



交換研究会資料

資料番号 SE 67-1(1967-04)

分散多段中継交換網のルート選択方式

田 中 英 彦
柴 田 喬 司
(東京大学・工学部)

1967年4月17日

社団法人 電 気 通 信 学 会

分散多段中継交換網のルート選択方法

田 中 英 彦
柴 田 司

(東京大学 工学部)

1. ま え が き

社会の発展にともなう都市形態も変化しつつあり、将来は都市の形も点状から面状に移行し、したがって人口分布も変化するだろう、と思われる。この様な都市の膨大化にともない、それに密接な関係を持つ通信網に対する考え方に検討を加えるのも、意味があるのではなからうか、と思われる。

通信網を構成する考え方としては大別すると、星形網と網形網が考えられる。これをその性質上から分類すると前者は集中的な網であり、後者は分散的な網であると考えられる。現在の交換網はこの両者が共存している。現実の都市形態及び電気通信技術からすれば、現在では両者の共存が最適な交換網であろうと考えられる。しかし将来の交換網について考えると、都市形態の変革及び電気通信技術の発達等を考慮すれば、分散的な交換網も意味を持つのではなからうかと思われる。この様な考え方に立った場合の分散的な交換網についての有意性についてはすでに述べた。^{*1}分散形交換網の特長を生かすには階位性を少くして多段中継を行なうことである。分散形交換網において多段中継を前提とすれば、発局から着局へのルートの取り方の自由度は相当大きい。このルート選択の自由度を制限しても、回線能率はそれ程低下せず交換機の制御が簡単にならう。本文ではルート選択の自由度をある程度制限することを目的とした、ルート選択の方法について考察したものである。すなわち分散形交換網の一例である蜂の巣形交換網及び格子形交換網についてルート選択方式を種々取りそれに対して検討を加えた。又最後に簡単な格子形交換網においてルート選択方式を定めて、星形交換網との線路総長の比

較を行なった。

2. ルート選択方式

2. 1 ルート選択方式に対する考え方

分散形交換網の様に多段中継を行なうことによりその性質を生かせる様な交換網では、ルート選択の方法が種々存在する。その内どの様な選択方式を取るかは評価の仕方により異なる。そこでルート選択方式の評価基準となるものをあげれば次の様なものがある。

1. 呼損率と回線使用能率

2. 総線路長

3. 制御の容易さ

又ルート選択の際につける条件により種々ある。例えば、現在の交換網において、使用されているルート選択方式は、目的局に到達するまで取るすべてのルートの指定を行なう方式である。分散形交換網は前述の様に相当自由にルートを取ることが出来る。この様な交換網においてはある程度ルート選択に自由を持たせることが有利な様に思われる。フランスの電子交換網においては、軍用通信という特殊性のために、条件を全然つけずすべてのルートを自由に選択させる方式を一部取っているが、しかし、商業通信網としてのルート選択方式としては余り実際的ではない。そこで本文ではある程度ルート選択の自由度を制限し、それにより制御を容易にすることを目的として、かつ又分散形交換網の特長を生かせる様な、条件を附加して、その条件の範囲内で自由にルートを選択させる方式について検討を加えた。

2. 2 带状ルート選択方式

分散形交換網において、発信局と着信局を含むいくつかのリンクの群の帯内で自由にルートを選択させようとするものである。その帯の中により自由

度を適当に制限することが出来る。ここでは一例として帯の巾を縦リンク1段及び2段として、又帯内でのルート選択の方法によりそれぞれに対して2通り考えた。分散形交換網としては蜂の巣形交換網及び格子形交換網を取った。

蜂の巣形交換網について考え、例えば縦リンク2段の場合のみ考察する。蜂の巣形交換網のルート選択方式に対しては、図1及び図2に示す変形蜂の巣形交換網で考えても同様である。以下本文では蜂の巣形交換網に対して考察を加える場合はこの変形蜂の巣形交換網について考えることとする。さてこのルート選択法では図2において y 方面すなわち縦リンク2段の制限を加えてこの内で接続を行ない x 方向に対しては何等制限を加えない。リンクの帯を考えた中継接続を行ない、目的局まで接続するようにルート指定を行なう方法である。この

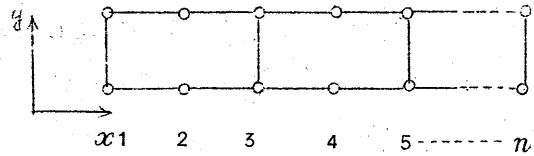


図 1

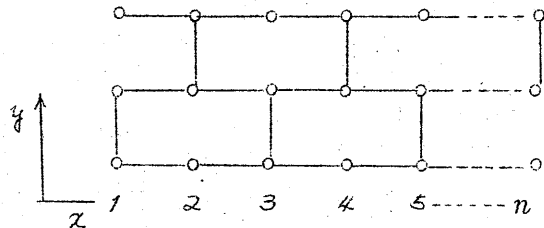


図 2

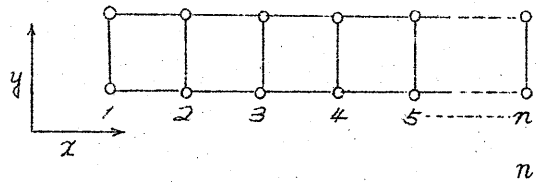


図 3

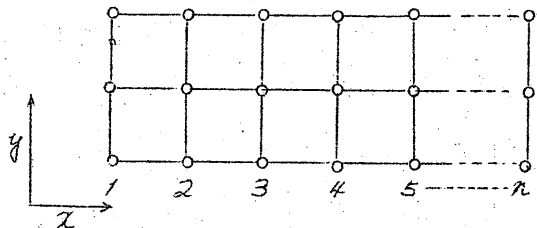


図 4

方法に対して後戻り中継を許すか許さないかで2通りに分かれる。

格子形交換網については図3, 図4参照

2. 3. 鎖状ルート選択方法

鎖状ルート選択方式とは着局と発局の間に一つのルートを決めておきそのルート内のあるリンクが閉そくされれば、そのリンクの隣接リンクを通り迂回させ又元のルートに戻る。この様にして着局に到達させる方式である。すなわち一つの直通ルートの回りに迂回ルートが1リンク毎にまわりつくという選択方式である。

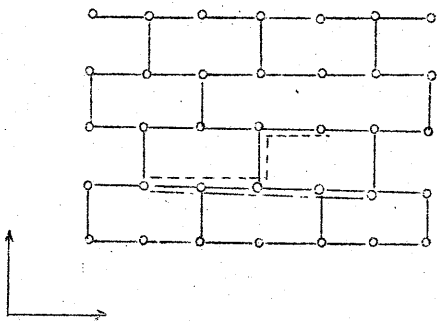


図 5

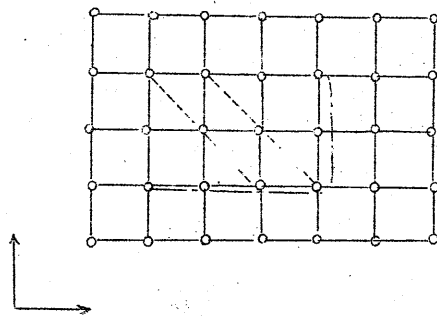


図 6

(1) 蜂の巣形交換網

図5の様に発信局を x とし、着信局を y とする。次にあらかじめ X と Y の間を取るべき直通ルートの一つ指定しておく。例えば図5において $X \rightarrow Y_1$ は一点鎖線、 $X \rightarrow Y_2$ は点線のようにルートを指定しておく。ここで呼び $X \rightarrow Y$ が生ずれば、最初はこの指定したルートを取って接続を行なってゆきこの直通ルート内のあるリンクが閉そくしていた時は、閉そくしていたリンクに指定された迂回ルートによってそのリンクを迂回し、次の直通ルートの局

に行くものとする。迂回ルートは直通ルートを含む1つ又は2つの六角形からなっている。この迂回ブロックは着信局及び発信局が定めれば直通ルートが定まりそれにより必然的に定まるものである。図5で説明すれば $X \rightarrow Y_1$ への迂回ルートのブロックは A_1, A_4, A_2, A_5, A_3 である。

今局の位置を (x, y) で表示する。呼 $X \rightarrow Y_1$ について、例えば局 $(3, 2)$ に於いて直通ルートが閉そくされれば、迂回ルートは A_2 ブロックすなわち局 $(3, 2) \rightarrow (3, 1) \rightarrow (4, 1) \rightarrow (5, 1)$ を通過して直通ルートに戻る。以下同様にして目的局 Y_1 までルート接続を行なう。

2. 4 部分帯状ルート選択方式

交換網を適当なブロックに分割しある呼びが生ずると、その発信局に応じて通過ブロックを指定しそれぞれのブロック内では前述の帯状ルート選択方式を取るといような方式である。例えば蜂の巣形網について考えると

図5において $X \rightarrow Y_1$ の様を呼では A_4, A_5 ブロックを指定する。 A_1 ブロックに属している局は A_1 ブロック内のリンクの閉そく状況を監視している。同様に A_1, A_4, A_2 ブロックに接しているリンク上にある局は A_1, A_4, A_2 ブロックのリンクのへいそく状況を監視している。網の端にならない局では常に3ブロックのリンクの閉そく状況を監視しなければならない。

2. 5 前進形ルート選択方式

前進形ルート選択方式については一応格子形交換網についてのみ考察する。前進形ルート選択方式はリンクの閉そく状況の監視の仕方により種々あるがここでは自局の出線の閉そく状況のみ監視している場合と隣接局の出線のへいそく状況も監視する場合の2例を取る。前者について説明を加えると、図

6において $X \rightarrow Y$ なる呼に対して、発信局(1, 1)で自局の出リンクのみ閉そく状況を監視している。そしてそれ以後のリンクの状況にかかわらず出リンクの状況により次の局へ中継する。次の局でも同様に出リンクの状況のみで次の局へ中継する以下同様にして目的局に到達する。途中で出リンクが共に閉そくされていればそこで呼損とする方式である。後者について考えると前者と同様に $X \rightarrow Y$ なる呼では、発信局(2, 2)では $x_1 - x'_1$ の点線までのリンクの閉そく状況を監視している。このリンクの閉そく状況により最もよさそうなルートを取る。例えばそれが(2, 3)局へのルートであったとすれば(2, 3)局へ中継され、(2, 3)局では更に $x_2 - x'_2$ の点線のリンクの閉そく状況により最もよさそうなルートを取り次の局へ中継する。以下同様にして目的局に到達する。

3. 各種ルート選択方式と呼損率、回線能率、及び線路長

3. 1 帯状ルート選択方式

帯状ルート選択方式はすでに発表した論文^{*1}にて呼損率、回線能率及び線路長を算出することが可能なので一応ここでは省略する。蜂の巣形交換網の計算結果は図7において H_{1B} (縦一段 y 方向に後戻りを許さない) H'_{1B} (縦一段 y 方向に後戻りを許す) H_{2B} (縦二段 y 方向に後戻りを許さない) H'_{2B} (縦二段 y 方向に後戻りを許す) 同様に格子形交換網は G_{1B} , G'_{1B} , G_{2B} , G'_{2B} で示す。

3. 2 鎖状ルート選択方式

(1) 呼 損 率 式

A, 蜂の巣形交換網 リンク当りの呼損率 b , 各リンクは互いに独立

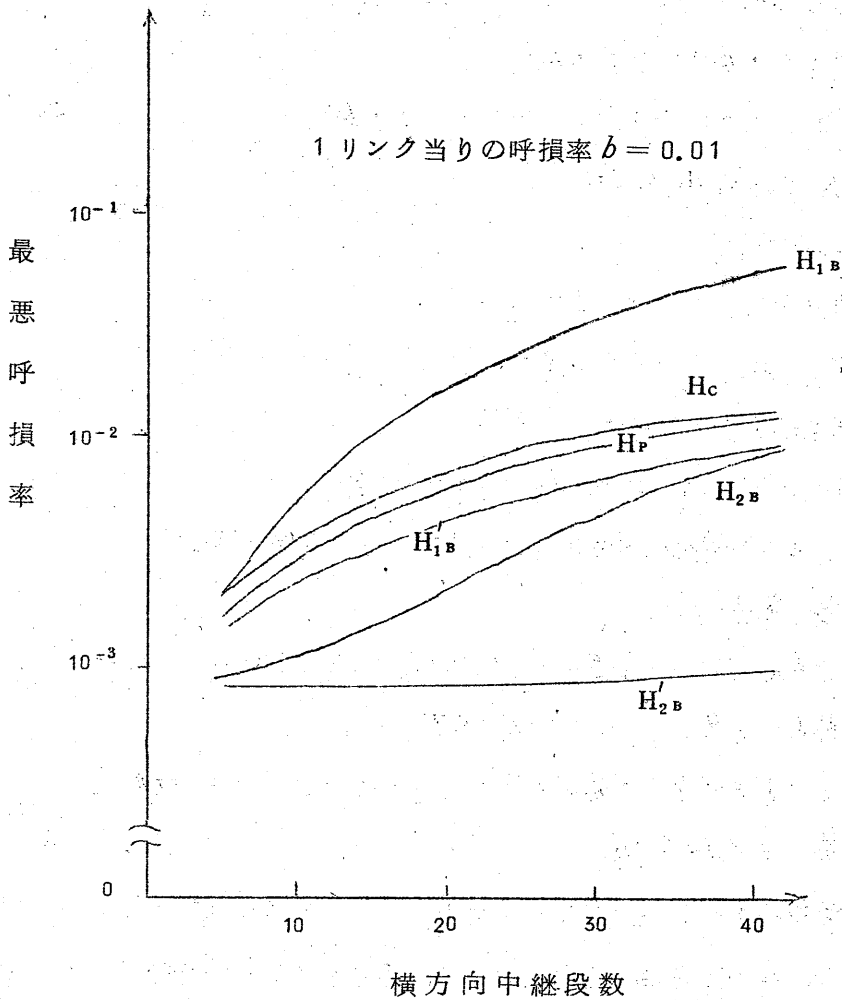


図7 蜂の巣形交換網の各種ルート選択方式と呼損率とする。以下本文での呼損率計算はすべて同様とする。2中継毎に迂回する場合について述べるとこの2中継を通過することの出来る確率は $c = 1 - b$ とすれば $c^2 + (1 - c^2) \cdot c^4 = c^2 \cdot (1 + c^2 - c^4)$ で与えられるから呼損率は次の様になる。

$$P(2 \cdot n) = 1 - \{ c^2 \cdot (1 + c^2 - c^4) \}^n \quad 1$$

$$P(2 \cdot n + 1) = 1 - \{ c^2 + c^4 \cdot (1 - c^2)^n \} (c + b \cdot c^5) \quad 2$$

$P \ll 1$ として近似すれば

$$P(2 \cdot n) \doteq 8n \cdot b^2 \quad 3$$

$$P(2 \cdot n + 1) \doteq (5 + 8 \cdot n) \cdot b^2 \quad 4$$

この計算結果は図7のHcに示す。

B. 格子形交換網

片側に迂回ブロックを設ける場合

$$P_1(n) = 1 - (c + b \cdot c^3)^n \quad 5$$

両側に迂回ブロックを設ける場合

$$P_2(n) = 1 - \{1 - b \cdot (1 + c^3)^2\}^n \quad 6$$

片側に迂回ブロックを設ける場合の計算結果を図8のGCに示す。

(2) 回線能率及び線路長

呼びの発信加入者分布としては以前に述べたように指数形を取ると。

$$P(r, \theta) = \alpha^2 / 2 \cdot \pi \cdot e^{-\alpha \cdot r} \quad 7$$

これで帯状ルート選択方式で後戻りを許さない場合の平均中継段数は

$$\bar{n} = 8 / \pi \cdot \alpha \cdot d \quad 8$$

である。さて鎖状ルート選択方式では直通ルート2中継に対して迂回ルート4中継であるから1中継通過する毎に平均中継段数は、上記帯状ルート選択方式に対して次の様なパラメータを乗ずれば良い。以後この様なパラメータを迂回パラメータと呼ぶことにする。この迂回パラメータを μ_c とすれば

$$\mu_c = \frac{1 + 2 \cdot c^2 \cdot (1 - c^2)}{1 + c^2 \cdot (1 - c^2)} \quad 9$$

次に発信呼を一様に a アーランとシリンク当りの呼損率 b とし、リンクの流れる呼び A_{cc} を求めて、それより線路長等を求めれば次の様になる。

但し

$$\left. \begin{aligned} a_c &= a \cdot (1 - \bar{B}) & b &= \frac{A^k / k}{\sum_{i=0}^k A^i / i} \\ A_{cc} &= \frac{8 \cdot a_c \cdot \mu_c}{3 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot d} & A &= A_{cc} \cdot (1 - \bar{B}) \end{aligned} \right\} \quad 10$$

とすると

$$\delta_c = \frac{A_{cc}}{k} \quad 11$$

$$\ell_c = 3 \cdot k \cdot d \cdot N \quad 12$$

$$\ell_{c0} = 3 \cdot k \cdot r \quad r = \frac{d}{d'} \quad 13$$

B. 格子形交換網

$$\mu'_c = \frac{1 + 3 \cdot b \cdot c^2}{1 + b \cdot c^2} \quad 14$$

但し

$$\left. \begin{aligned} a'_c &= a' \cdot (1 - \bar{B}') & b &= \frac{A'^k / k'}{\sum_{i=0}^k A'^i / i'} \\ A'_{cc} &= \frac{2 \cdot a'_c \cdot \mu'_c}{\pi \cdot \lambda \cdot d'} & A' &= A'_{cc} \cdot (1 - \bar{B}') \end{aligned} \right\} \quad 15$$

とすると

$$\delta'_c = \frac{A'_{cc}}{k'} \quad 16$$

$$\ell'_c = 4 \cdot k' \cdot d' \cdot N' \quad 17$$

$$\ell'_{c0} = 4 \cdot k' \quad 18$$

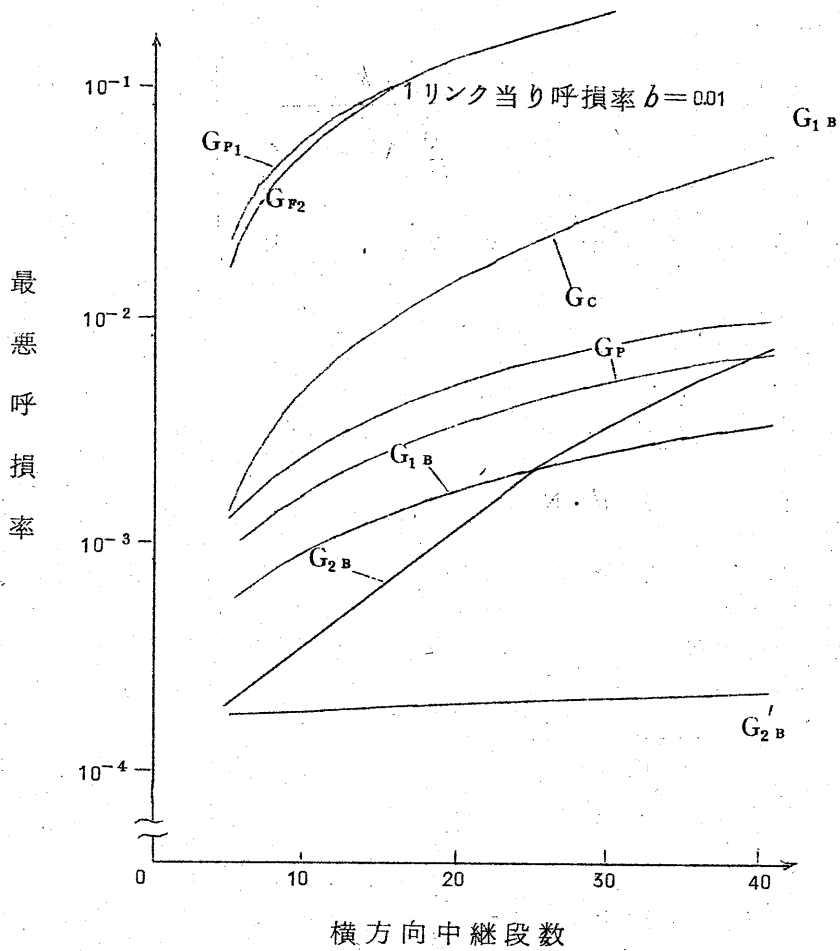


図8 格子形交換網の各種ルート選択方式と呼損率

3. 3 部分帯状ルート選択方式

(1) 呼損率

A. 蜂の巣形交換網 呼損率計算を考える場合は変形蜂の巣形交換網と蜂の巣形交換網は同じである。よって変形蜂の巣形交換網で考えることにする。ここでは縦リンク(y方向)1段の場合について述べる。

横リンク (x 方向) の段数を n とすれば n が偶数であれば $n/2 = k$ とおくと

$$B_{k,2} = (1-c^2) \cdot (1-c^3) + c^2 \cdot B_{k-1,2} + (1-c^2) \cdot c^3 \cdot B_{k-1,1} \quad 19$$

$$B_{k,1} = (1-c^2) \cdot (1-c^3) + c^3 \cdot B_{k-1,1} + (1-c^2) \cdot c^3 \cdot B_{k-1,2} \quad 20$$

$$\text{初期条件 } B_{11} = b \quad B_{12} = 0 \quad 21$$

n が奇数の場合も上記式より同様に求めることが出来るので省略する。計算結果は図 7 の H_P に示す。

B. 格子形交換網

$$B_{n,2} = b^2 + c \cdot B_{n-1,2} + b \cdot c^2 \cdot B_{n-1,1} \quad 22$$

$$B_{n,1} = b^2 + c \cdot B_{n-1,1} + b \cdot c^2 \cdot B_{n-2,1} \quad 23$$

$$\text{初期条件 } B_{11} = b \quad B_{12} = 0 \quad 24$$

計算結果は図 8 の G_P に示す。

(2) 回線能率及び線路長

A. 蜂の巣形交換網 迂回パラメータ μ_P は

$$\mu_P = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 + 3 \cdot (1-c^2) \cdot c}{1 + (1-c^2) \cdot c} \quad 25$$

となり以下この迂回パラメータをもって鎖状ルート選択方式と同様に求めれば良い。

B. 格子形交換網

$$\mu_P = \frac{1 + 2 \cdot b \cdot c}{1 + b \cdot c} \quad 26$$

3. 4 前進形ルート選択方式

蜂の巣形交換網及び格子形交換網共に適用出来るが本文では格子形交換網について検討を加えた。

(1) 呼 損 率 式

自局の出リンクの閉そく状況のみ監視する場合 (n, m) 局から (1, 1) 局への呼損率 $B_{n,m}$ とすると。

$$B_{n,m} = b^2 + (b \cdot c + \frac{1}{2} c^2) \cdot (B_{n-1,m} + B_{n,m-1}) \quad 27$$

同様に隣接局の出リンクの閉そく状況を監視する場合

$$B_{n,m} = b^3(1+c) + (b \cdot c + b \cdot c^2 + \frac{1}{2} \cdot c^4) \cdot (B_{n-1,m} + B_{n,m-1}) \quad 28$$

計算結果は図 8 に示す。但し前者を GF_1 , 後者を GF_2 で示す。

(2) 回線能率及び線路長

帯状ルート選択方式の場合と同様に最悪呼損率 B より上記計算式より 1 リンク当りの呼損率 b を求めることにより算出される。

4. 数 値 例

ここではルート制限の一番ゆるやかな帯状ルート選択方式とルート制限の強い鎖状ルート選択方式及びその中間的な部分帯状ルート選択方式について比較する。そこで最悪呼損率を与え x 方向中継段数とリンク当りの呼損率を 0.01 とした時の x 方向段数とリンク当りの呼損率を求める。最悪呼損率を 0.01 とした時の方向段数とリンク当りの呼損率は図 9 に示す。さて交換領域の大きさを同一としてそこに置く局数を等しくした時の蜂の巣形交換網の最大中継段数を M 格子形交換網の最大中継段数を M' とすると

$$\frac{M}{M'} = \frac{4\sqrt{3}\sqrt{3}}{6\sqrt{2}} * 1 \quad 29$$

である。これより蜂の巣形交換網で最大中継段数 30 に相当する格子形交換網の最大中継段数は 28 である。次に最悪呼損率 0.01 とした場合の迂回パラメータとリンク当りの呼損率は下表のごとくである。

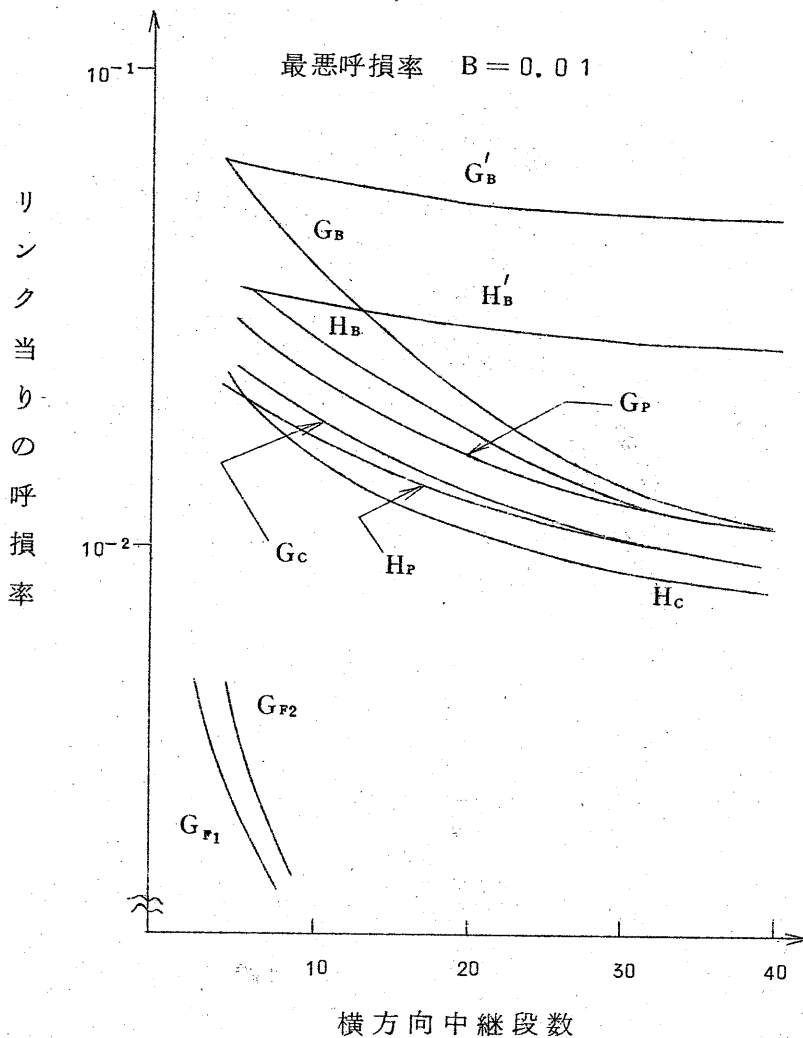


図 9 中継段数とリンク当り呼損率

表

	带状ルート選択	鎖状ルート選択	部分带状ルート選択	鎖状迂回パラメータ	部分带状迂回パラメータ
蜂の巣形交換網	0.0140	0.0091	0.0110	1.0168	1.0106
格子形交換網	0.0162	0.0109	0.0130	1.0208	1.0127

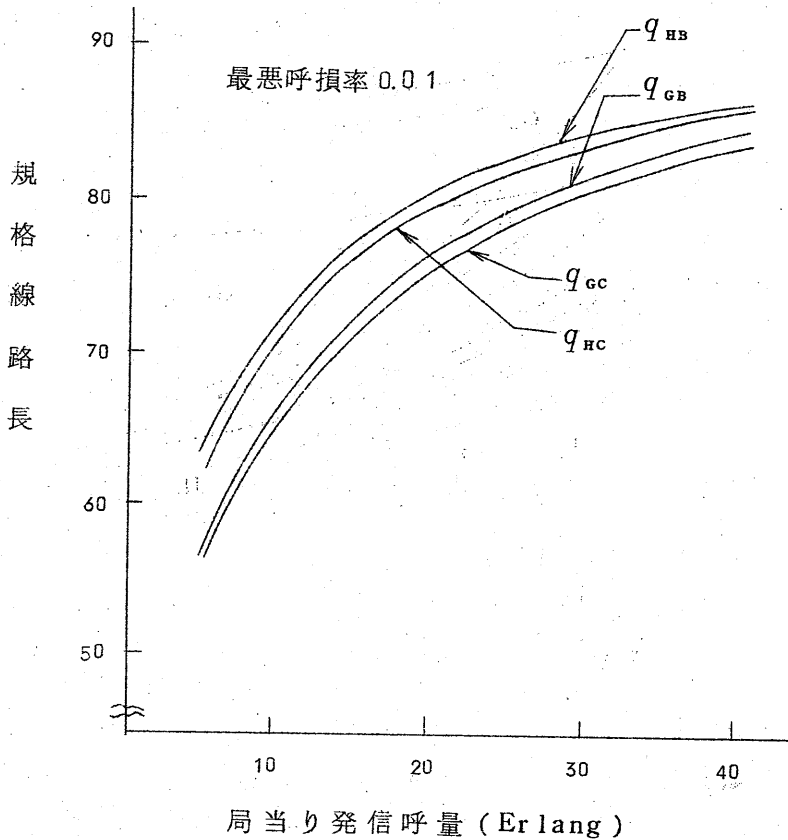


図 10 ルート選択方式と回線能率

これより各種ルート選択方式と回線能率及び規格線路長を求めると図 10, 図 11 のようになる。

各種ルート選択方式を比較するとまず带状ルート選択方式が蜂の巣形, 格子形, 交換網にかかわらず呼損率; 回線能率及び線路長に関しては, 最もすぐれたルート選択方式である。その反面制御が複雑となる。又带状内のリンクの閉そく状況を監視するために相当大きいメモリが必要である。逆に鎖状ルート選択方式は制御が簡単であり, 最初に直通ルートが指定され閉そくさ

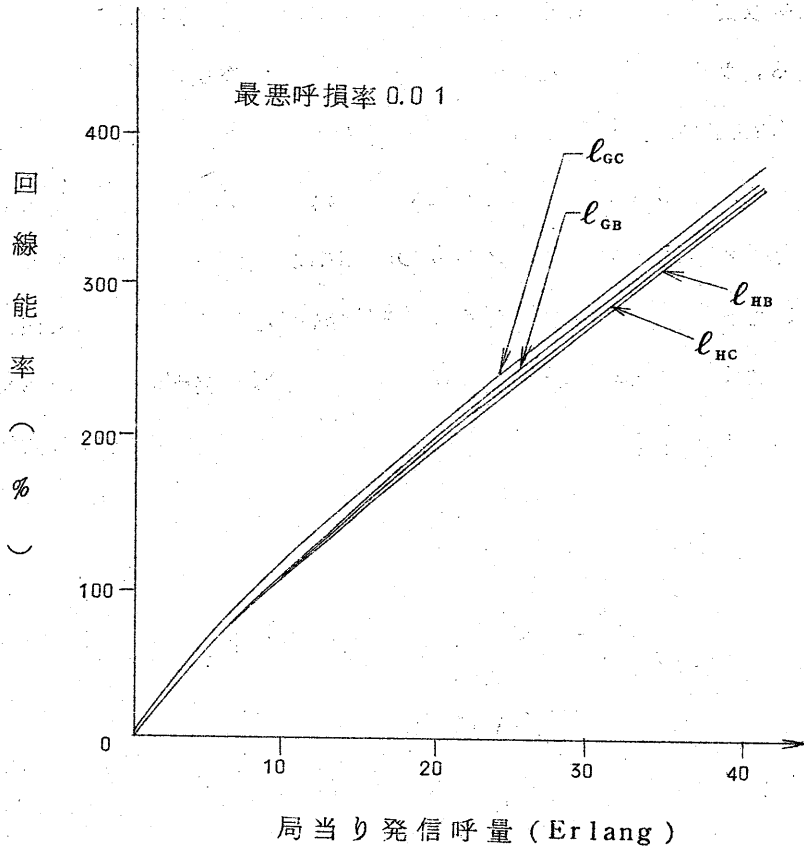


図 1.4 ルート選択方式と戦路長

れたリンクのみ迂回ルートを取るからリンクの閉そく状況を監視するメモリが少なくて良い。部分帯状ルート選択方式はこの両者の中間である。帯状ルート選択方式で鎖状ルート選択方式では同一最悪呼損率で、回線能率でせいぜい1~2%程度、規格化線路長では4~5%程度、後者が前者に劣っているにすぎない。

5. 簡単な星形交換網と格子形交換網の線路長の比較

交換網の特性は単に線路総長の比較のみで論ずることは出来ない。局の建設コスト，土木線路長，総線路長，制御の容易さ，サービス程度，等々種々の要因を比較検討すべきであろう。しかし本文では一応線路総長のみ比較することにする。サービスすなわち呼損率を一定として総線路長を比較した。又格子形交換網においては鎖形ルート選択方式を取った。星形，格子形，各交換網ともに最悪呼損率を0.01とした。計算はあるリンクに着目しそこを流れる呼量を求め与えられたリンク当りの呼損率から呼びにマーラン分布る仮定し回線数を求めることにより行なった網の構成としては，星形交換網として図12，図13の様な1段星形交換網，2段星形交換網を，格子形交換網としては，図14の様な交換網を考えた。又局間呼量の分布は次の様に考えた。

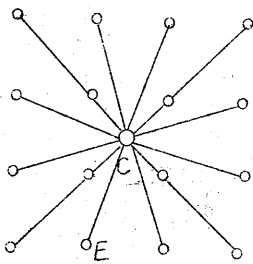


図 1 2

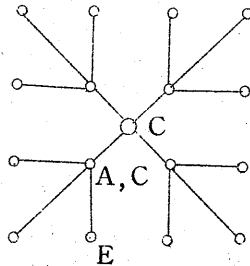


図 1 3

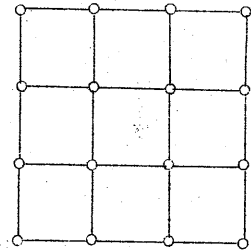


図 1 4

(1) 分布が一様

(2) 分布が負の指数分布

(1)はすべての局間呼量は等しいと考え (2)では局間呼量が局間が局間の直線距離の負の指数に比例すると考える。

この様にして算出した総線路長を1段星形交換で l_{s1} ，2段星形交換網で l_{s2} 格子形交換網で l_g とすると

$$r_{s1} = \frac{l_G}{l_{s1}}$$

$$r_{s2} = \frac{l_G}{l_{s2}}$$

30

この計算結果を図 1.5 に示す。呼の分布が一様であれば星形交換網と格子形交換網は余り総線路長においては大差がない。呼の分布が負の指数分布であり、発信呼量が 20 エール以上であれば格子形交換網の総線路長はこの程度の星形交換網では 70% 程度で良いことが判明した。

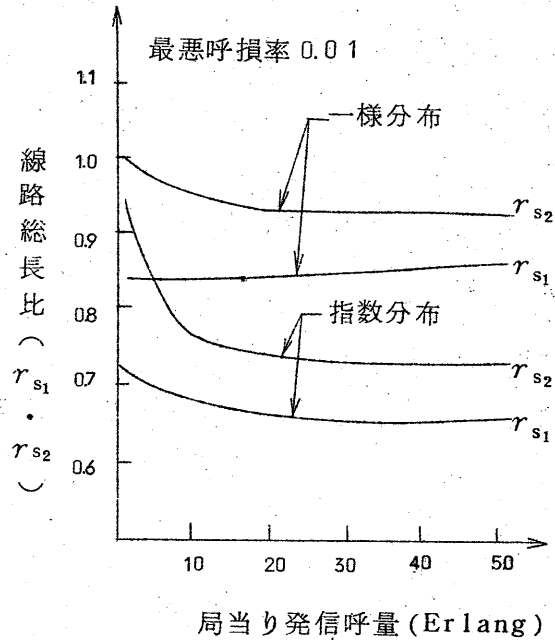


図 1.5 局当り発信呼量と総線路長比

6. む す び

分散形多段中継交換網の代表的な例である蜂の巣形及び格子形交換網についてそのルート選択方式と呼損率、回線能率及び線路長について検討を加えた。その結果ルート選択の自由度を大きくすると回線能率が上り、線路長も比較的短くて良い。逆にルート選択の自由度を大きくすると交換機の制御が複雑となる。故に線路コストに重きを置けば自由度を大きくした帯状ルート選択方式が良く、機器コストが高くなればルート選択の自由度を制限した。例えば鎖状ルート選択方式が適当であろう。しかも鎖状ルート選択方式では中央制御が必要でない。帯状ルート選択方式では取りうるルートに制限を加えているが、全く自由にルートを選択した場合に比較して呼損率はそれ程劣

化しない。又鎖状ルート選択方式では制御を非常に簡単にすることが出来る。

次に星形交換網と格子形交換網の総線路長の比較は呼の分布が一様であれば殆んど差異がない。しかし呼の分布が負の指数である様な場合は後者は前者の総線路長の70%程度で良いことが判明した。最後に制御方式,その他具体的な検討,等々残された問題も多いが今後の網構成の方法に対して何等かの参考になれば幸いである。

謝 辞

本研究に対して常に御指導していただきました本学尾佐竹教授並びに秋山助教授に深く感謝します。なお部分帯状ルート選択方式については本学卒論生久保庄二氏に負う所が大である。

参 考 文 献

- *1 尾佐竹, 秋山, 田中「蜂の巣形交換網」信学会研資

SE66-3(1966-06-20)

- 2 田中 「分散形交換網」東大修士論文第2部 昭和42年