

ケーブルスタッカークレーンの開発

Development of Cable Stucker Crane

樋 口 俊 郎*・岡 宏 一*

Toshiro HIGUCHI and Koichi OKA

1. はじめに

近年、工場内での多品種少量生産ともなっており、倉庫で一時的にストックされる部品や半製品の種類は、非常に多くなってきている。これらの部品を管理するため、現在用いられている設備の一例として図1に示すような自動倉庫があげられる¹⁾。自動倉庫内では、通常図2に示すスタッカークレーンによって物品の搬入、搬出を行っている。図2に示すように、スタッカークレーンは、キャレージ、フレーム、レール、および駆動装置からなっている。キャレージは、クレーンの両側の棚から物品を出し入れし、フレーム伝いの昇降と、フレームのレール上の走行とによって、運搬する装置である。このようなスタッカークレーンは、レール設備を必要とするため規模の大きい倉庫などにおいて主に用いられる。また構造上摺動面を持つため、油飛沫や粉塵の影響が無視できない。このため小型軽量物の運搬やクリーンな環境を必要とする作業場に用いることには必ずしも適していない。

著者らは、天井の四隅にワイヤ巻取装置を取り付け、それぞれの巻取機からの四本のワイヤによって荷物の運

搬を行う三次元ワイヤクレーンを提案している²⁾。本研究では、三次元ワイヤクレーンの原理をスタッカークレーンに応用することによって、簡単な設備で、かつ環境をクリーンに保ちながら物品の運搬ができるワイヤ駆動の二次元クレーンを開発したのでこれを報告する。

2. ケーブルスタッカークレーン

図3に本報で提案するクレーンの構想図を示す。このように棚の四隅にワイヤ巻取装置を取り付け、そこからのワイヤによってキャレージを移動させる装置である。キャレージの動きは二次元であるので、キャレージの位置決めを実現するだけであれば、ワイヤ巻取機を上部2か所だけに置いて駆動することも可能であるが、運搬の高速化、およびキャレージのふれを積極的に防止するため、下部のワイヤ巻取機を図のように取り付ける。このクレーンの特徴は、レール等の設備の必要性がないことや、作業空間に摺動面がないことである。以下ではこのワイヤ駆動方式スタッカークレーンをケーブルスタッカークレーンと呼ぶことにする。

3. 実験装置

ケーブルスタッカークレーンを実現するためには、ワイヤの取り付け方、ワイヤ駆動制御方式、作業平面に垂

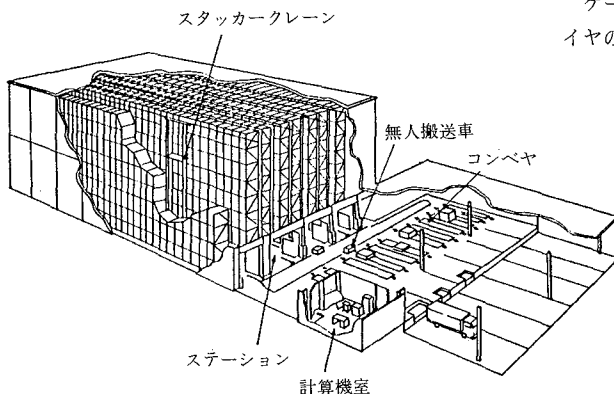


図1 自動倉庫の例¹⁾

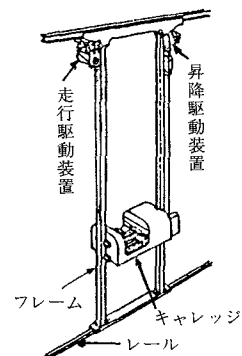


図2 スタッカークレーン

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

直な方向のキャレージの振れ、および安全性などが問題となるが、これらの点を検討するため図4に示す実験装置を試作した。図に示すように、全体は、フレーム、ラック(棚)、ワイヤ駆動部、およびキャレージからなっている。キャレージは、図5に示すような位置にワイヤを取り付けられるようになっている。今回の実験では上部のワイヤはA点、下部ワイヤはB点の位置に取り付けられるものとする。また、それぞれの駆動部から各2本、計8本のワイヤでキャレージを引張ることにより、移動と位置決めを行う。これは、キャレージの鉛直方向の軸回りの回転防止と、棚に垂直な方向の振れの防止のためである。図6は、ワイヤ駆動部を拡大したものである。駆動部は、DCサーボモータ、平歯車、ドラム、滑車よりなっている。モータは、定電流アンプによって駆動される。キャレージを引張っているワイヤは、滑車を介してドラムに巻き取られるようになっており、ドラムとモータは減速比4:1の平歯車で連結されている。ワイヤの長さはモータに取り付けたエンコーダの出力をインクリメンタルにカウントすることによってモータの回転角から求める。このワイヤの長さの求め方では、初期設定誤差やノイズなどのために、エンコーダの出力から求めたワイ

ヤの長さとして現在のキャレージの位置に誤差が出ることが予想される。この対策として、キャレージに光電センサを取り付けて棚のエッジを検出し、その情報をもとにキャレージの最終的な位置決めや、ワイヤの長さを計測するためのカウンタ値の修正を行う。このケーブルスタックークレーンでは、キャレージの位置とワイヤの長さの関係を単純な線形関係で表すことができないため、デジタル計算機を援用したシステムであることが必要で、各モータに出力される指令値は、フィードバックされた諸量をもとに数値演算された値である。図7にシステムの構成を示す。

4. 記号および基礎式

図8にケーブルスタックークレーンの作業空間を示す。

4.1 記号の説明

- O : 原点 (左上のワイヤ駆動部の滑車の位置)
- X, Y : 座標軸の方向
- $L_1 \sim L_4$: 各ワイヤの長さ
- $P(x, y, \theta)$: キャレージ上部のワイヤでつらわれている点の座標、およびキャレージの傾き
- $P(x', y')$: キャレージが下部のワイヤに引張られている点
- $P_g(x_g, y_g)$: キャレージの重心位置の座標
- L_x, L_y : 作業空間のX軸方向Y軸方向の長さ
- $\theta_1 \sim \theta_4$: X軸と各ワイヤのなす角度
- $T_1 \sim T_4$: 各ワイヤの張力
- F_x, F_y, T_r : キャレージに加わるx方向y方向の力、およびトルク
- m : キャレージの質量
- Im : キャレージの重心回りの慣性モーメント
- g : 重力加速度
- $2 \cdot B$: キャレージの縦の長さ

4.2 基礎式

今 P_g は P と P' の間にあるものとする。
ワイヤの長さとして現在のキャレージの位置の間には

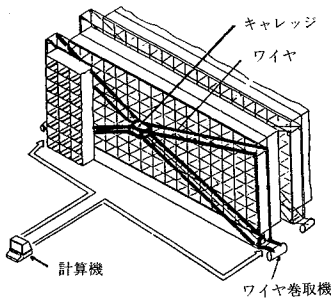


図3 ケーブルスタックークレーン構想図

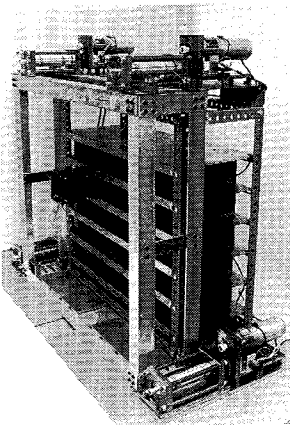


図4 実験装置

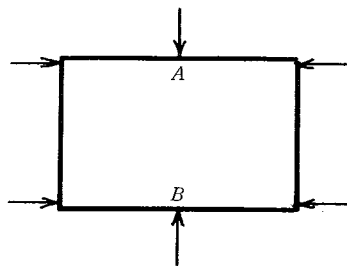


図5 キャレージのワイヤ取り付け位置

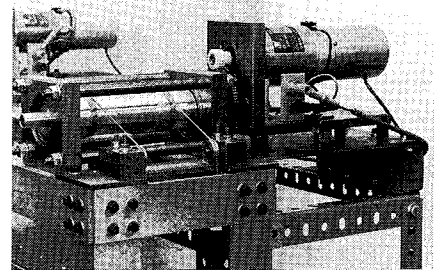


図6 ワイヤ駆動機

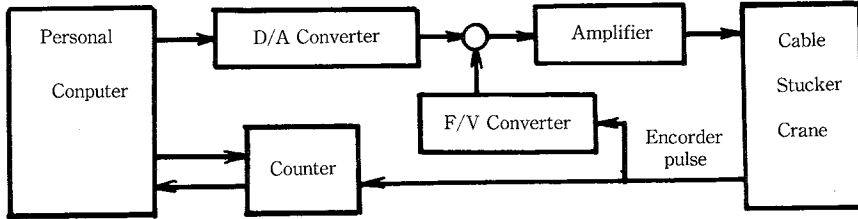


図7 システムの構成

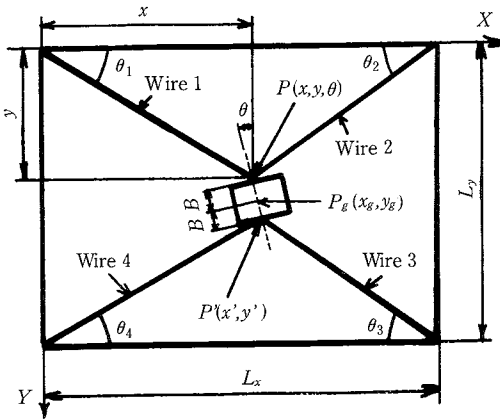


図8 作業空間と記号

$$\left. \begin{aligned} L_1^2 &= x^2 + y^2 \\ L_2^2 &= (L_x - x)^2 + y^2 \\ L_3^2 &= (L_x - x')^2 + (L_y - y')^2 \\ L_4^2 &= x'^2 + (L_y - y')^2 \end{aligned} \right\} (1)$$

P と P' の間には

$$\left. \begin{aligned} x' &= x + 2 \cdot B \sin \theta \\ y' &= y + 2 \cdot B \cos \theta \end{aligned} \right\} (2)$$

ワイヤの張力と力およびトルクの間には

$$\left. \begin{aligned} F_x &= -\frac{x}{L_1} T_1 + \frac{L_x - x}{L_2} T_2 + \frac{L_x - x'}{L_3} T_3 - \frac{x'}{L_4} T_4 \\ F_y &= -\frac{y}{L_1} T_1 - \frac{y}{L_2} T_2 + \frac{L_y - y'}{L_3} T_3 + \frac{L_y - y'}{L_4} T_4 + m \cdot g \\ Tr &= B(T_1 \cos(\theta_1 + \theta) - T_2 \cos(\theta_2 - \theta) \\ &\quad + T_3 \cos(\theta_3 + \theta) - T_4 \cos(\theta_4 - \theta)) \end{aligned} \right\} (3)$$

力と加速度の間には

$$m \cdot \ddot{x} F_x, \quad m \cdot \ddot{y} = F_y, \quad Im \ddot{\theta} = Tr \quad (4)$$

の関係がある。

5. 制御方式とシミュレーション結果

説明してきたケーブルスタックークレーンは、図8に示す作業平面だけの運動を行うと仮定すると、キャレージに対して位置 x, y , 振れ θ の3自由度の制御が必要である。また、計算機からの指令値は、定電流アンプ、DC

モータを介し、ワイヤの張力を与えるものとする。

システムに対する入力(目標値)は、上から i 番目、左から j 番目の棚の XY 座標 (x, y) で与えられる。基本的制御方式は、上部の2組のワイヤ1, 2を、キャレージの位置決めのために用い、下部の2組のワイヤ3, 4をキャレージの振れを0にするために用いることである。図9に制御系のブロック線図を示す。図に示すように目標値 (x_r, y_r) よりワイヤ1, 2の目標値 L_{1r}, L_{2r} を計算し、 L_{1r}, L_{2r} を実現するようにワイヤ1, 2は制御される。ワイヤ3, 4は図10に示すように x 方向の力 f_{xu} と y 方向の力 f_{yu} の合力方向の力を発生するように制御される。 f_{xu} は P 点と P' 点の x 座標の差をなくするための力であり、 f_{yu} はそのときの各ワイヤの張力が負とならないようにするバイアスの力である。

このような制御方式の有効性を確認するために、実験装置に対するシミュレーションを行った。実験装置の大きさは、 $L_x = 860\text{mm}$, $L_y = 740\text{mm}$, $2 \cdot B = 104\text{mm}$, $m = 1\text{kg}$, $Im = 1000\text{kg} \cdot \text{mm}^2$ である。シミュレーションは図11に示すように、まず初期値 $P = (200, 500)$ から $P = (200, 200)$ を目標値とし、2.5秒後に目標値を $P = (700, 200)$ に変更した場合について行った。結果を図12に示す。図からわかるように、どちらの場合でも約2秒で位置決めが達成されており、その間のキャレージの振れは 5° 以内であり、各ワイヤの張力も振動はあるがなめらかな変化である。各ワイヤの長さの制御のための x 方向 y 方向の干渉は問題になるほど大きいものではなく、各位置におけるパラメータの違いによらず安定性を保っているといえる。これらのことから、この制御方式をもってケーブルスタックークレーンを駆動することは有効であると考えられる。

6. おわりに

簡便に利用でき、小型軽量物の運搬に適し、かつクリーンな環境を保持できるワイヤ駆動のスタックークレーンを提案し、その機構について説明した。また、このケーブルスタックークレーンについて制御方式を示し、その有効性をシミュレーションによって確かめた。今後実

研究速報

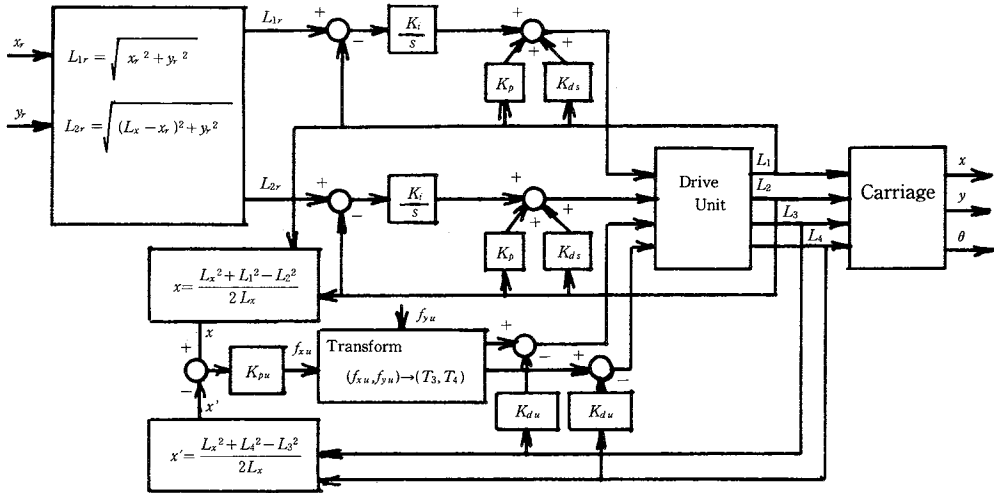


図9 制御系のブロック線図

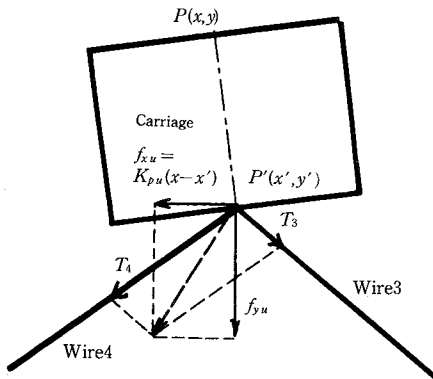


図10 下部ワイヤーの制御方法

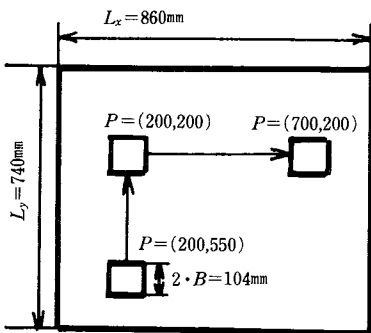


図11 シミュレーションの経路

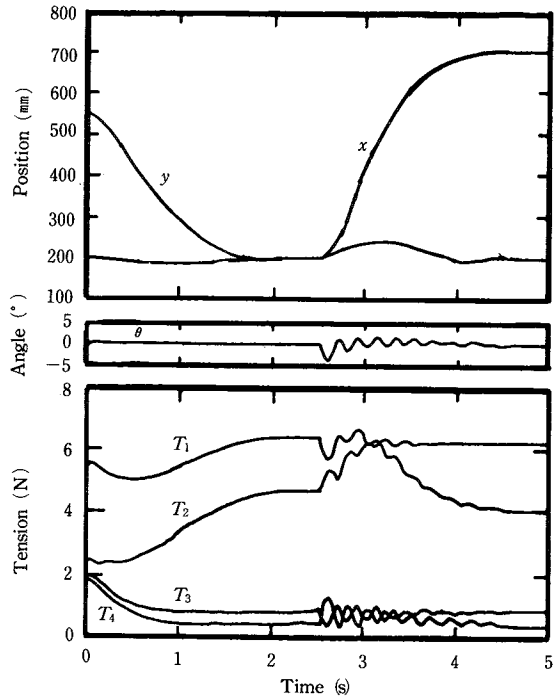


図12 シミュレーション結果

参考文献

- 1) 藪, 吉田, 柿沼: クレーンのメカトロニクス, 機械設計, 29-3, 41/51 (1985)
- 2) 樋口, 岡, 江: 三次元ワイヤークレーンの開発, 昭和61年度精密工学会春季大会学術講演会論文集, 711/712 (1986)

験を行う際の課題として摩擦やサンプリング周期の影響が表れることが予想される。これに対しては、フィードフォワードやより簡単な制御方式を見いだすことによって対処することを考えている。(1987年3月11日受理)