

グリーン指向ネットワーク管理に基づく IP 電話システムの省電力化に関する一検討

稲葉 勉^{1,a)} 小笠原孝志² 栗橋 司³ 和泉 諭⁴ 中村直毅⁵ 菅沼拓夫⁶ 白鳥則郎⁴

概要: 電力不足への対応や CO_2 排出量削減を目的とした Green of ICT の取り組みの一つとして、我々は、**グリーン指向ネットワーク管理技術**の研究開発を推進している。ネットワークに接続される ICT 機器全体の省電力化を実現するために、我々の研究開発では ARP や SNMP をベース技術とした不正端末検知システム (NetSkateKoban) を応用し、この NetSkateKoban に以下に示す 2 つの観点を加えて消費電力の削減を実現する。一つ目の観点は、ネットワークに接続された ICT 機器の消費電力を利用者単位で見える化し、利用者へ消費電力量削減の意識づけを行うことである。二つ目の観点は、利用状況に応じて仮想サーバをライブマイグレーションすることによって、ICT 機器の接続されるネットワーク構成の自律最適化を実現することである。本稿では、このグリーン指向ネットワーク管理技術の適用範囲を IP 電話システムへ拡張し、組織内で利用されている IP ビジネスフォンで無駄に消費されている電力の削減方法とその削減効果について検討し考察する。

1. はじめに

地球温暖化の主たる原因となる温室効果ガス、とりわけ温暖化寄与度の高い CO_2 排出量を削減するため、エネルギー消費量を急激に拡大し続ける ICT システムの省電力化は喫緊の課題となっている。あわせて、東日本大震災で発生した原子力発電所事故に起因して深刻化する電力供給力不足に対応するため、PC やサーバ、ネットワーク機器といった ICT 機器の省電力化 (グリーン化) の研究開発が精力的に推進されている [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]。

しかし、これらの ICT 機器省電力化の取り組みは、機器毎に個別に省電力化することに特化した研究開発が中心であり、消費電力を計測するために新たに特殊な計測機器を必要とするものも多い。このため、多数の ICT 機器で構成されるネットワークシステムや情報システム全体を考慮し

た省電力化機能を、特殊な計測機器を持たずに実現する消費電力管理技術が求められている。

こうした背景から、我々の研究グループでは、ネットワークを運用する組織内部に配備される ICT システム全体の省電力化を目的として、**グリーン指向ネットワーク管理技術**の提案を行い研究開発を推進している [8], [9]。本管理技術は、不正端末防御システムとして製品化されている NetSkateKoban [10] をベースとして、新たに研究開発を推進している ICT 機器に関する“消費電力の見える化”と“システムの自律化”という 2 つの機能を加えて構成される。

“消費電力の見える化”機能は、ICT 機器の利用者が消費する電力を個人単位で可視化することを可能にする [15]。この結果、利用者や管理者に対して省電力化の意識向上、つまりソーシャルアウェアネスを喚起することができる。また、“システムの自律化”機能は、予め定められたエネルギーポリシー (電力使用戦略・計画) や利用傾向の統計的な推論に基づき、仮想システムのライブマイグレーション等の技術を用いて無駄な使用電力を自動的に削減することを可能とする。

本稿では、グリーン指向ネットワーク管理技術の適用範囲を、ビジネス分野において急速に普及が進む IP 電話システムまで拡大し、その省電力化手法を検討するとともに、利便性とのトレードオフについて検討を行う。

本研究開発の一部は、平成 23 年 10 月開始の総務省グリーンイノベーション推進事業 (PREDICT) の支援 (平成

¹ 東日本電信電話株式会社 宮城支店
NTT EAST Miyagi-branch, Sendai, Miyagi 984-8519, Japan

² NTT 東日本一宮城
NTT EAST-Miyagi

³ 株式会社 エヌエスシー
NSC Corporation

⁴ 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

⁵ 東北大学医学部
School of Medicine, Tohoku University

⁶ 東北大学サイバーサイエンスセンター
Ciberscience Center, Tohoku University

a) inaba@miyagi.east.ntt.co.jp

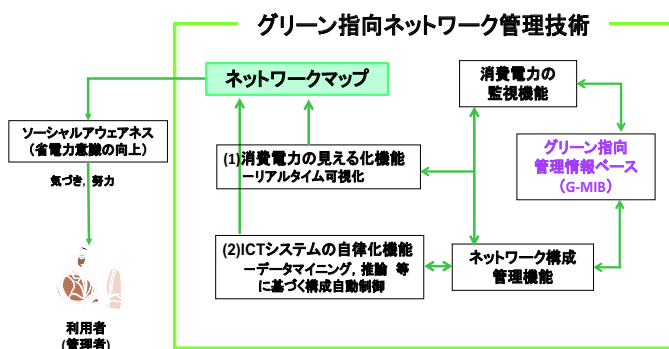


図 1 グリーン指向ネットワーク管理技術の概要

23年10月～平成26年3月)を受けて、東北大学、(株)サイバーソリューションズ、東日本電信電話株式会社 宮城支店、東北工業大学とで協力して研究開発を推進している。

2. グリーン指向ネットワーク管理技術

グリーン指向ネットワーク管理技術の概要を図 1 に示す。本管理技術は、IPv6 ネットワークモビリティへの適用を目的として国際標準化 [17], [18] された MIB (Management Information Base) に関する筆者らの先の研究経験を活かして開発を進めている G-MIB (グリーン指向管理情報ベース) [14] を用いて実現される。

本管理技術により、ICT システムの利用に伴い消費される電力量が監視され、その利用者に対しリアルタイムで消費電力量を可視化することができる。この結果、利用者や管理者に対して省電力化の意識向上、いわゆるソーシアルウェアネスの喚起を促すことが可能になる。また、本管理技術では、エネルギーポリシー（電力使用戦略・計画）に基づいて無駄な電力を消費している ICT 機器を自動的に検出する。さらに、ICT 機器の日常の電力消費量と利用形態の監視データに基づいたデータマイニング・推論を用いて、消費電力の最適化の観点からネットワーク構成が最適になるように仮想機器の構成を自律的に変更することが可能となる。

2.1 消費電力の見える化技術

消費電力の見える化技術は、システム管理者の要求に応じて検出されたネットワークに接続される ICT 機器の消費電力情報をリアルタイムで収集・分析し、その結果を消費電力量または環境負荷情報として表示する。本技術により、ネットワークの管理者は ICT システム全体の省電力化に向けた電力使用計画が可能となる。また、ICT 機器の利用者に対して、利用者自らが消費する電力量を個々に表示することが可能となるため、ICT 機器を利用する個々人に電力消費の実態を意識づけさせることができる。本技術では、ネットワーク内における ICT 機器の実際の利用状況と消費電力が関連付けて表示されるため、消費電力の無駄も明らかにすることが可能となる。

我々の提案する消費電力の見える化技術においては、単純に利用者が個人的に利用する ICT 機器の消費電力を合算して見える化するだけでなく、利用 ICT 機器の上位につながるスイッチ、ルータやファイアーウォールの他、無線 LAN アクセスポイントやプリンタなどの共有機器の消費電力も考慮に入れる。この結果、共有機器の消費電力は利用者間で案分され、個人の消費電力に加算して見える化するなどの新たな試みを取り入れている [15]。

2.2 システムの自律化技術

システムの自律化技術は、エネルギーポリシー（電力使用戦略・計画）に基づき、自動的に ICT 機器の電源の ON/OFF を制御するだけでなく、ICT システムの接続構成を自律的に最適化して無駄な消費電力を削減する。具体的には、収集した ICT 機器の使用状況や消費電力のデータを基にしてデータ解析を行い、ICT 機器の今後の利用予測を推定して、ICT システムの消費電力やネットワーク構成を最適化する。これらの情報収集や機器制御は、G-MIB をベースとして SNMP により実現される。この G-MIB は機器の ID や種類、電源状態などの 6 項目から構成される。現在、我々は G-MIB の国際標準化を目指して IETF のエネルギーマネジメントに関するワーキンググループ (Eman) で議論を進めている [11]。

2.3 グリーン Koban

グリーン指向ネットワーク管理技術を具現化するため、併せて**グリーン Koban** の開発を進めている。グリーン Koban は、(株)サイバーソリューションズ社により製品化・販売されている不正接続端末検知・遮断、およびネットワーク可視化システムである NetSkakeKoban [10] に拡張機能を追加して実現する。グリーン Koban を利用したグリーン指向ネットワーク管理技術の概要を図 2 に示す。グリーン Koban は、トラフィック制御やセキュリティ制御などの NetSkakeKoban の既存機能により得られた情報を基にして、新たに研究開発中に見える化・自律化機能を用いて、ICT 機器全体の消費電力削減を実現する。

図2において、サーバ3上で24時間稼働する必要があるアプリケーションサービスがある場合を考える。このアプリケーションは、日中はスイッチ3の配下に接続されるクライアント端末から多数のアクセスがありハードウェア資源を潤沢に要する必要があるため、個別に用意されたサーバ3上で稼働する必要がある。しかし、夜間帯においてはアクセス数が減少し、他の稼働率の低いサーバ上でも十分な稼働が可能であると判断された場合、グリーンKobanは夜間に限りこのアプリケーションサービスがサーバ2上で稼働するように指示を行う。この結果、夜間に限りスイッチ2、3およびサーバ3の稼働を停止し、無駄な消費電力を削減することが可能となる。

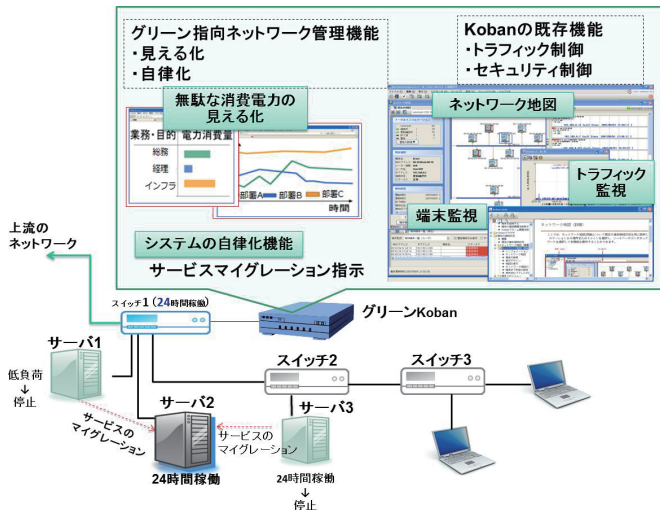


図2 グリーン指向ネットワーク管理技術の概要。

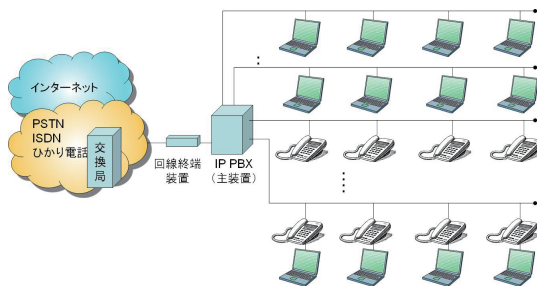


図3 既存のIP電話システムの構成。

このようにして、グリーンKobanは時間により変化するサービス利用状況に関する情報を収集・解析し、利用形態を反映して消費電力を最適化するサービス配置を自律的に構成する。

3. グリーン指向ネットワーク管理技術のIP電話システムへの適用

本章では、はじめに企業等の組織内におけるIP電話システムの実態と消費電力による観点からの課題について述べる。次に、我々の提案するグリーン指向ネットワーク管理技術にIP電話システムを適用し、利便性を損なわずに消費電力を削減する手法の提案を行う。

3.1 IP電話システムとその課題

企業等において利用されている一般的なIP電話システムの構成を図3に示す。PC等のいわゆるICT機器とIP電話機はHUBやスイッチを介して物理的に同一ネットワークに収容される場合もあるが、ネットワーク構成を変更する際のフレキシビリティを考慮して、ICT機器とIP電話機を異なるサブネットワークに収容する場合も多く見受けられる。最近では、社員一人ひとりにIP電話機が割り当てられている企業・組織も少なくない。

情報漏えいなどセキュリティインシデントの発生を避け

るため、終業時に社員は貸与されたPCをシャットダウンして帰宅する。しかし、終業時に社員がIP電話機をシャットダウンして帰宅することはない。このため、夜間や休日など社員がいなく利用される機会がないはずの時間帯も、IP電話システムは通電された状態のまま存在することとなり、無駄に電力を消費していると言える。また、これらの電話機に割り当てられた電話番号に着信があった場合には、受話者が存在しないにも関わらず着信音が鳴り続けることとなり、電話サービスの観点からも望ましい状態とは言えない。(営業窓口などのお客様から着信する可能性のある電話番号の場合、サービス時間外はPBX(Private Branch eXchange:構内交換機)機能によりIVR(Interactive Voice Response:音声自動応答)に着信させ、サービス時間外であることを発信者へ告げるサービスも存在する。)

IPセントレックスサービスを利用中のある企業におけるPoE HUB(8ポート存在するが6台の多機能IP電話機を常時接続)の夜間の消費電力量を毎時実測調査したところ、平均して1台当たり約24Whであることが明らかになった。夜間の未使用時間を20時～翌朝8時の12時間と仮定すると1台のPoE HUBでは一晩で約288Whの無駄な消費電力量が発生していた計算となる。この会社にはIP電話システムのために全部で123台のPoEHUBが設置されていることを考慮すると、一晩あたり約35.5kWhもの電力量を無駄に消費していたことになる。

3.2 グリーン指向ネットワーク管理技術への適用

前述したようなIP電話システムの夜間や休日における無駄な電力消費を削減するため、IP電話システムをグリーン指向ネットワーク管理技術に適用する方法を提案する。

3.2.1 概要

グリーン指向ネットワーク管理技術へIP電話システムを適用した場合の概念図を図4に示す。図4のように、ICT機器のネットワーク接続状態を管理するために、2.3節で述べた“グリーンKoban”を利用する。グリーンKobanは監視トランクを介して組織内にある全てのVLAN情報を監視し、ネットワーク内で通信されるARP(Address Resolution Protocol)情報を利用してICT機器をARPテーブル(MACアドレス)をベースにして管理する。このため、PCもIP電話機もスイッチもグリーンKoban内では、MACアドレスにより図4中に記載した表のようにDB管理され、それぞれ接続されるスイッチも特定することが可能である。各ICT機器の所有者は、グリーンKobanの管理者により手動登録される^{*1}。この結果、図中の表に示すように、PCとIP電話機の所有者を関連付けることが可能になる。

また、グリーンKobanはVLAN上に存在するPoEス

^{*1} ネットワーク管理者による利用者および端末登録の手間を大幅に削減するため、既存の認証システムと連携した自動登録システムを現在開発中である。

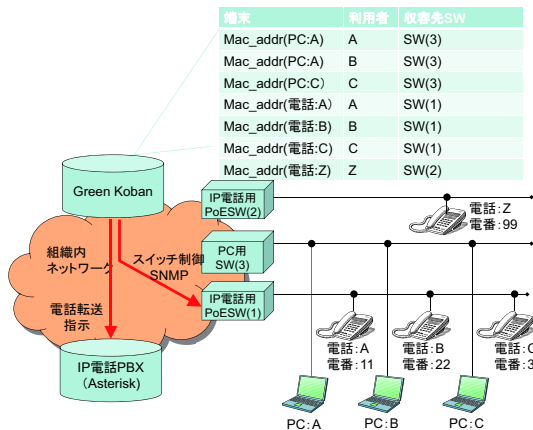


図4 グリーン指向ネットワーク管理技術のIP電話システムへの適用。

イチなどのネットワーク機器に対しては、SNMP(Simple Network Management Protocol)を用いて管理・監視・設定などを行うことが可能である。これらの機能を用いて、ある利用者のPCがシャットダウンされた場合、そのPCと同じ利用者に割り当てられたIP電話機の電源を、その電話機が接続されるスイッチのIFポートを閉塞することで切断することが可能となる。

このようにして、あるスイッチに収容されたすべてのIP電話機がシャットダウンされたことをグリーンKobanが検知すると、グリーンKobanはそのスイッチ自体の電源をOFFするようにSNMPにより指示を行う。

3.2.2 IP電話システムとの連携

電話サービスとしてのサービス性を損なうことがないように、利用者が不在となり給電を終了するよう判断されたIP電話機に付与された電話番号への着信呼は、受信可能なIP電話機に転送するかIVRへ接続するようにグリーンKobanがIP PBXに対して指示を行う。

例えば図4のIP電話機Zが夜間も在中する社員に割り当てられたIP電話機であると仮定すれば、IP電話機Aへの給電をOFFする際には、IP電話機Aに割り当てられた外線電話番号をIP電話機Zへ転送するようにグリーンKobanがIP PBXに対して指示を行う。給電がOFFされるIP電話機に割り当てられた電話番号への着信を必ずしも人間が対応する必要のない場合には、当該電話番号への着信呼をIVRへ転送し自動音声によりサービス時間外の旨を発信者へ通知することも可能である。IP電話機Aが翌朝再給電された際には、IP電話機Zへ転送された当該電話番号をもとのようにIP電話機Aに着信するようにグリーンKobanからIP PBXに対して再度変更依頼を実施する。

3.3 システム設計

グリーン指向ネットワーク管理技術のIP電話システムへの適用は、“グリーンKoban”、“IP電話システム(IP-

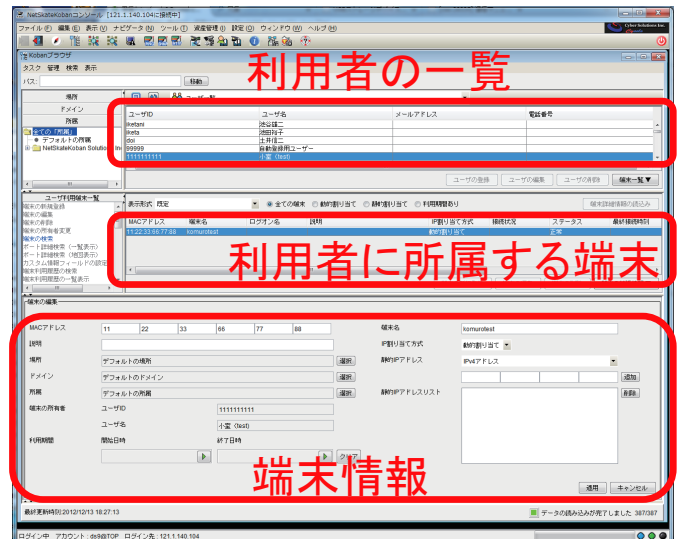


図5 グリーンKobanの利用者および利用端末登録画面。

PBX)”，および“IP電話機の接続されるPOEスイッチ”の連携によって実現される。本システムは、グリーンKobanに搭載される以下に示す3つの機能により構成される。

3.3.1 利用環境監視機能

(1) IP電話機監視機能

利用者を介してIP電話機とPCをMACアドレスを用いて関連付けする機能である。本機能は、Net-SkateKobanの既存機能を用いて実現することができる。図5にグリーンKobanにおける利用者と利用端末(PCやIP電話機)の登録画面を示す。

(2) PoEスイッチ監視機能

PoEスイッチとその配下に接続されるIP電話機をMACアドレスにより管理する。この際、どのIP電話機がPoEスイッチのどのポートに収容されるかについても厳密に管理する必要がある。これらの情報は、前述したIP電話監視機能と同様に既存のNet-SkateKobanで提供される機能を用いて、Kobanマネージャに集約することが可能である。

3.3.2 PoEスイッチ連携機能

(1) 環境変更判断機能

利用環境監視機能により把握された現在のネットワーク利用環境に基づき、IP電話機およびPoEスイッチをどのように制御するかを判断を行う機能である。本機能は、グリーンKobanに新たに搭載される。

今回は判断ロジックを簡単にするため、当該IP電話機の利用者のPCがネットワーク上で起動しているということをIP電話機起動の必然性を判断する基準として利用する。利用するPCの一時的なシャットダウンを考慮して、関連PCがシャットダウンした15分後をIP電話機の終了可能なタイミングとした。

将来的には、2.2節に記載した自律化技術の知見を活かし、よりインテリジェンスの高い判断ロジックを搭

載する。

(2) ポートスイッチ開閉塞機能

当該 IP 電話機を終了してよいという判断が得られた場合、その IP 電話機が収容される PoE スイッチの収容ポートに対して、グリーン Koban から閉塞指示を行う機能である。逆に IP 電話機を起動する必要がある場合には、当該インターフェースをオープンするよう指示を行う。本機能は、NetSkateKoban の既存機能を用いて、グリーン Koban から当該 PoE スイッチに対して SNMP を用いて指示することができる。

(3) スイッチ電源管理機能

SNMP を用いて電源の ON/OFF の管理可能な PoE スイッチは実在しないため、IP ネットワーク経由で電源管理が可能なインテリジェント PDU(Power Distribution Unit) を用いる手法を採用する。環境変更判断機能によりシャットダウン可能、もしくは再起動が必要と判断された PoE スイッチを収容する PDU のポートに対して、SNMP により電源 ON/OFF の指示を行う。

3.3.3 IP-PBX 連携機能

(1) 電話番号転送指示機能

シャットダウンされる IP 電話機に付与された電話番号への着信呼を救済するため、シャットダウンされる予定がない IP 電話機にその電話番号への着信を転送させる機能である。転送先の電話機は予め決定しておく。しかし、2.2 節に示した自律化機能の判断ロジックを応用し、よりインテリジェントに転送先の IP 電話機を決定する手法も検討中である。IP-PBX にはオープンソースの Asterisk [19] を利用する。Asterisk には、AMI(Asterisk Manager Interface) と呼ばれる外部向けの管理インターフェースが提供されており、action と呼ばれる要求パケットを用いて、外部から当該電話番号の転送先を指定する。

(2) IVR 接続指示機能機能

電話番号転送指示機能と同様にして、当該電話番号への着信を IVR へ転送する機能である。IVR の音声内容は予め用意しておいたものを利用する。

4. 実証実験

グリーン指向ネットワーク管理技術の有効性を実証するため、東北大学医学研究科・大学病院ネットワークへグリーン Koban を導入してネットワーク検証環境を構築した。本ネットワークは図 6 に示すように、VLAN 数が約 540、ネットワーク接続機器数が約 1,700 台、PC 等の端末数が約 5,000 台接続される大規模な実運用ネットワークである。コアスイッチに直収されるグリーン Koban により、すべての VLAN が監視される。グリーン Koban は図に示すように、ネットワーク上で送受信されるパケット情報を収集する**グリーンセンサ**と収集された情報を保管・解析す

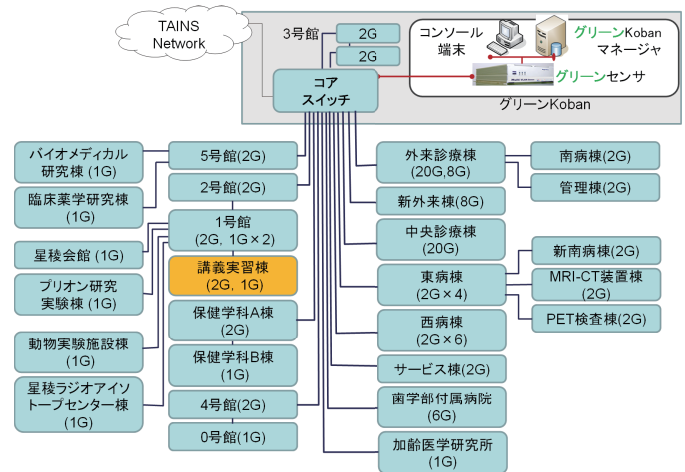


図 6 東北大医学部病院におけるグリーン指向ネットワーク管理システム実証実験環境の概要。

る**グリーン Koban マネージャ**、およびグリーン Koban マネージャを管理者が操作するための**コンソール端末**から構成される。

東北大学医学研究科・大学病院においては、諸々の事情によりレガシー系の構内 PBX による電話システムが利用されており、IP 電話システムは導入されていない。このため図 7 に示すように、講義実習棟の一部に IP PBX システムとしてオープンソースの AsteriskNOW [20] をインストールしたサーバと IP 電話機 6 台を利用した小規模環境を構築し、提案したシステムの動作検証を実施しているところである。

AsteriskNOW は、米デジウム社が無償で提供する Linux ディストリビューションの一つであり、Linux を含む Web ブラウザによる管理機能を搭載している。当初、CentOS 上に Asterisk 1.18 をインストールして実験環境を構築したが、AMI からの転送設定変更時に不具合が発生したことから、現実環境では AsteriskNOW 2.0.2 を採用している。PDU には、ラリタン社製の Dominion PX を利用した。本 PDU は、Web ブラウザを介して各ポートごとの電力使用量が把握できると共に、ポートごとに電力供給制御が可能である。グリーン Koban からの PoE スイッチの電源制御はこの PDU を介して実施される。

なお AsteriskNOW の他、Asterisk をベースとして IP PBX アプライアンスとして商用化されている AspireX [22] についても、IP PBX システムとして合わせて実証実験を開始している。

5. 関連研究

ICT システムの省電力化運転に関して、様々な取り組みがなされている。文献 [1] では、家庭やオフィス、さらには近隣コミュニティに配置される多様な分散型エネルギー生成・蓄積装置を効率的に管理運用するために“エネルギーの情報化”というエネルギーマネジメントコンセプトを提

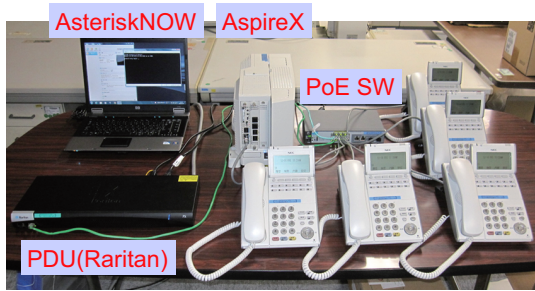


図 7 IP 電話システムの実験環境。

案している。この研究では、家電等の消費電力の見える化や遠隔制御とは異なり、電力需給の効率的なマネジメントを目的としている。文献 [2] では、利用者の位置情報に基づいて、動的にオフィス内の消費電力を最適化する手法が提案されている。また、文献 [3] では、学校やオフィスビルにおいて照明や空調などの電力を制御するアーキテクチャやプロトコルの標準化についての取り組みなどが紹介されている。さらに、電化製品から利用者の状態や好みなどの情報を収集し、それらの情報を基にして様々なサービスを提供するシステムの構築も行われている [4]。他にも、スマートフォンや無線アクセスポイント、組み込みシステムなどを対象にした電力管理アーキテクチャについての研究開発もなされている [5], [6]。例えば、文献 [7] では、利用者の使用状況に応じて、スマートフォンのバッテリー消費がどの程度あるかを実験し、バッテリー消費削減の方法について考察している。IP 電話機自体においては、**エコモード**へのモード切り替えにより低消費電力モードへ移行し、待機時の消費電力を削減する機能を有する IP 電話機なども製品化されている [21]。

これらの省電力化の取り組みでは、ICT 機器毎の個別の省電力化に特化した可視化や制御のほか、特殊な計測機器の設置を必要とする消費電力の計測システムの研究開発が中心となっている。このため、複数の機器で構成される情報ネットワークシステムをひとつの系と捉え、ICT システム全体における効果的な省電力化のための管理・制御手法などの研究開発は今だ黎明期にあるのが現状である。また、利用者はネットワークサービスを楽しむために必要な ICT システムの基幹ネットワークで消費されている電力情報だけでなく、電話システムで消費される電力情報も把握できないまま ICT システムを利用しているが、これを明示的に示す方法の技術も未だ確立されていない。

6. おわりに

本稿では、グリーン指向ネットワーク管理技術を IP 電話ネットワークに拡張し、IP 電話に関わる無駄な消費電力を削減する提案を行った。PC 等の ICT 機器に比べて 1 台の IP 電話機の消費する電力は僅かなものであるが、IP 電話機は明らかに使われない時間帯が存在するため、その

ような時間帯における無駄な消費電力を削減することは非常に意味のあることである。今回の提案においては、当該 IP 電話機の利用者の利用する PC が起動していない時間帯を、その IP 電話機が利用されない時間帯であるという前提で IP 電話機の制御を行った。本提案は、IP 電話機とそれを接続する PoE 機器を複数有する大規模な組織において特に有効であると考えられる。

しかし、実際のビジネスシーンにおいては、平日の勤務時間帯であっても営業担当者が外出している場合や打合せで離席している場合など、PC が起動中の状態にあっても利用者がそこに在席していないなどのケースはよく見受けられる。このため、このようなケースも制御の対象とするにはどのような判断メカニズムが必要かについて、人感・照度・温度センサなどを用いて周辺環境の情報を収集し適切な制御方法を検討する必要がある。ただし、個々の IP 電話機の消費する電力は PC 等に比べて微小であるため、周辺環境情報を収集するための消費電力が IP 電話機の消費する無駄な電力を上回ってしまえば意味をなさない。このため、環境情報収集等に関わる消費電力量と IP 電話機の消費する無駄な電力量のバランスを考慮しながら、IP 電話機の無駄な消費電力量を削減するための適切な判断ロジックを引き続き検討していく必要がある。今後は、IP 電話機の切り離し判定アルゴリズムの詳細化を行うと共に、実証実験により提案方式の有効性を定量的に評価する予定である。

謝辞 本研究の一部は、平成 23 年 10 月開始の総務省 ICT グリーンイノベーション推進事業 (PREDICT) 委託課題「情報システムの省電力化を実現する次世代ネットワーク管理技術の研究開発」の支援を受けて実施している。

参考文献

- [1] 加藤文和, 松山隆司, “i-Energy Profile: スマートタップネットワークによるエネルギーの情報化プロファイル”, 電子情報通信学会誌 B, Vol.J94-B, No.10, pp.1232-1245(2011).
- [2] R.K.Harle, A.Hopper, “The Potential for Location-Aware Power Management”, Proc. of the 10th international conference on Ubiquitous computing (Ubi-Comp2008), pp.302-311(2008).
- [3] Ochiai.H, Fujiwara.N and Esaki.H, “Green UTEnergy-Aware Facility Networking: a Challenge to the Standardization of Architecture and its Protocol”, Proc. of the 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign) (2009).
- [4] Takekazu Kato, Hyun Sang Cho, et al, “Appliance Recognition from Electric Current Signals for Information-Energy Integrated Network in Home Environments”, ICOST2009, LNCS, Vol.5597, pp.150-157 (2009).
- [5] Haratcherev, I, Fiorito, M, Balageas, C, “Low-Power Sleep Mode and Out-Of-Band Wake-Up for Indoor Access Points”, Proc. of the 2nd International Workshop on Green Communications (GreenComm2009) in Conjunction with the IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM), pp.1-6 (2009).

- [6] Francisco Macia-Perez, Diego Marcos-Jorquera, and Virgilio Gilart-Iglesias, "Energy Management System as an Embedded Service: Saving Energy Consumption of ICT", *Architecture of Computing Systems, ARCS, LNCS*, Vol.5455, pp.195-206 (2009).
- [7] Denzil Ferreira, Anind K Dey and Vassilis Kostakos, "Understanding Human-Smartphone Concerns: A Study of battery life", *Proc. of the 9th international conference on Pervasive computing (Pervasive 2011)*, LNCS, Vol.6696, pp.19-33 (2011).
- [8] Tsutomu Inaba, Takashi Ogasawara, Naoki Kita, Naoki Nakamura, Takuo Suganuma, Norio Shiratori, "Green-oriented Never Die Network Management: The Concept and Design", *Proc. 2012 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2012)*, pp.529-535 (May 2012). (Invited Paper)
- [9] 白鳥則郎, 稲葉勉, 中村直毅, 菅沼拓夫, "災害に強いグリーン指向ネバーダイ・ネットワーク", *情報処理学会論文誌*, Vol.53, No.7, pp.1821-1831 (July 2012). (招待論文)
- [10] "NetSkateKoban Web-site",
<http://www.cysol.co.jp/products/netskatekoban/>
- [11] "Green Usage Monitoring Information Base",
<https://datatracker.ietf.org/doc/draft-suganuma-greenmib/>
- [12] Satoru Izumi, Kazuyoshi Matsumoto, Tetsurou Sato, Naoki Nakamura, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori, "A Proposal of Green-oriented Management Information Base (G-MIB) and Its Development," *Proc. The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics 2012 (IEEE GCCE2012)*, pp.49-53 (October 2012). (Electrical Science and Engineering Promotion Student Paper Award)
- [13] Satoru Izumi, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori, "Green-oriented Network Management - Towards Symbiosis between Information Systems and Nature -," *Proc. The Second International Workshop on Symbiotic Computing and Multiagent Systems (SCMAS-2012)*, pp.690-694 (November 2012).
- [14] 和泉諭, 松本和芳, 佐藤哲朗, 中村直毅, 菅沼拓夫, 白鳥則郎, "グリーン指向管理情報ベース (G-MIB) の設計," *情報処理学会研究報告*, Vol.2012-CDS-4 No.9 (May 2012).
- [15] 中村直毅, 和泉諭, 稲葉勉, 菅沼拓夫, 白鳥則郎, "ユーザ指向消費電力可視化システムの提案," *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol.112, No.209, IN2012-53, pp.23-28 (September 2012).
- [16] 和泉諭, 稲葉勉, キニ・グレン・マンスフィールド, 中村直毅, 菅沼拓夫, 白鳥則郎, "グリーン指向ネットワーク管理技術の開発と自律化機能の設計," 第20回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2012) 論文集, pp.227-232 (October 2012).
- [17] "Mobile IPv6 Management Information Base", RFC4295
<http://www.ietf.org/rfc/rfc4295.txt>
- [18] "Network Mobility (NEMO) Management Information Base", RFC5488
<http://www.ietf.org/rfc/rfc5488.txt>
- [19] "Asterisk Web site",
<http://www.asterisk.org/>
- [20] "AsteriskNOW Web site",
<http://www.asterisk.org/downloads/asterisknow>
- [21] "パナソニック SIP 電話機 Web site",
<http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn110711-1/jn110711-1.html>
- [22] "AspireX Web site",
http://www.necinfrontia.co.jp/aspire_x/