

**「電動車等省エネ化のための
車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発」
「スマートモビリティ社会の構築」
プロジェクトに関する
研究開発・社会実装の方向性**

2022年2月

経済産業省

製造産業局

前回の委員御指摘等を踏まえた対応

- 昨年10月26日の第5回産業構造転換WGにおける各委員及びオブザーバのご指摘や、システムデザイン、ソフトウェア、交通工学等の有識者（計26人）からのご意見を踏まえ、先日御提示した研究開発・社会実装計画（案）を修正するとともに、同計画案に基づく予算規模を追記。

前回WGにおける委員等からの御指摘事項

（共通）

1. 単なる技術開発に終始することなく、プロジェクトが目指す社会像を明確にしたうえで、国が主導して各国とも連携しながらその社会システムの実現を目指すことも重要。（長島委員）
2. 10年単位でプロジェクトの効果を最大化するためには、ステージゲートを適切に設定し、効率的な開発を促すべき。（片田江委員）

（電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発）

3. 産業構造のアーキテクチャが変化し、自動運転では米国での取組も先行する中、どこをオープンにしてどこをクローズにするかの戦略が重要。センシングに用いるソフトウェアや電動車両シミュレーション基盤については、業界全体の発展につなげるべく、オープン化や各国との連携を検討することが重要。（白坂座長、稲葉委員、内山委員、関根委員）
4. 車載コンピューティングについては、資料記載の実現手法などはあくまでイメージの共有であり、目標を実現しさえすればその実現のためのアプローチは自由であることを改めて明確化すべき。（大藺委員）
5. デジタルツイン（電動車両シミュレーション基盤）は非常によいアイデアだが、できるだけ間口を広げるべく、商用車までを含めて取組のスコープとするべきではないか。（高木委員）

（スマートモビリティ社会の構築）

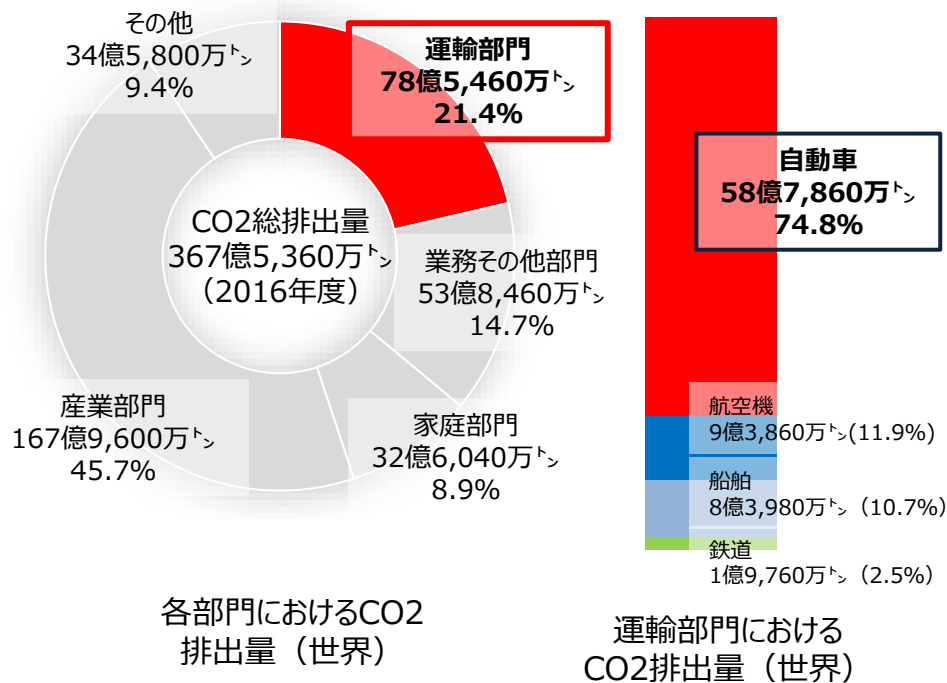
6. 国内だけでなく、このビジネスモデルが海外に展開できる輸出モデルになるという形で進められると非常にいい。この事業期間内で海外の実証モデルもやったらいい。（内山委員）
7. 他のモード。車以外のモードとの連携も、どのへんまで含めるか事務局であらかじめ検討が必要ではないかと思う。（高木委員）
8. 委託事業と補助事業の連携のための委員会設置も検討とあるが、全体感がきちっとカバーできるような仕組みにして、部分的に検証したで終わらないように。ある程度ビッグピクチャーを描いて、どういう方に参加していただくのか、着地点をイメージしながら進めてもらいたい。（林委員）
9. どうやってデータを出すことにコミットしてもらえるかが重要。自分の事業の最適化から社会全体のグリーンの最適化を考えて、必ずしもこれまでの価値観・評価軸では最適にならないのが難しさ。協力してデータを出すことが個別事業者にとって付加価値を意識できる形の仕組みしないと。グリーンな取り組みを評価できるような形の仕組みを。（白坂座長）

1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. 電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等
 - － 補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）
3. スマートモビリティ社会の構築
 - － 取組の全体像
 - － 現状・課題と取組の方向性
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等

自動車のCO₂排出量（グローバル・日本国内）

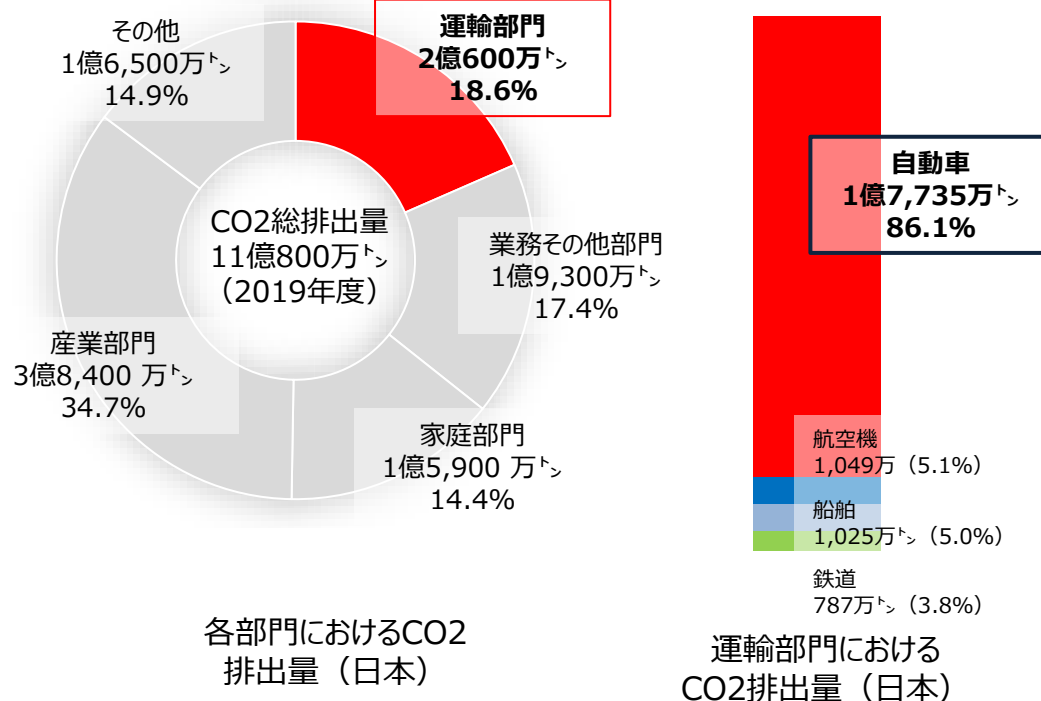
- 自動車の利用段階のCO₂排出量はグローバル、国内ともに、全体の16%を占める。

<グローバル>



全世界でのCO₂排出量：367億5360万ト
 運輸部門：21.4% 自動車分野：16.0%

<国内>



国内でのCO₂排出量：11億800万ト
 運輸部門：18.6% 自動車分野：16.0%

モビリティの目指すべき将来像

- 2050年に向けて、「世界中の誰もが便利で快適に、カーボンフリーのモビリティサービスを楽しむ社会」を目指す。そのために、社会が変わる、そして、自動車が変わる必要がある。

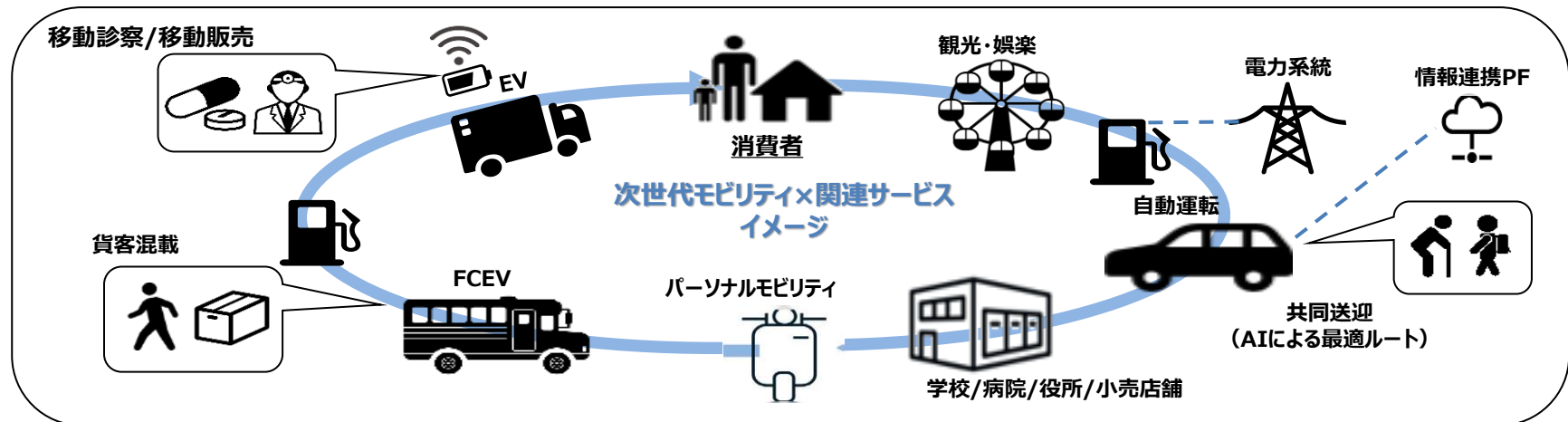
社会が変わる

- 人の移動、物流システムの変革
⇒多様なモビリティとサービスの結合（MaaSの実装）
- モビリティを支える新たな社会インフラの整備
⇒通信、エネルギー、社会制度等

自動車が変わる

- 安全で快適な車
⇒自動走行技術、コネクテッド技術 等
- 自動車のカーボンニュートラル化（ストック）
⇒運用段階のみならずライフサイクルで

地域・社会システム （多様なモビリティとサービスの結合（MaaSの実装））



安全で快適な車 （自動走行技術、コネクテッド技術等）



グリーン成長戦略における目標

- 自動車は、電動化を推進。
- 自動車産業のみならず、エネルギー供給、様々な産業、生活や仕事、モビリティや物流、地域やまちづくりに関わるものであり、支援・規制等の幅広い政策をパッケージとして、積極的に総動員。
- 我が国産業の国際競争力にもつなげるよう、特定の技術に限定することなく、パワートレイン・エネルギー／燃料等を最適に組み合わせ、多様な道筋を目指す。

【乗用車】

2035 年までに、新車販売で電動車100%を実現できるよう、包括的な措置を講じる。

【商用車】

◆ 8トン以下の小型の車

2030 年までに、新車販売で電動車 20～30%、

**2040 年までに、新車販売で、電動車と合成燃料等の脱炭素燃料の利用に適した車両で
合わせて 100%**

を目指し、車両の導入やインフラ整備の促進等の**包括的な措置**を講じる。

◆ 8トン超の大型の車

貨物・旅客事業等の商用用途に適する電動車の開発・利用促進に向けた**技術実証を進めつつ、**

2020 年代に5,000 台の先行導入を目指すとともに、水素や合成燃料等の価格低減に向けた技術開発・普及の取組の進捗も踏まえ、**2030 年までに、2040 年の電動車の普及目標を設定**

【蓄電池】

2030 年までのできるだけ早期に、

・国内の車載用蓄電池の製造能力を**100GWh** まで高める

・電気自動車とガソリン車の経済性が同等となる**車載用の蓄電池パック価格 1 万円/kWh 以下**

グリーン成長戦略における取組の方向性

- ①「事故ゼロ」「移動弱者ゼロ」「交通渋滞ゼロ」といった移動の安全性・利便性の向上、
②移動時間の有効活用を促す新たな移動サービス、
③「動く蓄電池」として電動車を活用する社会
を実現し、モビリティが新たな付加価値を提供できるよう、社会や技術のイノベーションを起こしていく。

①電動化の推進・車の使い方の変革

ア) 電動車・インフラの導入拡大

→燃費規制、公共調達、インフラ拡充、導入支援 など

イ) エネルギー政策との両輪での政策推進

→脱炭素電力、エネルギーコストの最大限の抑制、非化石電源価値証書 など

ウ) 蓄電池・燃料電池・モーター等の電動車関連技術、サプライチェーン、バリューチェーン強化

→大規模投資支援、中小企業等のサプライヤー等の自動車関連産業の電動化対応・
業態転換・事業再構築とそれを支えるデジタル開発基盤の構築

エ) 車の使い方の変革

→持続可能な移動サービス、物流の効率化・生産性向上に向け、自動走行・デジタル技術活用や
道路・都市インフラとの連携

自動走行と電動化を両立するべく、自動走行系を中心に先端半導体等を用いた高度なセンサー・
コンピュータ類、さらにそれらの次世代デバイスを支える**新たな車載ネットワークシステム**や

デジタル開発基盤等について、その性能向上と徹底した省エネ化を同時に実現するための研究開発
商用車分野における電動車普及の課題である**商用利用に適した電動車両開発、充電・充填インフラ
最適配置、運行管理とエネルギーマネジメントの最適化等**による経済性最大化等に向けた実証

グリーン成長戦略における取組の方向性

③蓄電池

ア) 蓄電池のスケール化を通じた低価格化

⇒蓄電池・資源・材料等への大規模投資支援や定置用蓄電池の導入支援等

イ) 鉱物資源の確保

⇒JOGMECを通じた資源探査、海外権益確保のためのリスクマネー供給、レアメタル備蓄制度の整備等を通じて、ニッケル、コバルト、リチウム等の鉱物資源の安定的な供給確保強化

ウ) 研究開発・技術実証

⇒全固体リチウムイオン電池・革新型電池の性能向上、蓄電池材料の性能向上、蓄電池や材料の高速・高品質・低炭素生産プロセス、リユース・リサイクル、定置用蓄電池を活用した電力需給の調整力等の提供技術等の研究開発・技術実証等

(例えば、現行リチウムイオン電池の2倍以上の体積エネルギー密度を実現する全固体リチウムイオン電池を、2030年に本格量産するために必要な技術開発)

エ) 蓄電池のリユース・リサイクルの促進

⇒研究開発や技術実証、標準化等の取組を進めるとともに、蓄電池のリユース・リサイクルの促進に向けた制度的枠組みを含めて検討

オ) ルール整備・標準化

⇒蓄電池ライフサイクルでのCO₂排出見える化や、材料の倫理的調達の担保、リユース・リサイクルの促進等について、2021年度を目途に制度的枠組みを含め、その在り方を検討、蓄電池パックの残存性能等の評価方法やリユース蓄電池を含む定置用蓄電システムの性能・安全性に関する国際標準化等による車載用蓄電池の定置用蓄電池としての再利用促進等

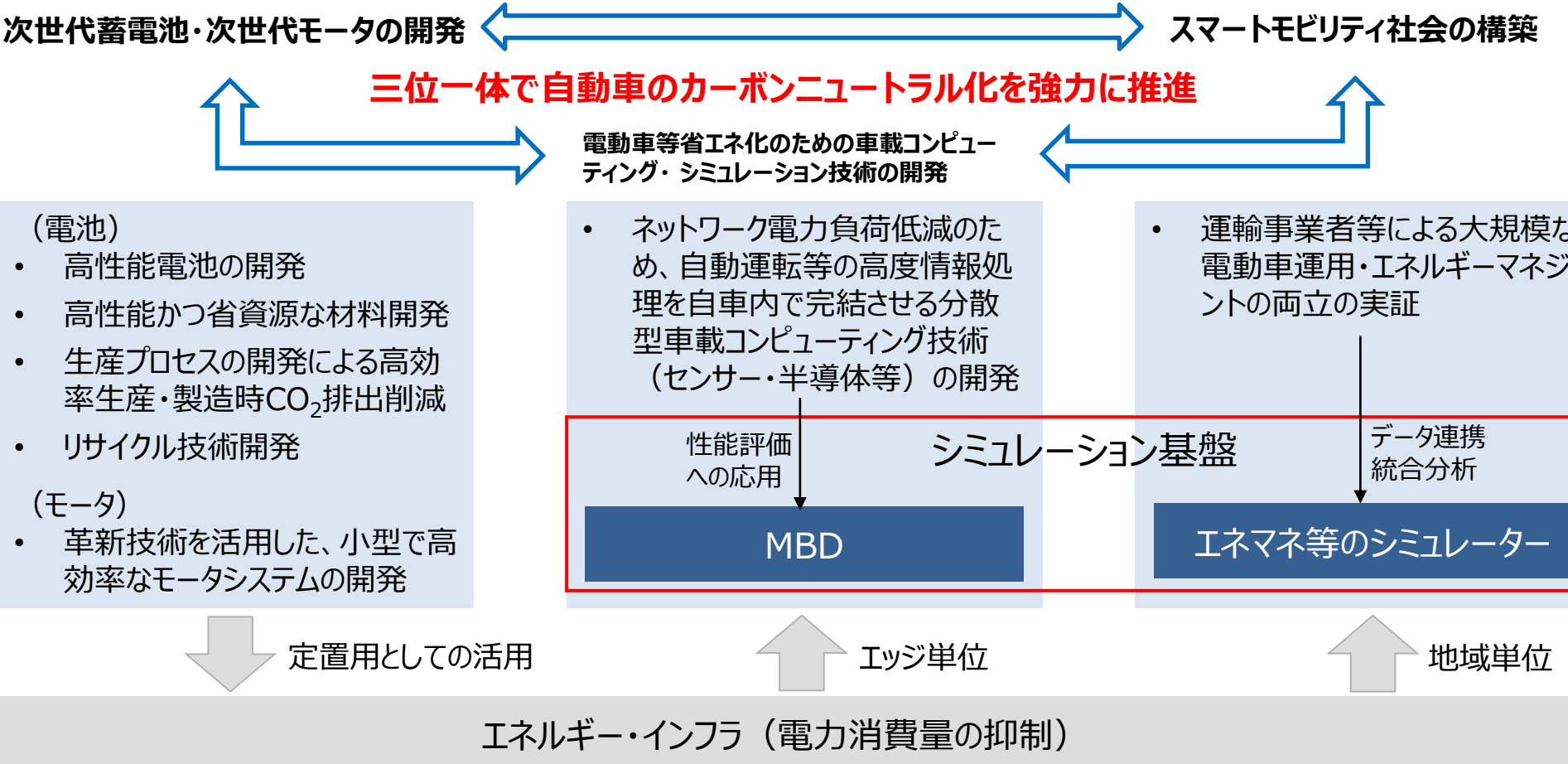
自動車・蓄電池関連PJの全体像

2050年に目指すべき姿

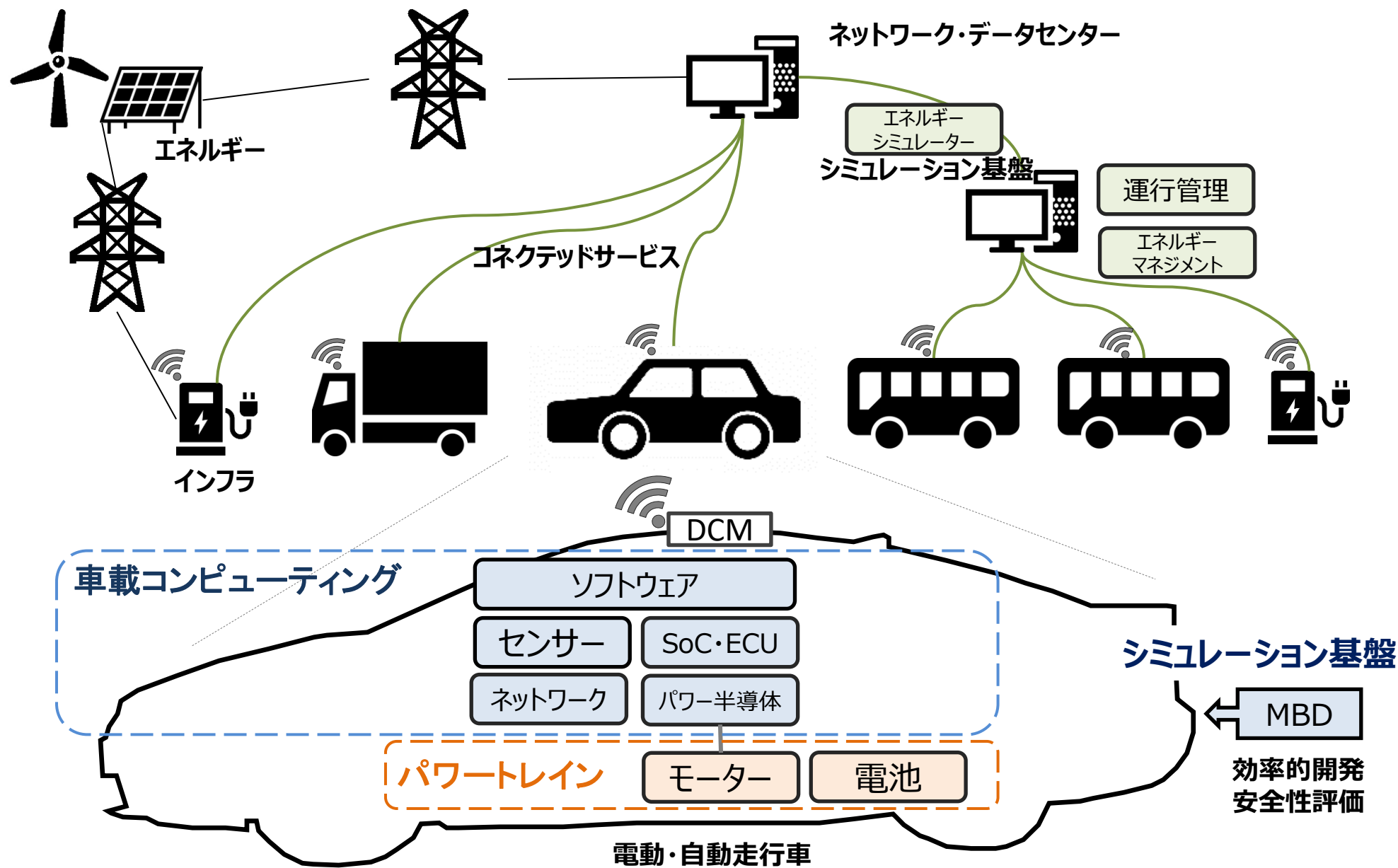
- 自動車の電動化
- 自動走行技術を活用した安全で快適な車（同時に交通流の最適化によるCO₂削減も）
- 人の移動、物流システムの変革

課題

- 電動パワートレインの高性能化、低価格化等、サプライチェーン強靱化
- 電動化と自動化の両立を可能とするコンピューティング技術（自動走行による電力消費の抑制）
- 大量の電動車の導入と運輸サービスの両立、インフラ整備の最適化、電力消費量増大の抑制する最適なエネルギーマネジメント実現



自動運転・電動化モビリティ社会



1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. **電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発**
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等
 - － 補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）
3. スマートモビリティ社会の構築
 - － 取組の全体像
 - － 現状・課題と取組の方向性
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等

車載コンピューティング・シミュレーション関係の取組の全体像

- 車載コンピューティング・シミュレーション技術に関する課題は、
 - ① クラウドベースの情報処理に依存するとデータ・電力消費量が増大し、
 - ② 他方で、エッジ（自動車）で高度情報処理を実施すると電動車性能に著しい影響を与えてしまうということ（電動化と自動化の両立の困難性）
 - ③ さらに、電動車等開発の加速化・高度化に対応する、すり合わせ型開発手法からの脱却・転換
- 本プロジェクトでは、分散型アーキテクチャ（エッジ処理志向）を前提にしつつ、車載コンピューティング（自動運転ソフトウェア・センサー）の省エネ化とオープン化を進め、更に電動車等の社会実装を加速するシミュレーション基盤を構築し、広く我が国の自動車関連産業の競争力強化を図ることとする。

【供給サイド】

課題

- ・クラウド情報処理の極小化
- ・車両内の電動化／自動化の両立
- ・開発サイクルの加速化・高度化

- ・電動パワートレイン技術の強化※
- ・サプライチェーン/バリューチェーン転換
- ・次世代デジタルインフラの構築※

車載コンピューティング（自動運転ソフトウェア・センサー）の取組の方向性

- ・高性能化と省エネ化の同時追求
- ・オープン性／相互接続性の確保

シミュレーション基盤（MBD）の取組の方向性

- ・広く応用可能なモデル・評価環境
- ・電動車開発を加速し、自動運転化にも対応

【需要サイド】

- ・車の使い方の変革（スマートモビリティ社会の構築）※

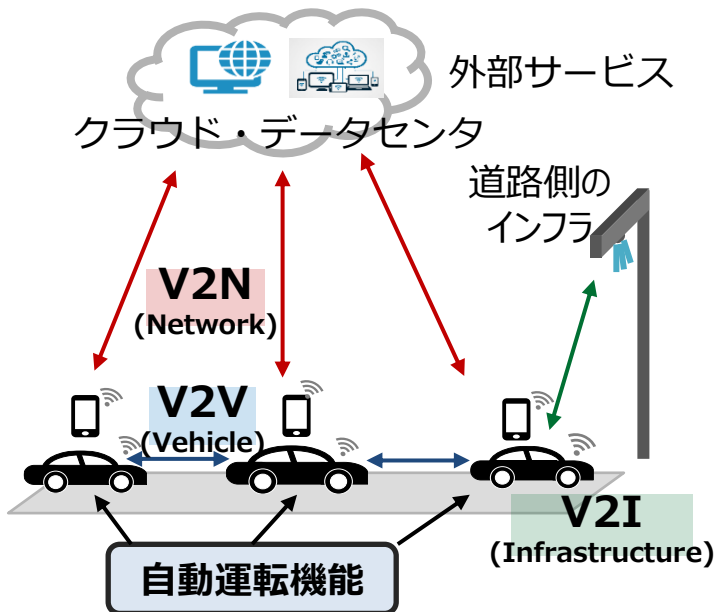
【ルール形成/標準化】

- 国際基準・標準との連携

※はグリーンイノベーション基金
で別途プロジェクト化検討中

コネクテッド・自動運転社会の将来像

- 自動車がコネクテッド・自動運転機能を有することで、交通流の最適化の観点から、例えば以下のようなユースケースを実現可能。
 - 平常走行時における高度なエコドライブ
 - サグ部（下り坂から上り坂への変化点）・トンネルに起因する渋滞の解消
 - 事故に起因する渋滞の解消
- さらに、交通システム全体として、グリーン成長戦略に掲げた「事故ゼロ・渋滞ゼロ・交通弱者ゼロ」といった移動の利便性・安全性向上にも貢献。



■ 平常走行時における高度なエコドライブ

- ・ 周辺状況を踏まえ、システムが車両を最適制御。不必要なブレーキ操作の防止により、少なくとも7%の走行性能改善。

■ サグ部・トンネルにおける渋滞の解消

- ・ 高速道での渋滞の52%がサグ部・トンネルでの人間操作に起因。自動運転・コネクテッドにより、渋滞解消へ。

■ 事故に起因する渋滞の解消

- ・ 高速道での渋滞の16%が事故に起因。さらに一般道の死傷事故（43万件）のうち9%が渋滞を招く。自動運転・コネクテッドによる事故防止を通じて、解消へ。

コネクテッド・自動運転の社会実装を通じたCO₂削減のポテンシャル

- 平常走行時における高度なエコドライブの効果として、国内で2030年には168.7万t-CO₂を削減するポテンシャルが見込まれる（2030年エネルギーミックスにおける省エネ目標（自動運転▲62万kL））。
- 2050年には、平常走行時における高度なエコドライブの更なる普及にくわえ、自動運転・コネクテッド技術の社会実装を通じた事故・渋滞の緩和による交通流改善効果により、国内で1,320万t-CO₂を削減するポテンシャルが見込まれる。
- 更に世界においても、これら交通流改善等の効果により、約3.4億t-CO₂を削減するポテンシャルが見込まれる。

<日本における交通流改善等の効果によるCO₂削減ポテンシャル>

■ 平常走行時における高度なエコドライブ

- ・ 2030年では、自動的に加減速の支援を行う機能が高速道路で稼働。2050年には一般道での稼働も実現し、本機能が全車に搭載された場合、不必要なブレーキ操作の防止により、約769万t-CO₂の削減が期待。

■ サグ部・トンネルにおける渋滞の解消

- ・ 高速道での渋滞原因の52%を占めるサグ部・トンネルにおける渋滞解消により、約418万t-CO₂の削減が期待。

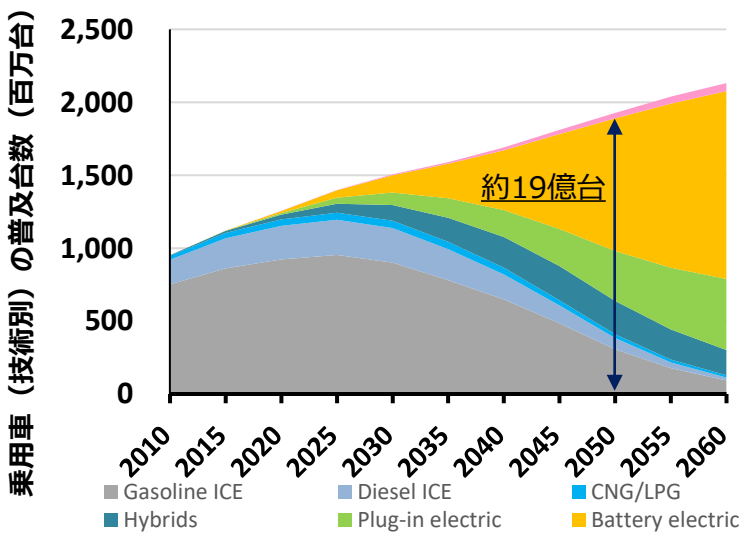
■ 事故に起因する渋滞の解消

- ・ 高速道での渋滞原因の16%を占める事故や、一般道での渋滞原因の9%を占める死傷事故による渋滞解消により、約133万t-CO₂の削減が期待。

<世界における交通流改善等の効果によるCO₂削減ポテンシャル>

世界では2050年に約19億台の乗用車が普及すると見込まれており、日本国内でのCO₂削減ポテンシャルを、これら世界の保有台数に換算すると、約3.4億t-CO₂の削減効果が見込まれる。

◆ IEAによる電動車の普及シナリオ（B2DS）



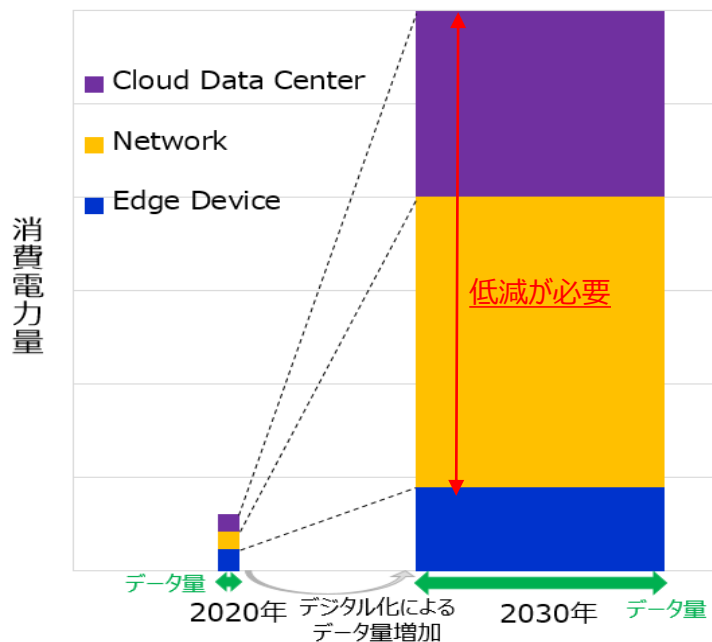
電動・自動走行車の社会実装の方向性

- 自動運転の社会実装を通じた事故・渋滞の緩和による交通流改善により、2030年で168.7万t-CO₂、2050年で1,320万t-CO₂のCO₂削減効果が見込まれる。
- ただし、自動運転の情報処理機能をクラウド・データセンター側に依存してしまうと、年間約30%のペースで急増中のデータ量に上乗せで、更なるクラウド・ネットワークへの負荷を与えることになりかねない。（ネットワーク・クラウド側における電力爆発の懸念）
- ネットワーク・クラウドは今後様々な分野で消費電力増が見込まれるところ、電動・自動運転車については、エッジ・ローカル（自動車）側でその情報処理を実施することが社会全体のグリーン化の観点からも目指すべき方向性。
- 他方で、電動車内においては、限られた蓄電池容量（67.5kWh）の中で、パワートレイン（8.2kW）・空調（1.64kW）・車載コンピューティング（レベル2:0.1kW → レベル4自動運転：3.25kW）と電力を消費しながら走行するため、車載コンピューティングの負荷が増大すると、電動車の航続時間・距離に影響を与え、電動車の早期社会実装に対する障害となる可能性。
※ カタログ値（パワトレのみの走行）に対し、約37%走行性能が低下する恐れ（航続時間5時間、航続距離：240km）
- そのため、GI基金等を通じて将来的に実現を目指す、蓄電池（エネルギー密度2倍で135kWh）・パワートレイン（10%効率改善で7.38kW）の性能も踏まえながら、電動車として十分な性能（航続時間13.5時間、航続距離638km）を確保できるよう、車載コンピューティングについて現行技術比70%の徹底した省エネ化（レベル4自動運転：3.25kW→0.98kW）を実現するための研究開発が重要。

コネクテッド・自動運転社会におけるネットワーク側の消費電力の課題

- デジタル化によって多量のデータがクラウドに流れ込むと、データ爆発の懸念あり（世界のデータ量は年間約30%のペースで急増中）。各分野で、データ量を抑制するための取組が重要
- 自動車に関する高度情報処理についても、その機能をクラウド・データセンター側に依存（データ量にして4TB/日）させると、ネットワーク・クラウド側の車両1台あたり電力負荷は2.0kWとなる。（国内2050年で約1,360万t-CO₂に相当）。
- データセンターのグリーン化（次世代デジタルインフラ）の取組とともに、そもそも自動車からクラウドへのネットワーク負荷を減少させるべく、自動運転を含む高度な情報処理について、可能な限りエッジ側にて実施できるアーキテクチャとそれを支える要素技術が重要。

データ量増加に伴う消費電力量増加のイメージ



出典：経済産業省「半導体戦略」（2021年6月4日）より一部抜粋

車載コンピューティングで想定されるネットワーク・クラウド側の消費電力

- 自動車に係る高度情報処理をクラウド・データセンターで実施した場合、**4,000GB（4TB）**のデータが1台あたり生成・送信される可能性※1
- その場合のネットワークへの電力負荷は1.67kW、クラウド・データセンターの電力負荷は0.33kWで、**合計2.0kW**※2
- CO2排出量に換算すると、**約2,550万t-CO2（国内2050年）**※3

■ エッジ側での高度情報処理の実現の重要性

- 自動運転も含む高度情報処理について、可能な限りエッジ側にて実施できるアーキテクチャとそれを支える要素技術が重要（他方で、車両の死角部の補完などローカルでのインフラ機能との連携は必須）

※1 Intel（米）が2018年カリフォルニア州本社の説明会において公表（1日あたり4TB）

※2 167GB/hに対し、「IEA-4Eレポート」よりネットワーク・クラウドの消費電力量係数（0.01kWh/GB、0.002kWh/GB）を乗じて試算

※3 自動車平均稼働率（4%）から年間365時間稼働で、2030年ミックス達成時の排出係数0.00025t-CO2/kWhを乗じて試算

電動車内の電力マネジメントの課題

- 電動車内では、電池容量に対して、パワートレインだけでなく、車室内空調・車載コンピューティング等でも電力を消費しながら走行する。エッジ側で自動運転（レベル4）の処理を行うと、カタログ値（パワトレのみの走行）に対し、約37%航続時間・距離が減少する可能性。（航続時間：5時間、航続距離：240km）
- 電池・パワトレの改善（別途GI基金活用検討中）に加え、車載コンピューティングの消費電力の削減（省エネ化）を実施する必要。

現行技術水準（目安）		試算の考え方
電池（容量） 	67.5kWh	WLTCカタログ記載の39モデルの平均値
パワートレイン（モーター） 	8.2kW	WLTCカタログ記載の39モデルの平均値 交流電力量消費率：176.5Wh/km（WLTCモード） WLTCモードの平均速度：46.5km/h
車室内空調（エアコン） 	1.64kW	空調利用時の電費減少率（10%～30%）※1より、平均値として20%を採用し、パワトレ消費電力より設定
車載コンピューティング （センサー）  （AI半導体） 	レベル4 <u>3.25kW</u> レベル2 約0.1kW ※4	- センサー：様々なセンサー構成（センシングカメラ（5～15個）、ミリ波レーダー（4～6個）、ライダー（3～7個））の平均値を採用して試算した結果、0.25kW※2 - AI半導体：米国論文において指摘されたAI半導体の消費電力（1kW～5kW）の平均値（3.0kW）※3（開発・学習用のデータを含めエッジで処理する可能性も考慮） - なお、電動車の走行環境により、センサー構成やAI半導体に必要とされる性能は、大きく異なり得る。

※1 2020年自動車技術会春季学術講演会講演予稿集発表「車室内空調使用時の電気自動車を対象とした空調電力消費量推計式」（交通安全環境研究所）より

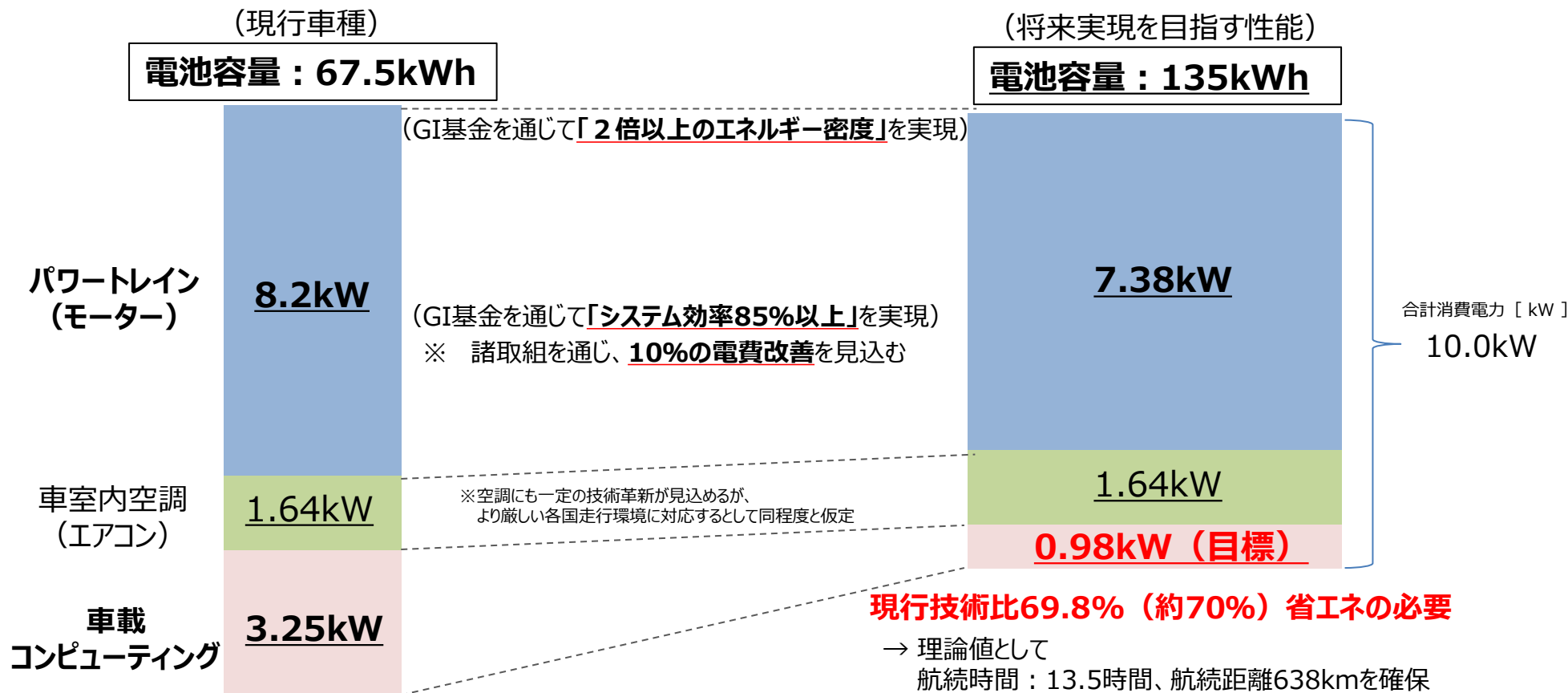
※2 諸元（センシングカメラ9W、ミリ波レーダー9W、回転式ライダー60W、ソリッド式ライダー15W）は、カーネギーメロン大学「Trade-offs between automation and light vehicle electrification」より引用し、経産省試算

※3 上記カーネギーメロン大学論文中の推定・仮定値1kWと、同論文も参照するIEEE「Computer Architectures for Autonomous Driving」が最悪ケースで想定する5kWの平均値（なお、同論文の中では平均3kWと推定）

※4 民間統計等を参考に、経産省にてレベル2のセンサー・AI半導体構成をカメラ1個・ミリ波レーダー2個・SoC2個と設定し、それに上記諸元と、レベル2 + 向けNVIDIA製SoC（45W）の値をそれぞれ乗じて試算

2030年以降の車載コンピューティングに求められる省エネ水準

- GI基金等を通じて将来的に実現可能を見込む性能から、車載コンピューティングに必要な省エネ水準を推定。
- 理論値として商用利用に耐えうる航続時間（13時間以上）・航続距離（600km以上）を確保するためには、「現行技術比70%以上の省エネ」が必要。達成した場合、電動・自動走行車の早期普及に加え、自動走行によるCO₂削減効果（1,320万t-CO₂）と併せると、ネットでも655万t-CO₂削減（2050年/国内）を実現。

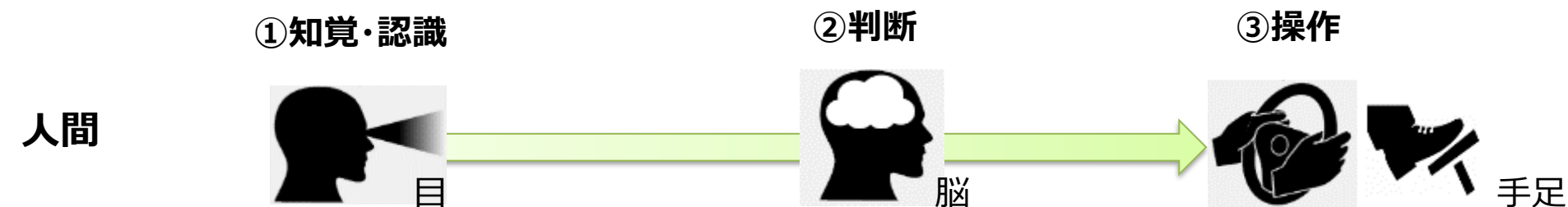


- ◆ ユースケースにより車の使用状況は異なるが、世界各地の様々な状況に対応すべく、厳しい水準が設定されることが望ましい。
- ◆ そのため、商用利用に問題ない航続時間（長距離トラックドライバーの法定拘束時間を上回る13.5時間以上）と設定し、その他の主要電力消費元（パワトレ・空調）より逆算すると、車載コンピューティングに許容される消費電力は、0.98kW以下。 17

1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. **電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発**
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － **取組の背景・概要**
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等
 - － 補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）
3. スマートモビリティ社会の構築
 - － 取組の全体像
 - － 現状・課題と取組の方向性
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等

自動運転システムとは

- 自動運転システムは、これまで人間が行っていた認知、判断、操作をシステムが代替するもの。



S/W

- 周辺環境把握
- 物体（障害物）の検知

- 走行経路、運転操作の決定

- ステアリング
- 加速
- 減速、停止

H/W

◆ カメラ



◆ レーダー



◆ レーザースキャナ（ライダー）



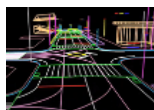
◆ AI半導体



◆ ステアリングECU

◆ ブレーキECU

◆ エンジンECU

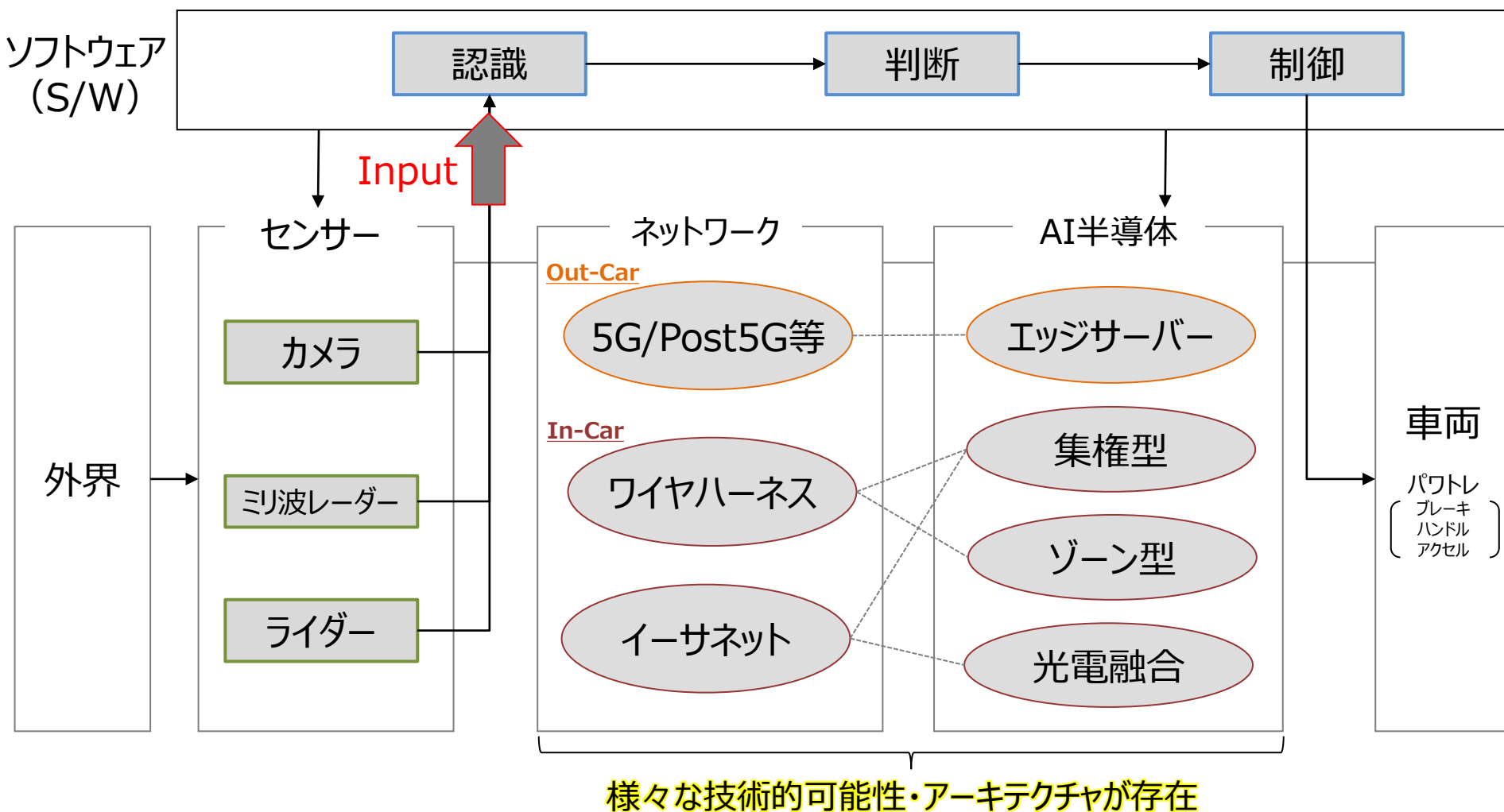


（高精度地図や周辺車両・
インフラ情報も活用）

◆ ハーネス・イーサネット等の車載ネットワーク

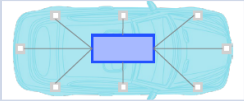
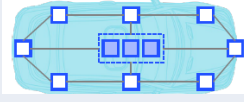
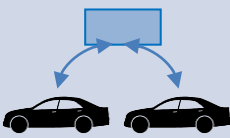
車載コンピューティング（自動運転システム）の構成

- 外界から取得される情報（画像・点群データ等）はセンサーを通じてソフトウェアへの「認識」機能へと伝達される。その後、自車と他車の相対位置等から進路等を「判断」し、車両「制御」（走る・曲がる・止まる）へとフィードバック。
- その上で、ソフトウェアが動作するAI半導体、物理的にデータがやりとりされるネットワークについては、様々なアーキテクチャや技術的可能性が存在。



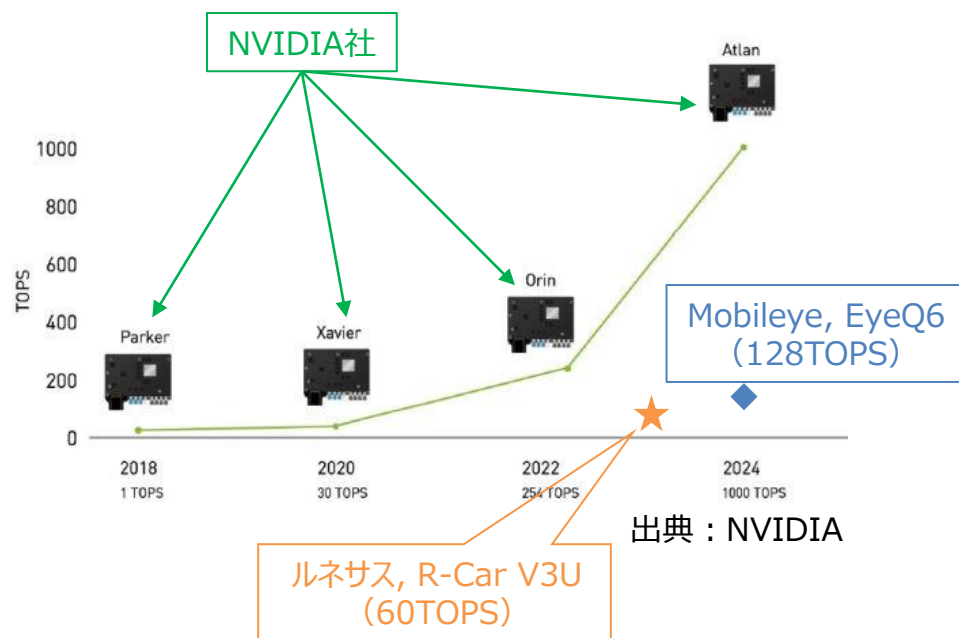
ネットワーク・AI半導体に関するアーキテクチャ

- 2030年以降の電動車の物理的なアーキテクチャとしては、「中央集権型」と「ゾーンコンピューティング型」がある（エッジサーバーを活用するアイデアも存在）。
- どのアーキテクチャを選択するかにより、AI半導体・ネットワークに要求する性能が変化。

アーキテクチャの例			AI半導体	ネットワーク
中央集権型	- 中央の統合ECUに、物理的にほぼすべての情報処理を集中させる方法 - 統合ECUの消費電力は増加するが、その他のECUを削減できるため、トータルでは性能・電力消費量を最適化できる可能性		処理性能 HIGH	「大容量」重視
ゾーンコンピューティング型	- ECU（処理能力）は車両全体に分散させ、仮想ドメインユニットを通じて処理能力を統合する方法 - 計算資源の有効活用により、性能・電力消費量を最適化できる可能性		処理性能 LOW	「低遅延」重視
エッジサーバー処理型	- スポットごとにエッジサーバーを配置し、それが通信を通じ、複数車両の情報処理を一手に担う方法（ローカルで完結） - 自動車内の消費電力は削減できるが、インフラ側のコスト・消費電力や通信信頼性に課題	In Local 	エッジサーバー 処理性能 HIGH SoC（車内） 処理性能 LOW	通信側の 低遅延・大容量・高信頼

(参考) 車載AI半導体

- NVIDIA社から発表されるSoCは年々処理性能（TOPS値）が増加しており、車載領域で競合となるMobileyeやルネサスと比較しても処理性能は数倍以上を実現。
- 他方で、TOPS値だけではなく消費電力も重要な指標であり、処理性能（TOPS値）／消費電力（W）で比較すると、他社（日系企業）にも優位性あり。
- AI半導体の開発は大規模投資を必要とする一方で、AI半導体に要求されるTOPS値は車両全体のアーキテクチャに大きく依存する。



◎ 各社の処理性能／消費電力の比較

	処理性能 (TOPS)	消費電力 (W)	TOPS/W
ルネサス (R-Car V3U)	60	4.5	13.3
NVIDIA (Orin)	200	45	4.4
Mobileye (EyeQ6)	128	40	3.2

※ 1 : Arm Tech Symposia 2019

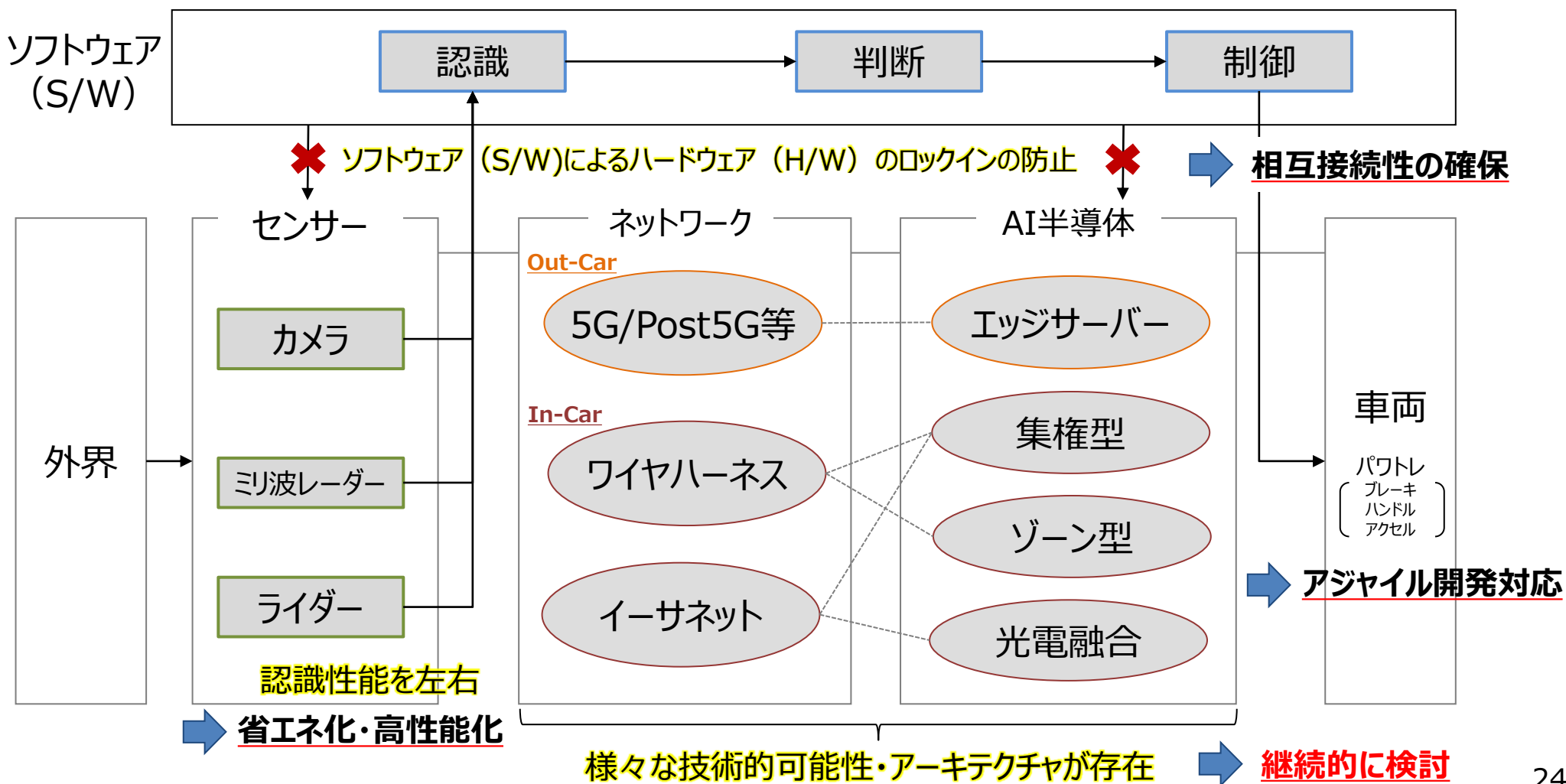
(参考) 光電融合ネットワークによる情報処理の可能性

- 将来的に光電融合技術の車載ネットワーク・半導体での活用も期待される。ただし、どの範囲までを光で扱うかについては、全体のアーキテクチャとの関係で、技術成熟度・コスト・信頼性等との観点で検討が進められている段階。

光電変換デバイスの位置	概念図	備考
従来手法		➤ CAN (Controller Area Network) と呼ばれる通信方式を用いてワイヤハーネス上で電気信号を伝導する方式。 ➤ 高速通信が要求される場合、電気や光イーサネットの活用が必須との議論あり。
チップ外		➤ センサ等のECUから統合ECUの間をイーサネットを通じて通信する方式。 ➤ 電気通信の場合よりも、高速化・省エネ化を実現。標準化の議論も進展中であり、2025年以降の車載への実装が見込まれる。
チップI/O		➤ ECU間だけでなく、ECU内のSoC (MCU) 間の通信も光で実施する方式。 ➤ ECU自体の省エネに効果的であると考えられる一方で、車載でのコスト・信頼性は要検証。
チップ内		➤ SoC (チップ) 内も光で情報処理する方式。 ➤ 技術的な成立性から要検証。

アーキテクチャの変化への柔軟性の確保策

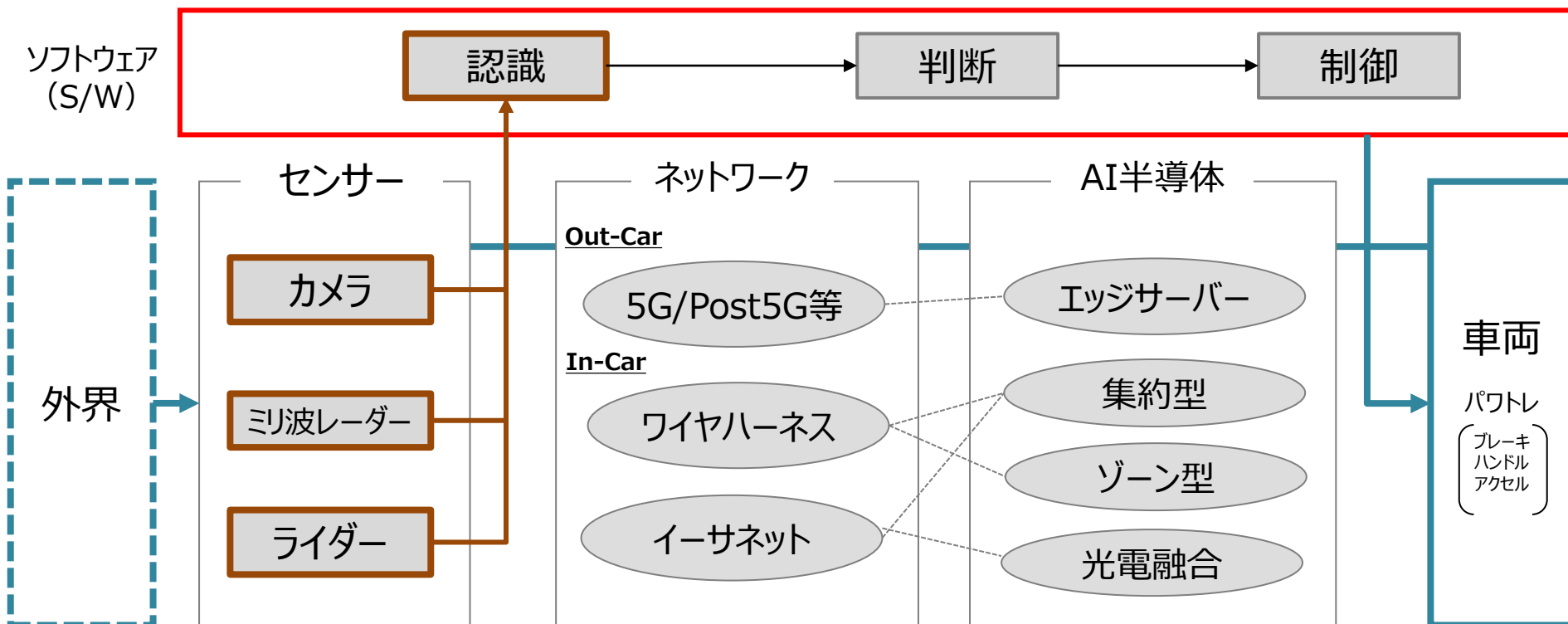
- AI半導体・ネットワークの様々な技術可能性を開ざさないようにするためには、ソフトウェアによるハードウェアのロックイン（特定センサー・半導体でのみ動作）を防止すべく、ソフトウェアのオープン性やハードウェアとの相互接続性を担保できるように取り組む。
- あわせて、その他の車両技術も併せて、電動化・自動化に伴うアーキテクチャ変更や要求仕様変化にもアジャイルに対応できるようにし、電動車の開発サイクルプロセス全体を加速し、もって電動車の早期の社会実装につなげるため、広く流通可能な形式での電動車両シミュレーション基盤（モデル）の構築が重要。



本プロジェクトで対象とする範囲

- そこで、ネットワーク・AI半導体については、アーキテクチャを踏まえ引き続き慎重に検討することとしたうえ、
 - ① ハードウェアとのオープン性を確保できる自動運転の基盤ソフトウェアの省エネ化
 - ② 更に、ソフトウェアの性能・計算量に大きく影響するセンサーシステムの省エネ化・高性能化
 - ③ 電動車の開発を加速するためのデジタルツインでのシミュレーションモデルの開発に取り組むこととする。

①自動運転ソフトウェア（オープン・相互接続性確保）



②センサーシステム（省エネ化・高性能化）

③電動車両シミュレーション基盤（開発サイクル加速）

車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発目標まとめ

◆研究開発項目1：自動運転のオープン型基盤ソフトウェア（補助）

- 様々な方式がありうることから、申請者が目標提案、かつ具体的な達成方法も申請者の創意工夫に委ねる。
ただし、下記の省エネ・性能等に関する目標は必須。
 - 研究開発に取り組む範囲の中で、ネットワーク・クラウドへの負荷も加味しながら、
現行技術比で、70%以上の車載コンピューティングの消費電力削減に寄与すること
 - 主要な走行環境における、レベル4自動運転機能（安全性・信頼性等を含む）の担保
※東京臨海部を含む、標準的な交通環境5種類以上、標準的な交通参加者4種類以上を網羅のこと
- なお、様々な走行環境へに対応すべく、H/Wの性能向上や、分散型コンピューティングの技術進捗に併せて、2030年以降もアジャイルに更新・拡張が可能なオープン型アーキテクチャを構築することを条件とする。

◆研究開発項目2：自動運転センサーシステム（補助）

- 様々な方式がありうることから、申請者が目標提案、かつ具体的な達成方法も申請者の創意工夫に委ねる。
ただし、下記の省エネ・性能等に関する目標は必須。
 - 研究開発に取り組む範囲の中で、ネットワーク・クラウドへの負荷も加味しながら、
現行技術比で、70%以上の車載コンピューティングの消費電力削減に寄与すること
 - 主要な走行環境における、レベル4自動運転機能（安全性・信頼性等を含む）の知覚・認識面からの担保
※東京臨海部を含む、標準的な交通環境5種類以上、標準的な交通参加者4種類以上を網羅のこと
- なお、上記目標との関係で、S/Wの認識性能向上・計算負荷低減につながるものが認められる範囲において、センサー機器（H/W）の開発支援を認めることとする。

◆研究開発項目3：電動車両シミュレーション基盤（委託）

- 電動・自動運転車の早期社会実装のため、国内自動車メーカー・部品メーカーが共通的に利用可能な形式で、SOTIFに対応し、レベル4自動運転を実現するために必要なデジタル・ツインでの電動車両全体のシミュレーション・モデルを、動力学シミュレーション精度90%以上として、実機を用いた性能検証期間の半減を実現できるレベルで構築するための手法を確立すること。

1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. **電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発**
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標**
 - － 本プロジェクトのスケジュール等
 - － 補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）
3. スマートモビリティ社会の構築
 - － 取組の全体像
 - － 現状・課題と取組の方向性
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等

「自動運転のオープン型基盤ソフトウェア」(補助) の研究開発内容

修正
資4(P19)

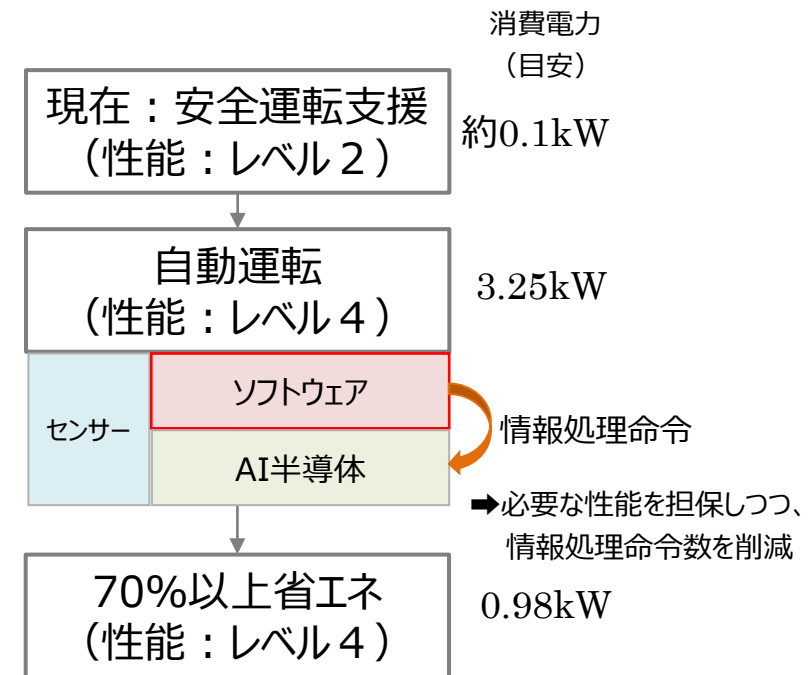
- 本プロジェクトでは、自動運転ソフトウェアについて、ネットワーク・クラウド側への負荷を低減するアーキテクチャを前提に、必要な性能（主要な走行環境でのレベル4自動運転）を担保しつつ、ハードウェアに対するソフトウェアの計算負荷を低減（70%減に寄与）するための研究開発を実施する。
- その際、多様なハードウェア（AI半導体・車載ネットワーク・センサー）との組み合わせで、走行環境に応じて柔軟に消費電力を最適化（最小化）できるような、オープン型アーキテクチャの構築を目指す。

研究開発目標（概要）

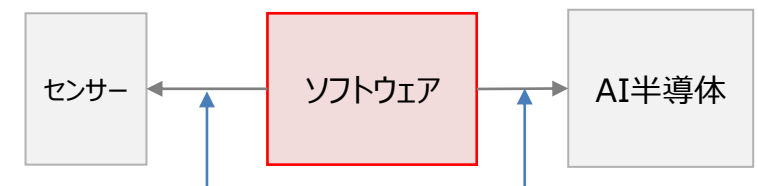
- 様々な方式がありうることから、申請者が目標・**達成方法**を提案。ただし、下記①②に関する目標は必須。
- 目標①：ネットワーク・クラウドへの負荷も加味しながら**70%以上の消費電力削減**に寄与。
- 目標②：**レベル4自動運転機能**の担保
- なお、アジャイルにハードウェアの更新・拡張が可能な**オープン型アーキテクチャ**を構築すること

（考え方）

- トレードオフとなり得る、①②の指標を同時に追求し、必要な性能を担保しつつ、コンピューティングのグリーン化を実現。
- H/Wの技術中立性を確保するため、どのようなH/Wでも動作を保証できる、オープン型のソフトウェア・アーキテクチャを構築。

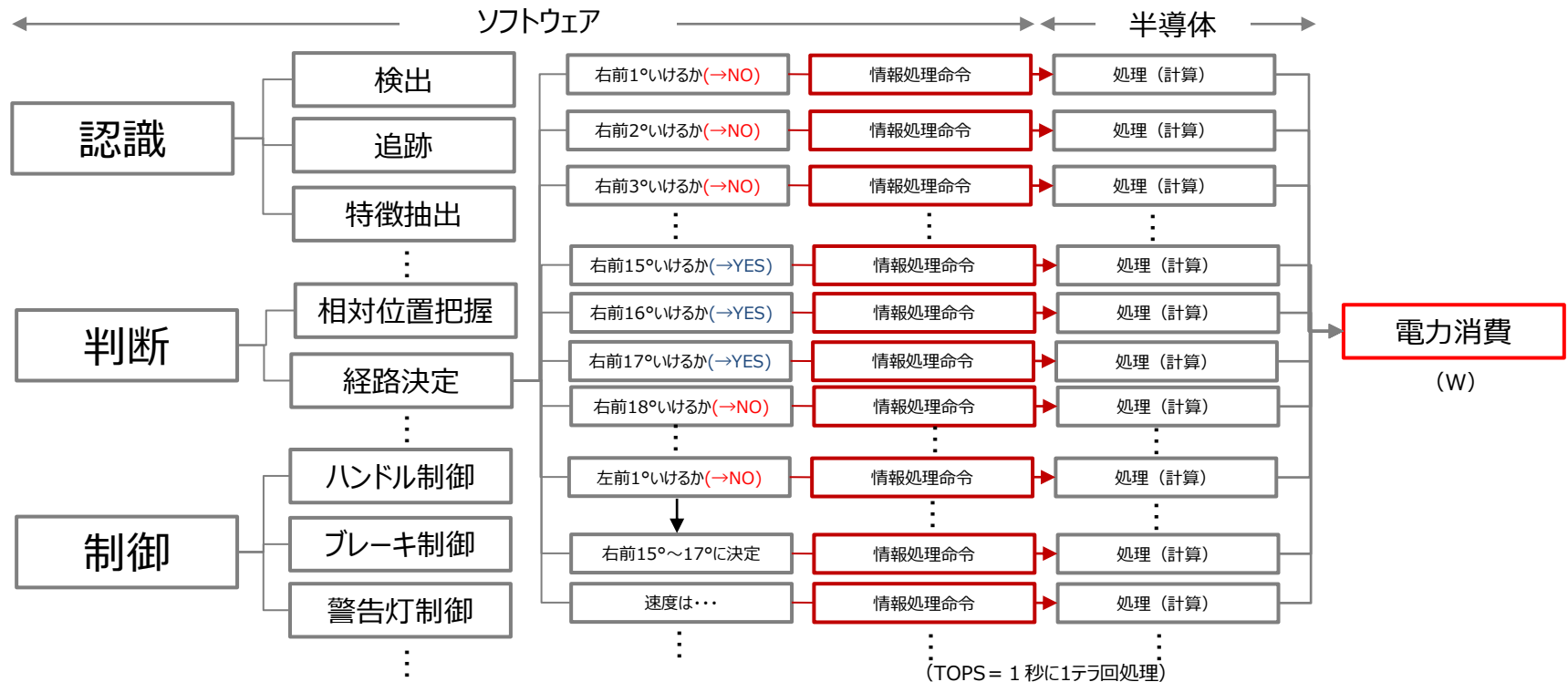


※オープン型アーキテクチャ



自動運転ソフトウェアと消費電力との関係

- 自動運転の各プロセス（認識・判断・制御）の下には無数のタスクが存在。ソフトウェアは、それに対し、プログラムを通じて適切な回答を導く必要があるが、プログラムが複雑・冗長であると、その分だけ半導体に対する命令数が増加し、消費電力が増大する関係にある。
- 走行環境に応じて、必要十分な命令数のプログラムとなることが、消費電力との関係でも理想的だが、単純な機械学習の繰り返しでは、例外状況に対応すべくプログラムは複雑・冗長化。



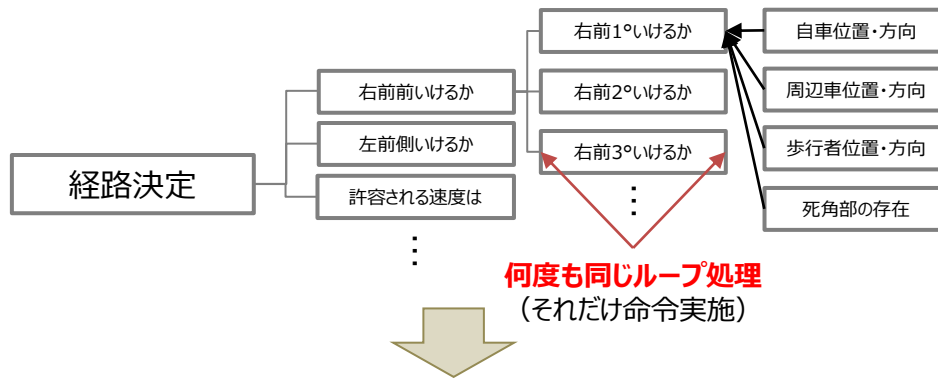
- プログラムが複雑・冗長化すると、半導体への命令数が増加
- 単純な機械学習の繰り返しでは、新たな走行環境（例外状況）に対応すべく、プログラムは複雑・冗長化する傾向

- 命令量に応じるため、半導体の処理性能向上・消費電力増
- 例えばNVIDIA製SoC (Orin) は1秒間に200テラ回の処理（命令に対する計算）を実行可能（200TOPS）

自動運転ソフトウェアの省エネ化の方向性

- 走行環境に対して必要な性能を満たしつつ、プログラムを簡素化・合理化するためには、例えば、
 - ・ 機械学習（ディープラーニング）の改善・補完
 - ・ すべての走行に必須のタスク（コア部分）と、走行環境に応じて短縮（省略）可能なタスク（周辺部分）の切り分け、更に周辺部分を組み替え可能なプログラム構成の開発
- など、様々な方法を、組み合わせて実施することが想定される。

機械学習（ディープラーニング）の改善・補完の例



- ループ処理（同じ処理が繰り返し実施されること）については、まとめて事前に処理するなどの、プログラムのプロセス改善。
- スパースモデル（「結果」から必要となる「前提」を推論・絞り込み）の応用などを通じて、プログラムのうち、短縮可能なところを切り出す。
- これらを自動的に実施できる機械学習の方法の改善 等

短縮可能なタスク（周辺部分）の抽出



イメージ（cobby社HPより）

走行環境に応じて
省略可能なタスク
(雪道での白線検知)



イメージ（日経BP社HPより）

すべての走行に必要なタスク
(周辺車両認識)

- 例えば雪が降らない地域（走行環境）においては、難易度が高く、命令数が増える白線検知のためのプログラムは不要。
- 上記のように、コア部分と周辺部分を切り分けることにより、プログラムを最適化 等

「自動運転センサーシステム」(補助)の研究開発内容

修正
資4(P20、21)

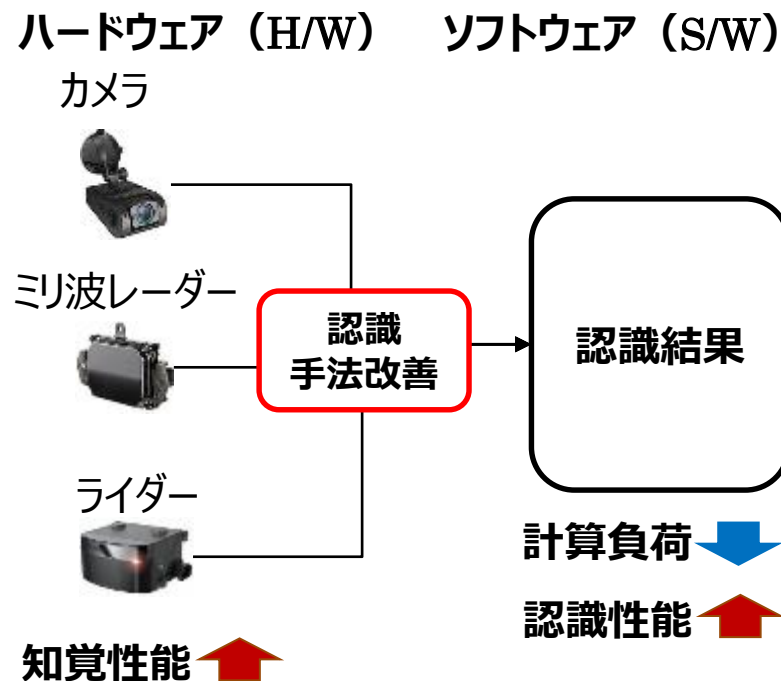
- 本プロジェクトでは、自動運転に係る情報処理の中でも大半の処理時間を占める「認識系」の情報処理について、認識手法の改善(効率的処理)や、それと連携したセンサー機器の性能向上(入力値改善)を通じて、必要な性能(主要な走行環境でのレベル4自動運転)を満たしながら、徹底した省エネ化(70%減に寄与)を行うための研究開発を実施する。
- また、それらの研究開発成果については、申請者によるI/Fのオープン化や標準化への貢献などを通じて、社会実装や普及を促し、産業全体の競争力強化につなげることを目指す。

研究開発目標(概要)

- 様々な方式がありうることから、申請者が目標・**達成方法**を提案。ただし、下記①②に関する目標は必須。
- 目標①：ネットワーク・クラウドへの負荷も加味しながら**70%以上の消費電力削減**に寄与。
- 目標②：**レベル4自動運転機能**の担保
- 上記目標との関係で、S/Wの認識性能向上・計算負荷低減につながるものが認められる範囲において、センサー機器(H/W)の開発支援を認める。

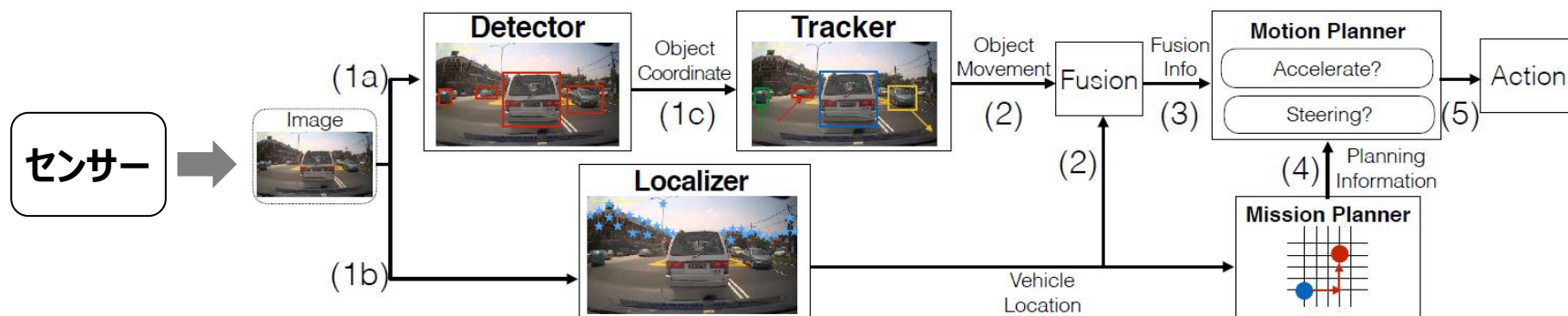
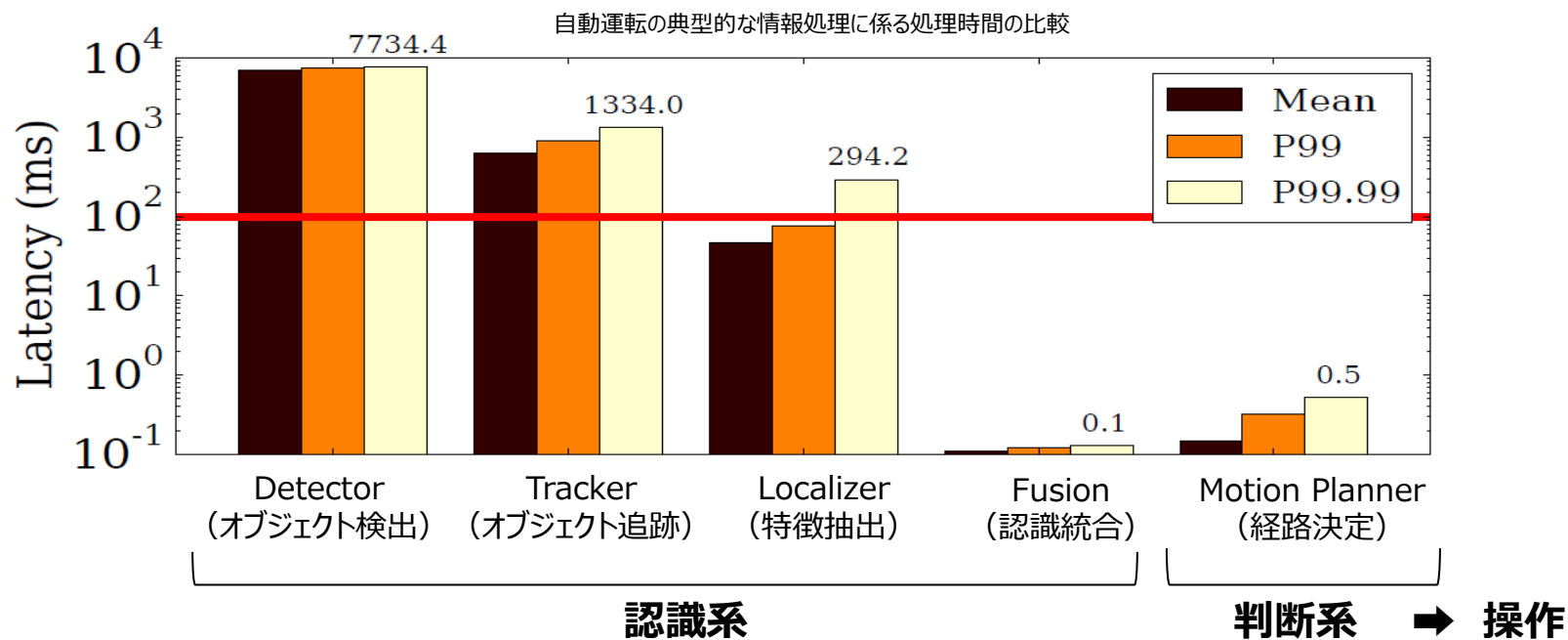
(考え方)

- ・ トレードオフとなり得る①②の指標を同時に追求し、必要な性能を担保しつつ、コンピューティングのグリーン化を実現。
- ・ センサー機器(H/W)の知覚性能が、S/Wの認識性能につながることから、それが確認される範囲で、一体的な開発を認める。



センサーの認識手法の改善の有効性

- 自動運転に係る情報処理のうち、認識系（対象の検出・追跡・特徴抽出等）に多くの計算資源が割かれている。
- 認識手法の改善や、センサー（H/W）からの入力値の改善が、情報処理のプロセス全体における計算負荷の減少に大きく効果を及ぼす可能性。



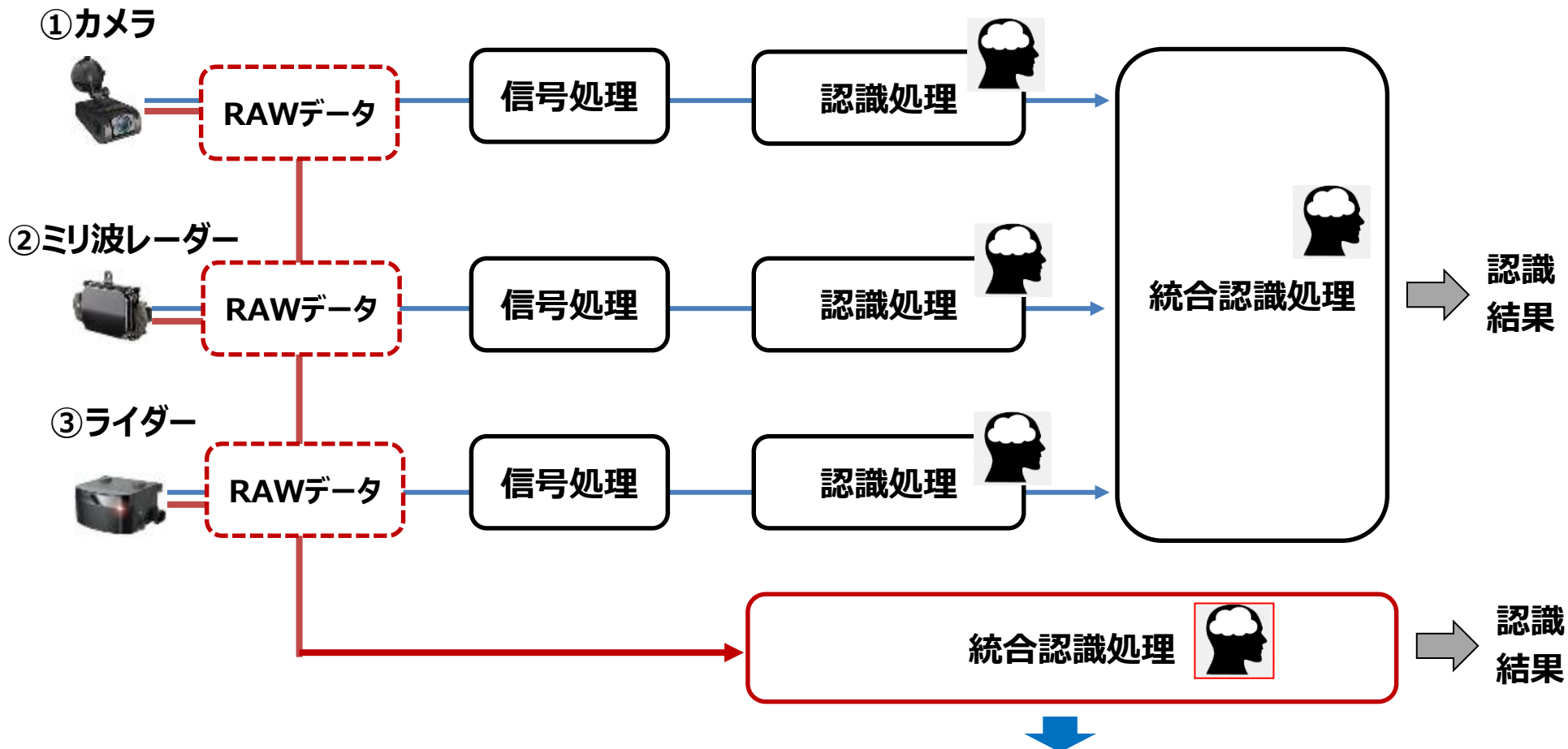
センサーから認識処理までの認識手法

修正

- 例えば認識手法の改善策として、各センサーで認識処理したものを統合処理する既存の手法に替えて、センサーのRAWデータを直接「統合認識処理」するという方法などが想定される。

認識手法の例（センサー内で認識処理する方法／RAWデータを直接「統合認識処理」する手法）

※想定される手法であり、具体的な取り組みは申請者の創意工夫に委ねるものとする



- ニューラルネットワークの削減により、認識に必要な計算負荷を低減
- 従来は切り捨てられていた情報も活用し、悪環境下でも認識を高度化

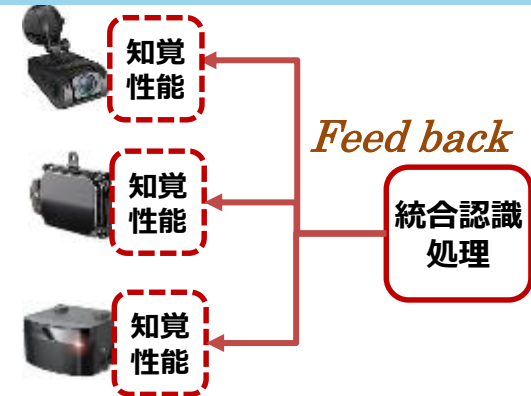
センサーから認識処理までの改善の方向性

- 走行環境に応じ、認識手法もセンサー構成も消費電力の観点も踏まえ最適化できることが望ましい（究極的には走行環境に応じたリアルタイムのセンサーパワーマネジメント）。
- そのためには、各センサーのRAWデータのうち、走行環境に応じて認識にクリティカルに寄与する部分を切り出し、パラメータ化する必要がある。

RAWデータを統合認識処理するときの課題

認識性能向上については一定の効果が認められるものの、その実用化には技術的課題が存在

- AI半導体に伝送する情報量が増加することにより、計算負荷低減効果が相殺
- 従来と同様に、**センサー構成を変更すると認識処理機能（ニューラルネットワーク）を再構成（実験車両走り直し）**する必要



課題解決に向けた研究開発の方向性

- ① RAWデータの統合処理認識の中で、**各センサーごとに削減可能な情報の特定**（＝伝送情報量削減）
- ② 統合処理認識からのフィードバックを通じ、**各センサー単体での知覚性能をパラメータ化**
※その走行環境（認識環境）の中で、どれくらいの確率で、何を知覚できているか（最終的にはリアルタイム）

実現が期待されるユースケース

- ① 各センサーの知覚性能がパラメータ化されれば、**走行環境に応じた認識までの消費電力の最適化**が可能に
 - ・走行環境に応じて、認識処理の構成（センサー内 or RAWデータ）を、選択可能に
 - ・走行環境に応じて、センサー構成を変更しても認識処理機能の再構成は不要に（実験車を通じた膨大な走り直しが不要に）
- ② リアルタイム性を獲得できれば、認識以降のソフトウェアに変更なく、**個別センサーのパワーマネジメント**が可能に。

「電動車両シミュレーション基盤」(委託)の研究開発内容

修正
資4(P21)

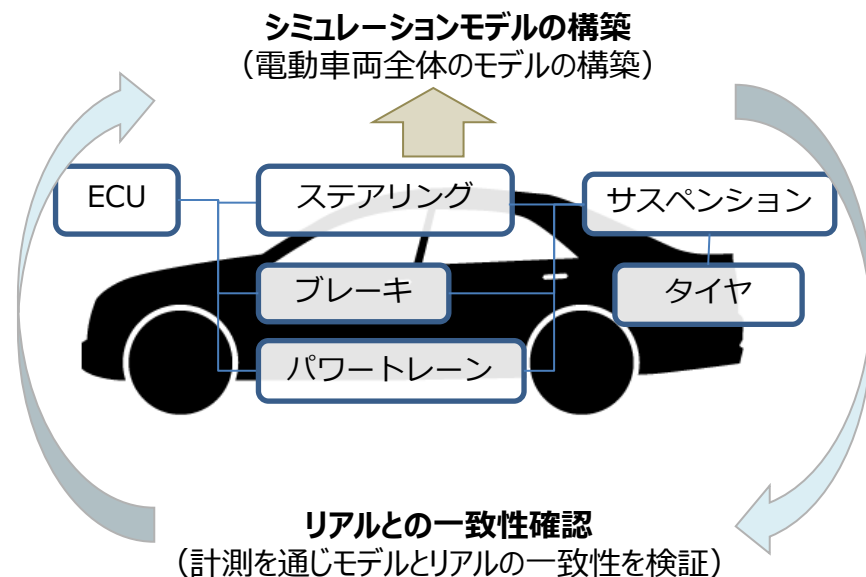
- 電動化・自動化の中で産業構造の転換を求められる自動車サプライチェーンについて、その開発体制の高度化を図り、もって電動車の開発サイクルの高速化（従来4年⇒2年）を通じて一層の電動車の普及を加速することが重要。
- そこで、電動・自動走行車を実現するために必要なデジタル・ツインでの電動車両全体の高精度シミュレーション基盤を、**申請者によるシミュレーションモデルのオープン化等を通じ**、広く国内自動車メーカー・部品メーカーが利用可能な形式で開発する。
- とりわけ、自動運転の性能評価には高精度シミュレーション基盤は不可欠であり、電動車として満たすべき新たな安全規格（SOTIF）や、自動運転化にも対応できるような車両モデルの構築を行う。
- **その際、乗用車だけでなく、商用車にも活用可能な車両モデルの構築を行うことを目指す。**

研究開発目標（概要）

- **SOTIFに対応し、レベル4自動運転を実現するために必要なデジタル・ツインでの電動車両全体のシミュレーション・モデルを構築するための手法確立**
- 上記は、**動力学シミュレーション精度90%以上として、実機を用いた性能検証期間の半減**を実現できるレベルとすること
- 上記は、**国内自動車メーカ・部品メーカが共通的に利用可能な形式**とすること

（考え方）

- 電動車の開発サイクルを加速化するためのデジタルツインモデルを構築するための手法開発にあたっては、SOTIF・自動運転等にも着実に対応を求める。
- また、上記については、幅広いサプライヤを含めた利活用を促すべく、広く国内自動車メーカー・部品メーカーが共通的に利用可能な形式の成果物とすること。



➡ SOTIFやレベル4自動運転にも対応

※SOTIF (ISO21448)

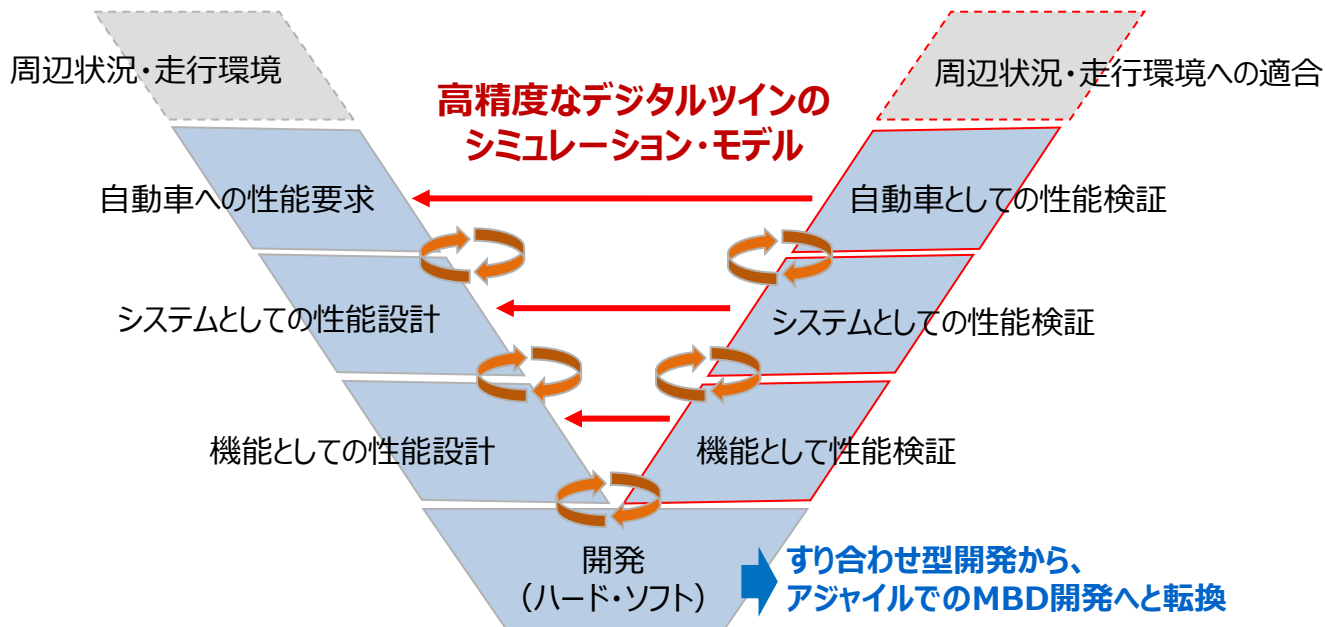
- Safety of the intended functionality
(意図された機能の安全性)

- ISO26262（自動車の機能安全）を補う規格として、2019年にPublicly Available Specification（公開仕様書、PAS）が発行されたISO規格

デジタルツインの高精度シミュレーション・モデルの重要性

- 高精度の電動車両シミュレーション・モデルが流通することで、
 - ・ 電動車の開発サイクルを従来の半分程度に短縮することが可能（約4年→約2年）
 - ・ ティア2・ティア3なども含め、自動車部品メーカー全体の開発効率化（手戻り削減）
 - ・ 実機での試作車／試験走行の減少（従来、試験走行を繰り返す自動運転の評価にも有効）
- 今後の電動車の性能に求められるSOTIF（ISO21448）や、レベル4自動運転の評価でも活用可能なレベルで対応することが重要。

自動車の設計・開発・検証のプロセス



従来の自動車開発は、V字プロセスの中で、実機ですり合わせを繰り返し
➡開発サイクル長期化、自動運転には対応困難（膨大な実車走行実証）



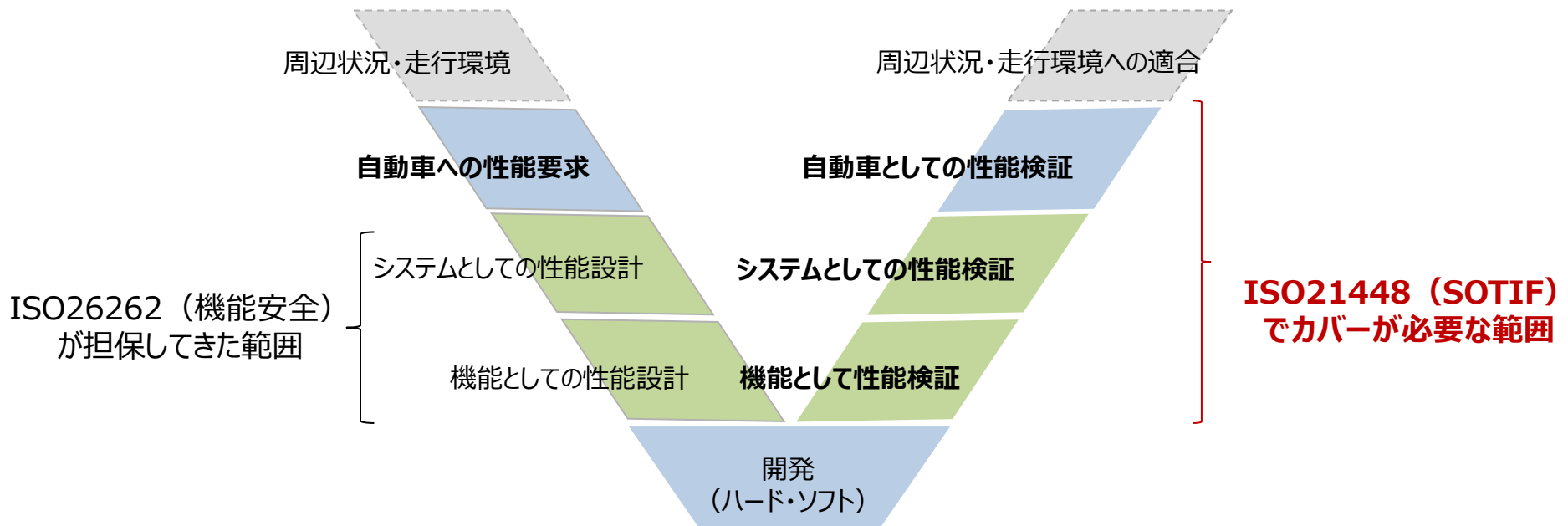
実車を代替できる極めて高精度のシミュレーション・モデルがあれば、V字全体の中での致命的な手戻りなく、効率的に検証・開発・設計のサイクルを回すことが可能に。

➡これまで自動運転の性能評価のために行われていた膨大な実車走行試験の減少にもつながる。サプライヤ含む効率的な電動車開発が可能に。

(参考) SOTIF (Safety of the intended functionality/ISO21448) について

- 自動車に必要とされる性能について定めた国際標準（ISO26262・機能安全）を補完するべく、2019年に公開仕様書が発行された国際標準規格。
- 今後の電動車開発に際して、共通的に参照すべき規格となることが想定されている。

自動車の設計・開発・検証のプロセス



ISO26262 (機能安全)

- ・ システムが故障した際、危害を及ぼすリスクを許容可能な範囲まで低減させるための安全方策（フェイルセーフ）を担保

ISO21448 (意図した機能の安全性)

- ・ 実現を意図した機能の性能不足に起因する危険、または合理的に予見できる範囲での機能の誤使用を原因とするリスクをなくすための安全策
- ・ 自動車全体の（自動運転含む）性能評価を実施しない、電動車サプライヤ（ティア2・3等）にとっても、今後対応が必要。

車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発目標まとめ

◆研究開発項目 1 : 自動運転のオープン型基盤ソフトウェア（補助）

- 様々な方式がありうることから、申請者が目標提案し、かつ具体的な達成方法も申請者の創意工夫に委ねる。
ただし、下記の省エネ・性能等に関する目標は必須。
 - ① 研究開発に取り組む範囲の中で、ネットワーク・クラウドへの負荷も加味しながら、
現行技術比で、70%以上の車載コンピューティングの消費電力削減に寄与すること
 - ② 主要な走行環境における、レベル 4 自動運転機能（安全性・信頼性等を含む）の担保
※東京臨海部を含む、標準的な交通環境5種類以上、標準的な交通参加者4種類以上を網羅のこと
- なお、様々な走行環境へに対応すべく、H/Wの性能向上や、分散型コンピューティングの技術進捗に併せて、2030年以降もアジャイルに更新・拡張が可能なオープン型アーキテクチャを構築することを条件とする。

◆研究開発項目 2 : 自動運転センサーシステム（補助）

- 様々な方式がありうることから、申請者が目標提案し、かつ具体的な達成方法も申請者の創意工夫に委ねる。
ただし、下記の省エネ・性能等に関する目標は必須。
 - ① 研究開発に取り組む範囲の中で、ネットワーク・クラウドへの負荷も加味しながら、
現行技術比で、70%以上の車載コンピューティングの消費電力削減に寄与すること
 - ② 主要な走行環境における、レベル 4 自動運転機能（安全性・信頼性等を含む）の知覚・認識面からの担保
※東京臨海部を含む、標準的な交通環境5種類以上、標準的な交通参加者4種類以上を網羅のこと
- なお、上記目標との関係で、S/Wの認識性能向上・計算負荷低減につながるものが認められる範囲において、センサー機器（H/W）の開発支援を認めることとする。

◆研究開発項目 3 : 電動車両シミュレーション基盤（委託）

- 電動・自動運転車の早期社会実装のため、国内自動車メーカー・部品メーカーが共通的に利用可能な形式で、SOTIFに対応し、レベル 4 自動運転を実現するために必要なデジタル・ツインでの電動車両全体のシミュレーション・モデルを、動力学シミュレーション精度90%以上として、実機を用いた性能検証期間の半減を実現できるレベルで構築するための手法を確立すること。

主要国の技術開発目標

- 中国は2021年度に、車載コンピューティングの性能値について、技術ガイドラインを発行。
- 本プロジェクトの個別目標設定にあたっては、一定のベンチマークすることとする。

	欧州	米国	中国
車載コンピューティングの省エネ目標	定量目標なし	定量目標なし	定量目標なし
自動運転ソフトウェア	定量目標なし	定量目標なし	(学習型自動運転システム) ● <u>L3級以上の自動運転機能の自己進化トレーニングをサポートし、標準的道路シーンを≥5種類ならびに交通参加者を≥4種類網羅</u>
センサーシステム	定量目標なし	定量目標なし	
シミュレーション・デジタルツイン評価	定量目標なし	定量目標なし	(スマートカーSOTIF技術) ● <u>自動運転およびそれ以上のクラスの基準を満たすインテリジェント・コネクテッド・ビークルのSOTIFテストケースデータベースを1セット開発し、テストユースケースが≥300件。SOTIF実車テストプラットフォームを1基構築</u> (自動運転を含むデジタルツイン評価) ● <u>動力学シミュレーション精度が≥90%。</u>

※新エネルギー自動車重点特別プロジェクトの2021年度申請ガイドライン

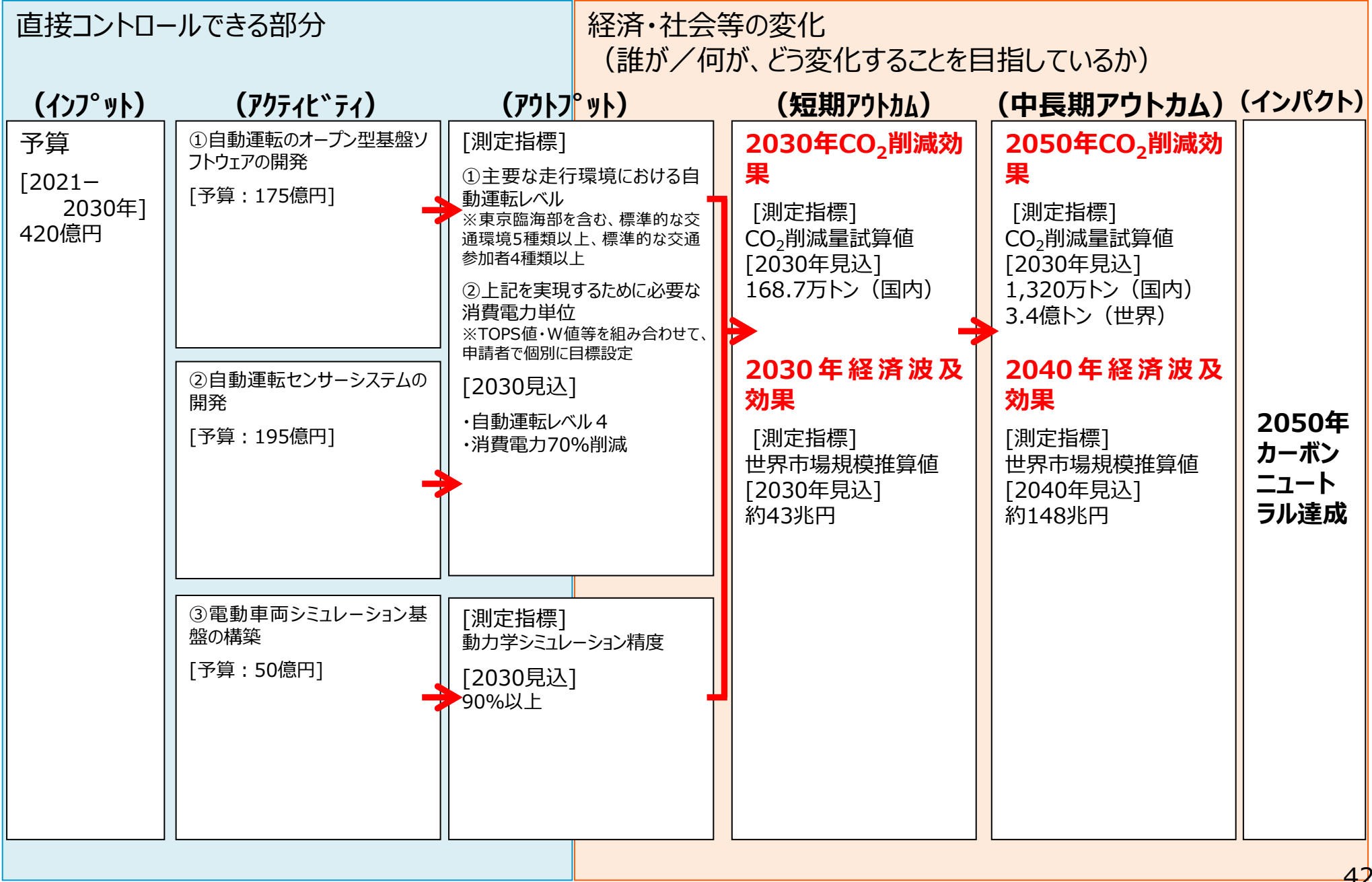
本プロジェクトの個別目標との比較

- 個別の目標においても、中国ガイドラインと比較しても遜色ない水準の技術困難度を設定。更に車載コンピューティングについては極めて高い省エネ水準（70%減寄与）を同時に付すこととしている。

	中国	本プロジェクトの個別目標
自動運転 オープン型 基盤ソフト ウェア	(学習型自動運転システム)	① 現行技術比で <u>70%以上の車載コンピューティングの消費電力削減</u> に寄与 ② 主要な走行環境における <u>レベル4自動運転機能</u> の担保 ※ <u>東京臨海部を含む、標準的な交通環境5種類以上、標準的な交通参加者4種類以上を網羅</u> のこと
センサー システム	• <u>L3級以上の自動運転機能の自己進化トレーニングをサポートし、標準的道路シーンを≥5種類ならびに交通参加者を≥4種類網羅</u>	① 現行技術比で <u>70%以上の車載コンピューティングの消費電力削減</u> に寄与 ② 主要な走行環境における <u>レベル4自動運転機能</u> の知覚・認識面からの担保 ※ <u>東京臨海部を含む、標準的な交通環境5種類以上、標準的な交通参加者4種類以上を網羅</u> のこと
電動車両 シミュレーション基盤	(スマートカーSOTIF技術) • 自動運転およびそれ以上のクラスの基準を満たすインテリジェント・コネクテッド・ビークルの<u>SOTIFテストケースデータベースを1セット開発し、テストユースケースが≥300件。SOTIF実車テストプラットフォームを1基構築</u> (自動運転を含むデジタルツイン評価) • <u>動力学シミュレーション精度が≥90%。</u>	• 国内自動車メーカー・部品メーカーが共通的に利用可能な形式で、<u>SOTIFに対応し、レベル4自動運転を実現するために必要なデジタル・ツインでの電動車両全体のシミュレーション・モデルを、動力学シミュレーション精度90%以上、実機を用いた性能検証期間の半減を実現できるレベルで構築するための手法を確立すること。</u>

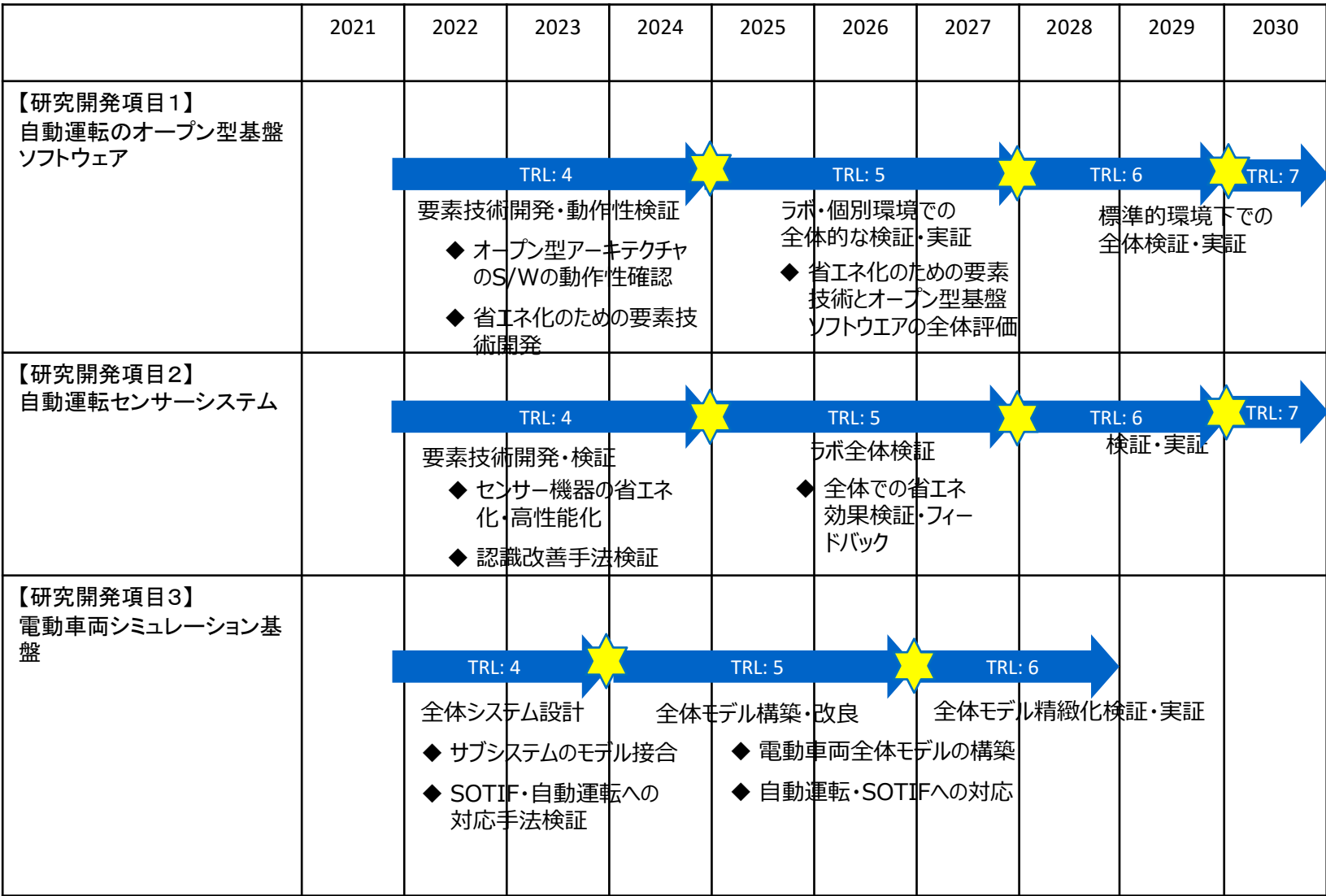
1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. **電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発**
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標
 - － **本プロジェクトのスケジュール等**
 - － 補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）
3. スマートモビリティ社会の構築
 - － 取組の全体像
 - － 現状・課題と取組の方向性
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等

次世代車載コンピューティング・シミュレーション技術等による自動車のグリーン化の加速



本プロジェクトのスケジュール（イメージ）

● TRLを考慮しつつ、研究開発のステージ・スケジュールを設計。ただし、申請者自身の創意工夫により、研究開発段階のステージを加速化・短縮化することは妨げず、**また、国際的な動向等も踏まえ、ステージゲートのタイミングは、効果的な開発・社会実装に資するよう、プロジェクト期間中であっても必要に応じて見直しを行う。**



★：ステージゲート

研究開発内容のステージ変化に合わせ、移行可否を判断する「ステージゲート」を設定し、適切なマネジメントを実施。

IEAの11段階指標に基づき次のとおり研究開発ステージを設定し、TRL4～7を支援。

<TRLレベルの定義>

・TRL1:科学的な基本原理・現象の発見

・TRL2:原理・現象の定式化
応用的な研究

・TRL3:技術コンセプトの確認

・TRL4:応用的な開発

・TRL5:ラボ・ベンチテスト

・TRL6:パイロット実証

・TRL7:プレ商業実証

トッパユーザーテスト

・TRL8:初期商業生産

・TRL9:大量生産

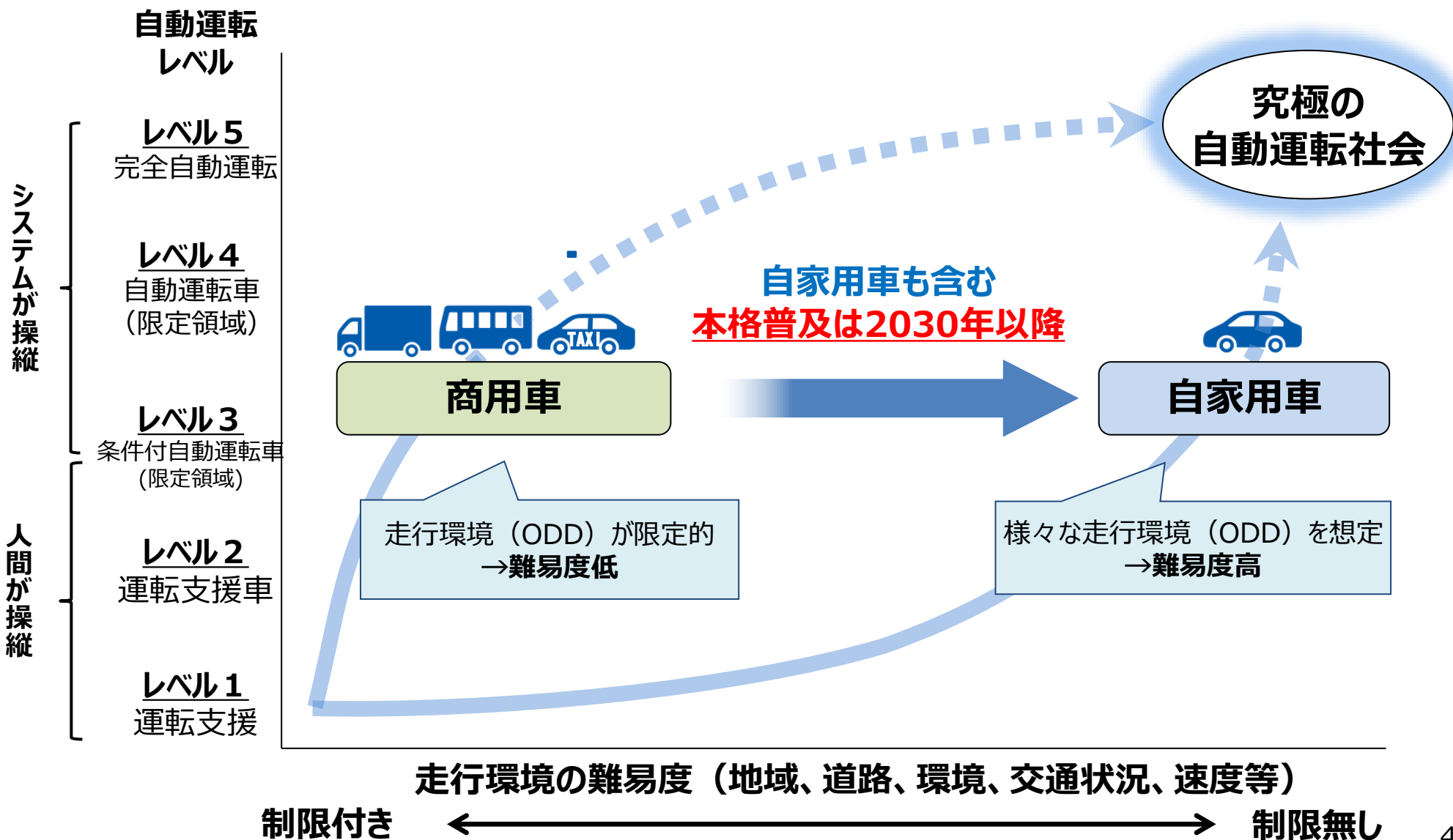
・TRL10:事業の統合

・TRL11:安定性の証明

43

(参考) 自動運転の普及時期 (本格普及は2030年以降)

- レベル5は究極目標。レベル4の本格普及は2030年以降が見込まれている。



(参考) 自動運転レベルの定義

レベル	概要	運転操作※1 の主体
運転者が全てあるいは一部の運転操作を実施		
SAE レベル0 なし	運転者が全ての運転操作を実施	運転者
SAE レベル1 運転支援車	アクセル・ブレーキ操作またはハンドル操作のどちらかが、部分的に自動化された状態	運転者
SAE レベル2 運転支援車	アクセル・ブレーキ操作およびハンドル操作の両方が、部分的に自動化された状態	運転者
自動運転システムが（作動時は）全ての動的運転操作を実施		
SAE レベル3 条件付自動運転車 （限定領域）	特定の走行環境条件を満たす限定された領域において、自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態 <u>ただし、自動運行装置の作動中、自動運行装置が正常に作動しないおそれがある場合においては、運転操作を促す警報が発せられるので、適切に応答しなければならない。</u>	自動運行装置 （自動運行装置の 作動が困難な場合は 運転者）
SAE レベル4 自動運転車 （限定領域）	特定の走行環境条件を満たす限定された領域において、自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態	自動運行装置
SAE レベル5 完全運転自動車	自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態	自動運行装置

※2 「操作」は、認知、予測、判断及び操作の行為を行うことをいう。

参考：国土交通省HP <https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/resource/data/kosho.pdf>

(参考) 自動運転の社会実装に向けた各国の方向性

- 開発状況としては米中勢が先行するとされるも、未だ広範な環境での実用化には至っていない。
- 我が国としては、自動運転の社会実装を通じて具体的な社会課題の解決に貢献することを目指し、産学官オールジャパン体制で自動走行のビジネス化を進める。
- 具体的には、自動運転の社会実装に向けた各種の取組（国際標準化・協調領域の拡大／深化・サービス実証等）を推進する。

米国

- Tech企業を中心に、すべての走行環境をカバー可能なレベル5のソフトウェア・ハードウェアを目指すアプローチが主流。



Waymo：将来的にタクシー100%完全無人化を目指す

中国

- 巨大な国内市場を背景に、外資を呼び込みつつ、大規模インフラ開発や、国内データ市場の創出に取り組む一方で、データの越境移転を規制。

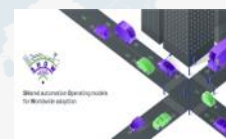


雄安新区：自動運転車専用レーンを含む新規都市開発



欧州・ドイツ

- 特定の走行環境（ODD）を設定し、レベル4に対応する基準・標準を広げるアプローチ。
- 安全性評価PJ・実証PJで、日本（政府・研究機関）とも協力関係。



SHOW：EU主導実証PJ PEGASUS：独の安全性評価PJ

日本

- レベル4自動運転の早期の実現・普及に向けて、具体的なユースケースを想定しつつ、自動車メーカー、ディーラー、運送事業者など関係機関とも広く連携し、周辺技術・システムの検討、国際標準化、事業モデルの構築を進める。
- 具体的には、レベル4の社会実装に向けた各社の協調領域の深化・拡大を進めるとともに、諸外国（独仏等）の安全性評価プロジェクトとの連携・協調を図りつつ、国際・国内基準への貢献、ISO等の国際標準化を推進する。
- 同時に、自動運転の活用されるユースケース（地方部・都市部）を定めながら、走行環境（ODD）の類型化や、インフラ協調や車車間・歩車間での連携の可能性も含め、レベル4自動運転の走行エリアや車両の拡大に努める。

（参考）走行環境（運行設計領域（ODD）：Operational Design Domain）の標準化のための取組

- レベル3・4の自動運転は「限定領域」（特定のODD）の中でシステムが人間の運転を代替。
- 我が国では、諸外国（独仏等）の安全性評価プロジェクトとの連携・協調を図りつつ、国際・国内基準への貢献、ISO国際標準化を推進（SAKURAプロジェクト等）。

■ ODD：道路条件・地理条件・環境条件等から設定

走行環境条件（例）

A 【参考】 閉鎖空間 (工場・空港・港湾 等の敷地内等)	低速 中速		・敷地内移動・輸送サービス
B 限定空間 (廃線跡・BRT専用 区間等)	低速 中速	 	・小型モビリティ移動サービス ・BRT、シャトルバスサービス
C 自動車 専用空間 (高速道路・自動車専用道)	高速		・トラック幹線輸送サービス
D 交通環境 整備空間 (幹線道路等)	中速		・都市エリアタクシーサービス ・基幹バスサービス
E 混在空間 (生活道路等)	低速 中速	 	・小型モビリティ移動サービス ・ラストマイルタクシーサービス ・フィーダーバスサービス

出典：自動走行ビジネス検討会

■ 国内・国際基準にも適合的な安全性評価手法の標準化

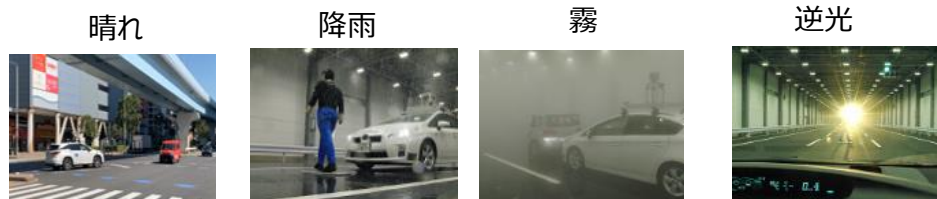
自動運転の安全性（基準）の考え方

個々の自動運転車が有する性能及び使用の態様に
応じた運行設計領域（ODD）を定め、走行環境や運用方法を制限し、自動運転システムが引き起こす人身事故であって、合理的に予見される防止可能な事故が生じないことを確保する必要がある。

出典：国土交通省「自動運転車の安全技術ガイドライン」

- 基準・標準で一体的に、
 - ・運行設計領域（ODD）の特定
 - ・合理的に予見・防止可能な事故の特定を進める。

環境条件（例）



出典：自動走行ビジネス検討会



(参考) 自動運転社会のモデルとその実現に向けた取組

- 官民ITS構想ロードマップ2020では、「地方部」、「自家用車による移動が中心の都市部」、「公共交通が普及している都市部」に分けて、将来の移動課題を挙げた上で、自動運転サービスを含むモビリティサービスのニーズを整理。
- 上記も踏まえながら、経産省・国交省合同の「自動走行ビジネス検討会」等にて、自動運転の社会実装に向けた取組（標準化・協調領域深化・サービス実証等）を推進。

地方部

移動課題：公共交通・物流の維持
高齢者等の移動手段の確保

自動運転：**路線バスと自動運転を連動した移動手段の形成**
のニーズ 道の駅等の拠点間での自動運転サービスの提供



自家用車による移動が中心の都市部

移動課題：公共交通の利便性向上による交通渋滞の緩和・移動の自由確保
安全な運転の実現
物流の効率化・人材不足の解消

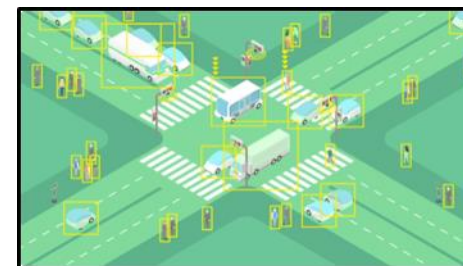
自動運転：**自動運転車等の新たなモビリティの活用**による移動需要の重ね合わせ
のニーズ **インフラ等から車両や歩行者情報の提供**による安全性向上
自動運転トラックや隊列走行による地域間輸送



公共交通が普及している都市部

移動課題：中心地における混雑緩和・公共交通の利便性向上
サービスのモビリティ化による生活利便性の向上
新規モビリティ等を活用した物流の効率化

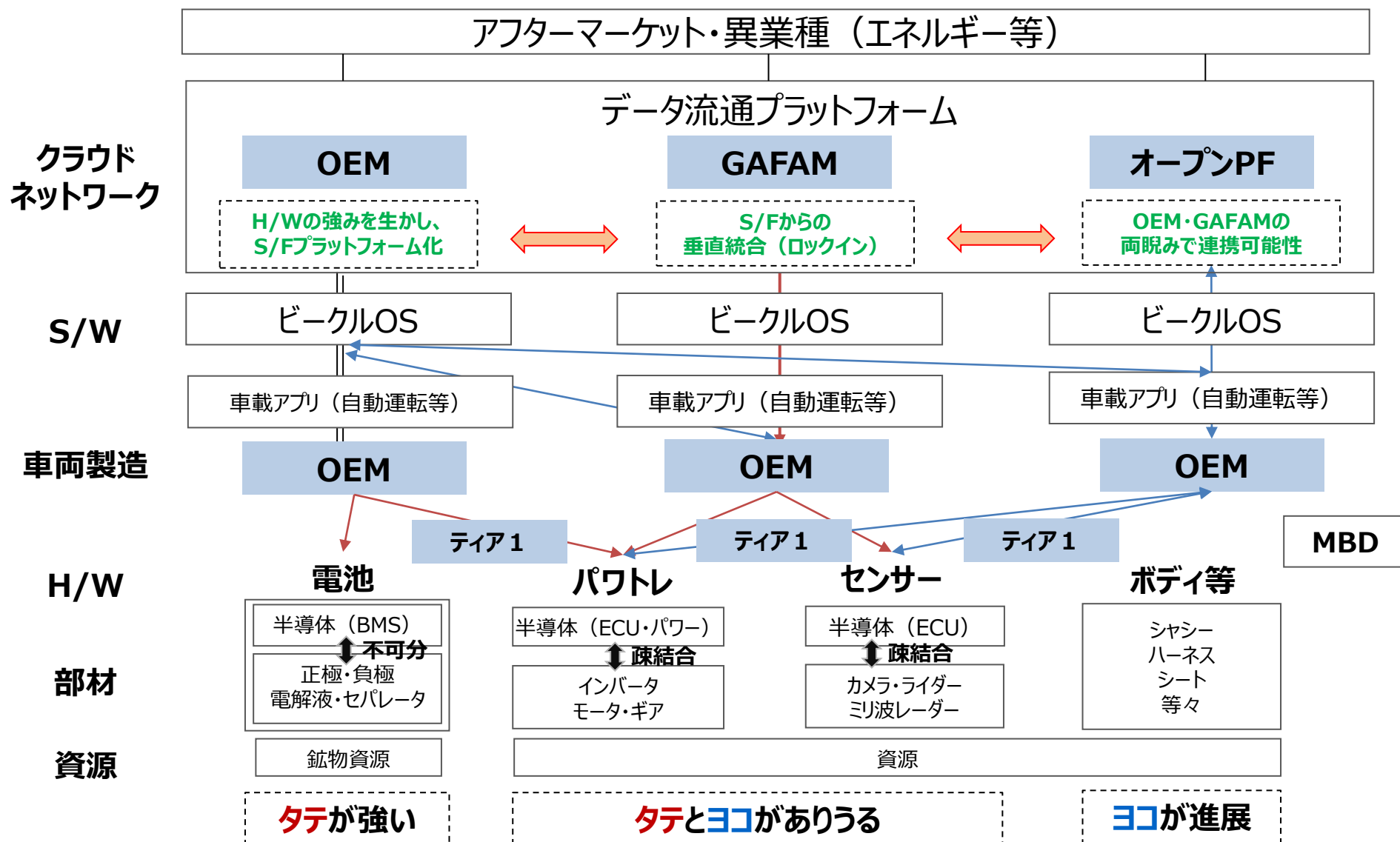
自動運転：**MaaSや自動運転に対応した都市交通システム**の整備
のニーズ **移動手段として自動運転車の走行**による移動時間の有効活用
自動配送ロボット等の活用による配送効率の向上



1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. **電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発**
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等
 - － **補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）**
3. スマートモビリティ社会の構築
 - － 取組の全体像
 - － 現状・課題と取組の方向性
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等

2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ

- 対GAFAMへの対抗軸として、オープンPFが新たに台頭。OEMも有効に活用可能。



(参考) 最近の動向

修正

OEM主導の動き

■フォルクスワーゲン (VW)

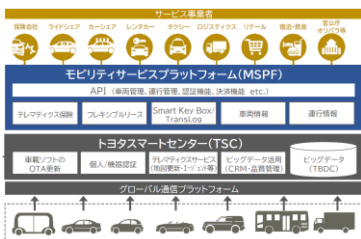
- 2021年7月、2030年の向けた中長期戦略「NEW AUTO」を発表。



- すべての電動・エンジン車両の統一プラットフォーム (Scalable Systems Platform) をグループ会社で内製開発
- さらに2030年までに、「自動運転システム」「ビークルOS」「フリート管理」「モビリティプラットフォーム」の4階層で構成したシステムを、外部へも提供予定。

■トヨタ

- 2021年8月、ソフトウェア・コネクテッドの取組に係る方向性を発表。
- その中で、カーボンニュートラル対応も見据え、Woven Planetで開発を進めるビークルOS・ソフトウェアプラットフォーム (Arene) 等を通じて、「ソフトウェアやコネクテッドも手の内化を進める」ことを宣言。
- アフターマーケットにおいても、モビリティサービスプラットフォーム (MSPF)を通じて自動運転運行・サービス事業者等に価値提供。



GAFAM主導の動き

■Google

- 2016年より、自動運転部門をWaymoとして分社化し、本格研究開発。
- Waymoは複数のOEMとパートナーシップ契約を結び、2020年7月にもボルボ・FCAと戦略的パートナーシップをそれぞれ発表するなど、影響力を拡大している。
- 2021年8月、同社の自動運転用ライダーのサードパーティーへの外販を停止し、同社の自動運転配車・フリートサービスの展開のための製造に注力すると発表した。



■Apple

- 2014年からEV開発計画 (Project Titan) を立ち上げ、遂行中。
- 2021年9月、Apple Watchソフトウェア開発責任者が同計画のリーダーに異動したとの現地報道あり (前任者はFordへ)。
- 2021年10月、同社が提供中の「Apple CarPlay」サービスを発展させ、エアコン・シート調整・メータ類など車両側の機能をiPhoneに同期させる「IronHeart」計画を遂行中との現地報道あり (ただし、同社は報道に対しコメントせず)。



オープンプラットフォームの動き

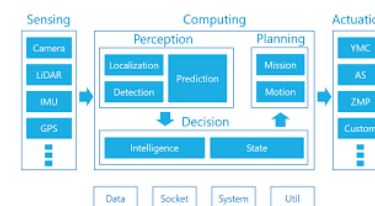
■MIH

- 2021年3月、台湾・Foxconnが設立したEV製造オープンプラットフォーム構想。
- 2021年11月末時点で2,000社を超える企業 (プジョー・オンセミ・Microsoft・Arm等) が既に参加し、同プラットフォームにおいては柔軟にカスタマイズ可能なモジュール型での自動車開発・製造が基本コンセプトとして志向されている。
- 自動運転分野では、Autowareを基盤ソフトウェアとして採用することを発表。



■Autoware

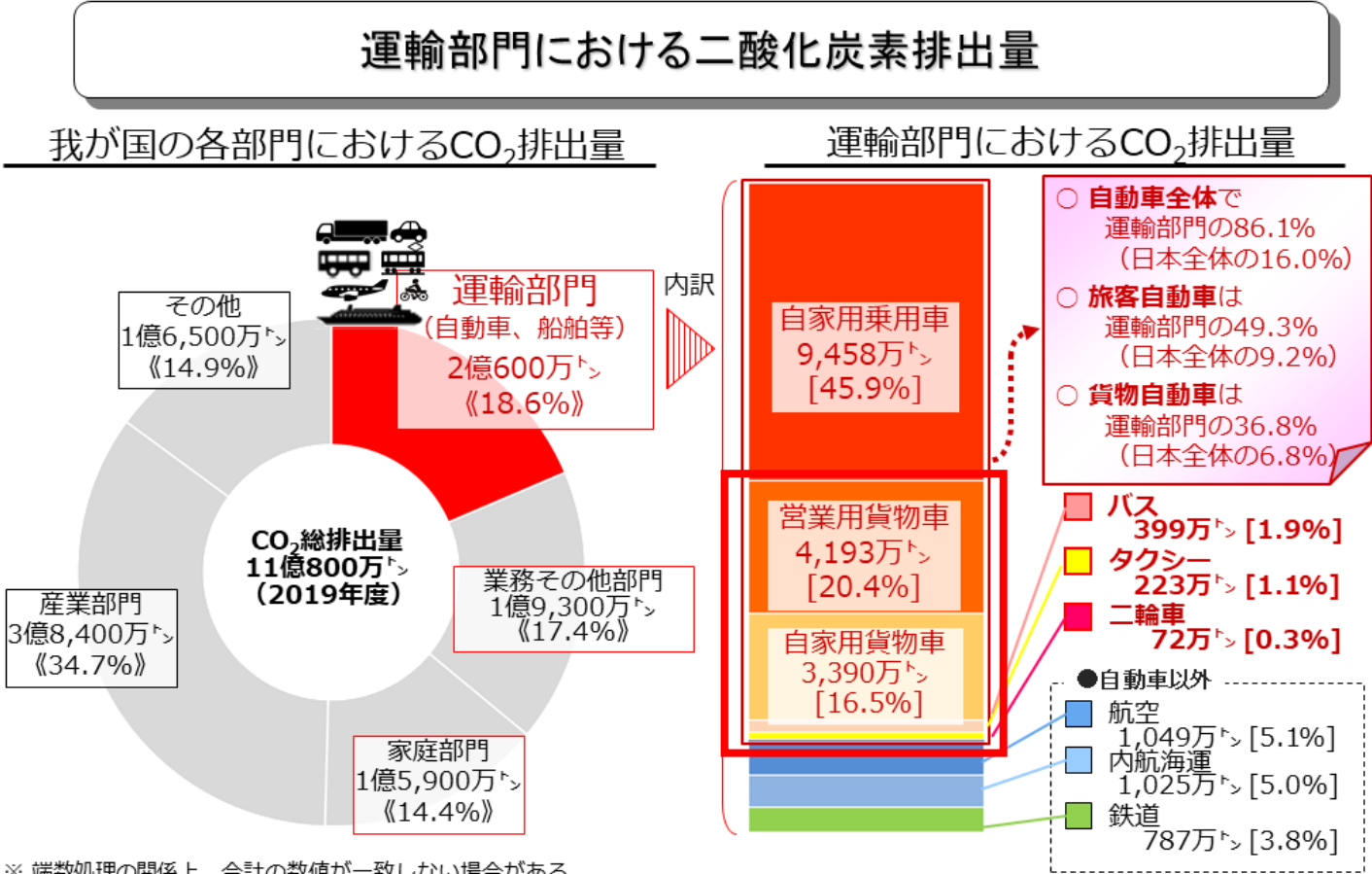
- 2015年に初版が公開された日本発のオープンソースでの自動運転ソフトウェア。
- 2018年12月、グローバルレベルで同オープンソースソフトウェアを活用しながら自動運転の開発加速・普及促進を目指すためのプラットフォーム (The Autoware Foundation) が設立。
- 現在、50以上のメンバー (Arm・Tomtom・intel等) が所属。2021年3月、MIHとの連携が発表された。



1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. 電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等
 - － 補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）
3. **スマートモビリティ社会の構築**
 - － **取組の背景**
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等

運輸部門における二酸化炭素排出量

● 運輸部門における二酸化炭素排出量の内、商用車分野だけで約4割を占めている。



※ 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（1990～2019年度）確報値」より国交省環境政策課作成。
※ 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NDC目標達成に向けた運輸部門の取組

- 運輸部門の取組は燃費改善・次世代自動車の普及といった自動車単体対策（乗用車中心）の取組が大きい。
- 乗用車よりも電動化が困難である商用車分野（運輸部門のCO2排出量の4割を占める）においては、コネクテッド技術によるデータ活用を通してエネルギーマネジメントを行うことで、電動車導入時の諸課題の解決、導入の促進を図ることが重要である。

温室効果ガス46%削減に向けた運輸部門の取組

() 内は2030年削減目標

- 【自動車単体対策】(2,674万t-CO2)
- 【道路交通流対策等の推進】(約200万t-CO2)
- 【トラック輸送の効率化】(1,180万t-CO2)
- 【環境に配慮した自動車使用等の促進による自動車運送事業等のグリーン化】(101万t-CO2)
- 【共同輸配送の推進】(3.3万t-CO2)
- 【高度道路交通システムITSの推進（信号機の集中制御化）】(150万t-CO2)
- 【自動走行の推進】(168.7万t-CO2)
- 【エコドライブの推進】(659万t-CO2)
- 【カーシェアリング】(39.6万t-CO2)
- 【宅配再配達削減】(1.7万t-CO2)
- 等

本プロジェクトにおける商用車での取組理由

- 自動車単体政策は主に乗用車における燃費基準の向上や次世代自動車の普及拡大による取組目標。
- 商用車分野は運輸部門におけるCO2排出量の4割を占めており、運輸部門の脱炭素化において、非常に重要な要素。
- 乗用車と比べると、コネクテッド技術によるデータの活用が先行する商用車分野においては、データの分析・シミュレーションを通じて運行管理と一体化したエネルギーマネジメントが可能。それにより電動車導入時の諸課題の解決、導入の促進を図ることができる。



出典：地球温暖化対策推進本部（第47回）地球温暖化対策計画（案）
における対策の削減量の根拠より抜粋

商用車分野のカーボンニュートラル化に向けた主な取組

- 商用車のカーボンニュートラルに向けての課題は①電動車の普及②電動車の普及によるエネルギー供給インフラへの負荷増大への対応の2つがある。
- 本プロジェクトでは、実際に大規模に電動車を導入することにより、エネルギーインフラへの負荷の軽減や充電・充填インフラの配置とその活用のあり方等の最適化をシミュレーションにより検証。

【供給サイド】

- ・電動パワートレイン技術の強化※
- ・車載コンピューティング技術の強化をはじめ、カーボンニュートラルに向けたパワトレ以外の技術強化※
- ・サプライチェーン/バリューチェーン転換
- ・大規模投資支援

※はグリーンイノベーション基金
で別途プロジェクト化検討中

・ルール形成/標準化

【需要サイド】

- ・電動車の普及（規制、推進策）
- ・車の使い方の変革（スマートモビリティ社会の構築）

商用車のカーボンニュートラルへの取組の方向性

- ・商用車の電動化
- ・電動化に伴う社会コストの増大への対応（運行管理と一体的なエネルギーマネジメントシステム）

課題

- ・電動車のイニシャル・ランニングコストの高さ
- ・運行効率の低下(航続距離の短さ、積載効率の低下、充電時間の長さ)
- ・エネルギーシステムへの負荷増大・再エネの最大限の活用
- ・追加のインフラコスト（充電・充てん）増大への対応
- ・充電・充てんタイミングを最適化するための運行管理
- ・CO2排出量の評価基盤の構築

電動車の大規模導入によるエネルギーシステムへの影響（系統への負荷増大）

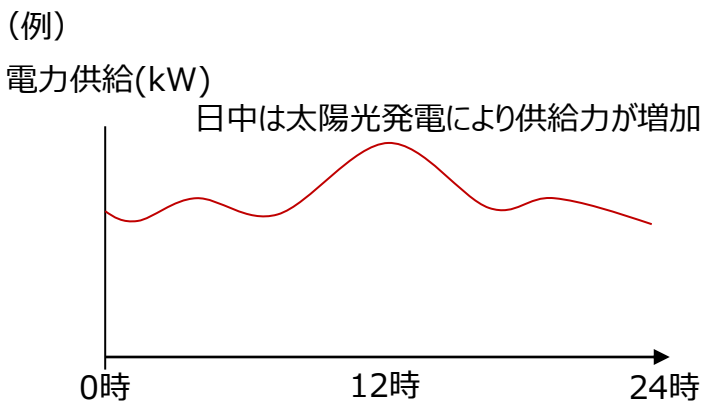
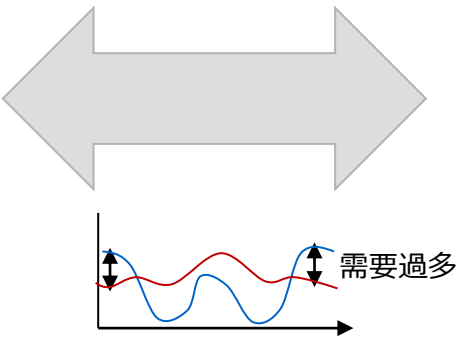
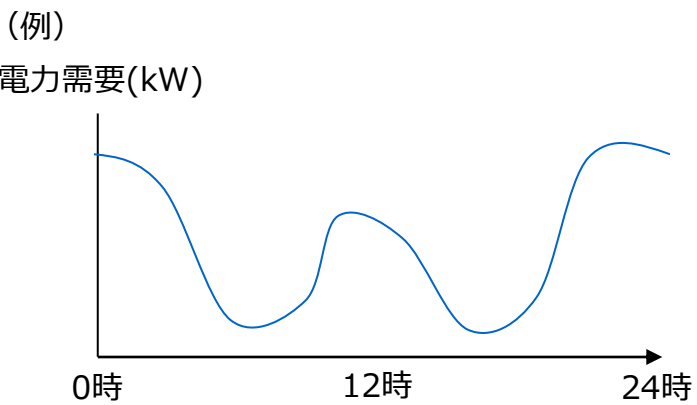
● 電動車の電力需要と再エネの電力供給にはミスマッチする可能性が大きく、系統への負荷などエネルギーマネジメントによる解決が不可欠である。

電力需要側 （電動車）

- 商用車の場合、日中は稼働している場合が多く、充電は夜間と昼休憩に集中する。
- 但し、物流の長距離輸送や夜行バス等逆に日中は稼働していないケースもあり、ユースケースによって使い方はバラバラ。

電力供給側

- 現在は昼夜を問わず安定的に発電できる火力・原子力発電が多く、電力供給は1日の間で安定。
- しかし、今後太陽光発電等の再生可能エネルギーが多くなり、日中の電力供給力が増加することが見込まれる。



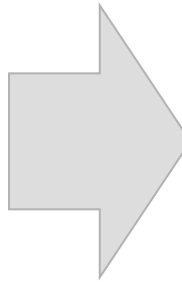
需給のミスマッチの発生
= 系統全体や配電網への負担が大きくなり、場合によっては、配電網の増強が必要になる等、社会コストが増大するリスク

電動車の大規模導入によるエネルギーシステムへの影響（水素供給網）

- 大型車や走行頻度/エネルギー消費量の大きい一部の小型車（冷凍車等）については、燃料電池トラック等の活用が電動化の鍵となるが、高いインフラコスト等に伴う限定的な設置数や、既存燃料や、系統が相当程度既に整備された電力とは異なり、新たな水素サプライチェーンを構築する必要があるといった課題などから、複数事業者の連携、エネルギーインフラと協調した運行管理等が必要となると考えられる。

現状

- 大規模な事業者の一部は、物流拠点などに給油設備を併設し、物流効率を向上。
- 幹線物流の効率向上のために、燃料タンク容量を増加させ、長距離輸送を無給油又は1回給油で実行できるようにする等工夫。
- 既存燃料は保管・運搬が容易で、既に成熟したサプライチェーンが存在



FC化

- 水素インフラのコスト（※）を考慮すると、インフラの数が限定的になり、公共インフラ等をより最大限活用する必要。
(※) 乗用車用の水素ステーション（約3億円）より、大型商用車向けの水素ステーションの整備費は高額となる見込み
- タンクの容量を増やした場合、積載効率が低下。
- 水素ステーションの整備に加えて、商用車の導入に合わせて見込まれる大規模需要に対する水素供給を支えるインフラも整備する必要。

水素サプライチェーンの状況も踏まえた運行管理、複数事業者の連携による効率的なインフラ活用とそれを支える水素ステーションの最適配置の検討などが不可欠

エネルギーマネジメントによる効果

- 電動車の普及においては、エネルギーコストの上昇等、運用側にデメリットが発生する。
- デメリットの最小化のためにはエネルギーマネジメントを行うことが重要である。

エネマネをせずに電動車を普及させる際の課題

エネルギー供給サイドにとっては、需要増への対応のため、配電設備/水素供給網の増強コストが発生する。

上記コストはエネルギー料金に影響し、運輸事業者の電動車の運用コストの上昇につながる。

公共の充電/充てんインフラを利用する場合は、待ち時間の発生等運行効率が大幅に低下するリスクがある。

電動車導入のデメリットが大きく導入が進まない。

エネルギーマネジメントによる課題解決イメージ

充電/充てんタイミングの最適化、充電・充てん量の調整等を図ることで、エネルギーインフラの増強コストが不要になる。

上記コストがエネルギー料金に影響しないことに加え、コストが最小化するようなエネルギーマネジメントをすることにより、電動車の運用コストが低減する。

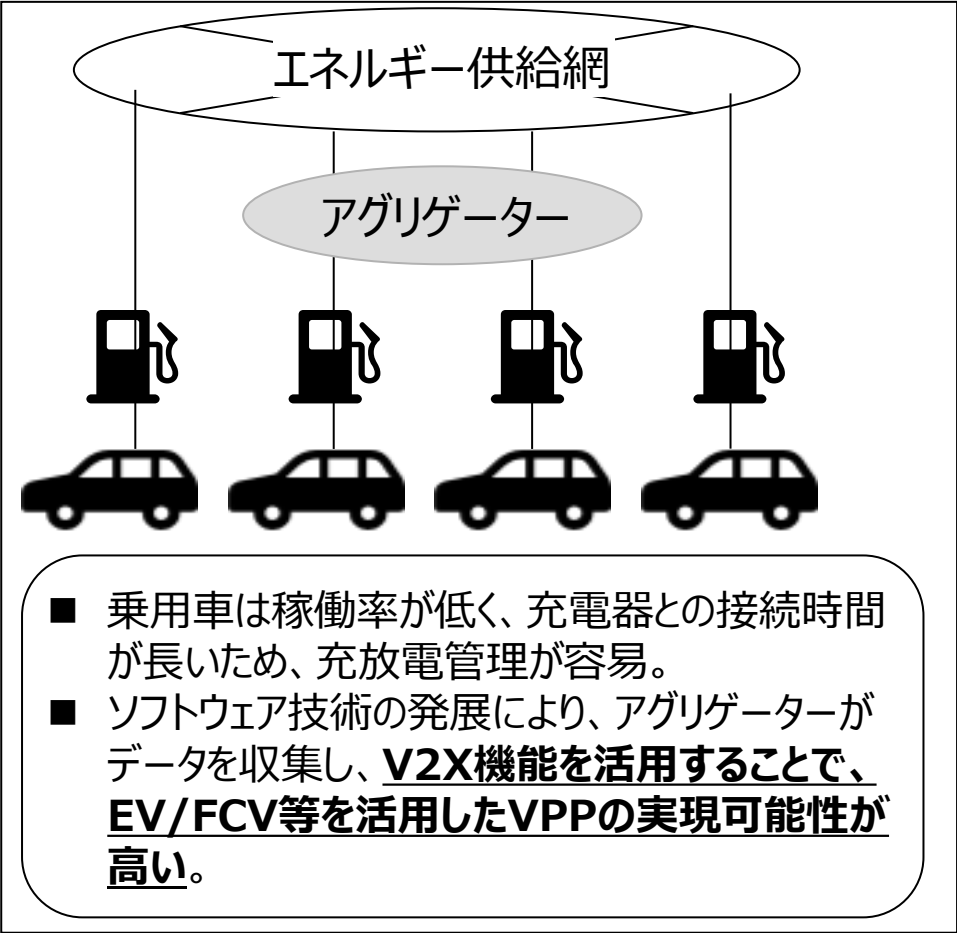
充電/充てんインフラの情報と各社の運行情報を組み合わせることで、公共インフラを最大限効率的に利用することが可能になり、運行効率が改善する。

上記課題解決により、電動車導入デメリットを最小化。
＝ 電動車導入促進によるCO2削減に貢献。

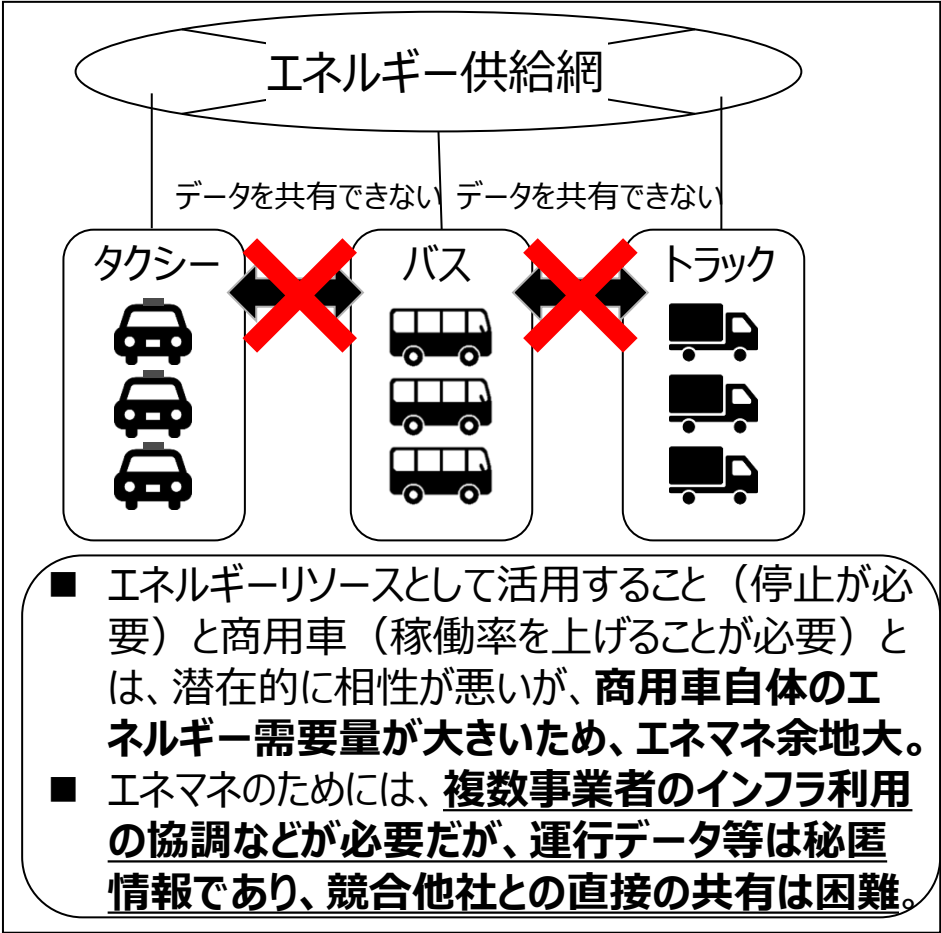
乗用車と商用車の運用におけるエネルギーマネジメントの違い

- 乗用車については、稼働率が約 4 %ときわめて低く、大半が停車中であるため、各車をエネルギーリソースと見立てて、アグリゲートして電力需給調整に活用するなど、エネルギーリソースとしての有効活用可能性は高い。
- 商用車は、稼働率が乗用車よりも高く、エネルギーリソースとしての活用のハードルは高い。一方、運行は管理下にあること、エネルギー需要の絶対量が大い分、効率化のポテンシャルも大きいことから、運行と一体的なエネルギーマネジメントの効果期待できる。加えて、データ連携を進めることで、このポテンシャルを更に引き出せる可能性あり。

乗用車



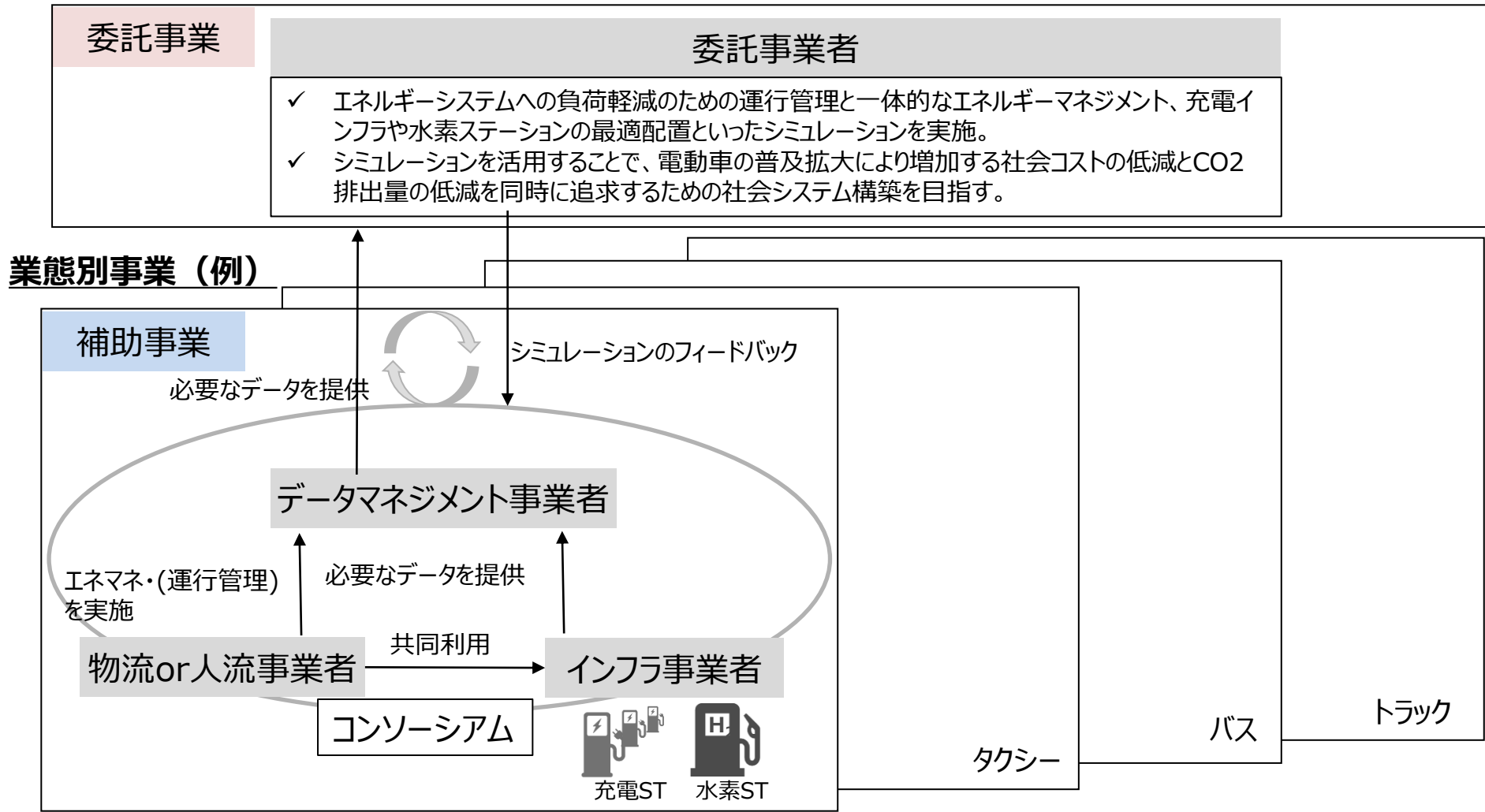
商用車



1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. 電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等
 - － 補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）
3. **スマートモビリティ社会の構築**
 - － 取組の背景・概要
 - － **研究開発内容と目標**
 - － 本プロジェクトのスケジュール等

本プロジェクトのイメージ

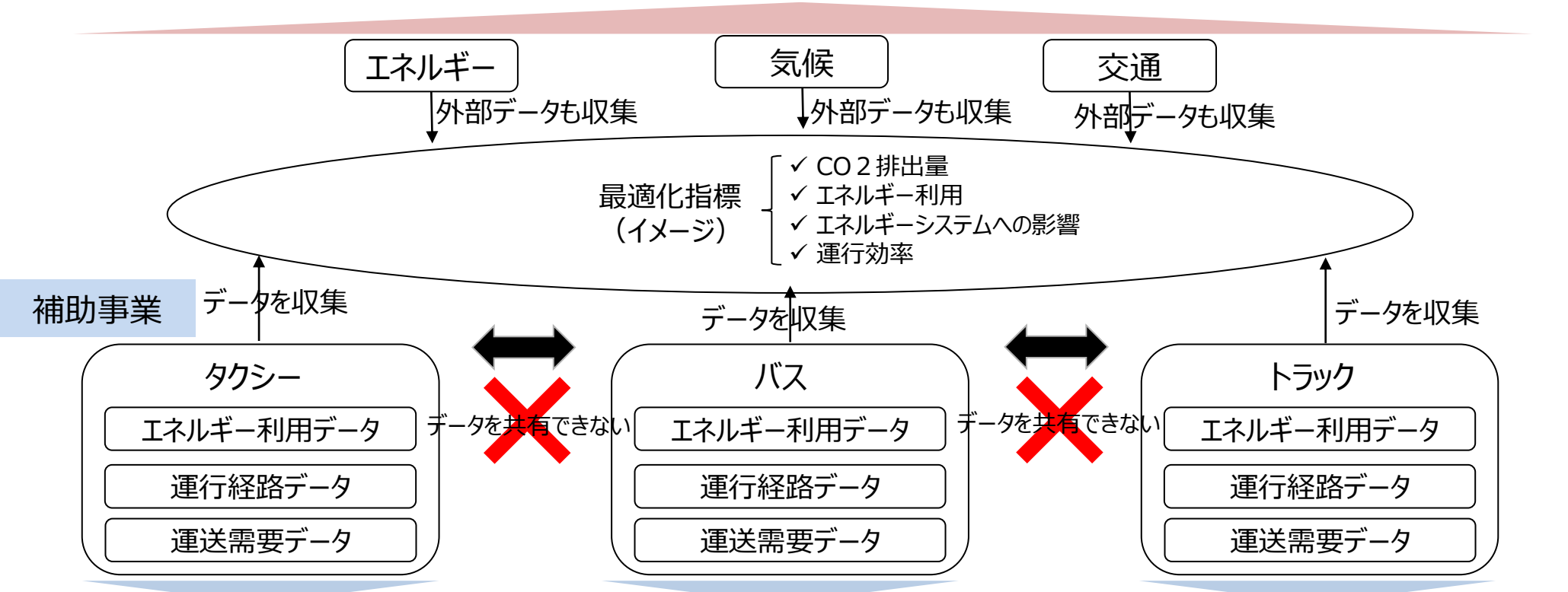
- 補助事業では業態別・地域別に異なるユースケースにおいて、エネルギーコストの最小化やCO₂排出の最小化と運輸効率の両立を個別最適化するための実証を行う。
- 一方、個社毎に最適化を図るだけでは、充電・充てんインフラを含めたエネルギーシステムへの負荷等の観点で全体の最適化は達成されない可能性。委託事業において、様々なユースケースでのデータを補助事業者から収集し、社会全体のシミュレーションを構築・活用することで全体最適化を目指す。



個別最適と全体最適における活用データの違い

- 補助事業において各運輸事業者は競合相手の各種データを入手することが困難であり、自社及び入手可能な外部データを基に個別最適を求める。
- 一方で委託事業では、複数の事業者のデータを収集（一部匿名化）し、各社の移動データを加味した上での、エネルギー利用等の最適化を検討する。

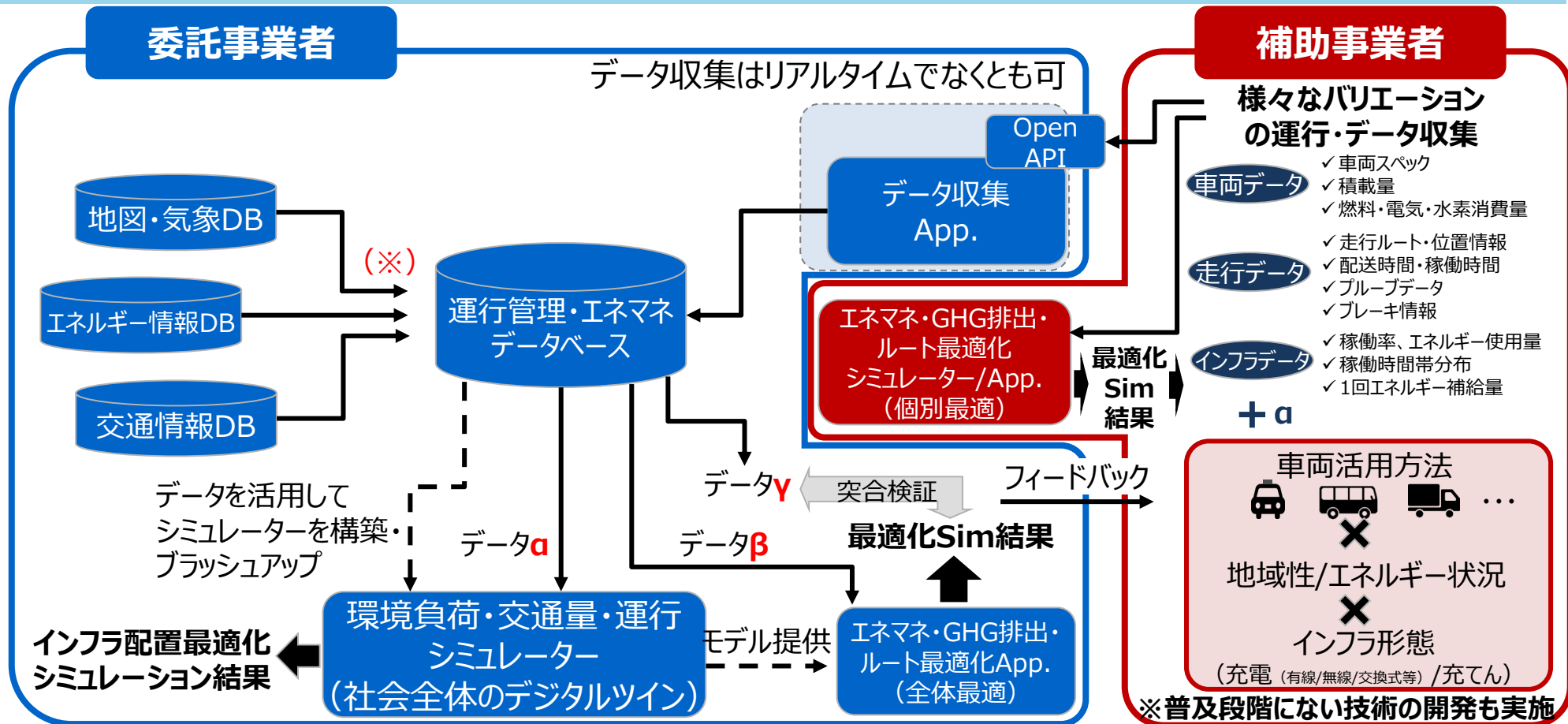
委託事業 **収集した各社のデータと外部データを基に全体最適を求める**
⇒個別最適では考慮できない他社の運行を加味した最適化を可能にするため、充電・充てんインフラの配置・利用やエネルギーシステムへの負荷に関する全体最適を分析する。



それぞれの事業者が自社・外部データのみでの個別最適を求める
⇒事業者のデータは営業上の秘匿データであり、他社とのデータ共有は行われないため、個別最適は追求可能なものの、社会全体でのエネルギーシステムへの影響や、充電・充填インフラの配置・利用の最適化を図ることは難しい可能性。62

事業全体の詳細イメージ

- 補助事業で得られたデータを活用し、委託事業において、全体最適を目指すためのシミュレーターを構築。
- 事業後期には、事業者等から得られたデータをシミュレーションシステムの実用性検証のためにも活用。



データα：シミュレーターを稼働させるための**基礎的データ**（地図・気象等）＋事業者から過去に得られたデータ

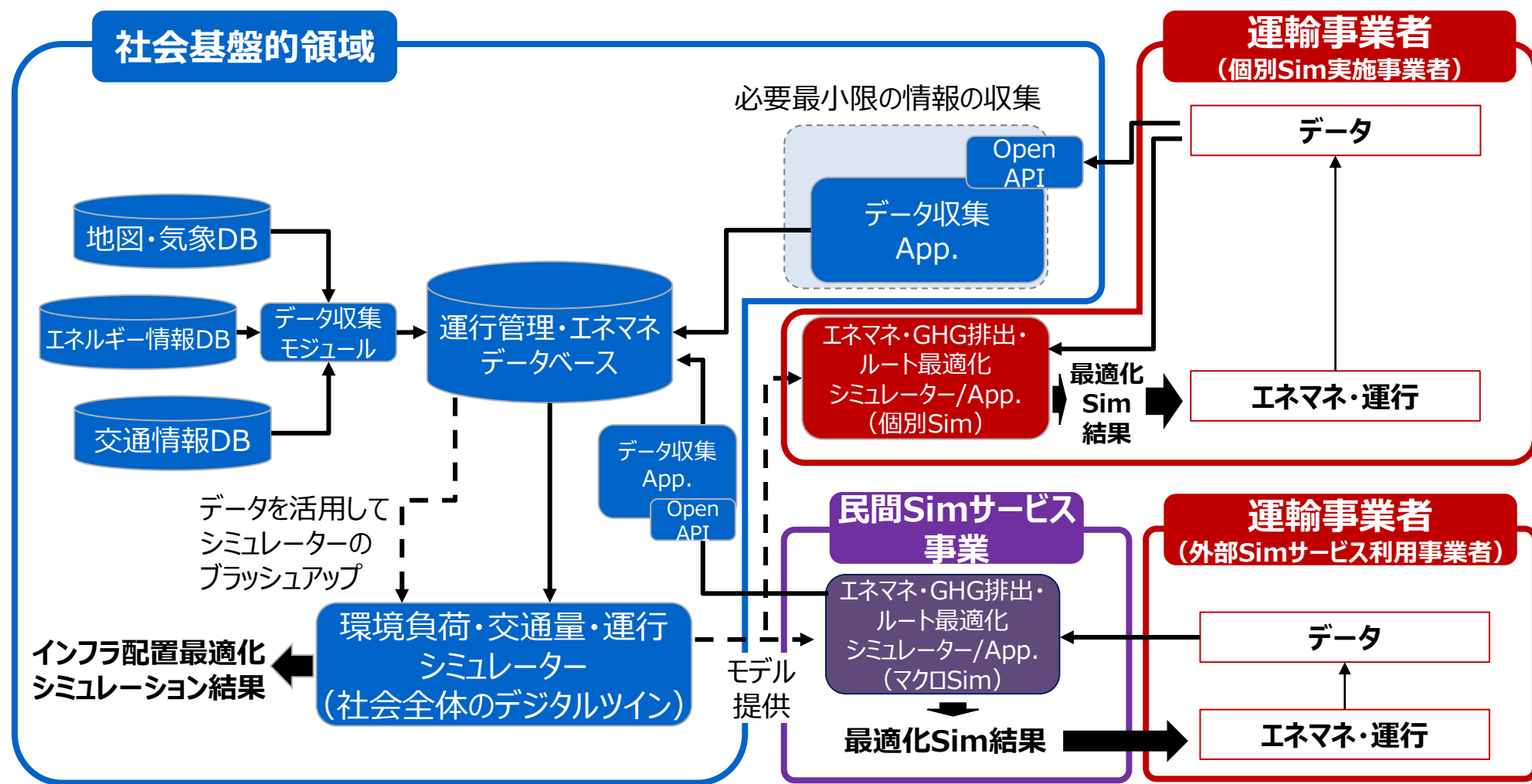
データβ：シミュレーション対象事業者から得られるデータのうち、**当日のエネマネ・運行方法を決定する「条件」となるデータ**（当日の想定運送量・車両情報等）

データγ：シミュレーション対象事業者から得られるデータのうち、**当日のエネマネ・運行の「結果」データ**（実際に実行された輸送ルート、インフラ利用の結果に関する情報等）

※交通情報データ等の外部データに加えて、規制・制度等の実社会における制約要因・実情も、シミュレーションシステムの前提条件に組み込み、それがシミュレーション結果に与える影響についても検証する。

プロジェクト成果の実装段階イメージ

- 実装段階では、①運輸事業者から最小限の情報を収集し、気象等の情報と組み合わせて、シミュレーションを行う社会的基盤を構築しつつ、②これを活用しつつ、運輸事業者又は外部民間サービスにおいて、より精緻に個別事業者のエネルギーマネジメント・運行管理等をシミュレーションすることを想定。
- 本プロジェクトでの技術的検証により、こうした社会システムの実現可能性を評価。



(参考) 社会実装時において社会的基盤部分を担う主体のイメージ

- 社会的基盤部分を担う主体は、データマネジメント能力に優れるのみならず、データの取扱いについて中立的で信頼される事業者又は事業者群であることが必要。(トラस्टィッドアンカー)
- 委託事業を通じて、どのような者が社会的基盤を担いうるか検討するとともに、事業期間途中でも、関係者の理解を前提に、必要に応じて候補主体の関与を進めることで、社会実装の加速を検討。

民間シミュレーションサービス事業の取組例

例①

- 業態別データマネジメント事業者がそれぞれ委託事業の成果(データの標準フォーマットや接続ルール等)を個別に活用する。

例②

- 業態別データマネジメント事業者が共同で公益的な共同事業体を作り、委託事業の成果の運用や発展を担う。

例③

- エネルギー事業者やインフラ事業者が委託事業の機能を引き継ぎ運用する。

例④

- 独立のデータ事業者が委託事業の成果を引き継ぎ運用する。

(参考) 補助事業者から提出を求めるデータセット案

追加 資5(P17、18)

- 委託事業でシミュレーターを開発するために、補助事業から提供される必要のあるデータセットは下記の通り。
- これらのデータは補助事業者の企業秘密が含まれることから、委託事業者に対しては、研究開発に取り組む範囲の技術上の情報を適切に管理するための体制が整備されていることを条件とする。
- データセットについては下記を基本とし、事業者が決定し次第、委託事業者と補助事業者の間で正式に決定することとする。また、事業途中で追加データが必要となる場合は、事業者間で協議の上決定する。

車両・走行データ			単位	車両・走行データ			単位
出力情報	エンジン	時刻	時、分、秒	運行軌跡	GPS緯度経度		度
		出力演算に必要な情報	—		GPS標高		m
		燃料消費量	mL/秒		GPS時刻		時、分、秒
	発電機 燃料電池	出力	kW	走行状態	速度		km/h
		燃料消費量	mL/秒、g/秒		走行距離（TRIP/ODO）		km
	電動機	出力	kW		外気温、車内温度		℃
		入力電力	kW	車両基本情報	ID毎の車両諸元		—
	蓄電池	入出力電流	A	トラック等	荷積・荷下ろしタイミング		時、分、秒
		電圧	V		積載重量（率）		トン（％）
		温度	℃		荷室の温度		℃
		電池総容量※	kWh		荷室のクーラー電力		kW
		エネルギー残量※	kWh	バス	乗客・降客タイミング		時、分、秒
エネルギー情報		時刻	時、分、秒	タクシー	乗客人数		人
		航続可能距離	km		乗客・降客タイミング		時、分、秒
		電費※	Wh/km		配車回数		回/日
		燃費	km/L				
		12V/24V系消費電力	kW				

※燃料電池自動車においては電池総容量、電池残量は水素容量、水素残量であり、単位はkg。電費については単位はkg/km

(参考) 補助事業者から提出を求めるデータセット案

追加 資5(P18、19)

- 委託事業でシミュレーターを開発するために、補助事業から提供される必要のあるデータセットは下記の通り。
- これらのデータは補助事業者の企業秘密が含まれることから、委託事業者に対しては、研究開発に取り組む範囲の技術上の情報を適切に管理するための体制が整備されていることを条件とする。
- データセットについては下記を基本とし、事業者が決定し次第、委託事業者と補助事業者の間で正式に決定することとする。また、事業途中で追加データが必要となる場合は、事業者間で協議の上決定する。

インフラ等データ		単位
水素ステーション	車両ID※ 1	—
	消費電力量	kWh/日
	水素充填量	kg/回
	充填開始・終了時間	時、分、秒
	水素充填量推移	g/秒
	ステーション内の水素総残量	kg
	消費電力推移	kW/秒
事業所	事業所の契約電力情報	—
	使用電力推移（受電、分岐）	kW/秒
—	ドラレコデータ※ 2	—

インフラ等データ				単位		
充電インフラ			車両ID※ 1	—		
			充電器の諸元・設置場所	—		
			消費電力量	kWh/日		
			充電電力量	kWh/回		
			充電開始・終了時間	時、分、秒		
			充電器の定格電力	kW		
			充電電力推移	kW/秒		
			その他の充電方法 (例)	交換式 バッテリー ※ 3 ※ 5	搭載している車両ID※ 4	—
					バッテリー重量	kg
					充電開始・終了時間	時、分、秒
					バッテリーへの充電電力	kW
					バッテリーからの放電電力	kW
				無線給電 ※ 5	充電開始・終了時間	時、分、秒
			充電電力		kW	

※ 1 車両IDは前項のデータと紐付けた形で特定できるようにすること。

※ 2 ドラレコデータについては限定的に提出を求めるケースがあるが、提出の可否については、事業者間で協議の上決定する。

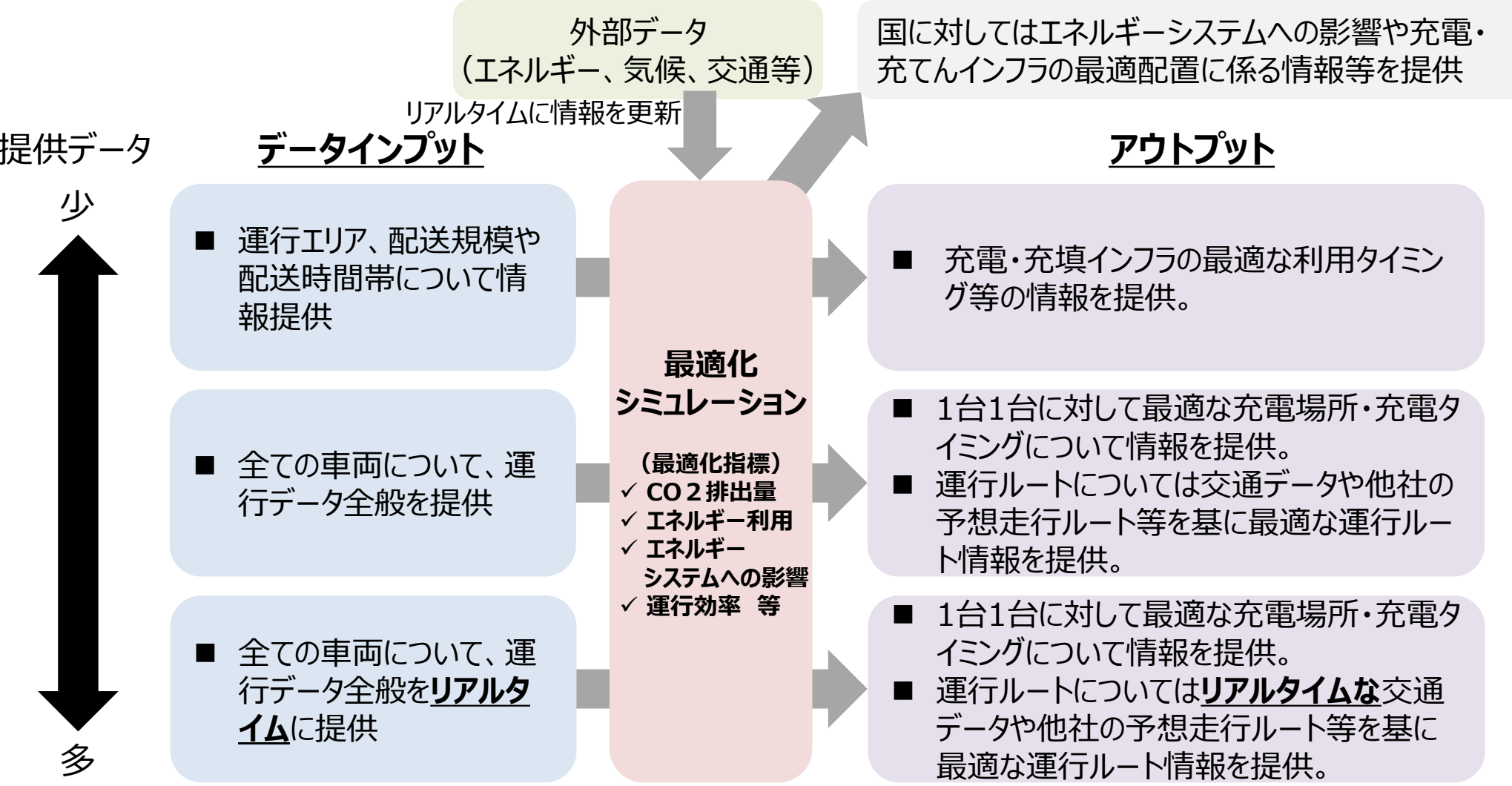
※ 3 交換式バッテリーの蓄電池データについては、前項の蓄電池から取得するデータと同様のデータを取得する。

※ 4 どのIDの車両にどのバッテリーが搭載されているかを特定可能とすること。

※ 5 交換式バッテリーや無線給電技術等の既存で普及していない技術についてはエネマネに必要なデータが不明確であるため、申請があった場合、表にあるデータを参考とした上で、委託事業者と補助事業者で協議の上、詳細なデータを決定すること。

社会実装段階でのシミュレーションの水準について

- 社会的基盤部分のシミュレーションは、どのようなデータがインプットされるかで、得られるアウトプットも変化。
⇒ 運輸事業者の求める水準や、個別事業者のシミュレーションと全体最適との乖離の程度に応じ、社会的基盤として必要なシミュレーション能力の水準も変化。
本プロジェクトを通じて、社会的基盤のあり方、民間サービス事業との協調のあり方、標準化等も検討。



海外実証事例との比較

- 海外で行われている実証事業のほとんどが個別最適を目指す事業であるが、本プロジェクトでは個別最適に加え、全体最適も追求。

事業名	国	内容	目標、結果
Optimise Prime （参画企業） 日立Vantara UK Power Network Centrica , Royal Mail Uber , SSEN	英国	ロンドンで2019年 1 月～ 2022年 2 月まで実施される商用BEV3,000台を用いた大規模の実証実験プロジェクト。 <u>参画企業毎の個別の最適な充電設備網、電力供給のあり方を検証。</u>	充電施設の最適な配置や電力需要のピークを把握し、企業や政府の投資や意思決定に活かす。
Smart Electric Urban Logistics project （参画企業） UK Power Network UPS	英国	大手運送会社UPSがロンドン中心部において、全車両をBEVにした場合に増加する電力需要について、電力グリッドインフラの増強を不要とするような、充電の最適化やオンサイトの蓄電システムをBEV72台を用いて実証。	既存の状態では63台だった許容範囲を、170台まで拡大できる検証結果を得た（ <u>個社単位でのエネマネの最適化</u> ）。
Innovative zero emission BEV architectures for regional medium freight haulage（Horizon）	欧州	詳細な実証内容は不明。 公募内容としては「ゼロエミッション車に対するタスクやルートの割り当てを容易にするシームレスな統合を助ける管理ツールを提供する。」とあり、 <u>全体の最適化を目指すようにも読み取れる。</u>	—
本プロジェクト	日本	電動商用車の大規模普及を見据えて、数百台規模の電動車を用いた、エネルギーマネジメントに係る実証。	社会全体にとって望ましいエネルギー利用、インフラの配置についての <u>全体最適を目指す</u> 。

各種公開情報を元に作成

（参考）Horizon（欧州の研究開発テーマ）①次世代自動車：中型貨物車の革新的なBEVアーキテクチャーについて

【アウトカム】

- 車両総重量 > 7.5 tにおいて、ゼロエミッションドライブを少なくとも地域および都市の配送ミッションプロファイルに匹敵する運転条件下で、少なくとも200 kmの航続距離について完全に検証されており、都市と郊外の運用の強力な相乗効果があるような地域の中型貨物輸送および流通の革新的で競争力のある手頃な価格のZEV車アーキテクチャを提供する。
- 革新的な貨物輸送とロジスティクスのユースケースを使用して、実世界の条件で車両の機能とパフォーマンスを実証する。少なくとも、CO₂排出車両の動的パフォーマンスと一致し、使用量（年間輸送量t / km）の観点から生産性を最大化する。
- **フリート管理者に対してゼロエミッション車に対するタスクやルート（インフラ、航続距離、充電時間、積載量など）の割り当てを容易にするシームレスな統合を助けるようなフリートとZEVに特化したフレキシブルな管理ツールを提供する。**
- 特に効率的な運用を可能にする荷積み/荷下ろしポイントで、確立された規制やビジネス慣行に適合することができる急速充電のコンセプトに係る実証。
- ロジスティクスハブやTEN-Tアーバンノードの特定の充電インフラを最適化する。
- 2020年のエンジンベースのソリューションと同等の正味総運用コスト（TCO）を実証し、生産量が > = 10,000個/年であり、その量を超える正味TCO削減を想定することにより、大幅な価格削減ステップに貢献する。

【提案に求める要件】

- ヨーロッパ全土からのエンドユーザーを含むさまざまなミッションプロファイルと要件（冷蔵車等のオプション輸配送を含む）に従って、少なくとも6か月間、実際の条件で少なくとも200kmの平均日次運用を実証する。
- 現在のICE車両の90%以上の配送積載容量の実証。
- ロジスティクスハブとTEN-T都市の結節点に関連するさまざまなユースケースの充電インフラソリューションと関連戦略（プライベート、パブリック、またはパブリックプライベート）を定義および開発し、実行可能な最小のヨーロッパの充電ステーションネットワークの分析も提案する。
- 実際の運用条件/ユースケースでの機能を評価し、積載と航続距離の制限を克服するための戦略（たとえば、積み荷/積みおろし中の充電戦略）を提案し、すべての潜在的な運用上の利点（たとえば、低いメンテナンスと運用コスト）と、ビッグデータによって可能になるイノベーションを活用する。データの取得、分析、および使用により、積載と地域内での毎日の実行の観点からミッションを拡大し、車両の生産性（年間トンキロ）を最大化して、フリートオペレーターとエンドユーザーにとっての価値を実証する。
- プロジェクトは、2Zeroパートナーシップの全体的な目的に対するイノベーションの影響がプロジェクトの完了前に決定されるように、実証車両のデジタルツインモデルを提供する必要がある。「デジタルツイン」からの出力として生成されるデータは公正である必要があり、関連するリポジトリへの保管が奨励されるべき。
- タスク（ルート、充電戦略、割り当てなど）を効率的に割り当てるために、フリート（および混合フリート）にZEVを導入するためのツールを開発および検証する。

業態別実証のバリエーションについて

- 商用車はユースケースによって、電動化の課題が異なっており、エネルギーマネジメントの方法についても最適解が異なってくる。
- ユースケースは下記のようなバリエーションの組み合わせにより、多数考えられるため、運輸事業者の個別利用形態にも様々なパターンがあり、全体最適シミュレーションの精度を向上させるには、なるべく多くのユースケースについてデータを収集することが、重要である。

運行タイプ（バス、トラック、タクシー）

パワートレイン/充電・充てんインフラ
（有線給電、無線給電、交換式、水素等）



地域性（気候、地形等）

エネルギーの状況
（自家再生エネの有無等）

etc...

(参考) バリエーション毎の電動化の課題と補助事業イメージ (運行タイプ) (例)

- 物流、バス、タクシーといった商用車ユーザーはサービスによって車の使い方が多様であり、様々なユースケースでの社会実証を行う必要がある。

想定されるバリエーション (例)

- 物流
幹線物流、ラストマイル配送
- バス
路線バス、オンデマンドバス、高速バス
- タクシー
顧客ニーズにより、走行距離が変動

電動化における課題 (例)

- 物流
配達先は日々変化するため、充電タイミング等、電動車の特徴を考慮した配送の効率化が困難。
- バス
運行効率維持と車両コスト低減（蓄電池容量削減等）の両立が困難（特に1 走行距離の長い場合や、距離の違う複数路線でバスを運用する場合に課題）。
- タクシー
顧客の目的地までの距離が異なる中で、航続距離の短い電動車を活用することが困難。

実証内容 (例)

- 物流事業では、ラストマイル配送にて、電動車を大規模に導入しても、充電タイミングの重複やそれによる電力基本料金の上昇といった弊害の抑制、昼間の配送と昼に発電が最大化する自家太陽光発電の有効活用の両立等を検証。
- 幹線物流において、高コストな水素ステーションを最大限有効活用するための車両運用・複数事業者連携のあり方、水素ステーションの設置箇所の最適化等を検証。
- バス事業では、ルート・到着時間の決まった路線バスにおいて、気候や交通状況、周辺のイベント情報といった外部状況を加味した上で、安定運行と効率的な充電を実現するための運行管理・エネルギーマネジメントシステム構築を実証。
- タクシー事業では、運送需要の不確定性（顧客が乗車するまで、移動距離が不明等）を踏まえつつ、充電状況に応じた配車の効率化・充電タイミングの最適化等を行うシステムを実証。

(参考) バリエーション毎の電動化の課題と補助事業イメージ (パワートレイン/インフラ) (例)

- BEVの場合は充電のあり方に様々な形式があり、経済性と環境性を両立するための、最適なマネジメントを実証する必要がある。
- FCEVについても同様に最適な充電タイミング等について実証する必要がある。

想定されるバリエーション (例)

- BEVの場合
充電形式 (普通充電、急速充電、無線給電)
インフラ保有形式 (自社保有、公共保有)
バッテリー交換式BEVの活用
- FCEVの場合
インフラ保有車 (自社保有、公共保有)
ステーションの大きさ (小型用、大型用)
水素供給能力

電動化における課題 (例)

- 充電・充電インフラは価格が高く、電動車導入における障壁。
- インフラコスト負担と運行効率はトレードオフの関係 (公共インフラの利用は、負担を最小化可能だが、インフラ利用待ち等による非効率が発生等)。
- 水素ステーションは特に建設コストが高額であるため、FCEVの設置場所・充電タイミングの最適化が特に課題となる。

実証内容 (例)

- 様々な充電形式、保有形式の中から、経済性を維持しつつ、電動車を大規模に導入できるように、最適な充電インフラの所有・配置、充電タイミングの最適化などについて実証を行う。
- 無線給電やバッテリー交換式BEV等、新しい充電方式について、大規模に導入した際の課題を洗い出し、かつエネルギーマネジメントを効率的に行うことができる様な実証を行う。
- FCEVについては、BEV以上にインフラの数が少ないため、限られた水素ステーションを活用すると運行効率が大きく低下してしまう。そのため、FCEVの運行効率を現行車並に維持するために、充電タイミングの最適化等のエネルギーマネジメントの実証を行う。

(参考) バリエーション毎の電動化の課題と補助事業イメージ (地域性・再エネ) (例)

- 1 事業者においても地域によって、車の使い方や再エネの導入状況が異なってくるため、複数の地域において、様々なユースケースにおける最適化実証を行う必要がある。

想定されるバリエーション (例)

- 地域性
都市・郊外、山間部・平野部、寒冷地・温暖地、人口密集地・過疎地 等
- 再エネ等のエネルギーの状況
地域特性によって太陽光発電や風力発電の導入状況が異なる

電動化における課題 (例)

- 一般的に電動車は寒冷地においてはバッテリーの性能が落ち、航続距離が短くなり、利便性が低下。
- 冷暖房の利用や冷蔵冷凍車においては、電気の使用が増加し、航続距離が短くなるため、利便性が低下。
- 山間部と平野部、都市と郊外では車の使い方に違いがあるため、航続距離にも影響が出る。
- 余剰再エネを利用するような取組を目指す場合、地域に応じた運行管理・エネマネが必要。

実証内容 (例)

- 都市と郊外/幹線等では、走行方法（都市内：ストップアンドゴーが多く、航続距離が短い、郊外/幹線等：ストップアンドゴーが少なく、航続距離が長い、等）によって電動車のエネルギーマネジメントの実証が変わってくるため、地域性を考慮したエネルギーマネジメントの手法を確立するための実証を行う。
- 再エネの普及が進んでいる地域において、もしくは自社で太陽光パネルを設置することにより、大規模に導入した電動車で再エネを最大限活用するような、運行管理と一体化したエネルギーマネジメントを実証を行う。

本プロジェクトにおける目標まとめ（2030年）

（１）委託事業

最低3以上の運輸ケースにおいて、以下のシステムを構築し、実用性を検証する（※1）。

- ・商用利用される電気自動車・燃料電池自動車の本格普及を見据え、社会全体でエネルギー利用、GHG排出量を最適化するために、望ましい運行管理と一体的なエネルギーマネジメントに関するモデルを運輸事業者に対し提示するシステム（※2）
- ・充電・充てんインフラの最適配置に関するシミュレーションシステム

（※1） 研究開発の中で、社会実装をする上で必要となる事項（民間事業者から入手する必要があるデータの内容やその流通の仕組み等）についても、整理・検討した上で、その結果も踏まえ、システムを構築・検証すること

（※2） GHG排出量の予測量に関するモデルも提示できるシステムとすること

（２）補助事業

一定のエリア（3から5の事業所、中程度の県、幹線道路等、商用車の利用形態に応じて適切なエリア）において、電気自動車又は燃料電池自動車を運用し（※1）、運行・車両・エネルギー利用に関するデータ（※2）を取得するとともに、当該データや外部データ等を活用し、電気自動車又は燃料電池自動車について、運行管理と一体的にエネルギーマネジメントを行うシステム（※3）を構築すること。

その際、当該システムを活用することで目指すエネルギー利用最適化及びCO2排出量削減に関する定量目標の設定を必須とする（※4）。

また、運輸事業の円滑な遂行と電気自動車・燃料電池自動車の導入を両立するために、既存で普及していない技術（例えば、交換式バッテリーや無線給電技術等）を活用することが必要であり、かつ、技術課題があると考えられる場合には、合わせて、その技術を確立することとし、その開発に関する定量目標については、個別の技術内容に応じて、事業者自ら設定するものとする。

（※1） どの程度の台数規模での実証が適切かは、事業者が提案時点で必要性・十分性を説明（100～1000台程度を想定）

また、ステージゲートにおいても、実証内容に応じた台数規模の必要性・十分性について、検証を行う。

（※2） これらのデータは、（1）の委託事業者にも提供することが必須となる。

（※3） システムが適切に稼働することについては、事業最終年度において、実車で検証試験を実施。

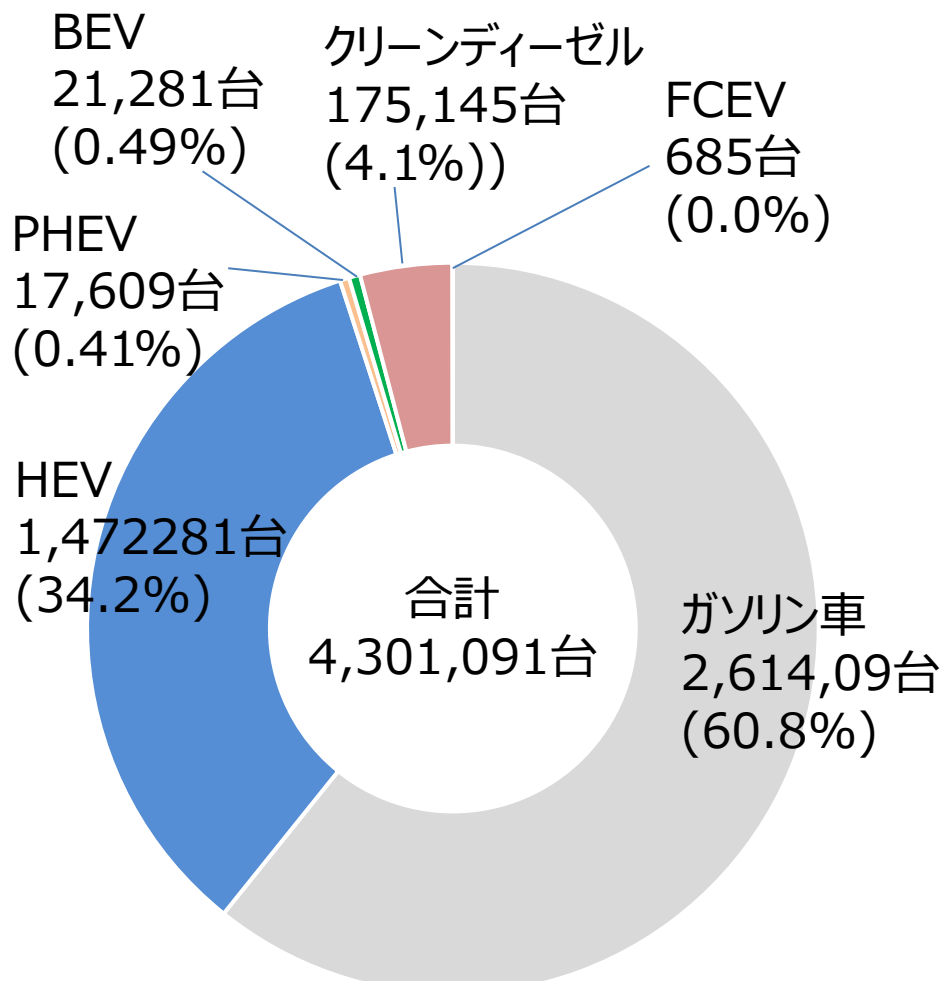
構築するシステムについては、航空機や船、鉄道等の他のモードとの連携を行うためのシステムも含む。

（※4） 事業形態によって水準が異なることから、一律には設定しない。

(参考) 日本における商用車の電動化比率

- 乗用車の新車販売は約35%が電動車になっている一方で、商用車は新車販売の数%にとどまっている。

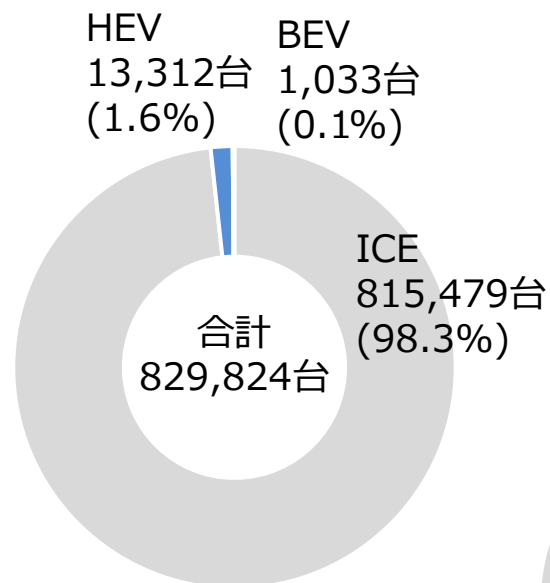
2019年度の乗用車新車販売台数



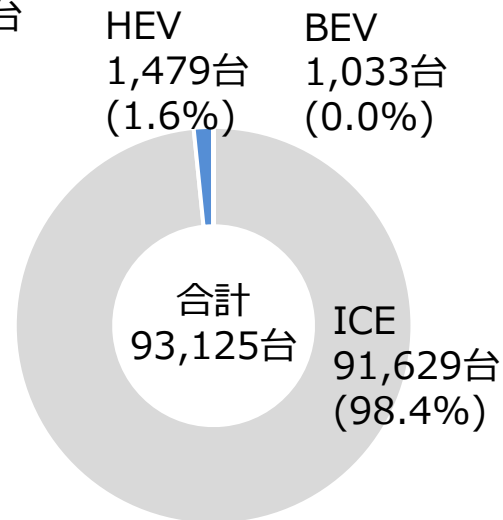
出典：自工会「日本の自動車産業2020」資料を元に作成

2019年の商用車新車販売台数

6t以下の商用車



6t超の商用車



出典：IHS Markitのデータを元に作成

※IHS Markitの区分けが6tでなされているため、6t以下と超で表記 76

(参考) 主な電気自動車・燃料電池自動車のラインナップ

- 現状電気自動車/燃料電池自動車のラインナップは少ないが、来年以降小型の車については増加見込み。

発売済み

2022年

実証中・2023年以降



燃料電池バスSORA



ポンチョZ EV



デュトロZ EV



FC小型トラック
(2021年実証開始)



FC大型トラック
(2022年実証開始)



-



エルフEV(モニター)



FC小型トラック
(2021年実証開始)



ホンダ・いすゞ 大型F C Vモニター
2022年度中に実証実験開始
(予定)



eCanter(EV)

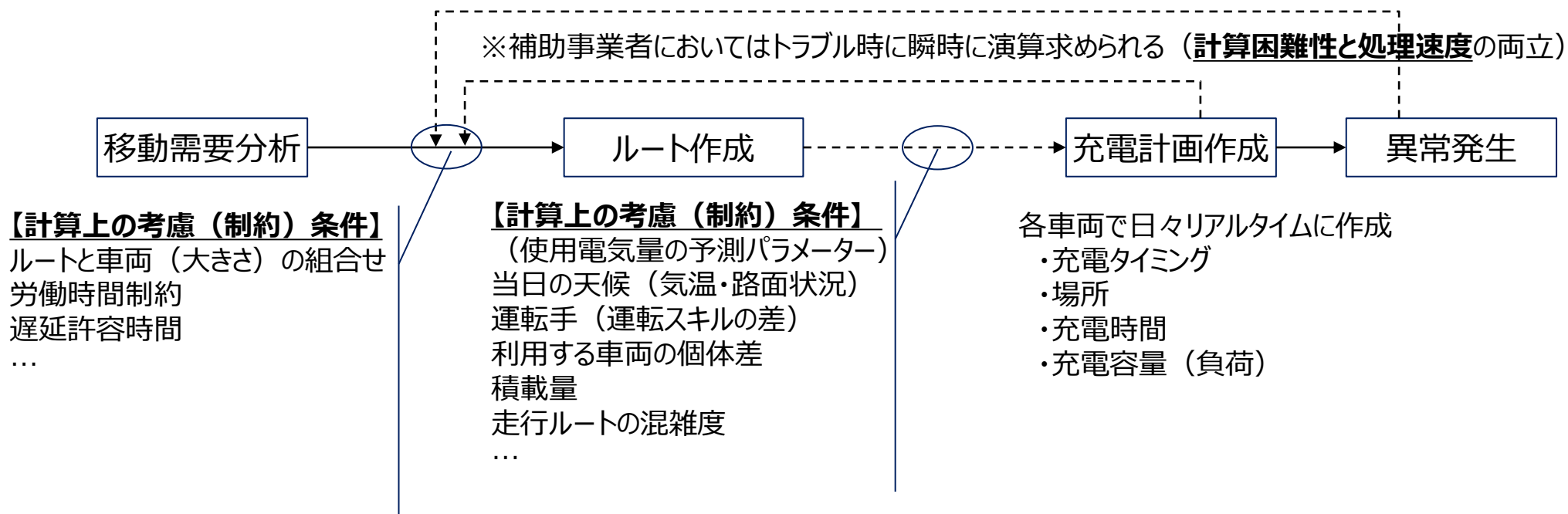
-



eCanter F-CELL
(発売未定)

(参考) 大規模な電動車導入によるエネマネの最適解を求める困難性

- 組合せの総当たり計算は困難であり、問題の解決にはモデル化して近似解を求める必要がある。
- このモデル化に際して実運用に耐えられる精度を確保するため、多くの実走行データを収集して、予測や予測を用いたロバスト性※の導入、およびそれによる更なるアルゴリズムの複雑化を克服するためのモデル構築・改良が必要となる。

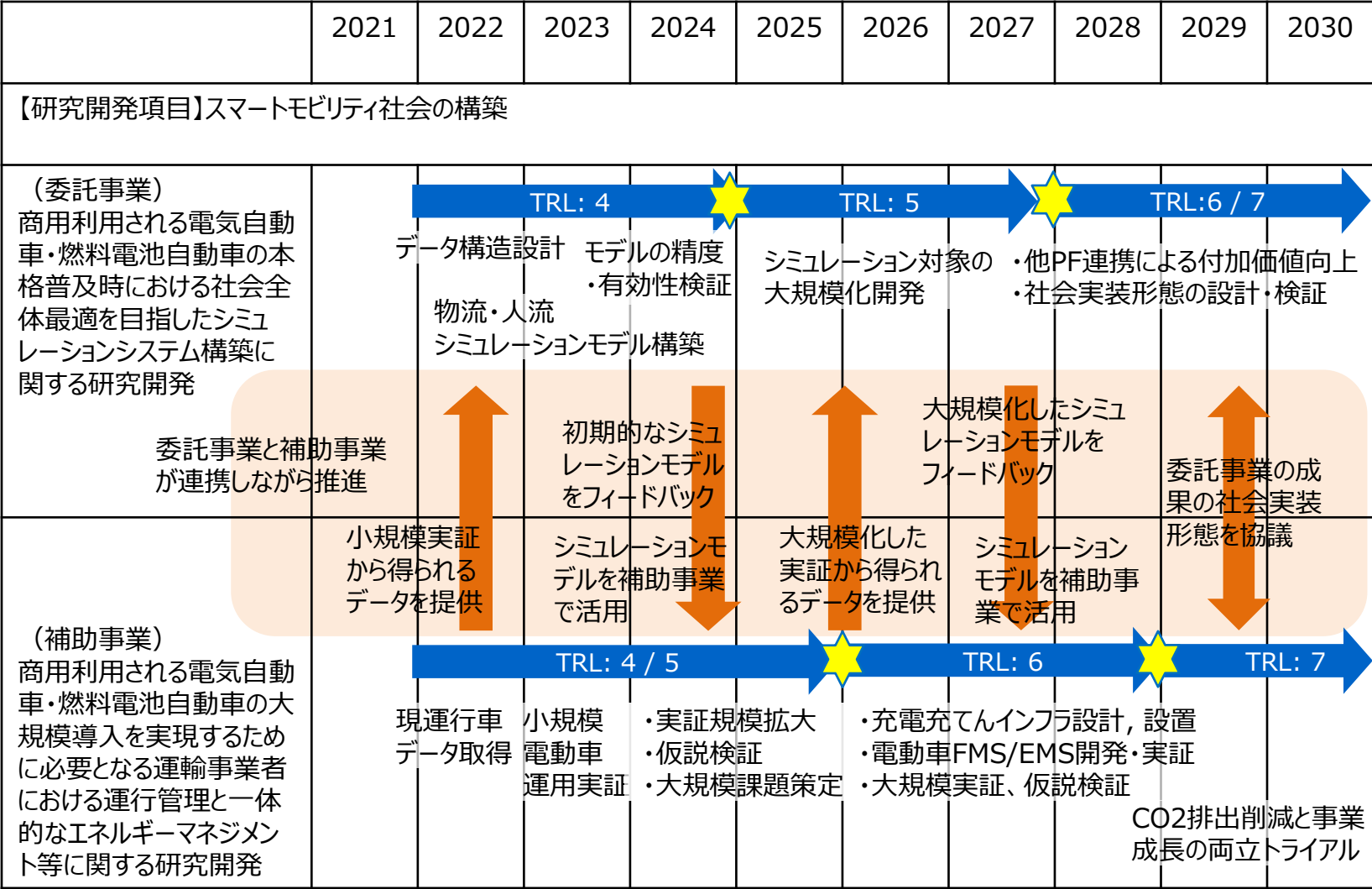


そもそも評価方法や計算すべき問題の定義すらされていない

1. 自動車の現状と課題、
GHG削減に向けた研究開発の方向性
2. 電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・
シミュレーション技術の開発
 - － 車載コンピューティングのグリーン化の方向性
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標
 - － 本プロジェクトのスケジュール等
 - － 補論（2030年以降に向けた自動車産業のアーキテクチャ）
3. **スマートモビリティ社会の構築**
 - － 取組の背景・概要
 - － 研究開発内容と目標
 - － **本プロジェクトのスケジュール等**

本プロジェクトのスケジュール（案）

- TRLを考慮しつつ、研究開発のステージ・スケジュールを設計。また、ステージゲートのタイミングは、効果的な開発・社会実装に資するよう、プロジェクト期間中であっても必要に応じて見直しを行う。
- また、補助事業において実証に必要な台数については、ステージゲート毎に見直しを行う。



★：ステージゲート

研究開発内容のステージ変化に合わせ、移行可否を判断する「ステージゲート」を設定し、適切なマネジメントを実施。

IEAの11段階指標に基づき次のとおり研究開発ステージを設定し、TRL4～7を支援。

<TRLレベルの定義>

・TRL1:科学的な基本原理・現象の発見

・TRL2:原理・現象の定式化
応用的な研究

・TRL3:技術コンセプトの確認

・TRL4:応用的な開発

・TRL5:ラボ・ベンチテスト

・TRL6:パイロット実証

・TRL7:プレ商業実証
トップユーザーテスト

・TRL8:初期商業生産

・TRL9:大量生産

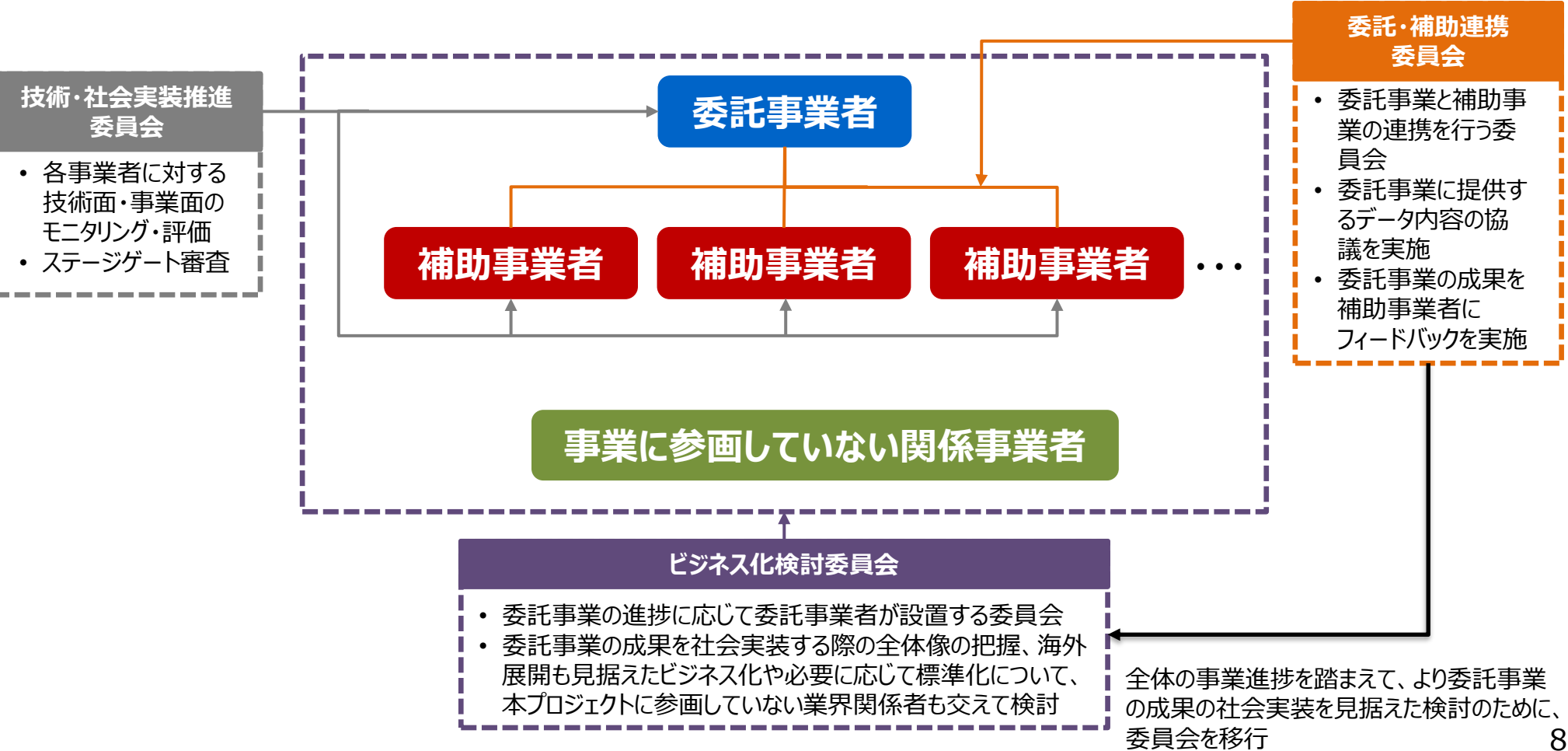
・TRL10:事業の統合

・TRL11:安定性の証明

※委託事業と補助事業の連携のための委員会の設置を検討

委託と補助の連携や社会実装に向けた検討の枠組み

- 各事業の進捗を管理するための委員会に加えて、委託事業と補助事業の連携のための委員会、社会実装に向けて海外展開も見据えたビジネスモデルのあり方を検討するための委員会を設置。
- 委託・補助連携委員会及びビジネス化検討委員会においても、委託事業の中で蓄積したデータは企業秘密を含むため、委託事業者は事業内で蓄積したデータを他の事業者に対して開示してはならない。また、委託事業者は情報を適切に管理するための体制を整備しなければならない。

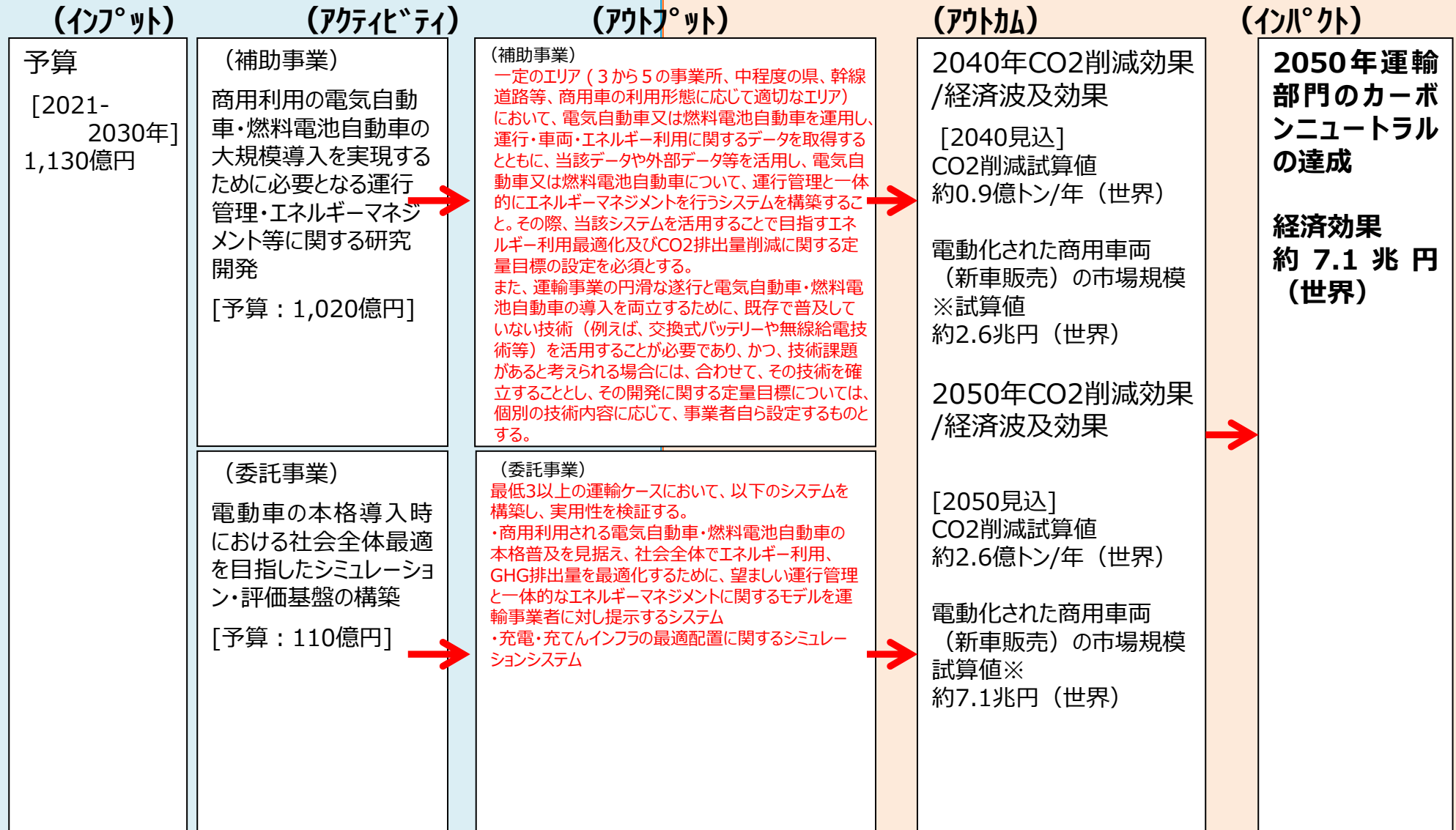


ロジックモデル

直接コントロールできる部分

経済・社会等の変化

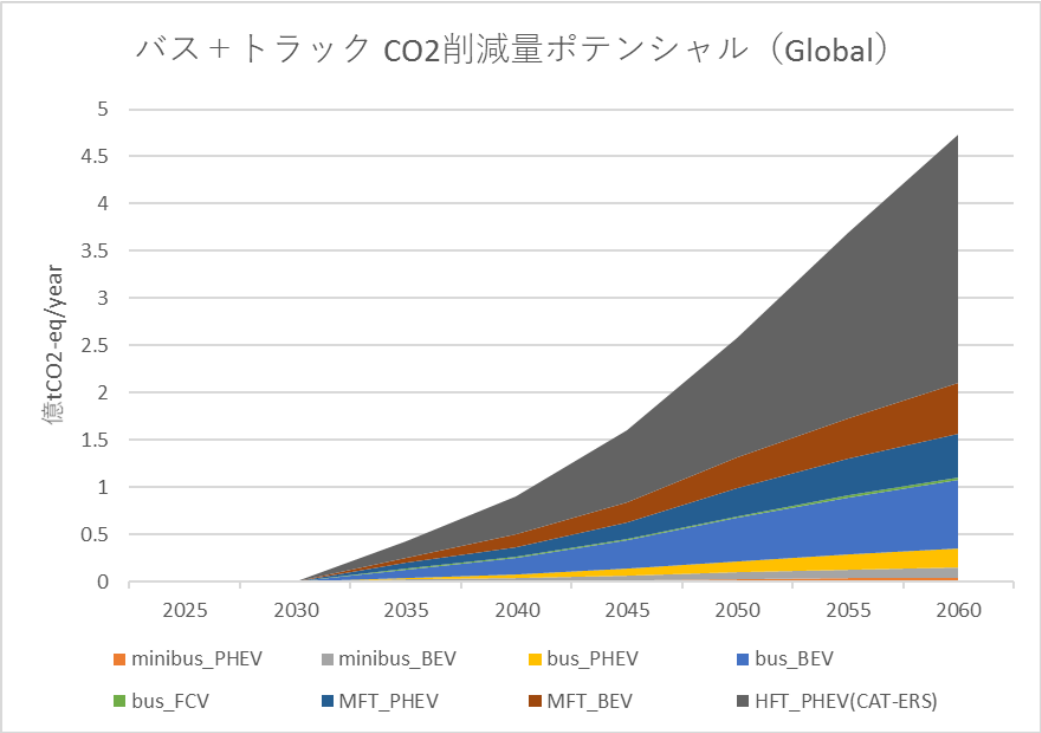
(誰が／何が、どう変化することを目指しているか)



※経済波及効果は日本の商用車OEM（いすゞ、日野、三菱ふそう、UDトラックス）の販売分について、IEAのB2DSにしたがって電動化した際の販売台数を推測して試算。販売価格はminibus 17百万円、bus24百万円、MFT4百万円、HFT19百万円と仮定。

CO₂削減のポテンシャル

- 本プロジェクトで開発に取り組む蓄電池・モータの実用化により、EV、PHEVの普及が加速し、IEAが示した2℃未満シナリオ（B2DS）に基づくペースでEV、PHEVが普及すると仮定した場合のCO₂削減効果を試算¹⁾。
- 2040年に約0.9億トン/年、2050年に約2.6億トン/年のCO₂削減効果（世界）が期待される²⁾。



◆CO₂削減効果

2040年 0.9億t/年

(a)×(b)×(c)×10%により、各車両カテゴリで計算して合計を算出

2050年 2.6億t/年

(a)×(b)×(c)×10%により、各車両カテゴリで計算して合計を算出

1) 2040年、2050年いずれにおいても全世界の電動車の内日本車の概ねのシェアである10%※が、本プロジェクトの成果を活用したEV、PHEV、FCEVである仮定し、これらすべてが内燃機関車からの代替とした場合の、CO₂削減効果を試算。

2) 対象とする車両カテゴリはミニバス・バス・MFT(Medium Freight Truck)・HFT(Heavy Freight Truck)のみ。HFT_PHEVには架線式走行中給電車両も含む。

3) 計算方法は(a) IEA Global EV Outlook 2020 のBox3.2のポートレイン毎のGHG emissionのWorld average値を普通車の値として参照し、主要車両カテゴリ毎の平均燃費データを係数としてミニバス、バス、MFT、HFTのkmあたりのCO₂排出量を算出しICE車との差分を算出(b) IEA Future of Trucks 2020 Table3 から各車両カテゴリの年間平均走行距離のWorld Averageの値を参照(c) IEA ETP2017のFig.5.8-10からB2DSでのミニバス、バス、MFT、HFTのPHEV、BEV、FCVの2015年以降の普及台数を参照

出典： IEA: Energy Technology Perspectives 2017、IEA Global EV Outlook 2020、
Average Fuel Economy by Major Vehicle Category (<https://afdc.energy.gov/data/10310>)f

※日本車（いすゞ、日野、三菱ふそう、UDトラックス）のグローバルシェアは「FOURIN 世界商用車メーカー年鑑2021」世界、商用メーカー別商用車販売台数（2015年～2019年）を基に計算