2026 年度第４回データ活用委員会講演内容（9 月 15 日）

設備・ロボットの信頼性を起点とした保全・自働化の進化（Vol.2）

講演者：川崎重工業株式会社　精密機械・ロボットカンパニー　ロボットディビジョン
自動車システム部　酒井　浩久
まとめ：佐藤知正（東大名誉教授）

概要

本講演では、川崎重工業株式会社の酒井浩久氏が、トヨタ自動車での長年の生産技術・工場経営の経験を踏まえて、設備・ロボットの信頼性を起点とした保全・自働化の進化について、シリーズ講演の第２回として報告した。講演の主張は単純明快であり、設備をいかに止めないか、止まった場合にいかに早く復旧するか、そしてその経験をいかに次の改善へつなげるか、という三点に尽きる。

講演では、信頼性・保全・自働化という三つの技術基盤（Layer１）が、TPS 統合設計（Layer２）や人中心・グローバル統合・持続可能生産（Layer３）を支える土台であることが示された。具体的には、稼働・保全情報管理システムによる見える化、MTBF・MTTR・可動率・直行率という信頼性工学の指標、量産前の徹底的な耐久試験とワイブル解析による弱点部位の特定、予知保全（PdM）の成功事例と失敗事例、センサ情報が過多となった際の取捨選択の考え方、V-MICS・TPM・PdM を三位一体とした技術伝承の仕組み、そして自動化と自働化の違いを体現する五つの新生産技術（ホイールアーチヘミング、ルーフレーザろう付け、ビード自動研磨、LSW、接着工程）が紹介された。さらに海外工場における未完成車滞留の逸話や、電池セル生産ラインにおける稼働率低下の事例を通じて、信頼性・保全・自働化を統合的に作り込むことの重要性が論じられた。

質疑応答では、収集すべきデータの絞り込み方、加工点以外の間接的な情報の活用、熟練作業者が持つタイミング制御という暗黙知、ヒューマノイドロボットにおける保全性を重視した設計の必要性などが議論されたので、それらについても本稿にあわせて紹介する。

第１章　緒論

製造現場において設備やロボットを安定して稼働させ続けることは、生産システム全体の品質・納期・安全性を支える基盤である。しかし、どれほど優れた設備であっても、故障や停止を完全に避けることはできない。重要なのは、いかに止まりにくい設備を作り、止まった際にいかに早く復旧し、その経験をいかに次の改善へとつなげるかという視点である。

本講演の講演者である酒井浩久氏は、1986 年にトヨタ自動車に入社して以来、生産技術・工場管理・海外工場経営など幅広い現場経験を積み、2022 年に川崎重工業へ出向、2024 年に転籍して現在に至っている。長年にわたりトヨタの生産現場で自動化・ロボット化に携わってきた酒井氏の知見は、稼働中の設備から現場データを収集・蓄積・活用する方向性とは異なる視点から現場データのあり方を論じるものであり、新型ロボットの普及が進む現在においても改めて見直すべき重要な知見を含んでいる。

産業用ロボットは、位置制御によって高い作業の繰り返し精度を実現してきたが、ロボット化が進むほど一台の設備停止がライン全体に波及するようになり、信頼性の重要性はかえって高まっている。また、人型ロボットのように多関節・多自由度で柔らかい機構を持つロボットが普及するにつれ、位置制御だけでない保全性や自働化の考え方をあらためて整理する必要が生じている。本講演は、こうした背景のもとで、信頼性・保全・自働化という三つの観点を統合的に捉え直す試みである。

本稿では以下の構成で酒井氏の講演をまとめて記述する。第１章は序章であり、それに続く第２章では、信頼性・保全・自働化という三つの技術基盤と Layer 構造による位置づけを概説する。第３章では、設備・ロボットの信頼性（Reliability Engineering）について、見える化の取り組みと信頼性工学の指標、弱点部位の特定手法を詳述する。第４章では、保全システムの進化（Maintenance System）として、予知保全の事例や V-MICS・TPM・PdM による技術伝承の仕組みを述べる。第５章では、自動化と自働化（Automation & Robotics）の違いを、五つの新生産技術事例とともに説明する。第６章では、信

頼性・保全・自働化の統合モデルと、Layer２・Layer３への展開について、海外工場での教訓を交えて論じる。最後の第７章は結論であり、本講演の要点をまとめるとともに将来課題を述べる。

第２章　信頼性・保全・自働化の全体像

2-1　本講演の位置づけと三つの視点

本講演の冒頭で酒井氏は、今日一番伝えたいことは三つであると述べた。第一に、設備・ロボットの信頼性は生産システム全体の土台であり、品質・安全・生産性のいずれも、設備が安定して動くことを前提としている。ただし、絶対に止まらない設備は存在せず、大切なのはいかに止まりにくくし、止まった際にいかに早く復旧するかである。第二に、保全の考え方は、壊れてから直す事後保全から、兆候をつかんで止めない、あるいは止まっても早く戻すという活動へと進化している。第三に、自動化は単なる省人化ではなく、異常を発見し、止めて、呼んで、待って、それで人が正しく判断できる状態を作ることこそが本質である。

酒井氏はこの三つを、Reliability Engineering（信頼性工学）・Maintenance System（保全システム）・Automation & Robotics（自動化とロボティクス）という副題のもとに整理し、一見別々に見えるこれらの分野が、実際の工場では密接につながっていることを強調した。

2-2　Layer 構造による技術基盤の位置づけ

本講演の内容が全体のどこに位置づくかを確認するため、酒井氏は三層構造による整理を示した。

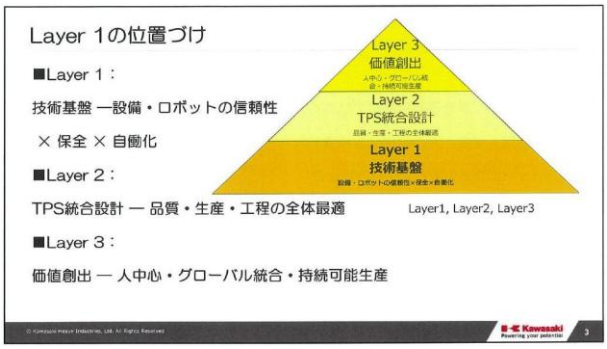


図１　Layer１の位置づけ（技術基盤・TPS 統合設計・価値創出の三層構造）

その三層構想は図１に示すように、最下層のLayer１は技術基盤であり、設備・ロボットの信頼性・保全・自働化から構成される。今回の講演は、この部分を扱っている。その上のLayer２はTPS（トヨタ生産方式）統合設計であり、品質・生産・工程の全体最適を扱う。最上位のLayer３は価値創出であり、人中心・グローバル統合・持続可能生産を志向する。ここで酒井氏が強調したのは、Layer１は単なる下支えではないという点である。Layer１が弱いと、設備がよく止まり、チョコ停が多く、復旧に時間がかかるため、上位の構想は現場で安定して機能しない。逆にLayer１が強くなると現場が安定し、人が改善に向き合う時間が生まれる。本講演はこのLayer１、すなわち技術基盤の強化を出発点とするものである。

第３章　設備・ロボットの信頼性（Reliability Engineering）

3-1　なぜ信頼性が重要か

かつては設備が一台停止しても、比較的局所的な影響にとどまることが多かった。しかし、ロボット化が進んだ現在では、一台の停止がライン全体に波及するようになっている。特にボデー工程のように搬送そのものをロボットが担う工程では、ロボットが停止するとバックアップも容易ではない。トヨタのラインは一個流しを基本としているため、一つの設備の停止がそのままライン全体の停止に直結する。酒井氏が最も恐れるのは設備停止そのものではなく、停止した後の対応である。ラインが止まると現場は焦り、安全確認や手順を省略してしまうことがあり、そこに災害リスクが潜む。品質面でも、設備停止は大きな変化点であり、普段は起きないような人的ミスが生じやすい。したがって、信頼性は保全だけの問題ではなく、設計・立上げ・生産・改善のすべてに関わる、生産システムの能力を作り込む課題であると酒井氏は位置づけている。

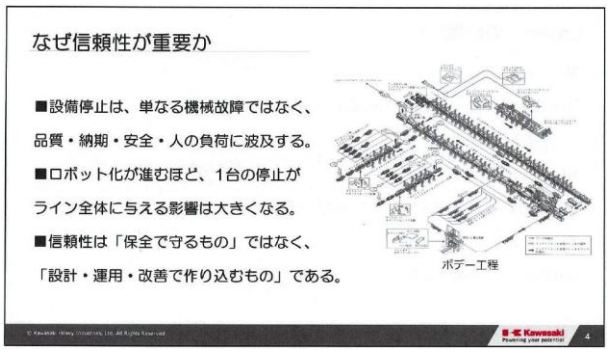


図２　なぜ信頼性が重要か（ボデー工程の模式図）

図２に示すように、ボデー工程では多数のロボットが直列に配置されており、一台の故障がライン全体の稼働に直結する構造となっている。

3-2　見える化の取り組みとライン全体で見る視点

酒井氏が最初に取り組んだのは見える化である。保全でも改善でも、まず現状を正しく知ることが最も重要であり、見えないものは改善できないという考えに基づき、国内外の工場に稼働・保全情報管理システムを構築・展開した。ここでの

要点は、自工程だけを見ないことである。設備担当者はとかく自分の設備だけを見てしまいがちであるが、実際にはラインは一つの生き物であり、前工程の停止、後工程の詰まり、自工程の問題を切り分けて見られるようにする必要がある。設備能力・バッファ数・ライン構成という三つのバランスが重要であり、酒井氏は信頼性を設備単体の話ではなく、生産システム全体の能力の問題として捉えている。

3-3　信頼性工学の指標と量産前耐久試験

信頼性工学の指標として、平均故障間隔（MTBF）、平均復旧時間（MTTR）、可動率（Availability）、直行率（Throughput）の四つが用いられる。MTBF はどれだけ長く壊れずに動き続けられるかを、MTTR は止まった後何分で復旧できるかを表す指標であり、現場ではいずれも重要である。年に一度しか壊れないが復旧に半日を要する設備は現場にとって危険である一方、小さな停止が頻発しても原因がすぐに分かり五分で復旧できる設備の方がむしろ管理しやすいと酒井氏は述べる。トヨタでは量産前に徹底した耐久運転を行い、初期故障を出し切ってから量産を迎えるという考え方を続けてきた。かつての夜間耐久試験では溶接電流を流さずに行っていたが、現在では実際に電流を流した状態で、顧客が使用する条件そのもので試験を行うようになった結果、初期故障が大きく減少したという。

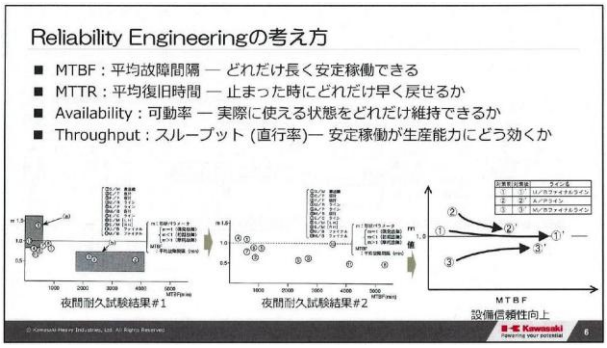


図３　Reliability Engineering の考え方と夜間耐久試験結果の推移

図３に示すように、夜間耐久試験の結果はｍ値と MTBF の推移として整理され、試験を重ねるごとにｍ値が１に近づき、MTBF が延びていく様子が確認できる。

3-4　弱点部位の特定と故障モードの分解

実際の現場では、設備全体を漫然と見るのではなく、まず最弱部位を探すことが重要である。停止履歴・チョコ停・品質不良・手直し・呼び出しといった情報を集約し、故障モードを機械・電気・制御・治具・センサ・人との接点に分解することで、対策の焦点が定まる。

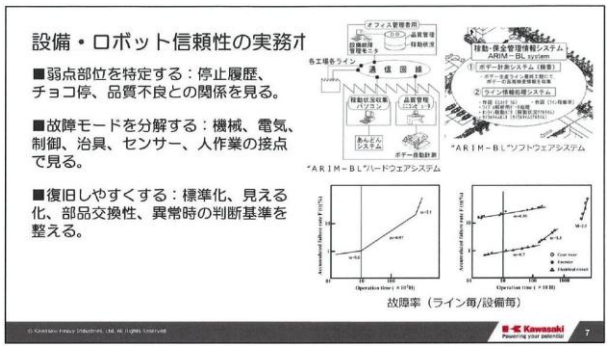


図４　設備・ロボット信頼性の実務（ARIM-BL システムと故障率解析）

図４に示す ARIM-BL と呼ばれる稼働・保全管理情報システムに蓄積されたデータを分析すると、生産開始後に弱点部位が徐々に明らかになり、それを一つずつ潰していく積み重ねによって信頼性が向上していく様子が分かる。ワイブル解析によりｍ値を見ることで、初期故障・偶発故障・摩耗故障のいずれであるかのおおよその傾向をつかむことができ、摩耗故障であれば部品交換ではなく設計そのものを変える必要がある。産業用ロボットを導入し始めた当初、MTBF は 5000 時間程度であったが、基板のスクリーニングやバーンイン試験を徹底した結果、現在では 30000 時間を超える水準にまで向上したという。これは特別な方法によるものではなく、弱点を見つけて一つずつ潰した積み重ねの結果である。

第４章　保全システムの進化とデータ活用（Maintenance System）

4-1　保全の四段階と予知保全の考え方

保全の考え方は、壊れてから直す事後保全、決められた周期で点検・交換する予防保全、状態を見て必要なときに保全する状態基準保全、そしてデータから兆候を読み故障前に手を打つ予知保全（PdM）へと進化してきた。近年は AI の活用が注目されるが、AI を導入すれば予知保全ができるわけではないと酒井氏は指摘する。まず故障モードを知り、良質なデータを集め、現場で使える仕組みに落とし込む必要がある。

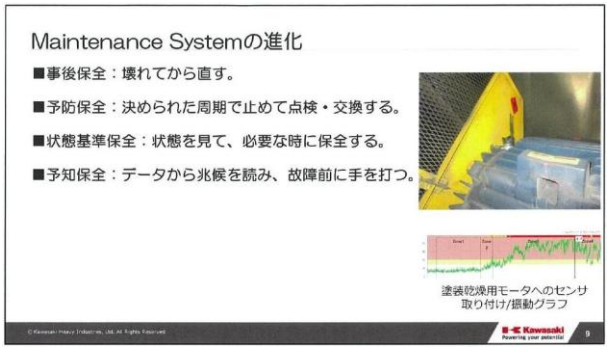


図５　Maintenance System の進化（保全の四段階と塗装乾燥炉モーターの振動データ）

図５に示す塗装乾燥用モータへのセンサ取り付けは、酒井氏らが様々なセンサを用いた実証実験の中で最もうまくいった事例であり、振動データに明瞭な兆候が現れたという。一方でベアリング類は単純ではなく、通常の振動センサでは分からず、高調波センサが必要であった。つまり、予知保全は設備ごとに見方が異なり、AI そのものがテーマなのではなく、まず設備を理解することが出発点であると酒井氏は強調する。

4-2　予知保全の成功事例と失敗事例

酒井氏が北米赴任中に行った実証実験では、当初 300 個程度であったセンサが最終的に 900 個近くまで増加した。当初はとにかく取得可能なデータをすべて取得しようという考え方であったが、今度はデータが多すぎて無線帯域が不足し、管理する人員も不足するという問題が生じ、結局は見ることのできるデータだけを残すという考え方に転換したという。

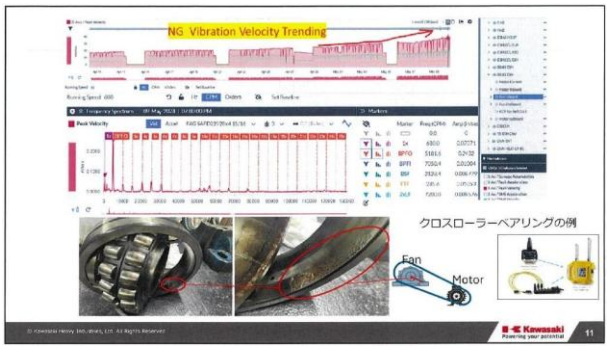


図６　予知保全の成功事例（クロスローラーベアリングの振動解析）

図６はクロスローラーベアリングの事例であり、外周にフレッティングが発生していたが目視ではまだ大丈夫そうに見えた。しかし振動データは正直であり、さらに FFT 解析を行うと特徴周波数が明瞭に現れ、見えない異常を見えるようにすることができた。一方、オーバーヘッドコンベアのチェーン切れについては、振動・音・電流など様々な方法を試みたが決定打が見つからず、最終的にはラジコンカーにカメラを取り付けて摩耗状態を目視で管理するという、現地現物による解決に至った事例も紹介された。酒井氏は、すべてが AI で解決するわけではなく、最適解は現場にあり、今なお現地現物が最強であると考えている。

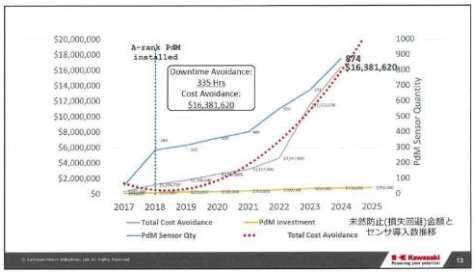


図７　予知保全活動によるコスト回避効果とセンサ導入数の推移

図７に示すように、こうした活動を継続した結果、故障による損失の回避額は年々増加した。ただし改善が進むにつれて、今度はセンサが 900 個に達し全てを監視しきれないという新たな課題が生じ、何を監視し、何を捨てるかを考える必要が生じた。

4-3　データ過多の問題と情報の絞り込み

（質疑応答）

この点について、質疑応答では、産総研の谷川民生氏から、不要なデータと必要なデータをどのように判断するのかという質問が出された。酒井氏は、ボデー工程を例に、台数の多い溶接ロボットよりも、停止するとラインが完全停止する搬送用のマテハンロボットを重点的に監視する対象として絞り込んだことを説明した。さらに酒井氏は、当初は全てのデータを収集しようとしたが、データ量が増えるにつれてかえって現場の意欲がそがれてしまったこと、また、センサを取り付けること自体が目的化し、上司に見せて評価を得るための形骸化した運用が実際に生じていたことを率直に語った。酒井氏は、上位の管理者が見きれる数や重要な監視対象を現場と議論して絞り込むことが重要であると結論づけた。佐藤知正はこれに関連して、問題を適切に分割し、要領よくデータを集める重要性についても言及した。酒井氏は、保全もデータ活用も情報量そのものではなく、意思決定に使える情報であることが大切であると強調した。

4-4　V-MICS・TPM・PdM の三位一体と技術伝承

酒井氏は、V-MICS（設備情報・保全情報・異常情報をつなぐ情報基盤）、TPM（全員参加で設備効率を高める現場改善の文化）、PdM（センサ・データ・AI を活用した予知保全）の三つを、家づくりに例えて説明した。TPM は文化であり、V-MICS は情報基盤であり、PdM は未来予測である。この三つが揃って初めて強い保全体制になるのであり、最近は PdM ばかりが注目されがちであるが、情報基盤や改善文化を欠いては長続きしないと酒井氏は指摘する。

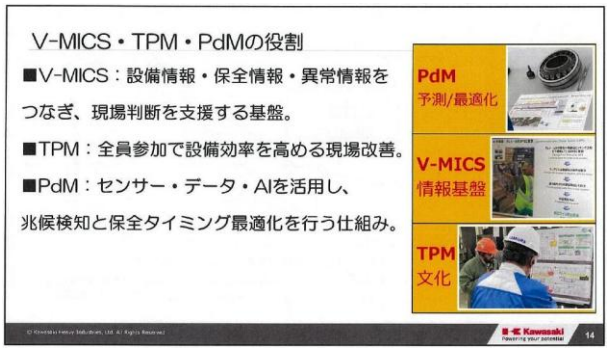


図８　V-MICS・TPM・PdM の役割

図８に示すように、V-MICS は各工場の稼働情報

や保全情報を中央のメンテナンスサーバで一元管理し、国内外の工場で同じ情報を共有できる仕組みである。酒井氏がここまで作り込んだ理由は、特定の熟練者しか分からないという状況を避けるためであり、設備情報と保全情報、そして人の知恵をつなぎ、工場全体の知識として残す仕組みを目指したという。また、V-MICS はコンピュータグラフィックス（CG）や動画を用いた技術伝承の手段としても活用された。工場ごとにヒアリングを行うと、金型のロー盛り作業などで工場ごとに異なる独自のノウハウが存在することが判明し、CG や動画によってこれらを見える化し、最適な手法を選定して全社標準とする取り組みが行われた。ロボットの分解構造を CG 化する取り組みも行われ、どの部品をどの順番で交換するかが一目で分かるようになった結果、平均復旧時間（MTTR）が大幅に短縮されたという。

この技術伝承の手法について、質疑応答では、コニカミノルタの大野由裕氏から、故障モード監視におけるセンサの取得方法として、現象に直接対応するセンサを設置する方法のほか、電流値や電圧値といった間接的な情報を継続監視する方法の有効性について質問があった。酒井氏は、垂れ流し状態のリアルタイムデータを監視する方法と、FFT 解析などによってあらかじめ兆候を解析した状態のデータを上位に上げる方法の両方があり、現状では現場のアプリケーションに応じてリアルタイムデータを監視する手法が一般的であると説明した。また、コニカミノルタの大野由裕氏からは、グラインダー作業などの動画において、実写映像よりも三次元モデルによるアニメーションの方が現象を理解しやすいのではないかという質問があった。酒井氏は、実写映像と三次元モデルの両方を試作しながら数え切れないほどの改訂を重ねた結果、現在の形に至ったことを明かし、使ってもらえなければ意味がないという観点から、作っては見せるという改善を繰り返したと述べた。佐藤知正からはこれに関連し、映像では隠れてしまう現象を三次元モデルによって際立たせて見せることができる点を指摘し、酒井氏もこれに同意した。

第５章　自動化と自働化（Automation & Robotics）

5-1　自動化と自働化の違い

酒井氏は、人の作業を機械に置き換える自動化と、異常を発見し、止めて、呼んで、待って、それで人の判断につなげる自働化は別物であると位置づける。トヨタでは古くから、異常が出たら止めることを徹底しており、不良が出ると分かっていながら作り続けることを最も戒めてきた。止める勇気が品質を守るという考え方はロボットにも当てはまり、速いロボットが良いロボットなのではなく、現場に異常を教えてくれるロボットにこそ価値があると酒井氏は述べる。

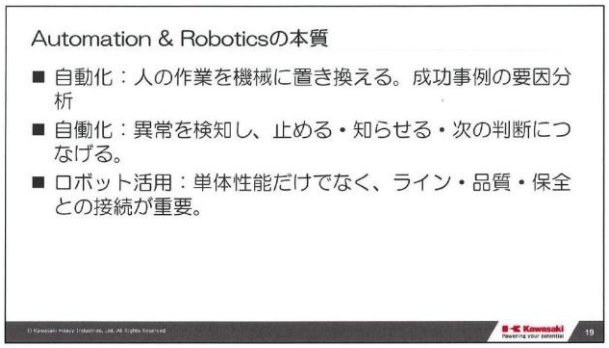


図９　Automation & Robotics の本質（自動化と自働化の違い）

図９に示すように、自動化は人の作業を機械に置き換えることであり、自働化は異常を検知し、止める・呼ぶ・待つ・次の判断につなげる仕組みである。ロボット活用においても、単体の性能だけでなく、ライン・品質・保全との接続が重要であるとされる。

5-2　見栄えと品質を両立する五つの新生産技術事例

酒井氏は、自身が携わった五つの新生産技術事例を紹介した。第一は、タイヤをより外側まで張り出させて見栄えを向上させるホイールアーチヘミングである。従来はアウターパネルとインナーパネルを接合するフランジが必要であったが、ロボットとローラーによってフランジを内側へ折り込むことで、タイヤがよりワイドに見える構造を実現した。

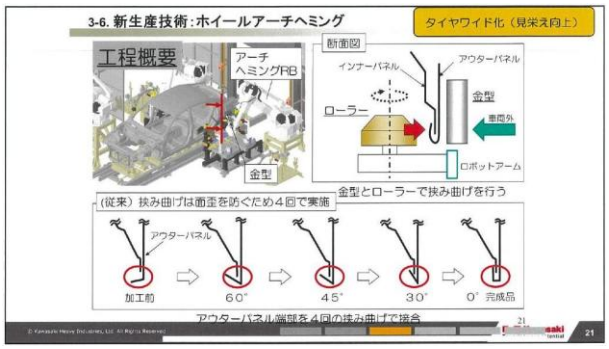


図 10　新生産技術：ホイールアーチヘミング工程

図 10 に示すように、金型とローラーによる挟み曲げを四回に分けて行うことで面歪みを防いでおり、ローラーの押し付け圧力を常時監視し、パネルが正しく当たっていなければ即座に停止する仕組みが組み込まれている。第二は、以前はモールで隠していたスポット溶接跡を見せるデザインへと変えたルーフレーザろう付けである。ロボット技術の向上によりろう付け品質が安定したことでモールを廃止でき、部品点数の削減、原価低減、見栄え向上を同時に実現したが、ここでもピ

ンホールや隙間の有無を全数監視し、異常があれば停止する体制がとられている。第三は、ろう付け部をさらに磨くビード自動研磨である。研磨は熟練技能の世界とされてきたが、ロボット制御技術の進化により押し付け圧力を安定させられるようになり、荒仕上げから中仕上げまでを自働化し、疲労のないロボットによってむしろ品質の安定性が向上した。第四は、レーザースクリューウェルディング（LSW）である。従来のスポット溶接では届かない箇所に片側から接合を行うことで接合点数を増やし、ボデー剛性の向上、ひいては乗り心地の向上につなげた技術であり、後工程でのタガネ検査に加え、この検査工程自体の自働化も進められている。第五は接着工程であり、レクサスのボデーラインでは合計 14 か所の接着工程があり、自働化した工程・ロボット塗布工程・手塗り工程のそれぞれについて最適な方法が選択されている。酒井氏は、自動化すること自体が目的ではなく、良品を確実に流すことこそが目的であり、異常が出たら止める・呼ぶ・待つという原則はどの事例でも変わらないと述べた。

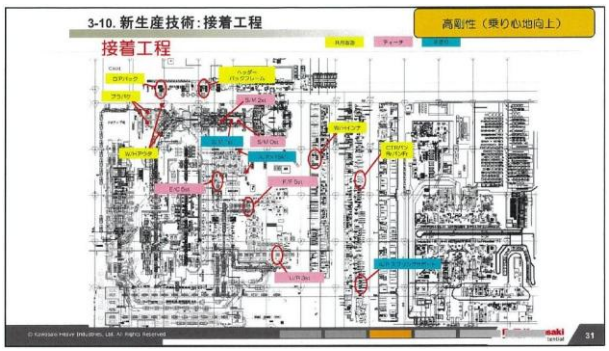


図 11　新生産技術：接着工程（レクサスボデーラインの 14 か所の接着工程）

図 11 に示すように、自働化された工程、ロボットによる塗布工程、手塗り工程がそれぞれ配置されており、工程ごとに最適な方法を選択しながらも、異常時には停止するという自働化の原則が一貫して適用されている。

5-3　熟練技能の暗黙知とタイミング制御

（質疑応答）

質疑応答では、佐藤知正からグラインダー作業のようにモデルが複雑な作業のデータをどのように分割して収集すればよいかという問いが出された。酒井氏は、力センサだけでなく、ビジョンによる作業者の手や身体の動きの観察を組み合わせ、加工点だけでなく作業者が普段感じている感覚を踏まえたデータ取得の工夫が重要であると説明した。さらに酒井氏は、熟練作業者がグラインダー作業において、研磨により生じた熱が冷めるまで待つといった、独自のタイミングの取り方をしていることを紹介した。これは言葉で表現しにくく、現場を見て初めて分かるような暗黙知として今なお存在しているという。また、二人で行う重量物の取り付け作業についても、作業者間の呼吸によるタイミングの共有が必要とされる場面があり、酒井氏はこうした二人作業をできる限り一人作業に置き換えるため、補助治具やロボットを活用する取り組みを進めていると述べた。佐藤知正は、こうしたタイミング制御が、別の部位のモデルから生じる制約を反映したものであり、複雑なモデルを適切に分割し、各々に適したデータを取得することの重要性を示す事例であると評価した。酒井氏はさらに、真に熟練した作業者の中には、バリを出さない独自の方法を体得している者もいることを付言した。

第６章　信頼性・保全・自働化の統合と Layer２・Layer３への展開

6-1　三要素の統合モデルと現場への問いかけ

酒井氏は、信頼性・保全・自働化を再度つなげて整理した。信頼性は止まらない・壊れにくい設備を作ることであり、保全は止まる前に兆候をつかみ、止まった時にも早く戻すことであり、自働化は異常を見える化し、人が正しく判断できる状態を作ることである。これらは別々に進めるものではなく、信頼性の高い設備では状態データが安定して取得でき、保全データが蓄積されれば弱点部位や故障モードが見えてくる。自働化によって異常が見えるようになれば、判断が早くなり改善も早くなるという好循環が生まれる。酒井氏は、自社の設備停止が本当に故障そのものの問題なのか、それとも情報がつながっていない、判断基準が曖昧、復旧手順が標準化されていない、データが改善に使われていないといった問題ではないかを問い直すことが、Layer 1 を強くする第一歩になると述べた。

6-2　海外工場における教訓

酒井氏は、海外工場を視察した際の忘れられない経験を紹介した。当時の上司である朝倉正司シニアフェローから工場の周りを見てくるよう指示され、実際に見に行くと未完成車が大量に並んでいた。事情を聞くと、自働化工程を素通しにして車を流し続け、週末に大量の手直しを行っていたという。つまり可動率のみを追いかけていたのである。これを見た朝倉シニアフェローはトップマネジメントを呼びつけ、「お前ら TPS を分かっとるのか、異常が出たら止めろ、悪いものをいくら作っても無駄だ」と本気で叱責したという。酒井氏は今でもこの言葉を忘れられないと述べ、それ以来、ラインの停止だけでなく未完成車の滞留も監視対象となったことを紹介した。異常を止め、見えるようにすることが、トヨタ生産方式の原点であると酒井氏は結論づけている。

6-3　Layer２・Layer３への接続とロボットの保全性（質疑応答）

酒井氏は、Layer１が弱いと TPS 統合設計は安定せず、設備停止・チョコ停・品質のばらつきが多い状態では全体最適は成立しにくいと述べ、Layer１を強くすることで人中心・グローバル展開・持続可能生産へ進む基盤ができると位置づけた。

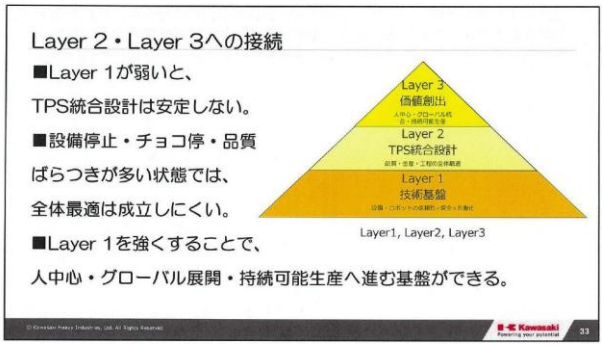


図 12　Layer２・Layer３への接続

図 12 に示すように、Layer１という技術基盤の上に Layer２の TPS 統合設計、その上に Layer３の価値創出が積み上がる構造となっており、下位層が弱いと上位の構想が現場で安定して機能しないことが示されている。酒井氏はさらに、トヨタの電池セル生産ラインの事例を紹介した。PEVE（プライムアース EV エナジー、現トヨタバッテリー株式会社）と PPES（プライムプラネット＆ソリューションズ、トヨタ 51％・パナソニックホールディングス 49％出資）のそれぞれのラインをつなぎ合わせて生産を開始したところ、稼働率が 50％以下にとどまり、従来のトヨタでは考えられない数値となった。これは、それぞれのラインの実力値、すなわち MTBF を把握しないまま、適切なバッファ数を持たずにラインをつなぎ合わせたためであり、ラインをつなげれば動くわけではなく、まず実力値を知り、見える化し、改善し、標準化するという積み重ねが必要であると酒井氏は指摘した。そして最終的には人が考え、判断することが最も重要であるという、トヨタでいうマイマシン（自主保全）の思想に通じる考え方が示された。自分の設備は自分で守るという考え方のもと、保全に頼りきるのではなく、音・振動・温度など実際に生産に携わるオペレーターが自ら設備の状態を捉え、どうすべきかを考え行動を起こすことが重要であるとされた。

この統合的な視点に関連して、質疑応答では佐藤知正から、配膳ロボットのように故障時に全損壊するような保全のあり方について、酒井氏の見解を問う質問があった。酒井氏は、配膳ロボットを含むヒューマノイドロボットは今後、保全性を重視した設計へと進化する必要があると述べ、手の部分などを部位ごとにモジュール化し、迅速に交換できるようにすることが、顧客にとって重要な観点であると説明した。また、全損型の設計はビジネスモデルとして成立し得ないという酒井氏自身の考えも示された。一方で、複数台を予備として用意し交換運用する方式については、中国メーカーの一部にはそうした例もあるが、長期的にサービス提供を続けるためには、どのようなモジュール構成で保有するかを十分検討したうえで設計する必要があると酒井氏は述べた。佐藤知正は、これを全体を丸ごと保有するのではなく、モジュール単位で保有する発想に近づくものであると整理し、対話を締めくくった。

第７章　結論

本講演では、川崎重工業株式会社の酒井浩久氏により、設備・ロボットの信頼性を起点とした保全・自働化の進化について、Reliability Engineering、Maintenance System、Automation & Robotics という三つの観点から体系的な報告がなされた。信頼性は生産システム全体の土台であり、品質・安全・生産性のいずれも設備が安定して稼働することを前提とする一方、絶対に止まらない設備は存在しないため、止まりにくさと復旧の速さの両方を高めることが求められる。保全は、壊れてから直す事後保全から、兆候をつかんで止めない、あるいは早く戻すという活動へと進化しており、自働化の本質は人を置き換えることではなく、異常を見える化し、人の判断力を高めることにある。これら信頼性・保全・自働化という三つの Layer１の技術基盤は、決して別々の活動ではなく、互いにつながり合うことで、TPS 統合設計（Layer２）や人中心・グローバル統合・持続可能生産（Layer３）を支える基盤となる。

具体的な内容としては、稼働・保全情報管理システムによる見える化と、自工程だけでなくライン全体をバランスよく見る視点、MTBF・MTTR・可動率・直行率という信頼性工学の指標、量産前の徹底した耐久試験とワイブル解析による弱点部位の特定と故障モードの分解が紹介された。また保全については、予知保全の成功事例（塗装乾燥炉モータ、クロスローラーベアリング）と失敗事例（オーバーヘッドコンベアのチェーン切れ）が対比的に示され、センサを増やしすぎることの弊害や、情報量ではなく判断に使える情報を選び取ることの重要性が論じられた。V-MICS・TPM・PdM を三位一体とした技術伝承の仕組みや、CG・動画を活用した工場間のノウハウの見える化と標準化の取り組みも紹介された。自動化と自働化の違いについては、ホイールアーチヘミング、ルーフレーザろう付け、ビード自動研磨、レーザースクリューウェルディング（LSW）、接着工程という五つの新生産技術事例を通じて、見栄えや品質の向上

と、異常が出たら止める・呼ぶ・待つという自働化の原則が一貫して適用されていることが示された。さらに、海外工場での未完成車滞留の逸話や、電池セル生産ラインにおける稼働率低下の事例を通じて、実力値を把握しないままラインをつなぎ合わせることの危険性と、信頼性・保全・自働化を統合的に作り込むことの重要性が論じられた。

質疑応答では、収集すべきデータをどのように絞り込むかという問いに対し、酒井氏はラインへの影響が大きい設備を重点的に監視対象とすることや、センサの取り付けが目的化してしまう現場の実情を率直に語った。また、加工点以外の間接的な情報の活用や、実写映像に対する三次元モデルの有効性についても議論され、熟練作業者が持つタイミング制御という暗黙知や、二人作業を一人作業へ置き換える取り組みも紹介された。ヒューマノイドロボットの保全性については、部位ごとのモジュール化によって迅速な交換を可能にする設計思想の必要性が指摘され、全損型の運用はビジネスモデルとして成立し難いとの見解が示された。

将来課題としては、以下の点が挙げられた。第一に、予知保全や技術伝承の取り組みをさらに進め、設備ごとに異なる故障モードの理解を深めながら、現場で実際に使える形でデータと仕組みを整備していくことが求められる。第二に、収集する情報の取捨選択をより体系的に行い、情報量ではなく意思決定に資する情報を見極める仕組みづくりを進める必要がある。第三に、熟練作業者が持つタイミング制御などの暗黙知を、モデルの分割とデータ取得の工夫によって形式知化し、二人作業の一人化や自働化の対象をさらに広げていくことが望まれる。第四に、ヒューマノイドロボットをはじめとする新型ロボットの普及に対応し、保全性を重視したモジュール設計や交換性の向上を進めることが重要な課題である。第五に、信頼性・保全・自働化を統合的に作り込むという発想を、電池セル生産ラインのような新しい生産システムにも適用し、実力値の把握と見える化、改善、標準化という積み重ねを組織全体に浸透させていくことが、今後のものづくりにおける重要な方向性である。