

モバイルエージェント技術の原子カプラント保全支援への適用

Application of Mobile Agent Technology for Maintenance Support of Nuclear Power Plants

東北大学大学院	高橋 信	Makoto TAKAHASHI	Member
東北大学大学院	佐藤 寿	Hisashi SATO	Student Member
東北大学大学院	伊藤 洋	Yo ITO	Non-Member
東北大学大学院	北村正晴	Masaharu KITAMURA	Member

The framework of intelligent support system for the maintenance of nuclear power plant is proposed in this paper with emphasis on the combined use of a portable device and intelligent information processing. The purpose of this system is the realization of flexible inspection process and effective diagnosis process to be performed on-site with the aid of the mobile agent capable of performing various tasks moving along the network. The results of the scenario-based and function-based evaluation based on the prototype system showed that the proposed framework is effective for the data management for the maintenance activities.

Keywords: Maintenance Support, Intelligent Diagnosis, Portable Device, PDA, Mobile Agent.
E-mail: makoto.takahashi@qse.tohoku.ac.jp

1. 緒言

原子カプラントにおける保全活動の効率化には、情報化技術の広範囲な適用が不可欠である。コンピュータやネットワーク技術は近年急速に発達しているが、その性能的向上に見合うように現場での適用が進んでいるわけではない。更に、原子力における時間計画保全から状態監視保全へという保全方策の動向を考えた場合、処理する必要のある情報の量はますます増大することが予想されている[1]。保全活動における情報処理の効率化、信頼性の向上という観点からも、情報化技術の積極的導入を行う必要がある。また、原子カプラントの保全活動は人間中心の活動であるという点を見逃すことはできず、ヒューマンファクターに関する視点を重視する必要がある[2]。情報化技術の導入に当たっては、利用する側の人間（保守員）にとってメリットがありかつ使いやすいシステムでなければならない。

本稿では、携帯端末とモバイルエージェントによる保守支援システムに関する研究結果について述べる。この研究プロジェクトにおいては、最終的にオフサイト運転保守センターの実現を目指した研究を多面的に行ってきたが[2]、本研究はそのための要素技術の開発と位置づけられ、日常点検を対象にして現時点で利用可能な情報処理技術の適用を試み、その有効性について検討を行ったものである。

現場作業員へのヒアリングの結果では、トラブルの発生時に現場において独自に状況把握とトラブル対応が行えるような支援環境の重要性が示唆されている。ここでのポイントは、通常は事務・管理棟まで戻らないと確認できないような詳細な保守関係の情報（過去のパラメータの履歴、過去のトラブル事

例等）を、現場において煩雑な操作を必要としないインタフェースを通じて獲得できる点である。このような現場作業におけるニーズに関する考察に基づいて、本研究では、日常保守において、現在帳票により行われているようなデータ収集と確認作業に関しては、自律的な機能を有するソフトウェア「モバイルエージェント」により行われるという枠組みを提唱する。作業員は携帯情報端末 WID (Wearable Information Device) を携行し、現場の機器設備側に設置される小型 UCD (Ubiquitous Computing Device) と通信することで、モバイルエージェントの通信を行い、現場機器の状態に関する更なる詳細なデータを収集することができる。本枠組みによりトラブル対応の効率化が期待される。

2. 保守支援システムの全体構成

2.1. モバイルエージェント技術

モバイルエージェントは、自身のコード・内部変数等を保持したまま、ネットワークを介して接続された各種のマシン上へと転送・移動し、移動先の計算機資源を利用して実行可能なアプリケーションであり、それぞれが相互に協調し、目的とするタスクを実行する。

モバイルエージェントは従来の RPC (Remote Procedure Calling) に比較して、ネットワーク負荷低減が可能である点、複数エージェントおよび複数 PC を用いた負荷分散による処理の高速化が可能である点、また、必要な機能をエージェントとしてあとから送り込むことができるのでシステム更新が容易である点といったメリットがある。Fig.1 にモバイルエージェントと従来の RPC による処理プロセスの比較図を示す。

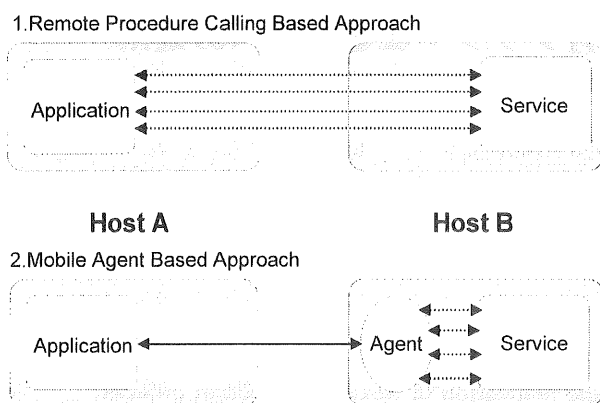


Fig. 1 Comparison of RPC and Mobile Agent

本研究ではモバイルエージェントの特性を積極的に利用したシステム構築を行った。エージェントのミドルウェアとしては、JAVA[4]をベースとしたモバイルエージェント環境のフレームワークである Aglets Framework SDK Version2.0.2[5]を用いた。

2.2. システム概要

Fig.2 に本研究で提唱する次世代型大規模プラント保守・診断支援システム (MASSIA, MAintenance Support System using Intelligent Agents) の概要を示す。本システムは複数のプラントがネットワークを介して互いに接続され、分散データベースによって情報が分散して蓄積されている状況を想定し、それらの情報をモバイルエージェントによって伝達、処理することによって日常点検および保守作業時における保守作業員の情報獲得活動および情報認識を支援するシステムである。

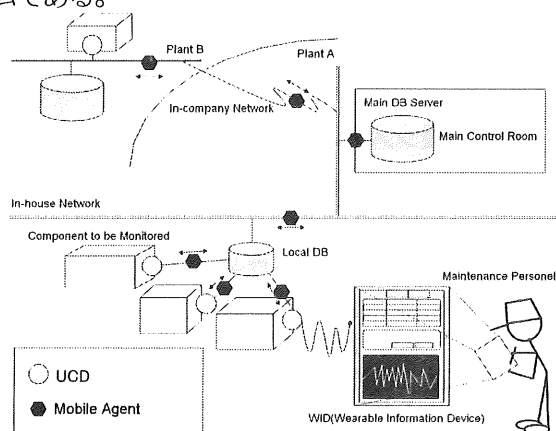


Fig. 2 Overview of MASSIA

2.3. 支援の枠組み

本システムでは、保守作業員による日常監視と、モバイルエージェントが行う日常監視とのシームレスな統合を目指している。通常時には主要機器に接続されたUCDを用いてモバイルエージェントが自律的にデータの取得を行い、収集されたデータはネットワーク

を介して現場単位のLDB(Local DB)に保存する。以下に、エージェントの動作、および作業員との連携について述べる。

通常の点検・監視業務はエージェントが定期的に巡回して行い、その巡回周期は機器の重要性、サンプリング時間等に応じて柔軟に変更することができるものとする。定常状態からの逸脱が発生した場合は、状況に応じてその監視体制のレベル(正常・軽微異常・重度異常)をエージェントが自律的に変更し、データの収集頻度を変更する動作を行う。

異常の認識能力や判断能力においてはエージェントより人間の方が優れている。従ってエージェントがあるレベル以上の異常を認識した場合には、人間の作業員が現場に赴き、判断することを要請する。その際作業員に対し、エージェントが異常と判断した信号の発生源および根拠となる情報を提示する。その情報をもとに作業員は現場において判断に必要な追加情報を、WID上のインタフェースから解析・検索を通じて獲得する。

3. プロトタイプシステムと模擬プラントにおける評価

3.1. プロトタイプシステム

プロトタイプシステムは大きく二つのブロックから成る。一つは作業現場となる監視対象機器を含む監視区画、そしてもう一つはその区画から隔離された管理区画である。実際とのプラントとの対応としては、監視区画は実際の監視対象機器が存在する現場、管理区画は事務・管理棟などに対応する。

監視対象機器としては、材料試験用の安全裕度テストベンチ(以後SSBF; System Safety Benchmark Facilityと呼ぶ)を用いた。SSBFは高負荷環境下におけるプラント構造材の劣化および破壊挙動について評価を行うための大型の実験施設である[6]。このSSBFにおいては、計測パラメータは29chに及ぶ。プラントにおける一つのサブコンポーネントとして捉えた場合、本対象システムはパラメータ数、計測対象の複雑さ、パラメータの多様性等の面で、十分な現実性を有していると考えられる。

このSSBFを対象として、パラメータの確認、解析や検索といった機能の実証を行うため、実験施設(監視区画)に隣接してLDB、UCD、およびCEX(Computation Executer)といったデバイスを設置し、距離的に離れた別研究棟内(管理区画)にMDB、MASSIA Server、およびOffice PCを設置し、ネットワークにより接続した。現状では、WID上でMobile Agentを動作させることが困難であるために、Fig.3に示すようにWIDから直接接続によりMASSIA Serverに対してエージェントの構成を要求する。

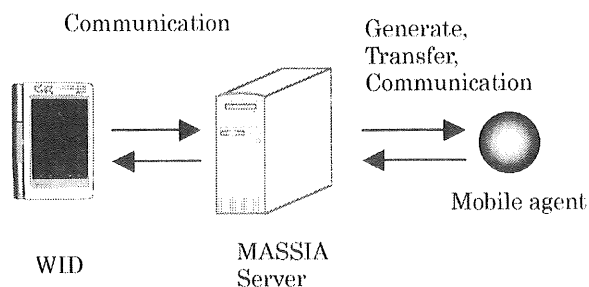


Fig.3 Role of MASSIA Server

3.2. シナリオベース評価

2.3 節に述べた支援の枠組みに基づき、その一連のシナリオを達成できることを確認した結果を以下に示す。

1) 監視・計測エージェント

計測エージェントは、内部変数として一定個数のデータを保持し、監視エージェントにデータを提供すると共にデータを LDB 上に記録する役割を担う。監視エージェントが用いる診断手法は、現状のシステムでは単純に閾値との比較を行うのみで行った。各チャンネルの平均的な値を元に二段階の上限閾値および下限閾値を設定し、その値との比較によりシステムの異常の判定を行った。チャンネルによってはノイズを異常と判断したケースや、正常な変動であるにも関わらず異常と判定されるケースが生じるものの、結果として定義通りの閾値を超えた際には確実に異常レベルが判定され通知が行われることを確認した。

2) 通知エージェント

通知エージェントは、何らかの定常状態からの逸脱が発生した場合、Office-PC 上に、ポップアップウィンドウを表示する。このウィンドウ上では異常発生箇所の P & I D 図上への表示、異常のレベルと発生時間、そして異常発生時の時系列波形表示を行う。

3) パラメータ確認

通知エージェントから異常の報告を受けた作業員は現場での情報収集を行うが、同時に WID を用いてプラントパラメータ履歴を参照する。MASSIA Tool (WID 用端末アプリケーション)が、エージェントと連携しパラメータのグラフ表示が可能であることを確認した。

4) 解析作業

現段階では基本的な解析方法の一つである FFT による周波数解析を実装している。WID を通じた簡単な操作で周波数解析が可能であることを確認した。

5) 類似波形検索

本システムでは、何らかの異常が発生した場合、過去の履歴の中から類似した事例を検索する機能を実装している。時系列波形類似度の計算を行い、高類似度

の点を抽出する PC ベースのテストアプリケーションを用いた評価を行った。本評価では試験体の変位データ(400,000 点、約 1 ヶ月に相当)を検索対象として、1000 点(約 1 時間半に相当)のテンプレートに対する類似度を計算し、類似度の高い点を抽出している。このような過去の事例と類似した事例を探すというタスクは、保全業務においては重要な位置づけにある。本システムはこの解析過程を現場で現実的な時間範囲内で行うことが出来ることを確認した。

以上、シナリオベース評価を行い、想定する枠組みに対する機能がシステムとして実装され機能することを確認した。

3.3. パフォーマンスベース評価

システムに実装した各機能のパフォーマンスの定量的評価を行った。評価にあたっては、以下の 3 台のデバイスを用いて行った。代表的なスペックは下記の通りである。

Device A: CPU : Pentium4 2.26GHz / RAM:512MB / OS: Redhat Linux 7.3 (MDB)

Device B: CPU : Pentium4 2.0 GHz / RAM:512MB / OS: Windows2000 (OfficePC)

Device C: CPU : Celeron 700MHz / RAM:384MB / OS : Redhat Linux 7.3 (LDB)

なお、以下のアクセス手法による実行時間の比較には、それぞれのデバイスにおける実行速度の差によって生ずる影響を考慮し、Device A 及び B を用いて比較を行っている。

1) データ取得機能評価(RPC と Mobile Agent の比較)

エージェントベースのデータ取得は、エージェントがデータベース上でローカルにアクセスすることに加え、必要なデータのみ集約して戻するため、理論的には RPC ベースのアクセスより高速であることが期待される。ここでは、このことを検証するため、実証実験を行った結果を示す。

この実験におけるテストプログラムの処理内容は以下の通りである。

(1) Device B から A に対する RPC によりデータを指定個数取得し、配列に格納した後、所要実行時間を計測

(2) Device B 上にエージェントを生成し、Device A 上に転送する。Device A 上で指定個数のデータを取得し、データを WID 上のグラフ表示に必要な量に圧縮した後、データを保持したまま戻る

エージェントを用いた場合は、WID の解像度が固定であることを利用して、転送されるデータを 1.6MB

から 3.84kB へとデータ量を最大でおよそ 1/416 にまで削減している。RPC の場合はこのようなデータの集約を行っていないために、ネットワーク上を流れるデータに関しては、厳密な比較とはなっていないが、結果として、RPC を用いた場合と比べ 140% の速度向上が観測され、処理全体としての高速化が図られていることが示された。

この実験により速度の向上効果に加えて、更にネットワークに対する負荷の軽減効果が大きいことが確認された。RPC によるアプローチでは、データの取得開始から終了までの時間は全て接続を確立した状態であり、17 秒にわたってネットワークに負荷を掛けることになるが、エージェントを用いた場合では、転送には 1 秒足らずしか必要としないことが示された。

2) 分散実行機能評価

本研究では、負荷の大きな計算を細分化して複数エージェントに計算させることにより、通常的手法と比べて処理の高速化、即ち計算時間の短縮が出来ると考え、その検証を行った。

以下にテストプログラムの概要を述べる。
(処理内容)

- ・引張試験機変位データの指定個数のデータに対し、データを 1~3 分割する
- ・それぞれのデータを Device B 上から各デバイス上に転送した子エージェント(類似度計算エージェント)により取得し、データ点数 1000 点(約 1 時間半のデータ)のテンプレートに対して類似度を計算する
- ・結果を Device B 上の親エージェントに返す
- ・以上の処理に要した実行時間を計測する
(類似度計算には本研究グループが開発した EDS[7]を用いている。)

結果より、単一のエージェントを用いた場合と比べ、3 台のデバイスを用いて並列計算した場合は、実行速度がほぼ倍になっている。以上の結果は全て WID にとってのリモートマシン上での処理に相当する。エージェントによりデータベース上の情報、計算結果は表示に必要なデータに最適化し、転送するため、WID が行うデータ転送のコストは十分に低いレベルであることが実証された。WID との接続は無線等の比較的帯域の狭い接続形態である可能性が高いのでこの結果は処理の効率化のためには重要な意味を持つ。

4. 結言

本研究では、時間計画保全に向けての保全作業における情報処理の効率化を図るために、モバイルエージェントと携帯情報端末を用いた支援システムを提案し、その有効性の検証を行った。携帯情報端末を用いて、保全作業の現場でどれだけ効率的に情報へのアクセスが行えるかという点に重点を置きプロトタイプシステ

ムを作成し、実験用の設備を用いてその有効性を検証した。結果として、開発したシステムは想定されるシナリオに対して十分な機能を提供出来ること、エージェントによるデータ処理が効率の点で有効であることを確認した。

現時点ではエージェントの自律性、処理のスケールビリティの点で更に検討すべき課題は残っているが、本研究において提唱した保全作業に対する情報化の方向性は、今後のオフサイト運転保守センターの実現へ向けて基盤となる要素技術を提供するものであると考える。

今後は、現場における付加的なセンシングによる状況の絞り込みや[8]、運転との関連を視野に入れた診断[9]の実現に向けて研究を続けていく予定である。

謝辞

本研究は、(財) エネルギー総合工学研究所の革新的実用原子力技術開発提案公募事業[3]により支援を受け実施しました。深く感謝いたします。

本システムの実験評価において利用した材料試験テストベンチの運用に関して協力頂いた東北大学破壊制御研究施設庄子研究室の皆様には感謝致します。

参考文献

- [1] 北村 (編), 日本原子力学会 ヒューマン・マシン・システム部会 原子力施設保守保全高度化研究調査委員会報告書, (2000).
- [2] 吉川榮和, 大井 忠, オフサイト運転保守支援センター, 保全学, 3(1), (2004)
- [3] 尾崎禎彦他: 原子力発電所運用高度化のための次世代HMS に関する技術開発, 日本原子力学会2002 年春の年会要旨集, H31, p.407, (2002)
- [4] Sun Microsystems, Inc., "Java™ Reference Documentation", <http://java.sun.com/reference/docs/>
- [5] IBM 東京基礎研究所, Java(™)による移動エージェント: Aglets, <http://www.trl.ibm.com/aglets/index.htm>
- [6] Y. Lu et. al., "A System Safety Benchmark Facility for SCC Pipe Tests with High and Low Flow Rate Condition and Some Preliminary Test Results in BWR Environment", Proc. of 11th Int Symp on environmental degradation of materials in nuclear power system-water reactors, (2003), 805-815.
- [7] Catur DIANTONO, 高橋信, 北村正晴: "原子力プラントにおける知的情報統合のための情報検索手法", 日本原子力学会誌 Vol.42, No.11, pp.1215~1225 (2000)
- [8] M.Takahashi, T.Miyazaki, A. Miyamoto and M.Kitamura, Goal-Oriented Flexible Sensing for Higher Diagnostic Performance of Nuclear Power Plant Instrumentation, Progress in Nuclear Energy, Vol. 43, No.1-4, (2003), 105-111.
- [9] 進化する診断技術 人間・機械協調型の新しいパラダイムを目指して 日本原子力学会誌, 40(9)(1998), 652-683.