

化学プラント劣化診断装置関連の特殊ロボットに関する研究

ー パラレルリンク機構を用いたマニピュレータの設計 ー

竹田 年延*

1. はじめに

茨城県では建設後約40年が経過し保守技術が重要となってきた化学プラントの劣化診断技術の開発を進めており、これらの劣化診断に必要となる要素技術開発を行っている。本年度は化学プラントの反応塔を対象とした検査システムの試作を行っている。[1]ここではメンテナンスロボットの要素技術開発の一つとして反応塔の全面を走査できるパラレルリンク機構を用いたマニピュレータの設計を行ったのでその概要を報告する。開発をしようとしているマニピュレータは、最大の長さが約2mで、最大のペイロードが約10kgのパラレルメカニズムを持つ横型のスチュワートプラットフォーム型パラレルリンク機構(図1)である。

本設計においては、なるべく水平の方向に広く走査できるマニピュレータを製作したいと考え、その為に、スチュワートプラットフォーム型のマニピュレータを採用することとし、この機構の可動範囲とこの機構の手先と根本の大きさ及び形状との関係を調べるためのシミュレータを開発し、このシミュレータを用いて手先を塔の表面に向けて動かした時の、スチュワートプラットフォーム型のマニピュレータの可動範囲と、マニピュレータを構成する手先と根本の大きさ及び形状を変えた時の可動範囲について報告する。

2. スチュワートプラットフォーム型パラレルリンクの特徴

スチュワートプラットフォーム型パラレルリンク機構は、ベース部分の base platform と手先の end effector に六角形をした二つの面を持ち、end effector の面の各頂点と base platform の各頂点が一つずつ直動アクチュエータによって連結されているメカニズムである。手先とベースの六角形は図3に示すように、長さ Le 及び Lb の辺をもつ正三角形から、各々長さ Lec 及び Lbc の辺をもつ正三角形を三つの頂点から切り取った形をしている。この機構の12個のジョイントは各々3軸の回転自由度をもち、手先の自由度は6自由度である。2つの平面と6本の直動リ

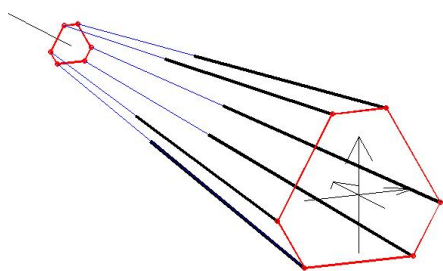


図1: スチュワートプラットフォーム型パラレルリンクマニピュレータ

ンクが並列して構成されており、パラレルリンク機構とも呼ばれる。

スチュワートプラットフォーム型パラレルリンク機構の特徴は、end effector が正確に速く動かせる事と、手先に同じ有償荷重のあるシリアルリンクに比べて、剛性が高い上に軽く製作する事ができる事にある。その為、このパラレルリンク機構は、マニピュレータやシミュレータ等様々な応用が提案されている[2]。一方で、機構が複雑な事と、直鎖構造のリンクに比べて可動範囲が狭い事及び、順運動学の解析が難しい特徴等がある。考案した化学反応塔の表面腐食診断ロボットシステムの概要図と動作図を図2に示す。

本開発では、塔表面の水平方向の範囲(図5中のangle)をなるべく広く動かせるスチュワートプラットフォーム型のマニピュレータを設計したいと考えている。この機構の可動範囲は、機構を構成しているリンクの長さや面の形状に関係があることが知られている[3][4]。そこで、このマニピュレータを適切に設計するために、この機構の可動範囲と、機構のボディパラメータと可動範囲の関係について調べた。

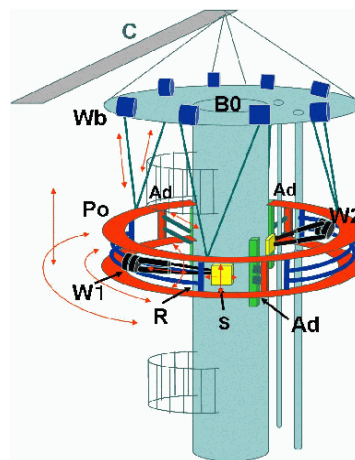


図2: 考案した化学反応塔の表面腐食診断ロボットシステムの概要図と動作図[1]。図中のW1及びW2がスチュワートプラットフォーム型のマニピュレータ

3. 手先姿勢を塔の表面に向けた時の可動範囲

塔の表面を検査するセンサは、塔の表面に対して平行に動かす事が求められており、マニピュレータの手先も塔の表面に対して平行に動かす必要がある。手先の姿勢が常に塔の中心に向いたまま動かした時に、動かす事できる範囲を可動範囲と本稿では呼ぶことにする。スチュワートプラットフォーム型パラレルリンクを構成している6本の直動リンクは、伸びる事ができる長さに制限があるので、手先の可動範囲は制限される。それぞれのリンクは、最も縮んだ長さから1.8倍の長さまでしか伸びる事ができないとして、この時の

可動範囲を逆運動学の計算を利用して求めた。用いたパラメータを図3に示す。

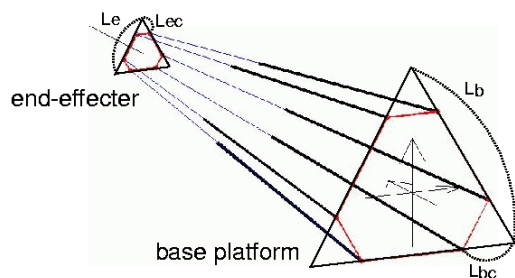


図3: スチュワートプラットフォーム型パラレルリンククマニピュレータで用いたパラメータ

3.1 逆運動学の計算方法の概要と可動範囲の判定方法

逆運動学計算とは、マニピュレータの手先の位置と姿勢を決めて、その時の6本のリンクの姿勢と長さを求める計算である。まず、逆運動学の計算方法の概要を述べる。与えられた手先の位置と姿勢から、手先の六角形の各頂点を求める。次に、ベースの各頂点を求めて、2つの面のお互いの各頂点間が繋がった線分をリンクの数だけ求める。ここで求めた各頂点間の線分の長さは各リンクの長さであり、線分の傾きは各リンクの姿勢である。パラレルリンクの逆運動学は、シリアルリンクに比べて簡単である。

次に、可動範囲の判定方法について述べる。手先の姿勢を塔の表面に平行になるように与えて、さらに手先の位置を塔の表面に沿って縦方向と横方向に動かして与える。この時、与えた手先の位置と姿勢毎に、逆運動学から6本のリンクの長さを求めて、全てのリンクの長さが、最も縮んだ長さの1.8倍より短ければ可動範囲であるとした。

シリアルリンクでは可動範囲を順運動学を計算して求めることが多いが、パラレルリンクでは順運動学計算よりも逆運動学計算が簡単なので逆運動学計算を用いた。一般的に、機構的に可能な姿勢と、その姿勢になることができるかは別問題である。このスチュワートプラットフォームは6自由度あるので、機構的に取ることが可能な姿勢には全て到達する事が可能と考えたので、逆運動学計算により可動範囲を求めた。もし、手先の自由度が6自由度よりも少ない場合は、この方法では可動範囲を求めても意味がない事に注意する必要がある。

化学反応塔の直径は1.26mあり、化学反応塔には半径3mの円弧状の脚の踏み場が付属しているので、マニピュレータのベースを3.5m離れた位置に置いて、化学反応塔の中心とマニピュレータのベース中心の水平方向の中心を合わせた。この時の上から見た化学反応塔とマニピュレータの位置関係を図4に示す。この条件と上で述べた方法により求めた可動範囲の一例を図6に示す。手先が常に塔の中心を向いた時の可動範囲は、上下に長軸があるような楕円のような形となった。

3.2 手先及びベースの形状と水平方向の可動範囲との関係

手先の Le と Lec そしてベースの Lb と Lbc の四つを変数にして、図4中のangleで表した水平方向の可動範囲に関する最大値と上方向の最大値を求めた。 Le は0.1mから1.0mまで、また Lb は0.2mから1.2mまで0.1m刻みで計算し、同時に、 Lbc と Lec も同時に0.01mから $(Lb/2 - 0.01)$ 及び $(Lb/2 + 0.01)$ まで0.01m刻みで計算した。その結果、水平方向の最大値は約31.8[deg]であり、上方向または下方向の最大値は約1.1mであった。次に、 Le 、 Lec 、 Lb 、 Lbc の四つの変数と水平方向の可動範囲の最大値との関係について調べた。横軸に Lb をとり縦軸にangleの最大値をとった時の関係を図6に示し、また、横軸に Le 縦軸にangleの最大値をとった時の関係を図7に示す。ベース Lb の全ての値において、殆ど最大の角度にすることができ、他の三つのパラメータの組み合わせが存在する事が分かる。一方、手先の Le は、長さが0.4mよりも大きくなるにつれて可動範囲が小さくなっている。

この時の Lb と Le 及びangleの最大値の関係を表した三次元のグラフを2つの異なる視点からみた図を図8と図9に示す。図の中には尾根のような形状があり、この尾根になっている時のパラメータから水平方向の可動範囲を最大にするための Lb と Le を求める事ができる。

また、尾根の部分はほぼ水平に線状に伸びている為に、他の条件との組合わせて、手先とベースの形状を選択する事ができる。例えば、水平方向に最大の可動範囲を持ちながら、最も直動リンクにかかる負担が小さくなる形状や、実物を製作する際にはアクチュエータの幅やリンクの太さを考慮する必要があるので、それらが配置しやすい形状等を選択できると考える。水平方向に最大の可動範囲をもたせるだけならば、マニピュレータの設計の自由度がまだそれなりに残っていると考えられる。

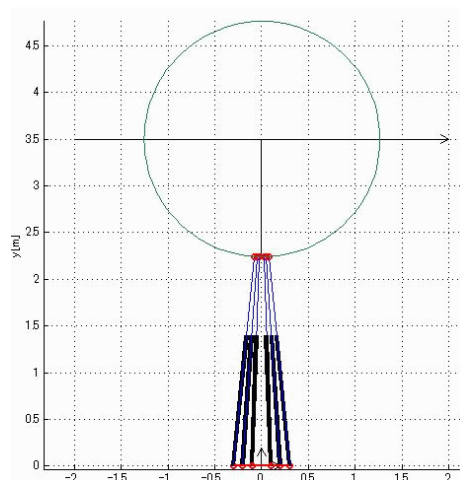


図4: 化学反応塔とマニピュレータの位置関係を上から見た図

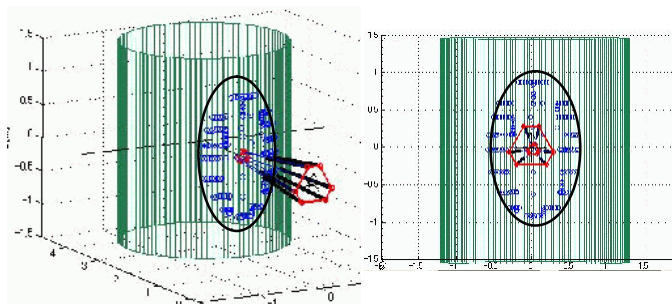


図5: マニピュレータの可動範囲の一例:斜め上から見た図を左に, また, 真正面から見た図を右に示した。楕円で囲まれている範囲が可動範囲である。

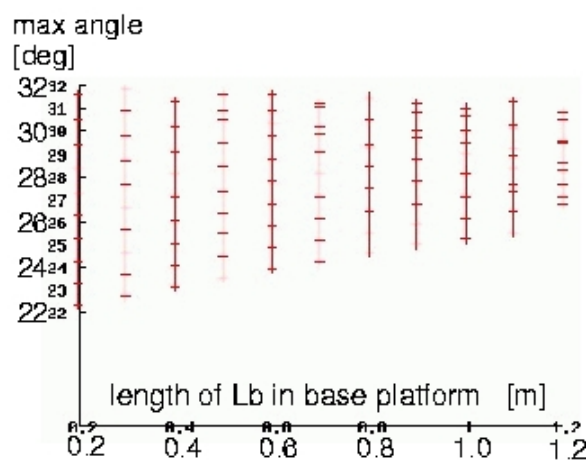


図6: スチュワートプラットフォームの4つのパラメータを変えた時の水平方向の可動範囲(angle) とベースの長さ L_b との関係

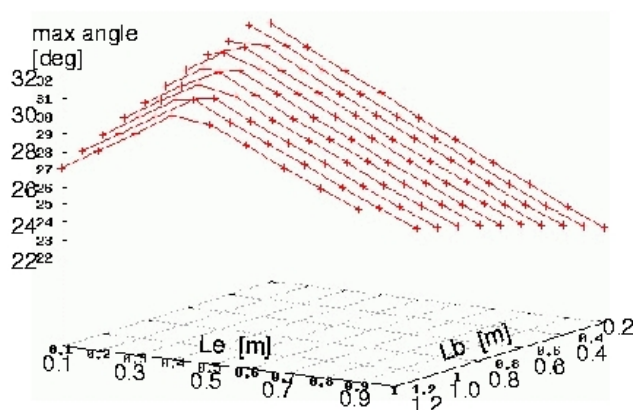


図7: スチュワートプラットフォームの4つのパラメータを変えた時の水平方向の可動範囲(angle) と手先の長さ L_e との関係

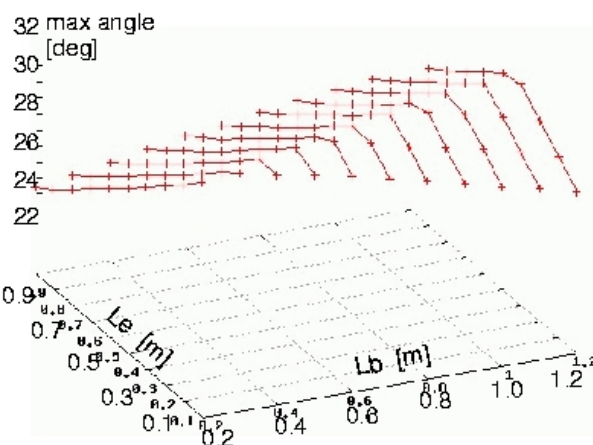


図8: スチュワートプラットフォームの4つのパラメータを変えた時の水平方向の最大の可動範囲(angle) とベース長さ L_b 及び手先の長さ L_e との関係

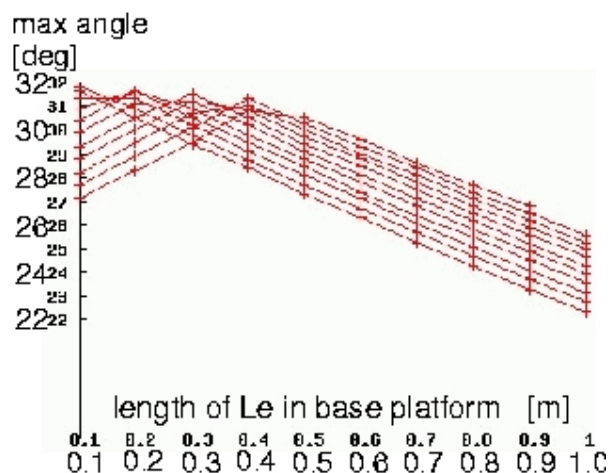


図9: スチュワートプラットフォームの4つのパラメータを変えた時の水平方向の最大の可動範囲(angle) とベース長さ L_b 及び手先の長さ L_e との関係

4. まとめ

スチュワートプラットフォーム型パラレルリンクマニピュレータを適切に設計するための可動範囲シミュレータを開発した。

このシミュレータを用いて, マニピュレータ機構の可動範囲と, 機構のボディパラメータと可動範囲の関係について調べることができ最適な設計が可能となった。

今回の結果を踏まえた上で, ジョイントに用いる関節のメカニズムやリンクの太さも考慮しながら, スチュワートプラットフォーム型パラレルリンク機構の具体的なパラメータを決定している段階である。できれば, 静力学特性についても考慮したいと考えている。また今後, マニピュレータの制御を行う為に, パラレルリンクの順運動学[5] について調査している段階である。

参考文献

- [1] 竹田ら:茨城県工業技術センター研究報告vol36
- [2]竹田:” 化学反応塔の表面腐食診断ロボットシステムの開発-第一報-” 2007年第一回山彦シンポジウム
- [3] 新井:” パラレルメカニズムを適用したロボット機構と作業応用”, 日本ロボット学会誌Vol.10 No.6, pp.727-731, 1992
- [4] 新井:” 静力学特性に基づくパラレルリンクマニピュレータの解析と統合”, 日本ロボット学会誌 Vol.10, No.4, pp.526-533, 1992
- [5] 小菅:” Stewart Platform 型パラレルリンクマニピュレータのForward Kinematics 計算アルゴリズム”, 日本ロボット学会誌Vol.11 No.6, pp.849-855, 1993