

# 無線LANにおける ネットワークコーディングおよび マルチチャネル化に基づく QoS制御法

谷川 陽祐 戸出 英樹

大阪府立大学 大学院工学研究科  
知能情報工学分野

平成24年2月28日(火)

# 当研究室の無線LAN研究アクティビティ

## 取り組んでいる課題

- ▶ 帯域拡大
- ▶ チャンネル利用の高効率化
  - ✓ パケット衝突, 干渉の抑制
  - ✓ パケットロス率の低減
- ▶ 伝送遅延の抑制
- ▶ QoS制御

## 対処法

- ▶ マルチチャンネル化
  - ✓ 隠れ端末回避
  - ✓ チャンネル間負荷分散
- ▶ ネットワークコーディングの適用
  - ▶ ロスパケットの効率的再送
  - ▶ 低伝送遅延型再送機構
- ▶ IEEE 802.11e との適応的連携

# 具体的な研究事例

ネットワークコーディング(NC)の適用

マルチチャネル化

下りマルチキャスト

下りユニキャスト

2009年度  
谷川着任

低伝送遅延型  
NC再送機構

Block ACK情報  
に基づく  
選択的NC再送法  
(ポスターセッション  
中川美佳発表)

NC再送機構と  
IEEE 802.11e  
の適応的連携

無線局間干渉回避  
のための  
チャンネル選択制御法  
(ポスターセッション  
松田慎太郎発表)

現在

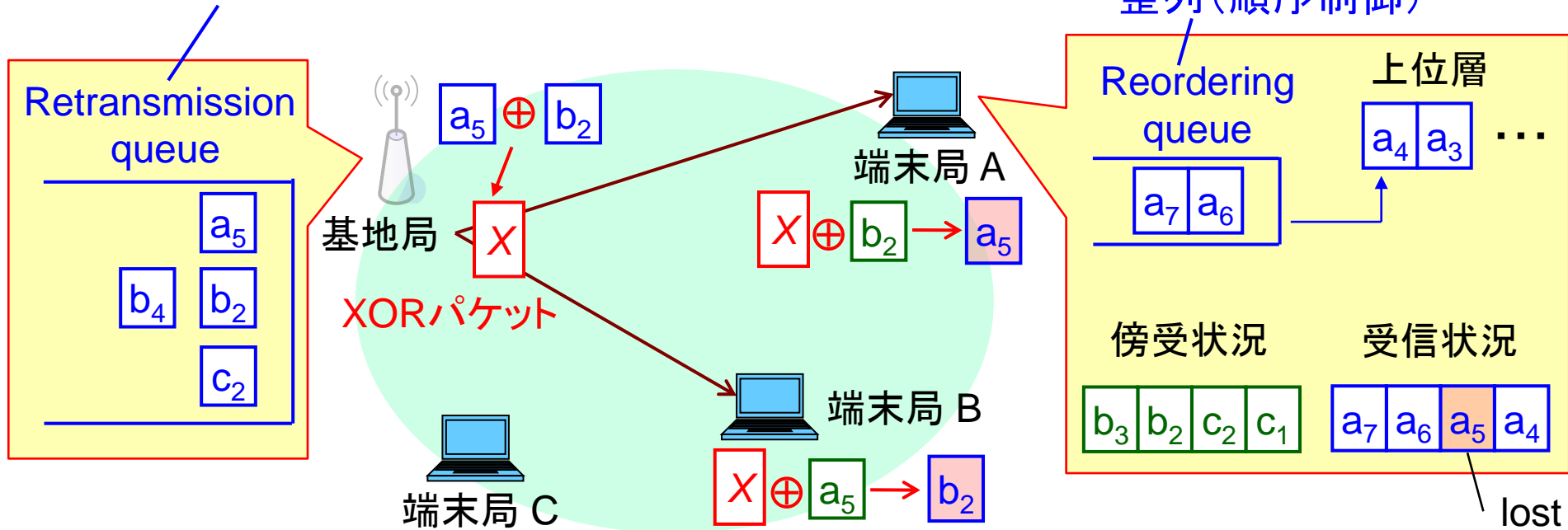
未来

?

# ネットワークコーディングに基づく再送 (NC再送)

ロス packetsを一時的に格納

受信 packetsを  
シーケンス番号順に  
整列 (順序制御)



利点: より少ない送信処理でより多くのロス packetsを再送

欠点: 伝送遅延が増加

NC再送可能な機会が少ないと再送効率の向上は望めない

IEEE 802.11規格では, ロス packetsを1 packetずつ再送する  
ARQ (Automatic Repeat reQuest) 方式を採用



# DC-SEL: NC再送されるロスパケット群の選択

## NC再送される優先度

端末局から通知されるスコアの高いパケットを優先選択

高優先 ←

$f_6$	$a_5$	$c_2$	$d_5$	$b_2$	$e_8$
スコア: 215	200	180	87	10	0

## 具体的な選択手法

優先度の高いパケットから順にNC可能か判定  
→ 高優先度ほど高確率でXORエンコードされる

if  $f_6 \oplus a_5$ : 端末局 F は  $f_6$  を復元不可

if  $f_6 \oplus c_2$ : 端末局 F, C は  $f_6$ ,  $c_2$  を復元可能

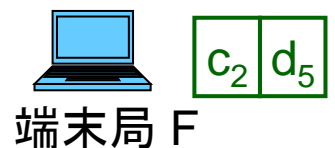
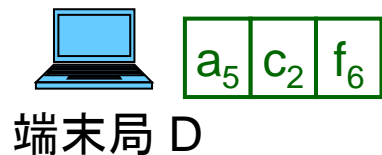
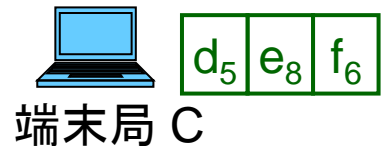
→  $X = f_6 \oplus c_2$

if  $f_6 \oplus c_2 \oplus d_5$ : F, C, D は  $f_6$ ,  $c_2$ ,  $d_5$  を復元可能

→  $X = f_6 \oplus c_2 \oplus d_5$

⋮

傍受状況



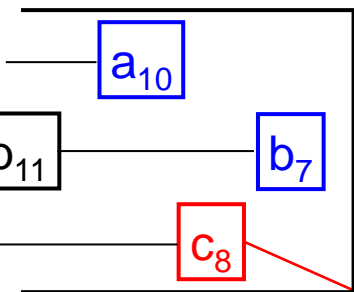
# ARQの部分的併用

- NC再送が可能な場合, NC再送を行う
- NC再送が不可能な場合, スコアの高いロスパケットのみ, 単一で再送

(1) CSMA/CAに基づいてバックオフ待機

(2-1) NC再送可能な場合

Retransmission queue



NC

作成したXORパッケージを再送

(2-2) NC再送不可能な場合

(2-2-1) スコア > 0 を満たす端末局宛てロスパケットがある場合



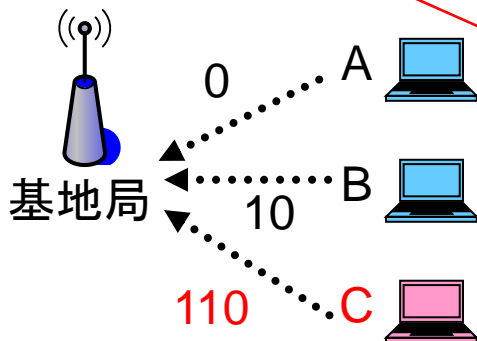
DARQ (Delayed ARQ)

最大スコアをもつロスパケットを単一で再送

(2-2-2) スコア > 0 を満たす端末局宛てロスパケットが無い場合

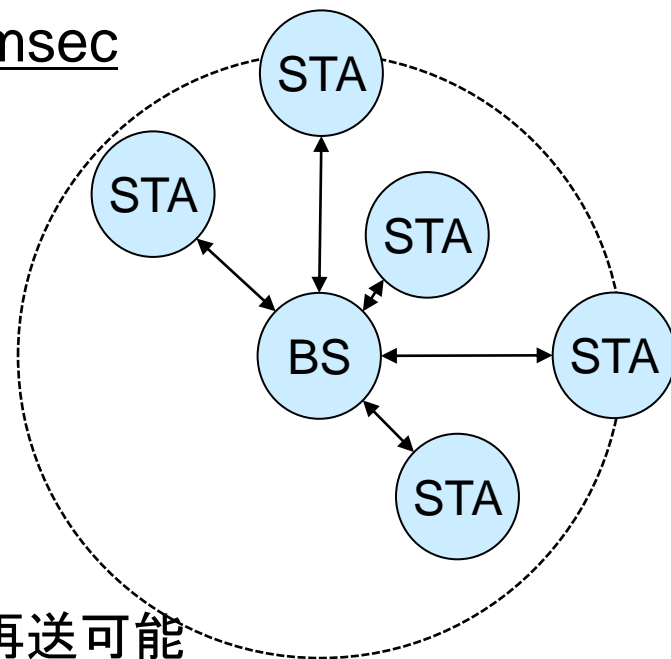


新規パケットを送信



# シミュレーションモデル

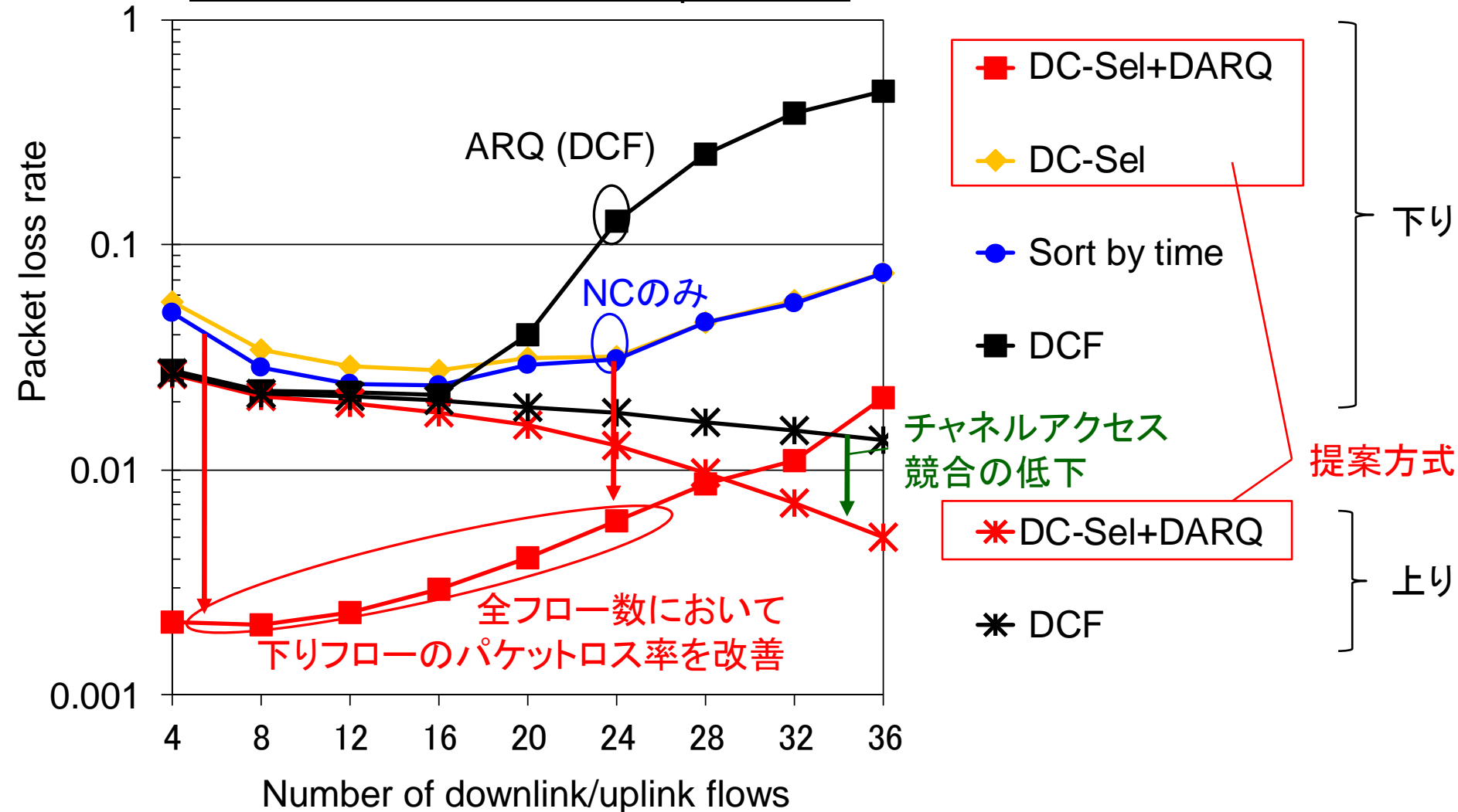
- シミュレータ: QualNet 4.5.1
- 基地局—端末局間の距離: 1~30mの範囲で一様に分布
- 基地局が各端末局へCBR/UDPフローを1端末局につき1本ずつ送信
- 各端末局も1本のCBR/UDPフローを基地局へ送信
  - ✓ パケットサイズ: 160 Byte, 送信間隔: 20 msec
- チャンネルの伝送レート: 54Mbps
- チャンネルの伝搬距離: 38 m
- フェージング: Rayleigh Fading
- 再送制限: 7
  - ✓ 全比較方式において1パケットにつき7回まで再送可能





# シミュレーション結果 (パケットロス率)

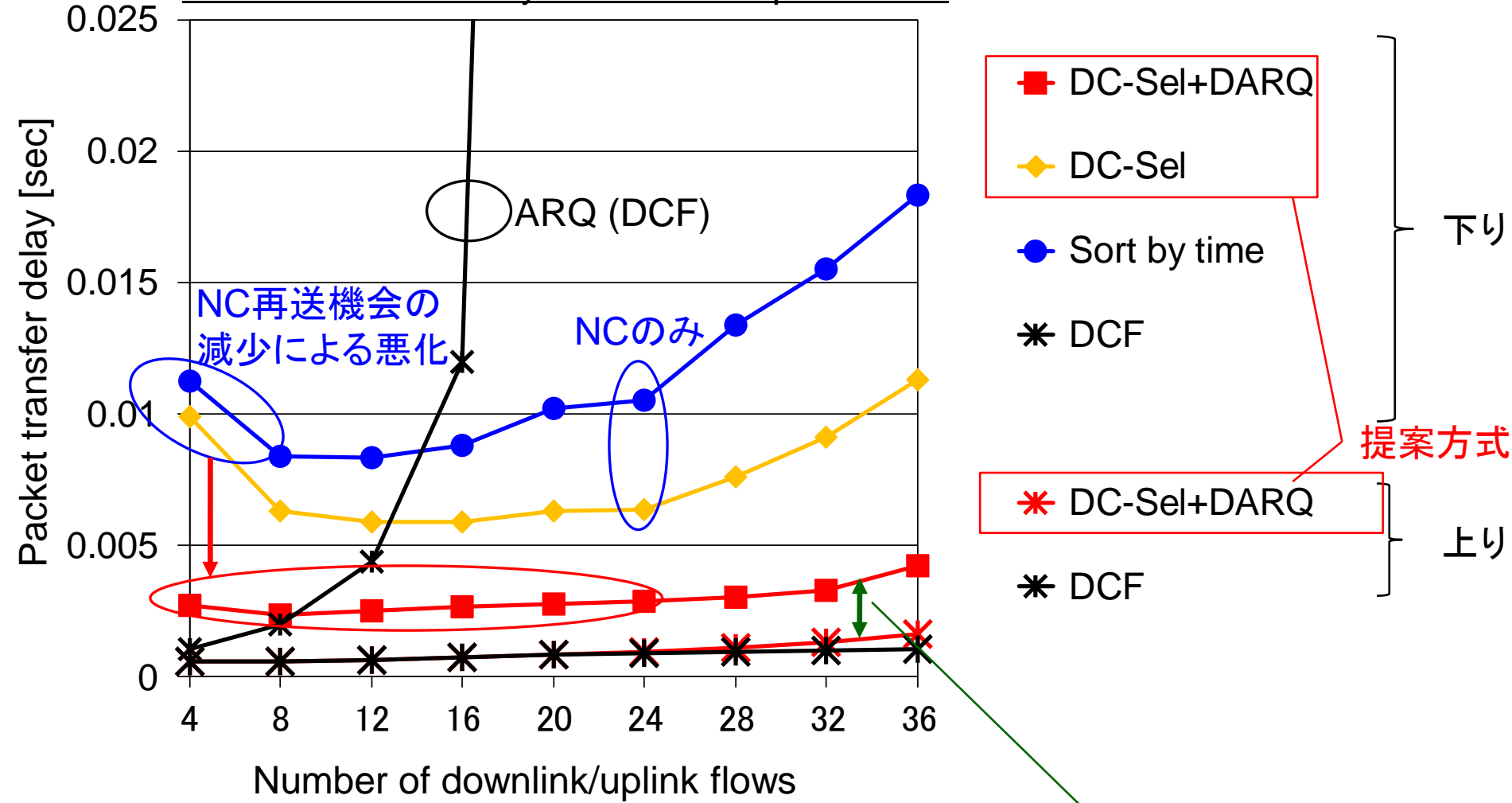
Packet loss rate of downlink/uplink flows



フロー数の大小にかかわらずパケットロス率を改善

# シミュレーション結果 (伝送遅延)

Packet transfer delay of downlink/uplink flows



下りフローの伝送遅延を抑制  
 上りフローの伝送遅延は悪化しない ➡ 上下フローの公平性を改善

# NC再送とIEEE 802.11e EDCAの適応的連携

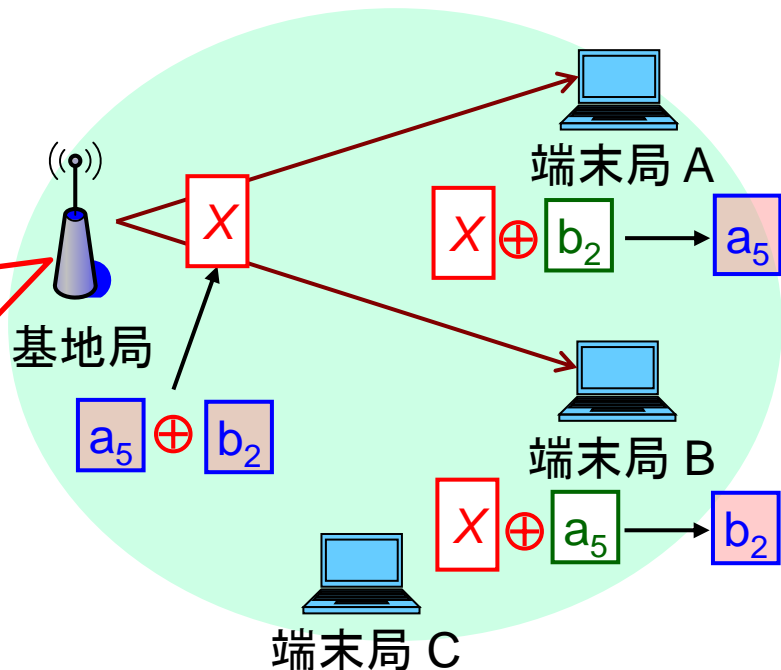
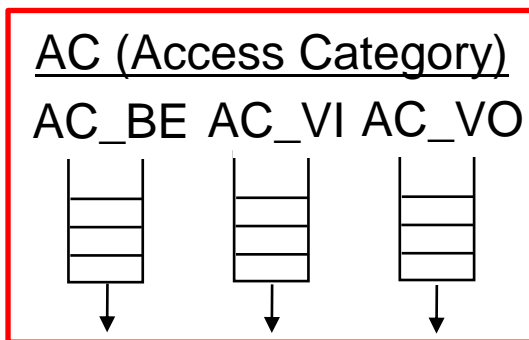
## パケット送信の流れ

基地局の「あるAC」が  
バックオフ待機を終了

XORエンコード可能な  
ロスパケット群の選択

送信対象パケットの選択

パケット送信



各AC固有の優先度をどのように考慮すべきか?

$a_5 \oplus b_2$  or  $a_5 \oplus c_7$  or ...

どの順序で送信すれば効率的か?

(XORパケット, 単一ロスパケット, 新規パケット)

$X (= a_5 \oplus b_2)$  or  $b_1$  or ...  $a_7$



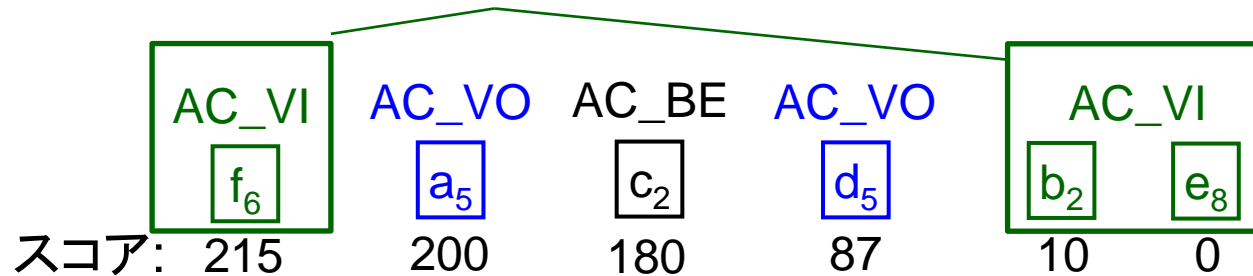
# 送信対象パケットの選択

(1) XORパケットを送信 (NC再送) するか判定 (前述の手法に従う)

- ✓ if NC再送可能 → XORパケットを作成し, 送信
- ✓ else → goto (2)

(2) ロスパケットを単一で再送 (DARQ: Delayed ARQ再送) するか判定

AC\_VIがバックオフ待機を終了した場合の再送候補



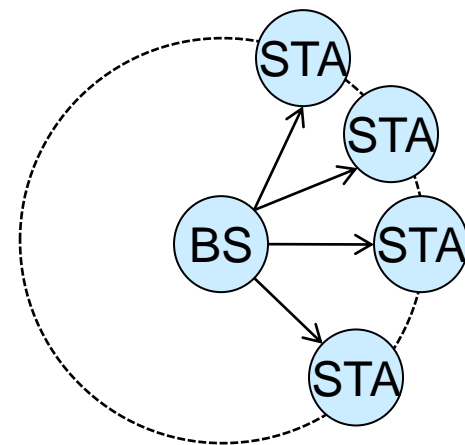
- ✓ if バックオフ待機を終了したACに, スコア > 0 を満たすロスパケットが存在 → 最大スコアをもつロスパケットを単一で再送
- ✓ else → goto (3)

(3) バックオフ待機を終了したACに属する新規パケットを送信

- ✓ EDCAと同様

# シミュレーションモデル

- 基地局から端末局へAC\_VO, AC\_VI, AC\_BEの内1フローを1端末につき送信
  - ✓ AC\_VO: パケットサイズ 160 Byte, 送信間隔 20 msec
  - ✓ AC\_VI: パケットサイズ 1024 Byte, 送信間隔 20 msec
  - ✓ AC\_BE: パケットサイズ 1500 Byte, 送信間隔 20 msec
- チャンルの伝送レート: 54Mbps
- フェージング: Rayleigh fading
- 再送制限: 7 (各パケットにつき7回まで再送可能)
- 比較対象: intra-class XOR, EDCA
  - NC再送の際, XORエンコード対象パケットを  
**バックオフ待機を終了したACからのみ選択**  
(Inter-class XORでは, 全ACから選択)
- EDCAパラメータの設定値

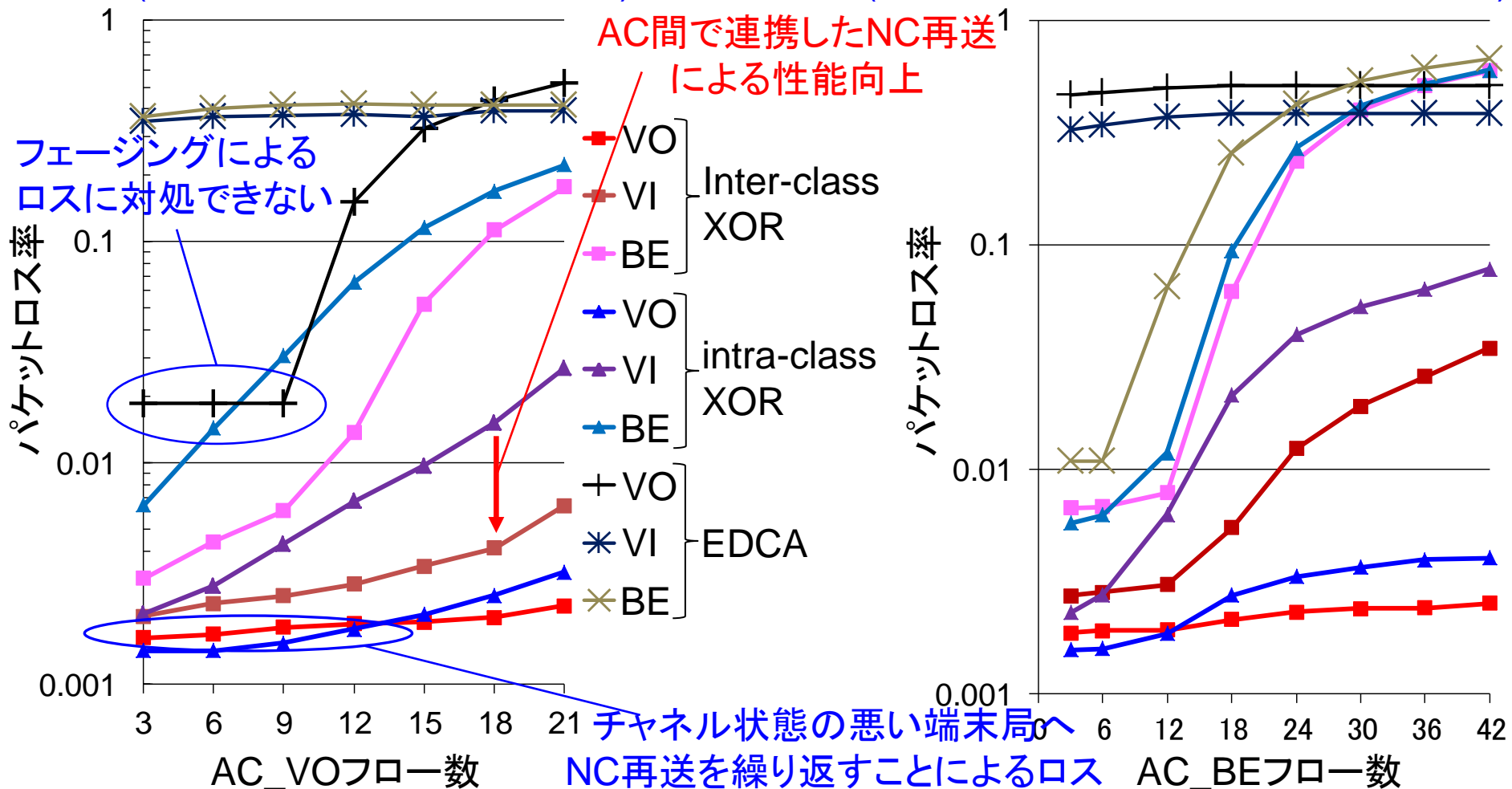


AC	AIFSN	CWmin	CWmax
AC_VO	2	15	1023
AC_VI	2	31	1023
AC_BE	3	31	1023

# シミュレーション結果 (パケットロス率)

AC\_VOフロー数を変化させた場合  
(AC\_VI, AC\_BE数はともに12)

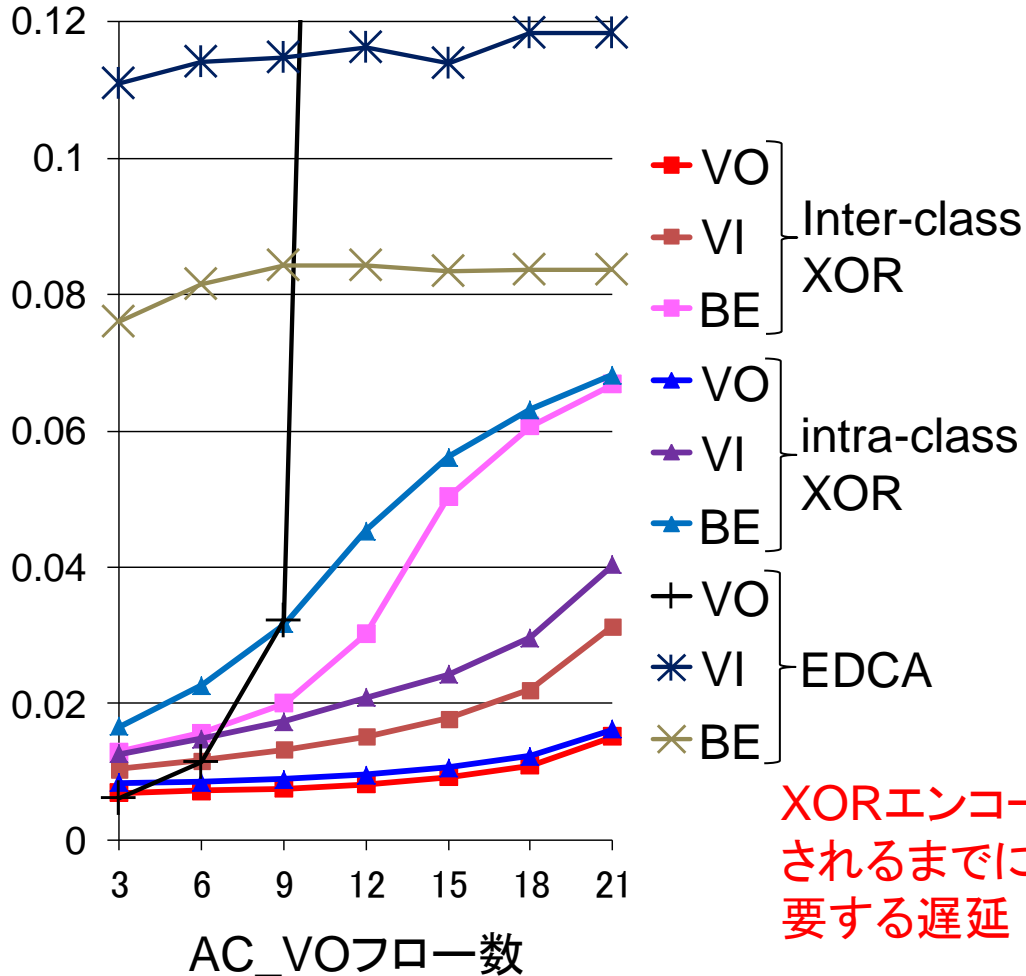
AC\_BEフロー数を変化させた場合  
(AC\_VO, AC\_VI数は、それぞれ21, 12)



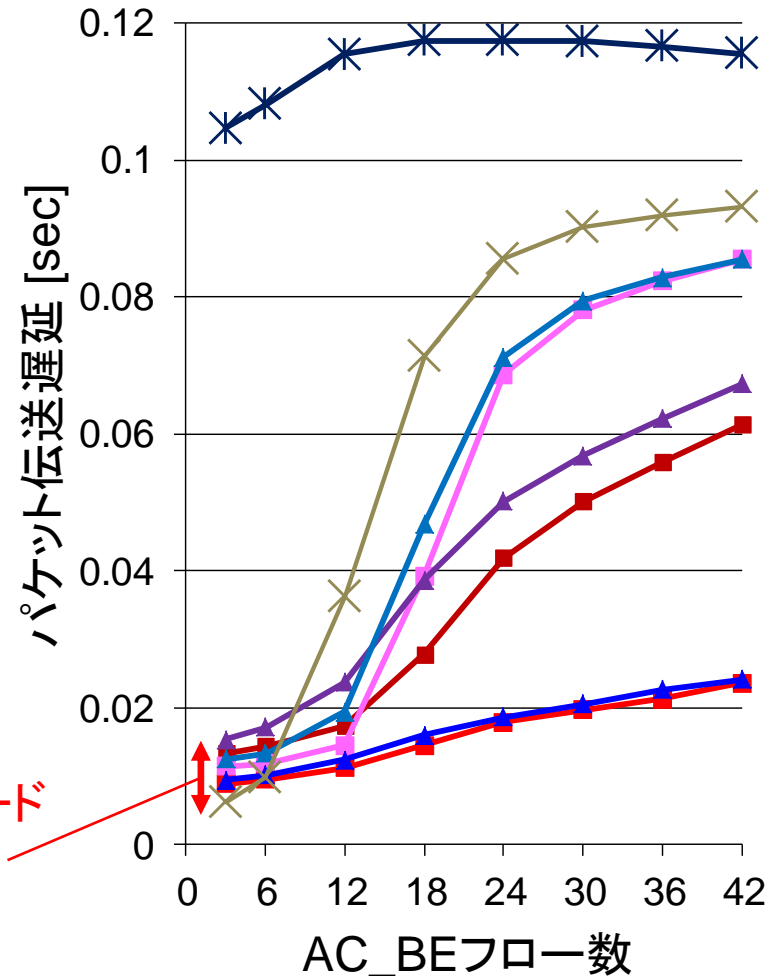
広い負荷領域でパケットロス率を低下

# シミュレーション結果 (パケット伝送遅延)

AC\_VOフロー数を変化させた場合  
(AC\_VI, AC\_BE数はともに12)



AC\_BEフロー数を変化させた場合  
(AC\_VO, AC\_VI数は、それぞれ21, 12)



ロスパケットの基地局における送信待機時間の低下 ➡ パケット伝送遅延の低下



# まとめと今後の課題

## まとめ

- ▶ 無線LANにおけるネットワークコーディングを適用した効率的再送制御方式を提案
  - ✓ 低遅延型再送機構
  - ✓ IEEE 802.11e と連携したQoS制御機構
- ▶ 性能評価により提案方式の有効性を確認

## 今後の課題

- ▶ 様々なネットワーク環境への適応
  - ✓ 無線チャネルの状態
  - ✓ ネットワーク負荷の変動