

700MHz 帯を使った 新しいITSアプリケーション

屋代智之  千葉工業大学



700MHz 帯とは

今までアナログテレビに用いられてきた 700MHz 帯の一部が ITS (Intelligent Transport Systems) に割り当てられた。これは、これまで放送用に 1 対多の通信(文字通りブロードキャスト)として使われてきた電波帯域を、自動車などが双方向の通信に用いることを意味している。ここでは、その電波的な特性について概観する。

基本的に、電波は周波数が高い(波長が短い)ほど、回折しにくくなる。電波を遮る物体がある場合に、可視光と同じように影となる部分が出てしまい、結果としてその部分では通信が途絶えることになる。このような現象をシャドウイングと呼ぶ。たとえばアナログテレビの場合には、送信側アンテナを東京タワーのように高いところに取り付け、受信側の八木アンテナを建物の屋上に付けることにより、極力影とならないようにし、それでも影になってしまうところではケーブルテレビなどを利用していた。

より高い周波数を利用しているものほど、シャドウイングの影響は大きい。たとえばETC(Electronic Toll Collection System: ノンストップ自動料金支払いシステム)などで用いられている 5.8GHz 帯の電波は、このシャドウイングが発生しやすい周波数帯である。料金所のゲートにある送受信機はシャドウイングを利用して、自身が設置されたゲート以外を通行する車両と通信を行わないように設計されている。

また、周波数が高いほど大気に吸収されやすいという特徴もある。さらに、特定の周波数帯の電波は周波数が空気中の分子の固有振動数に一致する場合には大きな減衰が起こることが知られている。

5.8GHz 帯と 700MHz 帯で比較すると、大気中の吸収は 5.8GHz 帯が 700MHz 帯のほぼ倍近くであり、電波の届く距離で比較しても 700MHz 帯の方がはるかに遠方まで届く。



700MHz 帯の割り当て状況

地上テレビジョン放送のデジタル化に伴う、アナログテレビ放送停波後の電波帯域をどのように利用するか、という点については、電波行政を所轄する総務省が情報通信審議会情報通信技術分科会の下に電波有効利用方策委員会を設置し、検討を行ってきた。ここで 2007 年 6 月に「VHF/UHF 帯における電波の有効利用のための技術的条件(諮問第 2022 号)」に関して公開された一部答申では、UHF 帯の「ITS」への割り当てが認められ、その周波数幅が 10MHz とされた(図-1)。

ここでは、基本的には 710MHz に近い部分に ITS を配置することとされ、715MHz ~ 725MHz の 10MHz 幅が割当案として示された。

この時点で ITS として想定されたアプリケーションは「ITS インフラ協調安全運転支援システム」(詳細は後述)である。しかし、実はこの時点では、ITS としてこの 10MHz をどのように利用するか、という明確なプランは決定していなかった。ITS ではすでに通信に 5.8GHz 帯を用いることが決定しており、この 2 つの周波数帯の特性の違いや利用形態の違いについてはこの後に検討されることになる。

その後、同省の『グローバル時代における ICT 政策に関するタスクフォース 電気通信市場の環境変化への対応検討部会「ワイヤレスブロードバンド



特集 アナログテレビ放送の終焉

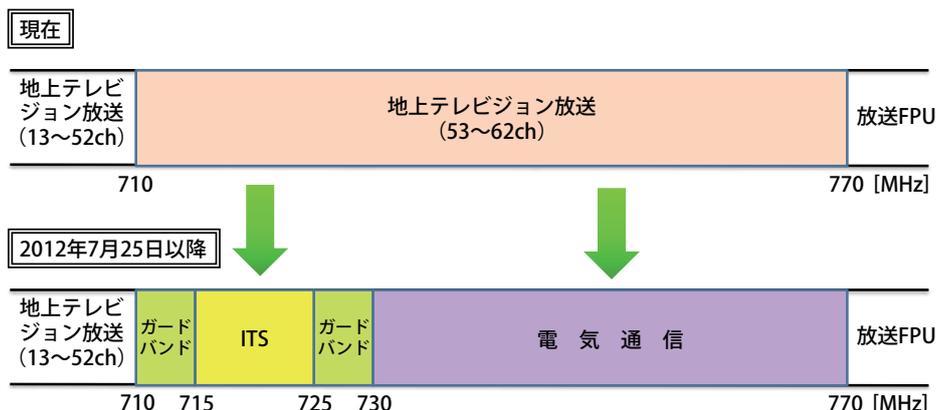


図-1 UHF 帯の周波数配置案(当初)

実現のための周波数検討ワーキンググループ（周波数検討WG）」において、周波数割り当てについて再度検討が行われた。ここでの検討の中心はLTE（Long Term Evolution：3.9Gの携帯電話技術）などのワイヤレスブロードバンド通信に関する周波数割り当てに関するものである。このWGにおいて、700MHz帯に関するLTEの割り当ても諸外国の動向を考慮するべき、との意見から割り当て周波数帯域の見直しが行われた。この関連で、最終的にはITSに割り当て予定とされていた715MHz～725MHzについても、割り当てを柔軟に検討する、とされた。ここでは4つの案が併記されており、その案の中にはITSに対して755MHz～765MHzを割り当てるとした案も存在する。なお、ここでもITSへの周波数割り当てが10MHz幅であるという点に関しては変更されていない。

ここでの周波数の違いは40MHz程度（周波数にして5%程度）であるが、実際の道路環境で利用することを考えると、電波の回折や反射などで特性に違いが出るのが想定される。早めに割り当てが確定されることが望ましい。

なお、700MHz帯の割り当てでは、他の通信との干渉を避けるために5MHz幅のガードバンドが設けられているが、隣接する周波数帯域を用いる地上デジタル放送および携帯電話（図-1では「電気通信」と記載されている）との干渉を避けるための検討が

なされている。たとえば車載機を搭載した車両の近くの家や車載カーナビがテレビ放送を受信する際に、ITSの通信による干渉で映りが悪くならないようにすることや、携帯電話との相互干渉を避けるということが検討課題である。

従来のITSアプリケーション

すでに、移動体である自動車を対象とした、通信を用いるサービスは数多く実現されている。自動車を取り巻く通信とそれによるサービスを表-1に示す。また、この表には記載していないが、地上デジタル放送などの放送メディアを用いたサービスも今後実現されると考えられている。

このように多様なメディアが利用されている現状を鑑みると、それぞれのサービスに対して、特定のメディアを専用にするのではなく、汎用の通信プラットフォーム上でさまざまなアプリケーションが利用可能になるべきであるという考え方も出てくる。それぞれのサービスに対して、通信で必要とされる要件が異なるために、統合化は簡単ではないが、今後、より広帯域な通信が実現できるようになれば、複数のメディアの統合などが実現可能になると考えられる。

本章では、今までに検討および実現されてきたITSアプリケーションについて簡単に紹介する。



6. 700MHz 帯を使った新しい ITS アプリケーション

通信(メディア)	サービス
GPS	位置検出
電波ビーコン	VICS
光ビーコン	
FM多重放送	
携帯電話(3G)	テレマティクスサービス
WiMAX, LTEなど	
DSRC	ETC, ITSスポットサービス
路車間通信	インフラ協調運転支援システム
車々間通信	

表-1 自動車を取り巻く通信とサービス

🚗 路車間通信を用いたアプリケーション

通信を用いる代表的な ITS アプリケーションとして、VICS と ETC がある。

VICS (Vehicle Information and Communication System : 道路交通情報通信システム) は、道路上に設置された光ビーコンや各都道府県警察、道路管理者が収集した交通情報を、VICS センターで集約・処理し、電波ビーコンや光ビーコン、FM 多重放送を用いて渋滞情報などとして提供するシステムである。このシステムでは、道路脇や道路上方に設置された電波ビーコンや光ビーコンと、車両に搭載された車載器の間で通信を行う、いわゆる路車間通信に分類される技術が用いられている。光ビーコンでは赤外線が、電波ビーコンでは 2.5GHz 帯が、FM 多重放送では 76 ~ 90MHz 帯が用いられている。このうち、光ビーコンでは、情報収集のために双方向の通信を行っているが、電波ビーコンおよび FM 多重放送では、車載器への情報提供のみが行われている。また、提供される情報の更新周期が比較的に長いこともあり、電波ビーコン、光ビーコンとも、通信速度は 64kbps 程度である。

ETC は、車両が料金所をノンストップで通過できるように、通信を用いて課金を行うシステムである。国内では 5.8GHz 帯が、海外では 5.9GHz 帯が利用されている。また、プロトコルも国内で

は TDMA (Time Division Multiple Access : 時分割多重アクセス) 系の独自プロトコルが利用されている。ETC で用いられる通信を DSRC (Dedicated Short Range Communication : 専用狭域通信) と呼ぶ。このために、ARIB (Association of Radio Industries and Businesses : 電波産業会) が定めた規格が ARIB STD-T55 である。また、これを ETC 以外のサービスにも適用できるように拡張したものが ARIB STD-T75 である。

この ARIB STD-T75 を用いて、2011 年 3 月までに全国の高速道路上に約

1600 の路側機を設置し、ITS スポットサービスが実用化されている (東日本大震災の影響で、北関東以北のスタートは延期されている)。現状では、従来の VICS よりも広範囲での渋滞情報の提供程度しか行われていないが、将来的にはこれを用いて交通事故を回避する安全運転支援システム等のサービスが実用化される予定である。

これらの路車間通信を用いたサービスに対して、車に搭載された車載器同士で直接通信を行う車々間通信については、実用化が遅れている。この要因としては、車々間通信の場合には、相手の車両に車載器が搭載されていないと通信できないことや、周辺の車両台数が動的に変化することに対応することが困難であること、車載器を搭載するコストに見合うアプリケーションが見つからないこと、などが挙げられる。

🚗 車々間通信の状況

車々間通信に関しては、ITS 情報通信システム推進会議の車々間通信システム専門委員会が 2007 年 5 月に「5.8GHz を用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン」(ITS FORUM RC-005 1.0 版) を策定した。さらに、2009 年 2 月には、RC-005 を引き継ぐ形で、同会議の運転支援通信システム専門委員会(車々間通信システム専門委員会から名称変更)



特集 アナログテレビ放送の終焉

が「700MHz帯を用いた運転支援通信システムの実験用ガイドライン」(ITS FORUM RC-006 1.0版)を策定した(その後、1.5版が策定されているがそちらは公開されていない²⁾)。これらのガイドラインにより、さまざまなアプリケーションの検討がなされている。

2009年6月に総務省の「ITS無線システムの高度化に関する研究会」がまとめた報告書では、安全運転支援システムで用いる周波数帯は、2012年から利用可能となる700MHz帯を優先して実用化のための検討を進めるとしている。

2009年7月から、情報通信審議会のITS無線システム委員会が、700MHz帯安全運転支援システムの技術的条件に関する調査を行っており、ここではRC-006を用いて、車々間通信と路車間通信を同時に行うことを検討している。なお、この委員会の最終報告書は2011年3月にまとめられる予定であったが、本稿執筆時点ではまだ公表されていない。

また、ユビキタス特区として、デンソーと網走市が共同で網走市において「車々間通信による安全運転システム」(700MHz帯、5.8GHz帯)を、トヨタなどがつくば市、横須賀市において「路車間+車々間通信によるインフラ協調安全運転支援システム」(700MHz帯、5.8GHz帯)を、富士通、トヨタ自動車、トヨタIT開発センターが木更津市において、「路車間+車々間通信によるインフラ協調安全運転支援システム」(700MHz帯)を行うなど、各地でITSに関係するプロジェクトが実施されている。

700MHz帯で想定される ITSアプリケーション

ITSインフラ協調安全運転支援システム

前述のように、現在は700MHz帯を用いた車々間通信について、実験用ガイドラインが策定された状況である。700MHz帯で想定されているアプリケーションは「ITSインフラ協調安全運転支援システム」である。このインフラ協調安全運転支援シ

ステムとは、車々間通信により、車載器が周辺の車両の情報を収集し、車両が安全に走行することを支援するシステムである。さらに、車載器や車両に搭載されたセンサなどだけでは得られないような情報については、インフラとして設置されたセンサや路車間通信などを用いて検出し、路車間通信を用いて車両に提供する。

安全運転支援システムを実現するために、日米欧で検討されている通信方式をまとめたものを表-2に示す。欧米ともに、5.9GHz帯が割り当てられており、700MHz帯のように低い周波数帯が割り当てられているのは日本のみである。

また、日本はチャンネル数が10MHz幅の1チャンネルのみと少なくなっている。このため、700MHz帯のみですべての通信を行うことは非常に困難であると考えられている。

一方、700MHz帯は、その周波数特性から、5.8GHz帯あるいは5.9GHz帯に比べて、より遠くまで電波が届き、またシャドウイングの影響を受けにくいという特性がある。そのため、RC-006では、具体的な衝突防止システムについても想定シナリオが記載されている。ここで想定されているものは、左折時、右折時(遮蔽車両無)、右折時(遮蔽車両有)、出会い頭の衝突事故等である。これらのうち、右折時(遮蔽車両有)の衝突事故、出会い頭衝突事故に

	日本	北米	欧州
規格・委員会	ARIB RC-006	IEEE 802.11p/ 1609 draft	ETSI ES202 663 Draft
使用周波数	715~725MHz	5.850~ 5.925GHz	5.875~ 5.905GHz
チャンネル数	10MHz×1ch	10MHz×7ch	10MHz×3ch
変調方式	直交周波数分割多重方式 (OFDM)		
伝送速度	3~18Mbps	3~27Mbps	3~27Mbps
アクセス方式	CSMA/CA		
通信形態	同報	同報、一対多、一対一	

表-2 日米欧のITSインフラ協調安全運転支援システム用無線方式の比較
※参考文献1)から抜粋



6. 700MHz 帯を使った新しい ITS アプリケーション

については、相手車両を見通せない環境 (Non Line of Sight : NLOS 環境) となるので、700MHz 帯を用いることの有用性が高い。

図-2 に右折時衝突事故が発生する状況を示す。このように、対向車線にも右折車両が存在する場合、その車両によって視界が遮られる。対向車両が大型車であれば、かなり広い範囲が NLOS 環境となる。

出会い頭衝突事故が発生する状況を図-3 に示す。このように、交差点近くに建物がある場合、それによって見通しが遮られ、図の下から出る車両は、右方向から接近する車両に気が付かないことが起こり得る。

このようなケースでは、交差点に設置されたセンサで周辺車両の情報を集め、それを路車間通信によって各車両に提供するか、700MHz 帯のように回折の大きい周波数帯を用いる必要がある。図-2 のように大きな交差点であれば、センサを設置することも不可能ではないが、図-3 のような小さな交差点まで網羅的にセンサを設置することは現実的ではない。結果として、このようなケースでは、通信だけで安全を確保する必要があり、700MHz 帯を活用する必要が出てくるのである。

このように、700MHz 帯は非常に有望な周波数帯域であるが、一方で割り当てられた帯域が 10MHz 幅と少なく、さまざまな通信を行うのに十分ではないという問題がある。そこで、現在検討されているのが、700MHz 帯と 5.8GHz 帯を同時に用いる方式である。インフラ協調安全運転支援システムでは、車載器から路側機、路側機から車載器、車載器から車載器という 3 つの通信が混在

する。これらについて、それぞれを適切な周波数帯に割り当てる手法や、重要な情報は 2 つの周波数帯で同時に送信する手法などが考えられている。

ただし、それぞれの周波数特性が異なることから、どちらの帯域をどのような目的で利用するかについては、今後より詳細に検討する必要がある。

700MHz 帯を用いた通信の問題点

前述したように、700MHz 帯の電波は回折しやすいことから、シャドウイングの影響を受けにくい。見通しのない NLOS 環境での通信に適している。しかし、同時に 5.8GHz 帯に比べ、電波がより遠くまで届いてしまうために、車々間通信に用い

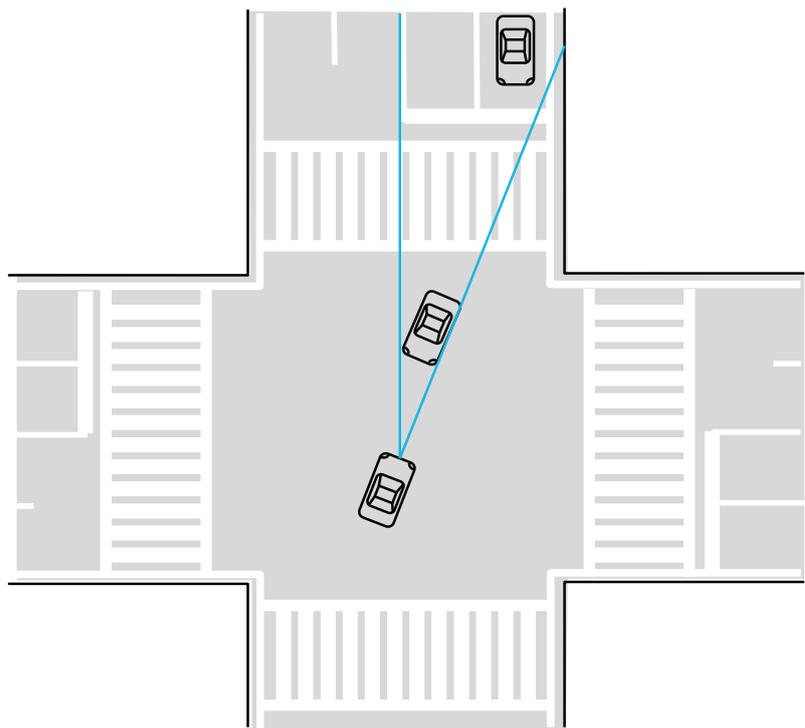


図-2 右折時衝突事故発生状況(遮蔽車両有)

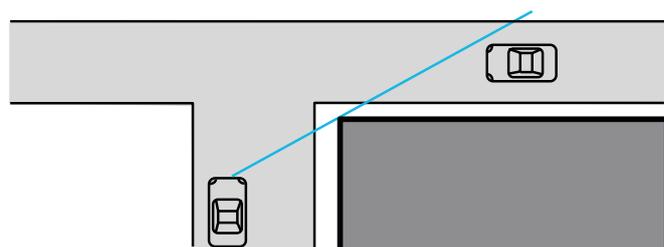


図-3 出会い頭衝突事故発生状況



特集 アナログテレビ放送の終焉

た場合、ある車両が送信した電波の影響を受ける車両が多くなる。CSMA (Carrier Sense Multiple Access: 搬送波感知多重アクセス) 系の通信プロトコルを用いた場合、これは衝突の頻発やスループットの低下となって現れる。道路上の車両数は、混雑度によって極端に異なるが、最も混んでいる状況でも通信が行える必要があるとするのであれば、たとえば車線数の多い道路が交差しているような環境で渋滞が発生しているような状況を想定する必要がある。このような場合、渋滞している車両はあまり動いていないものの、対向車線は高速に動いている可能性がある。このため、たとえば低速車両は通信頻度を下げるといった通信の混雑対策は高速車両と低速車両の事故を予防するという観点では問題があると考えられており、抜本的な対策ははまだ検討中である。

また、電波が届く範囲が広いということは、いわゆる隠れ端末問題がより広範に発生するということの意味する。都市部などでは、建物による遮蔽が発生する。このため、それほど離れていない2地点でも電波が届く範囲が大幅に異なることが起こり得る。これが原因となって、周辺で行われている通信が検出できず、誰も通信をしていないと思って電波を送出してしまうことによって他の通信を妨害してしまう現象が隠れ端末問題である。さらに自動車環境の場合、車両による遮蔽が起こるため、状況はより複雑となる。このような環境下でブロードキャストベースの通信を行う場合、何らかの隠れ端末対策が必須となると考えられる。

また、現在の700MHz帯の割り当てが10MHz幅しかないという問題点に対して、ソフトウェア無線を利用し、いわゆるホワイトスペースを活用することが検討されている。ソフトウェア無線とは、ハードウェアではなく、ソフト的にさまざまな無線通信方式を切り替えることが可能な無線通信方式である。また、ホワイトスペースとは、他の通信に割り当てられている周波数帯でありながら、地域的な割り当てなどにより、地理的あるいは時間的に使われていない電波帯域のことである。このホワイトスペース

を特定の時間に局所的に活用することで、より電波を有効に利用することが可能となると考えられている。

また、すでに実用化している通信との関係も検討する必要がある。たとえば、5.8GHz帯を利用する場合には、ETCやITSスポットサービスなどでDSRCを利用している地域近傍での混信対策が必要となる。逆にVICSの電波ビーコンや光ビーコンがある地域や、DSRCの通信機器がある地点では、それらの通信を活用することも考えられる。VICS系の通信は基本的に速度が遅いので、安全運転支援システムとして有効利用することはなかなか難しいが、ETCで用いられているDSRCであれば、1Mbps～4Mbps程度の速度での通信が可能であり、うまく活用すれば相互に補う形での利用が可能であると考えられる。

さらに、第3.9世代移動通信システム(3.9G)としてすでに実用化されているWiMAXやLTE、第4世代移動通信システム(4G)として検討されているWiMAX2やLTE-Advancedと呼ばれる携帯電話用の無線通信の利用も考えられる。これらは市場規模が大きいため、圧倒的に低いコストで設置されることになる。これらを有効活用し、その上で700MHz帯や5.8GHz帯を利用しなければできないようなアプリケーションについては、これらの周波数を利用する、というアプローチをとる必要が出てくるのは必至であると思われる。



今後のITSアプリケーションの展望

本章では、700MHz帯を含むITSアプリケーションの今後の動向について、筆者の予測を交えて解説する。

次世代安全運転支援システム

安全運転支援システムを構築するという目標のもと、すでに多くのプロジェクトが進行中である。その中には、車両間での安全確保だけでなく、道路交通における弱者である二輪車や歩行者の安全を確



6. 700MHz 帯を使った新しい ITS アプリケーション

保しようとするものもある。道路交通の問題点として考えると、交通事故の死傷者の大多数は、自動車の搭乗者ではなく、歩行者や二輪車、自転車などに乗っている人であるので、これは当然の流れであるといえる。

ここで、歩行者の動きが予想しにくいなどさまざまな問題があるが、最も大きな問題は、歩行者や自転車の場合、機器を動作させるための電源確保が自動車に比べて難しいという点である。スマートフォンなどの携帯端末の発達により、ある程度の電源を持ち、無線 LAN や GPS などのデバイスを搭載した機器を歩行者が保持する、ということは想定できる状況になっている。しかし、これらの歩行者が常に GPS で自身の位置を測定し、それを何らかの通信手段で外部にブロードキャストし続けるという想定は現状の電源容量ではあまり現実的ではない。

自転車も電源については同様の問題を抱える。また、歩行者に比べて高速での移動を行うため、移動速度が低速であるという前提でたとえばブロードキャストの間隔を長くする等の省電力化を実現することは困難である。

二輪車(いわゆるバイク)は、さらに高速で移動するが、電源に関してはバッテリーを搭載しているため、歩行者や自転車よりは問題が少ない。

歩行者、自転車、二輪車についてはアンテナの搭載位置も問題となる。一般に車両では最も高い部分近くにアンテナを設置し、シャドウイングの影響を避けようとすることが多いが、歩行者などでは、どうしてもアンテナの搭載位置を車両に比べて低くせざるを得ない。また、特に歩行者が携帯端末を体に密着して保持するような場合、人体が遮蔽物となるという問題もある。遮蔽の影響は周波数帯や端末保持方法、保持者の体格などによっても異なるが、混雑している場所などで、人の密度が高まると遮蔽の影響も大きくなるものと思われる。

いずれにしても、スマートフォンなどの携帯端末とは別に歩行者用の端末を保持させることは現実的ではないため、歩行者側の端末や自転車、二輪車側の端末として携帯端末を利用しつつ、車両や歩行

者、二輪車、自転車などの安全性を確保するアプリケーションが必要となる。その際に通信手段として、700MHz 帯あるいは 5.8GHz 帯が使われるのか、現在の携帯端末で利用可能な無線 LAN や Bluetooth などが用いられるのか、という点については、現時点では予測するのが困難である。筆者としては、700MHz 帯はともかく 5.8GHz 帯の利用についてはシャドウイングや消費電力の問題など技術的にも難しい点が多いと感じている。

◆ 今後のアプリケーション展開

700MHz 帯の電波が回折しやすいという点は、ITS において大いに利用価値があると考えられる。見通せない場所にいる車両との通信技術が確立され、安全運転支援が行えるようになると、さまざまなアプリケーションの実現性が高まることになる。最終的には全自動で走行する車両を開発することが目標となるが、そのまえに、車両の実質的な視界が大幅に広がることから、衝突をしない自動車の実現が現実味を帯びてくる。今までの、「見通しの悪い交差点」「見通しの悪いカーブ」がもしも電子的になくなるのであれば、多くの事故が防げることになるであろう。その一方で、なんらかの事情で携帯端末を持たない歩行者や、バッテリーが上がってしまった車両で電波を送受信できない場合などでも対応可能な、Fail Safe な技術開発が必要となってくる。

見通せない位置にいる車両と通信が行えるようになってくると、たとえば高速道路の合流部などでより安全かつスムーズに合流を行うことが可能となる。また、安全運転支援をさらに進めて、たとえば見通しの悪い交差点などで、車両が来たときだけ仮想的に信号のような制御を行い、安全かつ効率的な道路交通を実現することも可能になるかもしれない。

ただし、これらは技術的に実現可能、ということであり、これがサービスとしてペイするか、ビジネスとして成り立つか、というのは別問題である。どのようなサービスをどのように展開すればよいのか、というのは、さまざまな成功例と失敗例から学び取るしかないところではあるが、1 つにはここ数年のス

特集 アナログテレビ放送の終焉

スマートフォン市場の急成長や Twitter や Facebook などの成功を参考にして、いかにユーザ視点で考えるか、ユーザによって提供される情報を活用するか、といった点を検討する必要があるであろう。

今後に向けて

あと1年ほどで、700MHz帯という今までITSでは利用されていなかった周波数帯が利用可能になるようとしている。今まで、ITSにおいてもさまざまなサービスに関する研究がなされてきているが、実現したサービスで利用されている通信は、路側機やインフラと車載機器との間の通信のみを利用しており、サービスを提供できる場所が限られていた。これに対して、サービス提供場所を限らない車々間通信のような技術は、長らく研究されてきていながら、実用化への一歩を踏みだせないう。その大きな要因として、どのようにして普及させるか、という問題が大きい。通信相手が近傍にいないければ車載機は何の役にも立たないからである。700MHz帯の活用は、この問題を少しだけ解消することが可能である。より遠くの車両、遮蔽車両の向こうにいる車両とも通信が可能になるので、普及率が低くても、通信を行える可能性が高くなるからである。ただし、遠方の車両と通信を行って、かつ有効なアプリケーションが存在する必要がある、という意味では、問題の本質はあまり変わっていない。ここで我々研究

者が、新しくビジネスが可能で有用なアプリケーションを考えられるかどうかで700MHz帯が有効利用できるかどうかが変わる。その意味では、まさにこれから勝負である。

最後に、本稿執筆中に東日本大震災が発生した。被災された方に心からお見舞い申し上げる。また、これに関連して発生した計画停電の影響で、交差点の信号が消えたことにより交通事故も発生していると聞く。本稿で紹介したインフラ協調安全運転支援システムも、インフラに依存する面が少なくない。改めて、インフラが機能しない状況でも、最低限の安全を確保できるようなシステムにする必要性を痛感している。

また、震災の影響で、本稿に記述した内容が変更になる可能性があるが、締切の関係で十分にフォローすることができなかった。ここにお詫びするとともに、その点をご了承いただくと幸いである。

参考文献

- 1) 関 馨：欧米の協調システムの動向：自動車研究，Vol.32，No.3，pp.8-14（Mar. 2010）。
- 2) ITS FORUM RC-006 (http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p34/ITSFORUMRC006V1_0.pdf)

(2011年4月3日受付)

屋代智之(正会員) ■ yashiro@net.it-chiba.ac.jp

1998年慶應義塾大学大学院博士課程了。同年より千葉工業大学工学部情報ネットワーク学科専任講師。現在、同大学情報科学部情報ネットワーク学科教授。ITS、モバイルコンピューティングなどの研究に従事。博士(工学)。2010年よりITS研究会主査。

