

博士論文 2008 年度 (平成 20 年度)

インターネット上での自動車情報基盤の構築

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

佐藤 雅明

インターネット上での自動車情報基盤の構築

論文要旨

本研究では、インターネット上で自動車情報を利用して新たな価値ある情報を生成する情報システムの概念を定義し、これを実現するための自動車情報基盤アーキテクチャを提案した。また、提案したアーキテクチャを実現するために要件を定義し、これを満たすために3つの技術基盤の構築を行った。さらに、技術基盤に基づく実証実験や、国際標準化による合意形成を通して、自動車情報流通基盤アーキテクチャの実現可能性や社会的受容性を検証した。

自動車の情報化は社会全体の利益に繋がり、その必要性は高い。プローブ情報システムは、自動車の持つ情報を情報通信基盤を用いて収集する事で、価値ある情報を生成し、情報の共有・提供を行うシステムである。自動車情報基盤は、インターネットを用いることで、自動車の持つ多様な情報を、道路交通やそれ以外の新たな情報システムで活用可能とする情報基盤である。本研究では、この基盤を構築するために必要なアーキテクチャを提案した。このアーキテクチャは3つの技術基盤から構成されている。

自動車情報取得インターフェイス基盤は、自動車が持っている車両位置や速度、外気温や各種走行センサの状態等を統一した形式で保持する「車両データ辞書」を構築し、様々な情報システムが利用できるようにするための基盤である。プローブ情報生成基盤は、自動車情報取得インターフェイス基盤を活用して自動車の情報を取得・集約し、価値ある情報を生成するための生成スキームを提案し、プローブ情報システム構築の際に求められる規模性や即時性等を満たすための車車間通信の活用を実現する基盤である。プライバシー保護基盤は、自動車情報取得の際の課題である情報発信者の個人情報の漏洩やプライバシー侵害に関する不安を取り除くために、自動車情報流通基盤上において守るべき個人情報保護に関する基本的な遵守事項(基本原則)の策定と、プライバシーを保護した上で有益なシステムの構築、およびシステム保全を担保する認証技術である匿名認証機構から構成された、情報発信者と利用者の安心・安全を守る基盤である。

本研究では、自動車情報基盤の実現可能性、および社会的受容性を検証するために、自動車情報を活用したプローブ情報生成、車車間通信を活用したプローブ情報システムの生成、および匿名認証機構を用いたプローブ情報システムの構築に関する実験を行った。また、合意形成を図るため、自動車情報フォーマットと、プローブ情報システムの個人情報保護に関する国際標準化活動を行った。これらの実験や標準化活動を通し、アーキテクチャに基づく自動車情報基盤の要件を満たしていることを検証し、実現可能性と社会的受容性について良好な結果を得た。

以上の研究活動によって、本研究はインターネット上での自動車情報基盤の構築を通して次世代プローブ情報システムの基盤構築に寄与することが出来た。

キーワード：

1. インターネット
2. ITS
3. プローブ情報システム
4. 車車間通信
5. 個人情報保護

A Study on Automobile Data-flow Architecture for Internet Based Probe Information Systems

Summary

In this research, information architecture for discovering new valuable information using automobile over the Internet was defined. In order to meet the requirements for constructing the architecture, three technology architectures were developed. In addition to definition and development, the possibilities of actually applying the technology to the real world, including the acceptance by society, were observed by experiments and international standardization.

The first one is: automobile information collection interface architecture. It is used for creating database in a single format that can be used for various information systems; the data includes vehicle location, speed, temperature and other sensors. The second one is: probe information generation architecture. It is used for obtaining and collecting vehicle information using the first architecture, proposing generation scheme for producing valuable information, to meet scalability and immediately required for developing probe information system, through vehicle-to-vehicle communications. The other one is: privacy protection architecture. When collecting automobile information, it is required to protect the individual privacies. To meet the requirements, this architecture provides safety and relief to both information senders and receivers, through proposing basic privacy policies, building system considering privacy protections, and utilizing anonymous authentication mechanism for maintaining the system.

In this research, experiments were done to measure possibilities of application and social acceptance. The experiments include: probe information production by utilizing automobile information, development of probe information system with vehicle-to-vehicle communication, and development of probe information system with anonymous authentication mechanisms. In addition, to develop a common agreement, internationalization of automobile information format and privacy protection policies of probe information system were done. Through these experiments and standardizations, whether the architecture meets requirements for utilizing automobile information was verified, and application possibilities and social acceptance have concluded the positive outcomes.

With these activities, the research contributed in development of basic architecture for next-generation probe information system through automobile information architecture over the Internet.

Key Words :

1. Internet
2. ITS
3. Probe Information Systems
4. Vehicle to Vehicle Communication
5. Privacy Protection

Keio University Graduate school of Media and Governance
Masaaki Sato

目次

第1章 序論	1
1.1 自動車の情報化の意義	1
1.2 プローブ情報システム	2
1.2.1 プローブ情報システムの概要	2
1.2.2 プローブ情報システムの機能	2
1.2.3 プローブ情報通信基盤としてのインターネット	3
1.3 目的	3
1.4 本論文の構成	4
第2章 自動車情報アーキテクチャ	6
2.1 プローブ情報システムアーキテクチャ	6
2.1.1 プローブ情報システムにおける情報の集約	6
2.1.2 既存 ITS におけるアーキテクチャ	7
2.1.3 インターネット ITS におけるアーキテクチャ	7
2.2 オープンなデジタルデータプラットフォームモデル	8
2.3 自動車情報基盤アーキテクチャ	10
2.4 アーキテクチャの実現に向けた課題	13
2.5 自動車情報基盤を構成する技術基盤	14
2.5.1 自動車情報インターフェイス基盤	14
2.5.2 プローブ情報生成基盤	15
2.5.3 プライバシ保護基盤	15
2.6 本章のまとめ	16
第3章 プローブ情報システムの現状	17
3.1 ITS の概念	17
3.2 自動車情報を扱う日本の ITS 事例	19
3.2.1 道路交通情報通信システム VICS	19
3.2.2 新交通管理システム Universal Traffic Management System(UTMS)	21
3.2.3 自動料金収受システム (ETC)	22
3.2.4 走行支援道路システム (AHS)	22
3.2.5 先進安全自動車 (ASV)	23
3.3 欧州の ITS の事例	23
3.3.1 UDC	24
3.3.2 ISA	24
3.4 米国の ITS の事例	24
3.4.1 IVI	24
3.4.2 E911	25

3.4.3	VII	25
3.5	欧米の総合情報サービス	25
3.6	プローブ情報システムの事例	25
3.6.1	internavi Premium Club	26
3.6.2	CARWINGS	26
3.6.3	G-BOOK/G-BOOK mx	27
3.6.4	FCD	27
3.6.5	XFCD	28
3.6.6	Tegaron	28
3.6.7	visionaute	28
3.6.8	SODAD	29
3.6.9	SDRP/RMDP	29
3.7	本章のまとめ	30
第 4 章	自動車情報インターフェイス基盤	32
4.1	抽象化の目的	32
4.2	自動車情報の抽象化	32
4.3	自動車オブジェクトによる統一インターフェイス	32
4.4	データ辞書モデル	33
4.4.1	データ辞書モデルの適応箇所検討	33
4.4.2	モデルにおける論理構成	35
4.4.3	モデルにおける物理構成	35
4.4.4	インターフェイスの規格化基準	37
4.4.5	規格化箇所の制定	37
4.5	データ辞書構成	38
4.5.1	基本設計	38
4.5.2	データセット構造	40
4.6	自動車データ辞書の定義	40
4.7	データ辞書のリファレンスモデルの定義	42
4.8	国際標準化活動	45
4.8.1	標準化の目的	45
4.8.2	標準化の方針	46
4.8.3	標準化活動	46
4.9	本章のまとめ	50
第 5 章	プローブ情報生成基盤	51
5.1	プローブ情報システムにおける情報生成	51
5.1.1	ABS 情報取得実験による検証	51
5.1.2	推定 μ 値取得実験による検証	53
5.2	車両間の通信を活用した情報生成システム	54
5.2.1	センタレスプローブ情報システムの概要	55
5.2.2	情報センタ型とセンタレスプローブ情報システムの比較	56
5.2.3	道路交通情報生成アルゴリズムの提案	57
	処理システムの構造	57

センタレスプローブ通信基盤	59
情報生成アルゴリズム	60
5.2.4 車載システムの設計と実装	62
車載システムの設計	62
車載システムの実装	63
5.2.5 実証実験	66
目的と概要	66
システムパラメータ設定	67
車両走行シナリオ	69
5.2.6 評価	70
道路交通情報生成アルゴリズムの評価	70
センタレスプローブ情報システムの有効性評価	71
5.2.7 センタレスプローブ情報システムに関する考察	72
5.3 本章のまとめ	74
第6章 プライバシ保護基盤	76
6.1 プローブ情報システムにおけるプライバシー保護	76
6.1.1 プローブ情報システムとプライバシー	76
6.1.2 プローブ情報システムに存在する個人情報	77
6.2 プローブ情報システムにおけるプライバシー脅威分析	78
6.2.1 プライバシ脅威分析のためのリファレンスアーキテクチャ	78
6.2.2 脅威分析	79
プローブ情報システム特有の個人情報に係る脅威	79
プローブ情報システムに依らない情報通信システム全般に生じる脅威	80
6.2.3 脅威分析に基づくプライバシー保護手法	80
6.3 基本原則の検討	81
6.3.1 基本原則のフレームワーク	81
6.3.2 脅威の詳細化	81
OECD プライバシガイドライン”収集制限の原則”に係る脅威	83
OECD プライバシガイドライン”データ内容の原則”に係る脅威	84
OECD プライバシガイドライン”目的明確化の原則”に係る脅威	84
OECD プライバシガイドライン”利用制限の原則”に係る脅威	85
OECD プライバシガイドライン”安全保障の原則”に係る脅威	85
OECD プライバシガイドライン”公開の原則”に係る脅威	86
OECD プライバシガイドライン”個人参加の原則”に係る脅威	86
OECD プライバシガイドライン”責任の原則”に係る脅威	86
6.4 プローブ情報システムにおける個人情報保護に関する基本原則の策定	87
6.4.1 収集制限の原則	87
6.4.2 データ内容の原則	87
6.4.3 目的明確化の原則	88
6.4.4 利用制限の原則	88
6.4.5 安全保護の原則	89
6.4.6 公開の原則	89

6.4.7	個人参加の原則	89
6.4.8	責任の原則	90
6.5	プローブ情報システムのためのプライバシーを考慮した匿名認証方式	90
6.5.1	プローブ情報システムにおけるプライバシーに関する課題	90
6.5.2	匿名認証方式	92
	匿名認証方式の分類	92
	Refreshable token scheme の概要	93
6.5.3	プローブ情報システムのための匿名認証方式の提案	95
	匿名認証方式のプローブ情報への適用	95
	プローブ情報システムのための匿名認証方式	95
6.5.4	匿名認証モデルの設計	97
6.5.5	各要素における機能設計	98
	車両の機能構成	98
	匿名認証管理サーバの機能構成	101
	収集サーバの機能構成	101
6.5.6	実装	101
	システム構成と実装方式	102
	実装の構成と処理シーケンス	102
6.5.7	評価	104
	実験環境	104
	定性的評価	104
	定量的評価	106
6.6	本章のまとめ	108
第7章	評価	110
7.1	自動車情報基盤アーキテクチャに関する評価	110
7.2	自動車情報インターフェイス基盤に関する評価	110
7.2.1	実現可能性に関する評価：実証実験基盤	110
7.2.2	社会的受容性に関する評価：ISO における標準化	111
7.3	プローブ情報生成基盤に関する評価	115
7.3.1	実現可能性に関する評価：実証実験の基盤	115
7.3.2	実現可能性に関する評価：シミュレータによる規模性の評価	115
7.4	プライバシー保護基盤に関する評価	118
7.4.1	実現可能性に関する評価：匿名認証方式によるプライバシー保護の実現	118
7.4.2	社会的受容性に関する評価：ISO における国際標準化	119
7.5	本章のまとめ	119
第8章	結論	122
8.1	結論	122
8.2	本研究が社会に与えた影響	124
8.3	今後の課題	125
	謝辞	126

参考文献	127
付録 1：ISO の概要	132
付録 2：ISO IS 22837(概要)	135

目 次

1.1	プローブ情報システムの概念 (JSK(現 JARI) 作成)	2
1.2	プローブ情報システムの機能	3
2.1	センサデータの集約	6
2.2	ITS におけるプローブ情報システムアーキテクチャ	8
2.3	プローブ情報システムによる情報提供例	9
2.4	インターネット ITS におけるプローブ情報システムアーキテクチャ	10
2.5	データプラットフォーム	11
2.6	集約箇所におけるデータ処理	11
2.7	自動車情報基盤アーキテクチャ	12
3.1	ITS 開発分野及び利用者サービス	18
3.2	VICS のシステム構成	20
3.3	FCD のシステム概要	27
3.4	XFCD のシステム概要 (BMW 作成)	28
4.1	通信とサービスの分離	33
4.2	抽象化の概念	34
4.3	プローブ情報システムの論理構成	35
4.4	規格化すべき箇所	38
4.5	データ辞書への正規化例	39
4.6	データ辞書構造	40
4.7	履歴を考慮したデータ辞書構造	41
4.8	データ辞書のリファレンスモデル構造	44
4.9	Scope of Standardization	47
4.10	vehicle dataset model	48
4.11	米国の Probe data types イメージ	49
5.1	ABS 情報による危険箇所の取得の概要	52
5.2	ABS 情報収集システム	52
5.3	実験で利用したスリパリーコース	53
5.4	ブレーキを踏んだ際のセンサ情報の変化	54
5.5	時速 10km の収集情報	55
5.6	時速 20km の収集情報	56
5.7	複数車両情報の集約	57
5.8	蓄積された ABS 情報	58
5.9	推定 μ 値取得システム	59

5.10	実証実験を行ったコース	59
5.11	取得された推定 μ 値	60
5.12	処理システムの構造	62
5.13	渋滞情報の統合処理	63
5.14	渋滞情報の有効期限	65
5.15	車載システムの構成	66
5.16	車載システムの処理構造	67
5.17	車載システムの処理フロー	68
5.18	テストコース概要と渋滞区間の設定	69
5.19	収束モードによる伝達の様子	70
5.20	拡散モードによる伝達の様子	71
5.21	実験車両走行軌跡 (シナリオ 2)	72
5.22	実験車両の走行風景	73
5.23	収束モードにおける情報発信位置	74
5.24	拡散モードにおける情報発信位置	74
6.1	プライバシー脅威分析のためのリファレンスアーキテクチャ	78
6.2	基本原則のフレームワーク	83
6.3	本研究の想定するプローブ情報システムモデル	91
6.4	Refreshable token scheme の処理の流れ	94
6.5	プローブ情報システムのための匿名認証方式の概念	96
6.6	匿名認証方式によるプローブ情報システムの認証モデル	97
6.7	システムの構成と自動車情報の収集手順	98
6.8	各要素における機能の構成	101
6.9	車両の機能構成と各サーバ間の通信内容	102
6.10	匿名認証管理サーバの機能構成と各サーバの通信内容	103
6.11	収集サーバの機能構成	104
6.12	処理シーケンス	105
6.13	実験環境	106
6.14	実験の様子	107
6.15	Linkability を有する期間と token 更新処理時間の関係	109
7.1	自動車情報インターフェイス基盤を活用した実証実験	111
7.2	ISO IS22837 のスコープ (WG16 国際専門家グループ作成)	112
7.3	ISO IS22837 におけるコンテキストモデル	113
7.4	ISO IS22837 におけるリファレンスアーキテクチャ	114
7.5	ISO-IS22837 における自動車情報の構造	114
7.6	秋田つるナビ社会実験	115
7.7	情報発信回数の抑制	117
7.8	情報量の削減と情報劣化の関係	117
7.9	ISO DIS 24100 のスコープ	120
8.1	ISO 組織構成	133
8.2	標準化の流れ	134

表 目 次

3.1	車両情報を取得する感知器	21
3.2	欧米における総合情報サービスの事例	26
3.3	Tegaron のテレマティクスサービス	29
3.4	既存事例のまとめ	31
4.1	システムの物理構成要素の名称と具備することが望ましい機能	36
4.2	プローブ情報システムにおけるサービス例と利用する車両情報	43
5.1	プローブ情報システムの比較	61
5.2	実験機器の仕様	64
5.3	車両情報の項目	64
6.1	個人情報参照できるデータベース	77
6.2	脅威の詳細化	82
6.3	匿名認証方式の分類	93
6.4	車両の機能	99
6.5	匿名認証管理サーバの機能	99
6.6	収集サーバの機能	100
6.7	処理技術共有用の共通インターフェイス	100
6.8	システムの実装方式	102
6.9	使用したソフトウェアライブラリ	103
6.10	匿名認証管理サーバのベンチマーク	106
6.11	処理時間の測定結果	107
6.12	匿名認証処理時間	108
7.1	車両台数 (情報量) と削減量の関係	116

第1章 序論

本章では、まず本研究の背景となる自動車の情報化とプローブ情報システムについて述べ、次に本研究の目的を述べる。また、本論文の構成について述べる。

1.1 自動車の情報化の意義

自動車が生誕してからおよそ一世紀が経ち、現在ではこの自動車を用いた道路交通網は、現在の社会運営や人間の日々の生活に欠かす事のできない要素となり、あらゆる利便性を人間に提供している。一方、その普及に伴い、数々の問題も発生してきた。交通事故や渋滞のもたらす時間と資源の浪費、環境汚染等である。自動車の利便性をこれから将来も享受し続ける為には、これら諸問題の根本的解決を図り、持続可能な自動車の大量利用環境を整える必要がある。これまで、自動車は道路交通の最も重要な位置を占めている。しかし自動車交通に関するシステムは、自動車の登場からほとんど進歩していないのが現状である。自動車交通の情報化は、通信技術と情報処理技術とを道路交通に取り入れる事で、道路交通自体をシステムとして知能化する事である。それは自動車の搭乗者が自分の目で見える範囲の情報を基に、自分の頭だけでそれを処理して判断していた既存のシステムに比べ、遥かに効率的である。搭乗者に情報を伝達し、最適な経路選択を支援したり、交通問題を解決するためには、自動車自体を情報化する事が必要である。自動車という移動する空間へ、刻一刻と変わっていく状況を伝達することで、自律分散的な交通流の効率的な管制が実現される。このために必要な情報を収集するシステム、移動中の空間へその情報を伝える情報伝達システム、そしてその情報を最適な形で利用できるインターフェイスを整備する事が、自動車の情報化には不可欠である。その実現形態として、自動車の情報化自体の研究が進められている。道路交通に関する総合的な情報通信システムである高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems:ITS)[1][2][3][4] の構築が世界規模で盛んに行なわれている。

また、現在自動車を取り巻く環境は大きく変化している。自動車は単体で様々な情報を持ち、これらの情報を活用する事で、安全かつ快適な走行を実現している。自動車は単体で非常に多くの情報を有しているが、現状ではこれらは自動車内で車両の快適性の向上と走行支援にのみ利用されるに留まっている。しかし、これらの情報を収集・分析するシステムが構築されれば、交通管制に必要な情報として非常に価値のあるシステムとなる。個々の車両が持つ情報を利用する総合的な情報交通システムは、様々な道路交通問題の根本的な解決手段として注目されている。さらに、自動車は、走行に必要な情報以外にも、多数の情報を備えている。現在これらの情報は破棄されているが、自動車を情報化することで、ニーズに応じてそれらを収集し、利用する情報処理システムが構築できる。車両から収集した情報を共有／加工する事で、利用者に貴重な情報を提供する事が可能となる。自動車の情報化は、社会全体の利益に繋がり、その必要性は高い。同時に、自動車と情報通信産業等に関連する分野で、大規模な新規市場の形成や、情報通信社会を支援する役割も期待されている。

1.2 プローブ情報システム

この節では、まずプローブ情報システムの概要を述べ、次にプローブ情報システムの機能を定義する。その後、プローブ情報の通信基盤としてのインターネットに関する考察を述べる。

1.2.1 プローブ情報システムの概要

プローブ情報システムは、自動車の保持するセンサデータ（プローブデータ）を、インターネット等の汎用的な情報通信基盤を用いて収集して、統計的な処理等を施すことで、交通情報や気象情報、安全運転支援情報等の価値ある情報（プローブ情報）の生成・提供を実現する ITS の 1 つである。センサや道路ビーコンなどの特別な情報収集基盤を必要としないため、既存の ITS にくらべ広範囲に渡って動的に情報を収集できる。また、車両の持つ情報をもとに情報を生成するため、蓄積・加工の方法によって従来にない様々なニーズに応じた情報提供の可能性を持つ。プローブ情報システムを概念を図 1.1 に示す。自動車は様々なセンサを備え、多くの情報を保持しているが、現在はそれらは自動車の中で利用されるに留まっている。時刻、位置とともにこれらをネットワークを介して収集すれば、地理的位置と結び付いたリアルタイムな情報提供が実現できる。

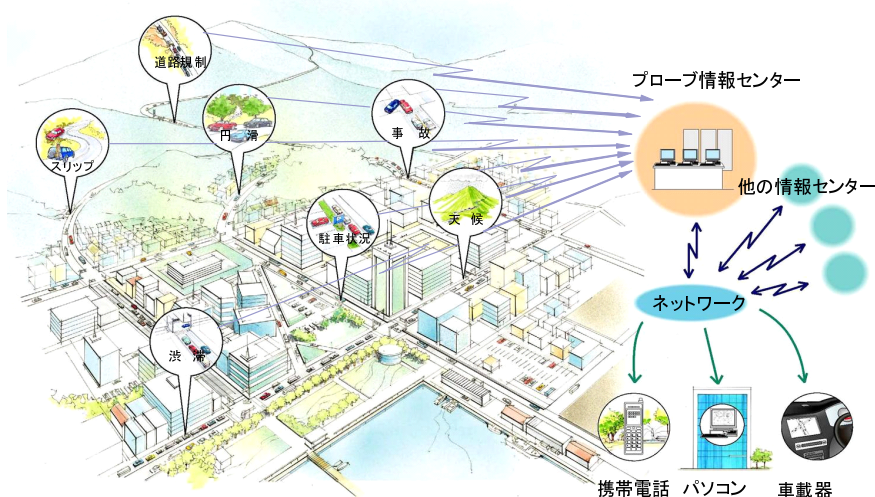


図 1.1: プローブ情報システムの概念 (JSK(現 JARI) 作成)

例えば、速度情報から渋滞状況を生成したり、ワイパ動作状況や外気温から降雨などの気象情報を生成できる。また、自動車の持つ情報は交通に関するものだけではない。ネットワーク化することで、様々な社会システムによって新たな価値を生成することができる。降雨地域情報によるタクシー配車の効率化や、バスの運行状況把握などがその例として挙げられる。

1.2.2 プローブ情報システムの機能

プローブ情報システムは、自動車の持つ情報の収集、収集された情報の蓄積・加工による新たな情報の生成、そして生成された情報の提供という機能を持つ。各段階の機能は以下の通りである。

情報収集系

自動車情報を取得・収集する処理系である。センサから情報を取得する機能を持つ。また、情報ソース自体を内包し所有している場合もある。

情報生成系

情報収集系で取得された自動車の情報を利用し、新たな情報を生成する処理系である。情報生成系は情報を加工せずにそのまま流通させる事もある。

情報提供系

情報生成系で生成された情報を利用者に提供する処理系である。情報を利用者のニーズに沿った粒度・精度・形状で提供する。

情報システムは複数段階層構造で構築されることもある。一つの情報システムが上位の情報システムにとって情報収集系であったり、複数の情報システムを収集系に持ち、生成系では加工をせずに提供を行なう場合もある。これらの間の通信基盤をインターネットにすることで、プローブ情報システムの各機能はネットワーク上に分散して存在する事が可能となり、効率の良いシステム構築が可能である。各機能の関係を図 1.2 に示す。

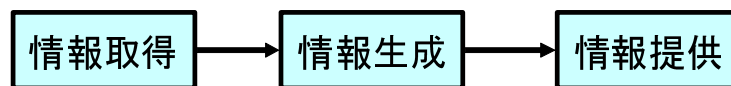


図 1.2: プローブ情報システムの機能

1.2.3 プローブ情報通信基盤としてのインターネット

プローブ情報システムの情報通信基盤として期待されているものの1つがインターネットである。現在、分散している情報の共有や相互利用の基盤として、人類社会全体で最も顕著な実績を挙げているのはインターネットである。インターネットは人々の生活に深く浸透し、様々な利便性をユーザに提供している。また、インターネット上には様々な情報処理のシステムが存在し、それぞれに情報を共有し、相互に協調動作している。自動車がインターネットと接続し、その情報をインターネット上で利用できれば、プローブ情報システムをインターネット上に構築する事が出来る。通信部分にはインターネットアーキテクチャを用い、収集・提供をインターネットによって行う事で、専用の基盤を用意する必要がない。インターネット上にプローブ情報システムを構築する事で、これらのシステムとの容易な情報共有・相互利用が可能となる。

1.3 目的

本研究ではインターネット上での自動車情報と、自動車情報を利用して新たな価値ある情報を生成するプローブ情報システムの概念を定義し、これを実現するためのアーキテクチャである自動車情報基盤アーキテクチャを提案すると共に、これを実現するための技術・運用基盤を構築し、その評価を行う。分散している情報の共有や相互利用の基盤として、最も成功しているのはインターネットである。インターネットは人々の生活に深く浸透し、様々な利便性をユーザに提供して

いる。また、インターネット上には様々な情報処理のシステムが存在し、それぞれに情報を共有し、相互に協調動作している。インターネット上で自動車の情報が容易に利用できれば、プローブ情報システムをその上に構築する事が可能となる。インターネット上にプローブ情報システムを構築することで、情報の収集、蓄積、加工による新たな価値ある情報の作成を容易に行うことが可能となる。また、ITS 機器や様々な場所に存在する情報システム間での情報交換や補完することで、情報精度や信頼性の向上等が実現できる。

本研究では上記を実現するための情報基盤として自動車情報基盤を定義し、それを実現するアーキテクチャを提案する。これは、通信基盤としてインターネットを用いることで、専用基盤に依存することなく、自動車の持つ多様な情報を、ITS、および道路交通以外の新たな情報システムで活用可能とするアーキテクチャである。さらに、提案したアーキテクチャを実現するための課題を整理した上で、実現するための要件を3つ定義し、これを満たすために3つの技術基盤の構築を行う。

自動車情報取得インターフェイス基盤は、自動車が持っている車両位置や速度、外気温や各種走行センサの状態等を統一した形式で保持する「車両データ辞書」を構築し、様々な情報システムが利用できるようにするための基盤である。

プローブ情報生成基盤は、自動車情報取得インターフェイス基盤を活用して自動車の情報を取得・集約し、価値ある情報を生成するための生成スキームを提案し、プローブ情報システム構築の際に求められる規模性や即時性等を満たすための基盤である。

プライバシー保護基盤は、自動車情報取得の際の課題である情報発信者の個人情報の漏洩やプライバシー侵害に関する不安を取り除くために、自動車情報流通基盤上において守るべき個人情報保護に関する基本的な遵守事項(基本原則)の策定と、プライバシーを保護した上で有益なシステムの構築、およびシステム保全を担保する認証技術である匿名認証機構から構成された、情報発信者と利用者の安心・安全を守る基盤である。

本研究では、各種実証実験および国際標準化を通じた合意形成を行い、3つの技術基盤からなる自動車情報基盤の実現可能性、および社会的受容性を検証し、次世代プローブ情報システムの基盤構築に寄与できるかを明らかにする。

1.4 本論文の構成

本論文では、まず、第2章で自動車情報アーキテクチャについて述べる。プローブ情報システムの概要とデジタル情報基盤であるインターネット上での自動車情報の抽象化や、情報の取得・収集・提供といった概念を定義し、専用基盤や道路交通情報に特化しないプローブ情報システムの基盤を構築するための課題を整理した上で、要件を満たしたアーキテクチャを提案する。次に、第3章では既存のITSにおけるテレマティクスサービスや現状のプローブ情報システムについて、自動車情報の抽象化や取り扱い方について第2章で挙げた視点から解析し、その問題点を指摘する。現状のプローブ情報システムでは、自動車情報は各システムに依存する形で抽象化されており、個々の収集や集約アルゴリズム等に即したインターフェイスしか有しておらず、自由な情報取得や流通を阻害する問題となっている。これらの問題を解決するための技術基盤である自動車情報取得インターフェイス基盤について、第4章で述べる。第5章では、自動車情報取得インターフェイスに基づくプローブ情報生成スキームについて、情報生成の際の課題を考察する。その後、規模性や即時性といった課題を解決するための車車間通信を活用したプローブ情報生成スキームを提案し、実システムの設計、実装、および検証実験を通してその有効性を検証する。第6章では、自動車情報を取り扱う際の個人情報、およびプライバシーに関する問題について議論を行い、情

報発信者の不安を払拭するために必要な要件を満たすプライバシー保護基盤を定義する。プライバシー保護基盤は、運用的な規範であるプローブ情報システムを構築する際に遵守すべき事項を示した基本原則と、技術的な解決手法であるプライバシーを担保した上で安全なプローブ情報システムの構築を実現する匿名認証機構から構成される。基本原則の国際標準化活動と、匿名認証機構の設計、実装、評価についてもこの章で述べる。第7章ではこれらの研究活動について、実現可能性と社会的受容性の観点から評価を行い、最後に第8章で本研究の結論を述べる。

第2章 自動車情報アーキテクチャ

本章では、自動車の持つ多様な情報を、道路交通やそれ以外の新たな情報システムで活用可能とする情報基盤である自動車情報基盤について述べる。まず、既存のプローブ情報システムのアーキテクチャを考察する。次に、自動車情報基盤アーキテクチャを提案し、実現のための課題について議論し、要件を整理する。その後、要件を満たすための3つの技術基盤について述べる。

2.1 プローブ情報システムアーキテクチャ

本節では、まずプローブ情報システムにおける情報の集約に関する考察を行い、次いで既存のITSにおけるアーキテクチャとインターネット ITS におけるアーキテクチャについて述べる。

2.1.1 プローブ情報システムにおける情報の集約

プローブ情報システムとは、自動車の持つ情報を情報通信基盤を用いて収集する事で、価値ある情報を生成し、その情報の共有・提供を行なうシステムである。具体的には、あらゆる道路の道路交通情報をはじめ、地域の気象情報や自然、社会に関する情報を利用者に提供するために、車両を動くセンサとして捉え、収集した情報を共通基盤として利用し、情報価値を生み出す。センサやビーコンなどの特別な情報収集基盤を必要としないため、既存の ITS に比べ広範囲に渡って動的に情報を収集できる。また、車両の持つ情報をもとに情報を生成するため、蓄積・加工の方法によって従来にない様々なニーズに応じた情報提供の可能性を持つ。プローブ情報システムにおけるセンサデータの集約の様子を図 2.1 に示す。

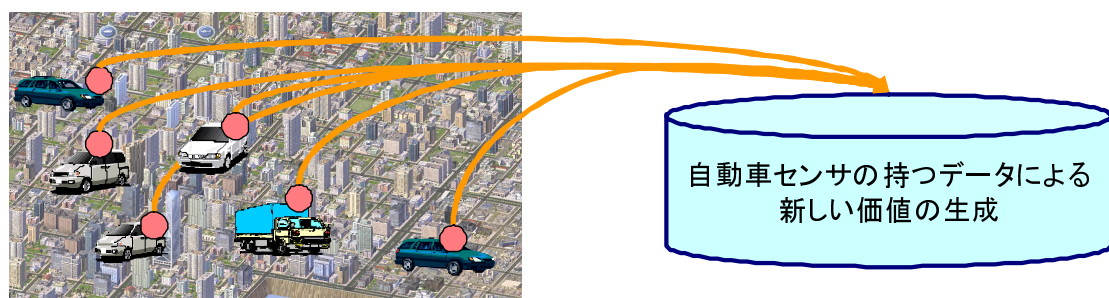


図 2.1: センサデータの集約

例えば、速度情報から渋滞状況を生成したり、ワイパ動作状況や外気温から降雨などの気象情報を生成できる。また、自動車の持つ情報は交通に関するものだけではない。ネットワーク化することで、様々な社会システムによって新たな価値を生成することができる。降雨地域情報による

タクシー配車の効率化や、バスの運行状況把握などがその例として挙げられる。一般的なプローブ情報システムは、以下のような特徴を持っている。

パブリック型サービス

個人が特定の自動車の情報を活用するのではなく、特定の自動車(群)から情報を収集し、得られた情報から作成した情報を特定の第三者、あるいは広く一般に公開するタイプのサービスを行う。

対象とする自動車の粗・密の変化が動的

自動車の走行環境や走行路は特定のものではなく、細街路や一般道、高速道路等を自由に走行する。また周辺の交通状況の変化は動的に起こり、その変化の速度も不定である。

敷設設備に拠らない情報流通

自動車の通信機器を介して情報の収集・提供等の流通を行うため、路側センサ等の機器に依存しないシステムを構築できる。反面、システムが取得出来る情報の精度や粒度、市街地と過疎地等で取得できる情報の質が異なる。

2.1.2 既存 ITS におけるアーキテクチャ

ITS の一形態としてのプローブ情報システムは、世界各国で積極的な研究開発が行われており、Floating Car Data(FCD, XFCD)[6][7] 等、実用化がなされている事例もある。こうした ITS におけるプローブ情報システムは、現状では情報取得が可能な車載機(自動車)に依存した情報収集、情報生成、情報提供が行われている。現状のプローブ情報システムのアーキテクチャを図 2.2 に示す。このアーキテクチャにおいては、情報を収集する収集主体が準備した車載機と情報収集センタが 1 つのパッケージとなっており、車載機はあるスキームに従った情報取得と発信を行い、情報収集センタではあらかじめ決められた統計等の処理アルゴリズムを施すことで交通情報等を生成している。そのため、収集される情報は処理アルゴリズムに完全に依存しており、他のシステムの情報を活用する事が非常に困難である。従って、現状のプローブ情報システムは、インターネット等のオープンな通信基盤上に構築された場合でも、システムとしてはクローズドな特性となっている。また、情報の送受信に際しては、収集主体と情報発信者(主に自動車の持ち主)との間に何らかの契約がなされ、情報の利用範囲や個人情報保護等に関してはこの契約に基づいた範囲で行う事となる。そのため、情報の二次利用や収集主体を超えた共有は事実上不可能であり、収集主体が意図した目的以外に自動車の情報が活用されることは無い。

2.1.3 インターネット ITS におけるアーキテクチャ

現在、プローブ情報システムのネットワーク基盤として最も期待されているのがインターネットである。自動車がインターネットと接続し、その情報をインターネット上で利用できれば、プローブ情報システムをインターネット上に構築する事が出来る。通信部分にはインターネットアーキテクチャを用い、収集・提供をインターネットによって行う事で、専用の基盤を用意する必要がない。また、インターネット上には様々な情報処理のシステムが存在している。インターネット上にプローブ情報システムを構築する事で、これらのシステムとの容易な情報共有・相互利用が可能となる。このようなインターネットを活用したとした ITS 基盤をインターネット ITS と呼ぶ。日本では、2003 年に名古屋市の中心部を対象として半年間に渡り 1500 台のタクシーをプローブ

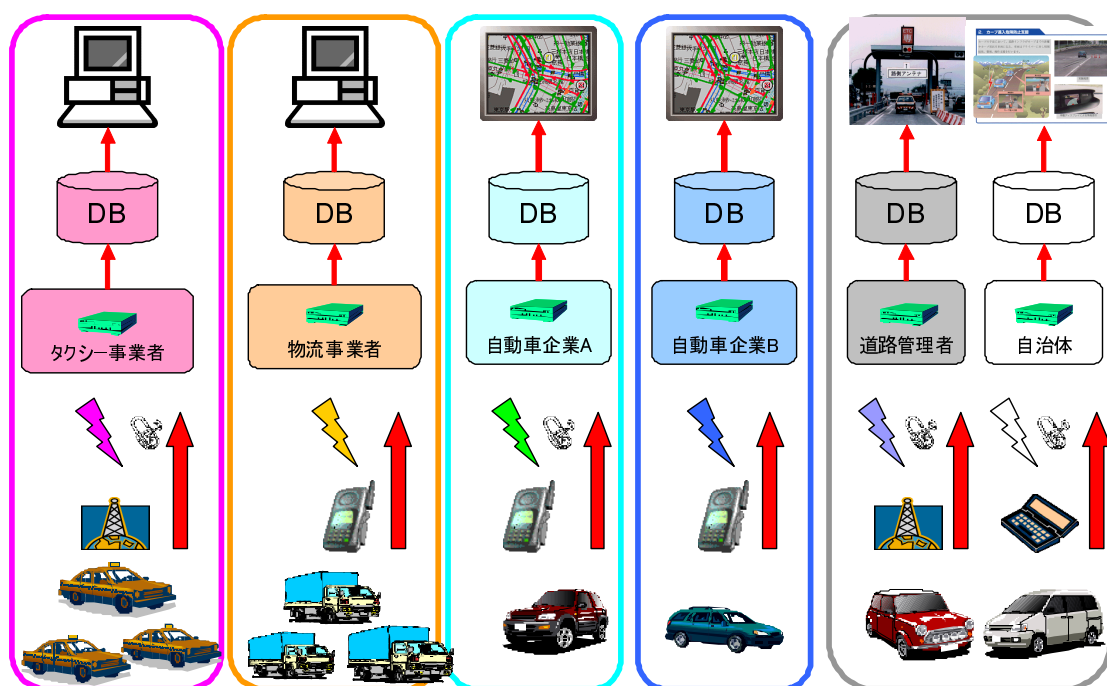


図 2.2: ITS におけるプローブ情報システムアーキテクチャ

ブ車両として、インターネットを介してセンサデータを収集し、渋滞情報や降雨情報等の情報提供を行うプローブ情報システム [9][10][11] の大規模実験が行われた。収集されたセンサデータを基にした情報提供の様子を図 2.3 に示す。

インターネット ITS におけるプローブ情報システムのアーキテクチャを図 2.4 に示す。このアーキテクチャでは、自動車が個々にインターネットへの接続性を確保し、情報の収集および提供を実現する。プローブ情報システムの各機能は、インターネット上に独立して存在しており、各サービスプロバイダの連携によって相互に情報の利用や共有が可能である。自動車の保有する情報を、通信や収集用の専用の基盤に依存せずに収集・利用する事が可能となる。各プローブ情報システムは、任意の自動車から情報を生成したり、その情報システムから情報の提供を受けて二次加工を施し、価値ある情報を生成する事が可能である。情報提供もインターネットを用いて行うため、自動車だけに限らず、インターネットに接続されている全ての機器を対象とした情報通信基盤が形成される。情報は、粒度や精度はシステムごとに千差万別であり、システムに依存している。利用者は自分の周囲に存在する様々な情報システムから、自分が必要とするサービスを選択し情報提供を受けることが可能である。一方、システム構築が個々のプロバイダによって実現可能であるため、類似サービス間の情報連携に関する課題や、自動車とプロバイダ間の契約の煩雑さ、さらには収集される情報のプライバシーに関する課題が存在している。

2.2 オープンなデジタルデータプラットフォームモデル

前節で述べたように、既存 ITS におけるアーキテクチャでは、情報を収集する収集主体が準備した車載機と情報収集センタが1つのパッケージとなっており、各システム毎に閉じた専用基盤を前提としている。専用基盤を前提としているシステムは、目的にそった機器の選定やシステムの

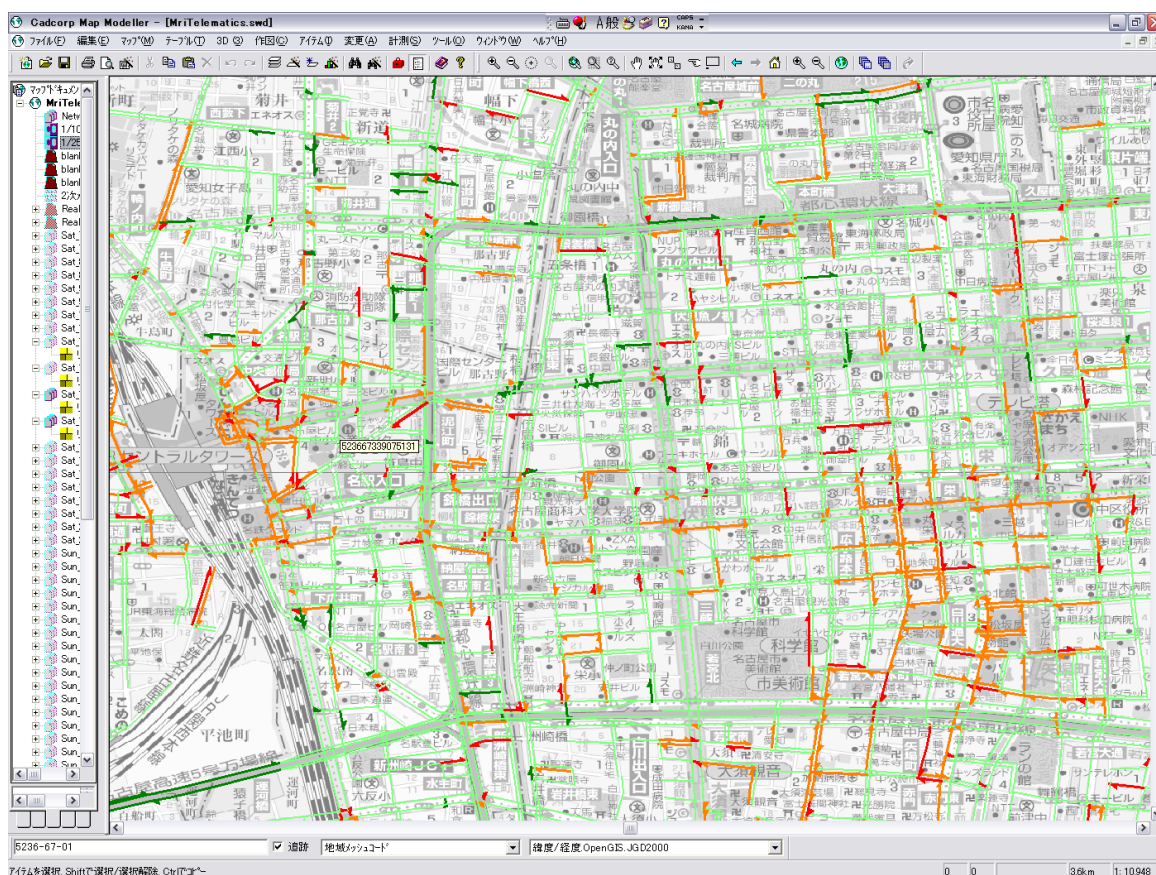


図 2.3: プローブ情報システムによる情報提供例

最適化が行われているため、情報の品質や精度が担保されており、また一般的にはシステム自体の頑健性や秘匿性も高い。一方で、情報の二次利用や共有は難しく、システム敷設者が意図した目的以外に情報が活用されることは無い。本来、自動車に限らず実空間における情報は、デジタルデータとして変換・収集して、統計等の処理を施すことによって多様な利用価値が生まれ、様々な分野で応用していくことが可能である。

インターネット ITS におけるアーキテクチャでは、既存 ITS の専用基盤を前提とした形態を解決するために、通信基盤としてオープンなプラットフォームであるインターネットを用い、情報収集・提供の際の通信と、提供されるサービスを分離した。しかし、このモデルにおいても、サービスプロバイダ間における情報の共有を実現するためには、自動車情報に関する統一した枠組みが必要である。また情報の共有の際には、情報発信者のプライバシーや個人情報を考慮する必要がある。その扱いの煩雑さに関する課題は存在している。

これらを踏まえた上で、プローブ情報システムのような実空間上の情報をセンシングしてデジタルデータに変換し、新たな価値ある情報を生成していくシステム基盤のモデルを図 2.5 に示す。実空間プラットフォームに配置された sensor(図 2.5 下段の円に該当)は、周辺環境の変化をセンシングして、デジタルデータに変換する機能を有する。sensor は、その種類や用途には依存しない統一されたインターフェイスを有しているものとする。sensor によって取得されたデジタルデータは、データプラットフォーム上の集約箇所である data aggregator が統一されたインターフェイス

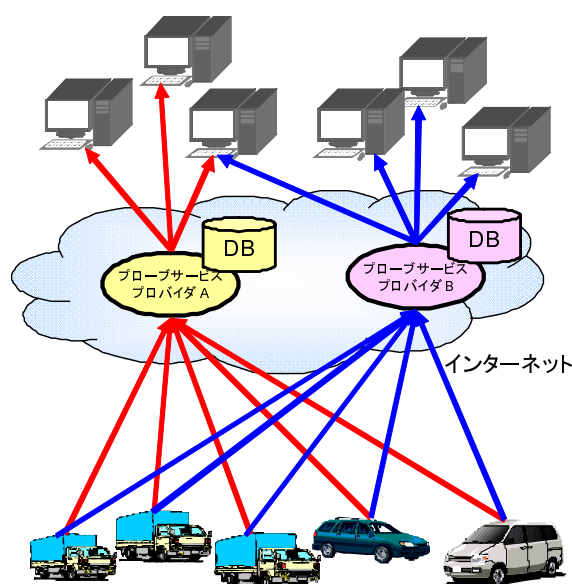


図 2.4: インターネット ITS におけるプローブ情報システムアーキテクチャ

スに基づいて、収集・蓄積する。この際、data aggregator と sensor は何らかの相互認証等を行い、実空間上の契約やプライバシーポリシー等に基づく情報の交換を行うものとする。その上で、アプリケーションプラットフォーム上の application は、複数の data aggregator の集合体であるこのデータプラットフォームから、必要なデータを取得する事で、サービスに必要な情報の生成を行う。このモデル上では、センサデータが発生してから提供される情報が生成されるまで複数の data aggregator や application によって多段的に処理される事が想定されている。センサデータは多様なセンサから取得され、probe aggregator や application では、目的や用途に即した処理が適宜行われる。こうした処理は、新たな価値の創出や、情報精度、信頼性の向上などが図られる一方で、個々のセンサデータの群に比べて（処理の目的に必要なでなかった）情報欠落や、何らかの重み付けによる重心の変移が起こりうる。

集約箇所におけるデータ処理を表したものを図 2.6 に示す。この図のように、ある集約箇所では、センサデータと既に処理された情報が混在した状況から新たな情報を生成するケースも発生する。こうした環境で適切な情報の生成を可能とするためには、センサデータ、および集約された情報のそれぞれについてその情報の特性や性質を明確にする環境が必要となる。さらに、個々のセンサデータについて、情報発信者の利益・権利を保護する事が可能となるような機構を備える必要がある。

2.3 自動車情報基盤アーキテクチャ

既存 ITS におけるアーキテクチャでは、自動車交通に特化したシステム開発がなされているため、情報の二次利用や収集主体を超えた共有は難しく、収集主体が意図した目的以外に自動車の情報が活用されることは無い。本来、自動車の持つ情報は多様な利用価値があり、自動車交通以外の分野にも応用可能であるが、このアーキテクチャではその実現は難しく、自動車情報を活用した他分野・他産業とのイノベーションが起きない状況である。一方、インターネット ITS にお

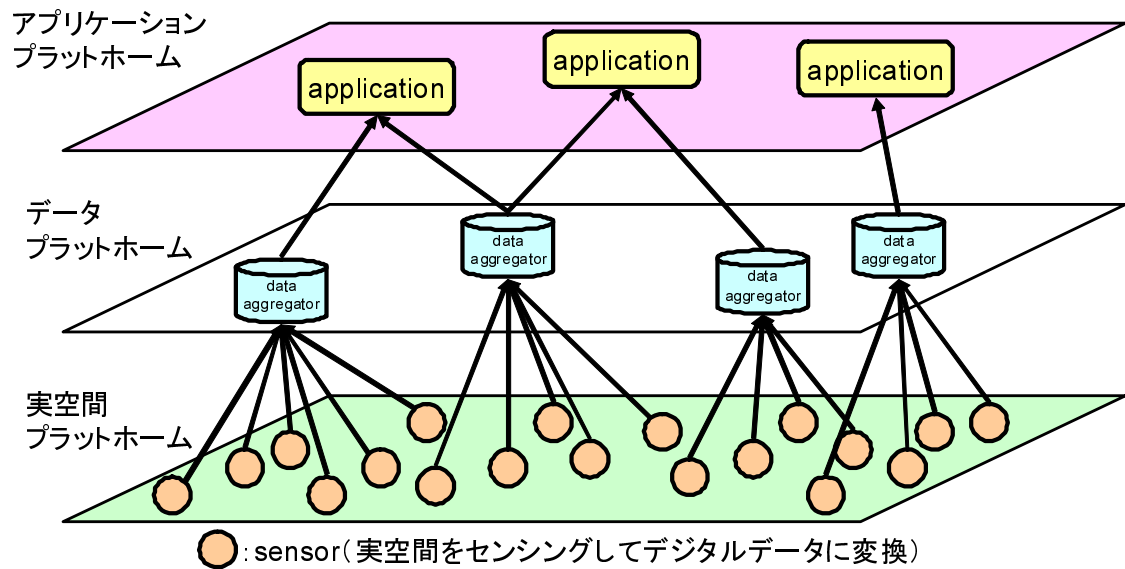


図 2.5: データプラットフォーム

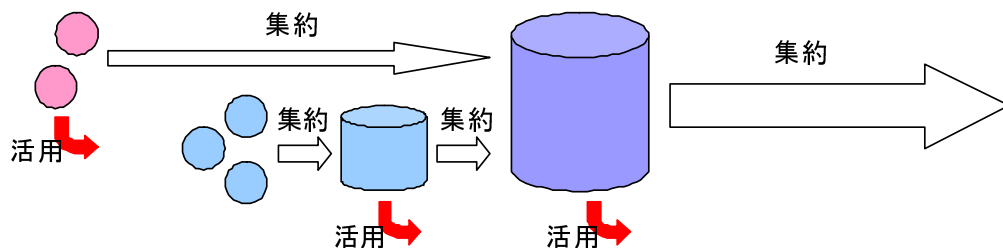


図 2.6: 集約箇所におけるデータ処理

けるアーキテクチャでは、既存 ITS におけるアーキテクチャの閉じた形態を解決するために、通信基盤にインターネットを用いることで情報収集・提供の際の通信と、提供されるサービスを分離した。しかし、このアーキテクチャにおいても、サービスプロバイダ間における情報の共有を実現するためには、自動車情報に関する統一した枠組みが必要である。また情報の共有の際には、情報発信者のプライバシーや個人情報を考慮する必要が生じ、その扱いの煩雑さに関する課題は存在している。さらに、個々の自動車が個別にサービスプロバイダと契約しなければならず、常に移動する自動車が、都度最適な情報発信・情報提供を実現するためには、こうした複数の内容が異なる契約の煩雑さや複雑さを解消する必要がある。

本研究では、こうした現状の課題を考慮した上で、前節で述べたオープンなデジタルデータプラットフォームの実現形態の1つとして、自動車情報基盤アーキテクチャを提案する。これは、自動車を「動くセンサ」として捉え、自動車がセンシングする実空間データを活用し、様々なプローブ情報システムを横断的に構築することを実現するデジタル情報基盤である。本研究が提案する自動車情報基盤アーキテクチャを図 2.7 に示す。

本アーキテクチャは、自動車と様々なサービスシステムを情報通信技術で繋ぎ、自動車情報を

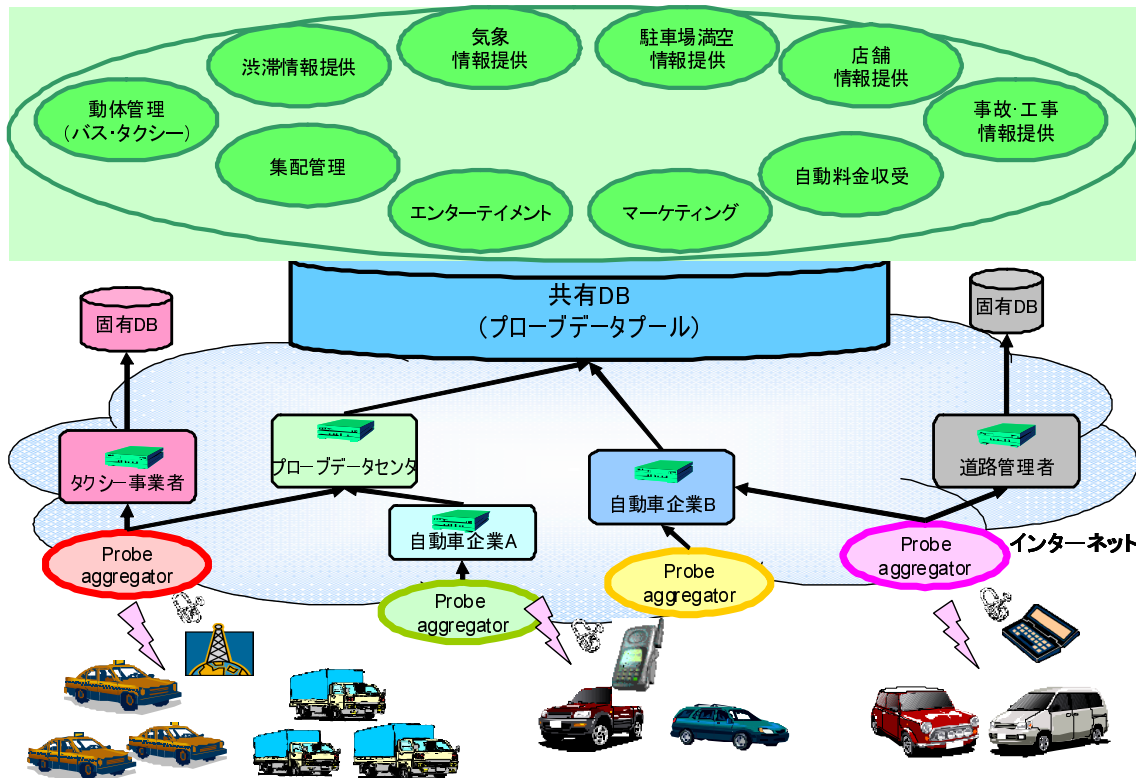


図 2.7: 自動車情報基盤アーキテクチャ

社会共通の基盤として活用することを目的としている。そのため、自動車の情報を収集し、統計等の処理を用いて価値ある有意な情報を生成するプローブ情報システムの構築を横断的に実現するための設計を行った。オープンな情報基盤上において自動車情報を自由に流通させるため、通信基盤にはインターネットを用い、個々の自動車はインターネットへの接続性を有することで、本アーキテクチャの基盤を構築する。これにより、自動車はインターネットに接続することが出来れば、車載機器や活用する通信機器に依存することなく、自動車情報基盤に参入することが可能となる。

また、本アーキテクチャ上では、自動車情報の収集を行う機能を probe aggregator として定義し、プローブ情報の生成や提供を行う機能と切り離している。自動車から発信される自動車情報は、収集を担う probe aggregator が受信し、個人情報やプライバシーを考慮した上で適切な処理を行った上で、プローブ情報の生成や提供を行う道路管理者や自動車企業等のプローブ情報生成主体に送信される。個が特定されない形で自動車の情報を自由に共有・流通することが出来れば、各サービスプロバイダは仮想的に自動車情報基盤上の自動車情報を集約されたデータベースとして活用することが可能となる。これにより各自動車との契約形態や車載機器の構成等に依存することなく、横断的なプローブ情報システムが実現出来る。こうして流通される情報は、必要に応じて個別に加工されて付加価値を増したり、あるいは主体間で共有されることでその適用エリアや情報の精度、信頼性が向上することで、道路交通に依存しない様々なアプリケーションに利用される母体となる。さらに、自動車間で車車間通信を活用し、即時性が高い情報や地域に特化した情報の交換を実現することで、自動車情報が利活用される機会を増大し、自動車搭乗者の利便性や安全性を向上させることが可能となる。

2.4 アーキテクチャの実現へ向けた課題

プローブ情報システムのための自動車情報基盤アーキテクチャを実現するためには、実空間の状況をデジタルデータに変換し、オープンプラットフォームであるインターネット上で共有する必要がある。そのためには、自動車のインターネットへの接続性を確保した上で、自動車情報の扱い方を統一する必要がある。また、世界の自動車保有台数は平成21年1月現在で約9億台である。プローブ情報システムの構築には、個々の自動車が持つ情報を収集し、統計等の処理を行うことで社会的に価値のある情報を生成する事が可能となるアーキテクチャを構築する必要がある。インターネットを基礎としたプローブ情報システムでは、その全ての自動車が情報収集の対象となり、この規模性を満たす必要がある。その上で、自動車の情報を収集し、価値ある情報に加工するためには、前提となる自動車情報の提供者のプライバシーを考慮した仕組みが不可欠となる。その上で、各プロバイダとなる事業者間の情報流通を促進するための情報交換・情報共有インターフェイスや、生成されたプローブ情報の利用促進や専用機器の開発、普及のための情報提供インターフェイスの統一等が求められる。以下に整理した課題を挙げる。

1. 自動車情報の扱い方の統一

自動車情報の扱い方の統一に関しては、プローブ情報システムを作る上で重要な課題である。プローブ情報システムにおいて、その情報元となる自動車の情報は不可欠であり、プローブ情報の元となるプローブデータはシステム自体の存在意義を左右する要素である。現在、ITSでは自動車の持つ情報を利用したシステムの構築を行っているものもあるが、それらの自動車情報に対する扱いは統一されていない。自動車が保持する情報に関する値や単位、解像度などのフォーマットを定めた統一規格は存在しない。車外での利用を前提とした広域ネットワークでの規格化に関しては、まだ未整備である。

2. 規模性を考慮したアーキテクチャの構築

現在、主に研究開発が行われているプローブ情報システムは、自動車の情報を無線通信機器を介して情報センタに集約し、統計等の処理を施すことで交通情報等を生成し、配信するアーキテクチャとなっている。このような情報センタに自動車情報を集約するモデルのプローブ情報システムは、配信する情報の品質レベルをある程度保つ事が容易であり、サービスの提供を広域に展開できるというメリットがある。一方、帯域を含む通信コストや情報センタの処理量から来る規模性の問題が生じる。また、提供されるプローブ情報は情報センタでの処理、および通信基盤を経て自動車に届くため、情報の即時的な活用には不向きである。

3. 個人情報保護・プライバシー

プローブ情報システムは、汎用的な情報通信基盤を用い、個々の自動車の位置や時刻と共に自動車の情報を収集するため、情報提供者の活動履歴や個人情報の漏洩を保護するためには、適切なシステム構築と運用が不可欠である。渋滞情報等の生成・提供を行うプローブ情報システムでは、自動車の情報に統計的な処理を施すため、個々の識別は必ずしも必要としていない。しかし、通信の段階では何らかの認証が行われているため、こうした情報とプローブ情報が紐付けされて用いられることは望ましくない。また、自動車の存在位置や時刻、および通信内容の漏洩から情報提供者が推測されることも避ける必要がある。

4. 事業者間の情報交換・情報共有インターフェイス

プローブ情報システムにおいて、情報の二次利用、三次利用を促進したり、情報提供エリア

の補完を行うなどの実現をするためには、プロバイダとなる事業者間での情報交換・情報共有が必要となる。事業者間の情報交換や情報共有に関する統一したインターフェイスが整備されることで、これらを促進することが可能となる。

5. 情報提供インターフェイスの統一 事業者によって生成されたプローブ情報の利用促進を図るためには、様々な価値ある情報を、利用者はニーズに沿った形で受信できることが求められる。用いる機器や環境に依存しない統一したインターフェイスが整備されることで、対応機器やアプリケーションの研究開発が容易になり、普及展開が期待される。

本研究では、このような課題の中から、自動車情報基盤として必要な機能を考慮した上で1から3までの課題に研究対象を絞り、これらを解決する為の3つの技術基盤を定義する。4と5の課題については、本研究が構築する自動車情報基盤の上で、策定されるべき規格であるため、研究のスコップから除外した。前節で定義した自動車情報基盤アーキテクチャ実現のためには、上記の課題に対応する以下の3つの技術基盤を備えることが要件となる。

- 自動車情報インターフェイス基盤
- プローブ情報生成基盤
- プライバシ保護基盤

2.5 自動車情報基盤を構成する技術基盤

本節では、前節で挙げた自動車情報インターフェイス基盤、プローブ情報生成基盤、プライバシー保護基盤の3つの技術基盤について詳述する。

2.5.1 自動車情報インターフェイス基盤

インターネット上における自動車情報を抽象化することで、統一的な情報の取得を可能とする基盤である。既存のITSでは、情報を交通流として捉えるため、自動車単体が持つ情報の利用は、ほとんど行なわれていない。個々の情報は別個に用意されたセンタによって「交通情報」に加工された状態で定期的に提供されている。利用者が情報の粒度や精度、即時性を選択できる事は少なく、十分とは言えない。また、路側機器や他の交通システムに依存しないプローブ情報システムでも、データの互換性が無く、一つの端末で複数のサービスを選択する事ができなければその利便性を損ねる。それぞれのシステムが情報を相互に利用できれば、より広範囲に、ニーズに即した精度の情報を提供できる。自動車との間に独自の方法で情報交換を行なうシステムを構築してしまうと、そのシステムは閉鎖系となってしまう、内部の情報を利用する事が不可能となる。また、同一の機能を持つものを複数種設置するのは、コスト的に非効率である。その意味では、各事業主体の情報サービスでは、交通情報以外のサービスは商品の差別化の為の付加価値として行なわれている。自動車の情報化において重要なのは情報のプラットフォームメディアの確立が重要である。情報の互換性を早急に確立する必要がある、その市場の上でのシステムの発展が望まれる。自動車や道路周辺の持つ情報は、交通以外の分野にもあらゆる方向へ応用が可能であり、収集・加工によって多様な価値ある情報を生成できる。しかし、現状では、その可能性を破棄してしまう。他の車両や事業者等が相互に自動車の持つ情報を自由に共有・加工し、ニーズに合わせて利用していく事は難しい。将来的な構想については、システム自体の方向性が多岐に渡っているため規

格の標準化が問題となる。共通基盤上にシステムが構築されなければ、情報の共有が不可能となる。交通情報提供システムが複数存在するだけでは自動車の情報化は達成されたとはいえない。

そこで本論文では、自動車とインターネットを接続し、実空間における車両をデジタル情報として表現・抽象化することで、車両毎の差異や保有する情報精度等のばらつきを吸収し、統一したインターフェイスによる情報の取り扱いを実現するモデルを採用する。特に、自動車の持つ情報については、統一した規格として定義し、その標準化を行う。

2.5.2 プローブ情報生成基盤

自動車の情報を取得、および集約することで、プローブ情報を実際に生成することを可能とする基盤である。具体的には、自動車の情報を無線通信機器を介して情報センタに集約し、統計等の処理を施すことで交通情報等を生成するシステムにおいて、個々の自動車が持つ情報を取得することを可能とする機能を有する。情報センタに情報を集約するモデルは、配信する情報の品質レベルをある程度保つ事が容易であり、サービスを広域に展開できるというメリットがあり、このような現在のプローブ情報システムの主流である。一方、このような情報集約モデルでは、情報集約箇所である probe aggregator が自動車から常に情報を受信し続ける事となり、情報集約箇所の処理量が規模性の上でのボトルネックとなる問題がある。全世界の自動車保有台数は約 9 億台であり、その内日本は 7500 万台もの自動車を有している。自動車情報の発生量を試算したところ、首都高速都心環状線 (C1) が全線渋滞した場合、車両位置と時刻、および車両速度等の最小の情報セットを用いた場合でもおよそ 40Mbps 程のデータが発生すると考えられ、一定間隔頃に押し寄せてくるデータを逐一処理して有用な情報を生成するためのスキームが必要となる。また、自動車は保持する情報の質や精度に関わらず情報を発信することになり、用いる通信機器によっては通信コストや路側通信機器への負荷が大きいという問題も生じる。

そこで本論文では、プローブ情報生成基盤として情報センタに依存せず、車車間通信を基盤としたプローブ情報システムの構築が可能となる機能を持たせる。これにより、自動車は周囲の車両群と車車間通信技術を活用して協調し、保持する情報の質や精度を高めることが可能となる。また、ある一定の閾値を超えた情報を発信するようなアルゴリズムを用いることで、プローブ情報システムの根本的な規模性を解決することが可能である。さらに、車-車間通信技術を活用することで、情報の即時的な活用や、電波不感地帯の情報取得、および同地帯への情報伝達を実現することも可能である。

2.5.3 プライバシ保護基盤

自動車の情報について、情報発信者の個人情報やプライバシーを保護する基盤である。この基盤は技術的解決と運用的解決の双方から構成され、プローブ情報システムにおける個人情報に関する脅威分析に基づいた運用規範の策定と、情報発信者のプライバシーを保護した上で適切な情報収集が可能となるプローブ情報収集機構から構成される。プローブ情報システムにおいて、情報発信者のプライバシー保護の観点では、プローブデータの収集は、情報発信者の特定ができないように匿名で、かつ発信情報間の依存関係が無い状態で行われることが望ましい。一方、情報収集者の観点では、収集される情報の中から、悪意ある第三者による虚偽報告等のシステムへの攻撃を排除できる必要がある。また、旅行時間の計測等には、道路を交差点から交差点までの方向別に区切った切片である道路リンク毎の所要時間が算出できる必要がある。しかし、プローブデータ

に依存関係が無い状態では、このような一定期間の依存関係を必要とするプローブ情報が生成できない。

そこで本論文では、プローブ情報システムにおける情報発信者のプライバシーの保護を実現した上で連続したプローブ情報の収集を目的とし、プローブ情報システムに求められる部分的に連続性を持った匿名による情報収集を可能とする認証方式を、自動車情報基盤の機能として保持する。ここでの連続性とは、ある情報群について同一の情報発信者から発信されたものであることが担保されている特性を示す。

2.6 本章のまとめ

本章では、自動車の持つ多様な情報を道路交通やそれ以外の新たな情報システムで利用するための情報基盤である自動車情報基盤アーキテクチャの提案を行った。まず、自動車の持つセンサデータを収集し、価値ある情報を生成し、利用者へ提供を行うプローブ情報システムについて、情報の集約に関する考察を行い、プローブ情報システムの持つ特徴を整理した。次に、既存 ITS における情報システムのアーキテクチャをモデル化し、考察を行った。既存 ITS のアーキテクチャは、情報を取得するための車載機、収集・集約を行う通信路を含んだ収集箇所 (情報センタ) が 1 つのパッケージとなっており、車載機は目的にそってあらかじめ決められたスキームに沿った情報取得と発信を行い、情報センタでは前提となるスキームに基づく処理アルゴリズムを施すことで情報を生成している。そのため、情報の二次利用や共有が非常に困難であり、収集主体が意図した以外の用途に自動車の情報を活用することが出来ない。また、インターネット ITS におけるアーキテクチャをモデル化し、考察を行った。情報の収集・集約にオープンプラットフォームであるインターネットを活用するインターネット ITS では、情報の二次利用や共有については専用基盤を前提としているアーキテクチャに比べて有利であるが、多様なセンサ情報を扱うためのスキームの確立や、情報センタ間のポリシーやアルゴリズムの差異による連携の障害、さらには収集された情報に関する個人情報保護やプライバシーに関する課題が挙げられる。

これらの考察を受け、本研究ではオープンなデジタルデータプラットフォームのモデル化を行い、実空間の状況や環境をセンシングしてデジタルデータに変換し、価値ある情報を生成するためのデジタルデータを活用するプラットフォームの提案を行った。その後、こうしたオープンなデジタルデータプラットフォームの実現形態として、自動車を「動くセンサ」として捉え、自動車がセンシングする実空間データを活用し、様々なプローブ情報システムを横断的に構築することができるデジタル情報基盤として、自動車情報基盤アーキテクチャの提案を行った。同時に、アーキテクチャの実現に向けた課題を挙げ、本研究の対象とする 3 つの要件を整理した。その結果、提案する自動車情報基盤アーキテクチャの要件を満たすための技術基盤として「自動車情報インターフェイス基盤」「プローブ情報生成基盤」「プライバシー保護基盤」を定義した。

第3章 プローブ情報システムの現状

本章では、ITS におけるテレマティクスサービスや現状のプローブ情報システムについて、自動車情報の抽象化や取り扱い方について解析し、その問題点を指摘する。

3.1 ITS の概念

自動車の情報化、道路交通に関する総合的な情報通信システムの構築は、交通渋滞の低減、交通事故の抑止、輸送の効率化、環境公害への対応などの道路交通問題の根本的な解決手段となる。現在、その実現の手段として Intelligent Transport Systems(ITS) が提唱され、情報によって人と車と道路の一体的なシステムの構築を目指している。ITS は、交通渋滞や交通事故、騒音などのあらゆる交通問題の解決に適応可能なプラットフォームとなる可能性を秘めている。また同時に、自動車・情報通信関連産業の市場の拡大と、新たな社会基盤の実現の一翼を担うと期待されている。ITS の開発分野および利用者サービスは、ナビゲーションの高度化、自動料金収受システム、安全運転支援などの9つの開発分野から構成され、この分野毎に利用者を設定し、各利用者のニーズ及びそのニーズが発生する状態を考慮し、日本では21項目の利用者サービスを設定している。国内における、ITS の開発分野及び利用者サービスをまとめたものを、図 3.1 に示す。また、日本の ITS の展開は、その普及段階に応じて4つのフェーズを想定している。

第一フェーズ (2000 年頃)

「ナビゲーションシステムなどの一部先行サービス開始」

- 道路交通情報通信システム VICS による交通関連情報の提供
- 自動料金収受システムによる料金所での渋滞の解消及び利便性向上

第二フェーズ (2005 年頃)

「各種利用者サービスの開始」

- ITS 利用サービスの順次導入
 - － 目的地に関するサービス情報、公共交通情報等の情報充実
 - － 一連の移動において目的地、最適経路、交通機関の選択等を総合的にサポート
- ドライバーの安全運転支援・歩行の安全性向上による交通事故の減少
- 交通事故への迅速な対応
- 公共交通機関の定時制確保とサービスの拡大による利便性の向上
- 輸送事業の業務等の効率化

第三フェーズ (2010 年頃)

「ITS の高度化と社会制度の整備」



図 3.1: ITS 開発分野及び利用者サービス

- インフラストラクチャ・車載機器等の普及
- 法的・社会的制度の整備
- 自動運転の実現

第四フェーズ (2010 年以降)

「ITS の熟成」

- ITS システムの概成
- 光ファイバ網の全国整備による高度情報通信社会の本格的到来
- 自動運転の普及
- 交通問題の解決・緩和による円滑および安全な移動と、環境との調和の達成

3.2 自動車情報を扱う日本の ITS 事例

本節では、自動車情報を扱う日本の ITS について詳述する。

3.2.1 道路交通情報通信システム VICS

Vehicle Information and Communication System(VICS)[12][13] は、旅行時間を主体とする交通情報を車載装置によってリアルタイムにドライバーへ提供するシステムである。最適な経路選択の支援により交通流を分散し、全体としても効率の良い交通をもたらす事を目的としている。世界でも初めての本格的な ITS の実現例として、1996 年 4 月よりサービスが開始されている。VICS の機能は「情報収集」「情報処理・編集」「情報提供」「情報活用」の 4 つに分類される。「情報収集」は、都道府県警察、高速道路公団 (JH) 等の道路交通管理者が収集する情報を、日本道路交通情報センターを経由して提供を受け、これを利用する。「情報提供」には 3 種類の通信機器を用いる。電波ビーコンは道路管理者により高速道に、光ビーコンは公安委員会により設置される。FM 多重放送は放送事業者が設置したものを用いる。「情報活用」は、車載機器で用いられる。文字による情報表示 (レベル 1)、簡易図形表示 (レベル 2)、ナビゲーション装置との連携による地図表示 (レベル 3) などがあり、各メーカーにより独自のデザインが用いられる。VICS のシステム構成を図 3.2 に示す。

また、Advanced Traffic Information Service(ATIS) は、VICS と同じ情報ソースを用いた情報サービスを行なうシステムである。VICS との最大の違いは、サービス主体の ATIS が民間企業であり、情報提供の対価として利用者からサービス料を徴収する点である。情報提供メディアは、VICS が官整備による無料の配信網と違い、課金システムが整備されたものを利用している。有線系ではパソコン通信やダイヤル Q2、無線系では携帯電話などがそれである。ATIS では企業ユーザに対してもサービスを提供している。テレビによる道路交通情報もその一つである。ITGS 等の情報サービスは、ATIS の業務代行サービスと位置付けられている。このように ATIS の情報を加工・再販するコンテンツも展開されている。

VICS では専用の感知器を用いて道路状況の取得を行っている。基本的には、自動車との直接的な通信を行う機器ではないが、一部には同等の性能を有するものもあり、VICS 情報の生成に利用している。表 3.1 に車両情報を取得する感知器を挙げる。画像型車両感知器は、右左折車両の待ち時間を取得するし、交通状況の正確な把握に利用している。AVI 端末装置は、区間旅行時

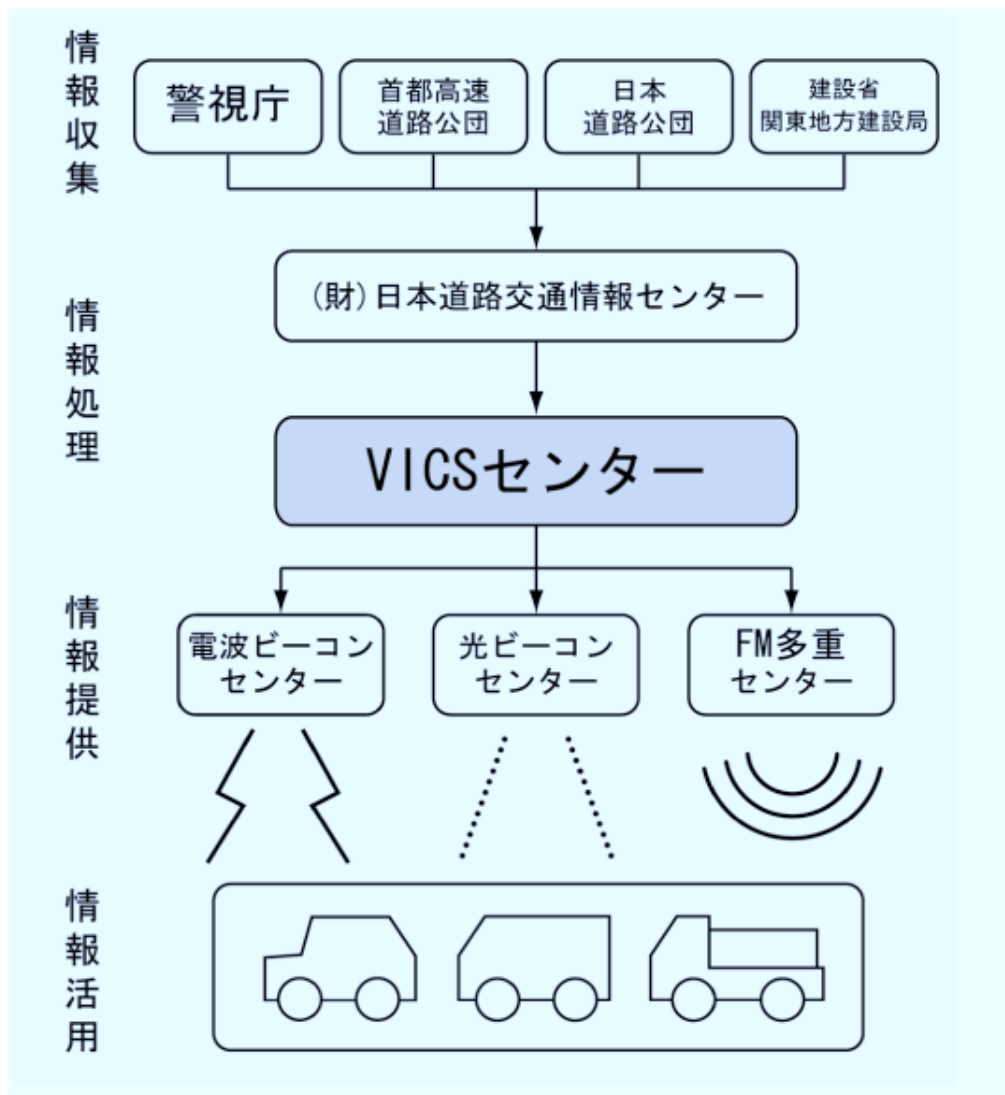


図 3.2: VICS のシステム構成

間の算出のために、起点と終点において車両の通過時刻をナンバープレートとの組で計測している。光学式車両感知器は、実際に車両に搭載されている VICS ナビゲーション機器と通信を行う事で、速度や通過時刻の他に車両 ID や目的地についての情報取得を行っている。

表 3.1: 車両情報を取得する感知器

種類	機能
画像型車両感知器	画像解析により車両存在情報(車両台数, 車両占有時間)を計測する。複数レーンの計測や車両の進行方向を計測することも可能。
AVI 端末装置	車両のナンバープレートを読み取る装置。起点, 終点に設置する事で車両の区間旅行時間を算出する。
光学式車両感知器	近赤外線通信装置が搭載された車両との双方向通信により, 車両存在情報や速度の他, 車両 ID や目的地を収集する。これと通過時刻, 設置位置情報を組み合わせる事で, 効率的な運行管理などの実現を支援する。

3.2.2 新交通管理システム Universal Traffic Management System(UTMS)

UTMS は、交通管理システムの高度化を図り、ITS の核として構築しようとする構想である。UTMS は以下の 6 つのサブシステムにより構成されている。

高度交通管理システム ITCS

ITCS¹ は、光センサ(ビーコン)による双方向通信、画像感知機等の情報収集のためのセンサの高度化、収集された情報の効率的な活用によって、交通管制システムの高度化を実現する。信号制御の自動最適化、交通情報提供等を目指し、UTMS の核となるシステムである。

高度交通提供システム AMIS

AMIS² ドライバに対して渋滞、事故、工事、所要時間などを提供する事で、交通流の自立的な分散、渋滞の解消、心理状態の改善等を図る事を目的としたシステムである。

動的経路誘導システム DRGS

DRGS³ は、ドライバに対して最適な経路誘導を行ない、交通流の分散を図って渋滞の解消に役立てるシステムである。

公共車両優先システム PTPS

PTPS⁴ は、バスなどの公共交通機関に対し、レーン確保、優先信号制御を行ない利用率・利便性の向上を図り、交通需要の抑制を目指すシステム。また、公共車両の優先通行の確保する事も行なう。

¹ Integrated Traffic Control System

² Advanced Mobile Information System

³ Dynamic Route Guidance System

⁴ Public Transportation Priority System

車両運行管理システム MOCS

MOCS⁵ は、車両、インフラストラクチャとの情報交換により、車両動態の把握等、業務用車両の効率運用を支援するシステムである。

交通公害低減システム EPMS

EPMS⁶ は、大気汚染状況、交通量の現状等を把握し、車種・目的地等に応じた経路誘導を行ない、公害低減を図るシステムである。

3.2.3 自動料金収受システム (ETC)

Electronic Toll Collection(ETC)[14] は、車両のダッシュボード上などに設置する無線車載機と、IC カードリーダー、料金所に設置される路側アンテナにより、車載機と ETC 装置が無線通信を行なう。高速道路などの料金所での一時停止をする事なく料金の徴収を可能にする。ETC 装置による車両情報は、課金に必要な情報のみが扱われている。ETC の汎用化のための短距離・双方向移動通信システムが狭域通信 (Dedicated Short Range Communication:DSRC)[15] である。路車間通信を対象としたもので、現在までに光と電波を用いる方式が開発されている。通信可能な範囲は数 m から数 100m である。

3.2.4 走行支援道路システム (AHS)

Advanced Cruise-Assist Highway System(AHS)[16][17][18][19] は、スマートウェイの一貫として運転中に人間が行なう状況判断や自動車の機能を、道路インフラと情報通信システムが協調して支援するシステムである。例えば、道路に沿って設置されたセンサによって障害物が検知された場合に、無線通信によって車両へ警告を出したり、運動制御を行なうなどがそれである。AHS は ITS の技術的に最も高度なシステムである。構想としては三段階のシステムを設定している。それぞれは以下のような分類がなされている。

AHS-i

運転者の情報収集の一部をシステムがサポートするもの。発見の遅れによる事故を未然に防ぐための渋滞末尾警告や道路上の前方障害警告、路面凍結情報の提供などが挙げられる。

AHS-c

運転者の情報収集に加えて運転制御の一部をシステムがサポートするもの。判断の誤りや操作上の誤り、運転技能の補助などを目的とする。車線逸脱の防止や衝突防止機構などが挙げられる。

AHS-a

情報収集と運転制御の全てをシステムが行ない、安全走行の責任までシステムが負うもの。完全自動運転の実現を目的とする。

⁵ Mobile Operation Control System

⁶ Environment Protection Management System

3.2.5 先進安全自動車 (ASV)

Advanced Safety Vehicle(ASV)[20][21][22][23][24][25] は、自動車の安全性向上のためのインテリジェント化を目的とした運輸省 (現国土交通省) によるプロジェクトである。1991 年度よりはじまり、第 1 期が 1995 年に、第 2 期が 2000 年度に終り、現在は 2006 年度からの第 4 期が進行中である。これまでに車間距離自動維持運転システムや、居眠り警報システム、タイヤ空気圧警報システムなどが実用化されており、第 3 期におけるこれらの統合システムの研究開発を経て、第 4 期である現在は普及展開と実社会における安全性向上を目指している。なお、前述の AHS との連携による走行支援システムの実現が現在は研究されており、路側で取得された情報を運転補助、制御システムにリアルタイム提供することで、飛躍的な安全性の向上を目指している。

3.3 欧州の ITS の事例

欧州での ITS は、TELEMATIC などによる基礎研究、共同開発を経て、各国の用途や必要性に応じたシステムの開発・実用化およびその展開の段階を迎えている。また、欧州標準化委員会である CEN において、積極的な標準化を行なっている。その推進は、官民連帯組織である ERTICO(ITS Europe) を中心に行なわれており、Transport-Telematics Applications Program(T-TAP) と呼ばれるプロジェクトにより、9 つの研究開発分野において ITS の推進をはかっている。以下に T-TAP における主要開発分野を挙げる。

- 旅行者の公共交通機関とのインターモーダル
- 貨物運行管理
- 道路交通
- 航空交通
- 鉄道交通
- 水上交通
- 横断分野の活動
- インフラストラクチャとの共通サービス
- EU 政策への貢献

アーキテクチャに関しては、KAREN による欧州の ITS システムアーキテクチャが完成した。今後は、その普及と継続したメンテナンス活動、相互参照による利用が期待される。ITS 基盤技術としては、欧州での GPS にあたる Galileo の整備が挙げられる。2000 年初頭における投資規模は 6000 億円といわれていたが、そのシステム構築までにはおよそ 2 兆 2000 億円が必要とされており、欧州にとどまらないグローバルな視野が必要となっている。以下に T-TAP などの欧州の代表的なシステムを挙げる。

3.3.1 UDC

Urban Drive Control(UDC) は、路側のビーコンから 5.8GHZ のマイクロ波で送信される情報を用いて車両の各種制御を行う。制御内容は Adaptive Cruise Control(ACC)、渋滞時の自動追従速度制御、交通信号による停止などである。自動追従に関しては、INRIA の platooning でもレンタカーの回収時を想定した編隊走行実験などが行なわれ、実用化が検討されている。

3.3.2 ISA

Intelligent Speed Adaptation(ISA) は、冬季の滑りやすい道路状況をドライバーに伝達し、スピードを落とすように促すシステムであり、日本の AHS に当たるシステムである。現在はスウェーデンの 4 都市での実証実験をはじめ、路面情報や地図情報を基にした外部からのスピードリミッター作動など、より高度な制御に関する研究が進められている。実際には、速度規制標識に連動し、路側のビーコンから 5.8GHZ のマイクロ波で送信される速度制限信号により、スロットルの開度制御、アクセルペダルに対する反力制御を組み合わせることで制御される。

3.4 米国の ITS の事例

米国でも、1993 年度以降は毎年約 240 億円を越える規模の予算で積極的な ITS の推進を行っている。その活動の中心は、連邦運輸省 (DoT) と、その公式諮問委員会である ITS America が行っており、官民 1200 以上の組織で構成されている。技術的な開発では、Intelligent Vehicle Initiative(IVI) の開発対象が決まり、具体的な開発が行なわれ、実証実験などが行なわれている。民間企業による AMIC(Automotive Multimedia Interface Collaboration) などで IDB(ITS Data Bus) について意見交換がなされている。アーキテクチャについては、1998 年から始まった TEA-21(Transportation Equity Act for the 21st Century) では、予算を開発等に使用する場合、ナショナルアーキテクチャの適用を義務付ける等、法的な面からも普及を促進している。また、ITS America もナショナルアーキテクチャの普及のための活動に力を入れている。

3.4.1 IVI

Intelligent Vehicle Initiative(IVI) は、先進車両技術の大規模運用試験を行うために、1997 年より米連邦政府が予算の半分を負担して行われる官民共同のプロジェクトである。この中で研究開発や試験運用が行なわれている Advanced Cruise Control(ACC) の例を挙げる。

安定性警報装置 車両転覆事故を防ぐシステム

トラック用制御システム 死角警報装置等と連動するトラック用の電子ブレーキ

注意情報提供 路面インフラからの注意情報提供

凍結路面走行支援 除雪車両の横方向制御や、凍結路面での追突防止システム

3.4.2 E911

Enhanced911(E911)は、携帯電話からの緊急通報を統合的に取り扱うシステムである。緊急通報番号の統一と、通信事業者への緊急通報発信位置の特定のためにインフラの他に、GPS装置の利用も提唱されている。これにより、事故や故障などの発生時に迅速なサービス提供が実現される。

3.4.3 VII

VII(Vehicle Infrastructure Integration)[26][27]は、米国の5GHz帯狭域無線を用いたITSの通信とサービスや、それに係る米国のプロジェクトの総称である。米国のDoTが主導的な立場でプロジェクト導入を牽引しており、官民共同での様々な研究開発が進んでいる。主要道路に敷設される路側通信機器、および車載機器を活用したプローブ情報システムの構築や、緊急車両の接近通知、信号機との連携等のアプリケーションが予定されており、米国におけるITSの共通プラットフォームとして期待されている。

3.5 欧米の総合情報サービス

欧米における自動車の情報化および総合情報サービスの特徴を以下に示す。

ナビゲーションサービスの遅れ

欧米ではナビゲーションシステムとの連携サービスは日本ほど重要視されていない。これは技術的な側面ではなく、利用者ニーズが伴わない事が原因である。日本のような特定都市に人口が集中し、入り組んだ道路網に過剰な交通流がある環境においてはナビゲーションシステムは有効である。しかし特定の路線で特定の時間帯にしか渋滞が発生せず、道路網が複雑でない環境では、ナビゲーションそのものの必要性が薄い。

付加価値サービスの充実

日本に比べ、各自動車メーカーの差別化戦略として携帯電話を利用したサービスの高度化が図られ、コンテンツが充実している。また、安全性に対するサービス提供が行なわれている。例としては、エア・バックの作動をトリガーとして事故の発生をシステムが検知し、自動でサービスセンターに通報するサービスがある。

欧米における総合情報サービスの事例を表3.2に示す。

3.6 プローブ情報システムの事例

これまでに挙げた路車協調を主体としたシステムとは異なり、自動車の持つ情報を通信網を活用して収集することを前提としたプローブ情報システムの事例を以下に挙げる。

表 3.2: 欧米における総合情報サービスの事例

	米国		欧州
	On-Star	RESCUE	PASSO(GATS)
サービス提供主体	GM	Ford	Mannesman Autocom
サービスメニュー	・エアバック作動の自動通報・エマージェンシーサービス・車両故障支援サービス・盗難車両探索サービス・ドアロック解除サービス・ルートガイダンス・コンビニエンスサービス（ホテル、レストランガイド）	・エマージェンシーサービス（エアバック作業の自動通報，緊急時支援サービス）・車両故障支援サービス・ルートガイダンス	・エマージェンシーサービス・車両故障支援サービス・盗難車両探索サービス・ルートガイダンス（フローティング・カー・データ・コレクションによる予測も含む）・一般情報提供サービス（ホテル，レストランガイド）

3.6.1 internavi Premium Club

internavi Premium Club[28] とは，本田技研工業（株）が行なっているテレマティクスサービスである．携帯電話で通信することにより，車両が交通情報や店舗情報を取得できるほか，メンテナンス情報の表示なども行なえる．internavi Premium Club は，サービスと契約している車両から internavi リンクという区分けをされた道路番号とその道路の旅行時間を集約し，それを基に情報を生成，提供している．車両情報のアップロードは，ドライバーが情報をダウンロードする際のリクエストパケットに付随する形で行われる．そのため，情報の受信と送信のバランスが一定に保たれるというメリットがある．ただし，受信操作を行うまで情報送信が行われないため，道路情報の即時性が失われる．また，通常情報の受信は走行前に行われる場合が多く，その段階では送信する情報が蓄積していない場合が多い．情報の送受信の回数のバランスは保たれるが，情報の総量バランスは保たれているとはいいがたい．そのため，情報の即時性を求めない統計的処理には適していると思われるが，リアルタイムな情報配信というサービスにはあまり適さない．

3.6.2 CARWINGS

CARWINGS とは，日産自動車（株）が行なっているテレマティクスサービスである．internavi Premium Club と同じく，携帯電話を利用して，オペレータと通話したり対応カーナビゲーションを操作することで渋滞情報や店舗情報などが取得できる．また，ナビゲーションの情報を利用して自車位置をメールで送信することができる．CARWINGS においても，internavi Premium Club と同じく，会員の車両から収集した車両情報を用いて，道路情報の生成を行っている．収集している情報は，速度情報と緯度・経度で，車内には送信前 2 時間の情報が保存されている．情報の送信が行われると，車内に保持されていたデータは消去される．車両からサーバへの情報送信は，経路探索や交通情報取得の際に行われる．そのため，即時性に関しては internavi Premium Club と同様のことが言える．

3.6.3 G-BOOK/G-BOOK mx

G-BOOKとは、トヨタ自動車(株)が行なっているサービスで、携帯電話または専用通信機器を用いて情報の送受信を行なう。車を利用していない時でも、携帯電話やパソコンを用いてサービスの利用が可能である。店舗情報や自車位置を利用したさまざまなサービスも可能である。G-BOOKのサービスを利用するためには、G-BOOK に対応したカーナビゲーションと専用機器が必要である。現在車両の情報として利用されているのは、位置情報・アラーム情報(不意のエンジン始動や鍵のこじ開け検知)のみであり、それ以外の情報は利用できない。

また、G-BOOK を基礎として、internavi Premium Club と同様に走行する自動車の情報を収集してリアルタイム渋滞情報を作成する G-BOOK mx というサービスも開始された。これには通信手段に携帯電話だけでなく、トヨタ自動車の自動車専用通信端末である DCM を活用したものもあり、他のサービスに比べて高頻度での情報発信を実現している。その一方、交通情報は道路リンク毎に特定の形で保持されており、G-BOOK 以外への汎用性は低いと言える。

3.6.4 FCD

Floating Car Data(FCD)[6] は、自動車自身が GSM 電話で速度と位置情報を情報処理センタに送る事で渋滞情報を生成するシステムである。研究開発はドイツで行われ、アウトバーンによる実証実験を経て、現在は欧州の代表的な ITS サービスの一つとして実用化されている。欧州では、VICS のような ITS 専用の特別な路側基盤の整備が進んでいない。FCD は、その基盤の補間およびサービス範囲の拡大を目的にし、より精度の高い渋滞情報を生成を目指している。FCD のシステム概要を図 3.3 に示す。

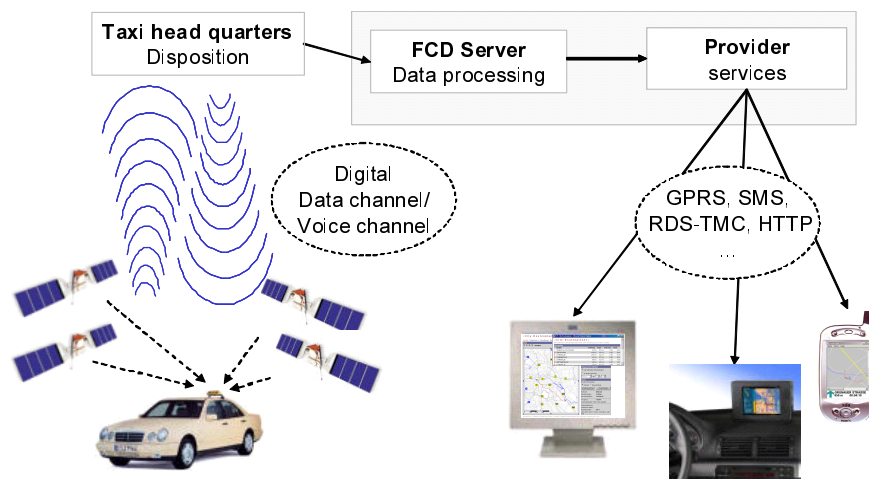


図 3.3: FCD のシステム概要

FCD が扱う情報は、速度情報と位置情報である。自動車内に設置されている車載機内で速度情報を捕捉しており、アルゴリズムにより渋滞を検出すると、その位置と速度をセンタに送る。通信には GSM 電話のショートメッセージを用いている。内部アルゴリズムは公開されていないが、渋滞の段階が数種類用意されており、センタでの処理と併せる事で、道路状況の把握を行っている。FCD は DDG が企業向けにも情報の提供を行っており、他社は DDG から FCD 情報を購入し、自社のサービスの精度向上や補間に役立てることも可能である。

3.6.5 XFCD

Extended Floating Car data[7] は、天気や路面の凍結情報など、扱える情報を拡張した FCD である。現在はまだ研究段階であるが、車載機でのアルゴリズム検討により、より正確な道路状況の把握や、ABS や TCS などの作動状況から、凍結路面の検知を可能にしている。XFCD を構成するシステムの概要を図 3.4 に示す。

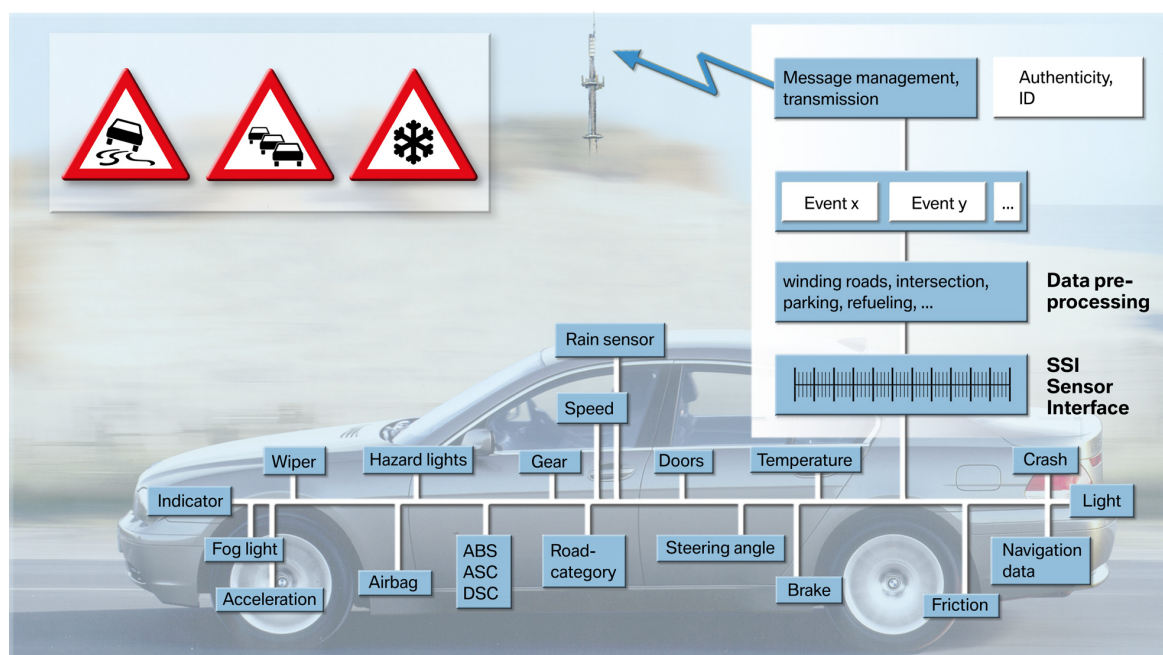


図 3.4: XFCD のシステム概要 (BMW 作成)

一方、通信方法は FCD と不変であり、位置とイベント情報 (渋滞、凍結など) をセンタへ送り、センタで処理をすることで道路状況の把握を行う。

3.6.6 Tegaroon

Tegaroon では、3つの自動車の情報を利用したテレマティクスサービスを実現している。その内容を表 3.3 に示す。TEGARON Help では、連絡時に事故状況と位置を的確に検知する事で、事故に対する対応時間が 50%削減される。TEGARON Info では、ダイヤルするだけで交通情報を取得できる。T-D1 では 15 分間隔で 1 時間継続した情報提供を行い、代替ルートによる時間短縮も提供する。TEGARON Route では、ナビゲーションに FCD 情報を利用する事で情報の質を高めている。

3.6.7 visionaute

visionaute は、動的な交通情報などを提供する総合サービスであり、最短経路、所要時間、道路状況や、周囲のホテルの場所、駐車場の状態などの付帯情報を伴う情報提供を行っている。情

表 3.3: Tegarone のテレマティクスサービス

名前	内容	利用する情報
TEGARON Help	車両事故時に自動的に Tegarone サービスセンタに位置情報を送信し、サービスセンタが緊急サービスを行うシステム	事故検出 車両 ID 車両位置
TEGARON Info	T-D1 または T-C-Tel 携帯電話により位置 (エリア) 情報を送信し、周辺交通情報を入手するシステム	携帯電話セル情報
TEGARON Route	あらかじめ設定した目的地への動的な経路制御	車両位置 FCD

報の収集には主に専用の路側基盤を用いているが、情報の質を高めるために独自の自動車情報取得を行っている。具体的には、約 4000 台のタクシーに専用車載機を搭載し、現在位置と速度について 30 秒間隔で情報をセンタへ送信している。この時、タクシーは既に GPS と管理センタとの間に通信機器を備えているものを選ぶ事で、システム自体のコストを低減している。

3.6.8 SODAD

Segment-oriented data abstraction and dissemination(SODAD)[29] は、車車間通信を活用したプローブ情報の情報散布方式であり、同論文では self-organized traffic system(SOTIS) というアプリケーションを用いて車両間での情報伝達シミュレーションを行い、低い普及率 (2-3 %) でも実用に耐えるという結果を得ている。一方、SODAD は高速道路を前提とし、情報の集約単位は固有の道路セグメントである。一般道路や多様な空間情報 (地図情報) が混在している環境での動作は想定されていない。また、前提とする無線の到達範囲が広いため、狭域無線通信機器には不適である。

3.6.9 SDRP/RMDP

Speed Dependent Random Protocol(SDRP) は、論文 [30] によって提案されている先行経路上の道路情報を伝達する走行速度に依存したランダム送受信プロトコルである。対向車の利用によって後方車両へ効率的に情報を伝達できることがシミュレータによって確認されている。Received Message Dependet Protocol(RMDP) は、論文 [30] によって提案されている方式で、SDRP を改良し、受信メッセージ数に依存した送受信を行う。双方共に低いパケット衝突数が実現されているが、前提とする普及率が 60 % 程度から 90 % 程度となっており、かなり普及段階が進んだ段階で効果を発揮する。また、交換される情報は基本的には重み付けされておらず、情報の質や特性に応じた送受信は実現されていない。

3.7 本章のまとめ

自動車情報を扱う既存事例の中で、自動車情報基盤で取り扱うプローブ情報システムに関係してくる情報を有するものについて整理したものを表 3.4 に示す。各項目の内容は以下の通りである。

取得する自動車情報 サービスに利用している自動車の持つ情報の種類

フォーマット 自動車情報に関するフォーマットの規定

情報共有 他の情報システムとの情報共有の有無

車両情報の保持 車両の持つ情報をそのまま保持しているかどうか

既存の事例において、自動車の情報は主に渋滞状況の把握に用いられている。専用の路側基盤を構築する事無く、自動車の情報によって、サービス範囲の拡大や情報の質の向上が実現するため、非常に有益である。最も社会的受容性の高いプローブ情報システムのサービスといえる。また、現在位置情報を基にした周辺環境情報の提供も有力なサービスであり、利用者のニーズに応じたサービスを実現している。

米国で行われている VII は、渋滞に依らない自動車情報を活用した ITS 基盤として整備が予定されているが、現在のアプリケーション例は信号機や緊急車両との連携、駐車場満空情報の提供等であり、交通情報以外への自動車情報の利活用については未知数である。inter navi に代表される国内の自動車企業が実現しているプローブ情報サービスは、携帯電話等の汎用通信基盤を活用して自動車の情報を収集しており、専用基盤に依存しない情報の収集と提供を実現している。一方、それらの情報の収集は、自動車会社と自動車所有者の間の契約に基づいており、また、それらの利用用途は主に渋滞情報の生成・利用か、もしくは自動車の管理・監視であり、自動車の付加価値を高める事が主眼である。FCD は収集した情報から生成した道路交通情報を他のシステムに提供するサービスを行っている。ITS のほとんどの事例が外部との連携を行っていない中、情報共有による情報の質の向上を行っている例として重要である。FCD では自動車から送信される時点で渋滞状況と位置に変換されているため、他の用途に自動車情報を利用するのは難しい。visionaute も渋滞状況の把握のために車載機を搭載しているが、異なるフォーマットを用いているため、相互の車両情報を利用することは出来ない。Tegaron が visionaute の情報によって情報の質を高めるためには、システム自体を再構築しなければならない。

しかし、全ての事例で自動車の情報はサービスのための情報として扱われている。この状態では、自動車の情報はあらかじめ定められた道路交通にしか利用できず、汎用性が低い。また、同じ目的のために収集される情報も、フォーマットが異なるために情報の共有が難しい。自動車情報基盤は、車両やシステムに依存する事の無い情報収集が可能な基盤を目指す。そのためには、自動車の持つ情報を様々な分野へ利用することを前提にして、自動車の持つ情報を定義していく必要がある。このようにして定義した自動車データ辞書によって、統一したインターフェイスを規定すれば、社会的受容を満たす ITS の基盤となる事ができる。また、その際に生じる問題として、規模性とプライバシーの問題が挙げられる。規模性については、世界中の全ての自動車がプローブ情報システムのための「動くセンサ」となった場合でも、デジタルデータプラットフォーム上の probe aggregator が機能するスキームを構築する必要がある。同時に、自動車は、存在する実空間の状況や環境を取得してデジタルデータに変換するセンサとなるため、所有者や搭乗者の個人情報やプライバシーを検討する必要がある。

表 3.4: 既存事例のまとめ

事例	取得する自動車情報	フォーマット	情報共有	車両情報の保持
VICS	ナンバープレート (車両 ID) 位置 右左折 区間旅行時間 目的地	独自	無し (生成後の情報の ATIS による配布は有り)	無し
E911	車両 ID 位置	独自	無し	無し
VII	位置 速度	独自	有り	無し
inter navi	車両 ID 区間旅行時間	独自	無し	有り (一定期間)
CAR WINGS	車両 ID 位置 速度	独自	無し	有り (一定期間)
G-BOOK/mx	車両 ID 位置 アラーム情報 速度 (mx) 区間旅行時間	独自	無し	有り (一定期間)
FCD	位置 渋滞状況	独自	有り	無し
XFCD	位置 渋滞状況 外気温	独自	有り	無し
Tegaron	車両 ID 位置 事故状況 携帯電話セル情報 FCD	独自	有り (FCD データの利用)	無し
visionaute	位置 速度	独自	無し	無し

第4章 自動車情報インターフェイス基盤

本章では、自動車情報流通基盤が備えるべき機能である自動車情報取得インターフェイス基盤について述べる。まず、デジタル情報基盤上における自動車情報の抽象化について述べる。次に、本研究が提案する自動車情報インターフェイスの統一手法であるデータ辞書モデルについて述べる。その後、自動車情報インターフェイスの標準化活動について述べる。

4.1 抽象化の目的

インターネット上における自動車情報を抽象化する事で、統一的な情報の取得を可能にする。これにより、自動車の持つ情報の容易な利用が実現される。具体的には、自動車とインターネットを接続する事で、それぞれの持つ多様で膨大な情報を共有・利用できる新たな情報通信基盤を構築する。また、自動車の持つ情報を共有可能な自動車情報インターフェイスを制定する。

4.2 自動車情報の抽象化

インターネットを利用した情報通信基盤では、その規模や社会システムの発展に応じ、通信や処理系に対する要求が変化する。利用可能となる技術の導入が容易でなければならない。また、新しいサービスが自由に展開していくためには、システム自体の拡張性が重要である。情報の収集・取得用の通信基盤をサービスごとに構築することは、コストの増大を招く。また、情報をサービスに特化した形で収集すると、設計用途以外への応用が難しい。これは、システム全体の情報化を進める上で非効率的である。これには、従来のような各サービスが自動車とシステム間の通信路に依存したシステムでなく、通信とサービスを独立させたモデルによる抽象化が不可欠である。この概念を図 4.1 に示す。通信とサービスを分離する事で、プローブ情報システムは通信路を意識する事無くシステムを構築する事が可能となる。

4.3 自動車オブジェクトによる統一インターフェイス

自動車の持つ情報を自由に利用・共有するため、情報通信基盤上では、実空間における車両をデジタル情報として表現／抽象化する必要がある。この抽象化により、車両毎の差異や保有する情報の精度などのばらつきを吸収し、統一したインターフェイスでの情報の取扱を実現する。この概念を図 4.2 に示す。インターネット上に車両をデジタルなオブジェクトとして射影する事で、統一的なインターフェイスで取り扱う事が可能となる。

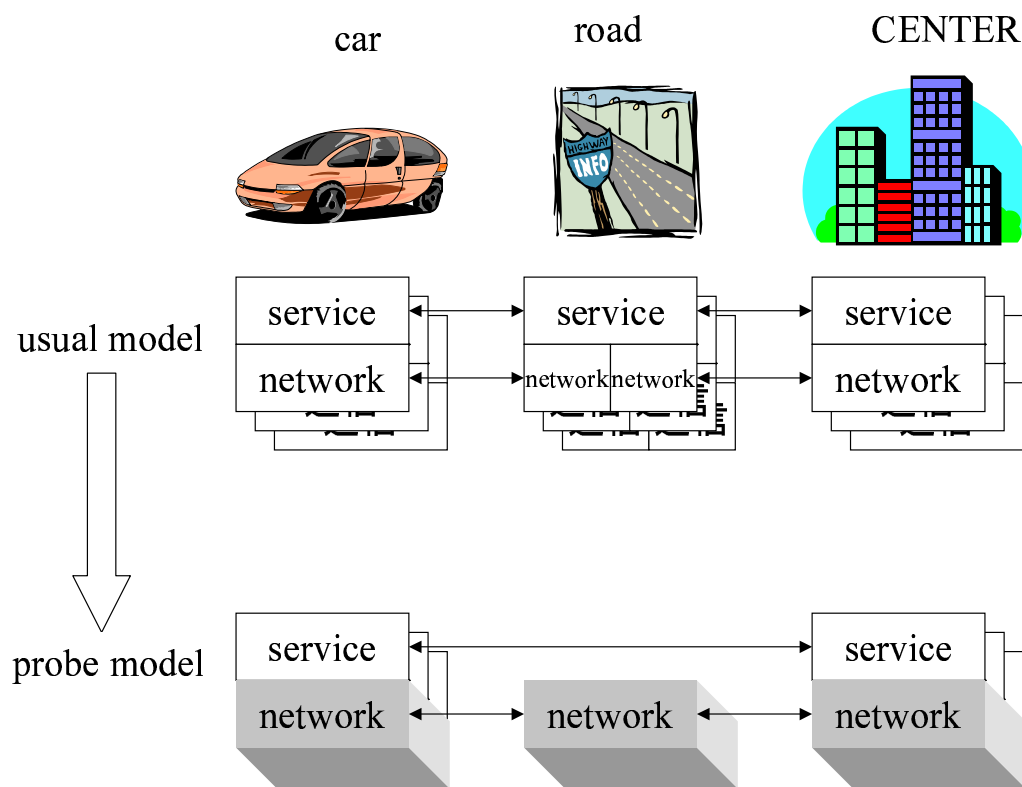


図 4.1: 通信とサービスの分離

4.4 データ辞書モデル

本研究では、自動車情報をデータ辞書モデルとして抽象化した。データ辞書モデルとは、自動車の保持する情報の全てを名前と値の1対1のエントリで示すモデルである。このエントリからなるツリー構造が、インターネット上における自動車を示す。全てのエントリは規格化された定義に基づき表現される。データ辞書モデルの検討と、構造について述べる。

4.4.1 データ辞書モデルの適応箇所検討

プローブ情報システムにおいて、自動車が扱う情報に関する統一したインターフェイスの必要性は高い。しかし、自動車の持つ情報は、車両ごとにセンサの種類や精度にばらつきがあり、その全てを網羅したデータ構成を用意することは難しい。また、車両が持つ情報には車両の性質による特殊な情報や、事業主体に依存した情報も多い。これら全てを規格化することは非常に困難であり、得策でない。全てを網羅したデータ構成を基盤上に用意することは冗長であり、システムの肥大化、コストの増加を招く。また、拡張性の無い規格は、将来的な発展を妨げてしまう。最終的な普及を踏まえたシステムを構築する為には、情報のフローにおいて必要と思われる部分についてのインターフェイスを作成し、それを共通の基礎技術として利用していく必要がある。

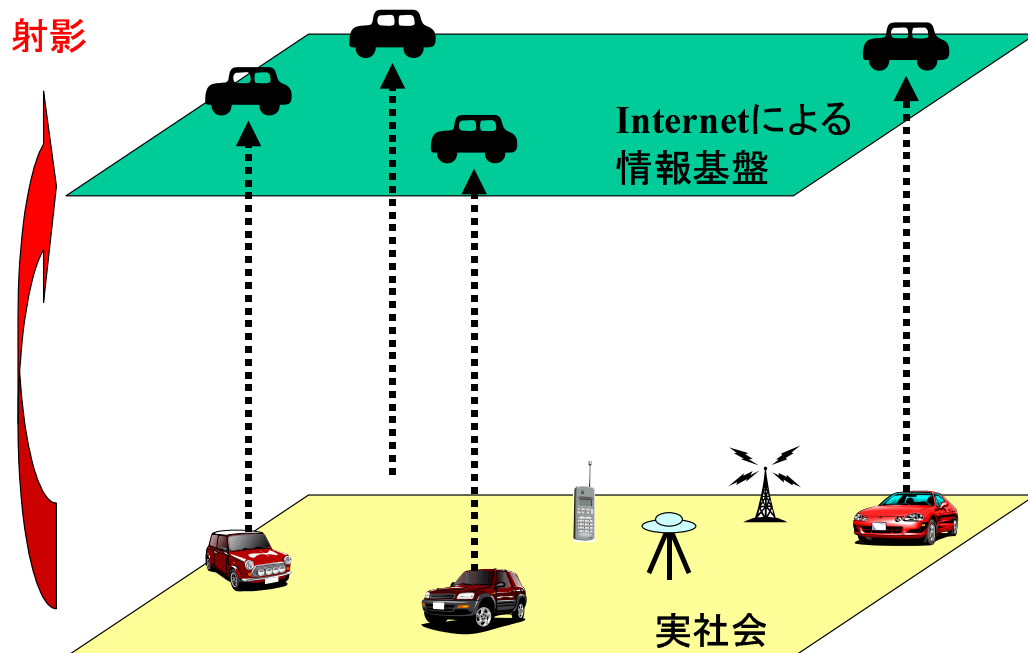


図 4.2: 抽象化の概念

4.4.2 モデルにおける論理構成

規格検討箇所の検討に当たり、まず情報の収集、生成および提供を考慮したアーキテクチャを検討し、プローブ情報システムにおける自動車情報の扱い方を検討した。プローブ情報システムでは、取得された情報が提供情報として利用者へ送信される。この一連の処理の論理構成をモデル化した。この構成を図 4.3 に示す。各ブロックは一つの処理を表している。上から一段目が情報収集系であり、車両データを情報生成系へ送信するまでを担当する。二段目は情報生成系であり、情報収集系から送られた情報を基に、各種補正処理や蓄積、加工を施して新たな情報を生成し、情報提供系へ送信する。三段目は情報生成系から取得した情報を基に、提供するための形式に変換し、利用者へ向けて情報提供を行う。

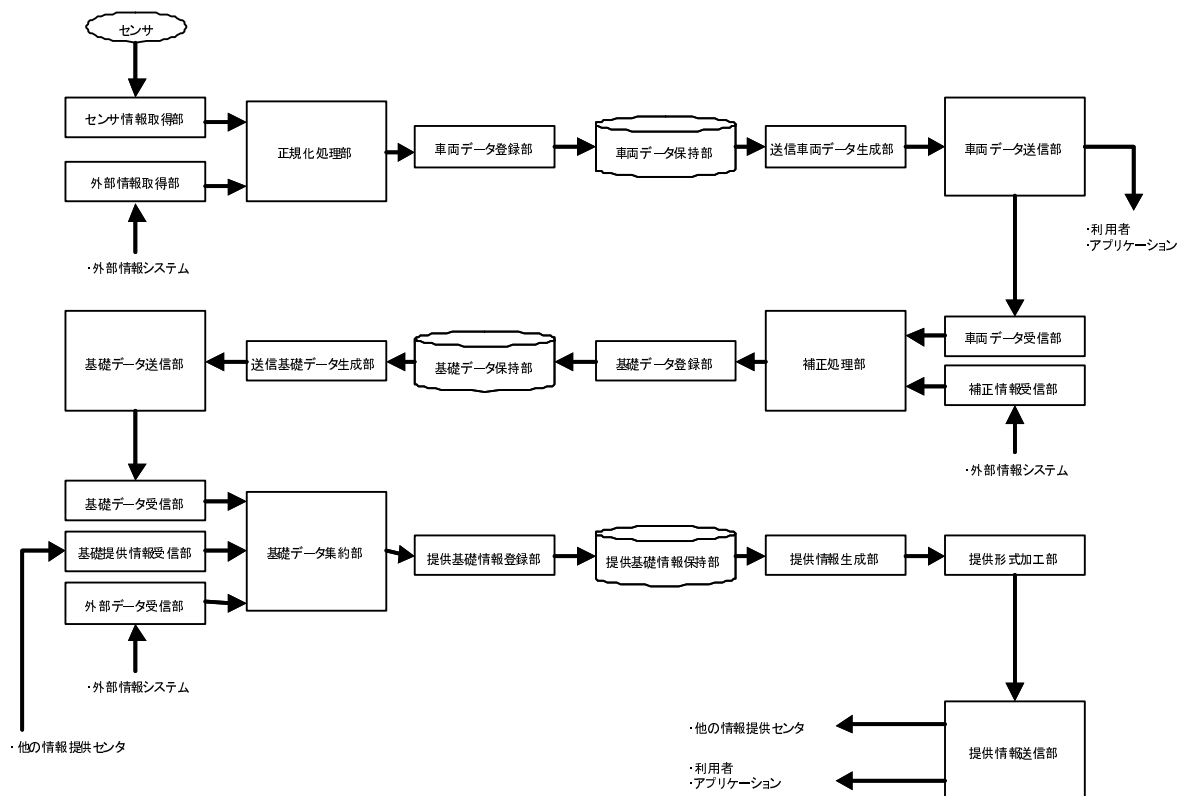


図 4.3: プローブ情報システムの論理構成

4.4.3 モデルにおける物理構成

次に、プローブ情報システムを構築するための物理的な構成要素を検討した。機能ブロックを効率的に配置する事で、個々の物理構成要素間で、インターフェイスを用いた情報の共有や交換が、スムーズに行われるようにする。システムを構成する物理的な構成要素と具備することが望ましい機能を表 4.1 に挙げる。図 4.3 の論理構成に示した機能ブロックは、これら物理的な構成要素の中に存在する。

表 4.1: システムの物理構成要素の名称と具備することが望ましい機能

物理構成要素	具備することが望ましい機能
車両	・ センサ情報の取得を行い、必要な正規化処理を施した上で車両データとして保持する ・ 車両データを基礎データセンタや必要とする利用者へ提供する
基礎データセンタ	・ 車両が持つデータを収集し、基礎データとして保持する ・ 補正情報を外部情報システムから受信し、基礎データの精度を向上する ・ 各種情報センタの要求に応じ、基礎データを提供する
情報提供センタ	・ 複数の車両データや、基礎データセンタ、外部情報システム等からデータを受けとり、提供基礎情報として保持する ・ 提供基礎情報に集約・統計等の処理を行い、道路情報や天気情報等の提供情報を生成する ・ 提供情報を適した形式に加工し、他の情報提供センタや外部情報システム、利用者へ提供する
外部情報システム	・ 車両が取得するセンサの精度を向上させる各種補正情報を提供するシステム ・ 情報サービスを行う既存/新規の情報提供システム
利用者	・ 車両データや提供情報を利用するアプリケーション又はそれを必要とする情報システム

4.4.4 インターフェ이스の規格化基準

ここまでの結果を基に、インターフェースの規格化すべき箇所を検討した。規格化を必要とする基準として、以下の要素を用いた。

データ形式

車両やセンタごとに保持する情報の種類、精度、単位などにばらつきがあると、情報を集約、共有する事が困難である。また、どのような情報があるかをシステム内外に明示する必要がある。標準案の作成によって作成したデータセットを用いる事で、システムの利便性を高める事が可能となる。

物理構成要素の境界線

物理構成要素の境界線では、情報の送受信が行われるため、各種通信プロトコルが必要となる。物理構成要素の境界は、車両-センタ間、センタ-センタ間、センタ-外部情報システム間などが挙げられる。各センタやサービスに依存したプロトコルを用いると、情報の共有や交換が難しい。自由な情報の交換を可能にするためには、通信部分のプロトコルの標準案を作成する事が望ましい。

他システムとの親和性

既存、新規の情報システムと協調動作を実現すれば、システムの車両データと、既存の情報システムの基礎データから、より高精度で利用価値の高い情報の生成が可能となる。また、それぞれが補完しあう事により、データ取得範囲の広域化や、データ自身の細密化、利便性の向上が見込まれる。標準化作業を行っていく上で、これら外部情報システムとの容易な情報交換が実現できれば、システムの価値を高める要因となる。

情報管理プロトコルへの対応

インターネットからの情報収集を考慮すると、システムが扱う情報に対して、Simple Network Management Protocol(SNMP)[32]等の、既存の情報管理システムの利用も検討すべき要素である。SNMPは管理情報の定義に関するフレームワークや、管理情報をやり取りする為のプロトコルである。データ形式を(Management Information Base(MIB)[33]にした場合、インターネットからSNMPを用いて容易に情報取得が可能となる。標準案を作成する場合には、こういった既存の情報管理システムを踏まえ、それらとの対応についても考える必要がある。

4.4.5 規格化箇所の制定

インターフェースの規格化で最も重要な要素は、必要な情報を容易に、統一的に収集することという点である。こうして収集された情報を元にした情報の生成、および利用者への提供は、各サービス主体が独自に行えば良い。情報の提供部分に関しては、ニーズに応じて柔軟に細分化されるべきであり、統一規格による基盤整備の要望は薄い。したがって、情報の収集部分のみの規格化が妥当である。前述した基準と照らし合わせ、物理構成要素におけるデータ保持部と、他システムとの通信が発生する通信部についての規格化が必要である。その結果として、標準化を検討すべき箇所を図4.4に示す(網掛け部分が検討箇所)。

このうち通信プロトコルに関しては、基礎となる部分はインターネットのアーキテクチャを利用する。その上で、扱うデータや利用法によって最適となるものが異なる。通信プロトコルの規格

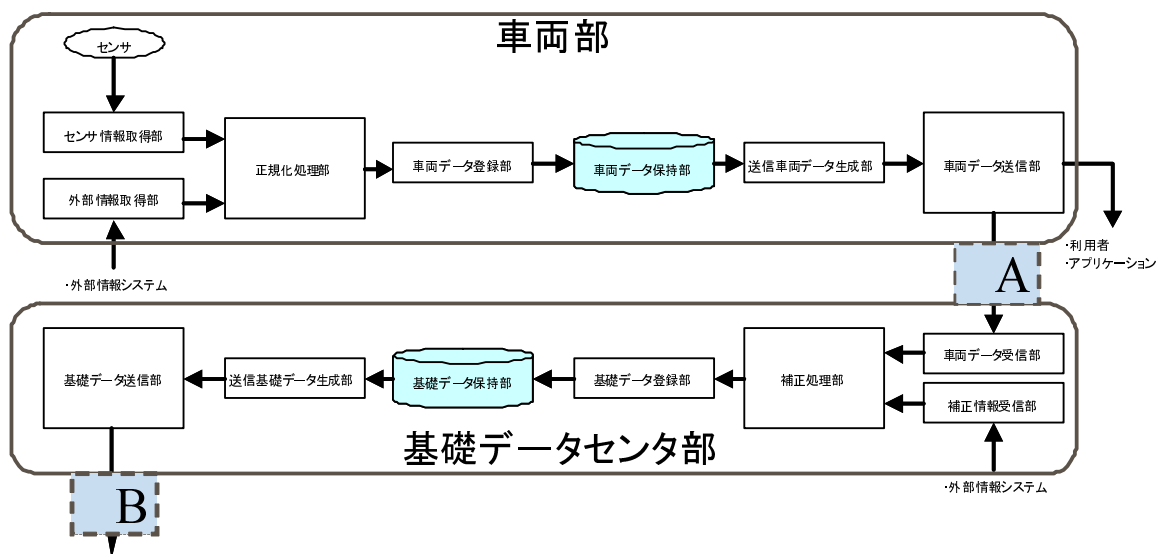


図 4.4: 規格化すべき箇所

化を検討するためには、その通信によって、どのような情報が、どのような目的で取得されるかを明らかにする必要がある。そのため、データの保持部に関してデータ構成を定め、どのような情報がどの部分に存在するかをシステム内外に明らかにする必要がある。したがって、車両データ保持部についてのデータ構成を規格化する箇所として定めた。自動車の持つ情報について統一されたデータ辞書が用意され、車両が持つセンサ取得データがそれに基づいて正規化されて保持されていれば、収集側は容易に情報の取得ができる。自動車の外部のシステムには、車両の情報は全てデータ辞書のインターフェイスを介して発信される。データ辞書にセンサ情報を格納する段階で、単位や精度のばらつきに関する正規化を行なう。正規化の例を図 4.5 に示す。速度を例にとって説明すると、車両は速度に該当する情報として、車速パルス、GPS 検出速度、メータ表示速度など複数を持っている。また、これらは車速パルスにしても車種によって異なる解像度を持っている。これらの情報を、プローブ情報システムとしてもっとも基礎的で扱いやすい名前「速度」をつけ、単位、解像度、精度を統一することで、システムの上での「速度」の指すものが一意に定まる。これによって「速度」を基にした情報生成が、全ての車から実現できる。一度正規化を行なってしまえば、プローブ情報システムにおける情報の基準が明らかとなるため、センタ間の情報交換も容易に実現できる。

4.5 データ辞書構成

プローブ情報システムでは、自動車内にデータ辞書を作成し、外部とのインターフェイスを統一にする事で情報取得を容易にする。このデータ辞書の構成について述べる。

4.5.1 基本設計

前述のように、自動車の持つ情報は車両毎にセンサの種類や精度にばらつきがあり、その全てを網羅したデータ構成を用意することは難しい。一方で、プローブ情報システムは、自動車の持

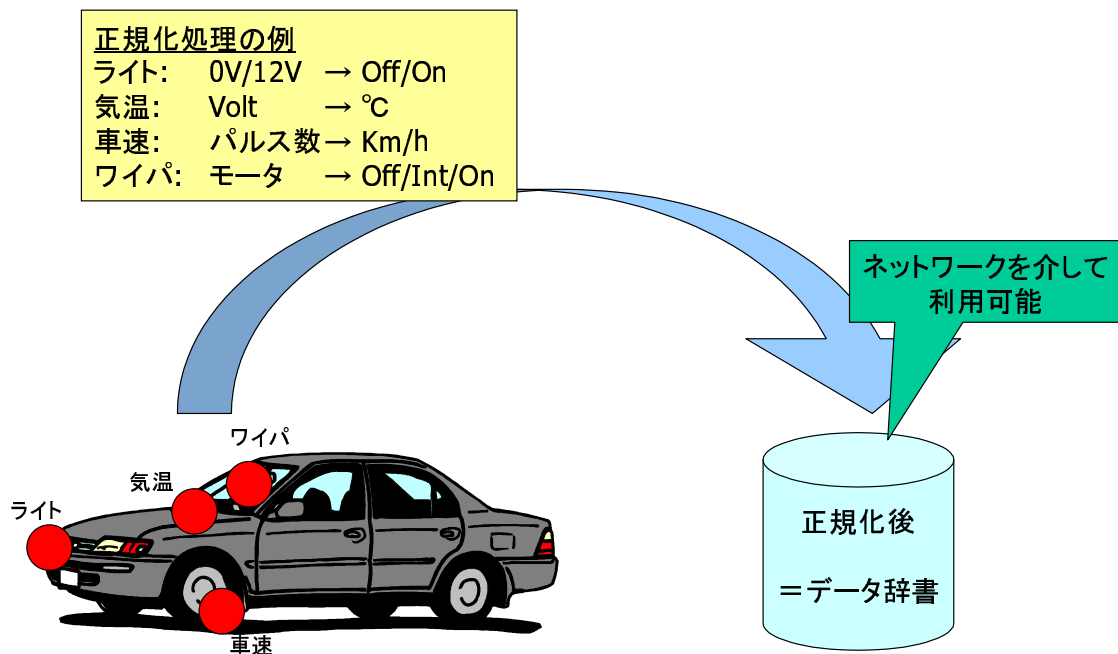


図 4.5: データ辞書への正規化例

つ情報を、道路交通以外にも様々な利用していく。そのため、ニーズに応じて自動車の持つ情報をさまざまな形で格納できるような柔軟な構造と、将来に渡る高い拡張性をもつ構造が必要である。

4.5.2 データセット構造

車両データ構造は、以下のような構成とした。

代表値 (representatives value)

自動車の保持する情報を個としての自動車の情報・状態を示す値。各種の登録情報および複数機器が同一の意味データを持つ場合の代表値はここに定義される。

基礎データ (basics value)

自動車に取り付けられた個々の機器により保持される情報・状態を示す値。AMIC の Common Message Set を参照して機器毎に分類された情報がここに定義される。

拡張値 (expansion value)

独自サービス・機能、および将来の拡張のために用意される値。高精度の情報が必要な場合や、representatives, basics に定義されていない情報を扱う場合にここに定義される。

この軸により定義されたエレメントにより構成されたデータ群がデータ辞書である。この構造を図 4.6 に示す。

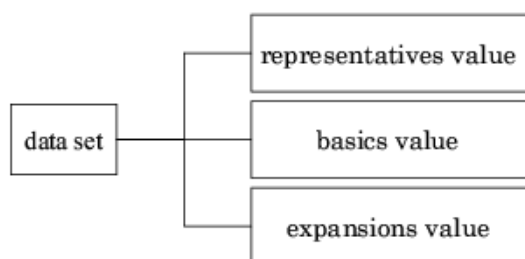


図 4.6: データ辞書構造

これらの情報を、現在の状態である「current」と過去の状態である「history」に分け保持する(図 4.7)。Current については常に最新の値が入ったデータセットが保持されており、history に関しては、timestamp 毎にデータ辞書を保持する。

4.6 自動車データ辞書の定義

このデータ辞書モデルを基にして、車両が持つ情報をデータ辞書として定義する必要がある。自動車データ辞書は、広く一般にプローブ情報システムの基礎として利用してもらうため、規格化だけでなく標準化活動を行なっていく必要がある。そこで、サービスの網羅的な整理のためプローブ情報システムにおける実際のサービスを想定し、情報の種別毎の整理を行なった。表 4.2 に、プローブ情報システムにおけるサービスの例と必要な情報について示す。なお、現時点で自動車に搭乗している人間の判断がセンサとなるものに関しては、情報源を「動態スイッチ」として

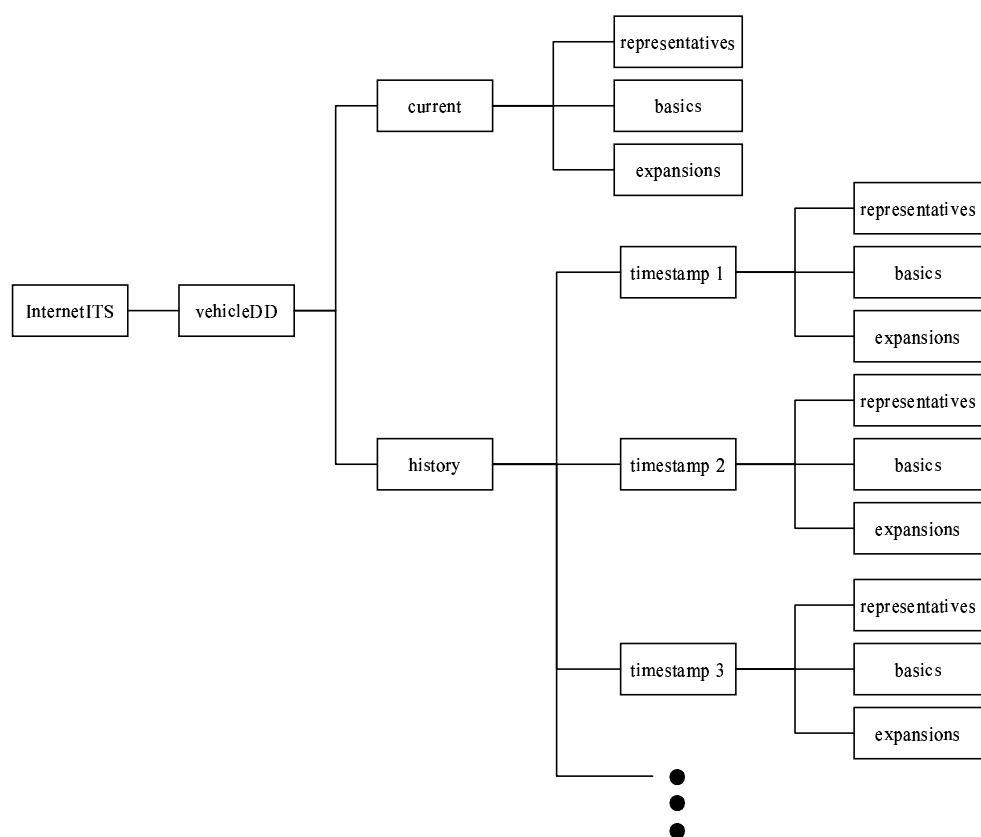


図 4.7: 履歴を考慮したデータ辞書構造

いる。これら想定されるサービスから自動車に求められる情報と、車両が搭載するセンサが持つ情報の両方を考慮し、エントリを定めていかねばならない。その後、各エントリが必要とする精度、単位、解像度について、サービスからの要求を満たすように設定していく必要がある。実際の定義は、情報取得にかかるコストと、生成される情報の価値のバランスで定まるが、技術の進歩や社会のニーズに応じて見直しが必要となる場合もある。

4.7 データ辞書のリファレンスモデルの定義

本研究では、データ辞書モデルの妥当性と、その導入によるプローブ情報システムの構築および実証実験、評価のため、データ辞書のリファレンスモデルを定義した。定義に際し、自動車がおよそ一般的に保持している情報、専用の機器が設置されていることで保持できうる情報、および各実証実験に必要な情報の個々の要素を吟味し、最終的には本規格の標準化を踏まえて行なった。車両が持つ情報の網羅的な整理のためには、AMICのCommon Message Set[34][35]を基に、車両の持つ機器の情報を抽出し、その中から、現時点で取得可能な情報についてはエントリとして採用した。また、車両諸元情報 (inspection information) として、自動車検査証に示されている情報を基に、自動車の一般的な登録情報などを調査し、データ辞書に取り込んだ。データ辞書の定義の方法は、XMLとAbstract Syntax Notation 1(ASN.1)による二種類が検討された。本来は両方での記述を行い、双方の規格化を目指すべきであるが、本研究では、国際標準化活動における合意形成の際の利便性を考慮し、ASN.1による記述を選択した。

データ辞書の定義とそのデータ例

```
enterprises.cysolsMIB.cysolsClientMIBs.iitsMIB
iitsRepresentatives                                /*** 代表値 ***/
  {iitsDescriptionInformation                       /*** 記述情報 ***/
    {iitsCountry.0 = JPN                           /*** 車両情報登録地 ***/
      iitsUnit.0 = Metric(0)}                      /*** 単位系 ***/
    }
  }
  {iitsInspectionInformation                       /*** 車両情報 ***/
    {iitsRegistration                             /*** 車検情報 ***/
      {iitsVehicleIdNumber.0 = My license          /*** 車体番号 ***/
        iitsLicense.0 = syounan 55 ma 5400         /*** ナンバー情報 ***/
```

本研究では、リファレンスモデルとして約120のエントリについての定義を行った。それぞれのエントリは、その属性と一意な名前、値の型と表現方法、データサイズで定義される。この全体のイメージを図4.8に示す。ツリー構造は図4.6に示したもののからエントリの属性をによって細分化した。代表値は、辞書自体の情報を示すものと、車両の諸元などの静的情報、動的に変化する情報の3つで構成されている。基礎データは、静的情報と動的に変化する状態情報に分け、さらに車両の機器ごとに構造化した。実証実験やタクシーなどの事業車が利用するような、サービスに特化した情報に関しては拡張情報として定義した。

速度など自動車内に意味的に同じものが複数存在するものは、それらを個々に定義した上で、代表値に任意の値を入れる事とした。速度の例を以下に示す。

表 4.2: プローブ情報システムにおけるサービス例と利用する車両情報

サービスドメイン	提供情報	利用する車両情報 (情報源)
交通情報	・渋滞情報 ・予測旅行時間情報	・速度 ・時刻 ・位置
道路情報	・路面情報 ・障害物情報 ・許容容量情報	・速度 ・時刻 ・位置 ・車両寸法 ・ABS ・TCS ・障害物センサ
気象情報	・降雨情報 ・降雪情報 ・積雪情報 ・気温情報 ・照度情報	・速度 ・時刻 ・位置 ・ワイパ ・ヘッドライト ・気温 ・ABS ・TCS
環境情報	・大気汚染情報 ・騒音情報	・時刻 ・位置 ・気温 ・エアコン ・窓開閉 ・オーディオ
イベント情報	・施設情報 ・観光情報 ・駐車場情報	・時刻 ・位置 ・動態スイッチ ・外部システム
マーケティング情報	・グループ情報 ・趣向情報 ・目的地情報 ・タクシー乗車傾向情報	・時刻 ・位置 ・目的地 ・外部システム ・オーディオ
各種事業情報	・車両動態管理情報	・時刻 ・速度 ・位置 ・搭乗者情報 ・車両状態情報 (タクシー満/空など)

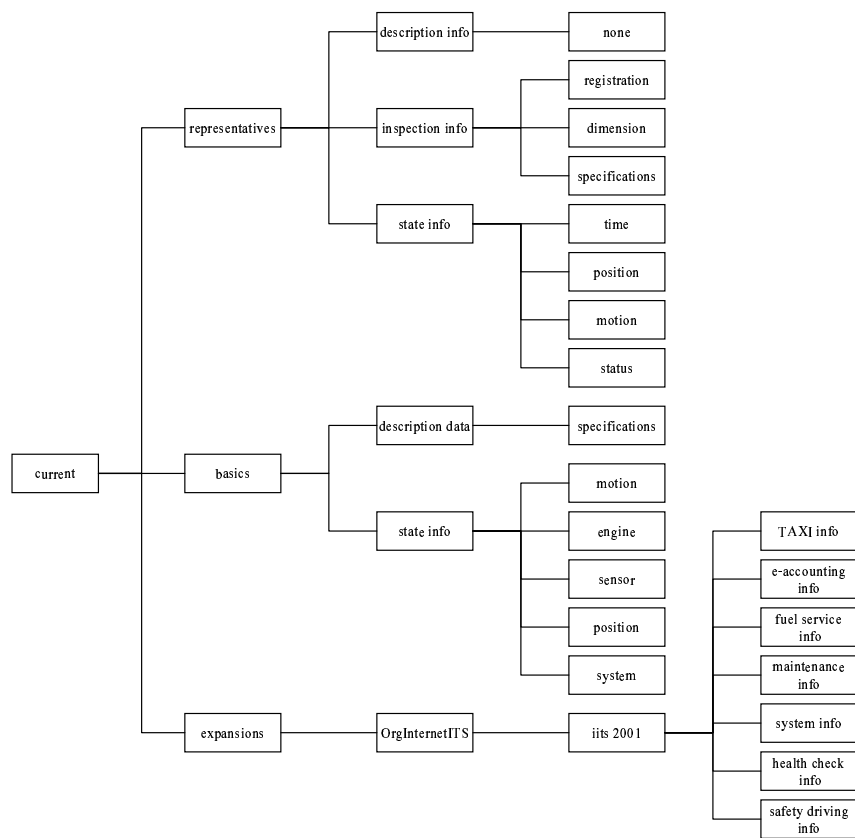


図 4.8: データ辞書のリファレンスモデル構造

```
enterprises.cysolsMIB.cysolsClientMIBs.iitsMIB
iitsRepresentatives                               /*** 代表値 ***/
    {iitsStateInfoMotion                           /*** 運動情報 ***/
        iitsVehicleVelocity.0 = Gauge32: 451 x 0.1km/h
                                                    /*** 速度 ***/
    }
iitsBasics
    {iitsMotionData
        wheelVerocity.0 = Gauge32: 451 x 0.1km/h
                                                    /*** 車輪速 ***/
    }
    {iitsPositionData
        gpsVelocity.0 = Gauge32: 448 x 0.1km/h
                                                    /*** GPS 速度 ***/
    }
```

4.8 国際標準化活動

本節では、データ辞書モデルの国際標準化活動について述べる。まず、標準化の目的について述べ、次に標準化の方針を述べる。その後、実際の標準化活動について述べる。

4.8.1 標準化の目的

データ辞書モデルは統一したインターフェイスの規定により、自動車情報の容易な利用を実現する。そのためにはデータ辞書モデルの標準化が不可欠である。データ辞書モデルを広く国際的に標準化していく目的として、以下の点が挙げられる。

- 意見集約によるデータ辞書構造の最適化
- ITS 研究開発自体の効率化・促進
- プローブ情報システムの普及および新規 ITS サービスの容易な実現
- 市場の拡大
- 事業者の育成や新規参入機会の確保

データ辞書規格を広く公開し、利用によって明らかになったシステムへの要求に対して適宜拡張を行なっていく事で、インターネットは自動車の情報通信基盤としての価値が増す。また、標準化を進めていく過程で、データ辞書モデルという枠組を通して、様々なデータ辞書のエントリ定義について検討や追加が行なわれる。将来的には、モデルへのエントリの追加という形での標準化が推進され、適応分野が広がっていくのが理想である。

4.8.2 標準化の方針

自動車の情報化は、特に国際競争が激しい分野である自動車やエレクトロニクス産業のほか、国際物流にも深く関わるものである。そのため、他の分野よりも標準化に関する必要性が高い。自動車のデータ辞書モデルを標準化をする上で必要な要素を以下にまとめる。

自動車・ITS 分野の賛同

データ辞書モデルは、自動車における情報を名前と値の組で表現する。この辞書に基づくサービスを普及させることが、システム基盤としての価値を高める。自動車産業および ITS 分野の賛同が得られなければ意味ある標準とはならない。そのため、これら分野との積極的な意見交換、共同での検討が不可欠である。

国際的かつ総合的な意見集約

現在自動車は世界中に普及しており、その台数は約 9 億台である。これら全てがデータ辞書モデルによるインターフェイスの統一の対象となりうるため、国際的な視野での標準化が重要である。また、地域・事業毎の要求を組み入れ、実際に利用される規格となる必要がある。

他分野との意見交換

自動車交通は現在社会基盤としても欠かせない存在であり、社会全体への影響力が大きい分野である。ITS を構成している分野はもちろん、データ辞書モデルが導入されれば、今後より多くの分野と関係していくと想定される。それら関係分野との意見交換がスムーズに行なえる場所での標準化が望まれる。

社会への影響力

データ辞書モデルによる標準化が行なわれた時に、関連分野がそれに準拠したものを作り、開かれた市場、情報通信基盤が形成されなければならない。また、標準が広く社会に認知され、規格を社会全体が利用していくような標準化が期待される。

また、自動車の情報化については、様々な技術が相互に関連している分野の為、標準化を行なっている機関も多岐に渡っている。本研究が標準化を行う対象となる機関を以下に挙げる。

Internet Engineering task force(IETF)

The Institute of Electrical and Electronics Engineers,INC.(IEEE)

International Organization for Standardization(ISO)

本研究では自動車の持つ情報を正規化する部分についての標準化を第一に行った。これは、車内で扱う情報のインターフェイスに関する規格の標準化が現在検討されているため、その規格との関連についての審議を行う事で、より汎用性の高い規格化を目指すためである。そのため、標準化作業を、自動車の情報化に関する規格を多く扱う ISO にて行なった。

4.8.3 標準化活動

ISO の中で ITS の標準化を扱う技術委員会である TC204 内には、標準分野ごとに WG が設置されており、現在 16 の WG がある。本研究では、特徴や各 WG での審議内容から、その中の WG16:「広域通信分野」での活動を行なった。WG16 は従来公衆回線などの広域通信を利用した

SCOPE OF STANDARDIZATION

1. PROBE CAR SYSTEM

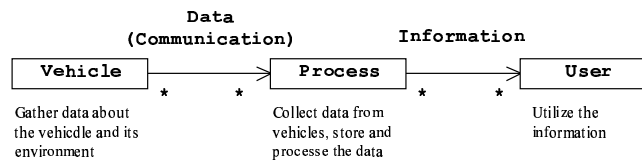
Research and development of probe car systems has become active, and multiple applications of the system are considered (see appendix 2). In addition, probe car systems are expected to be used for a variety of other applications not discussed here. Therefore, it is useful to have a comprehensive reference model that includes potential system variations.

1) DEFINITION OF PROBE CAR SYSTEM

A *probe car system* is a system that collects, via wireless communication, data generated and sensed by vehicles, stores and processes the data, and uses the data for specific purposes.

2) REFERENCE MODEL FOR A PROBE CAR SYSTEM

The following is the reference model for probe car systems. This model consists of elements that are considered to be essential and fundamental to various forms of probe car systems.



Note) Depicted by UML (Unified Modeling Language)
 '*' denotes multiplicity (0 or more)

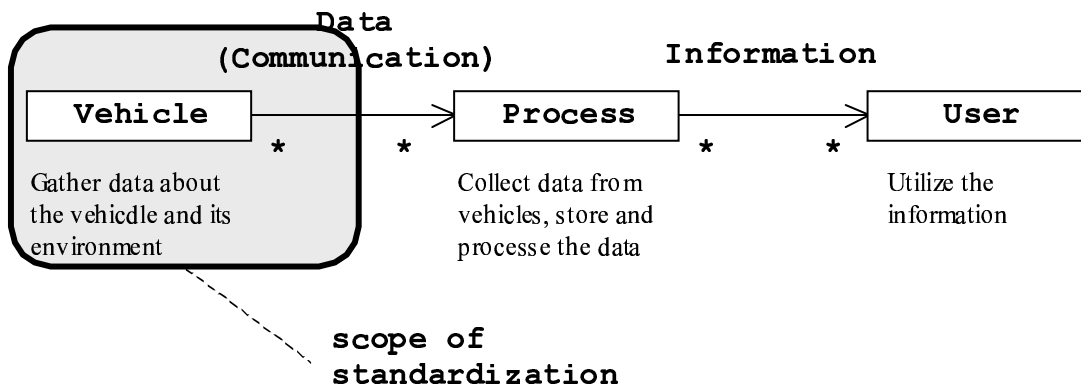
2. SCOPE OF STANDARDIZATION

Definition, classification, format, and data elements for probe data. Here, probe data means data gathered by vehicles and collected via wireless communications for processing.

It is difficult to uniformly handle probe data because the content and format of data gathered by vehicles are different from one vehicle to another. It is essential for standardization to make it possible to uniformly collect data regardless of vehicle type.

The following chart shows the scope of standardization in the reference model.

☒ 4.9: Scope of Standardization



☒ 4.10: vehicle dataset model

データ通信方式などの検討を担当している。提案を行った際の標準化スコープについての資料を図 4.9 および図 4.10 に示す。

これにともない、米国からは図 4.11 に示すようなデータタイプのドメイン分けについての意見が出された。

Probe Data Types		
Collected/Transmitted/Used in ~Real Time from Vehicle Network		
Type of Data	Safety Example	Other Example
Traffic Speed	Crash detection	Traffic moving slowly
Weather Data	Slippery Road	Rain has stopped
Data for Road Maintenance	Stop sign missing	Hole in Road
Physical Map Data	Lane marking	Added accuracy
Maneuvering Data	Obstacle in Lane	
[Updates in all categories]		

図 4.11: 米国の Probe data types イメージ

これに対して交通以外のドメインを追加して検討を進めていく事で合意し、WG16 による ISO/PWI 22837 として 2002 年に PWI の承認がなされた。また、同時にプローブ情報システム用のデータ辞書モデルを担当する、サブワーキング SWG16.3 が設置され、専門に審議を行なう事となった。標準化はその後、各国の国際専門家から意見を集約し、データ定義を構築する形で進められた。構築された国際標準案には、本研究で定義したデータ辞書のフレームワークと、プローブ情報の取得位置と取得時間をあらわすコアデータセットの規定が反映されている。データエレメントの定義についても、本研究によって作成されたリファレンスモデルに基づく検討が行われ、AMIC, SAE の技術専門家も含めた数回に渡る議論の結果、以下のような観点から国際標準案に含まれるデータエレメントの選定を行った。

- 2010 年程度の一般的な自家用車両に搭載されるセンサで取得可能な情報
- 単体、もしくは組み合わせることで実空間の状況・環境をセンシングが可能な情報

- 複数の車両から収集し、統計的な処理を施すことで価値ある情報を生成できる、プローブ情報として意味を持つ情報

4.9 本章のまとめ

本章は、自動車のセンサデータをデジタル情報として容易に取り扱うための技術基盤である自動車情報インターフェイス基盤について述べた。

はじめに、デジタル情報基盤上における自動車情報の抽象化について考察を行った。現在の自動車の情報化は、自動車を交通流として捉えているため、自動車の持つ情報を有効に利用していない。情報の収集には専用の基盤を構築する必要がある、コストがかかる。そこで、オープンプラットフォームの上でプローブ情報システムを構築することを前提とし、ITS に依らない他分野への発展性を持つ技術基盤の考察を行った。次に、自動車をインターネットのノードの一つと捉え、その保持する情報をデータ辞書としての抽象化について検討を行った。データ辞書として情報を統一化する箇所は、自動車のセンサデータをデジタル情報に変換する箇所と定めた。このデータ辞書モデルの導入により、車両毎の誤差や精度のばらつきなどが正規化され、インターネット上にプローブ情報システムが実現できることが分かった。その後、実際のデータ辞書のリファレンスモデルの策定を行った。策定に際しては、プローブ情報システムの基盤としての共通化の意味を踏まえ、AMIC が策定している自動車のメッセージセットを参考に、プローブ情報として意味のある情報の定義を行った。

このモデルおよびデータ辞書については、自動車情報基盤に接続する自動車に実際に採用され、普及展開がなされる事で、本来の価値を有する。そこで、本研究では、データ辞書の標準化について、ISO/TC204/WG16 で行った。この標準化の過程で、AMIC や SAE 等の自動車専門家とも意見交換を行い、策定したデータ辞書モデルに基づく自動車情報インターフェイス基盤は、自動車情報を活用して社会に有益な情報を生成するための実現性と社会的受容性を有していることが分かった。その結果、自動車情報インターフェイス基盤は、世界中の車の情報をデータ辞書モデルによって収集可能な基盤を構築出来ることが示された。

第5章 プローブ情報生成基盤

本章では、自動車情報基盤が備えるべき機能であるプローブ情報生成基盤について述べる。まず、プローブ情報システムにおける情報生成について考察し、情報生成アーキテクチャに基づいて行った情報取得実験について延べ、考察を行う。その後、車両間の通信を活用したプローブ情報システムであるセンタレスプローブにおけるプローブ情報生成システムについて述べる。

5.1 プローブ情報システムにおける情報生成

自動車情報生成基盤は、前章で述べた自動車情報インターフェイス基盤に基づき、自動車情報を取得し、集約して処理を施すことで価値あるプローブ情報を生成する。自動車の情報を取得、および集約することで、プローブ情報を実際に生成することを可能とする基盤である。具体的には、自動車の情報を無線通信機器を介して情報センタに集約し、統計等の処理を施すことで交通情報等を生成するシステムにおいて、個々の自動車が持つ情報を取得することを可能とする機能を有する。この際、プローブ情報システムにおける自動車情報の集約は、用いる通信機器や自動車の車種等に依存せず、必要なセンサデータを収集できることが求められる。また、情報センタに情報を集約するモデルは、配信する情報の品質レベルをある程度保つ事が容易であり、サービスを広域に展開できるというメリットがあり、このような現在のプローブ情報システムの主流である。本節では、このような情報集約型のプローブ情報システムを、自動車情報インターフェイス基盤を活用して構築する自動車生成基盤について行った2つの情報取得実験について詳述する。

5.1.1 ABS 情報取得実験による検証

データ辞書に基づく統一化されたセンサデータを活用し、プローブ情報システムが情報を生成できることを検証するため、メーカー、車種の異なる複数の自動車のABS(Antilock Breaking System)動作情報を定義に基づくインターフェイスで取得できる車載システムを構築し、これを用いた危険箇所推定システムを構築した。実証実験では2車種、3台の自動車を用いた。図5.1に、ABS情報による危険箇所取得の概要を示す。ABSの動作情報は、自動車が走行している箇所の危険、走行している道路の凍結や障害物、あるいは急な道路線形が原因による無理な走行制御が多発する等を示唆している。ABSの動作情報は、従来自動車の中で、その車両の走行のためだけに使われているセンサ情報であり、プローブ情報システム以外での実現は難しく、実現した際の有益性、ならびに他のITSの補完的情報として価値が高い。

この実験では、自動車の存在位置・存在時間と共に、ABSの動作情報を取得することで、推定危険箇所を集約し、「ヒヤリ・ハットMAP」の作成が可能か否かの検証を行った。この際、複数車種にデータ辞書に基づく自動車情報を構築し、データ辞書に基づく統一的な情報取得を実現するシステムの設計・実装を行った。これにより、多様な複数自動車からの統一したフォーマットによるリアルタイムな情報収集が可能となる。図5.2にABS情報収集システムにおける車載システムの構成を示す。実験に際しては、ABSの動作状況や車両の速度等の情報は、車両データベース

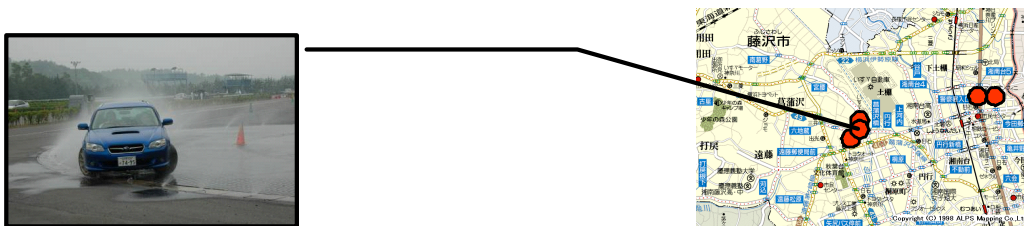


図 5.1: ABS 情報による危険箇所の取得の概要

である OBD-II[36] から取得し，GPS から取得した車両の位置や時刻等の情報と共に，車両内に設置した PC 上に，自動車情報インターフェイス基盤で構築したデータ辞書に基づく形式で保持する事とした．保持した自動車情報は，Network Mobility[37] 機能を有する Mobile Router(MR) を介してインターネット上の情報センタに発信する．実験で使った MR は，広域通信機器として EVDO を，狭域通信機器として IEEE802.11g 規格の無線 LAN を搭載していたが，この実験では，活用したテストコースの条件により，常に EVDO を用いた実験となった．

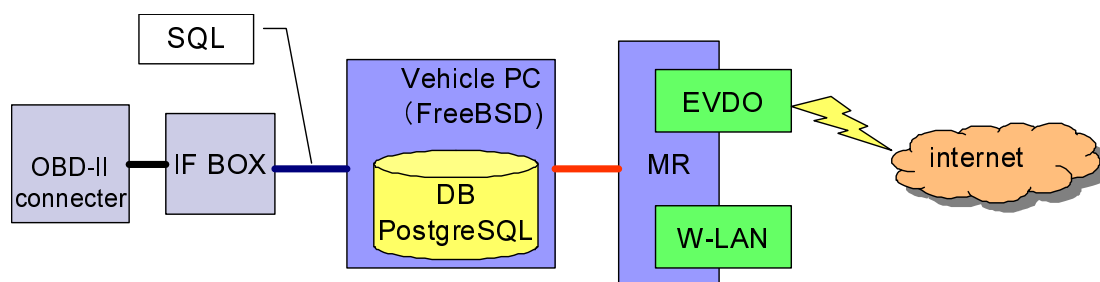


図 5.2: ABS 情報収集システム

検証実験は，安全性，路面状況の把握のし易さ，および ABS 動作状況の再現性といった観点から，サーキット内のスリパリーコースにて実施した．実験を実施したコースの概略，およびシナリオを図 5.3 に示す．滑りやすさを示す μ の値としては，スリパリータイル箇所が圧雪路面 (μ 値 0.3 相当)，焼きタイル箇所が積雪路面 (μ 値 0.4 相当)，鉄格子箇所 (μ 値 0.4 相当)，玉砂利箇所が未舗装路面 (μ 値 0.6 相当) に相当する滑り易さとなっている．それ以外の箇所は舗装路面であり， μ 値は 1.0 から 1.1 相当である．

実験は複数の自動車に同一のシステムを搭載し，規定速度 (時速 10km, 20km, 30km) でコースを周回して情報の取得と集約を行った．その際，同じ条件で ABS の動作を確認するために，図 5.3 中にある三角のポイントでブレーキを踏むシナリオとした．ブレーキを踏んだ際のセンサ情報の変化をモニタしたものを図 5.4 に示す．図中上側にある線が ABS の作動を示すデータであり，この線が山上に隆起した部分がブレーキを踏んだことで ABS が作動した事を示している．この際，前後 G センサの動作を示す線は加速している事を示す負の値から正の値へ変化し，同時に 4 つの車輪速を示す線からも，それぞれの乱れを検出していることが確認出来た．

時速 10km で走行した場合のセンサデータ取得の状況を図 5.5 に示す．図中，四角で示されたポイントが ABS が動作した箇所であり， μ 値の低い箇所でセンサデータが発生していることが分かる．また，時速 20km で走行した場合のセンサデータ取得の状況を図 5.6 に示す．この場合，時

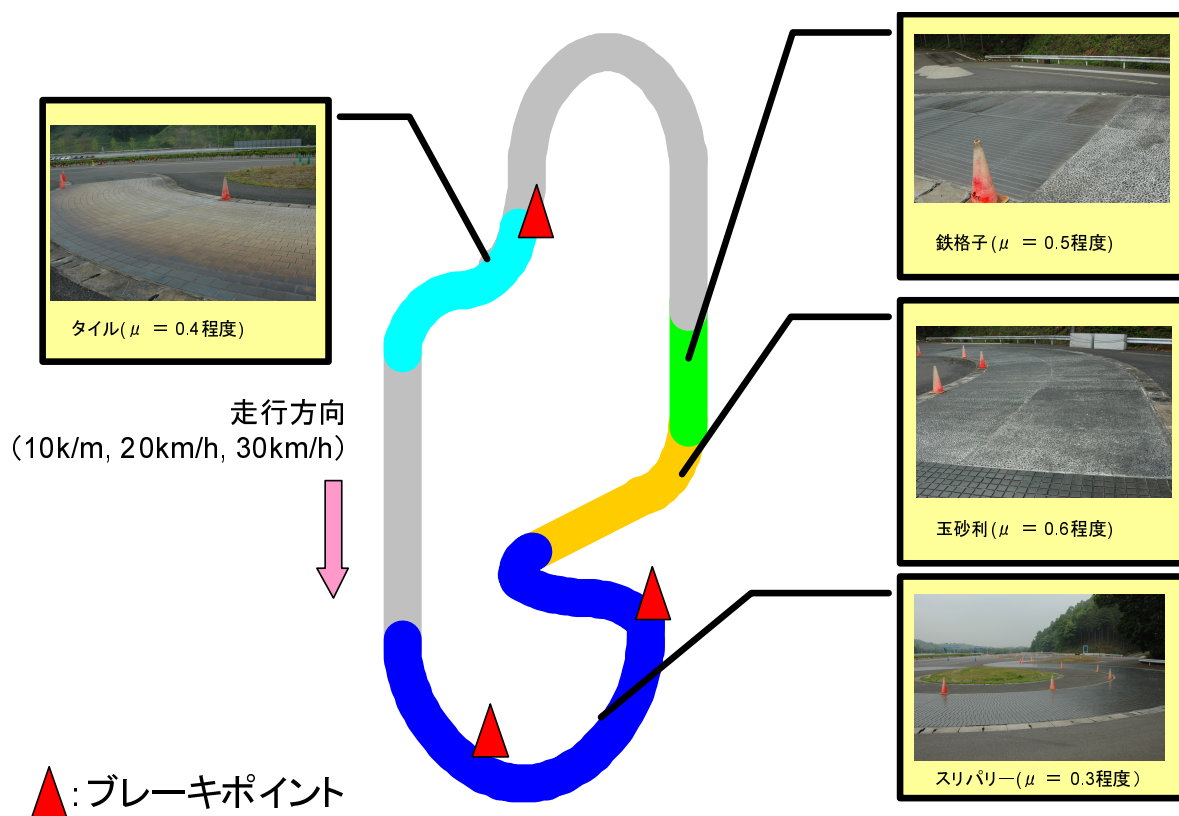


図 5.3: 実験で利用したスリパリーコース

速 10km での走行より多数のセンサデータが発生していることに加え、時速 10km 時では取得できなかった箇所 (玉砂利箇所) の検知が実現していることが分かる。このことから、自動車の走行状況に応じたセンサデータの取得や集約が可能であり、またプローブ情報提供の際にも、提供者の状況に応じた提供 (速度がある一定値を超えた場合に警告を行う) 等が可能であることが分かった。

次に、複数自動車から取得した情報を統合した様子を図 5.7 に示す。統一したインターフェイスに基づく集約を行った結果、異なる車種からの情報を収集後に統合可能であることが検証できた。

実際に情報センタに蓄積された ABS 情報を図 5.8 に示す。この実験では、自動車情報は毎秒 XML 形式で情報センタに送信しており、その際の PACKET サイズは 348kbyte であった。なお、実験環境における通信帯域は、実測値で上りが 49.1kbps, 下りが 357kbps であった。ABS の動作情報が特に多く集約された箇所を図 5.8 に丸枠で示す。これらの情報センタに蓄積されたデータから、複数の自動車から ABS 動作情報の集約を行うことで、ABS の初動箇所は、実際のブレーキポイントから半径 1m 以内に約 9 割が集中しており、滑り始めの箇所の検出は可能であることが分かった。一方、ABS の動作終了箇所は、運転パターンや車種に依存しており、ばらつきがあることが分かった。

5.1.2 推定 μ 値取得実験による検証

ABS の動作情報は、それ自体が単体でも意味を持つ値であり、かつ複数の車両から情報を集約することで精度や質を高めることが可能であった。しかし、ABS はブレーキを踏むことで動作す

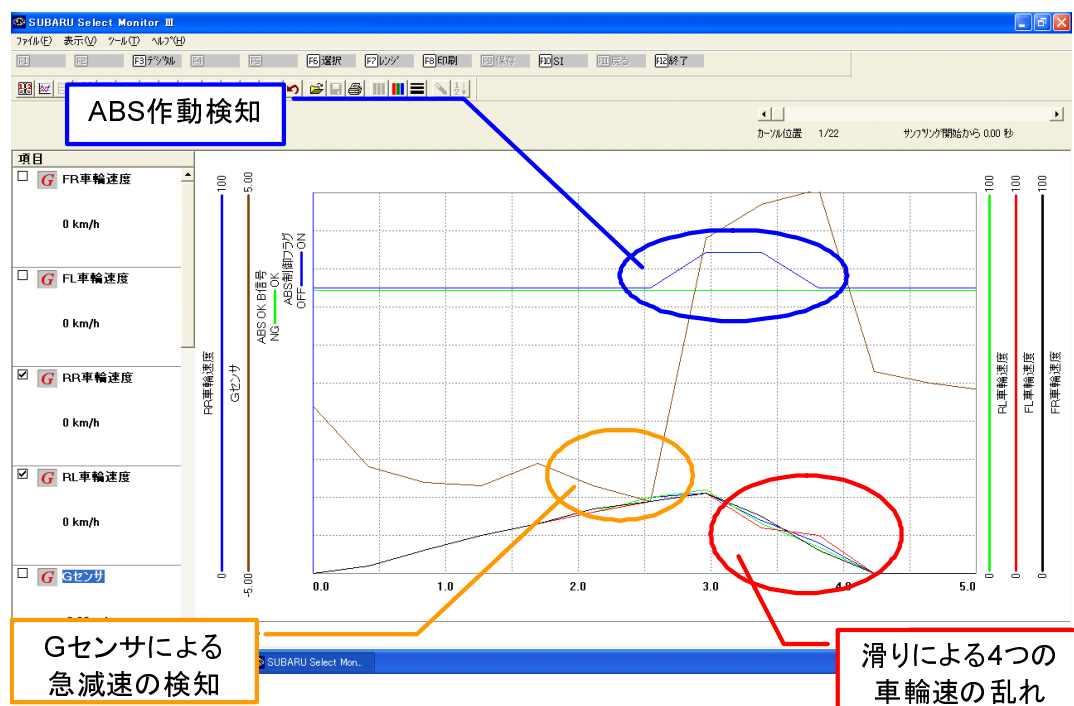


図 5.4: ブレーキを踏んだ際のセンサ情報の変化

るシステムであるため、ブレーキを踏まないような状況における実空間の状況を取得することは不可能である。そこで、ABS 情報取得実験後に、異なる走行環境において他のセンサデータを用いても同様の検証が可能であること、および常時情報を取得することで実空間における環境の変化を確認できることを検証するために、路面の μ 値推定センサ情報を直接収集し、集約・統合処理を行うシステムを構築し、実証実験を行った。実験の際に用いた推定 μ 値取得システムを図 5.9 に示す。

実験は同一の車載機を搭載した複数車両を用いて、路面環境が判明しているテストコース内をあらかじめ規定したシナリオに沿って周回することで行った。実験に利用したコースを図 5.10 に示す。

実証実験で集約された推定 μ 値の結果をプロットしたものを図 5.11 に示す。ABS 情報取得実験の際と同様に、異なる車種からなる複数の車両から統一した情報を取得し、統合することでプローブ情報を生成可能であることが検証できた。

5.2 車両間の通信を活用した情報生成システム

前節に挙げたような、情報を集約するプローブ情報システムは、情報集約箇所である probe aggregator が自動車から常に情報を受信し続ける事となり、情報集約箇所の処理量が規模性の上でのボトルネックとなる。全世界の自動車保有台数は約 9 億台であり、その内日本は 7500 万台もの自動車を有している。自動車情報の発生量を、道路交通センサス [38] を元に試算したところ、首都高速全体に昼間存在する自動車の車両台数は約 3 万台程度であり、自動車情報インターフェイス基盤に基づいた、車両の位置、時刻、速度の情報の最小セットでも全体で 144mbps 程度のデータ

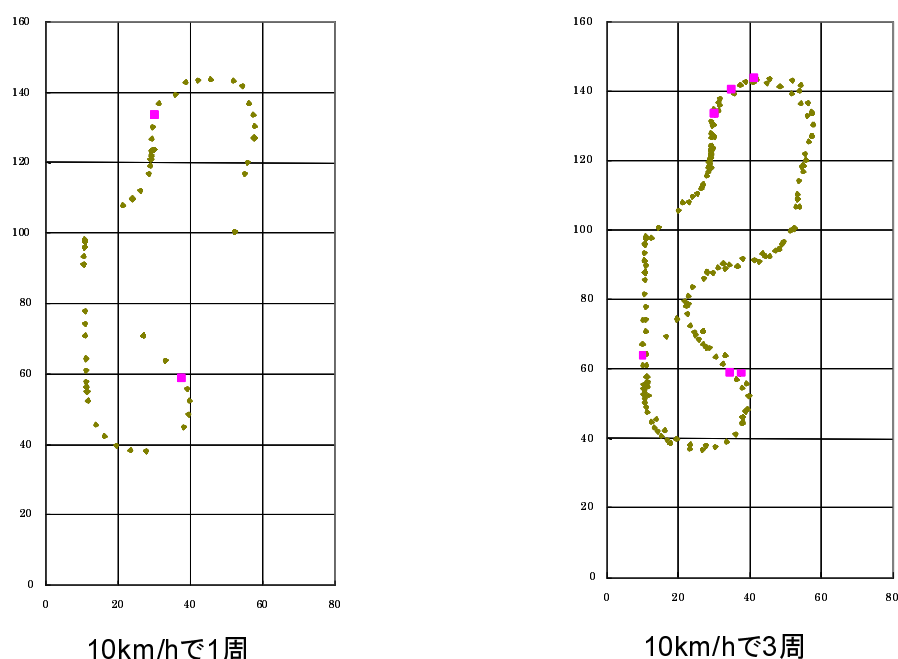


図 5.5: 時速 10km の収集情報

が発生することとなる。動いている全ての車がプローブ情報生成基盤に繋がることを想定した場合、一定間隔頃に押し寄せてくるデータを逐一処理して有用な情報を生成するためのスキームが必要となる。また渋滞時には、路側の無線施設にさらに多数の自動車が続接することとなる。自動車は保持する情報の質や精度に関わらず情報を発信することになり、用いる通信機器によっては通信コストや路側通信機器への負荷が大きい。

こうした問題を解決するために、車車間通信を基盤としたプローブ情報システムの構築が可能となる。これにより、自動車は周囲の車両群と車車間通信技術を活用して協調し、保持する情報の質や精度を高めることが可能となる。また、ある一定の閾値を超えた情報を発信するようなアルゴリズムを用いることで、プローブ情報システムの根本的な規模性を解決することが可能である。さらに、車車間通信技術を活用することで、情報の即時的な活用や、電波不感地帯の情報取得、および同地帯への情報伝達を実現することも可能である。車車間通信技術を活用した、情報センタに依存しないプローブ情報システムのモデルとして、本研究ではセンタレスプローブ情報システムを提案し、その設計と実装を行った上で、実証実験を行った。センタレスプローブ情報システムについて詳述する。

5.2.1 センタレスプローブ情報システムの概要

センタレスプローブ情報システムは、無線 LAN 等の狭域通信機器による車車間通信を使用し、車載機でプローブ情報の生成と提供を行う。センタレスプローブ情報システムでは、車載システム内に、自車両と周辺車両のセンサデータを統合してプローブ情報を生成する情報生成機能と、プローブ情報を必要とする車両へ伝達するセンタレスプローブ通信基盤機能が必要である。センタレスプローブ通信基盤機能は、プローブ情報の伝達のための基盤機能であり、情報生成機能は扱

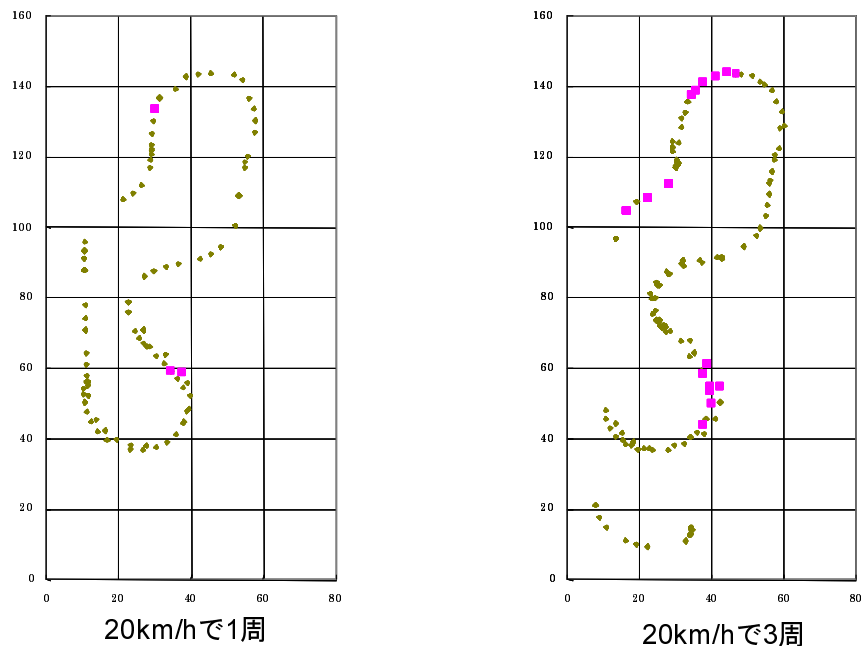


図 5.6: 時速 20km の収集情報

う情報の特性に応じて、センタレスプローブ通信基盤機能を活用し、情報を 1 箇所に集約したり、広範囲に配布することができる。また、1 つの車載システムで同時に複数の情報生成機能を稼働させ、多様なプローブ情報を流通させることができる。

5.2.2 情報センタ型とセンタレスプローブ情報システムの比較

センタレスプローブ情報システムの有用性を整理するために、従来の情報センタ型のプローブ情報システムとの比較検討を行った。情報センタ型のプローブ情報システムとしては、路側機との路車間通信を活用する路車間通信プローブと、広域通信機器によって情報センタに情報を集約する広域通信プローブの 2 種類に分類した。その結果を表 5.1 に示す。

路車間通信プローブのサービスエリアは最も狭く、電波方式で数 10m、光方式だと範囲は更に狭くなる。しかし、サービスエリア内の車両からは確実に情報が収集でき、同時に的確な情報提供が行えるというメリットがある。一方、サービス範囲を面的にカバーすると路側機設置費用が増大する。そのため、幹線道路に設置して実現する道路交通サービス等に有用である。広域通信プローブは、サービスエリアに関する制約は殆どないが、特定のエリアにいる車両全てに対するプッシュ型の情報配信は不向きである。また、通信費用が発生する。このような特性から、リアルタイムの混雑状況を加味した最適経路案内や、ドライバーの要望に応えるサービスなど、運転者に付加価値を感じさせるサービス等に有用である。センタレスプローブの場合、無線 LAN を活用した場合の電波の通信範囲はおよそ 100m 程度であり、その範囲内に車載機を搭載した車両がないと情報交換を行うことは不可能である。一方で、通信可能な車両が周辺に存在する場合は、情報センタを経由することなく直接情報を交換することができ、即時性に優れている。そのため、ローカルなエリアに存在する情報を相互に交換するサービスに有用である。例えば、道路の凍結

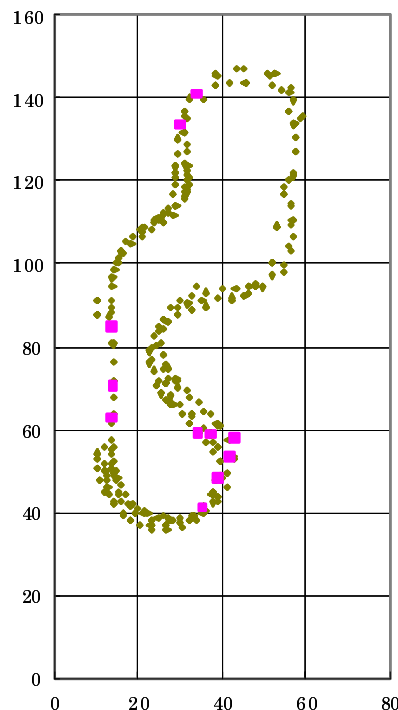


図 5.7: 複数車両情報の集約

情報や突発的な渋滞発生を周辺の車両に伝達するサービス，地域に特化した観光・店舗等の「口コミ」情報の流通等が挙げられる．さらに，道路交通情報インフラが整備されていない地域においては，渋滞情報収集，提供の手段となる．地震などに罹災し，整備されているはずの都市部の道路交通情報インフラが破壊，損傷された場合，その代替手段としての活用も考えられる．また，センタレスプローブ情報システムで生成されたプローブ情報は，既存のプローブ情報システムに提供することが可能であり，最終的にはモデル間でこのような補完関係を形成することで，プローブ情報システム全体の有用性が高まる．

5.2.3 道路交通情報生成アルゴリズムの提案

本節では，センタレスプローブ情報システムにおける，道路交通情報生成のアルゴリズムについて述べる．まず，処理システムの構造について述べ，次に活用するセンタレスプローブ通信基盤について述べる．その後，実際の情報生成を行うアルゴリズムについて説明する．

処理システムの構造

従来のプローブ情報システムは，複数の車両のセンサデータから統計処理等を行ってプローブ情報の生成が可能であり，比較的容易に情報の品質レベルを確保することが出来た．しかし，センタレスプローブ情報システムは，自車両のセンサデータと，車車間通信を用いて受信した周辺車

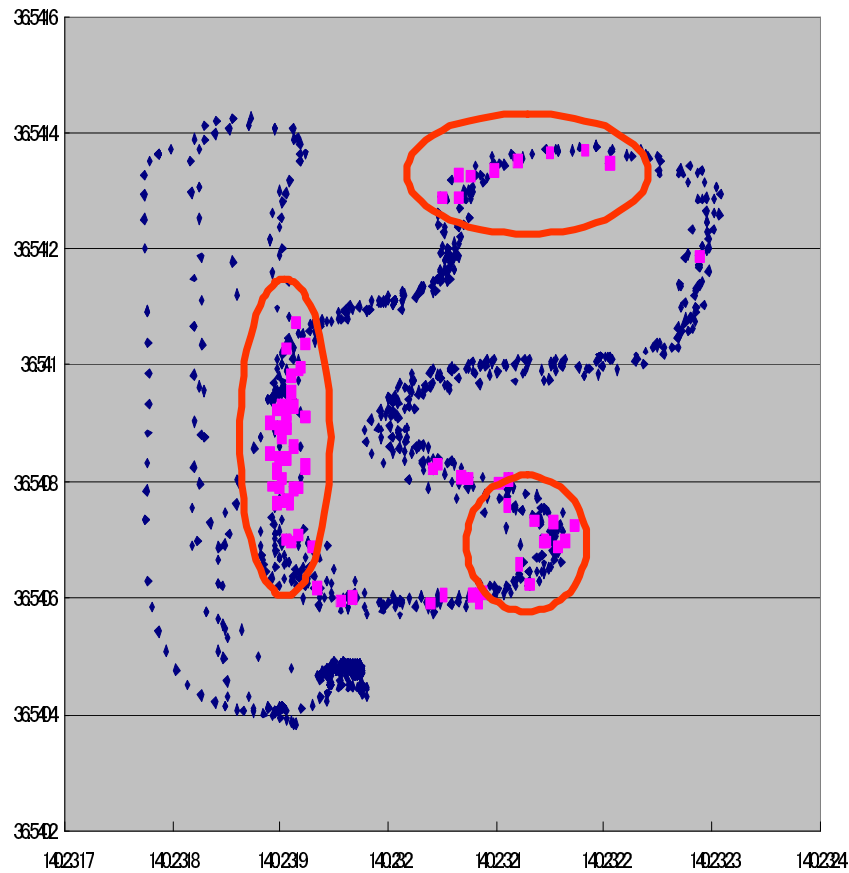


図 5.8: 蓄積された ABS 情報

両の情報のみからプローブ情報を生成しなければならない。そのため、品質レベル(価値)の高いプローブ情報の流通には、必要に応じて複数のプローブ情報を統合することで、質の高い情報を生成する情報生成アルゴリズムが必要となる。また、センタレスプローブ情報システムでは、車車間通信のエリアに依存せずに、必要な地域へ情報を配信することが求められる。例えば、渋滞情報が生成された場合に、それを同一渋滞内の前方車両に伝達しても利用価値は低い。対向車両を介して渋滞の手前に存在する後方車両までその情報を伝達することで、情報の利用価値が高まり、その結果として渋滞が回避されてプローブ情報が有効に活用されたと言える。つまり、渋滞生成アルゴリズムは、取得された車両のセンサデータについて、周囲の車両の情報を収集して比較し、同一の情報が複数得られた場合には一台から得られた情報よりも情報の品質レベルを高める必要がある。品質レベルは同一の情報を取得した車両の台数に比例する。また、一定の品質レベルに達するまでは周辺車両同士で情報を交換し、十分な品質レベルに達した際には必要な車両へ配信するように変更することが求められる。

生成された品質レベルの高いプローブ情報の配布は、様々な情報生成アルゴリズムが利用できる共通のセンタレスプローブ通信基盤によって行われる。処理システムの構造を図 5.12 に示す。処理システムは、1つ以上の情報生成アルゴリズムと、プローブ情報の蓄積を行うバッファであるメッセージプール、そして車車間通信を司るセンタレスプローブ通信基盤から構成される。情

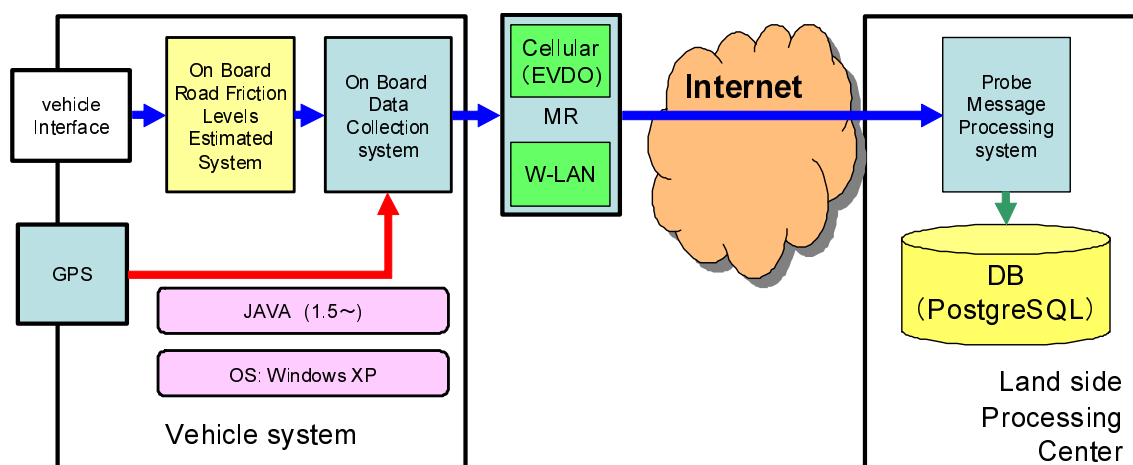


図 5.9: 推定 μ 値取得システム

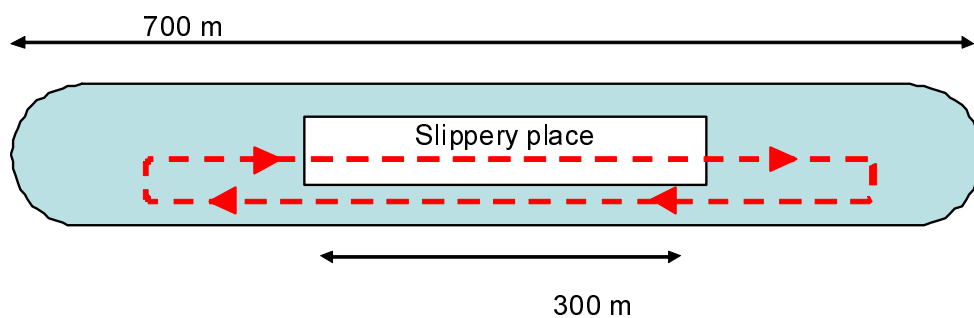


図 5.10: 実証実験を行ったコース

報生成アルゴリズムは、メッセージプールを参照し、可能であればプローブ情報を統合して質の高いプローブ情報を生成する。センタレスプローブ通信基盤は、メッセージプールからプローブ情報を選択し、車車間通信機能を介して発信する。

センタレスプローブ通信基盤

センタレスプローブ通信基盤は、センタレスプローブ情報システムにおいて、様々なプローブ情報を車車間通信を活用して効率的に伝達を行う共通基盤である。センタレスプローブ情報システムは、自車の通信機器の通信範囲に他車両が存在して初めて通信が可能となる。常に車両内での情報生成時に他の車両と通信が可能とは限らない。そのため、センタレスプローブ通信基盤は、「収束」と「拡散」の2種類の伝達モードを持っている。収束モードは、統計・統合処理に十分な数のプローブ情報の集約を目的とし、情報の伝達範囲を目的位置と伝達距離による円で指定し、円の中心部へ向けた密な情報交換を促す。拡散モードは、品質レベルが高いプローブ情報を必要としている車両に効率的に配布することを目的とし、情報の伝達範囲をプローブ情報発生地点を要とした扇形の中心角と伝達距離、方向で指定し、ある方向に向けた情報の伝達を可能とする。例え

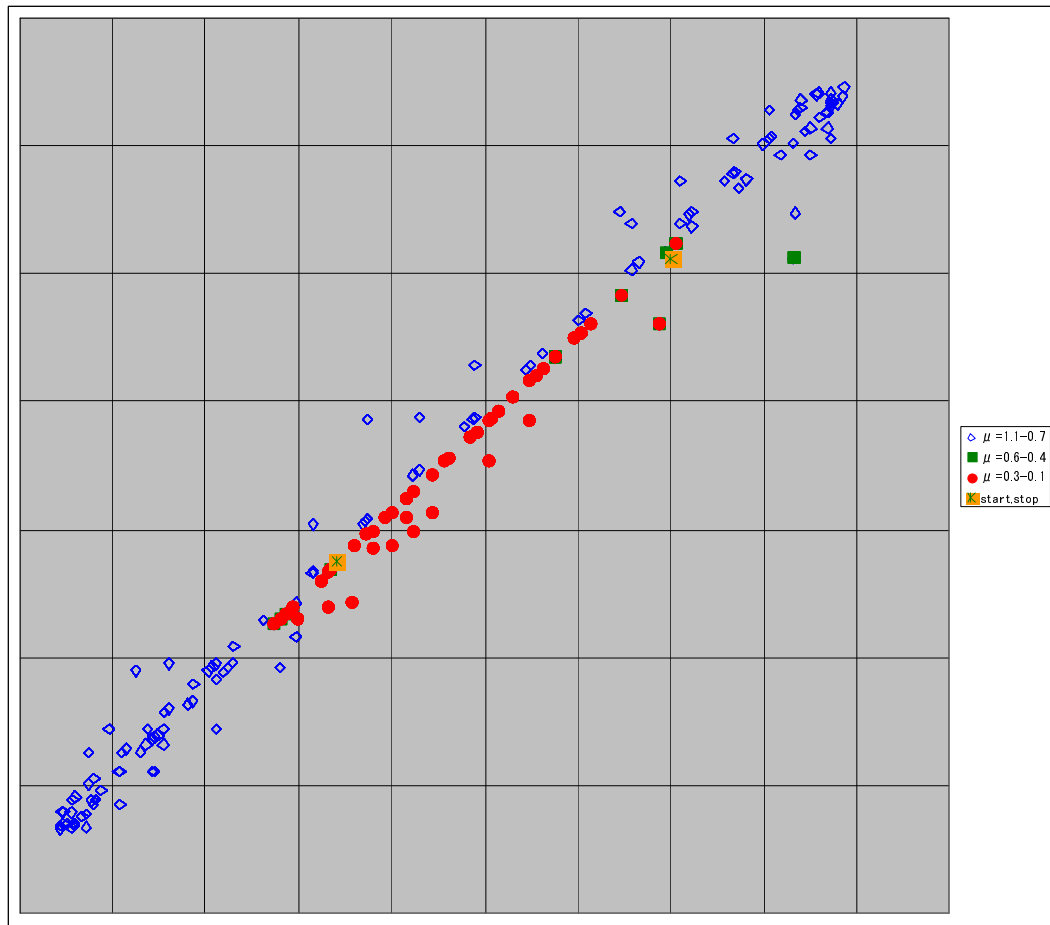


図 5.11: 取得された推定 μ 値

ば、渋滞情報であれば渋滞が発生している箇所から後方に対し、ある程度の広がりを持つように配布を行うことで、渋滞の手前に存在する後方車両の渋滞回避を促すことができる。情報生成アルゴリズムは、扱うプローブ情報の性質に基づき、センタレスプローブ通信基盤の2種類のモードを活用して情報の生成と配布を行う。

情報生成アルゴリズム

プローブ情報生成アルゴリズムは、アプリケーションの特性に依存する。本論文では、プローブ情報システムとしてニーズがあり、かつ実証実験での実動評価が可能であるという観点から、渋滞情報を取り扱う道路交通情報生成アルゴリズムを検討する。センタレスプローブ情報システムでは、多様な車両、車載機間での情報交換が前提となる。情報生成アルゴリズムが扱う空間情報が単一の仕様に依存することは好ましくない。このため、空間情報はグローバルに一意に定まるような手法で扱う必要がある。そこで、道路交通情報生成アルゴリズムは、空間をセル(計測単位区間)に分割し、セルに一意なIDを割り付けることで、渋滞の発生箇所をセルで表す。渋滞情報の統合処理を図5.13に示す。具体的には、道路交通情報生成アルゴリズムは、セル内の旅行速度を常に計測しており、隣接する別のセルに移動した時点で直前のセルの旅行速度が閾値を下回れ

表 5.1: プローブ情報システムの比較

項目	路車間通信プローブ	広域通信プローブ	センタレスプローブ
サービスエリア	路側機近傍での収集・発信 (限定エリア)	広域 (制限無し)	周囲に車載機搭載車両が存在する場合のみ
確実性	push 型であり高い	pull 型であり車両が要求したときに提供が実現	基本的には push 型であり、周囲の車両に依存
即時性	高い	一定間隔で広域に同時提供	車車間で直接情報交換をするため高いが、周囲の車両に依存
種類・情報量	限定されたサービス	多様なサービスが可能で情報量は通信機器に依存 (比較的低い)	多様なサービスが可能で情報量は比較的高い
運用費用	路側機設置費	通信費・情報センタ運用費	無し

ば、品質レベル 1(1 台の車両に基づく)の渋滞情報を生成し、セル情報と生成時間、それに識別のためのメッセージ ID を付加してメッセージプールに供給する。また、情報生成アルゴリズムは、定期的にメッセージプールを参照し、同一時間帯・同一セル・同一方向の渋滞情報が複数得られた場合には、渋滞情報の統合によって質の高い渋滞情報の生成を行う。統合処理は以下のスキームで行う。

- 統合された渋滞情報は、その素となっている品質レベル 1 の渋滞情報のメッセージ ID を保持しており、品質レベルはオリジナル情報の数に等しい。
- 同じセル、および同じ時間帯の渋滞情報がメッセージプール内で検出された場合、それらを 1 つの渋滞情報に統合する。この際、メッセージ ID が同じ渋滞情報は統合処理を行わず、重複による誤った品質レベルの向上を防ぐ。
- 品質レベルが一定値を超えたプローブ情報については、必要に応じて伝達モードを変更する。

道路交通情報生成アルゴリズムは、メッセージプールのリアルタイム性 (鮮度) を保つため、情報に有効期限を設け、一定期間が経過した渋滞情報の破棄を行う。図 5.14 に、渋滞情報の統合と有効期限の関係を示す。図中の矢印 (001 から 009) は渋滞情報とその有効期限を示し、統合されている情報 (004,005,007, および 009) については、それぞれのオリジナル情報がどのように保持されているかを示している。統合された渋滞情報の有効期限は、図 5.14 のように、統合処理に用いたオリジナル情報のうち、最も有効期限が新しいものにあわせて設定される。このとき、統合処理がなされる時点で、有効期限が過ぎているオリジナル情報は破棄される。

例えば、図 5.14 の渋滞情報 009 での 007 と 008 の統合処理のように、007 が保持しているオリジナルの 001 と 002 は、統合処理の時点で有効期限が過ぎているので、統合の際に破棄される。従って、品質レベル 4 の 007 と品質レベル 1 の 008 から、品質レベル 5 の渋滞情報ができのではなく、古い情報が破棄されて品質レベル 3 の渋滞情報が生成されることとなる。これはオリジナル渋滞情報に対して、直前 15 分間の時間ウィンドウを設けていることに等しく、これによって情報の鮮度を保つことができる。

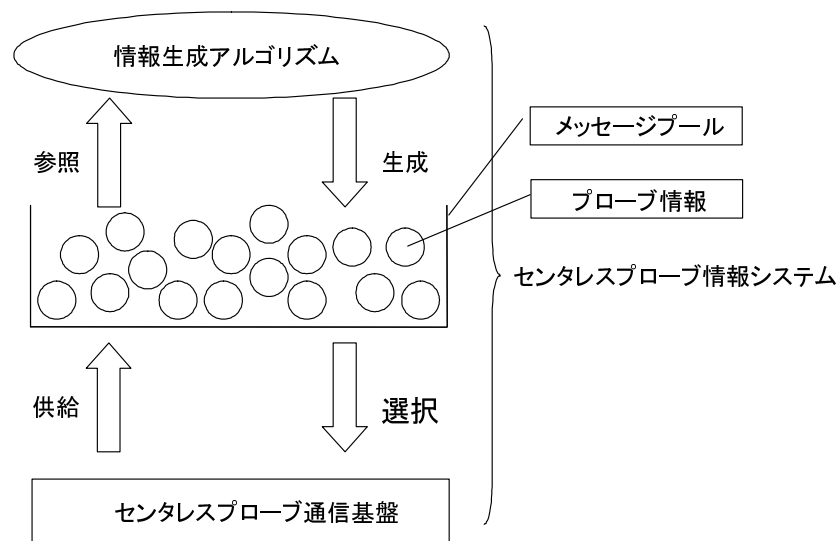


図 5.12: 処理システムの構造

5.2.4 車載システムの設計と実装

本節では、センタレスプローブ情報システムの車載システムの設計と、および実証実験で用いた実システムの実装に関して述べる。

車載システムの設計

センタレスプローブ情報システムの車載システムの構成を図 5.15 に示す。

車載システムは、情報生成アルゴリズム、及びセンタレスプローブ通信基盤を実現するソフトウェアと、車車間通信機、GPS ユニット、速度センサを接続するためのインターフェースを有する。車載システムは以下の機能を持つ。

情報生成アルゴリズム機能

プローブ情報の生成に関する機能であり、今回の実装では道路交通情報生成アルゴリズムである。

メッセージプール機能

自車にて生成される、あるいは受信したプローブ情報を一定量蓄積する機能である。

センタレスプローブ通信基盤

生成されたプローブ情報の収束と拡散を行う通信基盤である。

車車間通信機能

実際の車車間の通信を実現する機能である。

道路交通情報生成アルゴリズムを搭載した車載システムの処理構造を図 5.16 に示す。

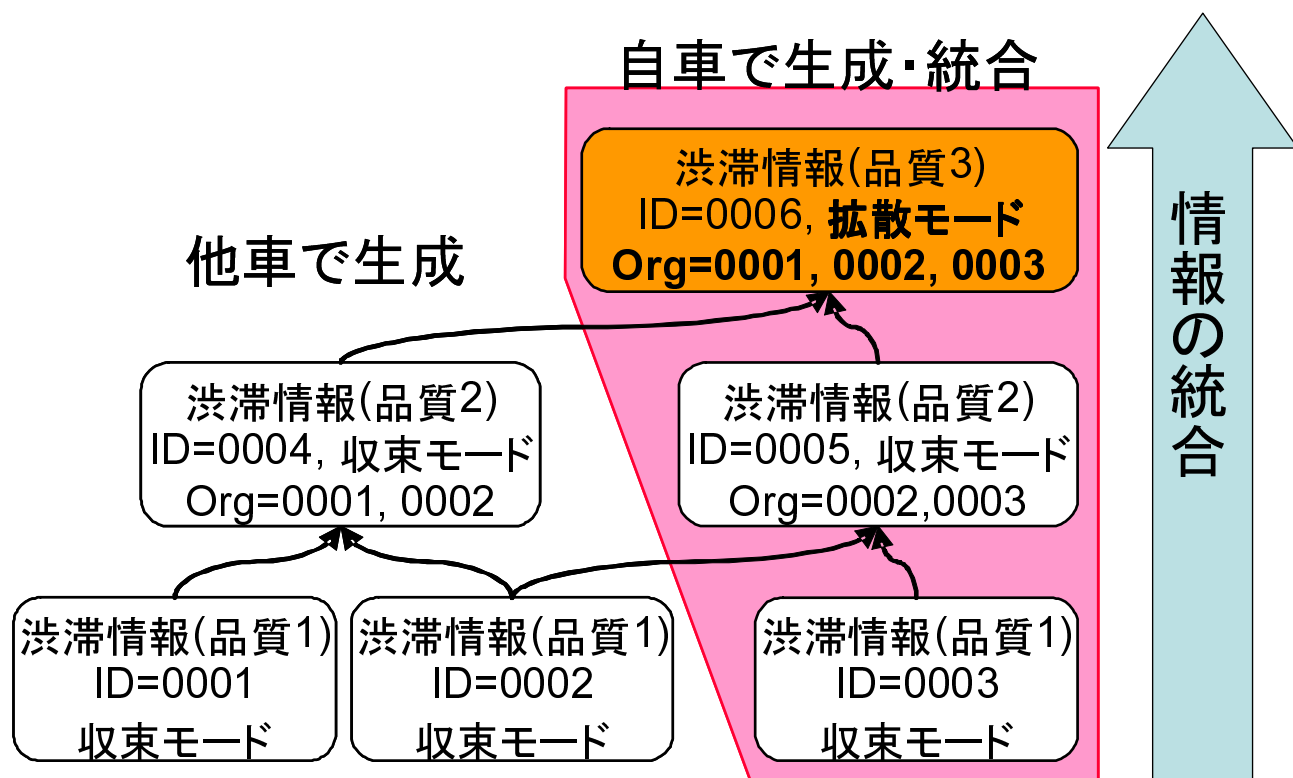


図 5.13: 渋滞情報の統合処理

車載システムの実装

車載システムとしてソフトウェアを実装する車載機は、ノートパソコンを利用した。GPS ユニットと速度センサはシリアルケーブルで車載機と接続した。車車間通信機は、IEEE 802.11b ad-hoc mode の無線 LAN 方式とし、通信機と車載機の間は、イーサケーブルで接続した。表 5.2 に車載システムとして用いた実験機器の仕様を、表 5.3 に車載システムが取り扱う車両情報を示す。

車載システムの処理フローを図 5.17 に示す。また、処理フローと処理システムのコンポーネントとの関係を、フローの名称の後ろに記載する。

A1:初期パラメータ設定 (車両情報収集)

設定データ情報から各初期値を読み込む。又、ログ出力の各パラメータを設定する。エラーが発生した場合はエラーメッセージを出力し、処理を終了する。

A2:車載機状態更新タスク起動 (車両情報収集)

車載機状態更新タスクを起動して、定期的に車載機から車両走行情報を読み取る。

A3:車載機初期化設定 (車両情報収集)

車載機時刻の取得元、車載機状態の出力ログの各パラメータを設定する。

A4:車両情報取得判定 (車両情報収集)

車両情報の取得ができているかチェックする。YES の場合、A5 以後の処理を行い、NO の場合、2000msec 毎に再判定する。

表 5.2: 実験機器の仕様

項目	仕様
車載 PC CPU	Intel CoreSolo T1300 1.66GHz
車載 PC OS	WindowsXP Pro SP2
車載 PC メモリ	512MB
車載 PC HDD	40GB
通信機 無線規格	IEEE 802.11 b/g 準拠
通信機 周波数帯	2400-2483.5MHz (ARIB STD-T66 準拠)
通信機 通信確立時間	100msec 以内
通信機 送信出力	2mW/MHz

表 5.3: 車両情報の項目

項目	型	内容
車両 ID	Integer	車両の識別 ID
緯度・経度	double	位置情報 北緯・東経が正
車両速度	double	車両の瞬間速度 (時速)
車両方向	Integer	北から時計回りに 0-359 度まで
車両走行距離	long	車両の累積走行距離
車両時刻	Date	車両の現在時刻

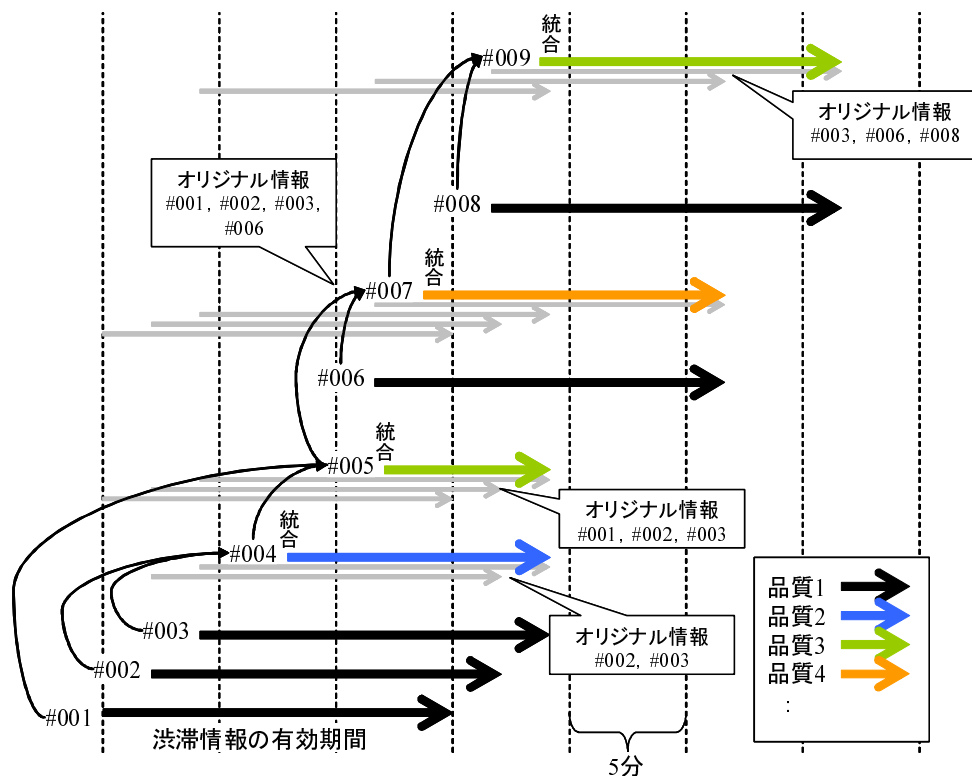


図 5.14: 渋滞情報の有効期限

A5:プローブメッセージ送受信キュー初期化 (道路交通情報生成アルゴリズム)

送信キューの最大サイズ，送信最大可能件数を設定する．今回の実装では，送信キューの最大サイズは 100Mbytes，送信最大可能件数は 1000 件に設定した．

A6:メッセージプール初期化 (道路交通情報生成アルゴリズム)

メッセージプールの最大サイズを設定する．今回の実装では，メッセージプールの最大サイズは 100Mbytes に設定した．

A7:プローブアプリケーションタスク起動 (道路交通情報生成アルゴリズム)

車両走行情報からメッセージを作成し，メッセージプールに保存する．

A8:プローブ情報伝達タスク起動 (センタレスプローブ通信基盤)

メッセージプール内のメッセージを整理し，送信キューにコピーする．受信キューからメッセージを取り出し，メッセージプールに存在しないメッセージを挿入する．情報伝達モードを取得して，センタレスプローブ通信基盤に伝える．

A9:送信タスク起動 (プローブ情報送信)

定期的に送信キューからメッセージを取得して，送信する．

A10:受信タスク起動 (プローブ情報受信)

定期的に他車からのメッセージを受信して，受信キューに保存する．

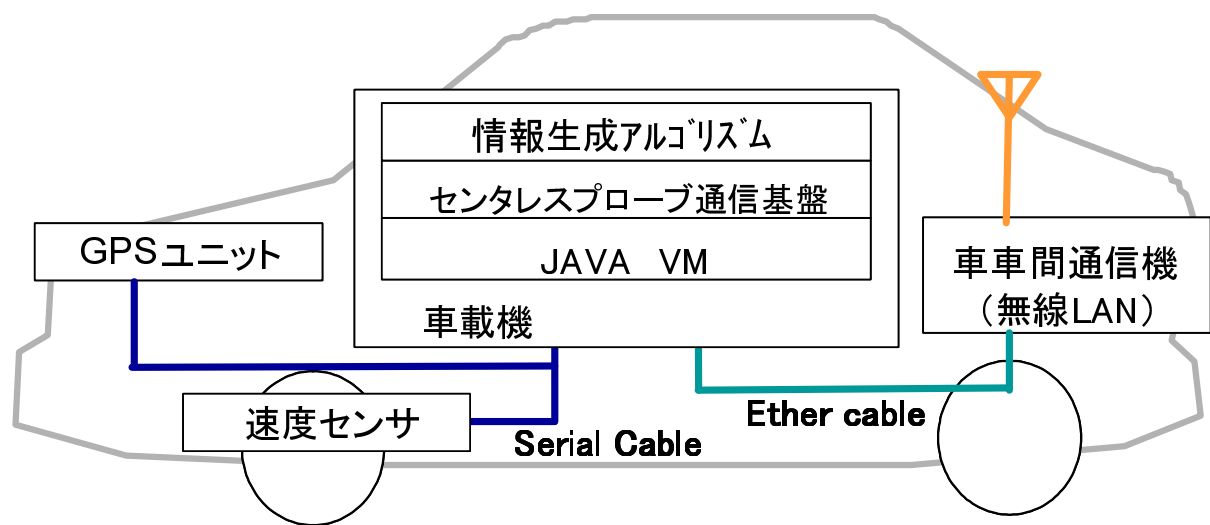


図 5.15: 車載システムの構成

A11: システム運行状態出力 (車両情報収集)

車両走行情報，メッセージプール，送受信キューのメッセージサイズ，件数，送受信のメッセージ，パケットの件数を運行ログとしてファイルに出力する。

A12: 終了 (車両情報収集)

Ctrl + C が押されたら，処理を中止する。

5.2.5 実証実験

本項では，センタレスプローブ情報システムの実証実験について述べる．まず，目的と概要について述べ，次に，実験で用いたシステムのパラメータについて述べる．その後，実験の際の車両の走行シナリオについて説明を行う。

目的と概要

渋滞情報を生成・統合する情報生成アルゴリズムの評価と，情報の収束と拡散が可能なセンタレスプローブ通信基盤を利用してプローブ情報が伝達可能であることの評価，すなわちセンタレスプローブ情報システムの有効性の評価を目的とし，実車両による実証実験を行った．実証実験は，財団法人日本自動車研究所 (JARI) 城里テストセンタ (茨城県東茨城郡城里町) 外周路 (以下テストコース) にて実施した．テストコースは，週長 5722m，幅 7m (片側 1 車線の上下線) のアスファルト舗装路であり，アップダウン (最大勾配 5.9 %) やカーブ (最小半径 60m) 等も含む一般道路を模擬した評価仕様路となっており，車両の挙動は一般的な道路とほぼ同じとなる．実験では，情報生成アルゴリズムが安定して繰り返しプローブ情報を生成するように，テストコース内に 2 箇所の渋滞区間を設けた．渋滞区間は各々 600m とし，実験車両は通常区間は時速 60km，渋滞区間内は時速 15km で走行した．テストコースの概要と設定した渋滞区間の箇所を図 5.18 に示す．

実験車両には同一の普通乗用車を用い，5 台とも同一の機器による車載システムを搭載した．

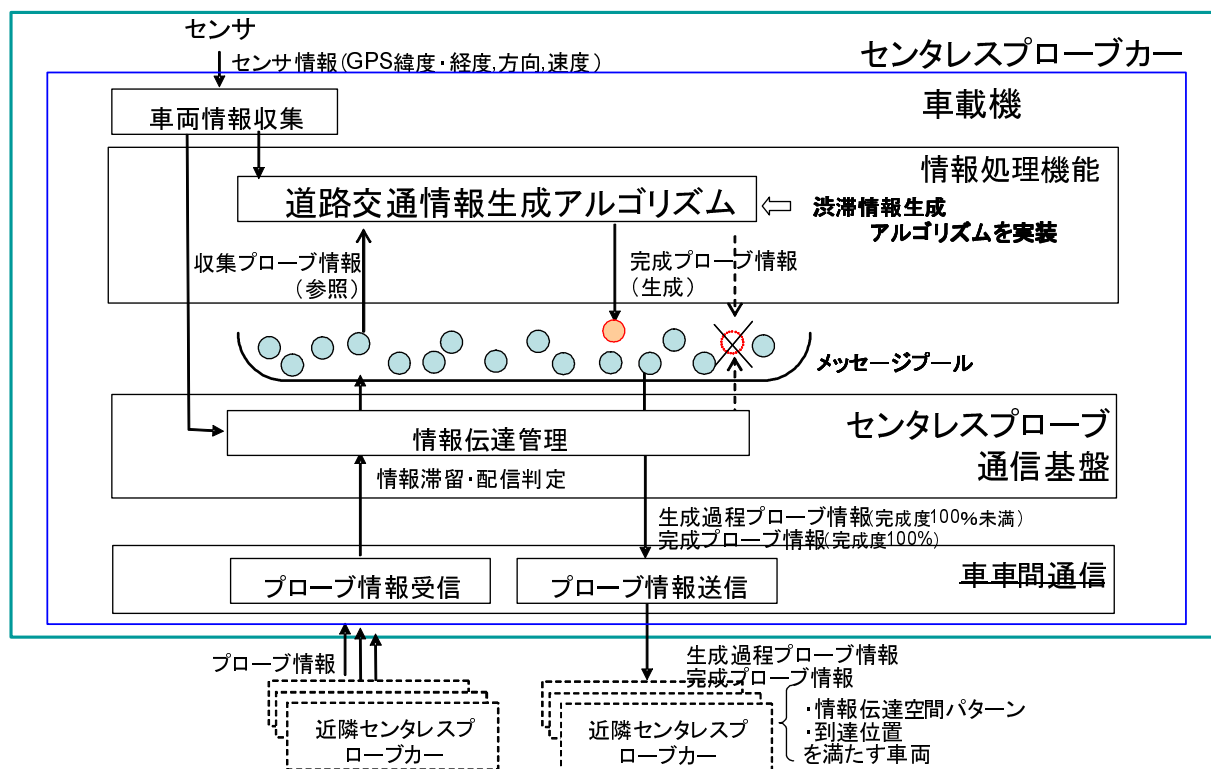


図 5.16: 車載システムの処理構造

システムパラメータ設定

実験においては、車載機に実装された道路交通情報生成アプリケーションは以下のようなパラメータで動作するように設定した。また、センタレスプローブ通信基盤の動作確認のため、メッセージプール内に任意のプローブ情報（ダミープローブ情報）を蓄積させるアプリケーションも準備し、実験を行った。

- 1秒毎にGPSから自車位置を取得し、一辺が300mの正方形で区切ったセル（計測単位区間）から隣接するセルに移った時点で、渋滞情報の生成判定を行う。
- 直前セルを通過した際の旅行速度が閾値である時速20kmを下回った際に、品質レベル1の渋滞情報（オリジナル渋滞情報）を生成し、メッセージプールに蓄積する。
- 他車との情報交換等の結果、メッセージプール内にて同一セル、同一方向、同一時間帯の渋滞情報が検出された場合、渋滞情報の統合処理を行う。統合された渋滞情報の品質レベルは、オリジナル情報の数と等しくする。この際、統合された渋滞情報にはオリジナル情報のIDが保存されているため、重複した統合は行われない。

生成された渋滞情報の品質レベルが3未満の際には、渋滞情報はその発生地点に留まるように収束モードで以下のような伝達を行うよう設定した。

- 収束モードでは、情報の伝達目的地は渋滞情報の発生位置とする。今回の実験では渋滞の発生位置は発生したセルの中心地とした。

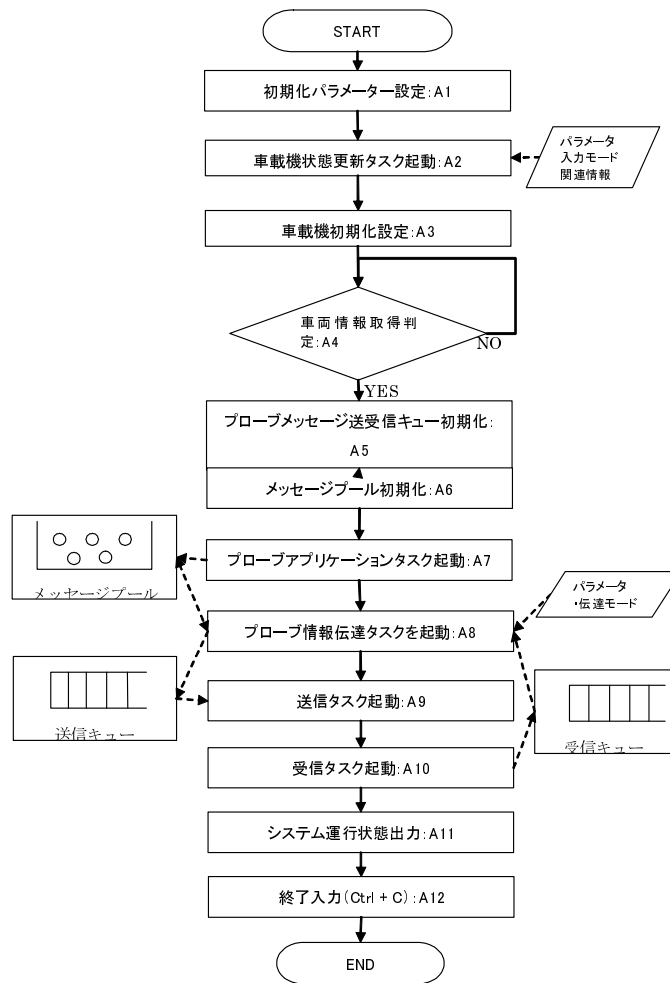


図 5.17: 車載システムの処理フロー

- 自車の位置と各情報の目的地の距離に応じて、情報の発信頻度の設定を行う。収束モードでは到達限界距離を 500m と設定し、その範囲内であれば目的地との距離が近い程、情報の発信を頻繁に行う。

図 5.19 に収束モードの様子と設定したセルを示す。

一方、渋滞情報の品質レベルが 3 以上の際には、渋滞情報は後続車両へより多く発信されるように拡散モードで伝達される。実験では、拡散モードで以下のような伝達を行うよう設定した。

- 拡散モードでは、情報の発信起点から、拡散 (配信) 方向と拡散範囲、到達限界距離を設定する。本実験では、拡散方向は後続車への伝達を意図して進行方向と反対方向 (180 度) とし、配信方向は扇状に 600m、到達限界距離は 10000m とした。
- センタレスブローブ通信基盤は、情報の発信起点、拡散方向、拡散範囲、および到達限界距離で定められる配信エリア内において、自車の位置と各情報の情報発信起点の距離に応じて、情報の発信頻度の設定を行う。配信エリアの範囲内であれば目的地との距離が近い程、情報の発信を頻繁に行う。

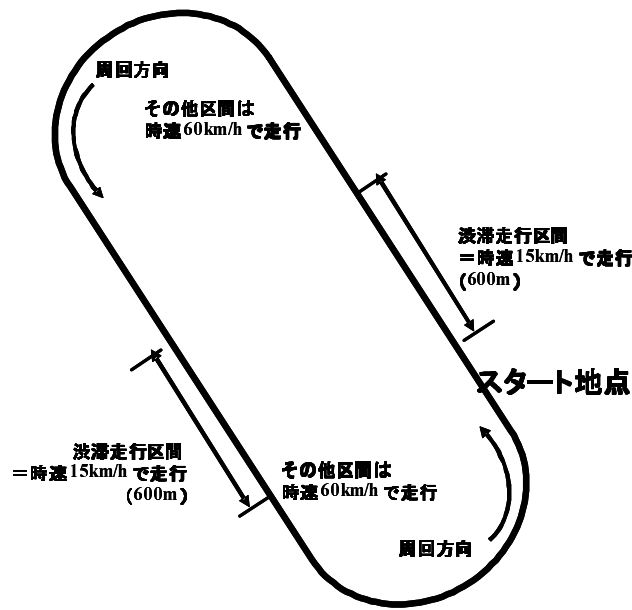


図 5.18: テストコース概要と渋滞区間の設定

図 5.20 に拡散モードの様子と設定したセルを示す。

また、実験においては無線 LAN の帯域より十分に小さく、他車の送信を妨げない送信帯域として、メッセージの送信帯域を 30kbps に設定した。情報伝達モジュールはこの帯域内で、メッセージプールにある情報を発信する。

車両走行シナリオ

実証実験では、2つのシナリオに沿って車両を走行させた。以下にそれぞれのシナリオを示す。

シナリオ 1

5 台の車両を同一方向に、15 秒間隔でスタートさせる。通常走行時は車両間隔が 250m 開き、情報が送受信できないが、渋滞区間では 63m となり、送受信が可能となる。又、5 台の車両を走行させることにより、品質レベル 3 以上の渋滞情報生成が可能となり、伝達モードの変更が行われる。このような状況を設定して、渋滞情報の生成、統合処理を確認した。

シナリオ 2

4 台の車両を同一方向に、60 秒間隔でスタートさせ、その後、1 台を逆方向にスタートさせる。逆方向に走行する車両は、渋滞区間が終わった位置で待機する。渋滞区間でも 250m の車両間隔となり、同一方向で走行する車両間では渋滞情報を送受信できないが、逆方向に走行する車には、すれ違い時に渋滞情報を送信することができる。逆方向に走行する車は、4 台の車両から渋滞情報を受信し、品質レベル 3 の渋滞情報が生成される。このような状況を設定して、渋滞情報の生成、統合処理を確認した。シナリオ 2 の実験車両走行軌跡を図 5.21 に示す。図 5.21 中の線の交点で車両がすれ違うポイントであり、ここで互いの持つプローブ情報の交換が行われる。

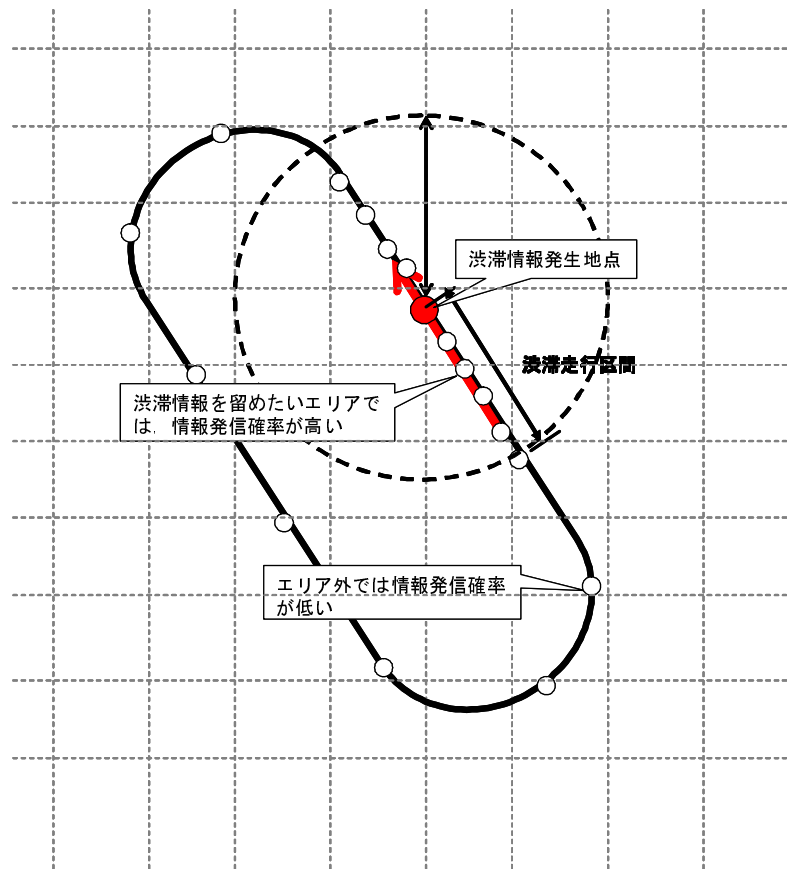


図 5.19: 収束モードによる伝達の様子

実車両によるテストコースでの実験の様子を図 5.22 に示す。

5.2.6 評価

本項では、前述の実証実験の評価について述べる。まず、道路交通情報生成アルゴリズムについての評価を述べ、次に、センタレスプローブ情報システムの有効性評価について述べる。

道路交通情報生成アルゴリズムの評価

車両走行シナリオ 1 によって取得した 1 号車、2 号車のログデータから、渋滞情報生成アルゴリズムの検証を行った。

渋滞情報の生成

渋滞区間を走行する 1 号車が隣接するセルに移った際に渋滞情報を生成した。

渋滞情報の統合

渋滞区間を走行する 1 号車が、時刻 9:45:06 に、セル番号 5440522321 を平均旅行速度時速 4km、進行方位南東で走行し、渋滞情報メッセージ ID 476741370108 を生成した。その後、

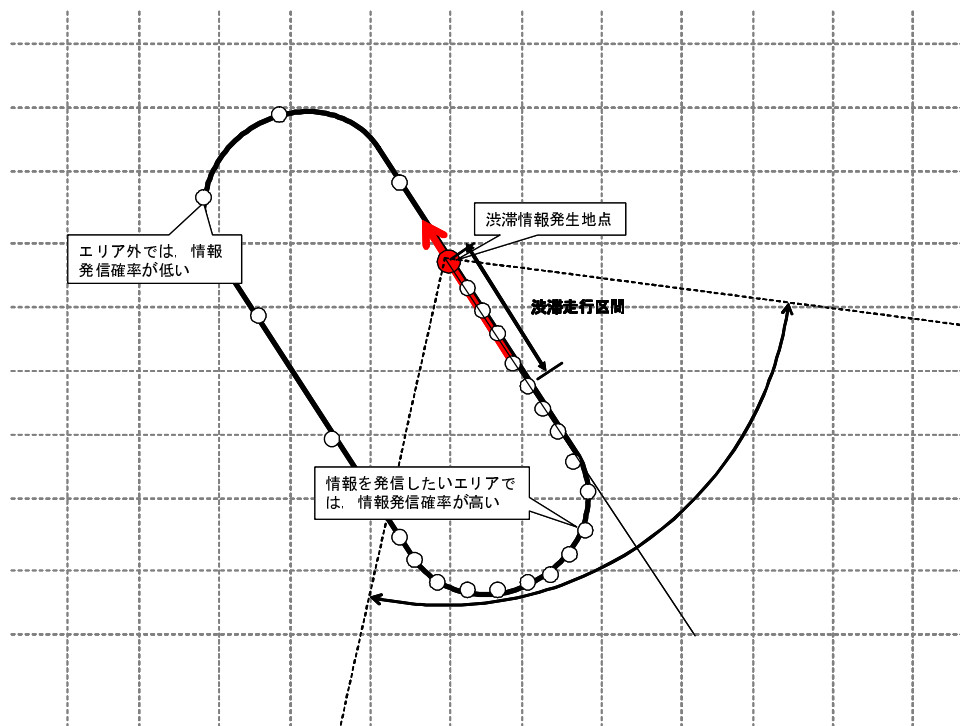


図 5.20: 拡散モードによる伝達の様子

2号車が時刻9:45:21に、同一セルを平均旅行速度時速3km、進行方位南東で走行し、渋滞情報メッセージID 481036337434を生成した際に、1号車へ情報送信を行った。これを受けた1号車は、2つの渋滞情報を統合し、品質レベル2の渋滞情報メッセージID 476741370177を生成した。また、統合された品質レベル2の情報と、3号車から発信された品質レベル1の情報について同様の処理を1号車が行い、品質レベル3の情報を生成することを確認した。

上記の結果から、提案する道路交通情報生成アルゴリズムは、渋滞を検出してプローブ情報を生成し、また他の車両から発信されたプローブ情報と情報を統合することで品質レベルの高いプローブ情報を生成することが可能であることが分かった。

センタレスプローブ情報システムの有効性評価

図5.23は、車両走行シナリオ1において1号車から5号車が生成した品質レベル1の渋滞情報を発信した時の車両の位置を外周路上に示したものである。図中の円は、渋滞発生位置からの到達限界距離である600mを示している。また、車両走行シナリオ2においても、ほぼ同様の結果が得られた。この際、ダミー情報生成アプリケーションは1秒毎に2つのダミープローブ情報を発生させていた。ひとつのメッセージは約1kbytesであるため、システム動作から15秒以上経過した時点で、設定した送信帯域30kbpsに対し、送信するメッセージを伝送モードに基づいて優先順位を選択するだけの十分なデータが、メッセージプールに蓄えられることとなる。

この結果から、収束モードが規定する到達限界距離内において、道路交通情報生成アプリケーションが生成した渋滞情報が発信されており、実装したシステムがプローブ情報の統合のために

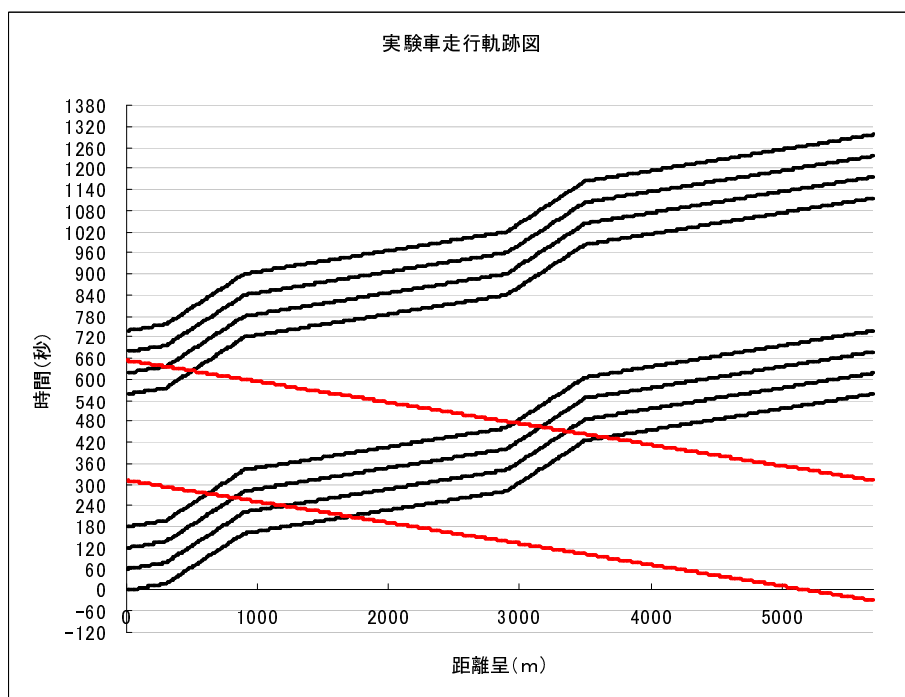


図 5.21: 実験車両走行軌跡 (シナリオ 2)

有効に動作していることが分かった。図 5.24 は、左側が車両走行シナリオ 1 において、メッセージプールの情報量を十分に増やした状態で 1 号車から 5 号車が生成した品質レベル 3 以上の渋滞情報を送信した位置を外周路上に示したものである。また、右側は車両走行シナリオ 2 において、メッセージプール内の情報を増やさない状態で渋滞情報を送信した位置を、外周路上に示したものである。

両者の比較によってメッセージプールに十分な情報量が無い場合には、品質レベル 3 以上の渋滞情報が全周に渡って発信されることが分り、これにより、拡散モードが正常に動作していることが判明した。この結果から、品質レベル 3 以上の渋滞情報について、情報の発信起点から 60 度の扇状の配信エリアにて発信されていることが確認できた。このことから、実装したシステムは道路交通情報生成アプリケーションが生成した質の高い渋滞情報を後続車両へ効率的に伝達できることが分かった。

5.2.7 センタレスプローブ情報システムに関する考察

車車間通信を司るセンタレスプローブ通信基盤と提案したアルゴリズムに基づくシステムの設計、および車載機への実装を行い、テストコースにおいて 5 台の実車両による実証実験を行った。その結果、実装した車載システムによって、提案する道路交通情報生成アルゴリズムによるプローブ情報の交換と情報の生成が可能であることを確認した。具体的には、個々の車両で生成されたプローブ情報を車車間通信を用いて交換し、統合処理を行うことで質の高いプローブ情報を生成出来ることが分かった。また、実装したセンタレスプローブ情報システムによって、生成した質の高いプローブ情報が有効に伝達されることを確認した。今後の課題としては、以下が挙げられる。



図 5.22: 実験車両の走行風景

情報生成アルゴリズムの協調

今回の実験では、情報生成アルゴリズムは単体で動作させた。今後は、複数の情報生成アルゴリズムが同時に扱ったとき、それぞれが排他的な振る舞いをしないよう、アプリケーション間での優先順位付けや、通信基盤との連携を検討する必要がある。また、今回は渋滞情報に関する情報生成アルゴリズムの検討を行った。本アルゴリズムは、渋滞情報以外にも、1) 一定エリア内で、2) 進行方向を持ち、3) 周辺の同一情報を統合する事で精度が高まる情報については活用可能であると考えられる。こうした複数の同一アルゴリズムと、それ以外の性質を持つ情報生成アルゴリズムの協調も検討する必要がある。

閾値となる情報の品質レベル

今回の実験では、生成された渋滞情報について、品質レベル3を渋滞情報の収束と拡散の振る舞いを変える閾値と設定し、動作の検証を行った。これはあらかじめ定められた道路線形の道で、走行車両が全てシステムに対応している状態で、全車両の5割以上の情報が統合された場合に拡散するというパラメータである。一方、実際の道路環境であれば、システムに対応している車両とそうでない車両が混在し、道路構造もより複雑になる。本アルゴリズムを実環境で有効に動作させるためには、センタレスプローブ車両の全車両における混入率や道路構造の特性等を踏まえ、閾値となる品質レベルを定める必要がある。また、周辺車両の情報から逸脱する異常値を検出した際には破棄する等のクレンジングを行うような処理を導入し、交換される情報自体の精度を高めることも必要となる。

セキュリティの確保

今回の実験においては、車両が生成するプローブ情報は全て正しく、流通するプローブ情報も全て真値として扱っている。しかし、実運用では悪意ある第三者が恣意的に欺瞞情報を流布することや、システムの不具合による誤情報の発信等も考えられる [39][40]。こうしたシ

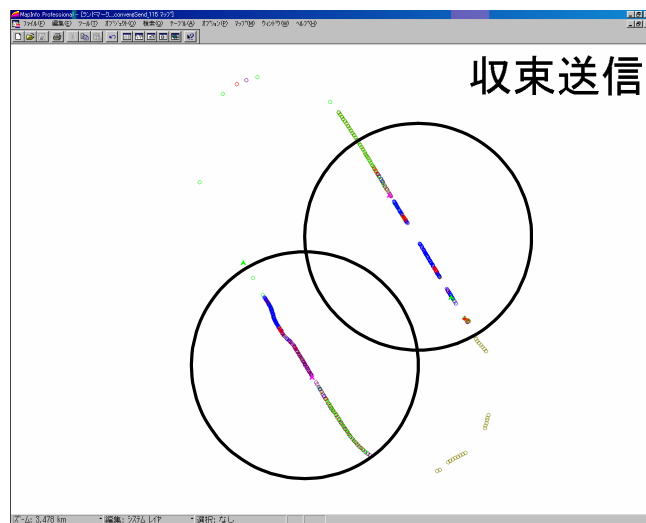


図 5.23: 収束モードにおける情報発信位置

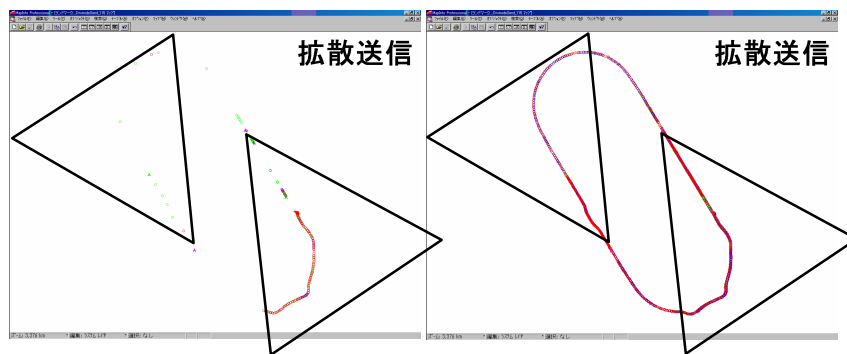


図 5.24: 拡散モードにおける情報発信位置

システムにとって悪影響を及ぼす情報に対するシステム全体のセキュリティを確保するための措置が必要となる。

5.3 本章のまとめ

本章では、自動車情報基盤が備えるべき機能であるプローブ情報生成基盤の提案を行った。まず、プローブ情報システムにおける情報生成について考察し、自動車情報インターフェイス基盤を活用した情報生成について考察を行った。次に、プローブ情報システムの最も一般的な形である、情報基盤上に情報集約箇所を構築し、自動車情報の集約・生成を行うシステムモデルについて、自動車情報インターフェイス基盤に基づく実装を行い、実現可能性を確認した。一方、情報を集約するプローブ情報システムは、情報集約箇所である probe aggregator が自動車から常に情報を受信し続ける事となり、情報集約箇所の処理量が規模性の上でのボトルネックとなる。そのため、プローブ情報生成基盤には、動いている全ての車がプローブ情報生成基盤に繋がることを

想定した場合、一定間隔頃に押し寄せてくるデータを逐一処理して有用な情報を生成するためのスキームが必要となる。

そこで本研究では、車車間通信技術を活用した、情報センタに依存しないプローブ情報システムのモデルとして、本研究ではセンタレスプローブ情報システムを提案し、その設計と実装を行った上で、実証実験を行った。その結果、実装した車載システムによって、提案する道路交通情報生成アルゴリズムによるプローブ情報の交換と情報の生成が可能であることを確認した。具体的には、個々の車両で生成されたプローブ情報を車車間通信を用いて交換し、統合処理を行うことで質の高いプローブ情報を生成出来ることが分かった。また、実装したセンタレスプローブ情報システムによって、生成した質の高いプローブ情報が有効に伝達されることを確認した。

第6章 プライバシ保護基盤

本章では、自動車情報流通基盤が備えるべき機能であるプライバシー保護基盤について述べる。まず、プローブ情報システムにおけるプライバシー保護について述べ、プローブ情報システムのプライバシーに対する脅威について考察を行う。その後、プライバシーを保護するためのメソッドとして、はじめにプローブ情報システムが遵守すべき基本原則について述べる。次に、プライバシーを保護した上でプローブ情報を構築するための具体的な手法である匿名認証方式を用いたプローブ情報システムの設計と実装について述べる。

6.1 プローブ情報システムにおけるプライバシー保護

本節では、プローブ情報システムにおけるプライバシー保護について述べる。まず、プローブ情報システムにおけるプライバシーについての考察を行う。次に、プローブ情報システムに存在する個人情報について述べる。

6.1.1 プローブ情報システムとプライバシー

プローブ情報システムは、自動車の保持するセンサ情報をインターネット等の汎用的な情報通信基盤を用いて収集し、統計的な処理等を施すことで交通情報や気象情報、安全運転支援情報等の価値ある情報（プローブ情報）を生成し、生成したプローブ情報を情報通信基盤を活用して利用者に提供するシステムである。システム構築にあたっては専用基盤を必要としないため、既存の ITS に比べてより広範囲な情報の収集提供が可能である。また、自動車の持つ様々な情報を直接収集できるため、交通情報をはじめ、気象情報やドライバの嗜好に基づく情報提供等が可能となる。プローブ情報システムは、汎用的な情報通信基盤を用い、個々の車両の存在位置や時刻と共に自動車の情報を収集するため、情報提供者の活動履歴や個人情報の漏洩を保護するためには、適切なシステム構築と運用が不可欠である。

ISO/TC204/WG16 における国際標準を策定する場で議論されたプローブ情報システムについては、プローブデータは「個人情報を含まない」と定義されている。これは、プローブ情報システムは多数の自動車や他のシステムから情報を収集し、統計的な処理等を行って交通情報等のプローブ情報を生成することを前提としているため、個々の自動車を識別する必要性が無いからである。なお、ISO の場では、個々の自動車の識別を必要とするようなプローブ情報システムは、「プローブ情報システム機能を有するテレマティクスシステム」として区別して定義されている。しかし、プローブ情報システム内においては、プローブデータに含まれない部分で、個人情報を取り扱われる可能性がある。情報通信基盤を用いて情報を収集する際の通信 ID や、システムが車載機器を認証するために用いる個々の ID は個人情報である場合がある。また、コアデータエレメントは自動車の「存在位置」と「時刻」から構成されている。何らかの方法で自動車が特定される場合は、プローブデータは個人の活動に繋がる可能性がある。特に、連続したプローブデータは個人の活動履歴（移動軌跡）となり、私有地や特定の場所と結びついた情報になった場合には個

人のプライバシーに関する重大な問題となりうる。プローブ情報システムを構築し普及させていくには、情報提供者の個人情報に関する不安を取り除くため、適切なシステム構築と運用を行う必要がある。

6.1.2 プローブ情報システムに存在する個人情報

プローブデータに直接的に個人を識別することができる情報が含まれていなくても、OECD のプライバシー・ガイドライン [41] で言及されるように、間接的に個人が識別できる場合には個人情報として取り扱う必要がある。本研究では、プローブ情報システムに存在する個人情報は、「プローブ情報システムが、自動車から情報通信基盤を介してプローブデータを収集する際に、直接的あるいは間接的に個人を識別することが出来る情報」と定義する。これは、容易に参照可能なデータベースによって個人を識別できる情報を含む。参照可能なデータベースについては、表 6.1 のように 2 種類に分類できる。本研究では、プローブ情報システム自体が所有するデータベースに加え、外部の主体が所有するデータベースでも、容易に参照可能で間接的に個人を特定することが可能であれば、プローブ情報システムの個人情報として取り扱うこととした。

表 6.1: 個人情報を参照できるデータベース

項目	内部データベース	外部データベース
定義	プローブ情報システム自身が所有するデータベース	プローブ情報システム以外の主体である公共企業体あるいは民間企業が管理運営しているデータベース
例	加入者登録情報、個人 ID とパスワードのデータベース	個々の住宅 (住所) が確認可能な地図、住所録、電話帳、DNS のゾーンデータベース

プローブ情報システムにおいて用いられる認証は、情報送信者のなりすましやサービス不能攻撃といった脅威に対応するため、情報送信者が主張する自己同一性が正当であることを確認する機能であり、認証情報には情報送信者を特定する何らかの情報が含まれる。そのため、プローブ情報システムが認証を行う場合、認証情報が個人を直接特定できる場合は個人情報となる。一方で、認証情報が特定の意味を持たない記号や数字等の文字列 (パラメータ) の場合は、認証情報だけでは個人を直接特定することはできないため、認証情報が個人情報となりうる状態とは以下の様に整理される。

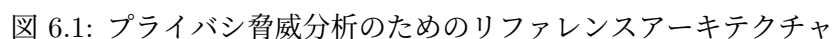
- 認証情報が個人を直接特定できるとき
- 認証情報だけでは個人を直接特定できないが、認証情報と特定の個人を対比できるデータベース (このようなデータベースを「認証情報データベース」と呼ぶ) が存在し、それを参照することができる

同様に、暗号化を行う場合、個人を特定して暗号化を行う方式と、個人を特定しないで暗号化を行う方式がある。個人を特定して暗号化を行う場合、プローブデータ収集主体が送られてきた

- 個人を特定して暗号化を行う場合であって、暗号化情報が個人を直接特定できるとき
- 個人を特定して暗号化を行う場合であって、暗号化情報だけでは個人を直接特定できないが、暗号化情報と特定の個人を対比できるデータベース（このようなデータベースを「暗号化情報データベース」と呼ぶ）が存在し、それを参照することができる

本節では、プローブ情報システムにおけるプライバシーに関する脅威分析を行う。まず、脅威分析のために、プローブ情報システムのリファレンスアーキテクチャを定義する。次に、そのリファレンスアーキテクチャに基づく脅威分析を行い、その後、脅威分析に基づくプライバシー保護手法について述べる。

プローブ情報システムにおけるプライバシー脅威分析を行うため、本論文ではプローブ情報システムのリファレンスモデルを定義した。このリファレンスアーキテクチャは、ISO/TC204/WG16で議論が行われたプローブ情報システムのプローブデータ定義のためのものをベースとし、プローブ情報システムの情報提供者と収集者と交換されるプローブデータ以外の情報も含んで個人情報を検討するため、通信に関連する概念についての拡張を行った。本研究で定義するリファレンスアーキテクチャを図 6.1 に示し、追加した機能の定義を以下に述べる。



Probe payload generation

プローブデータや認証情報等，アプリケーション層での処理に関わるデータ群の生成を行う．プローブデータ発信者の認証やデータの正当性確認はここで行われる．

Probe package sending

”Probe payload generation”によって構築されたデータ群に対し，通信に必要な情報である probe header を付加してプローブデータ発信者から送信される情報パケットを作成し，プローブ収集主体に通信基盤を介して発信する．通信基盤とプローブデータ発信者の間で行われる処理はここで行われる．

Probe package receiving

”Probe package sending”が発信した情報パケットを受信し，通信に必要な情報である probe header を取り除いてデータを取り出し，”probe payload processing”に送る．

Probe payload processing

”Probe package receiving”から受信したデータ群に対し，内部に含まれている情報に応じてプローブデータ発信者の認証やデータ正当性の検証を行った上でプローブデータを取り出す．

6.2.2 脅威分析

前節にて定義したリファレンスアーキテクチャに基づき，プローブ情報システムに存在する個人情報についての脅威分析を行った．脅威事例については，1) プローブ情報システム特有の個人情報に係る脅威 と 2) プローブ情報システムに依らない情報通信システム全般に生じる脅威 の2種類に整理可能であり，プローブ情報システムにおいて特に対応が求められるのは前者の脅威である．

プローブ情報システム特有の個人情報に係る脅威

分析結果として，7つの脅威事例を以下に述べる．

a) 通信 ID の目的外利用

通信 ID が個人情報である場合において，収集主体が本来通信にのみ利用すべき情報 (通信 ID) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで，プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為

b) 認証情報の目的外利用

個人を特定することができる認証を行っている場合において，収集主体が本来認証にのみ利用すべき情報 (認証情報) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで，プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為

c) 暗号化情報の目的外利用

個人を特定することが可能な暗号化によって通信路の安全を確保している場合において，収集主体が本来通信路の暗号化にのみ利用すべき情報 (暗号化情報) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで，プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為

d) システムの運用上知りうる情報の目的外利用

車載機の配布・販売や、情報収集に関する取り決めにおいて知り得た個人情報を持有する場合において、収集主体が知り得た情報とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為

e) 個人が推測可能なプローブメッセージの利用

主体そのものがもつ DB、もしくは収集主体以外の、公的機関や企業等の DB と発信位置等を照合することで個人を推測することが可能な場合において、収集主体が該当するプローブメッセージを利用して、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為

f) 通信 ID の不正取得

収集主体が密かに個人が特定できる通信 ID を収集することにより、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為

g) 認証情報/暗号化情報の不正取得

収集主体が密かに個人が特定できる認証/暗号化情報を収集することにより、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為

プローブ情報システムに依らない情報通信システム全般に生じる脅威

これに該当する脅威は、一般的な情報通信システムにも共通する脅威である為、詳細な説明は省くが、車載システム・センタシステムへの攻撃や、通信路における盗聴・改竄、なりすまし等の脅威が考えられる。

6.2.3 脅威分析に基づくプライバシー保護手法

脅威分析に基づいた、プローブ情報システムを構築する際の対処方針としては、技術的な対応と運用的な対応の二つが考えられる。プローブ情報システムにおける個人情報保護は、これらのどちらか一方によって実現することは不可能であり、適切な手法で構築されたシステムの上で、適切な運用を行うことで初めて実現される。以下に二つの手法に関する考察を述べる。

運用的な対応

プローブ情報システムにおいて個人情報を保護する為には、適切に構築されたシステムの上で、プローブデータとその付帯情報を適切に取り扱う必要がある。こうした取り扱いに関するルールを定め、それに基づき運用することは、システムの社会的受容性を高めると共に、普及展開を可能にする。また、こうした運用ルールは利用者をはじめとして広く社会に公開されるべきであり、情報開示等の要求に迅速に対応できるようなインターフェイスを用意することも重要である。

技術的な対応

プローブ情報システムは、その用途や目的、規模に応じて様々な構築方法が考えられ、用いられる技術も、構造によって異なってくる。しかし、基本的には以下の2つは最低限満たされる必要がある。

- 安全な通信路の利用

- 匿名化処理技術

前者はプローブ情報システムに限らず、情報通信システム一般に当てはまる要素だが、情報提供者が移動する自動車であるプローブ情報システムでは、通信状態が動的に変更していくため、現在どのような通信路・通信基盤を用いているかを確認することはとても重要である。後者は、プローブ情報システムが取り扱うプローブデータと、通信や認証時に用いられる個人情報とを切り離して管理する技術である。プローブ情報システムにおいて個人情報と他の情報を適切に切断し、匿名化して取り扱うことが可能であれば、プローブ情報の活用において個人情報漏洩の危険性は限りなく低くなる。一方、完全な匿名性が実現された場合には、悪意のある第三者からの故意による攻撃に対してシステムを防御することが難しくなり、システムの運用に深刻な影響を与える。そのため、特別な権限を持つ管理者 (escrow agent) のみは、必要に応じて匿名化情報から個を特定できる機能を備える等の技術が必要になる。

6.3 基本原則の検討

本節では、プローブ情報システムにおける個人情報保護を実現するために、情報収集者が遵守すべき基本原則の検討について述べる。まず、基本原則を検討するためのフレームワークについて述べ、次に、基本原則の具体的な内容を策定するために、フレームワークに沿って脅威の詳細化を行う。

6.3.1 基本原則のフレームワーク

本論文では、運用面からのプローブ情報システムにおけるプライバシー保護のために、プローブ情報システム構築の際に個人情報保護の観点から遵守すべき事項を取りまとめた。取りまとめた際には、前述の脅威分析に基づき、プローブ情報システムを構築する世界中のプロバイダやサプライヤが参照できるよう、各国の共通理解を得やすいスキームに則り、「基本原則」という形で実施した。具体的には、各国の共通理解が得やすいように OECD プライバシーガイドライン (以下、OECD ガイドラインと略す) に準拠することとし、基本原則を記述するフレームワークは、OECD ガイドラインのフレームワーク (8つの原則) に準拠することを前提とする。基本原則の策定に当たっては、フレームワークと脅威分析の結果を比較し、1) OECD ガイドラインの中で具体化・詳細化が必要な部分の抽出を行い、2) プローブ情報システムにおける個人情報保護の基本原則としてふさわしい記述内容の検討を進めた。以下に基本原則検討の Scope を挙げる。また、図 6.2 に作業のフレームワークを示す。

- プローブ情報サービス自体が持つ特性として対処が必要な脅威
- 現在構築される他の情報システムで用いられている技術的手段で対処できない脅威
- 個人情報保護の基本原則として必要不可欠な記述

6.3.2 脅威の詳細化

前述のプローブ情報システムに含まれる個人情報に係る脅威分析について、具体的な事例として詳細化を行い、脅威事例に適用される OECD ガイドラインの条文を選出し、基本原則の執筆箇所の抽出を行った。この詳細化の内容を表 6.2 に示す。

表 6.2: 脅威の詳細化

脅威	リファレンスアーキテクチャの箇所	概要	該当する 8 原則の記述
通信 ID の目的外利用	probe package receiving	通信 ID が個人情報である場合において、収集主体が本来通信にのみ利用すべき情報 (通信 ID) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為	(3) 目的明確化の原則, (4) 利用制限の原則
暗号化情報の目的外利用	probe payload processing	個人を特定することが可能な暗号化によって通信路の安全を確保している場合において、収集主体が本来通信路の暗号化にのみ利用すべき情報 (暗号化情報) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為	(3) 目的明確化の原則, (4) 利用制限の原則
認証情報の目的外利用	probe payload processing	個人を特定することができる認証を行っている場合において、収集主体が本来認証にのみ利用すべき情報 (認証情報) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為	(3) 目的明確化の原則, (4) 利用制限の原則
システムを運用する上で知りうるべき情報の目的外利用	probe processing	車載機の配布・販売や、情報収集に関する取り決めにおいて知り得た個人情報を有する場合において、収集主体が知り得た情報とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為	(4) 利用制限の原則
個人が推測可能なプローブメッセージの目的外利用	probe collection	主体そのものがもつ DB、もしくは収集主体以外の、公的機関や企業等の DB と発信位置等を照合することで個人を推測することが可能な場合において、収集主体が該当するプローブメッセージを利用して、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為	(4) 利用制限の原則
通信 ID の不正取得	probe package processing	収集主体が密かに個人が特定できる通信 ID を収集することにより、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為	(4) 利用制限の原則
暗号化情報の不正取得	probe payload processing	収集主体が密かに個人が特定できる暗号化情報を収集することにより、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為	(1) 収集制限の原則
認証情報の不正取得	probe payload processing	収集主体が密かに個人が特定できる認証情報を収集することにより、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為	(1) 収集制限の原則

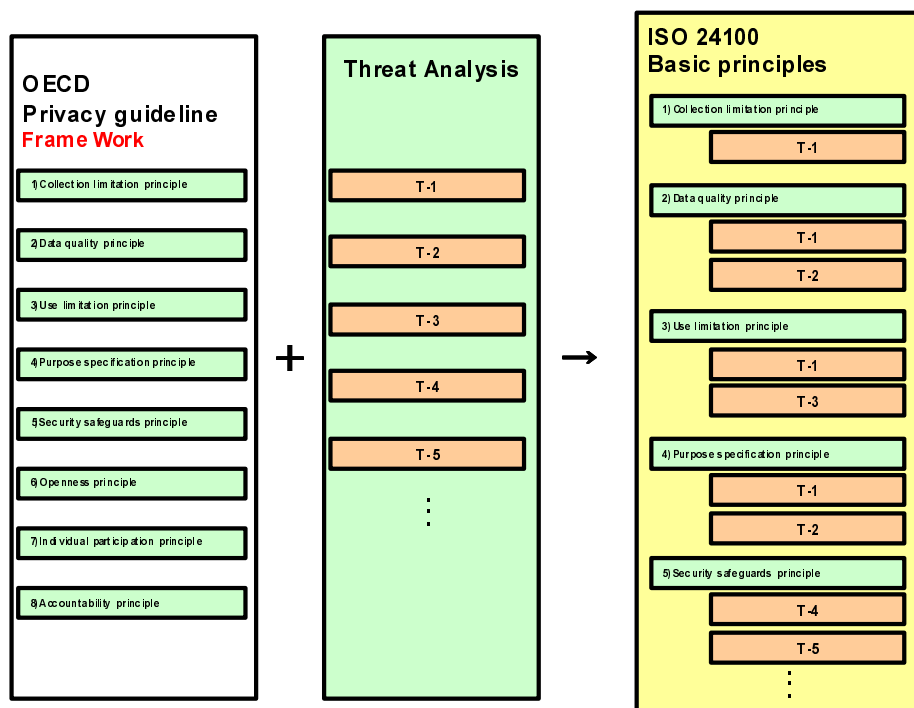


図 6.2: 基本原則のフレームワーク

OECD プライバシガイドライン”収集制限の原則”に係る脅威

原則の概要

- 個人データの収集には、制限を設けるべきであり、いかなる個人データも、適法かつ公正な手段によって、かつ適当な場合には、データ主体に知らせめ又は同意を得た上で、収集されるべきである。

脅威事例

- 通信 ID が個人情報である場合において、収集主体が本来通信のみに利用すべき情報 (通信 ID) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為
- 個人を特定することができる暗号化を行っている場合において、収集主体が本来暗号化にのみ利用すべき情報 (暗号化情報) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為
- 個人を特定することができる認証を行っている場合において、収集主体が本来認証にのみ利用すべき情報 (認証情報) とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為
- 車載機の配布・販売や、情報収集に関する取り決めにおいて知り得た個人情報を有する場合において、収集主体が知り得た情報とプローブメッセージを結合して目的外利用を行うことで、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為

- 発信位置等を主体そのものがもつ DB、もしくは収集主体以外の、公的機関や企業等の DB と照合することで個人を推測することが可能な場合において、収集主体が該当するプローブメッセージを利用して、プローブ情報提供者の権利・利益を脅かしたりする行為
- 収集主体が密かに個人を特定できる通信 ID を取得することにより、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為
- 収集主体が密かに個人が特定できる暗号化情報を収集することにより、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為
- 収集主体が密かに個人が特定できる認証情報を収集することにより、プローブ情報発信者の権利利益を脅かしたりする行為

OECD プライバシガイドライン”データ内容の原則”に係る脅威

原則の概要

- 個人データは、その利用目的に沿ったものであるべきであり、かつ利用目的に必要な範囲内で正確、完全であり最新なものに保たなければならない。

脅威事例

- 車の転売後も前の所有者の通信 ID が利用される脅威
- 車の転売後も前の所有者の暗号化情報が利用される脅威
- 車の転売後も前の所有者の認証情報が利用される脅威

OECD プライバシガイドライン”目的明確化の原則”に係る脅威

原則の概要

- 個人データの収集目的は、収集時よりも遅くない時点において明確化されなければならず、その後のデータの利用は、当該収集目的の達成又は当該収集目的に矛盾しないでかつ、目的の変更毎に明確化された他の目的の達成に限定されるべきである。

脅威事例

- 利用目的が特定されていなく、取得された通信 ID を利用される脅威
- 利用目的が変更され、同意した以外の利用目的で取得された通信 ID が利用される脅威
- 利用目的が特定されていなく、取得された暗号化情報を利用される脅威
- 利用目的が変更され、同意した以外の利用目的で取得された暗号化情報が利用される脅威
- 利用目的が特定されていなく、取得された認証情報を利用される脅威
- 利用目的が変更され、同意した以外の利用目的で取得された認証情報が利用される脅威

OECD プライバシガイドライン”利用制限の原則”に係る脅威

原則の概要

- 個人データは、目的明確化の原則により明確化された目的以外の目的のために開示利用その他の使用に供されるべきではないが、次の場合はこの限りではない。 a) データ主体の同意がある場合、又は、 b) 法律の規定による場合

脅威事例

- 同意した利用目的の範囲を超えて、取得された通信 ID が利用される脅威
- 同意を得ないで、取得された通信 ID とプローブメッセージを結合して第三者に提供される脅威
- 法律の規定を知らされておらず、同意もなく取得された通信 ID とプローブメッセージを結合して第三者に提供される脅威
- 同意した利用目的の範囲を超えて、取得された暗号化情報が利用される脅威
- 同意を得ないで、取得された暗号化情報とプローブメッセージを結合して第三者に提供される脅威
- 法律の規定を知らされておらず、同意もなく取得された暗号化情報とプローブメッセージを結合して第三者に提供される脅威
- 同意した利用目的の範囲を超えて、取得された認証情報が利用される脅威
- 同意を得ないで、取得された認証情報とプローブメッセージを結合して第三者に提供される脅威
- 法律の規定を知らされておらず、同意もなく取得された認証情報とプローブメッセージを結合して第三者に提供される脅威
- 同意した利用目的の範囲を超えて、取得された個人情報を利用される脅威。
- 法律の規定を知らされておらず、同意もなく取得された個人情報とプローブメッセージを結合して第三者に提供される脅威
- 個人を推定できるプローブメッセージが、プローブメッセージに個人が推測可能なものがあつた場合の措置に反して利用される脅威
- あらかじめ同意を得ることなく、個人を推定可能なプローブメッセージが第三者に提供される脅威

OECD プライバシガイドライン”安全保障の原則”に係る脅威

原則の概要

- 個人データは、その紛失もしくは不当なアクセス・破壊・使用・修正・開示等の危険に対し、合理的な安全保護措置により保護されなければならない。

脅威事例

- 個人情報の取り扱いについての社会的合意事項である原則を遵守しないことは、個人情報を扱いシステムとして不適格と考えられるという脅威

OECD プライバシガイドライン”公開の原則”に係る脅威

原則の概要

- 個人データに係る開発、運用及び政策については、一般的な公開の政策が取られなければならない。個人データの存在、性質及びその主要な利用目的とともにデータ管理者の識別、通常の住所をはっきりさせるための手段が容易に利用できなければならない。

脅威事例

- 個人情報の取り扱いについての社会的合意事項である原則を遵守しないことは、個人情報を扱いシステムとして不適格と考えられるという脅威

OECD プライバシガイドライン”個人参加の原則”に係る脅威

原則の概要

- a) データ管理者が自己に関するデータを有しているか否かについて、データ管理者又はその他の者から確認を得ること。
- b) 自己に関するデータを、 i) 合理的な期間内に、 ii) もし必要なら、過度にならない費用で、 iii) 合理的な方法で、かつ、 iv) 自己にわかりやすい形で、自己に知らしめられること。
- c) 上記 a) 及び b) の要求が拒否された場合には、その理由が与えられること及びそのような拒否に対して異義を申立てることができること。
- d) 自己に関するデータに対して異義を申立てること、及びその異議が認められた場合には、そのデータを消去、修正、完全化、補正させること。

脅威事例

- 個人情報の取り扱いについての社会的合意事項である原則を遵守しないことは、個人情報を扱いシステムとして不適格と考えられるという脅威

OECD プライバシガイドライン”責任の原則”に係る脅威

原則の概要

- データ管理者は、上記の諸原則を実施するための措置に従う責任を有する。

脅威事例

- 個人情報の取り扱いについての社会的合意事項である原則を遵守しないことは、個人情報を扱いシステムとして不適格と考えられるという脅威

6.4 プローブ情報システムにおける個人情報保護に関する基本原則の策定

前述の脅威分析と OECD プライバシガイドラインのフレームワークに則り、プローブ情報システムにおける個人情報保護の基本原則として、以下の八つの原則を策定した。なお、この八つの原則については、ISO/TC204/WG16 において国際標準化提案を行っており、国際的な合意を形成している。

6.4.1 収集制限の原則

策定方針

- 個人データの取得には、知らしめるだけでは不十分で、本人の同意が必要。
- 取得に際して、取得する個人データ、利用目的をあらかじめ特定しなければならない。
- 同意した以外の方法による個人データの取得の禁止。
- 取得に際して「適当な場合」に該当しなく、同意を必要しない場合の特定。

原則

1. (取得に際しての制限) 個人データを取得する場合は、本人に対し、個人データの取得、及びその利用目的について、あらかじめ、明示的な同意を得なければならない。
2. (取得の方法) 偽りその他の不正の手段により、個人データを取得してはならない。
3. (同意を必要としない取得) 法律の規定がある場合は (1) の規定は適用しない。
4. プローブ情報収集者が、プローブデータを何らかの他のデータベースと照合することにより、個人を特定可能な情報とし得る場合においては、当該データについて個人を特定するに至らない情報となるよう手段を講じなければならない。

[個人を特定するに至らない情報とする手段の例]

データの収集にあたり、車両の起点 (エンジンを始動した箇所) を特定することが不可能なデータとするため、起点から一定距離のデータを取得しない。また、終点 (エンジンを停止した箇所) を特定することが不可能なデータとするため、エンジン停止時に車載器メモリ内に蓄積されたデータ等を削除する。

5. プローブデータ収集の是非について本人等の意思を適宜反映するため、車載器にデータ収集機能の稼動/不稼動を本人等が選択可能な仕組みを具備しなければならない。

6.4.2 データ内容の原則

策定方針

- OECD 「データ内容の原則」には個人データの利用制限が含まれているが、脅威分析結果はデータ内容 (Quality) に関することであり、本基本原則案ではデータ内容の規定に限定する。
- 個人データの利用制限は、本基本原則案「利用制限の原則」で規定する。

原則

1. 利用目的の達成に必要な範囲内において、個人データを正確かつ最新の内容に保つよう努めなければならない。

6.4.3 目的明確化の原則

策定方針

- 本基本原則案「収集制限の原則」は、個人データの取得には利用目的についてあらかじめ同意を得なければならないことを規定している。よって、OECD「目的明確化の原則」が規定している利用目的明確化の時期は明らかであり、本基本原則案から省く。
- OECD「目的明確化の原則」で規定している個人データ利用の制限は、本基本原則案では「利用制限の原則」で規定する。
- OECD「目的明確化の原則」は、変更毎に利用目的を明確化しなければならないことになっているが、このことは利用目的を変更しても同意を必要としない場合が含まれていることを意味している。よって、「利用目的が変更され、同意した以外の利用目的」の脅威を明確にするために、改めて同意を必要としない利用目的の変更の範囲を特定しなければならない。

原則

1. (利用目的の明確化) 個人データを取り扱うに当たっては、その利用目的を特定しなければならない。
2. (同意を必要としない利用目的の変更の範囲) 利用目的を変更する場合には、変更前の利用目的と相当の関連性を有すると合理的に認められる範囲を超えて、行ってはならない。
3. プローブ情報収集者がプローブデータの利用目的を変更する場合、何らかの方法で利用目的の変更内容を本人等に通知した上で、改めて本人等の明示的な同意を得なければならない。

6.4.4 利用制限の原則

策定方針

- 個人データの第三者提供(開示)がある場合は、利用目的の1つとして明確化しなければならない。特にプローブ情報の場合、本人の所在が分かるため、個人データの第三者提供に対する脅威度は高い。そのため、利用の制限と第三者提供の制限は分けて規定し、第三者提供の制限について明確に規定しなければならない。
- 個人データの利用、第三者提供に同意を必要しない場合の特定。

原則

1. (利用の制限) あらかじめ本人の同意を得ないで、特定された利用目的の達成に必要な範囲を超えて、個人データを取り扱ってはならない。
2. (第三者提供の制限) あらかじめ本人の同意を得ないで、個人データを第三者に提供してはならない。
3. (同意を必要としない利用) 法律の規定がある場合は前2項の規定は適用しない。

6.4.5 安全保護の原則

策定方針

- ” OECD「安全保護の原則」は個人データの紛失、不当なアクセス、開示等の危険に対し安全保護措置により保護されなければならないとしている。本原則には機器のハード、ソフトの不具合により、個人情報が収集(開示)されるケースが含まれており、修正は不要。

原則

1. 個人データは、その紛失もしくは不当なアクセス・破壊・使用・修正・開示等の危険に対し、合理的な安全保護措置により保護されなければならない。

6.4.6 公開の原則

策定方針

- OECD の原則自体が一般的な個人情報保護に必要な情報公開の原則となっており、プローブ情報システムとしての修正は不要。

原則

1. 個人データに係る開発、運用及び政策については、一般的な公開の政策が取られなければならない。
2. 個人データの存在、性質及びその主要な利用目的とともにデータ管理者の識別、通常の住所をはっきりさせるための手段が容易に利用できなければならない。

6.4.7 個人参加の原則

策定方針

- OECD の原則自体が一般的な個人情報保護に必要な情報公開の原則となっており、プローブ情報システムとしての修正は不要。

原則

1. 個人は次の権利を有する。
 - a) データ管理者が自己に関するデータを有しているか否かについて、データ管理者又はその他の者から確認を得ること。
 - b) 自己に関するデータを、i) 合理的な期間内に、ii) もし必要なら、過度にならない費用で、iii) 合理的な方法で、かつ、iv) 自己にわかりやすい形で、自己に知らしめられること。
 - c) 上記 a) 及び b) の要求が拒否された場合には、その理由が与えられること及びそのような拒否に対して異義を申立てることができること
 - d) 自己に関するデータに対して異義を申立てること、及びその異議が認められた場合には、そのデータを消去、修正、完全化、補正させること

6.4.8 責任の原則

策定方針

- OECD の原則自体が一般的な個人情報保護に必要な情報公開の原則となっており、プローブ情報システムとしての修正は不要。

原則

1. 個人データに係る開発、運用及び政策については、一般的な公開の政策が取られなければならない。
2. 個人データの存在、性質及びその主要な利用目的とともにデータ管理者の識別、通常の住所をはっきりさせるための手段が容易に利用できなければならない。

6.5 プローブ情報システムのためのプライバシーを考慮した匿名認証方式

車両の持つ情報を集約し、統計的处理を施すことで交通情報等の生成を行うプローブ情報システムでは、収集される情報に車両が情報を取得した際の位置と時間が含まれる。情報発信者のプライバシー保護の観点では、情報は車両を識別することが出来ない匿名で、かつ発信される情報に依存関係が無い状態で収集されることが望ましい。しかし、匿名環境では、プローブ情報システムは悪意ある情報発信者による虚偽情報の大量発信を排除できない。また、旅行時間等の連続したデータを必要とするプローブ情報の生成ができない。そこで、プライバシーを考慮したプローブ情報システムの構築のための匿名認証方式の提案を行った。本方式を用いることにより、情報収集者は、情報発信者の匿名性を担保した上で、連続したプローブ情報の収集が可能となる。また、提案した方式の動作を検証するために、匿名認証システム、およびプローブ車両シミュレータとプローブ収集センタの設計と実装を行った。

6.5.1 プローブ情報システムにおけるプライバシーに関する課題

自動車の持つデータを集約し統計処理等を施すことで価値ある情報を生成・提供を行うプローブ情報システムは、いかに多くの自動車から利用可能な情報を取得するかが基盤としての価値を高める重要な鍵となる。本研究が想定するプローブ情報システムのモデルを図 6.3 に示し、用語を以下に定義する。

情報発信者

プローブ情報の元となるプローブデータを発信する主体であり、本研究では自動車を指す。

情報収集者

プローブデータを収集し、統計等の処理を施す事でプローブ情報を生成する主体であり、本研究ではプローブ情報センタを指す。

認証局

情報収集者に対して、情報発信者の正当性や権利を示す認証情報を発行する機関。

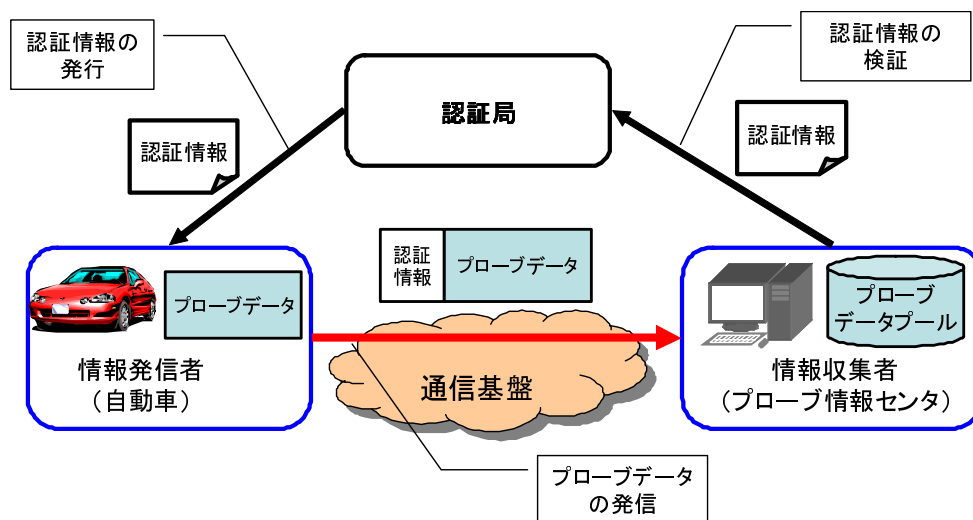


図 6.3: 本研究の想定するプローブ情報システムモデル

通信基盤

プローブデータの発信と収集に用いられる通信基盤。プローブ情報システムにおいては無線環境が前提となる。本研究では、インターネット等の汎用的な通信基盤を想定している。

プローブデータ

情報発信者のセンサ等から生成される速度やワイパ作動等のデータ。プローブデータには必ずそのデータを生成した位置と時間が含まれる。

プローブデータプール

情報収集者が保持する、情報発信者から発信されたプローブデータを蓄積する機構。

認証情報

認証局によって発行される情報発信者の正当性や権利を示す情報。プローブデータに添付する形で発信される。

プローブ情報システムでは、情報収集者であるプローブ情報センタが、情報発信者である自動車のセンサ等から自動車の位置と時間を含むプローブデータを収集し、収集されたプローブデータを集約して統計的な処理等を施すことによって、渋滞や降雨情報等の特定の第三者や広く一般に提供するプローブ情報を生成する。前述のように、プローブデータの収集は匿名であることが望ましいが、収集するプローブデータから悪意ある情報発信者からの攻撃等を排除するためには、情報発信者の正当性や権利を確認する必要がある。特に、自動車の数を偽装して多数の虚偽情報を発信し交通情報の混乱を招くような事態を防ぐことは、プローブ情報システムが社会的基盤となる上で不可欠である。したがって、プローブ情報システムは、認証局を利用した何らかの認証機構を持つことを前提とする。このようなプローブ情報システムにおいて、プライバシーに関する課題を以下に挙げる。

認証情報からの情報発信者の特定

プローブ情報システムにおいて、個々の自動車が特定できるような認証情報を用いた場合

には、プローブデータと情報発信者の”紐付け”が可能となるため、これは情報発信者にとって脅威となる。

始点・終点や連続したプローブデータからの情報発信者の特定

情報発信者である自動車の走行状態や走行履歴は、搭乗者・所有者の挙動や行動履歴と深く関係がある。セッション毎のランダム ID を用いる等の、個々の自動車が特定されないような手法で認証を行った場合でも、プローブデータは「位置」と「時間」を必ず含んでいるため、移動の始点・終点に関する情報は、位置情報データベース等と関連付けられることで、情報発信者の個人情報やプライバシーの漏洩に繋がる可能性がある。また、連続したプローブ情報が描く軌跡から個人の行動履歴を推定される可能性もある。これらは情報発信者にとって脅威となる。

プローブ情報システムを構築する際には、こうした脅威に対処する必要がある。同時に、悪意ある情報発信者による虚偽情報の同時多数発信の検知や、旅行時間の計測等を実現するための、道路リンク毎の所要時間を算出することが可能な範囲での連続したプローブデータの収集が出来る事が求められる。上記に基づき、プライバシーに関する課題を考慮したプローブ情報システムにおける自動車情報収集は、以下の3つの要件を満たしている必要がある。

1. 情報発信者を特定することなく、情報発信者の有する権利 (プローブ情報収集主体と正式な契約関係にある等) を確認できること。
2. 情報発信者が同時に多重の情報を発信している場合に、それを検出できること。
3. 情報発信者を特定することなく、情報発信者が認める期間内において、情報発信者の同一性を確認できること。また、異なる期間においては同一性を確認できないこと。

6.5.2 匿名認証方式

本項では、本研究で用いる匿名認証方式について述べる。まず、匿名認証方式の分類について述べる。その後、本研究で採用した Refreshable token scheme について詳述する。

匿名認証方式の分類

プライバシー問題の解決手法の一つとして、匿名化がある。これは、情報の発信者を特定できないようにすることで、情報発信者と情報の結合を不可能にする手法である。個人、あるいは集団が持っている権利を認証する手法としては属性認証がある。これは個人や集団しか持ち得ないパスワード等の知識や、所有物、特徴等を基に認証を行う方式で、属性証明書 [42] を用いた認証等、既に実用化されているものも存在する。しかし、属性認証はあくまで所有する権利の有無を確認する手法であり、個人が特定されるか否かについては担保されるものではない。そこで、個人が特定されないような匿名性を有した上で、権利の確認を行うという要求を満たす手法が、暗号技術を利用した匿名認証方式 [43] である。匿名認証方式では、利用者は自らの権利を示すために権利証 (token) を提示する。サービス提供者は、この token を確認することで、利用者の権利を確認することが出来る一方、原則的には権利発行者自身も、利用者の匿名性を解除することは不可能である。また、利用者は必要に応じて匿名性を自身で確認することが可能である。匿名認証方式は、利用者の有する token の利用形態によって分類できる。表 6.3 にそれぞれの特徴を示す。

表 6.3: 匿名認証方式の分類

項目	One-show	Multi-show	Refreshable token scheme
token の利用形態	一回のみ利用可能	複数回利用可能	利用後に更新が可能
主な利用例	音楽データ・映像データのダウンロードや、アンケート回答等	所属グループ毎のデジタルデータ共有や、チャットルームの入退室管理等	図書館における匿名での本の貸し出し (返却されていない場合に貸し出し停止)
実現手法	ブラインド署名	グループ署名	ブラインド署名とゼロ知識証明

One-show 方式では、匿名の token は一度だけ利用可能であり、利用した token の再利用は不可能である。従って、データそのものに課金する場合や、サービスの回数毎に課金する従量課金等に適している。一方、token の利用毎に token を発行してもらう為の本人確認が必要であるため、連続した利用の際にはコストが高い。Multi-show 方式では、利用者は自由に何回でも token を活用する事が可能であり、会員向けの広報提供や、グループウェア等での情報共有等に適している。しかし、一度に複数の token を利用出来るため、同時利用を制限するようなサービスには適さない。Refreshable token scheme [44][45][46] は、token の更新 (refresh) が可能な方式である。token の更新は、token の発行者によってのみ可能であり、利用者自身では行うことが出来ない。利用者は他の方式同様 token を利用し、再度必要な際には token を更新することで複数回の利用を実現するが、token の二重使用等の不正が検出された場合には、token の更新を無効化することで、利用者の権利をコントロールすることが可能である。本研究では、前章のプライバシー要件を満たすために、Refreshable token scheme を基礎としたプローブ情報システムのための匿名認証方式の提案を行う。

Refreshable token scheme の概要

Refreshable token scheme は、ブラインド署名とゼロ知識証明を応用した匿名認証技術である。Refreshable token scheme の処理の流れを図 6.4 に示す。

1. KeyGeneratoion : サービス提供者が用意した公開鍵を token 発行者に登録する。
2. Issue : 利用者は token 発行者に個人情報を示し、token 発行者はそれに基づく本人確認をして利用者 ID を作成する。また、利用者 ID とサービス提供者の公開鍵から初期 token を生成して利用者へ送信する。
3. Refresh : 利用者が token を token 発行者に提示する。token 発行者は、提示された token (初回の場合には初期 token) とサービス提供者の公開鍵を元に新しい token を発行する。
4. Present : 利用者がサービス提供者に token を提示し、サービスを利用する (token の利用)。

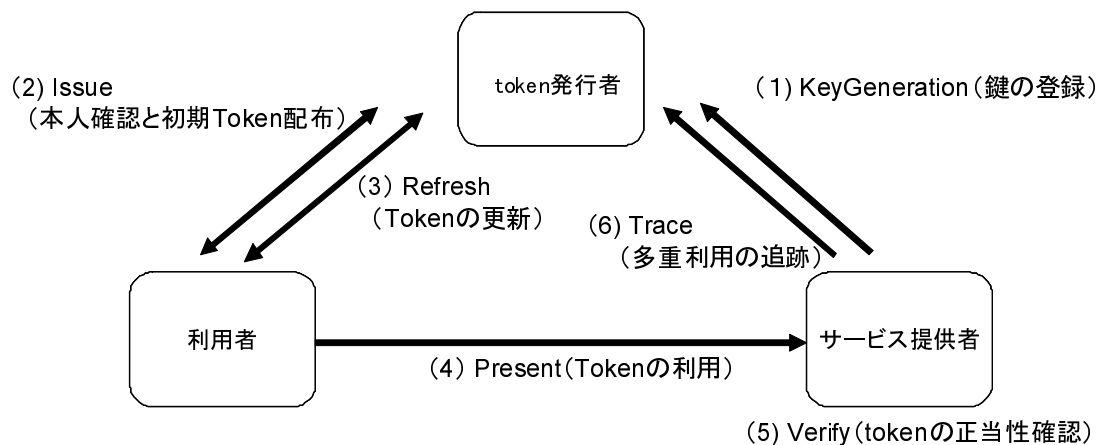


図 6.4: Refreshable token scheme の処理の流れ

5. Verify：サービス提供者は Present で提示された token と、過去に提示された token を比較し、token の正当性 (多重利用されていないか) を確認する。
6. Trace：サービス提供者が token の多重利用を確認した場合には、token を token 発行者に提示して該当する token の refresh の停止を依頼する。token 発行者は必要に応じて token を辿ることによって (追跡)、利用者を特定することが出来る。

Refreshable token scheme では、利用者は Issue でのみ token 発行者に個人情報を開示すれば良く、それ以降の Refresh 等の処理は全て匿名で行われる。また、サービス提供者は、token の多重利用を防止するためには Present された token を保持している必要がある。Refreshable token scheme の要求事項を以下に示す。

Anonymity

利用者のサービス提供者に対する匿名性を担保する性質であり、“Untraceability”と“Unlinkability”の二つから成る。“Untraceability”は、token から利用者が一意に識別出来ない事であり、“Unlinkability”は、ある二つの token の利用者が同一人物かどうか識別出来ない事である。

Double-Use Traceability

サービス提供者が、利用者の token の多重利用を検出可能できる性質であり、サービス提供者が token を提示することで利用者のサービス利用を停止することが出来る。また、token 発行局は、必要に応じて token の更新履歴を辿ることで、多重利用を行った利用者を追跡できる。

なお、Refreshable token scheme では、Traceability は本人確認の信頼性と精度に依存する。本人確認が正しく行われなかった場合には、利用者の特定が出来ない。また、匿名性は複数の利用者 (token 所有者) が前提となっている。利用者が一人であった場合には、匿名性を担保する事は出来ない。

6.5.3 プローブ情報システムのための匿名認証方式の提案

本節では、プローブ情報システムのための匿名認証方式について述べる。まず、プローブ情報システムへの匿名認証方式の適用方法を考察する。その後、Refreshable token scheme を前提したプローブ情報システムのための匿名認証方式について述べる。

匿名認証方式のプローブ情報への適用

プライバシーに関する課題を考慮したプローブ情報システムにおける自動車情報収集は、前述の3つの要件を満たす必要がある。Refreshable token scheme をプローブ情報システムに適用した場合には、情報発信者の匿名性を担保した上で、悪意ある情報発信者を検出する事が可能となる。これは要件の1と2を満たす。しかし、要件3は、Refreshable token scheme の Unlinkability という性質と矛盾する。そこで本論文では、3つの要件を満たす手法として、Refreshable token scheme を基礎とした部分的に Linkability を保持する事が可能となるような匿名認証方式を提案する。

プローブ情報システムのための匿名認証方式

一般的なプローブ情報システムでは、プローブデータは位置・時間で指し示される地点の情報として生成され、プローブ情報センタに発信される。従って、個々の情報発信時に Refreshable token scheme の Present を行った場合、情報の一つ一つは分断される。しかし、プローブ情報システムの情報収集に際しては、その品質や精度を高めるために、ある一定期間だけ連続性を持った情報を取得したいというケースがある。期間としては、単位時間に基づくものや、道路環境に基づくもの、あるいはその双方を組み合わせたものが考えられる。

そこで本論文では、期間毎にプローブデータの群を形成し、群の内部では Linkability を実現し、群と群の間では Unlinkability を実現する方式を提案する。部分的な linkability を付加した Refreshable token scheme の先行研究 [47] のように、専用の公開鍵を交換し、公開鍵暗号方式を用いて実現する方法もある。この場合、情報交換の際には暗号化は必要としない反面、全ての情報発信において公開鍵による暗号化が必要となる。しかし、本論文が想定する環境においては、多数の情報発信者から大量のプローブデータが発信される。そのため、規模性を考慮した場合に、より処理コストが低い手法の方が望ましい。また、情報収集者と情報発信者の間には情報収集に関する合意が事前に確立されている必要と、プローブデータの盗聴を防ぐという観点から、鍵交換に安全な(暗号化された)通信路を用いる事を前提とすることが出来る。したがって、本論文ではプローブ情報システムのための匿名認証方式として、token で Present をした際に、一定期間だけ利用可能なセッション鍵として共通鍵を付与し、その鍵に基づくセッションの間だけ Linkability を実現する方式を提案する。本方式に基づく匿名認証処理の概要を図 6.5 に示す。車両 A は、ある一定期間、例えば 10 分間毎の自動車情報の連続性を許可しているとする。この場合、最初の 10 分間の間は、token の Present によって付与される共通鍵によってプローブ情報センタとの間にセッションを張り、プローブデータの発信を行う(図 6.5 中の丸印)。これにより、プローブ情報センタには、自動車の特定は出来ないものの、同一の自動車から発信されたプローブデータであることが分かる。(部分的 Linkability の実現)。その後 10 分が経過すると、自動車は token の更新を行う事で、新たな token を取得し、それ以降はまた 10 分間新たな token に基づくプローブデータの発信を行う。これにより、プローブ情報センタのプローブデータプール内で更新前と更新後の情報は切断され、群間の Unlinkability が実現される。図 6.5 では、更新がなされた段階で、プローブ情報センタからはそれ以降の自動車情報が車両 A, B, C のいずれか分からず、車両 A が

それ以降どのように走行したのかを把握することは出来ない。また、情報発信を開始したことや停止したことも、同様に把握する事が出来なくなり、自動車の始点と終点も検出不能である。

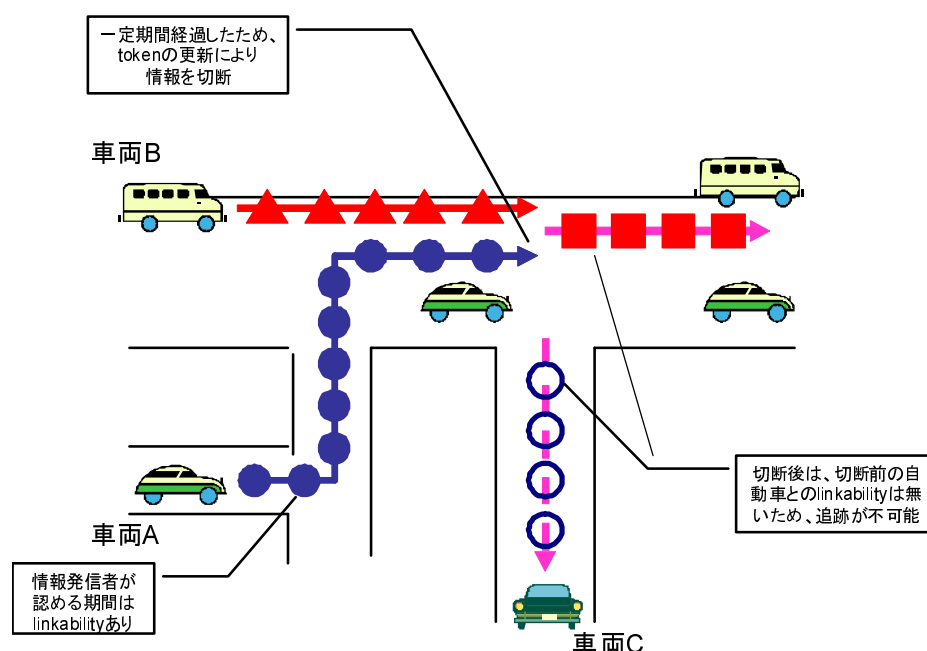


図 6.5: プローブ情報システムのための匿名認証方式の概念

提案する匿名認証方式の動作手順を以下に示す。

1. 情報発信者は、プローブデータを発信する前に、あらかじめ許容できる Linkability の期間 (時間, あるいは発信回数等) と共に情報収集者に Present する。
2. 情報収集者は、Verify を行った上で、許容できる Linkability の期間だけ有効な共通鍵を情報発信者に送信する。
3. 情報発信者は、取得した共通鍵を基に暗号化を行ってプローブデータの発信を行う。
4. 期間経過後、情報発信者は自らの token を Refresh する。

なお、Multi-show 方式によって提案する匿名認証方式を実現する場合にも、部分的な Linkability を実現することは可能である。しかし、情報発信者が token を使って複数回 Present を行うことで、同時に有効な共通鍵を複数取得することが可能となってしまう、多数の虚偽情報を防ぐという要求を満たせない。本システムにおける安全性は、用いる匿名認証の安全性と、採用する共通鍵暗号方式の安全性に依存する。そのため、システムを構築する際には、その時点で最良の方式が採用できるようにする必要がある。そこで、車両、匿名認証サーバ、および収集サーバとの通信には、多様な匿名化処理、暗号化処理技術に対応できるような共通のインターフェイスを作成し、将来的な拡張性を保つことが望ましい。

6.5.4 匿名認証モデルの設計

部分的に Linkability を保持する事が可能な匿名認証方式を用いた、プローブ情報システムの認証モデルを図 6.6 に示す。

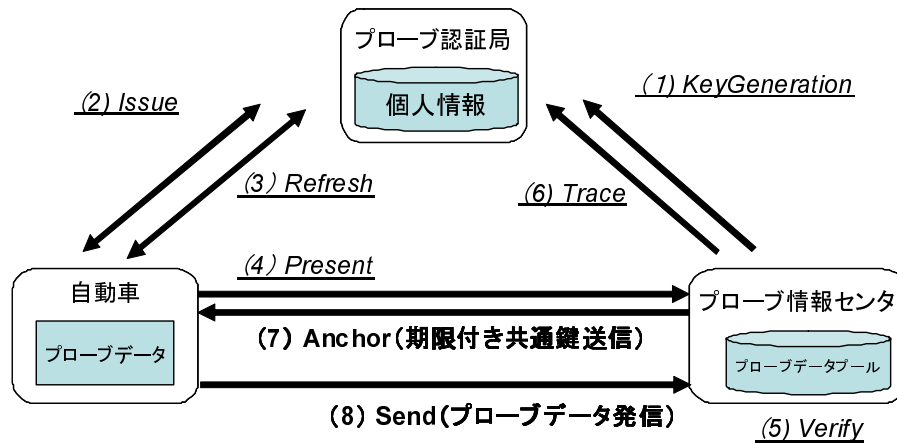


図 6.6: 匿名認証方式によるプローブ情報システムの認証モデル

このモデルは、情報発信者である自動車、情報発信者の個人情報等で本人確認をして token を発行する token 発行者である認証局、及び自動車の情報を収集する情報収集者であるプローブ情報センタから構成される。図 6.6 における処理の流れを以下に示す。なお、下線が引かれている処理は、Refreshable token scheme と同じ処理であることを示す。

1. KeyGeneration：プローブ情報センタが用意した公開鍵を認証局に登録する。
2. Issue：自動車は認証局に個人情報を示し、認証局はそれに基づく本人確認をして利用者 ID を作成する。また、利用者 ID とプローブ情報センタの公開鍵から初期 token を生成して自動車に送信する。
3. Refresh：自動車が token を認証局に提示する。認証局は、提示された token(初回の場合には初期 token) とプローブ情報センタの公開鍵を元に新しい token を発行する。
4. Present：自動車がプロブデータ発信のためのセッションを開始するために、プローブ情報センタに token を提示する。
5. Verify：プローブ情報センタは Present で提示された token と、過去に提示された token を比較し、token の正当性(多重利用されていないか)を確認する。
6. Trace：プローブ情報センタが token の多重利用を確認した場合には、token を認証局に提示して該当する token の refresh の停止を依頼する。認証局は必要に応じて token を追跡し、利用者 ID から自動車を特定することが出来る。
7. Anchor：プローブ情報センタは Verify に成功すると、自動車との間にセッションを張るための鍵として、自動車が許容できる期間だけ有効な共通鍵を自動車に送信する。

8. Send：自動車は、Anchor によって受け取った共通鍵を用いてプローブ情報センタとの間にセッションを確立し、プローブデータを発信する。

このモデルに沿う形で、プローブ情報システム用の匿名認証方式の設計を行った。システムの構成と、システムにおける自動車情報の収集方法を図 6.7 に示す。自動車は、あらかじめ取得している token を収集サーバに提示し、セッションに必要な情報を入手し、セッションを開始する。その後、セッションが持続している間はそのセッションを活用してプローブデータを発信し、セッション持続時間が経過した後は、token の refresh を行う。

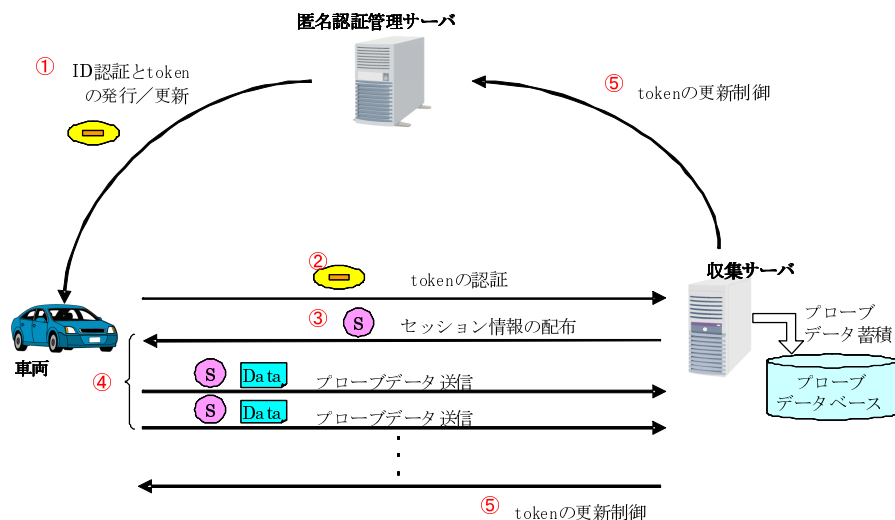


図 6.7: システムの構成と自動車情報の収集手順

6.5.5 各要素における機能設計

車両と各サーバにおいて必要な機能の設計を行った。各要素にて実装すべき機能の構成を図 6.8 に示す。各要素は共通のインターフェイスによって情報を交換し、token の Present や Refresh 等を行う。また、図中の各機能についての概要を表 6.4, 6.5, および 6.6 に示す。さらに、処理技術の共有に関する共通インターフェイスを表 6.7 に示す。

車両の機能構成

車両はあらかじめ用意した本人確認用の情報 (ID 情報) を使用し、匿名認証管理サーバに token の発行要求を行う。次に、発行された token を使用し、収集サーバに対しセッション情報の要求を行う。その後、得られたセッション情報を使用してプローブデータを暗号化し収集センターに送信する。セッション情報はある一定期間有効な情報で、有効な間は何度もプローブデータを発信することが可能である。有効期間を経過すると、再度匿名認証管理サーバへ token の更新を実施する。以降この手順を繰り返しプローブデータの送信を行う。車両の各機能と各サーバ間の通信内容を図 6.9 に示す。

表 6.4: 車両の機能

機能	概要
センサ情報の検出	各種センサー情報を検出し，必要であれば，プローブデータとして送信できるような形式に変換する．
token 要求機能	車両は設定情報の認証方式に従い匿名認証管理サーバに token の発行及び更新要求を行う．
暗号化	プローブデータを送受信する際，データの暗号化を行う．
セッション情報要求	車両は設定情報の認証方式に従い収集サーバにプローブデータの送信を行うためのセッション情報要求を行う．
プローブデータ送信機能	車両は設定情報に従って，情報収集サーバにプローブデータを送信する．

表 6.5: 匿名認証管理サーバの機能

機能	概要
認証機能	セキュリティ設定情報に従って，指定された ID 認証方式で車両の身分を確認する．
token 発行・更新機能	セキュリティ設定情報に従って，身分を確認できた車両に指定された匿名認証方式の token を発行または更新する．
token 更新停止処理機構	収集サーバから token 更新停止要求が来た際に，該当する token の更新を停止する．
公開情報配布機能	セキュリティ設定情報に従って，匿名認証に関する公開情報を配布する．

表 6.6: 収集サーバの機能

機能	概要
匿名認証機能	収集サーバは設定情報に従って、指定された匿名認証方式で、車両が提示した token を基に車両を認証する。
token 検証	車両から送られた token を検証し、正当性を確認する。token の多重利用が検出された場合には、匿名認証管理サーバに対し、該当する token 更新停止の要求を行う。
復号	送信されたプローブデータを復号する
プローブデータ収集・蓄積機能	車両に提供されたプローブデータをプローブデータベースに蓄積する。
セッション情報管理機能	収集サーバは設定情報に従って、車両毎にセッション情報を生成し、車両に送信する。通信中の全車両のセッション情報を管理する。

表 6.7: 処理技術共有用の共通インターフェイス

機能	概要
匿名認証方式	グループ署名や本提案の Refreshable token scheme 等、用いている匿名認証の方式の設定を行う。
鍵の長さ	匿名認証方式で用いる鍵長の設定を行う。
通信路の暗号化方式	IPSec や SSL 等、セッション保持のために通信路に施す暗号化方式の設定を行う。
データの暗号化方式	共通鍵暗号化方式 (AES, TripleDES 等) や公開鍵暗号方式等、送受信されるデータの暗号化方式の設定を行う。
通信プロトコル	TCP や UDP 等、通信に用いるトランスポート層プロトコルの設定を行う。

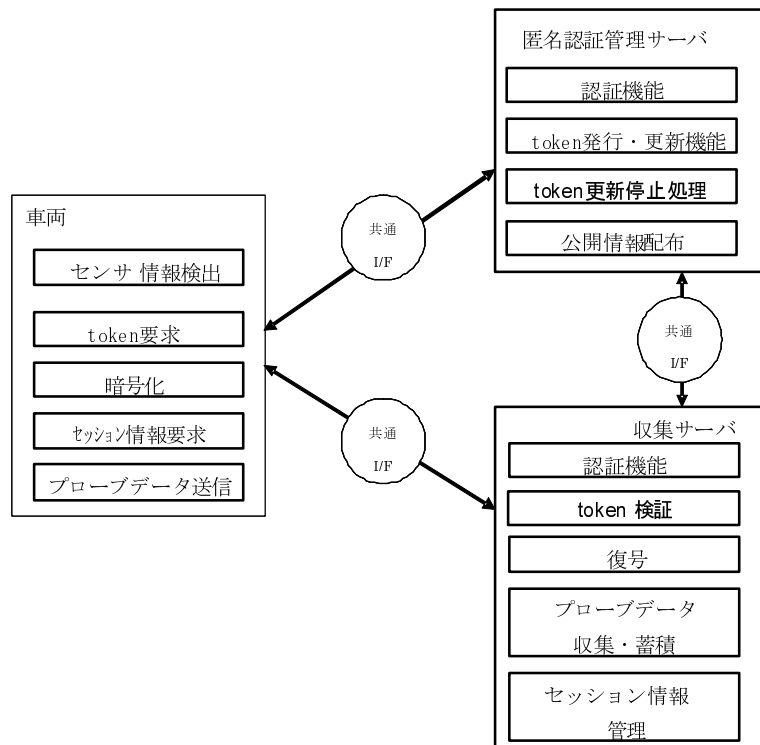


図 6.8: 各要素における機能の構成

匿名認証管理サーバの機能構成

匿名認証管理サーバは、車両から送信される ID 情報を認証し、本人確認が出来た場合に token を発行する。一度 token を発行した後は、古い token を認証して、token の更新を行う。この際、何らかの不正があった場合等で収集サーバから token の更新不可の通知を受けていた際には、token の更新を行わない。車両と匿名認証管理サーバ間の通信は、セキュリティ上暗号化することが望ましいため、処理技術共有用の共通インターフェースを使用する事で実現する。匿名認証管理サーバの各機能と通信内容を図 6.10 に示す。

収集サーバの機能構成

収集サーバは、車両から提示された token を検証し、セッション情報を配布し、プローブデータの収集を行う。token の検証時に、過去に利用された token と照合して多重利用が検出された際には、匿名認証管理サーバへ該当する token を提示し、Refresh の停止を依頼する。そうでない場合には、利用された token を登録する。収集サーバの構成を図 6.11 に示す。

6.5.6 実装

設計に基づいて、評価のためのシステム構成を検討した。本節では、まずシステムの構成と実装方法について述べる。その後、実装の構成と処理シーケンスについて述べる。

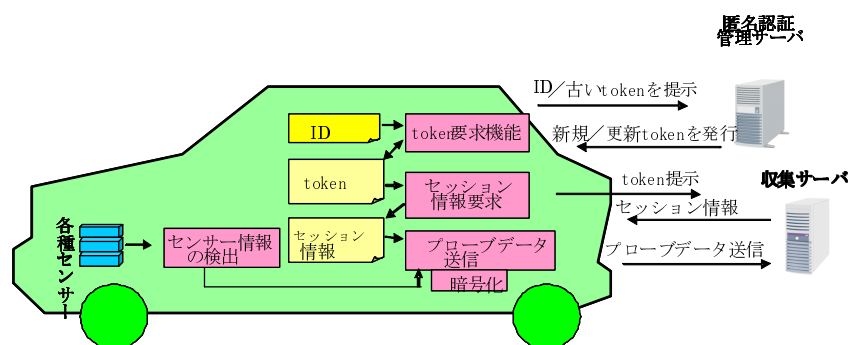


図 6.9: 車両の機能構成と各サーバ間の通信内容

システム構成と実装方式

実装に際しては Refreshable token scheme の公開ライブラリである SENSU [48] を使用した。システムの実装方式を表 6.8 に示す。

表 6.8: システムの実装方式

項目	実装方式
token 発行時の認証方式 (本人確認)	ID/Password 方式
匿名認証方式	Refreshable token scheme(SENSU)
セッション管理方式	セッション ID によるセッション識別, 暗号化の共通鍵によるセッション方式
プローブデータの暗号化方式	共通鍵暗号化方式 (AES)
収集するプローブデータ	取得時刻, 取得位置 (緯度・経度・高度), 瞬間方位, 瞬間速度, 瞬間加速度, 総走行距離
token 取得・更新時の通信プロトコル	SSL on TCP/IPv6
プローブデータ送信の通信プロトコル	UDP on IPv6

実装の構成と処理シーケンス

システムの実装時に用いたライブラリ, およびソフトウェアを表 6.9 に示す。次に, 各要素間の処理シーケンスを図 6.12 に示す。処理シーケンスは, 以下のような手順で実施される。

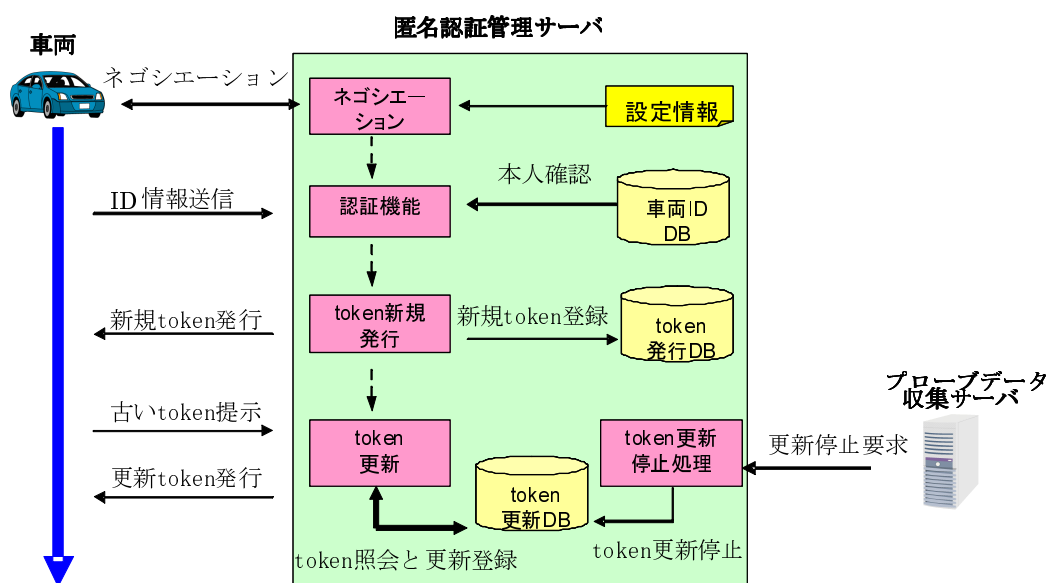


図 6.10: 匿名認証管理サーバの機能構成と各サーバの通信内容

表 6.9: 使用したソフトウェアライブラリ

項目	内容
プローブデータ用データベース	MySQL 5.0
token 用データベース	MySQL 5.0
SSL ライブラリ	OpenSSL FIPS 1.1.2, および YaSSL 0.9.2
AES 暗号化ライブラリ	MIRACLE 5.3.2
匿名認証ライブラリ	SENSU 1.0 Build 831

1. 車両シミュレータは起動後、匿名認証管理サーバと収集サーバそれぞれの共通インターフェイスを取得する。共通インターフェイスには、匿名認証方式や暗号化方式などに関するパラメータが含まれている
2. 車両シミュレータは匿名認証管理サーバに token の発行要求を行い、token を取得する
3. 車両シミュレータは収集サーバにセッション情報の発行要求を行い、セッション情報を取得する
4. 車両シミュレータはセッション情報を用いてプローブデータを暗号化し収集サーバに送信する（セッションの有効期限が切れるまで複数回送信）
5. セッションの有効期限が切れたら、車両シミュレータは匿名認証管理サーバに token の更新要求を行い、token を更新する。

その後、3以降を繰返し実行することで、継続したプローブデータの発信を行う。

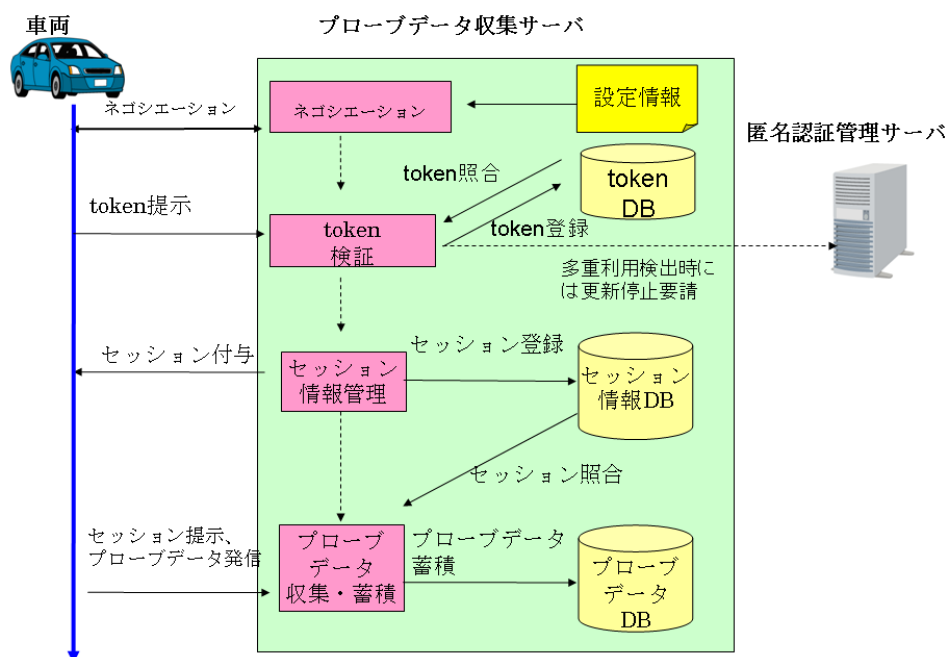


図 6.11: 収集サーバの機能構成

6.5.7 評価

実装されたシステムに基づいて実験を実施し、提案するプローブ情報システムのための匿名認証方式に関する機能及び性能について評価を行った。本項では、まず実験環境について説明し、次に、定性的評価と定量的評価について述べる。

実験環境

実験では、匿名認証管理サーバと収集サーバを各1台、および車両シミュレータに関しては500台分のプローブ車両を動作させたPCを10台用意する事で、擬似的に5000台規模のプローブ情報システムの環境を構築した。車両からはプローブデータとして時刻、位置(緯度・経度)、方位、速度、加速度、類型走行距離に関する情報を毎秒発信した。また、各PC間には有線LAN(1000BASE-TX)で接続を行った。図 6.13 に実験環境を示す。

定性的評価

実装したシステムの機能について、車両シミュレータが動作している状態を監視ツールで確認したものを図 6.14 に示す。図中左側が個々の車両に着目してIDを表示している状態であり、右側が各車両が描く軌跡を表示している状態である。

定性的評価として確認した機能とその結果を、以下に示す。

共通インターフェイスによる情報の交換

車両シミュレータ、匿名認証管理サーバ、収集サーバのログを確認し、それぞれが用いている匿名認証技術、暗号化技術に関する情報を交換出来る事が確認された。

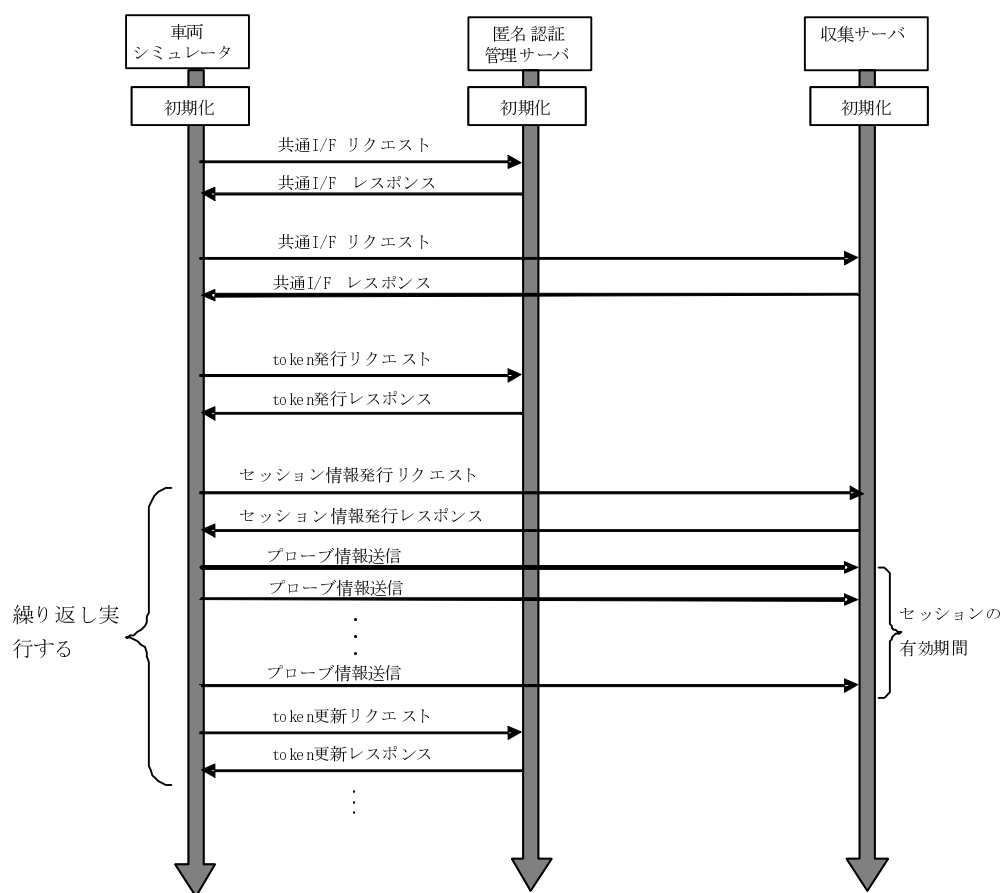


図 6.12: 処理シーケンス

token の新規発行

車両シミュレータ、匿名認証管理サーバのログを確認し、各シミュレータの要求に対する有効な token を新規発行出来る事が確認された。

token の更新

車両シミュレータ、匿名認証管理サーバのログを確認し、各シミュレータの要求に対する有効な token の更新が出来る事が確認された。

token の検証

車両シミュレータ、匿名認証管理サーバ、収集サーバのログを確認し、各シミュレータの token を検証出来る事が確認された。

token の照合

車両シミュレータ、匿名認証管理サーバ、収集サーバのログを確認し、使用済み token を present した場合に検出し、token の refresh を停止出来る事が確認された。

プローブデータの生成

車両シミュレータのログを確認し、車両シミュレータが、1) 同一の車両データを継続して

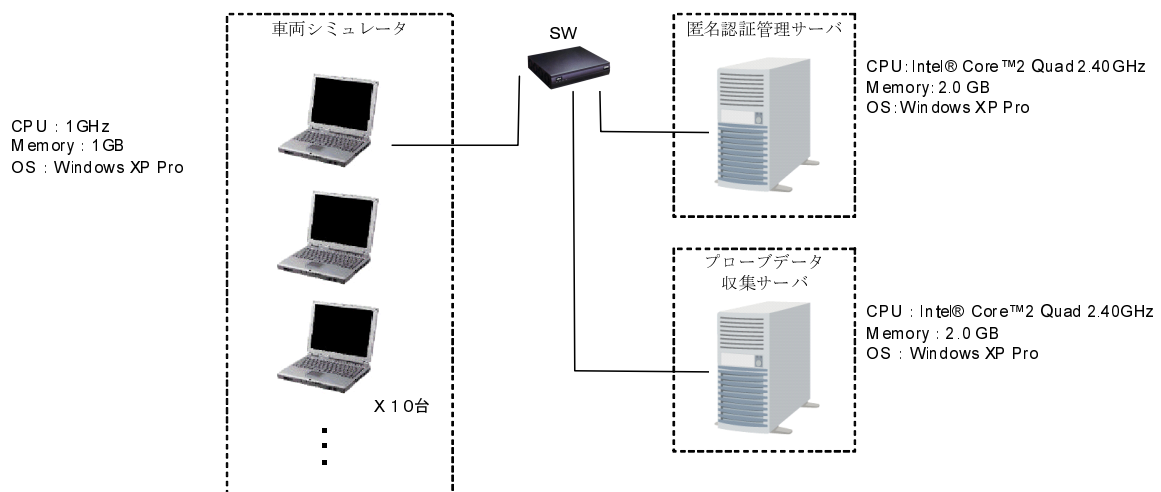


図 6.13: 実験環境

算出していること、2) 設定された間隔でプローブデータを発信していること、を実現している事が確認された。

セッションの作成

車両シミュレータ、収集サーバのログを確認し、token の認証がなされた後にセッションの作成が出来る事が確認された。

プローブデータの送受信

車両シミュレータ、収集サーバのログを確認し、作成されたセッションを用いてプローブデータの送受信が出来る事が確認された。

定量的評価

実験環境においてプローブデータの収集を行い、匿名認証の各処理に掛かる処理コスト等を計測し評価を行った。なお、評価環境においては、token の署名鍵は 1152 ビット、プローブデータの暗号化に用いた AES の鍵は 192 ビットである。評価に先立ち計測した、匿名認証管理サーバのベンチマークの結果を表 6.10 に示す。

表 6.10: 匿名認証管理サーバのベンチマーク

CPU	GenuineIntel Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q6600(2.4GHz)
メモリ	2.0GB
整数演算	5285 MIPS(Dhrystone により計測)
浮動小数点演算	2369MIPS(Whetstone により計測)

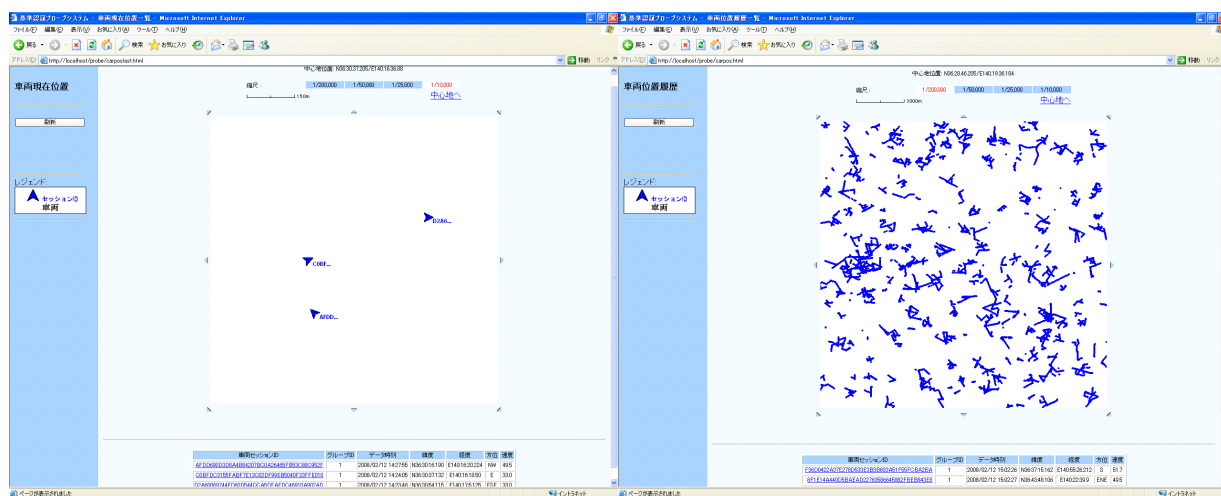


図 6.14: 実験の様子

各処理における処理コストを表 6.11 に示す．なお，値はそれぞれ車両シミュレータで車両を 1 台分のデータを処理毎に計測した．

表 6.11: 処理時間の測定結果

処理	平均処理時間 (ミリ秒)
token 新規発行処理	318
token 更新処理	171
token 認証処理	41
セッション作成処理	0.074
プローブデータ複号化処理	0.1

この結果，token の新規発行処理と更新処理コストが高く，token の認証およびセッションの作成コストは低い事が確認された．token の新規発行は，各車両について一度だけ実施すれば良いが，更新については部分的な Linkability を有する期間，つまりセッションの保持時間が切れる度に実行される事になる．台数が多くなれば更新数も多くなり，通信ネットワーク，および匿名認証管理サーバに掛かる負荷が増すと考えられる．そこで，Linkability と token 更新に掛かる処理コストの関係を検証するため，車両シミュレータ 5000 台の環境において部分的な Linkability を有する期間を 30 秒づつ変更し，各処理の負荷を計測した．測定結果を表 6.12 に示す．

測定では，Linkability を有する期間を 210 秒に設定したところで，CPU 使用率が 9 割を超えて推移し，車両から匿名認証管理サーバへの接続エラーが頻発した．実験環境における論理的な Linkability 期間の限界は以下によって 217 秒程度であるから，これが今回の実験環境の限界だと考えられる．

- 1 件の token 更新処理に平均して 171 ミリ秒程度掛かる
- 匿名認証管理サーバは 4 つの core からなるため，処理に際しては M/M/4 待ち行列モデル

表 6.12: 匿名認証処理時間

Linkability を有する期間 (秒)	token 新規発行 (ミリ秒)	token の更新 (ミリ秒)	token の認証 (ミリ秒)
360	321	490	50
330	326	531	60
300	334	999	62
270	360	5454	79
240	408	6180	90
210	443	6548	113

が適用できる．そのため論理的な限界値は 1 件の token 更新処理の 1/4 である 43 ミリ秒程度

- 1 秒間に処理できる件数の限界は $1000(\text{ミリ秒}) / 43$ から約 23 件であり、5000 台の更新要求が Linkability 更新期間に均等に分布すると仮定した場合の論理的な更新期間は 217 秒程度

表 6.11 に対して token の新規発行、更新に関して時間が掛かっているのは、車両が 5000 台に増えたことに起因している．特に、各車両が順番に起動する状態で実施される新規発行に比べ、随時行われる更新に関しては性能の劣化の影響を受けていることが通信ログから確認出来た．

Linkability を有する期間と token の更新処理時間の関係を図 6.15 に示す．Linkability を有する期間が 300 秒から 270 秒に狭まった際に急激な処理時間の増加が見られる．これは、通信量の増大によるネットワーク品質の低下による再送や、処理の順番待ちによる性能の劣化が原因である．また、今回は車両から毎秒のプロープデータ発信を行うことを想定しているため、token 処理コストが 1 秒未満となる 300 秒は、本実験環境における 1 つの指標であると考えられる．一方、車両におけるプロープデータ送信時の処理時間は、セッション作成時間が 1.5 ミリ秒、1 回のプロープデータ発信処理時間 (暗号化含む) は 0.4 ミリ秒程度であり、1 秒間隔での情報発信という想定においても、十分に小さい値であった．token の多重利用検出のための token の照合に掛かる時間は、本実験環境においては、エントリが 30 万件 (更新間隔 300 秒の 5 時間分に相当) の token を蓄積している状態で、1.2 ミリ秒程度であった．この処理時間は用いるデータベースの性能・特性にも依存するが、一般的には使用済み token の数と相関関係がある．使用済み token は時間経過と共に増大していくため、実運用に向けては、情報収集主体や車両台数規模、運用形態に応じて定期的な token 生成のための公開鍵を変える等の措置を講じる必要がある．

6.6 本章のまとめ

プライバシー保護基盤は、情報発信者の個人情報やプライバシーを保護した上で、有益なプロープ情報生成を実現する基盤である．本章では、まずプロープ情報システムに存在する個人情報、およびプライバシーについて考察を行った．次に、プロープ情報システムにおいて必要となるプライバシー保護について述べ、プロープ情報システムのプライバシーに対する脅威分析を行った．その後、プライバシーを保護するためのメソッドとして、脅威分析を受けて、プロープ情報システムが遵守すべき基本原則を OECD のプライバシー・ガイドラインのフレームワークに沿って策定した．

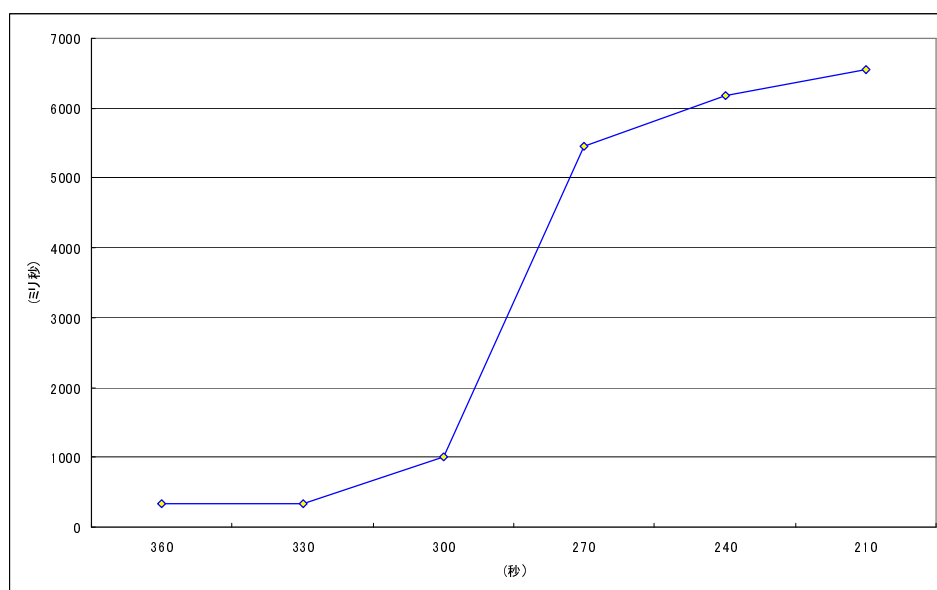


図 6.15: Linkability を有する期間と token 更新処理時間の関係

また、プライバシーを保護した上でプローブ情報を構築するための具体的な手法として、プローブ情報システムのための匿名認証方式の提案を行った。初めに、プローブ情報システムに求められるプライバシーについての考察を行い、情報発信者のプライバシーを保護した上で、質の高い交通情報生成のための連続したプローブデータの取得を実現する部分的な Linkability を保持する事が可能な匿名認証方式を提案した。この匿名認証方式では、Refreshable token scheme による token 認証後に、情報発信者と情報収集者の間で一定期間情報セッションを保持する事で、発信された情報の Linkability を実現した。さらに、提案の有効性を評価するために、各機能の設計と実装を行った。その後、プローブ車両シミュレータを用いて 5000 台規模の環境において実験を行い、定性的評価と定量的評価を行った。その結果、提案する匿名認証方式によって情報発信者のプライバシーを保護した上で、部分的に Linkability を有するプローブデータの収集をする事が可能である事が分かった。

第7章 評価

本章では、インターネット上での自動車情報基盤の総合的な実現可能性と社会的適応性について評価を行う。本研究では、自動車情報基盤アーキテクチャの構成と、実現のための3つの技術基盤の整備を行った。それぞれの評価と、総合的な影響についての評価を行う。

7.1 自動車情報基盤アーキテクチャに関する評価

自動車情報基盤アーキテクチャは、インターネットを通信基盤とし、自動車の情報を利用した情報システムを情報基盤上に構築することを可能とすることを目的とした。本アーキテクチャ上では、自動車の情報は自動車内において抽象化され、統一インターフェイスを介して発信することを提案した。これによって、多様な車種が、企業や行政等の主体を超えた形でプローブ情報システムの構築が可能となった。プローブ情報システムは、情報集約可能である自動車の台数に応じてその価値が高まるため、自動車に非依存な形で情報インターフェイスを実現することは有用性を高める上で効果的である。自動車情報は、その機能を持つ probe aggregator が行うことで、収集された情報とサービスを分離し、開かれた情報システムの構築を可能にした。これによって、道路交通以外のサービスの実現が容易になり、また、プローブ情報システムとは異なる他の情報システムとのイノベーションが期待できる。さらに、個人情報やプライバシーを考慮した上で適切な処理を行い、プローブ情報を生成する道路管理者や自動車企業等のプローブ情報生成主体に送信されることで、情報収集主体は個人情報保護のコストや情報漏洩のリスクから開放され、同時に、情報発信者の安心を担保することが可能となった。こうして流通される情報は、必要に応じて個別に加工されて付加価値を増したり、あるいは主体間で共有されることでその適用エリアや情報の精度、信頼性が向上することで、道路交通に依存しない様々なアプリケーションに利用される母体となり、インターネット上での自動車情報共有の目的が達成された。また、自動車間で車車間通信を活用し、即時性が高い情報や地域に特化した情報の交換を実現することで、自動車情報が利活用される機会を増大し、自動車搭乗者の利便性や安全性を向上させることが可能となった。

7.2 自動車情報インターフェイス基盤に関する評価

本節では、自動車情報インターフェイス基盤に関する評価として、実現可能性に関する評価と、社会的受容性に関する評価について述べる。

7.2.1 実現可能性に関する評価：実証実験基盤

本研究で構築した自動車情報インターフェイス基盤は、次節で述べるプローブ情報生成基盤における各実証実験のシステム構築の際の基盤となっている。また、論文 [49],[50] 等の実験環境と

して活用し、プローブ情報システムの実現可能性を示している。また、産・官・学の共同組織であるインターネット ITS 協議会における情報基盤として採用され、協議会における様々なプローブ情報システムのアプリケーション基盤として活用されている。以下にインターネット ITS 協議会の概要と各種の実証実験について述べる。

インターネット ITS 協議会は、経済産業省支援の下、慶應義塾大学を中心に、株式会社トヨタ自動車、株式会社デンソー、株式会社日本電気の 4 組織によって推進されたインターネット ITS 実証実験に端を発しており、インターネットを通信基盤とした新しい ITS 産業分野の創出を目指し、2002 年 10 月 29 日に設立された団体である。2009 年 1 月現在、108 組織の産・学からの参加者により、新しい ITS 分野の展開を目指した活動が行われている。この協議会には交通関係の参加者だけでなく、コンピュータ業界、電機業界、気象業界、コンテンツ業界などの多くの分野からの参加があり、新たな産業分野の創出を行っている。2006 年には協議会共通の基盤仕様が策定され、自動車情報インターフェイスについては本研究の成果が採用されている。同時に、この基盤仕様に基づいて様々なアプリケーションが構築され、そのデモンストレーションが行われた。このアプリケーションとデモの概要を図 7.1 に示す。

■日時: 3月28日(火)、29日(水)

■目的: インターネットITS協議会発足以降の活動成果の公表。ガソリンスタンド、駐車場などにおける様々なITSサービスを紹介。

■対象: インターネットITS協議会会員



図 7.1: 自動車情報インターフェイス基盤を活用した実証実験

7.2.2 社会的受容性に関する評価：ISO における標準化

本研究では、自動車情報インターフェイス基盤に関する社会的受容性を示す評価として、自動車情報のデータ辞書に関する規格の国際標準化を ISO において実施した。その結果、日欧米の各

プローブ情報システムにおけるアーキテクチャや用語，スキームに関する議論を世界的な専門家と共に実施し，2009年1月に国際規格(ISO)[51]として登録されるに至った．とりわけ，自動車情報のインデックスとして位置情報と時刻情報を統一して保持するフレームワークと，そのフォーマットに関してはこの研究が与えた影響は大きく，本研究の成果は国際的に受容されるものであることが明らかとなった．本研究が基となってISOに提案したワークアイテム「Vehicle probe data for wide area communications(ISO IS 22837)」[51]に含まれる要素は以下の通りである．

- リファレンスアーキテクチャ
- データフレームワーク
- データエレメント構造
- コアデータエレメント定義
- データエレメント定義
- イニシャルプローブメッセージ

また、標準規格の作業範囲を示すスコープを図 7.2 に示す。

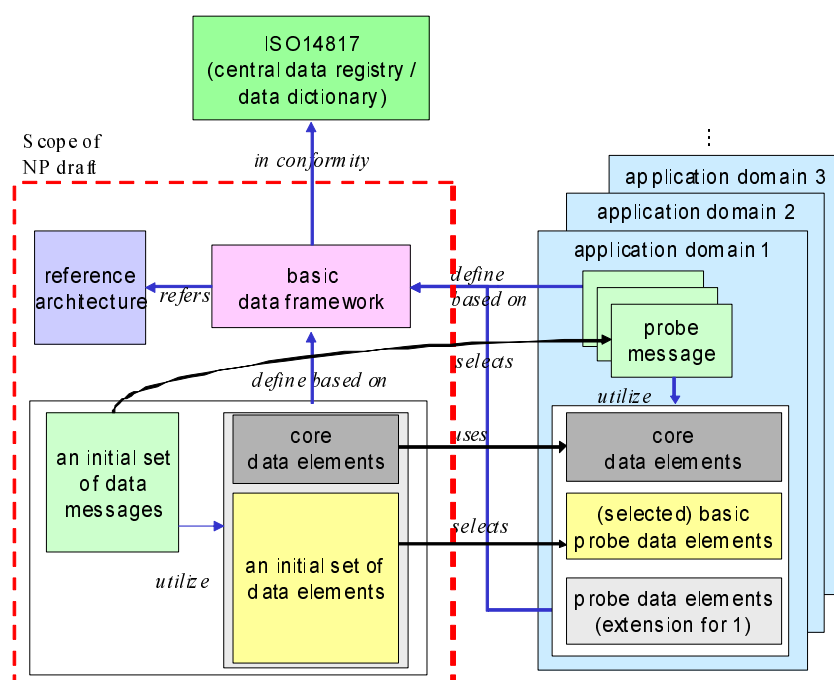


図 7.2: ISO IS22837 のスコープ (WG16 国際専門家グループ作成)

この中で、標準化の際に特に焦点となったのがリファレンスアーキテクチャとデータエレメントの構造、特にコアデータエレメントの定義である。プローブ情報システムを構築する際の前提条件として、米国側は車載機器における閾値による判定やデータ処理を想定し、自動車のセンサ情報を個別にあげる本研究のアーキテクチャには当初反対であった。米国側専門家の主張を受けたプローブ情報システムのコンテキストモデルを図 7.3 に示す。

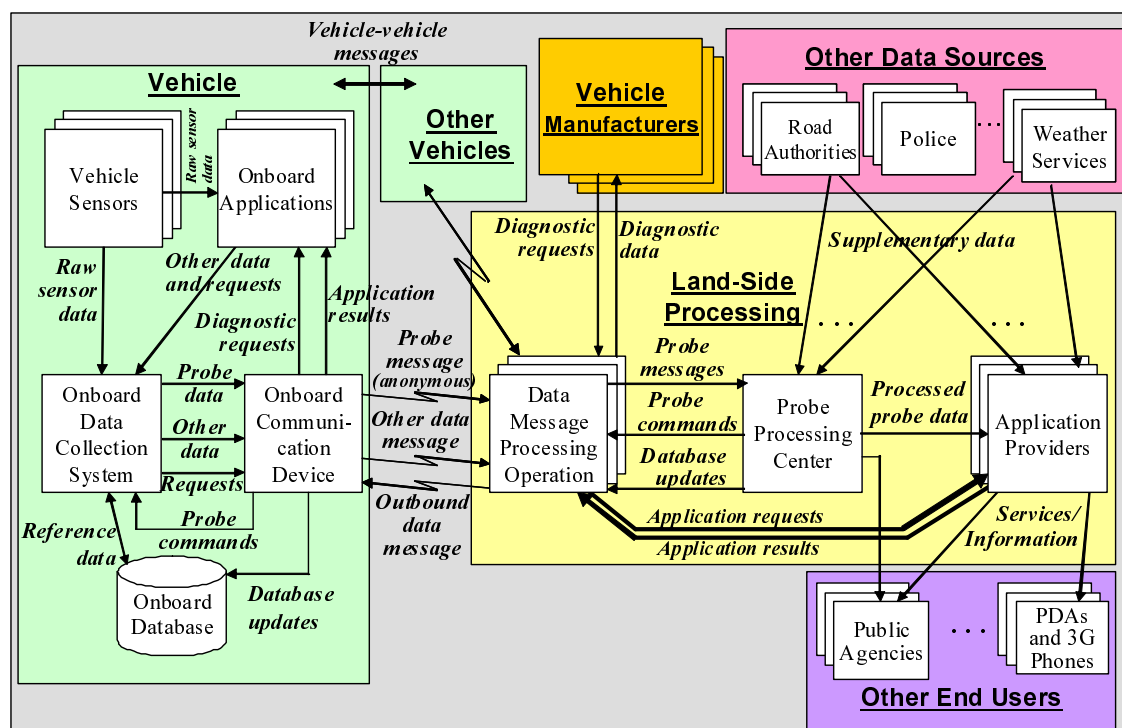


図 7.3: ISO IS22837 におけるコンテキストモデル

しかし、国際会議の場で議論を重ねていく事で、何らかのリファレンスデータベースや判定アルゴリズムに依存してしまう方式ではなく、プリミティブなセンサ情報を集約することがプローブ情報システム全体としての有用性や多様性を高めるという本研究の主張が受け入れられ、アーキテクチャとしては自動車情報のインデックス情報となる位置、時刻からなるコアデータと、センサデータそのものであるデータエレメントから構成されるアーキテクチャが標準として採用された。IS 22837におけるリファレンスアーキテクチャを図7.4に示す。

位置、時刻からなるコアデータについても、全てのセンサ情報につけるというコンセプトが受け入れられた後も、特に位置の表現方式について議論が交わされた。デジタル地図データベース等のリンク番号や道路名とキロポストの組み合わせ等が併用できる方式についても検討が重ねられたが、最終的には当初のアーキテクチャの設計通り、何らかのシステムやデータベースに依存する方式は有用性や多様性を狭めるという観点から、本研究の方式である緯度・経度・高度という絶対値による統一されたインデックスによる表現が採用された。IS 22837における自動車情報の構造を図 7.5 に示す。

ISO における標準化の概要は付録 1 に示す。また、国際標準となった ISO IS 22837 の概要を付録 2 に示す。

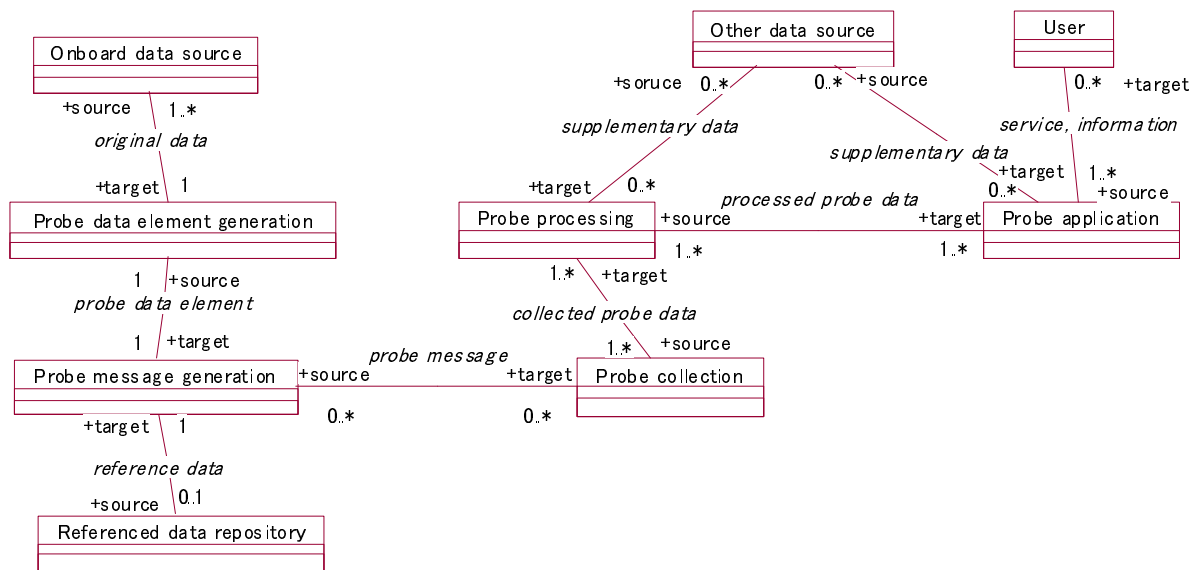


図 7.4: ISO IS22837 におけるリファレンスアーキテクチャ

- Probe message
= Core data element + Data element
- Core data element
 - Time stamp and Location stamp
 - Information given to all the data entries

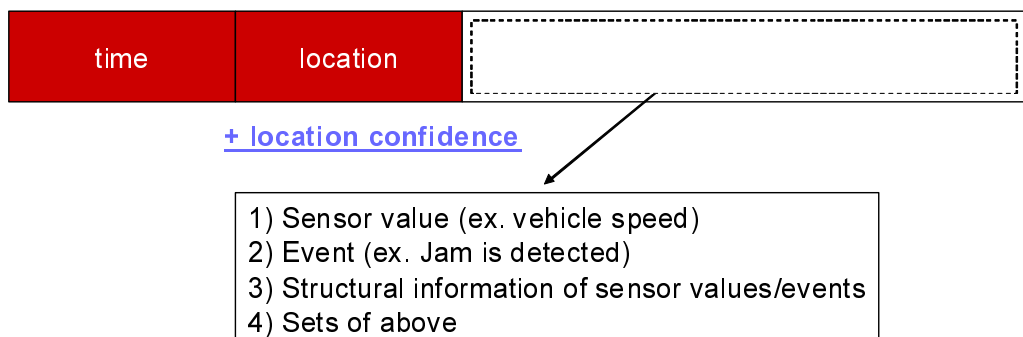


図 7.5: ISO-IS22837 における自動車情報の構造

7.3 プローブ情報生成基盤に関する評価

本節では、プローブ情報生成基盤に関する評価として、実現可能性に関する2つの評価について述べる。

7.3.1 実現可能性に関する評価：実証実験の基盤

本研究で構築したプローブ情報生成基盤は、「秋田つるナビ社会実験」の実証実験のシステム構築の際の基盤となっている。この社会実験は、冬季の交通事故の低減を目指す国土交通省のプロジェクトとして2004年に始まり、秋田大学土木環境工学科の浜岡秀勝准教授をリーダーとして、約100台の実験車両で路面情報を収集し、凍結地点情報を専用のホームページで提供している。この社会実験の情報提供ページを図7.6に示す。



図 7.6: 秋田つるナビ社会実験

7.3.2 実現可能性に関する評価：シミュレータによる規模性の評価

プローブ情報生成基盤は、データ辞書に基づくプローブ情報システムの構築を実現する基盤である。統一した自動車情報によるプローブ情報システムの際に問題となる規模性については、車車間通信を活用することで問題の解決を図った。具体的には、車車間通信を司るセンタレスプローブ通信基盤と提案したアルゴリズムに基づくシステムの設計、および車載機への実装を行い、テストコースにおいて5台の実車両による実証実験を行った。その結果、実装した車載システムによって、提案する道路交通情報生成アルゴリズムによるプローブ情報の交換と情報の生成が可能であることを確認した。具体的には、個々の車両で生成されたプローブ情報を車車間通信を用い

て交換し、統合処理を行うことで質の高いプローブ情報を生成出来ることが分かった。また、実装したセンタレスプローブ情報システムによって、生成した質の高いプローブ情報が有効に伝達されることを確認した。このような車車間通信を活用したプローブ情報システムによって、どの程度自動車からの情報発信を削減できるかをシミュレータによって評価した。評価に関しては、インターネット ITS 実証実験が 2003 年に名古屋で行ったタクシーを用いた実証実験の際の実走行データを利用した。利用データは 2003 年 1 月 15 日から 17 日にかけて名古屋駅周辺を走行したデータである。一日につき約 1000 台分の走行データがあったため、3 日間分のデータを同時に走行させたと仮定すると最大で 3000 台分のタクシー走行データを活用することが可能であった。

まず、渋滞情報を生成するプローブ情報システムを想定して、「車車間通信を活用して得られた周辺平均速度が時速 30km 以下であり、かつ前回発信時からの移動距離が 10m 未満」である場合には情報を発信しないという仮定に基づく、周辺車両台数と削減されるデータの関係を表 7.1 に示す。なお、この際の車両間の通信範囲は半径 50m と設定し、建物等の影響は考慮せずに試算を行っている。また、車車間通信によって取得できるデータの保持時間は 5 分間とした。なお、走行データは 24 時間分の実データであるため、情報量と車両の台数は比例していない。

表 7.1: 車両台数 (情報量) と削減量の関係

項目	1000 台の情報 量 (個)	2000 台の情報 量 (個)	3000 台の情報 量 (個)
発信	857210	2158022	3483519
削減	180437	710623	1274996

この結果、台数の増加によって削減量が増大することが分かった。1000 台では削減される情報量は全体のおよそ 17.3 % 程度だが、3000 台では 26.8 % 程度となる。また、車車間通信を活用した際とそうでない場合の自動車情報発信回数の関係を図 7.7 に示す。自動車情報の総量が少ない場合には、車車間通信に情報発信の抑制はあまり見込めないが、台数の増加と共に削減量が増加する。1 分間のデータ発信回数が 1100 程度の場合には、約 330 の抑制が確認されるに留まるが、データ発信回数が 6000 を超えた場合には、約 18 % にあたる 1100 の抑制が確認された。

次に、情報発信が抑制されたことによる、生成される渋滞情報の劣化がどの程度発生したかを評価する。図 7.8 に、全ての情報を活用した場合と、車車間通信による情報抑制を行った場合との道路毎の速度情報の差異を示す。図 7.8 内では、全ての情報を活用した場合を真値とし、削減された情報量と平均速度をそれぞれプロットしている。この図から分かるように、総データ量が約 3500 個から 4000 個程度までの間には、発信情報の削減量と情報劣化に相関関係が認められる。一方、それ 4000 個以上に総データ量が増大した場合には、それ以上情報の劣化は進行せず真値に徐々に近似していくことが確認された。これは、車両密度が高まるにつれて車車間通信が密になり、周辺平均速度の品質と信頼性が向上するからであると考えられる。したがって、ある程度の車両台数が存在している場合には、情報劣化を極力押さえた形で情報量の削減が可能であることが分かった。

一方で、今回の試算は、渋滞情報という位置、時間、速度を要素とし、ある一定間隔による定期的な情報の発信を行うようなアルゴリズムであり、かつ交通状況を反映するようなセンサ情報に関しての成果である。そのため、単一のセンサ情報や突発的な情報発信に際しては同様の影響を得られない可能性もある。しかし、現在考えられているプローブ情報システムにおいて、情報

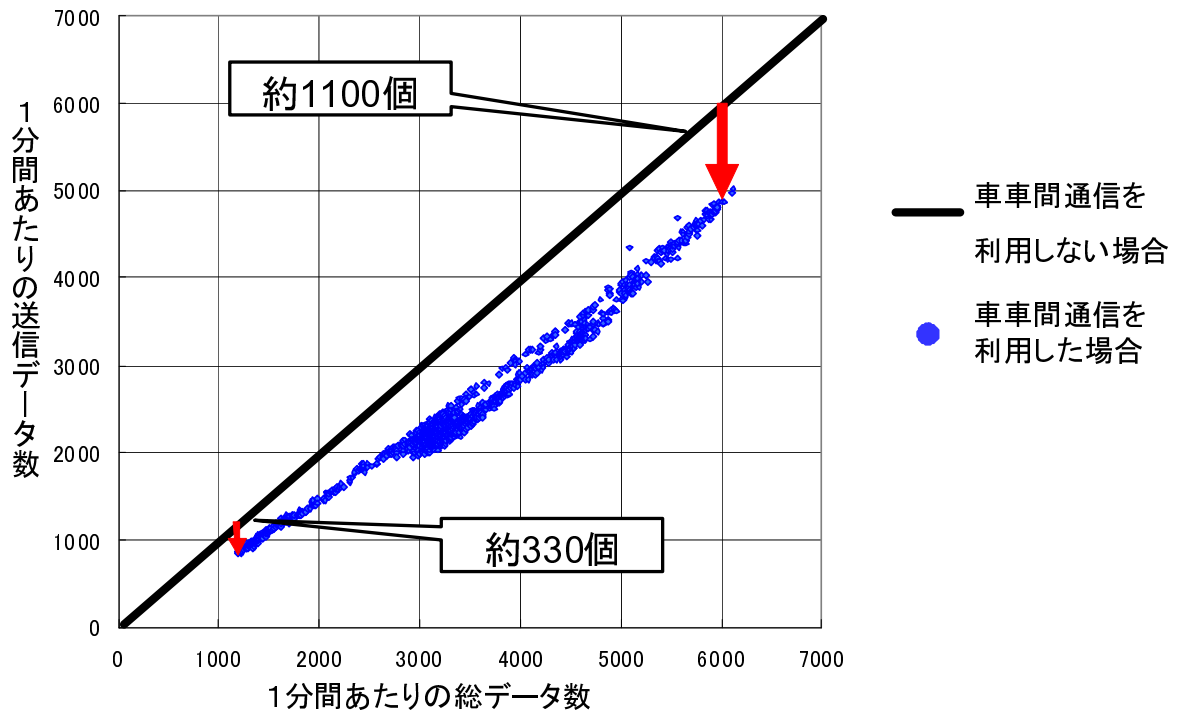


図 7.7: 情報発信回数の抑制

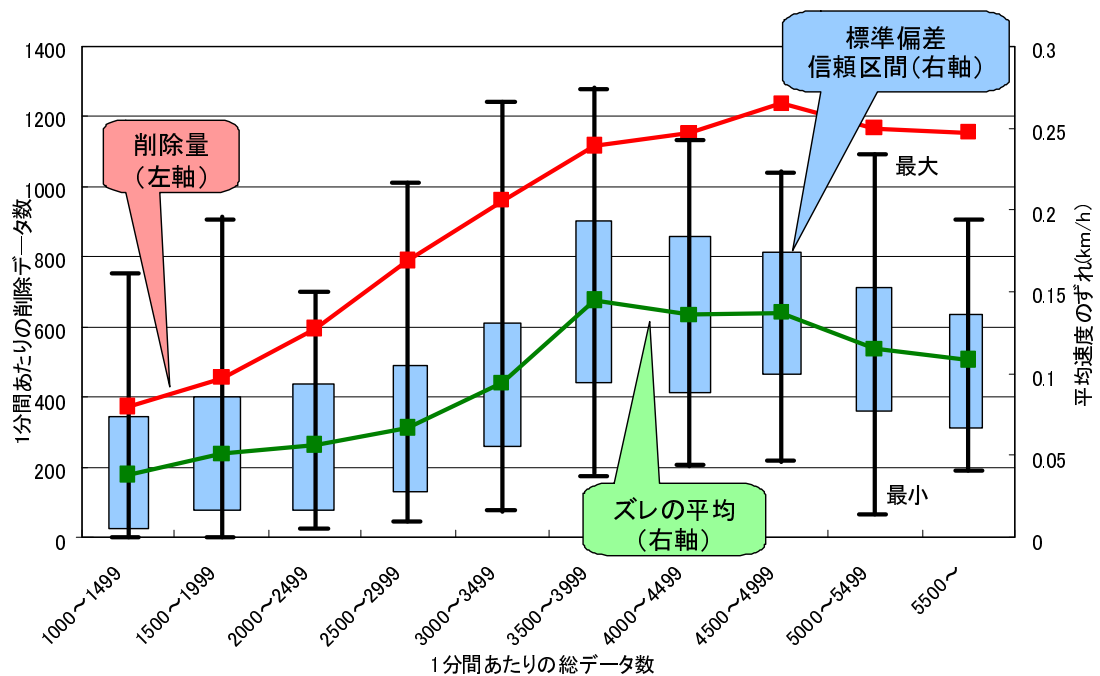


図 7.8: 情報量の削減と情報劣化の関係

発信の大部分は自動車の走行状況を定期的に把握するためのものとなるため、そうしたドメインの情報量が削減出来る事は規模性の向上に大きな影響を与える。

7.4 プライバシ保護基盤に関する評価

本節では、プライバシ保護基盤に関する評価として、実現可能性に関する評価と、社会的受容性に関する評価について述べる。

7.4.1 実現可能性に関する評価：匿名認証方式によるプライバシ保護の実現

プライバシ保護基盤は、情報発信者の個人情報やプライバシを保護した上で、有益なプローブ情報生成を実現する基盤である。まず初めにプローブ情報システムに求められるプライバシについての考察を行い、情報発信者のプライバシを保護した上で、質の高い交通情報生成のための連続したプローブデータの取得を実現する部分的な Linkability を保持する事が可能な匿名認証方式を提案した。この匿名認証方式では、Refreshable token scheme による token 認証後に、情報発信者と情報収集者の間で一定期間情報セッションを保持する事で、発信された情報の Linkability を実現した。その後、提案の有効性を評価するために、各機能の設計と実装を行い、プローブ車両シミュレータを用いて 5000 台規模の環境において実験を行い、定性的評価と定量的評価を行った。その結果、実装したシステムによって、提案する匿名認証方式によって情報発信者のプライバシを保護した上で、部分的に Linkability を有するプローブデータの収集をする事が可能である事が分かった。以下に実験結果を踏まえた考察を行う。

提案方式の特徴の 1 つは、車両の始点および終点を隠蔽できる点にある。車両の始点・および終点は、車両の走行履歴から個人の行動履歴を推察する手掛かりとなりうるため、この情報が隠蔽できることは、情報発信者のプライバシ保護の観点から優位である。他に始点を隠蔽する方法として、車両が走行を開始してから一定時間の経過、もしくは一定距離を走行するまではプローブデータを発信しない等の方法も考えられるが、この方式では家や職場等の定期的に始点になる部分の周囲だけ情報が集まらないことが逆に個人を特定する可能性があることや、終点の隠蔽が難しいため、本提案方式の方がプライバシの点で有効であると考ええる。また、実時間性とのトレードオフで、情報発信者で一定期間プローブデータを蓄積し、一括送信することで Linkability を実現する方式も考えられる。しかし、この方式では情報収集主体は認証情報が付与された軌跡情報を取得することとなるため、本提案方式の方がプライバシの点で有効であると考えられる。さらに、この際の認証情報についても、一時的な ID とグループ証明等では虚偽情報の同時多数発信等の攻撃を防ぐことが出来ない為、本提案方式が優位である。トヨタ自動車株式会社が行っているプローブ情報システムである「G-BOOK」や日産自動車株式会社が行っている「CAR-WINGS」等における情報収集間隔の最短が 300 秒 (5 分) である。これらは 300 秒間データを蓄積して一括送信しているため、本実験環境においても、こうした商用プローブ情報システムと同程度の Linkability を有しつつ、各プローブデータ群毎の非連続性を担保出来る事が分かった。

想定環境における最短の Linkability を有する期間を 300 秒とした場合の、実道路における影響を考察する。東京近郊の道路リンクのリンク長を財団法人デジタル道路地図協会の基本道路網から算出すると、一般道の平均リンク長は 158m であった。平成 11 年度の道路交通センサスによると人口集中地区の平均旅行速度は時速 20.6km である。したがって 300 秒での移動距離は 1716m 程度となり、これは 11 リンク弱の移動長となり、各道路リンク毎の平均旅行時間の計測が可能であることが分かる。同様に平成 11 年度の道路交通センサスによると、乗用車の一日の平均走行距

離は 35.3km, 関東圏の平均旅行回数は 2.8 回であることから, 1 回の移動はおよそ 13km 程度である。したがって, Linkability を有する期間を 300 秒とした場合には, 1 回の移動がおよそ 7 つ程度に分割される事となる。情報発信者の安心は, 総移動距離・時間, および状況によって異なるが, 始点・終点の隠蔽と移動の分断によって, 本提案方式によって, 交通情報を生成するために必要なプローブデータの収集を実現した上で, 情報発信者のプライバシーを考慮したプローブ情報システムの構築が可能であると考えられる。一方, 実験結果から token の更新が処理全体のボトルネックとなることが分かったため, さらなる性能向上や規模性の拡大に向けた, 暗号化処理の高速化や token 更新機能の分散化等を検討する必要があることが分かった。

7.4.2 社会的受容性に関する評価：ISO における国際標準化

本研究では, プライバシ保護基盤に関する社会的受容性を示す評価として, プローブ情報システムにおける個人情報保護に関する規格の国際標準化を ISO において実施した。その結果, 日欧米の各プローブ情報システムにおける個人情報保護に関するフレームワークや遵守すべき基本原則に関する議論を世界的な専門家と共に実施し, 2009 年 9 月に国際規格案 (DIS) として登録された。2009 年 1 月現在, IS へ向けた国際投票が進行中である。本研究が基となって ISO に提案したワークアイテム「Basic principles for personal data protection in probe vehicle information systems(ISO DIS 24100)」に含まれる要素は以下の通りである。また, 図 7.9 に ISO DIS 24100 の作業スコープを示す。

- 認証情報を含んだプローブ情報システムのリファレンスアーキテクチャ
- プローブ情報システムにおける個人情報の定義
- プローブ情報システムにおける個人情報に掛かる脅威分析
- 個人情報保護の為の基本原則

本提案は前述の ISO IS 22837 で定義されているプローブ情報システムが基礎となっているが, ISO IS 22837 では, 自動車情報は個人を特定する情報を含まない(匿名情報のみを対象とする)形で審議が行われていた。そのため, 本提案に際しては, 欧州, 米国の国際専門家とプローブ情報システムに個人情報が存在するか否かという前提について合意を得る所から始まった。その後, ISO IS 22837 のリファレンスアーキテクチャでは, 認証や承認, さらには通信時に発生する個人を特定する情報を取り扱う枠組みが存在しないため, ISO IS 22837 を拡張する形で, 個人情報保護のためのリファレンスアーキテクチャを構築し, 合意を得た。その後, プローブ情報システムにおける個人情報に関する脅威として, 各国から脅威事例の集約を行い, それを分析した上で, OECD におけるプライバシーフレームワークに則る形で基本原則の策定を行った。本規格案にこの研究が与えた影響は大きく, 本研究の成果は国際的に受容されるものであることが明らかとなった。

7.5 本章のまとめ

本章では, インターネット上での自動車情報基盤の総合的な実現可能性と社会的適応性について評価を行った。本研究では, 自動車情報基盤アーキテクチャの構成と, 実現のための 3 つの技術基盤の整備を行った。

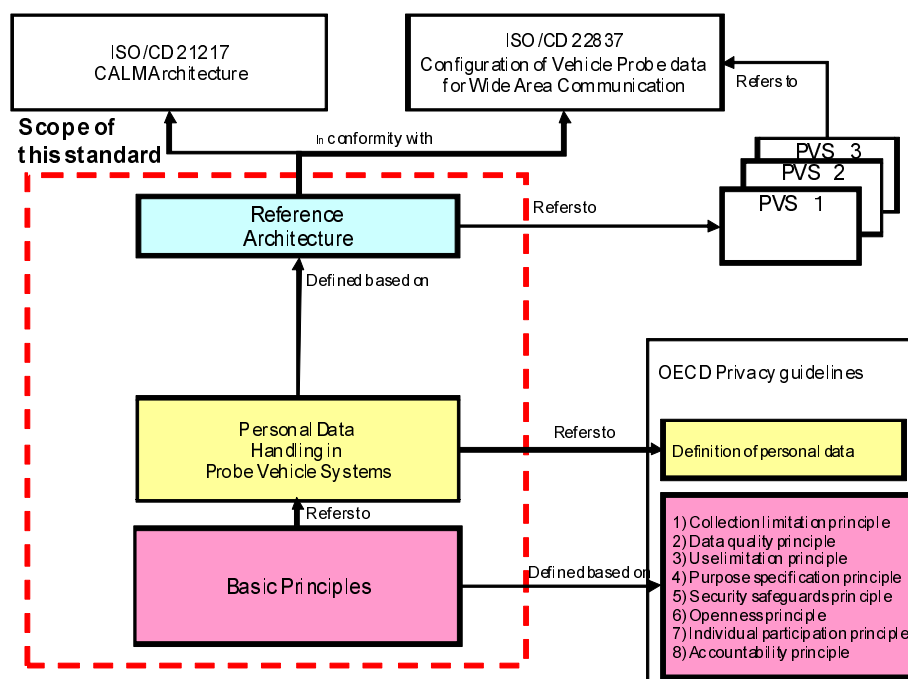


図 7.9: ISO DIS 24100 のスコープ

自動車情報基盤アーキテクチャによって、インターネットを通信基盤とし、自動車の情報を利用した情報システムを情報基盤上に構築することが可能となる。本アーキテクチャ上では、自動車の情報は自動車内において抽象化され、統一インターフェイスを介して発信する。これによって、多様な車種が、企業や行政等の主体を超えた形でプローブ情報システムの構築が可能となった。プローブ情報システムは、情報集約可能である自動車の台数に応じてその価値が高まるため、自動車に非依存な形で情報インターフェイスを実現することは有用性を高める上で効果的である。また、自動車情報の収集は、その機能を持つ probe aggregator が行うことで、収集された情報とサービスを分離し、開かれた情報システムの構築を可能とした。さらに、個人情報やプライバシーを考慮した上で適切な処理を行い、プローブ情報を生成する道路管理者や自動車企業等のプローブ情報生成主体に送信されることで、プライバシーを考慮したプローブ情報システムの構築が可能となった。こうして流通される情報は、必要に応じて個別に加工されて付加価値を増したり、あるいは主体間で共有されることでその適用エリアや情報の精度、信頼性が向上することで、道路交通に依存しない様々なアプリケーションに利用される母体となり、インターネット上での自動車情報共有の目的が達成された。

自動車情報インターフェイス基盤は、インターネット ITS 等の様々な実証実験の基盤として活用されており、実現可能性を評価出来た。また、社会的受容性としては、国際標準化機構である ISO の TC204 にて本研究の成果であるデータ辞書が国際標準として発行されており、国際的な合意と受容性を評価出来た。

プローブ情報生成基盤は、自動車情報を活用したプローブ情報システムの構築に実際に活用されており、実現可能性を評価出来た。また、車車間通信を活用したプローブ情報システムについては、シミュレーションによる規模性の評価を行った。

プライバシー保護基盤は、匿名認証方式によるプライバシー保護の実現に関する考察を行い、実現

可能性を評価出来た。また，社会的受容性としては，国際標準化機構である ISO の TC204 にて，本研究の成果であるプローブ情報システムにおける個人情報保護に関する基本原則が議論されている。2009 年 2 月現在，国際標準素案として国際投票が行われており，国際的な合意と受容性を評価出来た。

第8章 結論

本研究では、インターネット上での自動車情報と、自動車情報を利用して新たな価値ある情報を生成するプローブ情報システムの概念を定義し、オープンなデジタルデータプラットフォーム上でこれを実現するためのアーキテクチャである自動車情報基盤アーキテクチャを提案した。また、これを実現するための技術基盤として、自動車情報インターフェイス基盤、プローブ情報生成基盤、プライバシー保護基盤を定義し、それぞれの構築と、実現可能性および社会的受容性に関する評価を行った。本章では、本研究の結論を述べ、本研究が社会に与えた影響について述べる。その後、今後の課題について述べる。

8.1 結論

本研究ではインターネット上での自動車情報と、自動車情報を利用して新たな価値ある情報を生成するプローブ情報システムの概念を定義し、これを実現するためのアーキテクチャである自動車情報基盤アーキテクチャを提案すると共に、これを実現するための技術・運用基盤を構築し、その評価を行った。

インターネット上で自動車の情報が容易に利用できれば、プローブ情報システムをその上に構築する事が可能となる。インターネット上にプローブ情報システムを構築することで、情報の収集、蓄積、加工による新たな価値ある情報の作成を容易に行うことが可能となる。また、ITS 機器や様々な場所に存在する情報システム間での情報交換や補間を行うことで、情報精度や信頼性の向上等が実現できる。自動車情報基盤は、インターネットを用いることで、自動車の持つ多様な情報を、道路交通やそれ以外の新たな情報システムで活用可能とする情報基盤である。本研究では、この基盤を構築するために必要なアーキテクチャを提案した。このアーキテクチャの提案に際しては、まず、自動車の持つセンサデータを収集し、価値ある情報を生成し、利用者へ提供を行うプローブ情報システムについて、情報の集約に関する考察を行い、プローブ情報システムの持つ特徴を整理した。次に、既存 ITS における情報システムのアーキテクチャをモデル化し、考察を行った。既存 ITS のアーキテクチャは、情報を取得するための車載機、収集・集約を行う通信路を含んだ収集箇所(情報センタ)が1つのパッケージとなっており、情報の二次利用や共有が非常に困難であり、収集主体が意図した以外の用途に自動車の情報を活用することが出来ない。また、インターネット ITS におけるアーキテクチャをモデル化し、考察を行った。情報の収集・集約にオープンプラットホームであるインターネットを活用するインターネット ITS では、情報の二次利用や共有については専用基盤を前提としているアーキテクチャに比べて有利であるが、多様なセンサ情報を扱うためのスキームの確立や、情報センタ間のポリシーやアルゴリズムの差異による連携の阻害、さらには収集された情報に関する個人情報保護やプライバシーに関する課題が挙げられる。

これらの考察を受け、本研究ではオープンなデジタルデータプラットフォームのモデル化を行い、実空間の状況や環境をセンシングしてデジタルデータに変換し、価値ある情報を生成するためのデジタルデータを活用するプラットフォームの提案を行った。その後、こうしたオープンなデジタ

ルデータプラットフォームの実現形態として、自動車を「動くセンサ」として捉え、自動車がセンシングする実空間データを活用し、様々なプローブ情報システムを横断的に構築することができるデジタル情報基盤として、自動車情報基盤アーキテクチャの提案を行った。同時に、アーキテクチャの実現に向けた課題を挙げ、本研究の対象とする3つの要件を整理した。その結果、提案する自動車情報基盤アーキテクチャの要件を満たすための技術基盤として「自動車情報インターフェイス基盤」「プローブ情報生成基盤」「プライバシー保護基盤」の3つの技術基盤を定義した。以下に3つの技術基盤の内容について述べる。

自動車情報取得インターフェイス基盤は、自動車が持っている車両位置や速度、外気温や各種走行センサの状態等を統一した形式で保持する「車両データ辞書」を構築し、様々な情報システムが利用できるようにするための基盤である。この基盤の構築のため、まず、デジタル情報基盤上における自動車情報の抽象化について考察を行い、次に、自動車をインターネットのノードの一つと捉え、その保持する情報をデータ辞書としての抽象化について検討を行った。データ辞書モデルの導入により、車両毎の誤差や精度のばらつきなどが正規化され、インターネット上にプローブ情報システムが実現できる。この検討に基づき、実際のデータ辞書のリファレンスモデルの策定を行った。策定に際しては、プローブ情報システムの基盤としての共通化の意味を踏まえ、AMICが策定している自動車のメッセージセットを参考に、プローブ情報として意味のある情報の定義を行った。このモデルおよびデータ辞書については、自動車情報基盤に接続する自動車に実際に採用され、普及展開がなされる事で、本来の価値を有する。そこで、本研究では、データ辞書の標準化について、ISO/TC204/WG16で行なった。

プローブ情報生成基盤は、自動車情報取得インターフェイス基盤を活用して自動車の情報を取得・集約し、価値ある情報を生成するための生成スキームを提案し、プローブ情報システム構築の際に求められる規模性や即時性等を満たすための車車間通信の活用を実現する基盤である。この基盤の構築のため、まず、プローブ情報システムにおける情報生成について考察し、自動車情報インターフェイス基盤を活用した情報生成について考察を行った。次に、情報基盤上に情報集約箇所を構築し、自動車情報の集約・生成を行うシステムモデルについて、自動車情報インターフェイス基盤に基づく実装と実証実験について述べた。一方、プローブ情報生成基盤には、動いている全ての車がプローブ情報生成基盤に繋がることを想定した場合、一定間隔頃に押し寄せてくるデータを逐一処理して有用な情報を生成するためのスキームが必要となる。そこで、車車間通信技術を活用した情報センタに依存しないプローブ情報システムのモデルとして、本研究ではセンタレスプローブ情報システムを提案し、その設計と実装を行った上で、実証実験を行った。その結果、実装した車載システムによって、提案する道路交通情報生成アルゴリズムによるプローブ情報の交換と情報の生成が可能であることを確認した。また、実装したセンタレスプローブ情報システムによって、生成した質の高いプローブ情報が有効に伝達されることを確認した。

プライバシー保護基盤は、自動車情報取得の際の課題である情報発信者の個人情報の漏洩やプライバシー侵害に関する不安を取り除くために、自動車情報流通基盤上において守るべき個人情報保護に関する基本的な遵守事項(基本原則)の策定と、プライバシーを保護した上で有益なシステムの構築、およびシステム保全を担保する認証技術である匿名認証機構から構成された、情報発信者と利用者の安心・安全を守る基盤である。この基盤の構築のために、まず、プローブ情報システムに存在する個人情報、およびプライバシーについて考察を行った。次に、プローブ情報システムにおいて必要となるプライバシー保護について述べ、プローブ情報システムのプライバシーに対する脅威分析を行った。その後、プローブ情報システムが遵守すべき基本原則をOECDのプライバシー・ガイドラインのフレームワークに沿って策定した。次に、プライバシーを保護した上でプローブ情報を構築するための具体的な手法として、プローブ情報システムのための匿名認証方式の提案を

行った。初めに、プローブ情報システムに求められるプライバシーについての考察を行い、情報発信者のプライバシーを保護した上で、質の高い交通情報生成のための連続したプローブデータの取得を実現する部分的な Linkability を保持する事が可能な匿名認証方式を提案した。さらに、提案の有効性を評価するために、各機能の設計と実装を行った。その後、プローブ車両シミュレータを用いた実験を行い、定性的評価と定量的評価を行った。その結果、提案する匿名認証方式によって情報発信者のプライバシーを保護した上で、部分的に Linkability を有するプローブデータの収集が出来る事を確認した。

自動車情報基盤アーキテクチャによって、インターネットを通信基盤とし、自動車の情報を利用した情報システムを情報基盤上に構築することが可能となった。本アーキテクチャ上では、自動車の情報は自動車内において抽象化され、統一インターフェイスを介して発信する。これによって、多様な車種が、企業や行政等の主体を超えた形でプローブ情報システムの構築が可能となった。プローブ情報システムは、情報集約可能である自動車の台数に応じてその価値が高まるため、自動車に非依存な形で情報インターフェイスを実現することは有用性を高める上で効果的であった。

自動車情報インターフェイス基盤は、インターネット ITS 等の様々な実証実験の基盤として活用されており、実現可能性を評価出来た。また、国際標準化機構である ISO の TC204 にて本研究の成果であるデータ辞書が国際標準として発行されており、社会的受容性を確認する事が出来た。プローブ情報生成基盤は、自動車情報を活用したプローブ情報システムの構築に実際に活用されており、実現可能性を評価出来た。また、車車間通信を活用したプローブ情報システムについては、シミュレーションによって規模性を評価し、実現可能性を確認した。プライバシー保護基盤については、匿名認証方式によるプライバシー保護の実現に関する考察を行い、評価を行った。また、国際標準化機構である ISO の TC204 にて、本研究の成果である基本原則が議論されている。2009 年 2 月現在、国際標準素案として国際投票が行われており、社会的受容性を確認する事が出来た。

本研究では、各種実証実験および国際標準化を通じた合意形成を行い、3つの技術基盤からなる自動車情報流通基盤の実現可能性、および社会的受容性を検証し、次世代プローブ情報システムの基盤構築に寄与できるかを明らかにした。

8.2 本研究が社会に与えた影響

前述のようなアーキテクチャを提案し、その実現可能性と社会的受容性を確認する研究活動の中で、本研究は以下のような影響を社会に与えた。

- 自動車の持つ情報が、道路交通だけでなく社会全体の利便性向上に活用可能であることを提唱し、自動車情報が利用できるデジタルデータプラットフォームの実現可能性を示した。
- 自動車情報の統一的なインターフェイスとして、自動車情報の国際標準 (ISO IS 22837 : Vehicle probe data for wide area communications) を策定した。
- プローブ情報システムの構築に際し、情報提供者の個人情報保護のために情報収集者が遵守すべき事項として、プローブ情報システムにおける個人情報保護に関する基本原則の国際標準案 (ISO DIS 24100 : Basic principles for personal data protection in probe vehicle information systems) を策定した。

8.3 今後の課題

本研究によって、自動車情報基盤アーキテクチャに基づく、プローブ情報システムの基盤をインターネット上に構築することが出来た。これは、技術的研究開発と国際標準化活動によって齎された、オープンなデジタルデータプラットフォームの自動車に関する共通基盤である。しかし、社会基盤としてさらなる利便性、信頼性、頑健性を向上させるためには解決しなければならない幾つかの課題がある。

まず、自動車情報基盤において流通する自動車情報の価値を向上させ、有益なプローブ情報システムを構築するためには、事業者間の情報交換・情報共有インターフェースを整備する必要がある。プローブ情報システムにおいて、情報の二次利用、三次利用を促進したり、情報提供エリアの補完が実現されることで、自動車情報基盤の価値は飛躍的に高まる。

次に、自動車情報基盤によって生成される情報の情報提供インターフェースの統一が挙げられる。事業者によって生成されたプローブ情報の利用促進を図るためには、用いる機器や環境に依存しない統一したインターフェースが整備されることが必要である。情報提供インターフェースが統一・規格化されることによって、対応機器やアプリケーションの開発が容易になり、普及展開が期待される。

また、オープンなデジタルデータプラットフォームの構築という観点では、自動車情報に依らない情報基盤の整備が必要である。本研究は実空間のセンシングを行う機器として自動車にフォーカスし、必要な技術基盤の整備と、規格の標準化を行った。しかし、実空間をセンシングする機器は自動車だけではない。建造物や付帯構造物に設置されているセンサや、人間が所持しているデジタル機器などについても、本研究で行ったような技術基盤の整備と規格の標準化を行うことで、機器に依存しない、ユニバーサル・グローバルなデジタルデータプラットフォームを構築出来る。社会全体の利便性を飛躍的に向上させる情報基盤のためには、地球規模で実空間をセンシングしてデジタルデータに変換し、用意に情報の利用・共有が可能となるデジタルプラットフォームが求められる。

本研究では自動車情報のためのデジタル情報基盤の構築を行ったが、これらの課題を解決することにより、社会全体の利益に資するデジタルプラットフォームの実現が可能となる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導をいただきました主査の慶應義塾大学環境情報学部 村井 純教授に深く感謝致します。研究の場を与えて下さると共に、道に迷った際には、時に厳しく、時に優しく、研究の本質に向けて導いて下さいました。

本研究の副査を引き受けて下さいました慶應義塾大学環境情報学部 中村修 教授に感謝の意を表します。この研究自体の意義や本質を明確化するにあたって貴重なご助言を頂くと共に、学生時代からの研究室での生活を楽しい充実したものにして頂きました。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 砂原 秀樹 教授は、私が研究室に入り、インターネット自動車というプロジェクトに加わった際から、様々な場で公私に渡ってご指導頂きました。ご迷惑をお掛けすることも多かったと思いますが、いつも嫌な顔一つせず、優しい言葉で、私に王道を進む事の大切さを説いて下さいました。本研究にも副査として適切なご助言を頂きました。ここに深く感謝致します。

また、突然のお願いにも関わらず快く副査を引き受けて下さった慶應義塾大学環境情報学部准教授 大前 学博士にも感謝致します。自動車の情報化という観点から貴重なご助言を頂き、本研究に深みを与えて下さいました。

いつも敬愛を込めて「kei さん」と呼ばせて頂いている、慶應義塾大学環境情報学部准教授の植原 啓介博士は、私の学部1年の情報処理の授業の先生であり、そこからの私の研究室での生活、そして研究者としての履歴の全てを支えて下さいました。研究に際する心構え、課題に取り組む際の考え方、成果への妥協しない姿勢など、全て kei さんの背中を通して教えられました。まだまだ教えて頂いた事の半分も実現出来てはいないと思いますが、いつか kei さんのお役に立てるようになりたいと思い、今後も研鑽を積んでいくつもりです。これまで、kei さんと共に歩んで来ることが出来た事、そしてこれからも共に歩んでいける事は、私にとって最高の幸せです。

本研究に御助言と御指導を頂いた慶應義塾大学環境情報学部 徳田 英幸教授に感謝致します。研究を進める際の考え方をご教授頂きました。

日頃より研究活動等の様々な事についてご指導を頂きました、慶應義塾大学環境情報学部准教授 楠本博之 博士をはじめとする maui-staff の皆様に感謝致します。皆様の暖かな支えのおかげで、時に辛い道程でもあった本研究を無事に纏め上げることが出来ました。

私が、日々の研究活動を行えるのは、慶應義塾大学環境情報学部村井研究室の秘書の皆様のご支援があるからです。研究を進める上で必要な事務作業をはじめ、多大な援助を頂きました。ここにお礼申し上げます。

株式会社トヨタ IT 開発センター シニアリサーチャの湧川 隆次 博士には、公私に渡って様々な事を教えて頂きました。先輩の貴重な教えの数々は、本研究を進める際に無くてはならないものであり、またこれからの人生を照らすものだと思っております。ここに感謝の意を表します。

本研究について幾度も相談に乗って頂いた奈良先端科学技術大学院大学の和泉順子 博士に感謝します。論文執筆の際には、ともすれば途中で心が折れそうになる私に、時に厳しく、時に優しく、細密な部分にまでご助言頂きました。また、インターネット自動車ワーキンググループの活動や諸委員会での活動も、和泉さん無しには成し得なかったものだと思っております。

日々の研究活動を、時に友達のように、時に学生として、常に前向きに軽く支えてくれた慶應義塾大学環境情報学部村井研究室インターネット自動車研究グループのメンバ各位に感謝致します。特に、中村 友一君には、様々な面で本研究をサポートして頂きました。また、卒業生である三屋 光史朗博士、遠山 祥広君、塚田 学君にも、様々な実証実験に際してご助力頂いた事、感謝しています。

また、慶應義塾大学環境情報学部村井研究室のメンバ全員にお礼申し上げます。インターネットの様々な分野に関する研究者が揃っており、色々な面で良い影響を受け、皆様の姿が、常に前向きに問題に取り組む気持ちを持たせてくれました。

本研究を進めるにあたり、議論の場を与えてくれた WIDE プロジェクトのメンバ、特にインターネット自動車研究グループの皆様に感謝致します。皆様の厳しいご意見と暖かいご支援のお陰で、インターネットの研究として本研究を形にする事が出来ました。

株式会社三菱総合研究所の杉浦 孝明氏には、本研究の標準化活動に際する多大なご支援を頂きました。特に、国際標準化という未知の領域に進出する際に、円滑に活動できるようご指導下さいました。また、様々な分野において公私に渡って大変お世話になりました。米国への出張の際には杉浦氏のご家族にも暖かく迎えて頂き、非常に感激いたしました。海外での活動で成果を出すことが出来たのも、全て杉浦氏のご支援があったからだと思っております。

株式会社三菱総合研究所目黒 浩一郎氏にも、前職時代から変わらぬ暖かいご支援を頂き、ここにお礼申し上げます。また、同研究所の社会基盤事業部の皆様にも感謝致します。

本研究を進めるにあたり多大なご支援を頂いた、株式会社インターネットオートモビリティ研究所の堀岡 大輔シニアリサーチャに感謝致します。論文執筆活動等で多大なご迷惑をお掛けしましたが、堀岡氏が常に安定したサポートをしてくれたお陰で、日常の業務を何とか滞らせずにすみました。特に、芸術的なまでの補給線のサポートは大変有難いものでした。

財団法人日本自動車研究所の和田 光示氏は、プローブ情報システムに係る各種の実証実験や様々なプロジェクトにおいてご一緒させて頂き、常に暖かいご支援と激励を下さいました。特に、個人情報保護に関する一連の活動において、数々の苦難を乗り越えて来た事は忘れられません。和田氏の機知に富んだ会話とシニカルなジョーク無くして、プローブ情報システムの個人情報保護は確立出来ない分野だったと思います。また、ワインや音楽に対する造詣の深さも、沢山の刺激を与えて下さいました。ここに感謝致します。

本研究を進めるにあたって欠かせない議論をさせて頂いた、貴重な仲間である ISO/TC204/WG16 の皆様に感謝を致します。コンビナである T.Russell Shields 氏をはじめとするメンバ、特に SWG16.3 の諸氏に感謝致します。

私の唯一の姉であり、理解者でもある姉の希代美氏にも感謝致します。まさか兄弟揃って教育する立場になるとは思いもしませんでした。常に明るく、どんな事にも積極的に向かう姿は、私を常に勇気付けて下さいました。

最後に、好きな事しかせず、自由気ままに生きる私を認め、常に励まし、ここまで育てあげて下さった父 佐藤俊明と母 佐藤寿子に感謝の意を捧げます。父の真摯に仕事に取り組む姿勢、自分よりも他人、家族の事を第一にする考え方は、私の大きな憧れであり、未だ追いつけない姿です。母の常に前向きで明るく、何に対しても優しく大らかに接する気持ちは、人間として一番大切なことを教えて頂きました。母が存命中に博士号を取得する事が出来れば、きっと誰よりも喜んでくれた事と思いますが、きっと遠い彼岸の地でも、誰よりも喜んでくれていると信じています。小学生の際に高価なコンピュータをねだった私の願いを叶えたお二方の教育方針は間違っていなかったという事を、こうして証明できたのは私の人生のささやかな誇りです。私と姉の兄弟は、最高の両親に恵まれました。ここにお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 「1998 年度版 ITS HANDBOOK」, 道路新産業開発機構, 1998
- [2] 「ITS ビジネスの未来地図」, 電通総研, 1999
- [3] 「ITS～動き出す高度道路交通システム」, 三菱総合研究所 ITS プロジェクト推進室, 1998
- [4] 「ITS テレコミュニケーションビジネス」, ITS 情報通信システム研究会, 1999
- [5] 「ITS - インテリジェント交通システム」, 社団法人 交通工学研究会, 1999
- [6] Kroes E., Hagemeyer F., Linssen J., "A new, probe vehicle based Floating Car Data system: Concept, implementation and pilot study ", Traffic Eng. and Control pp. 200-204 , April 1999
- [7] Huber W., Ladke M., Ogger R., "Extended floating car data for the acquisition of traffic information" ", Proc. of ITS World Congress 1999
- [8] Keisuke UEHARA, Yasuhito WATANABE, Hideki SUNAHARA, Osamu NAKAMURA, Jun MURAI, "InternetCAR -Internet Connected Automobiles- ", Proc. of INET 1998, July. 1998
- [9] Keisuke Uehara, Hideki Sunahara, Jun Murai, "Problems and Tentative Solutions in InternetCAR Testing with IPv6 ", Proc. of SAINT2003 IPv6 Workshop, January 2003
- [10] Thierry Ernst, Keisuke Uehara, Koshiro Mitsuya, "Network Mobility from the InternetCAR Perspective ", Proc. of AINA 2003, Mar 2003
- [11] Keisuke Uehara, Hideki Sunahara, Jun Murai, "The InternetCAR network architecture: Connect vehicles to the internet using IPv6 ", ITST 2005 pp. 187-190 , June 2005
- [12] Yuichi Odawara, Tetsuo Yagi, Norihiro Kiyoshige, "Study on VICS Data for Road Administration Use ", Proc. of ITS world congress 2006
- [13] Toshiyuki Nakamura, Eiji Keitoku, "SURVEY RESEARCH ON THE SOCIAL AND ECONOMIC BENEFIT BY VICS INFORMATION PROVISION ", Proc of ITS world congress 2007
- [14] 「ARIB STD-T55」, 社団法人電波産業会, 1997
- [15] 「ARIB STD-T75」, 社団法人電波産業会, 2001
- [16] 「AHS とは 2006」, 技術研究組合 走行支援道路システム開発機構, 2006

- [17] Hideto Hatakenaka, Takayuki Hirasawa, Kousuke Yamada, Harutoshi Yamada, Yasunori Katayama, Masato Maeda, "DEVELOPMENT OF AHS FOR TRAFFIC CONGESTION IN SAG SECTIONS ", Proc. of ITS World Congress 2006
- [18] Hideto Hatakenaka, Takayuki Hirasawa, Hiroyuki Mizutani, Yuji Munehiro, "Traffic Safety Measures with Image Processing Sensors And Analysis of Vehicle Behaviors ", Proc. of ITS World Congress 2006
- [19] Harutoshi Yamada, Setsuo Hirai, Hideto Hatakenaka, Takayuki Hirasawa, Isao Yamazaki, Hiroyuki Mizutani, "Effects of AHS for Safety in Curve Section ", Proc. of ITS World Congress 2006
- [20] 「第 1 期 ASV 推進計画パンフレット」, 運輸省交通局先進安全自動車推進検討会, 1991
- [21] 「先進安全自動車に関する研究成果報告書」, 運輸省交通局先進安全自動車推進検討会, 1996
- [22] 「先進安全自動車 (ASV) 推進計画に関する報告書」, 国土交通省自動車交通局先進安全自動車推進検討会, 2001
- [23] 「先進安全自動車 (ASV) 推進計画 報告書」, 国土交通省自動車交通局先進安全自動車推進検討会, 2006
- [24] 「第 4 期 ASV 推進計画パンフレット」, 運輸省交通局先進安全自動車推進検討会, 2007
- [25] Hideki Kaseyama, Nobuyoshi Asanuma, Hiroshi Mashimo, "Experimental Evaluation of the Human-Machine Interface for the Collision Avoidance Support System in the Honda Advanced Safety Vehicle - 3 (ASV-3) ", Proc. of ITS world congress 2006
- [26] Tom Schaffnit, "ADVANCED SAFETY SYSTEMS ENABLED BY VEHICLE INFRASTRUCTURE INTEGRATION (VII) "Proc. of ITS world congress 2006
- [27] Jim Marousek, Scott Andrews, Matthew Dorfman, "A COMPARISON OF COMMUNICATIONS SYSTEMS FOR VII ", Proc. of ITS world congress 2008
- [28] Masakuni Tsuge, Masataka Tokunaga, Keisuke Nakano, Masakazu Sengoku, "A Study About the Reliability of the Floating Car Data ",Proc. of ITS world congress 2008
- [29] Lars Wischhof, Andre Ebner, Hermann Rohling, "Information Dissemination in Self-Organizing Intervehicle Networks ", IEEE Transaction on Intelligent Transport Systems, Vol.6 No.1, March 2005
- [30] 齋藤正史, 塚本淳, 船井麻祐子, 梅津高朗, 北岡広宣, 寺本英二, 東野輝夫, " 先行経路上の道路情報取得用アドホック通信プロトコルの開発", 情報処理学会論文誌 Vol.46 No.11 pp. 2695-2703, November 2005
- [31] 塚本淳, 齋藤正史, 梅津高朗, 東野輝夫, "先行道路情報取得プロトコル RMDP の設計と評価", 情報処理学会論文誌 Vol.47 No.4 pp. 1248-1257, April 2006
- [32] Jeffrey D. Case, Mark S. Fedor, Martin L. Schoffstall, and James R. Davin., "A Simple Network Management Protocol ", Request for Comments 1157, May 1990

- [33] McCloghrie, k., and Rose, M. T., "Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based Internets:MIB-II ", Request for Comments 1213, March 1991
- [34] 「AMI-C SPEC 3002-0-0 Common Message Set - Release 1」, AMI-C, 2001
- [35] 「AMI-C SPEC 3002-0-0 Common Message Set - Release 1.01」, AMI-C, 2003
- [36] 「ISO IS 9141-2」, International Organization for Standardization, 1991
- [37] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol", Request for Comments 3963, January 2005
- [38] 「道路交通センサス (全国道路・街路交通情勢調査)」, 国土交通省道路局, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/ir-data.html>, 2009 年 1 月 15 日現在
- [39] Michiko Izumi, Masaaki Sato, Hedeaki Sunahara, "Requirements for protection methods of personal information in vehicle probing system ", Proc. of The 2007 International Symposium on Applications and the Internet(SAINT2007), January 2007
- [40] Masaaki Sato, Michiko Izumi, Hideki Sunahara, Keisuke Uehara, Jun Murai, "Threat analysis and protection methods of personal information in vehicle probing system ", Proc. of The Third International Conference on Wireless and Mobile Communications(ICWMC), March 2007
- [41] 「OECD RECOMMENDATION CONCERNING AND GUIDELINES GOVERNING THE PROTECTION OF PRIVACY AND TRANSBORDER FLOWS OF PERSONAL DATA」, O.E.C.D. Document C(80)58(Final), October 1980
- [42] S. Farrell, R. Housley, "An Internet Attribute Certificate Profile for Authorization ", Request for Comments 3281, April 2002
- [43] David Chaum, "Security without identification: transaction systems to make big brother obsolete ", Communications of the ACM 28 NO. 10 pp. 1030-1044, October 1985
- [44] Rie Shigetomi, Akira Otsuka, Takahide Ogawa, Hideki Imai, "Anonymous Refreshability of Tokens", 第 25 回情報理論とその応用シンポジウム予稿集 第 1 分冊 pp.43-46 情報理論とその応用学会, December 2002
- [45] Rie Shigetomi, Haruhiro Yoshimoto, Hideki Imai, "A System of Anonymous Tokens for Two Dimensional Pattern ", Joho Shori Gakkai Shinpojiumu Ronbunshu VOL.2004 NO.11 PAGE.10B-2, November 2004
- [46] Rie Shigetomi, Akira Otsuka, Jun Furukawa, Keith Martin, Hideki Imai, "A Provably Secure Refreshable Partially Anonymous Token and Its Applications ", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences 2006 E89-A(5) pp.1396-1406, 2006
- [47] 繁富利恵, 大塚玲, Keith Martin, 今井秀樹, "部分的な linkability を付加した Refreshable Tokens ", 信学技報 Vol.2004 No.75 pp.359-366, July 2004

- [48] 「Sensu Project Home PAGE」 , <http://aatoken.aitea.net/>, 2009 年 1 月 15 日現在
- [49] Masaaki Sato, Yoshihiro Toyama, Keisuke Uehara, Jun Murai, "FEASIBILITY STUDY OF A SLIPPERY PLACE MAP CREATION FROM BEHAVIOR OFABS SIGNALS ON THE INTERNET ITS PLATFORM ", Proc. of ITS World Congress 2006
- [50] Masaaki Sato, Koshiro Mitsuya, Yukio nakano, Hiroaki Kawasaki, Keisuke Uehara, Jun Murai, "INFORMATION SHARING OF ROAD FRICTION LEVELS ESTIMATED FROM PROBE VEHICLES ", Proc. of ITS World Congress 2008
- [51] 「ISO IS 22837 Vehicle probe data for wide area communications 」 , International Organization for Standardization, 2009

付録1：ISO の概要

International Organization for Standardization(ISO：国際標準化機構)は、製品・商品およびサービスの国際的交換の容易化、知的・自然科学的・技術的・経済的活動の地球規模での協力を進展させるという立場で、世界の標準化および関連活動を促進している。現在は 138 の参加国、18 の理事国によって構成されている。その経緯は、1906 年に International Electrotechnical Commission(IEC)としてスタートした。他の分野については、1926 年に設立された International Federation of the National Standardizing Associations(ISA)で行なわれていた。第二次世界大戦によって ISA の活動は 1942 年に終わり、続いて 1946 年に 25 の国の代表がロンドンに集まり、産業標準の国際的調整と統一の促進を目的とする新しい国際組織を創設することを決定し、ISO が発足した。

ISO の技術作業は分散されており、約 2700 の技術委員会 (TC)、分科会 (SC)、作業グループ (WG)で行われている。これらの委員会は、全世界から産業、研究機関、政府当局、消費者団体、国際組織の適任者がグローバルな標準化問題の解決においてはパートナーとして集まって活動が行われている。図 8.1 に ISO の組織構成を示す。

ISO の規格は Technical Committee(TC)と呼ばれる専門委員会において検討される。自動車の情報化および ITS に関する標準化に関しては、この中の TC204(Intelligent Transport Systems)にて審議が行なわれており、本研究ではデータ辞書の標準化をこの専門委員会にて実施した。また、ISO の規格は各プロジェクトは分野ごとの TC で下記の段階（ステージ）にしたがって標準化が行われ、国際規格 (IS)として発行される。実際の規格化の流れを以下に挙げる。

Preliminary Work Item: PWI

WG において規格に関する項目、主なフォーカスについての検討結果である。これを基に、広い意見集約を行ない、規格についての審議を行なう。

New work item Proposal: NP

PWI を受けて、WG で標準化の適用範囲などを検討する。

Working Draft: WD

WG で規格についてのドラフトを作成し、意見を求め、検討を行なう。

Committee Draft(s): CD

必要に応じて TC の各委員会にて意見を審議し、投票を行なう。

Draft International Standard: DIS

DIS の回付を行ない、照会を行なう。

Final Draft International: FDIS

FDIS として ISO に登録され、最後の照会が行なわれ、承認が行なわれる。

International Standard: IS

ISO にて発行される国際標準規格。

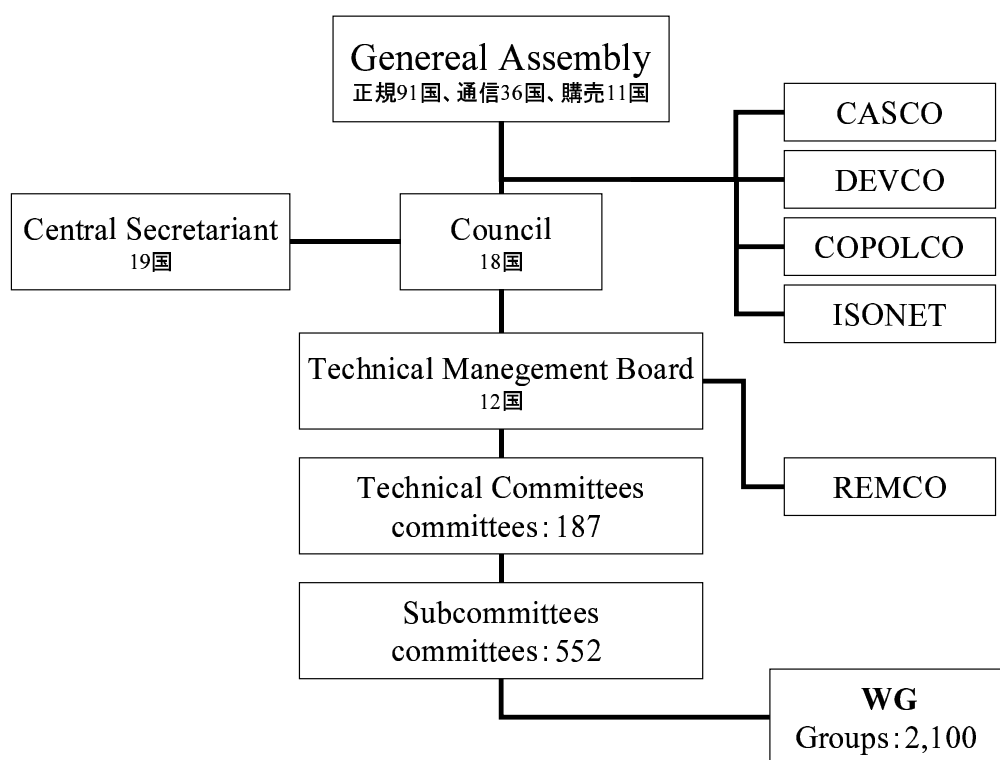


図 8.1: ISO 組織構成

各段階にて提案を順次行なう事で、最終的には校正、印刷を経て、標準規格が発行される。各段階から次の段階へ進むには、TC の参加国の投票により可決される事が必要であり、これには時間的な制約と合意条件が定められている。これらを満たさない場合には、規格は削除される事となる。また、途中で国際標準には適さないものの、公開することによって社会全体に資する仕様や情報については、それぞれ一般仕様書 (Publicly Available Specification : PAS), 技術仕様書 (Technical Specification : TS), 技術報告書 (Technical Report : TR) 等の形で発行されることもある。以下にこれらの技術文章の概要を示す。

Publicly Available Specification : PAS)

ISO 委員会で技術的に合意されたことを示す規範的な文書であり、技術開発途上であり当面の合意が得られない場合、また、TS ほどの合意が得られない場合、TC/SC は特定業務項目を PAS として発行する事が可能である。

Technical Specification : TS

WG で合意の得られたことを示す規範的な文書であり、IS 作成に向けて技術的に開発途上にある、必要な支持が得られないなどにより当面の合意が不可能な場合、TC/SC は特定業務項目を TS として発行する事が可能である。

Technical Report : TR

通常規範的な文書として発行されるものとは異なる情報を含んだ情報提供型の文書であり、委員会が単一の作業項目もしくは複数の作業項目の支持の元に情報を集めた場合、その情報を TR の形で発行することを中央事務局に要請する事が可能である。

Industry Technical Agreement : ITA

指定された ISO 会員団体からの管理的サポートをうけて、ISO の外部の国際 workshop 等で作成された技術文書の事である。

こうした標準化の流れを図 8.2 に示す。

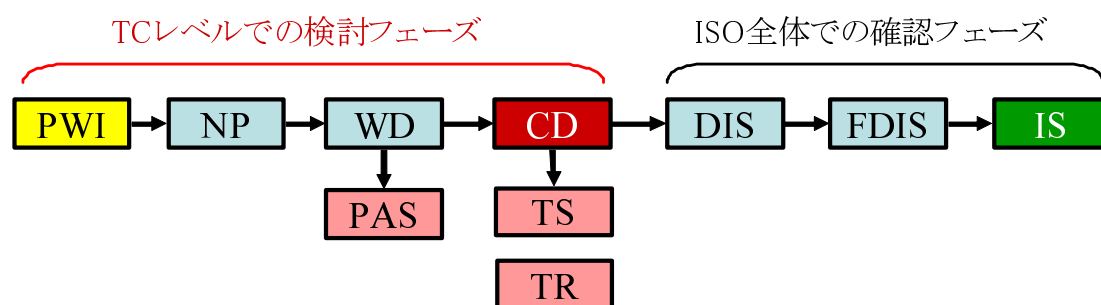


図 8.2: 標準化の流れ

付録2：ISO IS 22837

ここでは、国際標準化機構である ISO で国際標準として発行された Vehicle probe data for wide area communications(ISO IS 22837) の概要を示す。なお、国際標準そのものについては、ISO の WEB ページ等で入手することが可能である (2009 年 2 月現在)。

