

東大寺内におけるネットワーク整備について

辻井 高浩^{†1} 山内 正人^{†2} 秋山 寛子^{†2} 猪俣 敦夫^{†1} 藤川 和利^{†1} 砂原 秀樹^{†2}

概要：奈良先端科学技術大学院大学（以下、NAIST）情報科学研究科と慶應義塾大学メディアデザイン研究科（以下、KMD）では平成23年度より、NAIST 先端的な研究連携事業「革新的デジタルメディア研究コア」を推進し、事業開始からの三年間の集大成として、シンポジウム「歴史・文化と情報学」を平成25年3月27日に開催した。シンポジウムでは、デモを実施し、東大寺 [1] 内の文化財・重要建築物に関する情報や東大寺にまつわる伝説や参拝に有益な情報をタイムリーに参拝者に提供したり、仮想・拡張現実技術・GPS 技術を用いた東大寺内の過去の様子を再現した。このデモを実現するためには、東大寺内でネットワークを利用することが必要不可欠である。一方で、世界遺産である東大寺のような歴史的価値がある建物やその境内にネットワーク整備することは慎重に行わなければならない。

本論文では、世界遺産である東大寺のような環境でのネットワークを整備するために必要な歴史的事情・景観への配慮、およびネットワーク構築における技術的対応や問題点等について報告する。

Network Construction in Todaiji

TAKAHIRO TSUJII^{†1} MASATO YAMANOUCHI^{†2} HIROKO AKIYAMA^{†2} ATSUO INOMATA^{†1}
KAZUTOSHI FUJIKAWA^{†1} HIDEKI SUNAHARA^{†2}

1. はじめに

東大寺は、奈良県奈良市雑司町にある華嚴宗大本山の寺であり、金光明明天王護国寺ともいい、奈良時代（8世紀）に聖武天皇が建立した寺である。「奈良の大仏」とし盧舎那仏を本尊とし、「奈良の大仏」として有名である。1998年に古都奈良の文化財の一部として、ユネスコより世界遺産に登録されている。

NAIST 情報科学研究科と KMD が開催したシンポジウム「歴史・文化と情報学」では、現在の東大寺境内の様子を撮影した映像上に、過去に存在した東塔の CG モデルを合成提示し、体験者は HMD を装着することで、東塔が合成された遠隔地の映像を自由に見回すことができるデモ等を実施した。このようなデモを実施するには、ネットワークの利用は不可欠である。一方で、世界遺産である東大寺のように歴史的価値がある建物や境内にネットワーク整備

をすることは慎重に行わなければならない。

本論文では、世界遺産である東大寺のような環境でのネットワークを整備するために必要な歴史的事情・景観への配慮、およびネットワーク構築における技術的対応や問題点等について報告する。

2. 背景

東大寺境内 [2] は、歴史的な事情により東大寺・奈良県・奈良市の土地が入り組み、ネットワーク機器配置の許可申請をどこに問い合わせるべきか、また、問い合わせ先が判明したとしても正規な窓口が存在しない。そればかりでなく実際の機器配置については景観上の問題や予期せぬ事で文化庁からの指導が入る可能性がある。

東大寺境内の無線 LAN 構築では、東大寺境内全エリアを WiFi によりカバーすることは、所有する機材の数により不可能であるため、東大寺境内の WiFi カバー外エリアでデモの際に通信が必要な場合には、3G・LTE を利用する必要がある。これらを考慮したネットワーク整備が要求される。

^{†1} 現在、奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター
Presently with Nara Institute of Science and Technology Information Initiative Center

^{†2} 現在、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Presently with Graduate School of Media Design, Keio University



図 1 ネットワーク機器設置イメージ



図 5 電灯間の空中配線



図 2 ネットワーク機器塗装イメージ



図 3 被覆前イメージ



図 4 被覆後イメージ

3. ネットワーク整備

東大寺という特殊な環境にネットワークを構築するには事前準備が重要であるので、事前にネットワーク構築を1度行い、デモ当日のネットワーク構築は2日前から行った。

3.1 機器設置

東大寺のネットワーク機器設置にあたっては、許可申請の不明瞭さや景観上の問題を解決するために、東大寺僧侶や事務職員の指導を頂き、以下の対応をとることになった。

(1) 屋外の無線系ネットワーク機器(図1)は東大寺境内の外灯に事前設置する。これら機器へのケーブル接続はイベント前日に行うが、高所作業となるため、十分な安全対策を施す。

(2) 屋外の無線系ネットワーク機器(図2)は東大寺の環境に適合した茶色に塗装する。機器のアンテナ塗装に関しては、電波強度が減衰しないような塗料を選択し、塗装後に電波強度の測定を行い、問題がないことを確認する。

(3) 有線系のネットワーク機器は東大寺境内にイベント前日に設置し、ネットワークケーブル配線は歩道を跨ぐ場合、側溝を利用する。ネットワークケーブルについては、景観を考慮し茶色を使用し、適切なケーブル長となるように現場で作成する。また、鋼材を格子状に組んだ溝蓋であるグレーチングによって塞がれている側溝にケーブル配線する箇所には、リード線を事前敷設する。参道に沿った配線については参拝客がケーブルに足をかけないように電灯を利用した空中配線図5とする。

(4) 大仏殿台座のネットワーク機器(図3, 図4)は臙脂色の布で被覆する。

3.2 ネットワークデザイン

3.2.1 インターネット接続と基幹ネットワーク

インターネット接続については、当初東大寺総合文化センター内からケーブルを屋外に敷設しての利用を検討していたが、建物の壁に穴を貫通させる事による陳列物への悪影響が懸念され、東大寺境内の僧侶ご自宅に新規にインターネット回線を契約・敷設し、利用させて頂くことになった。ここを起点に二月堂・東塔周辺・手向山八幡宮参道・東大寺大仏殿内に有線・無線LANを構築することになった。これらを可能とするためには、東大寺境内に基幹ネットワークを構築する必要がある。図6は、基幹ネットワークを構成する無線・有線の敷設状況を示す。無線部分は、日本無線製25GHz帯小電力データ通信装置NTG-2501を用い、図6のA地点からB地点、C地点からD地点、E地点からF地点、およびI地点からJ地点を結び、最大240Mbpsデータ通信を可能とした。本装置は、指向性の電波を利用するため、障害物がある図6のD地点からE地



図 6 基幹ネットワーク*1

点, F 地点から H 地点, および F 地点から G 地点では無線を用いず, 有線接続を行った。有線接続は, 茶色の UTP ケーブルにより配線を行った。

利用者には, 学内サーバとの通信サービスを提供するため, Juniper Networks 社製 SSG320M を境内の僧侶ご自宅に設置, NAIST に設置した Juniper Networks 社製 SSG500 と IPsec VP 接続により NAIST のネットワークを提供した。

3.2.2 東大寺境内のネットワーク

ネットワークサービスを展開する東大寺境内は, 基本的に無線でネットワークを構築することになったが, サービス提供想定エリアを WiFi によりカバーすることは, 所有している機材の数により不可能であるため, 東大寺境内の WiFi カバー外エリアでデモンストレーションの際に通信が必要な場合には, 3G・LTE を利用することとした。なお, 3G・LTE の公衆無線網サービスが東大寺境内でも利用できるにも関わらず, WiFi を提供をした理由は, 以下である。

- (1) 東大寺境内は森林が多く, 3G・LTE の電波が入らない場所が存在
- (2) 3G・LTE はマクロセルのため, 利用者数が増加した際のネットワーク帯域の確保の予測が困難に対し, WiFi はスモールセルのため, 利用者数を考慮したネット

ワーク帯域確保の予測が容易

なお, WiFi もしくは, 3G・LTE の切り替えについては, デモ実施者が作成するアプリケーションで電波強度および通信帯域を考慮して作成することになっている。

図 7 は, 利用者に WiFi サービスを提供する基地局とその他機器の設置箇所および回線・データ転送速度計測ポイントを示す。WiFi 基地局としては, Aruba 社製 Aruba175 を設置, 大仏殿内および境内の一部で WiFi サービスである 802.11g, 802.11n(2.4GHz 帯) を提供した。WiFi 基地局には, 設定により portal と point の二種類が存在する。図 7 の portal は有線接続された基地局, point は, 有線接続されていない基地局である。portal の基地局を起点に 802.11n(5GHz 帯 W56) を利用し point の基地局が無線接続され, メッシュネットワークが展開される。

これら基地局を境内の僧侶ご自宅に設置した Aruba 社製 Aruba 3200 により集中制御・管理した。

3.2.3 大仏殿内のネットワーク

大仏殿内での無線 LAN 構築では, 有線 LAN を大仏殿前の芝生までしか敷設できないため, 大仏殿前の芝生広場東側の基地局を portal として, 大仏殿内にメッシュネットワークを構築した。図 8 は, 実際のメッシュネットワーク構成を示す。メッシュネットワークは, Aruba 社製 Aruba 3200 により自動構成される。

*1 Google-地図データ



図 7 基地局設置箇所と回線・データ転送速度計測ポイント*1



図 8 メッシュネットワーク*1



図 9 2.4GHz 帯信号強度サーベイ結果*1

は東大寺文化センター 小ホールで開催された。ここでのインターネット接続環境としては、デモで学内サーバとの通信が必要だったため、東大寺文化センターのゲストネットワークと Aruba 社製 RAP-5WN、学内設置の Aruba 社製 Aruba 3200 を利用し、NAIST のネットワーク環境を提供した。

3.2.5 サーベイ結果

2013 年 3 月 27 日デモ当日、3.2.1~3.2.3 のネットワークによって構築された WiFi 環境下で、2.4GHz 帯・5GHz 帯の信号強度・SNR、2.4GHz 帯周波数成分の分布、回線

3.2.4 東大寺総合文化センターのネットワーク シンポジウムは、東大寺文化センター金鐘ホール、デモ

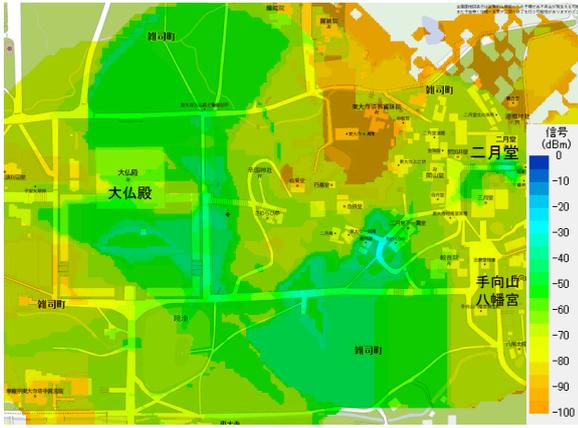


図 10 5GHz 帯信号強度サーベイ結果*1

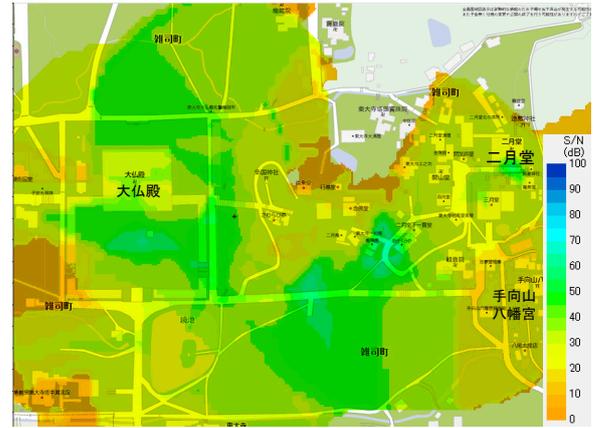


図 12 5GHz 帯 SNR サーベイ結果*1

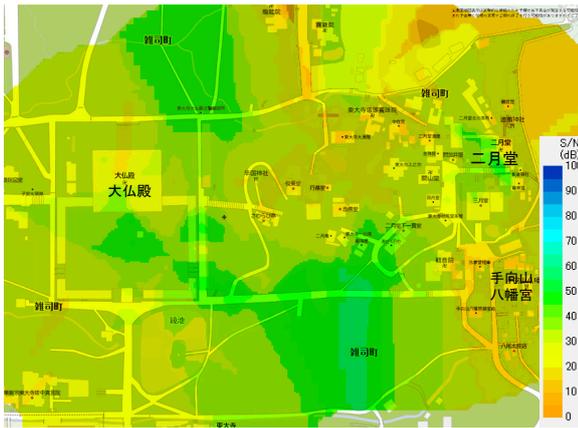


図 11 2.4GHz 帯 SNR サーベイ結果*1

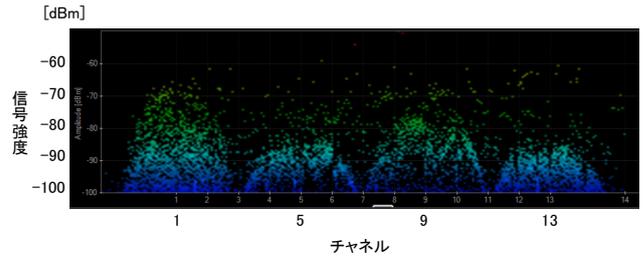


図 13 2.4GHz 帯周波数成分の分布

表 1 回線・データ転送速度計測機器情報

マシン名	OS	CPU	メモリ
SV1	Mac OS X 10.6.2	2.93GHz Intel Core2 Duo	8GB
SV2	Windows7	2.2GHz Intel Core i7	8GB
PC1	Mac OS X 10.8.2	2.4GHz Intel Core i5	8GB
PC2	Windows7	2.5GHz Intel Core i5	8GB
PC3	Mac OS X 10.8.3	1.7GHz Intel Core i5	4GB
PC4	Mac OS X 10.8.3	2.0GHz Intel Core i5	8GB

速度とデータ転送速度を示すために必要な計測を行った。

(1) 信号強度

Flukenetworks 社製 AirMagnet Survey Pro Version 8.2 により計測した。図 9 は、東大寺大仏殿および境内における WiFi で利用する 2.4GHz 帯の信号強度、図 10 は、東大寺大仏殿および境内における WiFi で利用する 5GHz 帯の信号強度を示す。図中右側の目盛りが信号強度の目安となる。図 9、図 10 いずれも WiFi サービスエリアである二月堂・東塔周辺・手向山八幡宮参道・東大寺大仏殿内では-70dBm 以上の信号強度が示され、クライアントが問題なく通信できることを確認した。

(2) SNR

Flukenetworks 社製 AirMagnet Survey Pro Version 8.2 により計測した。図 11 は、東大寺大仏殿および境内における WiFi で利用する 2.4GHz 帯の SNR、図 12 は、東大寺大仏殿および境内における WiFi で利用する 5GHz 帯の SNR を示す。図中右側の目盛りが SNR の目安となる。図 11、図 12 のいずれにおいても、WiFi 基地局が設置されてる周辺において SNR は 50db 以上であり電波干渉を受けない環境であることが確認できた。

(3) 2.4GHz 帯周波数成分の分布

metageek 社製 スペクトラムアナライザ Wi-Spy DBx と Wi-Spy スペクトラム解析ソフトウェア Chanalyzer4 により計測した。図 13 は、大仏殿内西側に安置されている虚空蔵菩薩像の西側で計測した周波数成分の分布結果である。図 13 の横軸は、2.4GHz 帯のチャンネル番号、縦軸は信号強度 (単位: dBm) を示している。大仏殿内および大仏殿前芝生広場に設置した 6 台の無線基地局の 2.4GHz 帯チャンネルにおいて、1, 5, 9, 13 チャンネルが自動で割り振られる設定をしていたが、図 13 から、各チャンネルの電波を確認でき、設定通りに無線基地局が稼働していることを確認した。

(4) 回線・データ転送速度

回線速度計測については、インターネット上のスピードテストのサイトを利用した。今回東大寺内で構築したネットワーク内のデータ転送速度計測については、ファイル転送ソフトである FTP とネットワークの性能を計測するベンチマークソフトである Netperf を利用した。表 1 は、回線・転送速度に用いたマシンの基本情報を示す。表 1 の SV1 は Netperf のサーバ、SV2 は FTP

表 2 回線・データ転送速度 (単位:Mbps)

地点	PC1			PC2		PC3		PC4
	A	B	C	A	B	A	C	B
1						0.60		7.0
2						1.7	8.9	6.7
3			6.9			1.9	7.7	39
4			6.3			1.9	4.2	3.2
5			2.9			3.7		5.0
6			4.9			1.0		5.4
7			82	25	12			
8			29					
9			22	4.7	15			
10			77			16		26
11			35	5.6	19			
12			75					
13			28	11	35			
14			72	15	32			
15			12					
16			8.0	15	11			
17	4.1	9.3	0.10					
18	5.8	20	18					
19	26	50	33					

のサーバ、PC1~PC4はクライアントPCとして用いた。

表2は、表1のPC1~PC4を用い、図7の数字で示す任意のポイントから計測した回線・データ転送速度を示す。表2中のA、B、Cという表記は、計測方法を示す。

A USEN スピードテストのサイト <http://www.usen.com/speedtest02/index.html> を利用し計測

B サーバを図6のA地点に配置し、Netperfによりデータ転送速度を計測

C サーバを図6のA地点に配置し、FTPによりデータ転送速度を計測

なお、空欄については計測を行っていない。

3.3 問題点と課題

3.3.1 環境問題

3.1 機器設置(2)の対応により屋外に設置するネットワーク機器を茶色に塗装したが、本体が高温になること、および3.1 機器設置(3)の対応により、側溝グレーチング下にケーブル配線(図14)を行ったが、水による影響が懸念された。また、屋外ネットワーク機器の有線ケーブル接続部分では、雨による影響が懸念された。

3.3.2 ネットワーク構築

3.2.1~3.2.3において構築した屋外設置用のネットワーク機器である Aruba 社製 AP175 および日本無線社製 NTG2501 については有線ネットワーク接続部分に防水



図 14 側溝配線



図 15 パッチケーブル

処理が施されており、接続作業に手間がかかるためにデモ前々日作業にパッチケーブル(図15)を接続したが、前日のネットワーク接続確認作業において日本無線社製 NTG2501 における有線接続におけるリンクダウンが頻発した。

3.3.3 偏波問題

3.1 機器設置(2)機器塗装により、Aruba 社製 AP175 の 5GHz 帯の偏波が違うアンテナの区別がつかなくなった。本来偏波の違う2本のアンテナを1対として AP175 に取り付けるのだが、偏波の同じアンテナを取り付けた AP175 が混在することとなり、事前検証の際に 5GHz 帯を使うメッシュネットワークを想定通り構成できなかった。

塗装後の 5GHz 帯用アンテナの偏波面を 2.4GHz のシグナルジェネレータ Premier Wireless TS-240 2.40GHz -10dBm とスペクトラムアナライザ Anritsu MS2665C 9KHz - 21.2GHz を使用し、垂直偏波と水平偏波のアンテナを以下のように判別した。

- (1) 2.4GHz のシグナルジェネレータにパッチアンテナ水平偏波で接続
- (2) スペクトルアナライザに AP175 の 5GHz 帯アンテナを接続
- (3) AP175 の 5GHz 帯アンテナを回転させ、スペクトラムアナライザで最大値を測定
- (4) 最大値が 5dBm ~ 10dBm の差が検知できるので、高い値を示したアンテナを水平偏波として特定

3.2.3 大仏殿内のネットワークとして構築したメッシュネットワーク(図8)では、1ホップ毎にネットワーク帯域が半減以下となるため、極力ホップ数を少なくなるようなネットワークを構成した。通常縦置き基地局を大仏殿台座状では図8のように横向きに設置したため、基地局のアンテナの偏波面の影響により、メッシュネットワークを構成できない箇所があったが、基地局配置(アンテナの向き)を90度回転するだけで、メッシュネットワークを構成することができた。

3.3.4 回線・データ転送速度

今回のデモで実施した動画配信のために要求されたデータ転送速度は、3Mbps であり、表2の各地点における各計測結果をみると、概ね、この値を越えていることを確認できる。表2のインターネットを介した測定方法Aは、東大寺境内に閉じたネットワーク内での測定方法B、Cと比較すると値が概ね低くなっていることを確認できる。表2のPC1の測定方法Cに注目するとメッシュネットワークを

構築した地点1~6は、他の地点と比較すると値が低くなっていることが確認できる。表2の各地点において、iPad等のタブレット端末でデモ動画を概ね視聴できたが、地点5で2台のiPadが同時にデモ動画を視聴した場合、映像がスムーズに流れないことがあった。

4. 解決方針

4.1 環境問題

3.3.3 環境問題における茶色塗装によってネットワーク機器が高温になることが予想されたが、一時的な設置であったので機器の温度計測を行わなかった。ただし、機器を茶色に塗装したうえでの恒常的な屋外設置の場合、機器の動作保証された最高温度が50°C~60°であるので、水によるミスト散布等の検討が必要である。また、側溝グレーチング下のケーブルコネクタ部分(図14)や屋外ネットワーク機器の有線ケーブル接続部分については、日東シンコー株式会社製 ノンセパレータ自己融着ブチルゴムテープ No.15により防水対策を施した。

4.2 ネットワーク構築

3.3.2 ネットワーク構築における問題は、日本無線社製 NTG2501 における PoE 給電でデモ当日のケーブル接続を容易にするためにパッチケーブル(図15)を用いたことが原因と判明し、デモ前日の夜に PoE スイッチと該当機器を直接接続し、基幹ネットワークが正常に動作することを確認した。

4.3 偏波問題

3.3.3 偏波問題において、Aruba 社製 AP175 の偏波の違う5GHz帯アンテナを判別できなくすること、及び3.2.3大仏殿内のネットワークに図8のように横向きに設置したことは、東大寺の環境を考慮した特別な対応ではある。現状では、偏波問題[3]に関して個別に対応せざるを得ない状況である。

4.4 回線・データ転送速度

事前検証において、メッシュネットワークを構成する場合、portalとなる基地局からpointとなる基地局までに経由する基地局数(ホップ数)が1増える毎にデータ転送速度が半減することを確認[4]している。3.3.4回線・データ転送速度で述べた地点5で映像がスムーズに流れなかった2台のiPadは、メッシュネットワークのpointとして稼働している同じ基地局にいずれも帰属しており、ネットワーク帯域が不足していた。以上の結果から回線・データ転送速度を確保したメッシュネットワークを構成する場合、ホップ数を最小にする基地局配置が必要がある。

5. まとめ

世界遺産である東大寺では、景観・参拝客に配慮することが重要であり、屋外設置のネットワーク機器やケーブルについては廻りの環境に即した茶色とし、ケーブル配線については参拝客の足元を考慮し、側溝を利用した配線や電燈間の空中配線を行った。また、東大寺では遺跡が発掘される可能性があるため、ネットワーク機器を設置するために鉄柱等を立てることはできず、東大寺の既設の電燈等を利用してネットワーク機器を設置した。東大寺大仏殿および境内のネットワーク構築では、ネットワーク機器の設置箇所が限定され、ネットワークデザインについても検討を繰り返す結果となった。今後、東大寺大仏殿および境内にネットワークを整備する場合、東大寺の歴史や環境を理解したうえで、東大寺関係者の協力・理解を得ながらネットワーク構築のコストを下げるのが課題である。インターネット接続については、僧侶ご自宅に新規に敷設したインターネット回線を利用したが、インターネットへの接続ポイントが一箇所であったため、制限のあるネットワークデザインとなった。柔軟なネットワーク構築を可能にするには、衛星通信等を利用し、インターネットへの接続ポイントを複数箇所にすることが課題である。WiFiの無線環境については、サーベイ結果からみても概ね良好であったが、WiFiカバーエリア内の全地点でネットワーク帯域確保が必要ならば、機材数を増加させる必要がある。

謝辞 本論文のデータ収集やシステム運用で御協力頂いた、デジタルリサーチ株式会社 松永直様、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 鹿野泰史様、竹村泰様、奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター 佐藤由章様、小山琢也様に謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 華嚴宗大本山 東大寺:東大寺の歴史,入手先(<http://www.todaiji.or.jp/contents/history/index.html>) (参照 2013.05.13)
- [2] 奈良県まちづくり推進局奈良公園室:『(仮称)奈良公園基本戦略』の策定について,入手先(<http://www.pref.nara.jp/secure/94067/3setumeisiryo1.pdf>) (参照 2013.05.13)
- [3] シスコ:アンテナパターンとその意味,入手先(http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/wireless/airoa/prodlit/pdf/products_white_paper0900aecd806a1a3e.pdf) (参照 2013.05.13)
- [4] 加藤,秀明,野村,洋平,船曳,信,中西,透:無線メッシュネットワークでの帯域測定実験とその考察,電子情報通信学会技術研究報告,Vol.106, No.418, pp.5-8 (2006.12)