

5. 3 モデル工程の工程変動と制御シミュレーション（成形実験1）

5. 3. 1 工程の変動を得るための実験の実験計画

オンライン管理の有効性を検討するため、成形実験を行い、オンライン計測及び工程変動のデータを得る。これらのデータは予測制御のシミュレーションを行うために使用した。

使用した成形機は山城・津上製横型射出成形機SS-5である。成形品は厚さ2mm、直径14mmの歯車で、ポリアセタール樹脂製である。

成形品に影響があると思われる成形条件のうち、表5.3.1の4つの因子を選び、それぞれ3水準に設定した。

表5.3.1 実験に取り上げた成形条件

①金型温度（設定値）	40	60	<u>80</u>	℃
②射出圧力（ゲージ値）	30	40	<u>50</u>	kgf/cm ²
③加熱筒温度（設定値）	<u>185</u>	190	200	℃
④射出速度	<u>低</u>	中	高	

また、固定条件として、射出時間、冷却時間をいずれも3秒とした。

各因子の水準値は、経験的な標準値を第2水準とし、可能な限りでその前後の変化を与え、第1、第3水準値とした。これらの因子を直交表L₉に割りつけ、9通りの条件の組み合わせ（実験No.1～9）で成形を行った。これら9通りの条件は、現実に行われる成形加工の範囲を覆っていると思われる。なお、解析の結果、最適と思われる条件の組合せ（線の組合せ）での確認実験（実験No.10）も併せて行った。成形のサイクルタイムは約8秒、各実験では800ショット、約2時間の成形である。

本実験においては、計測特性として成形品の重量を採用した。これは重量が最適な特性であるからではなく、計測が容易で、オンライン計測の研究を進め易く、また、この段階でシステムを検討し、問題の所在を明らかにするには問題はないと判断したためである。成形品の重量（約250mg）の成形による変動はかなり小さくなると予測されたため、最小目盛り0.01mg、秤量30gのMettler社製電子天びんにより測定した。工程の変動を検出し、直ちに工程の管理に利用することを想定して、成形機の近傍に電子天びんを設置し測定を行った。成形機の振動、成形直後の成形品の温度により、電子天秤のドリフト、感度の変化等が考えられるので、型開き後20～30秒での製品の測定後、ゼロ点、標準分銅（約500mg）の測定、さらにゼロ点の測定をした。一連の測定の時間を考慮し、製品の測定間隔を20ショットとした。さらに、工程の細かい時間的変動の解析を行うため、1ショットおきの成形品を成形順に保管し、通常成形品が安定するといわれている48時間以上後に、安定した製品について重量の測定を行った。

5. 3. 2 成形実験の結果

(1) オンライン計測の有効性

オンライン計測器の校正方法としては、一般に、定点校正及び必要に応じて感度校正が

行われる。工程変動を知るためには、ほぼ一定量の製品の微小量の変化を検出できればよく、微小量への感度校正の影響は小さいため、現場標準による定点校正だけで十分な場合が多い。変化量が大きく感度校正が必要な場合には、最低2個の標準の測定値により感度を修正しながら測定する。

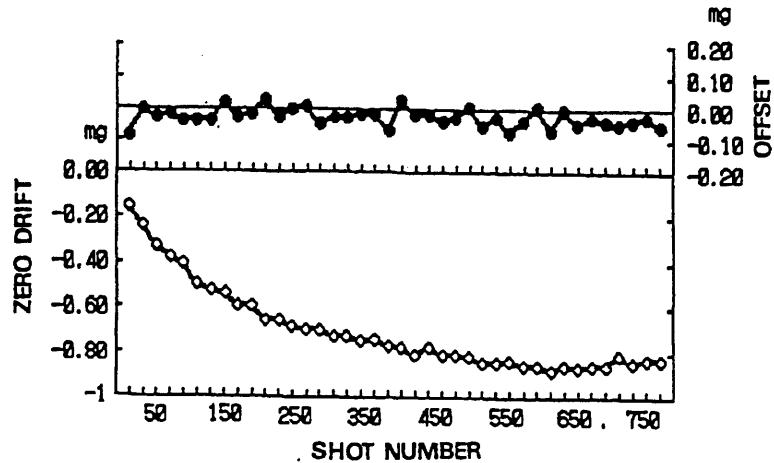


図5.3.1 測定値のかたよりとゼロ点のドリフト

オンライン測定中の、ゼロ点ドリフト及びゼロ点校正後の標準分銅の測定値の例を図5.3.1に示した。ゼロ点はマイナス方向にドリフトしており、ゼロ点校正または定点校正が測定の度に必要であることが示されている。分銅測定データの分散分析の結果、毎回ゼロ点校正した測定値のばらつきは標準偏差で0.01~0.03mgであった。これに相当する感度の変化分は1に対し6/100000以下であり、また、時間に対する傾向性もなく、この実験程度の時間では感度校正の必要はないことが分かった⁵⁻¹⁾。

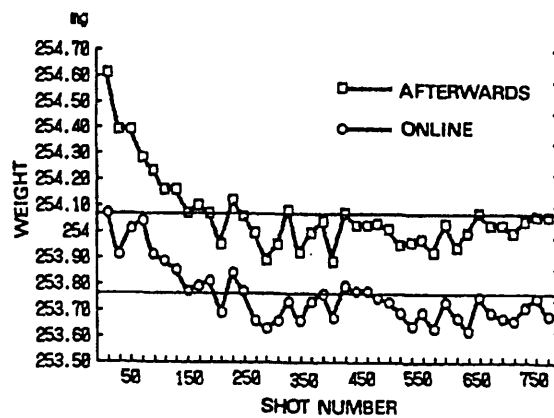


図5.3.2 オンライン測定値と安定後の値の比較

成形品が熱を持っている状態での測定が、製品の変動を捉えていることを確認するため、成形後48時間以上後の成形品の重量測定の結果と、オンラインでの測定結果とを比較した。図5.3.2は両者の測定値を時間（成形ショット数）に対してプロットしたものである。平均値に0.2-0.4mgの差があるが、これは、成形品放置中に、成形品が水分を吸収し重量が増加するために生じると考えられる。一方、製品相互の変動については、両者の測定値は同じ様な動きを示しており、対応が取れていることが分る。また、回帰分析をしたところ、回帰項は高度に有意で、非常によい直線関係にあり、オンライン測定値から安定後の重量の予測は可能であることが分かった。

(2) 工程変動と周期分析

図5.3.3は、成形順に保管しておいた1ショットおきの成形品の重量の変動を工程変動と考え、時間に対してプロットしたものである。

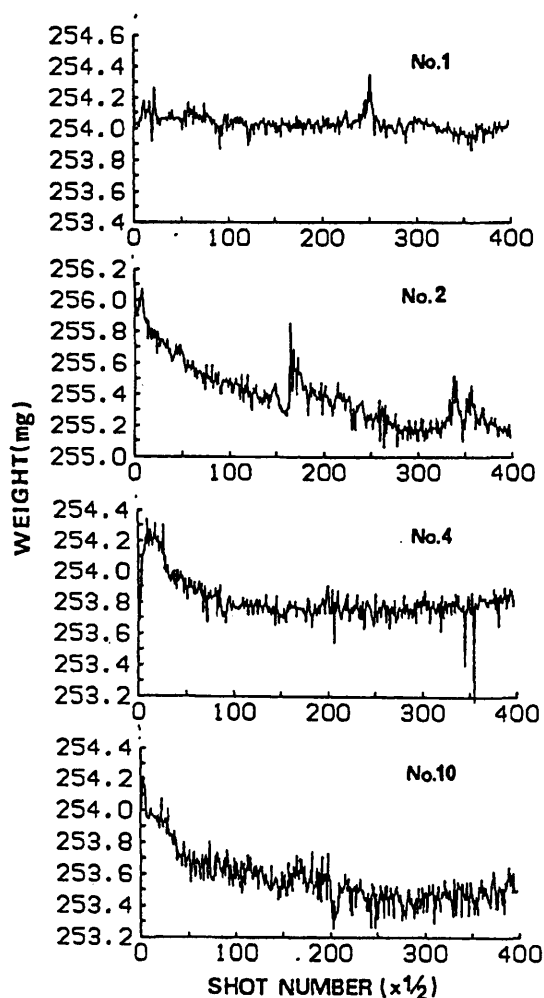


図5.3.3 製品の重量の変動例

代表的な例のみを図示したが、工程変動の特徴により分類すると、
 ケースⅠ：ドリフトのほとんどない場合（No.1）

ケースⅡ：初期のドリフトに引続き傾斜は小さいながら重量が小さくなる場合 (No.2,3)
 ケースⅢ：成形開始直後にドリフトがあり次第に落ち着いて重量が安定してくる場合 (No.4~10)

の3つの場合に分けられる。何れの場合でも、ショット間のばらつきは大きい。また、Ⅲの場合でも、後半のデータには長い周期の緩やかなうねりが見られる。自己相関による検討の結果、初期のドリフト部分を除きショット間の変動に前後の相関はなく、ランダムであった。また、図5.3.3の実験No.4に見られる、突然1つだけ重量の小さい製品が出来るというように、重量が大きく変化する例が少数ながら見られた。

工程変動を定量的に調べ、制御間隔を決めるために、周期分析⁵⁻²⁾を行った。周期分析とは、データを 2^n 個の単位に分割し、その単位毎のばらつきを分散として求め、どのような範囲で校正あるいは制御を行うのが適当であるかを定量的に求めるための分散分析の方法である。分散分析により得られる周期成分がステップ的に大きくなる前の時間間隔が最適制御間隔となる。

初期のドリフトが常に存在するのであれば、制御の立場からは、初期段階では制御間隔を短くし、工程が落ち着くに従って次第に間隔を広げていくことができる。長時間成形する場合には、工程が落ち着き緩やかな変動をする部分が、初期ドリフトの部分より重要であると考え、全データのうち緩やかな変動をする後半の256データ(512ショットに相当)を対象に、 2^n 個の単位に分割する周期分析のための分散分析を行った。表5.3.2に分散分析表の例を示す。

表5.3.2 制御間隔を決めるための周期分析の例

分割単位 (shot)	自由度	分散 (1/100mg) ²	
		No.2	No.4
2 5 6	1	11622.19	389.08
1 2 8	2	3328.17	75.25
6 4	4	781.99	190.37
3 2	8	262.10	66.66
1 6	1 6	187.79	62.52
8	3 2	95.70	45.69
4	6 4	41.32	54.58
2	1 2 8	41.38	44.83

最適制御間隔は実験No.毎に若干異なるが、データ16個(32ショットに相当)の前後になることから、これを次の実験のための共通的な制御間隔として選んだ。

5. 3. 3 シミュレーションの実験計画

予測・制御の効果及び前項で述べたステップⅠ～Ⅲの方法の効果調べるために、成形実験のデータを利用して、計算機によるシミュレーション実験を行った。すなわち、成形実験の工程変動データをもとに、このような変動があった場合にオンライン計測が行われ目標値からの差の修正(制御、校正)が行われたとした場合のばらつきを求めるためのシ

ミュレーションを行った。

シミュレーションによりその効果を調べたい因子、すなわち制御因子として次のものを取り上げた。

H：オンライン測定のスプリング数（1個，2個，4個の3水準）

Y：オンライン測定値から工程平均を予測する式の違い

W：割引係数の適用の有無

成形実験により得られた直交表L₉と確認実験の計10通りの安定後の成形品重量の変動を工程変動のデータ例として利用した。工程変動例（L）は標示因子であり、その主効果は誤差とは別に扱う必要がある。また、周期分析により得られた最適制御間隔は32ショットとなるので、32ショット毎に測定スプリングするが、測定スプリングのスタートのショット位置を変えて計算を行った。スタートショット位置の因子は、誤差因子である。

予測式として、32ショットおきの成形品の重量測定値の目標値からの差 Δx を独立変数、その後32ショット間の成形品重量の平均値の目標値からの差 Δy を従属変数とする一次回帰式を、実際のデータから求めた。スプリング数が複数の場合、連続した成形品の平均値を測定値とみなした。予測式を求めるための回帰分析には、初期14個を除いた384個（768ショット分に相当）のデータを用いた。全体的に変動幅の小さい実験No.1の場合を除いて、残差に対し回帰項の有意性の割合は高かった。

割引係数の計算に必要な予測の誤差分散 V_e としては、予測式を使う場合には予測回帰式の残差の分散、また、予測式を使わない場合（ $\Delta y = \Delta x$ ）には、制御間隔内の重量のばらつきを表す誤差分散 V_w を使用した。

予測・制御の適用範囲として、

(A)初期のドリフトを含めたほぼ全データ(736ショット分)

(B)初期のドリフトを除いた後半のデータ(512ショット分)

の2通りをとった。これは、工程の変動の全体的な傾向の違いによる制御の効果の違いをみるためのものである。

オンライン計測には時間遅れ（タイムラグ）がなく、計測スプリングした次の製品から制御がかけられ、その後の製品は次の制御までの間、その制御量だけ修正されて生産されると仮定した。

工程のばらつきは、目標値からの偏差の全変動の分散 V_T のSN比

$$\eta = -10 \log V_T$$

により評価した。計算時間は短く、また、因子の数が少ないことから全ての組合せについて計算した。

5. 3. 4 シミュレーション実験の結果

図5.3.4に、適用範囲(A),(B)の場合の制御の効果を示した。制御をしない時全変動の分散 V_{T1} 、制御した時の全変動の分散 V_{T2} 、及び、周期内の分散 V_w の変化を各実験No.毎に図示した。 V_{T1} と V_{T2} の差が制御の効果をも、また、 V_{T1} と V_w との差が、制御前の工程の緩やかなうねりの分散を表わしている。適用範囲(A),(B)何れの場合も、実験No.1, 4, 5, 10において、制御の効果が小さい。これらは全分散のうち周期内の分散成分 V_w の占める割合が高く、緩やかなうねり成分が小さいものである。緩やかなうねりの

分散が大きい他の場合には、制御の効果は大きく、制御によりばらつきが小さくなる。

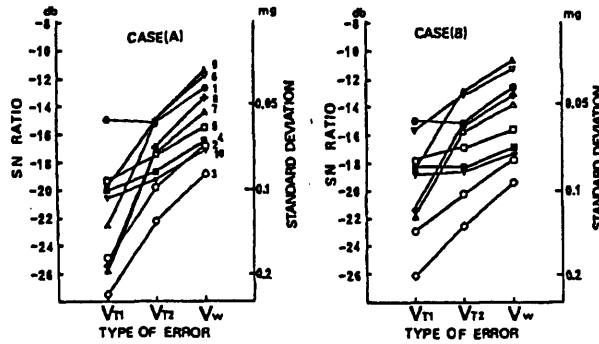


図5.3.4 制御をしない場合(T1)とした場合(T2)の分散の違い

表5.3.3 制御の効果に対する因子の効果

要因	自由度	分散 (db) ²	
		Case (A)	Case (B)
予測式 (Y)	1	69.25	78.54
割引係数 (W)	1	31.52	0.23
サンプル数 (H)	2	44.66	46.11
交互作用 Y x W	1	2.39	18.98
交互作用 Y x H	2	0.06	14.04
交互作用 W x H	2	2.08	3.82
工程例 (L)	9	522.51	951.19
交互作用 L x Y	9	0.66	4.57
交互作用 L x W	9	0.63	3.90
誤差 e4	81	0.45	0.85
誤差 e5	840	0.79	1.00

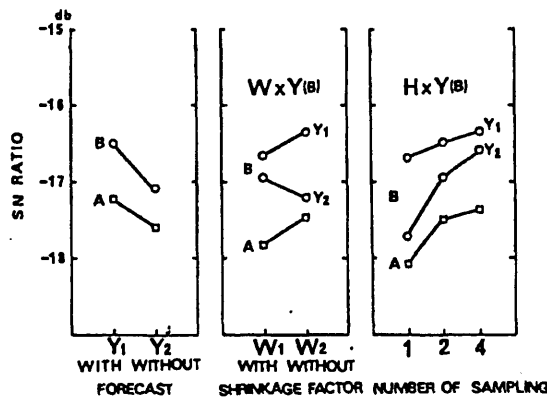


図5.3.5 製品のばらつきに対する因子の効果

表5.3.3の分散分析表及び図5.3.5に、シミュレーション実験で取り上げた要因の、全変動 V_T のSN比に対する効果を示した。予測式を適用した場合、また、サンプリング数の多い場合、ばらつきが小さくなることが確認された。しかし、サンプリング数を2倍にしても、分散は2分の1になるわけではなく、分散の加法性からのずれを生じている。実際にオンラインの測定計画を立てるとき、改善効果として生じる製品のばらつきによる損失の減少と測定コストの増加とのバランスを取る必要がある。

割引係数については、初期ドリフトのある適用範囲(A)の場合、全体として、割引係数を適用しない方が良い。適用範囲(B)では、Y(予測式)との交互作用が大きく、特に、予測式の有無によりその傾向は逆になった。これは、高次の変動の大きさやドリフトにより割引係数の効果が変わること示している。

範囲(A)の様に一方向のドリフトがある場合、割引係数のために、ドリフト量に対し修正量が小さくなり過ぎ、割引係数を適用しない場合に比べ、目標値からの差は小さくならない。一方、範囲(B)では、割引係数は単独では有効であるが、予測式も適用した場合、予測式の1次係数が1より小さい上に、さらに割引係数を掛けるため修正量が小さくなり過ぎて修正しきれないため、交互作用が生じたと考えられる。割引係数の特徴から、±に変化するうねりのように以後の工程の変化が必ずしも一定方向ではない場合には、割引係数法を適用することが有効であることが明かとなった。

実際の製品の誤差には、シミュレーションで取り上げたものの他、制御遅れの誤差、信号因子の制御量への変換式の誤差、現実の作業、操作のばらつき等が加わる。

5. 3. 5 工程変動実験のまとめ

オンライン計測管理システムを機能させるための基本的条件として、計測システムの管理、計測間隔、予測方法の3項目を立て、プラスチック成形工程をモデルとした検討を行なった。さらに、成形実験により得られた工程変動のデータを用いた工程の予測・制御方式のシミュレーション実験を行い、次の結果を得た。

- ①成形品の重量により成形工程の変動を捉えたところ、工程変動は、一方向のドリフトがなく緩やかなうねりだけの場合、初期ドリフトに続き緩やかなうねりがある場合、緩やかなドリフトが残る場合の3つの場合に分かれ、それぞれに制御条件の効果に違いを生じる。
- ②成形工程の制御において、オンライン計測のサンプリング数を増し測定値の信頼性を上げることにより、成形品のばらつきを減らすことができるが、サンプリング数に反比例して分散が小さくなるわけではない。
- ③工程平均の予測を行なうことは、製品のばらつきを減らすために有効である。
- ④割引係数法は、一方向にドリフトする工程には有効ではないが、うねりのある工程に対しては有効である。

5. 4 成形品の特性変化とその予測

5. 4. 1 収縮量の予測のための実験（成形実験 2）

プラスチック成形工程において特徴的なことは、成形品は成形直後は温度が高く、冷えるに従って大きく収縮し、その寸法はオンライン計測中も変化することである。一方、早く工程の状態を知り、制御するためには、成形品が安定するまで待つことは出来ない。そのため、水冷法などのように強制的に製品を冷却したうえで測定し、安定後の寸法を予測する等のことが行われている。ここでは、計測を単純化するために、成形直後、高温のままの状態での寸法測定を行い、その測定結果によって安定後の寸法を予測する場合を想定し、予測・制御システム設計のための基礎的実験を行なった。

金属の加工などにおいても、加工直後は製品が高温で、冷えると特性が変化してしまう等、変化量の大小はあるが、同じ様な問題を抱えているといえる。

プラスチック成形工程の場合、工程変動は成形品の品質特性値の変動によって知ることができ、品質特性は製品の安定後の特性値により表すことができると仮定する。成形品の安定後の特性値は成形条件、成形直後の製品の冷却履歴などの条件により変化し、また、オンライン計測特性値は成形条件、オンライン計測の条件により変化すると考えられる。従って、成形品の収縮量もそれらの条件によって変化するが、実際の成形条件はパラメータ設計で決められる一定条件であるので、複雑な収縮は考えられないことから、感度係数 $\beta = 1$ と仮定する。すなわち、成形直後のオンライン計測特性 x から品質特性 y を予測するための 1 次式を、

$$y = x - h \quad (5.4.1)$$

と仮定した。ここで h は成形品の収縮量を表しており、種々の条件の関数である。収縮量が増える条件を変更した場合には、予測式を変更する必要がある。成形実験 2, 3 は、どのような条件によって収縮量が増えるかを明らかにするための実験である。

5. 4. 2 実験装置と計画

成形条件により成形品の収縮値がどのような影響を受けるかを求める実験を行った。工程変動を知るための計測特性は、内カムの高さであり、非接触測定のできるレーザスキャンマイクロメータ（ミットヨ社製、最小読み取り $0.2 \mu\text{m}$ ）を使用して測定した。

実験に使用した成形機は津上-山城社製横型射出成形機 $SS-7$ で、対象とした成形品はモデル製品のポリアセタール（三菱瓦斯化学社製ユピタール）製の 2 重カムであり、オンライン計測特性は内カムの高さである。工程変動を知るための品質特性としては、内カムの高さ、及び外径を選んだ。高さは金型の型締方向の、外径はそれに垂直方向の寸法特性である。測定器は非接触測定のできるレーザスキャンマイクロメータを使用した。解析は主に内カムの高さについて行い、必要に応じて外径について検討した。

成形条件の内、表 5.4.1 の因子を内側直交表 L_{18} に、また、その外側に工程制御の信号因子になる射出圧力と反復を割り付けて実験を行った。外側に割り付けた射出圧力は工程制御のための信号因子であり、内側の射出圧力の水準の前後に小さく変化させたものである。実験の効率化を図るため、内側直交表は、最適成形条件の組合せを見つけるためのパラメ

一タ設計実験と同じ割付と水準を用い、並行して実験を行った。因子の水準は表5.4.1の通りである。

表5.4.1 成形実験2に取り上げた因子

*内側実験計画 (L18) 条件設定因子			
1: 計量 (クッション量)	23(8)	18(3mm)	
2: 金型温度	40	60	80℃ (温調機設定)
3: 樹脂温度	175	190	205℃ (加熱筒設定)
4: 射出時間	2.5	3.5	4.5sec (制御装置設定)
5: 射出速度	20	40	60% (")
6: 射出圧力 (ゲージ圧)	35	45	55 kgf/cm (×15=圧)
7: 速度-圧力制御切換位置	90	80	70% (")
8: 冷却時間	3.7	5.2	6.7sec (")
*外側実験計画			
f: 射出圧力	-5	0	5kgf/cm (6に対する値)
n: サンプル	2個: 一連のショットからサンプルする		

サンプリングした試料の内カムの高さの変化を、射出完了から4分間連続記録し、その最大値オンライン計測特性値とした。更に、成形品が安定したと思われる成形後48時間後に、安定後の高さの測定を行った。計測の安定性を増すために、いずれの場合も成形品を吸引保持しながら測定した。オンライン計測中、吸引することによって、オンライン計測しないものと冷却履歴は異なってしまいが、現場での条件が一定であれば、予測が可能であると考え、計測の信頼性を増すことを重視した。

パラメータ設計実験の内側直交表の各行の実験の前と後のショットのうちから各1個ずつ計2個実験試料をサンプルした。サンプリングした試料の内カムの高さの変化を、射出完了から4分間連続記録し、オンライン計測特性値とした。更に、成形後24時間以上後に、同じ試料について安定後の高さの測定を行った。

5.4.3 収缩量に対する成形条件の影響

成形直後のオンライン測定中の内カムの高さの変化は図5.4.1のようになる。金型から取り出され、測定器に置かれた成形品は、一旦大きくなり、射出完了から17-22秒後に最大値を持ち、その後収縮する。収縮速度は時間が立つにしたがって小さくなる。確認のための実験において、オンライン測定の開始時間をずらしてもこのようなピークが見られることから、温度の高い成形品を測定器の載物台に置くことにより生じるものであることが明らかとなった。

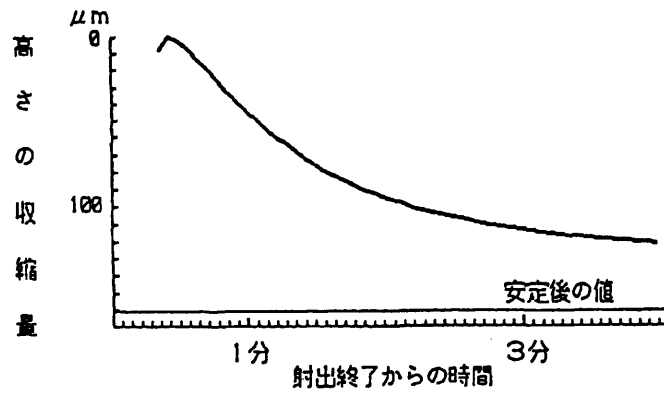


図5.4.1 オンライン測定中の内カムの高さの変化

表5.4.2 実験2：高さ特性値の分散分析

要因	自由度	分散			収縮量
		最大値	4分後	安定後	
2：金型温度	2	69573	1597	909	79616
3：樹脂温度	2	1241	8508	6560	4575
4：射出時間	2	18993	1771	2270	8157
6：射出圧力	2	43178	45044	46670	68
8：冷却時間	2	27997	3924	3942	13492
1次誤差	7	1492	1475	1115	83
f：射出圧力	2	9861	11659	12903	632
2次誤差	3 4	211	360	239	149
サンプル誤差	5 4	270	180	162	272

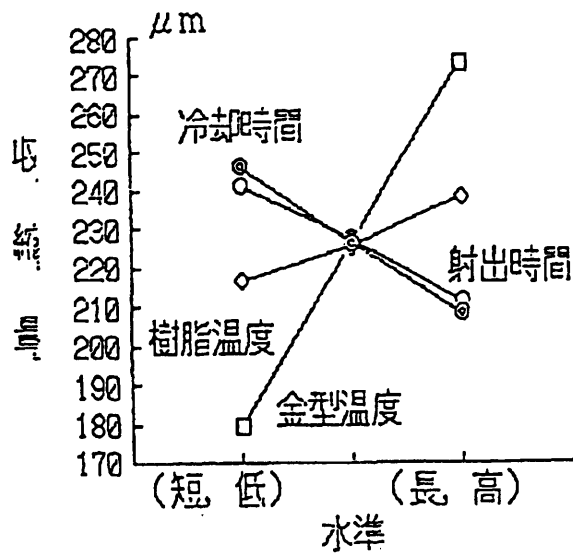


図5.4.2 収縮量への因子の効果

各試料について得られた収縮値（オンライン測定値の最大値－安定後の値）を分散分析した結果を表5.4.2に示す。収縮値は金型温度、冷却時間、射出時間、樹脂温度により大きく変化する。収縮値への有意要因の効果を図5.4.2に示す。収縮値は因子の水準の変化に対して直線的に変化し、1次式で表すことができることが分かる。収縮値が大きくなっている水準は、いずれもオンライン計測を行なった時点の成形品の温度が高くなると考えられる水準である。一方、射出圧力による分散は小さく、収縮値への影響が小さいことが明らかとなった。

収縮値で有意にならない因子では、最大値、4分後、安定後の特性値によっては因子の効果が変わらないが、有意になる因子では、特性値によって因子の効果が異なり、収縮の様子が変化することを示している。それを明らかにするために、収縮の様子をみる。収縮の様子を見るために、オンライン計測値の最大値、4分後の値、安定後の値の平均値を時間的変化に対して図示すると図5.4.3、図5.4.4の様になる。分散分析で有意になった金型温度の場合、最大値では差がみられるが安定後の値には差がみられず、収縮を表す線は交差する。それに対し、射出圧力の場合、収縮を表す線は平行になり、最大値の差はそのまま安定後の値の差となる。

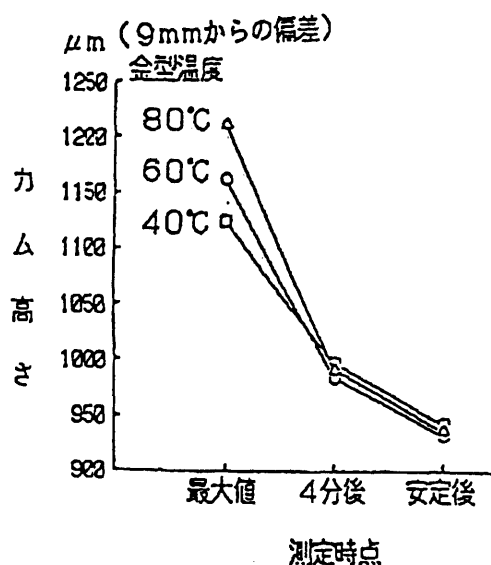


図5.4.3 金型温度による収縮の違い

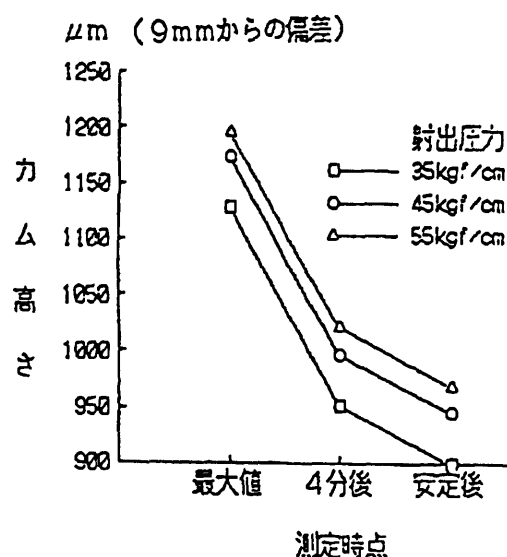


図5.4.4 射出圧力による収縮の違い

これを、予測システム的设计の立場から整理すると、射出圧力の値を制御のために変化させたとしても、収縮値に影響せず一定であることから、予測式を取り直す必要もないと結論でき、オンライン制御のための信号因子として適切であるといえる。

さらに、収縮値の解析において有意な要因となった4つの成形条件を変える場合には、予測式を変更する必要がある。そのために、これらの条件をパラメータとして含んだ式として予測式を1次式の形で求める。射出時間、冷却時間、金型温度、樹脂温度をそれぞれ t_1 (sec), t_2 (sec), t_3 (°C), t_4 (°C) として、収縮値 h の予測式は、

$$\begin{aligned}
h &= h_0 + \beta_1 (t_1 - \bar{t}_1) + \beta_2 (t_2 - \bar{t}_2) \\
&\quad + \beta_3 (t_3 - \bar{t}_3) + \beta_4 (t_4 - \bar{t}_4) \\
&= 227.7 - 15.05(t_1 - 3.5) - 12.9(t_2 - 5.2) \\
&\quad + 2.35(t_3 - 60) + 0.75(t_4 - 190) \quad (\mu\text{m}) \qquad (5.4.2)
\end{aligned}$$

となる。ただし、ここで基本収縮値 h_0 は収縮値の平均値である。実際には、パラメータ設計で得られた最適条件での値が入り、その条件で成形する限りは、射出圧力を変えたとしても一定の収縮値になる。

5. 4. 4 成形品の冷却履歴による寸法変化（成形実験3）

成形実験2ではオンライン計測した成形品の収縮について検討したが、オンライン計測した成形品としない成形品とは冷却履歴が異なることが分かった。そこで、成形直後の冷却履歴の違いによる成形品の安定後の高さ（品質特性）への影響と、オンライン計測を行うことによって生ずる成形品の特性変化を見るために、連続成形実験を行なった。成形条件は、オフライン管理におけるパラメータ設計の結果から得られた最適成形条件の組合せ（表5.3.4の下線）を使用した。実験機器は実験2とほぼ同じである。

実験で取り上げた因子は、次の通りである。

1) 成形品の冷却履歴に関する因子

A) 冷却中の製品の姿勢： 製品を成形順に並べるための保管箱に置く成形品の姿勢を変える。図5.4.5のように底面を下にした場合（ A_1 ）と、外壁を下にした場合（ A_2 ）の2水準を取った。保管箱には仕切りのついた箱を利用し、蓋はなく、底に紙を敷いている。



底面を下にした場合（ A_1 ） 外壁を下にした場合（ A_2 ）

図5.4.5 冷却中の成形品の姿勢

B) 冷却用金属板の使用： 成形直後、測定器の載物台と同じ材質（黄銅）の板の上（温度は室温）に20秒間置いて冷却させる場合（ B_1 ）と、板を使用せず直接保管箱の紙の上で冷却させる場合（ B_2 ）の2水準とした。この因子は成形直後の冷却履歴の違いを作ると共に、オンライン計測しない成形品にオンライン計測したものと似た冷却状態を与えるためのものである。

2) 連続成形に関する因子

C) 射出圧力のパターン： 成形品の高さを変化させるための調整、あるいは、制御用の因子となる射出圧力を変化させたときの高さの変化を見るための因子で、上昇、

下降の組み合わせで、山形と谷型のパターンを水準として取り上げた。

D) 成形開始からの経過時間： 成形工程の場合、熱的な安定性の問題があり、成形開始直後の状態と、熱的に安定した連続成形状態では異なっていると考えられる。その違いを見るためにこの因子を取り上げた。具体的な水準については後で述べる。

3) オンライン計測条件に関する因子

E) オンライン計測の開始時間： オンライン計測の開始時間を変えて成形直後の冷却条件の違いによるオンライン計測値の変化を見るために取り上げた。

A～Dの因子を表5.4.3の直交表L₈に割り付けた。

表5.4.3 直交表L₈への割付

No.	C	B	A	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	1	2	2
4	1	2	1	1
5	2	1	1	2
6	2	2	2	1
7	2	1	2	1
8	2	2	1	2

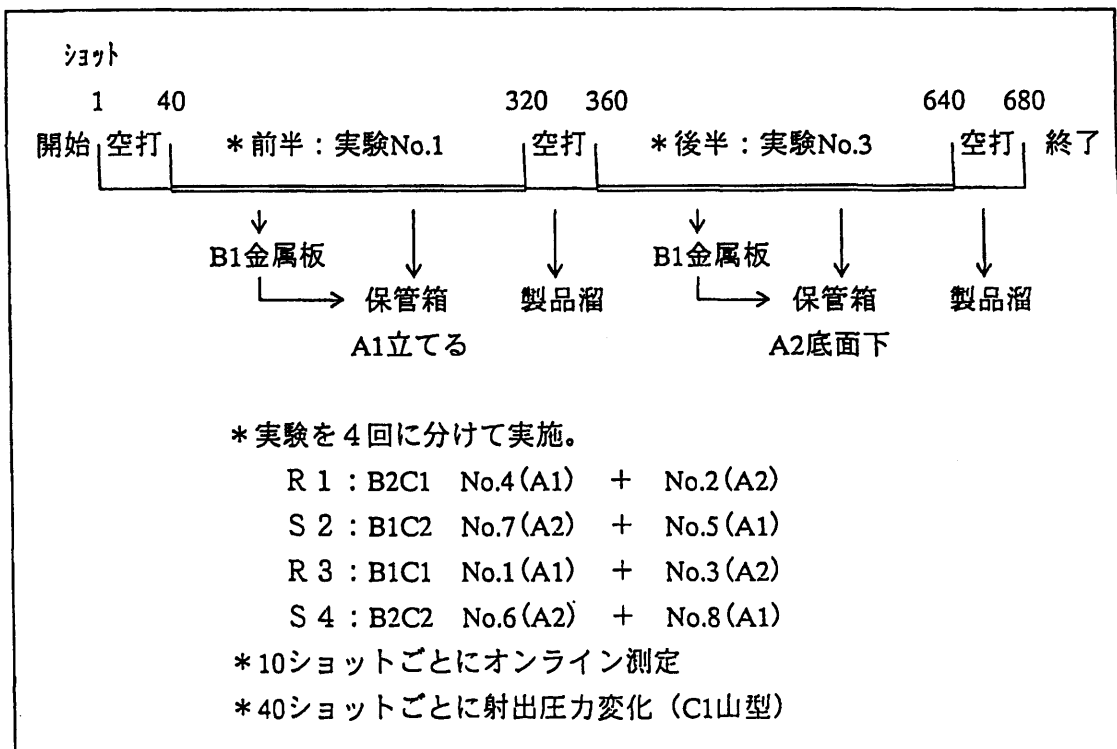


図5.4.6 連続成形実験の手順 (R 3の場合：No.はL₈の行に対応)

また、直交表に割り付けた因子とは別に、保管箱に収納することの成形品のばらつきに対する効果を調べるために、L₈の各行の成形実験の後40ショット分の成形品を製品溜に溜めて、ある程度冷えた後、保管箱に回収した。製品溜に製品を溜めて、まとめて管理することは成形の現場ではよく行われている。この場合成形品は成形順には収納できないが、そのばらつきを調べる目的には十分である。

成形は40ショットを1単位とし、単位毎に射出圧力を変化させ、7単位を1回の成形実験とし、1行の実験は320ショット、約1時間である。実際には、成形開始からの経過時間を考慮し、図5.4.6で示すように2行分の成形実験は連続して行ったため、約2時間の連続成形を1回の反復とした。オンライン測定は、10ショットに1回成形品を成形直後にサンプリングし、内カムの高さの変化を20秒間連続測定した。さらに、安定後の高さを成形48時間後に測定した。測定の安定性を増すために、何れの場合も成形品を吸引保持しながら測定した。

5.4.5 実験結果

この実験ではオンライン計測の開始時間を変化させたため、収縮値を正確には求められない。そこで、成形条件が同じ場合には、成形直後の値は同じであると仮定して、収縮値の代わりに安定後の高さ値により検討を進めた。

図5.4.7は反復1回目（実験番号4,2）の実験の安定後の高さのデータを成形順にプロットした例である。×印はオンライン計測しなかった製品、黒丸印はオンライン計測した製品である。横軸を40ショット毎に区切っているが、それは射出圧力を変化させた単位である。また、全体のうねりは射出圧力を変化させたためによるものである。成形開始からの経過時間を考慮し、L₈の2行分の成形実験は連続して行ったため、最初の40ショットは無駄打ちで、40-320ショットはD1、360-640ショットはD2の水準の行の実験である。1回の反復の実験は約2時間の連続成形である。

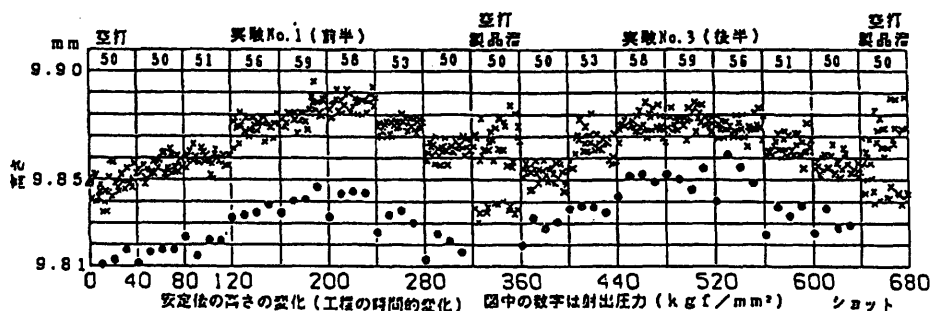


図5.4.7 実験3：安定後のカム高さ

図5.4.13の321ショットから360ショット及び641ショットから680ショットまでの成形品は成形後そのまま製品溜に放置したものである。製品溜に放置した成形品は必ずしも成形順には並んでいないが、整列保管箱に入れた成形品との間に、明らかなばらつきの差がみられる。40ショット内のばらつきの標準偏差を求めると、整列したものでは $3.5\mu\text{m}$ 、製品溜に放置したものでは $15\mu\text{m}$ となった。製品溜に放置した場合、成形品が積み重なって、姿勢が一定せず、冷却環境に差を生じ、寸法のばらつきとなって現われると考えられる。

連続成形実験で得られた成形品のカム高さの成形順の変化を図5.4.8に示す。

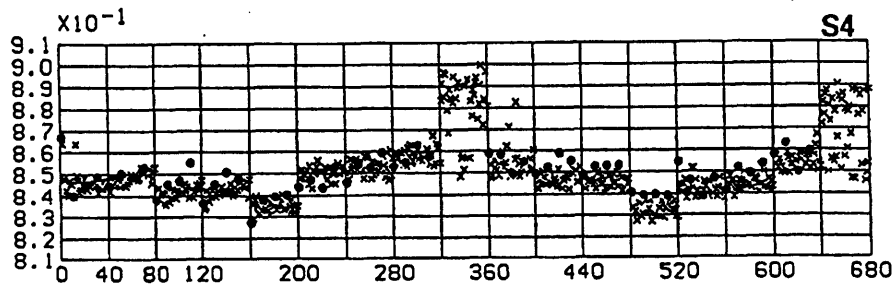
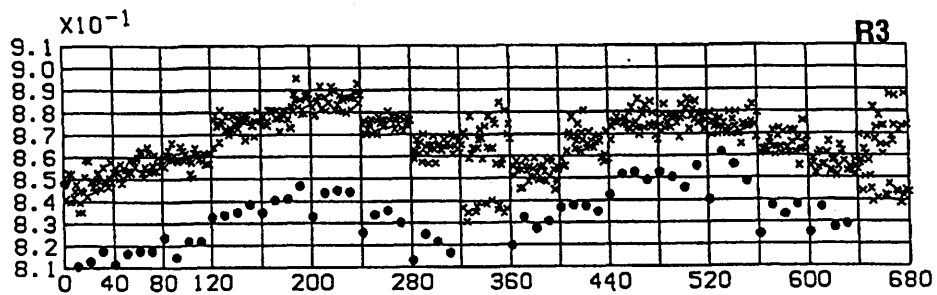
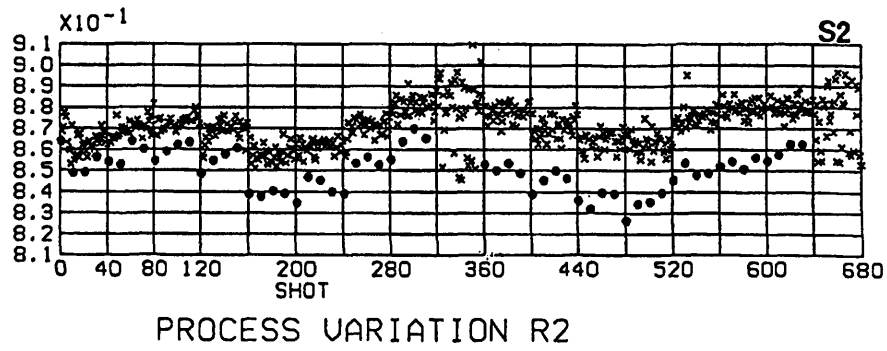
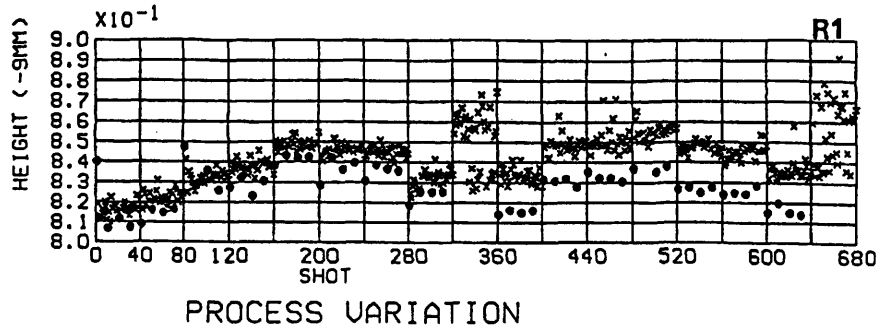


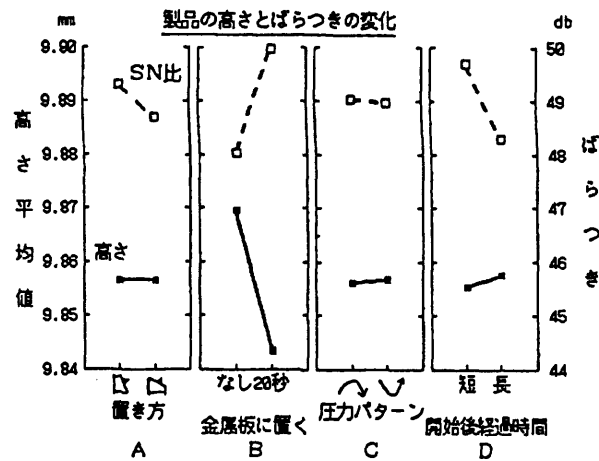
図5.4.8 実験3：成形品のカム高さの変化（R1～S4）

表5.4.6 実験3：高さ特性値の分散分析 (μm^2)

要因	自由度	平方和	分散
A：置き方	1	2	2
B：金属板	1	291672	291672
C：圧力パターン	1	133	133
D：経過時間	1	2022	2022
1次誤差	3	9632	3211
C×P（射出圧力）	5	14683	2936
2次誤差	30	66517	13303
3次誤差	144	3546	25
4次誤差	1536	20471	13

(2) SN比（高さ値のばらつき）の分散分析 (db^2)

要因	自由度	平方和	分散
A：置き方	1	4.50	4.50
B：金属板	1	45.24	45.24
C：圧力パターン	1	0.03	0.03
D：経過時間	1	23.24	23.24
1次誤差	3	2.43	0.81
2次誤差	40	147.57	3.69



一方、直交表に割り付けた因子の効果を見るために、オンライン計測しなかった成形品の安定後の高さ値及びそのSN比を特性値とした分散分析の結果が表5.4.6である。要因P (C)は実験の列No.により射出圧力の変化のパターンが異なるために生じたもので、誤差ではない。1次誤差に対しては要因Bのみが有意となった。40ショット間のばらつきは3次誤差と4次誤差をプールしたものであるから、平均的には標準偏差で $3.5\mu\text{m}$ 程度となり、パラメータ設計の結果だけで短時間のばらつきはかなり小さく抑えられることが

分かった。

また、それぞれへの因子の効果を図5.4.9に示す。因子Bの平均値に対する影響を調べると、成形直後、金属板の上に20秒間置くという履歴（B₂）により、紙の上に置く場合（B₁）に比べ、平均的に25μm程度高さが小さくなる。B₂はB₁に比べ、冷却速度が早い水準であり、冷却速度が安定後の寸法の平均値に大きく影響すると考えられる。一方、因子Aは予想に反して影響が小さかったが、これは、いずれの水準も紙の上での冷却であり、冷却速度は余り違わないため、差を生じなかったと考えられる。

同様のことは、図5.4.8においてオンライン計測した成形品（黒丸印）とオンライン計測しない成形品（×印）の安定後の高さに差がみられることから分かる。

しかし、高さの差はオンライン計測開始時間により変化する。オンライン計測条件の効果（因子E）について検討するために、図5.4.10に、オンライン計測開始時間（横軸）の違いによる収縮値の差の変化を示す。

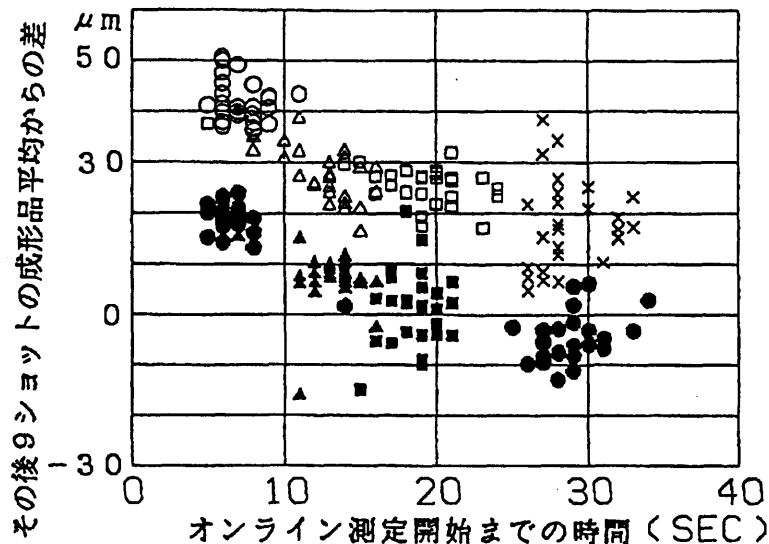


図5.4.10 測定開始時間による平均値からの差の変化

図5.4.10の縦軸は、収縮値の差、つまりオンライン計測した製品と計測しなかった製品の安定後の高さの差であり、成形条件による影響は打ち消されている。プロットされた点は、因子Bの水準に対応して大きく2つのグループに分かれている。つまり、計測しない成形品を金属板上に20秒間置いた場合（B₁：白抜き印）と、すぐに保管箱の紙の上に置いた場合（B₂）との2つである。当然、B₁の、オンライン計測したものと同じ様な状況にした場合の方が差は小さくゼロに近い。さらに、計測開始時間が早いものほど、収縮値の差は大きく、また、計測開始時間を遅らせるとその差は小さくなる。これは測定器の載物台の上に置くことと吸引することにより、製品がまだ高温の内に急速に冷却され、収縮値が増大することを示している。また、B₁の場合、計測開始時間20秒で収縮値の差はゼロになるが、30秒ではオンライン計測した成形品の方が大きくなっている。これはオンライン計測しない製品は成形直後すぐに金属板の上に置かれ、急速に冷やされるが、オン

ライン計測するものはオンライン計測開始の30秒後まで金属板上に置かれなため、緩やかに冷えたためである。このように、成形直後30秒程度の間成形品の冷却の仕方の違いが、安定後の高さの差として残っていると考えられる。

これらの結果は、成形品の成形直後の冷却環境を一定にすることが成形品の品質を上げるために非常に重要であることを示している。

オンライン計測した成形品を他の成形品と同様に製品として利用するためには、オンライン計測開始時間を適切に設定するか、別に成形直後の両者の取扱いの差をなくす対策を取る必要がある。しかし、制御の立場からはできるだけ早い時点で測定値が必要であり、また、工程の予測さえできれば良いという立場にたつならば、オンライン計測したものを捨てることも考えられる。生産ラインでどの様な対策をとるかは、オンライン計測の頻度や、製品のコストとの比較で決められる。

5. 4. 6 予測式と制御式の設定

最終的に、今回の実験から、オンライン計測特性値によって工程を予測する式が求められる。実験2による(5.4.2)式から成形条件による収縮量の変化が分かり、実験3の結果から冷却履歴によって決まる基本収縮量 h_0 が分かる。この2つの式を合成することにより、次の予測式が求められる。

$$y = x + h_0 + h(t_1, t_2, t_3, t_4) \quad (5.4.3)$$

多特性を同時に制御するなど、いくつかの成形条件を変更した場合には、このようなパラメータ t_i を含む式で予測が行われるが、射出圧力で1特性を制御する場合には、パラメータ設計の結果、 t_i については一定条件に決められるため、実際には h は一定値を取る。

(5.4.3)式を用いて予測された製品の安定後の値 y と目標値 y_0 の差 $\delta y = y - y_0$ から、射出圧力の操作量 z が決められる。

割引係数法が取られる場合には、 δy に大きさにより、修正量が決められるが、ここでは考慮していない。また、オンライン計測時点での測定値から、次の計測時点までの工程平均の予測についても、ここでは考慮していない。工程平均の予測には、工程を実際に長時間稼働させて、まず、校正周期を求め、その下で、オンライン計測特性値から予測された安定後の値と、その時点から後の工程平均値との1次回帰式を求める。工程平均の予測式とその予測誤差は、工程の時間的な変動の特徴に大きく依存する。

また、予測式の設定のための収縮量 h を知るための実験においては、基本収縮量 h_0 が成形品の冷却履歴により変化することから、量産システムにおける製品ハンドリング方法が重要な要因であることが明かとなった。さらに、オンライン測定した成形品を他の成形品と同様に製品として利用するためには、オンライン測定の開始時間を遅らせるか、成形直後の両者の取扱いの差を出来るだけなくす様な対策を取る必要がある。しかし、制御の立場からはできるだけ早い時点で測定値が必要である。また、その後の工程の予測さえできれば良いという立場にたつならば、オンライン測定したものを捨てることも考えられる。生産ラインでどの様な対策をとるかは、オンライン計測を行う頻度や、製品のコストとの比較で決められるものである。

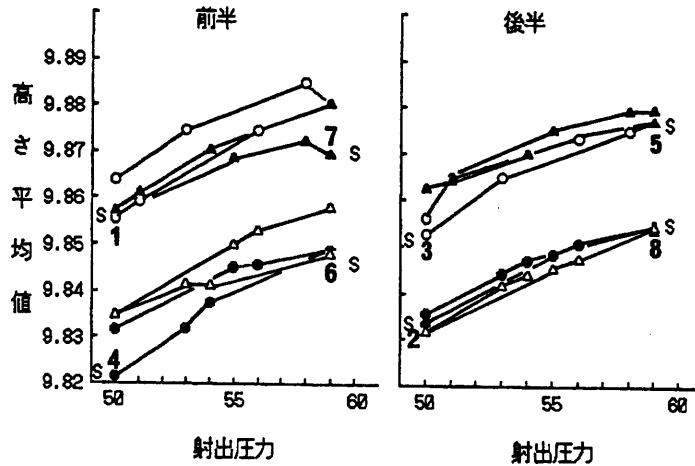


図5.4.11 実験3：射出圧力と高さの関係

さらに、制御のための信号因子の効果を見るために、射出圧力に対して、1単位40ショットの成形品のうち、オンライン計測しないものの高さの平均値を直交表の各行ごとにプロットしたのが図5.4.11である。冷却条件が異なるため各行の平均値に差はあるが、行内での信号因子に対する回帰関係はかなりよく、射出圧力を信号として高さを変化させることができることが分かる。図中のsは実験開始時点を示しているが、成形開始からの経過時間が短い場合には、成形機の安定するまでのトレンドの存在によるとみられる回帰関係の乱れが見られる。成形開始からの経過時間(D)は、ばらつきではなく、信号因子など成形条件の変化に対する成形品の特性の応答に影響していることが分かる。

予測値の目標値からの差 δy から信号因子の操作量 z を決める式は、図5.4.11の高さ値の射出圧力に対する感度係数 β_p から、

$$\begin{aligned} z &= \delta y / \beta_p \\ &= \delta y / 3.01 \quad (\text{kgf/cm}^2) \end{aligned} \quad (5.4.4)$$

となる。制御は射出圧力を現在値から z だけ変えた値に設定することにより行う。

成形品の高さの特性値においてみられたこのような変化の傾向は、直径を特性値にした場合も同様の傾向を示しており、型締め方向の特性である高さとそれと直角方向の特性である直径は、成形条件に対して同様の変化を示すことが明らかになった。

5.4.7 実験のまとめ

オンライン計測結果に基づく予測式の設定に関わる問題点について検討するために、成形直後の成形品の収縮と取扱いについて連続成形実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 射出圧力以外の成形条件により収縮量は変化することから、それらの条件が変化するときには、工程の予測式に、成形条件のパラメータをいれる必要のある場合が生じる。
- 2) 成形直後の成形品の取扱いにより、成形品の寸法及びそのばらつきが変化することがあ

り、成形品の状態を同じにすることが寸法のばらつきを減らすために必要である。

3) オンライン測定する事により、成形品の特性を変化させてしまうことがあり、それらを製品として使えない場合がある。

4) オンライン測定の条件は一定にすることが工程の予測のためには重要である。

5. 5 制御効果確認のための実験（成形実験4）

5. 5. 1 オンライン成形工程のハードウェア

予測・制御システムを自動化されたシステムとして稼働させるために、オンライン計測サンプリング用のロボットを含むハードウェアとそれを動かすための計算機プログラムを導入した。したがって、最終的な成形システムは、次のようなものになった。すなわち、山城製作所製横型小型成形機SS-7を中心に、オンライン計測用のサンプリングロボットと測定器（寸法測定器及びキャビティ温度測定器）、成形品を成形順に並べるための整列器、及び全体を管理するパソコンからなっている。図5.5.1に示すように、パソコン及びシーケンサを中心に、その機器相互を結び、データの収集、制御動作指令などのデータのやりとりを行えるようにした。対象とした成形品は円筒形の2重カム機能を持つ小型部品である。材料はPOM（三菱瓦斯化学社製ユピタル）である。

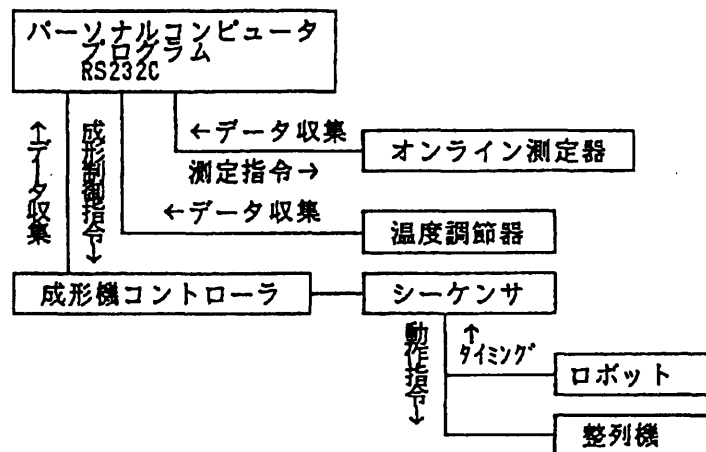


図5.5.1 オンライン制御システムの構成とデータのやりとり

従って、これまでの実験機と以下の点で変更がある。

- ①今までの実験においては人間が成形直後の製品をサンプリングして実験を進めてきたが、ロボットの導入により、自動化が可能になった。
- ②オンライン計測器の測定値の出力をパソコンに取り込み、成形器コントローラへのフィードバックを可能にした。
- ③冷却過程が重要であることが分かったことから、製品を整列器に収納する前に、姿勢を一定にし、ベルトコンベア上で冷却することにした。
- ④金型キャビティの温度が予測において重要であることから、キャビティ温度の測定を補助的に行い、予測のパラメータとして利用する。
- ⑤成形品を取り出すロボットハンドとしては、成形品に大きな力をかけないように、空気式ハンドを用いた。

これを実現するため、オンライン制御のためのパソコンプログラムを作成し、オンライン計測器表示部、シーケンサを通して成形機、ロボット、オンライン測定器、整列器を統一的に制御できるようにした。図5.5.2にオンライン制御の流れ、図5.5.3に制御プログラム

のCRT画面を、表5.5.1に、ロボット・成形機等のシーケンス制御のための表を示す。

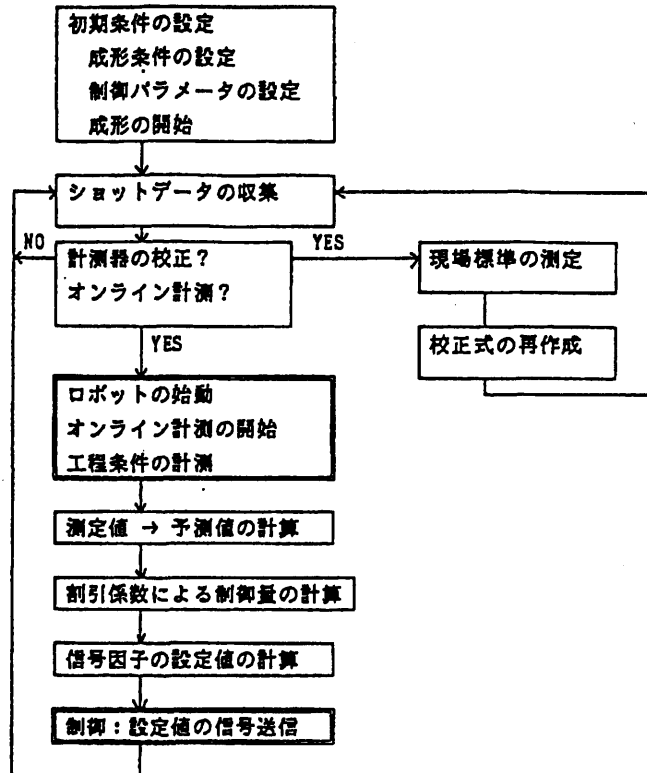


図5.5.2 オンライン制御の流れ

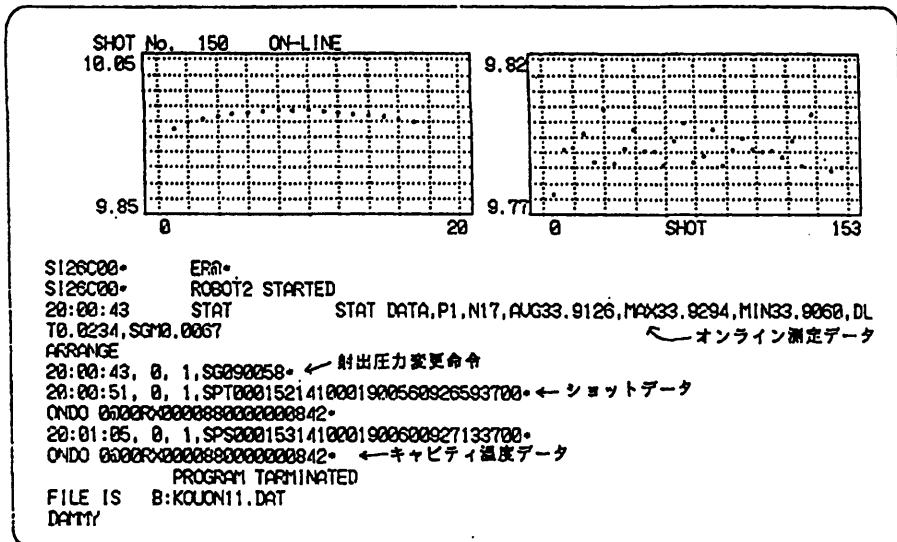


図5.5.3 オンライン制御プログラムのCRT画面

左のグラフ：X軸＝時間、Y軸＝オンライン測定値
 右のグラフ：X軸＝ショット数、Y軸＝予測値

表5.5.1 ロボットのシーケンス制御のためのタイミング

入力		出力					ロボット動作	成形機その他	計算機	
17	18	17	18	19	20	21				22
●	↓			↓	突	空	式	成形機前で待機 →取り出しスタート ←成形機内へ	成形機待機	ショット数チェック ショット数クリア
↓	↓			↓	●			←チャック位置到新 DLY HND 閉	突き出し	
↓	↓			↓	↓			←チャック信号	成形再開	端子(32)チェック
↓	↓			↓	↓			←成形機外へ出る MOV		
↓	↓	●		↓	↓			←測定器にセット	測定開始	端子(32)ON検出 測定開始信号→LSM
↓	↓	↓		↓	↓			待機 SUB	測定終了	測定終了信号→SJ
↓	↓	↓	●	↓	↓			→収納開始 信号 OFF		
↓	↓	↓	↓	↓	↓			←測取り出し完了		
↓	↓	↓	↓	↓	↓			箱にいれる 待機位置に移動		
↓	↓	↓	↓	↓	↓			←準備完了		端子(32)OFFチェック ON検出
●	↓			↓	↓			成形機前で待機 →取り出しスタート ←成形機内へ	成形機待機	

入力19 = D7の開閉 (1 (ON) = 閉、2 (OFF) = 開)

5. 5. 2 ロボット導入による冷却過程の違い

CAMPSシステムにおいてロボット導入による製品の冷却過程の違いについて検討した。図5.5.4は通常の成形サイクルと、ロボットによるオンライン計測用サンプリングを行う成形サイクルの違いを示している。人間によるサンプリングの場合には、サンプリングする、しないに関わらず、同じ成形サイクルで成形されていたが、自動化することによって、型が開いた後ロボットハンドがキャビティまで移動するまでの3.6秒の間の差が生じる。このような冷却条件の差が、成形品及びサンプリング成形品にどのような影響を及ぼすかについての検討を行った。

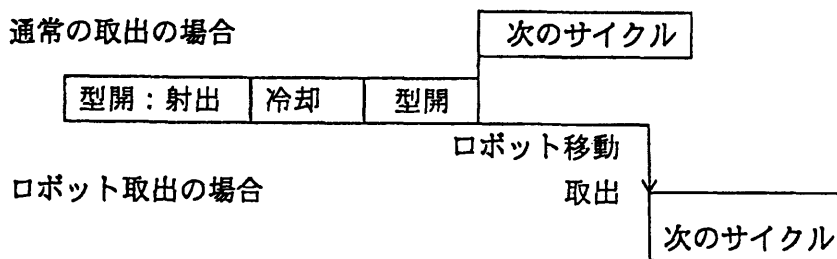


図5.5.4 ロボット導入による成形サイクルの違い

ここで、冷却時間とは、型が閉じたままの保持時間、また、型開時間とは型が開いているか、成形品がキャビティ内に存在したままの冷却状態の時間を表している。また、ロボットの移動時間は、3.6秒である。また、射出が終了して、成形品がキャビティから取

り出されるまでの時間を取出時間ということにする。それは冷却時間と型開時間の和、あるいはそれとロボット移動時間の和となる。実験条件は表5.5.2である。

表5.5.2 実験に用いた成形条件

固定した成形条件：パラメータ設計の最適条件	
計量（クッション量）	23(8) mm
金型温度	80℃（温調機設定）
樹脂温度	205℃（加熱筒設定）
射出時間	3.5 sec（制御装置設定）
射出速度	40 %（ " ）
射出圧力（ゲージ圧）	55*15 kgf/cm ² （ " ）
速度-圧力制御切換位置	80 %（ " ）
変化させた成形条件	
実験1,2 冷却時間	3.7 5.2 6.7 sec（ " ）
実験2 製品取出時間	（型開速度により設定）

冷却時間を3.7, 5.2, 6.7秒 型開時間1.3, 1.6, 2.1, 3.3, 5.5秒に変化させ、10ショット分のデータをとった。10ショットの内、2ショットは、ロボットによるサンプリングをした。成形品の安定後の高さは、図5.5.5のような変化をしている。

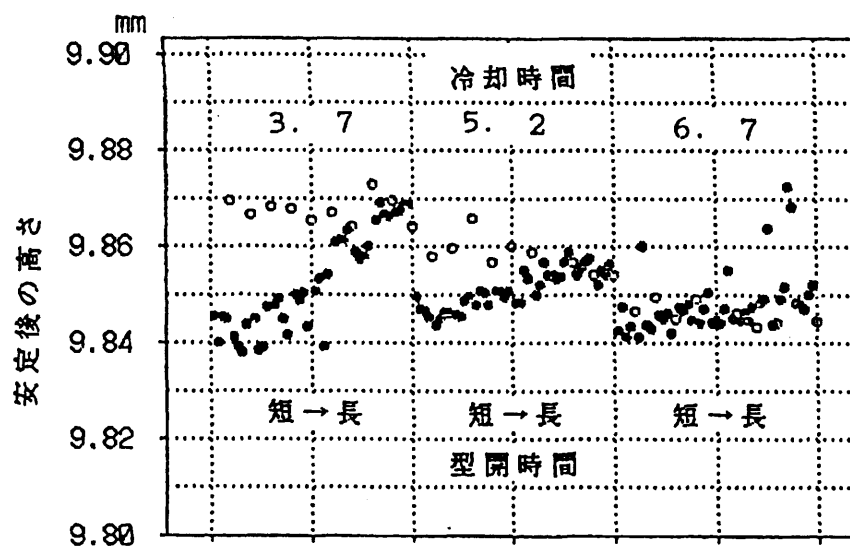


図5.5.5 型開時間による製品高さの変化（整列法A）

表5.5.3 型開時間の効果を知るための分散分析表

要因	自由度	変動	分散
冷却時間A	2	375	188
型開時間B	4	3511	878
交互作用A×B	8	1200	150
誤差	105	1939	18
合計	119	7025	

通常取出の計120個の成形品のデータを分散分析した結果は、表5.5.3のようになる。型開時間により高さの平均値が大きく変化しており、それは冷却時間によって傾向が異なることが分かる。その様子を明らかにするために、型開時間に対して、平均値をプロットしたのが図5.5.6である。

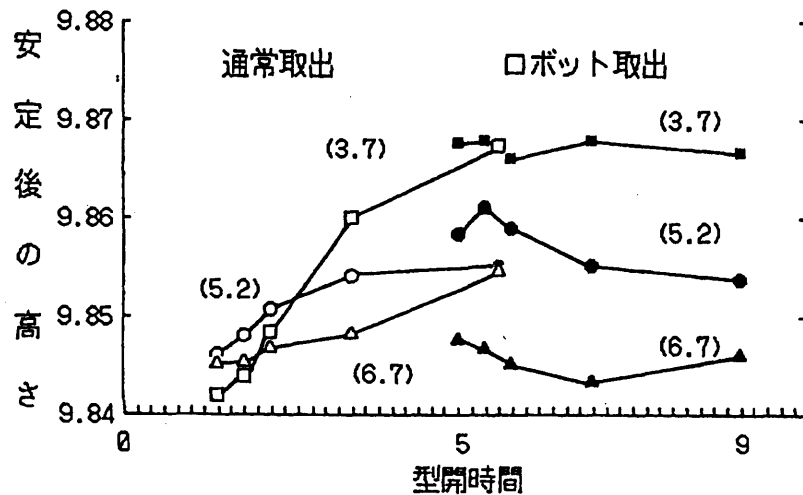


図5.5.6 取出時間による高さの変化 (()内は冷却時間)

図5.5.6より明らかなように、ロボット取出の場合には、冷却時間により平均値が決まり、型開時間の影響は小さい。それに対して通常取出の場合冷却時間によって、その影響の仕方が大きく異なっていることが分かった。冷却時間が長い場合(6.7秒)には、型開時間によらず、ほぼ同じ時間になることが示されており、オンライン計測しても、しなくても、成形品の寸法には影響しないことが分かった。逆に、冷却時間が短い場合には、通常取出に対しては、型開時間が長くなると射出終了後高さが高くなり、ロボット取出の場合につながっていくことが分かった。キャピティ内にある成形品の温度を放射温度計で測定したところ、冷却時間5秒で約130℃、10秒後で約115℃であった。

このことは、成形品の温度が高い時の冷却の条件が、成形品の収縮に強く影響していることを示している。また、取出時間及び、その中に占める冷却時間と型開時間の比率によって寸法が決まってくるということは、成形システムにおいては取出が重要であることを

示している。特に自動取出器の付いていないたて型成形器の場合には、その影響が強くあらわれることが考えられる。また、取出した後で、どのような冷却条件の下に置くかも、大きな影響をもつことは前項の実験で示した通りである。

5.5.3 制御設計

最終的にオンライン計測・予測・制御システムを稼働させた実験を行った。いままで実験してきたシステムと最終的に実験したいシステムとに違いがあることから、実際には次の手順に必要なパラメータを決定した。

①パラメータ設計実験により最適条件を求める。

型開速度，冷却履歴を因子に含める。

②最適条件下での収縮量を予測する式を求める実験を行う。

金型温度の代わりにキャビティ温度をパラメータとして含んだ予測式を求める。そのために、キャビティ温度を各ショット毎に測定し、収縮量との関係を図5.5.7から求める。

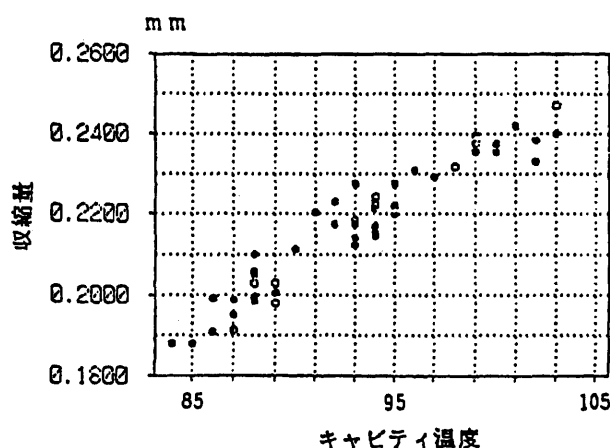


図5.5.7 キャビティ温度と収縮量の関係

③最適条件下での信号因子の感度係数を求める。

今回はパラメータ設計実験のデータから求めた。

その結果、最適条件として次の条件の組合せが得られた。

計量 (クッション量)	23 (8mm)
金型温度	80℃ (温調機設定)
樹脂温度	190℃ (加熱筒設定)
射出時間	2.5 sec (制御装置設定)
射出速度	30 % (")
射出圧力 (ゲージ圧)	55 kgf/cm (×15=圧)
速度-圧力制御切換位置	80 % (")
冷却時間	5.2 sec (")

型開速度 35 % (")
 冷却姿勢 裏

収縮量の予測式は、キャピティ温度を t_c として、

$$h = h_0 + \beta_c (t_c - \bar{t}_c)$$

$$= 0.21752 + 0.0029262 (t_c - 93.4) \quad (\text{mm})$$

$$y = x - h$$

予測の誤差分散は

$$V_e = 0.000025 \quad (\text{mm}^2)$$

これは割引係数法に利用する。

信号因子の感度係数 β_p は

$$\beta_p = 0.003 \quad (\text{mm} / \text{射出圧力の 1 目盛})$$

制御のタイムラグは製品 2 個である。

5. 5. 4 制御実験①—初期ドリフトの修正

最適条件の下であっても、成形開始直後、図5.5.8のようなドリフトが見られる。このようなドリフトの修正に焦点を当てて制御実験を行った。上の条件で、5ショットに1回オンライン計測を行い、必要に応じて制御をしながら、150ショットの成形を行った。制御方法として、割引係数法を適用しない場合とした場合について実験した。

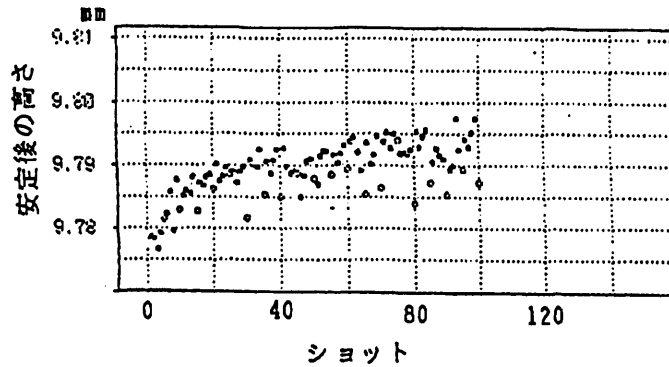


図5.5.8 成形開始直後のドリフトの例

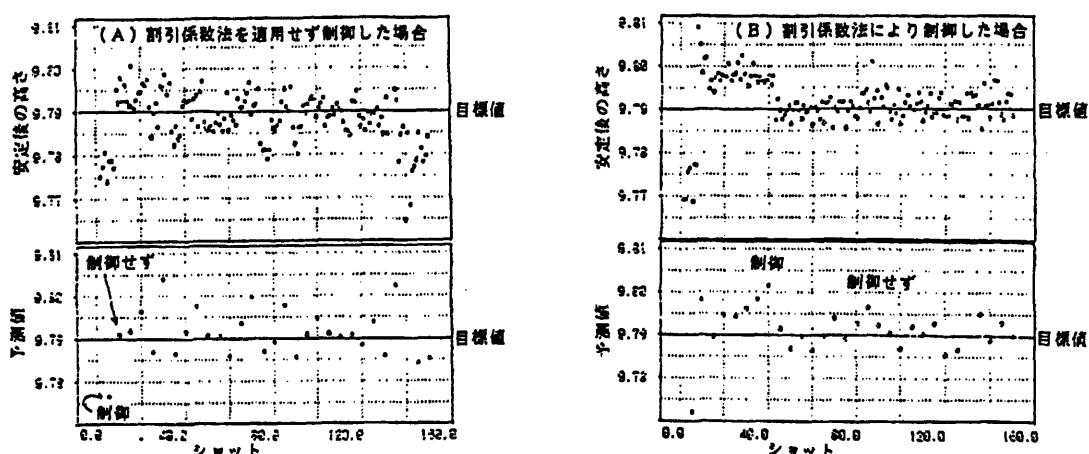


図5.5.9 制御によるドリフトの修正

割引係数法を適用せず制御した場合 (A)、割引係数法により制御した場合 (B) の、製品の安定後の内カムの高さの変化を図5.5.9に示す。また、オンライン計測による予測値とその結果、実際に制御が行われたか否かも下段の図に示す。白丸は制御しない、黒丸は信号因子の値を設定し直し、制御が行われたことを示す。(A) の場合でも、信号因子の設定の最小単位に対しての感度係数が大きいため、予測値と目標値に差がある場合でも、射出圧力の値が変化しない場合がある。

割引係数法は制御によるハンチング現象を抑えるのに有効である。Aの場合、かなり頻繁に制御がかけられ、そのために製品がばらついているのに対し、Bの場合、金型温度が安定した後は、実際に信号因子の修正は行われていない。それは、パラメータ設計の実験により、かなり安定した最適条件が見つけれられているためであろう。従って、成形機が安定した後では、工程の制御周期はもっと長くしてもよい。

成形初期のドリフトについては、修正の可能性はみられるが、今の方法だけではまだ十分ではないことが分かる。特に、割引係数法を適用した場合、ある幅の中をかたよりをもち安定する場所があること、また、初期ドリフトを十分に修正しきれない場所があることが見られた。また、5ショットに1回の制御では、キャピティ温度の変化の方が大きく、制御の行き過ぎを起こすことがあるなど、今後の検討課題として残される。

5. 5. 5 制御実験②—目標値への追従

制御実験として目標値への追従性を見るための実験を行った。成形条件はパラメータ設計実験でえられた最適条件である。この条件の下での工程は安定しており、予備実験においても初期のドリフトを除いては顕著なドリフトはみられない。そこで、制御が目標値からの差だけに依存することに着目し、工程の目標値を変えることにより疑似的に工程の変化を作り出し変化させた工程の目標値に追従するかどうかを見ることにした。

目標値は、成形開始後、温度的に安定する120ショットまでは一定にし、その後40ショット毎に変化させた。予測制御に使用したパラメータは前項と同じであるが、予測の誤差分散には、回帰式の誤差分散とショット間の誤差分散の和を利用した。オンライン計測に

時間がかかるため、実際に射出圧力を変化させて製品に制御がかかるのはサンプルした製品の3個後の製品からであり、タイムラグは3である。

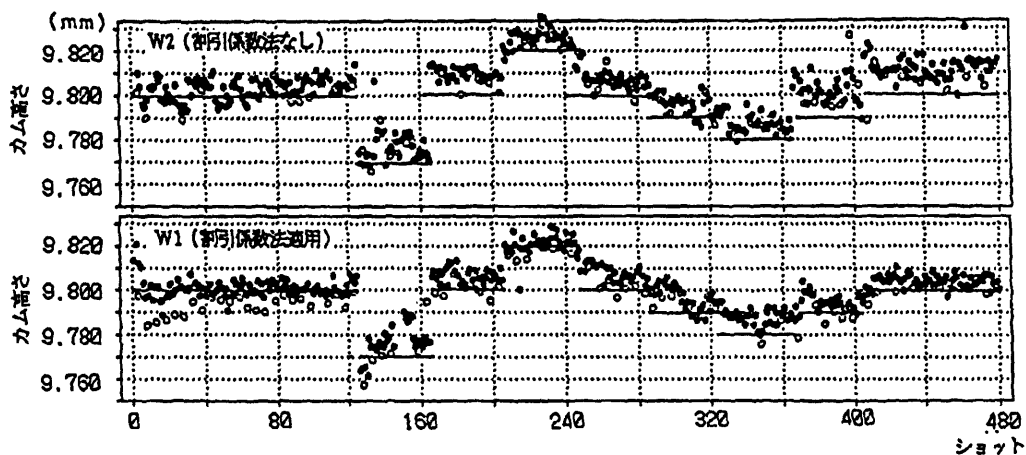
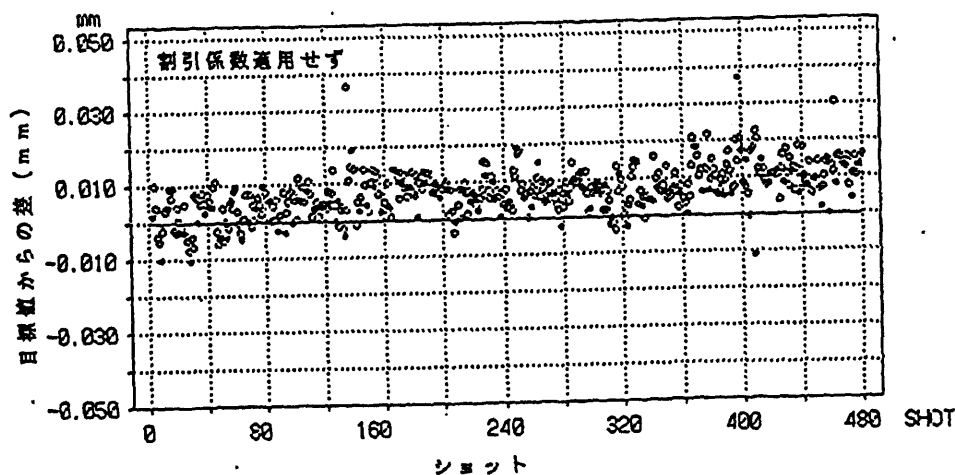


図5.5.10 制御実験の結果（実線は目標値）

実験により得られた製品の安定後の高さの変化は図5.5.10の通りである。実線は目標値である。また、図5.5.11に目標値からの差を時間に対してプロットしたものを示す。割引係数適用（W1）の150ショット付近の乱れは、温度測定器との通信ミスにより収縮値の予測が乱れたためであるが、それは次のオンライン計測により修復している。また、このデータは以下の解析には利用していない。

図5.5.11から分かるように、全体として目標値近くの製品ができ、予測制御システムがうまく作動していることが分かる。



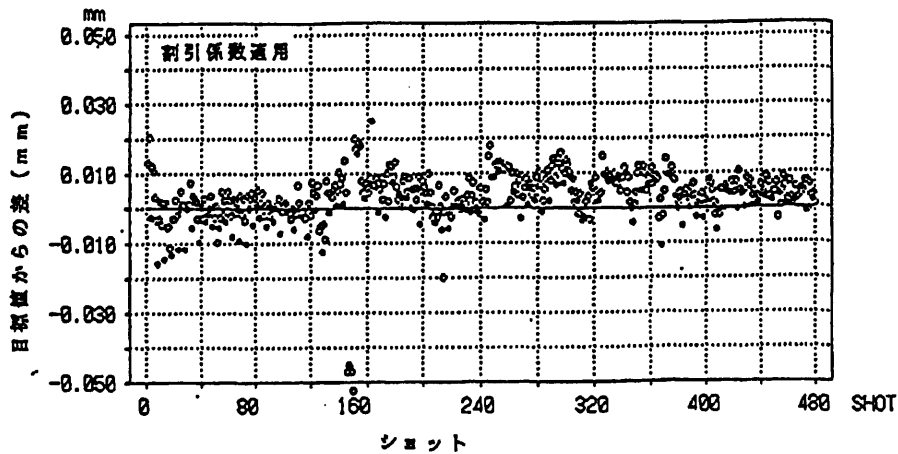


図5.5.11 制御実験の結果（目標値からの差）

オンライン計測していない製品の安定後の高さの値の分散分析表を表5.5.4に示す。

表5.5.4 目標値からの偏差の分散分析表 (μm^2)

要因	自由度	分散	
		W_1 (割引あり)	W_2 (なし)
一般平均	1	6 4 0 6	1 7 3 9 4
目標値 (M)	7	2 8 5	2 3 5
制御の誤差 e_2	5 6	3 9	4 5
ショット間誤差 e_3	1 9 2	8	9
偏差の平均値 (μm)		5. 0	8. 2

表5.5.4から分かるように、割引係数法を適用した場合もしない場合も同様に、ショット間誤差は同程度であるが、制御の誤差は有意になり、制御の結果がショット間誤差と同程度にはなっておらず、制御にまだ問題があることが考えられる。また、いずれの場合も一般平均の効果が大きく、目標値からの差が十分にはとりきれていないが、割引係数を適用した場合の偏差の方が適用しない場合に比べ小さくなっており、割引係数の効果がみられる。

制御の効果を詳しくみるために、オンライン測定の結果である予測値を図5.5.12にプロットした。図に示すように予測値はほぼ目標値の周りに分布しており、偏差が大きいのは予測の問題ではなく、制御の問題であり、予測値と実際の実現値との食い違いが生じていると考えられる。

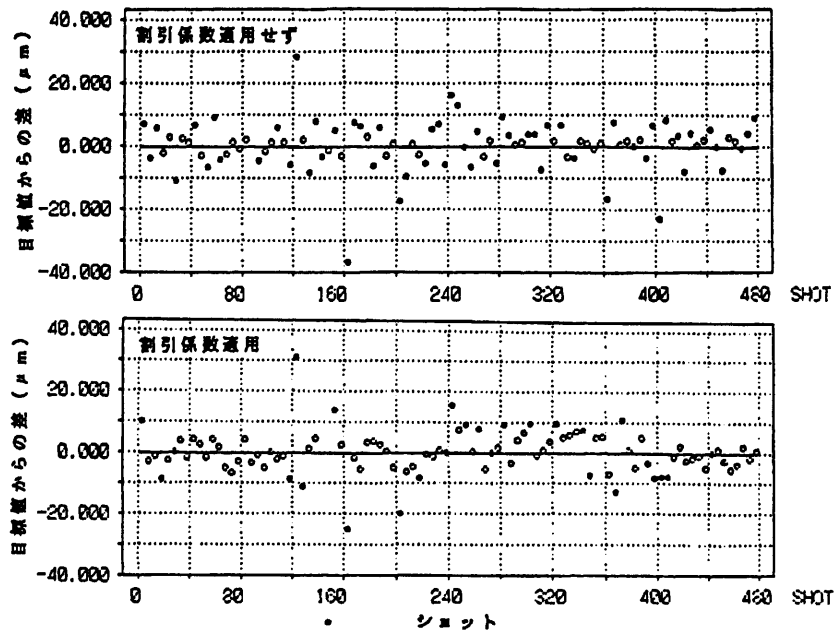


図5.5.12 予測値の目標値からの差の変化と制御の適用

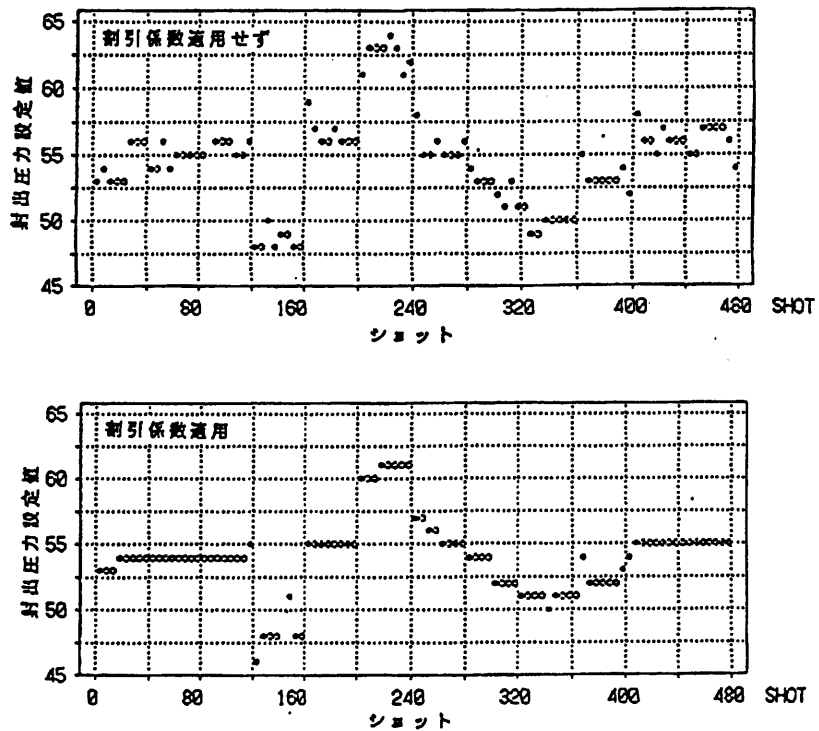


図5.5.13 制御実験：射出圧力の設定値の変化

また、分散分析表の中で、目標値 (M) の主効果が、W1 (割引係数あり) の方がやや大きめであるのは、割引係数法により目標値の近くでの細かい修正が効きにくいことによると考えられ、逆に、W2 (割引係数なし) で制御の誤差 e_2 が大きめになるのは、常に制

御がかかり、射出圧力の設定を変えているためであると考えられる。それは、図5.4.13に示すように、目標値が変化しない40ショットの間でも、W2の場合、設定値が細かく変化していることから分かる。また、割引係数法を適用しない場合(W2)にも、白丸で制御がかけられない場合があるのは修正量が小さく、射出圧力の最小設定値より小さくなった場合であり、実質的に割引係数的な効果となっている。そのため、割引係数法の適用の有無による差がシミュレーションの結果に比べ比較的小さくなったと考えられる。また、e3はショット間の誤差であり、当然のことながら、いずれも同じ程度の大きさとなった。

5. 5. 6 まとめ：成形加工システムにおける工程管理への提言

品質工学における品質設計システムの考え方を成形工程の設計に適用し、成形システムの最適化の方法を示した。特に、オンライン計測に基づいた予測・制御システムを設計するために、成形直後の冷却履歴と成形条件による成形品の寸法、収縮の違いについて検討した。その実験結果からは、次のことが明らかになった。

- ①成形品の寸法及びそのばらつきは成形直後の成形品の冷却条件が大きく影響するため、それらを含めたパラメータ設計実験が必要である。
- ②射出圧力は成形後の収縮値を変化させず、成形品の安定後の寸法を変化させることから、オンライン制御の信号因子として適切である。
- ③成形品の成形直後の温度に関係した条件は、オンライン測定値及び収縮値を変化させるため、それらを工程の予測式のパラメータとして含める必要がある。
- ④オンライン計測の条件を一定にすることが工程の予測のためには重要である。

これらの実験結果及び品質設計システムの考え方は、オンライン予測・制御システムを持たない成形工程に対しても重要な示唆を持っている。従来、成形機で設定される成形条件によって成形品の寸法やそのばらつきが決まると考えられ、成形条件の検討が行われてきたが、成形品の成形直後の扱い方によってばらつきが変わってしまうという事実は工程の組み方に十分注意すべきことを意味している。成形メーカーで行われているように、成形品を製品溜に落としてまとめて扱うことは製品のばらつきを大きくしている。製品取出器を使うにせよ使わないにせよ、成形品を成形順に並べ、その姿勢を一定にすることが成形品の品質向上にとって重要である。また、実験のためにサンプルを取る際にも、他の成形品と同じ状態で冷却されたものを取らなければ、その実験自体が現実の工程の状態を反映しないものになってしまうことになる。

ペレット状の樹脂が成形され、成形品が冷やされるまでの間全てが一つの成形工程の単位であるとの認識が必要である。

5. 6 第5章のまとめ

第5章では、プラスチック成形工程を対象にして、品質設計システムの中のオンライン計測システムについて、計測プロセス設計の立場からオンライン計測システムの設計のための一連の実験を行い、計測プロセス設計の有効性を実証的に検証した。

第5.1節では、プラスチック射出成形工程に対して適用した品質設計システムCAMP S (Computer Aided Process Design and Control System) 全体の概要について述べた。

1) 品質設計システムの体系的なアプローチと実験により、短時間での成形工程の最適化を行うことができ、成形のばらつきを標準偏差で $16\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ になり、 $1/3$ に低減できた。

2) 品質設計システム適用の方法をパソコンソフトウェアCAMP Sの形にまとめた。

第5.2節では、オンライン計測の考え方を整理し、今後の実験の方向を明確にした。

第5.3節では、オンライン計測管理システムを機能させるための基本的条件として、計測システムの管理、計測間隔、予測方法の3項目を立て、プラスチック成形工程をモデル工程とした検討を行なった。さらに、成形実験により得られた工程変動のデータを用いた工程の予測・制御方式のシミュレーション実験を行い、次の結果を得た。

1) 成形品の重量により成形工程の変動を捉え、現実の工程変動が3つの場合に分かれ、

それぞれの場合に、サンプリング数など計測・制御条件の効果に違いを生じる。

2) 工程平均の予測を行なうことは、製品のばらつきを減らすために有効である。

3) 制御量を決める割引係数法は、一方向にドリフトする工程には有効ではないが、うねりのある工程に対しては有効である。

第5.4節では、CAMP Sシステムにおけるオンライン計測結果に基づく予測式の設定に関わる問題点について検討するために、成形直後の成形品の寸法と収縮に対する成形条件と測定条件の影響について調べるために、連続成形実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

1) 成形条件、測定条件を、成形品の寸法、収縮に対する影響の特徴によって分類することにより、工程最適化のために固定するもの、オンライン制御の信号因子とするもの、予測制御式のパラメータとするもの、に分けることができる

2) 成形直後の成形品の取扱により、成形品の寸法及びそのばらつきが変化することがあり、成形品の状態を同じにすることが寸法のばらつきを減らすために必要である。

3) 製品をオンライン測定する事により、成形品の特性を変化させてしまうことがあり、それらを製品として使えない場合がある。

第5.5節では、工程にロボットを導入し、自動化したシステムとして制御効果確認のための実験を行った。自動化のために導入したロボットのために成形サイクルが変化するため、取り出しの違いや冷却過程の違いによる製品の特性の変化の状態を実験的に検討した。その上で、今までの実験結果を基に、制御条件を整理し、連続成形実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

1) 冷却時間、型開時間など冷却過程によって製品の安定後のカム高さが変化するが、それをうまく選択することによって取り出しの違いを吸収することが可能である。

2) 制御設計において、オンライン計測の条件と、制御の条件の検討を行い、割引係数法を用いた制御を設計し、設計の方法を明らかにした。

3) 設計された制御方法を実際に工程に適用し、生産開始時に起こるドリフトの改善と、平均値の制御を行った。

第5章の一連の実験は、成形工程のオンライン制御のための測定システムの設計のためのものであったが、そこでは、単に製品であるカムの高さを測ればよいということではなかった。すなわち、オンライン計測によってそれ以後の製品の特性を予測するために製品がサンプリングされていることから、予測値がどのような条件で決まってくるか、どのような条件を変化させたら予測式を変化させる必要があるかを明らかにしておくことが必要であった。オンライン制御という計測の目的に対応するためには、成形技術そのものに踏み込まざるを得ない。一連の実験では、成形機で設定する成形条件、さらに、製品の冷却の条件が、製品の特性（この場合はカム高さ）にどのように影響するか、それをサンプリングした製品の特性から如何に予測するかを実験的に検討したことになる。このような課題は、単にカム高さを測り、測定結果をレポートするという測定プロセスだけでは実現できない。課題の解決をするという計測プロセスとしては、工程の予測に深く関わることすなわち、計測の対象となっている固有技術に直接的に関わらざるを得ない。そのことが計測のパフォーマンスをあげ、計測の役割を主張していくためには必要である。

第6章 生産システムにおける計測プロセス設計

本章では、今までに検討した測定と計測のパフォーマンスの評価の観点から、第4章で述べた生産システムにおいて、生産プロセスの各段階で行われる計測プロセスの設計について検討する。測定される特性、計測で重要な評価指標の考え方を整理すると共に、設計の手順という形で計測プロセス設計をまとめた。

6.1 生産プロセスにおける計測特性

計測プロセス設計の中で、計測のパフォーマンスを確保する上で、計測特性の選定の段階が一つのキーポイントである。検討の対象となる特性の観点からみて、生産活動の中の計測について生産プロセスと対応させて検討する。

第2章で述べたように、測定は対象の性質を検出し、定量化することが目的である。さらに、計測の立場からは、目的に合わせて測定対象の性質の差を測定値として検出し、定量的に対象を評価し、比較することが要請される。計測特性を検討するにあたって重要なことは、何を計測特性として選択するか、ということと共に、対象の性質の差をどのような空間で検出し、比較するかという点である。たとえば、強度試験の関係を調べるとしても、製品設計の場合には一般的に引張試験と硬さ試験の関係を求め換算関係を出すこともあるが、加工現場で検査や制御に使われるような場合には、試験が適用される加工工程の変動を検出しなければならない。より狭い空間での変動や関係を明確にすることは難しい。工程内の実験は、実際に変動する加工工程の条件空間のなかで試料を作成し、測定、評価することにより可能になる。その場合の計測のスケールは、客観的な物理量としての測定量のスケールと異なり、問題の対象となる集団に依存する場合がある。すなわち、計測は、その対象とする場、例えば、設計、加工、製造などの生産現場と密接に結びつけて考える必要がある。

第4章で明らかにした生産段階とそこで検討される特性を対応させると図 6.1.1 のようになる。

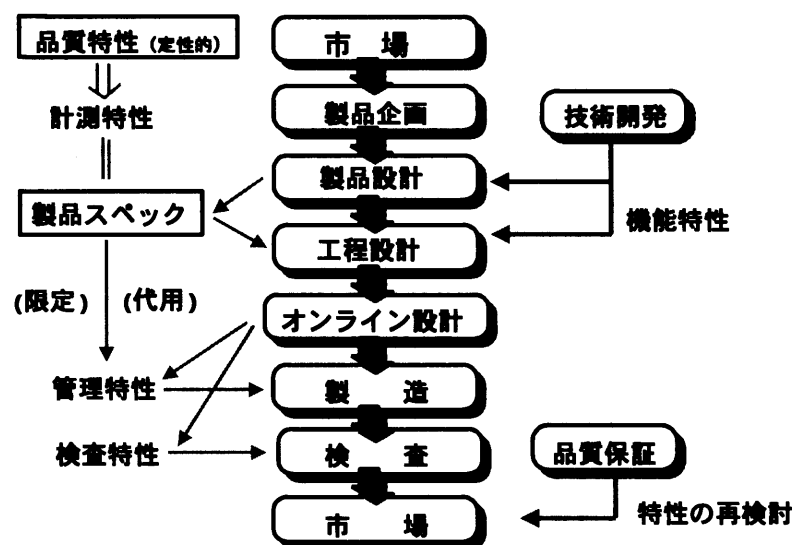


図 6.1.1 生産プロセスに対応した検討すべき特性

生産プロセスは、大きく、製品設計によって製品の仕様と製造方法を決めていく、工程設計までの設計段階と、その仕様を製品として実現する製造段階に分けて考えることができる。

工程設計までの設計段階は、市場調査などでユーザが求める品質特性を現実の製品の仕様へ変換するオフライン段階である。品質特性はユーザ要求あるいは製品企画の意図を表しており、定性的な特性である場合が多い。それに対して製品を製造する立場からは、定量的で、客観的に測定可能な特性を仕様として規定する必要がある。品質機能展開はその側面での方法を提供している。

品質特性は、例えば、傷がないきれいな表面である、とか、寒冷地でも作動する機器である、など、ユーザの層を考え製品企画のなかで規定される。製品設計では、そのような品質特性を測定可能な特性に置き換えて仕様を決定する。

仕様には、製品の特性を規定する製品仕様と、製品の性能を規定する性能仕様がある。

製品仕様では、例えば、製品の大きさなどの特性が決められ、図面の形で製造段階に受け渡される。製品仕様として図面で指定された製品特性（パラメータ）は、それに従って製造が行われる。また、製造工程の管理特性や検査特性として利用される。

性能仕様は、多くの場合、それによって製品を製造するのではなく、製品を評価するために利用される。性能仕様は、計測特性そのものではなく、測定された特性を何らかの手続きに従って数式処理された形で評価される。例えば、ロボットの作動誤差は x 以下である、と仕様に規定された場合、ロボットの作動距離の測定が行われ、実際の作動距離と目標とした作動距離との差が作動誤差として計算される。この場合、測定特性は作動距離であるとしても、評価特性は作動誤差である。評価指標としては、作動誤差、あるいは作動のばらつきという形で規定され、それを数値で表現する。仕様には、作動誤差の最大許容差や分散あるいは標準偏差などが規定される。このような評価指標は性能仕様の一つである。多量生産の場合、性能仕様が検査特性として使われる場合はあるが、製造のための工程の管理特性になることはほとんどない。

製品設計の役割は、性能要求を満たす製品の製品仕様を決めることである。製品仕様に規定された製品を製造すれば、その製品は性能仕様を満足するように設計されているという前提があるから、そのときの性能要求は性能仕様になる。パラメータ設計は性能（SN比）と製品特性（パラメータ）の関係を求め、最適化するためのものであり、オフライン計測の一つの目的である。また、製品の品質は、最終的には性能仕様への適合性で判断され、それを満たすための最低条件が製品仕様への適合性である。製品仕様は、製品の持つ特性の中心値とそれに対する許容差で指定される。

製造段階は、決められた製品仕様に基づいて製品を製造するオンライン段階である。オンライン設計では、製造での管理特性を決める。製造段階での計測は、製品の特性が製品仕様の適合していることを保証するために行われる。仕様適合性を保証するために、製造工程の中で製品あるいは工程条件を管理することが必要である。これがオンライン計測である。実際の製造工程では、製品仕様で決められた全ての特性を測定するわけにはいかない。幾つかのキーになる特性が、管理特性として選択されることになる。

検査では、個々の製品を出荷するかしないかを定める。仕様を満足していない製品は出荷されてはならない。仕様への適合性の判断である。しかし、やはり、全ての特性を測定

することはできないことから、代表的な特性が測定される。これが検査特性である。そのとき、製品特性を測定される場合もあるが、その総合結果である性能仕様によって判定を行うことによって、総合判定するのが検査の本来のあり方であるといえる。特に、全ての製品を測定するのではなくロット管理する場合には、検査のための測定は複数の特性を対象にすることが可能である。

品質保証は、出荷された製品は製品仕様は満たされているとして、製品仕様として決めるべき特性で見落とされた特性がないかを検討すること、また、製造段階で管理、検査されなかった特性で問題が生じないかを、クレームが生じる前に検出することが本来の役割である。例えば、R社のエンジンは、ロットごとにサンプリングされ、加速負荷実験が行われ、問題があった場合には市場で問題が生じる前に対策が講じられる。しかし、現実には、クレームに対する処理に多くの力が取られている。クレーム処理における計測は、トラブルが生じた原因追及と設計へのフィードバックが目的である。原因追及の計測においては、クレーム品と正常品を区別でき、測定可能な特性を探すことから始まる。それは、製品を良品と不良品に分類し、両者のグループでの特性値の差が大きいものを検出することにより可能になる。

6. 2 評価指標 - 計測特性と機能性

生産プロセスの各段階の計測では、目的に合わせて対象を評価することが不可欠であるが、計測の目的は測定が必要になる状況により変化する。それを共通的に検討するために、評価指標について検討する。この節では、対象が要求される機能に対して、その品質を表す機能性を一つのキーとして検討する。

すなわち、前節で、仕様には製品仕様と性能仕様があることを述べたが、仕様を計測特性に置き換えていくときに、製品の評価という観点からは、特性そのものが問題になる場合と計測特性をもとにした性能が問題になる場合とがある。前者は仕様に特性そのものが規定されている場合で、それが製品仕様の場合、個々の製品を評価するときに利用されることが多い。一方、性能は、製品や工程が要求された機能をどの程度満たしているか、によって表現される。これを機能性という。この場合は、測定した特性をもとにして機能性を表す評価特性への変換が行われる。例えば、測定のスN比は、測定量によって測定値が比例的に変化するという理想機能に対し、誤差の分だけはずれてしまう、という現実の機能の理想機能からのはずれの大きさを表現しており、機能性の指標である。例えば、SN比は製品や工程の機能のばらつきを表しており、機能性の指標として活用される。

機能性の計測に「性能の測定」あるいは「機能性の測定」という表現を用いて、このような評価指標を測定の出力とする考え方がある。しかし、性能や機能性は測定特性から導出される性能指標であり、計測の目的、結果に基づく対策に大きく依存しており、単なる測定特性とは性質を異にしている。測定という用語を用いることによって、計測としての意識を希薄にしてしまうおそれがあることから、測定結果の評価指標への変換は計測の重要なポイントであることを明確にするために、測定ではなく計測という用語を使う。

測定が成り立つために必要なことは、スケールが一つであるということである。スケールが一つでなければ、客観的な数値化はできない。物理法則を基礎にし、基本的な量として使われている物理量は客観性を持ったスケールとして利用可能である。評価指標がこのスケールにのっている限り、測定の結果は直接的に評価に結びつく。

それに対し、計測の場合、その目的である評価においてスケールが一つでないことが多い。この場合、多次元のスケール空間の中での位置によって評価することになるが、どの範囲を良いとするかが問題である。判定のためのスケールを一つの軸にするために、評価の基礎になる測定の結果である測定値に重みをつけた指数が考えられている。

例えば、不快指数は、温度、湿度などの客観的な測定値と人間の実感を結ぶ実験式として提案されたものである。関係式は測定値に重みを掛けた形で構成されるが、人間の実感が個人によって異なっているということがネックになって、指数の客観性が問題になる。

また、田口の提案したマハラノビス-タグチの距離は、良否の判定を、多くの測定結果の線形結合によって尺度を作り、一つの軸に載せることによって、多次元空間の中での判定の複雑さを容易にするための試みである⁶⁻¹⁾。一つの軸を尺度として構成するためには、原点と単位となる量を規定することが必要であるが、田口は、専門家の判定において正常とされたものの空間で単位を決めることを提案しており、異常と正常を判別するスケールにしようとするものである。この場合も、スケール作りの基礎となる判別は、尺度を作る段階では専門家に依存する。

多次元的な測定軸を持った評価を客観的に行うためには、このような一つのスケールに

評価指標を載せていくことが必要である。この点からの計測特性の研究は今後もその重要性が増すであろう。

同じ様な問題は、工業量の測定の中にも内在している。例えば、硬さ測定の場合、材料が同じ硬さを示したとしても、強度評価の観点からは同じにはならないことがある。それは、本来、強度評価が多次元的であり、例えば、硬さ測定の結果である押し込み深さは強度のある方向の軸を測定しているだけである、ということが出来る⁶⁻²⁾。すなわち、ロックウェル硬さ測定という単スケールの代用特性だけでは強度を十分には評価できないことを示している。多次元的な強度評価を進めていくためには、

- ①他の、多くの特性の測定を行う、
- ②硬さ試験の高度化を行い、試験プロセスから多くの特性を引き出す、
- ③目的とする強度によって、それに添った軸を持つ測定を探す、

などの方策が考えられる。従来、多くの測定法が「試験法」という形で開発されてきたのは、③の方向に沿ったものである。

6. 1節に対応して、生産段階の目的に添った計測の目的を対象の評価と設定した場合の、計測特性とそれに基づいた目的の実現のためのアクションをまとめたのが表 6.2.1 である。

表 6.2.1 生産段階に対応した計測の目的とその実現

生産段階	計測・評価の目的	計測特性	目的の実現
技術開発	技術の機能性	入・出力特性	設計パラメータの設定
製品設計	製品の機能性	入・出力特性	製品パラメータの決定
工程設計	製造の機能性	入・出力特性	製造パラメータの決定
オンライン設計	工程能力	製品特性	工程管理条件の決定
製造	製品仕様適合性	管理特性	工程の修正・校正
製品検査	性能仕様適合性	検査特性	製品の廃棄／出荷の決定
品質保証	特性見落とし	寿命／故障	設計・製造へのフィードバック

技術開発の段階では、生産技術や製品技術において、技術の機能性を確保するために必要な特性を決めることが行われる。特性は、機能性に大きく寄与しているもの、機能性に関係しないもの、に分類される。製品設計、工程設計の段階では、機能性に大きく寄与している特性については機能性の確保の観点から、また、機能に関係ない特性については機能以外の要求事項の観点から、特性の値が決定される。品質工学では、技術開発の時点で機能性が十分研究されている場合には、製品設計、工程設計の段階での検討が省け、後段階での品質問題が生じないため、全体として製品開発のスピードが上がり、効率的な開発が実現すると主張している。

設計段階でのオフライン計測の目的は、機能性を評価し、設計に利用していくことである。そのために、評価対象である技術、製品、工程の機能を計測する。機能は多くの場合、入力と出力の関係で表現される。機能性の計測で、直接的に測定されるのは機能の入出力の特性である。評価特性としては、動特性のSN比である。

設計段階では、機能性の評価に基づいて、仕様が決定される。たとえば、製品設計段階

で製品仕様の決定のためにパラメータ設計が行われるのは、製品仕様で決められるパラメータ（製品特性）によって製品の機能性が変化することが予測され、機能性を確保するためにパラメータの中心値が決められるからである。許容差設計は、その製品特性の許容差を決めるために行われる。

オンライン設計以下の製造段階では、設計段階で決められた特性が仕様に適合していることを計測によって評価することが基本である。理想的な工程設計が出来ていれば、製造のばらつきが製品仕様の許容差の範囲に入っており、製品は性能仕様を満足していることが予測される。その場合には、製品検査は必要なくなる。源流での対策が出来ていれば、下流での余分な計測や評価は必要なくなると考えられる。

さらに、品質保証における評価は、生産システムがきちんと管理され、それぞれの生産段階での役割を果たしていることを監査的に確認するとともに、現状の生産システムの活動で抜けているものがないか、の検討を行う。クレームや、設計、製造に問題があれば、その内容がフィードバックされる。しかし、生産プロセスの中で、製品設計、工程設計など上流での設計段階で十分な検討が行われ、機能性設計が最適化されていれば、製造もスムーズに行われ、クレームは大幅に減るはずである。

6. 3 計測プロセス設計のサポート部

第4章で計測プロセス設計をメインの流れとサポートの流れに分け、スタッフ部門がやるべき課題として、サポート体制の仕事に次のものをあげた。

- ①測定方法の開発：新しい評価に対応するため。
- ②測定の基準・標準の設定：測定システムの安定性確認のため。
- ③トレーサビリティの確保：測定結果の一般性を確保するため。
- ④校正方式の設定：測定の誤差を確定するため。
- ⑤測定システムの改善：測定結果の信頼性の向上のため。

この部分については、4. 3節で硬さ試験の場合で議論を行ったが、計測のスタッフの仕事として、また、標準研究所としての計量研究所にとって本質的な部分である。それは、トレーサビリティの確保は測定の普遍性を確保するものであり、基準・標準は空間的・時間的な安定性を確認し、確保するために必要なものである。計測がその対象とする技術に大きく依存するのに対して、この部分は計測特性が決められたという前提のもとで、計測に関わる技術の閉じた系として検討が可能な部分である。そのため、計測プロセスのメインの流れとは切り離された仕事として位置づけられる。

①の測定方法の開発は、測定原理の新しいアイデアを実際の測定システムとして実現する研究開発の段階である。ここでは、測定技術の専門家がシステム設計したものを、評価技術を用いたパラメータ設計、許容差設計を通して、最適な測定システムとして設計する。測定システムを製品と考えれば、4. 2節で検討した製品開発・製造の流れをそのまま活用することが出来る。ある特性をある要求精度で測定したいというのがユーザ要求であり、開発の目的である。

②の測定の基準・標準の設定は、同じものを同じ測定方法を用いて測定した結果が同じになることを保証するためのハードウェアとして基準を決めるものである。基準を使い校正をすることによって、時間的に離れたときに測った結果や別の事業所で測った結果が一致し、測定が安定していることを保証することが可能になる。一般に、基準は安定した測定対象物を設定することにより実現する。ものが安定していることは測定により確認されるが、測定が安定しているかどうか、ものの測定で確認される。このような矛盾を避けるためには、3つの方法が考えられる。

- 1) 多数の測定システムで同じものを測った結果が変化しないことを確認する方法である。多数の測定システムが同じように変化することの確率は低いという事実に基づく。
- 2) 測定のたびにものを新たに作成し、測定する。その前提は、作成の再現性が測定の再現性より良い、ということである。
- 3) 測定のたびに測定システムの構成要素を確認し、再現性の良い状態で、同じものを測定する。その前提は、測定装置の構成要素を設定することによって測定システムの再現性が確保されるということである。

いずれかの方法で、ものの安定性を確認することによって、測定の基準作りが可能になる。基本的な量では、国家標準が設定されトレーサビリティ制度が確立しているが、多くの実際に必要とされる量ではそのような体制は取られていない。基準作りのアルゴリズムの確

立が必要である。

③のトレーサビリティは、製品の特性値が一般的に認められるスケールにのっていることを保証するためのものである。1社内での生産のためには必ずしもトレーサビリティという形での一般性は必要なく、社内標準の確率で充分であるが、製品の市場性、共通性を確保するためには、トレーサビリティは必要である。

④の校正方式は、測定プロセスの変化を検出し、補正することによって、安定した測定結果を出すために必要なシステムである。JISZ9090 校正方式通則は校正方式を決めるための方法を提供している。また、第2章で検討したように、校正方式などの測定システムの管理方法を決めることによって測定システムの誤差が決まることから、誤差評価の前提として不可欠の要素である。

⑤の測定システムの改善は、測定の信頼性を向上させるためのものである。改善を進める方法としては、測定の機能性の改善を図るためのパラメータ設計がある。これも、測定システムを1つの製品と考えた設計技術により、SN比の改善を行うことが出来る。

このようなサポート部分の仕事は、企業の中では、計測のスタッフ部門の仕事として行われる。そこでは、計測技術の評価と設計のための方法を駆使して各部門で行われている計測プロセスのサポートを行うことが期待される。

6. 4 計測プロセス設計の手順

以上の検討をもとにして、生産システムにおいて活用される計測プロセスを設計する方法について、次のような手順と留意点をまとめた。

手順1 計測の目的に対して、評価特性と測定特性を決める。

- 1) 計測の目的を定め、生産システムのどの段階にあるかを明確にする。
- 2) 計測の目的に則して、評価特性を定める。
 - ・評価特性には、特性そのものと性能（機能性）がある。
 - ・仕様が提示されている場合は、仕様への適合性を評価する。
 - ・評価対象の機能を明確にする。機能は入出力関係で表現される。
 - ・機能性はS N比で評価される。
 - ・特性が定性的な場合、定量化できる特性への変換が必要である。
経験者、熟練者の判断を機械・物理・化学的特性に置き換える。
相関分析、因子分析などの解析手法を活用する。
- 3) 評価特性に則して、測定特性を定める。
 - ・特性そのものが評価される場合には、その特性が測定される。
 - ・機能の入出力特性が、測定特性になる。
 - ・入力特性は測定特性ではなく、意識的に設定する場合も多い。
- 4) 評価対象の範囲を母集団として決める。
 - ・対象の変動の範囲を明確にする。
 - ・定性的に規定される場合には、測定しないと分からない場合もある。
 - ・問題の原因追及の場合には、多くの測定項目が選ばれることがある。

手順2 定められた測定特性に対して、測定方法を選定する。

- 1) 測定の範囲と要求精度を明確にする。
 - ・要求精度は許容差の1桁下、管理限界の1/3以下に設定する。
 - ・この段階での要求精度の検討は、測定器に対する目安である。
- 2) 測定現場での使用条件、制約条件を明確にする。
 - ・制約条件には、環境条件、測定対象、装置などの制約がある。
- 3) 条件設定のコストと効果によって制約条件を分類する。
 - ・測定現場で測定者が設定できる使用条件
 - ・測定現場で測定者が設定できない使用条件
 - ・測定現場で測定者が設定しない使用条件
 - ・計測設計により、コストと効果の詳細な検討をする場合もある。
- 4) 制約条件の下で、測定方法が選定される。
 - ・多くの場合、専門家のノウハウにより選定が行われてきた。
 - ・データベース活用の可能性がある。
- 5) 適切な測定方法がない場合には、サポート部隊が測定方法の開発を行う。
 - ・動的な計測の場合、適切な測定方法がない場合が多い。

手順3 選定された測定方法の誤差評価に基づき、計測設計を行う。

- 1) 測定システムを、ハード、ソフト面から具体的に決める。

- ・測定システムの内容については、4. 2節を参照。
 - ・測定器、装置などのハードウェア
 - ・校正方式・使用条件・制約条件などのソフトウェア
- 2) 選定された測定システムの誤差評価を行う。
 - ・誤差評価実験を行う。
 - ・実験ではなく、経験的な結果を利用することもある。
 - 3) 要求を満足する場合には、その測定システムを採用する。
 - ・計測のコストと効果の経済性比較による検討を加える。
 - ・効果の定量化には、田口の損失関数の考え方がある。
 - ・経済性の検討によっては、要求精度を見直す場合もある。
 - 4) 要求を満足しない場合には、サポートを受ける。
 - ・測定システムの改善実験を行う。
 - ・測定方法の開発まで戻ることもある。

手順4 測定計画の策定と実験の実施を行う。

- 1) 測定特性に基づいて、どのようなデータを取るかを定める。
 - ・特性そのものが問題の場合、その特性の測定を行う。
 - ・機能性が問題の場合、入力として信号の設定が必要である。
 - ・機能性が問題の場合、ユーザの使用条件から誤差因子が決まる。
 - ・製品の使用者、製造現場などがユーザに相当する。
 - ・出力特性は測定特性である。
- 2) データの解析方法、評価指標への変換の計算方法を定める。
 - ・機能性を表すS/N比の計算方法を定める。
 - ・測定計画は対象技術に依存する。
- 3) 実験因子を決め、わりつけを行う。
 - ・実験計画法の活用を図る。
 - ・条件の分類を行い、因子を明確にする。
 - ・分類には、設定できるものと後分類するものがある。
 - ・測定現場で測定者が設定できる使用条件は制御因子となる。
 - ・測定現場で測定者が設定できない使用条件は誤差因子となる。
 - ・実験の場では、誤差因子も出来るだけ意図的に設定する。
 - ・評価指標を求める実験単位と評価指標を比較する実験単位を分ける。
 - ・評価指標を求める実験単位には、信号因子と誤差因子をわりつける。
 - ・評価指標を比較する実験単位には、制御因子をわりつける。
- 4) 実験計画に基づいて実験を実施する。

手順5 データの解析と結果の評価を行う。

- 1) 評価指標の算出、解析を行う。
 - ・実験計画の段階で解析方法は決まる。
 - ・解析方には、回帰分析、分散分析などがある。
- 2) 要因効果の大きさの評価を行う。
 - ・要因効果の寄与率を算出し、寄与の大きい要因を求める。

- ・統計的検定を行うこともある。

3) 最適条件の変数を推定し、予測を確認する。

- ・寄与率の大きい要因を用いて予測を行う。
- ・予測結果の再現性があるかどうかを、実験により確認する。
- ・直交表実験を行った場合には、要因効果の加法性の確認が必要である。
- ・確認実験の評価は利得により判定することもある。

手順6 目的の実現と対策の選定を行う。

1) 寄与率の大きい要因を用いて、制御因子の設定を決める。

- ・評価指標に寄与率の大きい要因は性能改善にとって本質的である。
- ・寄与率の小さい要因については、他の制約条件を考慮して決める。

2) 対策のコストと効果の比較を行い、対策を決定する。

- ・効果の評価として損失関数の活用が出来る。

6. 4. オンライン計測プロセスの設計の手順

5章では、生産システムの中での製造段階でのオンライン計測を実施するためのオンライン設計の部分での検討として、プラスチック射出成形工程での制御設計のために、一連の実験を行い、工程稼働のためのパラメータを決定した。これは、計測プロセス設計の一つの試みであった。ここでは、5章で検討しなかった工程管理システムの経済性について述べると共に、計測プロセス設計の手順をまとめる。

田口の損失関数に基づいて検討するオンライン品質工学の検討例が、最近、発表されている。それによると、現状の工程管理システムは必ずしも最適な状況で適用されているわけではなく、オンライン計測をどのように進めるかは、過去の経験と実績で決められてきたというのが現状である、ということがいわれている⁶⁻³⁾。

田口は、次のオンライン計測の損失関数を提案し、それを最小化することによりオンラインのフィードバック制御による工程管理システムの最適化を行っている。

$$L = \frac{B}{n} + \frac{C}{u} + \frac{A}{\Delta^2} \left[\frac{D^2}{3} + \left\{ \frac{n+1}{2} + 1 \right\} \frac{D^2}{u} + \sigma_m^2 \right] \quad (6.4.1)$$

ここで、Lは総損失（円／個）、Aは許容差 Δ を超えたときの処理費用（円／個）、Bは計測コスト（円）、Cは調整コスト（円）、nは計測間隔（単位は製品の個数）、uは平均調整間隔（単位は製品の個数）、Dは調整限界、 σ_m はオンライン計測の誤差の標準偏差である。

上式右辺の第1項は製品1個当たりの計測コスト、第2項は製品1個当たりの調整コスト、第3項は製品のばらつきによる損失（品質損失）である。その和である総損失Lを最小化する計測間隔n及び調整限界Dを最適解としてオンラインフィードバック管理システムを定めることができる。この最適化によって、管理コストとその効果である品質損失の減少のバランスが取れる。このような損失関数を導入することによって、管理システムの評価を客観的なスケールで行うことができる。

計量研究所で行ったCAMPSのモデル工程では、製品もモデルであったためそれらのパラメータは仮想的にしか設定できなかったが、最近の検討例では実際の工程のパラメータが求められ、検討が進められている。石野は半導体整流素子の製造工程に適用し、工程管理の総損失を大幅に低減することができること、測定誤差の改善によりさらに損失を減少させることが可能であることを述べている⁶⁻⁴⁾。さらに、計測器の校正システムへの適用を図り、オンライン計測器の管理システムを最適化した⁶⁻⁵⁾。これらの適用が示したことは、現実に動いている工程管理システムは経験的にしか行われておらず、管理システムの最適化と計測システムの面からの検討が欠けている、ということである。

5章で述べたような技術的な側面からの検討と、ここで述べた損失関数による経済性の検討を併せて行うことにより、オンライン計測設計と工程管理設計は完結する。

オンライン計測は、製品特性の仕様に適合させるために行う計測であり、評価指標は測定特性そのものである。従って、次のような手順と留意点にまとめることができる。ただし、手順1-3は前節のものと共通点があるので、オンライン計測で特徴的なものに限った。

- 手順1（オンライン）計測の目的に対して、評価特性と測定特性を決める。
- ・評価特性は、ほとんどの場合、測定特性の値そのものである。
 - ・測定特性は、製品特性の仕様の中で基本的で重要なものが選択される。
- 制御条件を決めるために工程条件と製品特性の関係を求める。
- ・製品特性の、工程条件に対する依存性を調べる。
 - ・工程条件を依存性により分類し、制御のための信号因子を選定する。
 - ・依存性により、固定する条件、固定しない条件に分ける。
- 手順2（オンライン）定められた測定特性に対して、測定方法を選定する。
- ・工程の条件が悪い中での測定になることが多い。
 - ・製造装置に組み込まれている場合がある。
- 手順3（オンライン）選定された測定方法の計測設計を行う。
- 製品のオンライン測定条件を定める。
- ・オンライン測定値の、測定条件・工程条件に対する依存性を調べる。
 - ・測定条件・工程条件を依存性により分類する。
 - ・依存性により、固定する条件、固定しない条件に分ける。
 - ・固定する条件は制御因子になる。
 - ・固定できない条件、固定しない条件は誤差因子である。
- 手順4（オンライン）オンラインでの工程の制御方式を決める。
- 工程平均の予測式を求める。
- ・オンライン測定値から製品特性を求める予測式を求める。
 - ・予測式の工程条件に対する依存性を明らかにする。
 - ・手順1，3における依存性から求めることもできる。
- 手順5（オンライン）オンライン制御の管理方式を定める。
- 測定間隔 n と管理限界 D を決める。
- ・コストと品質水準を考慮した損失関数(6.3.1)式を用いて最適化する。
- 手順6（オンライン）制御の効果を確認する。
- ・実際の工程で確認するが多い。
 - ・製品の品質水準（標準偏差）の減少で確認する。
 - ・工程の平均調整間隔 u が予測値に近くなることで確認する。

オンライン設計で特徴的なことは、工程の制御という計測の目的が明確であり、製造技術に踏み込み、測定条件と工程条件を合わせて考える必要があることである。これは、製造工程の中で測定するという制約のなかで、測定が工程と独立に規定することができないという状況を反映している。最終的には製品の品質に寄与するが、生産技術を通じてそれが実現され、生産技術のなかで検討されるため、オンライン計測という意識が希薄で、制御の問題としてだけ議論されることの方が多いと考えられる。それは、品質管理のデータ処理が、データの誤差への認識をあまり持たず、データを絶対視することにより成り立ってきたことと軌を同じくしている。対象の変動と計測のためのデータの変動を明確に区別するために、制御の前提である計測を独自の立場で議論できる体制が必要である。

6. 6 まとめ - 計測のパフォーマンス

第6章では、生産システムにおける計測プロセスについて、計測特性、評価指標の点から生産プロセスに対応させて検討し、さらに、計測プロセスの設計手順をまとめた。それらの中で、次のことを明らかにした。

- 1) 生産プロセスを設計段階と製造段階に分け、それぞれの段階での計測の目的を明らかにした。設計段階では製品特性仕様と性能仕様を評価すること、製造段階では仕様に対する適合を評価することである。
- 2) 計測の目的に則した評価指標には、特性そのものの場合と機能性の場合があり、それぞれ製品特性仕様と性能仕様に対応する。
- 3) 生産システムにおける計測プロセスを設計する手順を整理した。

本研究では、作業としての測定と目的を達成させる計測を区別して、測定あるいは計測のプロセスを検討してきたが、第6章までの検討を生産システムにおける計測のパフォーマンスの立場からまとめると次のようになる。

測定プロセスのパフォーマンスの評価はSN比の方法に基づいた誤差評価により可能であり、計測プロセスのパフォーマンスの評価は目的の達成度により可能である。

測定システムのパフォーマンス、すなわち、誤差の評価においては、単に測定を繰り返すのではなく、実験計画法を活用したデータの収集と解析が重要である。実験計画法を用いた実験の中で、マンマシンシステムとしての測定システムの評価を行ったが、測定者による誤差分散の差が1桁ある場合もある。測定システムに人間が関与する場合には、その差が大きいため、その正当な評価とそれに対する対応が必要である。

一方、計測のパフォーマンスの観点からは、目的の達成度が問題であるが、生産システムにおける計測の目的は、その計測が関連する生産プロセスに依存する。一般的には、設計段階、品質評価段階では、機能性評価のための特性の測定が行われる。ここでの計測の問題としては、機能性を評価するための特性を如何に選択するか、ということである。そのためには、対象の技術の機能に対する洞察が必要である。また、製造段階では、工程管理のための特性の測定が行われ、工程のフィードバック制御に活用される。ここでの計測の問題は、制御という目的に対してどのような情報を収集し、有効な制御を可能にするかということである。いずれの場合も、計測のパフォーマンスを確保するという点では、対象技術の内容に関連して、計測の管理者がどのように計測プロセスを築き上げるかということがキーポイントである。測定のためのシステムが自動化し、測定者の関与が少なくなったとしても、計測プロセスを設計し、管理するマネージャーは必要である。このマネージャーに必要なのは、第6章でまとめた手順を実現する、システム的な構想力と評価力である。それによって、計測のパフォーマンスが確保されるといって良い。計測プロセス設計においてうまく設計された計測プロセスは高いパフォーマンスが期待される。

第7章 結言

本研究は、計測と測定の違いを明確にするとともに、生産システムの中で計測が果たすべき機能を計測におけるパフォーマンスの立場から解明し、計測が生産活動に積極的に関わる方向を明らかにすることを目的とした。各章で得られた成果は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景となった計測に関わる問題とパフォーマンスの考え方の基本について明らかにした。

計測とは、本来、単なる測定という作業プロセスだけでなく、計測の目的に合わせて、測定の計画を立て、測定を実施し、データを解析し、さらに測定結果を有効に活用するアクションを取るための体系的プロセスである。しかし、測定を科学的な操作として抽象化し、単純なデータ獲得の作業プロセスと見なし、その結果、計測自体が、測定という作業的部分との区別を曖昧にして、その成果を必ずしも十分にあげていないという状況がある。

本研究では、計測自体の価値を高めるための方法を積極的に提起するため、計測におけるパフォーマンスという概念の提起を行った。すなわち、計測を人間が社会的な立場から生産を行うという目的に対する機能とみなし、この機能を実現する過程（プロセス）とそれが生み出す結果を、パフォーマンスと名付けた。従って、計測のパフォーマンスの概念の中には、計測の主体となる人間による計測の目的の設定、計画の設定、測定の実行、測定結果の処理、評価、活用などの過程と、その達成度を含む計測の広い意味の評価を含むことになる。計測システム及び測定システムは必然的にマン・マシン・システムとして構成される。

本研究では、測定と計測を次のように区別して考えた。測定とは、測定量を測定し、数値化するという作業的な過程である。一方、計測とは、計測の必要性から、測定を行い、所期の目的を達成するという、広い立場での一連の過程である。さらに、測定、計測の時系列的な一連の過程を「測定プロセス」、「計測プロセス」と呼び、また、測定プロセス、計測プロセスの中で活用されるハードウェアとソフトウェアとの集合を「測定システム」、「計測システム」と呼んだ。ハードウェアにはそのプロセスで利用される測定器や装置を含み、ソフトウェアには測定条件、校正方式や管理方式などが含まれる。

第2、3章では、計測の作業的な部分である測定システムのパフォーマンス評価を対象として検討を進めた。

第2章では、計測の作業的な部分である測定システムのパフォーマンス評価の基礎となる誤差評価の方法を、測定の機能性評価の立場から明らかにした。

すなわち、測定の機能は測定対象量の真の値を測定値として推定することである。測定に期待される機能を満たす程度を表す機能性は、測定誤差により定量化される。そのために必要な測定システムの機能は、測定の尺度をベースとした測定量の加法性を、測定システムの出力である測定値の加法性として実現することである。測定誤差の大きさの定量化のために、誤差及びその評価の方法の基本を、加法性の実証と加法性からのばらつきの評価を行うSN比の方法に置いた。

SN比の方法による測定の機能性評価とその中で用いられている「校正」の概念を基に、校正を前提にした測定システムの誤差の成分を検討した。さらに、SN比の方法と従来の誤差評価手法との共通点、相違点を明らかにするとともに、今後、世界標準として広く使われると思われるISOの不確かさ表現ガイドの方法との関連を検討した。

それらの中で、次のことを明らかにした。

- 1) 測定システムの性能は、誤差そのものではなく、母集団として規定された条件の下で求められた測定値の集団の性質として、分散あるいは標準偏差で表現された「誤差の大きさ」を用いることができる。
- 2) 測定システムの機能を評価するという立場から、動的特性のSN比によって測定システムの基本性能を的確に評価できる。
- 3) 校正を前提にした測定の誤差には、実物測定の誤差、校正作業による誤差及び校正に使用した標準の誤差の成分が含まれる。
- 4) 誤差の大きさは、測定器に固有のものではなく、管理条件、環境条件を含めた測定システムの条件により決まる。
- 5) 従来の誤差評価の方法は、測定量一定の点でのかたよりとばらつきを基礎とした静的な評価が中心であるが、動特性のSN比の方法では、測定範囲内での加法性からのばらつきとして、現実的な誤差の大きさの評価が可能である。
- 6) ロックウェル硬さ試験の不確かさ評価に、JISZ9090 校正方式通則で使われている品質工学の許容差設計の実験計画を活用した。このデータは不確かさ表現ガイドの出版以前に取られたものであるが、不確かさ評価の考え方に沿った解析が可能であることを明らかにした。
- 7) SN比の方法は、測定の不確かさの評価のなかで、不確かさを推定する統計的方法の有力な方法として位置づけることができる。
- 8) 動的特性のSN比評価のための信号因子の考え方を活用して、標準値が明らかな校正の場合はもちろん、真の値が分からない実物が対象の場合であっても、加法性をベースにして測定の誤差の大きさの推定が可能である。

以上のことから、測定システムのパフォーマンスを定量化するための誤差評価においては、次の点を明確にすべきである。

- 1) 評価対象である測定システムのハード、ソフトの条件を明確にする。
- 2) 計画的なデータの取得のために、実験計画法を用いる。特に、補正しない系統効果を確率化することを考慮した配置が望ましい。
- 3) 実験計画としては、信号因子と誤差因子を活用したSN比による評価を行う。
- 4) 標準と実物の形態が異なる場合、誤差の表れ方が異なるため、別途の評価が必要である。

第3章では、測定を行うシステムとしてのマンマシンシステムを取り上げ、人間が大きく関与する測定システムのパフォーマンス評価について、実験例を中心に検討を進めた。

第3.1節では、測定のマンシステムの問題として、測定システムの異常とは何かを考察するとともに、異常を測定者が的確に判断できない状態を「過ち」と規定し、測定の過ちがデータの変動に及ぼす影響について検討を行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- 1) 測定系の非定常な状態を異常と呼び、測定者がそれを見逃した場合を測定の過ちと考える。
- 2) 現実の測定の中にも数%の過ちがみられる。
- 3) 測定数 n が大きい場合 ($n \sim 100$)、極端でない過ち ($d < 2, r < 2$) があっても 4% 以内の過ち率であれば、平均値、誤差の大きさ (分散) に大きな変動を生じないことがある。
- 4) 個々のデータが重要な意味を持つ場合には、過ちをなくするための対策が必要である。

第 3. 2 節では、測定のマンマシンシステムの問題として、測定者の判断が大きな役割を果たす接触式変位測定器を用いた測定における誤差のモデルを考察し、実験的にその有効性を確認した。接触式変位測定器による寸法測定の手順及び操作を検討し、計測器及び測定者の系から発生する誤差のモデルを定式化し、それを確認するための実験を行った結果、以下のことを明らかにした。

- 1) 寸法値は本質的に二つの座標値の差として表されること、及び、この座標値に入る誤差をかたよりとばらつきに分離して表すことによって、誤差のモデルを得た。それによると、測定誤差は、目盛付けの誤差、最適値を捜す操作によって生ずる誤差、測定の機構により生ずる誤差の成分に分けることができる。
- 2) 誤差のモデルに、有効操作回数概念を導入することによって、最適値を捜す操作による誤差の一部だけが小さくなることを明らかにした。測定値のフィードバックによって誤差分散の一部は小さくなるが、小さくならない部分が残る、測定のパフォーマンスにとってフィードバックはあまり意味がない。
- 3) 座標値の分布が測定機構上の制約によって打切り点をもてば、寸法値の分布は正規分布からずれ、とがりをもち、右 ($\delta > 0$ の方向) にすそをひく形となる。
- 4) 以上の考察の結果は、接触式変位測定機による、フィードバックの有無によるパフォーマンスの違いをみるための実験結果とよく一致した。

第 3. 3 節では、測定の信頼性と測定過程との関連を明らかにするため、測定のマンマシンシステムの問題として、接触式寸法測定器を用いた測定システムにおいて、測定者による測定誤差の特徴、及び、測定者の操作による測定過程と測定誤差の対応について実験的に検討し、次のことが明らかになった。

- 1) 測定の個人差は目視の判断とか測定経験の差として考えられてきたが、測定過程の操作や判断によっても、測定者により 10 db (誤差分散で 1 桁) の差が生じることから、測定系の信頼性を評価する際、測定者の要素を抜きにすることができない。
- 2) 被測定物の形状、判断情報のフィードバック方法の要因により、測定者の能力の差が現れる。
- 3) 繰返し誤差による測定者の評価は、総合誤差との対応は見られず、測定者の能力の差の評価にはならない。

さらに、種々の要因による測定過程のパターンの変化の様子を、初期、中期、最終期の 3 つの特性の特徴により解析したところ、次のことが明らかになった。

- 4) 誤差が小さく SN 比の高い測定者グループでは、共通的に同じ様なパターンが現れるが、他方のグループでは、共通性は明確ではなく、ばらつきが大きいままであるという傾向がある。

- 5) 測定過程のパターンは測定者、被測定物の形状によりほぼ定まり、SN比の向上に対応したパターンの変化はみられない。
- 6) 全体として、誤差が小さくSN比の高い測定者グループには単純なパターンが多く、比較的単純な操作による測定を行っており、測定時間は短い。
- 7) 誤差が小さくSN比の高い測定者グループは、最終判断を行うときには、動きを停めた直後に判断を行っているパターンが多く、スピンドルの動きをもとに判断を下している。

第3.4節では、マンマシンシステムとしての測定システムの誤差評価とその改善の対策について検討を加えた。誤差評価においては、個人差の関与に関する情報を正しく与え、状況に合わせた計算ができるようにしておくことが必要である。改善のための対策としては、個人差を補正するための校正は有効である。しかし、かたよりの補正はできるが、ばらつきの補正はできない。そのため、測定者の教育・訓練では、まず測定の安定性を追求することが優先される。また、教育・訓練については、3.3節の実験では必ずしも操作過程と測定誤差との対応が明らかにならず、操作過程の面からの対策を考えるにはさらなる研究が必要である。

これらの測定のマンマシンシステムの一連の実験の中で、測定システムの中で測定者が果たす役割が大きい場合、測定システムのパフォーマンス評価が測定者に関わる要因により大きく変化することを明らかにした。人間の測定操作、判断が結果に現れると言うことは、単に測定を自動化すればすまされる問題ではなく、調整、校正の問題として依然残される。

第4章では、計測の問題が生じ、計測を行い、問題を解決するまでのプロセスを計測プロセスと規定し、パフォーマンス概念に基づいて、計測プロセスの設計と評価について検討した。

第4.1節では、計測活動を構成する、計測のプロセスと測定のプロセスの構造を明らかにし、計測プロセス設計の考え方を提案をした。

- 1) 計測の問題が生じ、解決されるまでの過程は、管理的な部分である計測プロセスと作業的な部分である測定プロセスとに分けることができる。
- 2) 計測プロセスの設計は、計測の合目的性の確保と測定の信頼性の確保の問題に要約することができる。
- 3) 計測特性が決められた後の測定の評価は、測定プロセスの問題として行われる。
- 4) 測定システムは、測定プロセスの実施に必要なハードウェアとソフトウェアの総体として規定される。
- 5) 計測システムの確実性を確保するための計測プロセス設計の考え方を提案し、硬さ試験の開発を例としてそれを検討した。

第4.2節では、計測プロセスのパフォーマンスを確保する立場から、生産システムにおける品質確保のための品質設計システムを整理し、提案した。

- 1) 生産システムにおける計測プロセスの役割を、生産プロセスである検査、統計的工程管理、工程改善、工程の制御、工程設計、製品設計の立場から整理した。
- 2) 製品の生産システムを最適化するための品質設計システムの枠組みを、オンライン計

測、オフライン計測の立場から明らかにした。

第4. 3節では、計測プロセス設計の中で一般的な検討が難しく、共通的な方法が確立していない部分である計測特性の選択の問題について、プラスチック歯車の測定の場合を実験的に検討した。1つの金型から、金型温度を変化させ射出成形した小型歯車について、二歯面かみあい試験および個別誤差の測定を行い、両者の結果の関連を因子分析法により求め、二歯面かみあい試験によるプラスチック成形歯車の評価の有効性について検討した。

- 1) かみあい試験の解析により、歯車全体の形状を表す特性および歯形の良否を表す特性が得られた。
- 2) 歯車全体の形状を表す特性は、偏心を表す特性、歯先円のゆがみを表す特性、収縮率の変化を表す特性を含んでいる。
- 3) 以上の特性について射出成形歯車の評価を行う上でも、二歯面かみあい試験は有効である。
- 4) プラスチック成形歯車の場合、歯先円のゆがみによる形状誤差への影響が大きいため、歯車として評価する場合注意する必要がある。
- 5) ここで示した方法は、試験で得られる各種特性の意味を明らかにし、計測特性として選定すべきかどうかを決めるための方法として採用することができる。
- 6) また、プラスチック成形歯車の場合、歯先円のゆがみによる形状誤差への影響が大きいため、歯車として評価する場合注意する必要がある。

ここで示したような方法は、試験で得られる各種特性の意味を明らかにし、計測特性として選定すべきかどうかを決めるための方法として採用することができる。その際、次の点に注意すべきである。

- 7) 検討の対象となる母集団を明確にし、その母集団の中でのデータの加法性と相関に基づいた検討をすべきである。
- 8) 計測特性の意味を明確にするために、従来の特性との対応、従属性、独立性を明らかにする方法として、因子分析法が活用できる。

第5章では、プラスチック成形工程を対象にして、品質設計システムの中のオンライン計測システムについて、計測プロセス設計の立場からオンライン計測システムの設計のための一連の実験を行い、計測プロセス設計の有効性を実証的に検証した。

第5. 1節では、プラスチック射出成形工程に対して適用した品質設計システムCAMPS (Computer Aided Process Design and Control System) 全体の概要について述べた。

- 1) 品質設計システムの体系的なアプローチと実験により、短時間での成形工程の最適化を行うことができ、成形のばらつきを標準偏差で $16 \mu\text{m}$ から $5 \mu\text{m}$ になり、 $1/3$ に低減できた。
- 2) 品質設計システム適用の方法をパソコンソフトウェアCAMPSの形にまとめた。

第5. 2節では、オンライン計測の考え方を整理し、第5. 3節以降の実験の組立を明確にした。

第5. 3節では、オンライン計測管理システムを機能させるための基本的条件として、計測システムの管理、計測間隔、予測方法の3項目を立て、プラスチック成形工程をモデル工程とした検討を行なった。さらに、成形実験により得られた工程変動のデータを用い

た工程の予測・制御方式のシミュレーション実験を行い、次の結果を得た。

- 1) 成形品の重量により成形工程の変動を捉え、現実の工程変動が3つの場合に分かれ、それぞれの場合に、サンプリング数など計測・制御条件の効果に違いを生じる。
- 2) 工程平均の予測を行なうことは、製品のばらつきを減らすために有効である。
- 3) 制御量を定める割引係数法は、一方向にドリフトする工程には有効ではないが、うねりのある工程に対しては有効である。

第5.4節では、CAMPSシステムにおけるオンライン計測結果に基づく予測式の設定に関わる問題点について検討するために、成形直後の成形品の寸法と収縮に対する成形条件と測定条件の影響について調べるために、連続成形実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 成形条件、測定条件を、成形品の寸法、収縮に対する影響の特徴によって分類することにより、工程最適化のために固定するもの、オンライン制御の信号因子とするもの、予測制御式のパラメータとするもの、に分けることができる
- 2) 成形直後の成形品の取扱により、成形品の寸法及びそのばらつきが変化することがあり、成形品の状態を同じにすることが寸法のばらつきを減らすために必要である。
- 3) 製品をオンライン測定する事により、成形品の特性を変化させてしまうことがあり、それらを製品として使えない場合がある。

第5.5節では、工程にロボットを導入し、自動化したシステムとして制御効果確認のための実験を行った。自動化のために導入したロボットのために成形サイクルが変化するため、取り出しの違いや冷却過程の違いによる製品の特性の変化の状態を実験的に検討した。その上で、今までの実験結果を基に、制御条件を整理し、連続成形実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 冷却時間、型開時間など冷却過程によって製品の安定後のカム高さが変化するが、それをうまく選択することによって取り出しの違いを吸収することが可能である。
- 2) 制御設計において、オンライン計測の条件と、制御の条件の検討を行い、割引係数法を用いた制御を設計し、設計の方法を明らかにした。
- 3) 設計された制御方法を実際に工程に適用し、生産開始時に起こるドリフトの改善と、平均値の制御を行った。

第5章の一連の実験は、成形工程のオンライン制御のための測定システムの設計のためのものであったが、そこでは、単に製品であるカムの高さを測ればよいということではなかった。すなわち、オンライン計測によってそれ以後の製品の特性を予測するために製品がサンプリングされていることから、予測値がどのような条件で決まってくるか、どのような条件を変化させたら予測式を変化させる必要があるかを明らかにしておくことが必要であった。オンライン制御という計測の目的に対応するためには、成形技術そのものに踏み込まざるを得ない。一連の実験では、成形機で設定する成形条件、さらに、製品の冷却の条件が、製品の特性（この場合はカム高さ）にどのように影響するか、それをサンプリングした製品の特性から如何に予測するかを実験的に検討したことになる。このような課題は、単にカム高さを測り、測定結果をレポートするという測定プロセスだけでは実現できない。課題の解決をするという計測プロセスとしては、工程の予測に深く関わることすなわち、計測の対象となっている固有技術に直接的に関わらざるを得ない。そのことが

計測のパフォーマンスをあげ、計測の役割を主張していくためには必要である。

第6章では、生産システムにおける計測プロセスについて、計測特性、評価指標の点から生産プロセスに対応させて検討し、さらに、計測プロセスの設計手順をまとめた。それらの中で、次のことを明らかにした。

- 1) 生産プロセスを設計段階と製造段階に分け、それぞれの段階での計測の目的を明らかにした。設計段階では製品特性仕様と性能仕様を評価すること、製造段階では仕様に対する適合を評価することである。
- 2) 計測の目的に則した評価指標には、特性そのものの場合と機能性の場合があり、それぞれ製品特性仕様と性能仕様に対応する。
- 3) 生産システムにおける計測プロセスを設計する手順を整理した。

第6章までで、作業としての測定と目的を達成させる計測を区別して、測定あるいは計測のプロセスを検討してきたが、生産システムにおける計測のパフォーマンスの立場からまとめると次のようになる。

測定プロセスのパフォーマンスの評価はSN比の方法に基づいた誤差評価により可能であり、計測プロセスのパフォーマンスの評価は目的の達成度により可能である。

測定システムのパフォーマンス、すなわち、誤差の評価においては、単に測定を繰り返すのではなく、実験計画法を活用したデータの収集と解析が重要である。実験計画法を用いた実験の中で、マンマシンシステムとしての測定システムの評価を行ったが、測定者による誤差分散の差が1桁ある場合もある。測定システムに人間が関与する場合には、その差が大きいため、その正当な評価とそれに対する対応が必要である。

一方、計測のパフォーマンスの観点からは、目的の達成度が問題であるが、生産システムにおける計測の目的は、その計測が関連する生産プロセスに依存する。一般的には、設計段階、品質評価段階では、機能性評価のための特性の測定が行われる。ここでの計測の問題としては、機能性を評価するための特性を如何に選択するか、ということである。そのためには、対象の技術の機能に対する洞察が必要である。また、製造段階では、工程管理のための特性の測定が行われ、工程のフィードバック制御に活用される。ここでの計測の問題は、制御という目的に対してどのような情報を収集し、有効な制御を可能にするかということである。いずれの場合も、計測のパフォーマンスを確保するという点では、対象技術の内容に関連して、計測の管理者がどのように計測プロセスを築き上げるかということがキーポイントである。測定のためのシステムが自動化し、測定者の関与が少なくなったとしても、計測プロセスを設計し、管理するマネージャーは必要である。このマネージャーに必要なのは、第6章でまとめた手順を実現する、システム的な構想力と評価力である。それによって、計測のパフォーマンスが確保されるといって良い。計測プロセス設計においてうまく設計された計測プロセスは高いパフォーマンスが期待される。

本研究は、計量研究所で行われてきた、計測標準及び計測技術の開発と技術開発への活用のための研究の成果の一部である。特に、計測におけるパフォーマンス評価と測定値の誤差評価は、計測技術評価の基礎であり、大きな課題であったが、それに対する理解は十分であったとはいえない。そのような中で、きちんと測定するための測定システムを設計

し、評価していくことが計測設計・誤差評価の研究として進められてきた。さらに、測定するだけではものは良くならない、という問題意識から、生産システムの中での計測の役割を明確にするための研究へと繋がった。

その一連の研究の中で、明らかになったことをさらにまとめると次のようになる。

- 1) 測定の誤差評価は、計測の核となる測定システムのパフォーマンスの評価として位置づけられる。測定のパフォーマンスは測定の機能性を表す測定のSN比で表現することができるが、それを求めるためのデータを如何に集めるかを示す測定の計画が重要である。
- 2) 測定のためのシステムとして、マンマシンシステムを取り上げ、そのパフォーマンス評価を実験的に行い、測定者が関わった測定システムのパフォーマンスに対する測定者の役割を明らかにした。
- 3) 計測の一連の活動である計測プロセスの構造を明らかにし、その中で測定プロセスを位置づけた。計測のパフォーマンスは、計測の目的を意識した計測プロセスの設計、特に計測特性の選択、に深く関わる問題である。
- 4) 計測システムのパフォーマンスを検討する中で、生産システムの中での計測プロセス設計として品質設計システムの提案を行い、計測プロセス設計の試みとして、プラスチック成形工程のオンライン計測・制御システムの設計を行った。
- 5) 計測プロセスの設計を手順の形で整理し、計測のパフォーマンスを確保する上で、計測プロセスを管理するマネージャーのシステム的な構想力と評価力の役割が大きい。

近年、不確かさの概念に基づく統一的な方法が計測のグローバル化の動きの中で提出され、不確かさ評価の中心的な問題となってきている。不確かさガイドは、あくまでもガイドであり、誤差評価の問題を全て解決したわけではない。また、誤差評価の伝統のないところでは、それを理解する上で、いろいろな誤解と曲解を生んでいる。実際の測定の評価の場面で、本研究で示した方法と考え方が活用されることによって、不確かさ評価は確実なものになると考えている。

計量研究所で実現した品質設計システム CAMPS は、共同研究者である(株)山城精機製作所の縦型成形機の一部に採用された。このように、ソフトとハードが組み合わさったシステムでは、システムそのものが他所で再現されることはないが、その考え方は受け継がれていく。いろいろな形で活用されることによって、システムが具体化され、改善されて行くという展開が期待される。

謝辞

本研究をまとめるに当たっては、東京大学大学院工学系研究科・大園成夫教授にご指導及びご助言いただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

また、東京大学大学院工学系研究科の飯塚悦功教授、毛利尚武教授、鈴木宏正助教授、高増潔助教授には、貴重なご教示、ご助言をいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

本研究の多くの部分は、通商産業省工業技術院計量研究所において行ったものである。その中で、常に励まし、ご指導いただいた(財)日本規格協会の矢野 宏博士(元計量研究所力学部長)並びに計量研究所長今井秀孝博士に深く感謝いたします。また、計量研究所第1部計測機構課システム計測研究室さらに計量研究所計測システム部計測数理研究室で、共に研究を進め、議論を進めて頂いたみなさまに感謝いたします。計量研究所統括標準研究調査官田中健一博士、計測数理研究室研究員の秦 勝一郎室長、主任研究官鴨下隆志博士、松田次郎主任研究官、石田 一主任研究官、研究官佐藤浩志博士、研究官田中博士、産業標準研究員の室長榎原研正博士、明治大学工学部助教授宮城善一博士に感謝いたします。

また、精密工学会測定器性能評価分科会、(財)日本規格協会測定法研究会、「特性値—許容差の決め方通則」JIS 原案作成委員会などを通して貴重なご意見、ご討論いただいた明治大学の山本健太郎名誉教授に深く感謝いたします。

本研究をまとめるに当たり、貴重な意見を頂いた田口玄一博士に深く感謝いたします。

さらに、筆者が参加してきた委員会、特に、精密工学会測定器性能評価分科会、(社)日本合成樹脂技術協会・精密加工研究会、(財)日本規格協会測定法研究会、JISZ9090「測定—校正方式通則」原案作成委員会などでは、委員の方々といろいろな点からの計測の問題の議論をし、示唆を頂きました。これらの委員会の委員のみなさまに感謝いたします。

第3. 2節の研究をまとめるにあたり、精密工学会測定器性能評価分科会(主査・山本健太郎明治大学教授)において討論し、貴重な助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

第4. 2節の研究をまとめるにあたり、貴重な御意見をいただいた明治大学・山本健太郎教授、東工大・林輝教授に感謝いたします。また、実験に協力していただいた池上金型(株)、埼玉県工芸試験場・故松川俊雄氏、(社)日本合成樹脂技術協会・精密加工研究会の方々に感謝いたします。

第5章の実験を実施するに当たりご協力いただいた(株)山城精機製作所の杉山昭氏及び故黒岩都香子氏、(社)日本合成樹脂技術協会・精密加工研究会の方々に感謝いたします。

また、本論文をまとめるのに当たりご協力いただいた福岡久子さん、張替眞代さん、中山みち子さん、産学官連携推進センター及び業務課のみなさまに感謝いたします。

さらに、本研究をまとめるに当たって、討論、問題提起、問題の整理、意見、示唆などいろいろな形で寄与していただいたみなさまに深く感謝いたします。

最後に、この研究を進めることを支援し励ましてくれた、ライブラリアンでもある小池恵子に心から感謝いたします。

<参考文献>

第1章

- 1-1) JIS Z 8103: 計測用語、日本規格協会(1991).
- 1-2) 矢野 宏：計測管理の実際、工業調査会(1986)
- 1-3) 計量管理協会計量管理普及推進調査研究会編：品質管理のための計測方法活用マニュアル、日本規格協会、(1983)

第2章

- 2-1) SN 比マニュアル分科会：試験・測定方法比較研究のための SN 比マニュアル、日本規格協会(1972)
- 2-2) 小西省三編：品質工学講座(3)品質評価のための SN 比、日本規格協会(1988)
- 2-3) 田口玄一他：校正方式マニュアル、(財)日本規格協会(1992)
- 2-4) 田口玄一：計測技術者のための実験計画法、コロナ社(1980)
- 2-5) JIS Z 9090 測定－校正方式通則、日本規格協会(1991).
- 2-6) 森村正直、飯塚幸三：計測器の性能表示の体系化(1),(2)、計測と制御、Vol.17, No.4(1978), p346-353, Vol.18, No.6(1979), p486-491.
- 2-7) BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML: GUIDE TO THE EXPRESSION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENT, International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland) (1993). 邦訳 飯塚幸三監修、ISO 国際文書 計測における不確かさの表現のガイド 統一される信頼性表現の国際ルール、(財)日本規格協会(1996) [不確かさガイド英文初版は1993年に出版された。邦訳は1995年版に基づいている。1993年版と1995年版の内容に大きな違いはない。]
- 2-8) 今井秀孝編：「計測の信頼性評価－トレーサビリティと不確かさ解析－」、日本規格協会(1996).
- 2-9) BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML: INTERNATIONAL VOCABULARY OF BASIC AND GENERAL TERMS IN METROLOGY, second edition, 1993, International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland) (1993).: VIMの第1版は、1984年に、BIPM、IEC、ISO及びOIMLの名で、ISOにより出版された。
- 2-10) Kaals, R.: Report of the BIPM WORKING GROUP ON THE STATEMENTS to the COMITE INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES(1980).
- 2-11) 今井秀孝編、計測の信頼性評価 トレーサビリティと不確かさ解析、(財)日本規格協会(1996)
- 2-12) 鴨下隆志ほか：品質工学を利用した計測システムの構成方法の検討、品質工学、Vol.4, No.2(1996)
- 2-13) 鴨下隆志ほか：実物標準によるトレーサビリティと計測の不確かさに関する研究、品質工学、Vol.8, No.2(2000)

第3章

- 3-1) JIS Z8042-1974 分析・試験の許容差通則
- 3-2) 加藤敬ほか：内外側測定精度の現状、計量研究所報告、Vol.26, No.3(1977), p156

- 3-3) 田口玄一ほか：計測管理経済性評価研究報告書、計量管理協会(1980)
- 3-4) 矢野 宏：精密測定における視覚的判定の個人差、精密機械、Vol.40、No.9(1974)、p762.
- 3-5) 山内二郎ほか：統計数値表 JSA-1972、日本規格協会(1972).
- 3-6) 奥野忠一：分布の正規性の検定について(1)、標準化と品質管理、Vol.29, No.5(1976), p33.
- 3-7) 田中健一ほか：顕微鏡測定に於ける図形あわせの訓練方法とその効果、精密機械、Vol.46、No.12(1980)

第4章

- 4-1) 計測技術設計調査研究委員会：計測設計 機器の開発から工程の制御まで、計量管理協会 (1988)
- 4-2) 計量管理協会計量管理簡易化研究委員会：新製品開発におけるパラメータ設計、日本規格協会(1984)
- 4-3) 計量管理協会工程計測委員会編：経営者・管理者のための計測管理、日本規格協会(1982)
- 4-4) 石田 一他：硬さ標準片の開発、計量管理、計量管理協会、Vol.40, No.2 (1991)、p72
- 4-5) 富井正男：歯車の2歯面かみあい試験について、日本機械学会論文集、Vol.35, No.272 (1969)、p890,
- 4-6) 増沢芳紀ほか：プラスチック製小型歯車の寸法形状誤差の関連、昭和 53 年度精機学会春季大会学術講演会前刷(1978).
- 4-7) 矢野 宏ほか：ダイナミックな SN 比を用いた成形性評価の実験法、精密機械、45、5 (1979) 548.
- 4-8) JGMA-116-01 (1960) 平歯車およびはすば歯車の両歯面総合カミアイ誤差,
- 4-9) JISB1702-1960 平歯車およびはすば歯車の精度.
- 4-10) 奥野忠一ほか：多変量解析法、日科技連出版社 (1971),
- 4-11) 仙波正荘：歯車(新版)、第2巻、日刊工業新聞社 (1975).
- 4-12) 田口玄一：品質工学講座(1) 開発設計段階の品質工学、日本規格協会 (1988)
- 4-13) 山本昌吾編：品質工学講座(2) 製造段階の品質工学、日本規格協会(1989)

第5章

- 4-14) 矢野 宏ほか：やさしい成形品質工学—プラスチック精密成形品の設計、工業調査会(1987)
- 4-15) 田中健一ほか：工程管理における工程と制御条件の最適化の方法—プラスチック成形工程への適用—、精密工学会誌、Vol.53、No.10(1987)
- 5-1) 矢野 宏：計測管理工学入門、工業調査会(1984)
- 5-2) 小池昌義、矢野 宏：直交表を利用した電子天秤の環境試験、第 53 回日本分析化学会有機微量分析研究懇談会、第 9 回計測自動制御学会質量・力計測部会合同シンポジウム講演要旨集、p44(1986)
- 5-3) 矢野 宏、小池昌義、杉山昭：成形加工におけるオンライン計測管理、計量管理、Vol.31、No.11(1982).

第6章

- 6-1) 田口玄一：診断とS/N比、品質工学、Vol.2、No.4、p2(1994)
- 6-2) 計量研究所計測数理研究室研究室：機械部品の表面処理加工とその評価方法に関する研究、国立機関技術開発研究事業成果普及発表テキスト、中小企業庁・計量研究所(1991)
- 6-3) 井田吉人、安達範久：製造現場における損失関数と測定周期のあるべき関係の明確化、品質工学会第8回品質工学研究発表大会論文集、p210(2000)
- 6-4) 石野信博、小川光男：半導体整流素子製造に対するオンライン品質工学の検討、品質工学、Vol.7、No.6(1999)
- 6-5) 石野信博、井上博道：新製品製造に伴う計測器の校正システムの検討、品質工学会第8回品質工学研究発表大会論文集、p202(2000)

本論文に関連する文献、発表など

論文

- 1) 小池昌義、矢野宏、寸法測定のパフォーマンスと誤差のモデルの研究、精密機械、Vol.44, No.8(1978), p945-951
- 2) 小池昌義、松田次郎、中山隆義、増沢芳紀、中条知和、矢野宏：二歯面かみあい試験によるプラスチック射出成形歯車の評価、精密機械、Vol.46, No.7(1980), p862-868
- 3) 小池昌義、田中健一、鴨下隆志、矢野宏：プラスチック成形工程におけるオンライン計測管理システムの設計、精密工学会誌、Vol.54, No.1(1988), p164-169
- 4) 小池昌義：測定における過ちの影響について、精密機械、Vol.52, No.10(1986)、寄書
- 5) 小池昌義、田中健一、鴨下隆志、矢野宏：品質設計におけるオンライン管理システムの設計、合成樹脂、Vol.34, No.6(1988), p49-58
- 6) M.Koike and H.Yano: CAMPS and Metrological Design , Quality through Engineering Design, p441-455, (1993) 外国単行本査読あり

共著：非筆頭

- 1) 田中、小池、鴨下、松田、矢野：工程管理における工程と制御条件の最適化の方法ープラスチック成形工程への適用ー、精密工学会誌、Vol.53, No.10(1987), p1602-1608
- 2) 田中、小池、鴨下、松田、矢野、品質設計システム CAMPS による成形条件最適化の信頼性、合成樹脂、Vol.35, No.9(1988), p46-50,
- 3) 田中、鴨下、松田、小池、矢野：プラスチック製品品質制御システムの開発に関する研究、国立研究機関技術開発研究事業成果普及発表会、計量研究所(1988)

国際会議発表

- 1) M.Koike: Quality Designing System for Industrial Process, Proc. of Workshop on Measurement Technology for Industrial Advancement, Asia Science and Technology Congress-'88, APMP, Soul, p49-58(1988)
- 2) M.Koike, T.Kamoshita, J.Matsuda: Designing System of Measurement and Production process for Quality, Proc. of IMSQC, Metrology for Quality Control in Production, Peking, (1989)
- 3) K.Tanaka, M.Koike, T.Kamoshita, J.Matsuda and H.Yano: CAMPS, A System for Designing a Production Process, Proc. of Design Productivity International Conference, Honolulu, p721-726, (1991)
- 4) M.Koike, T.Kamoshita, J.Matsuda, K.Tanaka, Z.Miyagi and H.Yano: A Total Quality Design System-CAMPS -An Application of Taguchi Methods-, Proc. of International Conference on Engineering Design, The Hague, p906-913(1993)
- 5) M.Koike: Taguchi Methods for Calibration Systems - A New Japanese Industrial Standard, Proc. of Measurement Science Conference, Anaheim, (1992)
- 6) M.Koike and H.Yano: CAMPS and Metrological Design , Indo-US-Japan Conference on Engineering Design, Bangalore, (1993)
- 7) M. Koike, H. Ishida and H. Yano; "Utilizing a statistical method in measurement uncertainty in Rockwell hardness test", Proceeding of 6th International Conference on Industrial Metrology,

p391-400 (1995)

規格

- 1) JIS Z 9090-1991 測定－校正方式通則、(財)日本規格協会(1991)、規格

解説

- 1) 小池、矢野: : 三次元測定器による測定の教育・訓練、精密機械、Vol.44, No.10(1978), p1230-1234
- 2) 小池: S N比による測定方法の評価について、計量管理、Vol.28, No.8(1979), p412-417
- 3) 矢野 宏、小池昌義、杉山昭: 成形加工におけるオンライン計測管理、計量管理、Vol.31 No.11(1982), p653-661,
- 4) 小池: 生産活動における計測の利用、精密工学会誌、Vol.52, No.5(1986), p798-800
- 5) 小池昌義: 計測システムの設計－計測設計の提案－, Q & A ジャーナル, 1994年1月号、p8-13, (1994)
- 6) 小池昌義、今井秀孝: 計測における不確かさの評価と表記の方法－ ISO 不確かさ表現ガイドを中心に－、計測と制御、Vol.34, No.8(1995), p646-653
- 7) 小池昌義: 特集: 計測の信頼性(不確かさ)評価方法、計量管理、計量管理協会 Vol.46, No.6(1997)
- 8) 小池昌義: 計測における不確かさの評価と表記の手順、計測と制御、Vol.37, No.8 (1998)、p312-317

単行本

- 1) 田口編: 測定法の改善と測定誤差の評価、測定法委員会、日本規格協会 (1979)
- 2) 矢野編: 経営者・管理者のための計測管理、中小企業のための生産工程における計測誤差解析調査研究委員会、日本規格協会 (1982)
- 3) 田口編: S N比による計測方法の評価と管理、測定法委員会、日本規格協会 (1987)
- 4) 吉沢編: 品質評価のためのS N比、品質工学講座3巻、日本規格協会 (1988)
- 5) 矢野編: 計測設計、計量管理の設計技術調査研究委員会、日本規格協会 (1988)
- 6) 田中、鴨下、矢野監修: パソコンによる生産データの効果的利用法、工業調査会(1990)
- 7) 矢野編: 品質工学事例集 計測編、品質工学講座7巻、日本規格協会 (1990)
- 8) 田口編: 校正方式マニュアル、J I S 原案作成委員会、日本規格協会 (1992)
- 9) 今井秀孝編: 「計測の信頼性評価－トレーサビリティと不確かさ解析－」、日本規格協会(1996).
- 10) 飯塚幸三監修: ISO 国際文書 計測における不確かさの表現ガイド 統一される信頼性表現の国際ルール、(財)日本規格協会(1996)