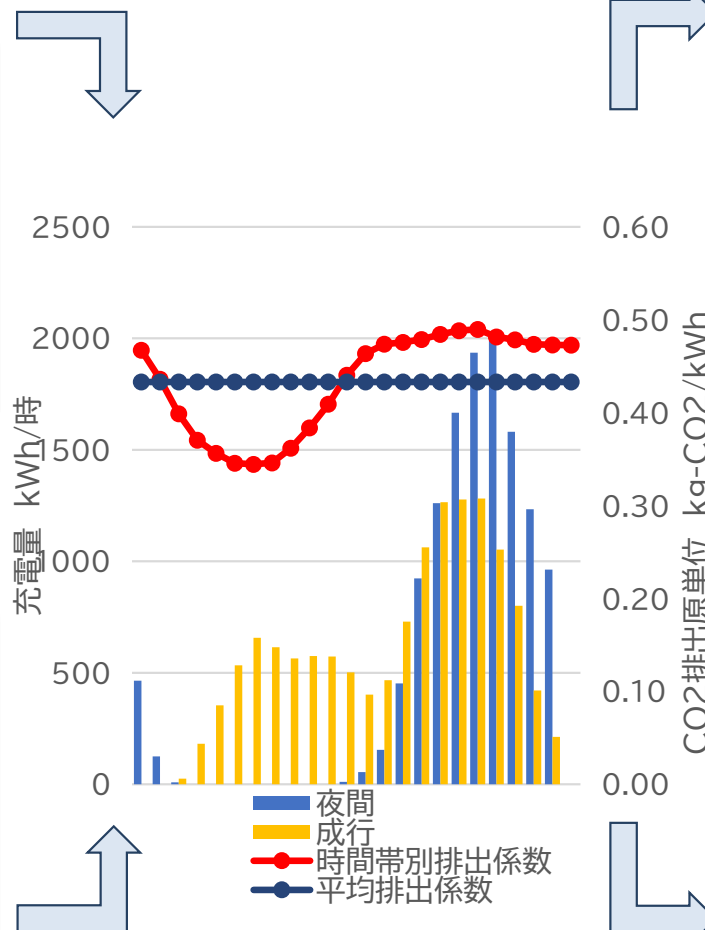
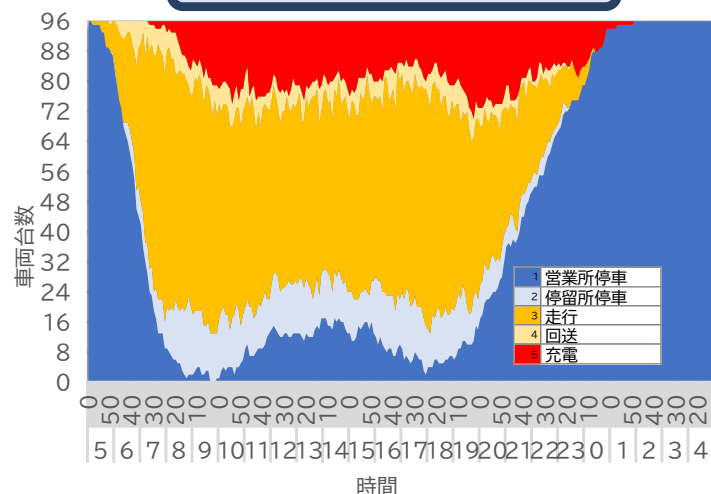


仕業終了後に充電する**夜間充電**パターンと昼間に営業所に戻るごとに充電する**成行充電**パターンを構築し、環境性(CO₂排出量)・経済性(充電コスト)の**最適化の検討**を行った。

夜間充電

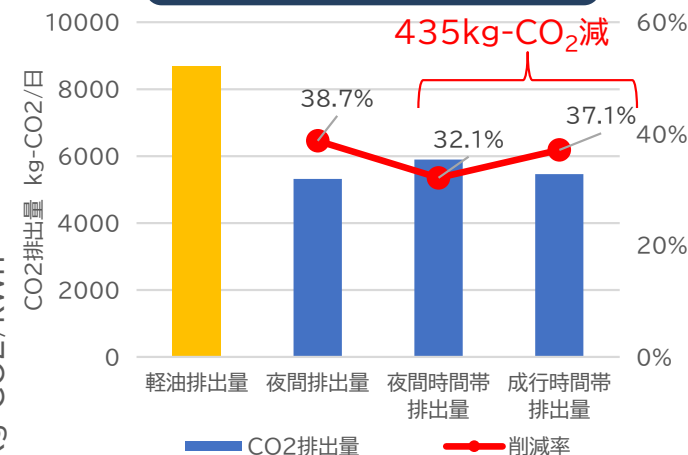


成行充電

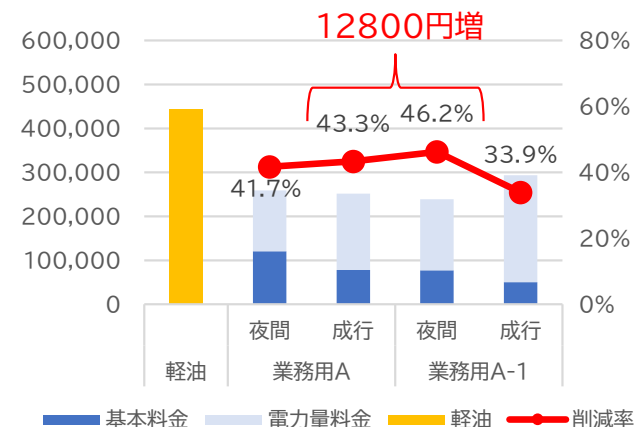


時間帯排出係数を適用し
CO₂排出量及び充電コストを推計

CO₂排出量



充電コスト



(C) LC-CO₂影響 要因の詳細 分析と定式化

超小型EV(MEV)導入がもたらす 行動変化とCO₂排出量への影響評価

サブ3
(岡山大)

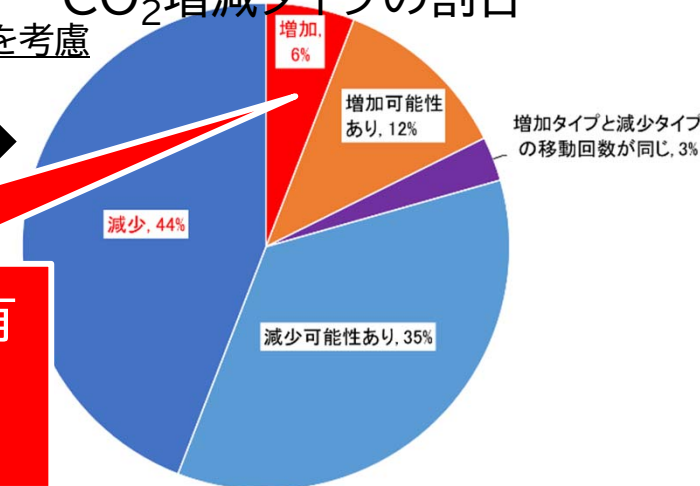
MEV(コムス)を導入した場合の手段選択の変更
及び行動変化による
低炭素性を評価



MEVとGV(ガソリン車)のCO₂
排出量(Wel-to-Wheel)

MEV	0.04[kg-CO ₂ /km]
GV	0.27[kg-CO ₂ /km]

導入前後の**利用パターン**変化による
CO₂増減タイプの割合
利用パターンを考慮



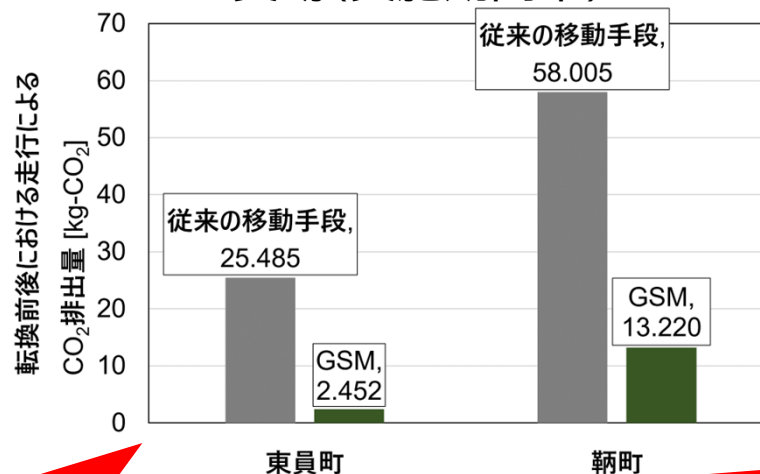
CO₂排出量が**増加**する可能性有
・徒歩・自転車からの転換
・新規行動の発生

グリーンスローモビリティ(GSM)導入がもたらす行動変化とCO₂排出量への影響評価

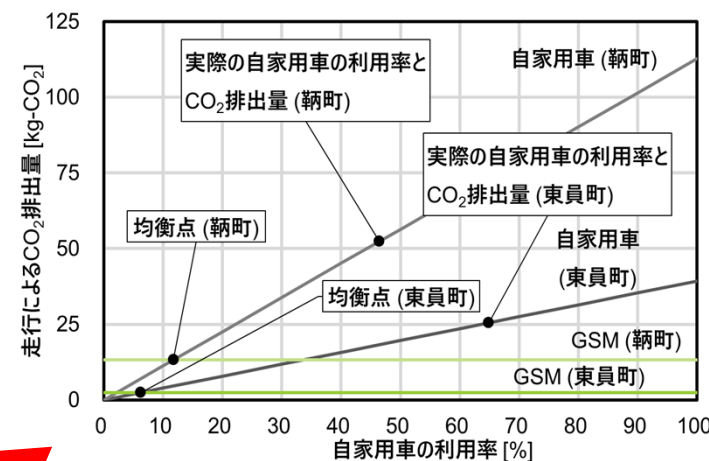
GSM導入前後を
想定した
利用者視点の
低炭素性を評価



GSM導入によるCO₂排出量の変動(実施期間中)



従来(導入前)の**自家用車利用率**の
変動とCO₂排出量との関係(感度分析)



CO₂排出量は削減

従来の自家用車利用率によってはCO₂が**増加**する場合も

**(C) LC-CO₂影響
要因の詳細
分析と定式化**

**低炭素性評価のために収集すべきデータ群
(対象者：新たな交通具の利用者)**

**サブ3
(岡山大)**

調査項目			優先度	備考
利用者アンケート	利用行動	を新 たな 交 通 具	① 移動目的	◎ 通勤・通学、業務、買物、食事、観光、送迎、通院、その他利用
			② 出発地・目的地	◎ 町丁目あるいは施設名
			③ 移動のしやすさ	◎ 5～7件法(利用しない場合の交通手段⑧との比較)
			④ 利用区間	○ 公共交通の場合。停留所等の乗降地点が設定されている交通具のみ対象。
			⑤ 利用頻度	○ 毎日、ほぼ毎日(週4～5回)、週2～3日程度、週1回程度、月2回程度、月1回程度、月1回未満
			⑥ 新規移動	○ 新たな交通具の利用によって新しくできるようになった移動かどうか。中心部の美容室に行けるようになった(目的の増加)、気軽に買物できるようになった(頻度の増加)等
			⑦ 同伴者の有無	△ 移動人数
		前あ利 を後る用 対へいし 象目はな ～的導い ①入時	⑧ 交通手段	◎ 交通手段
			⑨ 移動頻度	○ 毎日、ほぼ毎日(週4～5回)、週2～3日程度、週1回程度、月2回程度、月1回程度、月1回未満
			⑩ 移動のしやすさ	○ 5～7件法
			⑪ 同伴者の有無	△ 移動人数
	個人・世帯属性	⑫ 居住地		◎ 町丁目あるいは郵便番号
		⑬ 年齢		○ 20歳未満、20代、30代、40代、50代、60代、70代、80代以上
		⑭ 性別		△
		⑮ 世帯構成		△ 国勢調査の項目と同じ
		⑯ 職業		△ 国勢調査の項目と同じ
実測	新たな交通具(車両)		⑰ 実燃費・電費	○

◎:必ず取得べき、○:取得すべき、△:可能ならば取得すべき

MaaS利用経験とサービス向上がもたらす利用可能性 及び生活の質にかかわる移動制約と都市構造の関連性

MaaSの利用経験とサービス向上がもたらす将来の利用可能性
関連パラメーター

分類		変数
個人属性	性別	男性、女性
	年齢	20代、30代、40代、50代、60代以上
	自由に使える自動車の所有	持っている、持っていない
公共交通機関のサービスレベル	鉄道駅・バス停までの徒歩での所要時間	10分未満、10分以上20分未満、20分以上、わからない
	鉄道・バスの運行間隔	
自家用車・公共交通機関の利用頻度	自家用車・鉄道・バスの利用頻度(アンケート回答時点)	ほぼ毎日、1～3週間に数回程度、1～3か月に数回程度、1年に数回程度、利用なし

名古屋大学 加藤博和 2023/07/18

単純集計やモデル分析より得られた結果

- MaaSは新たな交通サービスとして期待されているものの、地方圏と首都圏ともに**現状としては限定的な利用**にとどまり、**利用者の属性にも偏り**がある。
- 地方圏では、**公共交通の利便性(駅までの所要時間や運行間隔**など)や自動車依存度がMaaSの利用可能性に強く影響している。地方圏のMaaS普及には、**まずハード面の改善が前提**となる。

環境研究総合推進費1G-2001最終報告(岡山大・氏原岳人)

モビリティサービスの環境認証制度の必要条件

サブ1
(名古屋大)

森田紘圭、加藤博和、小路泰広:モビリティサービスの脱炭素性評価のあり方に関する基礎的考察、
土木計画学研究・講演集、Vol.66、CD-ROM(7327)、2022.11

✓モビリティサービスの環境負荷を適切かつ定量的に評価できること

- ・脱炭素社会の実現にはCO₂排出量の削減は必須。直接的に目標指標を評価する仕組みが必要
- ・取組などを評価に入れてもよいがそれらは付加的。**LCAでのCO₂排出量が必須指標**となる

✓各サービスを公平かつ適切に評価し、その差異を明らかにすることで改善を促す仕組みであること

- ・今後、モビリティサービスやより幅広い事業者、サービス内容に展開する可能性があり、これらを既存公共交通サービス(バス・鉄道など)も含めて公平に評価できる仕組みが必要
- ・同じサービスであってもその差異を適切に評価しないと事業者の改善意思を作れない
⇒**事前評価ではなく実績ベースでの評価の仕組み**

✓事業者が自発的に参加し、かつメリットを作れる仕組みとすること

- ・資金調達や利用客誘致、補助金対象などのメリットを生む認証の仕組みが必要。
そのためには公的または知名度の高い認証システムや認証体制を作る必要
- ・事業者が認証のための**資料提出や手続きに負担が大きすぎない仕組み**も重要

✓将来的な国際標準にのっとった評価認証制度を目指すこと

- ・ISO14040のフローにのっとったLCA評価の枠組など、制度自体を国際標準に合わせる必要

脱炭素モビリティ認証制度の提案

森田紘圭、加藤博和、小路泰広：モビリティサービスの脱炭素性評価のあり方に関する基礎的考察、
土木計画学研究・講演集、Vol.66、CD-ROM(7327)、2022.11

- 各事業者が提供している各種モビリティサービスがどの程度CO₂を排出しているのかを評価し、その性能を段階的に認証する制度
- 単に移動時の排出量だけでなく、そのサービスを運営するために必要な車両やインフラの製造や、運行・維持管理に伴って発生する排出量を含めるライフ・サイクル・アセスメント(LCA)の考え方にのっとり、CO₂排出量算定とそれに基づくモビリティサービスの認証・評価を行う

制度の概要

- 対象： 物理的なモビリティ提供を伴う
サービス（主に都市内モビリティ）
※バス・鉄道・オンデマンド交通・シェアリング等
- 単位： 事業者単位・地域単位の
モビリティサービス
- 指標： 輸送人キロあたりCO₂排出量/削減量
(kg-CO₂/人・キロ)
- 期間： 各年の実績評価
- 段階： 3～5段階での認証を予定
※S・A・B・C・Dなど

認証フロー



コンパクト化による 乗用車CO₂排出量の試算

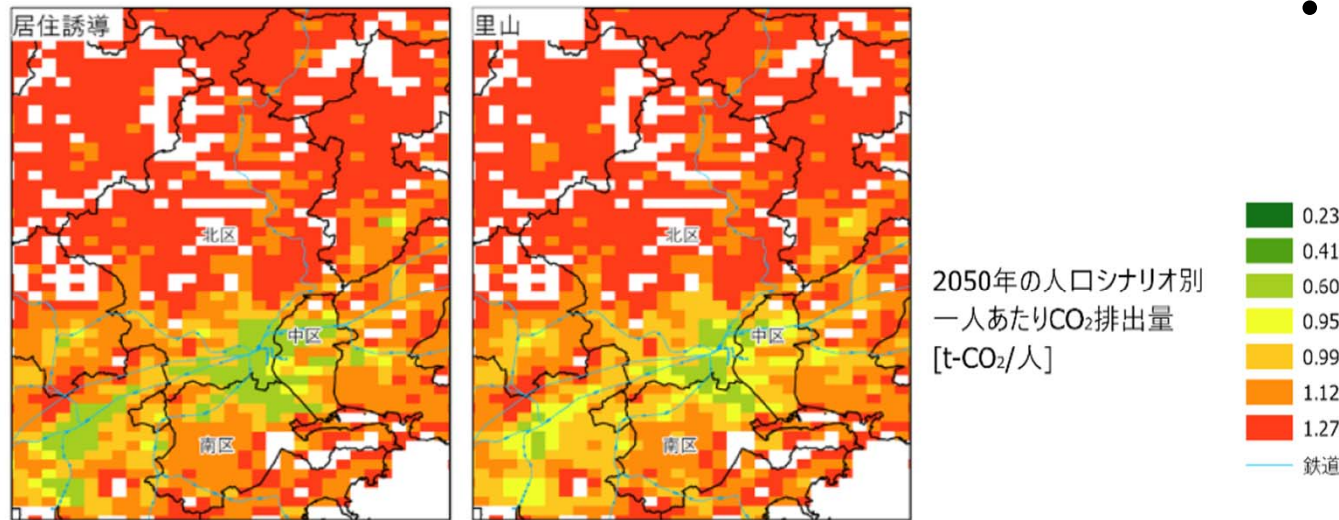


図-1 コンパクト化による乗用車 CO₂ 排出量の分布の違い（岡山市の例）

- 人口分布の偏在化／均一化
および居住誘導／里山の4
つのシナリオに、メッシュ人
口規模別の1人あたり乗用
車CO₂排出量に乗じて、将
来のコンパクト化による乗
用車CO₂抑制効果を評価
可能に

➤ 現況0.82t-CO₂/人に対して、
居住誘導0.78t-CO₂/人、里山0.88t-CO₂/人
→コンパクト化による乗用車CO₂排出量の将来抑制効果は約13%

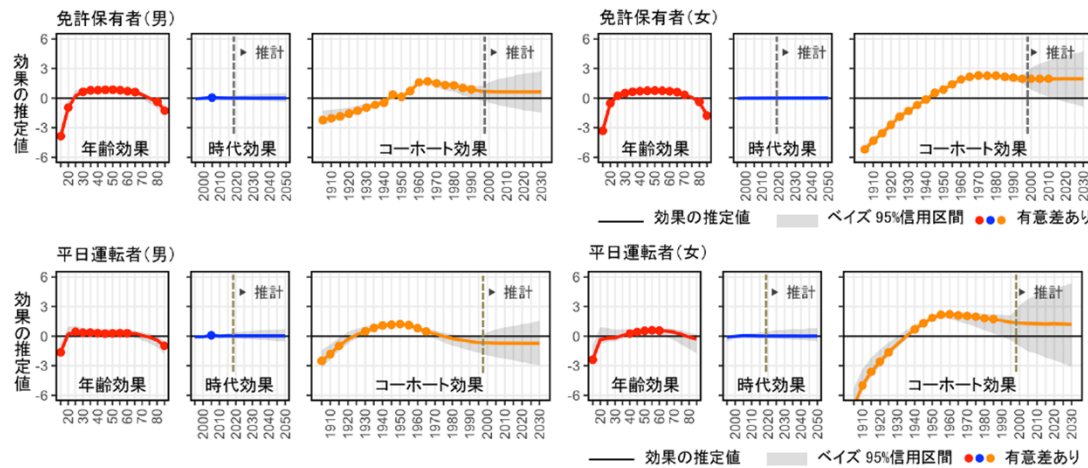


図-2 免許保有者数と平日の運転者数の年齢・時代・コホート効果

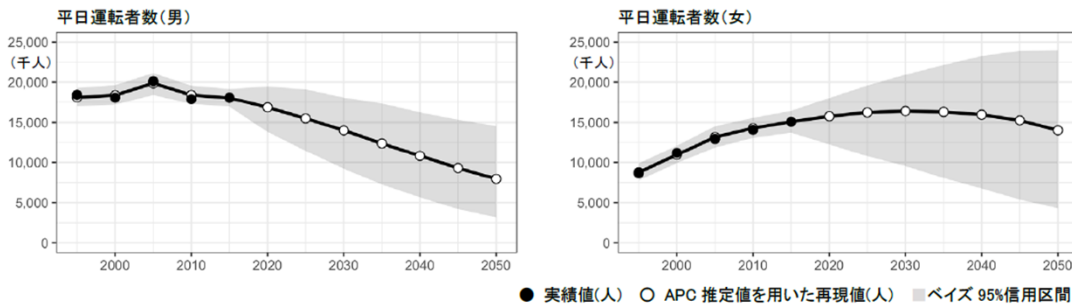


図-3 平日運転者数の推移と推計値と信頼区間

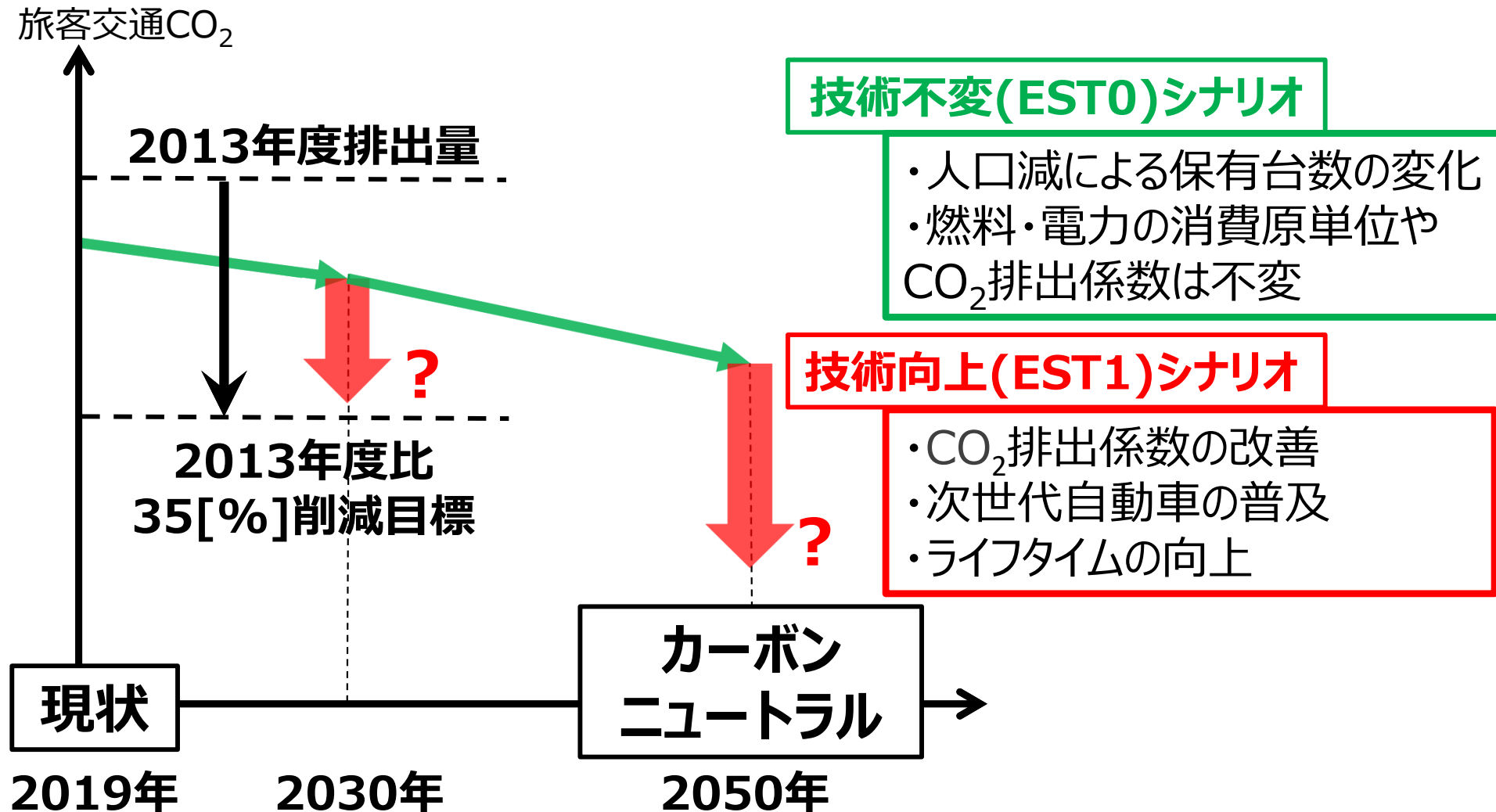
金晃敏, 松橋啓介, 石河正寛, 有賀敏典: 土木学会論文集G(環境), 77(6), II 227-II 234 (2021), 運転免許保有者数と運転者数の推移における年齢・時代・コホート効果の分析と将来推計

- 運転免許保有者数と運転者数の変化の要因を、**年齢・時代・コホートの各効果に識別**

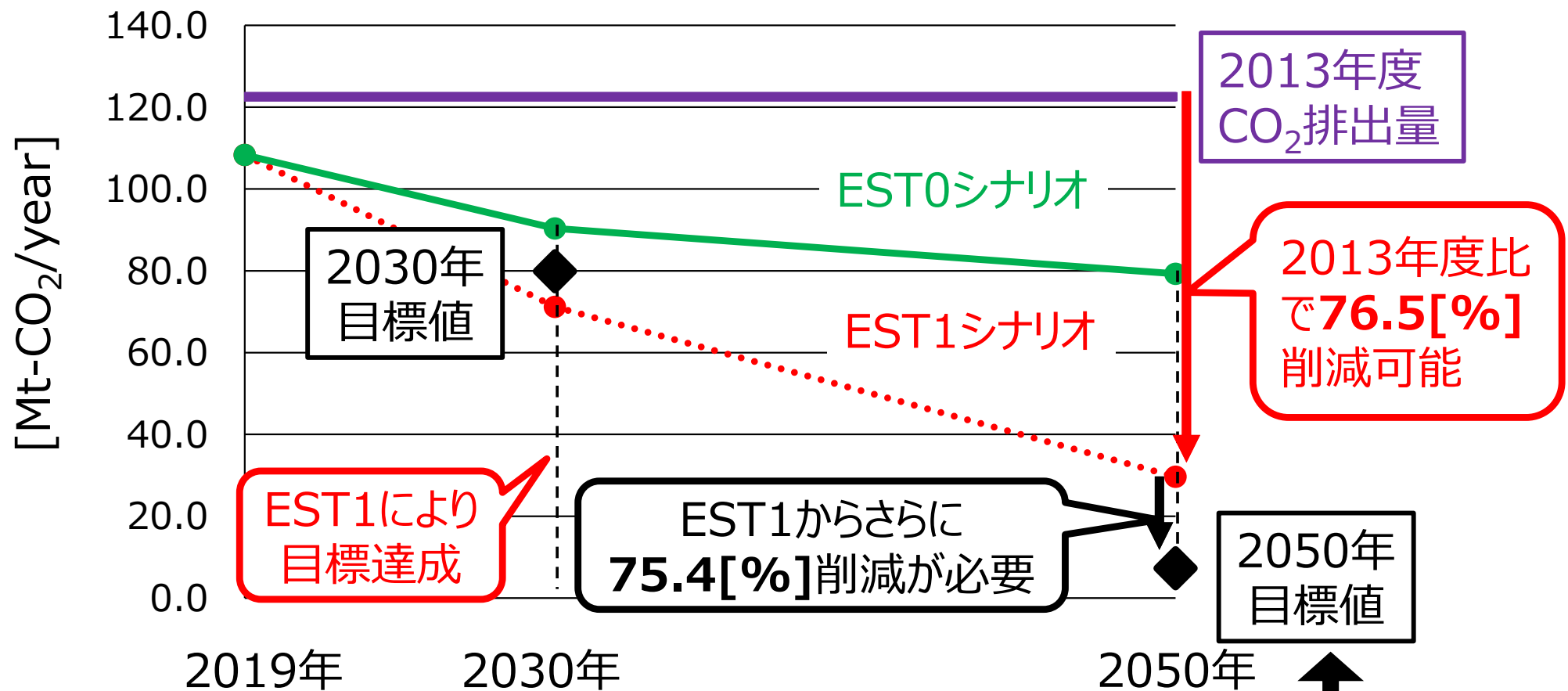
- 推計の信頼性に幅があるものの、2050年までに**女性の運転者数が約7%減少**する一方、**男性は約56%の大幅減**となる
- 免許返納が停滞傾向。運転取りやめを確実に

→ **後期高齢者向けの代替交通手段**の重要性はさらに高まる

シナリオ別での旅客交通起源CO₂排出量の予測
⇒2030・2050年の削減目標値との比較



中長期のCO₂排出量の変化を分析
⇒2050年「**カーボンニュートラル**」実現には更なる削減が必要



※2050年の目標値：林野庁の森林起源CO₂吸収目標量より設定

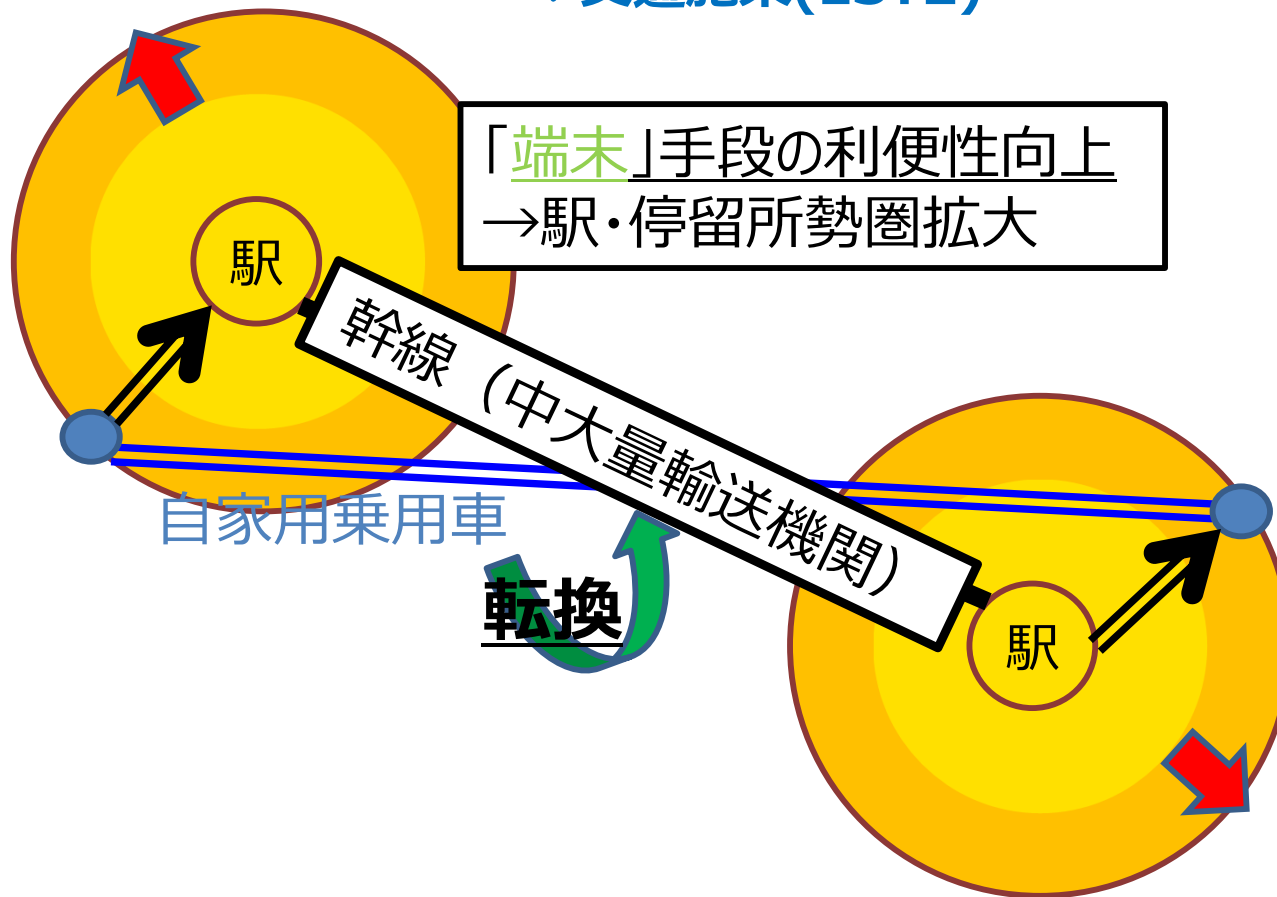
CO₂削減オプション：端末交通の利便性 向上による幹線交通機関の利用増加

技術向上(EST1)

「**端末**」交通手段の利便性向上に伴う、「**幹線**」を走る公共交通への**アクセス性**の向上により、**駅・停留所勢圏が拡大**

⇒**自家用乗用車**から公共交通への**転換**によるCO₂削減可能性

交通施策(EST2)



新たな「**端末**」交通具の例

超小型EV

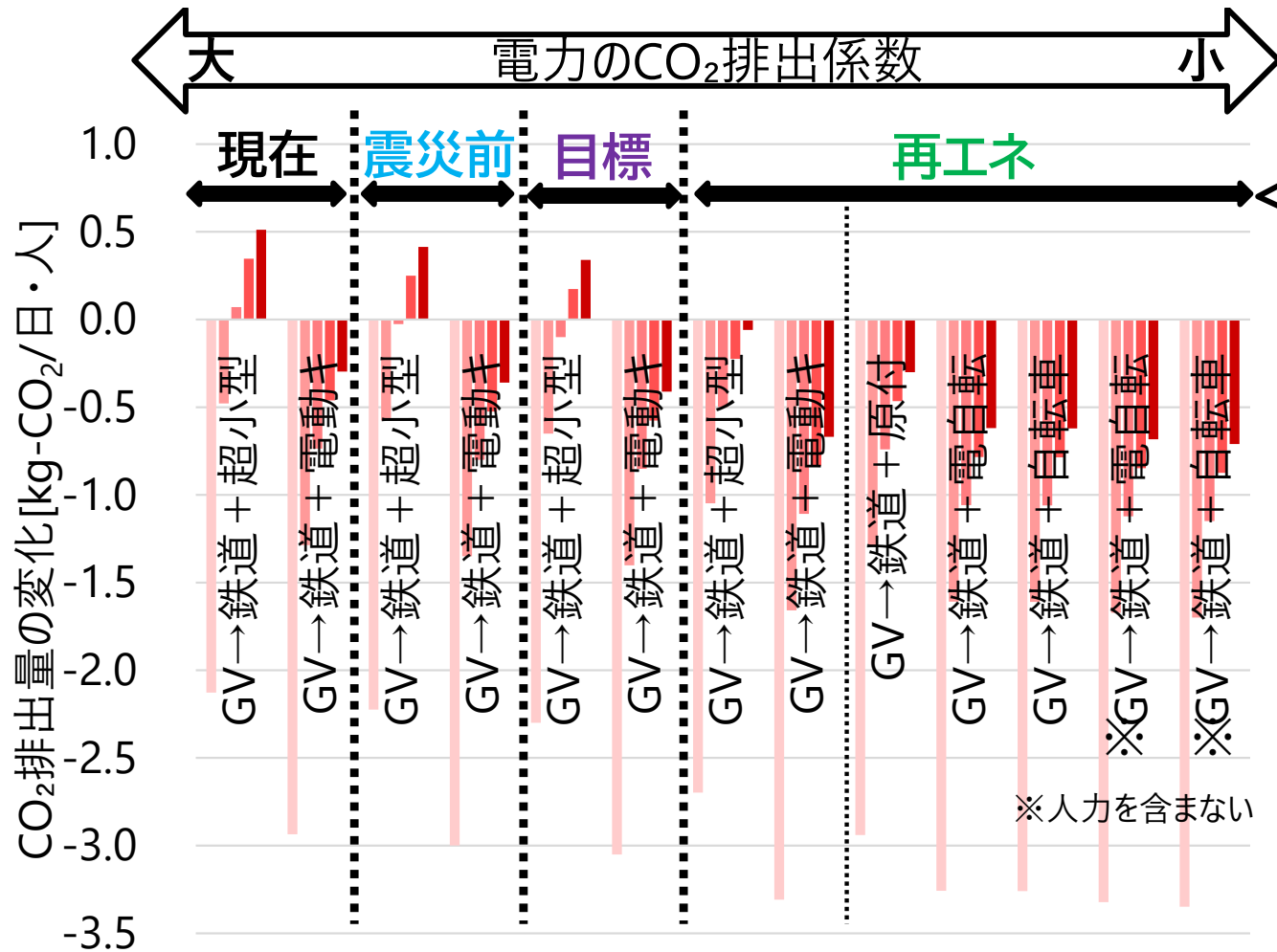
電動キックボード



<https://coms.toyotabody.jp>



←MaaSの普及によっても
乗継利便性向上

ガソリン乗用車から鉄道＋端末交通へ転換する
場合のCO₂排出量増減（発電ケースによる違い）

「再エネ」は
すべての転換ケースで
CO₂排出量が減少

鉄道の1人キロあたり
CO₂排出量
[g-CO₂/人km]

現在	震災前	目標	再エネ
18.4	15.6	13.7	2.04

乗用車の乗車人数 ■ 1人 ■ 2人 ■ 3人 ■ 4人 ■ 5人

※平均移動距離：30[km/日]

→新モビリティツールの端末交通活用（によって利便性向上）も考慮した、乗用車からの転換による低炭素化効果の検討が可能に。

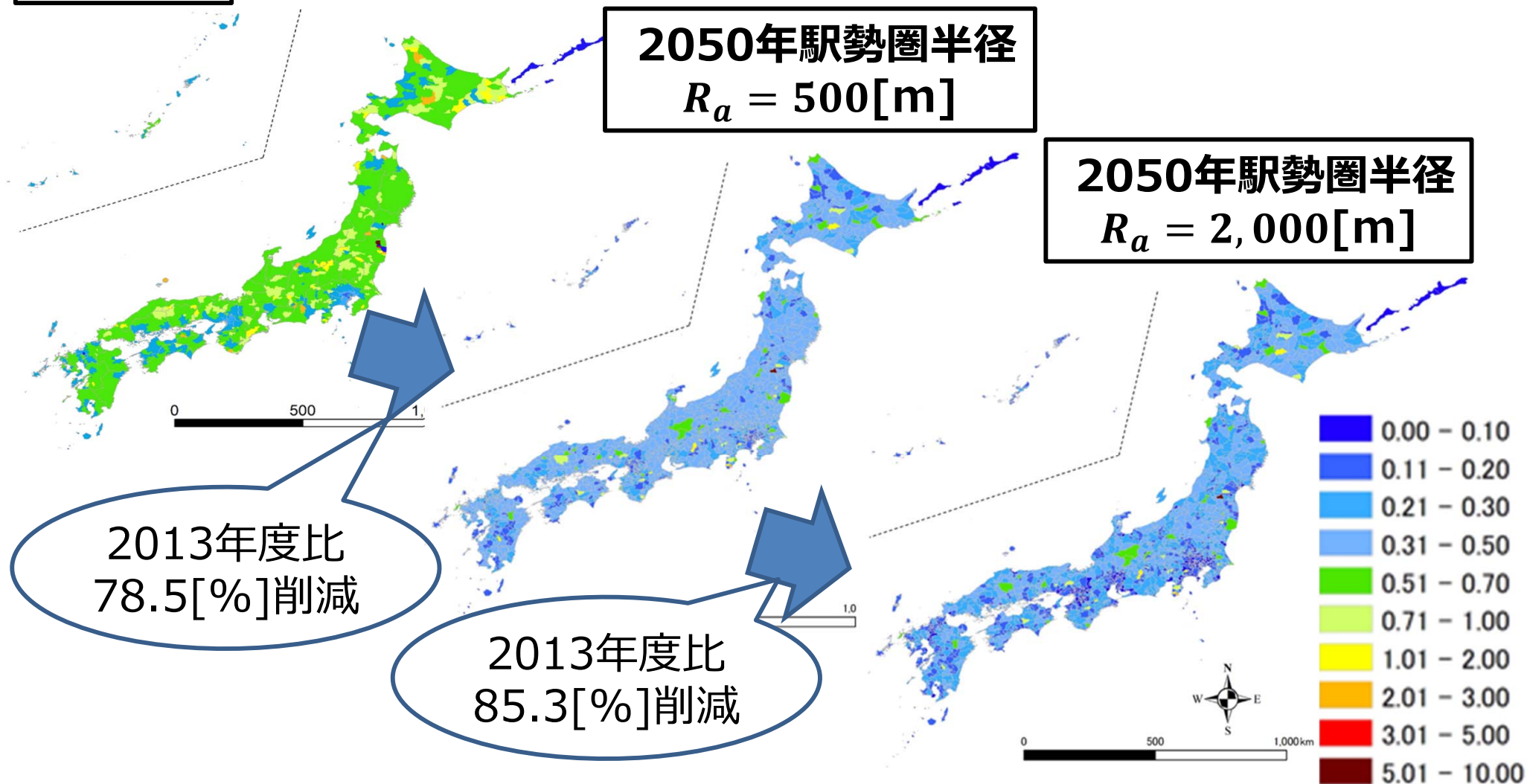
駅勢力圏の拡大によって、2013年度比で**78.5~85.3[%]**削減

2019年

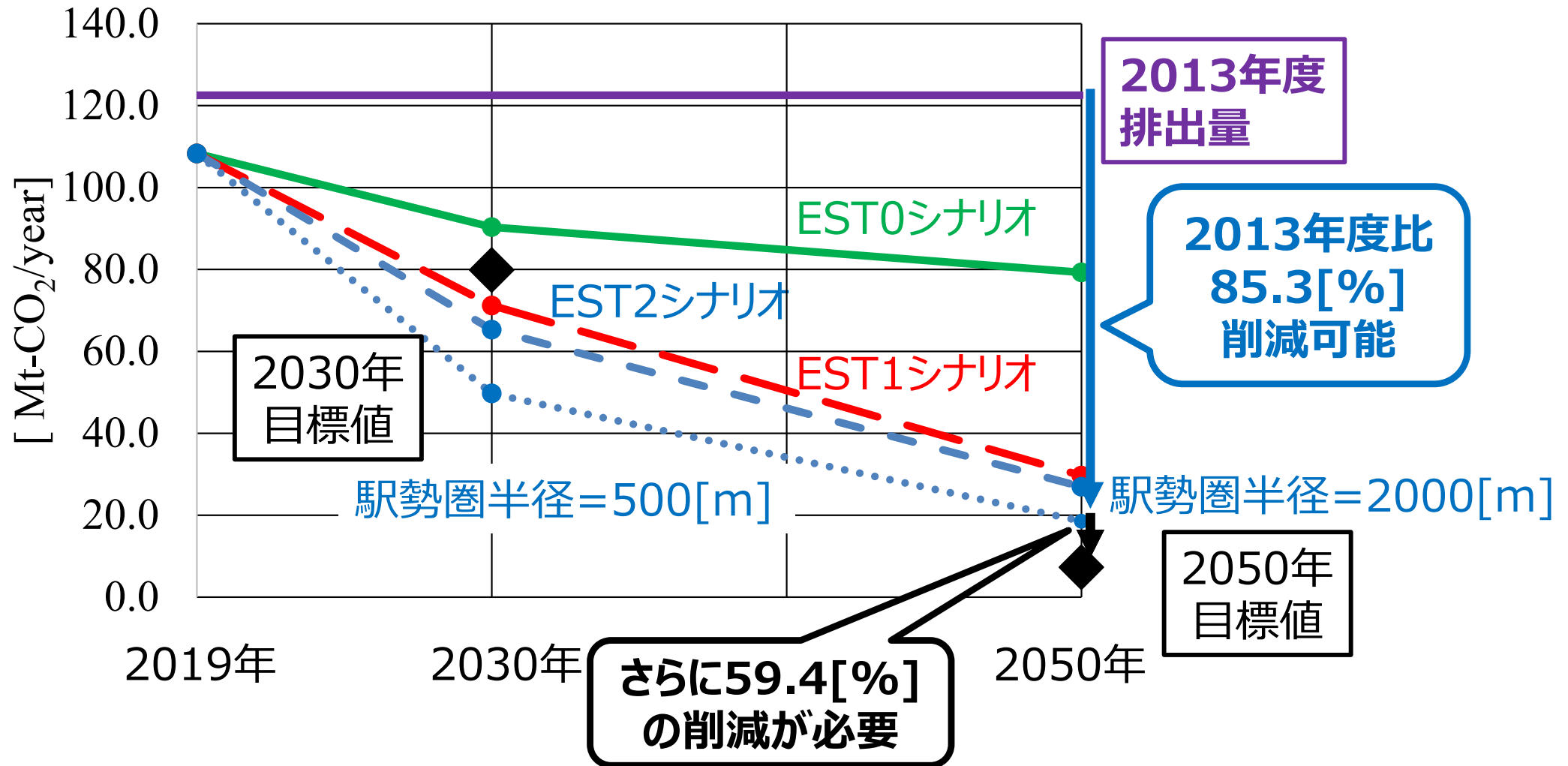
<一人当たりCO₂排出量[t-CO₂/人]>

2050年駅勢力圏半径
 $R_a = 500[m]$

2050年駅勢力圏半径
 $R_a = 2,000[m]$



「**カーボンニュートラル**」実現には、EST2からさらに59.4[%]削減必要



既存の公共交通(鉄道とバス)

シームレス化

次世代型
モビリティ

自家用車利用との関連性	強い (公共交通利用増=移動CO ₂ 減)	弱い (公共交通利用増≠移動CO ₂ 減)
	IT(MaaS等)による利便性向上	
③ソフト施策 公共交通 (鉄道・バス)	利用料金 料金の支払い方法 時刻表の検索	サブスク(定額料金) アプリ(予約、手配、支払) 情報の一括検索
②ハード施策 公共交通 (鉄道・バス)	路線・頻度改善 鉄道駅・バス停の位置、 運行間隔(15分未満)	現状維持 (CO ₂ 排出量と関係が弱/無) 自家用車利用の改善
①都市構造	都市コンパクト化 ・40人/ha以上 ・都心までの距離10km未満	車両燃費の改善や 利用量削減など
参考 移動制約(生活の質)	公共交通未整備 ・公共交通が不便 ・交通渋滞	自家用車利用 自動車保有していない 交通渋滞
都市特性	地方圏 (岡山市)	首都圏 (東京都区部)

前提条件:
自家用車からの転換

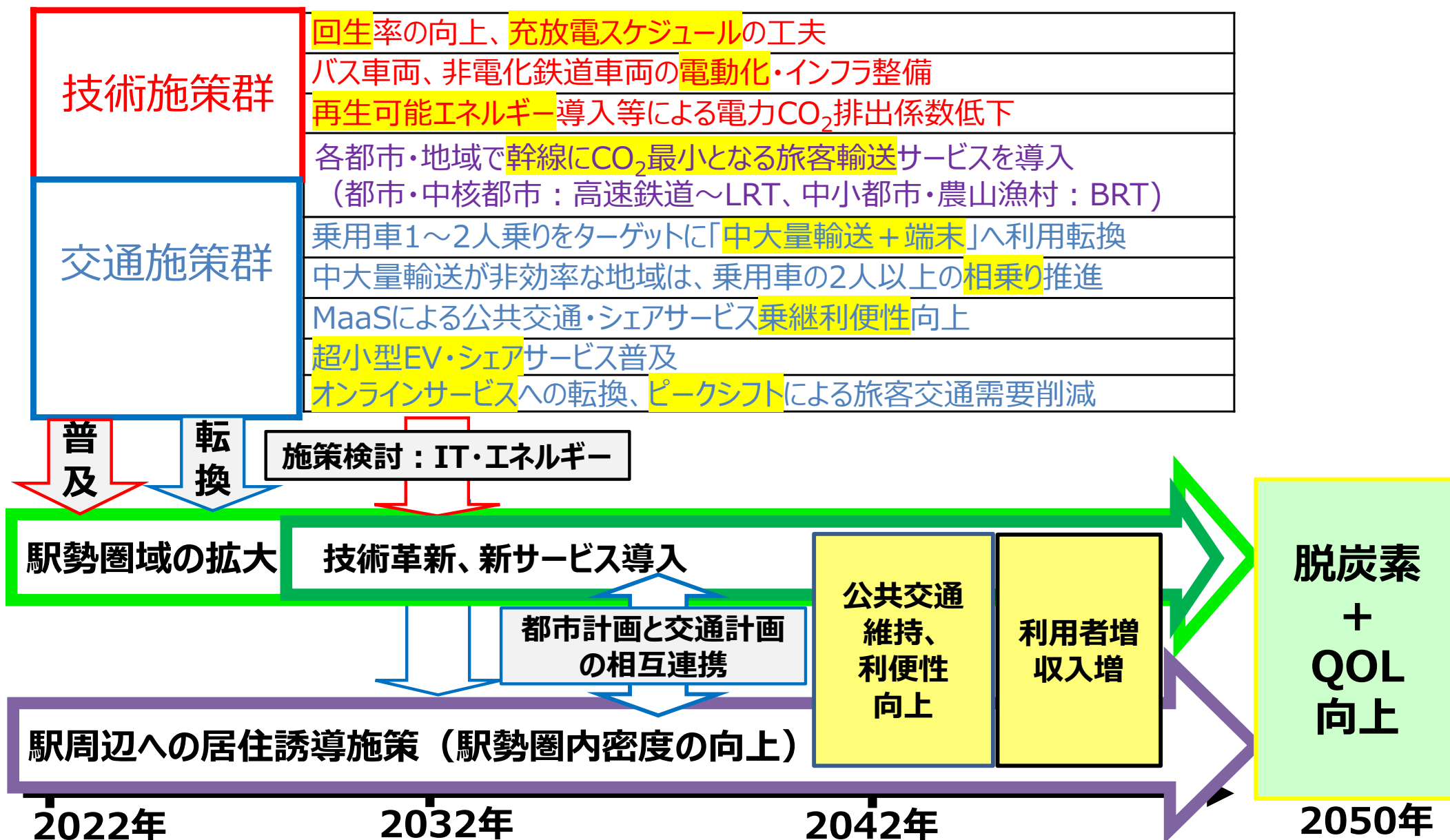
超小型モビリティ
(私的交通)

- ・ 都心から中山間地域まで対応
- ・ 近距離移動用(日常利用)
- ・ 高齢者の移動手段(車両の操作性)

グリスロ
(公共交通)

- ・ 既存の公共交通の補完(端末交通)
- ・ 効率的な運行形態
- ・ 観光用移動サービス

脱炭素社会実現に向けた「モビリティ革命の条件」を提示



研究目標の達成状況

→目標を上回る成果

【サブ1(名古屋大)】

モビリティ革命が交通活動の
を見出すために、様々な新技術・
低炭素性を定量評価する手法
これは、国・自治体や企業等が

計画以上の成果

- ・自治体・交通事業者が簡便に利用できるCO₂排出量評価ツールを提供（EBPMに活用可）
- ・「脱炭素交通サービス」認証制度を提案
- ・テレワークが低炭素化に資する条件を提示

【サブ2(早稲田大)】

電動車両および新モビリティ
構成の変化を踏まえた排出原
車両および新モビリティの低炭素性評価手法を整備する。

- ・新モビリティだけでなく乗用車の評価も実施
- ・充放電パターンについてコスト面でも評価

【サブ3(岡山大)】

ITによってシームレスにつな
ド・シェアリングなど、モビリ
これらの低炭素性を評価する手
モビリティ革命が利用者の生
素でかつ生活の質を高める交通システム実現の方向性を明らかにする。

- ・コロナ禍における交通行動変化を統計的に捉え、直近の公共交通や自家用車等の利用の動向を把握するための基礎データとした

【サブ4(国環研)】

将来の地域の社会・空間構造
た交通需要変化をシナリオ化
サブテーマの成果による新技
性を評価し、各地域の将来変

- ・徒歩環境評価（低炭素化の一方向性として）
- ・人口密度別乗用車CO₂排出量の係数を更新
- ・軽乗用車の空間詳細なCO₂排出量推計を行う方法を確立

環境政策等への貢献<政策サマリー>

1. 交通システム導入に関する低炭素性評価手法と認証制度

- 1-1. 鉄道等大量旅客輸送機関利用増加策の低炭素性評価手法
(パーソナルモビリティツールの端末交通としての活用も含めて)
- 1-2. 新しい交通システム導入に伴うライフサイクルCO₂の簡便推計手法
- 1-3. モビリティサービスを対象とした「脱炭素性認証制度」の提案

2. 電動車両に関する低炭素性評価手法

- 2-1. 各種電動車両の導入によるCO₂の予測手法
- 2-2. 路線の基礎情報に基づく電動バスの電費予測手法

3. 交通マネジメントに関する新技術の低炭素性評価手法

- 3-1. 次世代型モビリティツールの導入前後の低炭素性評価手法
- 3-2. 利用者視点での脱炭素に向けた交通マネジメントの方向性

4. 地域の社会・空間構造の長期変化に関する低炭素性評価

- 4-1. 車検証データを利用した全国市区町村別自家用乗用車CO₂推計
- 4-2. メッシュ人口密度別CO₂

自治体の「実行計画(区域施策編)」「地域公共交通計画」「立適計画」への活用、
低炭素モード導入とその定量情報の公開、国の施策検討・審査、認証制度

まとめ

- 脱炭素は、持続可能な社会とするための基本的な必要条件
- モニタリング・評価(自己・外部)・公表がスタートライン → LCAが有効
- ESTの3つの柱: 基準・バックキャスティング・ベストプラクティスを大事に

"Think Globally, Act Locally"

交通施策の環境負荷をライフサイクルアセスメントによって明らかにし、
CO₂を削減できる交通システムソリューションを追求する一方、
「地域公共交通プロデューサー」として
地域の現場でよりよい公共交通を生み出す仕事にも取り組んでいます

加藤博和

検索



質問、問い合わせはE-Mailで

kato@genv.nagoya-u.ac.jp

Facebook: [buskato](#)

<http://orient.genv.nagoya-u.ac.jp/kato/Jkato.htm>