

2022年8月3日

■Beyond 5GにおけるTHz波通信（復習）

■2022年度6GWG狙い

テラヘルツシステム応用推進協議会  
6GWG長 寶迫 巖

■Beyond 5GにおけるTHz波通信（復習）

■2022年度6GWWG狙い

# テラヘルツ波通信に関する国際動向

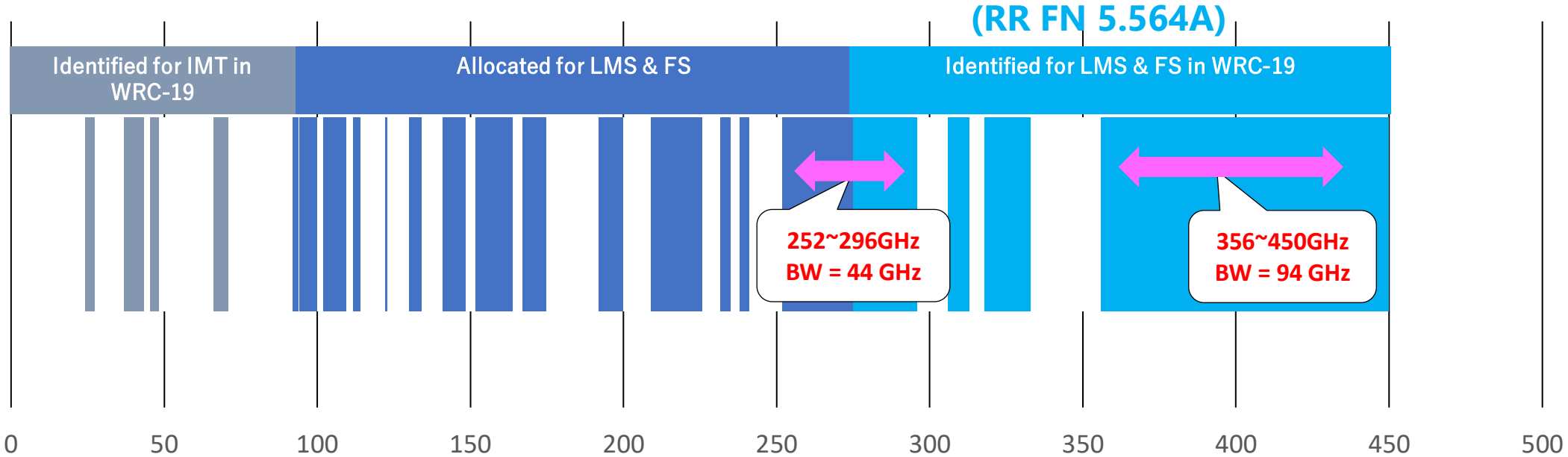
- Beyond 5G/6Gの議論が始まり，各種の白書等に次世代移動通信システムにおけるテラヘルツ帯（100GHz～10THz）利活用への期待が記載
- 各種の白書等記載からは凡そ100GHz～300GHz程度までの範囲がBeyond 5G/6Gでの新しい周波数帯の候補
- 高価ではあるがアンテナ，増幅器，変調器と言った部品や計測器が入手可能
- 世界初の300GHz帯を使って100Gbps を達成する標準IEEE802.15.3dに準拠した研究開発成果
- 成果の発表数では，約10年前のミリ波帯のそれと同程度
- 国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R）では2019年の世界無線会議（WRC-19）において，275GHz～450GHz間の合計137GHz幅の帯域を地上移動無線業務と固定無線業務に特定
- ITU-Rの次世代移動通信システムに関する議論では，WP5Dにおける技術動向調査（FFT：Future Technology Trends）にも記載。今後，ビジョン勧告（IMT-2030 Vision）等でも議論
- さらにビジョン勧告を受けて，3GPPでの議論がRel.18辺りから本格化する見込み

# テラヘルツ波の特徴

- 連続した10GHz～数十GHzもの帯域を、100GHz～450GHz程度までの周波数範囲で確保できる
- 100Gbps～1Tbpsと言った極めて高速・大容量な無線通信を実現することが可能
- 従来のように無線区間の容量を気にすることなく大容量の生データを非圧縮で送受することも可能
- 周波数が高いため自由空間伝搬損は大きくなるものの、小型高利得アンテナを用いてビームを送受信することで相殺することが出来る。
- この帯域では波長が3mm～1mm程度と短いため、例えば300GHz帯では25dBiと言った高利得アンテナであっても、開口アンテナの場合、その開口は8mm×6mm程度と小さく、小型機器への搭載が容易
- 狭いビームを用いることが前提となるため、空間分割によって同じ周波数であっても稠密に利用できる可能性があり、マイクロ波やミリ波とは異なった使い方を新たに定義するべきという議論[Ofcom]も出てきている。
- 適切にシステムを設定できれば、時分割や周波数分割ではない、空間分割による干渉回避が可能となる。

# Beyond 5G/6Gで新たに活用が期待されるTHz周波数帯

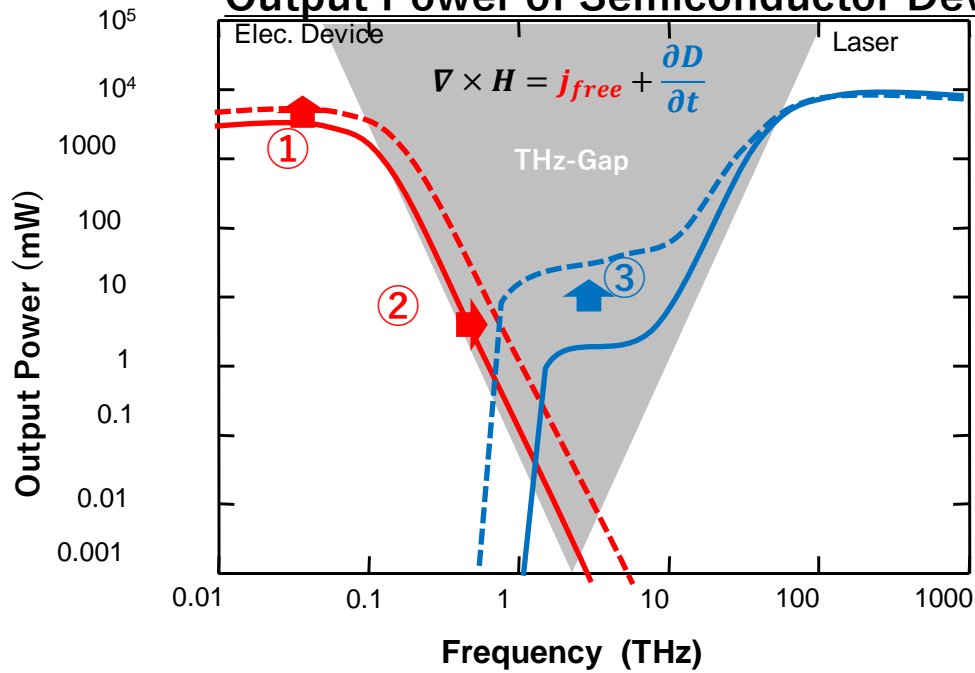
→IMT特定化@WRC23



**151.5-164 GHz (12.5 GHz)**  
**209-226 GHz (17 GHz)**  
**252-275 GHz (23 GHz)**

**275-296 GHz (21 GHz)**  
**306-313 GHz (7 GHz)**  
**318-333 GHz (15 GHz)**  
**356-450 GHz (94 GHz)**

# Output Power of Semiconductor Devices



# Friis transmission equation

$$P_{RX} = P_{TX} G_{TX} G_{RX} \underbrace{\left( \frac{c}{4\pi d f} \right)^2}_{\text{FSPL}}$$

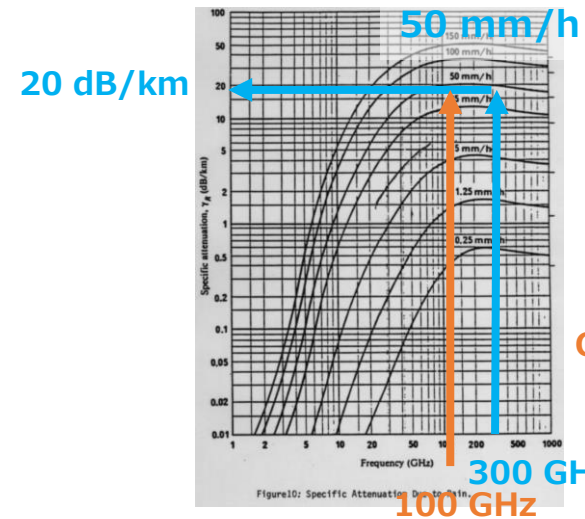
Antenna Gain :  $G = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$

**FSPL**  
(Free Space Path Loss)

# Shannon-Hartley theorem

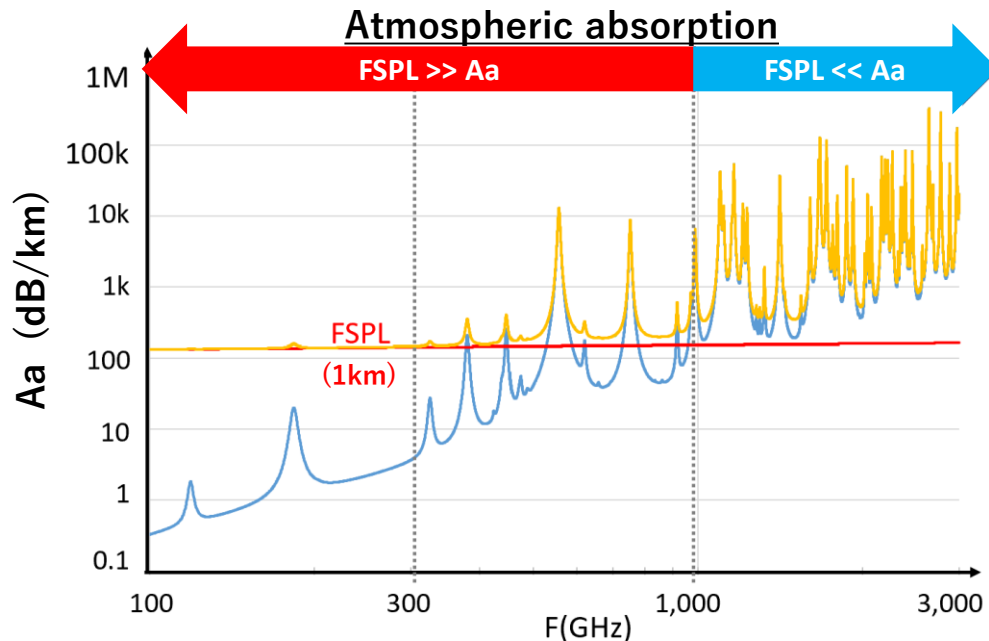
$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

# Specific Attenuation due to Rain



FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION OFFICE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY Bulletin Number 70 July, 1997 Millimeter Wave Propagation: Spectrum Management Implications

Cf. 10 dB/km @ 30GHz @ 50mm/h




# RF EMF Guidelines 2020

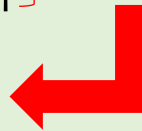
100 kHz - 300 GHz

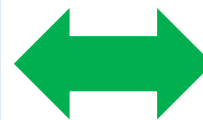


### テラヘルツ帯の考え方

- 短レンジ
  - 見通し動作
  - 超広帯域
- 干渉？
- 

### 電波法の考え方

- 長レンジ
  - 回り込み動作
  - 狭帯域
- 干渉！
- 



#### 【問題点】

受動業務側の提案（従来の電波法の考え方）では、帯域を細切れにされてしまい、テラヘルツ帯の特徴を活かした能動業務が事実上実施できなくなる可能性がある。

## Strategic work

### Terahertz radio spectrum

Advances in the use of wireless services continue at pace – and that means ever growing demand for the invisible electromagnetic spectrum that carries signals and data from place to place.

New technology is now being developed which has the potential to open up spectrum at extremely high frequencies – the Terahertz spectrum. We want to start a dialogue on how to ensure this spectrum is managed in the best way possible to support both existing and innovative new uses.

[Unlocking the potential of Terahertz radio spectrum \(PDF, 1.3 MB\)](#)

無線サービスの利用が急速に進む中、信号やデータをやり取りするための目に見えない電磁波の需要が高まっています。現在、**極めて高い周波数帯であるテラヘルツ帯の周波数を開放する可能性のある新技術が開発**されています。私たちは、**既存の用途と革新的な新しい用途の両方をサポートするために、この周波数帯を最善の方法で確実に管理する方法について対話を始めたい**と思います。



## Unlocking the potential of Terahertz radio spectrum

The role of spectrum management



Discussion document  
Published 2 December 2021

<https://www.ofcom.org.uk/spectrum/spectrum-management>

Many Terahertz applications are likely to use very small and highly focused radio beams and careful management and coordination between users could enable multiple networks and services to use the same spectrum with minimal interference. Where interference does occur, advanced signal processing and the use of AI might be used to identify and, potentially, mitigate its impact.

多くのテラヘルツアプリケーションは、非常に小さく、高度に集中した無線ビームを使用すると思われる、**ユーザー間の慎重な管理と調整により、複数のネットワークとサービスが干渉を最小限に抑えて同じ周波数を使用できるようになる可能性があります。**干渉が発生した場合、高度な信号処理とAIの利用により、その影響を特定し、軽減できる可能性があります。

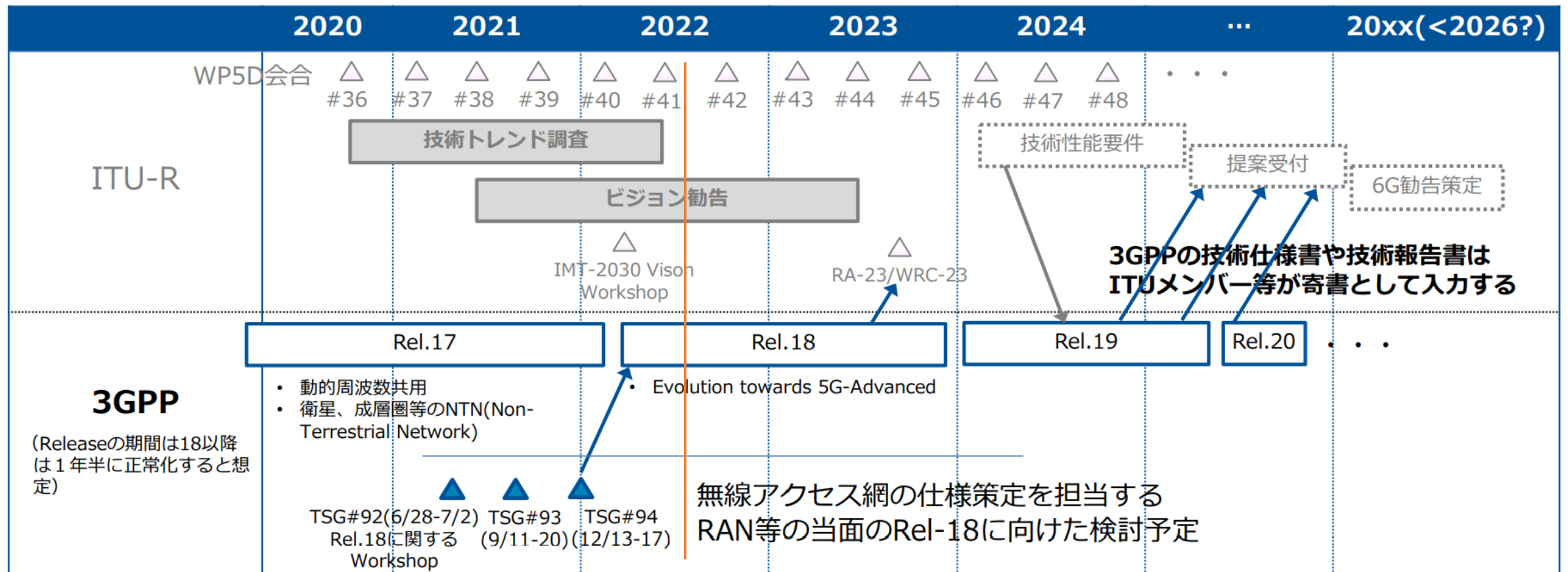
The different characteristics of this spectrum; the different nature of existing and potential future uses; and the technology developments in place to allow for greater sharing are setting the path to consider and manage this spectrum differently.

Using the processes that have driven spectrum management in lower frequency bands - such as the development of very use-specific coexistence studies based on conservative protection requirements - will not allow the full benefits of these bands to be realised.

この周波数帯の異なる特性、既存および将来の潜在的用途の異なる性質、より大きな共有を可能にする技術開発により、この周波数帯を異なる方法で検討・管理する道が開かれつつある。低周波数帯の周波数管理を牽引してきたプロセス、例えば**保守的な保護要件に基づく極めて用途に特化した共存研究の開発などを用いても、これらの周波数帯の利点を完全に実現することはできない。**

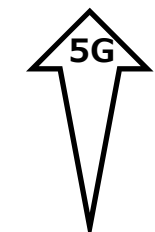
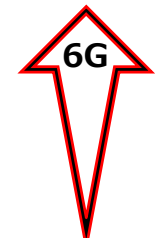
# B5G/6Gへ向けた標準化プロセス

- ITUの動きと並行して3GPPでもIMTに関する標準化活動を並行して行う。
- ITU-R WRC23でRR FN5.564Aの帯域等のIMT特定化を目指す。
- 3GPPではRel.19以降で議論が本格化するだろう。



# 8K画像ストリーミング伝送

	RGB量子化	データ量/画素	画素数	フレームレート	伝送速度(Gbps)		
	(bit)	(bit)	横×縦	(fps)	非圧縮	H.264 (1/150)	H.265 (1/300)
8K	12	36	7680×4320	120	144.0	0.96	0.480
				60	96.0	0.64	0.320
	8	24	30	48.0	24.0	0.32	0.160
4K			3840×2160	60	12.0	0.16	0.080
2K			1920×1080	30	1.5	0.08	0.040



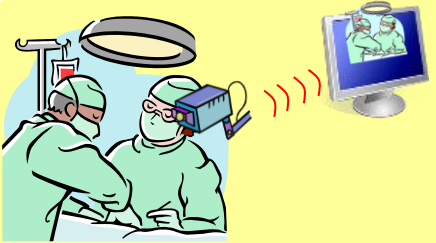
- ・ 非圧縮8Kストリーミングは明らかにTHz×6Gのユースケース
- ・ 対人では8Kストリーミングが最も要求スピードが速いAPPか？
- ・ M2Mではこれよりも高速なAPPがあり得る？

# Beyond 5G/6Gが切り拓くテラヘルツ通信の新サービスの例 (さらなる高速・大容量へのニーズ)



## VR/ARでエンタメに革新

- ・映像は現実と同様の高精細
- ・現実や体の動きに低遅延で追従



## 手術室に革新

- ・内視鏡映像のリアルタイム伝送
- ・無線接続でケーブル配線を激減



## 超高精細テレビに革新

- ・壁紙ほど薄い映像デバイス
- ・チューナ、録画機とは無線接続



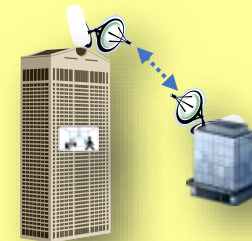
## 放送スタジオに革新

- ・無線接続でケーブル配線を激減
- ・新サービスに迅速に対応可能



## データセンターに革新

- ・無線接続でケーブル配線を激減
- ・新サービスに迅速に対応可能



## 無線システムに革新

- ・設置場所を選ばない小型アンテナでどこでも超高速通信(固定無線)

## テレワーク テレプレゼンス 遠隔授業、

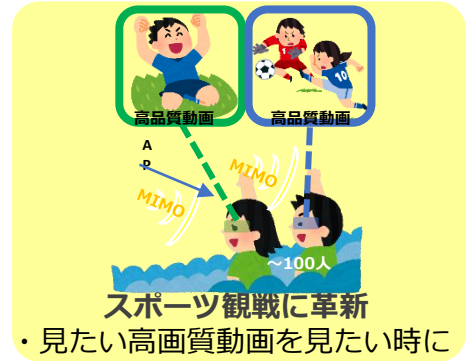
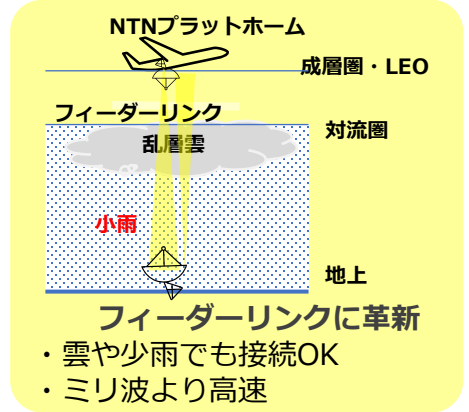
### 〇〇に革新

- ・新サービスに迅速に対応可能



# Beyond 5G/6G×VRゴーグルで 誰もが最前列に！

## 超高精細×超臨場感×同時多数参加で オンラインサービスに革新



# テラヘルツシステム応用推進協議会における テラヘルツ波通信「ユースケース」の検討（2021年度）

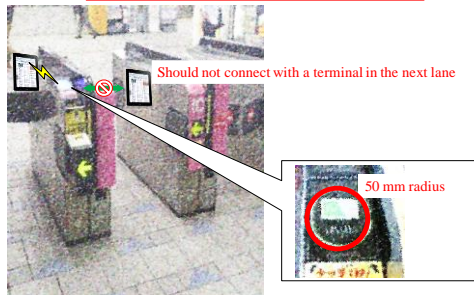
分類	子分類	提案者	内容	分類	動き/通信時間	グループ
主に ダウンリンク だけの用途	特定の場所 でリンクが 確立するもの	NICT、千葉工大	KIOSKダウンロード	A-1	分類・子分類の 分け方以外に、 端末などの動き の観点（リンク が固定か追従が 必要か）でまと まるなら、別の ユースケースと してまとめる。 （赤字のものは 他グループから のもので、重複 して議論。議論 してまとまらない なら排除したり、 他のものを 足したりしてOK 青字は端末等が 動き追従が必要 かもしれないもの）	A
		北里大学	テンポラリーな広帯域回線敷設	A-1		
		九州大学	ホットスポットを通過しながらの大容量データのダウンロード	A-1		
		NECセ・ネ、住友ベ アンリツ	自動運転用無線 非圧縮高解像度動画配信サービス	A-3 A-1		
		慶応義塾大学	Brain Machine Interface (BMI) 技術のワイヤレス化	A-3		
双方向で要 大容量リンク + 映像などセン シング情報 の取得	映像等大容量 データを やり取りし、 人間がそれ を操作	NECセ・ネ	遠隔医療の高画質化	A-2		
		住友ベークライト	遠隔医療の高画質化	A-2		
		キーサイト 慶応義塾大学	高性能VR/ARゴーグルによるミッションクリティカル分野でのリモート操作	A-2		
		九州大学	高精細画像を見ながらの機器の遠隔操作	A-2		
		九州大学、千葉工 大	ドローンによる高所作業、ドローンの制御、映像データ伝送	A-3		
	大容量データ の自動運 転などへの 利用	早稲田大学	車載レーダ等のレーダ信号の無線通信利用			
		NECセ・ネ	自動運転用無線			
		住友ベークライト	自動運転用無線			
		九州大学、千葉工 大、東工大	ドローンによる高所作業、ドローンの制御、映像データ伝送、ドローン間通信			
		九州大学	ホットスポットを通過しながらの大容量データのダウンロード			
人間を介さ ない情報の やりとり	千葉工大	MtoM（ロボット間、ロボット-施設/自動車間など）				
	アンリツ	スマートファクトリでの非圧縮高解像度画像伝送 環境モニタリング、センシング				
既存無線ネットワークの 拡張・置き換え		マクセル	データセンタ内		通信時間や信頼 性について、要 求される性能が 異なるものは別 なユースケース としてまとめる	C
		千葉工大	鉄道用無線			
		NECセ・ネ	ラストワンマイル関係 ビル間通信			
		東工大	僻地、途上国におけるインターネット環境の敷設			
		ソフトバンク	光ファイバ網の置き換え			
		千葉工大	ビーム制御による回線維持			
無線信号のセンシング利用		千葉工大	無線信号のセンシング利用			D

A-1 広帯域  
A-2 低遅延  
A-3 ビームトラッキング

# 世界初のテラヘルツ帯デファクト標準

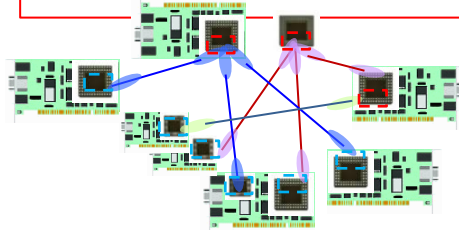
IEEE802.15.3d(2017) →改訂のためTG15.3mbがスタート  
(周波数帯の拡張、変調方式**APSK**)

## Close Proximity P2P



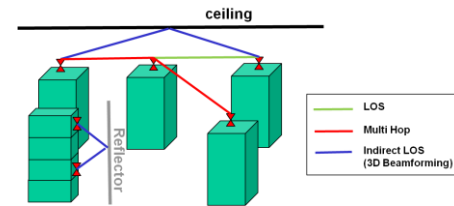
File downloading at toll gates in a train station

## Intra-Device Communication



Wireless board to board communication

## Data Center



<https://terapod-project.eu/>

## 電波資源拡大のための研究開発

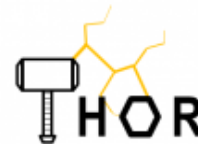
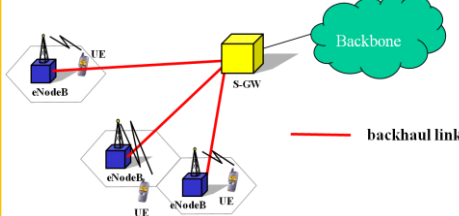
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/>

- 2017年9月のIEEE802会合では、300GHz帯を使うIEEE802.15.3dが成立
- 高い周波数と、広い周波数帯幅を活用した、100 Gbpsを想定した高速無線通信
- 通信距離は適用システムに応じて、近接から短・中距離までを想定
- Beam Switchable Point to Point

## Wireless Fronthaul



## Wireless Backhaul



<https://thorproject.eu/>

Chair: Thomas Kürner  
(TU Braunschweig)



Vice-chair: Iwao Hosako (NICT)  
Technical Editor: Monique Brown (NICT)  
Secretary: Ken Hiraga (NTT)

## WiFiの方は？（参考）IEEE802系規格の比較

規格	周波数帯	最大通信速度	最大帯域幅	最大変調	最大MIMO	策定期期
IEEE802.11n (Wi-Fi 4)	2.4GHz	1.2Gbps	40MHz	64QAM	4x4	2009年9月
	5GHz					
IEEE802.15.3c	60GHz	3.52Gbps	2.16GHz	QPSK		2009年
IEEE802.11ad (WiGig)	60GHz	6.8Gbps	8.64GHz	64QAM		2013年1月
IEEE802.11ac (Wi-Fi 5)	5GHz	6.9Gbps	160MHz	256QAM	4x4	2014年1月
IEEE802.15.3e	60GHz	13.1Gbps	8.64GHz	256QAM		2017年6月
<b>IEEE802.15.3d</b>	<b>300 GHz (CF~273GHz)</b>	<b>100Gbps</b>	<b>25.92GHz (WRC-19)</b>	<b>64QAM</b>		<b>2017年9月</b>
IEEE802.11ax (Wi-Fi 6)	2.4GHz	9.6Gbps	160MHz	1024QAM	8x8	2021年2月
	5GHz 6GHz					
IEEE802.11ay	60GHz (>45GHz)	44Gbps (176Gbit/s@4stream)	8.64GHz	256QAM	4x4	2021年3月
IEEE802.11be (Wi-Fi 7)	2.4GHz	46Gbps	320MHz	4096QAM	16x16	2024年5月予定
	5GHz 6GHz					

ミリ波帯： 広帯域×単純な変調方式

マイクロ波帯： 狭帯域×高度な変調方式

ミリ波帯規格の数年後に同程度の最大通信速度のマイクロ波帯規格が出現

Ex. 15.3c/11ad→11ac、11ay→11be

# LB5G/L6G v.s. WiFi-X @THz

- WiFi-X@THzに向けた国内の動き
  - 令和4年度から新たに実施する電波資源拡大のための研究開発の基本計画書
    - [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000790423.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000790423.pdf)
    - テラヘルツ波による超大容量無線 LAN 伝送技術の研究開発
- LB5G/L6GとWiFi-Xが共にTHz帯を使う場合
  - ビーム、干渉、免許（要不要）  
→
  - Ofcomの主張
    - ユーザー間の慎重な管理と調整により、複数のネットワークとサービスが干渉を最小限に抑えて同じ周波数を使用できるようになる可能性
    - 保守的な保護要件に基づく極めて用途に特化した共存研究の開発などを用いても、これらの周波数帯の利点を完全に実現することはできない。

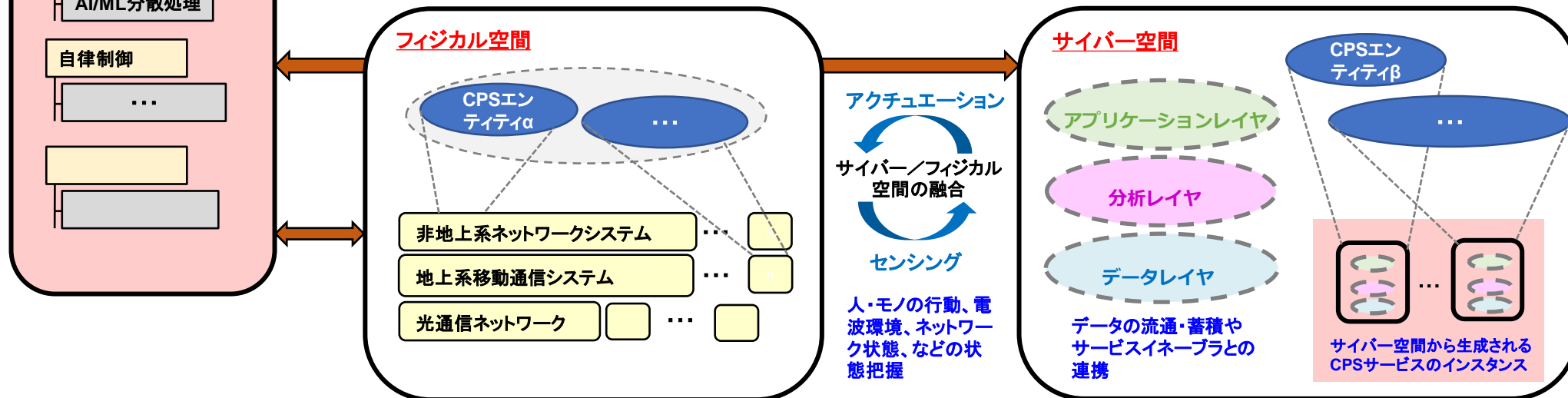
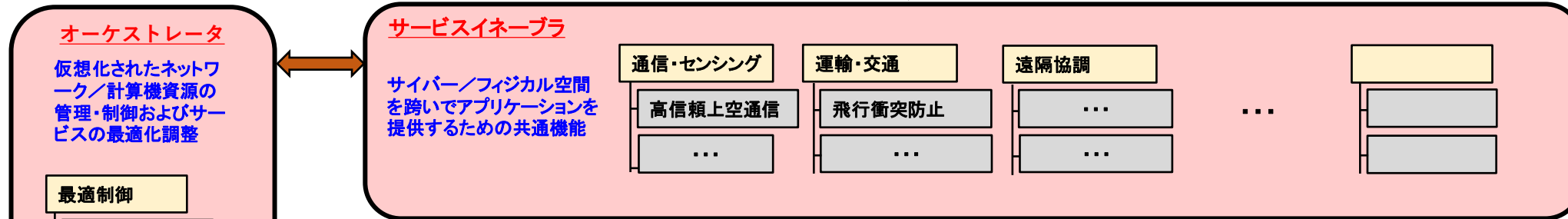
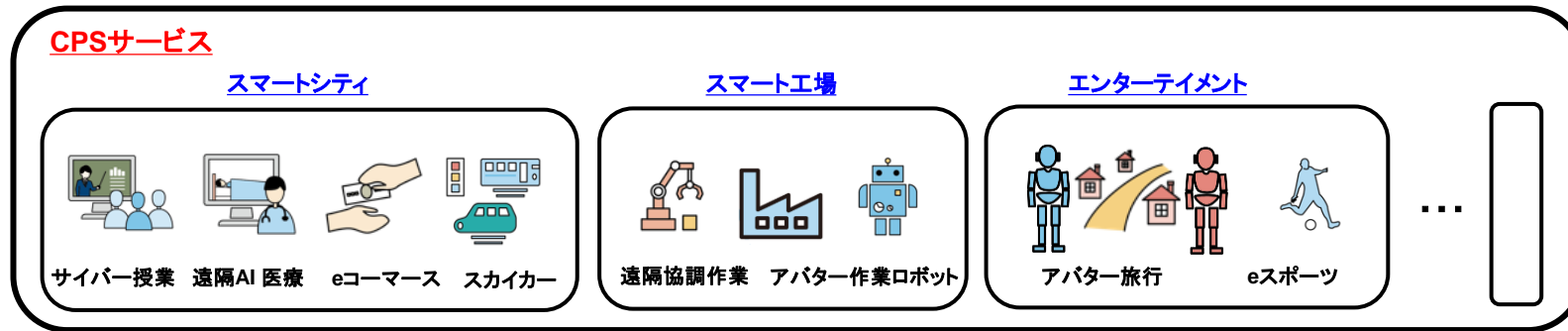


■Beyond 5GにおけるTHz波通信（復習）

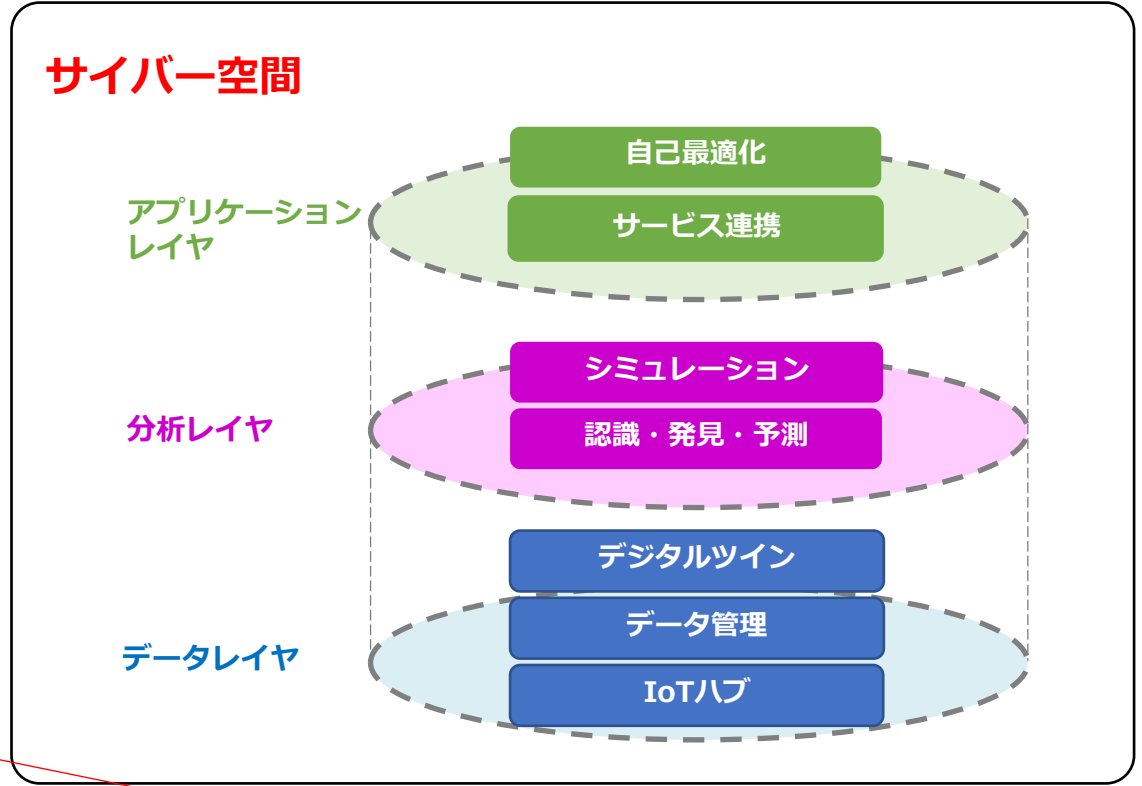
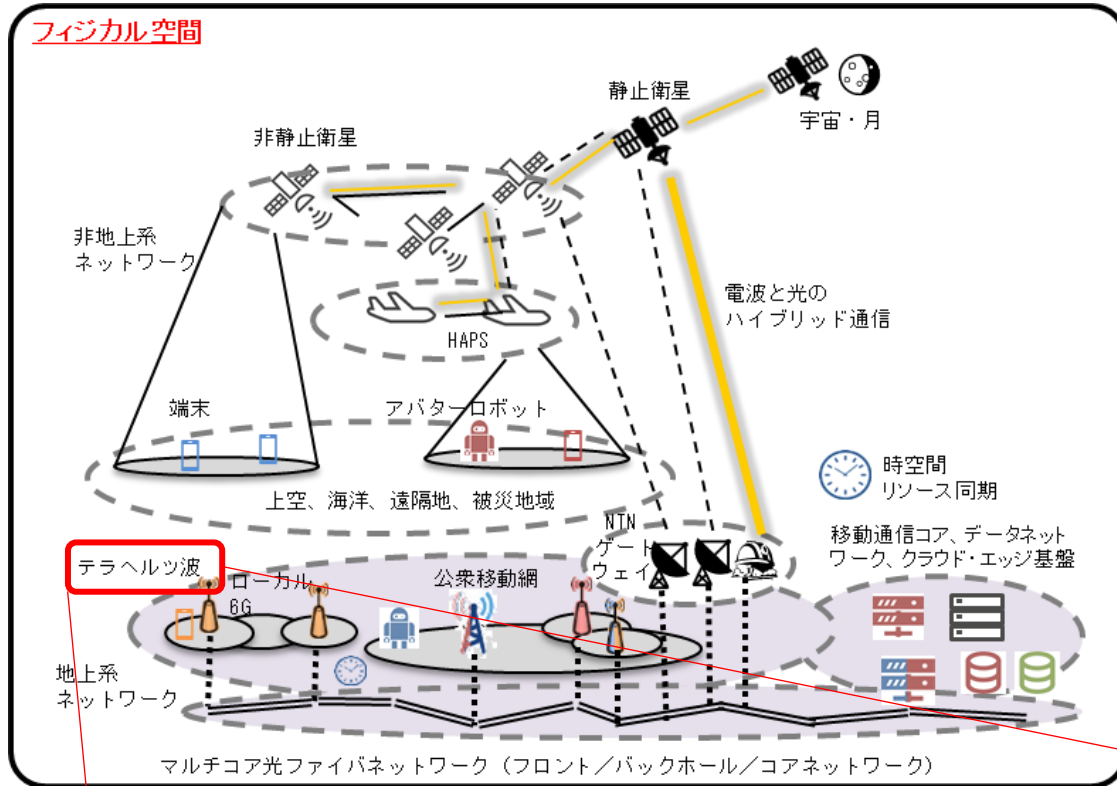
■2022年度6G WG狙い

# 提案する「Beyond 5G/6Gの機能アーキテクチャ」

## -オープンプラットフォームとしてのBeyond 5G/6G-



# 提案する「Beyond 5G/6Gの機能アーキテクチャ」 -フィジカル/サイバー空間の詳細-



**ユースケース×技術のマトリックス星取表**

# ユースケース×技術のマトリックス星取表

材料 ~ デバイス ~ パッケージ ~ サブシステム ~ システム

	Tech-1	Tech-2	...	...	...	...	...	...	Tech-x
UC-1	◎	◎	△	○	×	◎	△	◎	×
UC-2	○	○	△	△	×	○	×	△	△
⋮									
⋮									
⋮									
UC-X	○	○	○	○	△	○	△	△	△

2021年度に議論

## 【現状把握】

- ・ 技術毎の強みと弱みの把握
- ・ 日本と諸外国のレベル

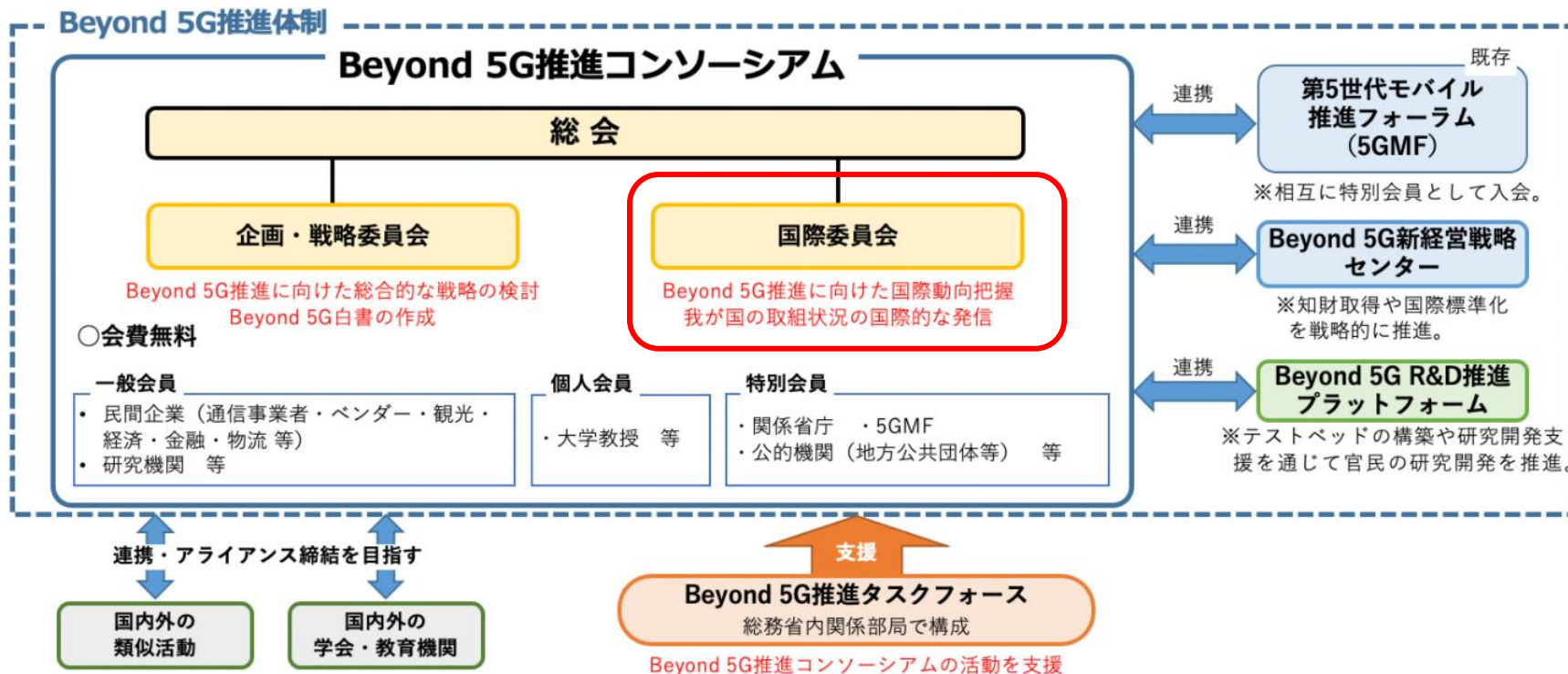
→ 今後、どこを攻める/守る、何処と組む、、、という判断のヒントに！

# 議論結果の活用→B5Gコンソ：国際委員会：高周波WG

## ※日本国のお墨付きがある国際発表の場

### Beyond 5G推進コンソーシアム

**Beyond 5G推進戦略を産学官の連携により強力かつ積極的に推進するための母体として、「Beyond 5G推進コンソーシアム」を設立。**戦略に基づき実施される具体的な取組の産学官での共有や、取組の加速化と国際連携の促進を目的とする国際カンファレンスの開催などを行う。



# [次世代技術6Gの研究ハブ4拠点がドイツに誕生 | DWIH Tokyo \(dwhi-tokyo.org\)](https://dwhi-tokyo.org)

## カルリチュク大臣「6Gで世界一を目指す」(2021年6月29日)

- ・ドイツ連邦教育研究省 (BMBF) は、第6世代移動通信規格 (6G) の研究を担う国内4ヵ所のハブを選出しました。4つのハブは計約50の産学パートナーの参画のもと、BMBFが提唱するドイツ6G研究イニシアティブの基礎を築く。
- ・6G研究ハブ4拠点の設立に最大2億5000万ユーロ (~330億円) を投じるほか、BMBFは今後5年間に総額7億ユーロ (~920億円) を革新的通信技術の支援に充てる予定。

## ドイツ人工知能研究センター (Open6GHub)

無線通信+光ファイバ網、新材料の応用、アンテナ・増幅器等コンポーネントの開発、無線セル等完全モジュール、6Gコンポーネント用ソフト

## フラウンホーファー通信研究所、ハインリッヒ・ヘルツ研究所 (HHI) (6G-RIC)

オープンインターフェイスの移動通信システム、高性能テストベッドインフラの構築

## アーヘン工科大学 (6GEM)

総合的な6Gシステムの開発、超低遅延・高信頼性、耐久力と適応性、

デジタルツイン (道路交通、港湾物流、イントラロジスティクス、レスキューロボット、スマート治療室)

## ドレスデン工科大学、ミュンヘン工科大学 (6G-Life)

ヒューマン・マシン・コラボレーション、データ量と消費エネルギー、持続可能性

2023年6月14-15日に第4回総会



6GEM

