

大規模な分散機器運用管理における課題と解決策

細川 武彦*, 相浦 利治, 高畑 泰志(三菱電機(株))

工場やプラント等においては、現在、新しい設備に対する投資額よりも設備の保守点検費用の比率が大きくなりつつある。これらの高い信頼性が要求される設備では、これまでの定期的保守から状態対応保守と呼ばれる機器の状態を基に保全を行うことにより保全費用を削減する試みが進められている。さらに、これら設備、機器の保守費削減を実現するためのオンライン監視、遠隔設備監視・診断等のサービスを行う管理センターへの要望が増大している。本稿ではこれらサービスを効率的に実現する上で必須となる機器保全技術の現状と動向について簡単に説明し、これら技術を効果的に適用するための課題と解決策をまとめ、実装について検討した結果を述べる。

Subjects and Solutions on Huge-Scale Distributed Equipment Management System

Takehiko HOSOKAEA, Toshiharu AIURA, Yasushi TAKAHATA

Information Technology R & D Center, Mitsubishi Electric Corporation

Recently, as for factories and plants, costs for maintenance such as inspections and exchange of equipment rise more than the introduction costs of new equipment. To reduce these costs, the maintenance policy changes from time-based to condition-based. And the demand for management centers that serve with online-monitoring, remote maintenance, diagnosis and so on is increasing. In this paper, the subjects and solutions to realize these new management centers are studied and the considered implementation is described.

1. はじめに

工場やプラント等においては、現在、新しい設備に対する投資額よりも設備の保守点検費用の比率が大きくなりつつある。これらの高い信頼性が要求される設備では、これまで定期的保守 (TBM : Time-Based Maintenance : 時間基準保全) と呼ばれる保全方法が主に用いられてきたが、近年の設備の大型化、複雑化、高速化に伴い、これら保全にかかる費用は膨大なものとなっており、新しく状態対応保守(CBM : Condition-Based Maintenance : 状態基準保全) と呼ばれる機器の状態を基に保全を行うことにより保全費用を削減する試みが進められている^{1),2),3)}。さらに、これら設備、機器の保守費削減のためにオンライン監視、遠隔設備監視・診断を行う管理センターへの要望が増大している。

管理センターの提供するサービスとしては次のようなものが要求される。

- 365日・24時間監視
- 効率化・トータルコストの削減
- 故障発生時の復旧時間短縮(MTTR 短縮)
- 予知保全による故障削減(MTBF 延長)

これらのサービスを効率的に実現するためには、設備・機器の保全技術や診断技術を効果的に適用する必要があり、大規模な機器の分散管理が必須となるが、管理対象となるシステム・機器・センサーの規模は数10万~数100万台規模となるため、現状のサーバやネットワーク機器等の管理を前提とした運用管理技術で対応することは極めて困難である。

本稿では、管理センターにおけるサービスを実現するために、遠隔から機器の監視・診断を行うための技術(以下、分散機器運用管理技術)について、その課題と解決策を検討する。

具体的には、2章においてこれらサービス実現する分散機器管理システムの構成、および必須となる保全技術や診断技術について簡単に説明する。3章では、これらの技術を効果的・効率的にシステムへ適用するために必要な課題について検討し、4章で課題を解決するための方式に関して述べる。最後に5章に今後の展開等についてまとめる。

2. 分散機器運用管理技術

2.1. 想定するシステム構成

ここでは、本稿で想定している分散機器運用管理システムの構成について述べる。

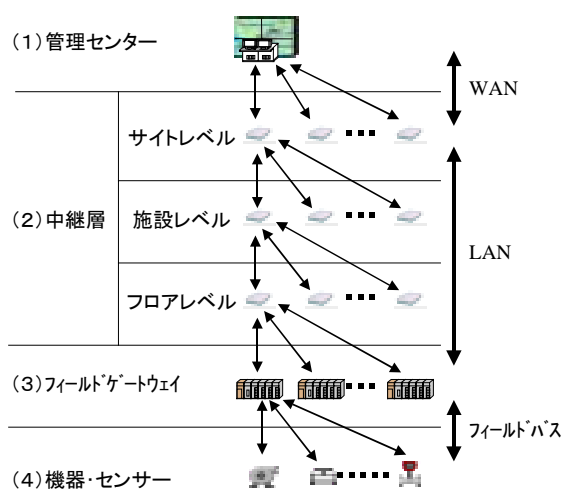


図1 分散機器管理システムの構成

分散機器運用管理システムの構成は図1の通りであり、以下のような構成要素から成り立っている。

(1) 管理センター

管理センターは工場、プラント等の各サイトとWANにより接続され、これらのサイトの監視を行う。各サイト内で動作している各種機器を集中的に監視し、これらの保守・点検を効率的に行う。

(2) 中継層

各サイト内には複数の施設があり、それぞれの施設には複数のフロアがあり、これらはルータ等の機器により、階層的にLANに接続されている。中継層では、各機器の情報を効率的に管理センターに収集する。

(3) フィールドゲートウェイ

各フロアには複数のフィールドゲートウェイが設置され、フィールドバスに接続された各機器の情報をLANにより取得することを可能とする。

(4) 機器・センサー

各機器・センサーはフィールドバスに接続されフィールドゲートウェイにより管理される。

分散機器運用管理システムでは、上記構成により、分散された機器の管理を集中して行い、遠隔からの機器の監視や診断を可能とし、効率的な点検・交換のスケジューリングなどを実施する。これらの機能を実現するためには次項以降で述べる保全技術や設備診断技術が必須となる。

2.2. 保全技術の現状と動向

工場やプラント等の設備では高い信頼性が要求され、これまではTBMと呼ばれる保全方法が主に用いられてきた。しかし、近年の設備の大型化、複雑化、高速化に伴い、これら保全にかかる費用は膨大なものとなっており、定期的保守点検に要する費用、事故時の復旧にかかる費用、事故発生時の損失を含めライフサイクルコストの最適化が論じられるようになってきている。そこで、新しい保全の方式として、CBMと呼ばれる機器の状態を基に保全を行うことにより、保全費用を削減する試みが進められている^{1),2),3)}。また、これらの予防的な保全に対して故障発生後の機器交換等は事後保全(BM: Break Down Maintenance)と呼ばれている。1台の機器に関して各方式にそれぞれかかる保全コストは図2の通りとなる。

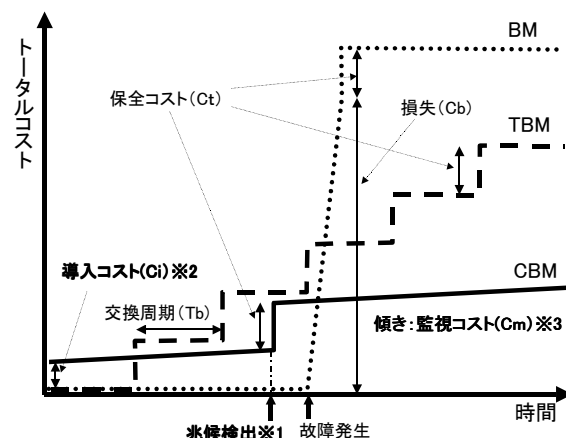


図2 保全コスト

図中において使用されている各コストはそれぞれ以下の通りである。

保全コスト(C_t)：機器や部品の交換実施に必要なとなるコスト

損失(C_b)：故障による損失であり、機能停止による損失の他に、機会損失等も含まれる

交換周期(T_b)：TBMにおける機器を交換する周期

導入コスト(C_i)：CBMを実施するために必要な機材(センサー、通信装置等)を導入するコスト

監視コスト(C_m)：CBMにおける監視を実施するために必要となる単位時間あたりのコスト

ここで、保全期間を T とし、その間に故障が起こる頻度を b、兆候を検出する頻度を c とすると、それぞれの保全方式にかかるトータルコスト：TC(T)は以下の式によって求めることができる。

$$BM : TC(T) = C_b \times \lambda_b \times T$$

$$TBM^1 : TC(T) = C_t \times (T / T_b)$$

$$CBM^2 : TC(T) = C_i + (C_m \times T) + (C_t \times \lambda_c \times T)$$

ここで、損失(C_b)、保全コスト(C_t)は設備の大型化、複雑化、高速化により増加しており、BM、TBMではトータルコストが膨大となる。この問題を解決するためにCBMの導入が進められている。

保全コストの計算で使用される各値は機器毎やシステム毎に異なり、ライフサイクルコストの最適化を行うためには各機器の特性毎に保全方式を決定し、正確に保全活動を実施する必要がある。また、各値は固定的なものではなく変動するため、他システムとの連携や定期的な見直しが必要となる。特に、CBMを行う上で重要となるのは以下の通りである。

- (1) 兆候の検出が可能であること。
- (2) 導入コスト(C_i)が小さいこと
- (3) 監視コスト(C_m)が小さいこと

ここで、(1)、(2)については次項で述べる設備診断技術により大きな発展を遂げている。

2.3. 設備診断技術

CBMを実現する上で欠かせない機能となるのが設備診断技術(CDT:Condition Diagnosis Techniques)であり、故障予知アルゴリズム、各種センサー技術などの研究開発が盛んに行われている。

故障予知のためのアルゴリズムとしては表1のようなものの適用が研究されている⁴⁾。

表 1 故障予知のアルゴリズム

技術	説明
主成分分析 ^{5),6)}	複数の状態変数(センサー値)からそれらの特性を極力残しながら、より少ない状態変数であらわす。
判別分析	予めグループに分けられたデータ(複数の状態変数(センサー値))があるとき、新しいデータがどちらのグループに属するかを判別する。マハラノビスの(汎)距離などのアルゴリズムが有名。

¹ T_bの期間中は故障が発生しないと近似した場合

² 全ての故障の兆候を検出可能と近似した場合

以下にCDT技術を用いたCBMの実施方式⁴⁾を簡単に説明する。

- ・各機器には故障の兆候を捕らえるための複数のセンサーが取り付けられ、監視が行われる。例えば1セットの回転機械を管理するためには12~36個の振動センサーの値を監視する必要がある。
- ・複数のセンサー値より、表1に示したようなアルゴリズムを用いて、兆候パラメータを算出する。兆候パラメータの算出には係数ベクトル(多項式における各要素に乗する係数の列など)や係数行列(主成分分析で用いられる分散共分散行列など)が必要となる。また、これらの係数は固定的なものもあれば、機器によって異なるものもあり、柔軟に調整することが可能でなければならない。
- ・兆候パラメータより、故障の兆候の有無、程度を判別(簡易診断と呼ばれる)する。
- ・故障の兆候があった時点で複数のセンサー値を調べ、兆候の原因(劣化箇所、劣化度合い等)を特定(精密診断と呼ばれる)する。
- ・リスクやコスト等から効率的な点検/交換のスケジューリングを行う。

また、各種センサー技術では表2のようなものが実現・研究されている⁷⁾。

表 2 センサー技術

プラント	ガス絶縁遮断機の放電センサー、分解ガスセンサー、圧力センサー等
工場	回転機械の振動センサー、応力センサー、油分析センサー等
ビル	温度センサー、湿度センサー、電力センサー等

これらの研究成果により、兆候の検出可能な故障の種類が増えており、またセンサーの低価格化も進み導入コスト(C_i)も小さくなってきている。

2.4. 監視技術

分散機器運用管理システムにおいて、CDT技術を用いたCBMを効果的に実施するためには、監視コスト(C_m)を小さくする必要がある。ここで、2.3「設備診断技術」の発展により、CBMの適用可能な機器が増加し、監視が必要な各種センサーの値も急速に増加している。そこで、監視コスト(C_m)を小さく押さえるためにはこれら膨大な量の情報を効率的に収集する必要性が高くなってきている。現在の監視技術における情報の収集方法としては、大きく以下の3つの方式がある。

- ・問合せ方式：監視側から被監視側に対して定期的

に状態の問い合わせを行う。ICMP(PING)を用いた生存確認やSNMPのGET要求等が利用されている。

長所)トラフィックの計算が容易・信頼性が高い。
短所)台数が増えると負荷が高くなる。

問合せの間に状態の変化と復旧が起こった場合に
変化情報が漏れる可能性がある。

情報の遅延が大きい。

- ・通知方式：状態の変化時に被監視側から監視側に通知する。SMTPを用いたメール通知やSNMPのトラップ等が使用される。

長所)平常時の負荷が低い・情報の遅延が小さい。
短所)信頼性が低い(トラップ消失の可能性)。

機器事体の故障に対処できない。

負荷の見積もりが困難(大量にトラップが上がる可能性がある)である。

- ・巡回方式：収集エージェントが監視側、被監視側を巡回し、データを監視側に蓄積する。JAVA VM上で動作する巡回エージェントによる情報収集等が利用される⁸⁾。

長所)監視側の負荷が小さい。

短所)信頼性が低い(エージェント消滅の可能性)。

台数が多くなると負荷が高い。

台数が多くなると巡回経路の設計が困難。

現在の管理システムでは、上記各方式を組み合わせるによって、それぞれの短所を補うようにしている。一方で複数の方式を用いることにより、監視対象数が増加した場合のネットワークトラフィック増加、監視サーバ負荷の増加、管理の複雑さの増加等の要因となっている。

また、管理対象機器・センサーが増加すると、監視するためのトラフィックの増加によりサービスのパフォーマンスが低下する。トラフィック削減のためには管理の階層化が必須であり、各階層間での効率的なデータの送受信について検討する必要がある。

3. 分散機器運用管理技術の要件と課題

大規模な分散された機器の運用管理において、保守を効率的に行うためにはCDT技術を経済的に適用し、CBMを効果的に実施する必要がある。ここで、導入コスト(Ci)と監視コスト(Cm)を低く押さえるためには、必要となる情報を如何に効率良く収集することが出来るかが重要となる。効率的な監視を実施する上で必要となる要件をまとめると以下の通りである。

- (1) 兆候の取りこぼしや、関連する各種センサー値の収集漏れが発生しないよう信頼性の高い収集方式が必要となる。

- (2) 管理センターにおいて簡易診断を実施するためには、兆候パラメータの変化を効率的に収集する必要がある。

- (3) 管理センターにおいて精密診断を実施するためには、故障の兆候があった場合に、関連するセンサー値を収集する必要がある。

- (4) 精密診断やコスト計算によって得られた結果から、各機器の簡易診断を行うための兆候パラメータの算出方法の見直し・調整が容易に行える必要がある。また、管理センターと機器との設定の整合性を保つ必要がある。

以下では、各要件を満たすための課題について検討する。まず要件の(1)を満たすためには、情報の収集における高い信頼性が要求されるため、問合せ方式をベースとした方式について検討する。問合せ方式には2.4「監視技術」で述べたような短所があり、これを改善する必要がある。ここで、本稿で想定しているシステムにおいては、収集する対象の情報は以下のような特性がある。

- ・要件の(2)、(3)より、管理センターで必要な情報は兆候パラメータの変化と兆候パラメータが変化したときの各種センサー値である。

- ・機器は(保全技術の発達前から)高い信頼性が要求される設備において使用されてきたものであるため、兆候パラメータの変化の頻度は低い。

よって、要件の(1)~(3)は、中継層においてそれぞれの下位にある機器の各兆候パラメータの変化、および変化時の関連する値(以降、差分情報と呼ぶ)を効率的に収集することにより満たすことができる。そこで、この差分情報を効率的に収集するための差分情報収集方式を実現することが課題となる。

また要件の(4)において、各機器の兆候パラメータの算出方法の設定が行われるのは、(A)初期導入時の設定、(B)機器交換時の設定、(C)算出方法の見直しによる変更、の3つの状況が考えられる。よって、これらの状況において必要な各種情報の流れを統一することにより、不整合が発生しないようにすれば、要件の(4)は満たすことができる。そこで、この情報の流れを統一した算出法設定方式を実現することが課題となる。

以降では課題の解決策として、差分情報収集方式、算出法設定方式の実現方法について記述する。

4. 解決策

4.1. 差分情報収集方式

差分情報収集方式を実現するためには、各中間ノードは監視する各下位ノードの最終更新時間(以降 LUT: Last Update Time と呼ぶ)を保持・管理し、必要となる差分情報のみを効率的に収集する必要がある。以下にこれを実現するための各構成と処理の概要について示す。

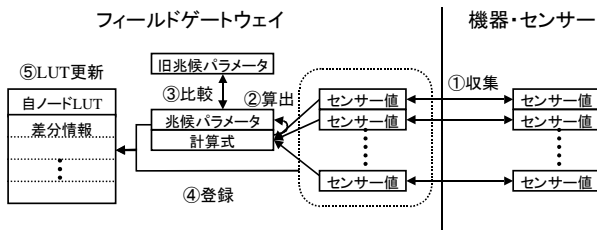
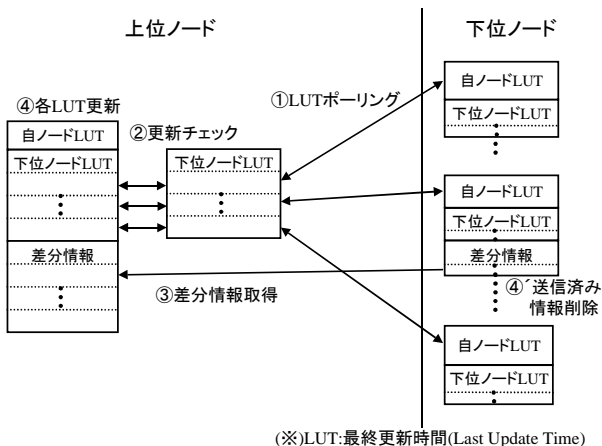


図 3 フィールドゲートウェイ/機器・センサーの収集処理

フィールドゲートウェイ/機器・センサー間の処理は以下の通りである(図 3参照)。

- フィールドゲートウェイは機器・センサーより、各値を取得する。
- フィールドゲートウェイは各センサー値より兆候パラメータを算出する。
- 旧兆候パラメータと比較し変化があれば(もしくは閾値と比較し超過していれば)、の処理を行う。
- 兆候パラメータとその時の各センサー値をまとめ、差分情報に登録する。
- 自ノードの最終更新時間を更新する。



(※)LUT:最終更新時間(Last Update Time)

図 4 中継層の収集処理

中継層の各ノード間の処理は以下の通りである(図 4参照)。

- 上位ノードは下位ノードのLUTをポーリングする。

上位ノードは保持している下位ノードLUTと取得した下位ノードLUTを比較することにより、各下位ノードの更新をチェックする。

上位ノードは更新された各下位ノードに対して、保持している下位ノードLUTと取得した下位ノードLUT間の差分情報を下位ノードから取得し、上位ノードの差分情報を更新する。

上位ノードは各LUTを更新する。

下位ノードは不要となった差分情報を削除する。

上記のような構成および処理により、診断に必要な各兆候パラメータ、センサー値を効率良く収集することが可能となる。

4.2. 算出法設定方式

算出法設定方式を実現するためには、必要となる各種情報の流れを統一する必要がある。ここでは、以下のように情報の流れを統一する。

- 各機器は各機器を一意に認識する機器識別子と兆候パラメータの算出方法の設定情報を識別するバージョン情報を保持しており、前記収集処理と同様に管理センターへ収集される。
- 設定情報は管理センターで一元管理され、各フィールドゲートウェイが自発的に管理センターへ設定情報の問合せを行う。

これにより、それぞれの設定する状況において以下のように設定を実施することが可能となる。

(A) 初期導入時の設定

管理センター側にて、導入する機器に機器識別子と設定情報を割り振り、設定情報をデータベース(DB)に保存する。フィールドゲートウェイは接続された機器識別子を判別し、管理センターから設定情報を取得することにより設定を行う。

(B) 機器交換時の設定

管理センターで機器識別子を変更する。フィールドゲートウェイは交換された機器の機器識別子を判別し、管理センターから設定情報を取得することにより設定を行う。

(C) 見直しによる各パラメータの変更

管理センターで設定情報、および設定バージョンを更新する。各機器の設定バージョンを変更する。フィールドゲートウェイは機器の設定バージョンの変更を検知し、管理センターから設定情報を取得することにより設定を行う。

また、これらの情報の流れを効率するために中継層には設定データキャッシュとこれを管理するための設定テーブルを用意する。

以下に機器設定方式による処理の概要を示す。

中継層での設定処理は以下の通りである(図 5 参照)。

中継ノードに下位ノードから設定の問合せが行われる。

中継ノードは問い合わせられた設定に関する設定テーブルがあるかを確認し、無い場合は設定テーブルに追加する。

テーブルがあった場合は設定データキャッシュが存在するか確認し、ある場合には下位ノードに設定情報を回答する。

設定データキャッシュに設定情報が無い場合は上位ノードに対して設定の問い合わせを行う。

上位ノードから取得した設定情報により設定テーブルと設定データキャッシュを更新し、下位ノードに設定情報を回答する。

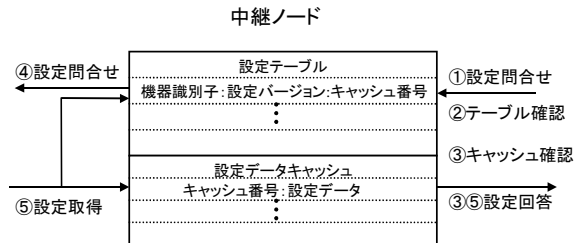


図 5 中継層の設定処理

フィールドゲートウェイ/機器・センサー間の設定処理は以下の通りである(図 6 参照)。

フィールドゲートウェイは機器・センサーより、機器識別子、設定バージョンを取得する。

フィールドゲートウェイは取得した機器識別子、設定バージョンより、設定テーブルを確認し、なければ、設定テーブルに追加し、上位ノードに設定情報を問合せ、取得する。

(上位ノードから取得した)設定データキャッシュの設定情報により、各設定を行う。

機器の監視を実行する。

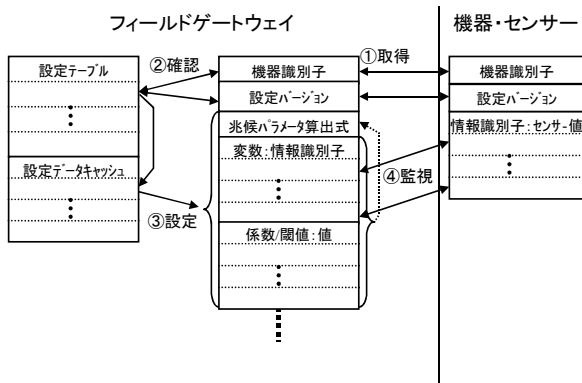


図 6 フィールドゲートウェイ/機器・センサーの設定処理

以上のような構成および処理により、兆候パラメータ算出方法の設定を不整合を起こすことなく実施することが可能となる。

5. まとめ

本稿では、大規模な分散機器運用管理システムの実現にあたり、保守を効率的に実施するために、CDT 技術を経済的に適用し、CBM を効果的に実施する方式を検討した。また、必要となる大量の情報を効率的に収集する方式に関する実装について述べた。実システムへの適用にあたり、今後は実際のシステムの、各パラメータのサイズ、各現象の発生頻度、各コスト等を基にシミュレーションを実施することにより、本方式の有効性を確認し、実装、評価を実施していきたいと考えている。

また、本システムと機器ベンダのシステム間での協調により、故障時・兆候検出時の各センサー値から機器の故障となる根本原因を除去・削減する方式や、SI(System Integrator)ベンダのシステムとの協調により、実運用時の各種コストから、設備増強・構造改善の提案作成する方式などについても検討していきたい。

参考文献

- 1) STRATEGY FOR CONDITION BASED MAINTENANCE AND UPDATING OF SUBSTATIONS, D. KOPEJTKOVA H.-P. OTT H. RÖHSLER F. SALAMANCA J.J. SMIT A. STRNAD, P. WESTER (1996)
- 2) 三菱電機技報 2003 年 12 月号「原子力プラントのリニューアル技術/新しい発電方式, 発電事業と新技術」
- 3) TMT&D 技報 2003 年 12 月「設備診断技術」
- 4) 豊田 利夫: IT 時代の設備管理と予知保全技術, <http://www.pam-net.co.jp/>
- 5) 鹿島 理華: サイバネティクス 2003 年 VoL8No.3p40「設備データ分析へのデータマイニング手法の適用」
- 6) 加納 学: 主成分分析: 京都大学大学院工学研究科工学専攻プロセスシステム工学研究室初心者用テキスト, 2002
- 7) 三菱電機技報 1999 年 8 月号「センシング技術」
- 8) Lange, D. B. and Oshima, M.: Program and Deploying Java Mobile Agents with Aglets, Addison-Wesley (1998).