能動化された知識資源による ネットワーク障害解決支援システム

笹 井 一 人[†1]　北 形 元[†1]　木 下 哲 男[†1]

複雑化するネットワークインフラストラクチャとともに，様々なサービスの電子化によって，ネットワーク管理・運用にかかる作業負担の増大が問題となっている．本論文では，ネットワーク管理者やグループが保持する知識資源を能動化することで，障害発生状況に応じた迅速な解決を可能とする，ネットワーク障害解決支援システムを提案する．また，能動化された知識資源が有効に利用されることを障害解決実験を行うことで評価した．

Network Fault Resolution Support System based on Activated Knowledge Resource

Kazuto Sasai,[†1] Gen Kitagata [†1] and Tetsuo KInoshita[†1]

Increasing complexity of network infrastructure and remote service, heavy load of network administration and management comes to issue. In this paper, we propose a network fault resolution support system, which support rapid resolution by an activated knowledge resource. We conducted an evaluation experiment of fault resolution in the actual experimental environment.

1. はじめに

ネットワーク管理の自動化技術は複雑に発展した情報通信ネットワークにおいて，その管理・運用の負担削減という観点から重要性が高まっている．これに対して，部分的またはカプセル化された自動化フレームワークとしてエージェントを用いたネットワーク管理システム[1)]が研究されてきた．その一方で，次世代の自動化ネットワークアーキテクチャとして，ネットワークシステムそれ自身が自律的に振る舞うというアーキテクチャも提案されている[2)]．これらのアプローチはネットワークシステムのロバストネスや可用性を高めているが，その一方で機構の複雑化により，管理する人間の作業負担を増大させる可能性がある．このような問題を解決するために，我々は人間を中心としたネットワーク管理に焦点をあてた，能動的情報資源に基づくネットワーク管理システム (Active Inforamtion Resource based Network Mnagement System, AIR-NMS) を提案してきた[4),5)]．この研究の大きな目的は，ネットワーク管理を取り巻く様々な情報資源を自律的に動作させることで，それらの資源を有効的に活用し，問題解決や管理作業の負担を軽減することである．

AIR-NMS を構成する AIR として，我々はこれまで二種類の AIR, ネットワーク状態情報 AIR(I-AIR) およびネットワーク管理知識 AIR(K-AIR) を提案し，それらの試作システムを実験ネットワーク上に実装してきた．本論文では，上記の二つの AIR を効果的に相互作

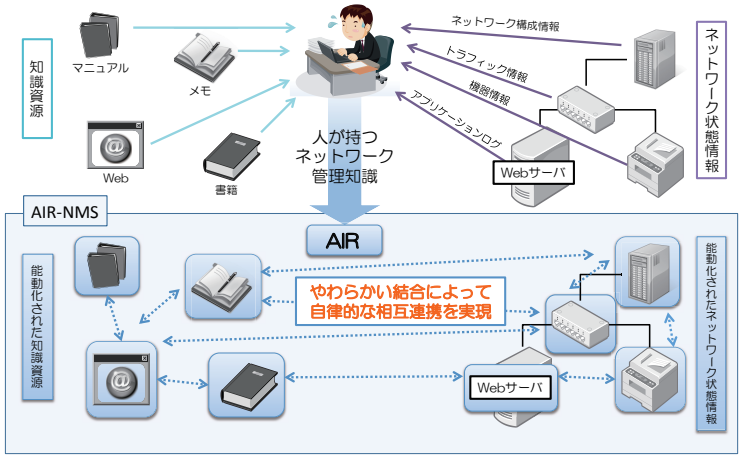


図 1　AIR-NMS の概念図
Fig. 1　Conceptual diagram of AIR-NMS

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

用させる機構を提案し，障害解決支援を例とした試作システムの実装について述べる．AIR の相互作用によって，蓄積されてきたノウハウのような知識資源が，障害時のネットワーク状態によって，適切に呼び出され，管理者に問題解決法を提示することが可能となる．次章では，AIR の概念および AIR-NMS の基本的なアーキテクチャについて述べる．３章では，今回提案する相互作用機構及び，その試作システムの設計・実装について述べる．４章で評価として行った障害解決実験について述べ，５章にて結語を述べる．

2. AIR-NMS のアーキテクチャ

能動的情報資源 (AIR)[3] は，分散環境上に散りばめられた情報資源に自律的な動作を付加したものとして定義される．現存する情報資源は，それら自身のコンテンツを扱う機能を持たないため，外部に処理機構を要する．例えば，Web サイト上の資源を調査するためには，検索エンジンのようなユーザ側の機構が必要であるといった具合である．一方，能動化された情報資源は自律的に動作し，他の AIR と協調・連携することで，直接ユーザからの要求を処理し，自らの情報資源や他の情報資源を含めて効果的な利用を支援することができる．本論文で議論する AIR-NMS は，ネットワークを管理する上で利用される分散配置された様々な情報資源を能動化することで，利用者を効果的に支援する機構である．

図 1 に AIR-NMS の概念図を示す．１章で述べた，現存するネットワーク自動化技術は，主に図の右側，ネットワーク状態情報や設定情報，トポロジー情報，トラフィック情報，アプリケーションログなどの情報のみ基づいて制御されるネットワークである．AIR-NMS では，それに加えて，ネットワーク管理者が蓄積しているマニュアルやメモ，そして Web 等の知識資源が AIR-NMS の枠組みに内包されている[7),8)]．

図 2 に AIR-NMS の構成図を示す．ネットワーク管理作業に用いられる情報資源として，AIR-NMS では２種類の AIR が想定される．

- **I-AIR**: ネットワーク機器からネットワーク情報を収集・蓄積し，K-AIR からの要求に応じ，情報を提供する．また，収集したネットワーク情報から何らかの障害が検出されたときに，K-AIR にその診断を要求する．利用支援機能として，状態情報のモニタリング，取得情報の加工などの機能を持ち，利用支援知識としては，ネットワーク機器情報の用途，用法，要求処理および他の AIR との連携知識を持つ．
- **K-AIR**: 人間由来の知識資源を能動化したもの．ネットワーク管理者からの障害の解決依頼を受け，障害状態からの復旧支援や，効果的な知識資源の提示などを行う．

これまでに，我々は障害解決支援に焦点を当て，K-AIR の推論機構に関する設計を行ってきた[6)]．本稿では，新たに，K-AIR と I-AIR の相互作用のための連携機構を提案する．

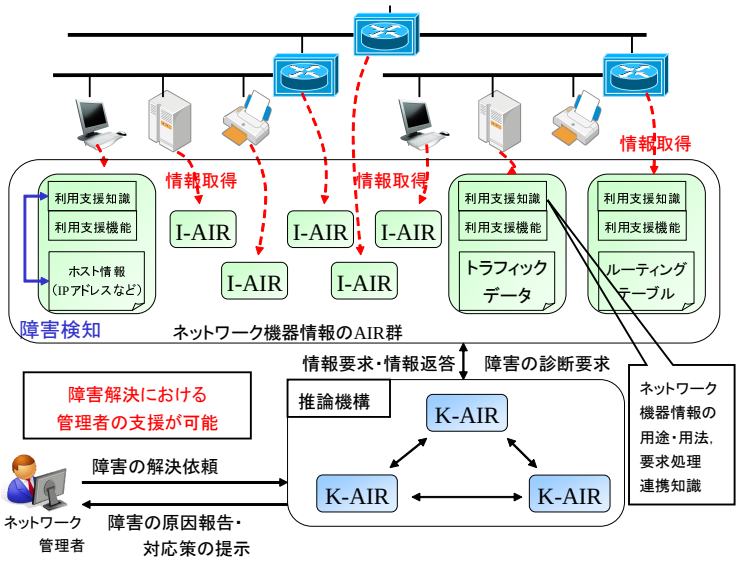


図 2　AIR-NMS の構成図
Fig. 2　Schematic diagram of AIR-NMS

3. K-AIR と I-AIR の相互作用機構の提案

前章で述べた課題を解決するための K-AIR と I-AIR の相互作用機構として，本論文では，次の機能を提案する．

(1) メタ情報蓄積機能
(2) 情報要求メッセージの仲介機能
(3) イベント通知メッセージの仲介機能

メタ情報の蓄積機能とは，I-AIR と K-AIR のメタ情報を蓄積する機能である．この機能によって，新たな情報資源が追加された際，また変更された際にそれらの変更による差異を吸収し，メッセージの仲介を可能とする．情報要求メッセージの仲介機能は，K-AIR から I-AIR にメッセージが送信される際，メッセージ配信の仲立ちを行う機能である．イベント通知メッセージの仲介機能は，I-AIR 側から検知されるイベント情報を，K-AIR 側に送信

```
−<topology>
  −<client>
      <ipaddress>172.20.1.67</ipaddress>
      <host_name>maedanote</host_name>
      <workplace_name>w5:maedanote</workplace_name>
    </client>
  −<client>
      <ipaddress>172.20.1.235</ipaddress>
      <host_name>srv-A</host_name>
      <workplace_name>w1:srv-A.subnetA.example.com</workplace_name>
    </client>
  </topology>
```


図 3　蓄積されたメタ情報の例
Fig. 3　Example of stored meta-information.

する際，その仲立ちになる機能である．

3.1　設　　計

上記で述べた機能を試作システムとして実装するにあたって，次の設計を行った．まず，メタ情報蓄積機能を実現するため，AIR-MNS 管理下にある I-AIR からの情報を蓄積する機構を設計する．蓄積する情報の項目としては，”IP アドレス”，”ホスト名”，”ワークプレイス名”を設定する．I-AIR から，これらの情報の変化を報告するメッセージを送信するように，I-AIR を改良し，これを受け取ることのできる AIR を構成した．この AIR が持つ情報は，**図 3** に示すように，XML ファイルとして蓄積されている．上記で構成した AIR の利用支援機能として，K-AIR から I-AIR への情報要求メッセージ配信時に自らの情報資源を用いて，適切な宛先に配信する機能を構築することで，蓄積されたメタ情報を利用し，情報要求メッセージの仲介機能を実現する．また，(3) イベント通知メッセージの仲介機能は，上記の K-AIR を I-AIR の関係を逆転させたものとして実現する．なお，現在は I-AIR が持つ情報は対象機器の最新の情報のみであるが，今後時刻や時間順序等の情報を含め拡張する予定である．

3.2　試作システムの実装

試作システムの実装は，AIR-NMS の試作システム[6),7)] に提案機構を実装することで行う．K-AIR および I-AIR，提案機構を実現する AIR は，エージェントフレームワークである DASH[9)] を用いたマルチエージェントシステムとして実装されている．各情報資源に対して，利用支援機能は各エージェントに組み込まれたアクションとして構成され，利用支援知識はエージェントの動作知識として構成されている．

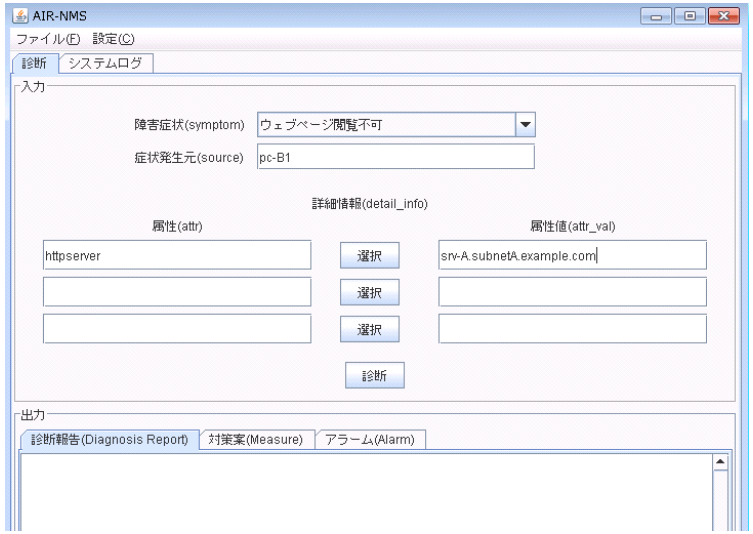
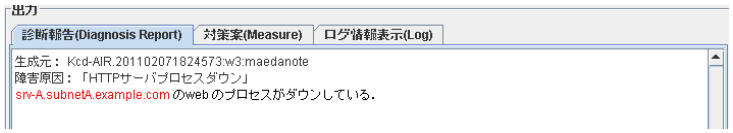


図 4　AIR-NMS インタフェース入力画面
Fig. 4　Input screen of AIR-NMS

図 4 に試作システムの入力インタフェースを示す．本インタフェースでは，障害症状および症状の発生元，さらに詳細情報を入力することができる．**図 5** は，上記入力を実行した結果を示している．上段が診断結果の出力であり，診断された障害原因が提示されている．下段が結果に基づいた解決策の提示を行う部分であり，障害原因に即した解決手順について提示している．

4.　評 価 実 験

前章で述べたように，本論で提案する K-I の相互作用によって，状況に応じて知識資源が選択され，利用されることが可能になった．本章では，状況に応じた知識資源の選択が，実際の障害解決にどの程度効果があるかを検証するため，被験者を用いた障害解決実験を行う．今回実験で用いたネットワークは，同一サブネットに PC 4 台とサーバ 1 台そして管理 PC 1 台が接続しているネットワークである．まず，サーバにおいて特定の障害を発生させ，被験者に管理者としてその解決を依頼する．今回設計した試作システムを用いた場合と，用



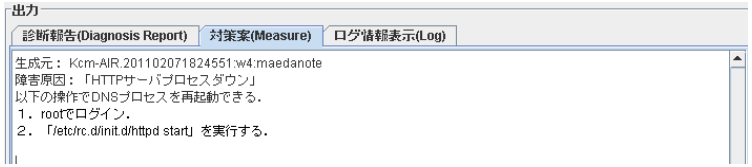


図 5　診断結果の出力例
Fig. 5　Example of diagnostic result presentation.

ステップ	時刻	操作対象	動作	結果
1	0:00:00	障害端末	ケーブルを確認	問題なし
2	0:00:20	障害端末	ping　172.20.1.235	問題なし
3	0:01:00	障害端末	障害状況の再確認(F5)	障害確認
4	0:01:50	障害端末	nslookup　srv-a.subneta.example.com	問題あり
5	0:02:40	障害端末	telnet 172.20.1.235	接続に失敗
6			検索	
7	0:06:07	別端末	nslookup　srv-a.subneta.example.com	問題あり
8	0:06:41	別端末	障害状況の再確認(リンククリック	
9	0:07:00	障害端末	ipconfig	
10	0:07:18	別端末	ipconfig	
11			今までの実行コマンドなどを見ながら障害を推定	
12	0:10:45	サーバ	ifconfig	
13	0:11:11	サーバ	ping 172.20.1.232	問題なし
14	0:12:00	別端末	nslookup google.com	問題あり
15	0:13:15	障害端末	ブラウザのアドレスバーに入力	問題なし
			DNSのサーバエラーだと断定	
16	0:15:10	障害端末	WindowsのTCP/IPにおけるIPの設定を確認	問題なし
17	0:17:10	別端末	ブラウザー時キャッシュの削除	
18	0:20:24		情報の検索・思考	
19	0:25:45	サーバ	dig google.com	反応なし
20			検索	
21		サーバ	nslookup google.com	反応が現れる前にCtrl-
22			検索	
23	0:29:10	サーバ	named restart	error
24	0:30:10	サーバ	where is named	
25	0:30:20	サーバ	/usr/sbin/named restart	error
26	0:31:57	サーバ	/etc/rc.d/named restart	
			障害解決完了	

図 6　原因 1 おける実験結果の例
Fig. 6　Example of experimental result of cause1.

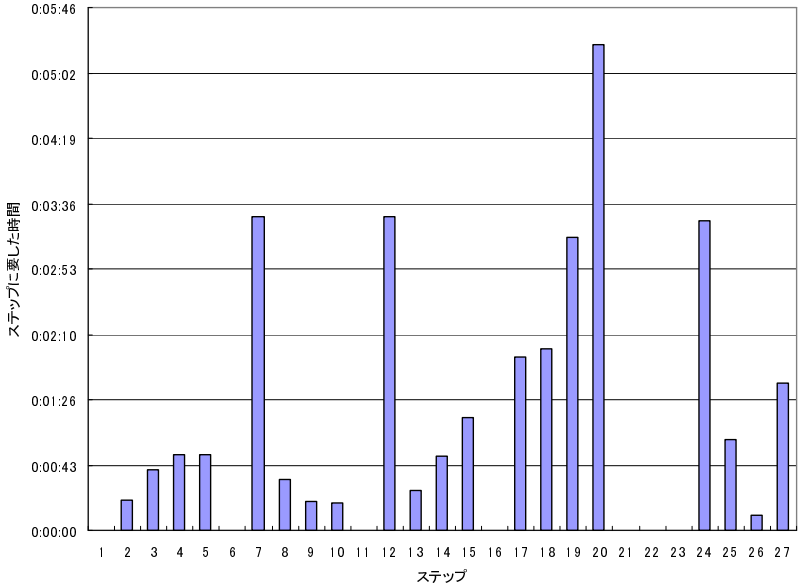


図 7　原因 1 における各ステップの時間間隔の例
Fig. 7　Example of time interval between the steps in the cause1

いなかった場合を比較することでその効果を検証する．

実験ネットワーク上の PC には，AIR ワークプレイスが配置され，それぞれのワークプレイス上で I-AIR を動作させる．管理 PC 上の AIR ワークプレイスには，管理者がその知識を資源化した K-AIR を配置している．今回用いた K-AIR は，障害症状からその原因を仮定する K_{SC}-AIR として,「メール送信不可」,「メール受信不可」,「名前解決不可」,「ウェブ閲覧不可」の４種類，仮定された原因の真偽を判定する K_{CD}-AIR として,「DNS プロセスダウン」,「HTTP プロセスダウン」,「POP プロセスダウン」,「ポート未解放」,「SMTP プロセスダウン」の５種類，同定された原因に対する解決策を提示する K_{CM}-AIR として,「DNS プロセスダウン」,「HTTP プロセスダウン」,「POP プロセスダウン」,「ポート未解放」,「SMTP プロスダウン」の５種類を用いた．K_{SC}-AIR，K_{CD}-AIR，K_{CM}-AIR の各 AIR についての詳細な説明は，本論文では割愛したが,[6)–8)] で解説しているため，そちらを参考されたい．また，引き起こされる障害としては，下記の４つのケースを用いる．

原因 1.　「サーバプロセスダウン」
原因 2.　「Web ページのリンク切れ」
原因 3.　「DNS プロセスダウン」
原因 4.　「サーバのポート未解放」

被験者の障害解決の様子は，２台のカメラと各 PC 上の画面キャプチャによって，記録されこれを基に，どのような操作をどの時刻に行ったかを分析している．今回実験に参加してもらった被験者は，ICT に関連する研究を行っている大学院生および大学４年の学生５名であり，そのうちで実際にネットワーク管理を行った経験のある学生は２名である．

図 4 に，原因１の場合における，ある被験者の実験結果の例を示す．ここで記されるステップとは，コマンドを打ち込んだり，PC 上の操作を行った回数を記録している．AIR-NMS を用いない障害解決実験における特徴的な行動として，障害原因の探索時に，何度も同じ行動を行うというものがある．これは，想定される原因が異なる場合でも，同じ診断方法となることが多く，それらを逐次的に実行しているものと考えられる．上記の特徴は，被験者全てに多かれ少なかれ現れていた．次に，同じ実験における各ステップの時間間隔をプロットしたものを**図 7** に示す．ここで，縦軸に時間間隔，横軸は各ステップである．時間が多くかかっているステップほど，被験者はそのステップに多くの管理知識や経験を使っているということが考えられる．図から読み取れるように，現在調査している想定原因から，次に想定される原因を想起する作業に最も知識を注いでいることが分かる．

図 8 は各実験結果を縦軸に解決にかかったステップ数，横軸に解決にかかった時間を用いてプロットしたものである．AIR-MNS を用いた場合は，用いなかった場合に比べて解決に要する時間を大幅に短縮することができていることが容易に読み取れる．また，AIR-NMS を用いなかった場合は，解決に要する時間およびステップ数が，障害がどの原因によって引き起こされたものかによって概ね決まってくるということが分かる．AIR-NMS を用いた場合には，障害原因の種類に関わらずほぼ同じ時間で解決できていることから，提案システムが状況の違いによらずに被験者を解決まで導くことができていると考えられる．

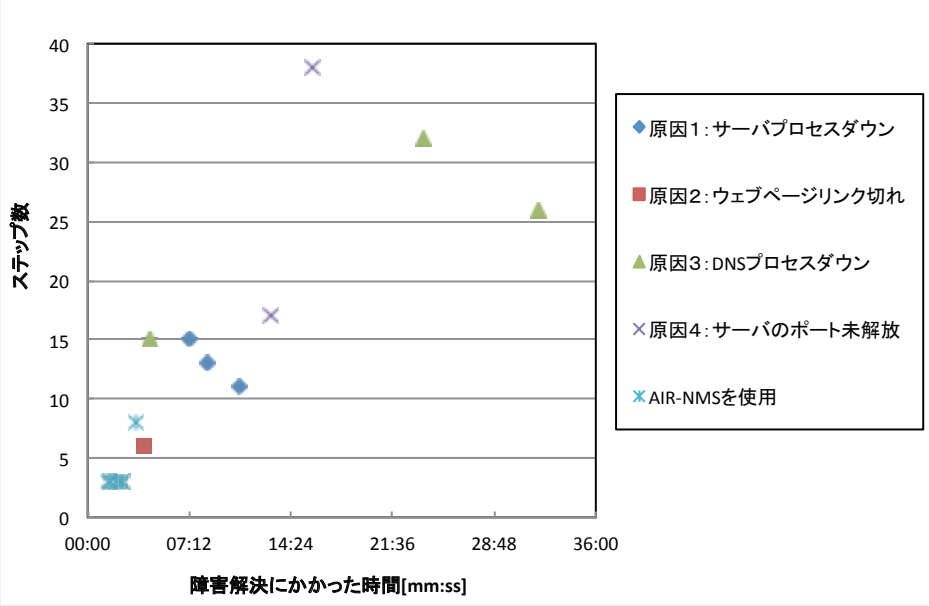


図 8　時間およびステップ数による結果のプロット
Fig. 8　Plotted results by time and steps

図 9 に，ネットワーク管理経験による障害解決時間およびステップ数の比較を示す．二つ隣接して並べたグラフは，上段の赤みがかったグラフの方が管理経験のない被験者を示し，下段の青みがかったグラフが管理経験のある被験者を示す．グラフより，管理経験のない被験者の方が，時間・ステップ数双方において高い軽減率を示しており，経験の浅い管理者にとって，非常に効果的であることが分かる．また，管理経験のある被験者にとってもその効果は小さくなく，２倍以上のスピードで障害解決が行われている．管理経験のある被験者

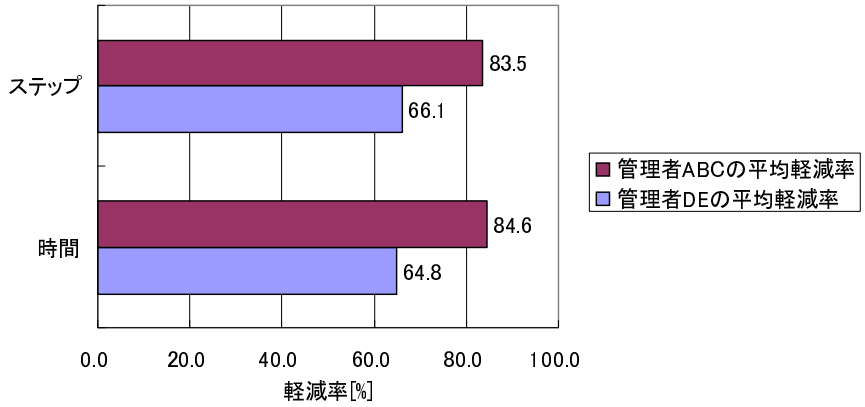


図 9 ネットワーク管理経験による比較
Fig. 9 Comparison with experience of network management.

は，OS やサーバアプリケーションの管理機能や障害解決支援機能を用いているにもかかわらず，効果が出ていることから，従来のネットワークシステムにおける管理機能のみでは，やはりこれをいかに選択するか，そのように利用するかといった管理知識が少なからずも必要となり，これを支援する本提案機構は非常に有用であることが示唆される．本実験結果より，K-I 相互作用機構を導入した AIR-NMS を用いることで，管理者が蓄積した知識資源が状況に応じて適切に選択され，管理者からの支援要求に対して，解決策へと導くことが確認された．

5. 結論と今後の課題

本論文では，複雑化するネットワーク環境において，その管理・運用にかかる管理者への負担を軽減するため，ネットワークシステム上に分散して存在する，様々な情報資源を能動的情報資源 (AIR) として構成し，それらを状況の変化に対して柔軟に協調・連携させるための相互作用機構を提案した．提案機構は，各情報資資源に関するメタ情報を蓄積し，これを利用することで，状況や環境の変化による，AIR 構成の変化に対して，柔軟にメッセージ交換による協調・連携を行うことのできる機構である．評価実験では，提案システムを用いた場合に，障害解決が迅速に行えることが分かり，それらは管理経験のない管理者のみならず，ある程度経験のある管理者に対しても有効であることが分かった．

今後の課題としては，より複雑な障害事例に対して適用可能なように AIR を拡張していくこと，また障害が発生したときに自動的にこれを検知し，原因を解明することができるようにシステムの機能を拡充していくこと等が挙げられる．

参 考 文 献

1) Kephart, J. and Chess, D.: Mobile software agents for telecommunications, *IEEE Computer*, Vol.36, No.1, pp.41-50, 2003.
2) Samaan, N. and Karmouch, A.: Towards Autonomic Network Management: an Analysis of Current and Future Research Directions, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.11, No.7, 2009.
3) Li, B. and Kinoshita, T.: Active Support for Using Academic Information Resource in Distributed Environment, *Int. J. Computer Science and Network Security*, Vol.7, No.6, pp.69-73, 2007.
4) Konno, S., Iwaya, Y., Abe, T., Kinoshita, T.: Design of Network Management Support System based on Active Information Resource, *Proc. 18th Int. Conf. Advanced Information Networking and Applications (AINA 2004)*, Vol.1, pp.102-106, IEEE, Los Alamitos, 2004.
5) Konno, S., Sameera, A., Iwaya, Y., Kinoshita, T.: Effectiveness of Autonomous Network Monitoring Based on Intelligent-Agent-Mediated Status Information, In: H.G.Okuno, M.Ali (eds.) *IEA/AIE 2007. LNCS (LNAI)*, Vol.4570, pp.1078-1087, Springer, Heidelberg, 2007.
6) Takahashi, Y., Misugi, D., Sakatoku, A., Satoh, A., Takahashi, A., Sasai, K., Kitagata, G., Abe, Kinoshita, T.: Knowledge Oriented Network Fault Resolution Method Based on Active Information Resource, *Proc. 2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, pp. 361-364, 2010.
7) Sasai, K., Tanji, N., Takahashi, Y., Kitagata, G., Kinoshita, T., An Architecture of Extended Network Management System: Autonomous Cooperation between Knowledge Resources and Network Equipments, *Proc. 9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science*, pp.617-622, 2010.
8) Sasai, K., Kitagata, G., Kinoshita, T., Mutiagent Architecture of Knowledge based Network Management Support System, *Proc. 2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications*, pp. 782-787, 2010.
9) DASH GROUP. DASH — Distributed Agent System based on Hybrid architecture, [Online].Available: http://www.agenttown.com/dash/.