

論文・解説

30

人間作業工程へのパラメータ設計の適用

Application of Parameter Design to Human Operation Process

垣田 健^{*1} 三宅 鹿生^{*2} 山本 慈喜^{*3}
Takeshi Kakita Shikao Miyake Itsuki Yamamoto

要 約

I4エンジン生産ラインにおいて、柔軟性や多機能性の面から人間作業を生産ラインに有効に活用している。従来、エンジン鑄造の砂型組立では人間作業工程は顕在化した欠点数等の結果で評価してきたため、潜在的な不具合対策まで踏み込んだ評価が困難である。よって、手戻りゼロの量産準備プロセスを確立するためには、作業の結果ではなく「作業の質自体の評価」により潜在的な不具合を対策する業務へ移行する必要がある。

今回は、鑄造工場の人間作業工程である砂型組立工程に品質工学パラメータ設計を適用し、砂型の理想軌道に対する実軌道のロバスト性をSN比で評価した。その結果、砂型組立作業における砂型の軌道を安定化する因子を明確にでき、軌道ばらつきを1/2まで低減させた。本稿では、その取り組みについて紹介する。

Summary

In I4 engine production line, human operation is effectively utilized to improve flexibility and functionality. The evaluation that stepped to potential problem is usually difficult by counting fault number that surfaced in a human operation process. Therefore, it is necessary to shift to the duties that measures potential malfunction by “the evaluation of quality of the operation” not results of the operation to establish mass production preparations without reworking.

In this study, I applied a quality engineering parameter design to the sandbox assembling process that was the human operation process of the casting factory and evaluated robustness of the true path for the ideal path of the sandbox in SN ratio. As a result, I could make the factor which stabilized the path of the sandbox in the sandbox assembling work and reduced path unevenness to 1/2. This report introduces the activities.

1. はじめに

I4エンジンの素材工場は、多種多様な工程の集合体である。この中で、複雑で技能が要求される工程も存在するため、柔軟性や多機能性が要求される工程では、必要に応じ人間作業で対応している。人間作業には難度に応じた作業習熟期間が必要である一方、昨今の海外への生産拠点進出や生産台数変動に対して作業未習熟者の即時活用は不可欠である。作業の評価としては、製品の欠点数や種類等によって熟練者を配置したり、工程を改善したりするのが現状であった。そこで、評価の視点を抜本的に見直し、「作業の質自体

の評価プロセス」という新しい切り口で行った。それは、製品の欠点を生じさせない部品の理想軌道を定義して、品質工学により実軌道とのずれをSN比によって評価するという新しい試みである。この評価方法を活用することで、実軌道が理想軌道に対しロバストであれば自ずと潜在的な問題点の未然防止ができると考え、作業者の置かれる環境を定性的なパラメータも考慮して人間作業工程におけるパラメータ設計を適用した。

本稿ではこの一例として、鑄造工程における砂型組立作業に注目し、パラメータ設計を実施した取り組み内容と成果を報告する。

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

2. 鑄造工程における砂型組立ライン

マツダ主力エンジン（直列4気筒1.8～2.5L）の素材はFig.1に示す複数の砂型から構成される組立鑄型にアルミ溶湯を注湯し形成される。更に熱処理、仕上げ処理および検査を経て出荷される。今回の取り組みは、その中で人間作業が最も鑄造品質に影響する砂型組立ラインを対象に、パラメータ設計を実施した（Fig.2）。砂型組立ラインは、ライン後半になるほど、また砂型重量が大きいほど組立の難度は増し、作業ばらつきも増大する。作業がばらつくと、砂型同士がこすれ、はく離落下した砂が組立鑄型内に残り鑄造欠陥になる。調査結果、組立の3工程（Fig.3）が最も砂こぼれ量が多く、習熟度を要する工程であることが判明したため、この工程を対象とした。

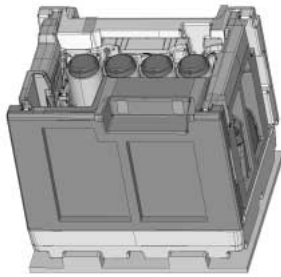


Fig.1 Assembly Mold

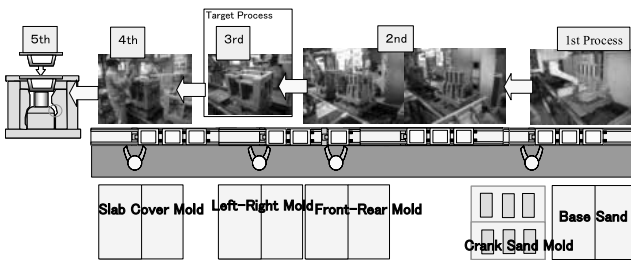


Fig.2 Sand Mold Assembly Line



Fig.3 3rd Assembly Process

3. 基本機能の設定と実験方法

3.1 基本機能

(1) 理想軌道の検討

組立中に砂型同士がこすれることなく、最終接触面でのみ組付けられれば砂がこぼれることはない。この仮説に基づき、組立時の砂型の理想軌道を定義した。理想軌道とは、組立過程での砂型間の距離を最大に保ち、かつ視界などの作業性を確実に確保する軌道である。砂型の理想軌道を

CAD上で求めた結果をFig.4に示す。砂型の軌道を位置1～4で表現している。位置1で砂型を斜めにベース砂型に預け、位置2まで垂直に起す。次に位置2から位置4まで斜め方向に挿入していく。この軌道を砂型の理想軌道と定義した。

(2) 座標化による基本機能の設定

この軌道を基本機能に変換するために、砂型の位置を座標化した。まず砂型の位置1～4を、代表する2つの基準点（Fig.4のa, b）により表現した。次に、砂型は衝撃に弱く、着座直前の組立速度も砂こぼれ量に影響するため、位置と時間との関係を求めた。組立手順、ライントクトから、2秒かけて位置1から位置4までを移動する速度を理想とした。この位置と時間との関係を座標化したものを理想軌道とした（Fig.5）。これらの4つの位置における砂型の2点（a, b）、合計8点の距離を標準SN比による動特性の基本機能へ変換し評価した。Fig.6に基本機能と品質不具合との関係の概念図を示す。標準条件での軌道（理想軌道） N_0 と誤差条件での軌道 N_1, N_2 の関係を示している。この場合、基本機能である直線の傾きが大きいほど軌道速度が速いことを表している。従って衝撃による砂こぼれや作業難度もSN比で同時評価可能である。また人間の習熟度のばらつきを作業設備仕様の最適化により低減し、欠点ゼロエリアを砂型構造の見直しにより拡大することで、砂型組立起因の社内欠点を撲滅できると考え、それを活動目標とした。

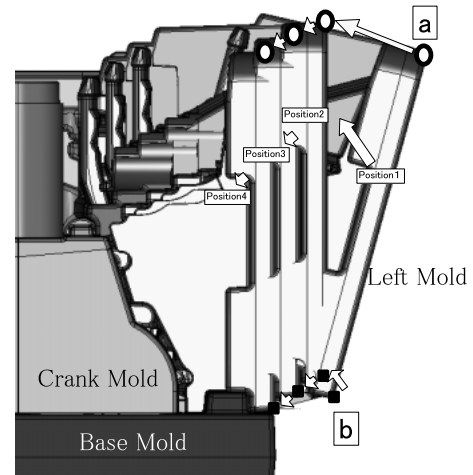


Fig.4 Ideal Path of Sand Mold

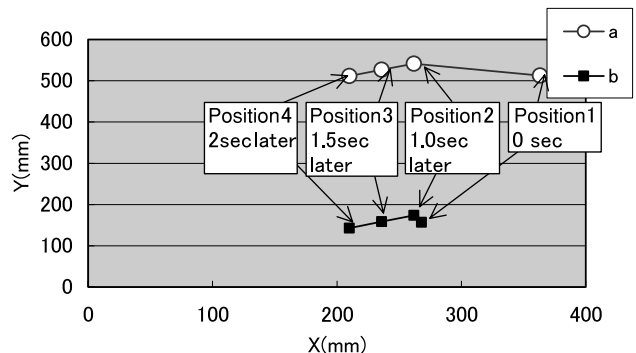


Fig.5 Coordinated Ideal Path

3.2 実験方法

砂型の軌道を解析するために、実際の動きを動画録画し、あらかじめ砂型にマーキングした点 (a , b) の原点からの位置を、録画面のコマ送りから読み取り距離を算出した。更に砂型軌道が位置1から位置2, 3, 4と進むほど、砂型間の隙間が小さくなる構造を踏まえた補正を加えた。また実験作業の習熟度や前実験の影響を小さくするため、L18実験の実験No.ごとに一定のインターバルを置いて実験した。習熟者と未経験者の動画解析例をFig.7に示す。この結果から、未経験者の砂型組立軌道は、習熟者と比較すると基本機能に対し外れている。また、SN比の違いも明らかなることから、作業軌道のSN比評価を、品質管理の指標として活用できる。また、一連の実験を、短期に完了するため、製作が容易な簡易治具のみを作り、実験から解析までを1週間で終了することができた。

3.3 誤差因子の設定

人間には、性別、体格、筋力、疲労度、習熟度、精神面などの誤差が存在する。これら誤差については、人間工学により定量的な評価を進めてきたが、習熟度に対する定量的な評価は困難であり、最も砂型の軌道に対する影響が大きい。よって、誤差因子には作業員間の習熟度を取り上げ、組立歴3年の習熟者と組立作業未経験者に依頼し実験した。

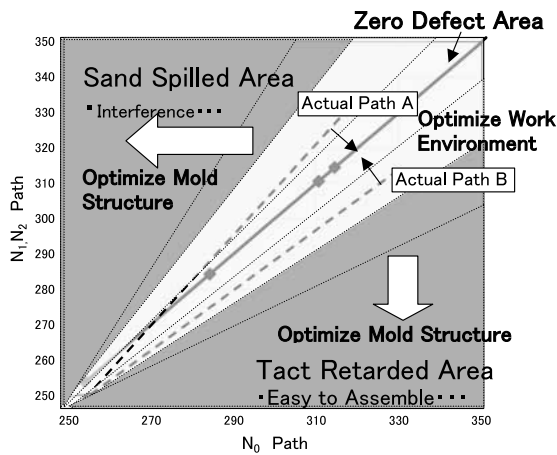


Fig.6 Relationship between Generic Function and Quality

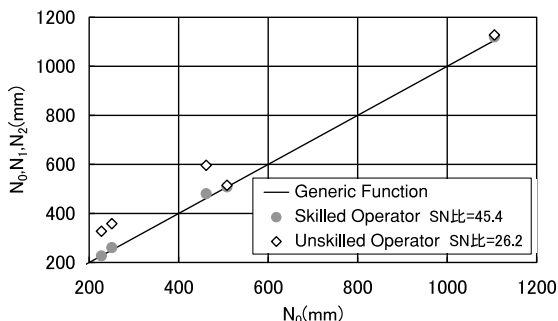


Fig.7 Moving Image Analysis of Skilled and Unskilled Operator

3.4 制御因子の設定

制御因子を決めるために、まず過去のデータから23因子を抽出した (Table 1)。既に人間工学を導入済みの、騒音、臭気、触覚、精神面への影響の12因子を除き、作業しやすさ、目視での確認しやすさといった残り11因子からTable 2に示す8因子を選定した。

水準としては、ありなしで評価できる因子を2水準とし、最適な水準を探る必要のある因子を、3水準と割り付けた。例えば、照度は明るければ明るいほど見やすくなる因子ではなく、最適照度が存在するはずである。また、作業高さにも最適水準があると考え、身長から計算した3水準を用いた。制御因子と水準をまとめ、Table 2に示す。

Table 1 Extracted Control Factor

Category	Measures	Example	
Easy-to-work	Working Height	Worktable	
	Hold Position	Fix Hold Position Mark on Mold Guide Arm	
	How to apply force	Lengthwise Crosswise	
Easy-to-Visual check	Brightness	Lighting Spotlighting Ceiling Area Lighting Opposite Color of Mold Natural Light	
	Marking	Machine Mold Mark on Footing Mark on Mold Laser Pointer	
Noise	Sense of Speed Noise	Recognize Production Speed Counter Installed	
Odor	Protective Equipment Dust Collector	Implemented Implemented	
Tactile	Vibration Electricity	Lifter Structure	
Mental Influence	Stress	Reduce Repeat work	Process Shift
	Misstep	Flat Floor	Implemented
	Cuts	No sharp Edge	Implemented

Table 2 Extracted Control Factor

Control Factors and Levels	Level1	2	3
A Weightless Tool Mark	Without	With	-
B Brightness	Poor	Medium	Strong
C Guidance Pointer	None	1 Point	2 Points
D Temporary Table(Relay Point)	None	2 for Left-Right	Center
E Guide Arms	None	Right only	Left-Right
F Working Height	Low	Medium	High
G Weightless Tool Guiderail	Without	With	With
H Fixture for Hold Position	Without	With	With

Table 3 Experimental Data

	time (sec)	N0 (mm)	N1 (mm)	N2 (mm)
La	0.0	120.9	123.7	112.9
	1.0	250.6	393.9	258.1
	1.5	461.5	465.3	469.3
	2.0	1105.7	1143.7	1081.5
Lb	0.0	59.7	59.3	52.3
	1.0	131.0	124.7	116.0
	1.5	227.4	242.7	220.7
	2.0	508.0	598.0	531.0

4. 実験結果

4.1 L₁₈実験結果

実験No.1のデータをTable 3に示す。このデータを用いて、SN比と感度を算出した。L₁₈直交実験を実施し、SN比と感度₁の要因効果図をFig.8に示す。因子A(無重力カッターマーク)は「あり」の方がSN比、感度ともに大きくなった。B(照度)については影響度が小さく、C(誘導用ポインター)については谷型の傾向になり、明確な効果が確認できなかった。D(中継地点)、E(誘導棒)は、感度は変わらずSN比が向上する。砂型を把持して移動途中の目印、更に組立時の目印を組み合わせた、組立作業の動きに追従する目印設置が有効であることを示している。F(作業高さ)は、現行高さが最適との結果となった。G(ガイドレール)は、自由な軌道を描く無重力カッターを押さえつける力をガイドに預けられることで効果がえられた。H(把持位置固定治具)は、砂型を把持するときの無重力カッターの位置合わせが作業時間を増やす結果となり、その増加時間分が組立軌道を乱しSN比を悪化させる傾向となった。これらのことから、ガイドレールや目印などの作業補助ツールを最適に組み合わせることが、砂型軌道の安定化に有効であることが分かった。以上の結果から、最適条件はA₂B₃C₁D₃E₃F₁G₂H₁となった。

4.2 確認実験

Table 4にSN比と感度の効果推定と確認実験結果および利得を示す。この結果から、5.96dbと高い利得が得られ、最適条件でのSN比は再現したと判断した。感度₁については、ほぼ1であるのでSN比を優先的に最適条件の指標とし、₁、₂による合わせ込みは必要ないと判断した。

また、当初の予想通り、最適条件では、作業者が感じる「作業のしやすさ」への悪影響はなく、事実、作業者からは「作業をしやすくなった」との感想を得た。これは、部品(ここでは砂型)の軌道を基本機能とする本アプローチ

により、「作業のしやすさ」も向上することを示している。

以上の結果により、砂型軌道ばらつきが約1/2(利得6dbから計算)まで低減でき、目標タクト内で社内欠点数がゼロにできる目処がついた。

Table 4 Estimation and Confirmation Result

	SN ratio(db)		Sensitivity β_1	
	Estimation	Confirmation	Estimation	Confirmation
Optimized	44.00	41.32	1.01	1.01
Conventional	36.03	35.36	1.00	1.03
Gain	7.97	5.96	0.01	-0.02

5. 量産ラインへの展開

実験で得られた最適条件の量産ライン仕様をFig.9に示す。無重力カッターのマーキング、照明、ガイドレールは実験通りの仕様で織り込んだ。中継地点については、同工程の他の作業性やメンテナンス性を考慮し同じ役割を發揮する仕様をガイドレールに設置した。今後量産ラインで効果を確認していく。

B : Lighting installed on Guiderail Pillar

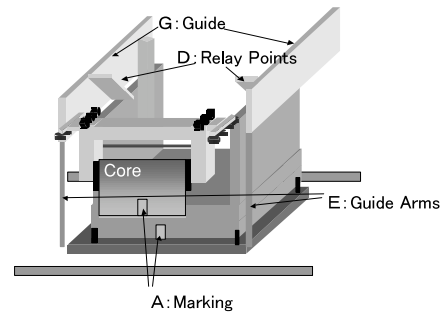


Fig.9 Production Line Spec.

6. まとめ

以下に本研究の効果と成果を述べる。

- (1) 効果
 - ① 砂型軌道ばらつき：約1/2まで低減
 - ② 社内欠点数：ゼロ(見込み)
 - ③ 生産準備期間：70%短縮(従来比)
- (2) 成果
 - ① 人間作業による部品の理想軌道を定義して、実軌道とのずれをSN比によって評価するという新しい試みが有効であることを実証。
 - ② 本評価プロセスの活用により、潜在的不具合の未然防止が図れ、生産準備期間の短縮が可能であることを実証。
 - ③ 本評価プロセスが、作業を軌道で表現できる他の人間作業に適用可能であることを実証。

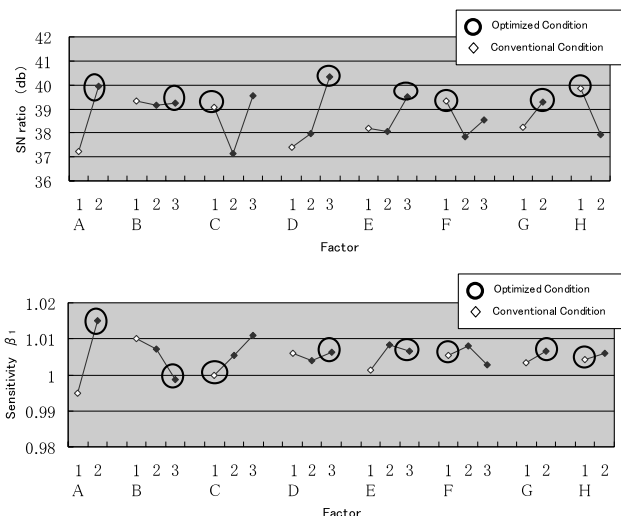


Fig.8 Factor Effects of SN Ratio and Sensitivity

(3) 今後の課題

- ① 他の人間作業へ適用に向けて更なる誤差因子の研究
(重り, 目隠し, 時間帯など)
- ② 誤差因子の検討のための予備調査方法の確立。

参考文献

- (1) 上林ほか：頸髄損傷者用腕のトレーニングシステムの評価に関する研究, 品質工学, 14, 3, p.69-74 (2006)
- (2) 溝口：撮りっきりカメラシャッター機構安定性のタグチメソッドによる設計, 品質工学, 12, 3, p.44-50 (2004)
- (3) 荒井ほか：スポンジゴムの切断作業者の能力評価, 第15回品質工学研究発表大会論文集, p86-89 (2007)

著者



垣田 健



三宅鹿生



山本慈喜