2P1-P06

東北学院大学 TOHOKU GAKUIN UNIVERSITY

セッション
パラレルロボット・メカニズム
31日 コアタイム 14:45～15:30

○ 熊谷正朗（東北学院大学，RDE Lab.）
Masaaki KUMAGAI (Tohoku Gakuin Univ.)

📷☑ 🎥☑ 𝕏☑



受動型球面リンク機構を用いた荷台慣性分離機構Spherical Dishの試作

Development of a Load Inertia Decoupling Mechanism "Spherical Dish" using Spherical Links

概　要

- **上方から吊り下げたのと同様に拘束する下部支持機構**
  Lower support mechanism enabling pendulum motion
- **積載荷物の質量中心の静的調整＋機体の傾斜分離**
  Decoupling of CoM of load / Robot body inclination

目　的

1: 積載荷物の重心位置の倒立振子制御への影響低減

- 倒立振子制御の平衡状態は、
  「全質量の重心が支持点の直上にある」こと
- 倒立振子ロボットに「雑に」ものを乗せると重心変化
  → 平衡がずれる、傾く、移動する
- 積載物の重心の自動調心をしたい

2: 移動体の加減速の積載物への影響低減

- 「こぼさないドリンクホルダ」研究（武田、2022卒論）
- 2輪車の岡持出前運搬機が吊り下げ式
- 「吊ることの利点」VS「吊ることの面倒、邪魔」

総　括

解決の原案：下から機構で支える球面運動

- 振り子と同挙動 ＝ 中心から一定距離でフリー運動
- 球面の中心 ＝ 振り子の支点
- ボールトランスファで球面皿支える；分離分解する
- 類：振り子電車、アイシン精機社:PARS

提案手法：

- NSK社:パラレルリンクアクチュエータに着想を得た
  球面リンク機構の中心の遠距離上方配置 ＋ 受動化
- 単純化と可動範囲の拡大を可能にする直列リンク
- 試作品によって有効性を確認 → 予稿ビデオ

背景：玉乗りロボットの荷物積載

玉乗りロボット

・球を車輪とする倒立振子型全方向移動ロボット

・ステッピングモータ採用、加速度操作

→ 質量変化に対してロバスト、運搬動作（2008～）

荷物積載時の課題

・倒立振子の平衡状態 は 質量中心が接地点直上

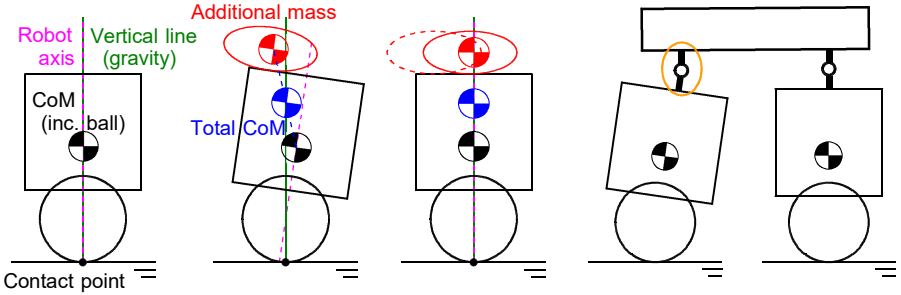
→ 荷物が中心軸上に置かれないと姿勢に影響

・移動をするためには傾斜する必要性あり

※傾斜角≒玉の加速度

・姿勢の外的拘束ができない （傾斜 → 加速）

→ 複数台協調には姿勢のデカップリング必要



解決策の方向性

・なんらかの自由回転的支持（最低2DoF）
協調搬送には鉛直軸周りの自由度（望ましい3DoF）

・鉛直条件を満たす自動調心性質

・回転の結果倒れない＝回転中心が重心の上
（振り子的復元力）

球面皿機構の試作

オリジナル版（2010） ※通称「皿」だった

・φ1000アクリル球面をボールトランスファで支持

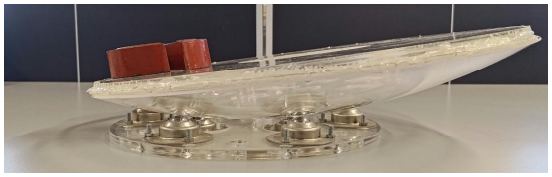
・「球面皿」は球面に沿って移動する

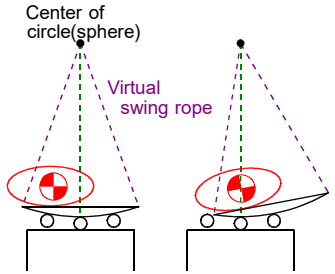
＝ 球面中心からつり下げたかのような挙動

＝ 意図した特性は持っていた

・課題： 分離する

・リンク機構で同等の挙動は？





こぼさないカップホルダ（2021）

自動車内での課題の解決をめざした卒研（武田，21-22）

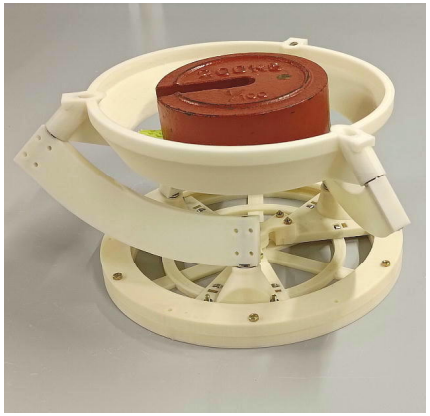
・各種バネでの支持、球面皿的構造、球面摩擦など、
10を越える案で試作を繰り返した

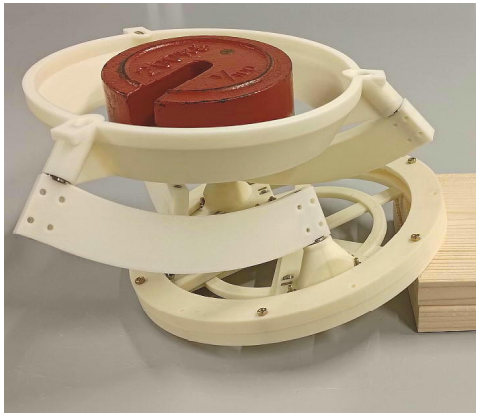
・同研究でのベスト：
カップに紐付きの蓋を付けて、上方からぶら下げる
※岡持の出前運搬機は正しかった

・課題： 上から釣るのは面倒、車内には置けない
※既存カップホルダへのアタッチメント的を期待
※効果の明言はないがカップぶら下げ袋は市販

・知見： 球面皿＝振り子の特性は解決になり得る

Spherical Dish パラレル型





開発の着想

・NSK社：心臓超音波検査ロボット向け
「球面パラレルリンクアクチュエータ」
検査プローブ先端を回転中心とする
3自由度の能動駆動機構（2021）

NSK社リリースWEB

・「球面3自由度回転できるリンク機構」！

機構設計の方針

・荷物を積載する＝主に上方から大荷重

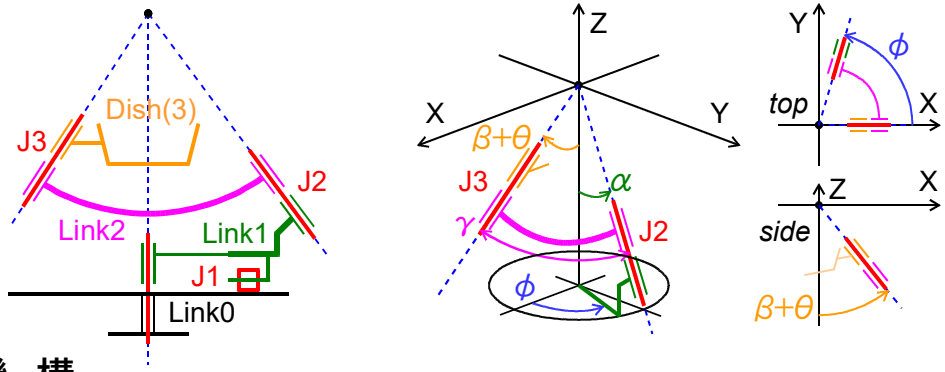
・NSK機構に対してはバックドライブ側
i.e. わずかな傾斜の復元力 → 機構を動かす
→ 相当な滑らかさの必要性

・リンク関節は ラジアル玉軸受×2 ＋ スラスト玉軸受

・鉛直軸周りの第1リンクはスラスト性重視

・軸角度と第2リンク長（円弧中心角）が可動範囲決定

Parallel SDish の機構



機　構

・3関節4リンク×3セット、 関節は1点交わり

・関節1は中心軸（おもに分解止め）および
円形レール底面＋側面 にボールベアリング案内

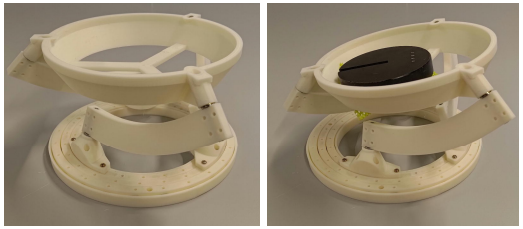
モデル

・1セットの第3関節に着目、関節配置角θ＋傾斜β
βの可動域が概ねDishの傾斜範囲＝振り子の幅

・関節3をXZ面に置いて、βを入力変数として、
第2リンク中心角γ、第2関節傾斜角α（設計値）で
第1リンクの旋回角ϕを求める　→ 式は予稿

・実用的ϕは30～150deg程度（死点回避）
→βの正負均等 VS ϕ範囲で、γを決定

当初検討を進めていた失敗案（参考）→
第1関節を3重スラストボールベアリング
にして実装したが、まだ抵抗が大きく、
偏心加重では十分に動作せず。
ベアリングを能動駆動すれば（NSK型）、
大きめの傾斜台としては使える。



Spherical Dish 直列型





※ポリカーボネート＋炭素繊維でFDM

直列型の発想

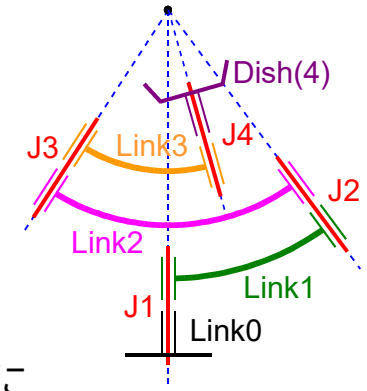
- 自由度的に直列型でもよいのでは？
- 能動ではないので関節制約がないのでは？
  ※ NSK式はアクチュエータそのものには回転の制限がないが、直列能動の場合はケーブル類の巻き付き等の問題がある
- パラレル型のリンクの1セットのみ取り出した形

直列型の特徴

- シンプル、作りやすい、可動範囲が広い
- 動作の抵抗がパラレル型に比べて低く、動きが良い
- 片持ちであるがゆえの剛性の不安
- 質量分布の大きな非対称性（自重で傾く）

Serial SDish の機構

機構とパラメータ



- 4関節3中間リンク
- 関節軸は1点で交わる（中心）
- 中間リンク中心角の合計が可動範囲を決定する
- 支持軸（リンク0，関節0）を下方に置きたい場合は、中間リンクが最低で3本必要
  ※ 2本だと特異姿勢（および近傍）が避けられない

質量分布の非対称性問題



- 無負荷、負荷が軽いときに自身の重量で傾いて平衡する
- 試作品ではエンドエフェクタ皿にオプション錘追加で対策してある

まとめ，etc

- 振り子的挙動を実現できる、下部支持型のリンク機構を開発した
- 玉乗りロボット等への搭載試験は今後の予定
- 特にシリアル型は低摩擦であるために、振動減衰に時間かかる → 要ダンピング
  ※ 能動も可能だが、磁石＋渦電流などの受動方式を試したい

本発表資料等