

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

和泉 諭^{1,a)} 稲葉 勉^{2,b)} キニ・グレン・マンズフィールド^{3,c)} 中村 直毅^{4,d)} 菅沼 拓夫^{5,e)}
白鳥 則郎^{6,1,f)}

概要：本研究では ICT システム全体のグリーン化（省電力化による CO₂ 排出量の削減化）を実現するための、グリーン指向ネットワーク管理技術を提案する。本技術は ICT 機器の利用状況を分析・可視化する「無駄の見える化」技術と、推論機構・データマイニングなどを用いた機器の利用状況の分析結果に基づく「無駄削減の自律化」技術から構成される。本技術の導入により、実証実験を通して ICT システム当たり通常運用時に、10-30% の CO₂ 排出量を削減することを目指す。本稿ではグリーン指向ネットワーク管理技術の概要と無駄削減の自律化技術の設計について述べる。さらに、現在、国際標準化に向けて研究開発を進めている新しいグリーン指向管理情報ベース（グリーン MIB）の設計について説明する。

キーワード：グリーン ICT, ネットワーク管理技術, グリーン MIB, 自律化

Development of Green-oriented Management Technology and Design of Autonomy Function

SATORU IZUMI^{1,a)} TSUTOMU INABA^{2,b)} GLENN MANSFIELD KEENI^{3,c)} NAOKI NAKAMURA^{4,d)}
TAKUO SUGANUMA^{5,e)} NORIO SHIRATORI^{6,1,f)}

Abstract: In this research, we propose a Green-oriented Network Management Technology that achieves greening (reduction of CO₂ emissions by power saving) of the entire ICT system. With regard to the greening, we develop “visualization technology” of the waste to analyze and visualize equipment usage, and “autonomous technology” of the waste reduction based on the analysis results of the equipment usage by using techniques of inference engine and data mining. This aims that during normal operation, 10 - 30% reduction of CO₂ emissions per ICT system can be expected throughout the experiment. This paper presents an overview of the Green-oriented Network Management Technology and design of the autonomous technology of the waste reduction. Specifically, we present design of a new green-oriented MIB (Green-MIB) we aim to standardize internationally.

Keywords: Green ICT, Network Management Technology, Green-MIB, Autonomy

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

² NTT 東日本一宮城 ビジネス営業部
NTT East-Miyagi, Business Marketing Division

³ 株式会社サイバー・ソリューションズ
Cyber Solutions Inc

⁴ 東北大学大学院 医学系研究科
Graduate School of Medicine, Tohoku University

⁵ 東北大学 サイバーサイエンスセンター / 大学院情報科学研究科
Cyberscience Center/Graduate School of Information Sci-

ences, Tohoku University

⁶ 早稲田大学大学院 国際情報通信研究科
Graduate School of Global Information and Telecommuni-
cation Studies, WASEDA University

a) izumi@shiratori.riec.tohoku.ac.jp

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

c) glenn@cysols.com

d) nakamura@med.tohoku.ac.jp

e) suganuma@isc.tohoku.ac.jp

f) norio@shiratori.riec.tohoku.ac.jp

1. はじめに

オフィスや住宅設備の電化，業務のシステム化による ICT 機器の増加，さらには ICT 機器の性能向上に伴い，家庭やオフィスにおける消費電力量や CO₂ 排出量が増加傾向にある．さらに震災の影響による電力不足から昨年，計画停電が実施された．そのようなことから，一般家庭や学校，企業やオフィスなどにおいて，消費電力の削減や CO₂ の排出量の削減が重要視されてきている．

電力消費に対応する CO₂ の排出（環境負荷）を軽減するために，ICT システムの構成要素である PC，サーバ，ネットワークなどの個々の 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，これらの省電力化の取り組みは，機器ごとの省電力化に特化した可視化が行われており，また，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である．そのため，複数の機器で構成されるネットワークシステムやオフィス全体の情報システムにおける効果的な省電力化のための管理・制御法などの研究開発は緒についたばかりで，国内外においてその技術は確立されていないのが現状である．

本研究では ICT システム全体の省電力化を目的とし，ICT システム当たり通常運用時に，10-30% の CO₂ 排出量を削減することを目指す．この実現のために本稿ではグリーン指向ネットワーク管理技術を提案する．この管理技術は消費電力情報に加えて，ネットワークの実際の利用状況も可視化する「無駄の見える化」技術と，推論機構やデータマイニングなどを用いた機器の利用状況の分析結果に基づく「無駄削減の自律化」技術を中核として構成される．グリーン指向ネットワーク管理技術の実現にあたり，著者らが IETF において国際標準化に成功したネットワーク管理に関する先端技術 [8] を基盤とし，栗原グリーンプロジェクト（総務省）の推進による CO₂ 削減の実績を含むネットワーク管理の世界最先端の成果 [9] を高度に融合することで，ICT システム全体のグリーン化（省電力化により CO₂ 排出量の削減化）を実現する．

ネットワークシステムの CO₂ 排出量電力消費の無駄をリアルタイムで監視・可視化する「無駄の見える化」技術（リアルタイム可視化）では，ネットワークマップを生成し，それによって利用者（管理者）に対し省電力化意識の向上（ソーシャルアウェアネスの喚起）を行うことで CO₂ を削減する．また，「無駄削減の自律化」技術では，エネルギーポリシー（電力使用戦略・計画）に基づいて無駄を自動的に削減する．さらにデータマイニング技術や推論機構の融合により自律的に ICT 機器を制御することで，無駄削減を実現する．本稿ではグリーン指向ネットワーク管理技術の概要と無駄削減の自律化技術の設計について述べる．

さらに，現在，IETF の国際標準化に向けて研究開発を推進している新しいグリーン指向 MIB（グリーン MIB）の設計について説明する．

本研究開発の一部は，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）の支援（平成 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，東北工業大学で研究開発を推進している．

2. 関連研究と課題

2.1 関連研究

ICT システムの省電力化運転に関する様々な研究が存在する．文献 [1] では，家庭やオフィスなどの生活環境における多様なエネルギー（電気や熱など）を可視化し，エネルギーの蓄積・制御を行い省エネ生活環境を実現する試みが行われている．また，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電力消費を最適化する手法が提案されている．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も近年，積極的に行われている [3]．さらには，電化製品から利用者の状態や好みなどの情報を収集し，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などについても研究開発されている [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であるかを実験し，バッテリー消費削減の方法について考察している．

2.2 課題

上記で述べた省電力化の取り組みは，機器ごとの個別的な省電力化に特化した可視化，あるいは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であり，複数の機器で構成されるネットワークシステムやオフィス全体の情報システムにおける効果的な省電力化のための管理・制御法などの研究開発は緒についたばかりで，国内外においてその技術は確立されていないのが現状である．

また，通常，ICT システムは様々な企業やベンダが開発した ICT 機器から構成されている．省電力化運転のためにこれらの ICT 機器の稼働状況を収集しようとした場合，統一的な規格の欠除から，これらの情報を獲得，一元管理することは困難である．

3. グリーン指向ネットワーク管理技術

3.1 概要

本稿では，ICT システム全体の省電力化を実現するた

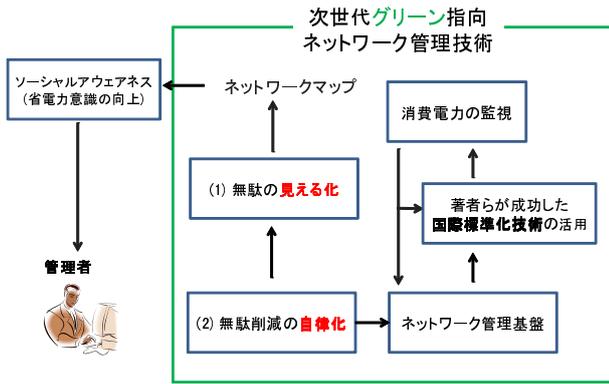


図 1 グリーン指向ネットワーク管理技術の概要

めに、グリーン指向ネットワーク管理技術を提案する。図 1 に本研究開発によって実現する管理技術の概要を示す。ICT システム全体の CO₂ 排出量の削減のために、著者らが国際標準化に成功したネットワーク管理技術 [8] を発展させ、新たな技術を研究開発する。具体的には、ICT システムの CO₂ 排出量電力消費の無駄をリアルタイムで監視・可視化する、(1) 無駄の見える化 (リアルタイム可視化) により生成されるネットワークマップによって管理者に対し省電力化意識の向上 (ソーシャルウェアネスの喚起) を行うことで CO₂ を削減する。

また、エネルギーポリシー (電力使用戦略・計画) に基づいて無駄を自動的に削減し、さらに (2) 高度なデータマイニング、推論により無駄を自律的に削減する無駄削減の自律化の 2 つのモジュールを中核として実現する。

グリーン指向ネットワーク管理技術の構成要素を図 2 に示す。グリーン指向ネットワーク管理技術では、既存のネットワーク管理技術に対して、新たに無駄の見える化および無駄の自律化技術を開発する。無駄の見える化技術では、管理者の要求に応じてネットワークに接続されている機器を検出し、機器から排出される CO₂ 量に対応する消費電力に関する情報を「リアルタイム」で収集し、そのデータの分析に基づき可視化表示する。この可視化表示により機器の消費電力に関する情報を「見える化」し、管理者が ICT システム全体の省電力化に向けた動的な電力使用計画の策定を可能とする機能を実現する。また、利用者にも電力消費の実態を意識付けさせ、ソーシャルウェアネスの向上に貢献する。さらに、エネルギーポリシー (電力使用戦略・計画) に基づき、機器電源の ON/OFF を自動的に制御するとともに、ICT システムの消費電力を自律的に最適化し、無駄に消費されている電力の効果的な削減を可能とする。

無駄削減の自律化は、収集した情報を解析することで、ICT 機器の利用状況を推定し、管理者が定めたエネルギーポリシーに基づいてネットワーク全体の環境負荷を自動的に削減する。また、推測・予測した利用状況をもとに、システム側で自律的に機器の電源の ON/OFF の制御を行い、

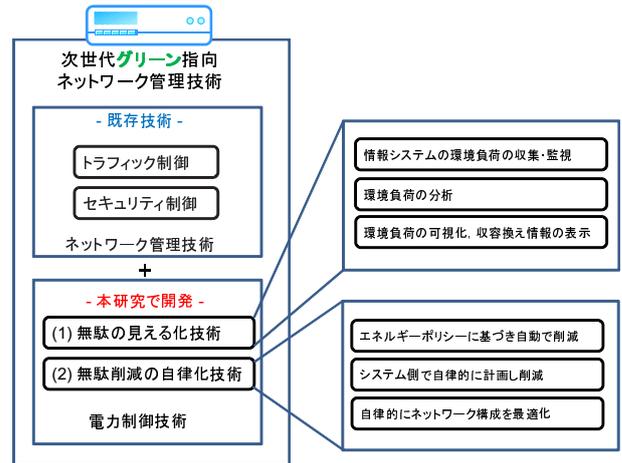


図 2 グリーン指向ネットワーク管理技術の構成要素

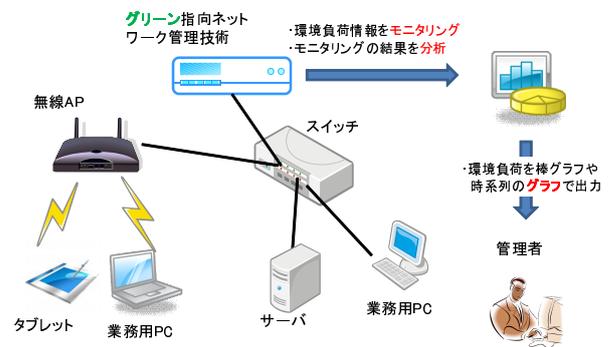


図 3 無駄の見える化技術の概要

効率的な電源制御を行う。さらに、仮想化の技術によって、自律的にネットワーク構成を最適化し、自律分散的に環境負荷を削減する。

本研究開発では、著者らが開発し製品化したネットワーク管理ソフトを基盤技術として、1)「無駄の見える化」、2)「無駄削減の自律化」の 2 つの技術を新たに導入することで、グリーン指向ネットワーク管理技術を実現する。

3.2 無駄の見える化技術

無駄の見える化技術は、電力消費を可視化する機能を持ち、さらに接続されている機器の種別や業務内容、利用目的によって、どの業務でどのくらいの環境負荷 (電力消費に対応する CO₂ の排出) が発生しているかを検出する機能を有している。図 3 に無駄の見える化技術の概要を示す。これら環境負荷の可視化によって利用者は各機器の環境負荷を容易に把握することが可能となる。環境負荷をモニタリングする機能を導入し、各端末の管理データを活用することで、機器種別および利用目的に従って環境負荷を分類する。この情報をウェブインターフェース等で共有することにより、利用者は ICT 機器の稼働計画の具体的な策定が可能となる。さらに利用者へ省電力化に対する意識、つまりソーシャルウェアネスを喚起し、CO₂ の排出の削減に大きく貢献することが期待できる。

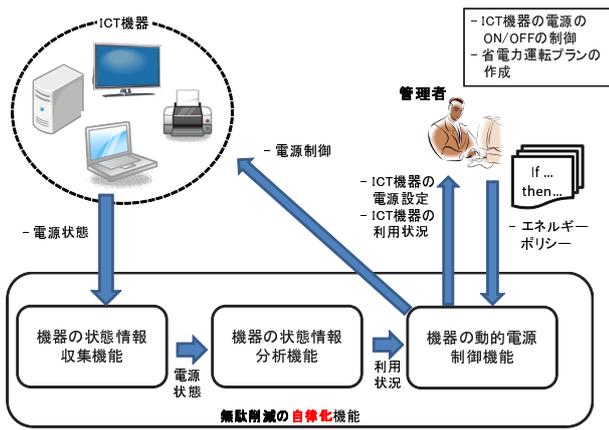


図 4 無駄削減の自律化技術の概要

本研究で開発する「無駄の見える化」技術の特徴として、既存研究開発で行われている「消費電力情報のみ」に加えて、「ネットワークの『実際の』利用状況」も見える化し、消費電力と関連づけることで、真の無駄を明確に提示することが挙げられる。具体的には、ネットワークの実際の利用状況と消費電力を関連づけて接続機器の環境負荷に関する情報（見える化の対象）を収集・分析し、接続されている機器の稼働（電力消費）状況や電力消費の内訳（利用目的別の分類など）などの ICT システム全体の環境負荷（電力消費状況）の情報をリアルタイムに表示する。管理者は表示された情報に基づいて事前に電力使用計画を策定し、環境負荷を削減する。

4. 無駄削減の自律化技術

4.1 概要

無駄削減の自律化技術は、ネットワークに接続された各機器の電源の ON/OFF などの状態を収集し、その収集した状態を分析することで、システムの利用状況を予測する。さらに、予測された利用状況により、ICT システム全体の省電力化に向けた動的な使用計画（エネルギーポリシー）に基づいて自律的に機器の電源の ON/OFF を制御する。

具体的には、収集した情報をもとにデータマイニング技術による解析によって、サーバや端末の今後の利用状況を推定し、管理者が定めたエネルギーポリシーに基づいてネットワーク全体の環境負荷を自動的に削減する。また、サーバおよび端末の機器の CPU の負荷の状況、サービスの利用状況、流れているトラフィックの情報などを収集する。さらに、サーバや端末の推測・予測した利用状況をもとに、機器の電源の ON/OFF の動的な制御をシステム自身が推論することで、効率的な電源制御を行う。同時に、仮想化の技術を効果的に応用することによって、ネットワークサービスの配置を最適化する仕組みを考案し、自律分散的に環境負荷を削減する。

4.2 無駄削減の自律化技術の設計

図 4 に無駄削減の自律化技術の概要を示す。無駄削減の自律化技術は機器の状態情報収集機能、機器の状態情報分析機能、機器の動的電源制御機能の 3 つの機能から構成されている。以下にそれぞれの機能について説明する。

(1) 機器の状態情報収集機能

スイッチ、サーバ、端末などの ICT 機器の電源状態を収集するセンサ機能である。さらに ICT 機器がネットワークへ物理的に接続されているかどうかの情報を収集する。ネットワークに接続中の ICT 機器を稼働中、接続されていない ICT 機器を休止中とし、稼働中の ICT 機器の消費電力を算出し、ICT 機器ごとの環境負荷情報を収集・監視する。

(2) 機器の状態情報分析機能

収集した ICT 機器の電源に関する情報を用いて利用状況を分析し、稼働状況、利用目的、利用傾向に従って、どの利用者がどの ICT 機器をどの程度、利用したか、またその環境負荷の内訳を分析する。

(3) 機器の動的電源制御機能

管理者が設定した「エネルギーポリシー」や分析された環境負荷の内訳に応じて、ICT 機器の電源を自律的に制御する機能である。ICT 機器の環境負荷の内訳を管理者に提示することで、管理者はその情報を参考にして、ICT システムの省電力運転のための電力削減プランを作成することができる。

また、ICT 機器の電源を OFF にした方が良いという結果を導出した場合、その結果を管理者に通知し、管理者自身が ICT 機器の電源を制御したり、必要に応じて、自動的に ICT 機器の電源を OFF にしたりする。これらは管理者が設定したエネルギーポリシーに基づいて柔軟に対処することができる。

例えば、利用されずに電源が入っている ICT 機器がある場合、利用者や管理者に警告を出す。また、ICT 機器が利用されていない場合はシャットダウンしても良いとエネルギーポリシーで定義されていれば、機器の電源を自動的に OFF にし、必要に応じて ICT 機器の電源を自動的に ON にする。

本稿ではこれら機能のうち、機器の状態情報収集機能について詳しく述べる。

4.3 機器の状態情報収集機能

4.3.1 概要

機器の状態情報収集機能は ICT システムを構成する機器の電源の状態をモニタリングする機能である。具体的に

表 1 グリーン MIB 構成概要

項目名	概要
Device ID	機器の ID
Device Name	機器の名前
Device Mac Address	機器の MAC アドレス
Device Type	機器の種類
Device Location	機器の設置位置
Device Usage Status	機器の電源状態

は機器の電源の状態をモニタリングするための新しいグリーン管理情報ベース（グリーン MIB）を定義する。グリーン MIB は、機器の電源状態を表す各種パラメーターを整理・定義したものであり、Simple Network Management Protocol (SNMP) で活用できる管理情報ベース (MIB) の拡張である。実稼動する ICT システム上にグリーン MIB を活用した監視システムを構築することで、様々な機器の電源の状態を収集し、一元的に管理することが可能となる。そして、これら情報を活用することで、ICT システムの省電力運転の制御を行う。

4.3.2 グリーン MIB の設計

我々はこれまでに開発してきたグリーン指向管理情報ベース (G-MIB)[10] の内容を整理し、ICT 機器の電力状態のモニタリングに特化したグリーン MIB の設計・構築を行った。表 1 に定義したグリーン MIB の構成要素を示す。グリーン MIB は以下の 6 つの構成要素から成り立っている。Device ID は各機器を識別するユニークな ID を示す。Device Name は機器の名前を表し、Device Mac Address は機器の MAC アドレスを示している。

Device Type はルータやスイッチ、プリンタ、テレビ、業務用 PC など各種機器の種類を設定する。Device Type を活用することで、例えばテレビの電源のみをモニタリングするなど機器の種類ごとの状態監視や制御を行うことができる。

Device Location は機器の設置位置を設定する。これにより、1 階のフロアにある機器の電源状態を監視したり、特定の部屋にある機器のみを監視・制御したりすることが可能となる。

Device Usage Status は機器の電源状態を表している。本研究ではモニタリングする電源状態として電源 ON、電源 OFF、スリープモード、パワーセーブモード（省電力モード）、その他（未接続など）の 6 種類を想定している。

4.3.3 グリーン MIB 監視システムの設計

図 5 にグリーン MIB を用いた監視システムの概要を示す。監視システムは主に SNMP エージェントと SNMP マネージャから構成される。SNMP エージェントにより各機器の電源状態を収集・管理する。SNMP マネージャは ICT システムの省電力化運転を行う際に、機器の電源状態を獲得するために SNMP エージェントに要求を出す。SNMP

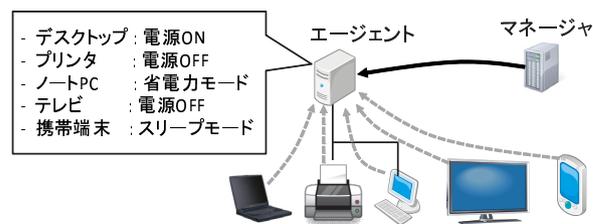


図 5 グリーン MIB 監視システムの概要

エージェントは SNMP マネージャからの要求に応じて、機器の電源状態を返信する。SNMP マネージャは受け取った電源状態を分析し、さらにエネルギーポリシーに基づき ICT 機器の電源の状態を変更する。

本研究で定義したグリーン MIB の特徴として、単純な構成であるため実装がしやすい点が挙げられる。現在、IETF Eman (Internet Engineering Task Force-Energy Management) などを中心に、電力監視のための様々な MIB が国際標準化に向けて議論されている [11]。これら MIB は設定項目が多く、また構成が複雑なため、実装を含め導入コストが高くなることが考えられる。それに対して、本研究で研究開発しているグリーン MIB は電力状態を監視することに特化しており、それに関連する 6 項目を設定すれば良いため、導入が容易である。また、実装ファイルのサイズも小さくなるため、携帯端末など計算機資源に制限がある端末上でも動作可能であると考えられる。

本研究では現在、グリーン MIB の国際標準化について取り組んでいる。具体的には、開発したグリーン MIB の第一バージョンを IETF のドラフトに投稿し、IETF 84 Meeting で発表・議論を行った [12]。今後は以下に示す実証実験を通じて、グリーン MIB の拡張や改良を行い、国際標準化の実現を目指していく。

5. 実証実験

本技術の有用性を確認するため、筆者らが所属する東北大学内外のネットワークを用いて、中規模と大規模ネットワークにおける実証環境を整備した。まず、著者らが所属する東北大学の研究室やパソコンルームに設置されたパソコン、プリンター、ネットワーク機器から構成される 50-150 台程度の機器が接続された中規模ネットワーク等において、開発したグリーン指向ネットワーク管理技術を配置し、実験環境を構築した。この環境を通じて、「無駄の見える化」、「無駄削減の自律化」技術による環境負荷の削減状況を検証する実験を行う。さらに、大学の総計約 5000 台の端末、サーバ、携帯端末やプリンターなどが接続された大規模ネットワークシステムにおいて、開発した「無駄の見える化」技術を検証するとともに、中規模ネットワークの検証結果を用いて、「無駄削減の自律化」技術を大規模ネットワークに適用した際の効果を検証・分析し、本研究開発の有効性を示す実験環境を構築した。

構築した実験環境において、環境負荷監視と環境負荷分析・可視化機能のソフトウェアについて基礎実験を行い、環境負荷に関する情報収集・分析技術、見える化技術と機能の動作確認、仕様の追加などを行う。

6. おわりに

本稿では、ICTシステム全体の省電力化を実現するために、グリーン指向ネットワーク管理技術を提案した。また、その中核技術として、利用状況の分析結果に基づく無駄削減の自律化技術の構成について述べ、ICT機器の電力状態をモニタリングするためのグリーンMIBの設計を行った。

今後は無駄の見える化技術、無駄削減の自律化技術をそれぞれ詳細に設計・実装する。そして、既存のネットワーク管理ソフトウェアに本技術を導入し、実証実験を通じて、本技術の有効性を検証する。さらに、実証実験を通じて、グリーンMIBの拡張や改良を行い、グリーンMIBの国際標準化の実現を目指す。

謝辞 本研究の一部は、平成23年10月開始の総務省PREDICT「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] 加藤丈和, 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, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J94-B, No.10, pp.1232-1245 (2011).
- [2] Harle, R. K. and Hopper, A.: The Potential for Location-Aware Power Management, *Proc. of the 10th international conference on Ubiquitous computing (UbiComp2008)*, pp.302-311 (2008).
- [3] Ochiai, H. Fujiwara, N. and Esaki, H.: Green UT Energy-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] Kato, T, Cho, H. Lee, D. Toyomura, T. and Yamazaki, T.: 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. and 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 GLOBECOM2009)*, 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. the 9th international conference on Pervasive computing (Pervasive2011)*, LNCS, Vol.6696,

- pp.19-33 (2011).
- [8] Gundavelli, S. Keeni, G. Koide, K. and Nagami, K.: RFC5488: Network Mobility (NEMO) Management Information Base (2009).
- [9] Shiratori, N. Hashimoto, K. Chakraborty, D. Takahashi, H. Suganuma, T. Nakamura, N. and Takeda, A.: Kurihara Green ICT Project - Towards Symbiosis between Human's Life and Nature, *Journal of Internet Technology(JIT)*, Vol.12, No.1, pp.1-11 (2011).
- [10] 松本和芳, 佐藤哲朗, 高橋秀幸, 菅沼拓夫, 橋本和夫, 白鳥則郎: 栗原グリーンプロジェクト - グリーン指向管理情報ベース (G-MIB) -, 第73回情報処理学会全国大会, pp.3-23-3-24 (2011).
- [11] Energy Management (eman), <http://datatracker.ietf.org/wg/eman/>
- [12] Green Usage Monitoring Information Base, <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-suganuma-greenmib/>