G140011

目視検査における欠点色の相違が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究

康 秀徳^{*1}, 中嶋 良介^{*1}, 市毛 貴博^{*1}, 志田 敬介^{*2}

A study on the effect of a difference between defect colors on detection rate in visual inspection

Hidenori KOH^{*1}, Ryosuke NAKAJIMA, Takahiro ICHIGE and Keisuke SHIDA^{*1} Nagaoka University of Technology, Dept. of Management and Information System Engineering
Kamitomiokamachi 1603-1, Nagaoka-shi, Niigata, 940-2137 Japan

In the manufacturing industry, it is common to conduct visual inspection in order to ensure the quality of products external appearance. Visual inspection is one of the sensory evaluations by means of human sensation. Since there is dispersion in the result of the inspection according to the suitability and the experience of the worker, the standardization of the work is a problem to be solved. Therefore, in order to quantify the work of visual inspection, in this paper, the effect of the difference of the defect color on detection rate is examined. Specifically, an experiment was done with luminance and hue of the defect as variation factors. As a result, the detection rate of defects with same hue increases with the increase in the luminance difference of background and defect. Moreover, the detection rate of defects with same luminance increases with the increase in yellow-blue component of the background and defect

Key Words : Visual Inspection, Peripheral vision, $L^*a^*b^*$ color system, color component

1. 緒 言

日本の生産現場では、市場への不良品の流出を防止するため、製品の検査が徹底的に行われている。検査は機能検査と外観検査とがある。機能検査は製品の動作を確認することで、良品か不良品かの判別ができるので、自動化が進んでいる。一方、外観検査はキズや汚れの大きさや濃さ、色、凹凸など多様な状態を呈している欠点を検出し、その程度に合わせて製品が良品か不良品かを判別しなければならず、自動化が困難である。さらに近年では、製品の小型化や精密化が進み、カメラの分解能を越える欠点の発見が必要な場面も数多く見られる。これらの問題を解決し、外観検査の自動化を行うには膨大なコストが必要となることから、多くの生産現場において、外観検査は人間による目視検査に頼らざるを得ない状況にある。

一般的に、目視検査員には欠点を確実に検出する能力(検出能力)とその欠点を顧客のニーズに基づいた不良判定基準と比較し、良品と不良品を正確に判断する能力(判断能力)の2つが必要である。我々の先行研究では前者の検出能力に着目して、様々な種類の欠点が欠点検出率に及ぼす影響について検討した。その結果、背景と欠点の輝度コントラストと欠点検出率の間に正の曲線的な相関があることが明らかになった。しかし、同輝度でも異なる複数の色が存在するので、ある輝度コントラストをとる欠点と背景の組み合わせは無数に存在することになる。そのすべての組み合わせにおいて欠点検出率が同様になるかは明らかとなっていない。先行研究でも欠点の色に一部の限定した色相のみを用いていることから、輝度コントラストだけではなく欠点や背景の色が欠点検出率に与える影響を検討する必要があると考えられる。

そこで本研究では、輝度と色相の異なる様々な欠点を用いて、ディスプレイ上で目視検査をモデル化した実験を行い、欠点色の相違が欠点検出に及ぼす影響について検討することを目的とする。

^{*1} 非正員, 長岡技術科学大学大学院 (〒940-2137 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

^{*2} 正員, 長岡技術科学大学

E-mail: s103406@stn.nagaokaut.ac.jp

2. 実験方法

2・1 課題作業

課題作業として、図1に示す縦1cm、11.3cmの領域に、直径1cmの円(以後、注視点と呼ぶ)を2つ配置した検査対象をモニタに表示した。被験者はまず、上の注視点を注視し、検査対象上部を検査する。次に同様の方法で検査対象下部を検査し、1枚の検査対象の検査が完了する。被験者がEnter Keyを押すと次の検査画面が表示され、同様の方法で検査を繰り返す。被験者には、上下の注視点のみを注視させ、他の位置を注視しないことを教示した。ただし、被験者が欠点を検出した場合は、その欠点を注視することを認めており、欠点確認後、Space Keyを押すことを教示した。なお、指示通り欠点発見時以外は、注視点のみを注視し、周辺視を用いた検査が実施されているかを確認するため、被験者にはアイカメラ(nac社製EMR-9)を装着して、実験を行った。実験のレイアウトは、図2のようにモニタ(ナナオ社製FlexScan SX2462W)から50cmの位置にアゴ台を設置し、被験者の頭部を固定した。その際、モニタの中心を正面から注視するように図2中※1~3を調整した。また、蛍光灯による検査モデルの色変化の影響を考慮し、暗室にて実験を行った。実験では、不良率を20%に設定し、2800枚(内560枚が欠点を含む検査対象)を検査する。

Figure1 Inspection Object

Figure2 Experimental Layout

2・2 欠点の詳細

欠点の大きさは視角 0.175° 、直径 $0.15[\text{cm}]$ の円を用いた。背景色と欠点色はともに色差評価で一般的に用いられる $L^*a^*b^*$ 表色系で定義した。 $L^*a^*b^*$ 表色系とは明度を L^* 、赤みと緑みの相対的な量を a^* 、黄みと青みの相対的な量を b^* で表した均等色空間の一つである。実際の色の決定の際は、色相を等間隔に変更した色を作成するために a^* と b^* を極座標変換することによって求めた彩度 C^* と色相角 h を用いた。欠点色は、色相角 $h[^\circ]$ を 0° から 315° まで 45° 刻みで変更させた8種と輝度コントラスト V を0.006, 0.009, 0.012, 0.015, 0.018で変更させた5種の全組み合わせとなる40種を作成した。明度 $L^*=80$ 、彩度 C^* は色相角と輝度コントラストの組み合わせごとに決定した(表1)。なお、背景色は明度 $L^*=80$ 、彩度 $C^*=0$ 、輝度 $V=85.5[\text{cd}/\text{m}^2]$ の無彩色とした。

Table1 Color saturation C^* of each of the combinations of hue angle and luminance contrast of the defect

$\angle V[\text{cd}/\text{m}^2] \setminus h[^\circ]$	0	45	90	135	180	225	270	315
0.006	5.8	5.5	12.3	16.7	6.0	5.5	10.7	17.3
0.009	8.6	8.2	19.2	25.0	9.0	8.2	15.6	26.3
0.012	11.5	11.0	27.0	33.0	12.0	10.9	20.2	35.4
0.015	14.1	13.7	35.5	41.0	15.2	13.6	24.6	44.8
0.018	16.8	16.4	45.3	49.0	18.3	16.3	32.8	54.6

3. 実験結果

欠点の色相角の相違が欠点検出率に及ぼす影響について検討するために、輝度差と色相角を要因とした2元配置の分散分析をおこなった。その結果、輝度コントラスト[F(4,440)=218.43]、色相角[F(7,440)=54.13]の主効果、およびこれら2要因間の交互作用[F(28,330)=3.94]に1%水準で有意な差が認められた。また、交互作用の実態を図3に、被験者間のばらつきを標準偏差で図4に示す。図3より、すべての色相角において、輝度コントラストが大きくなるにつれ検出率は高くなった。また、すべての輝度コントラストにおいて、検出率は色相角0, 180付近が極小値、色相角90, 315付近が極大値となり、その傾向は輝度コントラストが大きくなるにつれ顕著にみられた。図4より、検出率の低い輝度コントラスト0.003, 0.006では被験者間のばらつきは小さく、その傾向は検出率と同様であったが、検出率の高い輝度コントラスト0.009, 0.012, 0.015では被験者のばらつきは大きく、色相角に関係なく一定の値をとった。

Figure3 Relationship between hue angle and detection rate of each luminance contrast

Figure4 Relationship between hue angle and Standard Deviation of each luminance contrast

4. 考察

欠点の色が検出率に与える影響を詳しく検討するため、人間の色覚メカニズムに基づく分析を行った。人間は白対黒、赤対緑、黄対青の3種類の受容器ともいうべき細胞を持っている。明るさの感覚は白対黒の組織によって決定され、最終的な色の感覚は赤対緑、黄対青の2対の応答の相対的な値の関数で決まってくる⁹⁾ことが示されている。つまり、人間は色を①輝度成分、②赤緑成分、③黄青成分から決定していると考えられている。これを考慮し、欠点検出率に影響を及ぼすと予測されるパラメータとして輝度コントラストに加え、この赤緑成分と黄青成分を追加した。赤緑成分については、色の定義に用いた $L^*a^*b^*$ 表色系の a^* の値、黄青成分については b^* の値と近似できると考えられる。また、輝度コントラストと同様に欠点と背景の差をとる必要があるので、赤緑成分差を欠点色と背景色の a^* の差をとり $\angle(r-g)$ 、黄青成分差を欠点色と背景色の b^* の差をとり $\angle(y-b)$ として定義する。さらに、 $\angle(r-g)$ と $\angle(y-b)$ の和を色成分差と定義した。輝度コントラストを一定間隔で設定し、欠点の色相のみを変更して実験を行っているので、輝度差別にみることによって欠点の色相のみが欠点検出率へ及ぼす影響を検討できる。そのために、すべての輝度コントラストと色相角の組み合わせごとに $\angle(r-g)$ と $\angle(y-b)$ を算出し、輝度コントラスト別に色成分差と欠点検出率とを比較したものを図5に示す。すべての輝度コントラストにおいて色成分差と欠点検出率に関連性が認められ、色成分差が大きいほど欠点検出率が高い傾向にある。しかし、色成分差が増加している色相角90°から135°にかけては検出率が増加すると予想されるが、実際には検出率は低下している。このように色成分差だけでは欠点検出率の変化は説明ができない。

色成分差が検出率に及ぼす影響を検討するために、 $\angle(r-g)$ と $\angle(y-b)$ を説明変数、欠点検出率を目的変数とした重回帰分析を行った結果を表2に示す。 $\angle(r-g)$ はすべての輝度コントラストにおいて相関がみられなかったのに対して $\angle(y-b)$ は輝度コントラスト0.006から0.018までは1%水準、輝度コントラスト0.003は5%水準ときわめて高い相関がみられた。色の見えに基づく色視野の測定¹⁰⁾においては、知覚される色味の変化量は、青と黄については中心窩から周辺に広がる際に徐々に減少していき、赤と緑については中心窩から周辺に広がる際に急激に減少し、さらに周辺に広がるにつれて徐々に減少していくということが示されている。 $\angle(y-b)$ が欠点検出率に大きな影響を及ぼした原因の一つがこの色視野の特性の違いにあったのではないかと推察する。

Figure5 Relationship between hue angle , color component contrast and detection rate of each luminance contrast

Table2 Multiple linear regression analysis result of each luminance contrast
when detection rate is used as objective variable

*:p<0.1, **: p<0.05

Term Item		Luminance contrast				
		0.003	0.006	0.009	0.012	0.015
coefficient	$\Delta(r-g)$	-0.307	-0.113	-0.150	-0.003	-0.068
	$\Delta(y-b)$	0.751*	0.963**	0.977**	0.982**	0.964**
Multiple correlation coefficient		0.778	0.956	0.973	0.982	0.963
Determination coefficient		0.447	0.880	0.924	0.949	0.899

5. 結 語

本研究では、ディスプレイ上で周辺視を活用した目視検査をモデル化した実験を行い、欠点の色が欠点検出率に及ぼす影響を検討した。その結果、輝度コントラストに加えて、欠点色が欠点検出率に影響を及ぼすことがわかった。具体的には、欠点と背景との黄青成分の差が欠点検出率に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。今後の課題としては、背景色と欠点色の双方が有彩色の場合についても検討する予定である。

近年の科学技術の発展により、きわめて高精度な測定器具が開発されている中、目視検査は未だに人間の目に頼らざるを得ない状況にある。本研究は目視検査における検出能力に関して検討したが、最終的には検出能力と判断能力の双方を考慮した研究が必要であると考えられる。

文 献

- (1) 佐々木章雄, “アジア域内のものづくり経営”, ワールド・ワイド・ビジネスレビュー, Vol.9, No.2, (2008), pp.208-221.
- (2) 菅原隆宏 他, “不良項目別の有効視野範囲と目視角度に着目した新たな周辺視目視検査の作業手順の提案”, 日本経営工学会論文誌, Vol.62, No.4, (2011), pp.154-163.
- (3) 室山仁美, 志田敬介, “欠点の特徴と背景色の相違が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究—背景色が無彩色の場合—”, 日本経営工学会秋季研究大会予稿集, (2010), pp.72-73.
- (4) 応用物理学会工学懇話会, “生理光学-眼の光学と色覚-” 朝倉書店, (1975), pp.262-266
- (5) 関口修利, 池田光男, “色の見えに基づく色視野の測定”, 日本眼光学誌, Vol.4, (1982) pp.264-272