

氏名	中嶋良介
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博理工甲 第20号
学位授与の日付	2016年3月26日
学位授与の要件	学位規則(昭和28年4月1日 文部省令第9号) 第4条第2項該当
学位論文題目	目視検査における欠点の視認性を考慮した作業設計に関する研究
論文審査委員	主査教授 松本俊之 副査教授 天坂格郎 副査教授 熊谷敏 副査教授 宋少秋 副査教授 小宮山 撰 副査 成蹊大学教授 篠田心治

## 論文の内容の要旨

中嶋良介

本研究では、品質への要求が高い工業製品の目視検査を対象として、欠点検出率を向上させることを目的に、欠点の視認性を考慮した作業設計の方法を検討した。具体的には、濃さや色み、大きさ、長さ(太さ)、形状などが異なる製品上のキズや汚れ、表面の凹凸、塗料の色ムラなどの欠点に対して、その視認性を定量的に評価するための測定システムを開発した。また、検査すべき製品や検出すべき欠点の視認性に合わせて、照明の配置や背景の色などの検査環境と検査時間や検査範囲、眼球運動、視距離などの検査方法を設計するための方法を考案した。その上で、考案した検査方法を検査者に訓練するための訓練システムを開発した。さらに、考案した検査環境や検査方法の設計するための方法を実際の目視検査工程に適用し、欠点検出率が向上することを確認した。

なお、本論文は第1章【研究背景と目的】、第2章【目視検査の実態調査と欠点検

出に及ぼす要因の整理】、第3章【検査対象の視認性とその評価方法の検討】、第4章【検査環境の設計方法の検討】、第5章【検査者の検査方法と訓練方法の検討】、第6章【実際の目視検査への適用】、第7章【結論と今後の課題】の全7章から構成されている。

第1章の【研究の背景と目的】では、研究の背景と目視検査に関する研究の状況、研究の目的、論文の構成について述べた。

研究背景として、近年では産業の発展や技術の高度化、社会の成熟に伴い、市場競争が激化しており、顧客からの工業製品の品質への要求が高くなっている。それに対して、生産現場では顧客の多様な要求に対応するため、生産形態が少品種多量生産から多品種少量生産、さらに変種変量生産へと移行しており、生産が複雑化している。また、安価な労働力を求めた生産拠点のグローバル化や労働力の外部委託化が進んでいることに加えて、高度な技能を有する熟練者の大量退職が進み、労働力が低下している。すなわち、工業製品の品質への要求が高くなる一方で、その実現が困難になりつつある状況となっている。

このような状況において、生産現場では工業製品の品質を保証するため、検査が徹底的に実施されている。そのうち、工業製品の性能を検査する機能検査は設備による自動化が進んでいるものの、工業製品の外観を検査する外観検査の一部は人間の視覚による目視検査に依存せざるを得ないのが現状となっている。目視検査は官能検査の一つであり、検査者によって欠点検出率や検査時間などの検査成績が異なるという問題がある。この問題に対して、産学ともに多くの事例検討や研究が行なわれているが、多くの目視検査工程に適用できるような一般化された知見が示されるには至っていない。これに対して、近年では周辺視野を活用した検査方法が提案され、その有効性が生産現場より報告されている。ただし、この検査方法を実際の目視検査工程に適用しようとした場合、どのような検査対象や欠点であれば適用できるのか、どのような検査環境とすべきか、どのような検査範囲とすべきか、どのように訓練すべきかについて具体的に言及されていない。

このような問題意識のもとで、本研究では検査すべき製品や検出すべき欠点の視認性を考慮した検査環境や検査方法、および訓練方法を設計するための方法を検討することを目的とした。なお、本研究では検査者が検査対象の中から欠点を検出するまでの探索プロセスに着目し、検査対象として形状や意匠が複雑でない工業製品（自動車

ガラス)を研究対象とした。

第2章の【目視検査の実態調査と欠点検出に及ぼす要因の整理】では、自動車用のガラス製品を生産するA社の目視検査工程を対象とした実態調査と調査結果をもとに目視検査における欠点検出に及ぼす要因を構造的に整理した上で、その要因である検査対象と検査環境、検査者の観点から検討した問題点と対応策について述べた。

A社の目視検査工程の実態調査の結果として、6ヶ月間の欠点発生率は平均4.88%、欠点検出率は平均86.45%であった。すなわち、不良品を流出した割合は平均13.55%という状況であることがわかった。これに対して、A社では自社の目視検査工程に加えて、外部委託による全数の特別検査を実施するといった暫定的な対策を講じているが、自動車の完成品メーカーからの品質に関するクレームがなくならないのが現状であった。

そこで、目視検査における欠点検出に及ぼす要因を構造的に整理し、検査対象と検査環境、検査者の3つで構成されていることを示すとともに、それぞれに問題点と対応策を検討した。検査対象に関して、欠点によって視認性が異なるので、その視認性を定量的に評価するための方法が必要であることを示した。また、検査環境に関して、照明の映り込みによって欠点の視認性が低下するので、適正な検査環境を設計するための方法が必要であることを示した。さらに、検査者に関して、検査者によって検査方法が標準化されていないので、適正な検査方法を設計するための方法が必要であることを示した。加えて、検査歴が短い新人検査者の欠点検出率が低く、検査歴が長い検査者の欠点検出率も高いわけではないので、効果的な訓練方法を設計するための方法が必要であることを示した。

第3章の【検査対象の視認性とその評価方法の検討】では、欠点の視認性に影響を及ぼす要因と開発した評価方法について述べた。

欠点は、濃さや色み、大きさ、長さ(太さ)、形状などに特徴があり、これらがその視認性に影響を及ぼす。目視検査に関する先行研究より、欠点の濃さや色みは検査対象と欠点の相対的な輝度の違いである輝度コントラストとして定量化でき、欠点の大きさや長さ(太さ)、形状はその面積として定量化できることが示されている。また、輝度コントラストに面積を乗じて得られる欠点の面光度と欠点検出率には強い正の相関関係があり、欠点の視認性を定量的に評価するための指標として欠点の面光度の妥

当性が実験的に示されている。ただし、実際の目視検査工程における極めて微小な欠点の輝度コントラストや面積を測定するためには、高価な計測機器が必要であり、かつその測定に膨大な手間や時間がかかるといった問題もある。

そこで、デジタルカメラで撮影した欠点の画像に対して、画像処理と数値計算によってその面光度を簡易に評価するための測定システムを開発した。また、開発した測定システムを実際の目視検査工程における様々な欠点に適用し、濃さや色み、大きさ、長さ（太さ）、形状などが異なる欠点であってもその視認性を欠点の面光度として一元的に評価できることを確認した。

第4章の【検査環境の設計方法の検討】では、検査すべき製品や検出すべき欠点に合わせて、検査環境を設計するために考案した方法について述べた。

適正な検査環境を設計するための考え方として、照明の映り込みによって欠点の視認性が低下することや照明の配置によって欠点の視認性が変化すること、さらに本研究の対象製品のようなガラス製品の場合は、背景の色によっても欠点の視認性が変化することを考慮し、照明の映り込みがなく、かつ欠点の面光度が高くなるように照明の配置と背景の色を設計すべきであると考えた。

そこで、照明の配置や背景の色を様々に変更できる測定装置を製作し、本研究の対象製品を対象として、照明の配置と映り込みの関係を評価した。同様に、A社の目視検査工程における代表的な欠点の全67種類を対象として、照明の配置や背景の色と欠点の面光度の関係を第3章で開発した欠点の面光度の測定システムを用いて評価した。また、これらの結果をもとに、検査すべき製品や検出すべき欠点の視認性に合わせて、照明の配置と背景の色を設計するための方法を考案した。さらに、考案した検査環境を設計するための方法を多くの目視検査工程に適用するための手順を作成した。

第5章の【検査者の検査方法と訓練方法の検討】では、検査すべき製品や検出すべき欠点に合わせて、検査方法を設計するために考案した方法とその検査方法を検査者に訓練するために開発した訓練方法について述べた。

適正な検査方法を設計するための考え方として、一度の注視で検査する検査時間や検査範囲、現在の検査範囲から次の検査範囲へと注視点を移動するための眼球運動、および検査者の眼球から製品までの視距離が欠点検出に影響を及ぼすことを考慮し、

欠点検出率が高くなるように検査時間や検査範囲、眼球運動、および視距離を設計すべきであると考えた。

そこで、検査時間や検査範囲、眼球運動、視距離を変動要因とする被験者実験を実施し、A社で許容限度とされる程度の欠点を対象として、欠点検出率との関係性を評価した。また、これらの実験結果をもとに、検査すべき製品や検出すべき欠点の視認性に合わせて、検査時間や検査範囲、眼球運動、視距離を設計するための方法を考案した。さらに、考案した検査方法を設計するための方法を多くの目視検査工程に適用するための手順を作成した。

また、効果的な訓練方法を設計するための考え方として、上述した検査時間や検査範囲、眼球運動を目視検査に従事する前にオフラインで体験的に習得できるように設計すべきであると考えた。

そこで、コンピュータを用いて検査時間や検査範囲、眼球運動を訓練するための訓練システムを開発した。さらに、開発した訓練システムの有効性を検証するため、目視検査の経験を有さない被験者を対象としたコントロール実験を実施し、訓練システムによって欠点検出率が20.4%向上することを確認した。

第6章の【実際の目視検査への適用】では、第4章で考案した検査環境を設計するための方法、および第5章で考案した検査方法の設計するための方法を実際の目視検査工程に適用した結果について述べた。

第4章で考案した検査環境を設計するための方法を本研究の対象製品とA社の目視検査工程における代表的な欠点の全67種類を対象として適用し、検査環境を設計した。また、第5章で考案した検査方法を設計するための方法をA社の目視検査工程における検査者の全8名を対象として適用し、検査方法を設計した。その結果、欠点検出率は適用前が86.45%であったのに対して、適用後は95.55%となった。すなわち、本研究で検討した作業設計の方法には、実際の目視検査工程における欠点検出率を9.10%向上させる効果があることを確認した。

第7章の【結論と今後の課題】では、本研究の結論と今後の課題について述べた。

## 発表論文

本研究に関する論文

### 【学術雑誌】

(査読のあるもの)

1. 中嶋良介, 志田敬介：目視検査における提示方法の相違が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究, バイオメカニズム学会誌, Vol. 36, No. 4, pp. 234-240, 2012.
2. 志田敬介, 中嶋良介, 康秀徳：目視検査における検査時間が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究, バイオメカニズム学会誌, Vol. 37, No. 2, pp. 133-137, 2012.
3. 志田敬介, 中嶋良介, 康秀徳, 市毛貴博：目視検査における欠点色が周辺視野での欠点検出に及ぼす影響に関する研究, 人間工学, Vol. 49, No. 3, pp. 115-125, 2013.
4. Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida, Toshiyuki Matsumoto: A Study on the Effect of Irradiation Angle of Light on Defect Detection in Visual Inspection, International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, Vol. 22, No. 1, pp. 525-537, 2015.
5. 中嶋良介, 原澤慶多, 山崎友彰, 松本俊之：周辺視野を活用した目視検査における視距離が欠点検出に及ぼす影響, 日本設備管理学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 107-114, 2015.
6. 中嶋良介, 稲垣一平, 松本俊之：周辺視目視検査法を習得するための訓練システムの開発, 日本経営工学会論文誌, Vol. 66, No. 3, pp. 267-276, 2015.
7. 中嶋良介, 谷田恭士, 肥田拓哉, 松本俊之：目視検査における欠点の特徴と検出視野の関係に関する研究, 人間工学, Vol. 51, No. 5, pp. 333-342, 2015.

### 【国際会議議事録】

(査読のあるもの)

1. Hidenori Koh, Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: A Study on the Effect of Difference between Defect and Background Colors on Detection Rate in Visual Inspection, The Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2012, pp. 1759-1766, Thailand, 2012.
2. Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: A Study on the Effect of Head Movement on Defect Detection in Visual Inspection, The Asia Pacific Industrial

- Engineering & Management Systems Conference 2012, pp. 1767–1722, Thailand, 2012.
3. Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida, Toshiyuki Matsumoto: A Study on the Effect of Inspection Time on Defect Detection in Visual Inspection, The International Conference on Advances in Production Management Systems 2013, pp. 29–39, USA, 2013.
  4. Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida, Toshiyuki Matsumoto: A Study on the Effect of Irradiation angle of Light on Defect Detection in Visual Inspection, The 17th International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, pp. 414–420, Korea, 2013.
  5. Vukeya Masingita, Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: The Effect of Object and Eyes Movement on Defects Detection in Visual Inspection, The 17th International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, pp. 421–427, Korea, 2013.
  6. Kosuke Morita, Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: A Survey on Effects of the Positional Relationship of Product and Lighting and the Type of Lighting on Defects Detection, The 17th International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, pp. 858–863, Korea, 2013.
  7. Hidenori Koh, Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: A Study on the Effect of Number of Defect Types on defect detection rate in visual inspection, The 17th International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, pp. 1197–1201, Korea, 2013.
  8. Ryosuke Nakajima, Yuta Asano, Takuya Hida, Toshiyuki Matsumoto: A Study on the Effect of Dirt of Inspection Surface on Defect Detection in Visual Inspection utilizing Peripheral Vision, The International Conference on Advances in Production Management Systems 2015, pp. 492–499, Japan, 2015.

#### 【受賞】

1. 中嶋良介：長岡技術科学大学 2012年度学長賞
2. 中嶋良介：長岡技術科学大学大学院 工学研究科 経営情報システム工学専攻 2012年度修士論文審査会 優秀発表賞

## その他の公表論文

### 【学術雑誌】

(査読のあるもの)

1. Keisuke Shida, Ryosuke Nakajima, Dominic Joy Poothokaran: Prevention of Human Error in Screw Tightening Work Using Image Analysis-New Approach to Detect Hand via Finger Configuration, 日本経営工学会論文誌, Vol. 64, No. 2E, pp. 251-257, 2013.
2. Takashi Kawashimo, Daisuke Doyo, Tatsuya Yamaguchi, Ryosuke Nakajima, Toshiyuki Matsumoto: Development of a Training System for Lathe Operation Using a Simulator with Relationship between Speed of Tool Feed and Cutting Sound/Shape of Chips, Industrial Engineering & Management Systems, Vol. 14, No. 2, pp. 175-182, 2015.

### 【国際会議議事録】

(査読のあるもの)

1. Dominic Joy Poothokaran, Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: Development of Screw Tightening Work Management System Using Image Analysis of the Finger Configuration, The International Conference on Computer Science and information Technology 2012, pp. 17-21, India, 2012.
  2. Takumi Nakano, Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: A Study on Automation of Work Analysis using Image Analysis of Motion Picture in the Assembling Work, The 17th International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, pp. 797-803, Korea, 2013.
  3. Yosuke Note, Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: A Fundamental Study on Work Measurement using an Acceleration Sensor and Angular Velocity Sensor, The 17th International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, pp. 864-871, Korea, 2013.
- Kentaro Takata, Ryosuke Nakajima, Keisuke Shida: The Fundamental Study on Automation of Work Analysis using Motion Capture Data, The 17th International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, pp. 924-930, Korea, 2013.



## 審査の結果の要旨

本論文は、品質への要求が高い工業製品の目視検査を対象として、欠点検出率を向上させることを目的に、欠点の視認性を考慮した作業設計の方法を提案したものである。具体的には、濃さや色み、大きさ、長さ、形状などが異なる製品上のキズや汚れ、表面の凹凸、塗料の色ムラなどの欠点に対して、その視認性を定量的に評価するための測定システムを開発している。また、検査すべき製品や検出すべき欠点の視認性に合わせて、照明の配置や背景の色などの検査環境と検査時間や検査範囲、眼球運動、視距離などの検査方法を設計するための方法を考案している。その上で、考案した検査方法を検査者に訓練するための訓練システムを開発している。さらに、考案した検査環境や検査方法の設計するための方法を実際の目視検査工程に適用し、欠点検出率が向上することを確認している。

本論文は第1章【研究背景と目的】、第2章【目視検査の実態調査と欠点検出に及ぼす要因の整理】、第3章【検査対象の視認性とその評価方法の検討】、第4章【検査環境の設計方法の検討】、第5章【検査者の検査方法と訓練方法の検討】、第6章【実際の目視検査への適用】、第7章【結論と今後の課題】の全7章から構成されている。

第1章の【研究の背景と目的】では、研究の背景と目視検査に関する研究の状況、研究の目的について述べている。

産業の発展や技術の高度化に伴い、市場競争が激化しており、顧客からの工業製品の品質への要求が高くなっている。また、生産拠点のグローバル化や労働力の外部委託化が進んでいることに加えて、高度な技能を有する熟練者の大量退職が進み、労働力が低下している。すなわち、工業製品の品質への要求が高くなる一方で、その実現が困難になりつつある状況となっている。このような状況において、生産現場では工業製品の品質を保証するため、検査が徹底的に実施されている。そのうち、工業製品の性能を検査する機能検査は設備による自動化が進んでいるものの、工業製品の外観を検査する外観検査の一部は人間の視覚による目視検査に依存せざるを得ないのが現状となっている。目視検査は官能検査の一つであり、検査者によって欠点検出率や検査時間などの検査成績が異なるという問題がある。この問題に対して、多くの研究が行なわれているが、多くの目視検査工程に適用できるような一般化された知見が示されるには至っていない。これに対して、近年では周辺視野を活用した検査方法が提案

され、その有効性が報告されている。ただし、この検査方法を実際の目視検査工程に適用しようとした場合、検査対象の適用範囲、検査環境、検査範囲、訓練方法などが具体的に言及されていない。

このような問題意識のもとで、本研究では検査すべき製品や検出すべき欠点の視認性を考慮した検査環境や検査方法、および訓練方法を設計するための方法を検討することを目的とした。なお、本研究では検査者が検査対象の中から欠点を検出するまでの探索プロセスに着目し、検査対象として形状や意匠が複雑でない工業製品（自動車ガラス）を研究対象とした。

第2章の【目視検査の実態調査と欠点検出に及ぼす要因の整理】では、自動車用のガラス製品を生産するA社の目視検査工程を対象とした実態調査と調査結果をもとに目視検査における欠点検出に及ぼす要因を構造的に整理した上で、その要因である検査対象と検査環境、検査者の観点から検討した問題点と対応策について述べている。A社の目視検査工程の実態調査の結果として、6ヶ月間の欠点検出率は平均86.5%であった。これに対して、A社では自社の目視検査工程に加えて、外部委託による全数の特別検査を実施するといった暫定的な対策を講じているが、自動車の完成品メーカーからの品質に関するクレームがなくなるのが現状であった。そこで、目視検査における欠点検出に及ぼす要因を構造的に整理し、検査対象と検査環境、検査者の3つで構成されていることを示すとともに、それぞれに問題点と対応策を検討した。検査対象に関して、欠点によって視認性が異なるので、その視認性を定量的に評価するための方法が必要であることを示した。また、検査環境に関して、照明の映り込みによって欠点の視認性が低下するので、適正な検査環境を設計するための方法が必要であることを示した。さらに、検査者に関して、検査者によって検査方法が標準化されていないので、適正な検査方法を設計するための方法が必要であることを示した。加えて、検査歴が短い新人検査者の欠点検出率が低く、検査歴が長い検査者の欠点検出率も高いわけではないので、効果的な訓練方法を設計するための方法が必要であることを示した。

第3章の【検査対象の視認性とその評価方法の検討】では、検査対象の欠点の視認性に影響を及ぼす要因と開発した評価方法について述べている。

欠点は、濃さや色み、大きさ、長さ、形状などに特徴があり、これらがその視認性

に影響を及ぼす。目視検査に関する先行研究より、欠点の濃さや色みは検査対象と欠点の相対的な輝度の違いである輝度コントラストとして定量化でき、欠点の大きさや長さ、形状はその面積として定量化できることが示されている。また、輝度コントラストに面積を乗じて得られる欠点の面光度と欠点検出率には強い正の相関関係があり、欠点の視認性を定量的に評価するための指標として欠点の面光度の妥当性が実験的に示されている。ただし、実際の目視検査工程における極めて微小な欠点の輝度コントラストや面積を測定するためには、高価な計測機器が必要であり、かつその測定に膨大な手間や時間がかかるといった問題もある。そこで、デジタルカメラで撮影した欠点の画像に対して、画像処理と数値計算によってその面光度を簡易に評価するための測定システムを開発した。また、開発した測定システムを実際の目視検査工程における様々な欠点に適用し、濃さや色み、大きさ、長さ、形状などが異なる欠点であってもその視認性を欠点の面光度として一元的かつ定量的に評価できることを確認した。

第4章の【検査環境の設計方法の検討】では、検査すべき製品や検出すべき欠点に合わせて、検査環境を設計するために考案した方法について述べている。

適正な検査環境を設計するための考え方として、照明の映り込みによって欠点の視認性が低下することや照明の配置によって欠点の視認性が変化すること、さらに本研究の対象製品のようなガラス製品の場合は、背景の色によっても欠点の視認性が変化することを考慮し、照明の映り込みがなく、かつ欠点の面光度が高くなるように照明の配置と背景の色を設計すべきであると考えた。そこで、照明の配置や背景の色を様々に変更できる測定装置を製作し、本研究の対象製品を対象として、照明の配置と映り込みの関係を評価した。同様に、A社の目視検査工程における代表的な欠点の全67種類を対象として、照明の配置や背景の色と欠点の面光度の関係を第3章で開発した欠点の面光度の測定システムを用いて評価した。また、これらの結果をもとに、検査すべき製品や検出すべき欠点の視認性に合わせて、照明の配置と背景の色を設計するための方法を考案した。さらに、考案した検査環境を設計するための方法を多くの目視検査工程に適用するための手順を作成した。

第5章の【検査者の検査方法と訓練方法の検討】では、検査すべき製品や検出すべき欠点に合わせて、検査方法を設計するために考案した方法とその検査方法を検査者

に訓練するために開発した訓練方法について述べている。

適正な検査方法を設計するための考え方として、一度の注視で検査する検査時間や検査範囲、現在の検査範囲から次の検査範囲へと注視点を移動するための眼球運動、および検査者の眼球から製品までの視距離が欠点検出に影響を及ぼすことを考慮し、欠点検出率が高くなるように検査時間や検査範囲、眼球運動、および視距離を設計すべきであると考えた。そこで、これらを変動要因とする被験者実験を実施し、A社で許容限度とされる程度の欠点を対象として、欠点検出率との関係性を評価した。また、これらの実験結果をもとに、検査すべき製品や検出すべき欠点の視認性に合わせて、検査時間や検査範囲、眼球運動、視距離を設計するための方法を考案した。さらに、考案した検査方法を設計するための方法を多くの目視検査工程に適用するための手順を作成した。

効果的な訓練方法を設計するための考え方として、上述した検査時間や検査範囲、眼球運動を目視検査に従事する前にオフラインで体験的に習得できるように設計すべきであると考えた。そこで、コンピュータを用いて検査時間や検査範囲、眼球運動を訓練するための訓練システムを開発した。さらに、開発した訓練システムの有効性を検証するため、目視検査の経験が無い被験者を対象としたコントロール実験を実施し、訓練システムによって欠点検出率が20.4%向上することを確認した。

第6章の【実際の目視検査への適用】では、第4章で考案した検査環境を設計するための方法、および第5章で考案した検査方法を設計するための方法を実際の目視検査工程に適用した結果について述べている。

第4章で考案した検査環境を設計するための方法を本研究の対象製品とA社の目視検査工程における代表的な欠点の全67種類を対象として適用し、検査環境を設計した。また、第5章で考案した検査方法を設計するための方法をA社の目視検査工程における検査者の全8名を対象として適用し、検査方法を設計した。その結果、欠点検出率は適用前が86.5%であったのに対して、適用後は95.6%となった。すなわち、本研究で検討した作業設計の方法には、実際の目視検査工程における欠点検出率を9.1%向上させる効果があることを確認した。

第7章の【結論と今後の課題】では、研究を総括している。

これらの研究成果は、国内および海外の学術専門雑誌に公表されており、学会でも報告されている。以上のように、品質への要求が高い工業製品の目視検査を対象として、欠点検出率を向上させるために、その探索プロセスに着目し、欠点の視認性を考慮した検査環境や検査方法、および訓練方法を設計するための方法を提案している。この方法は実際の目視検査工程でもその効果が検証されており、多くの工業製品の目視検査工程の生産性向上に寄与することが期待される。従って、本審査委員会は、学位申請者が博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。