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)	スラスタ駆動型超長尺多関節アーム ” 飛龍-II ” の開発 -6.6 m試作機の実現-
Title(English)	Development of Hiryu-II: A Super Long Reach Articulated Manipulator Driven by Thrusters -Realization of a 6.6- m-long Prototype-
著者(和文)	上野雄祐, 萩原哲夫, 難波江裕之, 鈴森 康一, 遠藤 玄
Authors(English)	Yusuke Ueno, Tetsuo Hagiwara, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2020 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2020, 5

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

スラスタ駆動型超長尺多関節アーム”飛龍-II”の開発
-6.6 m 試作機の実現-

Development of Hiryu-II:
A Super Long Reach Articulated Manipulator Driven by Thrusters
-Realization of a 6.6- m-long Prototype-

○学　上野　雄祐（東工大）　正　萩原　哲夫（横浜ケイエイチ技研）
正　難波江　裕之（東工大）　正　鈴森　康一（東工大）
正　遠藤　玄（東工大）

Yusuke UENO, Tokyo Institute of Technology, ueno.y.ah@m.titech.ac.jp
Tetsuo HAGIWARA, Yokohama KH Tech Corporation
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology

Robotic manipulators that use thrusters for weight compensation are an active research topic because they can exceed the limits of elongation. However, existing manipulators that use thrusters have limited elongation because the hardware design is not sophisticated enough. This paper focuses on overcoming these limitations and realizing longer articulated manipulators. As a means of realizing such a manipulator, we adopted the mechanism of Hiryu-Ⅱ, which was previously developed by our research group. In order to cancel the moment of each link, the thruster position was derived in consideration of the balance between the static load of the manipulator and the thrust force. Consequently, we demonstrated the feasibility of the proposed manipulator with a prototype of length 6.6 m.

Key Words: Long reach manipulator, Redundant manipulator, Thruster, Weight compensation

1　緒言

長尺多関節アームはインフラ点検，福島第一の廃炉作業，農薬散布などに有効である．

本研究室では，スラスタで自重補償する長尺多関節アーム”飛龍”[1] を提案している．スラスタとしては水の噴流を用いる研究例 [2] も見られるが，水は重いため，自重を支えるだけの十分な噴流を得ることが難しく，長尺化には限界があるものと思われる．電磁モータにより駆動されるプロペラであれば，電力線を数珠繋ぎすることで容易にモジュラー化，長尺化できる．

プロペラによって関節を駆動する類似研究例に LASDRA[3] があるが，彼らの研究では球対偶関節に 3 軸力をプロペラ推力で発生させることが目的であるため 1 節当たり 8 個のプロペラを要しており，自重補償に寄与しないアクチュエータが多く，長尺化に限界があるものと思われる．

これに対し，我々の先行研究飛龍 [1][4] では，より実用的で簡素なシステムを目指して，スラスタ推力が常に重力方向を向くよう，図 1 に示すように平行リンク機構を導入した．このようにすれば，リンク姿勢に依存せずスラスタ推力は一定で良いため，制御を著しく簡素にすることができる．

これまでの研究 [4] で，我々は図 1(a)，図 2 に示すような 4.4 m，4 自由度長尺アームを試作開発した．本稿では，リンク長軸のねじれを考慮して適切な位置にスラスタを配置し，試作機の更なる長尺化を達成する．

2　長尺化の検討

文献 [4] で言及したように，試作機は軽量で細長い構造のため，リンク周りのねじれを考慮する必要がある．我々の以前の研究 [4] では，図 1(a) に示すように各モジュールの 2 個のピッチスラスタに推力差を与えることでリンクロール軸のねじれを補償する方法を考案した．しかし，スラスタの数はモジュールごとに 2 個と最小限で構成しているため，各節のモーメントを完全に打ち消すことができず，根元側に伝播していく問題があった．そのため，図 1(b) に示すように新たにスラスタ取り付け位置を変更することを考えた．本研究において，我々は自重とスラスタ揚力の静的な力とモーメントの釣り合いを考慮し，各節ごとにモーメントを打ち消すことが可能なスラスタ取り付け位置を導出し，試作機に改良を施した．これにより，自重補償および関節角度の制御が単純な各節ごとの PID 制御で実現できるようになった．

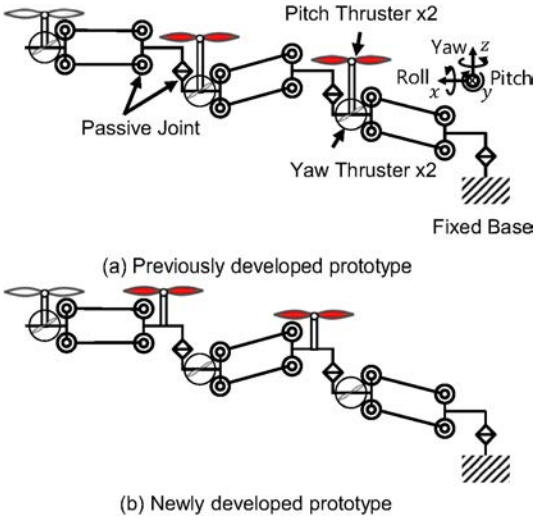

Fig.1 Mechanism of the proposed manipulator

3　試作機の開発

本節では，開発した試作機”飛龍-II”の構成について説明する．

飛龍-Ⅱ は，大きく分けてアーム部と基部の 2 つに分類される．アーム部の諸元を表 1 に示す．質量は電気ケーブルの重量を含む実測した値である．質量を除くその他の値は，アームの 3D CAD

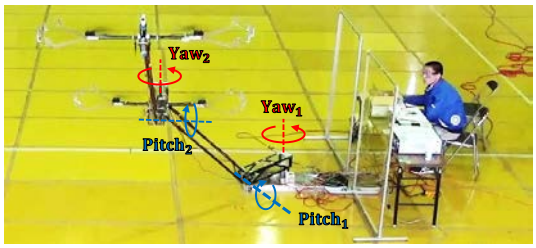

Fig.2 Overview of the prototype "Hiryu-Ⅱ"

Table 1 Specifications of Hiryu-Ⅱ

Length (horizontally extended)	6575 mm
Width	1470 m
Mass	16.2 kg
	(Arm:12.2 kg, Base:4.00 kg)
Payload (at arm end)	6.87 kg
Range of Motion	Pitch : ±48 deg
	Yaw : ±180 deg

モデルから解析した．平行リンクは，外径 25 mm，厚さ 1 mm の CFRP パイプ 2 本で構成している．全ての関節は自由回転可能で，スラスタの推力によって受動的に駆動される．ピッチ角制御用のスラスタは直径 0.508 m，ピッチ 0.140 m のプロペラ（TL2845, TAROT），最大出力 637 W のモータ（6008，TAROT），モータドライバ（FlyDragon V1-60A，FLYCOLOR）から成る．最大推力については，43.2 N である．また，ヨー角制御用のスラスタは直径 0.203 m，ピッチ 0.0965 m のプロペラ（PP228，KK HOBBY），最大出力 79.9 W のモータ（BE1806，DYS），モータドライバ（Multistar 10A V2，Turnigy）から成る．最大推力については，4.31 N である．互いに逆方向に回転するピッチ角制御用の 2 つのスラスタを各ユニットへ搭載し，プロペラの回転運動で発生する反トルクを打ち消している．ヨー角制御用のスラスタを各ユニットに 2 つ設置することで，正転，逆転に対応した．広い可動範囲を得るために，平行リンク機構をヨー軸関節からオフセットして試作機を開発した．基部は制御基板を含み，合計で質量 4.0 kg である．図 3 に試作機のシステム構成を示す．関節角はすべて PID で制御し，PC から順運動で目標関節角を指定，ロータリーエンコーダで関節角をフィードバック，モータドライバへの指令値を操作することでスラスタ推力を調整する．

4　実験

本節では，飛龍-Ⅱの基本動作の経過を報告する．我々は，図 4 に示すように試作機を 1 節から 3 節へと拡張しながら，徐々に実験を進めた．実験は，6000 W の電力を供給できる屋内環境で行った．横転を防ぐために，ベースに約 40 kg の重りを設置した．1 節試作機の実験では，自重補償のために 180 W 消費することを確認した．次に，根元側に節を追加し，2 節試作機を組み立てた．この時，手先側の PID ゲインは特に変更しなかった．2 節試作機は，自重補償のために 900 W 消費することを確認した．3 節試作機の組み立てにおいても，既存の節の PID ゲインを保ちつつ，根元側に節を追加した．3 節試作機の全長は 6.6 m であり，既存のスラスタ自重補償型アームの中では我々の知る限り最長である．静解析に基づく試作機の改良により，3 節試作機の運動制御に成功した．自重補償に必要な電力は合計で 2000 W だった．以上の結果は，提案するアームのモジュラーな性質を示している．

5　結言

本稿では，長尺多関節アーム"飛龍-Ⅱ"試作機のスラスタ配置を改良した．スラスタ推力を操作することで，6.6 m，6 自由度試作機の関節角の位置制御に成功した．

今後は，更なる長尺化に取り組み，全長 20 m，8 自由度，可搬重量 5 kg の試作機の実現を目指す．

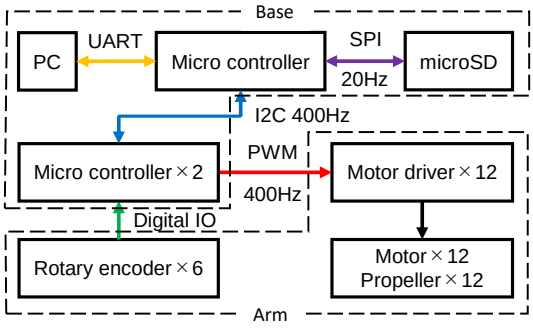

Fig.3 System configuration of Hiryu-Ⅱ

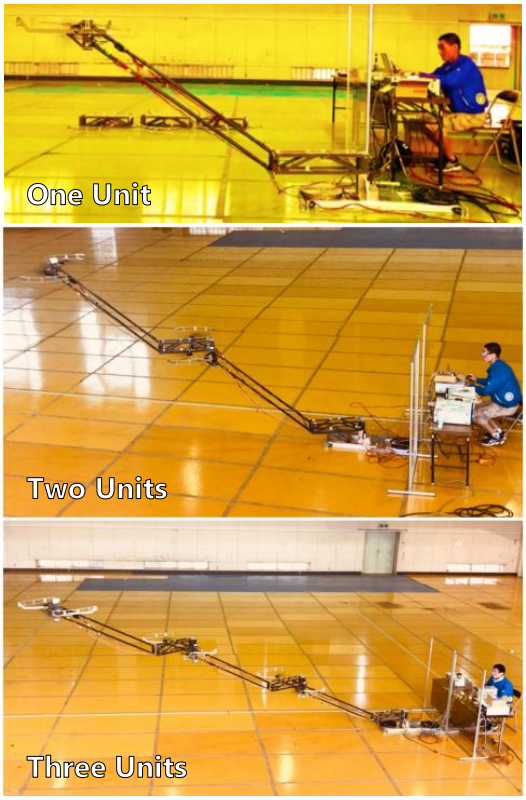

Fig.4 Joint control experiment

謝辞

この成果は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものです．

参考文献

[1] Endo, G., Hagiwara, T., Nakamura, Y., Nabae, H. and Suzumori, K., "A Proposal of Super Long Reach Articulated Manipulator with Gravity Compensation using Thrusters", 2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), pp.1414–1419, 2018.

[2] Ando, H., Ambe, Y., Ishii, A., Konyo, M., Tadakuma, K., Maruyama, S. and Tadokoro, S., "Aerial Hose Type Robot by Water Jet for Fire Fighting", IEEE Robotics and Automation Letters, vol.3, pp.1128–1135, 2018.

[3] Yang, H., Park, S., Lee, J., Ahn, J., Son, D. and Lee, D., "LASDRA: Large-Size Aerial Skeleton System with Distributed Rotor Actuation," 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp.7017–7023, 2018.

[4] 上野 雄祐, 遠藤 玄, 鈴森 康一, 難波江 裕之, 萩原 哲夫, "スラスタ駆動型軽量長尺多関節アーム"飛龍-II"の開発," ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, vol.2019, p.1P2-D05, 2019.