

平成 21 年度補正予算事業 戦略的基盤技術高度化支援事業

「熱間鍛造向けインライン赤外線画像処理検査装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成 22 年 8 月

委託者 東北経済産業局

委託先 株式会社北上オフィスプラザ

目次

第1章 研究開発の概要

- 1 研究開発の背景・研究目的および目標
- 2 研究体制
- 3 成果概要
- 4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

1 デュアル PC システム開発

1-1 ソフトウェアによる監視・補完技術の開発

- 1-1-1 はじめに
- 1-1-2 マルチスレッドレベルにおける監視・補完プログラムの開発
- 1-1-3 マルチプロセスレベルにおける監視・補完プログラムの開発
- 1-1-4 ソフトウェアレベル障害検知システムの開発
- 1-1-5 まとめ

1-2 ハードウェアによる監視・補完技術の開発

- 1-2-1 はじめに
- 1-2-2 RAS システム拡張ボードによる監視・補完プログラム・システムの開発
- 1-2-3 ハードウェアレベル障害検知システムの開発
- 1-2-4 まとめ

1-3 デュアル PC システム評価

- 1-3-1 はじめに
- 1-3-2 システム評価結果
- 1-3-3 まとめ

2 赤外線による外観検査システム開発

2-1 常温検査用トレーサビリティシステムの開発

- 2-1-1 はじめに
- 2-1-2 測定精度確保のための、照明・レンズシステム最適化開発
- 2-1-3 サブピクセルエッジ検出測定画像処理技術の開発
- 2-1-4 常温検査用トレーサビリティシステム搬送装置制御・結果集計プログラムの開発
- 2-1-5 まとめ

2-2 赤外線放射線量補正画像処理技術の開発

- 2-2-1 はじめに
- 2-2-2 赤外線放射量と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発
- 2-2-3 T ヘッド工法鉄筋品目と形状測定用画像処理式位置補正技術の開発
- 2-2-4 まとめ

2-3 形状収縮率補正技術の開発

- 2-3-1 はじめに
- 2-3-2 計測データの集計
- 2-3-3 まとめ

2-4 赤外線カメラ・レンズ適合製品の開発

- 2-4-1 はじめに
- 2-4-2 高速・高解像度の画像処理プログラムの開発
- 2-4-3 低コスト化のための量産適合カメラの開発
- 2-4-4 レンズ適合製品開発
- 2-4-5 まとめ

3 大容量高速 3次元撮影・画像処理システム開発

3-1 3次元計測用データ変換アルゴリズムの開発

- 3-1-1 はじめに
- 3-1-2 変局点データ補完、サブピクセルデータ補完アルゴリズムの開発
- 3-1-3 3次元計測システムの最適化
- 3-1-4 まとめ

3-2 3次元差分画像処理アルゴリズムの開発

- 3-2-1 はじめに
- 3-2-2 3次元形状マッチングによる3次元差分処理アルゴリズムの開発
- 3-2-3 3次元空間体積量計算アルゴリズムの開発
- 3-2-4 まとめ

最終章 全体総括

【備考】 実施計画書中の製品名「Tヘッドバー」を、本成果報告書において「Tヘッド工法鉄筋」に名称変更

実施計画書に記載している本研究開発の対象とする製品「Tヘッドバー」生産工法におきまして、第一高周波工業株式会社では、類似商標が他社より製品として出願されており、商標問題が発生しました。このため同社は、工法の商標は既に取得済みであったことや係争を避ける観点から、平成22年7月より製品名「Tヘッド工法鉄筋」へ名称変更したものであります。このことから、本成果報告書では「Tヘッド工法鉄筋」の名称を使用して記載しております。

第 1 章 研究開発の概要

1 研究開発の背景・研究目的および目標

第一高周波工業株式会社(川下企業)が開発したTヘッド工法鉄筋製品は、建築構造用鉄筋コンクリート構造において鉄筋として用いられるものであるが、従来工法と比較し、同等の品質を維持しながら作業量、工期の大幅な短縮とコスト削減を可能にする工法が実現できる画期的な製品である。また、施工管理上の容易性や昨今の経済環境から建築コストの軽減要求から、その需要は年々増加する一途を辿っている。

この需要増加への対応には、熱間鍛造成形工程の生産効率性を図る必要があり、特に現状の人による出荷前抜き取り検査方式においては、製品納期、検査・製品管理コスト、不良品リスクなどの諸問題点が生じており、このことから品質保証・検査体制の迅速化、効率化、高精度化が急務の課題となっている。

第一高周波工業株式会社では、この課題解決のために、加工ラインにおけるインライン全数検査システムの研究へ着手するものの、高熱状態である加工品について画像処理方法などでの技術課題解決に難渋しているものである。

この技術課題解決をするため、画像処理技術を有する有限会社イグノスとシステム構築技術を有する岩手県立大学ソフトウェア情報学部が研究実施者となり、川下企業である第一高周波工業株式会社からアドバイザーとして協力していただきながら、Tヘッド工法鉄筋のインライン全数検査が可能となるシステム「熱間鍛造向けインライン赤外線画像処理検査装置」の開発を行うことを目的とする。

本研究開発は、成形直後の加工品がその高温状態に発生する赤外線に着目し、その赤外線を利用した外観検査システム、大容量高速3次元撮影・画像処理システムによりインラインで全数検査を可能とする検査装置の開発を行うものである。

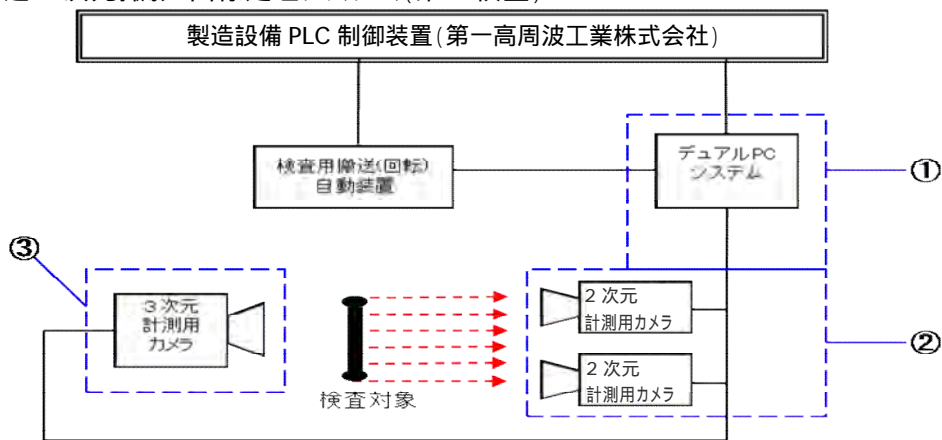
Tヘッド工法鉄筋加工ライン内で成形直後の全数検査の実現により、生産工程のリードタイム短縮化、維持管理コスト低減化、品質状況リアルタイム把握化が可能となることから、コスト面、品質面などに大きなメリットが生じる。

本研究開発は、次の3つの開発アイテムで構成する。

デュアルPCシステム

赤外線による外観検査システム(第1検査)

大容量高速3次元撮影・画像処理システム(第2検査)



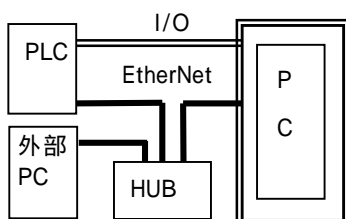
各開発アイテムの目標は以下の通りである。

デュアルPCシステム課題への対応【岩手県立大学、有限会社イグノス】

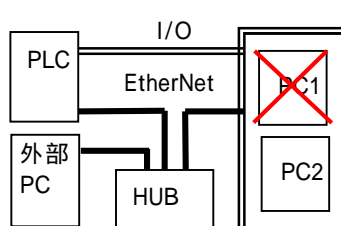
汎用PC(PC/AT互換機、WindowsOS)2台が自己監視、相互監視・補完し合い、1台のPCがシステムダウンしても、もう1台のPCが補完・継続実行することでシステム信頼性を向上することができるシステムを開発する。

目標はMTBF(平均故障間隔)30,000時間とする。(汎用PCの倍)

従来技術(単独PC)



新技術開発(デュアルPC)



- 1 ソフトウェアによる監視・補完技術の開発【岩手県立大学】

ソフトウェアレベルによるデュアル PC システム開発では、マルチスレッドレベル及びマルチプロセスレベルにおける監視・補完プログラムの開発と障害検知システム開発を行う。

a) マルチスレッドレベルにおける監視・補完プログラムの開発

アプリケーションプログラムと連動(アプリケーションプログラム起動時に同時起動、終了時に同時終了する。)し、アプリケーションプログラムと並行実行しながら自己 PC、他 PC を監視・補完(主に、実行しているアプリケーションプログラムの監視・補完)できるマルチスレッドプログラムを開発する。

b) マルチプロセスレベルにおける監視・補完プログラムの開発

WindowsOS と連動(WindowsOS 起動時に同時起動、終了時に同時終了する。)し、WindowsOS 実行中 自己 PC、他 PC を監視・補完(主に、WindowsOS プロセスの監視・補完)できるマルチプロセスプログラムを開発する。

c) ソフトウェアレベル障害検知システムの開発

デュアル PC システムを構成する 2 台 PC はギガイーサ、デジタル I/O、RS-232C いずれかのハードウェア通信環境を構築し、本研究で開発する監視・補完スレッドプログラムおよびプロセスプログラムはこの通信手段を介して、2 台 PC 間で定期的に正常動作を通知しあう。この通知が途絶えた時、障害が発生したことを認識できるソフトウェアレベル障害検知システムを開発する。

- 2 ハードウェアによる監視・補完技術の開発【岩手県立大学】

ハードウェアレベルによるデュアル PC システム開発では、RAS システム拡張ボードによる監視・補完プログラム開発と障害検知システム開発を行う。

a) RAS システム拡張ボードによる監視・補完プログラム・システムの開発

RAS システム拡張ボードは、ウォッチドッグタイマーにより CPU ハングアップ、CPU 温度、その他ハードウェア上システム障害監視を PC から独立したハードウェアで監視する機能を有する。この RAS システム拡張ボードをデュアル PC で構成する各 PC 内拡張スロットに増設することにより、デュアル PC システム用監視・補完プログラムを開発する。

b) ハードウェアレベル障害検知システムの開発

RAS システム拡張ボードはシステム障害時に障害発生を瞬時に自動通知する機能を有している。デュアル PC システムを構成する 2 台 PC には RAS システム拡張ボードを増設し、この RAS システム拡張ボードを介したデジタル I/O ハードウェア通信環境の構築により、障害通知を即座に認知できるハードウェアレベル障害検知システムを開発する。

- 3 デュアル PC システム評価【有限会社イグノス】

岩手県立大学が開発する - 1ソフトウェアによる監視・補完技術、 - 2ハードウェアによる監視・補完技術を最終的にデュアル PC システムに実装して評価を行う。評価は「フェールシステム検証装置」を導入、岩手県立大学に設置し、実機(T ヘッド工法鉄筋製造ライン)で想定されるシステムダウンを意図的に発生させ、システム信頼性の評価を行う。評価はインライン外観検査システムで実機使用を予定している有限会社イグノスが担当する。

赤外線による外観検査システム課題への対応【有限会社イグノス】

熱間鍛造成形直後の高温状態の T ヘッド工法鉄筋自身から放射される赤外線のみを撮影して T ヘッド工法鉄筋の形状を認識し、画像処理および演算処理により OK/NG を判定できる外観検査システムを開発を行う。また、生産ラインで必要とする搬送ロボット装置「検査用搬送(回転)自動装置」及び「カメラ取り付け治具」を導入、第一高周波工業(株)に設置し、OK/NG の仕分け搬送を行うインライン外観検査システムを構築する。

本システム導入の目標として、生産から出荷までのリードタイム現状比 20%短縮、管理費 20%削減、製造直接人件費 50%削減を目指している。

従来技術(照明反射光による撮影)

新技術開発(赤外線カメラによる撮影)



- 1 常温検査用トレーサビリティシステムの開発【有限会社イグノス】

現在の T ヘッド工法鉄筋検査はノギス、専用治具により抜き取り検査となっており、検査箇所すべてのデータが数値化されていないため(OK/NG 確認のみの箇所がある。)、本研究開発である赤外線によるインライン外観検査システムでの精度検証を行う際に、その検査基準として必要となる常温検査用トレーサビリティシステムの開発を行う。このトレーサビリティシステムの精度は、インライン外観検査システムの要求精度の倍以上の画像処理ができることを目標とする。

a) 測定精度確保のための照明・レンズシステム最適化開発

従来の測定精度優先の透過照明を使用した場合、本研究開発対象である T ヘッド工法鉄筋の如く金属棒形状では、照明光線表面ハレーション、照明光線回り込みや T ヘッド工法鉄筋厚さ方向の焦点深度が確保できずピンボケ時の測定形状の変化など問題が発生する。これら課題を解決するために、照明光線の表面ハレーション、照明光線回り込みを防ぐことができる最適な透過照明用フィルターを選定する。また焦点深度がずれたピンボケ時でも測定形状が変化し難い最適な特殊レンズを選定することなど、常温検査用トレーサビリティシステムの測定精度を確保するため照明・レンズシステムの最適化を図る。

b)測定精度確保のためのサブピクセルエッジ検出測定画像処理技術の開発

従来の測定精度優先の透過照明を使用した場合、本研究開発対象である T ヘッド工法鉄筋の如く金属棒形状では、照明光線表面ハレーション、照明光線回り込みや T ヘッド工法鉄筋厚さ方向の焦点深度が確保できずピンボケ時の測定形状の変化など問題が発生する。これら課題を解決するために、照明光線の表面ハレーション、照明光線回り込みを防ぐことができる最適な透過照明用フィルターを選定する。また焦点深度がずれたピンボケ時でも測定形状が変化し難い最適な特殊レンズを選定することなど、常温検査用トレーサビリティシステムの測定精度を確保するため照明・レンズシステムの最適化を図る。

c)常温検査用トレーサビリティシステム搬送装置制御・結果集計プログラムの開発

常温検査用トレーサビリティシステム検査では回転方向数箇所断面を測定し、それらを集計したバラツキ範囲結果が基準範囲に入っているか否かをもって判定する。この検査を行えるシステム構築には「測定基準用搬送装置」を導入、(有)イグノスに設置し、この搬送装置で T ヘッド工法鉄筋を回転方向に搬送しながら所定の角度毎に正確に撮影し、撮影した画像を上記 a)、b)の技術をもって正確に測定し、測定結果を集計するプログラムを開発する。

- 2 赤外線放射量補正画像処理技術の開発【有限会社イグノス】

本研究開発である赤外線による外観検査システムは、熱間鍛造成形直後の T ヘッド工法鉄筋からの赤外線を撮影してその形状を測定するものである。しかし T ヘッド工法鉄筋品目によって T ヘッド工法鉄筋から放射される赤外線量は必ずしも一定でないことから、赤外線放射量補正画像処理技術の開発を行う。

a)赤外線放射量と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発

赤外線を照射する赤外線照明を用いて、その輝度(赤外線放射量)を変化させながら赤外線照明形状を正確に認識できる画像処理閾値を調査し、赤外線放射量と最適画像処理閾値データベースを構築して赤外線放射量と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発を行う。また、この赤外線照明から放射する赤外線量の測定には「撮影&画像処理装置 赤外線検査装置設置検討用ルネサス版」を導入、(有)イグノスに設置する。また、最適画像処理閾値の決定には赤外線量最適閾値画像処理が行える「撮影&画像処理装置 測定基準機検討用・赤外線検査装置設置検討用 HALCON 版」及び「撮影&画像処理装置 測定基準機検討用・赤外線検査装置設置検討用 MIL 版」を使用し、開発を行う。

また、これら装置に「検査用搬送(回転)自動装置」(OK/NG 仕分け搬送を行うロボット)及び「カメラ取り付け治具」を設置することで赤外線によるインライン外観検査システムの構築を行う。

b)T ヘッド工法鉄筋品目と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発

熱間鍛造成形直後の T ヘッド工法鉄筋が放射している赤外線量を測定し、この放射量から前記の最適画像処理閾値を算出する。このため、T ヘッド工法鉄筋品目毎に形状測定用画像処理閾値データベースを構築し、T ヘッド工法鉄筋品目毎の形状測定用画像処理閾値補正技術の開発を行う。この赤外線量の測定は「撮影&画像処理装置 赤外線検査装置設置検討用ルネサス版」を使用する。

- 3 形状収縮率補正技術の開発【有限会社イグノス】

T ヘッド工法鉄筋は品目によって常温状態になった時の形状収縮率が品目ごとに異なることから、熱間鍛造成形直後の寸法計測と常温時寸法計測を比較し、それら結果を集計しデータベース化して品目ごとの形状収縮率補正技術の開発を行う。熱間鍛造成形直後の寸法計測には前記 - 2 赤外線放射量補正画像処理技術を使用し、常温時寸法計測には前記 - 1 常温検査用トレーサビリティシステムを使用して行う。

- 4 赤外線カメラ・レンズ適合製品の開発【有限会社イグノス】

本研究開発である赤外線による外観検査システムの構築に対し、赤外線カメラでは、高速・高解像度機能(30FPS・200 万画素)が要求される。また、レンズにおいては形状認識のための赤外線偏光作用機能(赤外線直進成分のみ偏光)が要求される。これらの機能を満足する製品は市販されていないため、赤外線カメラでの画像処理プログラム開発やレンズ適合製品の開発などを行う。

a)高速・高解像度機能(30FPS・200 万画素)の画像処理プログラムの開発

市販の赤外線カメラで要求機能に最も近い「赤外線カメラ」フローベール製 ADT-100(30FPS・100 万画素)を購入予定であるが、このカメラでは解像度が 100 万画素と低いため 200 万画素相当以上の解像度となるサブピクセル画像処理プログラムの開発を行う。

b)低コスト化のための量産適合カメラの開発

この外観検査システムでの一層の低コスト化を図る検討のため、安価なカメラを対象とした次の 2 方

法により量産適合カメラの開発及び検証を行う。

(方法1) 低解像度の赤外線カメラ(40万画素)に対してサブピクセル画像処理の開発を行い、要求解像度相当の分解能の検証を行う。

(方法2) 高解像度の可視光領域の高感度カメラ(200万画素)に対して可視光カットフィルターの開発を行い、赤外線カメラと同等の画像の検証を行う。

c) レンズ適合製品開発

赤外線偏光作用機能(赤外線直進成分のみ偏光)を有するレンズは市販されていないため、この機能を達成するレンズを開発する場合は、開発費用が多額となることから、この機能を有するフィルターフィルムを開発することで費用が安価となる。このためレンズと被写体の間にこのフィルターを設置して赤外線偏光作用機能が達成できるようなフィルターフィルムの開発を行う。

大容量高速 3次元撮影・画像処理システム課題への対応

3次元計測用データ変換アルゴリズム(3次元サブピクセル補完)および3次元差分画像処理アルゴリズムを開発し大容量高速3次元撮影・画像処理システムを構築する。

(目標)・3次元データ容量:1,620×1,220×1,220pixel(従来比16倍)。

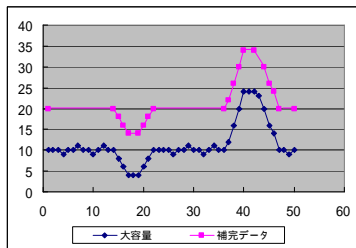
・処理時間:3次元測定 3次元マッチング 3次元差分処理まで1秒(従来比較データ無し)。

- 1 3次元計測用データ変換アルゴリズムの開発[有限会社イグノス]

3次元データはデータ量が多くなり、システム構築においてメモリーを多く必要とするため測定範囲または解像度に制約が発生する。この問題を解決するためデータ量を縮小しながら精度を維持できる3次元計測用データ変換アルゴリズムの開発を行う。

a) 変曲点データ補完、サブピクセルデータ補完アルゴリズムの開発

3次元データ((X,Y,Z)データの集合)をX軸方向、Y軸方向線データに変換し、さらに線データを変曲点のみデータとし、さらにもと3次元データ(X,Y,Z)X、Y分解能の分解能を下げて、サブピクセル単位で補完することでデータ数の大幅削減可能とする変曲点データ補完、サブピクセルデータ補完アルゴリズムを開発する。



青線:(従来データ)3次元データのある線上データ、分解能が高い点の集合なのでデータ数が多い。

赤線:(本研究開発アルゴリズムで生成されたデータ)線を構成する点は線を補完するのに必要な変曲点、および必要最低限分解能で構成されるのでデータ数は大幅に少ない。

b) 3次元計測システムの最適化

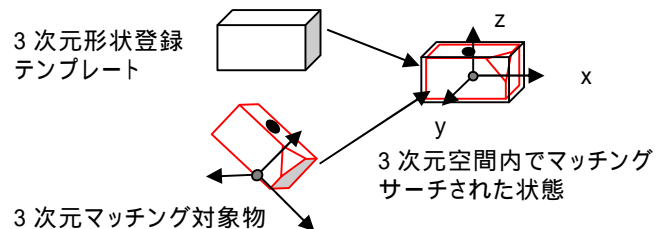
本研究開発の3次元計測システムとしては、ステレオビジョン法では「撮影&画像処理装置 3次元計測ステレオビジョン検討用」を導入、また光切断法では「撮影&画像処理装置 3次元計測光切断検討用」を導入、更に、この2方法の3次元計測方法の際に必要なTヘッド工法鉄筋の位置決めを行う「検査用搬送(回転)自動装置」及び「カメラ取り付け治具」を導入する。それぞれの装置は第一高周波工業㈱に設置するとともに、これら装置を使用して最適なシステムの比較検討を行う。

また、これら装置は - 2の3次元差分画像処理アルゴリズム開発にも使用する。

- 2 3次元差分画像処理アルゴリズムの開発[有限会社イグノス]

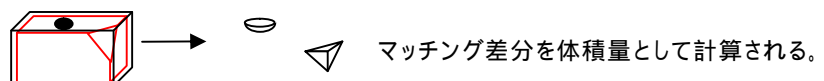
従来3次元データにおける画像処理は2次元平面画像処理多層化構造で処理していたため、処理時間に多くかかる問題があった。この問題を解決するため3次元データ専用の3次元差分画像処理アルゴリズムの開発を行う。

a) 3次元形状におけるマッチングを行い、3次元空間内で最もマッチする空間座標(重心座標 X,Y,Z)とテンプレートマッチング方向(空間方向、x, y, z)が算出できる3次元差分画像処理アルゴリズムを開発する。



b) 3次元外形マッチングを行ったあと、登録テンプレートとの差分を3次元空間体積量として計算できるアルゴリズムを開発する。

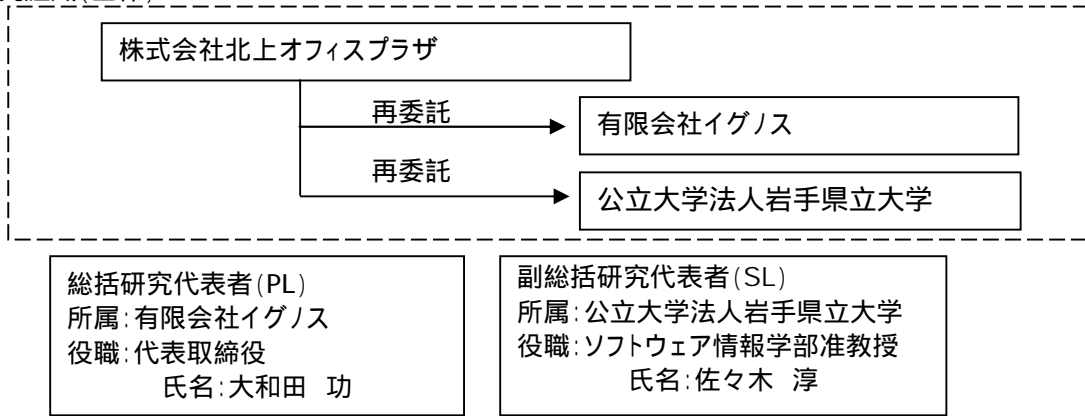
また、登録テンプレートは、あらかじめ3次元CADで設計されたデータを使用するため、3次元CADデータを3次元画像処理データに変換する必要がある。このための「3次元データCADデータ変換ソフト製作費」の実施は外注により行う。



2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

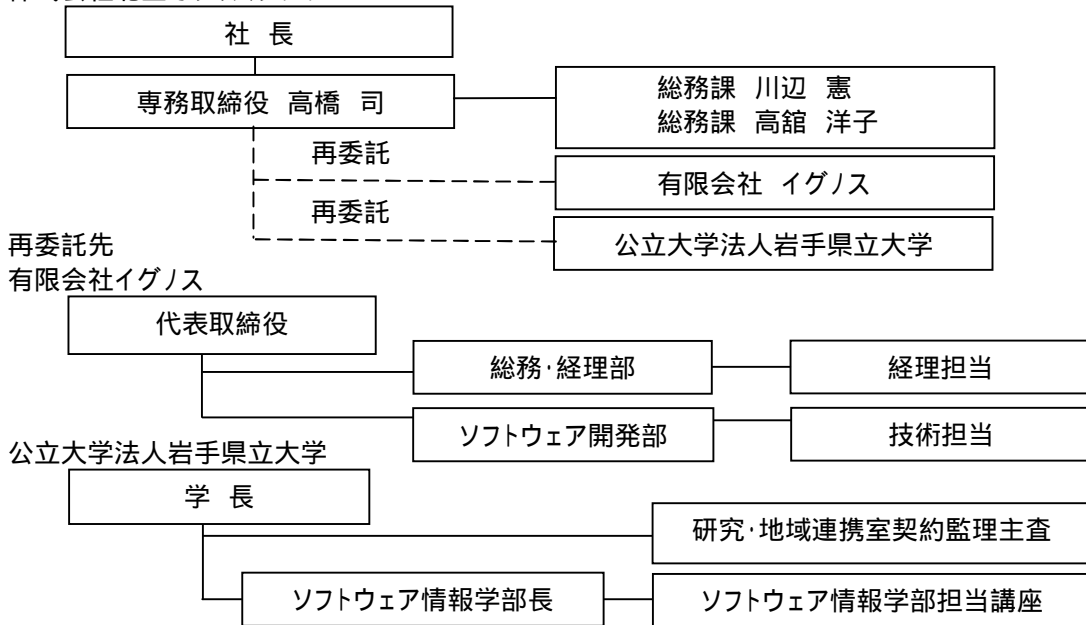
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

事業管理者

株式会社北上オフィスプラザ



(2) 研究員及び管理員(プロジェクト管理員)氏名(役職、実施内容別担当)

(事業管理者:管理員) 株式会社北上オフィスプラザ

氏名	所属・役職
高橋 司	専務取締役
川辺 憲	総務企画部総務課課長補佐

(再委託先:研究員) 有限会社イグノス

氏名	所属・役職
大和田 功	代表取締役
寒川 陽美	ソフトウェア開発部部長
高地 映里	ソフトウェア開発部主任
長谷川 誠	ソフトウェア開発部研究員
吉清水 智樹	ソフトウェア開発部研究員

(再委託先:研究員) 公立大学法人岩手県立大学

氏名	所属・役職
佐々木 淳	ソフトウェア情報学部准教授 情報システム構築学講座

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名
(事業管理者)

株式会社 北上オフィスプラザ

(経理担当者) 総務企画部総務課

高館 洋子

(事業管理者) 専務取締役

高橋 司

(再委託先)

有限会社イグノス

(経理担当者) 総務・経理部

伊藤 奈津子

(事業管理者) 代表取締役

大和田 功

公立大学法人岩手県立大学

(経理担当者) 研究・地域連携室契約監理主査

鈴木 秀

(事業管理者) ソフトウェア情報学部長

菅原 光政

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

1) 推進員委員

氏名	所属・役職	備考
大和田 功	有限会社イグノス 代表取締役	総括研究代表者
佐々木 淳	公立大学法人岩手県立大学ソフトウェア情報学部准教授(情報システム構築学講座)	副総括研究代表者
寒川 陽美	有限会社イグノス ソフトウェア開発部部长	
高地 映里	有限会社イグノス ソフトウェア開発部主任	
長谷川 誠	有限会社イグノス ソフトウェア開発部研究員	
吉清水 智樹	有限会社イグノス ソフトウェア開発部研究員	
大和田 豊	第一高周波工業株式会社取締役 技術統括部副統括部長兼技術部長	アドバイザー
北山 信義	第一高周波工業株式会社技術統括部設計部長	アドバイザー
村野 慎一	第一高周波工業株式会社技術統括部設計部第一設計室	アドバイザー
友田 勇	第一高周波工業株式会社技術統括部技術部技術開発室	アドバイザー
高橋 司	株式会社北上オフィスプラザ専務取締役	管理員
川辺 憲	株式会社北上オフィスプラザ総務企画部総務課課長補佐	管理員

2) アドバイザー

【加工ライン設計、品質管理・検査測定方法に関するアドバイス】

・大和田 豊 (第一高周波工業株式会社取締役 技術統括部副統括部長兼技術部長)

【品質管理・検査測定方法に関するアドバイス】

・北山 信義 (第一高周波工業株式会社技術統括部設計部長)

・村野 慎一 (第一高周波工業株式会社技術統括部設計部第一設計室)

【加工ライン設計に関するアドバイス】

・友田 勇 (第一高周波工業株式会社技術統括部技術部技術開発室)

3 成果概要

本研究開発では、アドバイザーとして協力していただき、川下企業でもある第一高周波工業株式会社が生産するTヘッド工法鉄筋のインライン全数検査が可能となるシステム「熱間鍛造向けインライン赤外線画像処理検査装置」構築のために、デュアル PC システム開発、赤外線による外観検査システム開発、大容量高速 3 次元撮影・画像処理システム開発を行ってきた。

デュアル PC システム開発に関して、ソフトウェアによる監視・補完技術、ハードウェアによる監視・補完技術開発を機能ごとに分担し開発を行った。これら技術を確立することができ、単体試験、結合試験(インライン実験)を通して信頼性の検証をしながらデュアル PC システムを構築することができた。

赤外線による外観検査システム開発に関しては、カメラ、フィルターの最適化により赤熱状態 T ヘッド工法鉄筋の形状を画像として撮影する技術を確立することができた。ただし、インライン全数検査用システムとして精度保証するためには、さらに実験データを積み重ね、測定バラツキ検証を行い、判定基準値の精度向上を図っていく必要がある。

大容量高速3次元撮影・画像処理システム開発に関しては、データ数を大幅に縮小化できる3次元データ変換アルゴリズムを開発できた。また3次元空間上で3次元計測結果と登録済みテンプレート探索を行いその差分を3次元体積量として高速に計算できる、まったく新しい概念の3次元専用画像処理アルゴリズムを開発できた。

デュアルPCシステムの対応

- 1 ソフトウェアによる監視・補完技術の開発

インライン検査システムを監視する機能を有するインライン検査監視プログラムを製作するとともに、RASシステム拡張ボード機能を利用して、デュアルPCシステム上で動作し、このインライン検査監視プログラムの監視・補完を行う技術を確認することができた。なお、RASシステム拡張ボード通信はRASシステム拡張ボード内デジタルI/Oを通して行うことで、効率的で汎用性の高い通信環境を構築できた。

- 2 ハードウェアによる監視・補完技術の開発

障害発生時にRASシステム拡張ボードから自動的に出力される信号から正常稼働しているPCを判断して、正常稼働しているPCの出力がPLCに最終出力される論理出力装置を開発した。この装置はソフトウェアが介在することなくハードウェアによる信号で動作するため、インライン検査にかかわるすべてのPCがシステムダウンしてもPLCに対してエラー信号を出力できるよう設計されている。これらをハードウェア上で論理判断し出力制御する技術を確認することができた。

- 3 デュアルPCシステム評価

デュアルPC、RASボード中継装置、論理出力装置からなる単体試験を行うための評価システム「フェールシステム検証装置」を構築し、インライン設置前段階での単体試験を行った。この検証装置評価により、インライン設置前段階でのデュアルPCシステムの監視・補完機能開発を効率的に行うことができた。

赤外線による外観検査システムの開発

- 1 常温検査用トレーサビリティシステムの開発

レンズ・ワークディスタンス最適化、照明フィルター最適化、環境光遮断構造の採用により、撮像される画像の、特に輪郭部の安定化を図る技術を確認することができた。Tヘッド工法鉄筋56本の母集団測定バラツキを、実測値標準偏差とトレーサビリティシステム標準偏差で比較するとほぼ同等であった。今後は更に実験データを積み重ね、測定バラツキの検証を行い、実用化に向けての判定基準値の精度向上が要求される。

- 2 赤外線放射量補正画像処理技術の開発

モノクロカメラは赤外線カメラと比較して赤外線領域感度は劣るが、計測画像処理を行うにあたり十分使用できるものであることが、カメラ感度比較実験で確認できた。その際両カメラの感度相関関係を相関式として得ることができ、今後高温赤熱状態被測定物撮影に、モノクロカメラを適用可能とする技術を確認することができた。

また、計測画像処理では被測定物のエッジ輪郭を明確にすることが重要であるが、その際撮影に使用するフィルターの最適化を図ることができた。この技術を適用することでTヘッド工法鉄筋形状測定画像処理システムを構築することができた。

- 3 形状収縮率補正技術の開発

赤熱時と常温時のTヘッド工法鉄筋を計測して収縮率を求めた。この結果、Tヘッド工法鉄筋の赤熱時計測値は、常温時計測値の1.007倍と理論値と近い値を得ることができた。

- 4 赤外線カメラ・レンズ適合製品の開発

当初赤外線カメラでは達成できない高解像度を実現するために、サブピクセル精度の画像処理プログラムを開発する計画であったが、前項「- 2 赤外線放射量補正画像処理技術の開発」においてフィルター最適化、モノクロカメラ適用化技術の確認ができたことから、本項開発ではさらなるコストダウンを考慮し、低コストモノクロカメラの比較検討を行った。

大容量高速3次元撮影・画像処理システム開発

- 1 3次元計測用データ変換アルゴリズムの開発

STL(Standard Triangulated Language)形式の3次元CADデータをTIFF(Tag Image File Format)形式の3次元計測用データに変換することで、データ数の大幅削減を行うことができた。また本データ形式はステレオビジョン法、光切断法双方の3次元計測システムから共通で扱えるデータ構造になっており、異なる3次元計測システム共通の変換アルゴリズム技術を確認できた。

- 2 3次元差分画像処理アルゴリズムの開発

3次元計測システムにより計測した計測データと、3次元登録テンプレートデータを3次元空間上で探索し、その差分を3次元空間体積量として計算するアルゴリズム技術を確認できた。なお本差分は前項で述べたTIFF形式の3次元計測用データ上で行うため、データ量が少なく計算速度高速化が期待できる。また3次元登録テンプレートデータは前項「- 1 3次元計測用データ変換アルゴリズムの開発」で述べたアルゴリズムを使用することで設計基準となるCADデータを即座に変換登録することができる。

4 当該研究開発の連絡窓口

住所:〒024-0051 岩手県北上市相去町山田2番地18

株式会社北上オフィスプラザ 専務取締役 高橋 司

TEL:0197-71-2171 FAX:0197-71-2173

E-mail:takatsu@kitakami.ne.jp

第 2 章 本論

1 デュアル PC システム開発

1-1 ソフトウェアによる監視・補完技術の開発

公立大学法人岩手県立大学ソフトウェア情報学部准教授

佐々木 淳

1-1-1 はじめに

デュアル PC システム開発では、マルチスレッドレベル及びマルチプロセスレベルにおける監視・補完プログラムの開発とソフトウェアレベルの障害検知システム開発を行った。

1-1-2 マルチスレッドレベルにおける監視・補完プログラムの開発

デュアル PC システムが導入される実環境における検査システムを監視するプログラム(以下、インライン検査監視プログラム)を開発した。また、本デュアル PC システムが並列稼働しながらインライン検査監視プログラムの監視を行う監視・補完プログラム(以下、デュアル PC 監視・補完プログラム)の開発は、「1-1-4 ソフトウェアレベル障害検知システム(デュアル PC 監視・補完プログラム)の開発」で行った。デュアル PC システムの概略図を図 1 に示す。

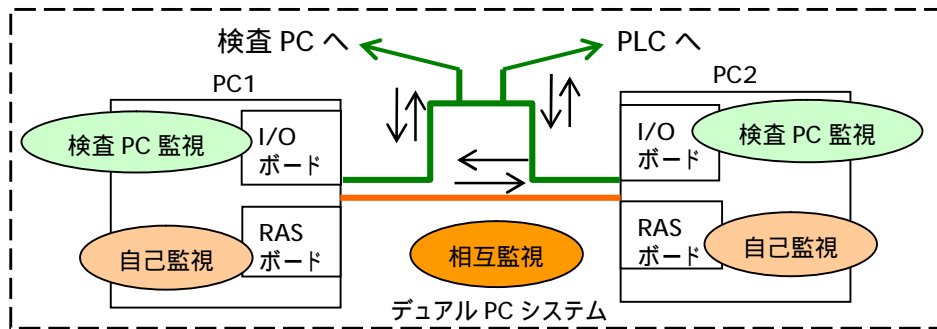


図 1 デュアル PC システム概略図

インライン検査監視プログラムは、デュアル PC 上で動作するアプリケーションプログラムであり、インライン外観検査システムに異常が発生した場合、PLC に対して異常を通知する。インライン外観検査システムには、T ヘッド工法鉄筋の寸法計測を行う第 1 検査システムと、3 次元画像処理検査を行う第 2 検査システムの 2 つがあり、両検査システムの監視を行う。

本プログラムの機能を以下に示す。

検査タイムアウトの検知 PLC から検査開始信号入力後一定時間経過しても検査 PC から検査終了信号が送信されなかった場合、PLC に対してエラーを通知する機能。

検査 PC 運転中の検知 検査 PC が運転中かを監視する機能。

検査エラーの検知 検査 PC からの送られてくる検査エラー信号を監視する機能。

タイムアウト検知用タイマー設定 タイムアウト監視時間を設定する機能。

検査モード変更機能 本プログラムが監視する検査モードを変更する機能。

1-1-3 マルチプロセスレベルにおける監視・補完プログラムの開発

当初、WindowsOS プロセスの監視・補完を目指していたが、WindowsOS プロセスを監視・補完せずとも、「1-1-2 マルチスレッドレベルにおける監視・補完プログラムの開発」で開発したプログラムを導入すれば十分な高信頼化が達成できる見通しを得たためマルチプロセスの開発は行わないこととした。

1-1-4 ソフトウェアレベル障害検知システム(デュアル PC 監視・補完プログラム)の開発

RAS システム拡張ボードにはウォッチドッグタイマーという、プログラムのハングアップを検知できる機能が搭載されている。この機能を利用し、一定時間ウォッチドッグタイマーへのアクセスがなければ異常として認識するプログラムの開発を行った。

当初はギガイーサ、デジタル I/O、RS-232C のいずれかを用いて、障害検知するための通信環境を構築する計画であったが、RAS システム拡張ボードに搭載されているデジタル I/O 機能を用いることで、効率よく当初の目的を果たすことができた。ただし、この機能を使用するには外部電源装置または入出力回路が必要となるため、本システム専用の中継装置を新たに開発した。開発した RAS ボード中継装置の外観を図 2 に示す。

また、RAS システム拡張ボードの仕様に合わせて、障害発生時に信号を発するという仕様となったが、デュアル PC システムの生存を常時確認する必要があるため、デジタル I/O を介して定期的にシステム稼働(運転中)信号を中継する機能も構築した。

本システムでは、RAS システム拡張ボードが自己 PC の異常を検知すると、対となる PC へ障害発生信号を



図 2 RAS ボード中継装置

送信する。これにより、自己 PC だけでなく、他 PC の相互監視を実現させた。

デュアル PC システムの RAS システム拡張ボード信号線接続図を図 3 に示す。

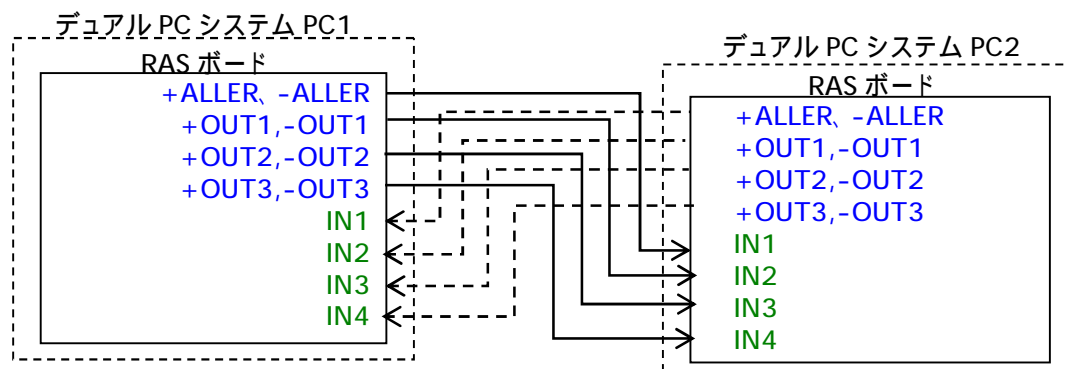


図 3 RAS システム拡張ボード信号線接続図

1-1-5 まとめ

RAS システム拡張ボードのウォッチドッグタイマー機能を利用することにより、インライン検査監視プログラムを監視する機能を確立することができた。

1-2 ハードウェアによる監視・補完技術の開発

公立大学法人岩手県立大学ソフトウェア情報学部准教授

佐々木 淳

1-2-1 はじめに

ハードウェアレベルによるデュアル PC システム開発では、RAS システム拡張ボードによる監視・補完プログラム開発と障害検知システム開発を行った。

1-2-2 RAS システム拡張ボードによる監視・補完プログラム・システムの開発

RAS システム拡張ボードには異常を検知した際に異常発生を外部に通知するラッチングリレー信号（正常稼働時には信号を送出し続け、障害発生時に信号を途絶させる信号）が備わっており、その信号の有無により、PC の状態を判断することができる。このラッチングリレー信号は、RAS システム拡張ボードが障害を検知した場合のみ変化する信号であるため、後述のハードウェアレベルの障害検知へ組み込むこととした。

なお、ラッチングリレー信号が途絶される条件は以下の通りである。

- ウォッチドッグタイマーエラーの発生
- PC 内部温度上昇
- PC 電源断

RAS システム拡張ボードが持つ監視機能としては、上記の通りウォッチドッグタイマー、PC 内部温度、外部電源断の 3 つの機能であるが、本システムでは PC 内部温度の監視機能を利用することとした。本機能は、挿入される RAS システム拡張ボードの周辺温度を検知するものであることがわかったため、PC の内部温度を計測するものとして扱うこととした。

PC 電源断については、別途導入する UPS（無停電電源装置）が検知するため、本システムでは取り扱う必要がなかった。

ウォッチドッグタイマーについては、検査用アプリケーションプログラムの中にタイマリセット用信号を発信させる必要があるため、ハードウェア監視・補完には用いず、前述の「1-1 ソフトウェアによる監視・補完技術の開発」で利用することとした。

1-2-3 ハードウェアレベル障害検知システムの開発

RAS システム拡張ボードが持つ監視機能のうちラッチングリレー信号（以下、ALLER 信号）は、前述のいずれかの障害が発生した際に信号を自動通知する機能を有している。そこで、2 台の PC と PLC の間に新開発の論理出力装置を設け、その論理出力装置が ALLER 信号の途絶を検知することで、PC のハードウェア障害として検知することとした。開発した論理出力装置の外観を図 1 に示す。また、論理出力装置はこの信号を基に正常稼働している PC を判断し、正常稼働している PC のインライン検査監視プログラムから送られてくる信号を最終出力信号として PLC に出力する。



図 1 論理出力装置

1-2-4 まとめ

ハードウェアレベルの障害検知システムは、RAS システム拡張ボードが自動的に出力する ALLER 信号と論理出力装置の組み合わせにより実現させた。

1-3-1 はじめに

岩手県立大学が行った「1-1 ソフトウェアによる監視・補完技術の開発」、「1-2 ハードウェアによる監視・補完技術の開発」について、デュアルPCシステムに実装して評価(以下、単体試験と呼ぶ)を行った。単体試験は「フェールシステム検証装置一式」(フェールシステム検証用 PC2 台、RAS ボード中継装置、論理出力装置)を岩手県立大学に設置し、想定されるシステムダウンを意図的に発生させ、システム動作、信頼性を評価した。

単体試験の結果によりシステムの一定の信頼性が得られたため、「フェールシステム検証装置一式」を第一高周波工業株式会社に設置し、インライン外観検査システムおよび実機(T ヘッド工法鉄筋加工ライン)を結合して総合評価(以下、結合試験と呼ぶ)を行った。

1-3-2 システム評価結果

システムの評価は、インライン検査監視プログラムおよびデュアルPC監視・補完プログラムについて行った。単体試験(岩手県立大学においての評価)

図 1 のように、「フェールシステム検証装置一式」、検査 PC および PLC 信号擬似発生装置、リレー回路を接続し、信号擬似発生装置からの信号を用いて試験を行った。

単体試験の結果、すべての機能において正常な動作であり、デュアルPCシステム単体としては目標を達成できた。

また、汎用 PC の MTBF (平均故障間隔) = 30,000 時間(約 3 年間に 1 日修理)、MTTR (平均修理時間) = 24 時間とし、予備検査用 PC と 1 時間以内に交換できると仮定して試算した結果、デュアル PC で監視・補完するシステムは、監視・補完のないシステムと比べて検査システム全体の不稼働率が 24 分の 1 になることがわかった。

このことから、本計画で目標としていた MTBF から、信頼性が 24 倍高くなることが推測される。

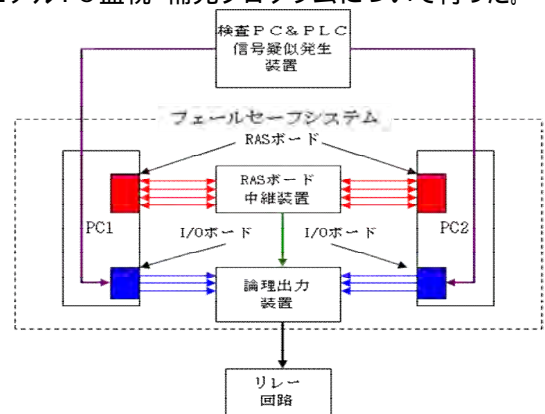


図 1 単体試験システムの構成

結合試験(第一高周波工業株式会社に於ける評価)

図 2 のように、「フェールシステム検証装置一式」、検査 PC、PLC、リレー回路を接続し、実際の稼働状態を想定しての試験を行った。

結合試験では、単体試験と同様にデュアル PC 正常稼働、デュアル PC 片系稼働、デュアル PC 全停止、検査途中のデュアル PC 切り替えの試験を行ったが、正常に動作しなかった項目があった。この原因と対策について以下のように考察を行った。

第 1 検査タイムアウトを検知できない

原因: PLC からの回転位置決め信号の入力時間が想定していたよりも短かったため、インライン外観検査監視プログラムが信号を検知できなかったのが原因である。

対策: インライン外観検査監視プログラムでは、入力信号の検知をポーリングで行っているが、これを割り込み型にすることで信号検知の取りこぼしなくなり、解決することができる。

エラー信号検知不能

原因: 検査 PC からエラー信号が送出されていないのが原因であった(検査システム側の原因)。

対策: インライン外観検査システム側からエラー信号を出力するよう修正することで解決可能である。

インライン外観検査監視プログラムのフリーズ・システムダウン

原因: インライン外観検査監視プログラムで、メモリ解放をしていないケースが発生したこと、ポーリングの速度を限界まであげたことが原因と考えられる。

対策: 信号検知を割り込み型に変更するとともに、メモリの解放の漏れが発生しないように変更を行うことで解決すると考えられる。

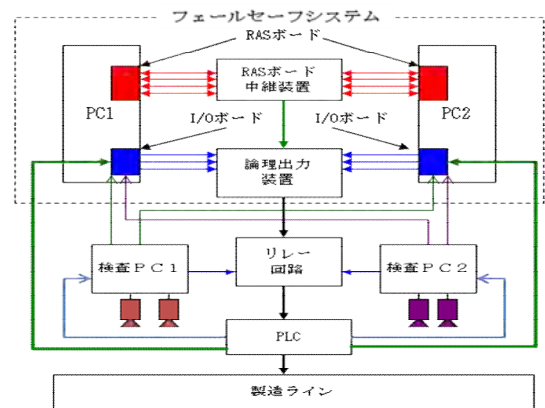


図 2 結合試験システムの構成

1-3-3 まとめ

単体試験および結合試験において、開発したデュアル PC 監視・補完プログラムが機能を満たしていることが確認できた。結合試験において正常に動作しない項目があったが、その後この不具合に対する対策の見通しを立てた。この対策を通して、プログラム設計留意点、設置環境事前調査・準備等、システム導入にあたり必要なノウハウを得ることができた。

2 赤外線による外観検査システム開発

2-1 常温検査用トレーサビリティシステムの開発

有限会社イグノス 大和田 功、寒川 陽美、高地 映里、長谷川 誠、吉清水 智樹

2-1-1 はじめに

現在の T ヘッド工法鉄筋検査は、ノギスや専用治具を使った抜き取り検査であり、すべてのデータが数値化されていない。本研究開発内容のインライン外観検査システムの精度検証を行う際に、その検査基準として必要となる常温検査用トレーサビリティシステムの開発を行った。

2-1-2 測定精度確保のための、照明・レンズシステム最適化開発

従来の測定精度優先の透過照明を使用した場合、本研究開発対象である T ヘッド工法鉄筋のような金属棒状形状では、照明光線の表面ハレーション、照明光線の回り込みや T ヘッド工法鉄筋の厚さ方向の焦点深度が確保できずピンボケした場合の測定形状変化などの問題が発生する。これらの課題を解決するために、照明光線のハレーションや回り込みを防ぐことができる透過照明用フィルターの選定、撮影条件が変わっても測定形状が変化しにくい最適なレンズの選定を行い、常温検査用トレーサビリティシステムの測度精度を確保するための、照明・レンズの最適化を図った。

(1) レンズの選定

レンズの最適化を行うにあたり、T ヘッド工法鉄筋とカメラ間の距離(ワークディスタンス)を変え、それに合わせたレンズで撮影して画像の比較を行った。

この撮影を行った結果、ワークディスタンスを短くした場合に T ヘッド工法鉄筋の端部が写っていない事がわかった。これは T ヘッド工法鉄筋のような棒状で高さがある物体を撮影する場合、ワークディスタンスを短くすると図 1 のように、カメラの画角内に端までが入りきれないためと考えられる。また、ワークディスタンスが短いほど被写界深度が浅くなるため、ピンボケがやすくなる。

ワークディスタンスを長くして、T ヘッド工法鉄筋端部まで撮影できるように、視野が狭くワークディスタンスを長くできる望遠のレンズ LD-50(ワークディスタンス 504 mm)を選択した。

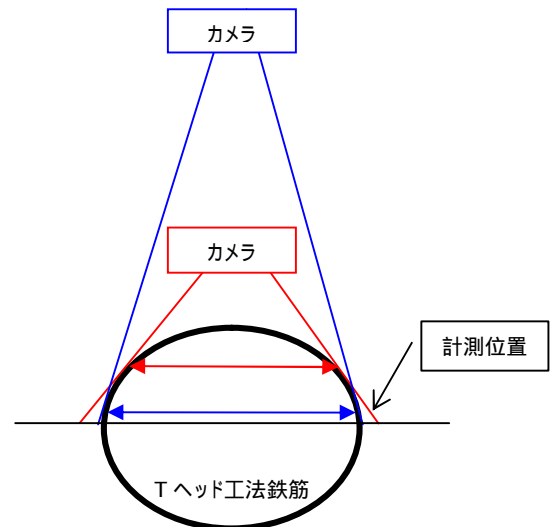


図 1 ワークディスタンスと撮影範囲

(2) ライトコントロールフィルムの選定

透過照明を使用して T ヘッド工法鉄筋を撮影する際の、照明光線の表面ハレーション、照明光線の回り込みを防ぐために、特定方向における光の拡散を防ぎ、照明光の平行度を上げることができるライトコントロールフィルムの選定を行った。

ライトコントロールフィルムの効果を比較するために、2種類のライトコントロールフィルムを2枚ずつ使って T ヘッド工法鉄筋の撮影を行った。ライトコントロールフィルムの構造を図 2 に示す。通常、光源からは広い角度範囲で光が出ているが、ライトコントロールフィルムを通すことで、決められた角度範囲のみ光が通り、それ以外の角度方向の光を抑えることができる。今回の撮影では、光が通る角度範囲が 60 度と 90 度のライトコントロールフィルム 2 種類を使用した。

図 3 のようにライトコントロールフィルムを設置し、60 度を1枚、60度を2枚、90度を1枚、90度を2枚そしてライトコントロールフィルムなしの5通りの方法で撮影を行った。

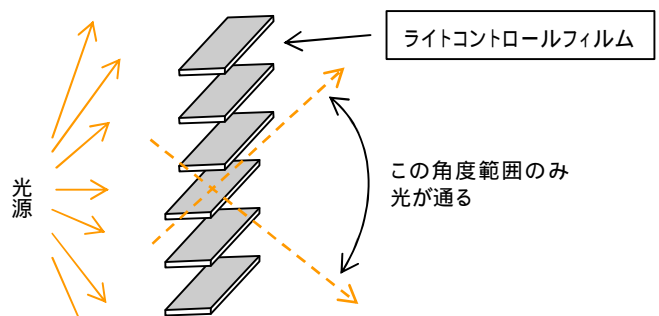


図 2 ライトコントロールフィルムの構造

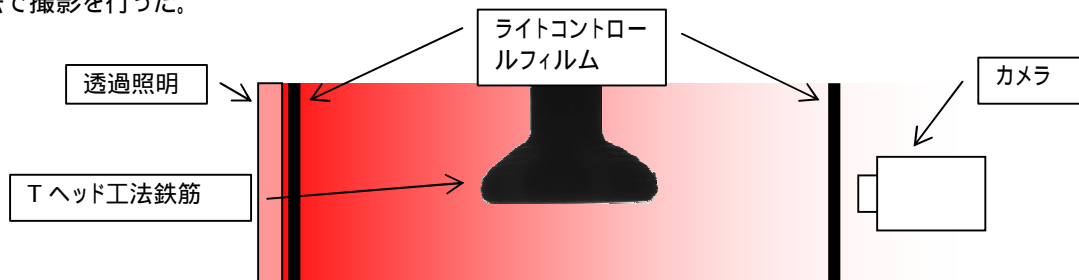


図 3 ライトコントロールフィルムの設置方法

撮影した T ヘッド工法鉄筋を、「2-1-3 サブピクセルエッジ検出測定画像処理技術の開発」のアルゴリズムを使って計測を行い、ノギスの計測値と比較した。その結果ノギスの計測値との差分が一番小さかったのは、ライトコントロールフィルム(90)を2枚使う撮影方法であったため、常温検査用トレーサビリティシステムではこれを採用する。

(3)遮光板による環境光の遮断

(2)で選定したライトコントロールフィルムを使用することにより、照明自体の光の回り込みはある程度解決できたが、他にも図4のように、蛍光灯などの環境光の写り込みが発生することがわかった。これを解決するために、遮光板を製作してレンズの周りに取り付け、環境光を遮断するようにした。遮光板を使用することにより、図5のように、環境光の影響を受けずに撮影することができた。

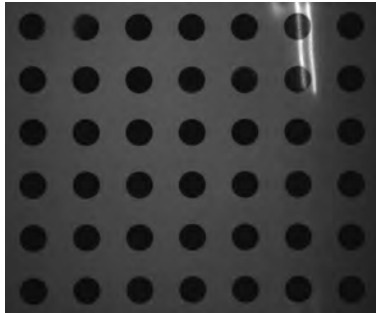


図4 環境光が写り込んだ画像

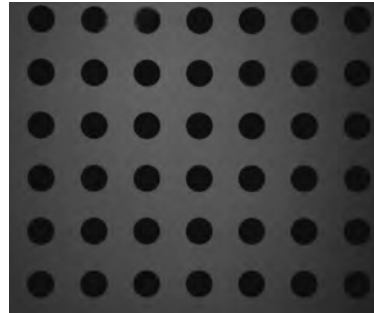


図5 遮光板を使用して撮影した画像

2-1-3 サブピクセルエッジ検出測定画像処理技術の開発

(1)画像処理ライブラリを使ったサブピクセルエッジ検出測定画像処理

常温検査用トレーサビリティシステムは、インライン外観検査システムの精度検証を行う際の検査基準となることから、高い精度が求められる。これを達成するために、サブピクセルエッジ検出測定画像処理が可能な MIL 版(撮影&画像処理装置 測定基準機検討用・赤外線検査装置設置検討用 MIL 版)と HALCON 版(撮影&画像処理装置 測定基準機検討用・赤外線検査装置設置検討用 HALCON 版)という2つについて検討および計測用プログラムの開発を行った。

図6で示した3箇所について MIL 版と HALCON 版で計測を行い、の拡径部径(D0)についてはノギス計測値との比較を行う。

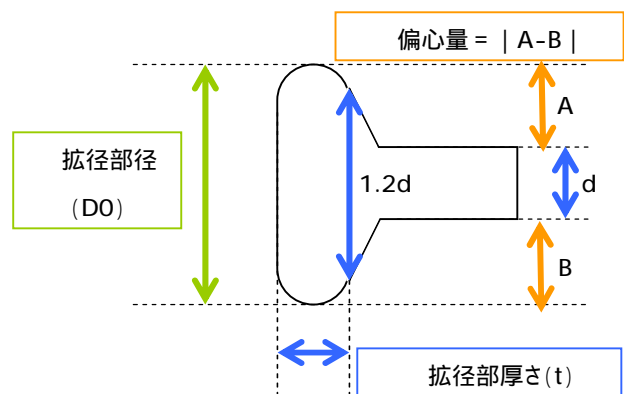


図6 T ヘッド工法鉄筋の計測箇所

この計測プログラムで、D13とD19という2つのサイズの T ヘッド工法鉄筋を計測し、拡径部のノギス計測値との比較を行った結果を表1に示す。

表1 拡径部のノギス計測値との比較(単位:mm)

		ノギス	MIL	ノギス - MIL	HALCON	ノギス - HALCON
D19	0度	50.33	49.549	0.781	49.554	0.776
	90度	49.1	48.223	0.877	48.171	0.93
D13	0度	33.74	32.595	1.146	32.397	1.343
	90度	33.03	31.959	1.071	31.699	1.332

この結果、HALCON 版と MIL 版に大きな差は見られなかったため、今回の開発は、画像処理での計測技術において有限会社イグノスでの経験が豊富な MIL 版を使って行うこととした。

(2)キャリブレーションバーによる補正と実測値補正

前項のサブピクセルエッジ検出測定画像処理プログラムにより T ヘッド工法鉄筋を計測した値と、ノギスで計測した実測値との差を縮めるための補正技術を開発した。

キャリブレーションバー(擬似的な T ヘッド工法鉄筋)のプログラムでの計測値と実測値から補正値を求め、その値による補正を行った。また、T ヘッド工法鉄筋の計測値と実測値からも補正値も求め、その値による補正を行った。さらに、両方の組み合わせによる補正も行った。

この結果、「キャリブレーションバー補正 + 実測値補正」という組み合わせが、一番差分が小さかったため、常温検査用トレーサビリティシステムでは、2つの補正の組み合わせで補正を行うこととした。

2-1-4 常温検査用トレーサビリティシステム搬送装置制御・結果集計プログラムの開発

常温検査用トレーサビリティシステムでは、Tヘッド工法鉄筋の回転方向数箇所断面を計測するため、図7のようなTヘッド工法鉄筋を任意の方向に回転できる測定基準用搬送装置を導入した。

この搬送装置でTヘッド工法鉄筋を任意の方向に回転しながら、所定の角度で撮影し、撮影画像を「2-1-2 測定精度確保のための、照明・レンズシステム最適化開発」および「2-1-3 サブピクセルエッジ検出測定画像処理技術の開発」の技術をもって測定し、測定結果を集計するプログラムを開発した。図8に常温検査用トレーサビリティシステムの実行画面を示す。



図7 測定基準用搬送装置



図8 常温検査用トレーサビリティシステム実行画面

常温検査用トレーサビリティシステムで、Tヘッド工法鉄筋(D13)56本を計測した結果を表2に示す。

表2 Tヘッド工法鉄筋(D13)56本計測結果(単位:mm)

	トレーサビリティシステム計測値		実測値(ノギス計測値)	
	0度	90度	0度	90度
平均	32.949	33.010	33.110	33.171
最大	33.496	33.368	33.570	33.560
最小	32.425	32.637	32.650	32.720
最大-最小	1.071	0.731	0.920	0.840
標準偏差	0.232	0.160	0.207	0.178

Tヘッド工法鉄筋56本母集団における測定バラツキの標準偏差では、0度および90度の各測定において、トレーサビリティシステム計測値および実測値(ノギス計測値)各々のバラツキがほぼ同等であることから、トレーサビリティシステムの機能性は評価できたものとする。

また、今回のデータ数は実験時間の制約上からサンプル数が限られたこともあり、実用化に向けての判定基準値の精度向上を図るためには、個別サンプル毎のトレーサビリティシステムの計測値と実測値(ノギス計測値)間での統計的計数整理を含めた、更なる実験データ収集の継続が必要である。

2-1-5 まとめ

レンズやワークディスタンスの最適化、照明フィルターの最適化、環境光遮断構造の採用により、撮像される画像の、特に輪郭部の安定化を図る技術を確立することができた。

今後はさらに実験データを積み重ね、測定バラツキの検証を行い、実用化に向けての判定基準値の精度向上が要求される。

2-2 赤外線放射線量補正画像処理技術の開発

有限会社イグノス 大和田 功、寒川 陽美、高地 映里、長谷川 誠、吉清水 智樹

2-2-1 はじめに

高温で赤熱状態にある熱間鍛造成形直後の T ヘッド工法鉄筋をモノクロカメラで撮影すると、赤外線と可視光線が同時に写り、寸法計測に適した画像を得ることができない。そこで、特定の波長の光を遮断するフィルターや赤外線カメラを用いた撮影実験を行い、赤熱時の T ヘッド工法鉄筋画像処理検査に適した条件の検討を行った。この検討結果を元に、インライン外観検査システム(インライン第 1 検査システム)を開発した。

2-2-2 赤外線放射量と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発

T ヘッド工法鉄筋のインライン外観検査では、熱間鍛造成形直後に赤熱状態で、「2-1-3 サブピクセルエッジ検出測定画像処理技術の開発」(15 ページ)図 6 の ~ の箇所を計測する。しかし、モノクロカメラでは、赤熱時のものが常温時より膨張して写ることがわかったため、撮影実験を行い赤熱時形状の撮影に適した条件の調査を行った。

まず、カメラ感度比較実験とフィルター選定予備実験を行い、カメラとフィルターの候補を選定し、次にフィルター選定撮影実験で T ヘッド工法鉄筋を撮影し、フィルターの候補の中からインライン外観検査の撮影条件を決定した。

(1)カメラ感度比較実験

カメラ感度比較実験では、擬似発熱体を赤外線カメラとモノクロカメラで撮影し、温度の上昇による撮影画像の変化の比較を行った。表 1 に示すように、赤外線カメラはおおむね 100 万画素、モノクロカメラはおおむね 200 万画素の解像度の機種を選定した。また、赤外線カメラの分光感度特性を図 1、モノクロカメラの分光感度特性を図 2 に示す。レンズの倍率は両カメラが同じ視野サイズになるよう設定し、絞りを固定した。撮影には「撮影&画像処理装置 赤外線検査装置設置検討用ルネサス版」を使用した。

表 1 カメラ感度比較実験に使用したカメラ

種類	画素数	メーカー・型式
赤外線カメラ	1280×1024(130万画素)	INTEVAC NIR
モノクロカメラ	1600×1200(200万画素)	SONY XCL-U1000

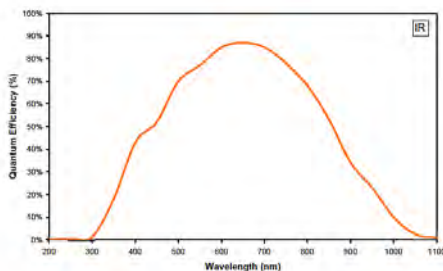


図 1 赤外線カメラの分光感度特性

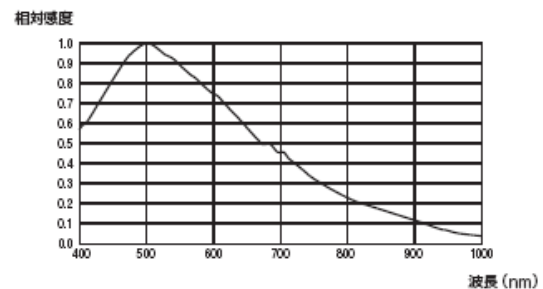


図 2 モノクロカメラの分光感度特性

カメラ感度比較実験で撮影した画像から、特定の範囲の内の輝度値平均を求めた結果を図 3 に示す。擬似発熱体が 130 付近になると近赤外線を発し、赤外線カメラで撮影できた。200 を超えた赤熱状態では可視領域の光を発し、モノクロカメラでも撮影が可能になった。このことから、赤熱状態では赤外線カメラとモノクロカメラのどちらでも撮影が可能であることがわかり、画素数がより多く、価格の安いモノクロカメラを選定した。

ここでの温度は、擬似発熱体の端の部分の温度を表している。

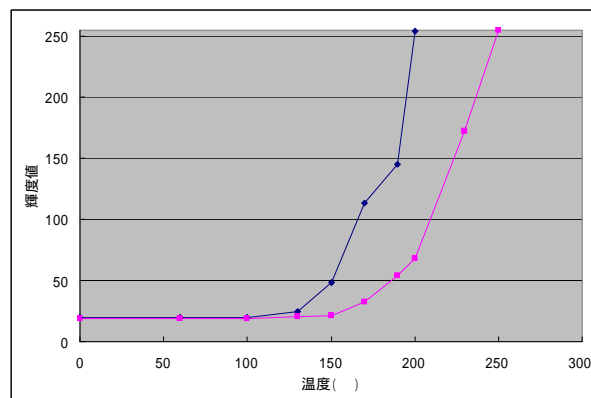


図 3 輝度値平均(:赤外線カメラ、 :モノクロカメラ)

(2)フィルター選定予備実験

フィルター選定予備実験では、Tヘッド工法鉄筋の代わりに擬似発熱体を用い、表3のフィルター21種類を使用して撮影した。カメラ位置やレンズを固定し、フィルターのみ変更して撮影を行った。使用した21個のフィルターと、撮影した画像内の擬似発熱体の幅を計測した結果を表2に示す。

表2 フィルター選定予備実験使用フィルターと、撮影した擬似発熱体の幅

番号	名称	概要	計測値(pixel)	差分(pixel)
1	近赤外線カットフィルター	約750~1100nmを反射	31.480	1.340
2	プラスチックIRパスフィルター	約750~1100nmを透過	41.260	11.120
3	広帯域干渉フィルター	中心波長500nm、幅80nmを透過	なし	なし
4	広帯域ホットミラー	750~1750nmを反射	31.490	1.350
5	ダイクロイックフィルターR	R波長を透過	41.630	11.490
6	ダイクロイックフィルターG	G波長を透過	38.290	8.150
7	ダイクロイックフィルターB	B波長を透過	40.540	10.400
8	ダイクロイックフィルターC	C波長を透過	38.140	8.000
9	ダイクロイックフィルターM	M波長を透過	39.280	9.140
10	ダイクロイックフィルターY	Y波長を透過	41.740	11.600
11	ダイクロイックミラー赤	640~750nmを反射、400~595nmを透過	32.270	2.130
12	ダイクロイックミラー緑	520~550nmを反射、600~800nmを透過	41.080	10.940
13	ダイクロイックミラー青	400~475nmを反射、530~800nmを透過	43.400	13.260
14	近赤外用NDフィルター	光学濃度1.0、近赤外700~1100nmを減衰	31.900	1.760
15	バンドパスフィルターIR	熱光IRを透過	38.080	7.940
16	ガラス偏光フィルター	可視域400~700nmを減衰	39.630	9.490
17	広帯域干渉フィルター	中心波長700nm、幅80nmを透過	31.660	1.520
18	近赤外用NDフィルター	光学濃度3.0、近赤外700~1100nmを減衰	なし	なし
19	近赤外用ガラス偏光フィルター	750~850nmを減衰	37.710	7.570
20	近赤外用ガラス偏光フィルター	1000~2000nmを減衰	33.770	3.630
21	位相差フィルム1/2λ	直線偏光に1/2λの位相差を与える	51.550	21.410

「差分」は常温時フィルター不使用の計測値30.14との比較
番号3および18は、撮影画像の輝度が低く計測できなかった

フィルター選定予備実験の結果から、計測値が常温時の値に近く、輪郭がより明瞭な近赤外線カットフィルター(番号1)を選定した。また、比較検討のため、近赤外線カットフィルター(番号1)が約750~1100nmを反射するのに対して、その波長範囲を透過するプラスチックIRパスフィルター(番号2)と、より低い波長750~850nmを減衰する近赤外用ガラス偏光フィルター(番号20)の合わせて3種類を、フィルター選定撮影実験用として選定した。

(5)フィルター選定撮影実験

フィルター選定撮影実験では、最もTヘッド工法鉄筋の寸法に適した画像を得られるフィルターを選定するために、フィルター選定予備実験で選んだフィルター3種類を使用して、実際に熱間鍛造成形直後のTヘッド工法鉄筋の撮影を行い、画像の比較を行った。図4に撮影画像を示す。

フィルター選定撮影実験の結果、近赤外線カットフィルター(番号1)が、赤熱状態にある拡径部および常温状態の鉄筋部の形状を最も明確に撮影できたため、インライン外観検査で使用することとした。



図4 フィルター選定撮影実験の撮影画像

2-2-3 Tヘッド工法鉄筋品目と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発

前項の検討結果を元に、モノクロカメラと近赤外線カットフィルターを使用し、レンズ絞りを変えることで赤外線量を調節し、寸法計測に適した画像を得られるような条件を調査した。

(1)撮影実験

Tヘッド工法鉄筋の寸法計測に適した絞りを調べるために、撮影実験を行った。撮影条件はフィルター選定撮影実験と同様で、フィルターは近赤外線カットフィルターを使用し、絞りのみ変更した。

(2)撮影実験結果

図5に撮影画像に対する閾値検討結果を示す。撮影した画像から拡径部と鉄筋部の両方を2値化で抽出できる閾値を検討すると、レンズ絞り調整目盛り F2 では鉄筋部と拡径部の輪郭を得ることができた。レンズ絞り調整目盛り F4 と F8 では背景と鉄筋部分の輝度が近いため、両側の輪郭を得ることができなかった。また、拡径部は表面のムラが写るため、輪郭が抽出できなかった。

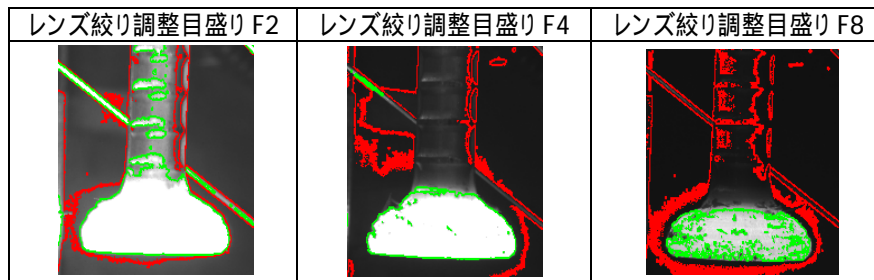


図5 閾値検討結果画像(: 拡径部の抽出、 : 鉄筋部の抽出)

(3)インライン第1検査システムの設計・開発

「2-2-2 赤外線放射量と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発」および前項の検討に基づき、インライン第1検査システムを開発した。システム構成を図6に示す。「2-1 常温検査用トレーサビリティシステムの開発」の検討をもとに、画像処理ライブラリはMIL版を使用した。

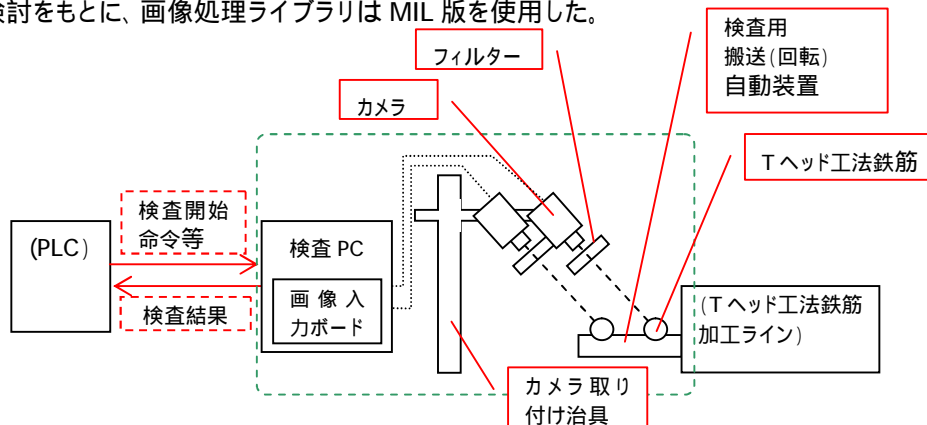


図6 インライン第1検査システム構成

(4)インライン第1検査システムの試験

インライン第1検査システムを実際に加工ラインに設置し、計測のテストを行った。計測結果を表3に示す。

表3 インライン第1検査システムの計測結果(D13)-サンプル数20本

番号	0度			90度		
	D0	t	偏心率	D0	t	偏心率
最小	33.238	12.619	0.002	32.313	12.476	0.033
最大	34.591	15.898	3.459	33.950	14.971	2.376
範囲	1.353	3.279	3.457	1.637	2.495	2.343
平均	33.797	13.909	1.425	33.363	13.866	1.014
偏差	0.297	0.864	0.956	0.324	0.638	0.535

2-2-4 まとめ

赤熱状態のTヘッド工法鉄筋の寸法計測をするための撮影条件は、モノクロカメラと近赤外線カットフィルターの組み合わせが有効であった。また、レンズ絞りと画像処理閾値の組み合わせを検討し、インライン第1検査システムを開発した。収縮率補正機能は「2-3 形状収縮率補正技術の開発」で行った。

2-3 形状収縮率補正技術の開発

有限会社イグノス 大和田 功、寒川 陽美、高地 映里、長谷川 誠、吉清水 智樹

2-3-1 はじめに

インラインで熱間鍛造成形直後に T ヘッド工法鉄筋を寸法計測するため、「2-2 赤外線放射線量補正画像処理技術の開発」では、赤熱状態の T ヘッド工法鉄筋のための画像処理技術を開発した。しかし、T ヘッド工法鉄筋は赤熱状態から常温になると収縮するため、熱間鍛造成形直後に計測した寸法を補正し、収縮後の寸法を予測する必要がある。そこで、赤熱時と常温時の T ヘッド工法鉄筋を計測して収縮率を求めた。

2-3-2 計測データ

収縮率を求めるために、赤熱時と常温時の寸法を計測した。赤熱時の計測にはインライン第1検査システム(2-2)、常温時の計測には常温検査用トレーサビリティシステム(2-1)を用いた。

計測した値のうち、拡径部径(D0)の平均値を使用し、次式から収縮補正值を求めることとする。

$$\text{収縮補正值} = \text{赤熱時計測値} \div \text{常温時計測値}$$

常温時検査用トレーサビリティシステムの計測結果を表1に示す。インライン第1検査システムの計測結果は、「2-2-3(4)インライン第1検査システムの試験」の表3参照のこと。

表1 常温時トレーサビリティ計測結果(D13)-サンプル数20本

番号	0度			90度		
	D0	t	偏心率	D0	t	偏心率
最小	32.787	12.072	0.17	32.122	0.69	0.065
最大	34.398	18.296	3.02	33.979	14.534	1.93
平均	33.583	13.167	1.157	33.089	12.754	0.678

上記結果からさらに0度と90度の平均を求め、その平均値から収縮補正值を求めた。計算結果を表2に示す。

表2 常温時と赤熱時の平均と収縮率の計算結果

	常温時	赤熱時
0度と90度の平均	33.336	33.580
収縮率の計算	33.580 ÷ 33.336 1.007	

(赤熱時は、P18「表3 インライン第1検査システムの計測結果(D13)-サンプル数20本」の計測結果)

2-3-3 まとめ

赤熱時と常温時の T ヘッド工法鉄筋を計測して収縮率を求めたところ、拡径部径(D0)の収縮率は1.007であった。これは、常温時と赤熱時の温度差を900として、T ヘッド工法鉄筋の主原料である鉄の熱膨張係数 11.5×10^{-6} から計算した収縮率1.01035という理論値と近い値であった。

2-4 赤外線カメラ・レンズ適合製品の開発

有限会社イグノス 大和田 功、寒川 陽美、高地 映里、長谷川 誠、吉清水 智樹

2-4-1 はじめに

T ヘッド工法鉄筋のインライン外観検査システムでは、カメラの高速と高解像度、および赤熱状態の T ヘッド工法鉄筋を形状認識できるレンズの偏光作用機能が必要である。これらの条件を低コストで実現できるよう、市販のカメラやレンズフィルターの組み合わせについて検討を行った。

2-4-2 高速・高解像度の画像処理プログラムの開発

計画当初は、赤外線カメラによって赤熱状態の T ヘッド工法鉄筋形状を撮影し、市販の赤外線カメラでは達成できない高解像度(200万画素程度)を満たすため、サブピクセル精度プログラムを開発する計画であった。しかし、「2-2-2 赤外線放射線量と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発」での検討の結果、赤外線カメラとモノクロカメラの感度相関式を得ることができたため、市販の200万画素モノクロカメラをシステムに採用することとした。

2-4-3 低コスト化のための量産適合カメラの開発

「2-2 赤外線放射線量補正画像処理技術の開発」にて構築したインライン第1検査システムでは、モノクロカメラを使用したが、低コスト化を図るために、さらに安価なカメラで代用することが可能であるかを評価した。

(1)低コストカメラ性能評価実験

性能評価をするため、CameraLink方式とUSB方式の2種類の低コストカメラで、擬似発熱体を撮影し、温

度の上昇による撮影画像の変化を比較した。表 1 に各カメラの仕様と撮影条件を示す。「2-2-2(1)カメラ感度比較実験」での計測結果と比較するために、レンズ倍率と絞りを同じ設定にした。撮影には「撮影 & 画像処理装置 赤外線検査装置設置検討用ルネサス版」を使用した。図 1 にモノクロカメラと比較カメラの分光感度特性を示す。

表 1 低コストカメラ性能評価実験に使用したカメラと撮影条件

種類	参考価格	画素数	倍率	ワークディスタンス
モノクロカメラ	336,000 円	1600×1200	0.1	325mm
比較カメラ 1 (CameraLink)	110,000 円	1620×1236	0.1	325mm
比較カメラ 2 (USB)	84,000 円	1600×1200	0.1	325mm

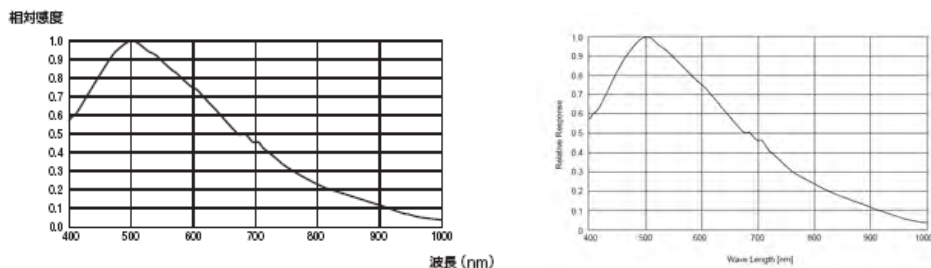


図 1 分光感度特性(左:モノクロカメラ、右:比較カメラ 1、2 共通)

各撮影画像から固定領域内の平均輝度を求めた結果を図 2 に示す。図 1 の分光感度特性はモノクロカメラと比較カメラでほぼ同じであるが、図 2 から絶対的な感度は比較カメラのほうが低いことがわかる。また、比較カメラは実験中に取り込みに数秒かかることがあり、通信速度に問題があった。従って、インライン第 1 検査システムでは低コストカメラへの変更を行わなかった。

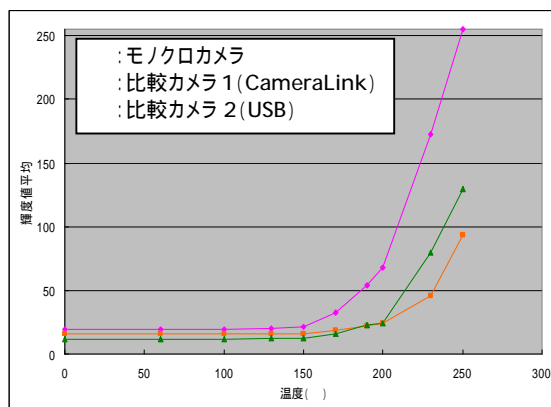


図 2 輝度値平均のグラフ

2-4-4 レンズ適合製品開発

計画当初は赤外線を撮影することで赤熱状態の T ヘッド工法鉄筋を検査し、本節では赤外線直進成分を偏光するフィルターフィルムを開発する計画であった。しかし、「2-2-2 赤外線放射量と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発」で、赤熱状態の形状認識には撮影時透過する赤外線を調整することが有効だとわかり、市販の近赤外線カットフィルターを使用することとした。

2-4-5 まとめ

「2-2-2 赤外線放射量と形状測定用画像処理閾値補正技術の開発」で、近赤外線カットフィルターとモノクロカメラを選定したため、解像度 200 万画素という目的が達成できた。また、このことは検査システム構築費用の軽減へ効果を及ぼすものである。

2-4-6 「2 赤外線による外観検査システム開発」の目標への見解

「2 赤外線による外観検査システム開発」においては、インライン外観検査システム導入の目標として、生産から出荷までのリードタイム現状比 20%短縮、管理費 20%削減、製造直接人件費 50%削減を目指しているものである。

今回の本システムの実証実験の実施にあたっては、研究開発期間中に第一高周波工業株式会社における「T ヘッド工法鉄筋」の生産工場が移転することとなり、また、これに伴う同社の過密な生産日程などの影響もあり、この実証実験の回数が制約されるなど日程的に非常に窮屈な中での実施となった。このことから、生産から出荷までのリードタイム現状対比関連のデータ収集が困難であったが、この「2 赤外線による外観検査システム開発」の項目での成果報告から推測し、その実用化において、本システムの導入を前提とした生産システムを構築することで、この目標の達成が十分可能と判断しているものである。

3 大容量高速 3 次元撮影・画像処理システム開発

3-1 3 次元計測用データ変換アルゴリズムの開発

有限会社イグノス 大和田 功、寒川 陽美、高地 映里、長谷川 誠、吉清水 智樹

3-1-1 はじめに

3 次元データはデータ量が多くなり、システム構築においてメモリーを多く必要とするため、測定範囲または解像度に制約が発生してしまう。この問題を解決するため、データ量を縮小しながら精度を維持できる 3 次元計測用データ変換アルゴリズムの開発を行った。

3-1-2 変局点データ補完、サブピクセルデータ補完アルゴリズムの開発

当初は、3 次元データ線データに変換して変曲点のみデータとし、さらに分解能を下げて、サブピクセル単位で補完することでデータ数の大幅削減可能とするアルゴリズムを開発する計画であった。これは膨大な容量となる 3 次元データを圧縮することが目的であった。その後、専門分野の資料調査・分析を進めた結果、サブピクセルデータ補完アルゴリズムの開発に比べて、TIFF (Tag Image File Format) 形式の画像ファイルフォーマットを利用し、独自のファイル構造を設計することが、より効率的にデータ容量の大幅な縮小が可能となることがわかった。

TIFF 形式の 3 次元計測用データは、ステレオビジョン法と光切断法の両 3 次元計測システムで共通に扱えるように設計し、高さ情報を輝度値として格納し、さらに拡張情報として xyz スケールを保持させた。図 1 に 3 次元計測用データのファイル構造を示す。

TIFF ヘッダ (バイトの順序、TIFF ファイル識別文字、TIFF ディレクトリのオフセットバイト数)
TIFF ディレクトリ (画像の幅、画像の高さ、サンプルビット数、圧縮方式など)
画像データ (高さ情報を輝度値として格納)
拡張情報ディレクトリ (xyz スケール)

図 1 3 次元計測用データのファイル構造

3-1-3 3 次元計測システムの最適化

(1) ステレオビジョン法

2 つの異なる視角カメラから同一被写体を撮影し、2 つのカメラが撮影した視差から 3 次元計測を行う。図 2 がステレオビジョン法による 3 次元計測システム概念図である。

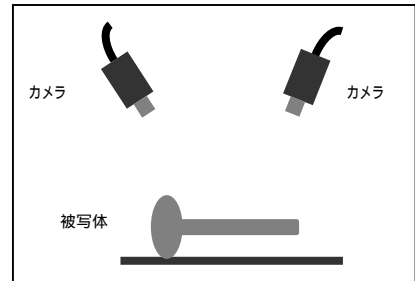


図 2 ステレオビジョン法による 3 次元計測システム概念図

高温状態の物体を 3 次元計測する為の光学フィルターとカメラ設定

光学フィルターを使用しない場合、高温状態部分が真っ白になり高温状態部分のテクスチャが消滅する(図 3)。これを回避するため、近赤外線カットフィルターを使用して高温状態部分の赤外線透過量を調整し、さらに、カメラの絞りをやカメラのシャッタースピードを変化させることで高温状態部分のテクスチャを取得でき、高温状態部分と非高温状態部分の両領域を 3 次元計測するための画像を撮影できる(図 3)。図 3 には光学フィルターを使用せず常温状態の T ヘッド工法鉄筋を撮影した画像を示す。

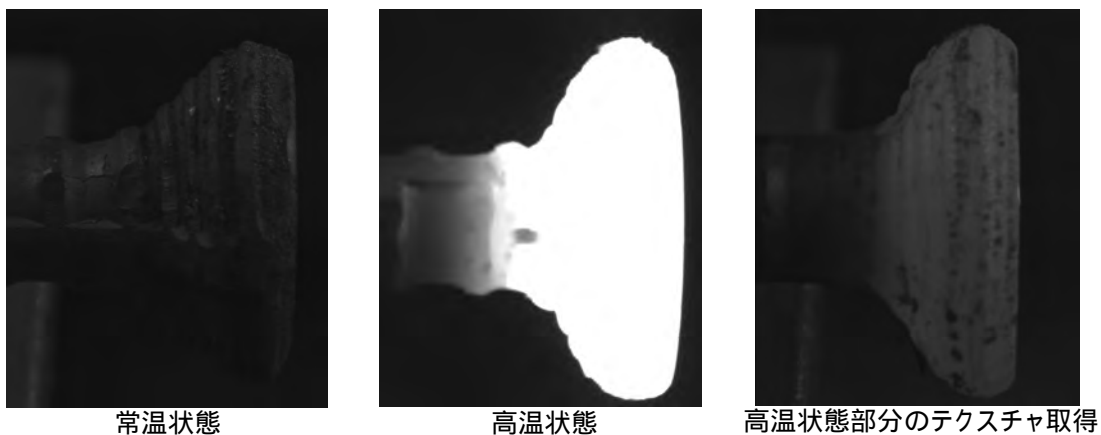


図 3 T ヘッド工法鉄筋撮影画像

インライン第2検査システムにおける3次元計測

図4にインライン第2検査システムにステレオビジョン法による3次元計測システムを組み込んだ実施風景を示す。近赤外線カットフィルターを使用し、2本の高温状態Tヘッド工法鉄筋の3次元計測を同時に行うようシステム配置を行った。カメラは右側が1、左側が2になるよう識別した。

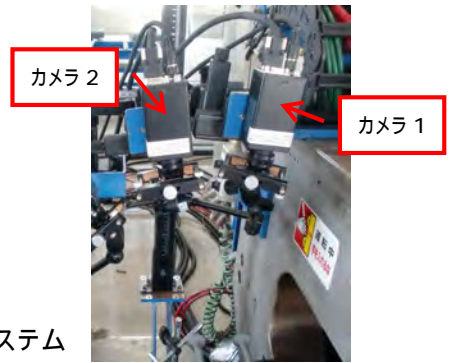


図4 インライン第2検査システムでの3次元計測システム

(2) 光切断法

被写体にラインレーザーを照射し、被写体を動かしながら任意の周期で撮影し、ラインレーザーの変化量を3次元データに変換して3次元計測を行う。図5が被写体の水平移動による光切断法3次元計測システムの概念図、そして、図6が被写体の回転による光切断法3次元計測システムの概念図である。

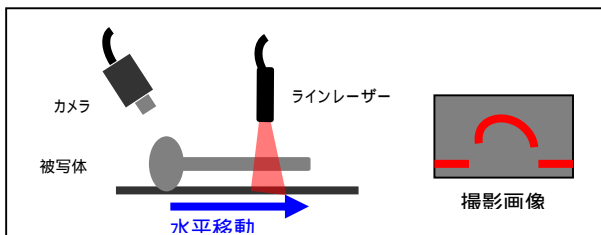


図5 水平移動による光切断法概念図

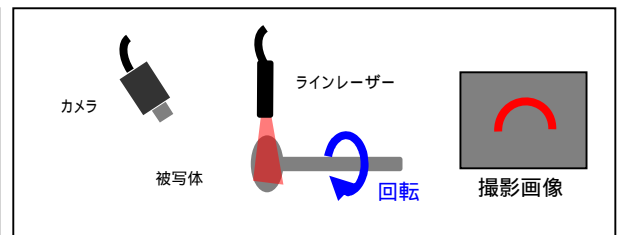
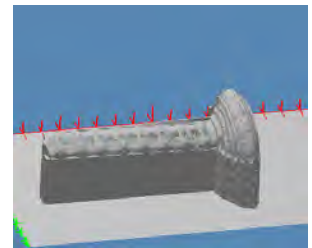


図6 回転による光切断法概念図

Tヘッド工法鉄筋の水平移動による3次元計測(図5の方法)

光切断法による3次元計測プログラムを作成し、ラインレーザー照射面上で常温状態Tヘッド工法鉄筋を水平移動させて3次元計測を行った3次元計測画像を図7に示す。

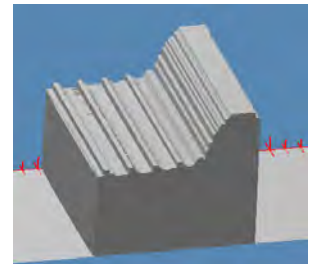
図7 水平移動による3次元計測画像



Tヘッド工法鉄筋の回転による3次元計測(図6の方法)

インライン第2検査システムに光切断法を組み込む場合には、回転する高温状態Tヘッド工法鉄筋にラインレーザーを照射し撮影をし、3次元計測することとなる。図8は常温状態Tヘッド工法鉄筋をラインレーザーの下に静止させた状態で行った3次元計測画像を示す。

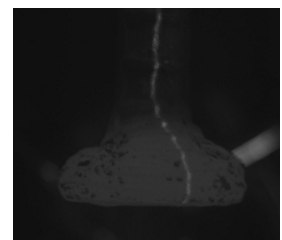
図8 回転による3次元計測画像



インライン第2検査システムへの光切断法組み込み

図9はインライン第2検査システムに光切断法を組み込み、高温状態Tヘッド工法鉄筋の撮影を行ったときの実施風景写真と、その撮影画像を示す。インライン検査への光切断法の組み込みは、現実的には困難であると判断した。

図9 高温状態Tヘッド工法鉄筋の光切断法による撮影画像



3-1-4 まとめ

3次元CADデータをTIFF形式の3次元計測用データに変換することで、データ量の大幅削減を行うとともに、ステレオビジョン法と光切断法の両3次元計測システムで共通に扱える3次元計測用データを設計することができた。また、インライン第2検査システムの3次元計測として光切断法を採用することを想定した場合、水平移動機構を設置しなければならないことに加えて、ラインレーザーの配置スペースに制約があるため、インライン第2検査システムではステレオビジョン法による3次元計測を採用した。

3-2 3次元差分画像処理アルゴリズムの開発

有限会社イグノス 大和田 功、寒川 陽美、高地 映里、長谷川 誠、吉清水 智樹

3-2-1 はじめに

従来、3次元データにおける画像処理は2次元平面画像処理多層化構造で処理していたため、処理時間が多くかかる問題があった。この問題を解決するため、3次元データ専用の3次元差分画像処理アルゴリズムの開発を行う(アルゴリズムについての概念図は、本成果報告書6ページを参照のこと)。

3-2-2 3次元形状マッチングによる3次元差分処理アルゴリズムの開発

3次元CADデータのフォーマットの1つであるSTL(Standard Triangulated Language)形式でTヘッド工法鉄筋の3次元形状登録テンプレートの元となるCADデータを作成した。STL形式は3次元形状を三角形の面の集合体で表すCADデータのフォーマットで、すべての面に対して三角形の情報を保持しているため、データ容量が膨大となる。図1にSTL形式CADデータのTヘッド工法鉄筋拡径部を示す。

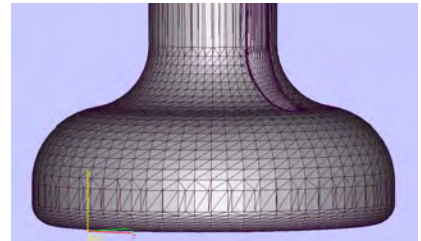


図1 三角形の面の集合体で表されたTヘッド工法鉄筋

STL形式の3次元CADデータを、「3次元データCADデータ変換ソフト」でTIFF形式の3次元計測用データに変換することで、データ量の大幅削減を行った。

「3次元データCADデータ変換ソフト」を用いて、CADデータを3次元形状登録テンプレートとなるTIFF形式の3次元計測用データに変換したものを図2に示す。

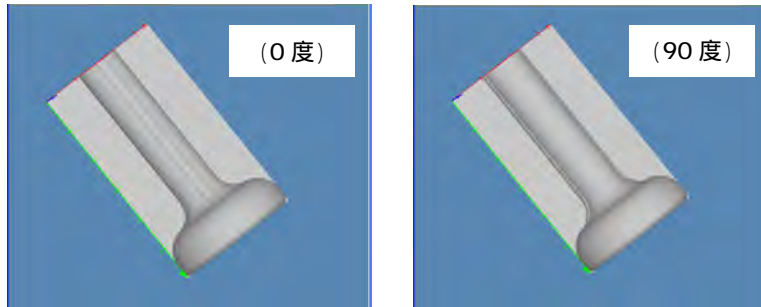


図2 TIFF形式の3次元形状登録テンプレート

3次元計測システムから出力するTIFF形式の3次元計測用データから、3次元形状登録テンプレートの輪郭情報とマッチする箇所を探索し、絶対差総和が最小になるようテンプレートの輝度をオフセットする。その後、テンプレートとマッチした箇所の差が一定の箇所を3次元計測用データとして出力する。図3では、3次元形状登録テンプレートよりも高さがある部分をピンク色で、低い部分を青色で示している。

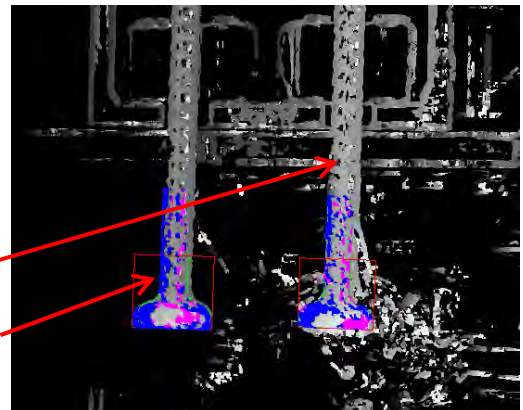


図3 3次元差分画像処理を適用した結果

図4に、図3のTヘッド工法鉄筋<1>の結果情報を示す。

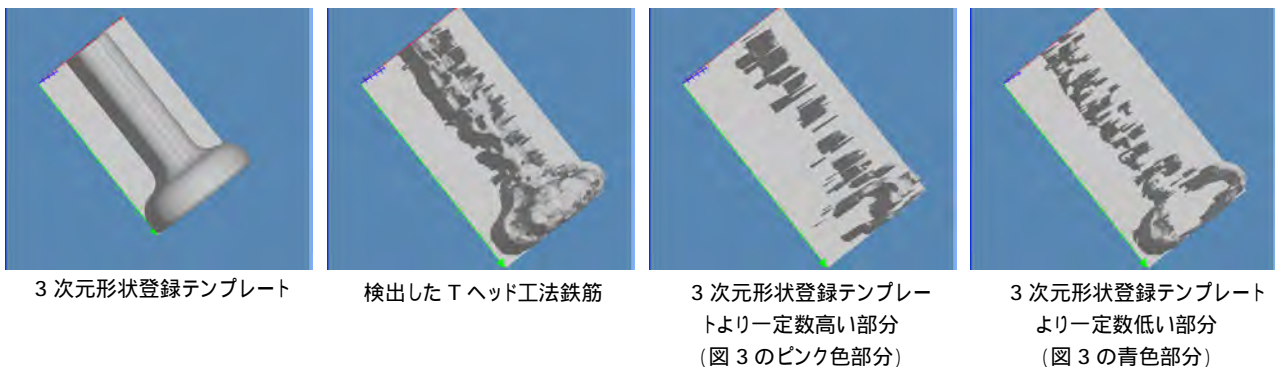


図4 図3のTヘッド工法鉄筋<1>の結果情報

図 5 に、図 3 の T ヘッド工法鉄筋<2>の結果情報を示す。

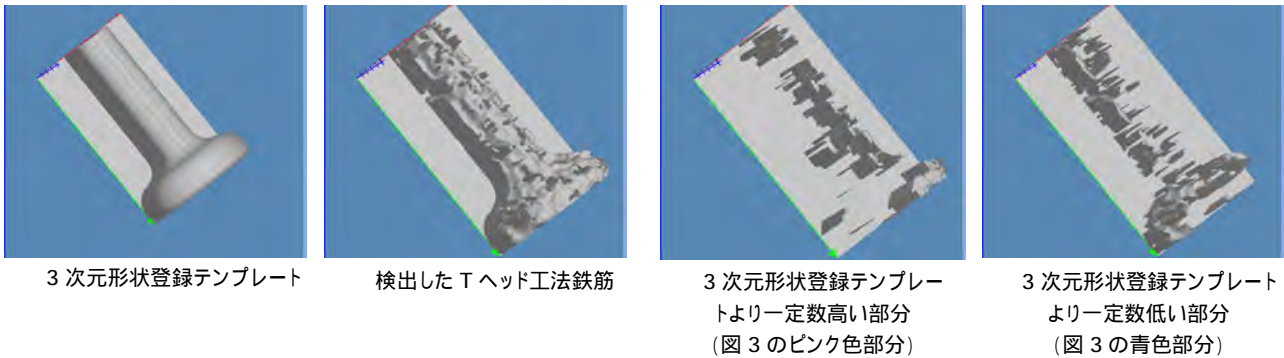


図 5 図 3 の T ヘッド工法鉄筋<2>の結果情報

3-2-3 3次元空間体積量計算アルゴリズムの開発

3次元形状マッチングにより3次元形状登録テンプレートを輝度オフセットする。その後、3次元形状登録テンプレートとマッチ箇所との絶対差総和を計算し、その値にxyzスケールを乗ずることで3次元登録テンプレートとの差分を3次元空間体積量として計算することができた。図6に3次元差分画像処理ソフトの処理結果画面を示す。

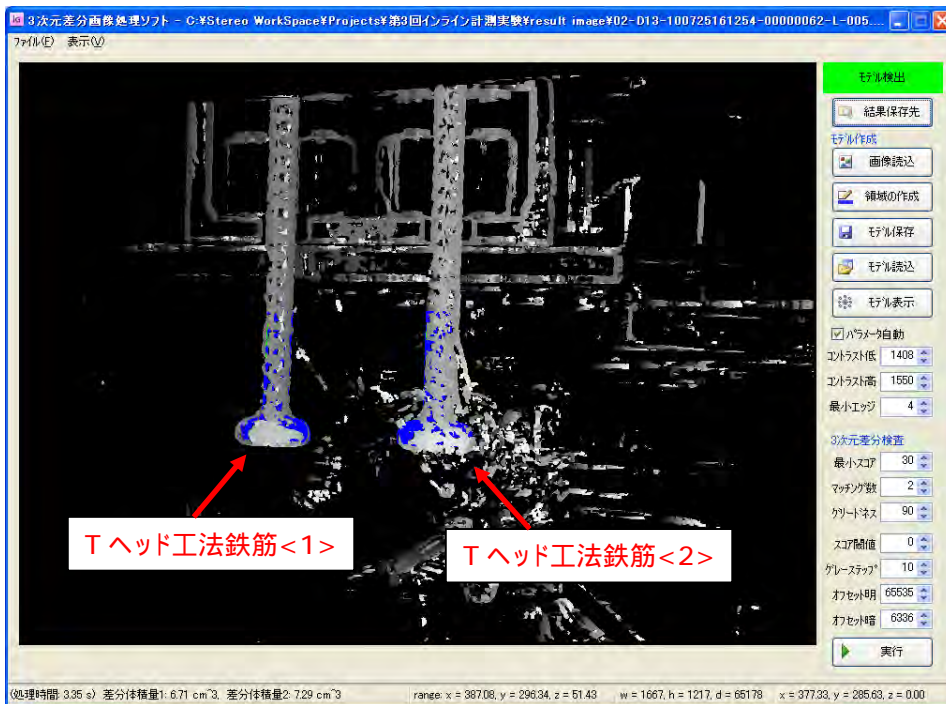


図 6 3次元差分画像処理ソフトの処理結果画面

3-2-4 まとめ

3次元差分画像処理アルゴリズムの開発と3次元空間体積量計算アルゴリズムの開発により、3次元空間内から3次元形状登録テンプレートを探索し、3次元形状登録テンプレートとの差分を視覚的に、または3次元空間体積量として表すことができた。この技術により、Tヘッド工法鉄筋の傷、ひび割れなどの検出・判定を行うことができることが可能性となった。また、目標の

- ・3次元データ容量: 1620 × 1220 × 1220 pixel
- ・処理時間: 3次元測定 3次元マッチング 3次元差分処理まで 1秒

に対し、

- ・3次元データ容量: 1667 × 1217 × 65536 pixel
- ・処理時間: 3次元測定 3次元マッチング 3次元差分処理まで 4秒

という結果であり、データ容量は目標の55倍であるのに対して、処理時間は目標の4倍であった。このことから、1秒あたりの処理能力は目標を大幅に上回ることができた。

本研究開発である「熱間鍛造向けインライン赤外線画像処理検査装置」を、アドバイザーとして協力していただき、川下企業でもある第一高周波工業株式会社向け「Tヘッド工法鉄筋用インライン検査システム」として導入できる見通しをたてることができた。今後導入にあたっては、第一高周波工業株式会社の要望(コスト等)を聞きながら、システム構成のカスタマイズ・最適化を図っていく。

デュアル PC システム開発に関しては、ソフトウェア・ハードウェアによる監視・補完を機能ごとに分担し動作させることができた。システムの信頼性は目標のおおむね 24 倍向上することが可能となった。

赤外線による外観検査システム開発に関しては、カメラ、フィルターの最適化により赤熱状態 T ヘッド工法鉄筋の形状を画像として撮影する技術を確立することができた。従来の外観検査システムは被測定物に照明光を照射しその反射光を画像として撮像する、または背景より透過光をあてその影を物体形状として撮像することが一般的であったが、本研究開発の様に高温状態で被測定物自ら放射する光(赤熱状態で発せられる可視光、赤外光)を画像として撮像・画像処理する技術が確立できたため、T ヘッド工法鉄筋用インライン全数検査用システム構築が可能となった。この技術はTヘッド工法鉄筋に限らず熱間鑄造や熱間鍛造等製造方法で製作される幅広い製品への応用展開が可能である。なお精度保証をシステム仕様として反映させるため、またTヘッド工法鉄筋用として判定基準値の精度向上を図るために、今後さらに実験データを積み重ね検証を行っていく。

大容量高速3次元撮影・画像処理システム開発に関しては、データ数を大幅に縮小化できる3次元データ変換アルゴリズムを開発できた。また3次元空間上で3次元計測結果と登録済みテンプレート探索を行いその差分を3次元体積量として高速に計算できる、まったく新しい概念の3次元専用画像処理アルゴリズムを開発できた。近年、機械設計は3DCADによる設計が主流となってきた。また、3次元測定機もステレオビジョン法・光切断法に限らず接触式、非接触式それぞれに様々な方式で測定器が製品化されている。しかし3次元設計値と3次元測定結果を比較照合し、その差分を3次元体積量として定量化・判定するソフトウェアはまだ開発されていない。このような背景から本研究開発によるアルゴリズムは3次元測定機用ソフトウェアとして新しい可能性を示唆することができた。

以上