

*Beyond 5G/6G  
White Paper*

日本語 2.0 版

March 2022

2022年9月12日14:20-14:50

『計測標準フォーラム第20回講演会』

@東京ビッグサイト

**【基調講演】**

**ポスト5G/6G時代の未来像、その  
実現に向けた研究戦略や関係機関  
と連携した取組等**

情報通信研究機構

Beyond 5G研究開発ユニット

寶迫 巖（ほうさこ いわお）

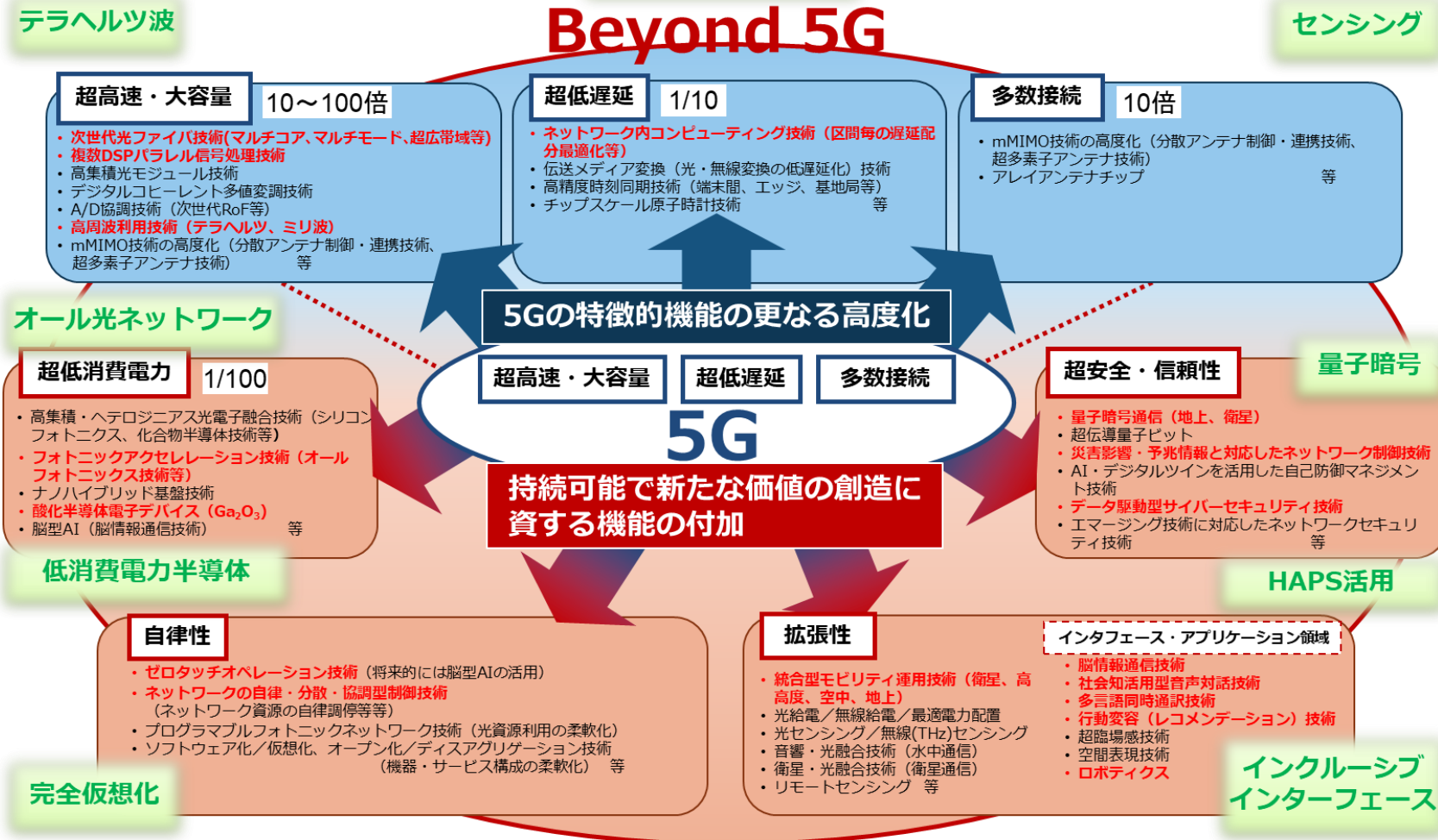
# Beyond 5G推進戦略懇談会 提言 令和2年6月

## (別紙)Beyond 5G推進戦略 -6Gへのロードマップ-

※ **赤赤字**は産学官の別なく、重点的に進めるべきと考えられる技術の例

時空間同期  
(サイバー空間を含む。)

※ **緑字**は、我が国が強みを持つ又は積極的に取り組んでいるものが含まれる分野の例



図表4：重点的に研究開発等を進めるべきと考えられる技術例

# Beyond 5Gの超高速・大容量ネットワークを支える先端技術

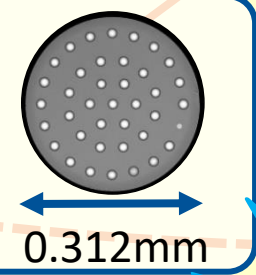
【2030年台のBeyond 5Gのネットワークに必要な通信容量】  
現在の10万倍が必要になる予測

ユーザからの通信の基幹ネットワークへ集中  
→有線ネットワークの大容量化が必須

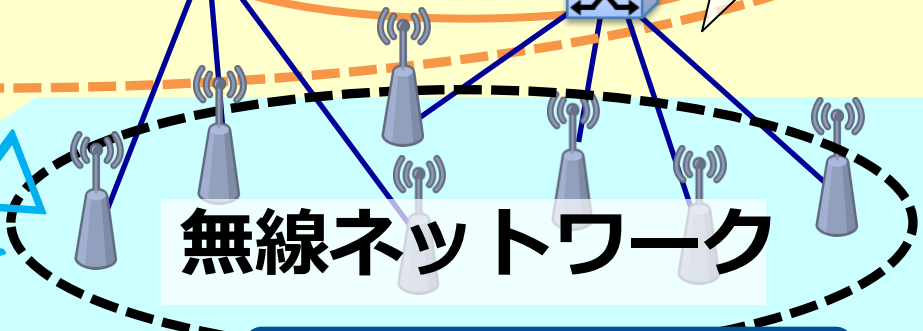
## 基幹ネットワーク

ユーザへの通信の超高速化  
→無線ネットワークの大容量化が必須

### マルチコア光ファイバネットワークシステム



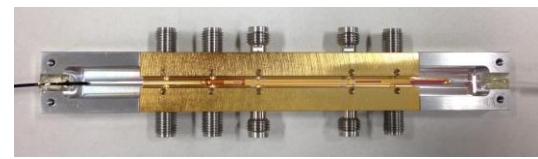
無線及び有線ネットワークを安価に構築する必要  
→変調や変換のデバイスの低コスト化が必須



## 無線ネットワーク

### 高度な光ファイバ無線

光変調デバイス



70mm

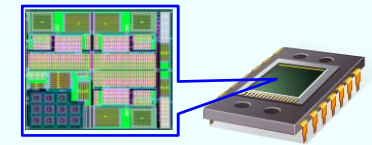
光電変換デバイス



20mm

### テラヘルツ帯無線

テラヘルツ帯シリコン半導体

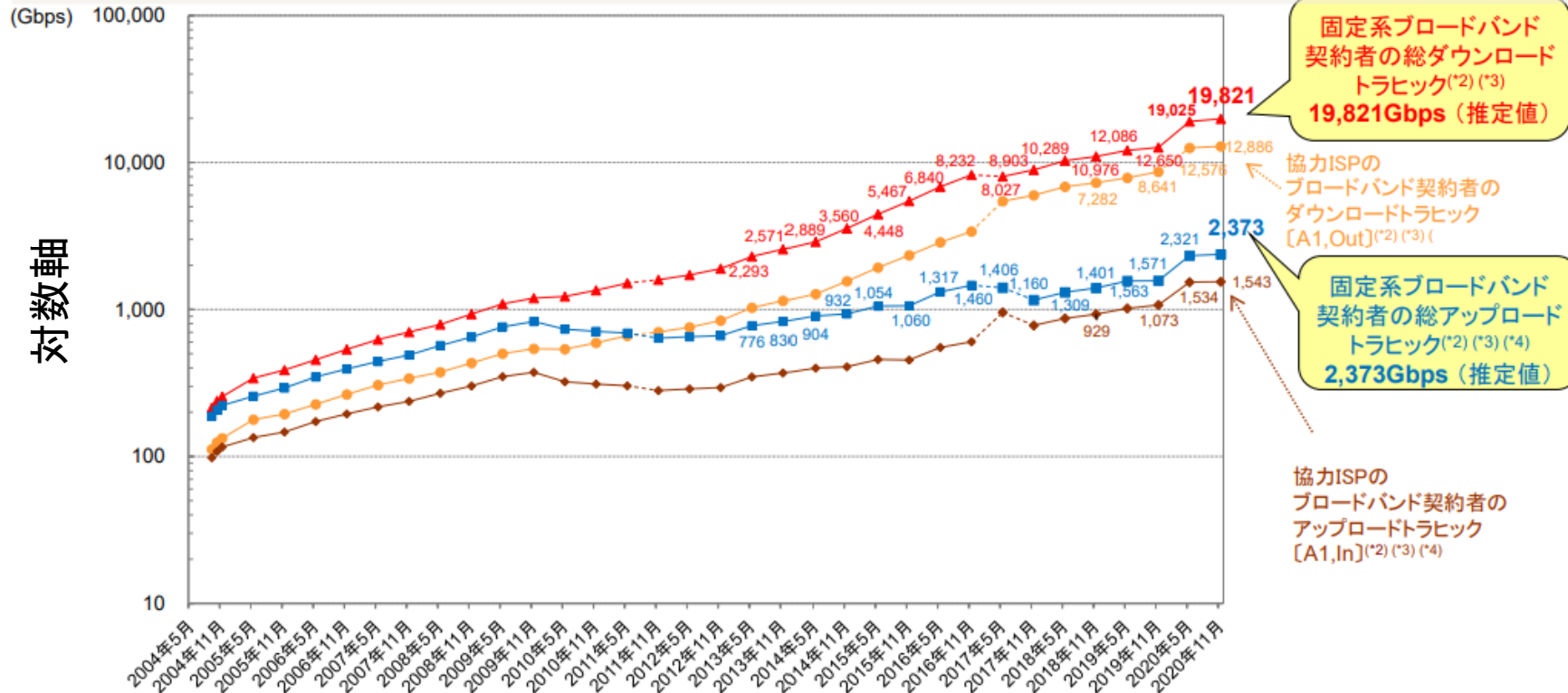


テラヘルツ帯小型高性能アンテナ

# 総トラフィック増加は指数関数的

## (参考) 我が国の固定系ブロードバンド契約者の総トラフィック

- 我が国の固定系ブロードバンドサービス契約者<sup>(\*)1</sup>の総トラフィック[A1]から推定を、片対数軸グラフで示したもの。
- 片対数軸グラフでは傾きの大きさが増加率の大きさを表し、増加率が一定であれば直線となる。
- 2020年11月集計においては、新型コロナウイルス感染症拡大防止のための在宅時間増によりトラフィックが大幅に増加した。2020年5月からの増加率は大きくないが、前年同月比では大幅増加。「新たな日常」の定着によるインターネット利用の拡大がうかがえる。



(\*)1 個人向けサービス (FTTH、DSL、CATV、FWA) (ただし、一部法人を含む)

(\*)2 2011年5月以前は、一部の協力ISPとブロードバンドサービス契約者との間のトラフィックに携帯電話網との間の移動通信トラフィックの一部が含まれていたが、当該トラフィックを区別することが可能となったため、2011年11月より当該トラフィックを除く形でトラフィックの集計・試算を行うこととした。

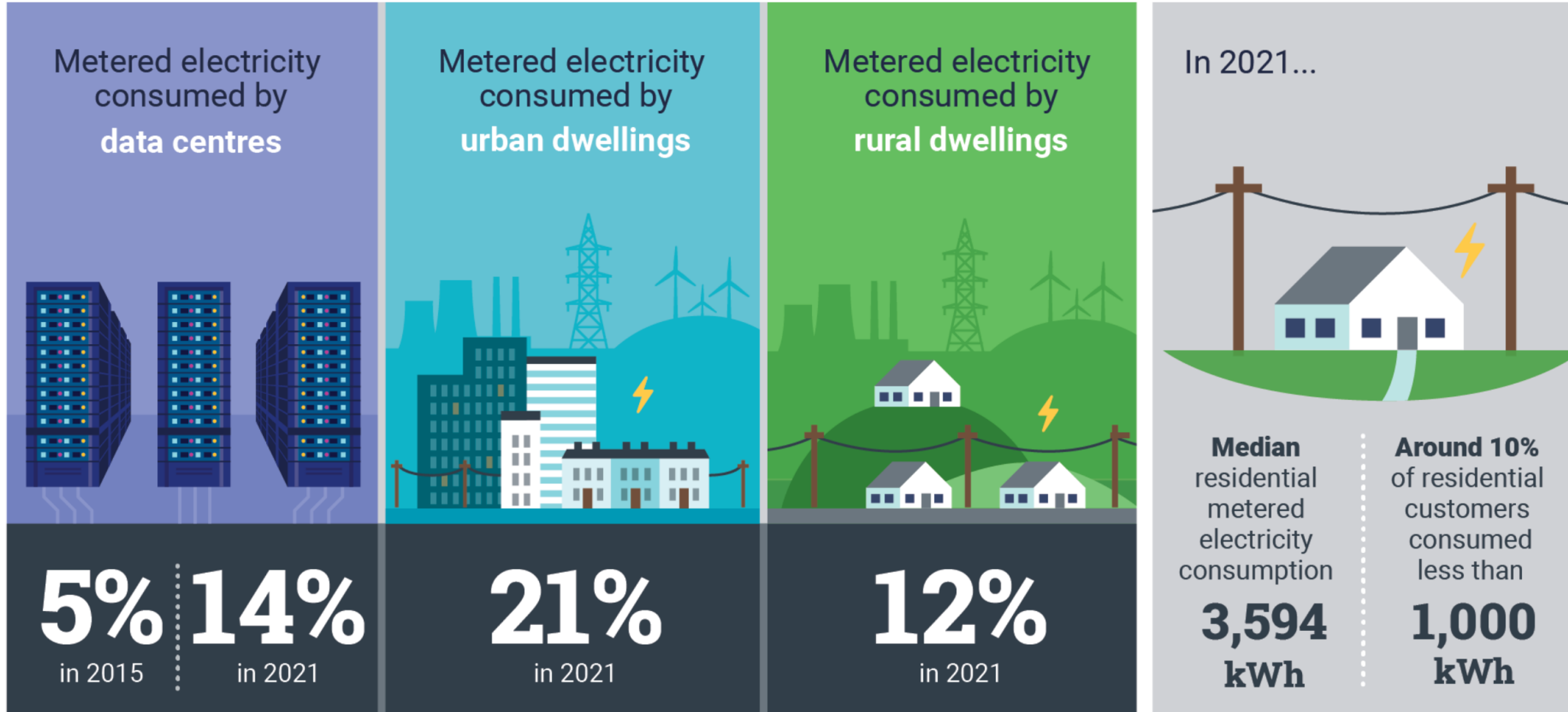
(\*)3 2017年5月より協力ISPが5社から9社に増加し、9社からの情報による集計値及び推定値としたため、不連続が生じている。

(\*)4 2017年5月から11月までの期間に、協力事業者の一部において計測方法を見直したため、不連続が生じている。

- データセンターの電力消費量が2020年から2021年にかけて32%増加
- 地方の住宅よりも多くの電力を消費するようになった



# Data Centres Metered Electricity Consumption 2021



# 2050年カーボンニュートラルの実現

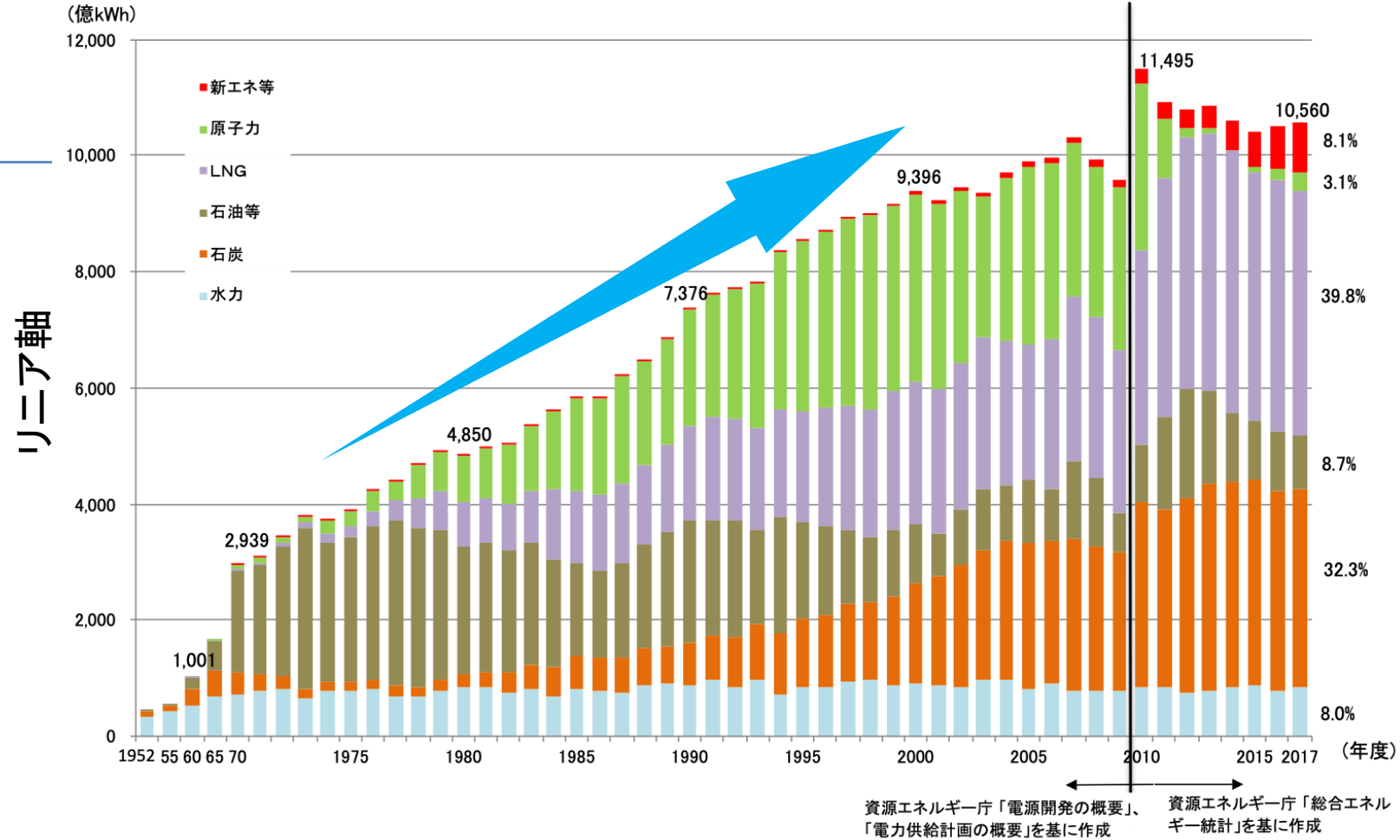
- ・ **最終到達点としての「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指すとともに、2050年までに80%の削減に大胆に取り組む ※積み上げではない、将来の「あるべき姿」 ※1.5℃努力目標を含むパリ協定の長期目標の実現にも貢献**
- ・ **ビジネス主導の非連続なイノベーションを通じた「環境と成長の好循環」の実現、取組を今から迅速に実施、世界への貢献、将来に希望の持てる明るい社会を描き行動を起こす [要素：SDGs達成、共創、Society5.0、地域循環共生圏、課題解決先進国]**

これからの新しい境界条件

# エネルギー供給量（発電） 増加はリニア

日本のエネルギー・発電の供給量割合

10,000億kWh  
(= 1,000 TWh)



# 世界 ICT インフラストラクチャの消費 電力の現状と将来予測

低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書

情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.3)  
ーネットワーク関連消費エネルギーの現状と将来予測および技術的課題ー  
令和3年2月

国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター  
LCS-FY2020-PP-04

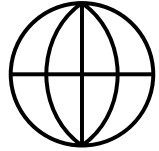


# ICT インフラストラクチャの消費電力の現状と将来予測

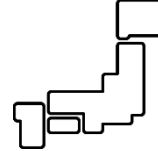
表15

<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2020-pp-04.pdf>

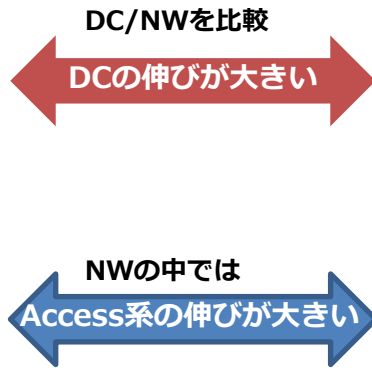
表14



Global (TWh)	2018	2030	2050
<b>Datacenter</b>			
server	113	2,190	384,000
storage	27	430	51,000
switch	2	20	3,400
power supply	43	400	66,000
<b>Total</b>	<b>185</b>	<b>3,040</b>	<b>504,400</b>
<b>Network</b>			
Core	25	42	4,900
Metro	90	260	31,400
Access	370	2,100	220,000
<b>Total</b>	<b>485</b>	<b>2,402</b>	<b>256,300</b>



Japan (TWh)	2018	2030	2050
<b>Datacenter</b>			
server	7	62	9,600
storage	2	29	3,700
switch	0.1	1	70
power supply	5	13	2,000
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>105</b>	<b>15,370</b>
<b>Network</b>			
Core	1	2	231
Metro	4	13	1,510
Access	18	78	7,000
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>93</b>	<b>8,741</b>



※日本の総発電量@2017~1,000 TWh

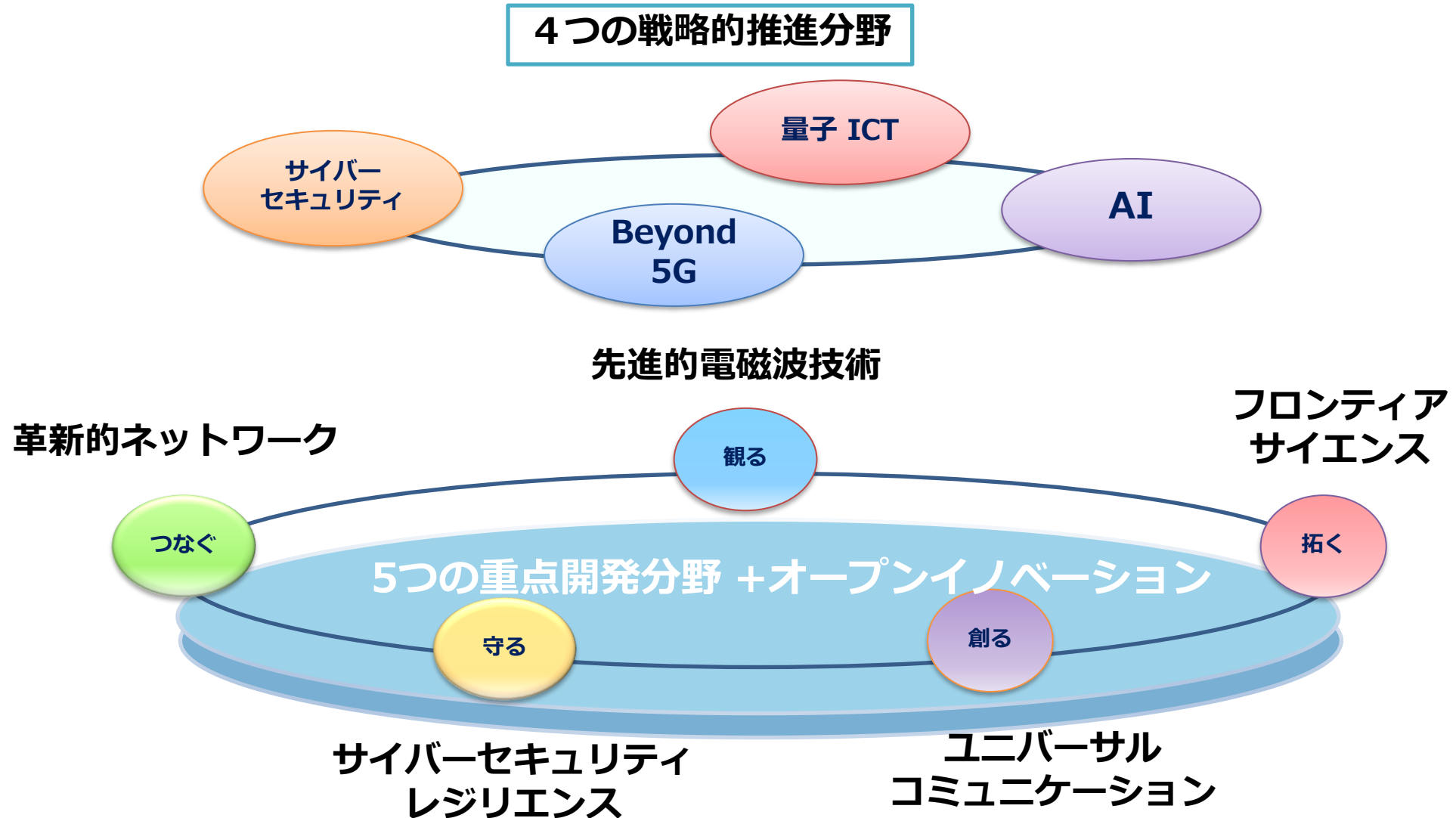
37	198	24,111
4%	20%	24倍

Datacenter < Network @2018 → ※AI活用の影響

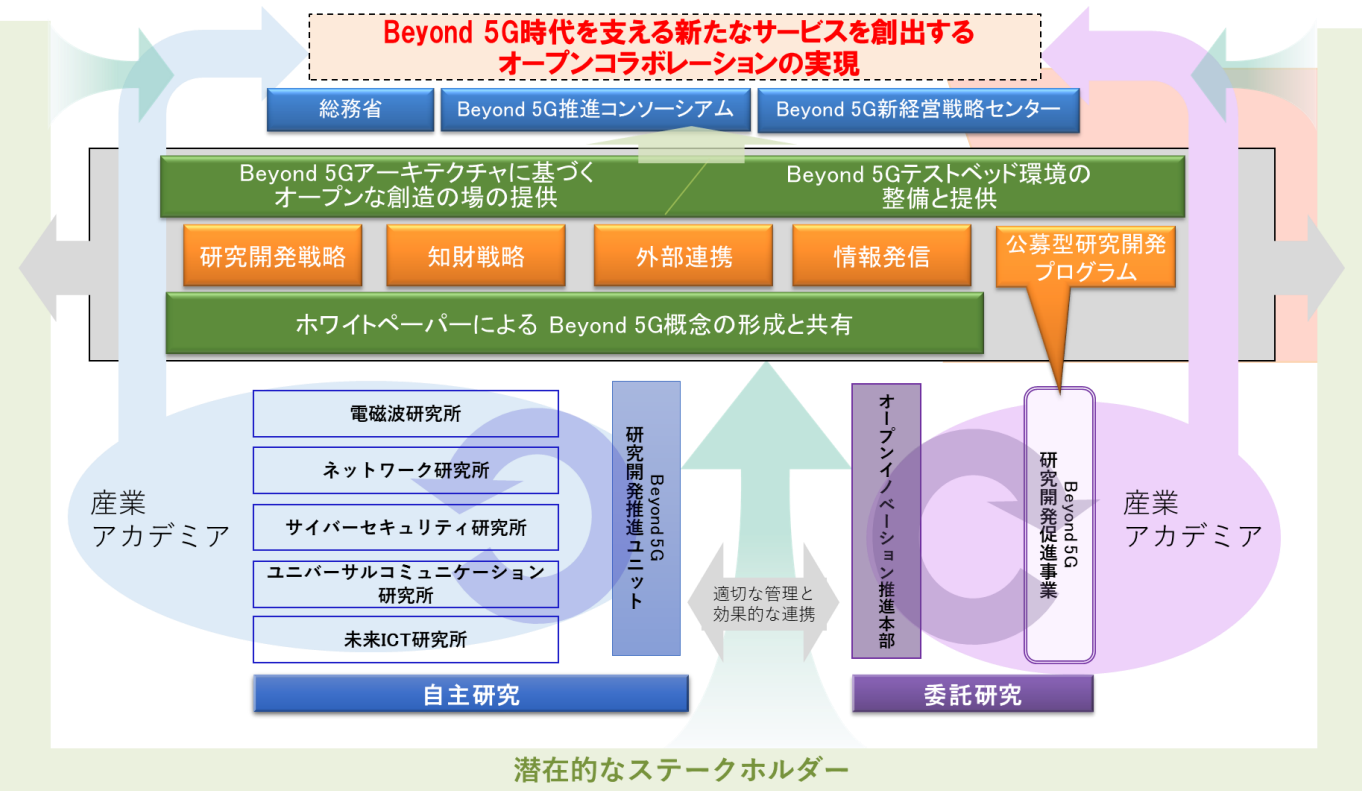
Datacenter > Network @2030

破綻する！

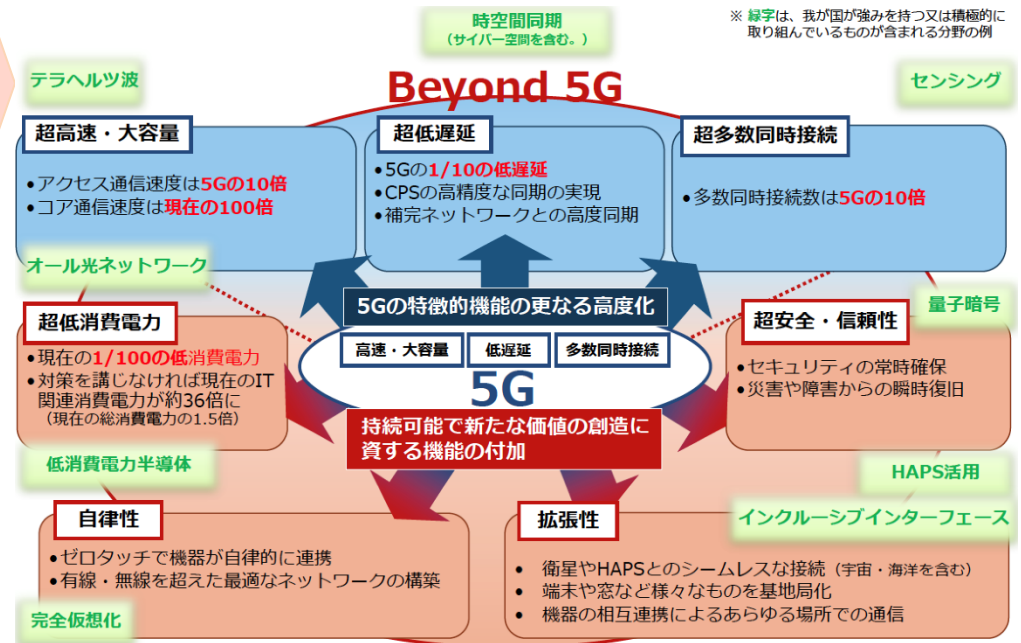
# Beyond 5G時代に向けた新たなICT戦略 (情報通信審議会ICT戦略会議より)



**Beyond 5G時代を支える新たなサービスを創出する  
オープンコラボレーションの実現**



**Beyond 5G実現の鍵を握る要素技術等の早期確立**



**NICT**

**Beyond5G 研究開発推進ユニット**

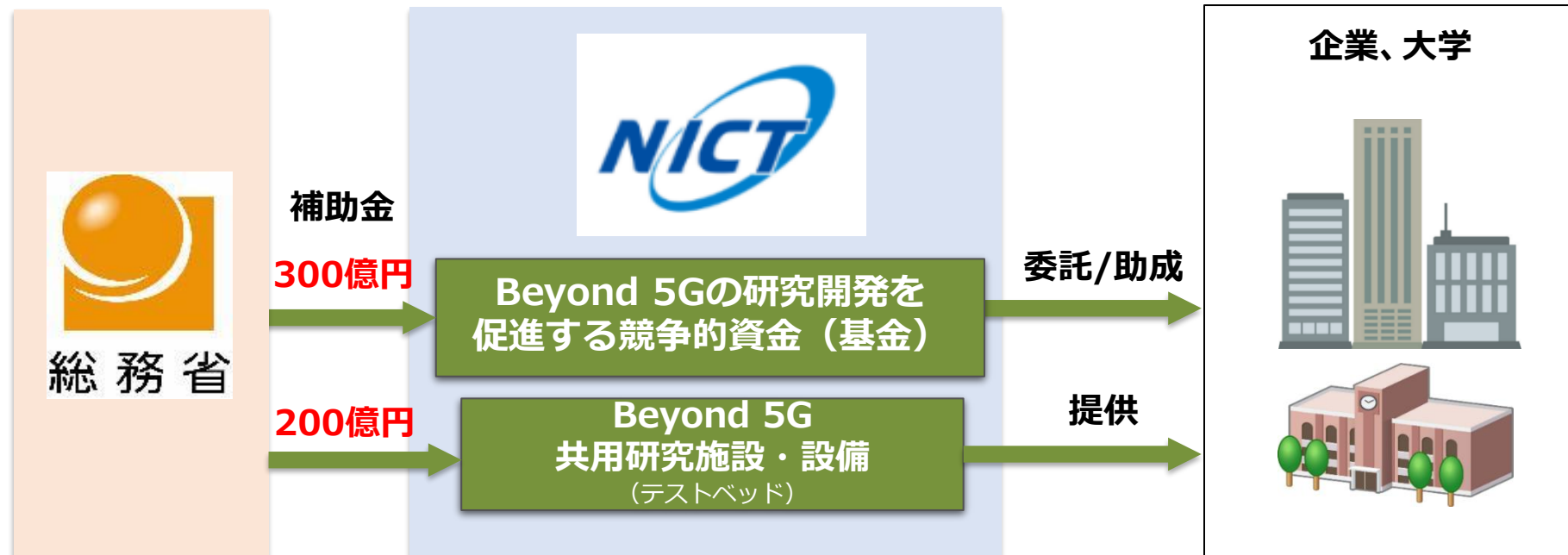
- ✓ 異分野のテクノロジーやビジネスなど『様々な側面』からアイデアを出し合い、皆で創り上げた箱の中にはワクワクする未来が詰まっているという、Beyond 5G研究開発の特徴を示している。
- ✓ NICTロゴの青を基調とし、NICTの英知を最大限活用していくという情熱を込めた。

# Beyond 5G 研究開発促進事業

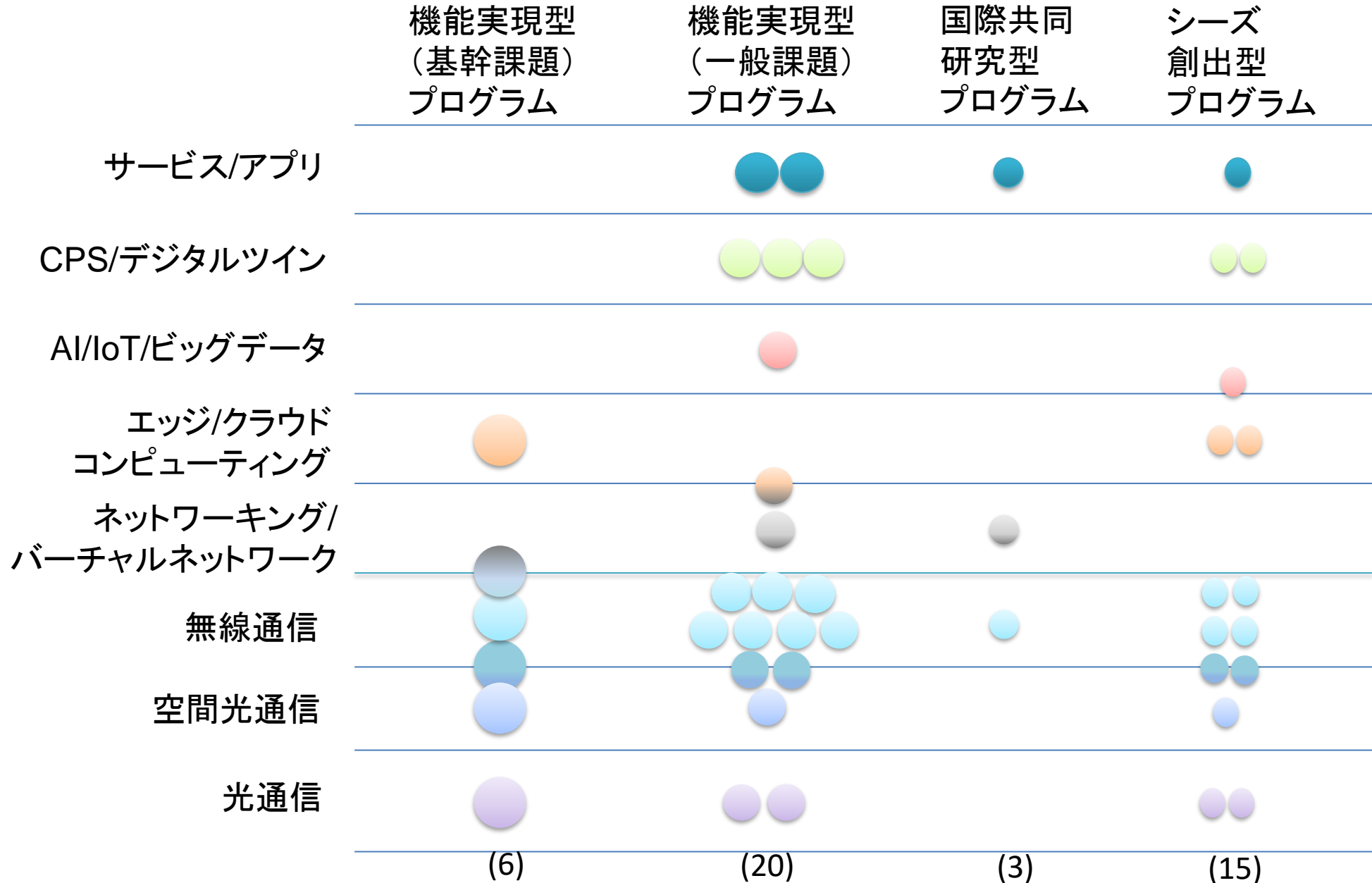
あらゆる産業・社会の基盤となる次世代無線通信技術 Beyond 5G の実現に向け、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）に公募型研究開発のための基金を創設するほか、研究開発に必要なテストベッド等の共用研究施設・設備を整備する。

令和2年度補正予算：499.7 億円

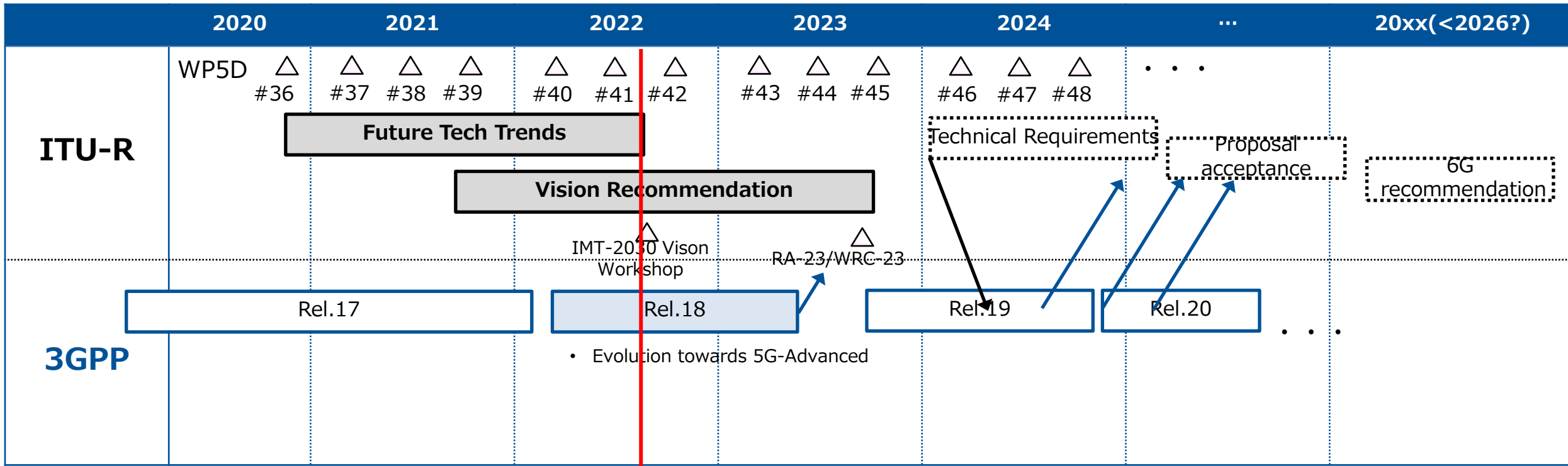
(内訳：競争的資金300億円、共同研究施設・整備：199.7億円)



# Beyond 5G研究開発促進事業の課題分布図 (2021年11月現在)



# B5G/6Gへ向けた標準化プロセス



## Contributions to ITU-R WP5D (5D/440, 5D/609)

Proposals for the realization of Beyond 5G / 6G for Terahertz, Space-Time synchronization, and Non-Terrestrial Network (NTN).

## Contribution to 3GPP SA Rel.18 Workshop (SP-210612)

Proposal of ultra-low latency and high-precision positioning technology by Space-Time synchronization technology.

3GPP SA Rel-18 workshop  
Virtual meeting, 09-10 Sep. 2021  
Agenda Item 3  
SP-210612

**Space-Time synchronization:  
Phase synchronization, clocks, and positioning in advanced regime**

Perspective for Rel 18

Contact: std\_stsl@ml.nict.go.jp  
std@ml.nict.go.jp

Beyond 5Gの世界観  
と  
システムアーキテクチャ

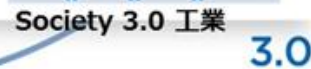
# 背景

## 新たな社会 “Society 5.0”

5.0



4.0



[内閣府作成]

COVID-19



・変化の時代に入った

- ・ICTの重要性に皆が気付いた！
- ・ミーティングポイントがサイバー空間に
- 時空を超えて、瞬時に移動できる
  - 空間と時間の限界からの解放
  - 身体限界からの解放
  - (→ 脳の限界からの解放)

- ・現在のICTの限界にも気付いた！
- 但し、現状は十分とは言えない。
  - ※帯域
  - ※接続ポイント
  - ※ヒューマンインターフェース
  - :

移動通信システム：通信基盤（～3G）⇒生活基盤（4G）⇒社会基盤（5G）へと進化

**B5G / 6G** → 未来社会の社会基盤として極めて重要な位置を占めることが明らかに！

- ・分散コンピューティング
- ・NW自体が分散センサー
- CPS (Cyber Physical System)
- 社会を支える様々なAPPを実現

COVID-19

COVID-19

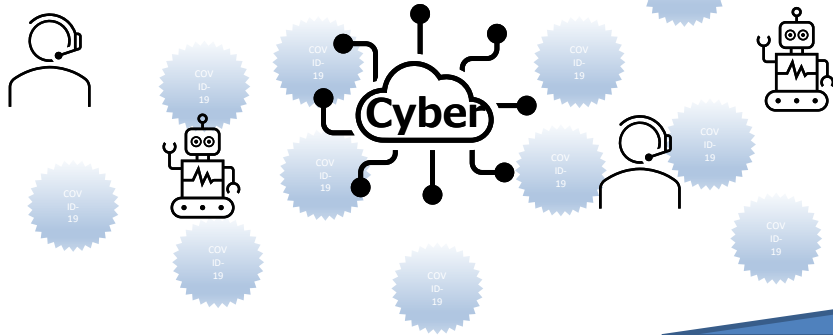


# Beyond 5G / 6Gに向けたテクノロジービジョン

**喫緊の課題**：新しい生活様式の下での経済成長の実現→「ICTを活用した非接触型社会」～「Society 5.0」

神経網となるBeyond 5G / 6Gの開発と「サイバーフィジカルシステム (CPS)」の実現がカギ

空間的に分散した個人が高度な神経網 (Beyond 5G(6G))でつながり、**サイバー空間**を通じて他者やロボット、アバターと協働。いかなる時でも価値を創出し続ける。



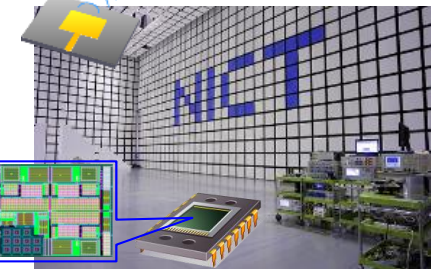
実空間の事象を**計測** (ビッグデータ) し、**サイバー空間**に**投影**し、解決策 (最適解) を見いだして実空間を**駆動**する「サイバーフィジカルシステム」の実現。



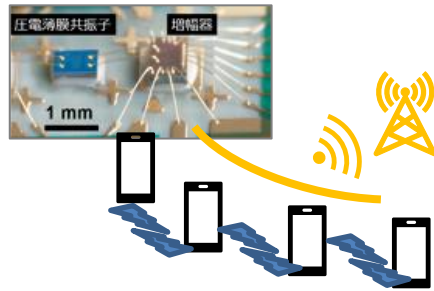
## NICT 技術シーズ例

NICTの技術シーズを社会のニーズをソリューションとして提供するパートナーとともに、Beyond 5G / 6G の先駆けとCPSの早期実現を目指す

### テラヘルツ



### 時空間同期



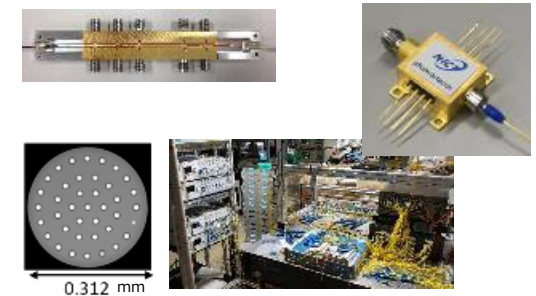
### 電波エミュレータ



### スペースB5G(NTN) NTN (Non-Terrestrial Network)



### 超大容量光ネットワーク



携帯電話で100Gbit/s級超高速無線を実現。バックホール回線等では屋外1kmを100Gbit/sで通信可能に

超小型原子時計で電波の位相も自在に操り、端末間・基地局間連携や、非GPS位置情報サービスも実現

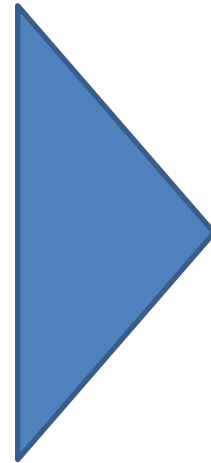
インフラからアプリまで様々な電波システムを、仮想空間上で設計、評価、検証が可能な環境を提供

航空宇宙や海洋で実現する、シームレスに統合された多層的なネットワークの構築に必要な基盤技術

光ファイバ無線 (RoF) やマルチコア光ファイバ技術等で現実世界のみならず、サイバー空間内や現実世界と間のデータ通信の根幹を担う

# *Beyond 5G / 6G White Paper*

March 2021



# *Beyond 5G / 6G White Paper*

日本語 2.0 版

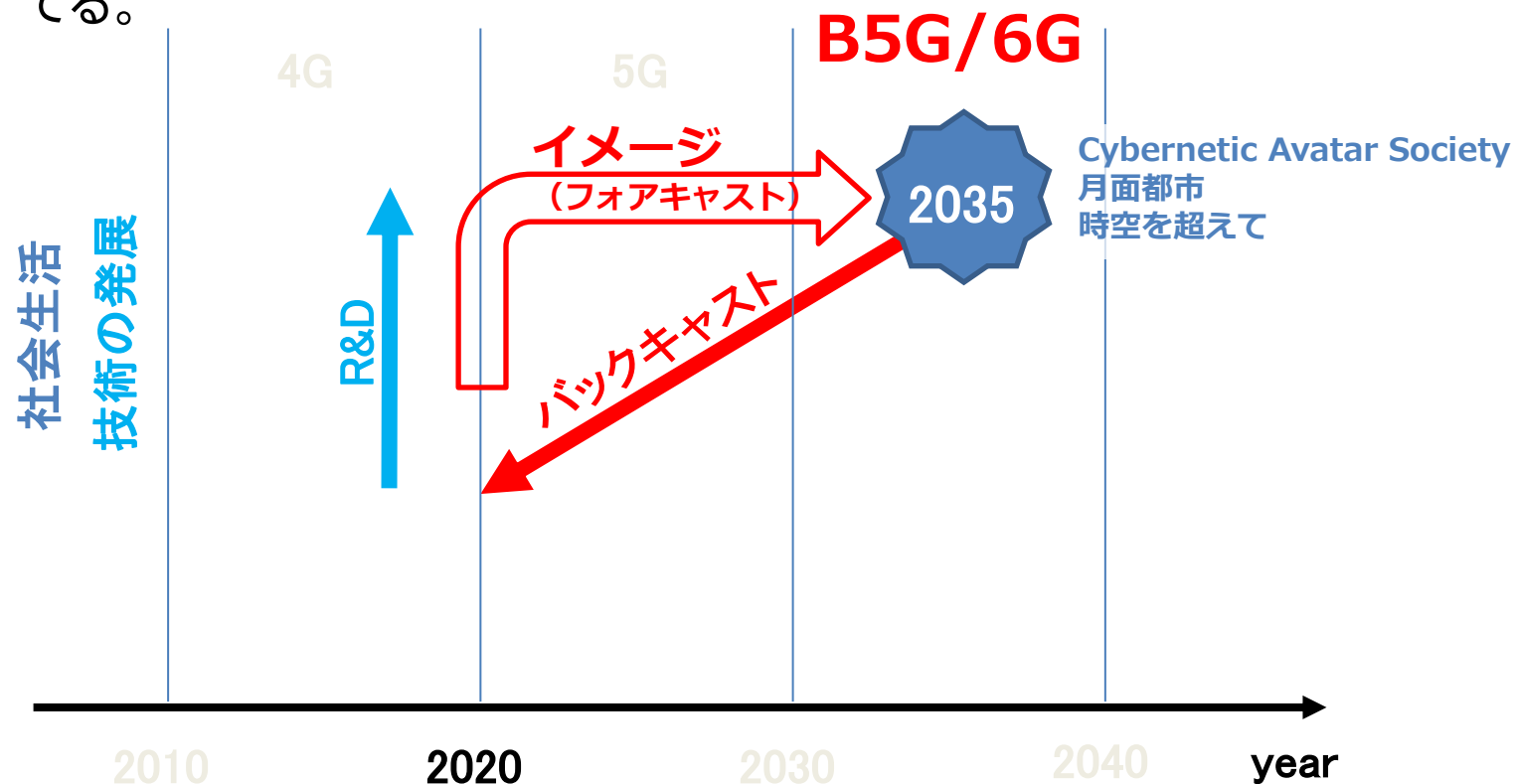
March 2022

# Beyond 5G/6G White Paper

March 2021

- **2035年頃の社会生活をイメージした**  
「Cybernetic Avatar Society」、  
「月面都市」、  
「時空を超えて」  
「サイバー世界の光と影」  
の4つのシナリオを作り、これらのシナリオに書かれた未来社会から  
**バックキャスト**することで必要な要素技術を洗い出した。

- シナリオとそこに登場するユースケース、それらを実現するための要  
素技術と要求条件、研究開発ロードマップや展開戦略等がまとめられ  
てる。



# Short Movies of B5G/6G scenarios



Scenarios 1 to 3 are available on YouTube "NICTchannel".



[NICTchannel - YouTube](https://www.youtube.com/channel/UC...)

# シナリオに書かれた未来社会からバックキャスト

## 3章 シナリオ

・ Cybernetic Avatar Society  
(2035年〇月〇日:と  
或る企業の技術開発課  
長の日記から1~3)

・ 月面都市  
(月を耕す人1~2)

・ 時空を超えて  
(クリエイティブでア  
クティブな平穩1~2、  
Dive to the point 1~  
2、空を行き交うのは  
1~2)

- ① 2035年頃の日常生活の中に  
どのようなUCがあるか

## 3章 ユースケース

UC1-1: 相互理解促進システム  
(文化・価値観の壁を超える)  
UC1-2: 心と身体の支援アバター  
(年齢・身体能力の壁を超える)  
UC1-3: テレプレゼンスによる働き方革命  
(距離・時間の壁を超える)

UC2-1: 6Gで繋がる月面基地  
UC2-2: 月までつながる6G  
UC2-3: 月面でのアバター活動  
/宇宙版ストリートビュー  
UC2-4: 月旅行

UC3-1: バーティカル ヒト・モノ・コト流  
UC3-2: レジリエント里山  
UC3-3: オムニクラウド・ゲートウェイ

- ① どのようなシステム?、なぜ必要?
- ② 使用条件
- ③ 必要な要素技術

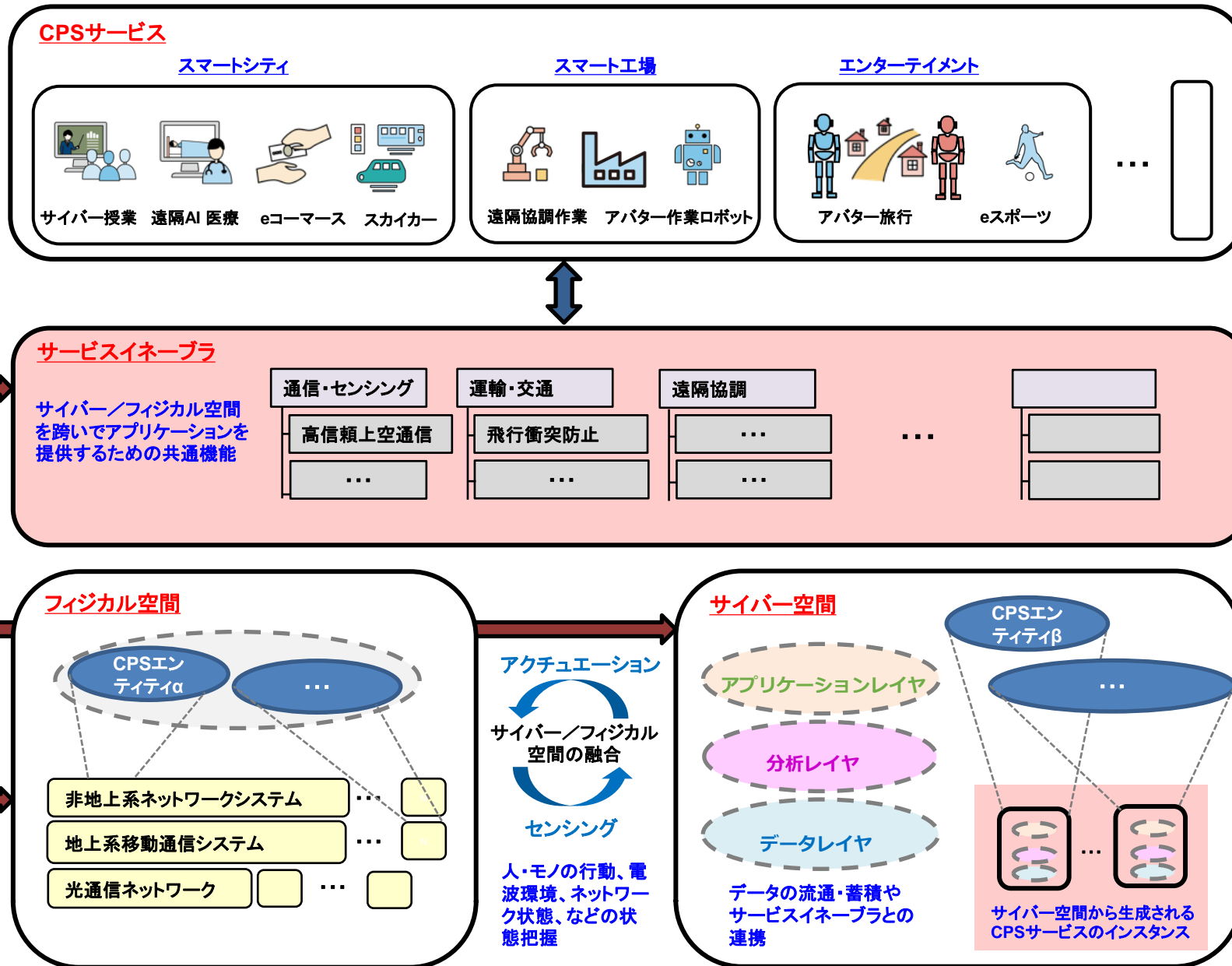
## 4章 要素技術 (大項目)

T1. 超高速・大容量通信  
T2. 超低遅延・超多数接続  
T3. 有無線通信・ネットワーク制御技術  
T4. 無線システムの多層化-NTN  
T5. 時空間同期  
T6. 超安全・信頼性  
T7. 超臨場感・革新的アプリケーション

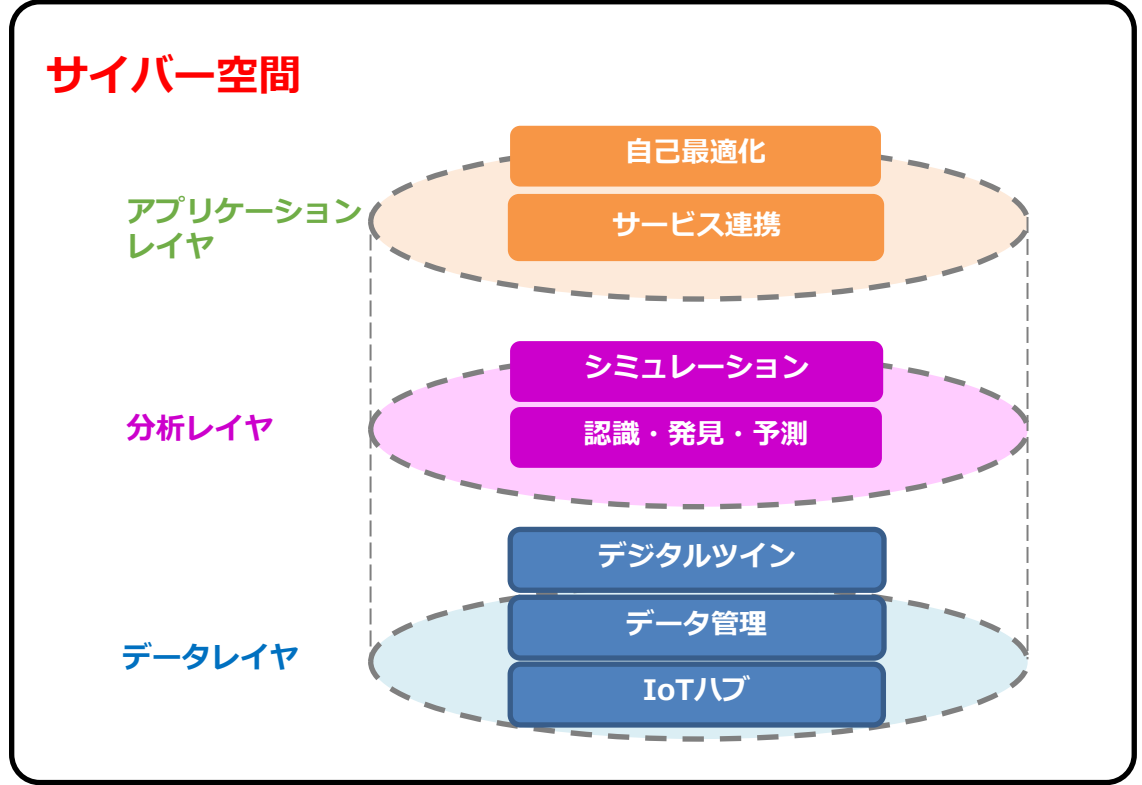
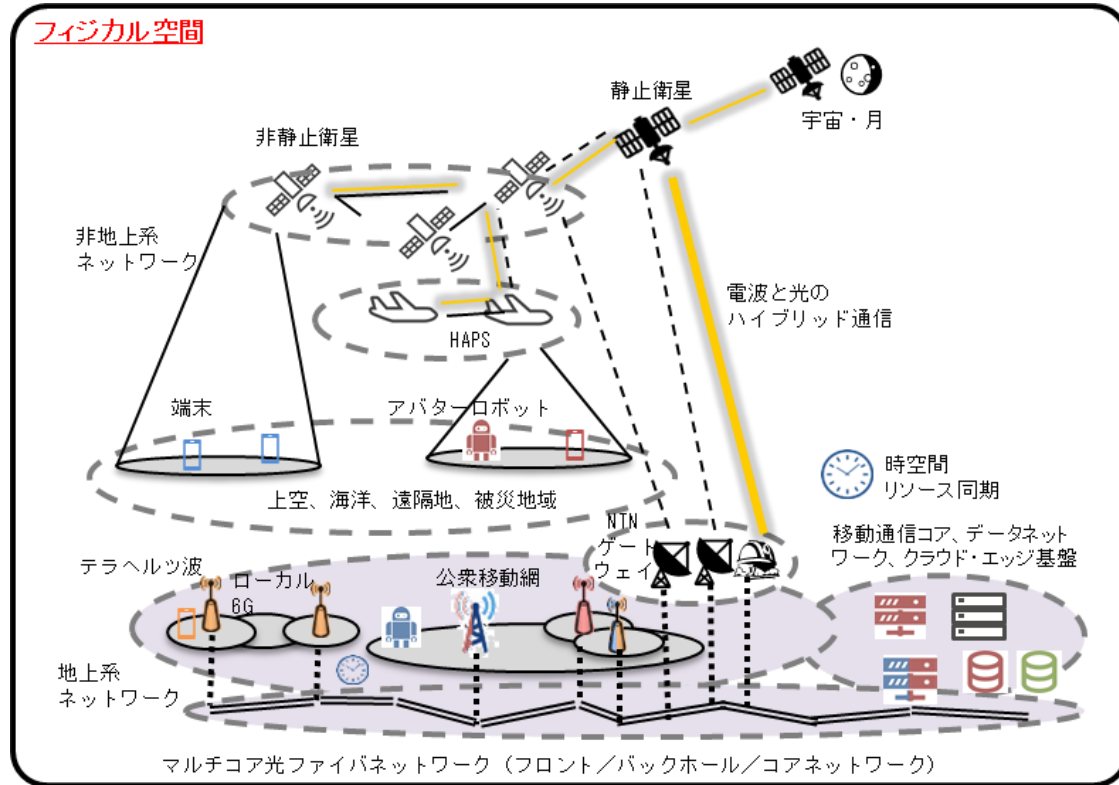
- ① どんな技術か
- ② 何に/何故必要か
- ③ 国内外現状
- ④ Beyond 5G/6G世界で必要  
となる要求条件
- ⑤ ロードマップ

# 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-



## オーケストレータの機能の例

カテゴリ	個別機能
最適制御	AI/ML分散処理, 低消費電力化
自律制御	ゼロタッチ構成, 自動障害復旧, 災害時通信
通信資源管理	周波数資源, 通信品質
計算資源管理	エッジコンピューティング資源, 遅延補償遠隔操作

## サービスイネーブラーの例

カテゴリ	個別機能
通信・センシング	高信頼上空通信, 広域海洋通信, センサ情報収集, 端末位置搜索
運輸交通	飛行衝突防止, 人流最適化
遠隔協調	多地点アバターVR作業, eスポーツ, 高精度位置同定, 超臨場感共有
公的認証	アバター本人認証, データトレーサビリティ

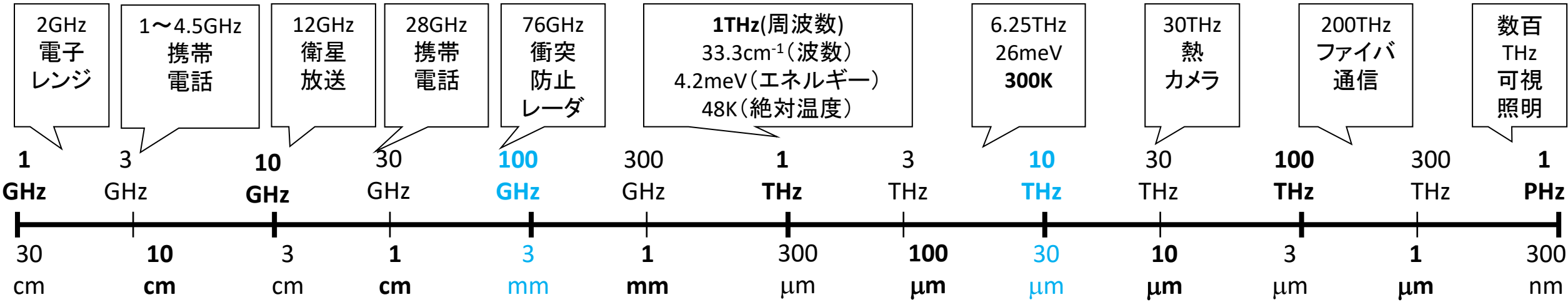


## 本日のまとめ

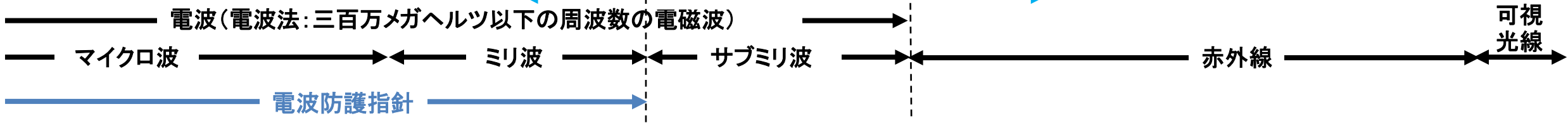
- ICTに係るエネルギーの増大への対応には、適切なアーキテクチャの設定や新規デバイスの開発が必須
- Beyond 5Gが2030年以降の社会課題を解決する持続的なサービス創成プラットフォームとなることを見込み、その課題から検討したアーキテクチャを提示
- 多様なシステムがサービスイネーブラとオーケストレータによりオープン組み合わせられ、CPSを活用したサービスを柔軟に構築できるアーキテクチャを提案

# Beyond 5Gにおけるテラヘルツ波通信

# テラヘルツ波



## テラヘルツ波



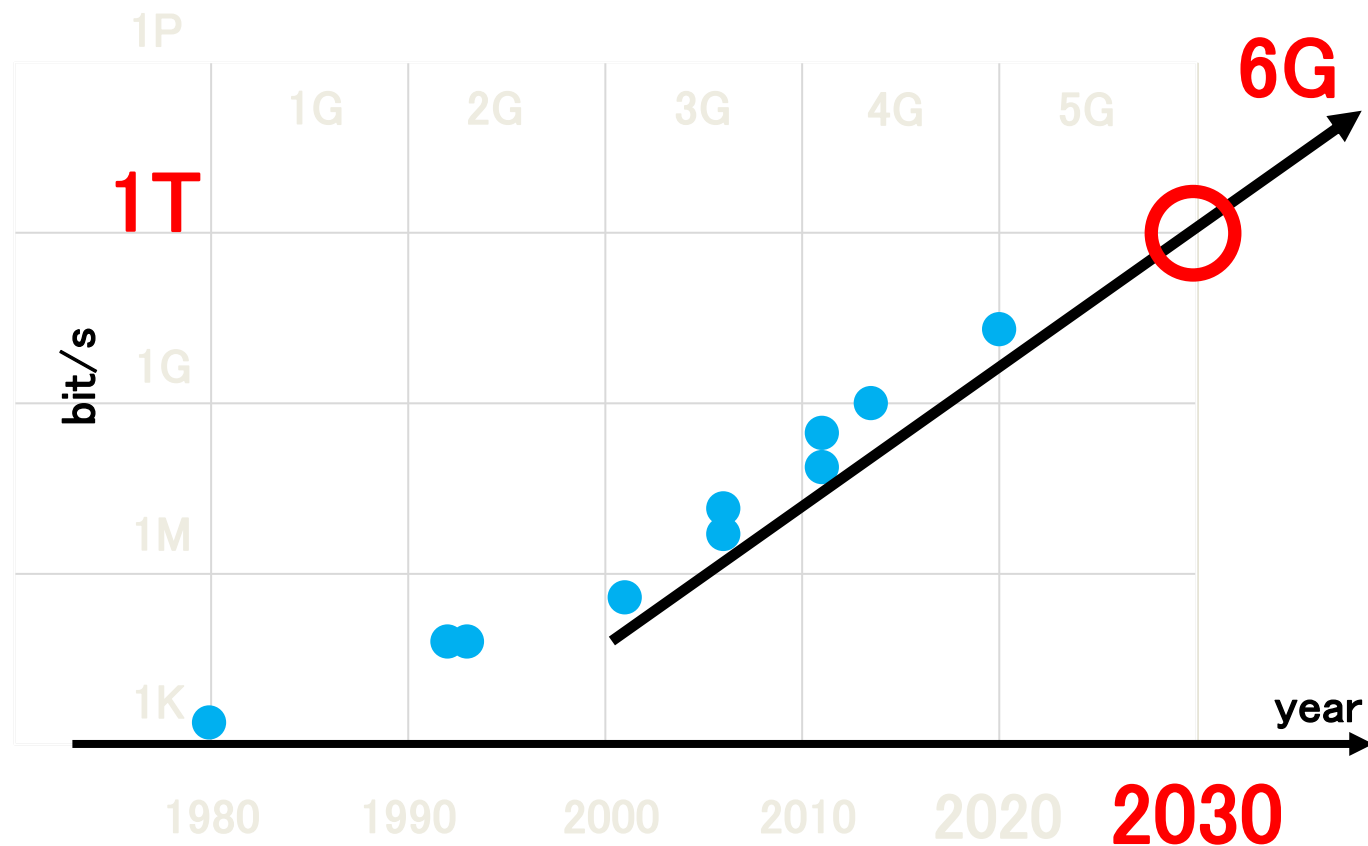
# テラヘルツ波通信に関する国際動向

- 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
- 従来の様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．

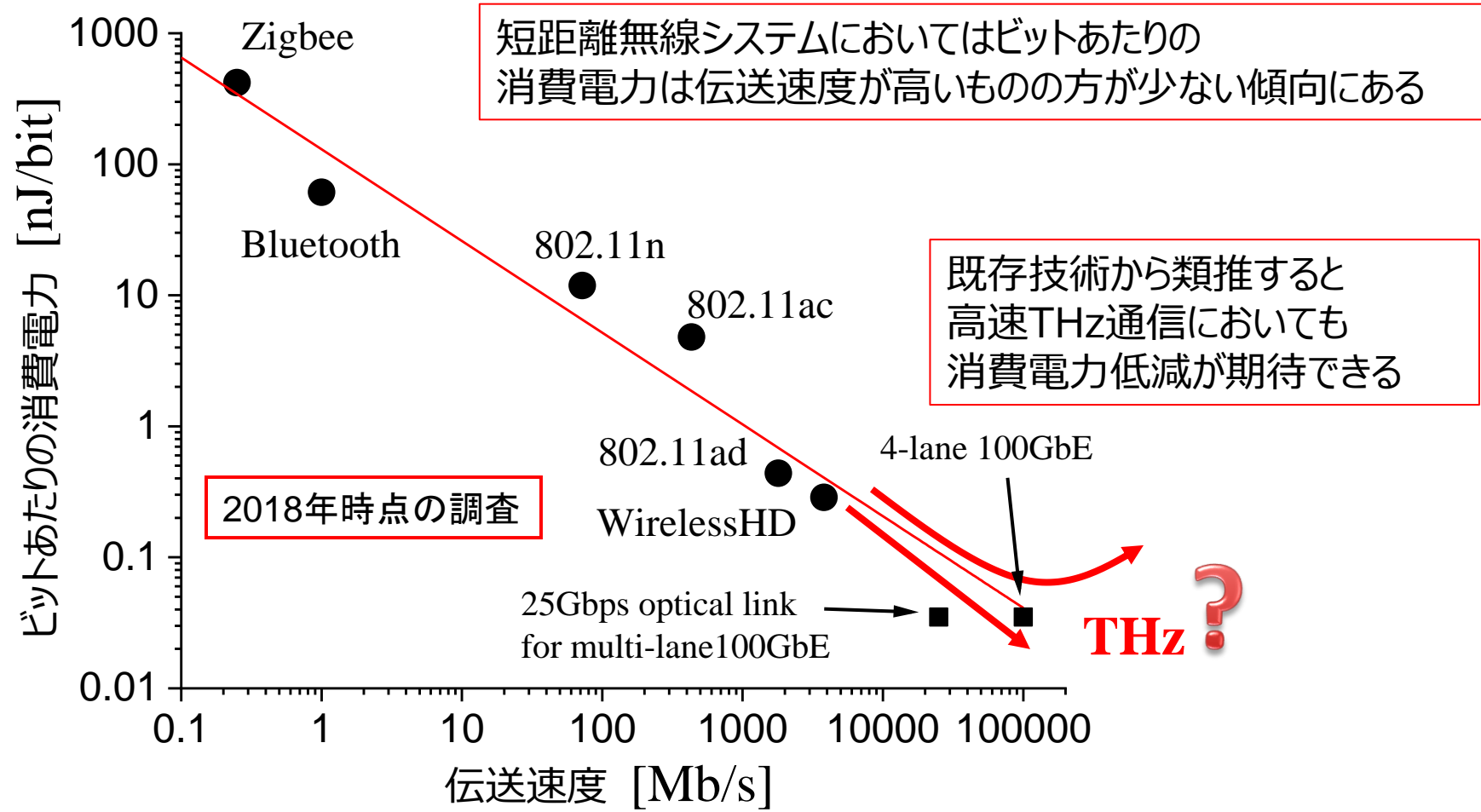
# 移動通信のデータレート



- ・国際競争が激化  
→主導的地位を確保できるか？
- ・Beyond 5G/6Gのセールスポイント？  
→この流れを作り出す  
→国際的仲間作りが重要
- ・日本はテラヘルツ分野をリード  
→要素技術では十分に力がある  
→総合的な技術として開発を加速する必要有  
(デバイス、システム、標準化)

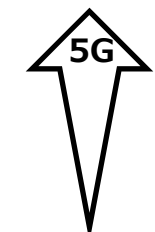
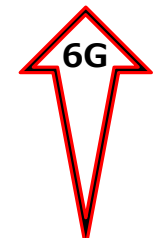
・6Gにおいて1Tbit/sを目標とする白書(海外)では、THz波を使うことが前提？

# 短距離無線システムにおける ビットあたりの消費電力



# 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
	8	24		60	96.0	0.64	0.320
				30	48.0	0.32	0.160
4K			3840×2160	60	12.0	0.08	0.040
2K			1920×1080	30	1.5	0.01	0.005



- ・ 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？

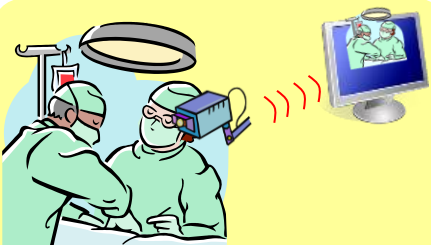


# Beyond 5G/6Gが切り拓くテラヘルツ通信の新サービスの例 (さらなる高速・大容量へのニーズ)



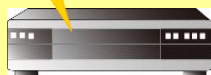
## VR/ARでエンタメに革新

- ・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



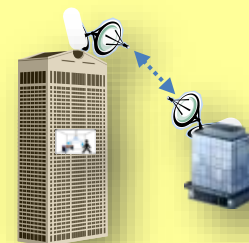
## 放送スタジオに革新

- ・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、

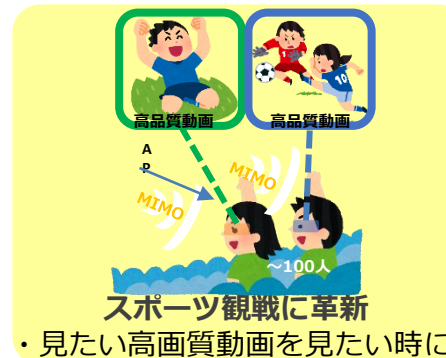
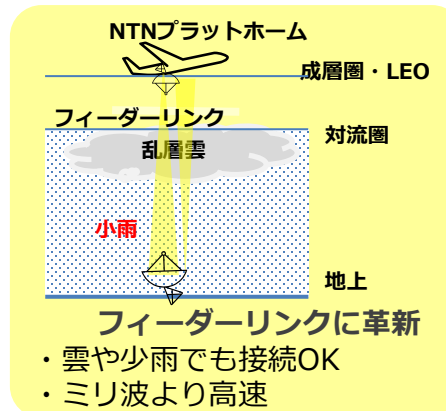
### 〇〇に革新

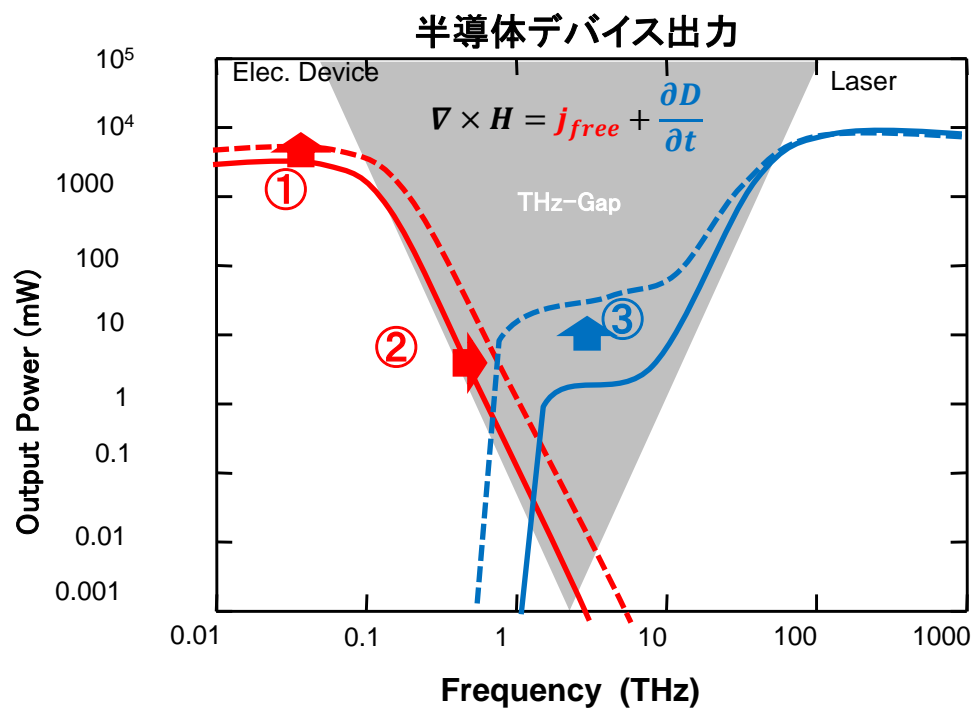
- ・新サービスに迅速に対応可能



# 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





## Friis transmission equation

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

アンテナ利得

$$\text{開口アンテナ: } G = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

自由空間伝搬損(FSPL)

$P_{RX}$ : 受信電力(W)

$P_{TX}$ : 送信電力(W)

$G_{RX}$ : 受信側アンテナ利得

$G_{TX}$ : 送信側アンテナ利得

$c$ : 光速(m/s)

$f$ : 周波数(Hz)

$d$ : 距離(m)

$\eta$ : 開口能率

$\lambda$ : 波長(m)

$D$ : 開口直径(m)

## Shannon-Hartley theorem

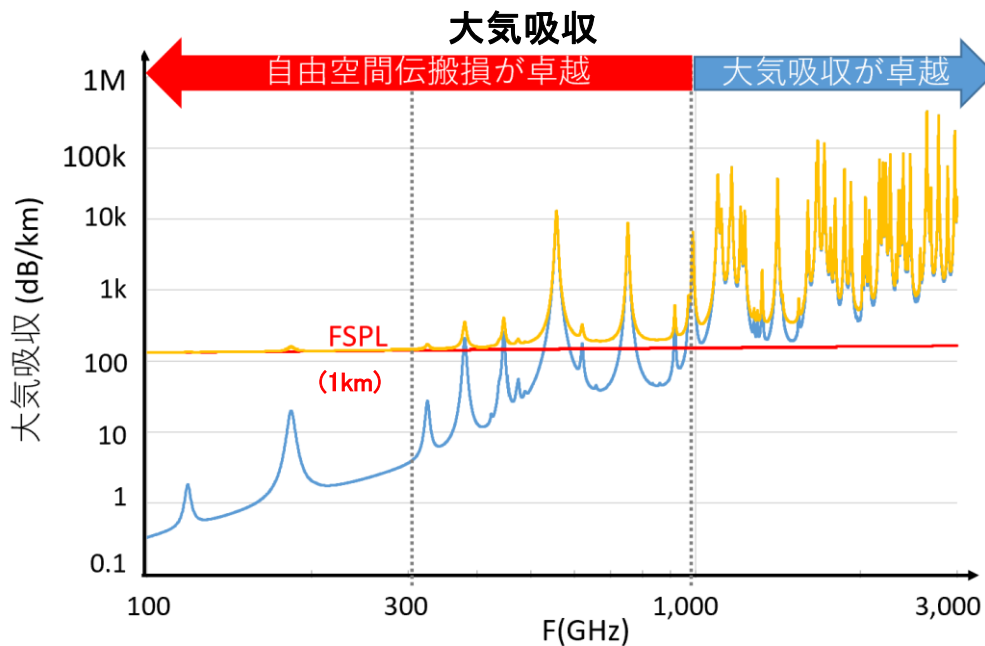
$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$C$ : 通信路容量で、単位はビット毎秒

$B$ : 通信路の帯域幅で、単位はヘルツ

$S$ : 帯域幅上の信号の総電力

$N$ : は帯域幅上のノイズの総電力



### 【テラヘルツ波無線の一般的特徴】

高利得小型  
アンテナ

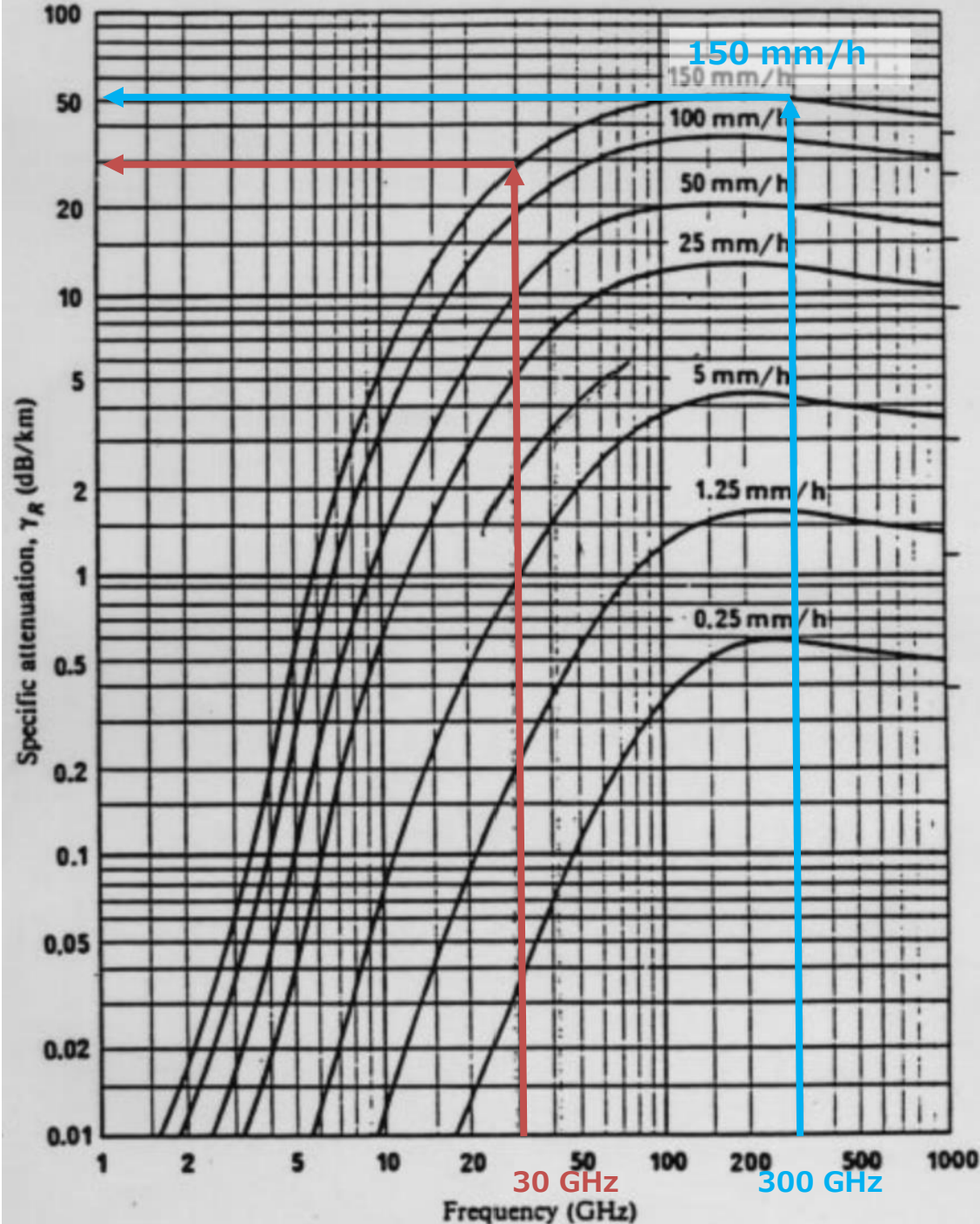
高利得小型  
アンテナ

P2P

近距離

高伝送レート

50 dB/km  
30 dB/km



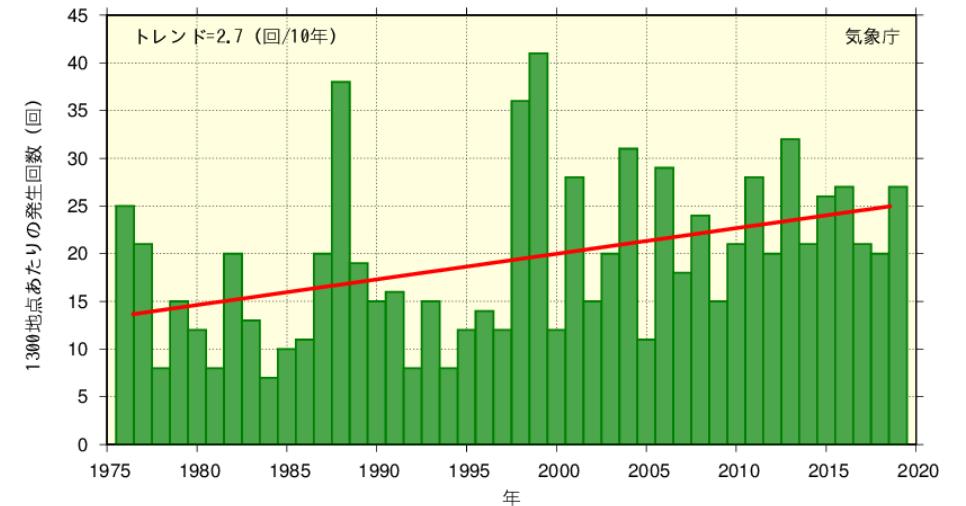
# 降雨減衰

全国の1時間降水量80mm以上の年間発生回数は増加しています(統計期間1976~2019年で10年あたり2.7回の増加、信頼度水準99%で統計的に有意)。最近10年間(2010~2019年)の平均年間発生回数(約24回)は、統計期間の最初の10年間(1976~1985年)の平均年間発生回数(約14回)と比べて約1.7倍に増加しています。  
2020年1月から10月までの1,300地点あたりの発生回数は35回です。

[www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme\\_p.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html)

全国の1時間降水量80mm以上の年間発生回数の経年変化(1976~2019年)

国土「メテオ」1時間降水量80mm以上の年間発生回数



棒グラフ(緑)は各年の年間発生回数を示す(全国のアメダスによる観測値を1,300地点あたりに換算した値)。直線(赤)は長期変化傾向(この期間の平均的な変化傾向)を示す。

数値データ: [http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/csv/amdhour80mm\\_p.csv](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/csv/amdhour80mm_p.csv)

# Guidelines for limiting exposure to EM fields (100 kHz to 300 GHz)

< BACK TO LIST

## RF EMF GUIDELINES 2020

100 kHz - 300 GHz

Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz) - Translation available in Japanese

The ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields are for the protection of humans exposed to radiofrequency electromagnetic fields (RF) in the range 100 kHz to 300 GHz. The guidelines cover many applications such as 5G technologies, WiFi, Bluetooth, mobile phones, and base stations.

This publication replaces and supersedes the 100 kHz to 300 GHz part of the ICNIRP (1998) radiofrequency guidelines, as well as the 100 kHz to 10 MHz part of the ICNIRP (2010) low-frequency guidelines.

ICNIRP 2020 RF Guidelines in brief

Basic restrictions

	Frequency range	ΔT	Spatial averaging	Temporal averaging	Health effect	Reduction factor	Workers	Reduction factor	General public
Core ΔT	100 kHz - 300 GHz	1°C	WBA*	30 min	4 W/kg	10	0.4 W/kg	50	0.08 W/kg
Local ΔT (Head & Torso)	100 kHz - 6 GHz	2°C	10 g	6 min	10 W/kg	2	10 W/kg	10	2 W/kg
Local ΔT (Limbs)	100 kHz - 6 GHz	5°C	10 g	6 min	40 W/kg	2	20 W/kg	10	4 W/kg
Local ΔT (Head & Torso, Limbs)	>6-300 GHz	5°C	4 cm <sup>2</sup> / 1 cm <sup>2</sup>	6 min	200 W/m <sup>2</sup> / 40 W/m <sup>2</sup>	2	100 W/m <sup>2</sup> / 200 W/m <sup>2</sup>	10	20 W/m <sup>2</sup> / 40 W/m <sup>2</sup>

\* WBA, whole body average

In the above presentation ICNIRP (2010) refers to ICNIRP (2020).

電磁界への曝露を制限するためのICNIRPガイドラインは、100kHzから300GHzの範囲の高周波電磁界(RF)に曝露されている人を保護するためのものです。

この出版物は、ICNIRP (1998) の高周波ガイドラインの 100 kHz から 300 GHz の部分に取って代わるものである。

**Citation:** ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys 118(5):483-524; 2020.

(Pre-print published in March 2020 under Health Phys 118(00):000-000; 2020).

**Content:** Guidelines including two appendices. The Guidelines provide the limits of exposure. Appendix A and B respectively provide further detail concerning the relevant dosimetry, and the biological and health effects reported in the literature.

### Additional Information

[FAQs on RF](#) (Translations available in Italian and Japanese)


[Differences between 2020 and 1998 Guidelines](#) (Translation available in Japanese)

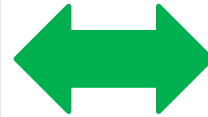
[Information on 5G](#)

Note that the [guidelines document in English](#) is the source reference.

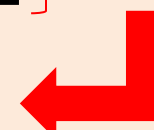
**Public Consultation** - The draft of the RF Guidelines was available for review through a public consultation process opened to everybody from 11 July to 9 October 2018. This process is reported [here](#).

## 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。

### 【案】

大気吸収のため、受動業務(観測)と能動業務は、空間的にすみ分ける共用が可能。

## 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、**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。

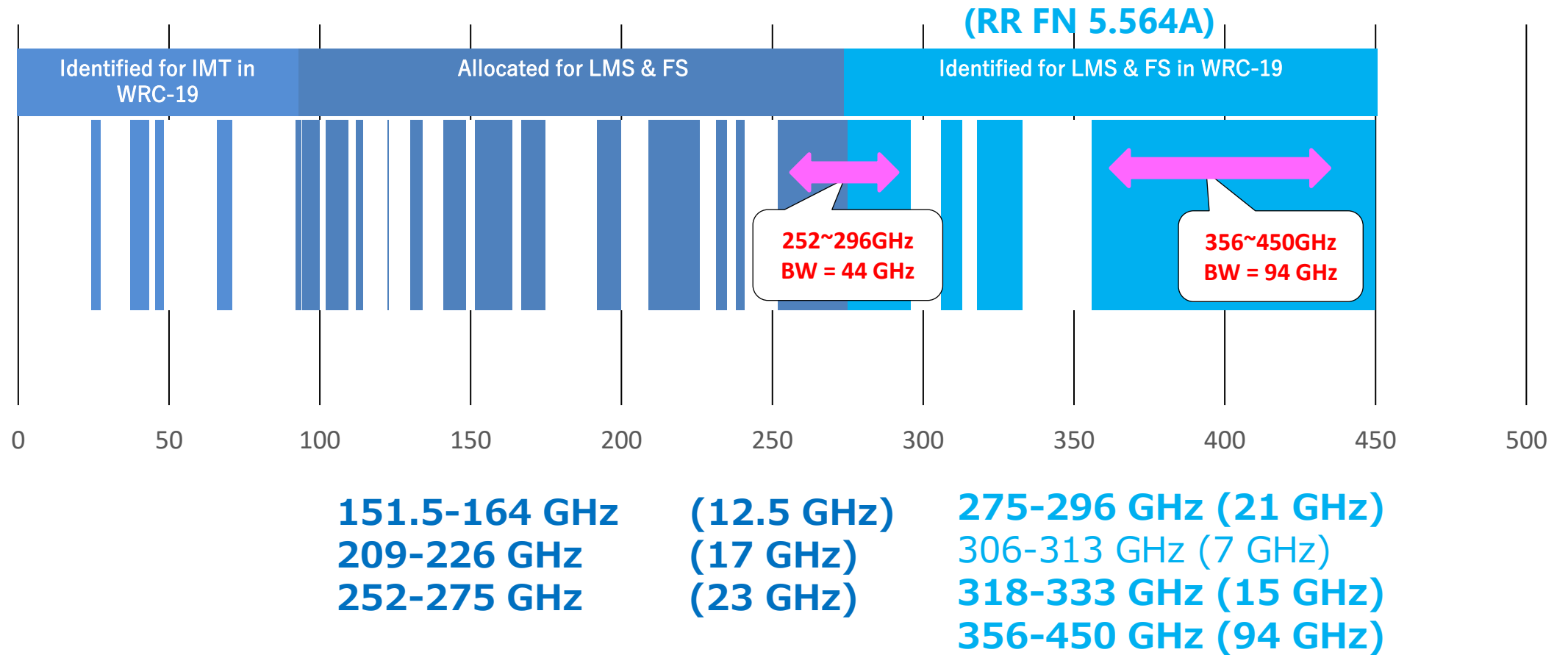
The different characteristics of this spectrum; the different nature of existing and potential future uses; and the technology developments in place to allow for greater sharing are setting the path to consider and manage this spectrum differently.

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。**

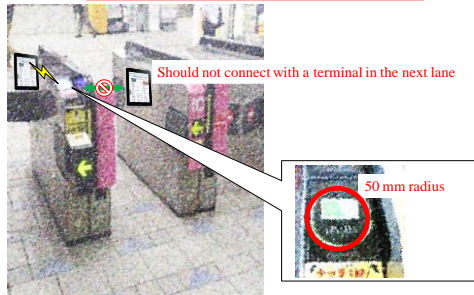
# Beyond 5G/6Gで新たに活用が期待されるTHz周波数帯 →IMT特定化@WRC23



# 世界初のテラヘルツ帯デファクト標準

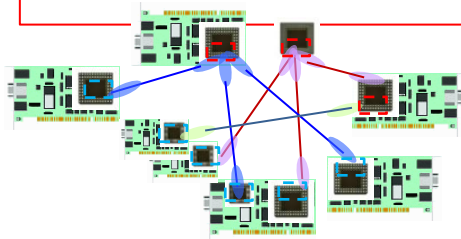
IEEE802.15.3d(2017) →改訂のためTG15.3mbがスタート

## Close Proximity P2P



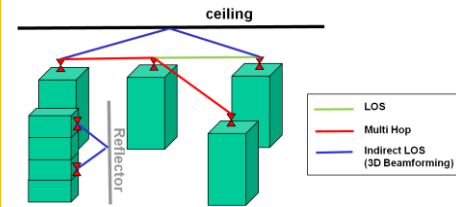
File downloading at toll gates in a train station

## Intra-Device Communication



Wireless board to board communication

## Data Center



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

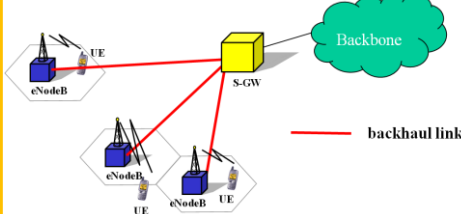
## 電波資源拡大のための研究開発

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

## Wireless Fronthaul



## Wireless Backhaul



<https://thorproject.eu/>

- 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



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。

## 本日のまとめ

- ICTに係るエネルギーの増大への対応には、適切なアーキテクチャの設定や新規デバイスの開発が必須
- Beyond 5Gが2030年以降の社会課題を解決する持続的なサービス創成プラットフォームとなることを見込み、その課題から検討したアーキテクチャを提示
- 多様なシステムがサービスイネーブラとオーケストレータによりオープン組み合わせられ、CPSを活用したサービスを柔軟に構築できるアーキテクチャを提案
- テラヘルツ波通信はBeyond 5Gを特徴付けるものとなる可能性
- テラヘルツ波通信の特徴、ユースケースの議論の様子、周波数利用の新しい考え方を提示

# B5G関係のリンク等 (NICT)

■ NICT (English)  
(Japanese)

■ NICT Channel

■ Beyond 5G 研究開発推進ユニット

■ Beyond 5G / 6Gホワイトペーパー

■ Beyond 5G 研究開発促進事業

■ What is the wireless emulator?

[NICT - National Institute of Information and Communications Technology](#)

[NICT-情報通信研究機構](#)

[NICTchannel - YouTube](#)

[TOP - Beyond 5G/NICT](#)

[B5G White Paper - Beyond 5G/NICT](#)

[Beyond 5G R&D Promotion Project \(nict.go.jp\)](#)

[What is the wireless emulator? — Society 5.0 is realized by the wireless emulator. — - YouTube](#)



***NICT***

**Beyond 5G R&D Promotion Unit**