

# 移動端末へのデータ配信時における 高信頼マルチキャストプロトコルの性能評価

佐古田 健志<sup>1</sup> 村上 貴臣<sup>1</sup> 土井 裕介<sup>1</sup> 石山政浩<sup>2</sup> 前田 賢一<sup>2</sup>

**概要：**多機能な携帯端末が普及したことでユーザのコンテンツダウンロード量が増加し，トラフィックの増加が移動体通信回線の無線帯域逼迫を招いている．我々は，移動体通信回線を用いずに端末間で直接通信する携帯端末間通信技術に着目して，無線帯域の逼迫を抑制する高信頼マルチキャストプロトコルを提案，評価してきた．本論文では高信頼マルチキャストプロトコルを用いて移動する端末へデータ配信をするユースケースを想定した評価を行い，高信頼マルチキャストプロトコルの性能を明らかにする．

## Performance evaluation of a high reliability multicast protocol in data distributing to moving mobile devices

TAKESHI SAKODA<sup>1</sup> TAKEOMI MURAKAMI<sup>1</sup> YUSUKE DOI<sup>1</sup>  
MASAHIRO ISHIYAMA<sup>2</sup> KEN-ICHI MAEDA<sup>2</sup>

### 1. はじめに

スマートフォンなどの多機能な携帯端末の普及と携帯端末で扱うコンテンツの多様化に伴い，Long Term Evolution (LTE) 等の移動体通信網を介したコンテンツのダウンロードが高頻度で発生することでトラフィック量が増加し，無線帯域の逼迫を招いている[1]．そこで，移動体通信回線を介さずに端末間でデータを共有する携帯端末間通信 (Mobile P2P : Mobile Peer To Peer) 技術[2][3]に注目して，我々は無線 LAN を用いた Mobile P2P 技術の検討と Mobile P2P を用いたシステムの実現を進めている．

検討中のシステムは，無線 LAN のインフラストラクチャモードを用いて，アクセスポイント (AP : Access Point) と複数のステーション (STA : Station) から構成されるネットワークを構築して AP から STA にデータを配信し共有する．以降，AP を送信端末，STA を受信端末と呼ぶ．この際，データの受信を完了した受信端末が新たな送信端末になってネットワークを拡大することで，データを広域に拡散できることが特徴である．また，データの共有には我々が提案している高信頼マルチキャストプロトコル[4][5]を用いて複数の端末へ同時にデータを配信する．提案している高信頼マルチキャストプロトコルは，マルチキャストを用いて多くの端末へ素早くデータを配信し，かつ欠落したデータを効率よく再送することでデータ到達の信頼性を確保するプロトコルである．これまでに，各パラメータの最

適化，高密度環境を想定したシミュレーション評価，および高信頼マルチキャストプロトコル向けのハンドオーバー機能の実装と評価を行ってきた．しかし，端末間でデータを共有するユースケースを考えた場合，端末が移動する環境下での評価が必須である．

そこで，端末が移動する場合と移動しない場合での基本評価を行い，端末移動時における高信頼マルチキャストプロトコルの性能を明らかにする．また，ユニキャストでデータを配信した場合と比較し，高信頼マルチキャストプロトコルを用いることによる性能改善効果を明らかにする．

### 2. 関連研究

高信頼なマルチキャストの研究として Leader Based Multicast (LBM) [6]がある．これは，マルチキャストグループに含まれる端末の中からリーダーとなる端末を選出し，送信端末が送信する RTS に対する CTS と Multicast で送信されたパケットに対する ACK をリーダーとなった端末が返すプロトコルである．IEEE 802.11 の無線規格に準じた無線 LAN での従来のマルチキャストは応答メッセージが衝突しやすいことから ACK 等を返さない設計になっているため，パケット到達可否が送信端末側で把握できず未到達の場合の再送ができなかった．しかし，LBM を用いることで RTS/CTS による衝突回避機能を有効にでき，パケット到達可否が ACK によりわかるため，再送が可能になり高信頼なマルチキャストが実現できる．一方で，リーダーの選出を誤ると再送が多発するといった問題があるため，次々とマルチキャストグループが出現するような環境では運用

1 (株) 東芝 研究開発センター  
Corporate R&D Center, Toshiba Corporation  
2 (株) 東芝 ストレージ&デバイスソリューション社  
Storage & Electronic Devices Solutions Company, Toshiba Corporation

が困難である。LBM を拡張した Enhanced LBM (ELBM) [7] という手法も提案されているが、Wi-Fi Direct 専用の機能を用いているため、Wi-Fi Direct 機能がない端末では利用できない。

また、すべての受信端末から ACK を返す方法[8]についても検討されている。[8]の文献では、送信端末が受信端末の数を把握していることが前提となるが、受信端末ごとに ACK を送信するコンテンションウィンドウのタイムスロットを送信端末が割り当てることで、ACK の衝突を回避し受信端末ごとの ACK の有無を把握できる。なお、割り当てたスロット内で確実に ACK を送信できるかを把握するため、運用前に何度かスロットタイムの更新を行い受信端末からの ACK をスロットタイム内で受信できるよう調整する。

上記の方式を取り入れた新たな高信頼マルチキャスト方式のフレームワーク提案[9]がある。これは、上記[8]の方式を用いて受信端末ごとの CTS を区別できるようにし、CTS に送信端末が送信した RTS の受信信号強度 (RSSI) を追記して送信端末に返却する。上記の処理により収集した受信端末ごとの通信状態をもとにマルチキャストの送信方法を MAC 層で変更する方式。例えば、各通信状態がすべて悪ければ受信端末ごとにユニキャストで送信、通信状態が良ければそのままマルチキャストで送信、上記のどちらでもなければ Reed-Solomon で Network Coding を行いマルチキャストで送信する。これによりアプリケーション層から見ると高信頼なマルチキャストが実現できる。

関連研究からわかるように、高信頼なマルチキャストを実現するために MAC 層を改変する方法が多い。しかし、実際のアプリケーションとして実現する場合、MAC 層の実装はベンダー依存であることが多く、改変できないため実現性の観点のみだと困難な方式が多い。一方、我々が提案する高信頼マルチキャストプロトコルは、MAC 層の改変を必要としないため、実現性の観点で有効である。

### 3. 高信頼マルチキャストプロトコル

本章では、高信頼マルチキャストプロトコルにおけるデータ配信の様子と特徴的な機能について述べる。

高信頼マルチキャストプロトコルを適用したシステムでは、送信端末に受信端末が接続することでデータ配信が始まる。送信端末はビーコンフレーム内の SSID (Service Set Identifier) にどのようなデータを配信するかを記載して送信する。受信端末は、送信端末からのビーコンフレームを受信して SSID を読み取り、受信端末が欲しいと考えているデータを配信している送信端末に接続する。送信端末は、配信データを分割して配信する。配信時のデータ形式を図 1 に示す。高信頼マルチキャストプロトコルにおける送信端末は、図 1 で示すように配信データをブロックに分割し、

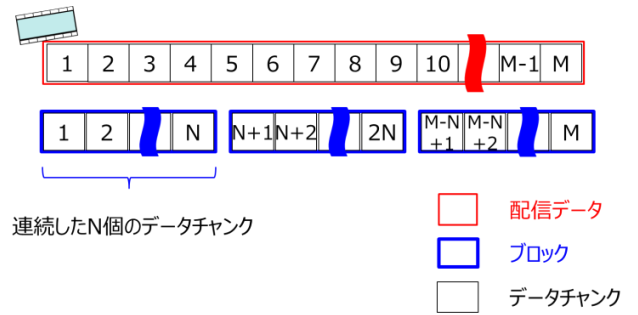


図 1 配信時のデータ形式

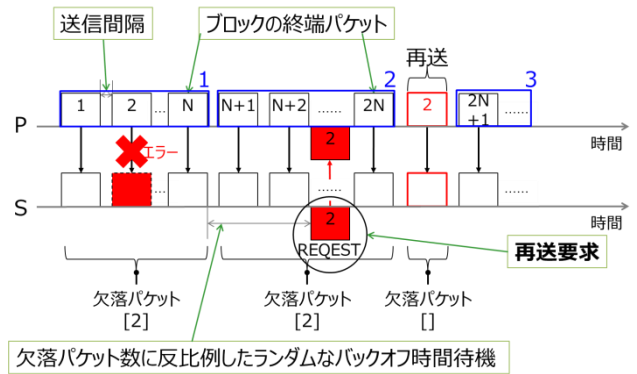


図 2 データ配信状態及び再送状態の packets フロー

さらにブロックをデータチャンクに分割する。配信の際、配信データにおけるデータ位置情報をデータチャンクに付加し、データチャンクをペイロードとする UDP (User Datagram Protocol) パケットとして送信する。なお、1 ブロック中の UDP パケットは連続して送信する。

高信頼マルチキャストプロトコルにおいて、データの配信者はデータ配信状態、再送状態、および終了状態の 3 つの状態を持つ。データ配信状態は、送信端末がデータ配信を実施中の状態である。再送状態は、受信端末から送信された再送要求を受信した送信端末が再送データを送信中の状態である。終了状態は、送信端末がデータ配信を終了し、その旨を周囲に通知中の状態である。

データ配信状態及び再送状態の packets フローを図 2 に示す。本論における packets フローとは、高信頼マルチキャストを用いたデータ配信中に送受される packets が出現する様子を示したものである。各図中の P は配信者 (Publisher) である送信端末、S は受信者 (Subscriber) である受信端末が送信する packets の時間経過を示す。送信端末の MAC (Media Access Control) 層が持つ送信用バッファのオーバーフローを防ぐため、packets のマルチキャスト送信に間隔を設ける。これは、UDP にバッファ制御機能がなく、連続して packets を送信すると送信用バッファがオーバーフローするためである。STA はブロックの終端 packets を受信した際に、当該ブロック内で欠落 packets があれば再送要求をマルチキャストで送信する。このとき、欠落 packets 数の多い受信者が優先的に再送要求を送信で

きる。

さらに、高信頼マルチキャストプロトコルでは、データ受信を完了した端末は周囲の送信端末が送信しているビーコンフレームを収集し、自身の近傍に送信端末が存在しないと判断すると新たな送信端末となる。これにより、すべての端末が送信端末になるフラッディングに比べ無線帯域の混雑を緩和しつつ、データを広く早く配信することが可能になる。

表 1 シミュレーション諸元

高信頼マルチキャストに関するパラメータ	
無線規格	IEEE 802.11n
距離減衰	距離の 1.8 乗に比例した減衰
フェージング	準静的レイリーフェージング
シャドウイング	対数正規分布 [標準偏差 5.0dB]
初期配信者	領域の中心に 1 台
観測時間	180s
配信データのサイズ	1MByte
パケットペイロード長	1KByte
パケット送信間隔	1.6ms
AP への最大同時接続数	50 台
ブロックあたりのパケット数	128
物理層の伝送レート	19.5Mbps

#### 4. 計算機シミュレーションによる評価

1 章で述べた様に実環境でデータ配信を行う環境を想定すると、受信端末は移動していることが一般的である。このため、文献[4]で最適化を行うために用いた評価環境を再現した基本評価により移動の有無による性能への影響を明らかにする。また、規模が異なる 2 つのユースケースとして、商業施設の広告配布とレジヤ施設での案内情報配信を想定したシミュレーションを行い、高信頼マルチキャストの性能明らかにする。

##### 4.1 目的と評価指標

3 章で述べた高信頼マルチキャストプロトコルを NS-3[10]に実装し、NS-3 の RandomWalk モデルを用いて端末が移動した場合の評価を行う。なお、移動速度は高齢者を除く成人 (20~60 歳) の平均歩行速度である時速 4km (秒速 1.3m) [11]を設定した。評価の指標として、配信に要する時間 (以降、配信時間と呼ぶ)、を用いる。

シミュレーション諸元を表 1 に示す。

##### 4.2 基本評価

100m×100m の正方領域にいる 100 人に 1MB のデータを

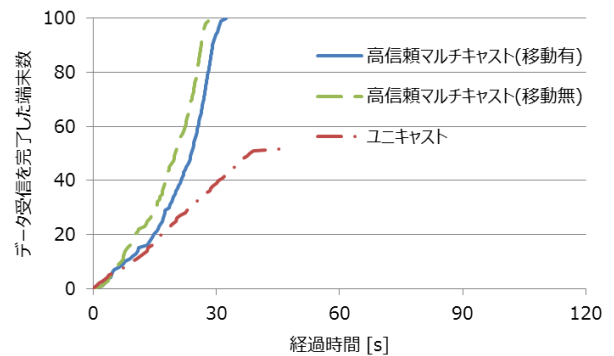


図 3 受信完了した端末数の推移@基本評価

配信する環境を想定し、計算機シミュレーションを実施した。5 回シミュレーションを実施し、縦軸はデータ受信を完了した端末数、横軸は経過時間をプロットする。なお、横軸に対して 5 回の平均を算出してプロットしたものを縦軸の値にしており、シミュレーションが 180s 以内に終了しなかった場合は、その最大値までの平均しかプロットしていない。結果を図 3 に示す。

図 3 からわかるように、ユニキャストではすべての端末に 180s 以内ではデータを配信しきれなかった。今回のシミュレーションでは、1MB のデータを 1024 パケットに分割し、パケットの送信間隔を 1.6ms にして送信しているため、1 台の端末がデータ受信を完了するまでに最低でも 1638ms 必要になり、すべての端末にシーケンシャルにデータを配信したとすると最大で 163.8s 必要になる。送信端末とのコネクション確立に要するオーバーヘッドなども含めると 180s では間に合わなく、データ受信を完了した端末すべてが新たにデータ配信をしたとしても通信中の誤りが生じた場合には再送が必要なため 180s 以内にすべての端末にデータを配布することは不可能である。一方、高信頼マルチキャストでは複数端末へ同時に配信できるため、180s 以内にすべての端末に配信を行うことができた。

また、同じ測定条件のもとで端末が移動しない場合と比較すると移動しない場合の方がすべての端末への配信時間が約 3.7s 短い。これは、端末の移動に伴い端末間の通信状態が変化し、直前まで受信できていたパケットと突然受信できなくなり誤りが多発するようになるといった端末が増えるためである。この問題による配信時間の増加は 10%あるものの、すべての端末に約 30s でデータを配信できていることから端末移動時におけるデータ配信方法として高信頼マルチキャストプロトコルは有効であるといえる。

##### 4.3 ユースケース 1: 駅前の広場での広告配布

商業施設近くの広場等で広告を多数の人に配布したいユースケースが考えられる。駅前広場の広さを 60m×70m の長方形領域、配布するデータサイズを 1MB として、500 人が広場にいることを想定した上で、すべての人に広告を配

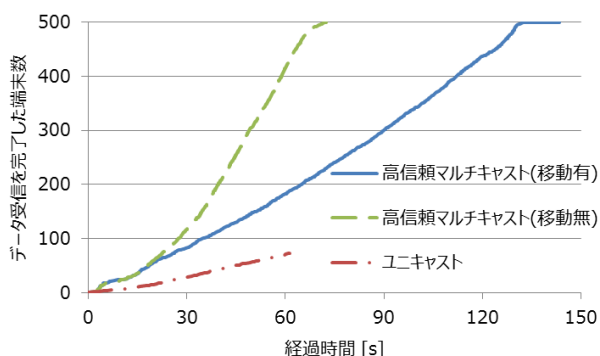


図 4 受信完了した端末数の推移@ユースケース 1, 500 人

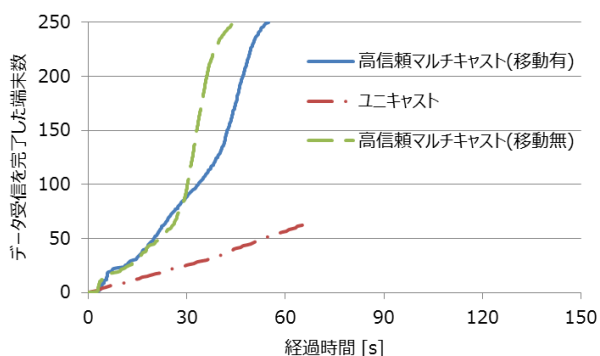


図 5 受信完了した端末数の推移@ユースケース 1, 250 人

布する場合と半数の人に広告を配布する場合を考える。500 人全員に配布する場合の配信の様子を図 4、250 人に配布する場合の配信時間の様子を図 5 に示す。なお、縦軸と横軸は基本評価と同じである。

図 4 と図 5 からわかるように、高信頼マルチキャストは 180s 以内にすべての端末へデータを配信できているが、ユニキャストを用いた場合は未達である。なお、基本評価で試算した結果から、ユースケース 1 でもユニキャストを用いた場合は未達になることがわかっていた。着目すべきはデータ受信を完了した端末数の増加の仕方である。高信頼マルチキャストにおいてすべての端末がデータ受信を完了した時間でのユニキャストにおけるデータ受信を完了した端末数の割合をみると、基本評価である図 3 では 42%、図 5 では 20%と図 5 の方が 22%も少ない。これは、端末間の密度が関係している。図 3 は 0.01 台/m<sup>2</sup>、図 5 は約 0.06 台/m<sup>2</sup>と密度が 6 倍に増えている。密度が高くなると送信端末の近くに受信端末が存在する確立が高くなるため、マルチキャストでの送信における誤りが発生しにくい環境が生じ、マルチキャストで送信するメリットが浮き彫りになるためであると考えられる。しかし、図 4 と図 5 を比較すると、図 4 の配信時間が約 88s も遅くなるのがわかる。これは、密度が高くなりすぎたため、異なる送信端末間での通信において干渉や衝突が発生しやすくなり、結果として誤りが発生しやすくなったためである。

また、同じ条件下で端末が移動する場合と移動しない場

表 2 送信端末への接続回数と理想値からの比率

	移動有	移動無
接続回数 [回]	1303.8	546.6
理想値 (500) からの比率 [%]	260.76	109.32

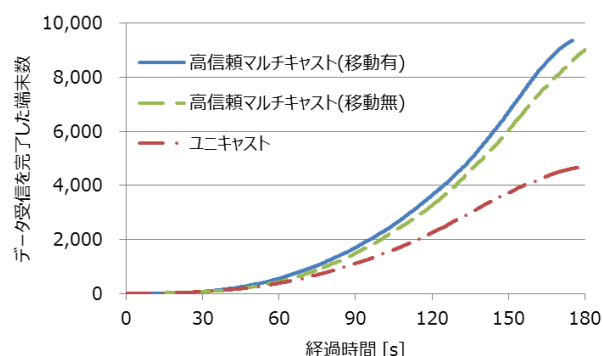


図 6 受信完了した端末数の推移@ユースケース 2

合を比較すると、いずれの場合も端末が移動しない場合の方がすべての端末への配信時間が短い。これは、基本評価から予測できていたことであるが、密度によって配信時間の差が大きくなる。これは、密度が高い場合ほど移動による通信の干渉や衝突の発生が様々な箇所が発生するため、移動しない場合に比べて全体的に誤りが発生しやすくなるためと考えられる。さらに、図 4 における送信端末への接続回数を表 2 に示す。移動無に比べ移動有では接続回数が約 240%に増加している。理論値は各端末が 1 回のみ送信端末に接続する 500 回であり、端末が移動しない場合はほぼ理論値通りの値になっている。一方、移動有の場合は端末との距離が時間経過とともに変化するため、送信端末との接続が切断され、新たな送信端末への接続が高頻度で発生していることわかる。現状のシミュレータは送信端末から切断後の再接続時において、最初に受信したビーコンフレームを送信した送信端末に接続するという簡易的な実装であり、密度が高い場合は候補となる送信端末が多く存在するこれが移動有の場合に再接続を繰り返す要因となっている。

#### 4.4 ユースケース 2：レジャー施設での案内情報の配信

駅前広場に比べ、規模を大きくした場合のユースケースとして、レジャー施設での案内情報の配布が考えられる。レジャー施設の広さを 1 辺 1km の正方領域、配布するデータサイズを 1MB として、10,000 人に案内情報を配布する場合を想定してシミュレーションを実施した。本シミュレーションは 2 回実施し、横軸に対して 2 回の平均を算出してプロットしたものを縦軸の値にしており、シミュレーションが 180s 以内に終了しなかった場合は、その最大値までの平均しかプロットしていない。配信時間の様子を図 6 に示す。なお、縦軸と横軸の単位は基本評価と同じである。



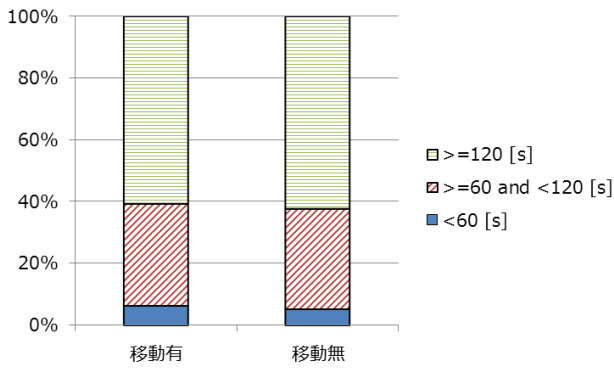


図 7 経過時間ごとの送信端末の出現数の割合

これまでの評価から予測できていたことだが、高信頼マルチキャストを用いた場合はユニキャストよりも高速にデータを配信できる。なお、ユースケース 2 と基本評価の想定環境において、端末数は異なるものの端末の配置密度が同じであるため、データ受信を完了した端末数の推移が基本評価の場合と同様の傾向になることも確認できた。一方で、移動の有無を比較すると、基本評価では移動無の場合において配信時間が短かったのに対しユースケース 2 では移動有の場合において配信時間が短い。一般的に端末が移動すると送信端末と受信端末間の通信環境が変動するため、誤りが発生しやすくなり配信時間が長くなると考えられる。今回の評価結果で移動有の場合において配信時間が短くなった要因として、データ受信を完了し送信端末になる端末の出現タイミングがあると考えている。図 7 に移動有と移動無における 60s 以下の送信端末の出現数の割合を示す。図 7 からわかるように移動有の方がシミュレーション開始から 60s 未満、および 60s 以上 120s 未満における送信端末出現数の割合が大きい。これにより、データ未受信の端末が新たな送信端末に早く接続してデータ受信を開始できるため配信時間が短くなったと考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、端末が移動した場合における高信頼マルチキャストプロトコルとユニキャストを比較し、ユニキャストがすべての端末にデータを配信できない環境でも高信頼マルチキャストを用いることですべての端末にデータを配信できることを明らかにした。

また、端末が移動しない場合とも比較し、基本評価においてオーバーヘッドを 10% に抑制できているため、端末が移動する実環境においても我々が提案する高信頼マルチキャストプロトコルによるデータ配信が有効であることを明らかにした。

今後の課題として、端末移動時における切断後の再接続の高効率化を進め、端末移動時におけるオーバーヘッドの抑制を進める。

## 参考文献

- [1] 総務省, “平成 26 年度版 情報通信白書,” 総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/>
- [2] Judy M. Hartley, “Peer-to-Peer Networking : A Mobile Coming of Age,” Intel, <https://software.intel.com/en-us/articles/peer-to-peer-networking-a-mobile-coming-of-age>
- [3] Aijaz A, Aghvami H, and Amani H, “A survey on mobile data off-loading: Technical and business perspectives,” IEEE Wireless Commun., vol. 20, no. 2, pp. 104–112, Apr. 2013.
- [4] 佐古田健志, 工藤浩喜, 佐方連, 石山政浩, 坂東洋介, 前田賢一, “無線 LAN 端末間通信を用いた高信頼な大容量データ配信プロトコル,” 信学技報, MoNA2014-81, pp.101-106, Jan. 2015.
- [5] 佐古田健志, 村上貴臣, 工藤浩喜, 土井裕介, 石山政浩, 坂東洋介, 前田賢一, “混雑環境下における高信頼な大容量データ配信プロトコルの評価,” 電子情報通信学会ソサエティ大会 B-6-67, Sept. 2015.
- [6] J. Kuri, S. K. Kasera, “Reliable Multicast in Multi-access Wireless LANs,” INFOCOM '99, Vol. 2, pp.760-767, Mar 1999.
- [7] G. Z. Khan, R. Gonzalez, E. C. Park, X. W. Wu, “A Reliable Multicast MAC Protocol for Wi-Fi Direct 802.11 Networks,” European Conference on Networks and Communications, pp.224-228, Jul 2015.
- [8] J. Peng, “A New ARQ Scheme for Reliable Broadcasting in Wireless LANs,” IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, Vol. 12, Issue. 2, pp.146-148, Feb 2008.
- [9] W. Chaohui, L. Yuhong, H. Li, M. Jian, “A NEW RELIABLE MULTICAST SCHEME FOR MULTIMEDIA APPLICATIONS IN WIRELESS ENVIRONMENT,” IEEE International Conference on Broadband Network & Multimedia Technology, pp.744-748, Oct 2009.
- [10] ns-3.org, “ns-3,” <https://www.nsnam.org/>
- [11] 丸山 仁司, “高齢者の運動機能と歩行,” 理学療法科学, Vol.14, No.3, pp.11-105, 1999.