

## WiMAX技術講座リスト

<b>中核技術編</b> 通信におけるWiMAXの位置づけと全体像を明らかにする。				
No	タイトル	内容(キーワード)	概要	時間 (分)
	WiMAXの市場 動向	歴史的展望、標準 化、市場動向	<p>WiMAXは30km程度の大ゾーンをカバーする無線MANである。1999年来の標準化作業が完了し、現在各国において事業化の開始段階にある。</p> <p>WiMAXは半径10km程度の広い地域をカバーして、しかも10Mbps程度の広帯域通信を見通し外(NLOS)通信、特に最高時速120km程度の高速移動体にも提供することができる画期的な信号伝送網として注目されている。わが国においては遠隔地域の情報格差是正の一環として一部の地域で既に試験運用されているが、特に次世代広帯域移動通信事業として2.5GHz帯の周波数割り当て免許がのKDDIと京セラを中心とする企業連合に公布され、事業化が本格化している。</p> <p>本講においてはWiMAXの通信上の今日的意義を吟味し、今後の動向を展望する。</p>	90
	WiMAXの基盤技 術	回線設計、 変調方式、 誤り訂正方式、 フレーム構造、 MAC 層の構造と動 作	<p>WiMAXは10Mb/s程度の広帯域伝送を半径10km程度の広い地域で提供する。遠隔地の利用者接続用の固定回線ばかりでなく最高時速120km程度の移動体にも適用できる。また電話、Web接続、画像伝送などの多様な通信が可能なようにATM,IP信号の伝送が可能なMAC層を仕様化している。</p> <p>WiMAXの伝送技術は3G移動通信とは異なり、マイクロ波中継回線網から発展して来た多値QAM,衛星通信網から発達して来た誤り訂正技術、デジタル放送やADSLから発達して来たOFDM,インターネットから発達してきた認証、暗号化、デジタル署名など過去半世紀の通信技術の粋を集めた仕様となっている。</p> <p>本講においては極めて多岐にわたるWiMAXの基盤技術とその概要を解説する。</p>	90
<b>実務編</b> 信号伝送及び通信網技術者に対してWiMAXの要素技術について解説と演習を行う。				

	電波伝搬と回線設計	見通し内(LOS) 見通し外(NLOS) Rayleigh分布	WiMAXはセルラ通信に比べて最大30km程度の非常に大きなゾーンを使用する。そのため市街地、郊外、森林地帯など多様な伝播路を使用する。また固定通信に限らず移動通信にも使用するため見通し外伝搬とくにRayleigh伝送路での回線設計が重要となる。従来のDiversityに加えてOFDMとRS及び畳み込み符号の二重符号が画期的な特性を発揮する。 本稿ではWiMAXおよびMobile WiMAXについて上記各種の伝播路を想定して回線設計の方法を解説する。	90分
	変調方式	SC, Sca OFDM BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM TCM	WiMAXは近距離から最大32kmの遠距離の見通し内(LOS)、見通し外(NLOS)伝播路を通じて最高134.4Mb/sの高速通信を行い、かつ52km/Hまでの移動通信にも使えるなど広汎な応用を目指している。そのために信号多重及び変調方式として多種多様な方式が規定されている。中でも地上波デジタル放送、ADSL回線、無線LAN等で実績のあるOFDMに対する期待が大きい。本講においてはWiMaxで規定されている信号伝送技術について基礎から解説を行う。	90
	誤り訂正方式	Reed-Solomon符号 畳み込み符号; TCM Turbo codes STC ; Space Time Codes	WiMAXで想定されている多種多様な用途に対応するために変調方式に組み合わせる用いる各種の誤り訂正方式が規定されている。例えばデジタル放送に应用されているReed-Solomon符号、およびRS符号と畳み込み符号を組み合わせた接続符号; Optionとして誤り特性に勝れたTurbo符号、アンテナダイバーシティを適応的に実施するための空間時間符号(STC)などが規定されている。本稿においてはそれらの符号について基礎から分かり易く解説を行う。	90
	Frame構造	TDD,FDD Frame	WiMAXはゾーン内の複数の利用者に対してデータおよび音声通信を提供する。そのために規定されている多重、複信及び回線接続方式について信号フレームの構造から見た動作解説を行う。	90
	MAC層	Privacy sublayer CPS CS	WiMAXは近距離から遠距離の多様な伝播路において音声とデータ、固定通信と移動通信と多様な通信を提供するために、必要十分な物理層とMAC層の下位層を規定している。上部階層との接続のためにSAPを含むConvergence Sub-layer(CS)を設け	90

			<p>ている。SAPとしてはATMとIPが設けられている。MAC層はServer-Clientモデルに基づきServer-Client間で交換される、各種MACメッセージとその形式を規定している。WiMAXとしての回線制御はCPS層で行われる。また広域無線通信網で必要不可欠な通信の機密と安全性を確保するためにSecurity Sub-layerを設け、認証、承認、デジタル署名、鍵交換、暗号化などの方式を定めている。</p> <p>本講においてはWiMAXのMAC層の概略とSecurity Sub-layerで本質的な役割を果たすRSA公開鍵暗号法の原理について分かりやすく解説する。</p>	
	802.16e-2005	Roaming Hand-over	<p>802.16-2004に規定されている技術は見通し外通信が可能である。即ち利用者は何処にでも移動してNomadic通信を行う事が可能となる。これにHand-over機能をつければ移動通信網が形成される。</p> <p>本講においてはWiMAX移動通信に関する解説を行う。</p>	

#### 略語

MAN; Metropolitan Area Network    NGN; Next Generation Network    IP ; Internet Protocol

MAC ; Medium Access Control    LOS ; Line Of Sight    NLOS; Non Line Of Sight

SC ; Single Carrier    SCa; Single Carrier a    OFDM ; Orthogonal Frequency Division Multiplex

BPSK ; Bi-Phase Shift Keying    QPSK ; Quadrature Phase Shift Keying

QAM ; Quadrature Amplitude Modulation    STC ; Space Time Code

TDD ; Time Division De-multiplex    FDD ; Frequency Division De-multiplex

CPS ; Common Part Sub-layer (MAC 層の一部)    CS ; Convergence Sub-layer (MAC 層 の一部)

## WiMAX技術講座案内

### WiMAX 研修案内

#### 第一講

(1) WiMAX の市場動向

(2) WiMAX の基盤技術

#### 第二講

(3) 電波伝搬と WiMAX 回線設計

(4) WiMAX の変調方式

#### 第三講

(5) WiMAX の誤り訂正方式

(6) WiMAX の Frame 構造と通信制御

#### 第四講

(7) WiMAX の MAC 層と通信制御

(8) 802.16e-2005 と移動通信動作

以下 WiMAX の特長を概説します。

通信に対する現代的要件は

- A. 時空的汎用性                      いつでもどこでも可能な通信  
(Geographical universality)
- B. 情動的汎用性 電話、インターネットや放送も含めた  
多用途情報通信(Multi-media)
- C. 広帯域通信                      画像をも伝送可能な高速通信 (Broadband)
- D. 安全な通信                      高度な認証や盗聴防止機能のある通信

3G 移動通信は小ゾーン化の方向で発展して来ましたのでこれ以上の Area 拡大は困難ですし、高速化にも限界が来ています。

WiMAX は次表のように過去半世紀に発展してきた無線通信網の技術を総動員して上の要件を実現する可能性を有しています。

特に画期的な技術は OFDM と RS 符号及び畳み込み符号の二重符号により、見通し外及び Rayleigh Fading を通じた遠距離かつ高速移動通信を可能にしたことです。これは従来の Diversity 方式や自動等化方式とは全く異なる思想の技術であり、その効果はデジタル放送や ADSL で実証されています。ある意味では最も単純な方式であり実際通信装置の構成も簡単になります。

もう一つの特徴はインターネットで発達してきたパケット交換と公開鍵暗号法に基づく強力な通信の安全を確保していることです。

また WiMAX は物理層と MAC 層のみを規定しています。MAC 層の CS(Convergence Sub-layer) 機能を活用して多種多様な通信網への応用が可能です。PC で言えば OS だけ提供していることであり、却って応用の幅が広がると思います。

#### 通信要素技術の発展

通信網	発生、発展した技術
電話網	PCM/Digital 化から ISDN, ATM→Packet 通信, →Label 交換
マイクロ波中継網	全国電話網とテレビ放送網の実現の原動力、 飽くなき周波数利用効率の追求から → 多値 QAM
衛星通信網	国際通信、及び放送中継の発展段階の主役を果たした。 飽くなき電力効率の追求から → 誤り訂正技術
インターネット	制御信号、伝送情報もすべてパケットで伝送する → パケット通信網 平坦な網状網構造と公開仕様化方法により、新たな事業(ISP, ASP, Credit card, 多種多様な e-Commerce)分野が出現。 事業への応用の広がりから → 認証/デジタル署名/暗号技術、
移動通信	→ 個人通信の出現。 通信容量の拡大と盗聴防止の必要から Digital 通信 への移行の移行に伴い → 認証/暗号技術
デジタル放送	大容量通信の見通し外伝送の必要性から → OFDM

7 年間に渡って多数の技術者が知恵を結集しただけあって現段階では最高の仕様になっていると思います。WiMAX に限らず一般の通信網にも有効な技術の宝庫であると思います。

#### Brief Introduction to WiMAX

WiMAX is regarded as one of the most hopeful radio communication systems for the next generation broadband mobile communication networks.

The basic requirements for today's mobile communications are

- A. Universal coverage
- B. Universal information transfer (Multi-media)
- C. Broadband channel capable of transmission of full motion pictures
- D. Secure communication

The 3G mobile systems have come to the limits to meet the above requirements. The small zones systems of conventional mobile systems are essentially unsuitable to meet requirement A. Enhancing the data rates is almost impossible as the 3G technology can not effectively transmit multi-level QAM signals through Rayleigh fading channels.

The WiMAX significantly improves the problems by adoption of state-of-the-art technology that have been developed for many years in many branches of communications as shown in the above table (in Japanese).

An outstanding technology is OFDM combined with concatenated Reed-Solomon and Convolutional codes. This scheme is based on a technology very different from the conventional diversity and channel equalization methods. The technology is field-proven in Digital broadcasting, ADSL and wireless LAN. In a sense the technology is simple and In fact is effective to simplify the system.

Another feature of WiMAX is a powerful security scheme by adoption of security measures based on RSA encryption methods developed through the Internet applications.

The WiMAX specifies only the physical and MAC layers. This is the similar approach as supplying only the OS (like Linux) on which the users can build their own applications.

I

## 第二講

電波伝搬と回線設計および変調方式の研修案内

テーマは

- ◆ 電波伝搬と回線設計
- ◆ 変調方式

解説

大容量通信を、見通し外の遠距離まで、高速移動体に対しても提供するという要求に応えるのが WiMAX です。

大容量伝送のために多値 QAM を、見通し外及び移動通信のために OFDM を採用しています。これらはマイクロ波中継網、FDM/TDM 多重伝送網(TMUX), ADSL, 地上デジタル放送など通信の各分野から長年発達して来た技術の粋を集めたものです。

Option として WiMAX では MISO(Multiple Input Single Output)と STC(Space Time Coding)を用いた送信 Diversity を規定しています。更に MIMO を用いれば伝送速度を倍に出来るので現在業界の注目を集めていますが、それは実は衛星通信等において偏波多重方式として長い歴史を有する技術に深い関連があります。

WiMAX については通信距離、伝送速度、移動体の速度について様々な数値が飛び交っていますが、それらは実地に通信網を設計して始めて評価できるものです。本講においては参加者が実際に回線及び装置設計が出来るように基礎から分かり易く解説します。

特に移動通信については CDMA は周波数割り当てが不要で回線制御が簡単かつ周波数利用効率が高いという特徴がありますが、OFDM 回線に CDMA を適用する事もできます。しかも従来の時間軸上の PN 乗算、相関検出、Rake Receiver に比べて遥かに簡単な処理でしかも瞬時同期が可能な技術もあります(WiMAX 規格には規定ないが OFCDM として各地で研究中)

WiMAX は物理層と MAC 層の核を規定しているだけなので、通信網の上部層ばかりでなく、物理層でも上述の工夫を加えて移動通信など目的に応じて使い易くすることもできます。

また WiMAX は公開仕様であり 3G CDMA の時のように特定の米国企業にバカ高い Royalty を払う必要もありません。韓国は特にこの点で WiMAX の実用化に力を入れています。

In order to meet the demands for ever wider bandwidths, greater distances beyond line-of-sight and even for fast moving mobile users communications, WiMAX collects such essences of signal transmission technologies as Multi-level QAM, OFDM, TCM, etc. which have been developed In microwave and satellite communications, FDM/TDM multiplex telephony systems ADSL and digital broadcasting networks and many other branches of communication systems, Those technologies are field proven through the history of communications. An example is MIMO, which is a hot topic today for its capability for doubling the bandwidth, is closely related with the Polarizations Multiplex technologies which have been utilized for many years in satellite communications.

There are many exaggerated figures announced about WiMAX on its transmission rates, distances and the speed of the mobile users. WiMAX is simply a specification and those signal transmission performances depend on the system design for actual systems. The objective of the lecture is to provide the participants with the knowledge to actually design the transmission systems.

Especially for mobile communication, the OFDM and CDMA can be combined to realize the merits of both schemes and even significant improvement particularly in acquisition speeds.

(This is out of scope of WiMAX but is known as ODCDM.)

WiMAX specifies only the cores of the physical and MAC layers. Upper layers need to be added To realize the communication networks. Even the physical layers can be modified based on the Core specified in WiMAX.

### 第三講

#### 誤り訂正方式と Frame 構造研修案内

内容は

- ◆ 誤り訂正方式
- ◆ Frame 構造と回線制御

概説

WiMAX で仕様化されている誤り訂正方式は Reed-Solomon 符号、畳み込み符号、TCM 符号、及び RS-畳み込み、RS-TCM, RS-Parity check 符号の組み合わせによる二重符号、及び Option として Turbo 符号があります。これらを眺めると 1948 年の C.E.Shannon の「通信の数学的理論」以来の半世紀余の間に発展してきた誤り訂正技術を総動員している感があります。原理は Shannon の「伝送路符号化定理」で統括されています。即ち通信路には伝送速度の上限を与える通信容量  $C$  があり、伝送速度  $R(\text{bits/sec})$  が  $R < C$  であればその余裕  $C-R$  を利用して伝送データを時間  $T$  だけ蓄積することにより伝送信号の集合(空間)を  $2^{(C-R) \cdot T}$  倍に拡張することにより信号間に「距離」を導入する所に本質がありました。距離の導入は RS 符号においてはガロア体  $GF(2)$ (普通の二進数)から  $GF(2^m)$  への拡大体により、畳み込み符号においては多次元ユークリッド空間への拡張による符号間距離の拡大として実現されています。

それにしても誤り訂正符号が存在もしていなかった時代に伝送路符号化定理を証明し誤り訂正符号の概念を確立した Shannon の洞察力には感嘆せざるを得ません。ちなみに Shannon が証明に用いた符号化は random 符号化でした。すなわち十分にでたらめな符号化を行えば誤り率の改善はあるということです。

RS 符号は Random ではなく有限体の理論で証明される BCH 定理に基づく確固たる構造の代数的符号です。畳み込み符号はその開発は多少 Random Search 的ですが、Viterbi 復号法を用いる場合には符号の最小距離(自由距離とも言う)で特性は決まります。自由距離は状態遷移図(Trellis Diagram)を描いて求めることが出来ます。

WiMAX は Connection 型の伝送網であり、この点は従来の無線通信網と同じです。ここでは回線については Erlang の呼損率の理論が適用できます。回線は CID(Circuit ID)で特定し、個々の通信は SID(Service ID)で特定し、基地局で SID と CID の対応を行うことにより一種の Label 交換を行います。

また通信の途中で追加チャンネルの要求もできます。これらの機能によって電話、画像伝送、IP 接続など多様な通信を行うことができます。

本研修においては参加者が上の要素技術を理解し、IEEE802.16 の仕様書を読みこなして WiMAX 通信網の設計技術を習得する事を目的としています。

The error correcting codes specified in WiMAX include Reed-Solomon codes, convolutional codes, TCM codes, and such concatenated codes as RS-Convolutional, RS-TCM, RS-Parity check, etc. and Turbo codes as an option. Those varieties of codes are off springs of C.E. Shannon's Channel Coding Theorem given in the celebrated paper "A Mathematical Theory of Communication" in 1948. The essence of the theorem is that there is an upper limit called Channel Capacity  $C$  for a communication channel. If the data rate  $R$  (bits/sec) is smaller than  $C$ , then by storing the transmit data for time  $T$ , the signal space can be expanded by the factor of  $2^{(C-R)T}$  and a "distance" can be inserted between the transmit information codes.

The expansion of the signal space in RS codes is made by expansion from binary Field  $GF(2)$  to  $GF(2^m)$ . In the convolutional codes/ Viterbi decoding system, the Introduced distance is called "Free Distance" in multi-dimensional Euclid Space.

It is remarkable Shannon defined the Channel coding when there was no such code at all. The coding scheme Shannon used in his theorem was "Random Coding". It shows any coding, if random enough, can achieve some improvement in the data transmission. Instructive, isn't it?

WiMAX is a connection-oriented network to which the classic Erlang theory can be applied. But it has new schemes as label switching between the channels (CID) and the services (SID). It also provides a scheme that the users can demand additional BW during communication. Thus WiMAX can provide a very flexible communication services for the users.

#### 第四講

##### MAC 層研修案内

##### 概説

Wireless MAN 802.16 は完全パケット(TDM/TDMA), MAC PDU による信号伝送網であり、以下のように各層の選択肢を組み合わせで見通し外(NLOS)、大ゾーン(10km 程度)、大容量(10Mb/s)程度の固定及び移動通信(100km/H 程度)の多種多様な応用に答えるための MAC 層が仕様化されています。

- PHY; OC/ OCa/ OFDM/ OFDMA/ HUMAN

- NW ; PMP / Mesh

- CS ; ATM / Packet

- 回線の種類 ; UGS /rt-PS /nrt-PS /BE

- Security; RSA 公開鍵法による認証、暗号鍵配信、暗号処理(DES,AES)

本講においては MAC 層の概要と公開鍵暗号法の概略の解説を行います。

The Wireless MAN WiMAX system is a total packet communication system

Where all signals are carried as MAC PDU in TDM/TDMA links.

In this seminar, the architecture and functions of WiMAX MAC sub-layers will

Be explained. An introduction to the RSA security systems will be also presented.

.....