

都崎雅之助 編集

現代経営工学全書 9

計測管理

富沢 豁著

森北出版株式会社

富沢 豁 著

計測管理

森北出版株式会社

著 者 略 歴

富 沢 裕

- 1935年 東京大学理学部物理学科卒
海軍航空技術廠勤務，海軍技師，海軍技術士官
(航空計器・無人航空機・完全自動操縦の研究)
- 1947年 昭和電工鶴川工場研究課・技術課係長(技術
管理・計測管理・品質管理)，同本社企画課長，
技術課長
- 1953年 東京航空計器廠取締役，研究所長・工場長
- 1957年 東京大学工学部講師
- 1959年 慶応義塾大学教授(工学部，計測工学科)
この間通産省産業合理化審議会・航空機工業審
議会，運輸省航空審議会，科学技術庁電子技術
審議会等の委員・専門委員，その他計測自動制
御学会，計量管理協会等の理事を歴任。
- 現住所 神奈川県鎌倉市小町2丁目20番5号
電話 鎌倉 0467 (22) 3771

計 測 管 理

© 富沢 裕 1975

1975年1月25日 印刷発行

定価はカバー・ケース
に表示してあります。

著者との協議
により検印は
廃止します。

著 者	とみ	さわ	ひろく
	富	沢	裕
発行者	森	北	常雄
印刷者	鈴	木	民男

発行所 森 北 出 版 株式 会社 東京都千代田区神田小川町3の10
電話 03-292-2601 (代) 〒101
振替 東京 34757
分室・営業部 東京都千代田区富士見1-4-11
電話 03-265-8341 (代) 〒102

日本書籍出版協会・自然科学書協会・工学書協会 会員

落丁・乱丁本はお取替えいたします

印刷 玄真社/製本 司巧社

3350-7859-8409

Printed in Japan

ま え が き

ある絵の上手な画家が問に答えていうには、「誰でもよく知っている馬や犬を描くことはむずかしいが、誰も見たことのない神様や悪魔を描くことはやさしい」と。これはおもしろい小話である。われわれが常識的によく知っていると思っている日常の事象を、科学的に正確に理解し認識することはきわめてむずかしいのである。企業経営の実態をはなれて、概念的でいい加減な姿を無責任に描くことはやさしい。しかし、現実の態様を正確に分析調査したり、その望ましい真の姿や成績を科学的に合成し実現することは、立派な絵を描くのにも通じて誠にむずかしい仕事である。

計測は、いろいろと複雑な事象の真の姿を描くための科学的な方法手段となるものである。計測は、あらゆる科学技術の調査研究の方法手段となっているばかりでなく、近代的な企業経営の科学的方法手段の基礎となっているものである。

計測が企業の経営管理やオートメーションにとって、きわめて重要であることは、多くの人々によって認められるようになった。しかし、計測管理ということの意味や重要性については、あまり理解され認識されていないのではあるまいか。計測管理の問題としては、大別すると、計測の科学技術的方法手段に関するものと、計測目的や計測対象に関するもの、さらに計測の導入と計測結果に関するものとある。本書では、前者の計測制御技術や機器に関する各論的な事項については、多くの図書が取扱っているので割愛し、主として後者の諸問題について論述することにした。

著者は昭和10年以来、計測制御機器の研究と製造、機械工業および化学工業における計測制御の導入と経営管理の合理化、計測制御に関する教育指導など、それぞれ10年以上今まで30数年間にわたり、計測ならびに計測管理関係の業務に実際に従事してきた者であるが、この間に学び、かつ感じ取ったことなどをここにまとめてみることにした。具体的に事例を挙げて説明したい事がらがたくさんあったのであるが、ページ数の制限もあって、残念ながら抽象的にまとめて表現せざるを得ないものが多かった。したがって、あ

るいは実際的な問題で苦しんだ経験の少ない人々にとっては、やや理解しにくい点もあるのではないかと恐れるのである。しかし、もし読者が実際の具体的な仕事や問題について、本書の各項の記述を詳細に対応させながら検討されるなら、必ずやいっそうの理解と問題解決の方策や指針をうることができるものと信じるのである。

鎌倉の寓居にて 著 者

目 次

1. 科学的方法と計測

1・1	計測の発展	1
1・2	科学的方法と計測	3
1・3	科学的管理法と計測	6
1・4	科学的認識と計測	10
(1)	調査対象の分析	11
(2)	計測対象とその特性(変数)の選定	11
(3)	計測化の実現(計量化)	11
(4)	計測結果の処理と総合	12
1・5	品質の科学的認識	13
(1)	調査対象(製品)の分析	13
(2)	計量対象とその特性の選定	14
(3)	計測化(計量化)	14
(4)	統計的処理(統計的認識)	14
(5)	分析結果の合成(総合)	15
(6)	調査対象の品質認識の完成ならびに合目的性の検討と評価	15
1・6	分析的計測と総合的計測	16
1・7	企業経営と計測	17
(1)	運転(作業)計測	18
(2)	管理計測	21
(3)	試験研究計測	22
1・8	計測と計測管理(計量的管理)	23
1・9	計測対象と計測特性	27
(1)	計測対象の選定	28
(2)	計測特性(変数)の選定	29
1・10	計測技術	31
1・11	計測化(計量化)	34
1・12	管理性と計測性	36

1・13	管理と制御	37
------	-------	----

2. 計測管理の進め方

2・1	計測管理の内容の検討	41
2・2	計測の導入の方針	43
(1)	作業者と計測の導入	43
(2)	技術者と計測の導入	44
(3)	経営管理者と計測の導入	44
2・3	計測の目的と計測事項の検討	45
(1)	生産活動における計測事項	45
(2)	経営管理活動における計測事項	46
2・4	計測化の準備	51
(1)	計測対象の選定ならびに整備	51
(2)	計測変数の選定	53
(3)	計測方法手段の選定	55
(4)	環境条件の整備改善	58
(5)	計測技術の調査研究	58
2・5	計測器の装備方式	60
(1)	計測対象との関連	60
(2)	計測器の種類方式との関連	60
(3)	作業の目的・方法条件との関連	61
(4)	環境条件との関連	63
(5)	計測器管理との関連	63
(6)	集中管理方式	64
2・6	計測作業の管理	72
(1)	計測目的からの検討	72
(2)	計測作業の合理化と標準化	74
(3)	計測作業の機械化、自動化	75
(4)	計測作業者の教育訓練	75
(5)	計測結果の処理	76
(6)	計測作業の審査と改善	76
2・7	計測結果の活用	77
(1)	計測目的の確認と計測計画ならびに計測結果の処理方式の検討	77

(2)	計測結果の活用の方針と制度	78
(3)	計測対象の管理性や制御性の検討	79
(4)	管理の機械化	80
(5)	計測結果の整理保管	80
(6)	計測結果の活用と成績の審査ならびに評価	81
2・8	計測器の管理	81
(1)	計測目的・計測対象に適合した計測方法手段の選定と整備	82
(2)	計測手段の信頼性の確保	82
(3)	資産価値の保全	82
(4)	計測制御機器の研究開発	82
2・9	計測管理の体系	82
(1)	計測のシステム	82
(2)	計測管理の体系	84
2・10	計測管理の組織および制度	86
(1)	計測管理の組織制度の必要性	86
(2)	計測管理の組織制度の特長	88
(3)	計測化の管理機能	88
(4)	計測制御技術および機器の管理	89
(5)	経済的管理の制度	90
(6)	教育訓練の制度	90
(7)	計測管理の審査制度	92
(8)	企業の組織制度の再編成と革新	93
(9)	計測管理の組織制度のあり方	95
(10)	計測管理の組織制度の例	97

3. 計測化の進め方

3・1	計測化の方針	104
3・2	計測化の方式	105
3・3	計測管理工程明細表の作成	106
(1)	計測管理工程明細表	106
(2)	計測管理工程明細表の作成要領	109
(3)	工程分類の仕方	111
(4)	工程図の作成	113

(5)	工程要素名の記入	119
(6)	工程要素の性能・規格などの記入	119
(7)	作業方法および条件の記入	120
(8)	計測番号および管理図番号等の記入	123
(9)	備考欄の記入	124
(10)	本表作成整備の組織制度	124
3・4	工程明細表の活用	124
3・5	生産工程における問題点の発見	127
(1)	計測の目的と意義	127
(2)	計測化の困難性	128
(3)	計測技術上の問題点	129
(4)	検査関係の問題点	129
(5)	製造作業上の問題点	130
(6)	原材料関係の問題点	131
(7)	生産設備における問題点	132
(8)	環境条件に関する問題点	133
3・6	工程明細表の例	135
3・7	計測精度の選定	136
(1)	要求精度	136
(2)	計測精度の要因	137
(3)	計測のコスト	137
(4)	計測精度の決定	137
3・8	計測化の管理	138

4. 自動化の進め方

4・1	自動化の意義と種類	139
(1)	システム（プロセス）方程式	143
(2)	計測方程式	143
(3)	偏差方程式	143
(4)	制御動作方程式	144
4・2	自動化の目的の選定	145
4・3	自動化の必要性の検討	146
(1)	前向き自動化方式の場合	147

(2) フィードバック自動化方式の場合	148
4・4 制御対象の調査解析ならびに改善整備	153
(1) 制御対象の工程変数および自由度	153
(2) 工程の自由度と自動制御化の関係	155
(3) 計測性の検討と改善	158
(4) 制御性の検討と改善	159
(5) 動特性の調査と改善	161
(6) 外乱の調査検討	163
4・5 自動化の範囲の検討	169
(1) 範囲の過大	169
(2) 範囲の過小	170
(3) 工程安定化の範囲	171
(4) 最適制御化の範囲	172
4・6 自動制御方式の選定	172
(1) 制御対象の種類に対応する自動制御方式	173
(2) 制御変数に対応する自動制御方式	173
(3) 自動制御系の種類	174
4・7 自動制御系の成績評価とその改善方策	178
(1) 自動制御系の制御成績	178
(2) 最適制御方式	179
(3) 目的関数	179
(4) 線形系と非線形系との比較	180
(5) 自動制御系の改善	181
4・8 機械的工程と装置的工程との比較	182
(1) 機械的工程の自動化	183
(2) 装置的工程の自動化	185
4・9 自動化の計画	186
4・10 自動化における問題点	187
(1) 自動化の対象となるシステム	187
(2) 自動化の対象となる人間の直接作業	188
(3) 自動化の対象となる人間の間接作業	194

5. 近代的な科学的経営と計測管理

5・1	近代的な科学的経営	200
5・2	品質管理と計測管理	205
(1)	管理の目的方針と管理項目の選定	206
(2)	管理項目の計測化	210
(3)	管理方法および手段	216
(4)	管理結果の評価と改善	229
5・3	安全管理と計測管理	229
(1)	安全とは	230
(2)	安全の科学的管理法	230
(3)	予防的管理	232
(4)	管理項目の調査選定	233
(5)	管理項目の計測化	235
(6)	安全管理の経済性	237

6. 計測制御機器の管理

6・1	計測器管理の体系	238
6・2	計測制御機器の調査選定	240
5・3	計測制御機器の研究開発	240
6・4	計測制御機器の購入	241
6・5	資 産 管 理	242
(1)	保管の方法条件	243
(2)	出納的管理	243
(3)	保全的管理	244
6・6	検査および検定	244
(1)	検査および検定の種類	245
(2)	検査および検定の方法	245
(3)	検 定	251
(4)	検査の作業要領	252
(5)	検査検定設備の管理	252
6・7	使用の管理	253

(1) 使用取扱法	254
(2) 使用中の点検保守	254
6・8 補修整備および装備	254
(1) 補修整備	254
(2) 装 備	255

1. 科学的方法と計測

1・1 計測の発展

科学技術の進歩や社会経済の発展に伴って、計測も急足に進歩発展している。これはけだし、計測はあらゆる科学や工学の調査研究における基礎的方法手段になっており、さらにあらゆる産業・通信・運輸・商業等における科学的経営や生産活動などの基礎的要件ともなっているためであろう。科学技術の実証的な調査研究は計測をなくしては全く不可能になるといってよい。科学技術の進歩は、その一分科である計測制御技術を開発進歩させているが、また逆に計測方法手段の開発進歩は一段と科学技術の進展を助成しているのである。このことは科学技術の進歩の歴史が証明している。

また科学技術や企業経営の諸活動が高度なものとなればなるほど、計測の重要性は急激に増大してくるものである。たとえば高能率な精密機械加工、複雑微妙な化学反応工程の操業、危険な原子炉の安全運転、巨大な船舶や航空機もしくは高速交通運輸機器の安全操縦、宇宙航行体の遠隔制御、さらに高度の品質管理など、精巧な計測制御の技術なくしては全く実現不可能である。このことはこれらの近代的な設備の費用に占める計測制御機器の費用の割合がしだいに増大しつつあることよりも明らかである。

計測は歴史的には人間の素朴な感覚機能に関連して発明工夫されてきた。とくに視覚に訴える物理量、すなわち長さ・大きさ・角度・形状・明暗・色などの計測が取り上げられた。次に重量・容積・力・面積・圧力・速度・加速度・角速度・物体や天体の運動など、力学に関する物理量が計測されるようになり、さらに振動・音・光・熱・電気・磁気・化学に関する諸量が計測されるようになった。これらの計測技術の進歩は、その母体である科学や技術を著しく進歩させたのである。そしていまや計測技術は、人間の感覚機能の単なる補助的手段の域に止まっているものではなく、むしろ人間の感覚能力の全く及ばない現象の領域にまで進展しつつあるのである。質量や大きさの測定にしても、細胞・分子・原子・原子核・電子・素粒子のような極微

小の測定まで可能となり、また一方巨大な天体や宇宙空間の測定へと進みつつある。音にしても聴覚を超越した超音波、光にしても視覚の範囲を越えた赤外線・紫外線、さらにX線・電磁波をも計測しうようになり、またこれらの方法手段を計測技術はもちろんその他の科学技術に利用しつつあるのである。

また最新の傾向として、計測技術は基礎的な物理量の測定や化学分析から、総合的な現象の測定や品質の分析・評価・判定などに発展しつつある。そして科学技術の問題や経営管理の対象が複雑深遠となるにしたがって、計測技術や制御技術はいよいよ複雑となり、しかも総合的な事象の測定評価の体系を科学的に造りあげなければならない段階に立ちいたっている。たとえば企業の経営状態・生産能率・安全衛生状態・原価・製品や原材料の品質・設備の機能・工程の状態などに関して、分析とともに総合の評価判定をすることが重要で緊急の課題となりつつある。すなわち計測は従来主として事象の分析に利用されてきたのであるが、いまやこれは事象の科学的な合成、総合的な評価判定にまで進展しようとしているのである。これには今後電子計算機等が大いに利用されることになろう。しかし、この総合的な計測の実現には後述するようないくつかの困難な問題が存在している。

さらに最近のもう一つの傾向は、計測が制御もしくはオートメーションへと発展しつつあることである。科学技術の進歩と経済の発展により、生産活動が活潑となり、生産量の増大とともに生産速度、生産能率の向上が必要となり、しかも加工精度や品質の安定向上が要求され、さらに製造原価の低減も要請されるのである。そしてこれらの要求は通常の人間の能力をもってしてはもはや遂行できないような程度にまで達している。また労働作業条件や環境条件が人間の労働に全く不適當であるか、あるいは人間の能力では全く実施不可能な場合も多く現われてきた。一方調査研究の問題や経営管理の対象がますます複雑困難なものとなり、従来よりいっそう人手と教育訓練を要する状態となってきた。しかるに労働人員には量的にも質的にも限界が見えてきた。以上のような事情のもとに、生産活動や経営管理活動の機械化もしくは自動化が必然的な要請となってきたのである。計測制御はこの自動化の基礎的要素である。

このように計測は人間の科学的な諸活動の補助的な方法手段となっていた段階から、その基礎的な方法手段となるにいたり、さらに人間の主体的活動であった目的の科学的な追求とか、方法手段の調整、結果もしくは効果の評価判定などを含む管理活動までも、自動的に遂行するような段階へと進みつつあるのである。

1・2 科学的方法と計測

近代文明は科学の生んだ歴史的結晶であるといえよう。この輝かしい結晶を生成した科学を、これまでに進歩発展せしめてきた根本的なものはなんであろうか。それにはいくつかの要素があろうが、その主要なものの一つは人間の叡知に基づく自然科学的方法の原理であると断言したい。この優秀な自然科学的方法の最も基礎的な要素は客観的認識法であり、実証論的な調査研究の態度である。計測はまさにこの科学的認識法の欠くことのできない要具なのである。

科学はみずからの光で輝き、前途を照し、みずからの力で進歩発展するもののように見える。これは科学の持つ天賦の力であり、徳であるといえよう。科学することの出発は客観性の認識にあり、計測分析はこの客観的認識の方途なのである。科学がみずから光を放ち、自分の進むべき道を照らし、みずから自分の発展を推進せしめうるゆえんのもの、計測分析という客観的な認識の方途をみずから持っているからである。計測が科学に光を与え、これを進ませ、また科学が計測技術を生み育ててきたのである。計測は科学に内蔵されているところの本来の要素であり、発展の力である。

新しい計測が発明され、可能となったところには、常に科学の進歩があり、文明の発展が生まれるのである。調査研究の対象が実際に計測の対象となり、この計測が可能となったときは、その問題の扉はもはや半ば開かれたのである。

科学はこのように「科学的方法」を自己の生命発展力として持っているのである。いい換えると、科学的方法が科学に、科学としての基礎を与え、また科学性や客観性を保有させ、さらに合理性や信頼性を与え、科学をいっそう進歩発展させるのである。科学的方法はもともと自然科学における調査研

究の方法であるが、その妥当性と有利性は、科学やその応用の進歩発展の事実と歴史を見れば明らかである。科学的方法として最も基本的なものは、正しい論理に従って合理性を追求し、さらにこれに客観性を与えるために実証を求めようとする実践的な態度を保持していることである。すなわち調査研究の対象を客観的に認識する方法手段として、分析・計測または観測を行ない、この実証的な結果と適当な基準とを比較検討し、正しい論理に従って結論を導き出し、さらにその結論を実際に証明するために実験し、または実際の分析測定した結果を有機的に総合して結論の合理性を証明するという方法である。これを要するに、科学的方法是簡単というならば、実証的な分析や計測もしくは観測と、その結果の有機的かつ論理的な総合とから成っているといっていよい。したがって、計測は科学的方法の基本的な要素である。科学的方法において計測を無視するならば、それは客観性を失ない、いわゆる非科学的なものになってしまう。計測は実在する真実を正しく認識するための実証的な方法手段である。

この実証的な科学的方法是、学問としての科学技術の調査研究ばかりでなく、きわめて多くの分野の問題の追求と解決に利用されるようになり、実際に効果をあげつつある。これがたとえば企業の経営管理に応用されて、いわゆる科学的経営管理となり、近代的企業の発展に寄与しているのである。近代的企業の経営から計測を、したがって、科学的方法を取り去って、果して経営が成り立つであろうか。もちろん企業にはいろいろの種類があり、その経営の方法にも種々のものがある。しかし、少なくとも生産を業としている工鉱業・農業、あるいはその製品を取引する商業、その他自然科学に関係する物件を取り扱う土木建築・運輸通信・医業などの諸企業の経営活動は科学的方法手段をますます重要視してゆくであろう。科学的経営管理といっても、いまだ論理的体系や概念的合理性を重視するに止まり、実証的な調査検討の不十分な段階にあるものもある。

計測は科学技術の基礎であるが、一般の人々は科学技術の外面的な体系や、輝かしい結果だけに注目して、その裏にある地味な計測の重要性に気がつかないことが多い。あたかも人間の日常の活動において、人間の計測機器である眼や耳の重要性にことさらに注意を払うことのないのと同様である。

人間は眼や耳のほかに身体に至るところに無数の感覚機能を持っている。いったんこの機能が悪くなったり、なくなったりしたならば大変なことになるであろう。計測はまさに企業の科学的な感覚器官である。企業が科学的に高度なものであればあるほど、科学的な計測を必要とし、計測を基礎とする科学的方法を活用して経営されなければならないのである。

オートメーションはこの科学的経営管理法を機械化、もしくは自動化したものである。計測は当然、このオートメーションの基礎であり、主要素である。しかしながらオートメーションのように社会的ににぎやかに喧伝される言葉ができて、なお計測という言葉を知らず、あるいはその重要性を理解していない人々も多いのである。これは前にも述べたように、計測はあまりにも科学技術の地味な基礎であり、はなやかな科学技術の姿のかげに隠れて、特に注意しなければ眼に見えないためであろう。しかし、いまや計測はこのような認識の程度のまま放置されてはいけないと思う。計測は科学技術の発展のためにも、科学的経営管理の進展のためにも、いっそうの進歩を必要とし、多大のエネルギーを注入して調査研究が推進されねばならないからである。計測は後に述べるように、いくつかの難問題をかかえている。計測はすべての科学技術の基礎であるとともに、科学技術の一つの特異な分野である。すなわち計測は特異性のある専門科学であり、専門技術である。これは基礎的な物理学や化学の原理に基づいて考案されるとともに、計測の無数の種々様々の対象と、その状態や条件に適応しなければならないものである。種々の企業、様々の製品に関する複雑な生産活動・品質管理・安全管理等の科学的方法は計測により合目的に構成されなければならない。

人間は輝かしい科学技術を創成した動物である。この意味では人間は最も優秀巧妙な科学機械であるといえるであろう。しかし、一方人間は非科学性を持っている。人間は人間によっても、所によっても、また時によっても異なる性質を持つことができ、良い意味でも、悪い意味でも協調性・政治性・妥協性などを持ち、また意識的にも無意識的にも環境条件により微妙な影響支配を受け、さらに感情とか疲労などによって意志や注意力が変動し、確実性と信頼性にかけるところがある。このような人間性は科学的方法と両立しないことがしばしばある。良い教育訓練を受けた人間性や、貴重な経験や直