

THz帯無線通信及び無線標定業務用 スペクトラムの標準化動向

2021年4月28日

小川博世

IEEE Life Fellow

(国研)情報通信研究機構 テラヘルツ研究センター

無線通信規則(RR)の周波数配置表

248-3 000 GHz

Region 1	Region 2	Region 3
248-250	AMATEUR AMATEUR-SATELLITE Radio astronomy	5.149
250-252	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (passive) RADIO ASTRONOMY SPACE RESEARCH (passive)	5.340 5.563A
252-265	FIXED MOBILE MOBILE-SATELLITE (Earth-to-space) RADIO ASTRONOMY RADIONAVIGATION RADIONAVIGATION-SATELLITE	5.149 5.554
265-275	FIXED FIXED-SATELLITE (Earth-to-space) MOBILE RADIO ASTRONOMY	5.149 5.563A
275-3 000	(Not allocated) <u>5.564A</u> 5.565	

From 5.149, administrations are urged to take all practicable steps to protect the radio astronomy service from harmful interference

脚注5.565

5.565

275-1000GHzの周波数範囲のうち、以下の周波数帯は、受動業務のアプリケーションのために主管庁により使用が特定されている。

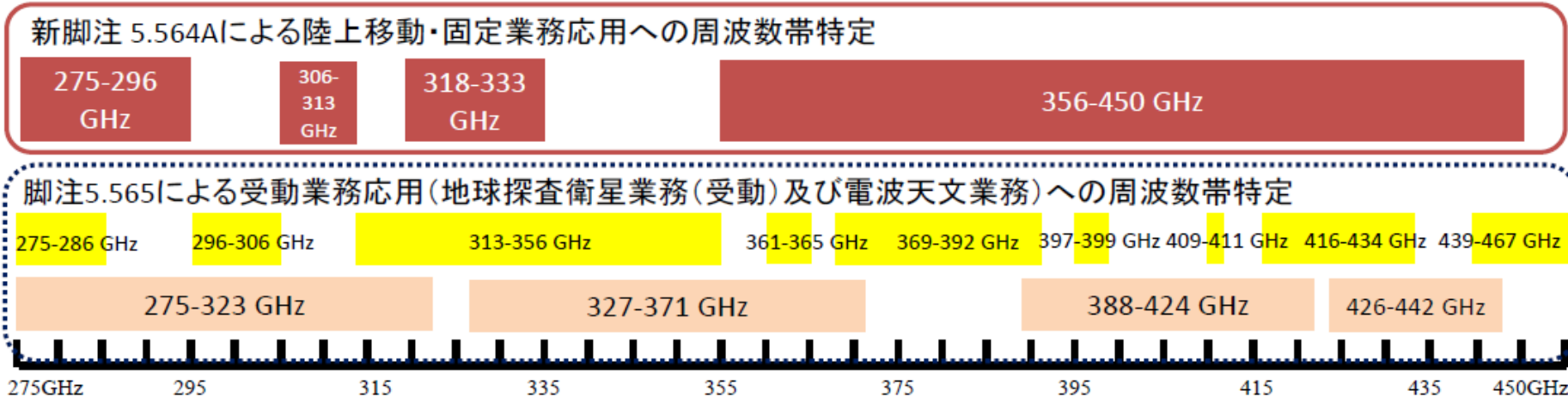
- 電波天文業務: 275-323GHz, 327-371GHz, 388-424GHz, 426-442GHz, 453-510GHz, 623-711GHz, 795-909GHz及び926-945GHz
- 地球探査衛星業務(受動)及び宇宙研究業務(受動): 275-286GHz, 296-306GHz, 313-356GHz, 361-365GHz, 369-392GHz, 397-399GHz, 409-411GHz, 416-434GHz, 439-467GHz, 477-502GHz, 523-527GHz, 538-581GHz, 611-630GHz, 634-654GHz, 657-692GHz, 713-718GHz, 729-733GHz, 750-754GHz, 771-776GHz, 823-846GHz, 850-854GHz, 857-862GHz, 866-882GHz, 905-928GHz, 951-956GHz, 968-973GHz及び985-990GHz

受動業務による275-1000GHzの周波数帯の使用は、能動業務によるこの周波数帯の使用を妨げてはならない。275-1000GHzの周波数範囲を能動業務のために利用しようとする主管庁は、275-1000GHzの周波数範囲の分配表が規定される日まで、これらの受動業務を有害な混信から保護するため、実行可能な全ての措置を執ることを要請される。

1000-3000GHzの周波数範囲における全ての周波数は、能動業務及び受動業務の双方に使用することができる。

WRC-19議題1.15の結果

- WRC-19議題1.15:275-450 GHzの周波数範囲で運用する陸上移動業務応用と固定業務応用への周波数特定の検討
- 新脚注5.564Aによる周波数帯275-296 GHz, 306-313 GHz, 318-333 GHz, 356-450 GHzのLMS/FS応用への特定
- 特定された総帯域幅は137 GHz
- 脚注5.565は変更無し



WRC-19以降に追加された国内周波数分配の脚注

<https://www.tele.soumu.go.jp/resource/search/share/pdf/kkokunai.pdf>

J296

275-450GHzの周波数帯での固定及び陸上移動業務のアプリケーションの運用:

275-296GHz、306-313GHz、318-333GHz及び356-450GHzの周波数帯は、地球探査衛星業務(受動)を保護するために特定の条件を必要としない陸上移動及び固定業務のアプリケーションを導入しようとする主管庁によって特定される。

296-306GHz、313-318GHz及び333-356GHzの周波数帯は、地球探査衛星業務(受動)のアプリケーションの保護を確実にする特定の条件が、決議第731(WRC-19、改)に従って決定される場合にのみ、固定及び陸上移動業務のアプリケーションで使用できる。

電波天文のアプリケーションが使用される275-450GHzの周波数帯では、陸上移動及び/又は固定業務のアプリケーションから電波天文のサイトを保護するため、決議第731(WRC-19、改)に従いケースバイケースで、特定の条件(最小離隔距離や回避角度など)が必要になる場合がある。

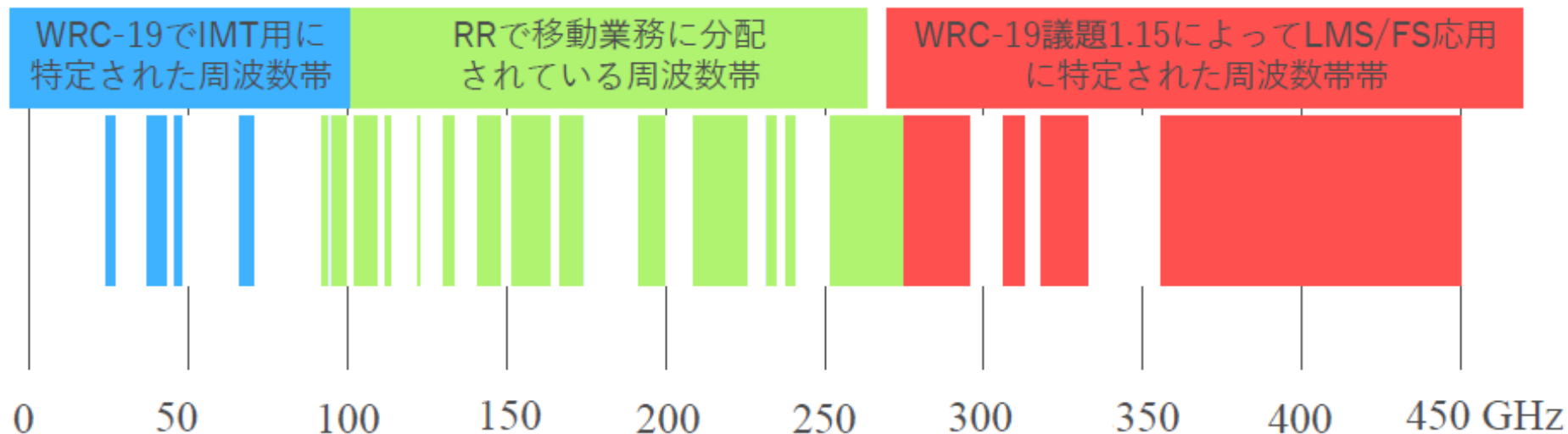
陸上移動及び固定業務のアプリケーションによる上記の周波数帯の使用は、275-450GHzの周波数帯の無線通信業務の他のアプリケーションによる使用を妨げるものではなく、また、優先権を確立するものでもない。

第6世代移動通信システムの周波数帯特定に向けて

下図は、

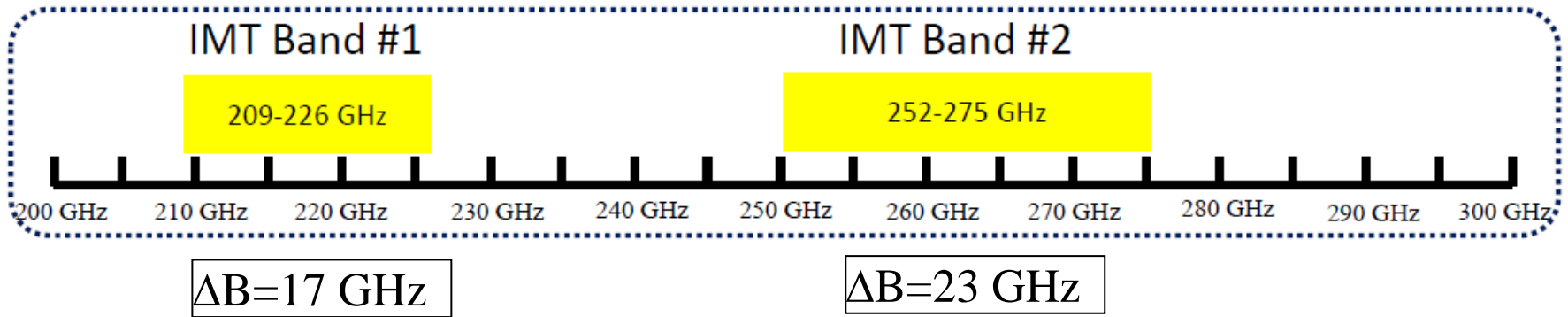
- (1) WRC-19議題1.13で特定されたIMT周波数帯
- (2) RRで移動業務に分配されている周波数帯 (92GHz以上)
- (3) WRC-19議題1.15でLMS/FS応用に特定された周波数帯

を示す。今後、76GHz以上の周波数帯のIMTへの特定を目指すWRC-27議題の可能性が高いことが予想される。

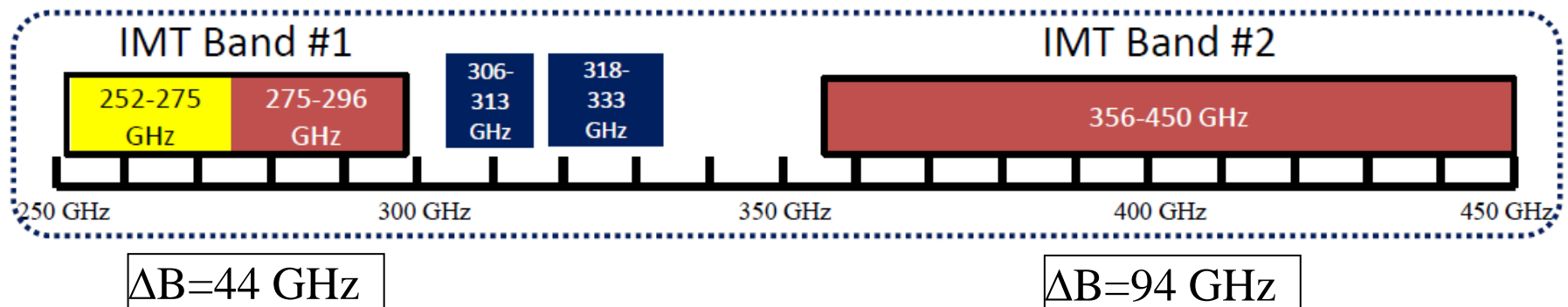


連続的に広帯域な帯域幅が得られる周波数帯(2)

(1) 移動業務に既に分配されている周波数帯の利用



(2) 移動業務に既に分配されている周波数帯とWRC-19議題1.15によって特定された周波数帯の利用



ITU-R WP 5DによるIMT将来技術に関するレポートの取組み

ITU-R WP 5Dにおいてこれまで下記のレポートが作成されてきた。

- (1) 第3世代移動通信システム (IMT-2000) の次のシステムのためのレポートM.2038「Technology trends」(2004年発行)
- (2) 第4世代移動通信システム (IMT-Advanced) の次のシステムのためのレポートM.2320「Future technology trends of terrestrial IMT systems」(2014年発行)
- (3) WRC-19が終了し、第5世代移動通信システム (IMT-2020) に新たに周波数帯が特定された状況を踏まえて、さらに2030年ごろの導入を想定したIMTの将来技術動向レポートM.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS OF TERRESTRIAL IMT SYSTEMS TOWARDS 2030 AND BEYOND]の作成に向けた作業が開始された。

ITU-R WP 1Aにおけるテラヘルツスペクトラムの研究動向

- WRC-12議題1.6の責任グループとして、脚注5.565(WRC-2000)の見直し(受動業務特定周波数帯の見直し)に関する検討を行った(2007-2012年)。
- 275-1000 GHzにおける能動業務の技術運用特性を研究する研究課題(237/1)を承認(2013年)。
- 275-3000 GHzにおける能動業務の動向に関するレポートSM.2352を完成(2015年)。
- WRC-19議題1.15の責任グループとして275-450GHzでのLMS/FSアプリケーションの特定に関する検討を行い、LMS/FSアプリケーションと受動業務間の共用両立性検討に関するレポートSM.2450を完成(2016-2019)。
- レポートSM.2352-0の改定に向けた作業を開始(2020-)。
- WRC-27議題2.1の初期検討を開始(2020-)。

ITU-R WPs 5A, 5Cにおけるテラヘルツスペクトラムの研究動向

- 275-1000 GHzにおける陸上移動業務(LMS)/固定業務(FS)応用の技術運用特性を研究する研究課題(256/5)/(257/5)を承認(2015年)。
- WRC-19議題1.15の寄与グループとして275-450GHzにおけるLMSとFSの技術運用特性とスペクトラム要求値に関するレポートM.2417とF.2416をそれぞれ完成(2017年)。
- レポートM.2417-0とF.2416-0の改定作業を開始(2020-)。
- WRC-19でLMS/FS応用に特定できなかった296-306 GHz、313 318 GHz、333-356 GHzの3周波数帯をEESS(受動)保護の条件下で特定するための緩和技術と具体的な条件に関する新レポート作成に向けた作業をそれぞれ開始(2020-)。
- 周波数252-275GHz(252-275GHzは移動業務に既に分配済み、275-296GHzはWRC-19で特定)におけるLMSとFSの共存に関するレポート作成に向けた作業を開始(2020-)。

2010年に国交省により、ボディスキナーの導入検討を行うための実証実験が行われた。

- ① ミリ波帯アクティブ方式
- ② ミリ波帯パッシブ方式
- ③ テラヘルツパッシブ

その後、国交省は2015年に関西空港、成田空港、羽田空港において次ページに示す海外メーカー3社のボディスキナーの運用評価試験を行った。

その結果、羽田空港と関西空港にはL3社製が、成田空港にはSmiths社製が導入されている。

このようにミリ波アクティブ方式がパッシブ方式よりも運用実績が高いと思われる。

	機器	取得イメージ画像	メーカー・品名 大きさ(m)縦×幅×高 重量(kg) 検査時間	運用方法
ミリ波アクティブ			L3(米国) ProVision ATD 2.7×2.0×2.7(m) 682kg 約1秒	被検査者が機器内に入り、両手を上げて静止する。前後の検知器が約1秒スライドする。隠匿した物があるかは機械が自動判別し、装置に付いているモニターに表示。
			Smiths(独)eqo 1.7×1.1×2.1(m) 350kg リアルタイム	被検査者がゲートを通過しパネル脇に立って静止する。別室にいる画像検査者が身体(被服内)に隠匿した物があるか判別しオペレーターに無線等で伝達。
ミリ波パッシブ			Brijot Imaging System(米国) SafeScreen 1.47×1.59×2.14(m) 473.5kg リアルタイム	被検査者が機器の前に立ってゆっくり回転する。検査者は機器脇の画像検査者が隠匿した物があるか判別する。
			東北大学・マスプロ電工・中央電子 MPI 2 0.8×0.8×1.5(m) 200kg 前後で約10秒程度	被検査者が機器の前に立って静止する。機器脇の画像検査者がマーキングを参考に隠匿した物があるか判別する。
テラヘルツパッシブ			スルービジョンシステムズリミテッド(英国)T8000 0.9×0.7×2.48(m) 230kg 前後で約3~30秒	被検査者が機器の前に立って静止する。機器脇の画像検査者が隠匿した物があるか判別する。

メーカー (製造国)	機種		サイズ(m) 高さ×幅×奥行 重量	電波仕様	検査方法	
					検出方法及び表示画面	検出時間
L3 (米国)	(ア)	Provision ATD 	2.67×1.95×2.65 682kg	ミリ波 アクティブ方式	機器内部に入り、 両手を上げて静止 (約3秒間) 	(入場から画像確認まで) 7~10秒
	(イ)	Provision 2 	2.36×1.50×2.31 695kg			
Smiths (ドイツ)	(ウ)	eqo(エコ) 	2.11×1.08×2.42 470kg	ミリ波 アクティブ方式	両手を上げて 被験者が360度回転 (平均10~15秒間) 	(入場から画像確認まで) 12~20秒
Rohde & Schwarz (ドイツ)	(エ)	QPS200 	2.35×1.3×2.6 630kg	ミリ波 アクティブ方式	手を下ろして静止 (約0.064秒) 	(入場から画像確認まで) 約10秒

26-30 GHz

24 GHz

70-80 GHz

250GHz帯パッシブイメージング機器例

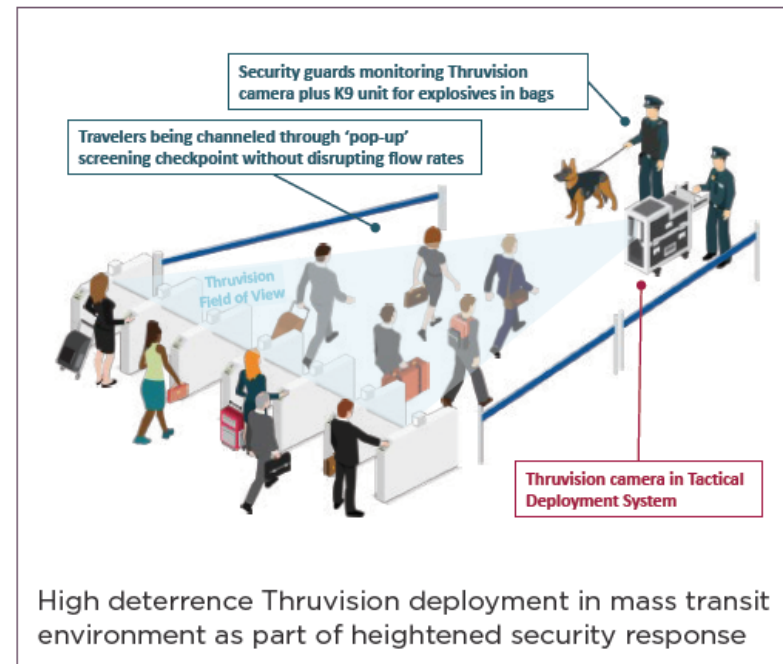
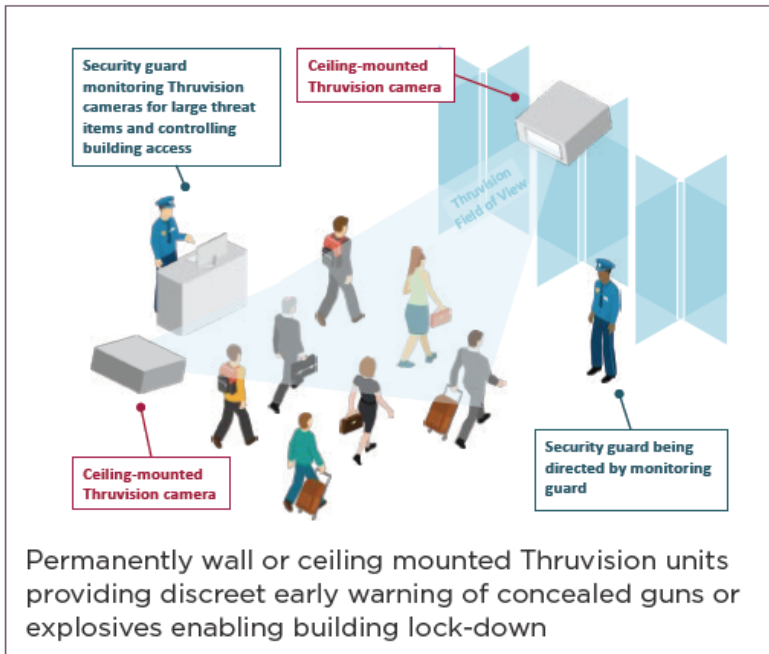
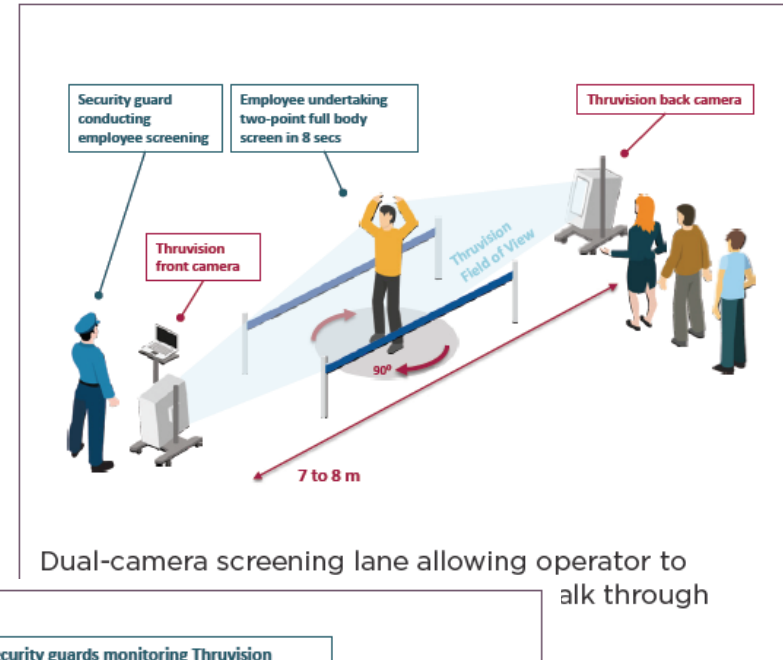
周波数: 250 GHz帯

帯域幅: ± 20 GHz

検出距離: 3~8 m

FoV @ 4.5 m: 1.50 x 0.80m

空間分解能: 3 cm



テラヘルツ帯アクティブイメージング研究開発例

TABLE 2. Specifications of active standoff imaging systems developed by SynView, PNNL, JPL, and Grajal *et al.*

Specifications	SynView	PNNL ¹	JPL ²	Grajal <i>et al.</i> ³
Center frequency	645 GHz	350 GHz	675 GHz	300 GHz
Bandwidth	10 GHz	9.6 GHz	28.8 GHz	27 GHz
Primary aperture diameter	23 cm	50 cm	100 cm	60 cm
Imaging speed	9 s (Measurement time)	10 s	1 s	0.5 s
Standoff distance	0.75~1.5 m	2~10 m	4~25 m	8 m
FOV	20 cm by 30 cm at 1 m	1.25 m by 2.5 m at 5 m	0.4 m by 0.4 m at 25 m	0.5 m by 0.9 m at 8 m
Lateral resolution	4 mm at 1 m	10 mm at 5 m	5 mm at 4 m	16 mm at 8 m
Range resolution	42 cm	Null	0.7 cm	1 cm

1 Pacific Northwest National Laboratory

2 Jet Propulsion Laboratory

3 Universidad Politécnica de Madrid

無線標定業務への周波数分配状況

WRC-27議題2.1による周波数分配の周波数範囲

Allocation to services		
Region 1	Region 2	Region 3
231.5-232	FIXED, MOBILE, Radiolocation	
232-235	FIXED, FIXED-SATELLITE (space-to-Earth) MOBILE, Radiolocation	
235-238	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (passive) FIXED-SATELLITE (space-to-Earth) SPACE RESEARCH (passive) 5.563A 5.563B	
238-240	FIXED, FIXED-SATELLITE (space-to-Earth) MOBILE, RADIOLOCATION , RADIONAVIGATION RADIONAVIGATION-SATELLITE	
240-241	FIXED, MOBILE, RADIOLOCATION	
241-248	RADIO ASTRONOMY, RADIOLOCATION Amateur, Amateur-satellite 5.138 5.149	
248-250	AMATEUR, AMATEUR-SATELLITE Radio astronomy 5.149	
250-252	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (passive) RADIO ASTRONOMY, SPACE RESEARCH (passive) 5.340 5.563A	
252-265	FIXED, MOBILE MOBILE-SATELLITE (Earth-to-space) RADIO ASTRONOMY, RADIONAVIGATION RADIONAVIGATION-SATELLITE 5.149	
265-275	FIXED, FIXED-SATELLITE (Earth-to-space) MOBILE, RADIO ASTRONOMY 5.149 5.563A	
275-3 000	(Not allocated) 5.564A 5.565	

特定検討範囲275-700GHz

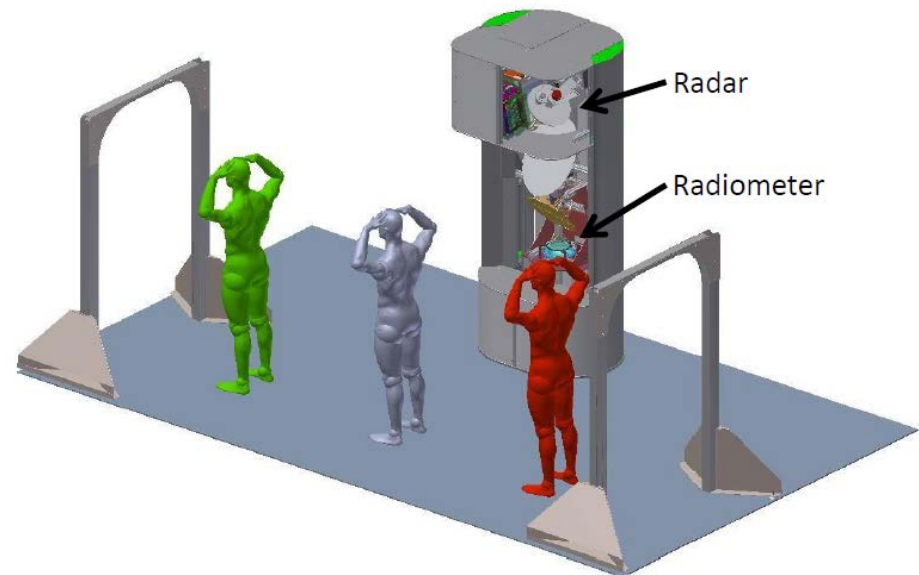
テラヘルツ帯無線標定業務のためのWRC-27議題候補

テラヘルツセンシングでは、テラヘルツレーダー、テラヘルツラジオメーター等の検討が進められており、例えば下図に示すウークスルー型セキュリティゲート等への応用が検討されている。

これらの動向を反映して、WRC-19議題10(WRCの将来議題)において、231.5-275 GHz帯における無線標定業務への分配の検討及び275-

700 GHzの周波数範囲内における無線標定業務への周波数特定の検討がWRC-27議題2.1として承認されている(決議663(WRC-19))。

WRC-23では再びWRC-27議題とするための議論が行われると思われる。



*High resolution, wide field of view, real time 340GHz 3D imaging radar for security screening, SPIE Defense + Security 2017
EU FP7 project CONSORTIS (Concealed Object Stand-Off Real-Time Imaging for Security)*

RESOLUTION 663 (WRC-19)

New allocations for the radiolocation service in the frequency band 231.5-275 GHz, and a new identification for radiolocation service applications in frequency bands in the frequency range 275-700 GHz

resolves to invite the ITU Radiocommunication Sector

1. to study the future requirements for globally harmonized spectrum for the RLS, in particular for millimetre and sub-millimetre wave imaging applications above 231.5 GHz, as referred to in considering a) and b);
2. to define technical and operational characteristics, including required protection criteria, for millimetre and sub-millimetre wave imaging systems;
3. to study sharing and compatibility of active millimetre and sub-millimetre wave imaging applications with other systems in the frequency range between 231.5 GHz and 275 GHz, while ensuring that the EESS (passive), SRS (passive) and RAS allocated in this frequency range are protected;
4. to conduct sharing and compatibility studies between RLS applications and EESS (passive), SRS (passive) and RAS applications operating in the frequency range 275-700 GHz, while maintaining protection of the passive service applications identified in No. 5.565;
5. to study sharing and compatibility of receive-only millimetre and sub-millimetre wave imaging applications with other systems in the frequency range between 275 GHz and 700 GHz;
6. to study possible new allocations to the RLS on a co-primary basis in the frequency range between 231.5 GHz and 275 GHz, while ensuring the protection of existing services in the frequency bands considered and, as appropriate, adjacent frequency bands;
7. to study a possible identification of frequency bands in the frequency range 275-700 GHz for use by RLS applications;