

船外機の市場不具合低減活動 (パワーチルト&トリム)

Activities for Reducing Initial Market Failures in the Outboard Motors Market
(Power Tilt & Trim)

高林 亮介 山下 敏之 青木 崇浩 岡本 守央 山口 淳

要旨

ヤマハ発動機株式会社(以下当社)の大型船外機の製造拠点である袋井南工場(静岡県袋井市)では、今まで以上にお客さまに安心と信頼をお届けするために、市場初期不具合の低減を目標に掲げ、不良検出力の強化活動を行っている。市場不具合を部品別に分類した結果、大部分がパワーチルト&トリム(以下 PTT)に関連しており、中でも、“作動時間の遅延”、“作動時の異音”の案件が多く発生していることが判明した。そこで、現行完成検査の工程変更や新たな設備投資をすることなく、自動判定機能を織り込んだ PTT の作動時間検査装置と異音検査装置を導入したので報告する。

Abstract

At Yamaha Motor Co., Ltd.'s (hereinafter referred to as “the Company”) Fukuroi Minami Plant, the manufacturing hub for large outboard motors, the Company has set a goal of reducing initial market failures. To achieve this, the Company is implementing activities aimed at enhancing fault detection capabilities, ensuring greater peace of mind and reliability than ever before. An analysis of market failures by component revealed that the majority were related to the power tilt and trim (hereinafter “PTT”), with delayed operation times and abnormal noise during operation being the most common issues. In response, the Company has introduced a PTT operation time inspection device and an abnormal noise inspection device, both featuring an automatic determination function. These innovations were implemented without altering the current final inspection process or investing in new equipment. This report will detail the specifics of this initiative.

1 はじめに

当社の船外機は、ここ数年で大型モデルを中心に US(米国)市場での販売が増加し、それに伴い売り上げも伸びてきている。しかし、他社の新商品の投入によって競争は激化しており、このような環境下で事業成長を続けるためには、新商品を開発するだけでなく、品質と信頼性の高い製品をお客さまへ提供することが必要不可欠である。

また、マリンス事業本部では、“私たちは、お客さまのマリンライフをさらに安心・快適な経験に変えるため、お客さまの視点により、高品質で信頼性の高い製品とサービスを提供します。”という品質基本方針を掲げている。製造部門は、お客さまから寄せられた市場不具合情報に対し真摯に向き合い、市場問題の発生・流出防止のための取り組みを継続することで、より一層の安心・信頼できる商品をお客さまに提供することを目指している。

2 市場不具合発生状況

特に短時間の使用で不具合が発生した場合は、ブランドイメージを著しく低下させることが容易に考えられる。そこで、運転時間10時間以内で発生した市場初期不具合を調査した結果、最も不具合が多い部品は PTT であった。また、PTT の不具合を事象別で見ると、“作動時間の遅延”と“作動時の異音”の2つの事象で約6割を占めていることが判明した。

補足として、PTT とはパワーチルト&トリムの略称であり、油圧を用いて船外機の角度を自由調整できる機能を有する部品である。船は速度が上がると船首が浮き上がり、船外機が取り付けられている船尾は沈んだ姿勢になる。安定かつ速く航走するにはプロペラの角度を推進方向に最適に保つ必要がある。この船外機の角度を微調整する機構を“トリム”という。

また、船を港に停泊させる際、海水の汚れや腐食から船外機を保護するために、海面から船外機を引き上げる機構を“チルト”という(図1)。

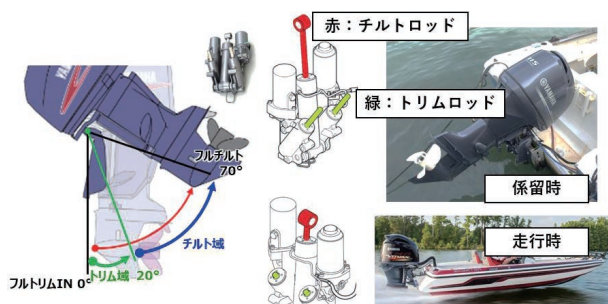


図1 PTT（パワーチルト&トリム）の機能と構造

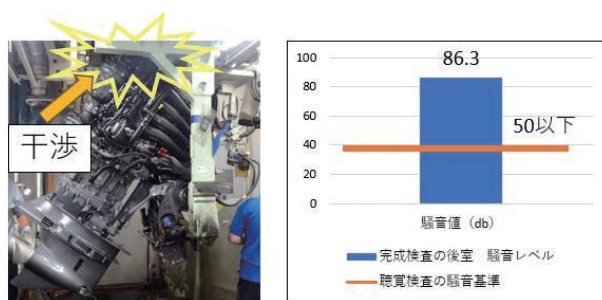


図3 船外機設備干渉および完検洗浄工程の騒音環境レベル

3 工場出荷前に異常検知するための課題

先述の通り、PTTの初期不具合について、完成検査に焦点をあて調査した結果、PTTはメーカー保証[※]のASSY納入品であり、当社の完成検査では作動可否の確認のみで、作動時間と作動音は確認していないことがわかった。

そこで作動時間と作動音の検査導入を目的に、現状の完成検査工程を調査した結果、以下2点の問題があることがわかった。1つ目は、検査員が現時点で配置されている工程ではPTTの作動ができない問題がある。具体的には、新規検査項目は、洗浄後にPTTを上昇・下降させる作業工程で行うのが適しているが、現状で洗浄作業工程を担っているのは非検査員のため、検査権限がないことが課題となる(図2)。

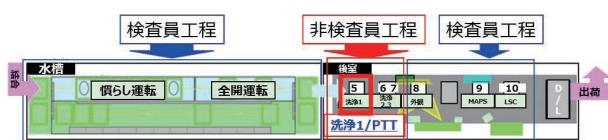


図2 完成検査の洗浄工程位置

2つ目は、「異音検査」のための設備と騒音環境下での検査方法に課題がある。具体的には、市場で使われるPTT全作動域の検査がポイントになるが、現行設備ではPTTを上昇させる途中で、設備と船外機の干渉により、フルチルト角度まで作動できない。また、周辺で洗浄・エアブローを行っている騒音環境下で異音検査を行うことが困難な状況であった。しかし、これらの課題解決のために、設備に多大なコストをかけられないという理由から、現行の工程制約の下でPTT作動時間と異音の検査の導入を検討した(図3)。

※メーカーとはYHSJ(ヤマハモーターハイドロリック株式会社)であり、PTTの開発～製造を行っている。

4 目標

PTTの“作動時間の遅延”と“作動時の異音”の市場初期不具合ゼロを目標として、これを達成するための検査工程の導入において以下2点に取り組んだ。

- ・音と作動時間を機械で自動合否判定する手段の確立(検査員を必要としない)
- ・現状の工程制約で成立する検査手段の確立(チルト角度の制約・環境音の制約)

5 対策

5-1. 検査コンセプト

検討に際し、まずPTT出荷検査強化のコンセプトを3つ掲げた(図4)。

1. YHSJで行っているPTT単品検査と袋井南工場で行う船外機完成検査の内容を整合させて、作動時間を測定することで、データの紐づけ分析を可能にさせる。
2. AIを用いて正常・異常な音を機械的に判別させることで、異音判定のバラツキを抑制する。
3. 巨額な設備投資をすることなく、現状の完成検査の制約条件下で検査を成立させる。

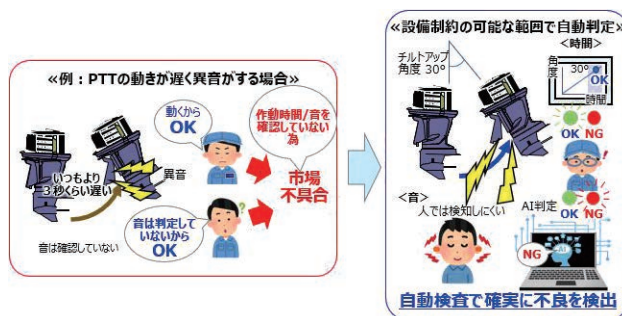


図4 検査コンセプト

5-2. 作動時間検査方法の検討と導入

まず作動時間について、YHSJと同じ検査を完成機で再現させるための検査方法を検討した。YHSJでは、PTT単品に完成機同等の荷重を加えた上で、角度10°ごとのPTT作動時間と最大電流値を測定し検査している(図5)。

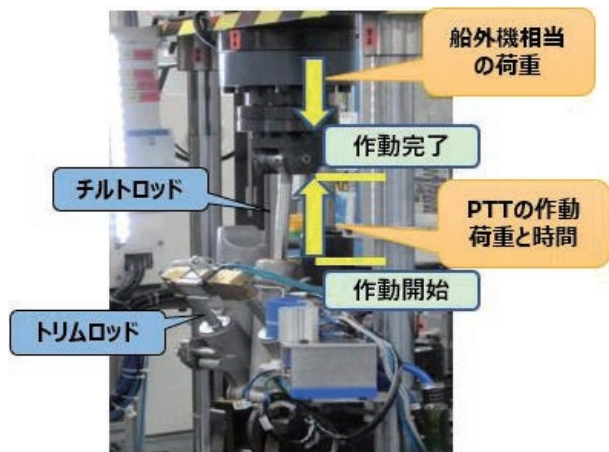


図5 単品状態の PTT 検査

一方で当社の完成検査では設備構造上、フルチルト角度まで作動させると船外機が設備に干渉してしまうため、最大角度の作動検査と同等の精度がある検査方法として、“速度検査”“電流値検査”“作動時間検査”の3案の検討を行った。そのうち、“速度検査”“電流値検査”には明確な規格値がなかったため、PTT単品での図面規格値が存在する“作動時間検査”で検討を行うことに決めた。次に、PTTの動作可能な範囲から検査角度を検討した。PTT動作可能範囲とは、設備に接触する直前までの角度であり、その作動域は約35°であった。なお、図面のPTT作動時間の規格から作動域35°の想定作動時間を算出することで、フルチルト同等の判断が可能と考えた(図6)。

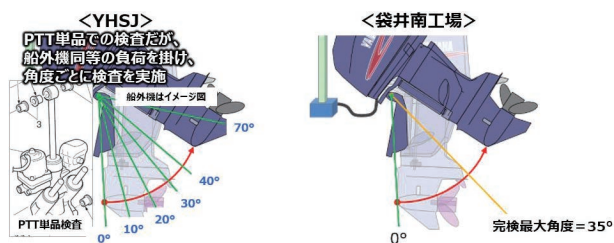
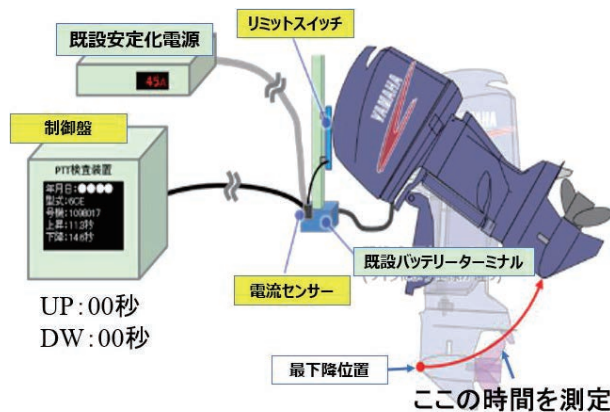


図6 YHSJと袋井南工場の PTT 作動角度の違い

PTTは、船外機に付いているPTTスイッチを作業者が押すことで上下に作動する。そこで、PTTが作動したときの電流を活用し、その入力電流をトリガーとして作動時間の計測を行う仕組みを取り入れた。なお、上昇動作、下降動作の2パターンの作動時間計測を行う必要があるため、それぞれの作動時間計

測方法を検討した。上昇動作では、入力電流をトリガーとして計測を開始し、終了点にはリミットスイッチを設置して、船外機の一部がリミットスイッチに接触することで強制的に動作を停止させる仕組みとした。下降動作では、入力電流をトリガーとして計測を開始し、PTTが最下降位置に達し作業者がスイッチを離れた時点(電流遮断点)を終了点として計測する仕組みとした(図7)。



作動開始⇒リミットスイッチ⇒電源遮断⇒作動時間

図7 計測装置

次に、作動時間検査の規格値を検討した。いくつかの不具合品を調査した結果、作動時間が早いものでも単品図面規格値の1.8倍を要していることが判明した。なお、完成検査では設備制約上、最大角度まで作動できないため、作動角度ごとの作動時間を机上で算出し、規格値を仮設定した(図8)。

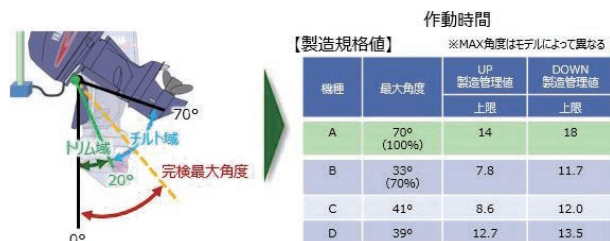


図8 作動時間の製造規格値(単位:秒)

算出した規格値でテストを行った結果、机上計算の規格値に対して、実際の作動時間は短いものがほとんどであった。そのため、図面規格値ではなく、不具合につながりそうな異常品を検出するための製造独自の規格値を設定する必要があると考えた。そこで、量産品の作動時間を約1カ月間サンプリングし、その±4σを袋井南工場の検査規格値に設定した。この検査規格は、PTT単品図面の規格値よりも厳しいものであり、市場で不具合が発生する可能性のある商品を工場で検出することは可能である。そし

て、異常を検出した場合は、真因追究を行い発生対策を織り込むことで、さらに信頼性の高い商品提供が可能になる(図9)。

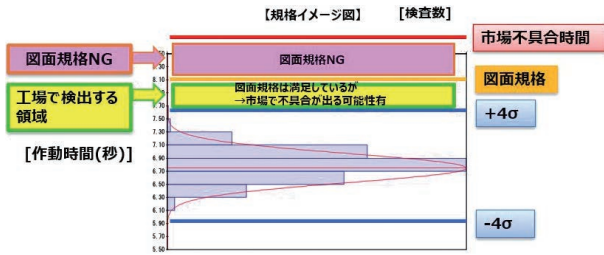


図9 規格値分析

5-3. 異音検査の検討と導入

次に、異音検査方案の検討に際し、まずは異音発生源の調査を行った。その結果、異音の9割以上がモーター起因の音であることが判明した(図10)。

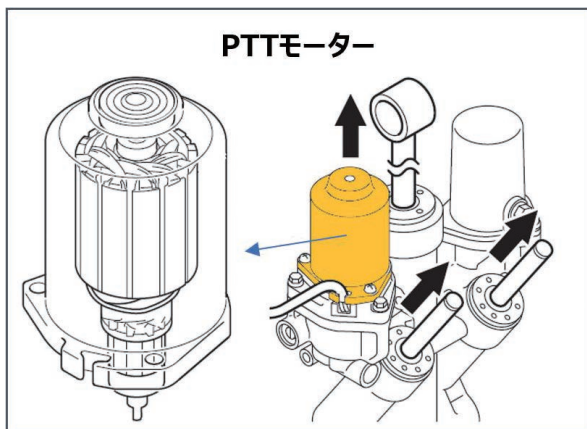


図10 PTT モーター

モーターは、PTT 内部のギヤポンプにより油圧で駆動する部品であり、常に一定の速度で回る。したがって、フルチルトまで作動させなくてもモーターからの異音検査は可能と考えた。異音検査の仕組みは、収録した音の大きさだけで判断するのではなく、異音の特徴を捉えるために周波数ごとの音の強弱を表現できる STFT (短時間フーリエ変換) 画像に変換し、画像から周波数・時間・音圧の特徴を AIへ学習させ、正常な音と異常な音を機械で自動判別させるようにした(図11)。

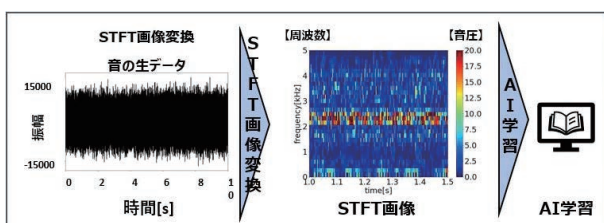


図11 STFT 画像変換、AI 学習

また、検査工程では水槽運転検査にて船外機の外観について水をエアブローで飛ばす際に、約80~100dBの騒音が発生する。このような騒音環境下でも PTT の作動音を検知することができるかテストを行った結果、現状の完成検査の騒音環境下でも PTT 作動音の検出が可能であると確認できた(図12)。

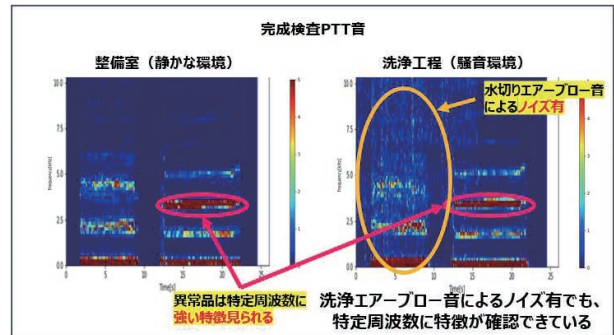


図12 騒音環境下での特徴確認

異音検査の規格値は、YHSJ や品質保証部門と協議の上、市場で発生する異音の大半を占める3つの不良モード1) BRG (ベアリング)変形による摺動異常、2)モーターマグネット割れによる干渉不良、3)コネクタ変形不良について、異常品サンプルを作成し、異常音を AI 学習させることで異常を判別できるようにした。工夫点としては、集めた音の周波数と強度のレンジを調整することで AI に学習させやすい STFT 画像を作成した。まず、着目する周波数帯は2,000Hz ~ 6,000Hz、音圧レベルのカラーマップ設定は-50dB ~ 40dBとした(図13)。

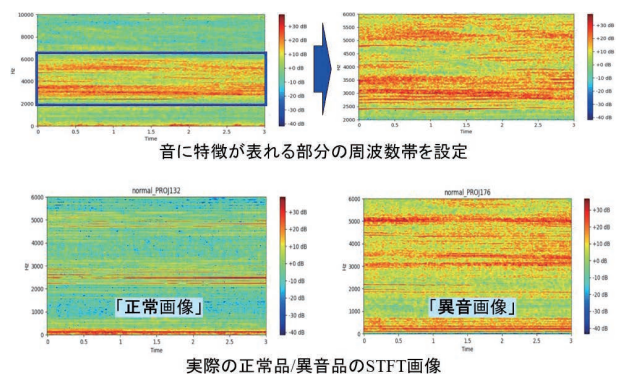


図13 判定周波数、強度の設定

AI は CNN (Convolutional Neural Network) と AE (Auto Encoder) の2種類を使用した。CNN は画像判別が得意な AI であり、AE は異常検知が得意な AI である。学習データには正常品500データ、不良品15データを活用した。テストの結果、正常品、不良品ともに、正確に合否判定できることを確認した(図14)。

Activities for Reducing Initial Market Failures in the Outboard Motors Market (Power Tilt & Trim)

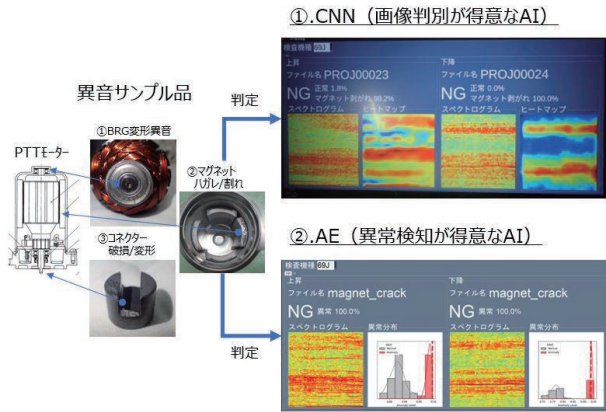


図14 AI判定

5-4. 作動時間検査および異音検査の導入効果

今回開発した検査装置は、現状の設備でも船外機と接触することがなく、検査員資格を必要としない。そのため、現状の工程を変更することなく、PTTの作動検査・異音検査を実現させることができた。表1に導入効果を示す。

表1 導入効果

検査内容	運用開始時期	不具合件数
作動時間検査	2022年2月から	0件
異音検査	2024年1月から	0件

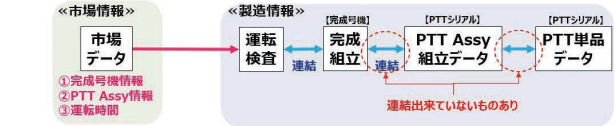
6 おわりに

今回の“作動時間の遅延”と“作動時の異音”というPTT市場不具合低減の取り組みは、これまで未実施だったPTTの作動時間・異音の検査に自動判定機能を織り込んだ検査装置を導入することで、工程変更と新たな設備投資をすることなく、商品の品質保証に貢献できたと考える。本施策の導入後に、市場での初期不具合0件という実績より、有効性の高さが示された。今後は発生防止の観点から源流改善を行うことも必要である。検査を追加したことでPTTの不具合検出が可能となり、さらには新検査方法で異常と判断された部品の調査のため、前工程と連携を開始し情報を共有する体制も構築できている。源流改善を行うためには、不具合の原因を特定し、対策しなければならないが、いまだ全ての原因がつかめていないため、今後はビッグデータを活用し、原因分析につなげることを検討している。まず、“製造条件や検査情報”と“市場の故障情報”を紐づけるように、PTT単品に付与されたPTTシリアル番号と船外機の完成号機のデータ管理を整備中である。次に、連結されたビッグデータを解析ソフトで分析し、製造要因の洗い出し、原

因の追究へとつなげ未然防止を図っていく。上記の活動を今後も継続し、発生防止と流出防止の両方の施策を強化して、市場不具合ゼロを目指していく(図15)。

●製造と市場のデータの繋がり

例) PTT Assyの短時間不具合低減



●市場×工場データ連結による分析手段確立(実績作り)

従来：単一/少数仮説の分析 (統計手法)

ビッグデータ×データ分析基盤活用



図15 データ連携

■ 著者



高林 亮介
Ryosuke Takabayashi
マリン事業本部
製造統括部
マリンエンジン製造部



山下 敏之
Toshiyuki Yamashita
マリン事業本部
製造統括部
マリンエンジン製造部



青木 崇浩
Takahiro Aoki
生産技術本部
生産技術部/
静岡大学情報学部客員教授



岡本 守央
Morio Okamoto
生産技術本部
生産技術部



山口 淳
Jun Yamaguchi
生産技術本部
生産技術部