

格子またはリンクの順位選択における内部ふくそう率

Link Congestion in Multistage Connecting Networks Selecting Lattices or Links in Sequence

白 須 宏 俊*
Hirotooshi Shirasu

秋 山 忠 彦*
Tadahiko Akiyama

新 井 康 道*
Yasumichi Arai

内 容 梗 概

共通制御式自動交換機に用いられている多段接続フレームにおいて、格子またはリンクを定順位で選択することによって、近似的にパッキング状態を実現することができ、内部ふくそう率を減少し得るのではないかと考え、電子計算機を用いたシミュレーションによってこれを確認した。この結果、順位選択が内部ふくそう率の減少に相当の効果が有り、交換機の価格低減の一方法として採用し得ることが明らかになった。

1. 緒 言

最近における電話の普及はめざましいものがあり、日本電信電話公社におかれては、第3次、および第4次5個年計画によって設備の拡充を急いでいる。このような電話設備の需要の増大に伴い、電話交換技術も年々著しい進歩を遂げている。

ここで紹介する順位選択は、従来無作為あるいは均等に選択捕捉していた、多段接続フレームにおける格子あるいはリンクを、一定順位で選択捕捉することによって、内部ふくそう率を減少せしめようとするものである。内部ふくそう率の低下は、いいかえれば、同一内部ふくそう率のもとではより多くの呼量を運び得ることであり、設備の経済化に直結している。格子あるいはリンクを一定順位で選択するという、最も単純な方法により、設備の経済化が可能であるという点において、非常に興味ある問題である。

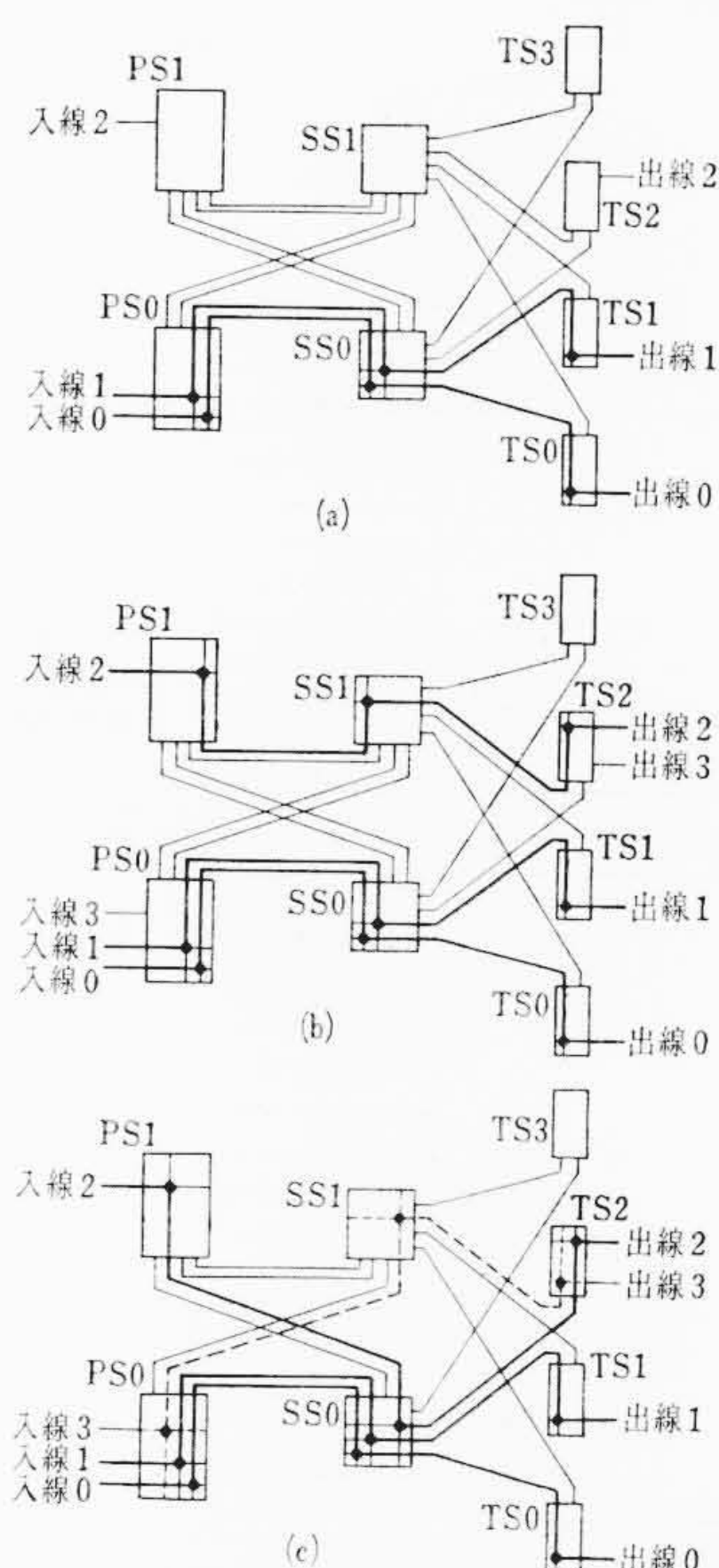
ここでは、三段接続フレームをモデルにして、順位選択において内部ふくそう率に及ぼすリンク構成の影響、呼量の影響、発着呼量比の影響、一次格子拡大率の影響などを電子計算機を用いたシミュレーションによって解析した結果を示す。

2. パッキング⁽¹⁾と順位選択

第1図は、簡単な三段接続フレームを例に、リンクの占有状態の例を図示したもので、このフレームは2個の一次格子PS0, PS1, 2個の二次格子SS0, SS1, 4個の三次格子TS0~TS3から成り、相隣る格子間はそれぞれ一次リンクおよび二次リンクによって結合されている。このようなリンク構成のフレームにおいては、全入線は全出線に対して接続経路をもっているが、常に空き経路があるとは限らない。たとえば、一次格子PS0の四つの入線が接続され、リンクを占有した状態では、4本の一次リンクが全部話中であり、この格子の第5番目の入線に生じた呼は、どこへ接続されることもできない。また第1図(b)の太線で示すリンクが話中の状態で、一次格子PS1の入線に生じた呼は、一次格子PS1, 三次格子TS1ともに空きリンクをもっているにもかかわらず、三次格子TS1の出線には接続されることができない。このようにリンクの話中状態によって入線、出線間を接続できない状態を、内部ふくそう、あるいはリンクブロックと呼んでいる。これには上述のように、使用し得る全リンクが話中の場合と、空きリンクがあるにもかかわらず話中リンク相互の組合せによって生じる場合がある。以下に説明するパッキングおよび順位選択はともに、リンクの組合せによって生ずる内部ふくそうを小さくしようとする試みの一つである。

まず、第1図によって格子のパッキング効果を説明する。(a)に示す二つの呼が入線0→出線0, 入線1→出線1に接続された状態

* 日立製作所戸塚工場

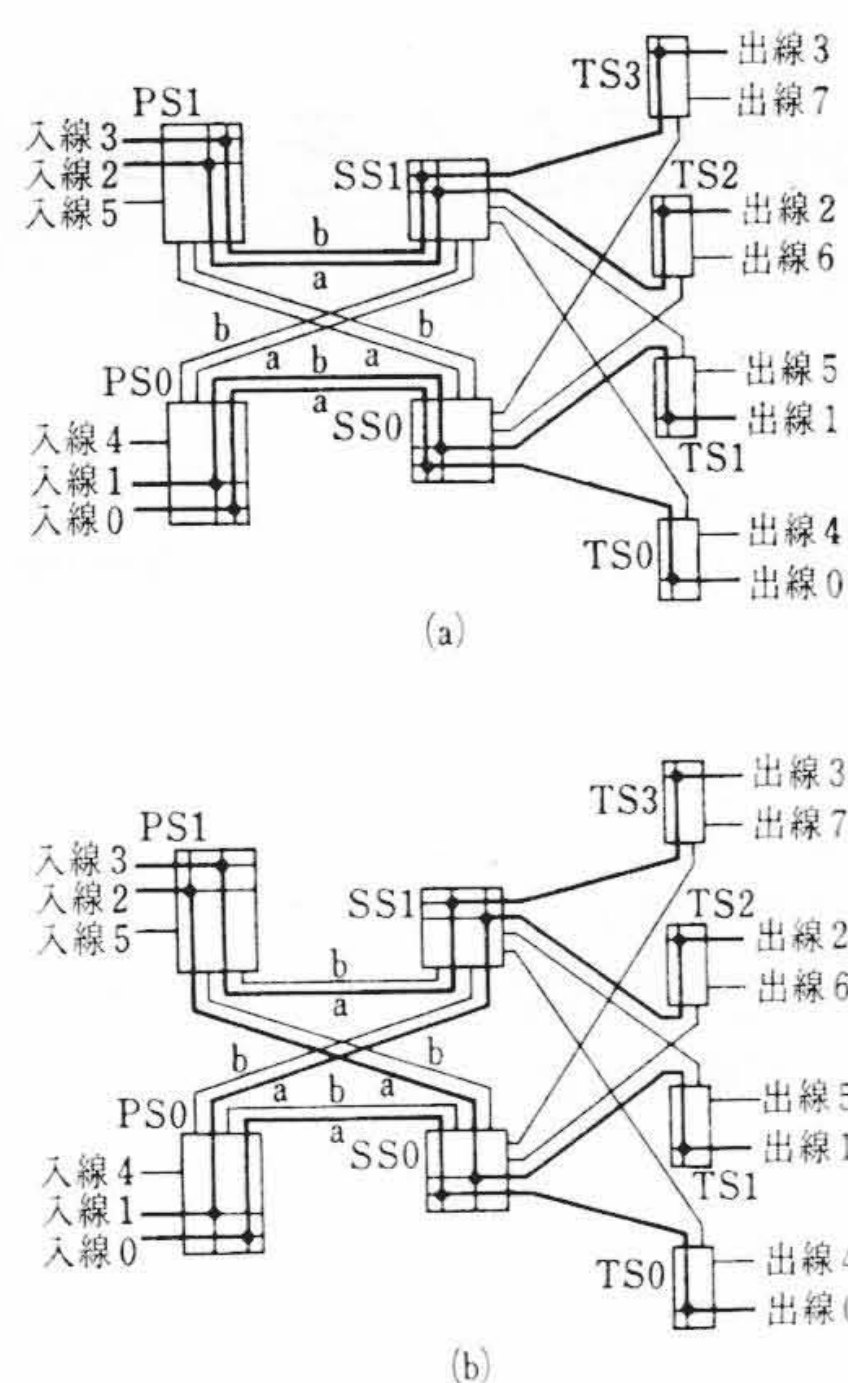


第1図 格子のパッキング状態における呼のリンク占有状態

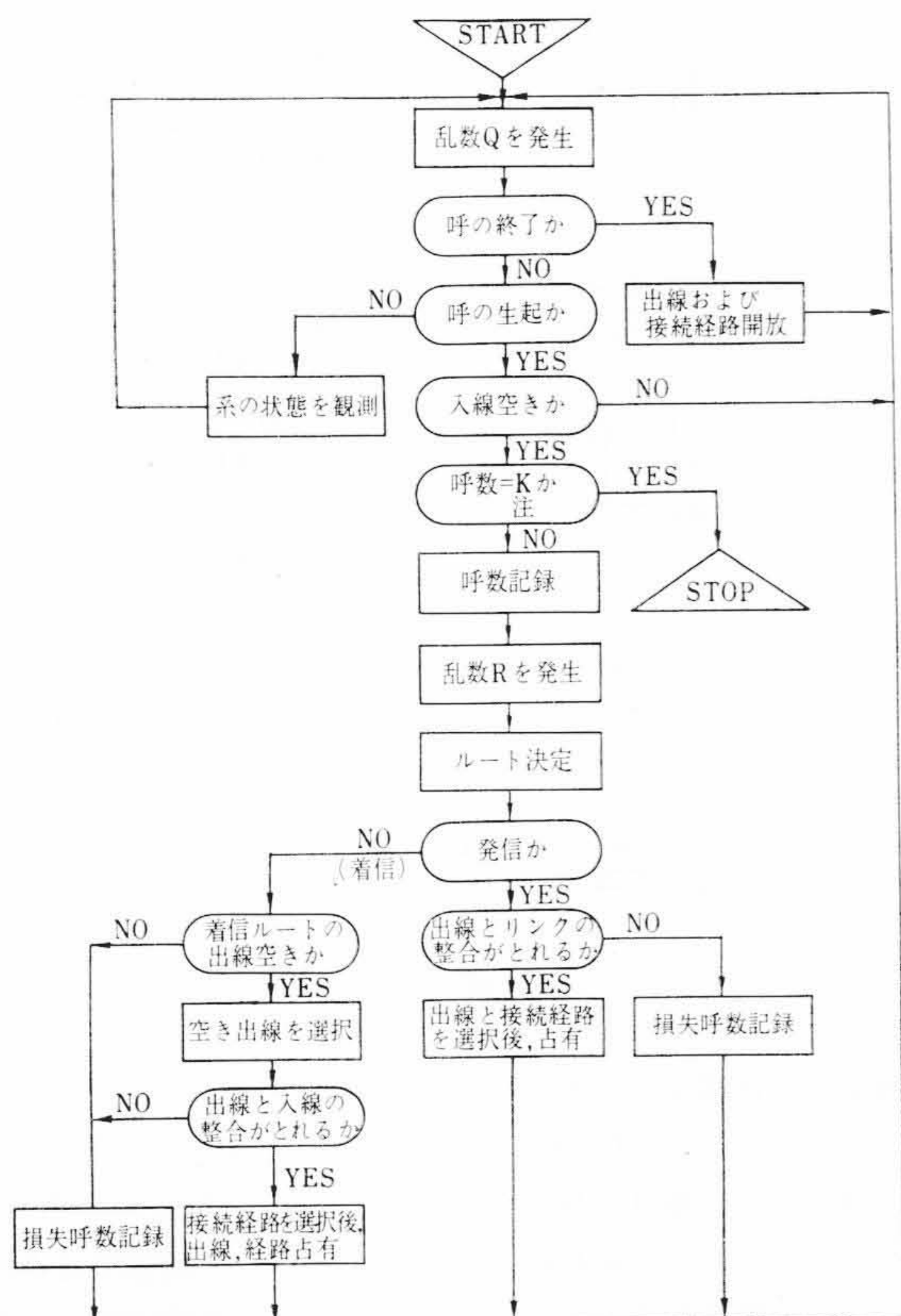
で、入線2から出線2への接続要求があったとすれば、その接続経路は同図(b), (c)に示す二通りがある。おのおのの状態において、さらに入線3から出線3へ接続要求が起こったとすれば、(b)の状態では内部ふくそうのため接続できないが、(c)の状態では点線の経路で接続が可能である。このことは、トラヒック的には(b)の状態より、(c)の状態が好ましいことを示している。パッキングとは、その意味が示すように、呼を最もふくそうした二次格子に詰め込むことにより、(c)に示す状態を実現することで、理想的には呼を接続する時点で、同時接続数の最も多い二次格子を最優先にして選択する必要がある。二次格子を無作為あるいは均等に選択すれば、(b)の状態になりやすいことは明らかで、トラヒック的には好ましいといえない。パッキングは一次格子を除くすべての格子に適用し得るが、また多重リンク構成のフレームでは、リンクに適用しても有効である。

第2図によってリンクのパッキング効果を説明する。

第1図と同じ三段接続フレームにおいて四つの呼が入線0→出線0, 入線1→出線1, 入線2→出線2, 入線3→出線3とそれぞれ接続されているとし、その場合のリンクの占有状態のうち、第2図(a)および(b)に示す二つを考える。この状態でさらに入線4から出線6または出線7に接続要求が起こった場合、および入線5から出線4



第2図 リンクのパッキング状態における呼のリンク占有状態



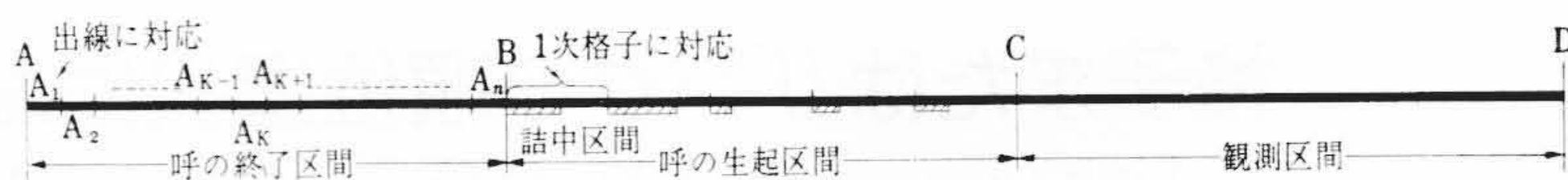
注1. Kは加える総呼数

注2. 損失呼数はルート毎、更に着信全呼中、リンク不整合各々別して記録する。

第4図 トラヒックシミュレーションのフローチャート

または出線5に接続要求が起こった場合、第2図(a)のような状態では内部ふくそうのために接続ができないが、第2図(b)の状態では接続が可能である。すなわち、トラヒック的には(a)の状態より、(b)の状態が好ましいといえる。(b)の状態は、一次リンクをaリンク群とbリンク群に分けて考えれば、呼をaリンク群にパッキングした状態であり、呼を接続する時点で同時接続数の多いリンク群を優先的に選択した場合に生じる。このように多重リンク構成のフレームにおいて、各リンク群にパッキングした場合もトラヒック上の効果は明瞭である。

以上説明した格子のパッキングとリンクのパッキングは、互いに矛盾する要素をもっており、リンクのパッキングを行なった場合のみ、各リンク群の中で格子のパッキングが可能である。格子のパ



第3図 トラヒックシミュレーションにおける乱数Qの構成

キングとリンクのパッキングは、リンク構成によってもその効果が異なり、いずれがまさるともいえないが、格子のパッキングのほうがより一般的に適用することができる。

パッキングを理想的に実現するためには、時々刻々変化する格子あるいはリンクの使用状態を監視し、呼数の多い格子あるいはリンク群を優先して使用しなければならず、電子交換機では実現可能であろうが、電磁継電器を用いたクロスバ交換機においては、経済的に実現することはむずかしい。これは、リンクの使用状態がトラヒック的に最も望ましい状態になるよう、通話中の呼の接続替えを行なう、いわゆるリスイッチング(reswitching)が、内部ふくそう率の低下に大きな効果があるにもかかわらず実用化されないのに似ている。ここで採り上げた順位選択とは、格子あるいはリンク群を、常に一定順位で選択することにより、呼ができるだけ片寄った状態をつくり、パッキング状態に近づけようとするものである。

3. 電子計算機によるトラヒックシミュレーション⁽²⁾

順位選択の効果の理論的な解析は、あふれ理論の複雑な問題になるので非常にむずかしく、多くの仮定を必要とするので結果の近似程度も改めて検討する必要がある。したがってここでは、比較的容易に実施でき、信頼度も高い電子計算機によるトラヒックシミュレーションによって順位選択の解析を試みた。シミュレーションの方法としては、呼の生起間隔、保留時間ともに負の指数分布を仮定した、マルコフ鎖の方法によった。

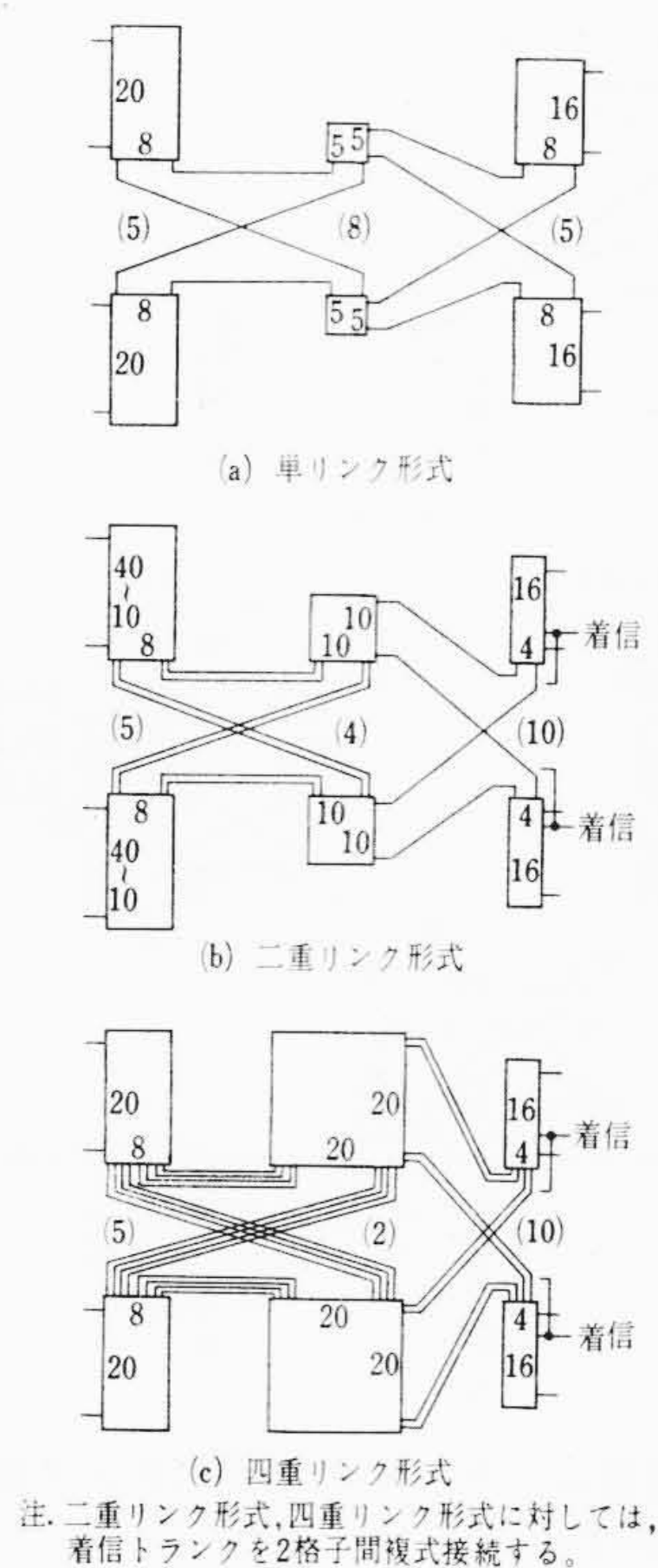
マルコフ鎖の方法については、すでに数多くの発表がされているので、ここでは概要を簡単に説明する。この方法は、呼の生起、呼の終了、観測のすべてが乱数Qの発生によって行なわれる。乱数Qは第3図に示すように、呼の終了区間A—B、呼の生起区間B—C、系の観測区間C—Dの三つに分割される。発生した乱数Qの値が、終了区間A—B中の、出線kに対応した区間 A_k にあり、そのとき出線kが話中状態にあれば、出線kおよびこれに接続された入線およびリンクを解放する。乱数Qが生起区間B—Cの話中区間以外にあれば、対応する一次格子からの呼の生起とする。生起区間B—Cは、一次格子に対応する小区間に分割され、この小区間はさらに対応する一次格子内の話中入線数に比例した話中区間と、残りのあき区間に分けられている。これによって呼の生起率はあき入線数に比例する。乱数Qが観測区間C—Dにはいった場合は、系の状態を固定して観測を行なう。また呼の生起の場合は、さらに乱数Rを発生させ、接続種別およびルートを決定する。乱数Rも、乱数Qと同様、ルートごとの呼量に応じた区間に分割される。第4図は、上述の内容をフローチャートに表わしたものである。

4. トラヒックシミュレーションの計画

シミュレーションのモデルとしては、第5図(b)に示す三段接続フレームを採り上げた。これは現在のPBXクロスバ交換機に比較的多く用いられているリンク構成である。第5図(a)および(c)は、(b)と同数の入線およびリンクを有する三段接続フレームで、リンク数が同じでリンク構成が異なる場合の順位選択の効果を調べるために採り上げた。

順位選択の効果をいろいろな面から検討するために、次の4項目についてシミュレーションを計画した。

(1) リンク構成(リンクの多重度または二次格子数)



第5図 トラヒックスシミュレーションに用いたリンク構成

- (2) 呼 量
- (3) 発着呼量比
- (4) 一次格子の拡大率

実験は第1表の各項目について行なった。なお結果はルート0およびルート2について観測したものである。実験はより一般的な格子の順位選択を中心に行ない、リンクの順位選択は第1表の項目1および14についてのみ実施した。

(a) トラヒックス上の仮定

すべての入線は同一生起率をもち、互いに独立で、すでに占有されている入線の生起率は“0”である。呼の生起間隔および保留時間は負の指数分布に従う。

(b) 着信呼の取扱い

呼の接続はすべて入線を基準に行ない、着信は発信におけるリ

サイクルなしの場合に相当するものとして取り扱う。すなわち入線からの発呼が識別された後、乱数Rによって接続種別およびルート0の識別を行ない、着信であればそのルートのあき出線の一つを無作為に選択し、発呼入線との間のあきリンクを選択する。このような方法は、実際とは多少異なるが、あらかじめ着信出線の全話中率を小さくしておけばその誤差は無視できる。

(c) 格子の順位選択法

(i) 発信 入線からの発呼が識別されると、最優先二次格子を用いて接続し得る全あき出線を、リンクと整合を取りつつ選択し、整合に失敗した場合は第2優先二次格子について同様の選択を行なう。これを繰り返して最後位二次格子まで選択を続ける。

(ii) 着信 着信であることが識別されると、決められた入線、出線間の経路を、最優先二次格子から順次選択し、最後位二次格子まで続ける。なお格子の順位選択は三次格子にも適用できるが、三次格子の順位選択は着信呼に不均一なサービスを与える原因になるので、この実験は二次格子のみの順位選択に限定した。

(d) リンクの順位選択法

呼が発生すると、たとえば第2図におけるaリンク群を用いて二次格子の順位選択を行ない、整合に失敗したときにはbリンク群を用いて二次格子の順位選択を行なう。四重リンク形式のリンク構成においては、さらに2回、リンク群を変えて選択を行なう。

リンクの順位選択は、一次リンク、二次リンクともに多重リンクの場合は、双方に適用できるが、今回の実験は一次リンクのみに限定した。

(e) 出線の設定条件

ルートごとの呼量から、モリナ損失式を用い、呼損率0.01としたときの出線数を算出して用いた。出線は各三次格子に加わる負荷が均等になるように収容する。

なお第5図(b)および(c)のリンク構成においては、着信出線は二つの異なる三次格子間で複式収容する。

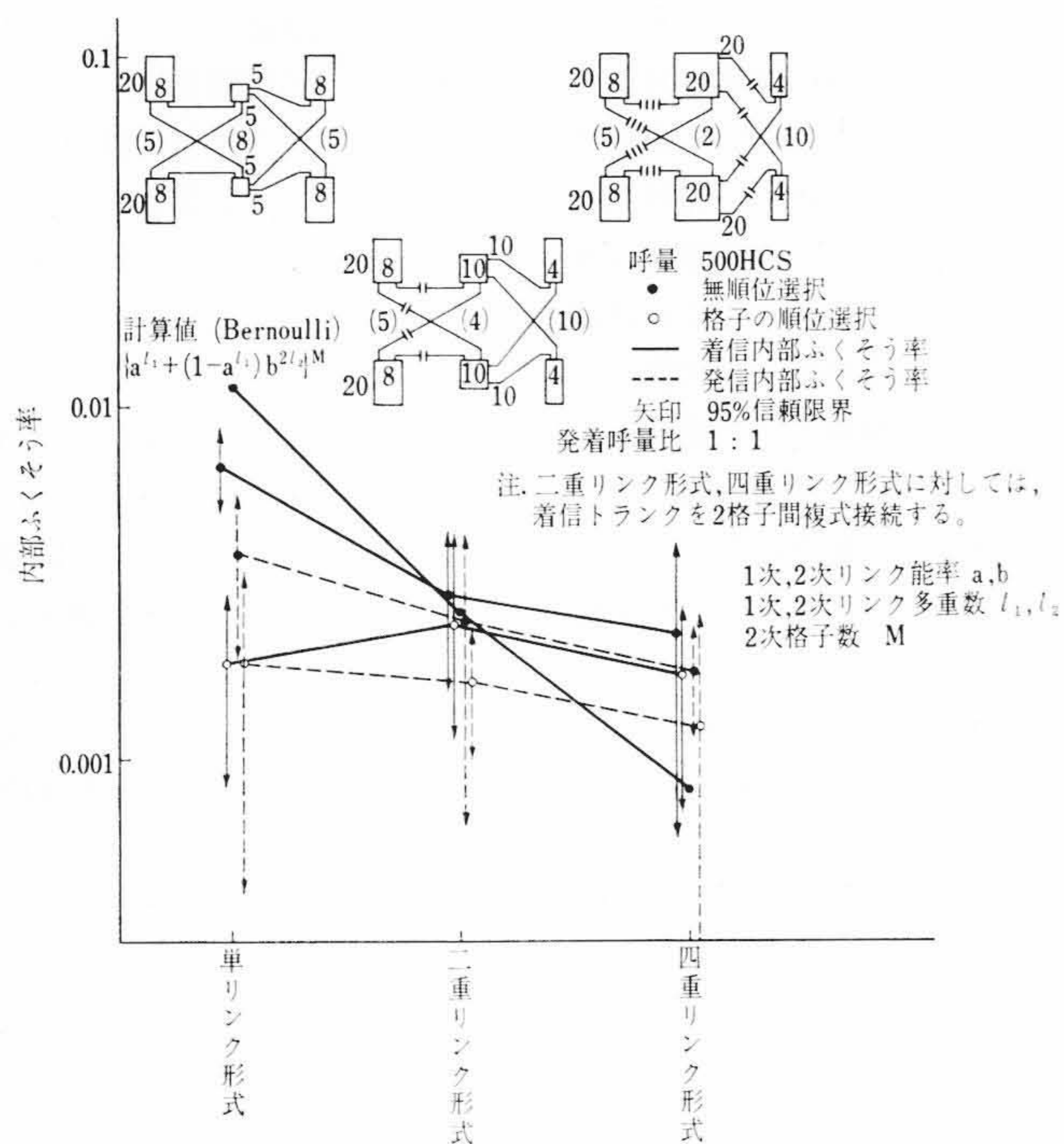
(f) 実験呼数

各試行ごとに、系が定常状態に達するために必要な呼数として1,000呼を加え、その後50,000呼を加える。結果は10,000呼ごとに観測し、5回の平均をとる。第6~13図における95%信頼限

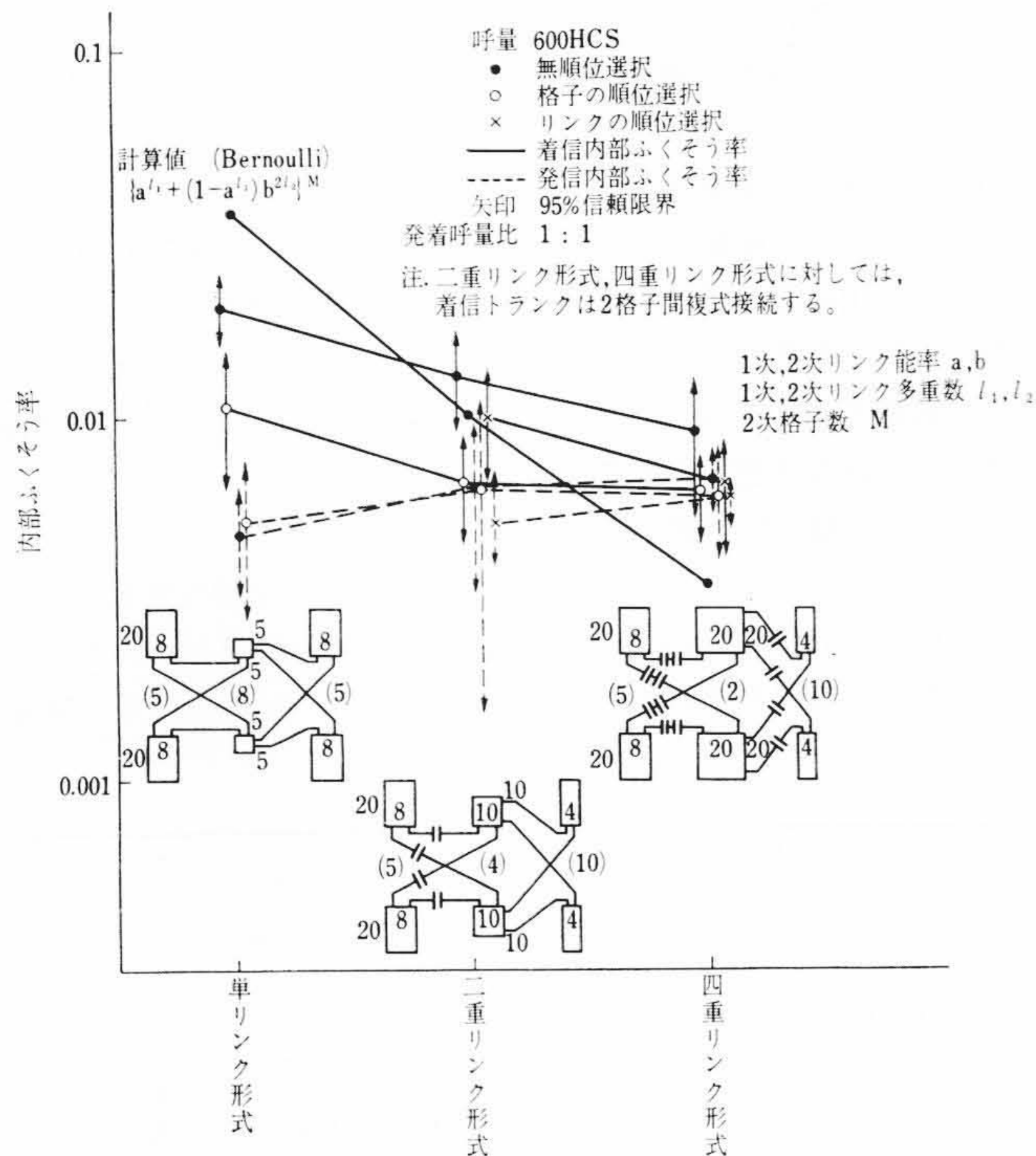
第1表 トラヒックスシミュレーションのパターン

項 番	フレーム当 りの呼 量 (HCS)	ル ー ト ご と の ト ラ ン ク 数 お よ び 呼 量								一次格子の 拡 大 率 α	リンク構成		
		発		信		着						信	
		ルート 0 (R0)		ルート 1 (R1)		ルート 2 (R2)		ルート 3 (R3)					
		トランク数	呼量(HCS)	トランク数	呼量(HCS)	トランク数	呼量(HCS)	トランク数	呼量(HCS)				
1	600	10	150	10	150	10	150	10	150	0.4	二重リンク形式		
2	600	10	150	6	50	10	150	15	250	0.4	二重リンク形式		
3	600	10	150	15	250	10	150	6	50	0.4	二重リンク形式		
4	600	28	600	0	0	0	0	0	0	0.4	二重リンク形式		
5	600	0	0	0	0	28	600	0	0	0.4	二重リンク形式		
6	500	9	125	9	125	9	125	9	125	0.4	二重リンク形式		
7	700	12	175	12	175	12	175	12	175	0.4	二重リンク形式		
8	600	10	150	10	150	10	150	10	150	0.2	二重リンク形式		
9	600	10	150	10	150	10	150	10	150	0.265	二重リンク形式		
10	600	10	150	10	150	10	150	10	150	0.53	二重リンク形式		
11	600	10	150	10	150	10	150	10	150	0.665	二重リンク形式		
12	600	10	150	10	150	10	150	10	150	0.8	二重リンク形式		
13	600	10	150	10	150	10	150	10	150	0.4	単リンク形式		
14	600	10	150	10	150	10	150	10	150	0.4	四重リンク形式		
15	500	9	125	9	125	9	125	9	125	0.4	単リンク形式		
16	500	9	125	9	125	9	125	9	125	0.4	四重リンク形式		
17	700	12	175	12	175	12	175	12	175	0.4	単リンク形式		
18	700	12	175	12	175	12	175	12	175	0.4	四重リンク形式		

注 1. 観測はルート0およびルート2について行なう。
2. リンクの順位選択は、項番1および項番14についてのみ行なう。



第6図 内部ふくそう率に対するリンク構成の影響
(呼量 500 HCS)



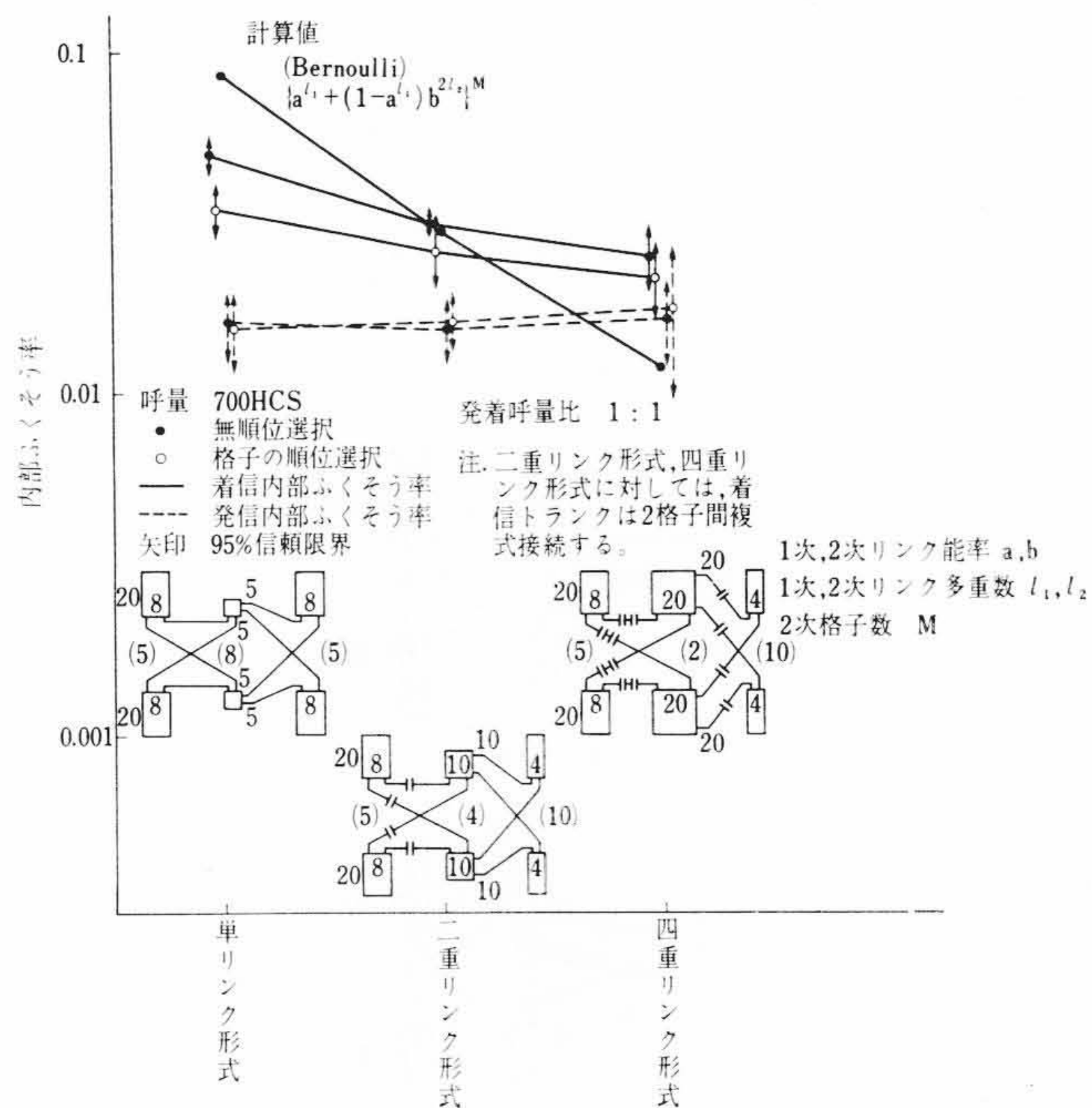
第7図 内部ふくそう率に対するリンク構成の影響
(呼量 600 HCS)

界は、母集団が t 分布に従うものとして算出した。なお結果はすべて呼損率である。

5. 結果および考察⁽³⁾

5.1 格子の順位選択とリンクの順位選択

第7図は、二重リンク形式および四重リンク形式のリンク構成に600HCSの呼量を加えたときの無順位選択、格子の順位選択、リンクの順位選択における内部ふくそう率の比較を示したものである。この結果からみると、発信についてはほとんど有意差は認められな



第8図 内部ふくそう率に対するリンク構成の影響
(呼量 700 HCS)

いが、着信については無順位選択より格子の順位選択における内部ふくそう率が小さく、その効果は明らかである。リンクの順位選択については、図の結果だけから結論を下すことは危険であるが、実験に用いたリンク構成においては無順位選択と格子の順位選択の中間に位置し、リンク多重度が小さく二次格子数の多いリンク構成においてはむしろ無順位選択に近く、逆にリンク多重度が大きく二次格子数の少ない場合は、格子の順位選択と同様に内部ふくそう率低下に効果があることがうかがわれる。

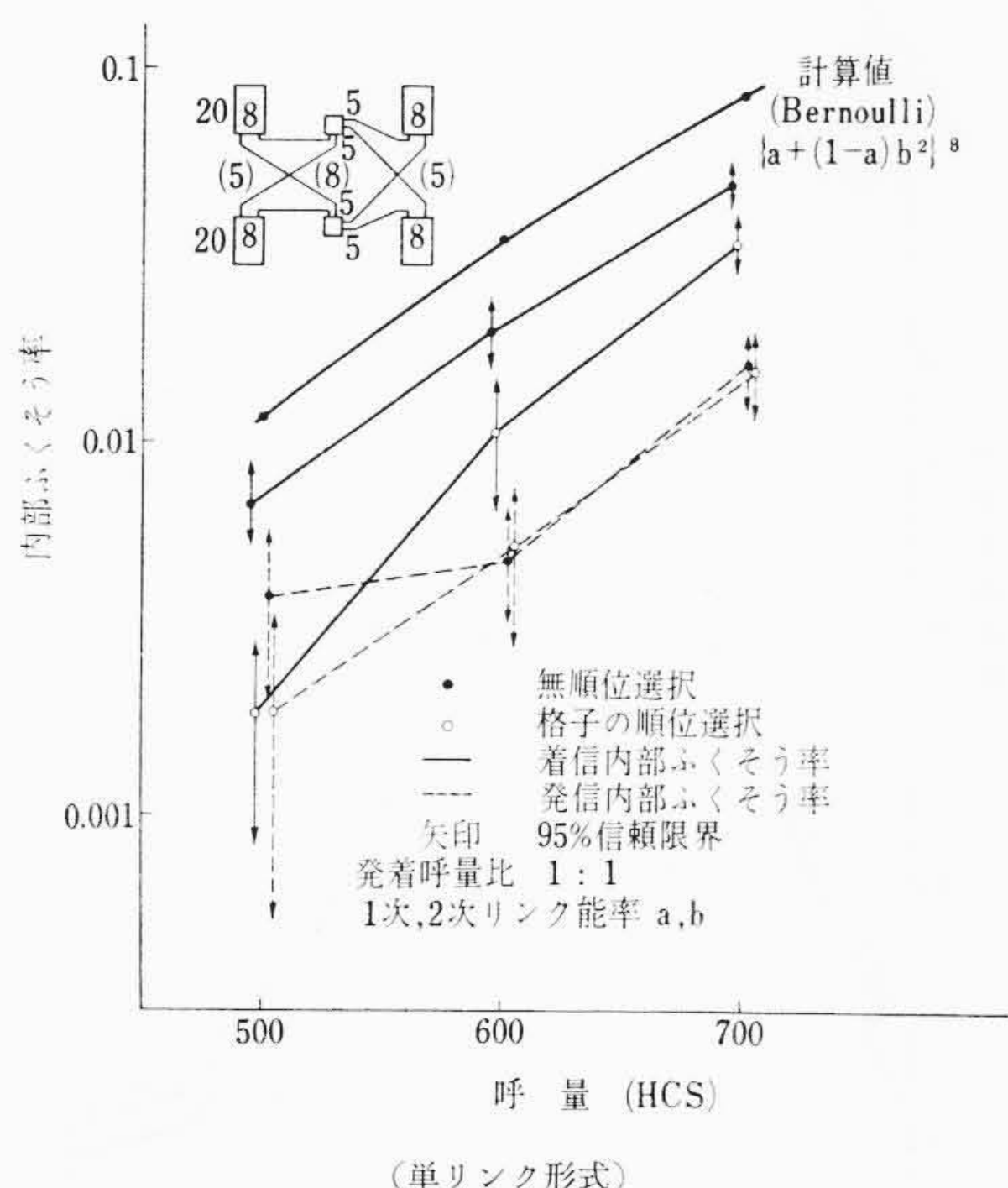
5.2 リンク構成の影響

第6～8図は、呼量を500, 600, 700 HCSと変えた場合の格子の順位選択についてリンク構成の影響を調べたものである。

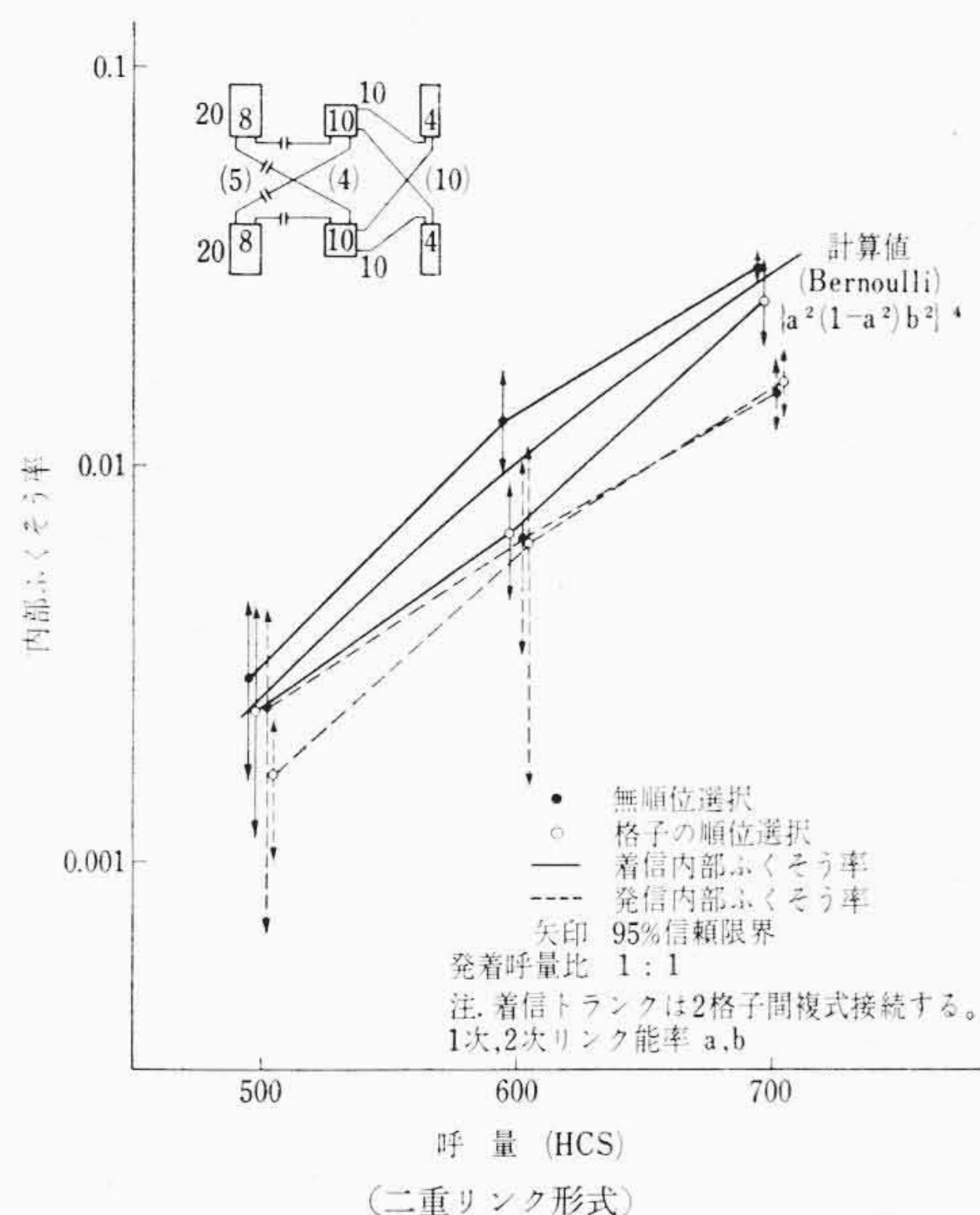
ここでまず注目すべきことは、順位選択の有無にかかわらず、図のようなリンク数が等しいリンク構成における内部ふくそう率は、ベルヌーイ (Bernoulli) の式を用いた計算値ほどの大きな差がないことである。これは同一二次格子に収容された一次リンクの話中数と二次リンクの話中数は常に同一であるにもかかわらず、一次リンクと二次リンクを独立であると仮定したことに基づく計算値の誤差が、二次格子数が増すほど大きくなるためと考えられる。

また呼量のいかにかわらず、二重リンク形式においては計算値と無順位選択における実験値がほぼ一致し、単リンク形式では計算値が安全側、四重リンク形式では危険側に出ているが、これは二次リンクはむしろアーラン分布に近いにもかかわらずベルヌーイ分布を仮定したことによる誤差(危険側)と、一次リンクと二次リンクを独立と仮定したことによる誤差(安全側)が、二重リンク形式ではちょうど打ち消し合うものと推定される。

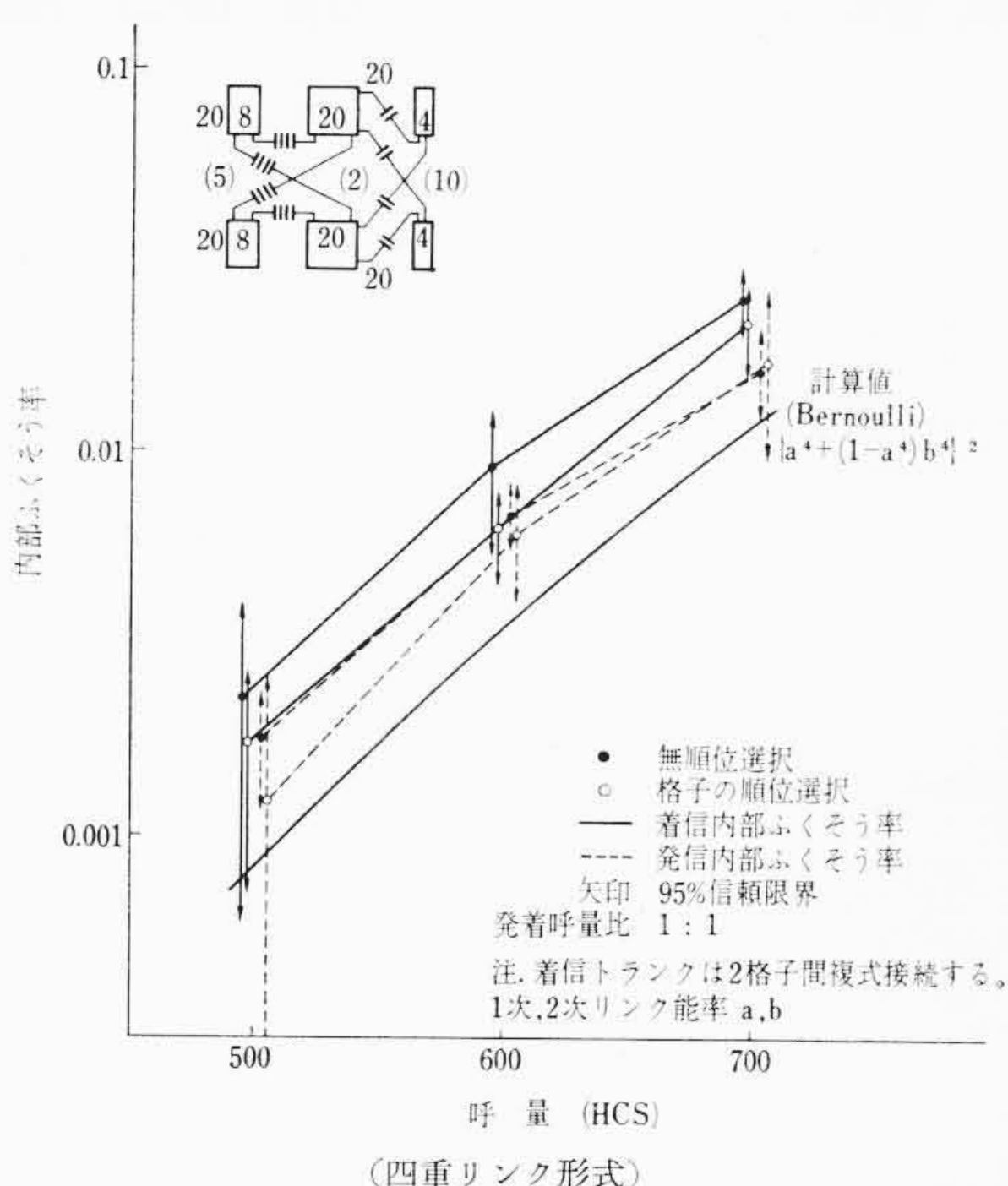
格子の順位選択の効果について見れば、発信内部ふくそう率に対してはほとんど効果が認められない。発信については一次リンク、二次リンク、出線のすべてについて整合をとって出線を選択しているので、第2章で述べたような一次リンクと二次リンクの組合せによる内部ふくそう率が、リンク全話中に起因する内部ふくそうに比べてきわめて小さくなるためと考えられる。なお単リンク形式においては、三次格子に収容される二次リンク数が8本で、ほかのリンク構成の4本と異なるので、発信内部ふくそう率を直接他のリンク構成と比較することはできない。



第9図 内部ふくそう率に対する呼量の影響

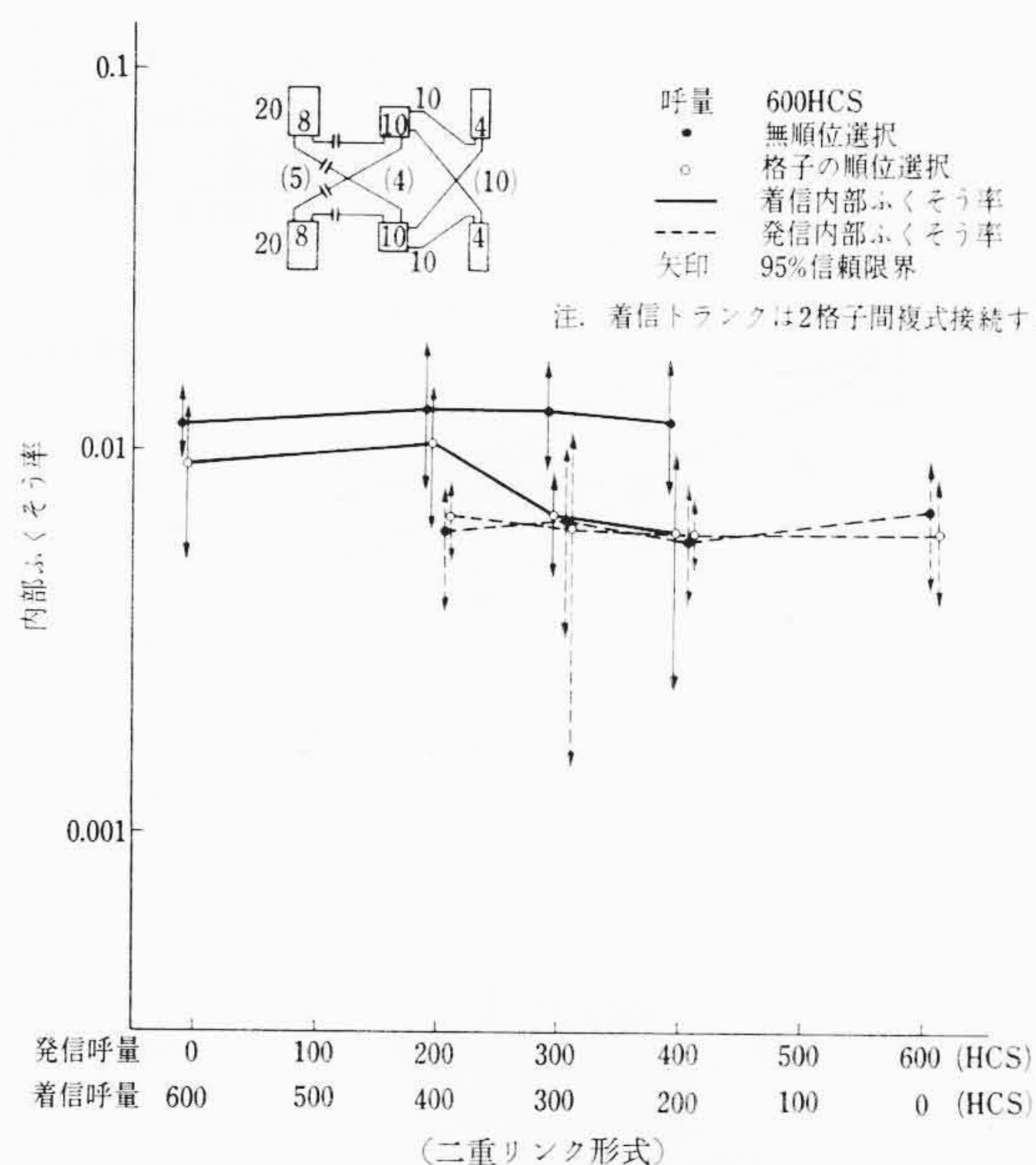


第10図 内部ふくそう率に対する呼量の影響



第11図 内部ふくそう率に対する呼量の影響

着信内部ふくそう率については明らかに格子の順位選択の効果が認められ、しかも二次格子数の多いほどその効果も大きいことがわ



第12図 内部ふくそう率に対する発着呼量比の影響

かる。

5.3 呼量の影響

第9～11図は、各リンク構成について呼量の影響を調べたものである。発信内部ふくそう率は、500～700 HCSの呼量範囲では、順位選択の影響をほとんど受けない。

着信内部ふくそう率は、単リンク形式については明らかに呼量の減少に伴って効果は増大している。二重リンク形式についても呼量700 HCSの場合に比べ、呼量600 HCSの場合は効果が大きい。したがって格子の順位選択は、呼量の減少に伴ってその効果を増すか、ある呼量においてその効果が最大になるものと考えられる。

5.4 発着呼量比の影響

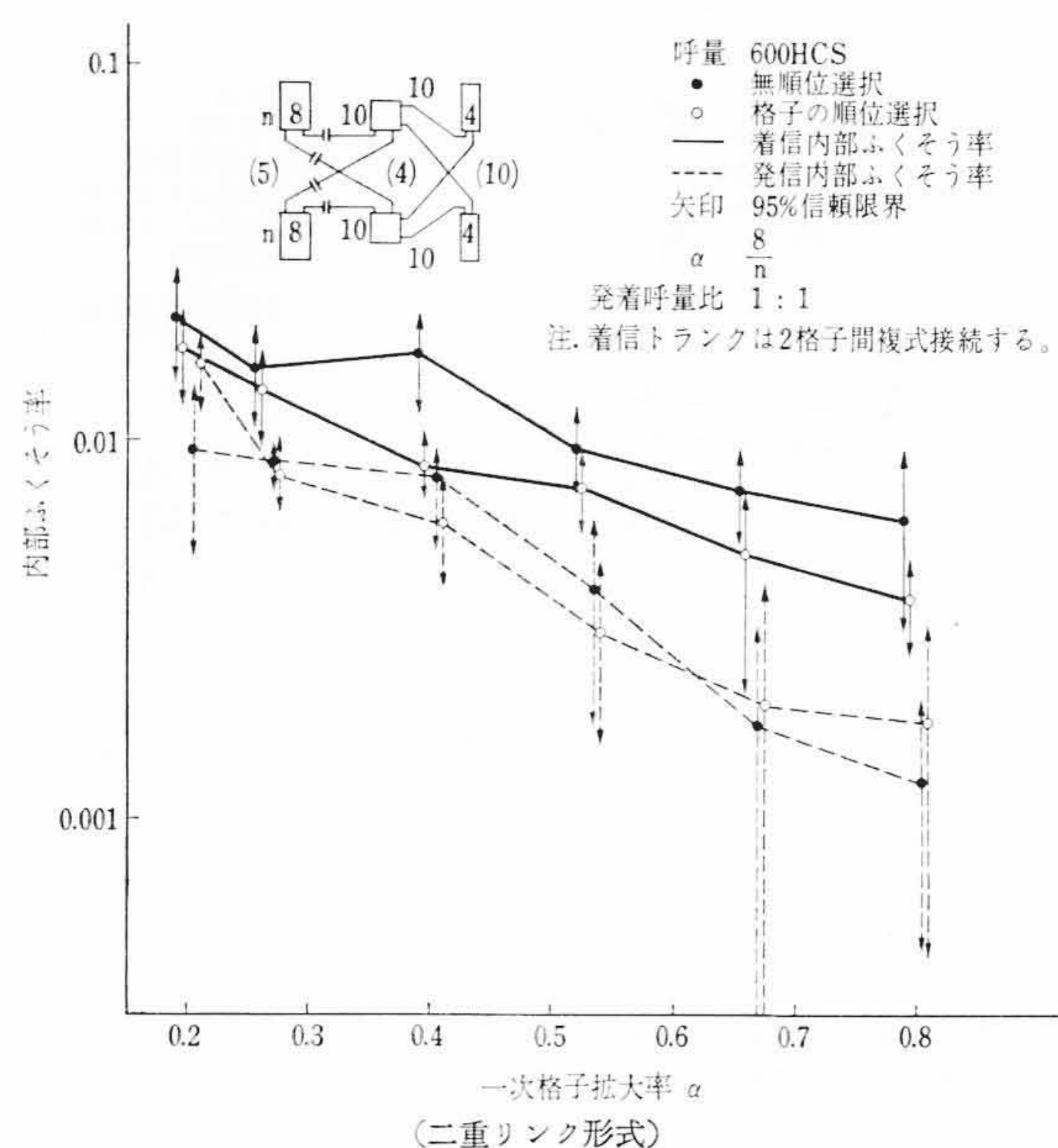
発信に対して、リンクと出線の整合を取りつつ出線およびリンクを決めている場合は、発着呼量比によって順位選択の効果が著しく影響されるであろうことは容易に推考される。第12図は二重リンク形式のリンク構成に、600 HCSの呼量を発着呼量比を変えて加えた場合の内部ふくそう率を示したものである。発信内部ふくそう率は、この場合もほとんど影響を受けず、順位選択の効果も認められないが、着信内部ふくそう率は、発信呼量が増すと格子の順位選択の効果も増す傾向がみられる。

5.5 一次格子拡大率の影響

一次格子の拡大率が内部ふくそう率に影響を与えることはよく知られているが、格子の順位選択の効果にどのような影響があるかを調べたのが第13図で、二重リンク形式に600 HCSの呼量を加えて行なった。格子の順位選択の効果に対する影響はほとんどみられないが、発着内部ふくそう率の比はかなりの影響を受けるようである。参考のために一次リンクの同時接続分布を、無順位選択の場合について同一リンク構成、同一呼量のもとで一次格子拡大率 $\alpha=0.2$ および $\alpha=0.5$ として観測した結果を第14図に示す。これによって一次格子の拡大率が内部ふくそう率に、いかに大きな影響を及ぼすかがわかる。

以上実験結果について簡単に説明したが、格子の順位選択は主として、リンク構成、呼量、発着呼量比の影響を受けることがわかる。順位選択により改善し得る内部ふくそう率の限界は、一次リンクと二次リンクの組合せによって生じる内部ふくそうの無い場合、言い換えれば、実験に用いたリンク構成において二次格子を 40×40 の格子1個にした場合の内部ふくそう率にあると考えられる。

この実験は一次リンクおよび二次格子だけを順位選択の対象とし



第13図 内部ふくそう率に対する一次格子拡大率の影響

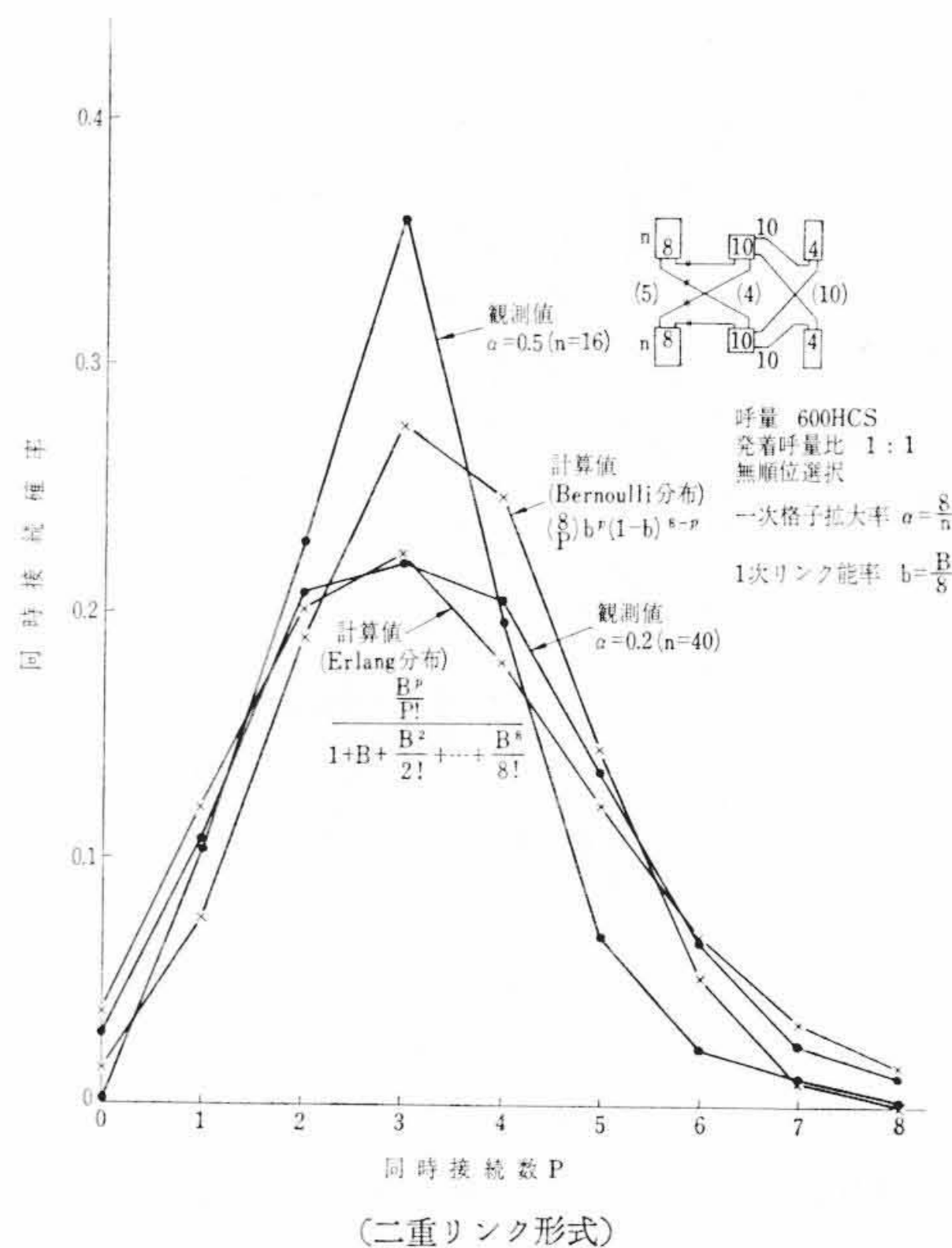
て採り上げたが、一次リンク二次リンク、二次格子および三次格子の両方を対象にし、格子の順位選択のみを行なう方法、リンクの順位選択のみを行なう方法、格子およびリンクの順位選択を組み合わせる方法などを検討することにより、さらに大きな効果を得ることも期待できる。

また、順位選択を具体的に実施する場合を考えても、これの実施は技術的には非常に簡単であり、導入の方法として、同一リンク構成でより多くの呼を運ぼうとする行き方と、同一呼量をより交差点数の少ないリンク構成で運ぼうとする二通りの方法がある。順位選択の実施に際しては、機器の使用能率の片寄りの問題が生ずるが、寿命に問題がある場合は、通話平均保留時間より十分長い周期で優先順位を変更することによって解決できる。

今回の実験は現用のリンク構成をモデルにとって実施したが、順位選択の効果がより大きくなるようなリンク構成を開発することにより、大きな経済的効果を期待することができる。

6. 結 言

多段接続フレームにおいて、格子あるいはリンクに順位をつけて



第14図 一次リンクの同時接続分布

選択することにより、内部ふくそう率を減少し得ること、およびその減少率は、リンク構成、呼量、発着呼量比に負うところが大きいことがわかった。しかし、これで内部ふくそう率に影響を及ぼす要因をすべて検討したわけではなく、要因相互の影響の検討も不十分である。しかしながら上述の結果により、順位選択を電話交換技術の一つとして取り入れる糸口はつかめたと考えている。

今後はより厳密な検討と、二段接続および四段接続フレームへの適用、より多くのリンク構成に対する適用効果の検討などが必要であるが、この報告が今後の研究の一助になれば幸いである。

終わりに、トラヒックシミュレーションの実施に当たり、多大のご協力をいただいた、日立製作所技術計算係のかたがたに厚くお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) V. E. Venes: B. S. T. J., 41, 1201 (Mar. 1962)
- (2) B. Wallström: Ericsson Tech. 259 (No. 2, 1958)
- (3) 白須, 秋山, 新井: 信学会研資, 交換 64-21 (1964-10)