T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	プロペラによる自重補償を行うワイヤ駆動型超軽量冗長多関節アームの提案
Title(English)	A Proposal of Wire-Driven Hyper-redundant Articulated Arm with Active Weight Compensation using Propellers
著者(和文)	遠藤 玄, 萩原哲夫
Authors(English)	Gen Endo, Tetsuo Hagiwara
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2016講演概要集, , , 2P1-15a3
Citation(English)	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , , 2P1-15a3
発行日 / Pub. date	2016, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

プロペラによる自重補償を行うワイヤ駆動型超軽量冗長多関節アームの提案

A Proposal of Wire-Driven Hyper-redundant Articulated Arm with Active Weight Compensation using Propellers

○正　遠藤　玄 (東工大)　　正　萩原哲夫（(株) 横浜ケイエイチ技研）

Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology, gendo@mes.titech.ac.jp
Tetsuo HAGIWARA, Yokohama KH Tech Corporation, hagiwara@ykh-tech.co.jp

This paper proposes a wire-driven hyper-redundant articulated arm with active weight compensation using propellers. The arm is serially connected articulated arm and multi-rotors are installed to compensate its weight. The power is supplied by a tether. The joints are driven by wires using synthetic fibers. This arm achieves long operational time and robust safety operation compared with conventional drones.

***Key Words*:** Redundant Arm, Wire-Driven, Tethered Drone,

1　緒言

近年，複合材料とマグネシウム合金による構造部材の軽量化，モータの高密度巻線による高出力密度化，軽量リチウムポリマ電池による高エネルギ密度化，MEMS 技術の発達による加速度・角速度センサの高精度化により，複数のプロペラを持つ電動飛行ロボットを実現することが容易に可能となっている．過疎地や離島への物資搬送，さらには一般家庭への宅配サービスの展開を見据えて実証実験が行われている．そして一部は既に研究段階を超え，商用ビジネスとして民間企業による映像撮影，インフラ点検，地形計測サービス等が提供されるに至っている [1, 2]．また手頃な価格で小型の飛行ロボットは購入可能であり，操縦を趣味として楽しむ一般の人も増えている．

一方で急速な普及に伴い市街地での落下事故などが相次いだことから，安全性を担保するため日本では 2015 年 9 月に航空法が改正され，無人航空機の飛行できる空域が定めらた．その結果，人口集中地区などの制限空域で 200g 以上の機体を飛行させるためには国土交通省の許可が必要となった．

またエネルギ密度が高くなったとはいえ，依然として電池による給電には限界があり，マルチコプタの飛行時間は数分から長くとも 30 分程度で実作業では頻繁な電池交換が必要となっている．当然のことながら飛行時間はペイロードに依存し，荷物などを搬送しようとすれば飛行時間はさらに短くなる．

ところで例えばインフラ点検や農薬散布などのタスクを考えると，数十メートルの範囲内で検査機器や噴霧器を自由に空間移動できれば達成できる場合もある．つまり必ずしも「飛行」しなくとも大空間内で所望の位置姿勢にカメラやエンドエフェクタが到達できれば良いタスクも大いに考えられる．

そこで本研究では敢えて飛行するのではなく，プロペラによる推力で自重補償を行う据え置き型の超軽量冗長多関節アーム（図 1）を提案する．２章では提案するアームの詳細を述べ，その特長を述べる．３章ではコンセプトを実現するための技術要素についてまとめ，４章では結言を述べる．

2　ワイヤ駆動型超軽量冗長多関節アーム〝飛龍〟の提案

提案する飛龍アームは地面に固定されたベース部より，軽量な材料で作られたリンクを直動あるいは回転関節で直鎖状に接続した多関節アームである．関節の駆動はワイヤ駆動により行い，アクチュエータは極力，ベース部に配置する．

Fig.1 Concept image of the proposed hyper-redundant articulated arm

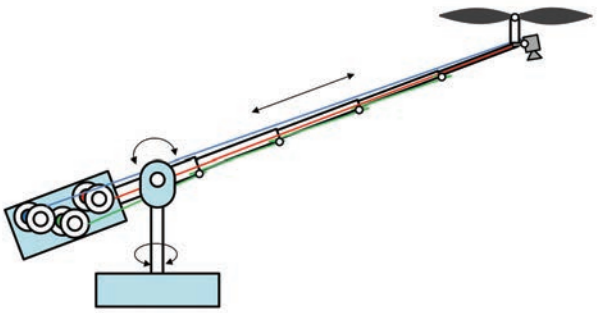

Fig.2 Hyper-redundant articulated arm with prismatic joints

そしてリンクあるいは関節にプロペラを配置しベース部より有線により給電する．このときプロペラの回転による推力はリンク・関節重量に比して大きいことを前提とする．プロペラ数とリンク数は必ずしも一致していなくとも良く，プロペラ推力とリンク・関節重量に応じて設計する．図 1 に回転関節で構成し，各関節にプロペラを配置した例を示す．手先にはエンドエフェクタ姿勢制御用に 4 つのプロペラを配置している．図 2 は直動関節で構成し，手先部に自重補償のみを目的とするプロペラとカメラを配置した例を示す．

提案する飛龍アームの特長を以下にまとめる．

- スケーラビリティがあるため超長尺化が可能である．
- 有線による電源供給であるから，長時間の作業が可能である．
- 有線で制御できることから，電波状況の悪い環境でも利用可能である．
- 有線でセンサデータを伝送出来る．
- 複数のプロペラおよびリンク機構で支えるため可搬重量を大きく出来る．
- 無人航空機に比して風などの外乱に強い．
- リンク可動角を設定することで特定の空間領域内のみの移動を保証出来る．
- リンク機構でベース部と接続されていることから，故障時も一定範囲内に留まる．
- 航空法の規制を受けない．

空中を飛行する方法に比して，移動の自由度は低くなるが，反面，長時間の作業性やロバスト性，安全性に優れ，実用的なロボットシステムを構成し得ると考えている．

3　実現するための要素技術

3.1　有線電源供給

本提案は有線により大電力を継続的に供給する点が特徴である．一般にマルチコプター用のアクチュエータは低電圧大電流により駆動されることから，太い電線が必要である．しかしながら太い電線は重量が大きいためそれを搬送するためにプロペラの推力を要してしまいその結果十分な自重補償効果を得られない．そこでベース部で昇圧し高電圧にして細い電線により電力を伝達し，プロペラ近傍に設置した変圧器で降圧する方式を採用する．図 3 に試作した AC-DC コンバータ，図 4 にクアッドコプタに装備した DC-DC コンバータを示す．AC100V から DC360V に昇圧して送り，アクチュエータに近い場所で DC24V に降圧している．本ユニット 1 台で 90[A] までの電流を出力可能であり，およそ 2.5[kgf] の推力を得られるプロペラ（例えば TAROT 社製：KV:320）であれば 6 台駆動できるため 15[kgf] の全推力が得られる．重量物である変圧器およそ 1.5[kg] をプロペラ近傍に配置しなければならないが，これは高々全推力の 10 %と軽微である．90[A] を導通可能なケーブルはおよそ 170[g/m] である一方，昇圧後の 6[A] であれば 14[g/m] であるので 10m 以上の電力伝送では本方式が重量的に有利である．本システムを用いて図 4 のクアッドコプタを 1 時間以上連続飛行できることを確認した

3.2　構造材

長尺化を達成するためには構造部材は比強度が高い材料が望ましい．炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Prastic, CFRP）や合成木材の一種であるガラス繊維強化発泡ウレタン（Fiber reinforced Foamed Urethane, FFU）が適すると考えている．特に FFU は加工性に優れ密度は 0.5〜0.7g/cm^3 と軽く，耐候性も高いことから農作業支援などの屋外用途に適すると考えている [3]．また金属部品の材料としては降温多軸鍛造法を用いたマグネシウム合金 [4] などが有望である．

3.3　高強度化学繊維ワイヤ

一般にワイヤ駆動系は基部に重量物であるアクチュエータを集中配置できることから，軽量長尺のアームを構成する上で利点が多い．特に近年研究開発が進展しているいわゆるスーパー繊維と呼ばれる高強度化学繊維ワイヤ（図 5）は，金属製ワイヤに匹敵する強度を持ちながら，著しく軽く，大きな曲率で曲げることが出来ることから軽量コンパクトな駆動機構になり得る．筆者らは今までに基礎的な特性試験を行い，ワイヤ干渉駆動型アーム（図 6）を開発している [5, 6]．

4　結言

本論文ではプロペラによる推力で自重補償を行うワイヤ駆動型超軽量冗長多関節アームを提案した．今後は試作機を開発しバッテリ駆動では実現不可能な長時間の連続運用を行い，本提案が有用であることを確かめてゆく．

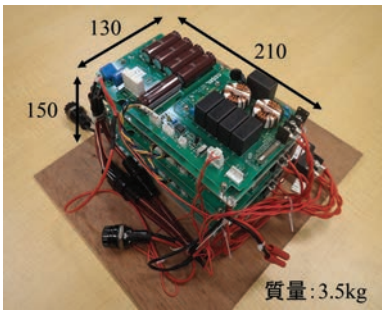

Fig.3 AC-DC converter unit

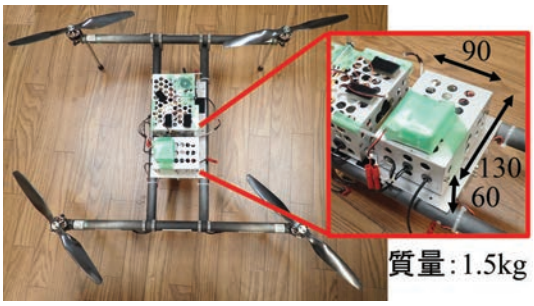

Fig.4 DC-DC converter unit installed on a quadcopter

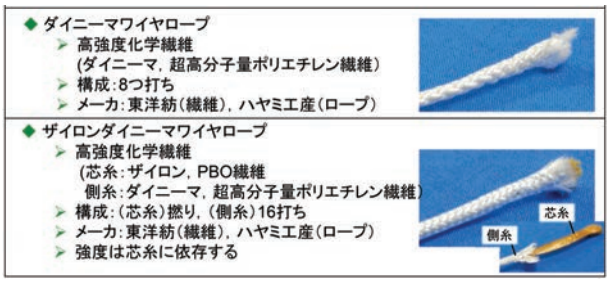

Fig.5 Examples of synthetic fibers

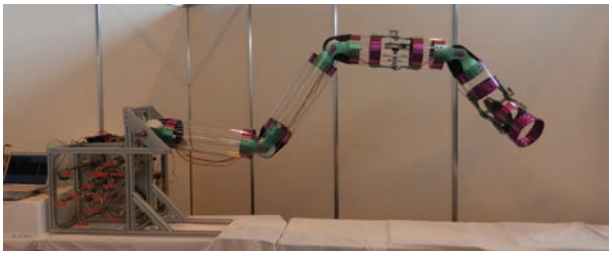

Fig.6 Coupled tendon driven arm: Mini 3D CT-Arm

参考文献

[1] 株式会社エンルート　ソリューション
http://www.enroute.co.jp/solutions/

[2] エアロセンス株式会社　サービス
http://www.aerosense.co.jp/services/

[3] G.Endo, Y. Nakamura, Shunichi Kurumaya, AProposal of Using Fiber reinforced Foamed Urethane as Structural Material for a Robot, Proc. ICAM, 1P2-16, 2015.

[4] 多軸鍛造法による高強度・高加工性の超微細粒マグネシウム合金
http://www.open-innovation-portal.com/corporate/uploads/20141125153659.pdf

[5] A. Horigome, G. Endo, Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope - investigation of strength reduction by bending and terminal fixation method, Advanced Robotics, DOI: 10.1080/01691864.2015.1102649, 2016.

[6] A. Horigome, H. Yamada, G. Endo, S. Sen, S. Hirose, E. F. Fukushima, Development of a Coupled Tendon-Driven 3D Multi-Joint Manipulator, Proc. ICRA, pp.5915-5920, 2014.