自動クレーン用鉄鋼コイル位置認識装置の開発* (第2報, コイル向きがトレーラに対して直角の場合)

西部邦彦^{*1}, 山田裕善^{*2}, 古賀久之^{*2}
松元孝之^{*2}, 藤原直史^{*3}

Development of Automatic Coil Recognition System for Automated Crane (2nd Report, in Case Coil Direction is Perpendicular to Trailer)

Kunihiko NISHIBE^{*4}, Hiroyoshi YAMADA, Hisayuki KOGA,
Takayuki MATSUMOTO and Naofumi FUJIWARA

^{*4} Hitachi Kiden Kogyo Ltd. Engineering Research Laboratory,
3-11-1 Shimosakabe, Amagasaki-shi, Hyogo-ken, 661-8501 Japan

A New Automatic Coil Recognition System has been developed for the purpose of full automated crane operation in the steel coil transportation fields where great demand for automation can be expected. The sensed information including the coil position and the dimensions from the Automatic Coil Recognition System are sent to the crane operating controller and these information will enable the crane to operate with full automatic mode from the transportation work of the coils on the trailer truck which has been forced to work manually. This report describes the summary of the Automatic Coil Recognition System, its algorithm and the result of performance test.

Key Words: Recognition, Shape Measurement, Laser, Measurement and Control, Automated Crane, Steel Coil Transportation, Automation, Crane Operating Controller, Trailer Truck

1. 緒 言

産業界のあらゆる分野で活用されている天井走行クレーンは、運転手不足の解消、3K 職場からの作業者の解放を目指すと同時に搬送能力の向上を目的に、全自動化の方向に向かっている。すでに鉄鋼業界用、セメント原料用、ごみ処理用などの分野で全自動クレーンが開発され、稼働している。

特に大きな需要がある鉄鋼コイル(以下コイルと略記)搬送用クレーンの完全自動化を達成するには、コイル搬送時の振れ止め技術⁽¹⁾に加えて、トレーラにより搬入されてきたコイル位置を非接触で自動認識する装置が必要となる。このコイル位置認識装置として、吉田ら⁽²⁾はナトリウムランプと画像処理技術を応用した装置を実用化、星名ら⁽³⁾はレーザを縦、横にスキャンし、画像処理する方式の装置を実用化、また軸丸ら⁽⁴⁾はハロゲンランプと画像処理技術を応用した装置を実用化している。

著者らはクレーンに取付けたレーザ距離計を走査する方式のコイル位置認識装置を開発してきた⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾。本装置は小形で、梱包材で包んだコイルなどにも適用できるが、トレーラにより搬入される縦向きコイル(その中心軸方向とトレーラの長手方向が一致する場合)にしか適用できない欠点があった。

そこで、今回、コイルの向きが横向き(その中心軸方向とトレーラの長手方向が略直角)の場合に適用する方式のコイル位置認識装置を開発した⁽⁸⁾⁽⁹⁾。その結果、トレーラにより運び込まれた複数の横向きコイルの中心位置、大きさ、幅などを非接触で自動認識し、結果をクレーンコントローラに伝えることにより、従来は人手に頼っていたトレーラからのコイル搬入作業の自動化が可能となった。

本論文では、開発した認識装置の概要と、認識アルゴリズム、認識誤差、および認識精度試験の結果に関して報告する。なお、実用化に当たってはクレーンの位置誤差が存在することを考慮し、認識装置単体における位置認識誤差は±20 mm 以内を目標とした。

2. 自動認識装置の概要

2・1 コイル位置認識方法 図1にコイル認識システムの一例を示す。本図において、コイルヤードに

* 原稿受付 1998年9月11日。

^{*1} 正員、日立機電工業(株)(〒661-8501 尼崎市下坂部3-11-1)。

^{*2} 日立機電工業(株)。

^{*3} 正員、金沢大学工学部(〒920-8667 金沢市小立野2-40-20)。
E-mail: kunihiko_nishibe@hitachi-kiden.co.jp

Fig. 1 Automated crane system

Fig. 2 Procedure of automatic coil recognition

一時保管されたコイルの加工ラインへの搬入作業, 同ラインからの製品コイルの一時保管用コイルヤードへの搬出作業は, それぞれのコイル位置, および保管場所の番地が既知であり, 自動化は可能である。

しかしながら, トレーラにより搬入されたコイルの, 決められたヤードまでの搬入作業は従来人手に頼っていた。自動で搬入できない理由には以下がある。

(1) トレーラは人が運転するため, 区分けされたトレーラヤード内の, 決められた位置に停止する場合, 最大 ± 200 mm 程度の位置誤差が認められている。

(2) トレーラには一度に最大 4 個程度のコイルを積むことができるが, その積み位置は必ずしも定まっていない。

本論文で述べるコイル位置認識装置は, このトレーラ上に搭載された複数のコイル位置, 大きさなどを非接触で, かつ正確に計測することを目的としている。ただし,

- (1) コイル外形は円筒状
- (2) トレーラに対する設置コイルの向きは横向きとする。

図 2 にそのコイル位置認識方法を示す。クレーンの

Fig. 3 Principle of height measurement

Fig. 4 Laser spots on coils and trailer

クラブに取付けたレーザ距離計の走査(すなわちクラブの横行)と, 略直角方向へのレーザビームのスイングとの組合せにより, トレーラにおける複数のコイルまでの距離分布を測定し, マイコンのメモリにストアする。その結果からコイルの中心座標, 外径, 幅などを計算し, クレーンコントローラに伝達する。

2.2 三角測量方式による距離分布の測定 図 3 に距離分布の測定原理を示す。ビーム状のレーザ光をスイング角 $\theta=0$ (鉛直方向) にてコイルに照射しながら走査し, 次にコイル上においてスイング(θ を変化)させると, コイル表面又はトレーラ上面には図 4 に示した位置にレーザスポット列が照射される(走査, およびスイングの詳細は図 6 に示す)。イメージセンサにより, 必要な視野範囲に焦点を合せてこれらのスポット位置を毎秒 1000 個, すなわち 1 ms ごとにサンプリングし, CCD イメージセンサのどの位置に結像するかを検出することにより, 各反射点までの距離を測定することができる。この方式を一般に三角測量方式と呼んでいる。

測定すべき距離, すなわちクラブからコイルまでの距離は 6~15 m 程度の範囲が実用的に必要となるが, 6~11 m 程度のものが多い。

図 5 には今回開発したレーザ距離計において, 測定

Fig. 5 Error distribution of laser-assisted range sensor

Fig. 6 Scanning and swing of laser beam on coils and trailer

距離が6～11 m の場合の、距離測定誤差の実測例を示している。

測定距離により多少のばらつきはあるが、おおむね誤差は±3 mm 以内に入っている。

図6はクレーンクラブの横行による、トレーラ長手方向へのレーザー光の走査、および各コイル(4個の場合を図示)上におけるレーザー光のスイングにより、各コイル又はトレーラ上におけるレーザースポット光の照射位置を模式的に示したものである。

各番号はその順序を示しており、フローチャートで示すと、図7となる。すなわち

- ①：レーザー光をホームポジションに戻し、スイング角 $\theta=0$ とする。
- ②：トレーラ長手方向へのレーザー光の走査を実施し、コイルの数、各コイルごとの中心座標 x_0, z_0 および外径 D を計算する。
- ③：最終(この場合は4番め)のコイルの x_0 までクラブを戻し、停止する。
- ④：レーザー光を横方向にスイングし、このコイルの幅 W および中心座標 y_0 を計算する。
- ⑤：同様に、一つ手前(この場合は3番め)のコイルの

Fig. 7 Flowchart of coil recognition procedure

x_0 までクラブを戻し、停止する。

⑥～⑩：以下同様にして、1番めのコイルの W および y_0 を計算する。

2.3 おもな構成要素 本装置のおもな構成要素には以下がある。

(1) レーザ距離計

投光器と受光器などからなり、それぞれの仕様は以下となっている。

投光器

- ・光源：半導体可視光レーザー(コリメータによりビーム状に照射)
- ・レーザー波長：680 nm, レーザパワー：10 mW (これはクラス3Bに相当し、規則では直視禁止レベル⁽¹⁰⁾となっている)

受光器

- ・受光素子：一次元 CCD イメージセンサ
- ・フィルタ：バンドパス干渉フィルタ
- ・測定距離分解能：2 mm
- ・サンプリング周期：1 ms(1 000 回/秒)したがって、クラブによる走査最大速度を 60 m/分とすると、地上側における距離測定点の移動分解能は 1 mm となる。

レーザー光スイング機構(図8参照)

- ・投光器からのレーザー光角度を変化(スイング)するための反射ミラー
- ・反射ミラー回転用モータ
- ・反射ミラー角度(θ)検出用エンコーダ：角度分解能=0.008 16° 地上側における距離測定点の

Fig. 8 Swing mechanism of laser-assisted range sensor

Fig. 9 Coordinates system

移動分解能が約 2 mm となるように、反射ミラーの回転速度を設定している。

なお、レーザ距離計の取付位置はクレーンのクラブと一体化する方式(図 2)が最も経済的で、メンテナンスも容易である。

(2) レーザ距離計の移動装置

レーザ距離計をクレーンのクラブに取付ける場合は、クラブの横行モータが移動装置となる。

(3) クラブ位置検出用エンコーダ

距離計の位置計測用を使用。

3. コイル位置の認識原理

コイル位置の認識原理を図 9 のコイル座標系を基に説明する。

トレーラの長手方向を x 軸、レーザ光のスイング方向を y 軸、コイル高さ方向を z 軸とする。 x - z 、 y - z 平面において●はコイル上の距離測定点、○はコイル以外の点における距離測定点、×はレーザ光が照射さ

れるが反射光の戻らない、すなわち距離測定不能点である。

(a)の側面図はレーザ光のスイング角 $\theta=0$ として、トレーラの長手方向に走査した場合を示しており、距離 L_m の分布を測定する。

また、(b)の正面図はレーザ光をスイングした場合を示しており、スイング角 θ および距離 L_m の分布を測定する。これらの測定値は、クラブ位置測定用エンコーダのパルス値とともにマイクロコンピュータのメモリに蓄積する。クラブの移動(走査)速度、スイング速度には加減速があるので、これらの測定点は等間隔になるとは限らない。

3.1 認識前処理

マイクロコンピュータのメモリ内に蓄積された距離データにはコイル部分と、トレーラ部分、スキッド上などが混在している。レーザスポットがコイルの影になり、測定できない部分や反射光の戻らない場合はメモリ内に区別してストアされる。コイル位置認識演算時にはこれらのデータすべてについて計算する必要は無いため、以下の認識前処理を実施する。

(1) まず、(a)側面図において、トレーラ上面から距離計までの距離 L が既知であることを利用して、トレーラの上面を $z=0$ に座標変換する。すなわち、

$$z = L - L_m \quad \dots\dots\dots (1)$$

(2) メモリ内の距離データ z がコイル上のデータかどうかを判別するためのしきい値 α を定め、 z が $\alpha \leq z$ $\dots\dots\dots (2)$

となる場合はコイル上のデータであると判断する。最小コイル外径は 700 mm なので、 $\alpha=500$ とした。

(3) メモリ内を走査し、一定区間距離データが存在する区間、すなわちコイルの存在部分を探索する。その後、コイルの存在する番地に対して認識計算を行う。

(4) 次に、(b)正面図において、次式

$$z = L - L_m \cos \theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

により座標変換し、同様に式(2)の計算実施後、認識計算を行う。

3.2 認識アルゴリズム

以下、順に説明する。

(1) コイル外径(D)、中心座標(x_0, z_0)の計算

図 10 すなわち x - z 平面において、円周上の任意の 3 点の座標を $(x_1, z_1), (x_2, z_2), (x_3, z_3)$ とすると、これらは一つの円上に存在する。その中心座標を (x_0, z_0) 、直径を D とすると次式が成立する。

$$x_0 = \frac{A \cdot (z_1 - z_3) - B \cdot (z_1 - z_2)}{2\{(x_1 - x_2)(z_1 - z_3) - (x_1 - x_3)(z_1 - z_2)\}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Fig. 10 Calculation D , x_0 and z_0 Fig. 11 Calculation y_0 and W

$$z_0 = \frac{A \cdot (x_1 - x_3) - B \cdot (x_1 - x_2)}{2\{(x_1 - x_3)(z_1 - z_2) - (x_1 - x_2)(z_1 - z_3)\}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで, $A = x_1^2 - x_2^2 + z_1^2 - z_2^2$, $B = x_1^2 - x_3^2 + z_1^2 - z_3^2$

式(4), (5)を次式に代入すれば D が求まる.

$$D^2 = 4\{(x_0 - x_1)^2 + (z_0 - z_1)^2\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

以上で, コイル外径(D), 中心座標(x_0, z_0)が求められた. 円周上の他の点のデータを用いて, 同様の計算を実施し, 平均化処理を行って計算精度を高める.

(2) 中心座標(y_0), 幅(W)の計算

次に, 図11すなわち y - z 平面において, スイング角 θ , および距離測定値 L_m を求める. L_m が急変する位置から, $y = L_m \sin \theta$ によりコイルの始端 y_s および, 終端 y_e の座標を求め, 次式より y 方向中心座標 y_0 および幅 W を求める.

$$y_0 = (y_s + y_e) / 2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$W = y_e - y_s \quad \dots\dots\dots (8)$$

以上によりコイルの中心座標, および直径, 幅などが認識できた.

3・3 認識の計算誤差と対策 以上のアルゴリズムに沿って認識計算を行う場合に生じる誤差の検討, およびその対策内容に関して述べる.

(1) コイル外径(D)および中心座標(z_0)に与える誤差

Fig. 12 Error factors of coil recognition process

Fig. 13 Observable error Δz_0 when coil is ellipsoid

おもな誤差要因としては, 図12のようにコイルバンドや異物の影響, 真円度の影響などがある.

(a) コイルバンドの影響: 走査時に, たまたまレーザー光がコイルバンド上を通過した場合, コイルバンド部の外径を測定することとなる. しかし, バンド厚みは $1.2t$ 以下(幅は 20 mm)なので, その影響は無視できる.

(b) 異物(例えば鳥, 蛾など)の走査時の飛来: 測定範囲内にこれらが混入した場合, 異物までの距離データがノイズとして混入する. したがって, このノイズを拾って計算した場合の値は正規のものに比して極端に大きく変化するが, 平均化処理する場合に D および z_0 計算結果のヒストグラムを作成し, 頻度の最も高いもののみを平均化処理することとした. その結果, これらの外乱を削除でき, 安定したデータのみの抽出が可能となった.

(c) コイルの真円度の影響: コイルが真円でない場合, すなわちコイルの外周の形状が例えばだ円などの場合は, D および z_0 の値は誤差を含む. 一般にコイルは中心の穴部を吊り上げる構造のため, 上下に長いだ円形状に変形するが多い.

Fig. 14 Error Δz_0 and ΔD derived from ellipsoid Fig. 15 Error ΔD and Δx_0 derived from loosened tail end

例えば図13に示したように、長径 a 、短径 b のだ円の場合で、コイル上面の 50.8° の範囲(反射率の高いコイルの場合で、距離データの採取できる限界角度⁽⁷⁾)のデータの中で、●の3点から D および z_0 を計算したとすると、外径計算値 D_c は小さめとなり、中心計算誤差 Δz_0 は大きめとなる。

この計算結果を図示すると図14となる。ここで、ひずみ率 $k(\%)$ および外径計算誤差 ΔD は次式で定義した。

$$k = \frac{a-b}{(a+b)/2} \times 100 \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta D = D_c - (a+b)/2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

実コイルに対するひずみ率を測定したところ、大きくても 0.5% 程度であり、本図より誤差はほとんど無視できる。

(d) コイル巻き終わりの跳ね上がりの影響：巻き終わりが図15のように上にある場合は、跳ね上がり量 h がほぼそのまま外径誤差 ΔD となる。実測すると h は最大 20 mm 程度であった。実用的には巻き終わりが下面になるようにトレーに積むため、問題ない(なお、 x 方向の誤差に関しては、後述する)。

(e) レーザ距離計の距離測定誤差：この値はそのまま計算誤差につながるが、距離測定誤差は大きくても 3 mm 以内である。これは測定結果におけるばらつきの要因とはなるが、実測結果を見ると(第4章参

Fig. 16 Observable coil width W_c , and Δx when coil set inclined

照)その影響は小さいと考える。

(2) コイル幅 (W)、中心座標 (x_0, y_0) の誤差

おもな誤差要因には、図12に示した(コイル製造時に生じる)巻きずれ (W_t)、図15に示した跳ね上がり、図16に示した中心軸の傾き (ϕ) などの影響がある。

(a) 巻きずれ (W_t) の影響：巻きずれが存在し、検知できる場合は ($W_t + W$) をコイル幅と認識するため、ハンドリングに支障はない。しかし、巻きずれがあっても検知できない場合には、トング(吊り具)を降下する際、そのアームの先端が巻きずれ部に接触する危険性がある。実測によると巻きずれ部は最大でも 50 mm 以下であった。そこで、トングとコイル端面とのすき間が 50 mm 以上となるよう、トングを十分広げて降下することとした。

(b) コイル巻き終わりの跳ね上がりの影響：図15のような跳ね上がりがあった場合、跳ね上がり量を h とすると、 x_0 の誤差 Δx_0 は次式となる。

$$|\Delta x_0| \cong h/2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

実測すると、 h は 20 mm 程度以下であり、式(11)より、影響は 10 mm と小さい。

(c) 中心軸の傾き (ϕ) の影響：図16のようにコイルの中心軸が ϕ 傾いている場合、 W の計算誤差 ΔW は次式となる。ここで W_c は幅認識値を示す。

$$\begin{aligned} \Delta W &= W_c - W \\ &= W(1/\cos \phi - 1) \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

実コイルヤードにおいて、 7 m のトレーラの位置ずれを測定したところ、最大でも $\pm 100\text{ mm}$ 以下であり、したがって最大 $\phi \cong 0.82^\circ$ となる⁽⁷⁾。この場合でも、最大値 $\Delta W \cong 0.22\text{ mm}$ と小さく実用的には影響は少ない。

なお、コイルをトングにて吊り上げるので、コイル端面の Δx (図16参照) が大きいとトングの旋回制御が必要となる。次式

$$\Delta x = (W \sin \phi) / 2 \cdots \cdots (13)$$

より、最大値 $\Delta x \approx 30 \text{ mm}$ であるが、コイルの穴径は十分大きいので、トングの旋回制御は必要ない。

(d) 異物(例えば、鳥、蛾など)の混入の影響: 混入場所がコイル端面でない場合は除去できるが、コイル端面に混入した場合は、除去不可である。ただし、この場合はコイル幅が広めに計算されるが、コイルは両側からはさんでハンドリングするため安全側となる。

(3) その他の誤差要因

(a) 外乱光の影響: 蛍光灯, ナトリウムランプ, 水銀灯下では全く問題なし。ただし、太陽光はレーザと同一波長の成分を有するため、CCD センサにノイズとして侵入する。実験によると、約 4 000 lx 程度までは問題なかった。それ以上の太陽光に対しては、遮光が必要である。

(b) 距離計に対する振動の影響: 走査時(図7②)にはクレーンのクラブを横行させて距離データを採取するので、振動の影響によりコイル上におけるレーザスポットの位置が時間的に振動しながら移動する。

このことは認識結果のばらつきや、認識誤差の要因となり得る。実測によると、クラブの横行速度が 40 m/分のとき、距離計位置での振動加速度の最大値は 0.08 G で、スポットの位置ずれは $\pm 5 \text{ mm}$ 程度であつ

た。しかし、実際には、多数の測定結果を用いて統計的に平均化処理するので、振動の影響は相殺されることとなる。

なお、レーザビームのスイング時(図7④など)はクレーン停止のため、振動の影響はない。

(c) トレーラ、地面の上下の位置誤差(トレーラヤードの水平誤差)、走査用レールの上下の位置誤差、たわみなどに関しては、本認識アルゴリズムが距離計とコイルまでの測定距離を用いて演算する方式なので、影響しない。

なお、式(1)、(3)において、トレーラ上面から距離計までの距離 L を用いて座標変換しているが、この値は単に座標変換の目的にのみ使用しているため、誤差要因とはならない。

以上の理論的的最大誤差(根拠は実験値に基づく)を、要因別に整理すると表1となる。ここで、各誤差要因を合成した総合誤差(各誤差の二乗和の平方根で示す)は表1最下段となる。誤差目標値 $\pm 20 \text{ mm}$ 以内に対し、逸脱するものには以下があり、

(1) ΔD の主要因にはコイル巻き終わりの跳ね上がりがあるが、本文に述べたとおり、実用的には問題なし。

(2) ΔW の主要因には巻きずれがあるが、本文に述べたとおり、実用的には問題なし。

(3) Δy の主要因=上に同じで、問題なし。

Table 1 Error factor and theoretical maximum error

Error factor of recognition	Theoretical maximum error
(1) ΔD and Δz_0	
(a) Coil band	$\Delta D = 3 \text{ mm}$
(b) Foreign obstacle	No influence
(c) Circulation tolerance	$\Delta D = -8 \text{ mm}$, $\Delta z_0 = 4 \text{ mm}$
(d) Loosened tail end	$\Delta D = 20 \text{ mm}$
(e) Measured distance distribution	$\Delta D = \pm 3 \text{ mm}$ $\Delta z_0 = \pm 3 \text{ mm}$
(2) ΔW , Δx_0 , Δy_0	
(a) Bossing of coil end	$\Delta W = 50 \text{ mm}$, $\Delta y_0 = 25 \text{ mm}$
(b) Loosened tail end	$\Delta x_0 = 10 \text{ mm}$
(c) Inclined coil	$\Delta W = 0.22 \text{ mm}$
(d) Foreign obstacle	It depends on the case.
(3) The others	
(a) Sunlight	Less than 4 000 lx : No influence
(b) Vibration	No influence
(c) Inclination of trailer or crane	No influence
Composite maximum error	$\Delta D = 22 \text{ mm}$, $\Delta W = 50 \text{ mm}$ $\Delta x_0 = 10 \text{ mm}$, $\Delta y_0 = 25 \text{ mm}$ $\Delta z_0 = 5 \text{ mm}$

Here ΔD , ΔW , Δx_0 , Δy_0 , Δz_0 are calculated errors of D , W , x_0 , y_0 and z_0 .

Table 2 Summary of accuracy test (mm)

	Δx_0	Δy_0	Δz_0	ΔW	ΔD
Average of error	0.8	0.2	-6.0	2.7	6.3
Standard deviation	4.2	2.3	8.4	4.3	6.1
Max. of error	9	5	12	10	9

Fig. 17 Summary of accuracy test in recognition

4. 認識精度試験の結果

開発した認識装置を用い、複数の模擬コイルに対して認識精度試験を行った。試験対象コイルの外径(D)、および幅(W)は $D=700\sim 2\,800$, $W=500\sim 2\,100$ とし、コイル位置を置き換えて測定した。試験結果を整理したものを表2および図17に示す。

なお、誤差 ΔW と Δy_0 には相互関係がある。なぜならば、これらは y_s または y_e の測定誤差に起因するからである(図11参照)。一方 ΔD と Δz_0 にも相互関係があり、円の計算誤差により D が大きくなると、逆に z_0 が小さくなる傾向にある(図10参照)。この原因としては、円柱の傾斜部におけるレーザスポットがだ円となり、測定距離が近めとなるためと考えられる。

試験結果には多少のばらつきがあるものの、いずれのパラメータに関しても、目標値 ± 20 mmの誤差範囲に入っており、大変良好な結果となっている。

5. 結 論

レーザ距離計の走査と、レーザ光のスイングを組合せた方式のコイル位置自動認識装置を開発した。複数のコイルに対して認識精度試験を行った結果、コイル中心座標、コイル幅、外径ともに認識誤差は ± 20 mm

以下と実的に全く問題ないことを確認した。

文 献

- (1) 珍部弘・山本治正, 自動クレーン用フィードバック式新振れ止め制御の開発, 機講論, No. 948-3(1994), 298-300.
- (2) 吉田豊・赤嶺幸吉, クレーンの制御技術と今後の動向, クレーン, **25**-11(1987), 2-10.
- (3) 星名博光・堀本孝治, 画像処理機能付自動天井クレーン, 産業機械, (1992-6), 41-43.
- (4) 軸丸修一・赤崎宏, 自動倉庫クレーン用熱延製品(コイル)位置検出装置の開発, 日本非破壊検査協会第7回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集, (1992-7), 163-167.
- (5) 西部邦彦・橋本修・山本治正, 自動クレーン用鉄鋼コイル位置認識装置の開発, 機講論, No. 948-3(1994), 295-297.
- (6) 西部邦彦, 円柱状物体の位置測定方法, 特開平06-074711.
- (7) 西部邦彦・橋本修・山本治正・藤原直史, 自動クレーン用鉄鋼コイル位置認識装置の開発, 機論, **64**-627, C(1998), 148-155.
- (8) 西部邦彦・山田裕善・古賀久之・西谷光正, 自動クレーン用鉄鋼コイル位置認識装置の開発, 機講論(IV), No. 98-1(1998), 372-373.
- (9) 西部邦彦, 円柱状物体の位置測定方法及びその装置, 特開平10-77195.
- (10) (財)光産業技術振興協会, レーザ安全ガイドブック(改定版), (1992), 38-44, 新技術コミュニケーションズ.