

# 宇宙における テラヘルツ無線技術の活用

永妻 忠夫(大阪大学)  
テラヘルツシステム応用推進協議会

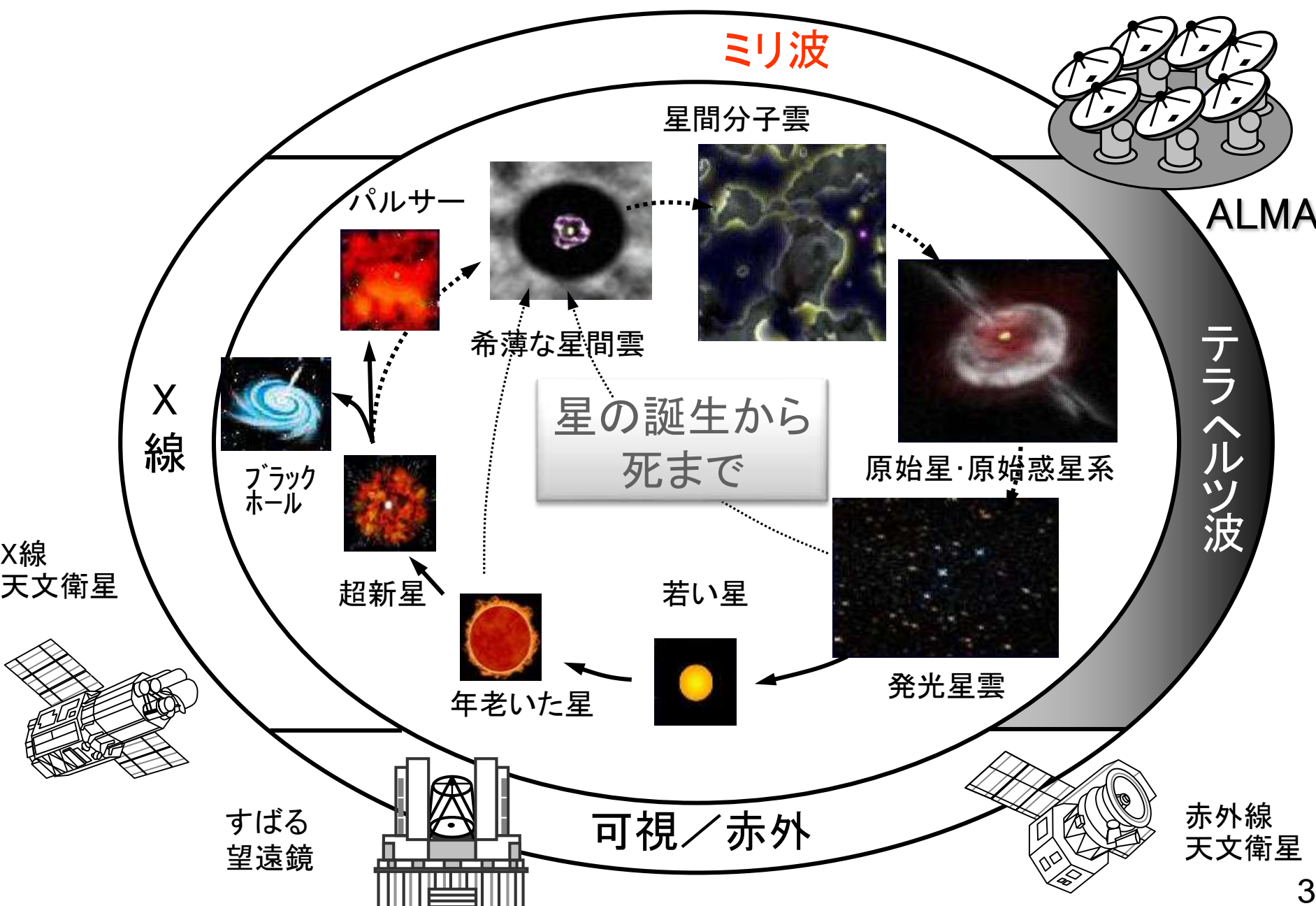
平成29年2月6日

# テラヘルツ波とは



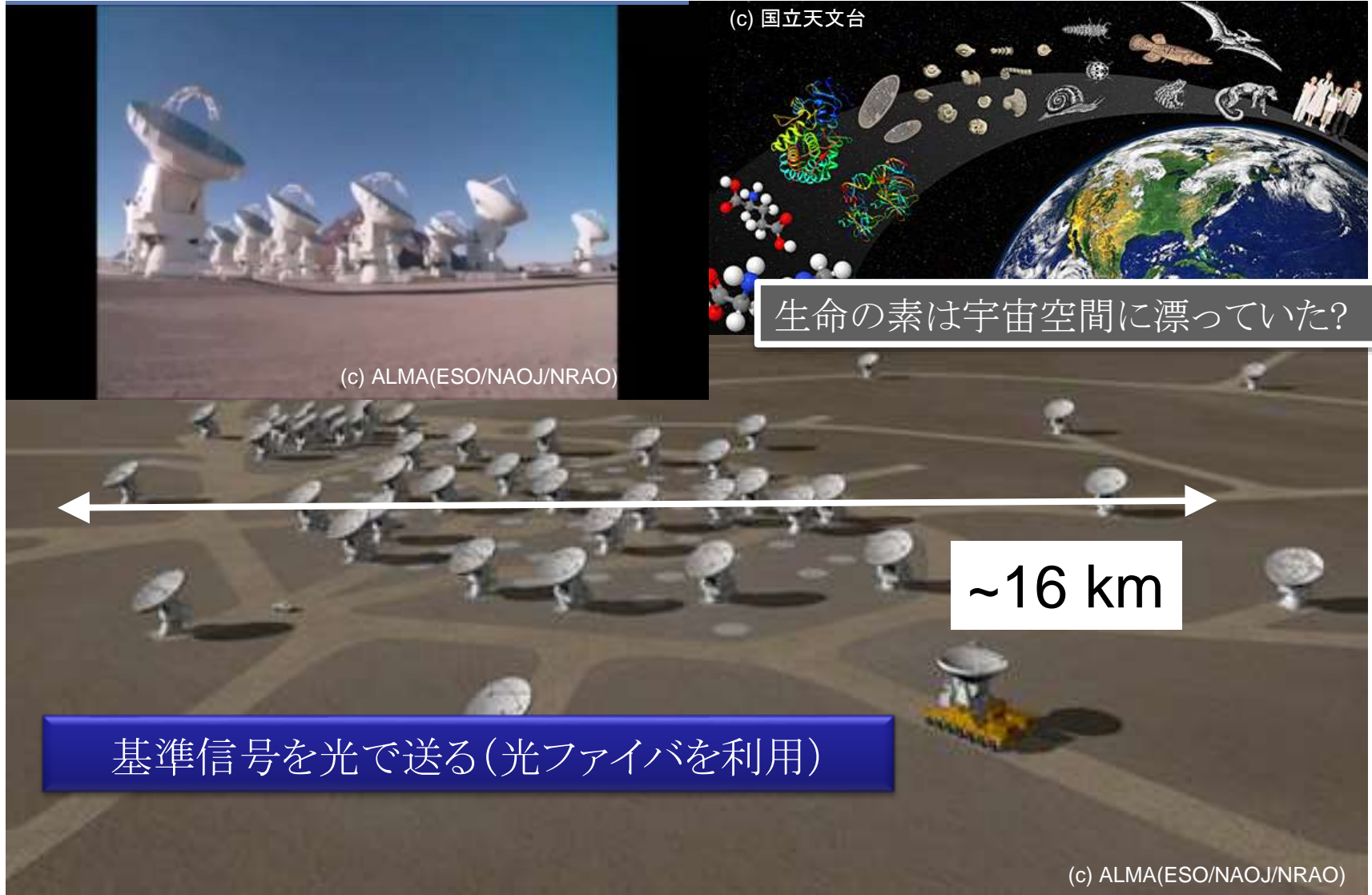
*98 % of photons emitted since Big Bang is THz*

# 星の一生と電磁波



# 山手線大のアンテナで宇宙からの電波を観測

## Atacama Large Millimeter/submillimeter Array



# 半導体デバイス技術の進展

1 THz ~ 1 ps

~ 300  $\mu\text{m}$  ~

4 meV ~ 50 K

$$E = hf = kT$$

電子を使った手法  
(電波)



トランジスタ:

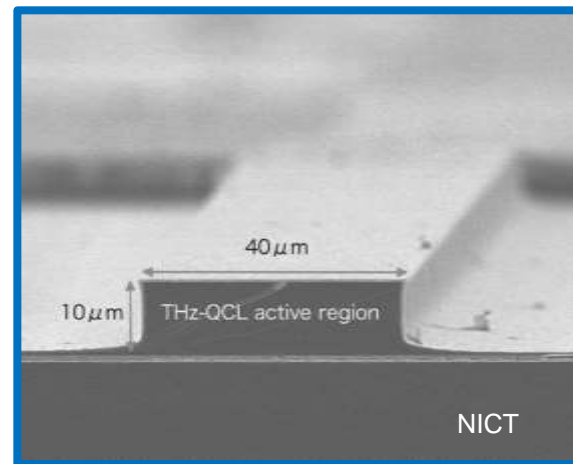
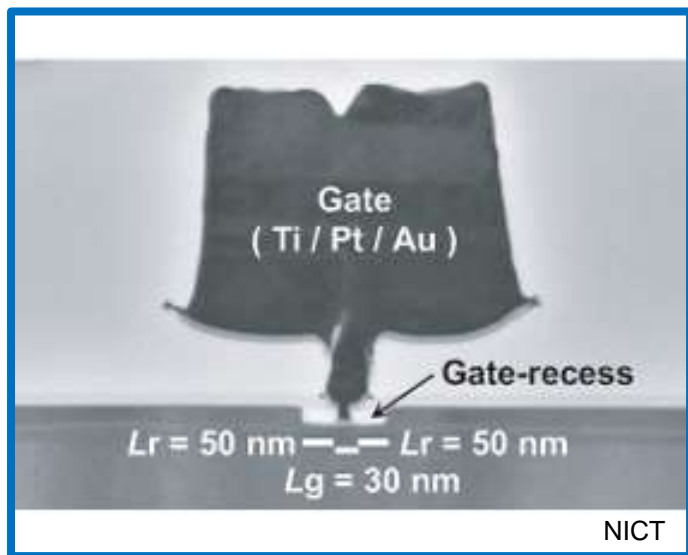
電子の走行速度の壁の打破

光子を使った手法  
(光波)



レーザ:

温度、材料の壁の打破



# 様々な産業機器への展開

## 分光装置



(c) TeraView® 2016



(C)TOPTICA Photonics AG



写真提供: 日邦プレシジョン社

## イメージング装置



Picometrix,  
a division of Luna  
Innovations.



写真提供: 株式会社アドバンテスト

## カメラ



NEC, NICT



写真提供:  
海洋総合開発株式会社

## 膜厚検査装置



Picometrix, a division of Luna Innovations.

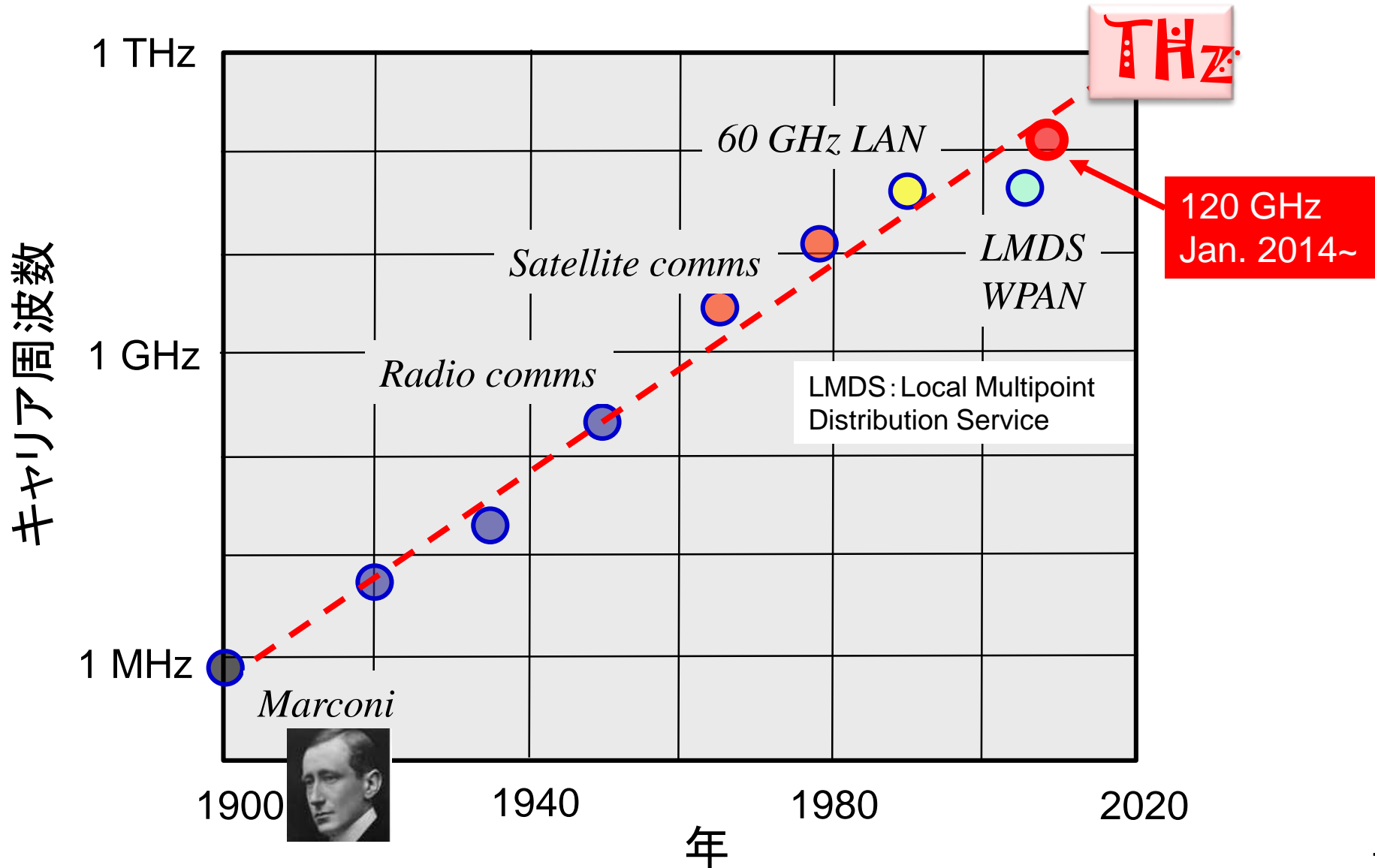
## 無線装置



NTT, NHK

# 無線キャリア周波数の開拓と年代

Courtesy of T. S. Bird (CSIRO)



# テラヘルツ無線のメリット

広い帯域の利用👉大容量・高速化、低電力化

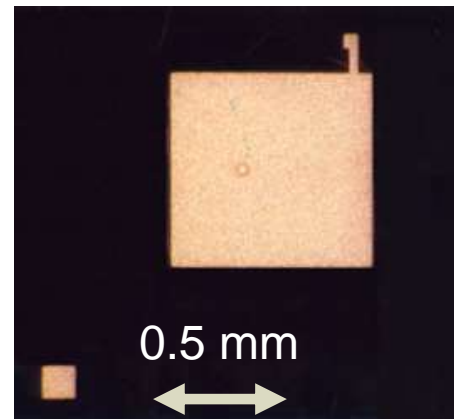
伝送速度 (bit/s)

= **帯域** (Hz)  $\log_2 (1 + \text{信号電力}/\text{雑音電電力})$

短波長👉アンテナの小型化、装置の小型軽量化



GPSアンテナ:  
パッチアンテナ(1.5 GHz)

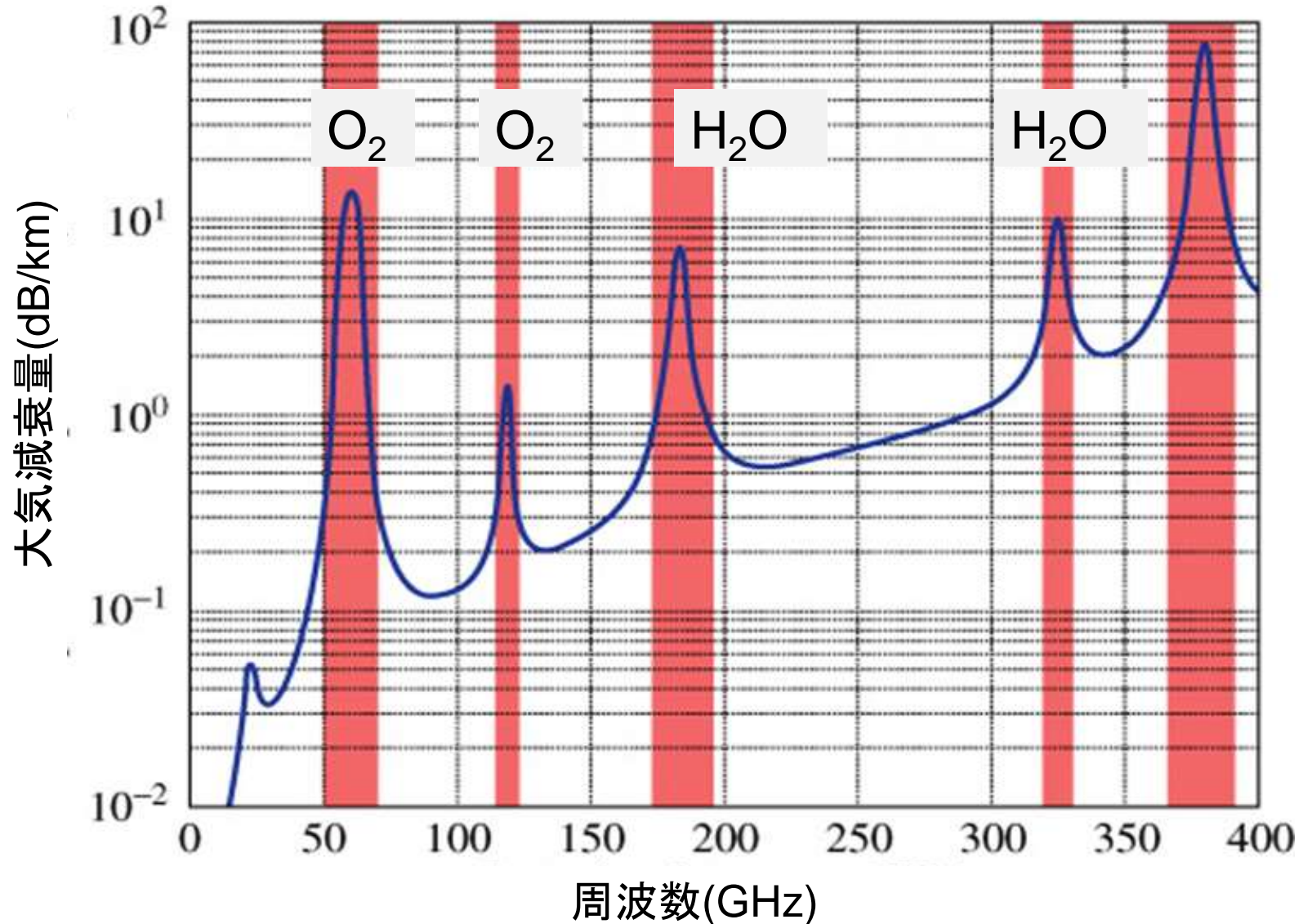


120GHz帯パッチアンテナ

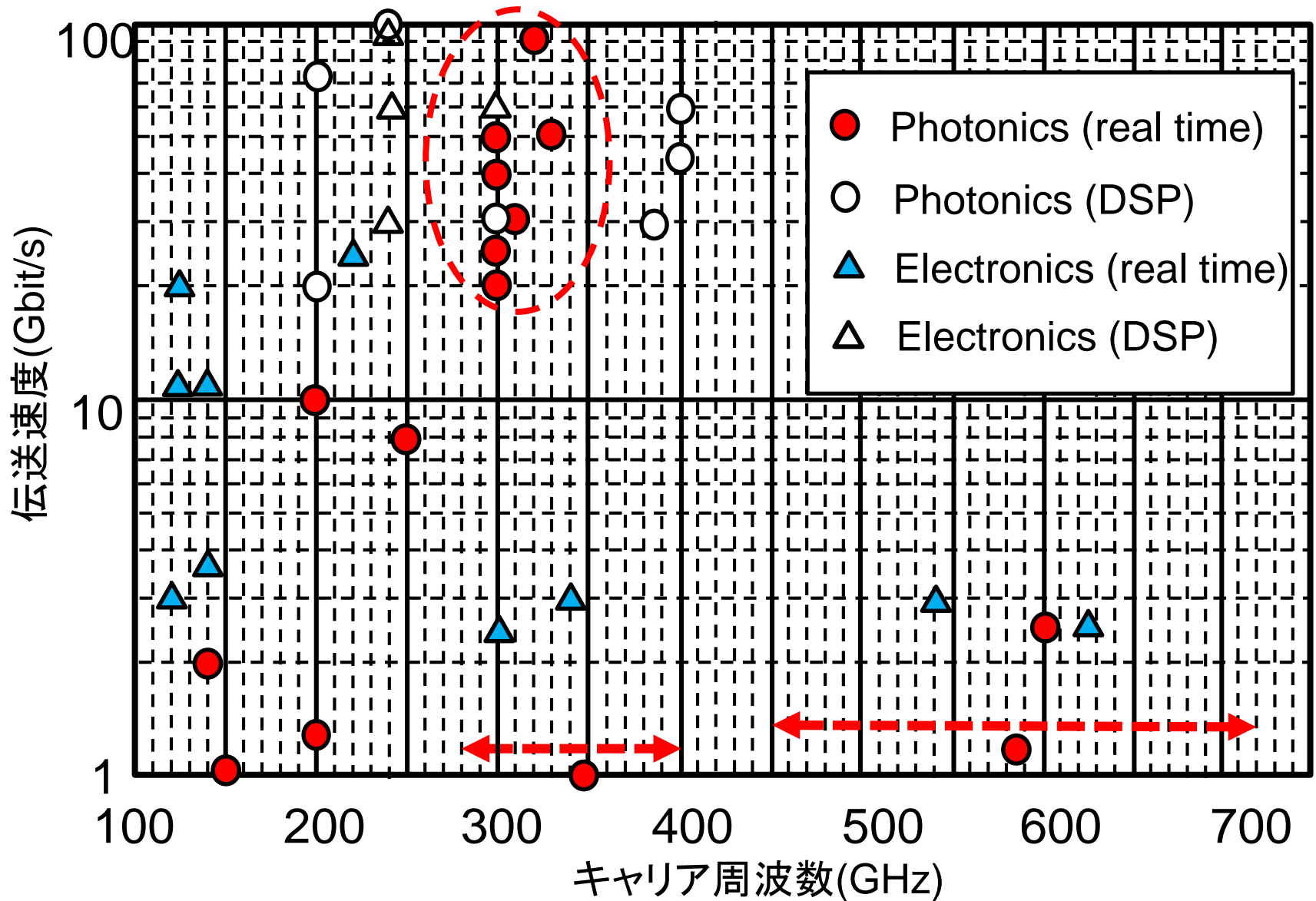


# テラヘルツ無線のデメリット

大気による減衰の影響を受ける(宇宙では影響なし)



# 最近のTHz無線の研究



# テラヘルツ無線の宇宙への適用

□ 高速通信(高スループット) >100 Gbit/s

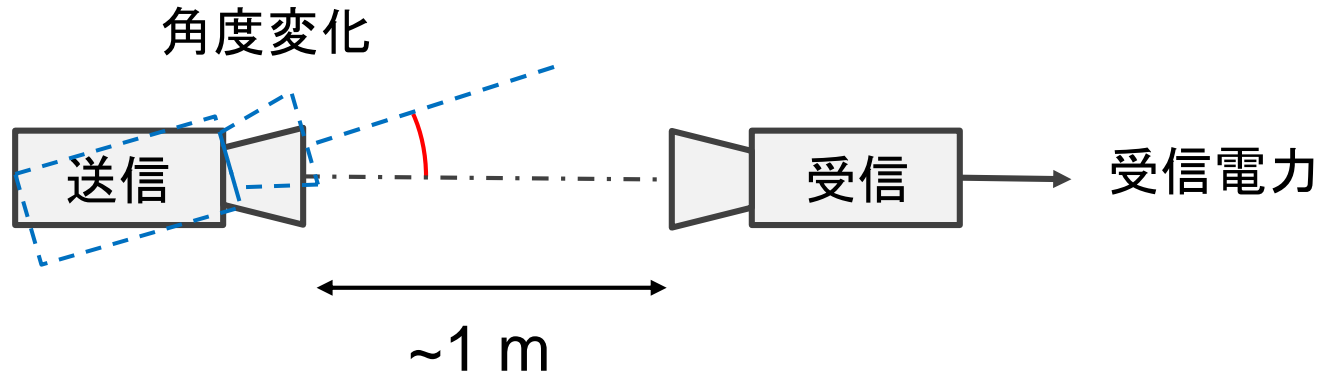
□ システムの小型軽量化

小型アンテナ(マイクロ波、ミリ波に比べ)

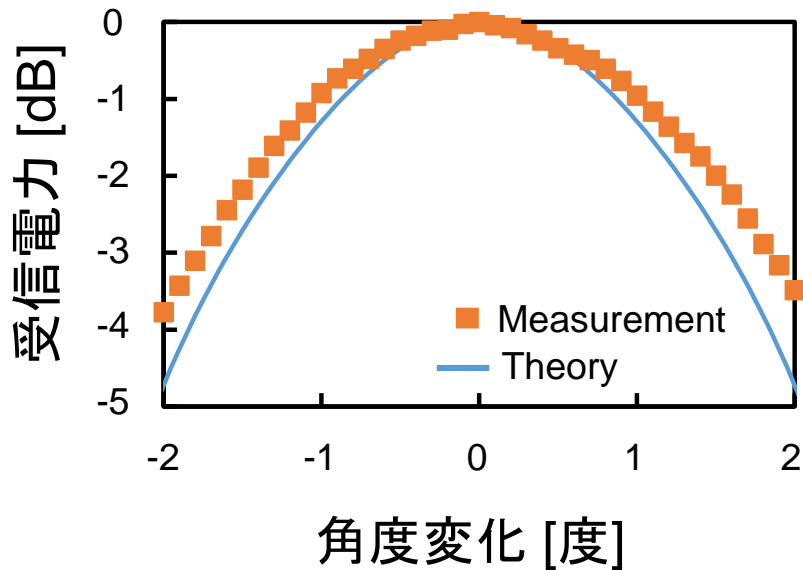
□ 光(空間)通信との差異

- ✓ 軸合わせがしやすい(波長が3桁違う)
- ✓ 電氣的にビームフォーミングできる(高速・機械可動部なし)
- ✓ 雲などを透過しやすい

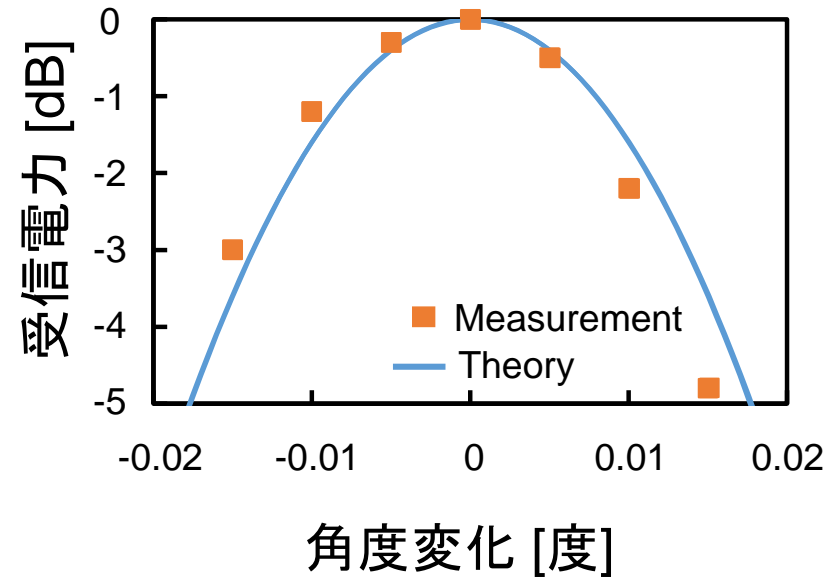
# 光無線は軸調整が難しい



120GHz無線(波長2.5mm)



1.55 $\mu$ m光無線



# 平均被雲率

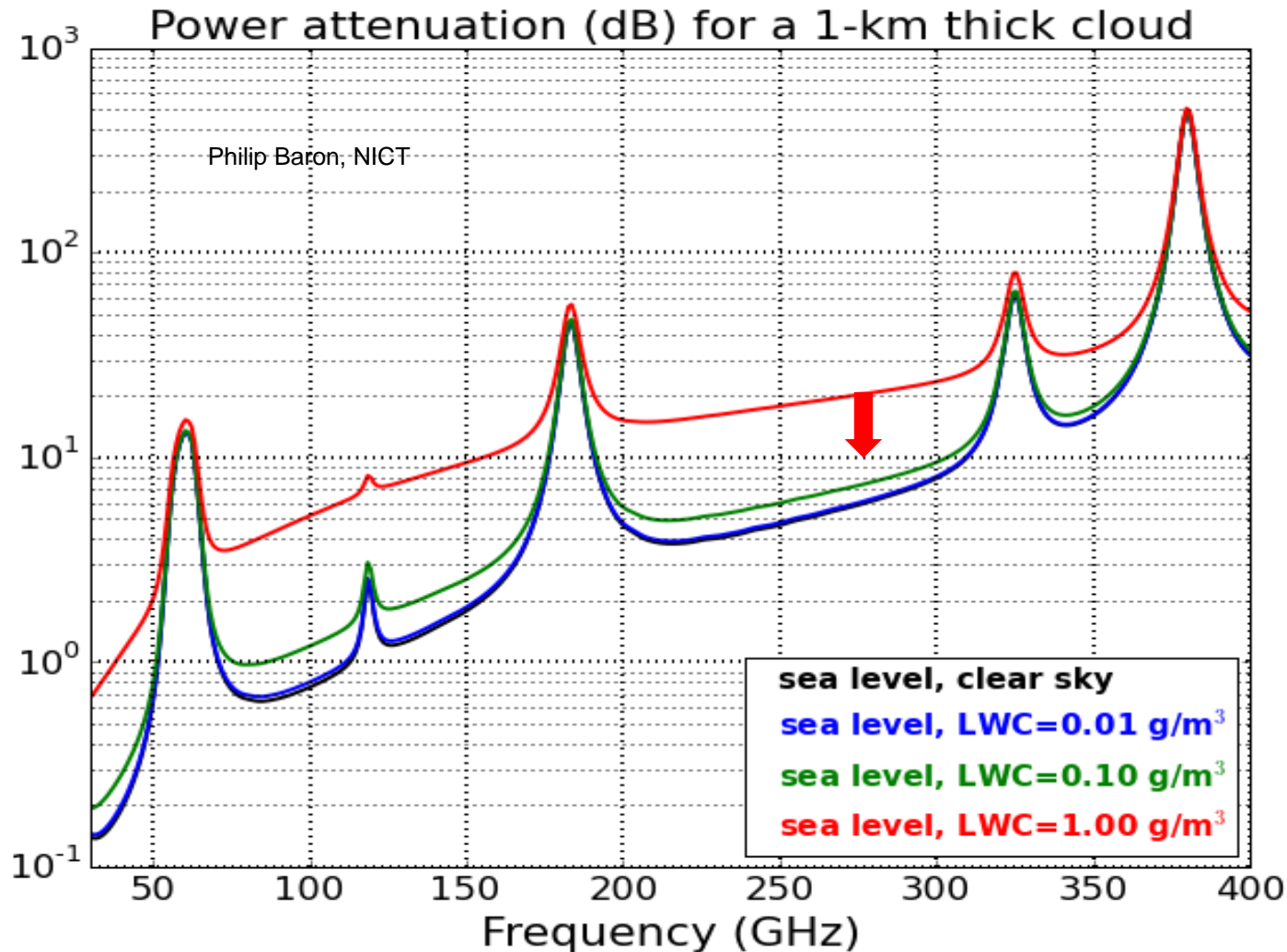
日本:0.66 世界:0.52



引用元:日本近辺の被雲率調査 片山 晴善、JAXA災害監視衛星チーム  
(International Satellite Cloud Climate Project (ISCCP1) のデータを用いた計算)

# テラヘルツ波(300GHz帯)は雲を透過可能

1km厚の雲がある時の鉛直方向で、大気吸収～20dB(@270GHz)



# 想定されるユーザメリット

- 宇宙での大容量ネットワークの実現  
宇宙におけるデータトラフィック量の増大(予想)  
リモートセンシングの拡大によるトラフィック増大
- センシング収集データの配信ビジネス
- データサーバ(センタ)を宇宙(衛星上)に設置
- 耐災害対応  
災害時テンポラリ的高速通信衛星(小型低コスト衛星)
- 人口希少地域、開発途上地域  
洋上への通信ビジネス展開

# 100Gbit/s級衛星通信のユースケース

## 陸上交通網のブロードバンド化



## 航空機のブロードバンド化



## 海洋のブロードバンド化



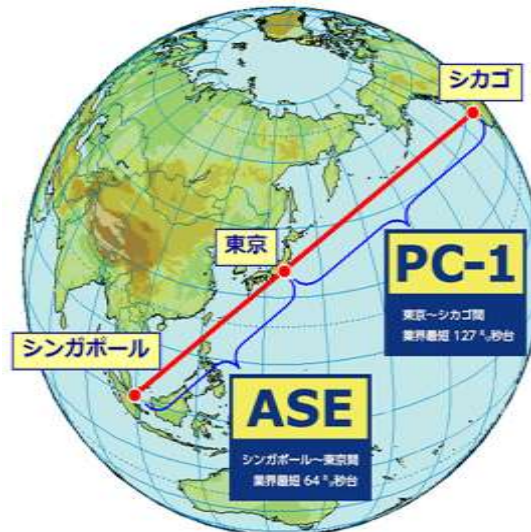
## 発展途上国



## 大規模災害時



## 大陸間-低遅延回線



## 観測データのバッファ&転送

### 地球観測衛星

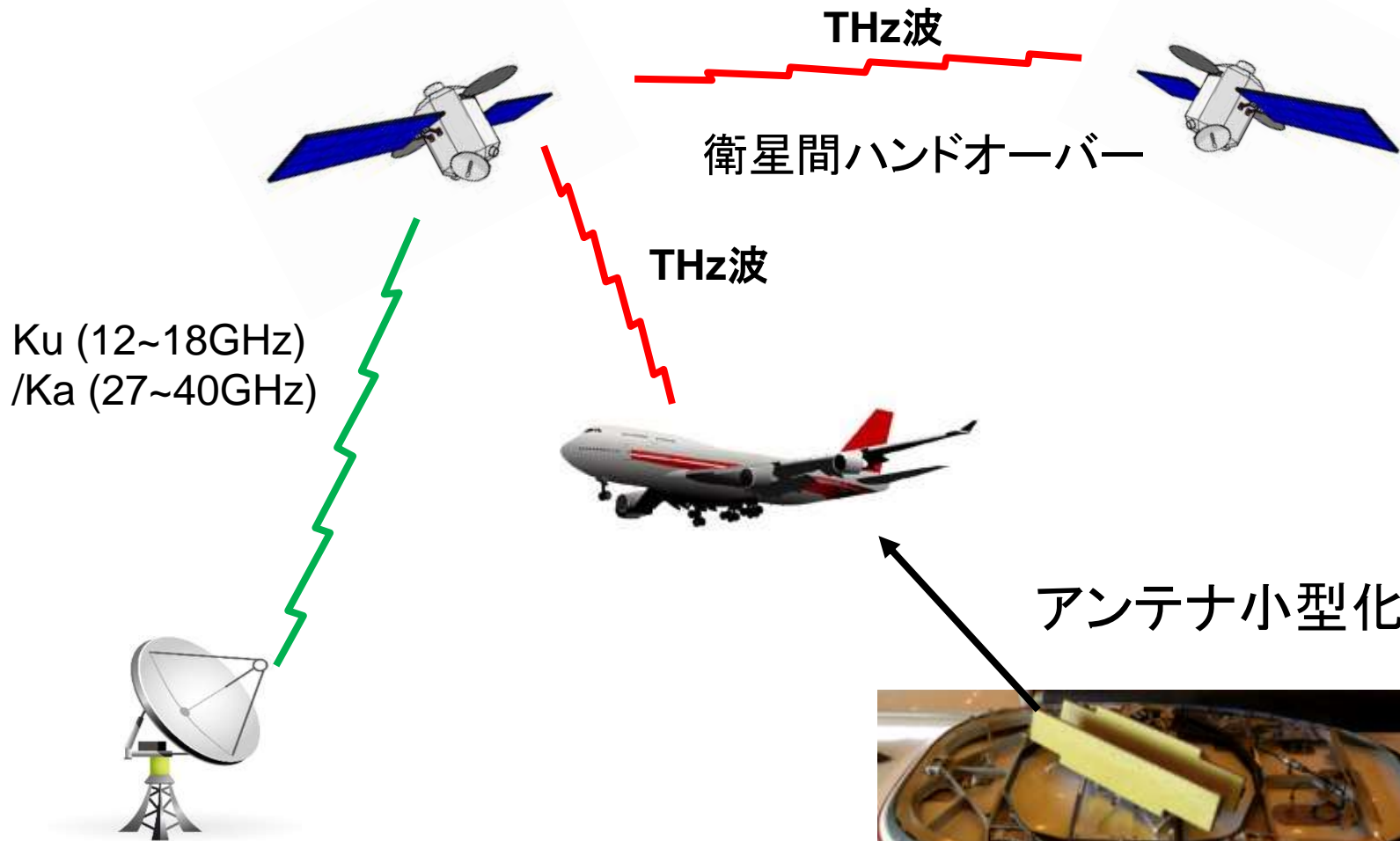


## 過疎地域





# 衛星-航空機間通信



アンテナ小型化



# 最近のニュースから

<http://www.cnn.co.jp/business/35095584.html>

## 機内のモニター画面は「時代遅れ」、アメリカン航空が新機体で廃止

2017.01.26 Thu posted at 11:39 JST

[PR]

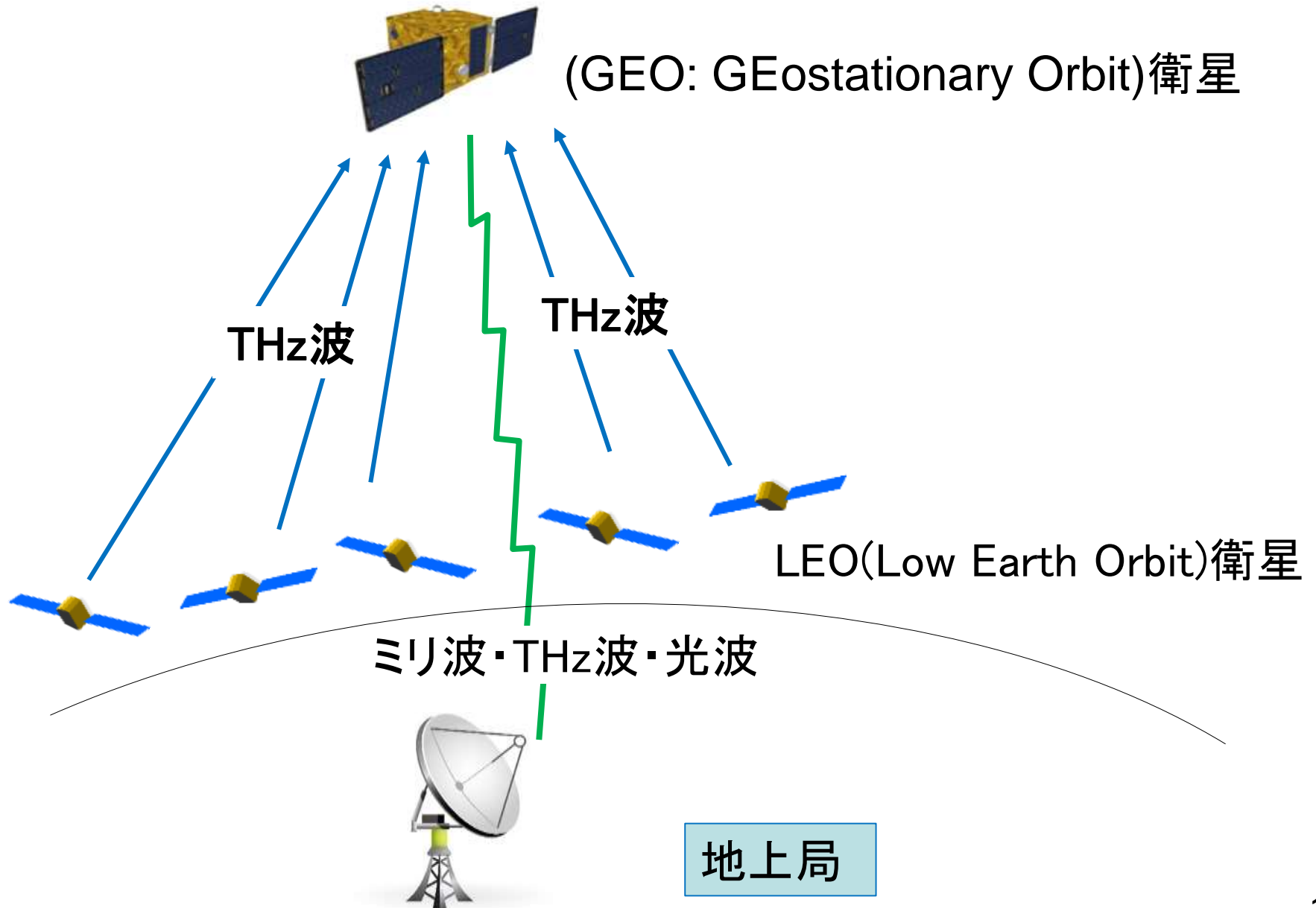
・クラウド会計ソフトが、いま使われているパッケージからクラウドに移行した方がいい理由はこれだ！



写真はボーイング737マックス8。昨年初飛行した。737マックス9も製造が進む

シアトル(CNNMoney) 米アメリカン航空は、新しく導入する「ボーイング737マックス」100機に機内エンターテインメント用のモニター画面を装備しないと発表。737マックスは同航空の各路線で2017年中に就航予定。衛星を使った高速インターネット接続サービスを提供し、動画配信大手ネットフリックスやアマゾンのストリーミングサービスも視聴できるようになる。

# LEO-GEO衛星間ネットワーク



## □高出力増幅器

半導体IC  
進行波管

## □高信頼実装技術

MEMS技術の導入

## □アンテナ

高精度ビーム制御技術  
光技術の導入

# THz帯進行波管(TWT)の開発

## NEC Network & Sensor Systemsの衛星搭載TWT

西暦	名称	機能	TWT	
			GHz	W
2002	みどりⅡ	地球環境の観測 観測データのデータ中継衛星への伝送(衛星間)	26	25
2002	こだま	だいち、ISSとのデータ中継(278Mbps) 受信データの地球への伝送(衛星対地球) ISSへ伝送(衛星間)	23 23 21	30 50 50
2006	きく8号	移動体通信(GPS津波計からのデータ伝送) 受信データの地球への伝送(衛星対地球)	21	50
2006	だいち	陸域観測(地図作成など) 観測データのデータ中継衛星への伝送(衛星間)	26	30
2008	きずな (WINDS)	インターネット回線(災害医療支援など) MPAを構成し受信データの地球への伝送(衛星対地球)	18	90
2010	あかつき	金星探査(赤外線) 観測データの地球への伝送(衛星対地球)	8	20
2014	はやぶさ2	深宇宙探査 観測データの地球への伝送(衛星対地球)	32	24
(2017)	(ASNARO2)	地球観測SAR衛星 SARのマイクロ波光源	X帯	625
(2017)	(MMO)	水星磁気圏探査 観測データの地球への伝送(衛星対地球)	X帯	20

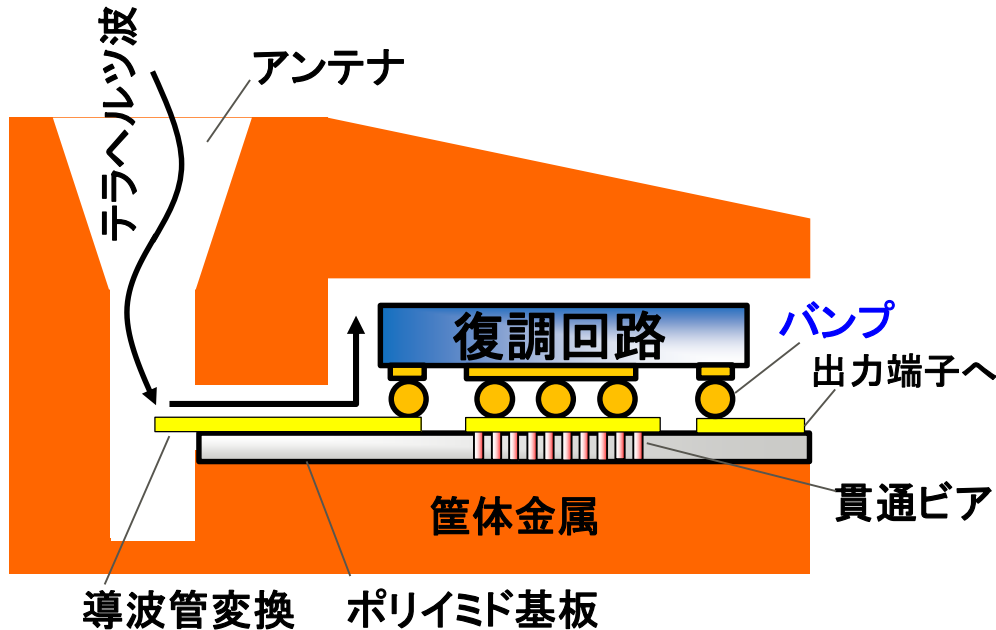
# 小型受信モジュールの開発例

## テラヘルツ帯向けフリップチップ実装技術を確立

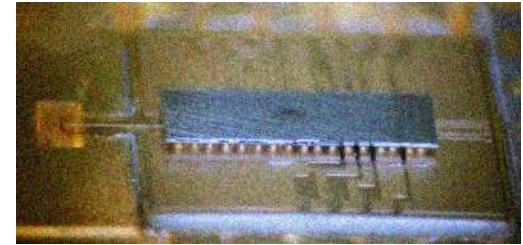
- 低損失かつ微細加工可能なポリイミド基板を採用

## 受信アンテナ一体で小型化実現

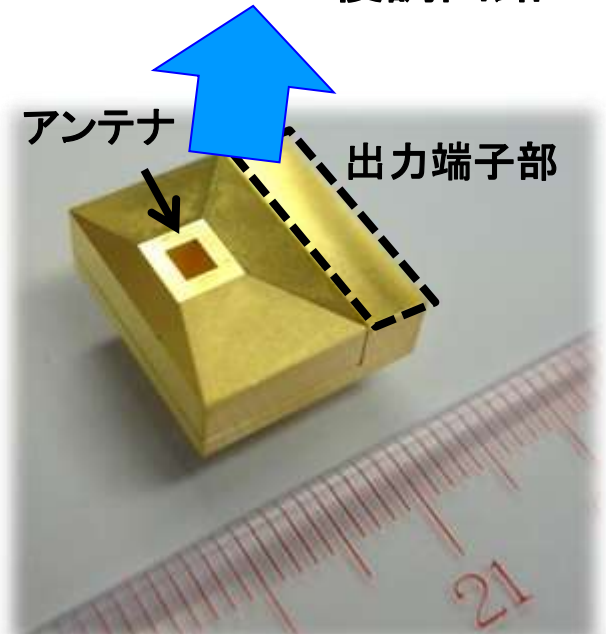
- ホーンアンテナ 利得: 16 dBi



受信モジュールの内部構造断面図



InP HEMT復調回路

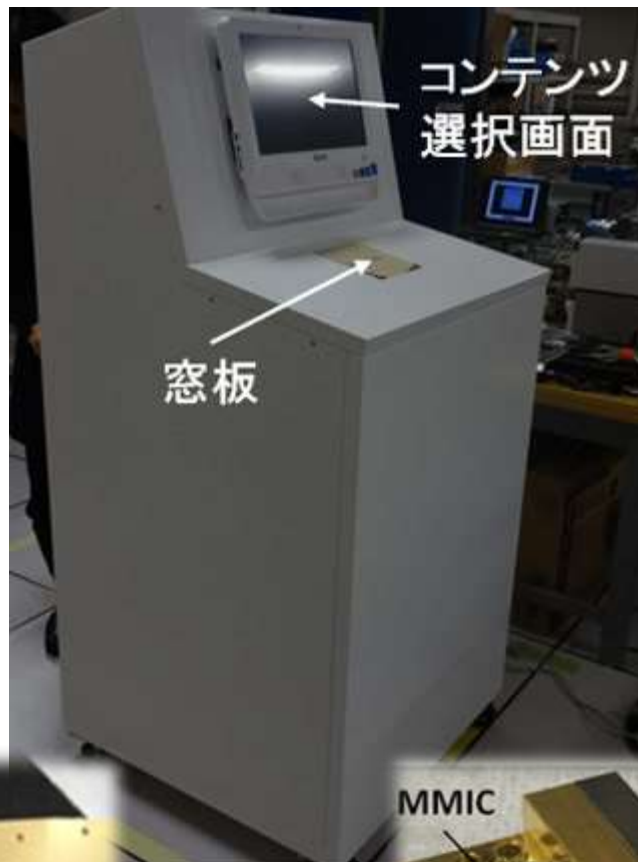


開発した受信モジュール(0.75 cc)

# 最近の総務省プロジェクトの成果

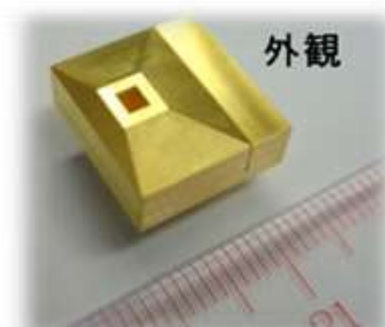
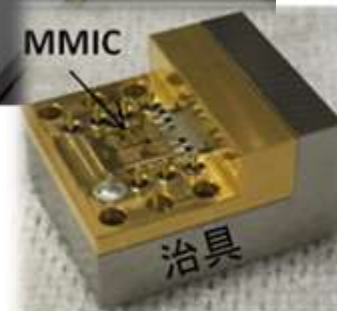
## 化合物半導体ICによる送受信モジュール(NTT、富士通、NICT)

300GHz帯無線技術を使ったキオスクダウンロード  
(2016年5月26日ニュースリリース)



送信機  
モジュール

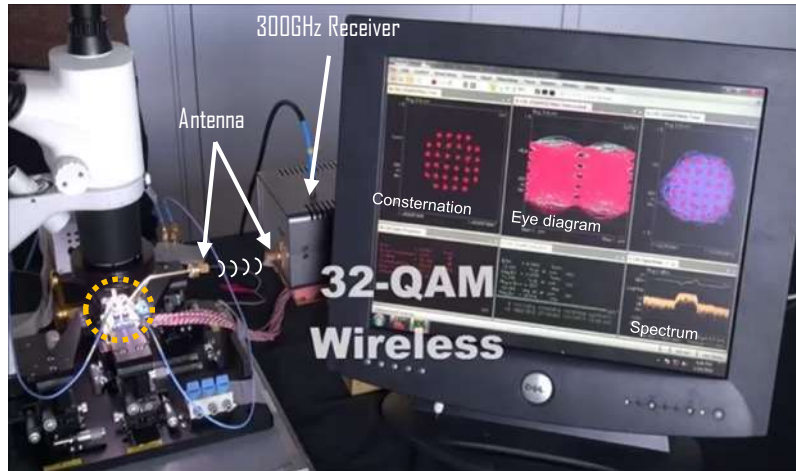
受信機  
モジュール



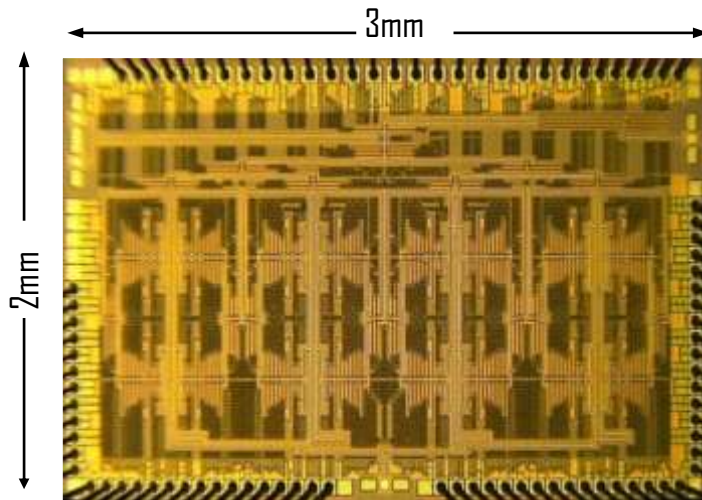
# 最近の総務省プロジェクトの成果

## 300GHzシリコンCMOS送信機 (広島大学、NICT、パナソニック)

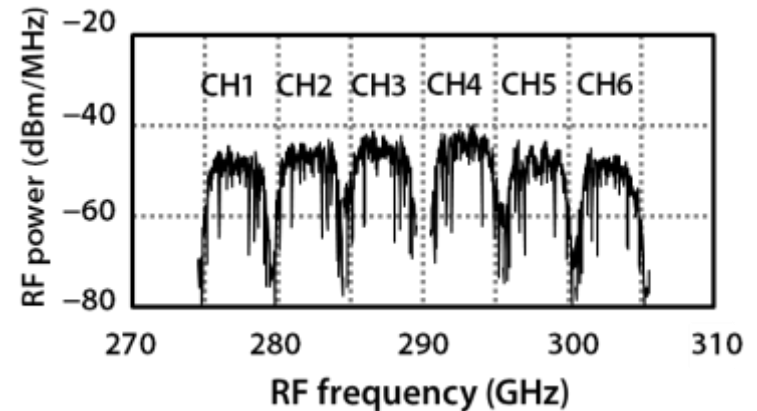
K. Katayama et al., ISSCC 2016, pp.342-343.



300GHz 32-QAM信号の無線伝送実験



300GHz Si CMOS送信機 チップ写真



各chの出カスペクトル

Channel	CH1	CH2	CH3
Constellation (Equalized)			
EVM	8.9%rms	4.8%rms	7.0%rms
Data-rate	17.5Gb/s	17.5Gb/s	17.5Gb/s
Channel	CH4	CH5	CH6
Constellation (Equalized)			
EVM	7.1%rms	6.4%rms	5.9%rms
Data rate	17.5Gb/s	17.5Gb/s	17.5Gb/s

Aggregate data-rate reaches 105Gb/s

各chのコンスタレーション