

高品質なモノづくりに向けた設計プロセスの構築

Designing Process to Achieve High Quality Monozukuri

松崎 安成*	丸野 俊幸**	篠原 靖行***
Yasunari Matsuzaki	Toshiyuki Maruno	Yasuyuki Shinohara
宮坂 真一***	山口 匡博****	藤澤 修*****
Shinichi Miyasaka	Masahiro Yamaguchi	Osamu Fujisawa

要 旨

熱交換器の生産現場においては、日本を含むグローバル生産工場で発生する工程不良に対し、日々改善に取り組んでいる。更なる製品競争力を確保していくためには、モノづくりの原理原則に基づいて一貫通貫の製品・工程・設備設計を行い、その設計仕様を海外拠点の各工場に展開することが必要と考えた。本稿では、そのプロセスの改善活動と、適用事例について紹介する。

Abstract

To reduce defect rate in manufacturing process for heat exchange systems, continuous efforts are conducted throughout the global plants including Japan. To gain further product competitiveness, we considered the importance of establishment of Monozukuri principle as a basis, on which consistent design is developed for products, processes and equipment. Then the design specifications can be deployed to overseas operations. This paper explains the process improvement activities and an application examples.

Key Word: Radiator, production engineering, productivity, monozukuri, mother line, process defect

1. はじめに

モノづくりのグローバル化は年々拡大しており、その品質を高める活動は、重要性を増している。当社でも、日本で培った技術の海外展開により、グローバルにモノづくり力の強化に取り組んでいる。

製品・設備構想段階から不良の出ないグローバル同一品質に向けた設計仕様をつくり込む必要がある。今回、製品設計、工程設計、設備設計、工場の、部署機能を横断して構成されるクロスファンクショナルチーム(CFT)で工程不良に対するプロセスの成功したので、その事例を紹介する。

2. 課題の設定と目標

今回の活動では、生産現場で大きなロスとなっている工程不良に着目して改善活動を行った。グローバル各拠点ではほぼ同様に発生している工程不良について設計段階からの改善プロセスの構築と、後述の事例におけるその実証を活動の目標とした。

3. グローバル同一品質のための設計プロセス改善

3.1. 問題点の整理と設計プロセス改善

工程不良率を下げるために、まずこれまでの問題点を整理した。

従来のプロセスでは、設計段階で不良に対しての部署間の擦り合わせで改善活動を実施していた。しかし擦り合わせでは、部署を横断する問題に対して根本的な解決が難しい。このため、不良が発生した場合の対策は生産工場の現場における改善活動に頼っており、工場の力量次第で品質にばらつきが生まれていた。

この問題を整理すると、原因が2つある。一つは不良現象の発生する根本原因が分かっていないことであり、もう一つは擦り合わせでは、部署を横断する問題が解決されないことである。

そこで今回、グローバルで同一の品質を達成するため、原理原則に基づいた改善プロセス及びCFTを新しく構築した。

この改善プロセスは、工程不良の現象を設計段階から

*熱交事業本部 熱交生産技術グループ
**熱交事業本部 熱交システム設計グループ

***グローバルテクノロジー本部 生産技術開発・試作グループ
****群馬工場 第一製造チーム
*****グローバルテクノロジー本部 実験技術グループ

考慮し、グローバル同一品質に向けた設計仕様として作り上げる。その上で、日本のマザーラインにおいて実証を行って、問題点を洗い出して再設計し、これをグローバルへ展開するものである。

3.2. グローバル同一品質に向けた設計仕様とプロセス

グローバル同一品質に向けた設計仕様とは、具体的に以下3つの要件を設計することである。

- (1) 工程不良の出ない図面／設備仕様
- (2) 工程能力を満足する工程設計／設備精度
- (3) メンテナンス容易な設備／治工具設計

これらの要件を設計するには、従来の製品・工程・設備の設計が個別に擦り合わせをする手法では、各設計を跨ぐ仕様に対して、原理に則った検討が不十分である。そこで、Fig. 1 に示す様に、製品設計、工程設計、設備設計の設計者でCFTを構成して設計検討に当たった。

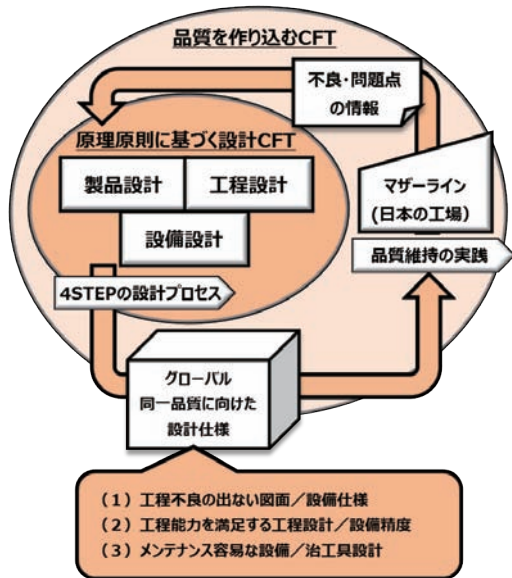


Fig. 1 Process and CFT for global equal quality

更に、設計プロセスについても、CFT活動の中で一貫通貫の検討が出来るよう、Table 1 に示す4ステップに改善した。詳細は4.項にて説明する。

3.3. 品質を作り込むCFT

これまでに紹介した原理原則に基づく設計CFTがグローバル同一品質に向けた設計仕様を完成させるためには、不良情報を収集することと、実際に生み出された仕様を実証するマザーラインが必要となる。

不良情報の収集は、工程・現象別に、後に定量的に分析できるような情報をまとめることが欠かせない。工場の収集した情報が、設計を行う上で不足である場合は、設計者が三現主義に基づいて、現場で現象を確かめる。

一方で、マザーラインでの実証は、予期せぬ不具合を洗い出せるほか、製品公差、設備能力などのオーバースペックなども明らかとなり、グローバルへの展開前にそれらの最適化へ繋げることが出来る。

4. 4ステップの設計プロセス

この設計プロセスは、グローバル同一品質に向けた設計仕様の三つの要件の実現を目的とし、CFTで活動していることを前提にしているため、摺合せを実施するという行為は省いて説明する。

4.1. ステップ1：原理に基づく不良現象の要因化

まず、最初のプロセスでは、不良現象そのものを設計要素として取り込む。特に、各設計の中でも製品設計の段階で取り込むことが重要である。

製品形状や寸法が、不良現象を考慮してロバストに設計できていれば、工程、設備の設計目標値が明確になり、自由度が広がる。例えば、過剰に厳しい公差を省くことが出来れば、工法や、品質管理を簡単にして、不良の要因が減らせる。

次に現象をFMEAの故障モードとしてまとめるため、現象を原理に基づいて、設備図面、部品図面に記載する寸法値などの工程管理基準における管理値となる設計値まで分解する。この分解には、現象の発生原理を明らかにした上で、数式を用いて定量的に現象を分解するFTAを使う。この手法を用いることで、まず関連する要因を確実に網羅でき、更に設計検討で要因の影響度を容易に把握することが出来る。分解された要因は、設計値としてFMEA上の部品寸法、設備寸法等へフィードバックする。

Table 1. 4 steps design process

	ステップ1 原理に基づく不良現象の要因化	ステップ2 定量的な許容限界値の検討	ステップ3 バラつきを考慮した設計	ステップ4 マザーラインにおける実証
インプット	不良現象の情報	主要因	許容限界値 バラつきのデータ	設計値(図面)・仕様値
アクション	①FMEAの実施 ②FTAの実施	①机上検討・実験検証による 要因の感度・限界値把握 ②感度・限界値からの許容値決定	①新機構・形状の検討 ②変化点に対するFMEA ③変化点から想定される故障の検証 ④新機構・形状の決定	①管理項目・方法・頻度検証 ②工程能力検証 ③維持劣化検証 ④不良統計による実証
アウトプット	不良現象の主要因	許容限界値	設計値(図面)・仕様値	グローバル同一品質展開仕様

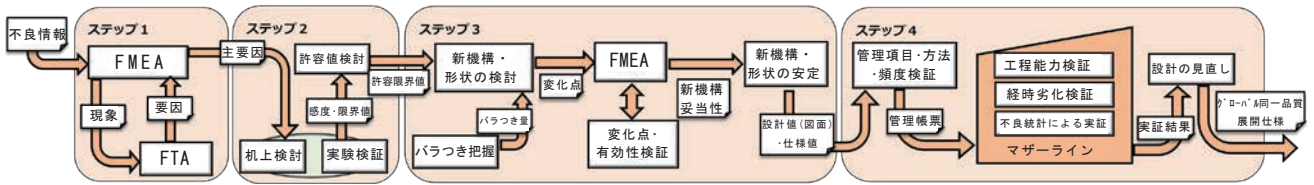


Fig. 2 Flow diagram of 4 steps design process

4.2. ステップ2：定量的な許容限界値の検討

ラジエータは、Fig. 3に示す部品で構成されている。また、当社のラジエータの工法はFig. 4に示すように、それぞれの部品を成型した後、コア組付けを行い、ろう付けにて一体化した後、タンクをヘッダープレートで加締めて完成する。

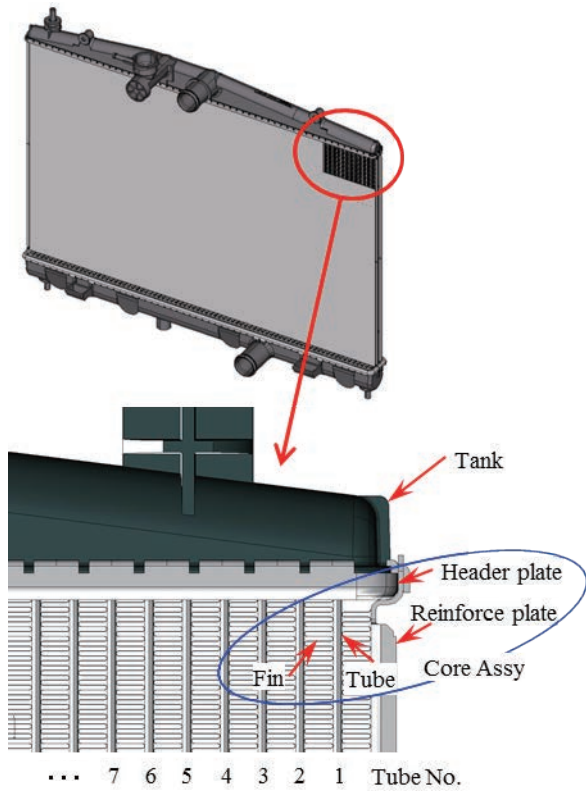


Fig. 3 Structure and parts name of radiator

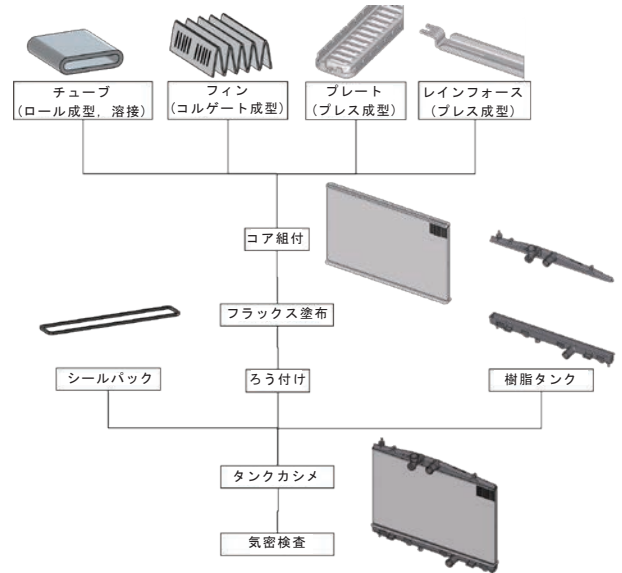


Fig. 4 Production process of radiator

ここからは、コア組付け工程において、チューブをプレートに挿入する瞬間に、チューブ先端が変形する現象（以降、チューブかじり（Fig. 5））に対して、改善プロセスを適用した事例を説明する。

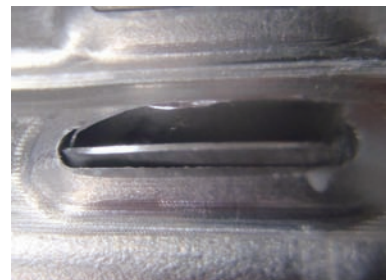


Fig. 5 Tube crush at insertion process

チューブかじりは、挿入時にチューブとプレートの位置がずれていることが主要因の不良である。ただし位置ずれの方向はFig. 6に示す通り、コア幅方向とコア厚さ方向の二種類が考えられる。

このステップでは、まず主要因に対して、どの程度設計値からはずれると不良を引き起こすか、机上検討及び実験検証を実施する。

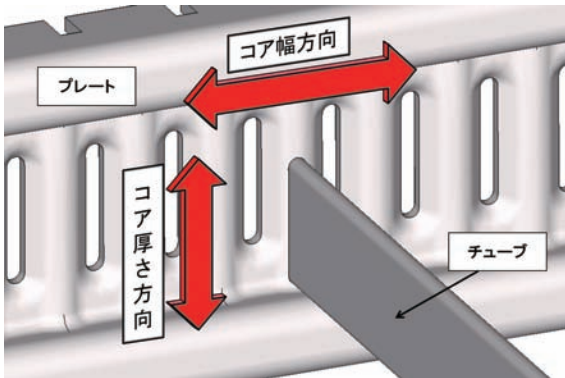


Fig. 6 Gap direction between tube plate hole and tube

Fig. 7, 8に机上検討の結果を示す。コア厚さ方向のずれは、限界値が低く変曲点がある。コア幅方向は、比較的ずれに対して容易に挿入が可能である。

Fig. 9に実験検証の結果を示す。実験ではコア厚さ方向のずれ量をより細かく試験したところ、ある点で急激に荷重が上がり、かじりが発生することが分かった。コア幅方向は、机上検討より更に大きい値まで試験したところ、コア厚方向と同じくある点で急激に荷重が上がってかじりが発生した。

また、コア厚さ方向のずれの限界値において、コア幅方向のずれの限界値を検証したところ、変曲点が変わり、より小さい位置ずれでかじりが発生することが分かった。このことから、両方向のずれを複合した限界値をこのデータから得ることにした。

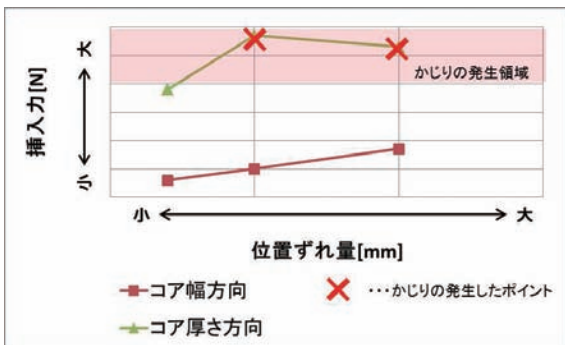


Fig. 7 Insertion force and gap on CAE result

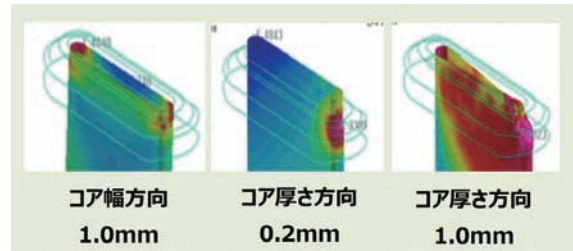


Fig. 8 Distribution of stress and deformation on CAE result

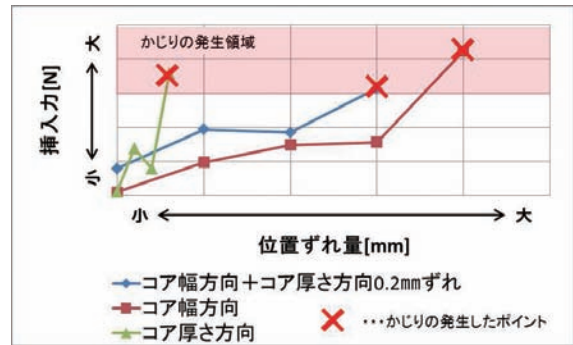


Fig. 9 Insertion force and gap on test result

このようにして、各条件の限界値が把握できたところで許容限界値を検討する。許容限界値とは、限界値に対してこれらの実験データのバラつきや、他の要因に起因する安全マージンを加味した値である。

例えば、チューブかじりの場合では、机上検討値と実験検証値がほぼ同じであれば、これらの精度の問題だけ考慮すればよい。しかし、机上検討値と実験検証値に差がある場合は、他の要因が結果に影響している可能性があるため、FTAを見直し、検討する主要因を追加して再検証する。

4.3. ステップ3：バラつきを考慮した設計

許容限界値が把握できたところで、実際の工程でのバラつきを確認する。

Fig.10にチューブかじりの例として、ある試作設備でのコア幅方向でのチューブ位置ずれの測定結果を示す。コアの中央部において、チューブとプレートの穴が大きくずれている。ここに、ステップ2で求めた許容限界値を当てはめると、位置ずれ量が許容限界値を上回っており、対策が必要であることが分かる。

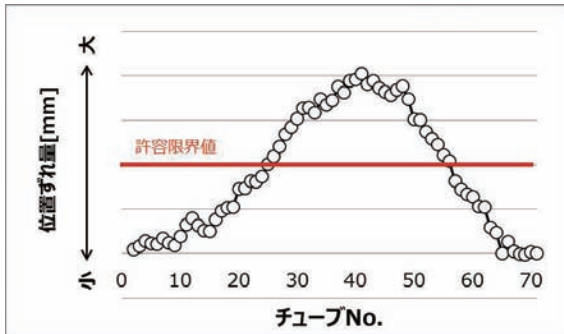


Fig. 10 Gap of core thickness direction on current core assembly machine

バラつきが分かったことで、改善点が明確になる。今回の試作設備では、バラつきが許容限界値に対して大きいので、設備にチューブの位置を揃える機構と、プレートの穴を位置決めするよう機構を追加した。

次に、これらの新機構の機能と、予測される故障モードをFMEAにフィードバックする。今回のチューブかじり対策の機構では、本当に目標の位置精度が出せるのかを検証する必要がある。

Fig.11 に試作設備にチューブ位置揃え機構を追加したときの、位置ずれ量の検証結果を示す。結果の通り、許容限界値が分かっていることで、改善の効果が定量的になり、今回の場合はこの機構が有効であることが分かる。

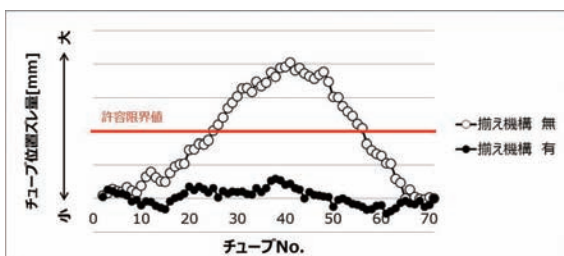


Fig. 11 Trial result of tube alignment on prototype machine.

このデータを元にして、更に設備精度のバラつきや、部品のバラつき等を考慮して最終的な成立性を確かめる。この時、ステップ1で作成したFTAを更に新機構・新形状に当てはめて要因分解し、許容限界値と各設計値の感度検証をした上で公差の割振りを実施する。

一方、このステップで、新機構が及ぼす悪影響についても検証する必要がある。チューブかじり対策の機構では、機構が部品に直接接触して荷重を与えるので、部品の変形を検証する必要がある。

4.4. ステップ4：マザーラインにおける実証

マザーラインにおける実証の前に、予め工程能力を測る項目と、その測定方法、実際に量産を開始した後の計測頻度を決めておく必要がある。

計測は場合により、工程能力を検証するときと、量産開始後で方法を変える。特に量産開始後は、計測の時間が限られるので、方法の簡素化が求められる。従来の工程能力の実力によっては、インライン測定が必要となる場合もあり、ステップ3の段階で、こうした重要な寸法が分かっている場合は、計測方法の開発を平行して進める必要がある。

工程能力の検証では、許容限界値と、設計値（要因）の2種類を検証する。個々の或いは複数の設計値が公差範囲を超えていたとしても、結果として許容管理値が公差範囲内であれば、初期不良は発生しない。しかし、工程のロバスト性を損ない、後の突発不良の原因となるため、設計値を早期に見直す必要がある。

また量産時の問題として、設備治工具のメンテナンスサイクルがある。特に、新機構では寸法の経時変化の想定が難しいため、マザーラインでデータ収集が重要になる。

Fig.12にある設備寸法の経時変化のグラフを示す。この図のように、設備寸法の変化に着目して、摩耗するまでの周期を把握することができれば、その周期に応じて、定期的にメンテナンスや部品交換を指示し、突発的な不良の発生を避けることができる。

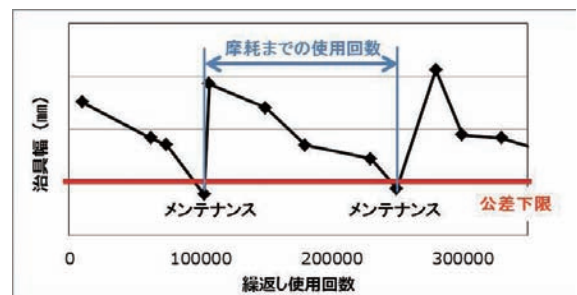


Fig. 12 Example of maintenance cycle on production machine

最後に、量産を開始し工程不良が予想通りに低減されているかを確かめる。ここで、工程不良率を確かめることで、許容限界値の設定が適切であったかどうかや、現象の取り違え、主要因を見逃していないかを確認する。この段階で不良が多発するようであれば、ステップ1に戻って、再度検証に抜け洩れが無かったか確かめる必要がある。

今回、事例として紹介したチューブかじりについては、工程不良率が大幅に減少し、目標どおり、改善プロセスが品質向上に有効であることを確認することが出来た。

5. ま と め

本プロセスを通してグローバル同一品質に向けた設計仕様を生み出し、工程不良率改善を達成できることを確認できた。

また、4STEPの設計プロセスを通して、原理に基づいて現象の要因を定量的に分解、検証し、バラつきを考慮して設計を行い、マザーラインを通して実証していくことで、このプロセスの有効性を確認できた。

6. お わ り に

本稿を通して、グローバルでのモノづくり力を向上させるためのプロセス改善について紹介した。今後は、更なるモノづくり力の向上を目指して、活動の幅を広げて継続していく。

最後に本プロジェクト活動に当たり、御協力を頂いた関連部署の関係各位に深く感謝の意を表します。



松崎 安成



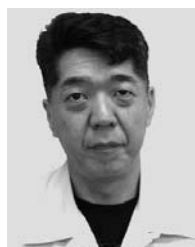
丸野 俊幸



篠原 靖行



宮坂 真一



山口 匡博



藤澤 修