

第4章 諸外国の動向及び標準化の動向、電波干渉

4-1 海外におけるテラヘルツ無線の研究開発動向

(テーマ) 海外の研究開発動向

(講師) 大阪大学大学院基礎工学研究科 教授 永妻 忠夫

(1)ドイツ

ドイツのテラヘルツ通信研究所 (Technical University of Braunschweig) と PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt の略称でドイツ連邦物理工学研究所) が、欧州でのテラヘルツ無線技術の研究を主導している。主として、屋内での無線 LAN への応用を目指して、300GHz 帯での屋内伝搬特性や、テラヘルツ波を効率的に反射する壁紙等の開発を行っている。実験的には、市販の電子部品モジュールを組み合わせて 300GHz 帯送受信器を構成し、伝送帯域などの基本特性を評価している。実際には 300GHz 帯でアナログビデオ信号 (数 Mbit/s) や圧縮デジタルビデオ信号 (数 10Mbit/s) の無線伝送をデモンストレーションするに留まっている。なお、Technical University of Braunschweig の Prof. Thomas Kurner は、IEEE 802 1GTHz の議長としてテラヘルツ無線の標準化に関して先導役を果たしている。

また、Fraunhofer Institute では、MMIC 技術による 200~300GHz 帯のコンポーネントの研究と無線通信への応用を手がけている。

(2)フランス

フランスでは、IEMN (エレクトロニクス・マイクロエレクトロニクス・ナノテクノロジー研究所) のグループが、フォトンクス技術を送信機に用いた無線通信の実験的研究を行っている。最近の報告では、200GHz で 1.5Gbit/s の無線伝送に成功している。

(3)米国

米国では、Battele 研究所において、上記フランスと同様にフォトンクス技術を送信器に利用したシステムを開発し、主に 92GHz 帯での実験が進められている。同じフォトンクス技術を駆使し、BPSK や QPSK による周波数利用効率の改善の検討も報告されている。フォトンクス技術で多値化を行う手法は、最近の光通信技術で主流になりつつあるものであるが、60GHz 帯で 16QAM-OFDM 技術を用い、28Gbit/s の実験を行ったという報告もあり、このような技術を利用すれば、300GHz 帯で 100Gbit/s は決して夢ではないであろう。

なお、米国 AT&T Shannon Laboratory の David Britz 氏は、IEEE802 1GTHz の副議長としてテラヘルツ無線分野の活性化と標準化に貢献している。

(4) 韓国、アジア

韓国でテラヘルツ無線を牽引しているのは、ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute の略称で韓国電子通信研究院) である。米国、フランスと同様にフォトニクス技術を用いた送信器の研究が行われており、最近、ギガビット級の無線実験（周波数帯は 100-200GHz と予想）に成功している。また台湾の National Central University でも、フォトニクス技術を用いた 90GHz 帯ギガビット無線通信に関する報告がされている。

最近のテラヘルツ無線に関するレビュー文献

John Federici¹ and Lothar Moeller, Review of terahertz and subterahertz wireless communications, J. Appl. Phys. 107, 111101 (2010); doi:10.1063/1.3386413.

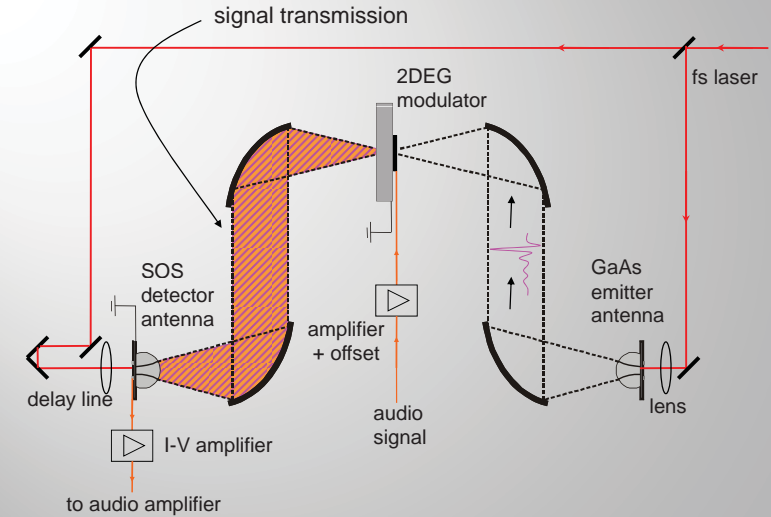
Thomas Kleine-Ostmann and Tadao Nagatsuma, A Review on Terahertz Communications Research, Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Volume 32, Number 2, pp.143-171(2011); doi: 10.1007/s10762-010-9758-1.

※ 次のページに説明資料を掲載する。

海外の研究開発動向

永妻忠夫
大阪大学大学院
基礎工学研究科

テラヘルツパルス波を使った最初の実験:TCL

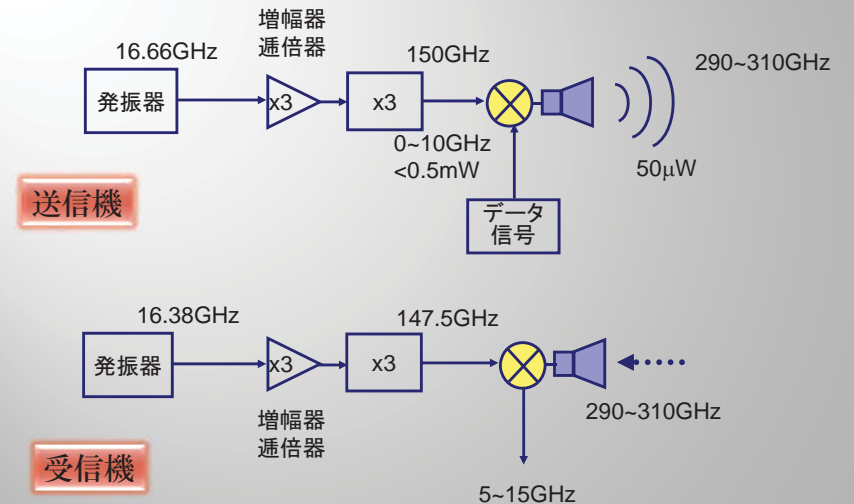


T. Kleine-Ostmann et al., "Audio signal transmission over THz communication channel using semiconductor modulator", Electron. Lett. **40**, 124-126 (2004).

- 1 ドイツ
TCL*(THz Commun. Lab.)&PTB
- 2 フランス
IEMN
- 3 米国
BMI: Battelle Memorial Institute
- 4 その他

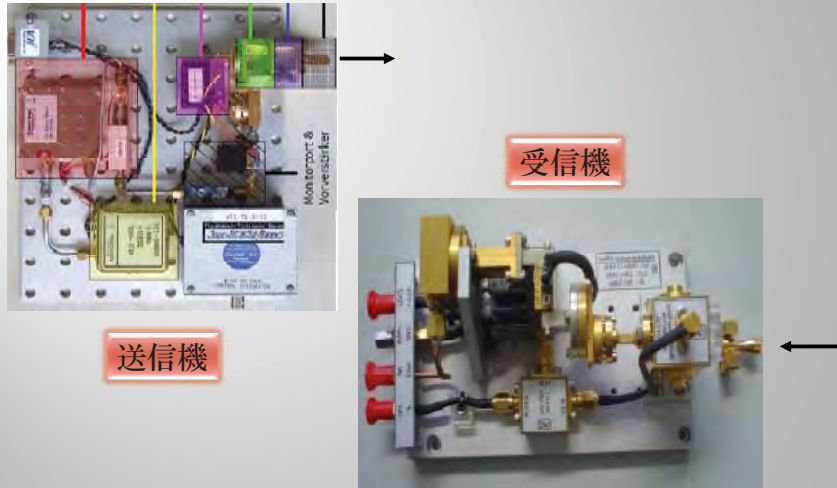
*TCL:Technical University of Braunschweigに設置₂

市販のTHz部品モジュールによる300GHz無線:TCL



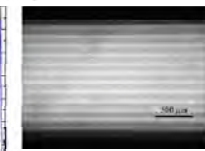
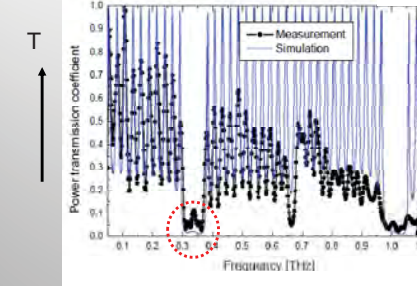
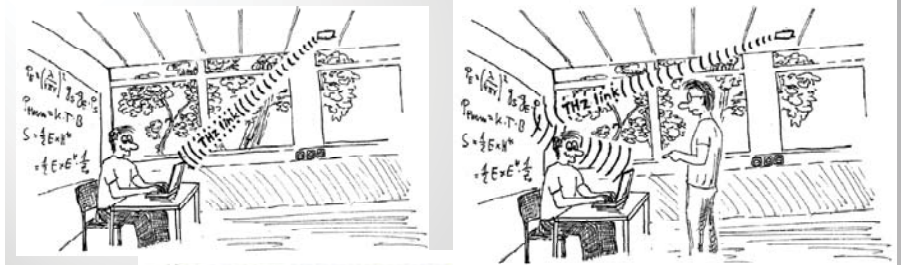
C. Jastrow, K. Münter, R. Piesiewicz, T. Kürner, M. Koch and T. Kleine-Ostmann, 300 GHz Transmission System, Electron. Lett. **44**, 213-214 (2008).

300GHz無線モジュール: TCL



C. Jastrow et al., Tech. Dig. IRMMW-THz 2008, M3A3.1342; Demonstration of analog video transmission

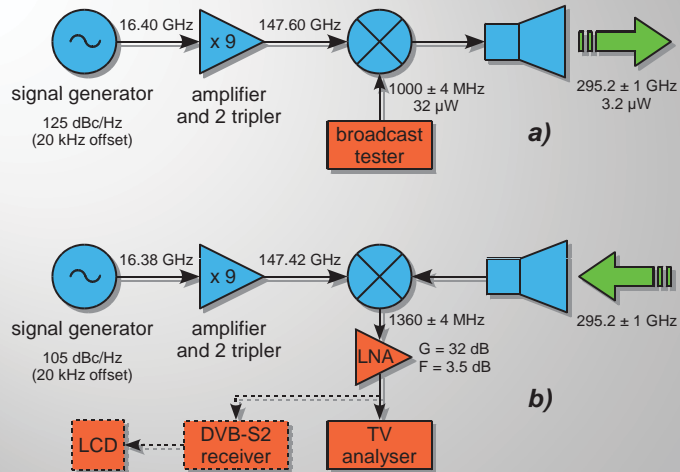
300GHz無線の利用イメージ:TCL



Wall paper

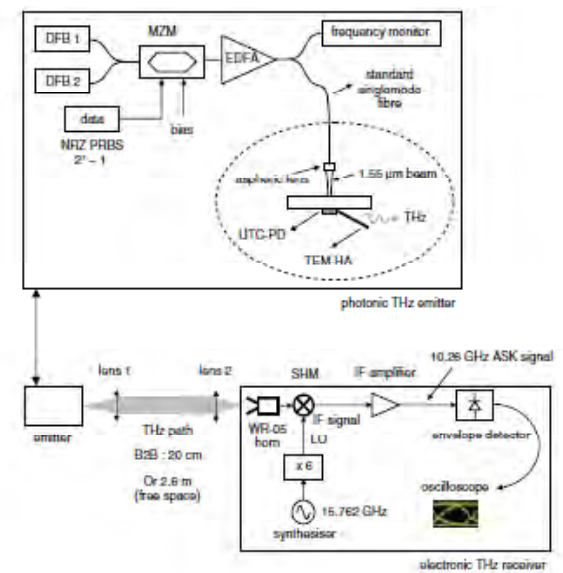
Terahertz Communications Lab
(Technical University of Braunschweig)

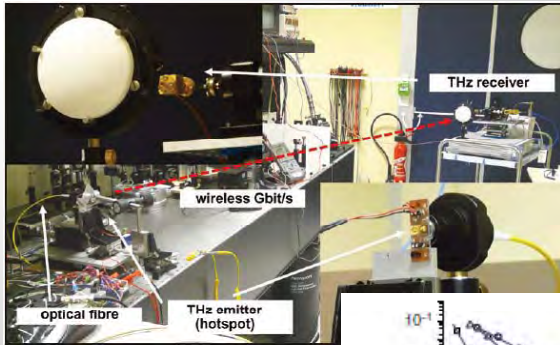
300GHz無線によるデジタル伝送:TCL



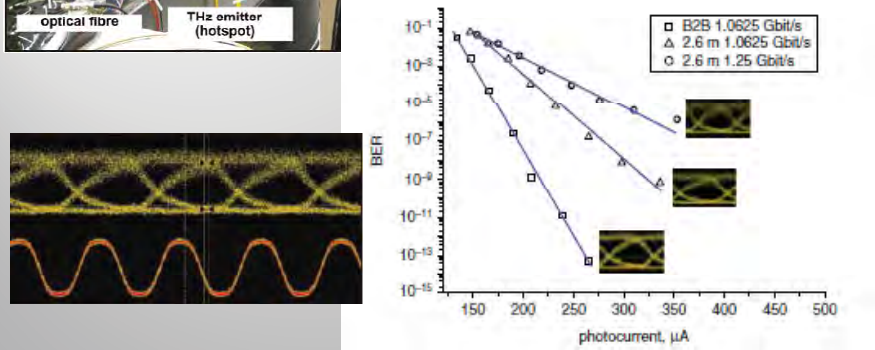
C. Jastrow, S. Priebe, B. Spitschan, J. Hartmann, M. Jacob, T. Kürner, T. Schrader and T. Kleine-Ostmann, Wireless digital data transmission at 300 GHz, Electron. Lett. **46**, 661-663 (2010).

200GHz無線: IEMN

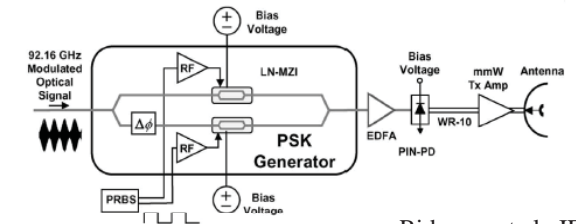
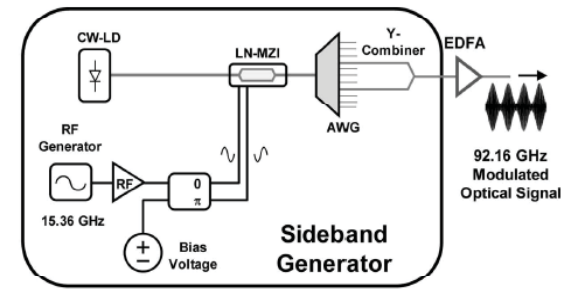




G. Ducournau et al., Optically power supplied Gbit/s wireless hotspot using 1.55 μm THz photomixer and heterodyne detection at 200 GHz, Electron. Lett., 16th September 2010 Vol. 46 No. 19.

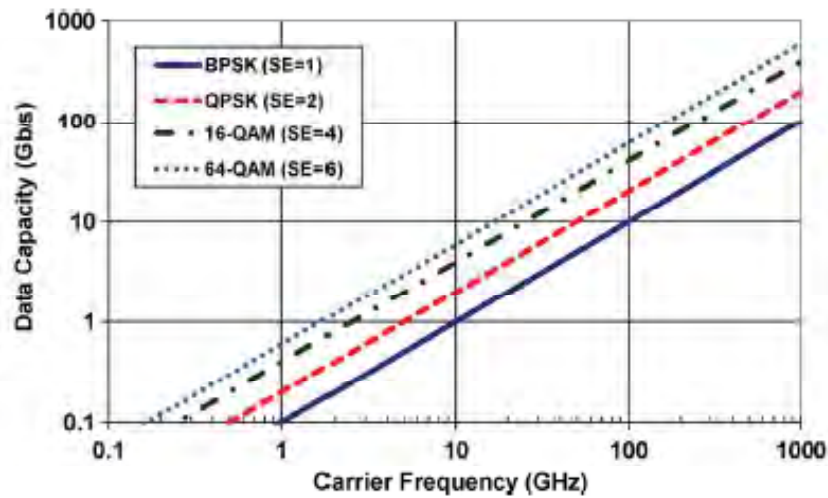


92GHz送信機: BMI

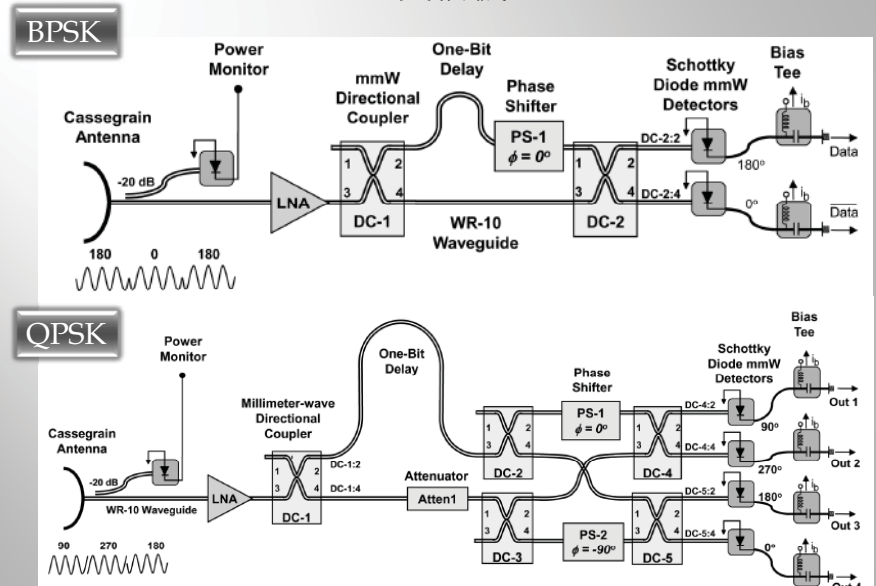


Ridgway et al., IEEE Trans. MTT, October 2010.

92GHz無線多値変調: BMI



92GHz受信機: BMI



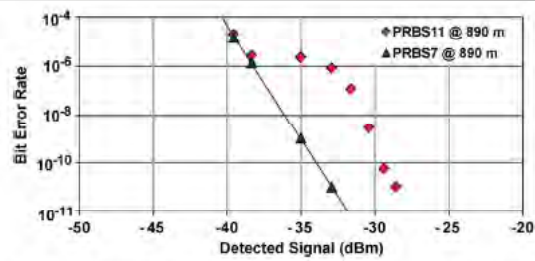
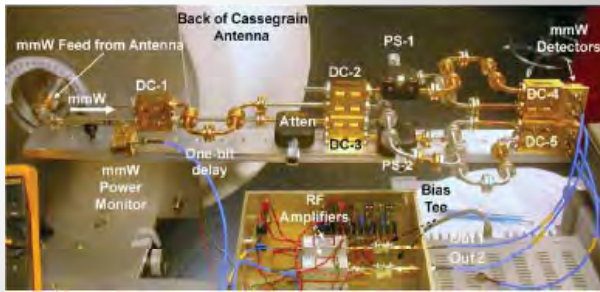
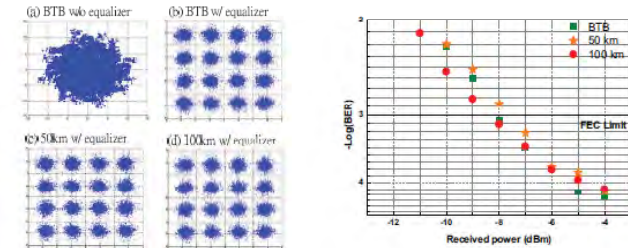
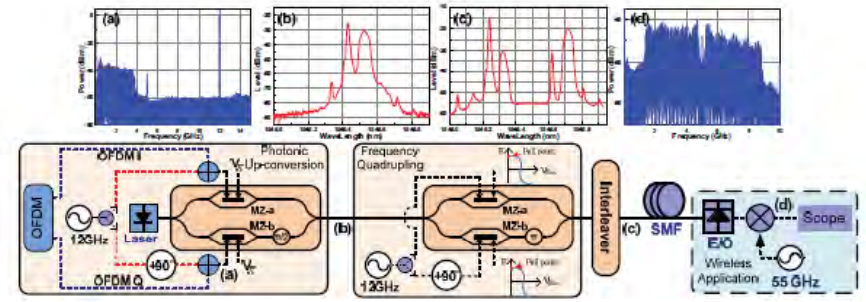


Fig. 13. Bit error rate as a function of received power for a DPSK modulation scheme at 2.3 Gb/s on a 92.16 GHz carrier. At a propagation distance of 890 m a mmW attenuator was used to simulate additional distance. The line in the figure represents an exponential fit to the PRBS7 data.

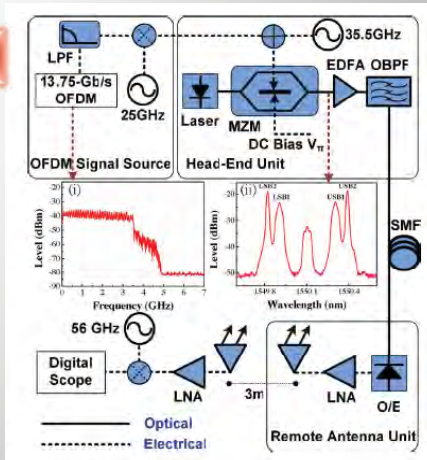
13



Chun-Ting Lin et al 28-Gb/s 16-QAM OFDM Radio-over-Fiber System Within 7-GHz License-Free Band at 60 GHz Employing All-Optical Up-conversion, OSA/CLEO/IQEC 2009.

60GHz多值化技術

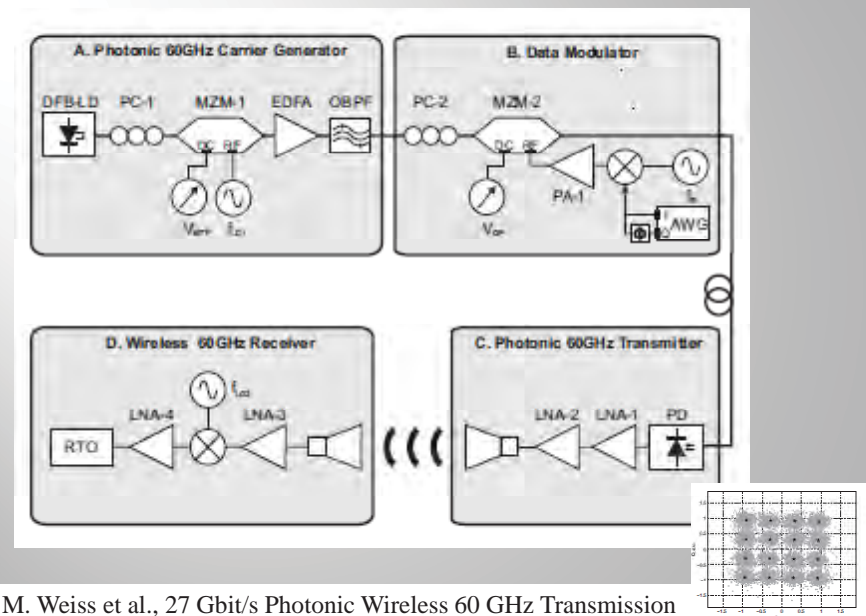
QPSK-OFDM



Wen-Jr Jiang et al., Simple 14-Gb/s Short-Range Radio-Over-Fiber System Employing a Single-Electrode MZM for 60-GHz Wireless Applications Journal of Lightwave Tech., VOL. 28, NO. 16, AUGUST 15, 2010.

National Chiao-Tung University, Taiwan

14



M. Weiss et al., 27 Gbit/s Photonic Wireless 60 GHz Transmission System using 16-QAM OFDM, MWP2009.

16

4-2 国際標準化に向けた取組み

(テーマ) IEEE802.15 Terahertz Interest Group (IGthz)に関する動向
(講師) NTT マイクロシステムインテグレーション研究所 主任研究員 味戸 克裕
(独)情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター グループリーダー 寶迫 巖

(1) ITU-R

ITU-R とは、電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合 (ITU:International Telecommunication Union) の無線通信部門 (ITU-Radiocommunication Sector) で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則 (RR:Radio Regulations) の改正、無線通信の技術・運用等の問題の研究、勧告の作成及び周波数の割当て・登録等を行っている。ITU-R 関連の国際対応状況は総務省電波利用ホームページ内の下記 URL に情報がまとめられているので参考としていただきたい。

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/inter/index.htm>

【WRC-12 に向けた動き】

世界無線通信会議 (WRC: World Radiocommunication Conference) とは、ITU において各周波数帯の利用方法、衛星軌道の利用方法、無線局の運用に関する各種規程、技術基準等を始めとする国際的な電波秩序を規律する無線通信規則 (RR) の改正を行うための会議で、各国主管庁及び ITU に登録している事業者等の関係団体が出席し、通常 3～4 年毎に開催される。今回は WRC-12 で、2012 年ジュネーブにて開催予定である。その議題及び概要 (2010 年 6 月現在) は下記 URL に示されている。

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/inter/wrc/wrc12/kaitai.htm>

その中で、テラヘルツ帯に関連する議題と関連する国内体制のみを以下に抜粋する。

2012 年世界無線通信会議 (WRC-12) 議題一覧 (テラヘルツ帯関連抜粋)

議題 1.6 275-3000GHz の周波数利用及び光学通信に関する検討

決議第 950 (WRC-07、改) の規定に従い、275GHz と 3000GHz の間における受動業務によるスペクトルの使用状況を現行化するために無線通信規則第 5.565 号を見直し、決議第 955 (WRC-07) に従い、ITU-R の研究結果を考慮し、光空間固定無線リンクのための、適用し得る手続を検討すること。

【参考】

決議第 950 (WRC 07、改)
275GHz から 3000GHz までの周波数の使用の検討

世界無線通信会議（2007年ジュネーブ）は、以下を考慮し、

- a) 周波数分配表において、275GHz を超える周波数帯は分配されていないこと。
- b) 考慮事項 a) にもかかわらず、第 5.565 号は、様々な受動業務その他のあらゆる業務の実験や開発のために 275-1000GHz 帯の使用に関する規定を設けており、更なる研究を行う必要性を認めていること。
- c) 第 5.565 号はまた、周波数分配表を拡張される時点までの受動業務の保護の規定も設けていること。
- d) 第 5.565 号の規定で特定するスペクトル線に加えて、275GHz を超える周波数帯における研究活動により、例えば ITU-R 勧告 RA.314 に掲げられるものなど、他の関心のあるスペクトル線が生じる可能性があること。
- e) 様々な研究委員会において、適切なアプリケーションのシステム特性を含む、275GHz から 3000GHz までの間のシステムに関する研究が行われていること。
- f) 275GHz から 3000GHz までの周波数帯の現行の利用は、主として受動業務に関するものだが、予想される技術開発によって、この周波数帯は適切な能動業務のアプリケーションにとってますます重要になる可能性があること。
- g) 275GHz から 3000GHz までの間の周波数で運用する受動業務と他のあらゆる業務との間の共用研究は、ITU-R においてまだ完了していないこと。
- h) 現在まで 275-3000GHz 帯の多様な能動業務による使用がないということは、275GHz を超える周波数の全般的な分配を検討することが未だ早すぎるかもしれないことを示していること。

以下を認め、

- a) 275GHz を超える周波数における伝搬特性は、例えば空気吸収や大気散乱など、能動と受動双方のシステムの性能に重大な影響を与えるため、研究の必要があること。
- b) 適切なアプリケーションによる、275GHz から 3000GHz までの周波数帯の潜在的な使用について更に調査する必要があること。

以下に留意し、

- a) これら 275GHz から 3000GHz までの周波数帯を使用するために、国際的協力による多大な基盤投資が行われており、一例として、現在建設中の施設であるアタカマ大型ミリ波干渉計（ALMA）は、宇宙の構造に関する新たな洞察を提供するであろうこと
- b) 無線通信局の回章 CR/137 は、無線通信局が 275GHz 以下の周波数帯における地球探査衛星業務及び宇宙研究業務の衛星の能動センサ及び受動センサの特性を記録するために必要な追加情報を特定したこと。

以下に更に留意し、

- a) 275GHz から 3000GHz の間の周波数帯で運用するシステムを記録するために、留意事項 b) に示すものと類似のプロセス及び形式を用いる可能性があること。
- b) 275GHz から 3000GHz の間の周波数帯で運用する能動及び受動システムを記録することは、無線通信規則の変更が必要であると決定される日まで情報を提供することになること。

以下を決議し、

- 1 WRC-11 で受動業務による 275GHz から 3000GHz の間の周波数利用を現行化するために、ITU-R での研究結果を踏まえ、周波数分配は除いて無線通信規則の第 5.565 号の見直しをおこなうこと。
- 2 主管庁は、国際周波数登録原簿に記録するために 275GHz から 3000GHz の間の周波数帯で運用するシステムに関する詳細を提出でき、その詳細は第 8.4 号、第 11.8

号及び第 11. 12 号の規定に基づいて無線通信局が記録できること。

以下をITU-Rに要請し、
第 5. 565 号の改定を視野に入れ WRC-11 による検討に間に合うように、275GHz から
3000GHz の周波数帯に適した適用の助言も含め、必要な研究を行うこと。

以下を無線通信局長に指示する。
決議事項 2 に参照される提出を受領し、国際周波数登録原簿に記録すること。

(以下英文を引用)

RESOLUTION 950 (Rev. WRC-07)

Consideration of the use of the frequencies between 275 and 3 000 GHz
The World Radiocommunication Conference (Geneva, 2007),

considering

- a) that, in the Table of Frequency Allocations, frequency bands above 275 GHz are not allocated;
- b) that, notwithstanding considering a), No. 5. 565 makes provision for the use of the frequency band 275–1 000 GHz for experimentation with, and development of various passive services and all other services and recognizes the need to conduct further research;
- c) that No. 5. 565 also makes provision for the protection of passive services until, and if, such time as the Table of Frequency Allocations may be extended;
- d) that, in addition to the spectral lines identified by No. 5. 565, research activities in the bands above 275 GHz may yield other spectral lines of interest, such as those listed in Recommendation ITU-R RA. 314;
- e) that within various Radiocommunication Study Groups, studies on systems between 275 and 3 000 GHz, including system characteristics of suitable applications, are being considered;
- f) that the present use of the bands between 275 and 3 000 GHz is mainly related to the passive services, however, with anticipated technology development, the bands may become increasingly important for suitable active service applications;
- g) that sharing studies in ITU-R among passive services and all other services operating in frequencies between 275 and 3 000 GHz have not been completed;
- h) that the lack of use to date of the band 275–3 000 GHz by the various active services indicates a general consideration of frequency allocations above 275 GHz may be premature,

recognizing

- a) that propagation characteristics at frequencies above 275 GHz, such as atmospheric absorption and scattering, have a significant impact on the performance of both active and passive systems and need to be studied;
- b) that it is necessary to investigate further the potential uses of the bands between 275 and 3 000 GHz by suitable applications,

noting

- a) that significant infrastructure investments are being made under international collaboration for the use of these bands between 275 and 3 000

GHz, for example, the Atacama Large Millimetre Array (ALMA), a facility under construction that will provide new insights on the structure of the universe;

b) that Radiocommunication Bureau Circular Letter CR/137 identified additional information for the Bureau to record characteristics of active and passive sensors for Earth exploration-satellite service and space research service satellites, in frequency bands below 275 GHz,

further noting

- a) that a process and format similar to that provided in noting b) could be used to record systems operating in the 275 to 3 000 GHz band;
- b) that recording active and passive systems operating in the 275 to 3 000 GHz band will provide information until the date when, and if, it is determined that changes to the Radio Regulations are needed,

resolves

- 1 to review No. 5.565, excluding frequency allocations, in order to update the spectrum use between 275 GHz and 3 000 GHz by the passive services at WRC-11, taking into account the result of the ITU-R studies;
- 2 that administrations may submit for inclusion in the Master International Frequency Register details on systems which operate between 275 and 3 000 GHz and which may be recorded by the Radiocommunication Bureau under Nos. 8.4, 11.8 and 11.12,

invites ITU-R

to conduct the necessary studies in time for consideration by WRC-11 with a view to the modification of No. 5.565, including advice on the applications suitable for the band 275-3 000 GHz,

instructs the Director of the Radiocommunication Bureau

to accept submissions referred to in resolves 2, and to record them in the Master International Frequency Register.

議題 1.8 71-238GHzの固定業務に関連する技術的、規則的な検討

決議第731 (WRC-2000) 及び第732 (WRC-2000) の規定を考慮しつつ、71GHzと238GHzの間の周波数帯における固定業務に係る技術上及び規制上の問題についてのITU-Rの研究の進捗を検討すること。

【参考】

決議第731 (WRC-2000)

将来の権限ある世界無線通信会議による71GHz以上における受動及び能動業務間の共用及び隣接周波数帯の両立性に関する問題の検討

世界無線通信会議 (2000年イスタンブール) は、

- a) 周波数分配表に対し 71GHz以上の周波数帯についてこの会議で加えられた変更は、会議の開催時点で判明していた要求に基づくものであったこと
- b) 71GHz以上における受動業務のスペクトラムに対する要求は物理的現象に基づ

いているので良く知られており、この会議で周波数分配表に対し加えられた変更
に反映されていること

- c) 71GHz 以上のいくつかの周波数帯は、特定の大気パラメータ測定のために独特な
周波数帯なので、既に EESS（受動）及び SRS（能動）により利用されていること
- d) 71GHz 以上の周波数帯で運用する能動業務に対する要求及び実現計画について
は、現在、限られたことしか分かっていないこと
- e) 過去においては、技術の進歩がより高い周波数で運用する通信システムを実現
させてきており、同じように将来は通信技術を 71GHz 以上の周波数帯で利用でき
るようになることが期待できること
- f) 将来においては、新たな技術が利用可能になった場合に、能動及び受動業務に
対する代替スペクトラムの要求に対応できなければならないこと
- g) この会議で周波数割当て表に対し加えられた変更に対応して、71GHz 以上のいく
つかの周波数帯における業務に関する共用の研究が必要となる可能性があること
- h) 受動センサーに対する干渉基準が作成され、ITU-R 勧告 SA. 1029 に示されている
こと
- i) 電波天文に対する保護基準が作成され、ITU-R 勧告 RA. 769 に示されていること
- j) 電波天文業務に分配されている周波数帯に隣接する周波数帯に対して、いくつ
かの衛星ダウンリンクの分配が行われていること
- k) 71GHz 以上の周波数帯における能動及び受動業務に対する共用基準は、ITU-R 内
でまだ完全には作成されていないこと
- l) 71GHz 以上の受動業務の保護を保証するために、この会議では、100-102GHz、
148.5-151.5GHz 及び 226-231.5GHz などのいくつかの周波数帯において、起こり得
る共用の問題を防ぐため、能動及び受動業務両方に分配を行うのを避けたこと
を考慮し、

実現可能な範囲内において、能動及び受動業務間の共用による負担は、分配が行
われている業務間で公平に配分されるべきであることを認識し、

将来の権限ある会議が、71GHz 以上の周波数帯における能動業務の新たな要求に応
えるため、受動業務の要求を加味しながら、適宜無線通信規則を改訂することを視野
に入れて、ITU-R の研究結果を検討するべきであることを決議し、

この決議に示されたような、能動業務の新たな要求に応えるための第 5 条への変
更を行う可能性に留意し、国内の政策及び規則を策定する際にはこのことを考慮す
ることを主官庁に要請し、

- 1 100-102GHz、116-122.25GHz、148.5-151.5GHz、174.8-191.8GHz、226-231.5GHz
及び 235-238GHz など、これらに限らないがこうした 71GHz 以上の周波数帯におけ
る能動及び受動業務間の共用が可能であるか、またどのような条件で可能である
かについて決定するための研究を継続すること
- 2 宇宙業務（ダウンリンク）から 71GHz 以上の電波天文の周波数帯への隣接周波数
帯間の干渉を防ぐ手段を研究すること
- 3 研究の際には、実現可能な範囲内において、負担分担の原則を考慮に入れること
- 4 こうした周波数帯における能動業務の技術的特性が明らかになるときに、必要な
研究を完成させること
- 5 共用が可能である周波数帯に対する共用基準を規定する勧告を作成すること
を ITU-R に要請し、

この決議に対して、関係する国際的及び地域的組織の注意を喚起することを事務
総局長に指示する。

(以下英文を引用)

RESOLUTION 731 (WRC-2000)

Consideration by a future competent world radiocommunication conference of issues dealing with sharing and adjacent-band compatibility between passive and active services above 71 GHz The World Radiocommunication Conference (Istanbul, 2000),

considering

- a) that the changes made to the Table of Frequency Allocations by this Conference in bands above 71 GHz were based on the requirements known at the time of the Conference;
- b) that the passive service spectrum requirements above 71 GHz are based on physical phenomena and therefore are well known, and are reflected in the changes made to the Table of Frequency Allocations by this Conference;
- c) that several bands above 71 GHz are already used by Earth exploration-satellite service (passive) and space research service (passive) because they are unique bands for the measurement of specific atmospheric parameters;
- d) that there is currently only limited knowledge of requirements and implementation plans for the active services that will operate in bands above 71 GHz;
- e) that, in the past, technological developments have led to viable communication systems operating at increasingly higher frequencies, and that this can be expected to continue so as to make communication technology available in the future in the frequency bands above 71 GHz;
- f) that, in the future, alternative spectrum needs for the active and passive services should be accommodated when the new technologies become available;
- g) that, following the revisions to the Table of Frequency Allocations by this Conference, sharing studies may be required for services in some bands above 71 GHz;
- h) that interference criteria for passive sensors have been developed and are given in Recommendation ITU-R RS.1029;
- i) that protection criteria for radio astronomy have been developed and are given in Recommendation ITU-R RA.769;
- j) that several satellite downlink allocations have been made in bands adjacent to those allocated to the radio astronomy service;
- k) that, sharing criteria for active and passive services in bands above 71 GHz have not yet been fully developed within ITU-R;
- l) that, in order to ensure protection of passive services above 71 GHz, this Conference avoided making allocations to both active and passive services in some bands such as 100-102 GHz, 148.5-151.5 GHz and 226-231.5 GHz, so as to prevent potential sharing problems,

recognizing

that, to the extent practicable, the burden of sharing among active and passive services should be equitably distributed among the services to which allocations

are made,

resolves

that a future competent conference should consider the results of ITU-R studies with a view to revising the Radio Regulations, as appropriate, in order to accommodate the emerging requirements of active services, taking into account the requirements of the passive services, in bands above 71 GHz,

urges administrations

to note the possibility of changes to Article 5 to accommodate emerging requirements for active services, as indicated in this Resolution, and to take this into account in the development of national policies and regulations,

invites ITU-R

- 1 to continue its studies to determine if and under what conditions sharing is possible between active and passive services in the bands above 71 GHz, such as, but not limited to, 100–102 GHz, 116–122.25 GHz, 148.5–151.5 GHz, 174.8–191.8 GHz, 226–231.5 GHz and 235–238 GHz;
- 2 to study means of avoiding adjacent-band interference from space services (downlinks) into radio astronomy bands above 71 GHz;
- 3 to take into account the principles of burden-sharing to the extent practicable in their studies;
- 4 to complete the necessary studies when the technical characteristics of the active services in these bands are known;
- 5 to develop Recommendations specifying sharing criteria for those bands where sharing is feasible,

instructs the Secretary-General

to bring this Resolution to the attention of the international and regional organizations concerned.

表 4-1 WRC-12 に向けた国内検討体制

分科会	担当議題	議題内容	関連決議	責任 WP	CPM 章
規則・計画分科会	1.6	275–3000GHz 以上 利用	950, 955	1A	4
固定分科会	1.8	71–238GHz 固定	731, 732	5C	3

WRC-12 に向けた国内会合の主なスケジュールは下記 URL の参考資料 4(WRC-12 に向けた主な会合スケジュール)に示されている。

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/inter/wrc/wrc12/34kai.htm>

国内において議題 1.6 に関しての積極的な動きは特にないのが現状である。

【テラヘルツに関連する ITU-R Question 一覧、他】

以下の一覧表に示す“ITU-R Question”が各 Study Group (SG)に挙げられている。これらの情報は、今後テラヘルツ帯に関しどの SG で議論するのが適当か？ また、どのような議題を立てて行くのが適当か？ と言った戦略を考える上で重要な情報となっている。

List of ITU-R Questions on Terahertz Subject					
Study Group	Question No.	Category	Status	Working Party	Abstract
01 Spectrum management	228/1	C1	Suppressed on 27 Oct 2008	1A	Possibility and relevance of including in the Radio Regulations frequency bands above 3 000 GHz
03 Radiowave propagation	228/1-3	C1	Active	3M	Propagation data required for the planning of space radio communication systems and space science service systems operating above 275 GHz.
04 Satellite services	264/4	C2	Active	4A	Technical and operational characteristics of networks of the fixed-satellite service operating above 275 GHz.
05 Terrestrial services	113-2/5	C1	Active	5C	Frequency sharing and compatibility between systems in the fixed service and systems of the Earth exploration-satellite service and the space research service.
	245/5	C1	Active	5C	Fixed service applications using frequency bands above 3 000 GHz.

07 Science services	226/7	C2	Active	7D	Frequency sharing between the radio astronomy service and other services in bands above 70 GHz.
	231/7	C2	Active	7C	Earth exploration-satellite service (active) and space research service (active) operating above 100 GHz.
	235-1/7	C2	Active	7B, 7C, 7D	Technical and operational characteristics of applications of science services operating above 275 GHz.

The categories used to identify the priority and urgency of Questions to be studied are:	
C:	Conference-oriented Questions associated with work related to specific preparations for, and decisions of, world and regional radiocommunication conferences:
C1:	Very urgent and priority studies, required for the next World Radiocommunication Conference;
C2:	Urgent studies, expected to be required for other radiocommunication conferences;
S:	Questions which are intended to respond to:
-	Matters referred to the Radiocommunication Assembly by the Plenipotentiary Conference, any other conference, the Council, the Radio Regulations Board;
-	Advances in radiocommunication technology or spectrum management;
-	Changes in radio usage or operation:
S1:	Urgent studies which are intended to be completed within two years;
S2:	Important studies, necessary for the development of radiocommunications;
S3:	Required studies, expected to facilitate the development of radiocommunications

“Technical Report”を入力する場合、いずれの Working Party (WA)に入力するにしても“Technical Report”として議長に無視されないように作成することが必要である。時期は新しい Study Period に入る 2011 年 6 月が一番早いタイミングとなる。それ以降では、さらに 3 年後が目

安となる。下記に示す“Active”な議題に絡めて提案して行く等、状況を整理し、今後出現するサービスを見込んで進めることが重要となる。

IAU (International Astronomical Union)からは、WRC-12 Agenda item 1.6 Resolution 950 に関連して、日本の国立天文台が中心となって Document 7/95-E “Sharing between the radio astronomy service and active services in the frequency range 275-3 000 GHz”が 2010 年 10 月に WP7D に入力されている。この文書に関連しては「測定法がない以上 RR、分配に影響が及ぶことはない」と言え、現状で能動業務(active services)を制限するものではない。当該入力文書においては、下記の引用の通りワーストケースとしての地上の天文観測業務への与干渉条件を計算している。主な条件は、送信機と受信機が高度 3000m において対向しており、送信機は直径 30cm のアンテナを持ち現在得られる最大の出力で動作しているとしている。

A “close-to-worst-case” terrestrial scenario for interference to the radio astronomy service from an active system in the 275-3 000 GHz range would be a transmitter running maximum available RF power into a relatively large transmit antenna pointing directly at a radio telescope, with both transmitter and telescope at a high elevation. To simulate this scenario and determine the distance at which the existence of the transmitter could be problematic for the radio telescope, it will be assumed that the radio telescope and the transmitter are both at 3 000 m altitude, that the transmitter is running maximum available power (equation (8) $P_T = 0.01(1000 - f_{\text{GHz}})$ dBm), and that the transmit antenna is 30 cm in diameter with $\alpha = 0.75$. Under these assumptions, the distance at which interference (as defined by equation (10)) would occur can be computed. The results are plotted in Figure 2 for 275-1 000 GHz, and in Figure 3 for 1 000-3 000 GHz.

この時の最大離隔距離を周波数 275-1 000 GHz に対して示したものが当該文書の図 4-1、周波数 1 000-3 000 GHz に対して示したものが、当該文書の図 4-2 である。それぞれ下記に引用する。

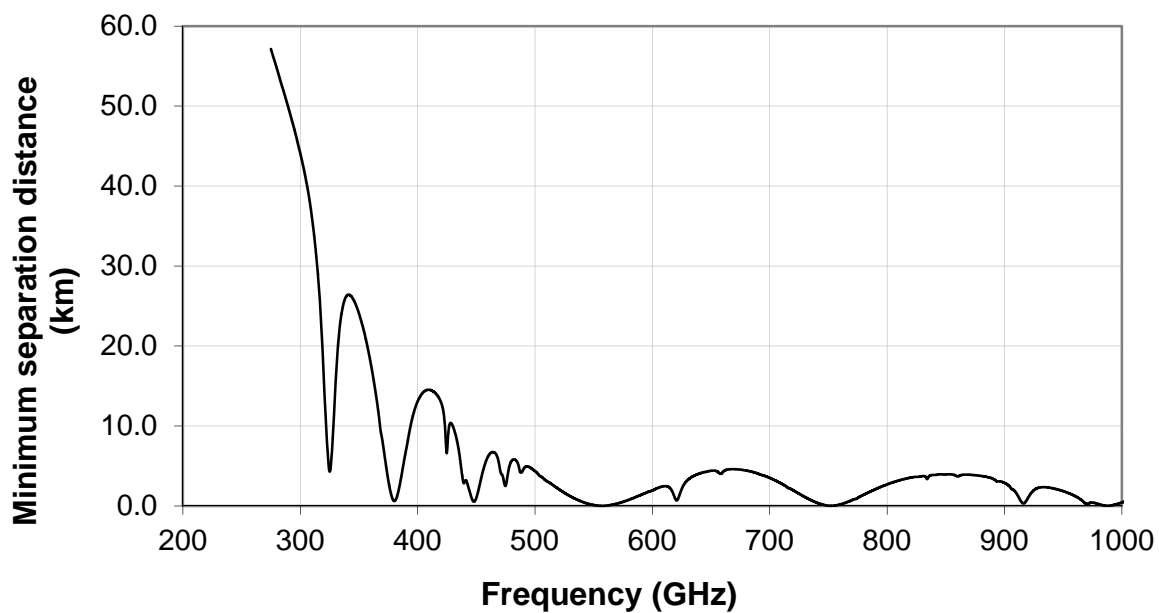


図4-1 地上の電波観測業務への与干渉条件（周波数 275-1,000GHz）

Distance beyond which a transmitted signal at frequencies between 275 and 1 000 GHz would not exceed radio astronomy interference thresholds extrapolated from Recommendation ITU-R RA.769, based upon near-worst-case assumptions described in the text

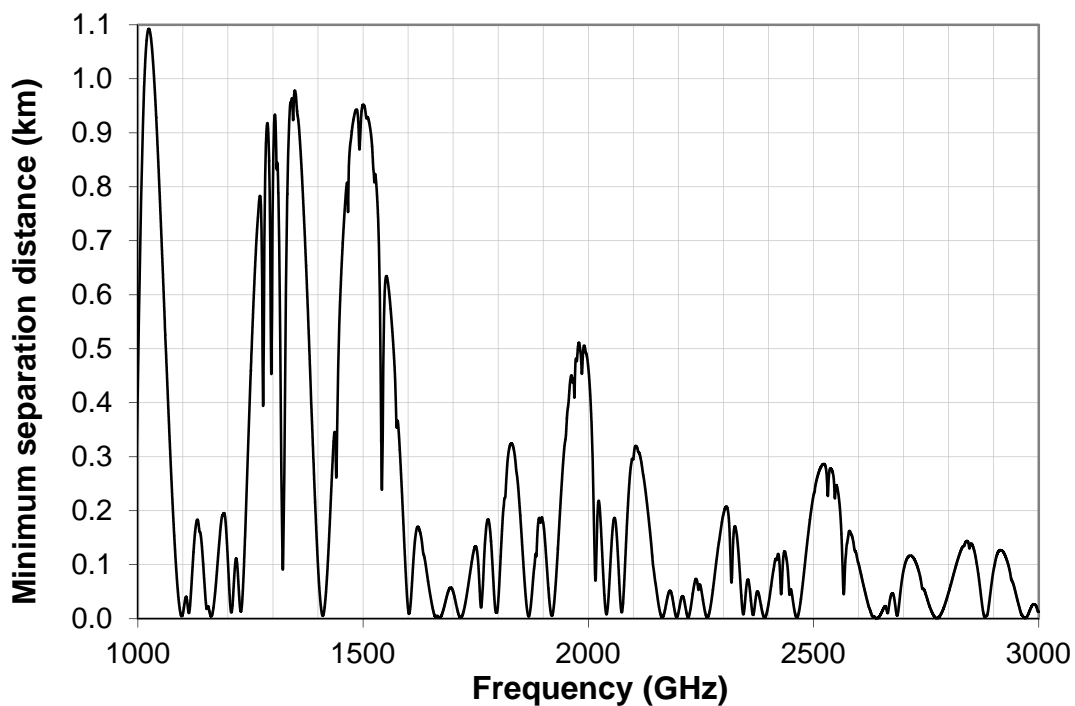


図4-2 地上の電波観測業務への与干渉条件（周波数

Distance beyond which a transmitted signal at frequencies between 1 000 and 3 000 GHz would not exceed radio astronomy interference thresholds extrapolated from Recommendation ITU-R RA.769, based upon near-worst-case assumptions described in the text

上記図4-1を見ると、離隔距離が最大となるのは 275GHz (出力 7.25dBm)で、その距離は約 60km 弱である。上記の計算条件はチリの ALMA 望遠鏡を想定しているものであるため、ALMA から 60km 以内に出力 7.25dBm 以上の送信機を持ち込まない限り、その他の地域では共用できると言ってもよい。

また当該文書では、航空機搭載や衛星搭載の送信機からの与干渉条件も合わせて検討している。その計算条件を下記に引用する。いずれの場合も、特殊な場合を除き、干渉を与える可能性は低いとしている。

“Airborne transmitter into radio telescope”

The assumed interference scenario is:

- Radio astronomy observatory located at an elevation of 3 000 m.
- Airplane flying at an altitude of 10 000 m.
- Transmitter antenna with 5 cm diameter with 75% illumination efficiency pointing directly downward.
- Airplane flies directly over the centre of the radio telescope, at a speed of 600 km/h.
- Frequency of 275 GHz.

This scenario represents a near-worst-case situation because: the transmit antenna is of relatively small size (wide beam); the frequency is at the lower limit of the band under consideration, creating the widest antenna beam; and the airplane flies directly over the telescope at a relatively low speed, maximizing the duration of interference.

“Satellite transmitter into radio telescope”

For computing the possibility of interference from non-GSO satellites into a radio telescope, the same methodology as Section 5.2 is used. The following assumptions are employed:

- circular orbit;
- transmitter antenna of 5 cm diameter and 75% illumination efficiency pointed directly downward, with maximum available transmit power (7 dBm), resulting in 50 dBm e.i.r.p.;

- satellite passes directly over the centre of the radio telescope;
- frequency of 275 GHz.

WRC-12 の議題 1.6 では、受動業務(天文、地球環境計測等)によるスペクトルの使用状況を現行化するために無線通信規則第 5.565 号(No. 5.565 of the Radio Regulations (RR))のフットノートに記述されている受動業務が利用する周波数ラインリストの見直しを行うこととなっている。現状では下記に引用する周波数ラインが、挙げられている。そのリストを下記に引用する。

- radio astronomy service: 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz, 426-442 GHz, 453-510 GHz, 623-711 GHz, 795-909 GHz and 926-945 GHz;
- Earth exploration-satellite service (passive) and space research service (passive): 275-277 GHz, 294-306 GHz, 316-334 GHz, 342-349 GHz, 363-365 GHz, 371-389 GHz, 416-434 GHz, 442-444 GHz, 496-506 GHz, 546-568 GHz, 624-629 GHz, 634-654 GHz, 659-661 GHz, 684-692 GHz, 730-732 GHz, 851-853 GHz and 951-956 GHz.

この改訂版となるリストが”Question 235-1/7”関連として WP7D に挙げられているが、上記の議論を踏まえると、能動業務と受動業務の間では、特殊な事例を除き、干渉を与える可能性は無視し得るほど小さいことから、能動業務側から WRC-12 の議題 1.6 に関して過剰に反応する必要は、少なくとも現時点では、無いと言ってよい。

WRC-12 の議題 1.8 では、71GHz-238GHz が対象となっている。100GHz 以上 10THz 以下の周波数帯をテラヘルツ帯と定義するのであれば、この議題もテラヘルツ帯関連議題として考える必要がある。しかしながら議題 1.6 と異なり、既に周波数利用が定められている 275GHz 以下の周波数帯であることから、議論状況を常に掌握しておく必要はあるが、議題 1.8 に関して「テラヘルツ帯」として何らかの活動をする必然性は乏しいと言える。

(2) IEEE 802.15 WPAN Terahertz Interest Group (IGthz)

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE:(米)電気電子技術者協会)の近距離無線通信の標準化を進める IEEE802.15 委員会が「テラヘルツ波に関する検討部会 (Interest Group : IGthz)」を 2008 年に立ち上げた。その目的は無線通信のためのテラヘルツ帯電磁波を利用の実現可能性について調査するためである。IEEE802.15 ワーキンググループは Interest Groups(IG)、Study Groups(SG)、Task Groups(TG)、および常任委員会から成っており、IG は技術調査する目的のための非公式委員会、SG は TG(すなわち、PAR と 5C)を形成するための書類を作る非公式の委員会、TG は標準化規格を生成する選挙権を必要とする正規委員会である。IG が

SGを経てTGとなるには、問題となっている技術が「5つの評価基準(5C):1. 広い市場の潜在能力、2. 互換性、3. 明確な独自性、4. 技術的実行可能性、5. 経済実行可能性」を満たしていることを示す必要がある。

IGthzにおいては、標準化の第一段階としてテラヘルツ電磁波の無線通信への利用可能性を調査している。300GHz(おそらくは275GHz以上という意味)~3000GHzの2700GHz帯域幅の、現状では利用目的が定められていない「無人の帯域」と認識されている周波数帯を対象としている。特に近年 f_{max} が1THzを超えて来ている超高周波トランジスタによって利用可能となる300GHz(~600GHz)帯の電磁波を用いた100Gbit/s超の無線伝送に、議論の焦点を合わせている。

現在の議長はドイツの Technische Universität Braunschweig の Prof. Thomas Kürner、副議長は米国 ATT の Dr. David Britz であり、事務局は日本の NTT 味戸克裕である。彼らの方針は、上記5つの評価基準に関してテラヘルツ技術の現状を完全に理解したいと言う点にあり、そのため年4回程度の会合に多くの参加者が参加するように呼びかけている。IGthzの全ての文書等には <http://www.ieee802.org/15/pub/IGthz.html> からアクセスでき、現在の議論内容を用意に理解できるようになっている。

2011年3月時点でIGthzが立ち上がって3年程度が経過しているが、IGthzへの参加者はあまり拡大しておらず、会合へのおおよその参加者は約20名以下程度に限られている。今後はさらに参加者を募り、上記5C、特に市場性や経済実行可能性を明確に示し、多くの参加者を得ることが重要である。

4-3 電波干渉(電波天文)

(テーマ) 電波天文関係について

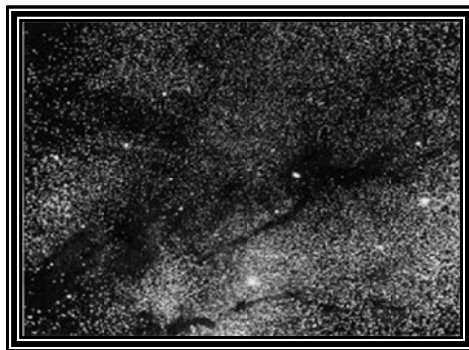
(講師) 大阪府立大学 理学系研究科 教授 小川 英夫

実際に、THz帯を地上での業務に利用した場合に、電波干渉の問題となるのか、委員会にて議論を行うため、日本国内および世界で天文用に利用されている、あるいは利用予定の100GHz以上の周波数帯域の研究について、装置面で詳しい大阪府立大学 理学系研究科 宇宙物理学研究室の小川英夫先生に講演をいただいた。

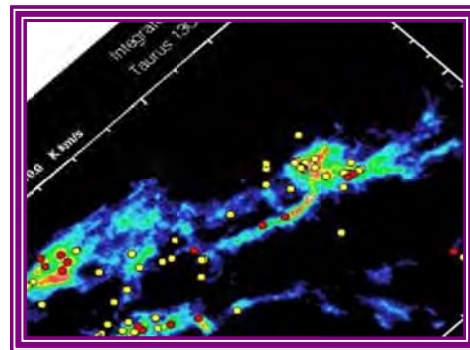
電波天文学において0.1~1THz帯を観測するのは、主に、惑星誕生の謎、銀河誕生の謎、生命誕生の謎の3つの謎を解明するためであり、現在、そのために利用されている電波望遠鏡は、以下のものがある。

- ・ 国内
 - 45m(国立天文台)(天文) 100~150GHz
 - 10m×5 (国立天文台)(天文) 100~230GHz
 - 1.85m (大阪府大)(天文) 115、230、345GHz
 - 0.6m(東大)(天文) 230GHz
 - 0.01m(国立環境研究所(つくば、陸別))(大気) 100GHz
- ・ 南米(チリ)
 - ASTE(国立天文台)(天文) 100~800GHz
 - ALMA(国立天文台ほか)(天文) 12m×54台
2012年稼働予定 7m×12台 12m×4台 100~800GHz
 - NANTEN2(名大)(天文) 100~800GHz
 - 0.01m(名大)(大気) 100~250GHz
- ・ 南極
 - 1.2m(筑波)(天文)(大気)・・・予定 230~800GHz
 - 0.01 (名大)(大気)・・・予定 200~300GHz

電波観測の特長: 可視光では見えない高密度の領域調査



可視光写真
おうし座にある暗黒星雲



電波観測
おうし座にある分子雲
(名古屋大学グループによる観測)

国内の電波望遠鏡は、ほとんどが長野県の国立天文台野辺山宇宙電波観測所内にあり、主に、野辺山にある電波望遠鏡のアンテナへの干渉の有無が国内では対象となる。



図 4-3 国立天文台野辺山 45m 電波望遠鏡 ©国立天文台

一方、世界的にはヨーロッパを代表する ESO、東アジアを代表する日本の国立天文台 (NAOJ)、北米を代表する米国国立電波天文台 (NRAO) が合同で南米チリのアタカマ高地 (砂漠) に建設を進めている ALMA: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array が中心である。



図 4-4 ALMA の巨大電波干渉計群 ©国立天文台

ALMA では、口径 12m の電波望遠鏡 54 台および口径 7m の電波望遠鏡 12 台を利用し、観測周波数 30~950GHz の範囲を利用する計画となっている。この周波数帯を 10 個のバンドに分け、日欧米が表 4-2 に示すような役割分担で装置開発を推進しており、日本 (国立天文台) は、最もバンド数が多く、バンド 4, 8, 10 の 3 つのバンドの開発を進めている。

表 4-2 ALMAの観測周波数バンド

ALMA の観測周波数

受信バンド	周波数帯域(GHz)	雑音温度	担当機関
バンド1	31.3-45.0	17 K	—
バンド2	67-90	30 K	—
バンド3	84-116	37 K	北米(カナダ)
バンド4	125-163	51 K	国立天文台
バンド5	163-211	65 K	—
バンド6	211-275	83 K	北米(米国)
バンド7	275-373	147 K	欧州(フランス)
バンド8	385-500	196 K	国立天文台
バンド9	602-720	175 K	欧州(オランダ)
バンド10	787-950	230 K	国立天文台

これらの装置を構成する技術要素には、図 4-5 に示すようなブロックがあり、光学系(コルゲートホーン)、偏波分離器、サイドバンド分離ミキサ(超伝導ミキサ)、冷却増幅器 の4つの技術開発が重要である。

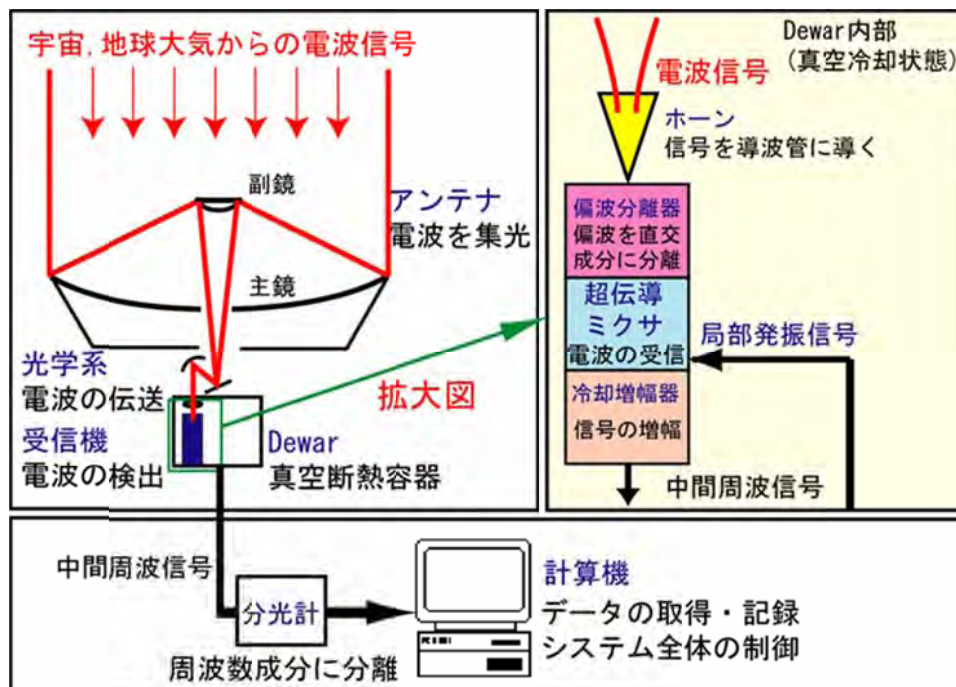


図 4-5 電波望遠鏡システム構成

これらの各要素を開発するベースとなる技術は、ヘテロダイン受信方式を用いて THz 波通信を実現することを想定した場合には、共通する機能も考えられる。

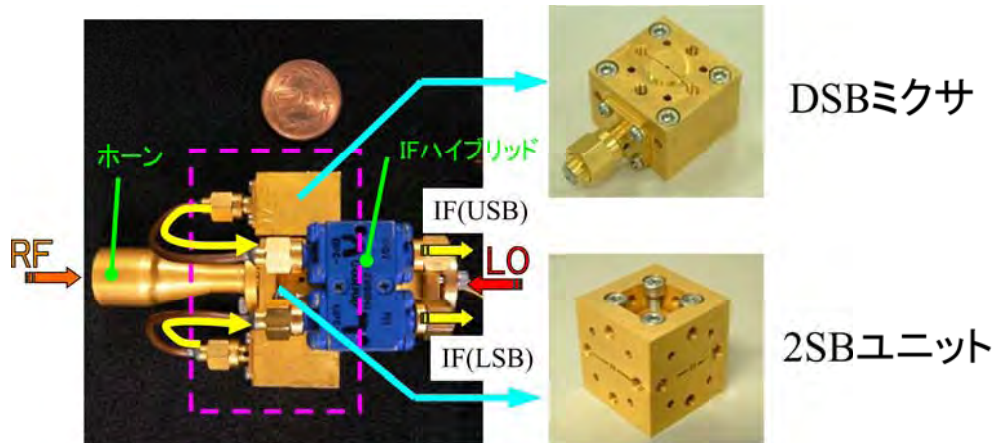


図 4-6 230GHz 帯サイドバンド分離受信機

図 4-6 は、大阪府立大で開発し、実際の電波望遠鏡に搭載され、天文観測に実用されている 230GHz 帯サイドバンド分離受信機である。

以上より、日本国内では、THz波帯を利用した地上業務を商用として利用できるようにするためには、主に野辺山の国立天文台のアンテナ群への影響を考慮した干渉に関する評価が必要である。これらについては、総務省による情報通信審議会の小電力委員会にて検討が進められている 70GHz帯/80GHz帯無線システムによる離隔距離に準ずるものとなることが想定される。また、海外の場合は、チリでの ALMA 計画への影響を考慮した評価が重要であり、4-2 の図 4-1 で示したとおり、離隔距離が最大となる 275GHz (出力 7.25dBm)の約 60km 弱がひとつの目安として考えられる。

なお、本検討では、主に電波天文用のアンテナへの与干渉という視点での検討であったが、これ以下に、地球探査衛星などの地上の環境等をモニタリングする衛星への与干渉についても検討する必要がある。

いずれにせよ 100GHz～1THz を受動業務として利用している国立天文台等との議論を継続的に行い、周波数利用に関するコンセンサスを醸成していくことが重要である。