

NC 旋盤加工工程の稼働率向上と設備故障診断

— 稼働状態の見える化と予兆管理 —

北陸職業能力開発大学校 阿波加 克実

北陸職業能力開発大学校 末光 祐司

北陸職業能力開発大学校 清水 達也

Improvement of the Ratio of Utilization in a NC lathe working process and Failure Diagnosis of Production Equipment.

- Visualization of Operation Status and Sign Management -

AWAKA Katsumi, SUEMITSU Yuuji, SHIMIZU Tatsuya

要約 ものづくり企業は、設備稼働率を低下させる原因を顕在化し排除する取り組みを日常的に行っている。その阻害要因解消の手立ては企業のノウハウとして蓄積され、固有技術として稼働率向上については生産性の押し上げにつながり、企業収益に大きく貢献していると考えられる。本報告では、CNC 旋盤加工を行う企業で発生している設備稼働率低下要因を検証し、対象部品の改良と設備異常の予兆を検出する装置を開発し、対策後の稼働状況を工場内で共有する手立てを提案する。今回の取り組みは、共同研究の一翼を担う 3 科共同総合制作実習の実践内容であり、Q(品質)・C(コスト)・D(納期・加工数)・S(安全)・M(士気)・E(環境の最適化)をセンシング(検出技術)と通信技術を利用して開発した機能評価装置内で改善結果を評価した。この収集データの活用による稼働状態の見える化と予兆管理の実施内容を紹介し、その実践活動を報告する。

I はじめに

生産現場では企業収益の改善を図るために生産性向上に注力する傾向があるが、その手段として設備稼働率の向上を狙うことが多く見受けられる。現在、共同研究を行っている企業も例に漏れず、稼働率の低下に悩み積極的な改善を模索している最中である。当該企業は、主に大型自動調心軸受部品(内外輪)の CNC 旋盤加工を、1 名の作業者が複数の加工機を担当する多台持ちにて行っているが、半自動旋盤加工工程内で 5M (Man 作業者、Machine 設備機械、Material 材料部品、Method 作業加工方法、Measurement 検査測定) 起因での設備停止(チョコ停)と加工不良が頻発して稼働率 60%、直行率 80%と悪化が進行している。共同研究では、この問題解決や方向付けを 3 年計画で進めており、平成 29 年を基点にして初年度は問題の顕在化と重点

指向での 5M 問題解決を、次年度は機能評価装置のモデリングと稼働状態の見える化を、最終年度では装置と故障診断予知に係わるセンシングの妥当性の評価および稼働状況の最適な見える化を確立することを目指して進捗した。本稿では共同研究の一翼を担う総合制作実習として平成 30 年度までに設計製作が完了し、企業内で活用・展開模索されている内容に関して紹介する。尚、設備稼働率・性能稼働率・良品率から生産性を“見える化”する試みと個々の“安定した検出方法”の確立を目指したため、特定の生産現場に限らず幅広く汎用的に用いることが可能なシステムとなったと研究先企業から評価された。これは、研究先企業から持ちかけられた問題や課題を効率的に解決するために、企業内で行えない加工とリンクした実験を、総合制作実習の場を利用して CAD や NC 加工機など施設内設備を多角的に運用することにより実行し、検証結果を得た成果であると考えられ、今後もこの手法を継続する。

II NC 旋盤加工工程の問題点と対策

NC 旋盤加工工程は多くの場合、加工機内への材料供給をロボットやピックアンドプレースユニットなどのハンドリング装置に頼ることが多く、旋盤パワーチャックが材料を的確に捕らえて心出し着座させることが加工前段取りの必須要件になっている。材料着座時に異物介入などにより材料が傾いた場合、着座を確認するセンサが着座不良を検出して機械停止する、もしくはセンサの着座確認ミスで傾いたまま切削加工を実行する、などによりチョコ停や不良品発生による稼働率と直行率の低下を招き、これが多くの場合生産性を引き下げる要因になっている。とくに、今回対象としている企業現場においては1人で5~10台のCNC 旋盤を担当するいわゆる多台持ちを行っているため、上述のような事象はQ品質・C原価・D納期に支障をきたす要因としてすみやかに除去しなければ企業収益が低下して、継続的かつ安定的な企業活動が営めなくなる。よって、生産性阻害の要因を発生系と流出系から調査検証して、日常的な監視方法の改善と根本的原因対策を同時に進捗した。

そこで、現状把握段階で採取データを検討・重み付けして主な研究課題としたのが、以下のア)~エ)である。

- ア) ミスなく一回で心出し可能な“一発心出し着座”の方法と部品の開発
- イ) 着座不良状態で加工を継続させない方法や異常センシングの開発
- ウ) 不良発生やチョコ停を即時に是正する方法やシステムの構築
- エ) ア)~ウ)の妥当性評価と基準確立

今回の研究対象となっている旋盤3爪内つかみパワーチャックの全容を図1に示す。

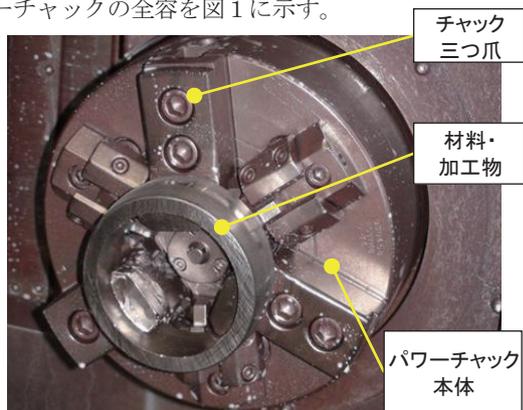


図1 CNC 旋盤三つ爪チャック全容

図1のチャック三つ爪と材料・加工物の間への異物の入り込みや衝撃・振動などの外乱が間隙を生む原因になっており、現状サイクルでの安定着座が必要であった。

1 一発心出し着座用三つ爪の開発

パワーチャックの三つ爪で一発心出しを実現するために、発生問題点の個々の要素を3次元CADで検証して爪形状変更による解決を図った。また、爪の効率的加工と手順を設計基準と標準作業に落とし込んだ。図2に爪の開発手順と仕様の概容を示す。



図2 CAD 検証による三つ爪開発手順と爪の仕様図

CAD 検証と施設内旋盤での実験により、三つ爪と材料・加工物の中に入り込んだ異物(切屑やコンタミなど)をスクレーパ効果で剥ぎ取る爪が実現できた。

また、開発したチャック三つ爪の企業内設備で時間を掛けずに簡単に加工する方法も確立・提供した。

2 着座不良検出と異常センシングの実用化

1 項により着座不良の発生は確認できなくなったが、可能性として材料の規格外れや機械トラブルによる着座ズレが想定されるので、これを捉える検出方法と設備の異常予兆を検出するセンシングを次に検討した。図3に、レーザ熱センサを材料および刃具発熱に、変位センサを材料の規格外れおよびズレに、そして開発した振動センサを装置各部の挙動監視に適用設置した内容を示す。センサ3種類のセンサフュージョンで異常の種類を特定し、その内容を PLC へ信号出力する。

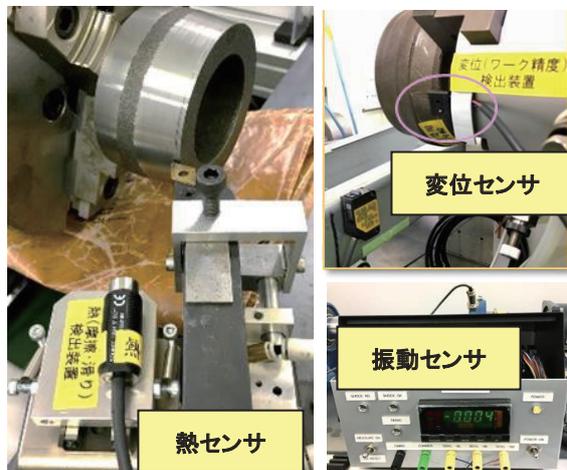


図3 熱・変位・振動センサによる異常検出

3 設備稼働状況の見える化システムの構築

共同研究先企業では、設備の稼働状況を積層信号灯(3色シグナルタワー)にて判断できるようにしており、赤点灯は停止中、黄点灯(点滅)は稼働待機中、緑点灯は稼働中(生産続行中)として表示させている。多台持ち職場であるため、離れた場所から担当する設備の稼働状態を知る術は3色の信号灯表示に頼ることになるが、多くの場合その表示を見てリアルタイムに適切な処置を下すことは困難な状況である。生産計画では、材料の供給と刃具の交換などの付帯作業や段取りを巡回しながらこなすことが要求されているが、前述のチョコ停や設備異常などが頻発した場合は処置を施している設備以外に注意を振り向けることは不可能である。

よって、稼働状態を事務所サイドで捉えて活用し、加えてその状況を工場内で共有情報として全作業員に“見える化”する仕組みを構築することが期待された。

稼働状態は3色シグナルタワーの表示色が示しているため、この信号色を使用するのが迅速容易にシステム化できると考えて、図4に示すシステムを構築した。

特徴は、受光センサにより3色を検出しその情報を通信にて事務所にあるパソコンに送り、開発プログラムにより簡易アンドン表示などを構内大型モニタに表示する。これにより、担当作業員が早期に処置優先順位を判断したり、事務所スタッフや他作業員がフォロー可能になる。蓄積データはエクセル処理して日報や稼働率計算に活用することが可能である。

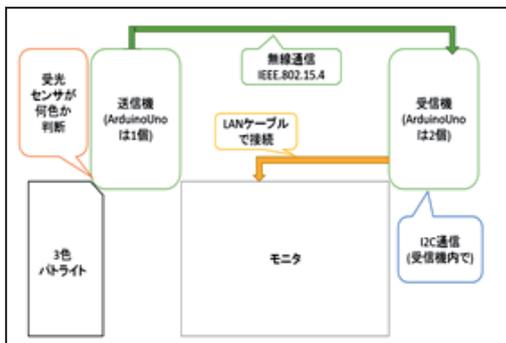


図4 稼働状態の見える化システム

4 開発・構築した装置などの妥当性評価

共同研究と総合制作実習を両立させる内容で進捗するため、実機旋盤工程の機能部分を模した機能評価装置を設計製作して開発構築した装置やシステムを評価すると共に企業内で実機に装着して確認し、実用可能と評価をいただいた。図5に実機の加工・センサ・シグナルをモデル化した装置を示す。表1に機能評価装置の仕様を、図6に開発した受光通信システムを企業内実機3色シグナルタワーに装着する模様を示す。

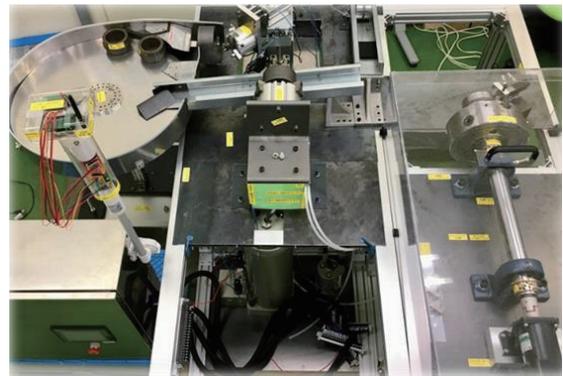


図5 機能評価装置の全容

表1 機能評価装置の仕様

仕様項目	型式など
本体寸法	2,000 mm幅×1,500 mm奥×1,720 mm高
制御装置	PLC: 入出力 73 点, 非常停止釦+タッチパネル, 可倒式 3色シグナルタワー
モータ	トルクモータ... 旋盤チャック回転軸用 (ダイレクトドライブ)
駆動方式 (ハンドリング)	空気圧+空気圧コンバータ低油圧+転がり+自由落下(横送り)
スピードと角度	可変: ~2,000 (mm/S), ハンドリング角度 3POS (0~90~180°)
チャック	内径把持 φ60~100 対応平行開閉形 3爪チャック(スライドガイド方式): 359~750N
材料ストック搬送部	ターンテーブルφ600...ピックアップ位置設定, OKリターンNG自由落下
電装と通信関係	◆電装箱 590 mm幅×590 mm高×240 mm奥行, 3色シグナル+モータ+キャスター付き ◆送受信器+モニタリングユニット (システム化)
データ処理とモニタ表示 (見える化と揭示報文化)	◆3色シグナルの状態と3種異常診断・2種測定 of 信号を送信⇒他所で受信したデータを PLC 処理 (EXCEL) してモニタ表示
電源と空気圧源	AC100V 主電源 (制御 24V), 空気圧源 0.5MPa



図6 企業内での実機装着での評価

III 総合制作実習での設計・製作

1 機械系の取り組み(評価装置の設計製作)

製造現場の見学と技術担当者との打合せの中で、企業サイドで洗い出した問題点と学生が抽出した問題点を現状データとして捉え、品質管理手法(特性要因図なぜなぜ分析・パレート図)を用いて解析して、重点指向で問題解決と課題達成を目指した。図7にCADで検討した機能評価装置のモデリング概要を示す。

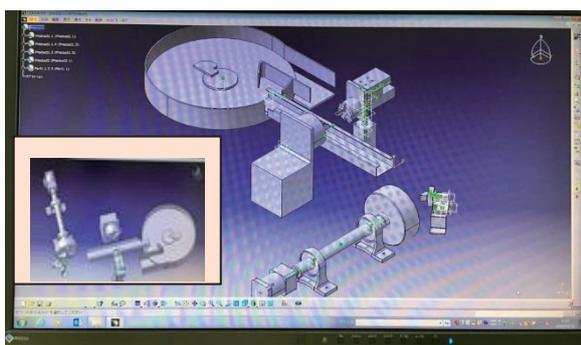


図7 機能評価装置の3D-CADモデリング

本装置は、実機旋盤工程の材料供給から加工前後での材料精度判定および刃具や設備の異常判定を行い、その結果を3色シグナルタワーに表示し、合わせて通信により3色シグナルの点灯情報をデータ管理PCに送信することを可能にする機構である。今回、機能評価装置として活用するセンシング要素については、企業で運用している空圧センサの代替として変位センサを、また新規に振動センサと熱センサを機能評価のみならず故障予兆の診断にも用いることを目標に装置化した。装置化後、異常の範囲を決定するため、検出信号レベルと異常評価項目を加工品質と照合して境界閾値確定への手順を踏んだ。工場見学および構想設計の段階から、機械・電気・情報3系が同時に問題解決に対処する方針を採っているため、機械系が主体になり早い段階から基本構想図・仕様・サイクル線図やタイムスケジュールを提示し、各学生が個々の役割を十分担えるよう配慮した。また、同時進行ながらアローダイアグラムを用いて、3科間および研究先企業との密接な情報交換の機会を、授業の月度・期・発表会のタイミングに行えるようにして計画遅れや問題の先取りを実現している。

2 電気系の取り組み(装置電装の設計製作)

機械系の構想設計を受けて、電気系が評価装置を機能させる条件を検討して得た電装仕様を表2である。

表2 電装ボックスの基本仕様

仕様項目	型式など
電装ボックス	幅590mm×高さ700mm×奥行240mm
電源	主:AC100V, 制御:DC24V サプライ S8VS-06024
PLC	Q03UDE
PLC入・出カユニット	QX42-S1(入カユニット), QY42P(出カユニット)
PLCアナログユニット	Q64AD2DA
温度調節器	E5DC-CXODSM-015
モータコントローラ	DSP501M
コネクタ式端子台	MSW-M40-HT40
タッチパネル	GT1455-QTDE
3色シグナルタワー	LR4-02QJD (電装部)
露出型 AC100V コンセント	

入出力点数やミスト飛散環境使用対応から、ステンレスボディとタッチパネルを使用し、また接続用コネクタを使用することにより配線長を極力減じている。図8に3色シグナルタワーを具備する電装ボックスの外観と電装ボックス内およびタッチパネル表示を示す。



図8 電装ボックスの外内観とタッチパネル

3種のセンシングの内、変位センサと振動センサはそれぞれコントロールユニットがあり、デジタル信号を出力するが、熱センサはアナログ信号出力のみなので信号をPLCに取り込む過程でA/D変換を行う。これによりデータ通信可能な装置化が整うことになる。図9にA/D変換の活用図を示す。



図9 A/D変換の活用図

電装ボックスに装着した3色シグナルタワーには、3色光の発光識別と通信を担う3色受光通信ユニットを図10に示す状態で装着している。ケース製作は機械系が、配線集約電装ボックス内取り込みは電気系が担った。

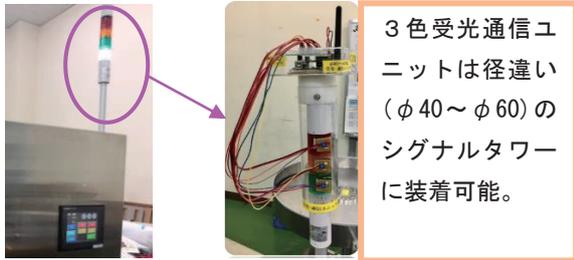


図10 3色受光通信ユニット

3 情報系の取り組み(通信とプログラム製作)

稼働状態が見える化することにより稼働率向上を、ひいては生産性アップを狙うのが最大の狙いとなっているため、情報系は3色シグナルタワーの受光とデータ通信を含むデータ送受加工と表示を一連のシステムに押し上げる作業に取り組んでいる。図11は企業からイメージとして提供されたシステム概要と表示事例である。



図11 システム概要と表示例

無線通信は、短距離無線通信規格の一つである ZigBee 規格通信モジュール「XBee」を採用しており、現段階では1:1の通信は確立しているが、今後1:nに発展させる。送受信機は ArduinoUno を計3個使用しており、Arduino用シールドをベースに作製している。

図12に受光通信表示のシステムイメージを示す。

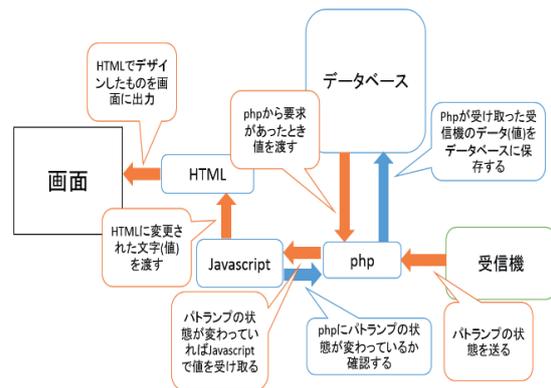


図12 受光通信ユニットを用いたシステムイメージ図

モニタへの画面表示は、以下の内容・手順で行う。

- ① 小型パソコンをモニタに取り付けて処理する。(ソフトは Xampp である。)
- ② Ethernet を利用して情報を受け取り処理する。
- ③ 処理した情報をデータベースに保存する。
- ④ データベースから必要な情報を呼び出して表示させる。
- ⑤ 表示は5種類(設備の稼働状態を表す表示色)

- 赤・・・「エラー」停止
- 黄・・・「補充待ち」停止
- 緑・・・「稼働中」
- 二つ以上点灯・・・「センサエラー」
- 点灯なし・・・「全停止中」電源 OFF

データベースに保存されたデータを EXCEL で加工することにより、出来高や稼働率などの機別日報・稼働分析表などを紙情報として提供可能になっている。

4 総合制作実習での取り組み総括

企業との共同研究の一翼を担い、自由な発想で発展的提案が出されることを目論んだ3科共同総合制作実習であったが、予想通り個々の製作ユニットや装置が研究先企業にとって有益な製作物や提案になった。

本研究では、本校施設内設備を使用して専門課程総合制作実習の中で対象部品の検証と製作を行っており、下記項目の製作・検証を共同で行うのみならず、実習を通じて学生の問題解決能力の向上も目指した。

- ① 三つ爪の型番共有化と加工方法・手順変更 ⇒設計基準と標準作業確立
- ② 切屑排出性の高い切削条件(回転数・切り込み・送り・刃具・チップブレーカ)の検証 ⇒現状切削サイクル内での切削条件の検証と NC プログラム化
- ③ 現状の着座確認(空圧)、定寸(接触型)、安全カバー(固定扉 LS)、異常診断(電力過負荷検出)に変わる非

接触センシングを提案(機能確認実験)

④ 稼働状況の見える化と収集信号データの活用(工場内および事務所)

製作評価・機能検証の結果、機能部品製作①と加工方法確立②に関しては製作物単体では設定した目標仕様(5Mでの問題解決)を満たしたが、部品の型番共有による長期使用とNCプログラムへの展開・活用は最終年度に譲った。検出系③に関しては、各機能の評価装置での検証を終えており、今後加工や外乱の影響を加味した工程内設置を具体化して実機使用で評価する。稼働の見える化として取組んだ“(φ40~φ60)シグナルタワー用簡易装着ユニット”でのデジタル通信と採取データの活用表示④は、工場内全域(80m×30m)で外乱(工場内雰囲気・構内無線・電力磁場等々)影響を受けず活用できることが確認できており、今後は通信点数を増やして工場内大型モニターへの表示と企業から要望された画面表示およびCSVデータのEXCELデータ加工に取り組んで、企業が望んでいる見える化にまとめていく。

以上により、設備故障診断を併せ持つ検出機能をCNC旋盤に持たせることが可能となったので、稼働の見える化との相乗効果(予兆管理+予知保全+設備の作業起因停止抑制)で設備稼働率80%(従来60%)が確保できることを確認した。共同研究先企業の加工設備の異常が開発したセンシング機能(振動・熱センサ)で顕在化され、また稼働状況の見える化によりリアルタイムに各設備の状況が把握できるようになった。つまり、5M改善のために必要なデータが確保出来るようになった。

表3に総合制作実習の目標と達成結果の一覧表を示す。

表3 総合制作実習の目標と達成結果の一覧

今回の目標	達成結果(達成内容・割合)
①新作3爪設計・製作 ⇒加工容易化・多型番φ60~100対応・SUJ2切削条件の検証(切屑排出性up)	・加工容易化:φ110SUJ2棒材を、旋盤、フライス盤、砥石切研機で実用形状爪を製作 ・多型番化:内径φ60~φ80達成。(2.5kg7→7) ・汎用機で”切り込み量,回転数,送り”検討
②ローディングユニット設計・製作 ⇒企業で使用しているワークローディングをモデル化(電気・空気圧・低油圧) ・同一爪の共有多型番化	・ワーク搬入払出しを付帯したローディングユニットを1式の装置として設計・製作した(モータ2個,低油圧Cv1個,空気圧アクチュエータ8個) ・可搬重量は多型番化対応のための2.5kg(理論安定域3kg)ワークまで可搬(従来1.25kg)
③評価装置の設計・製作 ⇒回転軸や力学的強度仕様を確保・振動(マグネット装着)・熱(レーザ)・変位(レーザ)・位置と安全(光電),他のLSは全て透過型光電SW検出機能確保	・トルクモータ使用のT/Tと旋盤回転軸に選定したモータ(ギアヘッド減速)は、回転モーメントや伝達トルクを満足した ・各動作および検出機能は正常に機能した ・評価装置の全自動運転(ワークがある限り稼働)は安全面から実行を控えた ※受光通信ユニットのシグナルタワーへの装着設置用ケース(φ40~φ60円筒対応)製作
④稼働の見える化とフィードバック機能(他科担当含む)	・全自動での外配とシーケンスが一部未完 ・企業要求モニタリング内容が一部未完 ・個々の検出に対するフィードバック機能用(是正回路等)一部外配と確認が未実施

5 共同研究で総合制作実習成果を評価

総合制作実習で製作した三つ爪を用いてCNC旋盤加工を行うときの最適加工条件(要求Q・C・Dを常に保証する加工条件)を品質工学実験⁽¹⁾⁽²⁾で求めて、その最適条件の下で実機加工を行うことで三つ爪の有効性を再評価した。最適条件の検証実験については、図13に実験割付と結果を抜粋して示した。主なパラメータは“切削の3条件・チップブレードサイズ・クーラントの吐出量・刃具使用時間”などである。熱間鍛造ショットブラスト済み軸受鋼を材料として、単位時間内に加工精度の確保とチップ損耗の最小化を図る狙いが検証され、材料の表面性状や微小形状崩れおよび雰囲気外乱を吸収する条件をこの三つ爪が提供していることがわかった。

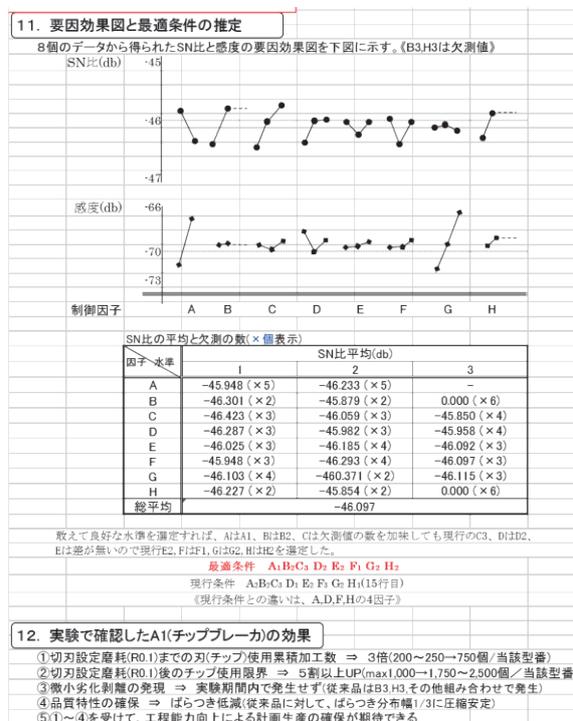


図13 最適化実験(L18)の結果抜粋

IV おわりに

稼働率の向上や設備異常診断は企業が追及する生産性課題として積極的に取り組むべき課題であり、共同研究の範疇から総合制作実習への取込みを可能にするケースは企業と教員および学生へと互恵関係を拡張する可能性を秘めていると考えられる。現在、この関係を維持しつつ実践を積んでいるが、より高度に発展させる計画を模索しつつ進捗展開させている。

【参考文献】

- (1)北陸職業能力開発大学校紀要 第19号2018年 P.10.
- (2)北陸職業能力開発大学校 共同研究本部報 2019年.