

# フォトニックパケットスイッチに 最適なバッファ構成手法

大阪大学大学院工学研究科

竹森隆介

2001年7月13日

# 本日の発表内容

- 1: 研究の背景
- 2: フォトニックパケットスイッチ構成
- 3:  $2 \times 2$ 基本スイッチの性能
- 4: 大規模スイッチの性能
- 5: 実現コストを考慮した評価
- 6: まとめ

# 研究の背景

超高速ネットワーク

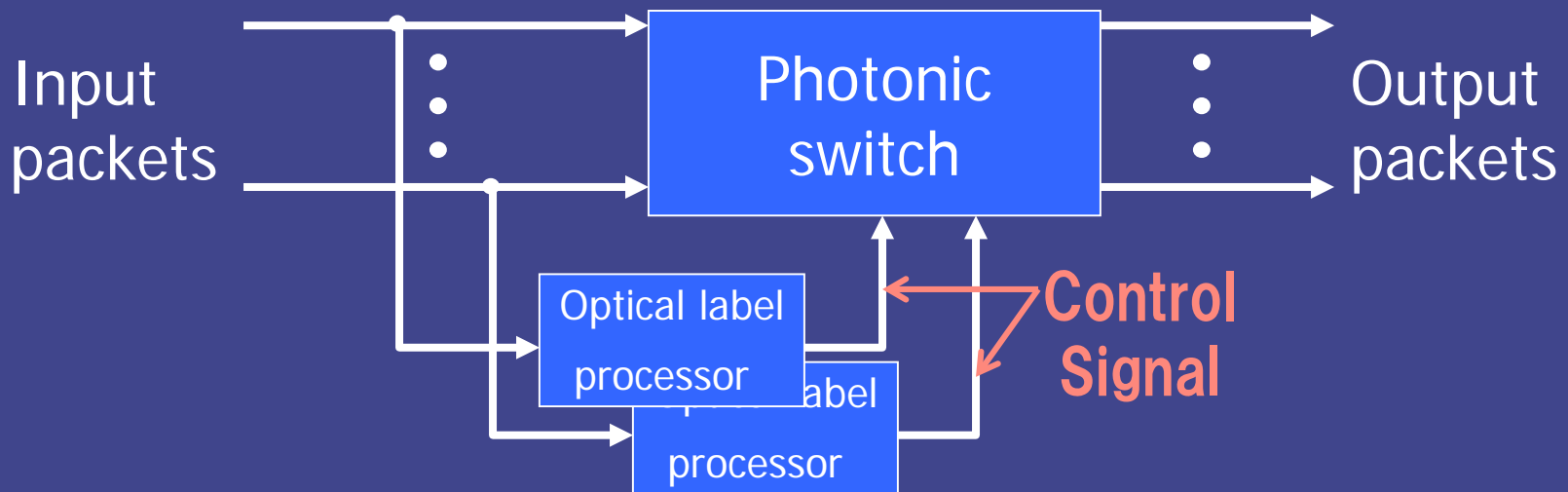


ノードのスイッチング処理をすべて光領域で行う

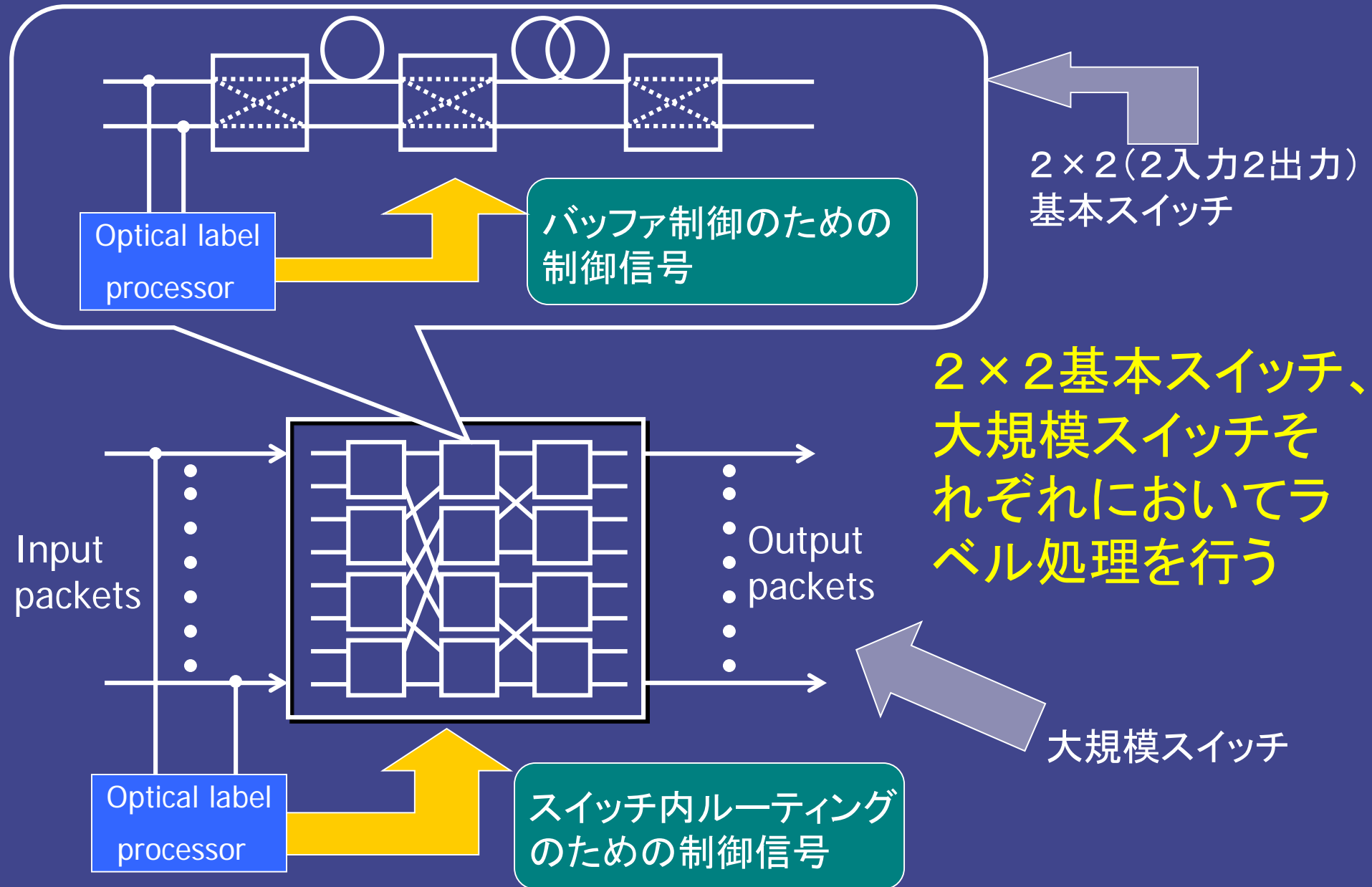


フォトニックネットワーク

## ◆ フォトニックラベル処理スイッチ

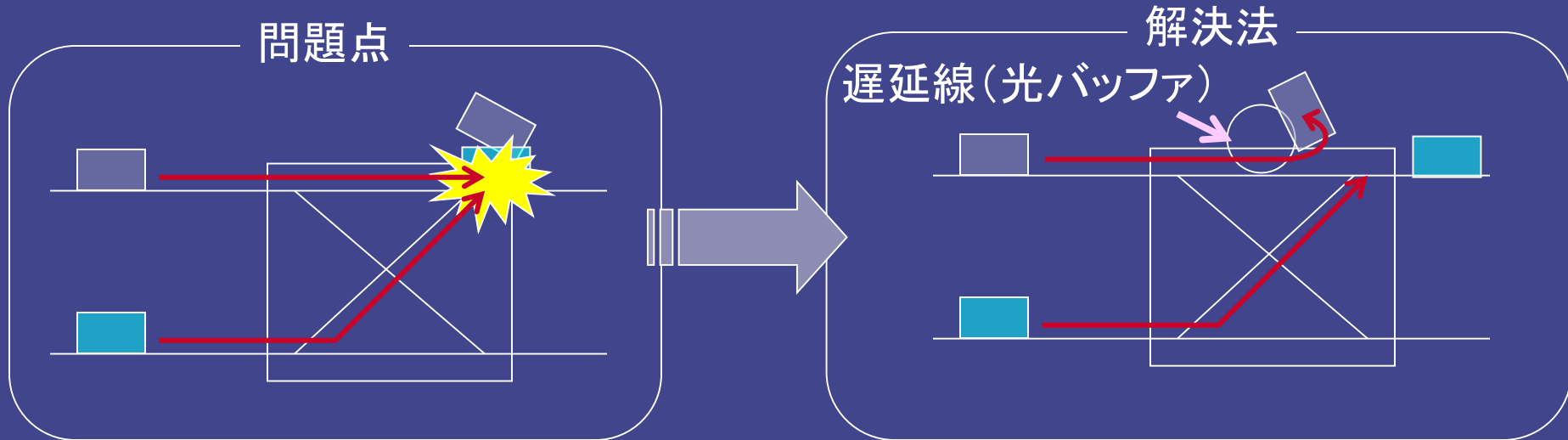


# ラベル処理



# スイッチ内の問題点

## ◆ 光スイッチ内でのパケット競合



1. 光バッファを設ける
2. 迂回させる
3. 波長変換を用いる

光バッファを設けて競合を回避する、ラベル処理を前提としたスイッチ構成を考える。

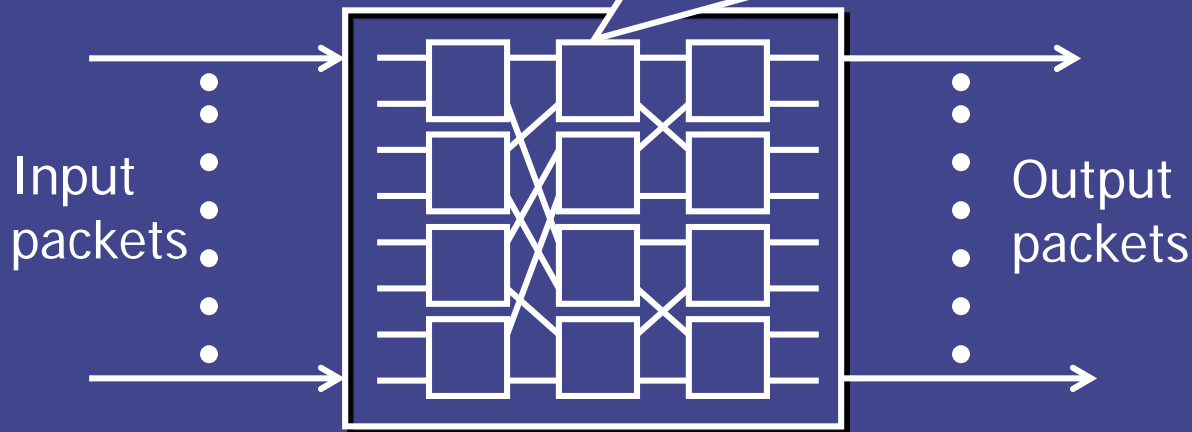
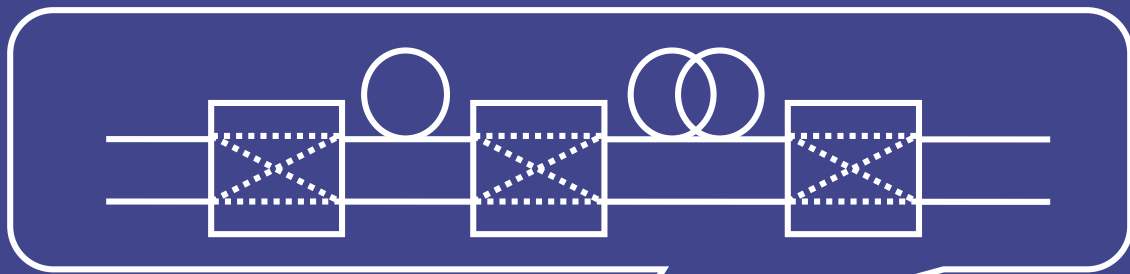
# 対象とするスイッチ構成

○ = 遅延線 (バッファ)

□ = 2 × 2 スイッチ素子

## 特徴

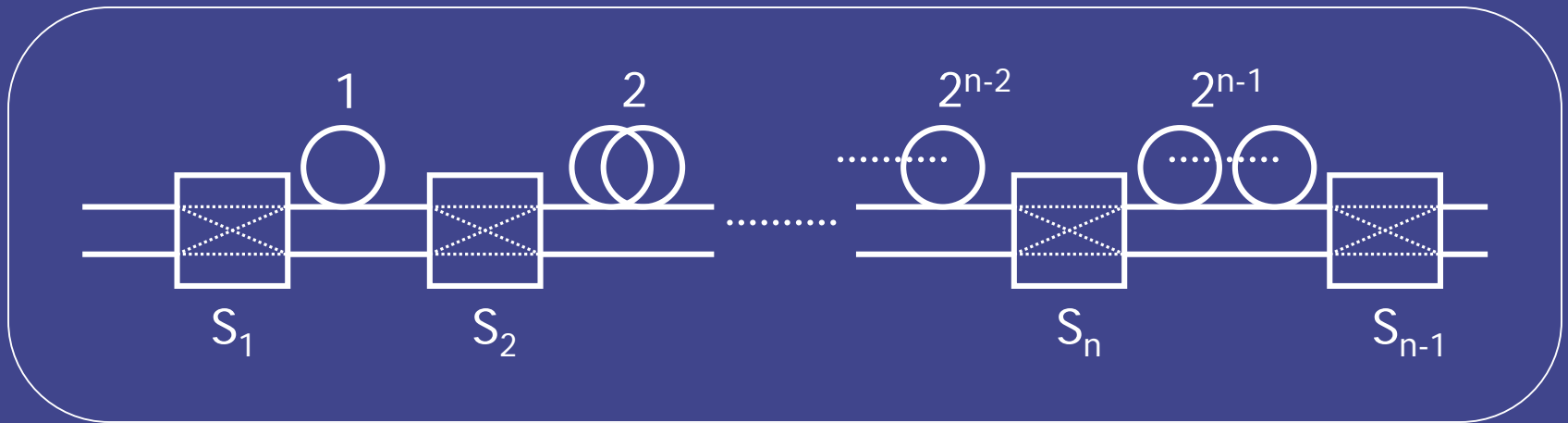
2 × 2 基本スイッチ



大規模スイッチ

- ◆ すべてのスイッチ素子および遅延線からなる単純な構成
- ◆ 高速スイッチングが可能
- ◆ スケーラビリティに優れる
- ◆ 柔軟性に優れる

## 2 × 2基本スイッチ構成



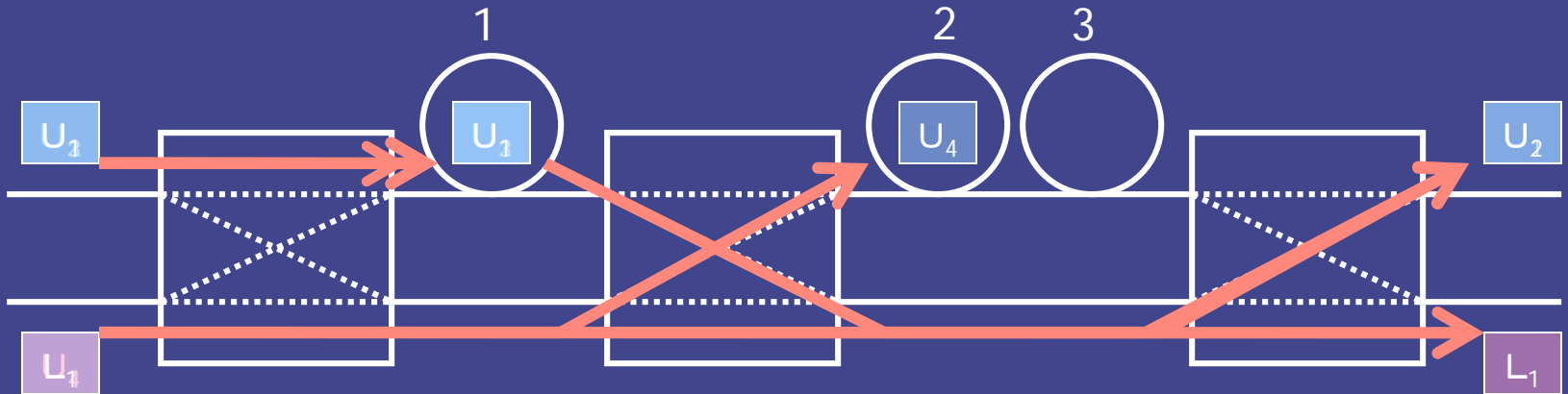
バッファ数  $l = 2^{M-1} - 1$  (M:  $2 \times 2$ スイッチ素子の数)

- ◆ スイッチ素子を1段増やすだけでバッファ数を2倍にできる
- ◆ 任意の待ち時間に対応するスイッチングが可能

## 2×2基本スイッチ構成(続き)

-3段構成スイッチ(バッファ数3)の動作-

U 上側の出線を目指すパケット  
L 下側の出線を目指すパケット



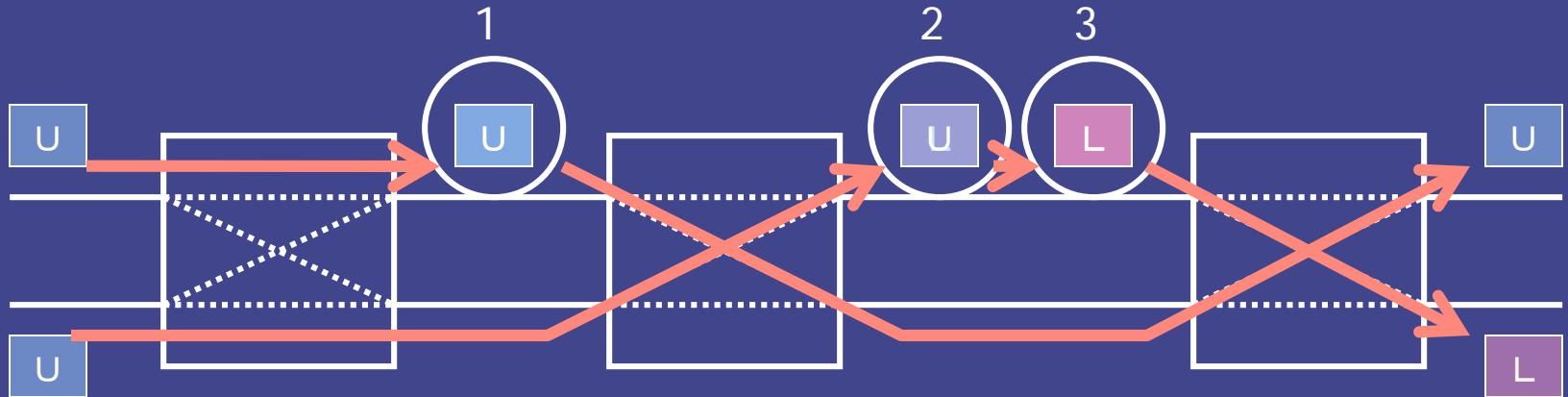
◆ 途中の素子間での衝突が起こらないパケットスケジューリングが必要



性能はパケットスケジューリングアルゴリズムによって大きく左右される



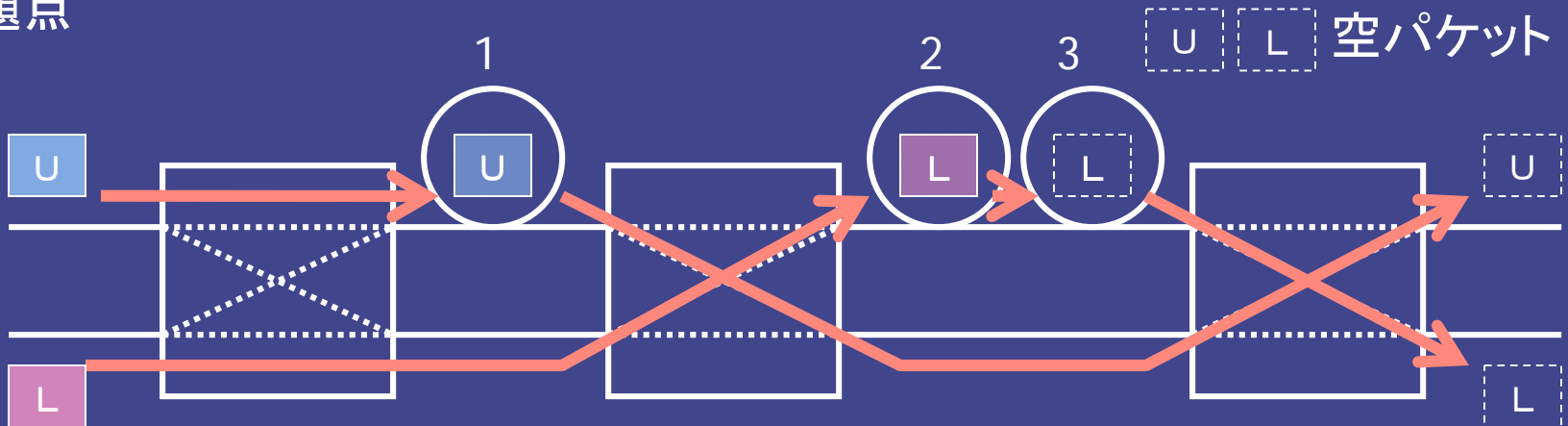
# 従来のアルゴリズム



◆ バッファがいっぱいの時、衝突の起こらないスイッチングが一意に決定できる

➡ 空パケットをバッファに挿入し、常にバッファをいっぱいにする

問題点



◆ バッファの効率的な利用のため新しいアルゴリズムを提案

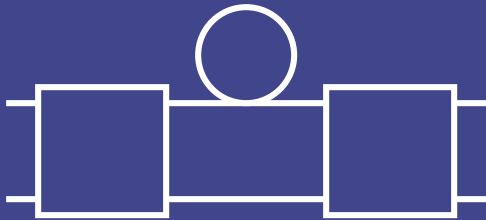
# 提案アルゴリズム

状態: バッファ内のパケット配置 で決まる

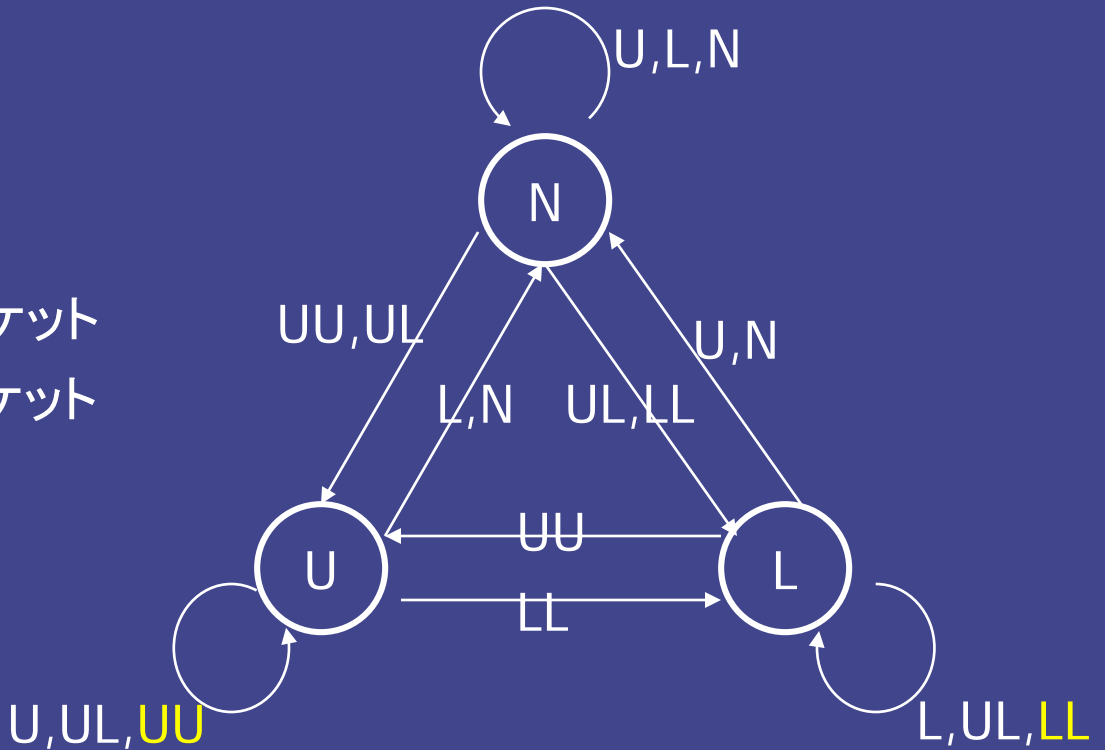
状態遷移: 入力パケット

状態遷移図を作成し、それを元に  
スケジューリングを行う

2段構成スイッチ



U: 上側の出線を目指すパケット  
L: 下側の出線を目指すパケット  
N: パケットなし



バッファ数 $l=1$ の場合の状態遷移図

# 提案アルゴリズム(続き)

## バッファ数3の場合の状態遷移表

### バッファ数3の場合のバッファ状態

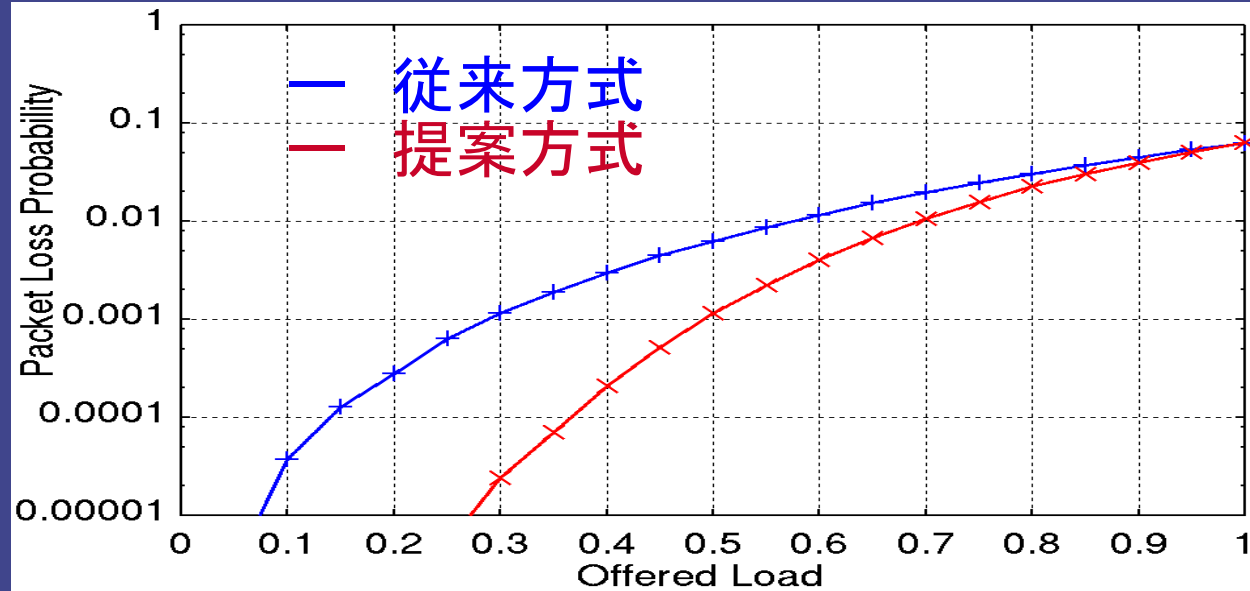
状態	1	2	3
A	-	-	-
B <sub>1</sub>	-	-	U
B <sub>2</sub>	-	-	L
D <sub>1</sub>	-	U	U
D <sub>2</sub>	-	L	L
E <sub>1</sub>	U	-	-
E <sub>2</sub>	L	-	-
F <sub>1</sub>	U	-	L
F <sub>2</sub>	L	-	U
G <sub>1</sub>	U	L	-
G <sub>2</sub>	L	U	-
G <sub>3</sub>	U	U	-
G <sub>4</sub>	L	L	-
H <sub>1</sub>	U	L	L
H <sub>2</sub>	U	U	L
H <sub>3</sub>	L	U	U
H <sub>4</sub>	L	L	U
H <sub>5</sub>	U	U	U
H <sub>6</sub>	L	L	L

	状態	入力	次の状態	状態	入力	次の状態	状態	入力	次の状態	状態	入力	次の状態
A	UL		E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub>	UL		D <sub>2</sub>	UL		H <sub>1</sub>	UL		H <sub>1</sub>
	UU		E <sub>1</sub>	UU		F <sub>1</sub>	UU		H <sub>2</sub>	UU		H <sub>2</sub>
	LL		E <sub>2</sub>	LL		H <sub>6</sub>	LL		H <sub>6</sub>	LL		H <sub>6</sub>
	U	A		D <sub>2</sub>	U	B <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	U	F <sub>1</sub>	H <sub>1</sub> , H <sub>4</sub>	U	F <sub>1</sub>
	L	A		L	L	D <sub>2</sub>		L	D <sub>2</sub>		L	D <sub>2</sub>
	なし	A		なし	L	B <sub>2</sub>		なし	B <sub>2</sub>		なし	B <sub>2</sub>
B <sub>1</sub>	UL		E <sub>1</sub>	UL		G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	UL		H <sub>3</sub>	UL		H <sub>3</sub>
	UU		G <sub>3</sub>	UU		G <sub>3</sub>	UU		H <sub>6</sub>	UU		H <sub>6</sub>
	LL		E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	LL	G <sub>4</sub>	G <sub>2</sub>	LL	H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> , H <sub>3</sub>	LL	H <sub>4</sub>
	U	E <sub>1</sub>		U	E <sub>1</sub>			U	D <sub>1</sub>		U	D <sub>1</sub>
	L	A		L	E <sub>2</sub>			L	F <sub>2</sub>		L	F <sub>2</sub>
	なし	A		なし	L	A		なし	B <sub>1</sub>		なし	B <sub>1</sub>
B <sub>2</sub>	UL		E <sub>2</sub>	UL		G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	UL		H <sub>3</sub>	UL		H <sub>6</sub>
	UU		E <sub>1</sub>	UU		G <sub>3</sub>	UU		H <sub>6</sub>	UU		H <sub>6</sub> (棄却)
	LL		G <sub>4</sub>	E <sub>2</sub>	LL	G <sub>4</sub>	G <sub>3</sub>	LL	H <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	LL	H <sub>3</sub>
	U	A		U	E <sub>1</sub>			U	D <sub>1</sub>		U	H <sub>6</sub>
	L	E <sub>2</sub>		L	E <sub>2</sub>			L	F <sub>2</sub>		L	D <sub>1</sub>
	なし	A		なし	L	A		なし	B <sub>1</sub>		なし	D <sub>1</sub>
D <sub>1</sub>	UL		D <sub>1</sub>	UL		G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	UL		H <sub>1</sub>	UL		H <sub>6</sub>
	UU		H <sub>6</sub>	UU		G <sub>3</sub>	UU		H <sub>2</sub>	UU		H <sub>1</sub>
	LL		F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub>	LL	G <sub>4</sub>	G <sub>4</sub>	LL	H <sub>6</sub>	H <sub>6</sub>	LL	H <sub>6</sub> (棄却)
	U	D <sub>1</sub>		U	E <sub>1</sub>			U	F <sub>1</sub>		U	D <sub>2</sub>
	L	B <sub>1</sub>		L	E <sub>2</sub>			L	D <sub>2</sub>		L	H <sub>6</sub>
	なし	B <sub>1</sub>		なし	L	A		なし	B <sub>2</sub>		なし	D <sub>2</sub>

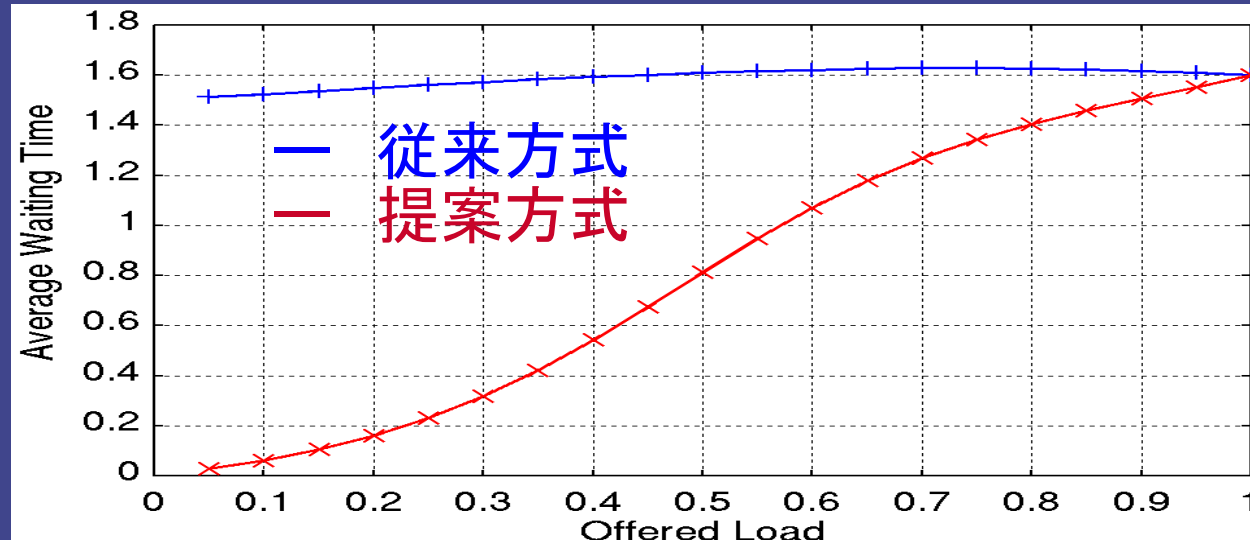
◆ この状態遷移表に従ってスケジューリングを行う。

# 2×2基本スイッチの性能比較

## パケット棄却率



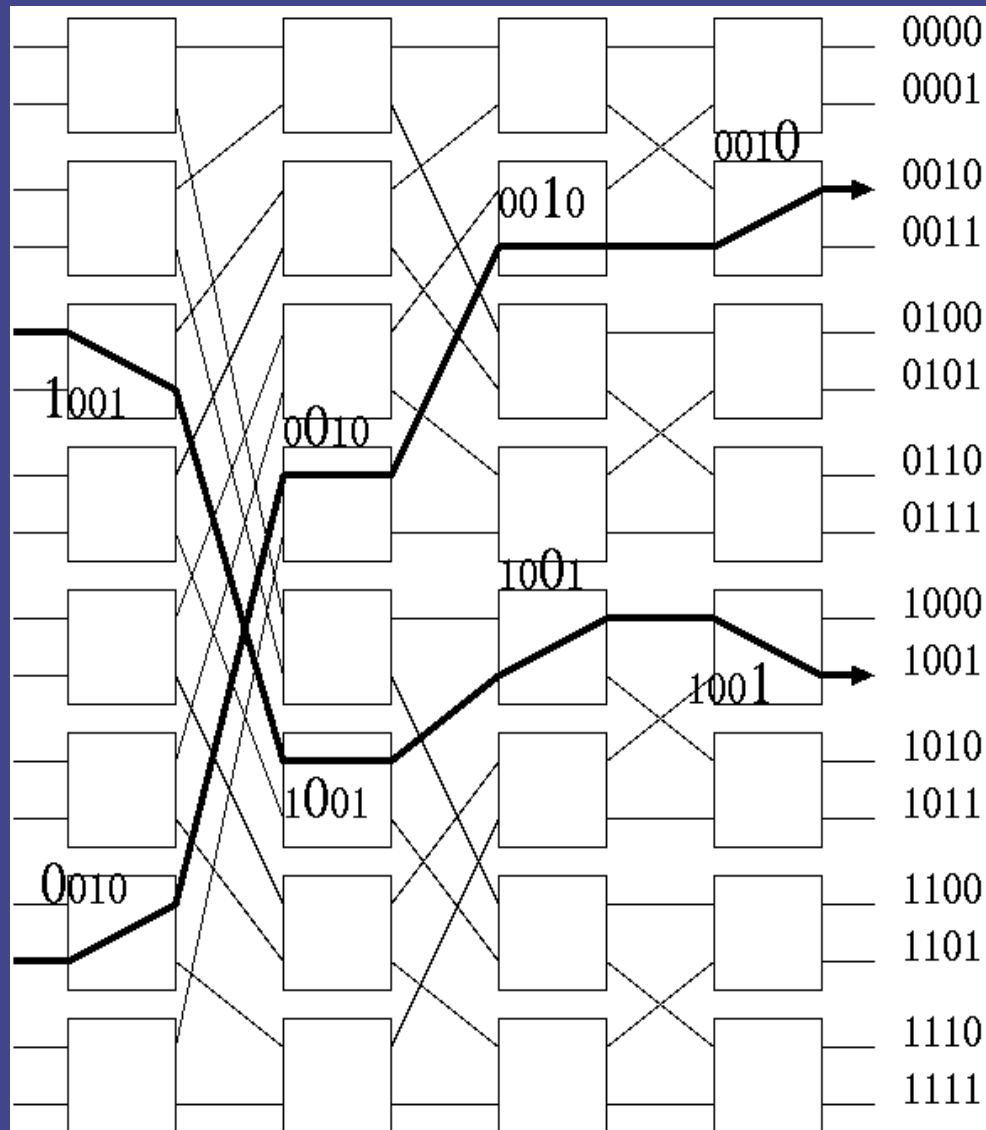
## 平均待ち時間



- ◆ 3段構成の2×2基本スイッチ(バッファ数3)
- ◆ パケット到着-ポアソン過程
- ◆ パケット生起率-どちらの入線でも等しい
- ◆ 目指す出線-ランダム

空パケットを挿入しない分パケット棄却率、平均待ち時間ともに提案方式の特性が良い

# 大規模スイッチ構成



Baseline型16×16スイッチ構成

## 基本構成

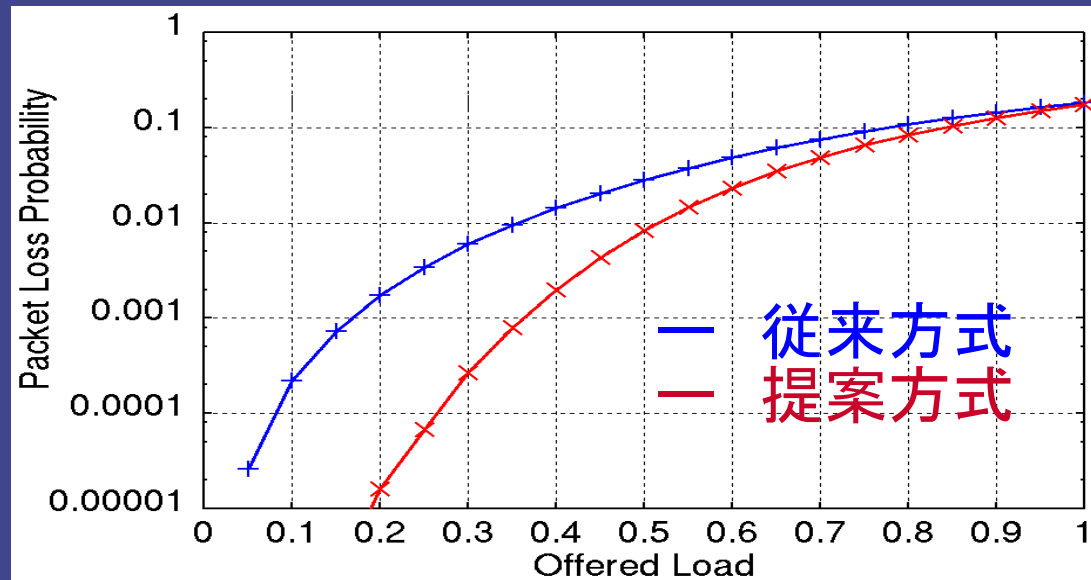
- ◆ 高速スイッチング可能なセルフルーティングスイッチ
- ◆ 1つのスイッチ要素としてバッファ付き2×2基本スイッチを組み込む

# 大規模スイッチにおける性能比較

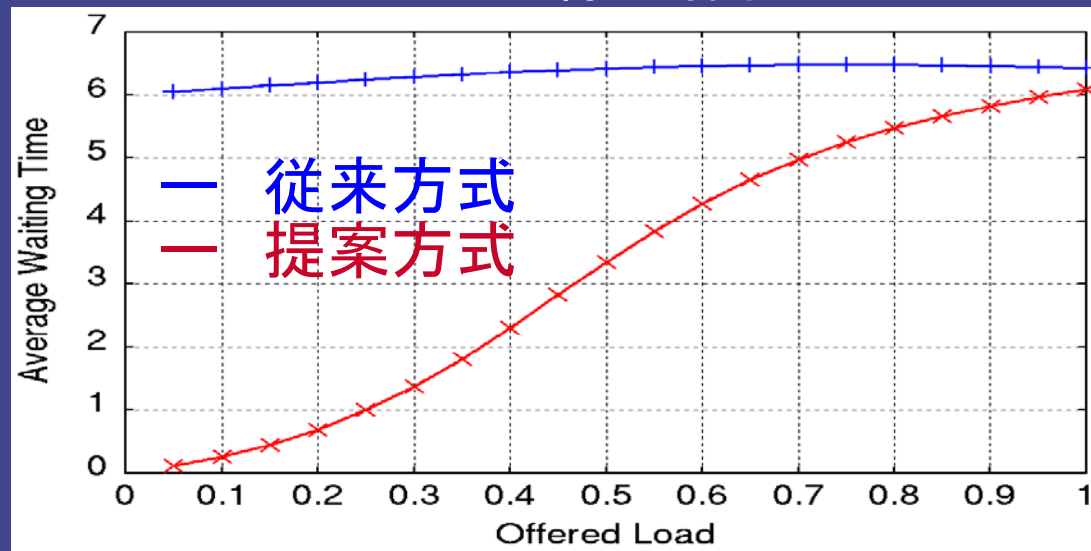
- ◆ スイッチ構成-16×16スイッチ
- ◆ スイッチ要素-3段構成の2×2基本スイッチ(バッファ数3)
- ◆ パケット到着-ポアソン過程
- ◆ パケット生起率-どの入線でも等しい
- ◆ 目指す出線-ランダム

大規模スイッチにおいても提案方式は良好な特性を示している

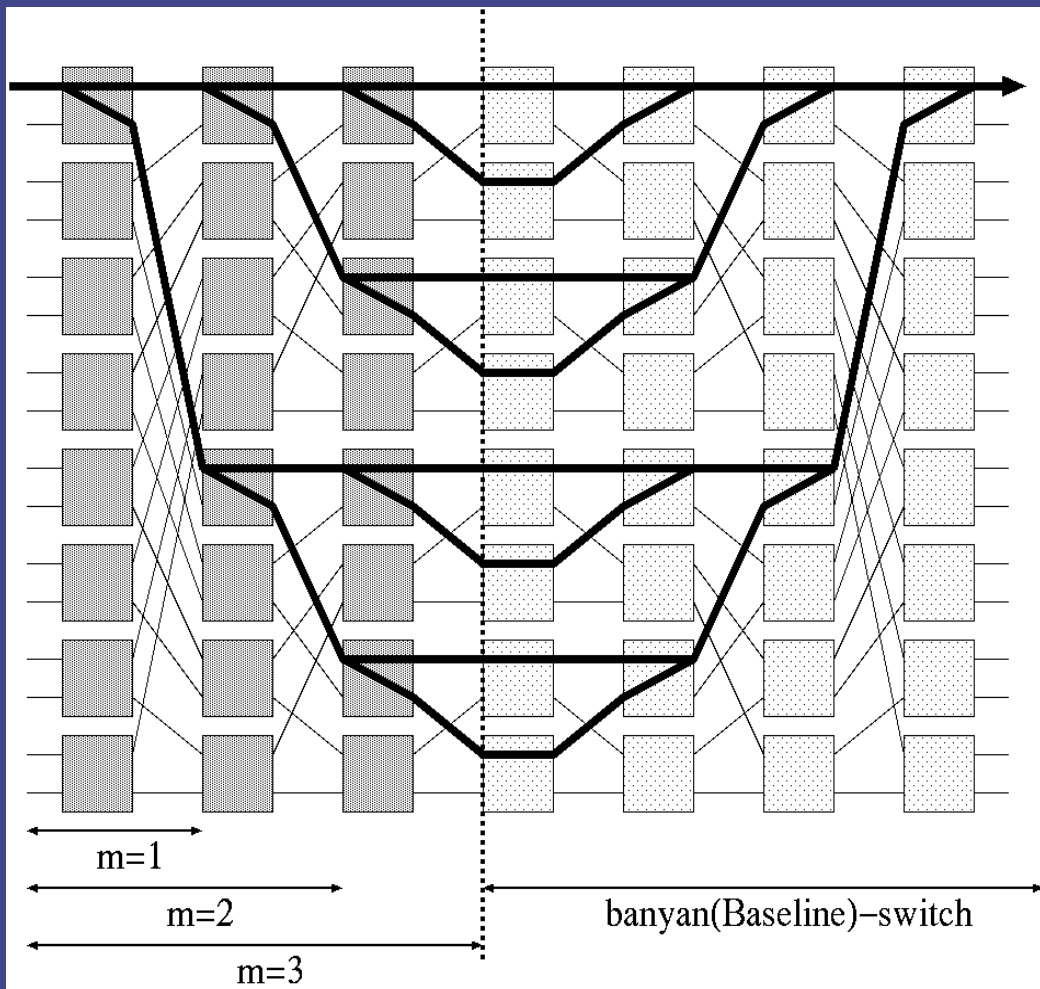
## パケット棄却率



## 平均待ち時間



# ディフレクションルーティング



ディフレクションルーティングを  
考慮したスイッチ構成

- ◆ 前段にネットワークを接続して内部リンク数を増やす
- ◆ メインパスでパケットの競合がおこる場合は目的の出線とは違う出線にディフレクションさせる



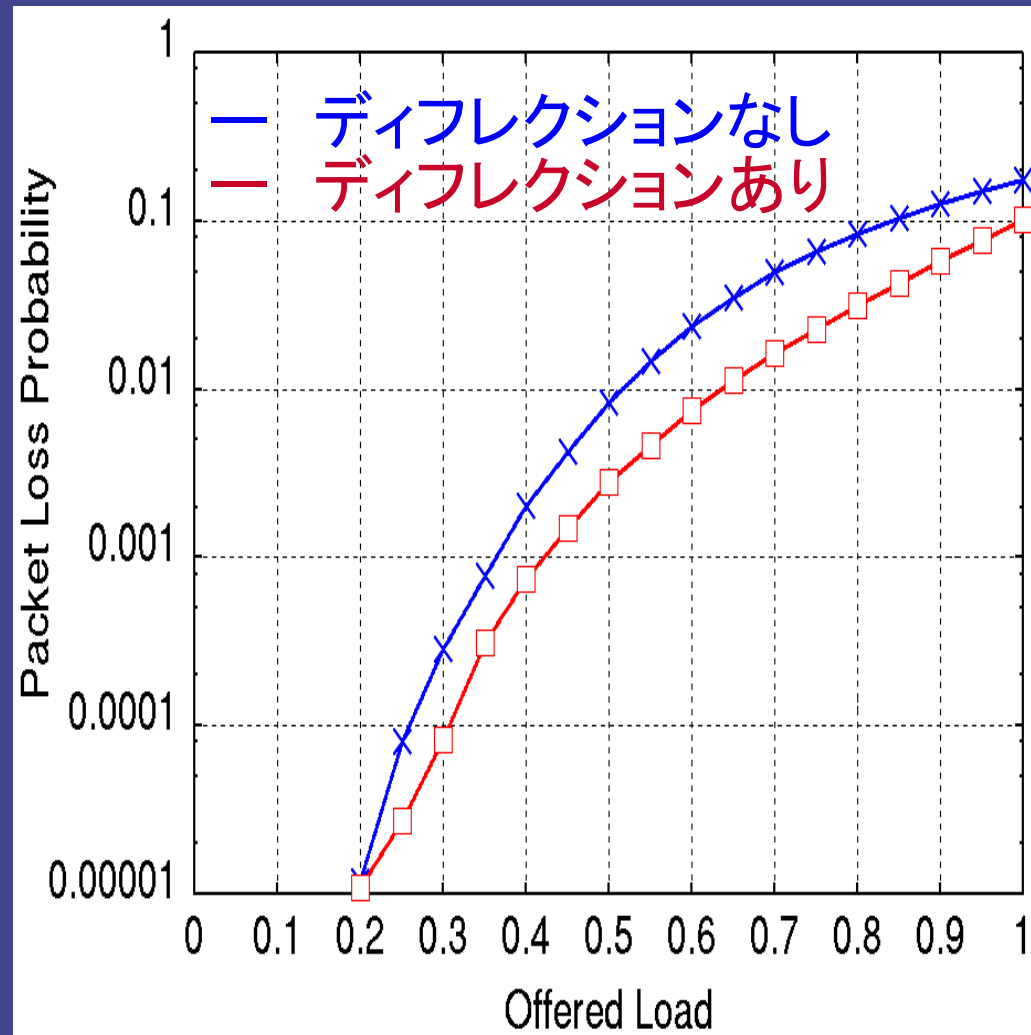
パケット棄却率が減少

# ディフレクションルーティングの効果

## パケット棄却率

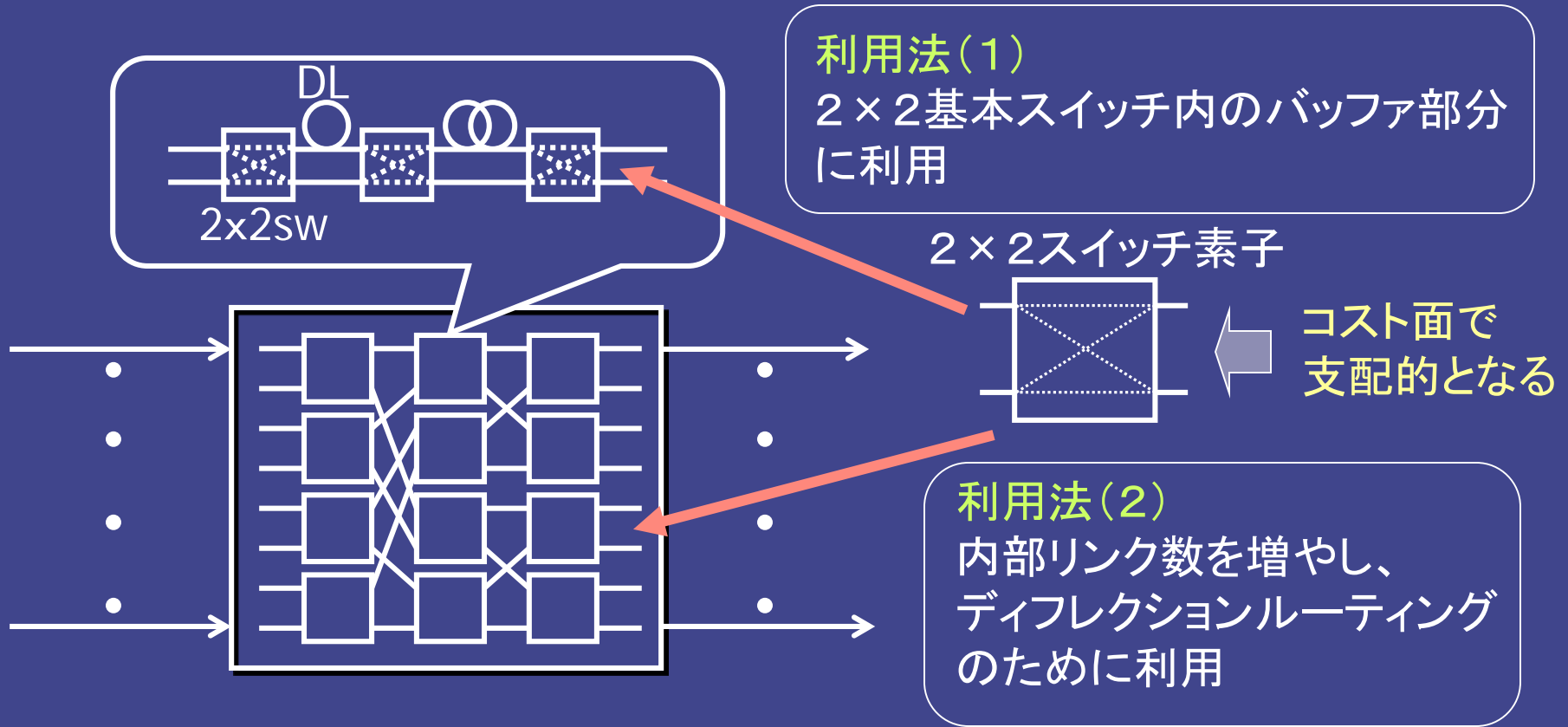
- ◆ スイッチ構成-16×16スイッチ
- ◆ スイッチ要素-3段構成の2×2基本スイッチ(バッファ数3)
- ◆ パケットスケジューリングアルゴリズム-提案方式
- ◆ パケット到着-ポアソン過程
- ◆ パケット生起率-どの入線でも等しい
- ◆ 目指す出線-ランダム

ディフレクションルーティングによってスイッチの性能向上が図れる。





# 実現コストを考慮した評価



利用法の違いによるパケット棄却率、  
平均待ち時間の特性を比較

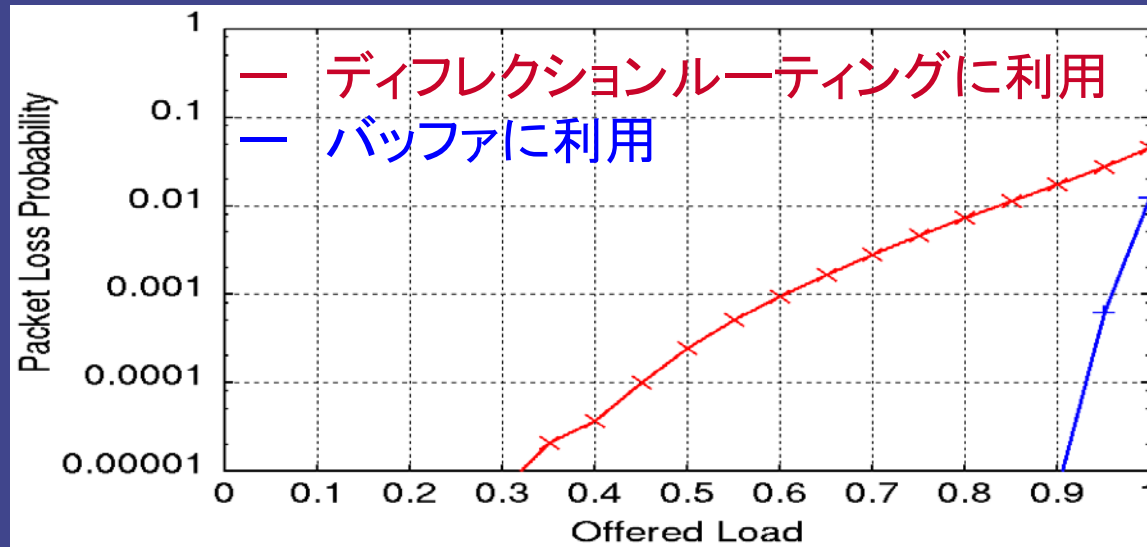
# 実現コストを考慮した性能比較

- ◆ スイッチ構成-16×16スイッチ
- ◆ 全スイッチ素子数-224
- ◆ (1)バッファ数 $l_1=63$ 、(2)-バッファ数 $l_2=7$
- ◆ パケットスケジューリングアルゴリズム-従来方式
- ◆ パケット到着-ポアソン過程
- ◆ パケット生起率-どの入り線も等しい
- ◆ 目指す出線-ランダム

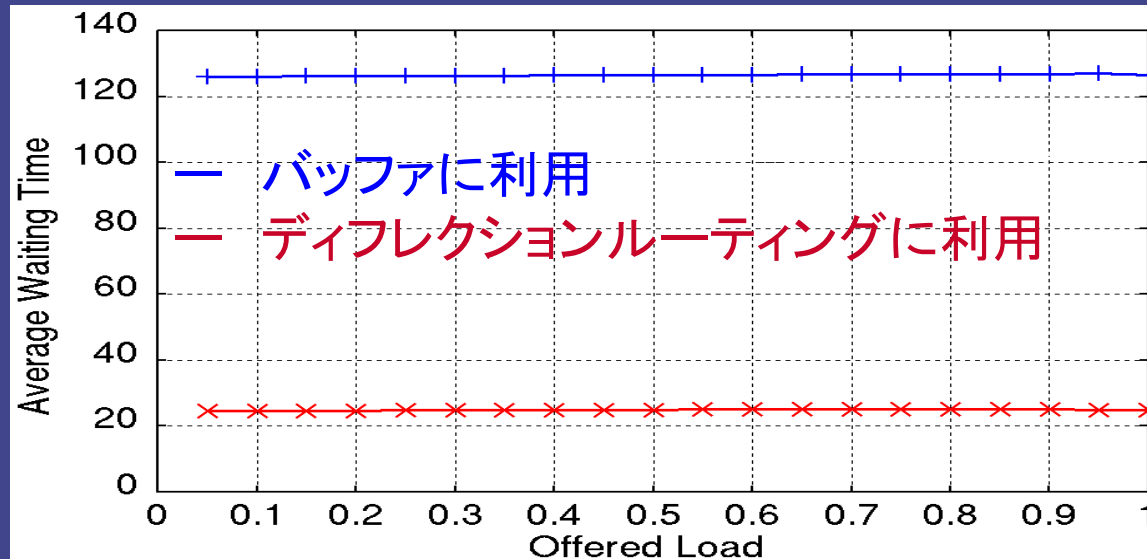
負荷の低い状態で動作する場合には、スイッチ素子はバッファ部分よりもディフレーションルーティングのために利用した方がよい。

提案方式を採用すれば  
どちらの特性も改善される？

## パケット棄却率



## 平均待ち時間



# まとめと今後の課題

## まとめ

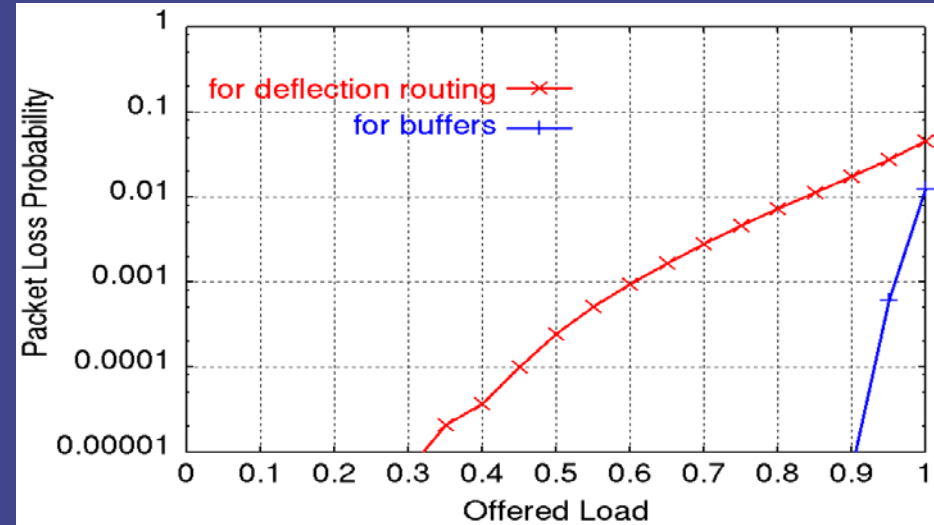
- ◆  $2 \times 2$ 基本スイッチに新しいスケジューリングアルゴリズムを提案し、それを採用することで性能は改善された
- ◆ 実現コストを考慮したスイッチ構成手法を検討した

## 今後の課題

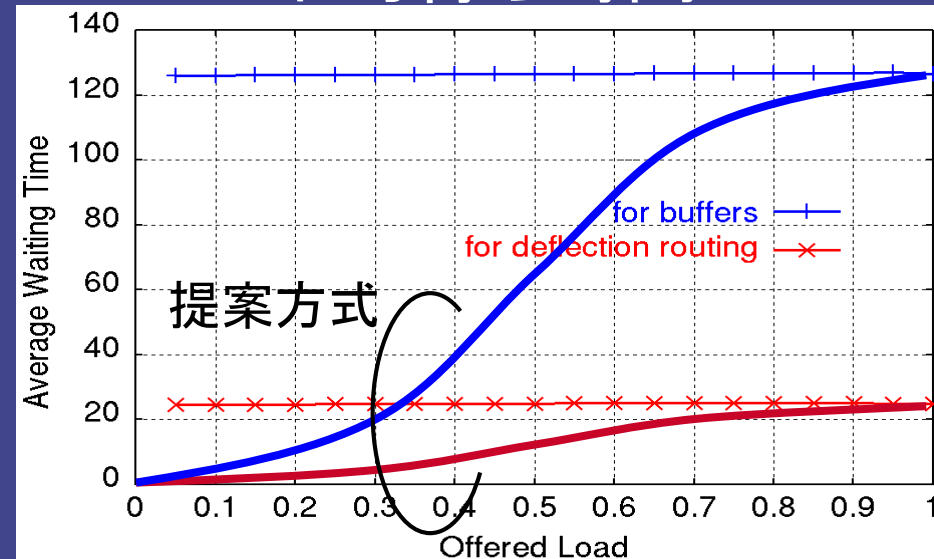
- ◆ 任意のバッファ数における提案アルゴリズムの適用
- ◆ 非同期スイッチング、可変長パケットを取り扱うためのスイッチ構成を考える

# 実現コストを考慮した性能評価

## パケット棄却率



## 平均待ち時間



- ◆ スイッチ構成は $16 \times 16$ スイッチ
- ◆ スイッチ素子数は224とする
- ◆ (1)の場合のバッファ数 $l_1=63$ となり、(2)の場合のバッファ数 $l_2=7$ となる
- ◆ パケットスケジューリングアルゴリズムは従来方式
- ◆ パケット到着はポアソン過程
- ◆ パケット生起率はどの入り線も等しい
- ◆ パケットの目指す出線はランダム

