

オンライン品質工学を用いた工程管理の最適化に関する研究

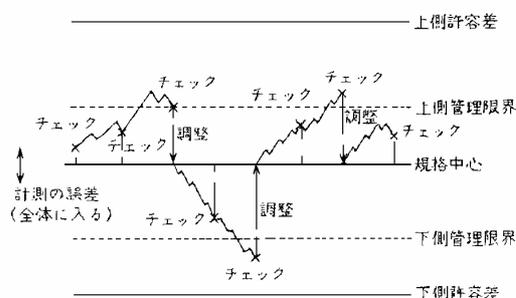
日大生産工（院）
アルパインプレジジョン(株)

佐藤 洋樹 日大生産工 大澤 紘一
秋山 幸示 (株)ツムラ 矢野 耕也

1. はじめに

モノ作りに携わる製造業では、生産工程、いわゆる現場を稼働させるにあたり、工程上の管理を適切に行うことが肝要である。なぜならば、生産ラインに与えられている部品の機能性、組立/加工作業の出来ぐあい、その指標である許容差は、現場においてコントロールすることが出来ない。ライン当事者はこうした現実を「均一な良質である」の一念で量産し、その良否を検査によってふるいをかけることで判別しているという実態が少なからずある。そこで生産工程でモノが品質規格を外れた場合、工程上の問題として捉え、変動する品質水準に合わせた管理を適切に行うことで、生産工程での品質を均一に保つことは可能である。加工作業の特性値や工程上の生産設備の特性値など、製品の品質に直接もしくは間接的に関わる管理項目に対し、適宜に修正措置をとる。流れるモノに対し適切な間隔でのチェックを行い、管理値から外れた場合修正をかける、つまりフィードバック制御を適切に行うことでオンラインコントロールが可能となる。これが工程管理である。

図1. 管理限界によるフィードバック制御



管理するということは、管理体制上を流れる仕掛り品1個あたりにコストが発生するということである。だがこうした管理損失はなかなか表面化しにくい。管理体制には「最適な状態」と呼べる部分が必ずあるが、どう見つけ出しどう評価するかは不良率や生産性の問題を抱える現場の人間にとっては難しい。最適な状態とはつまり管理が過剰でも不足でもなく適切であり、損失バランスが最小となる条件である。

こうした品質に対する損失の顕在化と損失バランスを適切にする手段としてオンライン品質工学を用い、実製造プロセスの管理最適化を行うことを研究目的とした。

2. オンライン品質工学

2.1. 概念

生産工程はどんなに安定した工程でも管理を怠ると必ず不良品を作り出す。仮に工程が安定しているならば、生産速度を上げる 生産コストの低減を図る 品質ばらつきも増加 さらに管理体制を厳しく、とすることでやはり適切なオンラインコントロールが不可欠である。

オンライン品質工学とは 許容差と管理値からの外れ度合いを、損失関数という概念でコストに置き換え、計測時期・調整時期・工具の交換時期・計測方法の選択・計測器の校正時期等を最適化する事で、品質不具合・製造&検査工数を削減する手法 である。製造現場では、工程作業別に製品の管理特性を日常的にチェックする体制が与えられ、規格の中心値 m (メジアン値)と Control Line に対するモノの判別は以下のよう

になる。

検査工程 許容差で判別

生産工程 管理限界で判別

許容差(規格) 合格品とNG品の境界線

管理限界 修正するか否かの境界線

2.2. 現行の管理状態の明確化

工程の管理状態を表すパラメータを用いて管理のよし悪しを管理コストと品質による損失の和とで評価する。その際のコストは全て1個あたりにかかる管理費用で計算する。

生産工程における現行パラメータ¹⁾

Δ : 規格幅となる許容差

A: 不良の際の損失(円/個)

B: 計測にかかっているコスト(円/個)

C: 調整にかかっているコスト(円/個)

D_0 : 管理幅となる管理(調整)限界

n_0 : 現状の計測間隔(個/回)

u_0 : 現状の平均調整間隔(個/回)

l: 計測によるタイムラグ(個)

σ_m : 計測誤差の標準偏差

L_0 : 現行条件での損失関数(円/個)

損失関数 = 管理上の損失 + 品質水準からの損失

管理損失はこのように2項目の合計値だが、

- > - 管理過剰
- < - 管理不足
- = - 適切な管理

となる。適切な管理とは損失バランスが最小、すなわちLの最小値をとることである。

現行の管理状態の総損失は現行パラメータによる組み合わせ式¹⁾となり(1)式である。

$$L_0 = \frac{B_0}{n_0} + \frac{C_0}{u_0} + \frac{A}{\Delta^2} \left[\frac{D_0^2}{3} + \left(\frac{n_0+1}{2} + 1 \right) \frac{D_0^2}{u_0} + \sigma_m^2 \right] \quad (1)$$

第1項・第2項・第3項で構成された加法計算である。第3項を展開すると第3項・第4項・第5項に分かれる。各項毎に工程の管理上の様々な損失の類を意味し、表1の通りである。

表1. L式の各項内容

管理コスト	第1項	計測上の損失
	第2項	調整上の損失
品質による損失	第3項	管理限界内の損失
	第4項	管理限界外の損失
	第5項	計測誤差の損失

2.3. 最適な管理状態の明確化

管理の最適化とは、現行のフィードバック制御の体制から以下の要素を考慮していくことである。

- 計測(チェック)の間隔の妥当性
- 管理(調整)限界の妥当性
- 連続した生産中での平均修正間隔の妥当性

妥当とはつまり管理状態が適切か、という評価だがその判別はやはり工程パラメータとして算出し、その値に管理体制を設定することで損失バランスが最小となることである。現状の工程管理状態を表しているパラメータから最適パラメータ¹⁾を算出する。

n: 現状に対する最適計測間隔(個/回)

$$n = \sqrt{\frac{2u_0 B}{A}} \times \frac{\Delta}{D_0} \quad (2)$$

D: 現状に対する最適な管理(修正)限界

$$D = \left(\frac{3C}{A} \times \frac{D_0^2}{u_0} \times \Delta^2 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

u: 現状に対する最適平均修正間隔(個/回)

$$u = u_0 \times \frac{D^2}{D_0^2} \quad (4)$$

最適パラメータを用いて(1)式を組み立てることで1個あたりの最適な管理損失が示される。

$$L = \frac{B}{n} + \frac{C}{u} + \frac{A}{\Delta^2} \left[\frac{D^2}{3} + \left(\frac{n+1}{2} + 1 \right) \frac{D^2}{u} + \sigma_m^2 \right] \quad (5)$$

さらに最適条件から現状条件を差し引くことで1個あたりどれだけの改善になるのかを損失面から評価する。1日の生産量、年間生産量に換算することでその単位での改善額が算出される。

$$\text{利得} = \text{最適損失}(L) - \text{現状損失}(L_0) \quad (6)$$

3. 実験方法

本研究においては、実際の生産現場のデータ・情報が不可欠である。そこで、品質工学を全社一丸で推進し、数々の成果をあげているアルパインプレシジョン(株)に依頼し、共同での研究を押し進めていく運びとなった。アルパインプレシジョン(株)では、車載用音響機器メーカーであるアルパイン(株)を母体とし、オーディオプレーヤー、チェンジャー・ナビゲーションシステムなどの量産体制を一手に担っている。

研究対象

- 車載用 CD プレーヤーのメカユニット生産ライン
- オンライン品質工学が未適用の生産ライン
メカユニットとは -

Disk の挿入・回転と Disk Pickup レンズの可動機能を満たす CD プレーヤーのコア部分

表 2. 対象生産ラインの構成と作業内容

	作業内容
Sub 工程	Main 工程で組み付ける Unit の組立(4 種類)
Main 工程	メカ Unit 組み立て 完成
検査工程	外観・振動・音飛び・温度環境検査

管理損失を算出するまでの流れは以下の通り。

対象ラインの把握と管理項目の明確化のため、各工程のフローチャートを作成。

各工程の管理作業部分のパラメータを定義して算出。

現状損失 L_0 を算出。

最適な管理パラメータ、最適損失 L を算出。

利得を算出。

最適条件を実際に適用するための条件を工程の能力や検査、不良の問題から総合的に検討。

4. 研究結果

現在は Sub 工程における現行での全管理作業のパラメータの算出及び損失、最適条件のパラメータと損失を算出し終えている状況である。

なお、計測誤差についてはまだ計算途中である。

これまでの進捗内容として Sub 工程における結果を以下で提示する。まず、パラメータの算出方法は表 3 のように定義した。次に Sub 工程内作業の管理内容は表 4 で示す通りである。

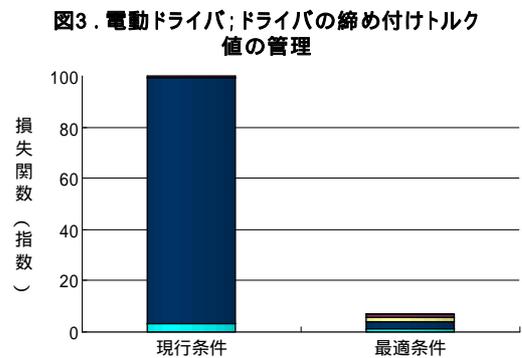
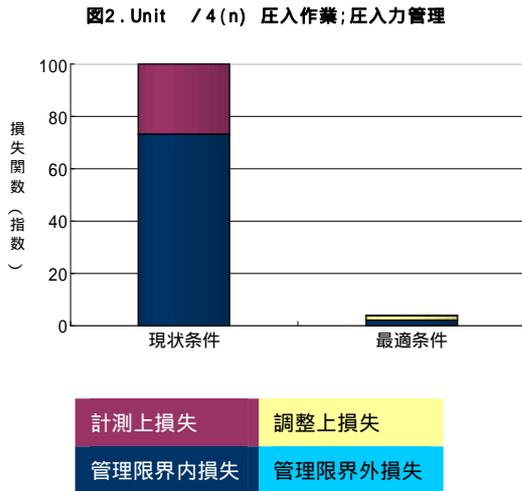
表 3. 各パラメータの求め方

Δ_0	工程に与えられている現状の規格値。
A	<ul style="list-style-type: none"> • 全廃却の場合 トータル部品代 • 部分廃却の場合 その部分の部品代 + 分離工数 + 分離治具の償却費
B	{ 工程作業の工数 × 計測 time } + 計測設備の償却費
C	<ul style="list-style-type: none"> • { 工程作業の工数 × 調整 time } + 再計測 (B) • 調整不可能のものは交換部品代 + { 工数 × 交換 time } + 再計測 (B)
D_0	工程に与えられている現状の管理値
n_0	生産ラインの実績・実状により判断
u_0	生産ラインの実績・実状により判断
l	生産ラインの実績・実状により判断

表 4. Sub 工程の管理内容一覧

	フィードバック制御		
	品質特性	工程条件	校正
Sub 工程 管理項目	圧入管理 ・ 圧入力 ・ 圧入高さ	生産機器管理 ・ 半田ごて ・ 電動ドライバ ・ ホットプレート 生産設備管理 ・ 定期点検	機器校正 ・ 生産設備の計測誤差

Unit 組立工程に圧入作業時における圧入力の管理がある。また、作業に使用される電動ドライバの締め付けトルク値の管理も行っている。この 2 項目を抜粋して現行条件の損失 L_0 に対する最適条件 L の内訳の積み重ね図を示す。圧入力は 4 種 Unit の内 1 種類を抜粋した。なお、先述したように計測誤差は算出途中であるため現段階で除外しての算出結果となる。



先述したように管理バランスが最小となるのは管理上損失と品質による損失が均一であることである。図 3, 4 をみると計算上の最適条件でそれがあがる程度達成できていることがわかる。次に Sub 工程における損失関数 L_0, L を構成する各損失の内訳を比較した。実際のコストで提示できないので、現行条件・最適条件の損失をそれぞれ 100%とした場合の各損失が占める占有率 (図 3、表 4)、また現行損失 100%に対する最適損失の改善額を指数で表した (表 4)。

図4. 管理内容の占有率: 現行条件と最適条件の比較

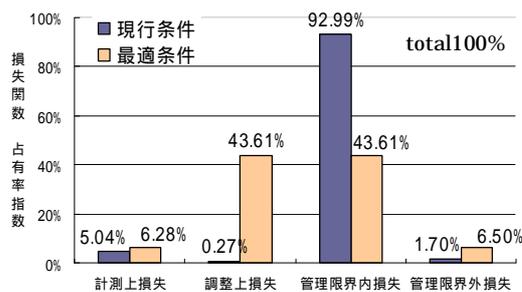


表 4. 損失内容の占有率と現状に対する改善度

Sub 全損失 損失 評価	現行損失	最適損失	現状 (100%) に対する損失割合
	損失内容別 占有率	損失内容 別占有率	
計測	5.04%	6.28%	0.51%
調整	0.27%	43.61%	3.52%
管理限界内	92.99%	43.61%	3.52%
管理限界外	1.70%	6.50%	0.53%
Total (指数)	100%	100%	8.08%

現状の大きな問題として管理限界内損失の肥大が挙げられるが、実態としてライン上に許容差が設けられていない。管理限界値との区別・認識を現場の当事者が行っていないという現実があり、計算上では $=D$ として行い許容差を現在の管理値に、管理値をさらに厳しい値として算出されるため、大幅な改善度合いとなった。

5. 今後の方向

現行管理損失と最適条件算出までの実験として、引き続き Main 工程・検査工程のパラメータ・管理損失と計測誤差を算出する予定である。さらにその後は以下のような検討を行う必要がある。

- 工程能力指数 C_p 値と最適所要人員の算出
- 抜き取り検査および全数検査の妥当性
- 計測・調整頻度の妥当性
- 検査と生産設備の力に依存しない管理方法
- 不必要な管理作業の工数削減
- 臨界不良率からの検査工数の妥当性

これらを包括し、最適条件の値を適用条件としてどこまで再現できるかを念頭に置いた検討を行う。

参考文献

- 1) 矢野宏, 品質工学計算入門 日本規格協会 (1998)
- 2) 田口玄一, 品質工学講座 製造段階の品質工学 日本規格協会 (1989)