

鋼板用表面検査装置「i-TOP」の開発

河村元紀*・倉田英昌*²・北本秀夫*³

Development of Auto Surface Inspection System for Steel Strip “i-TOP”

Motonori KAWAMURA, Hidemasa KURATA, Hideo KITAMOTO

Synopsis : In late years the quality requirement of steel products has become severer. In the late 1980s, we developed the first auto surface inspection system having a line sensor camera and a light source to control the surface quality of steel strips.

About 2000, by the introduction of digitized line sensor camera and highly performed personal computer, the auto inspection system on production lines were largely improved and began to appear on the market as applications of film and paper inspections. At the same time, we tried to apply the system on the steel strips and developed a low-price and highly efficient inspection system finally by combining our experiences and technology which we had cultivated for a long time. Since then, we have verified the effectiveness of the system in our production line not only for steel strips like a tin free steel (TFS), a laminated steel, a tinplate, and steel before plating, but also for an aluminum plate.

In 2011, we named this system “i-TOP” and began to promote it to other companies. So far it has been well-received and contributed to the improvement of productivity and quality for customers both in domestic and overseas.

In this paper, we introduce our auto surface inspection system, so-called, “i-TOP” that we developed for steel strip. By using this system, the inspection ability was greatly improved, so it became possible to recognize such a defect like a light colored scale which used to be very difficult to find.

Keywords : surface inspection ; i-TOP ; image processing

1. 緒言

鉄鋼製品の品質に対する需要家要求は、近年ますます厳しくなっており、弊社においても1980年代後半より鋼板用表面検査装置（以後、「従来型検査装置」と記す）を開発し、品質管理に活用してきた。

2000年頃より、ラインセンサーカメラのデジタル化、及びパソコンの能力向上に伴い、フィルム・紙用の汎用検査装置（以後、「汎用検査装置」と記す）が各社より開発・発売された。弊社はこれに注目し、同装置の鋼板用途へ適

用を図るべく、当社がこれまでに培った経験・技術を組合せて、従来型検査装置に比べ安価で高機能な鋼板用検査装置を実用化するため、自社ラインで検証を行ってきた。そして、現在では、ティンフリースチール、ラミネート材、ぶりき、及び、めっき前鋼板、そして、更にはアルミニウム板の表面検査装置として社内で運用している。

また、2011年からは同装置を「i-TOP」と命名し、外販を推進しており、国内外ユーザーの生産性や品質面の向上などに大きく寄与している。

本報では、鋼板用に開発した表面検査装置「i-TOP」について紹介する。なお、「i-TOP」（アイトッ）とは東洋

* 電計室 計装グループ

*2 電計室 計装グループ 副主事

*3 電計室 計装グループ チームリーダー

鋼鋅の登録商標で、iはinspection（検査）の頭文字で、TOPは検査装置のTOP（先端）を進む事を意味する。また、読みのアイはeye（目）に通じ、視覚的な検査を意味する。

2. i-TOP開発の経緯

1980年代後半より、CCDラインセンサーカメラを用いた従来型検査装置を社内運用してきた。検査方式はFig.1に示すような、ラインセンサーカメラ方式を採用している。カメラで鋼板表面を撮像し、得られたカメラ受光量のアナログ信号を処理することにより欠点を検出する方式である。

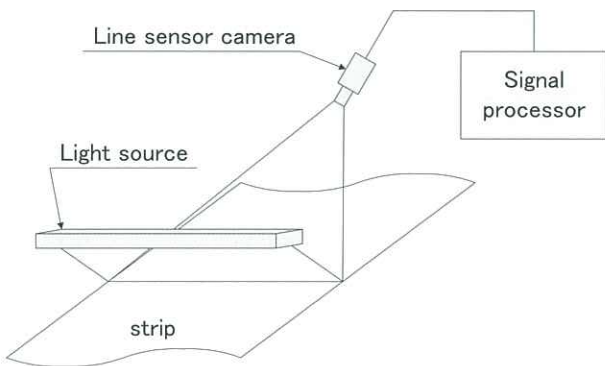


Fig. 1 Surface inspection method of steel strip

2000年頃より、フィルム・紙用で安価なパソコン型の汎用検査装置が各社より開発・販売された。同装置を弊社フィルムラインに導入した際、対象ラインの速度は遅いが、欠点サイズが小さいため、カメラ駆動速度は高く設定されていた。そのため、フィルム・紙に比べてサイズの大きい鋼板の欠点であれば、画素分解能も大きく出来るため、ライン速度が高速でも対応可能と判断した。弊社の約20年にわたる表面処理鋼板自動検査に関する経験・技術と、汎用検査装置とを組み合わせ、安価で処理速度が速い高機能な鋼板用表面検査装置「i-TOP」の開発を行った。

3. 鋼板用途への課題とその対応

汎用検査装置を鋼板用途へ適用し実用化するため、主に次の機能開発を行った。

- (1)自動検査幅設定、及び、エッジ追従機能
- (2)欠点検出判定の高速化
- (3)鋼板用画像処理の開発

3.1 自動検査幅設定、及び、エッジ追従機能

鋼板は、フィルム・紙に比べ、被検査材の幅寸法が変わる頻度が多い。汎用検査装置は、その都度、検査幅を手動で設定する必要があり作業性が悪かった。そのため、i-TOPでは検査スタート時に板エッジの光量差を検出する

ことにより板幅を求め、自動で検査幅を設定する機能を追加した。

汎用検査装置では、被検査材が光を透過するため、検査の方法が透過式となるが、被検査材は透明なものが多いため、検査範囲外との境目であるエッジを検出することが困難となる。それに比べ鋼板の場合は反射方式であり、Fig.2に示すように板エッジ部の光量差を得られる利点がある。

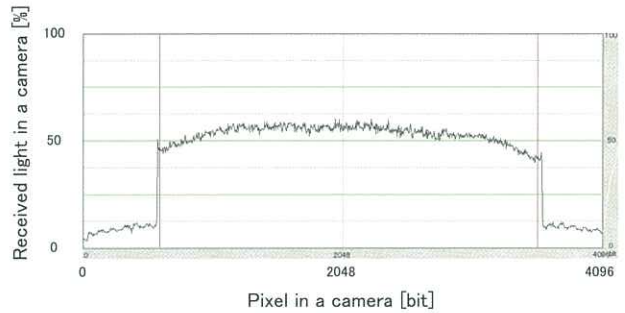


Fig. 2 Video waveform of steel strip

i-TOPのエッジ検出方法をFig.3に示す。板エッジ部の光量で微分処理を行い、板エッジの位置を検出する。その後、不感帯部を設定し、その内側を検査幅とする。鋼板は蛇行することがあるため、通板中に板エッジ検出処理を周期的に行うエッジ追従機能を追加し安定した検査を可能とした。

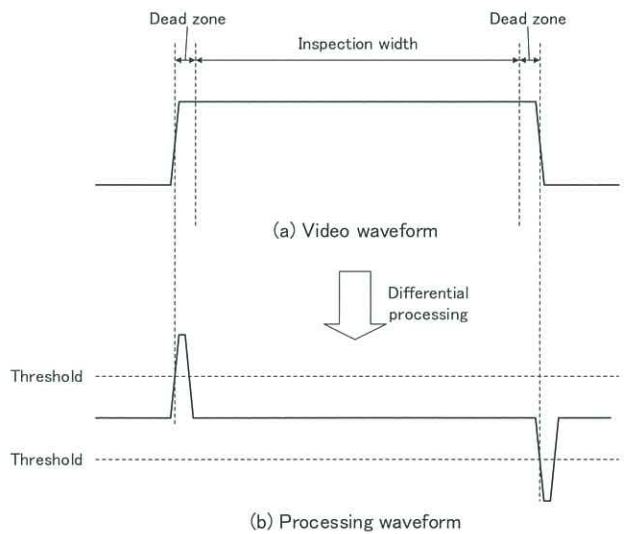


Fig. 3 Method of the edge detection

3.2 欠点検出判定の高速化

鋼板ラインへ表面検査装置を設置する際、下流のマーキング装置やパイラーなどへ欠点検出信号を出力し、マーキングにより下工程へ欠点の位置を知らせる運用や欠点部分を除去する運用を行うことが多い。しかし、汎用検査装置の欠点検出は、Fig.4 (a)で示すように処理基板で行う一次判定（欠点の光量差、及びサイズ（面積、長さ、幅）

鋼板用表面検査装置「i-TOP」の開発

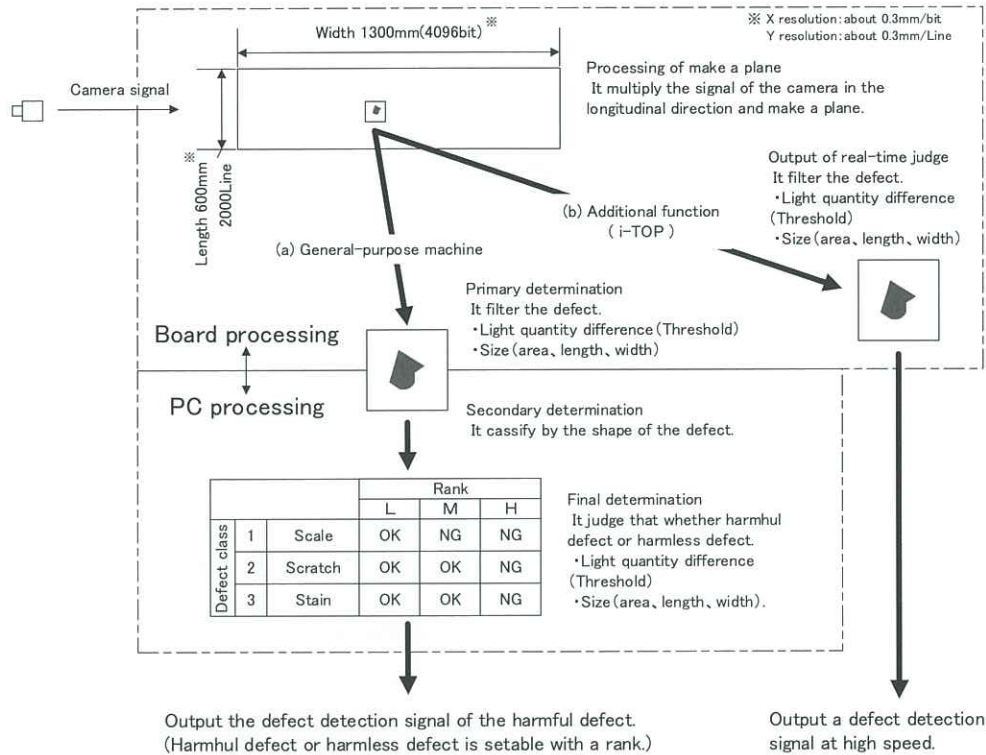


Fig. 4 Method of the defect processing

から欠点候補部の画像を切り出す)と、データ処理パソコンで行う二次判定(欠点の光量差、及びサイズ(面積、長さ、幅)からランク判定し、有害欠点、無害欠点を決定する)があり、二次判定後に欠点検出信号を出力していたため、約3秒の処理時間を要していた。そのため、欠点検出信号を使用して、下流の機器を制御する場合、検査装置の設置位置が制約されていた。そこで、i-TOPではFig.4 (b)に示すように従来データ処理パソコンで実施していた二次判定処理を基板上で並行して行う事で、欠点検出信号判定の高速化を実現した。ただし、パソコンで実施する二次判定は、各ランク別に欠点検出信号を出力することが可能であるが、基板で行う高速判定の場合は欠点のランク分けを行わず、欠点検出信号を出力する。なお、基板で行う高速判定の処理時間*1は、カメラが欠点部を撮像・判定してから、0.02秒以下となる。

本機能は、シャーライン等、欠点検出から判定出力までの距離が短いラインに特に有効となる。

3.3 鋼板用画像処理の開発

汎用検査装置では、一部の鋼板特有欠点の検出が困難であったため、新たに鋼板用画像処理を開発した。

3.3.1 圧縮処理

一般的な表面検査装置は欠点検出の画像処理として、通常、濃淡の変化量を求める微分処理を使用する。微分処理は小さい点状欠点については安定して検出可能だが、変化がなだらかで欠点の際がはっきりしない薄汚れ状欠点の検出を苦手とする。その対策として、i-TOPでは画像を圧縮する圧縮処理機能を前処理として追加した。圧縮処理前後のイメージ、及び、アナログ信号をFig.5に示すが、微分処理前に画像を圧縮することで、より離れた画素の濃淡変化量を求めることができるため、大きい薄汚れ状欠点に対して有効となる。

圧縮する方法は、単純に画素を抜き取る「間引き」と、近傍画素を平均化する「移動平均」とがあり、各圧縮方法をFig.6に、実際の欠点画像を5×5の「間引き」と「移動平均」にて圧縮処理した画像をFig.7に示す。特徴として、間引きは地合(対象物の欠点以外の正常な部分のノイズ)が圧縮前の生値となるためS/N比を確保し易い。それに比べ移動平均は、地合が近傍画素と平均化されるため、圧縮前よりS/N比が小さくなる可能性がある。そのため、移動平均は特に地合が大きくS/N比を安定して得られない場合のみに使用する。

*1: 処理時間には、検査装置が欠点の大きさを認識するまでの時間を含まない。例えば、長い筋状欠点では長さを測定するため、欠点の尾端部を認識した後、0.02秒以下で欠点検出信号を出力する。

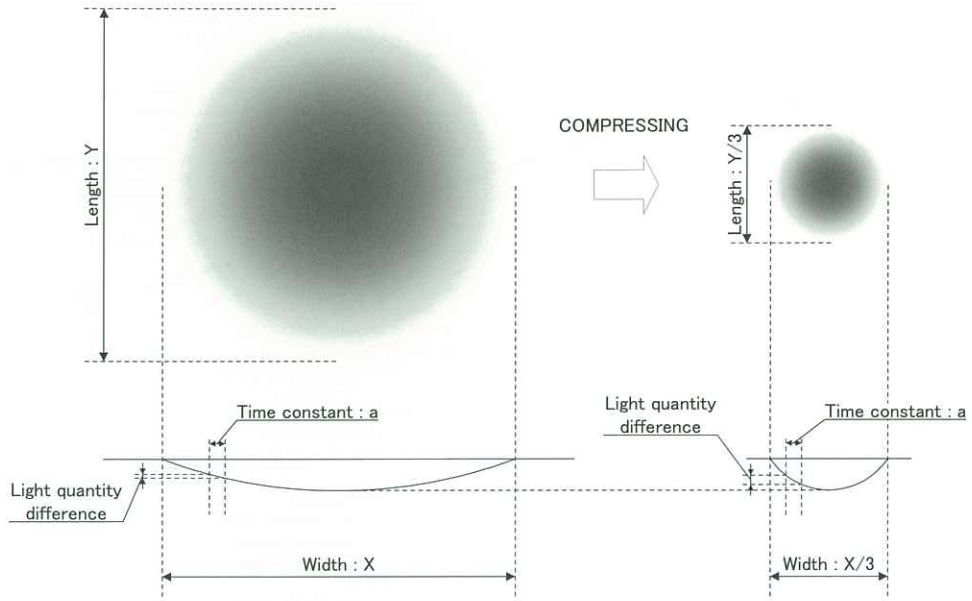
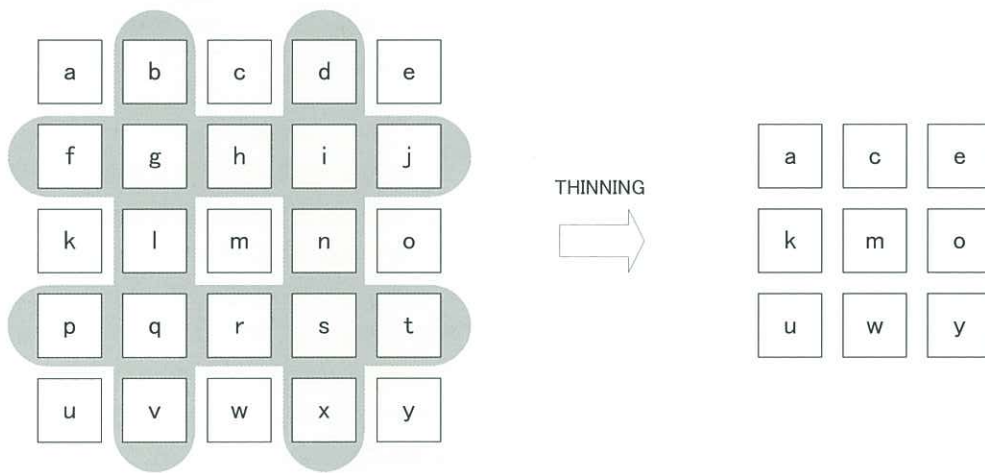
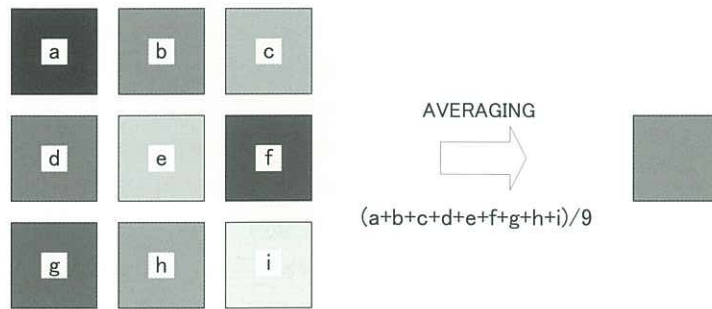


Fig. 5 Compression processing

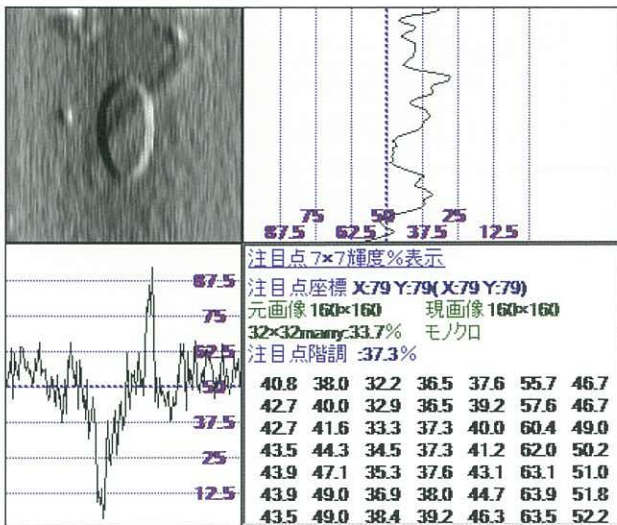


(a) Thinning method

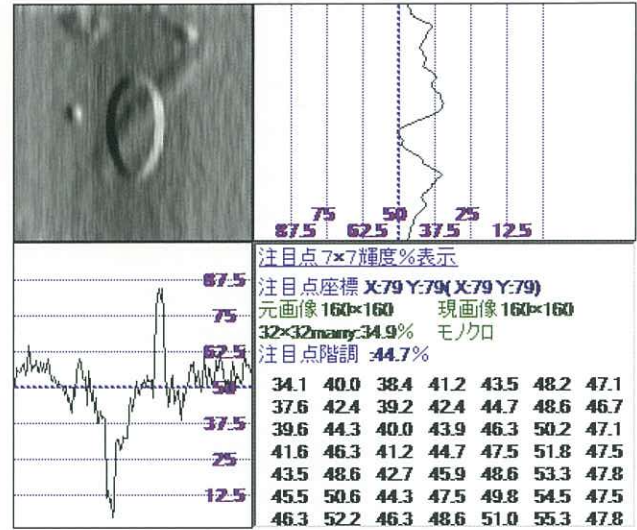


(b) Averaging method

Fig. 6 Method of compression processing



(a) Thinning method



(b) Averaging method



(c) Image of before processing

Fig. 7 Image of compression processing

3.3.2 スケール専用判定処理

スケールの様な薄い筋状欠点は、従来より使用している微分処理での安定した検出は困難であった。そのため、汎用検査装置の既存機能であった空間フィルタを利用して、薄い筋状欠点に有効な画像処理を開発した。

なお、空間フィルタとは、注目画素を中心にした M行×N列の近傍マトリックス、及び同じサイズの係数マトリックスで積和演算を行い注目画素の画素値を変換するフィルタのことで、変換後の画素値は以下の公式で求めることができる¹⁾。

$$g(i, j) = \sum_{n=-W}^W \sum_{m=-W}^W f(i+m, j+n) \cdot h(m, n) \quad (1)$$

g (i,j) : 変換後の画素値, f (i,j) : 注目画素の画素値,
h (m,n) : 係数マトリックス

係数マトリックスを3×3と仮定すると、注目画素の画素値と係数マトリックスはFig.8で表すことができ、変換後の画素値は以下の通り計算できる。

f (i-1, j-1)	f (i, j-1)	f (i+1, j-1)
f (i-1, j)	f (i, j)	f (i+1, j)
f (i-1, j+1)	f (i, j+1)	f (i+1, j+1)

(a) Pixel value of target

h (-1, -1)	h (0, -1)	h (1, -1)
h (-1, 0)	h (0, 0)	h (1, 0)
h (-1, 1)	h (0, 1)	h (1, 1)

(b) Coefficient matrix

Fig. 8 Calculation of spatial filter

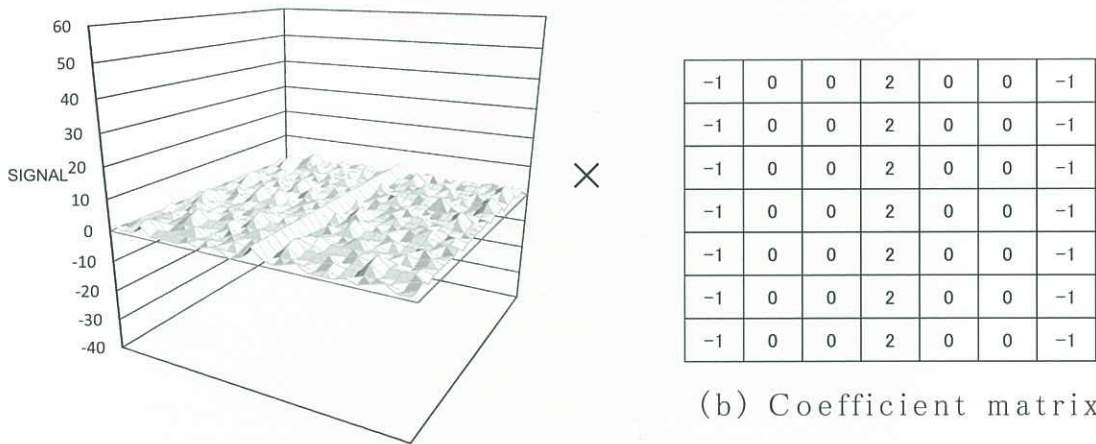


Fig. 9 Image processing of spatial filter

$$\begin{aligned}
 g(i, j) &= \sum_{n=-1}^1 \sum_{m=-1}^1 f(i+m, j+n) \cdot h(m, n) \\
 &= \{f(i-1, j-1) \cdot h(-1, -1)\} + \{f(i, j-1) \cdot h(0, -1)\} \\
 &+ \{f(i+1, j-1) \cdot h(1, -1)\} + \{f(i-1, j) \cdot h(-1, 0)\} \\
 &+ \{f(i, j) \cdot h(0, 0)\} + \{f(i+1, j) \cdot h(1, 0)\} + \{f(i-1, j+1) \cdot h(-1, 1)\} \\
 &+ \{f(i, j+1) \cdot h(0, 1)\} + \{f(i+1, j+1) \cdot h(1, 1)\}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

そして、薄い筋状欠点用に開発した処理の空間フィルタ計算例をFig.9に示し、同図中央の一部を数値で表した空間フィルタ計算例をFig.10に示す。7×7の係数マトリックスが今回開発した処理で、縦積算処理と命名し使用している。縦の7マスに並ぶ「2」により長手方向に積算することで、欠点信号は強調し、地合は平均化させる。また、横

7マスの和を「0 (ゼロ)」とすることで処理後の画素値を0 (ゼロ) 基準とすることができる。なお、数値を大きくし増幅率を変更することで、より薄い欠点を強調することも可能である。鋼板用に開発したスケール専用判定処理時の画像処理例をFig.11に示す。本処理により、薄い筋状欠点が強調され検出能力が向上している。

現状では、画像処理を2段階で行うことができるため、微分処理・圧縮処理・スケール専用判定処理を基本に、欠点の形態に合わせて処理の組み合わせを変更したり、係数マトリックスの数値を変更して使用している。例えば、長手方向に長く大きい薄汚れ状欠点の場合は、1段階目の画像処理で圧縮処理を行い、2段階目でスケール専用判定処理を行うことで欠点をより強調することができる。

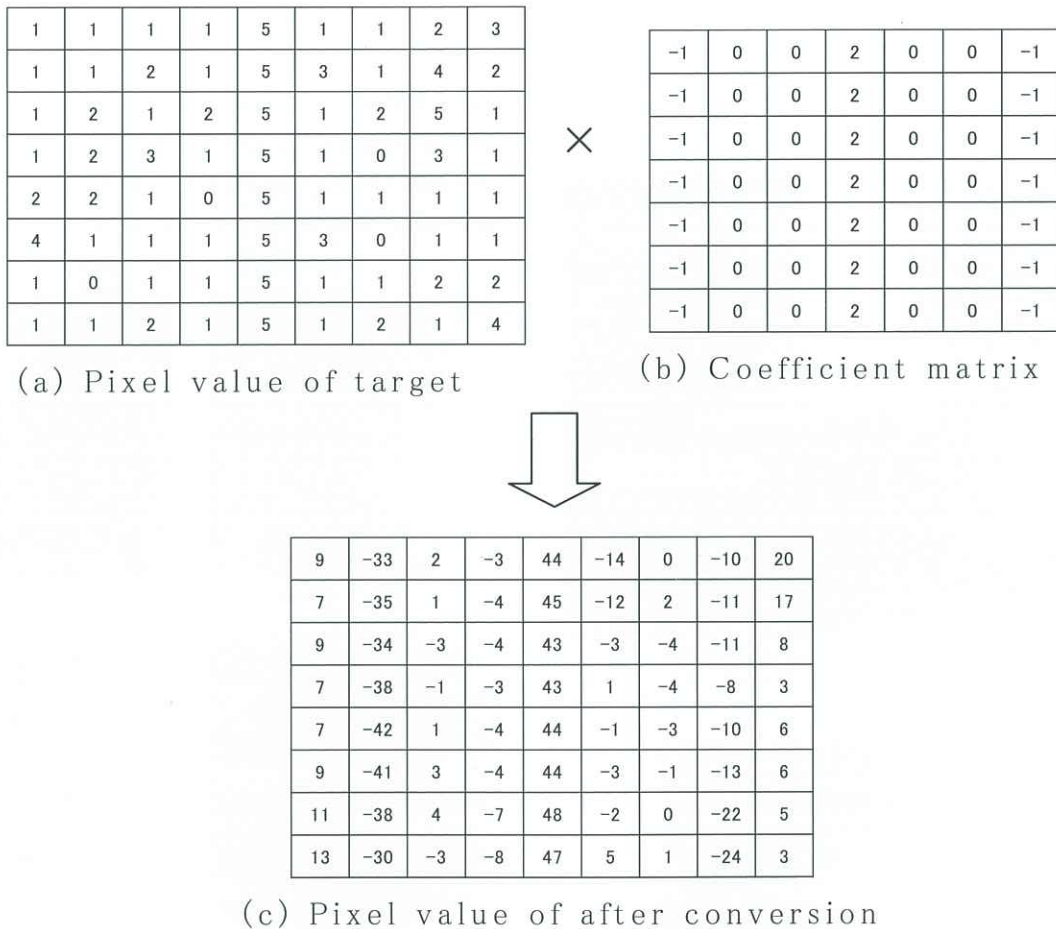


Fig.10 Image processing of spatial filter (value)

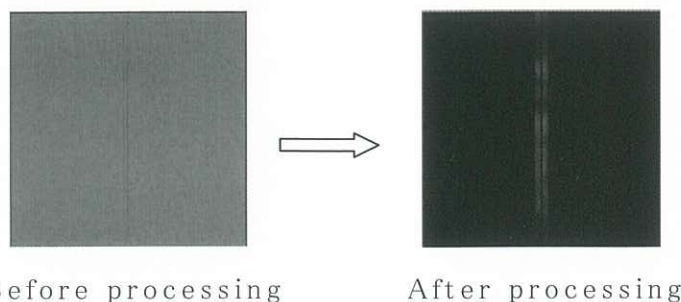


Fig.11 Integration processing

4. 実機への展開

4.1 実用化

2005年から汎用検査装置を自社ラインに導入し、鋼板表面検査に必要な機能の開発を行ってきた。現在では、鋼板用に機能を追加したi-TOPを、ティンフリースチール、ラミネート材、ぶりき、及びめっき前鋼板、更にはアルミニウム板で社内運用している。Fig.12に検査部ユニット（カメラ、光源）の外観を示し、Fig.13に操作パネルの外観を示す。また、i-TOPが検出し撮像した代表的な欠点画像サンプルはFig.14に示す通りで、モノクロの鮮明な画像が得られる。

現在は開発した機能の有無で、i-TOPを3つのグレードに分け、ライン仕様や検出したい欠点などから最適なグレードを選定している。各グレードの仕様はTable 1の通りとなる。使い分けとして、スタンダードタイプは鋼板の表裏

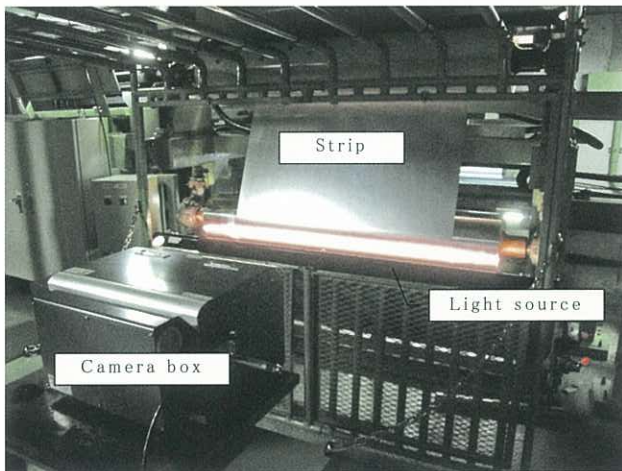


Fig.12 Inspection unit (camera, light source)



Fig.13 Operator panel

面の乱反射のみを検査する場合などに使用する。ハイブリッドタイプ、ハイグレードタイプは表裏面検査で、正反射/乱反射の2種光学系が必要になる場合に使用し、その中でもライン速度が高速となる場合や検出したい欠点が多種の場合にハイグレードを使用する。

4.2 i-TOP外販

社内の運用で実用化の目処がたち、2011年よりi-TOPの外販を開始した。これまでに国内外へ13台納入（2014年11月現在）し、導入したユーザーには、装置の能力や使い勝手などで満足頂け、ユーザーの生産性や品質面の向上などに大きく寄与している。

5. 結言

フィルム・紙用の汎用検査装置に自社で培った表面処理鋼板自動検査に関する経験と技術を組み合わせ、さらに以下の機能を実用化し、鋼板等への適用が可能な安価な表面検査装置「i-TOP」を開発した。また、2011年からは本装置の外販を開始し、国内外へ13台納入（2014年11月現在）

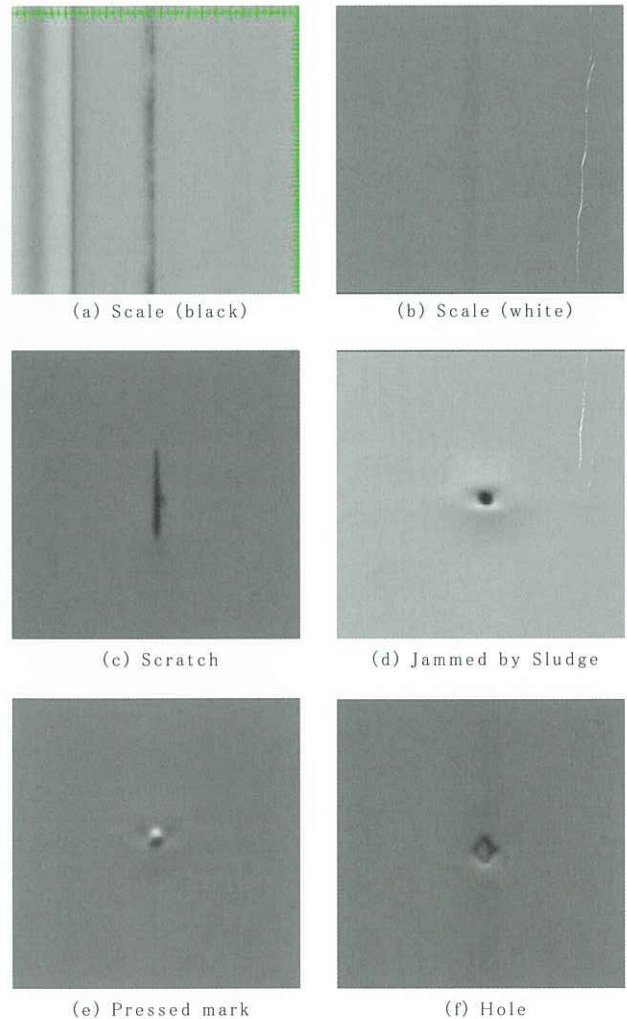


Fig.14 Sample of defect image

Table 1 Grade of i-TOP

		Standard	Hybrid	High grade
Camera	Specifications	2048~6144 pix	2048~6144 pix	2048~8192 pix
		80MHz	80MHz	80~160MHz
	Series of max	2	4	4
	Number of max	4	8	48
Following the edge		available	available	available
Output of real-time judge		available	available	available
Image processing	Matrix	7×7	7×7	7×7
	Circuit	2	2	4
	Multistage	not available	not available	available

している。

- (1) 板エッジを検出する機能により、自動で検査幅を設定することが可能となった。また、周期的に板エッジ検出を行い、追従することで蛇行の際も安定した検査が可能となった。
- (2) 欠点検出判定の高速化により、欠点検出から判定出力までの距離が短いラインへの設置が可能となった。
- (3) 鋼板用途に開発した圧縮処理やスケール専用判定処理を適用することにより、これまで従来型検査装置で検出が困難であった、薄汚れ状欠点、薄いスケール欠点

の検出能力が向上した。

最後に鋼板用表面検査装置「i-TOP」の開発にあたり、ご協力頂いた関係各位に誌上を借りて深く感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 「第5章 空間フィルタリング処理」, http://ipr20.cs.ehime-u.ac.jp/column/gazo_syori/chapter5.html