



AP/RCS研究会(2013.11.22)

MIMO技術のさらなる進化に向けて

PSAM QO-STBC マクロダイバーシチとその展開

唐沢 好男
電気通信大学

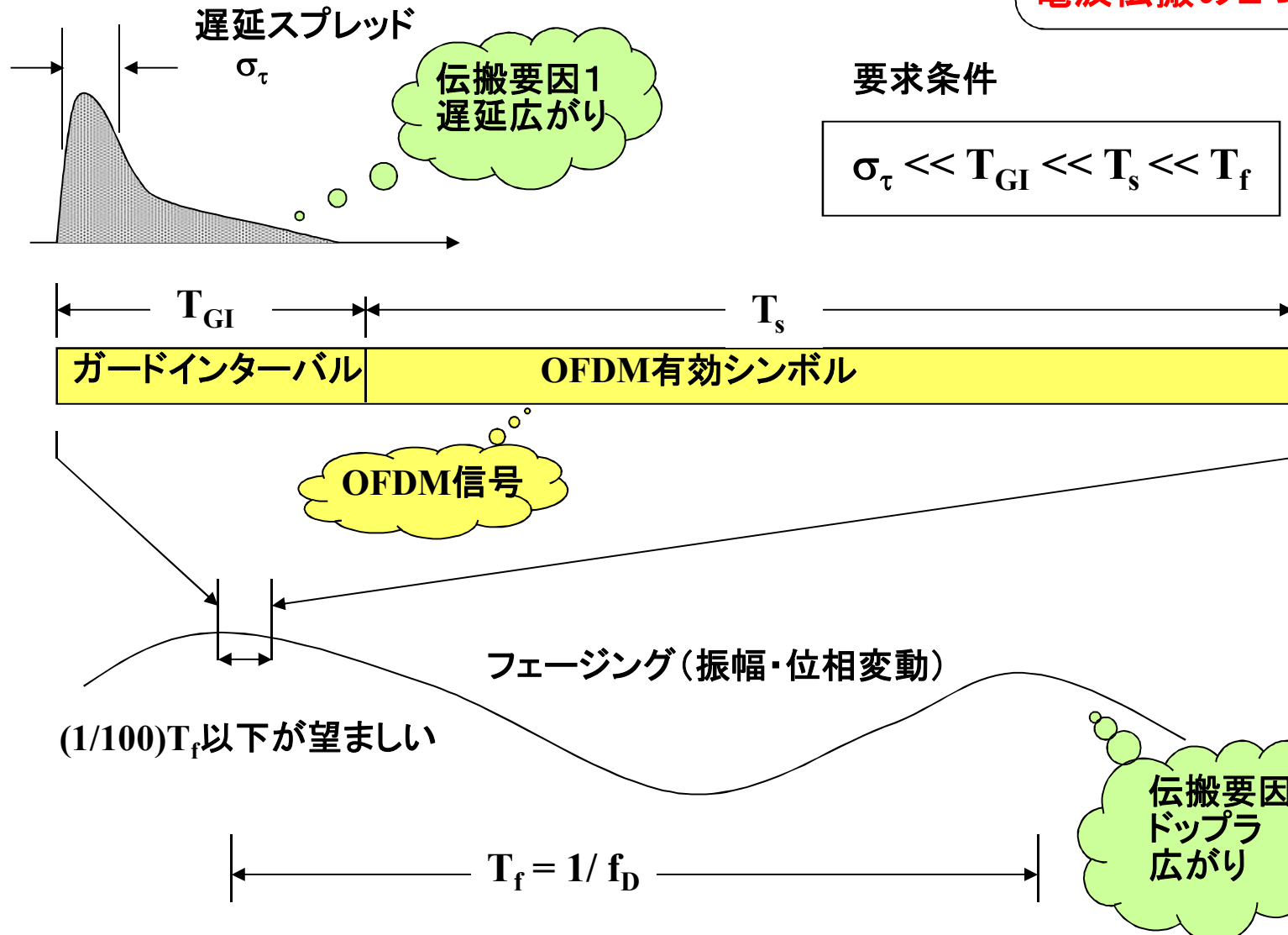
発表の内容

- 1) PSAM QO-STBC アダプティブアレー
- 2) ファーストフェージングに耐性を有するPSAM
- 3) 大規模アレーに拡張可能なQO-STBC ($4 \rightarrow 8 \rightarrow 16 \rightarrow \dots$)
- 4) マクロダイバーシチ (DAS)
- 5) ベースステーション協調システム (マクロダイバーシチ、MIMO-DAS、マルチユーザMIMO) への展開



OFDM信号と電波伝搬パラメータとの関係

高速伝送の実現に
立ちはだかる
電波伝搬の2つの壁



MIMOにおいては、

大規模化 (Massive MIMO)
[特に高い周波数帯において]

分散アンテナ (基地局連携)

が志向されているが、規模が大きくなると制御も大規模になり、高速フェージング (ファーストフェージング) が、制御の物理限界を引き起こすことになる。

→ 高速フェージングに耐性を有するアレー信号
処理技術が重要になる

PSAM QO-STBC アダプティブアレー

Pilot Symbol-
Assisted Modulation

受信側での適応信
号処理が容易

ファーストフェージン
グに耐性がある

準直交(QO)STBC

アンテナ数を、4, 8, 16, ...
と容易に展開できる

準直交故の弱点もある

QO-STBC の信号表現 (送信アンテナ数M=4の場合)

$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -s_4^* & s_3^* \\ -s_3^* & -s_4^* & s_1^* & s_2^* \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3^* \\ r_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ h_2^* & -h_1^* & h_4^* & -h_3^* \\ h_3^* & h_4^* & -h_1^* & -h_2^* \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & h_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3^* \\ n_4 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{r}_e = \mathbf{H}_e \mathbf{s} + \mathbf{n}_e$$

$$\mathbf{H}_e = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ h_2^* & -h_1^* & h_4^* & -h_3^* \\ h_3^* & h_4^* & -h_1^* & -h_2^* \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & h_1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{H}_e^H \mathbf{H}_e = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 & a \\ 0 & A & -a & 0 \\ 0 & -a & A & 0 \\ a & 0 & 0 & A \end{pmatrix}$$

$$A = |h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2$$

$$a = h_1 h_4^* + h_1^* h_4 - h_2 h_3^* - h_2^* h_3 \quad 5$$

受信信号処理

$$\mathbf{r}_e = \mathbf{H}_e \mathbf{s} + \mathbf{n}_e$$

$$\tilde{\mathbf{s}} = \mathbf{W}^H \mathbf{r}_e = \mathbf{W}^H (\mathbf{H}_e \mathbf{s} + \mathbf{n}_e)$$

ウェイトの決め方において

$$\mathbf{W} (\equiv \mathbf{W}_1) = \mathbf{H}_e \quad \leftarrow$$

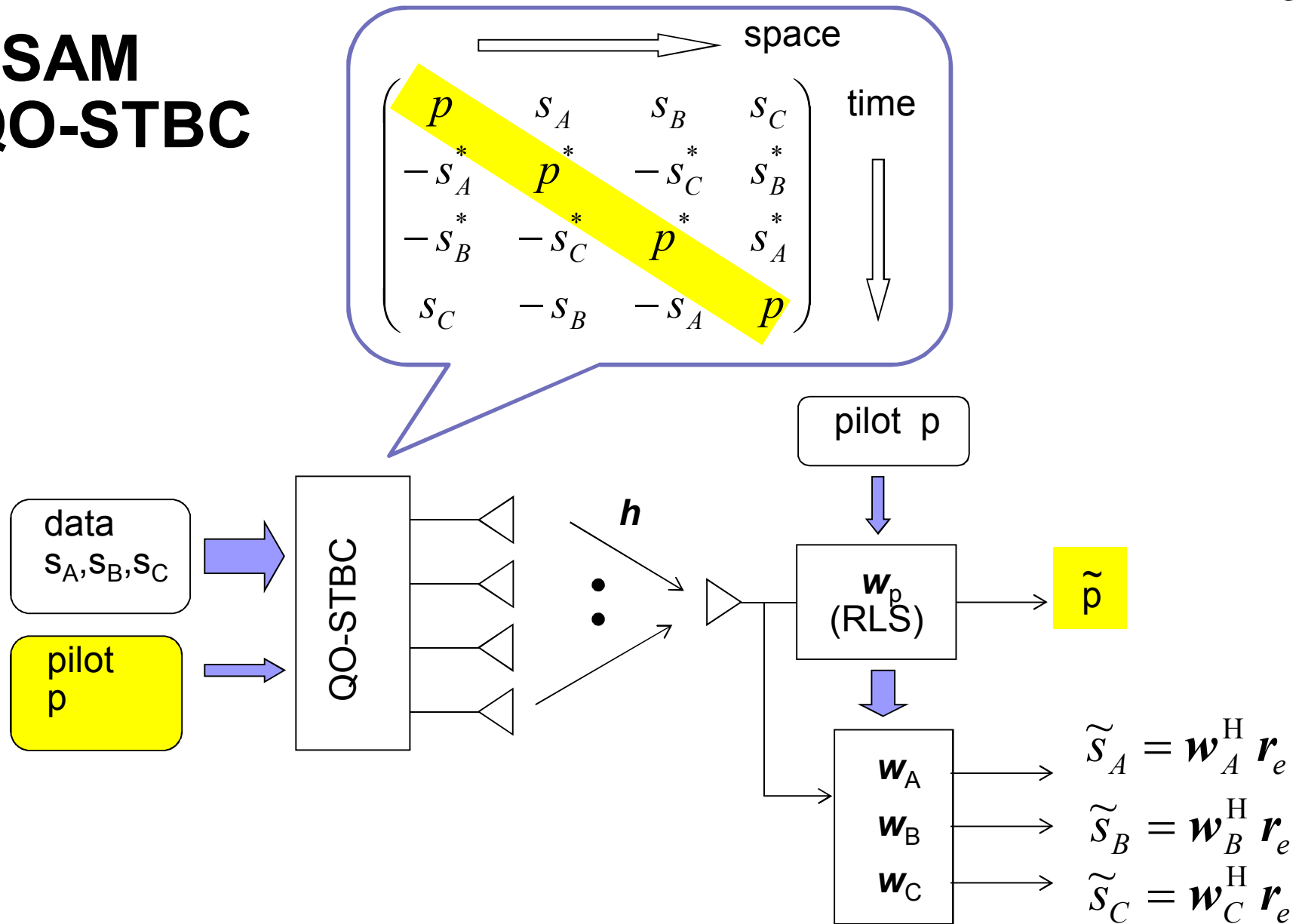
準直交のため、
完全分離できず

$$\mathbf{W} (\equiv \mathbf{W}_2) = (\mathbf{H}_e^{-1})^H \quad \leftarrow$$

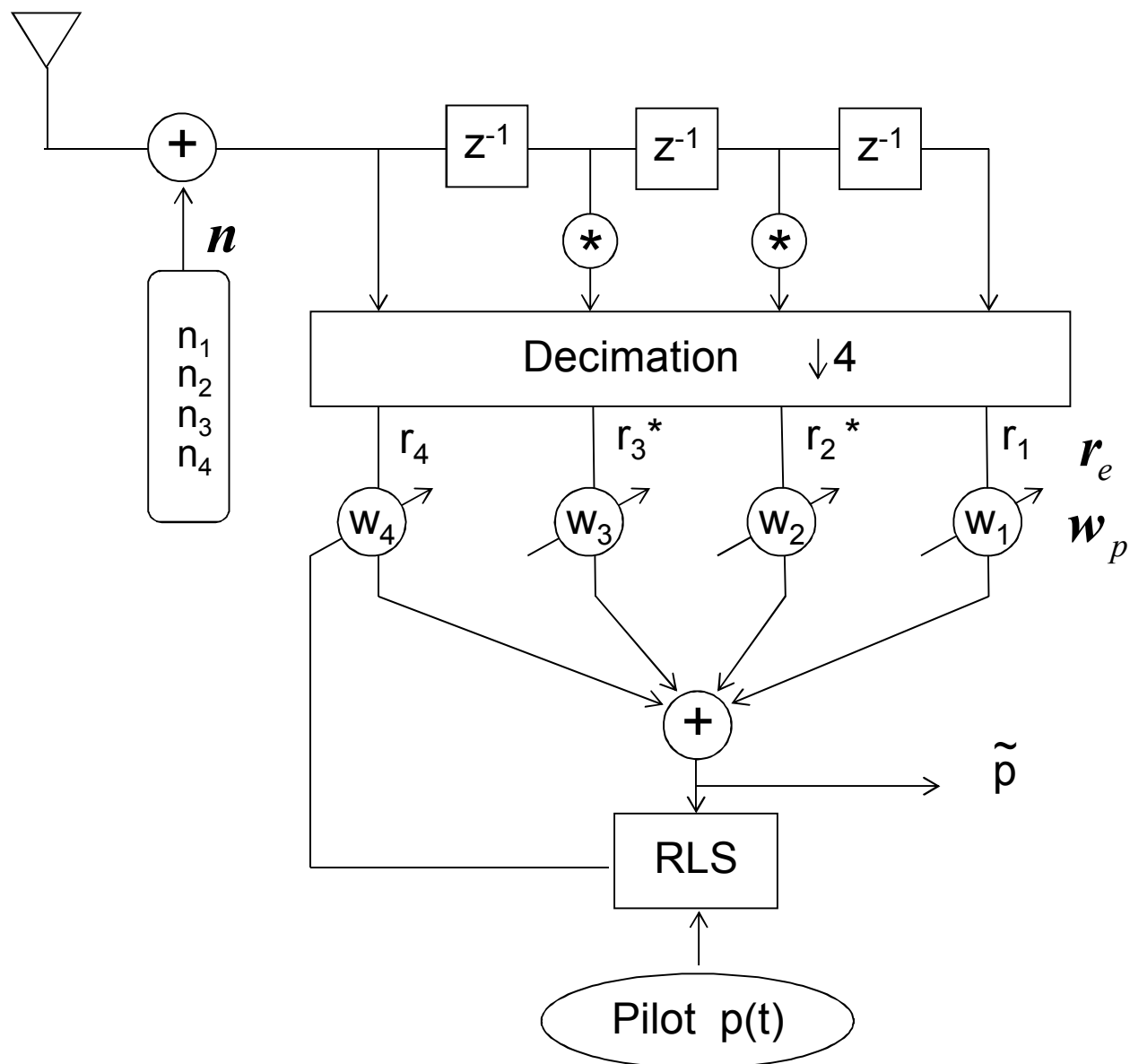
ZF: 準直交のため、
成分間非線形

$$\mathbf{W} (\equiv \mathbf{W}_3) \quad (\text{PSAM / MMSEで定める})$$

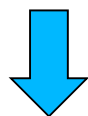
PSAM QO-STBC



パイロット信号に対するアダプティブアレー (w_p の決定)



$$\mathbf{W}_1 = \mathbf{H}_e = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ h_2^* & -h_1^* & h_4^* & -h_3^* \\ h_3^* & h_4^* & -h_1^* & -h_2^* \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & h_1 \end{pmatrix}$$



$\mathbf{W}_1$ の値はそのままには使えないが
要素間の関係は使える(?)

予稿ではTが
落ちている

$$\mathbf{W}_3^T = \begin{pmatrix} w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \\ w_2^* & -w_1^* & w_4^* & -w_3^* \\ w_3^* & w_4^* & -w_1^* & -w_2^* \\ w_4 & -w_3 & -w_2 & w_1 \end{pmatrix}$$

↓

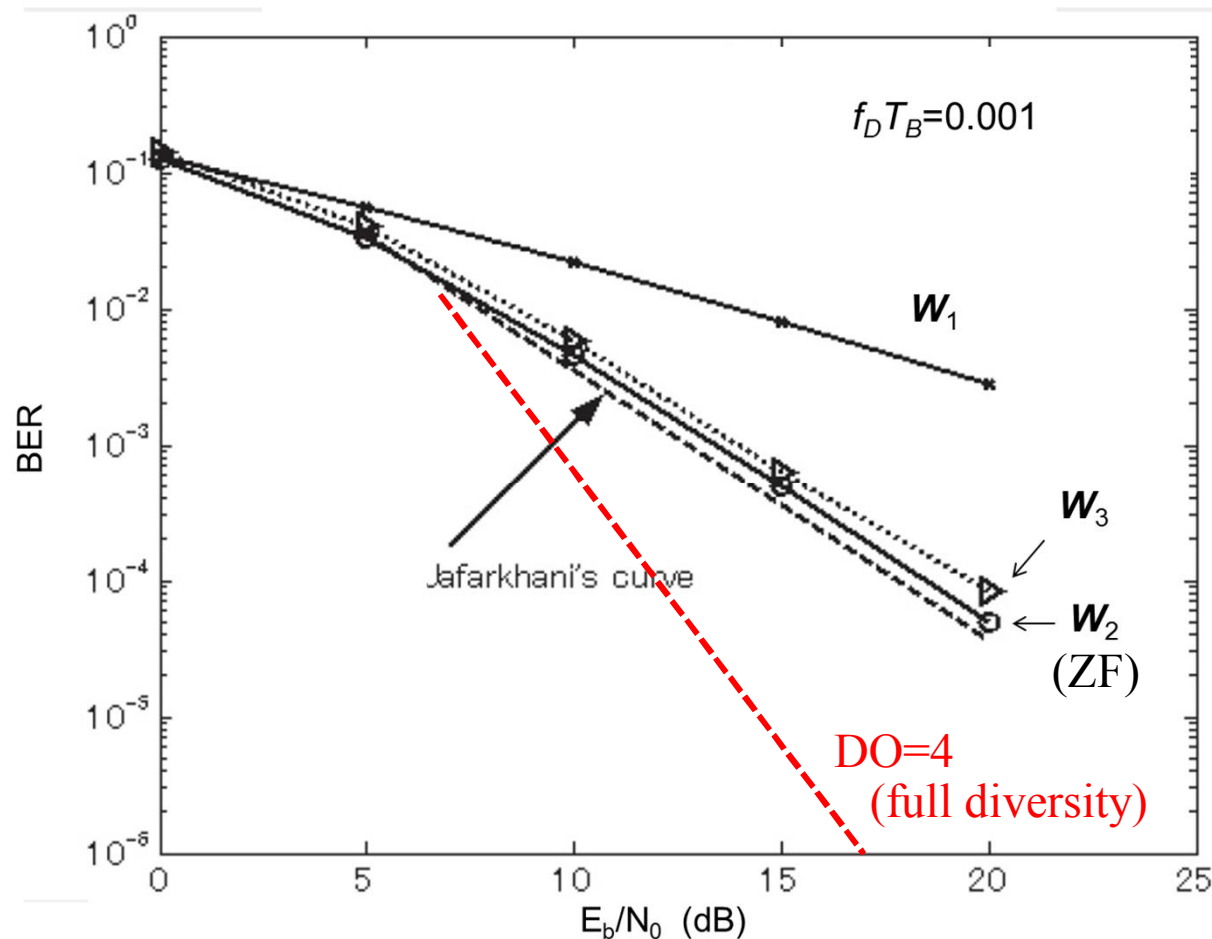
$$\begin{matrix} \mathbf{w}_p^T \\ \mathbf{w}_A^T \\ \mathbf{w}_B^T \\ \mathbf{w}_C^T \end{matrix}$$

$$\tilde{s}_A = \mathbf{w}_A^H \mathbf{r}_e$$

$$\tilde{s}_B = \mathbf{w}_B^H \mathbf{r}_e$$

$$\tilde{s}_C = \mathbf{w}_C^H \mathbf{r}_e$$

QO-STBCの受信特性



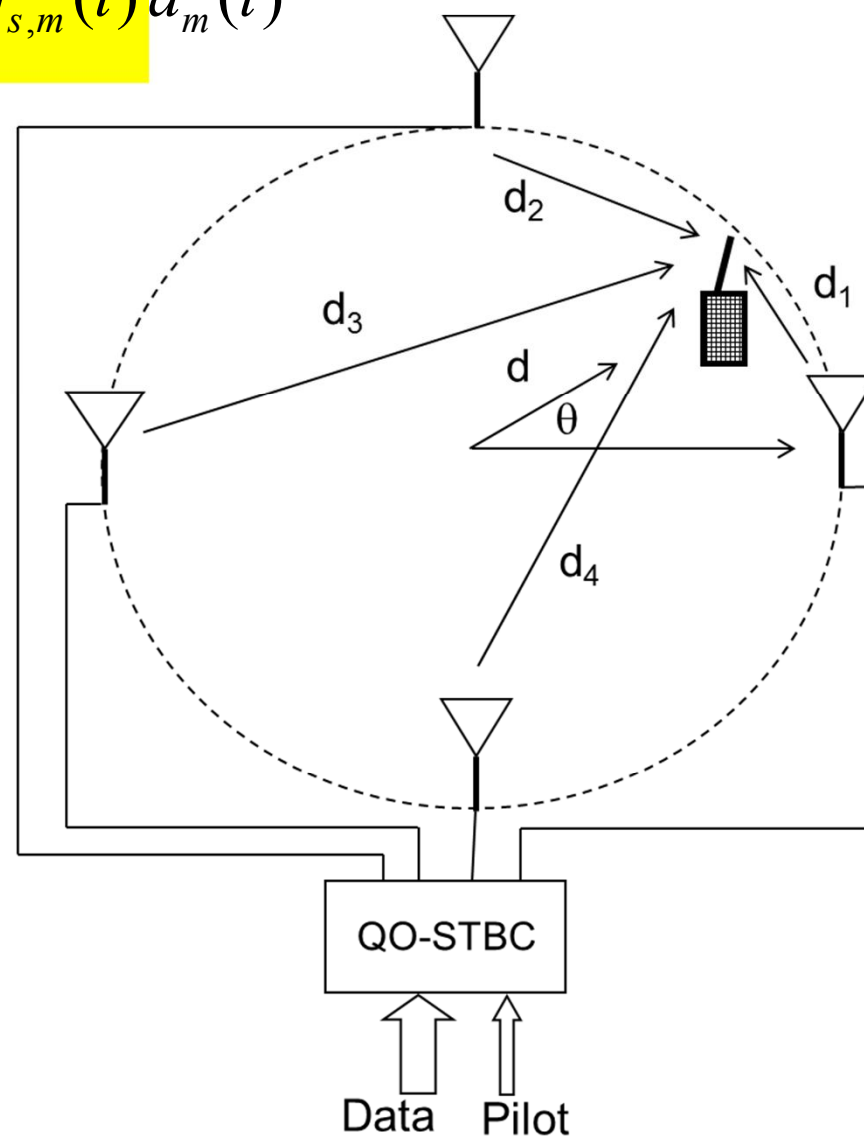
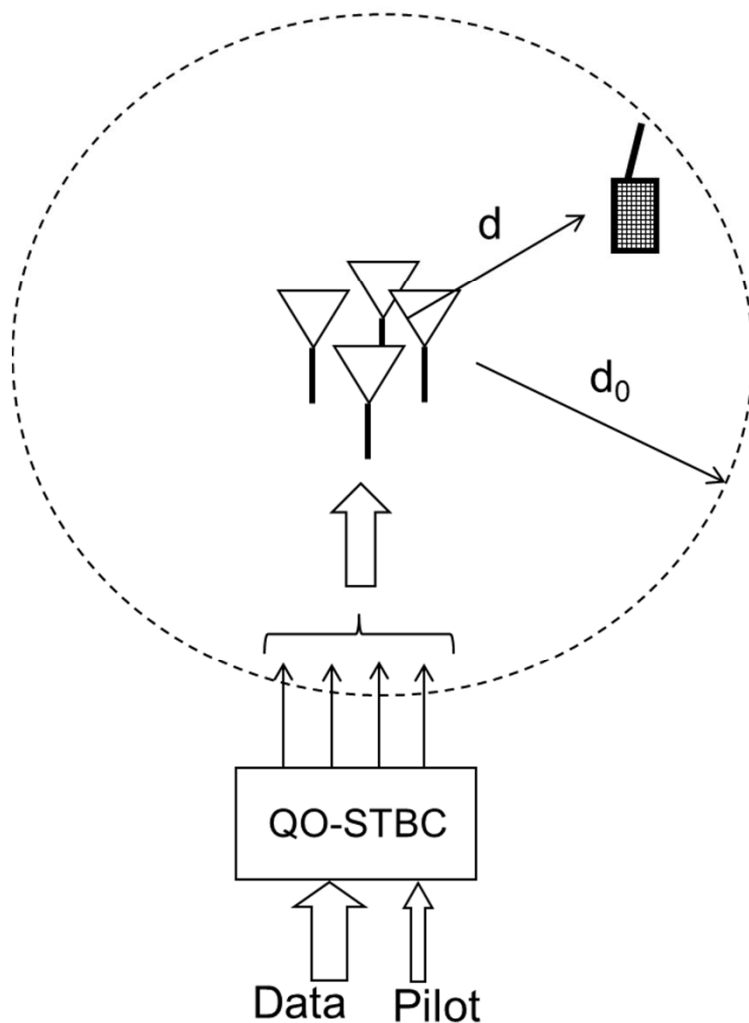
ここから、研究は
幾つかの方向に分かれる

- ① マクロダイバーシチ
- ② TXアンテナ数を増やす
 $4 \rightarrow 8, 16, 32, \dots$
- ③ ダイバーシチオーダを
上げる方法
例 QO-STBC-CR
- ④ $\dots$

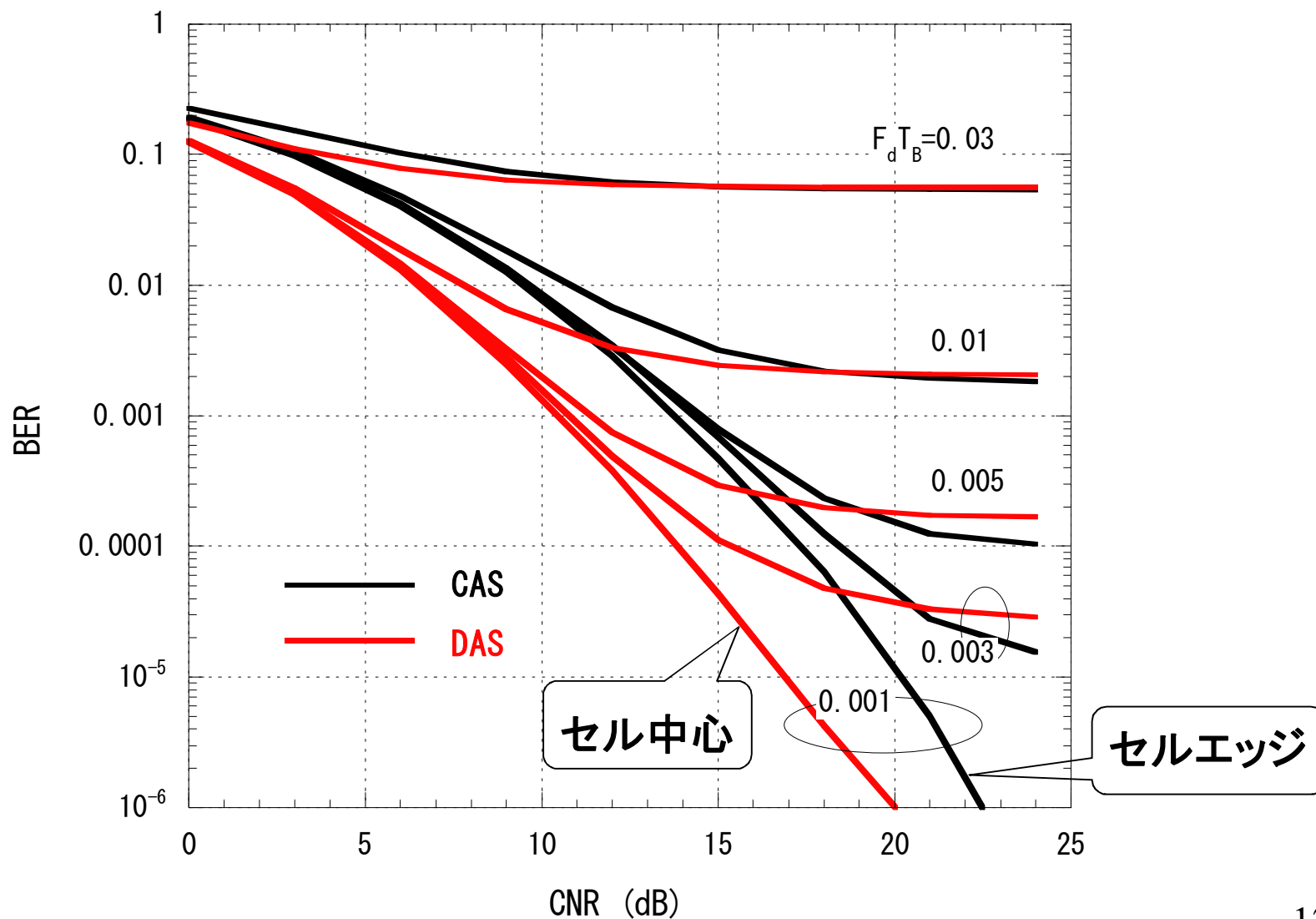
CAS (Centralized Antenna System)

DAS (Distributed Antenna System)

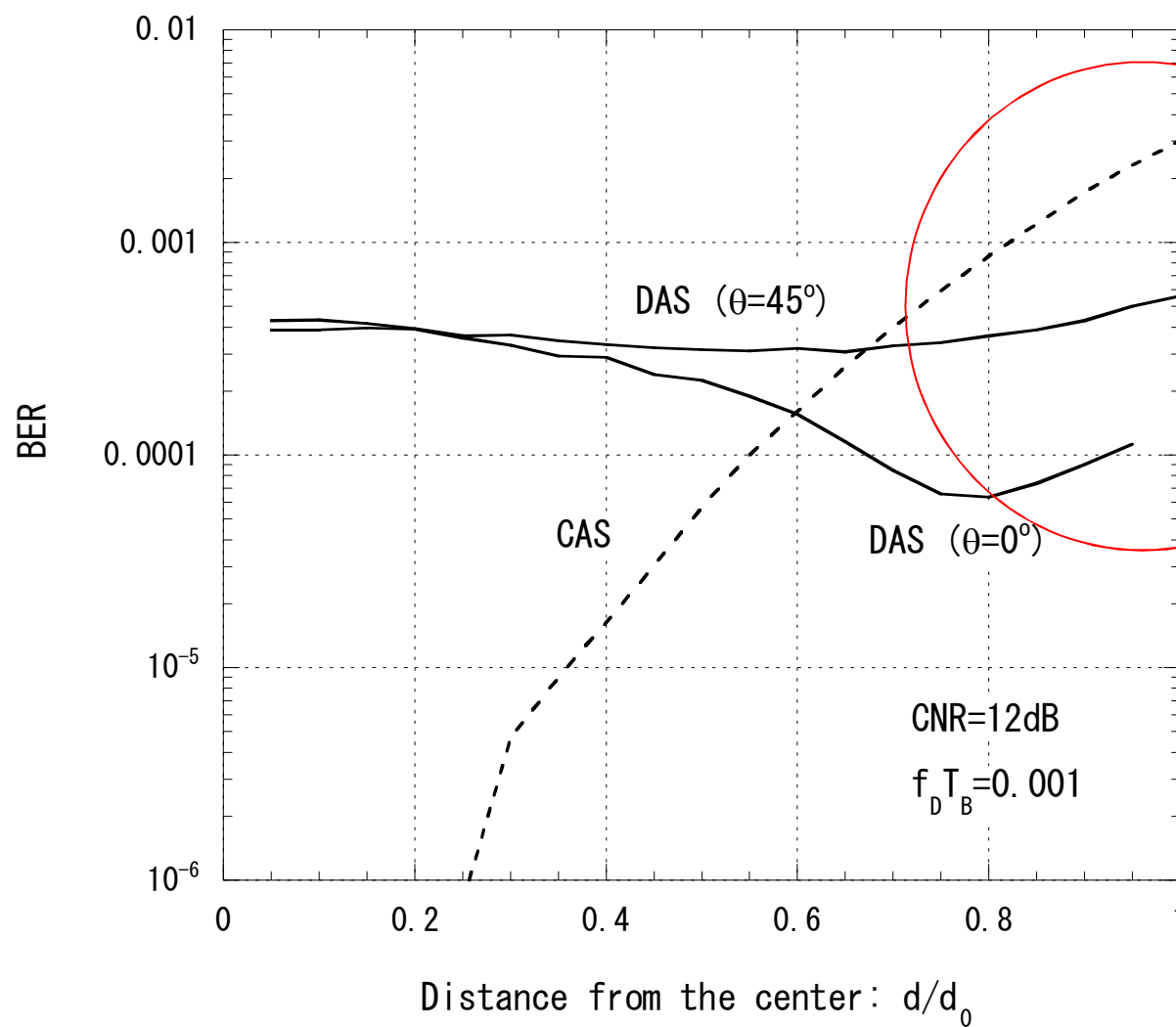
$$h_m(t) = \sqrt{\Gamma_0} \eta_{d,m} \eta_{s,m}(t) a_m(t)$$



CASとDAS(マクロダイバーシチ)の特性比較

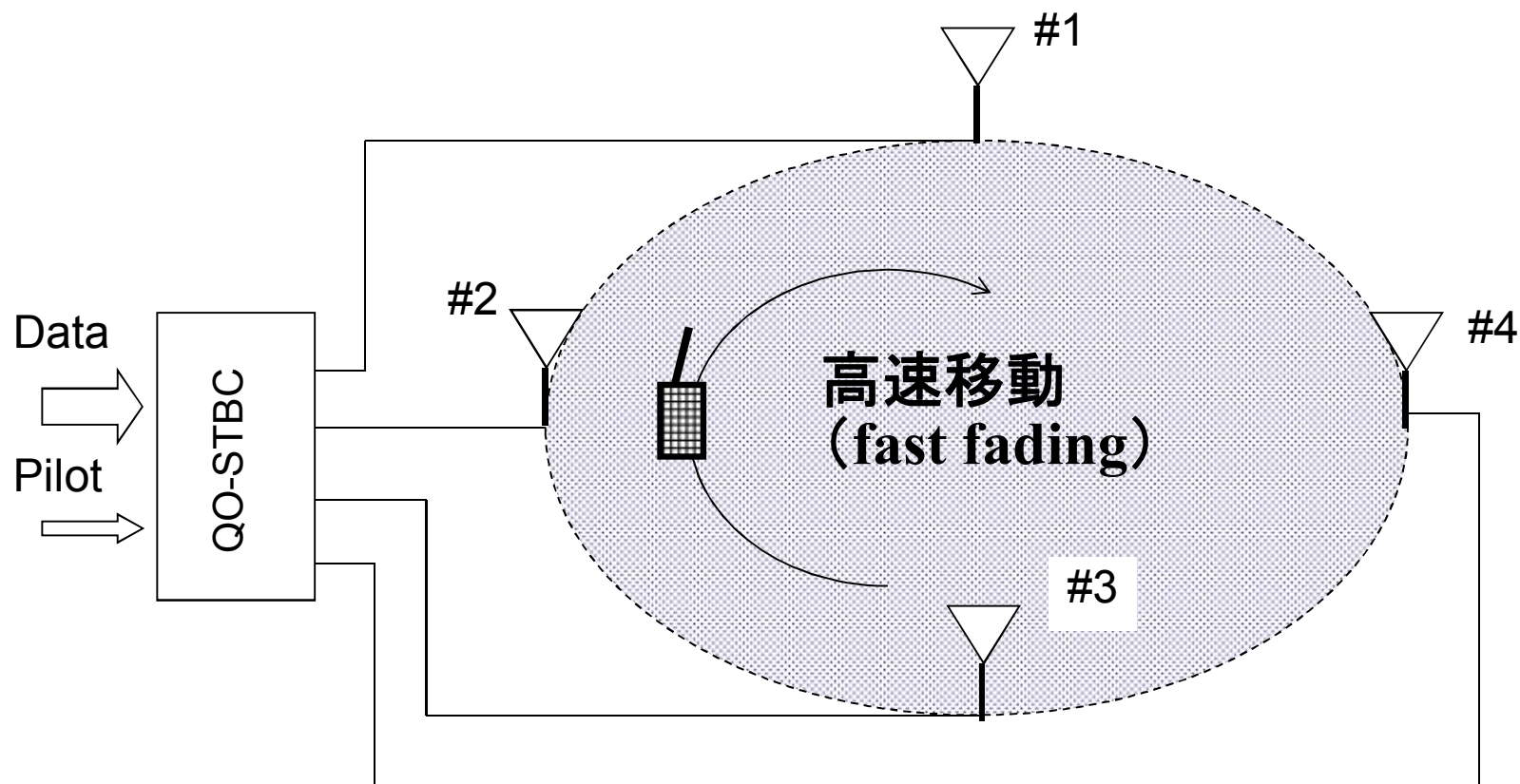


CASとDASのエリア内BER特性

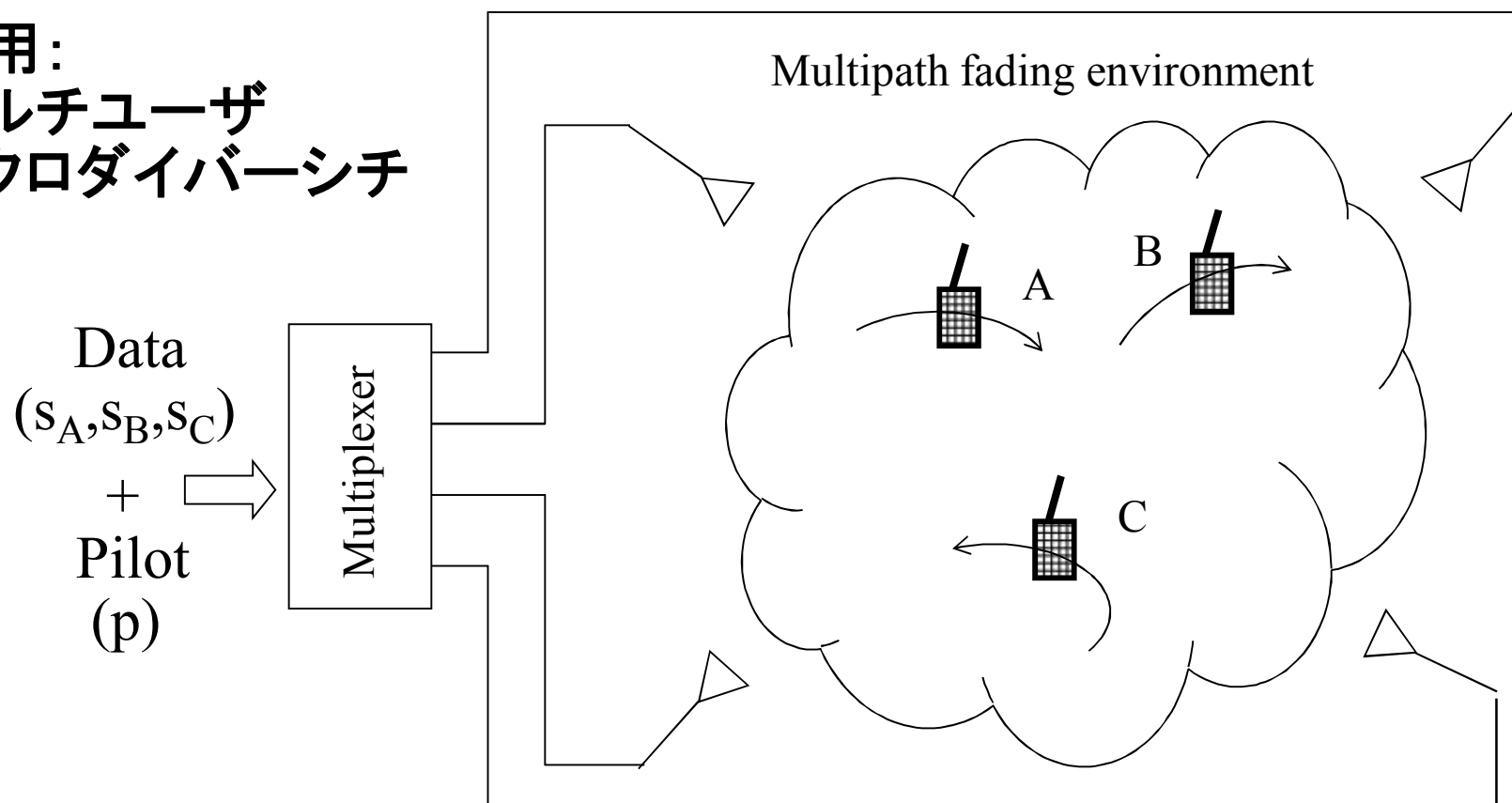


DASはエリア内で
特性均一、
エッジ領域で
良好特性

応用: マクロダイバーシチ (高速フェージング環境)



応用:
マルチユーザ
マクロダイバーシチ

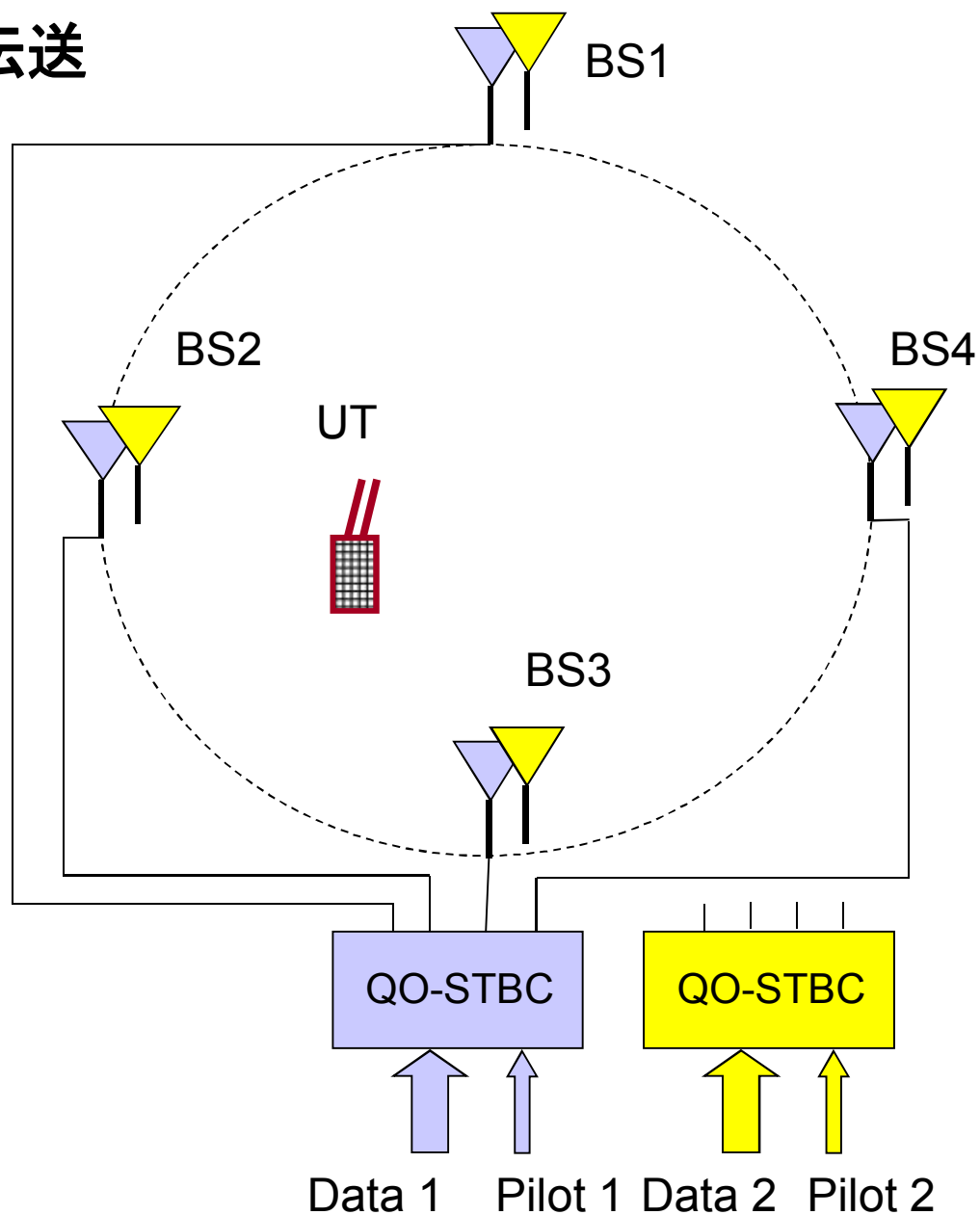


M本アンテナでのQO-STBC

ユーザ数 データレート ダイバーシチゲイン 送信側でのCSI情報	M-1 1/M M(理想動作) 不要
---	-----------------------------

MIMOマルチストリーム伝送 (DAS)

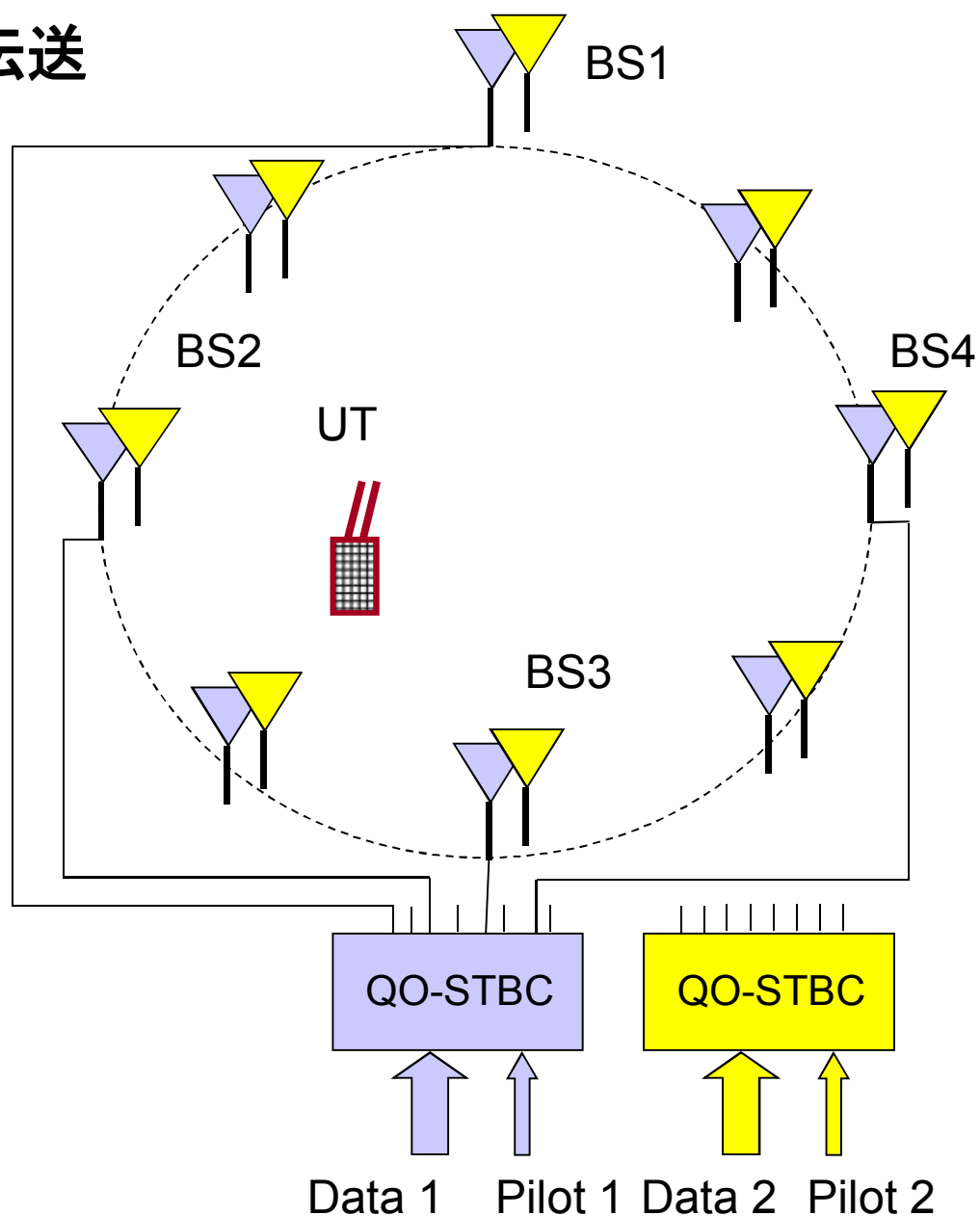
M=4での
2ストリーム伝送



MIMOマルチストリーム伝送 (DAS)

M=8での
2ストリーム伝送

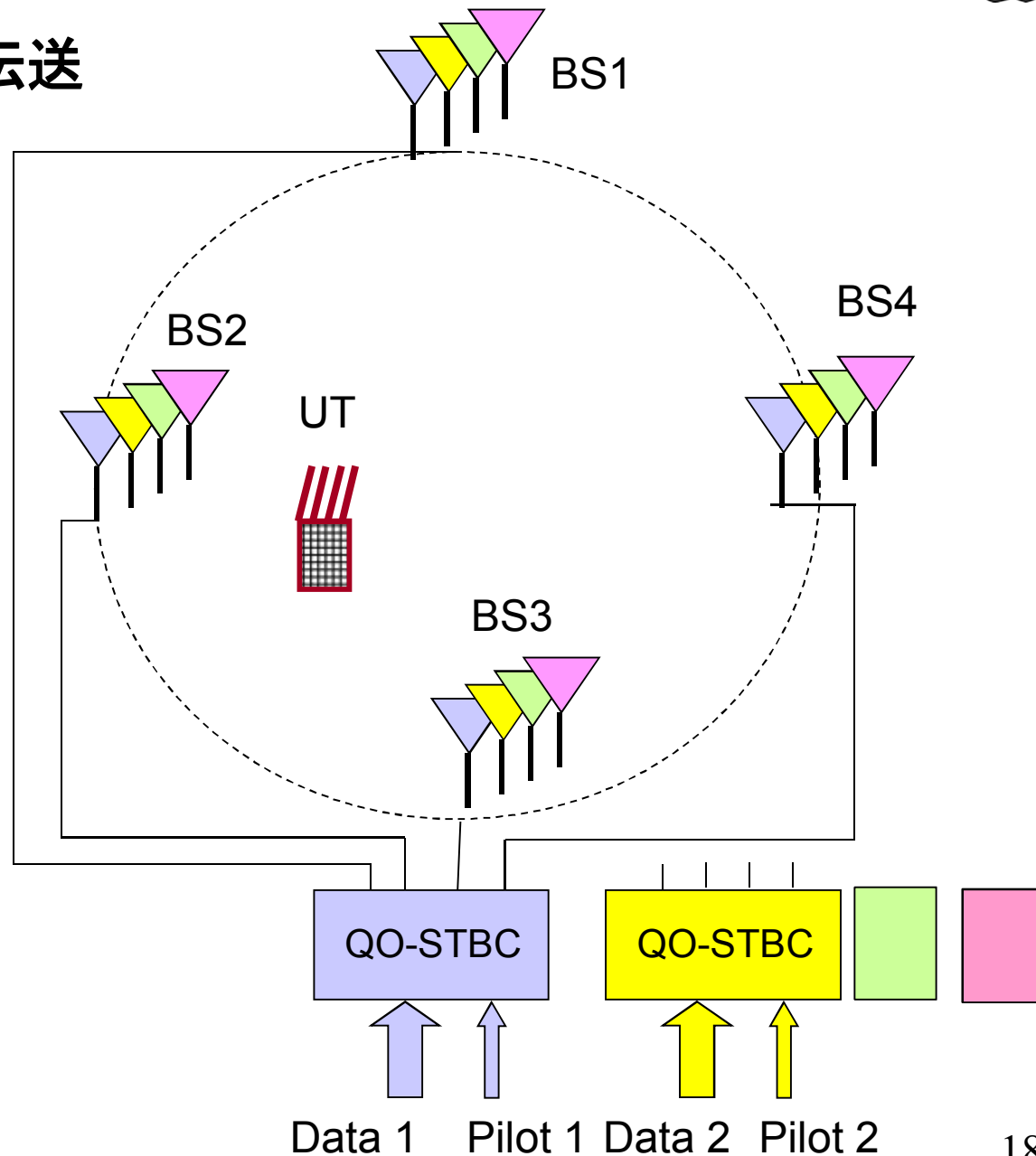
QO-STBCの次元を
上げてゆけば
($M=8, 16, \dots$)
ダイバーシチ効果
を上げることができる



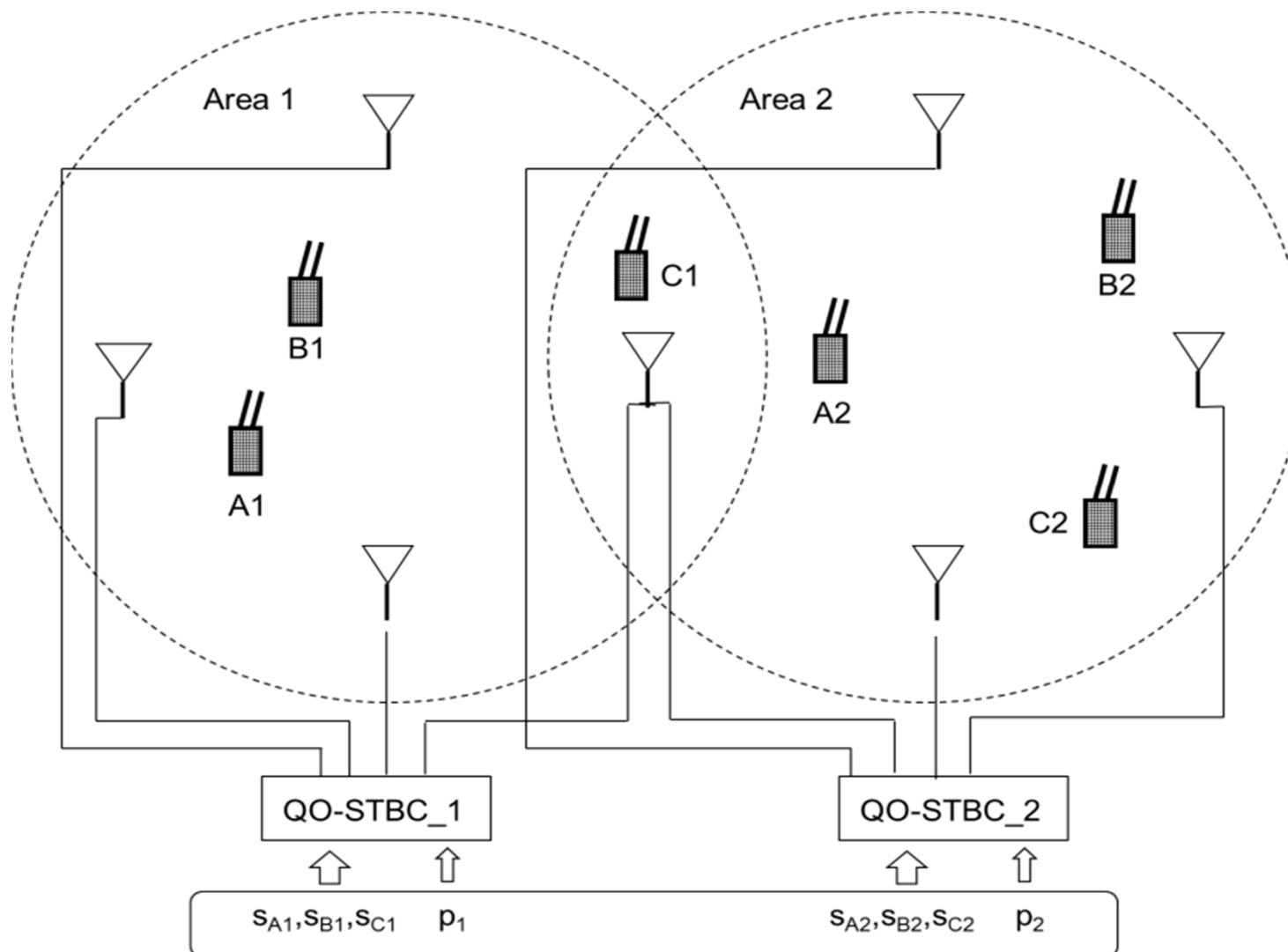
MIMOマルチストリーム伝送 (DAS)

M=4での
4ストリーム伝送

端末のアンテナ数を
増やし干渉波除去能
力を上げ、その分、ス
トリーム数を上げれば、
大容量システムが実
現できる



基地局協調によるマルチユーザ通信



まとめ

PSAM QO-STBC マクロダイバーシチとそのMIMO展開を述べた

ファーストフェージングに耐性を有するPSAM(送信側にCSIを待たないオープンループ制御)

大規模アレーに拡張可能なQO-STBC($4 \rightarrow 8 \rightarrow 16 \rightarrow \dots$)
この大規模化の中に、直交偏波を有効に利用するのが良いかもしれない

ベースステーション協調システム(マクロダイバーシチ、MIMO-DAS、マルチユーザMIMO)への展開

何か、ヒントをつかんでいただければ嬉しい。
特に、これからの時代を牽引する若い世代の人に、