

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：Microautonomy～集合的にスケーラブルな自動運転システムの創出～
実施者名：株式会社ティアフォー、代表名：代表取締役 加藤真平

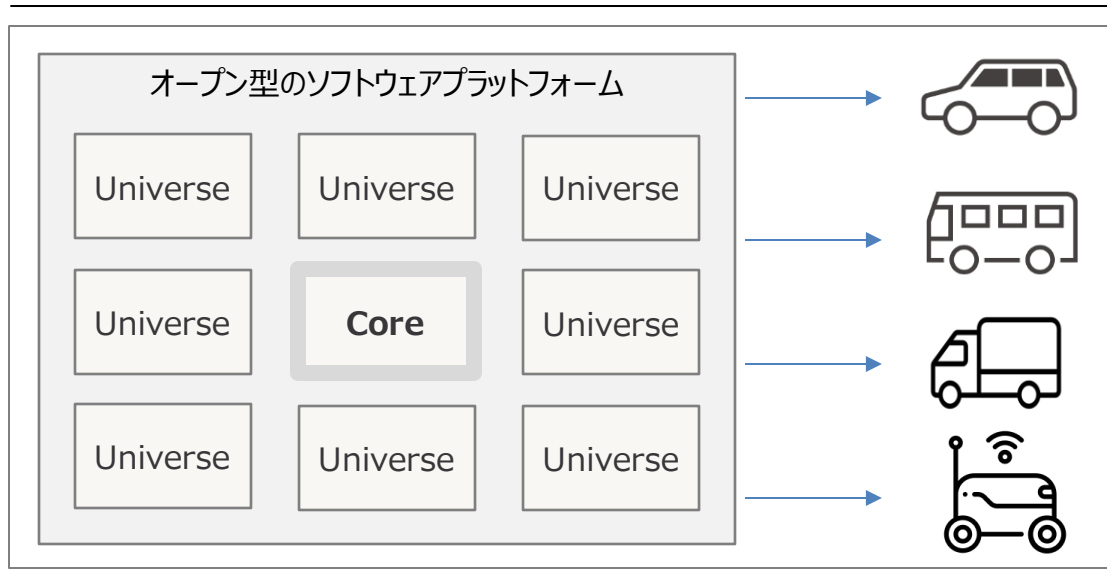
事業概要: Microautonomy～集合的にスケーラブルな自動運転システムの創出～

市場に流通するオープンな技術コンポーネントを組み合わせ、様々な環境に対してレベル4の自動運転機能を実現でき、走れば走るほど賢くなることで運行設計領域（ODD）を安全にスケーリングできるソフトウェアプラットフォームを開発する。

- グリーンイノベーション目標「主要な走行環境におけるレベル4 自動運転機能を担保しつつ、現行技術比で70%以上の消費電力削減」を超える目標を設定する。
- 目標1: 10～1000Wの範囲の消費電力で実行可能なレベル4の自動運転機能に対して、現行比100倍以上の「消費電力あたりのユースケース数」を達成
 - 目標2: 10か国以上の異なる地域における標準的なODDに対して平均5万マイル以上の「自動運転による連続走行距離（Miles per Disengagement）」を達成
 - 目標3: オープンソースソフトウェアとしてGitHub上で10万以上の「スター数」と3000人以上の「コントリビューター数」を達成

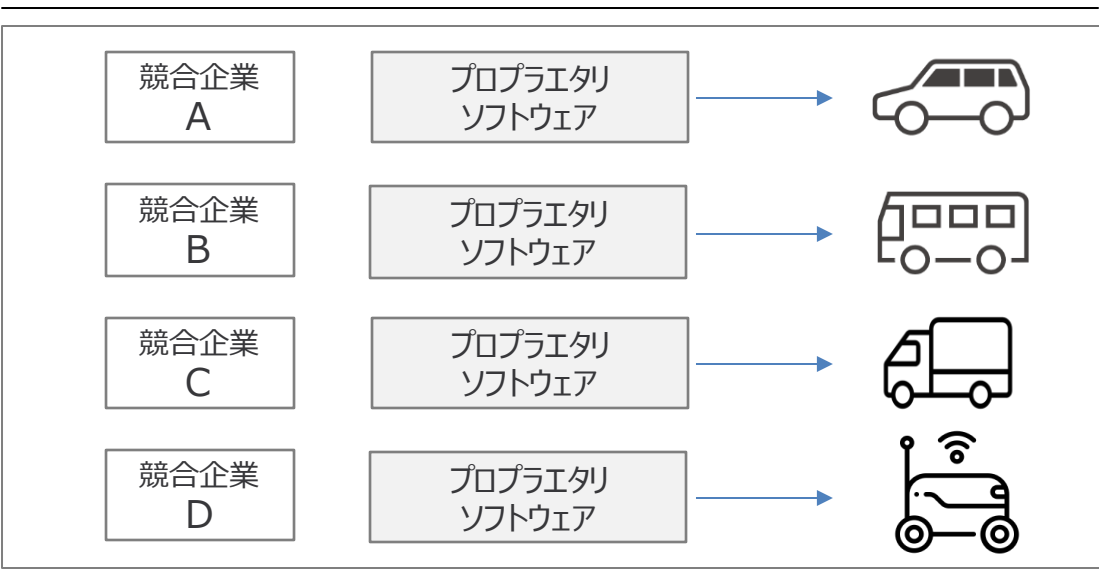
- 2030年までの上記目標達成に向けて、以下4つの研究開発テーマおよびKPIを設定する。
- 研究開発内容1（Adaptive）： 共通のソフトウェアプラットフォーム上で100種類以上の車両モデルに対応
 - 研究開発内容2（Real-Time）： CPU使用率が90%以下であれば任意のコンポーネントに対して処理完了またはフェールセーフ機構発動を保証
 - 研究開発内容3（Dependable）： アシユアランスケースに基づく安全性論証に対して定常的に90%以上のサービスステークホルダの合意を獲得
 - 研究開発内容4（Agile）： 開発運用においてユースケース毎および車両毎に必要なデータログのサイズを現行比で10%以下に削減

本提案: Microautonomy



様々な環境に対してスケーラブルな自動運転システム

国内外の競合する類似技術



特定の環境に対して最適な自動運転システム

目次

1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

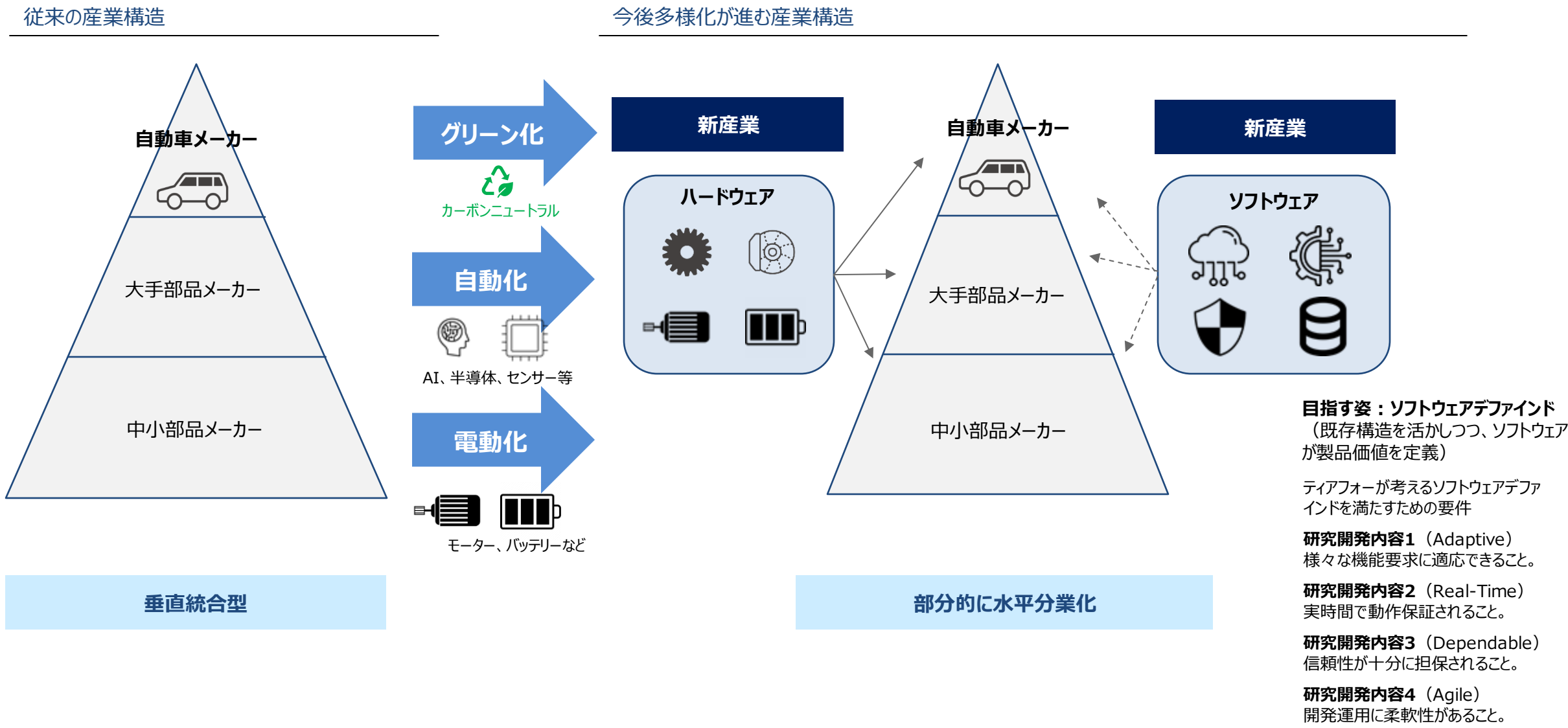
4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

1. 事業戦略・事業計画

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

2050年カーボンニュートラルの実現に向けてモビリティ産業は自動化、電動化の方向に進んでいる。これまでの垂直統合型の自動車製造プロセスが部分的に水平分業化され、製品価値はソフトウェアによって定義される構造になる。



1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

自動運転を軸とした新たなモビリティ産業は今後10年で拡大すると予想され、それに伴い社会全体のグリーン化の観点より、車載コンピューティングの省エネ化や、その技術発展を支えるオープン型のソフトウェアが重要性を増す。

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

- A

全体認識:

- 自動車の電動化に続き、移動を持続可能なものとする自動運転化の動きが世界的に加速しており、自動運転車は産業界での利用に加え、2030年には個人向けの市場でも拡大することが予想される。
 - 自動運転車が本格的に普及する社会に於いては、グリーン化の観点よりクラウド・ネットワークへの負荷軽減を実現する車載コンピューティングの省エネ化、また技術発展を支えるオープン型ソフトウェアが求められる。
- (社会面)

A1

自動運転の普及により、少子高齢化等による移動困難者に対する支援や、交通事故及び渋滞の低減といった移動の安全性・利便性に係る課題の解決につながる事が期待される。
- (経済面)

A2

自動運転は新たな移動や物流サービス創出を可能とし、日本国内の経済に与える波及効果は2030年には約6兆円、世界経済に与える効果は2050年に約860兆円にのぼると予測される。
- (政策面)

A3

自動運転普及に向け国内では2025年自動運転サービス40か所以上の実装に向けた規制改革や社会投資など仕組み作りが進展、海外でも規制整備等により自動運転の早期実現を後押し。
- (技術面)

A4

自動運転関連技術に対する投資は増加しており、中でも約6割をソフトウェア向け投資が占める。

A5

グリーン化の観点から、クラウド・ネットワークへの負荷を軽減するため、自動車側でより高度かつ効率的な情報処理が可能となるソフトウェア及びシステムアーキテクチャが求められる。

A6

ソフトウェアをオープン化し、ハードウェアの相互接続性を担保することでアジャイル開発が期待される。
- C

市場機会: 自動運転システムを一社ですべて作るのは技術やコスト観点よりハードルが高く、「水平分業化」及び「オープンソース」のトレンドが進み、新規プレーヤーに参入機会が生じる。
- D

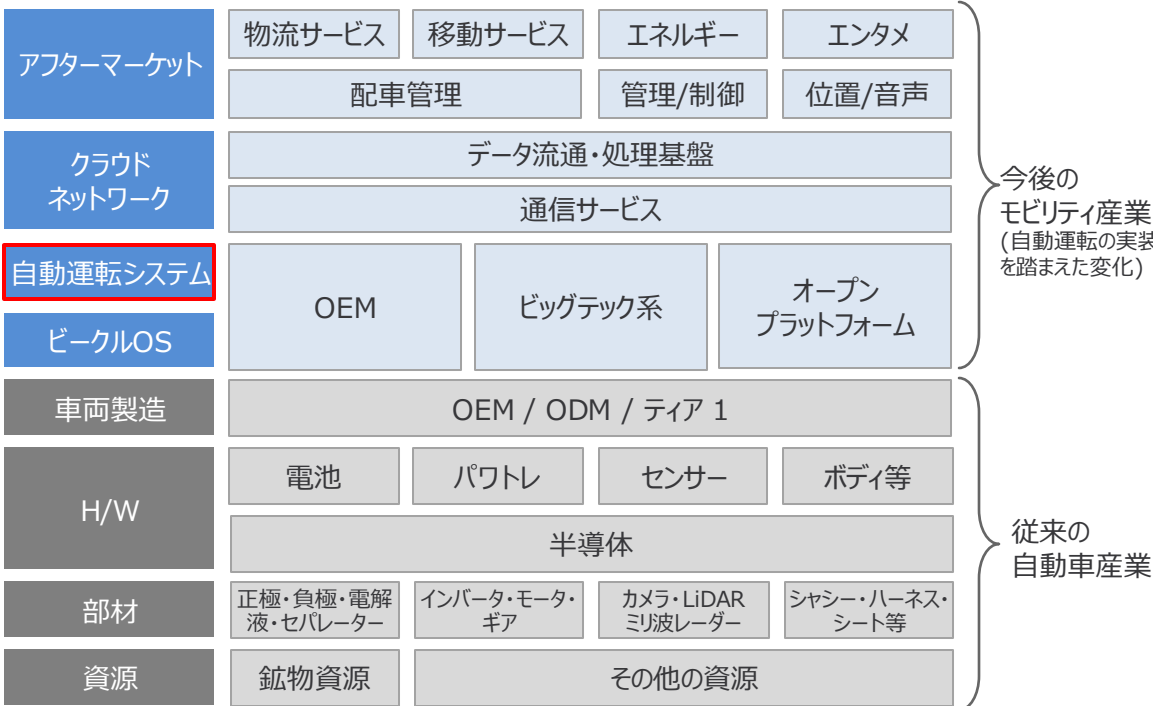
社会・顧客・国民等に与えるインパクト: 自動運転によるメリットは運転時間減少による個人への影響に加え、死亡事故減少、渋滞の削減、高齢者の移動支援といった社会的な課題解決に多岐に渡る効果が期待される。

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ

- B1

モビリティ分野においては、移動の効率化や環境負荷低減等の社会的課題解決に向けたサービスを実現するための重要な構成要素として、自動運転機能との連携が必要となる。
- B2

自動運転機能に対応する技術は、OEMが得意とする従来の自動車産業に於けるケイパビリティのみでは成り立たず、産業に於ける幅広いプレイヤーとの連携が必要となる。

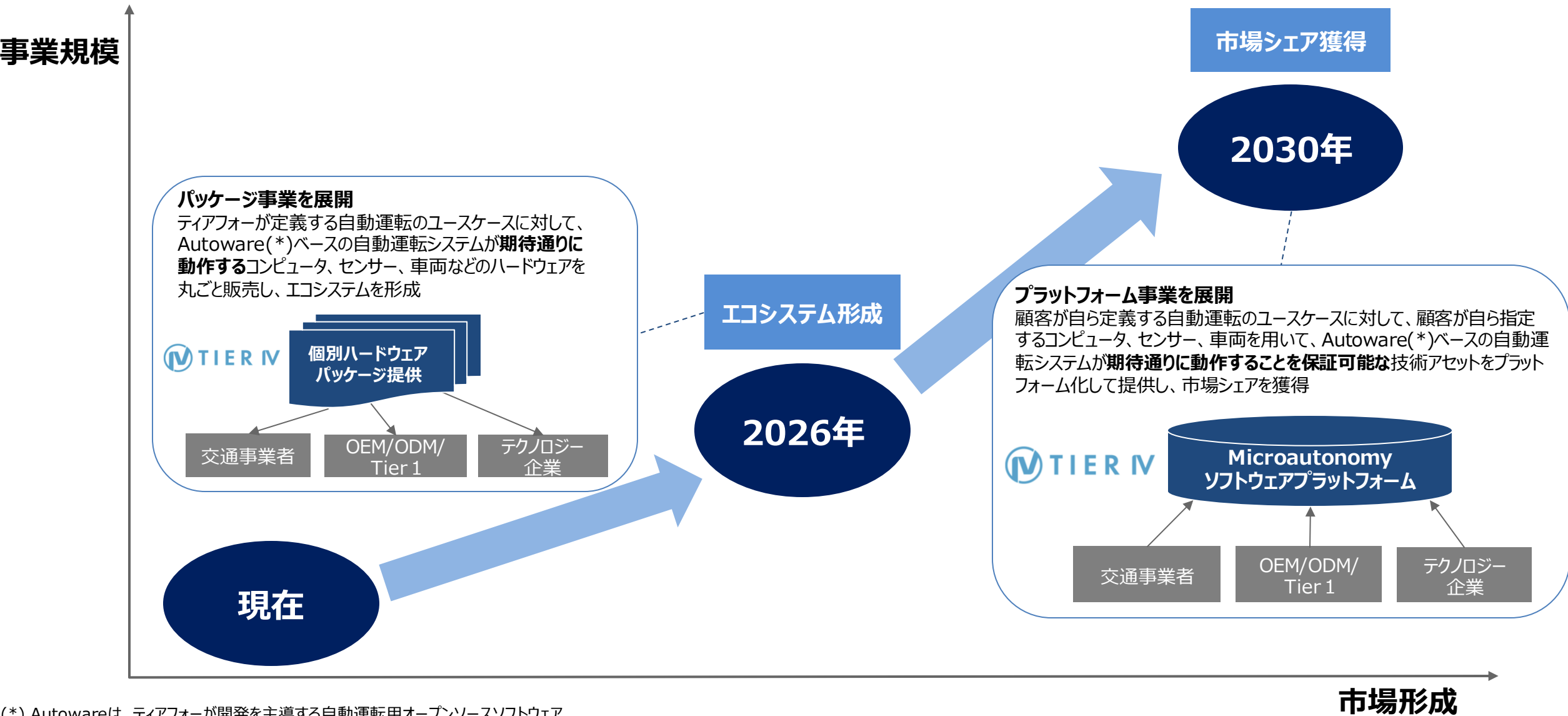


E

当該変化に対する経営ビジョン: オープン化による「自動運転の民主化」を掲げ、グローバルを俯瞰した技術・社会実装連携を強力に推進することで、高性能・安全且つ低消費電力な自動運転基盤ソフトウェアを、社会に受け入れ可能な合理的費用で一気呵成に提供することを目指す。その信念のもと、大学発ディープテック企業として産学連携を駆使し、コア技術を磨きこむことで、より早い自動運転社会の到来を実現させる。

1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

市場黎明期はティアフォーが定義する自動運転システム及びハードウェアをパッケージ提供してエコシステムを形成し（2026年）、市場成熟期は自動運転システムを自ら作りたい顧客に対しプラットフォームを提供することで市場シェアを獲得する（2030年）。

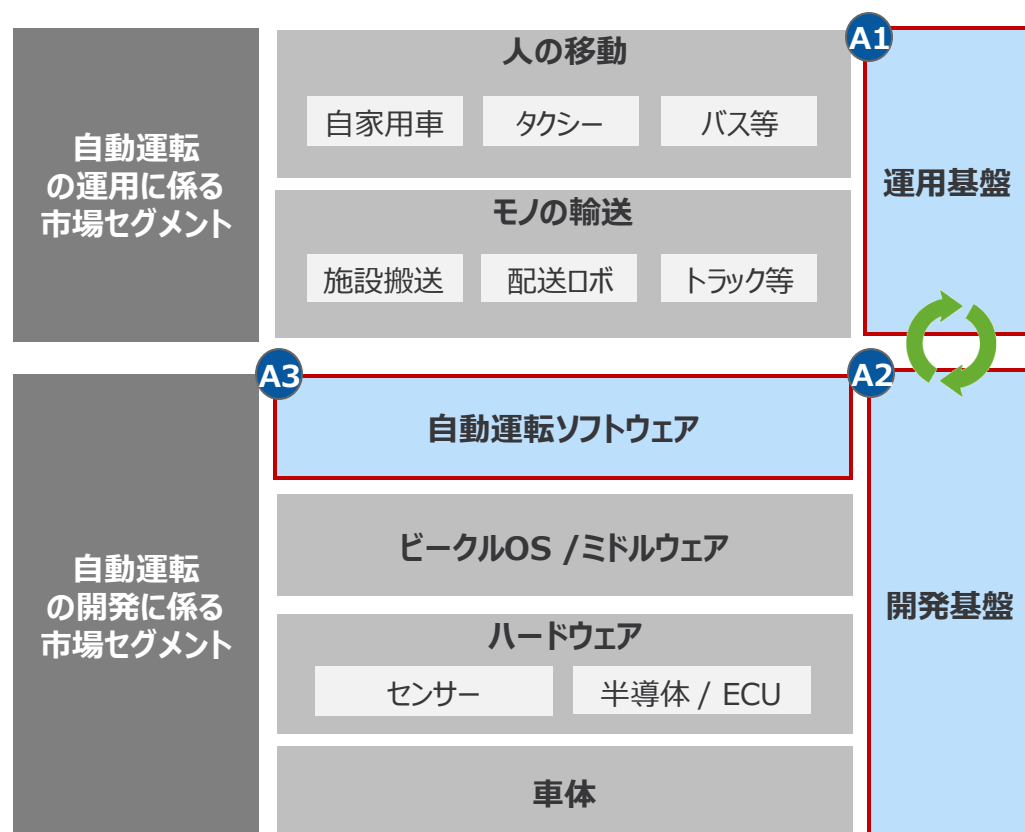


1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

ティアフォーは技術のオープン化を通じ、自動運転がより早く・広く社会に普及するために必要となる開発及び運用の基盤と、自動運転システムの核となるソフトウェアのセグメントに注力し、開発者や運行事業者それぞれが持つ課題の解決を目指す。

A セグメント分析

- 自動運転市場は、自動運転の開発と運用に於いてそれぞれの市場セグメントが存在する。
- ティアフォーは、オープン化による「自動運転の民主化」を実現するために、自動運転がより早く・広く社会に普及するために必要となる開発及び運用基盤と、自動運転システムの核となる自動運転ソフトウェアのセグメントに注力する。



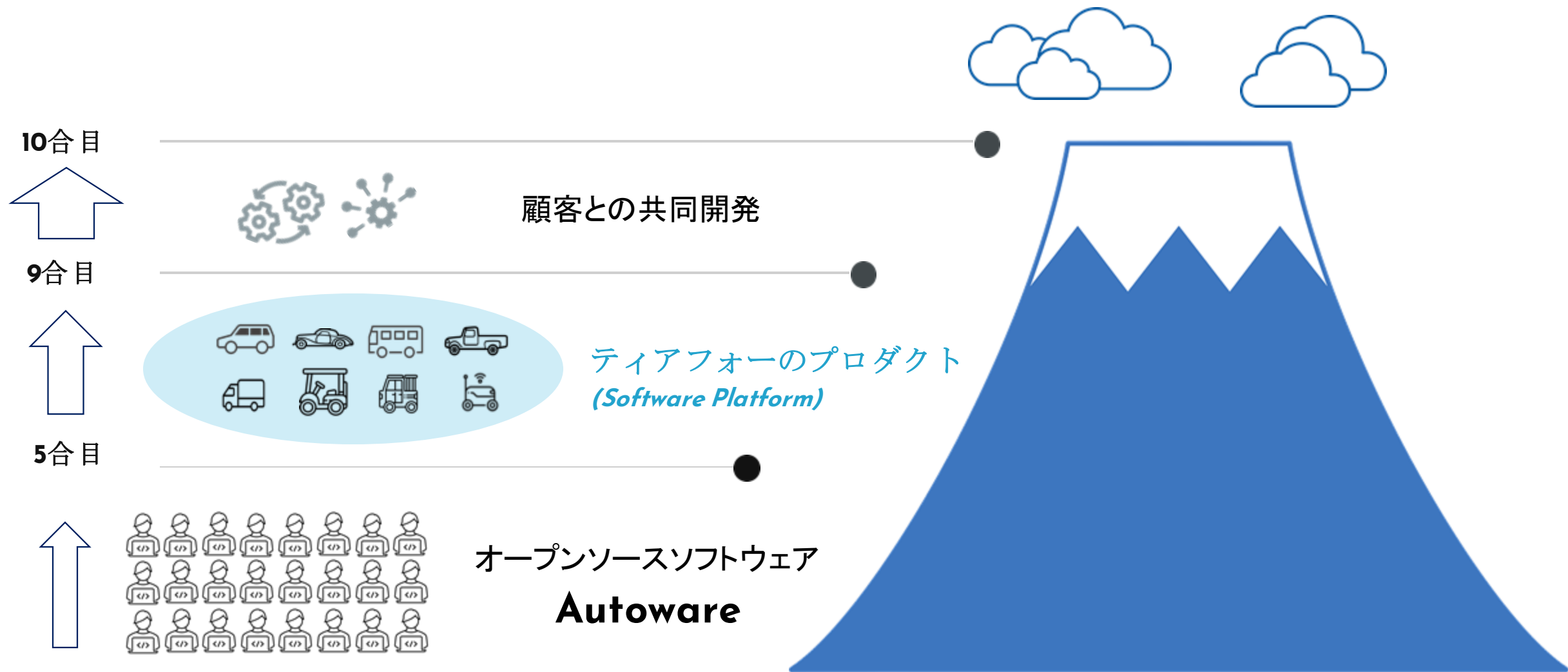
B ターゲットの概要

- B1** 自動運転ソリューションを展開する交通事業者や管理者は、安全且つ効率的に運用・保守が可能な運用基盤を求めており、2030年迄に1,120拠点(需要10%)以上の運用支援を目指す。
- B2** 自動運転を開発するOEMやODM等の需要家は、自動運転システムを安く・早く開発するための開発基盤を求めており、2030年迄に大手3社以上に対し開発支援を目指す。

需要家	需要（潜在）	課題	想定ニーズ
MaaS/ 交通事業者	国内：8,000社以上 (29万台以上)	自動運転を運用・保守するための技術的な知見が不足	安全且つ効率的に自動運転車を運用・保守するためのツールやサポートが欲しい
私有地管理者	国内：3,200拠点以上		
OEM	国内:24社以上 (世界:68社以上)	自動運転システムを部分的には作れるが、システム全体の作り方は分からない	自動運転システムの開発に係るベースノウハウを蓄積したい
ODM	国内:n/a (世界:10社以上)	自動運転システムの作り方は分かるが、膨大な時間とコストがかかってしまう	自動運転システムを安く・早く開発するためのツールや基盤が欲しい
インテグレーター	国内:7社以上 (世界:15社以上)		

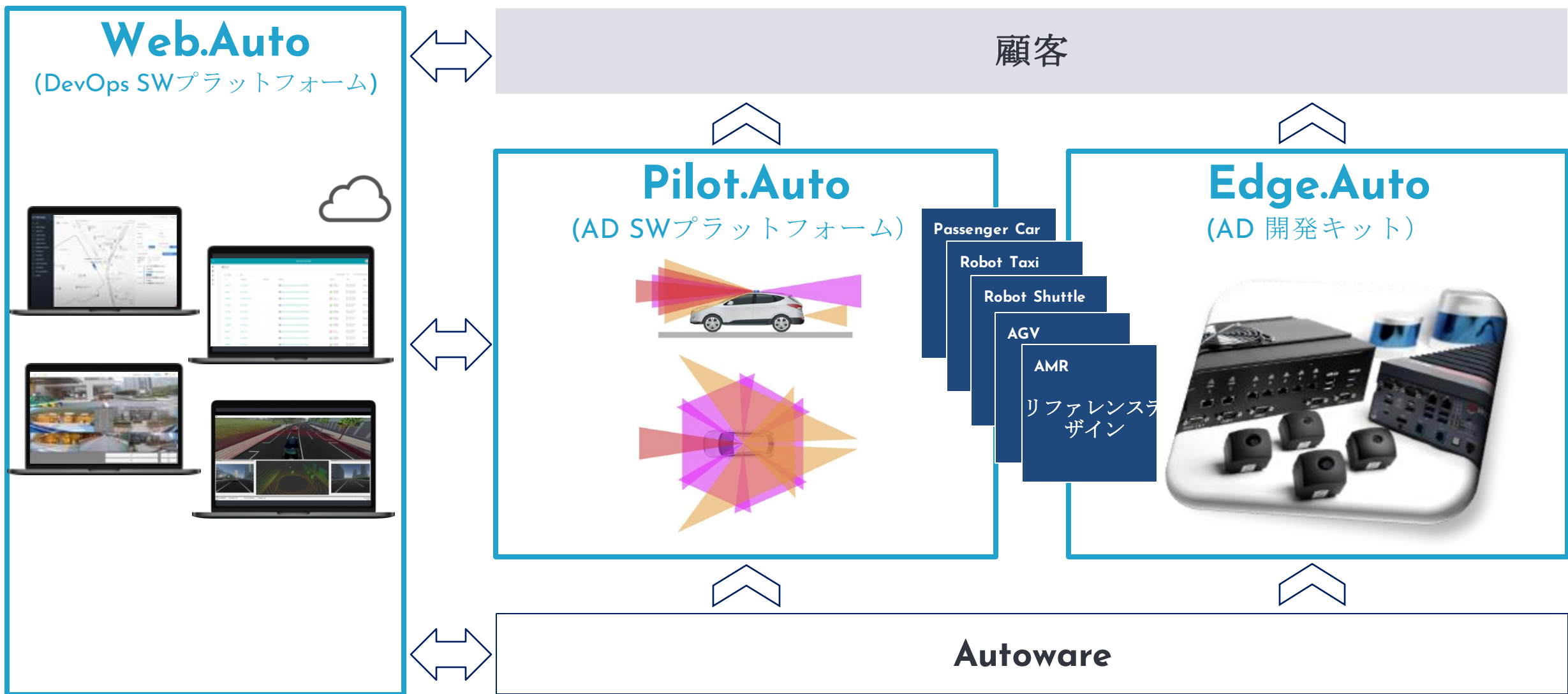
1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

“より早く・安く自動運転システムを開発・運用したい”顧客ニーズに応えるべく、Autowareを活用した自社プロダクトであるソフトウェアプラットフォームを提供することで、顧客価値・社会実装を実現していく



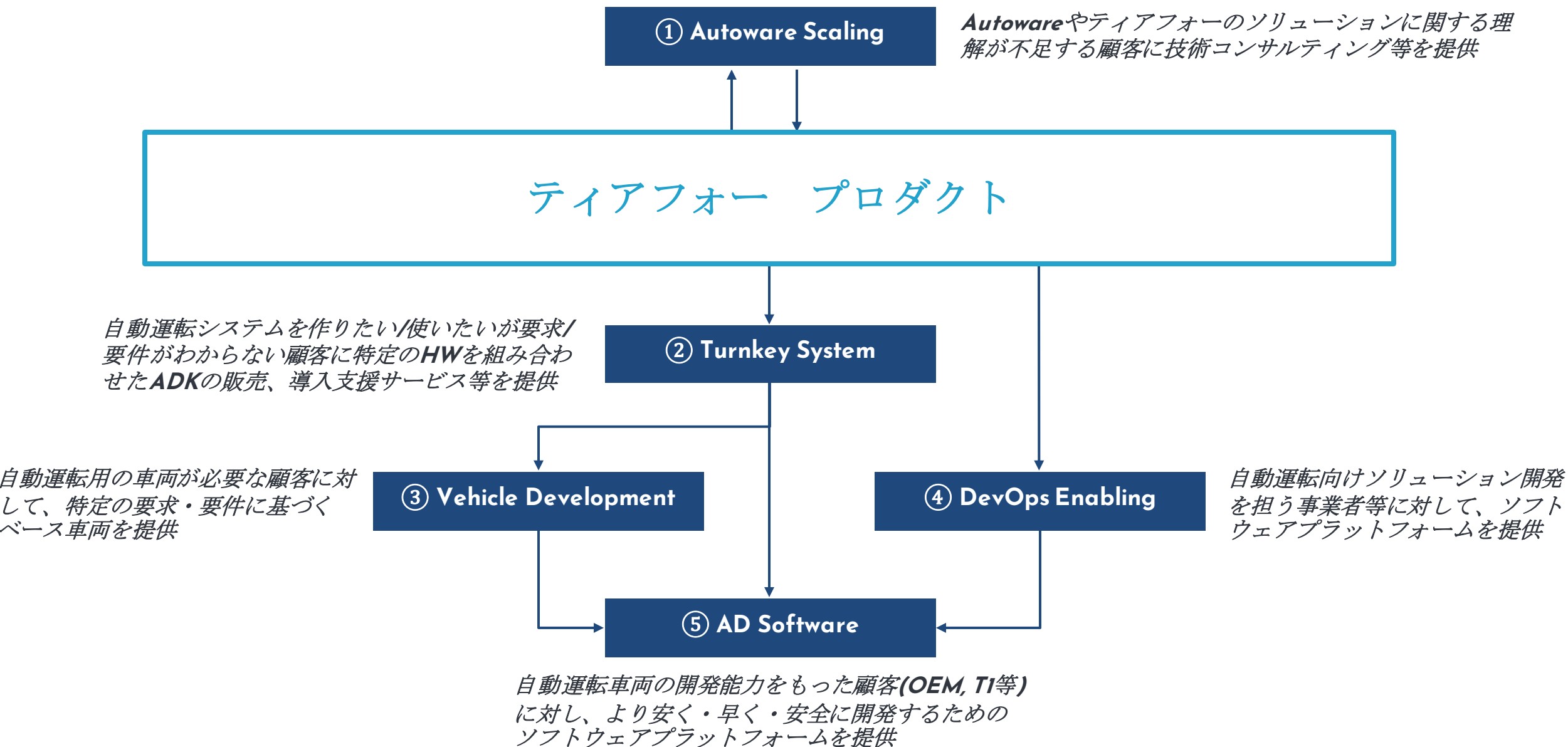
1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

リファレンスデザイン（設計のベースであり、それをコピーして別の設計ができるもの）を市場に提供することで顧客層の母数を増やし、その顧客層にプラットフォーム（システムのベースであり、その上で新たなシステムを作れるもの）を利用してもらうことで収益化する。



1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

市場で勝つための戦略として、自動運転に係る横断的な顧客ニーズをとらえ、それらに応える複数のソリューションを用意
各社の事業ドメインや事業/開発フェーズに合わせた幅広いソリューションを提供していく



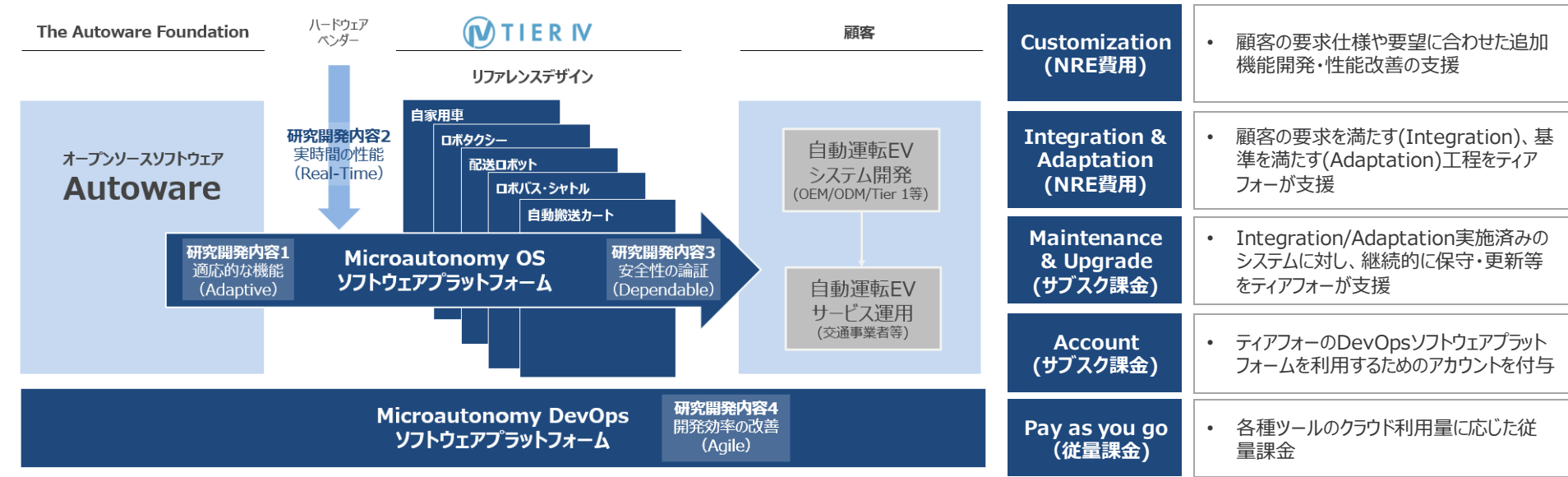
1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

オープンソースソフトウェア「Autoware」をベースとした自動運転システムのリファレンスデザインを用いて自動運転システムを開発、運用したい顧客に対して、機能拡張や性能適合、運行管理、保守のためのソフトウェアプラットフォームを提供する。

A 社会・顧客に対する提供価値

- 自動運転システムの開発者及びお
運行事業者には、**システム全体若
しくは部分的な作り方・使い方が分
からない**、または、システムの作り
方・使い方は分かるものの、実際に
やろうと思うと**膨大な時間とコストが
かかってしまう**というペインポイントが
存在する。
- ティアフォーは、そのようなペインポ
イントを持つ開発者や運行事業者に対
し、オープンソースの自動運転ソフト
ウェアであるAutowareをベースとし
た開発及び運用に必要なリファレン
スデザインとソフトウェアプラットフォ
ームを提供し、開発者・運行管理事
業者の要件を満たす**自動運転シ
ステムをより安く且つ早く実用化する
サポート**する。

B ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）と研究開発計画の関係性



- B1** ティアフォーはAutowareの開発をリードすると共に、Autowareをベースとしたリファレンスデザインを基にMicroautonomy “OS”及び“DevOps”から構成されるソフトウェアプラットフォームをOEM等の自動運転システム開発者や運行事業者に対し提供することで、自動運転システムをより安く・早く実用化することをサポートする。
- B2** Microautonomy OS:ロボタクシー等の特定のユースケース群（≒ODD）に最適な自動運転システムを構築するためのソフトウェアプラットフォームを提供
- B3** Microautonomy DevOps:自動運転システムの開発及び運用に必要なクラウドベースのDevOpsソフトウェアプラットフォームを提供
- B4** Microautonomy OS及びDevOpsのソフトウェアプラットフォームは、NREをベースとした“Customization”及び“Integration & Adaptation”に加え、サブスク課金をベースとした“Maintenance & Upgrade”、“Account”、“Pay as you go”の5つのサービスを通じ、収益化を行う。
- B5** Microautonomyソフトウェアプラットフォームは、Autowareの普及が安定的な収益獲得の前提となる。アカデミー事業やリファレンスハードウェア事業など、Autowareを管理するThe Autoware Foundationとも連携してAutowareの普及を後押しする活動を進め、中長期的な成長を実現する。
- B6** 本研究開発事業によって、より広く、安く、早く社会実装を推進するためにカギとなるOS及びDevOpsのコアとなる技術（ソフトウェアの高品質化、省電力化）を飛躍的に高めることを実現する。
- B7** 新たに創造される自動運転バリューチェーンを通じて、競争力強化・新たな市場機会の確保等、国内の新規・既存産業に大きな波及効果をもたらすことができる。

市場導入(事業化)しシェアを獲得するために、ルール形成(標準化等)を検討・実施

標準化戦略の前提となる市場導入に向けての取組方針・考え方

車両仕様のオープン化

- MIH (Mobility in Harmony)
 - 世界大手ODMの鴻海が主導し2020年に立上げたEVのオープン化を推進するための組織であり、2021年に非営利団体として鴻海より独立。
 - TIER IVは自動運転を推進する“Autonomy” WGのChairとして、AWFと連携しつつMIHのEVに於ける自動運転の設計をリードし、自動運転プラットフォームのデファクトを狙う。

車載ソフトウェアのクラウド化

- SOAFEE (Scalable Open Architecture for Embedded Edge)
 - クラウドベースでの車載ソフトウェアの開発手法を自動車分野にもたらすSW defined vehicle向けのオープン標準準拠のアーキテクチャとしてArmが2021年9月に発足。
 - TIER IVはAWF Open AD Kit WGを通してこのプラットフォームと連携したAutoware 開発キットの開発をリードしデファクトを狙う。

ソフトウェアプラットフォームによる安全確保のためのルール作り

- 新たな産業構造に対するルール作りとそれに合った法規制（標準化とそれを前提とした認証制度等）

国内外の動向・自社のルール形成(標準化等)の取組状況

（自社のルール形成の取り組み状況）

Lv4自動運ルールを日本国内で確立する取り組み

- 安全設計ガイドブック
 - 経産省・国交省連携プロジェクトであるRoAD to the L4に参画し、自動運転の協調領域の議論に参画。
 - T2のテーマとなっている自動運転サービスを担う中小企業の新規参入を促すためのツールとしての安全設計ガイドブックの作成に対してTIER IVの設計手法や安全性確認ツールを提供することで、法規等のルール作り含め整合を図る。

今後の課題

- 日本国内でのルールを国際ルール化していく戦略は今後検討（欧州とやるのか、北米とやるのか、アジアでやるのかの標準化戦略）
- オープンソース戦略
 - APACHE LICENSE, VERSION 2.0のGrant of Patent Licenseによる特許利用許諾および特許リスク回避を実施

本事業期間におけるオープン戦略（標準化等）またはクローズ戦略（知財等）の具体的な取組内容（※推進体制については、3.(1)組織内の事業推進体制に記載）

標準化及び普及戦略（オープン戦略）

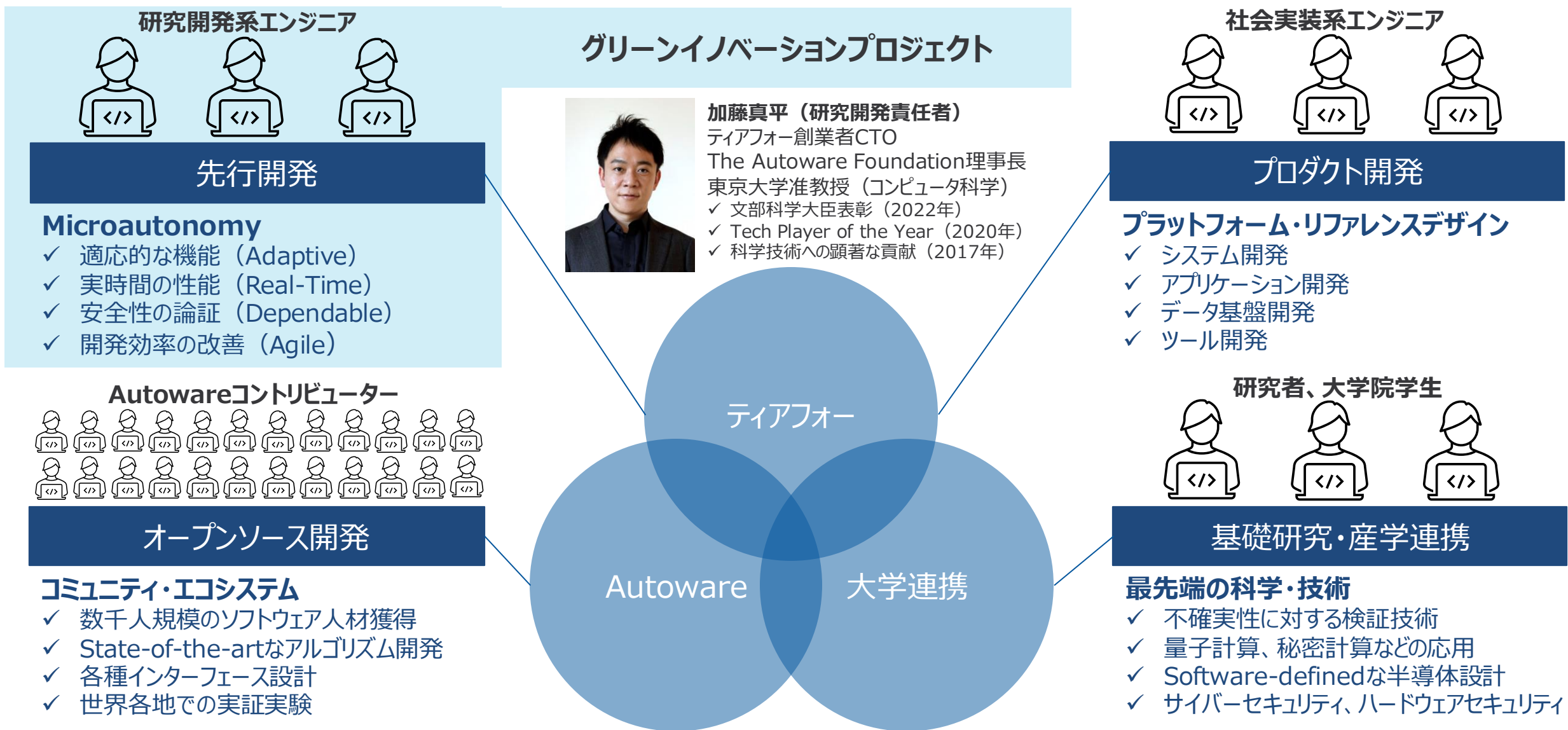
- 車載プラットフォームソフトをOSS化することで広く普及を図る。
- ハードウェア要件をReference Designに取り込みOSSと共にデファクト化する。
- 安全設計ガイドブックの作成に対して設計手法等を公開し、標準化のルール作りを狙う。

知財戦略（クローズ戦略）

- 特許リスクからOSSを保護し、オープンなコラボレーションとイノベーションを促進するコミュニティであるOpen Innovation Networkへの加盟。

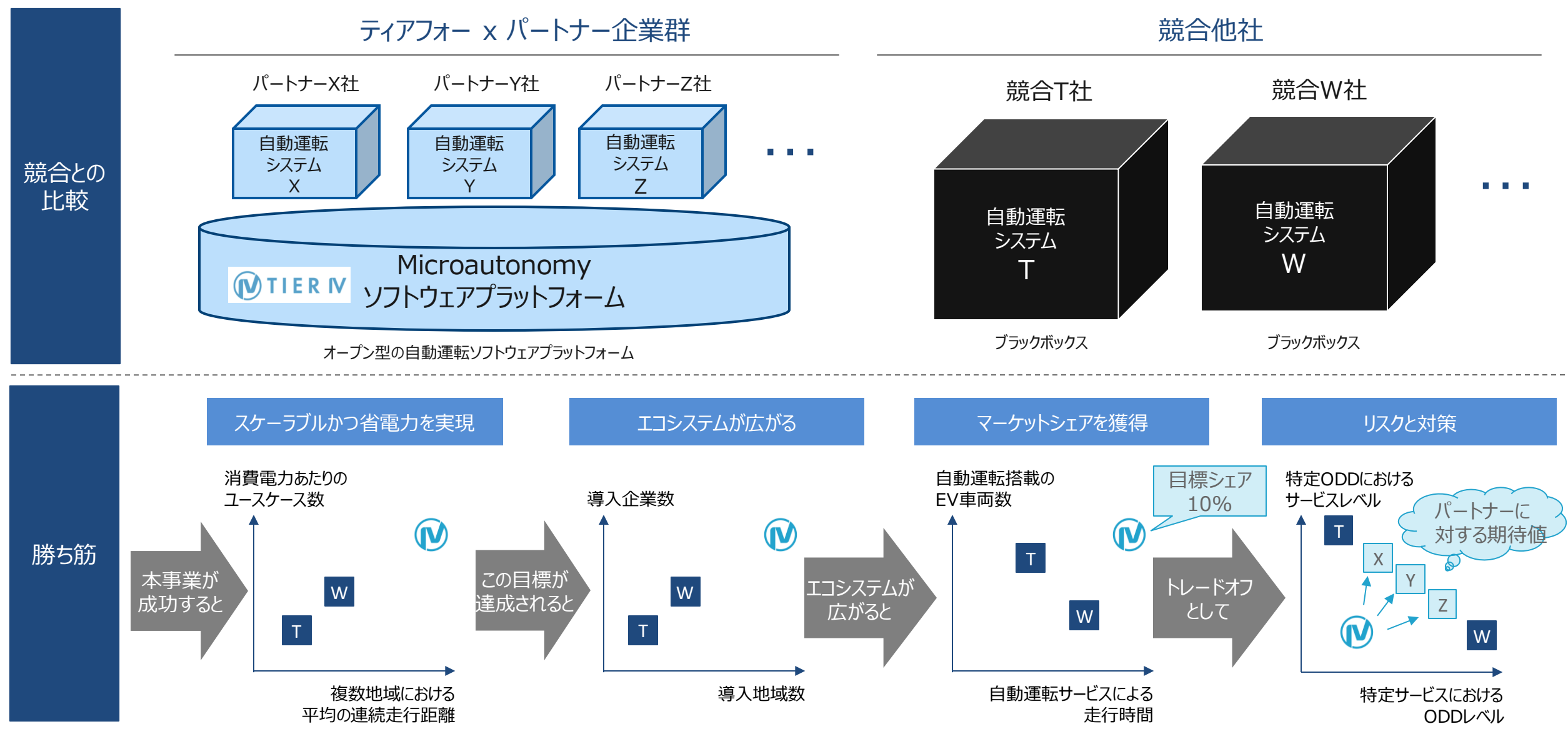
1. 事業戦略・事業計画／（４）経営資源・ポジショニング

本事業はティアフォーの「先行開発」という位置づけでスケーラブルかつ省電力な自動運転ソフトウェアの開発を進める。その成果をティアフォーの「プロダクト開発」につなげ、Autowareと大学連携によるグローバル展開を目指す。



1. 事業戦略・事業計画／（４）経営資源・ポジショニング

競合のブラックボックス型自動運転システムに対し、ティアフォーはオープン型の自動運転ソフトウェアプラットフォームを提供し、その上にパートナー企業と共同でODDやサービス形態に応じた個々の自動運転システムを構築することで、マーケットシェアを獲得する。



1. 事業戦略・事業計画／（４）経営資源・ポジショニング

多様なODDでの実証実績や自動運転の開発を進めるためのグローバル規模のエコシステム構築といった強みを活かし、任意の車両や様々なODDにスケーラブルな自動運転技術の事業化を実現し、より早い社会実装を後押しする。

自社の強み、弱み（経営資源） **A**

ターゲットに対する提供価値

- 自動運転分野で事実上世界唯一のオープンソース開発陣営として、車両開発から社会実装までの多様な需要家に対して幅広いサービス・ツール群を武器に価値提供を図ることが可能
- 特に、内製開発のみでは諸外国の先行プレーヤーへのキャッチアップが難しい中堅自動車OEMや特定のODDを想定する開発者・運行事業者等に対し、オープンソースとリファレンスデザインを最大活用することで各々が要求する車両やODDへの実装を早く・安く実現することを支援

自社の強み

- グローバル規模のエコシステムの構築及び統率ケイパビリティ
- The Autware Foundationをレバレッジし、ECU・センサーからクラウド分野で市場をリードする企業群との連携が推進可能
- 国内での実験・実装実績
 - 多様なODDに対するリファレンスデザイン及び実証実験実績
 - 物流領域でのサービス実装実績（eve autonomy）

自社の弱み及び対応

- 圧倒的に勝ち抜くためのさらなる技術力向上の必要性
 - 複雑なODD・レベル4を省エネルギー・最小コストで実現するために不可欠なデータ基盤・機械学習基盤の構築
 - 様々なハードウェア（センサー・ECU・車両）を想定したアーキテクチャーの設計・改良とその積極的な実装

他社に対する比較優位性 **B**

	技術	顧客基盤	サプライチェーン	その他経営資源
自社	（現在）多様なODDでの実証経験から、社会実装を睨んだ技術の磨きこみ  （将来）高度なエッジコンピューティング等のクリーン化をはじめとし、様々なハードウェア・ODDに対し拡張性の高いソフトウェア技術を実現	- 世界各地にいるオープンソースソフトウェア(OSS)のユーザーを相手として、サービスを提供中  - OSSのユーザーが増えることで、顧客基盤もグローバル規模で拡大。国内OEMも市場機会を創出	- ECU/センサー/クラウドなど、カギとなる企業とのパートナーシップ保有  - OSSにより、国内を中心に、世界中に確保（顧客のニーズに合わせてシステム提供可能）	- 大学等との連携 - 日本有数の自動運転関連エンジニア数  - AWFの世界中のエンジニア及び研究機関との連携を通じ、高度かつ効率的なR&Dを実現
米大手自動運転プレーヤー	- 運転機能技術は世界トップレベルだが、エッジコンピューティングの取り組みはこれから - 一台当たりのコストが高くサービス実証段階であり、事業化までには長い道のり	自社（/提携OEM共同）でライドシェアサービス提供を行っており、様々な地域・事業体へのサービス提供は限定的と想定	特定の車体・スペックに特化したサプライヤーを囲い込み（技術の汎用性は限定的）	- 膨大な資金力 - 世界トップレベル技術・数のエンジニア
中国大手自動運転プレーヤー	- 世界トップクラスの技術と人材を所有するが、エッジコンピューティングの取り組みはこれから - 自社開発のみならず、OSSコミュニティにいる外部パートナーから必要な要素技術も調達	- 中国各地で無人走行サービスを展開（自動運転バスや無人配送にも採用） - 自動車OEMとJV設立し、自らスマートカー開発製造にも参入 - 中国国内がメイン市場であり、海外展開が難しいと想定	- 中国企業が中心 - OSS手法で自社が持つ技術の核心として、高精度かつ広範囲の地図や、運転路線の決定、障害物感知、シミュレーションなどのツールなどをパートナー企業に提供	- 膨大な資金力 - 世界トップレベル技術・数のエンジニア（米中両国にR&D部隊保有） - 中国の国策の後押しで、地元政府から自動運転実用化やスマートシティ化での強力支援

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

2022年度より研究開発を開始し、2030年度以降に本格的に事業が立ち上がり、2035年度に総収益額が総投資額を上回ることを想定する。

投資計画									
単位：百万円（CO ₂ 削減効果以外）									
	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
売上高							11,567		
原価							7,617		
研究開発費					25,407				
設備投資費					0				
販売管理費							414		
営業利益					マイナスのため未記載				
取組の段階	研究開発の開始	...	...	...	...	...	...	...	...
CO ₂ 削減効果					6万トン				

投資回収					
	2031年度	2032年度	2033年度	2034年度	2035年度
売上高			162,048		
原価			111,285		
研究開発費			14,850		
設備投資費			0		
販売管理費			1,393		
営業利益			34,502		
取組の段階	事業本格化	...	...	...	投資回収
CO ₂ 削減効果			112万トン		

2035年度までの費用対効果：総投資額 1,609億円 ≤ 総収益額 1,736億円

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）まで、一環してオープンソースであるAutoware及びそれに付随するグローバル規模のエコシステムをレバレッジし、自助努力を超えて開発・事業展開の活動を推進する。

研究開発・実証

設備投資

マーケティング

取組方針

- **標準化戦略**：本研究開発によって、自動運転をより広く、安く、早く社会実装を推進するためにカギとなるコア技術（ソフトウェアの高品質化、省電力化）を飛躍的に高めることで、Autoware及びそれに伴う弊社ソリューションのグローバル標準化を推進する。
- **オープンイノベーション**：ティアフォーは多様なソリューションを垣根なく採用しうる中立的なパートナーとして、オープンソースソフトウェアであるAutowareやそのエコシステムパートナーとの協業によるオープンイノベーションを今後も積極的に推進する。
- **PoCによる顧客ニーズの確認**：研究開発の進捗は定常的に実施する自動走行の開発実証や、実装を意識したサービス実証を通じPDCAを回す。実証を通じて得られた技術/事業上のニーズ・改善要望は、研究開発の内容に適時フィードバックする。

- 自社のソリューションはソフトウェアを中心としたサービスであるため、生産や販売に関連する直接的な設備投資や部品調達が発生しない前提とする。
- 一方、サービスを展開・維持する上で、以下の設備投資・部品調達については想定に織り込む（何れも事業計画には研究開発費に含む）。
 - **設備/システム導入**：自社のソリューションをグローバルに展開する上で、特にDevOpsソフトウェアプラットフォームをクラウド上で遅延なく動かすために、サーバーについては事業の対象地域毎に最適化した立地・システムを選定
 - **部品調達**：自動運転に適合した最新センサーやSoC等のハードウェアは定期的に調達し、リファレンスデザインへの適応を検討

- **流通**：Microautonomyソフトウェアプラットフォームは直接顧客と個別契約を締結するダイレクトセー ルスを想定する一方、DevOpsソフトウェアプラットフォームはSaaS形式のサービスとしてクラウド上で広く利用者に流通させることを想定する。
- **広告**：自社Websiteで各プラットフォームの商品説明掲載に加え、エコシステムパートナーとのクロスセル等のB2Bマーケティングも推進する。
- **価格**：Microautonomyソフトウェアプラットフォームは顧客の要望を基にNRE費用として都度適切な価格を設定、DevOpsプラットフォームは市場価格を見据えたライセンス料と、AWSに一定のマージンを乗せた従量課金にて推進する。
- **商品改良**：商品リリース後も継続的なアップデートを行い、常に最新の研究開発成果を取り入れる。

国際競争上の優位性

- ティアフォーはThe Autoware Foundationを中心とするエコシステムの拡大および運営において主導的な地位を取り、自動運転業界をリードする企業とのテクノロジー開発における協力体制を構築する。
- この強みを活かしながら、本研究開発事業によりコア技術の開発を進めることで、自動運転分野での事実上世界唯一のオープンソースの標準化と、それに紐づく幅広いサービス・ツール群を武器に価値提供を図る。

- 上述の通り弊社ソフトウェア中心のソリューションとなる為、国外競合他社と設備投資の多寡による競争での優劣が生じることは無い。
- クラウドシステムについてはグローバル展開を見据え、大手クラウドサービスプロバイダーとの戦略的な協力関係につき具体的な協議を既に進めている。
- また、最新センサーやSoC等の調達についても、オープンソースを武器として世界各国の主要ベンダーとの関係構築は推進しやすい位置付けに居る。

- 本研究開発事業の成果については、自助努力によるセールス&マーケティングに加え、Autoware Foundationを始めとするAutowareコミュニティとの相乗効果を最大限活用し、特に自動運転業界をリードする企業のグローバルネットワークをレバレッジして事業展開を加速させる。
- 商品及び価格については、ベンチャー故の柔軟なオペレーション体制と早い意思決定力を活かし、市場動向・競争環境を見ながら逐次改訂・改善する。

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

研究開発・実証、設備投資、マーケティングの取り組み方針に基づいて全社レベルの活動を実施。

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	● 標準化戦略：本研究開発によって、自動運転をより広く、安く、早く社会実装を推進するためにカギとなるコア技術（ソフトウェアの高品質化、省電力化）を飛躍的に高めることで、Autoware及びそれに伴う弊社ソリューションのグローバル標準化を推進する。 ● オープンイノベーション：ティアフォーは多様なソリューションを垣根なく採用しうる中立的なパートナーとして、オープンソースソフトウェアであるAutowareやそのエコシステムパートナーとの協業によるオープンイノベーションを今後も積極的に推進する。 ● PoCによる顧客ニーズの確認：研究開発の進捗は定常的に実施する自動走行の開発実証や、実装を意識したサービス実証を通じPDCAを回す。実証を通じて得られた技術/事業上のニーズ・改善要望は、研究開発の内容に適時フィードバックする。	● 自社のソリューションはソフトウェアを中心としたサービスであるため、生産や販売に関連する直接的な設備投資や部品調達が発生しない前提とする。 ● 一方、サービスを展開・維持する上で、以下の設備投資・部品調達については想定に織り込む（何れも事業計画には研究開発費に含む）。 ● 設備/システム導入：自社のソリューションをグローバルに展開する上で、特にDevOpsソフトウェアプラットフォームをクラウド上で遅延なく動かすために、サーバーについては事業の対象地域毎に最適化した立地・システムを選定 ● 部品調達：自動運転に適合した最新センサーやSoC等のハードウェアは定期的に調達し、リファレンスデザインへの適応を検討	● 流通：Microautonomyソフトウェアプラットフォームは直接顧客と個別契約を締結するダイレクトセー ルスを想定する一方、DevOpsソフトウェアプラットフォームはSaaS形式のサービスとしてクラウド上で広く利用者に流通させることを想定する。 ● 広告：自社Websiteで各プラットフォームの商品説明掲載に加え、エコシステムパートナーとのクロスセル等のB2Bマーケティングも推進する。 ● 価格：Microautonomyソフトウェアプラットフォームは顧客の要望を基にNRE費用として都度適切な価格を設定、DevOpsプラットフォームは市場価格を見据えたライセンス料と、AWSに一定のマージンを乗せた従量課金にて推進する。 ● 商品改良：商品リリース後も継続的なアップデートを行い、常に最新の研究開発成果を取り入れる。
進捗状況	● 車両仕様のオープン化、車載ソフトウェアのクラウド化、ソフトウェアプラットフォームによる安全確保のためのルール作り等、標準化に関わる市場導入に向けての取り組み方針の設計を実施。これらの設計を元に、オープン戦略/クローズ戦略に基づいた活動を推進 ● お台場走行などのPoC活動を通じて、顧客ニーズや研究開発課題調査等のPDCA活動を実施。これらの活動を元に研究開発戦略の定期的な見直しを実施	● 『研究開発内容④エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン』を中心に、特にDevOpsソフトウェアプラットフォームをクラウド上で遅延なく動かすために、クラウド上でのデータ処理基盤、アジャイル開発に資する検証パイプライン等の整備を実施。PoCレベルでコンセプト検証を推進 ● 自動運転のキーコンポーネントとなるLidarやRadar等の要素ハードウェアに関し、パートナーと連携しながら定期的な調達検討を実施	● DevOpsソフトウェアプラットフォームはSaaS形式のサービスとしてクラウド上に構築を実施 ● 自動運転に関わる自社サービスや自社技術に関し、自社サイトにてプレスリリース等を行い、活動の周知を実施。GI事業に関わる对外発表も積極的に実施 ● Edge Perception development kit等の、自動運転潜在顧客の最新ニーズに合致する製品を継続的に発表

1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

2030年度迄の事業需要に対する資金については、国の補助約175億円に加えて、160億円規模の自己負担を予定。
自己負担の金額については、全社の収益及び資本金より捻出する。

資金調達方針

単位：百万円

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
事業全体の資金需要									
1. 自動運転のオープン型ソフトウェア					33,438				
①広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム					4,182				
②コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証					11,530				
③多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ					4,819				
④エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン					4,876				
⑤本事業に要する原価					7,617				
⑥事業に要する販売管理費					414				
うち研究開発投資									
1. 自動運転のオープン型ソフトウェア					同上				
①広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム									
②コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証									
③多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ									
④エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン									
資金調達方針									
国費負担（補助）					17,490				
自己負担（A+B）					15,948				
A: 自己資金					15,948				
B: 外部調達					0				

・ 自己負担分については、自己資本及び自社の事業収益より賄うことが出来る想定

※インセンティブが全額支払われた場合

1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

2031年度迄以降については、本事業を黒字化できている想定であるため、必要な資金については全て事業の収益から賄う。

資金調達方針

単位：百万円

	2031年度	2032年度	2033年度	2034年度	2035年度
事業全体の資金需要					
1. 自動運転のオープン型ソフトウェア			127,528		
①広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム			2,406		
②コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証			6,837		
③多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ			2,791		
④エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン			2,817		
⑤本事業に要する原価			111,285		
⑥事業に要する販売管理費			1,393		
うち研究開発投資					
1. 自動運転のオープン型ソフトウェア					
①広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム					
②コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証					
③多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ					
④エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン					
資金調達方針					
国費負担（補助）			0		
自己負担（A+B）			127,528		
A: 自己資金			127,528		
B: 外部調達			0		

・ 自己負担分については、自己資本及び自社の事業収益より賄うことが出来る想定

※インセンティブが全額支払われた場合

1. 事業戦略・事業計画／まとめ

ティアフォーは自動運転のマーケットリーダーとなることを目指しており、「技術の高さ」×「エコシステムの広さ」が競争力となる。その源泉となるのがAutowareであり、「自動運転と言えばAutoware」「Autowareと言えばティアフォー」という世界を創る。

◆ なぜリファレンスデザインとソフトウェアプラットフォーム事業でマーケットリーダーになれるのか？

- 自動運転システムをフルスタックで作れる企業は世界に10社程度しかいない。
- 競合他社は車両を含めた完成品（Complete System）を提供するビジネスを進めている。
 - ・ 事業者目線ではシステム全体をロックインされることになり、事業継続性にリスクが生じる。
 - ・ 開発者目線では特定の車両や走行環境をターゲットにすることになり、応用範囲が制限される。
- ティアフォーは競合他社よりも広い顧客層に対して、各顧客の要求に見合った開発・運用の手段を提供する。
 - ・ 多くの顧客は自動運転の開発・運用の知見が不十分な為、ティアフォーのリファレンスデザインを必要とする。
 - ・ 多くの顧客は自動運転の開発・運用の基盤を有していない為、ティアフォーのソフトウェアプラットフォームを必要とする。

◆ なぜMicroautonomy（集合的にスケーラブルな自動運転システムの創出）構想を提案するのか？

- 顧客が要求するコンピュータ（10W～1000W相当）に対して相応の自動運転機能を実現したい。
- 顧客が要求するセンサー・車両・走行環境（ODD）に対して相応の自動運転機能を実現したい。
- 顧客の要求が変化したときに安全性を保ちつつ早期にコストを最小限に抑えて自動運転機能を実現したい。

◆ なぜグリーンイノベーションプロジェクトが必要なのか？

- Microautonomy構想に向けた基本機能は出来つつあるが、リアルタイム性やディペンダビリティといった技術力を高めたい。
- エコシステムを形成し、マーケットシェアを獲得するためにソフトウェアプラットフォームの技術成熟度（TRL）をレベル7以上にしたい。

2. 研究開発計画

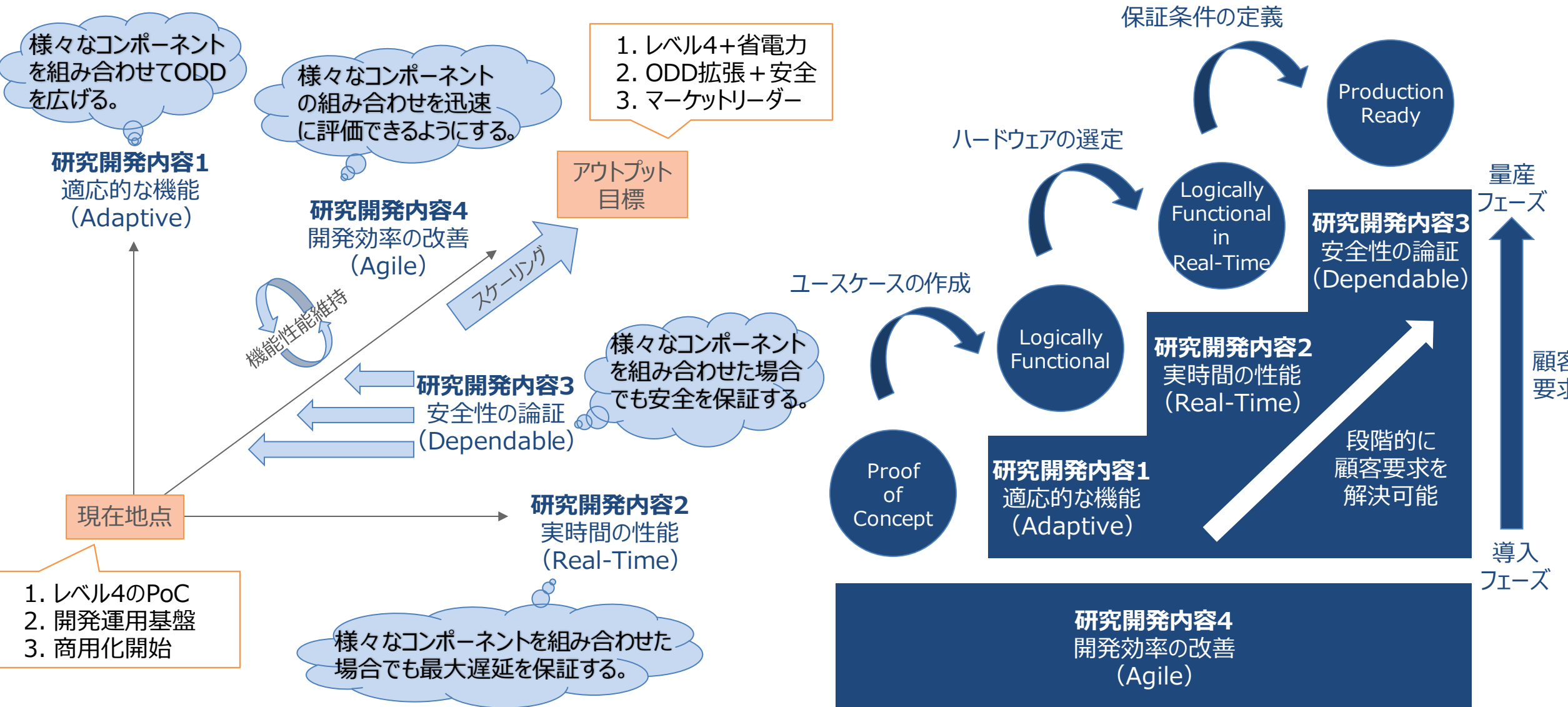
2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

自動運転のオープン型基盤ソフトウェアのアウトプット目標達成に向けて、具体的な目標（KGI）と共に、各研究開発内容に紐づく4つのKPIを設定する。

研究開発項目	アウトプット目標		
1. 自動運転のオープン型基盤ソフトウェア (Microautonomy～集合的にスケーラブルな自動運転システムの創出)	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 ② 主要な走行環境における、レベル4自動運転機能の担保 ※ 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 KGI 目標1: 10～1000Wの範囲の消費電力で実行可能なレベル4の自動運転機能に対して、現行比100倍以上の「消費電力あたりのユースケース数」を達成 目標2: 10か国以上の異なる地域における標準的なODDに対して平均5万マイル以上の「自動運転による連続走行距離（Miles per Disengagement）」を達成 目標3: オープンソースソフトウェアとしてGitHub上で10万以上の「スター数」と3000人以上の「コントリビューター数」を達成		
研究開発内容	KPI	KPI設定の意義	
1 広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム	共通のソフトウェアプラットフォーム上で100種類以上の車両モデルに対応	広く社会に自動運転が実装されるには、様々な顧客が要求するセンサー・車両・走行環境に適応する自動運転アルゴリズムを実現することが重要である。そのような自動運転アルゴリズムの評価指標として、当該アルゴリズムが実装されたソフトウェアプラットフォームが対応する車両モデルの種類を設定する。	
2 コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証	CPU使用率が90%以下であれば任意のコンポーネントに対して処理完了を保証またはフェールセーフ機構発動を保証	世界中で開発される無数のコンポーネントを安全に取り入れるための重要KPI。様々なコンポーネントを取り入れても全体のリアルタイム性が破綻しないCPU使用率を設定する。CPU使用率の上限を引き上げることで、結果的に低コストおよび省電力のコンピュータで効率的に自動運転のオープン型基盤ソフトウェアを処理できるようになる。	
3 多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ	アシュアランスケースに基づく安全性論証に対して定常的に90%以上のサービスステークホルダの合意を獲得	自動運転システムのディペンダビリティが確保され、維持可能であることが説明できる状態に加えて、ステークホルダにそれが説明され、その価値と残存リスクが理解された上でシステム導入と運用の合意形成に成功することを示す指標として合意達成率をKPIとする。	
4 エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン	開発運用においてユースケース毎および車両毎に必要なデータログのサイズを現行比で10%以下に削減	自動運転の開発競争を決定づける要因はどれだけ多くの地域と車両に対応する機能を開発でき、効率的に課題を検出できるかにある。運行車両での課題検出にかかるコスト、機能評価にかかるコストの共通指標として、評価・運行で取得するログサイズを設定する。	

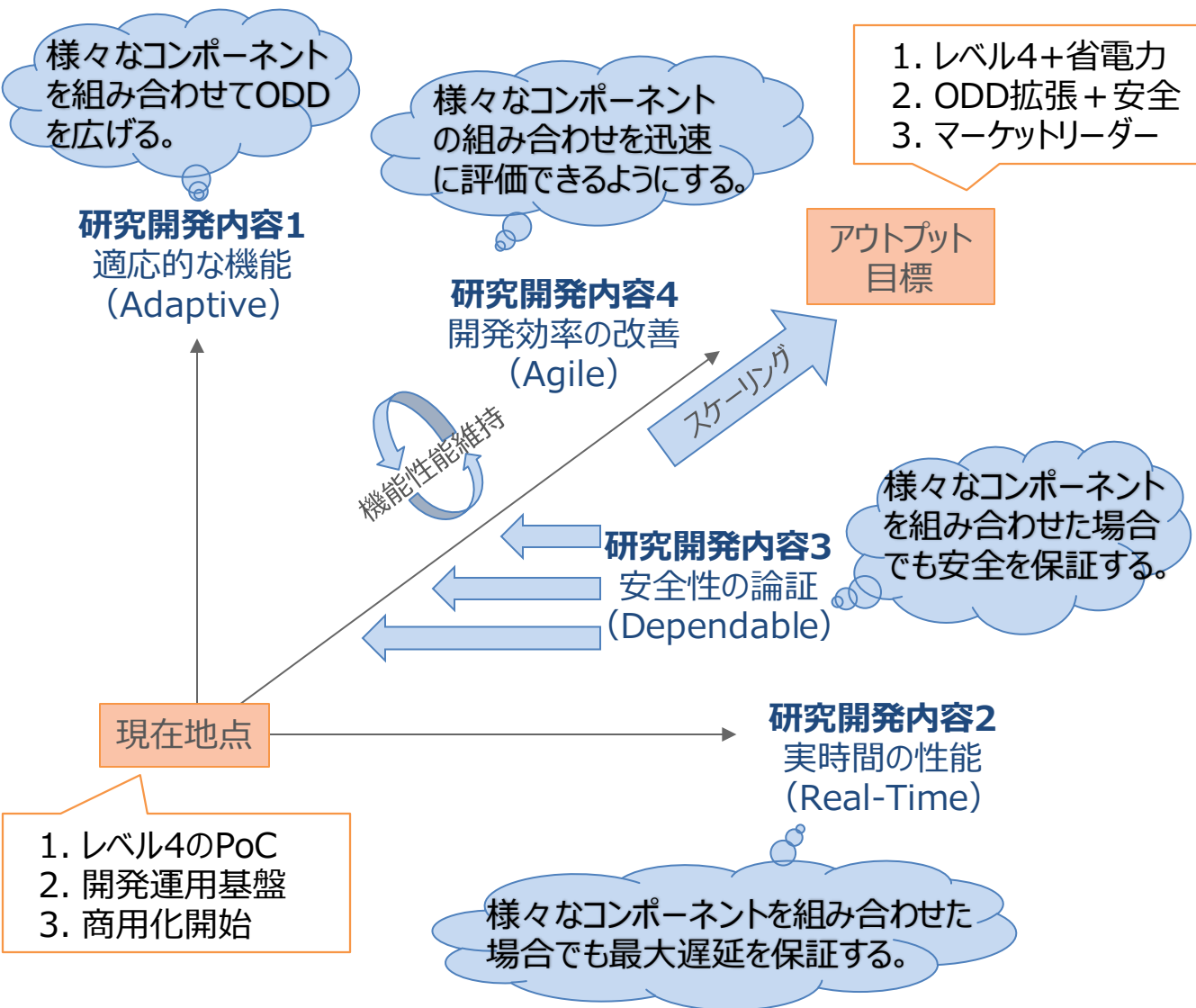
2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

異なるODDに適応可能な機能コンポーネントに対して与えられた電力制約下で最大性能を発揮できるアーキテクチャを設計し、科学的な論証と効率的な開発プロセスを通して安全かつ省電力、そしてコスト最適な自動運転システムを実現する。



2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

本事業に於ける4つの研究開発テーマとアウトプット目標の関係性を綿密に設計し、論理・時間・電力の3要素の最適化を効率的に実施することに加え、達成するアウトプット目標を合意形成する。



なぜこのKPIでアウトプット目標を達成できるのか

自動運転のような複雑な実時間システムで機能面での正しさを担保するためには、あるべき姿を定義しながら論理面での正しさと時間面での正しさを両立することが求められる。

研究開発内容1で広域の運行設計領域（ODD）に適応可能という論理面の正しさを裏付ける対応車両モデル数を設定することで、主要な走行環境におけるレベル4自動運転機能を実現する。

研究開発内容2で時間面の正しさを裏付けるリアルタイム性を保証可能なCPU使用率を設定することで、コンピュータの性能を最大限に引き出して省電力な車載コンピュータでも機能面の正しさを達成できる。

研究開発内容3でトレードオフを含むあるべき姿の定義と担保をステークホルダへ発信できていることを裏付けるステークホルダとの合意達成率をKPIに採用することで、アウトプット目標を明確化および到達していることを合意形成する。

自動運転ソフトウェアの開発時および運用時に、車両走行中の自己診断も含めて課題を早期発見することで 1. ネットワーク・クラウド負荷軽減、2. 開発効率向上、3. 機能性能維持することが可能となる。研究開発内容4で開発評価および運用でユースケース毎および車両毎に必要なデータログのサイズの削減割合を設定することにより、評価が効率化されたことにより結果的にログサイズが削減されることをKPIとして設定する。

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

KGIは各研究開発内容のKPI目標値の総合的な達成により、確実な完遂を目指す。

KGI / KPI

★ 全体
(Microautonomy～集合的に
スケーラブルな自動運転システムの
創出)

1 広域の運行設計領
(ODD)に適応可
能な自動運転アルゴ
リズム

2 コンポーネント型ソフト
ウェアのリアルタイム性
保証

3 多種多様なハードウェ
アと走行環境に対す
るオープンシステムディ
ペンダビリティ

4 エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン

目標1: 10～1000Wの範囲の消費電力で実行可能なレベル4の自動運転機能に対して、現行比100倍以上の「消費電力あたりのユースケース数」を達成
目標2: 10か国以上の異なる地域における標準的なODDに対して平均5万マイル以上の「自動運転による連続走行距離 (Miles per Disengagement)」を達成
目標3: オープンソースソフトウェアとしてGitHub上で10万以上の「スター数」と3000人以上の「コントリビューター数」を達成

共通のソフトウェアプラットフォーム上で100種類以上の車両モデルに対応

CPU使用率が90%以下であれば任意のコンポーネントに対して処理完了を保証またはフェールセーフ機構発動を保証

アシュアランスケースに基づく安全性論証に対して定常的に90%以上のサービスステークホルダの合意を獲得

開発運用においてユースケース毎および車両毎に必要なデータログのサイズを現行比で10%以下に削減

KGI / KPI目標値の考え方

目標1: アウトプット目標全体に対する自動運転システムのベンチマークとして、自動運転機能の電力効率を100倍とする成果であれば、ムーアの法則が終わったとされる現代でも世界的な競争力を確保できる。
目標2: 国内だけではなく世界中で利用可能なソフトウェアとなる10か国以上を設定した。プレ商業実証に向けて競合のチャンピオンデータである「約5万kmを走行中に1回以下」のDisengagementを目指す。
目標3: 世界中で開発および利用されるソフトウェアプラットフォームである指標として、裾野の広い機械学習フレームワークのTensorFlowと同等程のスター数、Linuxと同等程のコントリビューター数を獲得する。

共通のソフトウェアプラットフォームが広い用途で社会実装されるためには、閉鎖空間・自動車専用空間・交通環境整備空間・混在空間など主要な5種類以上の運行領域に対して、工場内搬送・小型配送ロボット・バス (大型・小型)・ロボットタクシー・自家用車といった複数の車両形態および複数パターンセンサー構成に対応する必要がある。このような幅広い適応性が実現された状態として、100種類以上の車両モデルという目標値を設定した。

ミッションクリティカルなシステムでは、十分な安全マージンを設けてリアルタイム性を保証することが通常である。保証できるCPU使用率上限が100%とは、自動運転ソフトウェアの複雑さを考慮しない理論上では達成されている。本KPIは、理論上の証明による保証ではなく、自動運転ソフトウェアという実システムを対象としており、自動運転ソフトウェアの運用中の評価結果として保証されていることを示す。保証できるCPU使用率上限が90%とは、理論上でも難しいと思われる高水準へ、実運用上では課題とならないところまで本事業を通じた成果によって引き上げる。

異なる立場または異なる背景を持つ様々なステークホルダ全てに対して合意形成する (100%)は困難である。しかし、残存リスクが合理的に許容可能なレベルまで低減されていること、および自動運転システムによって課題解決が可能であることが本研究成果によってエビデンスと論拠によって定性的かつ定量的に説明することができれば、より多くのステークホルダとの合意形成が成立すると考え目標値を90%に設定した。

開発・運用効率化では様々な指標が考えられる。例えば、機能開発の時間、不具合の検出から解決までの時間など。一方で、それらの指標は機能の複雑さや開発プロセスの変化によって測定することが難しくなる。そこでユースケースを分母に取り、開発・運用で発生するログサイズを指標と定めることで、中長期に渡りある程度頑健な指標であり、効率を測る指標になると考えた。現状の様々なバリエーションの評価を行ったり、運行において取りうるデータの取得を行ったりしているが、今後効率化・データの取舍選択を行うことで90%という大幅削減を目標とする。

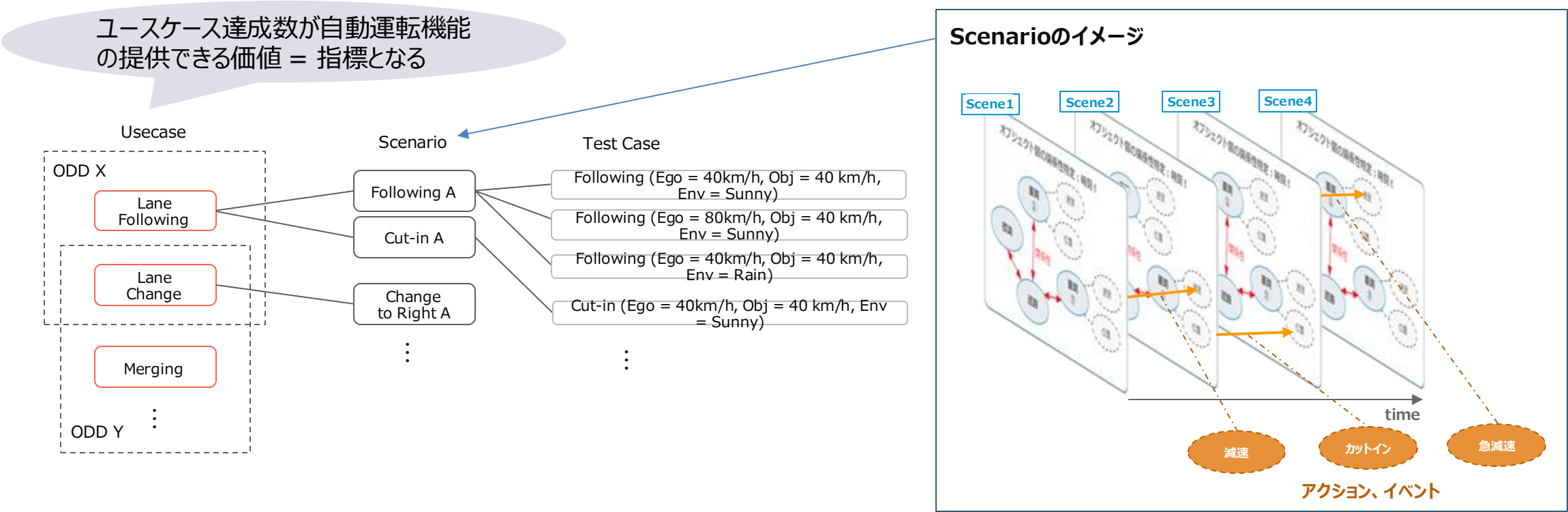
[1] P. L. Olson, M.Sivak, Perception-Response Time to Unexpected Roadway Hazards, Human Factors
[2] 枝廣正人、ハードウェア抽象化記述SHIMと性能見積、組込みマルチコアコンソーシアム

2. 研究開発計画／（１）研究開発目標

ベンチマーク指標には消費電力も考慮した定量化指標を用いて達成度を明確にする。

自動運転システムの電力効率に関するベンチマーク指標（=KPI）

自動運転システムの電力効率に関するベンチマーク指標として、消費電力あたりのユースケース数（Usecase / W）を提案する。自動運転の技術水準を示すベンチマーク指標としてMiles per disengagementが広く使われているが、電力やODDとは無関係な指標となっており、絶対値の比較の意味が薄い。本提案時では ユースケースのコンセプトと定量化方法の検討に着手した段階で、未だ世界的に認められた指標ではないため、具体化を進めながらRoAD to the L4や日本自動車研究所(JARI)およびThe Autonomous Vehicle Computing Consortium(AVCC)といった枠組みでコンセンサスを取っていく。



2. 研究開発計画／（1）研究開発目標／研究開発内容 1

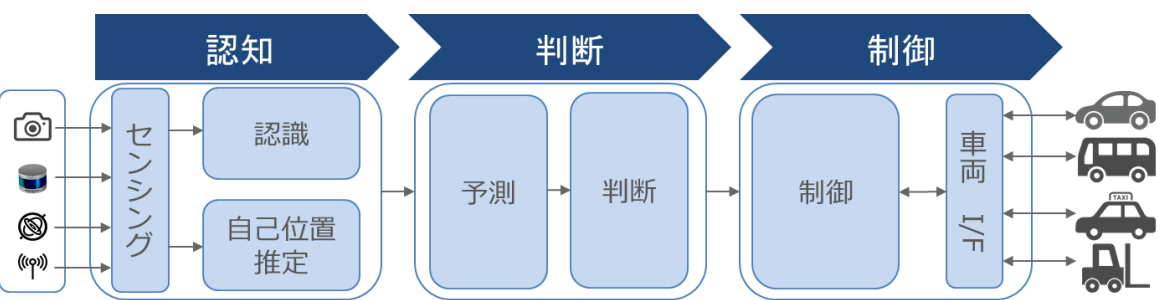
研究開発テーマ1の「広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム」には、共通のソフトウェアプラットフォーム上で100種類以上の車両モデルに対応することをKPIとして設定する。

自動運転システムの適応性に関するベンチマーク指標（＝KPI）

自動運転システムの適応性に関するベンチマーク指標として、自動運転ソフトウェアの対応車種数を提案する。自動運転システムの適応性として車両やセンサーなどのハードウェアに対する適応性と運行設計領域（ODD）に対する適応性がある。ここでは特にハードウェアに対する適応性を示す指標として、ひとつの自動運転システムで対応可能な車種数を採用する。センサー構成や車両制御インターフェース、車体サイズや重量など、車種ごとに自動運転システムで考慮すべき要件が異なるが、本テーマの目的のひとつはこれらの違いを吸収可能な適応的なシステムを構築するためのアルゴリズムを開発することである。適応的なアルゴリズム開発の進捗の指標として、我々が公開している自動運転システムを採用し、自動運転を実現している車種数は適切な指標であると考える。

ここで評価の対象とする車種の利用者として以下の3種類が考えられる。

車両の種類	現状と課題
ティアフォーが自ら構築する車両	現状はティアフォーがリファレンス車両として開発を進めている車種だけでも、小型配送ロボット、自動搬送車、バス、タクシーなど複数車種に対応しており、これらの車両で共通して使えるアルゴリズムの開発を進めている。
パートナー企業が構築する車両	現在は顧客やパートナーの要求仕様に応じて自動運転システムをカスタマイズして提供しているが、今後はカスタマイズを最小限にするためのシステム開発が求められる。
エコシステム内で構築される車両	今後ティアフォーが直接かわからない車両で自動運転システムの採用数を増やしていく必要がある。そのためにシステムの適用性の拡大やカスタマイズが容易なアーキテクチャ設計、オープンソースソフトウェアとしてのマニュアル類の整備などを進めていく。



以下のアルゴリズム開発により、異なる地域や走行環境、異なるセンサー構成や車種に適用可能な自動運転システムを構築する。

- 多種多様なセンサーやセンサー構成に適応可能な認知アルゴリズム
- さまざまな地域や走行環境に適応可能な判断アルゴリズム
- 異なる車両インターフェースや車種、サイズ、車両特性に適応可能な制御アルゴリズム

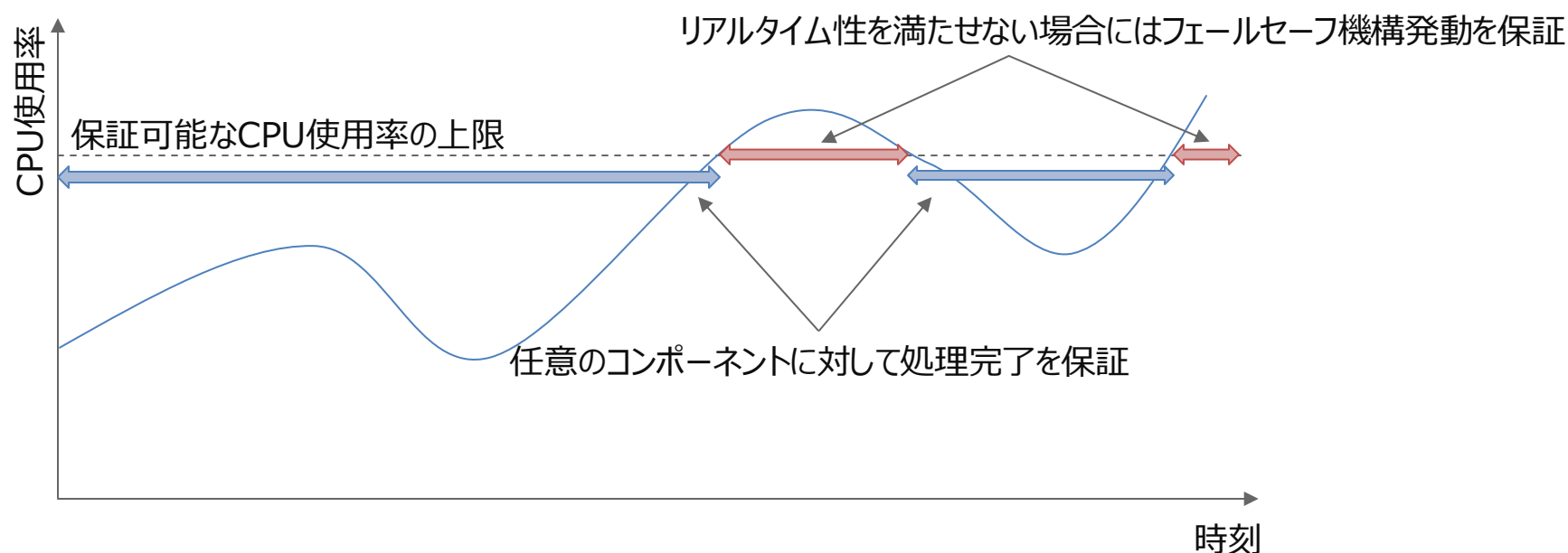
2. 研究開発計画／（1）研究開発目標／研究開発内容 2

研究開発テーマ2の「コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証」には、CPU使用率が90%以下であれば任意のコンポーネントに対して処理完了を保証またはフェールセーフ機構発動を保証することをKPIとして設定する。

自動運転システムのリアルタイム性に関するベンチマーク指標（＝KPI）

自動運転システムのリアルタイム性に関するベンチマーク指標として、任意のコンポーネントに対して処理完了を保証またはフェールセーフ機構発動を保証するCPU使用率の上限を提案する。自動運転に限らず、リアルタイム性を保証可能なCPU使用率の上限が、コンピュータを効率的に活用できている指標として理論研究で広く利用されている。自動運転ソフトウェアの複雑な有向非巡回グラフを保証する理論は未だ無いが、CPU使用率上限を引き上げても実運用上の課題が出ないことを評価によって実証する。

ソフトウェアプラットフォームは、複雑な依存関係のある機能群から構成されており、CPU使用率は毎刻変動する。CPU使用率が瞬間的に高まった結果としてリアルタイム性を満たせずにフェールセーフ機構が発動し、KGIとして設定した「自動運転による連続走行距離（Miles per Disengagement）」の達成に影響を与えるため、KPIとは別にKGIを達成するためのCPU使用率の上限を抑える取り組みも並行して実施する。



2. 研究開発計画／（1）研究開発目標／研究開発内容 3

研究開発テーマ3の「多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ」には、アシュアランスケースに基づく安全性論証に対して定常的に90%以上のサービスステークホルダの合意を獲得することをKPIとして設定する。

自動運転システムのディペンダビリティに関するベンチマーク指標（＝KPI）

自動運転システムのディペンダビリティに関するベンチマーク指標として、アシュアランスケースを用いたユースケース論証に対する平均のステークホルダ合意率を提案する。自動運転システムの社会実装において、実装に係わるステークホルダ（サービス提供者、地域住民、主要な交通利用者、関係省庁、自動運転システムの開発者など）に対して、自動運転システムがもたらす価値と残存リスク、すなわちシステムのディペンダビリティを説明しステークホルダがそれらを理解しシステム実装を受け入れることで合意形成が成立する。またステークホルダ毎に異なる関心事をもっているため、様々な視点から論証できる必要があるためディペンダビリティが確保された様を定量的に表すことは困難である。本研究ではステークホルダとの合意形成を重要視し、ディペンダビリティの指標化を以下の仮説として設定する。

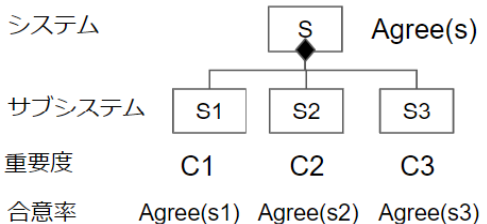
アシュアランスケースに基づく論証によるステークホルダ合意の達成率

システムSのステークホルダ合意の達成率をAgree(S)とする。

システムSがサブシステムS1, …, Sn で構成されているとき、

$$\text{Agree}(S) = C_1 \text{ Agree}(S_1) + \dots + C_n \text{ Agree}(S_n) \quad (C_1 + \dots + C_n = 1)$$

C1, …, CnはサブシステムS1, …, Snの重要度に応じて決定される。



システムSが単一のシステムとして合意される場合：そのディペンダビリティ要件を合意するステークホルダをh1, …, hmとする。そのD-Caseの葉（リーフ）ゴールをg1, …, gkとする。

ステークホルダh1, …, hmの重要度をa1, …, amとする（a1+a2+…+am=1）

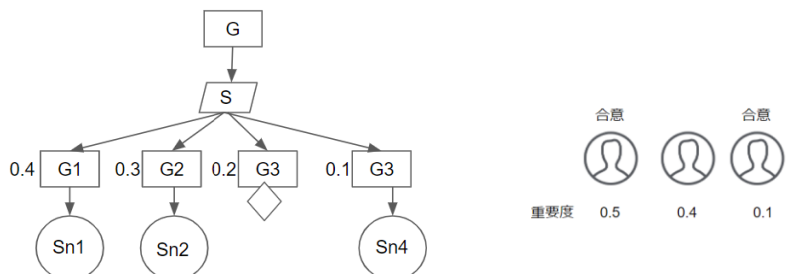
D-Caseの葉(リーフ)ゴールの重要度をd1, …, dkとする(d1+d2+…+dk=1)

h1, …, hmの内、そのD-Caseに合意したステークホルダをh1', h2', …, hi'とする。

g1, …, gkの内、ステークホルダが合意するエビデンスを持つゴールをg1', g2', …, gj'とする。

このとき、

$$\text{Agree}(S) = (a_1' + \dots + a_i') \times (d_1' + \dots + d_j')$$



例：ステークホルダが3人いて、それぞれの重要度が0.5, 0.4, 0.1、リーフゴールが4つあって、それぞれの重要度が0.4, 0.3, 0.2, 0.1だったとする。ステークホルダのうち、0.4のステークホルダが合意せず、リーフゴールのうち、0.2のゴールのエビデンスがなかったとする。このとき
 $\text{Agree}(s) = (0.5 + 0.1) \times (0.4 + 0.3 + 0.1) = 0.6 \times 0.8 = 0.48$ 、つまりこのシステムのステークホルダ合意達成率は48%

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標／研究開発内容 4

研究開発テーマ4の「エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン」には、開発運用においてユースケース毎および車両毎に必要なデータログのサイズを現行比で10%以下に削減することをKPIとして設定する。

自動運転システムのアジャイル開発基盤に関するベンチマーク指標（＝KPI）

自動運転システムのアジャイル開発基盤に関するベンチマーク指標として、開発評価および運用でユースケース毎および車両毎に必要なデータログのサイズを提案する。一般的なベンチマーク指標として開發生産性やリリースサイクルの速度、品質があげられる。一方で、自動運転システムの開発・評価プロセスはまだ発展途上にあり、プロセスの各工程に密結合な指標を立てると将来的に計測が困難になる恐れがある。また、自動運転システムの評価は膨大な評価を必要とし、単純なCI/CDが実行された回数やそのシミュレーション時間を目標に掲げると無駄が大きく発生し、経済的にも困難が生じる。そこで各プロセスの開發生産性や品質に関する指標と因果関係があり、比較的容易に測定を継続できる指標として運行・評価で用いるログサイズを用いる。ログサイズのみ評価していると対応するユースケース数や社会実装されていく車両数に依存して増えていくため、そちらを分母に設けることで、ユースケース・車両あたりのログサイズで開発の効率性を測ることとする。

評価データ量 = {テスト実行回数} × {1テスト辺りデータ量} / {ユースケース} × {テスト対象車両数}

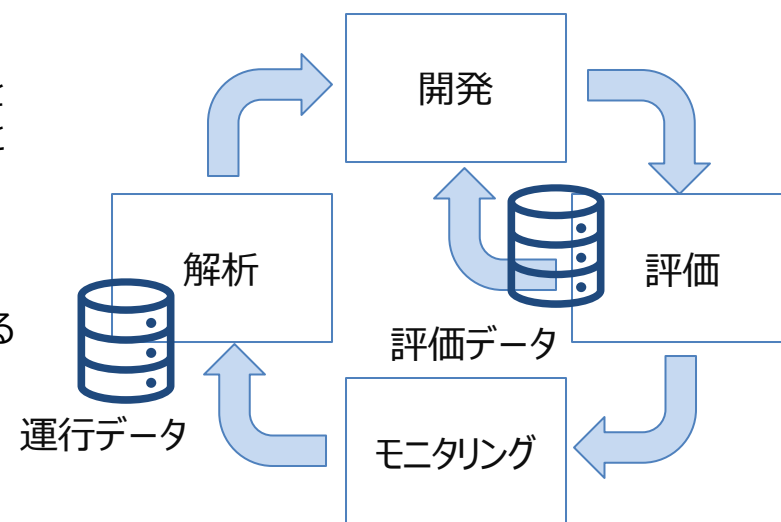
- 評価対象車両やユースケースの増加によりテスト量が膨大に増えていくことが予想されるが、効果的な評価を実現していくことで改善される。Agileでよく出てくるリリースサイクルの短縮化などもこちらの指標で包含できると考える。

実車データ量 = {解析・チューニングに必要なデータ量} / {ユースケース} × {運行車両数}

- 無条件で膨大にデータを収集すると非効率なので、車載側から必要なデータだけを取得することで改善される指標

総データ量 = {評価データ量} + {実車データ量}

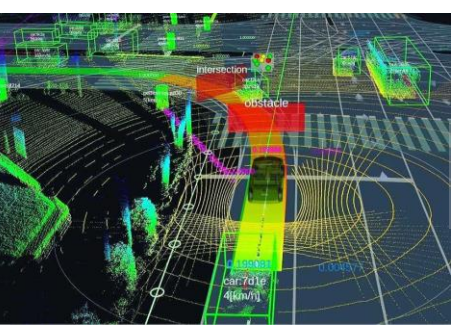
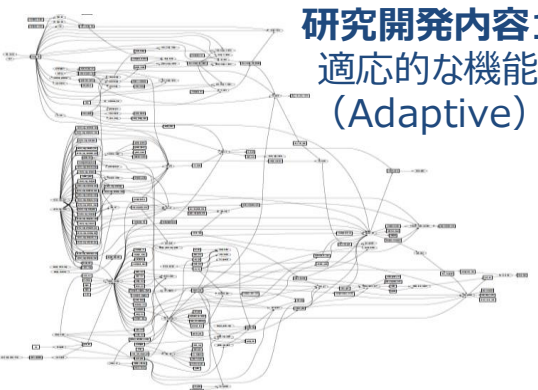
- テスト、実車の両方が改善されることが目的



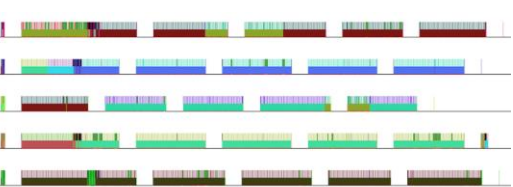
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容／ 概要

オープンソースの自動運転OS「Autoware」を通して得られる世界中の走行データおよびハードウェアプロファイルに対して可能な限りエッジ側で処理を行い、必要最小限の情報のみをクラウドで扱うことで、エッジ指向のクラウドネイティブ環境を実現する。

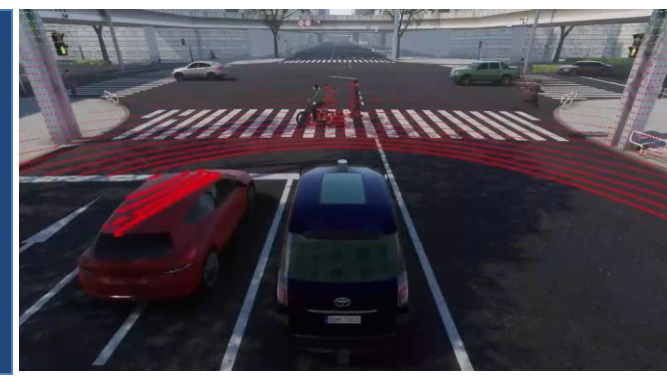
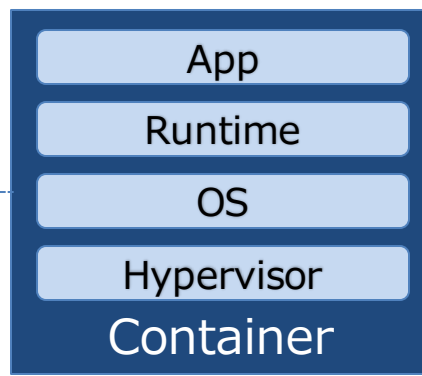
研究開発内容1 適応的な機能 (Adaptive)



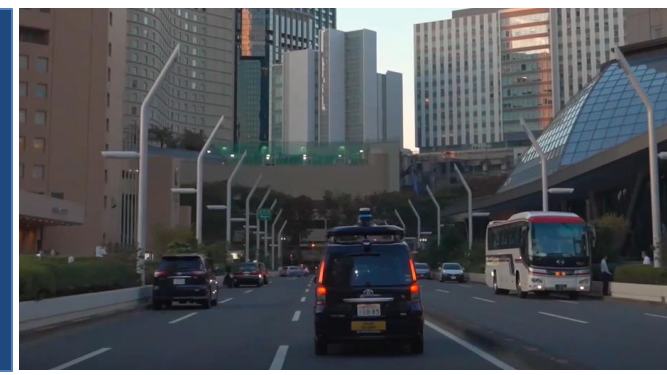
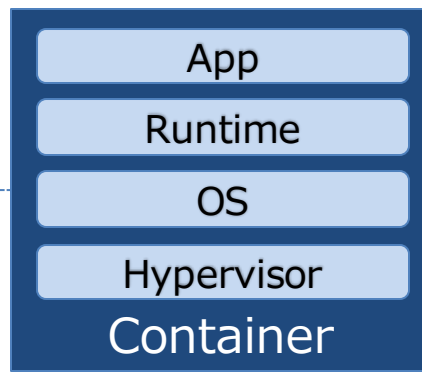
クラウド ネイティブ



研究開発内容2 実時間の性能 (Real-Time)

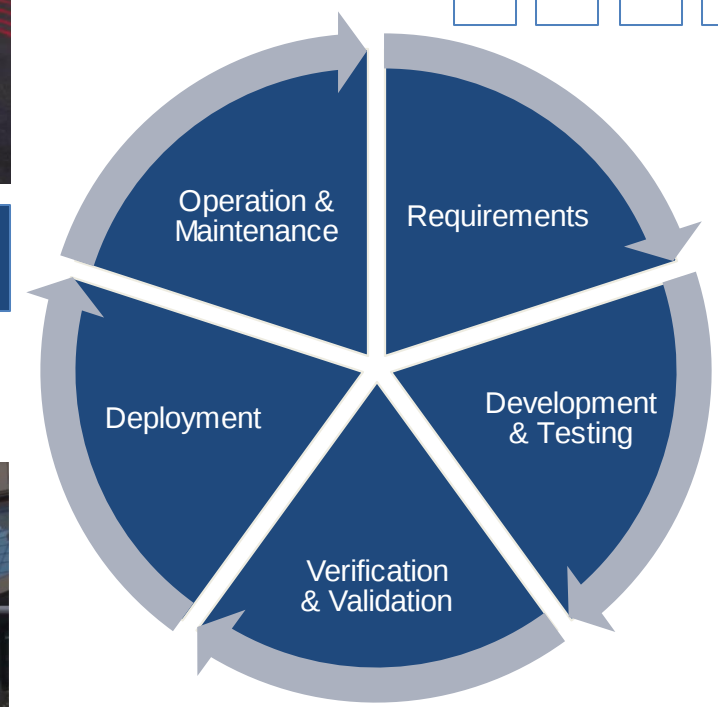
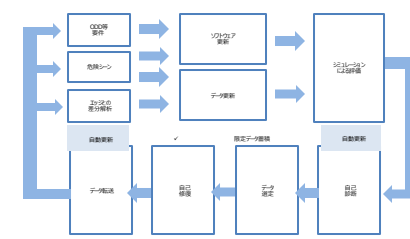


Cloud

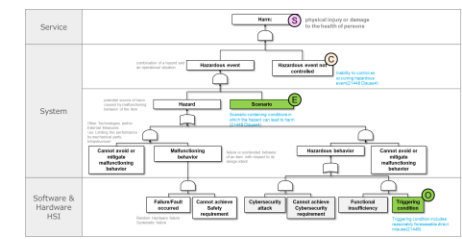


Edge

研究開発内容4 開発効率の改善 (Agile)



研究開発内容3 安全性の論証 (Dependable)



2. 研究開発計画／（2）研究開発内容／ KPIと実現可能性

各研究開発テーマのKPIを達成するための要素技術を特定し、各要素技術の専門家と有識者を招致して中長期の技術トレンドを見極めつつ2030年以降も見据えた解決方法を打ち出すことで、KPIの実現可能性を高める。

	KGI / KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
★ 全体 (Microautonomy～集合的にスケーラブルな自動運転システムの創出)	Usecase / W 国数 Disengagement スター数 コントリビューター数	Validation (TRL4)	Pre-commercial (TRL7)	研究開発内容1～4 (Adaptive, Real-Time, Dependable, Agile)	Possible (80%)
1 広域の運行設計領域（ODD）に 適応可能な自動 運転アルゴリズム	共通のソフトウェアプラットフォーム上で 100種類以上の車両モデルに対応	Validation	Proven	- 多様なデータインプットに一元的に対応可能なアルゴリズム/インターフェース - 安全性と高度な予測・判断を両立するアルゴリズムの開発	Confident (90%)
2 コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証	リアルタイム性を保証するCPU使用率上限	Concept	Completed/Qualified	- リアルタイム性を保証するモデル設定方法とその解き方 - レイヤー構造の簡素化・短絡化 - 処理の割り当て最適化	Possible (80%)
3 多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ	ステークホルダーとの合意達成率	PoC	Proven	- ディペンダビリティを説明可能な論証フレームワークの開発と公開 - ディペンダビリティの維持を可能とする影響分析ツールチェーン開発と公開 - ディペンダビリティ実現を支援するAutowareアーキテクチャの開発と公開	Confident (90%)
4 エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン	開発運用におけるログサイズ /(Usecase*車両数)	Prototype	Proven	- Cloud Native CI/CDとHILSの連携 - Defect Pronenessを用いたシナリオ削減 - Dynamic Assuranceによる自己診断/自己修復	Confident (90%)

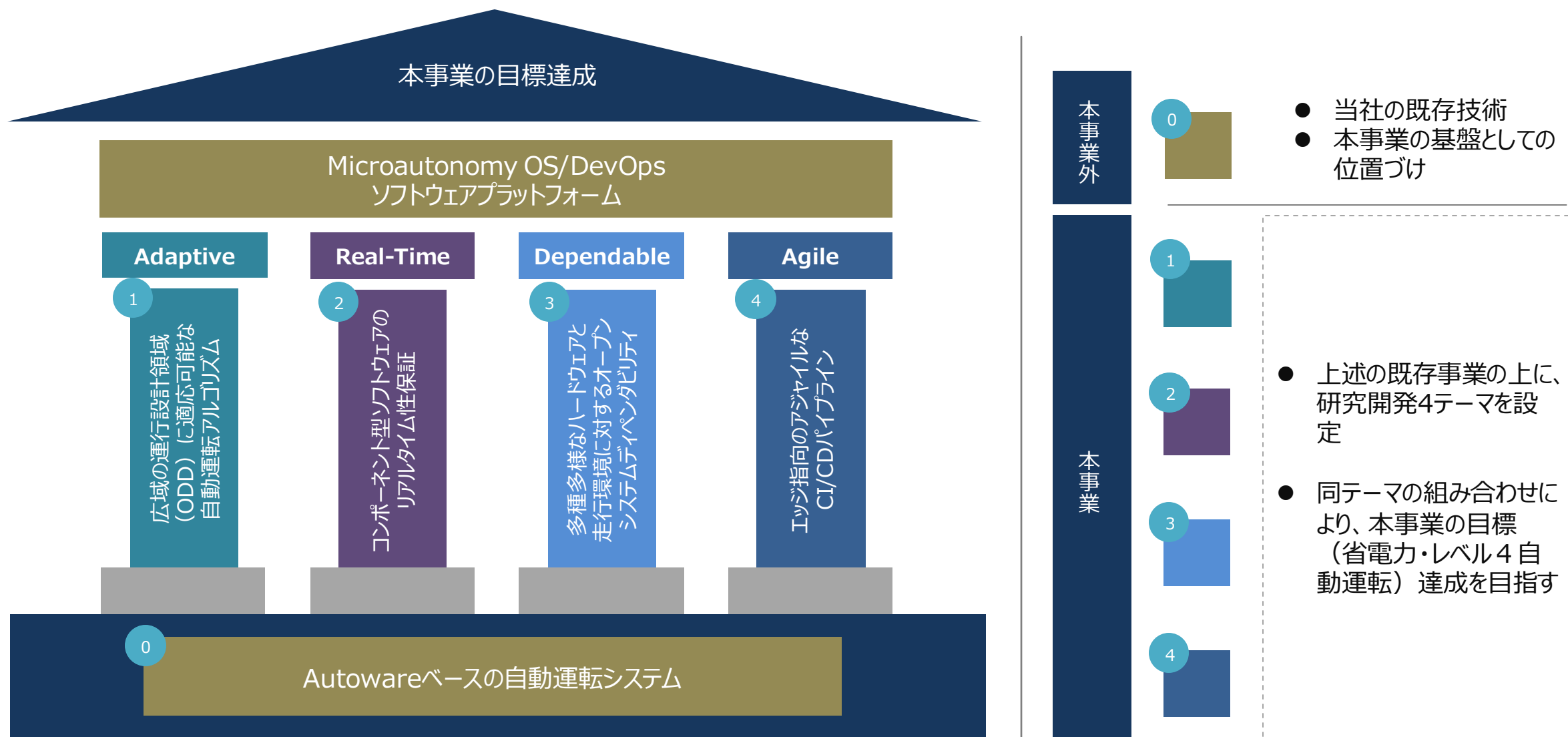
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容／ KPIと実現可能性

各研究開発テーマのKPIに対する実現可能性の考え方・根拠については下記の通り。

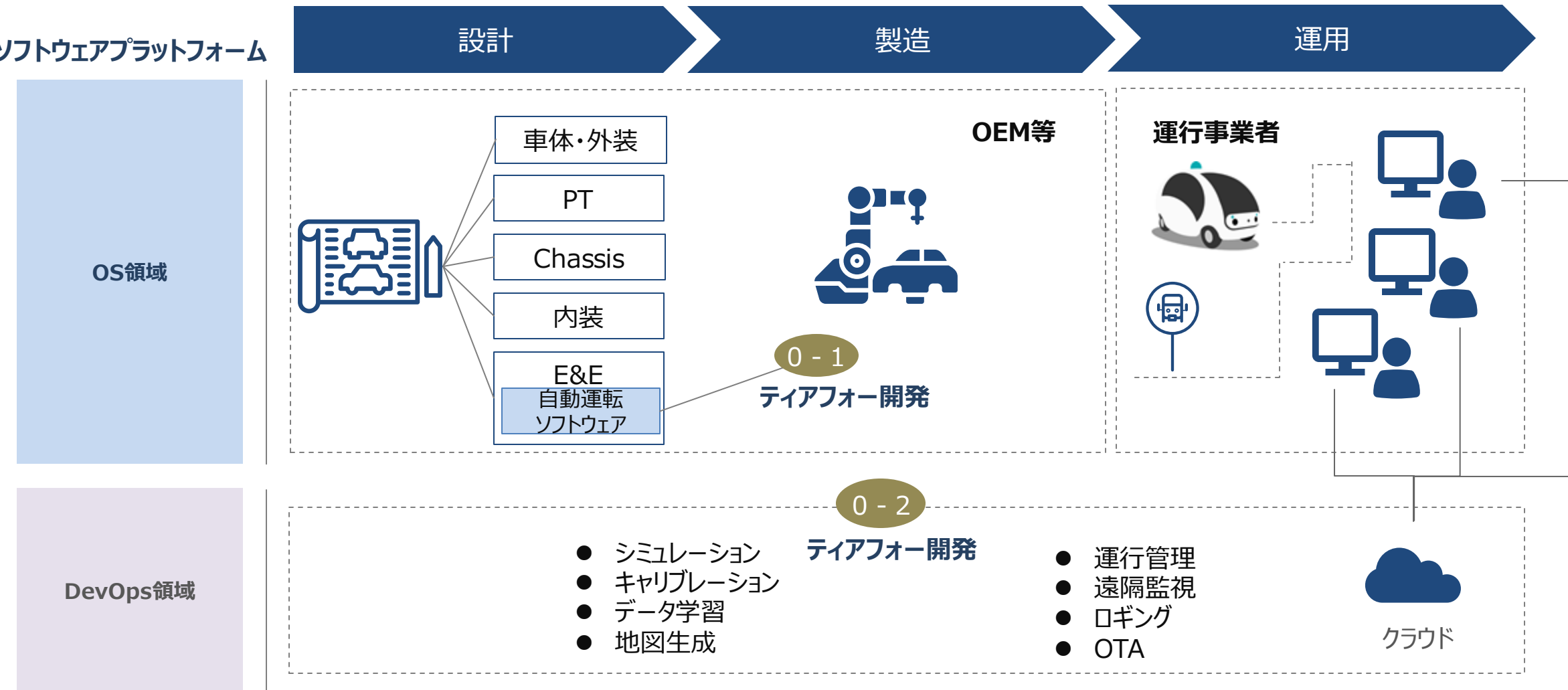
	KGI / KPI	実現可能性 (成功確率)	KGI / KPIに対する実現可能性の考え方・根拠
★ 全体 (Microautonomy～集 合的にスケーラブルな自動運転 システムの創出)	Usecase / W 国数 Disengagement スター数 コントリビューター数	Possible (80%)	事業戦略ビジョンのオープンソース戦略を競争優位とするために、アウトプット目標に沿ったKGIだけではなく、海外およびオープンソースや商用プラットフォームの成功もKGIに加えたストレッチゴールだが、総合的に2030年度というタイムラインではPossible (80%)である。
1 広域の運行設計 領域 (ODD) に 適応可能な自動 運転アルゴリズム	共通のソフトウェア プラットフォーム上で 100種類以上の車 両モデルに対応	Confident (90%)	自動運転システムを広域のODDに適用するためには、多種多様なセンサーや車両に適用可能であること、様々な地域や環境に適用可能であることが必要である。これらの適用性を示す指標として自動運転システムを適用した車種数を採用する。ティアフォーでは現在でも複数の車種に対してシステムを適用しており、エコシステムも順調に拡大しているため、2030年度というタイムラインではConfident(90%)である。
2 コンポーネント型ソ フトウェアのリアルタ イム性保証	リアルタイム性を保 証するCPU使用率 上限	Possible (80%)	リアルタイム性を満たすCPU使用率の上限を保証するためには、自動運転という複雑なアプリケーションを扱えるタスクモデルを構築して完了時間を予測する必要がある。現実に即したタスクモデルを構築および実アプリケーションに適用することは、様々な研究者が取り組んでいる困難な課題であるが、アプリケーションからシステムソフトウェアまで様々な専門家が在籍しているティアフォーであれば、2030年度というタイムラインではPossible (80%)である。
3 多種多様なハード ウェアと走行環境 に対するオープンシ ステムディペンダビリ ティ	ステークホルダーとの合 意達成率	Confident (90%)	連携しているアカデミック団体、産業団体での共同研究成果が活用でき、かつ工場内搬送、旅客バス・タクシー、ロボットデリバリーなど多種多様なリファレンスデザインを用いた自動運転システムを実証実験の結果を踏まえて社会実装を目指しているティアフォーであれば、2030年度というタイムラインではConfident(90%)であると考えられる。
4 エッジ指向のアジャ イルなCI/CDパイ プライン	開発運用におけるロ グサイズ /(Usecase*車両 数)	Confident (90%)	開発を効率化し、データの転送・保存量を削減するには、効率的な評価と運用車両のモニタリング・メンテナンスが必要である。すでにサービス実証が始まっており、複数車両・複数ODDに対してOTAなど基本的なCI/CDの枠組みを構築済みであり、発展的な取り組みを行えるベースが築けているティアフォーであればConfident(90%)である。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容／ 背景

本事業の4つの柱は既存の技術的基盤の上に位置づけ、確実な目標達成を目指す。



- 0 自動運転システムのプロダクトライフサイクルを一気通貫で支えるソフトウェアプラットフォームを提供し、誰もが市場に参入できるエコシステムを形成することによって、安全で高品質な自動運転システムを早期に社会実装する。



0 本事業の研究開発を通じ、総合的な技術成熟度をTRL7まで引き上げるための課題を特定し、最先端の要素技術を組み込んだ自動運転OSおよびDevOpsを跨るソフトウェアプラットフォームを構築する。

既存の技術的基盤

本事業で解決したい課題

自動運転OS

0 - 1



- 基本機能は実装済み
- 様々なコンピュータで動作
- 複数の車両を自動運転化
- 複数のODDでサービス実証

自動運転DevOps

0 - 2



- クラウド指向
- 網羅的なシナリオ検証

- 計算処理の省電力化
- 可用性と安全性の向上
- 高度なODDでレベル4実現

- エッジ指向
- データ処理の省電力化
- シナリオ検証の効率化

1 広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム

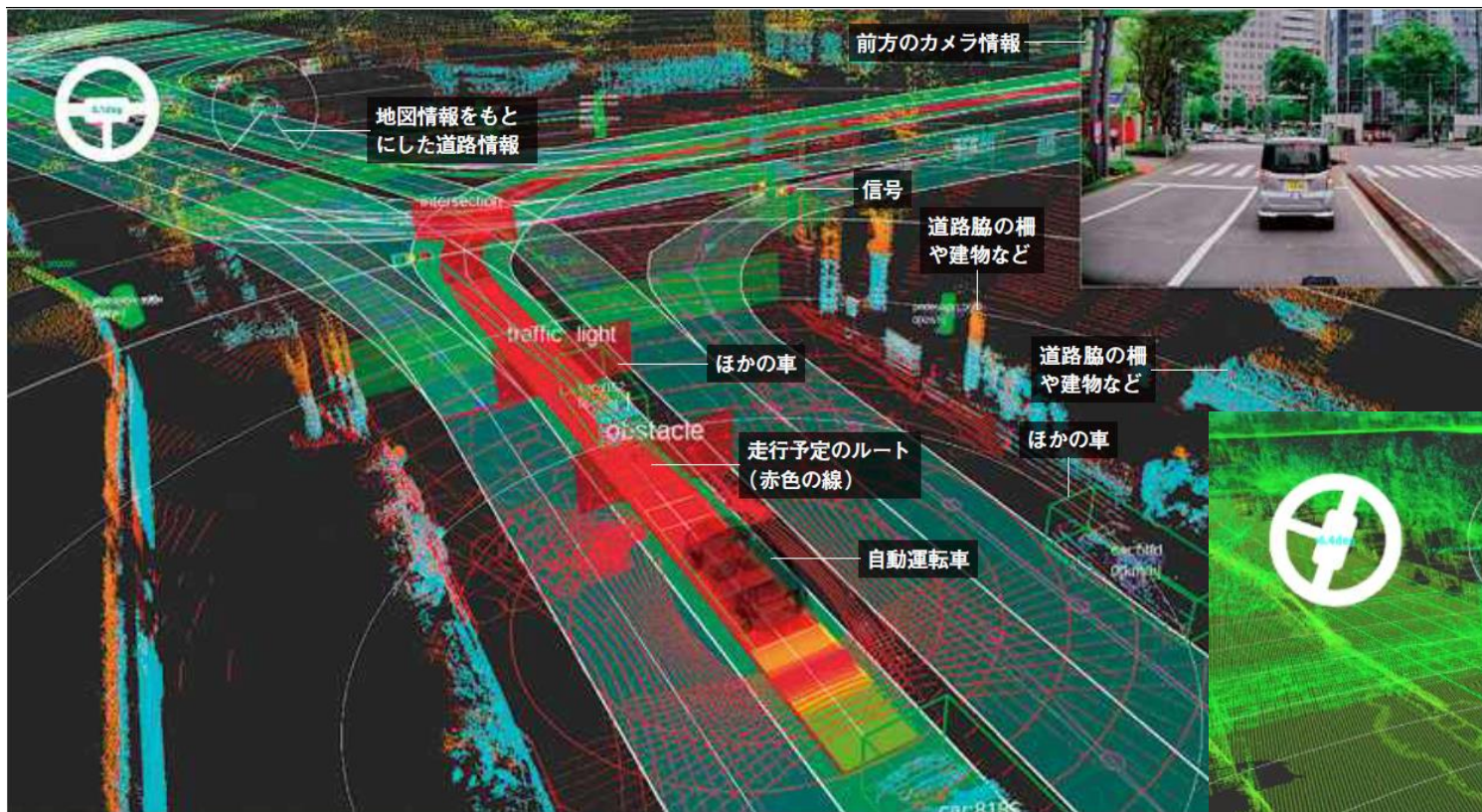
2 コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証

3 多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ

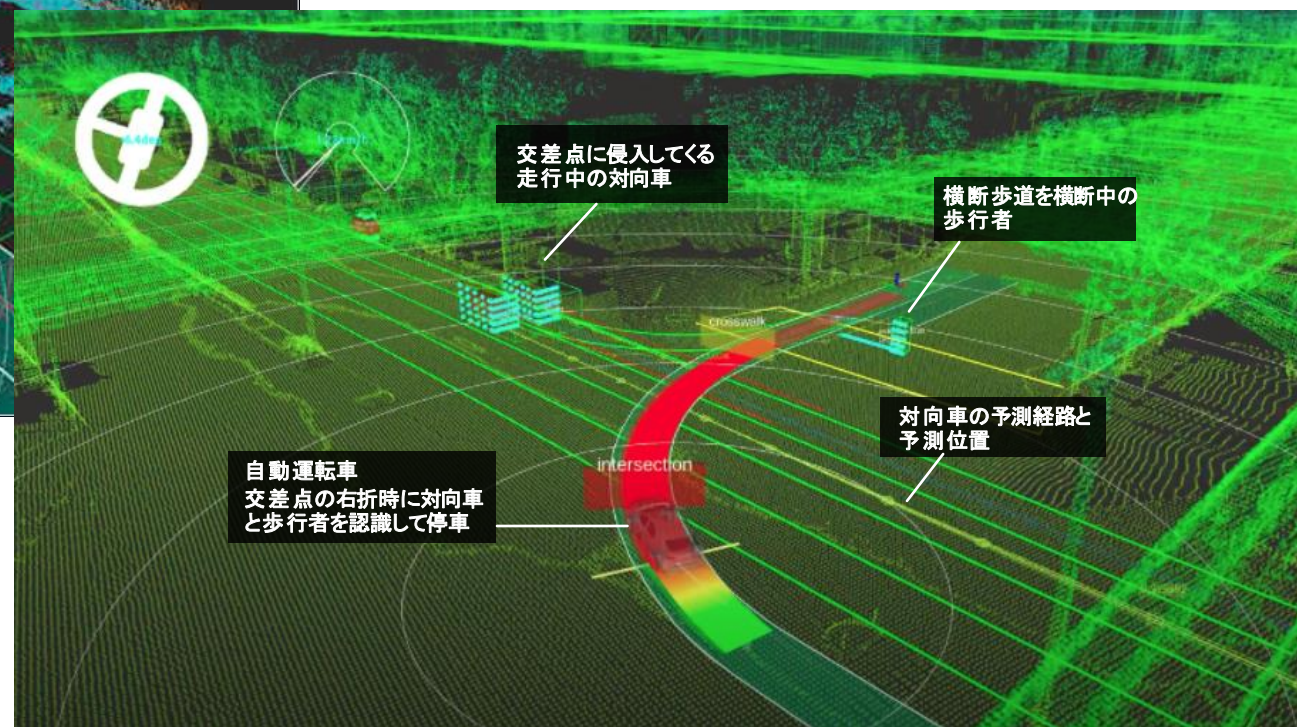
4 エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容／ Autowareベースの自動運転システム

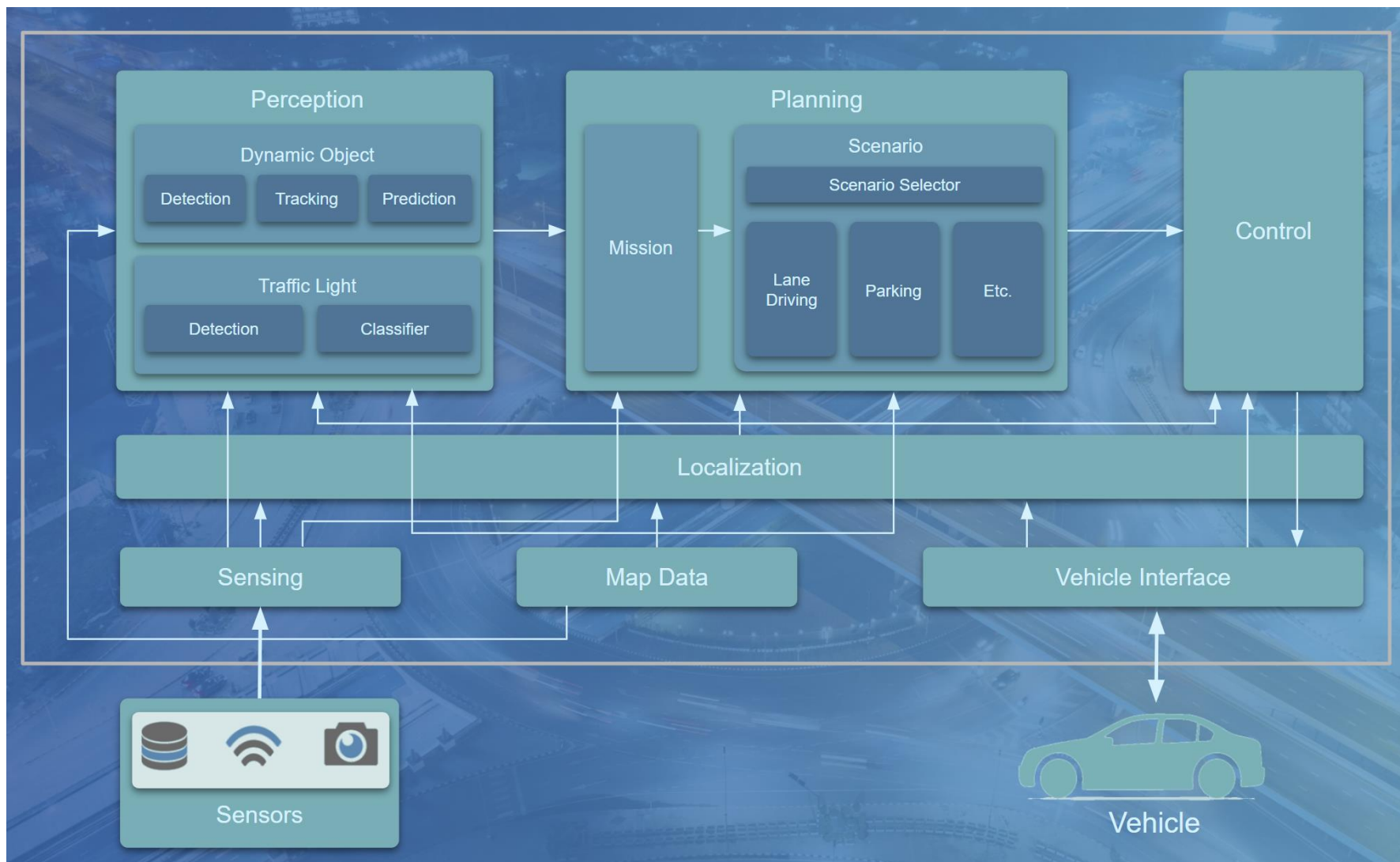
- 0 現時点の自動運転システムは、標準条件下で実証実験は可能なレベルにあるものの、セーフティドライバーに頼るシナリオも存在するため、本事業を通して省電力且つ社会実装が可能なレベル4水準まで技術力を引き上げる。



自動運転ソフトウェアが見ている世界を可視化した画面



- 0 本事業を通してティアフォーの自動運転システムを無数のコンポーネントへ適応可能となるようにMicroautonomyアーキテクチャを進化させる。



現段階では特定のハードウェアや環境のみ対応するコンポーネントで構成されており、無数のコンポーネントを適用可能な堅牢なアーキテクチャにはなっていない

0 環境認識

個別課題：多種/多モデルのセンサー利用

各ベンダ/モデル間において計測原理や出力フォーマットなどで仕様差が存在する

多種/多モデルのセンサーが共通して利用できるドライバ・アルゴリズムが必要

個別課題：Domain Gap の解消

プロダクト間において運用環境（ODD）やセンサー構成差が存在し、認識性能がそれらに大きく依存Domain Gap に対して最小限の工数で対応できるような適合手段が必要

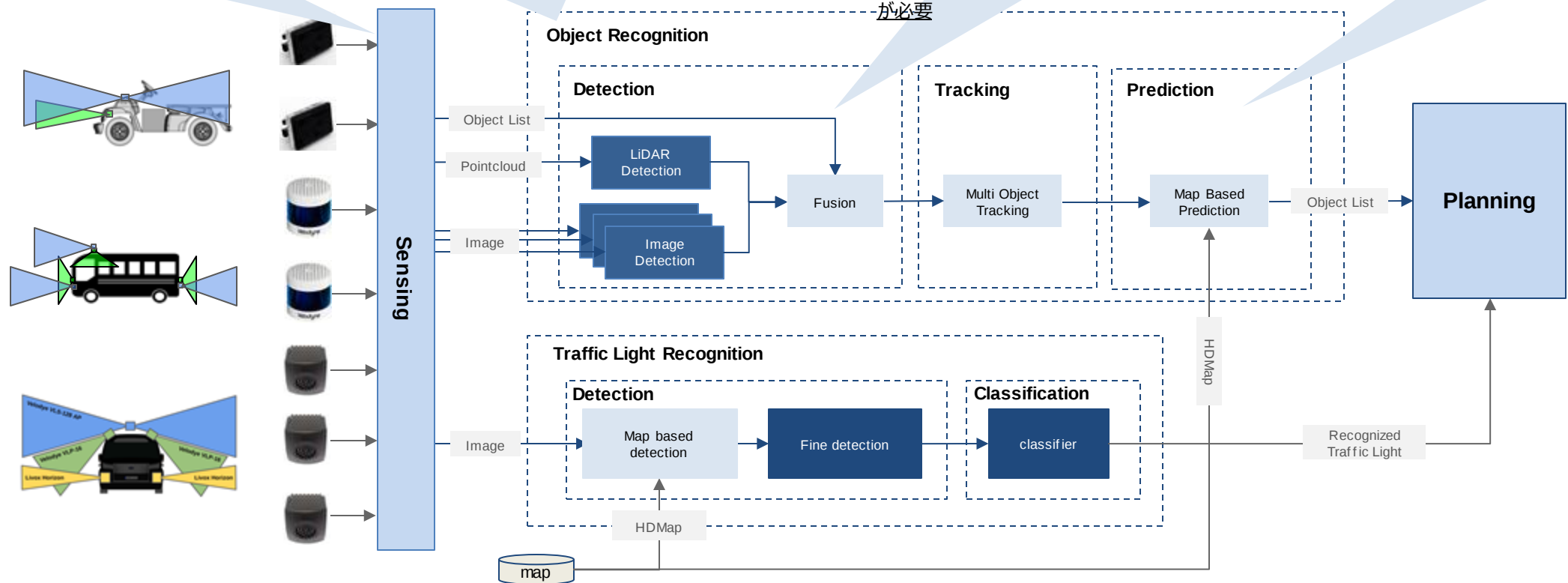
個別課題：多種/複数センサーの Fusion

LiDAR中心のパイプラインでありセンサー情報の欠落が大きいため、センサーFusion による性能改善が小さい

センサーの情報を有効活用できるFusionアルゴリズムが必要

個別課題：複雑なシーンにおける予測

地図情報を利用したルールベースで物体の移動予測をしており、複雑なシーンへの対応が難しい
複雑な環境/シーンにおいても高精度な予測判断ができるアルゴリズムが必要



全体課題：自動運転実現のための認識性能向上を実現しつつ、様々なセンサーや運行設計領域（ODD）に対して横断的に適合可能な技術開発が必要

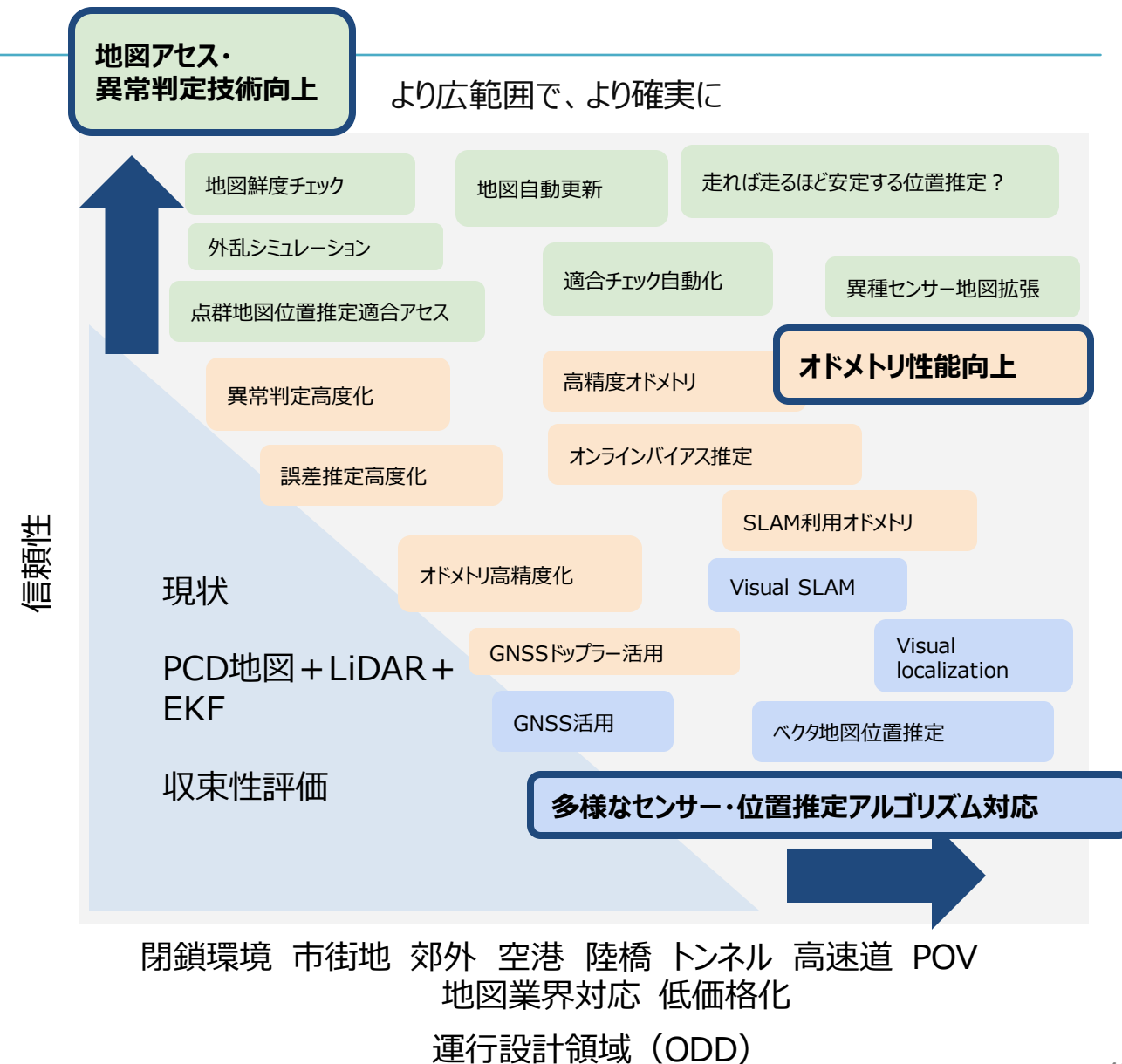
0 自己位置推定

【現状】

- PCD地図 + LiDAR + EKFでの位置推定にて閉鎖環境や市街地等では安定した位置推定を実現
- EKFベースの異常判定とパラメータ推定機能
- 収束性評価・変動評価による地図事前アセスプロセス
- 市街地等での実証実験・工場等閉鎖環境での運用事例

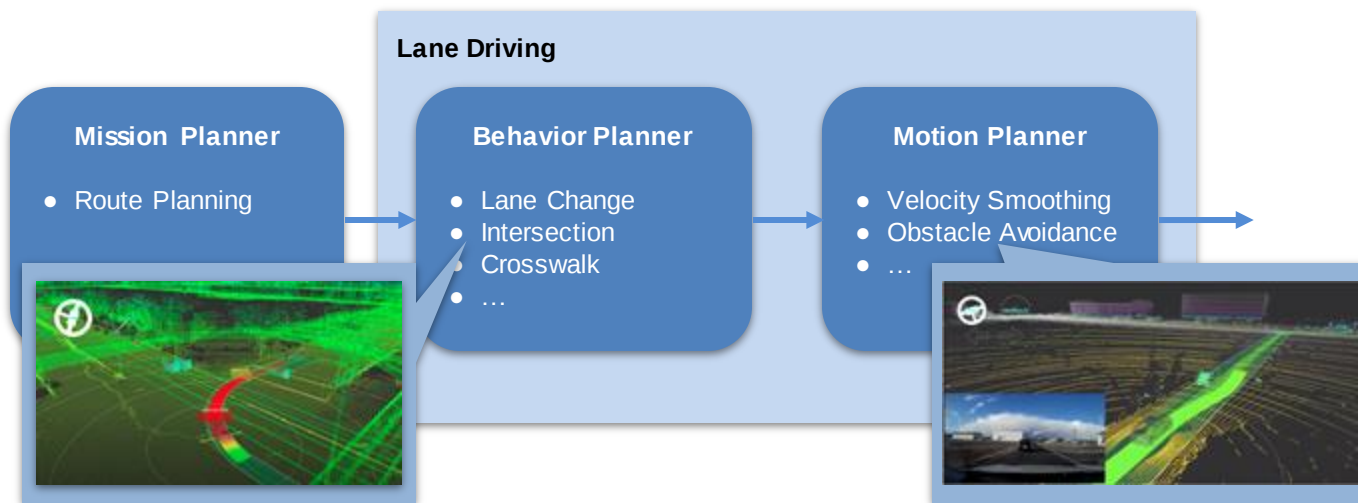
【課題】

- トンネル等現状位置推定に課題のある環境での位置推定
- ベクタ地図対応による地図業界連携・高速道路対応
- 多種多様なハードウェア（センサー）対応のためのフレームワーク拡張
- プレ商業実証レベルの信頼性を確保するための地図アセスプロセス及び異常判定性能向上



0

行動計画と車両制御



行動計画

【現状】

- 多様なニーズに応じた行動計画
 - 各ユースケースに対応した行動計画モジュールを起動
 - モジュールを追加することでODDを拡張可能

【課題】

- 複雑なシーンにおける行動計画
 - モジュール化の利点を活かしつつ、複雑なシーンへ対応
 - 複数モジュール間で整合性を保つ仕組みの導入

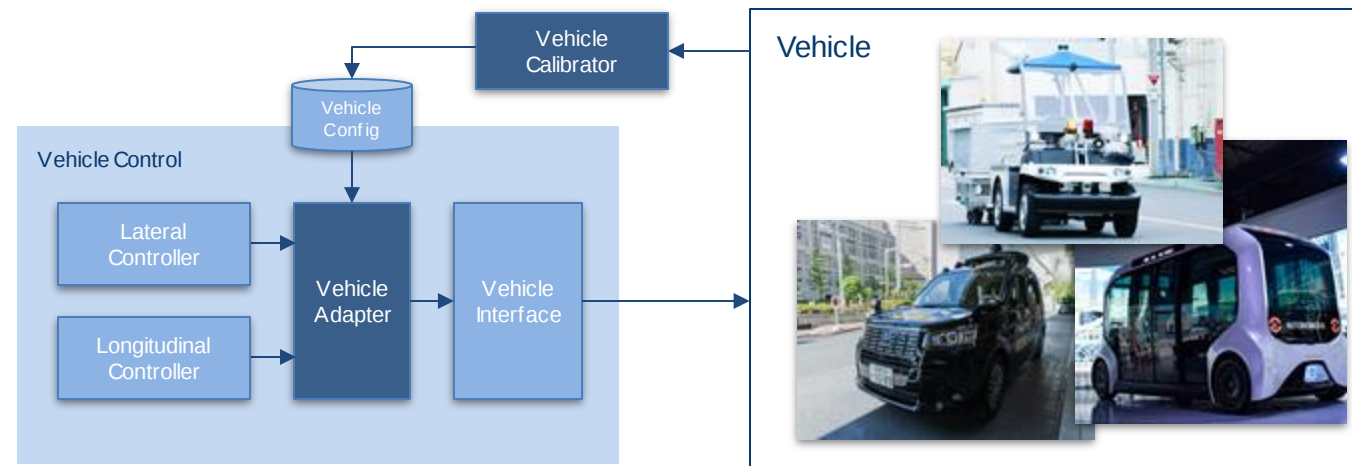
車両制御

【現状】

- 精緻かつ滑らかな制御
 - 10cm精度の正着、工場内狭路での正確な走行

【課題】

- 多種多様な車両構成に適応可能なプラットフォーム
 - 中・大型車両、タクシー、搬送車両など様々な車両構成や操作性の違いを吸収するフレームワーク
 - 車両特性を自動的に学習するアルゴリズム



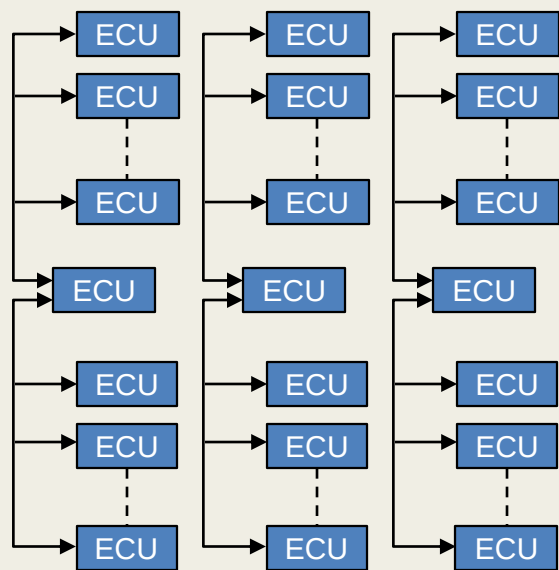
0

計算機システム設計およびシステム安全設計

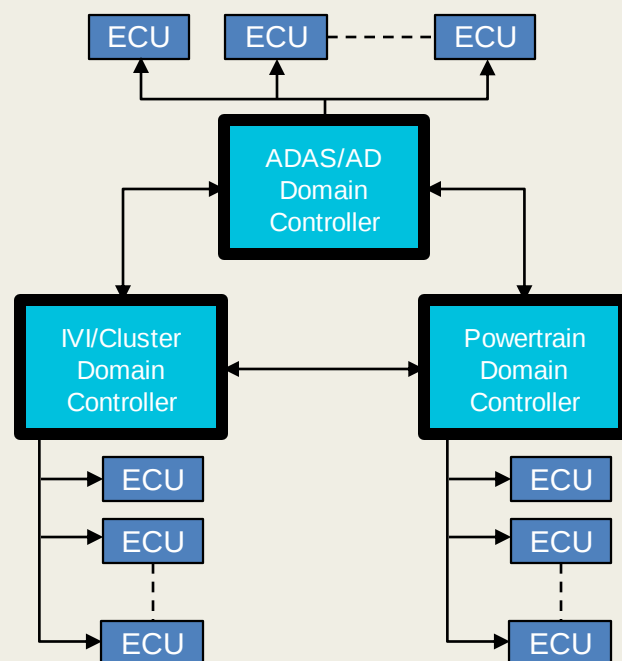
【現状と課題】

- 高性能なCPUとGPUにより処理時間を抑え込んでおり、自動運転向けに電力やコストを最適化できていない。
- 汎用OSと汎用Middlewareを使ったベストエフォートで動的にプロセスをハードウェアへ割り当てているため、自動運転に求められる時間制約を保証できない。
- ハードウェアは単一障害点対策として物理的には冗長構成にしているが、ソフトウェアは冗長構成にできておらず、自動運転コンピュータと車両コンピュータの直列構成であるため故障発生時にブレーキをかけることしかできず、ハンドル操作が必要なMinimum Risk Maneuverに対応できない。

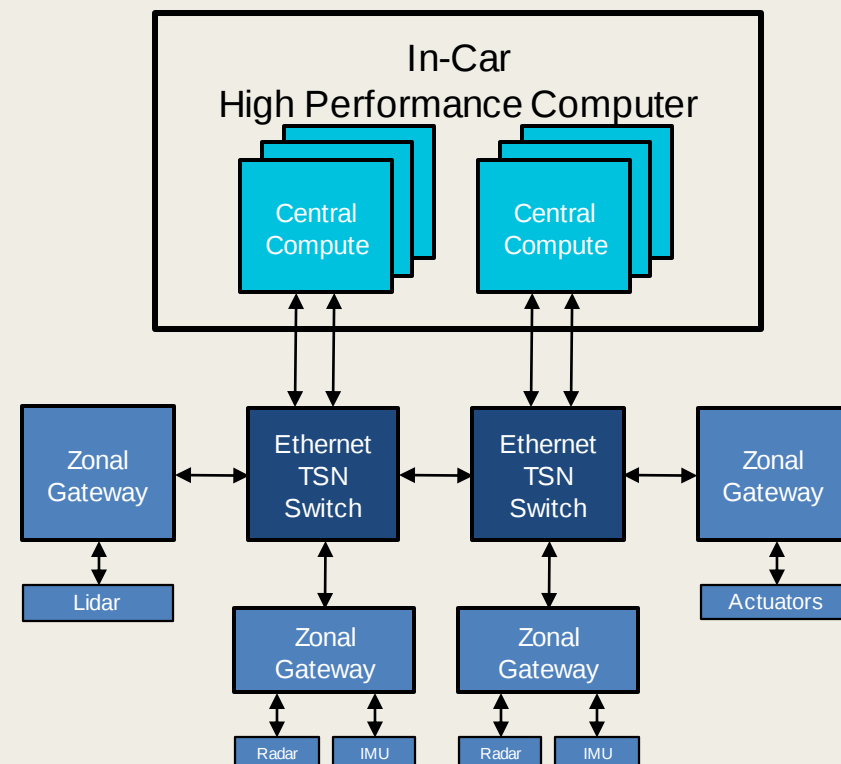
Traditional Architecture



Domain Architecture



Zonal Architecture

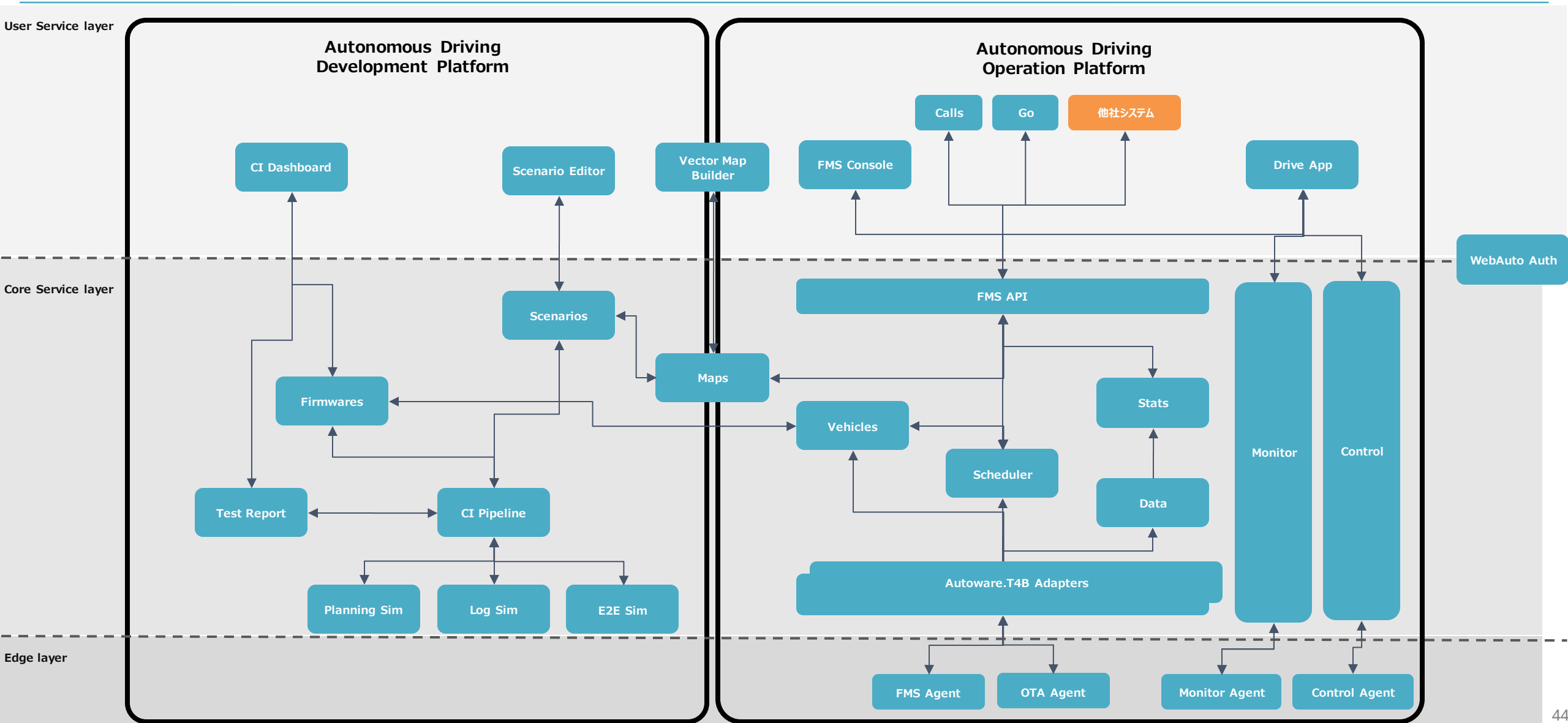


0

データ基盤およびCI/CD基盤

【現状と課題】

- ほぼ全てのデータをクラウド上へ収集および分析するクラウド指向となっており、大量のデータをクラウド上に転送および処理するための電力およびコストが膨大となる。



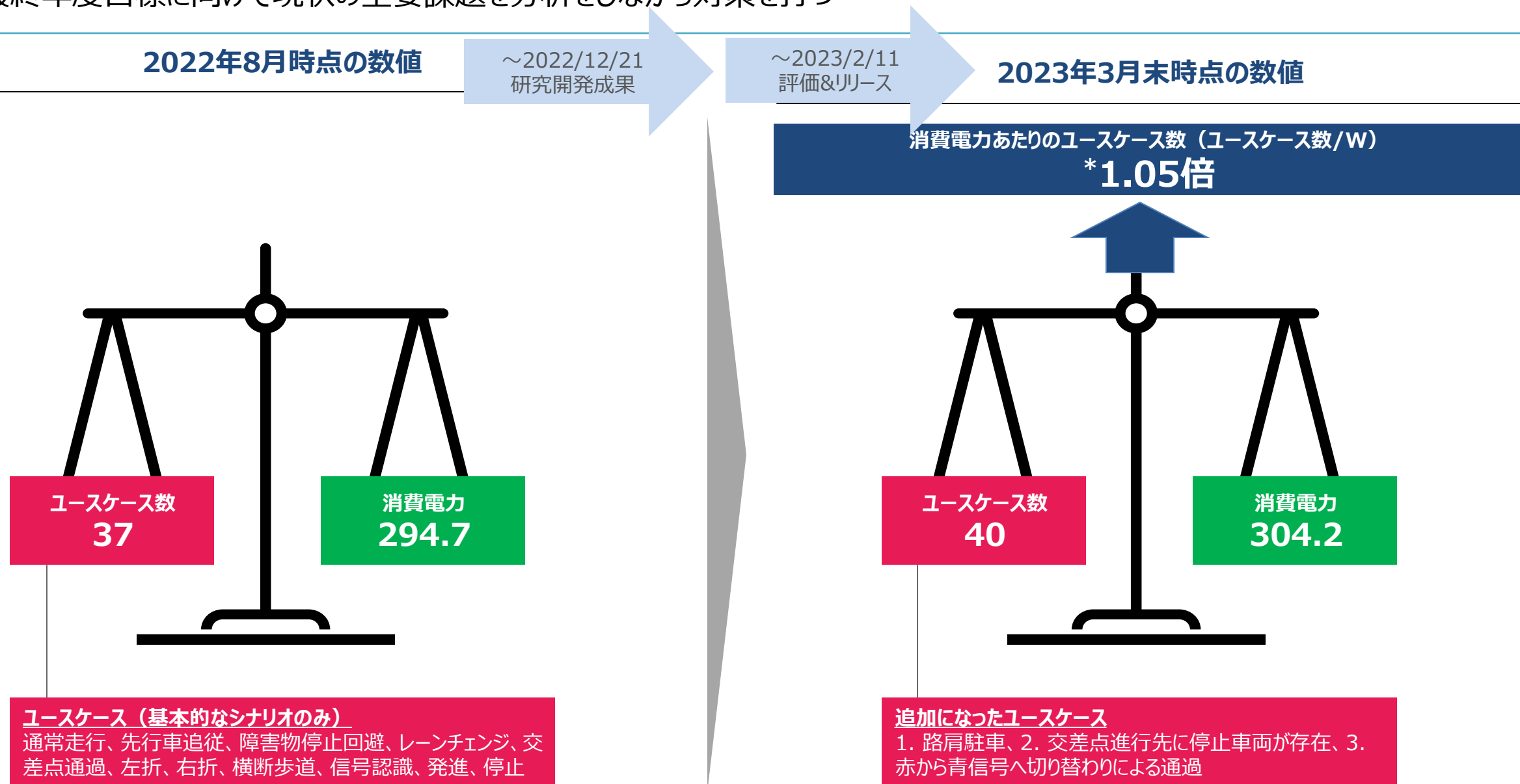
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容／2022年度目標の達成状況

- ・ 現状：KGI①を除くすべての目標を達成。今後も引き続き計画に沿って活動を継続する。
- ・ KGI/KPI/研究開発項目の妥当性、定義等は今後の目標再設定も視野にいて継続的にモニタしていく

		2022年度の策定時目標	2022年度目標の達成度
KGI	①消費電力あたりのユースケース数	・ 1.2倍	・ 消費電力あたりのユースケース数1.05倍 ・ 消費電力「W」：22年8月 294.7→23年2月 304.2 ・ U/C数：22年8月 37→23年2月 40 ※後段に詳細情報を記載
	②自動運転による連続走行距離(Miles per Disengagement)	・ 3 Miles per Disengagement	・ 複数環境下/車両でMpD測定し、18 MpD(Cargo delivery)/1.5 MpD (RoboTaxi) 達成 ※後段に詳細情報を記載
	③スター数とコントリビュータ数	・ スター数：6,500 ・ コントリビューター数：35人	・ スター数：6,700を達成(PJ開始時5,700) ・ コントリビューター数：163を達成 ※後段に詳細情報を記載
KPI	①自動運転ソフトウェアの対応車種数	・ 10車種以上	・ 16車種達成 ※後段に詳細情報を記載
	②任意のコンポーネントに対して処理完了を保証またはフェールセーフ機構発動を保証するCPU使用率	・ 時間制約を満たせない場合にリスク最小化行動するフレームワーク	・ フレームワークの設計、実装、評価が完了 ・ Autoware.Universeへマージは、開発計画「自動運転ソフトウェアフレームワーク統合」を検討しつつ進める
	③アシュアランスケースを用いたユースケース論証に対する平均のステークホルダ合意率	・ 説明戦略コンセプト策定完了 ・ 影響分析ツールコンセプト策定完了	・ 論証に関する問題と取り組み課題説明戦略コンセプト、および影響分析ツールコンセプト完了
	④開発評価および運用でユースケース毎および車両毎に必要なデータログのサイズ	・ ログサイズ収集基盤の構築	・ ログ収集基盤の構築は完了。今後データの可視化を進め、定期的なモニタリングを開始する

2. 研究開発計画／（1）2022年度の研究開発目標の達成度（KGI①：消費電力あたりのユースケース数）

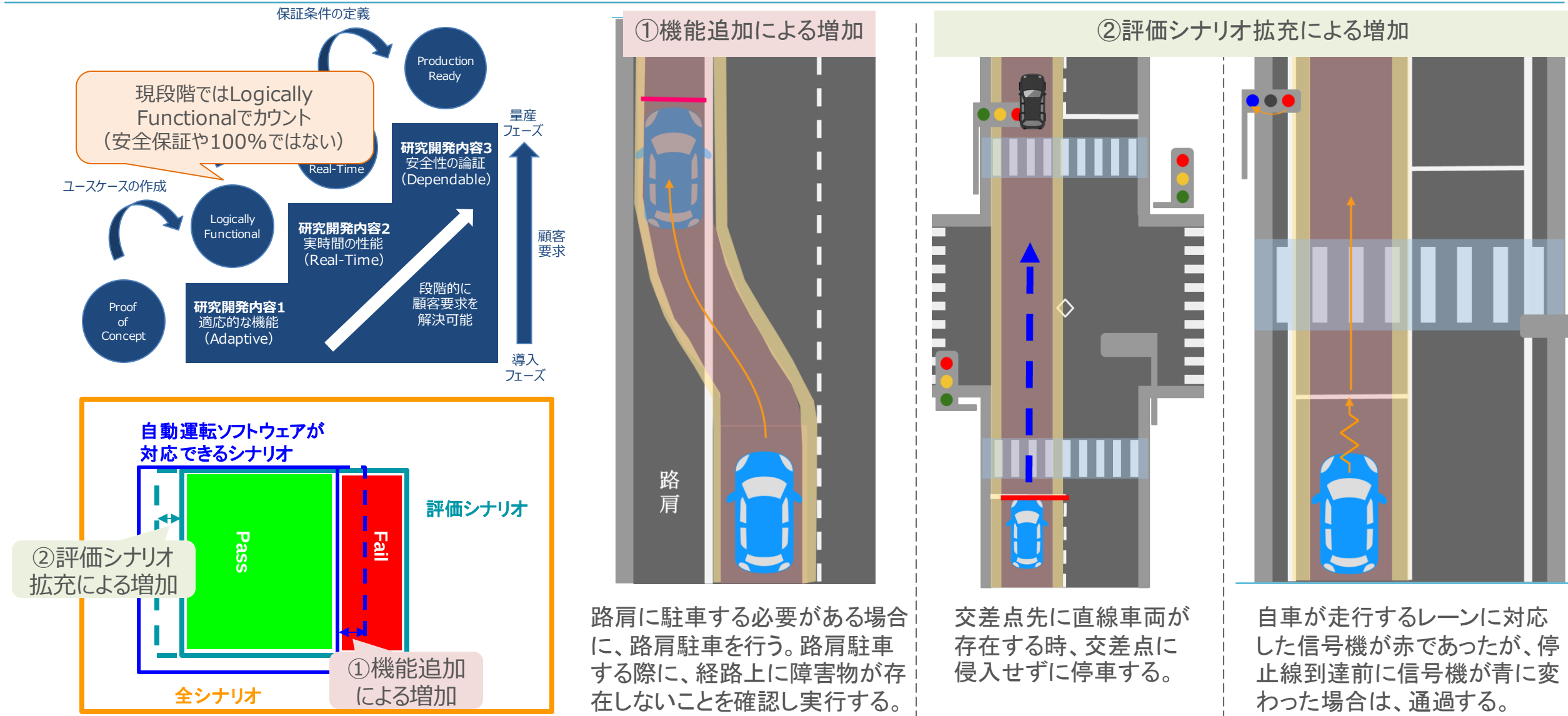
- 目標である1.2倍に対して2023年3月末時点の数値は1.05倍
- 最終年度目標に向けて現状の主要課題を分析をしながら対策を打つ



*計算式: (2023年2月のユースケース数40 / 同消費電力304.2) / (2022年8月のユースケース数37 / 同消費電力294.7) = 1.05倍

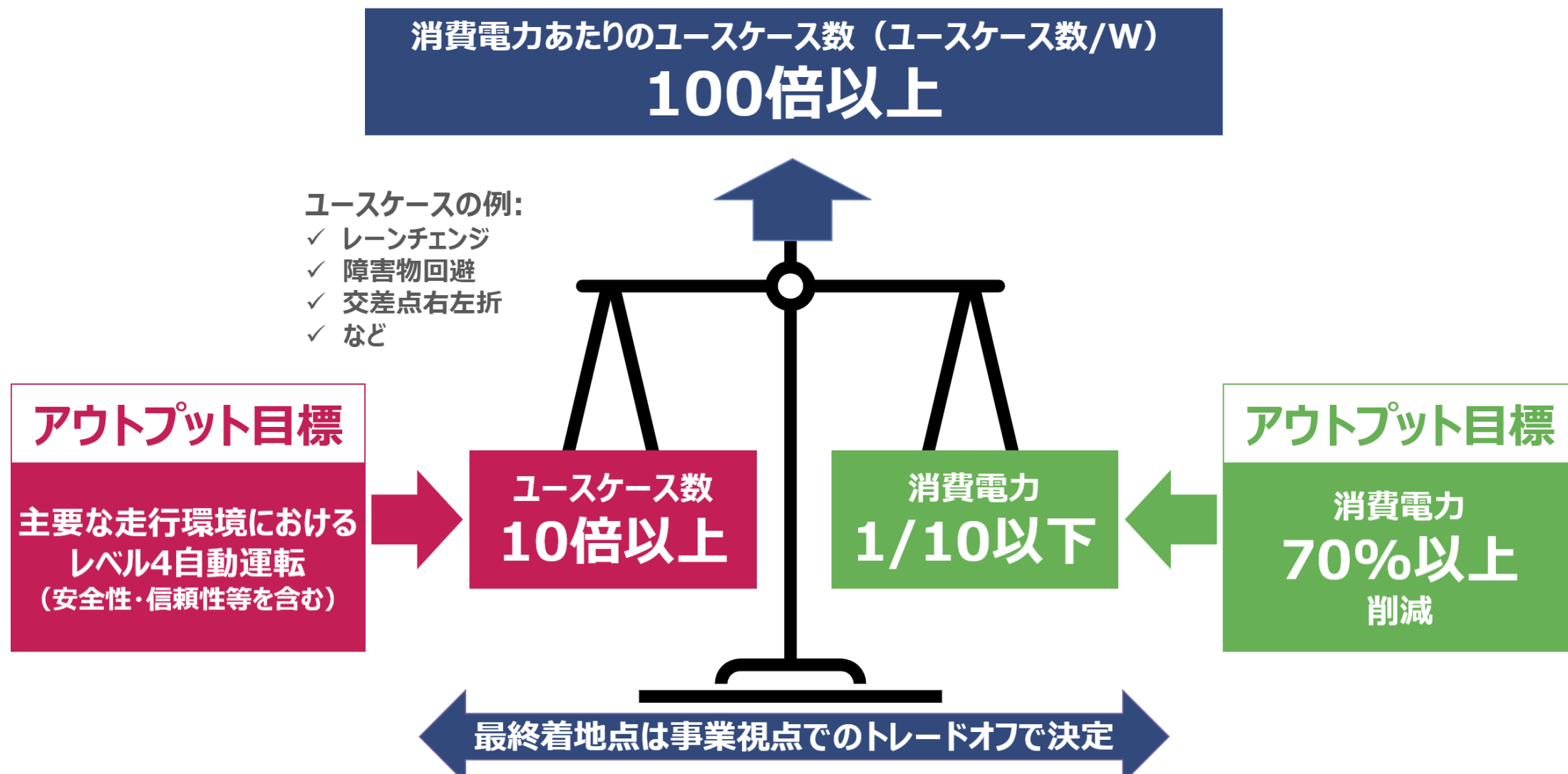
2. 研究開発計画／（1）2022年度の研究開発目標の達成度（KGI①：消費電力あたりのユースケース数）

- 2022年度は、重要度および頻度の高い+3シナリオを達成



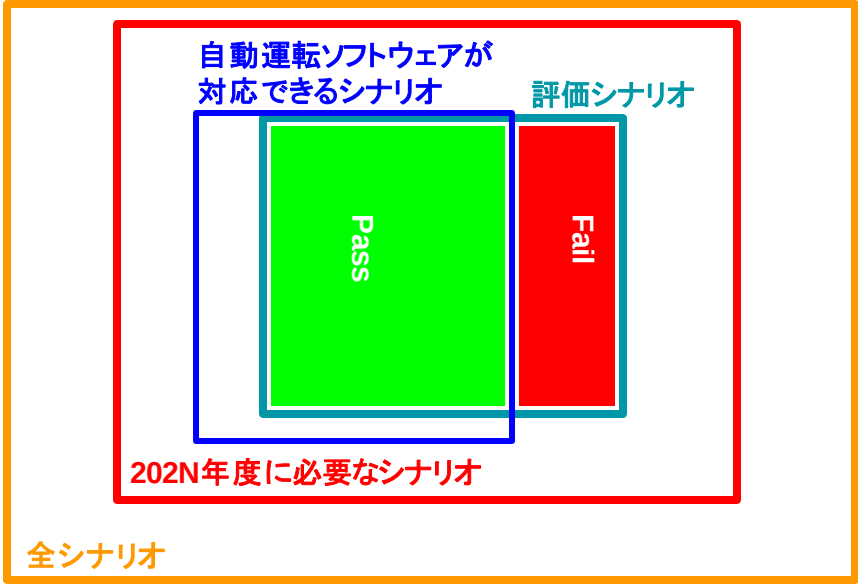
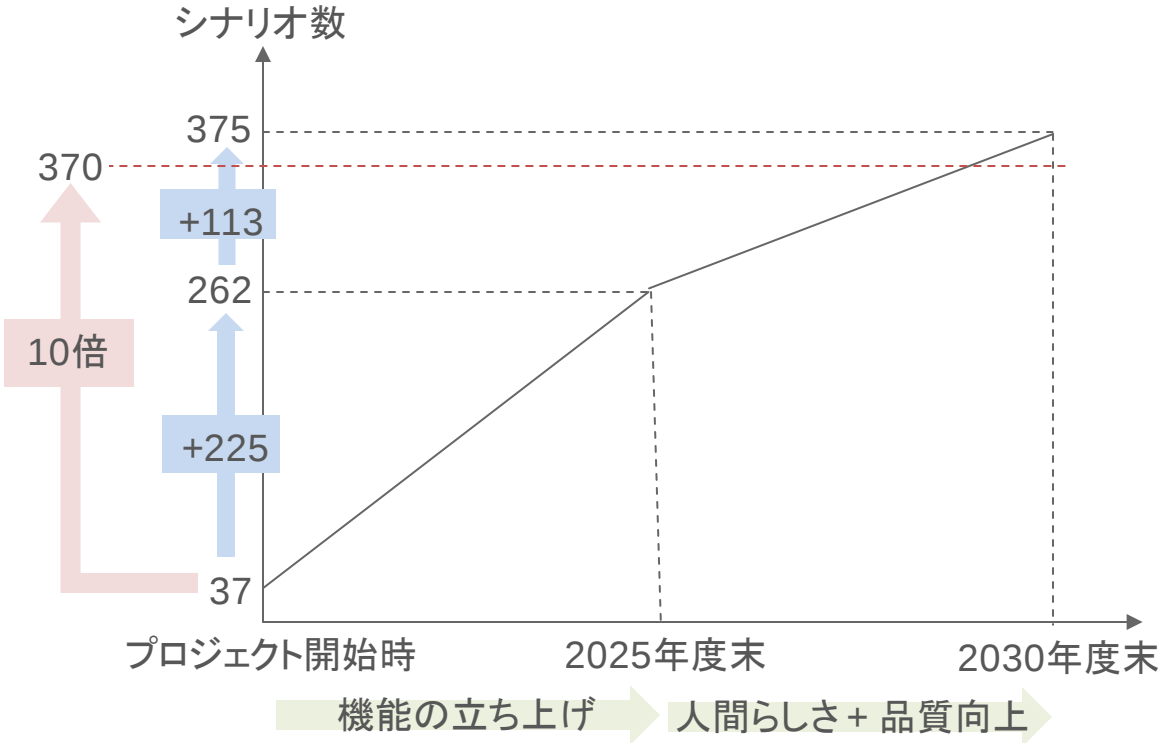
2. 研究開発計画／（1）2022年度の研究開発目標の達成度（KGI①：消費電力あたりのユースケース数）

- **KGI達成の取り組みポイント**：最終着地点は事業視点でのトレードオフで決定するが、現時点ではユースケース数を現行比10倍以上にするとアウトプット目標であるレベル4自動運転を達成できるという仮説のもと、ユースケース数を現行比10倍以上、消費電力を現行比1/10以下に向けて分析および対策する



2. 研究開発計画／（1）2022年度の研究開発目標の達成度（KGI①：消費電力あたりのユースケース数）

- **ユースケース数の取り組みポイント**：2025年度末までの事業上重要なシナリオと、2025年度末目標である114 Miles per Disengagementを達成するためには、仮説として15機能の開発が必要であると考えていることに加え、1機能開発すると約15シナリオ達成できるという経験則により、2025年度末までに約225シナリオを増やせると想定



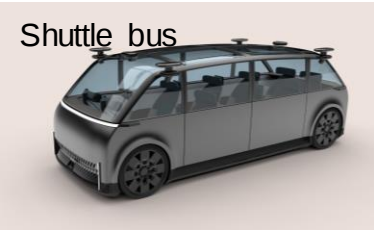
※全体像がどれぐらいか、どこまでやるべきか、シナリオをどう定義すべきかも研究開発の一部

2. 研究開発計画／（1）2022年度の研究開発目標の達成度（KGI②：MpD）

- ・ 複数環境下/車両でMpD測定し、18 MpD(Cargo delivery)／ 1.5 MpD(RoboTaxi)/達成
- ・ 今後、毎年3.3倍成長を達成していくために、成長の律速因子と仮定している”技術課題の解決”に引き続き取り組む

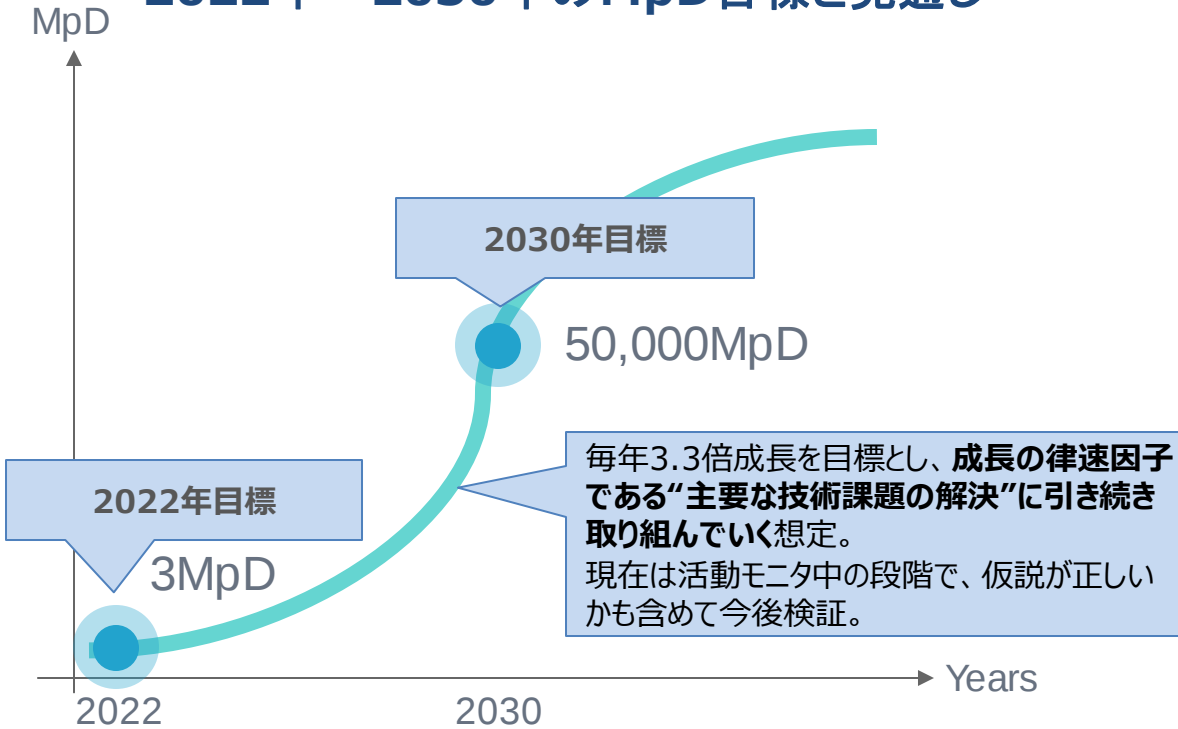
2022年度末のMpD現状

車両形態	走行環境	MpD* (miles / 回数)	走行距離**** (miles)
Cargo delivery	限定空間内 (複数の場内)	18	約 9,300
Shuttle Bus	公道上(空港) 公道上(塩尻)	0.4 / 2.0 ** 0.6	約 22 約 250
Robo Taxi	公道上(臨海エリア)	1.5 ***	約 540



- ・ 複数の環境下/車両でMpDを測定し、1.5 MpD / 18 MpDを確認
 - ・ Cargo delivery : 18 MpD
 - ・ Shuttle bus : 0.4 ~ 2.0 MpD
 - ・ Robo Taxi : 1.5 MpD

2022年～2030年のMpD目標と見通し

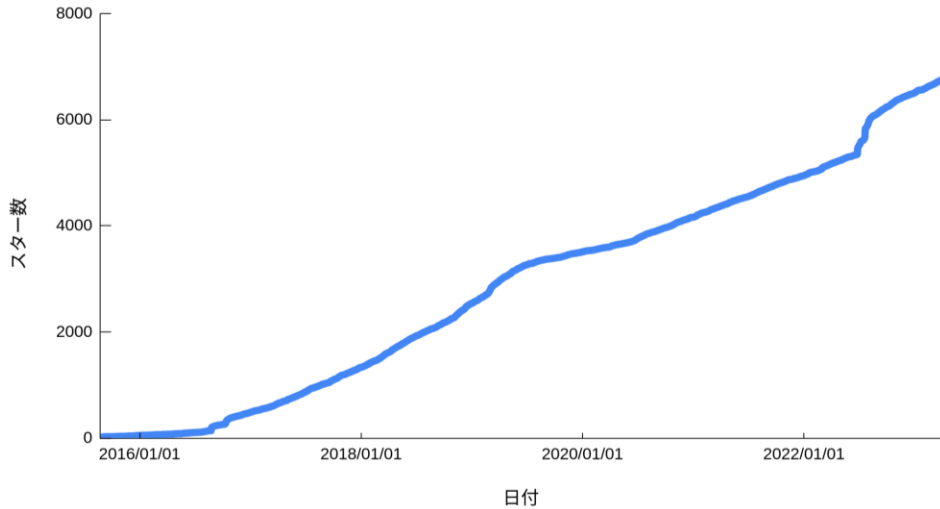


- ・ 目標達成に向けて以下の仮説を元に活動している
 - ・ MpDの毎年成長率3.3倍
 - ・ この成長を達成するための律速要因:”主要な技術課題の解決“
 - ・ 優先度等を考慮した”主要な技術課題の解決“によりMpDが伸びる
- ・ これらの仮説が正しいかも含めて検証/見直しを継続していく

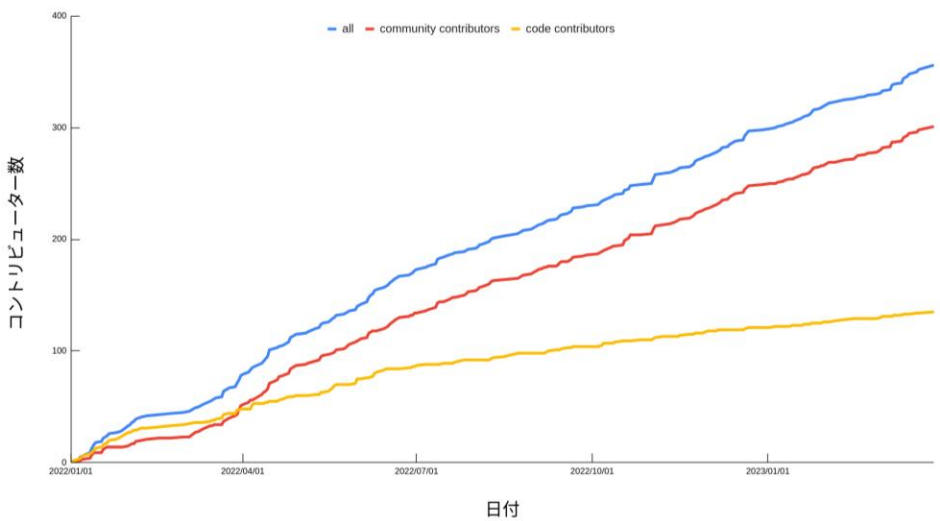
* MpDの定義：Delivery robot：総走行距離/Diagnosis回数
MpDの定義：上記以外：総走行距離/Driver take over回数
** 信号認識がPerceptionに入っていないため、信号箇所でのオーバーライドしている場合としていない場合で数字が異なる
*** 自動運転の判断に対して人が承認する形の機能を一部含む
**** 計測期間は、おおよそ2022/9～2023/3

2. 研究開発計画／（1）2022年度の研究開発目標の達成度（KGI③：スター数とコントリビュータ数）

- ・ PJ開始時のスター数5,700に対し、目標である6,500スター数を達成：現在、6,700スター数
- ・ スター数とコントリビュータ数を定義
- ・ スター数増加に貢献する因子である、“魅力的な実装機能の拡張”を主方針として取り組みを継続予定



日付	スター数
2022年7月 (プロジェクトご提案時点)	5,501
現在	6,745



	Community Contributors	Code Contributors	Total Contributors
2022年7月 (プロジェクトご提案時点)	134	87	173
現在	316 (70)	163 (69)	357 (82)

※ 括弧の数値はTIER IVの社員を除いた数(参考値として記載)
※ Unique userをカウントしているため、Community ContributorsとCode Contributorsの合計はTotal Contributorsと一致しない

* コントリビュータ数の定義について：PJ開始時に明確な定義が存在しなかったため、今回以下の通り定義した

- ・ Pull Requestを作成したユーザー数であるCode ContributorとIssue / Discussionで議論に参加したユーザー数であるCommunity Contributorを指標とする
- ・ Autowareはコンセプト上、必ずしもAWFのリポジトリにコードをコミットする必要はない前提

- 1 広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム
- 2 コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証
- 3 多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ
- 4 エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン

1 研究開発内容1の概要

背景となる課題認識

現状の自動運転システムは特定のセンサーや車両、運用場所にむけて開発がすすめられており、他の構成や場所に適用するのは膨大な工数がかかる。

自動運転を普及させるためにさまざまなセンサーや車両、環境に**適用可能な自動運転アルゴリズム**が必要である。

今回の研究開発内容

概要

- さまざまなセンサーや車両、走行環境に対して適用可能な自動運転システムを実現する。

当該技術の独自性

- さまざまなセンサーや車両に対して適用可能な自動運転のオープンな開発に独自性あり
- ルールベースの安全保証可能な判断機能と、AIベースの複雑な状況に対応可能な判断機能の組み合わせが独自

新規性

- 多種多様なハードウェアや環境に対応可能な自動運転アルゴリズム
- 自動運転での予測・判断におけるAIベースモデルの利用

他技術に対する優位性

- 各種センサーの評価を行ってきた経験を生かしたセンサーインターフェース
- 最先端の機械学習技術を応用したさまざまなセンサーや環境に依存しない学習技術
- さまざまな環境で実証実験を行うことにより得られた自己位置推定の知見
- 実際の公道で検証されたルールベースの判断アルゴリズムと最新のコンセプトにもとづくAIベースの判断手法
- 多様な車両での自動運転を実現してきた制御の経験、ノウハウ

実現可能性

- ティアフォーではAutowareの開発し、さまざまなセンサー、車両や環境での自動運転の実装、実証をしている。
 - ✓ 多様なLiDAR、カメラなどのセンサー評価、検証の実績
 - ✓ さまざまな車両（バス、タクシー、ゴルフカート、小型配送ロボット）での自動運転の実績
- 最先端の研究を行っている大学等との連携により野心的な目標の達成の実現可能性向上を図る。

残された技術課題への解決の見通し

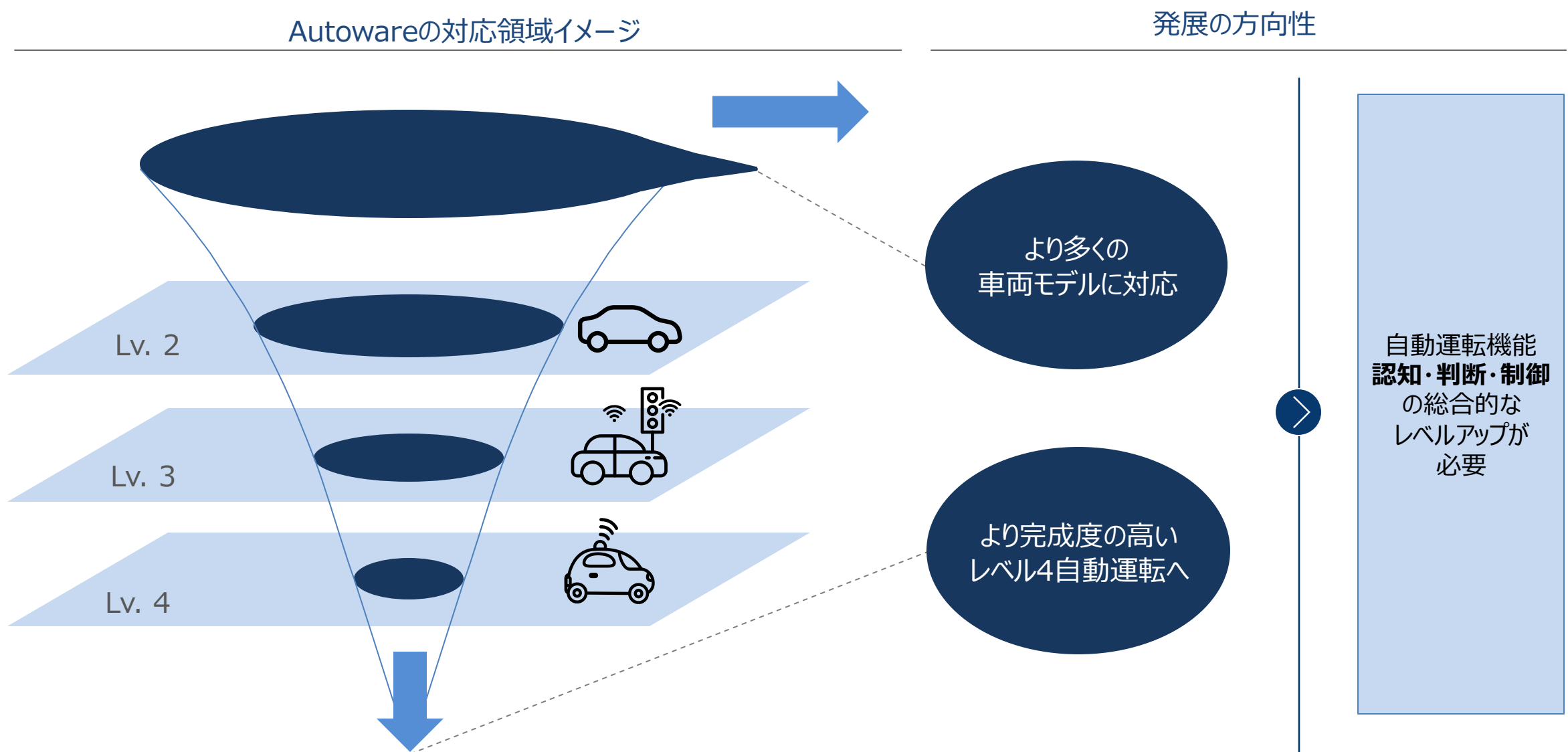
技術課題

- さまざまなセンサー・環境に適用可能な認識技術
- どこでも精度が保証可能な自己位置推定技術
- AIベースの予測判断アルゴリズムの安全性検証

解決に向けた技術要素

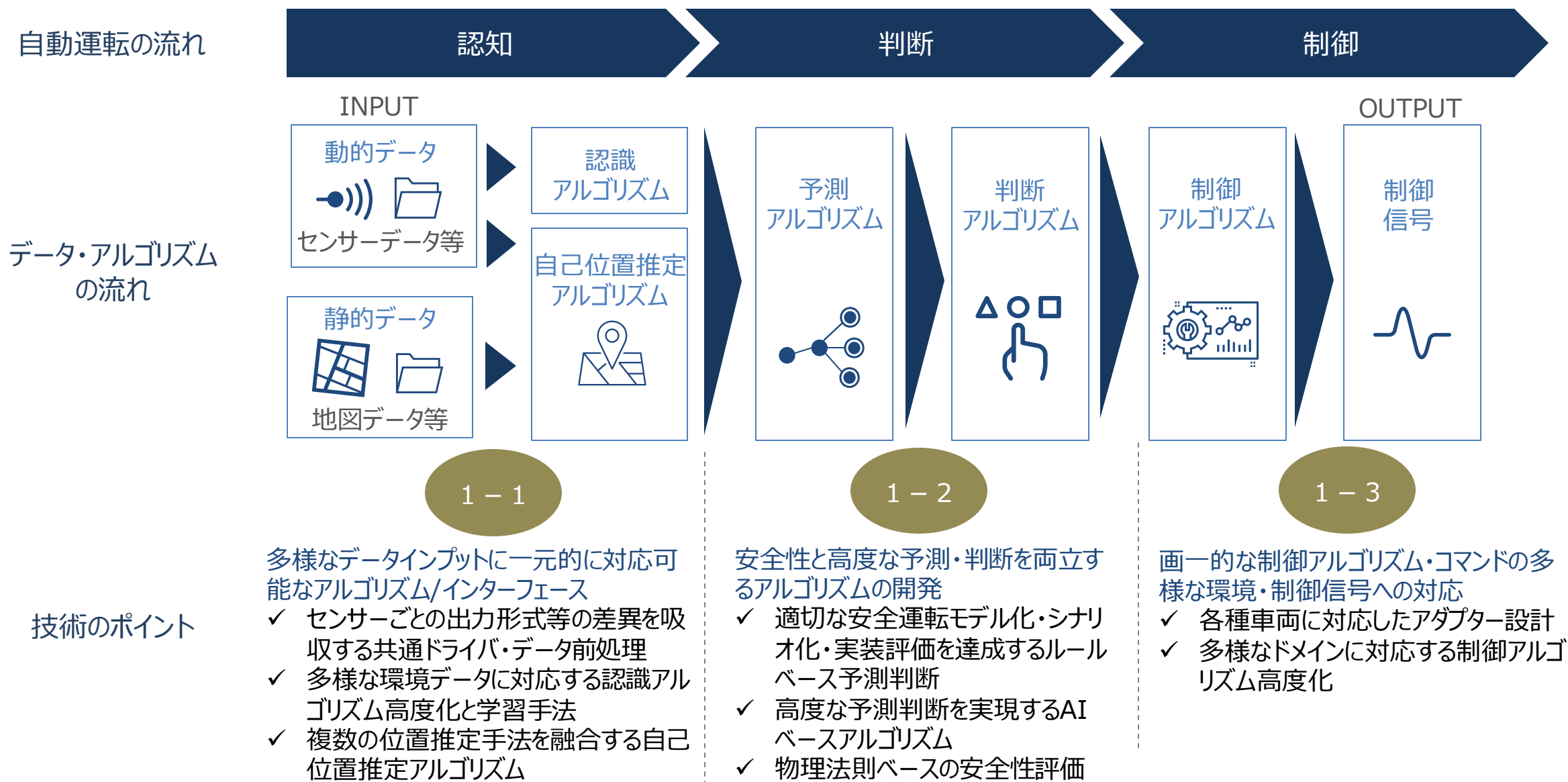
- ● 機械学習による認識アルゴリズムの開発とドメインアダプテーション技術
- ● 適用可能な範囲が広いNDTベースの自己位置推定技術に状況によって他の手法を統合
- ● ルールベースの手法との併用、RSSなどの物理法則にもとづく安全性検証手法

1 市場獲得のためには複数の車両モデルとODDへの対応が必要



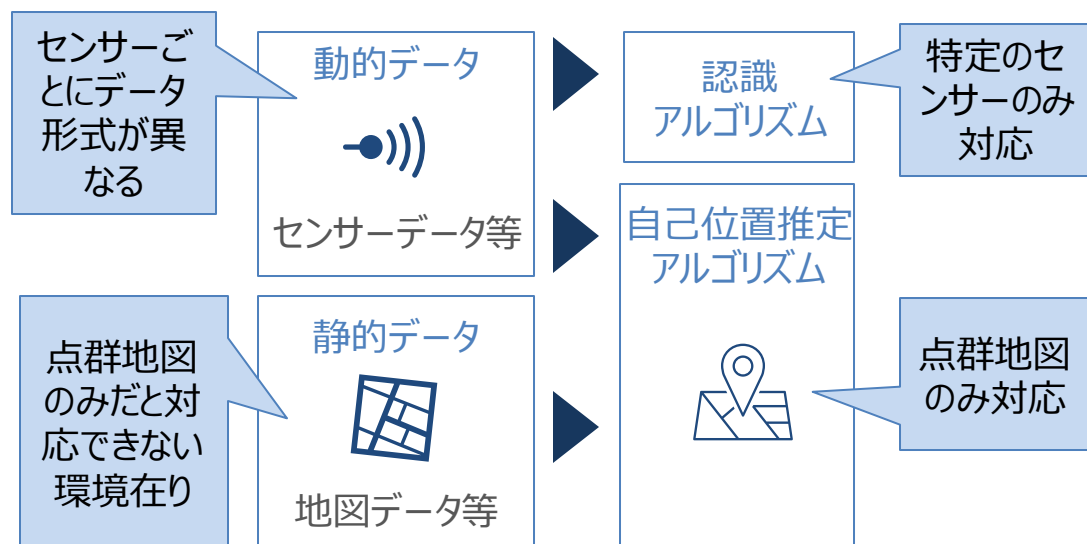
1

複数の車両モデルとODDに対応するためにはアルゴリズムの適応性が重要



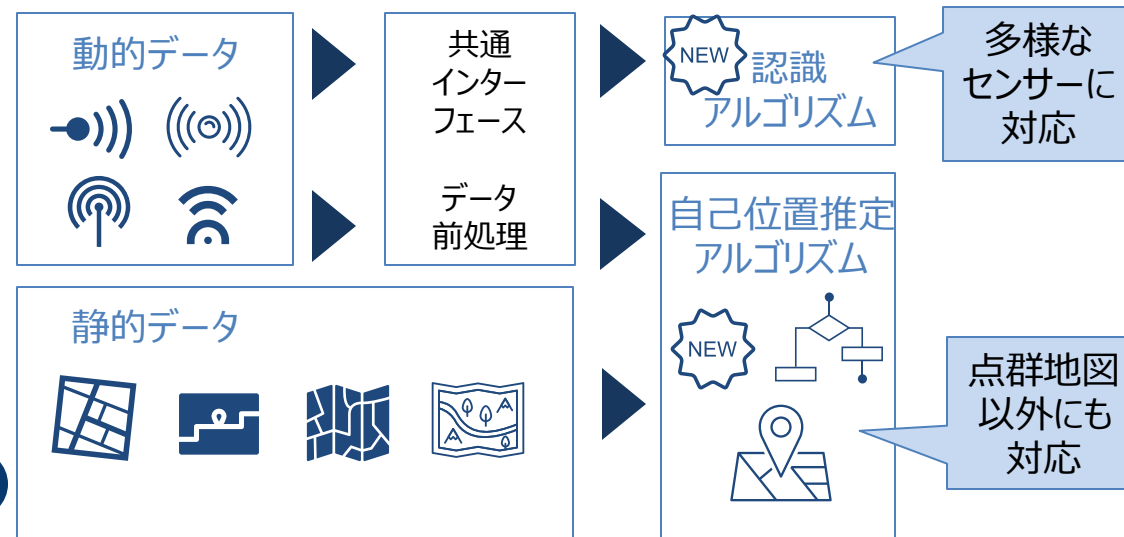
多様なデータインプットに一元的に対応可能なアルゴリズム/インターフェース

現状とその課題



- センサーの多様性に対応できておらず、センサーごとにアルゴリズムを個別に変更する必要があり手間が膨大
- 高価かつ取得に時間・手間を要する高精度点群地図にのみ対応しており、頻繁なアップデートが不可能

本事業で提案する課題解決方法



課題解決方法

- 共通インターフェース・データ前処理を導入する
- アルゴリズムを改修する

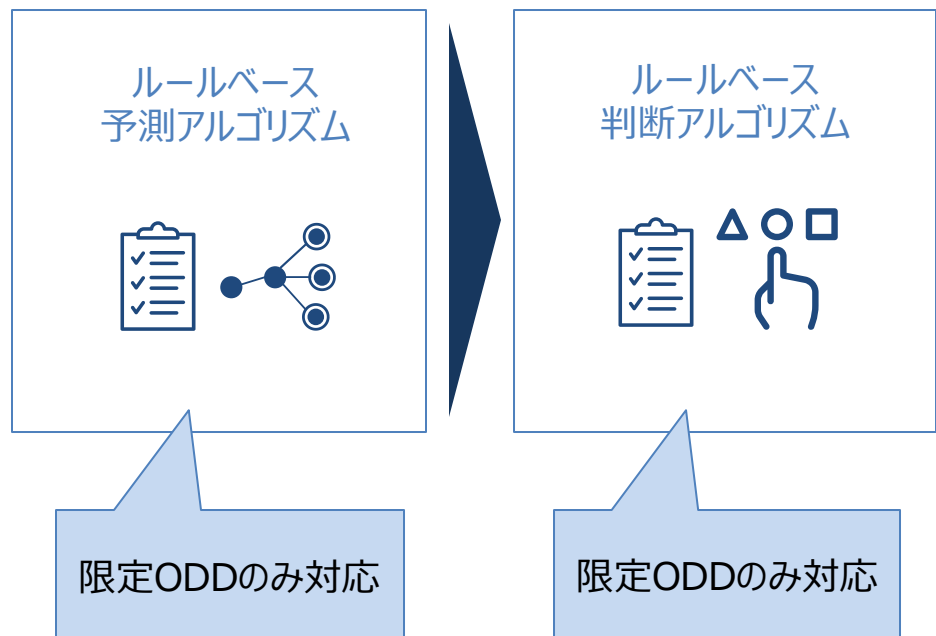
実施事項

- 1-1-1 センサー出力抽象化と特性パラメータ化による共通ドライバおよび前処理
- 1-1-2 多様なドメインに対応する認識アルゴリズム高度化と学習手法
- 1-1-3 複数の位置推定手法を融合する自己位置推定アルゴリズム

1-2

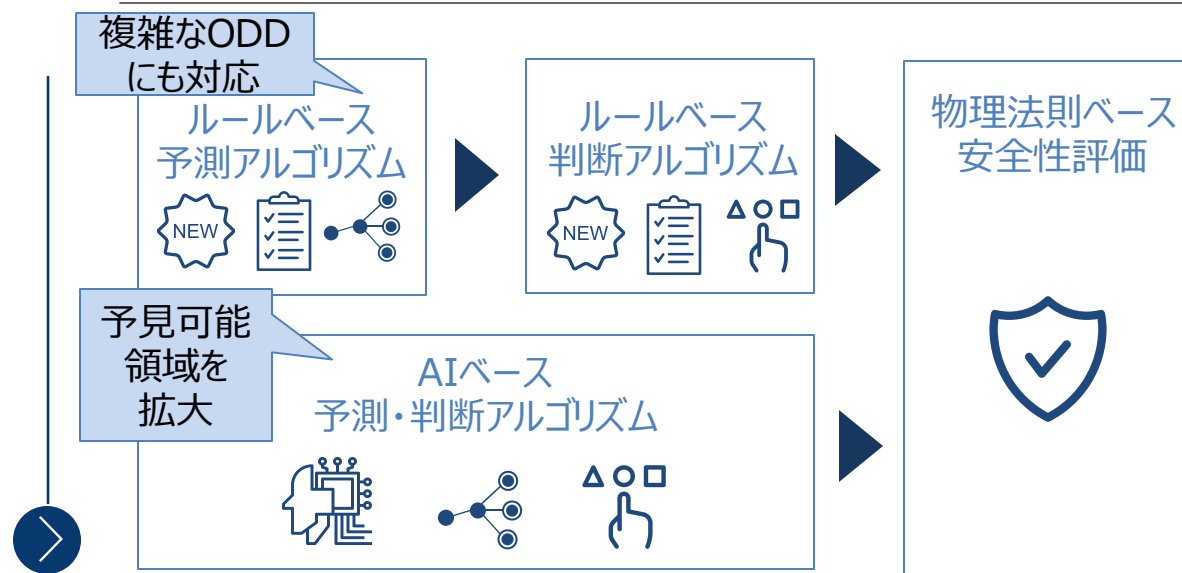
安全性と高度な予測・判断を両立するアルゴリズム

現状とその課題



- 予測アルゴリズム・判断アルゴリズム共にODDが限定
- 安全性に関する評価も現段階ではフローに組み込まれていないため判断結果の安全性担保が不十分

本事業で提案する課題解決方法



課題解決方法

- ルールの具体化を実施する
- ルールベースに加えてAIベースのアルゴリズムを導入する
- 安全性評価をルールベース・AIベース判断アルゴリズム後に導入する

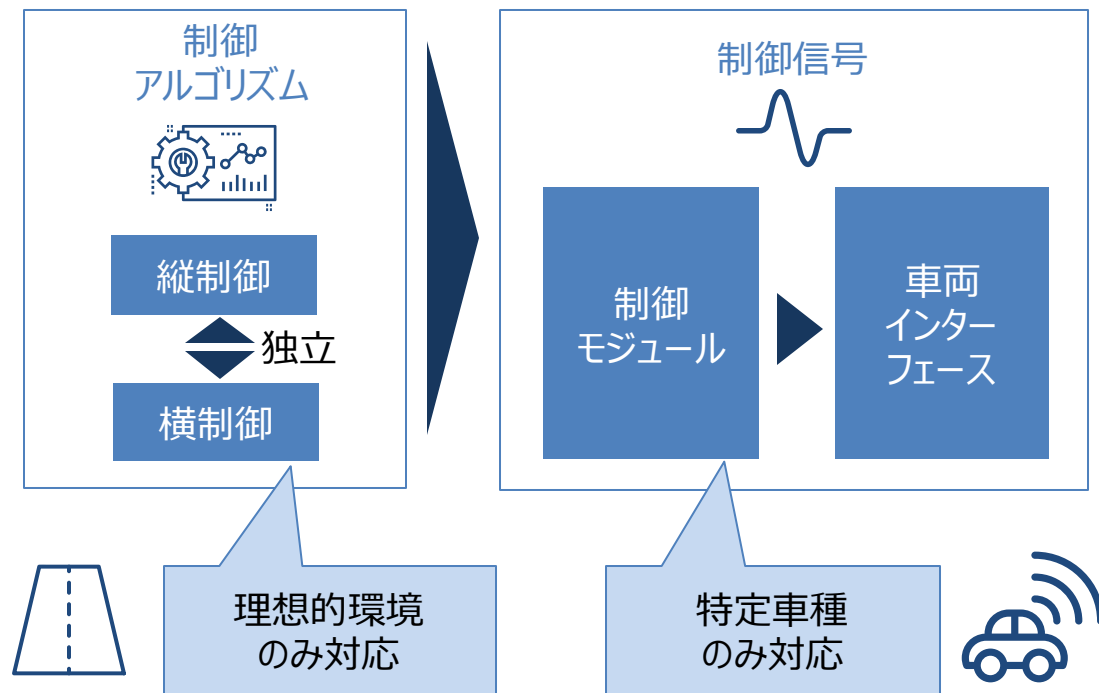
実施事項

- 1-2-1 網羅的な安全運転モデル化・シナリオ化・実装評価の確立
- 1-2-2 予見不能な領域を拡大機械学習アルゴリズムの確立
- 1-2-3 RSSベースの安全性評価手法の確立

1-3

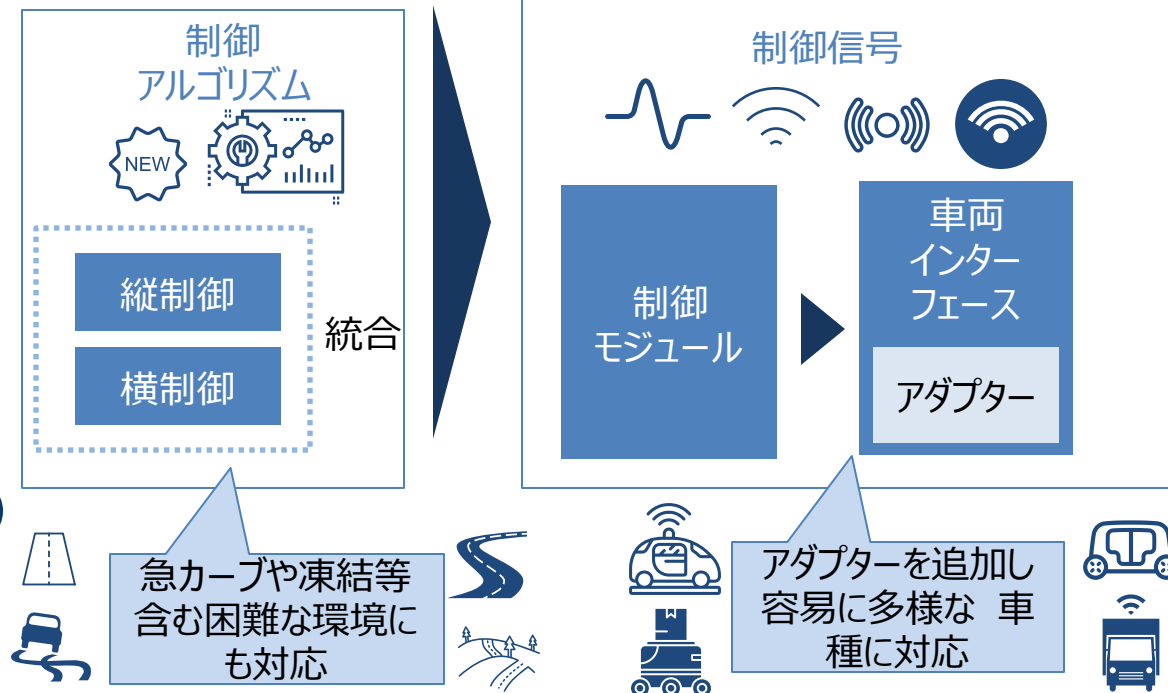
画一的な制御コマンドの多様な制御信号への変換

現状とその課題



- 制御アルゴリズムが理想的環境のみに対応しており、悪天候などの環境条件や複雑な道路条件（クランク、凍結、積雪等）での走行が困難
- 特定車種のみで使用する制御信号に対応しており車種拡大が困難

本事業で提案する課題解決方法



課題解決方法

- 制御方式の統合を図る
- 車両インターフェースをアップグレードする

実施事項

- 1-3-1 縦制御及び横制御の車両・アルゴリズムにおける統合開発
- 1-3-2 各車両の信号に対応するアダプター開発

1

広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転
アルゴリズム

2

コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証

3

多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープン
システムディペンダビリティ

4

エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン

2 研究開発内容2の概要

背景となる課題認識

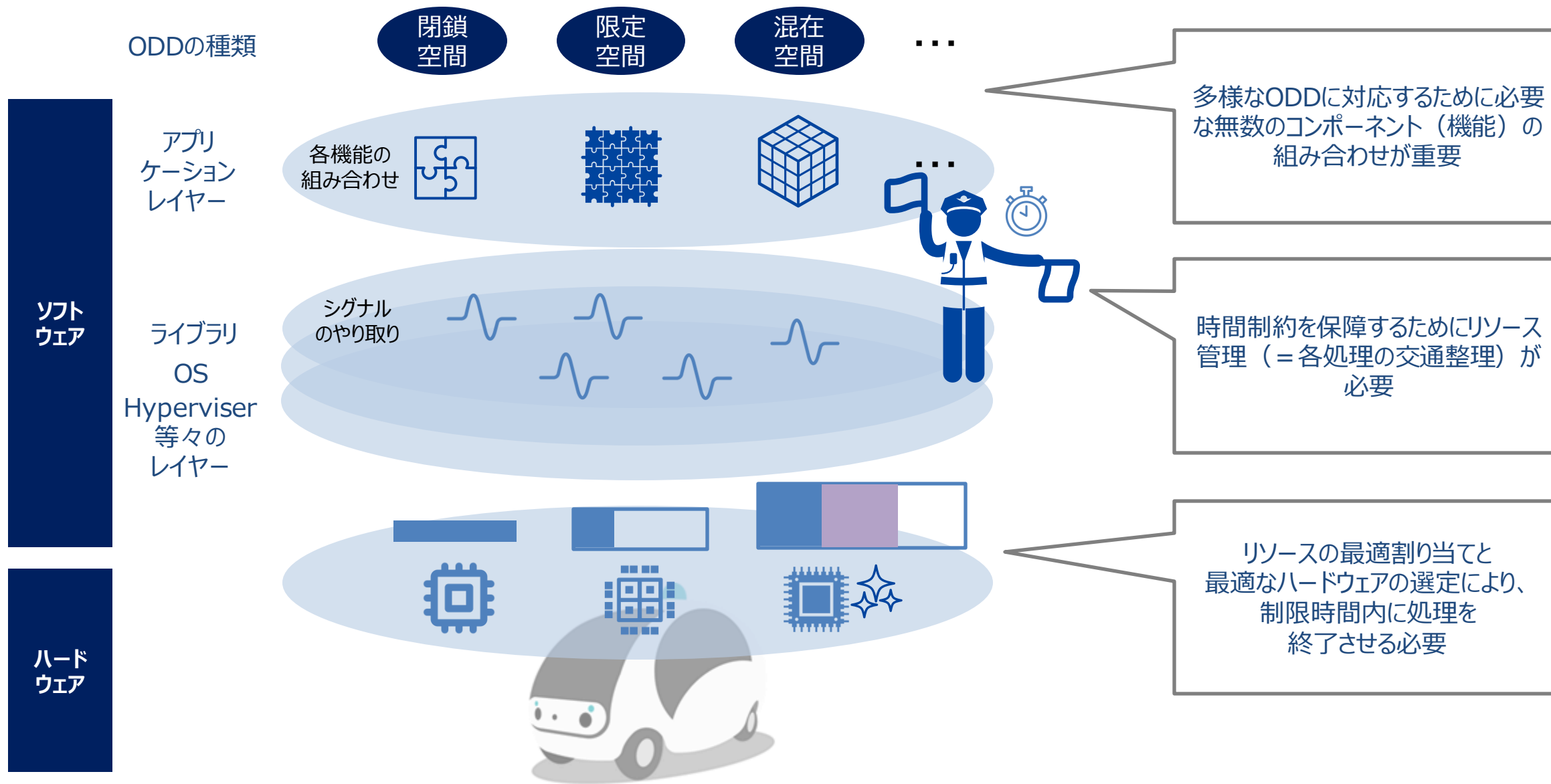
オープンな技術コンポーネントから構成される自動運転システムに対しては、**各コンポーネントの処理の安全性（時間制約）を担保するリソース管理とその評価方法**が必要になる。



今回の研究開発内容

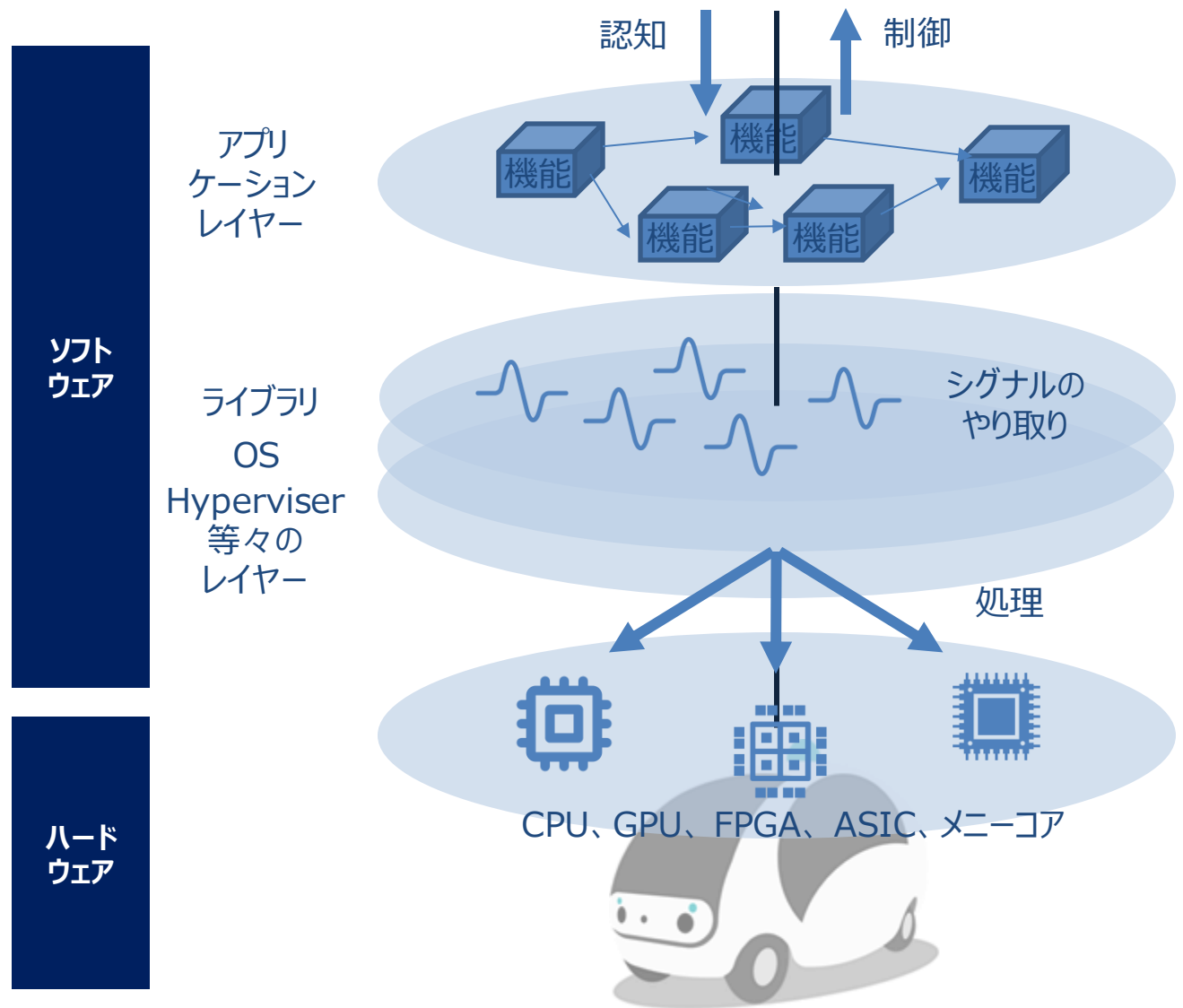
概要	- リアルタイム性を保証するモデル設定方法とその解き方 - レイヤー構造の簡素化・短絡化 - 処理の割り当て最適化	
独自性	- 依存関係のあるプロセスおよびスレッドを有向非巡回グラフで表現 - Publish/Subscribe型の通信インターフェースをゼロコピー化 - ソフトウェアとハードウェアの静的/動的情報を活用した割り当てと電力制御	
新規性	- 不特定多数のコンポーネントに対して計算処理の完了時間を予測可能 - 不特定多数のコンポーネントに対してデータ入出力のオーバーヘッドを最小化 - 不特定多数のコンポーネントに対して計算資源の割り当てを最適化	
他技術に対する優位性	- 不特定多数のコンポーネントに対して計算処理の遅れを早期検知できるようになり、システムの安全性を極限まで向上可能 - 不特定多数のコンポーネントに対して計算処理の遅れ自体を防ぎ、システムの快適性を極限まで向上可能	
実現可能性	- 自動運転アプリケーションの深い知見に基づく技術を保有していることから実現可能性高 - 自動運转向けOS・ミドルウェアの知見と国プロ含む実績から実現可能性高	
残された技術課題への解決の見通し	技術課題 - 不特定多数のコンポーネントに対するリアルタイム性が未実現 - 汎用システムソフトウェアに起因した時間予測性の悪化 - 不特定多数のコンポーネントに対する処理の割り当てが非効率	解決に向けた技術要素 - 有向非巡回グラフを用いたリアルタイムスケジューリング - OSとライブラリの適切な責務切り分けによるオーバーヘッド削減 - コンポーネントの安全/計算特性および静的/動的情報を活用した割り当てと電力制御

2 電力コスト最適なコンポーネントに対して時間制約を保証する計算機リソース管理が必要



2 自動運転システムを安全にするためには処理の予測可能性（リアルタイム性）が重要

自動運転の処理構造概念図

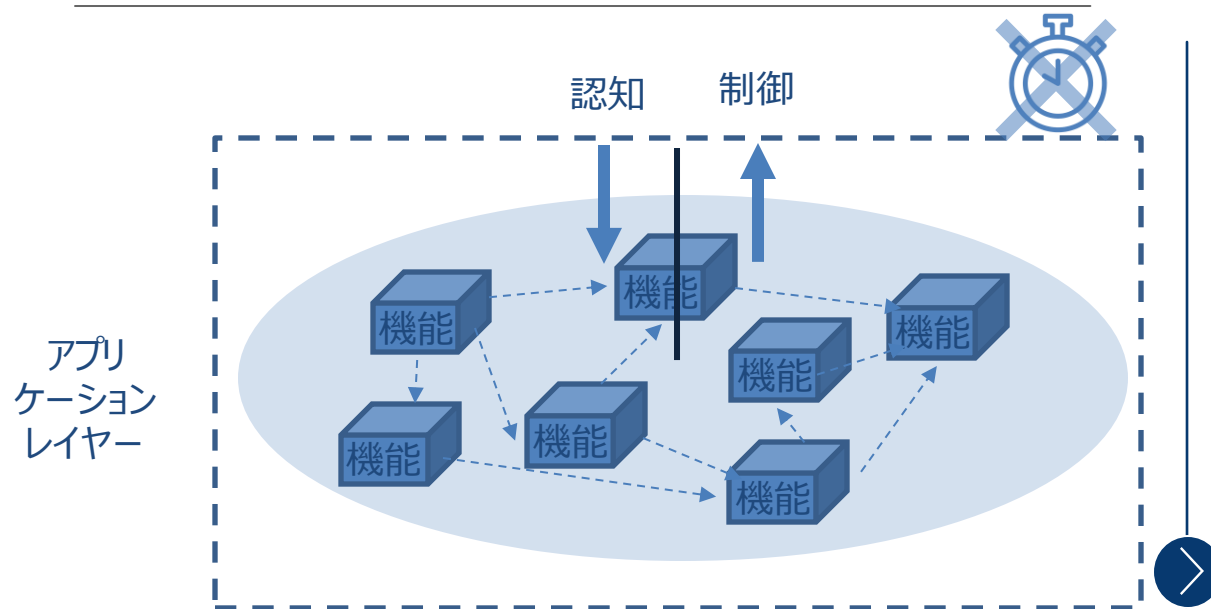


技術のポイント

- > 2-1 リアルタイム性を保証する計算機リソース管理モデル
 - ✓ リアルタイム性を保証するモデルの作り方
 - ✓ そのモデルの解き方
- > 2-2 計算機リソース管理の低遅延化
 - ✓ 自動運転に特化したレイヤー構造の在り方
- > 2-3 計算機リソース管理による性能と電力の最適化
 - ✓ 機能の安全特性と計算特性に合わせた静的な割り当て
 - ✓ ソフトウェアとハードウェアの静的/動的情報を活用した動的な割り当てと電力制御

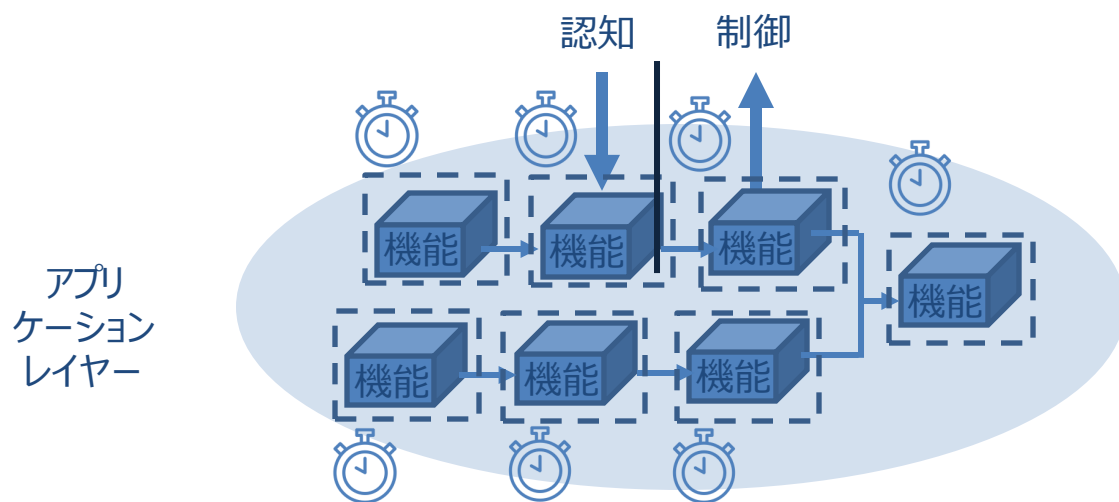
リアルタイム性を保証する計算機リソース管理モデル

現状とその課題



- 自動運転車に求められる時間制約を機能レベルで分解できておらず、確固たる安全性の保証が不可
- 時間制約を満たせないことがあっても気付かず、時間制約に関するリスクの予防・軽減が不可

本事業で提案する課題解決方法



課題解決方法

- 自動運転機能をモデル化して完了時間を予測
- 時間制約を満たせないことを予測したらリスク最小化行動を実施

実施事項

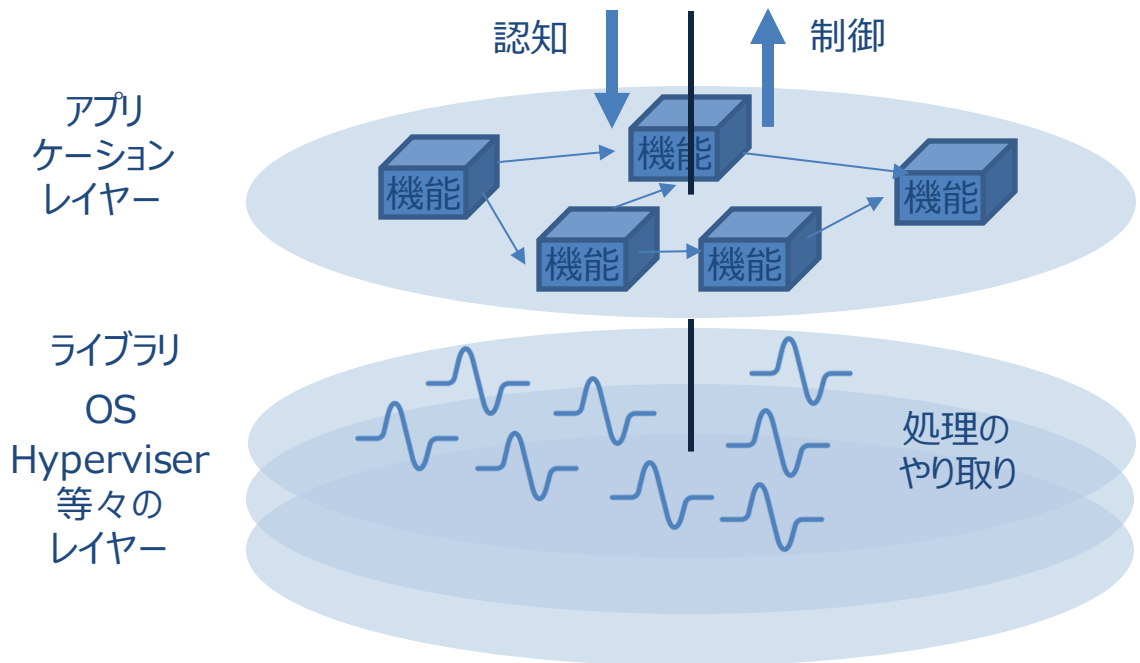
2-1-1 依存関係のあるプロセスおよびスレッドを有向非巡回グラフ（DAG）等で表現

2-1-2 時間制約に関わるレイテンシを自己診断

2-2

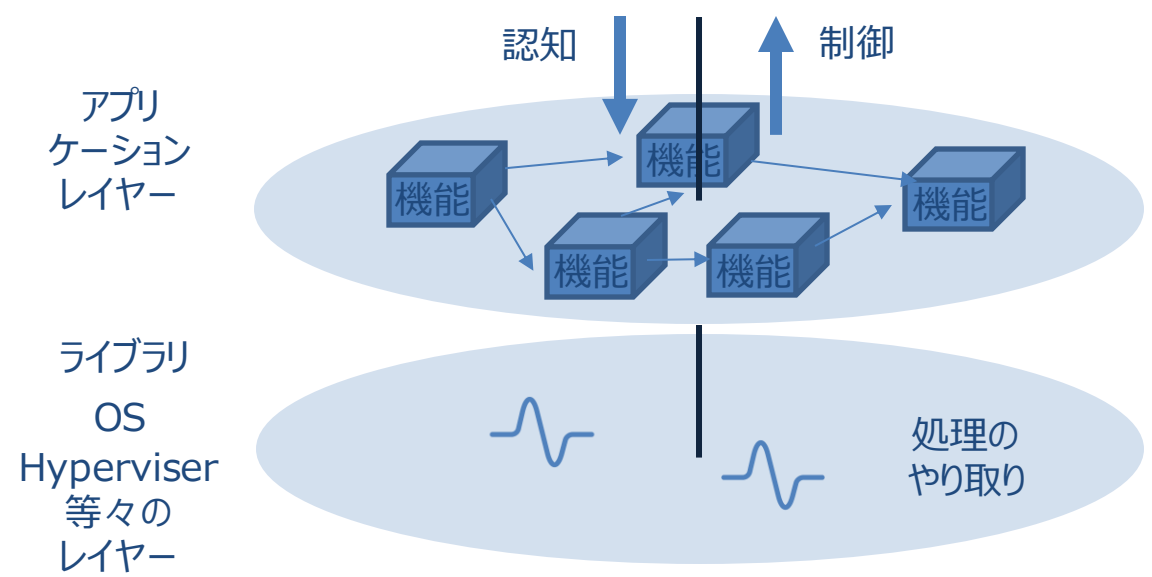
計算機リソース管理の低遅延化

現状とその課題



- ソフトウェアのレイヤー構造が汎用目的で作られているために多くの無駄が発生
- アプリケーションレイヤー以外のソフトウェアレイヤで必要時間や電力の固定

本事業で提案する課題解決方法



課題解決方法

- レイヤー構造の簡素化
- コピーやデータ入出力回数の削減

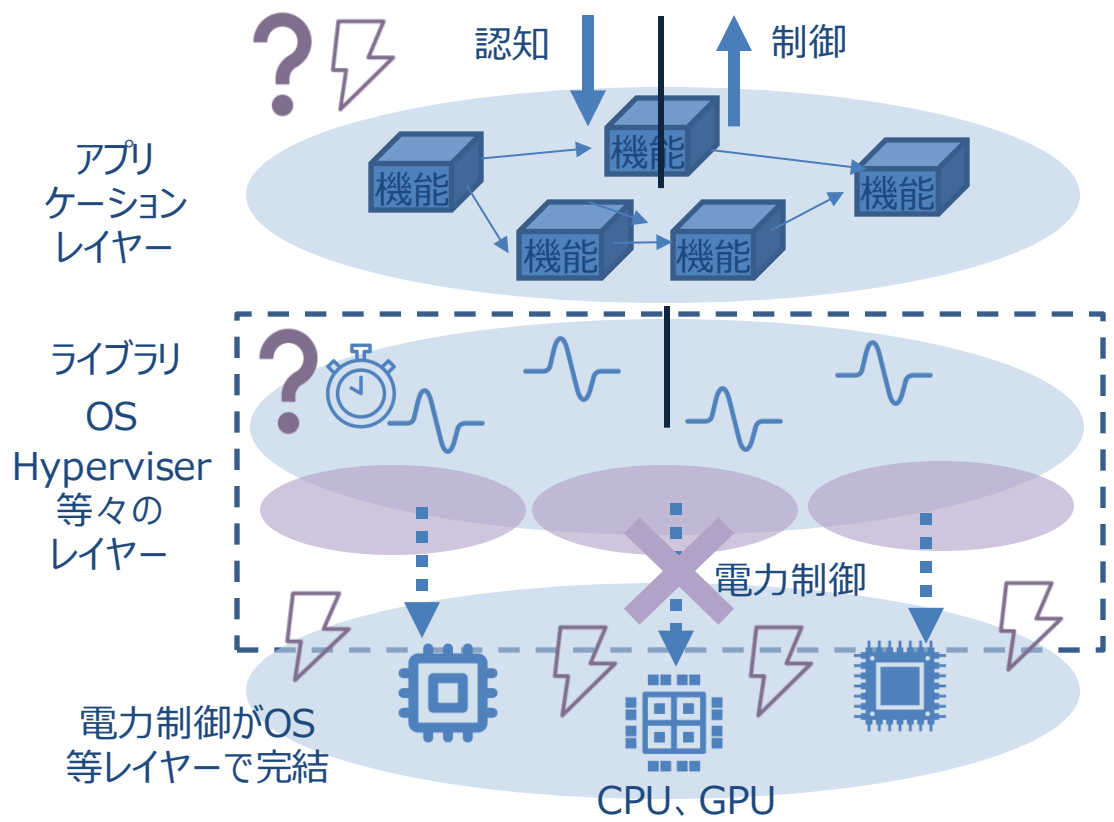
実施事項

- 2-2-1 マルチカーネル対応のハイブリッドOSの開発
- 2-2-2 ライブラリ機能をもつOSとOS機能をもつライブラリの共存
- 2-2-3 Publish/Subscribe型の通信インターフェースのゼロコピー化
- 2-2-4 不特定多数のコンポーネントへのデータ入出力オーバーヘッド最小化

2-3

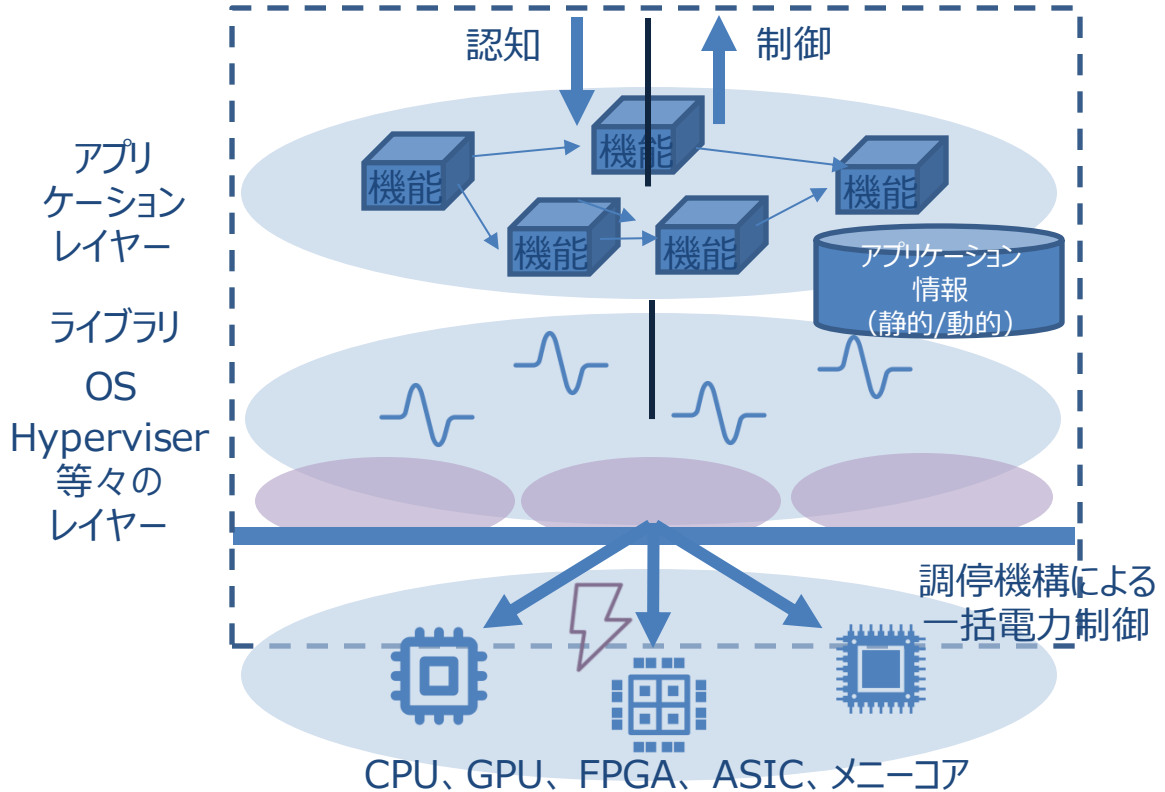
計算機リソース管理による性能と電力の最適化

現状とその課題



- CPU、GPU共に汎用性はあるものの自動運転タスク用には最適化が未実現
- アプリケーションの情報を考慮せずに割り当てしているため省電力&リアルタイム性が未実現
- 機能を複数OSに分離していると、従来の方法（一つのOSによる包括的な電力制御）が使用不可

本事業で提案する課題解決方法



課題解決方法

- 機能の安全特性と計算特性に合わせた静的な割り当て
- ソフトウェアとハードウェアの静的/動的情報を活用した動的な割り当てと電力制御
- 調停機構による一括電力制御

実施事項

- 2-3-1 安全/計算特性の分類とハードウェア探索および発信
- 2-3-2 スケジューラ・電圧周波数制御で静的/動的情報の活用
- 2-3-3 ハイパーバイザーによるDVFS調停機構

1

広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転
アルゴリズム

2

コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証

3

多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープン
システムディペンダビリティ

4

エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン

3 研究開発内容3の概要

背景となる課題認識

自動運転システムの社会実装において、利害関係者間でシステムが提供する価値、システムディペンダビリティ、および残存リスク受容を踏まえた合意形成を支援する手段を確立する必要がある。



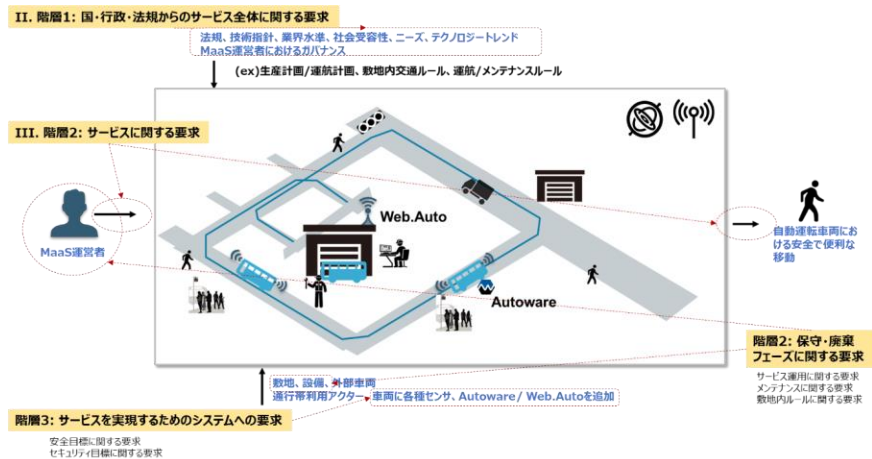
今回の研究開発内容

概要	● システムのディペンダビリティを確保する開発運用と論証プロセス、及びフレームワークの提供 ● 想定外の変更に対しディペンダビリティを維持するための影響分析ツールチェーンの開発 ● ディペンダビリティの確保維持を支援するオープン型ソフトウェアアーキテクチャの開発	
独自性	● 利害関係者の関心事を統制し、開発運用計画や結果の合意形成を導く論証イニシエータの開発 ● 変更に対しディペンダビリティを維持するツールチェーン（ソフトウェア/論証ケース/システムモデル）の提供	
新規性	● ディペンダビリティリスク対応に加え、付加価値創出へのアイデアを導くトレードスタディ方法 ● パラメータ間の相関、制約関係に着目した定量的論証ケースの提供 ● ライフサイクルステージ（開発、運用）に渡ってディペンダビリティを確保、維持する方法論	
他技術に対する優位性	● ソフトウェアおよび論証構造を公開することにより、システムのディペンダビリティ論証の妥当性および論証の確からしさをグローバルな視点で評価でき、そのフィードバックを得ることが可能 ● 特定サービスへの適用ではなく、工場内搬送、旅客、ロボットデリバリーなど幅広く汎用的に利用されることを想定した柔軟性を持ったソフトウェア基盤の開発が可能	
実現可能性	● 論証ケース（D-Case）に関する最新研究動向を踏まえた産学連携および自技会など産業界での共同研究を進めており、その成果が活用可能 ● 実績のある古典的安全設計原則およびミッションクリティカルドメインで実用化された技術の応用により実現可能性高	
残された技術課題への解決の見通し	技術課題	解決に向けた技術要素
	● 様々な関心事、論点に対する説明戦略 ● 利害関係者間のトレードスタディ方法論 ● 自動運転システムの定量的な論証ケース ● 可用性と安全性・セキュリティの両立	→ ● 論証イニシエータの開発 → ● ディペンダビリティ因果モデルの開発 → ● パラメトリックモデル分析とその論証 → ● 安全設計原則・階層化FDIRの応用

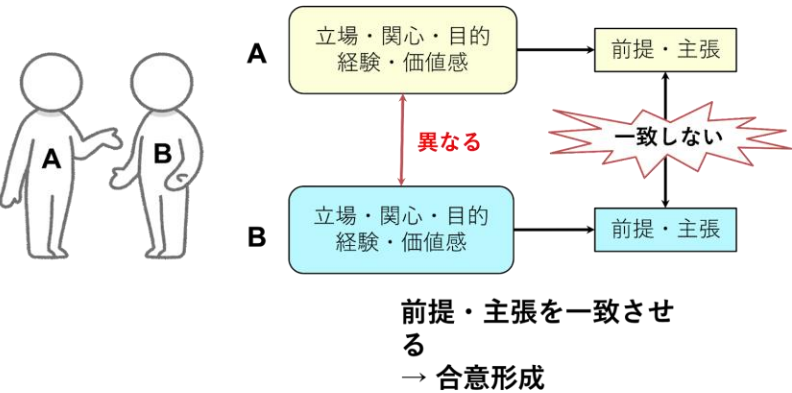
3（参考）ディペンダビリティの定義

ディペンダビリティ 総合信頼性	アイテムが、要求されたときに、その要求どおりに遂行するための能力 注記1 ディペンダビリティすなわち総合信頼性は“アベイラビリティ”、“信頼性”、“回復性”、“保全性”、及び“保全支援性能”を含む。適用によっては“耐久性”安全性及びセキュリティのような他の特性を含むことがある。	JIS Z 8115:2019
オープンシステム ディペンダビリティ 開放系総合信頼性	期待されるサービスを要求されたときに要求されたように提供するために、目的、目標、環境及び実際のパフォーマンスの変化に対応し、説明責任を継続的に果たす能力	JIS C 62853:2020
オープンシステム、開放系	その境界、機能、構造が時間とともに変化し、様々な視点に応じて異なった認識及び記述のされ方をするシステム	

自動運転システム
FMS、インフラなどそれぞれ異なるライフサイクルステージを持つシステムをコンテキスト
としてディペンダビリティの確保・維持が必要



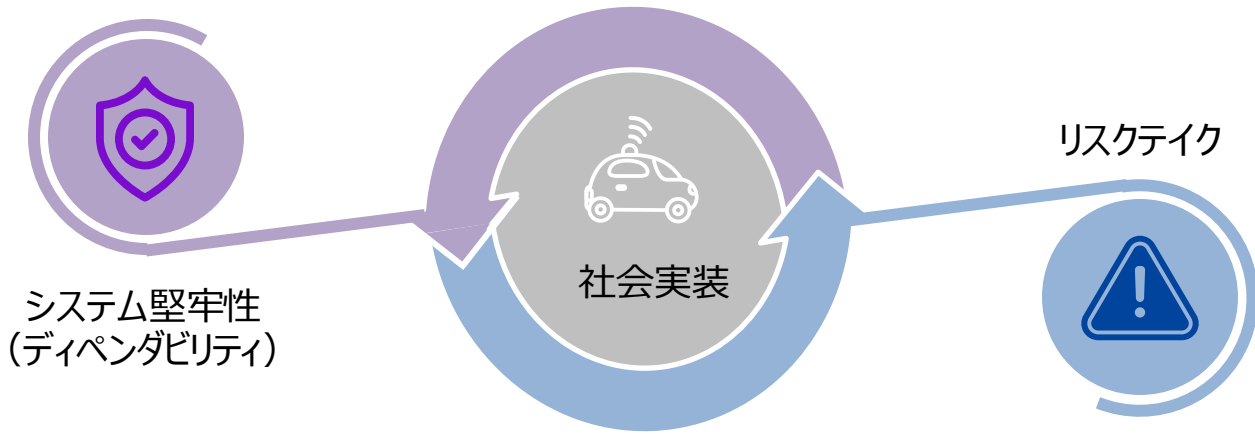
説明責任を果たす = 立場の異なる利害関係者間の合意形成を行う



3 自動運転の社会実装にはシステム堅牢性とリスクテイクのバランスを担保する方法論が必要

システム堅牢性とリスクテイクが両立しなければ社会実装は実現せず

自動運転特有の設計・開発・運用プロセスが必要



自動運転特有の運用時の
アップデートまで見据えた
システム・ソフトウェア堅牢性・
リスクテイク設計手法が未定義



従来のフェールセーフに加えて
フェールソフト、フェールプルーブ等
(稼働の継続性やユーザーの誤操作等)
にも対応した設計を追求する必要

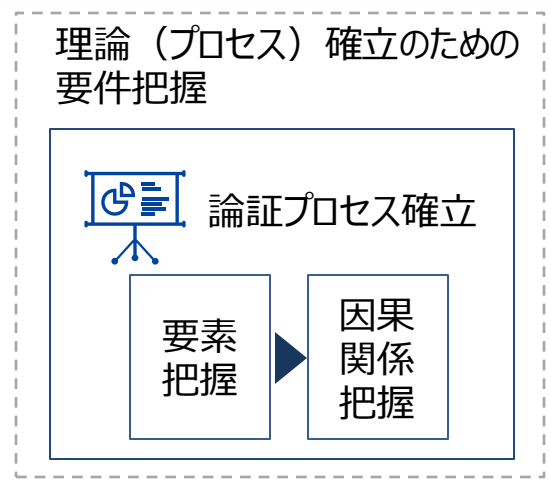
運用における各種変化の
設計・開発への影響分析が
属人的

自動運転特有の開発関連
ツールが存在せず

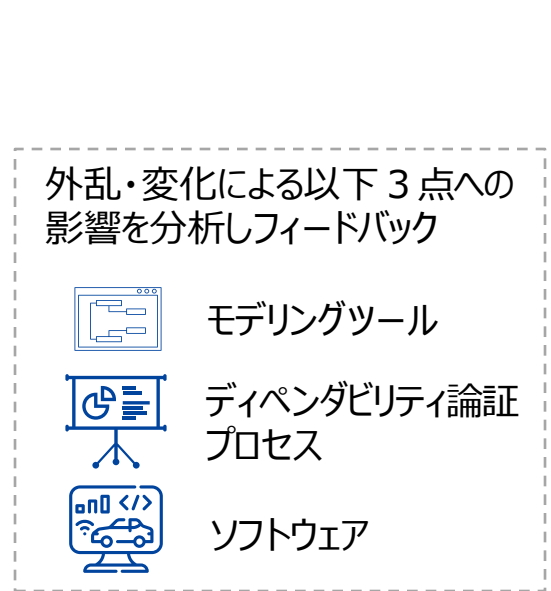
3 自動運転のシステム堅牢性の立証には理論的アプローチと工学的アプローチの両方が重要



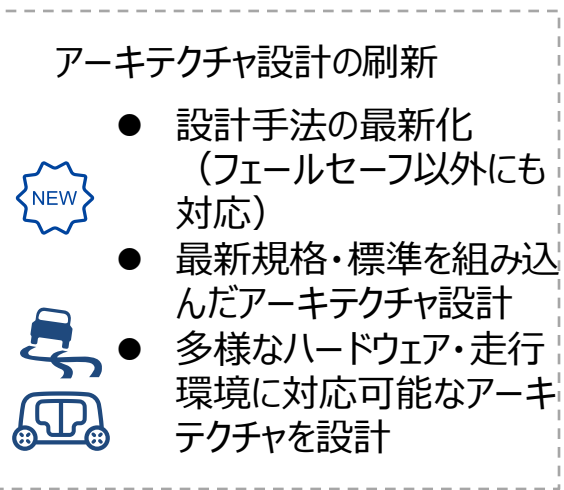
ディペンダビリティ理論の確立



ディペンダビリティ維持のための影響分析手法開発



ディペンダビリティのためのアーキテクチャ開発



技術のポイント

3-1 多種多様なODDのディペンダビリティ要件定義

- ✓ ディペンダビリティ分析対象と要件定義
- ✓ パラメータ特定とディペンダビリティ確保方策の分析

3-2 社会受容性を含むディペンダビリティ合意形成

- ✓ 定性的・定量的論証ケースの確立
- ✓ モデリングツール・論証ケース・ソフトウェアへの各種変更の影響評価

3-3 ディペンダビリティに係るソフトウェアアーキテクチャの開発

- ✓ 設計原則・階層化FDIRの導入
- ✓ 多様なハードウェア・走行環境への対応
- ✓ 規格・標準の活用

多種多様なODDのディペンダビリティ要件定義

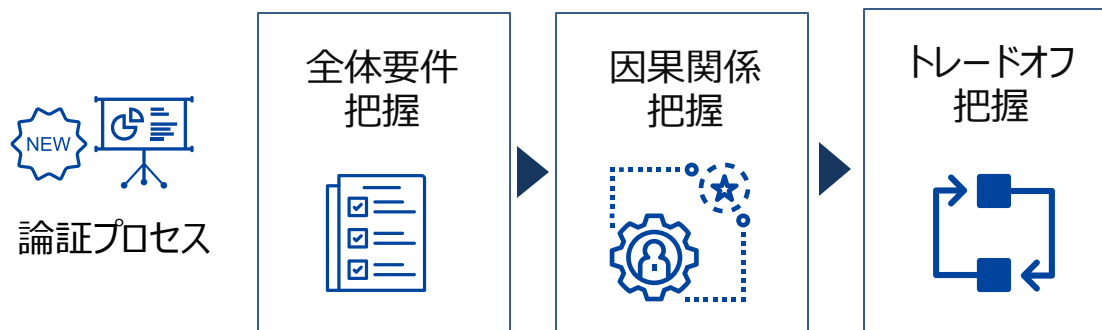
現状とその課題



非自動運転車にのみ対応

- 現状の論証プロセス・フレームワークは共に自動運転車には未対応
- 自動運転の論証プロセス構築に必要な全体像把握が不完全
- 各システム・組織等自動運転に係る構成要素間の因果関係が不明

本事業で提案する課題解決方法



自動運転車に対応

課題解決方法

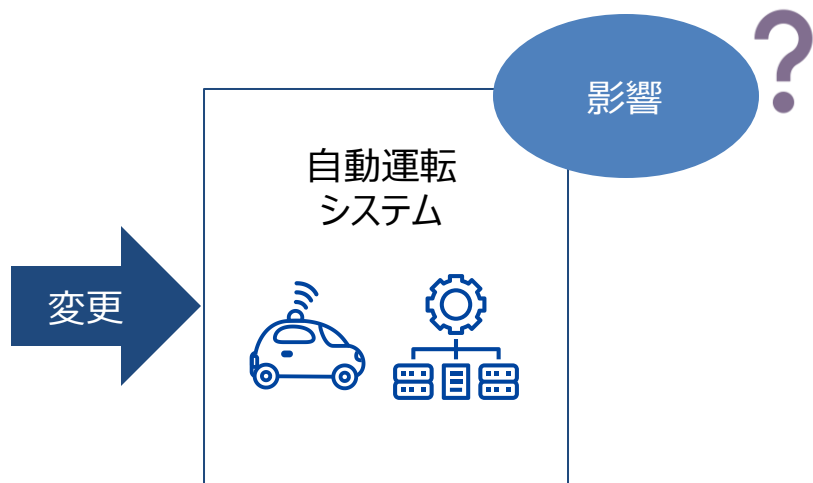
- 自動運転の運用も考慮した論証プロセス構築

実施事項

3-1-1 ディペンダビリティ分析対象と要件定義

3-1-2 パラメータ特定とディペンダビリティ確保方策の分析

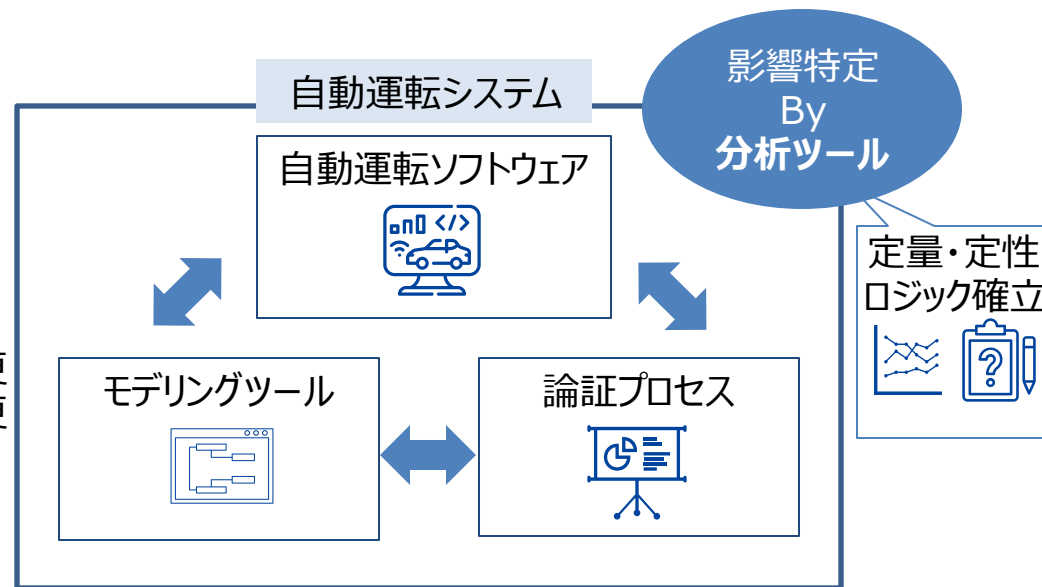
現状とその課題



- 各種変更が発生した際の影響範囲が不透明
- ディペンダビリティに関する影響分析手法・プロセスが未確立
- リアルタイムな影響分析が不可能

変更

- ✓ ODD變更
- ✓ 技術的變更
- ✓ 規則等變更
- 等



課題解決方法

- 理論と実践に基づき変更に対するシステムへの影響を緻密に分析するツールの開発

實施事項

- 3-2-1 定性的・定量的論証ケースの確立
- 3-2-2 モデリングツール・論証ケース・ソフトウェアへの各種変更の影響評価

3-3

ディペンダビリティ指向のソフトウェアアーキテクチャ

現状とその課題



フェールセーフ



自動運転サービス



最新基準



- フェールセーフのみに対応しているため、自動運転サービスの実態やユーザーニーズと乖離があり社会実装が困難
- 多様なハードウェアや走行環境への対応とディペンダビリティの両立不可
- 最新の基準・規則が一部不整合

本事業で提案する課題解決方法



フェールセーフ



フェールソフト



フェールプルーフ



自動運転サービス



最新基準



課題解決方法

- フェールセーフ以外のアーキテクチャ設計手法を構築
- 最新基準・規則との整合を常に担保するアーキテクチャを設計

実施事項

- 3-3-1 設計原則と階層化FDIRの導入
- 3-3-2 多様なハードウェア・走行環境への対応

- 3-3-3 規格・標準の活用

- 1 広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム
- 2 コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証
- 3 多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ
- 4 エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン

4 研究開発内容4の概要

背景となる課題認識

多種多様な車両や複数の自動運転レベルに対する検証と妥当性確認を効率化、低コスト化するためには開発と運用を一体化できる**CI/CDパイプライン**を構築する必要がある。



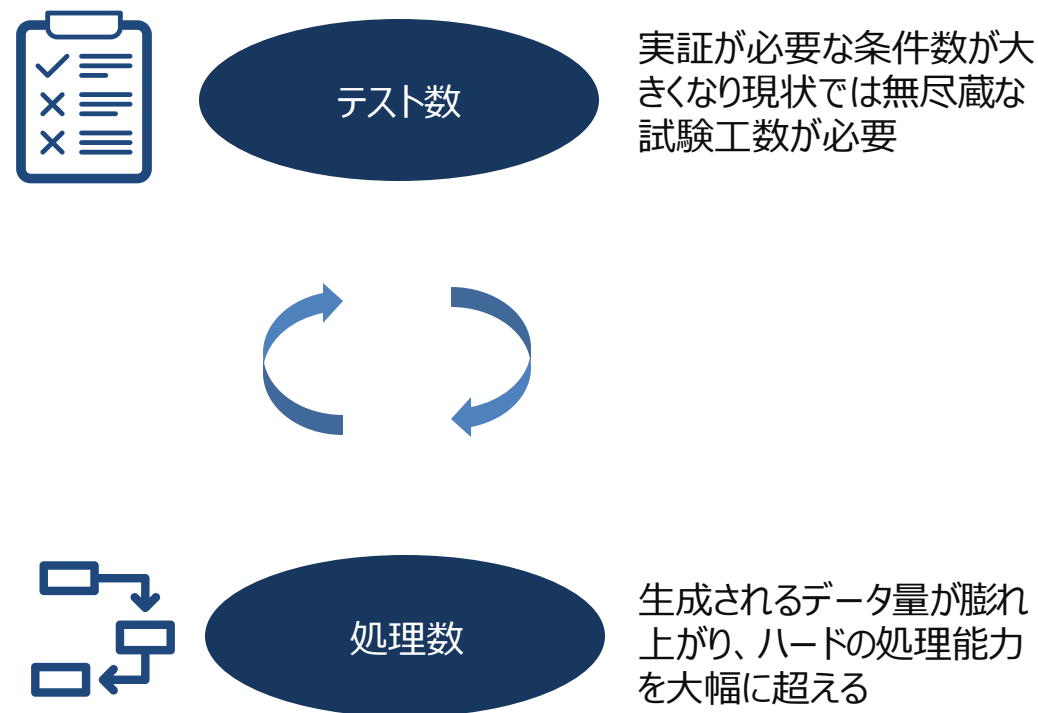
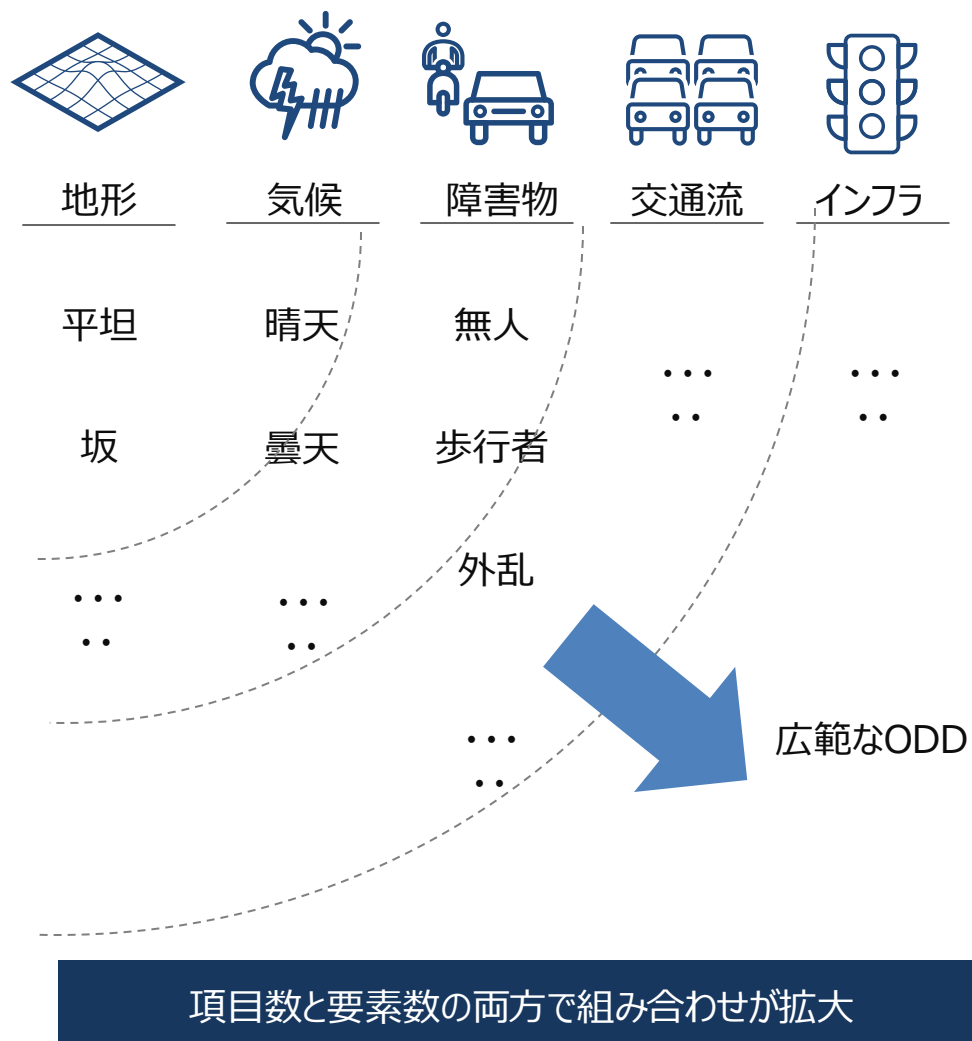
今回の研究開発内容

概要	エッジでのDynamic Assurance及びCI/CDの効率化 ● 様々なSimulatorを活用したCloud Native開発プロセス ● Defect pronenessによる評価効率化 ● Dynamic Assurance機構及びデータ収集フレームワーク	
当該技術の独自性	● CI/CDパイプラインにおけるDefect-pronenessの活用 ✓ 問題が起こりやすいテストを実行することによるパイプライン実行時間の短縮	
新規性	● 複数のパラメータによるDefect-pronenessを用いたCI/CDパイプラインの効率化 ● 複数データ/複数モジュールのDynamic Assuranceの実現とCI/CD Pipelineの統合	
他技術に対する優位性	● 複数データ/モジュールが自己修復や異常検知機能を開発・運用における全体の処理量を下げ省電力化が可能 ● 回帰テスト選択手法に、過去のテスト実行結果(Success/Fail)以外のシナリオ、パラメータ、地図などを含めることで、テストが効率化され省電力化が可能	
実現可能性	● ティアフォーではCI/CDパイプラインでの十分な開発実績 ● シナリオ、パラメータ、地図、RSSといった属性値と実際の交通や環境との知見 ● 自動運転以外のソフトウェア開発において業務の複雑さや既存ソースコードの理解の難易度といった情報から品質を予測するテーマに強みを持つ名古屋大学の森崎准教授等と連携	
残された技術課題への解決の見通し	<u>技術課題</u> ● シミュレーションで検出できる欠陥とそれ以外(実車テスト)の欠陥の分類 ● Defect-pronenessの過去データの活用 ● Dynamic Assuranceの実現	<u>解決に向けた技術要素</u> → ● 直行欠陥分類や不具合分析 → ● メトリクス収集とSearch-based Testing → ● 機能・データに対する自己診断・修復アルゴリズムの開発

自動運転システムの検証と妥当性確認に要する膨大なテストの効率化が必要

適用可能なODDの範囲拡大は指数関数的に条件数が拡大

試験の実施とデータ処理が非現実的なレベルに達する

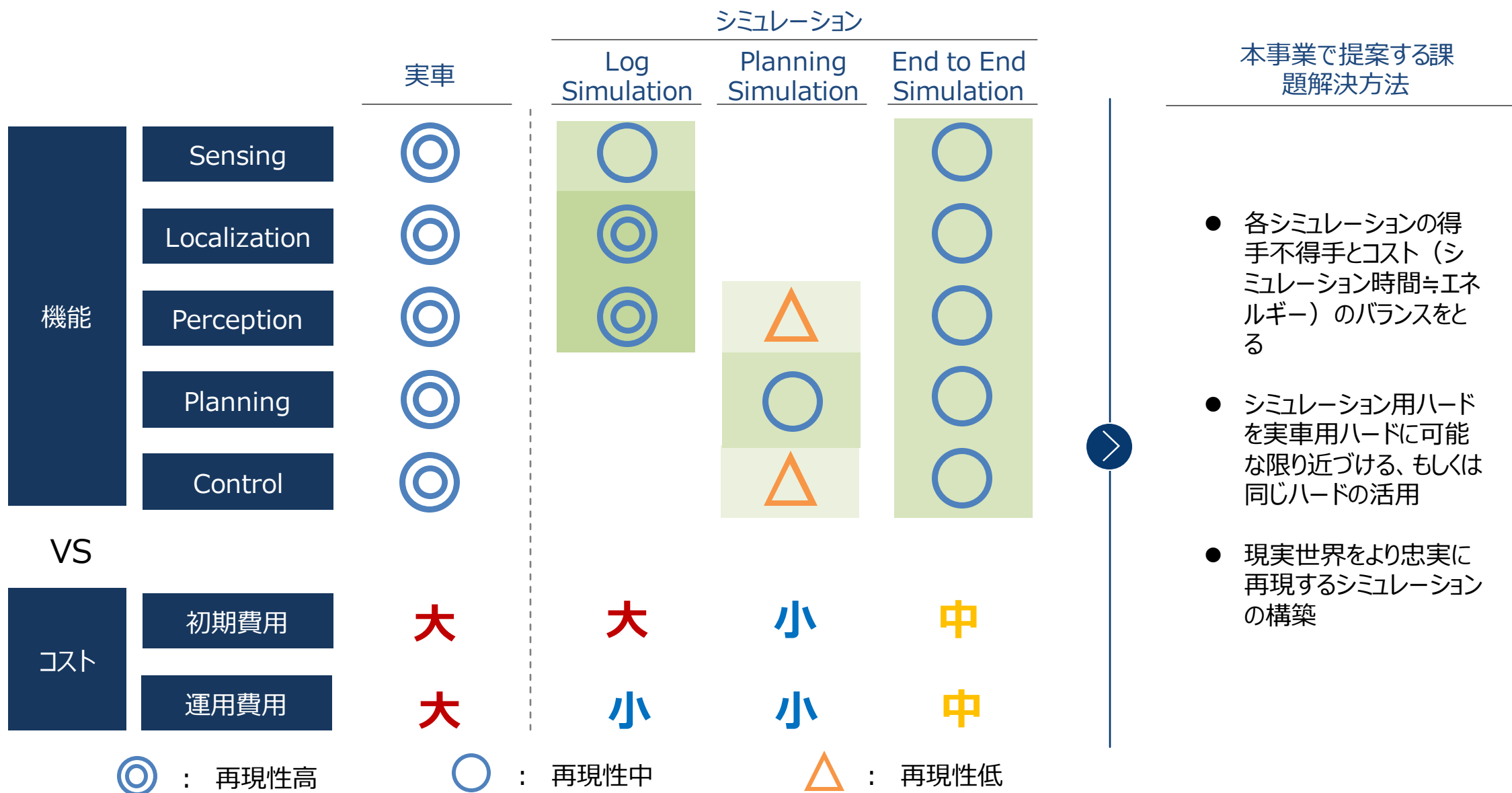


4 自動運転のテスト効率化につながるシミュレーションフレームワークの構築が重要



4 - 1

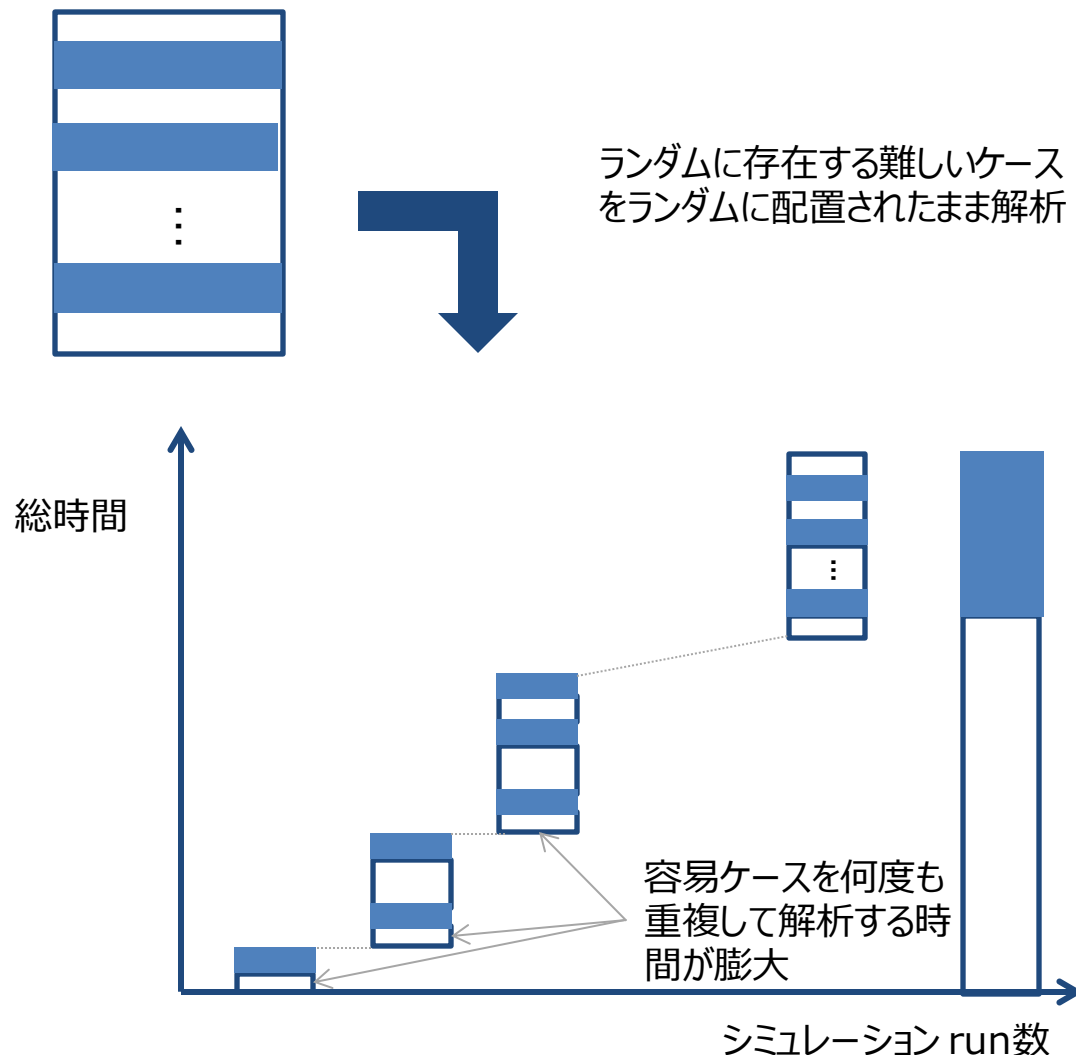
実車の膨大なコストを下げるためにシミュレーション組み合わせの最適化



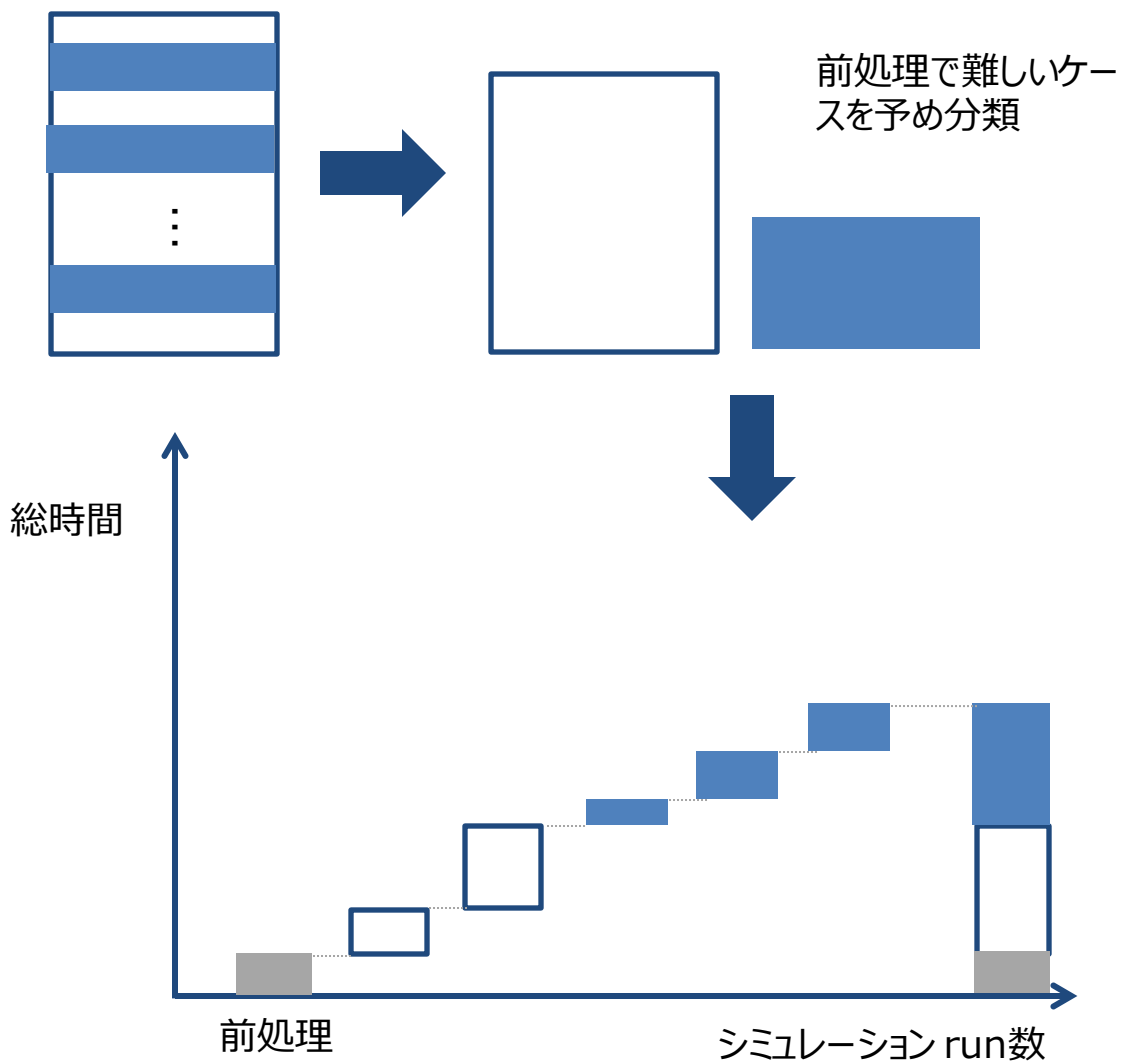
4 - 2

シナリオ優先順位付け実現によるテスト効率化

現状：
解析が止まる毎に容易なケースも再解析



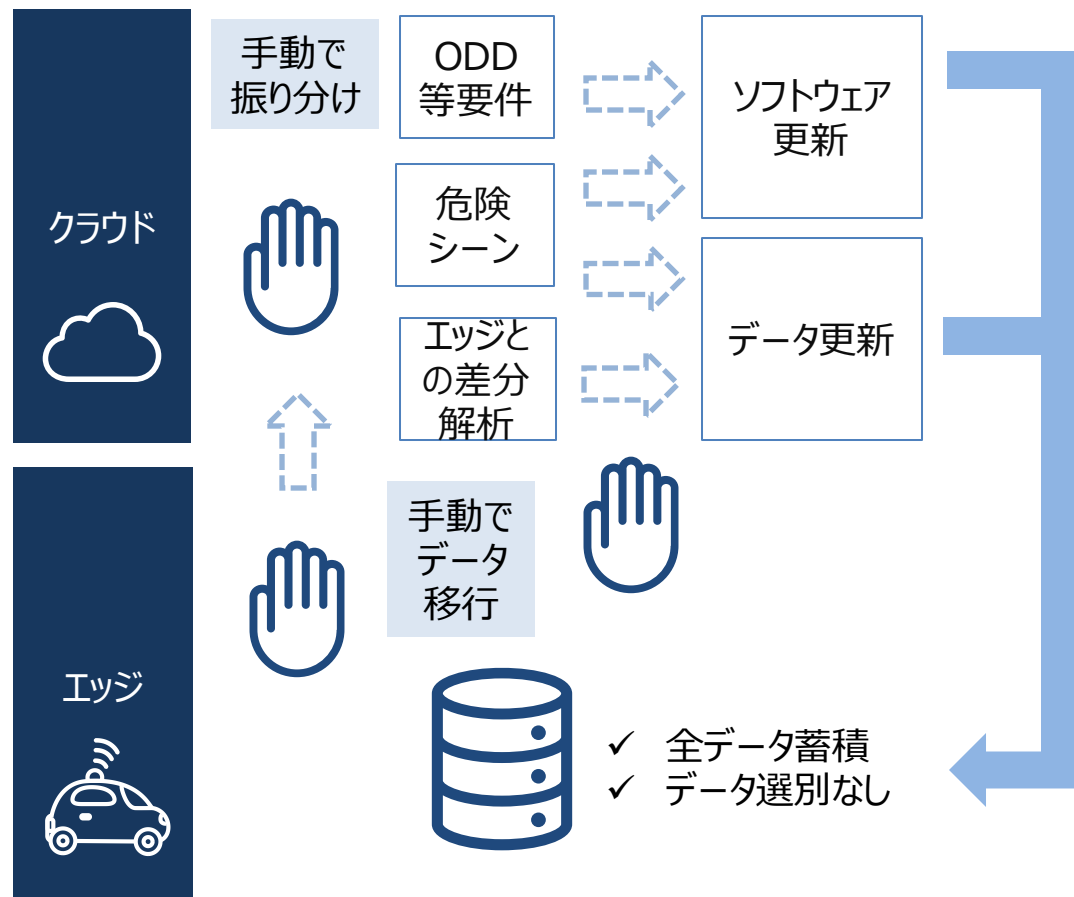
課題解決方法：
前処理によって不要な再解析を特定の上簡略化



4 - 3

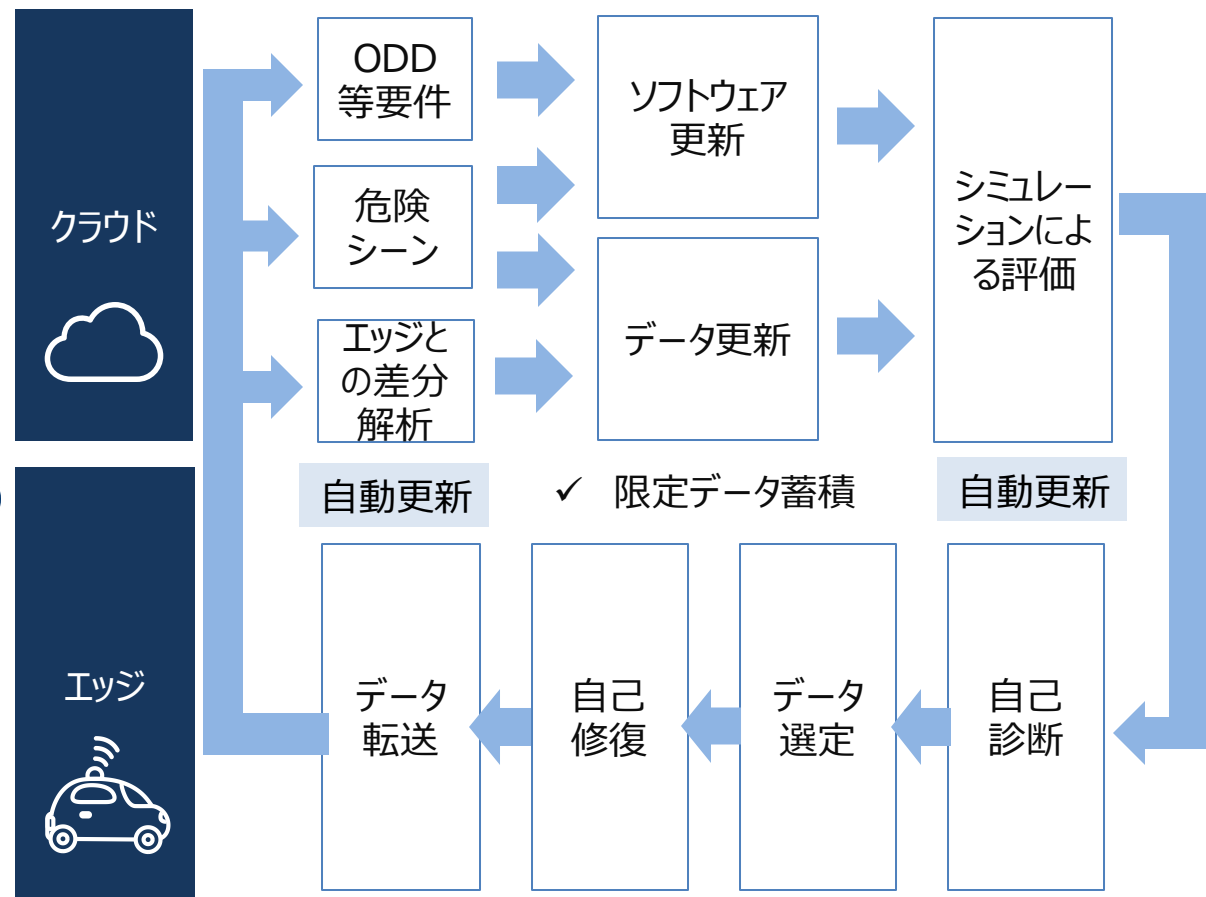
データ選別と自動化で処理数圧縮

現状とその課題



- 手動でデータ選別・振り分け・ソフトウェア更新等を実施しており非効率的
- 全データを順次解析しており車両数増大・走行環境拡大に非対応

本事業で提案する課題解決方法



課題解決方法

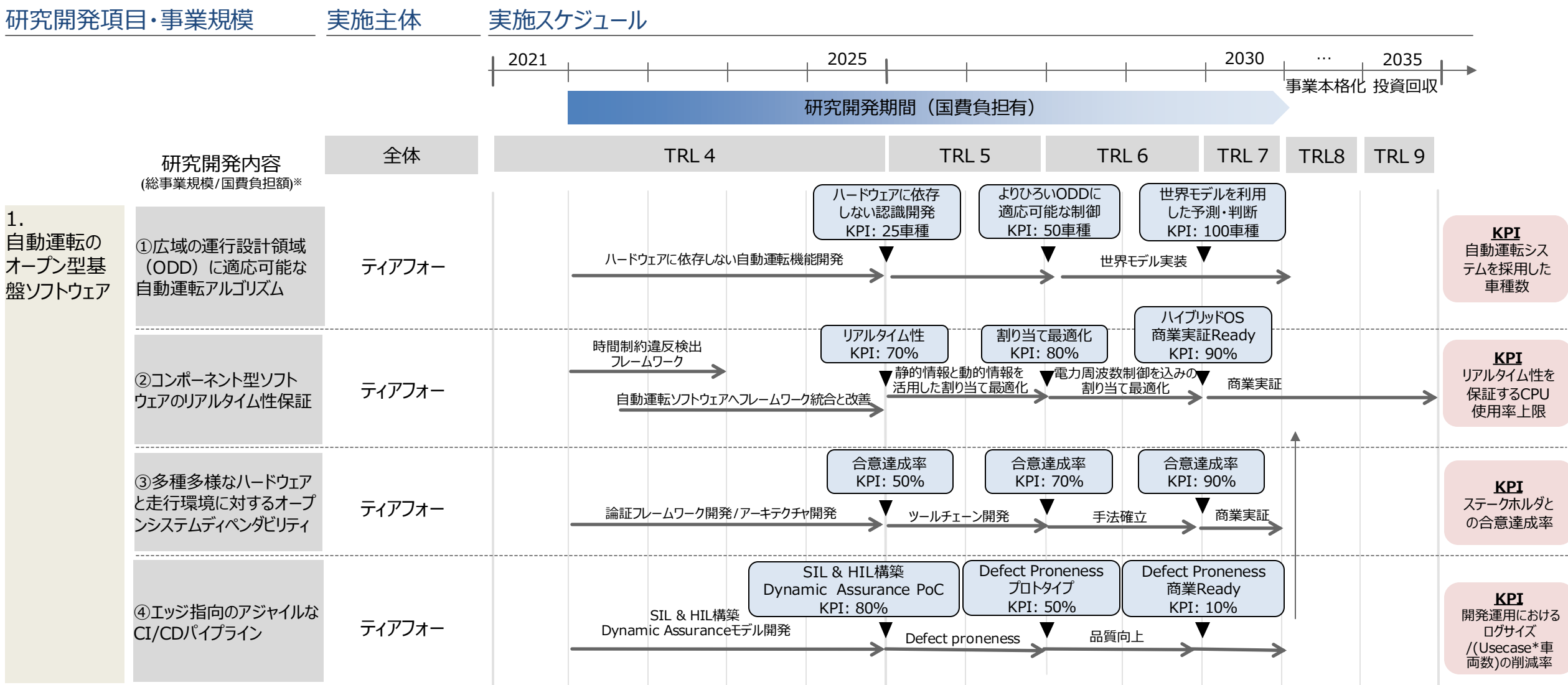
- データ取舍選択
- データ圧縮

実施事項

- 自己診断・データ選定関連取組
- 自己修復関連取組

2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

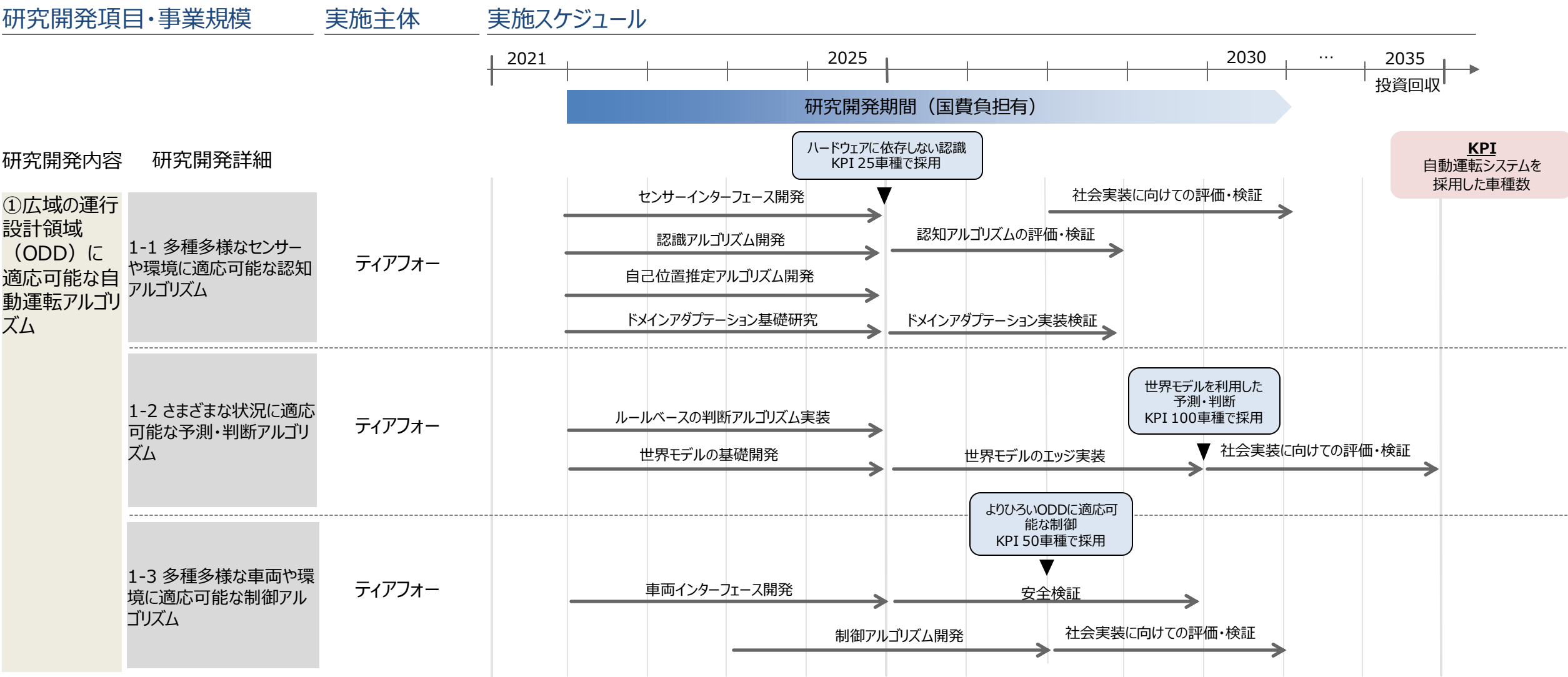
複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



※総事業規模は、実施者の自己負担も含めた2030年度迄の総投資額、国費負担額はNEDOからの補助金の額（インセンティブ含む）

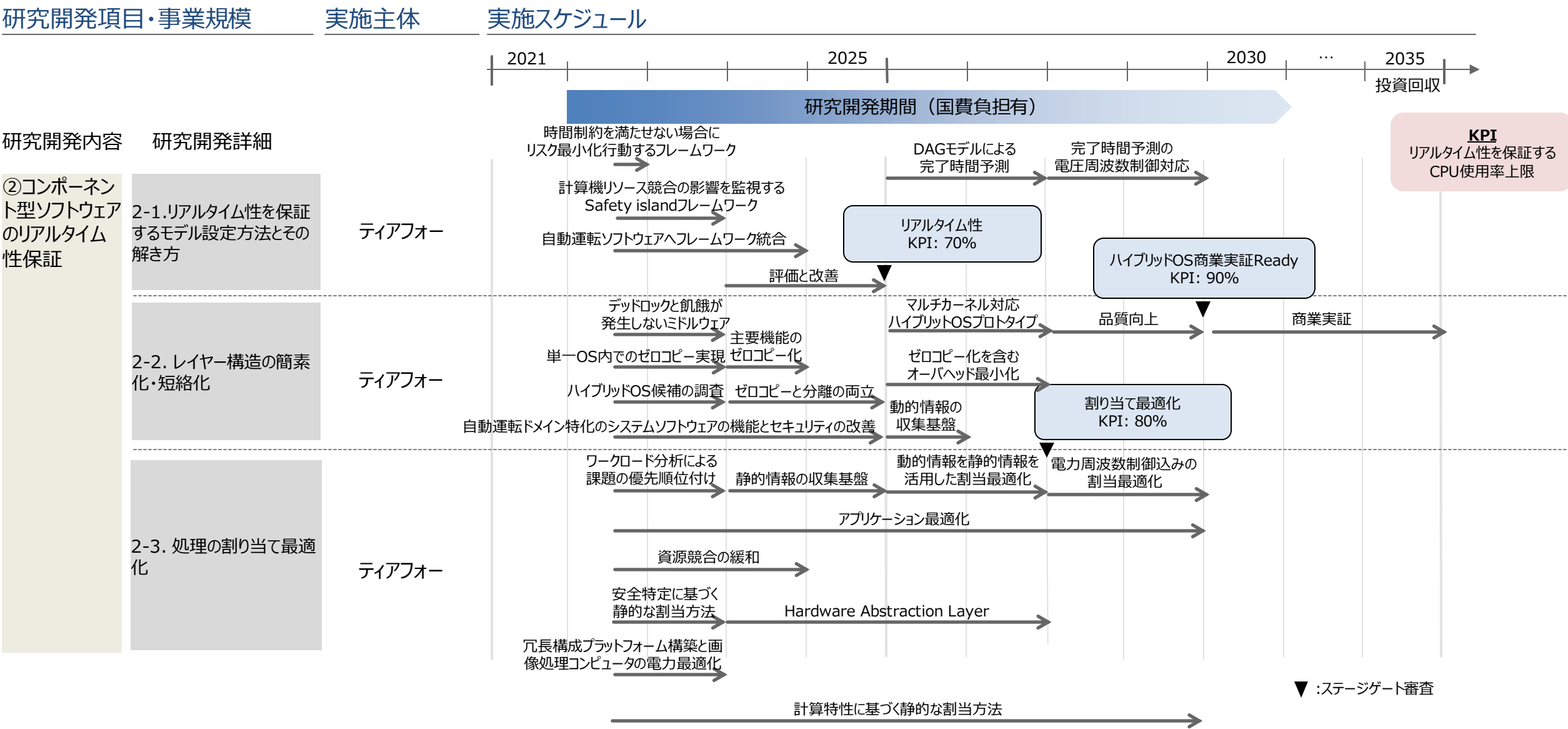
▼ :ステージゲート審査

複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画

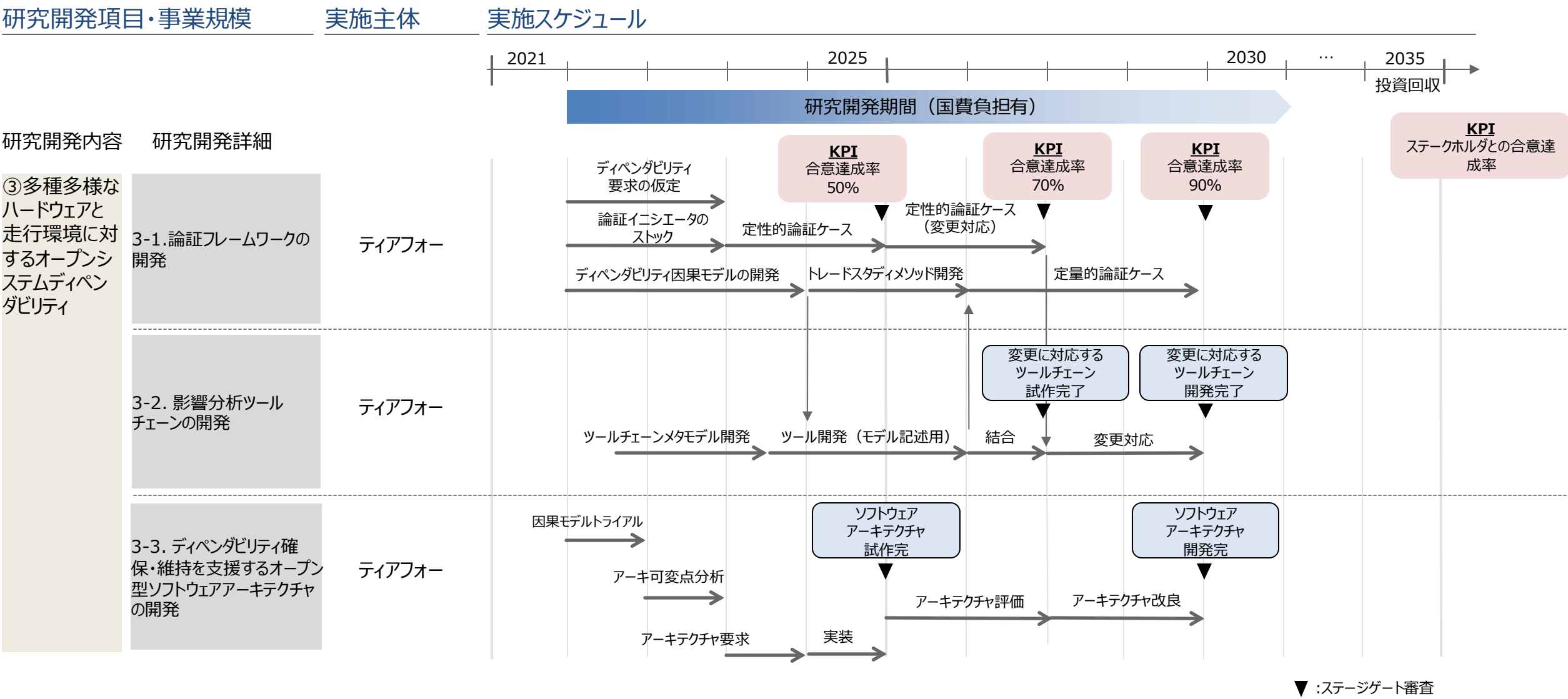


▼ :ステージゲート審査

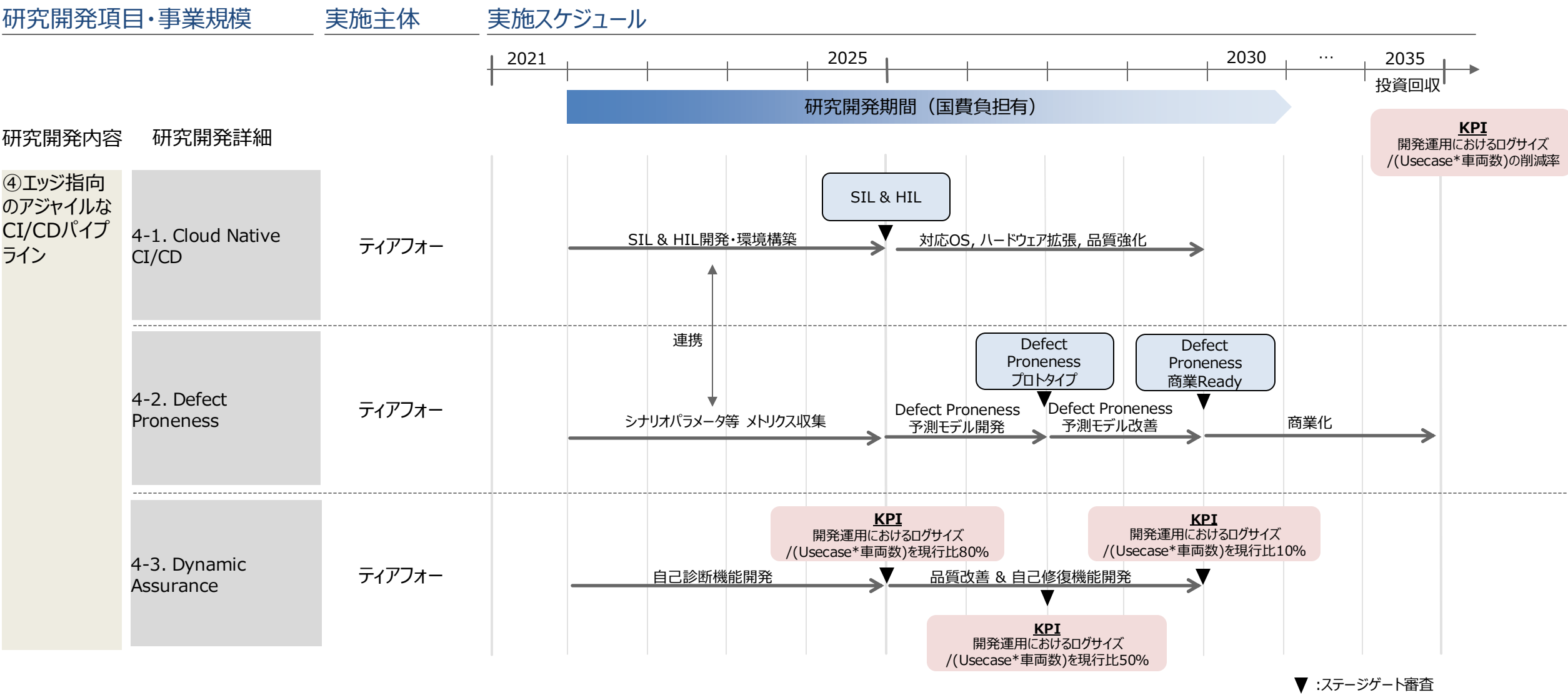
複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール／ 期間全体の達成目標と開発マイルストン

2025～2026年を目途に複数のODDに対する自動運転システムのリファレンスデザインを確立し、実証実験を展開する。
2030年までにTRL7以上のソフトウェアプラットフォームを開発し、標準的な走行環境でのレベル4の自動運転を社会実装する。

事業年度			2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
市場動向	オーナーカー		限定条件下における限定的な自動運転の展開 (ex. Lv2+、Lv3Traffic Jam Pilot、Lv3 Highway Pilot)				限定条件下におけるより複雑な自動運転の展開 (ex. Lv3 Highway Pilot、Lv4 Highway Pilot)			標準条件下での自動運転展開 (ex. Lv4 Pilot)		
	サービスカー		限定条件下における限定的な自動運転実用化 標準条件下における自動運転検証				限定条件下における自動運転実用化 標準条件下での自動運転検証			標準条件下での自動運転実用化		
TRL	本事業を通じ目指す全体TRL		TRL4	TRL4	TRL4	TRL5	TRL5	▼	TRL5	TRL6	TRL6	TRL7
走行環境	閉鎖空間 (工場・空港・港湾等の敷地内等)	自動車、バイク、トラック、歩行者	Lv4技術検証	限定条件下でのLv4運用（低速 / 物流）			限定条件下条件でのLv4運用（中速 / 物流）			標準条件下でのLv4運用（中速）		
			Lv4技術検証（低速 / 旅客）		限定条件下でのLv4実証（低速 / 旅客）		限定条件下でのLv4運用（中速 / 旅客）					
	限定空間 (廃線跡・BRT等)	自動車			限定条件下でのLv4実証（低速）		限定条件下でのLv4運用（中速）		標準条件下でのLv4運用（中速）			
	自動車専用空間 (高速道路等)	自動車、バイク、トラック	Lv2+技術検証	Lv3技術検証		Lv4技術検証		限定条件下でのLv4運用（高速）		標準条件下でのLv4運用（高速）		
	混在空間 (生活道路等)	自動車、バイク、トラック、自転車、歩行者	Lv4技術検証（低速）		限定条件下でのLv4実証（低速）		限定条件下でのLv4運用（低速～中速）			標準条件下でのLv4運用（中速）		
	交通環境整備空間 (幹線道路等)	自動車、バイク、トラック、自転車、歩行者	Lv4技術検証（中速）					限定条件下でのLv4実用（中速）		標準条件下でのLv4運用（中速）		

株式会社ティアフォーが研究開発項目をすべて主体的に実施

実施体制図

※金額は、総事業費/国費負担額

主体の役割と連携方法

主体の役割

- 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」は、株式会社ティアフォーが研究開発内容1-4含めすべて主体的に実施

研究開発における連携方法

- 研究開発に関しては株式会社ティアフォーが単独で実施
 - 尚、研究開発に伴う外注が可能な各種作業については適切な外注先と緊密に連携の上、効率的かつ確実な業務遂行のための体制を構築
- 株式会社ティアフォー内の研究開発体制等詳細については3.経営のコミットメントの「組織内の事業推進体制」を参照

中小・ベンチャー企業の参画

- 株式会社ティアフォーが自動運転ソフトウェアにおいて我が国を代表する中小企業・ベンチャー企業の一つであり、本事業のような先鋭的かつ野心的な目標を達成するために適切な技術力とチームを有す

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

株式会社ティアフォー

- ①広域の運行設計領域（ODD）に適応可能な自動運転アルゴリズム
- ②コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証、
- ③多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ、
- ④エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン、を担当

（254億円/175億円）



幹事企業



中小・ベンチャー企業

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等（出典は次頁参照）	競合他社に対する優位性・リスク
1. 自動運転のオープン型基盤 ソフトウェア	1 広域の運行設計領域（ODD）に 適応可能な自動 運転アルゴリズム	- 自動運転アルゴリズムの研究開発 - 世界モデルに関する寄付講座	→ 優位性：競合他社が特定のODDに対し最適化したシステムを設計しているのに対し、本技術ではルールベースとAIベースの組み合わせで様々なODDに適用可能な技術を実現 リスク：AIシステムの安全性を保障するための検証方法の難しさ
	2 コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証	- Autoware Foundationのハードウェア/ソフトウェアのエコシステムPartnersとの連携 - NEDO AI: 自動運転向けSoCとSoftware Platformの共同研究開発 - 自動運転アプリケーションの知見 - 自動運転向けOS・ミドルウェアの知見	→ 優位性：競合他社が特定の車両やハードウェアへの適応性を高めているのに対し、本研究は不特定多数のコンポーネントに対してシステムの拡張性と適用性を高めることが可能 リスク：OSSとして広まらないことによるソフトウェア/ハードウェアエコシステムの非拡大
	3 多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ	- 論証ケース（D-Case）に関する最新研究動向を踏まえた産学連携および自技会など産業界での共同研究を進めており、その成果を活用可能 - 古典的安全設計原則およびミッションクリティカルドメインで実用化された技術の応用	→ 優位性：ソフトウェアおよび論証構造を公開することにより、システムのディペンダビリティ論証の妥当性および論証の確からしさをグローバルな視点で評価及びフィードバックを受領することが可能 リスク：価値とリスクのバランスにより社会受容が進まず実装箇所が増加しない
	4 エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン	- Open AD Kit v1.0のリリース - シナリオ、パラメータ、地図、RSSといった属性値と実際の交通や環境との知見 - これまで取り組んできたCI/CDパイプラインの開発実績	→ 優位性：本研究では複数データ/モジュールが自己修復や異常検知することにより開発・運用における全体の処理量を下げ省電力化し、システムのコスト優位性が向上 リスク：ODD検証プロセスの国際規格の立ち上がった場合、それに適応するためのシステム変更等の可能性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発内容1

- 出典1 : <https://www.autoware.org/post/happy-new-year-2021-from-the-autoware-foundation>, <https://www.autoware.org/autoware-open-ad-kit>, <https://www.autoware.org/autoware-members>
- 出典2 : Autoware on Many-core Platform: NoCベース組込みメニーコアプロセッサ向け自動運転プラットフォーム, 組込みシステムシンポジウム (ESS2019)
- 出典3 : ROS-lite: ROS Framework for NoC-Based Embedded Many-Core Platform, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2020)
- 出典4 : System on a Chip and Software Platforms for Fully Autonomous Driving, IEEE 15th International Conference on Embedded Software and Systems (ICCESS2019)
- 出典5 : RAPLET: Demystifying Publish/Subscribe Latency for ROS-based Applications, The 27th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA2021)
- 出典6 : Heterogeneous Computing Platforms for Autonomous Vehicles, International Solid-State Circuits Conference (ISSCC2020)

研究開発内容2

- 出典7 : IEC 62853 Ed.1.0:2018(b) Open systems dependability
- 出典8 : SAE J3131_202203 Definitions for Terms Related to Automated Driving Systems Reference Architecture
- 出典9 : NHTSA Voluntary Safety Self-Assessment Guidance
- 出典10 : White Paper Safety First for Automated Driving
- 出典11 : ISO 21448 Safety of the intended functionality
- 出典12 : Proposal of Highly Safe Guidance Navigation and Control system by Layered FDIR and Realization in H-II Transfer vehicle "KOUNOTRI"

研究開発内容3

- 出典13 : <https://www.autoware.org/post/the-autoware-foundation-releases-quick-starter-kit-to-accelerate-cloud-native-autonomous-development>
- 出典14 : AV-FUZZER: Finding Safety Violations in Autonomous Driving Systems, 2020 IEEE 31st International Symposium on Software Reliability Engineering
- 出典15 : Search-based Test-CASE Generation by Monitoring Responsibility Safety Rules," 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)
- 出典16 : Towards a Software Component to Perform Situation-Aware Dynamic Risk Assessment for Autonomous Vehicles, European Dependable Computing Conference 2021

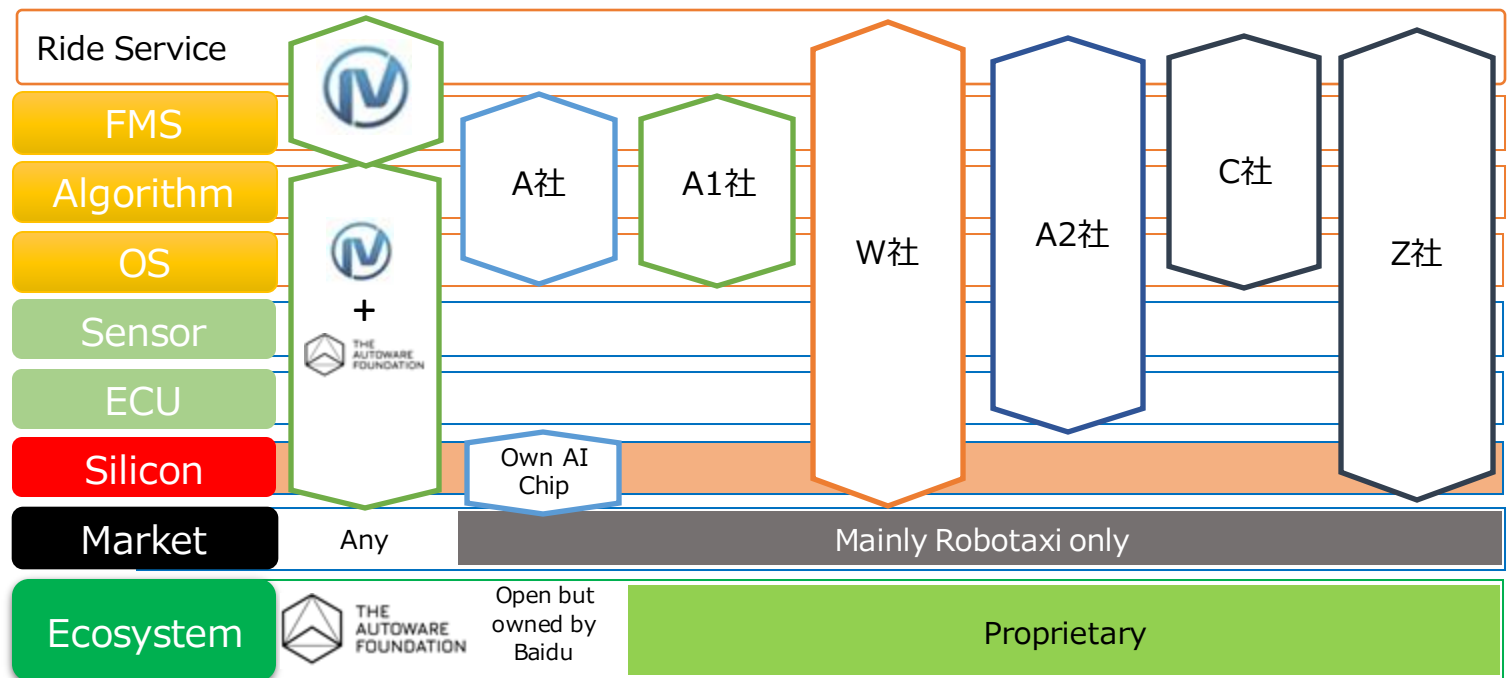
国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発内容4

- 出典17: Vision-Based Sensing Systems for Autonomous Driving: Centralized or Decentralized?, J. Robotics Mechatronics 33(3): 686-697 (2021)
- 出典18 : Visual Localization for Autonomous Driving using Pre-built Point Cloud Maps. IV 2021: 913-919
- 出典19 : Characterization of Multiple 3D LiDARs for Localization and Mapping using Normal Distributions Transform. CoRR abs/2004.01374 (2020)
- 出典20 : https://www.t.u-tokyo.ac.jp/foe/press/setnws_202106231442408328966288.html

国際的な競争の中においてもオープン戦略に基づく技術範囲およびリソース面の優位性を保有

○実用化・事業化に向けた自他分析



- Autoware・ティアフォーのソリューション以外はRoboTaxiにフォーカスした垂直統合型、独自エコシステムで抱え込みをしている。
- ほぼ全社がx86 + nVidiaソリューションでPoCを組んでおり、資金力のあるWaymoやBaiduは独自アクセレレーターを開発で差別化を図っている。

○勝つための戦略

- 現在唯一の完全自動運転オープンソースソフトウェア（OSS）であるAutowareのソリューションを主軸に、特に安全性の面でアピールを進める。
OSSはソースコードが隠蔽されないため、問題発生時の安全性検証面で有利である。（NASAのOSS採用理由と同一）

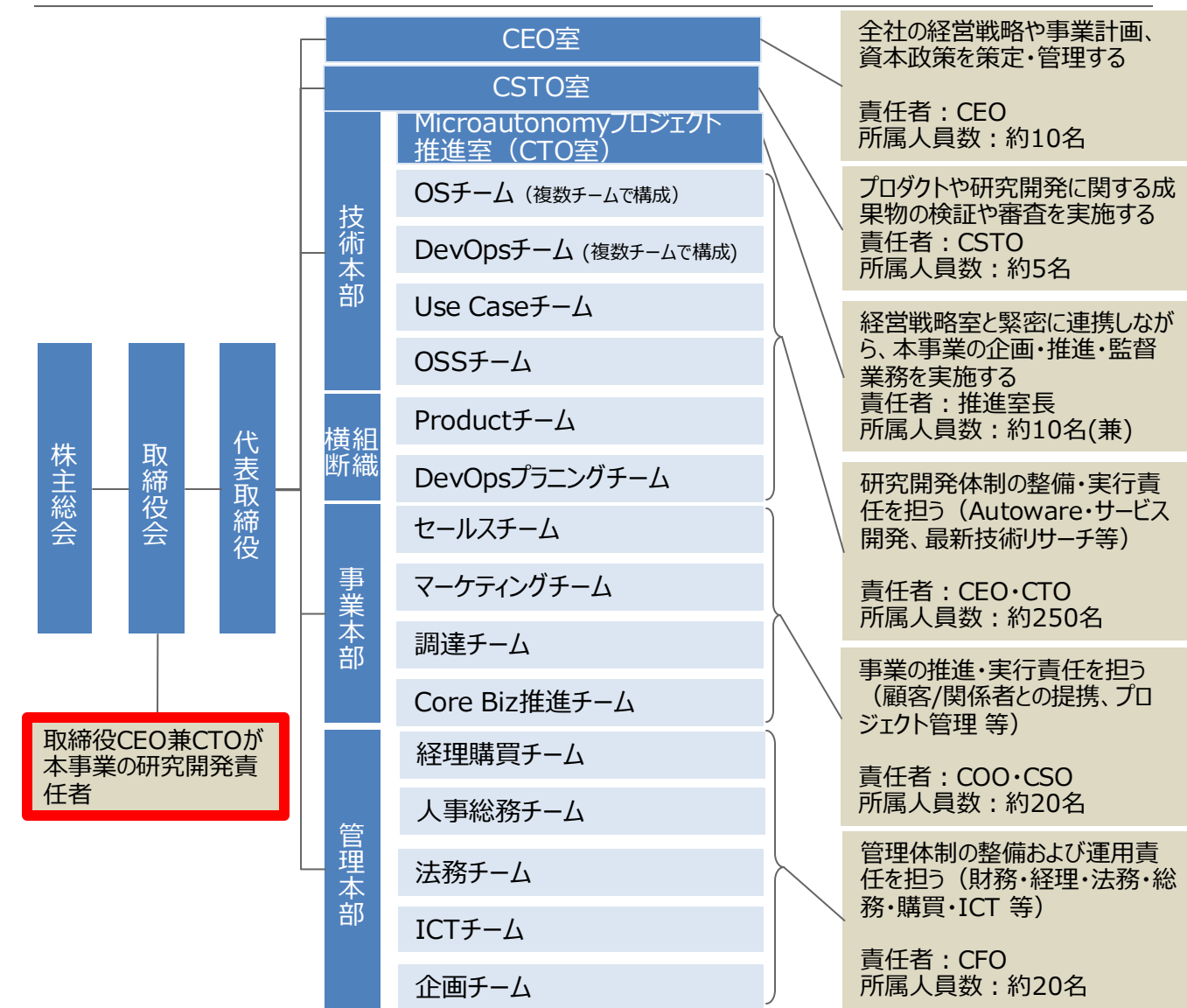
3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

3. イノベーション推進体制／（１）組織内の事業推進体制（2023年4月中旬からの最新組織図）

- 2023年4月よりCEO兼CTOの加藤真平が本事業の研究開発責任者となり、事業と技術の両面から推進していく
- 社会実装/標準化戦略等の事業面の方向性と、技術面の方向性とを合わせるため、Task forceの組成等も今後検討

組織全体図



組織内の役割分担

- 全社経営体制
 - 代表取締役：全社経営に関する責任者
 - CTO/COO/CFO/CSO：各本部の責任者
 - CEO兼CTOが本事業の研究開発責任者となる
 - CSTO*:安全に関する検証や審査の責任者
- Microautonomyプロジェクト推進室 (CTO室内の組織として機能)
 - Microautonomyプロジェクト推進室長：本事業全体を管理・監督
 - 主任研究者：研究成果に関する管理・監督
 - 経理責任者：本事業の補助金・経費に関する管理・監督

● 各テーマ担当

	テーマ①	テーマ②	テーマ③	テーマ④
研究開発内容	広域の運行設計領域 (ODD) に適応可能な自動運転アルゴリズム	コンポーネント型ソフトウェアのリアルタイム性保証	多種多様なハードウェアと走行環境に対するオープンシステムディペンダビリティ	エッジ指向のアジャイルなCI/CDパイプライン
主要チーム	技術本部の各チームよりテーマ毎に研究開発担当を選定			

- 社会実装/標準化戦略担当
 - CEO・CSOが中心となり全社経営との連携を推進する。
 - 事業・技術の方向性を合わせる為、タスクフォースの組成も今後検討する。

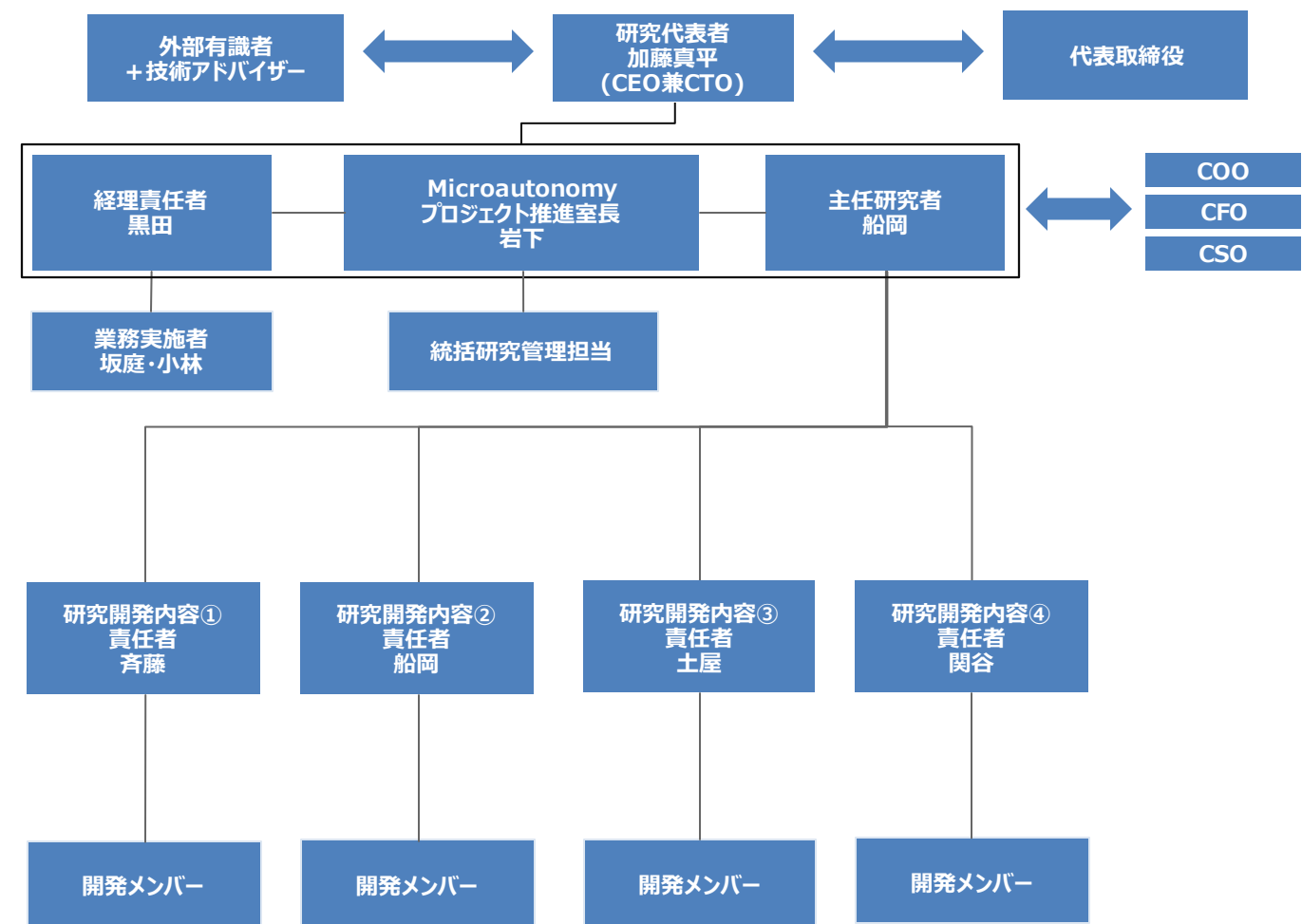
部門間の連携方法

- 全体像
 - Microautonomyプロジェクト推進室が中心となり、社内の必要な人材や情報リソースにアクセスし連携を図る。室長が中心となり全社経営との連携を推進する。
- 会議体
 - Microautonomyプロジェクト推進室内での連携を目的とした会議体、又、経営含む社内の各階層で部門間を連携を目的とした会議体を通じた連携を図る。

3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制：Microautonomyプロジェクト推進室

本事業を遂行する上で、経営メンバーや全社横断での連携を統括するMicroautonomyプロジェクト推進室を設置し、確実なプロジェクトの計画と管理が可能な体制を構築する。

Microautonomyプロジェクト推進室



組織内の役割分担

設立の目的	本事業は全社横断での連携・管理が必要となる為、Microautonomyプロジェクト推進室を設置し、各本部長(CxO)との横連携並びに確実なプロジェクト管理と遂行を実現するのに最適なメンバーで構成する。
Microautonomyプロジェクト推進室の構成	- 経営メンバーである星名(執行役員)が室長となり、常に全社経営との連携を図りながら、本事業全体の計画及び実行を管理・監督する。 - 室長の下に、経理責任者及び主任研究者をそれぞれ配置し、管理及び開発それぞれに於いて執行可能な体制を取る。 - 経理責任者、主任研究者の下に、業務の適切な管理を支援する業務実施者、統括研究管理担当をそれぞれ配備する。 - 主任研究者の下に、R&Dテーマ責任者をテーマごとに任命し、当該R&Dテーマ責任者が担当するテーマの全体計画と開発管理の責任を負う。 - 各テーマ責任者の基に研究管理担当を任命し、R&Dテーマ責任者を支える立場として技術および管理を推進する。
主要メンバー選定	主要メンバー（室長、経理責任者、主任研究者、各テーマ責任者）については、本事業を推進する上で必要となる各分野での経験や実績を備える者を選出する。

3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

経営メンバーのリーダーシップの基で、Microautonomyプロジェクト推進室が中心となり社内外のステークホルダを適切に本事業に巻き込みながら、本事業の管理と遂行を実現する。

経営者等による具体的な施策・活動方針

経営者の リーダー シップ	事業の 位置付け	毎年事業計画の見直しを実施する中で、カーボンニュートラルに関わる産業構造や変化等の外部環境や競合状況を適時に把握・分析しつつ、長期的なビジョンを基に本事業の進捗や今後の計画を含め経営判断を行う。
	社内外への 発信	- 本事業の採択後には、全社報告会において全社員に対し本事業の目的や取り組み方針等を説明し、全社に於ける本事業の位置付け・重要性に関する認識を共有する。 - 社外に対しては、株主等の主要ステークホルダに対する本事業の詳細説明を行うのに加え、プレスリリースや講演等にて広く情報発信する。
	組織制度・ 文化	- 非線形な試行錯誤を奨励する組織制度・文化の整備/維持管理を行う。 ① 会社のMission/Vision/Valueを継続的に社員に対し発信する。 ② リスクを適時に把握し改善に活かす体制の構築する。
事業のモニタリング/ 管理	経営層の 事業把握	- 経営メンバーはMicroautonomyプロジェクト推進室が主催する月次会議に出席し、本事業の進捗状況を適時把握する。 - 取締役会に於いては、経営メンバー自身で本事業の状況報告を取締役に對し行う。
	経営層の 本事業への 指示	- Microautonomyプロジェクト推進室の会議において、全社経営目線で今後必要な対応や検討等を推進室の主要メンバーに対し直接指示を行う。 - 他部門やメンバーに情報や対応指示を展開する必要がある場合は、適切な会議体やプロセスを通じ経営メンバーが主導して横断的な推進を促す。
	社外知見 活用	- 取締役会に於ける社外取締役の本事業に関する第三者的立場としてのインプットや必要なサポートを得られる体制を構築する。 - 全社員に対しては月次の全社報告会を通じて定期的に状況をアップデートし、個別意見は社内コミュニケーションツールを通じて収集可能とする。
	事業化 KPI	- 本事業のKPIとして設定した仕様を、四半期で把握する体制を構築する。 - 当該KPIについては、Microautonomyプロジェクト推進室会議にて適時報告し、関係者で状況を共有する。

経営者等の評価・報酬への反映

- 経営メンバーの評価は年次で社外取締役および代表取締役により実施され、本事業への貢献も評価項目の中に含める。
- 評価結果は取締役会にて報告され、各経営メンバーの報酬金額に反映される。

事業の継続性確保の取組

- 人的資源を事業の継続性のために最重要と捉え、各本部長/室長が積極的な採用と適切な人員配置を行う。

具体的実績(抜粋)

- 毎年事業計画の見直しを実施する中で、外部環境や競合状況を適時に把握・分析しつつ、全社としての長期ビジョン、R&D目標の策定のリードを実施。
- 本事業の採択後に、全社報告会において全社員に対し本事業の目的や取り組み方針等を説明し、全社に於ける本事業の位置付け・重要性に関する認識の共有を実施
- 非線形な試行錯誤を奨励する組織制度・文化の整備/維持管理を行うために、全社目標や組織OKRの策定を実施
- 本事業のKPIとして設定した仕様を約四半期ごとに計測/可視化するための組織体制を構築

3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

全社の経営戦略や事業計画の中で本事業はビジネス及びカーボンニュートラル・社会の観点より経営上の重要施策として既に位置づけられており、当該認識を各主要ステークホルダと適切に共有するために、個別具体の情報開示方法を展開する。

取締役会等での議論		ステークホルダに対する公表・説明		
カーボンニュートラル に向けた全社戦略	- 本事業の目的が自社の事業観点のみならず、カーボンニュートラルの実現に向けた社会的な重要性のある施策であることを取締役会で説明する。 - 本事業を推進する上で、カーボンニュートラルへの影響を定期的・定量的に評価し、効果最大化に向けた施策の立案と実行を実施する。	情報開示の 方法	- 本事業の採択後には、全社報告会において全社員に対し本事業の目的や取り組み方針等を説明し、全社に於ける本事業の位置付け・重要性に関する認識を共有する。 - 社外に対しては、株主等の主要ステークホルダに対する本事業の詳細説明を行うのに加え、プレスリリースや講演等にて広く情報発信する。	
	事業戦略・事業計画の決議・変更		- 全社の事業戦略・事業計画は取締役会にて決議を行う。尚、事業戦略・事業計画には、カーボンニュートラルに向けた本事業の取り組みと想定効果の内容を含む。（CO2の削減効果等） - 月次の取締役会にて事業の進捗状況の報告を行う。また四半期ごとに株主向けのQuarterly Reportを発行し、事業進捗の報告と事業戦略の見直しを行う。 - 月次で全社報告会を開催し、取締役会にて決議された事業戦略・事業計画の要諦を全社に共有する。	ステークホルダへの 説明
	決議事項と研究開発計画の関係		- 全社の事業計画において、本事業を含む研究開発計画は既に重要項目と位置付けられており、重点的に検討・協議がなされている。 - 本事業採択後も、常に本事業の研究開発は重点管理項目として経営会議や取締役会で協議を継続する。	
具体的実績(抜粋)		具体的実績(抜粋)		
- 月次の全社報告会にて、取締役会にて決議された事業戦略の要諦を全社に共有。 - 月次の取締役会にて事業の進捗状況の定期的な報告を実施 - カーボンニュートラルを意識した技術戦略の定期的な見直しを実施		- 本事業の採択後に、全社報告会において全社員に対し本事業の目的や取り組み方針等を説明し、全社に於ける本事業の位置付け・重要性に関する認識を共有 - The Autoware Foundation加入企業を中心としたAutowareの重要なエコシステムパートナーに対して、開発シナジー追求を目的に研究開発計画の説明を実施		

3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

本事業を確実に遂行するために、開発計画やリソース配分については柔軟に管理し、必要に応じて追加投資を機動的に実施できる体制を整備する。また、若手人材や外部知見も積極的に登用し、本事業の中長期的な継続性を担保する。

経営資源の投入

実施体制の柔軟性の確保

- ・ 事業進捗を踏まえ、Microautonomyプロジェクト推進室が中心となり、開発体制や手法、リソース投入方針について必要な見直しを行い、適切な会議体を持ち込むことで部門間でも連携を図る。
- ・ 万一自社でのリソースが不足する場合は、既に開発等に於いて関係性の深い外部企業からの出向や派遣等、または、The Autoware Foundation加入企業を中心に構築している緊密な外部連携を通じ、不足リソースを機動的に調達する。
- ・ 社内では計画性と柔軟性を最大化する開発体制として、ウォーターフォールのV字型とアジャイル開発のハイブリッド体制を取り入れている。

人材・設備・資金の投入方針

- ・ 開発エンジニアへの投資を拡充し、開発体制を整備する。
- ・ 本事業に関する開発拠点としては本社のある品川オフィスを中心に置きつつ、実車での開発検証については、関東近辺で確保している複数のテストコース（レンタル）やお台場等自動運転を検証する上での主要なエリアを通じて実施する。
- ・ 本事業の自己負担としては約80億円を投入予定であり、開発エンジニアに対し主に投資する。尚、本事業で設定したKPIを達成するために、当初計画より多くの資源投入が必要となる場合は、全社リソースの再配分を含め追加投資を検討する。

具体的実績(抜粋)

- ・ Microautonomyプロジェクト推進室を中心とした、R&D会議体やリソース最適化に関わる会議体の整備を実施
- ・ 投資費用を可視化するための予算管理体制の整備を実施

専門部署の設置および人材育成

専門部署の設置

- ・ 本事業専門部署として、代表取締役直轄のMicroautonomyプロジェクト推進室を新設する。
- ・ 当該推進室が本事業の全体計画及び進捗状況を把握し、機動的な意思決定及び実行管理を行う体制を担保する。
- ・ Microautonomyプロジェクト推進室が四半期ごとに事業環境の見直しと事業戦略/事業計画の策定・見直しを行う。
- ・ Microautonomyプロジェクト推進室の体制詳細については、マネジメントチェック項目①をご参照

若手人材の育成

- ・ ティアフォーの社員平均年齢は30代前半の若い層が多く、大学研究室からの新卒採用も積極的に行っている。（2022年4月には新卒14名を採用）
- ・ 採用のみならず、OJTを通じた教育・コーチングを進めることで、年齢に依らない実力ベースのチームリーダー登用を推進し、若手人材の積極的な育成を行っている。
- ・ 尚、外部知見の活用を最大化するために、東京大学や名古屋大学を中心とするアカデミアとの積極的な産学連携を行っている。

具体的実績(抜粋)

- ・ Microautonomyプロジェクト推進室を設置し、プロジェクトの進捗管理・課題分析・施策立案を継続的に行える社内環境を整備
- ・ Autoware研修や自動運転車両実地研修等の研修体制を整備し、若手人材育成の検討体制を構築

4. その他

4. その他／想定されるリスク要因と対処方針

研究開発、社会実装、その他リスクに対しては事前に対策の検討または早期発見によるリスク最小化を図るが、各リスクに対する許容範囲が大きく超えて自社事業または本事業の正常な運営を著しく損なう事態に陥った場合には事業中止も検討する。

研究開発（技術）におけるリスクと対応		社会実装（経済社会）におけるリスクと対応		その他（自然災害等）のリスクと対応	
技術的 リスク	■ 想定リスク: 本事業の開発要件に伴いシステム構成が複雑化し、開発するシステムに見合う技術者や設備がないもしくは不足するために、技術的なトラブルが発生するリスクが想定される。 ■ 対応策: 事前にシステム開発の検証を行ない、求められる要件を1つ1つ検証していき、技術的な知見のある担当者が実現可能であるか否かを早い段階で判断し、不可能な部分についてはどのように対応するかを擦り合わせる。	規制対応 リスク	■ 想定リスク: 研究開発は進む一方で社会実装に向けた規制緩和等の進捗に関する遅れが生じることや、当初は想定していなかった新たな規制により社会実装・事業運営に影響が生じるリスクが想定される。 ■ 対応策: 自動運転の社会実装に関係する省庁や政府関係機関とはPublic Policy & Strategyチームを中心として「RoAD to the L4」等の取り組みを活用し定期的に情報交換できる体制を構築し、常に最新情報にアクセスし必要な対策を先んじて講じる。	自然災害 リスク	■ 想定リスク: 地震や津波等の自然災害発生により会社の組織運営が機能せず、研究開発や事業が止まってしまうリスクが想定される。 ■ 対応策: BCP計画を策定し、毎年見直すことで自然災害等の有事の際の組織運営・事業継続性を担保する。尚、弊社については普段より自宅からでも開発に関する業務履行が可能なITインフラ・システム構築する。
	■ 想定リスク: 本事業開始時の見積もり金額から開発費がコストオーバーランしてしまうリスク。特に開発工数や必要とされる技術を見積もり時に正確に判断できず、結果的に見積もり時の金額から超えてしまうケースが想定される。 ■ 対応策: 開発に関する予実を可視化出来る仕組みとプロセスを構築し、当初見込みに対し乖離が生じる可能性がある場合は事前に状態を把握して必要に応じ予算の組み換えを検討する。		■ 想定リスク: 研究開発が計画通りに進む一方で、最新の競争環境や技術動向に大きな変化が生じ、当初開発研究計画で想定していた成果物が市場に於ける競争力を発揮できなくなるリスクが想定される。 ■ 対応策: 自動運転技術に関するグローバルでの競争環境及び技術動向を定期的に市場分析を行い、経営会議にて報告した上で自社事業への影響につき協議/検討を行い、必要に応じ本事業を含む事業計画/開発計画の変更を推進する。		■ 想定リスク: サイバー攻撃等により自社システムが使用している外部サーバー等のが機能せずに研究開発が止まってしまうリスクが想定される。 ■ 対応策: サーバーについては個別具体のBCP計画を策定し、特定の地域に依存しない冗長性を持ったサーバー運営の対策を構築する。
事業中止の判断基準： - 研究開発を進める中で、本事業で求められる技術要件を満たすための開発を達成することが難しく、代替となり得る手段や対策が講じられないと判断された場合 - 開発に関するコストオーバーランが一時的ではなく事業を通して続くことが確定的であり、且つ予算組み替えや追加資金調達等で対応出来る範囲を超えていると判断された場合		事業中止の判断基準： - 社会実装を推進するにあたり規制が本事業での研究成果と背反する内容で事業化を大きく阻害し、且つ政府や関連機関と協議した上でも合理的な対応が取れないと判断された場合 - 市場環境/競合状況を踏まえ、開発計画の方針転換を検討しても合理的な期間・予算で技術優位性を確立することが難しいと判断された場合		事業中止の判断基準： - 自然災害がBCPを超えた大規模なもので、本事業の研究開発を長期間に渡り事業運営を阻害することが確定的であると判断された場合 - サイバー攻撃等により自社システムの正常な運営が出来るまでに相応の時間を要し、本事業を推進する上で多大な影響が出ると判断された場合	

以上