

氏 名 (本 籍)	蒔 田 耕 司 (青森県)
学 位 の 種 類	博 士 (情 報 科 学)
学 位 記 番 号	情 第 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 2 月 13 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
研 究 科 , 専 攻	東 北 大 学 大 学 院 情 報 科 学 研 究 科 (博 士 課 程) 人 間 社 会 情 報 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	CG を 用 いた 道 路 線 形 の 3 次 元 設 計 に 関 する 研 究
論 文 審 査 委 員	(主 査) 東 北 大 学 教 授 福 田 正 東 北 大 学 教 授 稲 村 肇 東 北 大 学 教 授 宮 本 和 明 (工 学 研 究 科)

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

一般に道路線形は、平面線形と縦断線形に分離した2次元線形設計手法を用いている。しかし、これらの2次元線形に対する幾何構造に適した道路線形であったとしても、設計の最終段階において合成して得られる3次元道路線形が理想的な道路線形である保証はない。3次元線形としての道路線形の評価にあたっては、透視図の作成が有効である。近年、急速に普及しつつある3次元CG (computer graphics) 技術の適用は、作成された3次元数値モデルに基づく透視図を描画の効率化と高画質化を実現するものであるが、2次元線形として設計された道路線形からの3次元数値モデルの作成プロセスにおける効率化が十分に図られておらず、実際の設計作業レベルでの評価手法としての適用がなされていないのが現状である。

近年のコンピュータ技術の急速な発達に伴って、様々な設計分野においてCAD (computer aided design) が適用されるようになってきた。そして、これまでのCADは、2次元CADが主流であったが、コンピュータの処理速度の向上に伴い、3次元CADが実用化の段階に達しつつある。道路線形設計への3次元CAD技術の適用は、線形設計とその3次元的评价技術とのフィードバックシステムを実現し、設計の効率化と高品質化に貢献するものと期待される。3次元CADシステムにおいては、空間曲線のコンピュータ上での取り扱いが研究され、スプライン (spline) 関数やベジェ (Bézier) 関数等を用いた自由度の高いパラメトリック曲線が用いられている。これらのパラメトリック曲線は、任意の制御点に対する自由曲線の定義を可能とするものであり、その道路線形への適用により、道路線形の3次元線形設計が容易になる可能性がある。しかしながら、このパラメトリック曲線を道路線形に適用する場合、自動車の走行力学並びに人間工学の観点からの検討が必要である。さらに道路の線形設計を行うにあたっては、地形や地物の情報は必要不可欠である。コンピュータによる道路線形の3次元設計を実現するためには、これらの情報をいかに取り扱えば大きな課題となる。

そこで本研究では、以上のような背景に基づき、道路線形の3次元設計に関して主に次の課題について研究を行った。

- 1) 3次元CG技術を適用することにより、道路線形の3次元設計システムを構築する。
- 2) この3次元道路線形設計システムを実現するために、道路線形に用いる3次元曲線に関して、自動車の走行力学並びに運転者の人間工学的観点からの研究を行う。

3) 航空写真の立体視技術を利用することにより、地形情報を容易に取り扱うことができるシステムを確立する。

## 第2章 道路線形の設計技術の現状と課題

道路の線形設計は、あらかじめ定められた起点と終点とを結ぶ最良の道路線形を導き出す作業であり、道路の計画・設計プロセスの中でも最も重要な作業である。ここで、最良の道路線形を選択する際に考慮すべき要因は、建設コスト、防災、走行性、走行コスト、景観性などである。道路設計は、一般に数年度にわたって段階的に実施される。設計段階の進行とともに、徐々に対象とする図面を大縮尺化し、詳細な設計が行われる。設計支援システムの構築は、既往の設計プロセスの効率化を図るとともに、その高度化を実現することを目的とする。そのためには、現行の設計プロセスにおける問題点を明らかにしておく必要がある。そこで、本章においては、現行の道路線形設計における設計条件及び設計手順について説明した。そして現行の2次元設計手法の場合、道路線形の視覚的検討が十分に行われないこと、また設計工程の中で地形学的評価が欠如されやすいことなどを指摘した。さらに、本研究で対象としている道路線形の3次元設計手法について、CGを利用した3次元技術の経緯を説明し、さらに道路線形の3次元設計の実現のための課題の1つとして、道路線形を1つの数値関数で表現する手法の開発が必要であることを述べた。これにより、道路線形を直接的に3次元デジタル情報として表現することが可能となり、CG技術の適用による道路線形の視覚的評価、CAE技術の適用による道路線形の縦断勾配、運転者に作用する加速度値などのリアルタイム評価、さらには地形学とのコンカレントエンジニアリングが可能となると考えられる。

## 第3章 パラメトリック曲線とその道路線形への適用

道路線形の3次元線形としての一元的な表現手法を確立することにより、設計者は3次元CGの技術により、3次元イメージを常に認識しながら設計することが可能となる。このことは、運転者の視覚に配慮した設計を行うことが可能になることを意味している。しかしながら、道路線形の3次元線形としての数値関数による一元的な表現手法の研究が行われていない。本章では、現行の2次元設計手法による道路線形の表現手法について概括するとともに、3次元CADシステム上で用いられる空間曲線であるパラメトリック曲線に関して、既往の道路線形との比較評価及び運転者の走行特性に関する評価を行なった。

パラメトリック曲線の道路線形への適用性評価においては、3次スプライン曲線、ベジェ曲線、2次B-スプライン曲線、3次B-スプライン曲線を対象とした。円曲線、クロソイド曲線、直線の連結による既往の道路線形に関して、対象とした全てのパラメトリック曲線によってその近似表示が可能である。しかし、与えられた制御点数から判断すれば、B-スプライン曲線が最も実用性が高く有効であると言える。3次元道路線形の適用性に関しては、既往の道路線形との比較評価及び遠心加速度の変化率からみた走行特性の評価を行い、屈曲の小さな道路線形に対しては、3次B-スプライン曲線の適用性が高く、また屈曲の大きな線形に対しては2次B-スプライン曲線の適用性が高いことを示した。

## 第4章 航空写真による3次元線形設計システム

道路線形の設計において、地形や地物等の情報は必要不可欠であり、コンピュータ上における3次元設計システムの構築にあたって、地形情報をいかに扱うかが課題となる。設計システム上において地形情報は、一般にDTM (digital terrain model) が地形情報の3次元モデルとして用いられるが、詳細な地形情報の表現にあたっては、その格子間隔を狭め、DTMを構築することになる。しかしながら、それによりDTMのデータ量は増加し、コンピュータに対する計算負荷を増大させることになる。このようなDTMの問題に対し、本研究では航空写真の立体視による仮想地形面を基にした3次元線形設計システムを構築するとともに、その事例への適用を試みた。

本システムにおいては、道路線形にB-スプライン曲線を用いることにより、3次元線形図(立体図)と平面図、縦断図との連動を可能とし、さらに任意の視点からの透視図を表示する機能を付加した。この方法により、線形評価と線形設定とのフィードバックを実現した。また特に山地部道路においては、道路工学と地形・地質学によるコンカレントエンジニアリングによる線形設計が必要であり、本システムはその実現を可能とした。

## 第5章 道路線形評価への適用

現行の道路線形設計においては、道路線形を平面線形と縦断線形に分けた2次元線形として行なっているが、これを合成して得られる3次元の道路線形に関する評価は一般的には行われていない。本研究で提案する3次元線形設計システムにおいては、道路線形を3次元のパラメトリック曲線により、一元的に定義している。これにより、道路線形の3次元モデルの作成が容易になり、CG、CAEへの応用を容易にする。また道路線形は空間内に配置された制御点（マークポイント）により定義されており、その修正は制御点の移動のみで可能である。すなわち、CG、CAE技術によって、道路線形の評価から再び設計へのフィードバックを容易に行うことができる。本章では、3次元線形設計システムの拡張サブシステムとして、視覚的評価システム及び走行性評価システムを作成し、これを事例に適用し、その有効性を検証した。

視覚的評価システムは、3D走行シミュレーションモジュールの開発によるものである。このモジュール構築には特殊な陰線処理アルゴリズムを工夫した。このモジュールによって、走行速度を伴う3D走行シミュレーションを実施し、運転者視覚による道路線形の評価と道路線形ま視距を確認することが可能である。

走行性評価システムは、ある走行速度で道路線形を走行した場合に、運転者に作用する遠心加速度、遠心加速度の変化率、合成加速度及び道路線形の縦断勾配を表示し、その道路線形の走行性を人間工学的観点から評価するものである。

また適用事例においては、2次及び3次のB-スプライン曲線の道路線形への適用の妥当性について車の走行力学特性の検討を行い、その結果、これらのパラメトリック曲線が道路線形として適合していることを明確にした。

道路線形の3次元線形としての定義により、設計と評価とのリアルタイムでのフィードバックシステムが可能となり、さらにDTMを用いた景観評価システムへの応用、あるいは交通流予測や騒音等の環境予測評価等、さまざまなシミュレーションシステムへのリアルタイムでの応用が可能であると考えられる。

## 第6章 結 論

近年、コンピュータ技術の発達に伴い、設計支援を目的としたコンピュータ利用が進みつつある。しかし、道路線形設計においては、2次元設計手法が定着し、その基図として地形図が必要であることなどが、線形設計へのコンピュータ利用を阻害してきた。

本研究では、道路線形にパラメトリック曲線を適用することによって、CGを利用した航空写真の立体視空間における3次元設計を実現した。本研究で得られた成果をまとめると、以下の通りである。

- (1)パラメトリック曲線の道路線形の適用性について、3次スプライン曲線、ベジェ曲線、2次B-スプライン曲線、3次B-スプライン曲線を対象に比較検討を行った結果、特に2次B-スプライン曲線は屈曲の大きな道路線形への適用性が高く、また3次B-スプライン曲線は屈曲の小さな道路線形への適用性が高いことが明らかとなった。
- (2)CGによる立体視技術とパラメトリック曲線の適用により、航空写真を基にした仮想空間の中での空間自在定規による道路線形設計を実現するシステムを構築した。3次元のデジタル情報として定義された道路線形データを用いることにより、従来の平面図、縦断図としての表現を可能とするとともに、CGによる視覚的評価を同時に実現した。また航空写真の適用により、道路線形の地形学的問題やDTMを用いた場合のコンピュータに対する負荷の問題を解決した。
- (3)3次元線形設計システムの拡張モジュールとして、視覚的評価システム及び走行性評価システムを構築した。これらの評価システムにより、評価から設計へのフィードバックを可能とし、運転者の快適性を考慮した3次元道路線形を設定することが可能となる。

## 審査結果の要旨

近年、土木構造物の設計支援を目的としたコンピュータ利用が進んでいる。しかしながら、道路線形設計においては、地形図を用いた2次元設計手法が定着し、平面線形と縦断線形の設計が別々に行われ、このことが道路線形設計へのコンピュータ利用を阻害する要因になっている。本研究は、航空写真の立体空間において、3次元のパラメトリック曲線を適用した道路線形の3次元設計に関する研究であり、全編6章よりなる。

第1章は序論であり、研究背景及び目的を述べている。

第2章では、道路線形の設計技術の経緯と現状、及び3次元設計の意義について述べている。

第3章では、道路線形として3次元のパラメトリック曲線の適用性を検証している。3次スプライン曲線、ベジェ曲線、2次及び3次B-スプライン曲線の道路線形としての特性を、運転者に作用する遠心加速度及びその変化率によって検討し、特に2次及び3次B-スプライン曲線の適用性がきわめて高いことを示している。これは貴重な知見である。

第4章では、3次元のパラメトリック曲線を用いた3次元道路線形設計システムを構築している。これはCGを用いることによって、航空写真の立体視空間内での3次元道路線形設計を実現したもので、航空写真による道路線形の地学的評価、並びに道路線形の平面図、縦断図、透視図等のリアルタイム表示を可能としている。これらは有用な成果である。

第5章では、本システムの拡張サブシステムとして、道路線形の視覚評価システム及び走行性評価システムを構築している。前者は、立体視による走行シミュレーションを実現し、隠線処理アルゴリズムを利用することによって道路線形の視距確認を可能としている。後者は、運転者に作用する遠心加速度及びその変化率、道路線形の縦断勾配等をリアルタイムに評価し、道路線形の修正作業へのフィードバックを可能としている。これらの研究成果は、本研究の実用性を高めている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、CGを用いた道路線形の3次元設計手法について述べたものであり、情報科学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。