

次世代 UHF 帯 WAVE システム・ アーキテクチャの検討

坪井務[†] 吉川憲昭^{††}

本論文では WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment) のシステムデザインを目指し、特に 700MHz 帯半数における検討を行う。本 WAVE システムのデザインは所要とされるデータ速度と対象範囲を満足させるコスト・パフォーマンスの高いシステム設計を紹介する。

Next Generation UHF Band WAVE System and Architecture Design

Tsutomu Tsuboi[†] Noriaki Yoshikawa^{††}

This pamphlet describes WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment) system design especially for 700MHz frequency band. This WAVE system design is approached by cost performance of WAVE system which achieves service requirements for proper data rate and coverage.

1. はじめに

環境負荷低減の実現に不可欠といえる電動自動車(EV)は、本体及び家庭や地域と併に将来のエネルギー管理システム(EMS)の構成要素となりうる。そのために各 EV は情報・状態管理やリアルタイム映像を含む高速ネットワークサービスが可能な通信機能を具備する必要がある。現在、日本以外の諸外国において WAVE(Wireless Access in Vehicle Environment)と呼ばれる IEEE802.11p 方式の国際標準化活動が活発化している。本用途での電波伝搬特性が圧倒的に優位な 700MHz 広帯域 WAVE により EMS サービス通信基盤を実現することで先進的環境対策システムが構築できる。本提案はこの技術を活用して下記の項目に代表される実用的通信基盤システムを構築し、さらに世界標準化による貢献を実現するものである。

- (1)サービスエリア全体を考慮した周波数利用効率を向上及び装置の低消費電力化・コスト最適化を図ったワイヤレスシステムの構築
- (2)低炭素社会を目指す電気自動車の高速度移動中のエネルギー残量や電池情報の収集管理、駐車場等での充電インフラと報通信インフラの構築をめざす、オープンで国際標準 M2M (Machine-to-Machine) 通信システムの構築。
- (3)家庭-駐車場-道路(移動中)-商業施設-オフィス(ビル)におけるシームレスな情報通信システム(M2M オープンシステム)の構築。

2. 背景

情報通信技術審議会 情報通信技術分科会 電波有効利用方策委員会報告(2007.6.27)によれば、UHF/VHF 帯の電波有効利用のための技術的条件として、700MHz 帯の電波によることが必要な車車間通信システム等の実現のため「ITS」に、10MHz を確保することが望ましいとの方針が示され、2012年7月23日以降に利用可能となる運びになっている。[1]

本資料はこれをうけて 700MHz 帯での ITS として望ましいと考えられる WAVE システムの開発に関する研究を示す。

図1に国内における 700MHz 帯における次世代 ITS 通信の周波数配分計画案を示す。

[†] (株)日立製作所
Hitachi Ltd.
^{††}サイバー創研(株)
Cyber Creative Institute

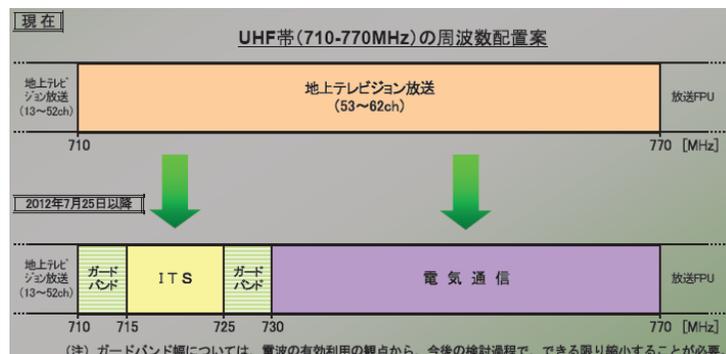


図 1. 国内次世代 ITS 周波数配分計画

3. 無線方式設計

3.1 無線方式パラメータ

700MHz 帯において、グローバル標準に準拠し無線回線設計を行い、無線パラメータ規格を作成し、その作成したパラメータでシミュレーションおよび機器の試作を行った後、フィールド実験を実施し、車車間通信や路車間、車両と人との通信への適用性を検証する。

本提案方式は、アプリケーション層では衝突安全防止（非 IP 層）と高速データサービス(IP 層)を対象として、上位プロトコルは IEEE1609、アクセス方式は CSMA/CA、変調方式は OFDM (BPSK、QPSK、16QAM)、CH (チャンネル) 種別は CCH (コントロールチャンネル) と SCH (サービスチャンネル) の両方を用いる。周波数帯域が 10MHz チャンネルセパレーションでも CCH と SCH を用いることができるように帯域を 2.5MHz、5MHz、10MHz と変更可能として、たとえば銀座エリアのように CCH のトラフィックの大きい地域では、CCH のみの 10MHz 帯域とし、都心から離れた比較的トラフィックの小さい地域では帯域を 2.5MHz、5MHz、10MHz とし CCH と SCH の両方のチャンネルを用いる (表 1)。

表 1 無線方式パラメータ

	日本			米国 (5.9GHz DSRC)	欧州 (5.9GHz DSRC)
	700MHz EMS+ITS	700MHz ITS	5.8GHz DSRC		
	提案方式	ITS情報通信システム 推進会議 (ARIB)			
アプリ層	衝突安全防止(非IP) 高速データサービス(IP)	衝突安全防止	ETC	衝突安全防止(非IP) 高速データサービス (IP)	
上位プロトコル	IEEE1609; UDP/TCP、IPv6 WSMP(非IP) LLC	国内独自 (現時点)	国内独自 プロトコル	IEEE1609; UDP/TCP、IPv6 WSMP(非IP) LLC	IEEE1609; UDP/TCP、IPv6 WSMP(非IP) LLC
アクセス方式	CSMA/CA	CSMA/CA	TDM/FDD	CSMA/CA	CSMA/CA
変調方式	OFDM(BPSK/QPSK /16QAM)	OFDM(BPSK/QPSK/1 6QAM)	QPSK	OFDM(BPSK/QPSK /16QAM)	OFDM(BPSK/QPSK /16QAM)
CH種別	CCH+SCH	CCH	情報チャンネル	CCH+SCH	CCH+SCH
CH帯域	10MHz、5MHz、2.5MHz	10MHz	5MHz	10MHz	10MHz
周波数帯域	700MHz	700MHz	5.8GHz	5.9GHz	5.9GHz
標準	WAVE(IEEE802.11p)	ITS Forum RC-004	ARIB STD-T75	WAVE(IEEE802.11p)	WAVE(IEEE802.11p)

EMS:Energy Management System
WSMP:Wave Short Message Protocol

3.2 無線回線設計

以下に示す前提条件で試算した結果、700MHz 帯で通信距離 200m 程度の通信距離が可能であり、実用に供しうることを試算している。[2][3]

- ・ チャンネルセパレーション 2.5MHz~10MHzx 可変として、スループットは 36Mbps から 6Mbps まで可変とする。
- ・ 受信入力閾値は、受信感度値とする
- ・ 送信出力は 0dBm~30dBm (可変) とする
- ・ 伝搬距離特性は ITU-R の式[4]を用いて、ブレイクポイント 21.6m、ブレイクポイントまでは伝搬距離の 2 乗、ブレイクポイント以降は伝搬距離の 2.5 乗とする
- ・ 電波の標準偏差 $\sigma = 8\text{dB}$ 、場所率 90%とする

本研究課題については、アプリケーション(伝送速度)、トラフィックを考慮して通信エリアを最適化し、確認する。

図 2 に無線回線設計チャートを示す。このチャートをベースに n 以下のステップに従い検討を進める。

- ステップ 1: 機器特性である送信出力、受信感度、スループットと伝搬特性からセル半径を算出
- ステップ 2: サービス仕様であるユーザ速度、ユーザ呼率、スループットから 1 チャンネル帯域での収容可能ユーザ数を算出
- ステップ 3: ステップ 1 で算出したセル半径と加入者密度からセル内の加入者数を算出
- ステップ 4: ステップ 2 からの 1 チャンネル当たりの収容可能ユーザ数、ステップ 3 からのセル内の加入者数およびセルの周波数の空間的な繰り返し数からシステムからセル半径を算出し、そのセル半径でシステムコストや消費電力を対応させて最適な設計を行う。
- なお、ステップ 1 では、送信出力をパラメータとして、システムコスト、消費電力を算出して経済的でエコを考慮した最適な設計を行う。

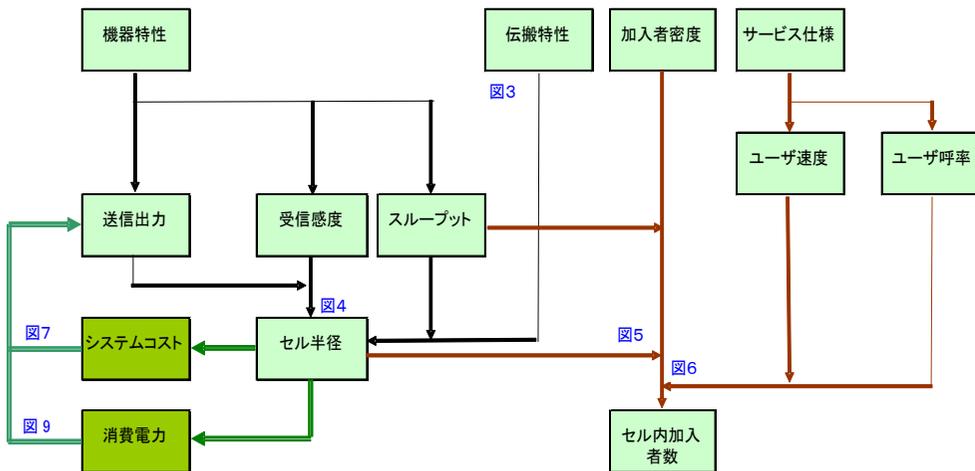


図 2 無線回線設計チャート

表 2 に回線設計パラメータ(下り回線)を示す。表 1 のパラメータを用いると、
 送信 erp(Pe)= $Pt-Lt+Gt$
 所要受信入力 $Ps=Pe-(Ld+M\sigma)-Lr+Gr$
 許容伝搬損失(Ld)= $Pe-Ps-M\sigma-Lr+Gr$

となり、図から許容伝搬損失に対応する伝搬距離（セル半径）を算出する。

表 2 回線設計パラメータ（下り線）

	項目	記号	単位
送信側	送信出力	Pt	dBm
	送信系ハード損失	Lt	dB
	送信アンテナ利得	Gt	dBi
	送信 erp	Pe	dBm
伝搬	許容伝搬損失	Ld	dB
	変動マージン	Mσ	dB
受信側	アンテナ利得	Gr	dBi
	受信系ハード損失	Lr	dB
	所要受信入力	Ps	dBm

図 3 に無線回線設計に用いる 700MHz の伝搬距離特性を、図 4 にスループットを 54MHz から 6MHz まで変化させた場合の送信出力とセル半径の関係を示す。なお、図 4 の算出に用いた伝送ビットレートと最小受信感度の関係を表 3 に示す。

図 4 に示すように送信出力が大きいくほど、スループットが小さいほどセル半径は大きくなる。

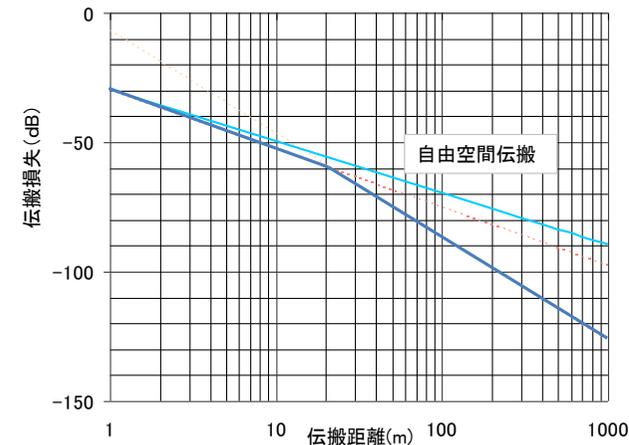


図 3 700MHz 伝搬距離特性

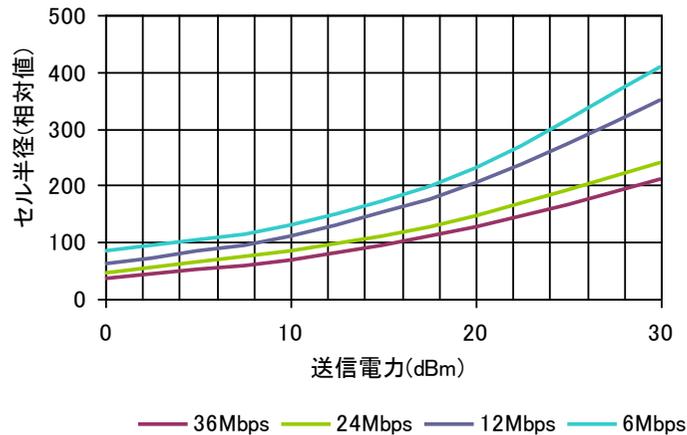


図4 送信電力とセル半径の関連 (スループットをパラメータ)

表3 伝送ビットレートと最少受信感度

ビットレート (Mbps)	最小受信感度 (dBm)	変調方式と符号化率
36	-70	16QAM,3/4
24	-74	16QAM,1/2
12	-79	QPSK,1/2
6	-82	BPSK,1/2

図5にセル半径とセル内ユーザ台数の関係を示す。ここで走行中の車両台数は、東京都の車両登録台数密度7000台/km²の1/10として1000台/km²と500台/km²をパラメータとして算出した。

同図で、セル内のユーザ数は走行車両密度1000台/km²で半径が200mの場合、120台、400mの場合、510台となる。[5]

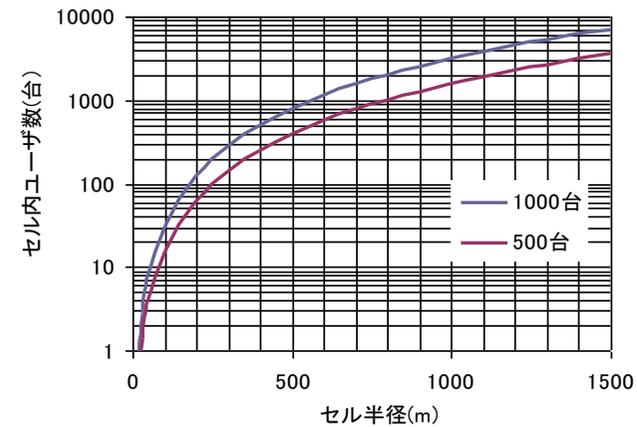


図5 セル半径とセルユーザ台数

図6に、呼損率を0.03、ユーザ呼率を0.02(1日3回通信。1回の通信の保留時間1分、最繁忙集中率0.2として加入者呼率 $E_u=6 \times (1/60) \times 0.2=0.02$)として算出したユーザ速度と収容可能ユーザ数の関係を示す。

同図より、ユーザ速度が1Mbpsで、伝送速度36Mbpsの場合、1チャンネル当たりの収容ユーザ数は1400台、6Mbpsの場合、収容ユーザ数は120台となる。

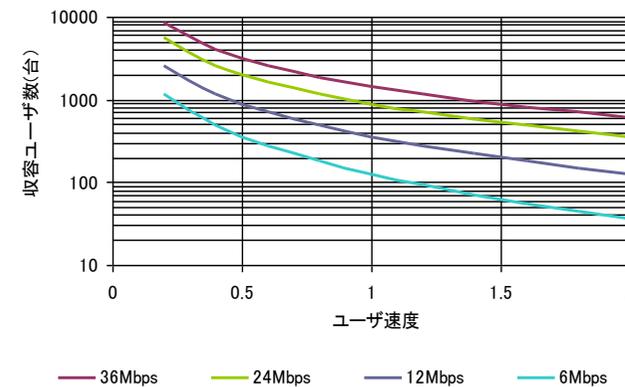


図6 ユーザ速度と収容可能ユーザ数の関係

図7にサービスエリアを東京23区(600km²)と想定した場合のシステムコスト(車載器コスト+路側機)と送信電力の関連の試算結果を示す。送信出力が大きくなるほど車載器および路側機コストが増大するが、セル半径が大きくなるので路側機数が減少する。

これから、車載器および路側機をあわせたトータルコストの最小値が定まる。同図では、概略送信出力は10~20dBmの範囲でコスト最小点が得られている。

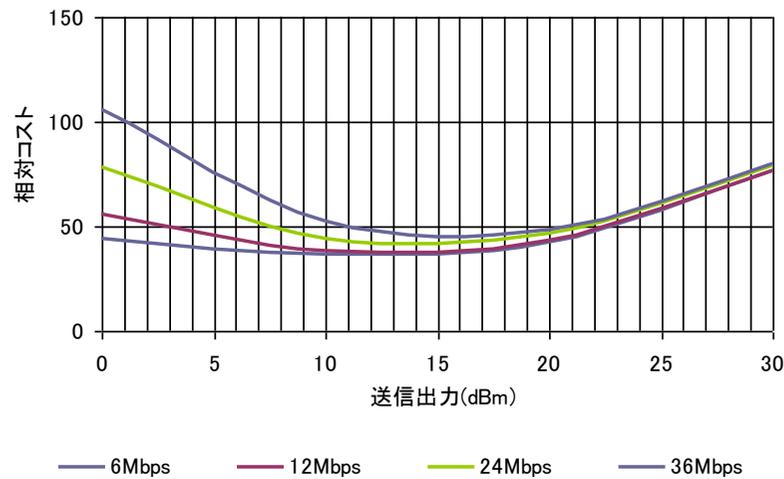


図7 システムコストと送信電力の関係(スループットをパラメータ)

図8に送信電力をパラメータとした回路構成を、図9に図8の回路構成で、A級アンプの効率を20%として車載器の送信電力と消費電力の関連を算出した結果を示す。同図から送信出力が23dBmを越えると急速に消費電力が大きくなることから送信出力は23dBm以下とすることが望ましい。

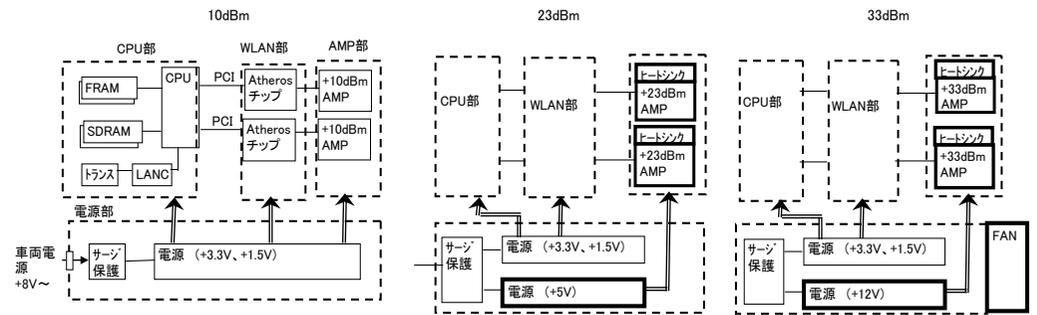


図8 送信電力と回路構成例

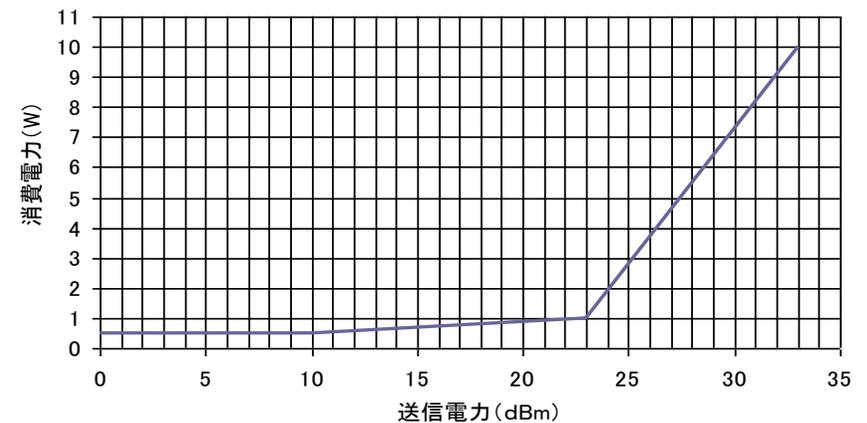


図9 送信電力と消費電力の関係

3.3 セル配置

東京都区内をサービスエリア(10km×10km)として以下の検討を行う。
 WAVEのセル半径を200mとした場合、23区内全体(600km²)は約1200のWAVEシステムRSU(Road Side Unit)にてカバーできることが判る。(図10)

以下にその条件を示す。

1. WAVE の周波数は 720MHz を中心に 10MHz のバンド幅
2. セル半径は 200m で送信出力は 26dBm とする
3. データ速度は 24Mbps とする
4. RSU 数は 1200
5. 1RSU にて収容できる端末数を 350 台
6. 1 ユーザの使用するデータ速度は 2Mbps
7. 呼損率を 3%
8. ユーザあたりの呼量を 0.02erl ($=3 \times 2 \times (1/60) \times 2$)

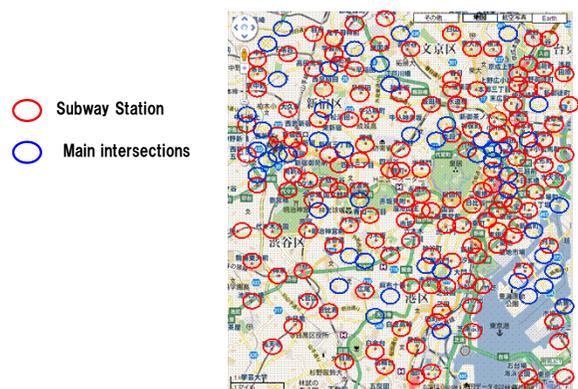


図 10 東京 23 区内 WAVE 配置イメージ

表 4 に WAVE システムのサービスパラメータを示す。

項目	サービスパラメータ
範囲	東京 23 区
車両総量	420,000
サービス速度	2Mbps / 車両(ユーザ)
RSU 台数	1,200 / 東京 23 区
車両 / RSU	350 台(車両) / RSU

4. まとめ

700MHz 帯 WAVE システムにおいて都心における車載高速無線通信が可能であることを示した。また、システム設計においては、コスト・パフォーマンスに会う設計手

法として必要とするデータ速度に対する送信出力の最適化を図り、経済的な WAVE システムを構築する。

5. おわりに

今回の提案で 700MHz 帯 WAVE システムのサービス要件を満たし、国際標準化としての整合性が保たれ、技術優位性を出せることをコスト・パフォーマンスとサービス要件を満たす WAVE システム最適化により導き出せることを示した。

今後の課題として、10MHz のバンド幅から更に拡大（欧米並み）にすう r ことで、さらにアプリケーションの拡大が図れることを検討する。

謝辞 本テーマにおける WAVE システムの試作、設計をいただいた日立情報通信エンジニアリング（株）の山田出氏、市川広輝氏に謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] MIC (Ministry of Internal Affairs and Communications) “Communications Policy and ITS in Japan” Nov., 2008 (http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/eng/presentation/pdf/081119_1.pdf)
- [2] ITS Forum report RC-007 version1, Jun. 2009 (http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p36/ITSFORUMRC007V1_0.pdf)
- [3] ITS Forum report RC-006 version 1, Feb. 2009 (http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p34/ITSFORUMRC006V1_0.pdf)
- [4] ITU-R P.1441-, “Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Short-range Outdoor Radio communication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency range 300MHz to 100GHz,” ITU-R Recommendations, Volume 2005 P Series, ITU, Geneva, 2005
- [5] AIRA (Automobile Inspection & Registration Association) (http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/uwb_wl_system/pdf/070523_1_sa3.pdf)