

降雪地におけるミリ波拠点間通信を用いたキャンパス LAN の実効性評価

原田寛之 札幌学院大学
後藤英昭 東北大学
漆谷重雄 国立情報学研究所



弓道部から「弓道場にキャンパス無線LANを整備してほしい」

- ・ コロナ禍の間、Zoomを使用して他大学と練習試合を行っていた
- ・ 個人所有のポケットWi-Fiを使用している

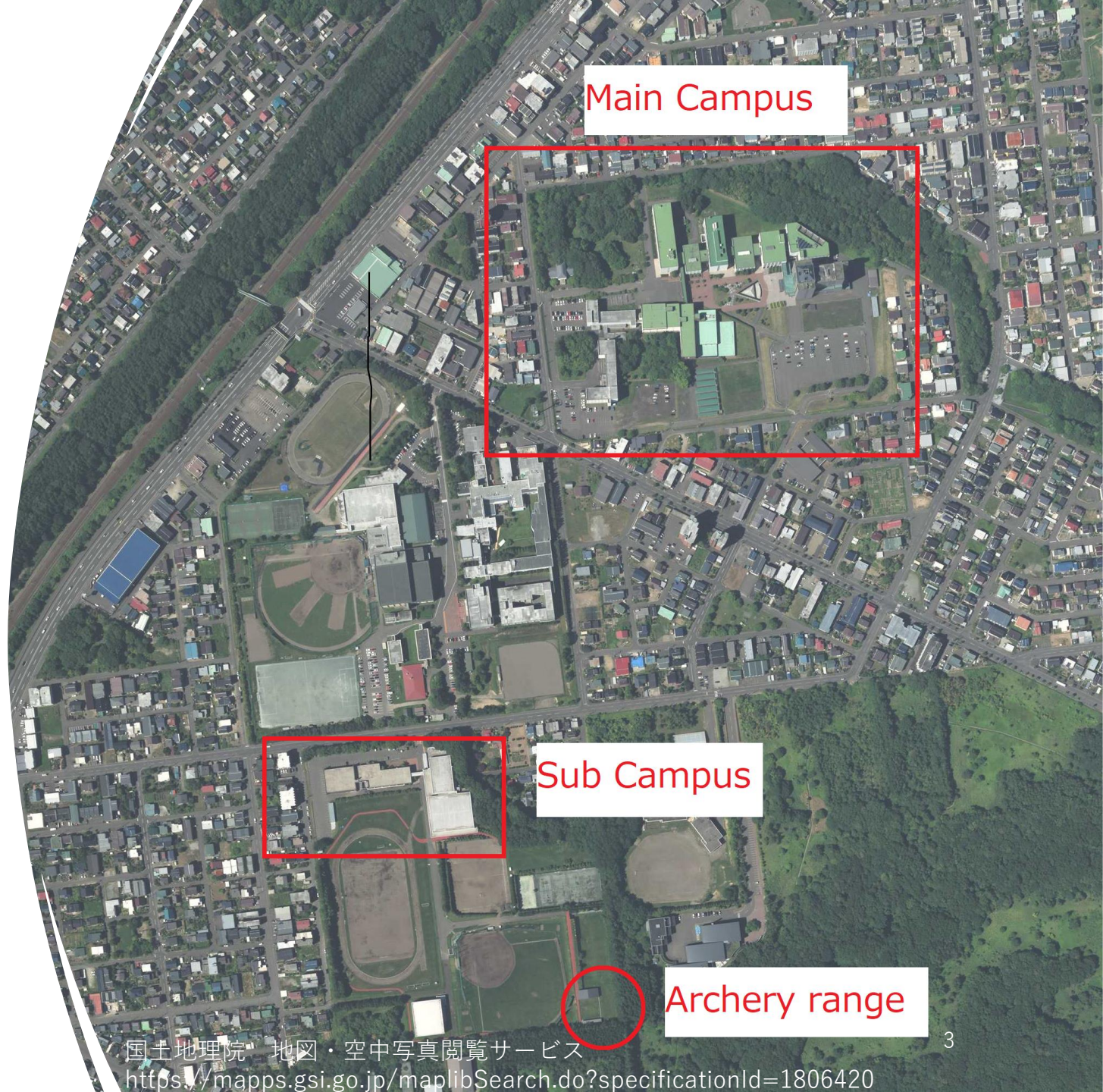


第46回全日本学生弓道女子王座決定戦

優勝 (2022/11/25)

簡単には 整備できない

弓道場は孤立している
キャンパスLANが未整備



接続方式の比較検討

光ファイバー敷設による有線接続

- 総延長約1km
- 敷設コストは架空配線の場合およそ 430 万円
(総務省デジタル・ディバイド解消戦略会議(2008) 報告資料)

ローカル5 G

- 運用構築コストの高額さ
- 免許が必要、運用の属人化の懸念
- 学生の持ち込み端末を自由に接続させることはむずかしい

屋外型の無線LAN 基地局を既設キャンパスLAN がある建屋付近に設置

- 帯域の不足
- 冬季降雪地の屋外体育施設の構造は、対積雪や防寒のために頑丈

Starlink

- キャンパスLANとの接続のためには別途VPN構築が必要
- また商用サービスであるため、拠点数分の月額ランニングコスト

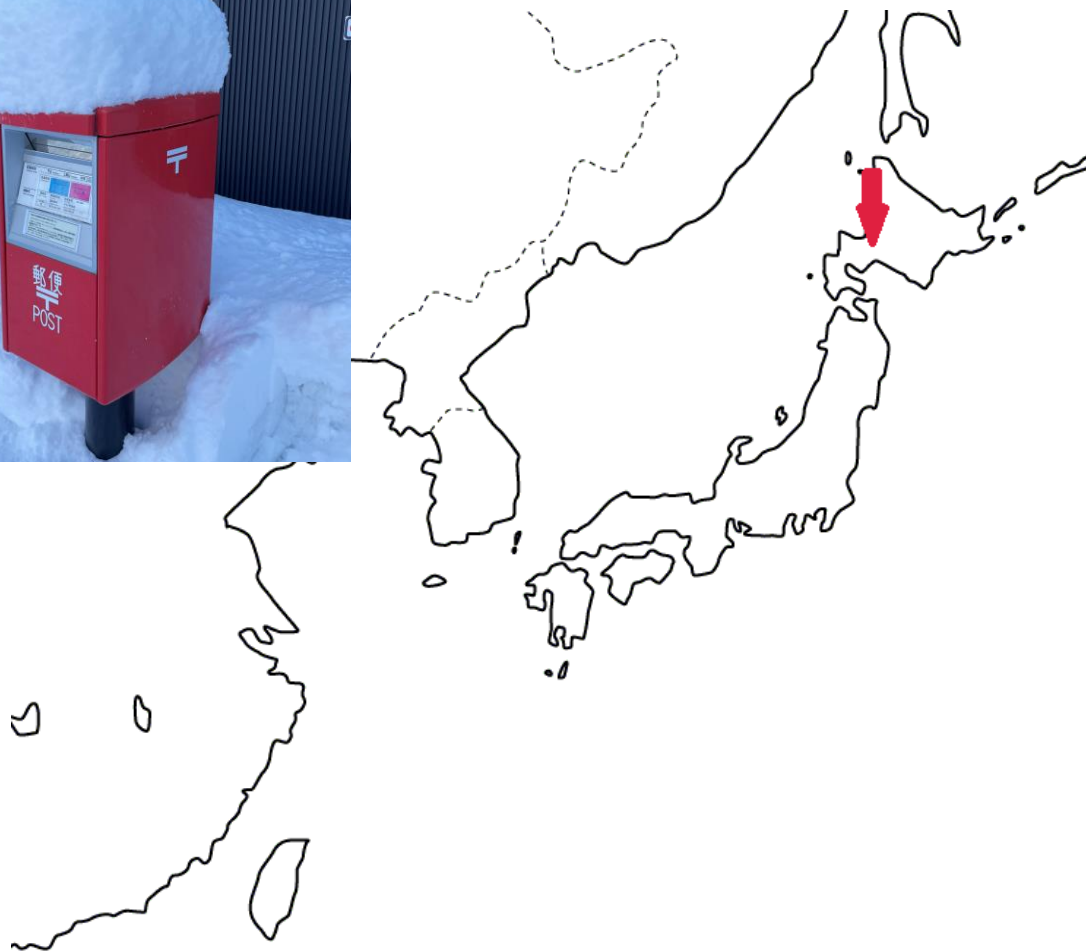
ミリ波であれば長距離の高速通信が行えるのでは

第二キャンパスから、第一キャンパスの建屋が見えている
60GHz帯は免許不要で運用できる



※望遠レンズで撮影

厳しい北海道の冬でも使用できるのか



最大降雪記録 172cm
(2022/2/7)

最低気温記録 -26.6°C
(2023/1/30)

最大瞬間風速記録 33.1m/s
(2018/9/5)

ミリ波の特性と先行研究

■東京都で早稲田大学を中心とするグループ（2001年）

60GHz 帯のミリ波無線伝送システムを用いて高速無線キャンパスネットワークの構成法に関する検討

370m 程度の距離までは空気や降雨の減衰が許容できる

■ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討会（総務省信越総合通信局）

80GHz帯の通信装置を用いて行った調査報告

アンテナ着雪対策を施さない場合には距離1.39km で降雪・着雪による減衰が30dB 程度発生

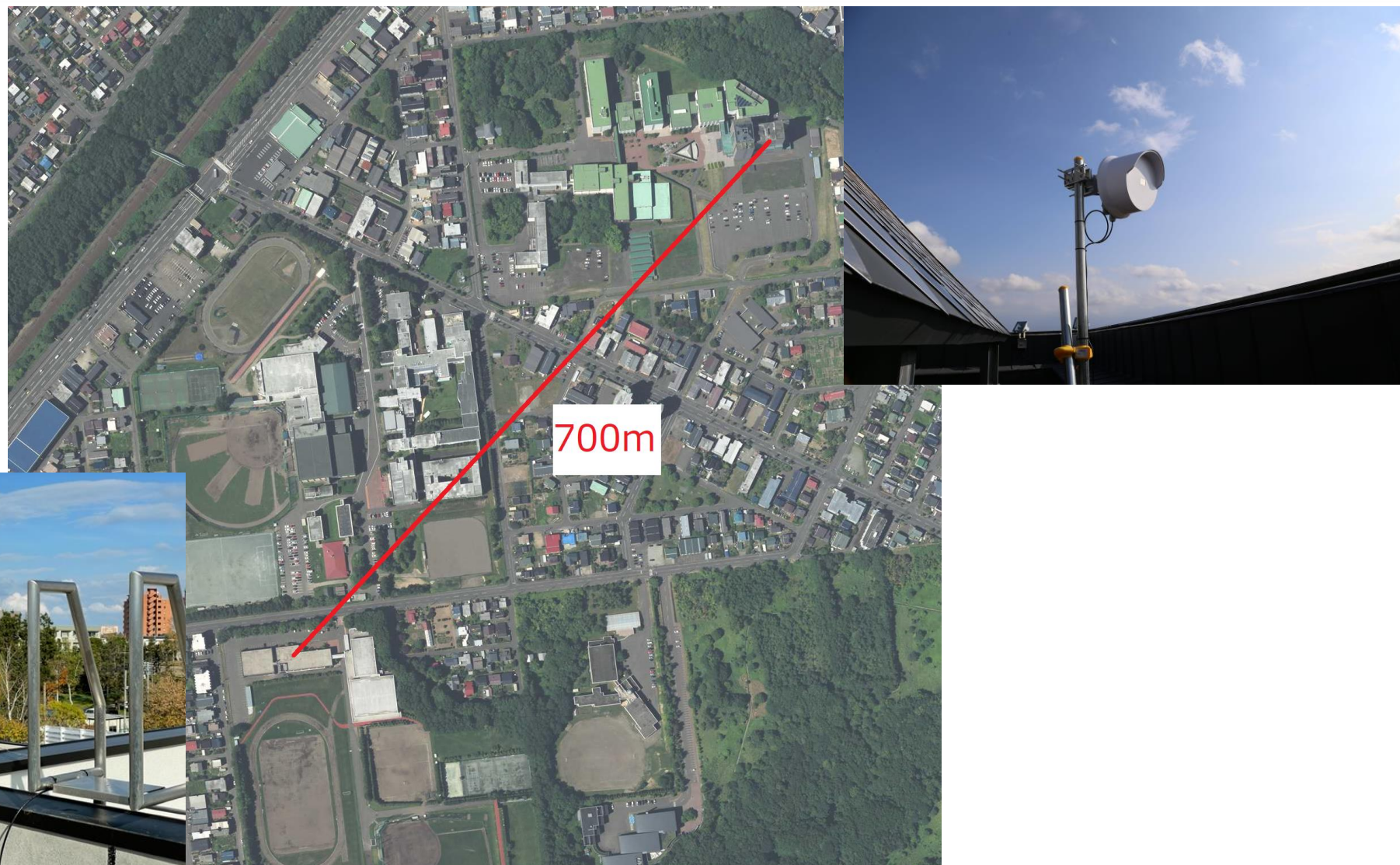
IEEE802.11ay による60GHz 帯ミリ波拠点間通信に

そのまま適用できるものではないが、

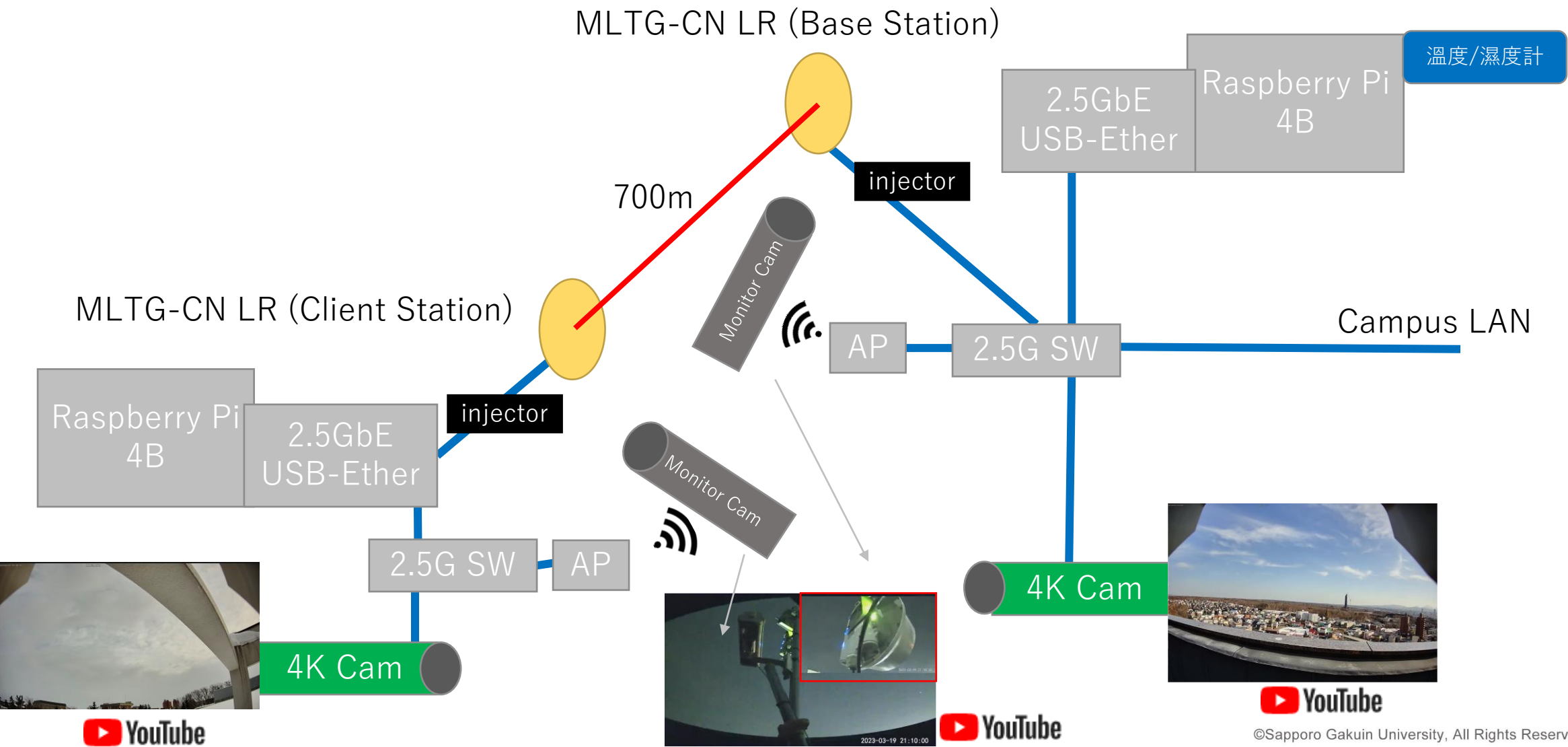
冬季降雪地の拠点間通信方式として運用できる可能性

→ 株式会社ビーマップより、機材貸与と共同検証のお話をいただく

位置関係（2022年度共同検証）



接続構成



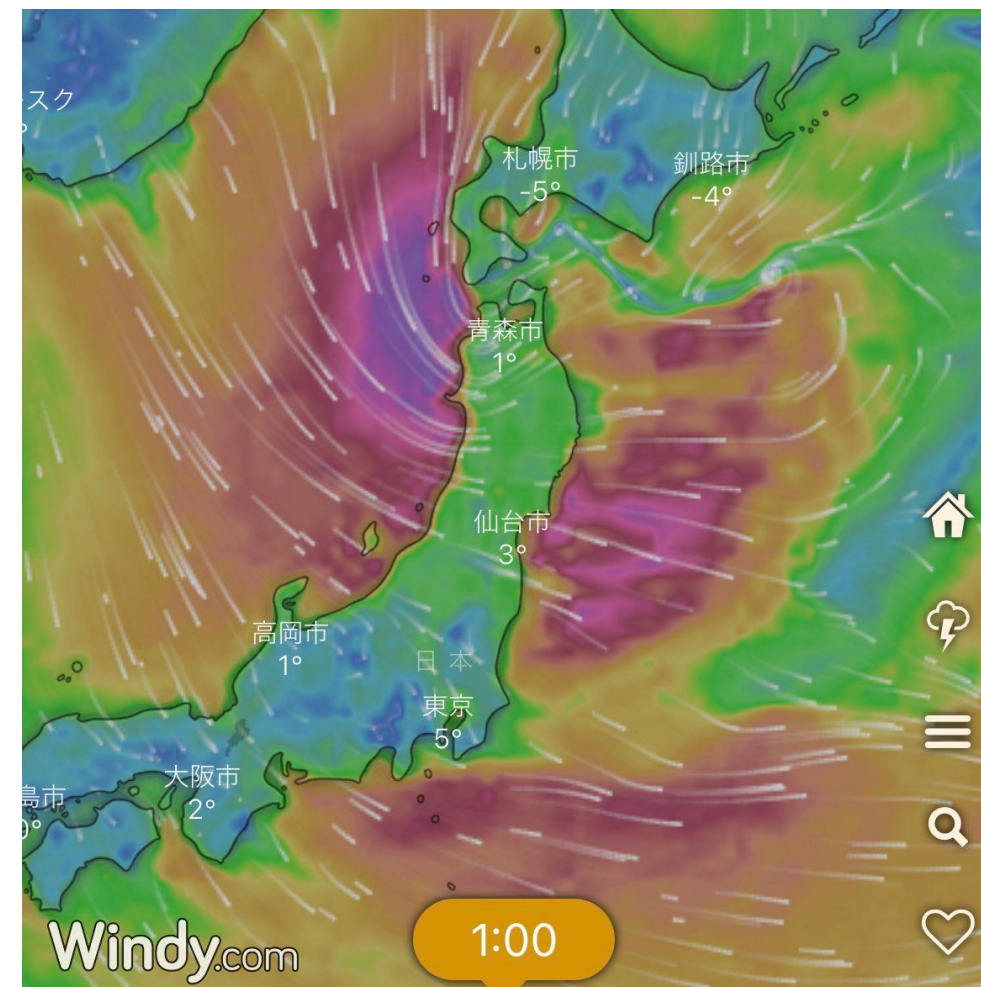
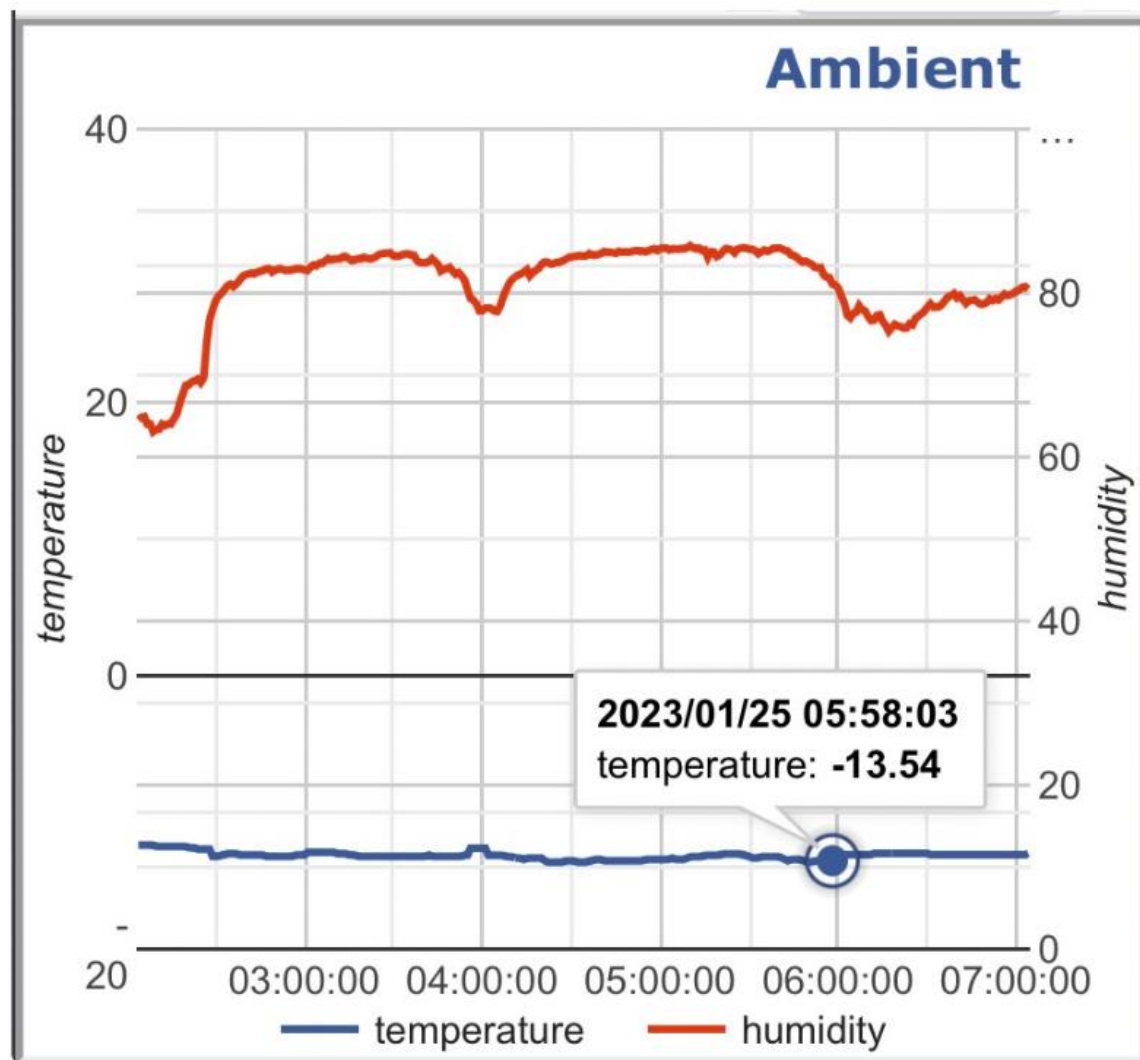
2022年度冬の状況





2023-01-12 19:21:04

2022年度の最低記録温度 -13.5℃



※1/20の風の状況

Iperf3によるパフォーマンス測定

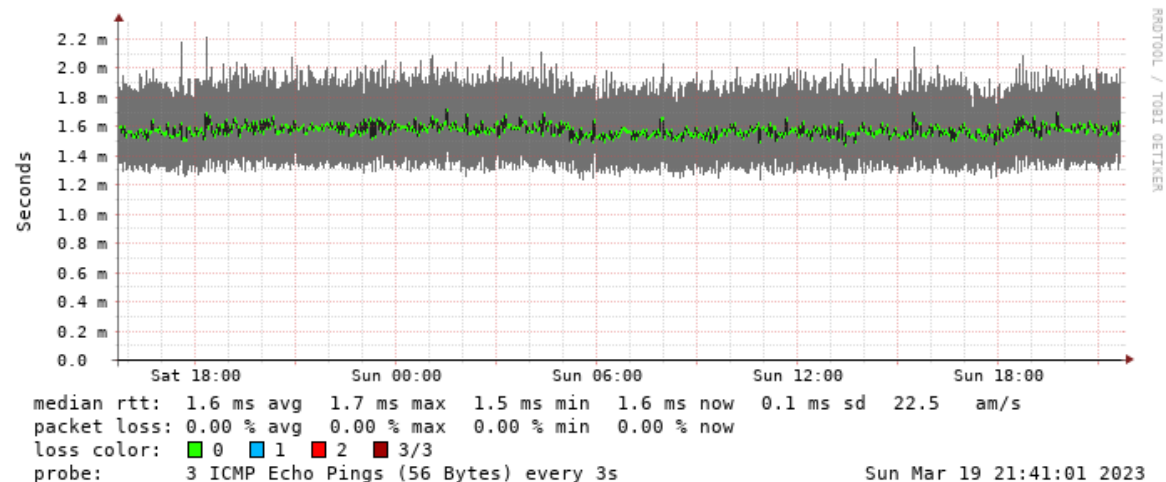
Bitrate 1.3Gbits/sec

※2.5GbE USB-Ether で接続したRaspberry Pi における上限
1.9Gbits/sec

キャンパス無線LAN を設置する
際のバックホール回線として
十分な性能

```
syako@rpi-mGbE-Cam2: ~  
45  exit  
46  history  
syako@rpi-mGbE-Cam2:~$ !37  
iperf3 -c 10.211.230.11  
Connecting to host 10.211.230.11, port 5201  
[ 5] local 10.211.230.12 port 51030 connected to 10.211.230.11 port 5201  
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr  Cwnd  
[ 5]  0.00-1.00    sec    148 MBytes  1.24 Gbits/sec    0   1003 KBytes  
[ 5]  1.00-2.00    sec    159 MBytes  1.33 Gbits/sec    0   1003 KBytes  
[ 5]  2.00-3.00    sec    152 MBytes  1.28 Gbits/sec    0   1003 KBytes  
[ 5]  3.00-4.00    sec    151 MBytes  1.27 Gbits/sec    0   1.03 MBytes  
[ 5]  4.00-5.00    sec    159 MBytes  1.33 Gbits/sec    0   1.03 MBytes  
[ 5]  5.00-6.00    sec    158 MBytes  1.32 Gbits/sec    0   1.03 MBytes  
[ 5]  6.00-7.00    sec    156 MBytes  1.31 Gbits/sec    0   1.03 MBytes  
[ 5]  7.00-8.00    sec    159 MBytes  1.33 Gbits/sec    0   1.03 MBytes  
[ 5]  8.00-9.00    sec    160 MBytes  1.34 Gbits/sec    0   1.10 MBytes  
[ 5]  9.00-10.00   sec    159 MBytes  1.33 Gbits/sec    0   1.10 MBytes  
-----  
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr  
[ 5]  0.00-10.00   sec    1.52 GBytes  1.31 Gbits/sec    0  
[ 5]  0.00-10.04   sec    1.52 GBytes  1.30 Gbits/sec  
iperf Done.  
syako@rpi-mGbE-Cam2:~$
```

MLTG-CN_LR(C) - linked to MLTG-CN_LR(B) over 735m by 60GHz wireless

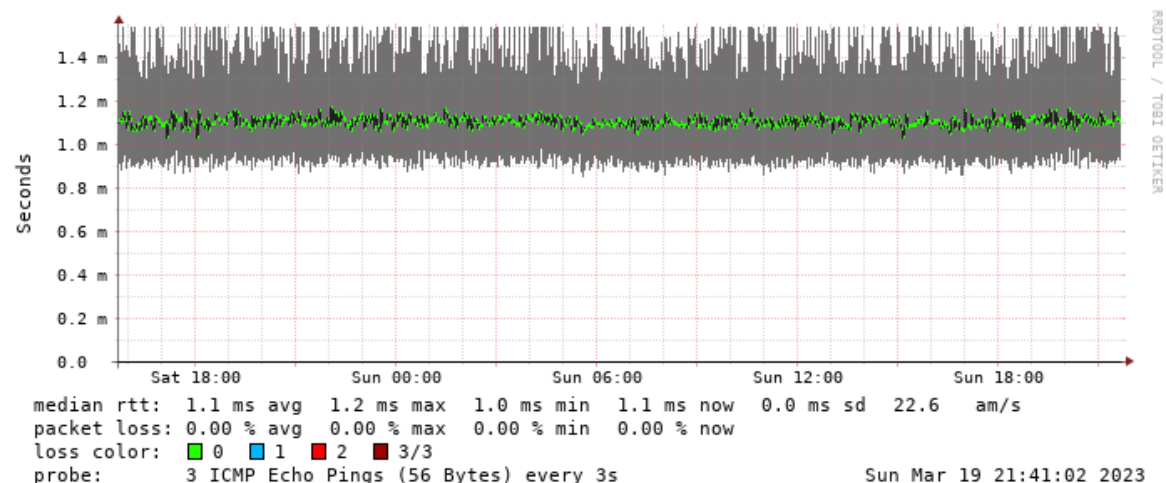


降雪による遅れはほとんどない
(2022 3/19のグラフ)

RTT平均

- 遠隔拠点 1.6ms
- 第一キャンパス側 1.1ms

MLTG-CN_LR(B) - connected wired LAN



YouTube Liveによるライブ配信



60GHz 帯長距離無線 LAN 製品「MLTG-CN LR」の寒冷地における長距離通信試験

札幌学院大学 電子計算機センター・924 回視聴・4 週間前に配信済み

配信開始 2022/11/26

キャンパス電源法定点検に伴う停止 2023/8/26

6526時間（271 日間）
停止することなく配信を
継続できた

eduroam/OpenRoaming基地局の運用検証 (2023)



eduroam/OpenRoaming基地局の運用検証 (2023)



200m

中継

700m

屋外型Wi-Fi基地局
(eduroam/OpenRoaming)

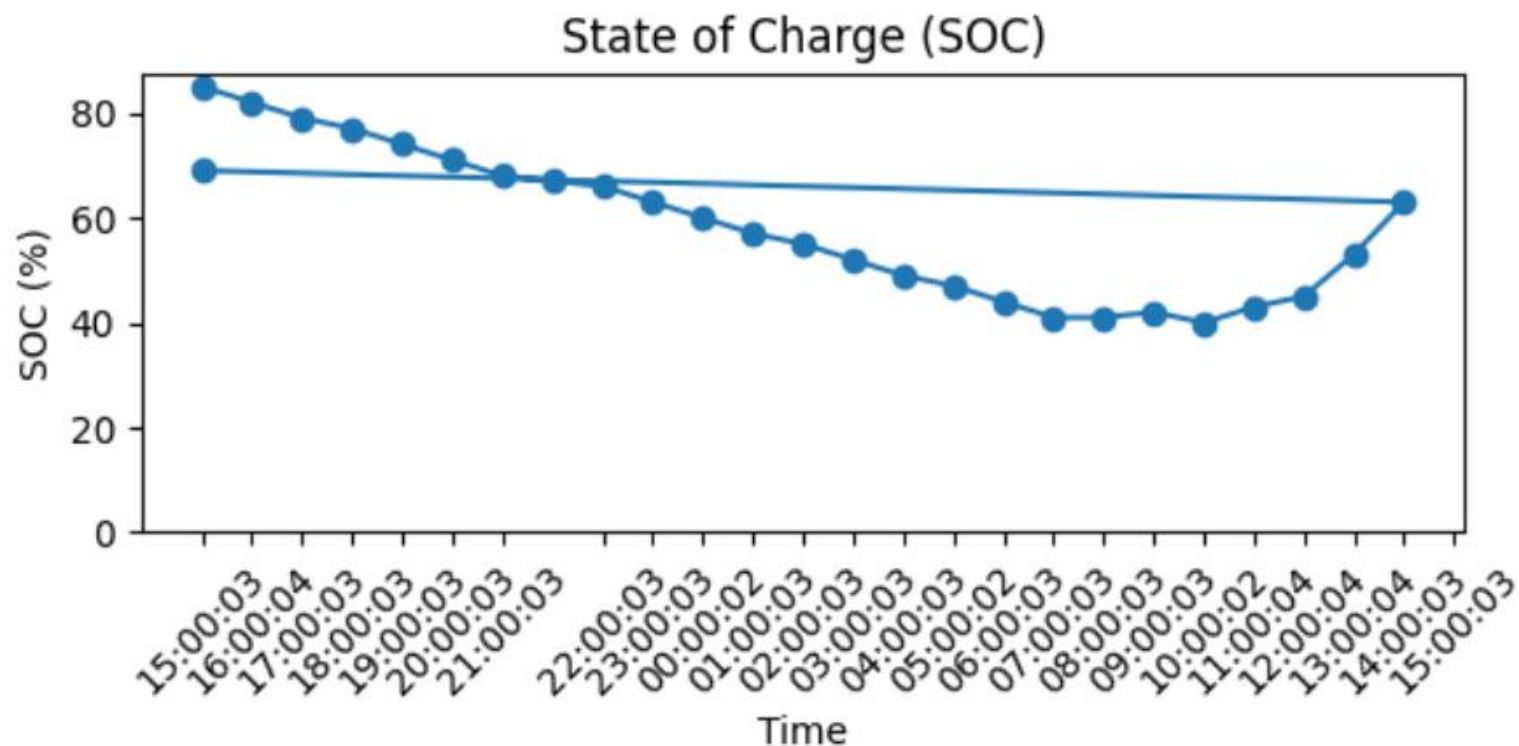
ソーラーパネル (100W)

LiFePO4 ポータブル電源
(320Wh → 512Wh)

ソーラーパネル電源の想定の甘さ

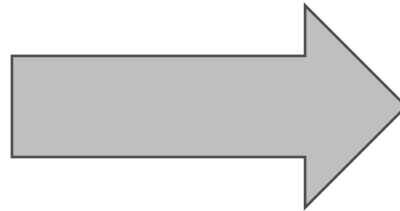
ポータブル電源からAPIで残容量を取得し記録

→ 24時間で充電できる量が、24時間で使用する量を下回っているため **連続稼働できない**



IEEE 802.1X / Passpoint の認証

Passpoint Provisioning Tools (2022)
→ Passpoint Provisioning WebApp



Windows11 Stick PC
タスクで5分毎に再起動し、OpenRoamingへの
接続を繰り返す



IEEE 802.1X / Passpoint の認証

0時台	12	12時台	17
1時台	12	13時台	13
2時台	13	14時台	17
3時台	12	15時台	14
4時台	16	16時台	13
5時台	12	17時台	14
6時台	12	18時台	13
7時台	12	19時台	12
8時台	13	20時台	16
9時台	13	21時台	16
10時台	13	22時台	13
11時台	15	23時台	15

2023/9/23計測～継続中

Windows11 Stick PC

タスクで5分毎に再起動し、OpenRoamingへの接続を繰り返す

RADIUS Proxy で検証用クライアントの認証ログを確認

→ 24 時間で328 回の認証成功が記録

→ 5 分毎の認証が発生したとすれば288 回となり

再認証を含めて安定して接続できていることを確認

IEEE802.11ay による60GHz 帯ミリ波
拠点間通信をバックホール回線に用いた
eduroam/OpenRoaming基地局の
運用は、冬季降雪地であっても問題ない

今冬もYouTube Liveで配信中
https://www.youtube.com/@sgu_computercenter



本研究の一部は、JSPS科研費 23H05391 の助成を受けました。

Passpoint Provisioning WebApp の開発の部分については、令和5年度国立情報学研究所公募型共同研究の助成を受けました。