

# 次世代スマートシティを実現する 環境負荷低減技術

## Technology to Reduce Environmental Impact for Next-Generation Smart Cities

● 渦巻拓也

### あらまし

人口爆発による水や食料の不足, 気候変動, 資源・エネルギーの枯渇, 水・土壌・大気汚染, 生物多様性の崩壊などの環境問題が急速な勢いで加速している。これらの問題を解決し, 持続可能で豊かな社会にしていくためにも, ICTの力を利用して地球環境保護と経済成長を両立したグリーン成長を達成する必要がある。更に環境のみならず, 農業, エネルギー・スマートシティ, 交通, 医療, 教育などの社会問題を解決するための研究開発を行っていく必要がある。富士通は, 人に優しいヒューマンセントリック・インテリジェントソサエティを実現し, 持続可能性の限界を引き上げるとともに種々の情報を活用し, 新たな価値を見出し, 社会にイノベーションを生み出すことを目指していく。

本稿では, 社会・環境に関するイノベーションを支える研究開発のうち, 次世代スマートシティにおける環境負荷低減を実現する「M2Mを支えるエネルギーハーベスティング技術」「環境マネジメント技術」「環境観測技術」を紹介する。

### Abstract

Environmental issues are escalating at a fast pace: water and food shortages due to rapid population growth; climate change; the exhaustion of resources and energy sources; pollution of water, soil and the atmosphere; and the threat to biodiversity, to name a few. To provide solutions to these problems and achieve a sustainable, prosperous society, the potential of ICT must be leveraged both for the protection of the global environment and to secure economic growth—in other words, to attain ‘green’ growth. Furthermore, more research and development is required not only in the areas of the environment but also on social issues in agriculture, energy and Smart City, transport, medicine, education, and other domains. Fujitsu will strive to challenge the limit to social sustainability by pursuing a Human Centric Intelligent Society while creating various innovations for society with new value through advantageous use of diverse information. Among R&D to support innovations relating to society and the environment, in this paper we will present energy harvesting technology that supports M2M, environmental management technology, and environmental metering technology, as technologies to achieve reductions in environmental impact for next-generation smart cities.

ま え が き

地球上の人口は、2011年には70億人を突破し、2050年には92億人に急激に増加することが予想されている。いわゆる人口爆発である。これにより、水や食料の不足が拡大し、同時に都市への人口集中により、住環境の悪化や交通渋滞、地球環境面でも負荷が大きくなる。そして、気候変動、資源・エネルギーの枯渇、水・土壌・大気汚染、生物多様性の崩壊などの環境問題が急速な勢いで加速している。このように、地球は危機的な状況にある。

これらの地球規模の問題を解決し、持続可能で豊かな社会を実現する必要がある。富士通は、ヒューマンセントリック・インテリジェントソサエティの実現を掲げ、ICTの力を利用して、持続可能性の限界を引き上げるとともに、種々の情報を活用し、新たな価値を見出し、社会にイノベーションを生み出すことを目指している。

本稿では、富士通が取り組んでいる社会・環境に関してイノベーションを支える研究開発の中から次世代スマートシティの構築において重要な環境負荷低減技術を紹介する。

イノベーションを創出する技術開発

富士通は、これまで行ってきた様々な環境負荷低減に貢献する技術開発を結集し、ソリューションを創出することで環境負荷低減の効果を大きくすることが可能と考える。ここでは、次世代スマートシティに求められる技術を統合した新たな価値の創出を例に挙げてみる。

スマートシティでは再生可能エネルギーや系統電力の電気エネルギーをマネジメントし、最適なエネルギー消費を可能にすることで環境負荷低減を実現する。一方、そのコミュニティに暮らしている人々の安心・安全や暮らしの充実も同時に達成されることが、今後の社会に求められている持続可能性として重要視される。富士通は、環境、社会、経済にわたってイノベーションを起こす技術開発を行っている。以下、四つのカテゴリについてのポイントを簡単に説明する（図-1）。

(1) M2Mを支えるエネルギーハーベスティング技術  
スマートシティでは、膨大なデータを解析することにより、最適解を見出す必要がある。そのデータ収集技術の一つがM2M（Machine-to-Machine）である。例えば、各家庭に設置されるスマートメーターは電力センサーであり、そのデータ収集を支

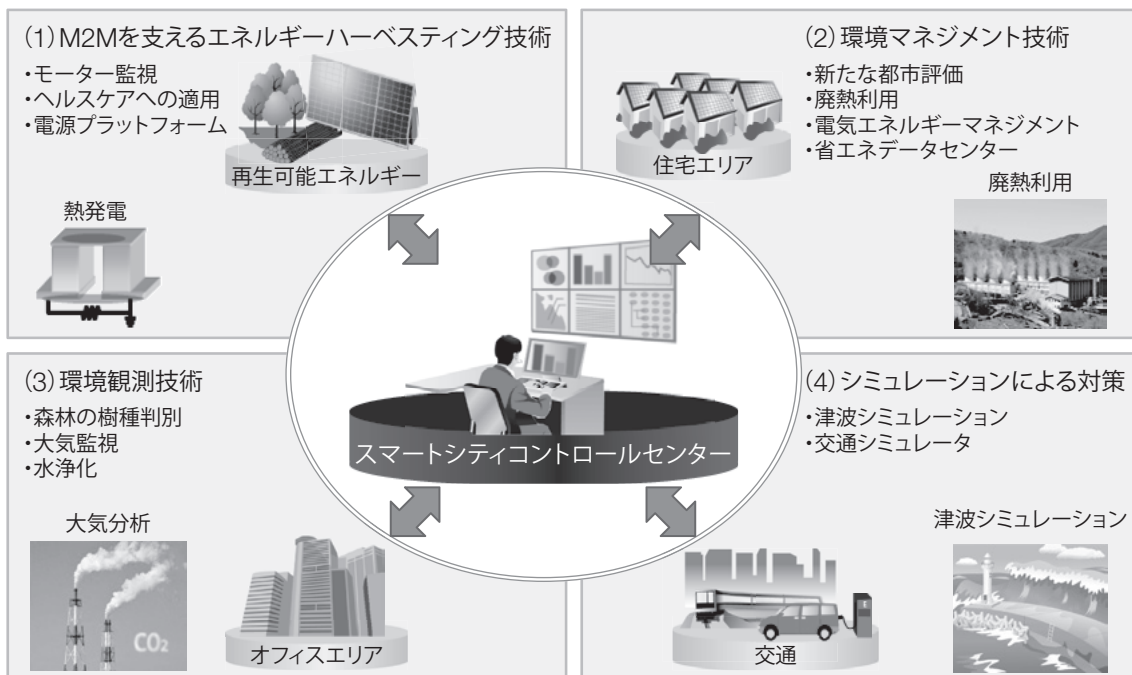


図-1 次世代スマートシティに求められる技術

えている技術がM2Mと言える。通常センサーは、電力駆動によりセンシングをする機器であるため、多数のセンサーが配置されるとそれに伴い電力供給の問題が生じる。それを解決する技術がエネルギーハーベスティングである。

## (2) 環境マネジメント技術

本技術は、電気エネルギーマネジメントを含めスマートシティにおいて必要とされるマネジメント技術を広く捉えている。新たな都市評価は、人口が集中する都会や自然が豊かな中山間地域では異なる課題があることに着目し、それぞれ地域固有の課題を解決できるソリューションを導き出せる評価を基本的なコンセプトとしている。<sup>(1)</sup>対象とする地域を社会、経済に加え環境の三つの主軸から様々な評価項目により地域の固有価値や解決すべき課題を浮き彫りにできる都市評価技術を開発している。

また、様々なエネルギーの有効活用という観点で、熱エネルギーの有効利用は重要な要素となる。ICT企業が運用しているデータセンターでは、ICT機器が集約されており大量の電力が消費され、最終的には熱エネルギーとして排出される。廃熱を有効に活用する熱エネルギーマネジメント技術は電気エネルギーマネジメント技術と相まってスマートシティのエネルギーマネジメントを最適化する。

## (3) 環境観測技術

人々を取り巻く環境に着目したとき、大気、そして生命の源である水が重要要素として挙げられる。大気中の二酸化炭素濃度の増加が地球温暖化をもたらしているが、森林は大気中の二酸化炭素を吸収し、木材という形で我々の生活に必要な材料を提供してくれている。森林を適正に管理することは、持続可能な社会を実現する上で、必要不可欠である。富士通はICTを用い樹種判別技術を確立しており、適正な森林管理に貢献できるソリューションを提供している。一方、昨今問題となっているPM<sub>2.5</sub>による大気汚染という観点ではセンシング技術を活用した大気汚染監視の必要性が今後ますます増加すると考えられる。地球上の水の総量は約14億km<sup>3</sup>であるが、実際に利用できる身近な河川、湖沼における水の割合は地球上の水の総量の0.8%に過ぎない。水の有効利用には水浄化の技

術が欠かせない状況と言える。富士通は独自に開発したハイドロキシチタンアパタイトを用い、水の浄化に貢献している。

## (4) シミュレーションによる対策

本稿では詳細に触れないが、地球温暖化による異常気象の影響を最小限に食い止める防災シミュレーションや環境負荷低減のためのモビリティ関連のシミュレーションを駆使することは、持続可能な社会の実現につながると、広く認識されている。

次章以降で上記(1)から(3)の開発技術については詳述する。

## M2Mを支えるエネルギーハーベスティング技術

M2M無線センサーネットワークを実現する上での大きな課題は電源である。大量のセンサーモジュールに搭載された1次電池の交換は多大な時間とコストを発生させ、系統電力から離れた海や地下でのセンシングにおいては電池交換が困難な場合が多くなる。これらの問題を解決する技術がエネルギーハーベスティング技術である。M2Mセンサーネットワークにエネルギーハーベスティング技術を適用することにより各種センサーを使ったワイヤレスセンサーネットワークをメンテナンスフリー化することが可能となる。

エネルギーハーベスティング技術は、身の回りにあるこれまではあまり使われてこなかったエネルギーを収穫(ハーベスト)し、電力に変換して利活用する技術であり、環境発電技術とも呼ばれている。例えば、熱(温度差)や振動、光など環境中の様々な場所に存在するエネルギーを電力に変換する技術である。これらのエネルギーから変換された電力は $\mu\text{W}$ から $\text{mW}$ ととても微弱であるが、収集して適材適所に活用することによって、系統電力のない場所での電力供給やメンテナンスフリー、電池交換レス、配線レス実現など、M2Mに新しい価値を享受する。ここで、エネルギーハーベスティング素子によって発電された微弱な電力を有効に、かつ効率良く活用するためには、蓄電素子が必須である。そして、M2M無線センサーモジュールの開発では、エネルギーハーベスティング素子と蓄電素子を合わせることが重要である。エネルギーハーベスティング素子の発電が何らか

の環境変化などにより発電しなかった場合でも、センシングや無線送信などの一連の動作を行う必要があるからである。エネルギーハーベスティング素子と蓄電素子を合わせ、発電した電力をコントロールし、センサーの種類に依存せずに安定した電力供給を可能とする(図-2)。

M2M無線センサーモジュールに用いる蓄電素子として全固体2次電池の研究開発を行っている。ノートPCやスマートフォンに使用されているLiイオン2次電池の電解質は、有機系の電解液や重合体が使用されているため高温で発火の心配がある。全固体2次電池は、電解質が固体であるため発火の心配がなく、繰り返し使用による劣化に強い特徴を持っている。しかし、電解質中のLiイオンの通りやすさの指標であるイオン導電率の向上、つまり固体電解質中をLiイオンが高速に行き来しやすくする必要があるのである。この課題に対して、従来使用されている窒化物系の固体電解質(イオン導電率は $1.0 \times 10^{-6} \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )よりも高く、目標値の $1.0 \times 10^{-4} \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ を超える硫化物系の新しい固体電解質材料LiPBS(イオン導電率 $2.2 \times 10^{-4} \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )の開発に成功した<sup>(2)</sup>。現在、M2M用無線センサーモジュールへの適用に向けた研究開発を行っている。

エネルギーハーベスティング技術を用いたM2M無線センサーモジュールの実用化に向けて、様々なハーベスタ(熱電、太陽電池など)と全固体2次電池など蓄電素子の組合せを電源として利用でき、また入力デバイスには各種のセンサーを選択して接続できる、環境発電向け汎用回路の設計・試作を行った。無線モジュールには様々な規格のものが接続でき、見通し距離で約1 km離れたところま

で送信できるようにした。M2M用アプリの一例として工業用モーターを想定し、高温(約50℃)になったモーター表面と外気(約20℃)との温度差で発電された発電量を環境発電向け汎用回路でモニタリングする。その値を10秒間隔で送受信することに成功し、M2M無線センサーモジュールにエネルギーハーベスティング技術の適用が可能であることを実証した。

富士通が目指すヒューマンセントリックなネットワーク社会では、無数のセンサーからの膨大なデータを効率良く収集することが必要とされる。エネルギーハーベスティング技術はメンテナンスフリーの無線センサーネットワークを実現できる技術であり、ビッグデータ収集に大きな効果を発揮すると考えられる。

**環境マネジメント技術**

スマートシティ構築に当たり、都市の価値評価ならびにエネルギーを効率化する電気エネルギーマネジメントは重要な技術と考えられる。以下、それぞれの具体的な技術開発状況を記す。

(1) 都市評価技術<sup>(3)</sup>

持続的社会的の実現には、環境、社会、経済の三側面でのバランスをとりながら社会が発展していくことが望まれる。その解決策として、地域資源や地域の課題を見える化し、適切な施策やICTソリューションを提供し、地域活性化を図ることが有望である。地域が抱えている課題は様々であり、地域ごとの課題を明確にし、課題解決に向けた適切な施策を提示することが重要である。地域の特性を理解する上での問題は、全国一律の基準での比較では地域が抱えている課題を明確にできない点である。例えば、都市部と中山間地域を同一の尺度で比較した場合、都市部では経済的な活動の度合いが高くなり、林野面積の多い中山間地域では環境の評価結果は良くなる傾向になる。

開発した技術では、類型の地域の全国平均、および課題を持つ自治体同士を比較することで、地域特性や地域固有の課題の抽出を可能にした。具体的には、環境、社会、経済の評価軸を細分化した上で、40以上の項目で評価した後、人口規模や産業形態で分類し、クラス分析などを実施できるようにしている。評価事例として図-3に都市部(A

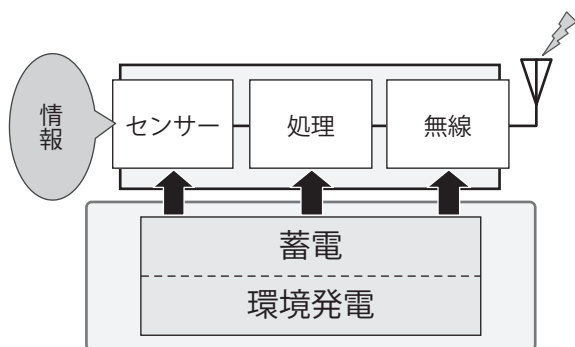


図-2 M2M用自己発電無線センサーモジュール

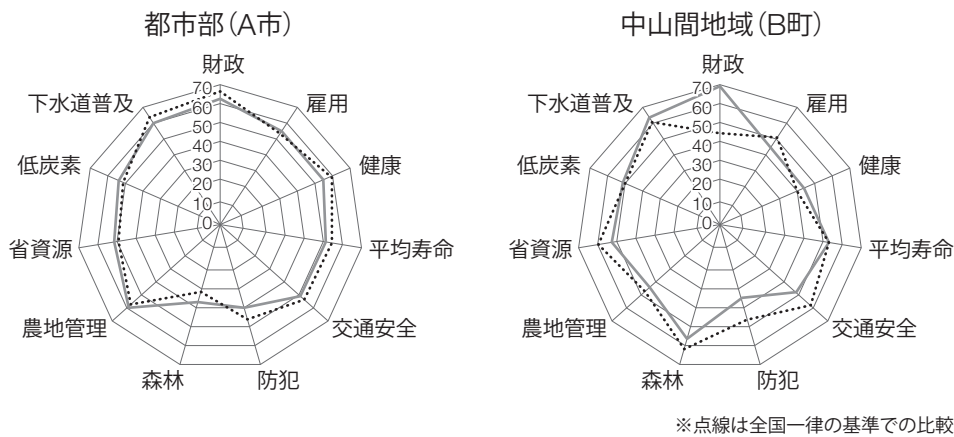


図-3 都市評価結果事例

市)と中山間地域(B町)の評価結果を示した。全国平均との比較では、A市は財政や雇用といった面では優れているものの、防犯といった点が課題として挙げられる。B町も財政が良いものの、防犯が課題であり、ともに豊かな財政を防犯といった課題解決に投資することが有効であると考察される。また、A市とB町を比較すると、農地管理という点ではB町の方が悪い結果となっている。B町では中山間地域の中でも、高齢化が進んでおり、農業の担い手が減少していることが推察される。

(2) 環境配慮型データセンターの構築技術

インターネット上で提供されるクラウドサービスの進展に伴い、サービス提供の重要なインフラであるデータセンターの消費電力が急激に増加すると見込まれている。<sup>(4)</sup> データセンターへのICT機器の集中が進むと、ICT機器が消費する電力が増えるだけでなく、空調をはじめとするファシリティの消費電力も増加する。ファシリティが占める電力消費の割合は、40%程度となっている。データセンターのエネルギー効率向上のためには、ICT機器単体だけでなく、ファシリティも含めた省電力化の取り組みが必須となる。富士通研究所では省電力チップおよびシステムボードから、サーバシステム/ネットワークの構築、電源、冷却、ソフトウェアまで、一貫した研究開発をグローバルな体制で実施しており、源流からの技術開発でエネルギー効率を追求するとともに、省エネルギー技術のバリューチェーンを構築している。

データセンターの冷却に必要な電力の削減には、外気利用やフリークーリングなどの自然の力

の活用効果も大きい。富士通研究所では、エアコンやチラーなどの冷却設備を使用しない方式として、外気冷却を利用したコンテナデータセンターを自社工場内に設置し、省電力性能を評価している。外気冷却は寒冷地に設置されたデータセンターで採用されることが多いが、東京近郊でもPUE (Power Usage Effectiveness) 1.05で動作できることを、1年間の動作試験で確認している。<sup>(5)</sup>

データセンター内のICT機器より発生する熱は、再利用しにくい100℃以下の温風として排出されている。富士通研究所では、ICT機器の廃熱から得られた温水と、常温の水との温度差を利用して吸着式ヒートポンプを動作させ、20℃以下の冷水を製造できる廃熱利用システムの開発に取り組んでいる。吸着反応のみを利用するノンフロンの環境にやさしい冷却方式であり、循環ポンプ以外の電力を必要とせず、廃熱のみで動作できる特徴がある。冬季にサーバ群からの排気を暖気として、一部吸気側に再循環させ結露を防ぐ機能に加え、吸着式ヒートポンプの活用により、廃熱を積極的に利用する先進的な廃熱利用型データセンターの開発を推進している。

ラックごとに異なる発熱状況を把握し、最適な条件で冷却システムを動作させるためには、データセンター内の温度分布の把握が必須となる。温度センサーの取り付けによる測定、赤外線カメラによるラック表面の赤外線放射率を測定する方法などが知られているが、温度分布の空間分解能が低く、またリアルタイムで正確な温度分布を測定することが難しい。富士通研究所では、データセン

ターホール内の温度分布をリアルタイムで正確に把握可能な技術として、光ファイバー温度測定システムを開発した。データセンター温度分布見える化ソリューションとして、2012年4月より富士通ネットワークソリューションズより提供を開始している。ホール内に局所的に発生するホットスポットの検出が可能になるとともに、熱流体シミュレーションなどによる予測値よりも、実測温度に基づいた信頼性の高い改善施策を行うことができる。<sup>(6)</sup>

### 環境観測技術

環境を良好に維持、管理するためには、まず、その状態を把握し、次に対策を立案、実施し、その効果を検証する必要がある。本章では、環境の状態を計測する技術として、電気電子機器などの腐食障害を引き起こす雰囲気腐食性の計測技術、二酸化炭素の吸収源として重要な森林の樹種判別技術、また、対策技術として、生命の源となる空気や水の浄化技術を紹介する。

#### (1) QCMセンサーを用いた腐食環境計測技術

QCM (Quartz Crystal Microbalance) は、水晶振動子の電極に物質が付着すると振動の負荷となって固有の共振周波数が低下する現象を利用した天秤である。電極上に腐食を計測したい金属薄膜を成形し、周波数変動から腐食生成物の重量を算出することで、雰囲気腐食性を評価できる。電池駆動、無線による制御、データ転送が可能な小型センサーユニットを持つ環境モニタリング装置を開発し、富士通クオリティ・ラボの腐食対策サービスに適用した。<sup>(7)</sup> 腐食性物質の発生源調査や対策効果確認を迅速かつ効率的に行うことを可能にしている。生産制御の現場やデータセンター、社会システムなど、ICT社会を支える電気・電子機器、情報機器の腐食障害の未然防止に貢献することで、安心・安全な社会の実現を目指す。

#### (2) ハイパースペクトル解析による樹種判別技術

大気中の二酸化炭素濃度上昇によるとされる近年の気候変動は、地球規模で異常気象を頻発させ、その影響はますます大きくなると懸念されている。森林は、二酸化炭素の吸収源のみならず、生物多様性保全の源であり、豊かな資源の宝庫である。この森林を保全し、利活用していくために、森林の樹種を把握することが重要である。ハイパー

スペクトルデータの解析により、スギ、ヒノキを90%以上の精度で判別できる技術を開発した。従来の現地踏査や航空写真による判別に比べ、広範囲の樹種を低コストかつ高精度で判別することを可能にした。この技術を用いた「森林資源計測サービス」を検討しており、林業経営の高度化や適切な森林保全施策、これらと通じた森林資源の持続可能な利用に貢献していく。

#### (3) チタンアパタイトを用いた水浄化技術

独自開発した環境浄化材料である「チタンアパタイト」<sup>(8)</sup>の製品適用拡大を進めている。紫外線の照射による光触媒作用により、表面に吸着した有機物を水や二酸化炭素に分解する。図-4は、光触媒材料の吸着能力を示しており、チタンアパタイトは、汎用の酸化チタンに比して、物質の吸着能力が高く、エチルエストラジオールなどの有害な内分泌かく乱物質や、ウイルス・菌などを効率的に分解できる。これまで、空気を対象としたマスクや空気清浄機のフィルターに適用してきた。更に対象を水に拡大し、高機能水浄化フィルターを開発し、水処理装置専門メーカー、川崎市などとの連携を構築し、アフリカにおける飲料水の汚染問題の解決に向けた取組みを開始した。この取組みをCEATEC2013 (2013年10月1日～5日、幕張メッセで開催)に展示した。今後もライセンスによる製品展開を推進し、環境浄化を通じて、社会に貢献していく。

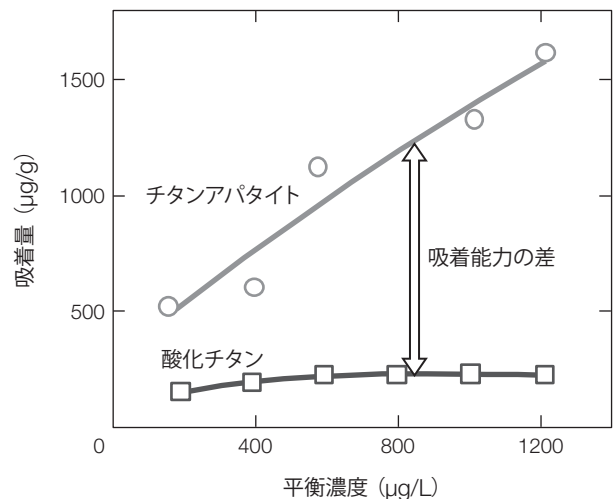


図-4 光触媒材料の吸着能力

## む す び

本稿では、持続可能な社会へ向けた課題を解決するために、M2Mを支えるエネルギーハーベスティング技術、環境マネジメント技術、環境観測技術に関する最新の取組みを紹介した。これらの技術を核に、世の中に大きなイノベーションを起こしていきたい。

持続可能で豊かな社会にするために、ICTの力を用いたヒューマンセントリック・インテリジェントソサエティを実現し、環境保護と経済成長とを両立したグリーン成長を目指して、これからも果敢にチャレンジしていく。

## 参考文献

- (1) 国土交通省 国土交通政策研究所：運輸企業の組織的安全マネジメント手法に関する調査研究 全国の市町村長及び特別区長における地域づくりに関するアンケート調査（概要）。  
[http://www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/H06\\_3.html](http://www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/H06_3.html)
- (2) K. Homma et al. : Enlarged Lithium-Ions Migration

Pathway by Substitution of B<sup>3+</sup> for P<sup>5+</sup> in Li<sub>3</sub>PS<sub>4</sub>. *ECS Transactions*, Vol.50, Issue 26, p.307-314 (2013).

- (3) 山内崇裕ほか：都市の評価および環境負荷の定量的評価手法～ICT導入による貢献量～. *FUJITSU*, Vol.64, No.6, p.714-722 (2013).
- (4) 小田切 充ほか：データセンターの省エネ動向と富士通グループの取組み. *FUJITSU*, Vol.61, No.3, p.235-240 (2010).
- (5) H. Endo et al. : Effect of climatic conditions on energy consumption in direct fresh-air container data centers. 4th International Green Computing Conference (IGCC), IEEE, June 29, 2013.
- (6) 武井文雄ほか：リアルタイム超多点温度測定技術. *FUJITSU*, Vol.60, No.5, p.423-429 (2009).
- (7) 富士通クオリティ・ラボ：大気中の腐食性物質を短時間で測定・対策を行うサービスを提供開始。  
[http://jp.fujitsu.com/group/fql/downloads/news/env\\_release20120315.pdf](http://jp.fujitsu.com/group/fql/downloads/news/env_release20120315.pdf)
- (8) 富士通研究所：光触媒技術。  
<http://jp.fujitsu.com/group/labs/techinfo/techguide/list/catalyst.html>

## 著者紹介



## 渦巻拓也 (うずまき たくや)

ソーシャルイノベーション研究所 所属  
現在、ソーシャルイノベーションを中心とした環境・エネルギー研究業務に従事。