

〔新版〕 保全マニュアル 〔計装編〕

〈新版〉
保全マニュアル
【計装編】

 日本メンテナンス工業会

編 纂 委 員 会

「計装保全マニュアル ワーキンググループ」

- | | | |
|-----|-------|----------------------------|
| 委員長 | 田村 純 | 三興コントロール 株式会社 |
| 委員 | 石井 昭和 | 三菱化学エンジニアリング 株式会社 |
| 委員 | 大野 謙次 | 富士電機システムズ 株式会社 |
| 委員 | 小林 聡 | 横河電機 株式会社 |
| 委員 | 柴 誠一 | 株式会社 山武 アドバンスオートメーションカンパニー |
| 委員 | 中野 兆志 | 旭テクネイオン 株式会社 |
| 委員 | 藤田 宗宏 | 三井化学エンジニアリング 株式会社 |

(五十音順)

序 FOREWORD

日本メンテナンス工業会は、メンテナンス業界の地位の向上、人材の確保と育成、メンテナンス技術の向上、および業界各企業の経営基盤の確立を目的として、1990年10月1日に設立されました。

当会では、メンテナンスにかかわる方々の技術・技能を高める取組として保全マニュアルの機械編、電機編、計装編などのマニュアル類のほかに、各委員会の活動成果報告書などを出版しています。

これらの出版物の中で、保全マニュアル「計装編」は1995年1月の発刊以来10年を経過し、改訂版発行の希望も多く寄せられたため、会員企業の皆様にお願ひし改訂版編纂の委員会を編成しました。

委員会の編成にあたっては、保全マニュアル「計装編」がユーザー系の企業の方にも広くご利用いただいていることを考慮して、サービス企業はもちろん、ユーザー系企業にも参画をお願ひし、2004年5月に「計装保全マニュアルワーキンググループ」委員会を編成し、このほど発刊のはこびとなりました。

本書、〈新版〉保全マニュアル【計装編】は、サービス技術者はもちろん、ユーザー系の技術者にも広くお使いいただけるように編集しております。

本書が、計装に従事しています多くの技術者の皆様にお役にたてれば、幸いに存じます。なお、今回の委員会を編成するにあたり、委員を派遣いただきました会員各社に心から御礼申し上げます。また、執筆を担当いただきました委員の方々には、大変お忙しい業務の中にもかかわらず熱心に編纂に取り組んでいただき厚く御礼申し上げます。

2005年6月

日本メンテナンス工業会

はじめに PREFACE

本マニュアルは、計装保全業務の入門書あるいは社員研修用テキストとして発刊してから早10年の歳月が流れました。その間には社会環境の変化、計装技術の進歩と、本マニュアルを見直す必要にせまられ、今回全面的に改訂刷新しました。

また、ハンドブック化の要求から携帯に便利で丈夫なA5判としました。

計装はこれから日々進歩し、装置産業のコアな技術になることは疑う余地はありません。その対象分野もますます拡大すると確信しています。

編集にあたり、次の項目を主眼におきました。

- 1) 初級～中級までの保全技能・技術者を対象とした。
- 2) 文章は平易に、センテンスを極力短くした。
- 3) さらに図・表・写真を豊富にし、内容を直観的に理解できるようにした。
- 4) でき得る限り最新の技術を取り入れた。
- 5) 辞書的使用ができるように新たに索引をつけた。

限られた紙面の内で必要最小限度の項目を入れたために、不十分な部分もあるかと思いますが、今後も本マニュアルの発展のために皆様からの建設的なご意見を提案いただけますよう宜しくお願い申し上げます。

なお、執筆、情報提供などのご支援をいただきました関係各方面の機関の皆様、企画・編集・発刊にあられたWG委員、事務局の皆様にご心から感謝の意を表します。

三興コントロール株式会社 田村 純

目次 CONTENTS

第1章 計装とは

1.1 自動制御の効果	1
1.2 計装化の目的	1
1.3 計装の範囲	2

第2章 基礎

2.1 計測	3
2.1.1 計測の目的	3
2.1.2 量と単位	3
(1) 単位	3
(2) SI単位系	3
2.1.3 測定方式	7
(1) 直接法と間接法	7
(2) 絶対測定と比較測定	7
2.1.4 測定の誤差と不確かさ	7
(1) 誤差の原因	8
(2) 校正の考え方	8
(3) 誤差の種類	10
(4) 精度	11
(5) 有効数字	12
2.1.5 計測器の構成	13
(1) 計測の方法	13
(2) 測定の手段	14
(3) 計測器の機構	15
2.1.6 計測器の動作	15
(1) 動特性と静特性	15
2.1.7 計測器の信頼性	16
(1) 器差	16
(2) 安定性	17
2.2 制御	17
2.2.1 プロセス制御とは	17
2.2.2 手動制御と自動制御	17
(1) 手動制御	17
(2) 自動制御	18
2.2.3 フィードバック制御	18
(1) 閉ループ	18

(2) 開ループ	19
2.2.4 制御方式	19
(1) 制御の対象による分類	19
(2) 目標値の時間的性質による分類	19
(3) 二つ以上の制御系の組み合わせによる分類	20
(4) 操作エネルギー源による分類	23
(5) その他の制御手法/方法	23
2.2.5 計算機制御	25
(1) アナログ制御とデジタル制御	25
(2) 計算機制御	25
(3) 分散形制御システム (DCS)	26
2.2.6 制御系要素の特性	27
(1) 各要素	27
(2) 伝達関数	31
2.2.7 制御動作	35
(1) [比例] 動作 (P 動作)	35
(2) [比例+積分] 動作 (PI 動作)	38
(3) [比例+微分] 動作 (PD 動作)	40
(4) [比例+積分+微分] 動作 (PID 動作)	41
(5) オンオフ動作 (二位置動作)	41
(6) 非線形制御動作	42
2.2.8 プロセス制御の実際	43
(1) 温度制御例	43
(2) 流量制御例	44
(3) 圧力制御例	44
(4) 液面制御例	44
2.2.9 最適調整	45
(1) 制御の安定性	45
(2) 最適調整法	46
2.2.10 信号の伝送	48
(1) 信号の変換	48
(2) 信号の種類	48
2.3 計装	51
2.3.1 計装の計画と安全について	51
(1) 計装の計画	51
(2) 安全について	51
(3) 安全計装	53
2.3.2 信頼性, 保全性, アベイラビリティ	55
(1) 信頼性, 信頼度	55
(2) 信頼度関数と故障率	55

(3) 故障率のパターン	57
(4) 保全性, 保全度	58
(5) MTTF, MTBF, MTR	58
(6) アベイラビリティ	58
(7) 計算例	58
2.3.3 システムの信頼度と冗長設計	59
(1) 直列モデル	59
(2) 並列モデル	60
(3) その他の冗長系	60
2.3.4 計装用記号	61
(1) 適用範囲	61
(2) 記号の種類	61
(3) 基本記号	61
(4) 詳細記号	63
(5) 基本記号の使用例	70
(6) 詳細記号の使用例	71
(7) 日本計装工業会規格による図記号	72
2.3.5 計装用図面	78
(1) 工場配置	78
(2) 計器室内配置	79
(3) 計装電源, 空気源系統	79
(4) 全体フロー	81
(5) 計装フロー	81
(6) P & I (Piping & Instrument)	84
(7) ループ図	85
(8) フックアップ図	85

第3章 設備概要

3.1 工業計器	87
3.1.1 工業計器概説	87
3.1.2 工業計器の歴史	88
3.1.3 工業計器の基本構成	88
(1) 検出部 (検出群, 変換器)	89
(2) 受信計 (パネル計器)	89
(3) 操作端	89
(4) プロセス用監視制御システム	89
(5) 計装パネル (計器盤), 操作盤	89
(6) フィールドネットワーク	89
(7) 補器類	89
3.1.4 工業計器概要	90

(1) 検出部	90
(2) 受信計 (パネル計器)	90
(3) 操作端	91
(4) プロセス用監視制御システム	92
(5) 計装パネル (計器盤), 操作盤	92
(6) フィールドネットワーク	93
(7) 補器類	93
3.1.5 検出部	95
(1) 温度計	95
(2) 流量計	118
(3) 液面計	134
(4) 圧力計	142
(5) 成分計	160
3.1.6 パネル機器	179
(1) パネル機器一覧表	179
(2) 指示計	180
(3) 調節計	181
(4) 記録計	186
(5) 補助機器	189
(6) パネル計器のメンテナンスのポイント	206
3.1.7 プロセス用監視制御システム	207
(1) 計装システム	207
(2) プロセスコンピュータシステム	208
(3) 分散形制御システム (DCS)	208
(4) 安全計装システム	213
(5) PLC計装システム	216
(6) シングルループコントローラ	218
(7) PC計装システム	220
(8) 計装制御用ソフトウェア	220
3.1.8 フィールドネットワーク	222
(1) 工業計器のハイブリッド化	222
(2) FOUNDATION Fieldbus	224
(3) PROFIBUS	231
(4) HART	232
(5) DeviceNet	232
(6) LonWorks	234
(7) CC-Link	235
(8) プラントネットワークセキュリティ	235
3.1.9 操作端	237
(1) 調節弁の分類	237

(2) 調節弁本体部の種類	239
(3) 調節弁駆動部の種類	245
(4) 付属機器	258
(5) 調節弁の構造	262
(6) 調節弁の材料	270
(7) 調節弁の選定	271
3.1.10 計器盤	278
(1) 盤の種類	278
(2) 盤の保守点検	280
3.2 計装工事設計	285
3.2.1 計装工事設計の計画	285
(1) 計器配置図および配管配置図	285
(2) 要領図	286
(3) 接続表	296
(4) フィールドバス	296
3.2.2 計装用動力源	300
(1) 計装用電源	300
(2) 計装用空気源	306
3.2.3 計装信号	318
(1) 電気信号	318
(2) 空気信号	327
(3) 光信号	327
3.2.4 防爆	329
(1) 危険場所の分類	330
(2) 防爆構造	331
3.2.5 接地 (アース)	333
(1) 目的	333
(2) 接地抵抗値	333
(3) 接地線の太さ	333
(4) 接地の方法	334
(5) 静電接地	335
3.2.6 計装配管	336
(1) 導圧配管工事	336
(2) 分析計サンプリング配管	349
(3) ねじ接続	349
3.2.7 計装用材料	353
(1) 電気材料	353
(2) 配管材料	367

第4章 保全管理

4.1 保全	375
4.1.1 保全の目的	375
4.1.2 設備保全	375
(1) 保全の種類と設備保全	375
(2) 保全方式	376
(3) 生産保全の体系	377
4.1.3 TPM	378
(1) TPMの定義	378
(2) TPMのねらい	379
(3) TPMの展開	379
4.1.4 保全の考え方	379
(1) 適正保全	379
(2) 保全のPDCA	381
(3) 保全の重要度ランク	382
(4) 設置環境	382
(5) 保全の3要素	383
(6) 保全管理	383
4.1.5 故障の性質	384
(1) 故障解析	384
(2) 故障モードと故障現象	384
(3) 故障メカニズム	385
(4) 有寿命品の劣化故障	387
(5) 故障の修復	387
4.1.6 設備点検作業	388
(1) 日常点検	388
(2) 巡回点検	391
(3) 定期点検	391
(4) オーバーホール	392
4.1.7 プラントにおけるヒューマンエラー	392
(1) ヒューマンエラーの事件事例	392
(2) ヒューマンエラーの発生要因	393
(3) ヒューマンエラーの事例分類	393
(4) ヒューマンエラーを防ぐには	394
4.2 保全組織	395
4.2.1 生産活動における部門間の関係	395
(1) 生産部門	395
(2) 検査部門	395
(3) 保全部門	395
4.2.2 保全組織編成の考え方	395
(1) 保全組織編成及び運営の留意事項	395
(2) 保全に関する生産部門と保全部門の役割	396
(3) 保全組織の形態	396
4.2.3 計装保全の組織	397
(1) 計装保全作業の分担	397
(2) 計装保全要員とその組織	397
4.3 保全管理システム	398
4.3.1 保全管理のサイクル	398
(1) 保全管理のサイクル	398
(2) ライフサイクルと保全	398
(3) 保全作業	398
(4) 保全作業の担当区分	400
4.3.2 EDPSを中心とした保全管理システム	401
(1) 設備保全情報	402
(2) システム化のねらい	402
(3) システムの構築	404
(4) システムの構成	406
4.3.3 保全効果の評価	406
(1) 保全要員に関する指標	406
(2) 設備の信頼性に関する指標	408
(3) 保全費に関する指標	409
4.4 保全計画	410
4.4.1 保全計画とは	410
4.4.2 保全計画の重要性	410
4.4.3 保全計画の基本	410
4.4.4 保全計画の立案	412
(1) 保全計画の内容	412
(2) 保全計画の単位	415
4.4.5 保全計画の種類	416
(1) 期間による分類	416
(2) 性格による分類	417
4.4.6 保全計画表の内容	419
(1) 機器計画表	419
(2) 工事計画表(作業計画表)	420
4.4.7 保全計画に必要な諸要素	422
(1) 設備の点検検査作業	422
(2) 保全技術標準	423
(3) 資機材管理	424
(4) 工事管理	425

4.4.8 保全計画のEDPS	426
(1) 機器計画システム	426
(2) 工事計画システム	426
4.4.9 保全計画のメンテナンスと評価	427

第5章 保全の実務

5.1 測定器	429
5.1.1 一般	429
5.1.2 標準器と作業用測定器	429
5.1.3 トレーサビリティ	429
5.1.4 測定器の取り扱い	429
(1) 回路計	429
(2) 活線電圧電流計	429
(3) デジタル圧力計	430
(4) 直流標準電圧電流発生器	436
(5) 電圧電流発生器	438
(6) 6ダイヤル可変抵抗器	442
(7) 絶縁抵抗計	447
(8) 直流電位差計	451
(9) 重錘形圧力天びん	457
(10) デジタルマルチメータ	458
(11) 光ロステストセット	461
5.2 標準器	468
5.2.1 電気系標準器(校正器)	469
5.2.2 圧力系標準器	469
5.2.3 温度系標準器	471
5.2.4 計量標準供給制度(トレーサビリティシステム)	472
(1) 各種物理量のトレーサビリティの例	472
(2) 計量法とトレーサビリティ制度の用語解説	474
(3) 特定二次標準器などおよび校正周期	476
(4) 計量法トレーサビリティ制度のスキーム	478
(5) 計量標準供給システム	478
(6) 校正証明書/試験・校正成績の例	479
5.3 工具と材料	480
5.3.1 一般	480
5.3.2 工具と材料の名称と使用法	480
(1) 測定用工具類	480
(2) 電気関係工具類	481
(3) 配管関係工具類	481

(4) ネジ類締付工具類	481
(5) 固定・移動用工具類	481
(6) 工作用工具類	481
(7) その他の工具類	481
(8) 薬剤・資材類	481
5.4 試験・検査	496
5.4.1 一般	496
5.4.2 検査の実際	496
(1) 納入品受け入れ	496
(2) 各機器の据付け状態	496
(3) ピットやダクト内への配管・配線	496
(4) 動力源	496
(5) 導圧配管	497
(6) 供給空気配管	497
(7) 信号空気配管	497
(8) 配線	498
5.4.3 動作試験	498
(1) 適用範囲	499
(2) 計装品単体動作試験	499
(3) 単品機器の単体動作試験	499
(4) システム機器の単体動作試験	500
(5) 計装品総合動作試験(総合ループテスト)	502
(6) 計器室内ループテスト	507
(7) 総合ループテスト	510
(8) シーケンステスト, インタロックテスト	515
(9) パラメータの設定	525
(10) 調節弁の単体動作試験と検査	529
5.5 試運転	529
(1) 試運転準備	533
(2) 他部門との調整	533
(3) 試運転立会	533
(4) 運転指導	533
(5) 完成図書の整備	533
5.6 整備実務	533
5.6.1 日常点検	534
(1) 共通留意事項	534
(2) 個別機器の点検	534
5.6.2 定期オーバーホール	535
(1) 共通留意事項	541
	541

(2) 個別機器のオーバーホール	543
5.7 故障診断	545
5.7.1 計装システム・機器の故障診断	545
(1) 一般	545
(2) 故障診断の手順	546
(3) 故障診断の進め方	548
5.7.2 故障診断の実際	553
(1) 計装ループの故障診断	553
(2) 単品機器の故障診断	554
(3) システム機器の故障診断	557
5.8 計装機器の取付け, 取外し	561
5.8.1 一般	561
5.8.2 差圧式流量計用絞り機構	562
5.8.3 温度計	566
5.8.4 面積式流量計	569
5.8.5 容積式流量計, 電磁流量計	569
5.8.6 ディスプレースメント式液面計	570
5.8.7 圧力計	575
5.8.8 調節弁	577
5.8.9 使用資材一覧	580
(1) 取り外し・取付けに必要な工具	580
(2) 保護具	580
(3) その他	580
(4) 腐食対策	580

第6章 教育

6.1 計装技術の位置付け	581
6.2 計装技術者に求められること	581
(1) 計装技術者の使命	581
(2) 計装技術者の素養	582
6.3 計装技術者に対する教育計画(例)	582
(1) 全般	582
(2) 計装部門内教育	582
(3) 計装部門外教育の受講	584
(4) 教育の実行・管理	585
6.4 関連部門に対する計装教育(コミュニケーション)	587
(1) プロセスや装置機器の技術者との相互教育(コミュニケーション)	587
(2) 運転員への計装教育	587

第1章 計装とは

計装という用語は1950年代にわが国に伝えられたInstrumentationの訳語であって、その本来の意味は機械や工業装置をより正確に効率的に運転するために、各種の計測・制御装置を装備する事であったが、その後の工業技術の進歩発展に伴って、計測類の監視及び運転操作が人に代わって自動制御装置によって行われるようになるにつれて、その意味も発展的に変化してきた。

それではどのような量が計測され、制御されているかという次のような量である。これは物理量、化学量を問わずプロセス量としてとらえている。

1. 製品の品質と量
2. 原料, ユーティリティ (Utility) の量
3. プラントの状態をあらわす量
4. 環境条件の変化をあらわす量
5. 安全等をチェックする量
6. 直接生産には関与しないが計測を必要とする量

1.1 自動制御の効果

次に自動制御を行った場合の効果は、その自動制御を行った目的が何であるかによって効果は異なってくるが、一般的なものを挙げれば次のとおりである。

1. 製品の品質が均一となり、もしくは向上する。
2. 歩留りが向上する。
3. 作業員の労力を減らす。
4. 作業員の熟練を必要としなくなる。

1.2 計装化の目的

現在の工業プロセスに対する計装の目的は極めて多様であり、自動制御の効果に加えて具体的には次のような内容に列挙できる。

- ・製品の品質の維持・向上ならびに均一化
- ・生産性(コスト・歩留り)の維持・向上
- ・省資源エネルギー
- ・省力と作業条件の改善
- ・事故防止と安全確保及び環境保全