



# 山陽新幹線光ファイバを活用した技術検証の共有

～新幹線光ファイバ上での偏波変動実測～

ユニアデックス株式会社

同じ未来を想うことから。

 UNIDEX



# 自己紹介

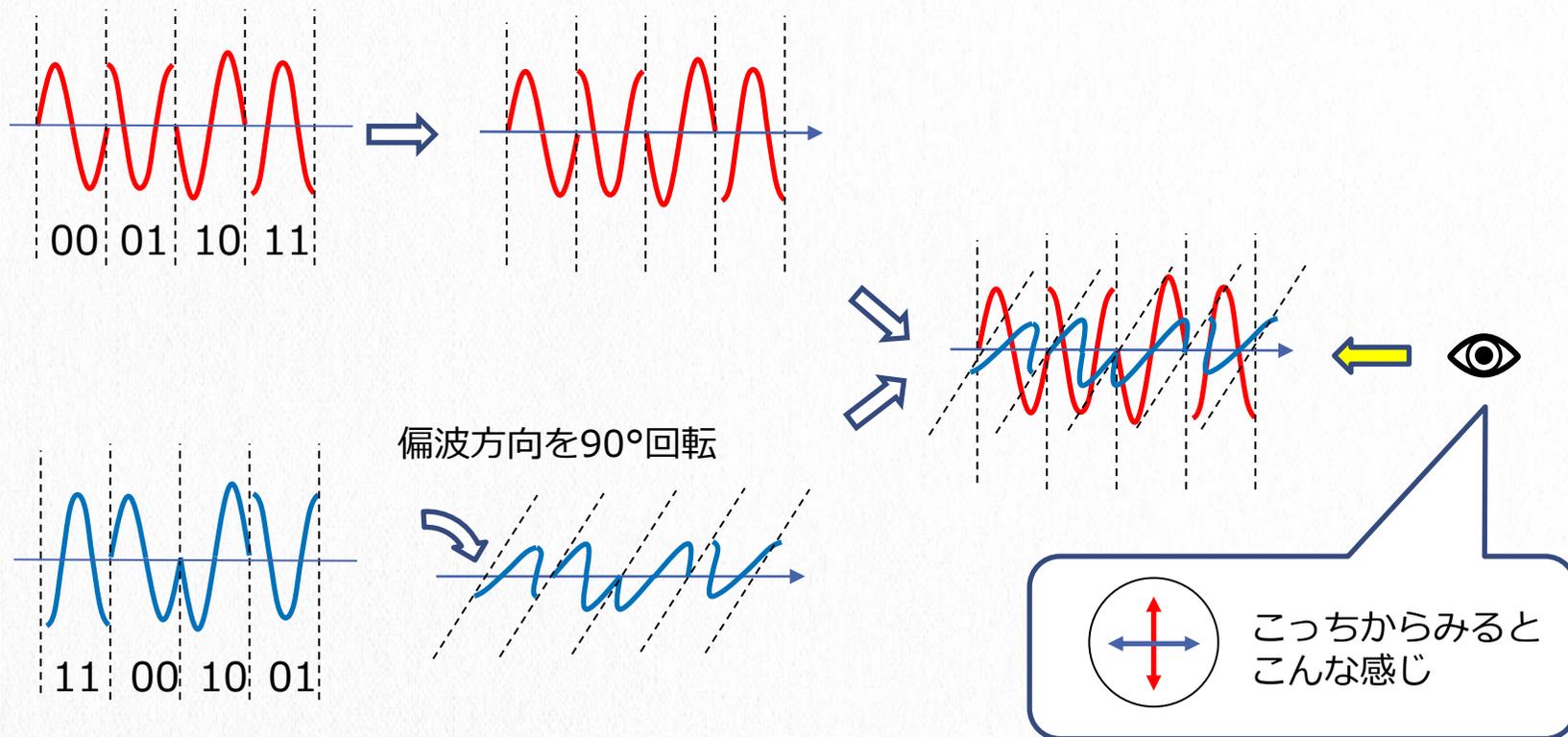
- 名前  
岩崎 傑(イワサキ タケル)  
takeru.iwasaki@uniadex.co.jp
- 所属  
ユニアドックス株式会社
- 経歴  
2018年入社 of ネットワークエンジニア  
光伝送業界では貴重な若手エンジニア。筋トレの魔人

- 名前  
柳生 拓也(ヤギユウ タクヤ)  
takuya.yagyu@uniadex.co.jp
- 所属  
ユニアドックス株式会社
- 経歴  
2002年入社 of ネットワークエンジニア  
光伝送分野に関わるようになって10年くらい。ペーパー保育士

# 偏波変動と光通信の関係(1/3)

## ■ 偏波多重

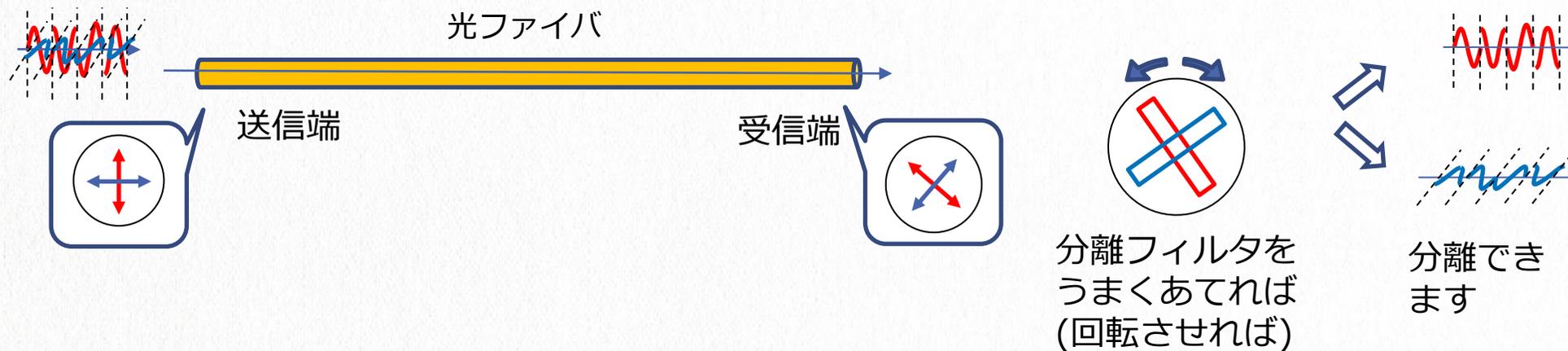
- 二つの異なる光信号(偏波)を垂直に交わるようにして混ぜること
- 同じ時間で2倍のデータを送ることができる
- 光通信の伝送速度を上げる工夫の一つとして用いられている



# 偏波変動と光通信の関係(2/3)

## ■ 偏波の分離

- ・ 偏波多重された光信号を偏波分離フィルタで分離すること
- ・ 受信端の偏波状態と合うように、分離フィルタを回転させてうまくピントを合わせれば二つの波(偏波)を取り出すことができる



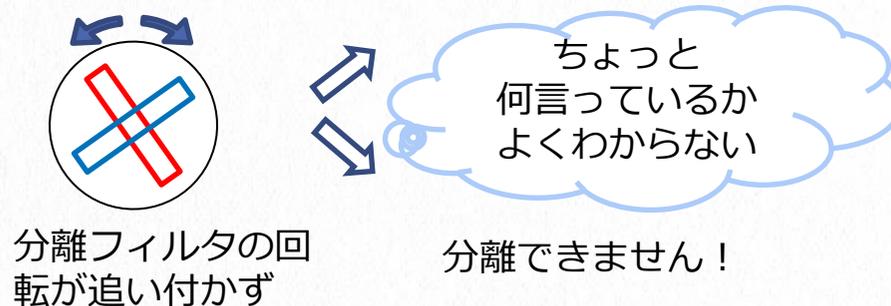
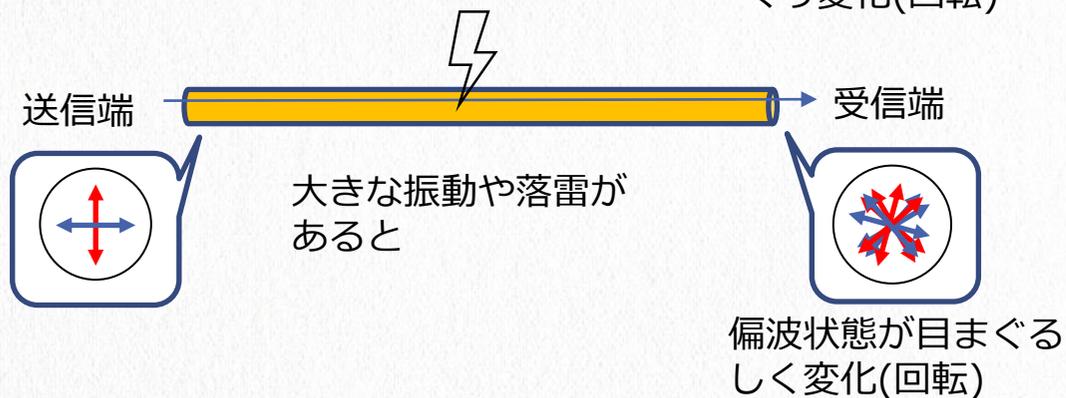
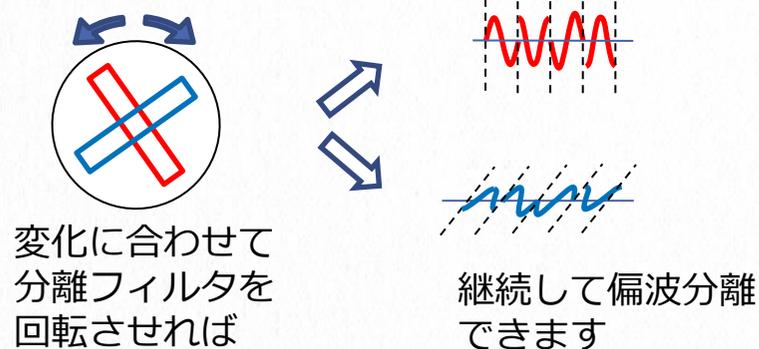
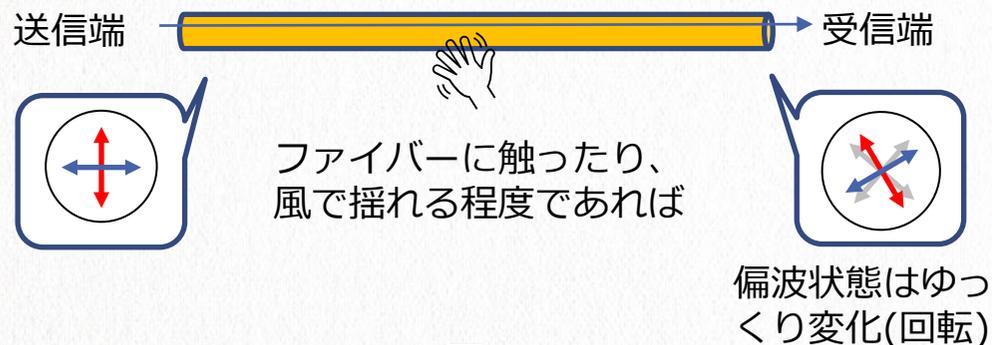
(補足)

実際の偏波分離フィルタ処理は、受信側に搭載されたDSP(デジタルシグナルプロセッサ)におけるデジタル処理によって行われます

# 偏波変動と光通信の関係(3/3)

## ■ 偏波状態の変動

- ・ 受信側における偏波状態の変化が偏波変動
- ・ 分離フィルタで追従できる速さ以上の偏波変動が起きている間は偏波分離に失敗⇒通信にロスやエラーが発生する



# 偏波変動ってどんな時にどれくらい起きるの？

いろんな説がありますが、まとめると大体こんな感じらしい

- ①ファイバーに触れたり動かしたりした時  
偏波変動速度は 1 krad/s 以下
- ②ファイバーに大きな振動が加えられた時  
偏波変動速度は 数 krad/s
- ③雷が近くで落ちた時  
偏波変動速度は数 Mrad/s

rad/s : ラジアン毎秒  
ラジアン : 角度の単位

**実際のところどれくらいの激しさの偏波変動が起きるものなの？**

それって、通信への影響を気にしなければいけないほど頻繁に起きるの？

**新幹線線路沿いだと振動で影響でたりしないの？**

実際に測定させていただきました

# 新幹線光ファイバ上での偏波変動実測

## ■目的

新幹線沿線に敷設されたファイバー上にて、定常時および新幹線走行時にどの程度の偏波変動が発生しているかを把握するために、ポラリメータによる偏波状態(SOP: State Of Polarization)の観測を実施

## ■観測対象としたファイバー

姫路駅⇔相生駅間に敷設されたファイバー(およそ20km)

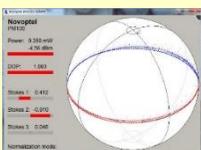
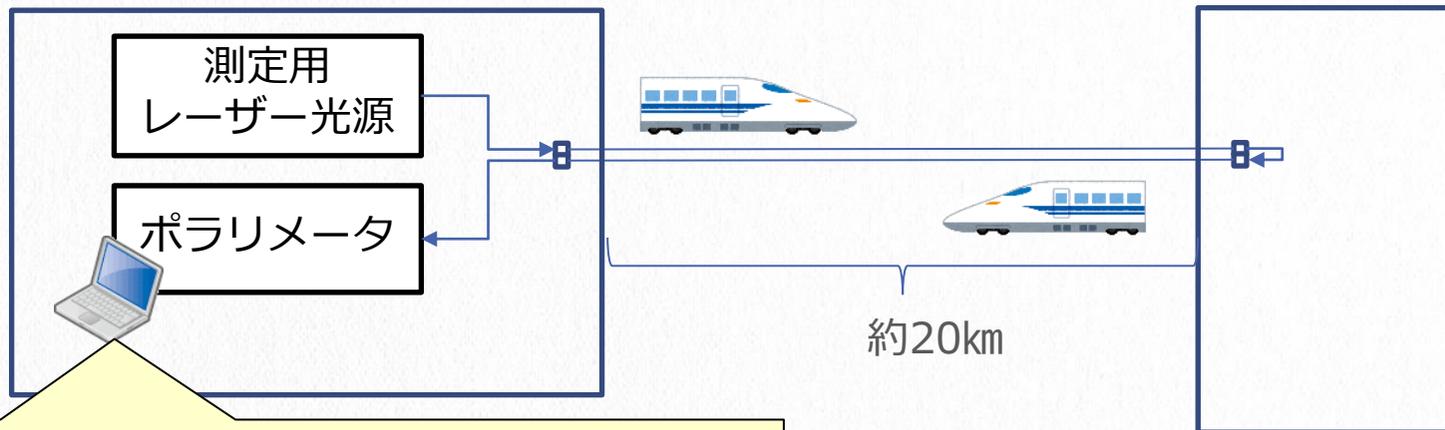
敷設状況が異なる(\*)2種類のファイバー(A/B)で観測を行い結果を比較

ファイバー敷設状況概要  
(現地投影予定)

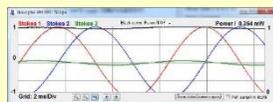
# 測定構成概要

JR姫路駅

JR相生駅



(1)ポアンカレ球上にプロットされる偏波状態をリアルタイムに観測

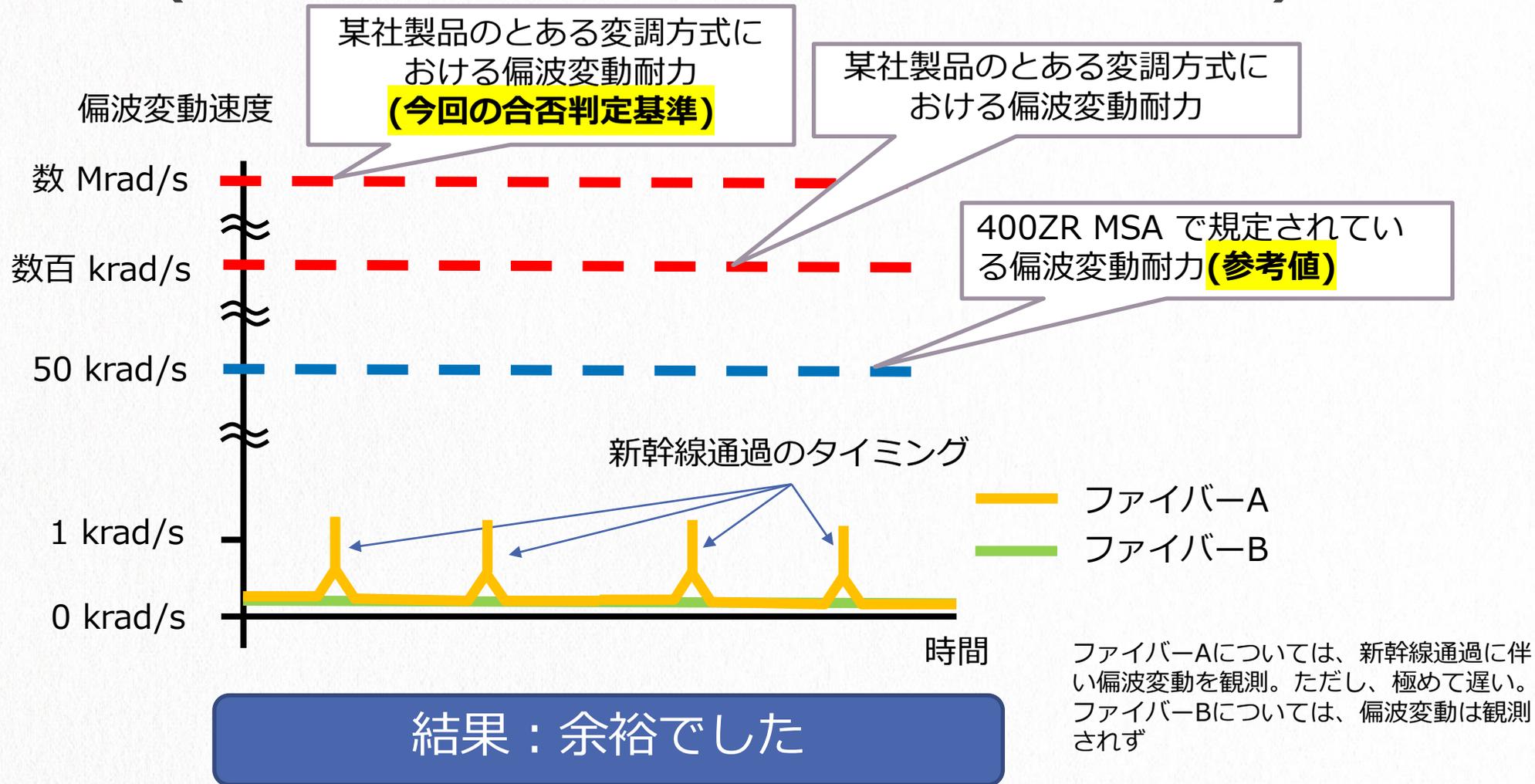


(2)閾値を超えるSOP変動をトリガーにしたSOPの記録

**測定区間を新幹線が走行している/していない、で偏波状態の変動具合に違いがあるかを確認**

SOP : State Of Polarization (偏波状態)

# 測定結果(説明用にフリーハンドで作成したグラフ風のもの)



# 発表まとめ

## ・ 偏波変動と光通信の関係

- 最近の光通信(コヒーレント方式)では偏波多重が使われている
- ある程度の偏波変動であれば受信側で問題なく偏波分離が可能
- 許容範囲を超える大きな偏波変動が起きると復調できずエラーになる

## ・ 偏波変動のおもな原因

- ファイバーに触れる、ファイバーが揺れる
- 大きな振動
- 落雷

## ・ 新幹線線路ファイバーで発生する偏波変動の実測

- ポラリメータを用いた偏波変動測定を実施
- 結果、定常時および新幹線通過時のいずれにおいても、通信に影響を与えるような偏波変動は観測されなかった

以上です

補足資料

# 偏波変動と光通信の関係

**電磁波**（でんじは、英: electromagnetic wave）は、電場と磁場の変化を伝搬する波（波動）である。日常生活で知られる光や電波などは電磁波の一種である

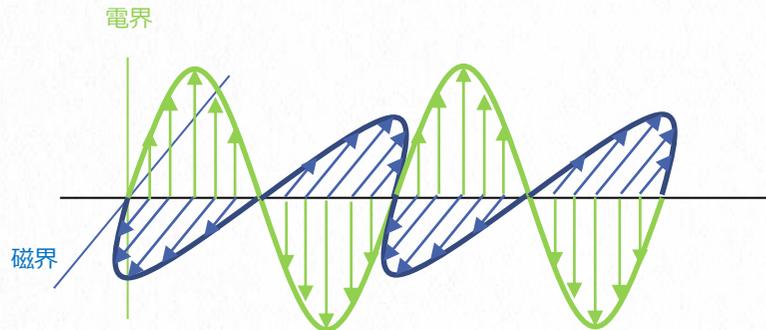
真空中の速さは約30万km/秒で、光ファイバー(屈折率1.5)だと約20万km/秒

**偏光**（へんこう、英: polarization）は、電場および磁場の振動方向が規則的な光のこと。電波における同様の現象は偏波（へんぱ）と呼ぶ。

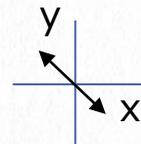
自然光のように振動方向が不規則な状態の光は無偏光(Unpolarized light)ですが、水面を反射したり偏光子を透過したあとの自然光は、振動方向がそろった偏光(Polarized light)となります。  
光通信で使うレーザー光も偏光です

**偏波多重**とは、直行する偏波が互いに干渉しない性質を利用し、光の波の水平偏波と垂直偏波のそれぞれで異なる信号を送出し多重する技術。

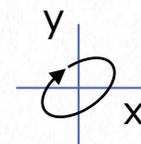
近年の光伝送では、伝送速度を高めるために偏波多重という技術を使っています。  
X偏波で伝送する信号と、Y偏波で伝送する信号を多重して2倍伝送できます。



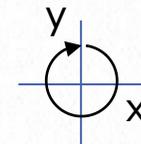
直線偏波



楕円偏波



円偏波



X偏波



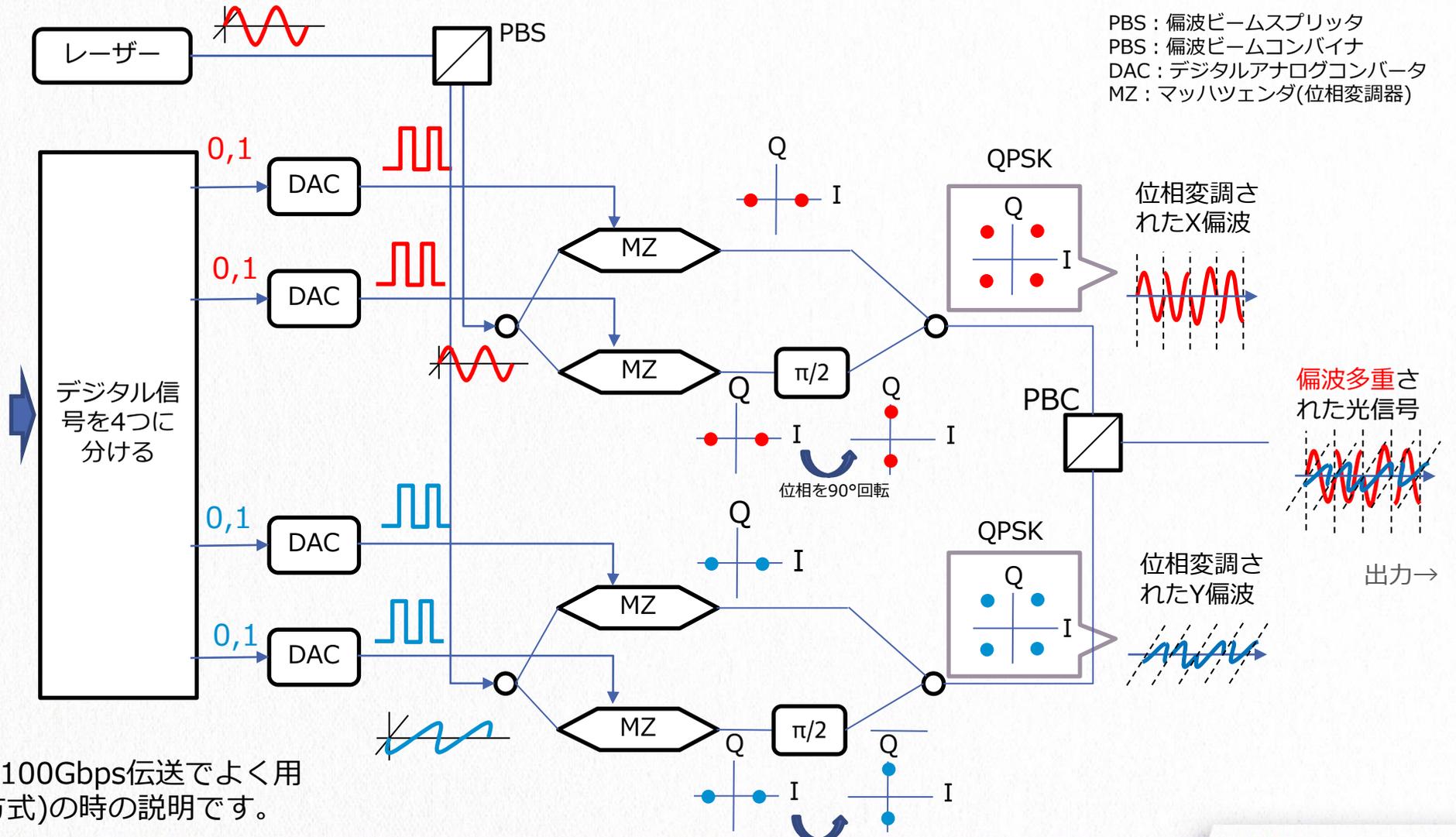
Y偏波



偏波多重  
された信号



# デジタルコヒーレント方式(送信側)

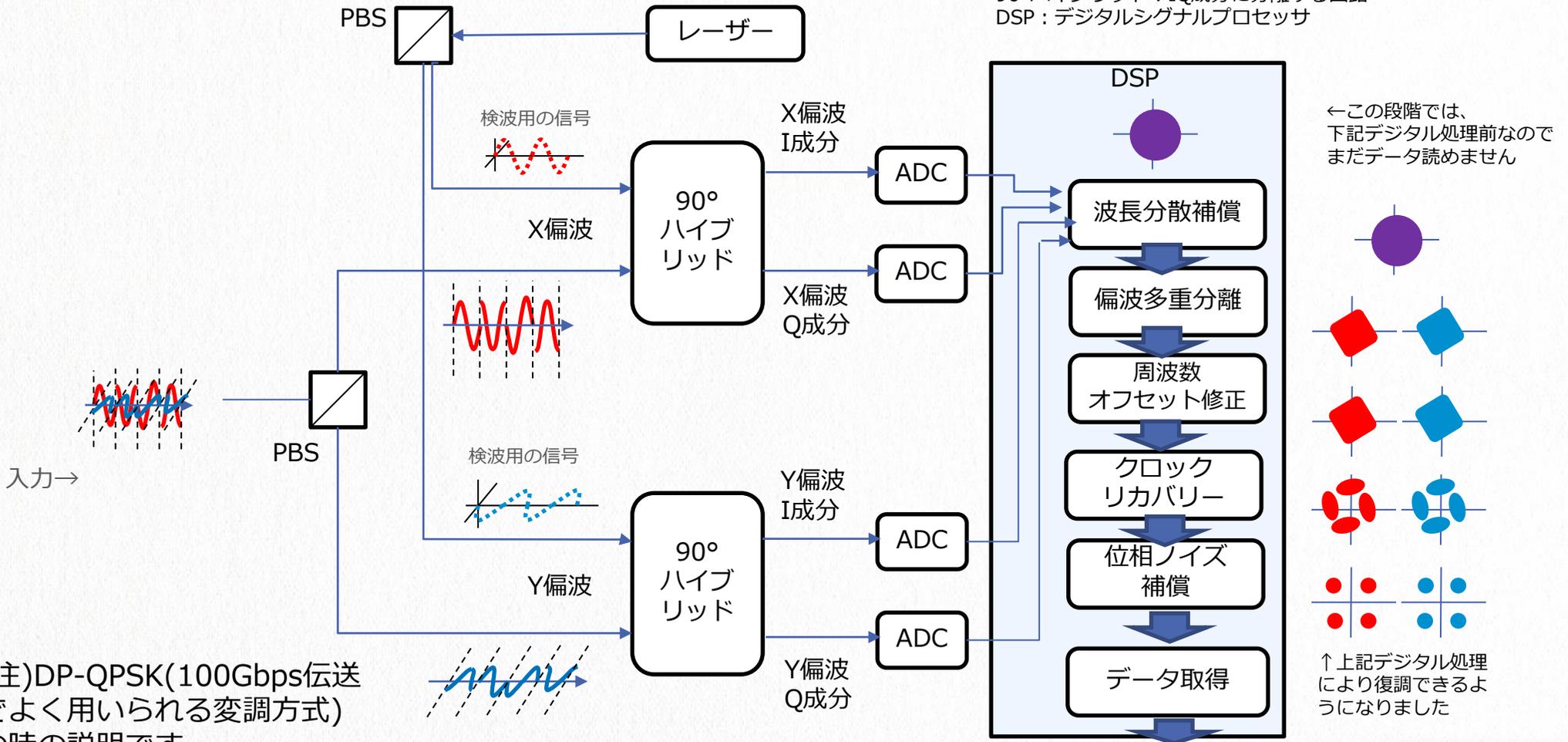


PBS : 偏波ビームスプリッタ  
 PBS : 偏波ビームコンバイナ  
 DAC : デジタルアナログコンバータ  
 MZ : マッハツエンダ(位相変調器)

(注)DP-QPSK(100Gbps伝送でよく用いられる変調方式)の時の説明です。

# デジタルコヒーレント方式(受信側)

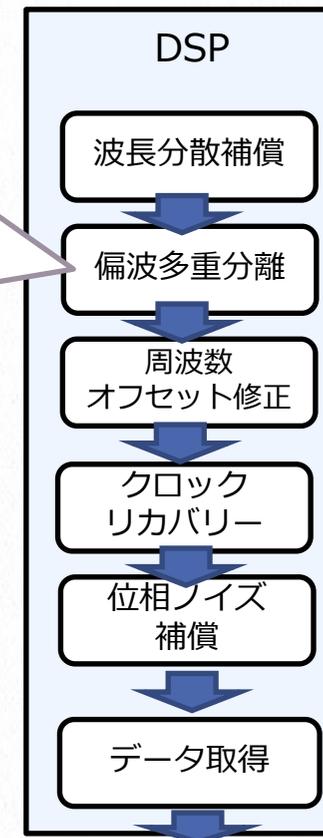
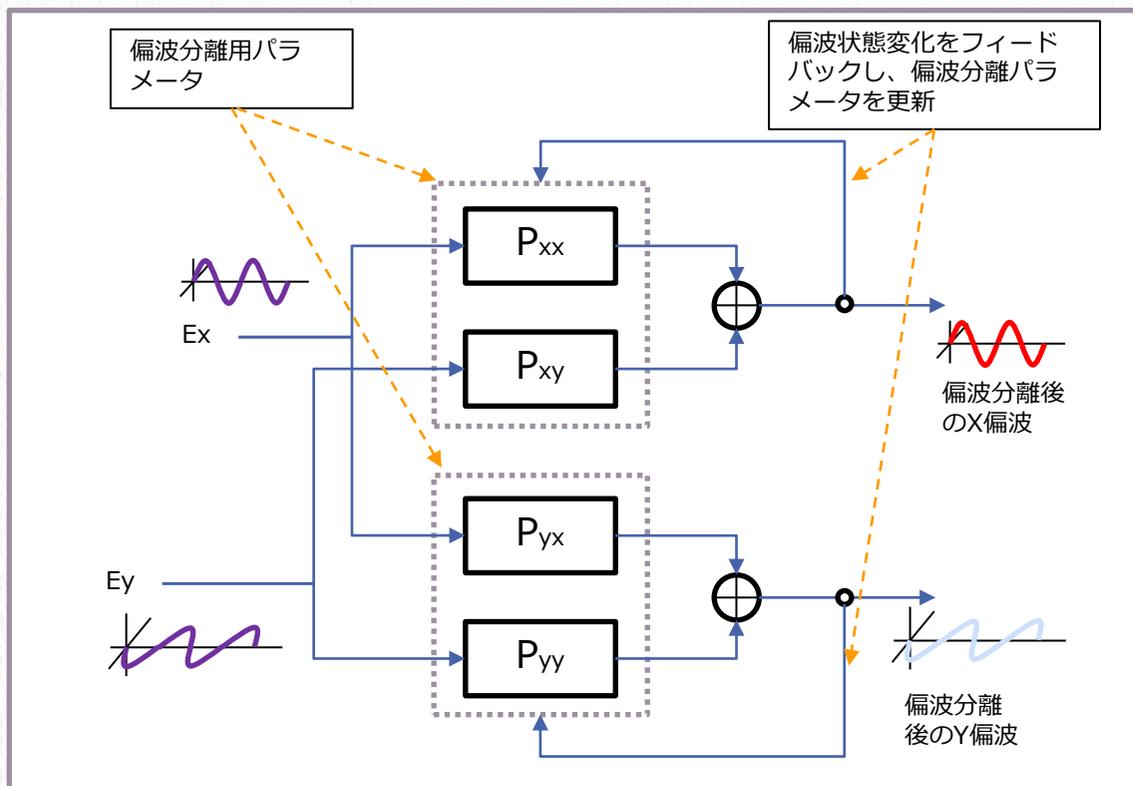
PBS : 偏波ビームスプリッタ  
 ADC : アナログデジタルコンバータ  
 90°ハイブリッド : IQ成分に分離する回路  
 DSP : デジタルシグナルプロセッサ



(注)DP-QPSK(100Gbps伝送でよく用いられる変調方式)の時の説明です。

# 受信側のDSPが偏波多重分離でやってること

DSP : デジタルシグナルプロセッサ



・偏波分離(デジタル処理)後の信号を定期的に分析して**偏波状態の変化を検出**。  
フィードバックすることで**偏波状態の変動に追従**している

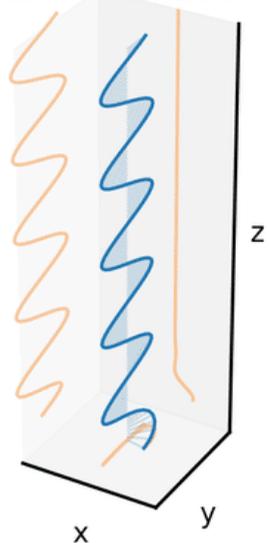
**偏波状態の変動が速すぎると**、受信側のフィードバックが追い付かず復調ができなくなります。装置の限界を超える偏波変動は、**エラーや通信断**の原因となります。

# 偏波状態とポアンカレ球

- 偏波状態にはいろいろある(直線、円、楕円)
- 温度変化や振動などで偏波状態は変わる(偏波が変動する)



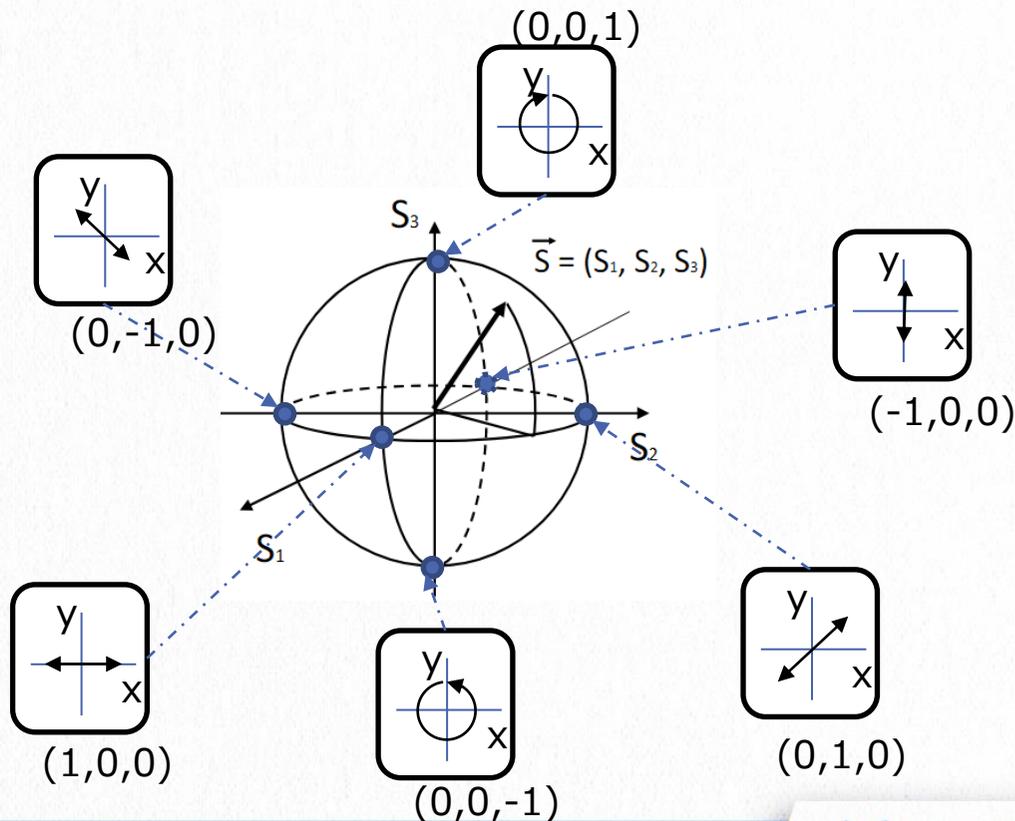
LHC Polarized



- x Polarized (x方向直線偏波)
- Y Polarized (y方向直線偏波)
- LHC Polarized (左旋円偏波)
- RHC Polarized (右旋円偏波)

Wikipediaより抜粋したGIFアニメ

- 偏波状態やその変化を表現するのに便利なのがポアンカレ球
  - 偏波状態は球面上の点の位置(座標)
  - 偏波状態の変化は球面上の点の移動
- **ポアンカレ球上の点の移動速度(角速度)が偏波変動速度**
  - 受信側DSPの処理許容範囲を超えると復調できずエラーになる



同じ未来を想うことから。

 UNIDEX

