

マルチエージェント協調に基づくネットワーク 管理情報 AIR の連携

笹井 一人^{1,2,a)} 板橋 佑介² 高橋 秀幸^{1,2} 北形 元^{1,2} 木下 哲男^{1,2}

概要: コンピュータネットワークの大規模化・複雑化による管理コストの増大を解決するため、様々なネットワーク管理システムが用いられているが、用途や得意とする対象が多岐にわたっており、それらの管理に費やすコストが二重の管理を生み出す問題となっている。本稿では、上記のような管理の為の煩雑なシステム管理・情報管理の手間を、それぞれの情報資源とシステムがマルチエージェント型の協調手法を用いることで直接的に相互連携させ、管理者のシステム管理・情報管理にかかる負担を軽減する方法について述べる。

1. はじめに

ユビキタス・クラウドと言った用語が頻繁に用いられるようになった昨今の社会においては、様々なサービスのネットワーク化が進んでいくと考えられる。例えば、パーベイシブコンピューティングにより実現されるスマートホームのような、屋内の電化製品だけでなく、至る所に散布されたセンサーもネットワークで接続され、人間の行動を先読みしつつ、様々な生活支援を行う事を可能としている。その一方で、多数の機器が情報ネットワークにより接続される時には、それに見合うだけの膨大かつ緻密なネットワークが必要となり、サービスの重要性の高まりとともに、その管理コストも爆発的に増大する可能性がある。IBM により提唱されている Autonomic Computing (AC) [2] では、システム構成要素を Autonomic Component という自律動作する要素に換える事で、システムが自己組織的に機能を発現させ、結果として管理コストを低減することを目指している。これをネットワーク管理システム (NMS) に応用したものとして、Autonomic Network Management System (ANMS)[6] も提案されている。ANMS では、様々な管理タスクを実行する能力を持ち、自由に行動する事が出来るエージェント [1] を多数用いて、自律的に細かい管理タスク等を行う事で、柔軟な管理が可能となる。しかしながら、ANMS, AC はあくまで管理タスクを自律的に実行

する事が可能であるというのみであり、高度なタスクや管理タスクそのものの入力、エージェント動作知識の蓄積を人間の手に未だ人手に頼らざるを得ず、これら膨大なエージェント制御知識、情報管理をいかなる方法で行えば良いかという問題は未解決である [8]。

上記の問題に対して我々はこれまで、管理タスクに関する知識や、ネットワークの管理情報に、それらの管理や利用支援を自律的に実行可能な知識/機能を付加することでエージェント化した、能動的情報資源 (Active Information Resource, AIR)[4] を構成要素とする、知識/情報を焦点とした管理者指向の NMS として Active Information Resource based Network Management System (AIR-NMS) [3] を提案し、研究開発を行ってきた [7]。AIR-NMS のこれまでの研究によって、ネットワーク状態情報を蓄積する M-AIR(network Measurement AIR) と管理タスクに関する知識を蓄積する K-AIR(network management Knowledge AIR) が協調・連携する事により、状況に応じた管理タスクの選別や、適切な状態情報の提示等が可能となっている。しかしながら、依然として蓄積する知識はどこからくるのか、ユーザであるネットワーク管理者をどのように支援するのか、といった課題が残されている。本稿では上記の解決策として、ネットワーク管理者が情報機器に設定した内容と NMS に登録する情報を同僚のネットワーク管理者とタスク共有する為の BSS や Wiki といったドキュメンテーションシステムをそれぞれ AIR 化し、互いに能動的に連携させることで、まるでそのもう一人の管理者がいて、ネットワーク管理者のタスクをサポートしてくれているかのように感じる、ネットワーク管理者と AIR-NMS の間のインタラクションを実現する。

¹ 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

² 東北大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Tohoku University

a) kazuto@riec.tohoku.ac.jp

第2章では、AIR-NMS の概念および設計について述べる。第3章では、既存ネットワーク管理システムのAIR化方法及び、その試作システムについて述べる。第4章では、AIR-NMS におけるAIR運用管理基盤であるAIR-Space についてその設計コンセプトを述べ、第5章でまとめる。

2. エージェント指向のネットワーク管理システム

本章では、マルチエージェントシステムに基づくネットワーク管理支援技術として、自律型ネットワーク管理システム (Autonomic Network Management System, ANMS) と能動的情報資源に基づくネットワーク管理システム (Active Information based Network Management System, AIR-NMS) の二つのエージェント指向ネットワーク管理システムについて概要を説明するとともにその問題点を述べる。

2.1 ANMS

ANMS[6] は、その名の通り、ネットワーク管理を自律的に行う事を目的とした枠組みの総称であり、主な基盤としてマルチエージェントシステムを用いている。主なアイデアとしては、生体機構のように、中枢による集中的な管理を必要としないシステムから着想を得て、それぞれの管理対象を自律的に動作する事のできる、Autonomic Component とし、これにより統合的な管理を必要としなくても、システム全体の機能やパフォーマンスを維持することが可能としている。

ANMS を構成するエージェントは、主にネットワーク管理タスクを実行する為の知識・機能を持ち、ネットワーク機器やサーバアプリケーション、トラフィック等の状態を監視したり、ネットワーク経路変更やリソース配分などの制御を行う。さらに、障害が発生した場合には、その原因を特定し、可能な場合はこれを回復したりといった機能が挙げられている。しかし、その一方で、上記の機能を実現する為に必要な知識や情報をどのように収集するのかといった部分は、ANMS を構成する個々のエージェントの設計による、つまり、判断に必要な情報収集、知識の収集は個別のエージェント内部に実装される為、異なる種類のエージェントが増えるほど、情報収集の負荷が高まるだけでなく、エージェント設計における負担も非常に大きいと考えられる。ANMS 中には、管理ポリシーを蓄積する知識ベースや観測データを蓄積するデータベースなどを用いる枠組みも提案されているが、これは個々のエージェントの機能を支援するために導入される為、エージェントにより様々であり、かつ共有も前提とされていない。よって、様々な存在する管理エージェント達を効果的に行動するように制御する為には、人間である管理者が個々の知識ベースや観測データの蓄積を、適用先のネットワークに適した

形でメンテナンスせざるを得ず、これらの負担は小さくないといえる。

2.2 AIR-NMS

我々は能動的情報資源の概念をネットワーク管理に応用する事で、前述のネットワーク管理システムの管理にかかるコストを軽減し、かつより安定したネットワーク運用を可能とする、能動的情報資源に基づくネットワーク管理システム (Active Information Resource based Network Management System, AIR-NMS) について研究を行ってきた。ここでは、その概要について簡潔に述べる。

2.2.1 能動的情報資源

能動的情報資源 (AIR)[4] は、ある情報資源に対して、それらを利用する為の知識や機能を追加したものである。これにより、AIR はそれ自身が自らが内包する情報を管理し、さらにその利用者を能動的に支援することを可能とする。AIR に付加される知識を利用支援知識と呼び、この知識を用いて AIR は自身に含まれる情報へのアクセスを支援するとともに、他の AIR との協調連携を実現する。AIR に付加される機能は、利用支援機能と呼ばれる。これは主に、AIR が自らの情報資源へのアクセス性を保守するとともに、外部環境をセンシングしてそれに適応させる自律的な機能を実現する。AIR 化される情報資源は、AIR として用いたい情報に合わせて新しく設計する事も出来るが、基本的には既存の情報資源を用いることを想定している。

2.2.2 能動的情報資源に基づくネットワーク管理システム

AIR-NMS の概念は、ネットワーク上に存在する様々なネットワーク管理に必要な情報資源を AIR 化するという非常にシンプルな概念である。よって、AIR-NMS によって実現するネットワーク管理は、その目的がどのようなものであるか、また利用可能な情報資源がどのようなものであるかによって、AIR の配置を変更したり、新しい AIR を導入したりと多彩で柔軟な構成をとる事ができると考えられる。

図1に、現在我々が研究を行っている、AIR-NMS の一例の概念図を示す。AIR-NMS は大きく分けて以下の2種類のAIRによって構成される。

- (1) **M-AIR** (Measurement-AIR) : ネットワークの状態情報をAIR化したもの。
- (2) **K-AIR** (Knowledge-AIR) : 管理者が経験的に持つ管理知識をAIR化したもの。

M-AIR の主な機能としては、ネットワークや構成機器の状態情報の取得、用途に応じた加工、情報要求に対する応答が挙げられる。また、K-AIR の機能としては、状況に応じたネットワーク管理知識の選択・統合、知識を利用した問題解決といったものがある。我々が、AIR を2種類に分類した主な理由としては、M-AIR と K-AIR はその情報資源の性質が大きく異なるからである。M-AIR が持つ情報

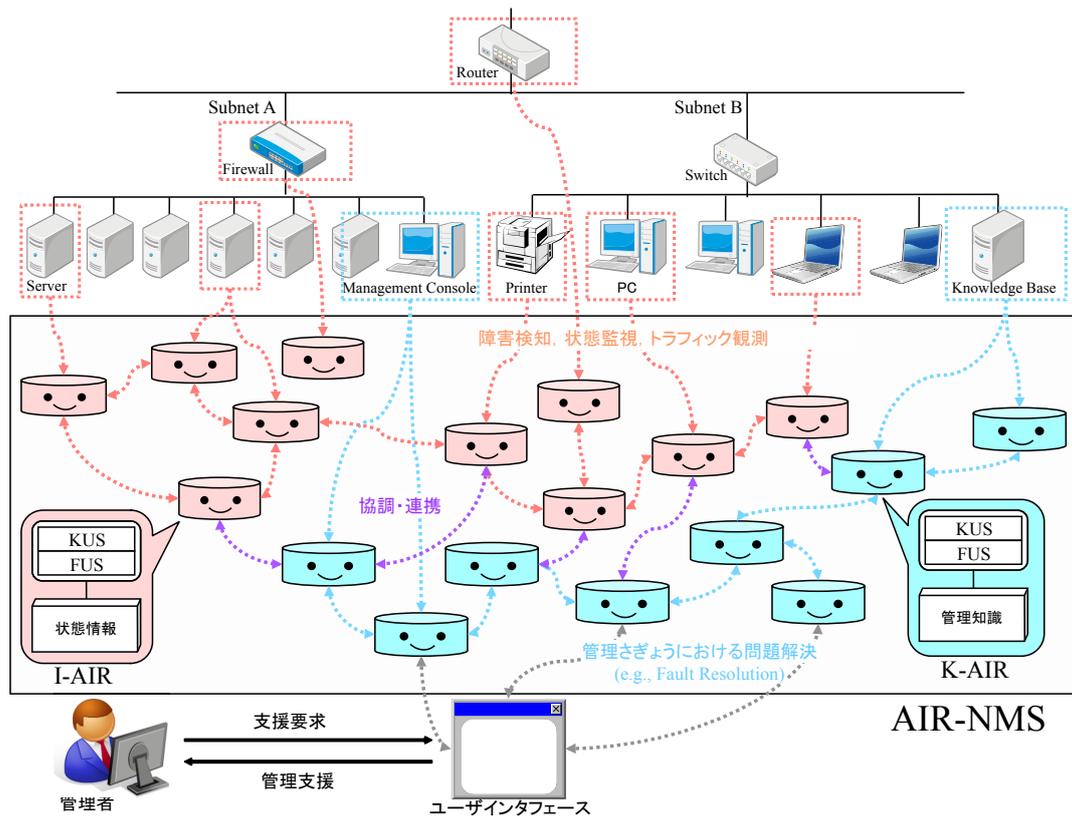


図 1 AIR-NMS の概要

は、管理対象機器から取得することによって得られる、機器由来の情報であるが、K-AIR が持つ情報は、人間である管理者に由来する情報となり、資源として異なるからである。上記の2種類のAIRが相互に情報資源を利用し合う事で、ネットワーク管理に必要とされる様々な情報が柔軟に協調・連携する事が可能となり、広範囲の管理作業を支援する事が可能となっている [7]。

本システムによって、ANMSにおける、管理ポリシーや管理タスク実行に関する知識をどのようにして管理するかといった問題は解決可能であると考えられる。しかしながら、十分な管理者支援を可能とする為に必要な知識が、どのようにして集められるのかという根本的な課題が残されている。知識入力に関する問題については、様々なインタフェースの開発による研究がなされているが、ここでは、AIR-NMSの特徴を生かした、ネットワーク管理情報の連携により、上記の課題を解決する方法を提案する。

3. ネットワーク管理情報 AIR の連携

前章では、ネットワーク管理情報として二種類の情報を提示した。一方は、ネットワーク機器やOS、アプリケーション等から得られる観測情報および、ネットワーク機器に設定されている設定情報などであり、もう一方は、人間である管理者が、自らの記録として、また複数の管理者の間での情報共有のために利用されるBBSやWikiなどのドキュメント情報である。通常のネットワーク管理作業にお

いては、管理者はあるネットワーク作業を行うとき、対象の設定を変更する操作を実行するとともに、それをドキュメントとして保存する。これを行う理由は、システムがデフォルトの状態からどのように設定変更されているか、なぜそのような設定になっているかを設定ファイルや、設定インタフェースから理解する為には、膨大な設定項目を探索したり、理由を推察する必要があり、これが作業効率を大きく低下させるからである。これは、他人のPCを説明なしに使う事が難しいということとよく似ている、例えばキーアサインが変更されていたり、アイコンやショートカットが変更されていたりする為である。ここでそれらを記載したドキュメントが存在すれば大きな助けになる。しかしながら、これらの作業は人間である管理者が行うものであるから、忙しい時にドキュメンテーションを忘れていたり、後で操作を実行しようとしてドキュメントに記述したが、実際は操作を実行していなかったりと、ずれが頻繁に生じる可能性が排除できない。

そこで、本稿では、管理者同士の情報共有に用いられるドキュメントとネットワーク管理システムをそれぞれAIR化することでこれらの連携を可能とし、上記のずれを解消するとともに、AIR-NMSがあたかももう一人の協働する管理者のように他の人間の管理者を支援するシステムを提案する。

上記システムの実現として、本稿では以下の2つのAIRを提案する。

- (1) 既存ネットワーク管理システムの AIR 化
- (2) 管理者 Wiki の AIR 化

4. 既存ネットワーク管理システムの AIR 化

本稿では、まずこれまで我々が研究してきた AIR 技術を用いて、既存の管理されたネットワークにおいて、AIR-NMS を効率的に構築する為に、既存ネットワーク管理システムを情報資源として、これらを AIR 化する方法について議論する。既存技術をラッピングして改修する技術は、ネットワーク管理の自律化を目指す Autonomic Computing においても、その構成要素 Autonomic Component を構築する技術として提案されている [5]。AIR の Autonomic Component との大きな違いは、ラッピングの目的が Autonomic Component の場合は自己管理と内向的であったのに対して、AIR の場合はより外向的、つまり能動的な利用支援を目的としている点である。

ネットワーク管理システムとしては、オープンソースでは Nagios や Zabbix, MRTG といったソフトウェアがよく使われている。また、より大規模なシステムにおいては、有料のソフトウェアやシステム専用の管理ツールが提供されている。しかしながら、ネットワーク管理システムはその性質から超越的な視点が必要であるため、システム外部におこななければならない、それ自体一つのシステムである為、管理コストが無視できない。

2 に既存ネットワーク管理システムおよび、AIR 化されたネットワーク管理システム概念図を示す。既存ネットワーク管理システムにおいて、ユーザであるネットワーク管理者は、通常業務の他に監視項目や監視ホスト等の構成設計、さらに中小規模の場合は更新やハードウェア管理といったシステム管理もこなす必要がある、ユーザへの負担が大きという問題がある。これに対して、AIR 化されたネットワーク管理システムでは、利用支援機能により外部/内部の状況を認識し、それに基づきシステム管理動作を自律的に行うとともに、利用支援知識を用いて、ユーザに対してネットワーク管理システム本来の管理業務や操作の支援を行う。これにより、大幅な管理コストの軽減のみならず、他の AIR との協調連携により、人手を介さずにより高度な管理作業が可能となる。例えば、ある AIR において、アラームが発生した場合、より詳細な情報を扱う事ができる AIR に調査を依頼する事で、具体的な原因を同定し、その上で管理者に通知するという事も可能となる。

4.1 Nagios を用いた AIR 機能の試作

既存ネットワーク管理システムの AIR 化について検証するため、オープンソースのネットワーク管理システムで最も多く用いられている Nagios を利用して、AIR の試作を行った。今回試作した AIR の構成要素としては、利用支援機能の一部にあたる、監視対象ホストの追加機能につ

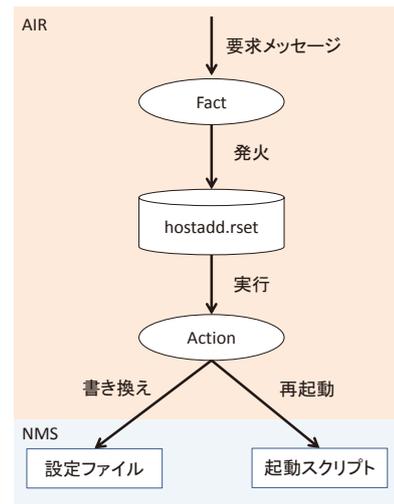


図 3 ホスト追加機能の設計



図 4 ホスト追加インターフェース

いて設計実装を行った。Nagios における監視対象ホストの追加作業は、Nagios 設定ファイルに監視対象ホストを記述し、その後 Nagios サーバプログラムを再起動することによって反映される。これを AIR 側の機能として実装する。

AIR は、エージェントフレームワークの一種である ADIPS/DASH[9] をベースとして設計される。DASH エージェントは、Fact と呼ばれる内部状態、およびそれによって発火するルールセット、さらにルールで規定された Action を基盤として構成される。AIR の利用支援機能の一例であるホスト追加機能の設計例を図 3 に示す。AIR が受信したホスト追加要求メッセージは AIR の Fact に収納され、それによって hostadd.rset が発火する。それによって実行される Action として、設定ファイルの書き換えおよび起動スクリプトの実行によるプロセスの再起動を実装する。ここで、Action は DASH エージェント設計ではベースプロセスとして設計される。

4.2 動作実験

図 4 に実装されたホスト追加作業を代行する利用支援要求を生成するインターフェースのスクリーンショットを示す。ユーザは、本インターフェースより、ホスト名を指定し

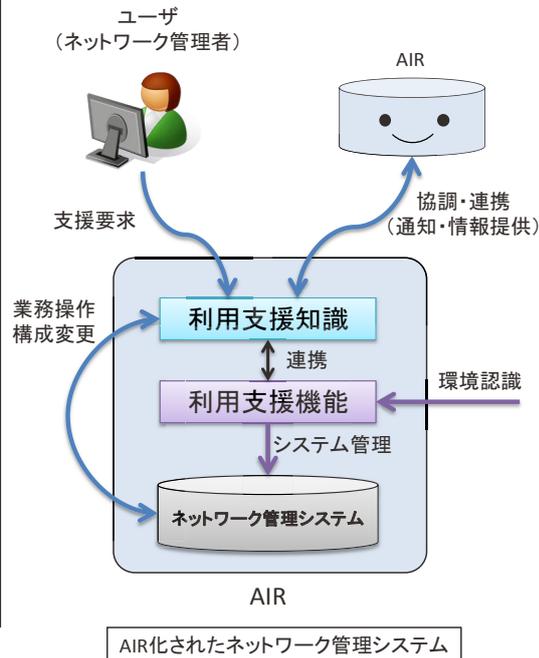
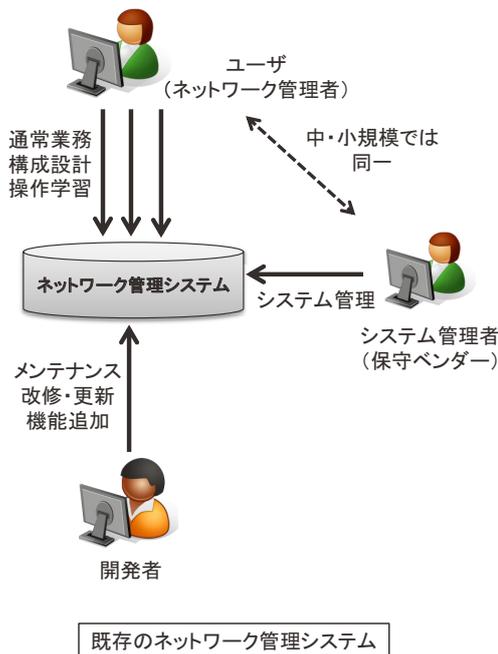


図 2 既存ネットワーク管理システムの AIR 化

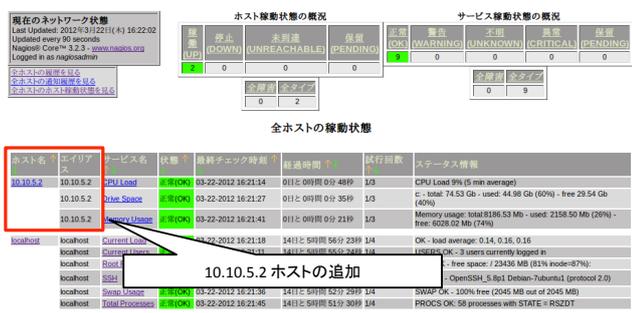


図 5 追加後の Nagios インタフェース

たホスト追加要求メッセージを AIR に送信する事が出来る。本インタフェースを用いて、AIR にメッセージを送る事で、ホスト追加機能により Nagios にホストが追加されるかを確認した。

実験では、前述のホスト追加要求インタフェースにより、ユーザもしくは他の AIR からホスト追加要求メッセージが送信された想定する。図 4 に示されている入力状態で、ホスト 10.10.5.2 を追加してみる。実行結果として、Nagios のメイン画面を図 5 に示す。メッセージによる支援要求により、確かに監視対象ホスト 10.10.5.2 が追加されている。

本実験結果から、既存ネットワーク管理システムの AIR 化において、利用支援機能による構成変更作業の代行が可能である事が確認できた。同様の設計方法を用いる事で、Nagios システムの様々な設定変更や挙動の管理が AIR によって実行可能である事が示された。

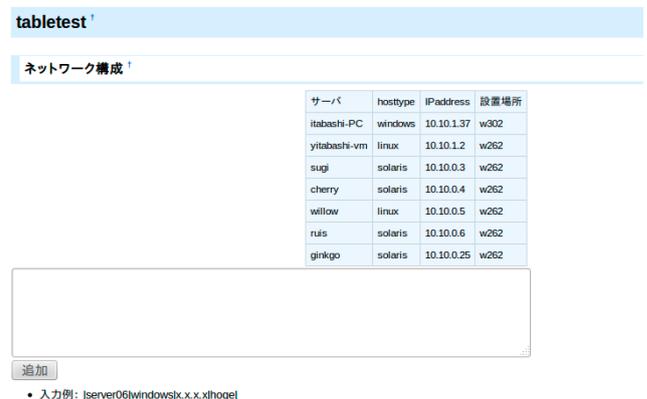


図 6 管理者 Wiki の試作システム

5. 管理者 Wiki と NMS の連携

本章では、複数の管理者が管理情報を共有する為のドキュメントとして、管理者 Wiki に着目し、これを AIR 化することで、NMT-AIR と連携させる事を目的とする。

5.1 管理者 Wiki の AIR 化

ここでは、管理者 Wiki を AIR 化する方法について議論を行う。本来ならば、詳細な設計について述べるべきであるが、紙面の都合上、試作システムの概要について述べる。

図 6 に今回試作した管理者 Wiki システムのスクリーンショットを示す。今回の実装には Wiki システムである

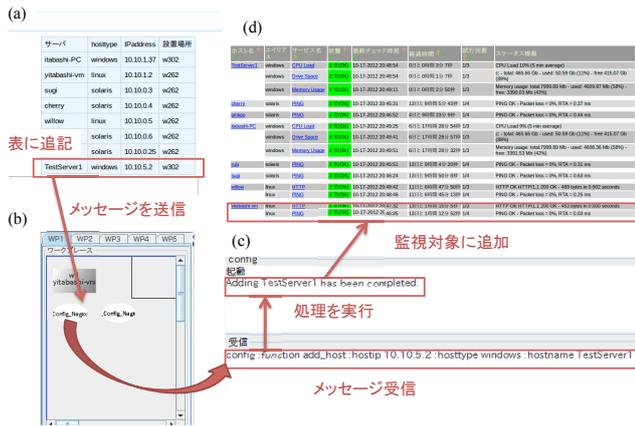


図 7 試作システムの動作例

PukiWiki を用いた。実際の管理者 Wiki は、自然言語で書かれたドキュメントの集合となっているが、本稿では簡単のため表で記述している。管理者が、新しくサーバを立てたり、既存のサーバを廃棄したときに、サーバ自体の設定やネットワーク設定を行うとともに、管理者 Wiki に書き込み情報共有をすることを想定している。

今回試作した AIR では、以下の 2 つの機能を実装している。

- 管理者 Wiki の表を監視し、新しい書き込みがあると、AIR-NMS にメッセージを送る機能。
- 同様に表が削除されると、AIR-NMS にメッセージを送る機能。

逆に、システム側で変更があった場合に Wiki に反映するという方向も必要であるが、今回は未だ未実装である。また、今回の試作システムでは、AIR-NMS のモデルとして、前章で解説した既存 NMS を AIR 化した Nagios-AIR を用いた。

図 7 に試作システムの動作例を示す。(a) で示すように、管理者 Wiki の表で 1 つのホストを追加したとする。この時、Wiki-AIR によってその変更が発見され、メッセージが AIR-NMS に送られる。(b) は起動されている AIR のスクリーンショットである、またその出力ウィンドウを (c) に示した。メッセージを受信した AIR は、その内容からルールを発火させ、ホスト追加機能を実行する。これにより、(d) に示した通り、NMS 側にも変更が反映される。

本結果は、試作システムが単純な構成となっている為、双方の情報を同期させるだけのシステムに見えるが、より複雑な実際の自然言語で書かれた Wiki に対しても、試作システムを拡張する事で対応であるという意味で意義のある結果であると考えられる。

6. おわりに

本稿では、AIR-NMS の ANMS への応用可能性について、既存ネットワーク管理システムの AIR 化、管理者 Wiki の AIR 化を行い、両者を連携させる事で、管理者同士のコ

ミュネーションと管理タスクの負担の双方を減少させる新しい枠組みを提示した。既存ネットワーク管理システムの AIR 化については、有名なオープンソースソフトウェアである Nagios に利用支援機能を付加する事に成功し、機能面で AIR を構成することが可能である事が分かった。本研究は、今後利用支援知識についても同様に検証を行っていくつもりである。また、Wiki-AIR については、新しい知識獲得の方法と考える事も可能であり、今後自然言語処理の技術を導入していく事で、既存のドキュメントにも適用可能な AIR 化手法について検討を行っていく予定である。

謝辞 本研究の一部は、総務省平成 23 年度受託研究「大規模災害時における通信ネットワークに適用可能なリソースユニット構築・再構成技術の研究開発」、および平成 24 年度受託研究「被災地への緊急運搬及び複数接続運用が可能な移動式 ICT ユニットに関する研究開発」の援助を受けて実施した。

参考文献

- [1] Bieszczad, A., Pagurek, B. and White, T.: Mobile Agents for Network Management, *IEEE Communications Surveys*, Vol. 1, No. 1, pp. 2–9 (1998).
- [2] Kephart, J. and Chess, D.: The Vision of Autonomic Computing, *IEEE Computer*, Vol. 36, No. 1, pp. 41–50 (2003).
- [3] Konno, S., Iwaya, Y., Abe, T. and Kinoshita, T.: Design of Network Management Support System based on Active Information Resource, *Proc. 18th Int. Conf. Advanced Information Networking and Applications (AINA 2004)*, pp. 102–106 (2004).
- [4] Li, B., Abe, T., Sugawara, K., Kinoshita, T.: Active information resource: Design concept and example, *Proceedings of 17th International Conference Advanced Information Networking and Applications (AINA2003)*, pp. 274–277 (2003).
- [5] Parekh, J., Kaiser, G., Gross, P. and Valetto, G.: Retrofitting autonomic capabilities onto legacy systems, *Journal of Cluster Computing*, Vol. 9, No. 2, pp. 141–159 (2006).
- [6] Samaan, N. and Karmouch, A.: Towards autonomic network management: an analysis of current and future research directions, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 11, No. 3, pp. 22–36 (2009).
- [7] Sasai, K., Sveholm, J., Kitagata, G. and Kinoshita, T.: A Practical Design and Implementation of Active Information Resource based Network Management System, *International Journal of Energy, Information and Communications*, Vol. 2, No. 4, pp. 67–86 (2011).
- [8] Strassner, J.: Knowledge management issues for autonomic systems, in *Database and Expert Systems Applications, 2005. Proc. Sixteenth International Workshop on*, pp. 398–402, 22–26 (2005).
- [9] Uchiya, T., Maemura, T., Xiaolu, L. and Kinoshita, T.: Design and implementation of interactive design environment of agent system, in *IEA/AIE⁸ 07, LNAI 4570, AAAI/ACM*, pp. 1088–1097 (2007).