

# MATLABと共に歩む無線デバイス/システム開発

2024.2.22 日立製作所  
武井 健

# PC/携帯電話用内蔵アンテナ

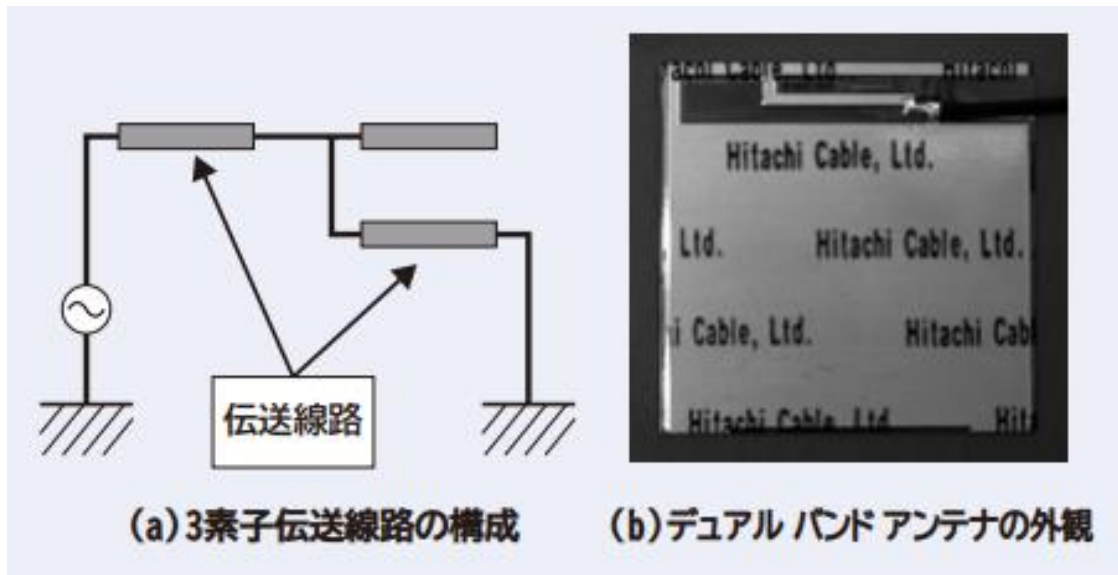
## Self Ground Antenna (SGA)

日立電線(株) 開発・製品化の  
新動作原理からなるアンテナ  
「Film Antenna®」

- ・薄板形状で広帯域特性を実現
- ・周囲導体による特性劣化が小



日立評論2005年4月号pp73-76



日立評論2005年4月号pp73-76

- SGAの動作原理はアンテナと一体化した地盤上の伝送線路
- 伝送線路パラメータの変更でアンテナ特性が制御可能

K. Fukuchi, T. Ogawa, M. Ikegaya, H. Tate, and K. Takei: "Small and Thin Structure Plate Type Wideband Antenna (3GHz-6GHz) for Wireless Communications", IEEE APS Symposium

## 背景

- ・Film AntennaはノートPCの無線LAN用アンテナとして売上拡大
- ・携帯電話用アンテナの巨大市場にSGAによる参入を計画

## 課題

- ・薄板形状に囚われないSelf Ground Antenna (SGA)の設計手法
- ・デザイン重視の携帯電話に対応する形状/容積条件に適合
- ・製品サイクルの短い多数顧客に応じたプロトタイプ開発期間短縮

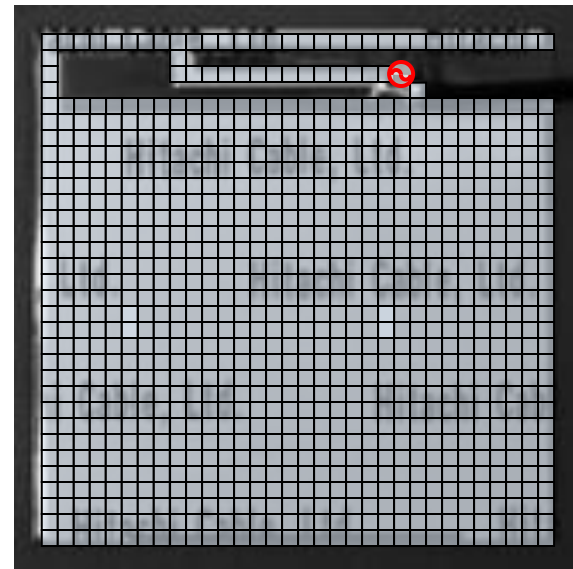
SGAの自動構造設計技術の開発

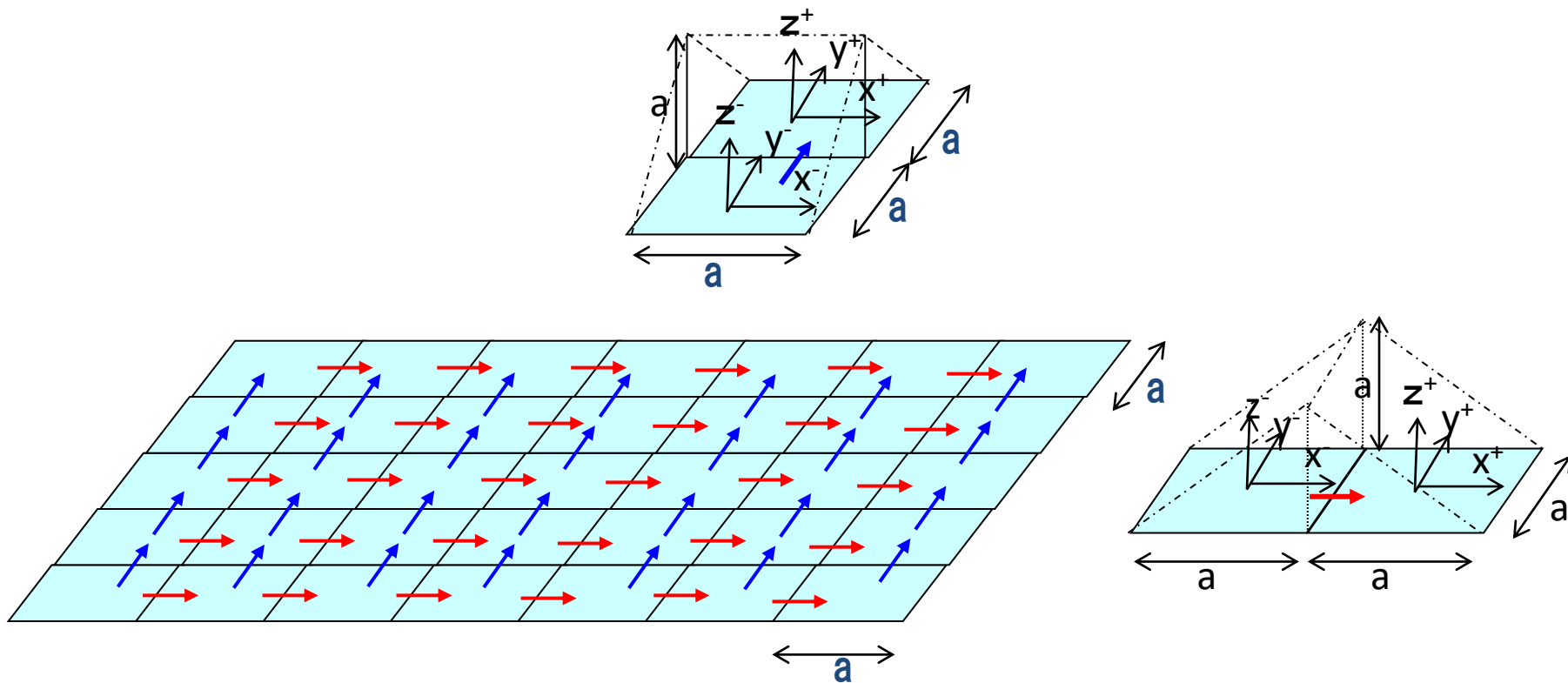
## 動機

- ・PHS/携帯電話用アンテナ開発で培ったMoM計算技術

## 着想

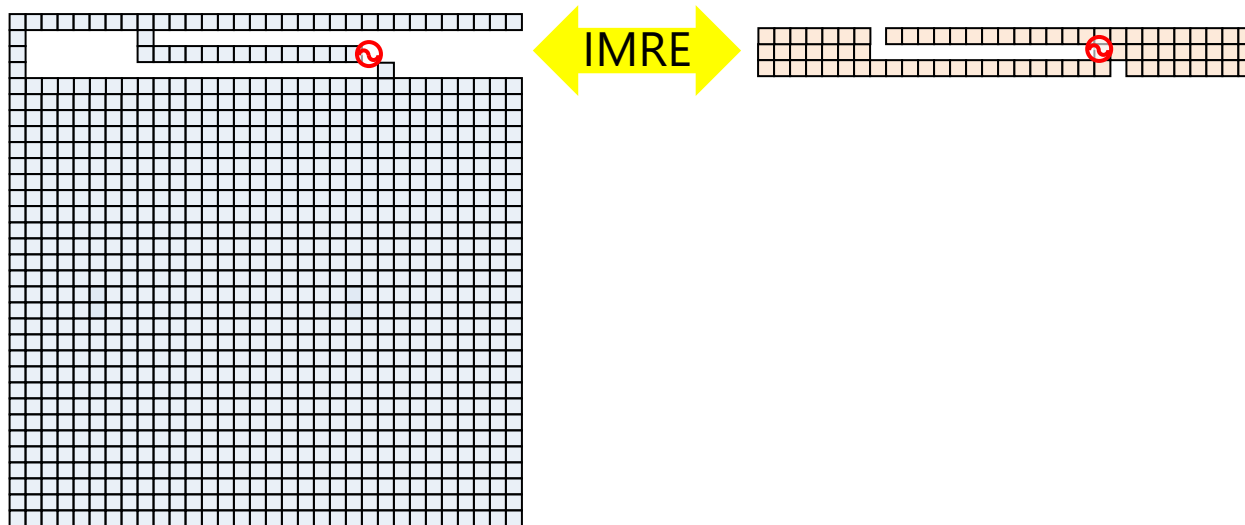
- ・電磁界の特性は波長オーダーで規格化
- ・MoM計算は1/100波長領域の離散化された未知電流を使用
- ・SGA特性解析  
=SGA構造の微小分割領域の電流計算





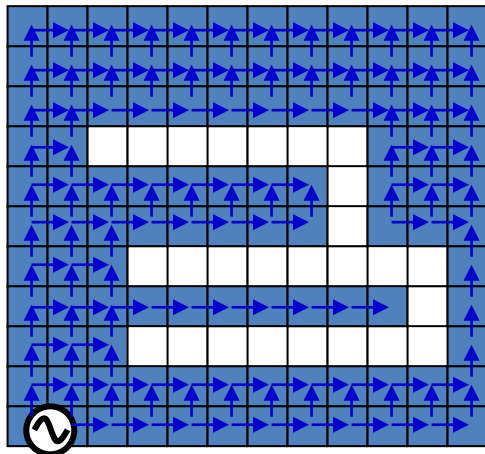
## 原理

- ・SGAの特性計算に用いるモデルは微小矩形セグメント(SG)の集合  
⇒ SGA構造設計 = SG部分集合選択
- ・IMREにより選択SG計算 ⇔ 非選択SG計算





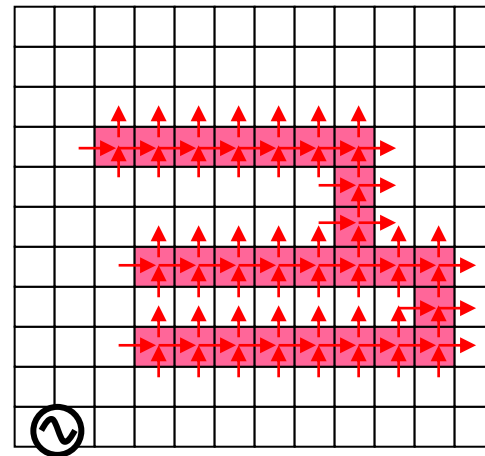
→ : 微小電流( $I$ )



$$Z=Y^{-1}$$

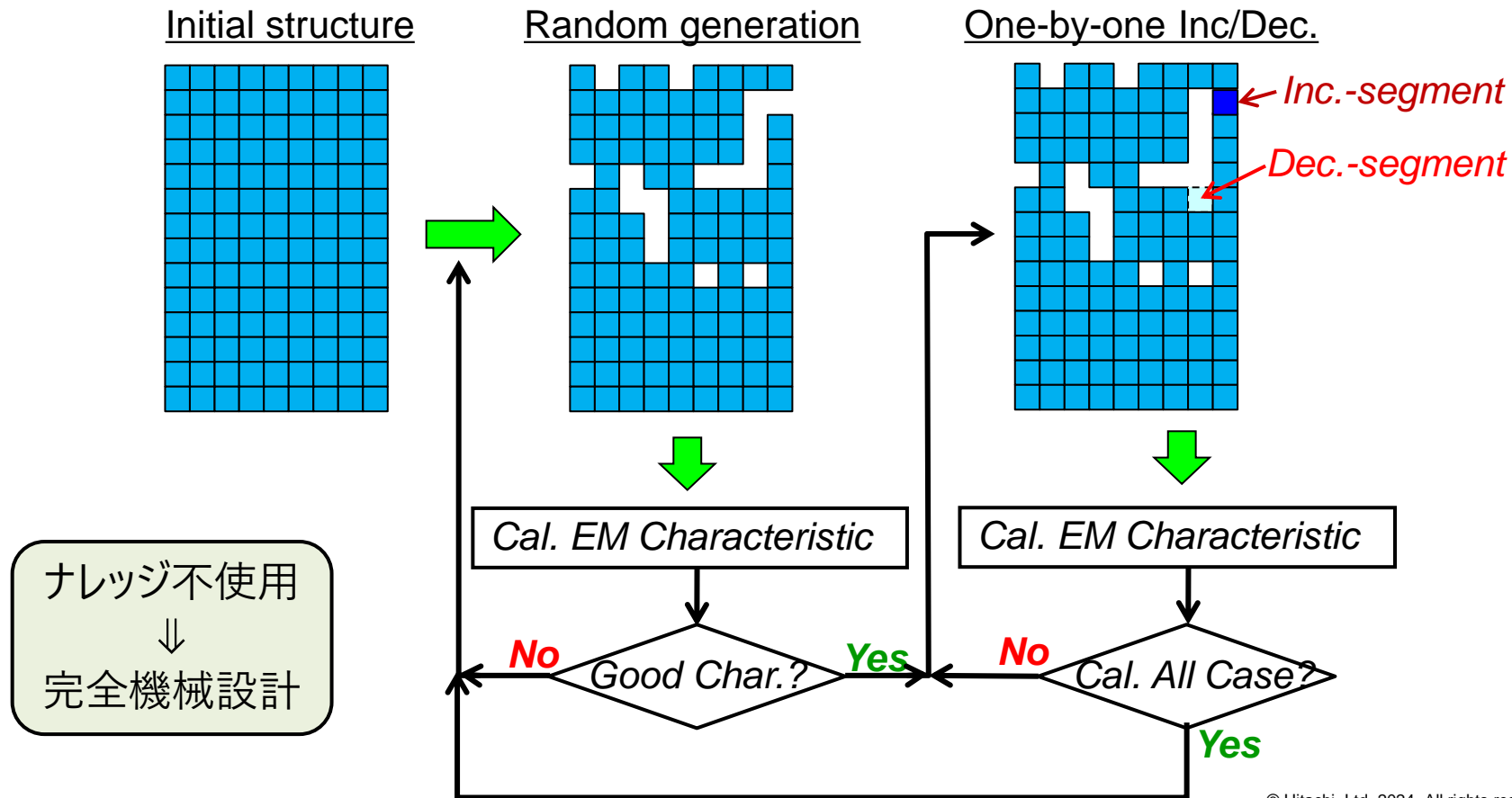
設計変数削減!

→ : 微小磁流( $V$ )



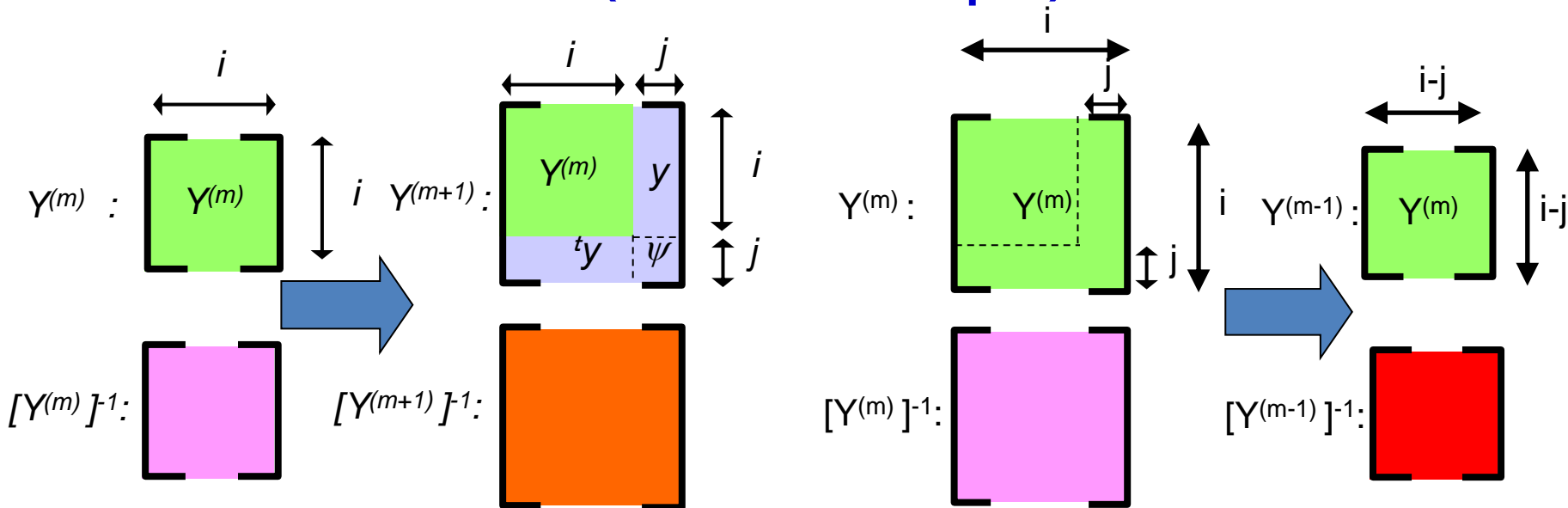
アンテナ設計 ≡ 電流/磁流の数・場所の選択

K. Takei and M. Ikegaya: "Auto Search Algorithm for Antenna Structure by Gradient Method Combined with Method of Moment", 2007 2<sup>nd</sup> Intl. ITG Conf. on Antennas



課題：要素数が変化する行列の超高速演算

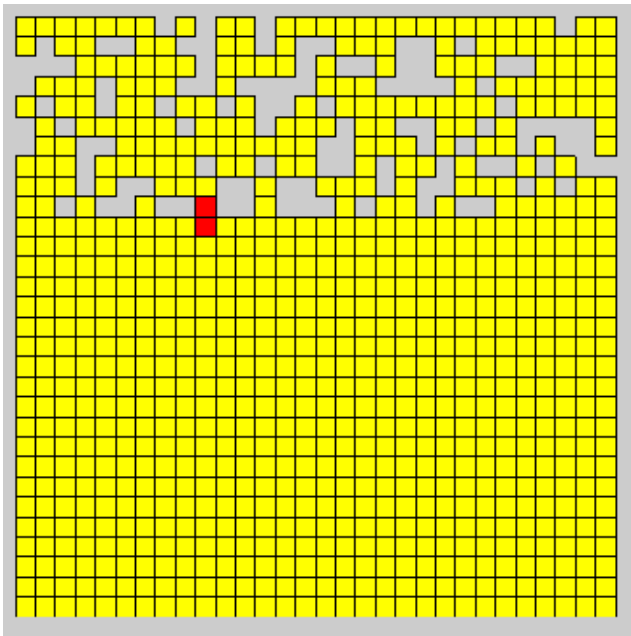
解決：豊富な行列関数(ex. inv, reshape)を有すMATLAB計算



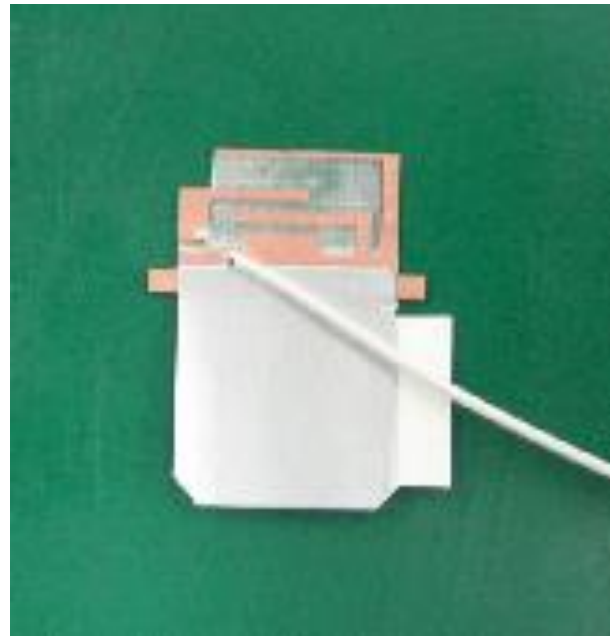
- ・設計仕様

2.4GHz, 5.5GHz 2周波動作; 寸法条件(<30x30 mm, 1mm□)

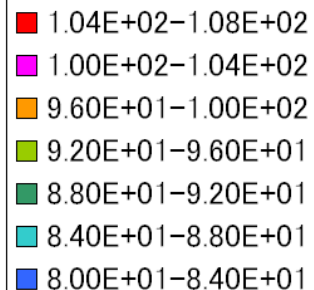
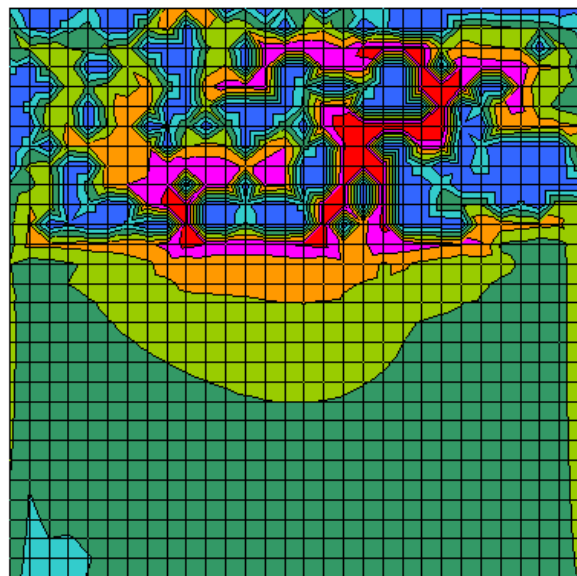
- ・MATLAB自動設計



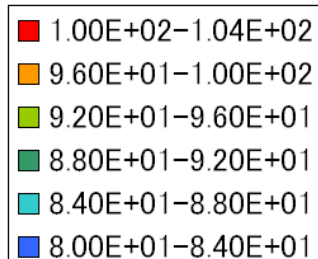
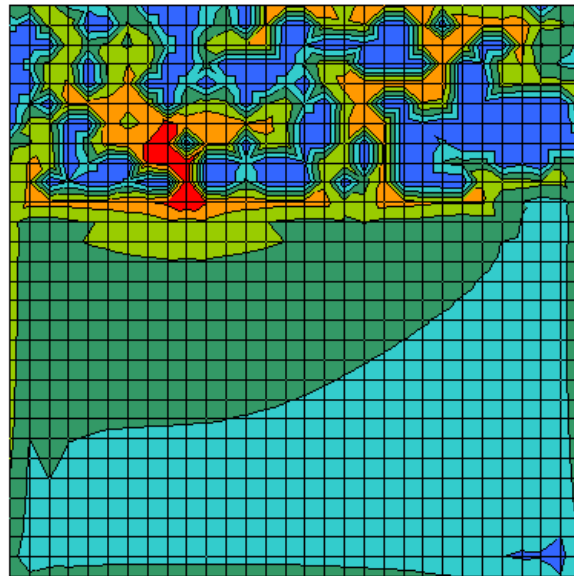
- ・製造工程を考慮した手動調整



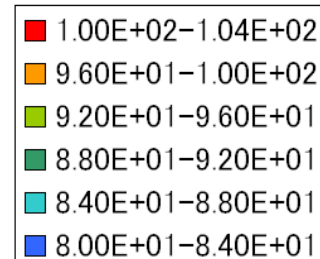
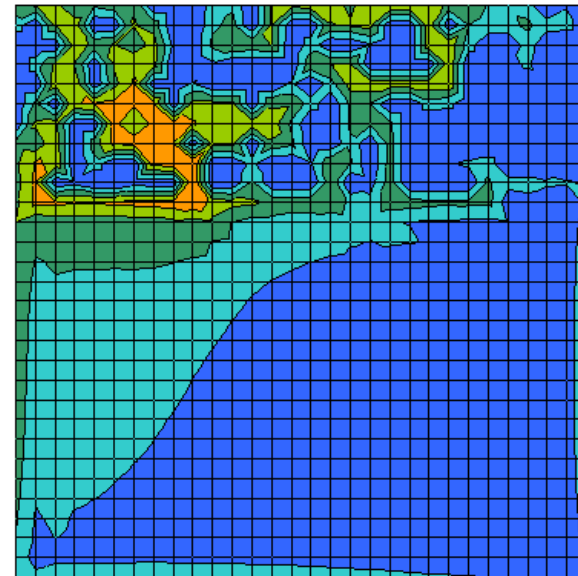
2.4GHz



3.5GHz



5.5GHz

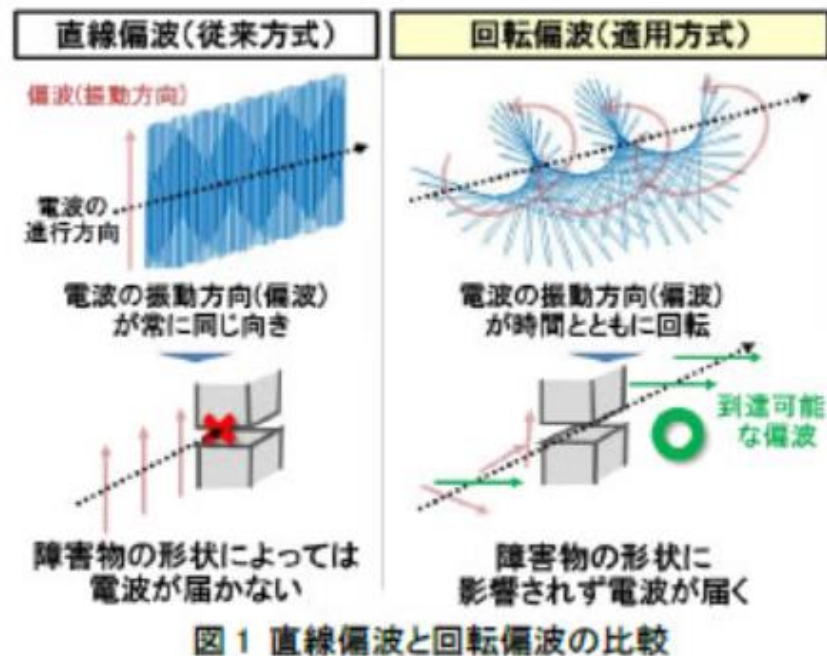


# 電力インフラ/IoT用高信頼無線システム

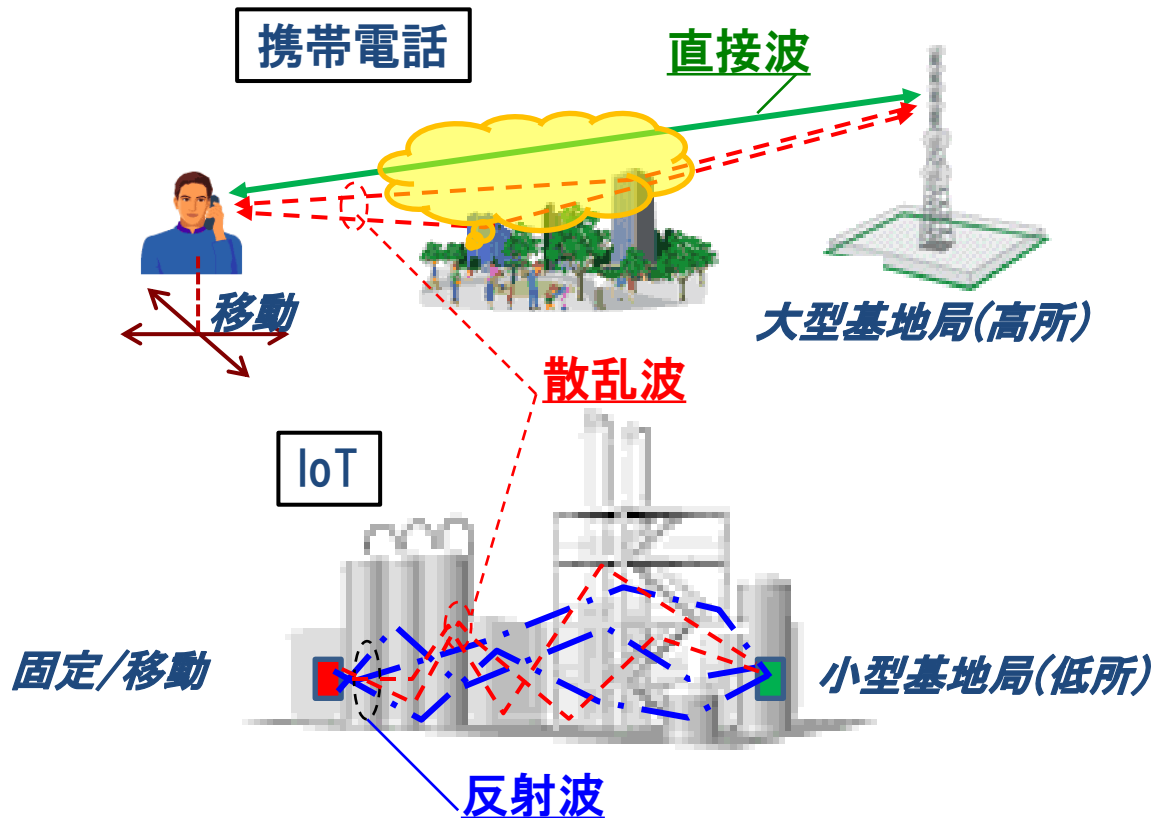
## Rotating Polarization Wave (RPW)

### 日立提案の電磁波の新規伝搬形態

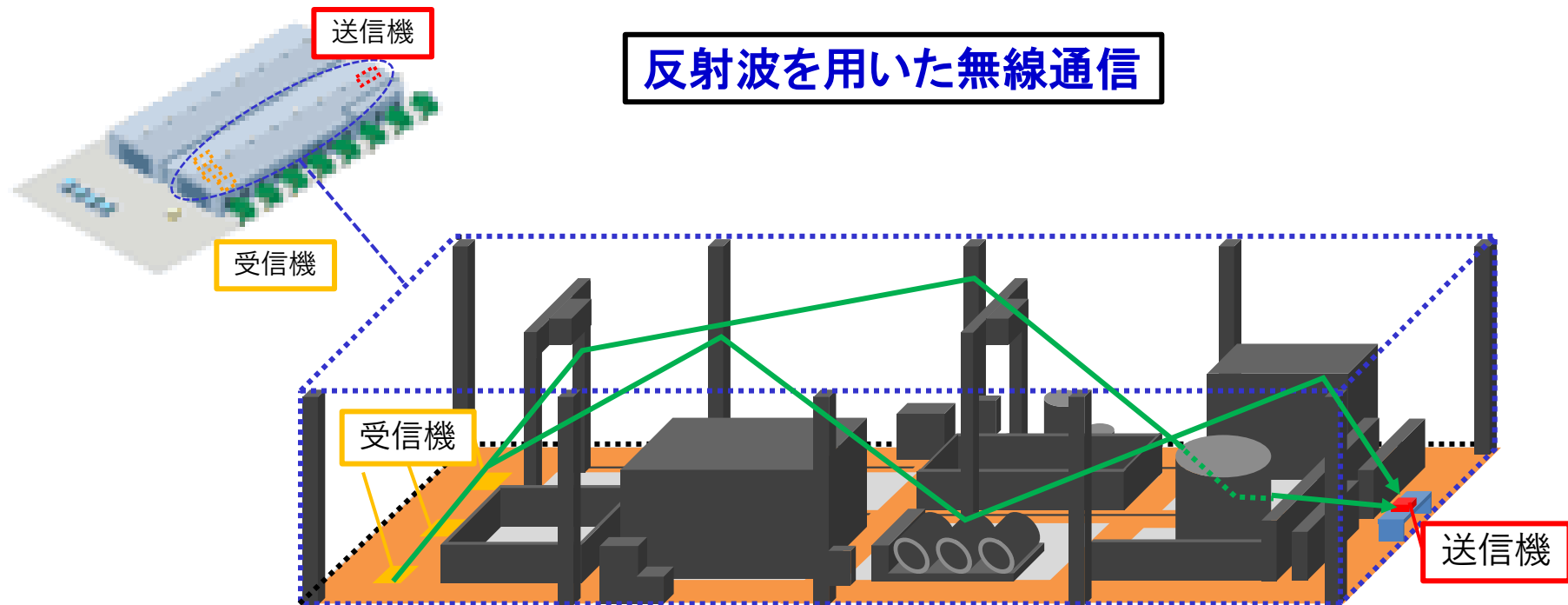
- ・伝播周波数より低い周波数で偏波が回転する伝送波形
- ・汎用信号処理デバイスで送受信偏波の選択可能
- ・無線機の送受信偏波を電氣的に最適制御



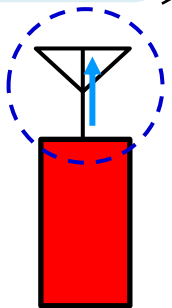
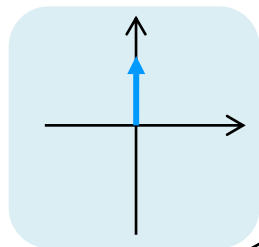
日立ニュースリリース2017年9月11日



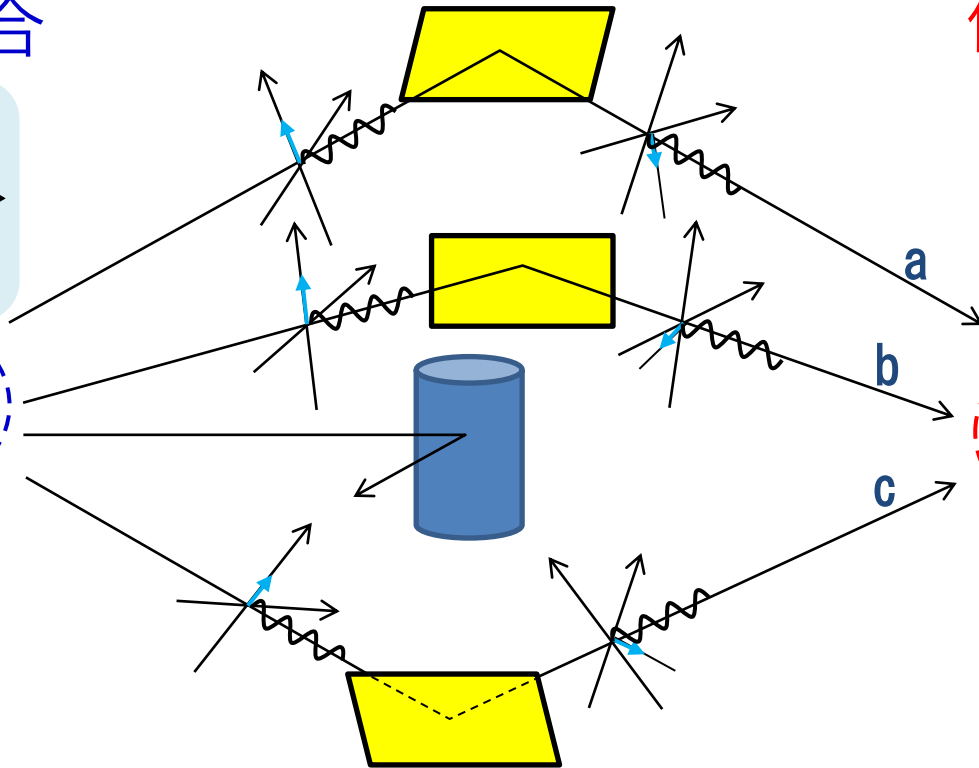
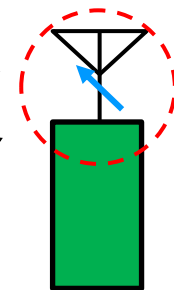
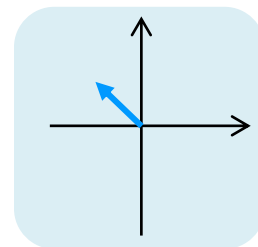




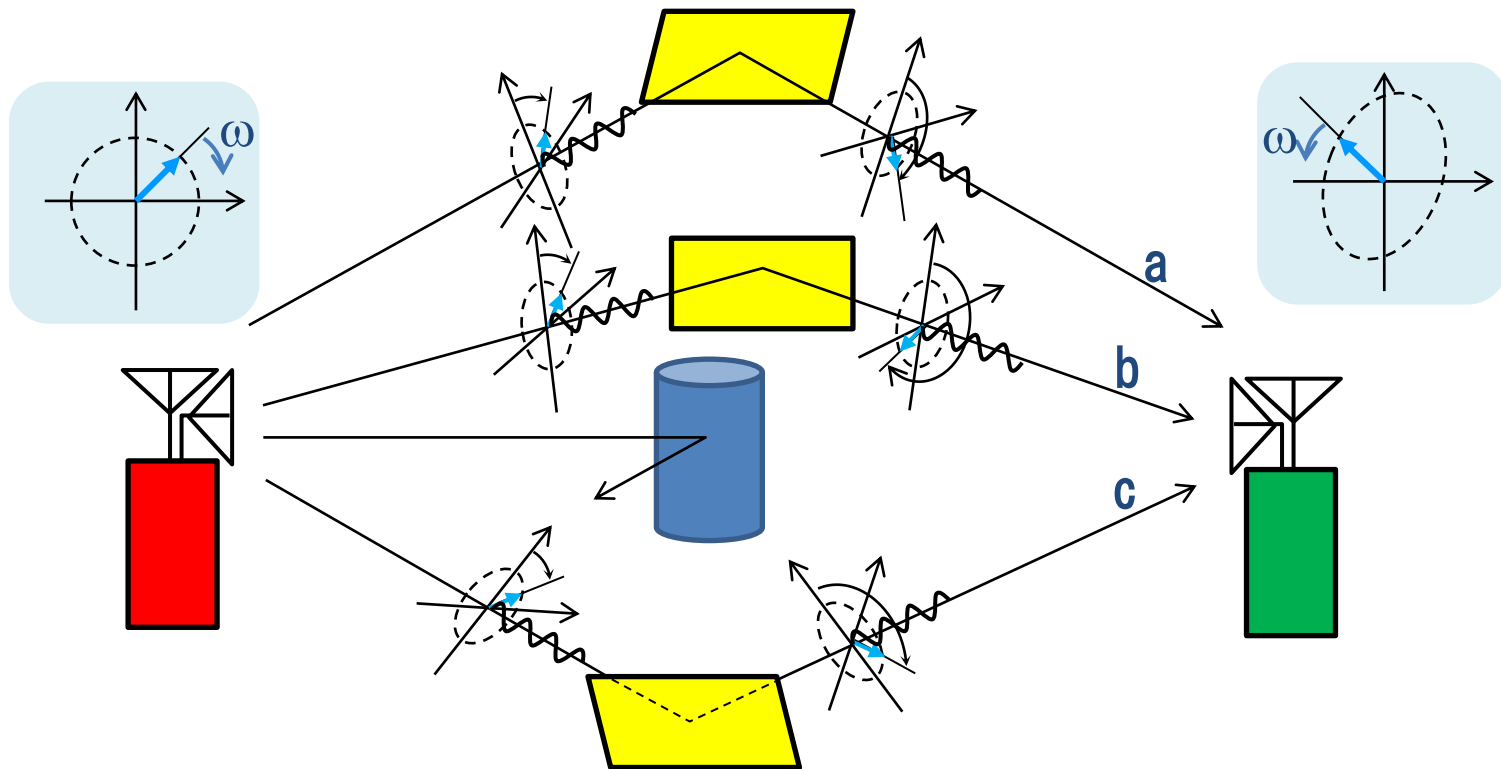
偏波整合



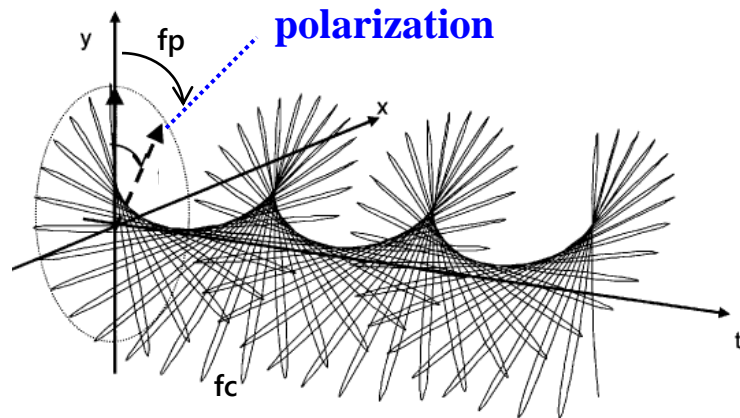
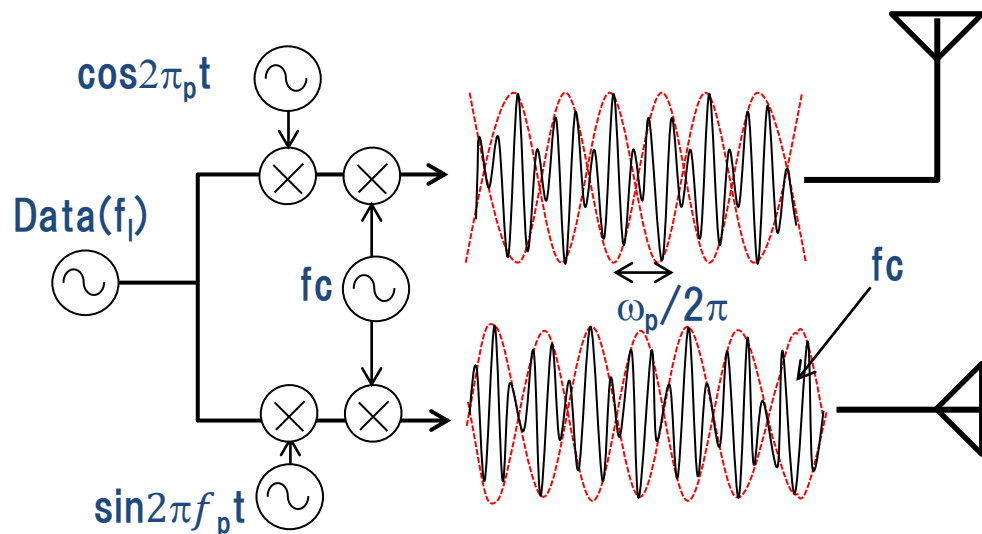
偏波不整合



受信偏波不整合による通信品質劣化



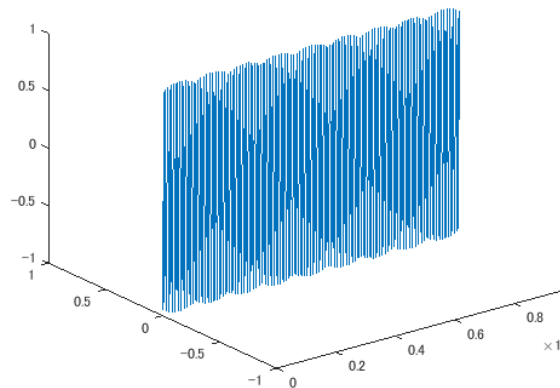
受信信号の時系列(遅延)処理により偏波整合可!



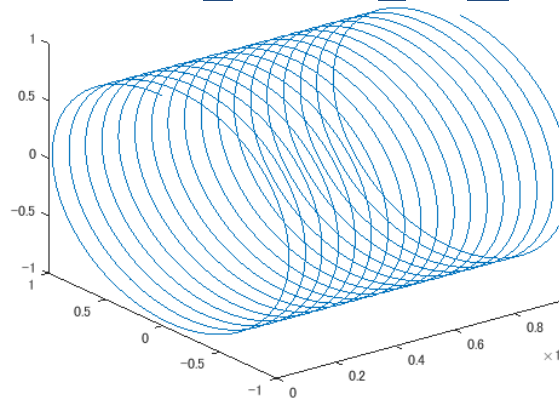
- ・回転偏波は近接する周波数の2信号より形成。
- ・周波数差の調整によりデジタル信号処理可能な速度で偏波を回転。

## 波形

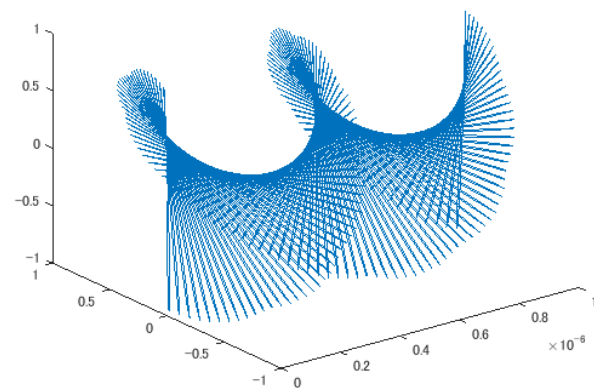
直線偏波(Liner Pol. Wave)



円偏波(Circular Pol. Wave)



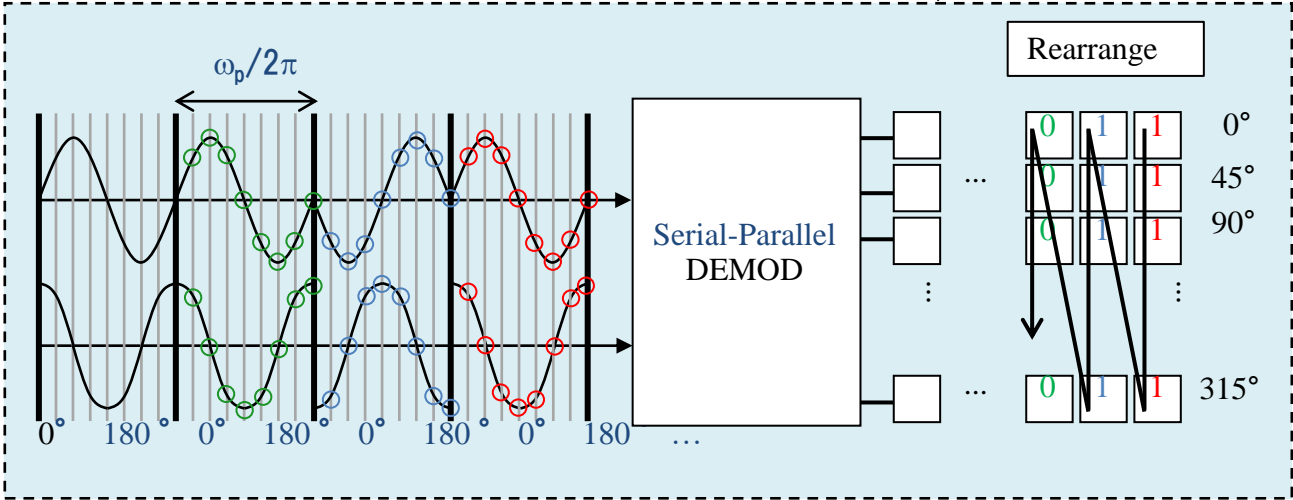
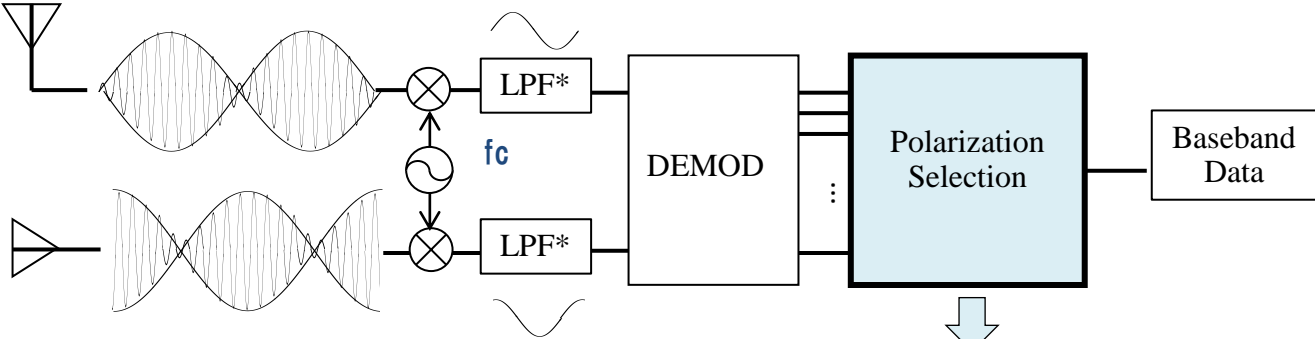
回転偏波(Rotating Pol. Wave)



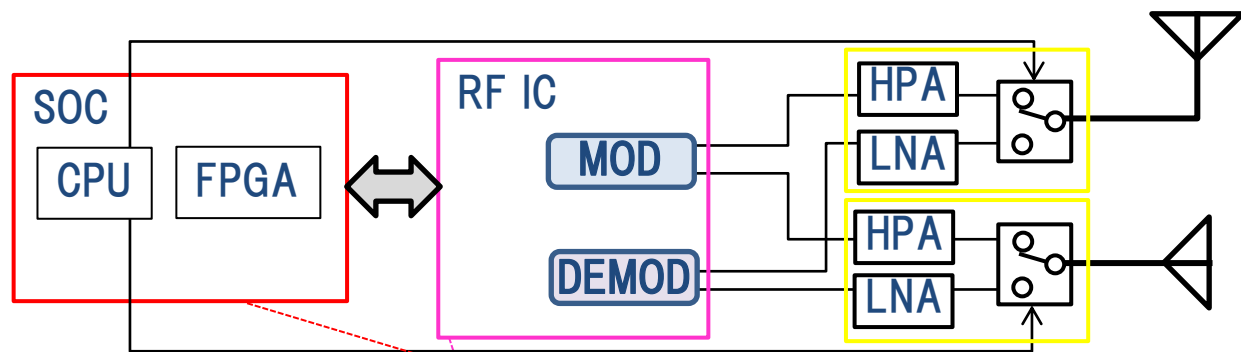
## イメージ



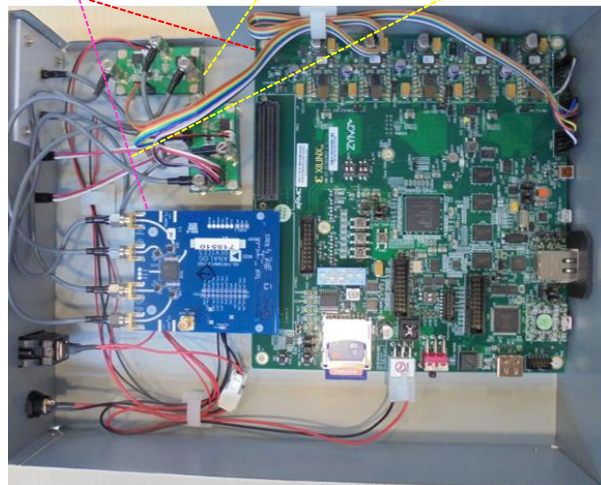
回転偏波は密集した構造物の隙間を縫って伝搬!?



時間選択  
||  
偏波選択



無線機



320

240

アンテナ



MALAYSIA

JAPAN



SIRIM QAS INTERNATIONAL SDN. BHD.  
SIRIM QAS

SIRIM Kelulusan  
Certificate of Approval

Portion 1: Applicant (Input by Applicant)

1. Konselor / Pengimport (Nama dan Alamat)  
Consignor / Exporter (Name and Address)

JAFAN  
JAFAN

2. Konsaini / Pengimport (Nama dan Alamat)  
Consignee / Importer (Name and Address)

PTN3456782  
KSD TASEL  
3-1 OKESA-CHD 7-CHOME  
HISACKE SHI IBARAKI-KEN319-1292 JAPAN,

3. Nama Dan Alamat Agan Yang Diberkassa (bagi pihak pengimport)  
Name and Address of Authorized Agent (for importer)

4. Cara Pengangkutan (Mode of Transport)  
by Air

5. Tujuan pengimportan / Purpose of Import  
Private

6. Nama Pemohon / Applicant Name  
KSD TASEL

7. No. Kad Pengenaliran / Passport/Identity Card/Passport No.  
TK1805562

8. Negara Asal / Country of Origin  
JP - JAPAN

9. Tempal Asal / Place of Origin  
JP762 - TOGAKUCHI-KEN - KUCHI

10. Dibawa Dari / Consigned From  
JP - JAPAN

11. Pelabuhan / Port  
KUSU - KUSU LORONG

12. Lokasi / Location  
KUSU - GEPANG

13. Unit Of Measurement (UOM)  
1. In UNIT : 2  
8. In KGW : -

14. Others

14. Butiran Item / Item Details

Baris No.	Kod Tariff / Tariff Code	Perihal Tariff / Tariff Description	Perihal Produk / Product Description	Harga Unit(RM) / Unit Cost (MYR)	Kuantiti Tariff / Tariff Quantity	Jumlah (RM) / Total (MYR)
1.	851762340	---Other transmission apparatus for radio-telepho	SGS7/SA/16/4531/P	45,399.45	2 UNIT	90,797.45
Jumlah / Total				2	90,797.45	

15. Cerna Declaration

or I hereby apply for Certificate of Approval (CoA) and declare that all the information furnished in current SIRIM reserves the right to cancel, amend or suspend CoA that has been issued at any time. The CoA holder indemnifies SIRIM against any claim for loss or damage which the CoA holder or any third party might suffer as a result of the issuing or withdrawal of such CoA. CoA shall not be transferable and the goods listed therein may only be imported by the stated person, firm or company from the country indicated therein.

Portion 2: SIRIM (CBRA Response)

1. No. Rujukan CBRA / CBRA Reference No.  
S0521438

2. Syarat Khas / Special Condition  
-

3. No. SIR Kelulusan / Certificate of Approval No.  
SIR10100941802016

4. Tarikh Luput / Date of Expiry  
29/12/2016

5. Perihal Item / Item Description  
-(SGS7/SA/16/4531/P) (ROTATING POLARIZATION WAVE RADIO (Model:JFR02)) (-)

6. CBRA Remarks  
219

Portion 3: RMCD Importation Information (Input by Customs)

No. / Date of Import

Declaration Ref No.

Tariff Declared City.

Balanced City.

\*\*\*No record found\*\*\*

Portion 4: Application Status (Permit Transaction)

No.	Date	Time	Action	Response Description	Response From
1.	29/09/2016	11:14	Receipt	N/A	N/A
3.	29/09/2016	11:15	Awaiting OGA approval	N/A	N/A
3.	29/09/2016	11:34	Approved by OGA	N/A	N/A
4.	29/09/2016	11:18	Acknowledged by Customs	N/A	N/A

Portion 5: General Conditions

1. Bilik Kelulusan ini tidak boleh ditukar atau dipinda kecuali dengan kelulusan Ketua Pengarah Kastam atau pegawai yang hak yang dilantik bagi pihak agensi pengeluar Bilik Kelulusan.

2. Pemohon Bilik Kelulusan hendaklah disampaikan surat kepada agensi yang mengeluarkan Bilik Kelulusan.

3. Bilik Kelulusan yang dikeluarkan hanya boleh digunakan untuk satu pengimportan sahaja.

技術基準適合証明証書  
Certificate of Conformity with Technical Regulations

特定無線設備の種別 Classification of Specified Radio Equipment	証明規則第2条第1項第8号の無線設備 特定小電力機器
電波の型式、 周波数及び 空中線電力 Type of Emission, Frequency and Antenna Power	F1D 92.1 MHz 0.01W
型式又は名称 Model/Name of Equipment	JFR02
製造者名 Manufacturer Name	株式会社日立製作所
製造番号 Serial Number of Equipment	01~03
技術基準適合 証明番号 Certification Number	001YYGA3009996~001YYGA3009998
技術基準適合証明 をした年月日 Date of Certification	平成28年11月24日

上記のとおり、電波法第38条の6第1項の規定に基づく技術基準適合証明を行ったものであることを証する。

This is to certify that above technical regulations conformity certification has been granted in accordance with the provisions set out in Article 38-6 Paragraph 1 of the Radio Law.

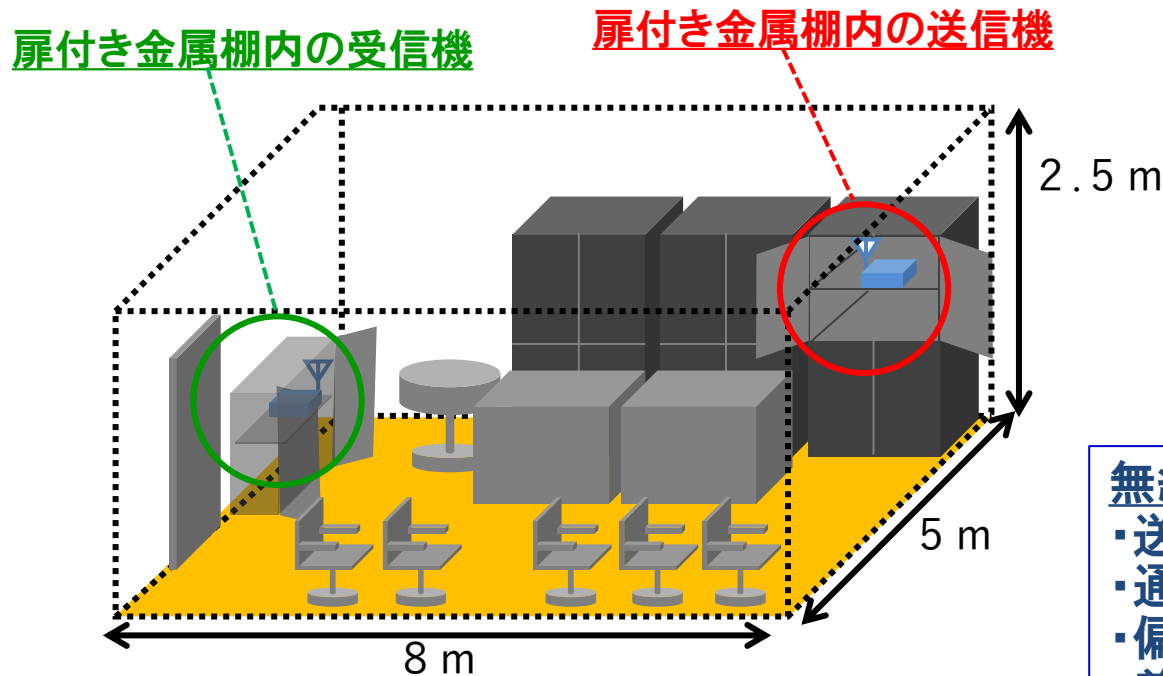
平成28年11月24日

一般財団法人 テレコムエンジニアリングセンター  
Telecom Engineering Center



11A4-Y-2800172



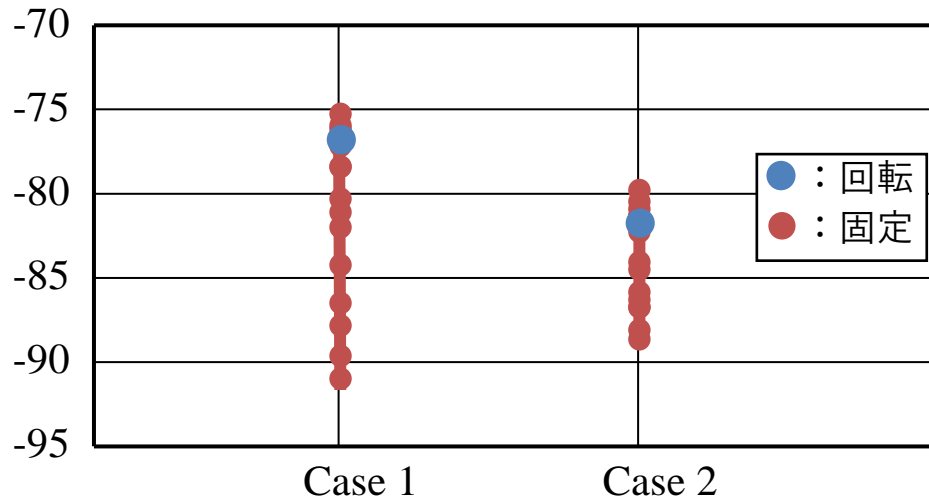


金属棚内に収納された  
無線機から間隙を縫って  
回転偏波が伝搬

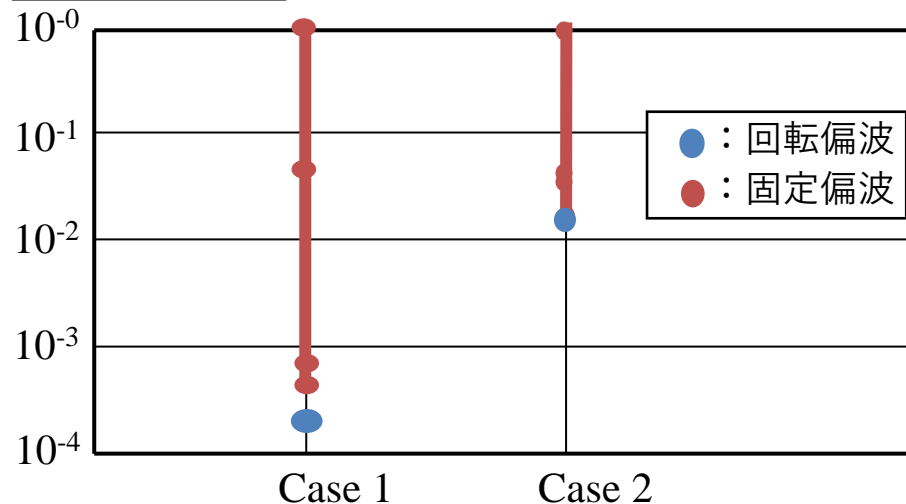
## 無線機仕様

- ・送信出力 -20dBm
- ・通信(伝搬)周波数 920MHz
- ・偏波回転周波数 125kHz
- ・差分BPSK (変調周波数 8MHz)
- ・データ伝送速度 64bps

## 受信電力[dBm]

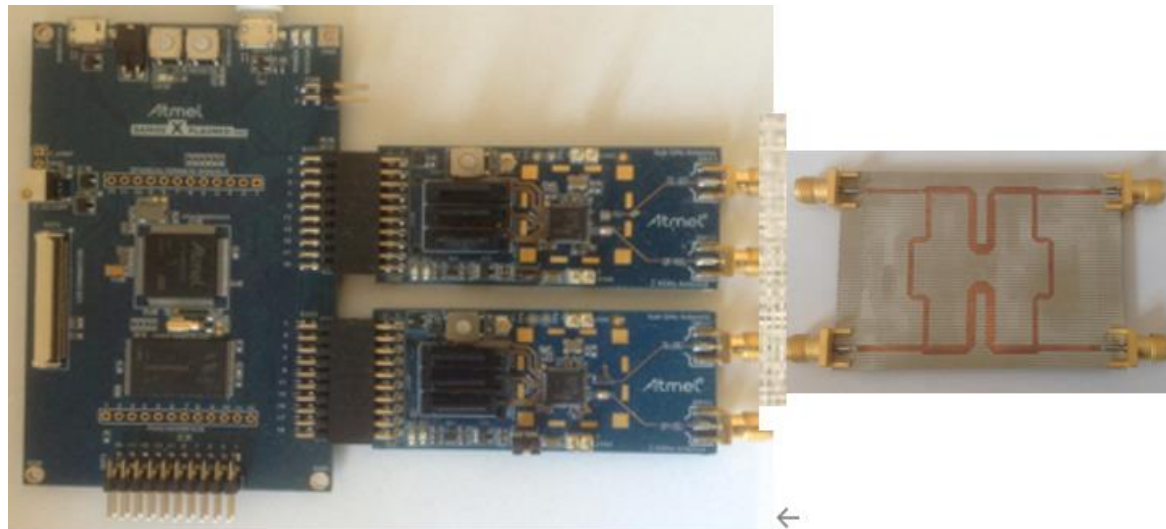


## パケット誤り率



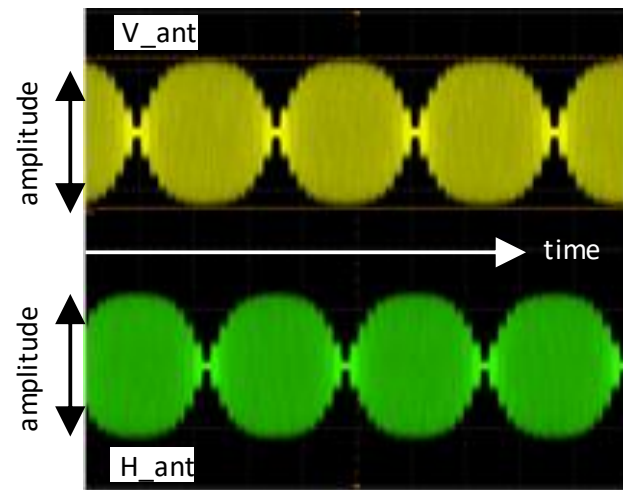
異なる複数の固定偏波のうち特定偏波のみ金属柵からすり抜け可。  
回転偏波は金属柵の間隙を縫って低い誤り率の良好な通信を実現!

## 写真



$\mu$ -controller : SAM4S® Microchip  
SDR : AT86RF215® Microchip  
プログラミング言語 : C/C++

## 伝搬波形

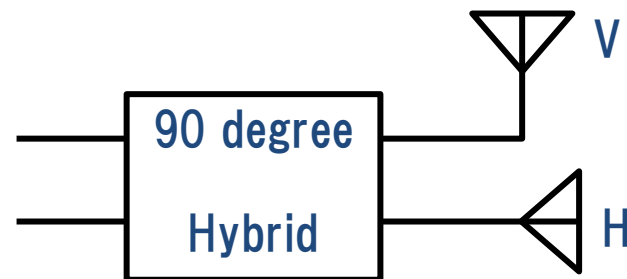




プログラミング言語 : MATLAB

$$X^Q \cos(\omega_1 t - \varphi_1) + X^I \sin(\omega_1 t - \varphi_1)$$

$$Y^Q \cos(\omega_2 t - \varphi_2) + Y^I \sin(\omega_2 t - \varphi_2)$$



$$V: \begin{aligned} & (X^Q + Y^Q) \sin(\Omega t - \Theta) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \theta\right) + \\ & (-X^I + Y^Q) \cos(\Omega t - \Theta) \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \theta\right) \\ & (X^Q - Y^I) \cos(\Omega t - \Theta) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \theta\right) + \\ & (X^I + Y^I) \sin(\Omega t - \Theta) \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \theta\right) \end{aligned}$$

$$H: \begin{aligned} & -(X^Q + Y^Q) \cos(\Omega t - \Theta) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \theta\right) + \\ & -(X^I - Y^Q) \sin(\Omega t - \Theta) \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \theta\right) \\ & (X^Q - Y^Q) \sin(\Omega t - \Theta) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \theta\right) + \\ & -(X^I + Y^Q) \cos(\Omega t - \Theta) \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \theta\right) \end{aligned}$$

$$\Omega \equiv \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$$

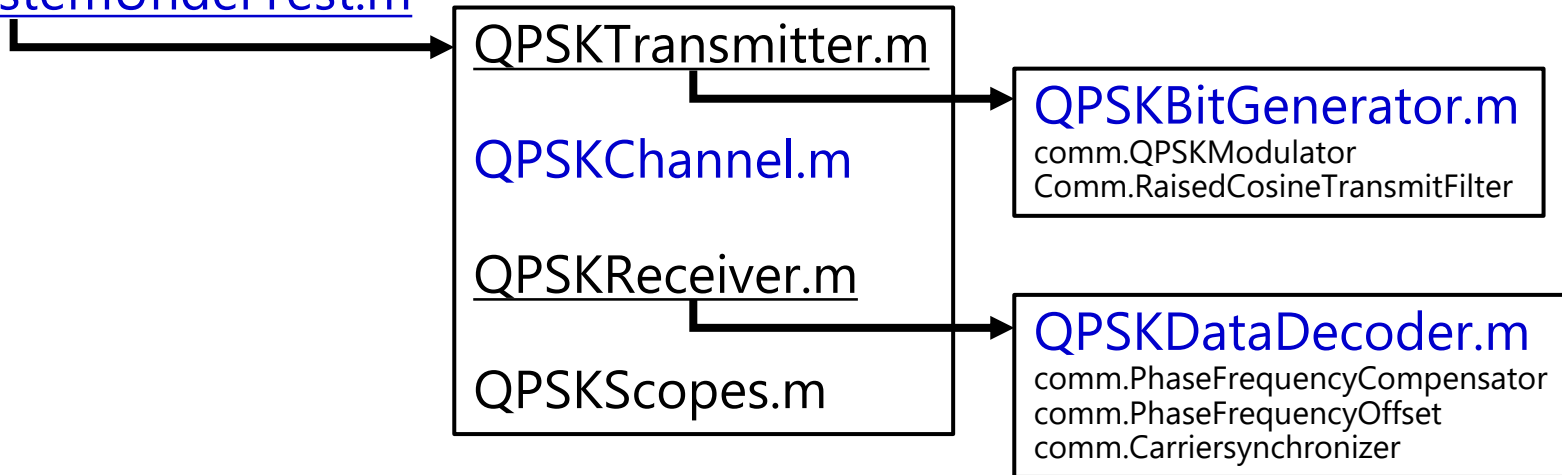
$$Y^I = Y^Q = 1$$



**(-2, +2)DBPSK  
回転偏波通信**

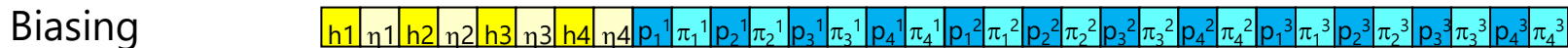
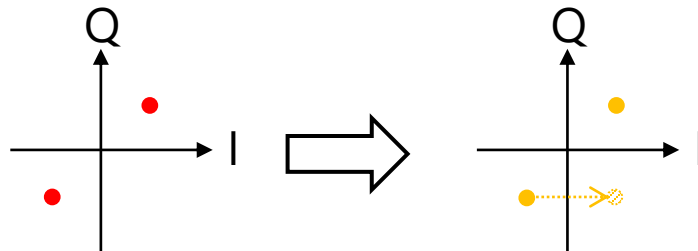
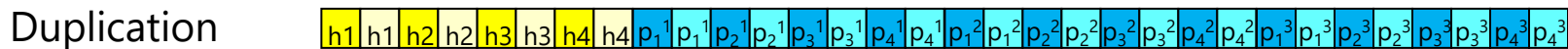
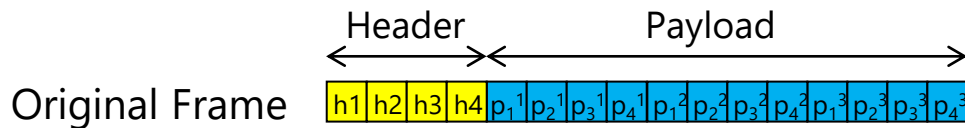
Commqpsktxrx\_int.m

[runQPSKSystemUnderTest.m](#)

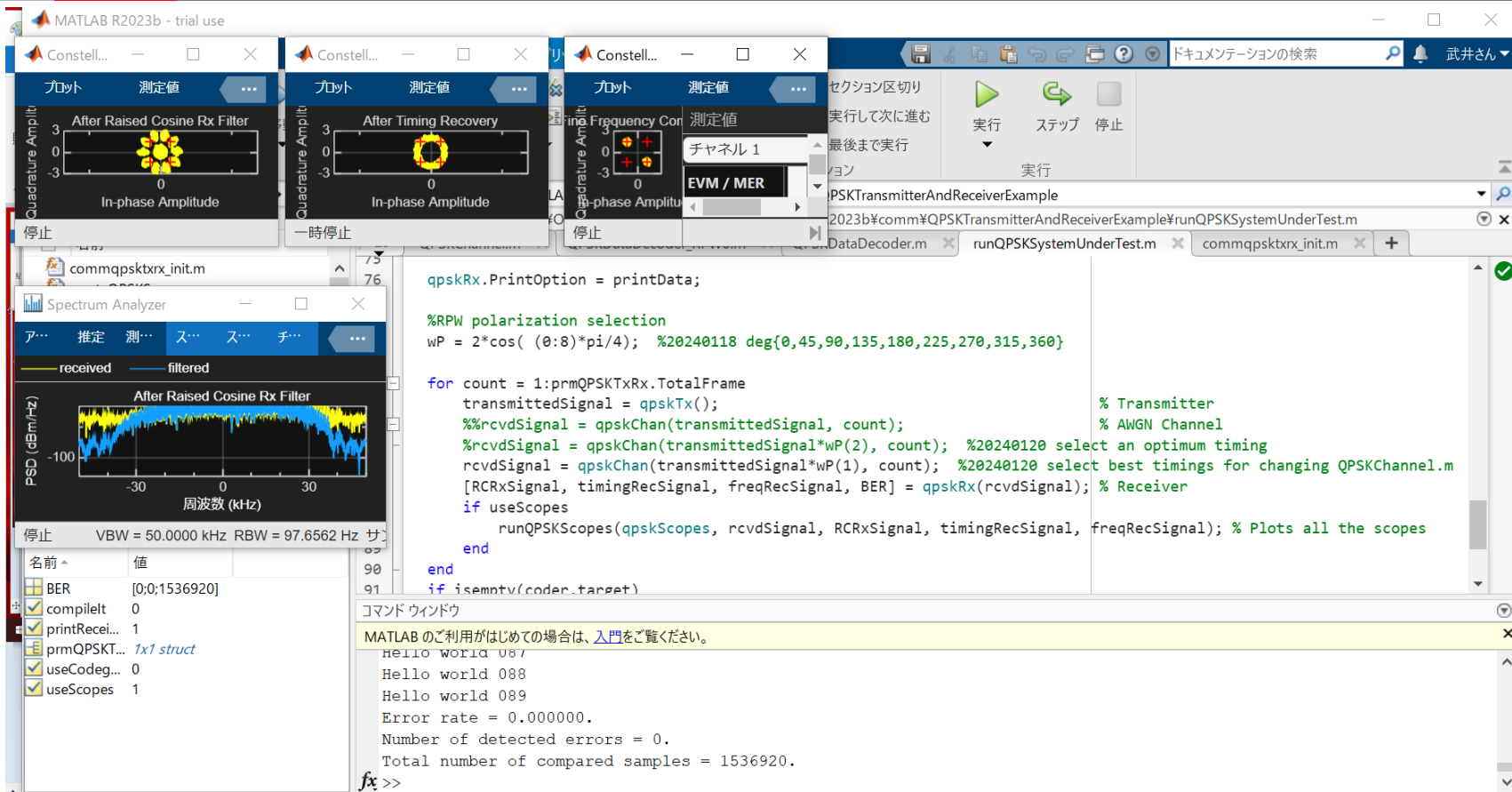


<https://jp.mathworks.com/help/comm/ug/qpsk-transmitter-and-receiver.html>

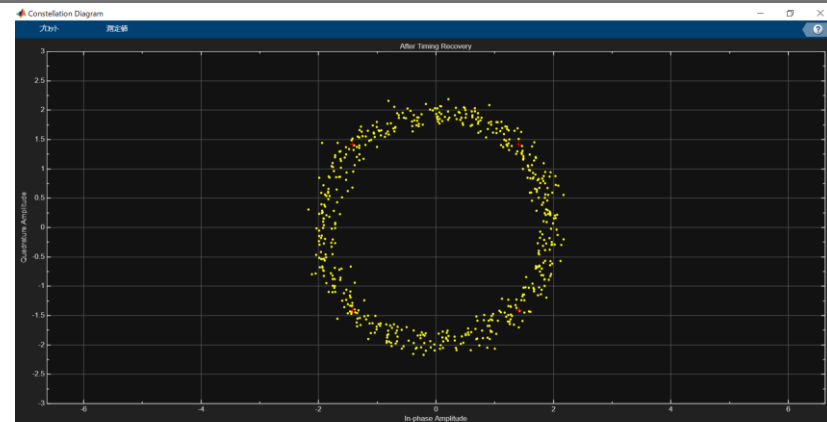
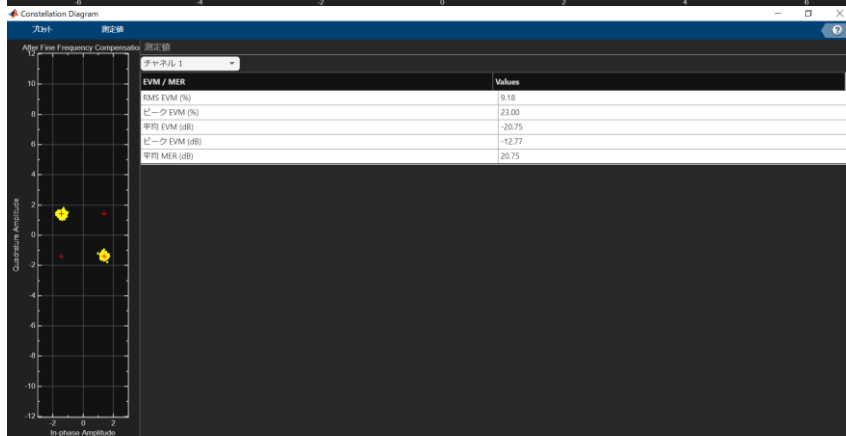
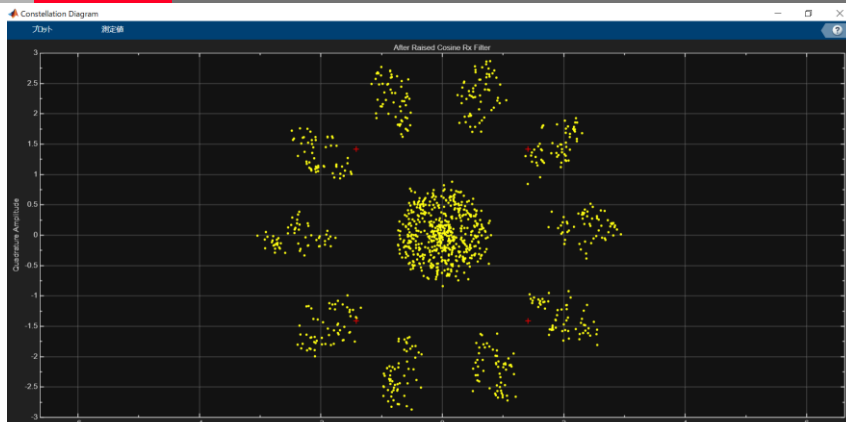
## QPSKBitGenerator.m

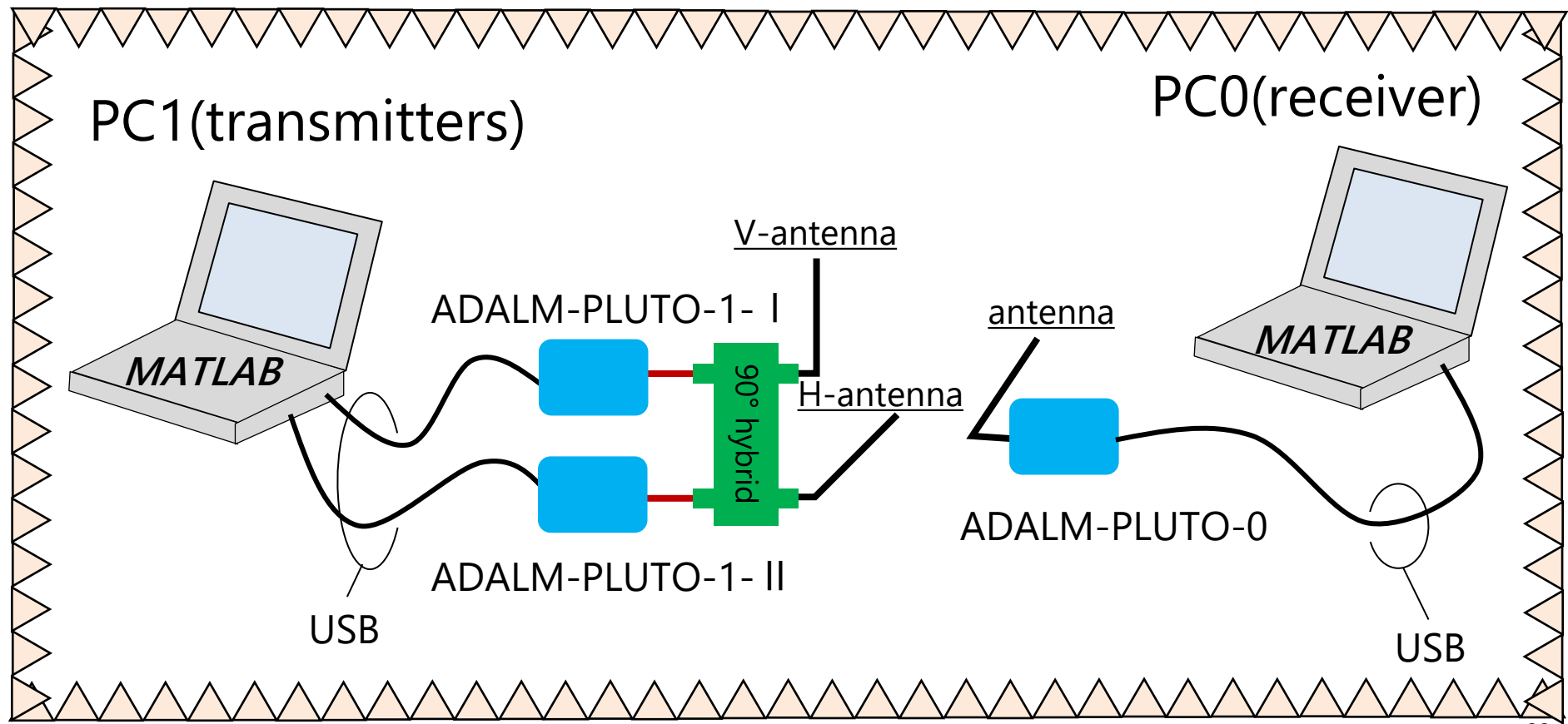


# RPW-QPSK送信機および受信機—シミュレーション実行結果1—



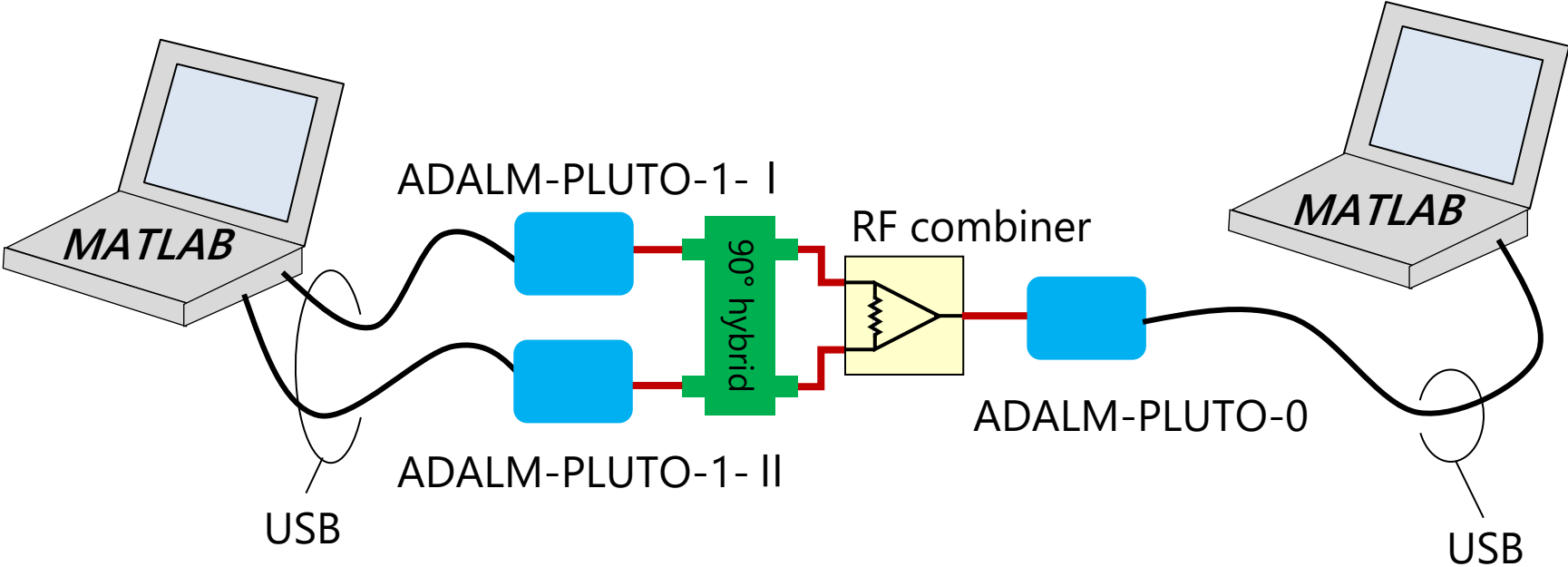


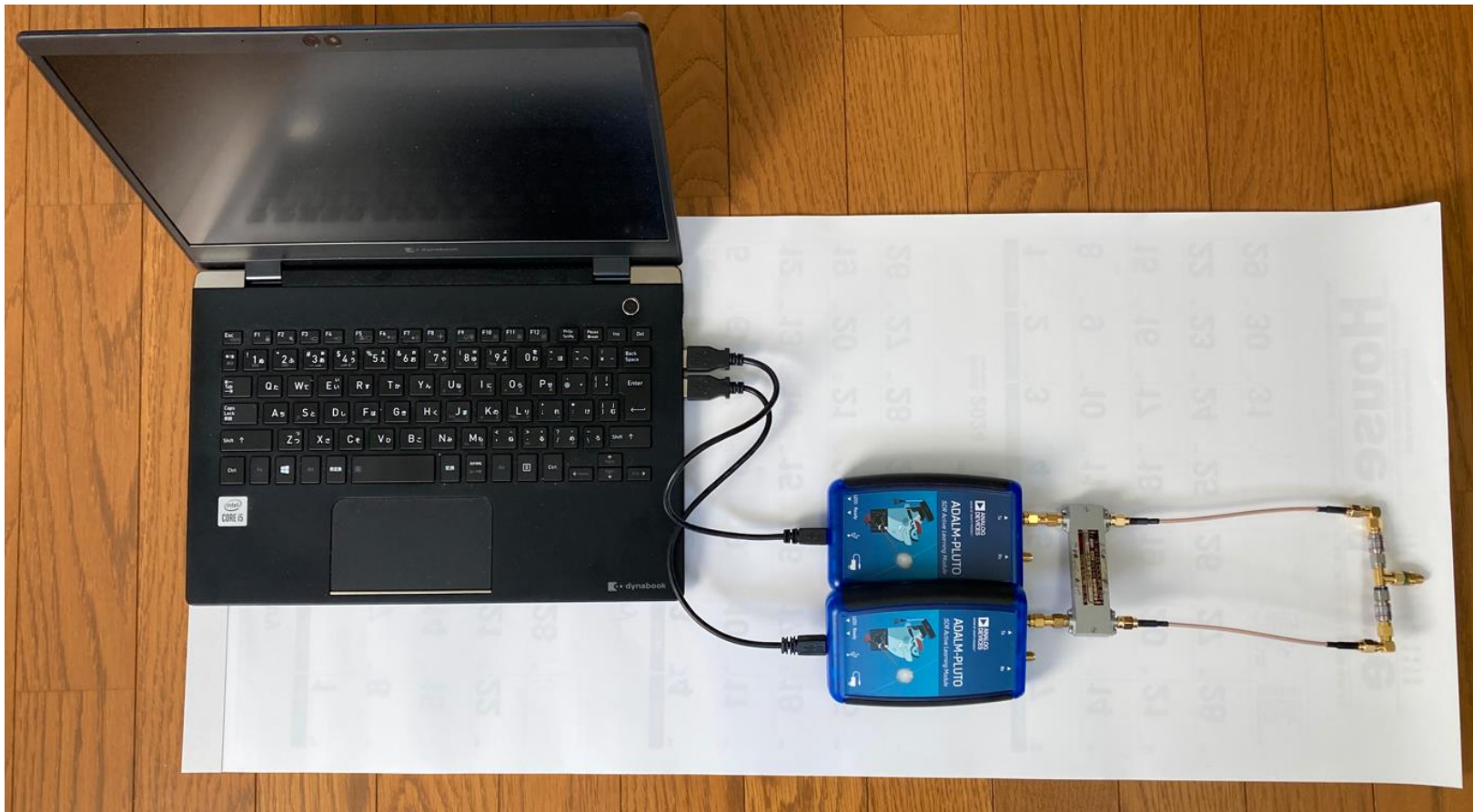




PC1(transmitters)

PC0(receiver)





Plutoradioqpsktransmitter\_init.m\*

[runPlutoradioQPSKTransmitter.m](#)

QPSKTransmitter.m

[QPSKBitGenerator.m](#)

comm.QPSKModulator  
Comm.RaisedCosineTransmitFilter

Plutoradioqpskreceiver\_init.m\*\*

[runPlutoradioQPSKReceiver.m](#)

QPSKReceiver.m

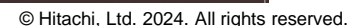
QPSKScopes.m

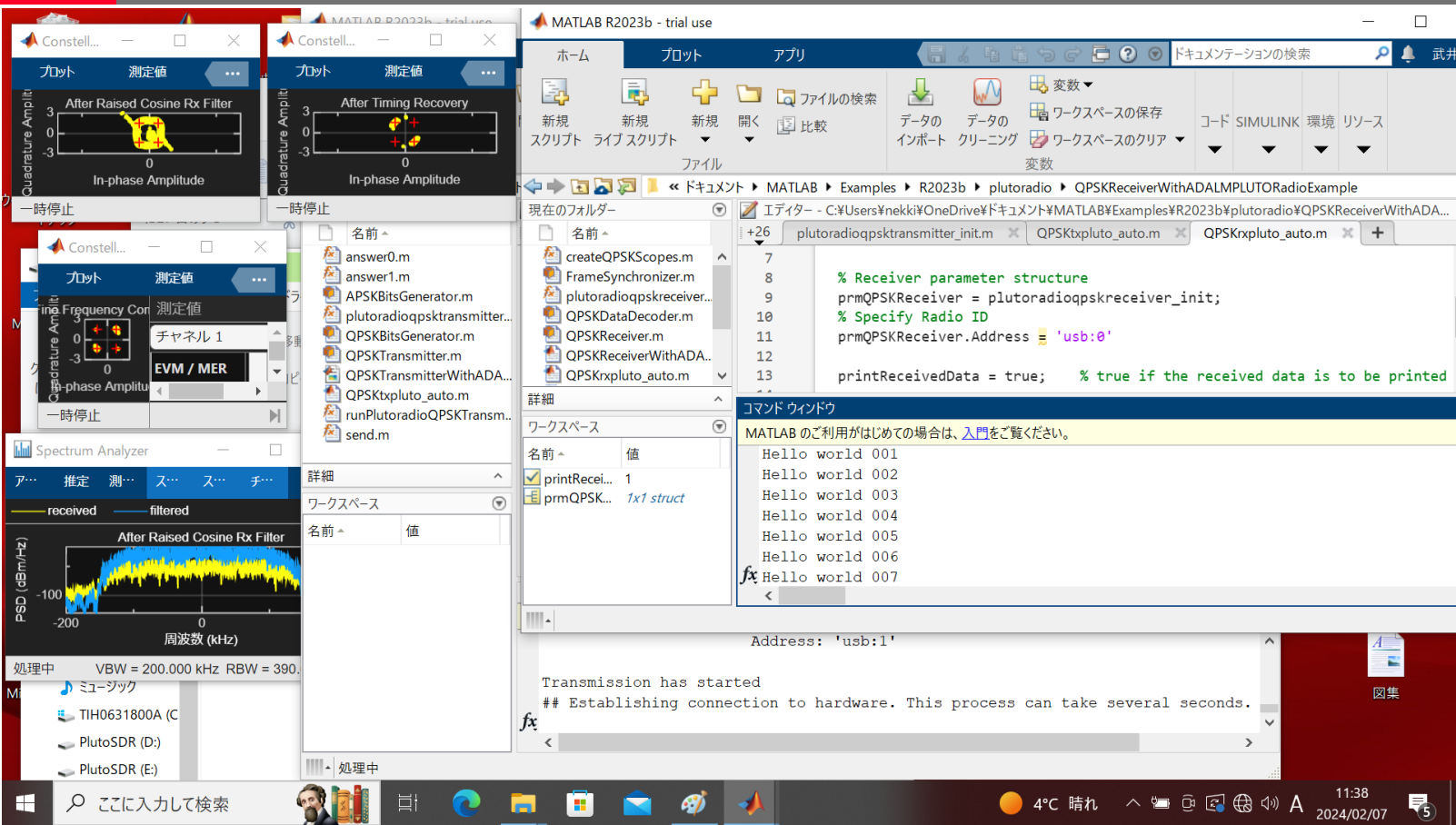
[QPSKDataDecoder.m](#)

comm.PhaseFrequencyCompensator  
comm.PhaseFrequencyOffset  
comm.Carriersynchronizer

\*<https://jp.mathworks.com/help/comm/ug/qpsk-transmitter-with-adalm-pluto.html>

\*\*<https://jp.mathworks.com/help/comm/ug/qpsk-receiver-with-adalm-pluto.html>





RPW-QPSK通信システムーMATLAB/ADALM-PLUTO実験デモ続ー

HITACHI  
Inspire the Next

Constell...  
プロット 測定値  
After Raised Cosine Rx Filter  
In-phase Amplitude  
停止

Constell...  
プロット 測定値  
After Timing Recovery  
In-phase Amplitude  
一時停止

Constell...  
プロット 測定値  
After Frequency Cor...  
In-phase Amplitude  
チャネル 1  
EVM / MER  
停止

Spectrum Analyzer  
推定 測... ス... ス... 最小化  
received filtered  
After Raised Cosine Rx Filter  
PSD (dBm/Hz)  
周波数 (kHz)  
停止 VBW = 200.000 kHz RBW = 390.625 Hz

名前 値  
BER [0.0837;9799...  
printRecei... 0  
prmQPSK... 1x1 struct

Workspace  
名前 値  
BER [0.0837;9799...  
printRecei... 0  
prmQPSK... 1x1 struct

Command Window  
MATLAB のご利用がはじめての場合は、入門をご覧ください。  
Address: 'usb:0'  
## Establishing connection to hardware. This process can take several seconds.  
Error rate is = 0.083726.  
Number of detected errors = 97993.  
Total number of compared samples = 1170400.  
fx >>

Transmission has started  
## Establishing connection to hardware. This process can take several seconds.  
Transmission has ended  
fx >>

MATLAB R2023b - trial use  
ホ... ブ... ア... エ... バブ... ビ...  
新規 開く 保存 印刷 比較 移動 検索 ナビゲート リファクター ブックマーク コード 解析 セクション 実行 ステップ 停止  
ドキュメントの検索 武井さ  
MATLAB Examples R2023b plutoradio QPSKReceiverWithADALMPLUTORadioExample  
現在のフォルダー  
createQPSKScopes.m  
FrameSynchronizer.m  
plutoradioqpskreceiver...  
QPSKDataDecoder.m  
QPSKReceiver.m  
QPSKReceiverWithADA...  
QPSKrxpluto\_auto.m  
+26 plutoradioqpsktransmitter\_init.m QPSKtxpluto\_auto.m QPSKrxpluto\_auto.m  
1 % QPSK PLUTO rx auto start  
2 %  
3 % by MATLAB Help Center  
4 %  
5 % 2024.02.06 by K. Takei  
6 %  
7  
コマンド ウィンドウ  
MATLAB のご利用がはじめての場合は、入門をご覧ください。  
Address: 'usb:0'  
## Establishing connection to hardware. This process can take several seconds.  
Error rate is = 0.083726.  
Number of detected errors = 97993.  
Total number of compared samples = 1170400.  
fx >>  
Zoom: 100% UTF-8 CRLF スクリプト 行 4 列 2  
ミュージック  
TIH0631800A (C)  
空き領域 147 GB/226 GB  
PlutoSDR (D)  
PlutoSDR (E)  
空き領域 29.1 MB/29.9 MB  
10 個の項目