

28 GHz帯フェーズドアレイアンテナモジュール (PAAM) のOver-The-Air (OTA) 測定



株式会社 フジクラ

新事業創生・研究開発部門 電子応用技術R&Dセンター

ミリ波事業開発グループ

藤乗 優治郎

目次

1. フジクラにおけるミリ波製品の紹介
2. Over-The-Air (OTA)における位相測定
3. フェーズドアレイアンテナモジュール (PAAM) の
ビームフォーミング測定結果
 - 3-1. 直接遠方界 (Direct far field, DFF)
 - 3-2. 間接遠方界 (Indirect far field, IFF)
4. ビーム位置精度を示す2次元強度マップ測定結果
5. PAAMの広帯域変調信号解析結果
6. まとめ

自己紹介

氏名：藤乗 優治郎
出身地：千葉県茂原市

現所属：
新事業創生・研究開発部門 電子応用技術R&Dセンター
ミリ波事業開発グループ

出身大学, 大学院：慶應義塾大学, 慶應義塾大学大学院

経歴:
2014年 4月 フジクラ入社
2014年 7月-2019年 3月 超電導関連業務
2017年 4月-2020年 3月 慶應義塾大学大学院 博士(工学)取得
2019年 4月-2020年 8月 高周波関連業務
2020年 9月-2023年 9月 28 GHz PAAMのOTA測定の立ち上げ、評価
2023年 10月- ミリ波市場調査、市場開拓



LinkedInプロフィールURL
<https://www.linkedin.com/in/yujiro-tojo-62a588296/>

超電導関連 5年

高周波基板関連 2年

ミリ波関連 3年

一言： PAAMの性能を世界に発信し、ミリ波市場を盛り上げたい

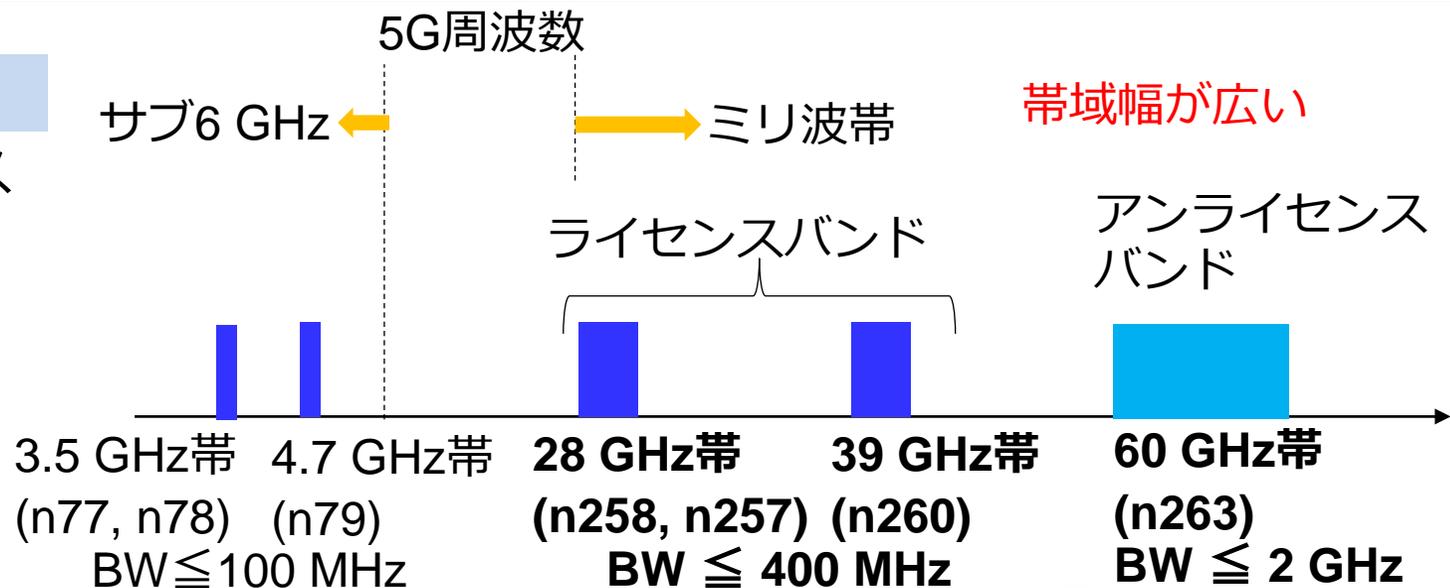
ミリ波無線通信ソリューション概要

用途

- モバイル無線基地局や固定無線アクセス機器、無線バックホール
- 高精細・低遅延監視カメラ映像伝送、産業ネットワーク、重機遠隔操作
- 公共交通機関（バス、列車等）産業用各種車両でのV2X通信

特長

- 従来の無線通信より広帯域のため高速・低遅延の通信が可能
- 電波放射を必要な方向のみに絞ることで通信に必要な電力を低減



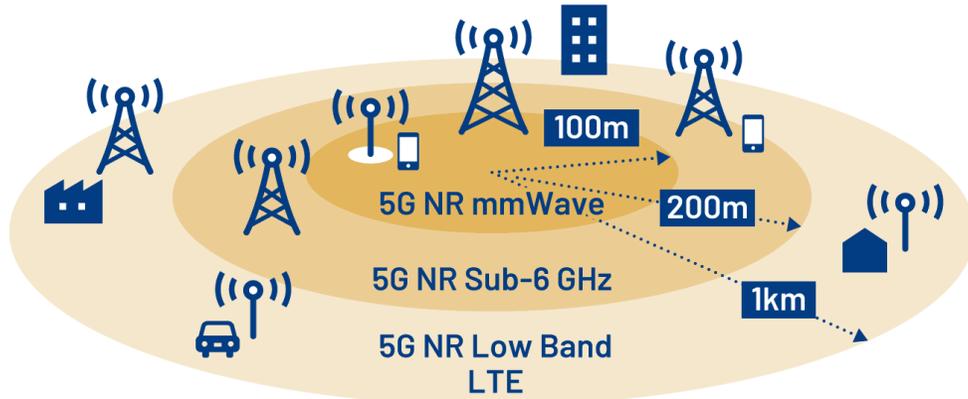
従来の無線通信



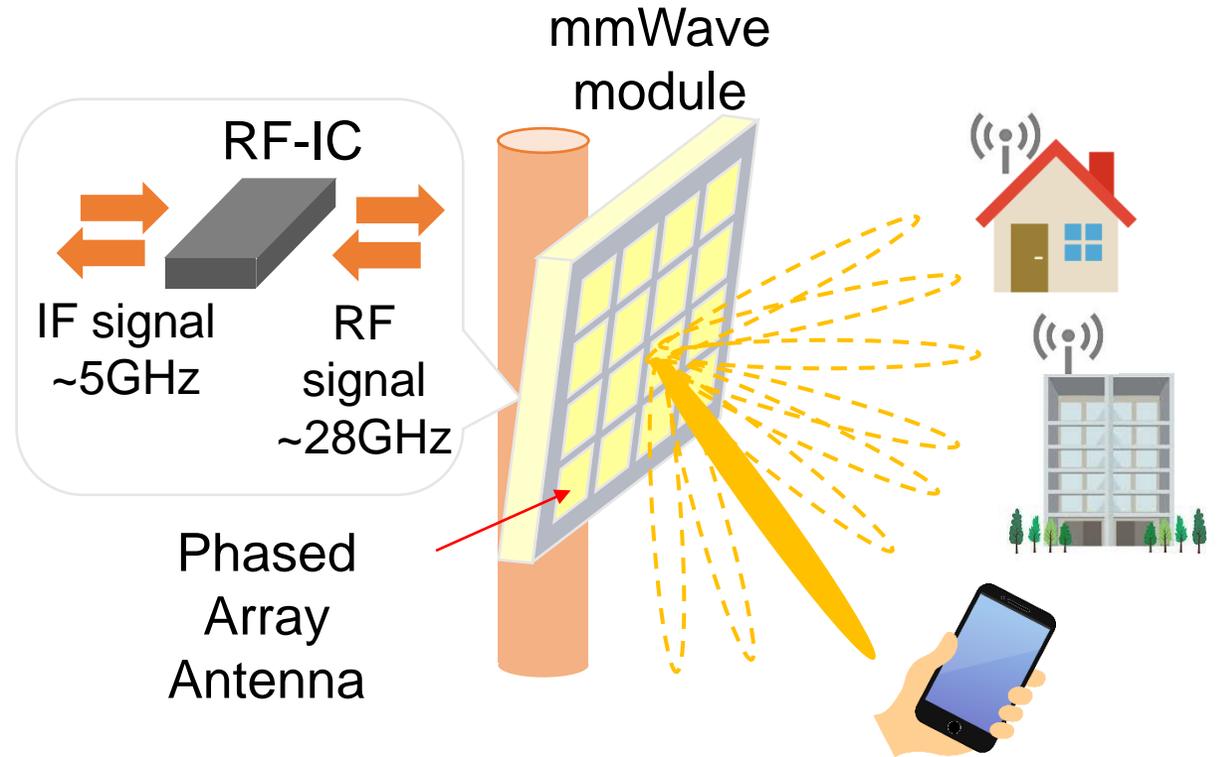
ミリ波無線通信
(ビームフォーミング)

ミリ波RFモジュールの要件

5G NR band	Capacity	Loss	Coverage
mmWave			
Sub-6 GHz			
Low Band			



5G Network



Beamforming function

- 均一、高速、正確なビームフォーミング
- 高周波の信号損失を最小限に抑えたミリ波モジュール

5G-Advancedとともに始まる無線AIの時代

無線AIで可能になる3つのユースケース

Channel feedback
More efficient, predictive Channel State Information (CSI) feedback can improve user downlink throughput and reduce uplink overhead

Beam management
Beam prediction in time/spatial domain for overhead and latency reduction, improving beam selection accuracy, especially useful for mmWave systems

Precise positioning
Positioning accuracy enhancements for different indoor and outdoor scenarios including, e.g., those with heavy non-line-of-sight conditions

Release 18 focuses on 3 key wireless AI use cases
But many more potential use cases for the future

[1]

(Ref.) [1] 「5G-Advancedから本格始動の「ワイヤレスAI」、クアルコムが描く可能性のシナリオ」 <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/15644/?P=2>
(2024年3月14日閲覧)

<重要技術>

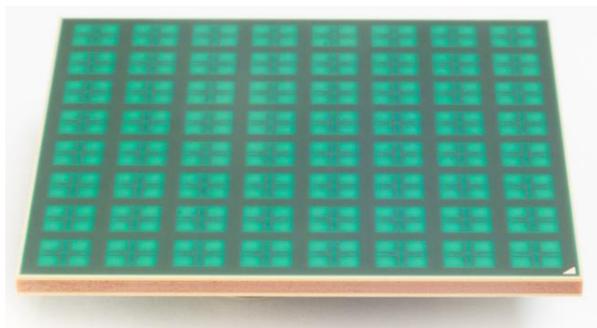
高速かつ正確なビームフォーミング制御

フジクラにおけるミリ波製品の紹介

28 GHz帯

フェーズドアレイアンテナモジュール (PAAM)

- ・ モバイル無線基地局や固定無線アクセス機器に好適な様々な機能が一体化した小型モジュール
- ・ ビームフォーミングを使った省エネルギー大容量通信
- ・ 自社設計の高効率RFICを使った高速高精度のビーム切り替え



60 GHz帯

無線通信モジュール

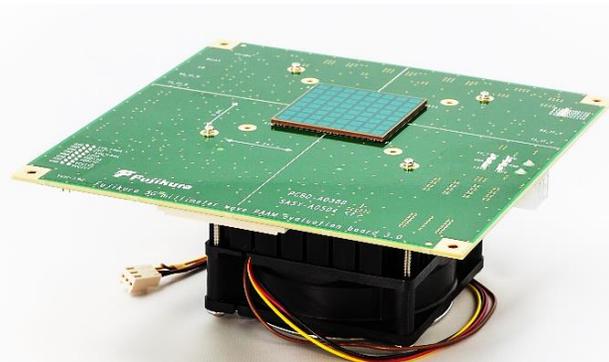
- ・ 世界トップレベルの500 m以上の距離での高速通信
- ・ 57~71 GHz *1をカバーする広帯域なアンテナ
- ・ 広角な自動ビームフォーミング機能により設置容易
- ・ 免許不要の周波数帯を使用し、技適取得済みのためお客様による面倒な各種申請が不要

*1: 国内は57~66 GHz



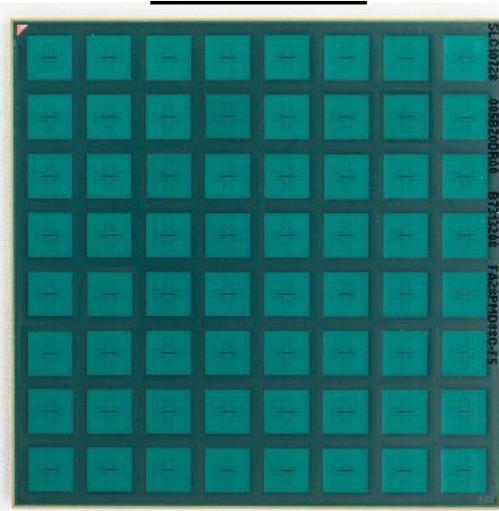
フェーズドアレイアンテナモジュール (PAAM) の特長

FutureAccess™ Type-C
PAAM



42.5 mm

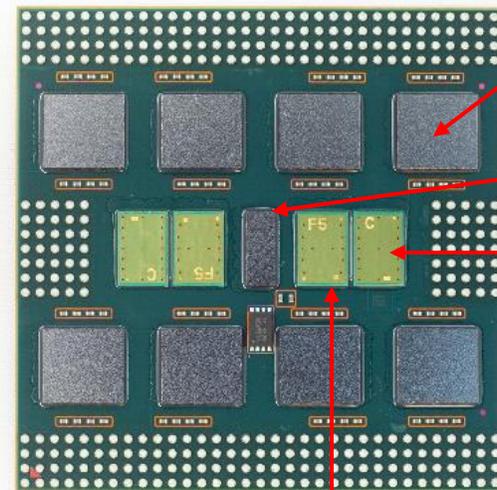
アンテナ面



アレイアンテナ
(8x8 = 64素子)

42.5 mm

IC面



ビームフォーマIC (BFIC)

周波数変換IC (FCIC)

コンバイナ/スプリッタ

バンドパスフィルタ(BPF)

特長

- 64 素子でのEIRP = 48 dBm at EVM 3% (256QAM, BW=100 MHz) : 小型モジュールで高出力
- キャリブレーションフリー : ゲインと位相が独立に制御可能, ビーム形成時の校正不要
- 高速ビームスイッチング機能 ビーム切り替え時間 220 ns以下, サポートビーム数 20000以上
- アンテナ, BFIC, FCIC, BPF, Combiner/Splitter の一体型モジュール
- 両偏波 (H pol., V pol.) で動作, ビーム制御範囲 水平方向, 垂直方向±60 deg.

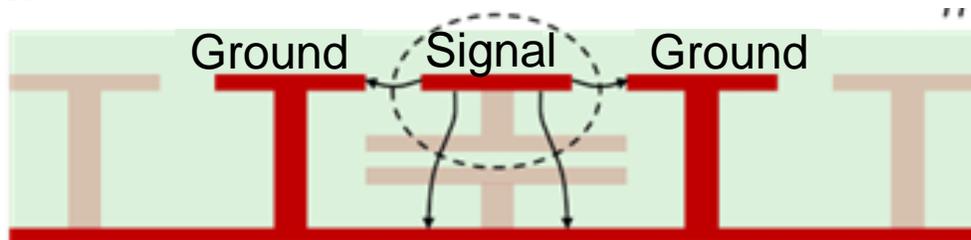
フジクラPAAMの強み

- 独自設計のパッシブ型移相器により、アレイの校正作業が不要→**テストコスト低**
 - 他社のRFICは、校正データを測定し不揮発メモリへの保存が必要
校正データ取得作業に時間がかかる→テストコスト高

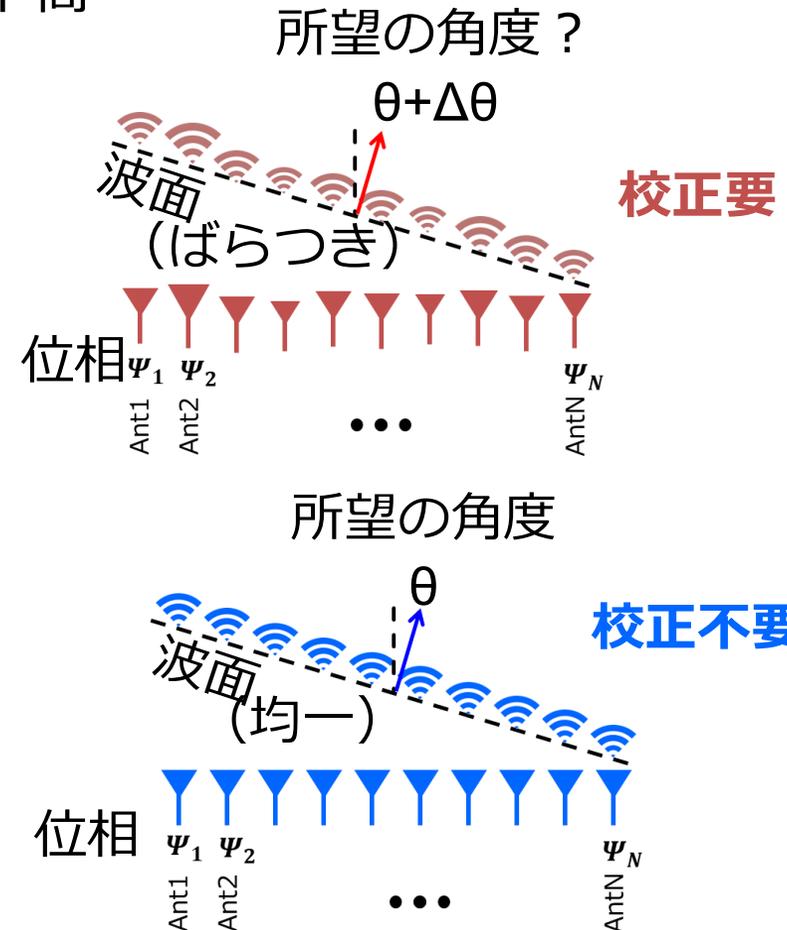
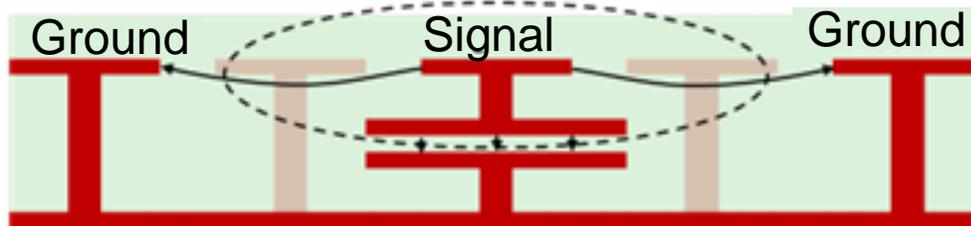


~2033

Original T-line based phase shifter

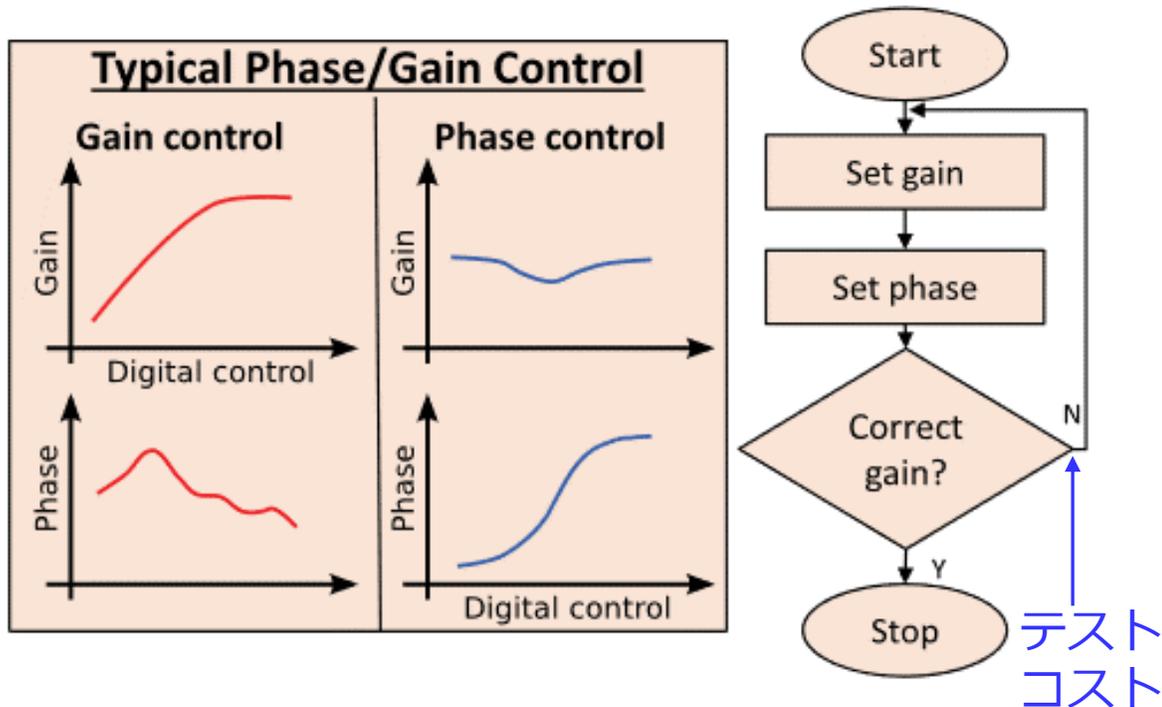


実時間遅延型移相器



キャリブレーションフリービームフォーミング

<一般的な位相, ゲイン制御>



(例)ベクトル型の位相器^[3]

デジタル指示値に対し位相の変化でゲインが変動
→位相が90度異なる信号のそれぞれの振幅の調整が必要

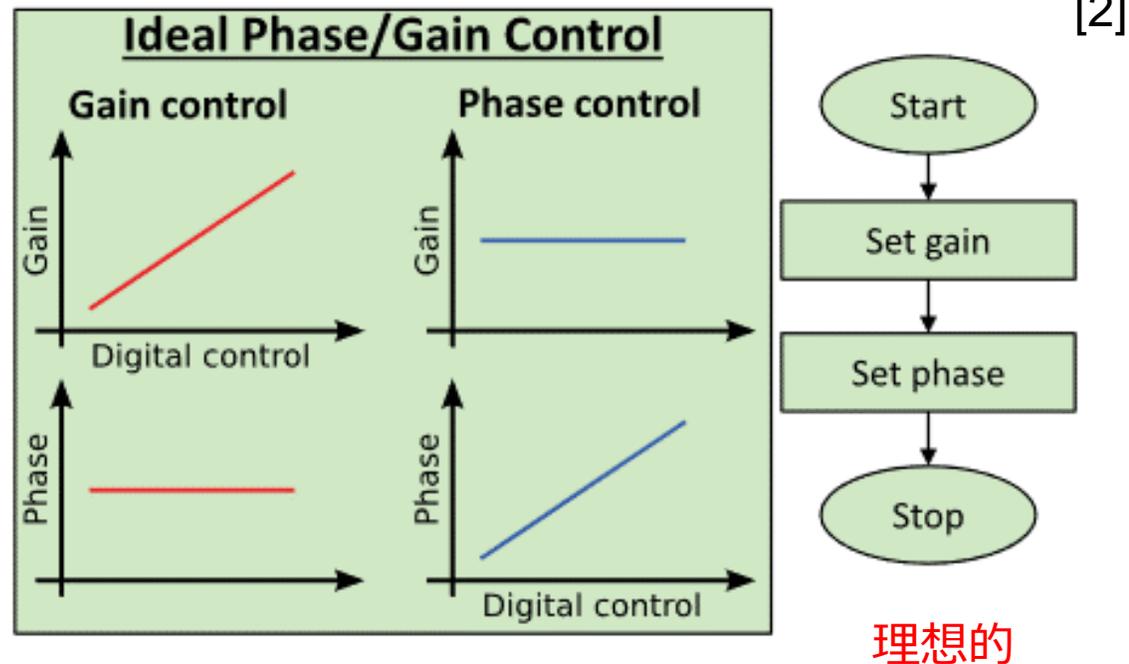
(Ref.)

[2] B. Sadhu et al., "A 28-GHz 32-Element TRX Phased-Array IC With Concurrent Dual-Polarized Operation and Orthogonal Phase and Gain Control for 5G Communications," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 52, no. 12, pp. 3373-3391, Dec. 2017

[3] A. Bacchetta et al. "Sivers function in a spectator model with axial-vector diquarks", *Phys. Lett. B*, vol. 578, pp. 109-118, 2004.

[4] 株式会社フジクラ: 「第5世代移動通信システム用 ミリ波帯 RFIC とその半導体技術」, ホワイトペーパー, https://www.fujikura.co.jp/rd/gihou/backnumber/pages/_icsFiles/afidfile/2021/10/01/134_R6.pdf (2024年4月16日閲覧).

<キャリブレーションフリー制御>



(例)実時間遅延回路型の位相器^[4]

デジタル指示値に対し, 位相とゲイン応答が独立
→ゲイン制御で位相値は一定
→位相制御でゲインは一定

本報告における測定概要

キャリアレーションフリーなフジクラPAAMの特性を
ローデ・シュワルツ製の測定器を利用した測定により明らかにする

- **Over-The-Air (OTA)における位相測定**

OTA環境で安定して各アンテナ素子の位相を測定し、モジュールレベルでのキャリアレーションフリーを実証

- **ビームフォーミング測定**

直接遠方界 (DFF) とCompact Antenna Test Range (CATR) による間接遠方界 (IFF) で良好なビームパターンを確認し、さらに高いビーム位置精度を実証

- **広帯域変調信号解析**

800 MHz (8cc x 100 MHz)の広帯域変調信号により低EVM、低ACLRを実証

2. Over-The-Air (OTA)における位相測定

OTA測定システムセットアップ

Over-The-Air test (OTA test) :空間を介して電波の送信/受信を行う測定

(Ref.)[5] 3GPP TS 38.141-2 version 17.12.0 Release 17 (2024-02) (2024年5月8日閲覧)

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/13814102/17.12.00_60/ts_13814102v171200p.pdf

<測定と測定環境のポイント>

- 電波吸収体で覆う
- 周波数、温度で測定系を校正
- 任意の2つの直交偏波 (p1 ,p2) の EIRP を測定
総放射送信電力を $EIRP = EIRP_{p1} + EIRP_{p2}$ として計算
- 汎用的なOTAチャンバに置き換え可能
(遠距離電波暗室、CATR、近距離電波暗室、PWS など)

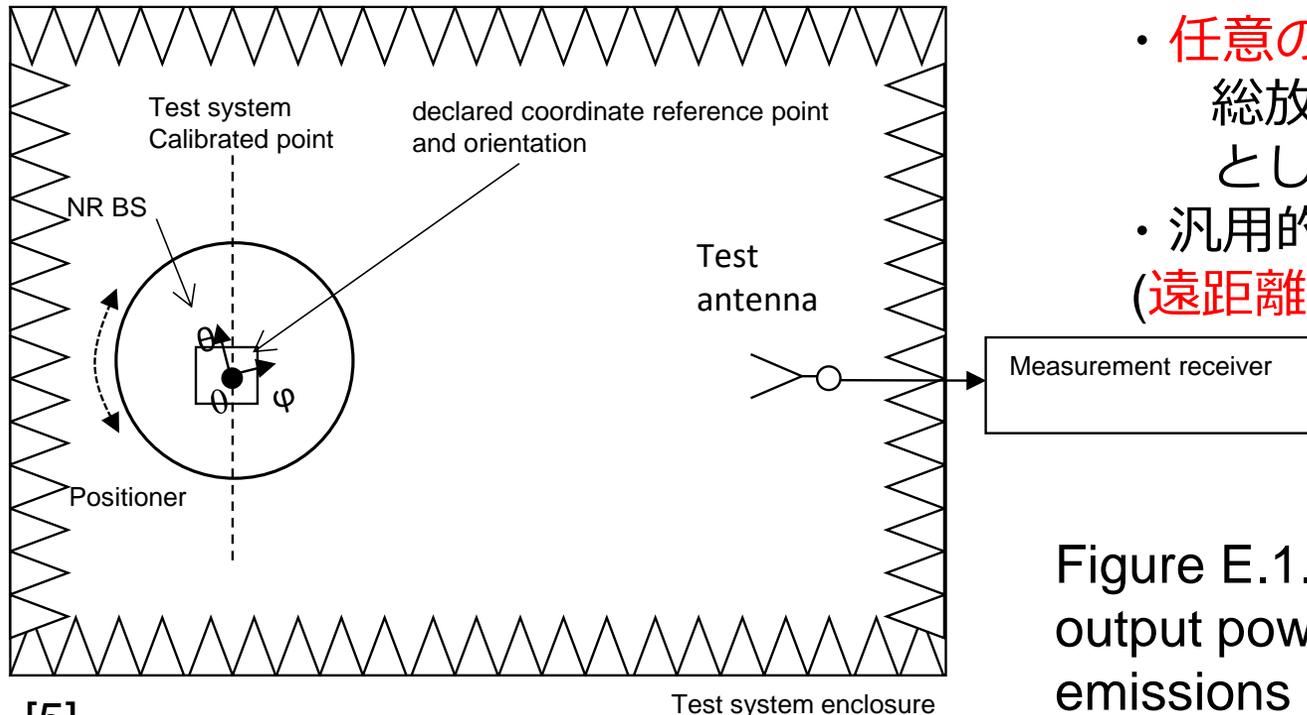
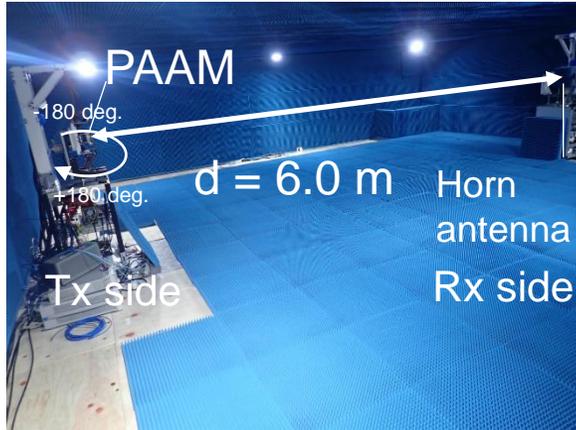


Figure E.1.2-1: Measurement set up for OTA base station output power, OTA ACLR, OTA operating band unwanted emissions

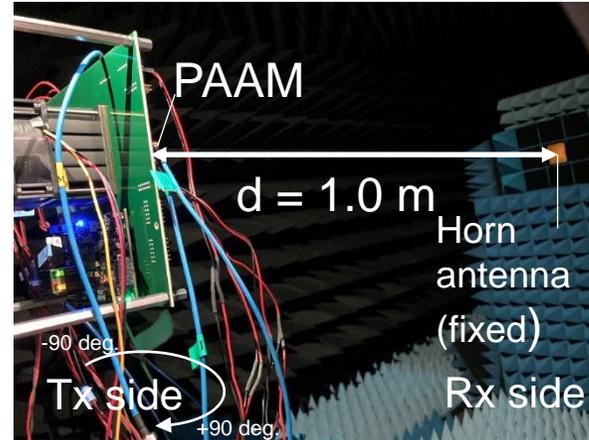
直接遠方界 (Direct far field) によるRF OTAテスト環境

(a) OTA1 chamber
d = 6.0 m



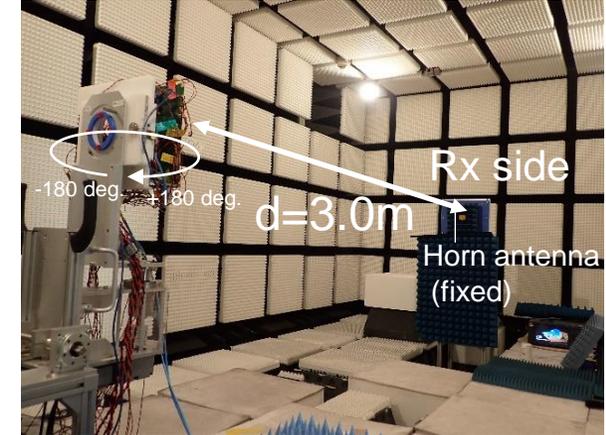
For larger antenna array, 3D beam pattern

(b) OTA2 chamber
d = 1.0 m



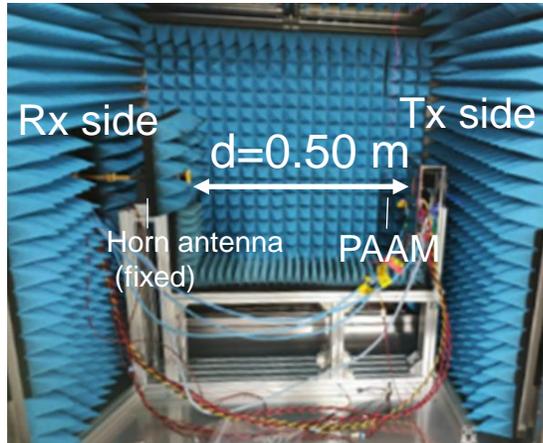
For inspection of samples

(c) OTA3 chamber
d = 3.0 m



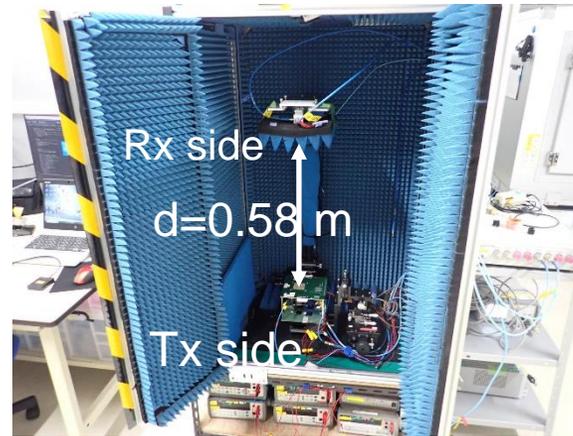
For far field test

(d) OTA4 chamber
d = 0.50 m



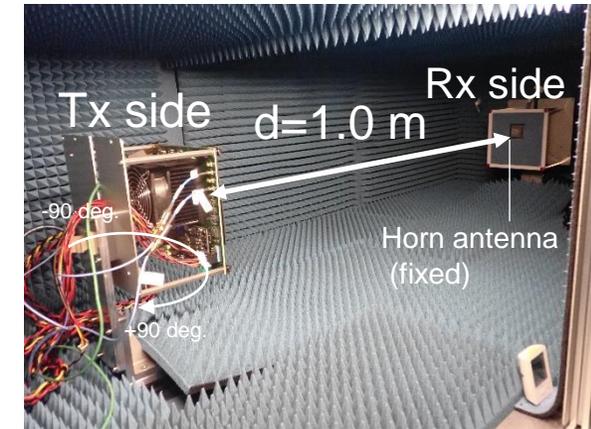
For temperature dependences test

(e) OTA5 chamber
d = 0.58 m



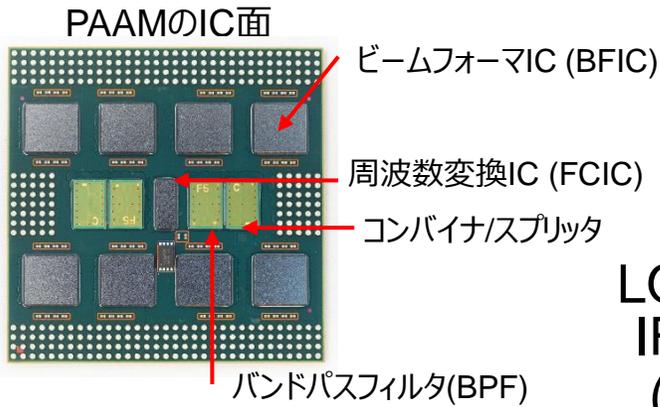
Socket test

(f) OTA6 chamber
d = 1.0 m

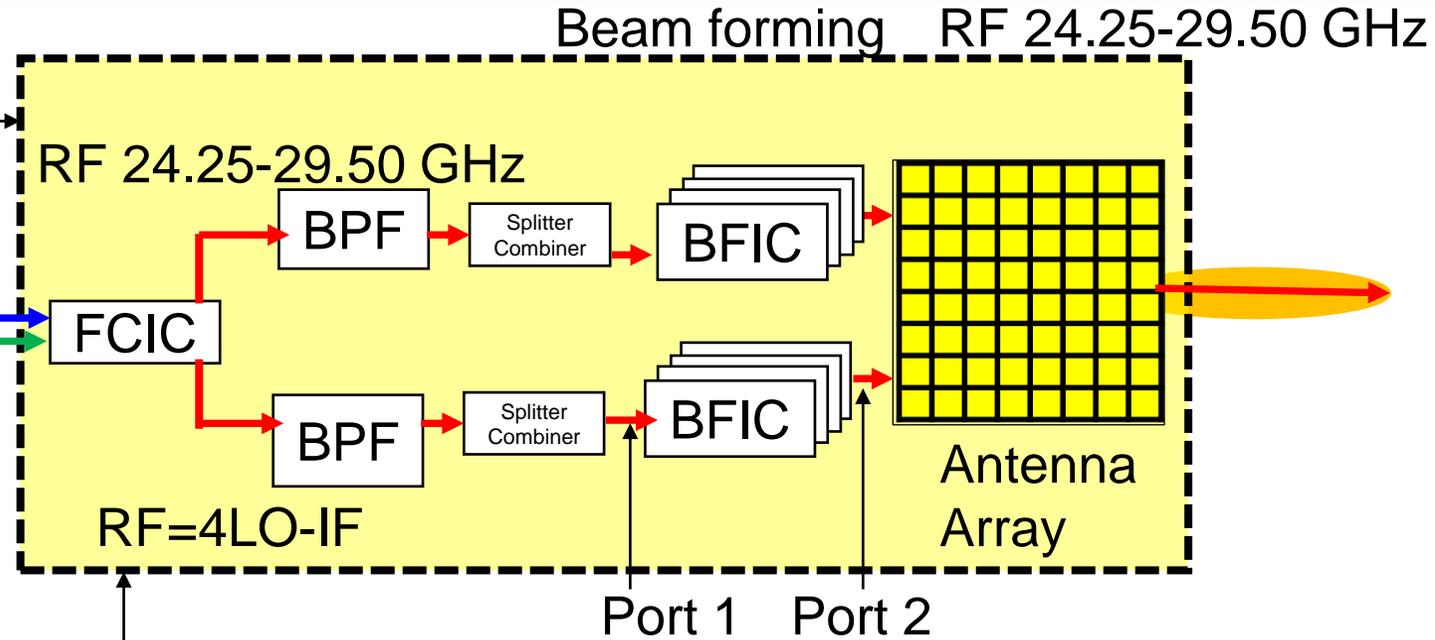


For phase and beam patterns measurement

PAAMの構成と周波数変換デバイスの位相測定に対する課題



LO : 7.1-8.8 GHz
 IF : 4.3-5.5 GHz
 (4.9±0.6 GHz)



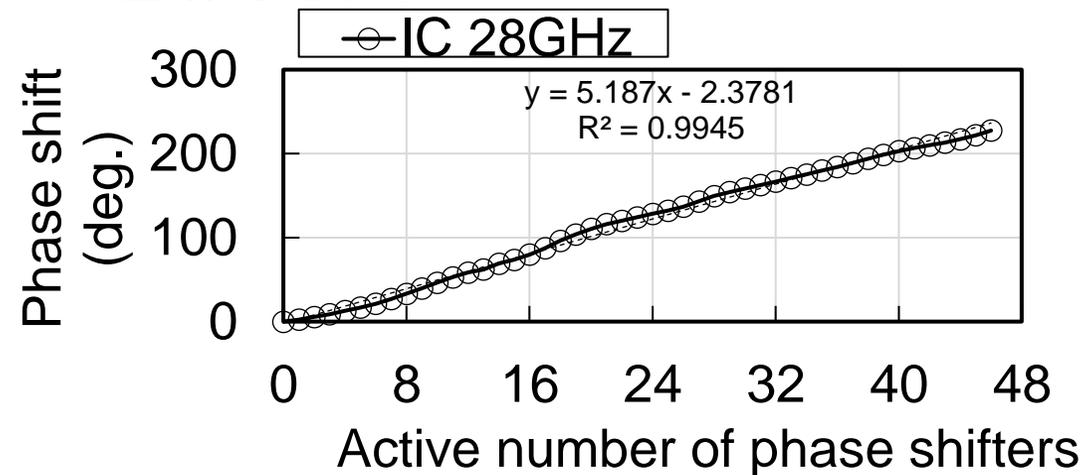
一般的なネットワークアナライザ測定
 各回路のSパラメータ測定
 Port 1 周波数 (例: RF 28 GHz)
 Port 2 周波数 (例: RF 28 GHz)
 入力、出力portが同一周波数→測定可能

周波数が変換されるデバイス
 →正確な位相測定は難しい

Port 1 周波数 (例: IF 4.9 GHz)
 Port 2 周波数 (例: RF 28.0 GHz)

課題

BFICの位相測定結果



OTAにおける位相測定ブロック図

<課題>

1. 周波数変換を含むネットワークアナライザの測定 →
RF = 4LO + IF or RF = 4LO - IF

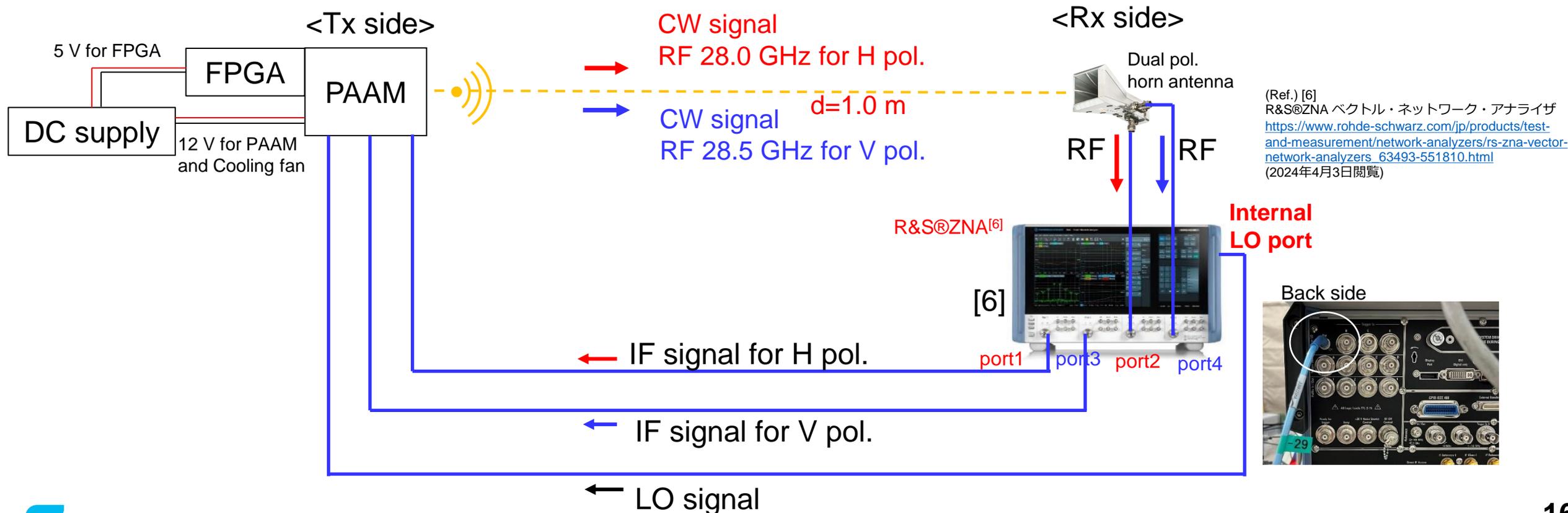
<解決案>

ローデ・シュワルツ製ZNAを使用
 特長：LO信号を出力可能, 内蔵位相コヒーレント

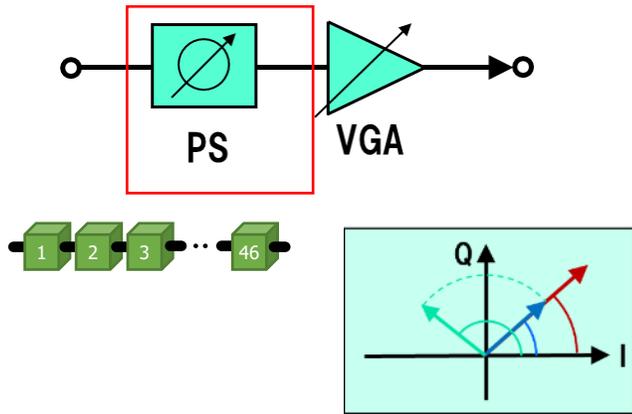
2. OTAでの位相測定

事前の校正基準点が実際の測定状態と異なる →

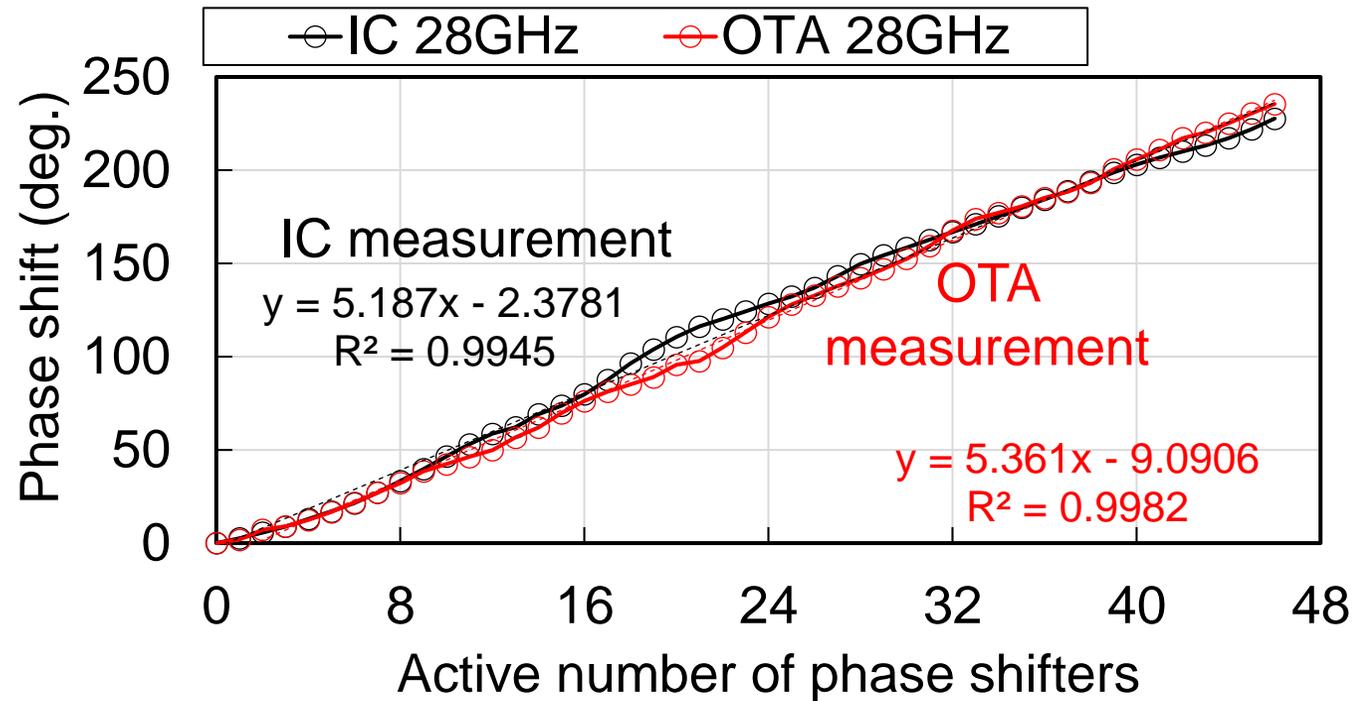
位相器制御による
 位相シフト量を測定



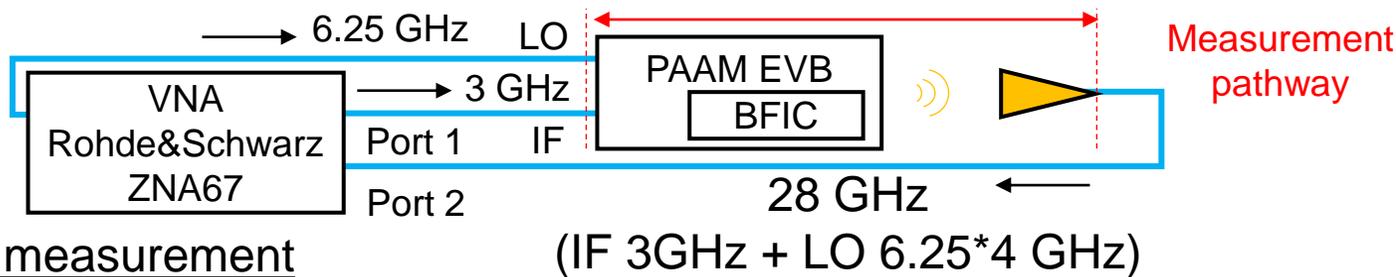
OTA 測定データとIC 測定データの比較



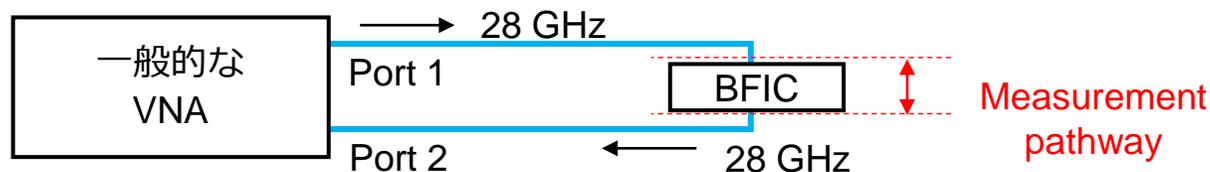
46 ユニットの T ラインベースの移相器(PS)で構成



OTA measurement



IC measurement



位相器特性に関して
IC測定, OTA測定で同等の結果

OTAにおける位相、パワー測定画面

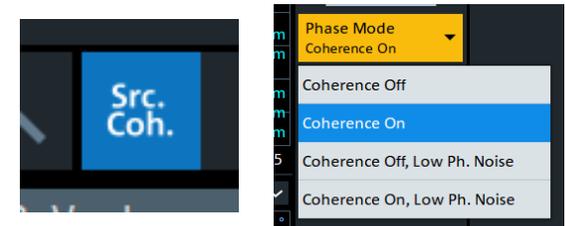
ローデ・シュワルツ製ZNA67におけるPAAMの位相、パワー測定画面

ローデ・シュワルツ製ZNAの機能

- 4 port + LO port
- 内蔵LO信号出力
- 内蔵位相コヒーレント



PAAMのパワーと位相を高精度で測定可能



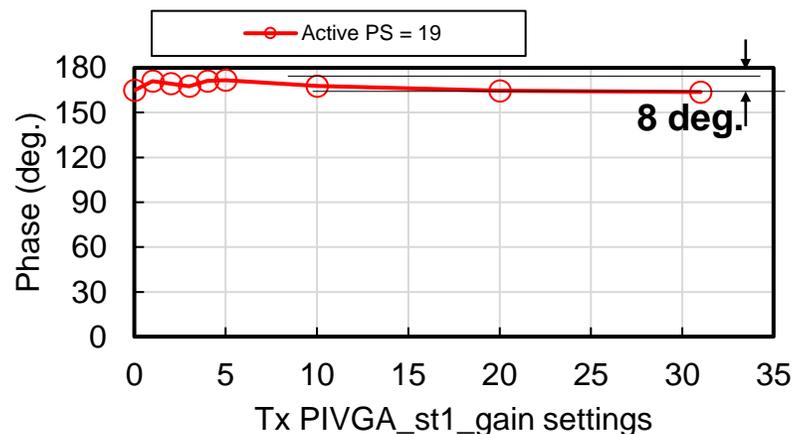
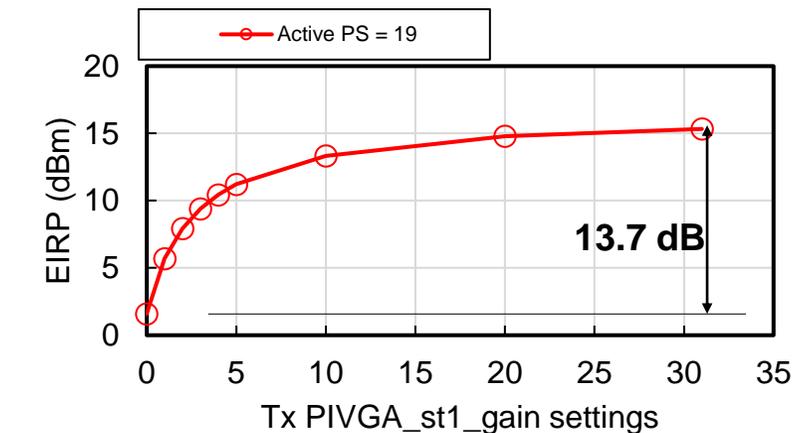
RF 28 GHz
Band width : 100 Hz
Source Coherence : ON
Phase Mode Coherence : On



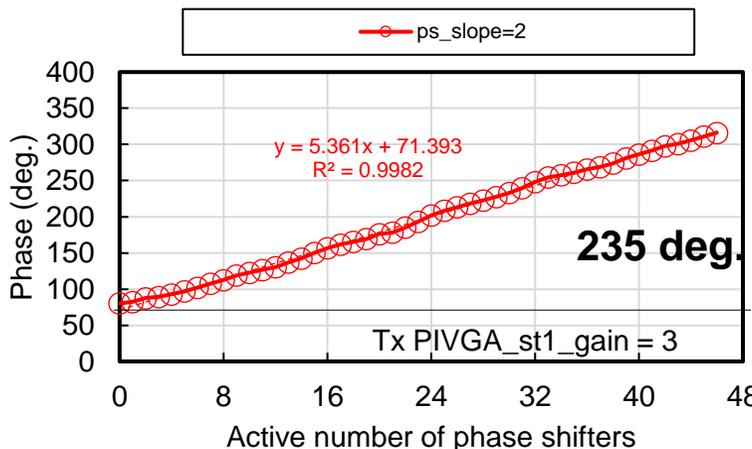
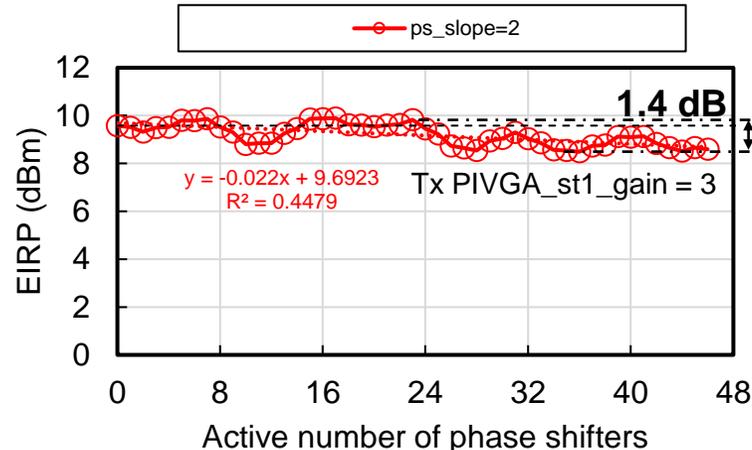
PAAMの位相,ゲイン制御の概要結果

RF 28 GHz, IF 3.0 GHz, **FE27**

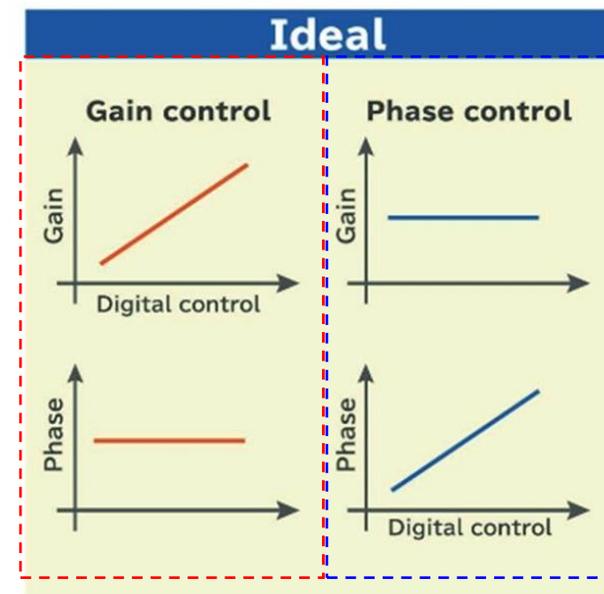
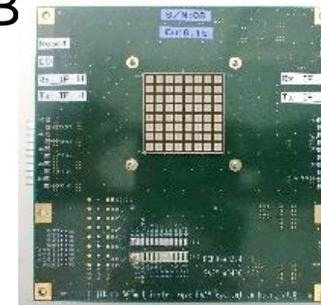
Gain control



Phase control



FutureAccess™
Type-B

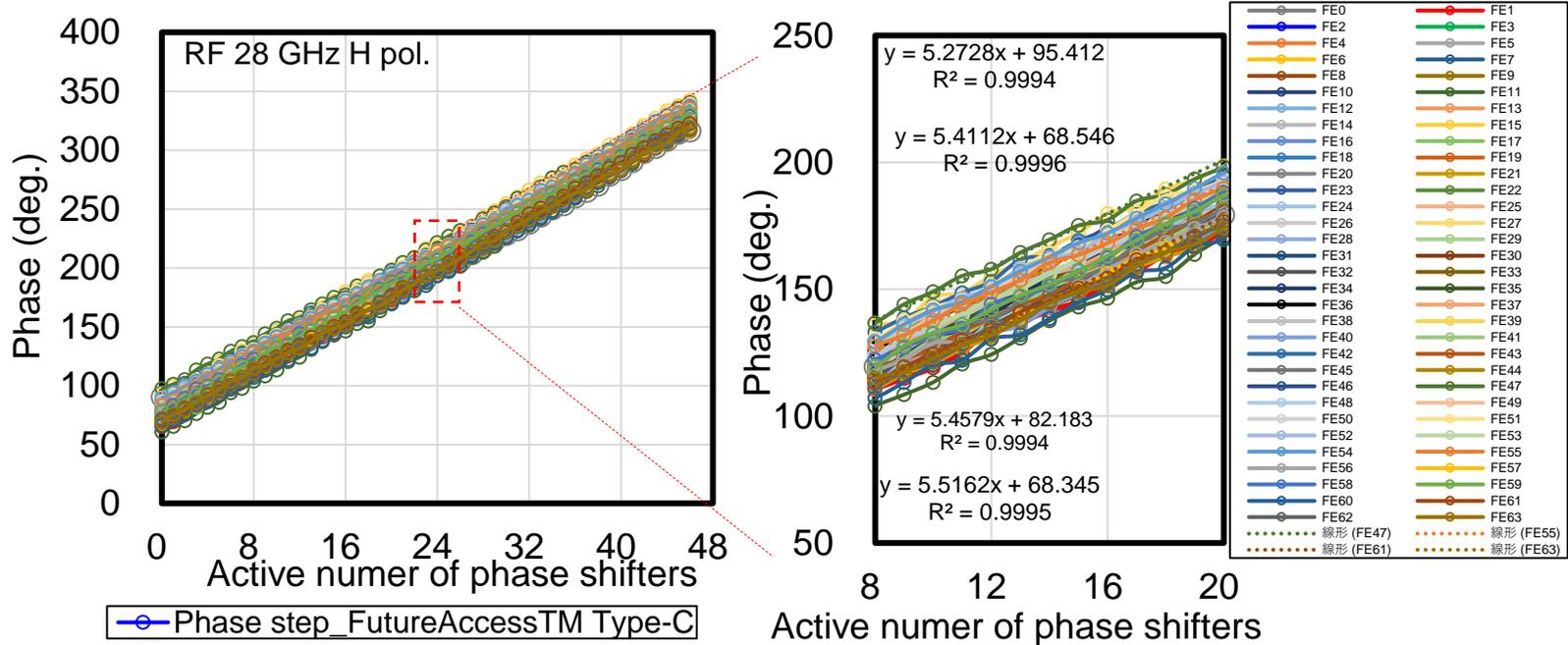


Independent gain/phase control

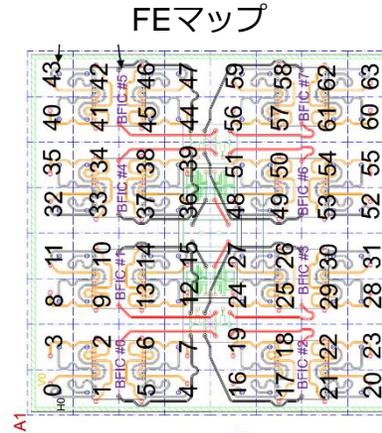
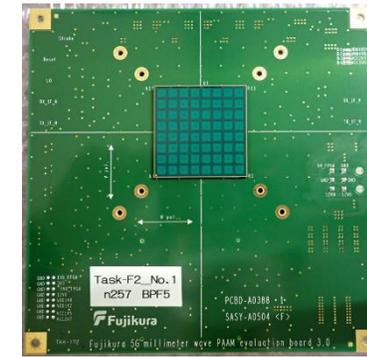
位相とゲインを独立に制御可能であることを実証

PAAMのFEごとの位相ばらつき解析

各FEの位相プロットの近似直線傾きの分布を解析

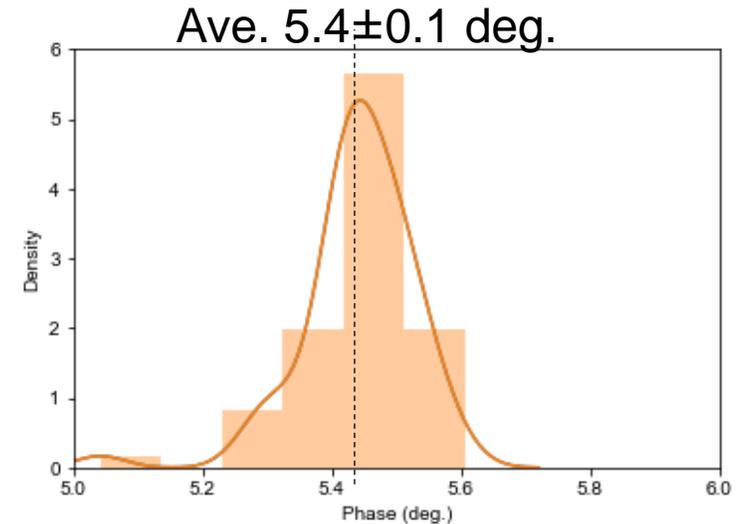
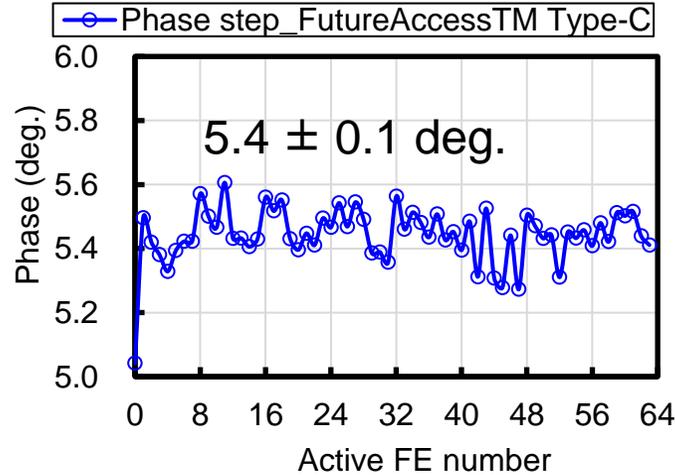


(New) FutureAccess™ Type-C



Active number of phase shifters

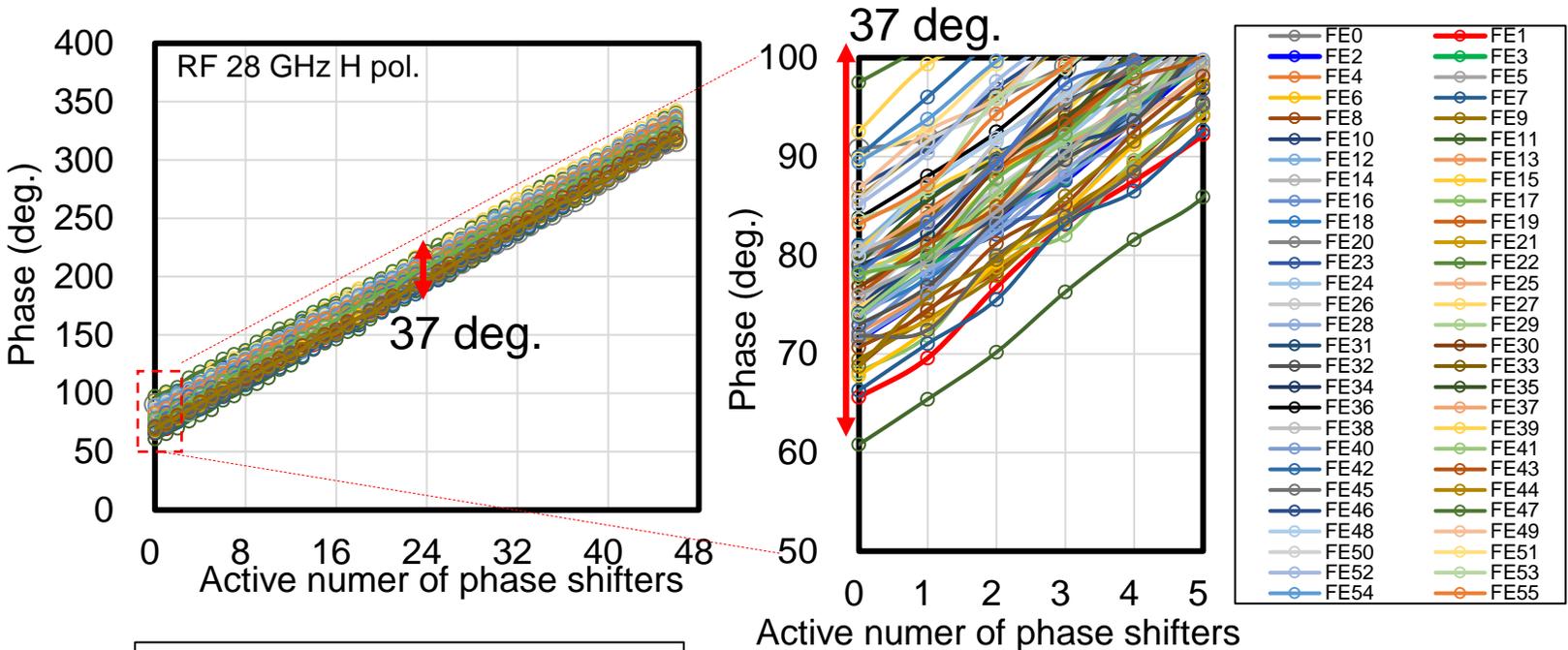
Items	Phase(deg.)
Max	5.6
Min	5.0
Max-Min	0.6
Ave.	5.4
σ	0.1



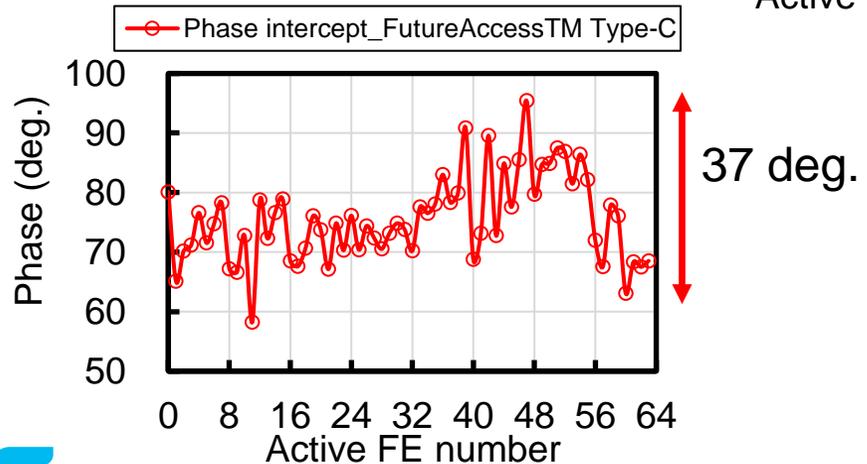
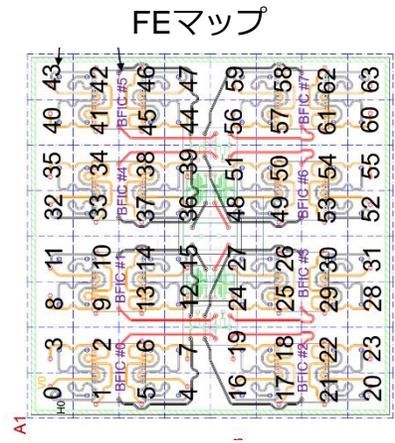
各FEで位相器の傾きばらつきが小さい→ビーム方向精度に優れる

PAAMのFEごとの位相ばらつき解析

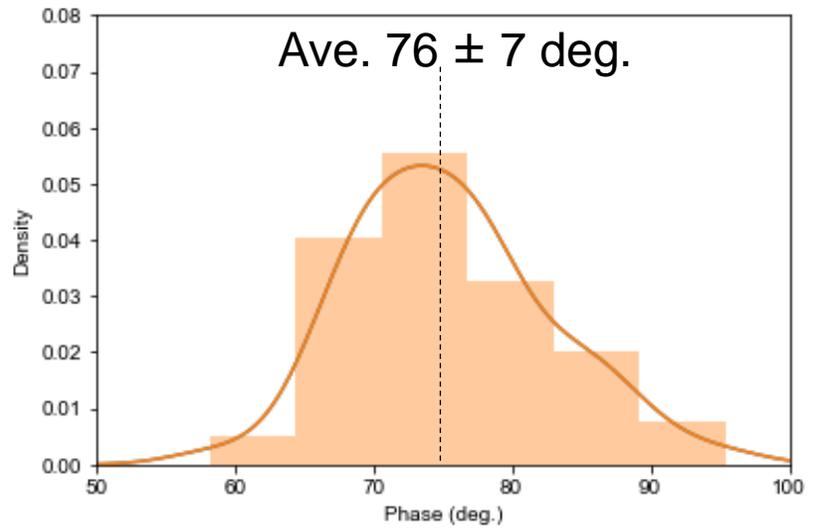
各FEの位相プロットの近似直線の切片分布を解析



(New) FutureAccess™ Type-C



Items	Phase(deg.)
Max	95
Min	58
Max-Min	37
Ave.	76
σ	7

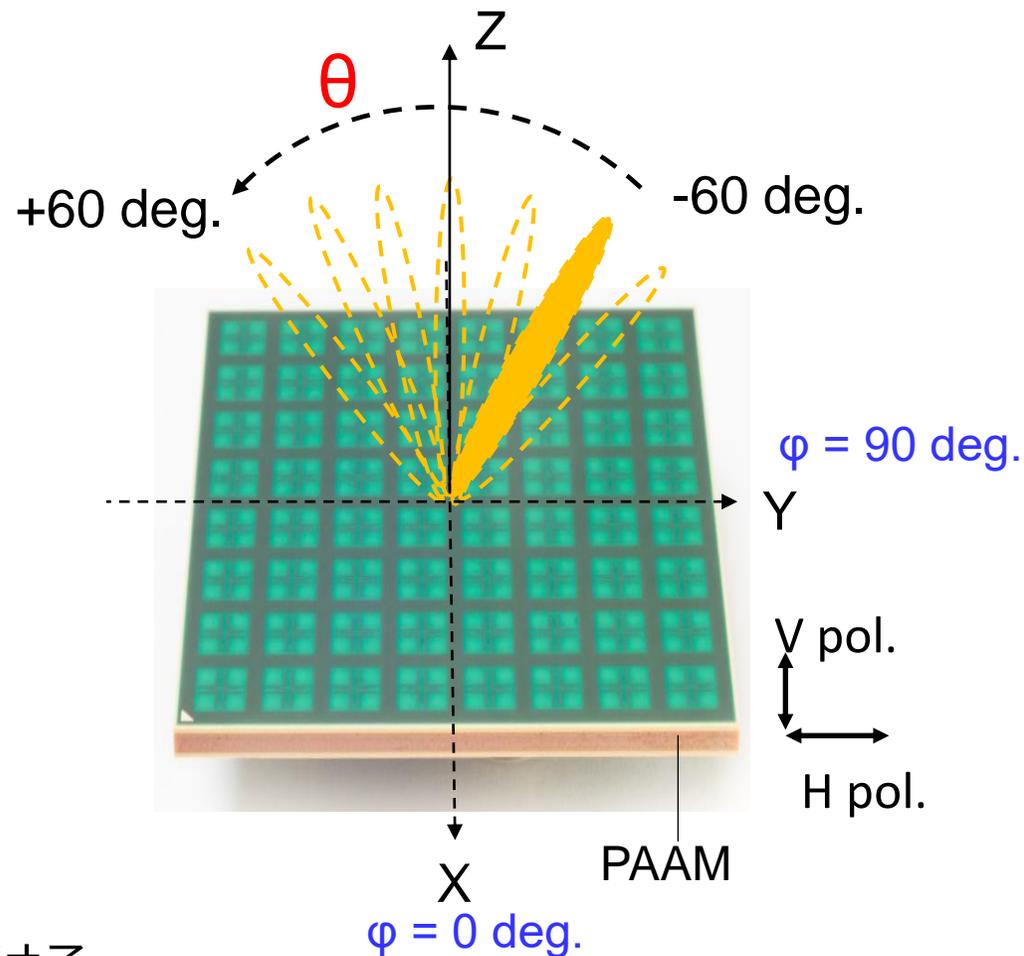
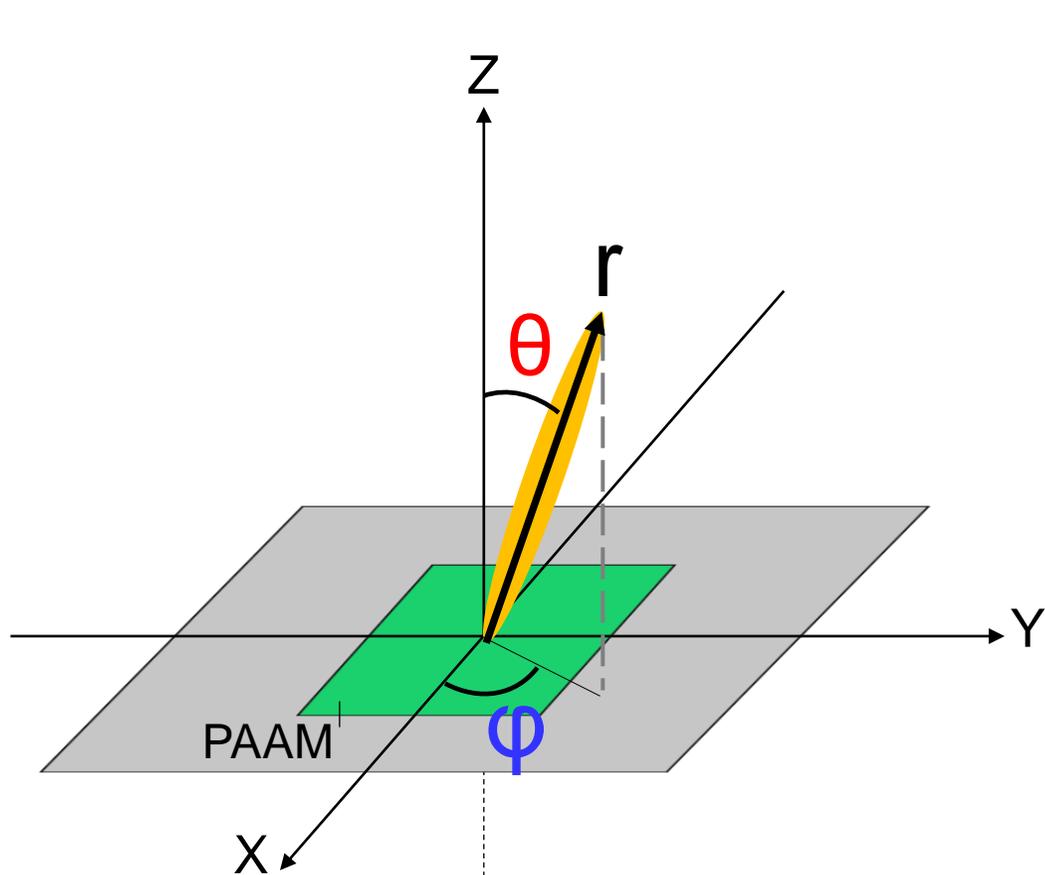


各FEで位相差ばらつきが小さい→FE間の経路差が小さく位相の校正不要

3. PAAMのビームフォーミング測定結果

3-1. 直接遠方界 (Direct far field, DFF)

ビームフォーミングにおける指向角度設定



ビームフォーミング：特定方向 (r) にビームを向ける

- ・空間内のビーム位置のパラメータ定義が必要
- ・ **ビーム指向角 θ (theta)**, **アンテナ面内角度 ϕ (phi)** の2パラメータで全空間上のビーム位置を決定

ビームフォーミングの原理とアレイファクタシミュレーション

<ビームフォーミングの原理> [7]

アンテナ間の位相差なし
→ **正面**にビームを向ける

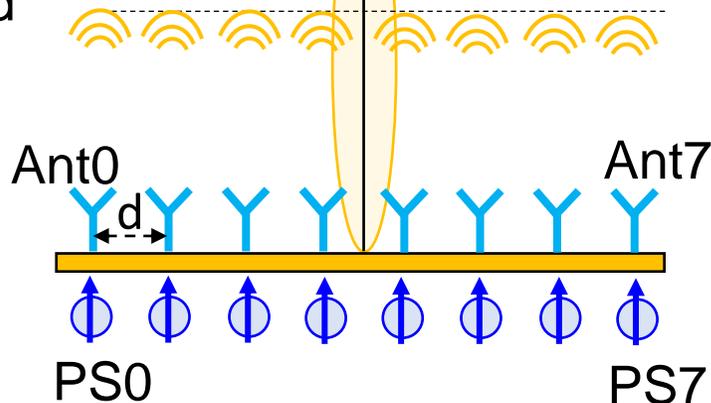
$$\text{位相差 } \Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta = 0 \text{ deg.}$$

Broadside
 $\theta = 0 \text{ deg.}$

To far field

Antennas

Phase Shifters

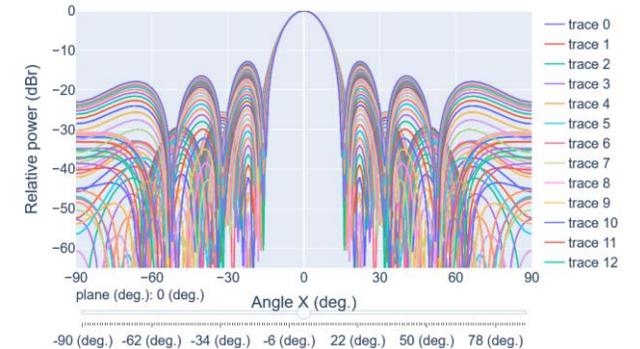
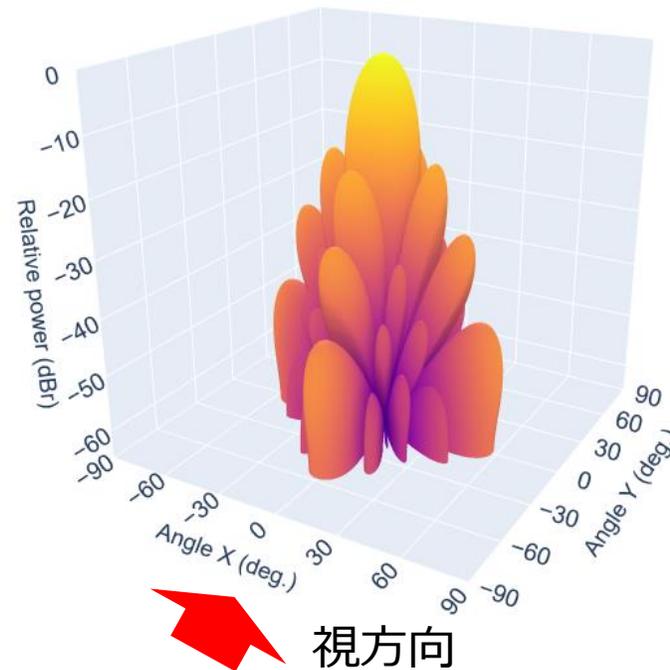


<アレイファクタによるシミュレーション>

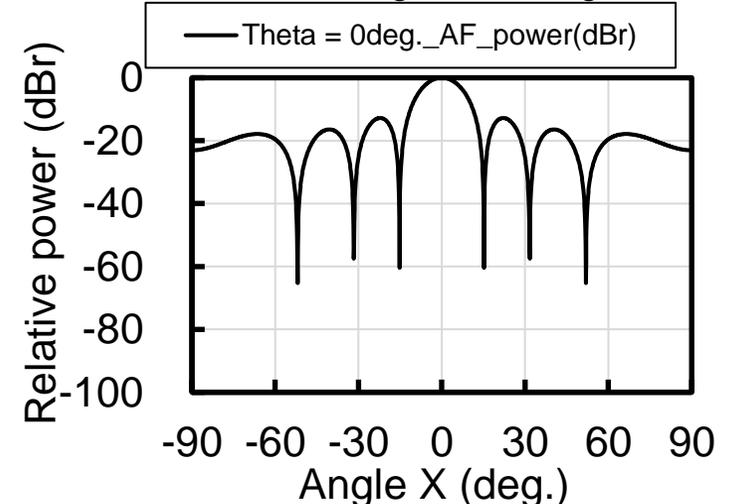
3D beam patterns
 $\theta = 0 \text{ deg.}, \varphi = 0 \text{ deg.}$

2D beam patterns

X = -90~90 deg., Y = -90~+90 deg.



X = -90~90 deg., Y = 0 deg.



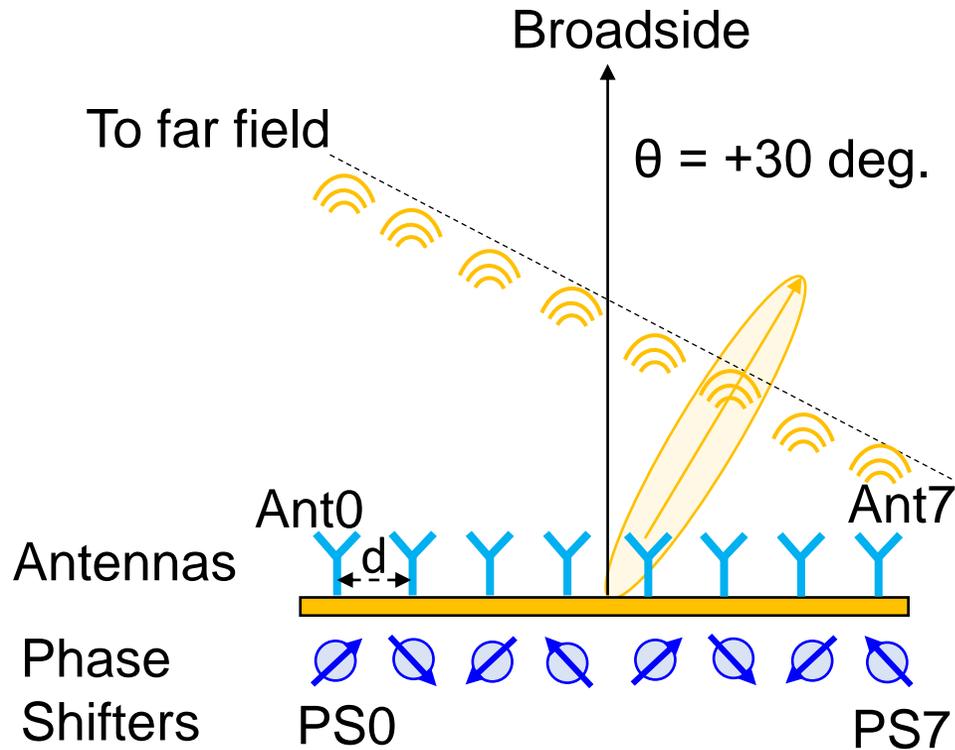
(Ref.) [7] M. Kottkamp and C. Rowell, "Antenna Array Testing - Conducted and Over the Air: The Way to 5G," München, 2016.

ビームフォーミングの原理とアレイファクタシミュレーション

<ビームフォーミングの原理> [7]

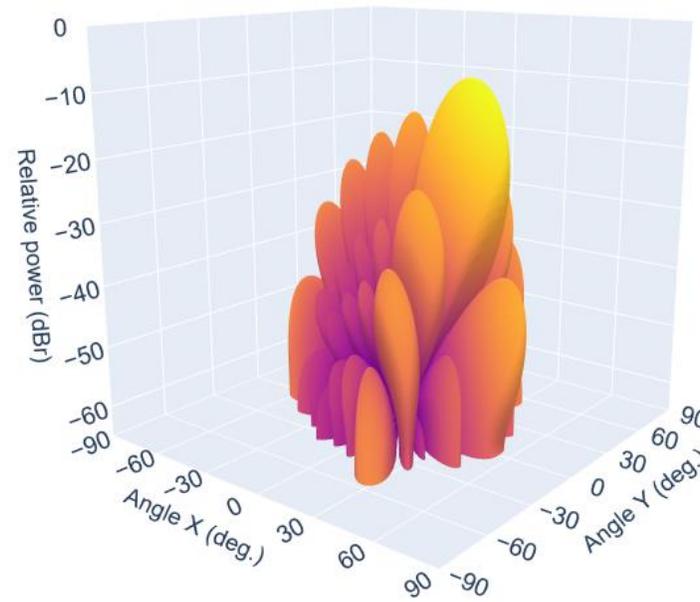
アンテナ間で位相差をつける
 → **指定角度** にビームを向ける

$$\text{位相差 } \Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$



<アレイファクタによるシミュレーション>

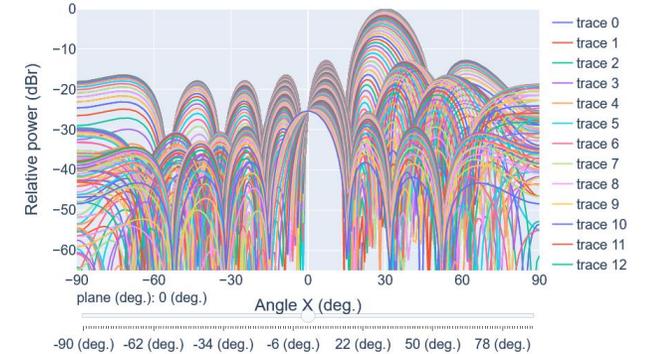
3D beam patterns
 $\theta = +30 \text{ deg.}, \varphi = 0 \text{ deg.}$



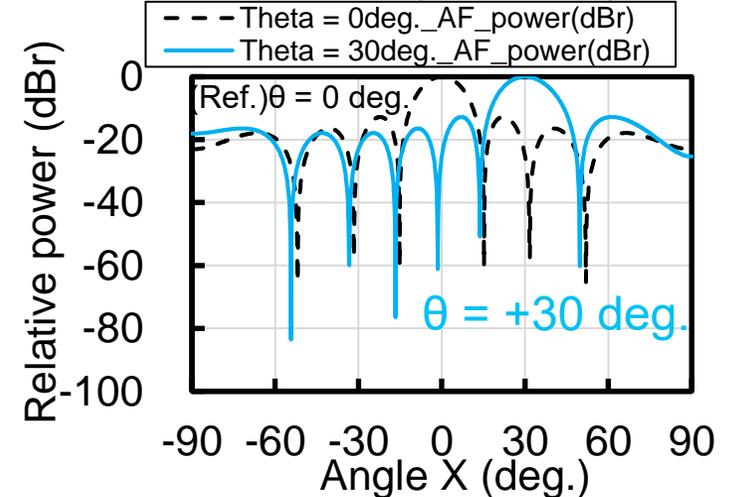
視方向

2D beam patterns

X = -90~90 deg., Y = -90~+90 deg.



X = -90~+90 deg., Y = 0 deg.

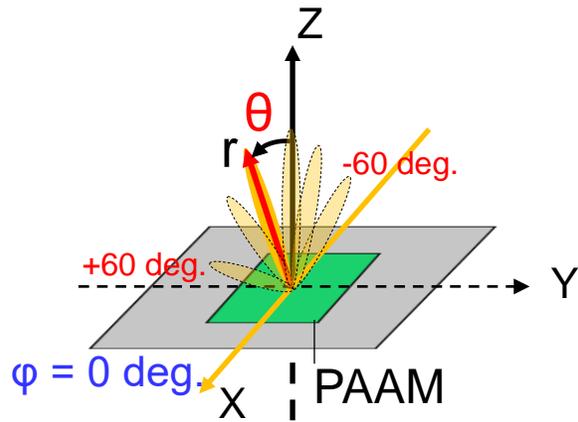


(Ref.) [7] M. Kottkamp and C. Rowell, "Antenna Array Testing - Conducted and Over the Air: The Way to 5G," München, 2016.

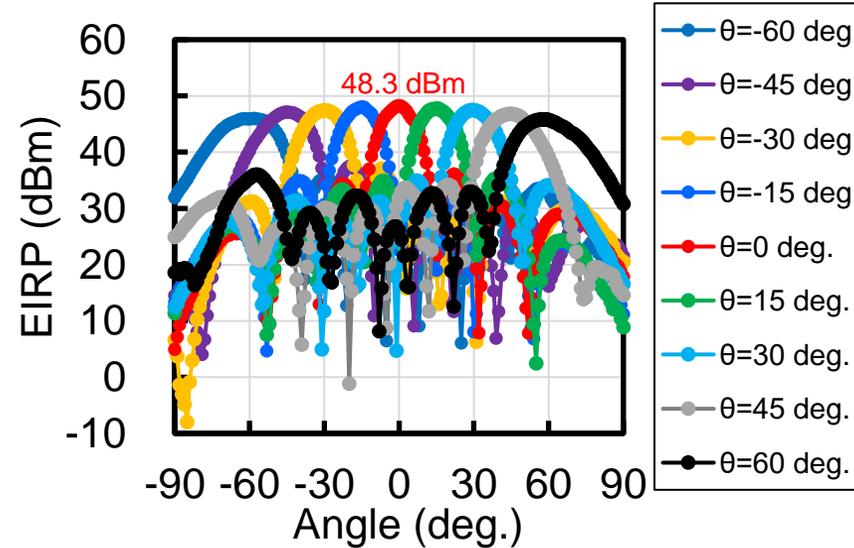
直接遠方界におけるPAAMのビームパターン測定結果

PAAM setting in

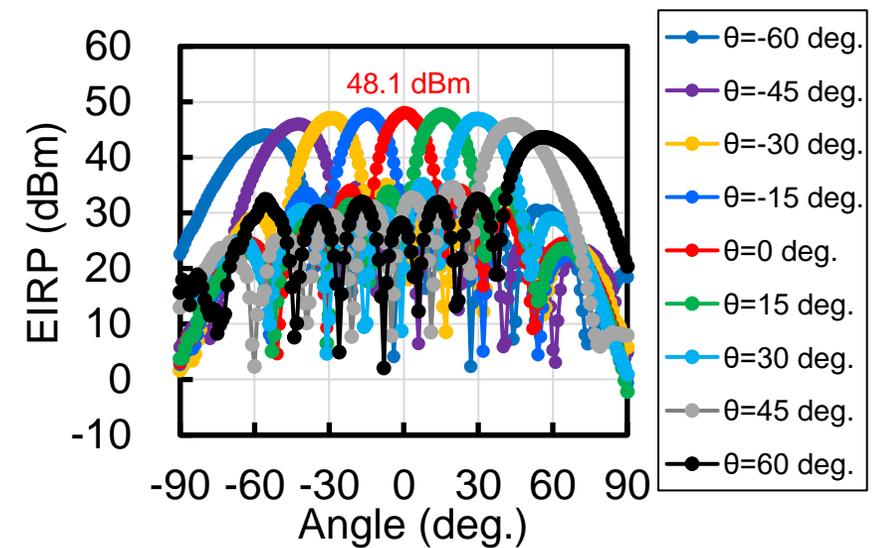
H pol. E plane and V pol. H plane



H pol. E plane



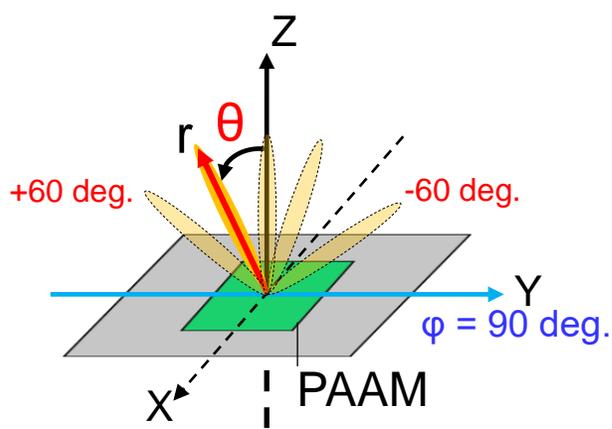
H pol. H plane



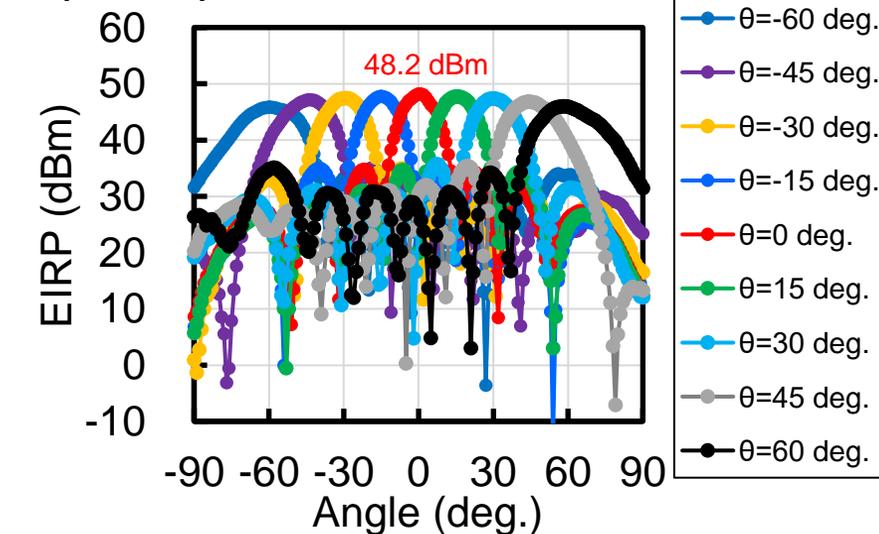
RF 28 GHz

PAAM setting in

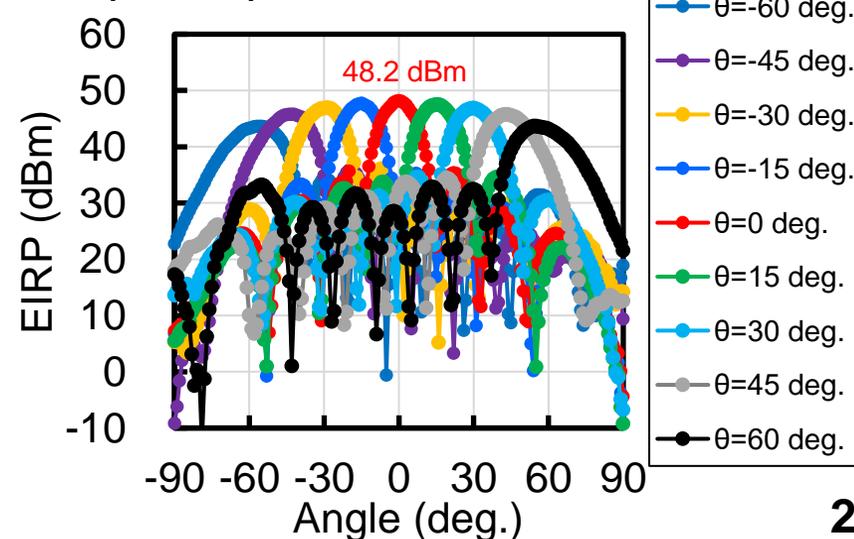
H pol. H plane and V pol. E plane



V pol. E plane



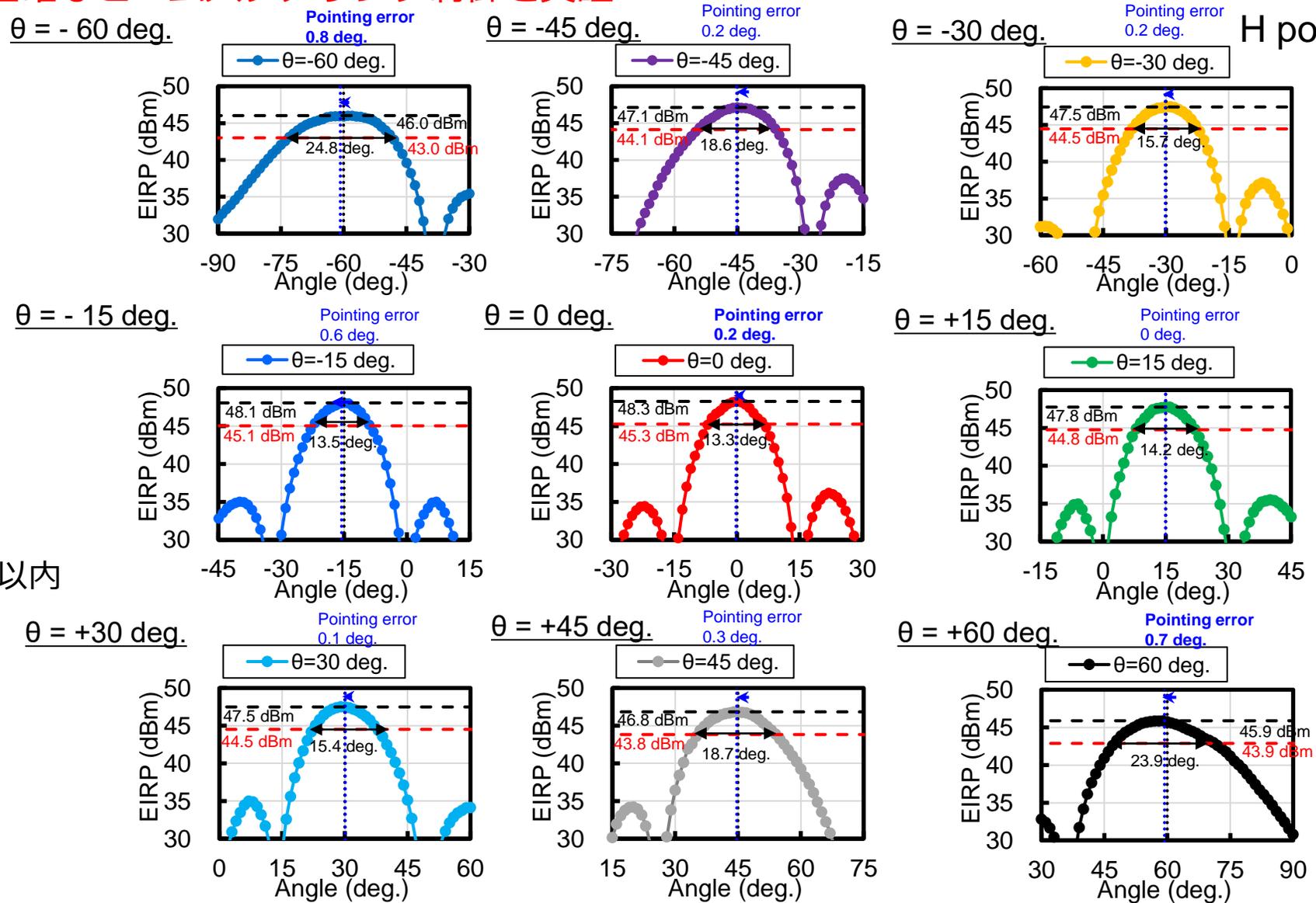
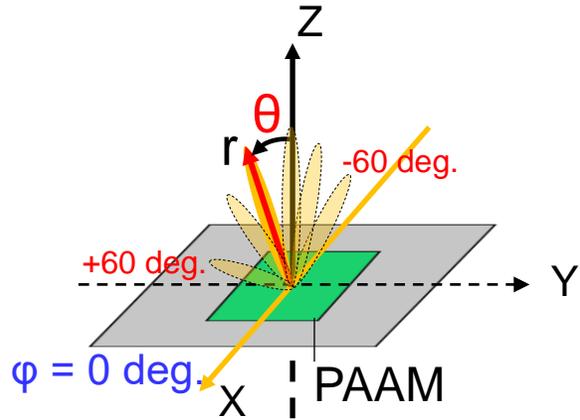
V pol. H plane



直接遠方界における PAAM のビームパターン測定結果詳細

キャリブレーションなしで正確なビームステアリング制御を実証

RF 28 GHz
H pol. E plane



<正面方向 ($\theta = 0 \text{ deg.}$)>

- 半値角 (HPBW) = 13 deg.
- 設定指向角度と実測指向角度との差分 (Pointing error) 0.5 deg. 以内

<ビームフォーミング $\pm 60 \text{ deg.}$ >

- HPBW = 24 deg.
- Pointing error 1 deg. 以内

3. PAAMのビームフォーミング測定結果

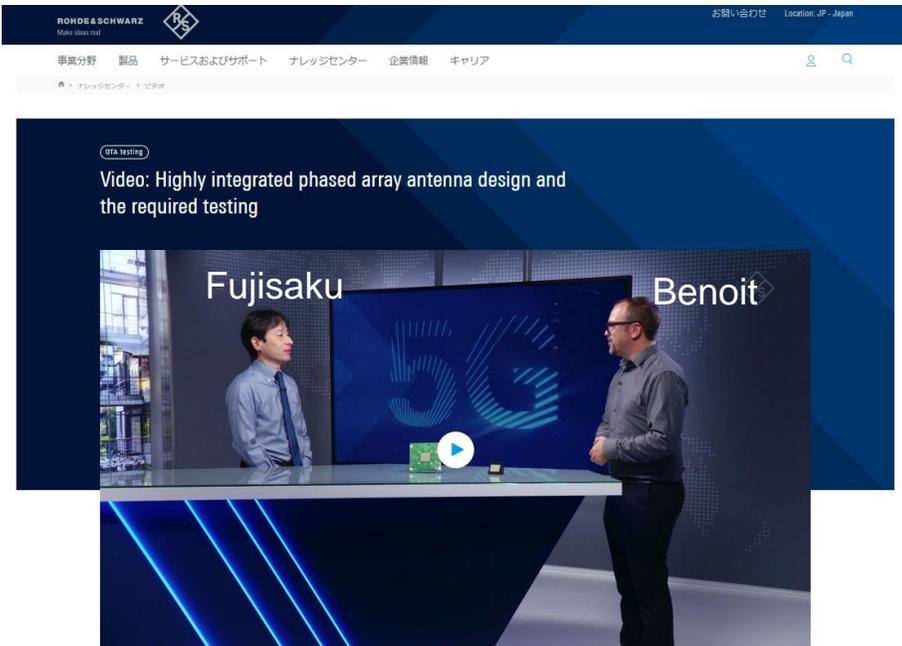
3-2. 間接遠方界 (Indirect far field, IFF)

Rohde & Schwarz とフジクラの共同Webinarの内容紹介

1: ショートビデオ (公開済み) [8]

出演: フジクラ: 藤咲, Rohde & Schwarz: Benoit

内容: PAAM紹介と測定コラボレーション



Collaboration as great as it can get. Dr. Benoit Derat interviews Yoshiharu Fujisaku, General Manager at

Collaboration as great as it can get.

Dr. Benoit Derat interviews

Yoshiharu Fujisaku, General Manager at Fujikura Ltd.

(Ref.) [8] Video: Highly integrated phased array antenna design and the required testing

https://www.rohde-schwarz.com/jp/knowledge-center/videos/video-highly-integrated-phased-array-antenna-design-and-the-required-testing-video-detailpage_251220-1436736.html

(2024年4月3日閲覧)

2: OTA測定Webinar (公開予定)

出演者: フジクラ: 藤乗, 土谷, Rohde&Schwarz: Fabrício, Thilo

内容: PAAM紹介とCATRでのOTA測定コラボレーション

サンプル

FutureAccess™ Type-B
Daughter card



(Ref.) Millimeter-wave Wireless Communications Module
<https://mmwavetech.fujikura.jp/5g/> (2024年4月3日閲覧)

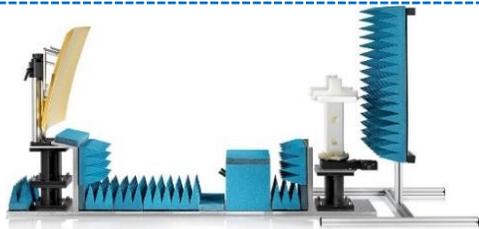
Fabrício Tsuchiya Tojo Thilo



完成予定動画 45 min



測定ブロック図: 間接遠方界 ベンチトップ型CATR ATS800B

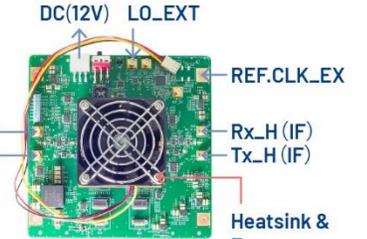


In direct far-field Test System: R&S®ATS800B

サンプル
FutureAccess™ Type-B
Daughter card



Top side



Bottom side

Size:140×140×68mm

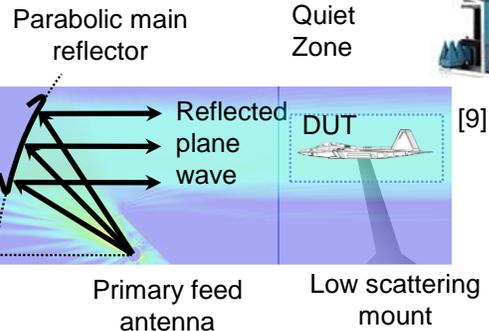
<Rx side>

<Tx side>

RF 28.5 GHz for H pol.
CW signal

RF 29.0 GHz for V pol.
CW signal

Frequency settings	
LO (GHz)	6.375
IF H pol. (GHz)	3.0
IF V pol. (GHz)	3.5
RF H pol. (GHz)	28.5
RF V pol. (GHz)	29.0



球面波→平面波変換

コンパクト・アンテナ・テスト・レンジ
(Compact Antenna Test Range, CATR)^[10]

- ・物理的に近傍界を遠方界に変換
- ・電波暗室のサイズを抑えられる
- ・広大なクアイエットゾーン

RF 29.0 GHz for V pol.

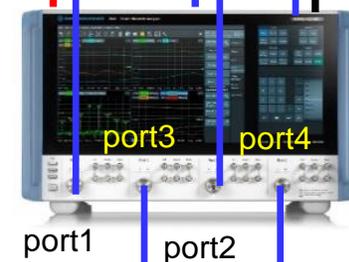
R&S®TC-TA85CP
Dual-polarized
Vivaldi test antenna

RF 28.5 GHz for H pol.

IF 3.0 GHz
for H pol.

IF 3.5 GHz
for V pol.

LO 6.375 GHz



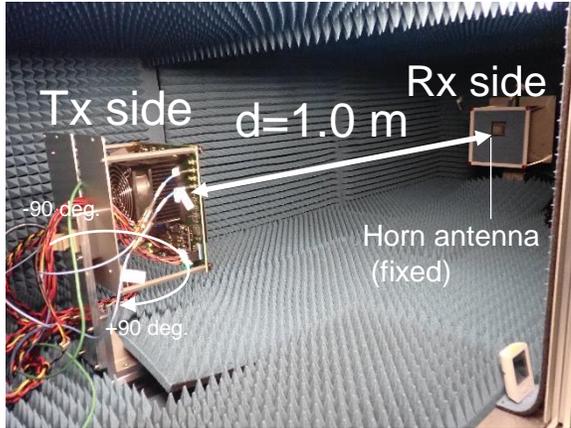
VNA: R&S®ZNA

(Ref.)
[9] "5G NEW RADIO OVER-THE-AIR BASE STATION TRANSMITTER TESTS"
https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/gtm324/GEM324_1e_5G_NR_BaseStation_OTTA_TX_Tests.pdf (2024年5月8日閲覧)
[10] 「5G OTAテストのコンセプトと定義」 https://edn.itmedia.co.jp/edn/articles/1911/25/news023_3.html (2024年5月8日閲覧)

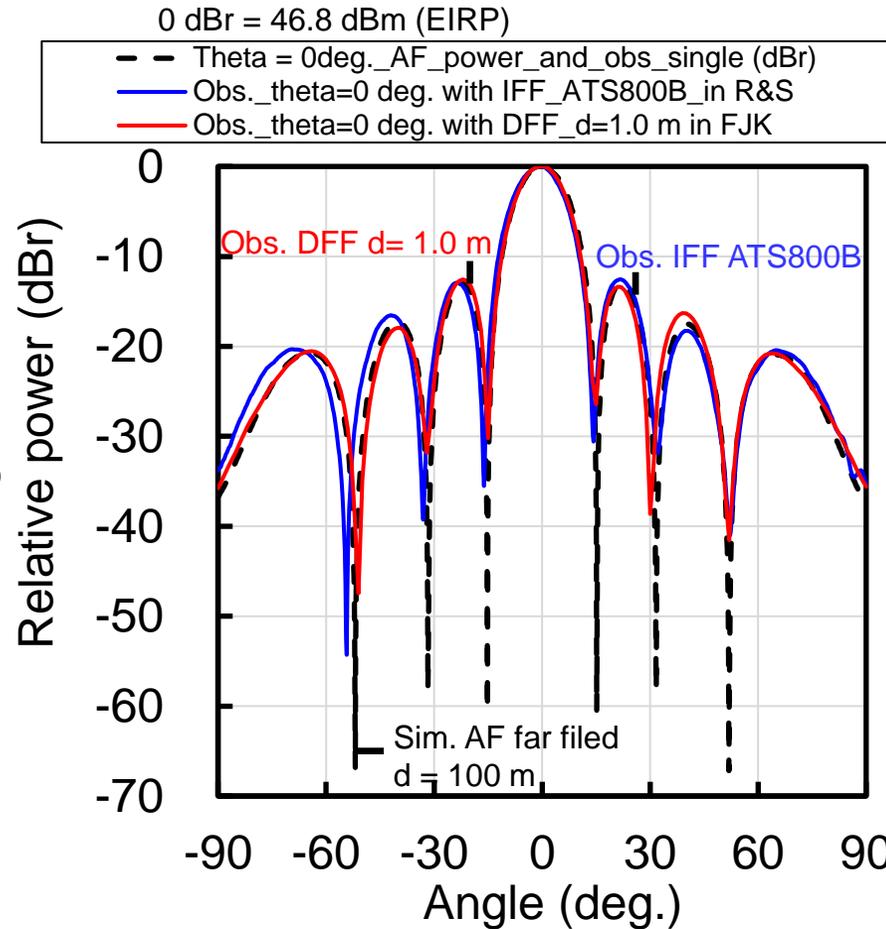
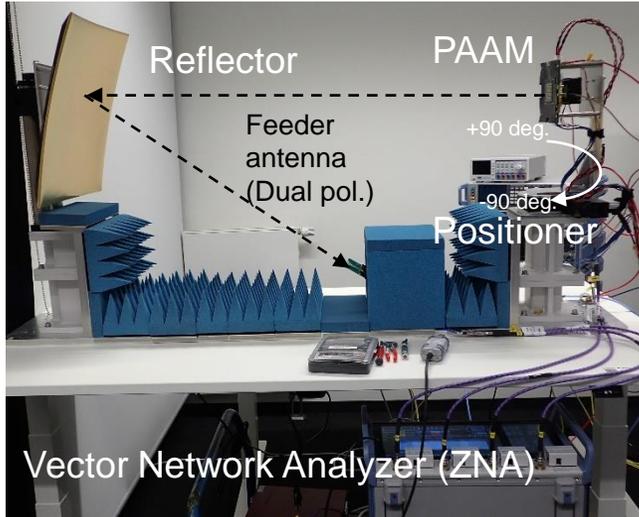
DFF 1 deg. ステップ測定 vs IFF 時間掃引ビームパターン比較

H pol. E plane at 28 GHz 64 elements

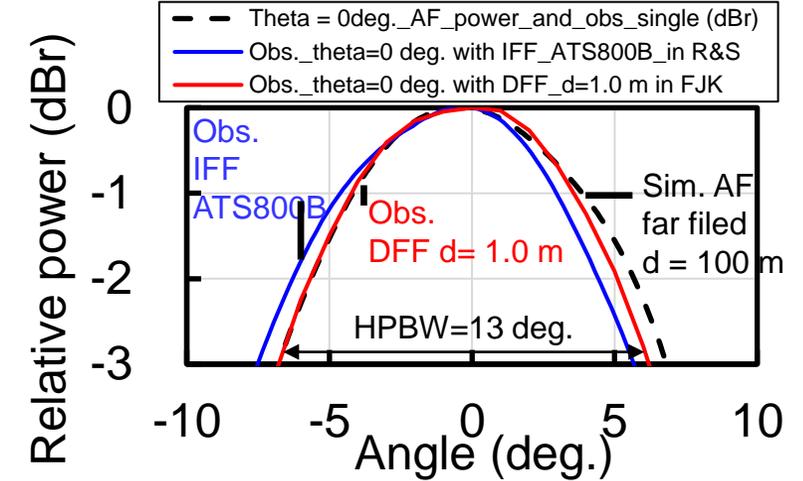
DFF d = 1.0 m in Fujikura test setup



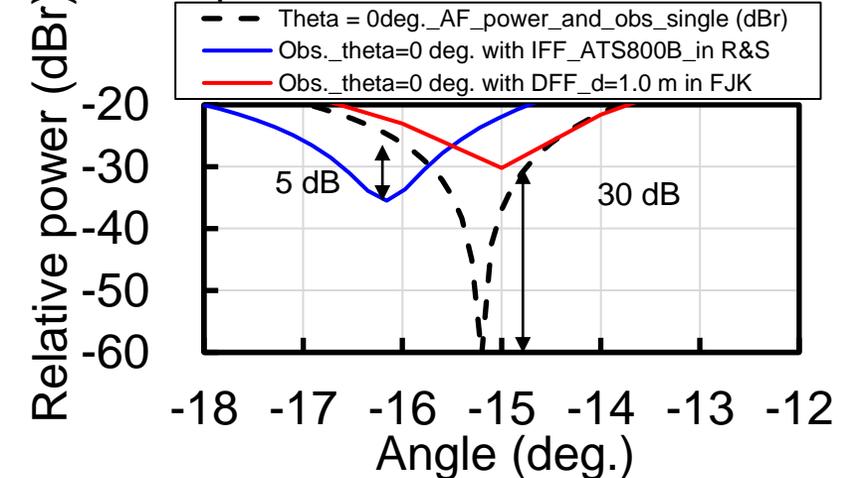
IFF ATS800B R&S in Munich test setup



Main lobe



Null points

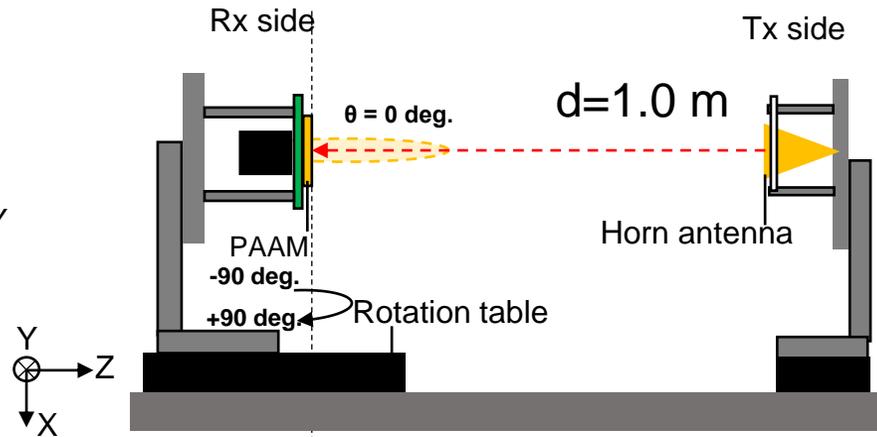
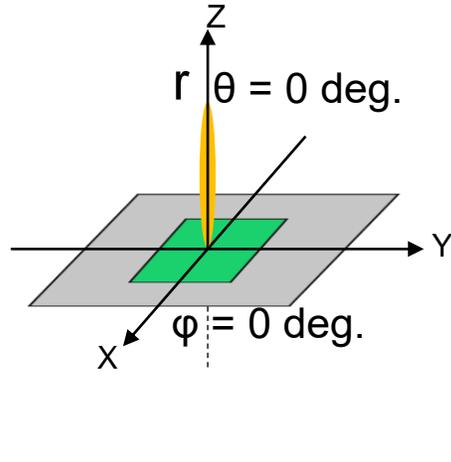


- IFF, DFF測定結果は遠方界アレイファクタシミュレーションとよく一致
- ATS800Bでは周囲の吸収体がない影響でNull点が浅い可能性あり

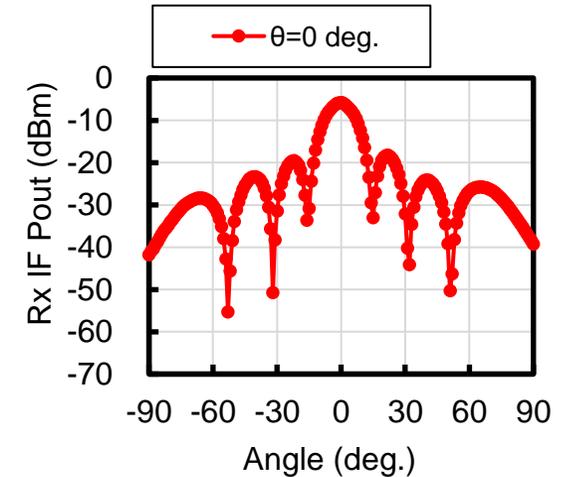
4. ビーム位置精度を示す 2次元強度マップ測定結果

ビーム位置精度を示す2次元強度マップ

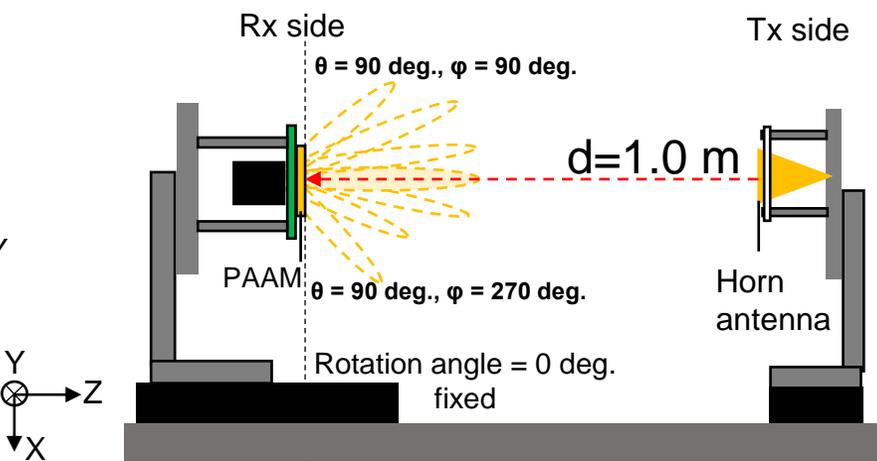
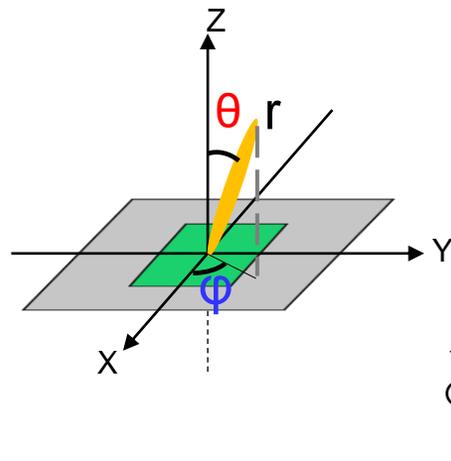
- ビームパターン測定：ビームを特定方向に向け、物理的に被測定物を回転



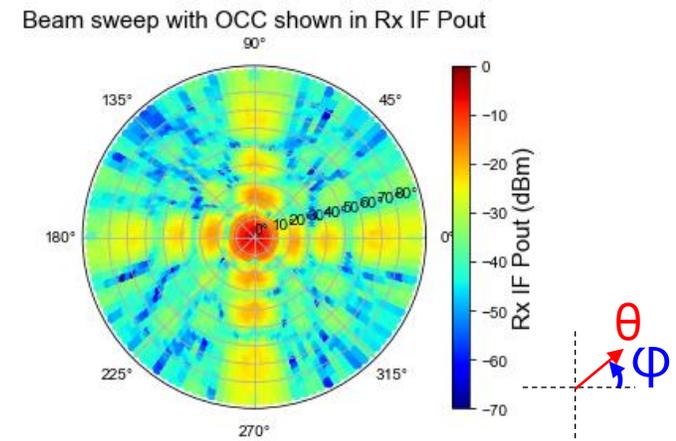
Beam sweep
 $\theta = 0 \text{ deg. (fixed)}$
 $\phi = 0 \text{ deg. (fixed)}$
 Rotation angles
 $-90 \sim +90 \text{ deg.}$



- 2次元強度マップ測定：被測定物を固定し、2次元にビームをスイープ

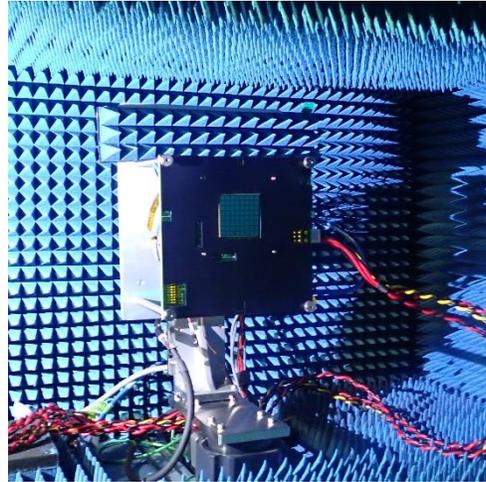


Beam sweep
 $\theta = 0 \sim 90 \text{ deg.}$
 $\phi = 0 \sim 360 \text{ deg.}$
 Rotation angle
 0 deg. (fixed)

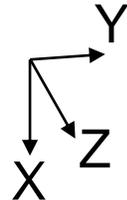
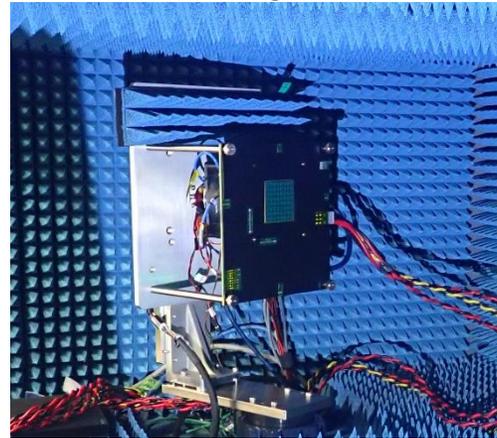


ビーム位置精度を示す2次元強度マップ

Rotation angles = 0 deg.

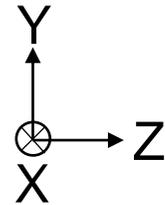
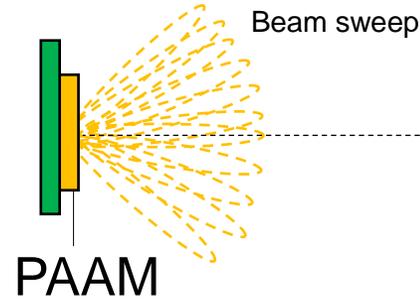


Rotation angles = 30 deg.



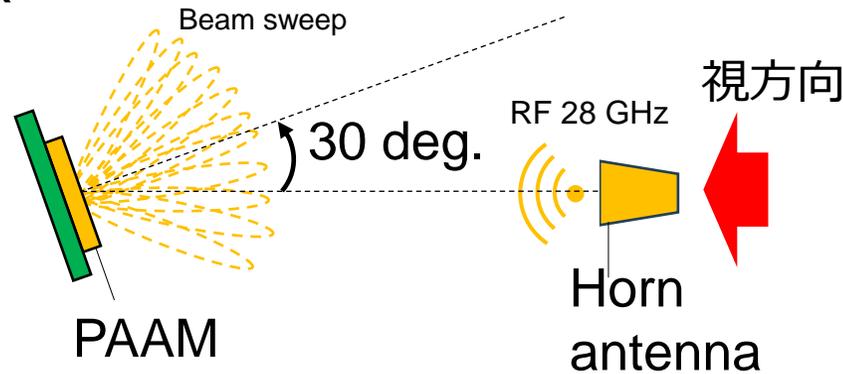
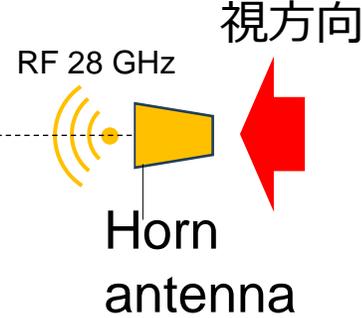
基地局

Rx side

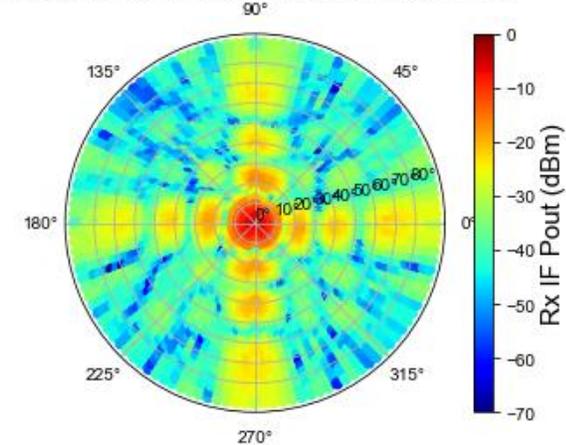


端末

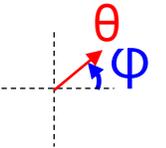
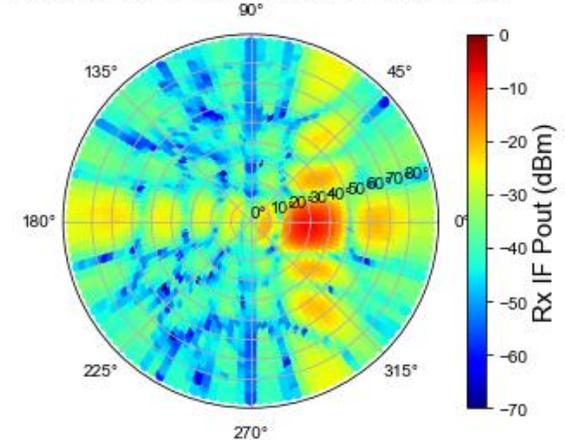
Tx side



$\theta = 0 \text{ deg.}, \varphi = 0 \text{ deg.}$
Beam sweep with OCC shown in Rx IF Pout



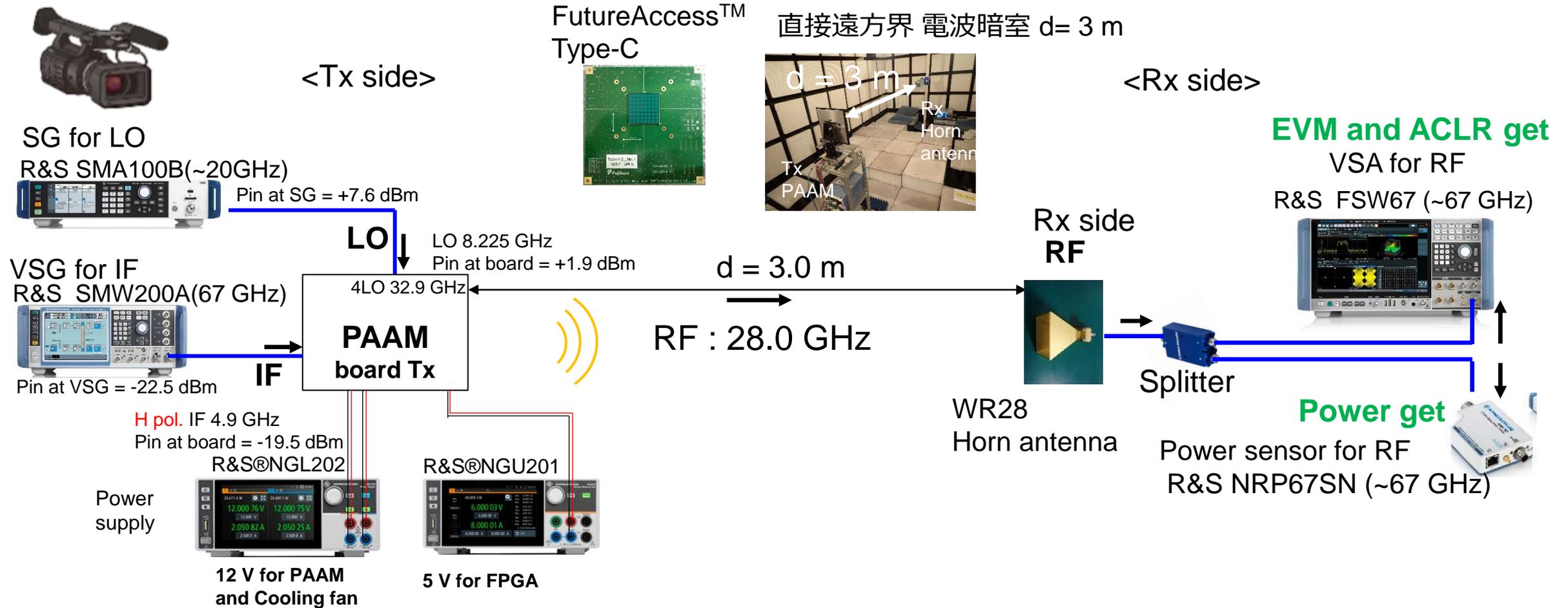
$\theta = 30 \text{ deg.}, \varphi = 0 \text{ deg.}$
Beam sweep with OCC shown in Rx IF Pout



端末位置を精度よく検知することを想定したデモンストレーションとして有効

5. PAAMの広帯域変調信号解析結果

PAAMの変調信号解析ブロック図



- ・ 電波暗室内にPAAMと対向ホーンアンテナを設置 (対向距離 d = 3.0 m)
- ・ ローデ・シュワルツ製機器を使用し、PAAMの変調精度(EVM), 隣接チャネル漏洩電力比(ACLR)を確認

変調信号での各出力におけるEVM特性

測定条件： RF 28 GHz, 送信側変調信号： TM3.1a 256QAM BW=100 MHz, 400 MHz, 800 MHz (8cc x 100 MHz)

Total BW = 100 MHz (1ccx100 MHz)

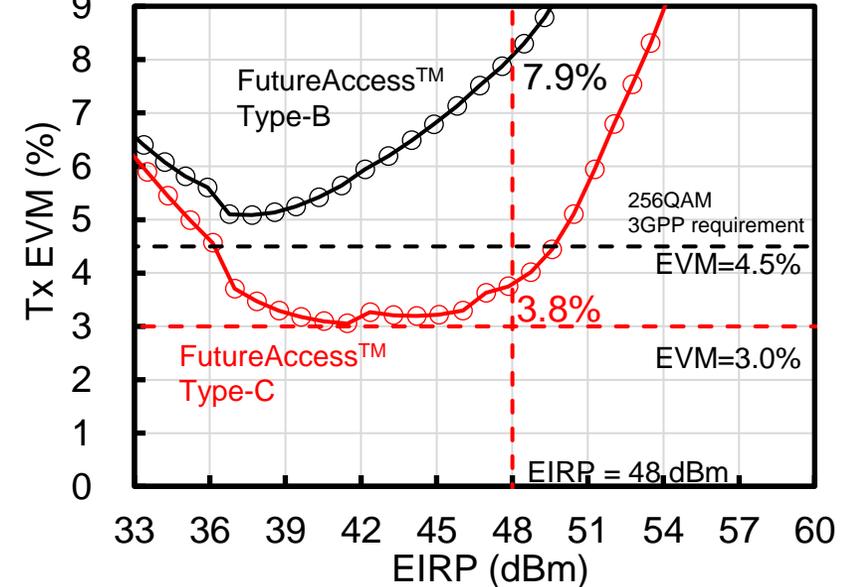
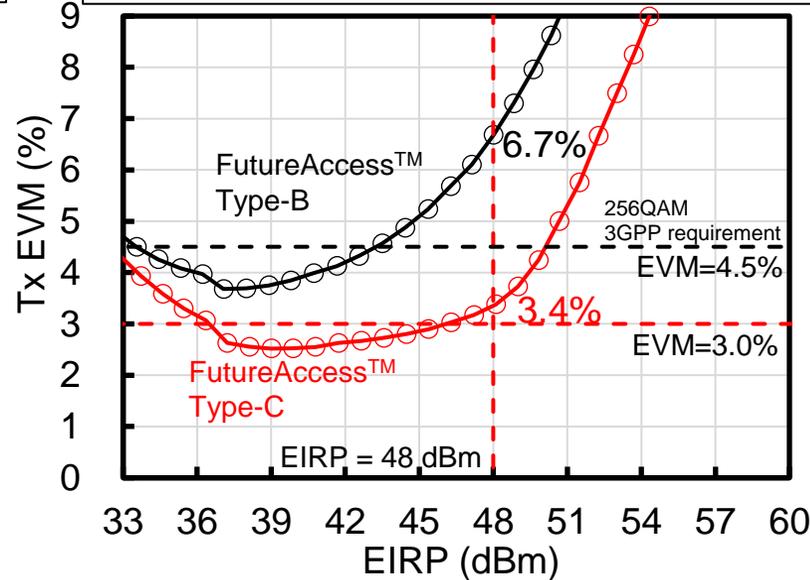
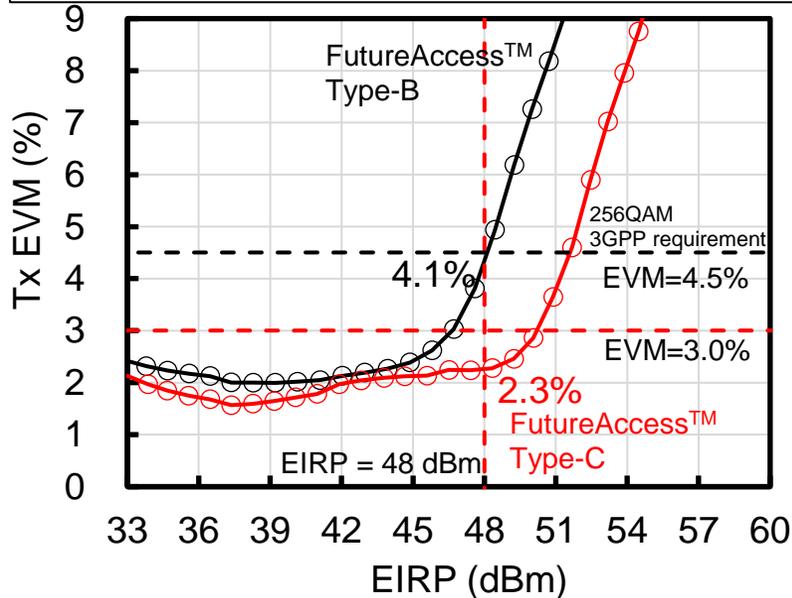
Total BW = 400 MHz (1ccx400 MHz)

Total BW = 800 MHz (8ccx100 MHz)

○ FutureAccess™ Type-B_R&S_manual_adjustment
 ○ FutureAccess™ Type-C_R&S_manual_adjustment
 - - - EVM = 4.5%

○ FutureAccess™ Type-B_R&S_manual_adjustment
 ○ FutureAccess™ Type-C_R&S_manual_adjustment
 - - - EVM = 4.5%

○ FutureAccess™ Type-B_R&S_manual_adjustment
 ○ FutureAccess™ Type-C_R&S_manual_adjustment
 - - - EVM = 4.5%

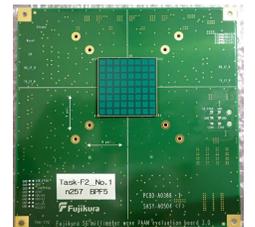
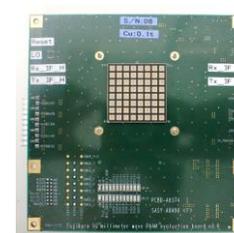


EVM vs EIRPバスタブ曲線の取得→測定自動化

FutureAccess™ Type-C

- EVMを大幅に改善
- EIRP = 48 dBmにて3GPP要求の256QAM, EVM 4.5%以下を満たす

FutureAccess™ Type-B FutureAccess™ Type-C



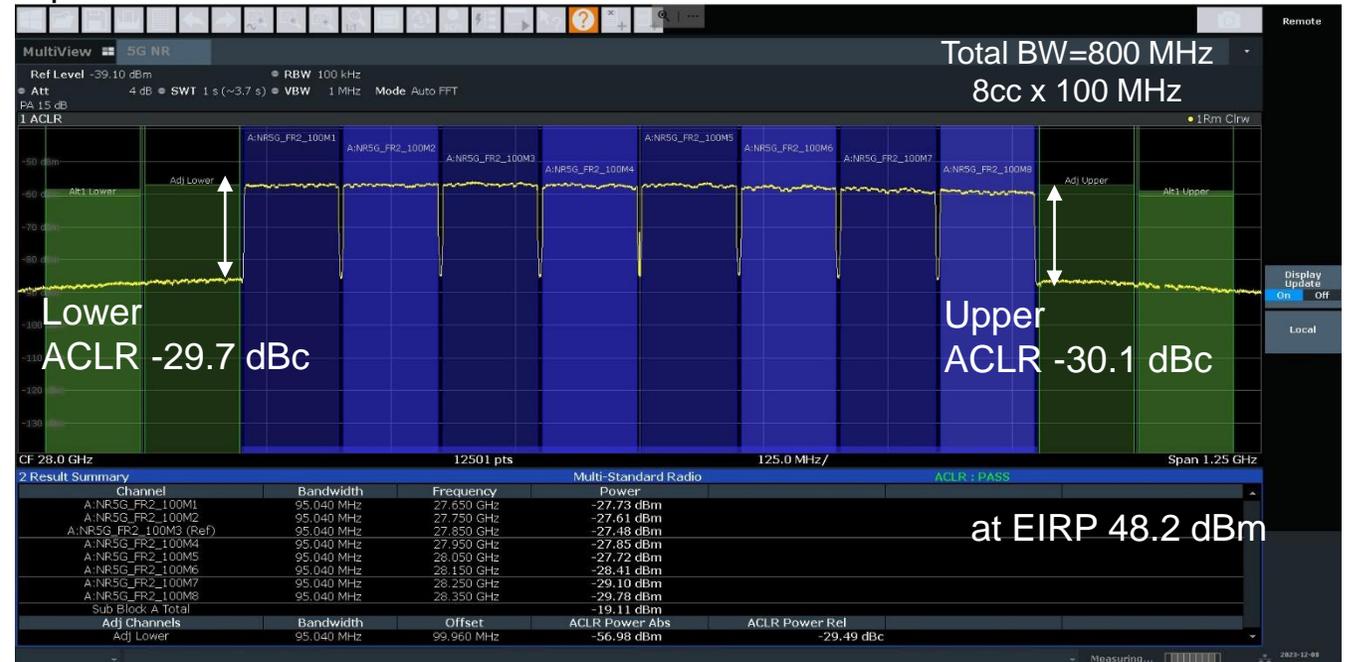
BW=800 MHz (8cc x 100 MHz)におけるTx EVM and ACLR 解析結果

測定条件：RF 28 GHz with total BW=800 MHz (8cc x 100 MHz)
 送信側変調信号 EVM：TM3.1a 256QAM, ACLR：TM1.1 QPSK

Constellation diagram



Spectrum



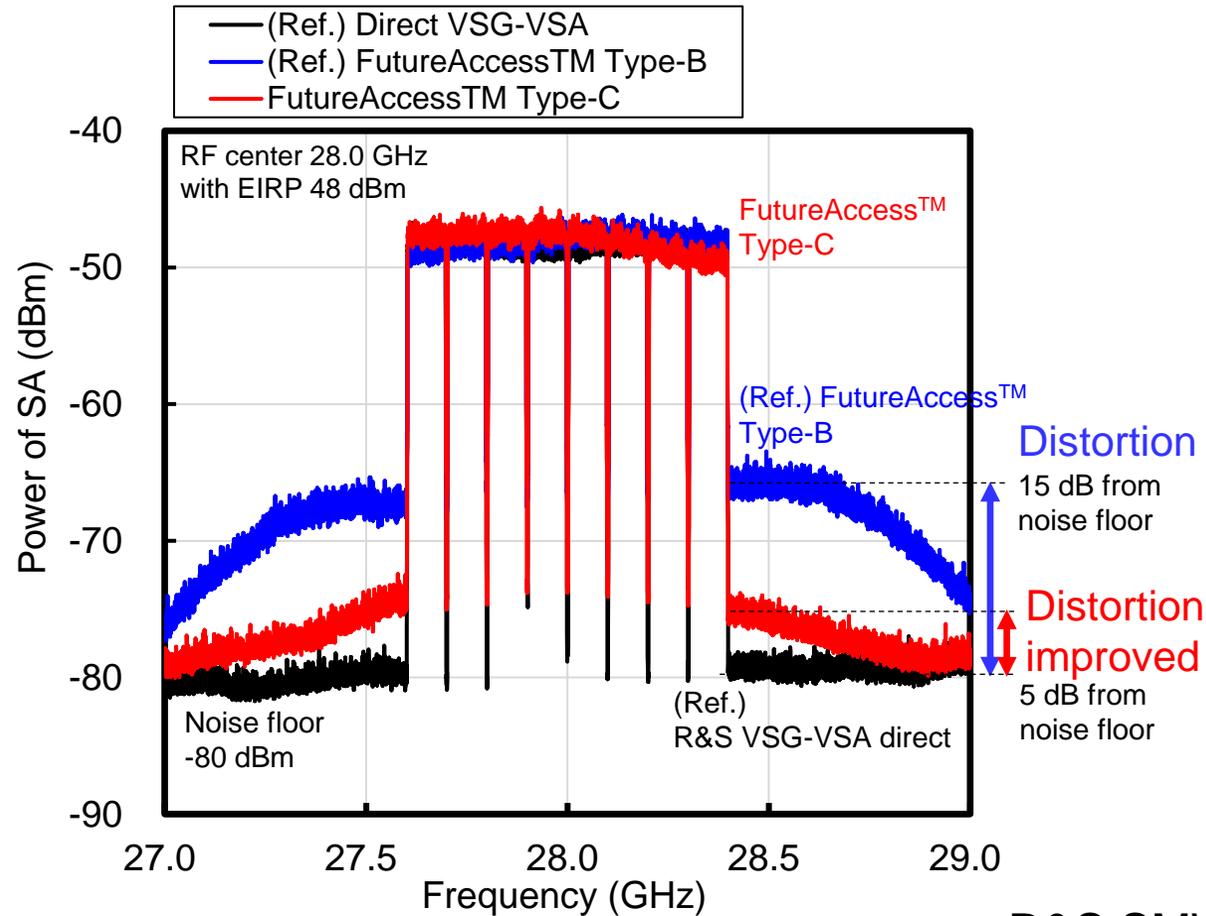
FutureAccess™ Type-C



広帯域変調信号において良好なEVMとACLRを示す

- Tx **EVM 3.8% at EIRP = 48 dBm**
3GPPの要求：256QAM 4.5%以下を満たす
- Tx **ACLR -29.5 dBc at EIRP = 48 dBm**
3GPPの要求：-25.7 dBc以下を満たす

広帯域変調信号における28 GHz帯スペクトル比較とACLR比較

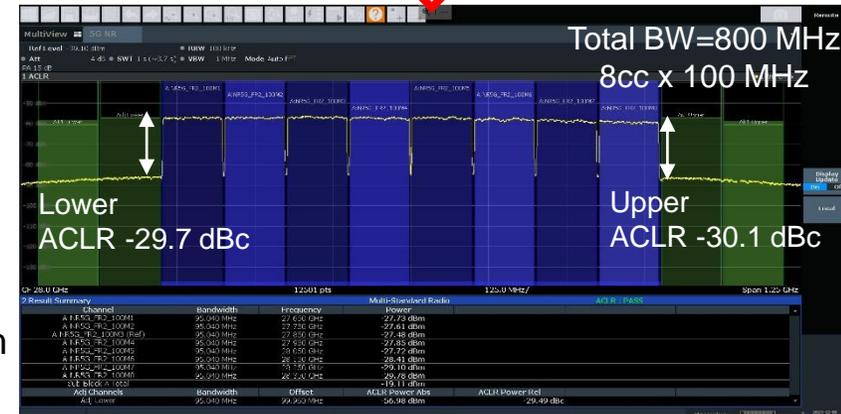


FutureAccess™ Type-B

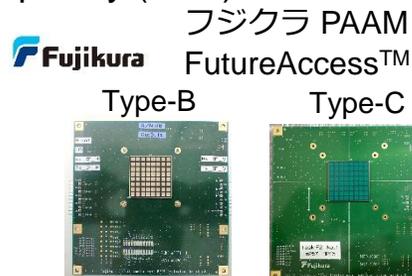
ACLR
Lower -22.1 dBc
Upper -20.1 dBc
at EIRP 47.6 dBm

FutureAccess™ Type-C

ACLR
Lower -29.7 dBc
Upper -30.1 dBc
at EIRP 48.2 dBm



- R&S SMW-FSW 装置直結条件でSN比が38 dB→十分なSN比を確認
- 広帯域変調信号では相互変調ひずみの影響でACLRが劣化
- **FutureAccess™ Type-Cの変調ひずみはType-Bに比べ顕著に改善**



6. まとめ

- OTAにおける位相測定
フジクラ PAAMとローデ・シュワルツ製 ZNAによりOTAで安定した位相測定を実現
PAAMの位相とゲインを独立に制御可能であることを実証
- ビームフォーミング測定結果
直接遠方界 (Direct far field, DFF), 間接遠方界 (Indirect far field, IFF)
遠方界アレイファクタシミュレーションとよく一致
- ビーム位置精度を示す2次元強度マップ
端末位置を精度よく検知することを想定したデモとして有効
- PAAMの変調信号解析
広帯域変調信号では相互変調ひずみの影響でACLRが劣化
FutureAccess™ Type-Cの変調ひずみはType-Bに比べ顕著に改善

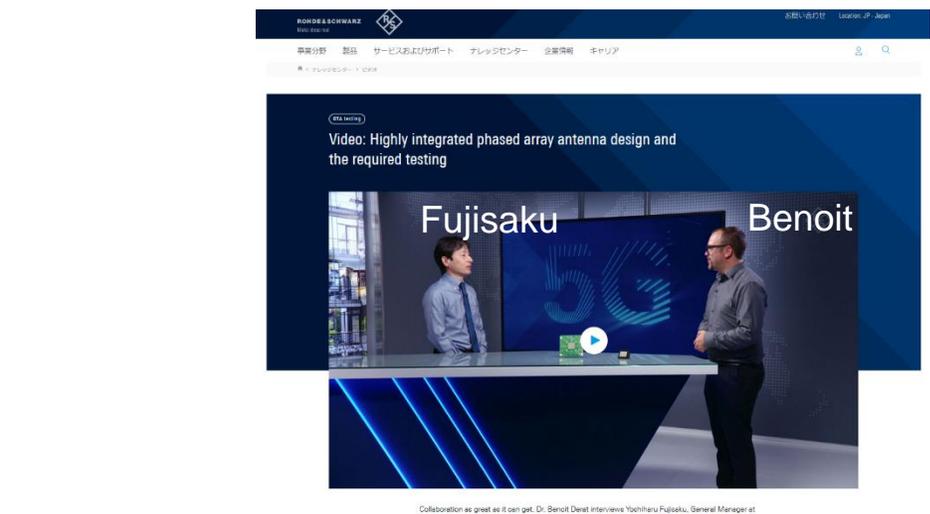


ご清聴ありがとうございました。



(参考情報) Rohde & Schwarzとフジクラのコラボレーション動画紹介

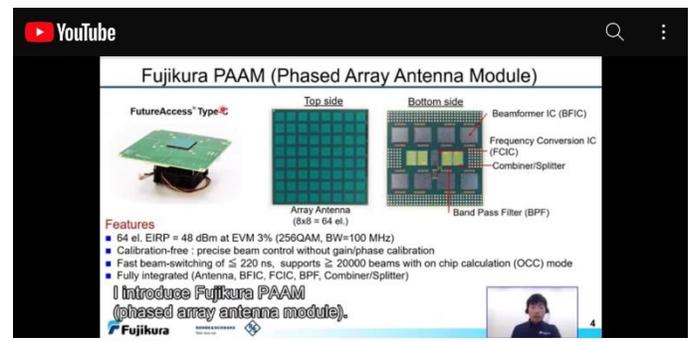
- Highly integrated phased array antenna design and the required testing [8]
 (Ref.) [8] https://www.rohde-schwarz.com/jp/knowledge-center/videos/video-highly-integrated-phased-array-antenna-design-and-the-required-testing-video-detailpage_251220-1436736.html



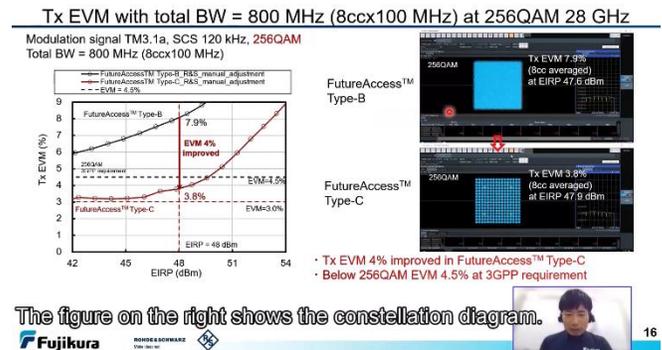
- MWC2024 LinkedIn short video [11]
 (Ref.) [11] <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7168486954945171456/>



- PAAMの広帯域変調信号解析 [12]
 株式会社フジクラ
 公式アカウントYouTubeに掲載
 (Ref.) [12] <https://youtube.com/watch?v=vbCEzzX1Ing&feature=shared>

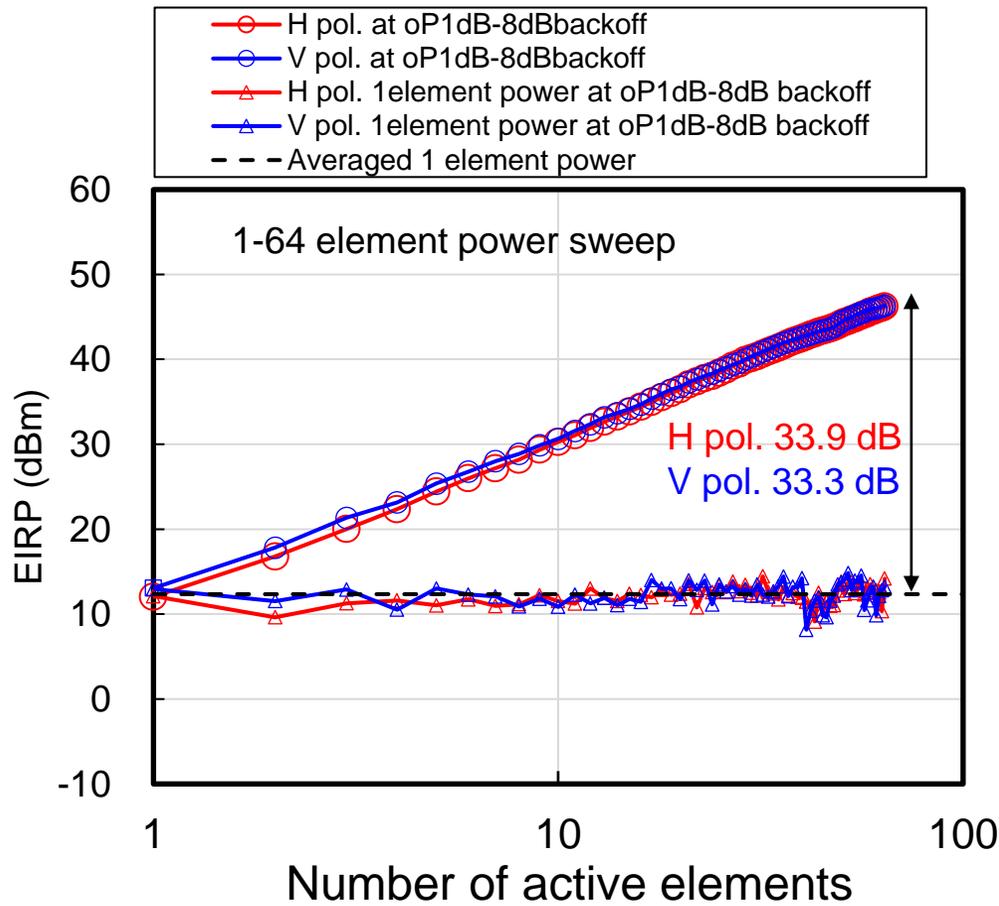


Fujikura's 28-GHz-band phased array antenna module (PAAM)

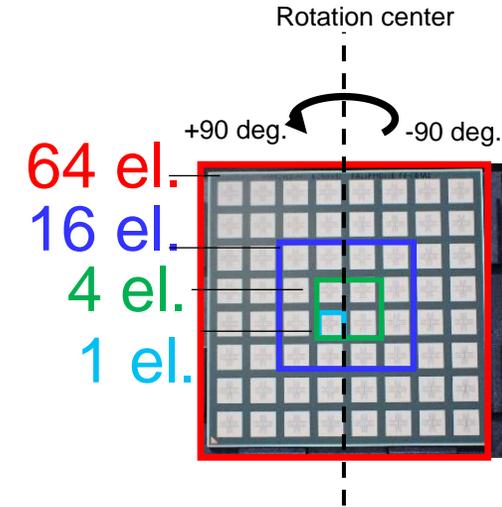
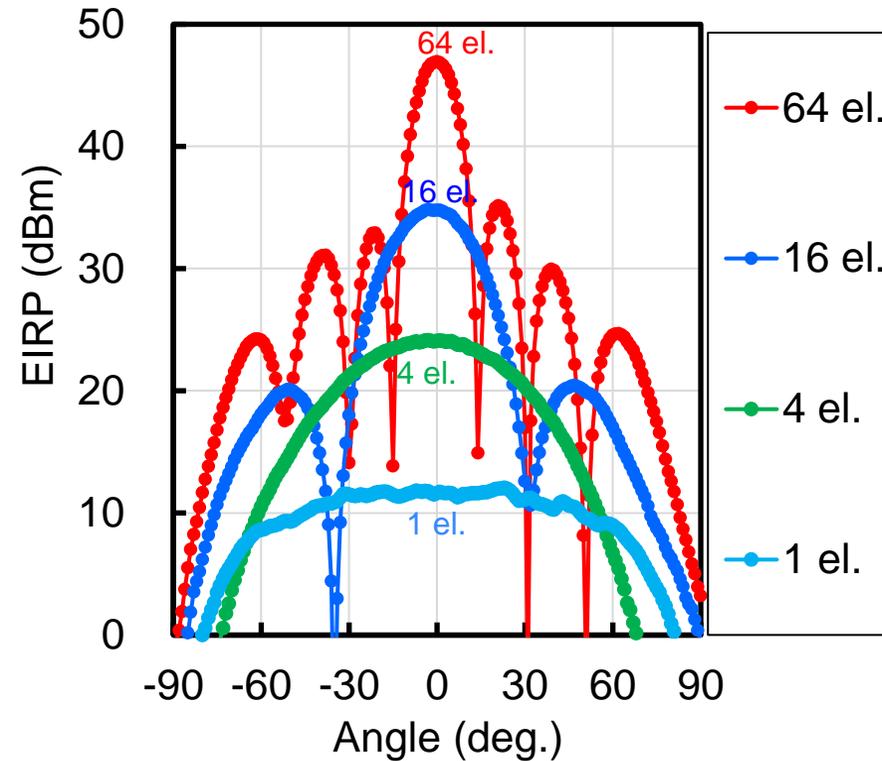


補助資料

(3. PAAMのビームフォーミング測定結果の補助結果) アクティブ素子数と結合ゲインの関係, ビーム形状の変化



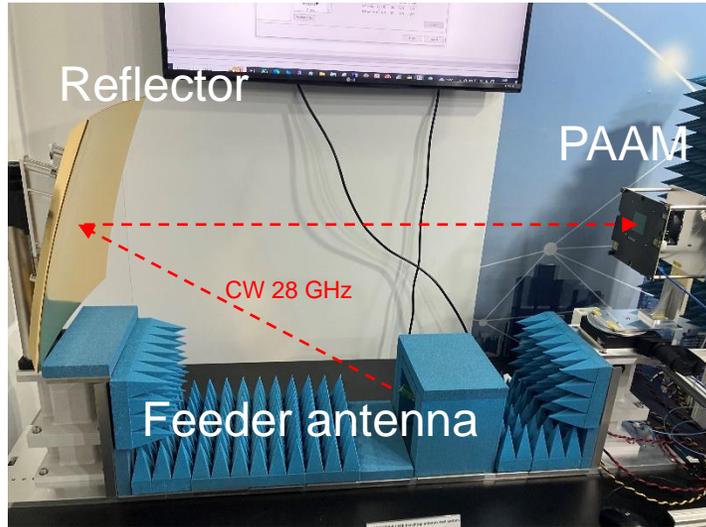
Beam patterns at boresight
H pol. H plane at 28 GHz 1-64 elements



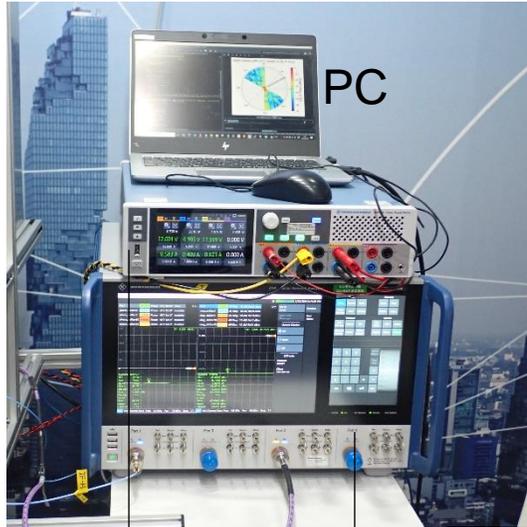
フジクラのPAAMの特長

- ・位相キャリブレーションなしで素子数の増加により結合ゲインが線形増加
- ・アクティブ素子数の制御により、ビーム幅の増減が可能

(4. ビーム位置精度を示す2次元強度マップ測定結果の補助資料) MWC2024のフジクラブースにおける動態展示紹介

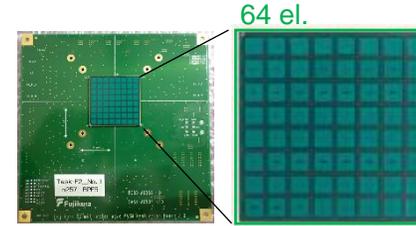


R&S ® ATS800B



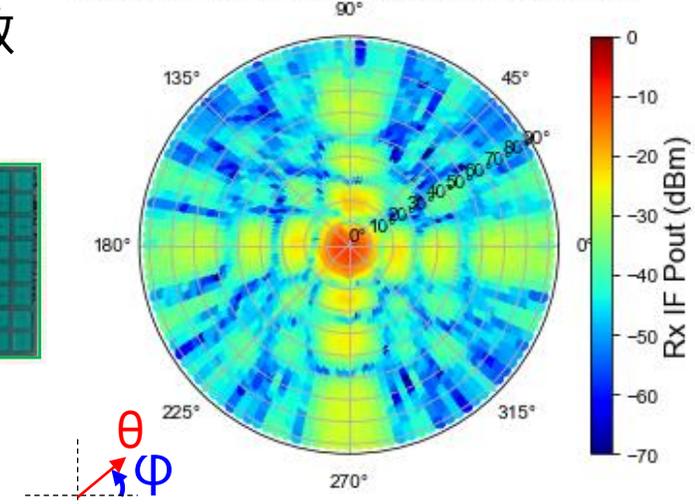
R&S®NGP800 R&S®ZNA67

アクティブ素子数
64 el.



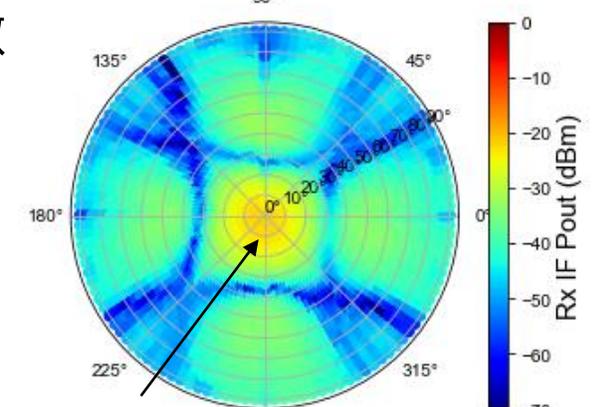
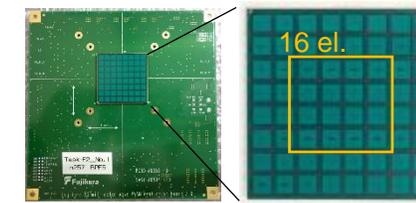
$\theta = 0 \text{ deg.}, \varphi = 0 \text{ deg.}$

Beam sweep with OCC shown in Rx IF Pout



Beam sweep with OCC shown in Rx IF Pout

アクティブ素子数
16 el.



Wider beam

45

- CATR測定系をブースに構成
- PAAMのビーム位置精度を示す動態展示
- 特性が分かりやすいと来客に好評
- LinkedInにて展示状態を発信

LinkedIn short video [11]

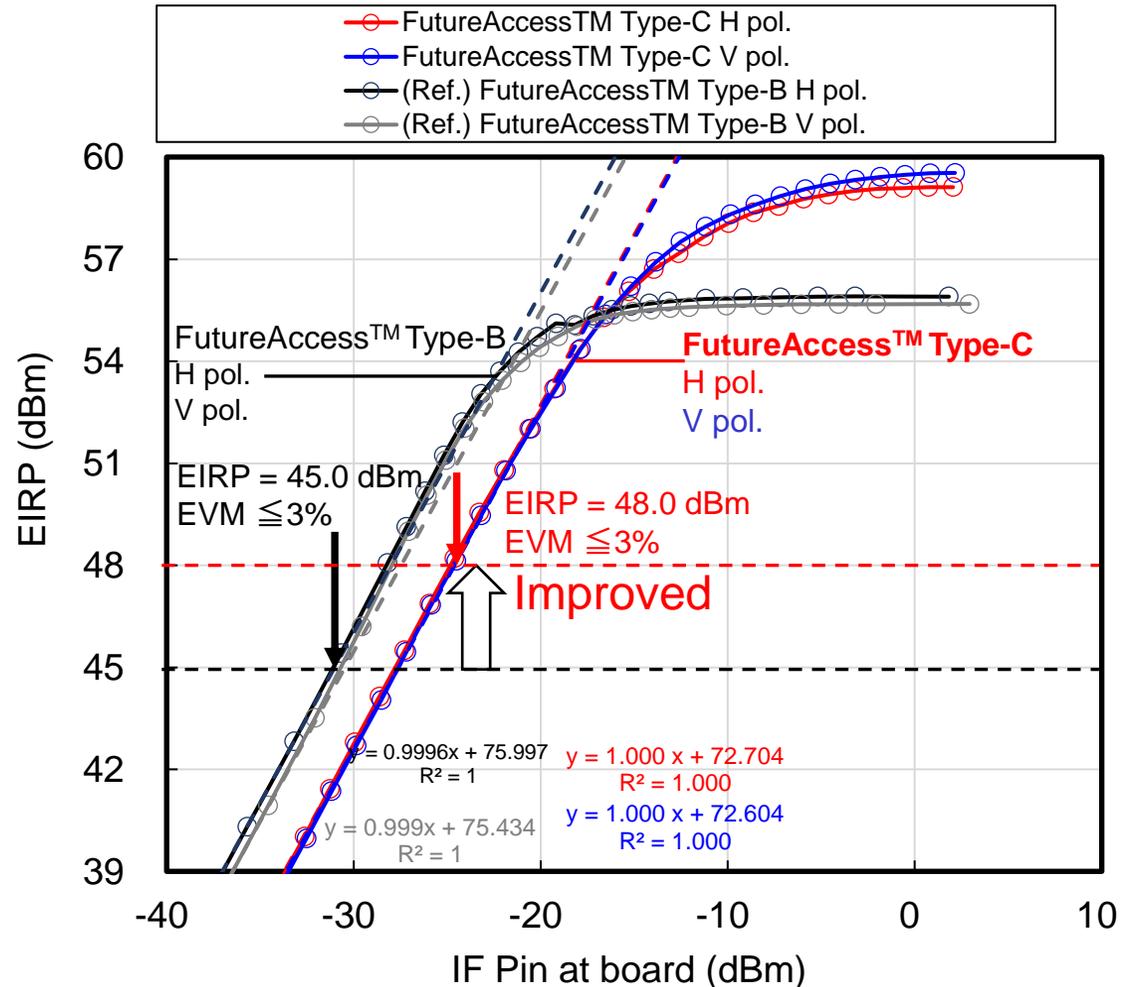


(Ref.) [11] LinkedIn Fujikura mm-wave tech team
<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7168486954945171456/>

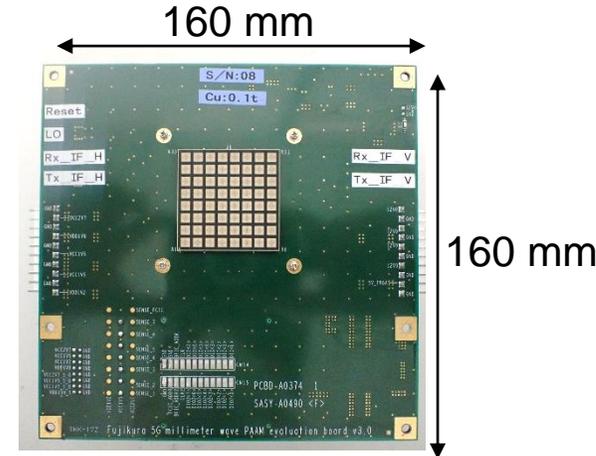
(5. PAAMの広帯域変調信号解析結果の補助資料) CW信号での入力-出力特性

RF 28 GHz

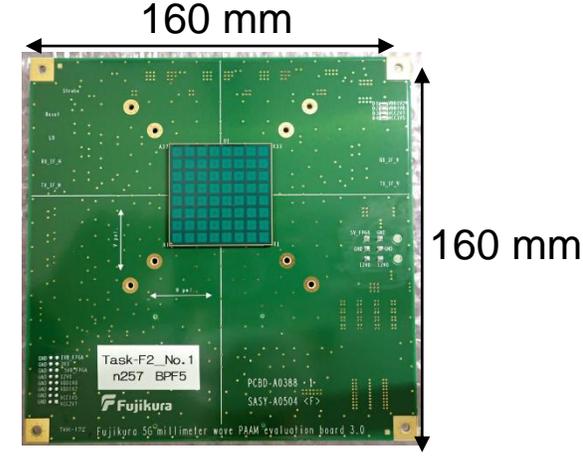
CW IF Pin vs EIRP



FutureAccess™ Type-B



FutureAccess™ Type-C



FutureAccess™ Type-Cのポイント

- ・ 評価ボード, アンテナサイズはType-Bと同一
- ・ BFIC Poutが3 dB向上 (出力2倍)
- ・ EIRP 48 dBm at BW=100 MHz EVM 3% 256QAM
⇒パワーアンプの応答線形性が向上