

8.データリンクLDACS1の ビット誤り率特性

監視通信領域

北折 潤、塩見 格一、住谷 泰人、石出 明

目次

- はじめに
- LDACS1概要
- LPESを用いたBER特性実験の概要
- BER特性実験結果
 - AWGN通信環境
 - 周波数シフト耐性
 - フェージング環境
- 考察
- まとめ



はじめに

動態情報、軌道情報、気象情報
等、大量のデータ伝送が必要

- Trajectory Based Operationの実現
 - 通信システムの高速化が課題
- VDLに代わる陸域高速DLとしてLDACS提案
 - LDACS1案とLDACS2案が並立状態
 - それぞれの物理層性能は？
- 物理層の性能検証
 - LPES (LDACS物理層実験システム)を製作
 - 高速伝送、周波数利用効率等でLDACS1優位

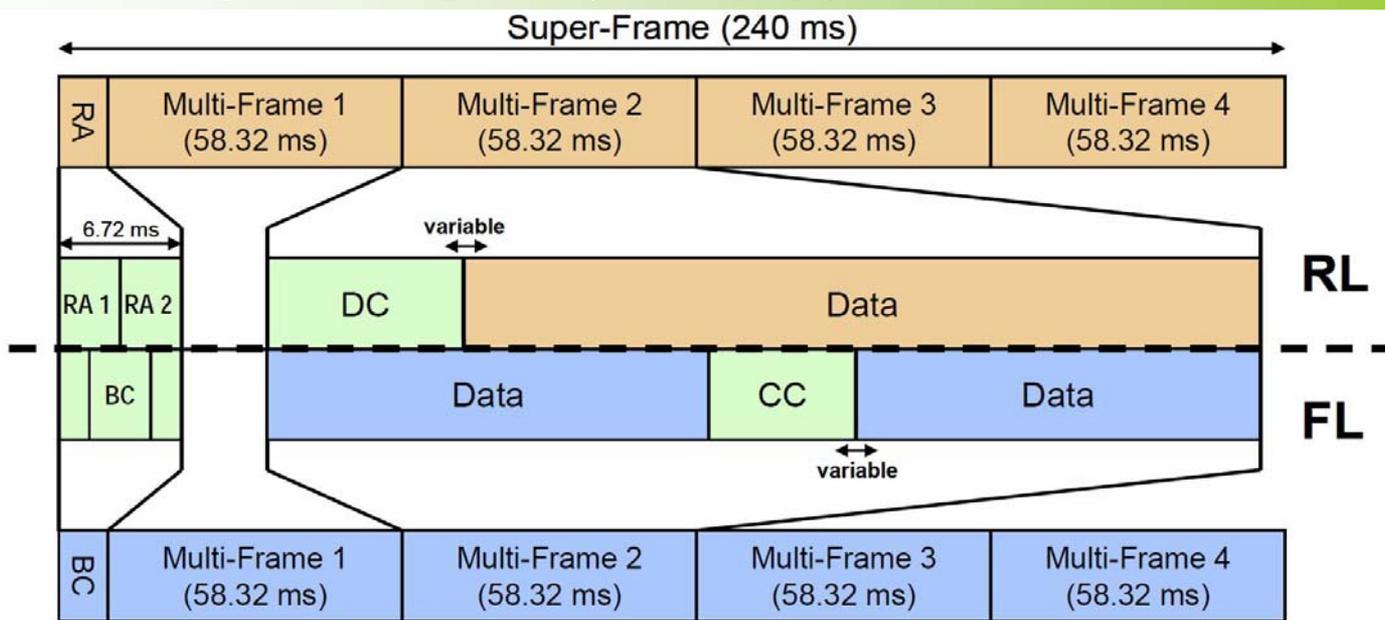
LDACS1のBER(ビット誤り率)
特性について報告

LDACS1概要

地上局→航空機局
いわゆるアップリンク

航空機局→地上局
いわゆるダウンリンク

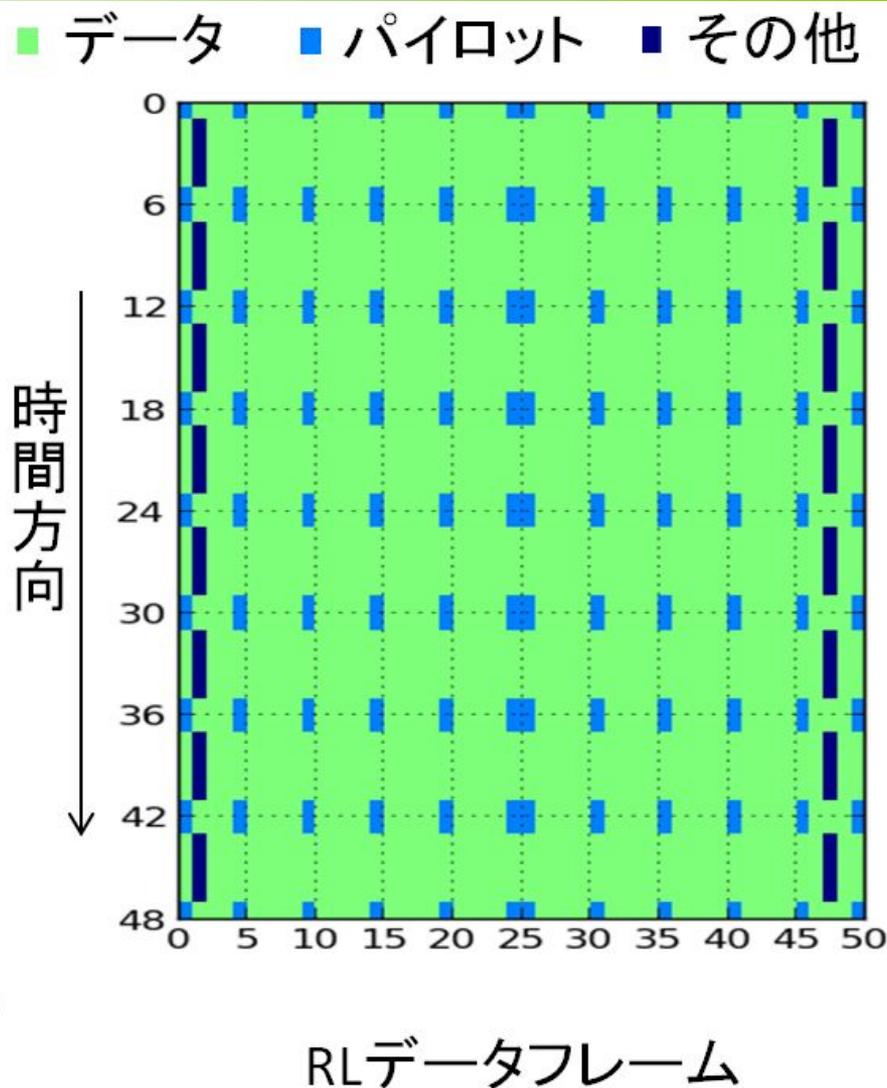
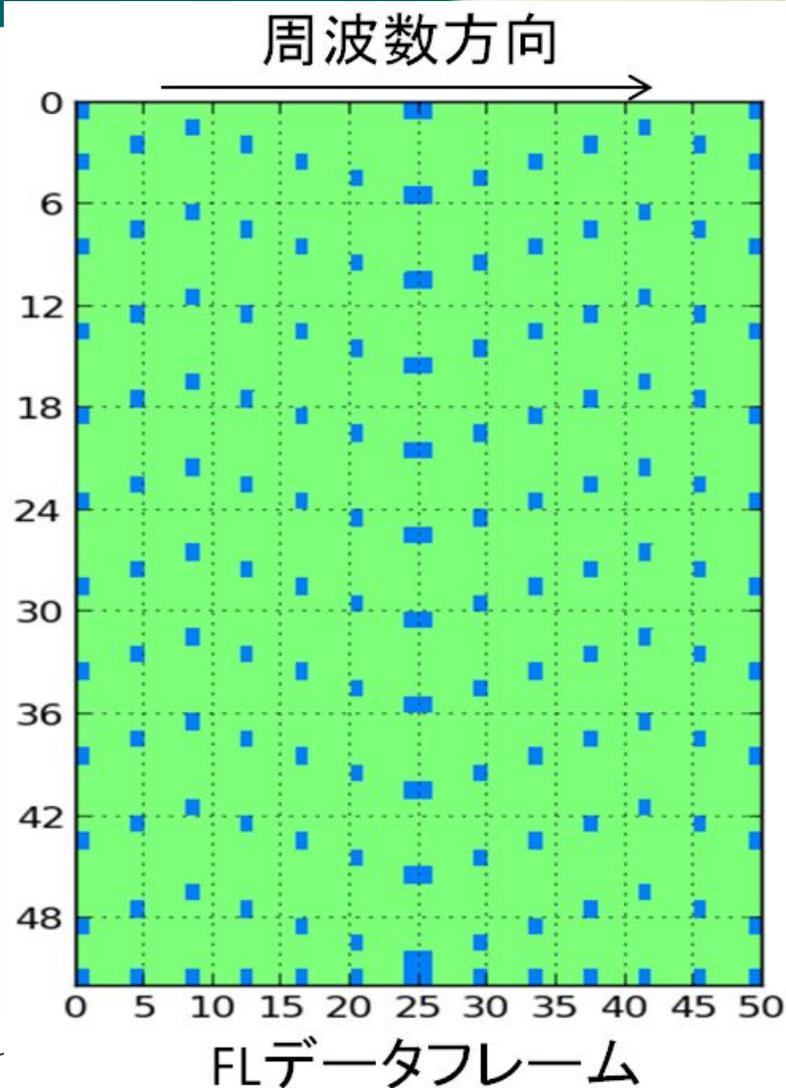
- L-band Digital Aeronautical Communications System type 1
- FDD (周波数分割複信方式)
 - FL (フォワードリンク) と RL (リバーズリンク) は別々のチャンネル
- OFDM (直交周波数分割多重方式)



LDACS1主要諸元

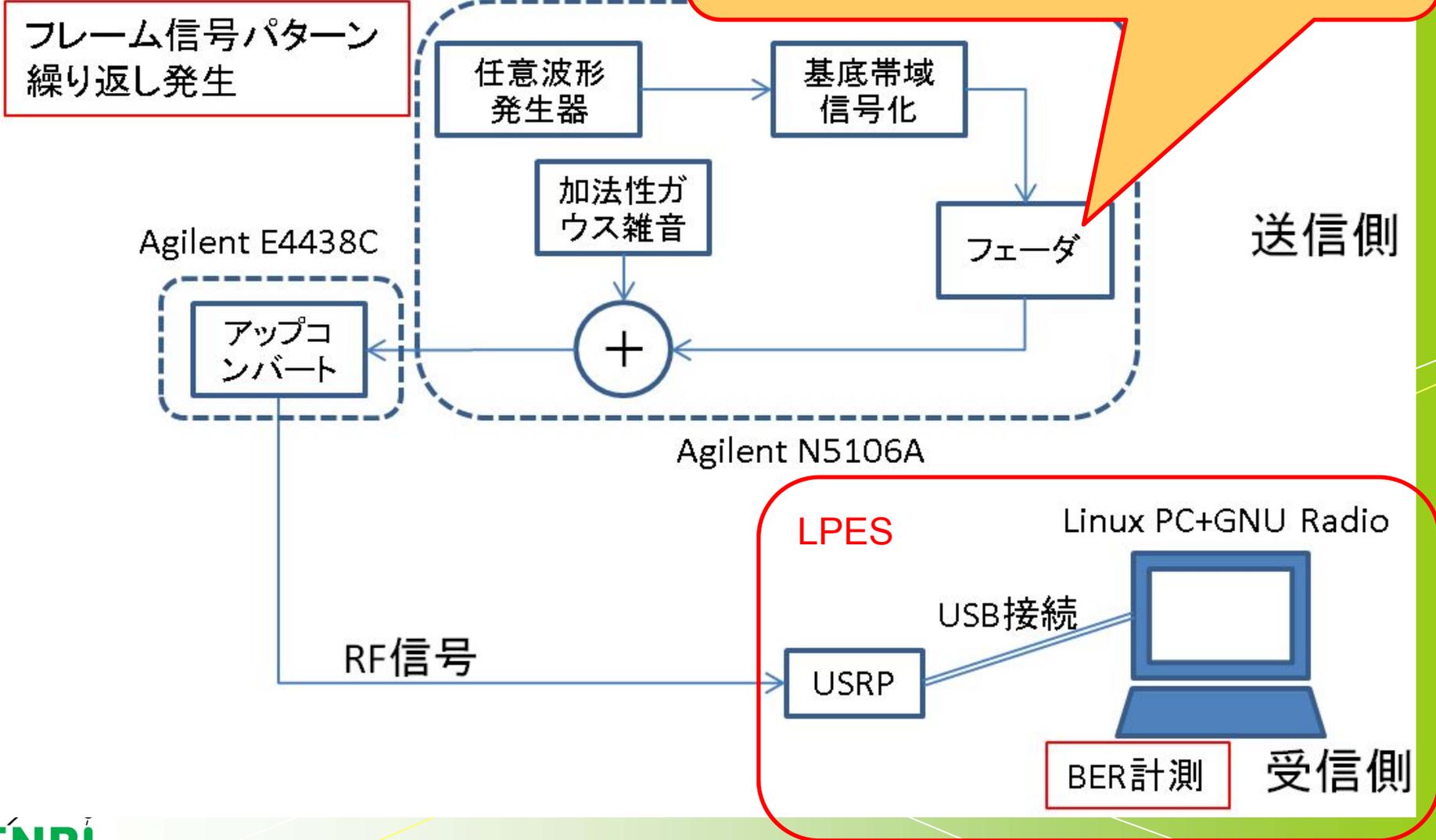
使用周波数帯	960-1164[MHz]
複信方式	FDD
アクセス方式	OFDMA
変調方式	4/16/64QAM+OFDM
チャンネル幅	498.05[kHz] x 2
ビット伝送速度	833.33~2500.0[kbps]
誤り訂正 (外符号) (内符号)	リードソロモン (パンクチャド) 畳み込み
FFTサイズ	64
サンプリング時間	1.6[μs]
OFDMシンボル長	120[μs]
サブキャリア数	50
サブキャリア間隔	9.765625[kHz]

パイロット信号配置例



実験方法概略

スルー状態: AWGN環境実験
周波数シフトのみ: 周波数シフト耐性実験
各パラメータ設定: 各フェージング環境実験



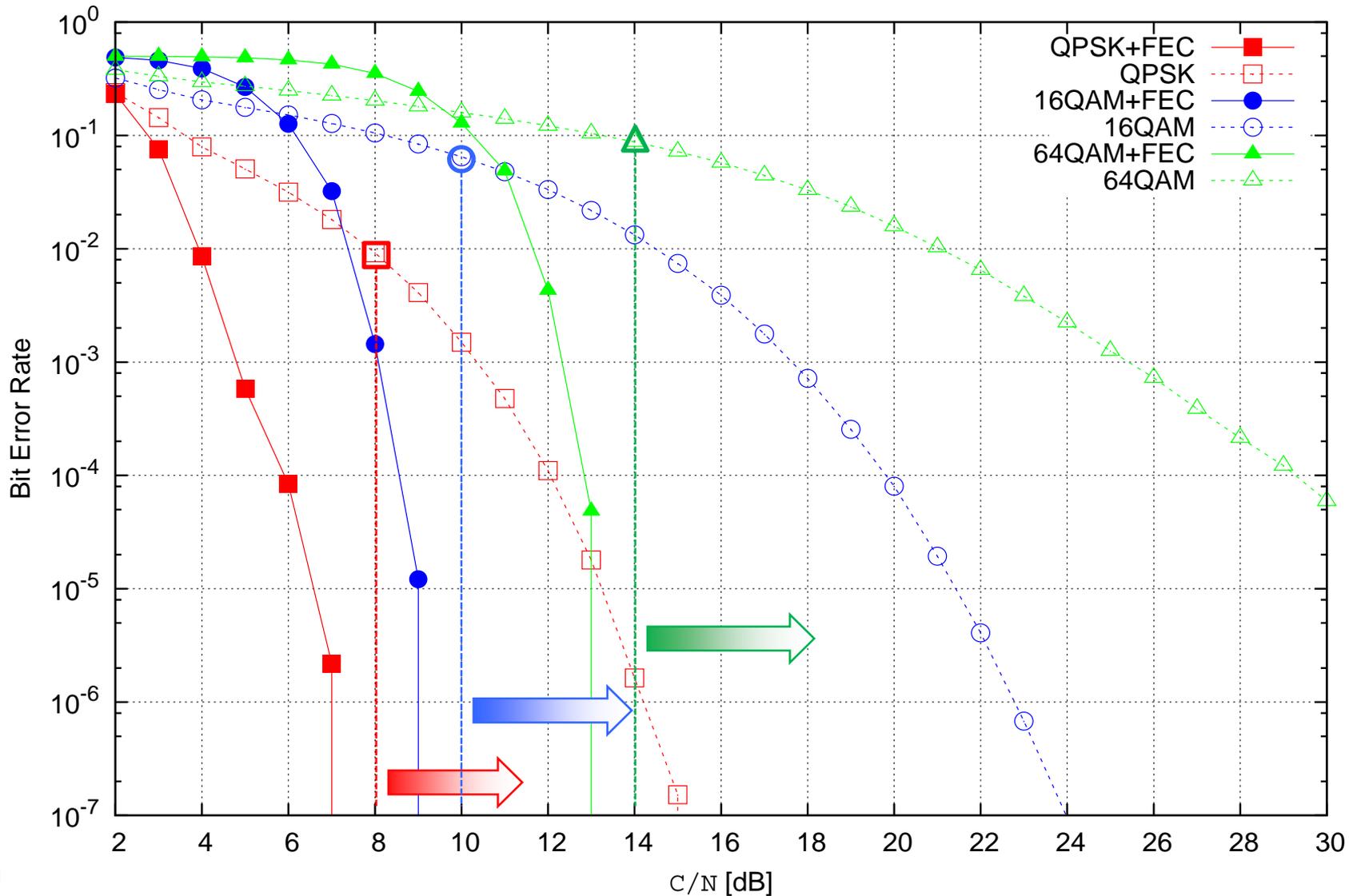
実験装置外観

(上:スペクトラムアナライザ)
中:信号発生器(アップコンバータ)
下:フェージングシミュレータ

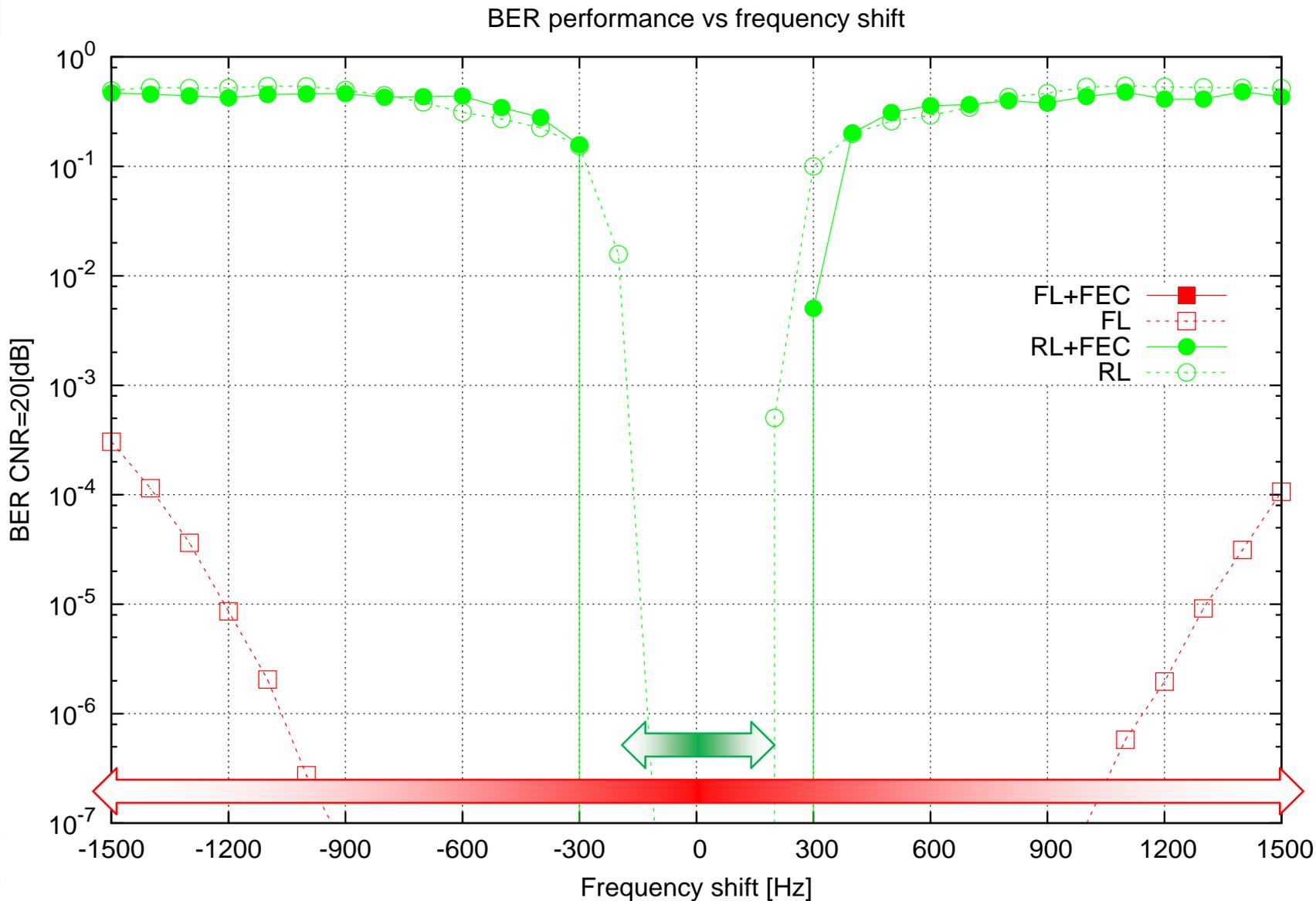
左:受信PC
中央:USRP

BER特性実験結果 (AWGN環境)

LDACS1 BER performances in FL Data frame, under AWGN channel



BER特性実験結果(周波数シフト耐性)



フェージング環境設定

環境名	フェージングタイプ	遅延[μ s]	減衰[dB]	最大ドップラシフト[Hz]
ENR(エンルート)	ピュアドップラ	0	0	997
	レイリー	0.3	16	603
	レイリー	15	22	-594
TM(ターミナル)	ライス(K=10[dB])	0	0	498
APT(空港面)	レイリー	0	0	330

EUROCONTROL. Updated LDACS1 System Specification, Appendix A
をもとに近いパラメータを設定した。以下はおおよその想定条件

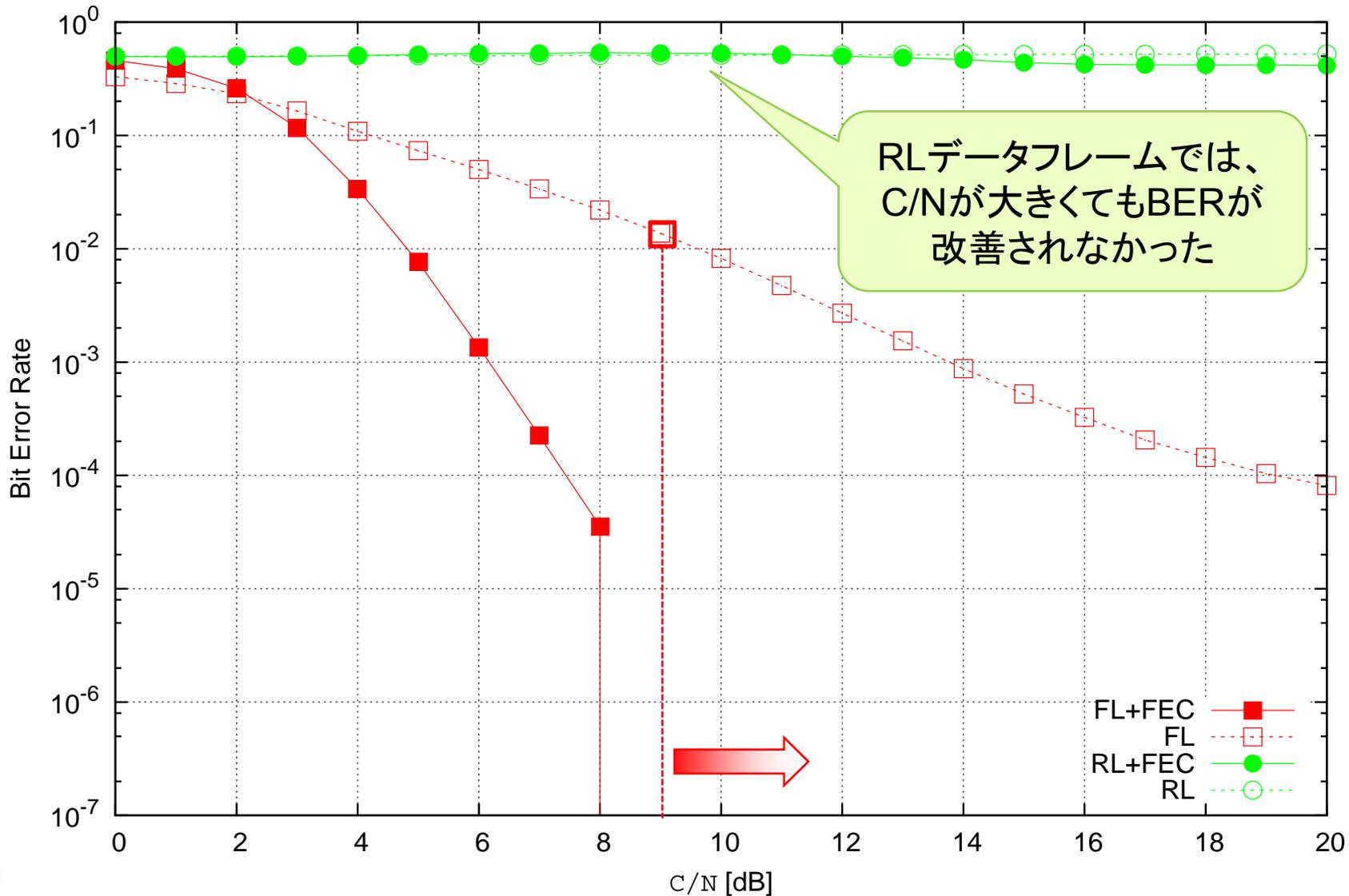
ENR: 移動速度600ノット、地上局・航空機局間に障害物なし、地面等の反射による遅延波あり

TM: 移動速度300ノット、地上局・航空機局間に障害物なし

APT: 移動速度200ノット、地上局・航空機局間に障害物あり

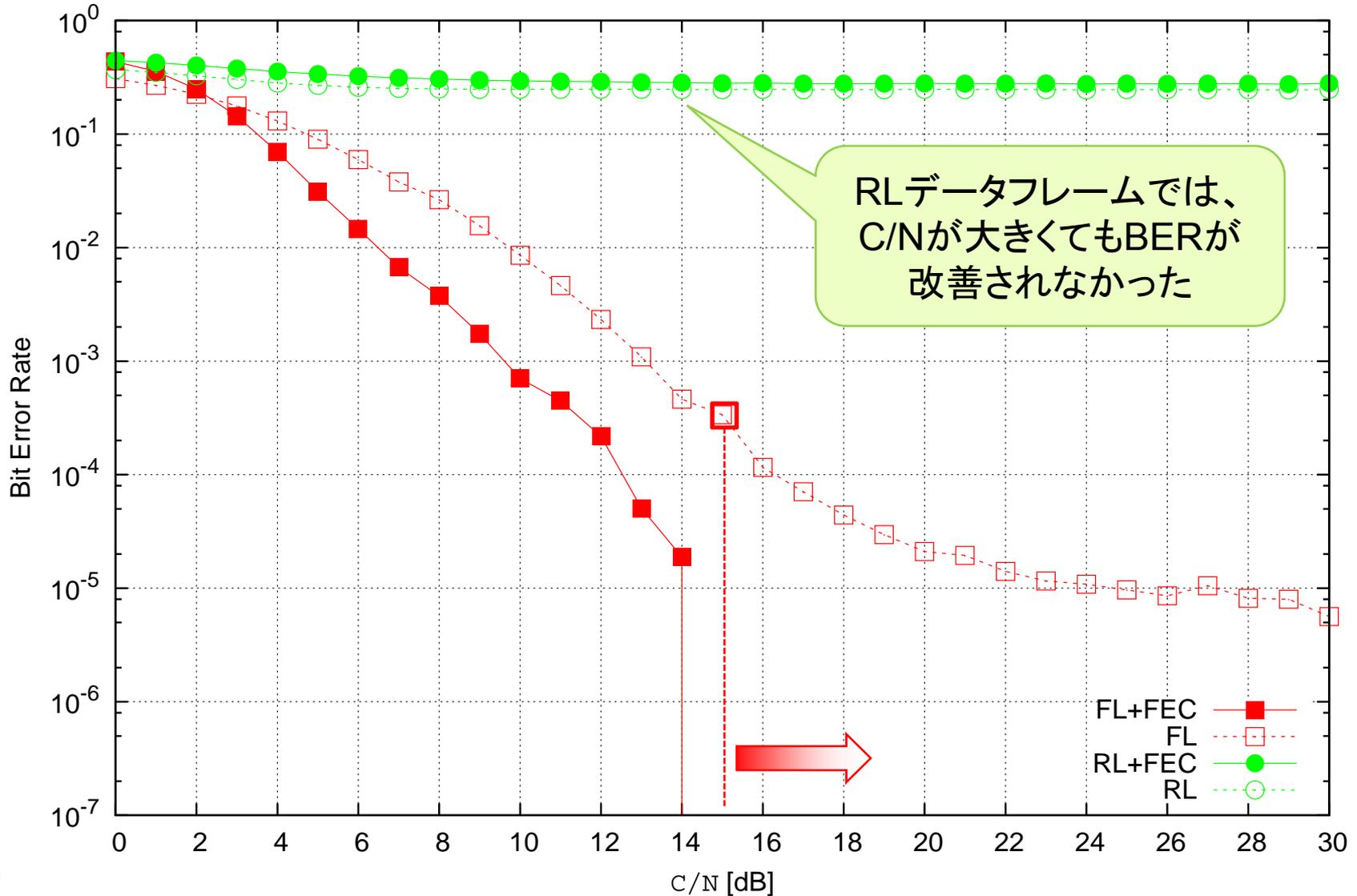
BER特性実験結果 (ENR環境)

LDACS1 BER performances (ENR)



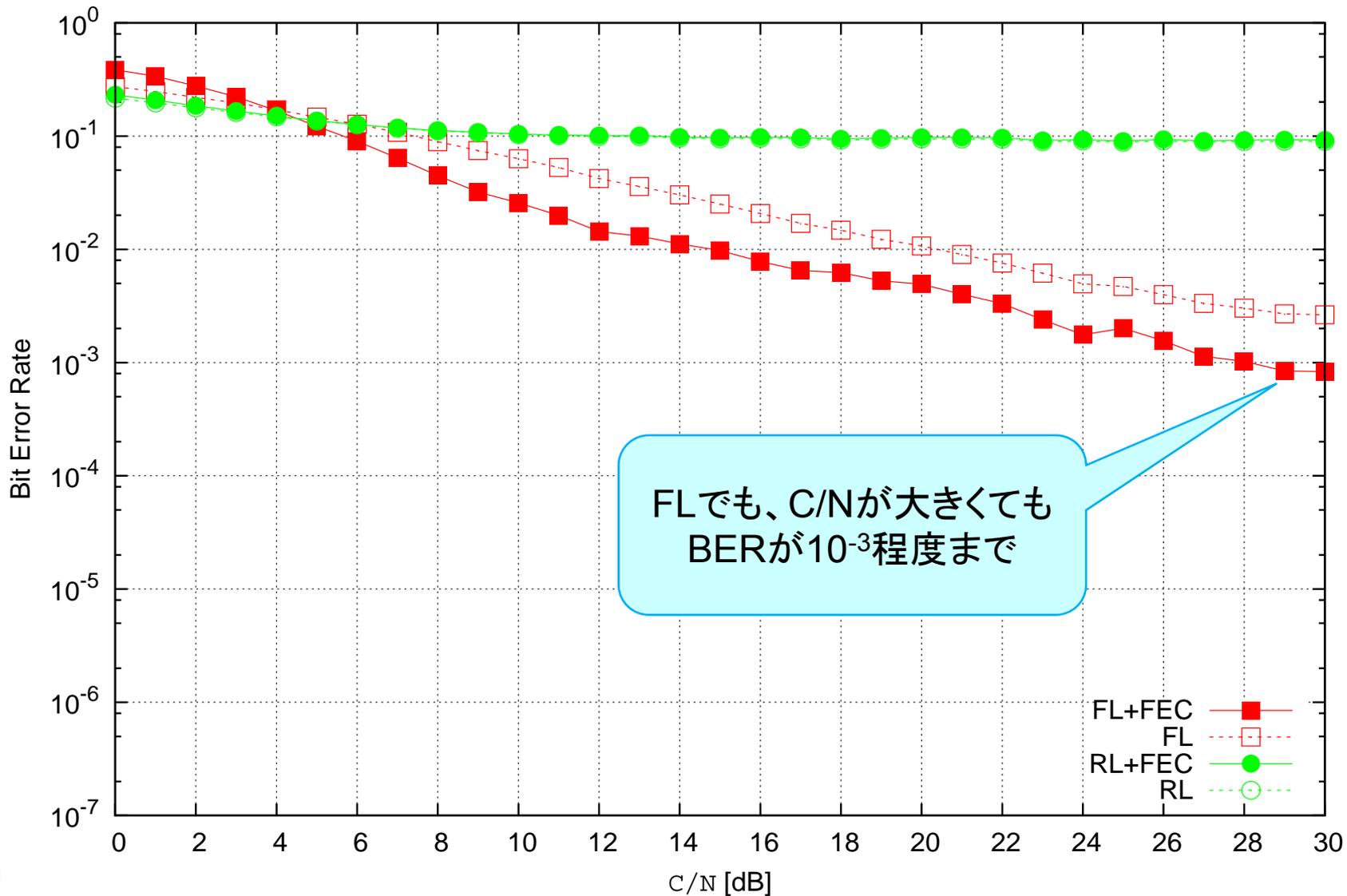
BER特性実験結果(TM環境)

LDACS1 BER performances (TM)



BER特性実験結果 (APT環境)

LDACS1 BER performances (APT)



FLでも、C/Nが大きくても
BERが 10^{-3} 程度まで

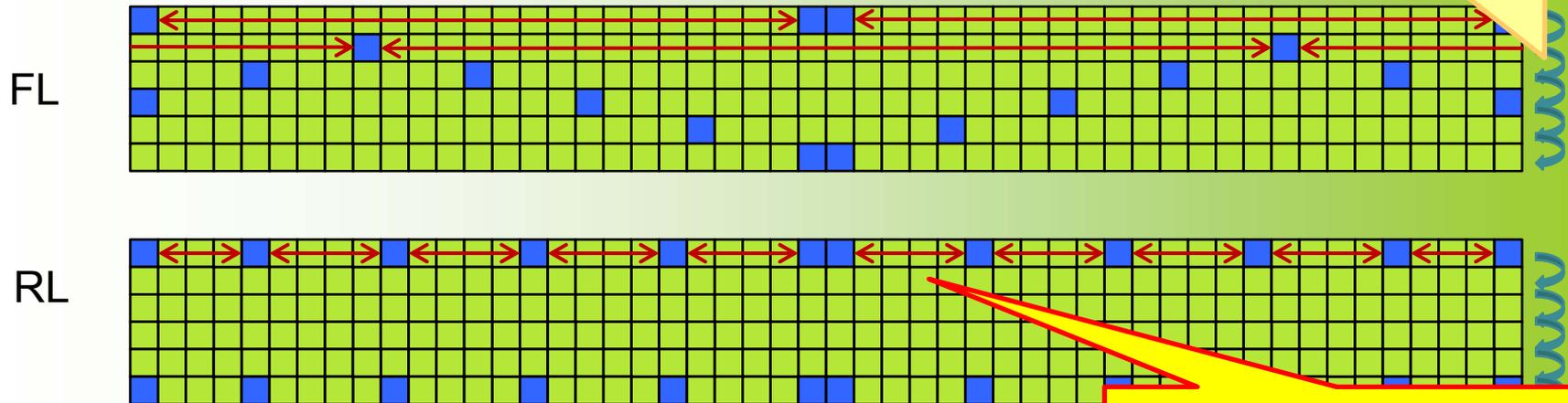
考察

- BER特性が大きく異なる要因
 - 等化器の特性か？（パイロット信号配置を含む）
 - Decision Feedback Equalizer: 1つ前のOFDMシンボルでの伝搬路推定値を更新する等化方法
- FLデータフレーム
 - OFDMシンボル毎にパイロット信号を配置し、各シンボルでの伝搬路推定が可能
- RLデータフレーム
 - パイロット信号の時間的配置が飛び飛びのため、各シンボルの伝搬路推定が不十分

パイロット信号等化器

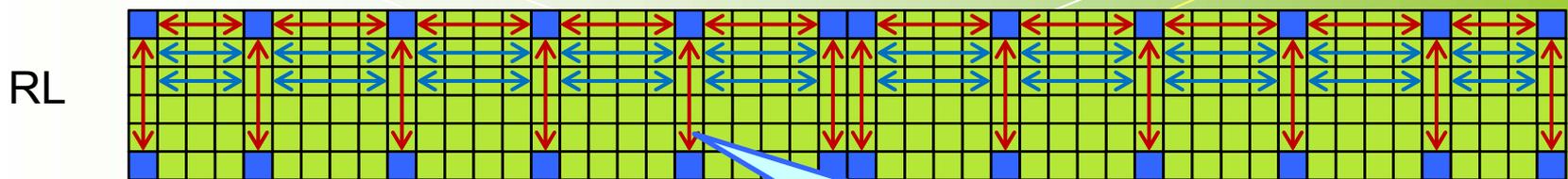
1つ前のOFDMシンボルで推定したチャンネル状態を更新

DFE等化器



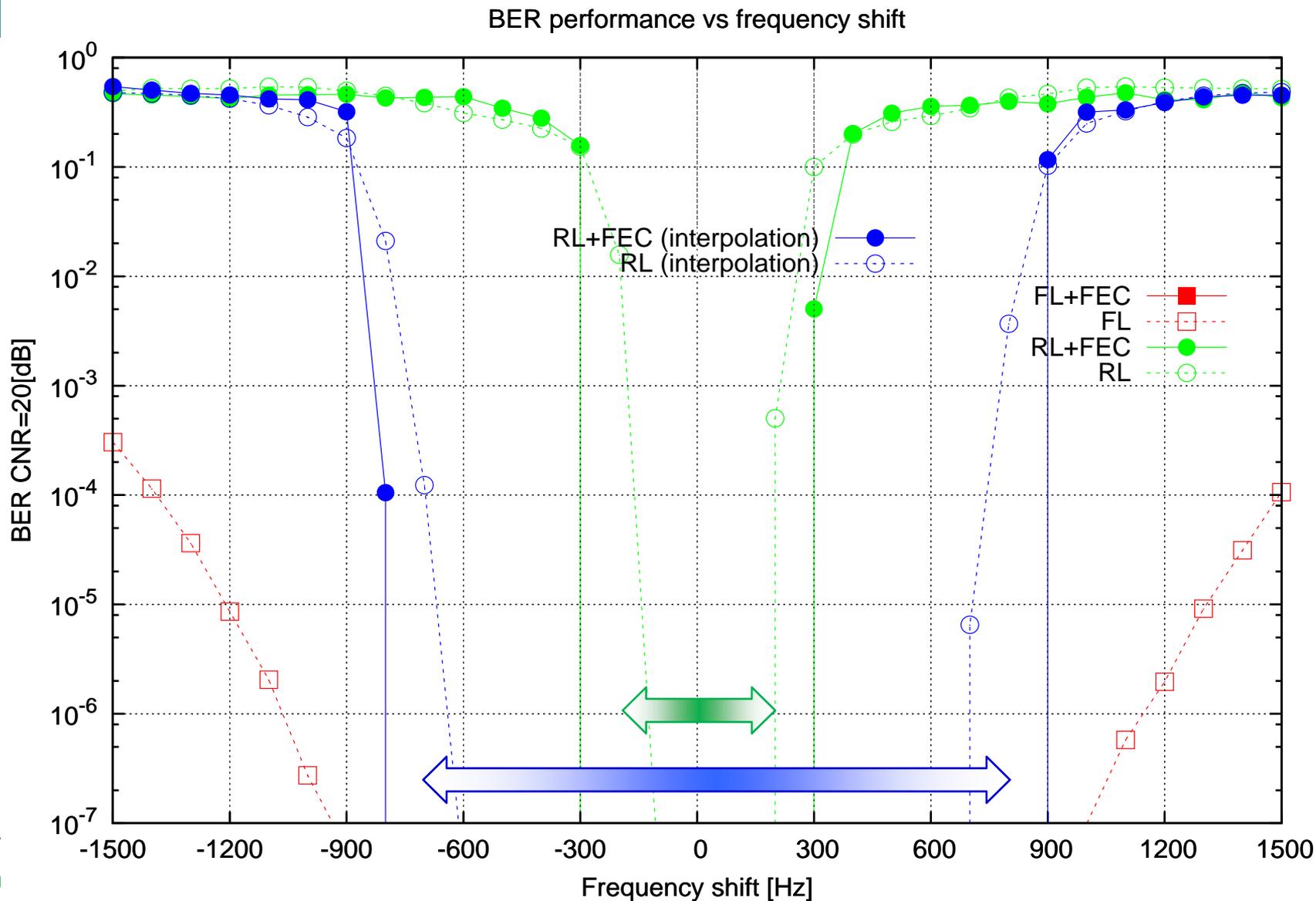
RLではパイロット信号のないOFDMシンボルがある

内挿等化器



一旦、先に数シンボルをバッファに入れ内挿計算で等化する

周波数シフト耐性(内挿等化)



考察(周波数シフト耐性)

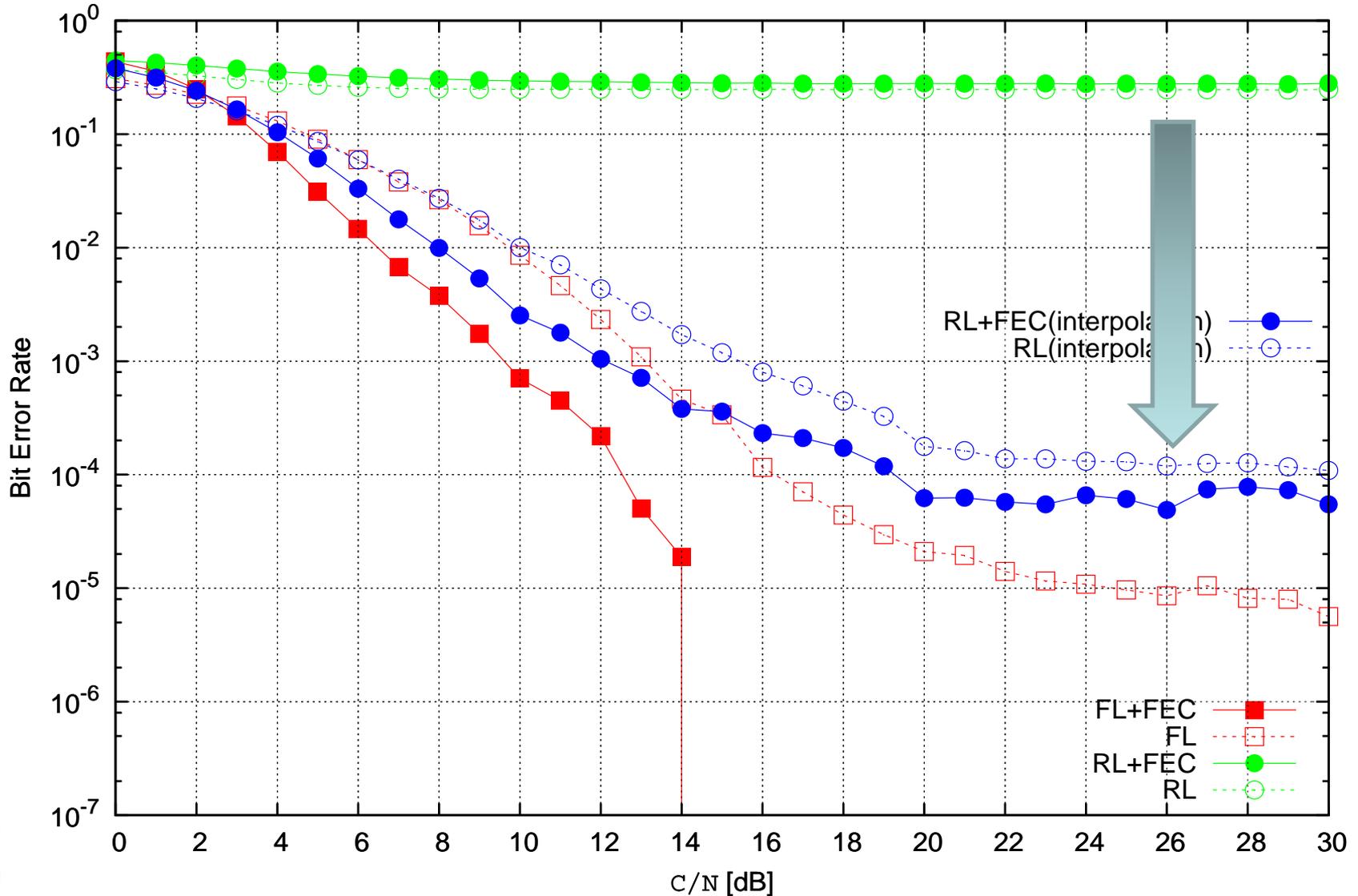
- 内挿等化器を用いた比較実験
 - RL周波数シフト耐性がDFE等化器に比べて ± 700 [Hz]程度まで改善
 - 内挿処理のためパイロット信号に近いOFDMシンボルほど等化が正確
 - しかし、RLのシフト耐性は航空機局の移動速度を考えると不十分
 - パイロット信号配置の変更などでシフト耐性の改善

考察(フェージング環境下BER特性)

- FLデータフレーム
 - レイリーフェージング (APT) 環境
 - C/Nが高くててもBERが大
 - プロトコル上位層での再送機構等によるデータ補償を併用する必要あり
 - 強い直接波を受けられる環境 (ENR、TM)
 - 高C/Nでは誤り訂正が効き、BERを抑えられた

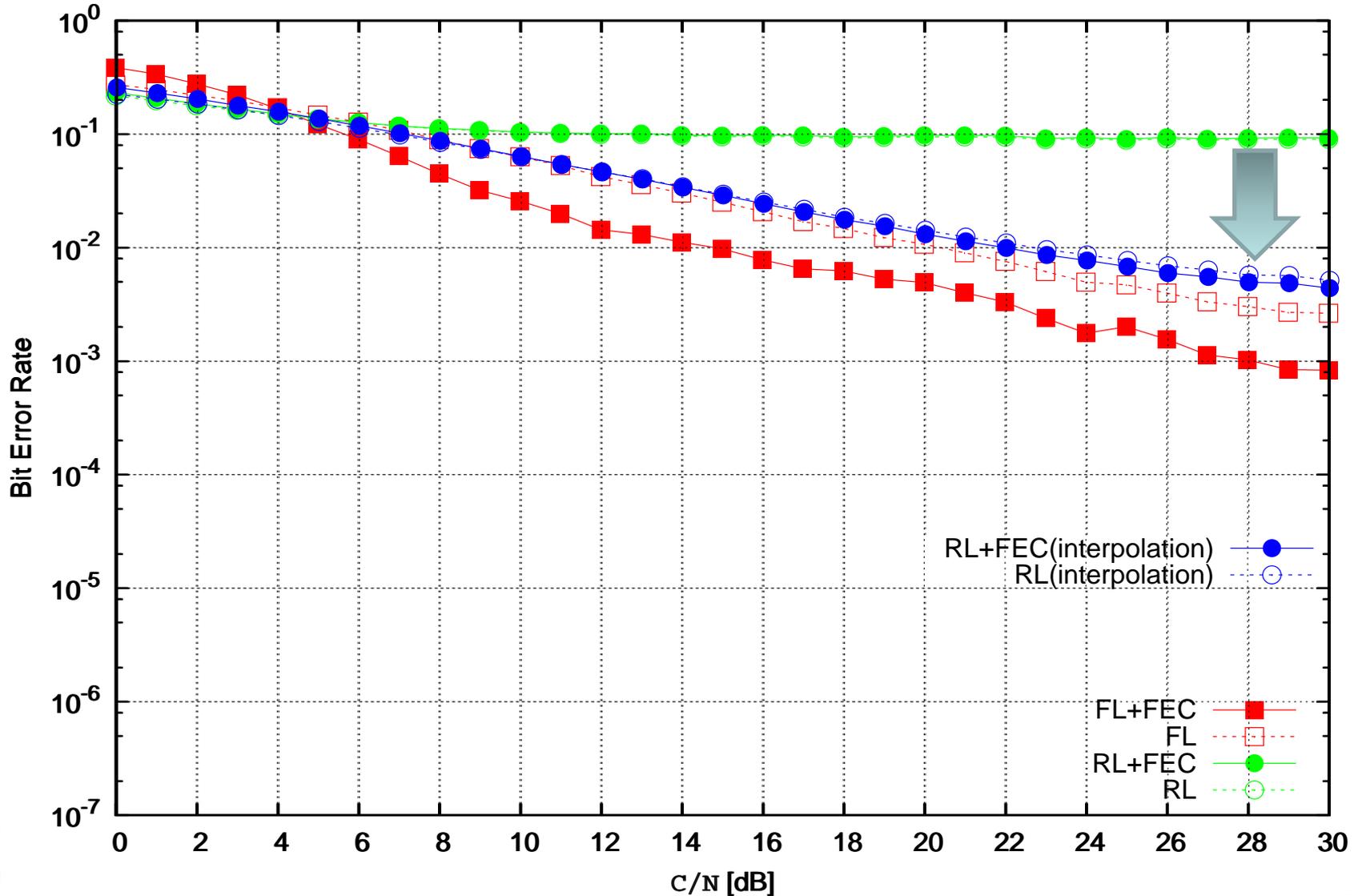
BER特性実験結果(TM環境)

LDACS1 BER performances (TM)



BER特性実験結果 (APT環境)

LDACS1 BER performances (APT)



考察(フェージング環境下BER特性-2)

• RLデータフレーム

– DFE等化器

- 環境条件によらず最良値でも誤り訂正後BERが0.08程度以上
- ビット誤りが多すぎてデータ伝送に不適

– 内挿等化器

- ENR: C/N=30[dB]で誤り訂正後BERが0.3程度。直接波のドップラシフトが周波数シフト耐性の範囲を超えていることが原因
- APTとTM: BER特性の改善は見られたが、いずれもFLの結果より悪かった。レイリーフェージング環境ではデータの再送が頻発する可能性がある。

まとめ

- AWGN環境、周波数シフト環境、フェージング環境下でのLDACS1のBER特性を評価した。
- LDACS1はFLとRLでフレーム構成及びパイロット信号配置が異なり、DFE等化器では特にRLで十分なBER特性が得られなかった。
- APT環境では誤り訂正の効果が限定的で、訂正しきれないデータについて再送要求が頻発する可能性がある。
- 今後は、FLとRLにそれぞれ適したパイロット信号配置や等化器を求め、評価していく予定である。等化以外にも信号同期処理などについても検証予定である。