テラヘルツテクノロジーフォーラム・近畿総合通信局　共催
テラヘルツ波帯の情報通信利用に関するフォーラム
「テラヘルツテクノロジーと超ブロードバンド情報通信の展望」

テラヘルツ波無線を支えるエレクトロニクス技術の現状と今後の開発戦略

独立行政法人 情報通信研究機構
未来ICT研究所
寶迫　巌

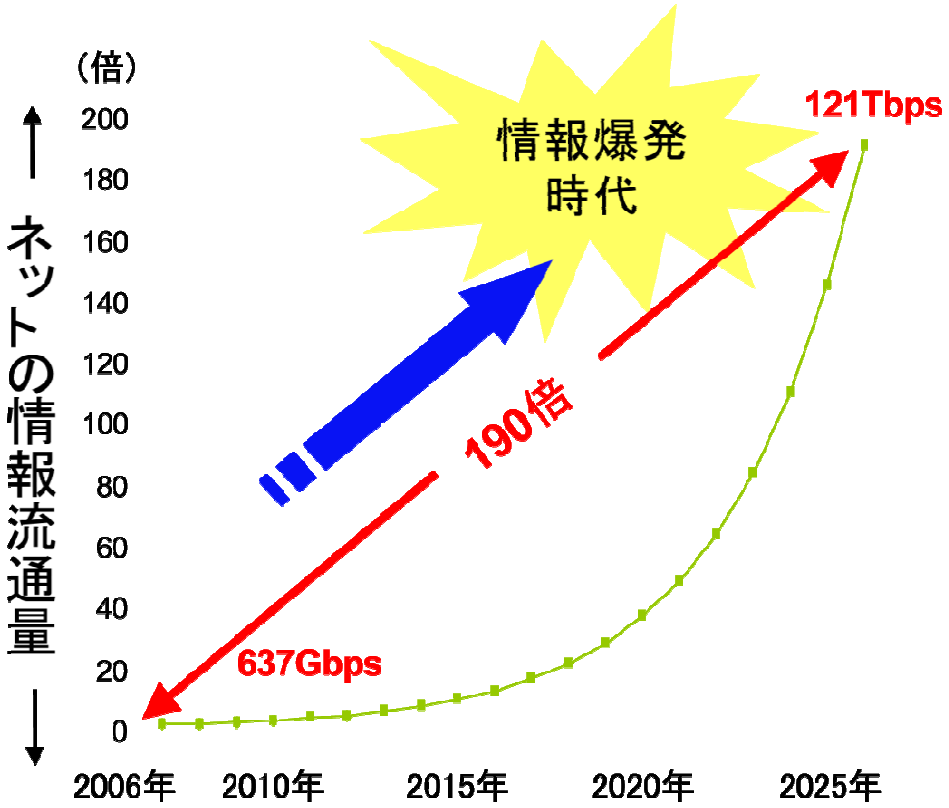
謝辞

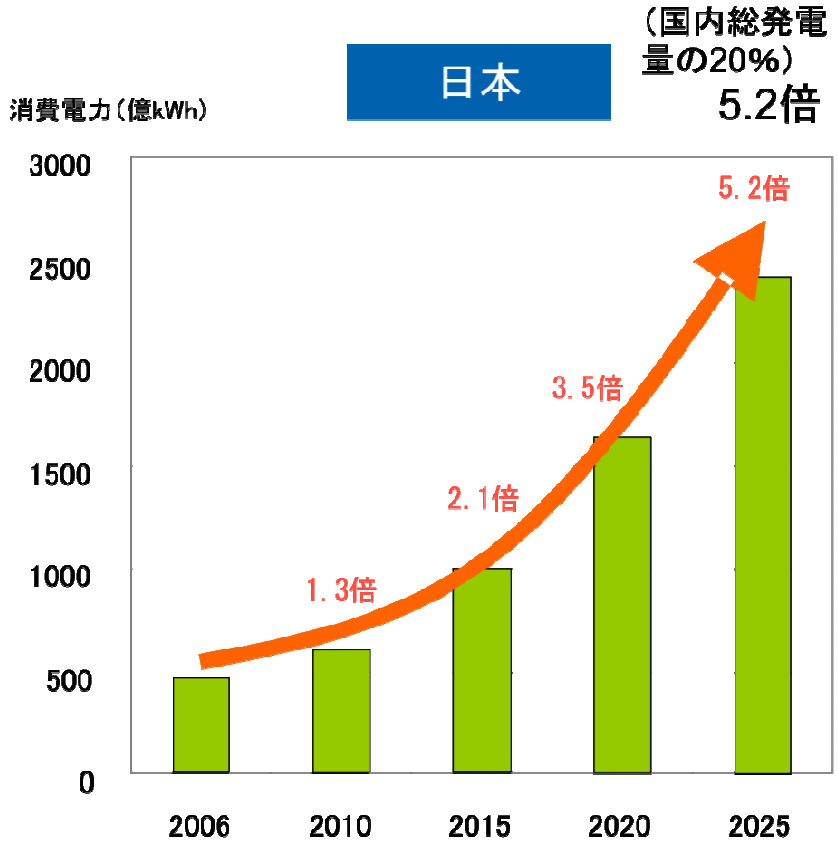
本講演の内容は、情報通信研究機構（NICT）の委託のもと、2009年度および2010年度にそれぞれ実施された「テラヘルツ技術動向調査」、「高速ICTデバイス技術動向調査」に基づき、さらに総務省近畿情報通信局が実施しました「テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会」での検討結果等をまとめたものです。ご尽力いただいた各調査委員会のメンバならびに、ご指導いただきました総務省関係各位に感謝いたします。

NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

「情報爆発」とICT関連の消費電力の将来推計

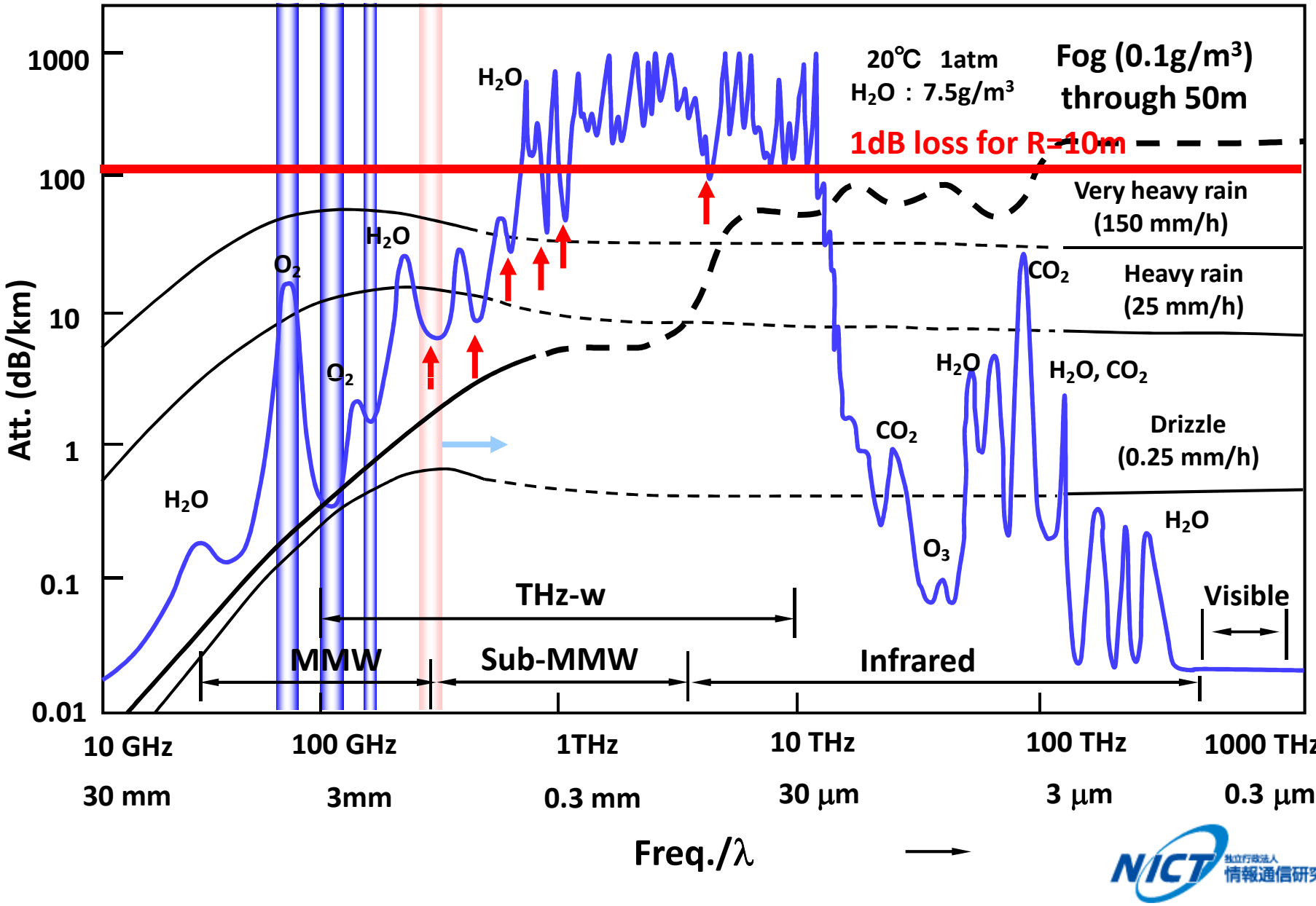
（経済産業省 商務情報政策局「グリーンITイニシアティブの推進」（平成20年10月））





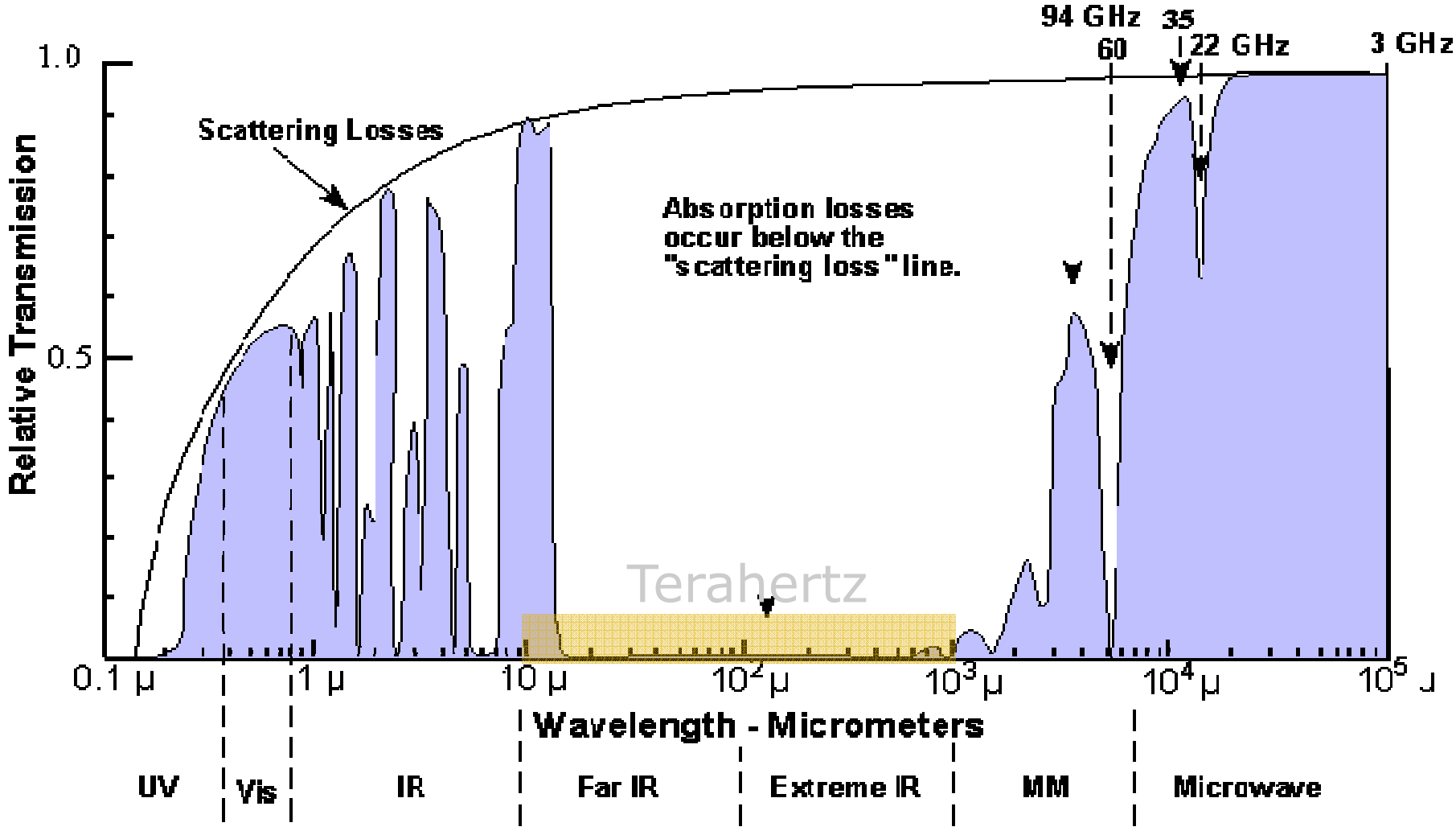
NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

「大気による吸収」:大気分子の衝突錯体:寿命～ピコ秒



NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

The Absorption Chasm Between The Optical And Radio Electromagnetic Spectrum



ITU-R

International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R)

Ch4 - AI 1.6: update spectrum use by passive services in 275-3000GHz, and possible procedures for free-space optical-links

WRC-07 Resolution(s)	ITU-R resp. group	ITU-R concerned Working Party(ies)
950 (Rev.WRC-07)	WP 1A*	7C, 7D (3M)
955 [COM6/9]	WP 1A (18 - 24 June 2008)	5C, 7B, (3M)

* based on requirements developed by SG 7

- ✓ Bands 275-3000 GHz not allocated, except for passive services for experimentation and development studies (EESS&SRS for climatological and meteorological purposes and RAS)
- ✓ Band above 3000 GHz already used for various optical applications from telecommunication links to satellite remote sensing

On-going studies:

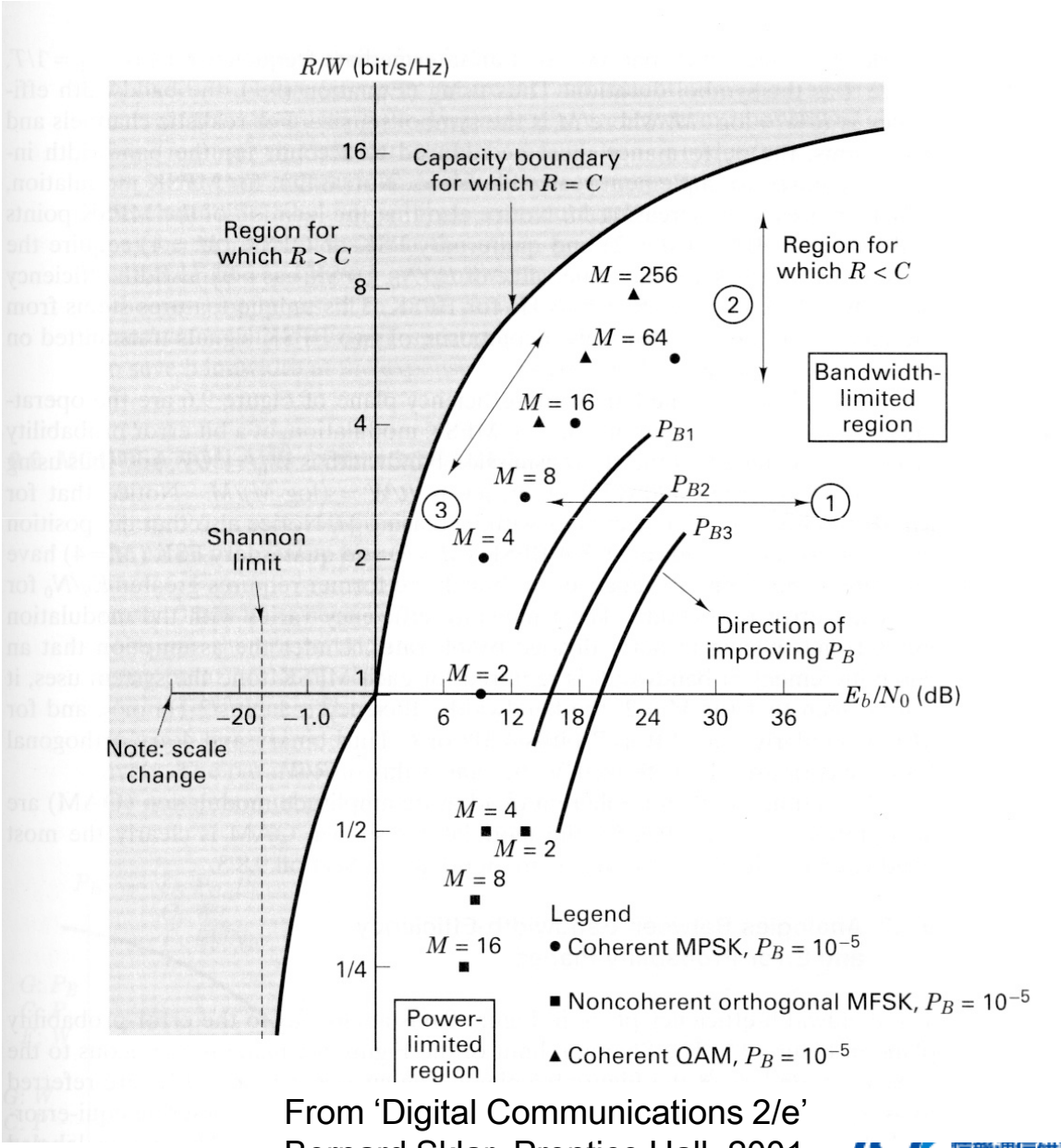
- ➢ On spectrum use from 275 to 3 000 GHz by passive services and for their protection
- ➢ On sharing aspects (at least) and on a clear definition of the limits for bands above 3000 GHz

Shannon Limit

Shannon Limit

$R \leq W \log_2 [1+S/(N_0 W)]$

Maximum capacity relies on signal Power and Bandwidth.
>> Large BW can compensate for lack of power.



From 'Digital Communications 2/e'
Bernard Sklar, Prentice Hall, 2001

情報通信研究機構

Spectrum available for active services without sharing with passive services

(based on current staus of discussion towrads WRC 2012)

Frequency Bands	Total available Bandwidth	Maximum Attenuation within the Band at 10 m
286-294 GHz*	**8 GHz**	101,8 dB
307-313 GHz	**6 GHz**	102,4 dB
356-361 GHz	**5 GHz**	103,7 dB
366-369 GHz	**3 GHz**	103,9 dB
392-397 GHz	**5 GHz**	104,5 dB
399-409 GHz	**10 GHz**	104,8 dB
411-416 GHz	**5 GHz**	104,9 dB
434-439 GHz	**5 GHz**	105,8 dB
467-477 GHz	**10 GHz**	106,5 dB
502-523 GHz	21 GHz	107,7 dB
527-538 GHz	11 GHz	109,9 dB
581-611 GHz	30 GHz	110,0 dB
629-634 GHz	**5 GHz**	108,9 dB

Frequency Bands	Total available Bandwidth	Maximum Attenuation within the Band at 10 m
692-713 GHz	21 GHz**/19 GHz**	110,1 dB
718-729 GHz	11 GHz	111,1 dB
733-750 GHz	17 GHz	> 145 dB
755-771 GHz	16 GHz	> 145 dB
776-823 GHz	47 GHz**/28 GHz**	111,9 dB
846-850 GHz	**4 GHz**	111,4 dB
854-857 GHz	**3 GHz**	111,5 dB
862-866 GHz	**4 GHz**	111,6 dB
882-905 GHz	**13 GHz**	112,2 dB
928-951 GHz	**23 GHz**	112,9 dB
956-968 GHz	12 GHz	115,6 dB
973-985 GHz	12 GHz	123,3 dB
990-1000 GHz	10 GHz	141,8 dB

Prof. Thomas Kürner http://www.ieee802.org/15/pub/IGthz.html

R & Dプロジェクト

EUと米国のTHz技術関連プロジェクト

EU (FP7)

OPTHER
安心安全のための**THz光源・増幅器などのTHz素子**。（2008-2011） 予算：245万ユーロ（2.6億円）

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)

Terahertz Electronics
1.03THzまでの**電子デバイス・集積回路**。
予算： 7673万ドル（73.6億円 ）/年
期間： 2009. 4-

その他2 400 GHz以上の**InP HEMT/HBT**
220GHz、5GHz 帯域の**高出力増幅器**

EU (FP7)

ULTRA
医療・ﾊﾞｲｵ応用を目的とした、低ｺｽﾄ・低消費電力・超小型**THzﾌﾟﾗｽﾞﾓﾆｸｽ素子**。（2008-2011） 予算：290万ユーロ（3億円）

DOTFIVE
ﾖｰﾛｯﾊﾟ半導体産業のﾐﾘ波におけるﾘｰﾀﾞｰｼｯﾌﾟ確立のため、**Siﾍﾞｰｽﾄﾗﾝｼﾞｽﾀ**の研究開発。（2008-2011） 予算：970万ユーロ （12.9億円）

MUSIS（EU）
ﾏﾙﾁｽﾍﾟｸﾄﾙｲﾒｰｼﾞﾝｸﾞを目的とした**センサ及びTHz光源**。（2008-2011） 予算：320万ユーロ（4.3億円）

NSF (National Science Foundation)

Nanostructure Components for Terahertz Spectroscopy on a Chip:
周波数可変な**THz光源・検出器**の実現 （2006~2010）

その他2
2009年度スタート総額：約7億円
2010年1-5月スタート：約3.5億円

NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

Listing of Research Groups and ongoing Research Projects in THz-Wireless communication

- Labs in Europe
  - TCL @ Braunschweig / Marburg
  - Fraunhofer IAF / KIT
  - IHP
  - UCL
- Running Projects in Europe
  - Millilink
  - FP7-RooTHz (2.1M€～2.4億円)
  - FP7-dotFive (9.7M€～12.9億円)
  - FP7-IPHOBAC (11M€～12.7億円)
  - FP7-IPHOS (4.48M€～5.2億円)

- Labs in the US
  - AT&T Shannon Labs
  - UCLA
  - Georgia Tech
  - TI Kilby Labs
- Labs in Asia
  - NTT
  - Osaka University
  - Korea University
  - Institute for Infocomm Research, Singapore
  - SIMIT, Shanghai, China
  - NICT

日本のプロジェクト

- Labs
  - NICT、理研
  - 阪大、京大、福井大、名大、静大、東工大、東大、筑波大、東北大
  - NTT、NEC、アドバンテスト、浜ホト、Canon、村田製作所、大塚電子、栃木ニコン、アイシン精機、・・・・
- Running Projects in Japan
  - JST産学共創（30億円/10年）
  - 電波利用料R&D（2.4億円/年）

独立行政法人
科学技術振興機構 Japan Science and Technology Agency
科学技術振興機構（略称ＪＳＴ）は、イノベーションの創造を推進します。
知の創出から研究成果の社会還元とその基盤整備を担うわが国の中核的機関です。

平成２３年６月１４日

JST（理事長　北澤 宏一）は、研究成果展開事業（産学共創基礎基盤研究プログラム）の技術テーマ「テラヘルツ波新時代を切り拓く革新的基盤技術の創出」における新規研究課題を決定しました。　http://www.jst.go.jp/pr/info/info801/index.html

研究代表者		研究課題名
氏名	所属	
浅田 雅洋	東工大	共鳴トンネルダイオードによる超小型・高効率の室温テラヘルツ発振器の研究
小川 雄一	京大	テラヘルツ波を用いた革新的次世代細胞計測・操作のための基盤技術の開拓
川瀬 晃道	名大	先端非線形フォトニクス・テラヘルツ発生／検出技術の開発
水津 光司	千葉大	テラヘルツ・エバネッセント波による複素誘電率分光計測
斗内 政吉	阪大	レーザー走査型テラヘルツイメージングシステムの開発と応用分野開拓
富永 圭介	神戸大	凝縮相テラヘルツ分子科学の深化
永井 正也	阪大	極限的高効率THzパルス発生技術の確立と高性能物質－THz結合デバイスとの融合と応用
平山 秀樹	理研	THz量子カスケードレーザの動作高温化と周波数拡大に関する研究
廣本 宣久	静岡大	1THz帯高検出能常温検出器技術の研究
保科 宏道	理研	テラヘルツ分光による高分子構造の解明と操作
安井 武史	徳島大	国家標準にトレーサブルなコヒーレント周波数リンクの創生とそれに基づいたテラヘルツ周波数標準技術の系統的構築
山下 将嗣	理研	テラヘルツ波を用いたアモルファス薄膜のキャリア輸送特性非破壊評価技術の開発

NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

平成23年6月17日

総務省 MIC Ministry of Internal Affairs and Communications

平成23 年度電波資源拡大のための研究開発に係る提案の公募の結果

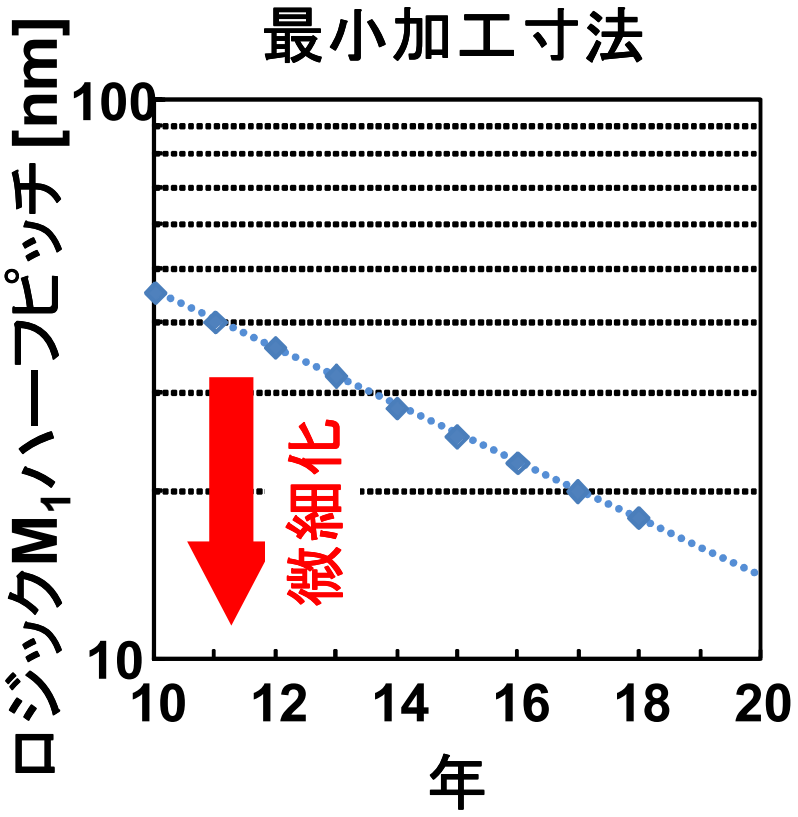
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_01000030.html

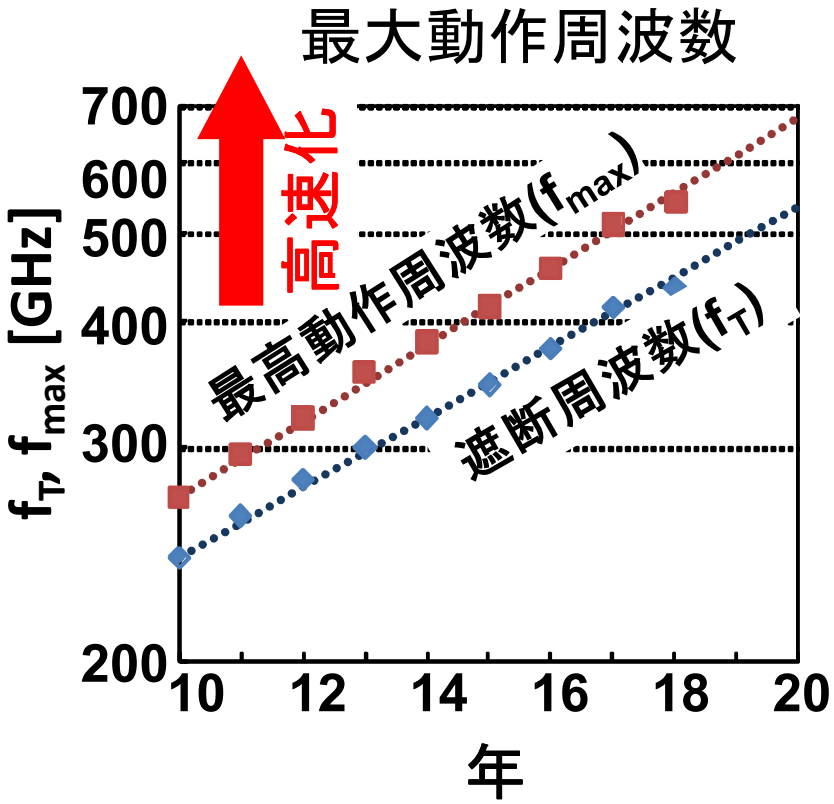
個別研究開発課題	提案者（下線部は代表研究機関）
動的偏波・周波数制御による衛星通信の大容量化技術の研究開発	日本電信電話株式会社
	株式会社国際電気通信基礎技術研究所
100GHz 超帯域無線信号の高精度測定技術の研究開発	アンリツ株式会社
	富士通株式会社
超高周波搬送波による数十ギガビット無線伝送技術の研究開発	日本電信電話株式会社
	富士通株式会社
	独立行政法人情報通信研究機構
79GHz 帯レーダーシステムの高度化に関する研究開発	パナソニック株式会社
	富士通株式会社
	国立大学法人広島大学
電波環境適応レーダーの研究開発	日本無線株式会社
ホワイトスペースにおける新たなブロードバンドアクセスの実現に向けた周波数高度利用技術の研究開発	独立行政法人情報通信研究機構
	国立大学法人新潟大学
	日本電信電話株式会社
	国立大学法人東京大学
	株式会社日立国際電気

NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

デバイス技術の進展

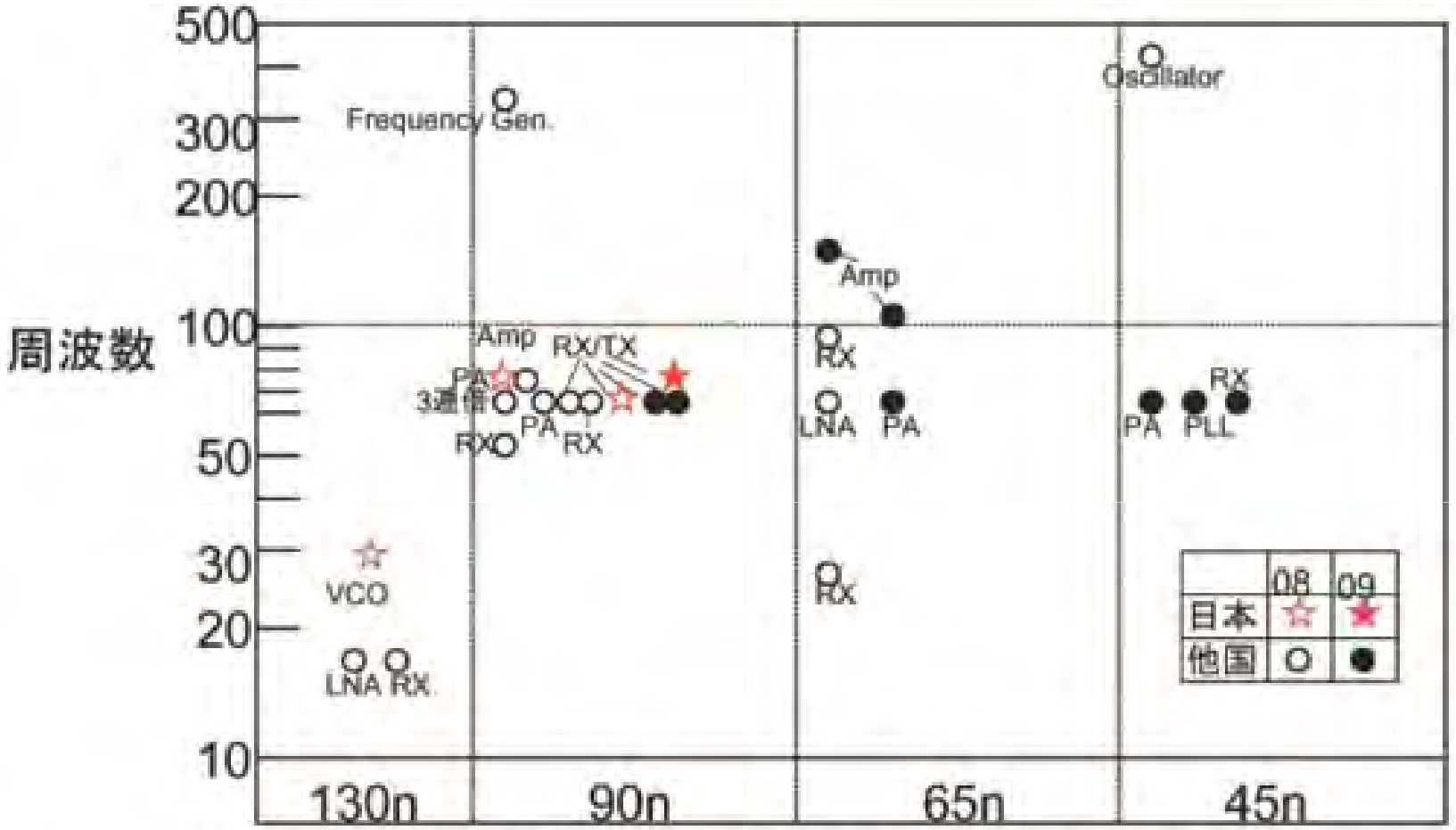
MOSFETの微細化と高速化のトレンド （ITRS予測）





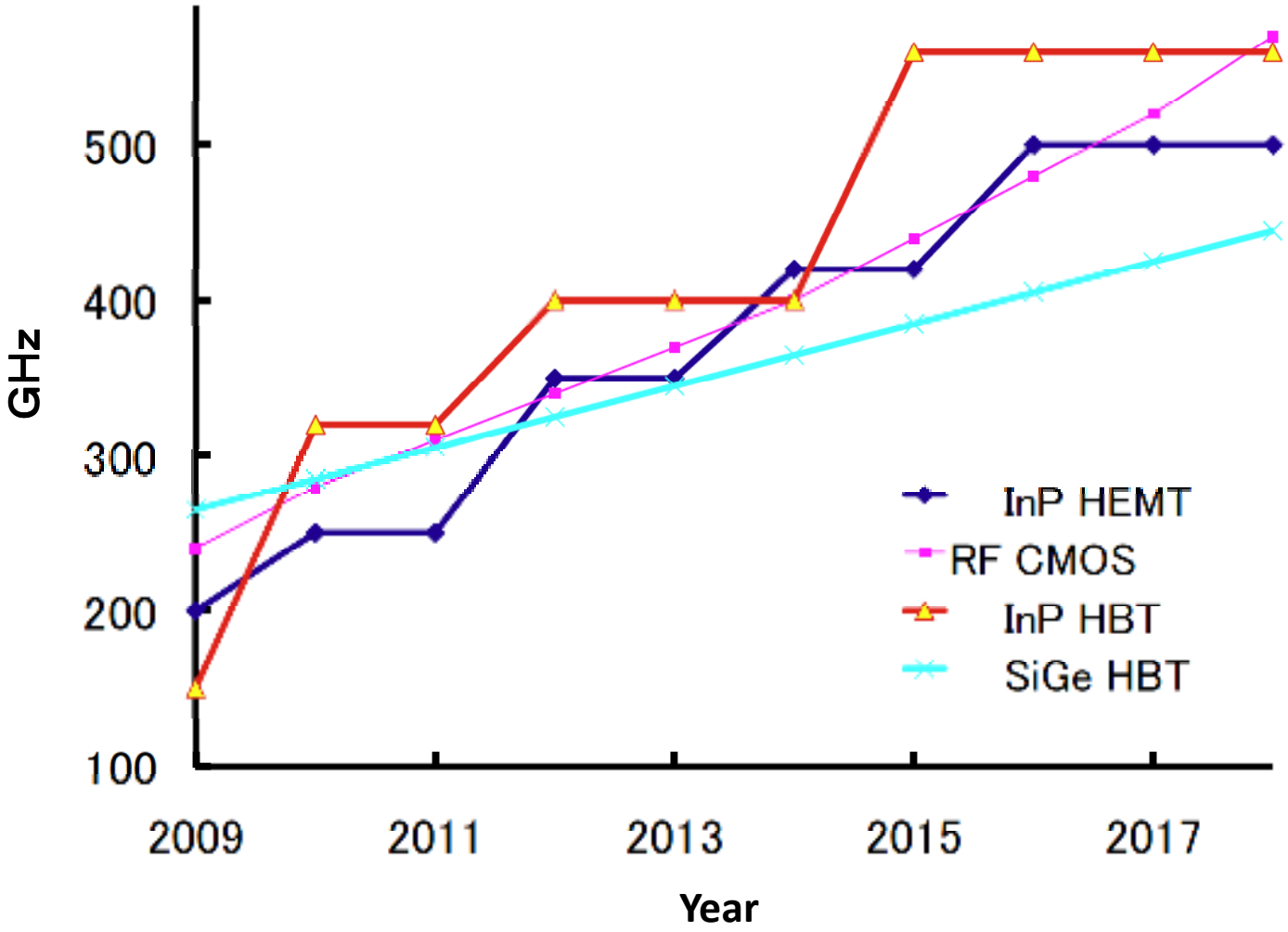
NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

ISSCCにおけるCMOS開発動向



(a) ISSCCにおける準ミリ波・ミリ波CMOSの動向

化合物半導体デバイスの遮断周波数 （ITRS予測）

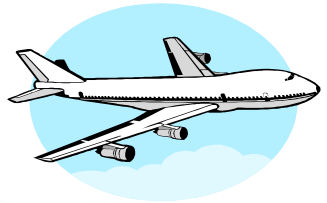


NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

技術開発の方向性

データを持ち歩くライフスタイル

大容量（ストレージ、伝送速度とも）携帯端末の普及で
人の動きとデータの流れが絡み合う

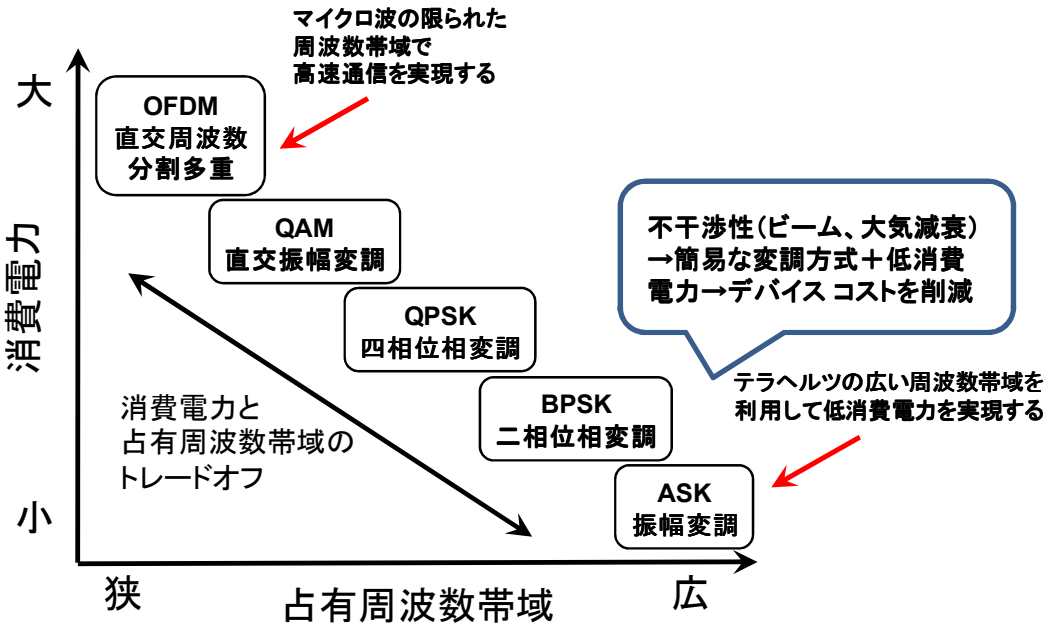


移動途中・待機中に大量のデータをダウンロード？
→遅い伝送でOK
瞬間的に高速伝送でダウンロード？
→すぐ低消費電力モードに入ることができる

NICT：川西哲也による。

超高速無線通信: IT産業におけるイノベーション

・ネットワーク: ラストアクセスのボトルネックを解消、有線と速度差のない超高速無線化
・インターフェース: 超高速無線化
→大容量情報へのアクセス利便性の格段の向上: 生活スタイルの変化
→低エネルギー消費社会の実現: 常時接続から瞬時接続へ



高速化= 小型化

・携帯機器に搭載可能
・機器内接続に利用可能

300GHz帯

2~5mm

【技術的課題】・技術先導: フォトニクス(光変換)技術 (>300GHz)、
アンテナ(指向性制御)、フィルター技術

・産業化: 電子デバイスの高速化、回路技術の進展
(InP-Tr集積回路; 現在の100GHzを300GHz以上に)

【政治的課題】・275GHz以上の帯域は、利用が定まっていない。早い者勝ち！

NICT 独立行政法人 情報通信研究機構

超高速無線通信: 10年後の可能性、伝搬特性、変調方式、伝送レート、線表

【NICTの役割】

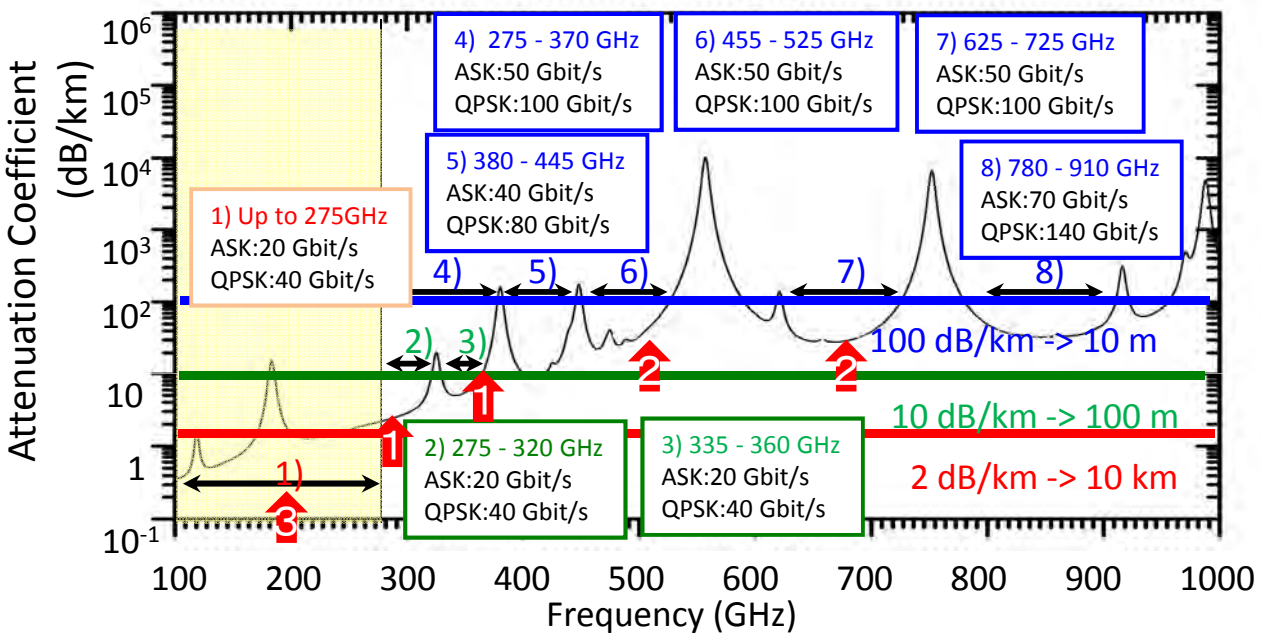
・エンドユーザの利便性を高める超高速無(>10Gbps)プロトタイプの創出、時代を先導

・技術的ハードルが高く、民間での開発が困難な超高周波キャリアを用いた数十Gbit/s級無線の実例を示し業界を先導。国際標準化を推進　→上位層の研究開発も誘起

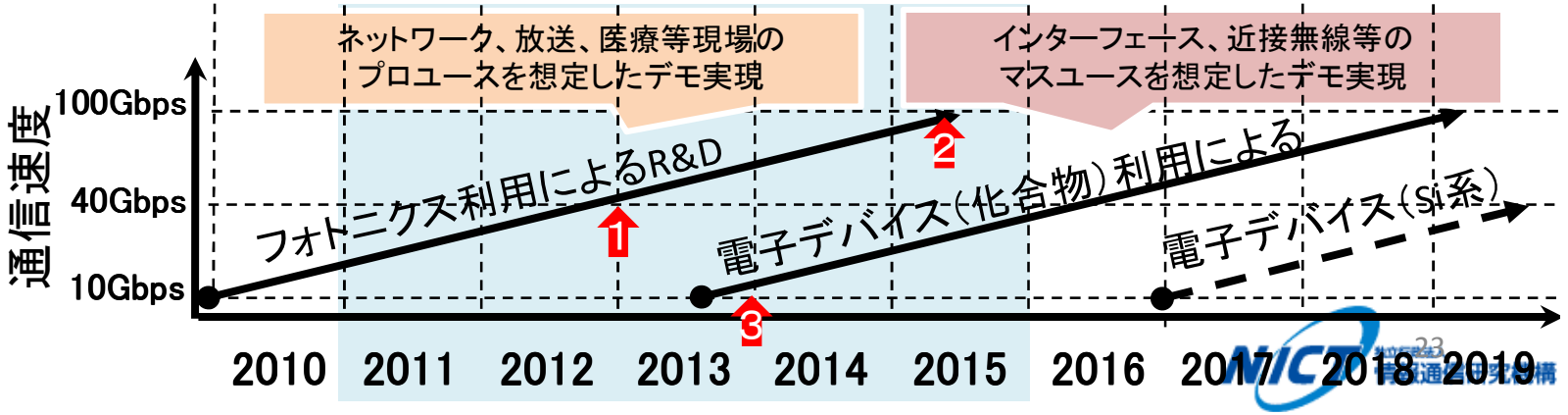
1. フォトニクス利用　40Gbit/s@2) or 3)
   プロユースを想定(P-P)、

2. フォトニクス利用 100Gbit/s@6) or 7)
   プロユース(近接)を想定

3. 電子デバイス(化合物)利用
   10Gbit/s@1) 200GHz
   マスユース(WLAN、5G携帯)を想定



超高速無線アクセス実現による革新的エクスペリエンスの実現



まとめ

まとめ

- 情報爆発 vs 消費電力、伝送容量の推移、大気吸収、シャノンの原理
- ITU-R：WRC2012、受動業務、能動業務
- プロジェクト：北米、欧州、日本
- 電子デバイス技術の進展：MOS、InP、GaN、電子管
- 技術開発の方向性
  ラストアクセスのボトルネック解消、
  生活スタイルの変化、近接無線、瞬時接続、
  ビット当たりの消費電力、
  光ファイバ通信との親和性