

技術資料

大阪製造所1号および2号スリッターラインへの表面疵検査機導入

平松 繁樹* 増野 拓**

Installation of Surface Defect Inspection Machine to Osaka works
No.1 Slitting Line and No.2 Slitting Line

Shigeki Hiramatsu, Taku Mashino

Synopsis:

Our Osaka works is a production base of core products (cold rolled special steel). Special steel products are typically used for automotive parts that do not permit any defects. Therefore, we implemented a drastic reform to introduce an image recognition type surface defect inspection machine to the No. 1 and No. 2 slitters, and thus reinforced the inspection process.

By examining the facility installation method, purpose of use, facility specifications, and adjusting the judgment condition according to the characteristics of each product, surface defect claims could be reduced by 95.8%.

1. 緒言

大阪製造所は当社コア製品のひとつである特殊鋼冷延鋼板および鋼帯、みがき特殊帯鋼の生産拠点である。当社の特殊鋼製品は、自動車部品の中でも重要保安部品に使用されることが多いため、局所的な疵の混入も問題になる。当社では、自社のスリッターラインで製品の最終検査を行う体制を取っており、社内での検査員認定試験に合格した検査員によって目視検査を行い、検査基準に適合しない部分は巻直しを行って不良部を除去したうえで製品化している。年々厳格化する品質要求に対応すべく、照明設備や検査場の構造改善など検査環境の改善や、検査速度の速度規制など様々な検査精度向上策を施してきたが、生産性や製造との両立については限界に近づいていた。

お客様の品質に対する厳しいご要望に応えるため、当社は大阪製造所1号スリッター(以降1SL)、2号スリッター(以降2SL)に画像認識式表面疵検査機を導入し、検査体制の改革を行った。表面疵検査機の調整と運用は困難を極めたが、設備の調整や更新を進めることで、疵の流出件数、クレーム件数の低減を実現でき、クレーム処理金額の大幅な削減を達成した。

この事はお客様のうれしさ向上にもつながり、当社の特殊鋼ブランド力アップに貢献できた。本報では、表面疵検査機を有効に活用するために必要な設備の仕様決定方法、判定条件の調整方法、運用方法について述べる。

2. 表面疵検査機の仕組み

表面欠陥検査装置にはレーザー式やCCD/CMOS式ラインカメラ、CCD/CMOS式エリアカメラを用いた画像認識による方法が存在する。従来の鉄鋼業界では、レーザー式の採用例が多かったが、検査用に照射するレーザーのスポット径制約により微小な欠陥の検出が困難で、凹凸のない模様状の欠陥は検出できないという問題があった。そのため、画像認識方式表面疵検査機が主流になりつつある¹⁾²⁾。画像認識方式表面疵検査機のカメラには大きく分けてエリアカメラ方式と、ラインカメラ方式の2種類が存在するが、ラインカメラ方式は長手方向の分解能がエリアカメラ方式よりも優れる特徴がある。カメラに使用するイメージセンサはCCD方式とCMOS方式が存在し、機能的、性能的に以下のような違いがある。CCD方式は二次元状に配置されたすべての画素の信号出力である電子を、等価的にはキャパシタで構成される転

*大阪製造所 品質管理チーム

**大阪製造所 品質管理チーム チームリーダー

送路により信号を出力する。これに対してCMOS方式のイメージセンサは電子を画素の中で増幅し、各画素の電子をトランジスタのスイッチングにより読み出すので、ノイズの影響を受けやすいセンサーであるが、CCD方式に比べ安価である。近年の技術躍進により、CMOS方式のノイズ対策が進んだ³⁾ことから、表面疵検査機のカメラはCMOS方式が主流であり、当社はCMOS方式ライ

ンカメラを使った表面疵検査機を採用した。

表面疵検査機の基本構成を図1に示す。表面疵検査機は、主に①カメラと光源(LED、蛍光灯等)、②画像処理コンピュータ、③データ保管/確認制御用PCで構成される。カメラから被検査対象の連続画像を、画像処理コンピュータに取り込み、リアルタイム処理でその濃淡の情報から疵の検出と判定を行なう。

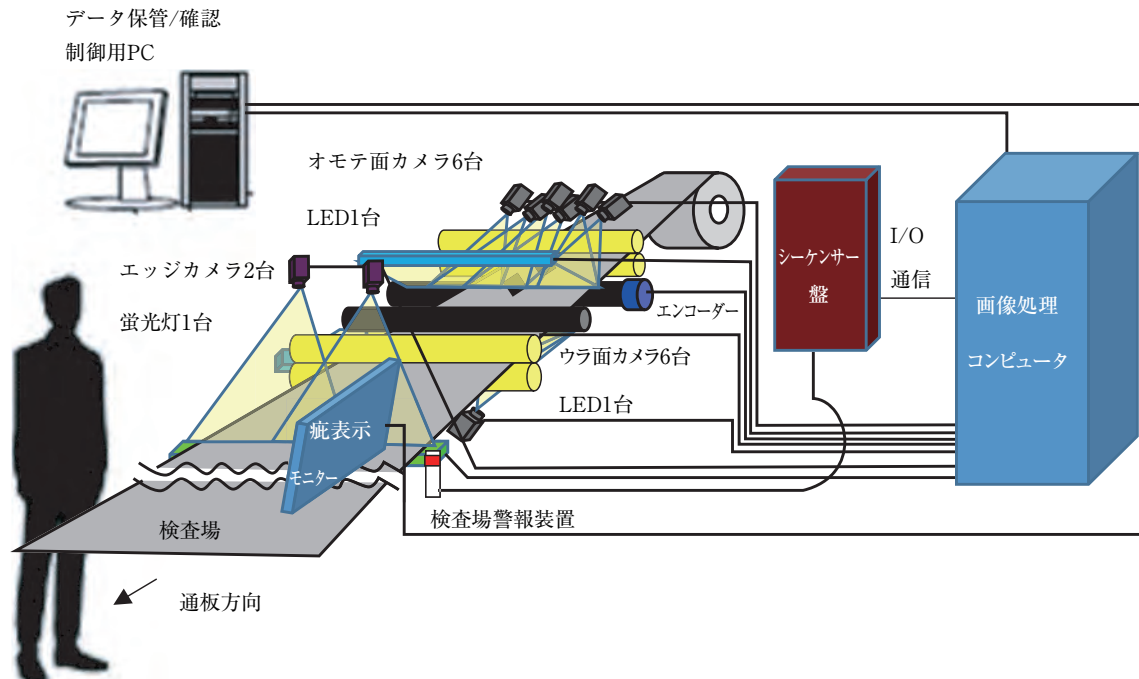


図1 表面疵検査機の基本構成
Fig. 1 Surface defect inspection machine configuration.

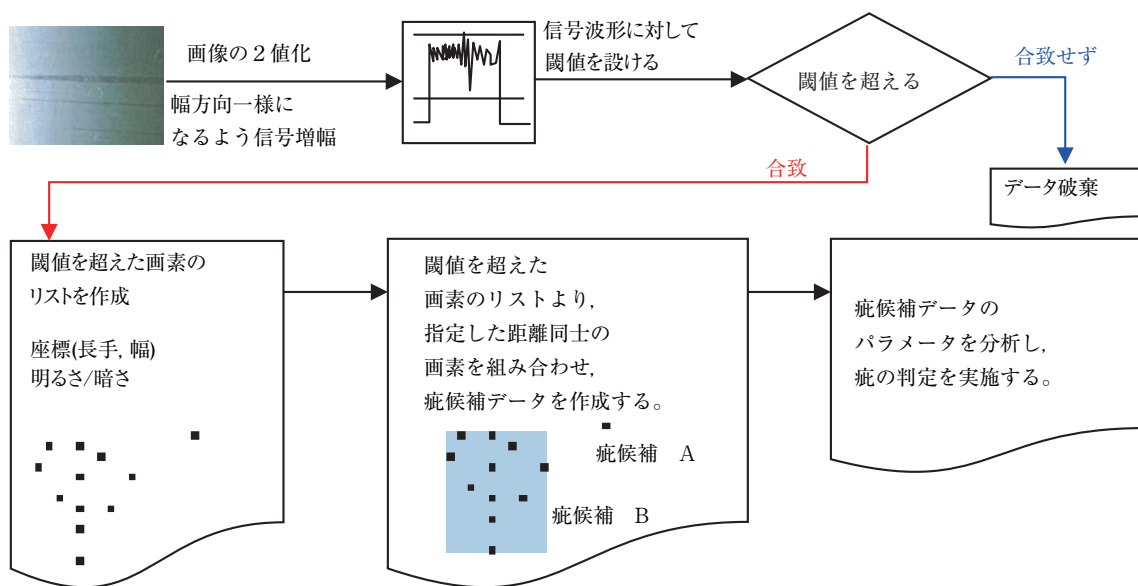


図2 表面疵検査機 疵の判定処理
Fig. 2 Flow of detection method for surface defect inspection machine.

その結果はデータ保管/確認制御用PCに送られ、PC上で展開図や疵の画像を表示し、PCに保存する。さらに疵検出時に鳴動する警報装置を有する⁴⁾。

表面疵検査機の疵の判定方法の概略を図2に示す。光源から反射もしくは透過した光を2値化し、ソフトウェア上もしくは光源の出力調整で信号の増幅(ノーマライズ処理)を行い、2値化信号に対して閾値を設け、閾値を超えた信号を検出した画素の位置情報と信号強度をリスト化する。その後指定した条件に基づいて疵候補画像データを作成する。疵候補画像の大きさ、形状、濃淡、位置などのパラメータを使って細かく判定を行なうことで、検出したものが疵であるか否かを判定する。

3. 表面疵検査機の導入のための準備

3.1 検査対象疵の決定

図3に特殊鋼製品にとって有害となる疵を示す。ピッチ性の無い巻締め疵、共ズレ疵、帯状巻締め疵、ヘゲ、押し込み、素材疵、カキ疵を表面疵検査機で必ず検出すべき疵と位置付け、ピッチ性の疵等カットサンプル検査で検出できる疵は表面疵検査機の検査対象から除外することとした。表面疵検査機は図4に示す様にカメラや光源の角度によって疵の見え方が変化するため、事前に検査する疵の絞込みを行い、表面疵検査機のカメラおよび、光源の角度を慎重に設定する必要がある。

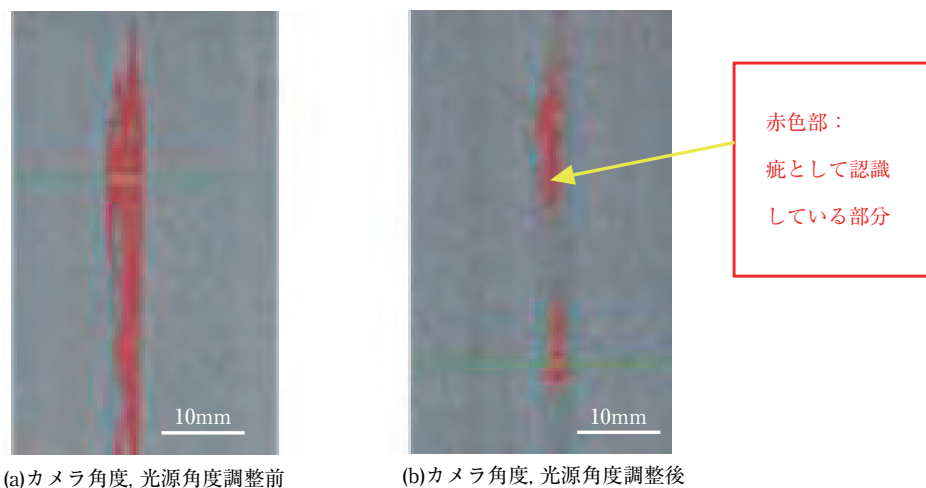


図3 カメラ、光源角度が及ぼす検査能力への影響(例:ヘゲ)

Fig. 3 The effect of camera and light source angle on inspection ability. (ex: Inclusion defect)

3.2 設置位置の検討

表面疵検査機にて検出精度を確保するために最も重要な因子は、鋼板パスラインの安定性である。パスラインが安定していない場合、図5に示す様にカメラが受ける信号波形が乱れる。信号波形の乱れによる誤検出を防止するため、閾値を緩める必要があり、表面疵検査機的能力低下に繋がる。この事より、表面疵検査機を設置する場所としては、ブライドルロールの様にロール径が大きく、巻付け角が大きく取れるような場所に設置することが望ましい。もしくは、図7に示すようにパスライン上に巻付け角のある検査ロールを設置するなどの対応を行う。

当社の1SL、2SLは巻付け角の大きな既設ロールが無かったため、図6のように新たに検査ロールを設置した。また、検査ロール前後にピンチロールを新設することでパスラインの安定化を図った。

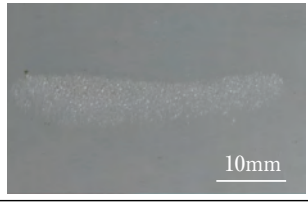


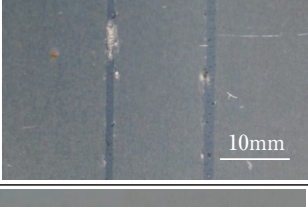

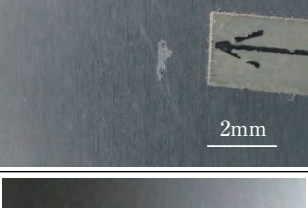

ピッチ性	疵名	外観写真	原因形態
有	ロールマーク		冷間圧延または調質圧延時の作動ロールについての異物及びロールそのものの疵が転写されたもの
無	巻締め疵		コイルの巻取り張力が少ない状態で急激に高い張力を加えた際に発生する掘れ込みのある疵
	共ズレ疵		前工程でのコイルの巻取り状態が筈状になったものを、巻解き時の後方張力を十分にかけられなかった場合に発生する掘れ込みのある疵。
	帯状巻締め疵		熱間圧延コイルの幅方向の板厚が、コイル端の部分が厚くなった場合、冷間圧延中に受ける面圧が高くなり、帯状の巻締め疵が発生する。
	ヘゲ		熱間圧延コイルの材料であるスラブを表層に介在物等が残留した状態で膜が張った状態になったものが、熱間圧延、冷間圧延で厚みが薄くなるにつれ、表面がはがれたり、しわ状になったもの。
	押し込み疵		異物が圧延中に板の上ののり、押し込まれたもの。
	素材疵		熱間圧延時のスケール残、もしくは酸洗ライン内のプライドルロール片を冷間圧延機で押し込まれたもの。
	カキ疵		設備構造物にコイルが接触することで、圧延方向に平行な線状の疵が発生したもの

図4 特殊鋼製品の疵外観例

Fig. 4 Examples of defect appearance in special steel products.

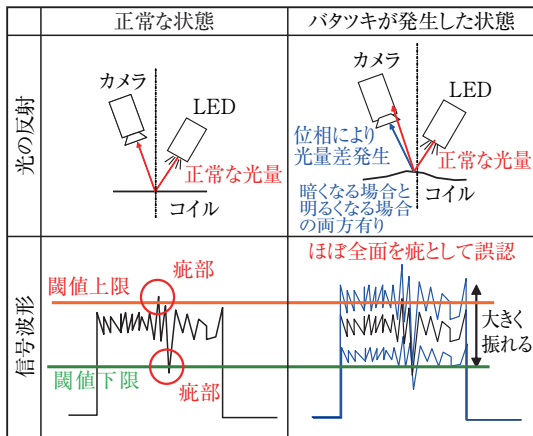


図5 コイルのバタツキが信号波形に及ぼす影響
Fig. 5 Influence of coil bouncing on signal waveform.

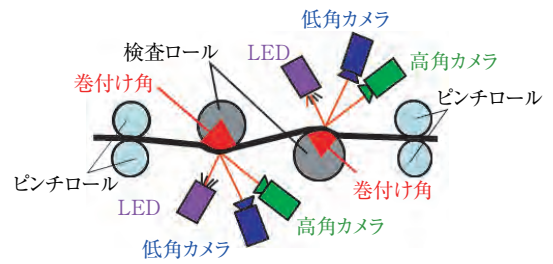


図6 表面疵検査位置模式図
Fig. 6 Schematic diagram of surface defect inspection position.

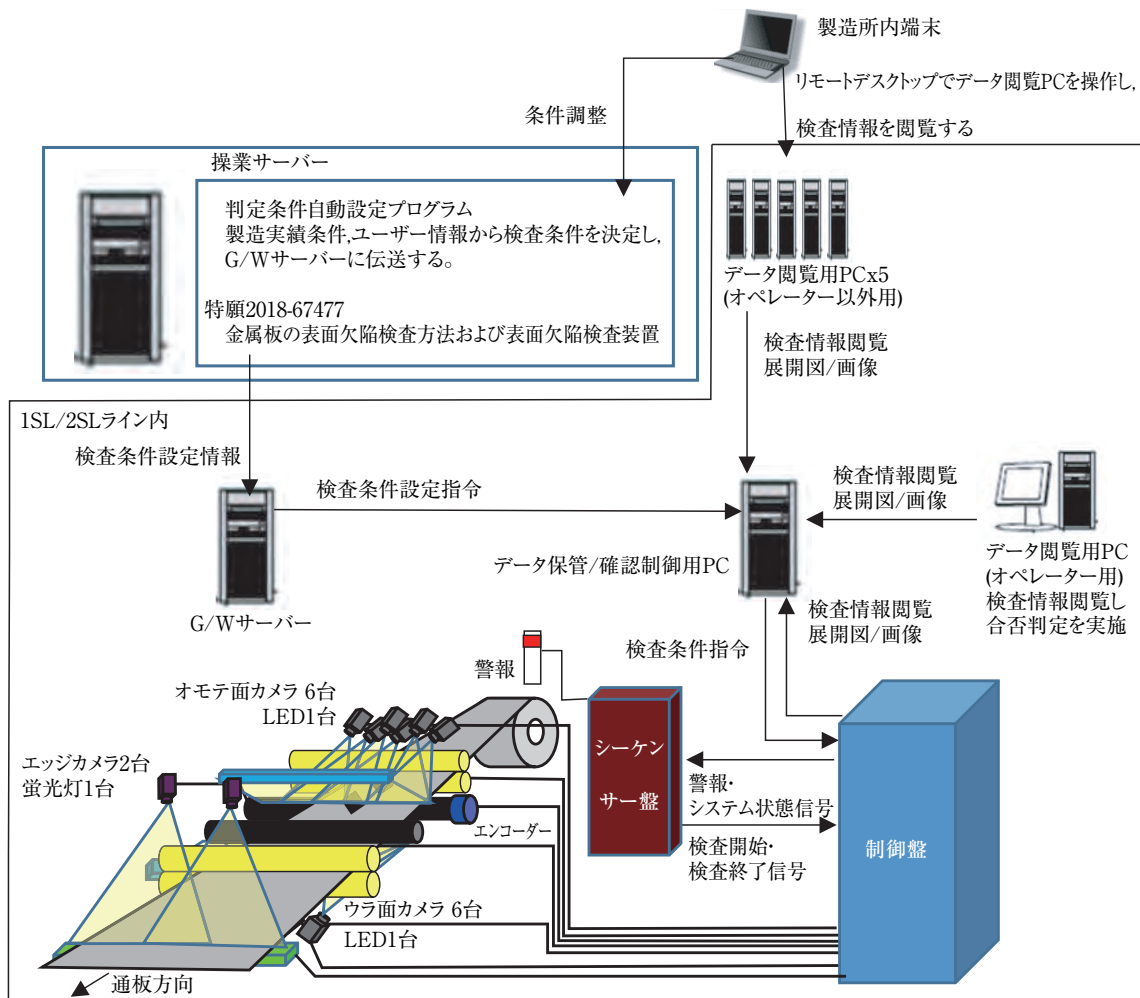


図7 ISL/2SL表面疵検査機システム構成
Fig. 7 System configuration of ISL/2SL surface defect inspection machine.

3.3 表面疵検査機の選定作業

国内外多数のメーカーが画像認識方式の表面疵検査装置を販売しており、性能、価格帯も多種多様である。表面疵検査機の機種選定に当たっては、実際の疵のサンプルと疵以外の油汚れや焼鈍縞等、製品に無害だが外観の

違いがあるサンプルを採取し、メーカー保有実験機を用いて評価試験を行なった。

当社1SL、2SL表面疵検査機は、表1に示す確認項目による評価を行い、選定基準を満たした表面疵検査機の設備仕様を表2に示す。

表1 表面疵検査機導入選定基準

Table 1 Selection standard for introducing surface defect inspection machine

	確認項目	選定基準	理由
1	検出能力	必ず検出しなければ客先に流出するリスクがある疵をすべて検出できること。	表面疵検査機導入目的である
2	処理能力	ライン最高速度で、 $\phi 2\text{mm}$ 程度の疵候補となる画像データが1万件/100m発生しても、データを記録できる。	検査不能区間発生抑制
3	ノーマライズ処理能力	信号のノーマライズ不適正区間が短いこと。数m以下が望ましい。	検査不能区間に相当する
4	色調	疵部と疵以外の部分を比較して色調差が大きいもの	疵部と疵以外の部分のパラメータに差異を発生させる
5	解像度	疵の最小幅 $\times 1/3$ 以上、微細疵の最小長さ $\times 1/3$ 以上微細画像が鮮明	疵の寸法に関するパラメータを有効にし、判定ルール作成時の作業を容易にする
6	閾値の特性	疵部と疵以外の部分の色調差が小さい疵であっても、大部分を疵として認識している。	疵の面積が広ければ判定に使えるパラメータが増加する。
7	閾値の設定	オモテ面、ウラ面、幅方向で細かく設定できること。	実際の設備では、コイルの自重や張力の状態、油の付着斑によって信号レベルの変化がある
8	パラメータ数	最低でも100種類以上のパラメータが扱えること 疵と疵以外のもののパラメータの差異が発生していること。	疵と疵でないものを区別するためには、多数のパラメータを使用する 疵と疵でないものの区別に有効なパラメータがなければ、人間が疵と判定された画像をチェックする仕組みが必要となる。
9	判定ルール変更が容易	油の付着度合い、お客様の要求品質にあわせて判定ルールを指定できること。	油の付着度合いはコイルによってバラツキがあり、油を疵として判断しないように認識させるルールを微調整する必要がある。
10	判定ルール設定支援機能	AI等を活用した、疵の判定ルールの学習機能、調整支援機能を有すること。	人間のみでは、100件を超えるパラメータを使い、判定ルールの調整を行なうことは、極めて困難である。

表2 表面疵検査機仕様

Table 2 Specification of surface defect inspection machine

評価項目		1SL/2SL表面疵検査機
運用開始時期		1SL 2017年11月 2SL 2014年4月
検査機視野幅	オモテ面 ウラ面	Max1,370mm
	透過面(穴検査)	Max1,400mm
	疵検出能力	極めて高い
	処理可能件数	$\phi 2\text{mm}$ 程度の画像であれば実ラインで2万件/100m(200mpm)処理可
	ノーマライズ処理能力	1m以内で適正化
	色調	原板と疵部の色調差が大きい
疵判定カメラ	種類	CMOS方式ラインカメラ
	オモテ/ウラ幅 分解能	0.11mm
	透過面幅 分解能	0.16mm
	長さ 分解能	0.16mm
	オモテ面/ウラ面角度・台数	オモテ面/ウラ面それぞれ低角 $\times 3$ 台 高角 $\times 3$ 台
	透過面	2台
	オモテ面/ウラ面照明装置	LED 1台
	透過面照明装置	蛍光灯 1台
ソフトウェア	閾値	明暗度 長手方向明暗度平均化* 幅 \times 長手明暗度平均化* 他数種同時併用
	閾値設定方法	オモテ、ウラ、幅方向それぞれ異なる設定可能
	パラメータ数	100以上 \times カメラ角度2種類分
	判定条件シミュレート機能	有
	判定条件設定支援機能	ディープラーニングAI
パスライン	検査ロール巻付け角	12°以上
	検査ロール径	$\phi 200\text{mm}$
	検査ロール/前後ピンチロールシリンダー	油圧方式

*文献No.5) 鈴木 聡:紙パ技協誌57-8 (2003), 80.

コイルオモテ面，ウラ面共に低角側，高角側の2種類のカメラを設置した。この2種類のカメラで検査を行い疵画像のパラメータを組合せて判定するシステム⁶⁾を導入することで，製品に有害な疵と，製品に無害な油模様，焼鈍縞を表面疵検査機が区別でき，誤検出を抑制させることが出来る。仮に表1に適合しないものを選択した場合は，高速運転中に検査不能区間が発生する場合や，何万件にも及ぶ疵画像を全て人間が判定せざるを得ない状態に陥る等の不具合が発生し，表面疵検査機を使った品質保証体制の構築が困難になる。

4. 表面疵検査機の調整法

一般に特殊鋼は焼鈍や冷間圧延，脱脂，調質圧延を組合せて製造している。このときの製造条件によって製品の光沢や油污れの程度，油膜の斑の有無，焼鈍縞の有無が決定される。表面疵検査機の性能を引き出すためには，これらの程度に合わせて表3に示すように最適なノーマライズ処理条件，閾値，判定条件が得られる仕組みが必要である。当社では図7に示すように，製造実績データを基に，検査対象コイルにとって最適なノーマライズ処理条件，閾値，判定条件を組合せた検査条件を自動で表面疵検査機に設定する仕組み⁷⁾を構築し，高い検査精度を備えた表面疵検査体制を実現した。

4.1 ノーマライズ処理の設定

コイルの光沢度により，光源の光の反射量が変化する。ノーマライズ処理前の生信号が極端に高い場合や，増幅幅のプラスーマイナス方向が逆になる場合があるため，検査条件をコイルの光沢度ごとに振分け，ノーマライズ処理の設定値を調整した。

4.2 閾値の調整例

4.2.1 疵認識範囲適正化

疵の判定ルールを高度なものにするためには，疵の輪郭や色調などのデータ数が豊富でかつ，正確でなければならない。図8に示すように疵の特徴のある部分ほぼ全体が検出できるように閾値を調整した。製品化可能な油污れや，焼鈍縞，母材コイルの油膜の斑を検出することになるが，これらは検査機の疵判定ルールの調整を行い，識別できるようにした。

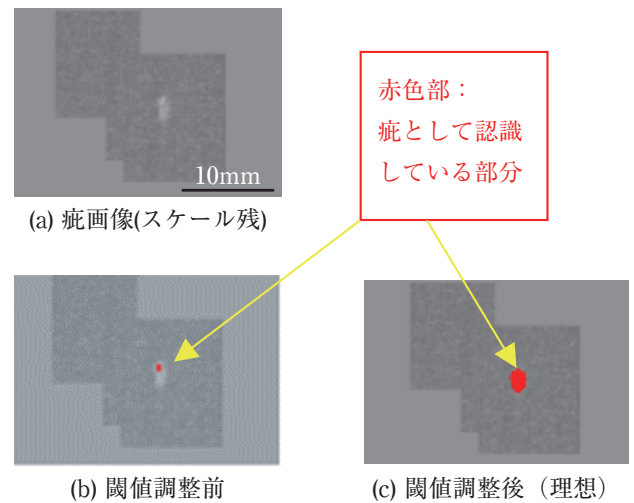


図8 閾値調整による疵認識範囲の適正化
Fig. 8 Optimization of defect recognition range by threshold adjustment.

表3 表面疵検査機の調整項目
Table 3 Adjustment items of surface defect inspection machine

影響因子	表面疵検査機の調整項目			発生要因							
	ノーマライズ処理	閾値	判定条件	前工程		冷間圧延		調質圧延			焼鈍
				設備種類	合紙挿入	機種	ロール	機種	ロール	調圧油	温度, 時間
製品光沢	ゲイン量調整	-	-	○	-	○	○	○	○	○	○
油污れ	-	-	油污れ除外ルール作成	○	○	○	-	○	-	○	-
油膜斑	-	閾値を発生箇所で緩める	油膜斑発生面と非発生面で条件変更	○	○	-	-	○	○	○	-
焼鈍縞	-	-	焼鈍縞除外ルールを追加	○	-	○	○	-	-	-	○
製品用途	-	-	納入仕様にあわせ疵の合否判定を調整する。	-	-	-	-	-	-	-	-

4.2.2 原板の状態に合わせた閾値調整法

実際のラインでは、前工程の油の付着状態や、張力の状態などで表裏面の信号特性が異なる場合がある。例えば光沢が極めて高い鋼材で、エッジ30mm内の区間で塗油が不完全な部分がある製品を検査する場合、図9に示すように、オモテ面低角カメラ視野のエッジ30mm内の区間で疵の有無に係らず、周りの外観と異なることから、全長全面欠陥として認識し、誤判定が発生する。表4に表面疵の特徴を示す。必ず両面に疵が発生するものは、オモテ面のカメラで検出させる。片面のみ発生する疵は、誤判定しない高角カメラのみで疵の有無を判定できるように条件を設定した。図9に示す状態であれば、オモテ面30mm以内の区間の部分の閾値を全面欠陥と認識されない程度まで緩める。

	低角カメラ	高角カメラ
表面	コイルエッジ30mm内 油の付着斑により、 外観差異発生あり ※現品は疵無し コイルエッジ30mm内の 閾値を緩める	幅方向差異無し 幅方向閾値は一定とする
裏面	幅方向差異無し 幅方向閾値は一定とする	幅方向差異無し 幅方向閾値は一定とする

図9 原板の状態に合わせた閾値調整法

Fig. 9 Threshold adjustment method according to the surface state of the original coil.

表4 表面疵の特徴整理

Table 4 Characterization of surface defects

疵名	特徴	発生面 片面/両面	カメラ検出	
			低角	高角
ヘゲ疵	剥離あり	片面のみ	○	○
	カキ疵状	片面のみ	×	○
	マーク状	片面のみ	○	○
カキ疵	カエリ有	片面のみ	○	○
	カエリ無し	片面のみ	×	○
スケール疵	不問	片面のみ	○	○
錆	不問	両面同時	○	○
巻締め疵	不問	両面同時	○	○

○：検出可能 ×検出不可

疵の保証方法は表4に示す様に疵の特性を把握し、外観に異常が発生していないオモテ面(高角)カメラ、ウラ面(低角+高角)カメラを使って、疵を流出させない判定ルールの調整を行った。

4.3 判定ルールの調整

疵判定ルールの調整には100件以上のパラメータ(大きさ、アスペクト比、明暗度等)を使用するため、人間では最適条件の調整が極めて困難である。そこで当社では表面疵検査機メーカーより判定ルール設定支援AIを導入し、疵判定条件設定に活用している。

AIが疵の判定条件を指定するためには、人間の検査員への教育と同じように、お客様にとって有害な疵データおよび無害なものデータ両方をデータベース化して登録する必要がある。疵データベースは、パラメータが類似したもの同士グルーピングを行い、データ数は出来る限り多いことが望ましい。当社の場合、1SLは約2.3万件、2SLは約3万件の画像データベースより疵の判定ルールを構築している。

5. 表面疵検査機の性能評価

表面疵検査機による検査結果の例を図10に示す。1SL/2SL表面疵検査機では、疵以外のものを疵として誤判定することなく、正確に疵を判別できている。表面疵検査機による検査判定運用開始後のクレーム削減効果を図11に示す。表面疵検査機運用開始前の2014年度のクレーム処理金額を100とした場合、2017年度は4.2であり、95.8%の大幅な削減を達成した。この事はお客様のうれしき向上にもつながり、当社の特殊鋼ブランド力アップに貢献できた。

6. 結言

- (1) 表面疵検査機に必要な要素、鋼板パスラインの安定化、複数のカメラで疵を判定し、疵と油を表面疵検査機で区別できる機能等を明確に出来た。
- (2) 表面疵検査機を導入し、製品の要求品質、製造履歴ごとに閾値や判定パラメータ条件の最適化を行った結果、検出精度の向上につながった。
- (3) 表面疵検査機を活用することで、2017年度の表面疵流出クレーム処理金額は2014年度比で95.8%削減できた。

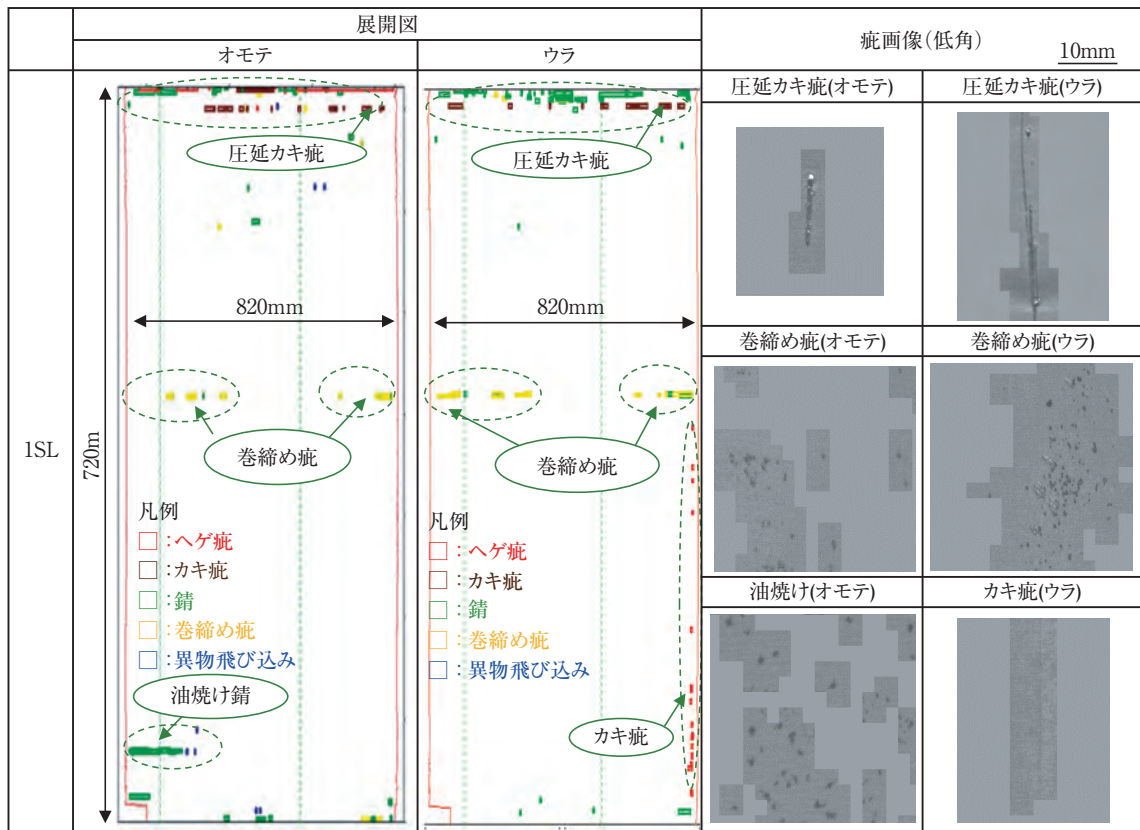


図10 表面疵検査機疵判定結果
Fig.10 Result of surface defect inspection.

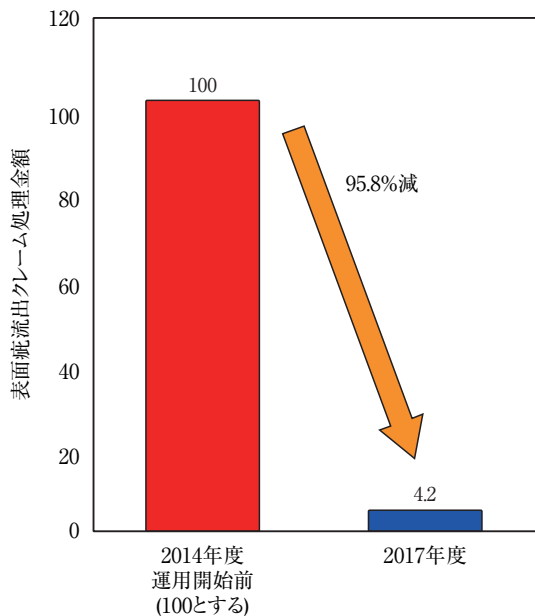


図11 表面疵検査機によるクレーム削減効果
Fig.11 Claim reduction effect by surface defect inspection machine.

参考文献

- 1) 佐々木聡洋, 高田英紀, 戸村寧男: JFE技報, 12 (2006), 13.
- 2) JFEテクノリサーチ 計測システム事業部 製品開発部: JFE技報, 15 (2007), 62
- 3) 角博文, 奈良部忠邦, 齊藤新一郎: 電子情報通信学会 基礎・境界 ソサエティ 3-(2010), 3
- 4) 鈴木聡: 特殊鋼67-3 (2018), 22.
- 5) 鈴木聡: 紙パ技協誌57-8 (2003), 80.
- 6) 特許公報: 特許 6117398
- 7) 特許公報: 特願 2018-67477