対偶不変量法による機構解析に関する研究

氏名・（本籍）	葉　　新　華（中　国）
学位の種類	博　　士（工　学）
学位記番号	工博甲第　75　号
学位授与の日付	平成 5 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科　電子応用工学専攻
学位論文題目	**対偶不変量法による機構解析に関する研究**
論文審査委員	（委員長） 教授　野飼　享 教授　井原素三　教授　松田　孝 教授　森田信義　教授　窪野隆能

論文内容の要旨

本研究は対偶不変量という新概念を導入することによって、機構の新しい解析方法を提案することを目的とする。

第二章において機構の構成から対偶の自由度と可動性、及び機構の自由度と可動性について詳細に論じた。従来の「パラドキシャル」機構を無くすために機構の自由度空間を提案し、自由度空間と自由度の関係を検討した。基点及び基点座標を導入することによって、機構の状態は n 個基点の基点座標からなる 3n 次元空間中のベクトルと見なすことができる。このベクトルは幾何学的拘束及び運動学的拘束という二つの拘束を受けている。幾何学的拘束は各対偶の構造、機構中の配置並び姿勢により、生じた拘束であり、機構の構成が可動なあらゆるベクトルの集合を決定するが、運動学的拘束は既知の入力節の運動状態により、機構の運動状態を制限するという拘束であり、ある瞬間において、機構の可動状態ベクトル集合から、入力節の運動状態に相応する機構の唯一可能の運動状態ベクトルを決めるのである。定量的に対偶の特性を表すために対偶不変量という概念を導入することにする。対偶不変量とは対偶を構成する二節の間には対偶の幾何特性によって必ず存在していると考えられる何らかの不変の幾何学量（例えば、長さ、面積、体積、方向など）のことである。具体的に言えば、空間機構の回転対偶の場合対偶を構成する回転体と回転軸の二節の間には回転体上の一基点から回転軸上の二基点までの二つの長さと、円筒対偶の場合、回転体上の一基点と回転軸上の二基点によって形成された三角形の面積は各自の拘束条件から、対遇のいかなる運動にもかかわらず、不変である事実から、その二つの長さを回転対偶の不変量、その三角形の面積を円筒対偶の不変量とそれぞれ定義

することにする。このような対偶の不変量により、各対偶の特性を表す方程式を導き出すことが出来る。こうすると対偶をその幾何学特性によって、定長拘束、定面積拘束、定体積拘束、定方向拘束等に分類することができる。そして有限要素法の基本原理を利用し、対偶不変量の数学表示式を一般化することによって、対偶間の特性、つまり機構の特性を表すことができる。運動学的拘束は可変拘束であるが形の上では幾何学的拘束と全く同様の方程式で表示することができる。

第三章と第五章においてはそれぞれ平面機構の回転対偶と移動対偶、空間機構の球面対偶と回転対偶と円筒対偶の不変量及びその表示式をそれぞれ検討した。特に空間機構の場合、球面対偶と回転対偶の不変量はともに不変の長さであることから、対偶不変量の意味から言えば、まったく同様であり、一次元定長拘束と呼ばれることができる。円筒対偶の不変量は不変の面積であり、二次元定面積拘束と呼ばれる。運動学的拘束についても、スライド入力とクランク入力の特性及びその対偶可変量の表示式を論じた。それぞれ可変長拘束と可変面積拘束と定義することがきる。有限要素法の基本原理を利用して、以上の各対偶の不変量及び各入力の可変量の表示式を同形の一般式に変換することによって、統一処理することが可能となる。従来の相対座標系の座標変換を通じ、ループに対しての解析方程式を立てるのとは異なって、ここでは対偶別の対偶不変量及び入力可変量の同形方程式を擁立し、機構の解析をすることが可能である。この解析方程式は対偶だけでなくループの特性も反映している。以上の理論に基づいて、二つの平面機構（四節機構と六節機構）と三つの空間機構（RSSR 機構、RRSC 機構、RRSSR 五節機構）の位置解析を行った。本手法によって作成されたプログラムは実例で示したように自由度数、基点数、拘束の構成基点番号とその不変量、入力の種類と構成基点番号などを入力するだけでよく、しかも収束が速いという特徴がある。なお本研究においては空間機構の三種類の対偶だけを検討したが、ほかの対偶についても上述の対偶と同様に不変量を特定し、同様の表示式が導出されるならば、簡単に解析方程式の後に付け加えることができる。

第六章は以上の方法に基づいた機構解析のプログラムの作成上及び使用上のいくつかの問題点を説明した。

一方、比較のためには、強結合ループ平面低次対偶機構の解析の子節法も提案した。この方法は多節多ループ機構の中の両ループ共有節を分裂し、仮定入力節を特定することによって、強結合ループ機構を等価の自由度 1 の弱結合機構に変換することができる。従って、導出された位置解析方程式は変数が一つしかないため、従来の多変数非線形方程式より大幅に簡素化され、計算収束時間も顕著に短縮された。Stephenson6 節機構をはじめ、いくつかの機構の解析を例にその子節法の基本原理を説明した。

第七章は、全文をまとめて、いくつかの結論を出している。

論文審査結果の要旨

本論文は自由度空間という概念を導入し、パラドキシャル機構を無くした上で、対偶不変量という新概念を導入することにより、従来困難であった平面機構と空間機構とを結び付ける統一した解析手法を提案している。更に平面機構に対して子節法という新しい提案もしている。

第1章は序言で、機構解析の現状を述べ、研究の背景と目的について記述している。

第2章において、対偶の自由度と可動性及び機構の自由度と可動性について詳細に論じている。基点及び基点座標を導入することにより、機構の状態はn個基点の基点座標からなる3n次元空間中のベクトルとみなすことができ、この自由度空間の概念により、パラドキシャル機構を無くすことができる。次に対偶不変量の概念を導入している。対偶不変量とは、対偶を構成する2節間には対偶の幾何学的特性により必ず存在していると考えられる幾何学量(例えば長さ、面積、体積など)であり、この量により各対偶の特性を表す方程式を導き出すことができ、平面機構と空間機構に対して統一した解析を可能にできると述べている。

第3章では、平面機構における回転対偶と移動対偶の不変量とその表示式を検討している。これらに基づき平面機構の運動学的拘束方程式、位置解析方程式及び速度・加速度方程式を導出した。次に3種類の平面機構の実例にこの手法を適用し、良好な結果を得ている。

第4章では、強結合ループ平面低次対偶機構の解析のための子節法を提案している。この方法は多節多ループ機構の中のループ間共有節を分裂し、仮想入力節を与えることにより、強結合ループ機構を等価な自由度1の弱結合ループ機構に変換することができる。この方法を幾つかの実例に適用し、結果を確かめている。

第5章では、空間機構における球面対偶、回転対偶及び円筒対偶の不変量とその表示式について検討している。これらを導入することにより、平面機構と空間機構の各対偶の不変量及び各入力の可変量の表示式を同形の一般式に変換し、統一処理することが可能となることを示した。ついで3種類の空間機構の実例に対して適用し、有効であることを示した。

第6章では対偶不変量に基づいた機構解析の計算機プログラムを示し、計算時間すなわち計算の収束が従来の方法より速いことを明らかにした。

第7章は全文をまとめ、結論を出している。

以上、平面機構と空間機構の統一した表示式での解析を、対偶不変量の概念を導入することで可能にし、更に子節法をも提案している。これらをまとめた本論文は博士(工学)学位を授与する内容であることを認める。