

KSK-GH22-1

平成22年度 製造業の基盤的技術の拡充強化に関する
研究等補助事業

情報技術活用による生産現場支援に関する研究

平成23年3月

財団法人 機械振興協会 技術研究所



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>



情報技術活用による生産現場支援に関する研究

— 目 次 —

1. 緒言	1
参考文献	2
2. 生産システムの動向調査	3
2.1 海外動向調査	3
2.2 国際会議 APMS2010	3
2.3 RT Leaders社	7
参考文献	8
3. 多軸加工機向け衝突防止手法の研究	10
3.1 まえがき	10
3.2 三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム	10
3.2.1 三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムの概要	10
3.2.2 シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムのプロトタイプシステムの開発	12
3.2.3 ユーザへの試験導入	13
3.3 非接触加工前ワーク形状計測システム	13
3.3.1 非接触加工前ワーク形状計測システムの概要	13
3.3.2 ユーザへの試験導入	16
3.4 多軸加工機向け衝突防止システム	16
3.4.1 多軸加工機向け衝突防止システムの概要	16
3.4.2 多軸加工機向け衝突防止手法の基本処理方式	18
3.4.3 3-D 構造識別管理手法	20
3.4.4 3-D 構造識別管理手法の試験実装と評価実験	22
3.4.5 まとめ	23
3.5 研究成果の普及活動	23
3.5.1 標準技術活用ビジネス小研究会の概要	23
3.5.2 第25回日本工作機械見本市への出展	24
3.5.3 工作機械の簡単IT化セミナー	25
3.5.4 まとめ	26
3.6 あとがき	27
参考文献	27
4. 生産システム構築効率化と品質向上を目指すシミュレーションの研究	29
4.1 まえがき	29
4.2 外観検査自動化構築の課題	29
4.3 外観検査向け設備シミュレーションの提案	33
4.4 仮想画像生成と利用の課題	35
4.5 仮想環境でのキャリブレーション手法の提案	39

4.6 ケーススタディ	43
4.7 あとがき	49
参考文献	49
5. 結 言	51
謝 辞	52

<研究>

情報技術活用による生産現場支援に関する研究

木村利明*1, 日比野浩典*2

Manufacturing support systems using information technologies

Toshiaki KIMURA, Hironori HIBINO

1. 緒言

生産システムの運用・保守の段階では、熟練技能者不足や生産のグローバル化により、低いスキルの作業者でも、より安全で、容易に利用可能な生産システムが求められている。

他方、生産システム構築段階では、製品ライフサイクルの短命化により、一層の生産システム構築効率化を追求する一方で、製造工程の高次元の品質保証が求められている。

そこで、情報技術活用による生産現場支援に関する研究では、平成22年度から平成23年度の2ヵ年計画で、大きく2つの視点から研究を実施する。それらは、生産システムの運用向けに、工作機械の安全運用に着目した「多軸加工機向け衝突防止手法の研究」と、生産システム構築段階向けに、「生産システム構築効率化と品質向上を目指すシミュレーションの研究」を実施する。

まず、「多軸加工機向け衝突防止手法の研究」の概要を示す。誰でもより容易に、安全に工場設備を利用するための技術に関し、工作機械については、主軸や構造部の熱変位誤差補正、およびワークと工具との衝突防止などのインテリジェント化による解決が試みられている。特に、衝突防止に関しては、万一衝突した場合、高価な主軸を故障させ、修理に多くの時間を費やす

ことから注目されている。また、一方で生産のグローバル化により、熟練作業者不在の海外工場で工作機械が利用される場合が増えており、衝突防止手法に対する要求がますます強まっている。

しかし、現状の事務所環境で利用される加工シミュレータや、工作機械搭載の衝突防止機能などの従来の衝突防止手法は、事前に作成したモデルで検証するため、現場で起こる段取りミスの検証までできないのが課題である。

そこで、段取り後、素材・治具をレーザスキャナで計測し、その実測情報、NCプログラム、NC装置の状態を照合して、段取りミスによる衝突予知が可能な衝突防止手法を提案する。本方式は、工作機械との接続に、ネットワークの標準技術を活用することで、さまざまなメーカーの新旧工作機械に適用することが可能である。

本手法は、前身研究¹⁾²⁾で、三軸の工作機械向けに適用開発実績があり、実用化研究会(5社参加)で製品化準備を進め、ユーザ3社に試験導入し、近々に販売開始予定である。この実績から、五軸加工機のユーザや周辺機器メーカーから、本システムの多軸工作機械対応の要望が高まった。

これらの背景から、本「多軸加工機向け衝突防止手法の研究」では、五軸工作機械向けの衝突防止システムを実現して、ユーザニーズに応えることを目指す。

次に、「生産システム構築効率化と品質向上を目指すシミュレーションの研究」の概要を示す。近年の産業界では、国内では熟練作業者の

*1 生産技術部

*2 生産技術部システム課

不足、海外では現地化生産の進展などにより、経験の浅い作業員による製造でも一定の品質を効率的に保つことが重要となりつつある。その解決策の一つとして、出荷前の関所とも呼ばれ、従来作業員による目視に頼っている外観検査の自動化のニーズが高まっている。近年、特に、外観検査の自動化において、三次元の多方向・多点・多品番検査に対応するロボットとカメラを利用する外観検査が注目されている。これは、ロボットのハンド部に、産業用カメラと照明を搭載して、ロボットの軌道に同期して、必要な検査項目に合わせて検査対象ワークを撮像して画像を取得し、取得した画像を視覚検査プログラムで外観の状態を判定する。しかしながら、現状、その導入に際して、製品一つ当たりの検査項目や検査点が多く、また変種変量生産下では製品種類が多いため、カメラの焦点距離や撮像タイミング、ロボットの効率的な動作の調整、視覚検査プログラムの調整などは実機で試行錯誤により実施しており、現場での調整時間が長時間化している。また、新規製品を追加する場合、新たに設備を停止して調整する必要がある。

これらの課題を解決するために、オフライン（仮想環境）でカメラの焦点距離や撮像タイミングの決定、ロボット動作の生成、および、視覚検査プログラムの事前評価を実施する外観検

査向け設備シミュレーションの研究を実施している。本報では、まず、外観検査の自動化構築の課題を整理し、課題を解決する外観検査向け設備シミュレーションの基本システムやその基本機能の研究を実施する。また、外観検査向け設備シミュレーションにより生成される仮想画像を利用する視覚検査プログラムの事前評価の技術的な課題を明確にし、明確化された課題を解決するための解決手法の研究を実施する。

本報では、情報技術活用による生産現場支援に関する研究の平成22年度の研究成果を報告する。第2章に本研究の関連技術動向調査結果を報告し、第3章に「多軸加工機向け衝突防止手法の研究」の成果を、第4章に「生産システム構築効率化と品質向上を目指すシミュレーションの研究」の成果を報告する。

第1章の参考文献

- 1) (財)機械振興協会 技術研究所,平成20年度製造業の基盤的技術の拡充強化に関する研究等補助事業 標準技術による生産支援に関する研究,平成21年3月
- 2) (財)機械振興協会 技術研究所,平成21年度製造業の基盤的技術の拡充強化に関する研究等補助事業 標準技術による生産支援に関する研究,平成22年3月

2. 生産システムの海外動向調査

2.1 海外動向調査

本動向調査は、海外のものづくり最新技術動向を調査し、今後の研究の方向性を明らかにし、今後の研究活動に活用することを目的に、欧州の生産システムの動向調査および研究成果の普及を実施した。平成22年10月8日から10月18日の日程で実施し、イタリア、ドイツを訪問した。具体的には、イタリア・ミラノ郊外で開催された国際会議 APMS2010 に参加し、研究成果の普及と技術動向の調査を実施した。次いで、ドイツ・ミュンヘン郊外の RT Leaders 社を訪問して、最新の生産システムの動向を調査した。次節以降に詳細を報告する。

2.2 国際会議 APMS2010

最新の生産システムの研究動向調査および研究成果の普及のため、平成22年10月9日から10月13日の期間でドイツ・ミラノ郊外コモにある Grand Hotel di Como in Cernobbio で開催された、生産マネジメント関係の主要な国際会議である APMS2010 (Advances in Production Management Systems) に参加した(図2.1参照)。国際会議 APMS は、生産マネジメント関係の統括学会の IFIP (International Federation for Information Processing) TC5 Working Group 5.7 の主催で開催される。IFIP は1960年4月、国連ユネスコの提案で組織された情報処理国際連合で、日本の代表団体は情報処理学会が加盟している。APMS を主催する Working Group 5.7 が所属する TC5 は、1970年に創設され、工学・工業におけるあらゆる計算機応用を対象範囲としており、工業製品やシステムの研究開発、設計、生産、運用・制御、などを扱い、さらにこれらに固有な基礎的情報処理技術を対象とする¹⁾。最近では、特に、製造業の情報化に関連する要素技術を主な対象としており、CAD/CAM/CAE、生産管理、仮想生産や仮想企業体、EC (Electronic Commerce)、さらにコンピュータグラフィックス、通信、データベース、情報インフラストラクチャなどの分野の研究者が活発に活動している。

国際会議 APMS は、従来は隔年の開催であったが、近年、毎年秋に開催されている。APMS2010 では「Competitive and Sustainable Manufacturing, Products and Services」を主テーマに掲げた。欧州連合第7次研究枠組み計画の FP7(The Seventh Framework Programme)において、重点研究に新生産技術、エネルギー、環境(気候変動を含む)などが挙げられており²⁾、生産システム関連の研究対象の傾向が従来のどちらかといえば生産性重視の方向からサステナブル生産システムの実現へと変わりつつあることが今回の主テーマ選定と関係していると推察できる。また、近年の地球温暖化や資源の有限性を考慮するサステナブル生産システムの実現が社会的に重要となっており、時流に乗ったテーマ選択であったといえる。講演発表件数は従来約100件程度であったが、今回は、216件であり、盛況であった。110人の査読者により、320件の応募に対してエクステンディッド・アブストラクトが査読された。採択率は、67.5%であった。1つの論文に対して少なくとも3人の査読者が評価した。APMS2010の発表者は、欧州の研究者が多い。アジア勢では、日本の研究者が中心的な役割を担っている。APMS2010の日本からの参加者は、10名程度であった。サステナブル生産システムの関係の国際会議としては、大規模であり、APMS2010がこの分野の研究発表の牽引になる可能性が高い。APMS を主催する Working Group 5.7 の現在の代表であるミラノ工科大学の Marco Taish 教授が、欧州のサステナブル生産システム研究者の代表的な一人である(図2.2参照)。Marco Taish 教授



図2.1 APMS2010 会場

は、サステナブル生産システム関係の先進的な研究として、欧州を中心としてサステナブル生産システムの現状調査と10年後の2020年へのロードマップ作成に関する研究のIMS2020を実施している³⁾。

APMS2010での講演セッションの内訳を以下に記す(括弧内は講演発表件数)。全体的な印象としては、生産システムにおけるハードウェアそのものではなく、生産システム構築支援技術や管理技術の分野の研究が多い。

- ・ Sustainable Initiatives in Developing Countries (20)
- ・ Sustainable Manufacturing and Operations (15)
- ・ Sustainable Supply Chain Management (12)
- ・ Sustainable Product (12)
- ・ Sustainable Healthcare Services (4)
- ・ Performance Management and Sustainability (8)
- ・ Strategy for Sustainability (11)
- ・ Risk Management as a Powerful Means for Sustainability (4)
- ・ Collaborative Innovation (8)
- ・ Production Planning & Control (28)
- ・ Product Service System Engineering (8)
- ・ Supply Risk Management (6)
- ・ Product-Related Service Delivery Networks Design, Management and Optimization (4)
- ・ Intelligent Non-Hierarchical Manufacturing Networks (8)
- ・ Fostering Energy Efficiency in Manufacturing (8)
- ・ Lean Thinking and Production (8)
- ・ Managing Operations Globally (8)
- ・ New Product Introduction and Innovation in the 21st Century (15)
- ・ Transformations to Servitized Organizational Forms (8)
- ・ Maintenance Management (8)
- ・ Technologies (8)

基調講演は、国際的に有名な講師による合計3回の講演が実施された。これらの講演はどれも興味深かった(図2.3, 図2.4参照)。以下に、講

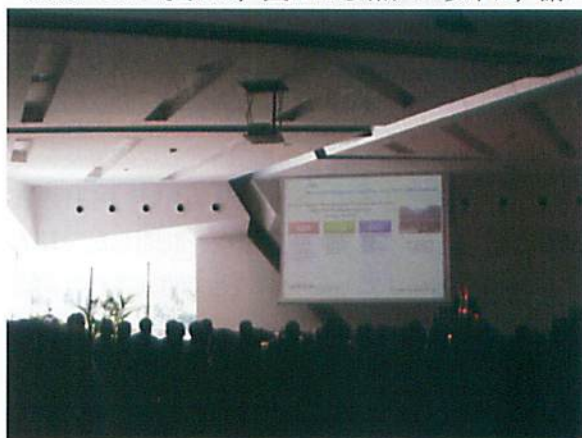


図2.2 Working Group 5.7代表のミラノ工科大学Marco Taish教授のスピーチの様子



図2.3 APMS2010 基調講演の様子



図2.4 APMS2010 基調講演の質疑応答

演者, 所属, 講演タイトルを記す.

1. 講師 : Dr. Rolf Riemenschneider, European Commission (ベルギー), 講演タイトル : European PPP research on Factories of the Future to supports economic recovery – Research Perspective of Information & Communication technologies supported by the European Commission through the work program WP2011-12.
2. 講師 : Dr. Fabio Sdogati, Politecnico di Milano 社 (イタリア), 講演タイトル: Global Production Networks and the Great Recession 2007-2010: Analysis and trends.
3. 講師 : Dr. Salvatore Paparelli, AV Sales & Operations Director Sony (イタリア), 講演タイトル : The Sony's way to Sustainability: Product, Process, Planet - the impact on Manufacturing, Operations, Products and waste.

基調講演の中で, 特に1の Riemenschneider 氏の講演は, EU における最新の生産システム関連の研究動向についての説明であった. 具体的には, 欧州連合第7次研究枠組み計画の FP7(The Seventh Framework Programme)の研究動向を説明した. 重点研究は新生産技術, エネルギー, 環境 (気候変動を含む) 分野である. FP7は, 欧州内の産学官連携プロジェクトで, 産業界における新技術開発を支援する. EU の技術基盤を高めることによって, EU 製造業, 特に中小企業の国際的な競争力を高めることが主目的になる. 本講演では, FP7 の現在進行中のプロジェクトであり, 2010年からプロジェクトは開始した Factories of the Future (FOF) and ICT^④について説明した. 研究のキーワードは, Smart factory, Virtual factory, Digital factory である. 本年度の研究に近いプロジェクトであり, 参考になる部分が多かった. APMS2010 参加者も関係する分野の研究者が多く, 質疑応答は活発であった.

AMMS2010 の研究講演会では, 本研究の成果

として, Sustainable Manufacturing and Operations セッションにおいて, 発表タイトル: 「Simulation Model Driven Manufacturing to Support Engineering Process and Operate Manufacturing Cell」^⑤を講演した. 設備シミュレーションの発展系として, シミュレーションから直接実機のロボットセル実機を制御する研究成果である. 質疑応答は活発で, シミュレーションモデル構造やリアルタイム性についての質問があった. どの質問も実用化に関する質問であった. 欧州では生産技術のシステム化に関する技術的な基盤が揃っており, 新しいシステムに対する適用性も高い印象を受ける. この傾向は, 欧州の研究者のみならず大学院生でも同じ傾向を散見する. システムの理解力では大学教育との関係性が高いと思われる. 欧州の理工系教育方法を日本の教育法に取り入れる必要を感じる.

APMS2010 の中で, 特に注目した講演内容を以下に報告する. 講演会場の様子を図 2.5 に示す.

- A) 発表者 : Dr. Katharina Bunse, ETH Zurich (スイス), 講演タイトル : Enhanced Production Management Approaches – Integrating Energy Efficiency Performance into Companies Decision Making Processes^⑥. 内容 : エネルギー効率の視点から新しい生産マネジメント方法を検討し, 提案した内容. ICT によって, 製造の見える化などが可能となり, 省エネ性評価や省エネマネジメントが可能となると提案した. 先進スケ



図 2.5 講演会場の様子

ジューリングによりムダを省く、物流の効率化も重要と提案した。JIT の課題は、個別物流による環境負荷として提言した。本論文は、サーベイレポートとしては利用可能なレベルである。会場の意見として、エネルギーを省くことを議論するのか、CO₂を減らすことを議論するのか明確にしたほうが良く、例えば、クリーンな電気を利用する製造は、CO₂は排出しないのではという意見があった。

- B) 発表者：Dr. Michael Ameling, SAP Research Center Dresden (ドイツ), 講演タイトル：Improving energy efficiency by demand side management⁷⁾. 内容：SAP を利用して、製造現場をモニタリングすることにより、エネルギー使用量を見える化して、エネルギー消費を改善することを提案した。まず、製造現場をモニタリングすることを主眼とする内容。ケーススタディとして、SAP 社に PLANTCockpit と呼ばれるショールームを開発し、公開している。対象は、仮想ロボットセルのモニタリングである。
- C) 発表者：Dr. Dimitris Kiritsis, EPFL - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (スイス), 講演タイトル：Remanufacturing System Scheduling based on a Multi-agent Approach⁸⁾. 内容：自動車部品や半導体部品など部品の再利用に関する、エージェントベースを利用する最適化の研究。研究レベル、部品レベルのエージェントと製造レベルのエージェントが協調して、最適化しようとする提案。部品レベルでは、利用評価と性能評価により廃棄等を管理するアルゴリズムを提案。部品レベルのエージェントは、仕掛在庫の管理を中心とする。どのように部品の品質を評価するのかについては今後の課題とした。研究としては、大きな視点で Remanufacturing System をとらえているが、今回の発表は全体の中では、細かいレベルを対象とした発表内容であった。
- D) 発表者：Dr. Shigeki Umeda¹⁾, Musashi University (日本), 講演タイトル：Supply Chain Game: Development of an

E-learning tool for skills training of supply chain operations management⁹⁾. 内容：サプライチェーン学習用アプリケーションの開発の発表。実用化に近い印象を受けた。インターネット上でIDを取得できれば、すぐにも利用可能な Web ベースのアプリケーションの研究内容。

- E) 発表者：Dr. Antonella Meneghetti, University of Udine (イタリア), 講演タイトル：Sustainable storage assignment in AS/RSs¹⁰⁾. 内容：自動倉庫を対象にして、特に、スタッカークレーンの稼働における、エネルギー消費の評価研究を実施している。実用レベルに近く、エネルギー消費の評価方法は実用的に参考にできる内容。
- F) 発表者：Dr. Taedong Kim, KAIST - Korea Advanced Institute of Science and Technology (韓国), 講演タイトル：Gantt chart Simulation based Job Change Planning for LCD Industry¹¹⁾. 内容：LCD 産業におけるスケジューリングの研究。実用レベル。ガントチャートレベルでのスケジューリング手法の提案。
- G) 発表者：Dr. Alexander Sebastian Benjamin Sproedt, ETH Zurich (スイス), 講演タイトル：Environmental Sustainability Assessment: An Evaluation of Established Methods and Analysis of their Suitable Applications in Industrial Practice¹²⁾. 内容：経済性(生産性)、環境評価はトレードオフになる場合が多い。どのようなところで折り合いをつけるかについての評価手法の提案。サーベイレポートレベル。研究の背景を以下に記す。企業は、社会に対して、環境負荷に対する取り組みを示し、企業としてのイメージアップを図りたい。他方で、高いレベルの環境負荷の取り組みは、自社だけでは実現できず、サプライヤを巻き込む必要がある。サプライヤは、その理念を共有することが重要である。他方で、コストアップにつながるが、対価を支払ってもらえない場合がある。戦略に対する理解とコスト的なサポートが重要に

なる。

- H) 発表者: Dr. Alessandro Cannata, Politecnico di Milano (イタリア), 講演タイトル: Energy efficiency optimization through production management decisions in manufacturing environment: a proposal¹³⁾. 内容: 機械加工におけるエネルギー消費量を算出する研究。研究レベル。

これらの研究は、今後も引き続き研究される予定のため、継続的な調査が必要であると考えます。

また、APMS2010の開催に合わせて、Working Group 5.7の会議が開催された(図2.6参照)。2009年に日比野がWorking Group 5.7新規メンバーとして推薦されており、1年間メンバー候補としてWorking Group 5.7活動に参加した。当日の会議においてフルメンバーとして承認された。今後は、Working Group 5.7の活動に積極的に関わることになる。日本の研究者としては、京都大学大学院工学研究科の水山元講師も同日、フルメンバーとして承認された。本会議において、次回のAPMS2011の主タイトルとして、「Value Networks: innovation, technologies and management」に決定した。開催地は、ノルウェー・スタバンガーで、開催期間は2011年9月26日～28日である。

2.3 RT Leaders 社

ドイツの最新のロボット技術を調査するために、ミュンヘン郊外にあるロボットに特化したシステムインテグレータであるRT Leaders 社¹⁴⁾を訪問した(図2.7参照)。今回の訪問では、RT Leaders 社のCEOであるStefan Riesner博士と面会した。Riesner博士が2005年にミュンヘン工科大学(TU-Munich)をスピンオフして設立した。その理由として、当時ミュンヘン工科大学の研究者だったRiesner博士と企業間の直接の研究は、契約、守秘義務などが難しく実施が難しかったからであった。設立に際して、50%をミュンヘン工科大学のKnoll教授が、50%をRiesner博士が投資した。現在、10人の技術者が働いている。その内訳は、Computer Scientists 6人、Electronic

Engineer 3人、Mechanical Engineer 1人。RT Leaders 社の開発対象は、Smarter Robot Systemである。RT Leaders 社は、ロボットメーカーから相談される技術的課題を解決する手法を開発する。開発費は、ロボットメーカーやユーザへのアプリケーション開発によって得る。公的な研究資金を得ていない。特許の取得に積極的である。現在、いくつかの特許を保有している。なお、ヨーロッパでは、特許の取得まで5年間で、公開まで18ヵ月である。

RT Leaders 社の最新の製品として、放送用のロボットCamerobotを開発し、販売している(図2.8、図2.9参照)。開発は、Staubli社と、共同で開発した。営業・販売は、Camerobot system 社¹⁵⁾で行っている。Camerobot system 社は、75%をStaubli社、25%をRT Leaders 社が出資した放送用のロボットの営業・販売企業、従来、人手によって実施していた撮影作業をロボットに置き



図2.6 IFIP WG5.7 Annual Meetingの様子



図2.7 RT Leaders 社

換え、テレビ撮影スタジオ内の自動化を促進することを狙っている。カメラは20kg、水平移動部は空気圧を利用し動作。ロボット自重は1.2t。

産業分野では、Staubli 社、三菱電機社などと共同でソフトウェア、ハードウェアなどを開発している模様。守秘義務等で公表できない案件が多く、実際には多くの産業用ロボット企業と共同で開発ハードルの高い案件を共同開発している模様。少ない学習で、機械を動かす Smarter Robot System の開発を行っており、例えば教示レスマシーンの開発などを実施している。

Riesner 博士は、今後の製造業ではバーチャルファクトリーが大変重要になるとした。大手の自動車部品会社の話として、効率的な組み立て作業を開発する上で、最初は女性作業者に組み立てをさせ、最も良い組み立て方法を抽出する。その後、抽出した動作を基にして、その動作をロボットに導入する。ロボット導入後は、組み立て動作を継承するために少人数の作業者に組み立て知識を残している。Riesner 博士は、今後は、バーチャルファクトリーに知識を残すことになるであろうと考えている。

また、Riesner 博士の意見では、シミュレーション技術は、現在も、ドイツの中小企業の製造現場での利用が進展していないと述べた。その理由として、シミュレーション技術がなくても製造現場はこれまで構築できていたからである。今後、ドイツにおいて、多くのエンジニアが退職する時期になるため、少ない人数のエンジニアで生産システムを構築する必要が生じる。そのため、シミュレーション技術を導入する機会が増えるであろうと考えている。また、生産システムの制御開発では、プログラミング言語の多様性、プログラム開発者の質の変化、より一層の開発効率性向上など開発環境が変化している。これまでのラダー言語による PLC 制御から PC ベースの制御の機会も増えるであろうと考えている。

第2章の参考文献

- 1) <http://www.ipsj.or.jp/10jigyoiinkai/IFIP/tc5.html>, (2011).
- 2) <http://www.deljpn.ec.europa.eu/relation/sho>

wpage.jp_relations.science.fp7.php, (2011).

- 3) <http://www.ims2020.net/>, (2011).
- 4) http://cordis.europa.eu/fp7/dc/index.cfm?fuseaction=UserSite.FP7DetailsCallPage&call_id=339&act_code=ICT&ID_ACTIVITY=3
- 5) Hibino H., Simulation Model Driven Manufacturing to Support Engineering Process and Operate Manufacturing Cell, Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
- 6) Katharina Bunse, et al., Enhanced

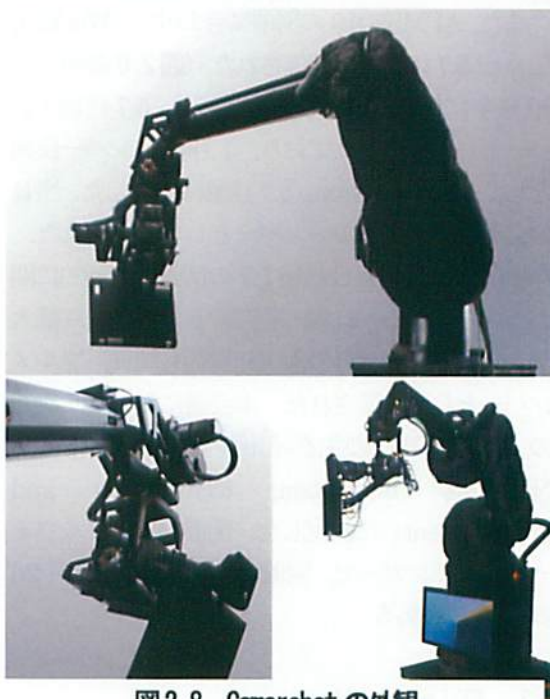


図 2.8 Camerobot の外観



図 2.9 Camerobot のコントローラ

- Production Management Approaches – Integrating Energy Efficiency Performance into Companies Decision Making Processes, Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
- 7) Michael Ameling, et al., Improving energy efficiency by demand side management, Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
 - 8) Dimitris Kiritsis, et al., manufacturing System Scheduling based on a Multi-agent Approach. Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
 - 9) Shigeki Umeda, et al., Supply Chain Game: Development of an E-learning tool for skills training of supply chain operations management Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
 - 10) Antonella Meneghetti, et al., Sustainable storage assignment in AS/RSs Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
 - 11) Taedong Kim, et al., Gantt chart Simulation based Job Change Planning for LCD Industry, Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
 - 12) Alexander Sproedt, et al., Environmental Sustainability Assessment: An Evaluation of Established Methods and Analysis of their Suitable Applications in Industrial Practice, Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
 - 13) Alessandro Cannata, et al., Energy efficiency optimization through production management decisions in manufacturing environment: a proposal, Proceedings of APMS2010, CD-ROM, (2010).
 - 14) <http://www.rtleaders.com/>, (2011) .
 - 15) <http://www.camerobot.com/>, (2011) .
-

3. 多軸加工機向け衝突防止手法の研究

3.1 まえがき

国内製造業では、熟練技能者不足などにより、技能伝承が課題となっており、一方で、誰でも工場設備を容易に使いこなせるようにするための技術が必要とされている。

この近況に対し、工作機械に関しては、主軸や構造部の熱変位誤差補正、および素材と工具との衝突防止などのインテリジェント化による解決が試みられている。特に、衝突防止に関しては、万一衝突した場合、高価な主軸を故障させ、修理に多くの時間を費やし、仮に修理を行っても精度が戻らないことがあることから注目されている。また、一方で生産のグローバル化により、熟練作業者不在の海外工場で、工作機械が利用される機会が増えており、衝突防止手法に対する要求がますます強まっている。

しかし、現状、事務所環境で利用される加工シミュレータや、工作機械搭載の衝突防止機能などの従来の衝突防止手法は、事前に作成したモデルで検証するため、現場で起こる段取りミスの検証まで出来ないのが課題である。

そこで、段取り後、素材・治具をレーザスキャナで計測し、その実測情報、NCプログラム、NC装置の状態を照合して、段取りミスによる衝突予知が可能な衝突防止手法を提案する。本方式は、工作機械との接続に、ネットワークの標準技術を活用することで、さまざまなメーカーの新旧工作機械に適用することが可能である。

本手法は、前身研究¹²⁾で、三軸工作機械向けの適用開発実績があり、実用化研究会（5社参加）で製品化準備を進め、ユーザ3社に試験導入し、近々に販売開始を予定している。この実績から、五軸加工機のユーザや周辺機器メーカーから、本システムの多軸工作機械対応の要望が高まった。

これらの背景から、本多軸加工機向け衝突防止手法の研究では、五軸工作機械向けの衝突防止システムを実現して、ユーザニーズに応えることを目指す。

本研究は、2ヵ年計画であり、初年度の平成22年度は、前身研究成果も活用し、多軸加工機向け

衝突防止手法の基本処理方式の検討を行う。また、本方式を実装する上で課題となる工作機械上を計測した点群データから治具や素材を識別分離して管理する仕組みを3-D構造識別管理手法と呼ぶことにし、本手法の実現の可能性を確認する。

最終年度の平成23年度は、平成22年度に検証した基本処理方式と3-D構造識別管理手法を活用し、多軸加工機向け衝突防止システムを試作する。

本報は、初年度である平成22年度の報告として、基本となる前身研究で開発した三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム、その派生成果である非接触加工前ワーク形状計測システムについて報告する。また、本研究で検討した多軸加工機向け衝突防止システムについて報告する。さらに、これらの研究成果の普及活動として、JIMTOF2010への展示会出展や、セミナーなどを開催したのであわせて報告する。

3.2 三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム

3.2.1 三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムの概要

本三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムは、市販の加工シミュレータの機能と連携して、工作機械の自動運転開始前に衝突予知を行う仕組みである。ただし、通常の加工シミュレータの運用では、素材や治具の形状、工具補正值などは、加工シミュレータ側でモデルや初期設定値として入力してからシミュレーションを行うことから、現場の段取りと、これらモデルや初期設定値とが異なると衝突予知が困難となる。そこで、本シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムでは、工作機械側で段取り後の素材や治具の形状を3-Dレーザスキャナにより測定し、その計測情報と、NC装置の工具補正值、機械座標、およびワーク座標系設定値などの情報とを、加工シミュレータに自動送信し、工作機械で、実際に加工する場合と同等な条件でシミュレーションが行えることを特長としている¹²⁾³⁴⁾。

本シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムは、図3.1のように、工具補正值を計測してNC装置に登録する工具計測器、素材や治具の形

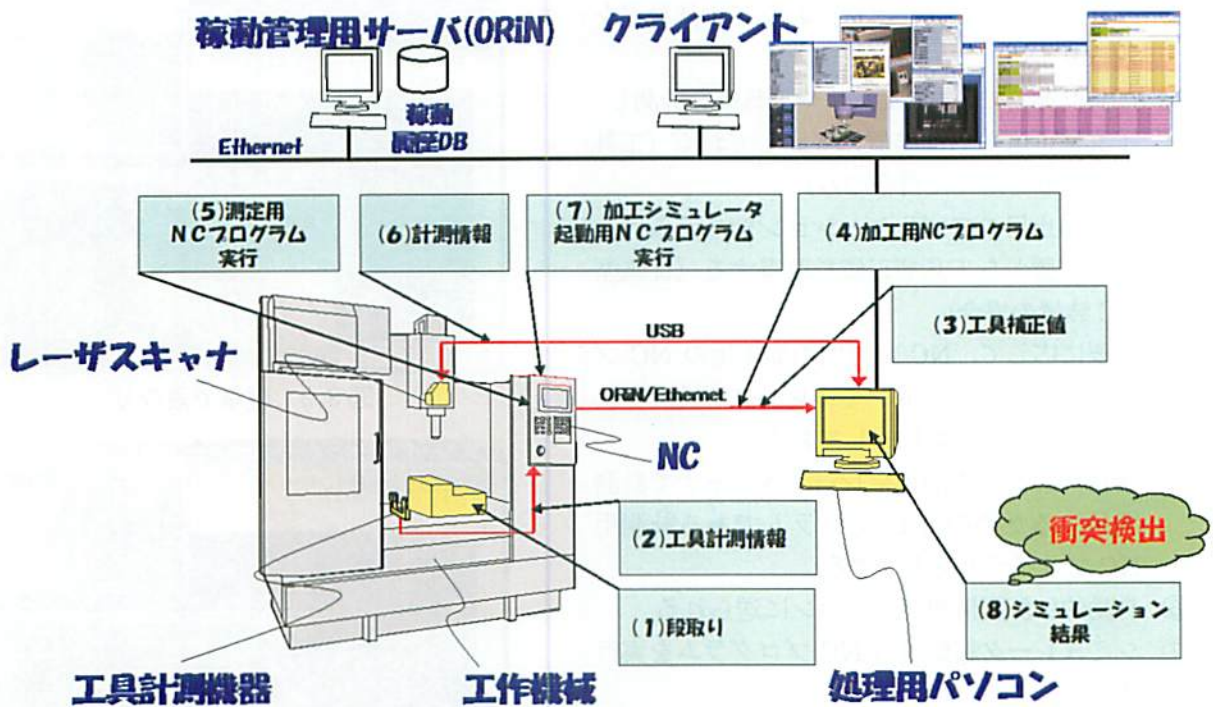


図 3.1 三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムのコンセプト

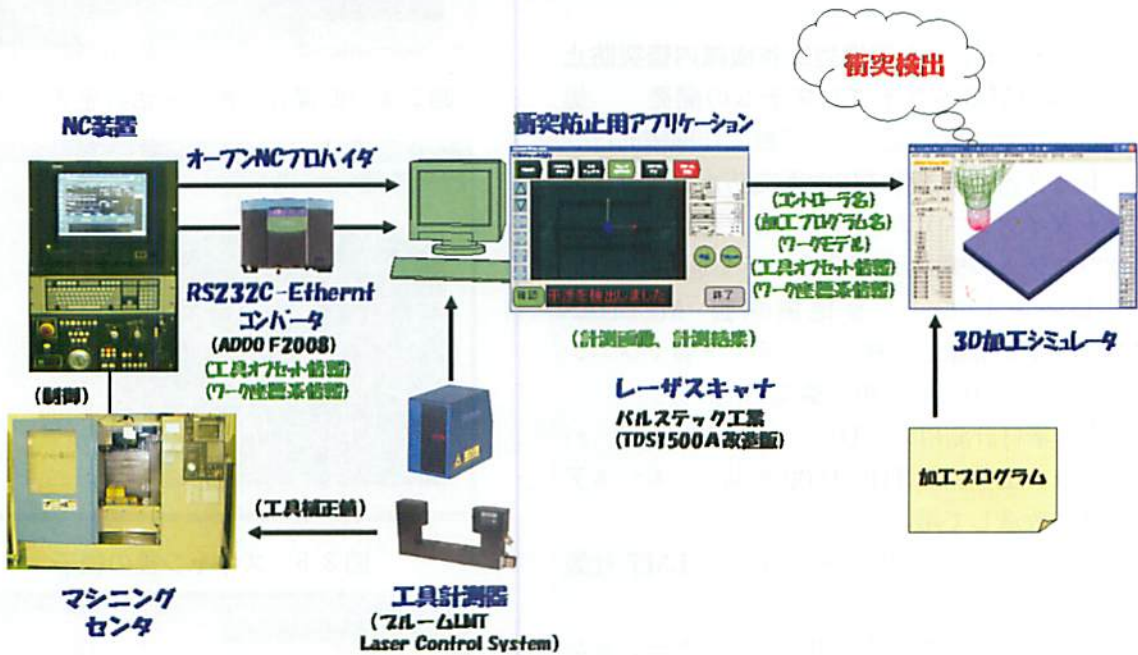


図 3.2 プロトタイプシステムの構成

状を計測する 3-D レーザキャナ、NC と情報交換するための ORiN(Open Resource interface for the Network)、衝突防止用のアプリケーションシステム、および加工シミュレータが搭載されたパソコンから構成される。

また、本システムは、NC 装置との接続に標準

技術の一つである ORiN を活用しているため、様々なメーカーのオープン NC 装置や従来型 NC 装置に適用可能である。接続対象とする NC がオープン NC 装置の場合と、従来型 NC の場合とで、若干運用手順が異なるが、本システムの全体の運用の流れは次の通りである。

- ① 工作機械に、工具、素材、および治具などを段取りする
- ② 工具計測器により、工具長や工具径を計測し、工具補正値を NC 装置に登録しておく（工具の段取りを変えた場合のみ）
- ③ 衝突防止用のアプリケーションシステムは、NC 装置から工具補正値を取得する（従来型 NC 装置の場合）
- ④ 必要に応じて、NC 装置内の加工用の NC プログラムを、加工用シミュレータが搭載されたパソコン内にコピーしておく
- ⑤ 素材、およびや治具をレーザスキャナで計測開始するための NC プログラムである計測用 NC プログラムを実行する
- ⑥ 自動的に計測情報がパソコンに送られる
- ⑦ シミュレータ起動用の NC プログラムを実行する
- ⑧ シミュレーションの結果を表示する

3.2.2 シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムのプロトタイプシステムの開発 提案するコンセプトに基づく、三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムのプロトタイプシステムを開発した。

本システムの構成は、図 3.2 に示す通りであり、NC 装置として、三菱電機(株)製 MELDAS MAGIC64 を搭載した(株)ジェイテクト製マシンングセンタ PV4-IIA を対象に構築した。

また、素材計測用の 3-D レーザスキャナは、パルステック工業(株)製 TDS-1500 を基に、本システム向けに改造して用いた。

さらに、工具計測器は、(株)ブルーム LMT 社製 Laser Control System を用いた。

パソコンには、衝突防止用のアプリケーションシステム、および 3-D 加工シミュレータを搭載する。なお、本衝突防止用のアプリケーションシステムは、標準技術の一つである ORiN を用いることで、さまざまな NC 装置に接続できることを特長とする。また、3-D 加工シミュレータは、市販のシミュレータを活用することとし、本プロトタイプシステムでは、(有)ブロードマイン製の TRYCUT2000 を活用した。



図 3.3 現場で段取り



図 3.4 NC 操作で素材・治具をスキャン



図 3.5 スキャン後の様子



図 3.6 NC 操作でシミュレータ自動起動

本プロトタイプシステムの動作イメージは、図 3.3～図 3.6 の通りであり、図 3.3 は、工作機械に素材や治具の段取りをしている様子、図 3.4 は、本システムにより段取り後の素材や治具を 3-D レーザスキャナで計測している様子、図 3.5 は、計測された工作機械上の素材や治具の様子、および図 3.6 は、加工シミュレータが実行され、その結果として衝突事故を予知している様子を示す。

3.2.3 ユーザへの試験導入 本研究成果をはじめとする工作機械の衝突防止技術の実用化を目的とした実用化研究会として、工作機械内衝突防止システムの実用化に関する研究会（参加企業：アドー・ジャパン㈱、㈱ソフィックス、パルステック工業㈱、㈱ブルーム LMT、(財) 機械振興協会技術研究所）が、平成 20 年 4 月に発足以来、活発な活動を行っている。そこで、本研究成果も同研究会に提供し、実用化のための共同研究活動を行った。具体的には本シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムを、ユーザへ試験導入し、実工場での評価テストを実施した。ただし、同研究会では、シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムの商品名を、シミュレータ連携型工作機械内衝突チェックシステムと称している。

実際に試験導入したのは、大手製造業の金型製造部門であり、設置対象の工作機械は、ファナック㈱製 NC 装置 Series 18i が搭載された㈱牧野フライス製作所製立型マシニングセンタ V56 である。同機では金型部品の加工が行われ、APC(Auto Pallet Changer)によるワーク自動交換と、DNC による複数工程のスケジュール運転中の自動衝突予知が求められた。

本要求を含め、シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムを実工場に導入するにあたり、つぎに示す主な改造を行った。

- (1) 3-D レーザスキャナを、クーラント、およびミストなどから保護するためにエアージ機構を持つ自動開閉機構付きカバー設置
- (2) 計測した点列座標を機械座標に変換するために設置する基準球を自動で清掃するためのエアブロー装置設置
- (3) DNC スケジュール運転中に素材や治具の計

測、およびシミュレーション起動のためのマクロプログラムを各加工用 NC プログラムに自動追加するためのソフトウェア開発

- (4) APC 用に設けられた外部原点オフセットに対応するためのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムのソフトウェア改良

本ユーザへの試験導入の結果、本システムが実運用上、一定の条件下で良好に動作することがわかった。また、試験導入したユーザからも高い評価を得て、正式導入に向けた検討が始まったところである。

なお、実際の試験導入の様子、その他詳細については、ユーザの企業機密にかかわる内容も含まれるため、本報告では差し控えたい。

3.3 非接触加工前ワーク形状計測システム

3.3.1 非接触加工前ワーク形状計測システムの概要 工作機械内衝突防止システムの実用化に関する研究会において、シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムの派生システムとして、非接触加工前ワーク形状計測システムを開発した。

本システムは、大型の鋳物素材などのように、寸法に大きなバラつきを有する素材を、荒削りする際、安全をみて、想定されるバラつきを加味して、工具を素材に早送りアプローチし、切削送りを始めることが多く、そのために増えるエアーカットの時間短縮に対するユーザ要求に応えるため開発した。このエアーカット時間は、例えば工作機械 X-Y 平面で、数 m×数 m の素材で 1 時間以上になることもあり、この時間短縮、および加工作業の安全確保の観点で多数の製造業の方から強い要望があった。

本システムの構成は、図 3.7 に示す通りであり、非接触加工前ワーク形状計測システムのアプリケーションシステムを搭載したパソコンと、門型工作機械の NC 装置、および 3-D レーザスキャナとを、イーサネットにより接続する。通常、3-D レーザスキャナとパソコン間は、USB インタフェース、またはパラレルインタフェースで接続するが、設置対象の工作機械が門型であり、パソコンと 3-D レーザスキャナ間のケーブル引き回し距離が長くなることから、市販の USB-LAN 変換機器を

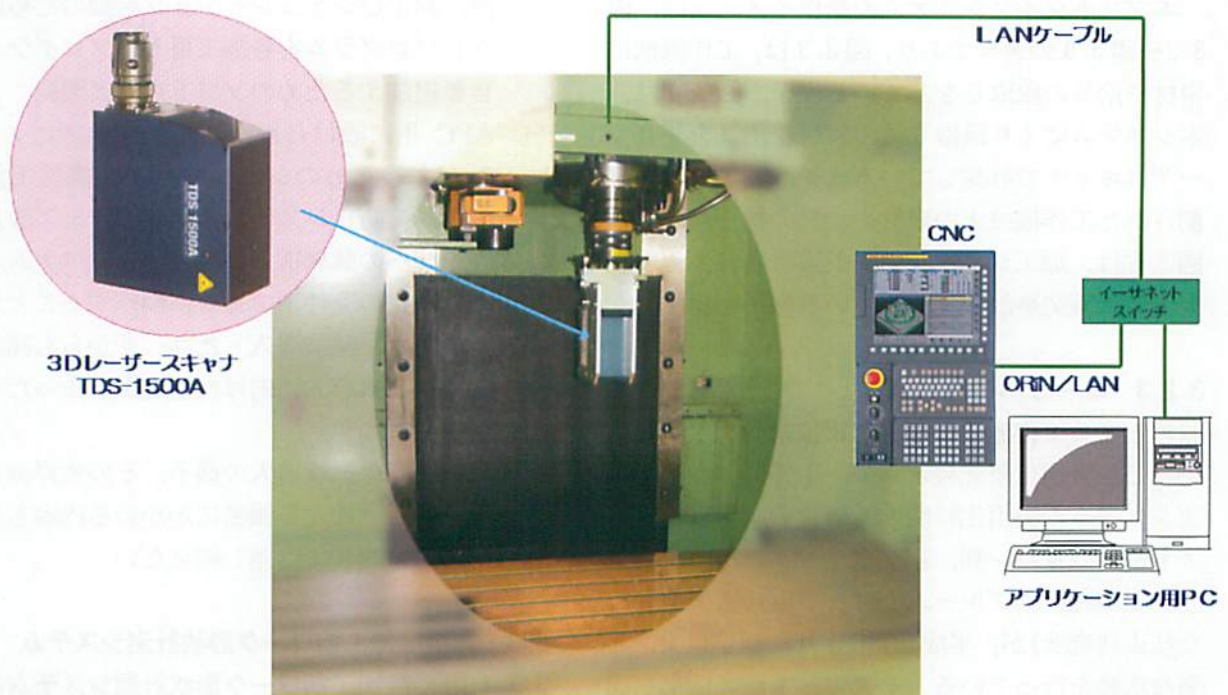


図 3.7 非接触加工前ワーク形状計測システムの構成

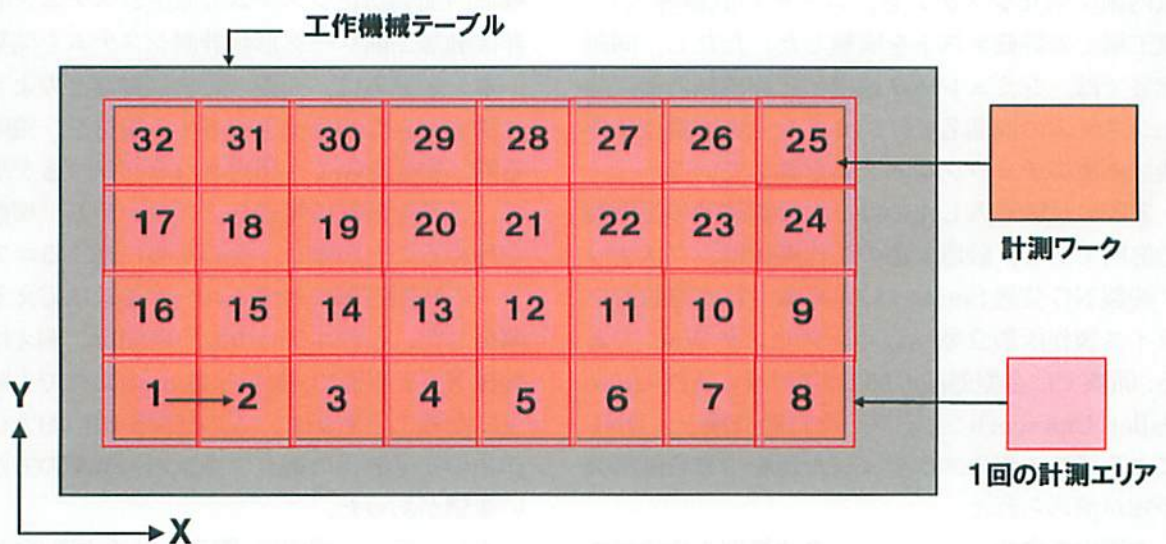


図 3.8 素材計測のイメージ

使用して接続可能距離を延ばした。また、3-D レーザスキャナは、1 台の 3-D レーザスキャナを、複数の工作機械で使い回すことも想定し、図 3.7 に示す通り、手動脱着が可能な機構を設けて、主軸に取り付けることとした。なお、図 3.7 は、当研究所所有設備の都合で、門型工作機械ではなく、立型マシニングセンタに設置した際の写真である。

本システムの運用の流れとしては、3-D レーザスキャナで素材や治具を計測後、シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムであれば、加工シミュレータを自動起動して衝突予知を行うが、本非接触加工前ワーク形状計測システムでは、素材や治具の計測データに対し、点群処理ソフトウェアや CAM を活用して、エアーカットの少ない



図 3.9 点群処理ソフトウェアとCAMによるNCプログラム作成

NCプログラムを生成する。具体的な本非接触加工前ワーク形状計測システムの運用手順は、次の通りである。

- (1) 門型工作機械に素材を設置する
- (2) 主軸に3-Dレーザスキャナを設置する
- (3) 本システムのパソコンを起動し、非接触加工前ワーク形状計測システムを起動する
- (4) 工作機械側で素材計測用のNCプログラムを動作させることで素材計測を行う
- (5) 計測された点群データを活用し、市販の点群処理ソフトウェアやCAMソフトウェアにより、エアークットの少ないNCプログラムを作成する

なお、上記(4)の素材計測では、図3.8に示す通り、スキャナ基準位置から計測箇所までの距離を1mとして、最大560mm×490mmの矩形に分割して計測する。また、図3.9に、上記(5)のNCプログラムの作成手順として、日本ユニシス・エ

クセリューションズ㈱に協力いただいて借用した点群処理ソフトウェア Rapidform XOR と、CAD/CAM システムである CADMeister による手順例を示す。この例では、Rapidform XOR を活用して、計測された素材や治具の点群データを、STL(Standard Triangulated Language)としてポリゴン化し、素材部分を切り出して素材のCADデータ形式に変換する。さらに、CADMeisterを活用して、Rapidform XORにより変換された素材のCADデータを読み込み、別途製品のCADデータ用意しておいて入力するか、またはCADMeister上で製品のCADデータを作成する。その後、CADMeisterを活用して、素材CADのデータと、製品のCADデータから加工用のNCプログラムを作成する。

なお、運用手順の(5)は、Rapidform XOR やCADMeisterのみならず、他の市販ソフトウェアを活用しても良い。

3.3.2 ユーザへの試験導入 工作機械内衝突防止システムの実用化に関する研究会では、三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムと同様に、本非接触加工前ワーク形状計測システムを、ユーザへ試験導入させて頂き実工場での評価テストを実施した。

実際に試験導入したユーザは、大手工作機械メーカーと、大手自動車メーカーとの2社である。

大手工作機械メーカーの設置対象工作機械は、テーブル（パレット）作業面の大きさがX6,000mm×Y2,500mm、テーブルから主軸端までの最大距離がZ1,800mmの門型工作機械であり、NC装置がファナック（株）製 Series 32i であった。ユーザの目的は、これまで数 m×数 m の大型鋳物素材の荒削りを行う際、素材上面で数十 mm 高さのうねりがあることがあり、そのため、素材上面から十分な高さを確保して切削送りで加工をしていたことで発生していたエアーカット時間の短縮である。

本非接触加工前ワーク形状計測システムによるエアーカットの時間短縮効果は、素材の大きさやうねりの状態などの諸条件により異なるため、一外に言えないが、試験導入のユーザから、鋳物素材の荒削りにおける時間短縮に関して有効である

との評価を得た。また、同様に大手自動車メーカーにも本非接触加工前ワーク形状計測システムを試験導入し、同様な評価を得た。

両社に非接触加工前ワーク形状計測システムを試験導入した結果、本非接触加工前ワーク形状計測システムは期待通り動作し、実運用上、良好に動作することがわかった。

3.4 多軸加工機向け衝突防止システム

3.4.1 多軸加工機向け衝突防止システムの概要

三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム、および非接触加工前ワーク形状計測システムなどの研究成果が、順調に実用化に向かっていることを背景に、五軸加工機のユーザや周辺機器メーカーから、特に三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムの多軸工作機械対応の要望が高まった。

そこで、本年度の本研究では、多軸加工機向け衝突防止システムを実現するための多軸加工機向け衝突防止手法の基本処理方式の検討、および本方式を実装する上で課題となる計測された点群データから治具や素材を識別分離する仕組みである3-D 構造識別管理手法の動作検証実験を行った。

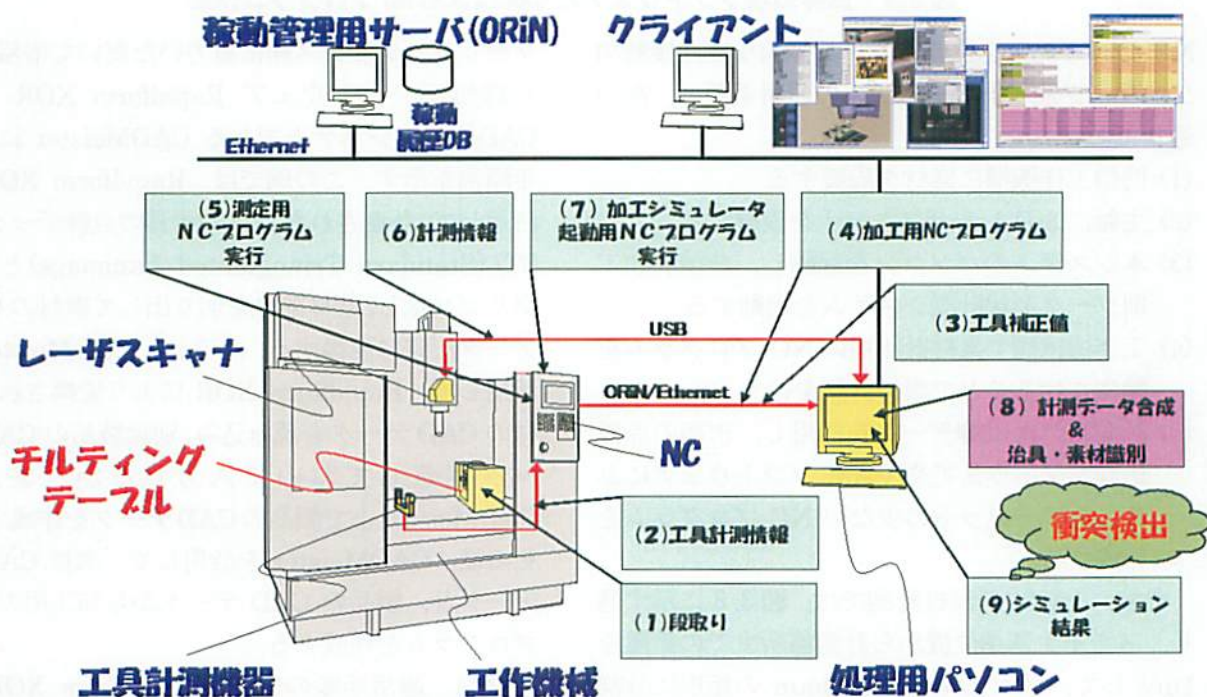


図 3.10 多軸加工機向け衝突防止システムの基本構想

本項では、目標とする多軸加工機向け衝突防止システムの概要を示す。

本多軸加工機向け衝突防止システムの基本構想は、図 3.10 に示す通りであり、三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムと同様なシステム構成となる。具体的には、工具補正値を計測して NC 装置に登録する工具計測器、素材や治具の形状を計測するレーザスキャナ、NC 装置と情報交換するための ORiN、衝突防止用のアプリケーションシステム、および加工シミュレータが搭載されたパソコンから構成される。

また、本システムは、三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムと同様に、NC 装置との接続に標準技術の一つである ORiN を活用しているため、様々なメーカーのオープン NC 装置や従来型 NC 装置に適用可能である。接続対象とする NC 装置がオープン NC 装置の場合と、従来型 NC 装置の場合とで、若干運用手順が異なるが、本システムの全体の運用の流れは次の通りである。

- ① 工作機械に、工具、素材、および治具などを段取りする
- ② 工具計測器により、工具長や工具径を計測し、工具補正値を NC に登録しておく（工具の段取りを変えた場合のみ）

- ③ 衝突防止用のアプリケーションシステムは、NC から工具補正値を取得する（従来型 NC の場合）
- ④ 必要に応じて、NC 内の加工用の NC プログラムを、加工用シミュレータが搭載されたパソコン内にコピーしておく
- ⑤ 素材、および治具をレーザスキャナで計測するための計測用 NC プログラムを実行して計測を開始する（ここでは、計測データを合成することで、3-D レーザスキャナの死角を減らした計測を可能にするため、工作機械の回転軸を動作させて、複数回の計測を行う）
- ⑥ 計測情報が自動的にパソコンに送られる
- ⑦ シミュレータ起動用の NC プログラムを実行する
- ⑧ 複数回計測した計測情報を合成して、死角の少ない計測情報を生成させ、さらに合成した計測情報を、工作機械構造物、治具、工具などのモデルに分類して、シミュレータに渡す
- ⑨ シミュレーションの結果を表示する

本手順における⑧では、複数回計測した点列データの合成と、合成された情報を、図 3.11 に示すように、工作機械構造物、治具、および工具などのモデルに分類する必要がある。これは、パソコンに搭載する五軸加工用の加工シミュレータにお

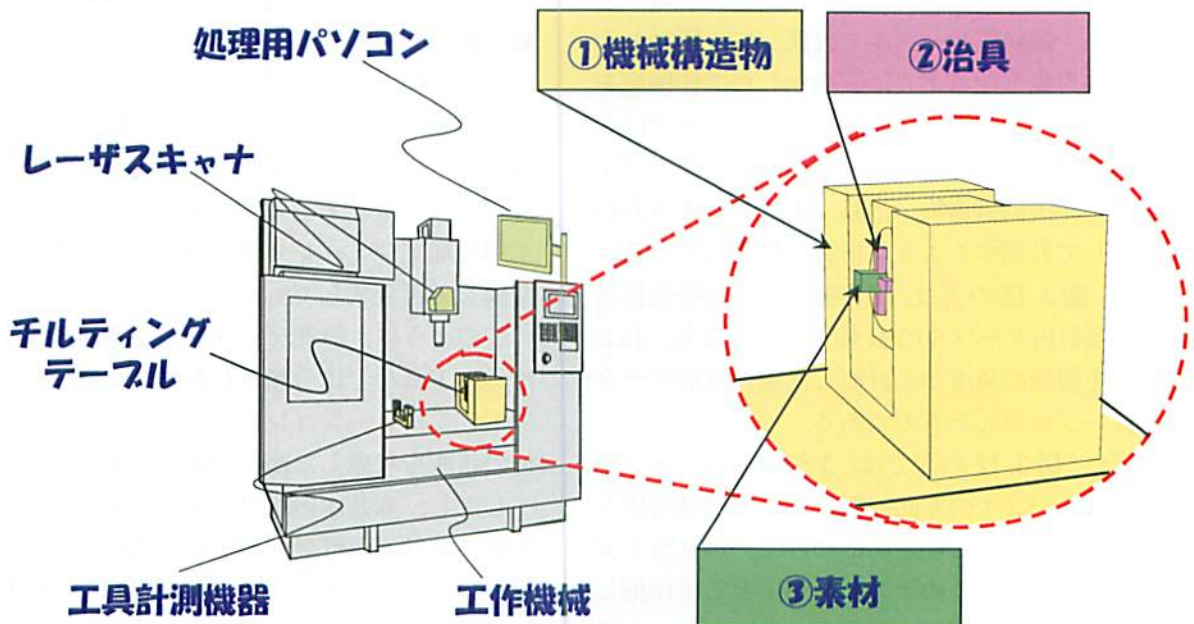


図 3.11 モデルの識別イメージ

いて、工作機械構造物、治具、および素材は、共に工具の早送り時の衝突を検知する必要があるものの、切削送りでは治具、および工作機械構造物のみ衝突予知する必要があるからであり、このため市販の多くの五軸加工用の加工シミュレータはこれらのモデルの種類を識別しているためである。この複数回計測した計測情報を合成して、死角の少ない計測情報を生成させ、さらに合成された計測情報を、工作機械構造物、治具、工具などのモデルに分類する3-D構造識別管理手法については、三軸工作機械向けシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムでも実現しておらず、回転軸により、より詳細なシミュレーションが必要となる本多軸加工機向け衝突防止システムの実現に向けて研究開発が必須となる。

3.4.2 多軸加工機向け衝突防止手法の基本処理方式 本研究において、多軸加工機向け衝突防止システムの実現に向けて、死角の少ない計測情報を生成するため、回転軸を動作して素材や治具を複数回計測して計測情報を合成し、さらに合成情報を、工作機械構造物、治具、工具などのモデルに分類する基本処理方式を考案した⁹⁾。

考案した本基本処理方式は、図3.12、および図3.13に示す通りであり、その内容を示す。なお、図3.12、および図3.13は、三軸立形マシニングセンタに、傾斜円テーブルを設置して、B軸とC軸が動作可能となるように五軸化した工作機械を想定した図である。また、3-Dレーザスキャナは、主軸付近にZ軸一方向に向けて装着し、テーブルなどの工作機械構造物、治具、素材などを上方から走査して計測するような構造を想定している。

まず、図3.12の①は、工作機械のB軸を動作させて、傾斜円テーブルのB軸可動部、治具、および素材を複数の角度から計測した際の点群データのイメージを示したものである。

つぎに、図3.12の②では、工作機械のテーブルや傾斜円テーブルの非回転部分など、機械座標として位置が変わらないものについて、ボクセルデータなどの形式で予めテンプレートとして準備しておき、①の各点群データから、テンプレートにより分離して、工作機械構造物としてのアトリビ

ュートを付加しておく。これにより残った点群データは、B軸の回転可動する要素のみとなる。

さらに、図3.12の③では、残った各点群データに対し、それぞれ計測した際の機械座標を考慮して、同一姿勢となるように平行移動、および回転移動させ合成する。

また、図3.12の④では、傾斜円テーブルのB軸可動部分について、ボクセルデータなどの形式で予めテンプレートとして準備しておき、③の点群から分離して、傾斜円テーブルのB軸可動部分としてのアトリビュートを付加しておく。これにより残った点群データは、素材を固定する治具と素材などの要素のみとなる。

さらに、図3.13の⑤では、④で残った点群データから、治具に相当する点群データを自動的に見つけ出す。その際、どの治具を使っているかはまではシステムに与えることとするものの、現場の段取り作業都度、治具の取り付け位置が変わるため、治具の機械座標や向きは未知である。そこで、使用する治具のCADデータを予めテンプレートとして用意しておき、④で残った点群データから、同テンプレートを用いて治具部分を自動探索して分離し、治具としてのアトリビュートを付加することとした。これにより残った点群データは、素材の要素のみとなるため、素材としてのアトリビュートを付加する。最後に、工作機械構造物、B軸可動部分、治具、および素材などのアトリビュートが付加された点群データを再合成することで、工作機械構造物、治具、工具などに分類された点群データができる。なお、この再合成の際、各点群データや対応するCADデータなどを、五軸加工用の加工シミュレータが取り込み可能な形式に変換して再合成しても良い。

このように、計測データを、工作機械構造物、治具、工具などに分類されたモデルに変換して、加工シミュレーションを実行することで、段取り後の状態を考慮した衝突予知が可能となる。

しかし、本基本処理方式を実現する上で、⑤の処理における点群データから、CADデータで与えられ治具などのテンプレートを用いて、治具や素材を識別分離してする管理する仕組みの実現が課題となる。

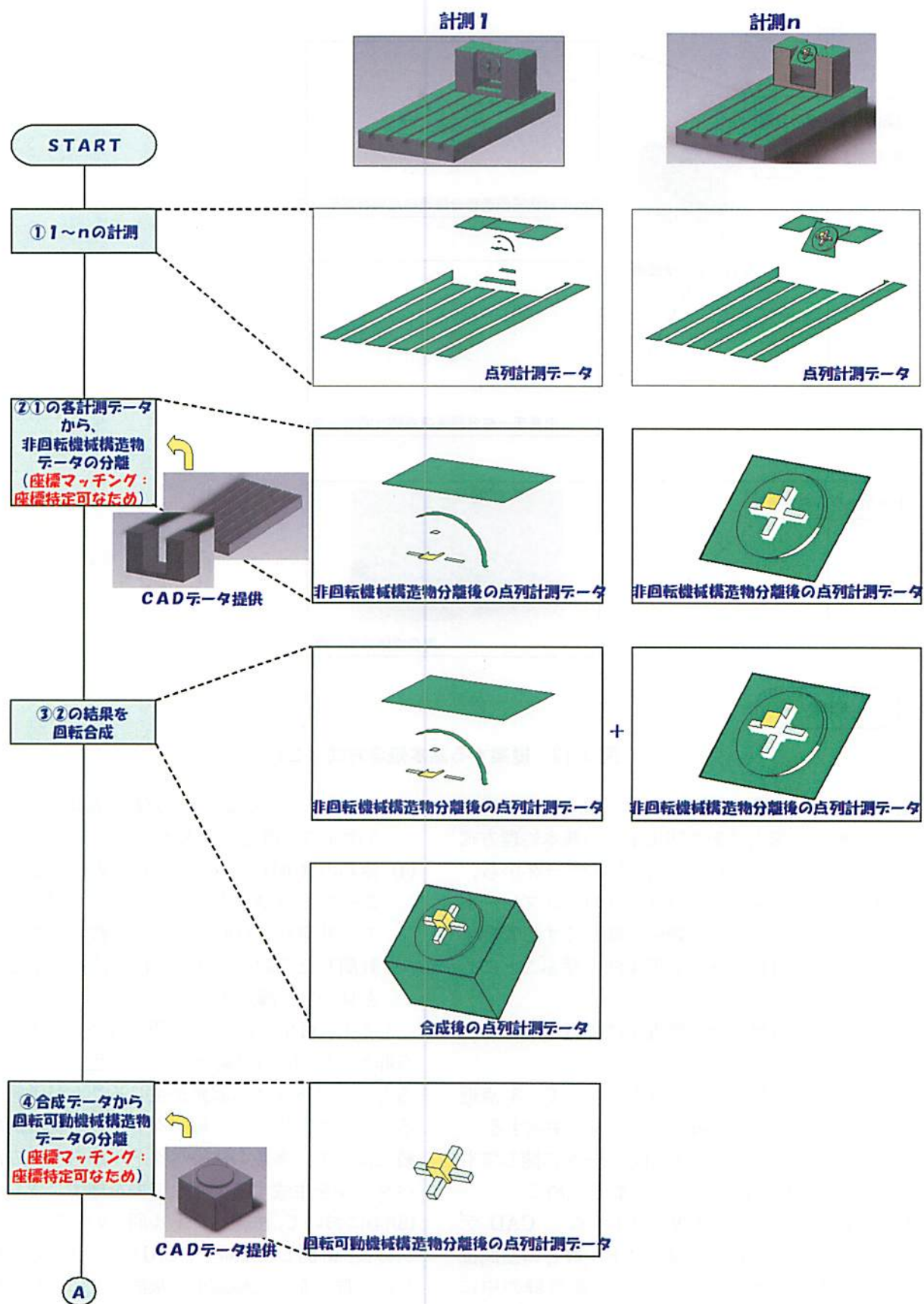


図 3.12 提案する基本処理方式 (1)

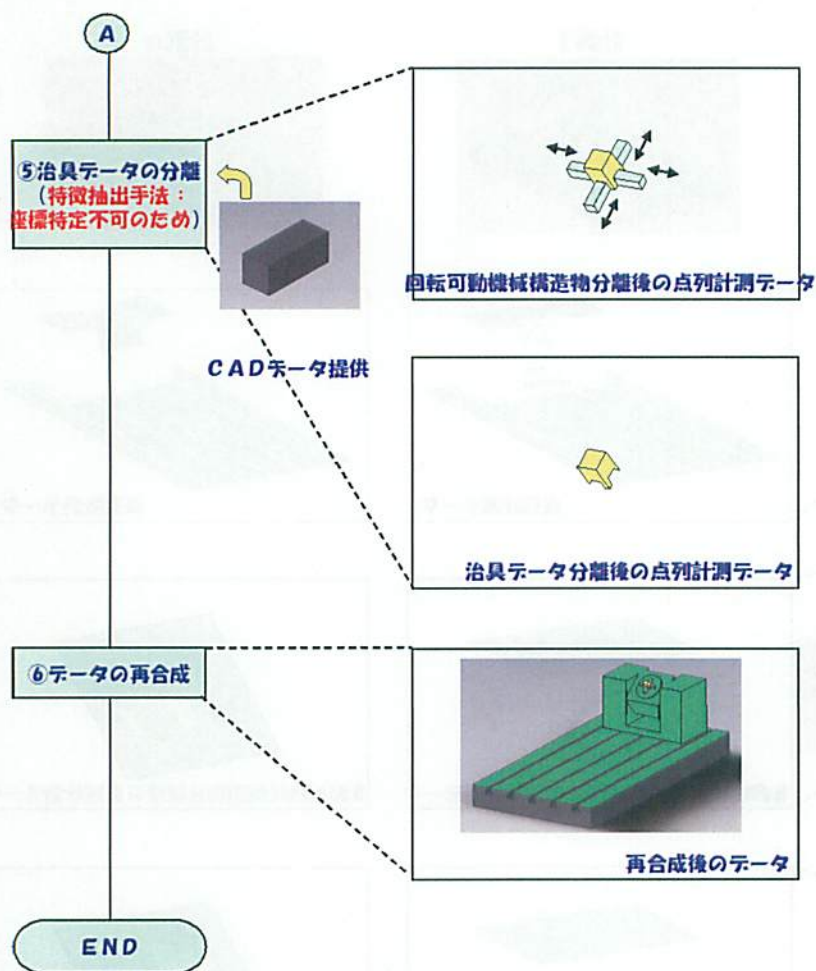


図 3.13 提案する基本処理方式 (2)

3.4.3 3-D 構造識別管理手法 3.4.2 項で提案した多軸加工機向け衝突防止手法の基本処理方式を実現する上で課題となる、点群データから、CAD データで与えられ治具などのテンプレートを用いて、治具や素材を識別分離してする管理する仕組みを3-D 構造識別管理手法と呼ぶことにし、その検討を行った。

検討した3-D 構造識別管理手法の基本的な処理の流れは、次の通りである。

- (1) 計測した点群データの各点に対して、3 点近傍点から局所的な法線ベクトルを生成する
- (2) テンプレートである CAD データに関しても各面に同様の法線ベクトル群を求める
- (3) 点群から生成した法線ベクトル群と CAD データから生成した法線ベクトル群との空間位置的な類似性を評価して、計測点群の中に

CAD データと類似する点群を検索し、さらに3次元の位置姿勢を求める

- (4) 治具の CAD データの三次元の位置姿勢が求まった後、CAD データをボクセルデータ化して、計測した点群データと比較することで、計測した点群データ中の治具に相当する点群を見つけ、識別する

しかし、(1)において、計測ばらつきが含まれる点群から局所的な法線ベクトルを生成しようとすると、ベクトルにも誤差が生じることが予想される。そこで、周辺の法線ベクトルとの統計的な比較によって、多数の法線ベクトルから一つの法線ベクトルを生成するような工夫を施す。さらに、(3)(4)において、法線ベクトル同士の一次マッチングの後、計測した点群と、CAD データから生成させた点群とを、三軸最小二乗法などにより比較す

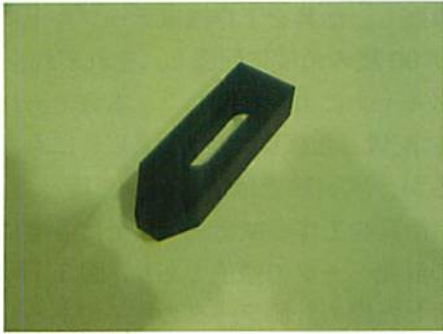


図 3.14 プレーンクランプ写真

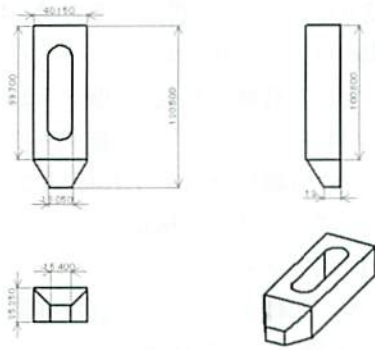


図 3.15 プレーンクランプのCAD データ

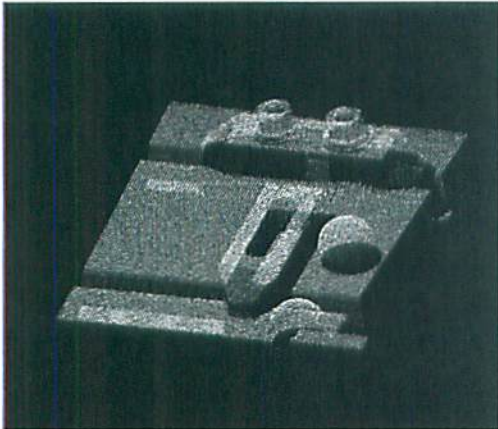


図 3.16 治具 0 度配置の計測データ

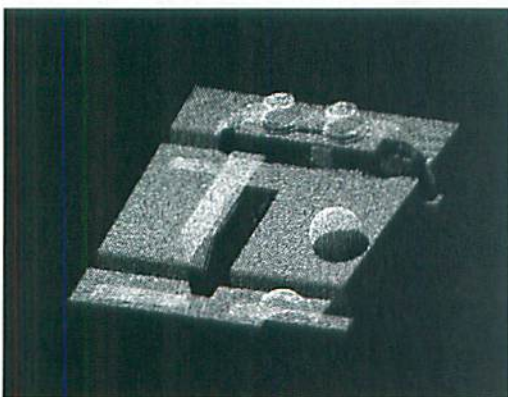


図 3.17 治具 90 度配置の計測データ

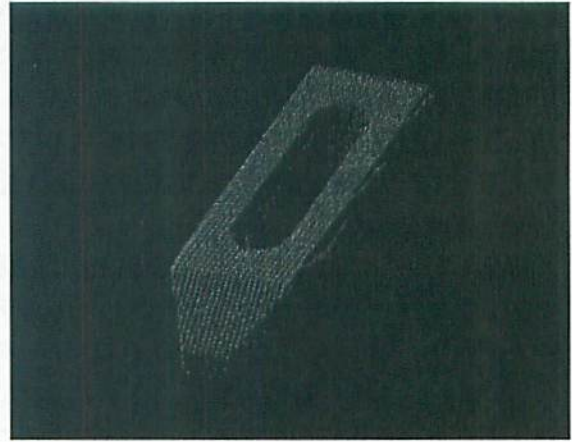


図 3.18 分離後の治具 0 度配置のデータ

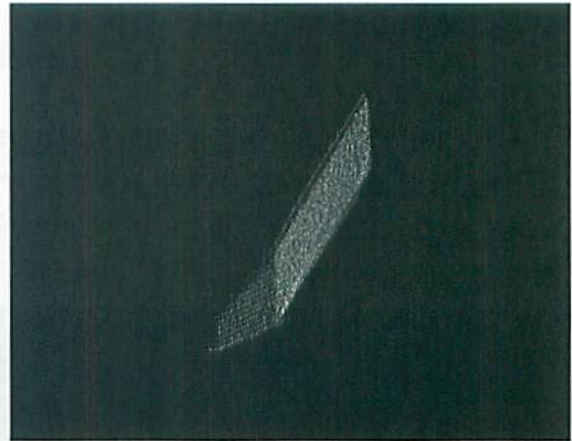


図 3.19 分離後の治具 90 度配置のデータ

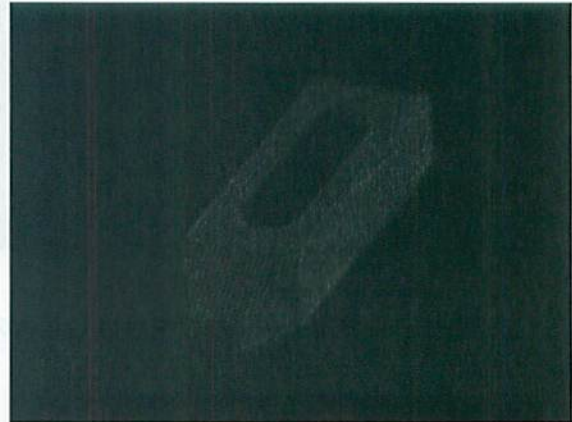


図 3.20 治具の合成データ

ることで、より精度の高い治具の空間位置を求めることが可能となることも考えられる。

3.4.4 3-D 構造識別管理手法の試験実装と評価実験

本3-D 構造識別管理手法の実装にあたり、3-D 構造識別管理手法の一部の機能である、3.4.3 項の(1)~(3)の機能は、市販の画像処理ライブラリであるドイツMVTech社製HALCON 10⁶⁾を応用活用して開発した。

評価実験の目的は、実際の工作機械上に設置した治具を3-D レーザスキャナで計測した点群データを用いて、別途作成した治具のCAD データをテンプレートとし、計測点群データから治具に対応する点群が検索可能であることを確認することとして、次の手順で行った。

まず、実験対象の治具は、図3.14に示すプレーンクランプとして、図3.15のように、あらかじめCAD データを作成した。

次に、3.4.3 項で示した3-D 構造識別管理手法の手順のうち、図3.12の①の手順を想定するため、治具や素材が傾斜円テーブル上にあり、B軸を0度と90度に回転移動させた状態で計測すること



図3.21 治具の合成データと
工作機械テーブルデータなどを合成したもの

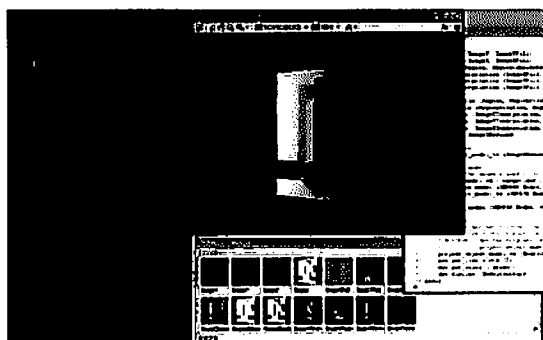


図3.22 治具の検索結果

を模擬し、治具を工作機械テーブル上に0度、および90度の角度に配置し、それぞれを3-D レーザスキャナにより計測した。本来であれば0度と90に配置した画像には、治具以外にも素材が含まれるが、本実験では治具のみで行った。図3.16が、治具を工作機械テーブル上に0度に設置した際の計測データの様子であり、図3.17が90度に設置した際の計測データの様子である。

さらに、3-D 構造識別管理手法の手順のうち、図3.12の②の手順を想定するため、本治具以外が工作機械のテーブルや傾斜円テーブルの非回転構造部分などのB軸やC軸の回転では機械座標が変わらないものとみなして、点群データを分離した。本来、この分離作業は、工作機械のテーブルや傾斜円テーブルの非回転構造部分をボクセルデータなどの形式であらかじめテンプレートとして準備しておき、比較することで自動分離するが、本実験では市販の点群処理ソフトウェアであるTDSToolにより手作業で行った。図3.18、および図3.19に、それぞれ0度(図3.16)、90度(図3.17)に配置して治具を含む計測データから工作機械のテーブルや、傾斜円テーブルの非回転構造部分とみなしたデータを分離した後の治具の点群データの様子を示す。

また、3-D 構造識別管理手法の手順のうち、図3.12の③の手順を想定し、治具を0度、90度に配置した点群データ図3.18、および図3.19を、それぞれのB軸の回転角などを考慮して合成した。合成後の点群データの様子を、図3.20に示す。

さらに、3-D 構造識別管理手法の手順のうち、図3.12の④の手順を想定し、図3.20の点群データから、図3.14、および図3.15に示す治具のCADデータをテンプレートにして、治具部分の点群を探索させる。しかし、本実験では図3.20の点群データに、素材や機械構造物などの情報が含まれていないため、図3.20の点群データに、工作機械のテーブルなどの非回転構造部分の点群データを合成し、治具以外の点群データが含まれることを模擬した図3.21に示す点群データを作成した。なお、本来は、図3.20の点群データに、素材のデータも含まれているべきであるので、通常、本手順は不要となる。図3.21に示す点群データから、図3.14、

および図 3. 15 に示す治具の CAD データをテンプレートにして、治具部分の点群を探索させる処理は、HALCON 10 を応用活用した。探索の結果、図 3. 22 に示すように、図 3. 21 に示す点群データから治具に相当する点群データを検索することができた。なお、本処理は、通常は多軸加工機向け衝突防止システムのアプリケーションシステムにライブラリなどとして組み込まれるべきであるが、本実験では、可能性検証を目的としているため、図 3. 22 のような HALCON10 の検証ツールである HDevelop を活用して行った。

この結果から、実際の工作機械上に設置した治具を 3-D レーザスキャナで計測した点群データを用いて、別途作成した治具の CAD データをテンプレートとして、計測点群データから治具に対応する点群が検索可能であることを確認した。今後は、さまざまな条件下での実験を行い、3-D 構造識別管理手法の実用性を高める必要がある。

3. 4. 5 まとめ 多軸加工機向け衝突防止手法の基本処理方式を実現する上で課題であった点群データから、CAD データで与えられ治具などのテンプレート形状を探索して分離する仕組みである 3-D 構造識別管理手法の実現性を確認した。今後は、さまざまな条件下で実験を行うことで、課題の発見と対策を行い、3-D 構造識別管理手法の実用性を高める必要がある。また、本 3-D 構造識別管理手法をソフトウェアライブラリ化し、多軸加工機向け衝突防止システム全体のアプリケーションシステムとして統合開発する必要がある。なお、本章で報告した多軸加工機向け衝突防止手法の基本処理方式に関し、PCT 国際特許 2 件を出願した⁶⁷⁾。

3. 5 研究成果の普及活動

3. 5. 1 標準技術活用ビジネス小研究会の概要
本報で紹介した三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムや非接触加工前ワーク形状計測システムなどをはじめとする研究成果や、成果応用製品、および関係企業各社の製品との連携による連携ビジネスの普及活動として、基盤的生産技術研究会 標準技術活用ビジネ

ス小研究会が、標準化団体の一つである ORiN 協議会と共同で第 25 回日本国際工作機械見本市 (JIMTOF2010) に出展し、さらに工作機械の簡単 IT 化セミナーなどのセミナーを開催した。本項では、標準技術活用ビジネス小研究会の概要を示す。

標準技術活用ビジネス小研究会は、当所を事務局として、平成 15 年 10 月に発足した基盤的生産技術研究会の下部組織であり、発足当初は「中小企業向けデジタルエンジニアリングソリューションズ研究会－標準化技術を持ち他生産運用支援ソリューションズに関する研究－」として活動し、平成 18 年 4 月から「標準技術活用ビジネス小研究会」と名称を改め、勢力的に活動している研究会である。

本研究会の目的は、本研究成果をはじめ、前身研究である標準技術活用による生産支援に関する研究¹²⁾、グローバル生産における中小企業支援システムに関する研究⁹⁾¹⁰⁾、およびデジタルマニュファクチャリングに関する研究¹¹⁾¹²⁾の研究成果、成果を用いた製品、各標準化団体との共同研究成果、および参加メンバの関連技術や製品などを相互活用することで、参加メンバにおける標準技術活用ビジネスを促進することである。

具体的には、各標準化団体とも連携して、各研究成果や技術の相互活用方法の検討、研究成果の一般の展示会への出展、および当所 (東久留米市) の模擬工場やセミナー環境などにおいて、販社やユーザ向けの実体験型セミナーを実施している。

本研究会への参加は、一般入会による参加の他、ORiN 協議会、MESX ジョイントワーキンググループなどと、本標準技術活用ビジネス小研究会とが共同研究の覚書を締結していることから、相互のメンバが互いの研究会に参加可能である。

この標準技術活用ビジネス小研究会の活動スケジュールは、毎年秋季に、東京ビッグサイトなどで開催される一般の展示会をマイルストーンとして、展示会までに製品化を目指した各研究成果や各製品の相互活用方法の検討や開発を行い、これらの成果を展示会に出展し、さらにそのフォローアップとして、セミナーを実施するといった一連のサイクルを定期的に回している。

本研究会は、これまでに前身研究である標準技

術活用による生産支援に関する研究，グローバル生産における中小企業支援システムに関する研究の成果の一部を実用化し，企業メンバに採択され，製品化した実績がある。

3.5.2 第25回日本国際工作機械見本市への出展
標準技術活用ビジネス小研究会が，本報で報告した三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムや非接触加工前ワーク形状計測システムを，第25回日本国際工作機械見本市(JIMTOF2010)に出展した。JIMTOF2010は，平成22年10月28日(木)～11月2日(火)に，東京ビッグサイトの全館で開催され，主催者の報告によれば，5日間の会期で延べ14万5千人を超える来場があった。

標準技術活用ビジネス小研究会は，ORiN協議会と共同で，本JIMTOF2010に次に示す研究成果，および製品の出展を行った。

- (1) 標準ネットワークミドルウェア ORiN 基本ソフト(ORiN2SDK^(*))
- (2) 工作機械・一般機械向け ORiN 接続 (ADDO F2008 ORiN 設備稼働情報・生産管理用情報収集ターミナル^(*)等)
- (3) 工作機械向け衝突チェック・素材計測 (シミュレータ連携型工作機械内衝突チェックシステム^(*)，非接触加工前ワーク形状計測システム^(*)等)
- (4) 電力計測・管理 (電力監視、電力情報の蓄積・出力アプリケーション)
- (5) ロボット・ロボットティーチング (ミニ垂直多関節ロボット VP シリーズ，ロボット簡易ティーチングシステム)

なお，*印が付加されている項目は，当所の研究成果の一部を活用している。

また，出展に参加した企業，および団体は，アドー・ジャパン(株)，(株)ケー・ティー・システム，(株)ソフィックス，(株)高崎共同計算センター，(株)デンソーウェーブ，パルステック工業(株)，(株)ブルーム LMT，ORiN 協議会，および(財)機械振興協会技術研究所である。図 3.23～図 3.24 は，本出展のブースの概観を示したもので，特にこれらの出展



図 3.23 JIMTOF2010 の出展ブース概観(1)



図 3.24 JIMTOF2010 の出展ブース概観(2)

項目のうち，本研究に直接関連した出展は，(1)～(3)であり，概要は次の通りである。

「(1)ORiN2SDK」は，ORiN 協議会で仕様策定され，(株)デンソーウェーブで製品化されたネットワークミドルウェアの標準技術の一つである ORiN2 の機器接続やアプリケーション開発者用キットのソフトウェアである。この ORiN2SDK には，前身研究であるグローバル生産における中小企業支援システムに関する研究成果である工作機械と ORiN とを接続するための ORiN 側のソフトウェアが盛り込まれている。

「(2)ネットワークインタフェース非搭載 NC 装置と ORiN の接続」は，前身研究であるグローバル生産における中小企業支援システムに関する研究の研究成果である工作機械と ORiN とを接続するための技術を活用し，アドー・ジャパン(株)や(株)ソフィックスで製品化された，新旧工作機械を



図 3.25 シミュレータ連携型
工作機械内衝突防止システムの様子



図 3.26 非接触加工前
ワーク形状計測システムの様子

ORiN に接続するため機器やソフトウェアを出展した。

「(3) 工作機械向け衝突チェック・素材計測」では、三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム、および非接触加工前ワーク形状計測システムを出展した。各システムの概要は、それぞれ 3.2 章、および 3.3 章の通りであるが、JIMTOF2010 出展では出展費用や展示小間数の制約などの都合で、工作機械を持ち込まず、三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムでは、動作の様子を収めたビデオの上映展示(図 3.25)とし、非接触加工前ワーク形状計測システムでは、工作機械の代わりに、卓上フライス盤であるオリジナルマインド製 mini CNC PRX1510 を使用した(図 3.26)。本

非接触加工前ワーク形状計測システムでは、実際の工作機械との接続は、ORiN、NC 装置の API(Application Programming Interface)、および同 API を ORiN に接続するためのインタフェースソフトウェアであるプロバイダを用いて接続するが、PRX1510 には API がないため、クーラント制御などを目的とした DO(Digital Output)を活用して接続した。この際、非接触加工前ワーク形状計測システムのアプリケーションシステム用パソコン側では、PRX1510 からの DO を受けるため、(株)コンテック製 DI(Digital Input)である絶縁型デジタル入出力ターミナル DIO-0808LY-USB を用いて接続した。これに伴う接続変更は、ORiN のプロバイダを(株)コンテック製 DI/DO 用に変更し、ORiN 側で調整するのみであり、非接触加工前ワーク形状計測システムのアプリケーションシステム側の調整は不要である。このような接続方法の変更が容易であり、柔軟性を有することも本システムの特徴である。

3.5.3 工作機械の簡単 IT 化セミナー 第 25 回日本国際工作機械見本市への出展は、研究成果をより広く広報するという点で効果があったが、内容をより深く知りたいという方向けに、平成 23 年 1 月 20 日(木)に、当所の研修実習室、および生産システム実験室にて、「工作機械の簡単 IT 化セミナー」を実施した。本セミナーは、ORiN 協議会、および工作機械内衝突防止システムの実用化に関する研究会の協賛を得て、本研究の研究成果の実用化や広報活動を行っている基盤的生産技術研究会 標準技術活用ビジネス小研究会の活動として実施した。

本セミナーでは、受講者向けにパソコンを準備し、実習を含む表 3.1 に示すプログラムで開催した。

本セミナーを開催した結果、共同研究メンバ企業の参加も含め、42 名の参加があり、受講者から、教材として用いた研究成果応用製品の入手方法や価格問い合わせをいただくなど、盛況なセミナーとなった。なお、図 3.27 にセミナー会場の様子を示す。

表 3.1 工作機械の簡単 IT 化セミナーのプログラム

10:30~10:35	開会・諸案内
10:35~11:00	工作機械の情報システム化 (財)機械振興協会 技術研究所 生産技術部 技術主幹 木村利明
11:00~12:00	電力監視と設備情報収集ターミナル ADDO F2008 アドー・ジャパン(株) 代表取締役 下谷幸久 (株)ケー・ティー・システム 企画開発部 課長 近藤知明
12:00~13:00	昼休み
13:00~14:00	ORiN2SDK の紹介 (株)デンソーウェーブ 制御システム事業部 技術 1 部 課長 犬飼利宏
14:00~14:30	ロボット簡易ティーチングシステム (株)高崎共同計算センター マイクロシステム事業部 花澤孝史
14:30~15:00	工作機械内衝突チェックシステム (財)機械振興協会 技術研究所 生産技術部 技術主幹 木村利明
15:00~15:15	休憩
15:15~15:45	工作機械における工具・ワーク計測 (株)ブルーム LMT 技術支援部長 左山邦彦
15:45~16:15	3Dレーザスキャナ パルステック工業(株) 営業部 営業 2 課 係長 寺田久晃
16:15~16:25	質疑応答 (研修実習室にて)
16:25~17:00	模擬工場の見学・質疑応答 (模擬工場にて)
17:00	閉会・解散 (模擬工場にて)

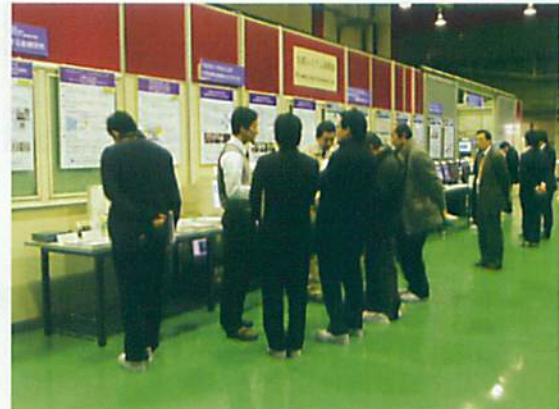


図 3.27 工作機械の簡単 IT 化セミナーの様子



図 3.28 オーダメイドセミナーの様子

3.5.4 まとめ

本研究に関連する研究成果の普及活動として、研究成果を第 25 回日本国際工作機械見本市に出展した結果、および、工作機械の簡単 IT セミナーの実施結果を報告した。

また、これらの広報活動以外にも、平成 23 年 2 月 22 日 (火) に、諸研究成果や成果応用製品の導入を検討いただいている大手自動車メーカーからの要望で、オーダメイドセミナーも実施した。なお、本オーダメイドセミナーは、共同研究メンバ企業の参加も含め、8 名の参加があり、実施の様子を図

3.28 に示す。

今後も本研究，標準技術活用による生産支援に関する研究，およびグローバル生産における中小企業支援システムに関する研究やデジタルマニュファクチャリングに関する研究などの研究成果の実用化や普及を促進する活動の一環として，基盤的生産技術研究会 標準技術活用ビジネス研究会などを活用し，一般展示会出展やセミナー開催などの広報活動を実施する予定である。

3.6 あとがき

五軸工作機械向けの衝突防止システムの実現を目指した多軸加工機向け衝突防止手法の研究をしている。

本研究は，2 カ年計画であり，本報では，初年度の平成 22 年度の研究成果として，本多軸加工機向け衝突防止手法の基本となる前身研究で開発した三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム，その派生成果である非接触加工前素ワーク形状計測システムについて報告した。さらに，本研究で検討した多軸加工機向け衝突防止システムについて報告した。さらに，これらの研究成果の普及活動として，JIMTOF2010 などの展示会出展や，セミナーなどの開催について報告した。

三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムでは，システムの概要を紹介した。また，工作機械内衝突防止システムの実用化に関する研究会が，本システムをユーザに試験導入させて頂き，実工場での評価テストを実施した。本ユーザへの試験導入の結果，本システムが実運用上，良好に動作することがわかった。また，試験導入したユーザからも評価を得て，正式導入に向けた検討が始まっている。

非接触加工前ワーク形状計測システムは，三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムの派生成果であり，システムの概要を紹介した。また，同じく工作機械内衝突防止システムの実用化に関する研究会が，本システムをユーザへ試験導入し，実工場での評価テストを実施した。実際に試験導入したユーザは，大手工作機械メーカーと，大手自動車メーカーとの 2 社であ

り，試験導入の結果，ユーザから，鋳物素材の荒削りにおける時間短縮に関して有効であるとの評価を得た。また，同様に大手自動車メーカーにも本非接触加工前ワーク形状計測システムを試験導入し，同様な評価を得た。

多軸加工機向け衝突防止システムでは，本システムの基本構想，本システムを実現するための基本方式の検討，および基本方式を実装する上で課題となる点群データから，CAD データで与えられ治具などのテンプレート形状を探索して分離する仕組みである 3-D 構造識別管理手法の検討を行った。また，工作機械上に設置した工作機械テーブルや治具などの実際の計測データに基づいた 3-D 構造識別管理手法の検証実験を行った結果，良好であり，本 3-D 構造識別管理手法の実現の可能性を確認した。今後は，さまざまな条件下での実験を行うことで，課題の発見と対策を行い，3-D 構造識別管理手法の実用性を高める。また，本 3-D 構造識別管理手法をソフトウェアライブラリ化し，多軸加工機向け衝突防止システム全体のアプリケーションシステムとして統合開発する予定である。なお，関連する多軸加工機向け衝突防止手法の基本処理方式に関し，PCT 国際特許 2 件を出願した。

研究成果の普及活動では，本研究に関連する研究成果の普及活動として，研究成果を第 25 回日本国際工作機械見本市(JIMTOF2010)に出展した結果，および，工作機械の簡単 IT セミナの実施結果を報告した。

また，これらの広報活動以外にも大手自動車メーカー様からの要望で実施した，ユーザ個別のセミナーについても報告した。

今後も関連する研究成果の実用化や普及を促進する活動の一環として，基盤的生産技術研究会標準技術活用ビジネス研究会などを活用し，一般展示会出展やセミナー開催などの広報活動を実施する予定である。

第 3 章の参考文献

- 1) (財)機械振興協会 技術研究所，平成 20 年度製造業の基盤的技術の拡充強化に関する研究等補助事業 標準技術による生産支援に関する研究，平成 21 年 3 月

- 2) (財)機械振興協会 技術研究所, 平成 21 年度製造業の基盤的技術の拡充強化に関する研究等補助事業 標準技術による生産支援に関する研究, 平成 22 年 3 月
 - 3) 木村他, ORiN を活用した工作機械内衝突防止システムの開発, 第 9 回システムインテグレーション部門講演会(SI2008)講演論文集, pp.265-266
 - 4) 木村利明, 伊崎達也, 寺田久晃, 下谷幸久, 左山邦彦, 神田雄一, 工作機械内衝突防止システムの開発(第 2 報)シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム, 日本機械学会 [No.09-1]2009 年度年次大会講演論文集 Vol.4, 2009, pp.321-322
 - 5) 国際特許出願 PCT/JP2011/0500347
 - 6) <http://www.linx.jp/index.shtml>, 2010 年 3 月
 - 7) 国際特許出願 PCT/JP2010/068977
 - 8) (財)機械振興協会 技術研究所, 平成 15 年度製造業の基盤的技術の拡充強化に関する研究事業 グローバル生産における中小企業支援システムに関する研究 平成 16 年 3 月
 - 9) (財)機械振興協会 技術研究所, 平成 16 年度製造業の基盤的技術の拡充強化に関する研究事業 グローバル生産における中小企業支援システムに関する研究 平成 17 年 3 月
 - 10) (財)機械振興協会 技術研究所, 平成 17 年度製造業の基盤的技術の拡充強化に関する研究事業 グローバル生産における中小企業支援システムに関する研究 平成 18 年 3 月
 - 11) (財)機械振興協会 技術研究所, 平成 18 年度先端的技術開発の推進に関する調査研究等補助事業 デジタルマニュファクチャリングに関する研究 平成 19 年 3 月
 - 12) (財)機械振興協会 技術研究所, 平成 19 年度先端的技術開発の推進に関する調査研究等補助事業 デジタルマニュファクチャリングに関する研究 平成 20 年 3 月
-

4. 生産システム構築効率化と品質向上を 目指すシミュレーションの研究

4.1 まえがき

近年の産業界では、国内では熟練作業者の不足、海外では現地化生産の進展などにより、経験の浅い作業員による製造でも一定の品質を効率的に保つことが重要となりつつある。その解決策の一つとして、出荷前の関所とも呼ばれ、従来作業員による目視に頼っている外観検査の自動化のニーズが高まっている。近年、特に、外観検査の自動化において、三次元の多方向・多点・多品番検査に対応するロボットとカメラを利用する外観検査が注目されている。これは、ロボットのハンド部に、産業用カメラと照明を搭載して、ロボットの軌道に同期して、必要な検査項目に合わせて検査対象ワークを撮像して画像を取得し、取得した画像を視覚検査プログラムで外観の状態を判定する。しかしながら、現状、その導入に際して、製品一つ当たりの検査項目や検査点が多く、また、変種変量生産下では製品種類が多いため、カメラの焦点距離や撮像タイミング、ロボットの効率的な動作の調整、視覚検査プログラムの調整などは実機で試行錯誤により実施しており、現場での調整時間が長時間化している。また、新規製品を追加する場合、新たに設備を停止して調整する必要がある。

これらの課題を解決するために、オフライン（仮想環境）でカメラの焦点距離や撮像タイミングの決定、ロボット動作の生成、および、視覚検査プログラムの事前評価を実施する外観検査向け設備シミュレーションの研究を実施している。本報では、まず、外観検査の自動化構築の課題を整理し、課題を解決する外観検査向け設備シミュレーションの基本システムやその基本機能を提案する。

この外観検査向け設備シミュレーション（設備シミュレーション）では検査対象や設備が存在しない状態で、仮想環境において三次元 CAD でモデリングされた三次元 CG による仮想ワークを仮想カメラで撮像して画像を生成し（仮想画像）、その仮想画像を利用して視覚検査プログラムの事前評価を実施することを目指している。仮想カメラは、三次元 CG 空間内の指定した場所から対象を二次元的に描画する機能を有している。そして、

指定した瞬間に描画された画像を保存して、必要な画素の画像形式（BMP 形式）を生成する機能を有している。これらの機能を利用して仮想画像を生成している。初期の試作の仮想カメラには、カメラ内部の構成やレンズ特性等の産業用カメラ独自の機能が模倣されておらず、簡易な機能のみ実装されていた。基本実験では、設備シミュレーションを利用して、ロボットの動作に合わせて指定したタイミングで仮想ワークを仮想カメラで撮像し、仮想画像を生成できることを確認している。しかし、生成された仮想画像を利用して視覚検査プログラムを事前に評価できるかについては技術的に明らかになっていなかった。

そこで、本報では、仮想画像を利用する視覚検査プログラムの事前評価の技術的な課題を明確にし、明確化された課題を解決するための解決手法を提案し、提案する手法の実装を行い、その有効性を確認する。

4.2 外観検査自動化構築の課題

外観検査とは検査対象の外観から検査対象の良否を判断する検査であり、製品の外観品質を保証することである。外観検査は限度見本や標準見本と呼ばれる外観品質の良否を判定する基準を元に検査を行い、製品の品質を保証する。また、不具合の原因となる工程を特定することで製造工程の改善に寄与する。

外観検査は検査目的によって、大きく形状検査、欠陥検査、異物検査、文字検査、寸法検査、官能検査の6つの検査に分類できる。これらの6つの検査の概要を表 4.1 に示す。これらの検査は複合的に行われることが多い。

外観検査は、現状、検査員の目視による人手による検査、および、産業カメラによる画像処理による自動化された検査の大きく2つに分類される。目視による外観検査は自動化された外観検査に比べ、外観検査システムの設備投資を省くことができコスト的に優位であるため、いまだに、主流である²⁾。外観検査の実態調査では、約70%の外観検査は検査者の目視で実施していると報告されている。また、近年、産業界での直接作業部門における外観検査員の比率が増大している課題がある

⑨. 目視による外観検査には利用の制約や限度があり、以下に示すような課題がある。

- ・ 検査員による目視の外観検査では、検査の繰り返しや検査の時間に関係して判断ミスが生じ、不良品の流出が起こる可能性が高くなる。
- ・ 検査員の個人差により、検査の再現性が安定せず、品質にばらつきが生じる可能性が高くなる。
- ・ 検査員にはその適正が求められ、なおかつ、育成に時間がかかる。

これらの課題を解決し、顧客からの水準の高い品質保証に対応するために、近年のコンピュータの高速化や一層の画像処理技術の進歩により、外観検査の自動化の普及に期待が集まっている。外観検査の自動化の代表的なメリット（利点）とデメリット（課題）を以下に示す。

メリット（利点）

- ・ 想定範囲内での検査見落としを防ぎ、検査品質向上が可能
- ・ 一定基準の検査で品質の安定性が高まる。
- ・ 連続高速運転が可能
- ・ 検査結果データや検査画像の保存が可能で、トレーサビリティに利用可能

デメリット（課題）

- ・ 設備構築に時間と初期投資が必要。
- ・ 現場で機器を用いた調整が必要で、現状ではトライアンドエラーで実施しており、調整時間がかかる。
- ・ 新規に製品を投入する時は検査プログラムの変更が必要。変種変量生産下ではプログラムの追加修正が頻繁に生じる。
- ・ 検査判定にノウハウが必要。

そこで、近年、外観検査の自動化において、三次元の多方向・多点・多品番検査に対応するロボットとカメラを利用する外観検査が注目されている。これは、ロボットのハンド部に、産業用カメラと照明を搭載して、ロボットの軌道に同期して、

必要な検査項目に合わせて検査対象ワークを撮像して画像を取得し、取得した画像を視覚検査プログラムで外観の状態を判定する。ロボットとカメラを利用する外観検査は、今後の普及が期待されているが、現状では、システムの構築・運用に時間が掛かるなどの課題があり、期待された普及状況に至っていない。そこで、過去の構築を例に、課題を具体的に分析した。図4.1(a)に現状のロボットとカメラを利用する外観検査の構築プロセスを整理した。図4.2に実際のロボットとカメラを利用する外観検査システムの例を示す⁴⁾。また、図4.3に視覚検査アプリケーションの例を示す。

整理したロボットとカメラを利用する外観検査構築手順1~6を記す。

1. 事前に対象ワークと検査項目を入手。
2. 実験環境で対象ワークの視覚検査プログラムの仕様を作成
3. 実験環境でロボット動作プログラムをオフラインで作成
4. 実環境で指定サイクルタイム内で、かつ、障害物に干渉しない動作するロボット動作プログラムを作成
5. 実環境でロボット動作プログラムと撮像のタイミングを決定
6. 実環境で視覚検査プログラムを作成

これらの中で、4~6の作業は、現場で同時並列的に調整を繰り返し、全体の作業時間の80%を占めることがあり、設備の立上げ時間を長期化させる主要因の一つであり、自動化の弊害要因になっている。その主な理由としては、製品一つ当たりの検査項目や検査点が多く、また、変種変量生産下では製品種類が多いため、カメラの焦点距離、撮像タイミング、稼働範囲、軌道等の制約を考慮するロボットの効率的な動作の調整、視覚検査プログラムの調整などの多視点の評価を統合的に実機で試行錯誤により実施していることが挙げられる。また、視覚検査プログラムは導入時には想定する検査項目に対する判定処理を実装し、設備が稼働してから判明することが多いキズ検査等の処理を設備を停止して調整しながら、随時追加・修

表4.1 主な外観検査の概要

検査名	主な検査目的	検査概要	具体例(図)
形状検査	検査対象が限度見本と同等の形状であるかを検査	検査対象の形状を元に限度見本と比較を行う	
欠陥検査	検査対象表面に傷や凹凸等の不具合の有無の検査	検査対象表面の傷や凹凸を検出し、限度見本と比較を行う	
異物検査	検査対象表面の異物の有無の調査	検査対象表面に付着した異物の有無を検査する	
文字検査	検査対象に文字が正しく記されているかを検査	検査対象表面に記された文字を検出し、限度見本と比較を行う	
寸法検査	検査対象が正しい寸法であるかを検査	検査対象の寸法を計測する	
官能検査	人の五感が関わる検査対象の評価	匂いや味、製品の使い心地を複数人の検査員の体感で検査する	

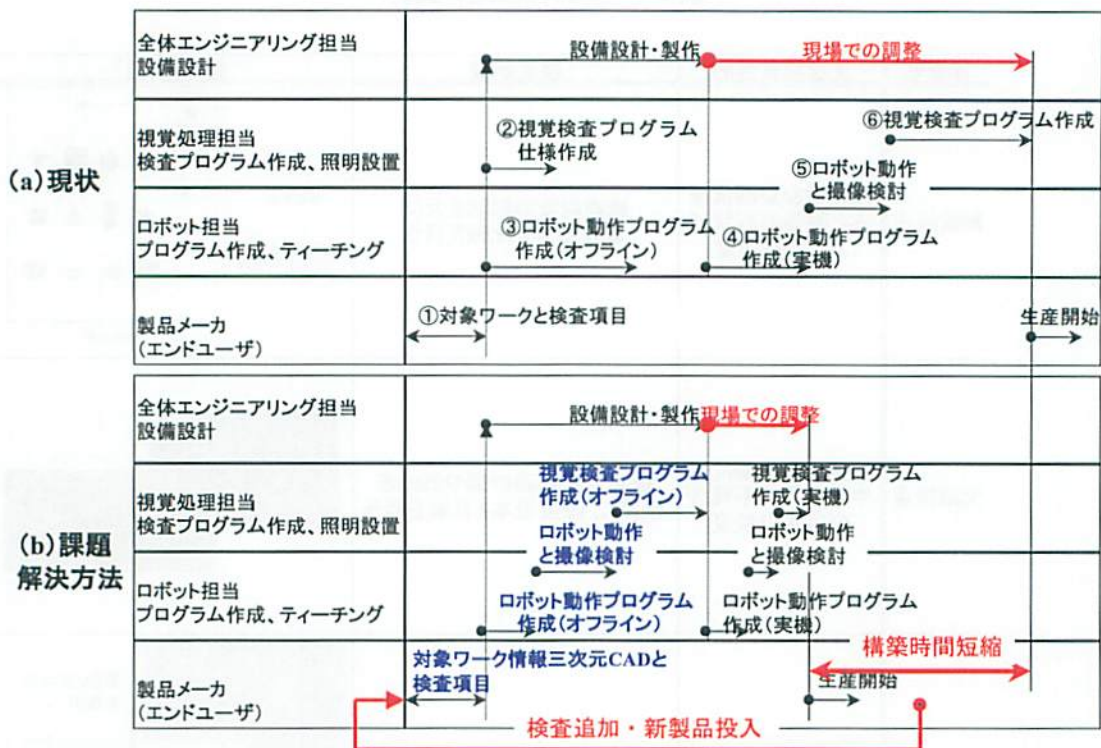


図4.1 ロボットとカメラを利用する外観検査の構築プロセス



図4.2 ロボットとカメラを利用した外観検査例

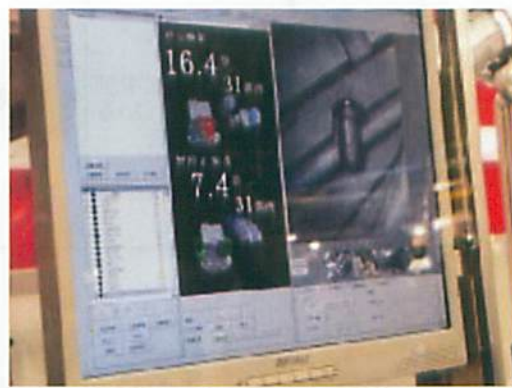


図4.3 視覚検査プログラム例

正しているのが現状である。さらに、新規製品を追加する場合、新たに設備を停止して調整する必要がある。

これらの課題を解決するためには、オフライン（仮想環境）で短時間に精度の高いロボットと外観検査のプログラミングの実現、および、傷や異物等の負事例に対するロボスト化の実現が重要となる（図4.1(b)参照）。そのためには、オフライン（仮想環境）でカメラの焦点距離や撮像タイミングの決定、ロボット動作の生成、および、視覚検査プログラムの事前評価を実施することが重要であり、これらを実現する外観検査向け設備シミュレーションの開発が必要である。

4.3 外観検査向け設備シミュレーションの提案

本研究では、オフライン（仮想環境）でカメラの焦点距離や撮像タイミングの決定、ロボット動作の生成、および、視覚検査プログラムの事前評価を実施する外観検査向け設備シミュレーションを提案する（図4.4参照）。外観検査向け設備シミュレーションは、現場調整作業と稼働後の修正作業の20～50%低減を最終目標としている。提案する設備シミュレーションを利用して、以下の活動の実現を目指す。

1. 仮想空間内でカメラ、光源、ワーク（製品）等をレイアウトし、最適な撮像箇所を検討。
2. カメラの焦点距離・広角、ロボットの到達可能範囲、ワークの検査範囲等から最適な検査点を逆算。
3. 検査対象ワークの背景や障害物、および、光源の種類やその位置による濃淡情報を含んだ画像を生成。
4. 多点検査の場合のカメラの切り替えタイミング等を実際の設備で用いる実デバイス（例えばPLCなど）を用いて検証。
5. 検査点を通るロボットの軌道を生成し、ロボットの干渉チェック評価やサイクルタイムを事前に算出し、ロボットプログラムを事前に作成。
6. 3で生成された画像を利用して、視覚検査プログラムを事前に作成。
7. 負事例（例：キズモノ）を生成し、視覚検査

プログラムの不良品検出能力の向上を事前に検討。

これらの中で1・2・7はCADシステム単独でも実現可能と考えられるが、提案する設備シミュレーションは1～7を同時に実現を目指す。

これまでの研究では、実際のFA機器やそのエミュレータなどをシミュレーションに活用する設備シミュレーション環境^{9)~10)}、および、シミュレーションモデルに設備制御機能を持たせるシミュレーションモデル駆動型設備制御環境を提案した。これらの開発した設備シミュレーション環境は、三次元空間を利用して設備の振る舞いを模倣する機能を持ち、かつ、実機との接続を容易にする機能を持つ。標準技術のミドルウェアを利用して開発しており、新たなシステムとの接続も容易である。そこで、今回の外観検査向け設備シミュレーションは、これまでに開発した設備シミュレーション環境を基礎として、新たな機能を付加して開発する。

上記7つの活動要件を実現するために、設備シミュレーションでは大きく以下の5つの必要機能（図4.5参照）を提案する。

- (1) 製品や設備の三次元CADデータを用いて、CGを利用する仮想空間内でロボットを動作させ、それに同期して仮想空間のカメラで外観を撮像する機能
- (2) 撮像した画像を実空間で使う画像処理システムへ転送し、視覚検査プログラムの事前評価を実施する機能
- (3) 仮想空間と実デバイス（例えばPLCなど）の同期・連携機能
- (4) 仮想空間のロボットとロボットシミュレータとの異種シミュレーションの同期・連携機能
- (5) 負事例画像の生成機能

提案する外観検査向け設備シミュレーション環境を図4.6に示す。

(1)の機能を実装するために、新たに設備シミュレータ(EMU)を開発する。EMUの主な機能は、仮想空間内のロボットなどの三次元設備モデルのメカ的な動きを模倣する機能（ツリー表現による

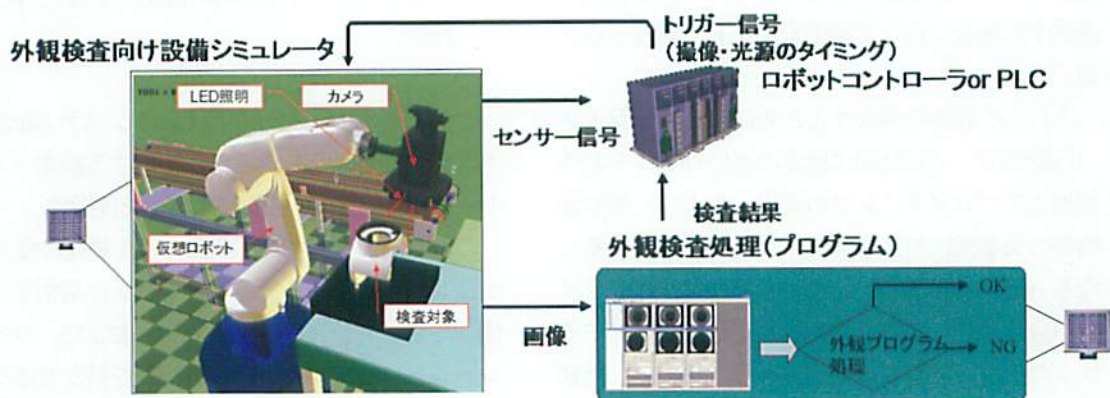


図4.4 提案する外観検査向け設備シミュレーションの概要

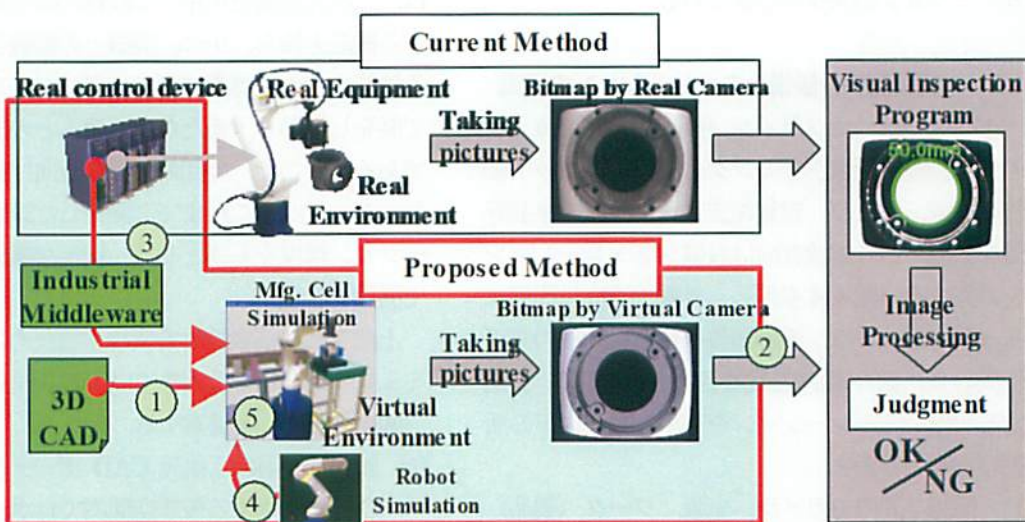


図4.5 外観検査向け設備シミュレーションの必要機能

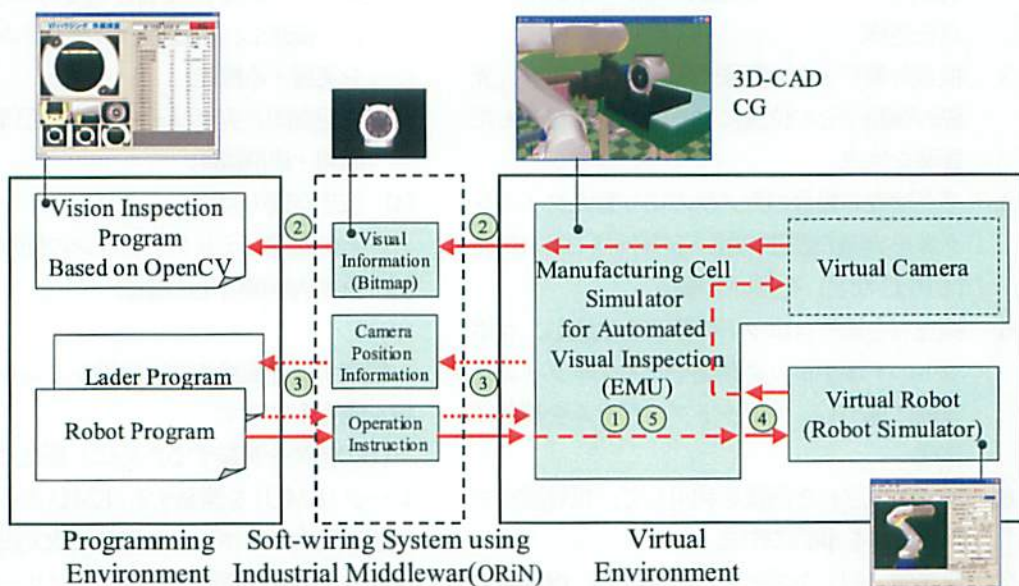


図4.6 外観検査向け設備シミュレーション環境

動作記述)、仮想カメラによる撮像および画像生成機能、仮想照明の設置とその模倣機能、三次元 CAD 情報の描画機能、産業用ミドルウェア ORiN との連携機能(実プログラムとの連携)等である。EMU の描画部を図 4.7 に示す。また、複数カメラを使った視覚検査ロボットの教示に関して、検査点毎にカメラの焦点距離等を考慮してカメラとレンズを選択しながら、教示する必要があり、EMU では、これらの作業の支援機能も開発する。

(2)の機能の内、視覚検査プログラムと EMU との情報連携として、以前の研究で提案しているソフト結線システム⁹⁾を利用する。ソフト結線システムは、産業用ミドルウェア ORiN¹⁰⁾を利用し、接続する機器、制御機器、各種プログラム、シミュレータの結線をソフト的に実現するシステムである。このシステムにより、Bitmap などの画像情報を転送する。視覚検査プログラムとしては、今回は、画像処理の標準化手法の OpenCV¹²⁾を利用する。

(3)の機能の実装には、(2)と同様にソフト結線システムを利用する。このシステムにより例えば、機器が持つ I/O や変数に格納された情報を別の機器やシミュレータへ転送できる。制御プログラムとしては、PLC などのラダーでのプログラムや、アイコンックプログラムの LabView¹³⁾、プログラム言語の Visual Basic¹⁴⁾などを利用する。

(4)の機能を実現するために、今回はコンサバティブな分散同期手法を実装する。ロボットシミュレータは、デンソーウェーブ社の WINCAPS3¹⁵⁾を利用する。工場レベルやサプライチェーンレベルなどの大規模シミュレーションとの連携としては、商用の生産システムシミュレータの Witness¹⁶⁾、Quest¹⁷⁾、Anylogics6¹⁸⁾、本研究で試作した作業プロセス指向の搬送シミュレーションなどとの同期を考慮する。

(5)の機能を実現するために、三次元 CAD 情報にキズなどの負の事例を生成する手法を実装する。

提案するシステム構成としては、(1)(4)(5)の機能実装部の仮想環境、産業用ミドルウェア ORiN、および、プログラミング環境で構成する。

4.4 仮想画像生成と利用の課題

提案する外観検査向け設備シミュレーション(設備シミュレーション)では検査対象や設備が存在しない状態で、仮想環境において三次元 CAD でモデリングされた三次元 CG による仮想ワークを仮想カメラで撮像して画像を生成し(仮想画像)、その仮想画像を利用して視覚検査プログラムの事前評価を実施することを目指している。仮想カメラは、三次元 CG 空間内の指定した場所から対象を二次元的に描画する機能を有している。そして、指定した瞬間に描画された画像を保存して、必要な画素の画像形式(BMP 形式)を生成する機能を有している。これらの機能を利用して仮想画像を生成している。現状の仮想カメラには、カメラ内部の構成やレンズ特性等の産業用カメラ独自の機能が模倣されておらず、簡易な機能のみ実装されている。設備シミュレーションを利用して、ロボットの動作に合わせて指定したタイミングで仮想ワークを仮想カメラで撮像し、仮想画像を生成できることを確認している。しかし、生成された仮想画像を利用して視覚検査プログラムを事前に評価できるかについては技術的に明らかになっていなかった。仮想画像が外観検査事前構築に利用可能であるかを調査する必要がある。

そこで、まず調査に先立ち、産業用カメラを利用する外観検査プロセスを整理・明確化した(図 4.8 参照)。産業用カメラを利用する外観検査は5つのプロセスで構成されることが分かった。それらは、対象の入手プロセス、カメラでの撮像プロセス、画像生成プロセス、外観検査プロセス、外観検査判定プロセスである。特に、寸法検査の場合は外観検査実行前に基準寸法情報の取得、および、レンズ収差の補正のためのキャリブレーションが必要となる。

これら5つのプロセスの中で、画像の生成と利用に関係する4つのプロセス(対象の入手プロセス、カメラでの撮像プロセス、画像生成プロセス、外観検査プロセス)において、外観検査向け設備シミュレーションで画像を生成・利用する場合(Virtual)と、実機において画像を生成・利用する場合(Real)の2つの場合について、画像生成および画像利用の相違点を比較した。比較項目として、画像生成および画像利用に影響を及ぼす主要な9

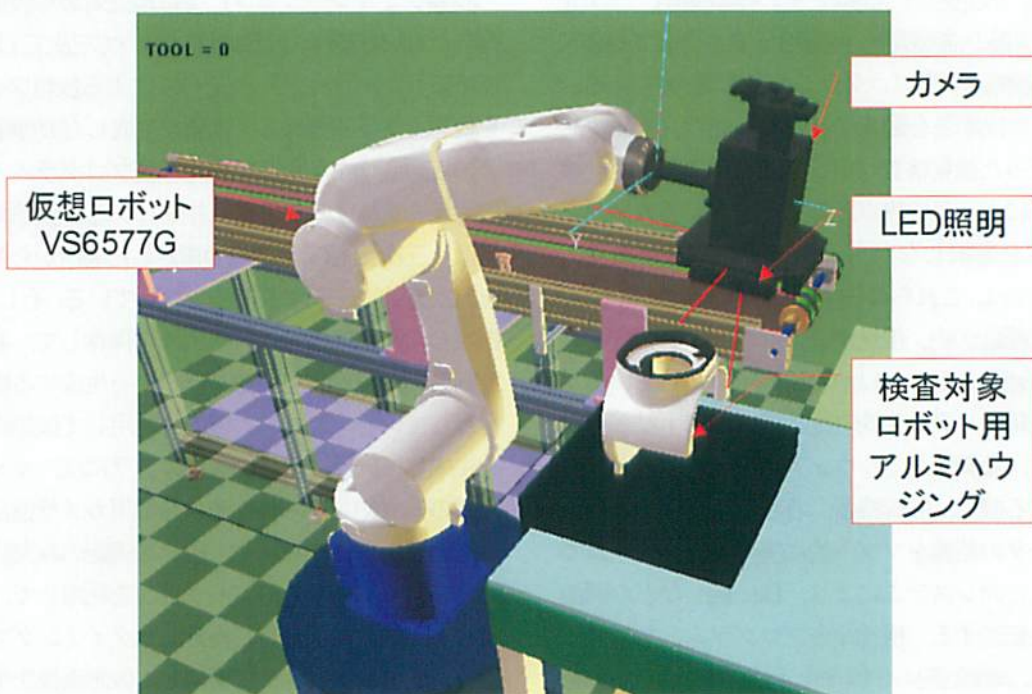


図4.7 外観検査向け設備シミュレータの描画例

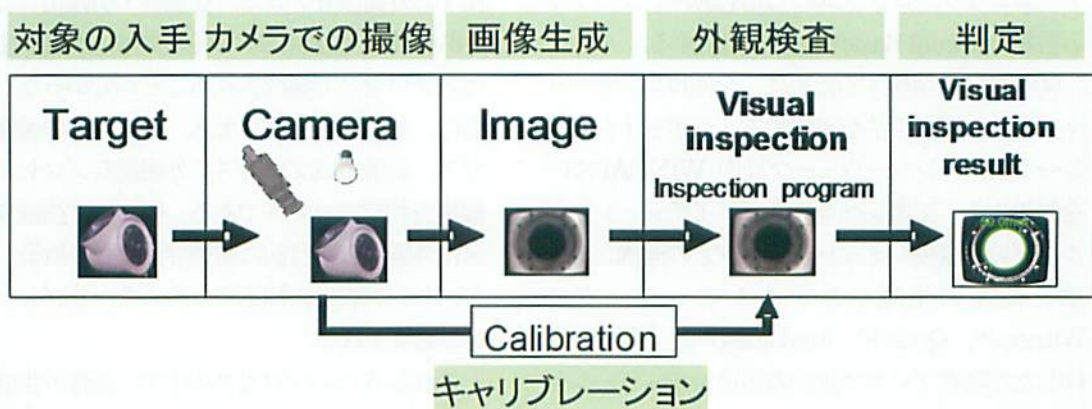


図4.8 産業用カメラを利用する外観検査プロセス

つの要因を利用する。9つの要因の内訳は、対象の精度、対象の表面状態、解像度、実視野、レンズ収差、被写界深度と焦点深度、撮像距離、照明、キャリブレーションである(図4.9参照)。比較結果を整理し、仮想画像生成に関するプロセス(対象の入手プロセス、カメラでの撮像プロセス、画像生成プロセス)と仮想画像利用に関するプロセス(外観検査プロセス)に分け、プロセスごとにRealとVirtualの相違部分を考察した。その結果、実視野、レンズ収差、被写界深度と焦点深度、撮像距離、キャリブレーションの5つの項目の相違点が仮想画像を生成する場合と利用する場合の課題として抽出することができた。RealとVirtualの相違部分を表4.2に示す。5つの課題を以下に考察する。

(A) 仮想画像生成の課題

(A-1) 実視野

実視野には撮像距離、画角、焦点距離、およびイメージセンササイズが関係しており、これらは互いに影響を及ぼし合っている。

実視野はRealでは撮像距離、イメージセンササイズ、および焦点距離により実視野が一時的に決定される。その後、ピント調節を行い、最終的な実視野が得られる。他方、Virtualでは、初期の試作の仮想カメラには、カメラ内部の構成やレンズ特性等の産業用カメラ独自の機能が模倣されておらず、簡易な機能のみ実装されている。そのため、焦点距離、イメージセンサ等は存在せず、画角が固定であることから実視野は撮像距離のみから設定する。そのため、RealとVirtualでは実視野の大きさが異なるという課題が発生する。

(A-2) 被写界深度と焦点深度

被写界深度と焦点深度は撮像対象の像を正しく結ぶためのピント調節の要素であり、撮像距離に大きく影響を及ぼす。Realでは多くのカメラにピント調節のレンズ移動リングが装着されており、自動もしくは手動でピントを調節する。ピントがあう範囲(被写界深度)に撮像距離をあわせ、ピント調節を行うことで実視野が変化する。他方、Virtualでは、初期の試作の仮想カメラには、カメ

ラ内部の構成やレンズ特性等の産業用カメラ独自の機能が模倣されておらず、簡易な機能のみ実装されている。そのため、被写界深度と焦点深度は存在せず、ピントは常にあっている状態の画像が取得可能である。よって、Realにおけるピント調節による影響を受けた撮像距離と実視野とVirtualにおける撮像距離と実視野が異なるという課題が発生する。

(A-3) 撮像距離

撮像距離は実視野、画角、焦点距離、およびイメージセンササイズと相関関係にあり、被写界深度と焦点深度の影響(ピント調節)によって撮像距離は大きな影響を受け変化する。Realでは上記の相関関係と影響により撮像距離は変化を受け、他方、Virtualでは撮像距離は実視野と相関関係にあるのみである。よって、同様の撮像距離の設定で得られる実視野が異なるという課題が発生する。

仮想画像生成の課題のうち、撮像距離を解決するためには、実視野、被写界深度と焦点深度の課題解決を実施する必要があり、それぞれ関係性を持っている。そのため、上記の3項目の課題解決は、その関係性を考慮して解決を図る必要がある。そして、解決するための機能を外観検査向け設備シミュレーションにおける仮想カメラに実装する必要がある。

(B) 仮想画像利用の課題

(B-1) レンズ収差の補正

レンズ収差には多数の種類があり、エリアタイプの産業用カメラの外観検査では、歪曲収差が課題となる場合が多い。歪曲収差とは撮像対象と像の相似性が崩れるものであり、その崩れ方から樽型と糸巻型に分けることができる。そして、歪曲収差は撮像画像中心部には歪曲の影響が現れないという特徴がある。これは、レンズの中心から離れた位置を通った光ほど強く屈折するためである。Realでは歪曲収差の影響を避けることが難しく、主にキャリブレーションを行って、画像処理により修正することでレンズ収差を解消する。他方、

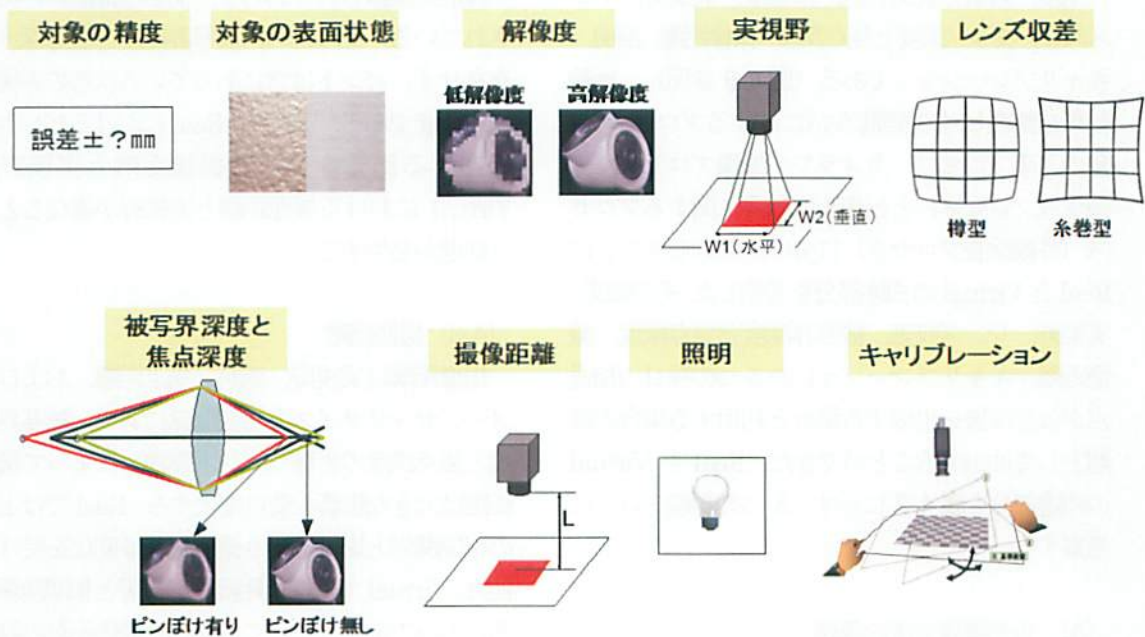


図 4.9 産業用カメラを利用する外観検査における主要な9つの要因

表 4.2 産業用カメラを利用する外観検査プロセスにおけるReal と Virtual の相違点

比較項目	仮想画像生成						仮想画像利用	
	Target(対象の入手プロセス)		Camera(カメラでの撮像プロセス)		Image(画像生成プロセス)		Visual inspection(外観検査プロセス)	
	Real	Virtual	Real	Virtual	Real	Virtual	Real	Virtual
対象の精度	-	-	-	-	-	-	-	-
対象の表面状態	-	-	-	-	-	-	-	-
解像度	-	-	-	-	-	-	-	-
実視野	-	-	実視野決定のために必要な工程が異なり、相違点となる		実視野決定のために必要な工程が異なり、相違点となる		-	-
レンズ収差	-	-	レンズ収差の有無が相違点		レンズ収差の影響の有無が相違点		レンズ収差補正の有無が相違点	
被写界深度と焦点深度	-	-	ピント調整処理の有無が相違点		ピント調整処理の工程の有無が相違点		-	-
撮像距離	-	-	撮像距離を決定する工程が異なり、相違点となる		撮像距離を決定する工程が異なり、相違点となる		-	-
照明	-	-	-	-	-	-	-	-
キャリブレーション	-	-	-	-	-	-	仮想環境内で行うキャリブレーション自体が相違点となる	

■:相違点がある項目

Virtual ではレンズ収差は存在しないため、レンズ収差の影響が無い画像を取得することができる。仮想画像を視覚検査プログラムの事前評価に利用するためには実画像と一定の条件下で比較を行い、その有用性を確かめる必要がある。

(B-2) 仮想環境でのキャリブレーション

外観検査の中で、寸法検査を実施するためには、キャリブレーションを実施する必要がある。キャリブレーションは基準となる寸法が規定されているキャリブレーションターゲットを用いて行われ、レンズ収差の補正、および画像に寸法の基準を与える。キャリブレーションでは寸法の基準となるキャリブレーションターゲットを教示する際、撮像対象と同じ撮像距離の位置で寸法の基準となるキャリブレーションターゲットを撮像する必要がある。Real ではキャリブレーションターゲットの精度、撮像距離、およびピント調節が重要であり、多様なレンズ収差補正方法が提案され、実用的に利用されている。そして、Virtual では仮想環境内で行うキャリブレーションはこれまで手法が提案されておらず、それ自体が相違であり、課題である。

仮想画像を外観検査事前構築に利用するためには、上記の5項目の課題を解決する必要がある。本年度は上記5項目のうち、「(B-2) 仮想環境でのキャリブレーション」に注目して課題の解決のための手法を提案する。

4.5 仮想環境でのキャリブレーション手法の提案

仮想環境を利用して寸法検査を事前実施するためには、仮想環境内でキャリブレーションを実施する必要がある。これまで手法が提案されていなかった。そこで、仮想環境内で行うキャリブレーションを実現するための手法を以下に提案する。提案する手法を図4.10に図示する。

1. キャリブレーションターゲットを商用の三次元CADを利用して三次元CGモデルを作成する。三次元CGモデルは、仮想環境内の入力データを利用する。

2. 検査要項に従い、撮像距離、および実視野を取得する。
3. 三次元CGモデルのキャリブレーションターゲットを仮想環境内に取り込む。その際、仮想環境内の単位系であるmm単位を継承して取り込む。
4. 検査要項の撮像距離、および実視野により、仮想カメラを利用してキャリブレーションターゲットを撮像する。
5. キャリブレーションターゲットおよび、撮像対象にマース（奥行き）を付ける。既存の三次元CADおよび三次元CGでは、既知の機能であり、仮想環境ではこの機能は実装済みである。
6. キャリブレーションターゲットを仮想環境内で仮想カメラを用いて十数枚程度撮像し、その仮想画像を取得する。
7. 6で取得した画像を利用して任意のレンズ収差補正方法を実行し、キャリブレーションを完了する。

以上が提案する仮想環境内キャリブレーションの手法であり、提案する手法は、Realと同等のキャリブレーションを模擬している。この仮想環境内キャリブレーションの手法を外観検査向け設備シミュレータに実装する。

本研究では研究成果の汎用的な適用を目指しているため、画像処理の標準ライブラリであるOpenCV¹²⁾を利用する。OpenCVではレンズ収差補正方法として、Zhangの方法¹⁹⁾²⁰⁾（図4.11参照）を利用しており、本研究でも同方法を利用する。この方法はカメラレンズ固有の焦点距離や画像中心座標といった内部パラメータとワールド座標系における位置姿勢である外部パラメータを求め、透視投影変換行列を用いて画像処理を行う²¹⁾（図4.12参照）。よって、キャリブレーションでは、ある三次元座標が撮像画像のどこの位置に投影されているかを判明する。キャリブレーションにはチェスボードを用い、黒と白のマスの交点を観測することで位置情報を取得し、キャリブレーションのための座標変換を行う（図4.13、図4.14参照）。

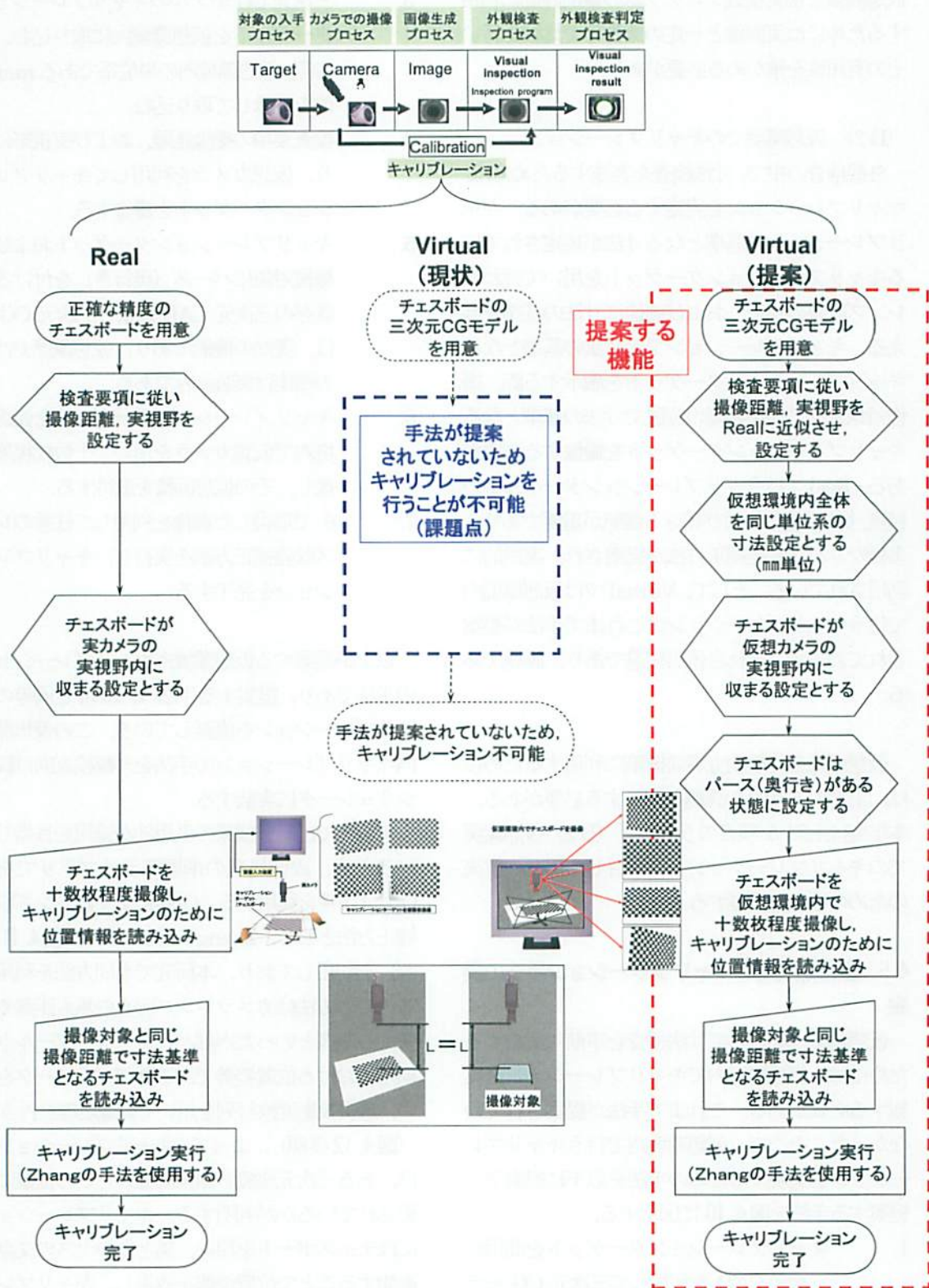


図4.10 提案する仮想環境でのキャリブレーション手法

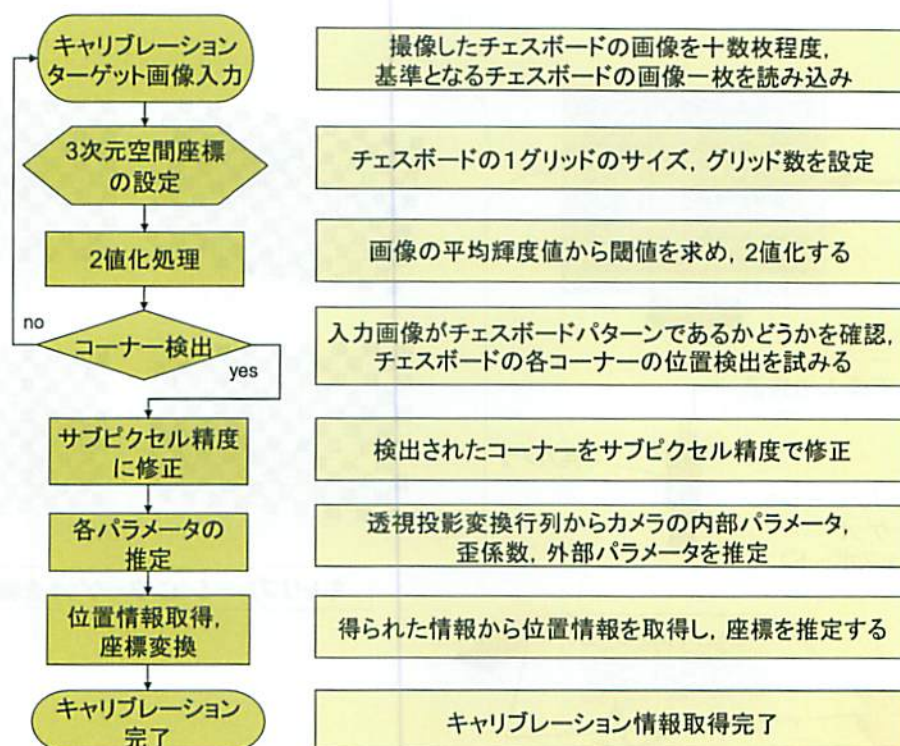
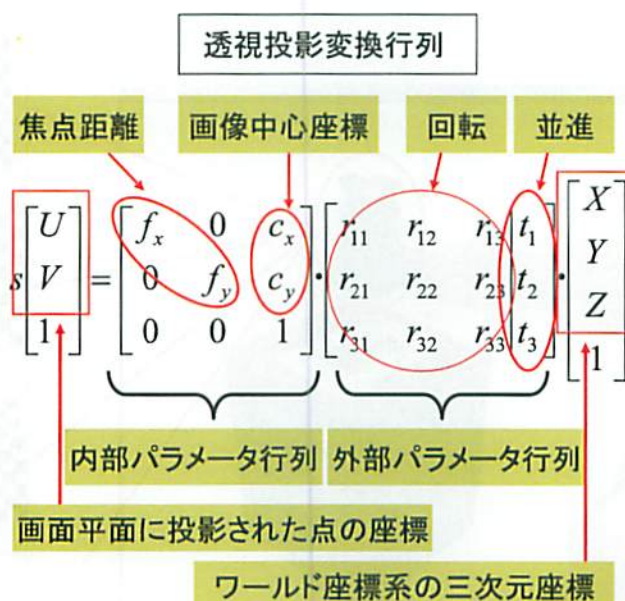


図4.11 Zhangの方法によるキャリブレーションプロセス



内部パラメータ : カメラレンズ固有の焦点距離や画像中心座標を表すパラメータ

外部パラメータ : 任意の瞬間のカメラの位置と向きを表すパラメータ

図4.12 Zhangの方法で用いる透視投影変換行列

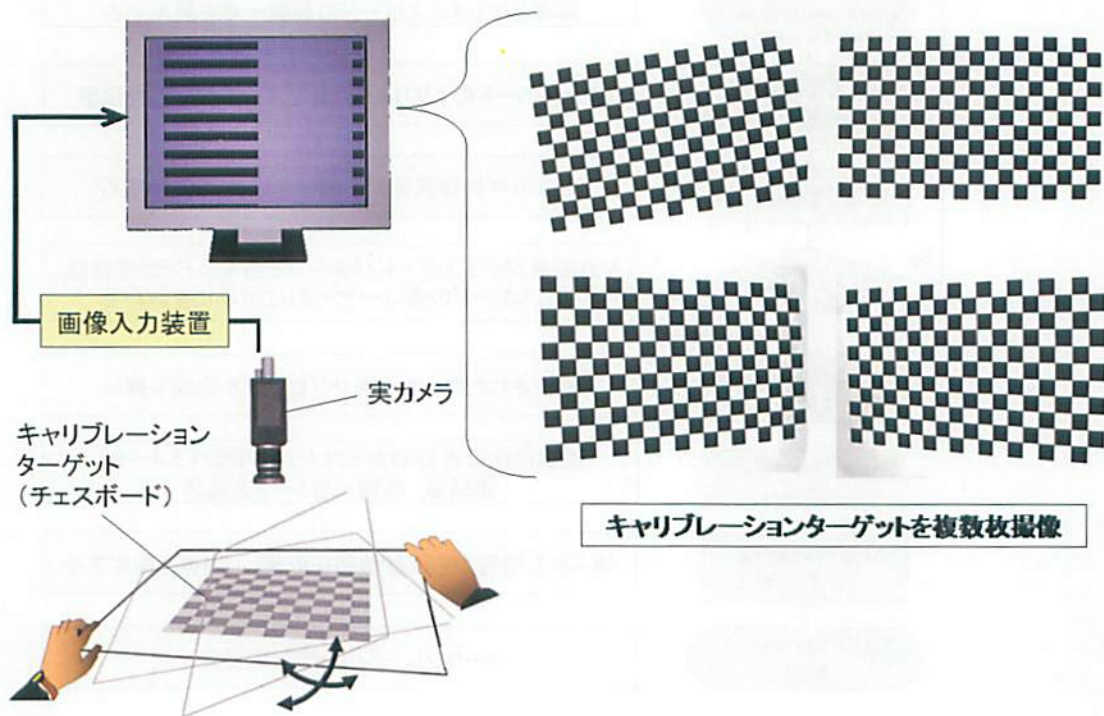


図4.13 実環境におけるチェスボード読み込みの概要

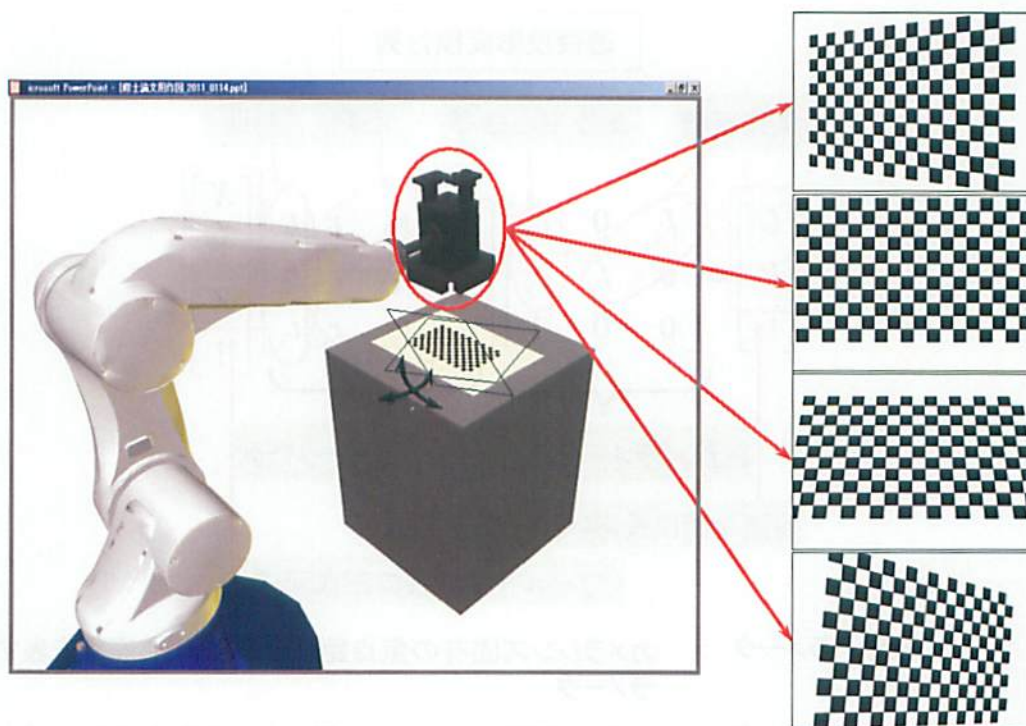


図4.14 仮想環境におけるチェスボード読み込みの概要

4.6 ケーススタディ

提案した仮想環境でのキャリブレーション手法の有効性を確認するために、ケーススタディを実施した。

キャリブレーションにはグリッド数が18×11、グリッドサイズが10mmのチェスボードを使用する。寸法検査はOpenCVを利用して検査プログラムを作成した^{19) 20)}。寸法検査結果の精度により、仮想環境内キャリブレーションの有効性の検証を行う。実験手順を以下に示す。

1. モデルとなるカメラとレンズに基づいた画角、焦点距離、イメージセンササイズの情報を入力する。
2. 撮像距離300mmの状態から近似式を用いて実視野を算出し、描画する。
3. チェスボード実視野内に納め、平行移動教示5回、回転教示2回、傾斜教示13回撮像し、仮想画像として生成する。その中から寸法基準画像となる1枚を設定する。
4. Zhangの方法を用いてレンズ収差補正を行う。
5. 撮像対象をチェスボードの寸法基準画像を撮像した時と同条件で撮像し、仮想画像を生成する。
6. 寸法検査プログラムにおいて、2値化処理を施し、エッジ検出を行い、検出した直線から撮像対象の幅を測定する。測定単位はmm。

実験は外観検査向け設備シミュレーションを導入したPCで実施した。実験環境を以下に示す。

PCの構成

- ・ OS : WindowsXP 32bit 版
- ・ CPU : Xeon X5260 3.33GHz
- ・ メモリ : 2GB
- ・ グラフィックボード : NVIDIA Quadro FX570

模倣するカメラ、レンズモデルとして、タムロン社製工業用高性能固定焦点レンズ8MMにイメージセンササイズ1/3型を使用したカメラを想定

した²⁰⁾。撮像対象は三次元CADのRhinoceros4.0で作成した。実験条件を以下に示す。

- ・ 焦点距離 : 8mm
- ・ イメージセンササイズ : 1/3 型 (水平方向4.8mm, 垂直方向3.6mm)
- ・ 画角 : 33.41度 (水平方向), 25.37度 (垂直方向) (イメージセンササイズと焦点距離より算出)
- ・ 撮像距離 : 300mm
- ・ 撮像対象 : グリッド数が18×11、グリッドサイズが10mmであるチェスボードの三次元CGモデル (DirectX形式、396ポリゴン)、ブロックゲージの三次元CGモデル (DirectX形式、12ポリゴン)を18パターン。18パターンのブロックゲージの内訳はいずれも単位はmmで、21, 22, 23, 24, 25, 45, 46, 47, 50, 72, 73, 74, 75, 96, 97, 98, 99, 100。100mmのブロックゲージの三次元CGモデルを図4.15に示す。
- ・ 光源 : 平行光線を使用し、画像内の撮像対象周辺の平均輝度情報が150~200となるように設定
- ・ 対象の表面状態 : 光沢の無い状態を設定
- ・ 解像度 : 640ピクセル×480ピクセルの30万画素。

実験結果について、実験手順に沿って実験結果を考察する。

- (1) モデルとなるカメラとレンズに基づいた画角、焦点距離、イメージセンササイズの情報を入力。実験条件よりカタログ値から各情報を入力した。
- (2) 撮像距離300mmの状態から近似式を用いて実視野を算出し、描画。仮想環境内で、仮想カメラを利用して、撮像距離300mmの実視野を描画できた。
- (3) チェスボード実視野内に納め、パターン教示を行う。今回は経験的に平行移動教示5回、回転教示2回、傾斜教示13回撮像し、仮想画像として生成する。その中から寸法基準画像となる1枚を設定す

る。基準画像を含めた 20 パターンのチェスボードの三次元 CG モデルの仮想画像を取得できた。それらの画像を図 4.16 に示す。取得した画像を、OpenCV に実装されているキャリブレーションプログラムに読み込ませることで、キャリブレーションパターンの教示ができた。

- (4) Zhang の方法を用いてレンズ収差補正を行う。OpenCV に実装されているキャリブレーションプログラムでは、教示したキャリブレーションターゲットの位置情報を処理できた。キャリブレーションにより位置情報を取得した様子を図 4.17 に示す。
- (5) 撮像対象をチェスボードの寸法基準画像を撮像した時と同条件で撮像し、仮想画像を生成する。検査対象の 18 パターンのブロックゲージの三次元 CG モデルを仮想カメラで撮像して、30 万画素の仮想画像を生成した。100mm のブロックゲージ三次元 CG モデルの仮想画像を図 4.18 に示す。生成された仮想画像は、撮像距離 300mm での実視野画像を生成できた。
- (6) 寸法検査プログラムにおいて、2 値化処理を施し、エッジ検出を行い、検出した直線から撮像対象の幅を測定する。測定単位は mm。寸法検査プログラムにおいて、生成された仮想画像を利用して、2 値化処理を施し、エッジ検出を行った。検出した直線から撮像対象の幅を測定できた。この寸法検査プログラムによる画像処理のフローチャートを図 4.19 に示す。2 値化の閾値は平均輝度情報 150 から 200 を参考に設定した。

以上のように提案する仮想画像を用いた仮想環境内キャリブレーションは、提案した手順に従い実行することが可能であった。提案するキャリブレーションによる寸法検査の測定結果を表 4.3 に示す。具体的には、表 4.3 では対象となるブロックゲージ幅ごとの絶対誤差の測定結果を示している。表 4.4 は、表 4.3 の結果から平均絶対誤差と

絶対誤差の標準偏差を示す。平均絶対誤差は 0.0739mm、標準偏差は 0.0825mm であった。各ブロックゲージ幅における絶対誤差の分布の結果を図 4.20 に示す。

画像処理では、寸法をピクセルとの関係で置き換えて算出している。画像処理の分解能としては 1 ピクセルが最小の分解能になる。ただし、画像処理の手法としては、サブピクセルとして、分解能を超えた寸法の解析も可能であるが、今回のケーススタディとしては、サブピクセルの分解能を利用できなかった。その理由としては、今回のケーススタディでは、寸法検査の際、2 値化処理を施し、エッジ検出を行い、検出した直線から撮像対象の幅を測定するハフライン変換処理を実施している。ハフライン変換処理では、OpenCV の制約としてサブピクセルの分解能の処理ができないからである。よって、今回のケーススタディの画像処理の分解能は、1 ピクセルであった。今回の実験条件では、1 ピクセルあたりの長さは 0.284mm であった。寸法検査の結果を、ピクセルで解析してみると、平均絶対誤差は 0.2602 ピクセル (0.0739mm)、標準偏差は 0.2904 ピクセル (0.0825mm) となる。絶対誤差と標準偏差は 1 ピクセル以内に収まることが確認できる。3 σ のばらつきで見た場合、1.132 ピクセル (0.3214mm) になる。これも約 1.1 ピクセル程度である。

よって、今回のケーススタディでは、ばらつきはあるものの、1 ピクセル以下の精度で寸法検査を実施しており、現時的な範囲の寸法検査が可能であることが分かった。以上、仮想環境内キャリブレーションの機能の検証では、以下のことがわかった。

- 提案する仮想画像を用いた仮想環境内キャリブレーションは、提案した手順に従い実行することが可能であった。
- 仮想環境内キャリブレーションの機能を利用する場合の画像処理の平均絶対誤差は 0.0739mm、標準偏差は 0.0825mm であった。
- 平均絶対誤差は 0.2602 ピクセル (0.0739mm)、標準偏差は 0.2904 ピクセル (0.0825mm) となり、絶対誤差と標準

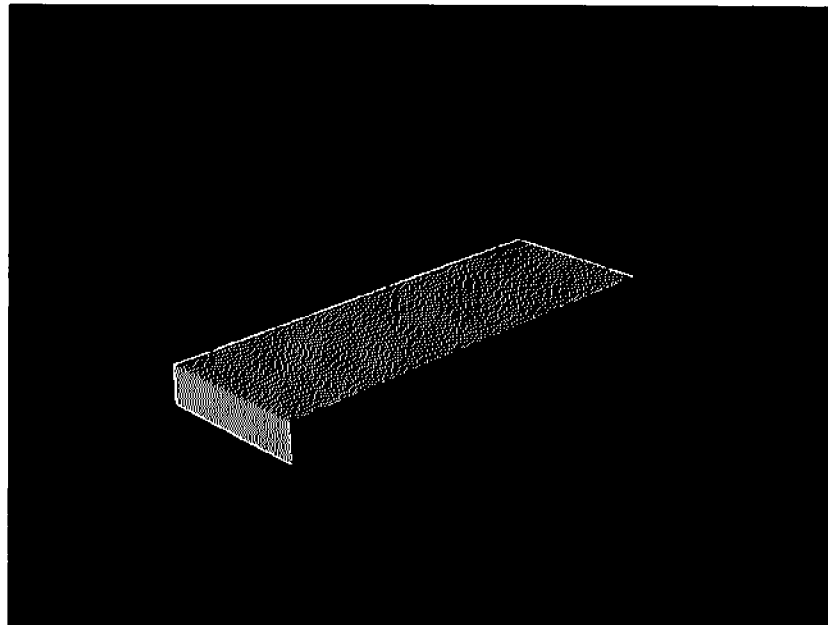


図4.15 ブロックゲージの三次元CGモデル (100mm幅)

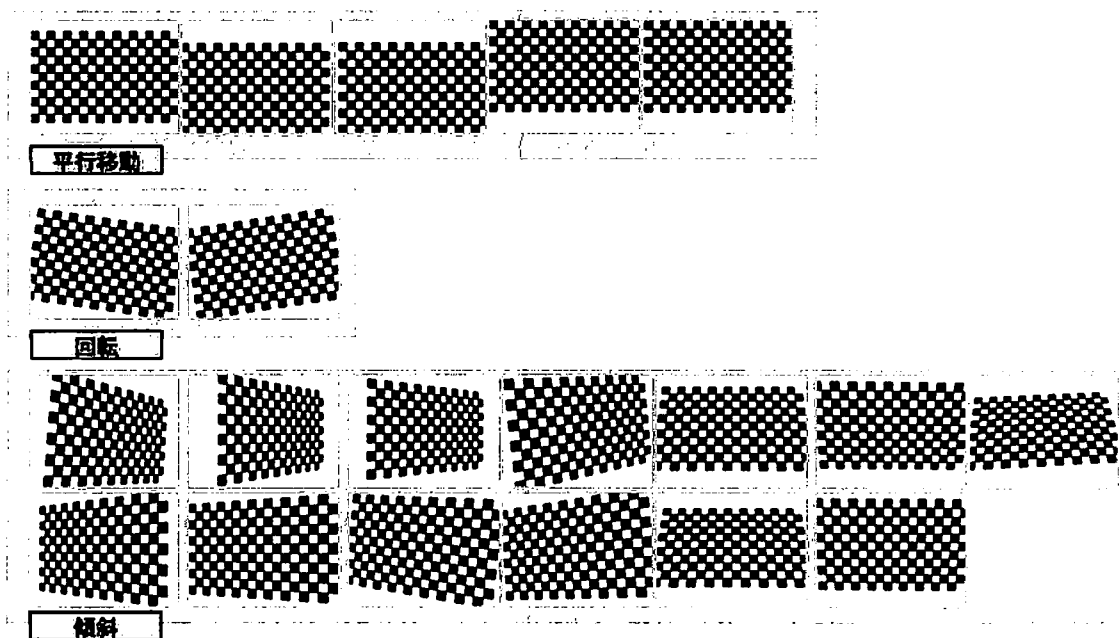


図4.16 チェスボードの三次元CGモデルを様々な方向から仮想カメラにより撮像し、生成されたキャリブレーション用の仮想画像

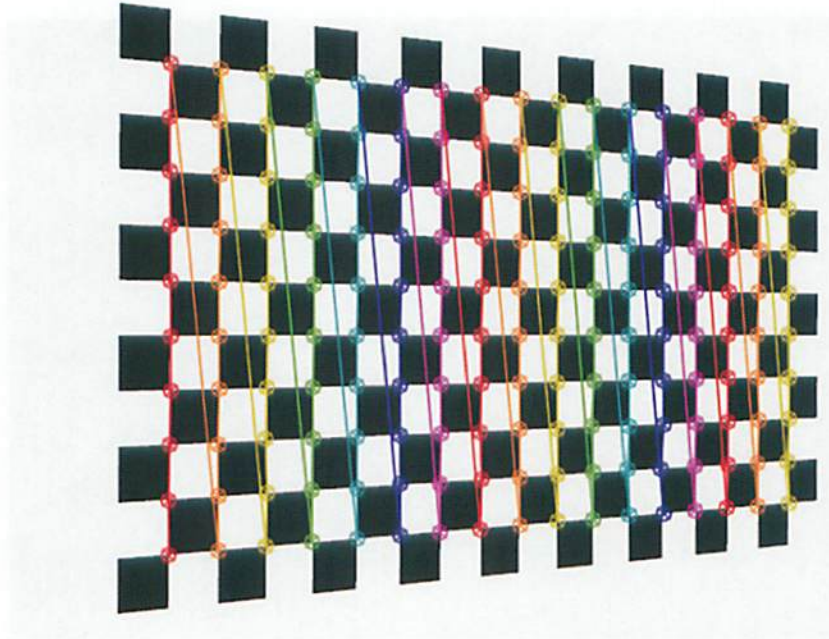


図4.17 キャリブレーションによる座標位置情報取得の様子

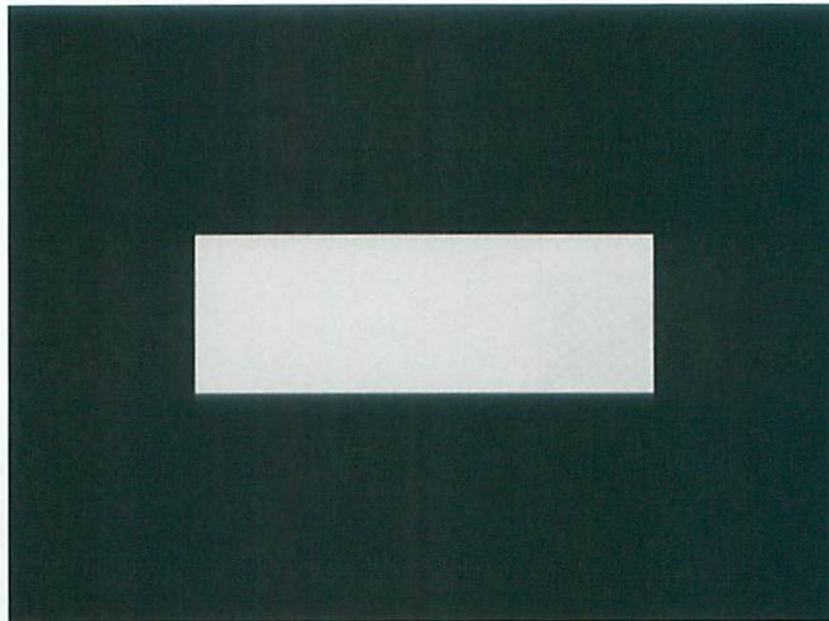


図4.18 ブロックゲージの三次元CGモデルを仮想カメラで撮像し、生成された仮想画像 (100mm幅)

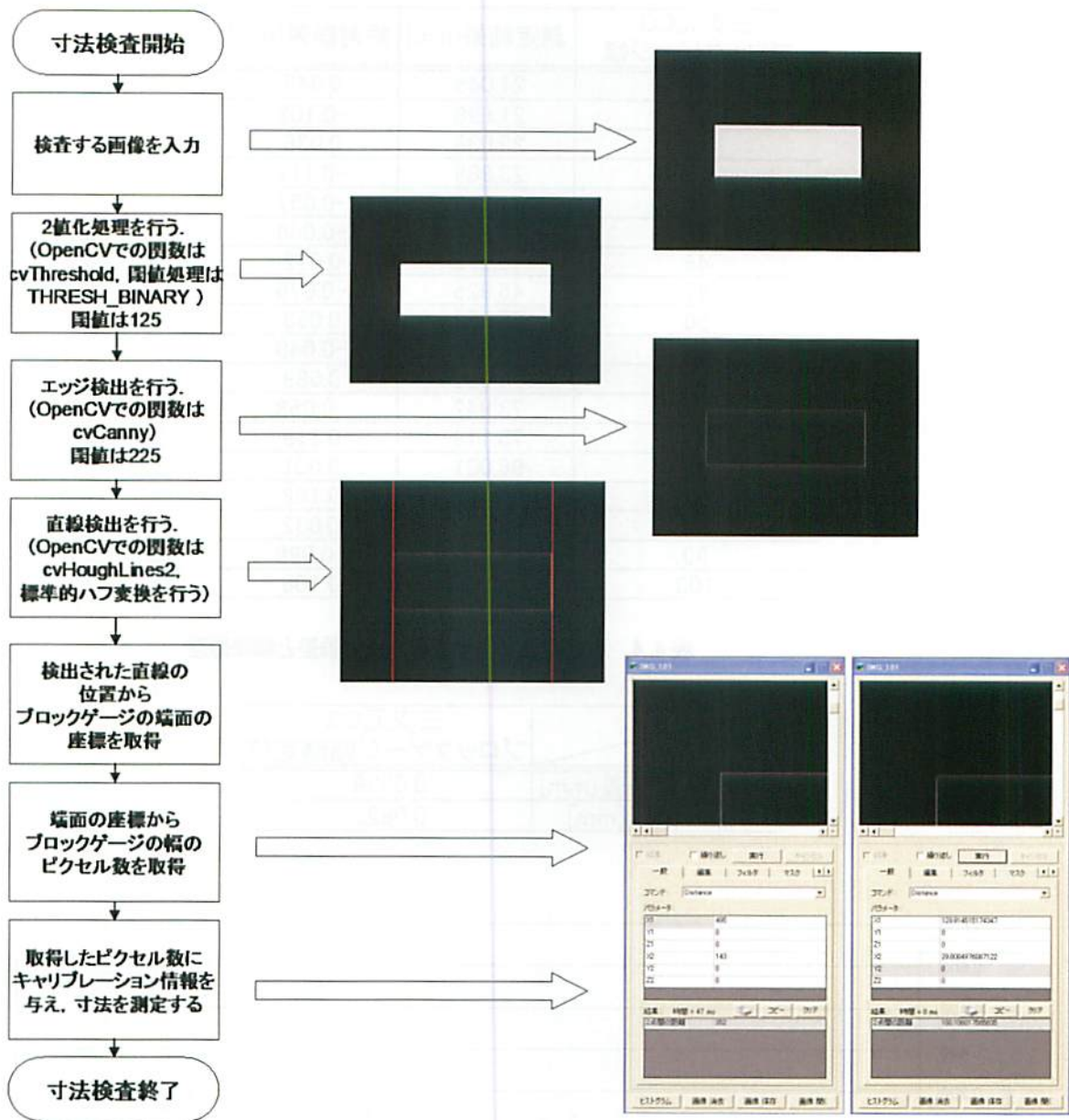


図4.19 寸法検査の視覚検査プログラムのフローチャートと処理の様子

表 4.3 三次元CG ブロックゲージ幅仮観画像の視覚検査プログラムによる測定結果

三次元CG ブロックゲージ幅	測定結果[mm]	絶対誤差[mm]
21	21.045	0.045
22	21.898	-0.102
23	23.036	0.036
24	23.889	-0.111
25	24.943	-0.057
45	44.934	-0.066
46	46.072	0.072
47	46.925	-0.075
50	50.053	0.053
72	71.952	-0.048
73	73.089	0.089
74	73.942	-0.058
75	75.119	0.119
96	96.001	0.001
97	97.162	0.162
98	98.032	0.032
99	98.902	-0.098
100	100.106	0.106

表 4.4 測定結果に対する平均絶対誤差と標準偏差

	三次元CG ブロックゲージ幅測定値
平均絶対誤差[mm]	0.0739
標準偏差[mm]	0.0825

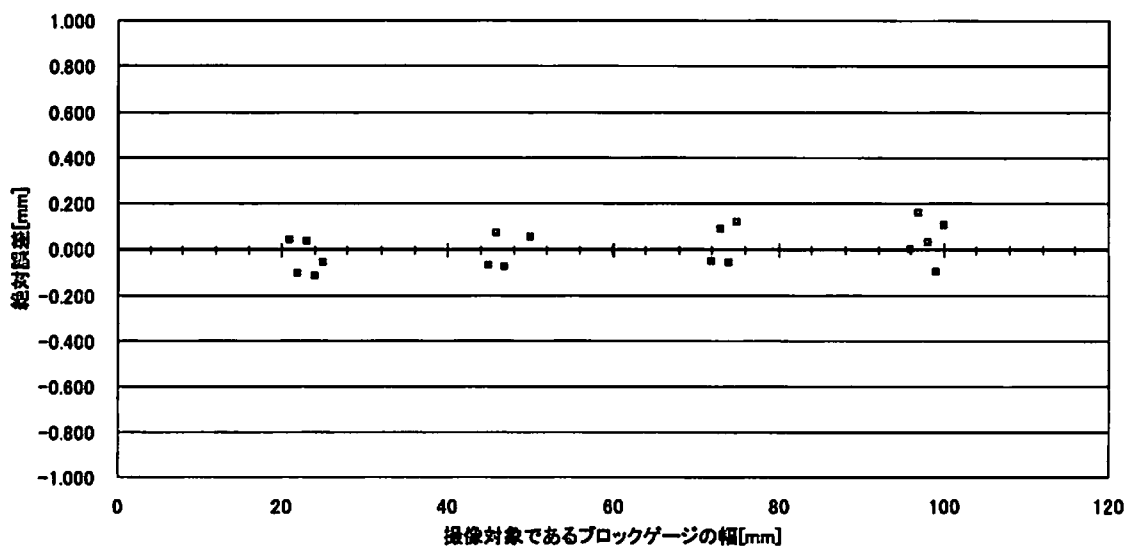


図 4.20 各ブロックゲージ幅における絶対誤差の結果

偏差は1ピクセル以内に収まることが確認できる。

- ・ 3σ のばらつきで見た場合、1.132ピクセル(0.3214mm)になる。これも約1.1ピクセル程度である。

今回のケーススタディでは、ばらつきはあるものの、1ピクセル以下の精度で寸法検査を実施しており、現実的な範囲の寸法検査が可能であることが分かった。よって、今回のキャリブレーションパターンを適用した場合には仮想環境内キャリブレーションの有効性が確認できた。

また、今回の実験において、新たな課題や今後に必要な調査内容が半明したため、以下に示す。

- ① 仮想環境内の光源の設定は単純化してキャリブレーション、および寸法検査のためにブロックゲージの三次元CGモデルの撮像を行ったため、光源設定とその評価については、今後の調査が必要である。
- ② 仮想環境内キャリブレーションの際、キャリブレーション画像のバリエーション(平行移動の移動量、回転と傾斜の角度)とその枚数によって及ぼされる影響について、実験計画法などを用いる調査が必要である。
- ③ 今回の実験では寸法検査プログラムにおいて、ハフライン変換処理によりピクセルを計測して寸法を計測した。そのため、分解能は1ピクセルであった。今後、サブピクセル単位で計測を行う寸法検査プログラム等での調査、検証も必要である。
- ④ 今回は30万画素の産業用エリアカメラに焦点距離8mmのレンズを装着した場合を想定したが、画素数や焦点距離を変更してさらに検証を行う必要がある。

4.7 あとがき

本研究では、近年、外観検査の自動化において注目されている、三次元の多方向・多点・多品番検査に対応するロボットとカメラを利用する外観検査で課題になっている現場での調整時間について、短縮するための支援システムの開発を行った。

具体的には、オフライン(仮想環境)でカメラの焦点距離や撮像タイミングの決定、ロボット動作の生成、および、視覚検査プログラムの事前評価を実施する外観検査向け設備シミュレーションの研究を実施した⁴⁾。本年度は、まず、外観検査の自動化構築の課題を整理し、課題を解決する外観検査向け設備シミュレーションの基本システムやその基本機能を提案した。

また、提案する外観検査向け設備シミュレーション(設備シミュレーション)では検査対象や設備が存在しない状態で、仮想環境において三次元CADでモデリングされた三次元CGによる仮想ワークを仮想カメラで撮像して画像を生成し(仮想画像)、その仮想画像を利用して視覚検査プログラムの事前評価を実施することを目指している。しかし、生成された仮想画像を利用して視覚検査プログラムを事前に評価できるかについては技術的に明らかになっていなかった。そこで、仮想画像が外観検査事前構築に利用可能であるかを調査し、課題を明確にした。本年度は、課題の一つである仮想環境でのキャリブレーション手法を提案し、ブロックゲージを対象とするケーススタディによって、提案した仮想環境でのキャリブレーション手法の有効性を確認した。

第4章の参考文献

- 1) 坂田慎一, 内田孝一郎, 堀田一美, 山田孝志, 河岸宏和, 松本宏一, 高野菊雄, 棚橋高成, 大金淳一, 手嶋孝一, 各種製品・材料別事例からみる外観・目視検査ノウハウ集 技術情報協会(2008).
- 2) <http://www.kmt-iri.go.jp/library/data/kenkyuhokoku/2003/T42-47.pdf>, 外観検査ニーズに関する調査研究 (2010).
- 3) 木村利明, 日比野浩典, 神田雄一, 福田好朗, 標準技術活用による生産支援に関する研究, 財団法人機械振興協会技術研究所 平成20年度製造業の基盤的技術の拡充強化に関する研究等補助事例, (2009) pp.44-56.
- 4) <http://www.denso-wave.com/ja/robot/product/latest/virt/>, (2010).

- 5) Hibino H., Inukai T., and Fukuda Y., Efficient manufacturing system implementation based on combination between real and virtual factory, International Journal of Production Research, 44, 3897-3915 (2006).
- 6) T. Inukai, H. Hibino, Y. Fukuda, Simulation Environment Synchronizing Real Equipment for Manufacturing Cell, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 1 No. 2, P238-224(2007).
- 7) T. Inukai, H. Hibino, Y. Fukuda, Enhanced distributed simulation using ORiN and HLA, Mechatronics for safety, security and dependability in a new era(Elsevier), P261-264(2007)
- 8) Hibino H., Inukai T., and Fukuda Y., Emulation in Manufacturing Engineering Processes, Proceedings of the Winter Simulation Conference 2008, p1785-1793 (2008).
- 9) 日比野浩典, 生産システムの設計・実装を効率化する設備シミュレーション技術, 技研所報 Vol.44, No.1(135) (2008).
- 10) Hibino H., Inukai T., and Fukuda Y., Sakimoto K., Simulation Environment to Minimize Lead-time of Manufacturing Cell Implementation Process Using Real Equipment Interaction, Proceedings of the International Conference on Advances in Production Management Systems, p257-270 (2008).
- 11) 水川真, 産業用機器・ロボットのオープンネットワークインタフェース ORiN, 計測と制御学会誌, 42, No.7 (2003).
- 12) http://opencv.jp/opencv-1.0.0/document/opencvref_cv_matching.html#cv_imgproc_matching (2010).
- 13) <http://www.ni.com/labview/ja/> (2011).
- 14) [http://msdn.microsoft.com/ja-jp/default\(2011\)](http://msdn.microsoft.com/ja-jp/default(2011))
- 15) <http://www.denso-wave.com/ja/robot/product/latest/wincaps2/index.html> (2010).
- 16) <http://www.engineering-eye.com/witness/> (2011).
- 17) <http://www.3ds-jp.com/plm-network/v36/plmnw36-prodoverview-delmiaqr17.html> (2011).
- 18) <http://www.anylogic.jp/> (2011).
- 19) Zheng, Zhan, <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/zhang/Papers/TR98-71.pdf>, A Flexible New Technique for Camera (1999) .
- 20) http://opencv.jp/sample/camera_calibration.html, (2010) .
- 21) 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック制作チーム, OpenCV プログラミングブック第 2 版 OpenCV 1.1 対応, 株式会社毎日コミュニケーションズ, (2009) .
- 22) エドモンド・オプティクス・ジャパン株式会社, 2010 年度版マスターソースブック, (2010) pp.306.

5. 結 言

本研究では、平成 22 年度から平成 23 年度の 2 ヶ年計画で、大きく 2 つの視点から研究を実施している。それらは、生産システムの運用向けに、工作機械の安全運用に着目した「多軸加工機向け衝突防止手法の研究」と、生産システム構築段階向けに、「生産システム構築効率化と品質向上を目指すシミュレーションの研究」である。本報告は、平成 22 年度の研究内容を報告した。

第 2 章では、今年度実施した欧州生産システムの動向調査結果を報告した。

第 3 章では、「多軸加工機向け衝突防止手法の研究」に関し、基本となる三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム、その派生成果である非接触加工前ワーク形状計測システム、多軸加工機向け衝突防止システム、および研究成果の普及活動について報告した。

まず、本多軸加工機向け衝突防止手法の基本となる前身研究で開発した三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムを、大手製造業の金型製造部門に試験導入させて頂き、実工場での評価テストを実施した。本ユーザーへの試験導入の結果、本システムが実運用上、良好に動作することがわかった。また、試験導入したユーザーからも高い評価を得て、正式導入に向けた検討が始まった。これにより、多軸加工機向け衝突防止手法の基本コンセプトでもある段取り後、素材・治具をレーザスキャナで計測し、その実測情報、NC プログラム、NC 装置の状態を照合して、段取りミスによる衝突予知が可能な衝突防止手法の実用性が確認できた。

次に、三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムの派生成果である非接触加工前ワーク形状計測システムも、大手工作機械メーカー、および大手自動車メーカーに試験導入し、実工場での評価テストを実施した。試験導入の結果、両ユーザーから、鋳物素材の荒削りにおける時間短縮に関して有効があるとの評価を得た。

さらに、多軸加工機向け衝突防止システムでは、三軸工作機械向けのシミュレータ連携型工作機械内衝突防止システムを基にした本多軸加工機向け

衝突防止システムの基本構想、本システムを実現するための基本処理方式の検討、および基本処理方式を実装する上で課題となる点群データから、CAD データで与えられ治具などのテンプレートを用いて、治具や素材を識別分離して管理する仕組みである 3-D 構造識別管理手法の検討を行った。また、工作機械上に設置した工作機械テーブルや治具などの実際の計測データに基づいた 3-D 構造識別管理手法の検証実験を行った結果、良好であり本手法の実現の可能性を確認した。今後は、さまざまな条件下での実験を行うことで、課題の発見と対策を行い、3-D 構造識別管理手法の実用性を高める予定である。また、本 3-D 構造識別管理手法をソフトウェアライブラリ化し、多軸加工機向け衝突防止システムの基本処理手法に統合してアプリケーションシステム開発を行い、多軸加工機向け衝突防止システムの完成を目指す。なお、関連する多軸加工機向け衝突防止手法の基本処理方式などに関して、本年度、PCT 国際特許 2 件を出願した。

研究成果の普及活動では、本研究に関連する研究成果の普及活動として、基盤的生産技術研究会標準技術活用ビジネス研究会が、研究成果を第 25 回日本国際工作機械見本市 (JIMTOF2010) に出展し、さらに、工作機械の簡単 IT セミナを実施して研究成果の普及に努めた。また、大手自動車メーカーから、研究成果の導入検討を目的として、オーガメイドセミナーの実施要望があり、同セミナーを実施すると共に、関連する研究成果を見学いただいた。今後も関連する研究成果の実用化や普及を促進する活動の一環として、基盤的生産技術研究会標準技術活用ビジネス研究会などを活用し、一般展示会出展やセミナー開催などの広報活動を実施する予定である。

第 4 章では、「生産システム構築効率化と品質向上を目指すシミュレーションの研究」に関する研究成果について報告した。本研究では、近年、外観検査の自動化において注目されている、三次元の多方向・多点・多品番検査に対応するロボットとカメラを利用する外観検査で課題になっている現場での調整時間について、短縮するための支援システムの開発を行った。具体的には、オフラ

イン（仮想環境）でカメラの焦点距離や撮像タイミングの決定、ロボット動作の生成、および、視覚検査プログラムの事前評価を実施する外観検査向け設備シミュレーションの研究を実施した。本年度は、まず、外観検査の自動化構築の課題を整理し、課題を解決する外観検査向け設備シミュレーションの基本システムやその基本機能を提案した。

また、提案する外観検査向け設備シミュレーション（設備シミュレーション）では検査対象や設備が存在しない状態で、仮想環境において三次元 CAD でモデリングされた三次元 CG による仮想ワークを仮想カメラで撮像して画像を生成し（仮想画像）、その仮想画像を利用して視覚検査プログラムの事前評価を実施することを目指している。しかし、生成された仮想画像を利用して視覚検査プログラムを事前に評価できるかについては技術的に明らかになっていなかった。そこで、仮想画像が外観検査事前構築に利用可能であるかを調査し、課題を明確にした。本年度は、課題の一つである仮想環境でのキャリブレーション手法を提案し、ブロックゲージを対象とするケーススタディによって、提案した仮想環境でのキャリブレーション手法の有効性を確認した。なお、本設備シミュレーションに関して、本年度、特許 2 件を出願した。

これら「多軸加工機向け衝突防止手法の研究」と「生産システム構築効率化と品質向上を目指すシミュレーションの研究」の研究成果に関して、学会や講演会などでの普及活動のみならず、日刊工業新聞社での研究成果の記事が掲載されるなど、広く一般に公開した。

また、平成 20 年 4 月から、リニューアルスタートした当所の基盤的生産技術研究会においてもこれらの研究成果は活用されており、各方面の標準化活動とも相互連携して、さらなる普及や実用化活動を行った。

さらに、国際的な産学官連携研究を実施している製造科学技術センターIMSセンター主催の国内企業との産学官連携研究に参加し、本研究の成果を基盤とした産業応用を電機産業、エンジニアリング産業とともに検討し、研究成果の広報や普及活動を実施した。

謝 辞

本研究は、財団法人 JKA の競争補助金を受けて実施したものであり、ご支援いただいた関係各位に深く感謝いたします。

研 究 報 告 書

KSK-GH22-1

情報技術活用による生産現場支援に関する研究

平成 23 年 3 月 31 日発行

発行所 財団法人 機械振興協会 技術研究所
(〒 203-0042) 東京都東久留米市八幡町一丁目 1 番 12 号
電話 042-475-1155 (代表)

印刷所 株式会社 アトミ
(〒 187-0031) 東京都小平市小川東町五丁目 13 番 22 号
電話 042-345-1155