

# LDACS1のビット誤り率特性の改善

---

監視通信領域  
北折 潤、塩見 格一

- はじめに
- LDACS1概要
- フェージング環境下のLDACS1 BER特性
- 改善策
  - 実験
  - 考察
- まとめ



## Air Navigation Conference/11

- 十分な通信性能
- ATMの効率化を考慮した通信の高度化  
が必要と勧告

## Action Plan 17

- 洋上・陸域・空港面それぞれの領域に適切な通信システムを選定
- 陸域向けシステム4種類はどれもLバンドを使用



4種類を2種類にまで集約

L-band Digital Aeronautical Communications System  
Type 1/Type 2

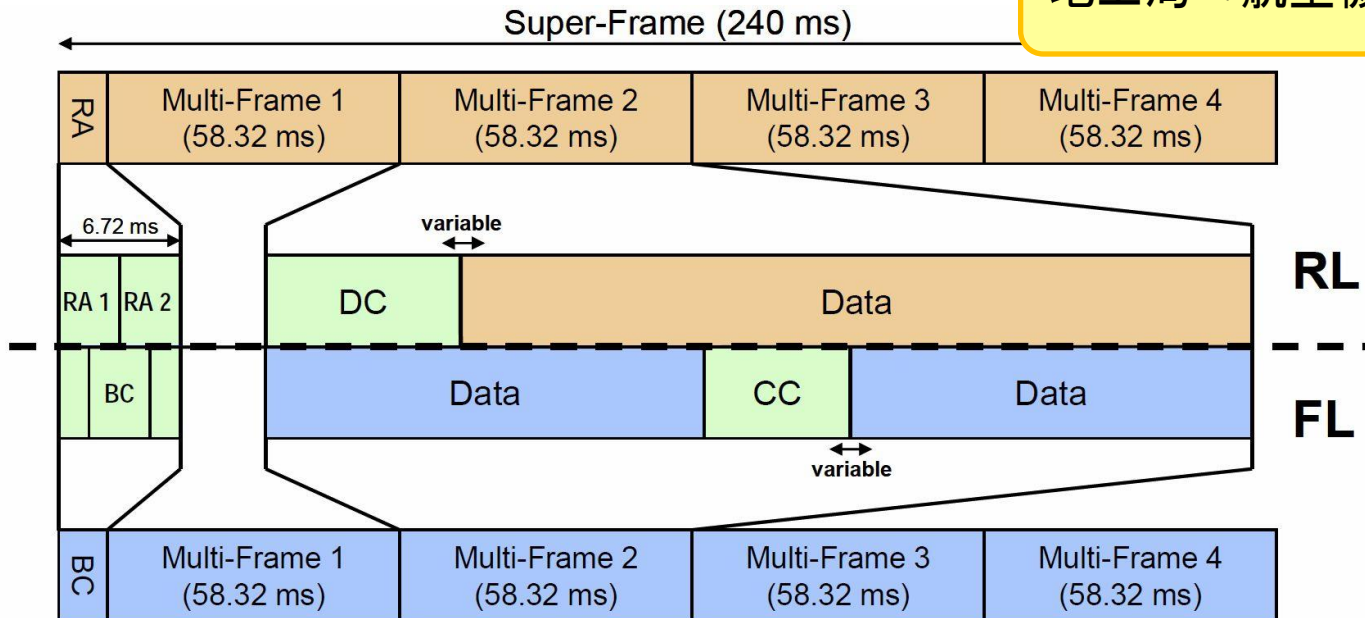
- VDLに代わる陸域高速DLとして**LDACS**提案
  - 他のARNSシステムとの共用問題
  - LDACS1とLDACS2に互換性なし
  - 高速伝送、周波数利用効率等でLDACS1優位
- **LPES** (LDACS物理層実験システム)
  - フェージング環境下でLDACS1のBER特性劣化
  - リンク方向によってBER劣化度合いが異なる

受信機側での信号処理法を見直し、  
フェージング環境下でのLDACS1の  
BER改善を図る

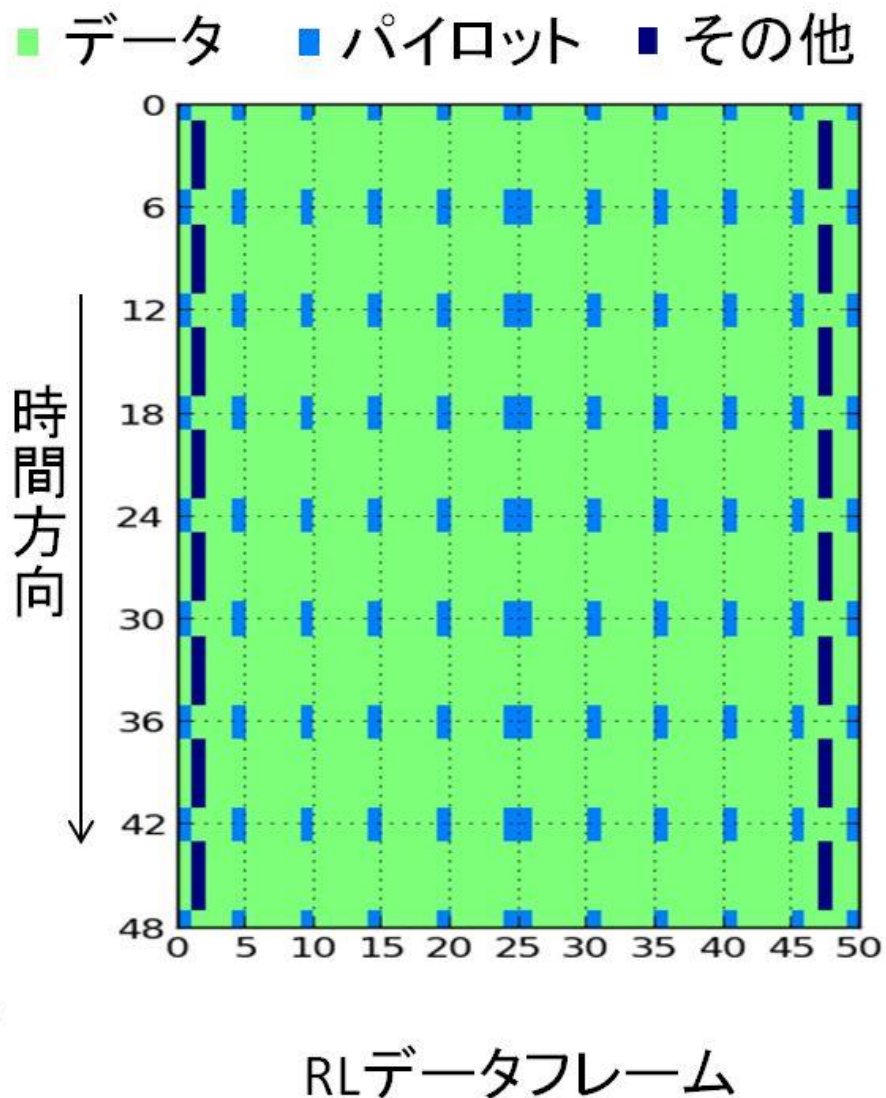
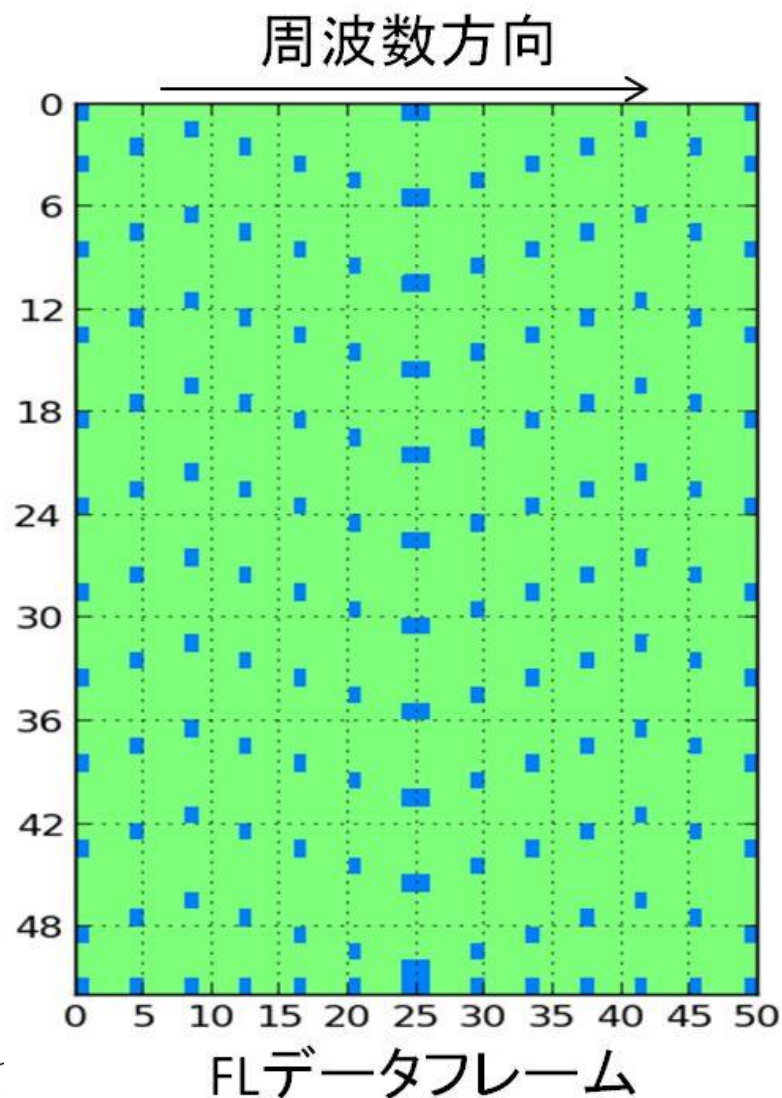
- OFDM(直交周波数分割多重方式)
- FDD(周波数分割複信方式)
  - FL(フォワードリンク)とRL(リバーズリンク)は別々の周波数チャンネル

航空機局→地上局

地上局→航空機局



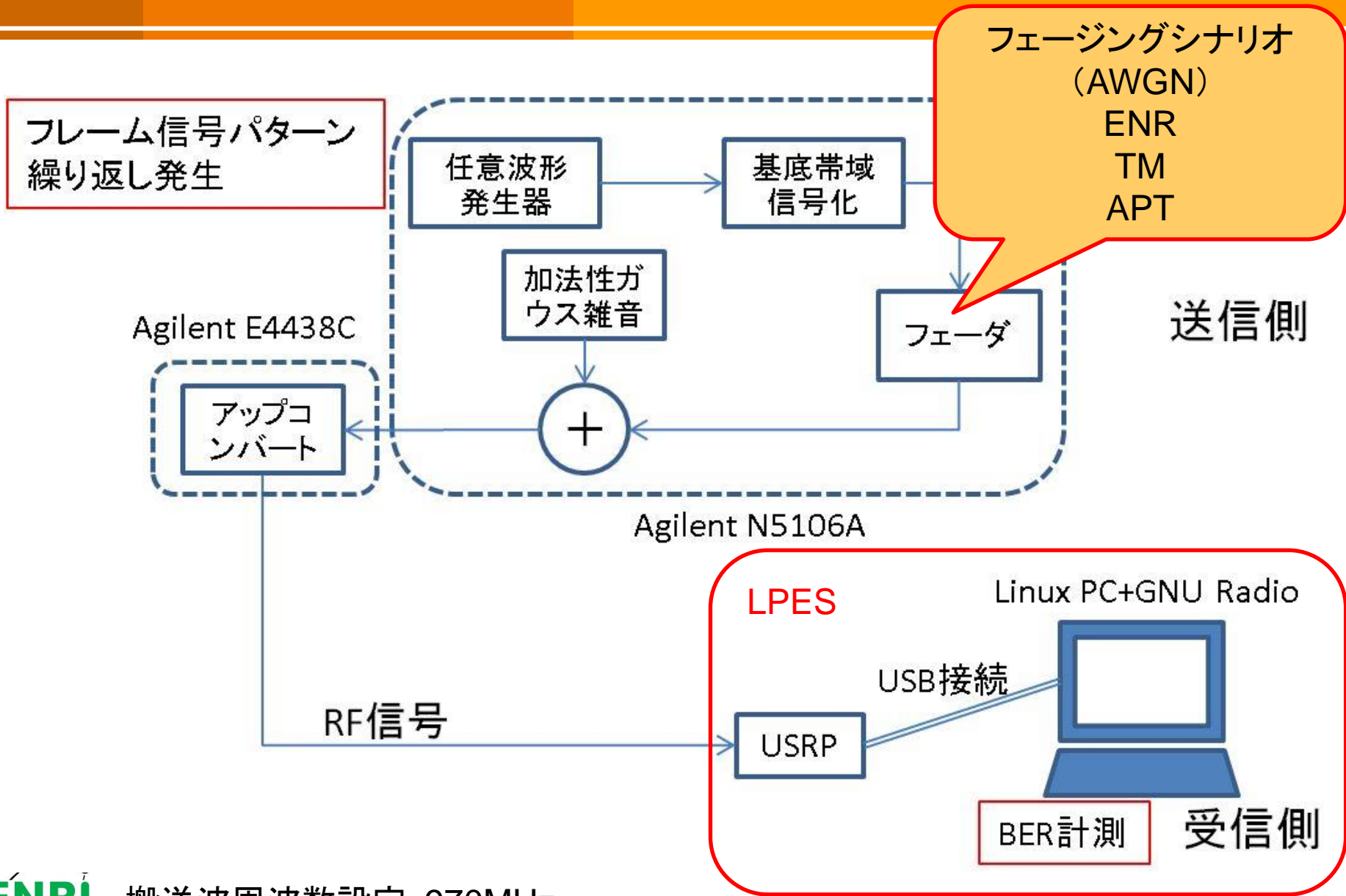
# LDACS1信号配置図



# 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]

# BER特性測定実験環境



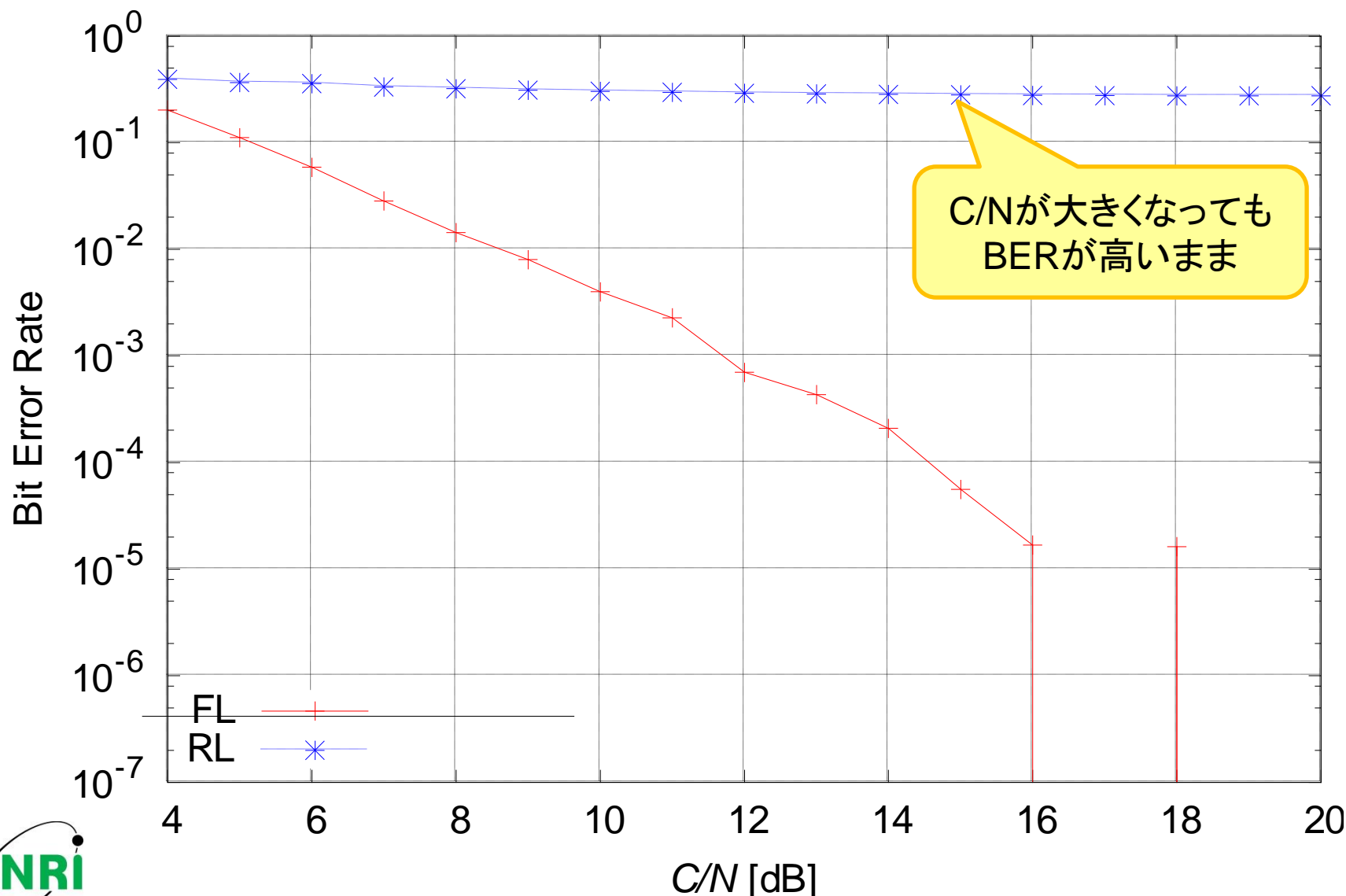


# フェージング環境設定

環境名	設定
(AWGN(加法性白色 ガウス雑音))	フェージングなし 直接波のみ 移動体速度(0)
ENR(エンルート)	Riceフェージング(Kファクタ 15dB) 直接波と2遅延波(0.3 $\mu$ s, 15 $\mu$ s) 移動体速度(600knot)
TM(ターミナル)	Riceフェージング(Kファクタ 10dB) ドップラモデル(Jakes) 移動体速度(300knot)
APT(空港面)	Rayleighフェージング ドップラモデル(Jakes) 移動体速度(200knot)

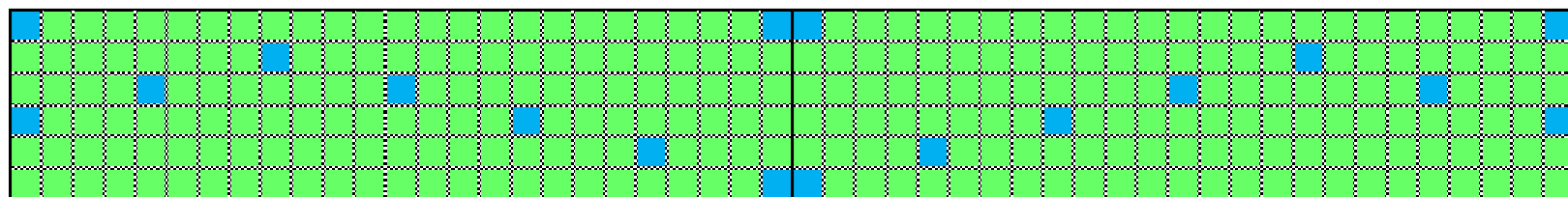
# BER特性実験結果 (TM環境、初期実装)

## LDACS1 BER performances (TM, FEC)



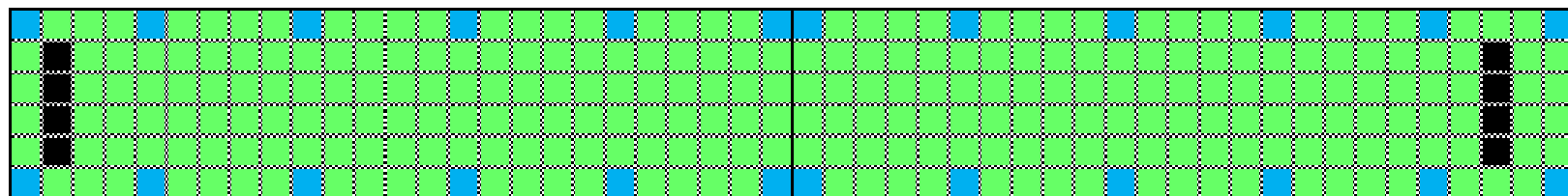
# FLとRLのBER特性差の要因

- 判定帰還型等化器
  - 1OFDMシンボル前の伝搬路推定値を現在の推定値で更新する等化方法
- FLデータフレーム（一部）



パイロット信号の時間的配置がOFDMシンボル毎

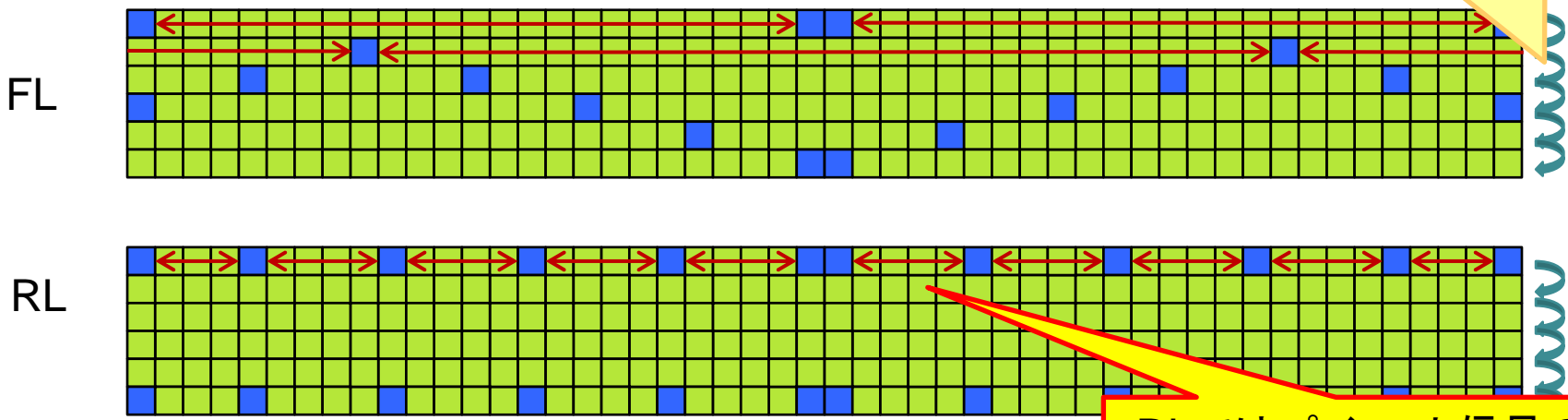
- RLデータフレーム



パイロット信号の時間的配置が飛び飛び

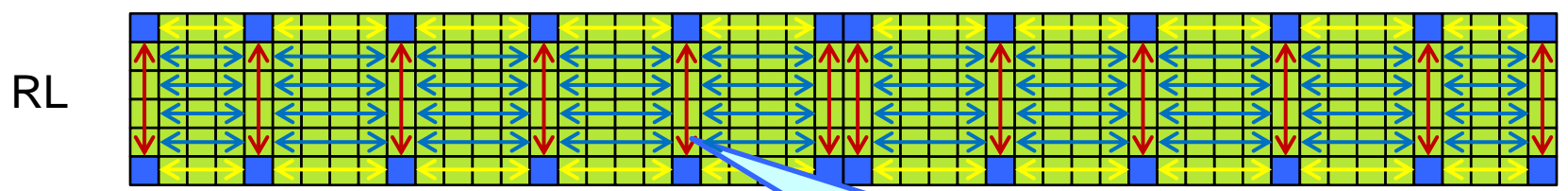
1つ前のOFDMシンボルで推定した伝搬路状態を更新

## 判定帰還型等化器



RLではパイロット信号のないOFDMシンボルがある

## 内挿型等化器



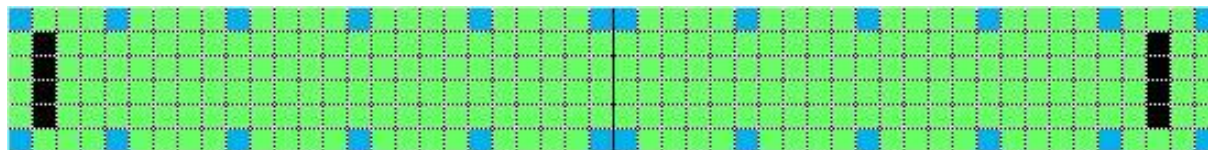
1番目赤、2番目黄、3番目青

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

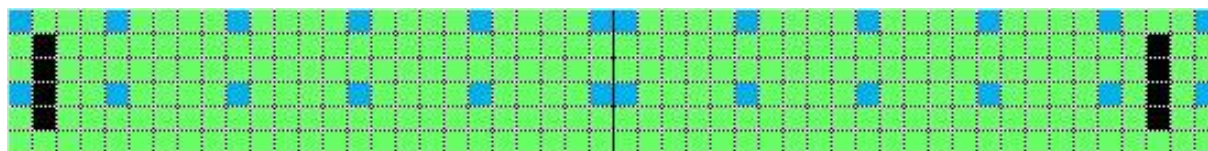
# 実装等化器一覧

等化器番号	等化方式	補間計算	補間対象行列
1	判定帰還型、ゼロフォーシング	線形按分	$H^{-1}$
2	内挿型、ゼロフォーシング	線形按分	H
3	内挿型、ゼロフォーシング	線形按分	H
4	内挿型、ゼロフォーシング	位相按分	H
5	判定帰還型、ゼロフォーシング	位相按分	$H^{-1}$
6	判定帰還型、最小平均二乗誤差	位相按分	$H^{-1}$
7	内挿型、最小平均二乗誤差	位相按分	H
8	判定帰還型、最小平均二乗誤差	位相按分	H

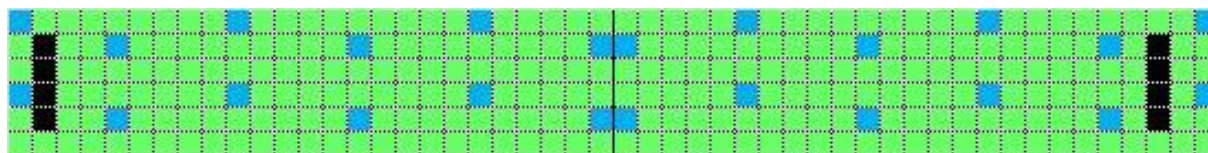
# RLデータフレームパイロット信号配置パターン



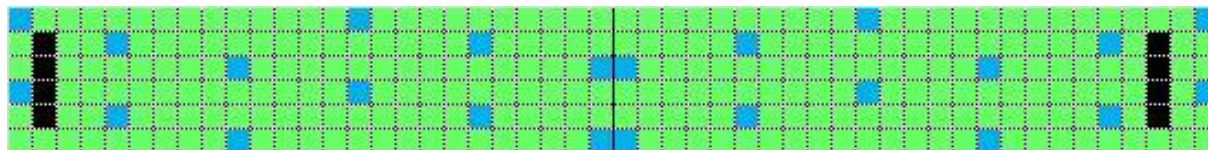
オリジナルパターン



パターン1



パターン2



パターン3

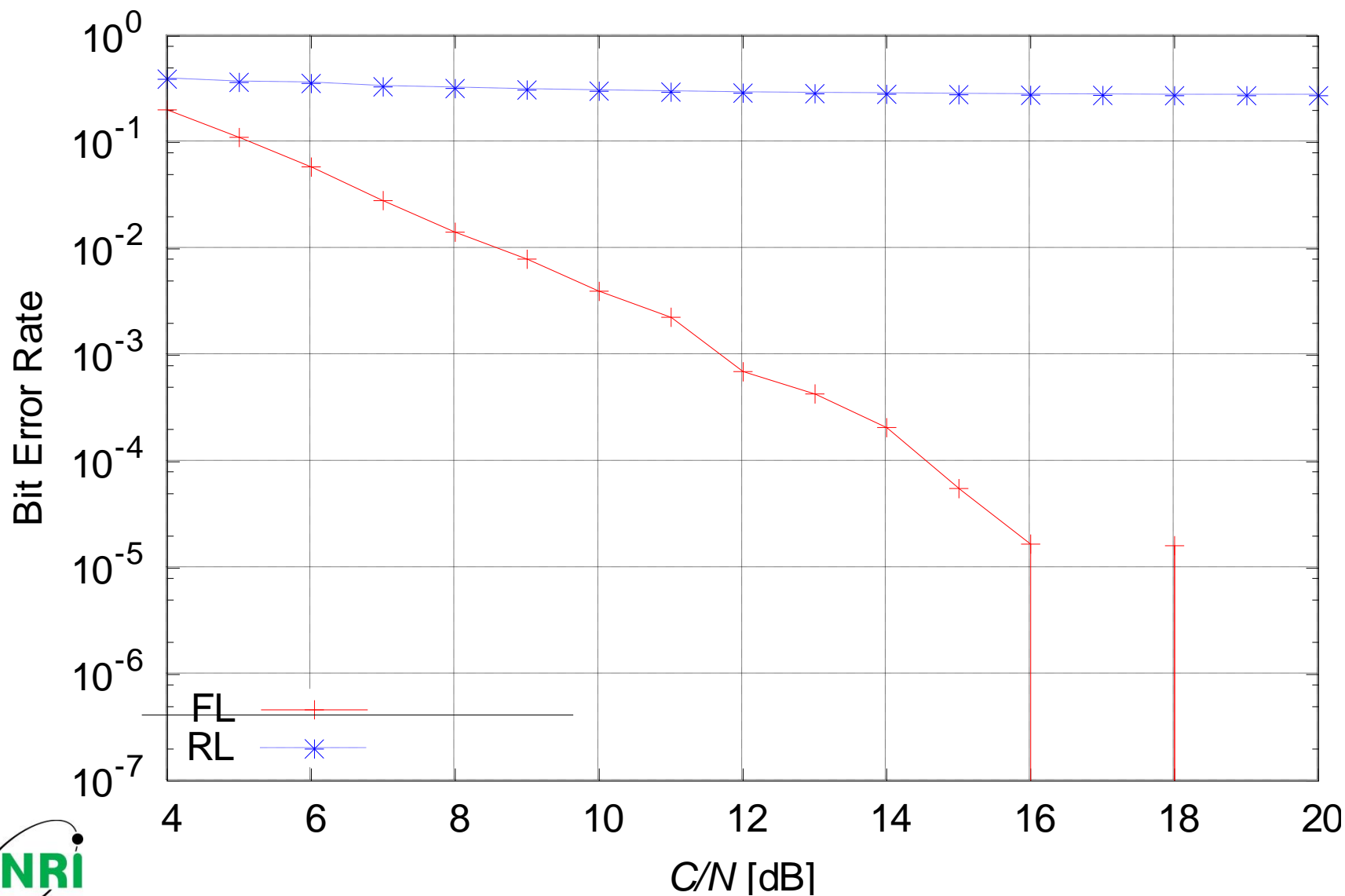
# 結果比較概要

等化器番号	等化方式	補間計算	補間対象行列	BER特性改善度
1	判定帰還型、ゼロフォーシング	線形按分	$H^{-1}$	○
2	内挿型、ゼロフォーシング	線形按分	H	△
3	内挿型、ゼロフォーシング	線形按分	H	×
4	内挿型、ゼロフォーシング	位相按分	H	×
5	判定帰還型、ゼロフォーシング	位相按分	$H^{-1}$	○
6	判定帰還型、最小平均二乗誤差	位相按分	$H^{-1}$	○
7	内挿型、最小平均二乗誤差	位相按分	H	△
8	判定帰還型、最小平均二乗誤差	位相按分	H	○

+パイロットパターン3

# BER特性実験結果(TM環境)

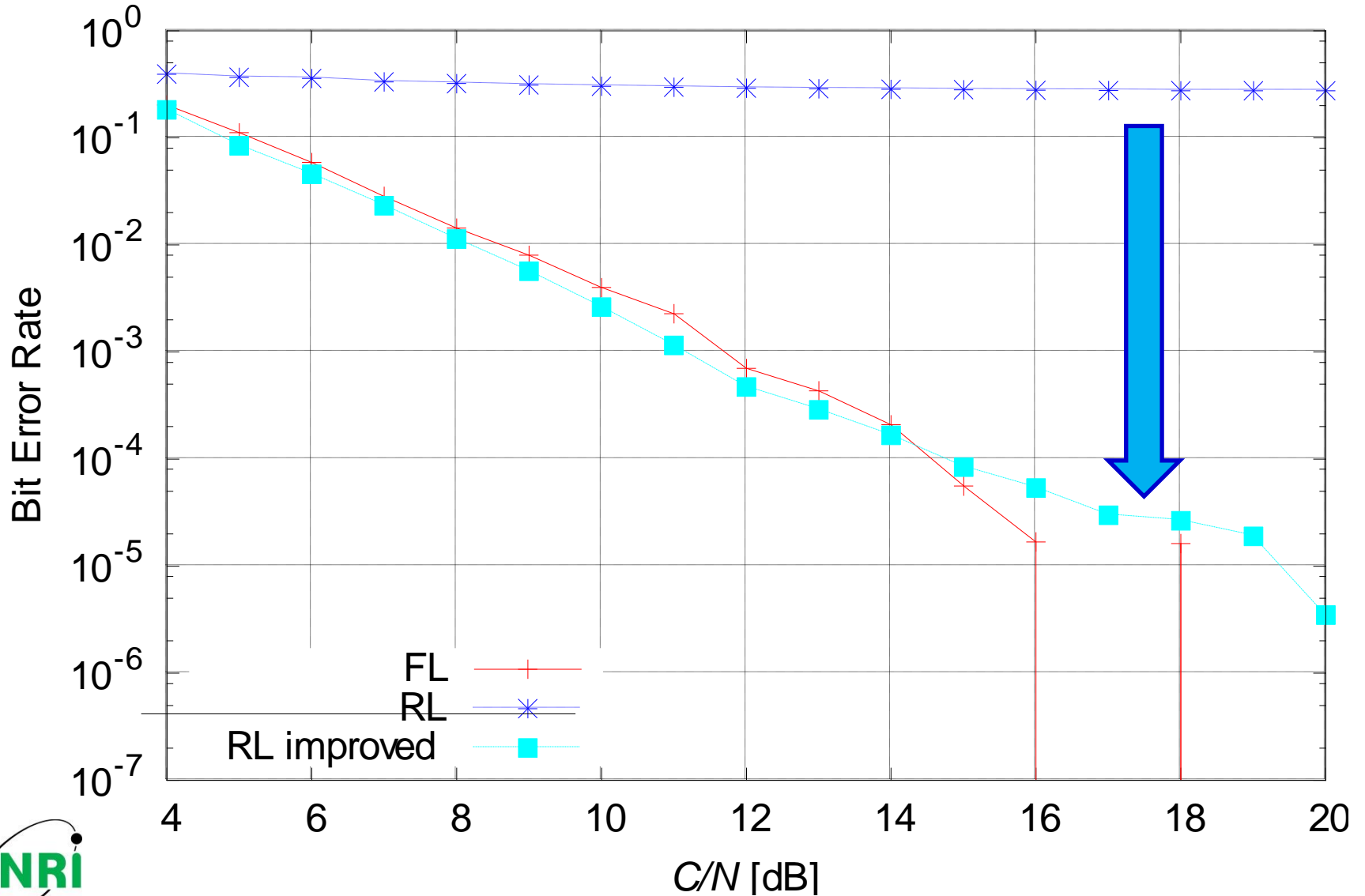
## LDACS1 BER performances (TM, FEC)





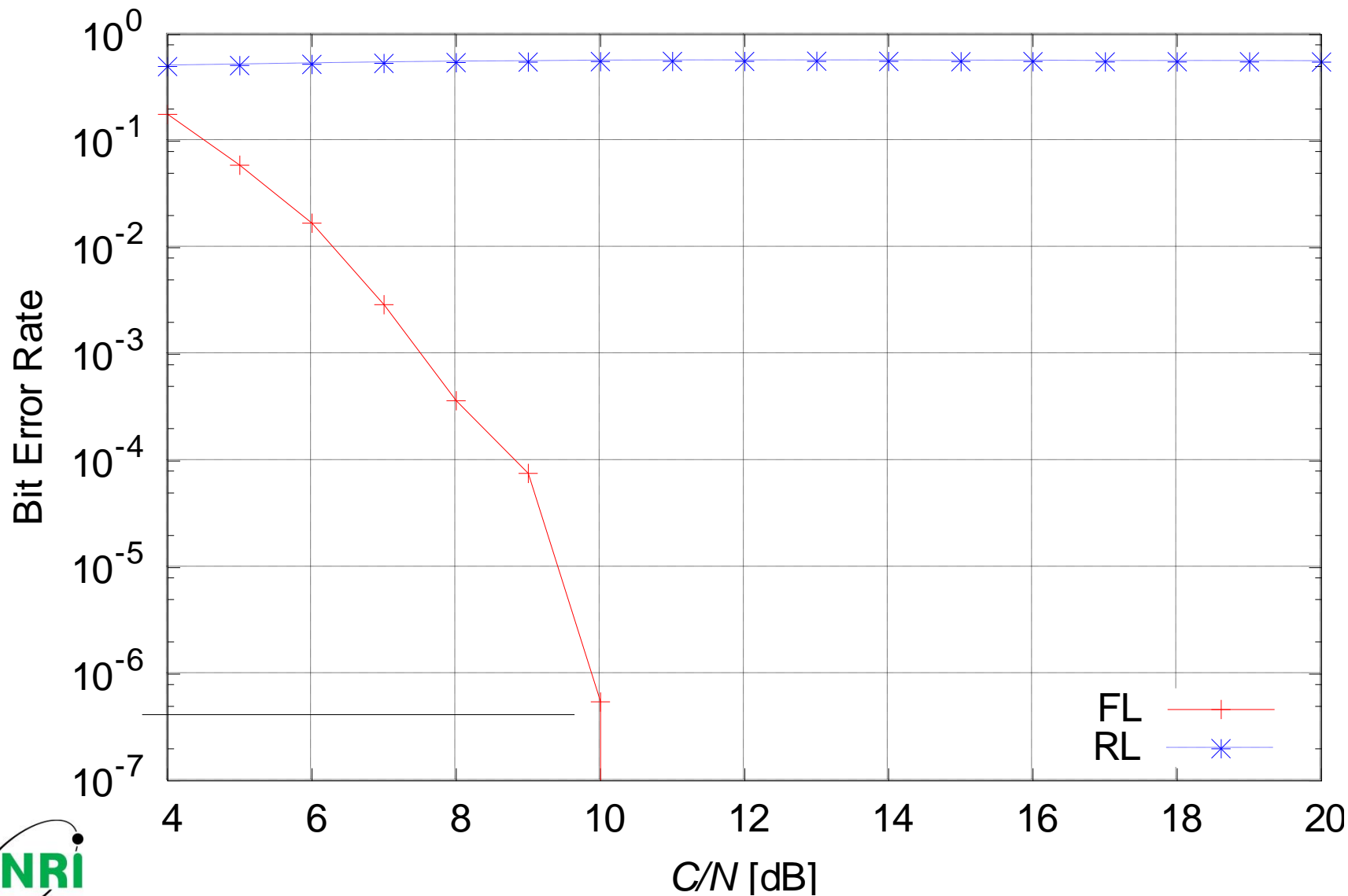
# BER特性実験結果(TM環境)

## LDACS1 BER performances (TM, FEC)



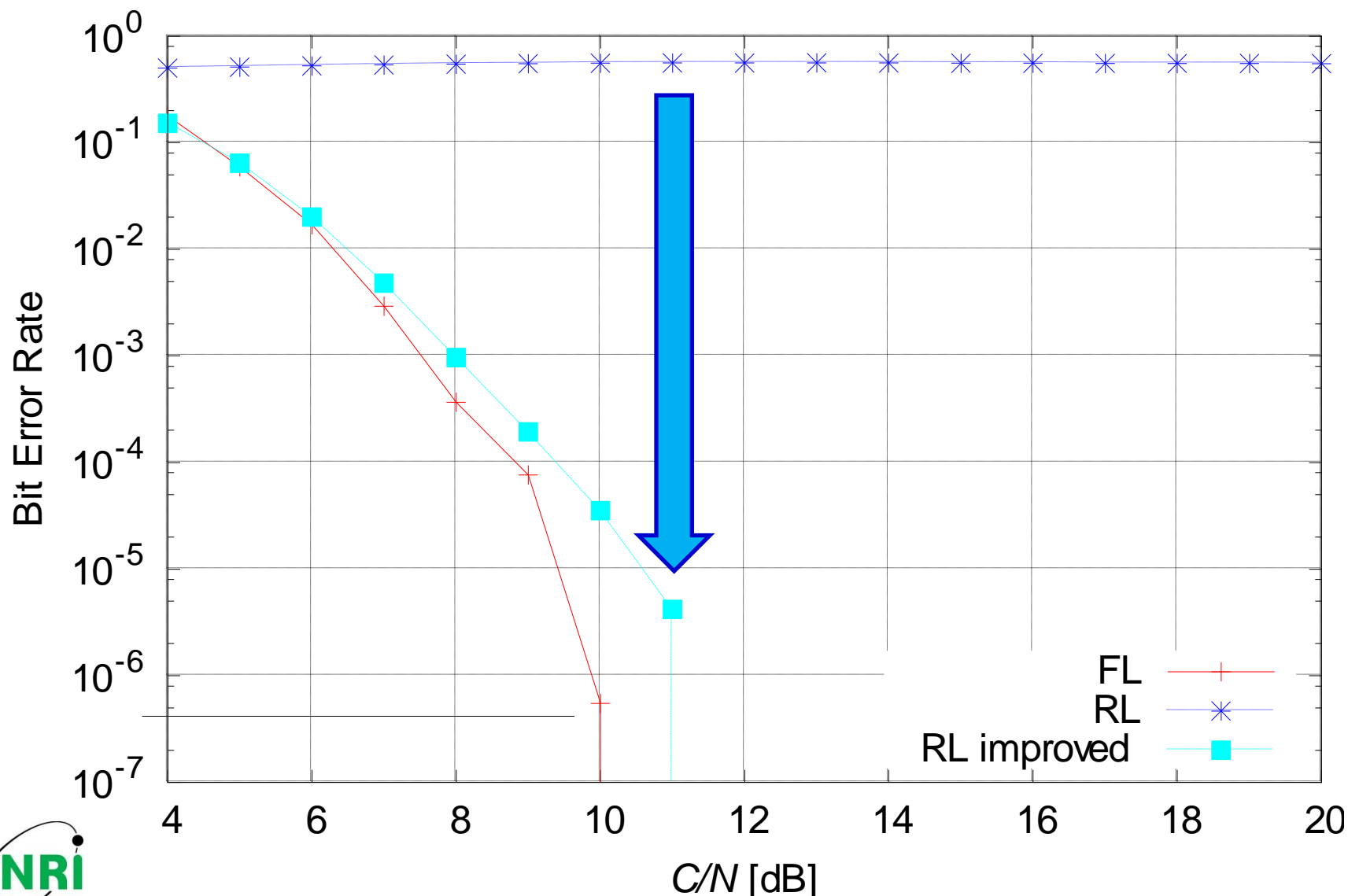
# BER特性実験結果 (ENR環境)

## LDACS1 BER performances (ENR, FEC)



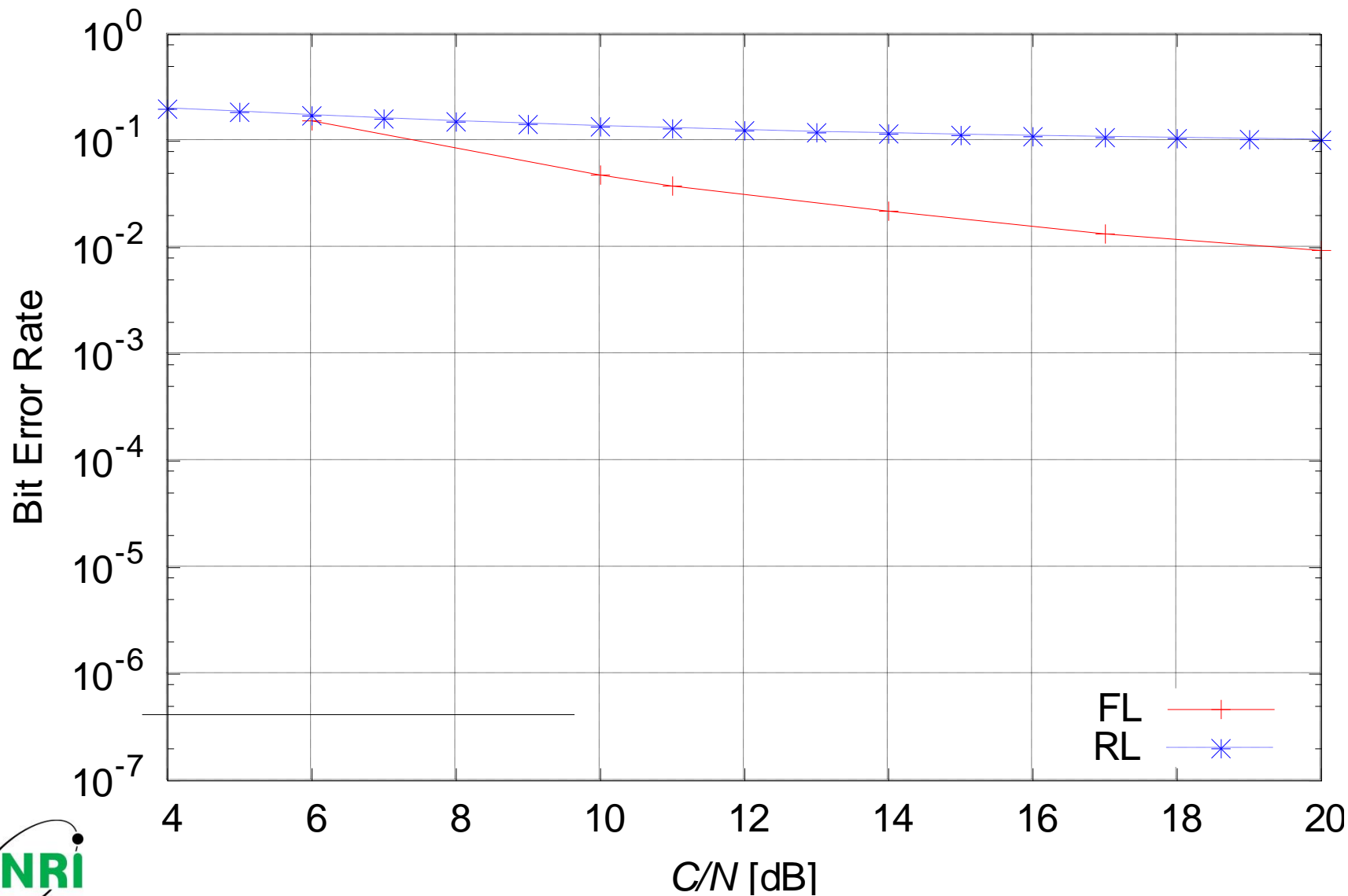
# BER特性実験結果 (ENR環境)

## LDACS1 BER performances (ENR, FEC)



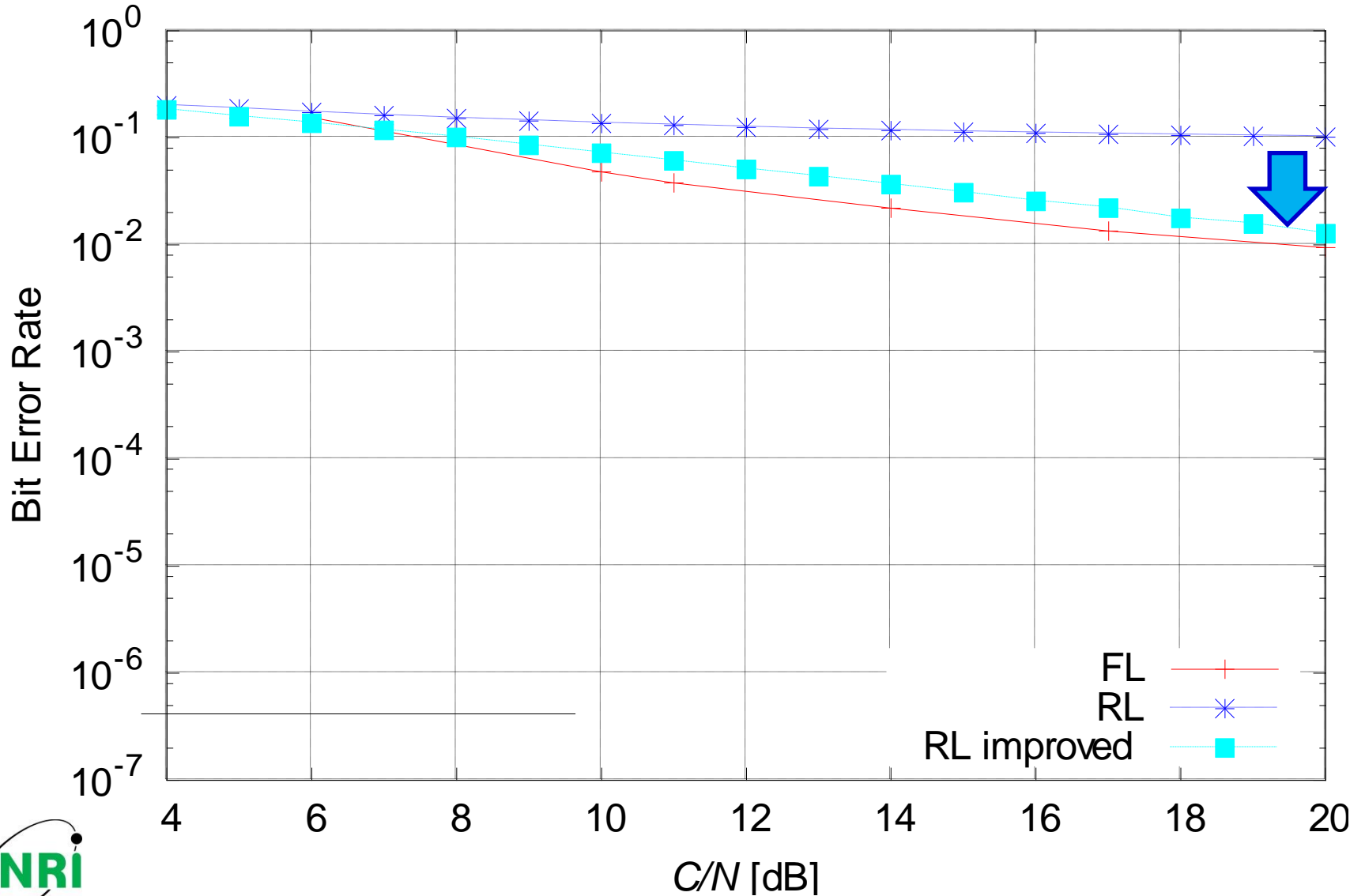
# BER特性実験結果 (APT環境)

## LDACS1 BER performances (APT, FEC)



# BER特性実験結果 (APT環境)

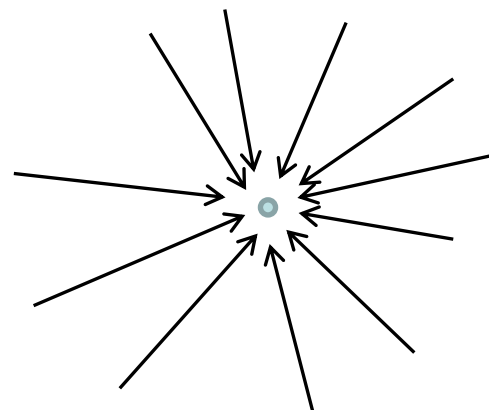
## LDACS1 BER performances (APT, FEC)



- 今回BER改善に最も効果があった方法
  - 等化器8番とパターン3の組み合わせ
  - TMとENRでFLデータフレーム程度のBERまで改善
    - 判定帰還型等化器＋オリジナルパターンでは伝搬路推定の更新間隔が広く、古い伝搬路推定状態を引きずるためBERが劣化
    - パターン3はスキップドパイロットで各OFDMシンボル内の補間精度は下がるものの、毎回伝搬路推定状態が更新され判定帰還型等化器の特性に適合
- 内挿型等化器での改善効果は低かった
  - オリジナルパターンに対しては多少改善効果あり
  - 一部補外計算となる等伝搬路推定性能が不十分

- APTでの特性

- 等化器8番とパターン3の組み合わせが最良
- しかしC/N=20[dB]で誤り訂正後BERが $10^{-2}$ 程度
  - 現実的には、受信点からみた電波の到来方向に偏りがあるとみられ、Riceフェージングに近い状況になればBERは低下すると期待できる
  - 誤り訂正適用後BERが $10^{-4}$ 程度以下であれば、上位層の再送機能等によって伝送情報の補償が可能



- LPES及びフェージングシミュレータを利用して、フェージング環境におけるLDACS1のBER特性を調査
- 規定上のRLデータフレームのパイロット信号配置ではフェージング環境に弱く、FLデータフレームに比べて著しくBER特性が劣化
- 等化方式自体は判定帰還型を使うものの、RLデータフレームのパイロット信号配置をスキップドパイロットとした場合、FLデータフレーム程度までBER特性を改善できた

航空用データリンクは航空機の高速移動が前提  
マルチパスフェージング等が通信性能に大きく影響

本研究の成果・知見は、OFDMベースの  
航空用高速データリンクの通信性能改善に役立つ





ご清聴  
ありがとうございました