



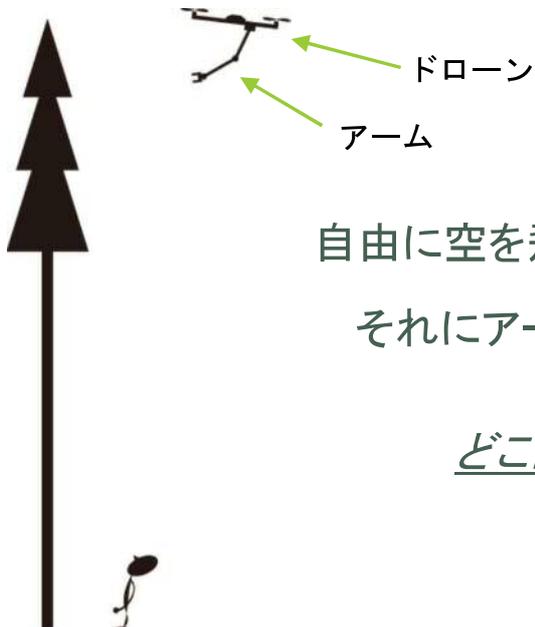
ロボットアームを搭載したドローンによる空中からの作業の実現

広島大学大学院
工学研究科
准教授
高木 健



T +

どんな技術を確認したいの？



自由に空を飛びまわれるドローン

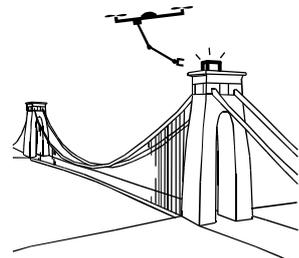
それにアームとハンドがついていたら...

どこにだって、手が届く

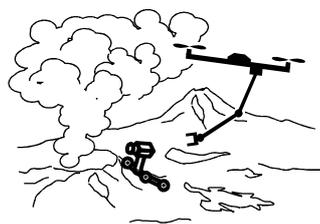
想定される用途



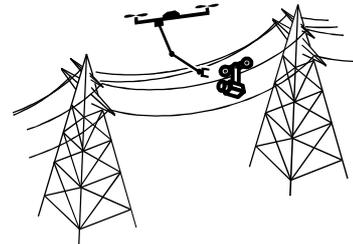
自然災害の監視



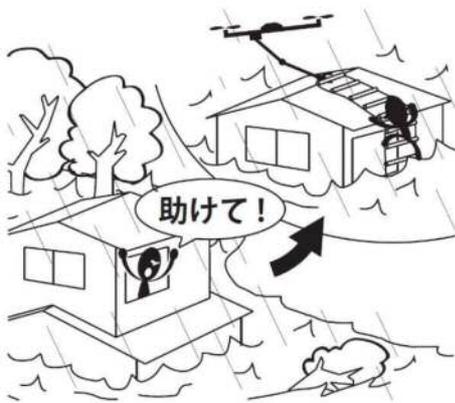
構造物モニタリング



危険地帯・高所へセンサ・ロボットを輸送・回収

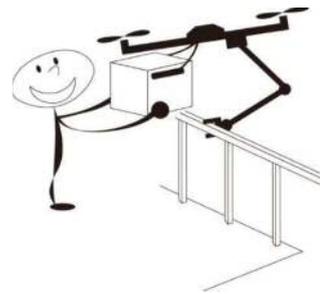


さらなる，想定される用途

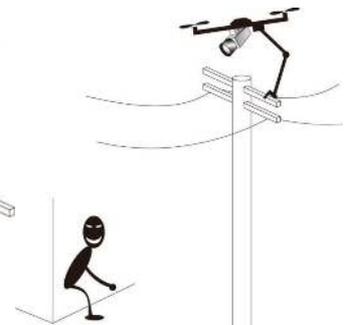


水害時などにおいて，縄梯子を掛け高所への非難の補助

鳥のように着陸できると...

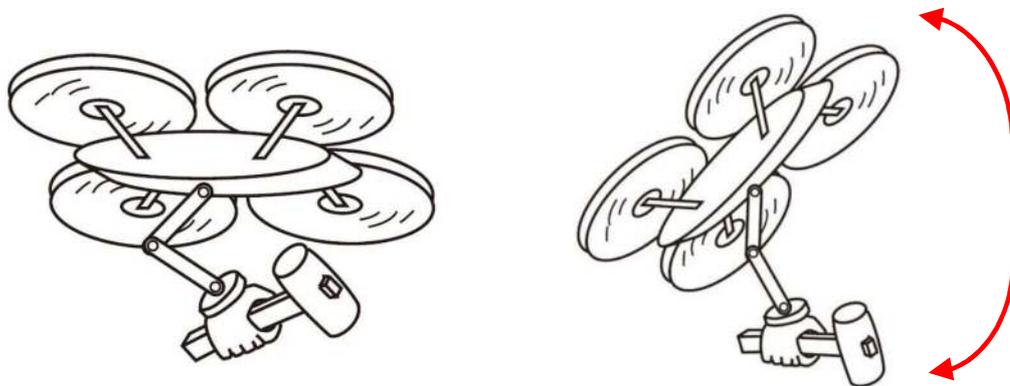


物流



セキュリティー

解決すべき課題



アームを動かすとドローンの姿勢が崩れる

コンセプト

実現したいこと: **どのようなドローン**にも取り付けられる.

解決すべきこと: アームを動かすとドローンの姿勢が崩れる

我々の挑戦

アームが動いてもドローンの姿勢が崩れない **動力伝達系** を構築

どれだけの機能の動力伝達系つくるか？

ドローンに影響小

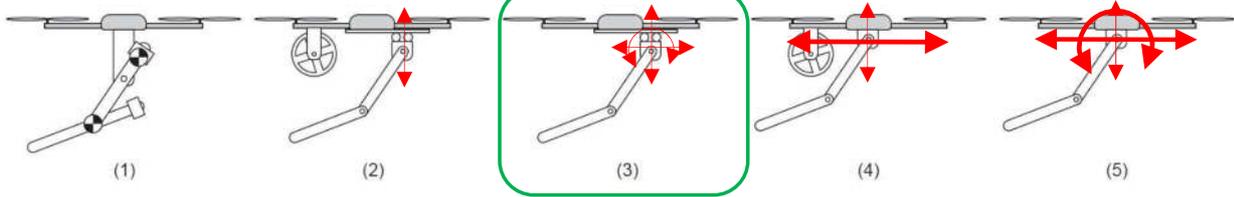


ドローンに影響大

アーム：重い、複雑、低出力

ここからスタート

アーム：軽量、シンプル、高出力

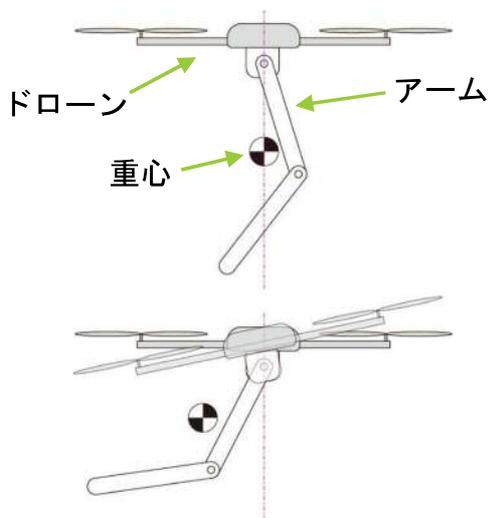


代表的な構成要素 (これだと64通り)

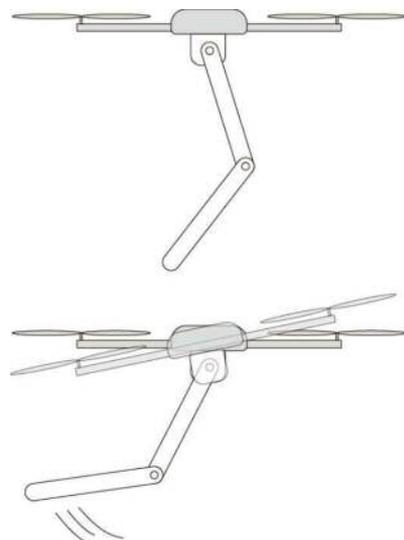
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
アーム1重心	○	×	×	×	×
アーム2重心	○	×	×	×	×
モータ1アンチカウンタ	○	○	○	×	×
モータ2アンチカウンタ	○	○	×	×	×
別途アンチカウンタ	×	○	○	○	×
スライダー	×	○	○	×	×

いろいろな構成が考えられます。
ただ、極端なコンセプトは、性能が偏り、微妙。
バランス良く、中間ぐらいの構成から開発。

姿勢が崩れる原理



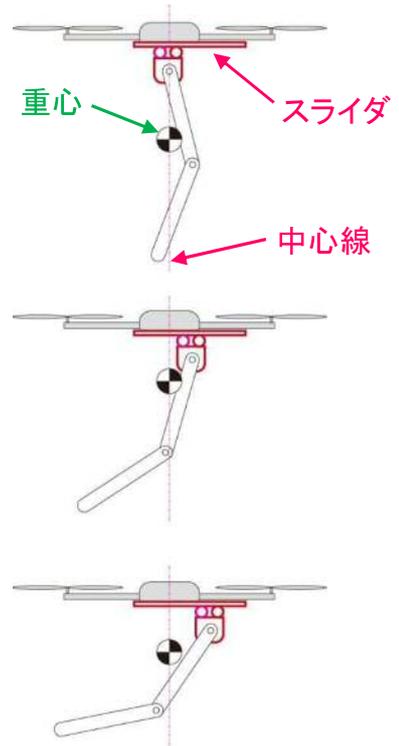
重心位置が中心からずれる



アームの反トルク

重心位置対策

スライダを用い重心を中心線上に維持



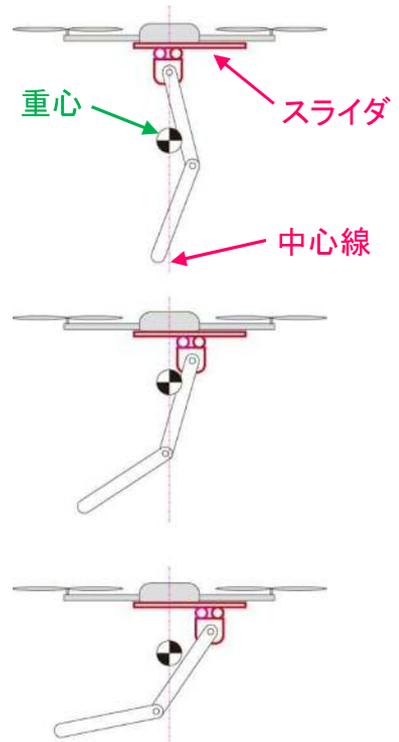
重心位置対策

スライダを用い重心を中心線上に維持

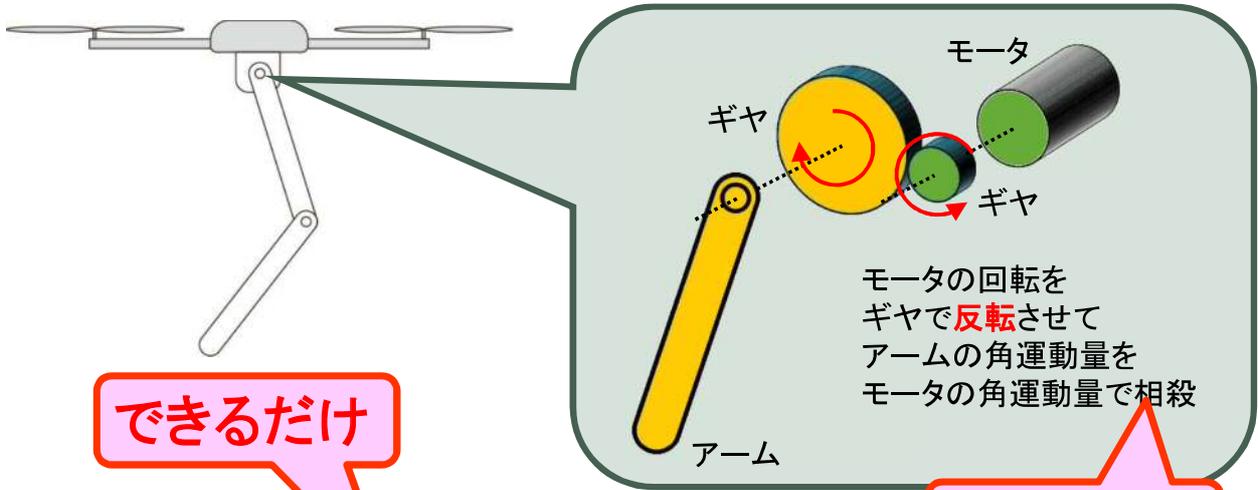
イメージ

中心線 (red arrow pointing to a vertical dashed line)
重心 (green arrow pointing to a black dot)

手は前へ、お尻は後ろへ、
重心は中心線上に



反トルク対策

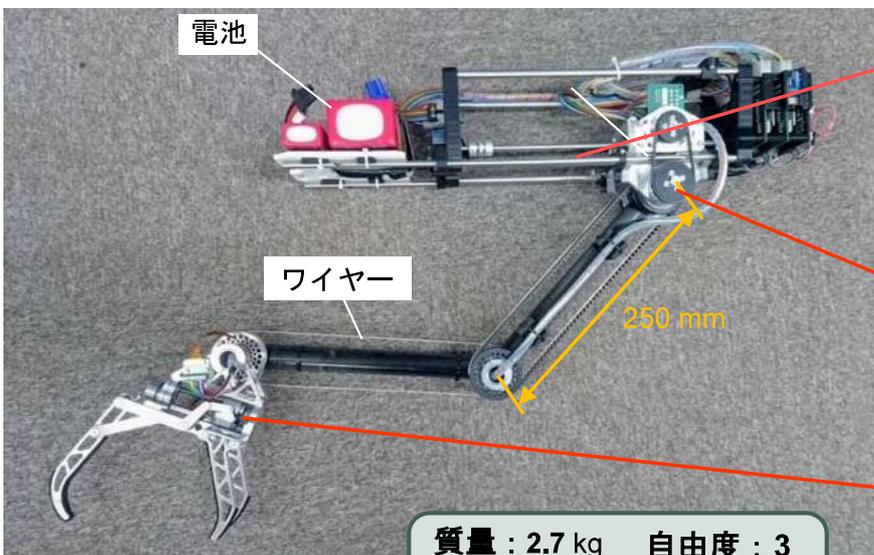


できるだけ

できるだけ

逆方向に回転するものを利用することで、反トルクを打消す

開発したロボットアーム・ハンド



質量 : 2.7 kg 自由度 : 3
(電池含めない)

・スライダ機構

スライダの冗長自由度で水平方向の反動を打ち消す、また重心位置を調整

・反トルク機構と干渉駆動機構

アームの回転運動により生じる反トルクを打ち消す駆動系

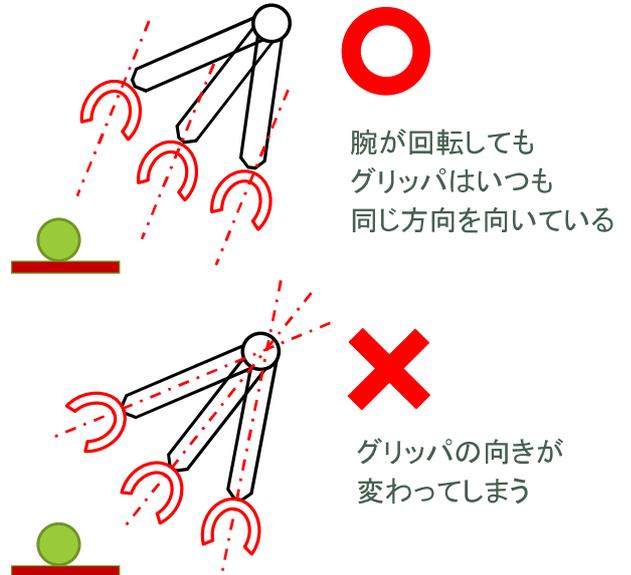
・無段変速ロボットハンド

斜旋回送りねじ(無負荷感応型無段変速機)を駆動系に持つ

ロボットアームの動き（特に手首の動き）



見てほしいポイント！



力強いロボットアーム



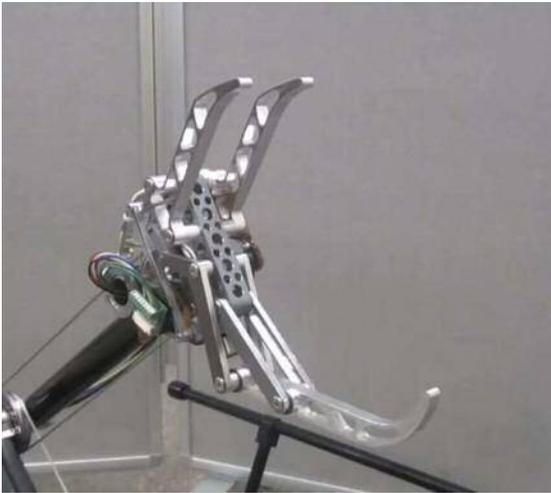
5kgのモノを
持ち上げられるほど力強い

ドローンの性能により
5kgのモノを持って飛行はできない。



この性能は自重を支えるのに必要！

俊敏かつ力強い把持



俊敏で快適な開閉



力強い把持

無段変速機により俊敏かつ力強い動作を実現

質量: 250 g

実装例



Multicopter's Spec.

Model:

DJI Spread Wings S900

Flight Controller:

DJI Wookong-M

既製品のマルチコプタ

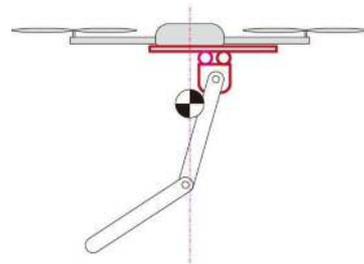
Total Weight
(Arm + Multicopter + Batteries) : 7.4 kg

Payload capacity
for safe flight : ~ 2 kg

安定した動き



安定した動き



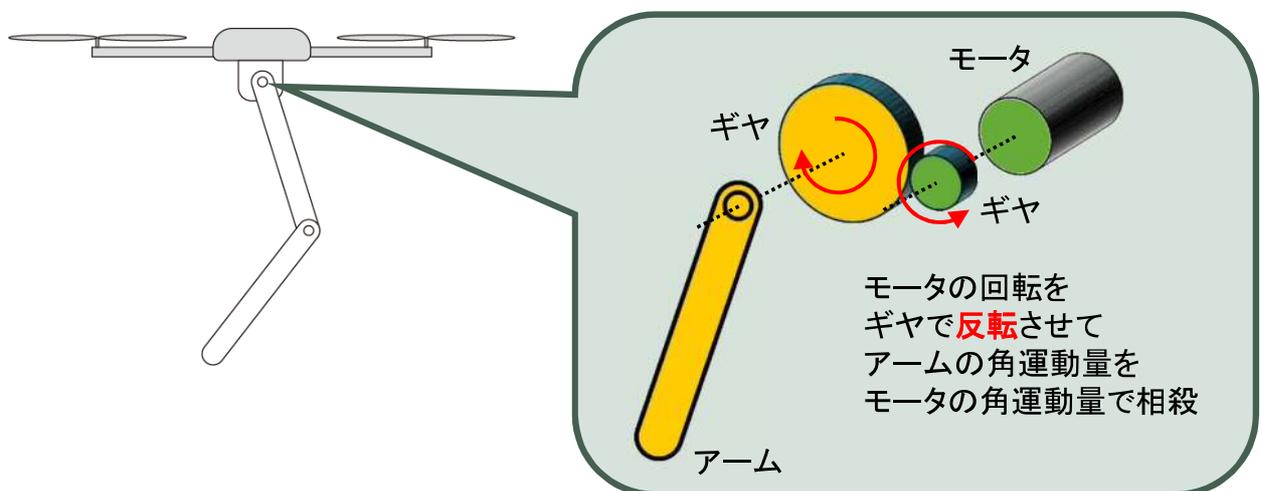
...では、手先の動きは同じで、
重心位置を調整しなかったら？

安定した動き



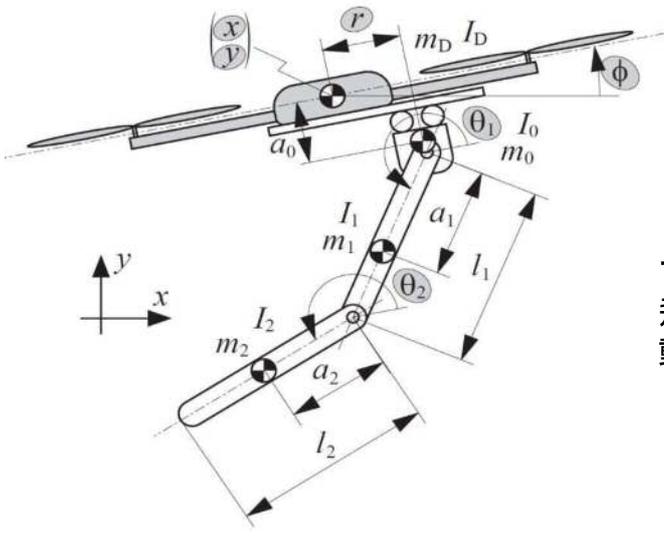
反トルク対策

ところで、この効果はあるの？



安定した動き (シミュレーション)

➡ **減速機などの動力伝達系も含めて運動方程式導出**



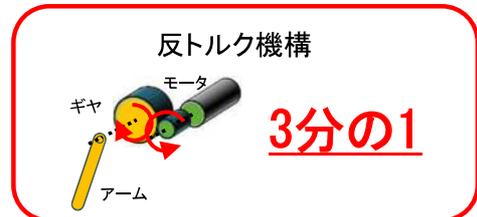
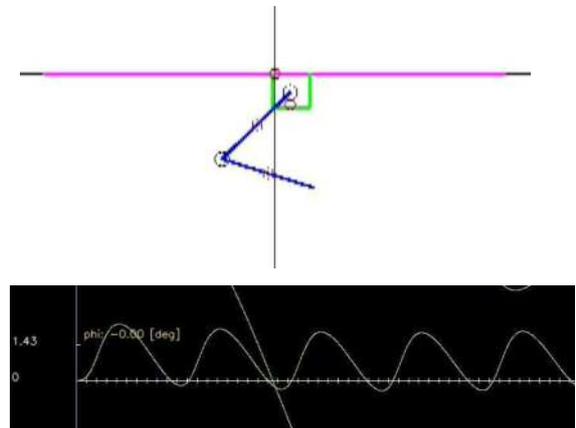
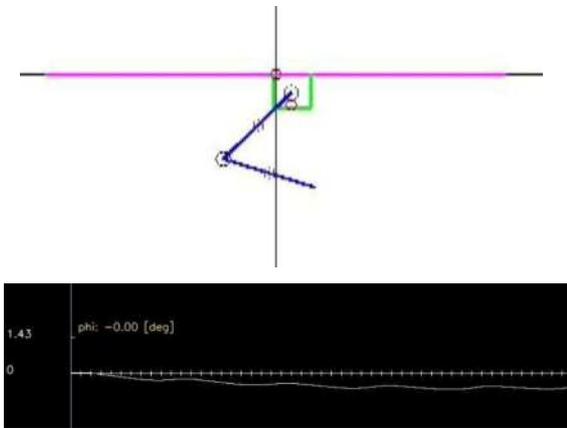
状態変数は $x, y, \phi, r, \theta_1, \theta_2$ の6個

アームの状態変数 r, θ_1, θ_2 を変化させても飛行ロボットの状態変数 x, y, ϕ が変化しない動力伝達構成, リンク長や重心位置を見つける.

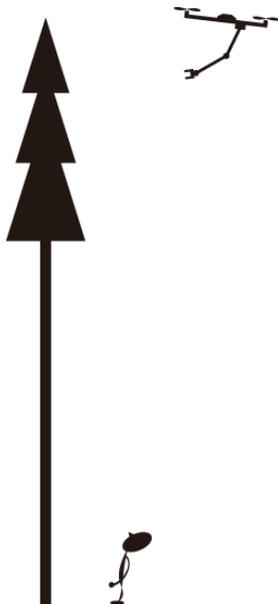
安定した動き (シミュレーション)

$$\begin{aligned}
 & \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \phi \\ r \\ \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \dot{\phi} \\ \dot{r} \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \\
 & \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{\dot{\phi}} \\ \dot{\dot{r}} \\ \dot{\dot{\theta}}_1 \\ \dot{\dot{\theta}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{r} \\ \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} \\
 & \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{r} \\ \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{m_0} \left(\frac{m_1 a_1}{l_1} \ddot{\theta}_1 + \frac{m_2 a_2}{l_2} \ddot{\theta}_2 \right) \\ -\frac{1}{m_0} \left(\frac{m_1 a_1}{l_1} \ddot{\theta}_1 + \frac{m_2 a_2}{l_2} \ddot{\theta}_2 \right) \\ \frac{1}{I_0} \left(\frac{m_1 a_1}{l_1} \ddot{\theta}_1 + \frac{m_2 a_2}{l_2} \ddot{\theta}_2 \right) \\ \frac{1}{I_0} \left(\frac{m_1 a_1}{l_1} \ddot{\theta}_1 + \frac{m_2 a_2}{l_2} \ddot{\theta}_2 \right) \\ \frac{1}{I_1} \left(\frac{m_1 a_1}{l_1} \ddot{\theta}_1 + \frac{m_2 a_2}{l_2} \ddot{\theta}_2 \right) \\ \frac{1}{I_2} \left(\frac{m_1 a_1}{l_1} \ddot{\theta}_1 + \frac{m_2 a_2}{l_2} \ddot{\theta}_2 \right) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

安定した動き (シミュレーション)



想定される用途



自然災害の監視
構造物モニタリング
危険地帯・高所へセンサ・ロボットを輸送・回収

A red-bordered box containing four illustrations of drone applications. Top-left: A drone flying over a landscape with rain falling, labeled '自然災害の監視' (Disaster monitoring). Top-right: A drone flying over a suspension bridge, labeled '構造物モニタリング' (Infrastructure monitoring). Bottom-left: A drone flying over a mountainous area with a volcano, labeled '危険地帯・高所へセンサ・ロボットを輸送・回収' (Transport and recovery of sensors and robots to hazardous areas and high altitudes). Bottom-right: A drone flying between two power line towers, also labeled '危険地帯・高所へセンサ・ロボットを輸送・回収'.

空中からの把持

Mini-Surveyor
MS-06LAに
ロボットアームと
ハンドを実装
総重量:7.7kg



把持対象(1ℓのペットボトル)

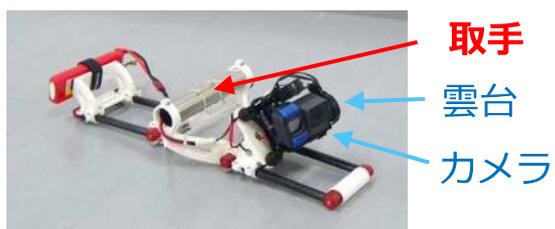
空中からの把持



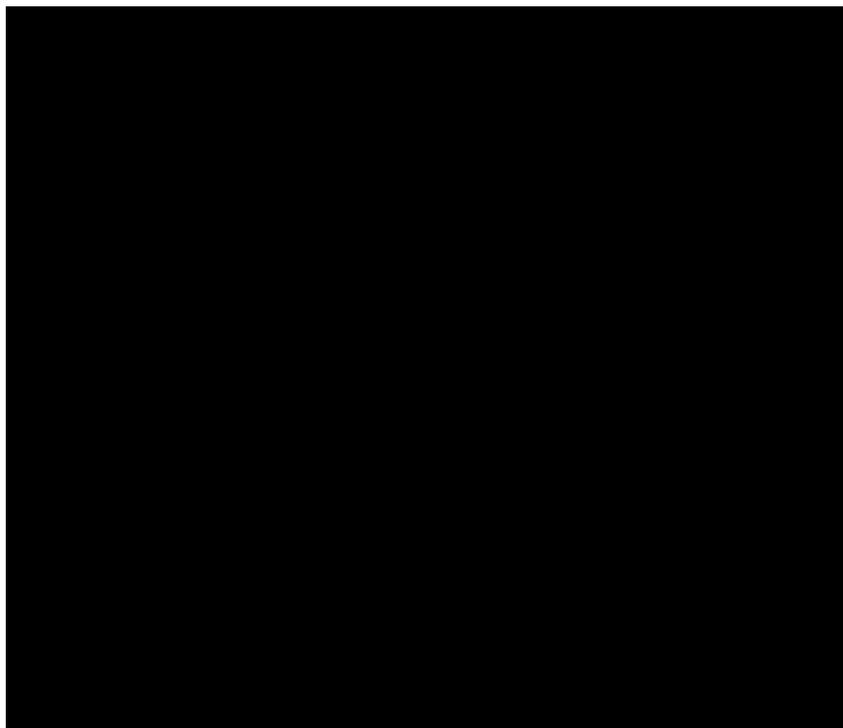
設置と回収

ハンドがあれば、
取手があれば設置と回収ができる！

特別な**脱着装置は不要**



質量 : 1.0 kg



緊急物資搬送

ハンドがあれば、
取手があれば設置と回収ができる！

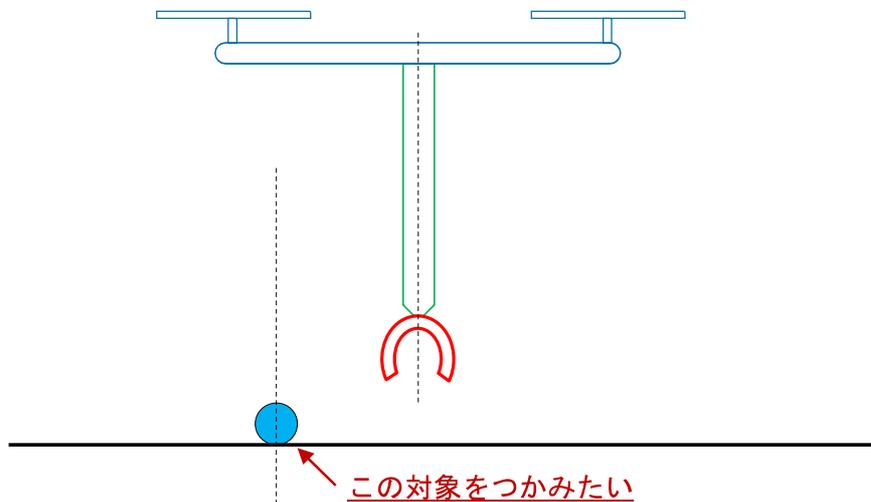
特別な**脱着装置は不要**

着地することなく物資を**やさしく**搬送

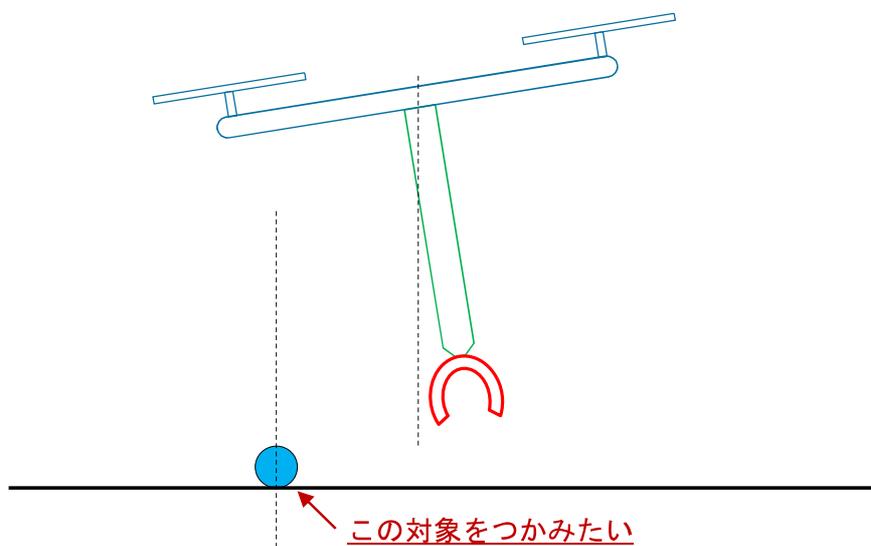
↙ 不整地にも物資輸送可



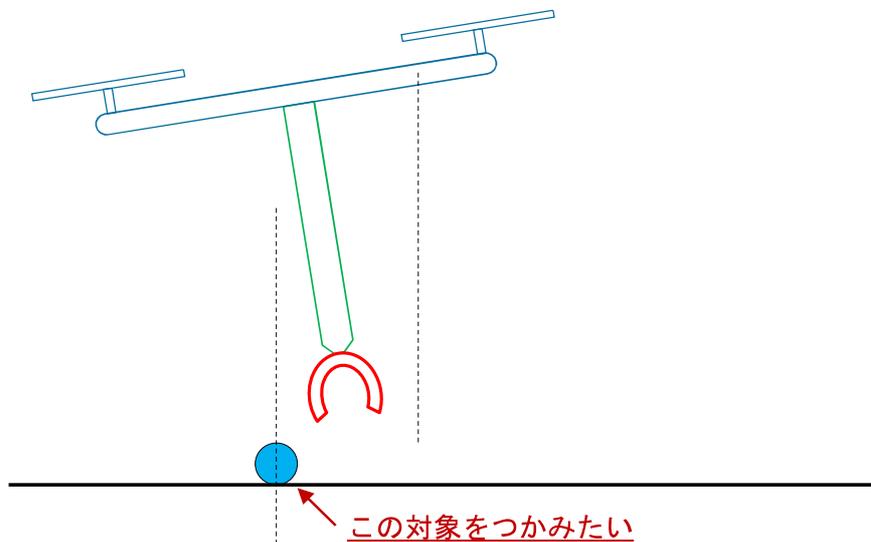
棒にグリップが付いていればいいのでは？



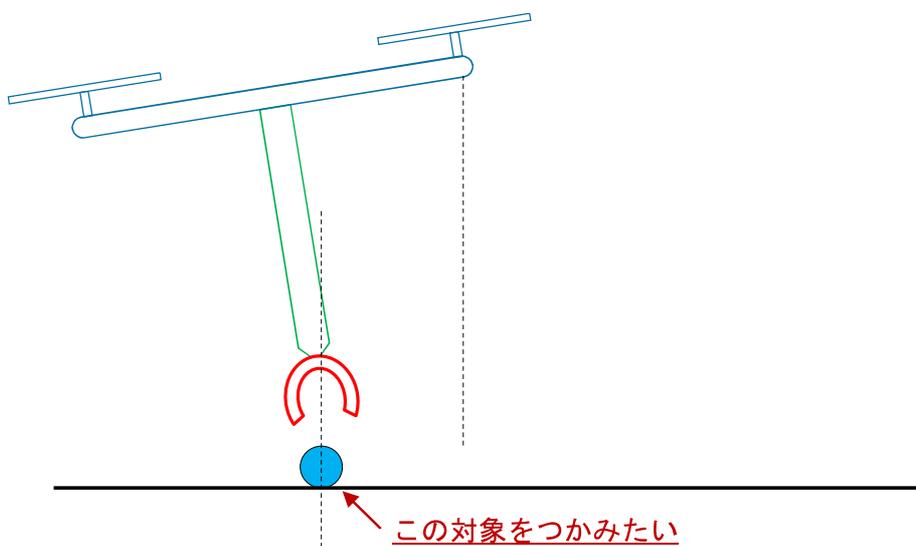
棒にグリップが付いていればいいのでは？



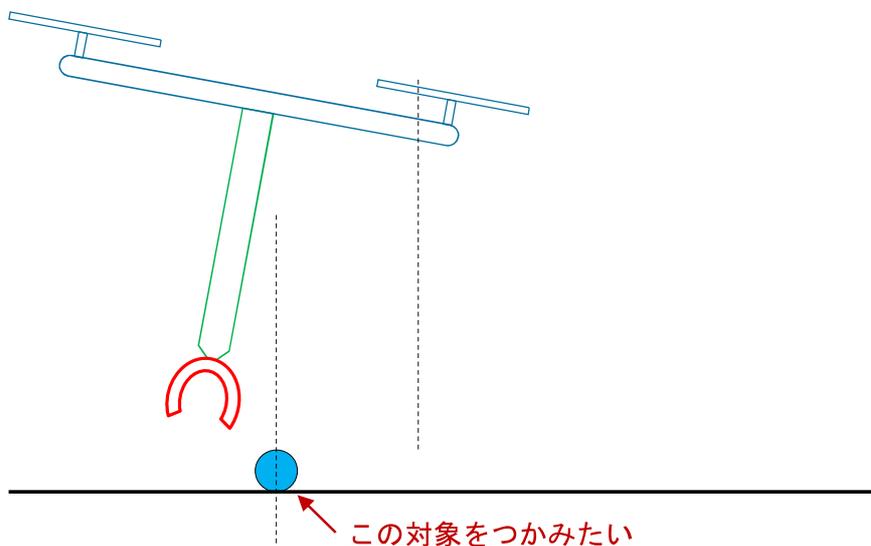
棒にグリップが付いていればいいのか？



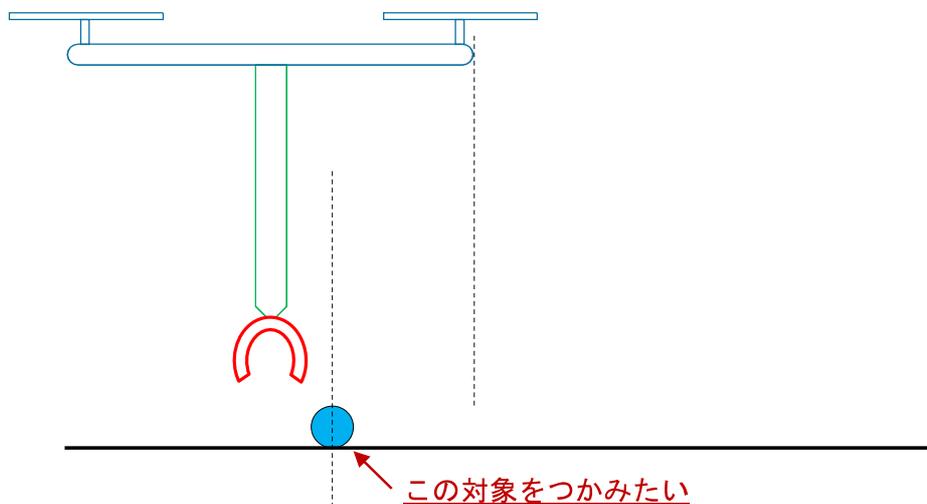
棒にグリップが付いていればいいのか？



棒にグリップが付いていればいいのか？

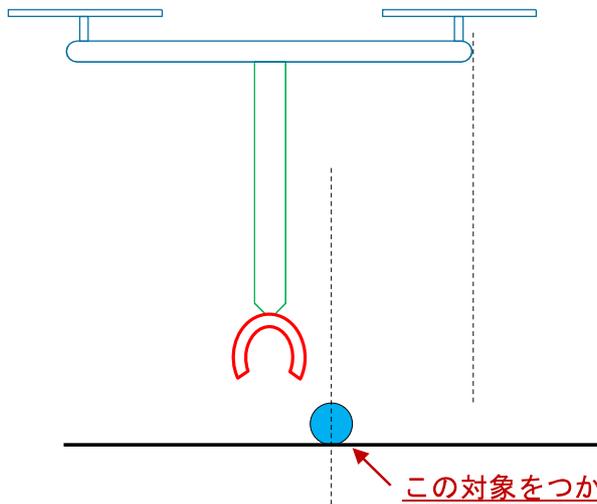


棒にグリップが付いていればいいのか？



棒にグリップが付いていればいいのでは？

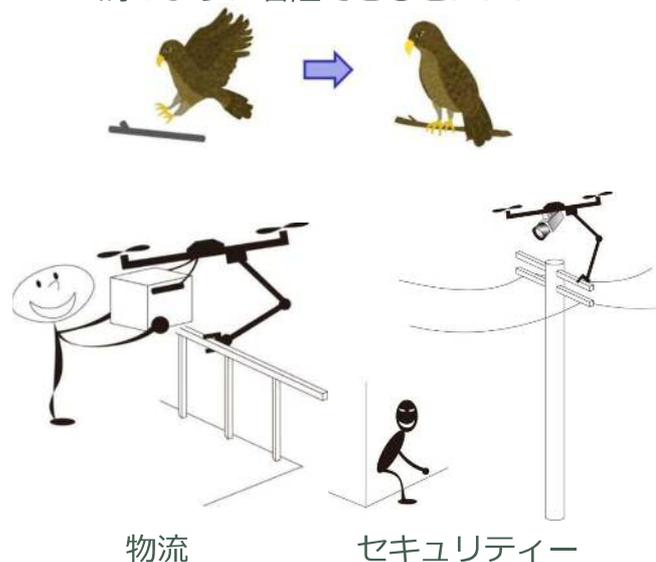
なので、ドローンは動かさずアームだけで位置合わせできると嬉しい。



さらなる、想定される用途



鳥のように着陸できると...



縄梯子を掛ける動作 (1)



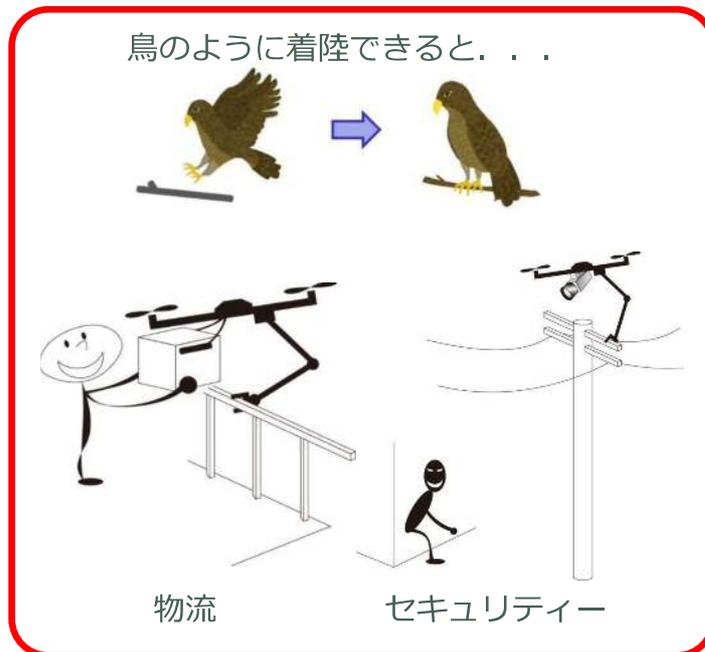
縄梯子を掛ける動作 (2)



さらなる，想定される用途



水害時などにおいて，縄梯子を掛け高所への非難の補助



鳥が木の枝にとどまるように．．．着地と離陸



汎用機と専用機

どこまで、大袈裟なものが必要なの？

もちろん、使用用途が明確ならば、**専用機**にして構造をシンプルに！

ただ、広がりはなくなる．．．

使ってみて、**汎用機は便利！**
アーム・ハンドは多用途



単純に枝にとどまるだけの専用機：
モータ追加なし，電力不要

今後の展開（地上での性能は限定的）

不整地へ柔軟になじむ機構が得意



これらの技術を応用し．．．

アームをうまく利用することで、**モータの増加なく、電力不要**でありながら
不整地に着陸できるスキッドを開発中

まとめ

「アーム付きドローン」により**空中から作業**を行う動作例を紹介しました。

たとえば...

- ・ 設置・回収ができる。(取手あればOK, 専用脱着装置不要)
- ・ 縄梯子を掛ける。
- ・ 鳥が枝にとどまるように, 着地・離陸ができる。

そして, アームとハンドは汎用的であることを紹介しました。

つぎのステップ, 社会実装に協力
してもらえる企業を探しています。

