



測位センサネットワークによる加速器施設の 防災・放射線管理のための位置管理システム の開発

飛島建設：○川端康夫 松田浩朗 松元和伸 田村琢之

神戸高専：○小林 薫 山本祐輔

神戸市：前田 修

関西大学：田頭茂明

NAT：大場俊幸

KEK：吉岡正和



研究の背景



J-PARCが2011年3月11日に震災にあった際、MRTトンネル内では5名の研究者が作業していた。近くに非常脱出口があるにもかかわらず、わざわざ数100メートルの距離がある、入域した加速器出入り口から正式な手順を経て脱出した。とっさの判断としては致し方ないことである。このときの教訓として、

管理区域に誰が入域中であるかは、現システムでもわかるが、**どの位置で仕事をしているか？**まではわからない。従って、適切な避難誘導等が出来ない状況にあった。

また、入坑者が情報不足により、適正な判断ができない状況があった。



ILCの様な広大な施設において、利用者の位置やその動線に基づく、防災管理が出来れば、さらに安全性は高まる。



本日の発表内容

1. 測位センサネットワーク技術を用いた位置管理システムの概要

2. 現場実験報告

※位置管理システムの開発と有効性の検証を目的とし、2種類の現場実験を実施した。

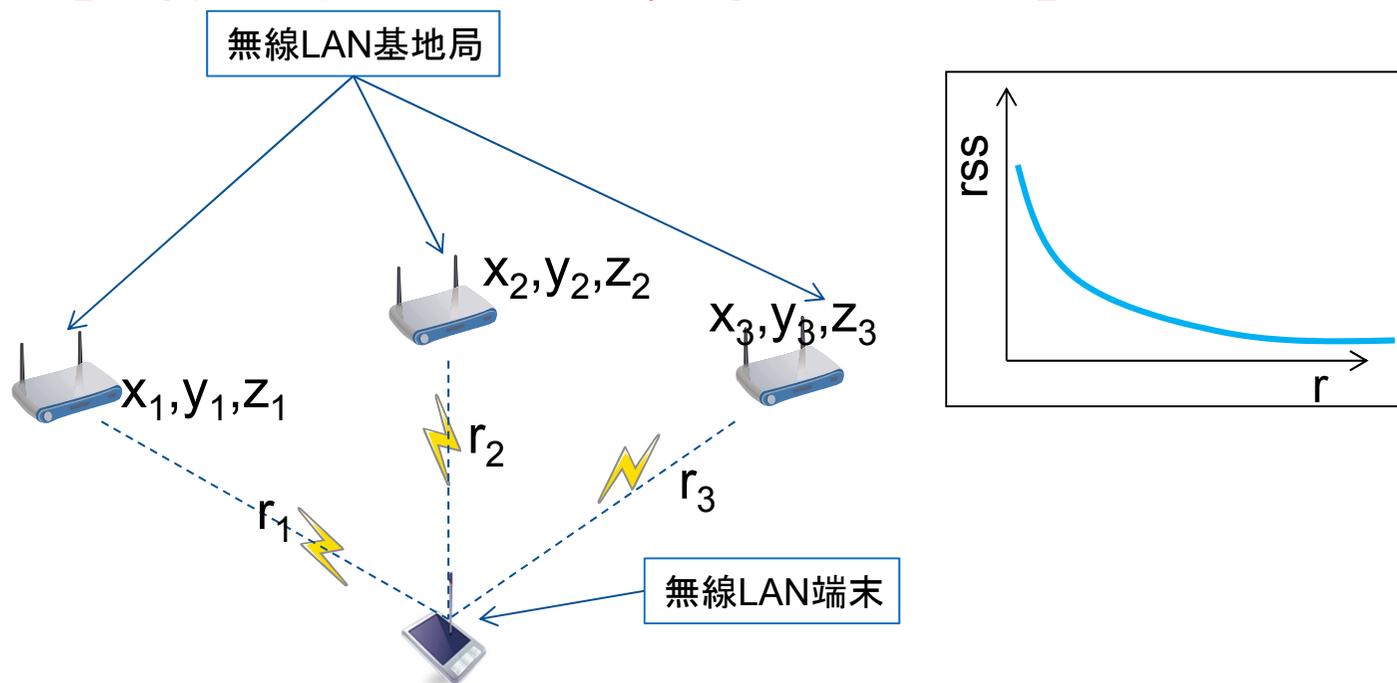
2.1 いばらき中性子医療研究センター（iNMRC）での測位精度の検証

2.2 神戸ベルコントンネルでの測位精度の検証



1. 測位センサネットワーク技術を用いた位置管理システムの概要

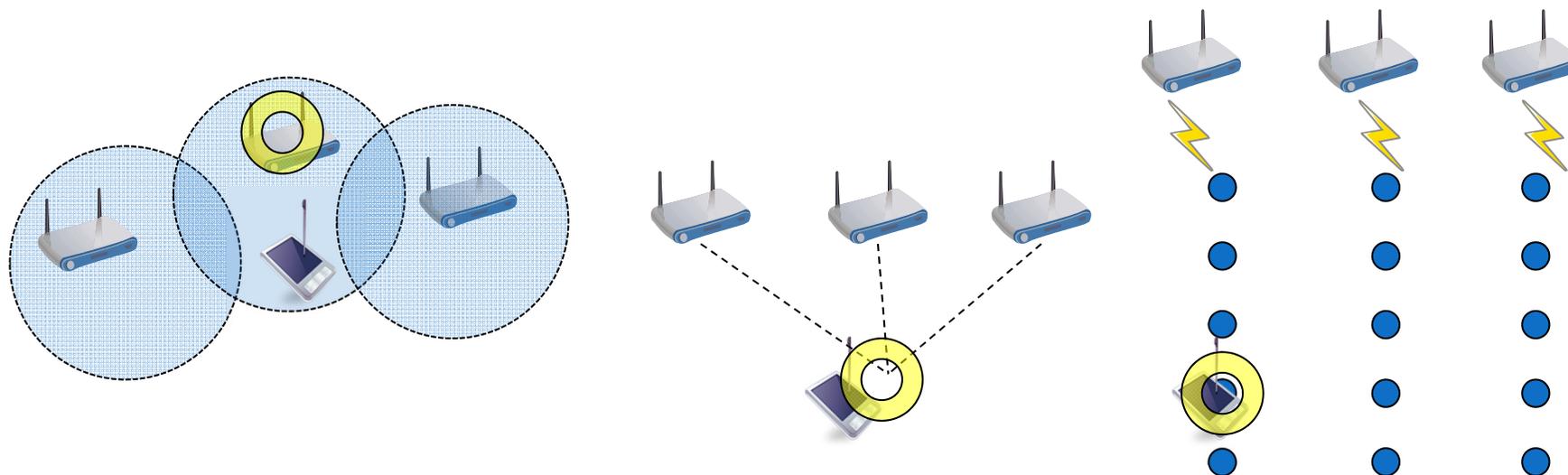
[測位方式の基本原理は!]



- (通信電波強度値(rss)から無線LAN基地局一端末間の距離を推定)
 - 無線LAN基地局の座標と電波強度(距離)から端末位置を推定
- 無線LAN基地局を設置できれば測位可能なため、GPSが苦手な屋内
• 地下街での測位に有利



[測位方式は使用環境に応じ選択する!]



①近接方式（ブロック判別）⇒iNMRC（屋内施設）

一番電波強度の大きい，無線基地局の位置を端末座標

②三角測量方式（座標判別）⇒神戸ベルコントンネル（長大トンネル）

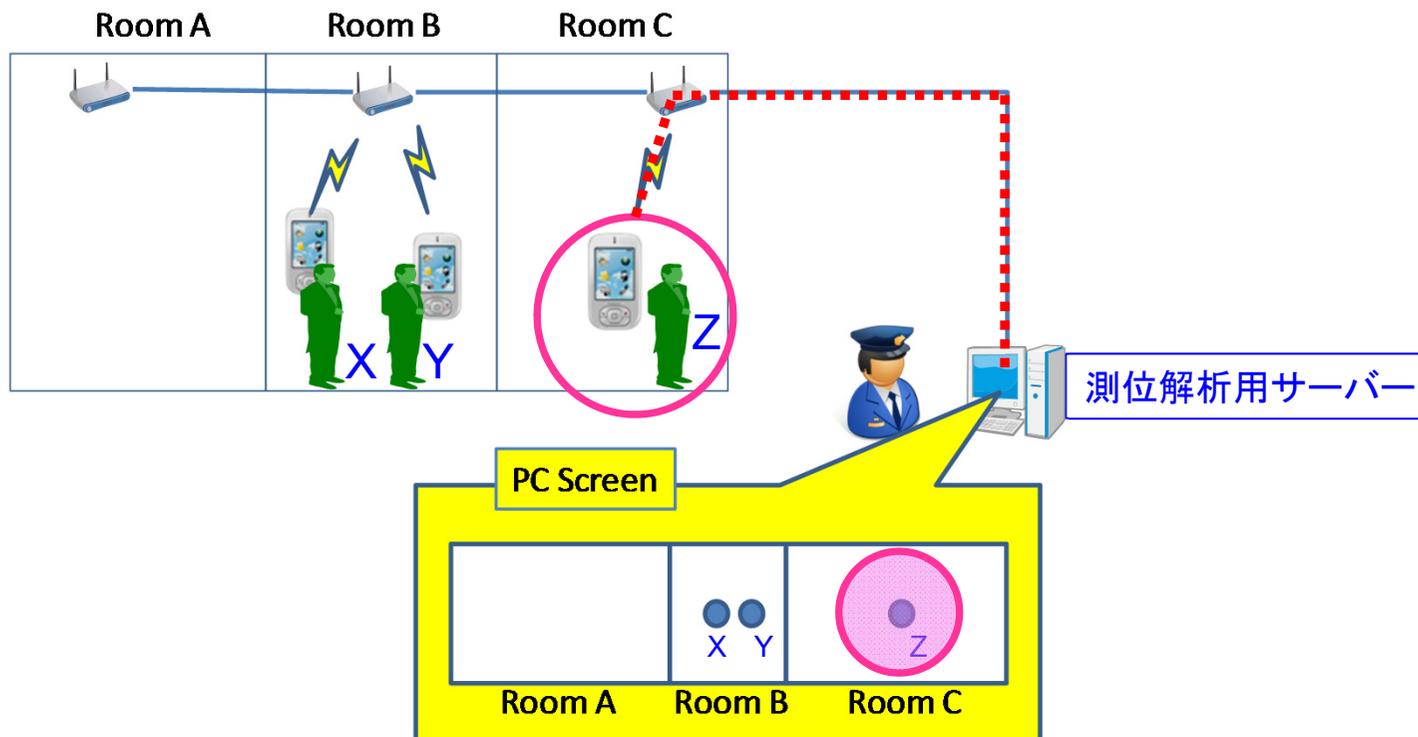
無線基地局座標と推定距離で端末座標を計算

③学習方式（統計判別）

あらかじめメッシュ状に電波強度分布を学習し，統計的に判別



[位置管理システムの考え方]



- 情報端末とこれを所有する施設利用者を関係付けることで、**利用者を判別する。**
- この関係付けにより、“だれが（利用者）”，“どこに（どのエリア）いるか”を、リアルタイム（5秒間隔）に把握するものである。（位置情報はネットワークを介してモバイル端末やPC画面上で確認）



2.1 iNMRCでの測位精度の検証

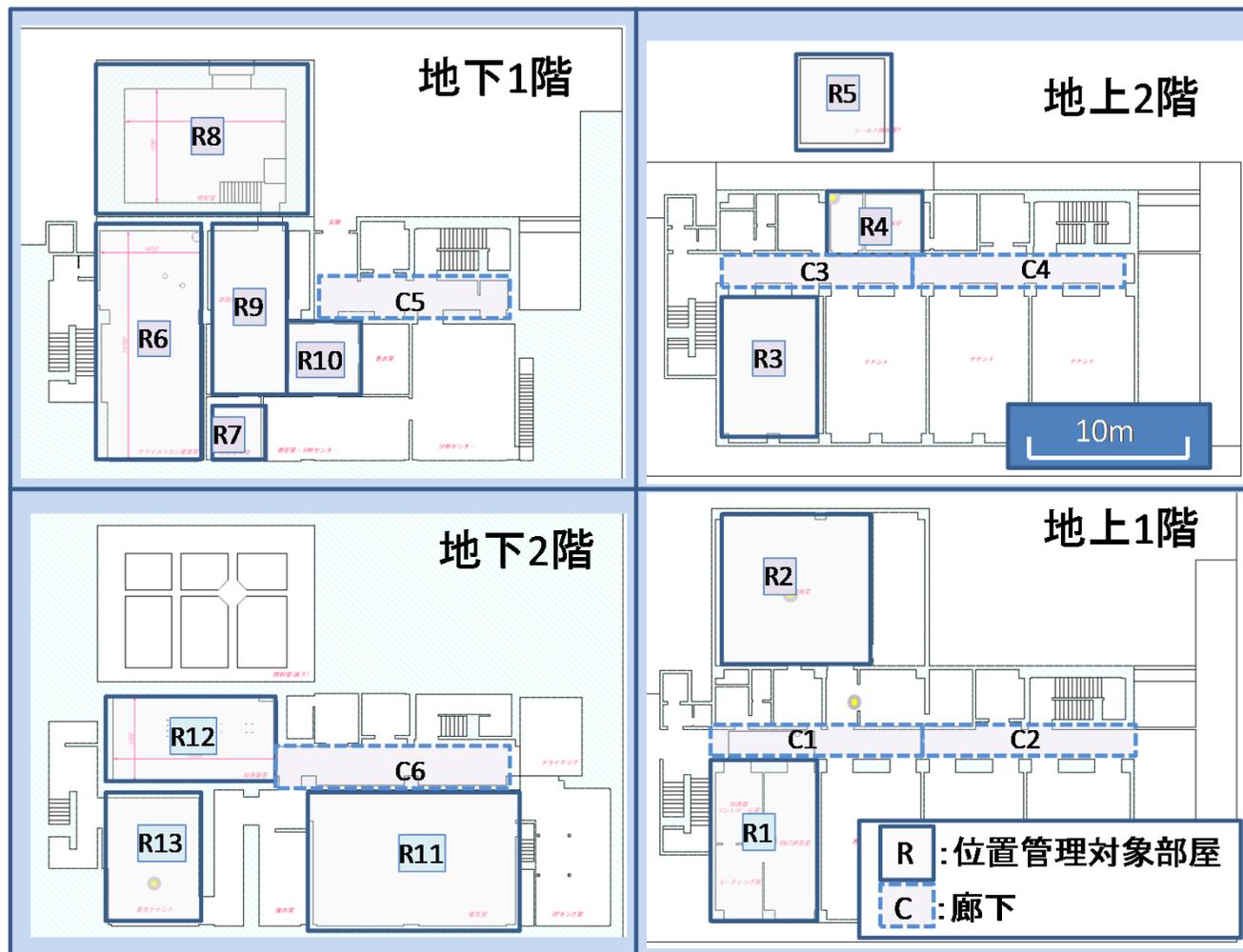
実験場所



位置管理システムの有効性を検証する目的で、いばらき中性子医療研究センター（iNMRC，地上3階，地下2階，建築面積 約650m²）において試験的に導入し現場実験を実施している。



無線通信基地局設置状況



- 施設内を20エリア（部屋13，廊下7：地下2階～地上2階）に分け，各エリアに1台ずつ無線基地局を設置した。
- 位置特定を行う測位解析用サーバは制御室R1に設置した。



無線通信基地局設置状況



【廊下(C2)】



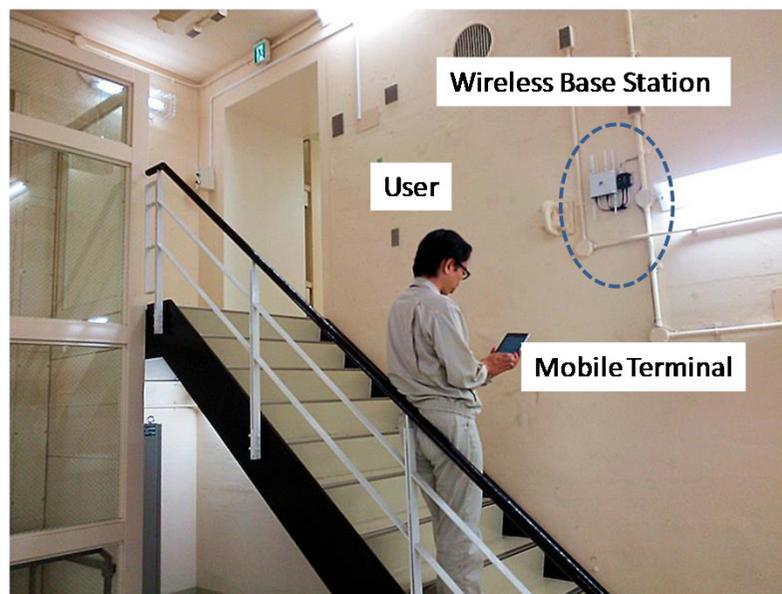
【患者さんの休憩室(R7)】



【監視室・監視画面(R1)】



実験概要



【通路・階段における測位状況】



【モバイル端末 (or PC) のモニター画面】

- ①情報端末を持った実験者がそれぞれの部屋に一定時間(本実験では15分以上)滞在し、実際の滞在部屋、入室時刻、ならびに退室時刻を記録した。
- ②開発システムの測位解析は、20秒間隔(20秒間の電波強度の平均値)で実施し、実際の記録と開発システムによる測位結果とを比較した。



実験結果①



実際の記録		
滞在部屋	入室時刻	退室時刻
R1	14:51	15:04
R2	14:52	15:06
R3	15:18	15:44
R5	15:21	15:46
R6	15:16	15:43
R7	14:52	15:08
R8	14:37	15:09
R9	14:52	15:08
R10	15:01	15:07
R11	14:52	15:11
R12	15:13	15:42
R13	15:15	15:42

測位結果		
滞在部屋	入室時刻	退室時刻
R1	14:51	15:05
R2	14:52	15:06
R3	15:18	15:45
R5	15:21	15:46
R6	15:16	15:43
R7	14:52	15:08
R8	14:37	15:10
R9	14:52	15:10
R10	15:01	15:08
R11	14:52	15:11
R12	15:12	15:42
R13	15:14	15:43

評価
○
○
○
○
○
○
○
○
○
○
○
○
○

R4	15:19	15:45
----	-------	-------

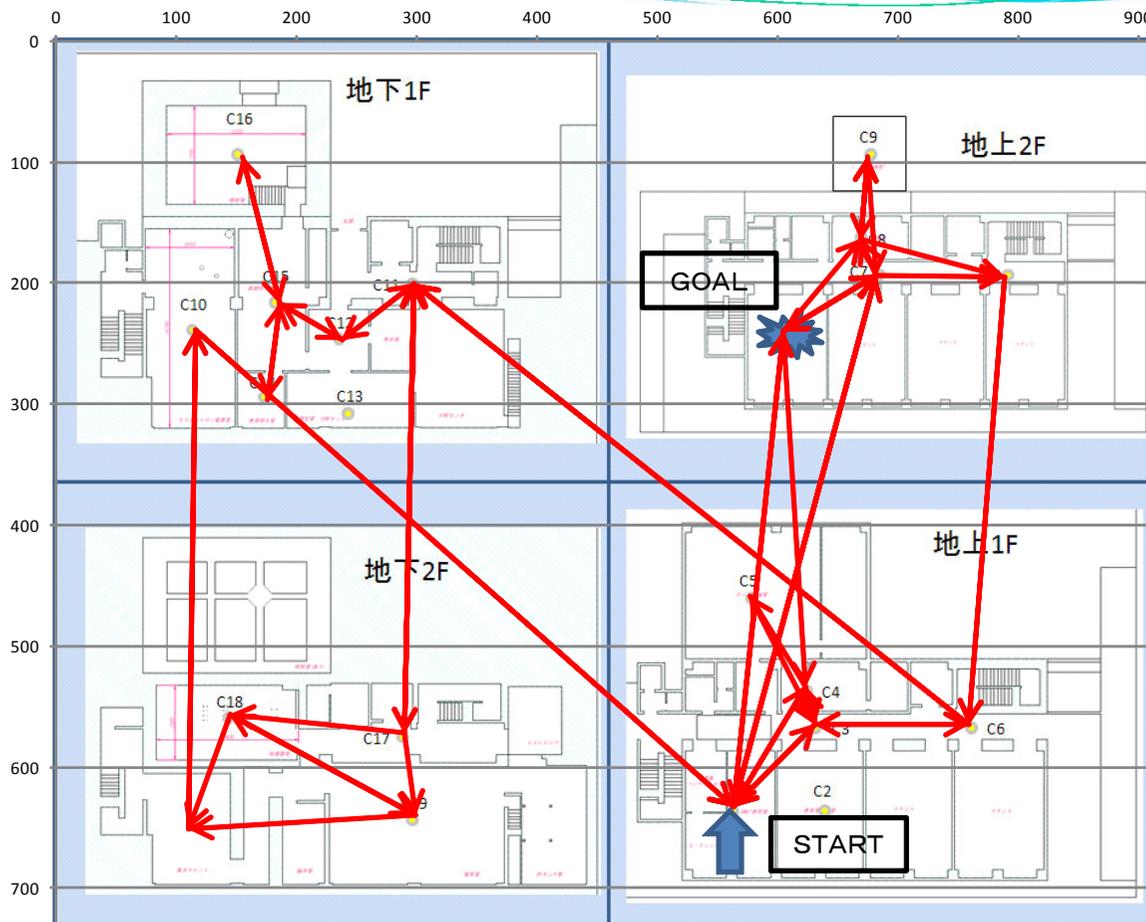
R4	15:19	15:22
C3 (廊下)	15:22	15:25
R4	15:25	15:25
C3 (廊下)	15:25	15:25
R4	15:25	15:26
....
C3 (廊下)	15:44	15:45
R4	15:45	15:46

	入退室回数
×	1
×	2
×	3
×	4
×	5
....	...
×	42
×	43

- ① R4を除く、すべての部屋で、実験者の位置・入退出時間を正確検出。
- ② R4滞在時は、R4とC3との出入りを頻繁に繰り返した結果となった。
干渉エリアでの各々の電波強度に明確な差がなかったことが原因
⇒のちにAPの位置の修正によって解決

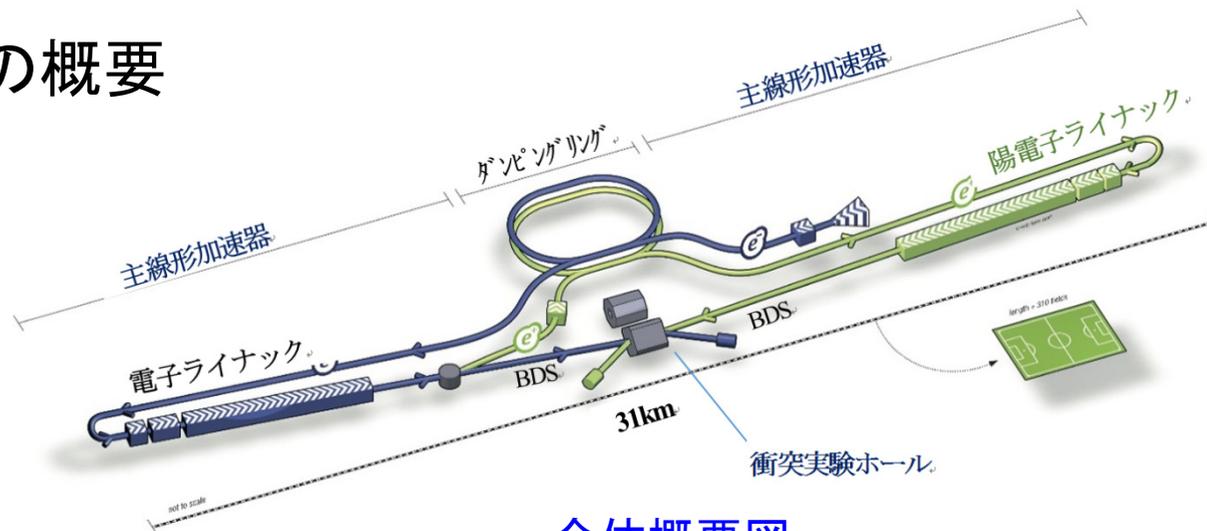


実験結果②



- ①約50分間の測定において、実験者が通過した経路，入退室時間を忠実に検出している。
- ②地階を飛び越える異常データも確認されていない。

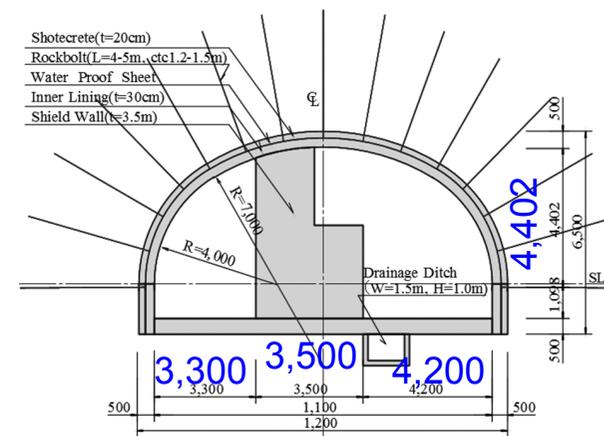
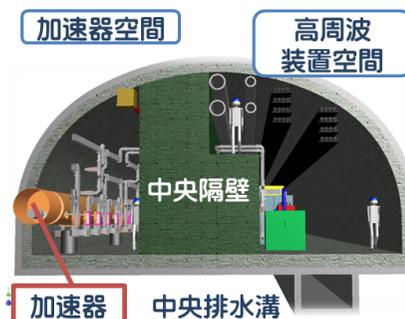
ILC施設の概要



全体概要図



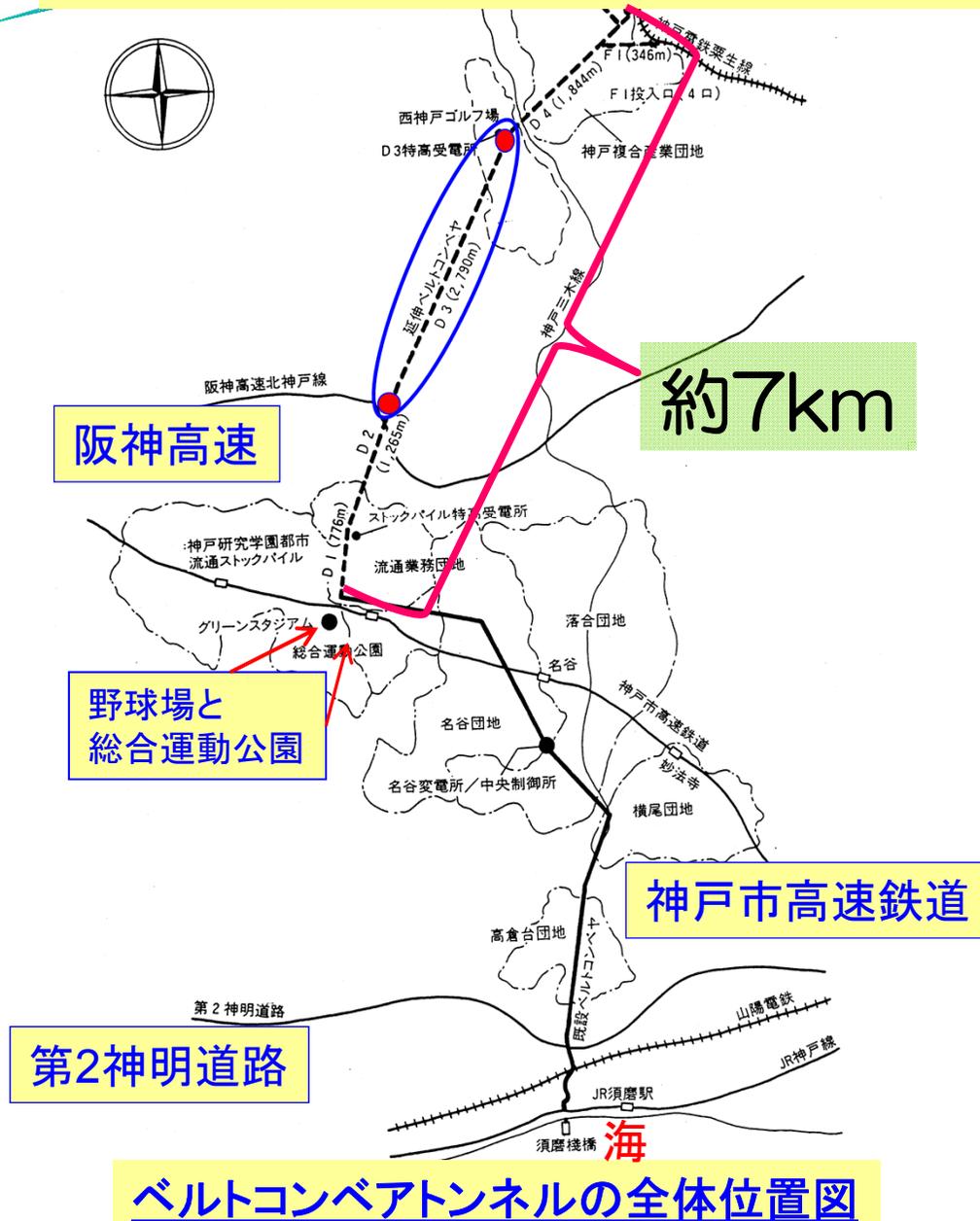
イメージパース



単位;mm

断面図

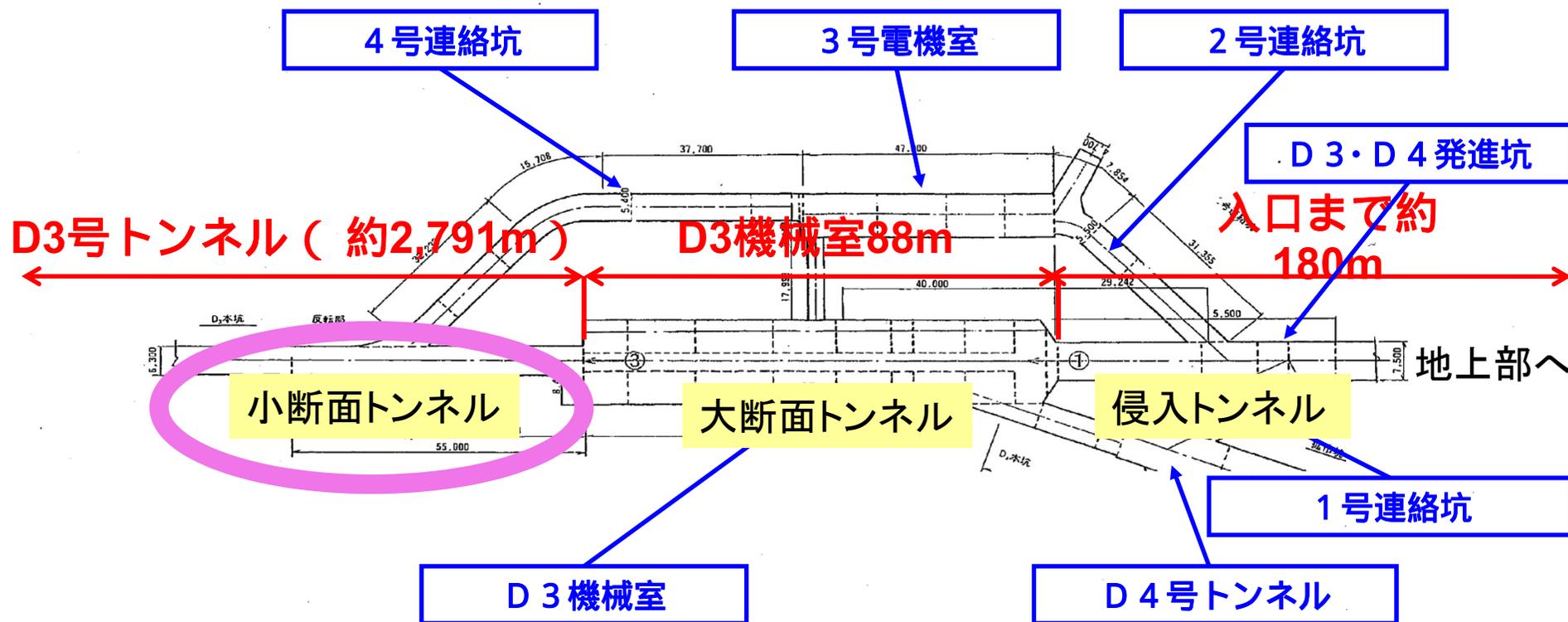
ベルトコンベアトンネルの概要



当施設は、ポートアイランド・六甲アイランド・神戸空港の埋立て用の土砂移動時に発生する環境問題等を回避するために、路上ではなく地中で運搬する事を目的として昭和37年～平成元年に建設された。約6億tの土砂を山間部より海へ運搬して全ての埋立てを完了し、平成17年9月に、ベルトコンベアの役目は終了した。

トンネル平面概要

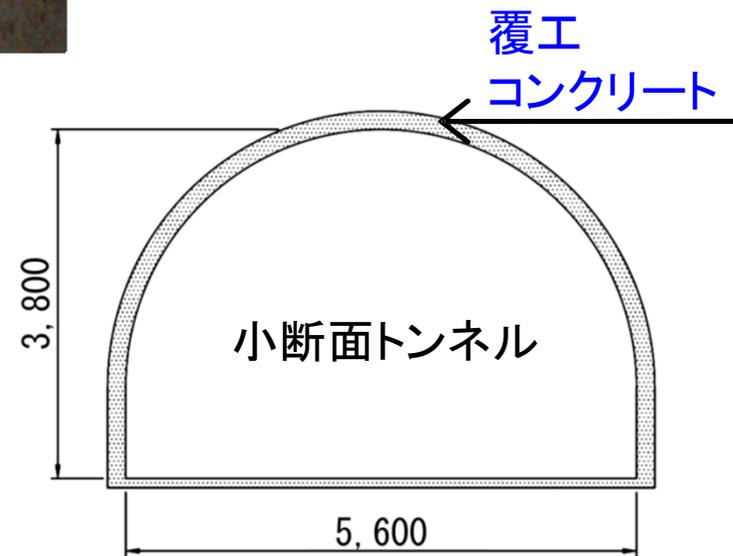
D3機械室周辺平面図 S=1/1,000



実験場所:トンネル断面積が 17.4 m^2
の小断面トンネルの約800 m区間

名称はベルトコンベヤトンネル稼動時の呼称

小断面トンネルの概要



単位:mm

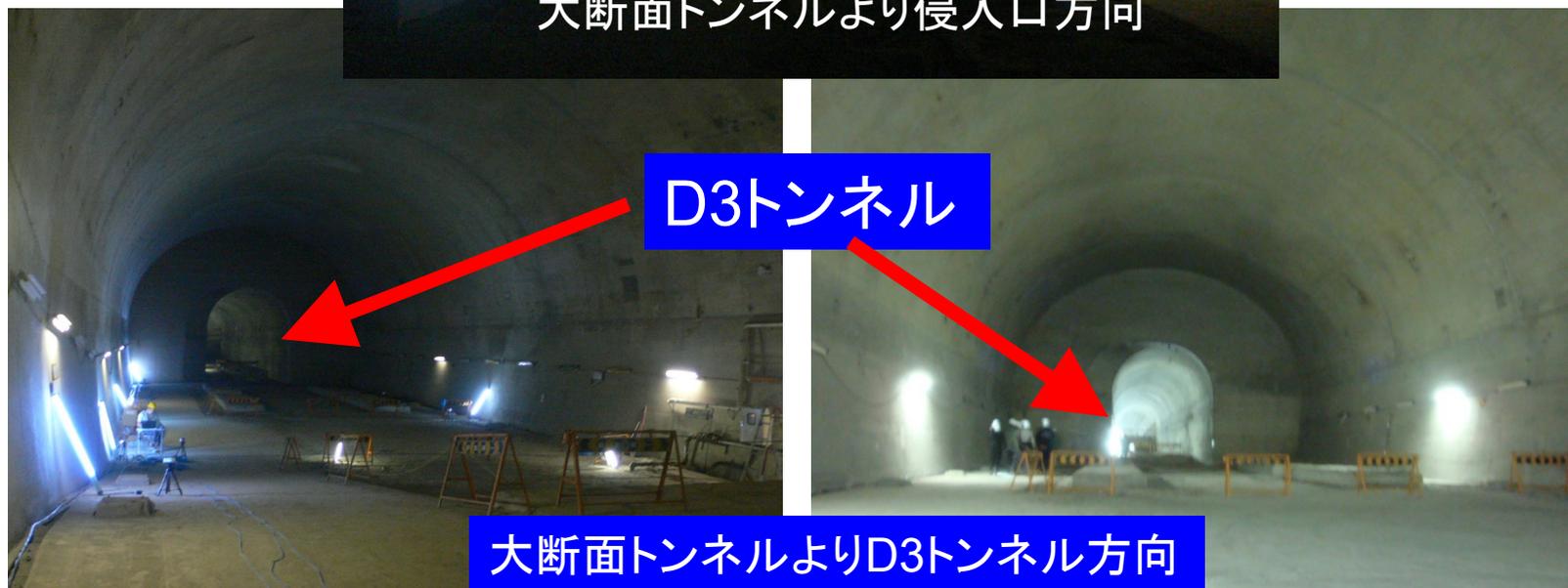
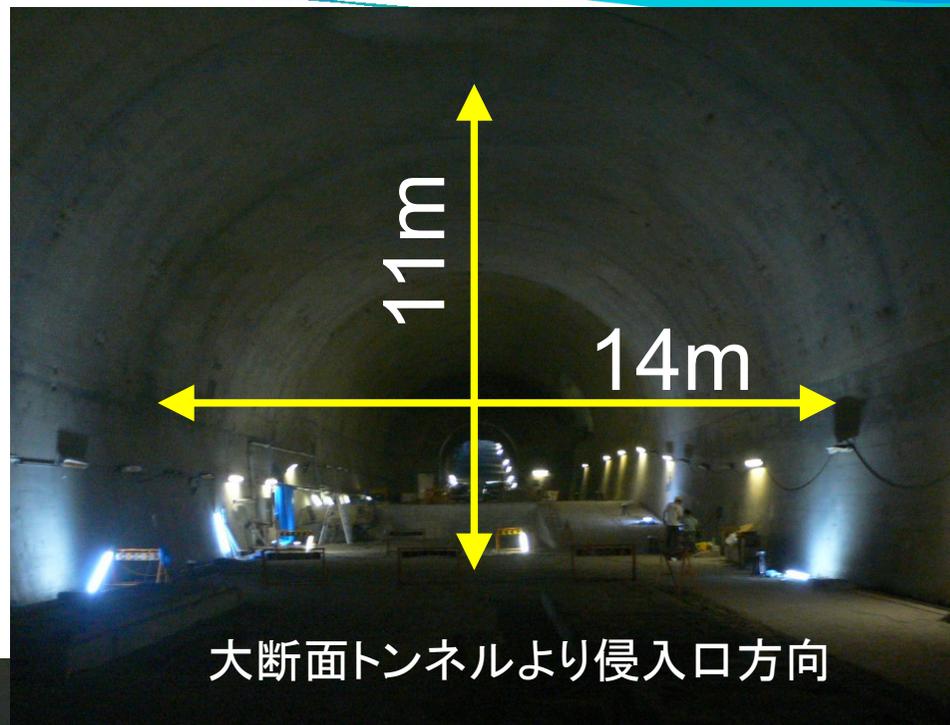
トンネルの標準断面

Inside view of D3 tunnel

計測時のトンネル内の温度は18℃，相対湿度は85%であった。

参考

大断面トンネルの概要



実験概要

■ ベルトコンベアトンネルの一部

(D3トンネル: 断面積が 17.4 m^2)

小断面トンネルの約800 m区間

■ 無線LANの通信速度, 通信遅延と同時測位の精度について **検証**

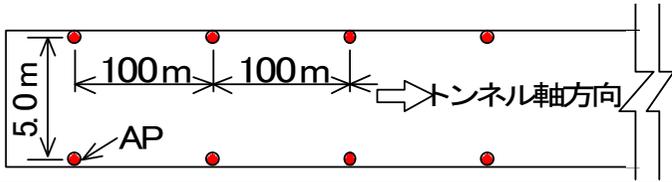
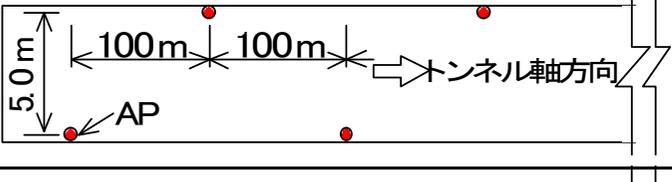
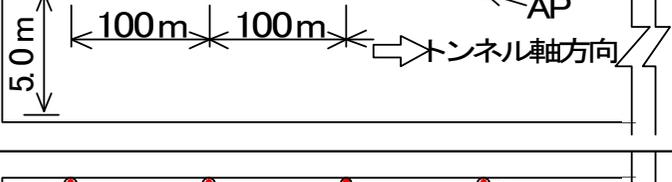
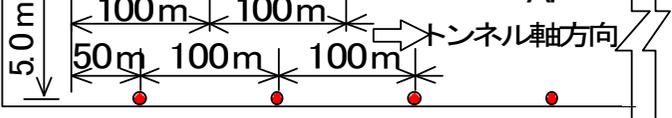
* 通信速度: データ転送の速度

* 通信遅延: データ転送の遅れ (遅れて声が伝わる等)

本実験では、

- AP配置が測位精度に及ぼす影響を検証
→ 4種類のAP配置について実験

AP配置は下表のとおりである。

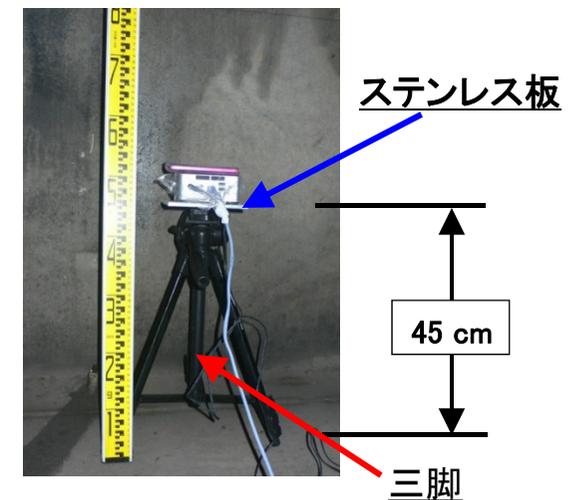
配列名	配列状態	軸方向の配置間隔 (m)	配置イメージ
配列 1	並行配列	100	
配列 2	千鳥配列 1	100	
配列 3	片側直線配列	100	
配列 4	千鳥配列 2	50	

■ 実験に用いたAP: 大きさ 約 $10 \times 10 \times 5$ cm

■ 現地におけるAPの設置および高さ:

APの設置は写真に示すとおり, カメラの三脚を用いて, コンクリート基盤底面より45 cm

■ APの下面: 15cm角 厚さ $t=0.5$ cmのステンレス板を敷いて, コンクリート基盤底面の反射等によるマルチパスの影響を低減





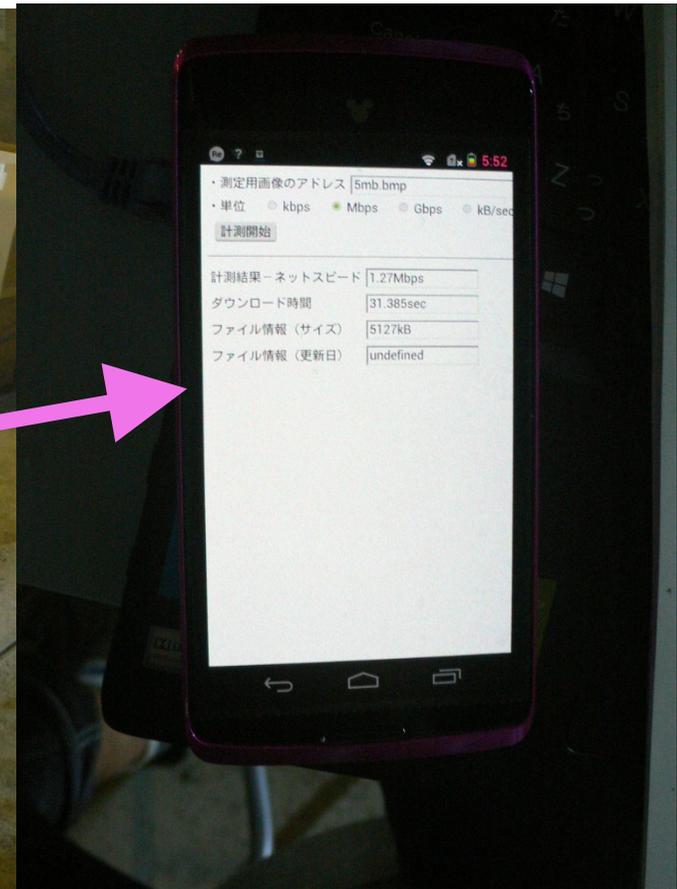
トンネル内のAP設置状況

実験結果

1) 無線LANの通信速度, 通信遅延



トンネル内での計測状況



通信速度と遅延の計測

実験結果(1)

■ 通信速度および通信遅延

小断面トンネル内における無線LANの通信速度と通信遅延に関する測定結果(配列1について各10回測定)を示す.

通信速度(Mbps)	12.8	7.9	8.4	8.6	8.8	7.2	9.2	8.2	7.2	6.4
通信遅延(ms)	56.7	23.1	51.3	55.5	45.3	48.0	44.8	47.4	35.6	34.4

- 通信速度: 平均8.5Mbps(変動幅: 6.4~12.8Mbps)
- 小断面トンネル内における通信遅延: 平均で44.2msec(変動幅: 34.4~56.7msec)
→最大通信遅延は56.7msecで, 一般に要求される通信遅延150msec未満を満足
- 配列違いが測位結果に及ぼす影響はほとんど無かった

大断面トンネルでの結果(速報)

80m(AP16個)(チューニング後)

通信速度(Mbps)	8.7	8.33	7.55	7.26	6.5	7.98	7.92	6.68	7.74	11.32
遅延(ms)	53.81	59.99	52.33	48.65	58.4	49.5	50.81	54.1	44.66	55.49

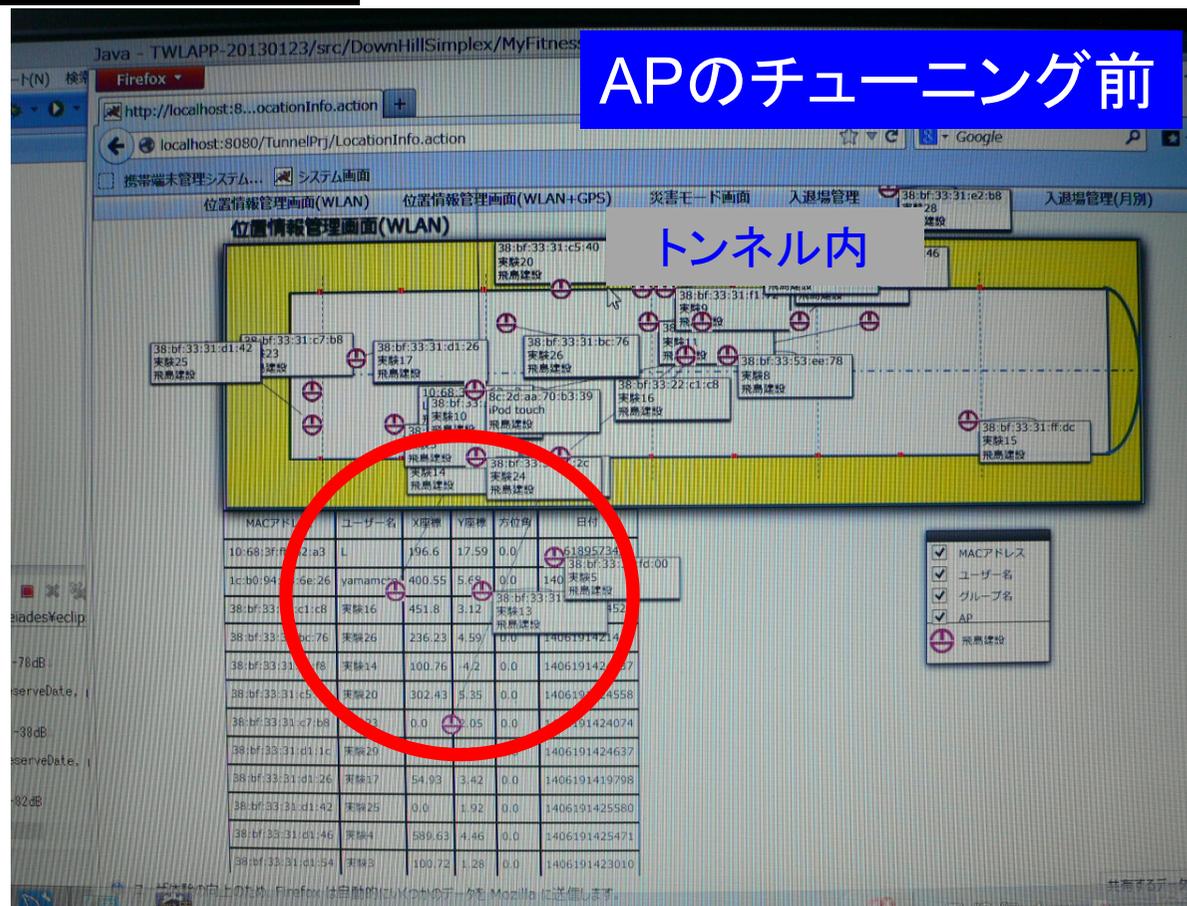
80m(AP18個)(チューニング後)

通信速度(Mbps)	10.8	10.42	11.05	10.35	9.84	8.19	8.35	9.09	12.63	8.76
遅延(ms)	34.83	54.27	39.72	51.36	49.82	58.27	45.66	38.69	62.37	38.14



実験結果

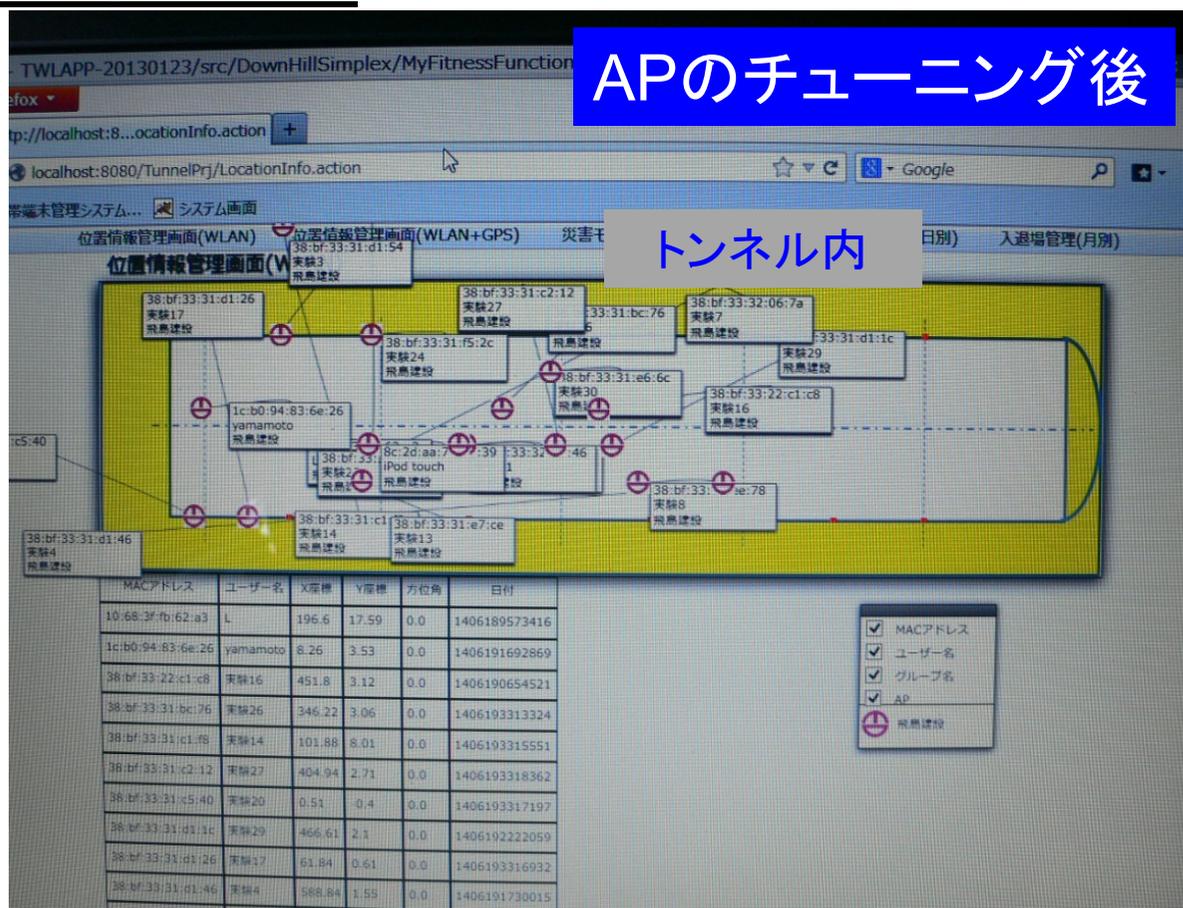
2) 同時測位



測位結果の表示例

実験結果

2) 同時測位



測位結果の表示例

実験結果(2)

■ 無線LAN端末の測位結果(配列4の場合)

(単位:m)

	無線LAN端末座標値	測定時間3秒間の各平均値のばらつき	測定時間10秒間の各平均値のばらつき	測定時間30秒間の各平均値のばらつき
y(横断)方向	2.3	5.04~-1.35	2.8~0.1	2.1~0.8
x(軸)方向	300.0	305.9~295.4	304.8~299.4	302.5~300.3

	標準偏差	
	X(軸方向)座標(m)	y(断面方向)座標(m)
3秒間の平均値	2.20	1.25
10秒間の平均値	1.28	0.59
30秒間の平均値	0.73	0.35

実験結果による測位座標の精度

■ 測位解析の時間が増す（3秒から30秒）につれて測位誤差のばらつきが小さくなり、測位精度の向上が見られる。

→ 測位解析を30秒程度にした場合には、測位誤差は最大で、

- ・トンネル軸方向で+2.5m程度
- ・トンネル断面方向で+2.1m程度

■リアルタイム性を重視して、測位解析を3秒にした場合の平均値のばらつきは、トンネル軸方向で±5m程度、トンネル断面方向も±5m程度は**確保**できている。

今回の実験では、配列による測位精度への顕著な影響は確認できなかった。この点については、今後更なる検証を行う予定

■加えて、
大断面トンネルとの比較検討も実施予定

まとめ

- 神戸ベルトコンベアトンネルにおける長大かつ小断面トンネル内においては、強くマルチパスの影響を受けることも考えられたが、通信速度は平均で8.5Mbpsを確保できていると共に、通信遅延は60msec未満であった。このことから、通信インフラとしてIP電話の性能(一般的には通信遅延は150msec未満)を十分満足していることが実証できた。
- 長大かつ小断面トンネル内における測位精度は、APの配置方法(並列配置, 千鳥配置など)による影響はほとんどないことを実験的に確認した。また、測位解析を30秒程度に設定した場合には、測位誤差は±2.5m程度は確保できることが確認できた。

→今後、システムの安定性・信頼性の向上を目指す



おわりに

将来、ILCの様な巨大な加速器施設に应用することを最終目標に行なっている。

東日本大震災での教訓は、管理区域に誰が入域中であるかは現システムでもわかるが、どの位置で仕事をしているかまではわからない。従って、適切な避難誘導が出来ないということであった。

ILCトンネルは大深度地下施設であり、非常時の避難・脱出は大きな課題である。 入域者の所在に応じた適切な避難誘導を行うことは、さらに重要な課題である。放射線管理と災害時の避難誘導を兼ね備えた本システムは安全上重要な役割を果たすと考える。



ご静聴有り難うございました。