1P1-L02

東北学院大学 TOHOKU GAKUIN UNIVERSITY

セッション

車輪型/クローラ型移動ロボット(2)

31日 コアタイム 13:15～14:00

○ 熊谷正朗（東北学院大学，RDE Lab.）
Masaaki KUMAGAI (Tohoku Gakuin Univ.)
中田竜輔（東北学院大学大学院修了）
Ryusuke NAKATA (Grad. Tohoku Gakuin)





遊星歯車を用いた差動駆動操舵機構を有する全方向移動車輪ロボットの実装

Implementation of a Omnidirectional Wheeled Robot Using Planetary-Gear-Type Differential Drive Steering Mechanism

概　要

・**遊星歯車機構によるアクティブキャスタ（実装改良）**
Active-caseter using planetary gear, differential mechanism

・**同機構を4機搭載した全方向移動ロボットの実装**
Omnidirectional wheeled robot with 4 active casters.

目　的

最終ゴールの方向性：　建築現場の搬送支援機

・想定：　建物建築中のコンクリート打ちの終わった床面上で、物品搬送できるロボット

・路面は土ほど不整地ではなく、住環境より塵埃小石
→ メカナム、ユニバーサル系よりは通常車輪が良い

・操作方式は操縦、追従、自動誘導 ＝ 全方向、俊敏

本発表の範囲

・通常車輪を使いつつ、全方向移動性が欲しい
→ アクティブキャスタ式の移動ロボットの開発

・駆動系の洗練、実装しての動作検証

総　括

アクティブキャスタ

・能動の走行 + 能動の旋回能力を有する車輪(2DoF)
※独立した駆動ｏｒ干渉駆動、旋回の制約の有無

・**北川らの差動駆動操舵機構**(2009)の原理に基づき独自設計、小型化

・遊星歯車機構を2入力(太陽・内) − 2出力(キャリア、遊星)の干渉機構として使う

JRSJ. vol27 no3

4輪移動ロボット：

・アクティブキャスタ4ユニットを正方形配置

・ゲームコントローラによる操作系を試験的実装

キャスタ方式の選定根拠

なるべく作りやすく、動かしやすく、シンプルな方式

要　件:

- 操舵方向無制限
  - ※上位制御＝人間 の場合の制約回避
  - ※円等の閉軌道を平行移動するだけで操舵は回る
- なるべくならデッドレコニングしたい ＝ 滑り低減
- 重量物長距離移動が目的 ＝ 車輪回転を重視

北川らの方法(→)の特徴

利　点:

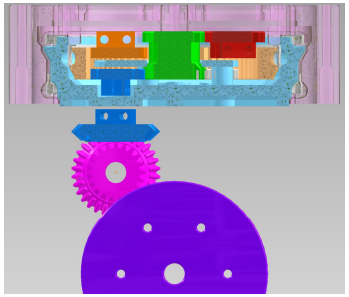
- 傘歯車の利用が限定的
- 干渉駆動で車輪回転と操舵、モータは車体側に固定
- 車輪動力の分担を2個のモータで1:1にできる
- 操舵の速度が速い
- トルク負担のかかる中央軸、2重軸がない
- キャスタ以外に使い道がありそう

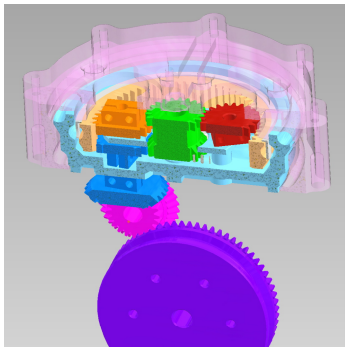
欠　点:

- 内歯車が高速回転（支持と慣性）
- 太陽と内歯車の駆動法

（本研究で改良）

New!　Rev3





- 小型化・機構改善
- 現物展示
- 触れ/動かせます

アクティブキャスタの基本原理

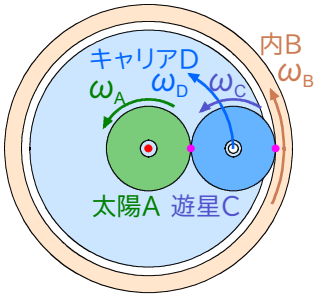
遊星歯車機構で 操舵 と 車輪駆動動力 の出力

遊星歯車機構

- 内歯車、太陽歯車、遊星歯車、遊星キャリア
- 一般に遊星歯車はキャリア上でフリーに回り内・太陽・キャリアの一つを固定、1入力1出力

本機構

- 入　力:　内歯車 & 太陽
- 出　力:
  - 遊星キャリア → 操舵出力
    キャリアに下部機構を固定
  - 遊星の回転 → 車輪駆動
    遊星軸から車輪まで伝達



原理と定式化

- 太陽Aと内Bが同角速度で回転
  → 遊星Cを挟んだ状態で回る
  → キャリアD回る、キャリアに対して遊星C回らず
  → 操舵出力
- 太陽Aと遊星C、内Bと遊星Cの接点●を、接線方向、逆に同じ周速度で回す(ω_Aとω_Bは歯数反比例)
  → 遊星Cはその場で回転する → 車輪用動力
- 線形結合

$$\omega_A = \omega_D - (Z_C/Z_A)\omega_C$$

$$\omega_B = \omega_D + (Z_C/Z_B)\omega_C$$

差動歯車操舵機構の実装

遊星歯車機構の駆動と構造

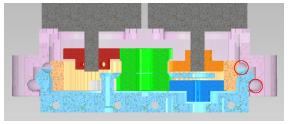
設計の方針：

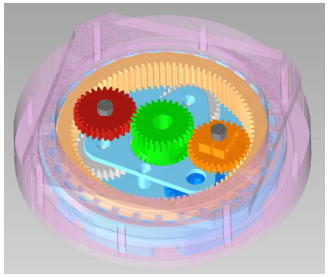
・水平フットプリントの小型化（高さ方向は許容）

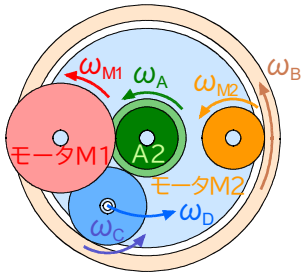
・外見的対称性、モータ負荷的対称性

方　式：

・モータ軸歯車で、内と太陽を駆動







・伝達特性：

$$\omega_{M1} = -\frac{Z_{A2}}{Z_{M1}}\left(\omega_D - \frac{Z_C}{Z_A}\omega_C\right)$$

$$\omega_{M2} = \frac{Z_B}{Z_{M2}}\left(\omega_D + \frac{Z_C}{Z_B}\omega_C\right)$$

$$\omega_{M1} = \omega_C - \omega_D$$

$$\omega_{M2} = \omega_C + 3\omega_D$$

$$\omega_C = (1/4)(3\omega_{M1} + \omega_{M2})$$

$$\omega_D = (1/4)(-\omega_{M1} + \omega_{M2})$$

※ω_C（車輪駆動）について（Z_C/Z_M）で同係数にしやすい＝モータ負担均等

※$Z_A = Z_C = 30, Z_B = 90$

$Z_{M1} = Z_{A2} = Z_{M2} = 30$

実装設計での工夫

・構造の一体設計（3Dプリント、いずれMC加工）

・支持ボールベアリングの一体化　※今回は6mm樹脂球

固定側ケース、キャリア、内歯車の3wayベアリング

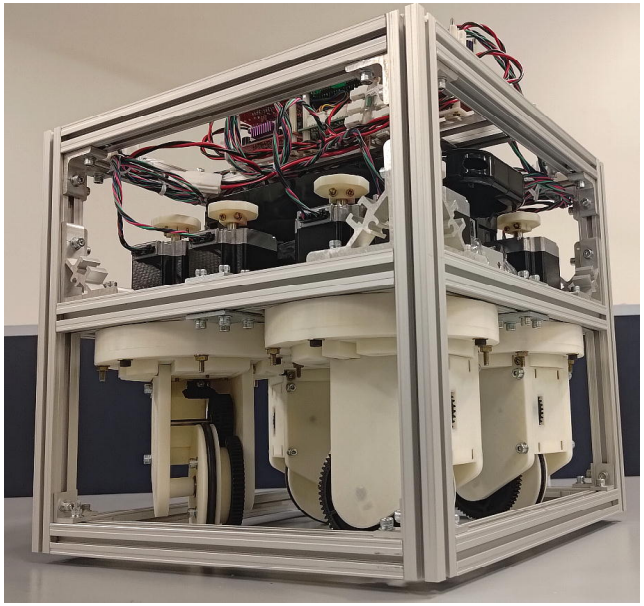
・幅のある内歯車、一体成形の太陽歯車

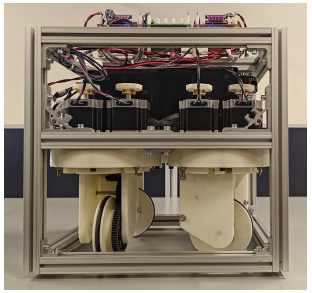
・中央軸（太陽支持）を中空にすると貫通活用できる

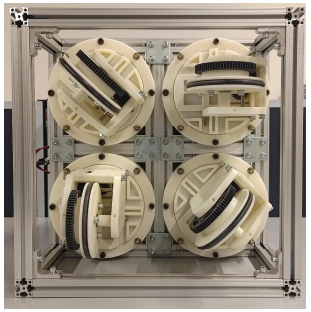
・軸とのクランプ締結（c.f. 止めねじ）

・ギア：カーボン繊維ナイロン樹脂　本体：ABS

4輪ロボットの実装







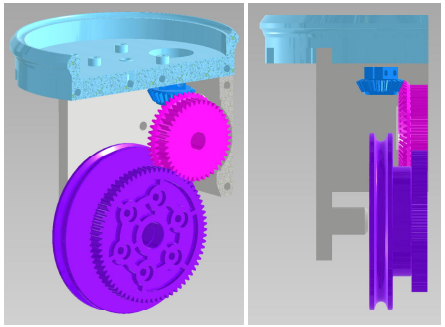
・□320mm、310mm高、14.5kg

・56mm系ステッピングモータ×8，マイクロステップ

・オンボードdsPIC33で制御、リチウムイオン電池

車輪駆動部の実装

キャリア回転 → 車輪



・傘で90度、平で減速

歯車類の単一部品化

・今回はオフセット無し

※操舵軸直下で接地

・オフセット有りに変更容易

※車軸位置のみ

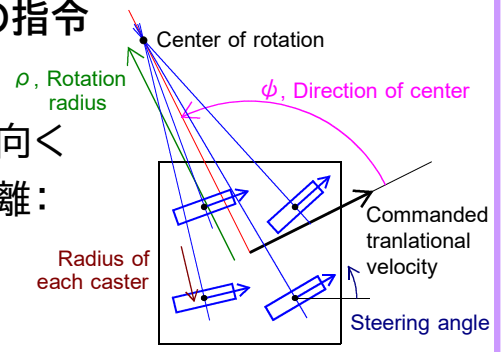
・サス付きも可（サス後に車輪側で減速が必要）

4輪ロボットの全方向移動制御

手動操作4輪ロボットとしての指令

車輪ロボットの鉄則：

- 全ての車軸は瞬間中心を向く
- 車輪速度は中心までの距離：
  半径に比例する
- 全方向性と旋回性から、
  代表速度を定めにくい



全方向移動ロボットの自由度：3DoF(のはず)

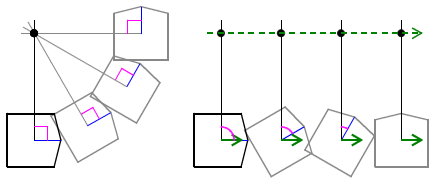
- World: 旋回中心(2) + 旋回角速度(1) or (v, ω)
- Robot: 並進方向(1) + 旋回半径(曲率)(1) +
  速さ(1) + スピン角速度(1)？ = 4？

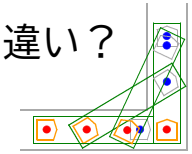
→中間指令値を 旋回中心 と 車輪の最高速 とする

- 旋回中心： 旋回半径ρ と 並進方向に対する角度ψ
- 車輪速度： 各キャスタの旋回半径に比例
  ※手動操作で「方向」「旋回の程度」「速さ」を決定

全方向移動ロボットの挙動と指令入力 （請：有識者見解）

- 任意方向の並進
- ＋カーブ(円弧)
- ？：スピンしながら移動
  並進速度： 他の移動と同
  旋回半径＝速度÷角速度のはず；円弧との違い？
- 解釈：機体の角速度と逆に旋回中心が
  機体の周りを旋回する@ロボ座標系


(a) 単純な円弧　(b) スピンしながら直進


ありうる動作例

キャスタの制御

速度制御

- 車輪駆動系の歯車、車輪径などのパラメータを
  もとに、前式で、車輪速度、操舵角速度から、
  モータの角速度を算出
- 幾何学的に重要なのは「全モータの速度比」なので
  最速のモータが上限に収まるようにスケーリング

操舵角制御・操舵優先制御

- 上位の指令する角度と、現在の操舵角に対して、
  操舵角速度を操作とするP制御でFB
- 比例ゲインを十分に大きくすると操舵 → 走行になる
  ゲイン大 → 操舵に必要なモータの角速度が大
  → スケーリング → 走行のための速度成分が圧縮

まとめ，etc

- 遊星歯車機構によるアクティブキャスタを実装した
- コントローラ操作に対応した制御系を実装した
  ※スイッチオンですぐに試せるデモ機水準
- 3Dプリンタあれば、市販部品と合わせて作れる
  ※改良版のデーター式公開予定
- 遊星歯車差動機構は、バックラッシが
  許容できれば用途有望な機構

本発表資料等