

要旨

本研究は、動作開始点と動作目標点など最小限のデータを与えられたマニピュレータが一般的な作業環境において、自律的に経路計画問題を解き、得られた解の妥当性をコンピュータ・グラフィックスを用いたシミュレーションで容易に検証する方法について提案する。尚、対象のマニピュレータとしては、5自由度垂直多関節形ロボットMOVEMASTERを用いた。

1 緒論

産業用ロボットは、教示された動作系列を再生し続ける事により、生身の人間の代わりに、自動的にかつ効率的に作業を行う。しかし、近年は産業用だけでなく、より広範な分野でのロボット利用が期待されている。

産業用ロボットは、一定の動作を繰り返す事により工業製品を産出する為、動作系列の教示は意味があるが、一般的な作業環境では、目的に応じて与えられる多様な作業命令から、ロボット自身が自律的に適切な動作系列を計画しなければならない。

本研究は、ロボットの中でも特にマニピュレータに注目して、マニピュレータに与えられた作業指令より得られる動作開始点、動作目標点を結ぶ経路計画問題を解く事を目的としている。

2 マニピュレータと障害物のモデリング

経路計画問題を解くには、コンピュータ内部に仮想空間を設ける必要があり、本研究では右手座標系を適用した。

次に、仮想空間上にマニピュレータと障害物を配置するために、マニピュレータは図1のような全27個の部品で構成された木構造で表現され、また障害物は図2のような手順により表現される。

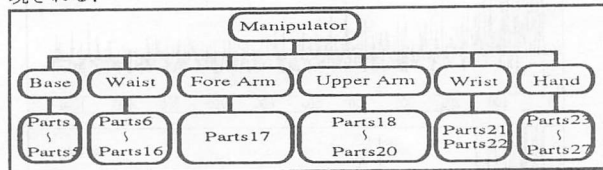


図1: マニピュレータの部品構成

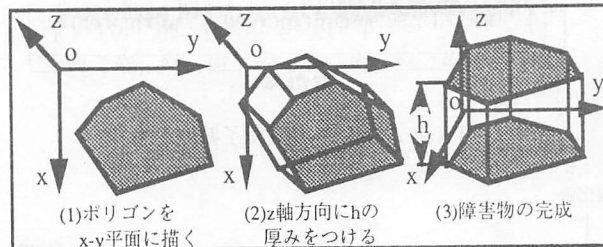


図2: 障害物の表現法

3 オクツリー分割とラベル付け

マニピュレータの作業空間を経路探索に利用するために、作業空間をある大きさの立方体で包含する。この立方体を立方体空間と呼び、さらにこの立方体空間をある終了条件を満たすまで再帰的に8等分割し続ける。この一連の作業をオクツリー分割という。オクツリー分割時の立方体空間の変化の様子を図3に示す。ここで、立方体空間を構成する小立方体をセルと呼ぶ。よって、立方体空間は8分木で表現することが出来る。

また、障害物に関する情報を持たせるために、各セルに対して以下のようなラベル付けを行う(図4参照)。

- (1)セル内に障害物が存在しない: '空'
- (2)セルに障害物が干渉している: '混合'
- (3)セル内が障害物で満たされている: '占有'

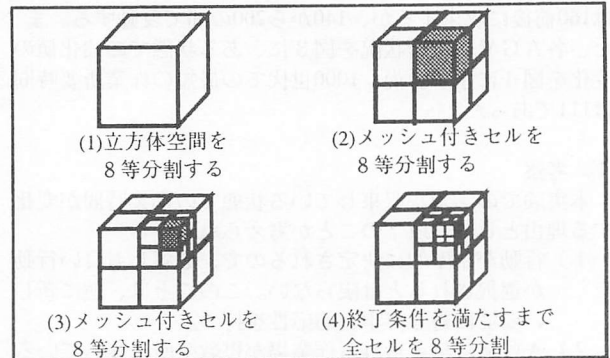


図3: オクツリー分割される立方体空間の変化の様子

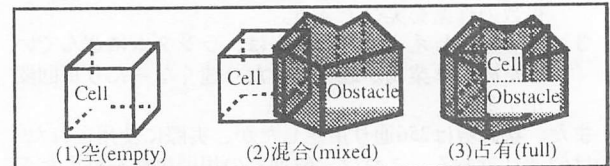


図4: ラベル付け

'混合'のラベルのセルは、ハンドと障害物の位置関係により干渉しない場合もあるので、経路に利用する事が出来るのは、'空'または'混合'のセルである。

4 経路探索

問題を簡単化する為、本研究ではマニピュレータのハンド部だけに注目し、ハンドを包含する立体が障害物を回避しながら経路を探索するものとする。また、本研究では動作開始点側、動作目標点側の両方から包含立体がある方向に沿って一定距離進む動作を繰り返す事により接近し合い、2つの包含立体が干渉した時に経路が導かれた事になると考えた。ここで、包含立体の移動方向を、基準座標系のx, y, z軸の正, 負方向ベクトルV1~V6の全6方向に限定する。尚、動作開始点側、動作目標点側の両包含立体はマニピュレータの手先座標Ps, Pgを常に情報として持っているものとする。

動作開始点側の包含立体の移動方向は、図5においてPgからPsへ向かうベクトルVoとV1~V6との内積値を計算し、障害物と干渉しない場合、値の大きい方向を選択する。また、動作目標点側の包含立体の移動方向は、Voの符号を逆にして同様に操作を行う事で得られる。

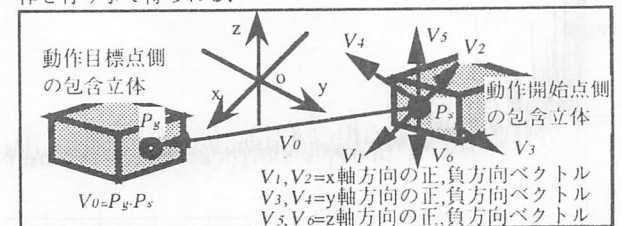


図5: 動作開始点側から見た包含立体同士の位置関係

本研究では、この方法を'内積評価法'と名付けた。内積評価法の手順をフローチャートで表記したものを図6に示す。尚、包含立体の移動量は任意に与える事が出来る。

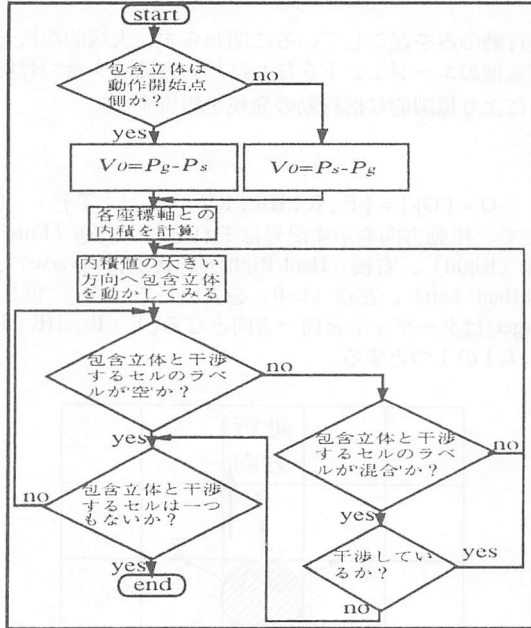


図6: 内積評価法の流れ

## 5 システム構成

動作シミュレーションを、グラフィックス・ワークステーションIRIS Indigoによって行った。

本研究で作成したプログラムは、動作開始点、動作目標点、オクトリー分割のレベル、ハンドの包含立体の移動量、障害物の位置・形状、マニピュレータの手首のピッチ・ロールを人間が与える事で、図7の手順に沿って動作する。

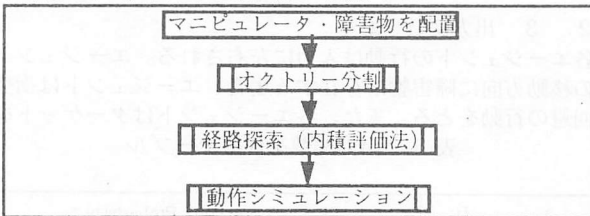


図7: プログラムの流れ

尚、IRIS Indigoで用意されているビューアを用いて動作シミュレーションを可視化する事により、解の検証を行っている。

## 6 シミュレーション結果

図8の作業環境における経路探索で得られた解のシミュレーション結果を図9~図11に示す。図9~図11は解として得られた20ステップ以上の動作ステップの内から、3ステップのみを抽出したものである。

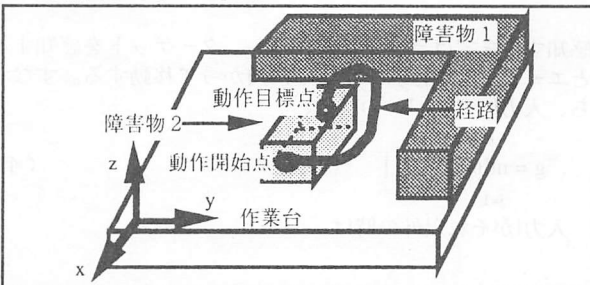


図8: 作業環境

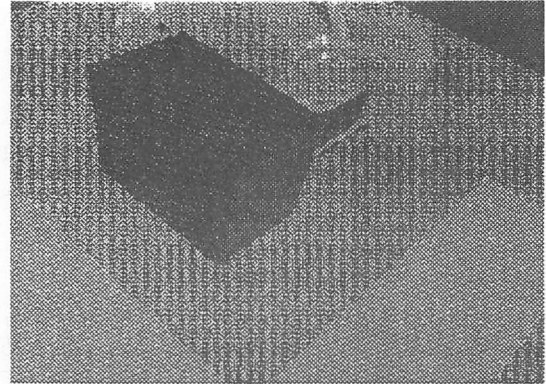


図9: 動作開始点

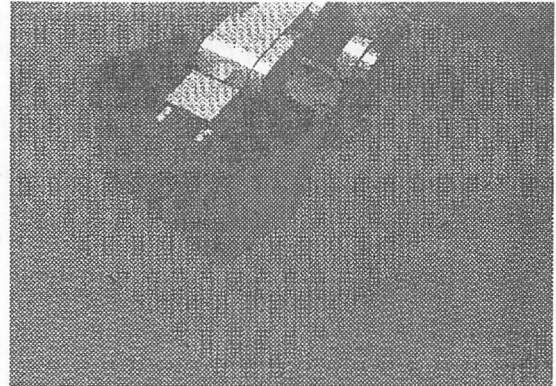


図10: 動作中間点

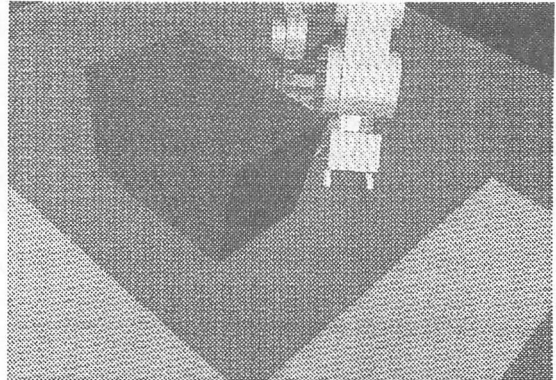


図11: 動作目標点

## 7 結論

内積評価法を利用した経路探索によって、一般的な作業環境における経路探索問題を解く事が出来た。しかしながら、本研究で実験を行った作業環境は比較的経路を得易い環境であり、また、現時点ではハンドしか回避させる事が出来ないで、アームも含めたマニピュレータ全体を考慮した経路計画問題を解けるように拡張してゆく必要がある。

## 参考文献

- [1]長谷川勉, 音田弘, 松井俊浩: "作業環境の空間構造解析に基づくマニピュレータの障害物回避動作計画", 計測自動制御学会論文集, Vol.27, No.1, pp.122-128, 1991
- [2]長谷川勉: "障害物回避", 人工知能学会誌, Vol.5, No.6, pp.731-736, 1990
- [3]長谷川勉: "ロボットオフラインプログラミングの実用化の現状", 精密工学会誌, Vol.60, No.4, pp.487-491, 1994