

論文・解説

35

手戻りのない新技術開発プロセスの構築

Development of Welding Technology Engineering Process without Re-working

橋本 晃^{*1} 奥村 信弥^{*2} 山本 真司^{*3}
Akira Hashimoto Shinya Okumura Shinji Yamamoto

要約

高機能で信頼性の高い商品を低コストで生産できる技術を、スピーディにロスなく量産化できる開発プロセスを構築することは、競争力のある強い企業を造る上で重要な課題である。

これまで、QE (Quality Engineering : 品質工学手法) および様々なSQC (Statistical Quality Control : 統計的品質管理手法) を柱とした開発活動により、開発期間短縮等、大きな成果を上げてきた。しかし、量産直前で予期せぬ変動要因の影響を受け、設計変更や設備仕様変更等の手戻りを発生させたものがあることも事実であり、更なるプロセス革新への取り組みが必要である。

今回、オートマチックトランスミッション部品の新接合技術開発において、技術開発段階でこれら変動要因を全て予測し、確実に事前評価できるプロセスへと変革するために、従来の技術開発プロセスの問題点を分析、製品の機能設計から量産運営まで、ものづくり全体を対象としたシステム設計を行った。その商品に要求される本質(機能)の徹底追究と、実験方法の工夫により、システム全体の変動要因に対しロバストな量産条件(良品条件)を抽出し、これら条件の妥当性を検証した。そして、量産最悪状態を想定したトライアル生産により、最終決定した良品条件が正しいことを確認し、手戻りなく量産化を達成することができた。現在まで、全品質特性を満足している。

Summary

An important issue in realizing a competitive manufacturing company is to develop an engineering process to enable production technology for promptly and efficiently producing products with high performance and high reliability at low cost.

Currently, unpredictable variable factors, cause much re-work in product design or machine specifications just before a launch, despite use of Quality Engineering (Taguchi Method) and various SQC methods. We therefore analyzed the flaws of conventional engineering processes and designed a total production system from product function engineering to production operation, to develop a robust process which predicts the variable factors and also verified the quality for automatic transmission parts.

Essential Quality (Function) of products was deeply pursued through this analysis, and Quality Conditions were determined and verified by an ingenious experimental method. A tryout using the worst production equivalent conditions confirmed that the final Quality Conditions are accurate. This technology has been successfully applied without any defect in all quality items until now.

*1~3 パワートレイン技術部
Powertrain Production Engineering Dept.

1. はじめに

競争力ある商品を低コストで早く開発するためには、設計段階 / 生産準備段階で起こる不具合要因を予測し、量産段階で設計変更等の手戻りを起こさない技術開発が必要である。マツダは、不具合要因に対する機能のロバスト性を評価する品質工学を、開発の体質強化の柱として位置付けており、その中で、エンジン、トランスミッション等のパワートレイン領域では、年間30テーマに取り組み、継続的利益への貢献に大きく寄与している。

しかしながら、品質工学を用いたにもかかわらず、量産直前に、予期せぬ変動要因の影響を受け、製品図面、設備仕様を変更するという手戻りを発生させたものがあることも事実である。

今後、更なる体質強化を図り、企業の競争力向上を達成するためには、手戻りゼロの技術開発プロセスの構築が必須であり、品質工学をこれまでのように、限られた領域の課題解決に活用するのではなく、製品設計 - 生産設計 - 量産という、物づくりのライフサイクルを通じ、そのロバストネスを高め、技術開発プロセスのQCD (Quality Cost Delivery) を大幅に向上させる必要がある。

今回、5速オートマチックトランスミッション (以下AT) 部品：ダイレクトクラッチドラムを対象とした新型抵抗溶接技術開発において、品質工学を核とした、新技術開発プロセスを実践し、手戻りなく量産化を達成した。

本稿では、その方法と新しい技術開発プロセスのあり方について述べる。

2. 従来プロセスの問題点

従来も品質工学を用いて、革新的な技術開発プロセス展開を行ってきた。

以前取り組んだ新ろう付け工法の技術開発¹⁾も、非常に短期間で強度向上とばらつきを低減し、世界ではじめて量産化を達成した。しかしながらFig.1に示すように、品質工学を製品設計段階：限られた領域でのみ適用したため、部分的な最適条件となった。そのため、後段階になり設備系要因等の影響を受け、強度がばらつき、量産直前には図面変更および設備改造を行うという手戻りを発生させた。

3. 技術開発プロセスのあるべき姿

手戻りをなくすためには、製品設計段階から量産まで、物づくり全体を対象としたシステムの変動要因を全て予測し、確実に事前評価できるプロセスへと変革する必要がある。品質工学をこれまでのように戦術的に活用するのではなく、戦略的に活用し、システム全体のロバストネスを向上させなければならない。具体的には、最初からシステム内の全ての変動要因を考慮に入れた上で、製品形状の決定、設備 / 治具仕様の決定、実機検証、量産という各技術開発

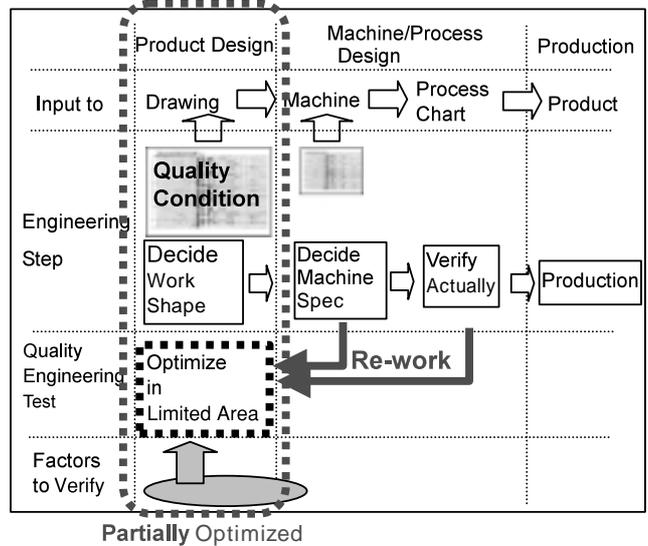


Fig.1 Conventional Engineering Process

ステップで品質工学による最適化を試み、ロバスト条件を、図面、設備仕様、工程図 (管理項目) にタイミング良く織込んで行く取り組みが必要である。この技術開発プロセス (あるべき姿) をFig.2に示す。

4. 課題と変革ポイント

プロセスのあるべき姿を達成するためには、下記課題を解決する必要があり、解決のための変革点を以下に記す。

課題1 生産システム全体を見通した、設備 / 量産変動要因の洗出し

- ・単独部門の要因の洗出しから、開発部門、量産準備部門、製造部門の全関係者による、システム全体を見通した変

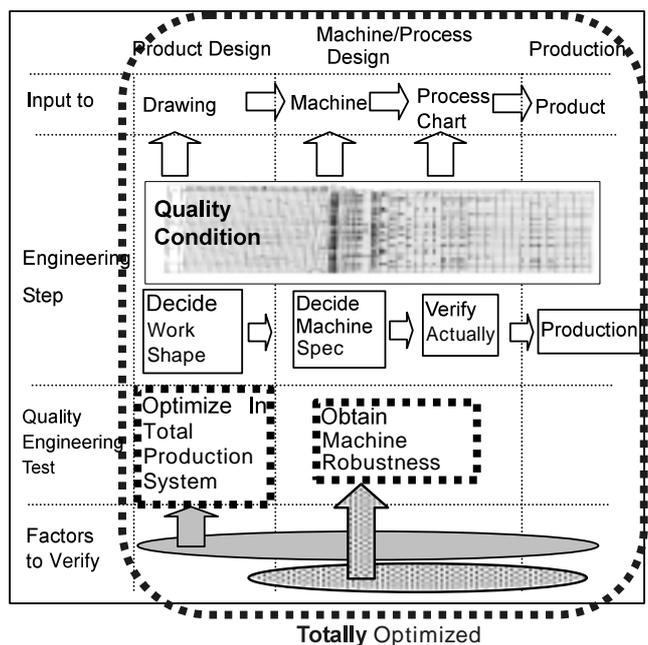


Fig.2 Ideal Engineering Process

動要因の洗出しへの変革

課題2 技術開発ツールの構築

- ・全品質特性と影響要因の関係を明確にすることができ、品質工学実験結果を素早くフィードバックして、決めるべきことがそのタイミングで決められているのかを、逐次見直し可能なツールを用いた技術開発への変革

課題3 品質工学による製品/設備/量産(生産システム全体)の最適化の追究

- ・強度だけといった単機能評価から、強度/精度/硬さ等、多機能評価への変革
- ・早い段階で現実の技術レベルの限界を知り(失敗し)、次回実験に生かしながらロバスト性を向上させていく実験プロセスへの変革
- ・生産システム全体の設計・変動要因を、始めから織込んだ実験への変革
- ・不具合現象の対策から、制御因子でのチューニングによる対策への変革

5. 課題解決の具体的取り組み

課題1 生産システム全体の要因の洗出し

これまでの単独部門だけの技術開発では、限られた要因での評価となり、品質工学実験で得られた最適条件を図面に織込んで、後で設備変動要因、量産変動要因が明らかになってくると、その影響を回避するため、その都度、最適条件を変更していた。このような悪循環を断ち切るため

には、始めから生産システム全体を見通した要因の洗出しが不可欠である。

そこで、開発部門、量産準備部門、製造部門と一体となったコンカレント体制により、開発初期段階から量産を想定した変動要因の洗出しを行った。これにより、電極の劣化、治具磨耗等の多くの設備/量産変動要因を誤差因子として始めから実験に織込むことができ、全ての変動要因に対しロバストな製品形状、設備仕様を最初から決定できた。また、量産管理項目、点検項目が明確となり、システム全体のロバストネスを向上させることができた。

課題2 技術開発ツールの構築

上記コンカレント活動を円滑に推進するためには、技術開発の進捗、残課題等を共有する必要がある。また、手戻りを発生させないために、品質工学実験の是非、および技術開発プロセスの確からしさを常に確認でき、万一手戻りが発生した場合でも、どこが悪かったのかを見直せるしくみが必要である。

これら課題を解決するために、技術開発ツールとして良品条件表を作成した(Fig.3)

良品条件表は、網羅した製品/設備/量産の全要因と、全品質特性の関連を明確にして、FMEAによりその影響度を順序付けている。このため、優先順位をつけた事前検証テストが可能となり、効率的に制御因子、誤差因子を決定することができる。また、抽出した最適条件および量産管理基準等を良品条件(歯止め)として、図面、設備仕様、

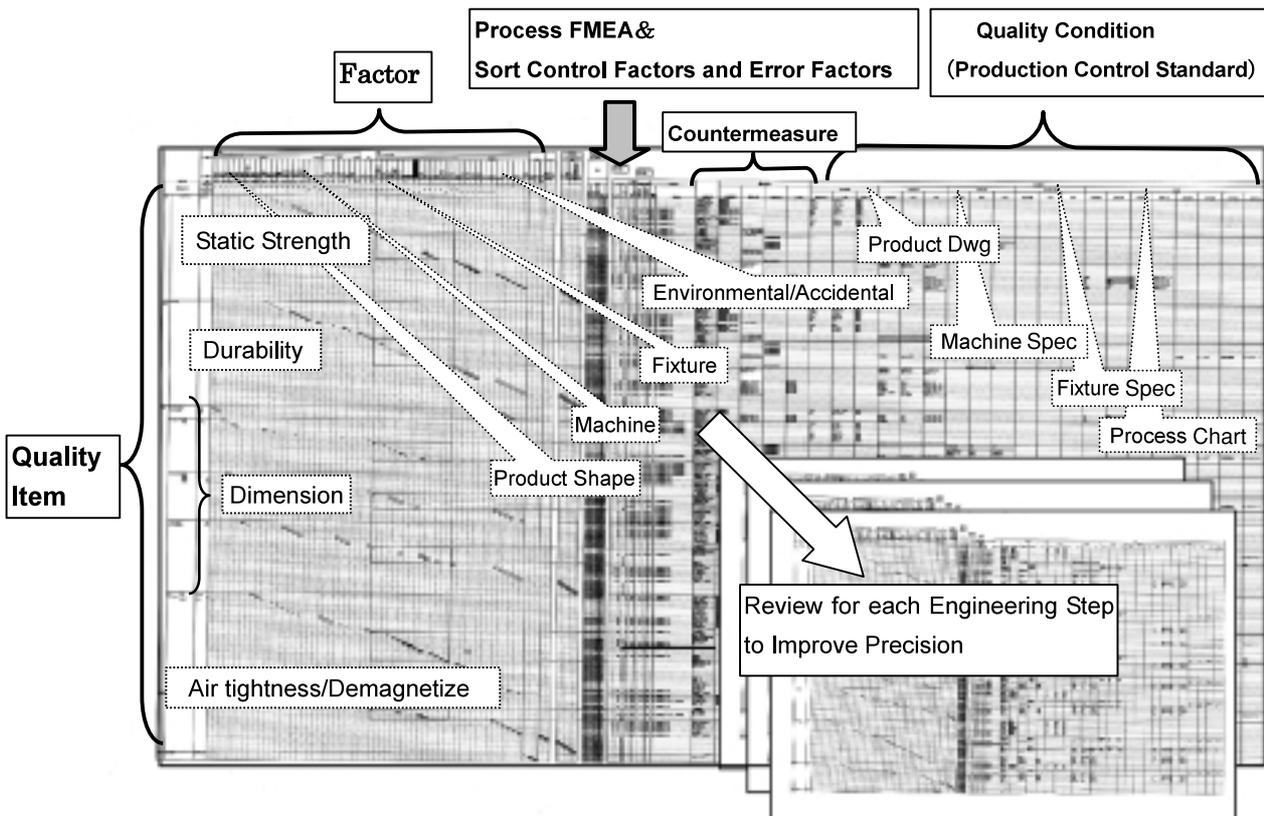


Fig.3 Quality Condition Chart

工程図等に反映できるため、技術開発ステップにおいて、決めるべきことが決められているかを明確にできる。

課題3 品質工学による製品/設備/量産(生産システム全体)の最適化の追究

製品をお客様に安心してご利用頂くためには、それを産み出す、生産システム全体のロバストネスを追究しなければならない。

以下に、全変動要因を織込み、それらに対するロバスト性を評価した品質工学の取り組みを記す。

(1) 新型抵抗溶接工法概要

従来、AT、CVTのクラッチドラムやキャリアに代表されるプレス品と軸物の接合には、電子ビーム溶接(Electron Beam Welding ; 以下EBW)による接合が主流であったが、近年、コンデンサの大容量化に伴い、電気抵抗発熱を利用した、通電拡散接合工法が注目されてきた⁽²⁾。

本工法は、EBW工法に見るような、脱脂洗浄、乾燥、圧入、スパッタ除去の付随工程を削減できるだけでなく(Fig.4)、接合に要するサイクルタイムを飛躍的に短縮でき、大幅なコスト削減、生産性向上を達成できる。

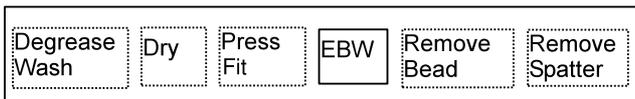
今回、5速AT部品であるダイレクトクラッチドラム(Fig.5)をターゲットに技術開発を行った。

(2) 基本機能の設定

基本機能とは、製品の持っている基本的な働きであり、品質工学ではこの働きの安定性を評価する。しかし、製品のあるべき姿を誰の立場で考えるかによって、基本機能は大きく異なってくる。

新ろう付け工法開発では、開発者が、破断までの過程の

< Conventional Process : EBW >



< Capacitor Discharge Welding >

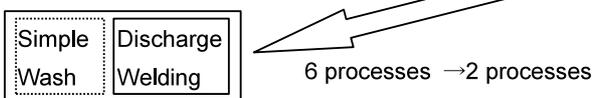


Fig.4 Process Comparison

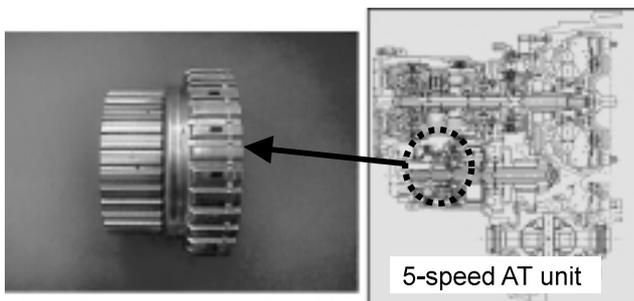


Fig.5 Target Part: : Direct Clutch Drum

安定化が重要と考え、荷重と変位の0点比例式を基本機能とし、高い再現性を得た。しかし、これは強度のみを重視した基本機能であり、精度ばらつきという不具合を発生させた。

今回対象としたAT部品のあるべき姿を、お客様の立場で考えると、燃費が良く、スムーズに回転しながら確実に動力を伝え、決して壊れないものである。つまり、軽量/コンパクト、高強度/高精度でなければならない。

これら特性を全て満足する理想の姿は、機械加工で精度良く加工した一体型であり、接合したものがこの一体型の特性を再現すれば、理想の接合体だと考えられる。

よって、一体型の破断までの母材特性(荷重と変位)を目標値とした品質工学実験を行った。

剛性の弱い側の材質で一体型を製作し、抜き荷重と変位曲線を求め、この曲線を標準条件として解析した。

(3) 実験上の工夫

新技術の開発は量産設備がない状態で、しかも新技術ゆえに不測の要因もあり、始めから最適な条件を抽出することはできない。その中で手戻りをなくすためには、できるだけ早い段階で現実の技術レベルの限界を知り(失敗し)、次回実験に生かしながらロバスト性を向上させていく実験プロセスが必要である。以下に留意し実験を行った。

- ・ 予備実験段階で、基本機能の妥当性がない場合や、影響要因が選定できない、また確認テストで再現性が得られない等、実験がうまく行かない場合、基本機能に立ち返り、即再実験を実施しなければならない。それには、入手性のよい市販材をテストピースとするのが望ましい。よって市販材を用いても所望の基本機能、および要因効果を十分評価できるように、テストピース形状のみならず、接合電極構造、強度テスト治具等、総合的に設計した。
- ・ 多数の要因から影響要因を見つけるために、要因を多く割り付けられるL12直交表を用い、効率的に要因効果の大きいものを抽出した。
- ・ 誤差因子は、良品条件表から、設備系、量産変動系、使用状況系を選定し(Table 1)、例えば、電流密度の不均一性はテストピースに溝を設ける等の工夫を織込んだ。テストピース形状をFig.6に示す。

(4) 確認テスト結果

制御因子は、予備実験で得られた、材料系、形状系、設備系要因を設定し、要因効果が明確に現れるように水準を大きく振らしてL18実験を実施した。

最適条件により、確認実験を行った結果、推定値15.72dbに比べ、22.24dbと推定値を上回る利得が得られた。また、最適条件の一次係数₁、二次係数₂を計算し⁽³⁾、合せ込みの検討を行った。水準変更により、₁、₂をチューニングできる制御因子がわかり、このことにより、万が一不具合が発生しても、どの制御因子を調整して目標値に合えばよいかが明確になった。

Table 1 Error Factor

Factor	N1	N2
①Electrode support gap/Rigidity	Short	Long
②Inconsistent electric current	No notch	Notch
③Deterioration (Press after welding)	No press	Press
④Electrode material conductivity	Low	High

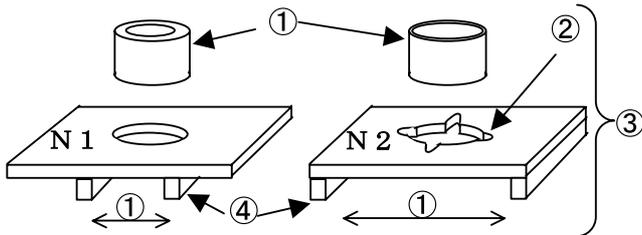


Fig.6 Error Factors and TP Shape (Cylinder/Plate)

(5) 実ワークでの検証

今回得られた最適条件を実ワークへ適用し、品質特性の一つであるねじり強度を測定した結果、初期条件と比較し、ばらつきの低減、強度ともに向上していることがわかった (Fig.7)。同様に他の品質特性についても調査した結果、規格を満足し、最適条件の有効性を確認した。

以上により、システム全体の変動要因に対し、ロバストな形状を図面に織込むことができ、また安定品質を継続生産できる設備の仕様を決定することができた。

(6) 設備のロバスト性確認

決定した仕様を満足する設備を構築し、そのロバスト性を確認するため、量産での変動要因 (環境系、寿命系、突発系) を振らした、設備の機能性評価実験を実施した。

誤差因子として、電極の劣化、ワーク錆び、ワーク温度、オイル洗浄液付着、切粉噛み込み、打痕を設定 (N2条件) し、設備の基本機能である電圧 - 電流特性を検証した。その結果をFig.8に示す。多くの誤差を与えたにもかかわらず、N1, N2に差がなく、これら変動要因に対しロバストであることを確認した。

6. 実操業での確認 (1万ショットトライ)

今回行った新技術開発プロセスの妥当性を確認するために、実操業の最も厳しい状態 (フル残業、工場オペレータ、ワーク寸法変動、錆び、洗浄液最悪状態等) で1万ショットトライを実施した。

その結果、量産までに品質系 (強度、精度等)、および設備系 (電圧、電流、圧力、設備温度等) の全ての管理特性が安定していることを確認し、プロセスの妥当性を検証でき、良品条件表への織込み率100%を達成することができた。量産開始から現在まで全品質特性を満足している。

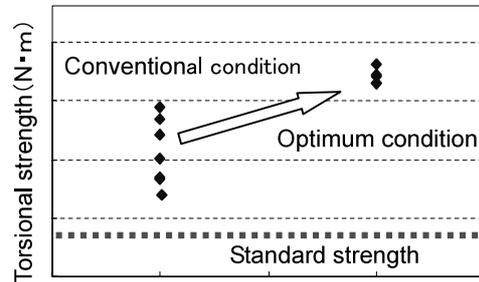


Fig.7 Torsional Strength of Actual Workpiece

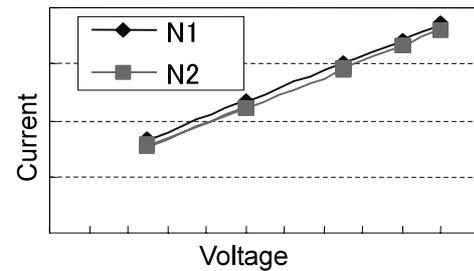


Fig.8 Relation between Voltage and Current

7. まとめ

- ・コンカレント活動の中で、品質工学を核とした、技術開発プロセスを実践し、手戻りなく量産を継続中である。
- ・実験で得られた条件を、技術開発ステップ毎に織込むことにより、量産変動要因に対し、ロバストな製品形状の決定と量産設備を構築することができた。
- ・1万ショットトライで本技術開発プロセスの妥当性が検証でき、手戻りのない新技術開発プロセスとして他部品へ展開中である。
- ・従来比80%のコスト低減、および技術開発期間半減を達成することができた。

参考文献

- (1) 橋本 晃：分割型ギヤのろう付け条件の最適化，品質工学，Vol.5，No.3，p.47 (1997)
- (2) 岡田吉弘：オートマチックトランスミッション部品用大型リングプロジェクション溶接装置，Origin Technical Journalal，No.62，p.53 (1996)
- (3) 田口玄一：機能設計 (合せ込み，チューニング) の方法，品質工学，Vol.9，No.3，p.10 (2001)

著者



奥村信弥



山本真司