

自動フッククレーン

金沢大学 ○泉 雅容, 関 啓明, 神谷 好承, 疋津 正利

Automatic hook crane with robotic arm

Kanazawa University Masahiro IZUMI, Hiroaki SEKI, Yoshitsugu KAMIYA, Masatoshi HIKIZU

In sling work using a crane, workers near the hook sometimes have an accident. In this study, we propose a new crane system with the hook moved by a robotic arm. When an operator brings the hook around a target object, the robotic arm hung from the end of the crane rope moves the hook to catch the object automatically. We should pay attention that it is hard for a normal serial arm to reach off the place just below the rope because of its gravity center. In this report, the robotic arm with one driving joint and one passive joint is proposed for moving hook horizontally.

1.緒言

クレーンの玉掛け作業中に、荷崩れやフックとの衝突による人身事故が多く発生している。玉掛け作業とはフックなどに荷物を掛けたりする作業で、資格も必要である。また、従来の自動吊具は、特定の荷物にしか対応していない。

よって本研究では、フックにアームを付け、不特定な荷物に自動でフックを掛けることができるクレーン車用のクレーンの開発を目的とする。操縦者が荷物にフックを近づけ、操縦席からモニタをみて、大まかにフックを掛ける所の指示をするだけで、荷物がフックから少し離れていても、アームによって自動でフックを掛けることが出来るようにする。ただし、吊り下げた状態のシリアルアームでは、アームを動かしてもアーム先端のフックは、離れた所には届かない。そこで、フックが水平方向に移動できる1駆動関節1受動関節のアームを提案する。

2.自動フッククレーンの提案

自動フッククレーンのコンセプトを Fig.1 に示す。フックを動かすためのアームをフックアームと呼ぶことにする。クレーンは、フックの上下方向は操作しやすいが前後左右方向は動かしにくい。そこで、上下方向はクレーン、前後左右方向はフックアームでフックを自動で移動する。その時のフックアームの動きを Fig.2 に示す。フックに荷物が掛かっていないときは、ワイヤは弛んでいる状態である。フックに荷物を掛けて持ち上げるときは、アームをフリーにすればワイヤが張り、ワイヤに荷物のほぼ全荷重がかかるようになる。フックアームには、自重以外の荷重はかからないのであまり強度は必要なくなり、軽量化を図ることができる。フックアームの動きは、台に固定されているアームと異なる。Fig.3 に示すように、フックアームはワイヤで吊り下げられ固定されていないので、ワイヤの真下に重心がくる姿勢で釣り合い、関節を動かしてもその量だけ手先が動くわけではない。

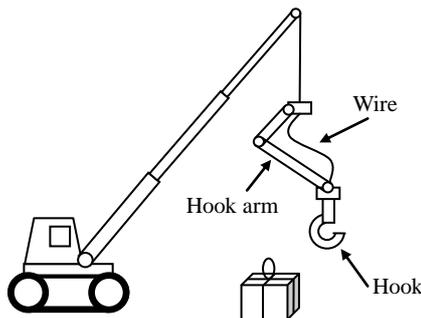


Fig.1 Concept of automatic hook crane

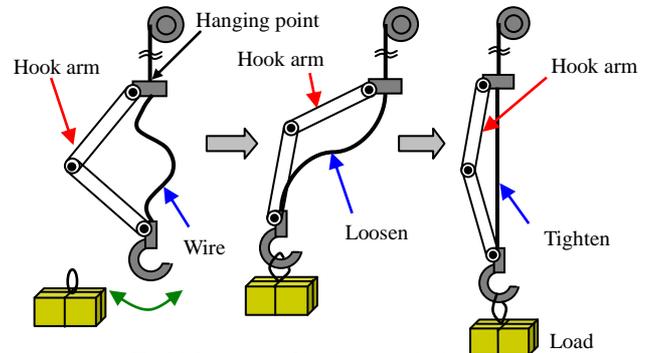


Fig.2 Movement of hook arm and wire

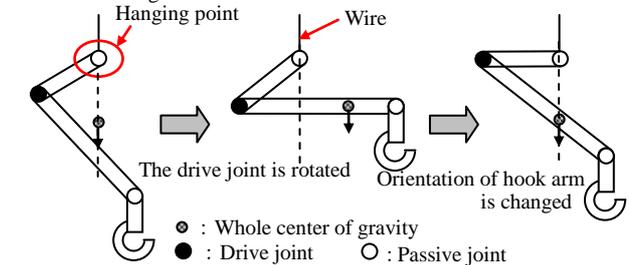


Fig.3 Feature of movement of hook arm

3.フックアームの運動学

フックの先端をより遠くへ届かすには、どのようなフックアームの機構が良いか検討する。まず、3本のリンクを用いたシリアルリンクについて考えた。Fig.4のように原点をワイヤで吊り下げている所にとり、フックの先端位置を (x,z) 、フックアームの重心位置 (x_g, z_g) として、重心がワイヤの真下にくる事から x_g が0のときのリンク1の姿勢角 θ_1 を求める。なおフックは受動関節により常に真下を向く。この場合の関係式を以下に示す。

$$x = (L_1 - b_1) \sin \theta_1 + (L_2 - b_2) \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$z = -(L_1 - b_1) \cos \theta_1 - (L_2 - b_2) \cos(\theta_1 + \theta_2) - L_3 \quad (2)$$

$$M_1 x_g = A \sin \theta_1 + B \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (3)$$

$$M_1 z_g = A \cos \theta_1 + B \cos(\theta_1 + \theta_2) + C \quad (4)$$

$$\begin{cases} M_1 = m_1 + m_2 + m_3 \\ A = -m_1(L_1 - a_1) + m_2(L_1 - b_1) + m_3(L_1 - b_1) \\ B = -m_2(b_2 - a_2) + m_3(L_2 - b_2) \\ C = m_3 a_3 \end{cases} \quad (5)$$

この関係式を θ_1 について解くと

$$\theta_1 = \tan^{-1}(D/E) \quad (6)$$

$$\begin{cases} D = -m_2(a_2 - b_2) \sin \theta_2 - m_2(L_2 - b_2) \sin \theta_2 \\ E = m_1(a_1 - b_1) + m_2\{(L_1 - b_1) + (a_2 - b_2) \cos \theta_2\} \\ \quad + m_3\{(L_1 - b_1) + (L_2 - b_2) \cos \theta_2\} \end{cases} \quad (7)$$

θ_1 の値は重心が吊り下がっている状態と倒立している状態の2種類存在するが、 $dx_z/d\theta_1 > 0$ を満たすときが前者であり、この時、フックアームは安定している。操作性は、駆動関節角 θ_2 を変化させたときのフックの水平位置変化の割合を示す $w = |dx/d\theta_2|$ の値で評価する。この値が大きいと位置決めしにくく、0 に近づくほどフック位置を細かく動かすことができる。

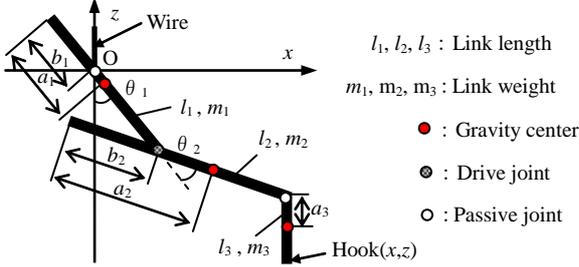


Fig.4 Parameters of 3serial link arm

4. リンクパラメータとフックの到達範囲シミュレーション

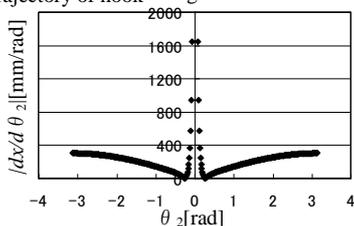
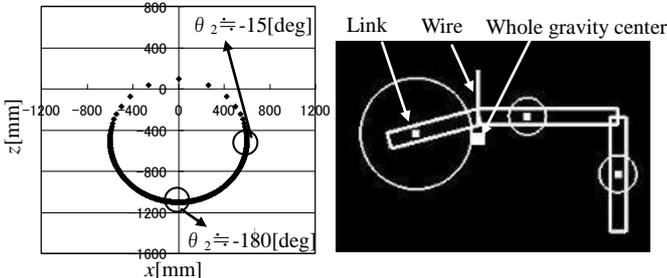
フックの到達範囲が出来るだけ広がるリンクパラメータを求める。Table.1 に示すようなパラメータを、製作可能な条件下で、変化させて、フックの到達範囲を求めた。この条件下で求められた最適なリンクパラメータを Table.2 に示す。また、このときのフックの軌跡を Fig.5 に示す。そして、フックが最も遠くに位置しているときのフックアームの状態を Fig.6 に示す。各リンクの小さい点と周りの円は各リンクの重心位置と質量の大きさを示している。これらを見ると、まず、駆動関節の真上をワイヤで吊る時が最適となっている。 θ_2 が -180° の時、フックはワイヤの真上付近にあり、 -15° の時、最も離れる。 Fig.7 に示すように駆動関節 θ_2 の値が $0[\text{rad}]$ の付近は姿勢が変わりやすく、手先位置を細かく位置決めできないことが分かった。

Table.1 Condition of parameter of hook arm

Parameter	Range	Step	Other conditions
l_1	300~1000[mm]	50[mm]	$l_1+l_2=1000[\text{mm}]$
l_2			
l_3	500[mm](Fixed)		
m_1	6000~18000[g]	0.5[kg]	$m_1+m_2+m_3=30[\text{kg}]$
m_2			
m_3			
a_1	l_1 の 30~70[%]	5[%]	
a_2	l_2 の 30~70[%]		
a_3	250[mm](Fixed)		
b_1	l_1 の 0~100[%]	5[%]	
b_2	l_2 の 0~100[%]		

Table.2 Link parameters of hook arm

l_1	l_2	l_3	m_1	m_2	m_3
400[mm]	600[mm]	500[mm]	18[kg]	6[kg]	6[kg]
a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	
120[mm]	210[mm]	250[mm]	400[mm]	0[mm]	



5. フックアームのミニチュアモデルの設計と試作

シミュレーション結果をもとに、重量 $1[\text{kg}]$ 以下を目標にフックアームのミニチュアモデルを設計した。Solidworks で描いた 3 次元モデルを Fig.8 に示す。駆動関節やフックの開閉のアクチュエータとしてはエアシリンダを用いた。駆動関節の角度センサにはポテンショメータを取付けた。

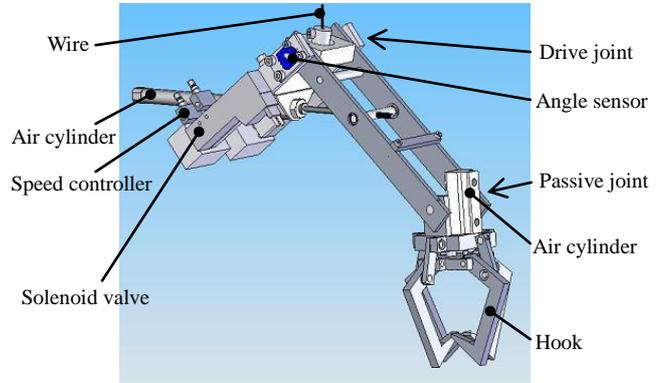


Fig.8 Design of miniature of hook arm

ミニチュアモデルを試作しシミュレーション結果との、フックの最大到達位置を比較した。ミニチュアモデルのパラメータを Table.3 に示す。シミュレーション結果では、ミニチュアモデルのフックの最大到達位置は、ワイヤから水平方向に約 $120[\text{mm}]$ となった。フックアームのリンクが閉じている状態と、リンクが開きフック最大到達位置に達しているときのミニチュアモデルの状態を Fig.9 に示す。また、シミュレーションで得られたフックアームの状態を Fig.10 に示す。ほぼ一致していることが分かる。

Table.3 Parameters of a miniature model of hook arm

l_1	l_2	l_3	m_1	m_2	m_3
89[mm]	120[mm]	50[mm]	321[g]	43[g]	108[g]
a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	
30[mm]	57[mm]	25[mm]	89[mm]	0[mm]	

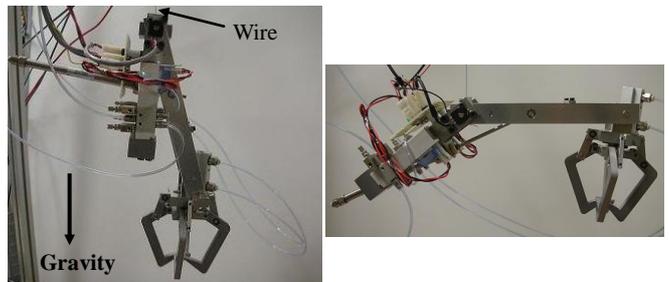


Fig.9 Pose of miniature model with $\theta_2 = -160^\circ$ and -35°

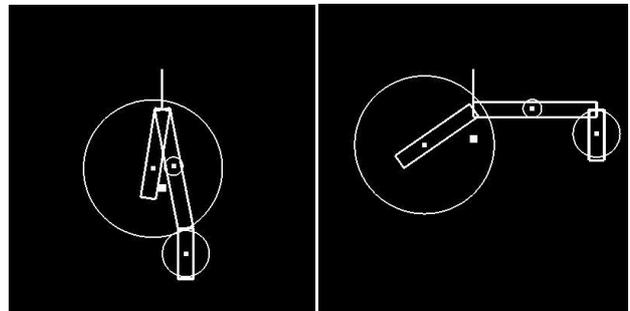


Fig.10 Simulation result of miniature model

6. 結言

フックが水平方向に移動できる、ワイヤで吊り下げられた 1 駆動関節 1 受動関節のフックアームを提案した。今後は、フックアームの旋回機構の検討、試作を行う。