

審査の結果の要旨

氏名 井上 恵介

井上恵介（いのう けいすけ）提出の本論文は「**Reconstruction of Two-Manifold Geometry from Wireframe CAD Models**（ワイヤースケッチ CAD モデルからの 2 次元多様体幾何の再構成）」と題し、全 9 章よりなり、計算機を利用した立体（曲面）モデリングにおいてワイヤースケッチを入力として構成するという問題を扱っている。

第 1 章では、研究の背景を説明し、研究の目的と論文の構成を述べている。ワイヤースケッチモデルは人間にとって扱いやすいなどの利点があり、複雑な曲面部品の設計などに利用されている。しかしそのままでは最終的には不十分で、後工程で人手により情報を補い立体（曲面）モデルに変換するのが普通である。これは不便であり、変換作業の自動化が重要な課題となっている。

第 2 章では、論文で利用されるグラフ理論の基本的な用語の導入と、既存の研究の紹介を行っている。ワイヤースケッチを立体モデル化するには、(1)閉曲面を構成する面ループ群（位相情報）と(2)ループごとの曲面式（幾何情報）、の 2 種の情報の生成が必要である。従来手法は、(1)幾何情報にもとづいて（平面上にある）ループを探すもの、(2)位相情報を使ってグラフの埋め込み（曲面上に辺が交わらないようにグラフを描くこと）をするもの、(3)位相情報をもとに発見的手法でループを見つけるもの、などに大別される。本論文は、グラフ埋め込みの方法の致命的欠陥であった適用範囲の狭さ（埋め込みが一意的グラフ、すなわち 3 連結平面グラフのみ）を解消し、グラフ埋め込みによる方法を実用段階に引き上げるものである。

第 3 章では、本論文の手法と方針について論じている。まず 3 連結平面グラフよりも広い 2 連結平面グラフのクラスについて、(1)すべての埋め込み（ループの組み合わせ）を求め、(2)それらに含まれる面ループに対して幾何を決定し、(3)合理的でない解を排して残りを順位づけする、の 3 段階をとる。この方法を核とし、非平面グラフへの拡張、非連結グラフへの拡張を行う。方針として、位相情報を最大限に利用し、単純な解釈を優先する。

第 4 章では、2 連結平面グラフに対しすべての埋め込みを生成する手法を述べている。2 連結なグラフは 3 連結要素分解という手法により 3 種類の部分グラフに分解でき、それぞれの埋め込みは容易に数え上げられる。部分グラフの埋め込みどうしは、2 つの閉曲面を切って貼り合わせることで 2 通りの合成ができるので、つまり全体の埋め込み生成は、組み合わせ的に生成できる。その際、全体の埋め込みの数が非常に多くても、それらに登

場する面分の数は少ないのが特徴である。

第5章では、面ループに曲面の幾何を割り当てる方法と、得られた幾何情報付きの解を現実的なものに絞り込む方法について述べている。ワイヤースケッチを単純に解釈するという方針にもとづき、面ループに対して、平面、基本2次曲面（円筒、球、円錐）の順であてはめを試み、だめだったら曲面メッシュの弾性モデルを使って自由曲面を生成する。また、生成された解は合理的でないものを含むことが多いため、曲面の自己干渉や、加工不能な局所形状の条件を使って解を絞り込む。

第6章では、この手法を非平面グラフに拡張するため、3連結な非平面グラフの埋め込みについて論じている。この問題は従来計算複雑性の観点から研究されてきたが、実際に使える実装可能なものはなかった。そこで、小さな部分グラフの埋め込みから出発して全体の埋め込みを得る **embedding extension** という方法を拡張して実装し、種数が1の場合に効率よく動くことを示した。また種数が2以上の場合には、**embedding development** という新たな方法を提案して実装し、すべての埋め込みが生成できることを確認した。

第7章では、入力グラフへの2連結の条件を撤廃して非連結なグラフまで拡張する方法と、開いた曲面モデルを扱う方法について論じている。非連結グラフは2連結な部分グラフもしくはツリー状の部分グラフに分解し、前者について曲面生成までした後で、幾何情報を根拠に全体を合成してひとつの立体とする。開いた曲面モデルを得るには閉曲面モデルからいくつかの面分を取り去ればよいので、その面分を見つけるための条件を示した。

第8章では、典型的な場合に本手法が有効に動作したことが示された。入力として、多数の埋め込みを持つが結局は解が2つに絞り込める例、非連結な複数の部分グラフを含む例、開いた曲面部品の例が示された。また、現実のワイヤースケッチに付随する幾何的・位相的な誤りについても論じている。

第9章では結論を述べている。従来は3連結平面グラフという小さなクラスに限定されていたグラフ埋め込みによる手法が、一般のグラフを扱えるように拡張された。

以上を要約するに、本研究により、ワイヤースケッチモデルからの立体（曲面）モデルの構築について、グラフ埋め込みを使った位相的な方法が一般の入力に対して適用できることが示され、形状モデリングについて大きな貢献をしたといえる。このことは、精密機械工学のみならず工学全体の発展に寄与するところが大きいと考えられる。

よって本論文は博士（工学）学位請求論文として合格と認められる。