審 査 結 果 の 要 旨

近年，ミリ波，サブミリ波，光波帯における回路は誘電体導波路を基本として微細加工技術とマイクロ波回路技術を駆使した集積化の方向にある。誘電体導波路の中で方形誘電体導波路は最も基本的な構造であり，その電磁的諸特性を知ることは回路設計上極めて重要である。本論文は方形誘電体導波路に各種の不連続が存在する場合の伝送特性について理論的実験的研究を行った成果について述べたもので全編8章よりなる。

第1章は緒論で，研究の背景と目的について述べている。

第2章では不連続部を理論的に解析するための基礎として方形誘電体導波路の界分布表示と分散特性について解析している。方形誘電体は構造的に変数分離の形に厳密に解くことができないことから，等価誘電率法を逐次的に適用することにより界分布，伝送定数を求めると共に，この解法の妥当性を確認している。

第3章では導波路が伝搬路に垂直な平面で切り放された開放端からの反射と放射の特性について解析している。第2章で求めた界表示式を用い，2重フーリエ変換をほどこした後，スペクトル領域で導波モードと放射モードの直交関係が満足されるように反射係数を決定する新しい方法を提案している。この結果エネルギー保存則が0.3%以内の精度で成立すると共に，開放端の電磁界分布が実験値と極めてよく一致することを示しているが，これは注目に値する。

第4章では断面寸法の異なる2本の導波路が同心的に接続された場合について，また第5章では相等しい2本の導波路が軸ずれを生じて接続されている場合の伝送特性について第3章の方法を拡張して解析した結果，それぞれ実験結果とよく一致することを確かめている。

第6章では相等しい2本の導波路が僅かに折れ曲がって接続された場合の特性を解析し，透過係数と折れ曲がり角の間の関係と折れ曲がり近傍の電磁界の振舞を明らかにしているが，これらは興味ある結果である。

第7章では2本の導波路が立体交差する場合の導波路間の結合特性について，斜の2本の導波路を微小な平行導波路の不連続接続とみなして解析している。この方法は従来の方法にくらべ両導波路がかなり接近する場合にも適用できることが実験によって確かめられている。これは優れた成果である。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は，ミリ波から光波にわたって広く用いられる方形誘電体導波路の諸不連続部の特性を改良された方法によって解析し，回路設計に有効な指針を与えたもので，電磁波工学および通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。

氏　　　　名	佐藤公男（さとう きみお）
授　与　学　位	工学博士
学位授与年月日	平成元年5月10日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最　終　学　歴	昭和54年3月 山形大学大学院工学研究科電気工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	**構成的ネットワークのグラフ理論的研究**
論文審査委員	東北大学教授　斎藤　伸自　東北大学教授　木村　正行 東北大学教授　西関　隆夫

論文内容要旨

第1章　緒　　論

一般的な電気回路網の解析理論はKirchhoff以来多くの研究者によって研究され，既に完成の域にあるといってもよい。しかし，それは数値解析としての手法の確立であって，記号解析を行う場合には計算効率などの面で種々の問題点がある。記号解析の主な利点は，それによって得られる公式の構造を解析することにより，回路網の構造，動作あるいは公式に含まれる変数のふるまいなどが解析できるところにあり，グラフ理論的（位相幾何学的）解析法がそのような目的に対する一つの有望な手段として用いられている。特に，効率のよい記号解析の基礎をなすと考えられる，辺の接続などに条件を課して構成される特殊回路網やいくつかの部分回路網の相互接続によって構成される接続回路網などのいわゆる構成的ネットワークの各種回路量の公式化やその際に必要な回路網の変形に伴う回路量の変化量の研究などにはまだ未解決の部分が残っており，十分な研究が行われているとはいえない。

本論文では，基本的に抵抗回路網の点電位解析を背景として，その回路量としの点電位に着目し，それと関係のある駆動点，伝達コンダクタンスとそれらの位相幾何学的公式の中に現われる木，多木コンダクタンス積和を取り上げ，特に構成的ネットワークの性質の記号解析という観点から，その木コンダクタンス積和や合成コンダクタンスの公式化，それらの公式化に必要な各種の手法，関係式，公式，定理などの導出，及び解析の一環として構成的な確率ネットワークの信頼度の公式化を目的としたものである。但し，議論の簡素化のために，前述の抵抗回路網，コンダクタンス及び

電位をそれぞれネットワーク，重み及びポテンシャルというように電気的概念を使わずに抽象化して表現している。

第２章　代数的，ネットワーク理論的準備

初めに本論文全体の代数的な準備として，集合，行列，行列式などの表記法を定義した。特に行列（式）に関しては，本章の後半における定理の証明を簡単なものとするために，その基本演算に関する新しい表記法を導入した。一方，ネットワーク理論的な準備としては，まずネットワークＮを点集合Ｖと辺集合Ｅからなるグラフ G，端子集合Ｋ及び辺の重み関数ｗの複合概念として定義し，Ｎに関する短絡，接続，セル及び虚辺などの各種の用語及び操作の定義を行った。但し，Ｎの虚辺はそれが加付されている点対を表す便宜的なものである。次に，Ｎの点重み行列などの各種の行列と木，多木重み積和を定義し，主として第３章の準備のために，特に前半で定義した行列式演算の表記法を用いて条件付３－木重み積和と点重み行列の関係式の証明を詳述した。

第３章　ネットワークの点ポテンシャル

本章の結果は，第５章で示す反復接続ネットワークの木重み積和公式の導出過程におけるいわば副産物として得られた重要な部分である。まず，ネットワークＮの２個の点 u_1,u_2 の短絡による任意の順序点対（x，z）に関する各点ｕのポテンシャルの変化量が，三つの順序点対（x，z)，(u，z) 及び（u_1,u_2）に関する点 u_1 と u_2 のポテンシャルの差を使って定式化できることを示し，各点ｕのポテンシャルが増加（あるいは減少）するための必要十分条件を与えた。更にこの必要十分条件から，任意の２個の点の短絡による順序点対のポテンシャル差の非増加性，等ポテンシャル点の短絡による各点のポテンシャルの不変性という等ポテンシャル点短絡（ＥＰＳ）変換の原理，及び点ｘ以外の１個の点ｕのポテンシャルの不変性を調べただけでは短絡した２個の点 u_1,u_2 が等ポテンシャル点であるということが必ずしも言えないことなどが直ちに証明できることを示した。また，特にポテンシャルが等しいか否かということだけに着目して，２個の点の等ポテンシャル条件及び点の数が２個以上の場合の一般化等ポテンシャル条件を数種類の方法で与え，更にいくつかの点対のポテンシャルが特定の比率を持つための拡張条件を示した。

第４章　木重み積和計画のための合成重み法

ネットワークの重要な概念の一つである２個の点に関する合成重みに着目し，それを用いた特に構成的ネットワークの木重み積和の記号解析のための簡明な新手法として，合成重み法とそれを使って導くことができた辺置換法を提案した。特に合成重み法の有用性はネットワークのいくつかの虚辺に関する合成重み積がうまく導出できるか否かに依存しており，合成重み積の計算を効果的に行うための一つの方法としてネットワークの縮小が挙げられる。そこで，そのような等価変換であるＹ→△変換とそれを何回か繰返す変換である等ポテンシャル点縮約（ＥＰＣ）変換を定義し，その変換後に得られるＥＰＣネットワークの辺（点対）重みの位相幾何学的公式を示した。その結果，構成的ネットワークなどの特殊なネットワークの場合には，行列式法によるそれらの木重み積和公

式の導出がかなり困難であるようなときでも，合成重み法を用いることによって公式の導出が極めて容易になる場合があることを，完全グラフKの反復接続ネットワークの例を用いて述べた。すなわち，合成重み法は，ネットワークの構造によっては，ＥＰＳ変換やＥＰＣ変換などの等価変換を用いることにより特定の虚辺に関する合成重み計算が極端に簡単化されたり，更には合成重み積の結果そのものを直接簡単に導出できるようになる場合があるという長所を持っている。なお，合成重み法を使って得られた木重み積和公式は，以後，そのネットワークの点重み行列と同じ形式を持つ行列に対して，その行列式の展開公式として使うことができる。

第５章　一般セルからなる反復接続ネットワーク

本章は，本論文の主要部分である。まず前半では，特に構成的ネットワークの木重み積和の公式化と合成重み法の応用という目的で，ｋ個の一般ネットワークＮをセルとする縦続（梯子，扇）型，車輪型及びプリズム型の基本型の接続ネットワークとそれらと関連性を持ついくつかの反復接続ネットワークの木重み積和を，Ｎ及びその特定の虚辺を短絡して得られるネットワークの木重み積和と，セルの個数ｋ及び接続辺の重み w_s を使った公式として表現することに成功した。従来の公式は，同じ型であっても，セルを具体的にサイクル C_p や完全グラフ K_p というように二つの場合に分け，更に接続の方法も点接続と辺接続に分けて扱っていた。しかし，ここでは，セルを一般ネットワークというように構造に任意性を持たせていることと接続辺ｓによるｓ－接続という接続方法を導入したことによって，上述のセルの構造や接続の方法に応じて個々に導出してきた公式をすべて包含する，より一般的な公式が導出できたことになる。

次に後半では，前半で導出された反復接続ネットワークの木重み積和公式の応用として，無限個のセルからなる前述の基本型接続ネットワークの特定の虚辺（端子対）に関する合成重みの公式を導出した。それらの公式の導出に際しては，まず前半で導出した木重み積和公式を使ってセルの個数ｋが有限の場合の合成重みを完全に定式化し，次にその式において $k\to\infty$ とすることによって無限の場合を求めるという方法を用いた。そして，梯子型とプリズム型，及び扇型と車輪型の対応する虚辺に関する合成重みがそれぞれの場合に一致することを示し，そのことは梯子型及び扇型接続ネットワークのＥＰＣネットワークを用いることによって証明できることを示した。

第６章　Ｋｐをセルとする接続ネットワークの木の数

主として特殊グラフの木の数の公式化という純グラフ理論的な観点とまた合成重み法の応用という目的から，まずセルの接続の方法を任意としその代わりにセルを完全グラフ K_p として簡単化した接続ネットワークについて，セル K_p の点の数ｐ，その個数ｋ及び接続辺ｓの重み w_s を変数とした木の数の公式の比較的簡便な導出法を示した。次に，接続ネットワークのセルの隣接関係，すなわち任意の２個のセルが何個の接続辺とそれらの端点でない何個の接続端子を共有しているかを表すセルグラフとその特殊な場合の多重完全セルグラフ，単純化セルグラフという概念を定義した。特に，セルグラフと原始接続ネットワーク，多重完全セルグラフとスター型接続ネットワーク及び単純化セルグラフと準原始接続ネットワークの間にはそれぞれ一対一の対応関係があり，それらの

接続ネットワークの木の数の公式の導出は，対応するセルグラフの点重み行列を補助的に使用することによって更に簡単化できることを示した。

第７章　接続ネットワークの信頼度公式

構成的ネットワークの各種の記号解析の一環として，ｋ個の同じ一般セルＮの１，２，３－端子接続に基づいて構成される縦続（梯子，扇）型，車輪型及び並列型接続ネットワークの信頼度公式が，木重み積和のときと同様に，セルＮ及びその特定の虚辺を短絡して得られるネットワークの信頼度，接続辺ｓの重みp_s（正常確率）及びセルの個数ｋを用いて表現できることを示した。但し，セルＮの各辺の重みはそれが正常である確率であり，また信頼度公式の導出には反復接続ネットワークの木重み積和公式を導出したときの漸化式の導出法とその解法を応用した。これらの結果を信頼度解析の効率化という観点から考えると，反復接続ネットワーク全体の信頼度は実質セル１個の信頼度を計算するだけでよいことになる。従って，これらの公式を使えば上述の反復接続ネットワークの信頼度計算の時間はかなり低減できる。また，これらの反復接続ネットワークを部分的に含むようなネットワークがあれば，その含み方によっては，ここで得られた公式を使うことによってネットワークの信頼度計算が簡単になるという例も示した。

第８章　結　　論

同じ構造を持つセルをいくつか相互接続して得られる構成的ネットワークをグラフ理論的に記号解析することを第一の目的とし，一般セルからなる各種の反復接続ネットワークの木重み積和公式の導出を中心に，合成重み公式及び信頼度公式などの導出を行った。その結果，特にセル一般ネットワークとしたことにより木重み積和公式の導出可能な構成的ネットワークの種類が従来の場合に比べて格段に拡大された。また，木重み積和公式の導出に際しては，構成的ネットワークに対して有用な合成重み法という新手法を確立し，更にその合成重み法におけるネットワークの合成重み積計算を厳密さを保ちつつ容易なものとするために，点ポテンシャルに関する経験則を厳密に証明したりその他の新しい定理を導くなど，電気回路網理論的に重要ないくつかの基本的性質も解明した。最後に，今後の課題について言及した。