

IV-2 研究推進

5G を用いたテレプレゼンスシステムの研究開発 [3]

電子光応用開発部 情報・電子グループ 丹 健二、佐々木 大三、伊藤 亮、綾田 アデルジャン
先進プロセス開発部 スマートものづくり技術グループ 大竹 匡

A Development of Tele-Presence system using 5G [3]

Electronics and Optics Application Development Section Kenji TAN, Daizo SASAKI, Ryo ITO, Adiljan AYATA
Advanced Processing Technology Development Section Masashi OHTAKE

抄録

人手が必要な場面において遠隔作業を解決策の 1 つを提供できる、5G を用いたテレプレゼンスシステムの要素技術について研究開発を行っている。目標とするテレプレゼンスシステムの実現のために、無線通信、画像伝送、機構制御のそれぞれの要素技術が必要となる。今回は、中継システム開発、自然言語による制御技術開発、Local5G を介した実験をそれぞれ行った。

[キーワード: ローカル 5G、テレプレゼンスシステム、無線通信、画像伝送、自然言語処理]

Abstract

In order to provide remote operation as a solution for lack of manpower, this report presents elemental technologies that we are engaged in to develop a Tele-Presence system using local 5G. The elemental technologies which are needed in the proposed system, include radio communication, image transmission and mechanical control. In this report, the development of a relay system and a natural language recognition system, and experiments on local 5G communications are presented.

[Key words: Local 5G, Tele-Presence system, Radio Communication, Image Transmission, NLP]

1. はじめに

秋田県が抱える社会的課題の 1 つに少子高齢化があり、製造業などの現場では、利益率向上、作業効率向上、労働環境の多様化などのニーズがある。これらのニーズはスマートファクトリー化によって対応できるとはいえ、昨今の COVID-19 の影響を鑑みると、遠隔作業を可能とする仕組みが求められる。特に、臨場感を伝えた操作を可能にするテレプレゼンスシステムを考えた場合、遅延時間、機構設計、操作手法など困難な課題が残っている。そこで我々は、低遅延が実現可能な第五世代移動通信システム(5G)を用いたテレプレゼンスシステムを研究開発する。主に、無線通信、デバイス、ユーザインターフェース(UI)の 3 つの研究開発を行い、それぞれの要素技術の確立による、県内企業の技術力の底上げを狙う。

2. 開発するシステムについて

本研究の目標は、遠隔の映像を確認しつつ操作ができるシステムの要素技術について研究開発することである。今回は、遠隔の臨場感を伝えるためにデュアルカメラを利用し、その映像を遠隔へ伝送し、デュアルカメラを操作する可動部とその操作情報の伝送するそれぞれの要素技術の確立を目指した。

図1に今回の開発内容の全体イメージを示し、図2に実施例の写真を示す。遠隔で画像を確認し操作するシステム（開発名:telRemo）、カメラで撮影した画像の処理・伝送および制御情報を送受する主機能部（開発名:frontCom）、モータを制御し状態監視する末端部（開発名:edgeCom）からなり、デュアルカメラは可動部と筐体を持つ。それぞれを開発する上で要素となる技術について次に報告する。

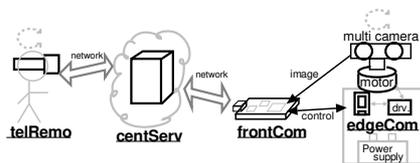


図1 目標とするシステム

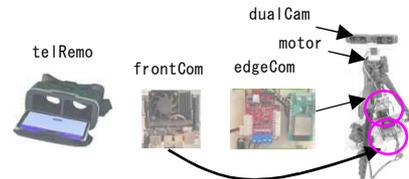


図2 システムの写真

3. 各要素技術の検討

3-1 LAN から WAN へ(中継システムの開発)

本研究は遠隔作業を可能とする要素技術の確立が目標である。そこで、従来のローカルネットワーク(LAN)版からインターネット版に刷新するにあたり、中継サーバへの送信システムとサーバからの配信システムを開発した。

従来のLAN版は、デュアルカメラの撮影処理部とストリーミングを担うサーバ処理部の二つを1つのワンボードマイコンで行った。この構成は、シンプルで運用も楽である。しかし、本システムを世界のどこからでも接続できるようにするためには、通信セキュリティを担保する必要がある、プログラムが複雑化する、という問題が生じる。例えば、セキュリティを担保するために仮想専用通信網(VPN)を用いる手段も考えられるが、一般ユーザに展開するソリューションには適しない。

そこで、プロトコルとしては、利便性良くセキュリティも担保できるhttpsを採用した。通信の構成は、LAN版とは異なり、中継するサーバを設ける方法を採用した。httpsでwebサーバを運用するために、NGINX(エンジンエックス)を採用した。高速かつ複雑な中継処理を実装するためにフレームワークとして、FastAPIとUvicornを採用した。これらを用いて処理ソフトウェアを開発し実装した。堅牢性を高めるために認証機能も導入した。今回のシステムの概要図を図3に示す。このソフトウェアを当センター内だけでなく、さくらインターネットなどの一般的なサーバにも導入しテストを行い、スムーズな配信ができることを確認した。

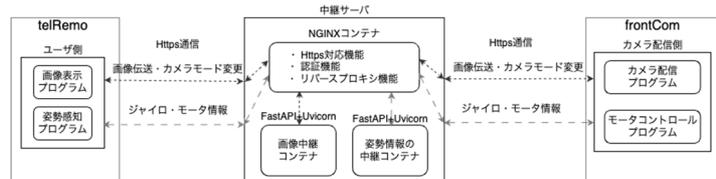


図3 中継システムの概要

3-2 デュアルカメラからマルチへ

ステレオ画像は、主観視点として臨場感が得られる手法である。しかし、遠隔システムを運用する場合、その周囲の雰囲気や即座に把握できるような仕組みを提供する必要があると考えた。そこで、多視点モニタリング用カメラを追加し、その伝送手法を検討しソフトウェアを開発した。

図4にカメラの配置を示す。横並びになっているUSBカメラはステレオ画像用である。この2台のカメラの後方からもう1台のUSBカメラを配置した。画面構成として、ステレオ画像は2台のUSBカメラ画像を横に連結した形になる。今回、更に1つのUSBカメラ画像を設けるにあたり、ピクチャーインピクチャ(PIP)の構成を採用した。図5に実際に表示した

様子を示す。ステレオ画像中にPIPを加えるため、立体視した場合、3つ目の画像は空間に浮かんでいるように見える。

ソフトウェアにおいては、2台のカメラから3台になったことで撮影同期がより複雑になったが、OSレベルでのシグナル処理を用いることで、同期することに成功した。複数のカメラはそれぞれの独立したスレッドで管理され、あらかじめ設定したフレームレートのタイミングで画像をキャプチャしており、終了時にシグナルを送出する仕組みである。画像合成の種類として、ステレオ画像、PIP画像、第三人称視点、単眼の4つを指示できるインターフェースを設けた。これらの画像はブラウザで確認することができ、4つの画像合成が正しく機能していることをブラウザで確認した。



図4 カメラ配置概要



図5 カメラ画像をPIPで表示した様子

3-3ことばで操る(自然言語処理を応用した制御技術開発)

カメラが向く方向は、スマートフォンのジャイロセンサー値から角度情報に変換され指示されるが、今回、人の言葉による制御も可能とする試みを行った。これは、音声から文字に変換し、文字化された言葉が角度指示に該当する場合、制御情報としてモータ側に伝える機能である。

音声認識モデルはOpenAI社のwhisperを用いた。言葉から角度指示への変換はrinna(株)のjapanese-gpt-neox-3.6bを元に低ランク適応(LoRA: Low Rank Adaptation)で追加学習した大規模言語モデル(LLM)を用いた。音声認識および言語認識のための推論に、Georgi Gerganov氏のオープンソースLlama.cppを用いた。これら音声と言語の認識で用いた入力ハードウェアは、CPUがcore i5 12400(第12世代)、GPUが非搭載、OSがubuntu、処理能力が0.04 TOPS相当の一般的なPCである。なお、追加学習自体もこのPCを用いHugging Face社のpeftで行った。

入力の例としては、「ゆっくり右に」、「急いで左に」などである。明確な数値が無いような曖昧な言葉に対して、速度と角度を指示するコマンドに変換することができる。この技術を用いることで、人の言葉でもシステムに指示を出すことが可能となり、制御方法の幅が大きく広がる。

4. 実験と結果

今回開発したシステムをLocal5Gで接続し実験を行った。場所は秋田県立大学 大潟キャンパス アグリイノベーション教育センター(AIC)周囲で、(株)秋田ケーブルテレビのLocal5G回線を利用した。無線回線は、NSA(non-Stand Alone)構成のミリ波(28 GHz)帯と、SA(Stand Alone)構成のsub6(4.9 GHz)との2種類あり、それぞれで確認した。

Local5Gアンテナからの位置は、約50m地点とした(図6)。無線電力の強さを示す同期参照信号受信電力(SS-RSRP)は-83 dBmと良好であり、パケット往復時間は約200ms、スループットはミリ波およびsub6でアップ・ダウンロード共に30MB/s程度を確保した^[1]。

システムの反応速度の検証のために、frontComには角度指示に対して現在の角度情報を返答する機能を実装した。これにより、telRemo側で指示と応答をモニタすることで、指示が反映されるおおまかな時間を把握することができる。図7はこの応答メッセージに含まれる角度の時間変化をプロットしたものである。角度指示に対する動き始めの時

間は 約 400 ms で、指定の角度に到達したのは 約 800 ms であった。

秋田県産業技術センター (AIC から 32km) の室内で telRemo を実装したスマートフォンを使い、インターネットを介して、画像確認と角度制御の機能について確認した。スマートフォンをヘッドマウントディスプレイとして頭に装着し、カメラが撮影したステレオカメラ画像が表示され、首を振ると追従して画像が動き、実際に機能していることが確認できた。



図 6 設置したシステム

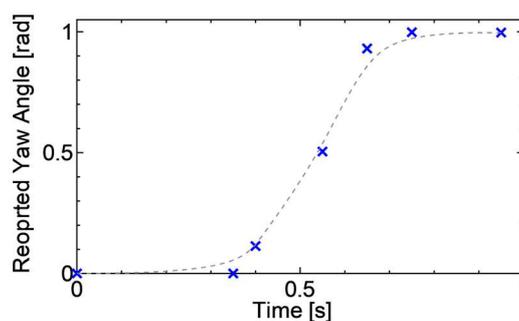


図 7 命令後のモータ角度



図 8 カメラの前景

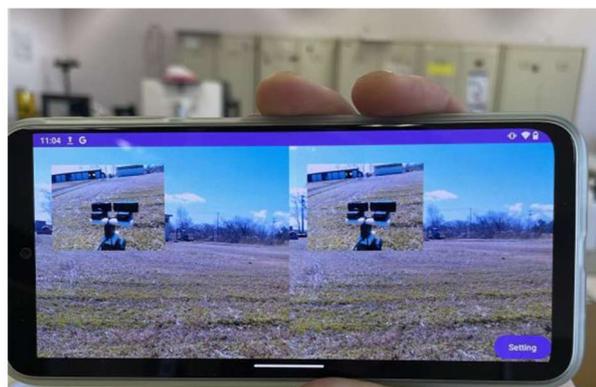


図 9 当センター室内での telRemo の表示内容

5. まとめ

本報告では、5G を用いたテレプレゼンスシステムの研究開発において、要素技術について説明し、実験結果についてまとめた。中継サーバを用いた構成は、セキュリティとしても堅牢にできるため、ネットワークアプリケーションを開発する企業へ強い後押しとなる技術である。自然言語処理技術は、オンプレやプライベートクラウド向けソリューションを開発する企業へ基盤技術として提供できる。今回の研究開発を通し、多くの要素技術が構築できた。この技術を県内企業に展開し、技術力の向上に貢献できるものとする。

文 献

- [1] 佐々木大三, 伊藤亮, 荒川亮, 西村 洋, 綾田アデルジャン, 丹健二: “ローカル 5G の基地局-端末間距離におけるデータ転送速度の検討”, 2H07, 2023 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2023

微細構造光学素子の基礎技術の確立 [3]

機能性材料・デバイスグループ 笠松 秀徳

Establishment of Basic Technology for Microstructure Optical Elements [3]

Functional Materials and Device Group Hidenori KASAMATSU

抄録

秋田県産業技術センターは、自社ブランド製品を開発できる企業を県内に増やすために、今後は光学システム製品の設計開発に関する支援を行いたいと考えている。そこで、光学システムを組み上げるための光学設計技術と、光学機器や光学部品の評価解析技術、高度な光学素子に関する製造技術を、強化、あるいは新たに当センターの技術シードへ加えようとしている。

今年度は、複数のレンズを組み合わせたレンズユニットの光学性能を、MTF (Modulation Transfer Function: 変調伝達関数) で計測可能なシステムを開発した。

[キーワード: 光学設計、干渉計、MTF]

Abstract

The Akita Prefectural Industrial Technology Center aims to increase the number of companies within the prefecture that can develop their own brand products. To achieve this, we are looking to offer support in the design and development of optical system products. Accordingly, we intend to enhance or newly incorporate optical design technologies for assembling optical systems, evaluation and analysis techniques for optical instruments and components, and manufacturing technologies for advanced optical elements into our center's technological seeds.

This fiscal year, we have developed a system capable of measuring the optical performance of lens units composed of multiple lenses, using MTF (Modulation Transfer Function).

[Keywords: Optical Design, Interferometer, MTF]

1. はじめに

本県の光学企業は、研磨技術や光学薄膜の製膜技術を基礎として、レンズやプリズムのような光学部品の製造を主要な事業としている。しかし、これらの事業は人件費の安い海外企業の進出が近年著しく、価格競争が激化している。また、下請け事業が多いため、製品に高い付加価値をつけることも難しい。ゆえに、県内企業が光学産業市場で今後発展していくためには、独自ブランドの製品を販売する事業形態へ転換する必要があると考えている。

一般に、単一のレンズよりも、複数のレンズを組み合わせてユニット化した製品の方が付加価値は高まる。そのようなレンズユニットの品質は、MTF (Modulation Transfer Function: 変調伝達関数) や解像力などの性能指標に基づいて、合格品と不合格品が評価される。

本県の光学企業は主に単一のレンズを研磨製造する企業が多く、レンズユニットの組立や評価技術を持っていない企業もある。この状況から、当センターがレンズユニット評価技術を保有することは重要性だと考え、今年度は MTF (Modulation Transfer Function: 変調伝達関数) とコントラスト (解像力) の測定が可能なレンズ性能評価システムを開発した。このシステムによって、レンズユニットの性能を定量的に評価できるようになる。また、このシステムは被検レンズを用いてターゲットを撮影するだけで評価が可能である。市販の製品に比べ簡易的で安価なため県内企業への展開も容易だと考えられている。

2. レンズユニットの性能評価指標

2-1 MTF (Modulation Transfer Function) について

MTF は、レンズユニットの性能評価に使用される重要な指標の一つであり、レンズがどれだけ被写体の持つコントラストを正確に再現できるか、空間周波数による特性として表現したものである。これにより、レンズの総合的な結像性能を把握することができる。

図 1 は「MTF 曲線」として知られており、横軸は 1 mm あたりに存在する L/S パターンの本数を表す空間周波数 [lp/mm] を示す。縦軸はコントラストの再現度を表す。

レンズの性能評価に MTF を活用する典型的な方法としては、空間周波数が 10 [lp/mm] の際にコントラスト値が 0.5 以上であれば合格品、それ以下であれば不合格品とする判断基準や、空間周波数が 1~100 [lp/mm] の範囲でコントラスト値が 0.2 以上維持できる場合、そのレンズはおおむね解像力 0.01 mm の性能を有していると考えられる等がある。コントラストがどの程度の値であれば分解しているかという判断基準は、求めるレンズユニットの性能や設計思想によって異なる。

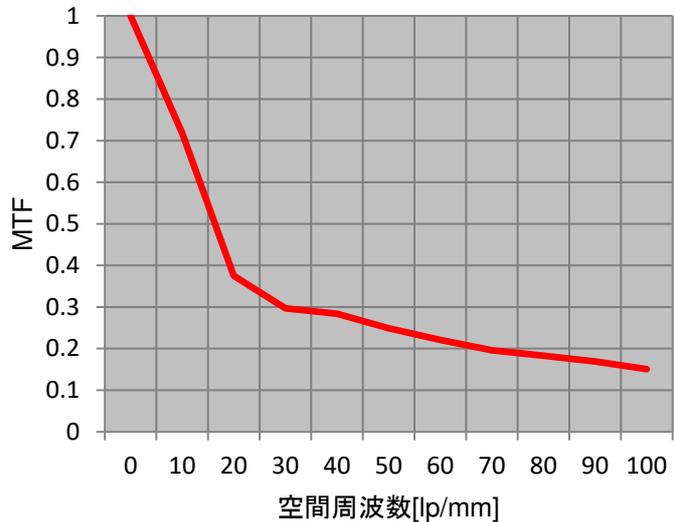
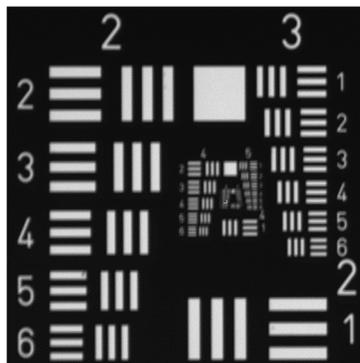


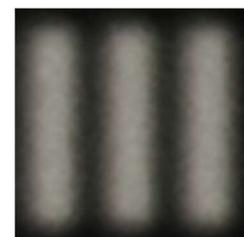
図 1. MTF 曲線

2-2 解像力について

解像力は、特定の解像度(空間周波数)での L/S(明暗の線)がどれだけ明確に区別されるかを数値化したものである。図 2 のような解像力チャートで被検レンズユニットを通して確認し、L/S のコントラストの低下具合で解像力を判定する。



低コントラスト



高コントラスト

図 2. 解像力チャート

3. 開発したレンズユニットの評価システムについて

今年度は、MTF と L/S のコントラストをリアルタイムに計測可能なシステムを開発した。図 3 のようにカメラに被検レンズを取り付けて、チャートを動画で撮影しながらリアルタイムで解析を行う。レンズユニットのピント位置を変えながらの測定が可能のため、最適なピント位置を判定できる。チャートはネガ、ポジどちらも対応可能。センサーモジュールは iDS 社の UI-3482LE-M を使用した。プログラミング言語は Python を用いた。



図 3. レンズユニット性能評価システム

3-1 MTF 曲線の取得方法

本テーマでは、エッジ法によって MTF を計算した。手順を以下に示す。

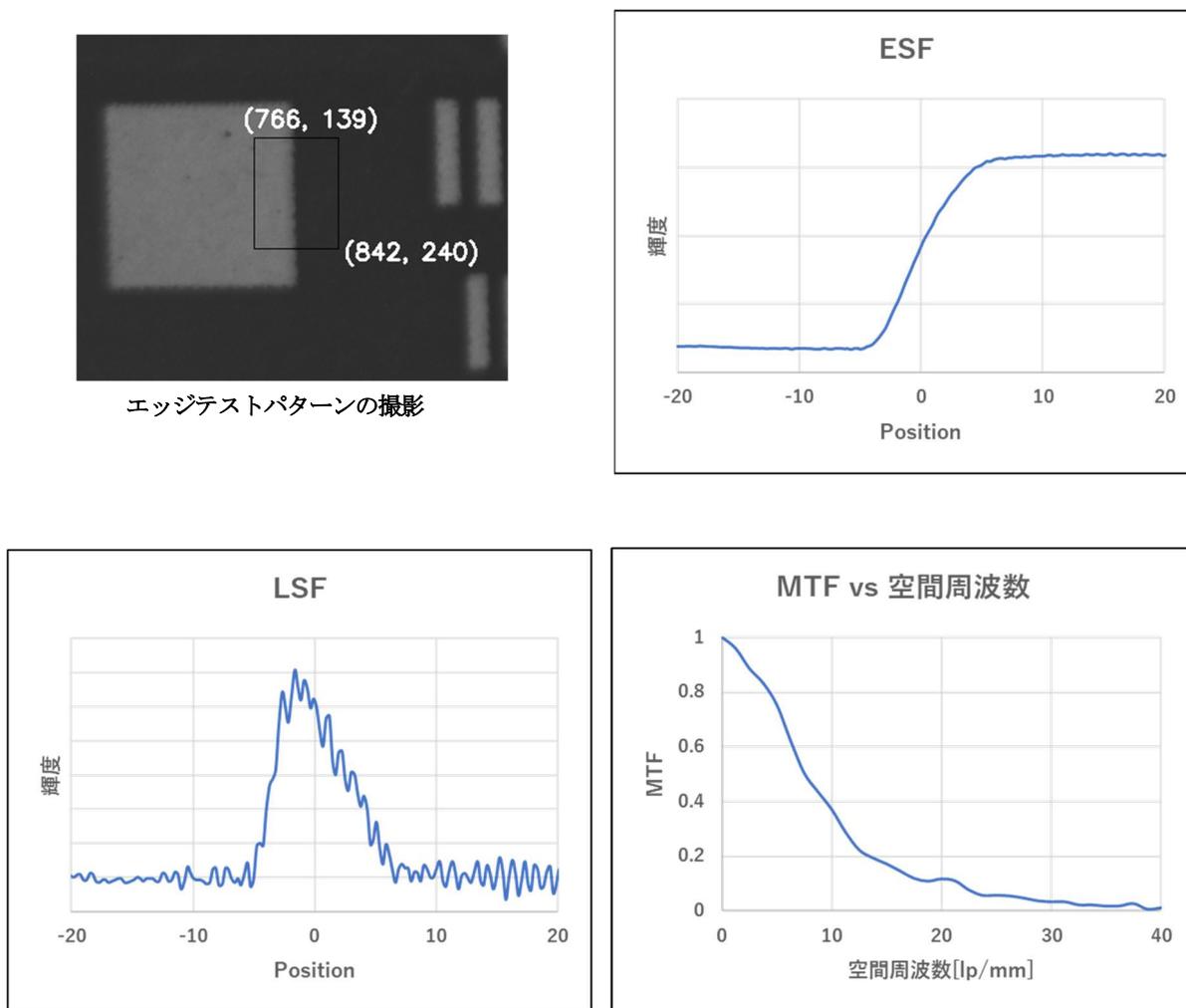


図 4. MTF 値の計算の流れ

① テストパターンの撮影

被検レンズを使用してエッジテストパターンを撮影する。

② ESF (Edge Spread Function) の取得

撮影したエッジの画像から、エッジを横切る方向の平均輝度プロファイルを取得する。

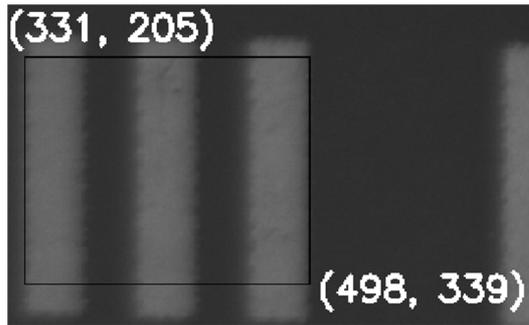
③ LSF (Line Spread Function) の導出

ESF を微分することで LSF を導出する。LSF は、点光源やスリット光が被検レンズによってどのように広がったのかを表す。

④ MTF の計算

LSF をフーリエ変換し、正規化することで MTF を得る。

3-2コントラストの取得方法



解像力チャートの撮影

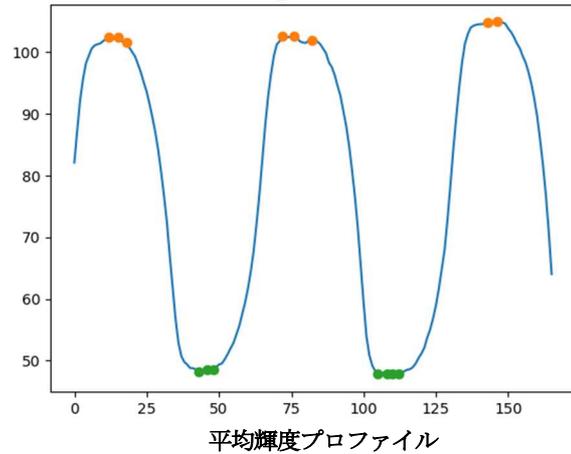


図5. コントラストの計算の流れ

コントラストの取得手順を以下に示す。

- ① テストパターンの撮影
被検レンズを使用してL/Sチャートを撮影する。
- ② 輝度値の取得
撮影したチャートの画像から、L/Sを横切る方向の平均輝度プロファイルを取得する。
- ③ コントラストの計算
図3.bの三つのピーク値の平均を I_{max} 、2つのボトム値の平均を I_{min} としてコントラストCを以下の様に計算する。

$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

4. まとめ

本年度は、MTFとコントラストの測定が可能なレンズ性能評価システムを開発した。これにより、レンズユニットの定量的な性能評価が可能となり、県内企業の製品開発と品質保証に貢献できると考える。このシステムはリアルタイムでMTFと解像力を計測し、簡易的かつ低コストでの製作が可能である。

品質・設備モニタリング技術開発とスマート工場の実現 [1]

-生産の効率的な管理と予知保全の県内企業普及-

スマートものづくり技術グループ

瀬川 侑、高橋 朗人、大竹 匡、小松 和三、佐々木 信也、内田 富士夫

Development of Quality and Equipment Monitoring Technology and Application of Smart Factories [1]

Smart Manufacturing Technology Group

Susumu SEGAWA, Kazumi KOMATSU, Masashi OHTAKE, Akito TAKAHASHI, Shinya SASAKI and Fujio UCHIDA

抄録

製造業においては少子高齢化による労働力不足が顕著であり、生産性の向上が課題となっている。近年では企業のデジタル技術の活用が一般化してきており、秋田県では特に普及の必要性が高い。本研究は IoT や AI、ロボット技術を活用した生産性向上技術の開発と普及を目的とする。今年度は設備の振動と電流を測定して監視を行う IoT システム開発を行い、研修プログラムを県内企業へ実施した。また、企業の技術の活用イメージを養うため、IoTとAI、ロボット技術を組み合わせた簡易スマート工場デモ装置を構築した。

[キーワード: IoT、AI、ロボット、センシング、予知保全]

Abstract

In the manufacturing industry, labor shortages due to the declining birthrate and aging population are becoming more serious, and productivity improvement has become an issue. In recent years, the use of digital technology by companies has become more common, and its popularization is especially required in Akita Prefecture. The purpose of this research is to develop and disseminate productivity-enhancing technologies that utilize IoT, AI, and robot technologies. This year, we developed an IoT system for equipment monitoring by measuring vibration and electric current, and conducted a training program for companies. Additionally, we created a simple smart factory demonstration device combining IoT, AI, and robot technologies to make it easier to visualize their usage.

[Keywords: IoT, AI, robot, sensing, predictive maintenance]

1. はじめに

秋田県内の製造業では少子高齢化や人口減少による労働力不足の課題に直面している。その一方で生産性が低く低賃金であることから若年層の県外流出がすすみ、更に働き手の確保が困難になってきている。そのため、本県においては企業の収益や従業員の賃金向上に向けた生産性向上、様々な人が分け隔てなく活躍できる職場づくりが急務となっている。近年では IoT、AI、ロボット等の技術活用による製造プロセスの効率化が盛んにおこなわれているが、県内企業のデジタル化、自動化に対する意識は消極的な現状にある¹⁾。その原因として、各種技術に対する知見を持った人材の不足や外部委託によるコスト高が挙げられる。

本研究では県内中小企業が安価に自社開発で品質・設備管理の自動化に取り組みやすくするための IoT、AI、ロボ

ット技術開発を行い、研修事業を通じた技術普及により品質や設備管理の省力化、生産性の向上、企業内でのデジタル化人材の育成によるスマート工場の実現を目的とする。今年度は設備監視を行う IoT 技術の開発と研修による技術普及活動、企業でのデジタル技術の活用イメージを醸成するための簡易スマート工場デモ環境の構築を行った。

2. センシングシステムの開発

2-1 センシング対象の選定

製造業において、生産能力を維持管理するうえで設備の状態を把握し突発的な設備停止や長時間の故障を回避することは非常に重要である。しかしながら設備の維持管理を行う保全部門は生産部門に比べ少人数で、個々の設備に対して五感を使った感覚で状態を判断しているのが現状である。そのため、すべての設備状態の把握が困難であること、感覚的なノウハウの伝承に時間がかかることが課題である。これに対し、センサを使用して各設備の状態を数値的に集約し把握するセンシングシステムを開発することで、感覚に頼らずに設備の異常を早期に発見し、修理や対策を行う予知保全による効率的な設備の維持管理が可能となる。今回、県内企業の保全部門の聞き取り調査から、設備の振動と電流をセンシング対象とし、データの見える化と保存、異常の通知を行うシステムを構築した。

2-2 システムの構成

図 1 に示す構成で振動、電流データのセンシングおよび表示・通知を行うシステムを開発した。システムはマイコン (Atom Matrix, および Lite, M5Stack 社)、交流電流センサ (CTL-6-S32-8F-CL、U_RD 社)、AD コンバータユニット (M5Stack 社) およびシングルボードコンピュータのサーバ (Raspberry Pi 3 Model B+) から構成される。

振動データは、測定対象に取り付けたマイコン (Atom Matrix) 内蔵の加速度センサから収集される。ノイズの影響を考慮し、一定時間毎に複数回の加速度値を取得し、その平均値を算出している。一方、電流データは配線にクランプした交流電流センサから出力された電圧信号を AD コンバータユニットでデジタル信号に変換し、マイコンで電流値を算出している。

振動・電流のデータは、マイコンから定期的に Wifi 経由でサーバへ送信される。サーバではデータの受信、保存、および可視化を行っており、受信したデータを CSV ファイルで保存し、ブラウザでグラフとして表示する。また、異常を検知した場合、サーバからメールで通知が行われる。

各デバイスのプログラミングは、プログラミング初心者の取り組みやすいよう、ノーコード、ローコードツールを使用している。マイコンは M5Stack 社の UIFlow (ブロックプログラミングツール)、シングルボードコンピュータは IBM 社の Node-RED (ローコードツール) を採用した。

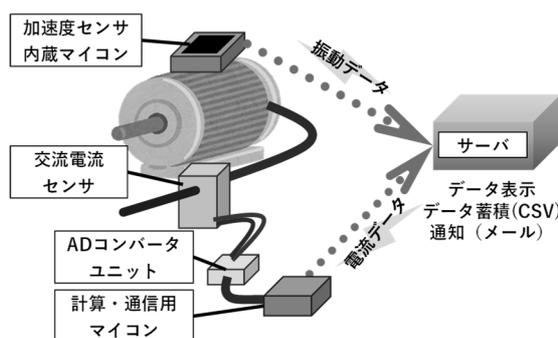


図 1 システムの構成

3. IoT 技術の普及活動

県内企業内で IoT 技術を理解し、活用できる人材を増やすことでデジタル技術の普及を進めるため、研修事業を県内企業へ実施した。今年度開発した IoT システムをベースとして、M5Stack 社のマイコンとセンサを用い、プログラミングをノーコードツールとすることで、センサの配線やプログラミング部分を簡素化し、センサでデータを取得、表示、保存する体験に重点を置いた研修プログラムを作成した。また、研修時間を既存プログラムの 1 日から半日に短縮し、

出前研修にも対応可能とすることで中小企業では長時間の研修に人材を割くことが難しいとの声を反映した。その結果、今年度は14社24名の方に研修を受講いただくことができた。今後は引き続き研修事業を行いながら研修後のフォローをすすめ、県内企業における技術導入の課題の吸い上げや困りごとの解決につなげていく。

4. デモシステムの構築

企業への技術普及活動を通じて、実際にデジタル技術がどのように活用されているか実機や現場を見たいとの要望を多く寄せられた。しかしながら、各企業の都合により、デジタル技術導入済みの企業の視察を行うことは容易ではないのが現状である。そこで、デジタル技術の活用のイメージができるよう、今回開発したIoT技術や過去に開発したAI技術、当センターで所有するロボットを組み合わせ、センター内に設備管理、検査、搬送の自動化を行うスマート工場のデモ環境を構築した。

4-1 ミニスマート工場 (IoT システム)

設計・製作したミニスマート工場の構成を図2に示す。本装置は鉄球が転がるコースと鉄球をコース上へ搬送させるロータ、ロータを回転させるモータおよびコントローラから構成される。モータの振動、温度、電流値から稼働状態を把握し、コース上の鉄球の通過個数で生産数、稼働時間から稼働率を算出するシステムを構築した。鉄球を搬送するロータおよびコース部分は3DCAD (Solidworks) で設計し、当センター保有の3Dプリンタ (Stratasys社 J750) で出力した。センシング、通信部分はM5Stack社のマイコンとセンサを用いている。取得されたデータはサーバであるラズベリーパイへ送信され、Node-REDで稼働データを処理しモニタリング用ダッシュボードに表示している。本デモシステムは、開発した振動・電流値の測定に加えて、光センサでワークのカウント、非接触温度センサでモータの温度を把握できるようになっている。また、Wifiルータでローカルネットワークを本システム用に構築し、装置両サイドに取手を装備することで各企業へ持ち運び、当センター以外の場所でもデモンストレーションを実施可能な仕様とした。

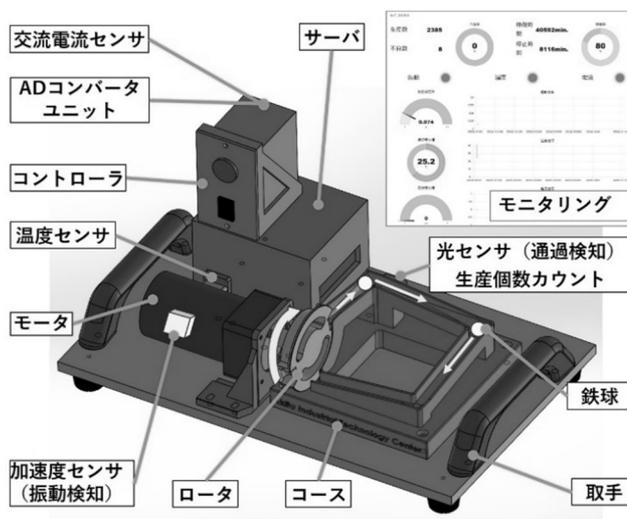


図2 ミニスマート工場の構成

4-2 ロボットハンドリングシステム

構築した自動搬送システムを図3に示す。ロボットハンドはDobot Magician (Dobot Robotics社) を使い、コンベアはDobot Magicianを通じて制御している。ロボットハンドと搬送用コンベアの制御プログラムはともにpythonで作成し、AI検査システムと同期をとった。本システムは①搬送用コンベアが所定の位置まで金属ワッシャ(φ43mm、以下ワーク)を運搬し、②外観検査装置でAI検査システムが撮影画像からワークの

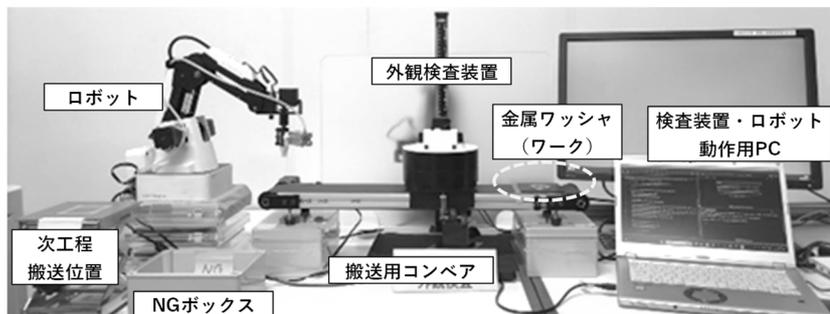


図3 自動搬送システム外観

位置まで金属ワッシャ(φ43mm、以下ワーク)を運搬し、②外観検査装置でAI検査システムが撮影画像からワークの

OK または NG の判定をする。③ワークを搬送用コンベアでロボットハンド前まで搬送し、④検査の結果に基づいて、ロボットハンドがワークの仕分けを行う。OK の場合は次工程搬送位置へ、NG の場合には NG ボックスに搬送される。

ワークはコンベア上の治具に乗せて搬送されるが、治具はワーク外周を囲む円盤状の溝があり、ワーク外周を把持するようなグリッパは適用できない。そこで、ワークを内周から把持するグリッパを 3DCAD で設計し、3D プリンタで出力し、図 4 に示すロボットのマニピュレータとして適用した。

4-3AI 検査システム

昨年度作成した AI(オートエンコーダ)をベースとして^[2]、ワークに対しマジックペンのマーキングの有無を Web カメラで撮影した画像から検査するシステムを構築した。ワークである金属ワッシャは金属光沢による反射や映り込みによる誤判定が多いことから、映り込みを防ぐように市販の LED ライトの光を反射板でワークに投影する図 5 に示す撮影装置を 3DCAD で設計、3D プリンタで出力して製作した。また、判定 AI はソニー社の Neural Network Console で作成し、150 枚のマジックペンの書き込みが無い画像(128 ピクセル×128 ピクセル)を学習させることで、マーキングの有無から OK、NG の判定が可能である。

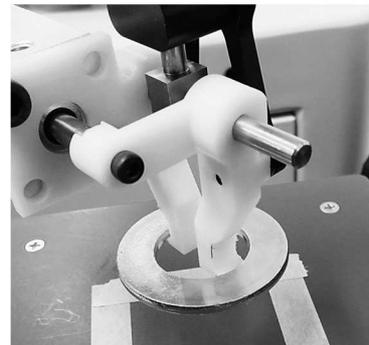


図 4 マニピュレータ

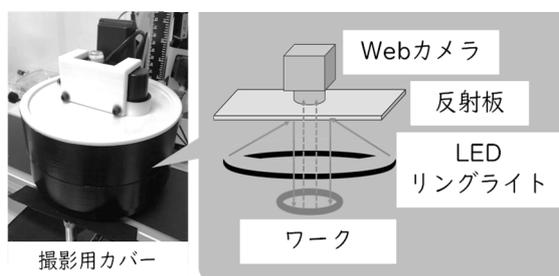


図 5 撮影装置概略

5. まとめ

今年度は設備の振動と電流を測定して設備監視を行う IoT 技術を開発し、研修事業を通じて IoT 技術の普及活動を行った。また IoT 技術と AI、ロボット技術を用いて企業での技術活用イメージをしやすい簡易スマート工場デモ装置を構築した。今後研修プログラムやデモ装置のアップデートを行いながら、企業への技術支援を進める。

文 献

[1] 2021 年 10 月 28 日 一般社団法人秋田 RPA 協会 秋田県内企業における ICT/DX の導入実態とコロナ禍における景況感調査結果

[2] 伊藤亮ほか、秋田県産業技術センター業務年報 pp102-105, (2022)

金型の機能性向上に資する金属AM技術の開発 [1]

加工技術グループ 黒沢 憲吾、瀧田 敦子

Development of Metal AM Technology Contributing to Enhancement of Mold Functionality. [1]

Machining and Materials Processing Group Kengo KUROSAWA, Atsuko TAKITA

抄録

金属積層造形(金属 AM)は、次世代の高付加価値ものづくり技術として国内外で導入が進んでいる。ワイヤ・レーザ DED 方式の金属 AM は微細形状の造形は困難であるが、従来技術との親和性が高く、材料効率の向上が期待できる。しかし、本方式は入熱が大きいため、金型の製造および補修への導入は限定的である。そこで本研究では、樹脂射出成形用の金型材であるマルテンサイト系ステンレス鋼を用いて AM 材を含む金型を作製し、射出成形への適用を試みた。その結果、AM 材は熱処理を施さなくとも、従来金型材と同等の硬さを示し、射出成形に使用できることが確認された。

[キーワード: 金属積層造形(金属 AM)、ワイヤ・レーザ DED、金型、射出成形]

Abstract

Metal additive manufacturing (AM) is increasingly being introduced as a next-generation high-value manufacturing technology both domestically and internationally. Laser-wire Directed Energy Deposition (DED) metal AM, while challenging for fabricating intricate shapes, offers high compatibility with conventional technologies, thus promising improved material efficiency. However, due to its significant heat input, the adoption of this method for mold manufacturing and repair is limited. Then, in this study, we attempted to create molds including AM materials using martensitic stainless steel, which is commonly used as mold material for resin injection molding and tried to apply them to injection molding. As a result, it was confirmed that AM materials exhibit comparable hardness to conventional mold materials even without heat treatment, thereby confirming their suitability for use in injection molding.

[Keywords: metal additive manufacturing (metal AM), laser-wire DED, molds, injection molding]

1. はじめに

金属 AM 技術は、次世代のものづくり技術として国内外で注目されており、製品の高付加価値化を図る上で極めて重要な技術の一つである。日本は海外に比べて導入が遅れていたが、最近では製品として活用され始めた分野も出始めている。国内では、粉末状の金属をレーザや電子ビームなどの熱源を用いて熔融させる粉末床熔融結合方式(PBF)の導入が進んでいる。当該方式は、複雑形状の造形が得意であり、公設試でもラティスなど複雑な形状を造形し、力学または熱的な機能性向上を検討した研究例^[1-2]が報告されている。一方、当センターが運用しているワイヤ・レーザ指向性エネルギー堆積(DED)方式は、微細形状の造形は困難だが大物造形が可能であり、切削加工を組み合わせることで加工時間の短縮や材料ロスの低減などが期待できる。しかし、国内で需要が高い金型補修に関する適用では、造形時に与えられる入熱や AM 材の影響を無視できず、軽微な補修に限った事例が多い。射出成形に

においては、摩耗によるバリ発生箇所に肉盛り溶接を施し金型を補修することもあるが、この補修規模が広がれば、さらなる材料効率の向上が期待できる。そこで本研究では、DED 方式の金属 AM により金型材として使用されているマルテンサイト系ステンレス鋼 SUS420J2 の造形条件を検討し、樹脂射出成形用の金型の試作を試みた。

2. ワイヤ・レーザ DED 方式金属 AM 装置の概要

本研究では、ワイヤ・レーザ DED 方式金属 AM 装置(三菱電機(株)産業メカトロニクス製作所、AZ600-F20 に準ずる開発機)を用いた。本装置は肉盛り溶接を応用した金属 AM プロセスを採用しており、汎用溶接ワイヤを波長 1.06 nm のファイバレーザで溶融させる。装置概要を図 1 に示す。5 軸マシニングセンタの切削ユニット部分に溶接ユニットを取り付けた構成になっており、主軸側に XYZ の 3 軸、ステージ側に BC の 2 軸を有し、同時 5 軸による積層造形が可能である。溶接ワイヤリールは装置正面の下部に配置されている。直径 1.2 mm の溶接ワイヤを照射径 3 mm のレーザで溶融させるため、1 パスのビード幅(積層幅)は 3 mm 程度となる。積層高さは、高さセンサを用いてフィードバック制御される。装置内部の造形スペースは大気であるが、レーザ照射時には Ar シールドガスがレーザ同軸で供給され、溶融金属の酸化を防ぐ。最大ワークサイズは、基材の他に、それを固定するバイスやチャックなどの治具を含めて最大寸法 500×500×500 mm (φ500×500 mm)、質量 500 kg まで搭載可能である。

3. 実験方法

3-1 金型適用材の造形および金型作製

造形材料は、マルテンサイト系ステンレス鋼 SUS7420J2 のミグ溶接用ソリッドワイヤ(特殊電極(株)、M-420J2)であり、基材には同じくマルテンサイト系ステンレス鋼である STAVAX 材(HRC20~30 調質済み)を用いた。図 2 に積層造形寸法を示す。基材寸法は 100×100×30 mm であり、この上面に 90×90×5 mm (図 2 中のうろこ状ハッチング部)の積層造形を施した。この状態を金型適用材と称する。レーザ出力は 2 kW、シールドガス流量は 5 L/min とした。また、本造形には始端・終端には点造形、内部には線造形(連続造形)を施すハイブリッドプロセスを適用した。なお、造形は終端点造形、内部線造形、始端点造形の順で実施した。

金型は図 2 の灰色線で示す金型適用材から黒色線で示す部分を切出して作製した。金型外寸は 80×80×23.8 mm であり、成形部には長さ 10 mm、高さ 0.2 mm の段差を設けた。この段差は、基材上面(積層造形界面)を基準とし、AM 材側+0.8~基材側-0.6 mm まで 8 段とした。後述の硬さ試験結果を踏まえ、この段差部(成形面)が基材/AM 材の界面を含む熱影響部で構成されるように作製した。

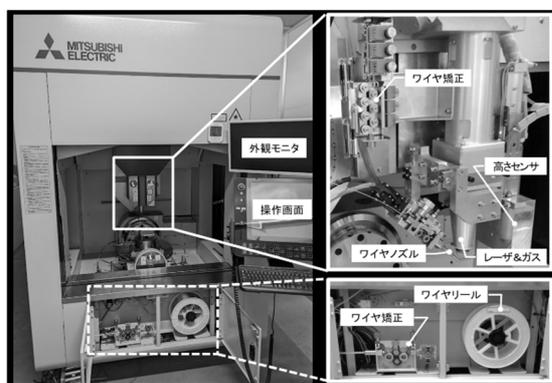


図 1 DED 方式金属 AM 装置の構成

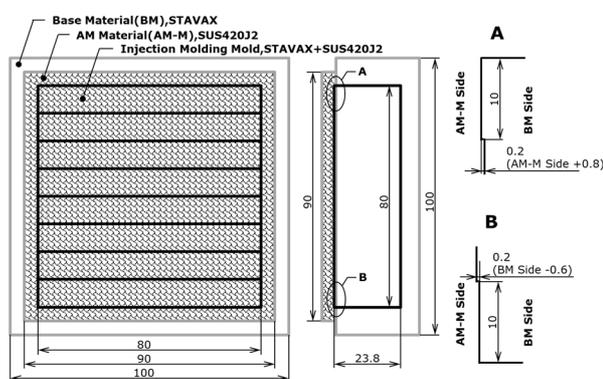


図 2 積層造形寸法と金型採取位置

3-2 金型適用材・金型の評価

金型適用材の評価方法として、硬さ測定と X 線回折による残留応力・残留オーステナイト測定を実施した。

硬さ測定には、マイクロビッカース硬度計((株)マツザワ、AMT-X7FS-B)を用いた。試験荷重は 2 kgf とした。金型適用材からサンプルを切出し、断面の深さ方向に対してライン状に測定した。基材上面を基準位置、基材側をマイナス方向、AM 材側をプラス方向とし、測定範囲は-10~+4 mm、間隔は 0.5 mm とした。

残留応力の評価には、X 線残留応力測定装置(パルステック工業(株)、 μ -x360s)を用いた。サンプルは後述の金型形状に加工した金属ブロックであり、その成形面を測定した。

3-3 射出成形テスト

射出成形には、電動式射出成形機(日精樹脂工業(株)、NEX110V-12EG)を用いた。作製した金型は、樹脂が基材から積層材に向かって、高さ 0.2 mm の段差を上る方向に流れるようにユニットモールドに組込んだ。PP を用いて 100 ショット試作し、問題ないことが確認できたため、PC/GF10%による射出成形を実施した。成形条件はノズル温度 280 °C、金型温度 80 °C、射出速度 110 mm/s とした。成形前、100 ショット後、500 ショット後に金型をデジタルマイクロスコープ(オリンパス(株)、DSX1000)で観察し、クラックの有無などを確認した。

4. 実験結果および考察

4-1 金型適用材の評価結果

図 3 に金型適用材の中央で採取したサンプルから得られた硬さ測定結果を示す。横軸の深さは、基材上面を基準にマイナス方向が基材領域、プラス方向が AM 材領域である。縦軸の硬さは、ビッカース圧子を用いて得られた HV2.0 を HRC に換算したものである。○は造形始端部、△は造形中央部、□は造形終端部の結果を示している。いずれの位置においても深さ約-2 mm までは、STAVAX 納入時の硬さが維持されていた。約±1.5 mm の範囲においては、基材から AM 材への遷移領域であり、硬さの上昇が確認できる。1.5 mm よりも浅い範囲では、HRC60 程度を維持しており、金型材料としては十分な値が得られることが判明した。このような傾向は、他の領域でも認められた。

図 4 に X 線回折を用いた金型成形面の評価結果を示す。分布図中央の数値は基準である基材上面からの差である。いずれも金型表面を 64 分割した際の分布図である。図 4(a)に示す残留応力は射出成形方向に生じたものであり、全体的に圧縮方向の残留応力が付与されていた。また、その平均値は約-400 MPa であり、金型の長寿命化が期待できる傾向を示した^[3]。残留オーステナイトは概ね 15%程度であったが、基材側へ深さ-0.4mm の面では 30%近い値が得られた。この原因については FEA などを活用し、今後検討する予定である。

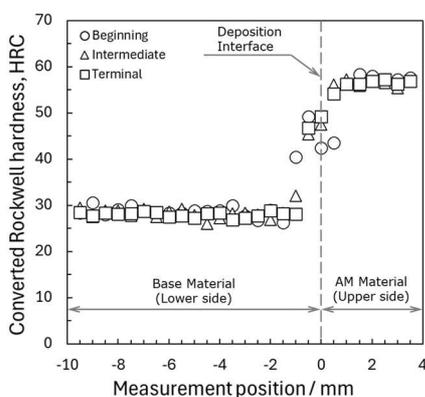
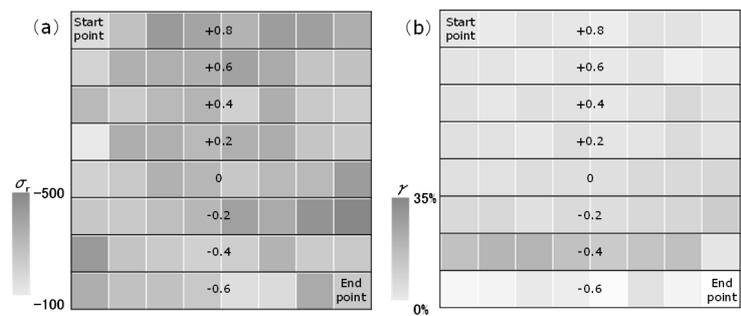


図 3 金型適用材深さ方向の硬さ分布



(a) 残留応力分布図 (b) 残留オーステナイト分布図

図 4 X 線回折を用いた金型成形面の評価結果

4-2 作製した金型および射出成形への適用結果

作製した金型の外観とユニットモールドおよび成形機に取り付けた状態を図5に示す。積層造形は約1.5hで完了した。金型に設けた段差付近は、本AM方式で最も欠陥が生じやすい造形初期を含む領域であったが、クラックや融合不良、ポイドなどは認められなかった。

図6に成形前、100ショット後、500ショット後の段差側面の例を示す。下段が基材側-0.6mmから-0.4mmの段差部であり、上段がAM材側+0.8mmから+0.6mmの段差部である。本試験では、金型が摩耗しやすいと考えられるPC/GF10%を使用した。いずれの段差においても500ショットでは段差角部の摩耗やき裂の発生は認められなかった。短期間の使用に耐え得ることは確認できたが、ショット数の増加や、材料変更などを検討し、今後は長期利用が可能であるか評価する必要がある。

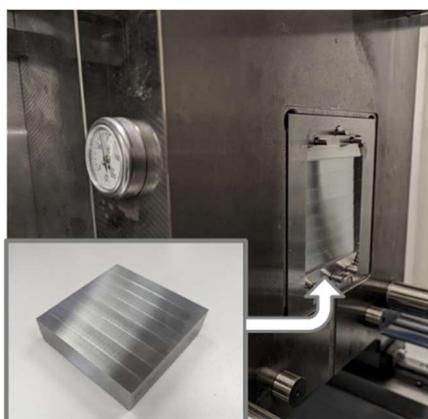


図5 作製した金型と成形機への実装

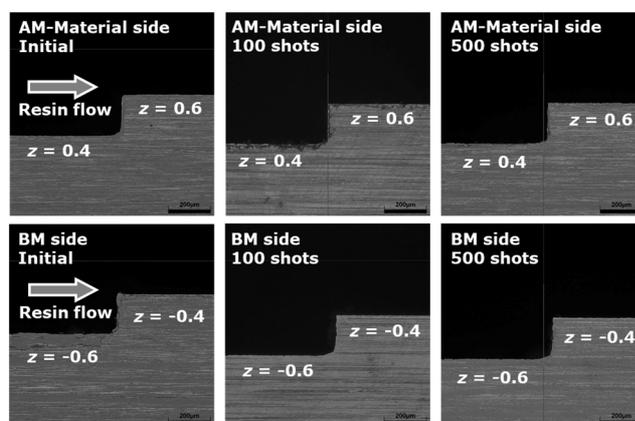


図6 金型段差部の観察結果

5. まとめ

本年度は、ワイヤ・レーザDED方式の金属AM装置を用いて、樹脂射出成形の金型材であるマルテンサイト系ステンレス鋼SUS420J2の造形条件などを検討し、以下の結論が得られた。

- (1) 基材をSTAVAX、積層造形材をSUS420J2とする造形条件を選定した。作製した金型適用材を光学顕微鏡で観察した結果、金型成形面にポイドや融合不良などの欠陥は認められなかった。
- (2) 結論(1)の金型適用材からサンプルを採取し、硬さ試験を実施した。その結果、AM材は熱処理を施さなくともHRC60程度を示した。また、基材のHRC30程度であり、納入状態から変化は小さかった。
- (3) 金型適用材から段差を有する金型を作製し、PC/GF10%の射出成形を実施した結果、500ショットまではき裂など発生せず、使用に耐え得るものであった。今後は長期使用などについて検討する必要がある。

謝辞 本研究の遂行にあたり、共同研究を実施している三菱電機(株)産業メカトロニクス製作所殿、特殊電極(株)殿には装置運用や積層造形材の評価方法について有用な助言をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

文 献

- [1] 中本貴之ほか,スマートプロセス学会誌, 10巻4号(2021), pp.187-191.
- [2] 鈴木逸人ほか, 鑄造工学会第182回全国講演大会講演概要集, (2023), p.43.
- [3] 佐野正明ほか, 山梨県富士工業技術センター業務・研究報告, (2009), pp.55-59.