

CooL4 データ連携アーキテクチャ(案)

version 0.7.0

最終更新日: 2023 年 3 月 15 日

執筆者: 高田広章(名古屋大学)

目次

1. ドキュメントの位置付け.....	1
2. データ連携プラットフォームの必要性.....	1
3. 現時点でのスコープ.....	2
4. CooL4 データ連携アーキテクチャ.....	3
5. セキュリティアーキテクチャ.....	5
5.1 登録, 認可, 証明書.....	5
5.2 セキュリティ確保のための通信プロトコル.....	6
6. 物理的な構成の例.....	6
6.1 広域の交通サービスの場合.....	6
6.2 限定領域(公共空間)の交通サービスの場合.....	6
6.3 限定領域(私有地)の交通サービスの場合.....	7
7. 関連仕様の位置づけ.....	8
7.1 CooL4 データ連携 PF API 仕様.....	8
7.2 CooL4 通信インタフェース仕様.....	8
7.3 CooL4 協調型路側機仕様.....	9
付録 A. バージョン履歴.....	9
A.1 version 0.6.0 から version 0.7.0 への主な変更箇所.....	9

1. ドキュメントの位置付け

CooL4 プロジェクトは、協調型システムの導入により、様々な地域の混在交通下において、レベル 4 自動運転サービスを展開することを目指している。協調型自動運転を効率的に実現するためには、道路インフラや他の交通参加者等から得られる情報を統合管理するデータ連携プラットフォームが必要となる。

このドキュメントは、CooL4 プロジェクトにおいて実現を目指すデータ連携プラットフォームのアーキテクチャ(CooL4 データ連携アーキテクチャ)を定義するものである。

CooL4 は、標準を作成する活動ではなく、標準の叩き台となる技術開発や技術評価を目的とするプロジェクトである。そのため、本ドキュメントも含めて、CooL4 で作成する仕様には、CooL4 の中で開発・評価していきたい技術(逆に言うと、現時点では有益であることが検証されていない技術)も含まれている。作成する仕様は、CooL4 における机上検討や実証実験の結果等を踏まえて、CooL4 の実施期間を通じてブラッシュアップしていく計画である。

2. データ連携プラットフォームの必要性

混在交通下においてレベル 4 自動運転を実現するためには、自車両の車載センサーから得られる情報に加えて、路側に設置したセンサー(インフラセンサー)や信号機、他の車両の車載セン

サーなど、車外からの情報を無線通信により収集・活用する協調型システムの構成を取ることが必要とされている。

車外に設置されるセンサーには様々な種類(LiDAR, カメラ, レーダーなど)のものがある上、通信も様々な方式(LTE/5G, DSRC, PC5, ITS 無線など)で行われる。これらに個別に対応することは、自動運転システムの構成を複雑化する。複数種類の自動運転システムが開発されることや、レベル 3 以下の自動運転や他のモビリティでも活用することを考えると、システムの開発工数が掛け算で増大することが予想される(図 1 の左)。

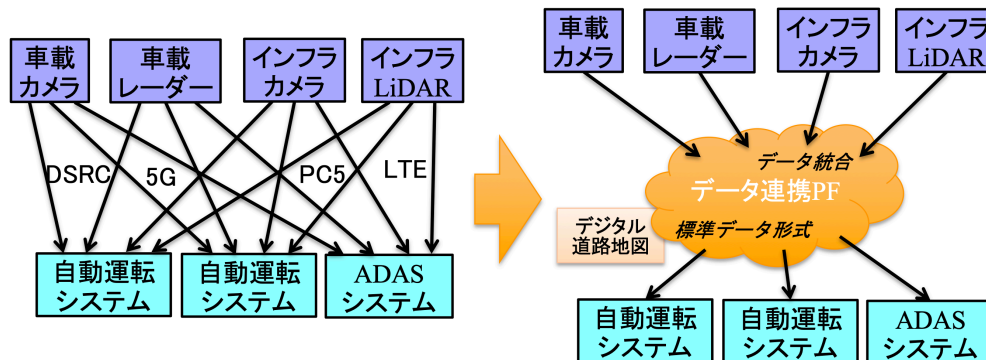


図 1. データ連携プラットフォームの必要性

この課題を解決するには、様々なセンサーの情報を収集・統合し、必要な情報のみを標準データ形式で自動運転システム等に提供するデータ連携プラットフォーム(以下、データ連携 PF)を用意することが有効である(図 1 の右)。データ連携 PF は、センサーから得られた情報を、自動運転向けのデジタル道路地図に紐付けて管理する。

ここで情報を「統合」とするとは、複数の情報源または通信経路から得られた情報を組み合わせることで、(可能であれば)より高い品質の情報を得ることを言う。典型的には、複数のセンサーから得られた情報を統合し、より精度の高い情報を得ること(センサーフュージョン)が考えられる。また、異なる通信経路で同じ情報が得られた場合に、冗長な情報を削除する処理も統合に含まれる。ただし、自動運転システムや ADAS システム(以下、自動運転システム等と呼ぶ)が統合前の情報を必要とする場合は、それを提供することも可能とする。

3. 現時点でのスコープ

CooL4 プロジェクトの前半では、データ連携のユースケースを、インフラや他の車両のセンサーから得られる情報を収集・統合し、車両に対して周辺情報を提供する機能(協調認識)を用いるものに限定する。すなわち、自動運転の 3 要素である認識・判断・操作の内、認識の部分を協調型システムにより補助する。逆に言うと、判断と操作は車両側の役割となる。

また、扱うデータの種類についても、車両や歩行者の現在位置や信号の現示などの動的情報に限定する。これは、準動的情報については、SIP-adus で取り組まれているためである。なお、信号情報についても SIP-adus で取り組まれているが、信号情報の活用は CooL4 プロジェクトの重要テーマの 1 つであることから、SIP-adus の最新の成果も取り込む形で検討する。

CooL4 プロジェクトの後半では、他のユースケース(例えば、インフラ側で一部の判断を行う合流調停のようなユースケース)への拡張についても検討する。また、SIP-adus の成果を取り込んで、準

動的情報も扱えるように拡張することも検討する。

4. CooL4 データ連携アーキテクチャ

図 2 に、CooL4 データ連携アーキテクチャ(案)を示す。

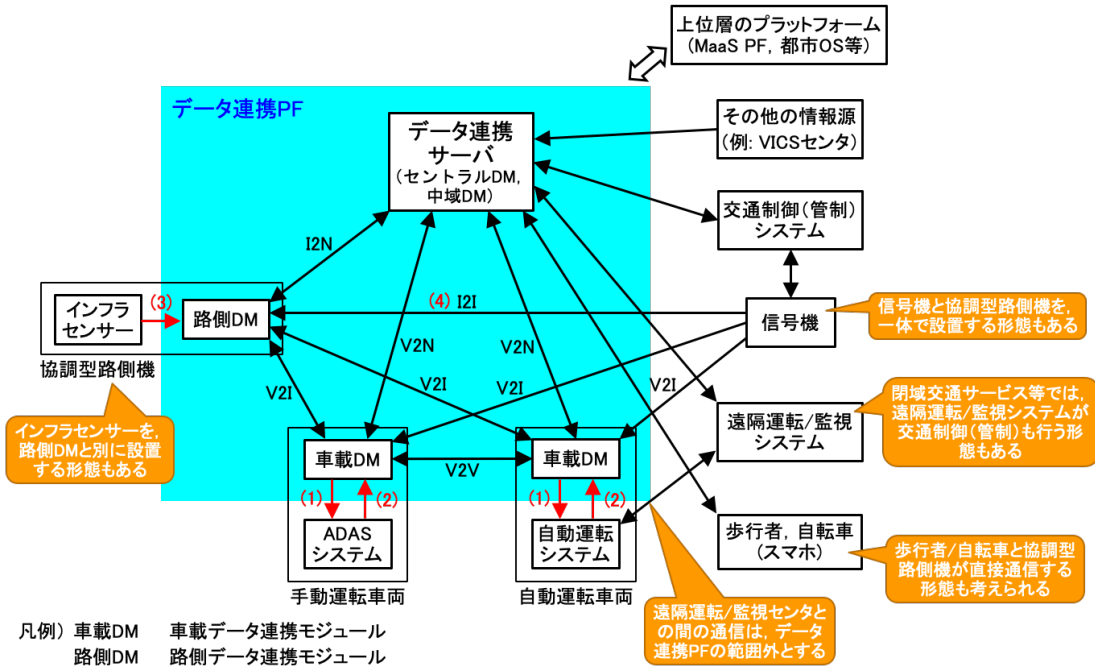


図 2. CooL4 データ連携アーキテクチャ

図中の通信関係を表す矢印は、CooL4 プロジェクトで考慮対象とするものをすべて記載しており、実際のシステムでは、このすべてを使用するとは限らない。

以下では、図中の各要素について説明する。

データ連携 PF

データ連携 PF は、インフラセンサーや信号機、他の車両の車載センサー、歩行者や自転車等に乗っている人が持つスマホなどから得られる情報を収集・統合し、必要な情報のみを標準データ形式で自動運転システム等に提供する。また、それが必要な場合には、収集・統合した情報を保存する機能を持つ。さらに、交通制御(管制)システムや遠隔運転/監視システム、上位層のプラットフォーム(MaaS PF, 都市 OS 等)と連携することも考えられる。

データ連携 PF は、データ連携サーバ、路側データ連携モジュール(路側 DM)、車載データ連携モジュール(車載 DM)で構成される。

また、図 2 には示していないが、データ連携 PF の監視・保守のためのデータ連携 PF 管理システムが必要になる。データ連携 PF 管理システムは、単独で設置・運用することも考えられるが、交通制御(管制)システムや遠隔運転/監視システムと一体で設置・運用しても良い。

車載データ連携モジュール(車載 DM)

車載 DM は、データ連携 PF を構成するコンポーネントの 1 つで、車両内のコンピュータ上で動作する。

車載 DM は、V2N 通信によりデータ連携サーバから、V2I 通信により路側 DM から、V2V 通信により他車両の車載 DM から情報を取得し、それらを統合して、車両内の自動運転システム等に対して情報を提供する。また、車載 DM は、V2I 通信により信号機から情報を取得する場合もある。

逆に、自動運転システム等から、自車両に関する情報や車載センサーから得られた情報を受け取り、V2N 通信によりデータ連携サーバに、V2I 通信により路側 DM に、V2V 通信により他車両の車載 DM に情報を提供する。

路側データ連携モジュール(路側 DM)

路側 DM は、データ連携 PF を構成するコンポーネントの 1 つで、路側に設置するコンピュータ上で動作する。典型的な設置形態として、インフラセンサーと一体にして協調型路側機として路側に設置することを想定しているが、インフラセンサーを路側 DM とは別に設置する形態も考えられる。さらに、路側 DM をモバイル通信網の基地局に設置する形態も考えられる。

路側 DM は、接続されたインフラセンサーから取得した情報と、V2I 通信により車載 DM から取得した情報を統合して、V2I 通信により車載 DM に提供する。また、I2N 通信によりデータ連携サーバと情報を交換する。さらに、I2I 通信により信号機から情報を取得する場合もある。

データ連携サーバ

データ連携サーバは、データ連携 PF を構成するコンポーネントの 1 つで、サーバコンピュータ上で動作する。

データ連携サーバは、V2N 通信により車載 DM と、I2N 通信により路側 DM と情報を交換する。また、歩行者や自転車等に乗っている人が持つスマホと通信して情報を交換する他、インターネット上の様々な情報源から情報を取得する。データ連携 PF が、交通制御(管制)システムや遠隔運転/監視システム、上位層のプラットフォームと連携する場合には、データ連携サーバを介して通信する。

データ連携サーバは、データ連携 PF 全体を管理するセントラル DM、定められた地域内の情報を管理する中域 DM、データ蓄積サーバで構成される(図 3)。データ蓄積サーバは、データ連携 PF が収集・統合した情報を保存するためのサーバであり、情報を保存する場合にのみ必要となる。中域 DM を設けているのは、広域の交通サービスでは、車載/路側 DM との間の通信遅延が問題になる処理を、1 つのサーバで実行するのが難しいためである。

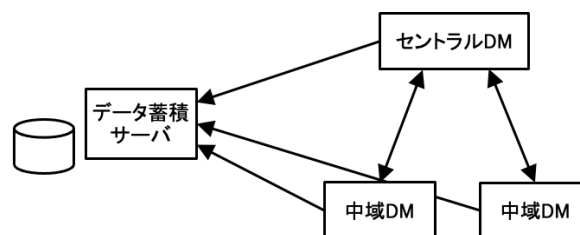


図 3. データ連携サーバの構成

図 3 は論理的な構成を示すものであり、物理的には、データ連携サーバを構成する機能の複数を 1 つのサーバで動作させることも可能である。物理的な構成の例については、6章で述べる。ただし、中域 DM は、車載/路側 DM との間の通信遅延が小さいサーバで動作させることが必要である。

協調型路側機

センサー、路側 DM、無線機等を一体にした路側に設置する装置。信号機と一体で設置する形態も考えられる。

遠隔運転/監視システム

自動運転車を遠隔運転または遠隔監視するためのシステム。無人運転を実現する際に必要となる。

自動運転車と遠隔運転/監視システムとの間の通信は、データ連携 PF が扱う範囲外とする。通信回線としては、車載 DM とデータ連携サーバとの間の V2N 通信に用いる回線と共用しても良い。

遠隔運転/監視システムが、データ連携 PF が管理する情報を取得する場合には、データ連携サーバからデータを取得することを想定している。

交通制御(管制)システム

交通網を監視し、信号機の制御等を通じて、それを制御するシステム。公道においては、交通管理者が設置する交通管制センターのシステムがこれに該当する。限定領域の交通サービスでは、遠隔運転/監視システムと一体になっていることも考えられる。

5. セキュリティアーキテクチャ

この章では、データ連携 PF を構成する通信ノード(セントラル DM, 中域 DM, 路側 DM を含む協調型路側機, 車載 DM を含む車両。以下、データ連携ノードと呼ぶ)間の通信のセキュリティを確保するための原則について規定する。ただし、データ連携ノード間の通信に、既存の通信インタフェースを用いる場合には、この原則が適用できるとは限らない。また、データ連携アーキテクチャに掲載されている他の通信ノードとの間の通信についても、この原則の適用範囲外である。

5.1 登録, 認可, 証明書

データ連携 PF 内に、独自の公開鍵基盤(PKI;Public Key Infrastructure)を持つ。データ連携ノード(セントラル DM, 中域 DM, 協調型路側機, 車両)は、独自の PKI に登録され、そこから発行された証明書を用いて認証された通信を行う。

独自の PKI は、1 つのルート認証局, 1 つまたは複数の登録局, 1 つまたは複数の認可局で構成される(図 4)。データ連携ノードは、登録 ID を用いて登録局に登録され、登録証明書の発行を受ける。車両は、登録証明書を用いて、認可局に対して仮名 ID の発行を依頼する。認可局は、登録局からの承認を得て、仮名 ID と仮名証明書を発行する。登録局と認可局の証明書は、ルート認証局が発行する。

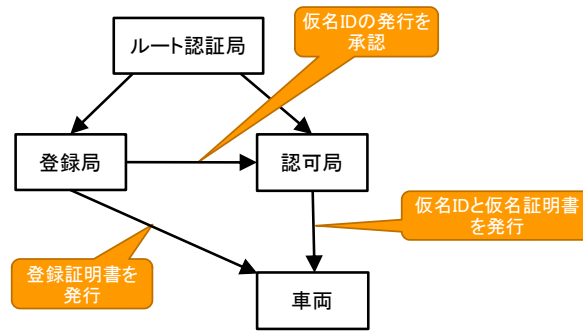


図 4. PKI の構成

ルート認証局はセントラル DM と同じサーバ上に、登録局はセントラル DM または中域 DM と同じサーバ上に、認可局は中域 DM または路側 DM と同じサーバ上に置くことを想定している。登録局が持つ情報と認可局が持つ情報を統合すると、仮名 ID から車両を特定することが可能となるため、プライバシー情報のセキュリティ強度を高めるためには、登録局と認可局は別のサーバに置くべきである。さらに、プライバシー情報をサーバ管理者からも守るためには、登録局と認可局は別の組織が運用すべきである。また、認可局は地域ごとに置き、少なくとも地域ごとには、用いる仮名 ID を変更する方が良い。

5.2 セキュリティ確保のための通信プロトコル

2 つのデータ連携ノードが 1:1 通信を行う場合には、独自の PKI を用いて相互に認証を行い、通信データの機密性と完全性を確保する。あるデータ連携ノードが情報をブロードキャストする場合には、独自の PKI を用いた署名を付加することで、通信データの完全性を確保する。その際に、車両は、プライバシー保護のために、仮名 ID とその仮名証明書をを用いて認証を行う。

具体的な通信プロトコルとして、TCP による 1:1 通信の場合は TLS、UDP による 1:1 通信の場合は DTLS を用いる。

6. 物理的な構成の例

6.1 広域の交通サービスの場合

広域(市町村全体、都道府県全体、国全体など)の交通サービスの場合、セントラル DM をクラウドサーバ、地域ごとの中域 DM を MEC (Mobile Edge Computing あるいは Multi-access Edge Computing) サーバで動作させることを想定しているが、この構成に限定されるわけではない。例えば、市町村や都道府県単位のサービスの場合は、セントラル DM も MEC サーバに置くことが考えられる。また、セントラル DM や中域 DM を、交通制御(管制)システムと同一のサーバで動作させることも考えられる。

信号機は交通管理者(警察)が管理し、信号の現示やその変化予定に関する情報は、信号機から直接 V2I 通信により車両に、または SIP-adus で検討されている信号情報センターからデータ連携サーバを経由して V2N 通信により車両に届けられる。

遠隔運転/監視システムは、自動運転サービスを提供する事業者毎に設置することになる。

6.2 限定領域(公共空間)の交通サービスの場合

限定された公道上で交通サービスの場合、自動運転サービスを提供する事業者が交通サー

ビスを監視・制御する施設を置き、遠隔運転/監視システム、セントラル DM、中域 DM、ルート認証局、登録局、認可局を、その施設に設置したサーバで動作させる方法が考えられる。または、一部の機能を、クラウドサーバまたは MEC サーバで動作させる方法もある。この構成で、サーバ 1 とサーバ 2 の管理者が同一である場合には、サーバ管理者が仮名 ID から車両を特定することが可能となるが、限定領域(公共空間)の交通サービスでは、自動運転サービスを提供する事業者は自動運転車両の位置情報を把握している場合が多いと考えられるため、そのような場合にはこの構成で問題ないことになる。

信号機と信号情報については、広域の交通システムの場合と同様であるが、交通管理者が信号情報を提供するサービスを用意していない場合には、サービス事業者が、交通管理者の許可を得て、信号機に路側 DM を設置する方法も考えられる。

限定領域(公共空間)の交通サービスの場合の物理構成の一例を図 5 に示す。

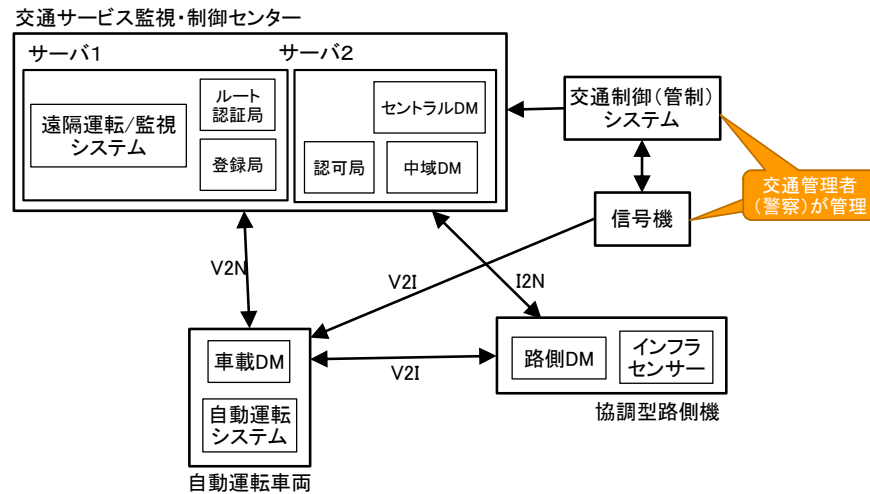


図 5. 限定領域(公共空間)の交通サービスの場合の物理構成例

6.3 限定領域(私有地)の交通サービスの場合

私有地(テーマパーク、大規模リゾートなど)内での交通サービスの場合、私有地内の交通サービスを監視・制御する施設を置き、遠隔運転/監視システム、交通制御(管制)システム、セントラル DM、中域 DM、ルート認証局、登録局、認可局のすべてを、その施設に設置したサーバコンピュータで動作させる方法が有力である。この構成では、サーバ管理者が仮名 ID から車両を特定することが可能となるが、限定領域(私有地)の交通サービスでは、自動運転サービスを提供する事業者は自動運転車両の位置情報を把握している場合が多いと考えられるため、そのような場合にはこの構成で問題ないことになる。

限定領域(私有地)の交通サービスの場合の物理構成の一例を図 6 に示す。

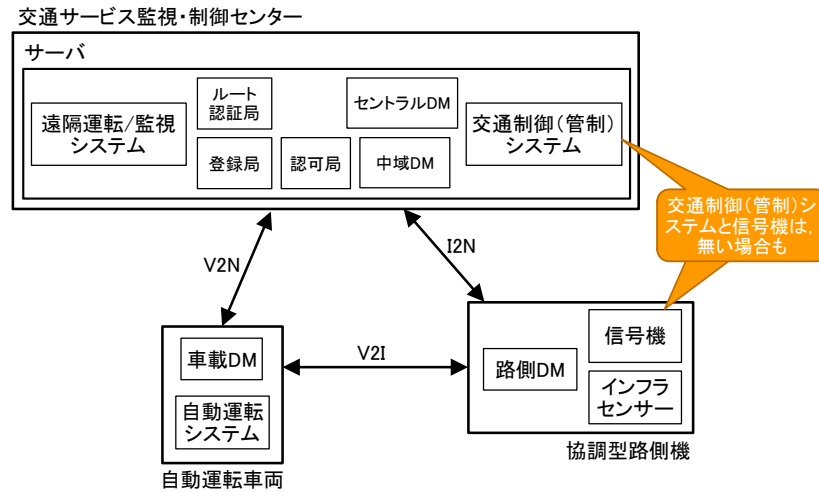


図 6. 限定領域（私有地）の交通サービスの場合の物理構成例

7. 関連仕様の位置づけ

7.1 CooL4 データ連携 PF API 仕様

データ連携 PF と外部とのインタフェースを、わかり易さのために、API と呼ぶことにする。API の仕様は、「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案)」で規定する。

データ連携 PF を実現するためには、すべての API を定義する必要があるが、CooL4 プロジェクトでは、標準化する必要性の高いインタフェースから順に検討するアプローチをとる。具体的には、以下の 3 つの API の検討から開始する(番号は図 2 中の番号に対応)。

- (1) 車載 DM が、自動運転システム等に対して情報を提供するための API。提供する情報としては、物標情報、 freespace 情報、信号情報、デジタル道路地図を考える。自動運転システム等は、車載 DM に対して、提供を求める情報をクエリによって指定する。
- (2) 自動運転システム等が、車載 DM に対して情報を提供するための API。提供する情報としては、自車両に関する情報(物標情報)と、車載センサーにより認識した物標情報と freespace 情報を考える。
- (3) インフラセンサーが、路側 DM に対して情報を提供するための API。提供する情報としては、インフラセンサーにより認識した物標情報と freespace 情報を考える。

「CooL4 データ連携 PF API 仕様(案)」の現バージョンでは、上記の 3 つのインタフェースで受け渡す物標情報、 freespace 情報、信号情報の論理データフォーマットと、データ連携 PF 内にデジタル道路地図を格納するための論理データフォーマットを規定している。

7.2 CooL4 通信インタフェース仕様

データ連携 PF を構成するデータ連携サーバ、路側 DM、車載 DM の間の通信インタフェース仕様は、「CooL4 通信インタフェース仕様(案)」で規定する。

「CooL4 通信インタフェース仕様(案)」の現バージョンでは、次の 4 種類の通信方法を規定している。

- (1) IP ジェネラル

有線回線または LTE/5G 回線上での一般的な IP 通信。通信相手の IP アドレスはわかっていることが前提。データ連携サーバと路側 DM の間、データ連携サーバと車載 DM の間の通信に適用する。

(2) SP ブロードキャスト

無線ネットワーク上でのブロードキャストによる通信。無線ネットワークとしては、700MHz 帯 ITS 無線等を想定している。路側 DM と車載 DM の間、車載 DM の相互間の通信に適用する。

(3) DM2 モバイル

LTE/5G 回線上での IP 通信。通信相手の IP アドレスは、車両の位置に基づいて検索する必要がある。路側 DM と車載 DM の間、車載 DM の相互間の通信に適用する。

(4) DM2 アドホック

無線ネットワーク上での IP 通信。無線ネットワークとしては、5.9GHz 帯の PC5 または DSRC を想定しているが、実証実験においては、2.4GHz 帯の WiFi を用いる。路側 DM と車載 DM の間、車載 DM の相互間の通信に適用する。

また、通信データのセキュリティとプライバシーを確保するための仮名 ID 方式について解説している。

7.3 CooL4 協調型路側機仕様

センサー、路側 DM、無線機等を一体にして路側に設置する協調型路側機の仕様は、「CooL4 協調型路側機仕様(案)」で規定する。

「CooL4 協調型路側機仕様(案)」の現バージョンでは、協調型路側機の機能と基本構成を提示し、複数のセンサからの情報を融合するレベルとして次の 3 つを提示している。

(1) センサ拡張

複数のセンサからの生データ(映像、点群など)を収集し、それに対して認識処理を行う方式。

(2) センサ融合

各センサのデータに対して一次処理を行い、中間的なデータ形式(例えば、占有グリッド)で収集し、それに対して認識処理を行う方式。

(3) オブジェクト統合

各センサのデータに対して認識処理を行い、認識結果のデータを収集し、それを統合する処理を行う方式。

付録 A. バージョン履歴

2022 年 3 月 14 日	version 0.6.0	2021 年度の最終版
2023 年 3 月 15 日	version 0.7.0	2022 年度の最終版

A.1 version 0.6.0 から version 0.7.0 への主な変更箇所

- データ連携サーバの構成について記述
 - データ連携サーバが、セントラル DM、中域 DM、データ蓄積サーバで構成されることを

記述し、それらの物理配置に関する記述を追加した。

- データ蓄積サーバを、データ連携アーキテクチャの図から削除し、データ連携サーバの構成図に記載した。
- セキュリティアーキテクチャに関して記述(5章)
- 物理的な構成の例を記述(6章)
- 用語の変更
 - 「キャリア DM」→「中域 DM」