

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期自動運転(システムとサービスの拡張) :

自動運転の実現に向けた信号情報提供 技術等の高度化に係る調査

平成30年度成果報告

平成31年3月



一般社団法人 UTMS協会

1. 調査の概要

<目的>

自動運転車両に特化した信号情報提供技術等の高度化に資することを目的として、路側インフラからリアルタイムに信号情報提供を実施している事例や技術動向に係る調査及び自動車メーカー等の意見・要望を踏まえた、**路側インフラの高度化方策の調査検討**を行う。

<概要>

- ① 事例調査
- ② 信号残秒数が不定となる場合の対策案の検討
- ③ 自動運転車両向けメッセージセットの検討
- ④ 道路線形情報提供に関するダイナミックマップと連携に関する検討
- ⑤ フェールセーフ機能の拡充に向けた検討
- ⑥ 信号情報提供に係る制約条件の整理
- ⑦ 自動運転向け I T S 無線路側機の仕様書の策定

<参加メンバー等>

- ・ カーメーカー、インフラメーカー、自工会等の参加による委員会を設置
- ・ ダイナミックマップについては、他のSIP事業と連携
- ・ 提供遅延時間等について実験を実施し（自主研究）成果を活用

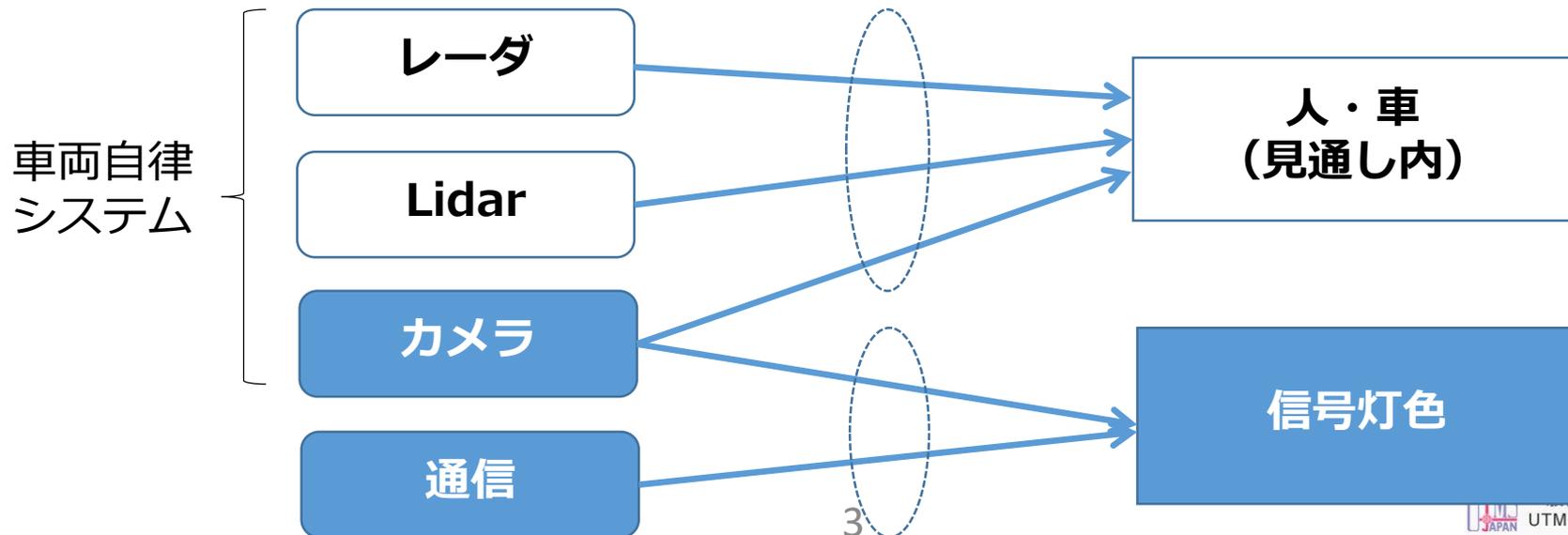
2.1 自動運転におけるインフラ信号情報の必要性

- 安全な自動運転制御には確実な周辺環境認識が不可欠
→ 認識方法の「**多重化**」により、確実性を確保
- 車両自律で信号灯色を認識できるのはカメラのみ
→ 自律カメラと通信情報の二重化により確実に信号灯色を認識

■ 運転プロセス



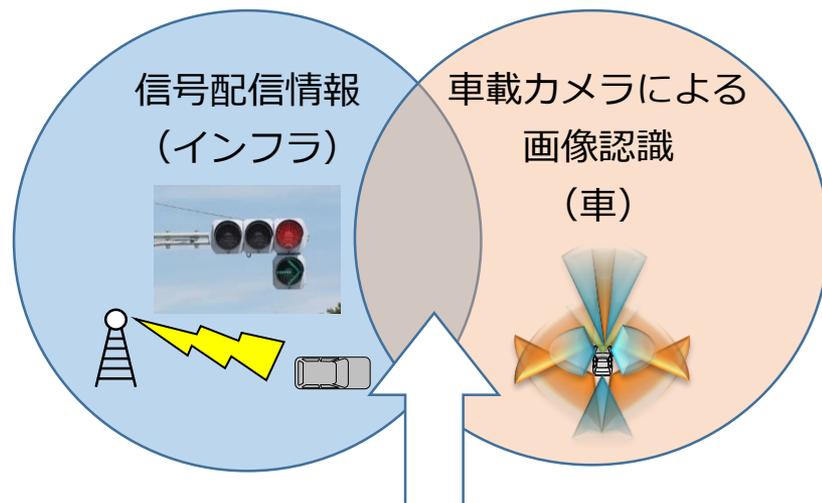
■ 多重系による認識



2.2 現在灯色情報の活用シーン

インフラから配信される信号情報（V2I/V2N）と、車載カメラの二重系により、確実に信号灯色を認識し、安全な交差点通過を実現

信号灯色に従った確実な制御



二重系での確実な信号認識

(ご参考) 特に自動運転車が苦手な信号認識シーン

逆光



遠距離



手信号



背景に紛れ込む



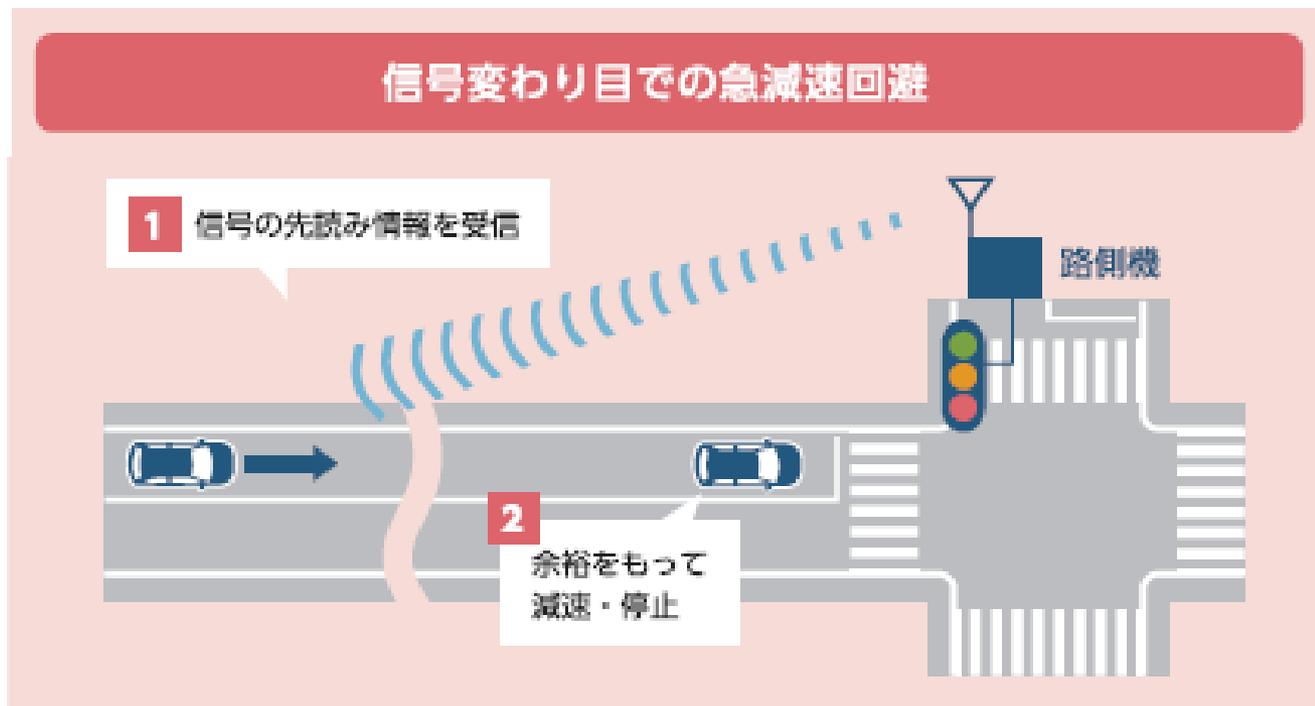
画像内に複数の信号



2.3 信号先読み情報（残秒数）の活用シーン

信号先読み情報を取得し、停止線手前で青信号が黄／赤信号に替わることを予測して予め減速

⇒急減速を回避し、追突リスクを軽減



青から黄（赤）灯へ変化する一定時間前に、信号サイクルが確定している必要あり

(ご参考) ジレンマゾーン回避の為の減速方法(案)

①現在の速度のままだとジレンマゾーンに進入してしまう場合、
灯色が黄色に変化する Δt 秒前に減速度 D_1 (※1)で減速開始

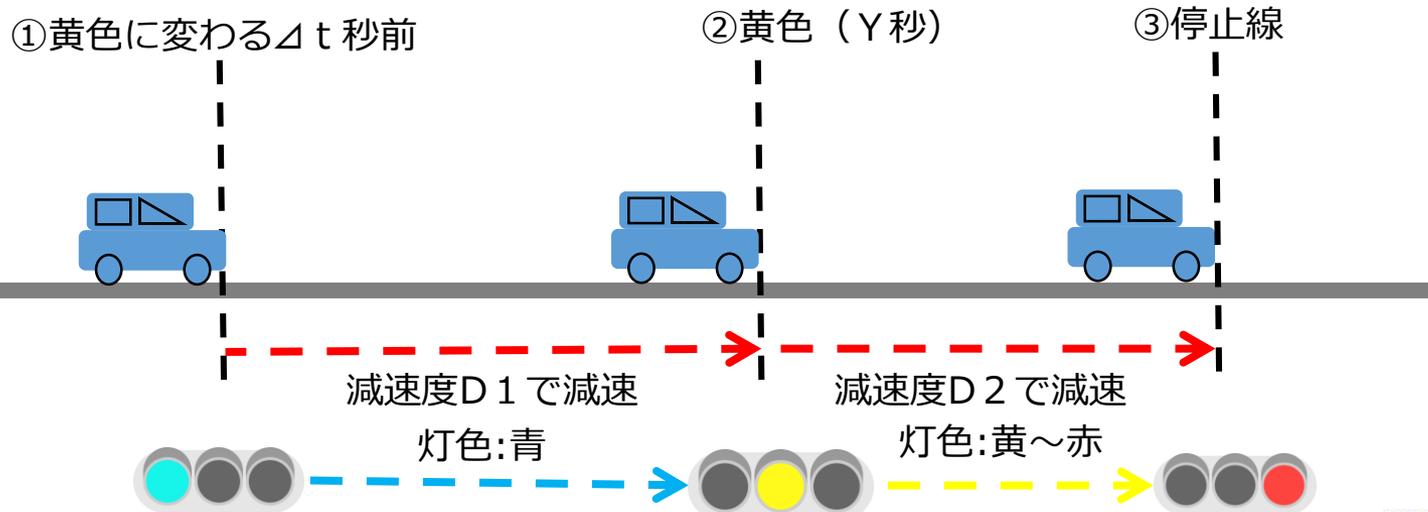
②信号灯色が黄色(※2)に変化後、減速度 D_2 (※3)で減速開始

③停止線手前で停止

※1. 後続車等、周囲の車両からみて社会的受容性が得られる減速度
⇒一般車両のエンブレ相当(0.03G)を想定

※2. 車載カメラ及び通信双方の情報で黄色と判定された場合

※3. 安全に停止できるための減速度
⇒Max0.2Gを想定



3.1 国外の事例調査

自動運転車両等への信号情報提供システムについて、米国、欧州、中国における5箇所を対象に視察及びヒアリング調査を行った。

調査箇所	調査結果の概要
米国 ラスベガス市	<p><プロジェクト概要></p> <ul style="list-style-type: none"> ・エリア：イノベーション地区に指定された旧ダウンタウン地区 ・整備箇所数：DSRC (800MHz) を47箇所整備（ラスベガス市が管理） <p>※将来は4G、5Gを想定。路側装置はWifi、Bluetooth、DSRC、4G、5Gなど複数対応方針</p> <p><活動予算></p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在はラスベガス市予算。2019年は連邦予算（スマートシティプロジェクトのため） <p><今後の展開></p> <ul style="list-style-type: none"> ・将来的に市が集中管理システムを持ち、遠隔的に路側装置を操作・トラブルシューティングできる環境構築の方向。また、歩行者や自転車向けにスマートフォンを活用
米国 アリゾナ州	<p><プロジェクト概要></p> <ul style="list-style-type: none"> ・エリア：Anthem(フェニックスから車で北へ約1時間)のTEST BED ・整備箇所数：公道の11交差点にDSRCを設置し、実証実験を実施 ・主要ユースケース：緊急・公共交通優先、横断歩道・スクールゾーン注意喚起、工事情報 ・実施体制：研究・開発をアリゾナ大学、施策実施を行政機関が担う官学パートナーシップ（アリゾナ大学とMCDOTの提携は20年来） ・関連活動：Connected vehicle Dataを利用し、鉄道、緊急自動車、貨物、バス、歩行者など異なるモードの信号利用者に階層的に優先度を与える信号制御を実施 <p><プロジェクト予算></p> <ul style="list-style-type: none"> ・州のガソリン税からなる Highway Users Revenue Fund (HURF)（一部、連邦助成金） <p><今後の展開></p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト成果を緊急車両優先、次に公共交通やトラック優先、そして最終的に一般車に実展開する。

3.2 国外の事例調査

調査箇所	調査結果の概要
米国 ニューヨーク市	<p><プロジェクトの概要></p> <ul style="list-style-type: none"> ・エリア：マンハッタンのミッドタウンとブルックリンの一部 ・整備箇所数：350交差点にDSRC設置済。8000台のコネクテッドカーが存在。 （内、約3000台はタクシー、700台はバス） ・ユースケース：Vision Zero（2024年までに事故死亡者ゼロ）に沿った赤信号違反警告等 <p><今後の展開></p> <ul style="list-style-type: none"> ・より広範囲での路側装置設置を準備中。2年先の実験結果を見て今後政策判断を見込む。
オーストリア ウィーン市	<p><プロジェクトの概要></p> <ul style="list-style-type: none"> ・エリア：ロッテルダム、フランクフルト、ウィーンを繋ぐコリドープロジェクト ・2013年開始、評価フェーズ1は2017年に完了、整備フェーズ2として2017年に入札実施 ・ユースケース：歩行者優先信号、GLOSA: (Green Light Optimum Speed Advisory)、RLVW (Red Light Violation Warning) ・サービスレベル：ドライバーへの信号情報提供 （固定路線で自動運転ミニシャトルバスに信号情報を使用する事例あり） <p><今後の展開></p> <ul style="list-style-type: none"> ・2020年までに路側インフラを整備。2020年以降実運用開始予定 ・今後C-Roads参画都市とC-ITSユースケースの議論を継続。新たなユースケースの例：新たなメッセージタイプとして優先信号制御（SSM,SRM）の活用した公共交通だけでなく警察車両・消防車等の優先信号 ・ウィーン市でSPaT/MAP配信可能な信号機を整備拡張予定 （自動運転ミニシャトルバスサービス拡張に向け）

3.3 国外の事例調査

調査箇所	調査結果の概要
中国安亭市	<p><プロジェクトの概要></p> <ul style="list-style-type: none"> 当該試験区開発のアイデアは2014年に提案され、2015年に工信部から開発許可が出て建設された。運営開始から概ね2年半。下記の通り段階分け。国・上海市からの指示を受けICV(Intelligent Connected Vehicle)産業の試験開発、サービス提供を実施。 <ul style="list-style-type: none"> 第一段階：閉鎖式テストコースの開発。エリア内に3つの閉鎖コース、展示・教育、応用試験プロジェクトやAIの実証実験ゾーン等が存在。 第二段階：公道上の試験コース。上海市のサポートを得て37.2kmを整備。 第三段階：典型的都市総合試験区。安亭全体の地域を指し、平均的な都市の人口・交通流における実験区域。 テストコースでの通信手段はDSRCとLTE-Vの主に2種類がある。この内、将来5Gに代わる想定でLTE-V通信による技術開発を重視。安全管理、情報サービス、新エネルギー利用等のテストが可能。 公道のテストエリアでは6つの交差点で信号情報（サイクル情報、方向別カウントダウン情報）を提供。 5GAAに参加するなど国際的な視野で活動している。 中国の汽車工程学会が標準化を進めている。まだ国・地方の標準ではないが、すべてのメーカー等が検討した業界の標準となっている。 17種類ユースケースを決めており、DSSSの5つのケースも含まれている。 <p><今後の展開></p> <ul style="list-style-type: none"> 公道上の試験コースは今後さらに拡大予定。 信号情報の通信方式について、ダイレクトとクラウド経由の双方を実施している。現状、どちらが良いかなどは決まっておらず、テストデータを収集し、分析する段階にある。次の段階になると、情報配信の際の遅延等が重要になる。

(ご参考) 米国におけるDSRCの導入状況

- SPaT Challenge (SPaT : Signal Phase and Timing)
 - ✓2020年までに50州全ての1コリドー (約20交差点) にDSRC導入が目標 <https://transportationops.org/spatchallenge>



26

States Committed

216

Signals Operating

2,121

Signals Planned

(ご参考) 欧州におけるDSRC (ITS-G5) の導入状況

- 欧州委員会は、ITSステーションとして「ITS-G5」を使うことを承認し、規則案が欧州議会に提出された
 - ✓ パブコメ (2019年1月11日~2月8日)
 - ✓ 2019年12月31日より効力発揮
- 3年後に新技術を考慮するための改訂を行う
ただし、新技術 (LTE-V2X、セルラー第5世代) は (ITS-G5)との相互運用性を確保しなければならない

https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/initiatives/ares-2017-2592333_en

4. ITS無線による信号情報提供システムの構成

交通管制センタ

- ①交差点ID等の静的情報管理・登録
路側機の運用管理（含むセキュリティ管理）
- ②信号制御パラメータの決定



② 信号制御機

① ITS無線路側機 (760MHz帯ITS無線)

自動運転車用メッセージセットを送信
(交差点ID、信号情報 (SPaT))

【課題】

- ・ダイナミックマップとの連携
 - ・既存DSSSとの共存
- ⇒東京臨海部実証実験用仕様に反映

自動運転車両

信号情報をITS無線路側機に出力

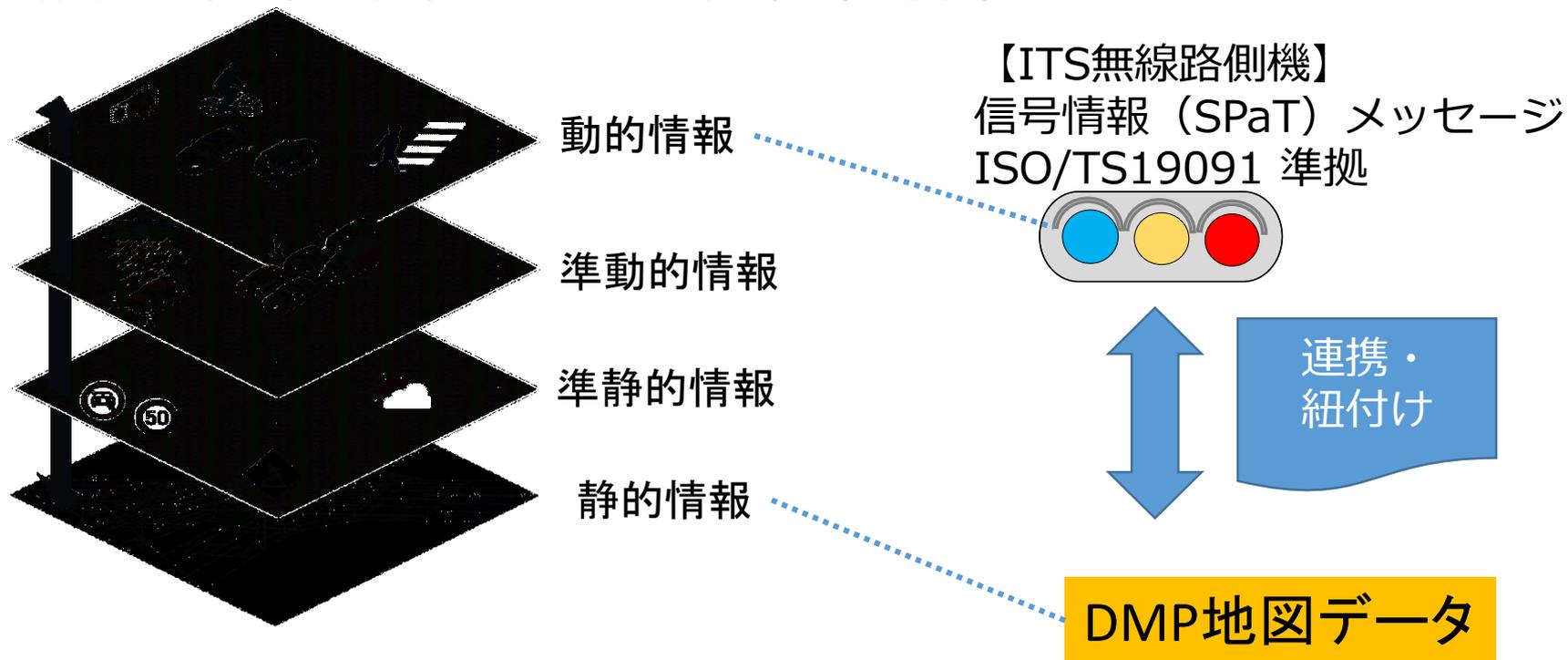
【課題】

- ・青残秒数が不確定となる事象
 - ・路側機故障時のフェールセーフ
- ⇒次年度以降、試作機の作成、検証等の更なる検討が必要。
- ・提供遅延／ゆらぎ時間
- ⇒実験結果、許容範囲内であると車両メーカーとの間で合意

通信情報、GPS情報、ダイナミックマップ、
自車情報（停止線までの距離、速度、目標減速度）より、車両の速度等を制御

5.1 自動運転用路車間メッセージセット

- DSSSとの共存を実現
限られた無線リソースを有効活用し、**DSSSと信号情報メッセージを共用**
- DSSSの課題である道路線形情報の作成・保守に係わる負荷を低減
ダイナミックマップと連携、道路線形情報の代わりに交差点識別情報(ID等)を提供
※東京臨海部実証実験で評価
- 今後の追加検討課題（自工会と議論中）
信号残秒数が不連続に変化するような特殊な信号制御モードを通知

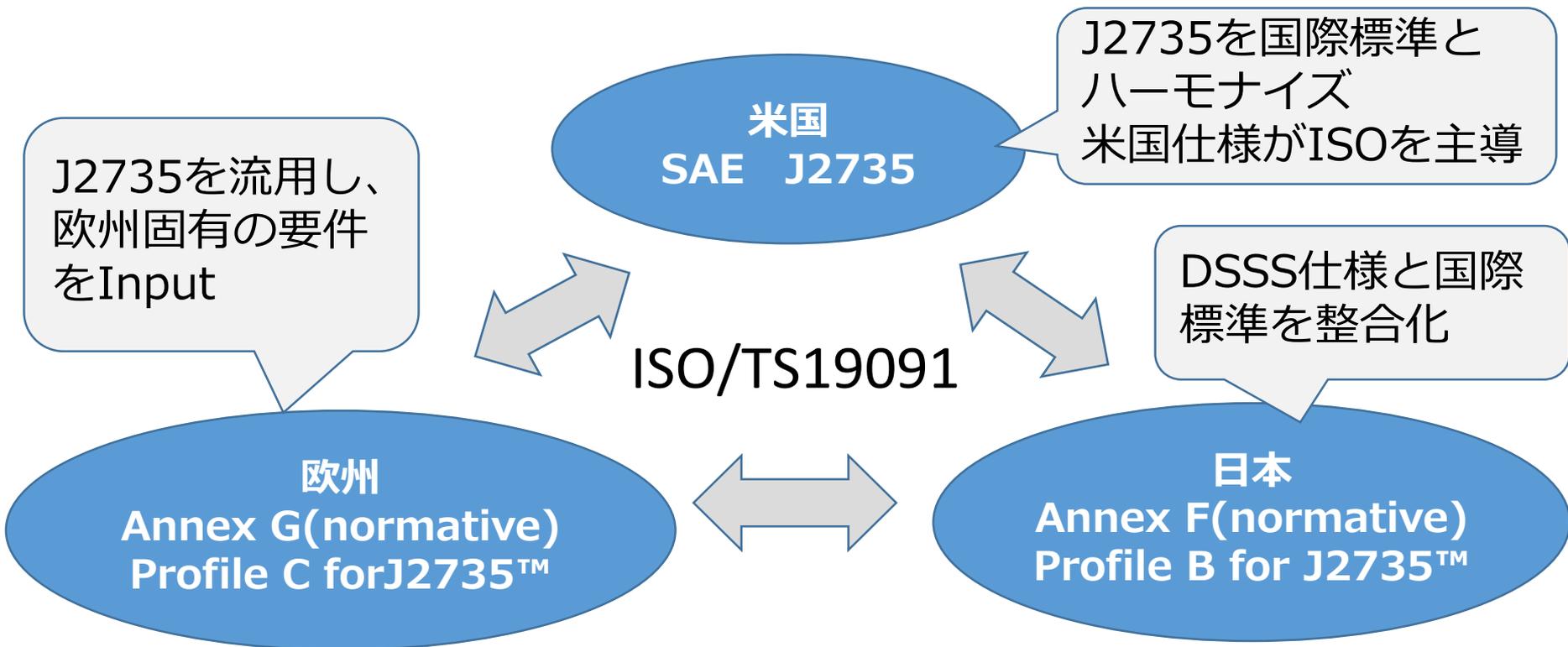


ダイナミックマップの概念

5.2 ISO/TS19091 (SPaT&MAP)

ISO/TC204/WG18 で標準規格を開発（2017/3発行：Editorialな改定が進行中）

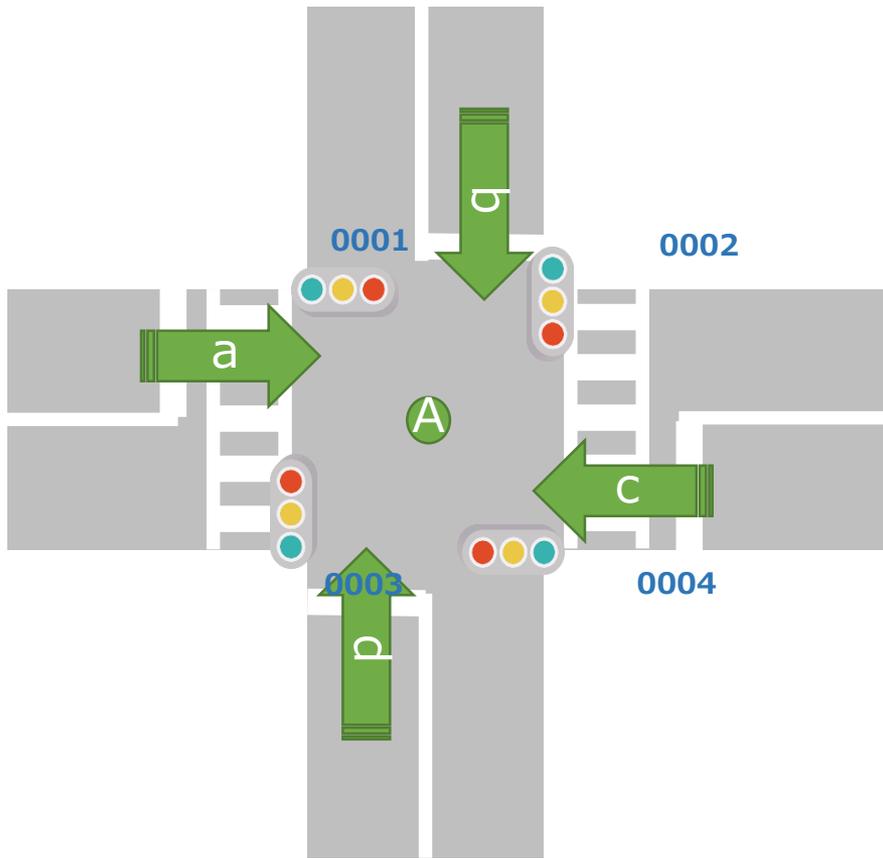
- Scope 協調システム（DSRC）のための路車間メッセージセット
信号情報（SPaT） & 地図情報（MAP）のデータ構造を規定
- 標準概要 米国SAE規格J2735に日欧の仕様をインプット
ISOはJ2735を参照し、各地域用の個別プロファイルを規定



5.3 信号情報とDMP地図との連携方法

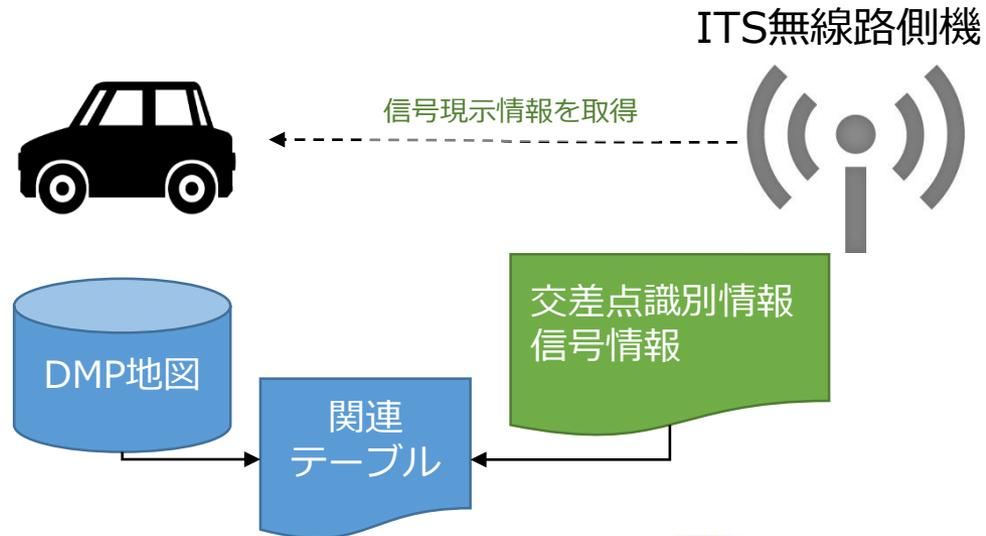
■ オリパラ実験における連携方法

ITS無線路側機から提供する交差点識別情報（交差点ID、方路ID）とDMP信号機情報との関連テーブルを車載機で保持



ITS無線-DMP関連テーブル

DMP 信号機ID	DMP メッシュID	ITS無線 交差点ID	ITS無線 方路ID
0001	xxxx	A	d
0002	xxxx	A	a
0003	xxxx	A	c
0004	xxxx	A	b



6.1 信号情報が不確定となる事象の低減検討について

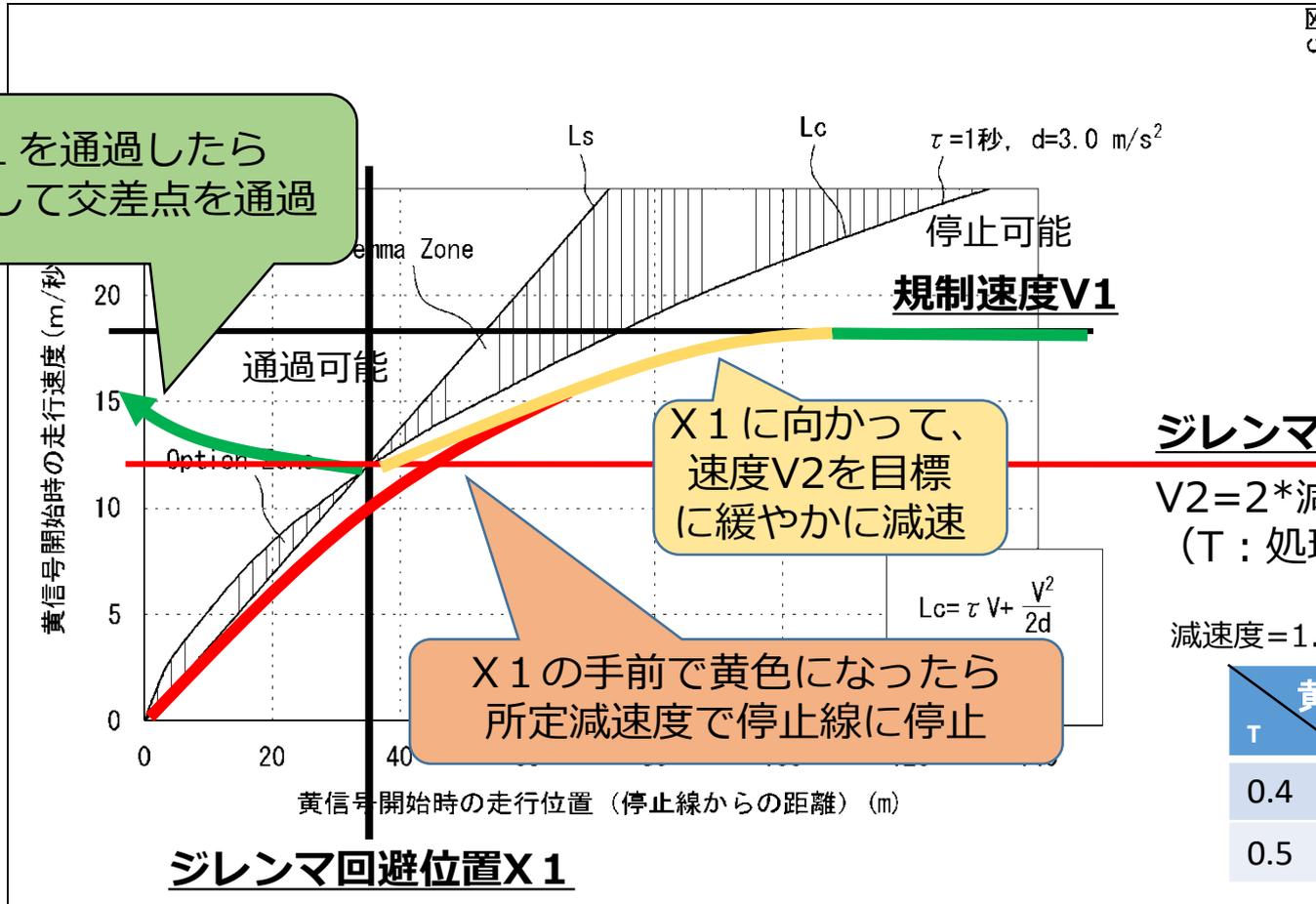
【信号情報が不確定となる事象の抽出】

No	制御種別	現状 (DSSS仕様)	対応方針案
1	押しボ制御	信号情報提供不可	現在灯色を提供 + 提供可能な残秒数情報の分析と車での活用可否を検討
2	連動子機		ITS無線の路路間通信により子機を集中化
3	手動動作 階段保持		現在灯色のみを提供
4	保安動作 異常閃光		フェールモードのため信号情報提供は停止
5	一般の 感応制御	最小秒数、最大秒数を提供 PR感応の場合、青最小秒数 = 0秒から黄色に変化	規制速度が高い (ジレンマ発生しやすい) 交差点を対象に ・ PG感応を推奨、黄色時間を長く (4秒)
6	緊急車両 優先制御	感応中は現在灯色のみ提供	対象交差点識別情報及び感応中を通知 現在灯色を提供 + 提供可能な残秒数情報の 分析と活用可否を検討
7	ステータス変更 ・ 夜間点滅 ・ 混雑時に 時差制御 ・ 災害時対応	次サイクルも同ステータス が継続する前提で信号情報 を提供	案1 ステータス制御交差点の情報を公開
			案2 ステータス切替時間帯前後で 一時運用停止

PG, PR: 車両青時間は、歩行者青(PG)、歩行者点滅 (PF)、歩行者赤 (PR)で構成される

6.2 信号先読み情報が取得できない場合の運転モデル例

- ① ジレンマゾーン進入を回避するために青信号中から予備減速を開始
- ② 交差点進入可が確定するジレンマ回避位置 X 1 通過後は速やかに加速

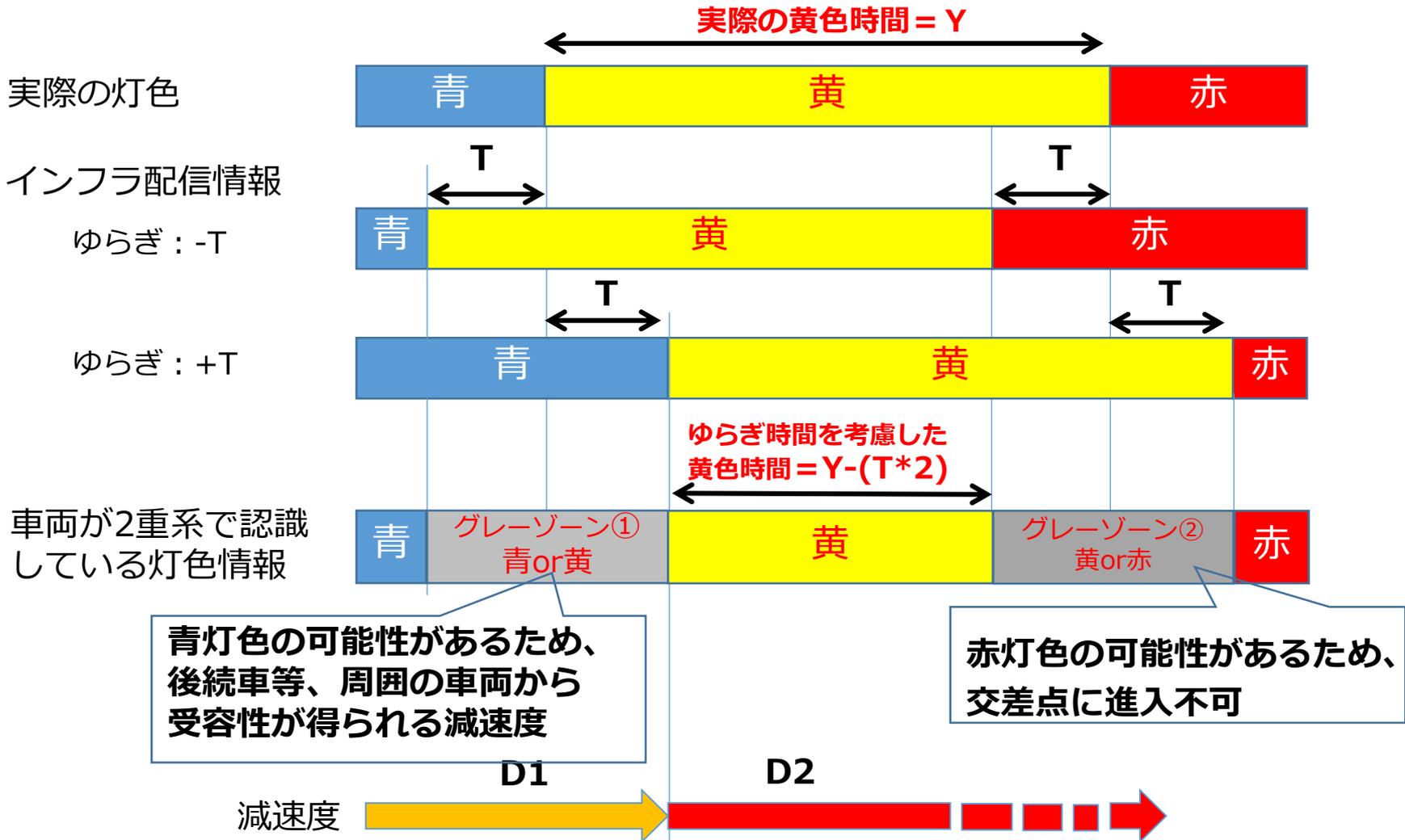


ジレンマ回避位置X 1

$$X 1 = \text{黄時間} \times V2$$

6.3 提供遅延・ゆらぎ時間を考慮した運転モデル例

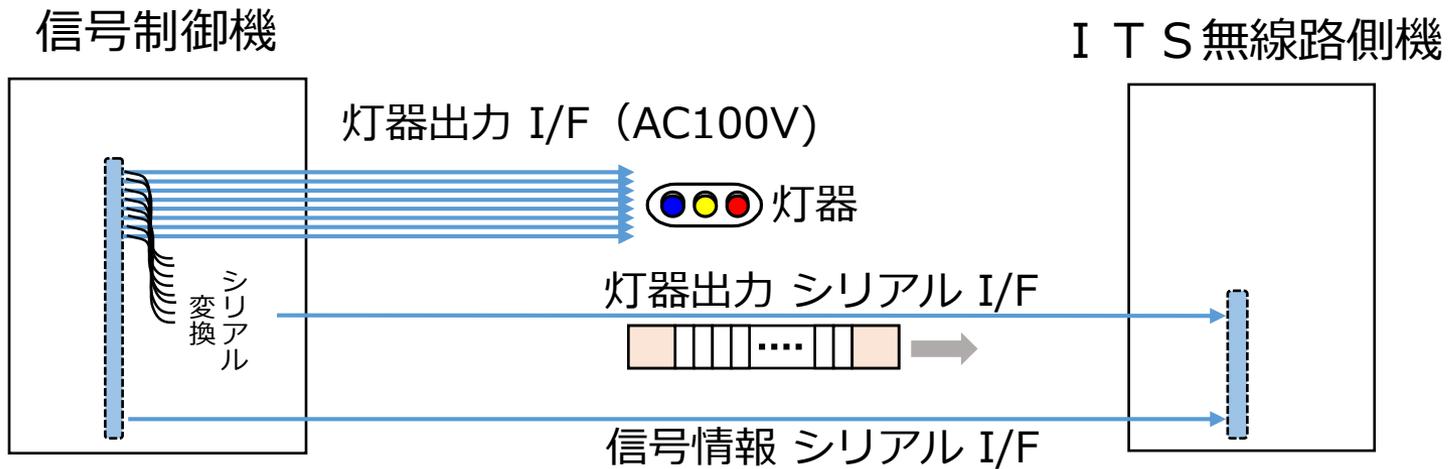
- ◆前提条件：遅延時間（実験結果例：約0.4秒）で残秒数を補正
ゆらぎ時間Tを配慮して自動運転を制御（実験結果例：約±0.1秒未満）



7. 路側機のフェールセーフ仕様案

【想定要件】

- すべての青灯器の点灯状態と信号情報の整合性をチェック
- 不整合検出時は、速やかに信号情報提供を中止



- ① 灯器の点灯を制御している灯器出力の電圧を監視
- ② 監視結果をシリアル変換して I T S 無線路側機に送信
- ③ 上記とは別回路で信号情報を送信
- ④ I T S 無線路側機で両情報の整合性をチェック
- ⑤ 不整合検出時は、速やかに信号情報提供を中止（車に異常停止を通知）

8. 今後の課題について

■東京臨海部実証実験での課題

- ✓自動運転における I T S 無線路側機から提供される信号情報の有用性に関する検証
 - 安全への寄与：信号停止における急減速の減少等
 - 円滑への寄与：青信号発進遅れの減少等
- ✓仮定した自動運転モデルについての受容性等の検証
 - 予備減速等の自動運転モデルの社会受容性、周辺車両に与える影響

■将来の課題

- ✓路側インフラの高度化に係わる要件の確定、試作及び検証
 - フェールセーフ機能の拡充
 - 信号残秒数が不定となる場合の対策
- ✓自動運転混在に対応した感応制御の運用ルールや黄色時間の設定等、信号制御の運用に関わるガイドラインの整理