

三宅 祐史* 小西 敏弘** 土井 克彦*** 佃 一二三**** 上原 義人**** 佐藤 和彦****

Development of Crop Shape Detecting Instrument in Hot Strip Mill

Yushi Miyake, Toshihiro Konishi, Katsuhiko Doi, Hifumi Tsukuda, Yoshito Uehara, Kazuhiko Sato

要旨

熱延鋼帯の圧延先端および尾端部に発生するクロップロスの低減は、歩留り向上の点で重要なテーマである。従来、クロップ切断用センサーには、HMD が用いられていたが、クロップ形状や、近年のシートバー温度の大きな変動には対処できなくなってきた。

今回、当社が開発したクロップ形状認識装置は、センサーに CCD カメラ (2 048bit, 分解能 1. 255mm/bit) を用いて 1 次元走査を行いメジャリングロールからの進行同期信号と併せて 2 次元のクロップ平面形状を得る。これによりクロップの形状判定を行い、上位コンピュータの切断指令情報に基づき切断位置を決定している。

Synopsis:

It is an important theme from the viewpoint of the yield to reduce the loss due to the crop which occurs at the top and tail of hot strip.

An HMD was used as the sensor for crop cutting, but it has become unable to follow the various crop shapes and temperatures of the sheet bar in recent years.

The crop shape detecting and cutting system which has been developed employs a CCD camera (a linear scanning image sensor, 2 048 bits, with a resolving power of 1.255 mm/bit) as the sensor for crop.

This instrument obtains the plane figure of the crop by the linear image sensor and the tracking signal from the pulse generator. Through this two-dimensional information it distinguishes the shapes.

According to this result and the cutting information from the host computer, it determines the cutting position.

1. 緒 言

ホットストリップの製造において、シートバーの先尾端に発生するクロップの低減は、歩留り向上の点で、重要な課題である。

近年、連铸比率の拡大によって、幅圧延量が増大し、クロップの平面形状が変化してクロップロスも増大する傾向にある。

燃料原単位削減やスケールロス減少を狙ったスラブ低温抽出は、シートバー厚のアップを伴うことが不可避であるが、このことも同様にクロップロスの増加を助長している。

従来、クロップ切断制御に用いられるセンサーは、HMD (Hot metal detector) がほとんどであり、クロップの平面形状や温度の大幅な変化に十分な対応ができなかった。

このため、クロップの平面形状を認識し、最適な位置で、これを切断するシステムの開発が必要となってきた。水島製鉄所熱圧工場では、クロップシャーの直前に CCD (Charge coupled device) 型のイメージセンサーを組み込んだ高精度の形状認識・自動切断装置を開発し、1981年5月から実用化したので報告する。

2. 従来の問題点と本方式の特徴

水島製鉄所では従来、クロップ検知センサーに、HMD (熱片

検出器)、移動長検出器に PG (Pilot generator) とアナログ積分回路を組み合わせた、一般的な方式によるクロップ切断制御を行っていたが、Table 1 に示すように、切断精度上、問題があった。特に温度変化および平面形状変動についてはクロップ検知センサー自体の問題であり、これを改善するには、HMD のような 1 点検知でなく、しかも温度の影響を受けないセンサーが必要である。このために、光電管列、太陽電池列、ITV、光ファイバー等を用いた方式が考案されているが、分解能が低かったり、イニシャルコストが高い等、問題があった。本方式では、近年、開発された高分解能の 1 次元イメージセンサー (CCD カメラ) を採用している。

また、切断ロジックは、従来、先端部分から、ある設定され

Table 1 Causes of cutting accuracy deviation by conventional method and counter plan for new method

	Causes of deviation	Counter plan
a	Variation of sheet bar temperature	Adoption of CCD image sensor
b	Variation of crop shape	
c	Deviation of stand-by position of knife	Use of shear drum position sensor
d	Drift of analog controller	Adoption of digital controller (micro computer, pulse generator)
e	Slip between sheet bar and measuring roll	Use of low inertia roll

* 水島製鉄所薄板圧延部薄板技術室主査 (課長)

** 水島製鉄所動力部動力技術室主査 (課長)

*** 水島製鉄所動力部動力技術室主査 (課長)

**** 水島製鉄所保全部薄板整備課掛長

***** 水島製鉄所動力部動力技術室

[昭和57年10月14日原稿受付]

た長さを切断するのみであったが、本方式では、切断位置の幅やクロップの形状等を考慮して、切断位置を計算する最適切断ロジックを有している。

3. 装置の原理と仕様

本装置は、下記の圧延材料条件を満足し以下の原理・仕様となっている。

- (1) 板 厚：20～60mm
- (2) 板 幅：600～2 200mm
- (3) 温 度：最大 1 150℃
- (4) 搬送速度：先端部 100m/min
尾端部 最大 150m/min

3・1 原 理

本装置はクロップの形状を認識するのに、シートバー下部から光を照射し、これにより得られたシートバーの影を、1次元イメージセンサーによりとらえ、その信号をマイクロコンピュータにより処理するという方法をとっている。次に主な基本原理について、それぞれ述べる。

3・1・1 クロップ検知

本装置ではクロップ検知センサーに、CCD 型のイメージセンサーを用いている (Fig. 1 参照)。このセンサーは一方方向に 2 048箇の光電変換素子が並んだ構造をしており、小型、高応答、高分解能などの特徴を有す²⁾。光電変換素子は照射された光の強さに応じた電荷を誘起する^{3,4)}ので、これを数 MHz の速いタイミングで移動電界よりスキヤニング (転送) 出力することにより、クロップの 1次元幅信号が得られる。

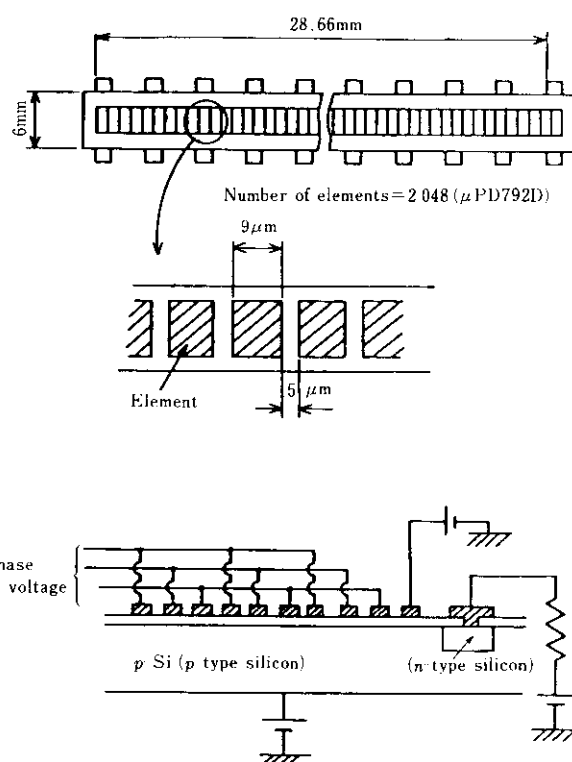


Fig.1 Basic construction of CCD type image sensor

3・1・2 信号処理

周期的に転送出力される、移動する熱延鋼帯の先、尾端の 1次元信号と、位置検出器からの鋼帯の移動距離情報とにより、クロップ部分の平面的形状が認識される (Fig. 2 参照)。この結

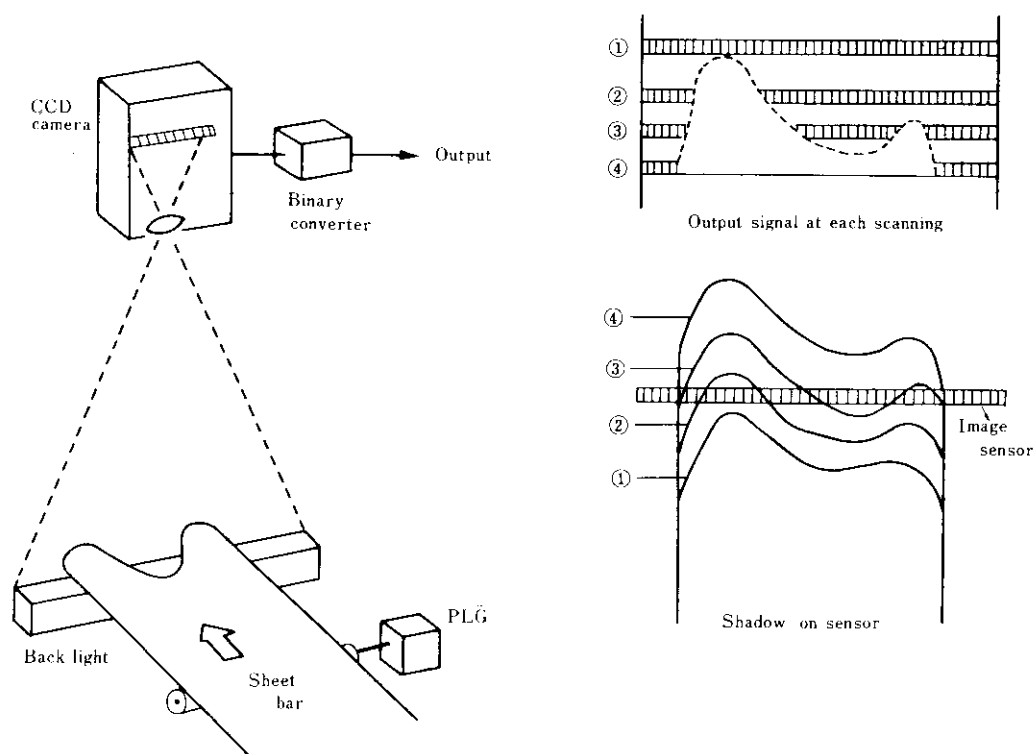


Fig.2 Recognition of crop shape by image sensor

果に基づいて次項で述べる設定値に従った切断位置が計算されクロップの切断が行われるように、シャーマーター制御系にカット指令が出力される。これらの信号の処理はすべてマイクロコンピュータにより行われている。

3.1.3 クロップ切断位置の決定

シートバーの先尾端クロップを切断する目的は主にホットストリップの注文幅、および通板性の確保である。

一方、ホットコイルの向先は、直接、需要家へ出荷されるものと、次工程（スキンプス、シャーマ、スリッター、ピックアップライン）に廻されるものとに大別される。クロップ切断時、前者は、幅公差から外れている部分（主に幅不足）を完全に除去しなければならないが、後者は、ハンドリングやコイル巻戻しの際に、コイル内外巻部に疵が入り易いため、通常、幅公差から外れた部分を幾らか混入させておき次工程ラインで切捨てる場合が多い。したがって、一定長でクロップを切断することは歩留りの面で問題があり、オペレーターが、その都度介入していた。本装置では、これらの背景より Fig. 3 で示すように切断位置はシートバー正常部の板幅 W_0 と切断部板幅 W_1 との比 α (板幅係数) に応じて設定することにした。

α の最大値は、0.95 とし、これをフルカット、最小値は 0 でこれをノーカット、それ以外はセミカット（ミニカット）と称している。

板幅係数は、先尾端各々について、向け先、製品寸法、に基づき上位計算機が決定する。この結果従来に比べ、必要最小限の長さで、クロップを切断することが可能となった。

3.1.4 下部光源

(1) 方式の選定

α : Coefficient of width

$$\alpha = \frac{\sum W_i}{W_0}$$

$\alpha = 0.95$	Full-cut
$\alpha = 0.25 \sim 0.90$	Semi-cut
$\alpha = 0.00$	No-cut

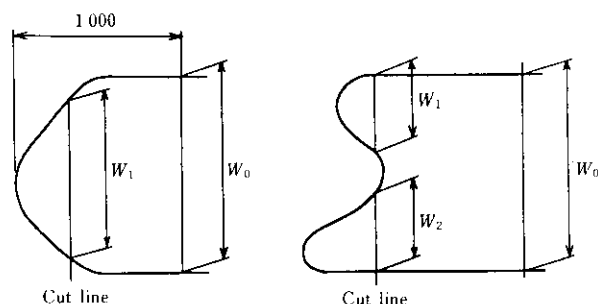


Fig. 3 Determination for cutting line position

CCD イメージセンサーによる熱鋼板の認識には、直接、鋼板から赤外線をとらえて行う方法もある^{5,6)}が、鋼板の温度の変化、および鋼板表面のスケールの影響等により、精度が低下することから、安定した下部光源による影を利用することとした

(2) ランプの選定

本装置の光学系統の設計ではイメージセンサーの分光感度特性が、Fig. 4 のように、赤外線部 (760m μ 以上) でも比較的高いことを考慮した。すなわち、板からの赤外線を、赤外線カットフィルターで減衰させ、ランプにはセンサーの感度域で十分な光量が得やすい水銀灯を用いて S/N 比を高くしている。

(3) 均一光を得る工夫

センサーの視野全域にわたって、均一で、十分な光量を得ることが、検出精度上必要である。部分的に低レベルの光である

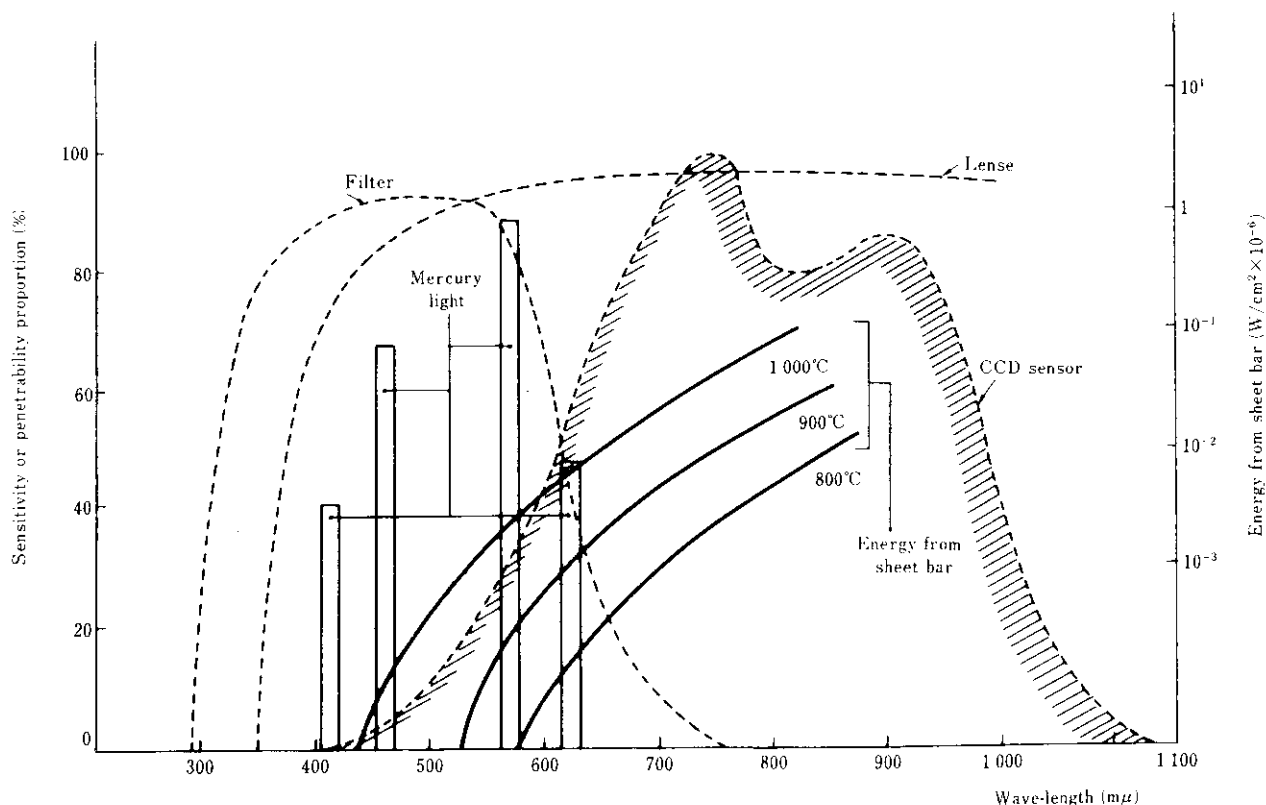


Fig. 4 Spectral characteristic

と、板からの光のレベルの方が高くなる場合が生じ、また、逆に、部分的に高レベルの光であると、センサーの飽和出力レベル(約2.8V)に達し、像に、にじみ(ブルーミング)を生じ、いずれの場合も精度が低下する。そこで、本装置では、ランプ配列は、上下に千鳥配置とし、光源のガラスにはスリ加工を施し、さらに、レンズ周辺部での光の減衰(口径蝕)を防ぐため、できるだけ絞りを絞るなどの工夫をしてある。

4) 光源ボックス

光源ボックスについては、苛酷な条件下で使用される事から、耐熱材料の使用(ステンレス、耐熱ガラス、シリコンゴム)、冷却装置(水、エア)の設置など、耐環境性に留意した設計を行った。

3.2 装置仕様まとめ

Table 2 に本装置の仕様をまとめて示す。

1. 装置の構成

4.1 ハード構成

Fig. 5 に機器構成概略図を示す。テーブル上をシートバーが走行し、センサー(CCDカメラ、Photo. 1 参照)の位置に到達すると、カメラはクロップ最先端部から、幅方向の1次元情報信号をマイクロコンピュータに入力する。一方、メジャリングロール軸に取付けられたパルス発信器(PLG)から、シートバーの進行同期信号も約1mmピッチで入力される。これらの情報により得られたクロップの平面形状情報と、上位計算機からの設定値 α などにより最適な切断位置がマイコン内で計算され、PLGからのトラッキング信号を基準として切断指令を出力する。また、切断長は、切断後、上位計算機へ実績情報としてフィードバックされる。

4.2 ソフト構成

先端部(LE)処理プログラムの概略フローをFig. 6 に示す。

Table 2 Specification of equipment

No.	Item	Maker	Specification
1	Micro-computer	NEC	Type : MPU-80 (CPU : μ pD 8 080A) Memory : 32KW
2	CRT	NEC	Type : JB 109A Size : 9×12inch Green display
3	CCD camera	NEC	Type : SC-2 048N Sensor : μ pD794D (CCD type 2 048 bits; pitch 14 μ m) Lense : f=50mm, F4 Filter : C500 (infra-red rays cut filter) Field of view : 2 570mm Resolving power : $\frac{2 570\text{mm}}{2 048\text{bits}} = 1.255\text{mm/bit}$
4	Camera controller	NEC	Type : SC-4 Clock rate : 1.25MHz Scanning interval : 2ms
5	PLG	Sumtak	Type { No. 1 (for leading end) : High Pulser RE 15.8B { No. 2 (for tail end) : High Pulser RE 21.2B Resolving power : { No. 1 : 0.9942mm/pulse { No. 2 : 1.0072mm/pulse
6	Shear drum position sensor	Tamagawa seiki	Type : TS 1664 (Shaft encoder) Resolving power : 0.6136mm/pulse (2^{12} pulse/rev)
7	Light source	KSC	Lamp : BHRF200 (Self ballast mercury light), 500W×23 Box length : 3 100mm
8	Crop shear	IHI	Type : Inner stand ; 2-cut drum type Drive : 500kW DC motor ×2

後端部(TE)についても同様である。次に、主要な処理内容について述べる。

4.2.1 形状判別

切断位置はストリップの通板上Fig. 7のようなフィッシュ

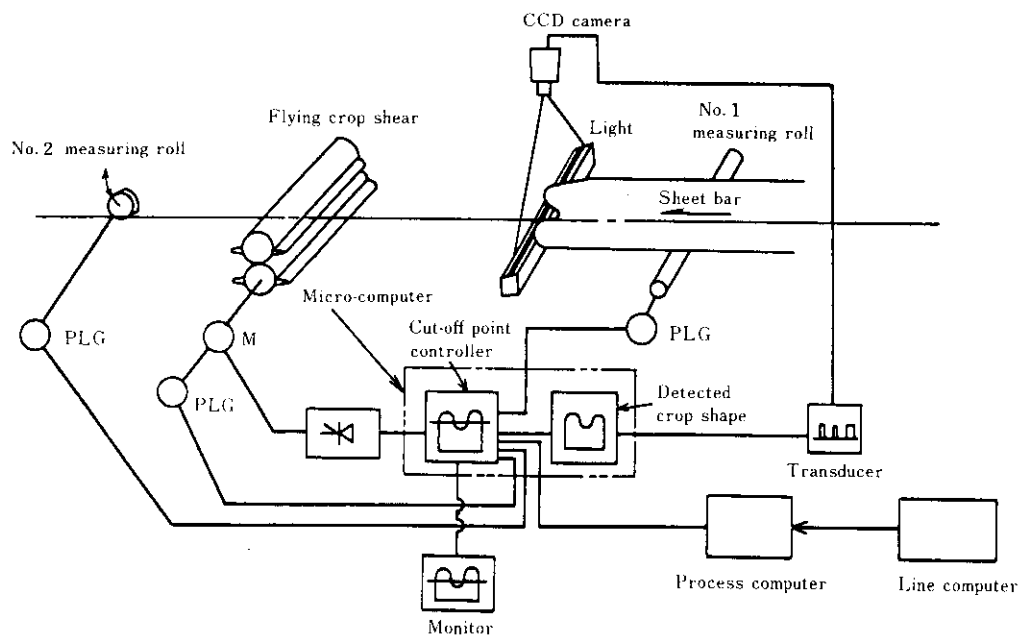


Fig. 5 Schematic flow of crop shape detecting system

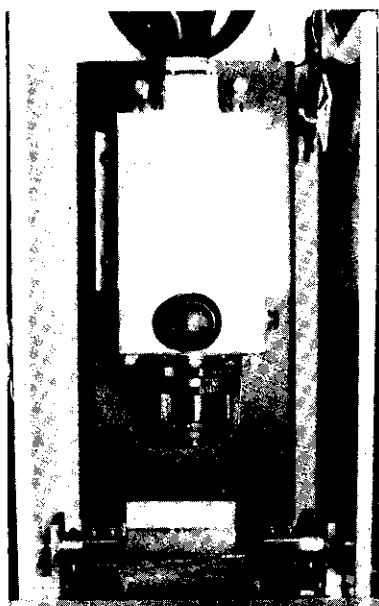


Photo. 1 General view of CCD camera

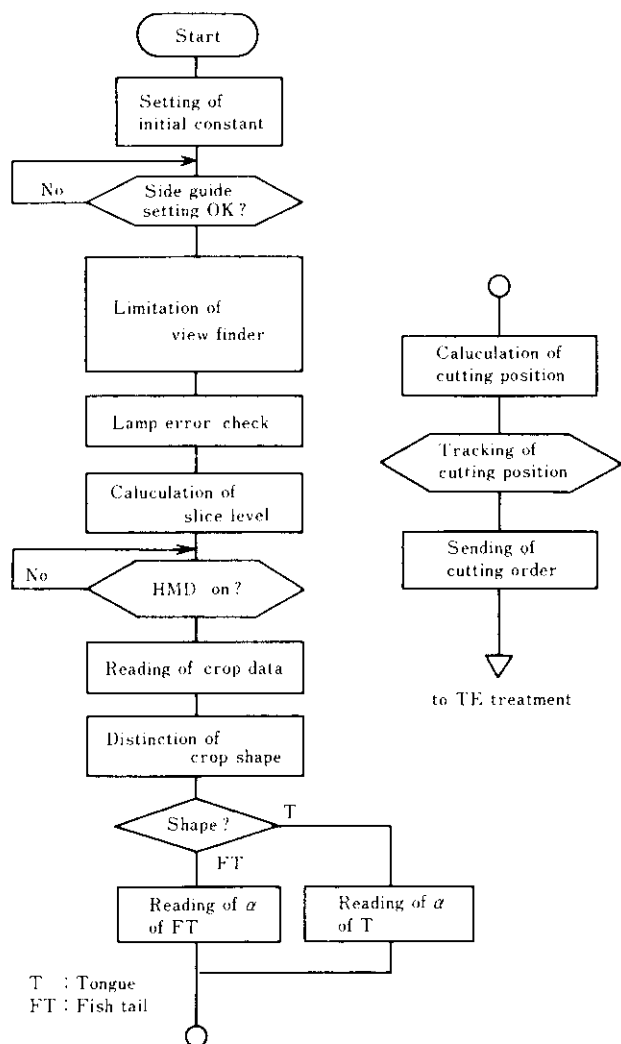


Fig. 6 General flow chart for determining crop cutting position in leading end

テイル (FT) 形とタング (T) 形とで異なるように設定すべきである。そこで当装置ではこれらの形状を判別し、それぞれに

対応した α 値を設定している。

この判別法は、周期的に入力板の進行に対し約 3 mm ピッチ) されるクロップの幅情報中に 2 山の影が連続して 10 回 (可変値) 以上続く場合をフィッシュテイル形、それ以外をタング形とする方式である。

4.2.2 サイドガイド影の処理

CCD カメラの設置箇所は、切断精度上できるだけ、クロップシャー直前が望ましいが、クロップの測定および、切断位置を決定するため、クロップシャー前方約 4 m の位置とした。しかし、ここはクロップシャー用サイドガイドが設置されており、CCD カメラは、シートバーとサイドガイドを判別できなければならない。

このためサイドガイドには Fig. 8 に示すように操作側、駆動側共、外側に 135mm の湾曲部を持たせ、シートバーとサイドガ

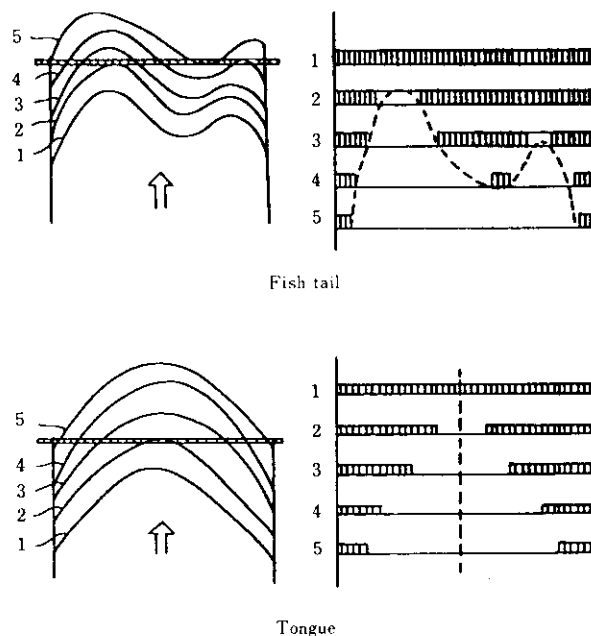


Fig. 7 Classification of crop shape

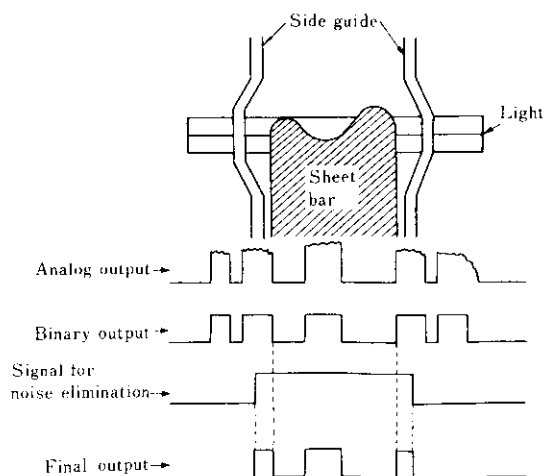


Fig. 8 Elimination method of side guide noise

イドは必ず隙間ができるようにした。

ソフト面では、サイドガイドの開度設定が完了した後に、サイドガイドの内側約20mmから外側の部分の光の情報は全て無視させるような処理を行わせている。

4・2・3 スライスレベル設定

CCDカメラからの出力信号は、マイクロコンピュータで処理しやすいように、ある値を境として2値化信号に変換する必要があるが、この値（スライスレベル）は、水や蒸気の影響で変動しやすい、光源による出力レベルの最低値と、赤熱鋼板の一般的な出力レベル（0.3V）の中間値になるように浮動的に設定するようにしてS/N比を高くしている。

しかし、光源による出力レベルが、ランプ故障やスケール付着等の何らかの原因で低下し過ぎた場合は誤認識する恐れが生じる。そこで鋼板が到来する前、その都度、光源のレベルチェックを行いレベルが下がり過ぎた場合は警報を出すようにしている。

4・2・4 板幅測定機能

CCDカメラは、板幅検出器としての機能も有するので、測定したシートバー幅を約0.5秒ごとに表示させる設計としてある。しかし、実際のシートバーの厚さは20～60mmと異なるため、上位計算機からの板厚データをもとに、次のような補正計算（Fig. 9 参照）を行って表示する。

$$W/(a-T) = R(A_2 - A_1)/a \quad \text{より}$$

$$W = (A_2 - A_1)(a - T)R/a \quad \text{.....(1)}$$

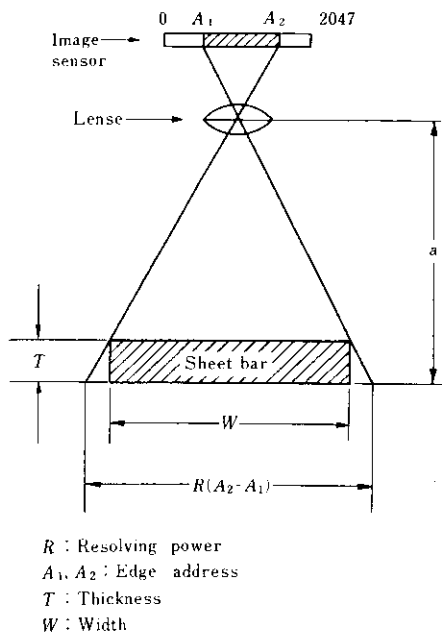


Fig. 9 Measurement of real sheet bar width

4・2・5 刃形状補正機能

クロップシャーの刃の形状は、ゆるやかな円弧状（曲率半径 $r \approx 19\,300\text{mm}$ ）となっているため、切断位置決定を、刃の頂点部分に対応させて行くと、広幅タンク形のクロップでは歩留り

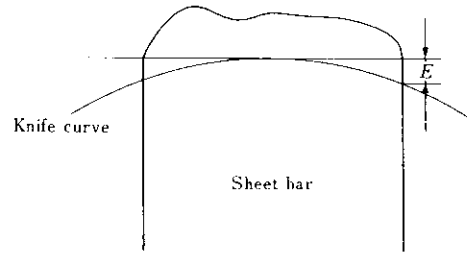


Fig. 10 Knife curve adjustment

ロス部分が多くなる（Fig. 10 参照）。

そこで図中 E の部分の長さだけ切断位置を補正して、より最適な切断位置を得るような機能を、タンク形のクロップの処理の場合には付加させてある。

補正量 E は

$$E = r - \sqrt{r^2 - (W/2)^2} \quad \text{.....(2)}$$

r : 曲率半径

W : 板幅

で求められるが、この値は板幅に対応するテーブルとして、マイクロコンピュータに記憶させてある。

4・2・6 刃の待機位置補正

ドラムシャーの刃の待機位置は、リミットスイッチにより設定されているため、±約10mmのバラツキが生じ、それが切断精度に影響する。そこで当装置では、シャー駆動モーターの軸に角度検出器（シャフトエンコーダー：分解能=0.61mm/パルス）を取り付け、その値により、切断指令の出力地点を補正することとしている。

5. 試運転結果

5・1 オフラインテスト

オフラインテストは、鋼板の先端に合成樹脂製の模擬クロップを取付けたテスト板で行った。

Photo. 2 に認識結果のブラウン管画像（CRT 像）を示すが、良好な認識像が得られ、形状判別結果も100%正常であった。

また、Fig. 11 には板幅測定精度、および切断長計算精度を示すが、バラツキを 2σ で評価して、幅については約±1.5mm、切断長については約±3.5mmを得た。

5・2 オンライン精度

本装置と、従来方式（HMDと距離タイマー使用方法）の、クロップ切断長のバラツキを比較するため、実圧延中の同一チャンスの材料に対して行った結果（クロップ長は切断後、実測して求めた）を Fig. 12 に示す。この場合、本装置の設定は、同一切断長で切断するように、 $\alpha = 1\%$ 、オフセット長=90mmとした。これより切断長さ精度は従来に比して、約5倍に向上していることがわかる。

6. 使用状況

本装置は、熱間圧延特有の悪環境下で使用できるよう、事前の実用化実験を十分行い、特に下部光源の耐環境性の向上、周

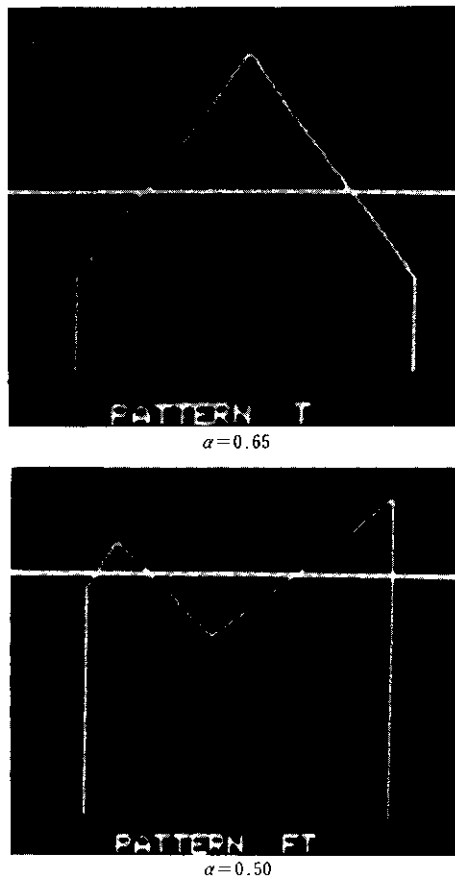


Photo. 2 Detected crop shapes on CRT by test sample

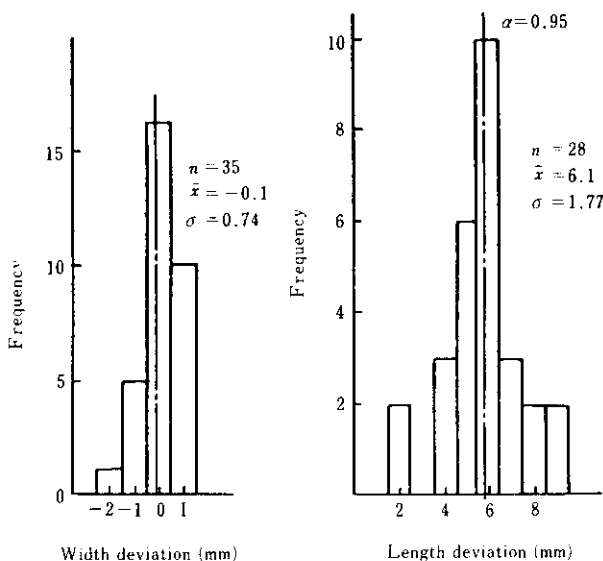
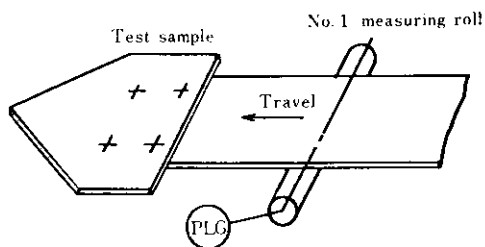


Fig. 11 Experimental data of detecting accuracy

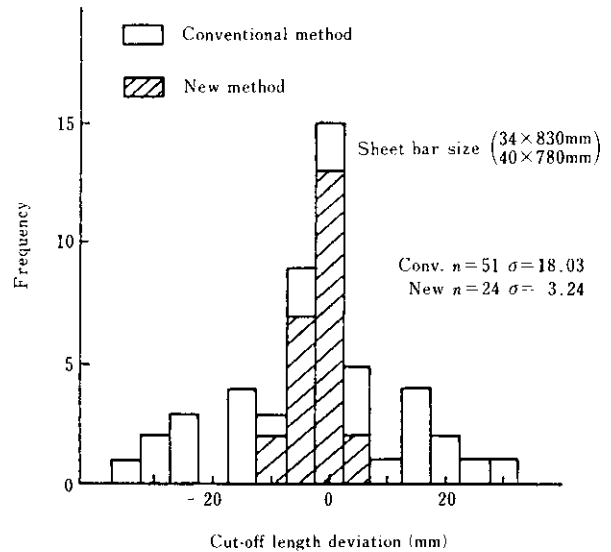


Fig. 12 Comparison of deviation of cut-off length between conventional and new method

辺環境の整備(スケール, 水), 処理プログラムのレベルアップを図って, 56年5月からオンライン運転を始めた。

本装置は, 異常が発生した場合, バックアップとして, HMDによる切断方式に自動的に切替るようにしているが, 現状の使用率は平均99.8%である。

Photo. 3に実クロップのCRTモニター像を示す。クロップ形状以外に, 板幅係数, 形状判定, カット長さ, 板幅値を表示している。

Fig. 13に1箇月間のクロップ形状別のクロップ切断長の分布を示す。タンク形状の構成比は, 先端で48.0%, 尾端で41.5%であった。

ノーカット率は全体で先端が2.9%, 尾端部は27.0%あり, 今後, 先端部のノーカット率を拡大する予定である。

クロップロスの推移を Fig. 14に示すが, 当装置による減少寄与は約0.04%であった。

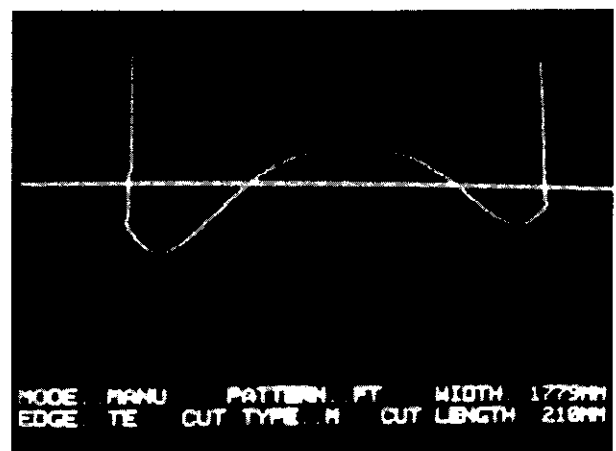


Photo. 3 CRT display of real sheet end

7. 結 言

以上, 当所熱圧工場のクロップシャー直前に設置したクロップ形状認識自動切断装置について, 設備概要と使用状況を報告

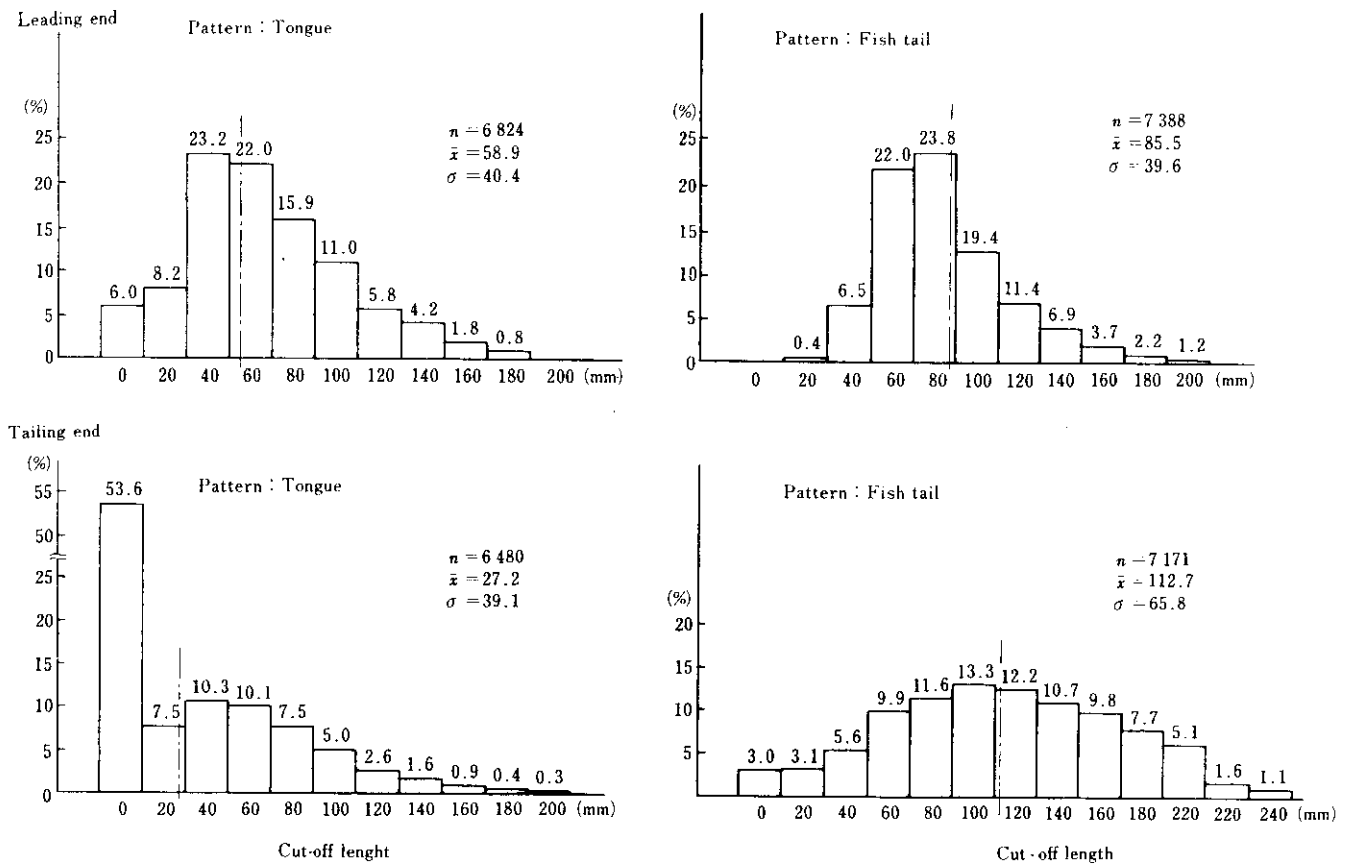


Fig. 13 Distribution of cut-off length

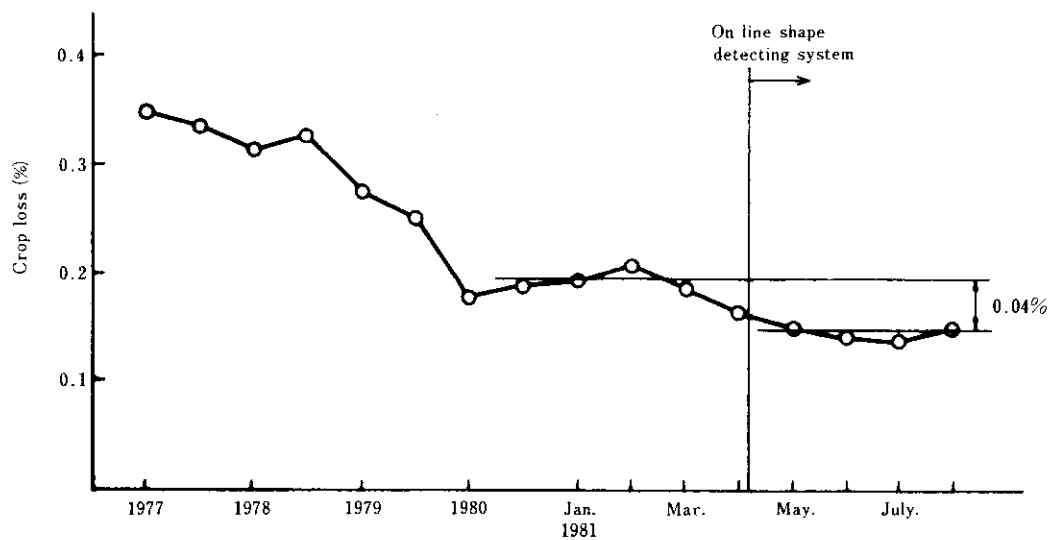


Fig. 14 Change of crop loss

した。

本システムは、クロップの形状を1次元イメージセンサーでとらえ、設定された切断点板幅情報に従い、マイクロコンピュータによりクロップを精度良く切断するシステムである。このシステムの稼働により、クロップロスが減少したことが確認さ

れた。また、厳しい環境下でありながら、1次元イメージセンサーが問題なく使用できたことから、他の様々な平面的形状を測定する必要がある場への適用にも期待が持たれる。

終わりにあたり、当装置の設置に多大の御協力をいただいた(株)日本電気各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 木内：「イメージセンサ」(1978), 139 [日刊工業新聞社]
- 2) 和久井：固体撮像素子, 電気学会雑誌, 100 (1980), 45~48
- 3) 水野：「オプトエレクトロニクス」(1978), 120 [日刊工業新聞社]
- 4) 森下：計測と制御, 19, (1980) 12, 4~12
- 5) David. L. Burk 他：Iron and Steel Engineer, (July 1978), 43
- 6) 井口：「マイコンを用いたパターン認識技術の応用」, 機械の研究, 32 (1980) 3, 8~14