

セミアクティブ型ユニバーサルジョイント (SAUJ) を搭載したAMRの最適経路探索



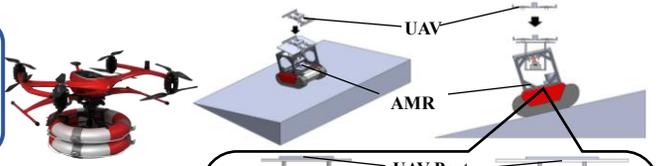
Optimal Path Planning for AMR with Semi-Active Universal Joints

○三枝 大起 (大分大院), 朱 泓州 (大分大院), 森木 雄大 (大分大院)
阿部 功 (大分大), 鶴成 悦久 (大分大 CERD), 菊池 武士 (大分大)

研究背景・目的

研究背景

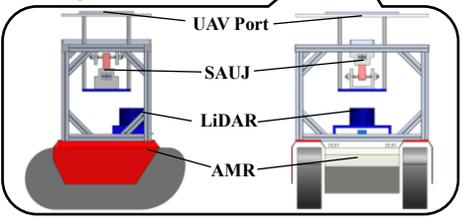
自然災害は増加傾向にあり、災害対応ロボットの重要性は高まっている。ドローンを含むUAVは無人での運用が可能であり、低コストであるため、危険地帯の偵察や救援物資の輸送、被災地のマッピングなどに多く用いられている。
 一方で、飛行時間が短い、着陸位置が限られるなどの欠点がある。



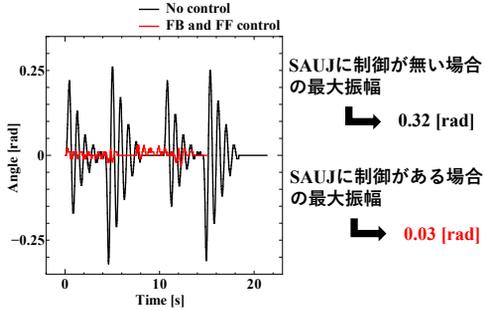
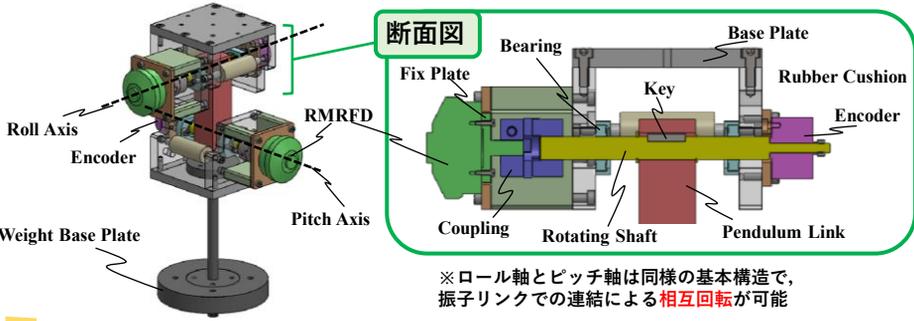
目的

飛行時間が短い → 継続的な充電, バッテリー交換
 着陸位置が限られる → 水平を維持する着陸スポットの開発

無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) の充電スポット機能を有する不整地移動可能な自律走行搬送ロボット (Autonomous Mobile Robot, AMR) の開発



Semi-Active Universal Joints (SAUJ)

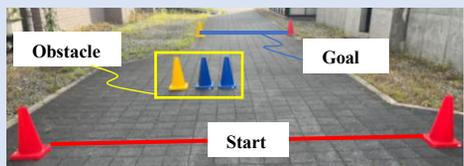


※ロール軸とピッチ軸は同様の基本構造で、振りリンクでの連結による相互回転が可能

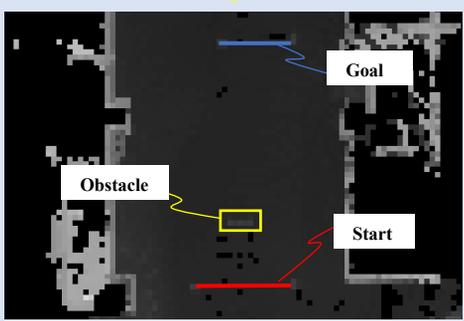
経路計画

マップ

経路計画を行うためには、マップが必要。今回はテストコースで作成した3Dマップから、高さのデータを残したまま、グレースケールの2Dマップに変換。



Test Course



2D Grid Map

経路計画

各セルにコストを割り当て、式 $F(n)$ が最小であるセルを探索するアルゴリズム。ゴールまでの推定距離を考慮しているため、ゴールに近いセルから探索し、効率的な経路作成が可能。

$$F(n) = G_s(n) + H_g(n)$$

$H_g(n)$: 現在地からゴールまでの推定距離

$G_s(n)$: スタートから現在値までの累積コスト

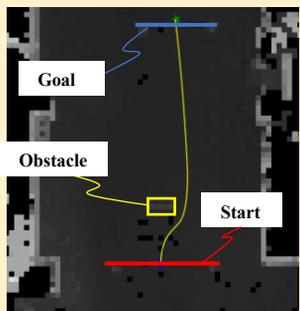
$$G_s(n) = L_{sn} + \omega \cdot T_{sn}$$

L_{sn} : スタートから現在値までの累積距離

T_{sn} : スタートから現在値までの角度誤差の累積コスト

ω : T_{sn} のコストとしての重み

経路計画の後にスプライン補間によって平滑化を行った



今後の展望

SAUJは振り子の挙動をするため、遠心力の影響が大きい。制御が無い場合は、 $1.7 m/s^2$ 以上、制御がある場合は $8.7 m/s^2$ 以上の遠心力加速度が加わると、SAUJが 10° 以上揺れる。そこで、遠心力加速度に閾値を設定し、閾値を超えた場合は、以下の式で再度経路計画を行う。

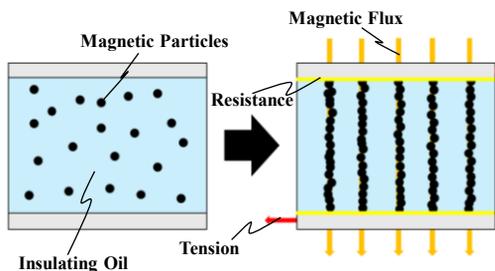
$$G_s(n) = L_{sn} + \omega_1 \cdot T_{sn} + \omega_2 \cdot C_{sn}$$

C_{sn} : スタートから現在値までの曲率の累積コスト

ω_2 : C_{sn} のコストとしての重み (初期値0)

繰返しごとに1増加

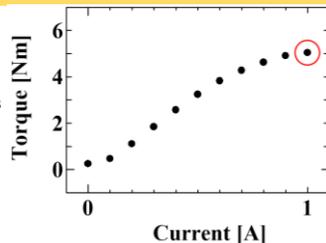
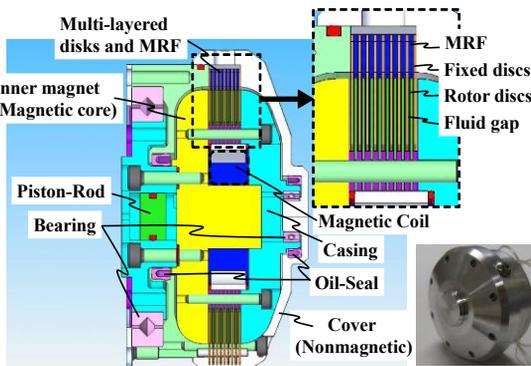
Rotational MR Fluid Damper (RMRF)



MR流体

鉄系粒子 (1~10 μ m) と絶縁性オイルなどで構成された機能性流体の一種

磁場を印加すると、鉄系粒子が磁力線に沿って鎖状に並ぶ→抵抗発生



RMRFDの特性

最大出力トルク	5.0 Nm (1 A)
空転トルク	0.15 Nm

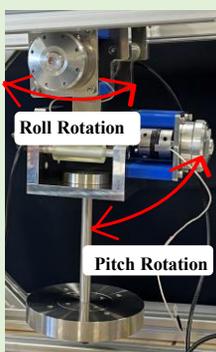
10° 振れた時点ですでに最大出力トルクが出ている。トルクのつり合いより許容遠心力加速度が求められる。
制御なし 1.7 m/s² 制御あり 8.7 m/s²

Semi-active Universal Joint (SAUJ)

基本構造

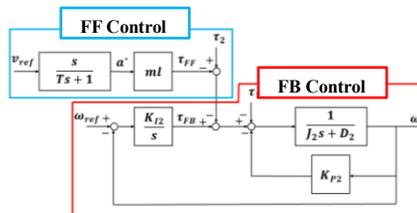
○主な構成部品

- ・ロール、ピッチ軸回りの2つの回転軸
- ・回転軸にRMRFD、エンコーダ
- ・振りリンク衝突防止のためのゴム被覆ストッパー
- ・可変式重量
⇒約2,4,6,8,10 kgで重さの調節が可能



ロール、ピッチ軸の2軸での同時回転+制御が可能

制御システム



$$J_2 \omega_2 = \tau_{FB} - D_2 \omega_2 - K_2 \theta_2 - mal$$

角速度: ω_2

AMRの速度の指令値: v_{ref}

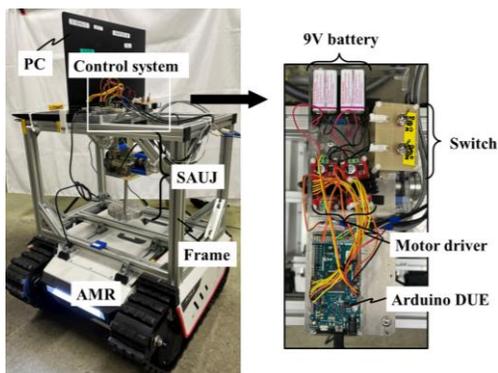
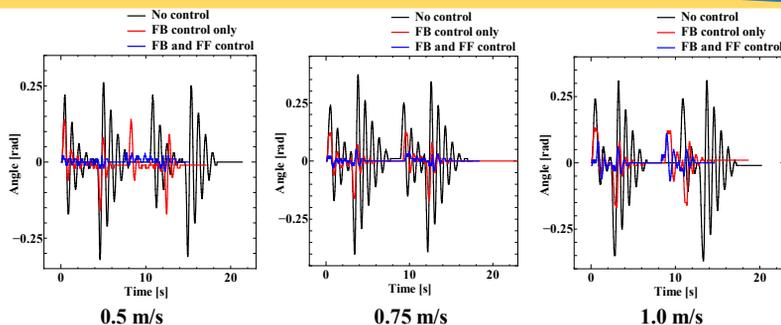
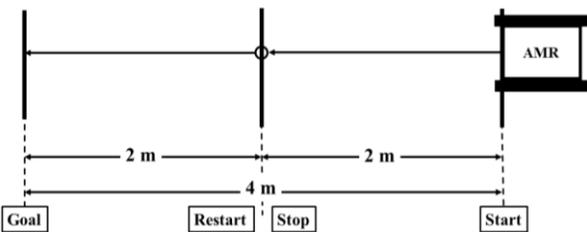
疑似加速度: a^*

SAUJのフィードバック制御によるトルクを τ_{FB} 、AMRの加速・減速時に生じる τ_2 に対するフィードフォワード制御によるトルクを τ_{FF} とした。

Parameters	Values
慣性モーメント, J_2	0.070 kgm ²
リンク2の減衰係数, D_2	0.064 Nm/(rad/s)
リンク2の弾性係数, K_2	0.020 Nm/rad
比例ゲイン, K_{P2}	0.986 Nm/rad
積分ゲイン, K_{I2}	7 Nm/rad s
リンク2の重量, m	3.80 kg
リンク2の長さ, l	0.10 m

AMRを用いた不整地走行実験

1. SAUJをAMRに搭載する。
2. テストコースを走行させ、SAUJの制振性能を評価する
2 m走行 → Stop → 2 m走行 → Stop



	0.5 m/s	0.75 m/s	1.0 m/s
No Control	0.32 [rad]	0.40 [rad]	0.37 [rad]
FB Control	0.17 [rad]	0.17 [rad]	0.17 [rad]
FB + FF Control	0.03 [rad]	0.05 [rad]	0.11 [rad]

実験の結果、SAUJが十分な制振機能を有していることが証明された