K6-76

レスキューロボットによるドア開閉のためのロボットアームの強度計算に関する研究

Research on Strength Calculations of Robot Arms for Opening and Closing Doors for Rescue Robots

○市川誠朗[1]，宮東将史[2]，草間斐那[2]，羽多野正俊[3]
Noriaki Ichikawa[1], Masashi Miyahigashi[2], Ayana Kusama[2], Masatoshi Hatano[3]

Abstract: This paper is concerned with a development of a robot arm. Rescue robots require a robot arm in order to open and close doors to go into next rooms for improving their performances of finding victims. In this paper, we show the results of strength calculations of the new robot arm.

１．緒言

本研究の目的は, 災害現場において要救助者をレスキュー隊員の代わりとなってドアの開閉を行うロボットアームの開発研究である.

地震などの災害現場で求められるのは要救助者の捜索を迅速に行う事である. 要救助者の捜索又は救助において, 火災などの二次災害が起きる現場において人での捜索は危険である. そこで, レスキューロボットを使う事で二次災害による被害を防げるだけではなく要救助者の捜索を迅速に行う事ができると考えられる. レスキューロボットが要救助者を捜索するとき, 瓦礫や建物内にある階段だけではなく, 各部屋に入るためにはドアを開ける動作を行う必要がある. そのためにはレスキューロボットにはアームを取り付ける必要があると考える. アームを取り付けるには、適切なトルクや強度計算, そしてそれによる適切な設計や制御が必要になる.

本報告では，当研究室で製作したクローラ式のレスキューロボットをベースにしてアームの設計開発を行った結果について示す.

２．探索型レスキューロボットの概要及び構造

本研究で製作するロボットアームのベースとなる探索型レスキューロボット[1]の全体像および諸元表をFigure 1とTable 1に示す.

走行機構にはクローラを用いた. 走行を主とするメインクローラは左右独立で駆動し，前進・後進ならびに旋回が可能である．また前後左右に計4つのサブクローラが取り付けられている．これは，メインクローラだけでは走破できないような瓦礫を乗り越えるためのものである．サブクローラはそれぞれクローラの部分が回転する構造と，メインクローラと連結している部分が回転する構造となっている．レスキューロボット上面には，走行環境や障害物までの距離を計測するためのLRF(Laser Range Finder)が取り付けられている．Figure 1では, 探索を目的とした探索用カメラや各種センサを取り付けた既存のロボットアームである.

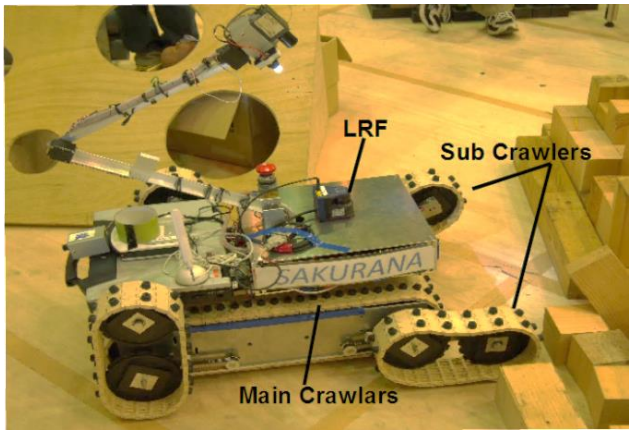

Figure 1. Overview of searching rescue robot

Table 1. Specificatio of the constructed rescue robot

機体長さ （サブクローラ収納時）	660[mm]
機体長さ （サブクローラ展開時）	980[mm]
機体幅	580[mm]
機体高さ	290[mm]
機体重量	34.4[kg]
ゴム足高さ	10[mm]
クローラ直径	150[mm]
トレッド	150[mm]
DC モータ	電源：DC24[V] 定格出力：90[W]×2

３．ロボットアームの概要及び構造

設計したロボットアームの 3D-CAD 図面と諸元表を，Figure 2 と Table 2 に示す.

１：日大理工・学部・精機、２：日大理工・院(前)・精機、３：日大理工・教員・精機

開発するロボットアームには，カメラや各種センサを取り付けるだけではなく，ドアの開閉を行うためのハンドとドアの開閉をするための力が必要である．そのため，従来通り 2 リンク機構にし，関節部分には新たにウォームギアを使用する．ウォームギアは一般的にウォームホイールからウォームに力を伝達する事が出来ない機械部品である．そのため，ロボットアームの姿勢を保つときに，セルフロック効果によりロボットアームが重力や外力によって動き出さない．さらに，ウォームギアは 1 組で高減速比を得ることができるため小型や低重量にすることができる．

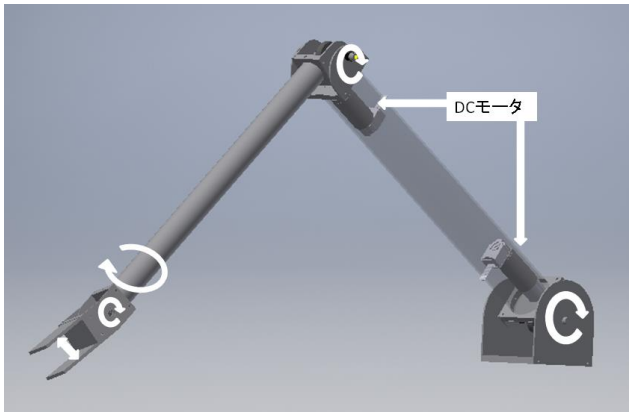

Figure 2. 3D-CAD of the designed robot arm

Table 2. Specificatio of the robot arm

リンク構成	550[mm]×2 リンク 3 関節
リンク重量	0.787[kg]
トルク	83.99[Nm]
アームの回転数	2.65[rpm]
DC モータ	電源：DC24[V] 定格出力：90[W]×2
ウォーム	SW1-R1
ウォームホイール	BG1-40R1J12

４．強度計算

ウォームホイールの軸の強度計算とリンクのたわみ計算とキーの強度計算[2],[3]の検討を行った．検討結果について以下に示す．ウォームホイールの軸の強度計算はトルクをT[Nm], 軸径をD[mm], 許容せん断応力をτ[N/mm^2]とすると

$$\text{ウォームホイールの軸径：}\quad D = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau}}\ [\mathrm{mm}] \qquad (4.1)$$

と求められ, 軸径をD[mm]以上にする必要がある．リンクのたわみ計算はたわみをδ[mm], 長さをl[mm], ヤング率をE[GPa], 断面二次モーメントをI[m^4], 集中荷重をP[N], 分布荷重をw[N/mm]とし, リンクの先端に集中荷重が加わった事を想定すると

$$\text{リンクのたわみ：}\quad \delta = \frac{Pl^3}{3EI} + \frac{wl^4}{8EI}\ [\mathrm{mm}] \qquad (4.2)$$

と求められ, 結果が1[mm]以下になるようにする．キーの強度計算は, トルクをT[Nm], 軸径をD[mm], キーの幅をb[mm], キーの高さをh[mm], キーの有効長さをL[mm], キー材料の許容せん断応力をτ[N/mm^2], キー材料の許容圧縮応力をσ[N/mm^2]とすると

$$\text{せん断応力によるトルク：}\quad \mathrm{T} = \frac{1}{2}Dbl\tau\ [\mathrm{Nm}] \qquad (4.3)$$

$$\text{圧縮応力によるトルク：}\quad \mathrm{T} = \frac{1}{4}Dhl\sigma\ [\mathrm{Nm}] \qquad (4.4)$$

と求められ, 式(4.3), 式(4.4)によって求められたトルクが83.99[Nm]以上になるようにする．

５．結言

本稿では，災害現場において要救助者をレスキュー隊員の代わりとなってドアの開閉を行うロボットアームの開発研究について述べた．

今後は実際にロボットアームを製作し, 実験により適正な性能を得られるかを確かめる．

参考文献

[1]北原裕樹, 羽多野正俊 LRF を用いた階段形状同定に基づくレスキューロボットの姿勢制御の研究, 日本大学理工学部修士論文(2016)

[2]邊吾一, 藤井透, 川田宏之:[最新材料の力学 補訂版] pp.50-52, pp.108-112, (2010)

[3]景山克三, 菅野宗和, 黒瀬元雄, 勝田基嗣:［大学課程 機械要素設計 第二版］pp.36-37, (1984)