

## スラブ自動チェックスカーフイング装置

## Auto Defect-Detector with Scarfer for Slabs

金山 勇人<sup>(1)</sup>  
Hayato  
KANAYAMA

森 賢治<sup>(1)</sup>  
Kenji MORI

松尾 次郎<sup>(2)</sup>  
Jiro MATSUO

昆野 勝政<sup>(3)</sup>  
Katsumasa  
KONNO

榊原 満<sup>(4)</sup>  
Mitsuru  
SAKAKIBARA

笹森 振一郎<sup>(5)</sup>  
Shin-ichiro  
SASAMORI

## 抄 録

新日本製鐵では薄板分野において、溶融亜鉛めっき鋼板、高張力鋼板等の高級品種を多数製造している。その中でも名古屋製鐵所は自動車用外板に代表される品質厳格材の一大生産基地である。この鋼板製造においてスラブ段階での品質管理、品質造込みを目的に表層介在物検出を可能とする“スラブ自動チェックスカーフイング装置”の開発を進めてきた。これは介在物がスカーフ時、火花となって顕在化することに着目したもので、鮮明な介在物火花生成と同時に次工程に影響を出さない滑らかなスカーフイング技術の開発、及びリアルタイムで微小火花までを計数する信号処理技術を駆使したものである。鉄鋼業界が長年にわたり切望していたこの熱間スラブの品質チェックを全自動で行う“スラブ自動チェックスカーフイング装置”を初めて実用化できた。

## Abstract

Nippon Steel manufactures various kinds of steel sheets of a high grade such as hot-dip galvanized steel sheet, high-tensile steel sheet and so in the steel sheet field, and its Nagoya Works is one of the manufacturing bases of great importance for quality-tightened steel materials represented by the shell for automobile. With the object of controlling and elaborating the quality of the slabs through which the said steel sheets are manufactured, Nagoya Works has developed an apparatus of "auto defect-detector with scarfer" which can automatically check the slabs to detect surface layer inclusions to scarf them, paying its attention to the inclusions being actualized to become sparks when scarfing. The developed apparatus has made the most use of a smooth scarfing technique not to diverge any distinct sparks due to the inclusions together with not to have any effects on the subsequent work processes, and a signals processing technique to count the sparks including even fine ones at the real time. The "auto defect-detector with scarfer", which the steel industry has been anxious for developing for years and which can automatically check the quality of hot slabs, has been put to practical use for the first time, that is described in this paper.

## 1. 緒 言

新日本製鐵では、自動車向け外板に代表される品質厳格材において、表面欠陥、プレス割れ等につながる介在物に対し、工程一貫で鋼板を製造、管理することで品質造込みを行っている。この介在物は、スラブ段階では主として表層直下に存在し、スカーフイング時、火花として顕在化することは昔からよく知られている。この物理現象を利用することでスラブ品質判定を行う方法がハンドチェックスカーフイングである。すなわち、従来はスラブを常温まで冷却した後、検査員がハンドスカーフイングし、発生した火花を目視観察する品質判定を行っていた。スカーフイングによる品質判定作業は、高熱源であるスカーフノズルを手で直接操作し、硝煙立ちこ

める中、溶融池に現れる火花を高度に熟練した火花観察眼をもって判定して、はじめてなし得る過酷な作業であった。

従って、この品質判定方法を熱間スラブの状態で行い、直行化拡大、手入れ量の全数適正化を実現するために自動化が強く望まれていた。そこで、連続鑄造から熱間圧延加熱炉へ搬送される熱間スラブにおいて、表層介在物起因の火花を計数することでオンライン品質判定を行い、品質確保と歩留向上との両立を狙った自動チェックスカーフイング装置の開発に着手した。

## 2. スラブ自動チェックスカーフイング技術開発の経緯

スラブ自動チェックスカーフ技術を確立するには、可視性に富む鮮

<sup>(1)</sup> 名古屋製鐵所 設備部 掛長

<sup>(2)</sup> 名古屋製鐵所 総務部 掛長

<sup>(3)</sup> 名古屋製鐵所 設備部

<sup>(4)</sup> 名古屋製鐵所 薄板部

<sup>(5)</sup> エレクトロニクス・情報通信事業部

産業システムソリューション第一部 掛長

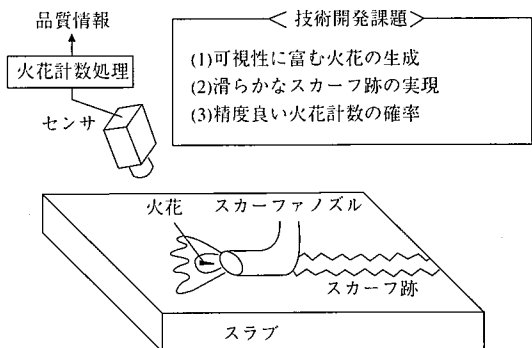


図1 チェックスカーフ技術課題

明な火花を発生させ、かつスカーフ跡が滑らかで後工程に影響を与えないスカーフィングを全自動で行う機械化・自動化技術と、発生した火花を実時間で連続して処理する高速画像処理技術とが不可欠条件であった。すなわち、視覚と知能とを有する自動溶剤機械を具現化することである。チェックスカーフ技術課題を図1に示す。

これら技術課題を打破するために、1987年4月より基礎研究開発に着手した。スカーフィングに関しては溶剤メーカーである日本スピング㈱と共同で数々のスカーファノズルを試作し、粘り強いスカーフィング試験の中からスカーフ条件を確立した。1988年9月には実用機イメージの試験装置を設置し、大量オンライン試験を行うことで火花計数画像処理技術確立のめどを得た。この技術確立の背景には画像処理技術の普及拡大によるはん用化、及びマイクロプロセッサの能力向上があった。1989年2月にスラブ自動チェックスカーフィング技術の開発を完了し、諸元が把握できた。直ちに実用機検討、システム検討を行い、1989年8月には熱間圧延(以降、熱延と記す)2号加熱炉改造とスラブ自動チェックスカーフ設置工事を開始し、数々の改善を重ねていくことで1992年4月、定常稼働に漕ぎ着けることができた。

### 3. スラブ自動チェックスカーフィング技術の開発

#### 3.1 技術開発目標

スラブ自動チェックスカーフィング技術の開発目標を以下に設定した。

- (1) 次工程に影響を与えない滑らかなスカーフィング
- (2) 品質判定に際し目視判定に比べてそん色無い火花計数精度
- (3) 稼働率95%以上の高信頼性設備

#### 3.2 火花検出スカーフ条件の確立

スカーフ時の溶融池と火花との状態を図2に示す。チェックスカーフを品質検査として使用するためには、検査目的である火花と外乱となるオシレーション火花とを判別できる溶融池を形成しなければならない。オシレーション火花の発生位置はスカーフィングが進行していく先端部となるので、スカーフ進行方向に長楕円となる溶融池を形成することができれば、火花の発生位置から介在物とオシレーションとの判別は容易に行うことができる。各種形状のスカーフノズルを用いた熱間スカーフ試験を行った結果、従来のハンドスカーフで用いていた丸型酸素孔ノズルが長楕円溶融池を形成でき、オシレーション火花と介在物起因の花火を判別できることが分かった。

次に最適なスカーフ深さとその影響因子について述べる。介在物はスラブ表層から2~3mmに多く分布することから、介在物検出

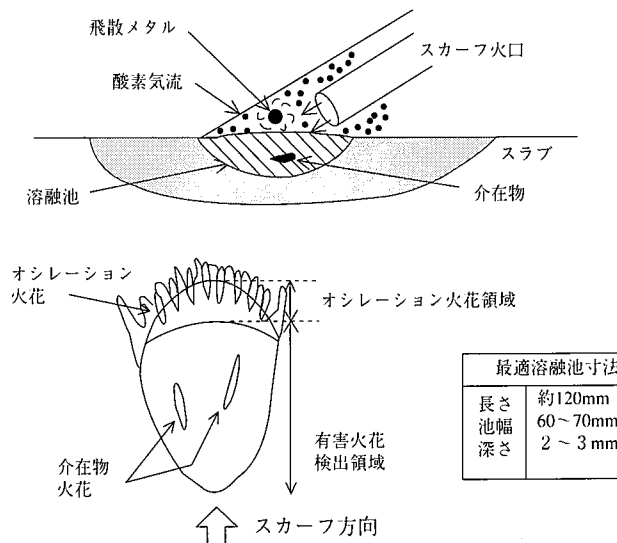


図2 スカーフ条件

を目的とする自動チェックスカーフィングではスカーフ深さが一定となるよう制御する必要がある。

一方でスカーフィングそのものは酸化反応であるため、スカーフ深さはスカーフ速度とスラブ温度との相関により図3に示すように変化する。従って、図中の楕円枠で囲ったようにスラブ温度をパラメータにとり、スカーフ速度を制御することでスカーフ深さの一定化を図った。

また、スカーフィングを大きく作用する他の因子としてスカーフ酸素供給量(酸素圧力)がある。酸素圧力が低すぎると溶融池が長楕円とならず、高すぎると火花発光時間が極端に短くなり、微小介在物起因の火花を生成しづらくなる。そこで、ビデオカメラとモニターテレビジョンとによる火花映像観察を行い、最適な酸素圧力を0.45kg/cm<sup>2</sup>とした。

以上の自動スカーフ条件に基づき、火花発光に対するスラブ温度影響を調査した。すなわち、従来のハンドスカーフによる品質検査は冷間鋼片のみで行われており、熱間スラブにおいても同等の火花量が得られることを確認するためである。そのために同一スラブを用意し(N=9枚)、熱間状態で自動スカーフして得られた火花個数と常温レベルである冷間鋼片状態でのハンドスカーフによるそれとを比較した。得られた火花結果を図4に示す。温度による火花量の

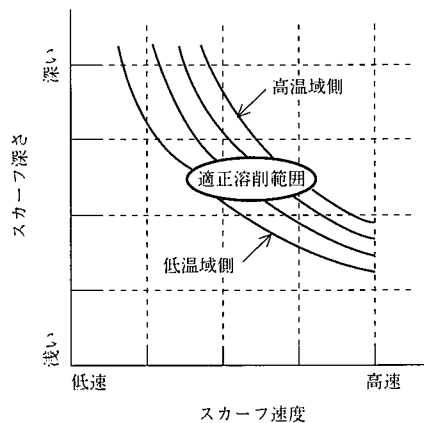


図3 スカーフ速度とスカーフ深さ

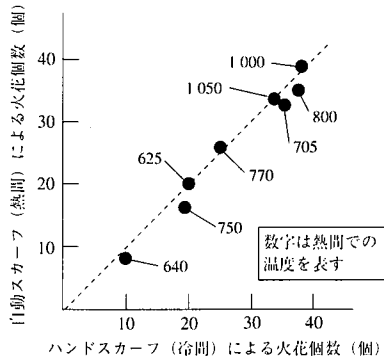


図4 生成火花個数へのスラブ温度の影響

変化は無く、全ての温度のスラブに対して同じレベルの火花検出ができることを確認した。

### 3.3 フィンフリースカーフ技術の開発

スカーフ時には、スカーフ酸素の運動エネルギーにより溶融メタルが酸化反応範囲外に飛び出し、フィンとなって残存する。このフィンは次工程の圧延時にヘゲ疵となって悪影響を及ぼすため、フィンを残さないフィンフリースカーフ技術を開発した。ノズル形状によるスカーフ結果を図5に示す。

ハンドスカーフで使用していた丸型ノズルは、前述の通り火花検出には優れているが、スカーフ跡の両側にフィンが残存する。一方で、両側面にエアを吹き付けフィンの根を溶断することでフィンフリーを実現するスリット型ノズルが存在するが、溶融池がスカーフ方向に短く、火花は生成し得なかった。そこで、丸型のスカーフ酸素孔を中心に、かつその両サイドにはフィン防止用のスリット溝を設け、下部ユニットについては両側面をテーパ形状とした複合型ノズルを開発し、スカーフ跡にフィンを残さず火花を顕在化させることに成功した。

### 3.4 スカーフィング火花発光原理

ここまで述べてきたチェックスカーフィング装置によるスカーフ火花映像、及び断面光量分布を図6に示す。断面光量分布において特定波長におけるピークは観察できず、またスラブ表面へのドリルホールやセメント、アルミニウム、れんが等の挿入時のスカーフ火

花も変化がなかった。従って推定できる発光原理としては、溶融メタルの流れが阻害された時、その一部が空气中に飛散し高圧酸素ガスと一瞬にして酸化反応し、強い光を発生させると考えられる。

従って、介在物起因の火花は、そもそも

- 1) 光量的にドリフト成分を持つ溶融バス上に発生し、
  - 2) 発光時間は100~500msと極めて短く、
  - 3) 溶融バス内にアトランダムに複数個生成し消滅する、
- という性格を持ち合わせている。

このため火花を検出しようとした場合、コントラスト良く火花を撮像する撮像技術と瞬時に生成消滅を繰り返す火花を認識する高速画像処理技術とが、スラブ自動チェックスカーフ装置における火花計数技術を確認する要点となる。

### 3.5 火花撮像技術の開発

低炭素鋼に発生する微小介在物起因の火花は、通常の工業カメラでは溶融バス光量ドリフトに埋もれ検出できない。そこで、映像信号に直接アナログフィルタを作用させることで溶融バス光量ドリフトを抑え、火花部分のみを強調することができた。

同一火花でのフィルタの有無による映像比較を図7に示す。通常の工業カメラによる火花検出能力に比べ、フィルタ処理を施したカメラでは映像が鮮明になり、コントラストが向上する。従って、スカーフィング映像を画像処理装置で火花計数する場合、フィルタ処理によりその検出能力は、図8に示すように、極低炭素鋼に多く発生する最小有害火花までも十分満たすことが分かった。なおフィルタには、 $4 \times 10^{-7}$ sの時定数を持つバンドパスフィルタを採用した。

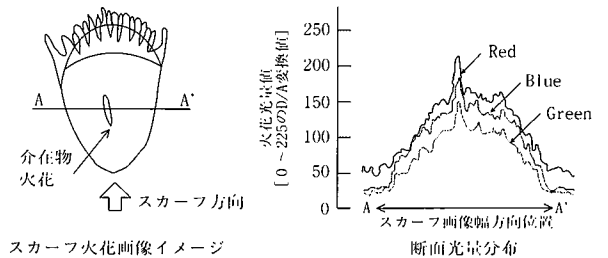


図6 チェックスカーフ画像と光量分布

項目	丸型ノズル	スリット型ノズル	複合型ノズル
ノズル形状	 酸素 LPG 酸素 スカーフ酸素 ノズル正面	 LPG 酸素 サイド空気 スカーフ酸素 ノズル正面	 LPG 酸素 スカーフ酸素 フィン防止用スリット ノズル正面
フィンフリー	—	○	○
火花可視性	○	×	○

図5 ノズル形状によるスカーフ結果

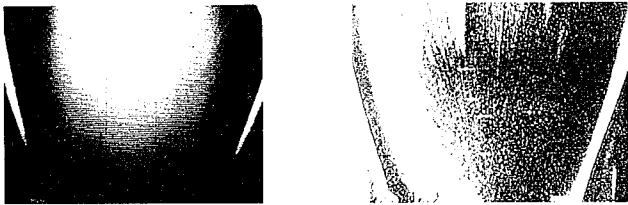


図7 フィルタ処理の有無による火花映像の差異

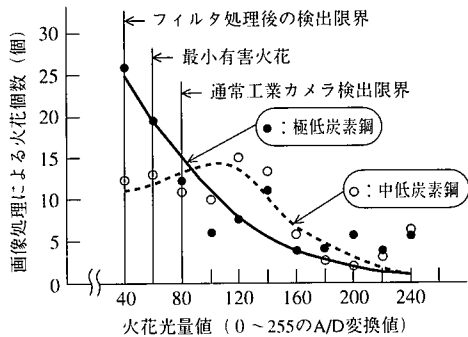


図8 火花光量分布とカメラ検出能力

### 3.6 火花計数高速画像処理技術の開発

3.2節で述べたように、スカーフ条件を最適化することで得られる溶融池の二次元形状はほぼ一定し、溶融池内で介在物起因の火花が発生する領域もほぼ安定している。従って、火花検出領域をあらかじめ固定し、映像入力を制限することでオシレーションマークによる外乱火花を除去することができる。

介在物起因の火花発光時間は100~500msと瞬時の現象であり、発光現象を確実に捉えるには、33msで全画面数を取り込み火花を検出する必要がある。そこで、平滑フィルタや収縮、膨張等の前処理はハードウェア化することで高速化を図り、火花検出は画像比較法を考案することで、画像取込み時間である33msで連続した検出を可能にした。

画像比較法について図9を参照に説明する。まず、スカーフィング開始時の安定した溶融バス画像を基準画像としてメモリに取込む。次に連続して入力されるスカーフィング画像と基準画像とを全数比較して行く。ここで画像比較によって得られた光量異常部を火花候補として、火花の幅・長さ・面積・出現位置・出現個数等を画像メモリ以外のメモリに記憶する。最後に、スカーフィング終了時、これらの特徴量を基に火花とノイズとを識別し、スラブ1枚当

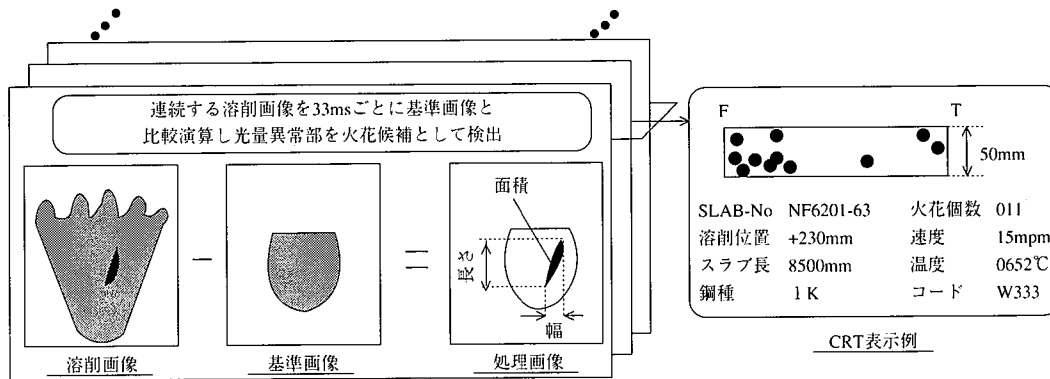


図9 火花計数画像処理

りの火花個数を算出する。この時、火花出現位置の連続性に着目することで、複数画像にまたがって発生した大きな火花も精度良く計数することができる。

また、スカーフィング開始時すなわちスカーフ酸素噴出開始時、一定時間を経て基準画像が認識できない場合、スカーフ着火に失敗したものと判断し再試行を行う。更に着火後は、連続して入力する画像の平均光量を監視することで途中消火による品質判定エラーを回避する。

画像処理システムのハードウェア構成を図10に、画像処理装置の主仕様を表1に示す。通常、オンライン計測時は、カメラ映像信号は映像分配器を介して画像処理装置に入力する。同時にスラブ番号、日付を加えVTRにも記録する。記録されたスカーフィング映像は、解析、メンテナンス等に利用する。

本装置によるオンライン火花計測個数と、熟練検査員が自動チェックスカーフ装置によるカメラ映像をコマ送りし目視判定した火花個数との比較を図11に示す。結果は、スラブ品質判定上問題の無いレベルで合致している。

### 3.7 スラブ自動チェックスカーフィング装置診断技術の導入

以上の技術確立により、熱間スラブにおける介在物検出のめどがたつた。しかし、チェックスカーフ自体がそもそも破壊検査であるため、例えば鋼板の厚み計のように、標準片による定量的な能力管理を行うことが極めて困難である。人工欠陥であるドリルホール検

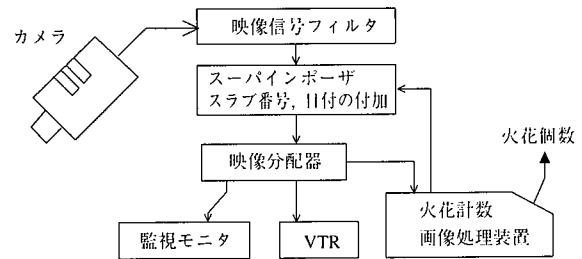


図10 火花計数画像処理システム構成

表1 画像処理装置主仕様

ホスト計算機	FC9801 (NEC)
前処理	収縮・膨張、孤立点除去、平滑化
コプロセッサ	MC68020
主メモリ	640kByte
画像メモリ	512×512画素、8 bit×16枚
画像処理メーカー	新日本製鐵

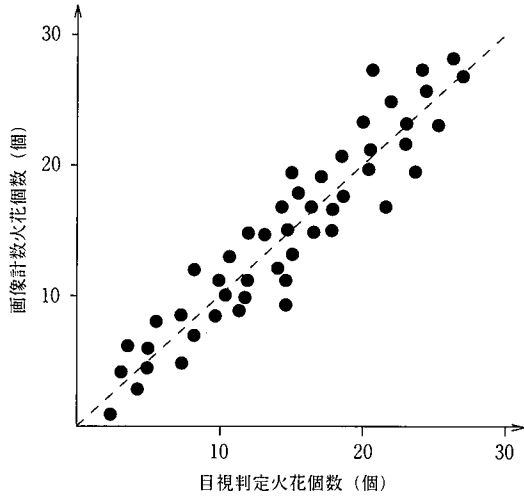


図11 火花計数画像処理結果

出も実際に検出すべき火花に比べて大きく鮮明すぎるため、本装置の検出能力限界保証とはならなかった。

そこで、本装置では、1)スカーフィング画像輝度監視、2)オフラインカメラ検定、の二つの視点から本装置をチェックする方法を採用し、品質造込みに大きな影響を与える火花検出能力を管理、維持する方法を採用した。

- 1)スカーフィング画像輝度監視(図12参照)は、火花計数画像処理装置とは別の画像処理装置を新たに設け、溶融池が正常な輝度分布を維持しているかどうかのチェックを火花計数と同時に行い、光量低下等、直接火花計数に異常を与える事象を検知する。
- 2)オフラインカメラ検定(図13参照)は、カメラがセンサとして経時劣化していないかのチェックを行うもので、基準光源を用い、照度計で測定した明るさに応じた出力電圧を検定する。このカメラ検定は定期修繕時、月に1回行う。

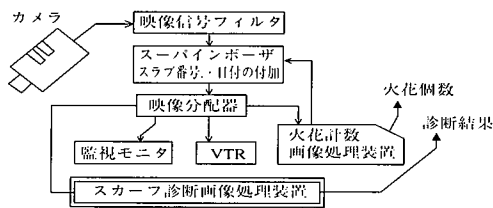


図12 スカーフィング画像輝度監視装置構成

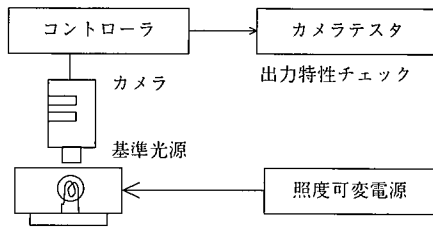


図13 オフラインカメラ検定装置構成

#### 4. 熱間圧延ラインスラブ自動チェックスカーフィング装置の導入効果

本装置の目的は熱間で自動チェックスカーフを行い、介在物起因の火花を画像処理により自動計数し、スラブ一枚ごとに全数格付けすることである。これにより、従来冷間でハンドスカーフによる品質検査を行っていた品質厳格材を熱間鋼片のまま直送できる。更に、従来は鑄造条件での格付けにより一律であったホットスカーフのスラブ手入れ量も、本装置による実際の検査結果により、スラブ個別に適切な手入れ量を設定することが可能となる。

本装置導入により直送率の向上、歩留向上、品質評価の高精度化へと大きな直接効果が得られる。また、中間製品であるスラブ品位情報を鑄造工程へフィードバックすることで、鑄造条件の評価を短時間で可能にし、更に冷間圧延、めっきラインにおける検査工程にフィードフォワードすることで、表面欠陥検査のより厳格化、効率化を図ることができる。

スラブ自動チェックスカーフィング装置鳥かん図を図14に、主仕様を表2に示す。

スラブ自動チェックスカーフィング装置導入による品質ネットワーク、及びシステム構成を図15に示す。チェックスカーフィング装置は、ライン制御用プロセスコンピュータからのスラブ情報を基に、幅方向溶削位置、溶削速度の設定を行い自動溶削する。画像処理装置は、スカーフ中の映像信号を処理し火花個数を計数する。同時にスカーフィング画像監視等の診断を行い、スカーフ状態が正常であることを確認した上で火花個数をプロセスコンピュータに送り、スラブ品質判定を行う。プロセスコンピュータではホットスカーフに対するスラブごとの手入れ量指示を行うとともに、格落ち

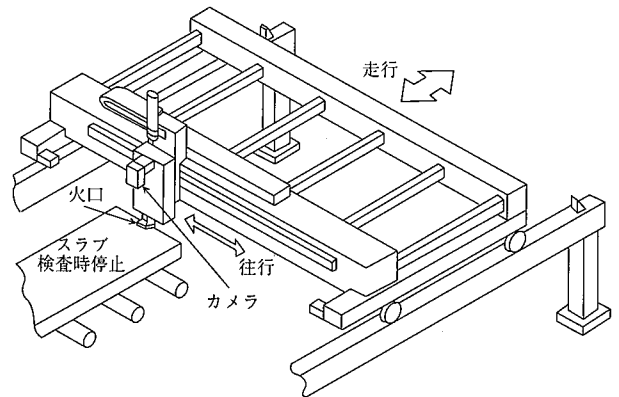


図14 チェックスカーフィング装置鳥かん図

表2 チェックスカーフィング装置本体仕様

走行	ストローク：13m、速度：1～20m/分 駆動源：DCサーボモータ1.5kW
横行	ストローク：4m、速度：5m/分 駆動源：ACモータ+PLG
昇降	ストローク：650mm 駆動源：エアシリンダ120mmφ
フライングスタート装置	退避ストローク：300mm 駆動源：エアシリンダ
対象スラブ	長さ：3800～9230mm、厚さ：245mm 幅：600～1600mm、温度：常温～1000℃

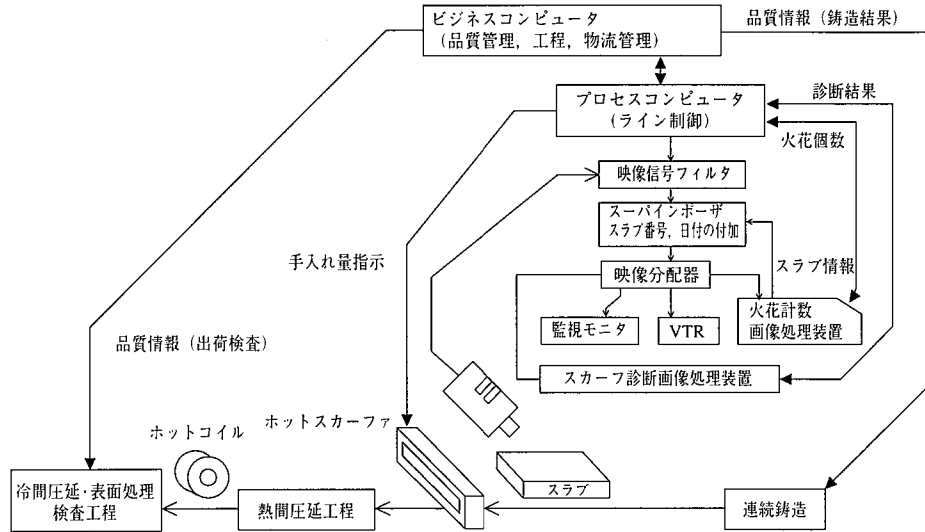


図15 名古屋製鐵所自動チェックスカーフィング装置ネットワーク

判定や用途変更を行う。更に、上位ビジネスコンピュータでは火花個数の統計管理を行い、ネットワーク化したスラブ品質情報を上下工程にて有効活用している。

本システムは、1992年4月より順調に稼動している。また、診断方法の確立等により設備信頼性を向上させ、現在100%近い設備稼働率を維持している。本システム導入によりホットスカーファ手入れ量の適正化が図られ、極低炭素鋼0.66%減、中低炭素鋼0.21%減の介在物保留率削減効果が得られた。また、スラブ精整歩留は0.54%向上した。社内各所、同業他社より引合いも多く販売ルートの整備も検討している。

## 5. 結 言

熱間スラブにおいて品質判定を行う自動チェックスカーフィング装置を実用化した。これはスラブ表層介在物がスカーフ時、火花となって顕在化することに着目したもので、鮮明な介在物火花生成と同時に次工程に影響を出さない滑らかなスカーフィング技術の開発、及びリアルタイムで微小火花までを計数する信号処理技術を駆使したものである。自動化、機械化を望まれている生産工程は多く、今後もFA自動化技術、画像処理技術を更に昇華、発展させることで実現して行く。

### 参考文献

- 1) 森賢治, 村松匠 (ほか: 材料とプロセス, 8 (5), 259 (1995))
- 2) 金山勇人, 松尾次郎 (ほか: 材料とプロセス, 8 (5), 260 (1995))