

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760185

研究課題名(和文) 動作領域が広い新しいパラレルメカニズムにおける機構の  
特性解析と最適化研究課題名(英文) Characteristic Analysis and Optimization of Novel Parallel Mechanism  
with Wide Movable Area

研究代表者

大川 一也 (OKAWA KAZUYA)

千葉大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50344966

研究成果の概要(和文): 本研究では、動作領域が広い新しいパラレルメカニズムを提案し、その特性解析と機構の最適化について研究した。具体的には、一般的にボールジョイントが用いられている関節部分をピンジョイントに置き換えたパラレルメカニズムを提案した。また、そのメカニズムにおいて、第 2 種特異点の分布を調べることによって特性解析を行った。さらに、基本姿勢の最適化について研究し、提案したメカニズムの有効性を確認した。

研究成果の概要(英文): This research proposed a novel parallel mechanism with wide movable area. Moreover, a characteristic analysis and optimization of the mechanism was investigated. Concretely, the mechanism that replaced ball joints by pin joints was proposed. And characteristic of the mechanism was analyzed by searching a distribution of the second singularity points. Moreover, optimization of a standard posture was investigated. The effectiveness of the proposed mechanism was confirmed.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,700,000 円	510,000 円	2,210,000 円
平成 22 年度	1,700,000 円	510,000 円	2,210,000 円
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000 円	1,020,000 円	4,420,000 円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：パラレルメカニズム，第 2 種特異点，特異点分布

## 1. 研究開始当初の背景

パラレルメカニズムの構造には、伸縮型・回転型・直動型・ワイヤ型の大きく 4 種類が提案されているが、動作領域が広いと言われている回転型であっても、アーム先端にあるエンドエフェクタの傾斜角は 55° 程度が限界だった。なお、Kim らが提案しているメカニズムのように、モータ数を増やすことで姿勢角を大幅に広げる研究もあるが、エンドエフェクタの周囲を覆うような構造であり用途も限られてくる。このため本研究では、モ

ータ数を 6 個に維持しつつ、リンク構成を変えることで可動領域を広げることを目指した。ちなみに、従来のパラレルメカニズムにおいて傾斜角が 55° 程度に制限される理由として、メカニズムの関節に多用されているボールジョイントの可動角の限界であることに着目し、本研究ではボールジョイントの代わりにピンジョイントを使った新しいパラレルメカニズムを提案した。このメカニズムにより、エンドエフェクタの傾斜角を機構的には 110° 程度に傾けられることが確認さ

れている。しかし、実際には、モータを固定してもエンドエフェクタの位置姿勢を保持できない状態（第2種特異点）が存在するため、実際にその位置姿勢を実現させることはできない。つまり、第2種特異点の分布を十分に調査する必要がある。その一方で、リンクの構成を変化させることで、第2種特異点の分布が変化することが知られている。そこで、第2種特異点が少なくなる基本姿勢を調査する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、ボールジョイントの代わりにピンジョイントを用いた新しいパラレルメカニズムの特性を解析することである。具体的には、まず、第2種特異点の分布を調査する。次に、メカニズムの構成によって決定される基本となる3つの姿勢について提案する。さらに、第2種特異点の分布を考慮した可動範囲を比較し、最適な基本姿勢を調査することを本研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 第2種特異点の調査

第2種特異点を調査する手法は、すでに幾つか提案されているが、本研究では武田らが提案している運動伝達指数を参考にした。しかし、これらは直動型パラレルメカニズムとして提案された手法であるため、本研究ではこれを回転型パラレルメカニズムに応用する手法を提案し調査した。

### (2) 3つの姿勢の提案

可動角が $\pm 120^\circ$ のピンジョイントを関節に用いているため、従来のメカニズムでは実現が困難であった姿勢が可能となった。メカニズムの構成から、3つの基本姿勢があることを提案した。

### (3) 基本姿勢が位置に及ぼす影響の調査

エンドプレートを水平に保ったまま、位置(X, Y, Z)を変化させた場合の可動範囲を調査した。そして、3つの基本姿勢による違いを比較した。

### (4) 基本姿勢が姿勢に及ぼす影響の調査

初期位置(0mm, 0mm, 250mm)において、エンドプレートの姿勢を変化させた場合の可動範囲を調査した。そして、3つの基本姿勢による違いを比較した。

### (5) 複合型による最大傾斜角の調査

総合的に良いと判断された複合型の基本姿勢に対して、最大傾斜角をシミュレーション上で調査した。また、本申請の予算で製作した実機によって検証した。

## 4. 研究成果

### (1) 第2種特異点の調査

直動型パラレルメカニズム用として提案された運動伝達指数を、回転型パラレルメカニズムに応用する手法を提案した。具体的には、ベースから数えて2番目と3番目の関節角を考慮し、運動伝達指数 $TI'$ を求めた。また、運動伝達指数 $TI'$ が0.1以下の領域は、特異点近傍であるとして調査した。機構的に動くことが可能な領域から、これらの特異点近傍を取り除くと、実際に実現可能な可動領域となる。以後、この調査結果に基づいて、比較検討した。

### (2) 3つの姿勢の提案

目標として同じ位置姿勢を与えても、メカニズムが取り得る姿勢は唯一ではない。数式上では、逆運動学にてモータ角を算出する際の逆三角関数が多価関数であることに起因する。パラレルメカニズムの取り得る姿勢が異なれば、特異点近傍の配置は変化する。つまり、これらの特徴を利用し、特異点近傍の少ない姿勢について検討する。

パラレルメカニズムでは、一般に、2本の連結連鎖がエンドエフェクタの1カ所を保持することによりトラス構造を構成する。そこで、この2本の連結連鎖において第3関節の位置が、両方とも外側にある場合（図1）、両方とも内側にある場合（図2）、一方が内側でもう一方が外側である場合（図3）が存在することに着目した。本研究では、これらをそれぞれ「外折型」「内折型」「複合型」と呼ぶこととする。なお、従来のパラレルメカニズムでは、ボールジョイントを用いていることが多く、可動角の制限があるため、このような姿勢を容易に変更することはできなかった。このように目標となる位置姿勢が同じでも、3つの基本姿勢があることを見いだしたことは成果の一部である。

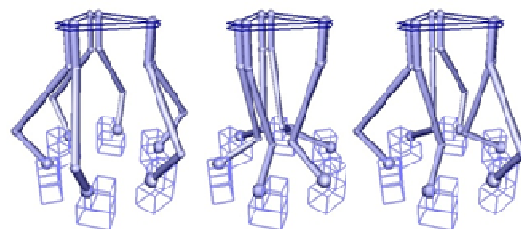


図1 外折型 図2 内折型 図3 複合型

### (3) 基本姿勢が位置に及ぼす影響の調査

基本姿勢が変われば、特異点近傍の配置も変わることから、それぞれの基本姿勢における可動領域を調査した。ただし、位置と姿勢の6次元空間を探索することは事実上困難であったため、まずはエンドエフェクタを水平に保ったまま、位置(X, Y, Z)を変化させた場合の可動範囲を調査した。

調査結果を図 4~6 に示す。プロットされている点の色は濃いほど運動伝達指数は大きい。一方

プロットされている点の数が多ければ多いほど、可動領域が広く、作業に適していることを意味している。また、いずれも初期位置 (0mm, 0mm, 250mm) から連続的に移動できる部分のみを探索し表示してあるため、特異点近傍によって領域が分断されている場合には取り除かれている。

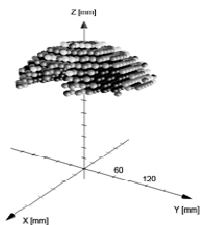


図 4 外折型

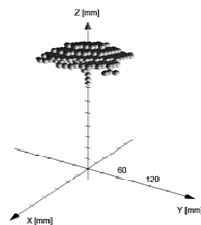


図 5 内折型

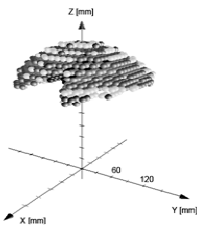


図 6 複合型

これらの結果から、エンドエフェクタを水平に保ったまま移動をする場合においては、内折型に比べて外折型と複合型は可動範囲が広いこと、外折型の方が運動伝達指数は若干高いものの、複合型とあまり違いが見られないことが判明した。これらが研究で得られた成果の一部である。

#### (4) 基本姿勢が姿勢に及ぼす影響の調査

初期位置 (0mm, 0mm, 250mm) において、エンドエフェクタの姿勢を変化させた場合の可動範囲についても調査した。外折型と複合型の調査結果を図 7, 8 に示す。こちらでも、プロットされている点の数が多ければ多いほど、可動領域が広く、作業に適していることを意味している。なお、内折型は可動範囲がほとんど無かったため、図の記載は割愛する。

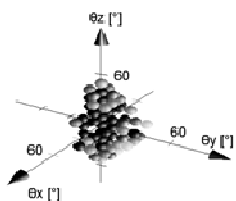


図 7 外折型

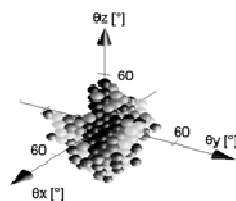


図 8 複合型

これらの結果から、初期位置においてエンドエフェクタの姿勢のみを変化させた場合、外折型より複合型は可動範囲が広いことが判明した。これらが研究で得られた成果の一部である。これらを総合して、3つの基本姿勢のうち、初期位置 (0mm, 0mm, 250mm) 近傍において最も適した基本姿勢は、図 3 に示す複合型であることが判明した。

#### (5) 複合型による最大傾斜角の調査

総合的に良いと判断された複合型の基本姿勢に対して、最大傾斜角を調査した。コンピュータシミュレーションによって得られた解の一つを図 9 に示す。

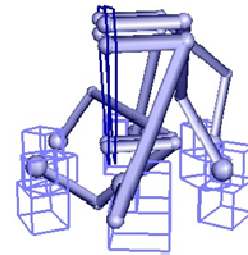


図 9 傾斜角 90° を実現させた例

図 9 の姿勢では、運動伝達指数が 0.3 であり特異点近傍ではなく、実現可能な姿勢であることが分かった。従来の平行メカニズムでは、最大傾斜角が 55° 程度であることから、本研究で提案しているメカニズムは大きく傾斜でき、有効であることが分かった。

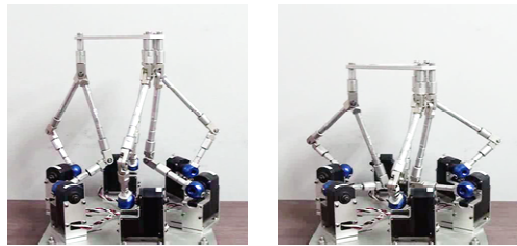
また、本申請での予算で実機を作成し、図 9 の姿勢が実現できることを検証した。それら一連の写真を図 10(a) ~ (h) に示す。

図 9 のシミュレーションでは、エンドエフェクタの傾斜角が 90° であったが、図 10(h) から分かるように、実際には 90° には至っていないことが分かった。なお、図 10 における初期姿勢から目標姿勢までの経路は、実機を動かしながら経験的に決定しており、最適化はされていない。この経路は、本来、シミュレータを用いて最適解を導出するべきである。しかし、現在のシミュレータのまま経路を探索した場合、数十年間の計算時間が必要と予測されたため断念した。これについては、高速化のための経路探索アルゴリズムの改良などを今後行っていきたい。

図 10 の一連の動きにおける運動伝達指数を図 11 に示す。また、平行メカニズムの関節部分にピンジョイントを用いた影響を調査するため、ベースから数えて 2 番目と 3 番目の関節角が運動伝達指数に及ぼす影響を調べた。その結果を図 12 に示す。なお、図 12 の意味の詳細は割愛するが、縦軸の値が 0 に近づくほどピンジョイントに変更したことによる影響が大きく、1 に近づくほどその影響が少ないことを意味する。

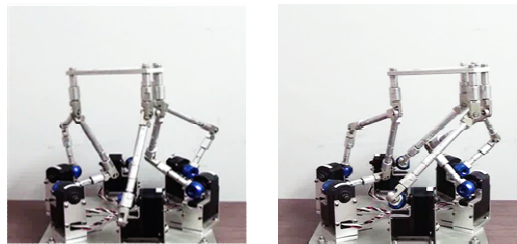
図 11 の 181 ステップ目においてモータ 3 が取り付けられた連結連鎖の  $TI'$  が急激に落ち込み、0.1 を下回ることが確認できた。しかし、図 12 における 181 ステップ目の値を見ると 0.87 だった。このことは、 $TI'$  が 0.1 を下回った原因が、ボールジョイントからピンジョイントに置き換えた影響は少ないことを意味している。

一方、図 11 の 240 ステップ目において、モータ 3 およびモータ 5 が取り付けられた連結連鎖の  $TI'$  が、0.14 および 0.17 と共に低かった。このときの図 12 の 240 ステップ目を見ると、それぞれ 0.92 と 0.19 だった。



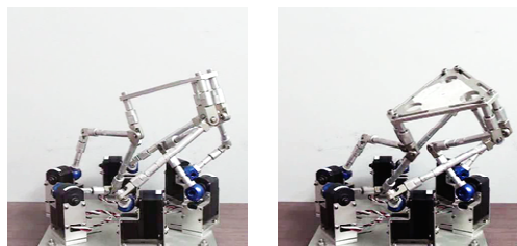
(a) 初期姿勢

(b) (0, 0, 212, 0, 0, 0)



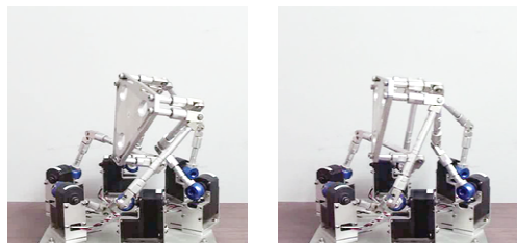
(c) (0, 64, 212, 0, 0, 0)

(d) (-53, 64, 212, 0, 0, 0)



(e) (-53, 64, 212, 0, 6, 0)

(f) (-45, 87, 194, -20, -12, 15)



(g) (17, 80, 165, -76, -55, 55)

(h) (20, 90, 160, -80, -90, 90)

図 10 実機による動作検証  
(各数値はエンドエフェクタの座標)

つまり、この状況では、各  $TI'$  の値が小さくなった原因が異なり、前者はボールジョイントからピンジョイントに変更した影響は少ないが、後者は逆にピンジョイントに変更した影響であることが分かった。

図 11 において 300 ステップを超えたあたりから、モータ 2 およびモータ 6 が取り付けられた連結連鎖の  $TI'$  が振動的に変化していることが確認できた。 $TI'$  が 0.1 を下回っている状態も存在していることから、傾斜角  $90^\circ$  付近が特異点近傍であることが分かった。一般に、特異点近傍では、ジョイント部などの構造的なガタが大幅に拡大される性質があるため、実機では  $90^\circ$  を実現できなかったと考えられる。

シミュレーションと実機には誤差が生じたものの、従来の論文では最大傾斜角が  $55^\circ$  であるのに対し、本研究のメカニズムでは  $90^\circ$  付近まで傾斜できることが確認できた。これらの結果は、本研究で得られた成果である。

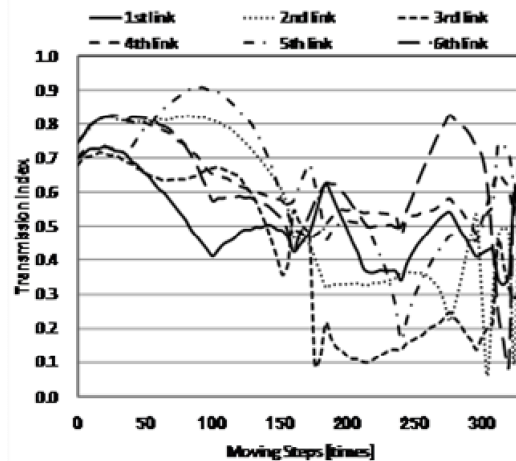


図 11 運動伝達指数の遷移

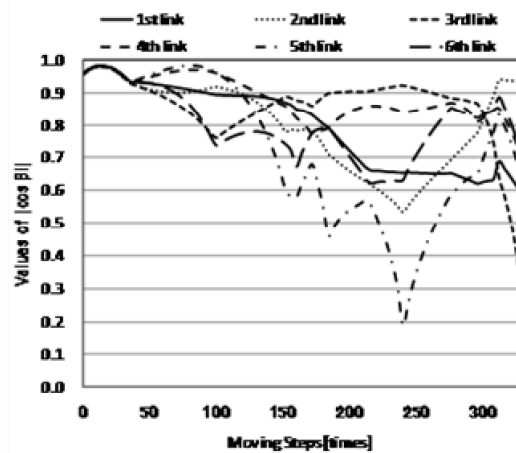


図 12 ピンジョイントによる影響

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

大川一也, 岡村祥宏, ピンジョイントを用いた回転型平行メカニズムのリンク構成の提案と可動領域の調査, 日本ロボット学会誌, 査読有, 第29巻, 第2号, 2011, pp.62-69

[学会発表](計4件)

岡村祥宏, 大川一也, 加藤秀雄, 樋口静一, 可動領域中の特異点を回避する平行メカニズムの経路計画, 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2010年12月23日, 東北大学川内キャンパス

Kazuya Okawa, Yoshihiro Okamura, Parallel Mechanism Using Passive Pin Joints with Wide Movable Area, Proceedings of SICE Annual Conference, 2010年8月19日, Grand Hotel, Taipei, Taiwan

宇都宮曜, 大川一也, 加藤秀雄, 平行機構とシリアル機構の2台の小型マニピュレータによる協調システム, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2009年12月24日, 芝浦工業大学

大川一也, 岡村祥宏, ピンジョイントを用いた可動領域の広い平行メカニズムの提案, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 2009年9月17日, 横浜国立大学

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等: なし

岡村祥宏, 可動領域中の特異点を回避する平行メカニズムの経路計画, 千葉大学大学院修士論文, 2011年3月

岩本賢芳, 非対称な構成の平行メカニズムにおける特異点分布調査, 千葉大学卒業論文, 2011年3月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大川一也 (OKAWA KAZUYA)

千葉大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 50344966

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし