Arduino・Pachube・SketchUpと連携した建築モニタリングシステムの基礎的研究

FUNDAMENTAL RESEARCH ON ARCHITECTURAL MONITORING SYSTEM COLLABORATE WITH ARDUINO, PACHUBE AND SKETCHUP

遠田 敦 — * 1 菊地弘祐 — * 2
中川 純 — * 3

Atsushi ENTA — * 1 Kousuke KIKUCHI — * 2
Jun NAKAGAWA — * 3

キーワード：
モニタリング, センシング, Arduino, Pachube, SketchUp

Keywords:
Monitoring, Sensing, Arduino, Pachube, SketchUp

Recently, the use of sensor technology in the architecture discipline has been studied in various researches, but generally their instruments of the system aren't spread. This is because of high cost of the systems, limited web service that can do comprehensive data management, and insufficient cooperation between CAD and these systems. For these issues, we can construct the Architectural Monitoring System, by using "Arduino" as hardware for sensing, "Pachube" as the tool of data management, and "Google Sketchup" as linkage system. This thesis has shown the system from getting data to visualizing, using these new ICT equipments.

1. 研究背景

1.1 ICTに関する社会背景

情報通信技術（以降 ICT）を基盤とした製造業やサービス産業は、21 世紀におけるわが国の中核的な産業分野であるとともに、さまざまな産業や業種が ICT を基盤にして連携することで、新しい社会基盤やサービスの登場が期待されている。建築分野においても例外ではなく、日本建築学会では 2004 年度から「ユビキタス建築都市特別研究委員会」、2008 年度からは「建築・都市分野における情報インフラ構築特別研究委員会」として、来るべきユビキタス情報社会における建築・都市像について検討をすすめている。

近年では特に、空間内に偏在するセンサ群が相互に連携してネットワークを構成しているセンサーネットワークや、センサがインターネットに接続されたものに対して注目が集まっており、建築各分野からは、さまざまなセンサ技術を用いて建物の揺れや環境データ、居住者の動態や建築現場における物流などを観測した研究が報告されている。

構造分野からは、地震による建物の揺れを加速度センサによってモニタリングし、これにより構造躯体の損傷や性状変化を推定する研究¹⁾や、その性能評価を実証的に行った研究²⁾が報告されている。

計画分野からは、身の回りさまざまなモノに RFID タグやセンサを設置し、人間がモノに触れる場面を観測した研究³⁾や、屋内における居住者の歩行動線を捉えた研究⁴⁾、あるいは、画像センサを用いたモニタリングにより、オフィス空間でのコミュニケーション行動量を定量化する研究⁵⁾が行われている。

環境分野からは、温湿度、風向・風速、降水量などを包括的にセンシングし、ネットワーク経由でこれを監視する実証実験⁶⁾が行われている。

生産分野では、RFID 技術を利用して建設現場での作業員管理を目的としたシステムの開発⁷⁾や、建築部材の生産から搬入までを

追跡するシステムの実証実験⁸⁾などが行われている。

このような研究が多数報告される背景には、センサ技術を用いた手法によってさまざまなデータを簡易かつ自動的に取得できることと、インターネットなどのネットワークを介して観測箇所全体を包括的にモニタリングできる利便性によって、これまでの技術では実現できなかった機能やサービス、運用方法などが ICT の利用によって実現できると考えられているからである。

1.2 現状の課題

研究段階でのセンサ利用については、これまでに述べてきたとおり各分野で取り組みが進められているが、一般的に利用されるにはまだ至っていない。研究が成熟しつつある今、これからは普及に関する取り組みの重要性が一層増してくるものと考えられる。そこで、ここでは普及のための課題として考えられるものの中から特に以下の3点を挙げる。

1 点目は、センサのコストに関する問題である。研究段階で用いられているセンサ機器類は、研究のためのプロトタイプとして開発されたものや、あるいは市販品でも研究機関や企業向けに作られた専用機器である場合が多く、総じて高価である。住宅においてこれらの機器を導入しようとする場合、建築コストに占める割合が非常に高くなってしまいうので敬遠されがちであり、機器の低価格化は大きなハードルとなっている。

また、専用機器類は高精度で多機能といった特徴を持っていることが多いが、そのことが高価格化を招いているだけでなく、利用の際に要求される専門知識の増大や、必要な機能を利用者が取捨選択することが出来ないことも課題である。

2 点目は、センシングされたデータを扱うプラットフォームに関する問題である。海外の事例を参照すると、米 Google 社が「Google Power Meter」というプロジェクトにおいて各家庭に「Smart Meter」と呼ばれるセンサ機能付き電力メータを配布し、インター

¹⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士（建築学）
〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

²⁾ 早稲田大学理工学研究科建築学専攻 博士後期課程・修士（建築学）

³⁾ レビ設計室 学士（工学）

⁴⁾ Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Tokyo Univ. of Science, Dr. of Arch.

⁵⁾ Graduate School of Science and Engineering, Waseda Univ., M. Arch.

⁶⁾ Levi / architecture

ネット経由で消費電力量を常時モニタリングして、これをウェブ上で表示させる取り組みをはじめようとしている^{注1)}。

Google 社の取り組みからもわかるように、データをセンシングするだけでなく、センシングしたデータを収集するためのプラットフォーム（ウェブサービス）も同時に必要とされている。Google 社はすでにその開発を進めているが、現状ではこのようなサービスで自由に利用できるものは、Google 社のものも含めて非常に限られている。

3 点目は、センシングにより得られたデータの二次利用に関する問題である。センシングなどによりデータを取得することの意義としては、得られたデータの主体である者自身がデータの推移を観測することで、自らの行為や習慣、周辺環境の状態について認識し、それに基づいて行動を改め、環境改善を行うといった反応を起こすきっかけになる点であろう。先述の Google 社の例では、ユーザがこのサービスを利用することで電力消費量がおよそ 5 ～ 15% 程度削減される見通しがあるという調査結果が出ている。これは集めたデータを可視化した効果であると考えられている。

つまり、センシングによって得られたデータは、単に数値として処理されるだけでなく、可視化などといった方法でユーザにフィードバックされたり、ほかのサービスと併用（マッシュアップ）されることで、新たなサービスとして利用できるようになることが期待されている。そのためのプラットフォームとして、現状ではウェブブラウザや携帯電話が考えられるが、構造ヘルスモニタリングや環境モニタリングといったことを建築分野においても実施していること、あるいは近年注目されている BIM（Building Information Modeling）との連携から、CAD ソフトとの連携が必要になってくると考えられる。

1.3 新たな動向

これまでに述べてきた課題に対し、一方ではこれを克服する可能性のある新しい技術もまた登場してきている。

まず、さまざまな情報をセンシングするために必要なハードウェアについては、「Arduino（アルデュイーノ）」を利用することによって安価に手配することが出来る^{注2)}。Arduino は、単純な入出力機能を具備した電子基板と、Processing 言語を実装したシステムである。ハードウェア情報は無償公開されており、3,000 円程度で市販されている完成基盤を購入することも出来るが、公開されている部品情報によって自ら組み立てることも可能である。センシングに必要なセンサ類の手配には、秋葉原などで店頭販売している店舗を利用する方法もあるが、インターネット上で運営されている販売サイトから入手することも出来る。Arduino を制御するためのプログラムは、無償で配布されている開発環境（Arduino IDE）で作成することが出来る。

次に、センシングしたデータを収集・管理する方法（ウェブサービス）については、自由に利用できるものとしては現状で「Pachube（パッチベイ）」というウェブサービスがある^{注3)}。Pachube は、すでに背景で述べたように、センシングされたデータを収集するサービスの重要性に対して敏感に反応し、この問題に先進的に取り組んでいるウェブサービスである。わが国での知名度はまだあまり高くないが、イギリスやフランス、アメリカをはじめ、世界各国からセンシングデータを収集している。Pachube に送信されたデータ

は、まずウェブサイトでは簡易なグラフ表現として可視化されるが、XML データが公開されることによって、データの所有者だけでなく、サービスの利用者すべてが利用可能なデータとして扱うことが出来る。

最後に、Pachube のようなウェブサービスと CAD との連携については、Google 社が無償公開している 3 次元 CAD ソフトウェア「Google SketchUp」を利用することが出来る^{注4)}。その中心的なコンセプトは、誰にでも使える直感的なインターフェースであり、初心者にも非常に扱いやすいインターフェースを持っているが、スクリプト言語 Ruby によって機能を拡張することができ、高度な拡張にも対応した CAD ソフトとして国内外から評価が高い。ウェブサービスとの連携も Ruby を用いた機能拡張によって実装することが出来る。

2. 目的

本研究では、近年新たに登場した ICT 基盤（Arduino・Pachube・SketchUp）を連携させながら、建築空間におけるさまざまな現象のセンシングから可視化にいたるまでの一連の自動化システムを安価に実装する手順を示すとともに、今後の課題を明らかにする。

3. 研究方法

本研究で試作する建築モニタリングシステムは、① Arduino を用いて温度・照度・加速度をセンシングし、② インターネットを介して Arduino から Pachube にデータを送信することでデータの収集と管理を行い、③ SketchUp を用いて Pachube から温度データを受信して CAD オブジェクト上で可視化するという一連の流れを実装することとした。以下にそれぞれの段階の解説を記した。

3.1 Arduino を用いたセンシング手法

Arduino 基盤、インターネット通信用モジュール（Arduino Ethernet Shield）、作成したセンサ基盤を図 1 ～ 3 に示し、これらを接続して構成するセンサーノードを図 4 に示す。また、センサ基盤の回路図を図 5 に示す。

作成したセンサ基盤に実装したセンサ類は、温度センサ（National Semiconductor, LM60BIZ）、照度センサ（浜松ホトニクス, S9648-100）、三軸加速度センサ（秋月電子, KXM52-1050）である。いずれのセンサも、Arduino 基盤から供給される 5V 電源に並列に接続され、各センサ部で生じた電圧降下量を数値化して温度・照度・加速度に変換している。

Arduino は 10bit の AD コンバータを実装しているので、アナログ入力から得られる数値は 0 ～ 1023 までの整数で取得される。各センサは 5(V) の電位差を持つ回路に実装されているので、この 1024 段階の整数値を 0 ～ 5(V) もしくは 0 ～ 5,000(mV) の数値に変換して、降下電圧量に換算する。

温度センサは、0(℃) で 424(mV) を示し、6.25(mV/℃) の特性を持つ。アナログ入力ピンから計測された電圧の値 V_t (mV) を用い、 $(V_t - 424) / 6.25$ により温度を計算することが出来る。

照度センサは、図 5 中の回路により計測された値を電位差に換算したものを用いることで、照度に換算できる。

三軸加速度センサは、感度が XYZ 三軸それぞれ ± 220 (mV/G) の特性を持つ。センシングに先立って XYZ 三軸ともに基準値 $S_x, S_y,$

Sz}を計測し、計測値Pを用い、X・Y軸については $(P - S) / 220$ 、Z軸については $(P - S - 220) / 220$ によって加速度(G)を算出する。

Arduinoは通常、USBバスパワーで電源供給を受けるが、ACアダプターからの電源供給でも稼働するため、PCなどと独立してセンシングすることが可能である。本研究ではAC10(V)の電源アダプターを用いている。

3.2 Arduino から Pachube にデータを送信する

Arduinoでは3.1項で述べた計測処理を10秒間にわたって断続的に行い、その平均値をPachubeサーバにデータを送信する。センサから取得したデータは、Arduino基盤と接続されたArduino Ethernet Shieldを経由して、インターネット経由でPachubeサーバへと送信される。Ethernet Shieldには固有のMacアドレスが割り当てられており、IPアドレスを指定すればインターネットに接続することが出来る。

Pachubeにデータをアップロードするには、事前にアカウントを取得しなければならない。アカウントを取得すると、「フィード」と呼ばれるデータ管理領域を作成することが出来る。フィードには位置情報を与えることが出来るので、ユーザはセンシング地点ごとにフィードを設定する。各フィードには固有のフィードIDが割り当てられており、外部のシステムからPachubeにデータを問い合わせる際にこれを用いる必要がある。

各フィードには「データストリーム」と呼ばれるデータ系列が存在する。これはユーザが自由に設定でき、温度や照度などといったデータをそれぞれに対応したデータストリームにアップロードすることで、Pachubeサーバはこれを時系列で管理し、グラフで表現する。現在、Pachube上で表示されるグラフは15分間に送信されたデータの平均値を表示しており、過去にアップロードされたすべてのデータも15分の平均値のデータで管理されている。Pachube上の管理画面を図6に示す。

ArduinoからPachubeサーバにデータを送信する際、本研究ではHTTPのPUTメソッドを用いている。3.1項で述べたセンシング部分の処理と本項で述べたアップロード処理は、Arduino IDE上で処理を統合したプログラムを作成し、Arduino上にアップロードする。Arduinoはプログラムに従って随時処理を実行する。

3.3 Pachube から SketchUp にデータを送信する

SketchUpに対して、Pachubeから定期的にデータを取り込むためのプログラムを作成した。SketchUpの操作画面を図7に、利用手順とシステムフローを図8に示す。

最初に、SketchUpを起動してRubyコンソールに「load 'archiduino.rb」と入力して実行すると、SketchUpのウェブコンソールが起動する。「add」ボタンを押下し、テキストフォームを増やして任意の数を設定し、データを取得したいPachubeのフィードIDをそれぞれ入力する。

次に、SketchUp上でオブジェクトをフィードIDの数だけ用意し、それぞれを個別にグループ化する。「set attribute」ボタンを押下すると、SketchUp上の各オブジェクトに対し、フィードIDが属性情報として付加される。「set attribute」ボタン押下後に現れる「get data from Pachube」ボタンを押下すると、ウェブコンソールはPachubeサーバに対して各フィードのXMLデータを取得しにゆき、Pachubeサーバは各フィードのXMLデータをウェブコンソール

図1 Arduino 基盤

図2 Arduino Ethernet Shield

図3 作成したセンサ基盤

図4 Arduino センサノード

図5 センサ基盤回路図

図6 Pachube 管理画面

図7 SketchUp 操作画面

ルに渡す。ウェブコンソールは XML データの中から室温に関するデータを抽出し、SketchUp にそのデータを渡す。

最後に、SketchUp はフィード ID に一致したオブジェクトそれぞれに対し、室温データに応じてオブジェクトの色を変化させる処理を行う。

4. 研究結果・考察

本研究で構築したシステムを実際に稼働させた結果を図 9 に示す。ここではある都市の街区を想定したボリュームを SketchUp に立ち上げ、そのボリュームに対し、Pachube 上で公開されている任意のフィードから室温に関するデータを取得し、ボリュームの色として反映させることとした。図 9 より、時間経過と共に徐々にボリュームの色調が変化しており、センシングから可視化までの一連のシステムを正しく稼働させることに成功した。

なお、本研究で筆者らが Arduino により取得、Pachube で保存、SketchUp で使用したデータは、一般に公開されており、当該ウェブサイトで閲覧することが出来る^{注 5)}。

また、本研究で用いた機材を手配するためにかかった費用は、1 センサノードあたり 9,670 円である。その内訳は、Arduino 基盤が 3,200 円、Ethernet Shield が 4,200 円、センサ類が 1,270 円、そのほか部品類が 1,000 円であった。市販品と比べ、非常に低コストでシステムを構築することが出来た。

しかしながら、現状で Pachube サーバは 15 分ごとの平均値表示にしか対応しておらず、データの収集・管理精度としては問題がある。本研究ではシステムの実装可能性について検討を行ったが、システムの構築に採用したセンサの精度が実用の水準にあるかどうか、更なる検討が必要であろう。

5. まとめ

Arduino、Pachube、SketchUp を相互に連携させて、センシングから CAD システム上における可視化にいたるまでの統合的なシステムを構築した。非常に安価なコストで実現することが出来たが、データ精度などの点が今後の検討課題となった。

参考文献

1) 中村充, 柳瀬高仁ほか: 構造物のヘルスマonitoring を目指したスマート加速度センサの開発, 日本建築学会技術報告集, 14(27), pp.153-158, 2008.6

2) 倉田成人, 森川博之: ユビキタス構造モニタリングシステムの性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.485-486, 2007.7

3) 遠田敦, 渡辺仁史: 指輪型 RFID リーダを用いたヒトとモノとの接触行動分析 ネットワーク形成とその変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.499-500, 2008.7

4) 遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史: スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡, 日本建築学会計画系論文集, 73(630), pp.1847-1852, 2008.8

5) 横山宗樹, 佐治正宏ほか: オフィス環境における行動調査支援ツールに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.555-556 2007.7

6) 高口洋人, 中島裕輔, 須藤洋志, 吉田友紀子, 井上元: EXPO2005 における都市環境モニタリングシステムの開発, 日本建築学会技術報告集, (24), pp.223-227, 2006

7) 浜田耕史, 野城智也ほか: 建設共通バスシステムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.1157-1158, 2008

8) 中村裕幸, 野城智也ほか: 電子タグを用いた木材トレーサビリティ実証実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.1149-1150 2006

図 8 システムフロー図

図 9 SketchUp による可視化結果

注

注 1) Google : Google PowerMeter, <http://www.google.org/powermeter/> (参照 2009-10-20)

注 2) Arduino : <http://www.arduino.cc/> (参照 2009-10-20)

注 3) Connected Environments Ltd. : Pachube, <http://www.pachube.com> (参照 2009-10-20)

注 4) Google : Google SketchUp, <http://sketchup.google.com/intl/ja/> (参照 2009-10-20)

注 5) 遠田敦 : entasan's Architectural Env. Statistics, <http://www.pachube.com/users/entasan/feeds> (参照 2009-10-20)

[2009 年 10 月 20 日原稿受理 2010 年 1 月 8 日採用決定]