

TR-AC-0017

001

ルーチングアルゴリズムの最適設計

山田 順一 北川 美宏 (ATRI)
森 英知 (実習生)

1998. 3. 2

ATR環境適応通信研究所

目次

1	はじめに	1
2	高次元アルゴリズムによる最適化	1
2.1	高次元アルゴリズム	1
2.2	ルーチングへの適用	2
3	シミュレーション	3
3.1	リンクでの遅延	3
3.2	SRとBSR	3
3.3	シミュレーション結果	3
3.4	考察	3

1. はじめに

ルーティングではネットワークにおける通信（遅延）時間を最小化するような、最適経路選択が求められ、その実現のためには様々なアルゴリズムが用いられている。ATRではこれまでネットワークにおける平均遅延時間および最大負荷量を最小にするための最適経路選択に高次元アルゴリズムを用いて検討してきた。さらに、遠回りの経路を含めたマルチパスによる最適経路選択を行なうことで遅延時間を増加させずに通信容量の拡大することの検討もしてきた。

一般にネットワークにおける遅延時間はルータ及びリンクでの遅延により発生する。ATRではルータでの遅延が支配的なネットワークにおけるルーティングの限界性能の解明を行っていた。それに対して、本研究ではリンクでの遅延が支配的なネットワークでのルーティング性能を評価し、得られた結果をこれまでのものと比較・検討することを目標とした。

2. 高次元アルゴリズムによる最適化

2.1 高次元アルゴリズム

高次元アルゴリズムは自然界の複雑なシステムの動きを解析し、情報通信をはじめとする人工の複雑なシステムの設計・制御へ活用できる汎用的なデザイン手法を確立する研究から生まれたものである。これは自由度の多い空間における粒子の複雑なふるまい（高次元ダイナミクス）の解析から、ある粒子が他の粒子との相互作用や外部の力から作られるエネルギー（図1の目的関数）を受けた中で運動をすることになり、その結果、長い時間で粒子の位置を観測すると、局所的ではなく大局的な安定点（図1の目的関数の低いところ）に存在する時間が長くなる（図1の分布関数の大きいところ）。さらに、自由度の数が多（高次元）ほど、その特長が顕著に現れるのである。つまり解析の結果、粒子は、

- ・ 自律的にある方向に向かった運動をする。
- ・ その自律運動は自由度を上げるほど加速される。

ことがわかった。ここで個々の粒子をシステムの制御すべきパラメータ、目的関数をシステムの評価のための関数と考えると、このメカニズムは、所望の特性をもつようにシステムを設計・制御するための計算に利用することができる。このような自律運動のメカニズムを用いた計算法が、ATRの開発した「高次元アルゴリズム」と呼ばれるものである。

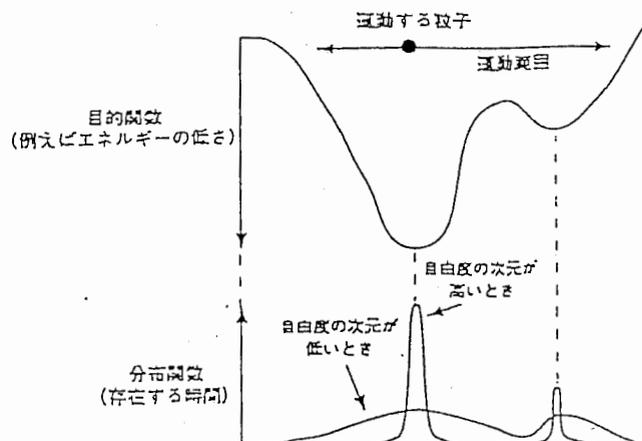


図1 高次元空間の自律的運動

2.2 ルーティングへの適用

時間依存性のない通信負荷がネットワークに発生した場合、最適なルーティングを高次元アルゴリズムによって計算する。これは送信元～送信先間の複数のパスにおける振り分け率を求めておき、その率に従って送信先からパケットを送出するものである。この振り分け率の決定は以下のように考えられる。

ルータの数がNのネットワークにおいて、トラヒックの発生ルータ（送信元）をs、宛先（送信先）をd（ $d \neq s$ ）、sからdへのルート数を $n_p(d, s)$ 、各ルートの送出割合（振り分け率）を $x(i, d, s)$ 、各ルートに含まれるリンクの集合を $nl(i, d, s)$ とする。発生したトラフィックにたいして、全ルートへの送出割合の和は次式を満足する（iは各ルートに付けた通し番号である）。

$$\sum_{i=1}^{n_p(d,s)} x(i, d, s) = 1 \quad (0 \leq x(i, d, s) \leq 1)$$

単位時間あたり、一個の他のルータへのトラヒックが全ルータに対し均等に発生すると、kルータからlルータへのリンクの全負荷 $load(k, l)$ は次式のようになる。

$$load(k, l) = \sum_s \sum_d \sum_j \rho * x(i, d, s) * true \{ (k, l) \in nl(i, d, s) \}$$

ここで、 $true(a) = 1$ for $a = true$
 $= 0$ for $a = fault$

$$\rho = 1 / \{N * (N - 1)\}$$

であり、これらは全ルートにおいてリンク(k, l)を含んだとき、そのルートの振り分け率を積算していくことを示している。

このとき、ルータ負荷の最大値X maxと平均値X aveは次式となる。

$$X \max = \max (load(k, l)) \quad \text{for } k, l \in N$$

$$X \text{ ave} = (1 / N) * \sum_{k, l \in N} (k, l)$$

そして、sからdへのトラヒックの平均遅延時間 $d(d, s)$ は次式となる

$$d(d, s) = \sum_i \sum_k \sum_l x(i, d, s) * load(k, l) / (1 - load(k, l)) * true \{ (k, l) \in nl(i, d, s) \}$$

従って、全トラフィックの遅延時間の平均値D aveは次式となる

$$D \text{ ave} = (1 / \{N * (N - 1)\}) * \sum_s \sum_d d(d, s)$$

ここで、平均遅延時間D aveと最大負荷X maxを小さくするために次の目的（評価）関数を持ちいて振り分け率を求める。

$$U = k_1 * k_2 * X \max + k_1 * (1 - k_2) * D \text{ ave}$$

(k_1, k_2 は重みづけ係数)

つまり、高次元アルゴリズム（ハミルトニアンアルゴリズム）はこの目的関数を最小とするような振り分け率を算出するのである。そして、この目的関数から生じる力を速度とし、微小時間毎の運動軌跡を計算していく。これらの処理を繰り返すことによってネットワークにおける通信時間が最小となる振り分け率へと収束していくのである。

3. シミュレーション

3.1 リンクでの遅延

A T Rではルータの遅延が支配的なネットワークについて考えていた。つまり、リンクでの遅延は無視していた。しかし、近年の通信技術の進歩によって、ルータでの処理は高速化される傾向にあることから、将来的にはルータでの遅延よりもリンクでの遅延が問題となることが考えられる。そこで本研究ではリンクの遅延が支配的なネットワークにおけるルーティング性能の評価を行った。

3.2 S RとB S R

自動車でも目的地まで移動するときは最短経路が一番早いとは限らない。それはそのときの交通状況によっては遠回りをした方が早い場合もあるからである。これは通信の世界でも同様に言える。つまり、ネットワークのルータは交差点、リンクは道路として考えるのである。ここで最短経路とはルータの通過数が一番すくないルートのことである。しかし、交通と同様にルータまたはリンクが混んでいては遅延時間が大きいため通信時間が遅くなるのです。そこで、本研究では、A T Rの研究と同様に送信元～送信先へのルートにおいて、ルータの通過数（ホップ数）が最小な経路の中からどれか一つを選択したシングルパスでのルーティング（S R）と複数の経路を使用するマルチパスに遠回りも含めたルーティング（B S R）をそれぞれ行ない、比較を行った。

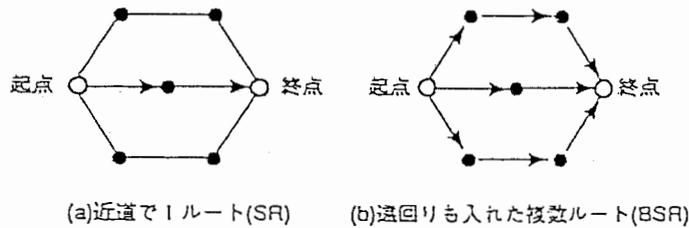


図2 遠回りのルートの利用

(○●はルータ(交差点)、→は経路)

3.3 シミュレーション結果

高次元アルゴリズムを用いてリンクでの遅延が支配的であるネットワーク、つまりリンクでの遅延しか考えない場合において、最大負荷と平均遅延時間を最小とするようなプログラムを作成し、4つのネットワークモデルにおいて、シミュレーションを行った。その結果、S Rに対してB S Rでは高負荷時に最大負荷量を抑制することができた。このことから、B S Rの使用によって通信容量を拡大し、平均遅延時間を抑制できることがリンクでの遅延が支配するネットワークにおいても確認された。さらに、ネットワークモデルにより差はあるが、遠回り数(n)が2以上のB S Rではあまり効果が得られないことも分かった。また、それと同時に高次元アルゴリズムで計算したB S Rが通信容量の拡大に有効で、時間依存性のないルーティングアルゴリズムの絶対性能評価尺度として利用可能であること、性能限界を与えることを確認できた。

3.4 考察

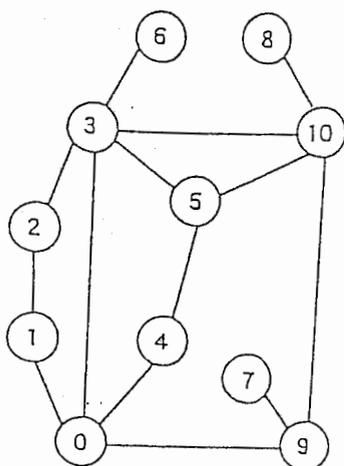
以上の結果からルータ、リンク、どちらか一方の遅延が支配的なネットワークについて考えた場合、S Rに対してB S Rを使用した場合に通信容量が拡大され、遅延時間を抑制できることが共通する結果であった。しかし、同じネットワークについてシミュレーションを行ったのにもかかわらず、遅延の発生源を変えたことによって、B S Rの遠回り数の増加による最大負荷率および平均遅延時間の抑制にずれが生じた。

このことから、ネットワークで使用するシステムの遅延がルータとリンク、どちらか一

方が支配することによって、通信容量をより拡大できるトポロジーが異なることが分かった。そして、経費の制限がある場合に、通信容量をより拡大できるネットワークを設計するためにはどのようなシステムを採用し、どの遅延が支配的であるか、どのようにリンクをはるかが重要となることを確認した。

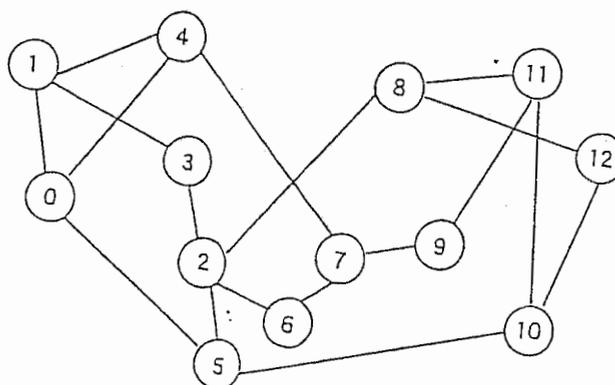
シミュレーションに使用したネットワークモデル

LOSnet



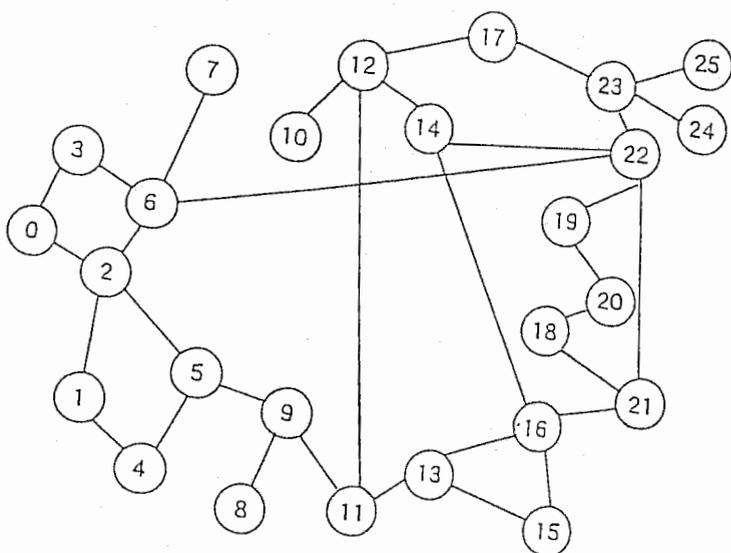
ルータ数 = 11
リンク数 = 14

NSFnet



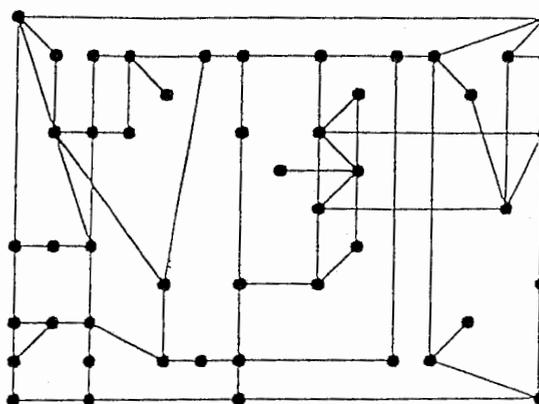
ルータ数 = 13
リンク数 = 18

DOEnet



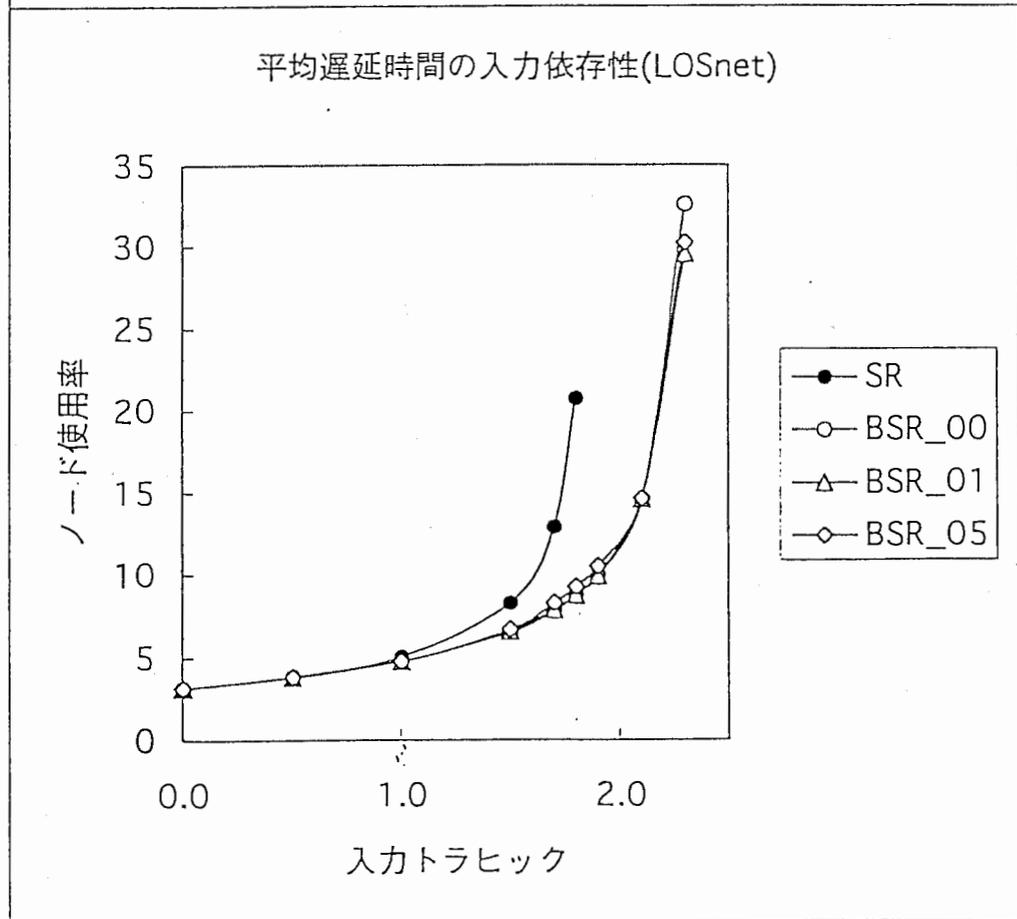
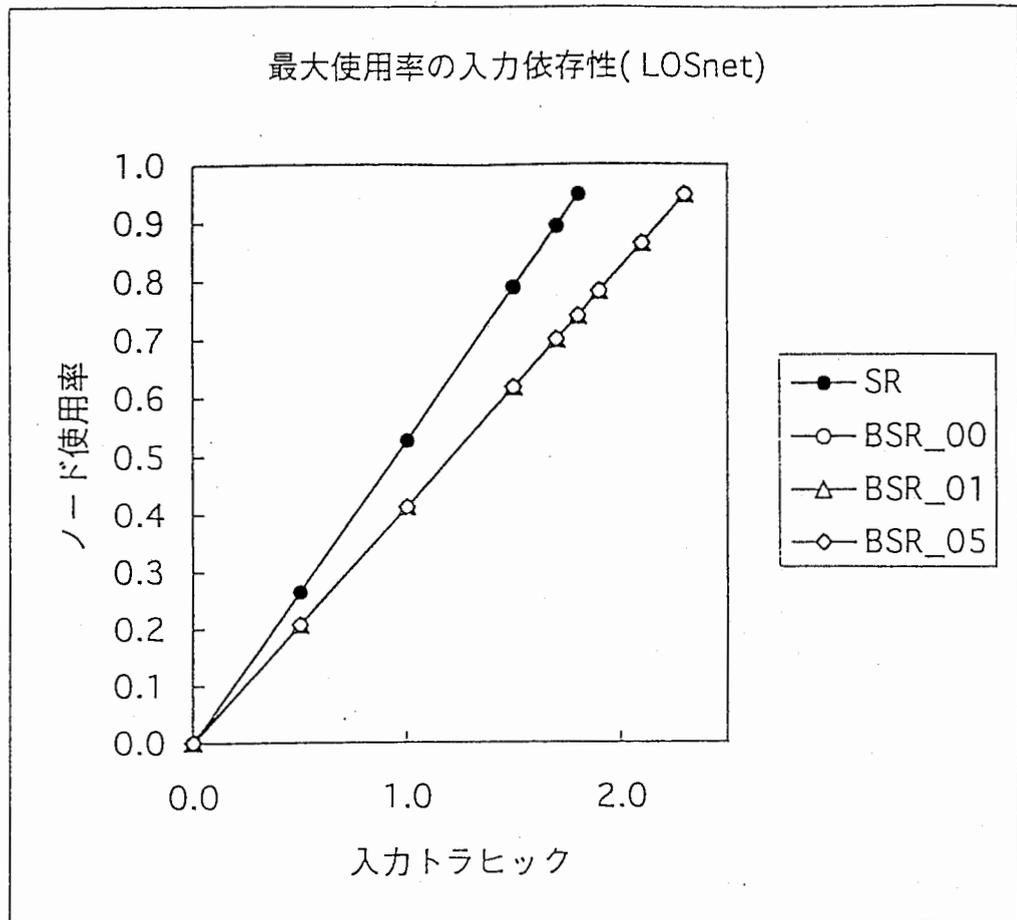
ルータ数 = 26
リンク数 = 33

ARPnet

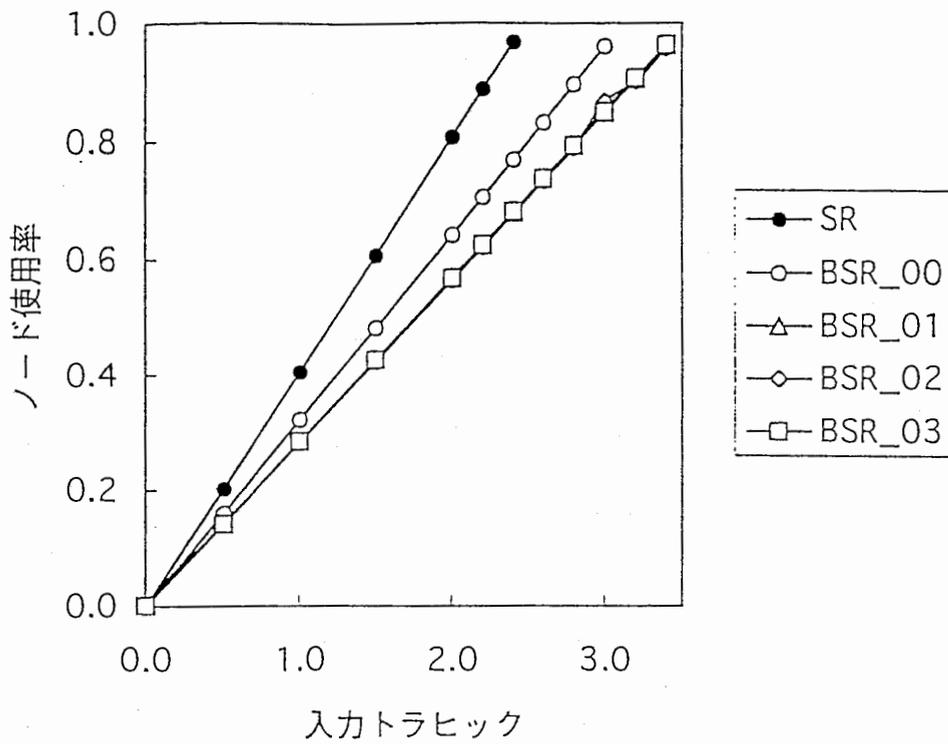


ルータ数 = 48
リンク数 = 71

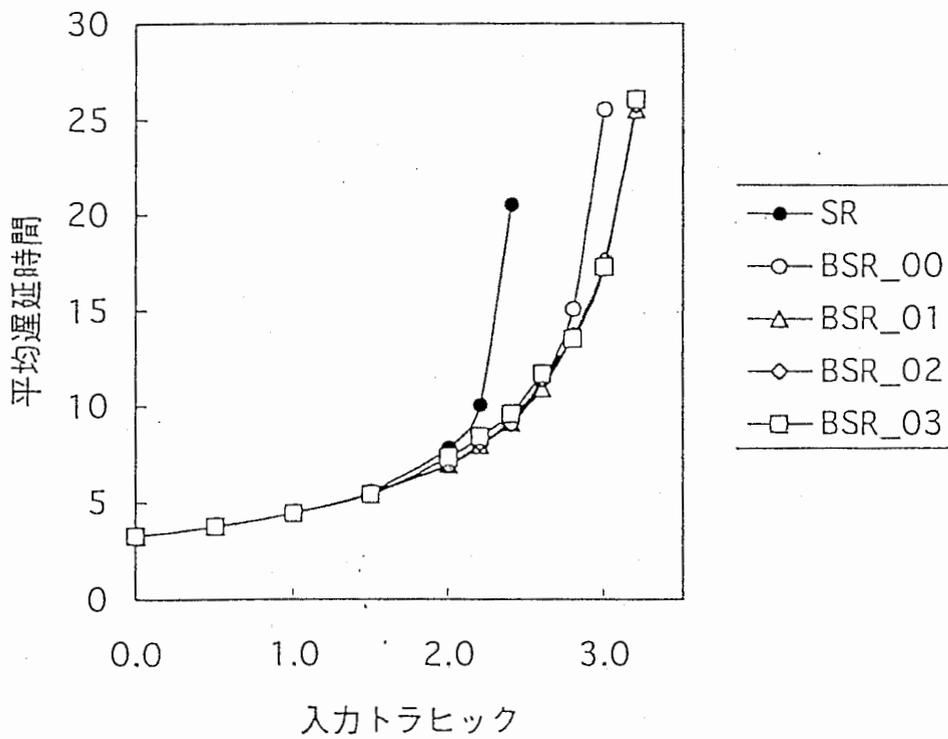
ルータでの遅延が支配的な場合



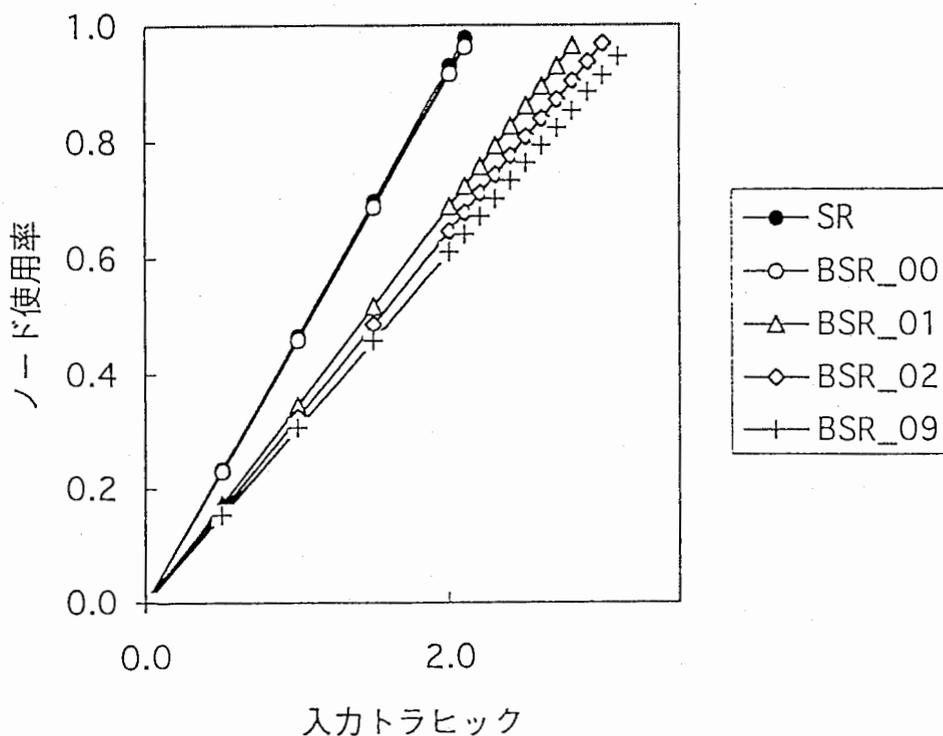
最大使用率の入力依存性(NSFnet)



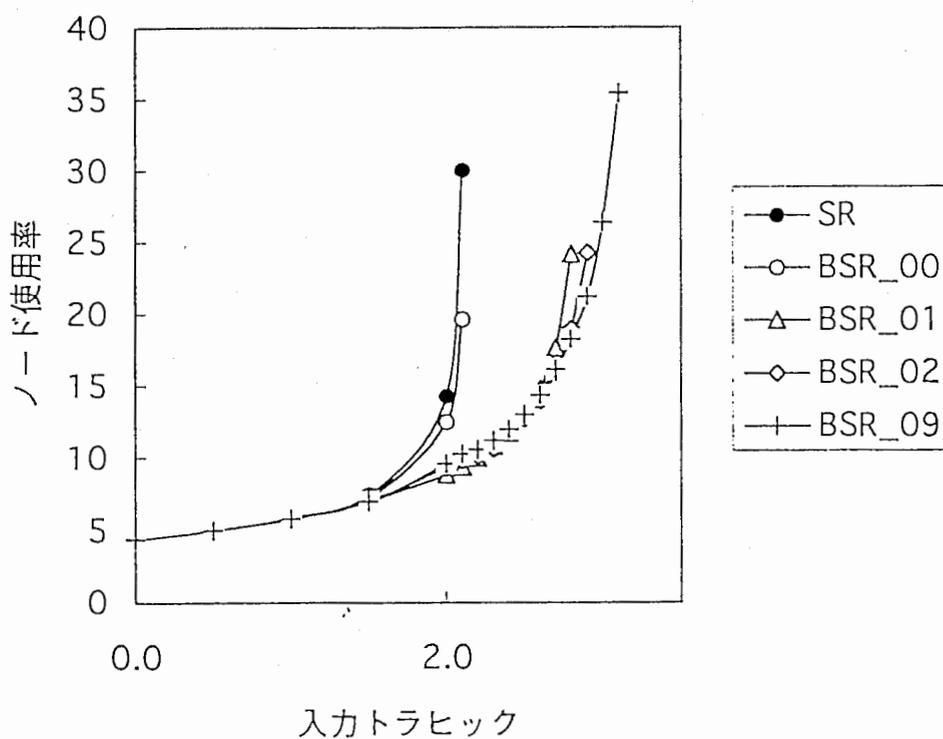
平均遅延時間の入力依存性(NSFnet)



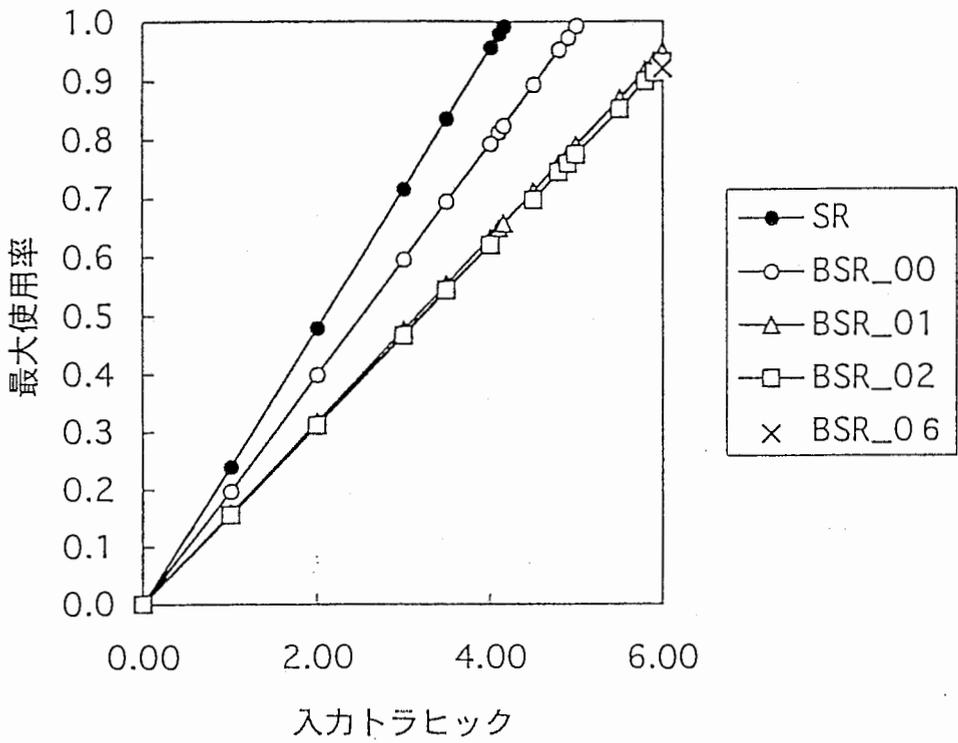
最大使用率の入力依存性(DOEnet)



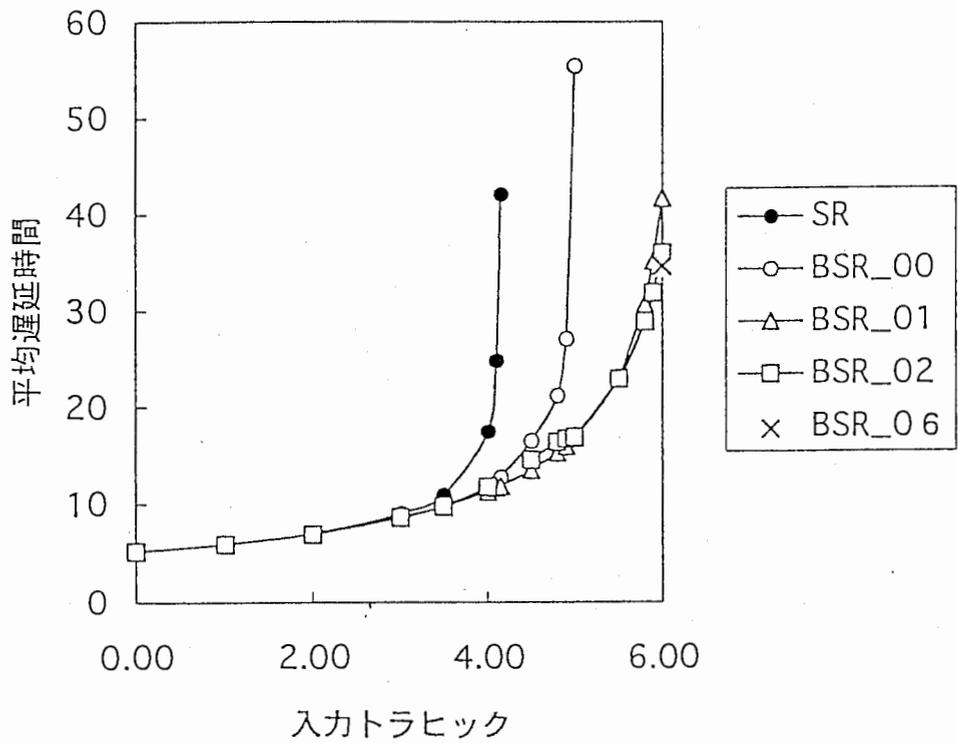
平均遅延時間の入力依存性(DOEnet)



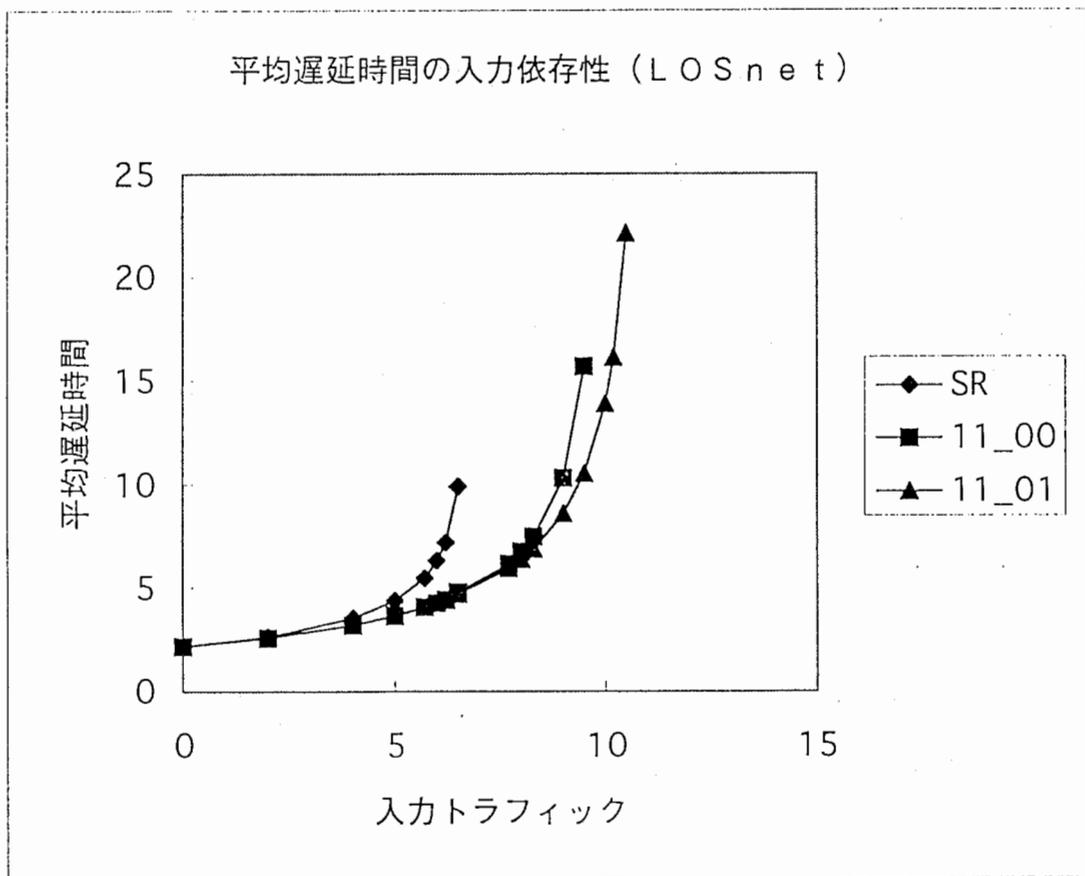
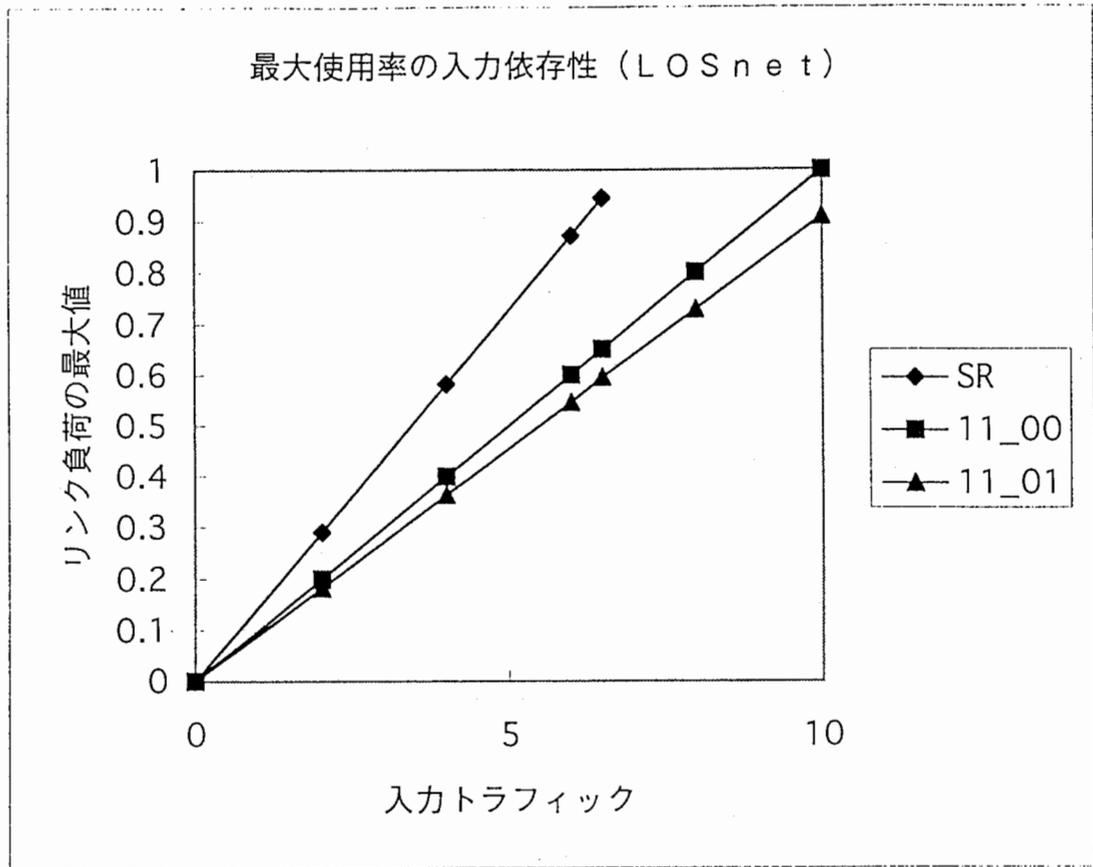
最大使用率の入力依存性(ARPnet)



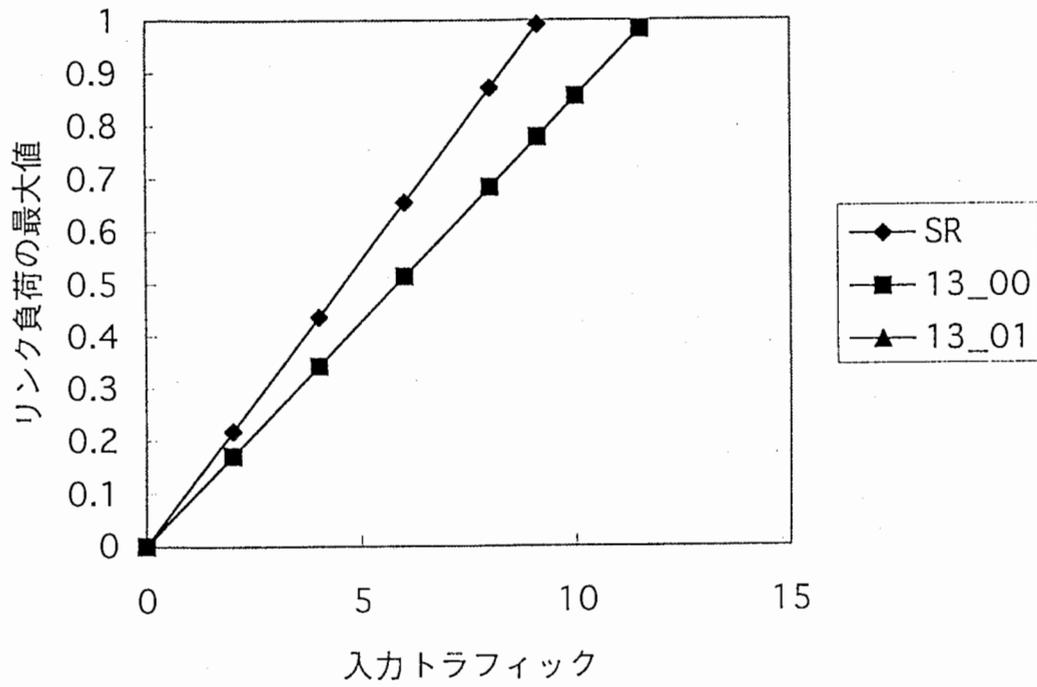
平均遅延時間の入力依存性(ARPnet)



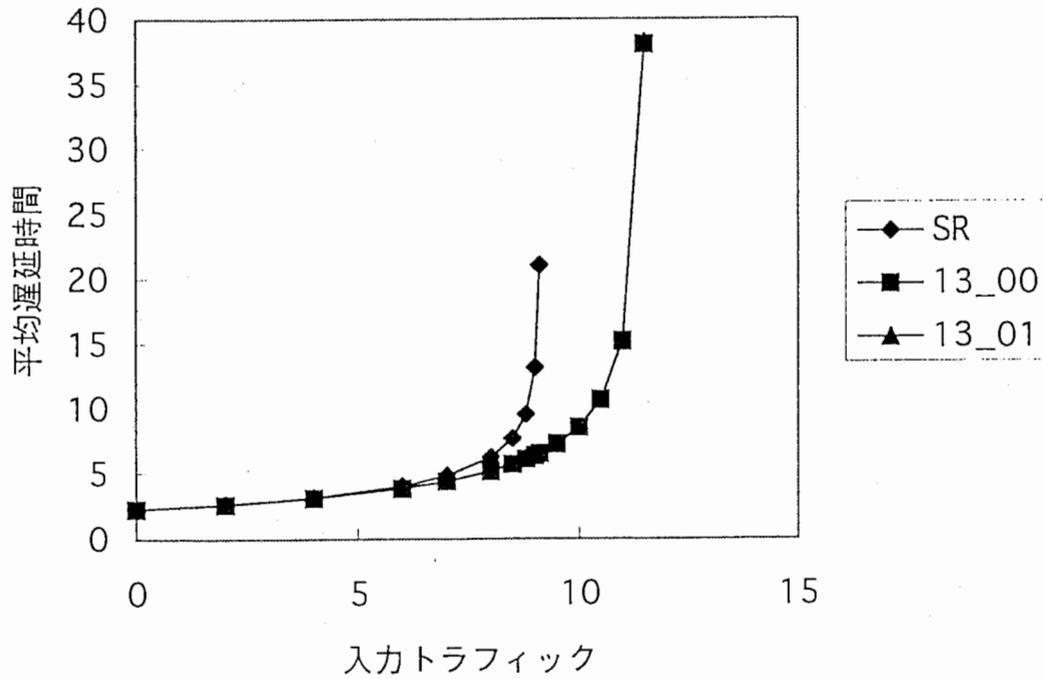
リンクでの遅延が支配的な場合



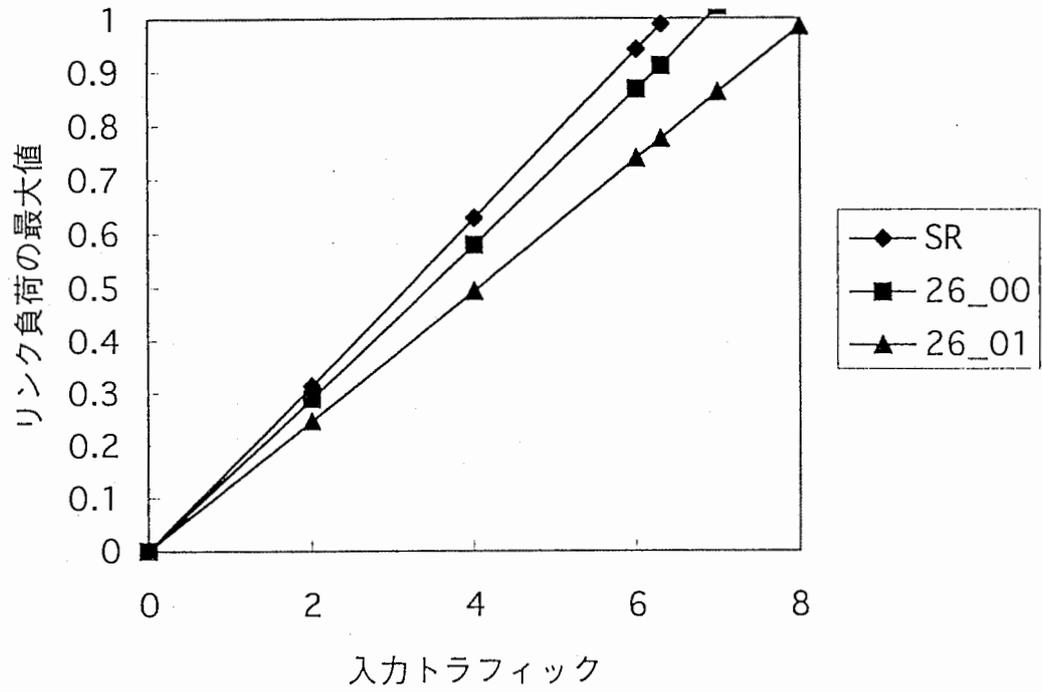
最大使用率の入力依存性 (NSFnet)



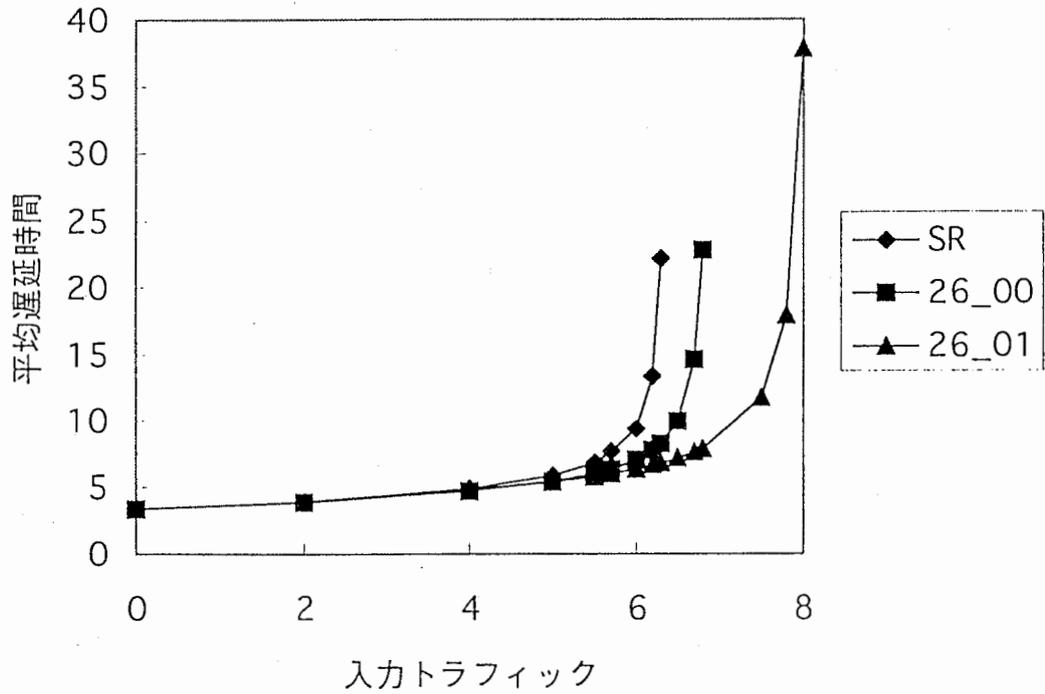
平均遅延時間の入力依存性 (NSFnet)



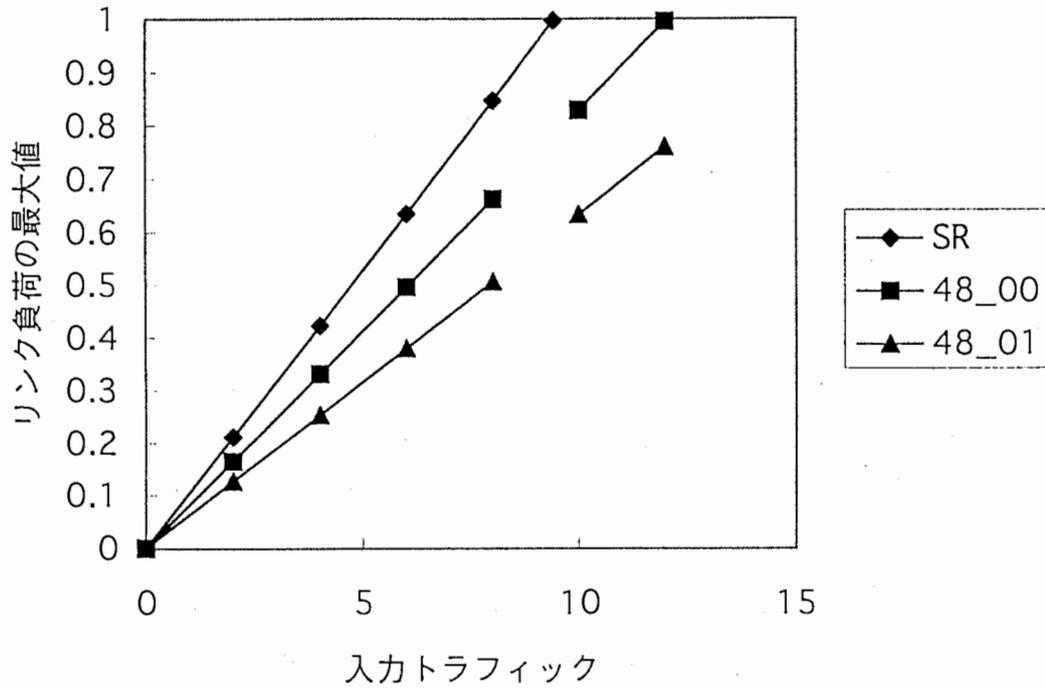
最大使用率の入力依存性 (DOE net)



平均遅延時間の入力依存性 (DOE net)



最大使用率の入力依存性 (ARPnet)



平均遅延時間の入力依存性 (ARPnet)

