

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：32629

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07202

研究課題名(和文)人間の視覚特性を考慮した検査者にやさしい目視検査環境の設計システムの構築

研究課題名(英文)Development of Design System for Visual Inspection Environment considering Human Visual Performance

研究代表者

中嶋 良介(Nakajima, Ryosuke)

成蹊大学・理工学部・助教

研究者番号：70781516

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、周辺視野を活用した目視検査において検査環境の違いが欠点検出に及ぼす影響について検討するため、検査対象面の輝度や照明の照度、欠点の配置、および欠点の特徴(輝度コントラストと大きさ)を変動要因とする実験を考案し、これらが周辺視野での欠点検出に及ぼす影響について実験的に評価した。その結果、欠点の配置や欠点の特徴によって、検査対象面の輝度や照明の照度が欠点検出に影響を及ぼすことが明らかになった。以上のことから、実際の目視検査工程で精度の高い目視検査を実現するためには、検査対象面の輝度や照明の照度を適切にコントロールすることの必要性が示された。

研究成果の概要(英文):This study focuses on differences of inspection environment, and considers experimentally the effect of luminance of an inspection surface, luminance of light on defect detection in visual inspection utilizing peripheral vision. In the experiment, the luminance of an inspection surface, the luminance of light, defect locations, and defect characteristics (luminance contrast and size) are designed as experimental factors, and their effect on defect detection rate is evaluated. As a result, it is clarified that the defect detection rate is different according to the luminance of an inspection surface and light. From the above, in order to realize highly accurate visual inspection, it is necessary to control appropriately inspection environment.

研究分野：インダストリアル・エンジニアリング

キーワード：目視検査 周辺視野 照度 輝度 欠点検出 作業設計 作業改善

## 1. 研究開始当初の背景

生産現場で行なわれている製品の検査は、製品の性能を確認する機能検査と製品のキズや汚れ、表面の凹み、塗料の色ムラなどの欠点を確認する外観検査に大別できる。機能検査は機械による自動化が進んでいるのに対して、外観検査は欠点が多様な状態を呈すことから自動化が容易でない。さらに、昨今のように製品の小型化や精密化が進み、カメラの分解能を超える欠点の検出が求められ、技術的にも経済的にもその自動化は困難となる場合がある。この傾向は、液晶テレビやスマートフォンなどのディスプレイガラス、高級車に代表される高品質塗装など、国の戦略的な製品で顕著にうかがえる。このような製品における外観検査は、人間の視覚による目視検査に頼らざるを得ないのが現状である。

これまでの目視検査に関する学術的な研究として、検査者の適性評価 (Nickles G. M. etc., International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 32, 2003) や教育 (Chang J. J. etc., International Journal of Industrial Engineering, Vol. 6(2), 2009)、視覚的な疲労 (堀井ら, 人間工学, Vol. 41(3), 2005) や身体的な疲労 (肥田ら, 日本経営工学会論文誌, Vol. 65(4), 2015) に着目した検討はあるが、検査精度や検査効率に及ぼす影響について検討されるには至っていなかった。その一方で、実務的な報告として、周辺視野を活用した検査方法が提案され、高い検査精度と検査効率を維持した上で、疲労感の訴えが非常に少ない検査が可能であることが報告されてきた (佐々木, IE レビュー, Vol. 46(2)~47(3), 2005-2006)。ただし、なぜその検査方法では、高い検査精度や検査効率が可能となり、どのような検査環境を設計すべきなのかといった科学的な根拠が解明されるには至っていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究で対象とする極めて微小な欠点の検出が求められる目視検査では、検査対象に照明を当て、欠点を光の反射によって確実に検出できる検査環境が求められる。その際、検査者への負荷が小さく、長時間の目視検査を継続できる検査環境も求められる。

そこで本研究では、これらにとに着目した実験要因を設定できる実験環境を構築し、その実験を通じて、微小な欠点の検出が求められる目視検査の検査環境に関して総合的に考察することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 検査対象面の輝度が欠点検出に及ぼす影響に関する被験者実験

検査対象面の輝度と欠点の配置、欠点の特徴を変動要因とする実験を考案し、12名の被験者を対象として、これらの相違が欠点検出に及ぼす影響を実験的に評価した。

課題作業として、表示部のガラス (メタサイイン社製: MF403KIT42inch) と照射部のバックライト (アイテックシステム社製: LMH339x353-61WD) が分離されている透明ディスプレイを用いて、被験者に表示される検査対象が後述する欠点を含む不良品か否かを判別させる作業を課した。その際、バックライトの明るさを変更することで、検査対象面の輝度をコントロールした。検査対象として図1に示す縦300mm×横300mmの正方形領域の中心に直径10mmの円 (以後、注視点と呼ぶ) を配置したものを用いた。周辺視野を活用した目視検査を誘導するために、被験者には両眼で注視点のみを注視し、その周辺の欠点を検出することを教示した。また、検査対象を検査する時間は1.00sを目安とすることを教示した。また、検査対象に欠点がないと判断した場合はキーボードのSpace Key を押し、欠点があると判断した場合はEnter Key を押すことを教示した。ただし、被験者が欠点を検出した場合のみ、その欠点を注視することを認めており、欠点を確認後、Enter Key を押すことを教示した。

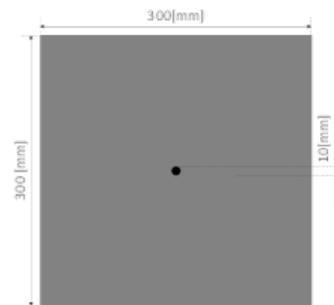
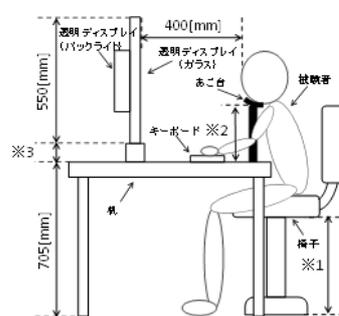


図1 実験で用いる検査対象

実験レイアウトは図2に示す通り、被験者の眼球からディスプレイまでの視距離が400mmになるようにあご台を設置し、被験者の頭部を固定した。



- ※1 被験者の足が床に届く高さに調節する
- ※2 被験者の負担にならない姿勢に調節する
- ※3 被験者の正面になる高さに調節する

図2 実験レイアウト

検査対象面の輝度は、50cd/m<sup>2</sup>、100 cd/m<sup>2</sup>、150cd/m<sup>2</sup>、200cd/m<sup>2</sup>、250cd/m<sup>2</sup> の5種類とした。これは、一般的なVDT (Visual Display Terminals) 作業における文字や画像処理をする場合のディスプレイの適切な



この結果より、欠点検出率は検査対象面の輝度が 50cd/m<sup>2</sup> で低くなり、100~250cd/m<sup>2</sup> の間であれば同程度に高くなることが明らかになった。

z 検査対象面の輝度と欠点の配置の関係を図 4-a に示す。全体的な傾向として、検査対象面の輝度に関わらず、欠点の配置が注視点から遠くなるにつれて欠点検出率が低くなることを確認できる。つまり、本実験の実験条件である 50cd/m<sup>2</sup> から 250cd/m<sup>2</sup> の範囲であれば、検査対象面の輝度の相違によって、欠点が存在する視野領域の違いが欠点検出には影響を及ぼさないことが明らかになった。

次に、検査対象面の輝度と欠点の特徴の関係を図 4-b に示す。全体的な傾向として、検査対象面の輝度に関わらず、欠点の特徴量が大きくなるにつれて欠点検出率が高くなることを確認できる。ただし、例えば輝度コントラスト 0.16 で大きさ 1.4mm の欠点では、検査対象面の輝度が 50cd/m<sup>2</sup> の欠点検出率は 52.3% であるのに対して、検査対象面の輝度が 100~250 cd/m<sup>2</sup> の欠点検出率はそれぞれ 61.5%、60.9%、61.2%、62.8% となり (検査対象面の輝度が 50cd/m<sup>2</sup> とそれ以外の検査対象面の輝度の平均値との差分は 9.2%)、欠点によっては検査対象面の輝度によって欠点検出率が異なることも確認できる。同様の傾向が輝度コントラスト 0.19 で大きさ 1.4mm の欠点 (検査対象面の輝度が 50cd/m<sup>2</sup> とそれ以外の検査対象面の輝度の平均値との差分は 6.9%) や輝度コントラスト 0.16 で大きさ 1.4mm の欠点 (検査対象面の輝度が 50cd/m<sup>2</sup> とそれ以外の検査対象面の輝度の平均値との差分は 4.9%) でも確認できる。すなわち、欠点の特徴によって検査対象面の輝度が欠点検出に及ぼす影響度合いが異なることが明らかになった。

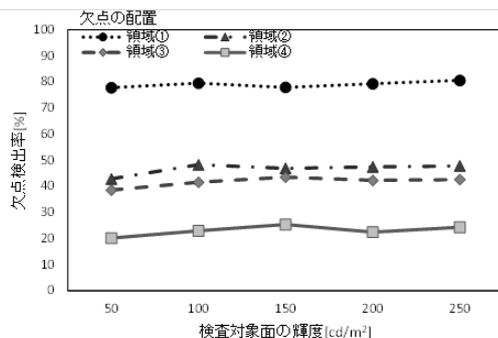
さらに、欠点の配置と欠点の特徴の関係を図 4-c に示す。全体的な傾向として、欠点検出率は欠点の配置が注視点から遠くなるにつれて低くなり、欠点の特徴量が大きくなるにつれて高くなることを確認できる。しかし、欠点の特徴量が小さな欠点ほど、欠点の配置が近くなっても欠点検出率が高くないことも確認できる。すなわち、欠点の配置によって、欠点の特徴が欠点検出に及ぼす影響度合いが異なることが確認できる。

## (2) 照明の照度が欠点検出に及ぼす影響に関する被験者実験の結果

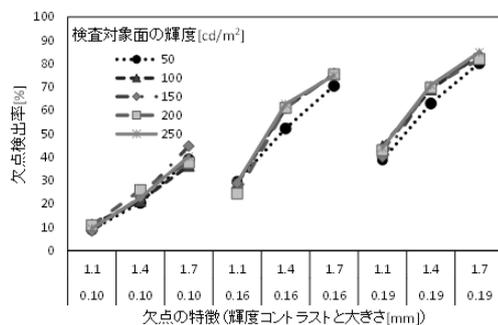
照明の照度と欠点の配置、および欠点の特徴が欠点検出に及ぼす影響について検討するため、欠点検出率に関して、照明の照度 (5) × 欠点の配置 (4) × 欠点の特徴 (9) の 3 つを要因とする 3 元配置の分散分析を実施した。その結果は表 2 に示すとおり、全ての実験要因の主効果、および照明の照度と欠点の配置以外の全ての交互作用に 1% 水準、照明の照度

表 1 分散分析表

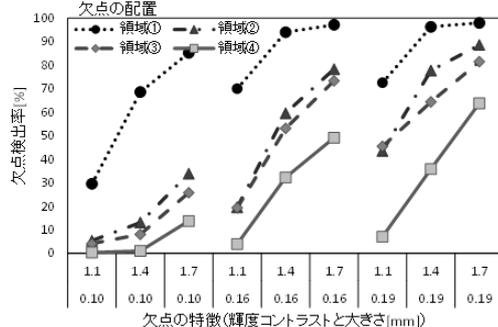
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	判定
被験者(S)	266278.36	11	24207.12		
検査対象面の輝度(A)	4376.74	4	1094.18	2.60	*
S × A	18527.78	44	421.09		
欠点の配置(B)	877857.64	3	292619.21	219.27	**
S × B	44039.93	33	1334.54		
欠点の特徴(C)	1215498.41	8	151937.30	311.72	**
S × C	42892.22	88	487.41		
A × B	1546.30	12	128.86	0.81	
S × A × B	21104.75	132	159.88		
A × C	7677.95	32	239.94	1.90	**
S × A × C	44495.66	352	126.41		
B × C	125708.77	24	5237.87	14.53	**
S × B × C	95143.66	264	360.39		
A × B × C	11872.97	96	123.68	1.01	
S × A × B × C	129210.36	1056	122.36		
全体	2906231.48	2159			



a. 検査対象面の輝度と欠点の配置の関係



b. 検査対象面の輝度と欠点の特徴の関係



c. 欠点の配置と欠点の特徴の関係

図 4 変動要因の交互作用

と欠点の配置の交互作用に 5% 水準で有意性が認められた。

照明の照度と欠点の配置の関係を図 5-a に示す。全体的な傾向として、欠点検出率は照

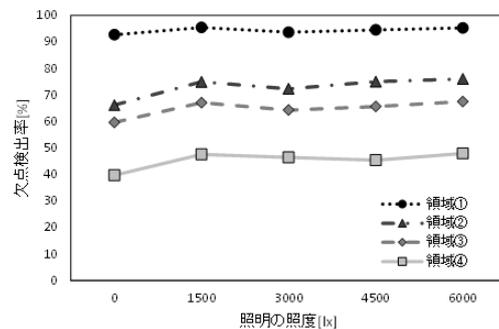
明の照度に関わらず同程度であることが確認できる。また、欠点の配置が注視点から遠くなるにつれて欠点検出率が低くなることが確認できる。ただし、領域 ① では照明の照度に関わらず欠点検出率は同程度であるのに対して、領域 ② と、および ③ では照明の照度が 0lx から 1500lx の間で高くなり、1500lx から 6000lx の間では同程度となることが確認できる。そこで、各欠点の配置における照明の照度の単純主効果検定を実施した結果、領域 ② と、および ③ において 1% 水準で有意性が認められた。さらに、その下位検定として多重比較 (tukey 法) を実施した結果、領域 ② と、および ③ においては照明の照度 0lx とそれ以外の間に 1% 水準で有意差が認められた。つまり、欠点の配置が領域 ② と、および ③ の欠点検出率は照明の照度が 0lx で低くなり、1500lx から 6000lx の範囲では同程度に高くなることが明らかになった。このことから、欠点の配置によって照明の照度が欠点検出に及ぼす影響度合いが異なることが明らかになり、実際の目視検査工程においては、中心視野の領域に近い位置の欠点を検査する場合には照明の照度が検査精度に影響を及ぼさないのに対して、中心視野の領域から離れた欠点を検査する場合には照明の照度が検査精度に影響を及ぼす可能性があると考えられる。すなわち、実際の目視検査工程において照明の照度が 0lx 程度に低いと検査精度が低くなる可能性がある一方で、単に照明の照度を高くするほどに検査精度が高くなるわけではないことも考えられ、照明の照度は検査で活用する視野の特性も考慮して適切に設定すべきであることが示された。

次に、照明の照度と欠点の特徴の関係を図 5-b に示す。全体的な傾向として、照明の照度に関わらず、欠点の特徴量が大きくなるにつれて欠点検出率が高くなることが確認できる。ただし、例えば輝度コントラスト 0.15 で大きさ 1.6mm の欠点や輝度コントラスト 0.20 で大きさ 1.3mm の欠点のように、照明の照度が 0lx とそれ以外で欠点検出率が異なることも確認できる。そこで、各欠点の特徴における照明の照度の単純主効果検定を実施した結果、輝度コントラスト 0.15 で大きさ 1.6mm と輝度コントラスト 0.20 で大きさ 1.0mm、および輝度コントラスト 0.20 で大きさ 1.3mm の欠点において 1% 水準、輝度コントラスト 0.15 で大きさ 1.3mm と輝度コントラスト 0.20 で大きさ 1.6mm、および輝度コントラスト 0.25 で大きさ 1.0mm の欠点において 5% 水準で有意性が認められた。このことから、欠点の特徴によって照明の照度が欠点検出に及ぼす影響度合いが異なることが明らかになり、目視検査工程における照明の照度は検出すべき欠点の特徴も考慮して適切に設定すべきであることが示された。

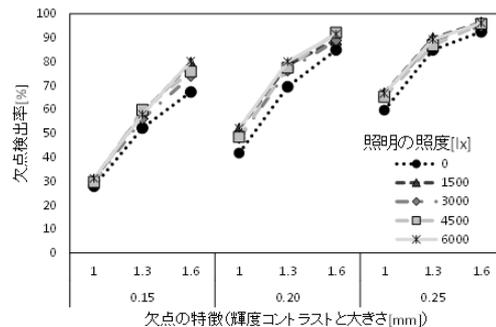
さらに、欠点の配置と欠点の特徴の関係を図 5-c に示す。全体的な傾向として、欠点検

表 2 分散分析表

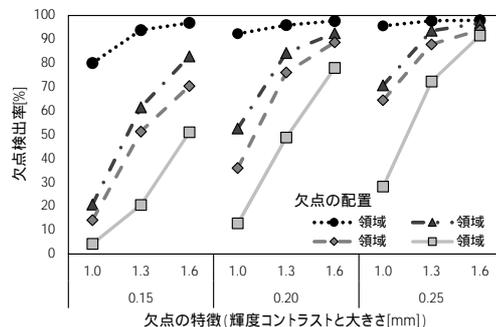
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	判定
被験者(S)	214036.24	11	19457.84		
照明の照度(A)	14143.59	4	3535.90	4.22	**
S×A	36827.25	44	836.98		
欠点の配置(B)	664692.63	3	221564.21	146.25	**
S×B	49992.51	33	1514.92		
欠点の特徴(C)	879928.56	8	109991.07	327.22	**
S×C	29580.32	88	336.14		
A×B	2523.17	12	210.26	2.06	*
S×A×B	13449.33	132	101.89		
A×C	3955.58	32	123.61	2.05	**
S×A×C	21241.09	352	60.34		
B×C	228332.27	24	9513.84	35.36	**
S×B×C	71028.84	264	269.05		
A×B×C	8549.33	96	89.06	1.45	**
S×A×B×C	64800.67	1056	61.36		
全体	2303081.38	2159			



a. 照明の照度と欠点の配置の関係



b. 照明の照度と欠点の特徴の関係



c. 欠点の配置と欠点の特徴の関係

図 5 変動要因の交互作用

出率は欠点の配置が注視点から遠くなるにつれて低くなり、欠点の特徴量が大きくなるにつれて高くなる事が確認できる。そこで、各欠点の配置における欠点の特徴の単純主効果検定を実施した結果、全ての欠点の配置において1%水準で有意性が認められた。また、各欠点の特徴における欠点の配置の単純主効果検定を実施した結果、輝度コントラスト0.25で大きさ1.6mmの欠点以外の欠点において1%水準で有意性が認められた。このことから、欠点の配置によって、欠点の特徴が欠点検出に及ぼす影響度合いが異なる事が確認できた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. 中嶋良介, 内野友貴, 肥田拓哉, 松本俊之: 周辺視野を活用した目視検査における照明の明るさが欠点検出に及ぼす影響に関する研究, 人間工学, (印刷中), 2018.
2. Ryosuke Nakajima, Yuta Asano, Takuya Hida, Toshiyuki Matsumoto: The Relationship between Dirt Levels of Inspection Surface and Defect Detection in Visual Inspection utilizing Peripheral Vision, Industrial Engineering & Management Systems, Vol. 17, No. 1, pp. 102-112, 2018.
3. 中嶋良介, 鈴木邑佳, 肥田拓哉, 松本俊之: 周辺視野を活用した目視検査における検査対象面の輝度が欠点検出に及ぼす影響に関する研究, 人間工学, Vol.54, No.1, pp. 14-23, 2018.

〔学会発表〕(計12件)

1. Ryosuke Nakajima, Kosuke Fujie, Takuya Hida, Toshiyuki Matsumoto: A Fundamental Study on the Effect of Visual Guidance to Inspectors using Visual Indicator on Defect Detection in Visual Inspection utilizing Peripheral Vision, The International Conference on Advances in Production Management Systems 2018, Korea, 2018.
2. 中嶋良介, 秀島光慶, 肥田拓哉, 松本俊之: 周辺視野を活用した目視検査における検査対象面の複雑性が欠点検出に及ぼす影響に関する研究, 日本人間工学会第59回大会, 宮城, 2018.
3. 中嶋良介, 肥田拓哉, 松本俊之: 目視検査における作業者の検査方法の設計に関する研究, 日本経営工学会平成29年度秋季大会, 東京, 2017.
4. 水越優人, 小山聡, 中嶋良介, 篠田心治: 人間の視覚的・身体的な作業性と作業時間を考慮した組立作業のレイアウト設計に関する基礎的研究, 日本経営工学会平成29年度秋季大会, 東京, 2017.

5. 吉原伸一郎, 篠田心治, 中嶋良介: アイカメラを用いた周辺視目視検査の標準化の研究, 日本経営工学会平成29年度秋季大会, 東京, 2017.
6. 中村龍太, 中嶋良介, 肥田拓哉, 松本俊之: 目視検査における検査対象や検査環境の相違が欠点検出に及ぼす影響, 日本経営工学会平成29年度春季大会, 京都, 2017.
7. 青木勇輔, 肥田拓哉, 中嶋良介, 松本俊之, 佐藤一仁: 目視検査の新規雇用者を対象とした教育システムの開発, 日本経営工学会平成29年度春季大会, 京都, 2017.
8. Yu Okabe, Ryosuke Nakajima, Takuya Hida, Toshiyuki Matsumoto: Development of Support System for Defect Detection Based on Human Visual Mechanism in Visual Inspection Process, The 17th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2016), Paper ID 192, Taiwan, 2016.
9. Kazuki Kishi, Ryosuke Nakajima, Takuya Hida, Toshiyuki Matsumoto: Proposal of Tactile Inspection Conditions for Valid Defects Detection Focusing on Haptic Perception with Active Touch, The 17th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2016), Paper ID 152, Taiwan, 2016.
10. Ryosuke Nakajima, Shyhei Ando, Takuya Hida, Toshiyuki Matsumoto: A Study on the Effect of Mixing Rate of Defective Products on Defect Detection in Visual Inspection, The 17th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2016), Paper ID 134, Taiwan, 2016.
11. 岡部悠, 中嶋良介, 肥田拓哉, 松本俊之: 人間の視覚メカニズムに基づいた欠点検出補助システムの開発と精度の検証, 日本経営工学会平成28年度秋季大会, 東京, 2016.
12. 中嶋良介, 内野友貴, 肥田拓哉, 松本俊之: 周辺視野を活用した目視検査における照明の照度が欠点検出に及ぼす影響, 日本人間工学会第57回大会, 三重, 2016.

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

中嶋 良介 (NAKAJIMA, Ryosuke)

成蹊大学・理工学部・助教

研究者番号: 70781516