

**「ICT を活用した次世代 ITS」のうち  
「歩車間通信技術の開発」  
平成 28 年度研究成果報告書**

平成29年3月

株式会社パナソニック システムネットワークス開発研究所



# 目次

1. はじめに.....	12
2. 歩車間通信の通信プロトコル開発.....	13
2.1. 背景.....	13
2.2. 研究目的.....	14
2.3. 歩行者端末システム.....	15
2.3.1. 700MHz 帯通信端末.....	17
2.3.2. スマートフォン.....	20
3. アンテナ小型化および低相関化.....	21
3.1. スマートフォン模擬筐体の設計.....	22
3.1.1. 筐体設計.....	22
3.1.2. セルラーアンテナの設計.....	23
3.2. 700MHz 帯通信アンテナの小型化.....	39
3.2.1. 評価指標.....	39
3.2.2. 平成 27 年度使用端末 700MHz 帯通信アンテナの解析.....	41
3.2.3. アンテナの小型化検討.....	46
3.2.4. 小型アンテナのスマートフォン模擬筐体への搭載検討.....	49
3.3. 低相関化技術の開発.....	53
3.3.1. 干渉レベルダイヤ.....	53
3.3.2. 低相関化技術の開発.....	59
3.4. スマートフォン筐体における低相関化技術の効果検証.....	75
3.4.1. 3 アンテナ搭載時のアンテナ特性解析.....	75
3.4.2. 3つの低相関化技術の適用.....	81
3.4.3. フィルタ含めた減衰量の検証.....	87
3.5. まとめ.....	90
3.6. アンテナ測定系.....	91
4. 歩者間通信実証実験.....	93
4.1. 実証実験に用いるアンテナの特性.....	94
4.1.1. スマートフォンのユースケースにおける 700MHz 帯通信アンテナの特性..	94
4.1.2. 外部アンテナの開発.....	97
4.2. 実証実験結果.....	99
4.2.1. 実験装置.....	99
4.2.2. 実験環境.....	100
4.2.3. 評価指標.....	101
4.2.4. 実験結果.....	102

4.3.	伝搬シミュレーションによる実験結果の解析 .....	123
4.3.1.	伝搬シミュレーション用アンテナモデル .....	123
4.3.2.	電波伝搬解析条件 .....	130
4.3.3.	解析結果.....	133
4.4.	まとめ .....	141
5.	省電力実現に向けた検討.....	142
5.1.	700MHz 帯通信ログ出力機能 .....	142
5.1.1.	700MHz 帯通信ログ シーケンス.....	143
5.1.2.	700MHz 帯通信ログ コマンド .....	145
5.1.3.	ログ出力実装確認.....	148
5.1.4.	ログ出力実証実験.....	150
5.2.	ユースケースごとの使用時間把握.....	157
5.2.1.	対象者の検討 .....	157
5.2.2.	歩行者交通事故被害状況.....	160
5.2.3.	生活時間調査 .....	168
5.2.4.	実証実験.....	177
5.2.5.	消費電力調査 .....	183
6.	輻輳調査.....	189
6.1.	通信制御.....	189
6.1.1.	路側機が存在する場合.....	191
6.1.2.	路側機が存在しない場合 .....	195
6.2.	輻輳調査まとめ.....	198
7.	まとめ.....	199
8.	参考文献.....	201

## 図表目次

図 2.3-1 歩行者端末システム 構成.....	16
図 2.3-2 歩行者端末システム 運用展開例.....	16
図 2.3-3 700MHz 帯通信端末 構成.....	17
図 2.3-4 700MHz 帯通信端末 外観写真.....	17
図 2.3-5 700MHz 帯通信端末 内蔵アンテナ.....	17
図 3.1-1 スマートフォン模擬筐体外形図.....	22
図 3.1-2 スマートフォン模擬筐体内部構造図.....	23
図 3.1-3 市販スマートフォンのアンテナ配置.....	26
図 3.1-4 市販スマートフォンアンテナ測定系.....	28
図 3.1-5 市販スマートフォン改造状態.....	29
図 3.1-6 メインアンテナ インピーダンス/VSWR 測定結果.....	30
図 3.1-7 サブアンテナ インピーダンス/VSWR 測定結果.....	31
図 3.1-8 アンテナ効率測定結果.....	32
図 3.1-9 セルラーアンテナ配置.....	34
図 3.1-10 メインアンテナ構成図.....	35
図 3.1-11 サブアンテナ構成図.....	36
図 3.1-12 メインアンテナ インピーダンス/VSWR.....	37
図 3.1-13 サブアンテナ インピーダンス/VSWR.....	37
図 3.1-14 アンテナ間アイソレーション (S12).....	38
図 3.1-15 アンテナ効率.....	38
図 3.2-1 平成 27 年度使用端末の軸定義.....	39
図 3.2-2 放射パターンの一例 (XY 面).....	40
図 3.2-3 アンテナ容積の定義.....	40
図 3.2-4 平成 27 年度使用端末構成図.....	41
図 3.2-5 平成 27 年度使用端末シミュレーションモデル.....	42
図 3.2-6 放射パターン実測結果.....	43
図 3.2-7 放射パターン実測結果.....	44
図 3.2-8 インピーダンス/VSWR.....	45
図 3.2-9 寸法とアンテナ効率の関係.....	46
図 3.2-10 形状 A 短辺配置.....	47
図 3.2-11 形状 B 角部配置.....	47
図 3.2-12 形状 C 長辺配置.....	48
図 3.2-13 各アンテナのアンテナ効率と容積.....	48
図 3.2-14 スマートフォン模擬筐体と小型アンテナ形状 B.....	50

図 3.2-15 オフセット地板方式.....	50
図 3.2-16 アンテナ形状による対策.....	50
図 3.2-17 アンテナ給電点の変更.....	51
図 3.2-18 アンテナ効率と容積の変化.....	51
図 3.2-19 最終形状におけるインピーダンス/VSWR.....	52
図 3.2-20 最終形状における放射パターン.....	52
図 3.3-1 周波数割り当て.....	53
図 3.3-2 感度抑圧干渉概要.....	54
図 3.3-3 スプリアス干渉概要.....	54
図 3.3-4 フィルタ構成ブロック図.....	57
図 3.3-5 低相関技術開発 基本シミュレーションモデル.....	59
図 3.3-6 狭帯域地線構成図.....	61
図 3.3-7 アイソレーション特性.....	62
図 3.3-8 アンテナ効率.....	63
図 3.3-9 狭帯域地線による電流分布の変化 (メインアンテナ 760MHz).....	64
図 3.3-10 対向地線構成図.....	66
図 3.3-11 アイソレーション特性.....	67
図 3.3-12 アンテナ効率.....	68
図 3.3-13 対向地線による電流分布の変化 (メインアンテナ 773MHz).....	69
図 3.3-14 ダミーアンテナ構成図.....	71
図 3.3-15 ダミーアンテナ動作イメージ.....	71
図 3.3-16 アイソレーション特性.....	72
図 3.3-17 アンテナ効率.....	73
図 3.3-18 ダミーアンテナによる電流分布の変化 (700MHz 帯通信アンテナ 773MHz) .....	74
図 3.4-1 アンテナ構成図.....	76
図 3.4-2 700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナ間アイソレーション (S12) ...	77
図 3.4-3 700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間アイソレーション (S13) .....	78
図 3.4-4 メインアンテナとサブアンテナ間アイソレーション (S23) .....	79
図 3.4-5 アンテナ効率解析結果.....	80
図 3.4-6 スマートフォン模擬筐体 最終アンテナ構成図.....	82
図 3.4-7 700MHz 帯通信アンテナ インピーダンス/VSWR.....	83
図 3.4-8 メインアンテナ インピーダンス/VSWR.....	83
図 3.4-9 サブアンテナ インピーダンス/VSWR.....	84
図 3.4-10 700MHz 通信アンテナとメインアンテナ間のアイソレーション (S12) ..	84
図 3.4-11 700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S13) ..	85

図 3.4-12	メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S23)	85
図 3.4-13	メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S23)	86
図 3.4-14	使用したフィルタの通過特性 (1段の場合)	88
図 3.4-15	与干渉条件 アイソレーション	89
図 3.4-16	被干渉条件 セルラーメインアンテナ送信系とのアイソレーション (S21)	89
図 3.6-1	アンテナ利得測定系	91
図 3.6-2	インピーダンス測定系	92
図 4.1-1	各ユースケースにおけるアンテナ設置条件	95
図 4.1-2	各ユースケースにおける 700MHz 帯通信アンテナの放射パターン	96
図 4.1-3	外部アンテナの構成	97
図 4.1-4	外部アンテナの設置条件	98
図 4.1-5	外部アンテナの放射パターン	98
図 4.2-1	実証実験装置概略図	99
図 4.2-2	実証実験の実施範囲	100
図 4.2-3	田園地帯 実験場所	102
図 4.2-4	田園地帯 実験風景	102
図 4.2-5	田園地帯 スマホ持ち歩き実測結果	103
図 4.2-6	田園地帯 胸ポケット実測結果	103
図 4.2-7	田園地帯 かばん実測結果	104
図 4.2-8	田園地帯 外部アンテナ実測結果	104
図 4.2-9	ビル/住宅街 実験場所 (見通し条件)	105
図 4.2-10	ビル/住宅街 実験場所 (見通し外条件)	106
図 4.2-11	ビル/住宅街 実験風景	106
図 4.2-12	ビル/住宅街 見通し条件 スマホ持ち歩き実測結果	107
図 4.2-13	ビル/住宅街 見通し条件 胸ポケット実測結果	108
図 4.2-14	ビル/住宅街 見通し条件 かばん実測結果	108
図 4.2-15	ビル/住宅街 見通し条件 外部アンテナ実測結果	109
図 4.2-16	ビル/住宅街 見通し外条件 スマホ持ち歩き実測結果	109
図 4.2-17	ビル/住宅街 見通し外条件 胸ポケット実測結果	110
図 4.2-18	ビル/住宅街 見通し外条件 かばん実測結果	110
図 4.2-19	ビル/住宅街 見通し外条件 外部アンテナ実測結果	111
図 4.2-20	ビル/住宅街 見通し外条件 スマホ持ち歩き実測結果	111
図 4.2-21	ビル/住宅街 見通し外条件 胸ポケット実測結果	112
図 4.2-22	ビル/住宅街 見通し外条件 かばん実測結果	112
図 4.2-23	ビル/住宅街 見通し外条件 外部アンテナ実測結果	113

図 4.2-24	森林／土手地帯 実験場所（見通し条件）	114
図 4.2-25	森林／土手地帯 実験場所（見通し外条件）	115
図 4.2-26	森林／土手地帯 実験風景	115
図 4.2-27	森林／土手地帯 見通し条件 スマホ持ち歩き実測結果	116
図 4.2-28	森林／土手地帯 見通し条件 胸ポケット実測結果	117
図 4.2-29	森林／土手地帯 見通し条件 かばん実測結果	117
図 4.2-30	森林／土手地帯 見通し条件 外部アンテナ実測結果	118
図 4.2-31	森林／土手地帯 見通し外条件 スマホ持ち歩き実測結果	118
図 4.2-32	森林／土手地帯 見通し外条件 胸ポケット実測結果	119
図 4.2-33	森林／土手地帯 見通し外条件 かばん実測結果	119
図 4.2-34	森林／土手地帯 見通し外条件 外部アンテナ実測結果	120
図 4.2-35	森林／土手地帯 見通し外条件 スマホ持ち歩き実測結果	120
図 4.2-36	森林／土手地帯 見通し外条件 胸ポケット実測結果	121
図 4.2-37	森林／土手地帯 見通し外条件 かばん実測結果	121
図 4.2-38	田園／土手地帯 見通し外条件 外部アンテナ実測結果	122
図 4.3-1	スマホ持ち歩き（右手保持） 解析モデル	125
図 4.3-2	胸ポケット（左胸近傍配置） 解析モデル	125
図 4.3-3	かばん（左脚部近傍配置） 解析モデル	126
図 4.3-4	外部アンテナ（左肩配置） 解析モデル	126
図 4.3-5	スマホ持ち歩き（右手保持） 放射パターン	127
図 4.3-6	胸ポケット（左胸近傍配置） 放射パターン	127
図 4.3-7	かばん（左脚部近傍配置） 放射パターン	128
図 4.3-8	外部アンテナ（左肩配置） 放射パターン	128
図 4.3-9	外部アンテナ（自由空間） 放射パターン	129
図 4.3-10	田園地帯 簡易解析モデル	131
図 4.3-11	ビル／住宅街 簡易解析モデル	131
図 4.3-12	田園地帯 スマホ持ち歩き 受信電力解析結果	134
図 4.3-13	田園地帯 胸ポケット 受信電力解析結果	134
図 4.3-14	田園地帯 かばん 受信電力解析結果	135
図 4.3-15	田園地帯 外部アンテナ 受信電力解析結果	135
図 4.3-16	ビル／住宅街 見通し条件 スマホ持ち歩き 受信電力解析結果	136
図 4.3-17	ビル／住宅街 見通し条件 胸ポケット 受信電力解析結果	136
図 4.3-18	ビル／住宅街 見通し条件 かばん 受信電力解析結果	137
図 4.3-19	ビル／住宅街 見通し条件 外部アンテナ 受信電力解析結果	137
図 4.3-20	ビル／住宅街 外部アンテナ 到達レイの水平面発射方向 100m 地点	138
図 4.3-21	ビル／住宅街 見通し外条件 スマホ持ち歩き 受信電力解析結果	



	(交差点・歩行者間距離 10m) .....	138
図 4.3-22	ビル／住宅街 見通し外条件 胸ポケット 受信電力解析結果 (交差点・歩行者間距離 10m) .....	139
図 4.3-23	ビル／住宅街 見通し外条件 かばん 受信電力解析結果 (交差点・歩行者間距離 10m) .....	139
図 4.3-24	ビル／住宅街 見通し外条件 外部アンテナ 受信電力解析結果 (交差点・歩行者間距離 10m) .....	140
図 5.1-1	700MHz 帯通信端末 平成 27 年度実証実験機材 .....	142
図 5.1-2	平成 27 年度 700MHz 帯通信 動作シーケンス(起動→危険地帯遷移).....	143
図 5.1-3	ログ送信シーケンス .....	144
図 5.1-4	ログ実装確認環境 概要.....	148
図 5.1-5	スマートフォン搭載アプリ画面 .....	148
図 5.1-6	横須賀 YRP 評価場所 .....	150
図 5.1-7	地点 A 危険地帯 .....	151
図 5.1-8	地点 B 危険地帯 .....	152
図 5.1-9	地点 C 危険地帯 .....	153
図 5.1-10	地点 D 危険地帯.....	154
図 5.1-11	YRP での評価の様子 .....	155
図 5.1-12	横須賀 YRP 電流プロファイル .....	156
図 5.2-1	歩行者の年齢層別交通事故件数 (第 1 当事者) .....	163
図 5.2-2	小学校高学年 行動分布.....	172
図 5.2-3	高齢者行動分布.....	175
図 5.2-4	実証実験 行動分布 (平日・小学生高学年) .....	179
図 5.2-5	実証実験 路上・屋内滞在時間比較 (平日・小学生高学年) .....	179
図 5.2-6	実証実験 行動分布 (平日・高齢者) .....	181
図 5.2-7	実証実験 路上・屋内滞在時間比較 (平日・高齢者) .....	181
図 5.2-8	外出時間 11 時間 (路上にいる時間 : 3.5 時間) の消費電力比.....	184
図 5.2-9	外出時間 8 時間 (路上にいる時間 : 1 時間) 消費電力比 .....	185
図 5.2-10	実証実験の代表的な被験者の消費電力比 .....	187
図 6.1-1	路車間通信期間の配置.....	189
図 6.1-2	路側機における送信禁止期間の設定法 .....	190
図 6.1-3	700MHz 帯通信端末における送信禁止期間の設定法 .....	190
図 6.1-4	仮想的・物理的キャリアセンス機能によるフレーム送信方法.....	192
図 6.1-5	700MHz 帯通信 端末送信成功台数 (路側機あり) .....	193
図 6.1-6	700MHz 帯通信 送信成功端末比率 (路側機あり) .....	194
図 6.1-7	700MHz 帯通信端末送信可能台数 (路側機なし) .....	196

図 6.1-8 700MHz 帯通信 送信可能端末比率（路側機なし） .....	197
表 2.3-1 700MHz 帯通信端末 ソフト開発環境 .....	18
表 2.3-2 スマートフォン 仕様 .....	20
表 3.1-1 セルラーアンテナの設計目標値 .....	25
表 3.2-1 アンテナ効率および平均利得 .....	44
表 3.3-1 （与干渉）感度抑圧干渉レベルダイヤ .....	55
表 3.3-2 （与干渉）スプリアス干渉レベルダイヤ .....	55
表 3.3-3 （被干渉）感度抑圧干渉レベルダイヤ .....	56
表 3.3-4 （被干渉）スプリアス干渉レベルダイヤ .....	56
表 3.3-5 アンテナ間アイソレーション設計目標値 .....	58
表 4.2-1 無線性能諸元 .....	100
表 4.3-1 各環境の共通条件 .....	132
表 5.1-1 CUR_LOG_CONF_REQ データフォーマット .....	145
表 5.1-2 CUR_LOG_CONF_RES データフォーマット .....	146
表 5.1-3 CUR_LOG データフォーマット .....	147
表 5.1-4 受信側スマートフォン ログ受信内容 .....	149
表 5.2-1 本資料での世代の定義 .....	157
表 5.2-2 本資料での行動の定義 .....	158
表 5.2-3 交通統計の用語定義 .....	160
表 5.2-4 平成 26 年度歩行者事故死傷者数 .....	161
表 5.2-5 歩行者違反別・年齢層別交通事故件数（第 1 当事者） .....	163
表 5.2-6 中学生以下の通行目的別死者数 .....	164
表 5.2-7 中学生以下の通行目的別負傷者数 .....	164
表 5.2-8 中学生以下の時間帯別死者数 .....	165
表 5.2-9 中学生以下の時間帯別負傷者数 .....	165
表 5.2-10 高齢者の通行目的別死者数 .....	166
表 5.2-11 高齢者の時間帯別死者数 .....	166
表 5.2-12 日本人 各行為の平均時間 .....	168
表 5.2-13 各世代の外出時間 .....	169
表 5.2-14 小学生高学年活動時間 .....	170
表 5.2-15 小学生高学年活動行為者率 .....	170
表 5.2-16 高齢者活動時間 .....	173
表 5.2-17 高齢者活動行為者率 .....	173
表 5.2-18 実証実験 外出時間詳細(平日・小学生高学年) .....	178
表 5.2-19 実証実験 外出時間詳細（平日・高齢者） .....	180



## 1. はじめに

自動走行システムには、①交通事故の削減、②交通渋滞の緩和、③環境負荷の低減という効果が期待され、特に超高齢化社会を迎える中、世界一安全な道路交通社会を目指す我が国にとって、関連技術の開発やその普及に向けた環境整備は極めて重要である。自動走行システムを実現するためには、従来の自動車単体での運転支援技術（自律型）の更なる高度化に加え、車と車、インフラ、歩行者等をつなぐ高度な無線通信技術を活用した運転支援技術（協調型）の早期実用化が不可欠である。

平成 25 年に閣議決定された「世界最先端 IT 国家創造宣言」において、「車の自律系システムと車と車、道路と車との情報交換等を組み合わせ、2020 年代中には自動走行システムの試用を開始する。これらの取り組みなどにより、2018 年を目途に交通事故死者数を 2,500 人以下とし、2020 年までには、世界で最も安全な道路交通社会を実現する（交通事故死者数が人口比で世界一少ない割合になることを目指す）」とされている。

この国家目標を実現するために、内閣府における SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）が創設された。本研究開発は、SIP・自動走行システムに係わる研究開発の一部として実施されるものである。

## 2. 歩車間通信の通信プロトコル開発

### 2.1. 背景

1章で示した方針により本研究開発においては、歩行者等と近接する自動車との間で位置情報等を交換し衝突等を回避するための歩車間通信システムの研究開発を行う。総務省では、平成22年度より、ドライバー及び歩行者の双方もしくは片方に対して注意喚起情報を提供するシステム成立性の基礎検討となる高効率無線通信技術に関する調査検討を実施している。

平成22年度の報告では、システム成立の重要な要件である電波伝搬特性やデータ伝送遅延等の点で、700MHz帯を用いたシステムの優位性が報告された。平成23年度は、700MHz帯を用いた車車間（車載器と車載器の通信）及び路車間（路側に設置される機器と車載器との通信）通信システムに大きな影響を与えず、より少ない周波数帯域幅で効率的な通信を実現できる700MHz帯通信端末と車載器との高効率無線通信技術の調査検討を実施した。平成24年度の報告では、700MHz帯を用いた車車間及び路車間通信システムと同時共存できる歩車間通信制御方式案を検討し、提案されたそれぞれの通信制御方式案において、同時共存可能な無線機台数や通信パラメータを検証することで、車車間及び路車間通信システムと共存できる可能性を確認した。平成25年度は、700MHz帯通信端末や車載器が大規模かつ多様に分布した環境を想定したシミュレーション評価や実機を用いた評価試験を行い、700MHz帯を用いた歩車間通信制御方式の車車間及び路車間通信との成立性について確認がなされている。平成26年度は700MHz帯におけるデータ通信フォーマットを歩行者端末システムに対応し、準天頂衛星から得られる位置情報を利用した700MHz帯通信端末と車載器との通信を行った。また、歩行者端末システムにおける省電力への取り組みとして、位置情報を送受信する無線通信方式の検討と評価を行った。平成27年度は700MHz帯通信端末と同周波数帯で通信が行われるLTE(Long Term Evolution)のBand 28(Downlink)に対する干渉を検証し、課題の明確化と対策を検討した。また、700MHz通信の起動/停止機能を追加することによる歩行者端末の消費電力の影響を確認した。

700MHz帯通信端末の普及のためには、端末の小型化と、スマートフォンなどの既存通信端末と近接して使用できることが必須である。従って、端末に内蔵するアンテナを小型化すること、近接する既存通信端末に搭載されるアンテナとの空間結合による相関を所望の値以下に抑えるための構造や配置を見極めることが重要である。本年度は、700MHz帯通信アンテナと700MHz帯セルラーアンテナが非常に近接して配置される条件下で、複数案の配置、アンテナ構造に対し電磁界シミュレーションにより相関値の比較検討を行った上で、アンテナを試作した。また、省電力化については、平成27年度に検証したバッテリーセービングモードの搭載が有効である。実証実験において、バッテリーセービングモードの有効性について、より定量的かつ効率的に解析することができる、ログ出力機能を実現した。

## 2.2. 研究目的

SIP の基本計画に従い、700MHz 帯通信に影響が及ぶような通信方式の変更を加えることなく、700MHz 帯通信端末の普及に必須である省電力技術を導入する。この省電力化が700MHz 帯通信モデムを ON/OFF する制御信号を用いて、間欠受信を実現することで可能であることを確認する。本研究においては、700MHz 帯通信端末の消費電力に関する情報伝達に Bluetooth を用いることとし、より定量的かつ効率的に解析を行う。また、利用者の行動パターンから外出している時間を調査し、700MHz 帯通信端末が一日で消費する電流値を調査する。

また、本研究ではこれまで700MHz 帯通信端末の無線性能において、セルラーの700MHz 帯への無線干渉の検証を行ってきた。平成28年度では、これまでの結果をもとに700MHz 帯通信アンテナと700MHz 帯セルラーアンテナが非常に近接して配置される条件下でシミュレーションを行い、最適な小型700MHz 帯通信アンテナを構築する。また、ユーザーの利用場面を想定し、通信端末を保持した状態における小型700MHz 帯通信アンテナの電磁解析、および様々な場所における小型700MHz 帯通信アンテナの電波伝搬を計測する。

### 2.3. 歩行者端末システム

歩行者端末システムの構成を図 2.3-1 に示す。歩行者端末システムは、車載器や路側機と通信を行う 700MHz 帯通信端末と、準天頂衛星の電波を受信する準天頂端末、700MHz 帯通信端末と準天頂端末を Bluetooth で接続して通信するスマートフォンからなる。なお、700MHz 帯通信端末は平成 27 年度の評価で用いられた端末と同型機である。

準天頂端末は イ) 高度位置精度技術の開発 において開発を行っているため、本報告書では詳細を割愛する。

評価で使用するスマートフォンは GPS、加速度、温度などのセンサや Bluetooth、電話 (LTE や 3G)、Wi-Fi (IEEE 802.11n など) の無線機能が搭載されている。実験では Android OS を採用しているスマートフォンを用いて測定した位置情報を Bluetooth でデータ送信するという方法を採用した。詳細については 2.3.2 章に示す。

このようにスマートフォンに搭載されている機能を有効に活用することで、将来的には杖に 700MHz 帯通信機能機能を組み込み、スマートフォンと通信するといった活用方法(図 2.3-2 参照)も考えられる。

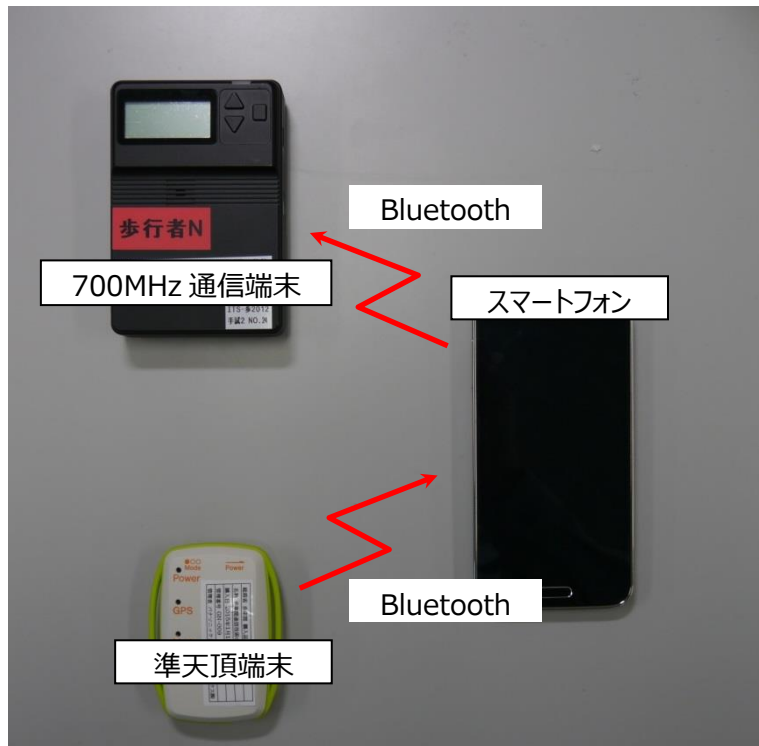


図 2.3-1 歩行者端末システム 構成



図 2.3-2 歩行者端末システム 運用展開例



### 2.3.1. 700MHz 帯通信端末

ここでは、700MHz 帯通信端末の仕様について説明する。

#### 2.3.1.1. ハード仕様

700MHz 帯通信端末の構成を図 2.3-3 に、外観写真を図 2.3-4 にそれぞれ示す。700MHz 帯通信端末は 700MHz 帯域のアンテナを内蔵しており、その外観写真を図 2.3-5 に示す。

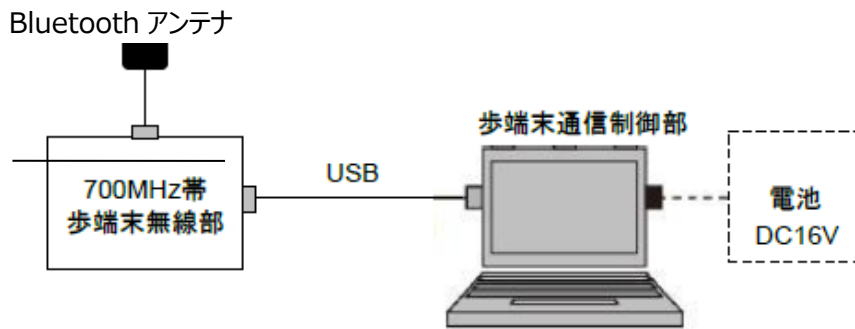


図 2.3-3 700MHz 帯通信端末 構成



図 2.3-4 700MHz 帯通信端末 外観写真

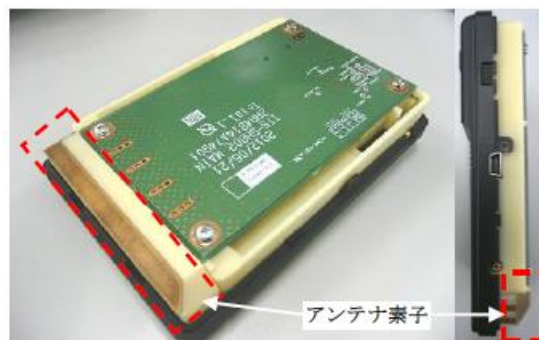


図 2.3-5 700MHz 帯通信端末 内蔵アンテナ

### 2.3.1.2. ソフト仕様

700MHz 帯通信端末のソフト開発環境を表 2.3-1 に示す.

表 2.3-1 700MHz 帯通信端末 ソフト開発環境

仕様項目	仕様内容
PC	IBM PC/AT 互換
OS	Microsoft Windows 7 (32bit)
CPU	Intel CORE i5
開発言語	C

#### 2.3.1.2.1. RC-013 1.0 対応

歩車間・車車間・路車間で通信されるフォーマットは RC-013 である [1]. RC-013 は共通に送信するメッセージであり, 交通安全を実現するための基本的な情報となる. RC-013 に設定される情報については平成 27 年度と同様の仕様とする [2].

#### 2.3.1.2.2. 700MHz 帯通信端末における Bluetooth 機能

Bluetooth Ver2.1+EDR 準拠した Module を 700MHz 帯通信端末に搭載しており, 本 Module を動作させる. 外部との通信を行うために必要なデータフォーマットについては平成 27 年度と同様に イ) 高度位置精度技術の開発 とともに検討を行った [2]. 本年度追加したデータフォーマットについては, 5.1 章にて説明する.

### 2.3.2. スマートフォン

ここでは、700MHz 帯通信端末に接続するスマートフォンの仕様について説明する。  
なお、スマートフォンに搭載するアプリケーションは イ) 高度位置精度技術の開発 において開発を行っているため、本報告書では詳細を割愛する。

#### 2.3.2.1. ハード仕様

スマートフォンの仕様を表 2.3-2 に示す。

表 2.3-2 スマートフォン 仕様

仕様項目	仕様内容
OS	Android 5.0 (Lollipop)
メモリ	RAM : 2GB ROM : 32GB
バッテリー	2800mAh
ディスプレイ	5.1 inch (1920×1080)
GPS	対応
A-GPS	対応
Bluetooth	V4.0 (Smart Ready とみられる)
LTE	800/1500/1700/2000MHz
WCDMA	850/900/2000MHz
GSM	850/900/1800/1900MHz
Wi-Fi	IEEE 802.11a/b/g/n/ac 準拠

### 3. アンテナ小型化および低相関化

3章は実施計画書 ウ) 歩車間通信の通信プロトコルの開発 の本年度目標に記されている「実証端末製造（アンテナ小型化）」の部分に対応する。

700MHz 帯通信端末の普及のためには、端末の小型化と、既存の無線通信端末と近接して使用できることが必須である。さらには、スマートフォンなどの歩行者が常時携帯する端末に搭載することができれば、普及が加速するものと思われる。

そこで3章では、スマートフォンへの700MHz帯通信システムの搭載を想定した試作アンテナの開発を行う。そのためにはスマートフォンに内蔵可能な小形アンテナの開発が必須である。また、周波数が隣接する700MHz帯セルラーアンテナと非常に近接して配置されることになるため、両アンテナの低相関化が必要である。

3.1章では、スマートフォン模擬筐体を設計する。低相関化検討に向けて市販のスマートフォンを参考に、下り回線のMIMO (Multi Input Multi Output) に対応したセルラーアンテナの設計を行い実装する。

3.2章では、平成27年度使用端末をベースに700MHz帯通信アンテナの小型化を検討する。また、スマートフォンに内蔵するために、その筐体構造に適したアンテナ形状を検討する。

3.3章では、700MHz帯通信システムとセルラーシステムとが同一筐体内で共存するためのアンテナ低相関化技術を開発する。

3.4章では、スマートフォン模擬筐体に低相関化技術を適用し、その効果を検証する。

3.5章にて3章のまとめを述べる。

なお、アンテナ特性評価に用いるアンテナ測定系を3.6章に示す。また、アンテナ特性解析に用いる電磁界シミュレータはCST社製MW-Studio [3]を用いる。特に断りがない限り、本稿で示すアンテナ特性のデータはこれらを用いて取得したものである。

### 3.1. スマートフォン模擬筐体の設計

スマートフォンへの 700MHz 帯通信システム搭載検証の前段階として、スマートフォン模擬筐体を設計する。小形アンテナを内蔵する筐体を設計する。また、700MHz 帯通信アンテナとセルラーアンテナの相関検証のためにセルラーアンテナを設計する。

#### 3.1.1. 筐体設計

スマートフォンの筐体サイズは液晶パネルの大きさの影響を大きく受ける。近年、液晶パネルは大型化する傾向にあり、2016 年現在、5 インチ以上のサイズが主流になってきている。これを勘案し、本検討で使用する筐体は 5.5 インチの液晶パネルを実装可能なサイズとする。図 3.1-1 に設計した筐体の外形図を示す。筐体の厚さは 11.0mm だが、端部に行くほど薄くなるよう形成されている。

筐体内部構造を図 3.1-2 に示す。液晶モジュールや電池などの部品は省略し、回路基板、筐体カバー、筐体ケースからなるシンプルな構造とする。回路基板は 2 層ガラエポ基板であり、液晶モジュールの搭載を想定して筐体カバー内壁よりも 2.5mm 内側にオフセットして配置する。回路基板にはアンテナ評価用に SMA コネクタを実装する。筐体内部の空間は、最も厚い箇所では高さ 8.6mm、筐体端部付近の薄い箇所では高さ 7.3mm あり、7mm~8mm の高さのアンテナが内蔵できるサイズである。

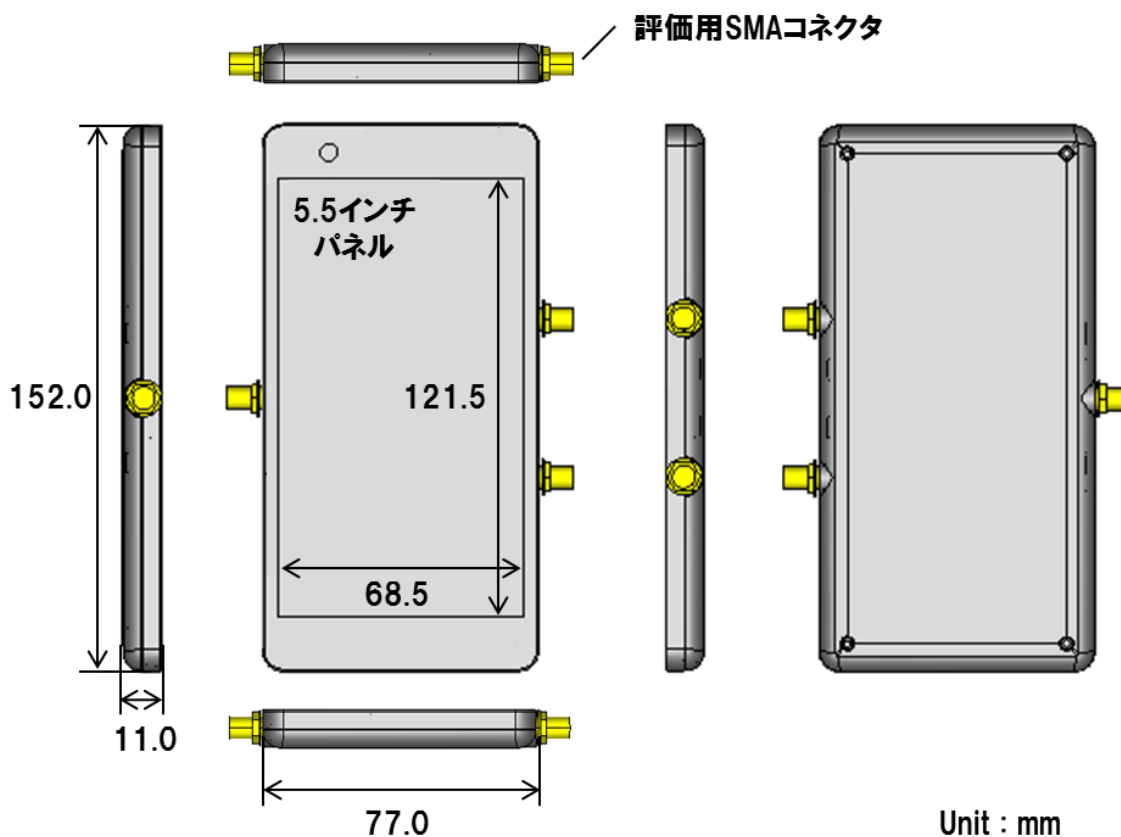
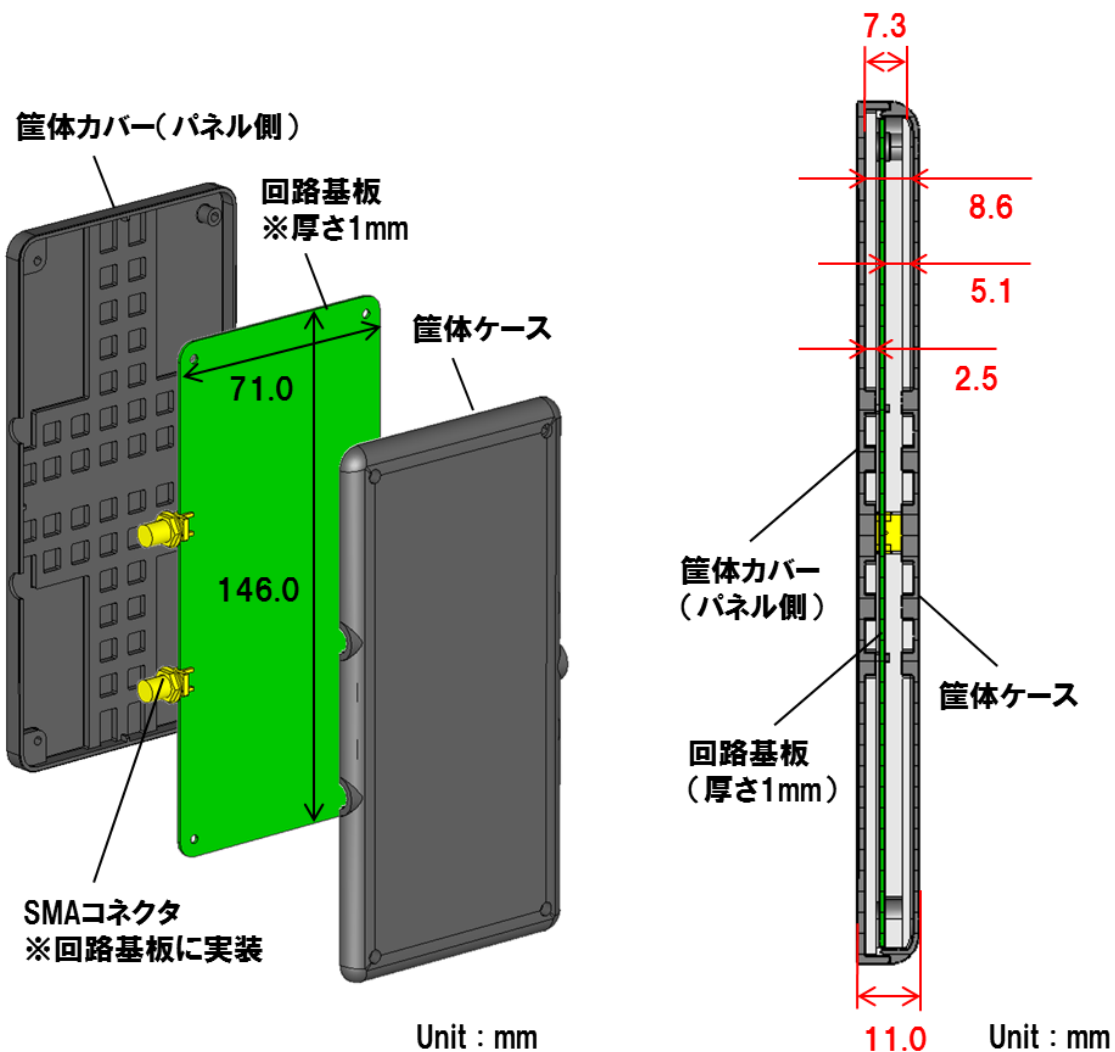


図 3.1-1 スマートフォン模擬筐体外形図



(a)構成部品

(b)断面図

図 3.1-2 スマートフォン模擬筐体内部構造図

### 3.1.2. セルラーアンテナの設計

3.1.2 章では、700MHz 帯通信アンテナとの相関を検証するためのセルラーアンテナを設計する。対応するセルラーシステムは LTE (Long Term Evolution) を想定する。

初めにセルラーシステムの国際標準化団体である 3GPP (3rd Generation Partnership Project) における MS (Mobile Station) のアンテナ性能への要求仕様[4]を元に設計目標値を設定する。次に、セルラーアンテナとして妥当な設計を探るために市販端末を分解解析し、アンテナの大凡の実装位置を確認する。それらを元にスマートフォン模擬筐体に内蔵するセルラーアンテナを設計し、電磁界シミュレーションにて性能を検証する。

2016 年 7 月現在、市販のスマートフォンは、下り回線 (受信) の 2×2MIMO に標準対応している。本稿でもこれを想定し、送受信対応のセルラーメインアンテナと、MIMO 受

信用のセルラーサブアンテナを設計する。対応周波数は、700MHz 帯 (LTE Band28) に加え、800MHz 帯 (LTE Band19), 1.7GHz 帯 (LTE Band3), 2GHz 帯 (LTE Band1) の計 4Band とする。700MHz 帯通信アンテナとの相互干渉が懸念されるのは周波数が隣接する Band28 だが、低相関化の対策による他の Band への影響を検証するため、Band28 に近い Band19 と、Band28 から離れた帯域である Band3, Band1 を含めることとする。

### 3.1.2.1. 評価指標

セルラーアンテナの評価指標、評価周波数を以下に示す。

#### ➤ 評価指標

##### 1. アンテナ効率

アンテナから放射される電力とアンテナと接続する無線回路からの出力電力との比を指す。ここには、アンテナと無線回路とのインピーダンス不整合損も含まれる。3GPP におけるセルラーアンテナの評価指標である OTA(Over The Air) [4] と親和性が高いことから選択した。放射パターン積分法<sup>1</sup> [5]にて求める。単位は dB とする。

##### 2. インピーダンス, VSWR (電圧定在波比 : Voltage Standing Wave Ratio)

インピーダンスは、無線回路のインピーダンスである 50Ω で規格化したスミスチャートにて、VSWR は横軸に周波数、縦軸に値をプロットしたグラフにて表す。

##### 3. アンテナ間アイソレーション

メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーションを S21 にて評価する。横軸に周波数、縦軸に値をプロットしたグラフにて表す。

#### ➤ 評価周波数

✓ LTE Band28	718MHz~803MHz
✓ LTE Band19	830MHz~890MHz
✓ LTE Band3	1710MHz~1880MHz
✓ LTE Band1	1920MHz~2170MHz

### 3.1.2.2. 設計目標値

セルラーアンテナとして十分な性能を確保するために、3GPP における MS のセルラーアンテナへの要求仕様である OTA スペック [4] を参考にアンテナ性能の目標値を設定する。

---

<sup>1</sup>放射パターン (利得) を 3 次元的に積分し、効率が既知のアンテナと比較することで効率を求める手法



OTA は無線回路の性能とアンテナ性能を統合した評価指標であり、送信と受信で以下のよう  
に分類される。

- 送信：TRP (Total Radiated Power) [dBm]  
送信電力[dBm]+アンテナ効率[dB]
- 受信：TRS (Total Radiated Sensitivity) [dBm]  
受信感度[dBm]+アンテナ効率[dB]

TRP と TRS の 3GPP スペックから、送信電力、受信感度を差し引き、アンテナ効率の設  
計目標値を求める。なお、3GPP スペックには Minimum requirements と Recommended  
performance の 2 段階があるが、より要求値が高い Recommended performance で考える。  
また、2016 年 7 月現在 LTE のスペックは明らかにされていないため、3G (3rd Generation)  
のスペックで代用する。3G が対応していない Band28 に関しては最も近い周波数帯域であ  
る Band5 の値を用いる。検討結果を表 3.1-1 に示す。表に記載のアンテナ効率設計目標値  
を満たすよう、セルラーアンテナを設計する。

### 3.1.2.3. 市販スマートフォンの分解解析

セルラーアンテナの一般的な配置構成を探るために、市販のスマートフォンを分解し、  
アンテナ配置とサイズ感を確認する。当該アンテナがセルラー用であることを裏付けるた  
めにアンテナ特性についても確認する。

表 3.1-1 セルラーアンテナの設計目標値

Band	Band28		Band19		Band3		Band1	
送信/受信	送信	受信	送信	受信	送信	受信	送信	受信
周波数[MHz]	718-748	773-803	830-845	875-890	1710-1785	1805-1880	1920-1980	2110-2170
メインアンテナ効率 設計目標値[dB]	-8.0	-8.5	-7.5	-7.0	-4.0	-7.0	-4.0	-4.0
サブアンテナ効率 設計目標値[dB]	-	-8.5	-	-7.0	-	-7.0	-	-4.0
TRP スペック [dBm] Recommended	14.0	-	14.5	-	18.0	-	18.0	-
送信電力[dBm]※1	22.0	-	22.0	-	22.0	-	22.0	-
所要送信アンテナ 効率[dB]	-8.0	-	-7.5	-	-4.0	-	-4.0	-
TRS スペック [dBm] Recommended	-	-99.5	-	-101.0	-	-101.0	-	-104.0
受信感度[dBm]※2	-	-108.0	-	-108.0	-	-108.0	-	-108.0
所要受信アンテナ 効率[dB]	-	-8.5	-	-7.0	-	-7.0	-	-4.0

※1：3GPP 下限値

※2：3G 無線モジュールの受信感度仕様

### 3.1.2.3.1. 市販スマートフォンのアンテナ配置

市販のスマートフォンを分解し、セルラーアンテナ配置を調べる。Band28に対応しており液晶サイズが5インチ以上の端末を選定した。アンテナ配置を図3.1-3に示す。

メインアンテナは筐体下部に配置され、比較的大きな体積を占有している。筐体下部に配置されているのは、通話時に人体頭部からアンテナを離すことで、人体に対する電波の吸収率を表す局所 SAR (Specific Absorption Rate) を抑えるためと考えられる。比較的大きな体積を占有している理由は、サブアンテナよりも広い周波数帯域で高いアンテナ効率を得るためと考えられる。

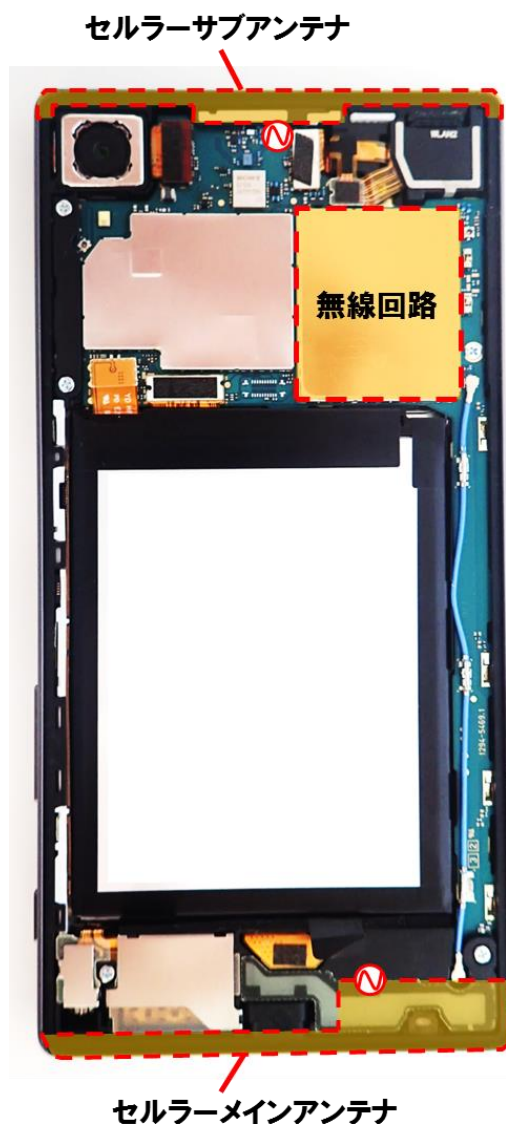


図 3.1-3 市販スマートフォンのアンテナ配置

サブアンテナは筐体上部に配置されている。これはメインアンテナとの相関を下げるため最も距離が離れる上部に配置したものと推察される。また、受信専用アンテナであるために局所 SAR に配慮しなくてよいことも理由の一つと思われる。

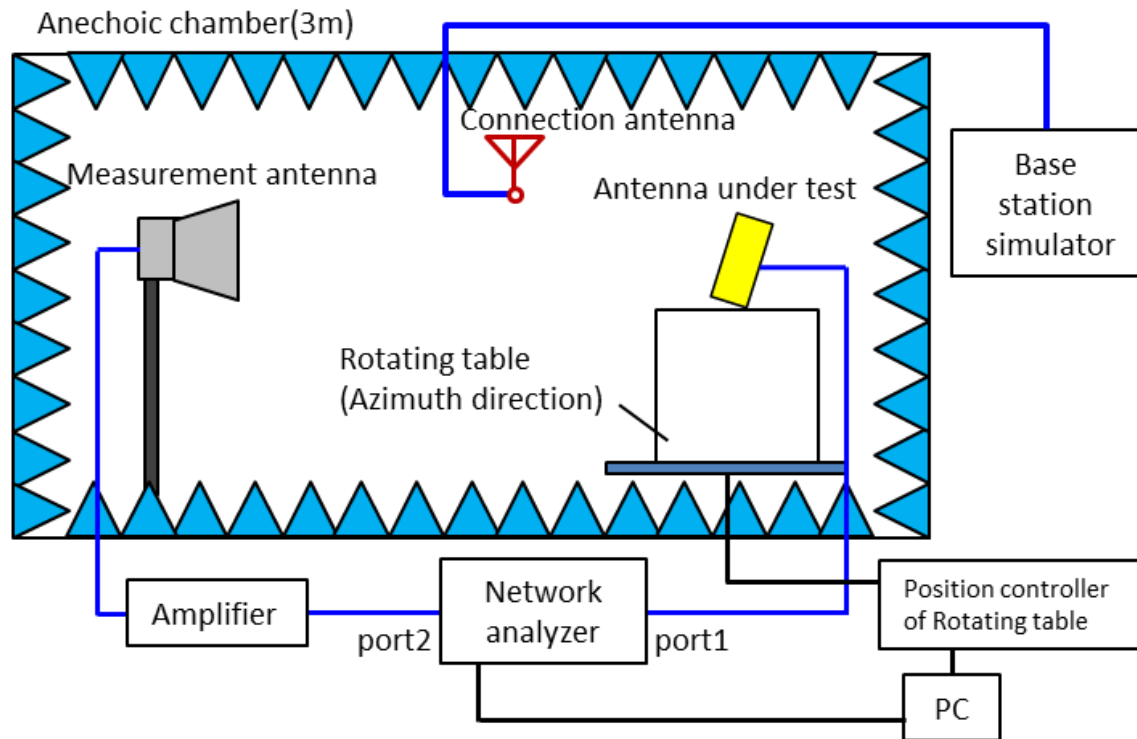
これに倣い、スマートフォン模擬筐体のアンテナ配置は、メインアンテナを筐体下部、サブアンテナを筐体上部とする。

#### 3.1.2.3.2. 市販スマートフォンのアンテナ特性

スマートフォンにはセルラーアンテナの他に WLAN (Wire-less Local Area Network) アンテナなど多くのアンテナが内蔵されているため、当該アンテナがセルラー用であることを裏付けるためにアンテナ特性について確認する。ただし、セルラーアンテナは OTA 性能を最大化するために、インピーダンスなど、無線回路の特性に合わせて最適化されている可能性がある。今回のようにアンテナのみを切り出して測定する場合、過小評価となるおそれがあるので、この測定値自体は参考値として留める。

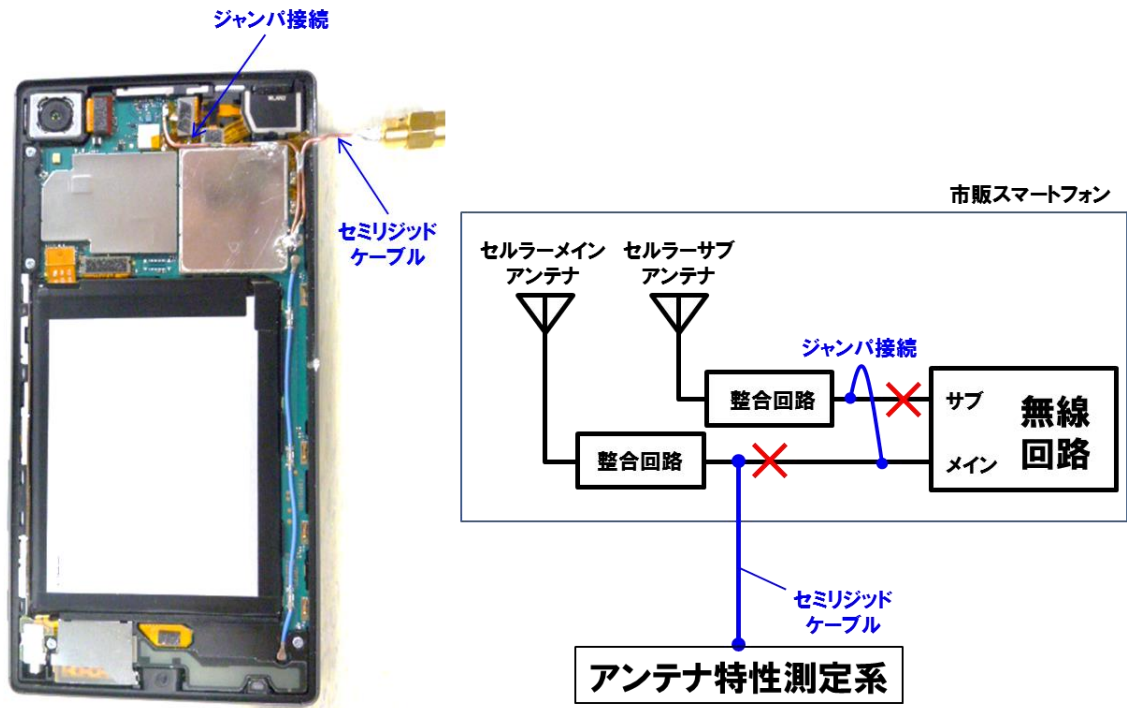
図 3.1-4 に測定系を示す。通常のアンテナ利得測定系に、基地局シミュレータ MT8820C を加えている。市販スマートフォンは通信する Band に応じて整合回路を切り替えるなどしてセルラーアンテナ特性を変化させている可能性がある。そこで市販スマートフォンと MT8820C とを疑似的に LTE 通信させることで、実使用時と同等の動作をさせながらアンテナ利得を測定する。疑似通信時の送信電力は、アンテナ利得の測定結果に影響を与えないようネットワークアナライザの出力に対して十分小さく設定する。

図 3.1-5 にアンテナ測定における市販スマートフォンの加工状態を示す。メインアンテナ測定時は、メインアンテナとセミリジッドケーブルを接続し、アンテナ測定系に接続するとともに、サブアンテナを送受信可能なメインアンテナの無線回路にジャンパ接続し MT8820C と通信させる。サブアンテナ測定時は、サブアンテナとセミリジッドケーブルを接続し、メインアンテナで MT8820C と通信させる。

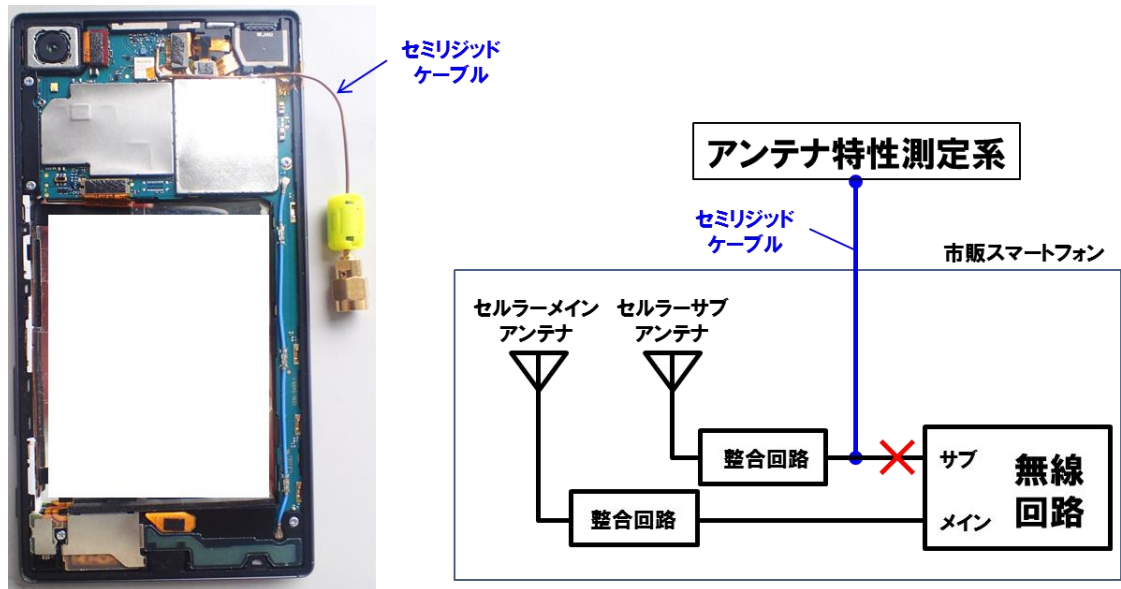


Network analyzer : KEYSIGHT製E5071C  
 Position Controller : デバイス製DCAN230123/DM  
 Amplifier : R&K製A300302-4016-R  
 Base station simulator: アンリツ製MT8820C

図 3.1-4 市販スマートフォンアンテナ測定系



(a)メインアンテナ測定時



(b)サブアンテナ測定時

図 3.1-5 市販スマートフォン改造状態

図 3.1-6, 図 3.1-7 にメインアンテナとサブアンテナのインピーダンス/VSWR を, 図 3.1-8 にアンテナ効率の測定結果を示す.

どちらのアンテナもセルラーシステムの周波数帯域において VSWR が低く, 設計目標値に近いアンテナ効率が得られている.

メインアンテナのインピーダンスは通信する Band に関わらず変化がないが, サブアンテナのインピーダンスは変化する. 整合回路に高周波スイッチなどを実装し, 通信 Band において VSWR が下がるようにインピーダンスを調整しているものと思われる. 切り替えの主目的は, VSWR 特性の変化から (今回測定していない) Band8: 880MHz~960MHz への対応と推測する.

アンテナ効率は前述の通り参考値だが, 設計目標値に対して 718MHz~830MHz は満たしており, 890MHz 以上では多くの周波数で下回るものの同水準の結果となった.

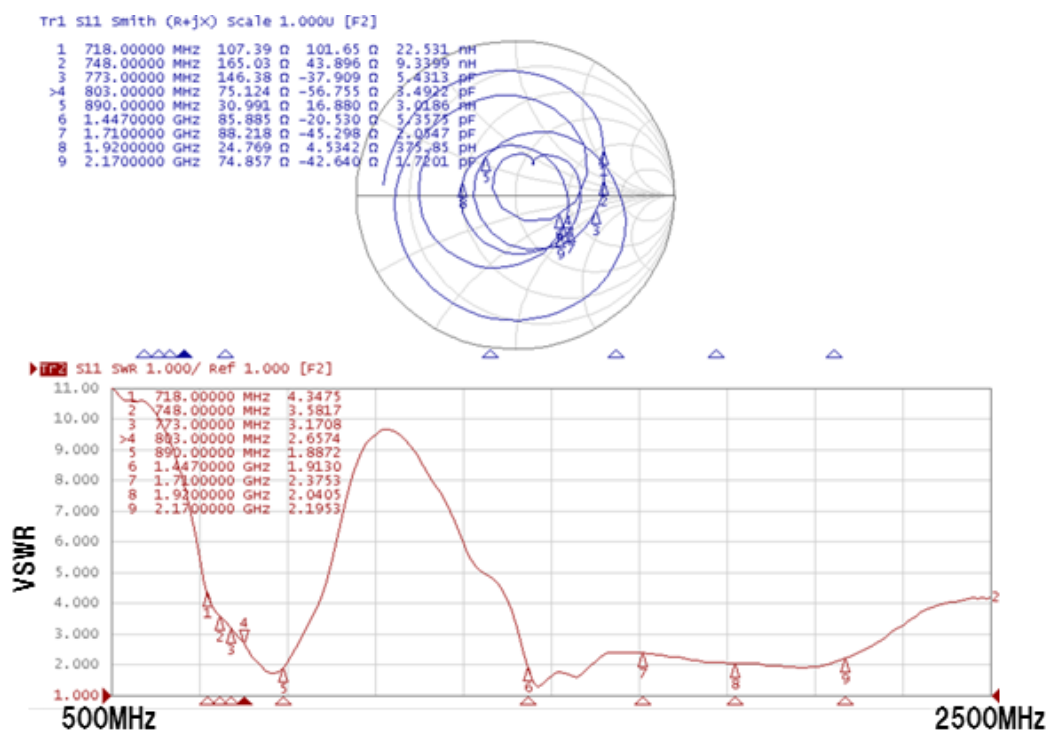
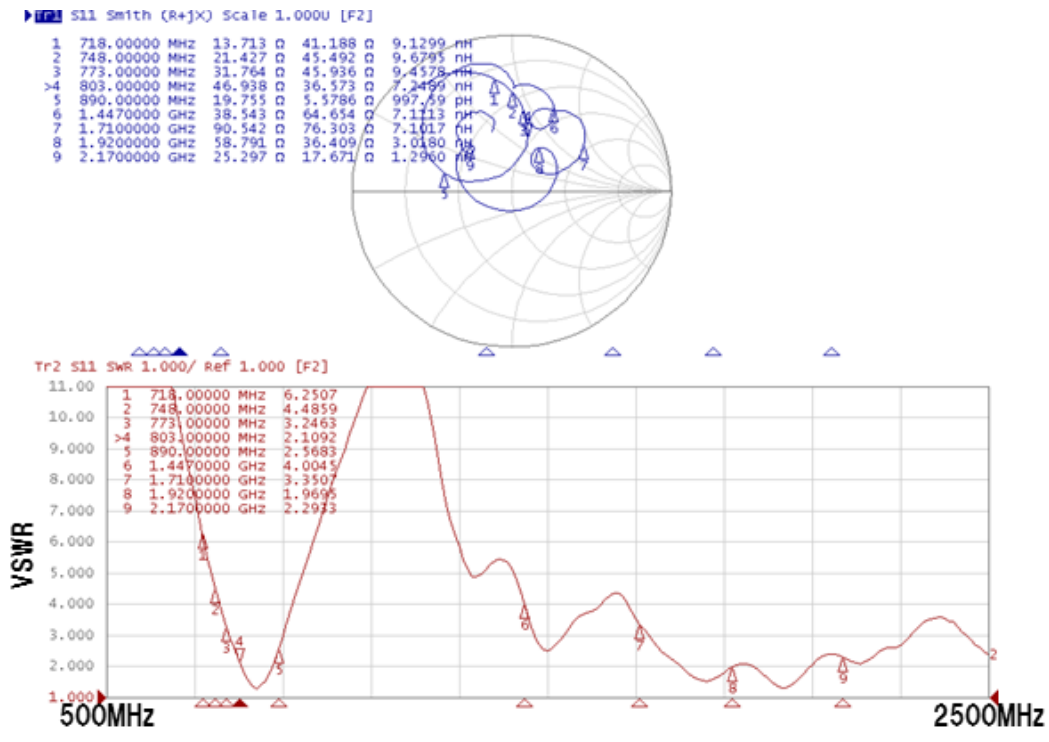
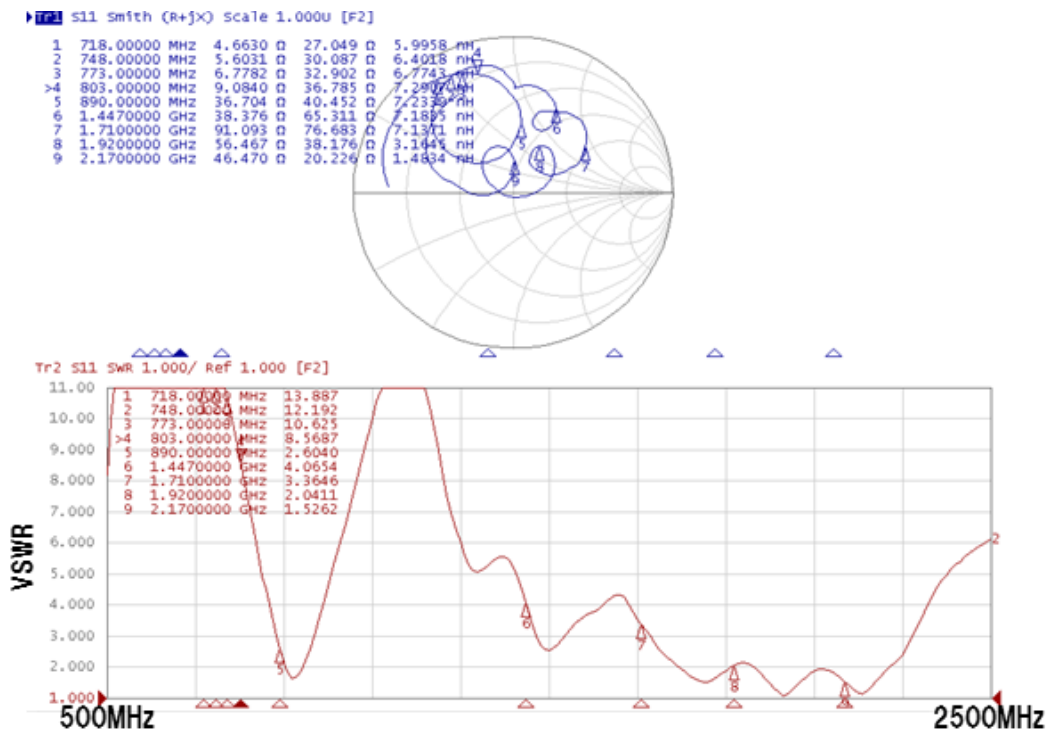


図 3.1-6 メインアンテナ インピーダンス/VSWR 測定結果

※通信 Band によるインピーダンス変化なし



(a)Band28, Band19, Band3 通信時



(b)Band1 通信時

図 3.1-7 サブアンテナ インピーダンス/VSWR 測定結果

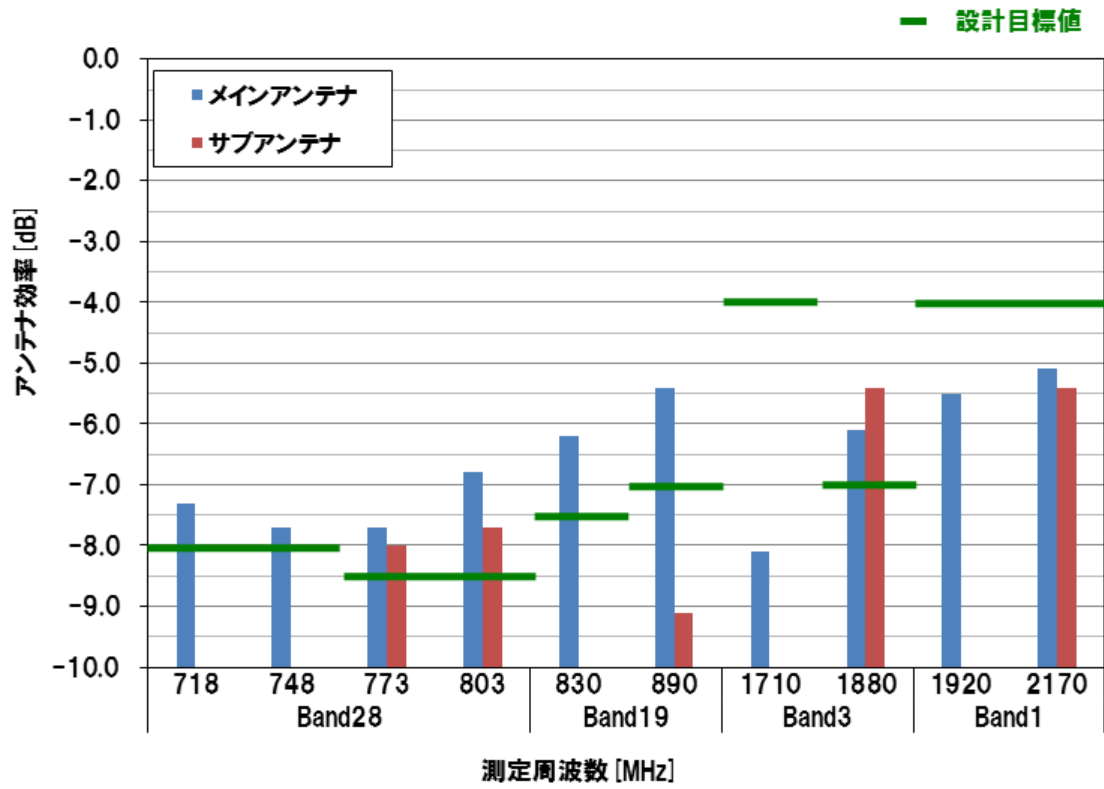


図 3.1-8 アンテナ効率測定結果



#### 3.1.2.4. セルラーアンテナの設計

3.1.2.4 章では、スマートフォン模擬筐体に内蔵するセルラーアンテナ構成について説明する。

初めにアンテナ配置と寸法を図 3.1-9 に示す。市販スマートフォンと同様に、メインアンテナは筐体下部に、サブアンテナは筐体上部に配置する。サブアンテナに関しては対応周波数が比較的狭いことから占有領域を基板幅方向で半分以下とし、近くに別のアンテナ配置できるようにする。アンテナ素子は設計の簡素化のために回路基板(2層ガラエポ基板)の銅箔パターンで形成する。各部品の電気定数は図に記載の通りである。ここで、 $\epsilon_r$  は空気に対する比誘電率、 $\tan \delta$  は誘電正接、 $\sigma$  は導電率[S/m]である。

両アンテナの給電点は基板中心から左右に引いた線に対して線対称となる配置とする。点対称とした方が給電点間の距離は離れるが、線対称の方が特に 700MHz 帯など低い周波数帯において、両アンテナの放射パターンに差異が生まれ低相関化する傾向にある。なお、給電点配置に関しては 3.3 章にて再度検証する。

次に各アンテナの設計内容について説明する。

メインアンテナのアンテナ形状と整合回路構成を図 3.1-10 に示す。アンテナ型式は携帯電話等で一般的な逆 L 型のモノポールアンテナとする。対応周波数は Band28, Band19 の低い周波数帯 (以下, LowBand) と Band3, Band1 の高い周波数帯 (以下, HighBand) の大きく 2 つに対応するため、給電点近傍で LowBand 素子と HighBand 素子とに分岐し 2 共振特性を持たせる。また、HighBand は 1710MHz~2170MHz の幅で-4dB と、高めのアンテナ効率を確保する必要があるため、給電点から図中左側にインピーダンス整合用のパターンを形成し、HighBand の VSWR を全体的に下げる。

図 3.1-11 にサブアンテナのアンテナ形状と整合回路構成を示す。メインアンテナと同様に逆 L アンテナとし、2 共振特性を得るために給電点近傍で分岐する構成とする。サブアンテナはアンテナ領域が狭く、特に対応周波数の低い LowBand 素子のアンテナ効率が低下しやすいのでアンテナ素子全体を地板から離す構造とする。HighBand 素子は給電点から図中左側に配設する。メインアンテナよりも HighBand が狭帯域なので整合用パターンは付加していない (付加する場所もない)。

アンテナのインピーダンス/VSWR 解析結果を図 3.1-12~図 3.1-13 に示す。メインアンテナの方がサブアンテナよりも広い周波数帯域で VSWR が低いことがわかる。また、送受信対応のメインアンテナが全帯域でバランスよく整合を取っているのに対して、受信専用のサブアンテナは受信帯域に合わせて調整している。図 3.1-14 はアンテナ間のアイソレーションを表すグラフである。全帯域で 10dB 以上確保している。図 3.1-15 にアンテナ効率を示す。両アンテナ共に設計目標値を満足している。

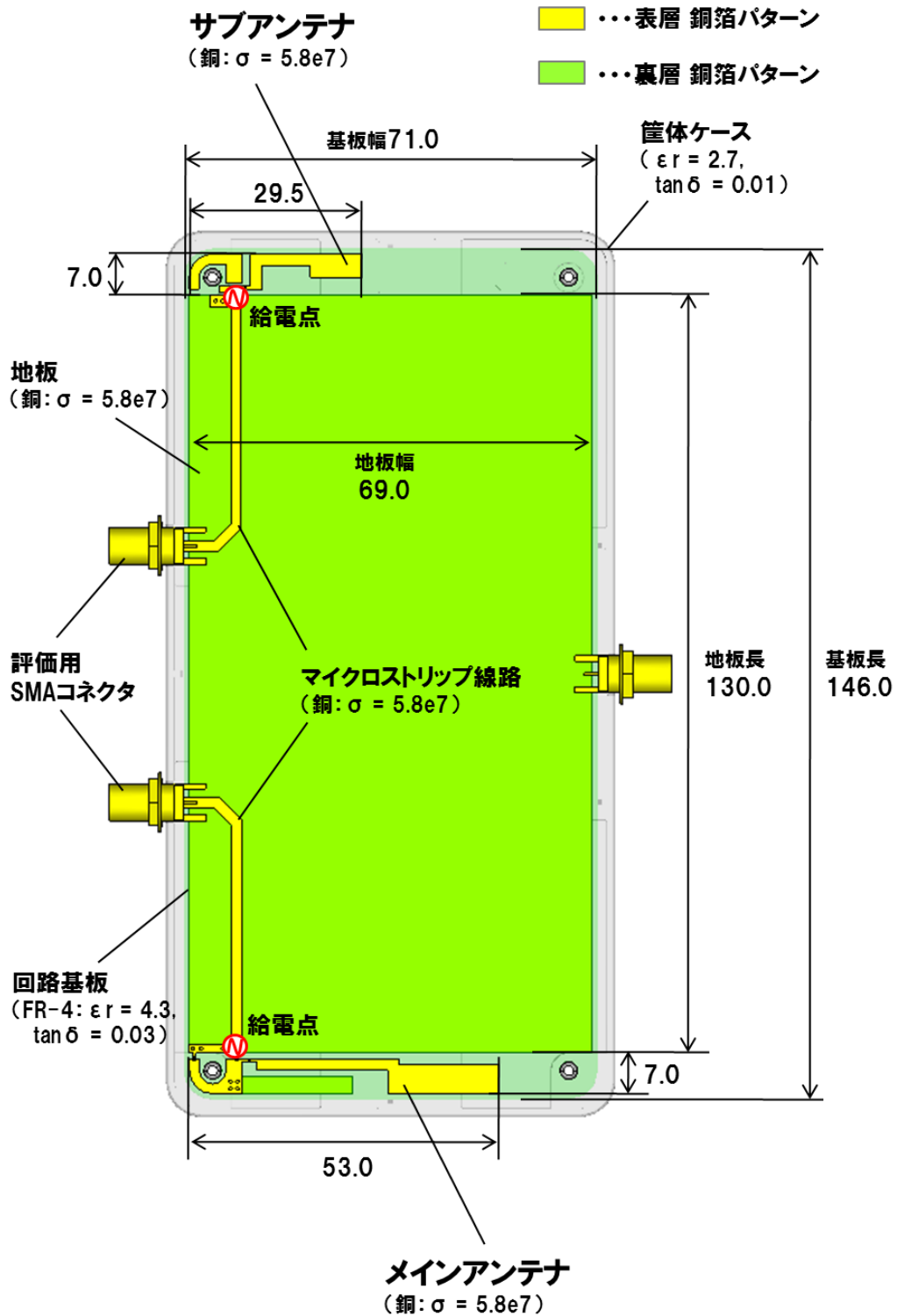
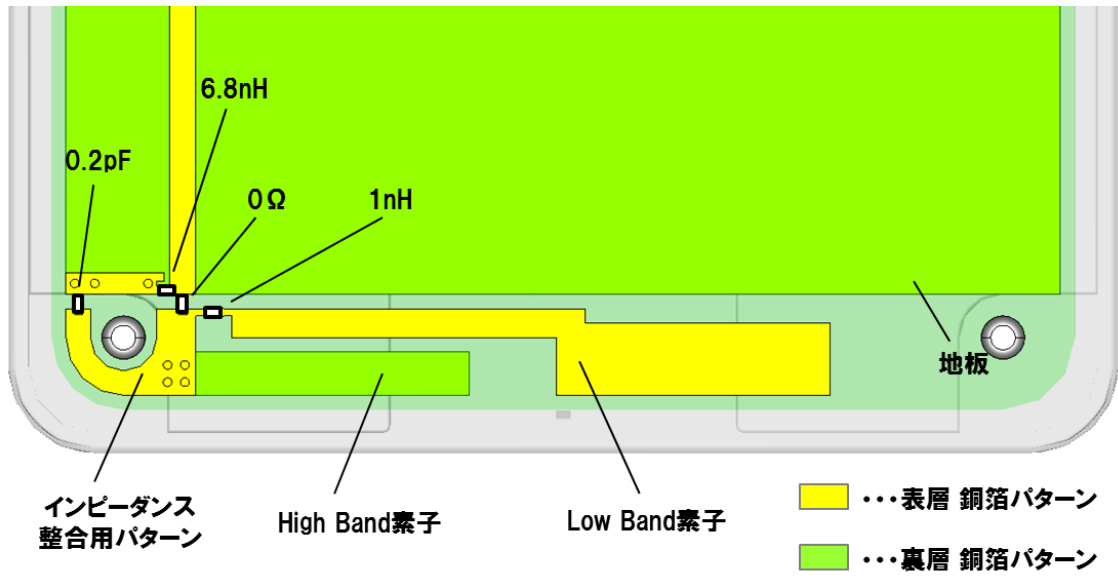
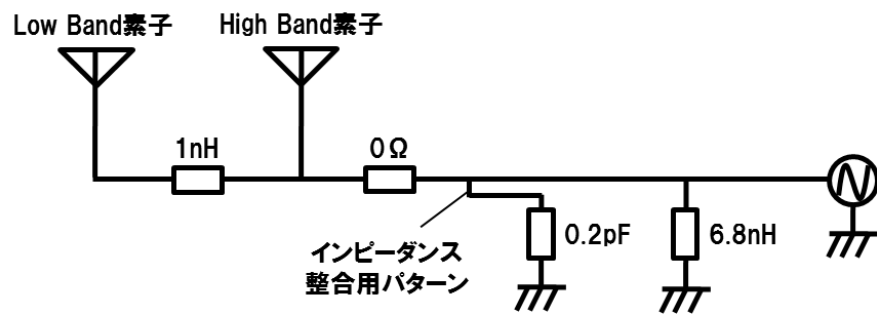


図 3.1-9 セルラーアンテナ配置

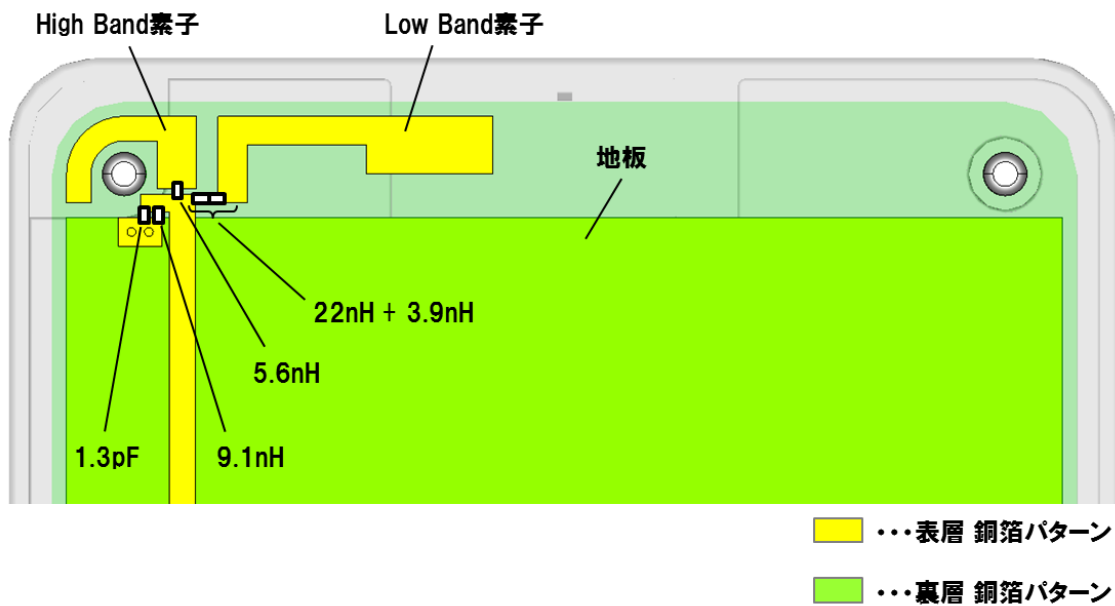


(a)アンテナ形状

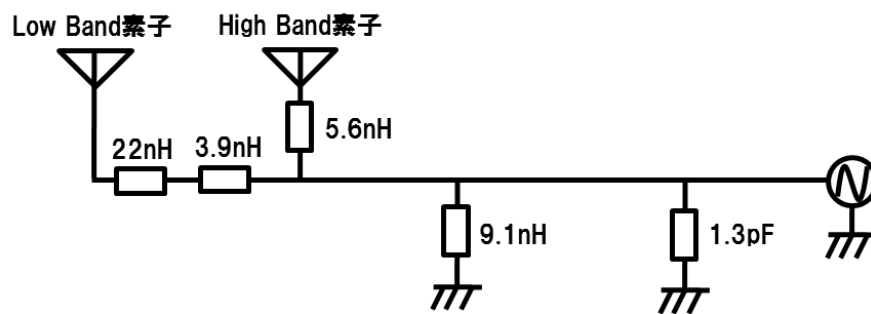


(b)整合回路図

図 3.1-10 メインアンテナ構成図



(a)アンテナ形状



(b)整合回路図

図 3.1-11 サブアンテナ構成図

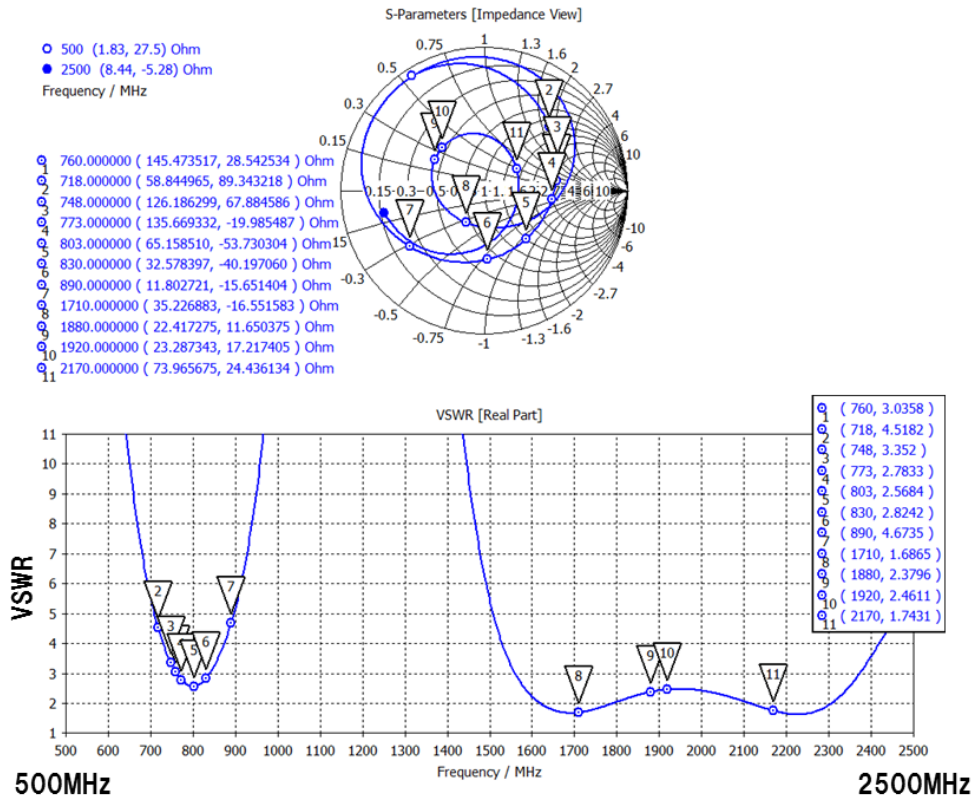


図 3.1-12 メインアンテナ インピーダンス/VSWR

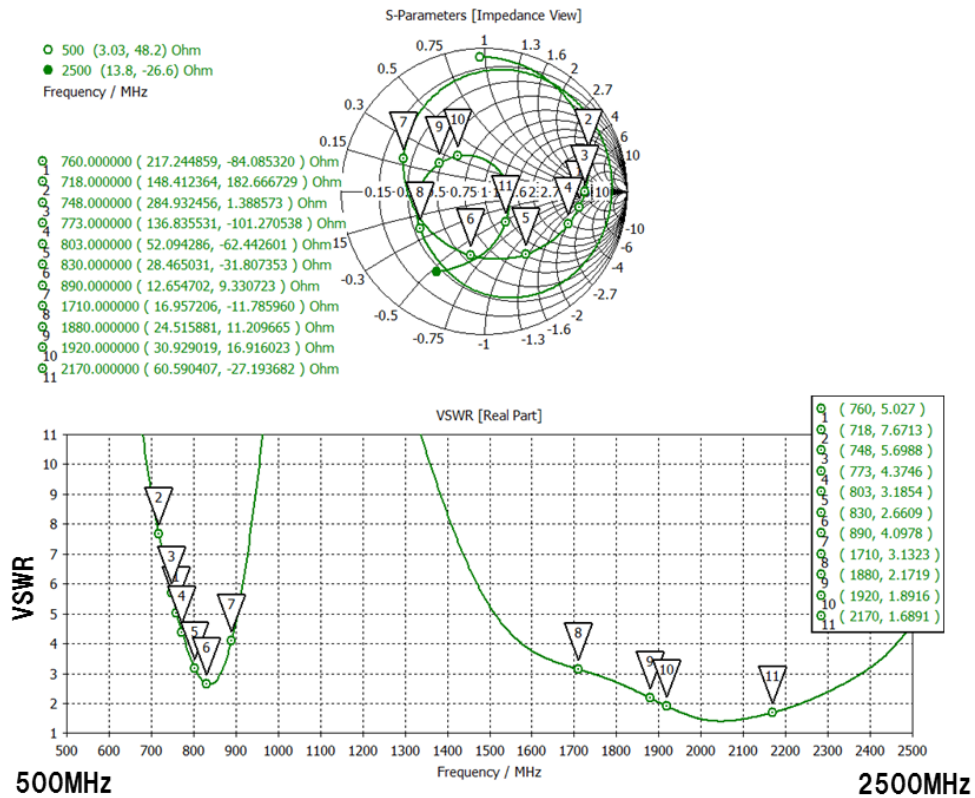


図 3.1-13 サブアンテナ インピーダンス/VSWR

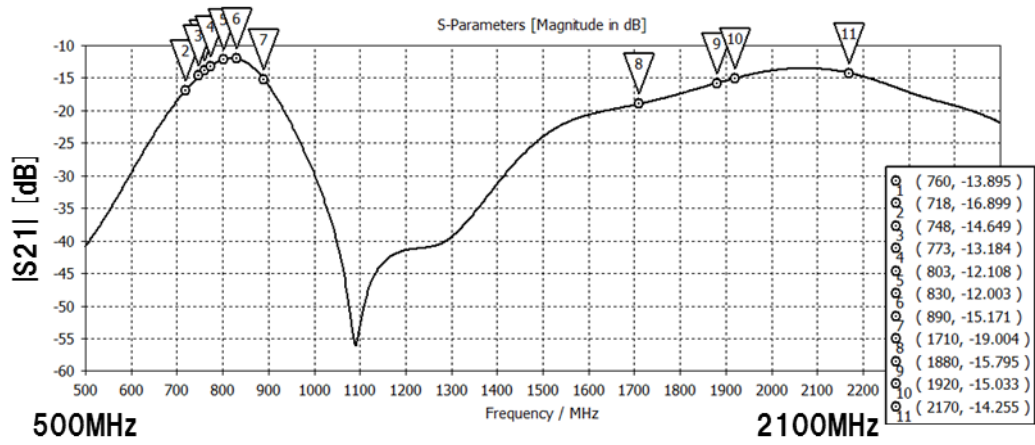


図 3.1-14 アンテナ間アイソレーション (S12)

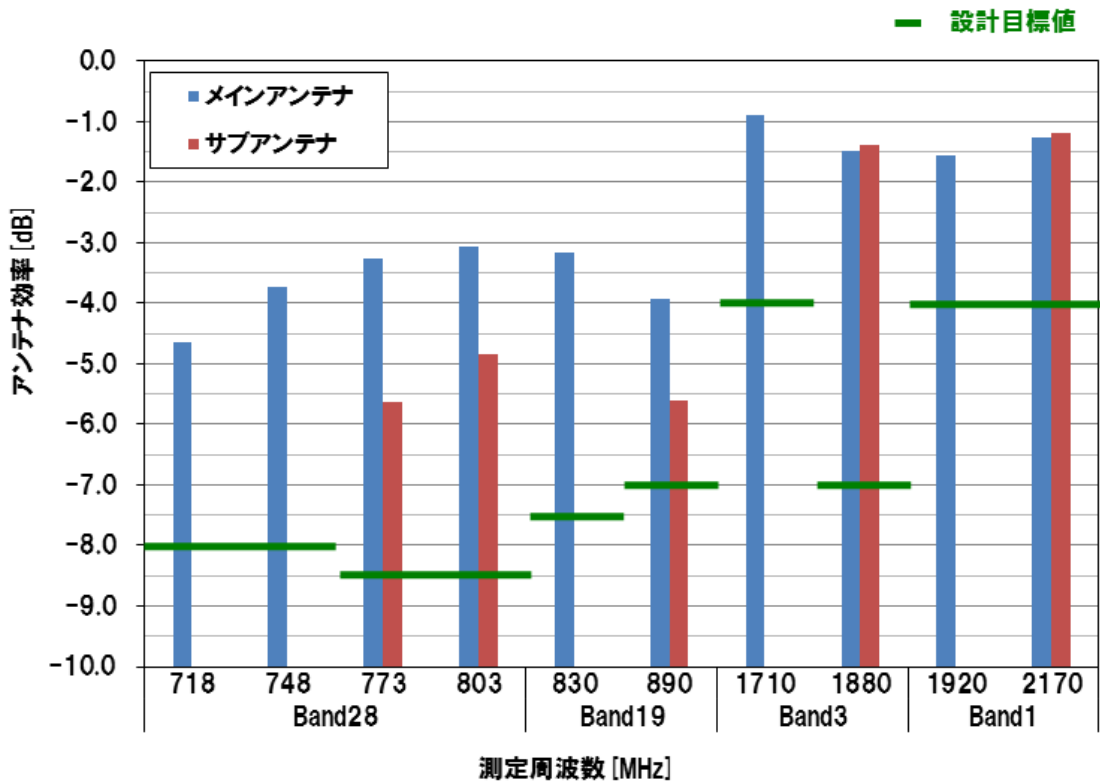


図 3.1-15 アンテナ効率

## 3.2. 700MHz 帯通信アンテナの小型化

図 3.2-1 に示す通り，700MHz 帯通信端末においてアンテナが占める容積は大きく，アンテナの小型化は端末を小型化する上で有効であるとともに，スマートフォンへの搭載においては必須の課題といえる。

しかし，一般的にアンテナ性能はその容積に比例するため，安易な小型化は性能の低下を招く。3.2 章では，平成 27 年度使用端末の内蔵アンテナを電磁界シミュレーションにて解析し，性能劣化なく小型化できる要素を探る。そして，スマートフォン構造に適した小形アンテナを設計する。

### 3.2.1. 評価指標

700MHz 帯通信アンテナの評価指標，評価周波数を以下に示す。

#### ➤ 評価指標

##### A) アンテナ効率

3.1 章と同一。

##### B) 放射パターン

端末の各方位におけるアンテナ利得をポーラチャートにプロットしたもの。図 3.2-2 に一例はその一例である。XY 面，XZ 面，YZ 面の 3 面について，それぞれ垂直偏波成分，水平偏波成分を表す。軸定義を図 3.2-1 に示す。また，実測とシミュレーション結果の比較においては，各面における全方位の利得を平均したパターン平均化利得（以下，平均利得）を算出し検証する。単位は dBi。

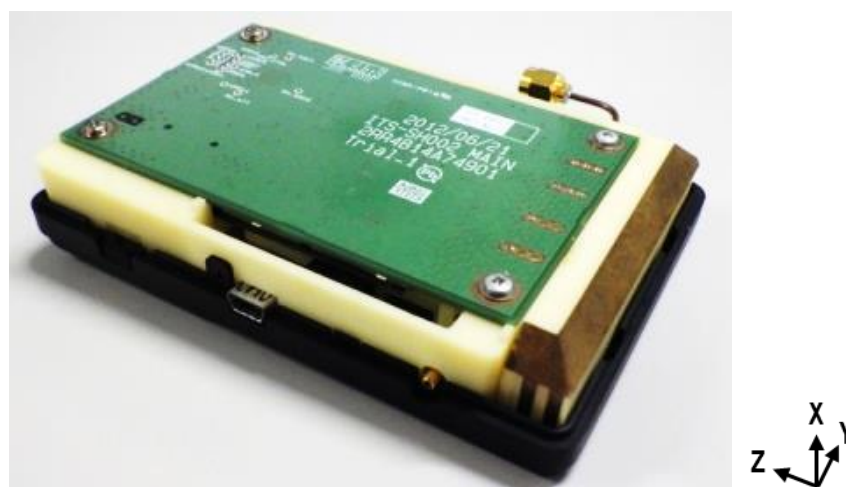


図 3.2-1 平成 27 年度使用端末の軸定義

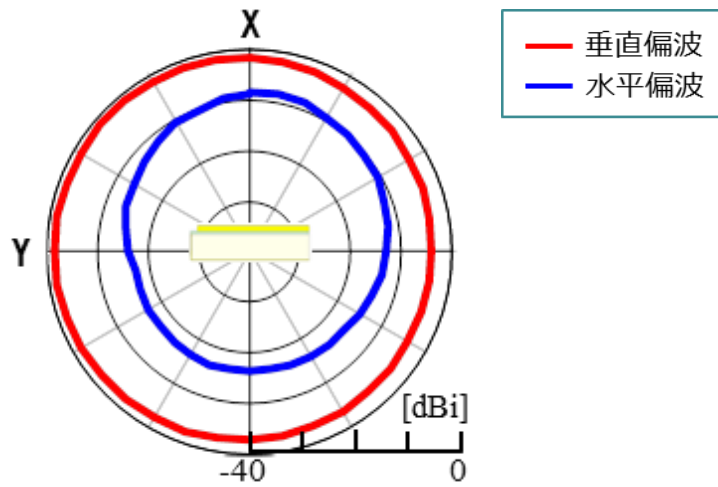


図 3.2-2 放射パターンの一例 (XY 面)

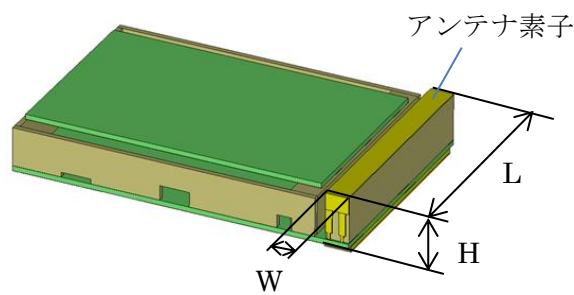


図 3.2-3 アンテナ容積の定義

C) インピーダンス/VSWR

3.1 章と同一.

D) 占有容積

アンテナが端末の中で占有する容積を以下の通り定義する.

$$\text{アンテナ容積 } V = \text{アンテナ長 } L \times \text{アンテナ高 } H \times \text{アンテナ幅 } W \quad \dots(3.2-1)$$

➤ 評価周波数

ITS760MHz : 755MHz~765MHz

※狭帯域なため, 主に代表値として中心周波数の 760MHz を解析する.



### 3.2.2. 平成 27 年度使用端末 700MHz 帯通信アンテナの解析

#### 3.2.2.1. 評価・解析条件

アンテナの小型化検討に当たり、比較対象として平成 27 年度使用端末のアンテナ特性を評価する。また、電磁界シミュレーションによりアンテナ特性を解析し、実測結果と比較することでシミュレーションの妥当性を検証する。

図 3.2-4 に平成 27 年度使用端末の外観図を示す。平成 27 年度使用端末は 3 枚の回路基板により構成されており、アンテナ型式は給電点と短絡点を有する板状逆 F アンテナである。アンテナは板金により形成され、回路基板 1 と接続されている。地板はアンテナから見て基板裏側の基板パターンで構成されている。アンテナ長  $L$  は 67mm、アンテナ高  $H$  は基板厚を含めて 15.6mm である。

測定は、図 3.2-4(b)に示すように、セミリジッドケーブルをアンテナ整合回路の無線回路側の端部に接続し行う。

シミュレーションモデルは図 3.2-5 に示す通りである。筐体、基板、アンテナの寸法を実機と同一とし、図中記載の給電点より給電する形としている。ただし、簡略化のため回路基板上の実装部品やハーネス類は省略している。各部品の電気定数は図に記載の通りである。

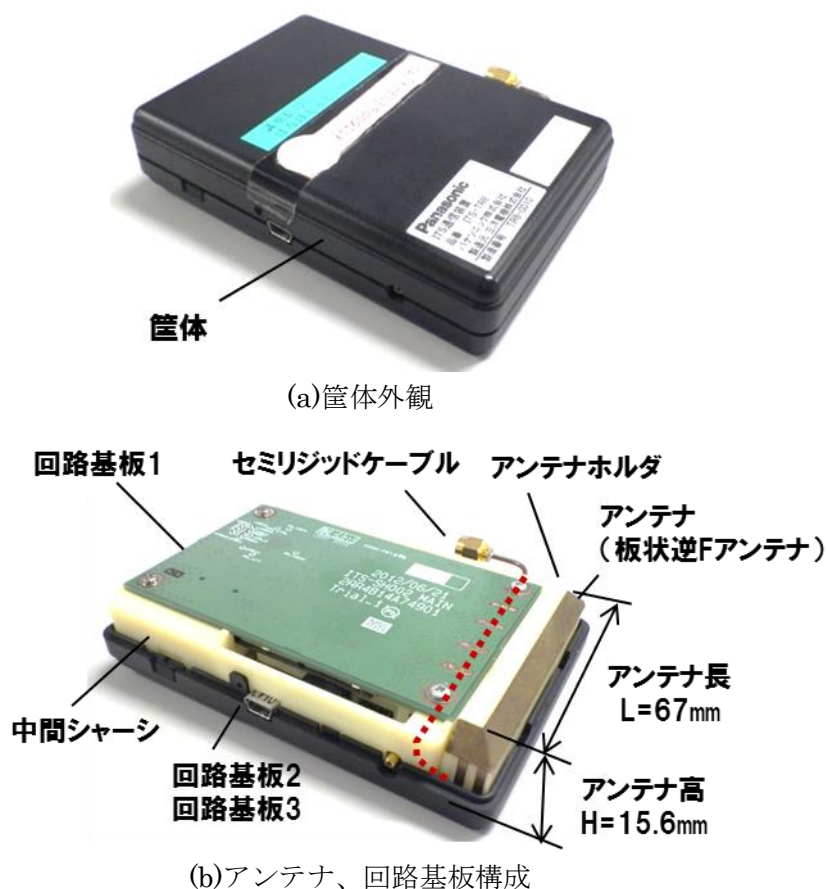
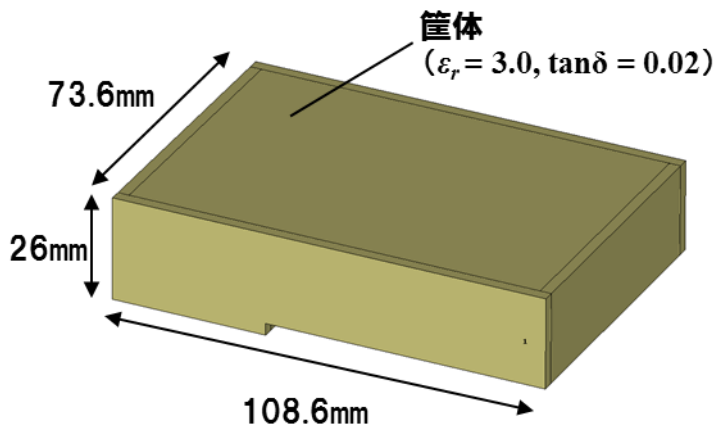
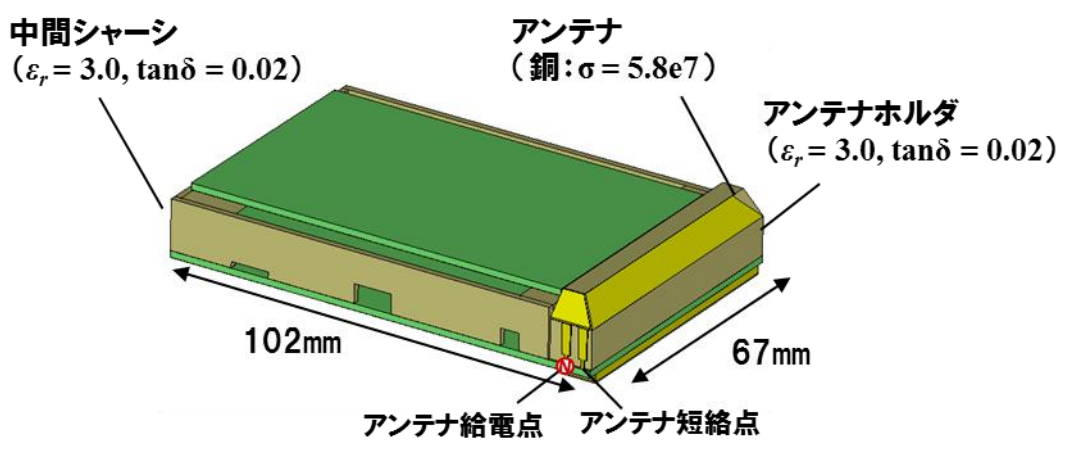


図 3.2-4 平成 27 年度使用端末構成図



(a) 管体外観



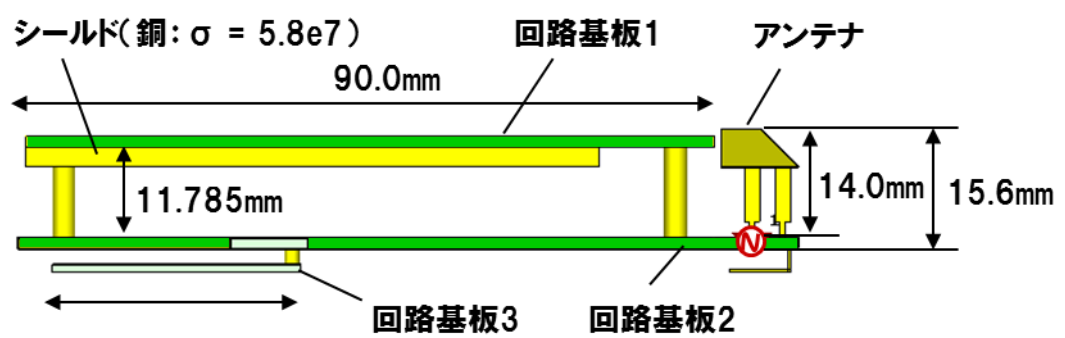
(b) アンテナ、回路基板構成 (斜視図)

**回路基板構成**

基材(FR-4:  $\epsilon_r = 4.3, \tan\delta = 0.03$ )

地板(銅:  $\sigma = 5.8e7$ )

1.6mm



(c) アンテナ、回路基板構成 (側面図)

図 3.2-5 平成 27 年度使用端末シミュレーションモデル

### 3.2.2.2. 評価・解析結果

放射パターンの実測結果を図 3.2-6 に、解析結果を図 3.2-7 に示す。アンテナ効率および各面の平均利得を表 3.2-1 に、インピーダンス、VSWR を図 3.2-8 に示す。

実測結果より、昨年使用端末のアンテナ効率は-3.9dB であり、XY 面にて垂直偏波成分がほぼ無指向性の放射パターンを形成している。その平均利得は-2.5dBi である。インピーダンスはほぼ  $50\Omega$  であり、VSWR は 2.0 以下である。

解析結果と実測結果とを比較すると、放射パターンは、ヌルの位置や指向性など、解析結果と実測結果の傾向がよく一致しており、アンテナ効率、平均利得に関してもほぼ同等の結果となっていることがわかる。この結果から、電磁界シミュレーションの妥当性が確認できた。これ以降、小型化の検討は電磁界シミュレーションにて行う。

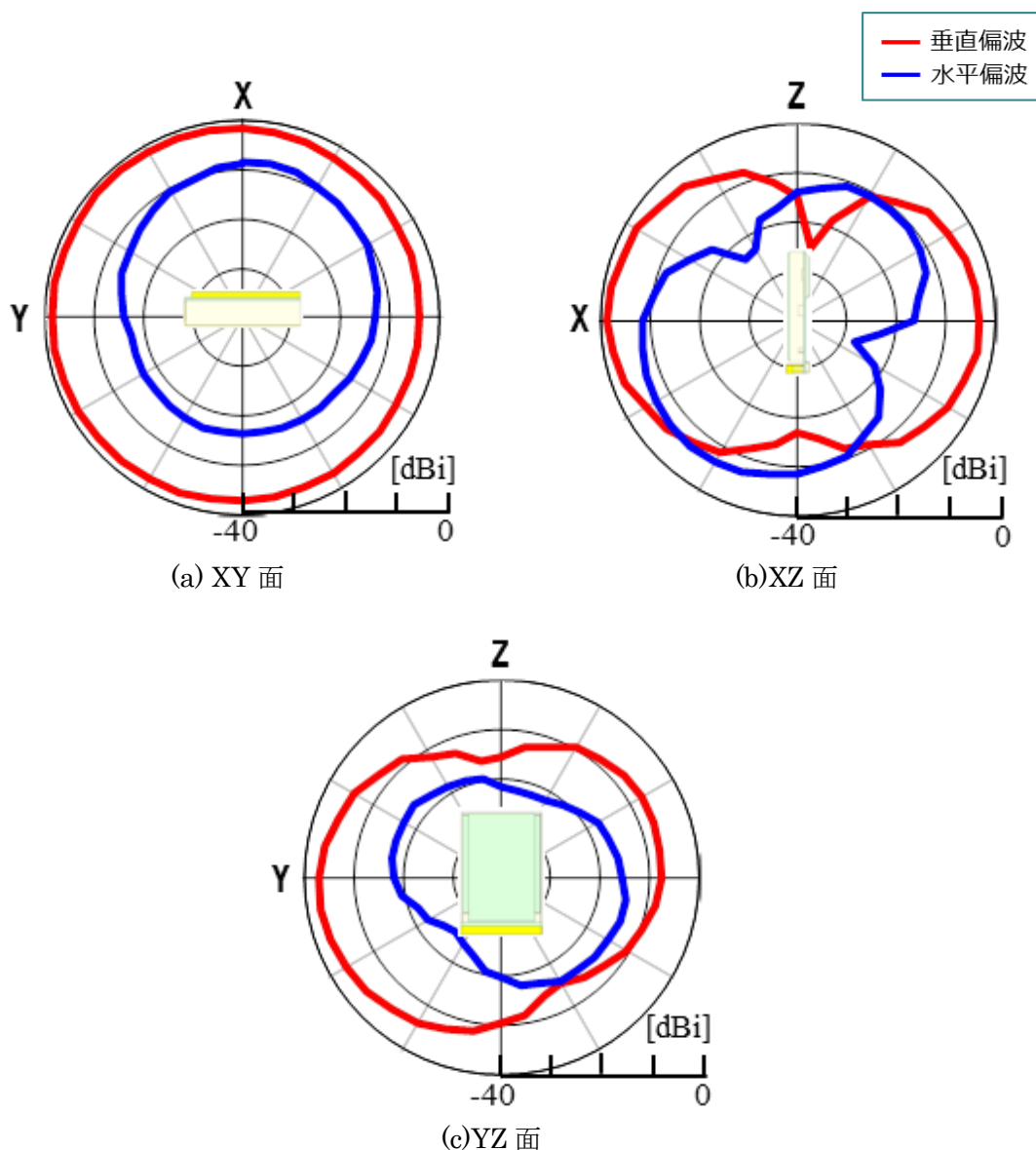


図 3.2-6 放射パターン実測結果

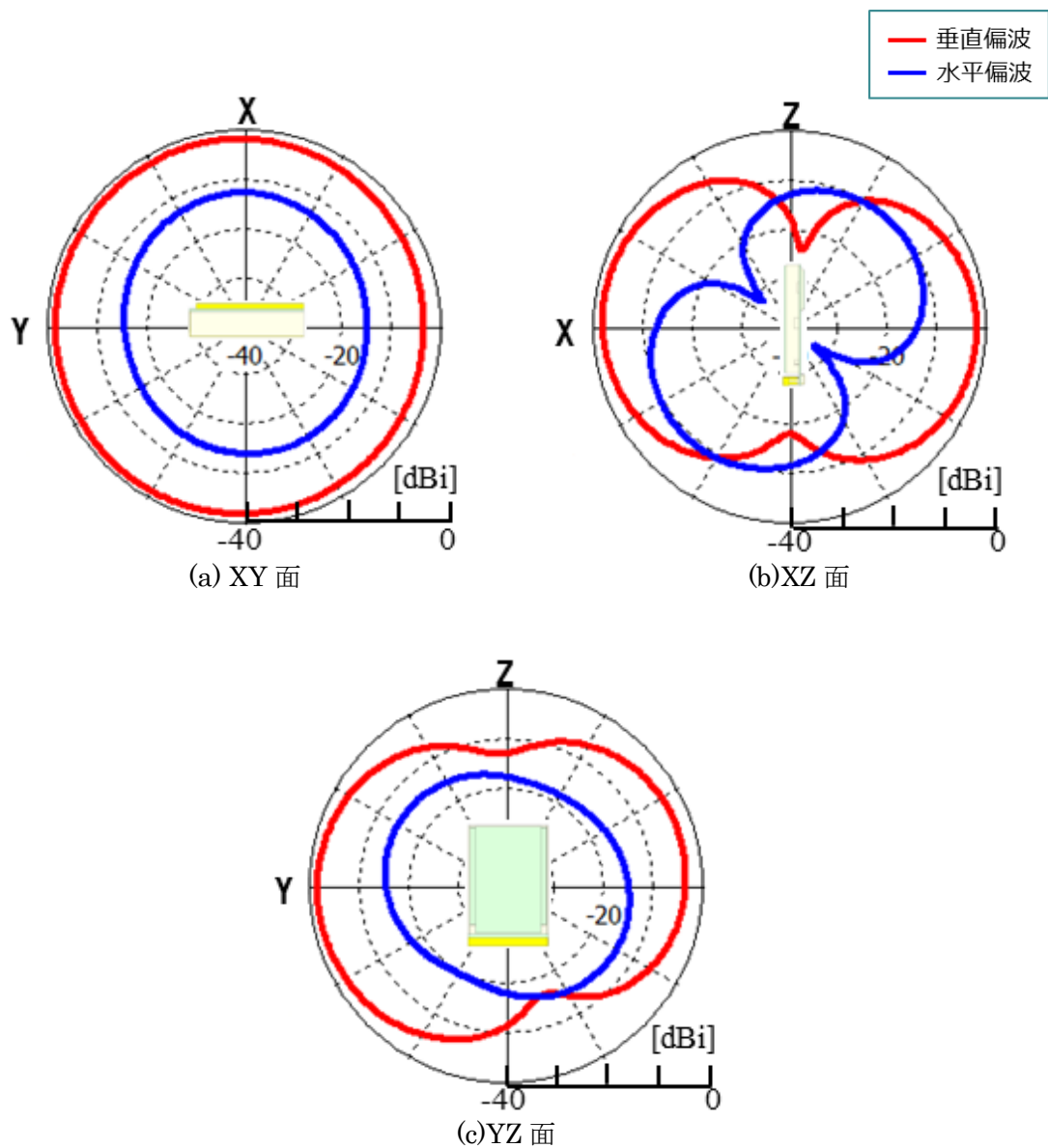
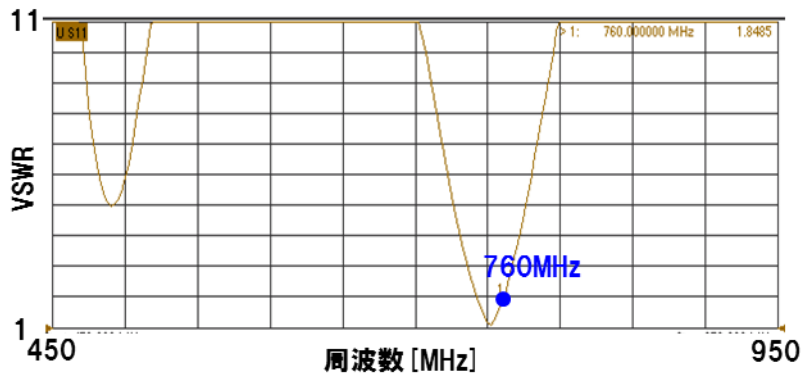
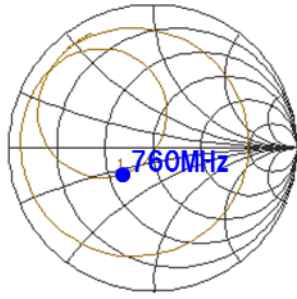


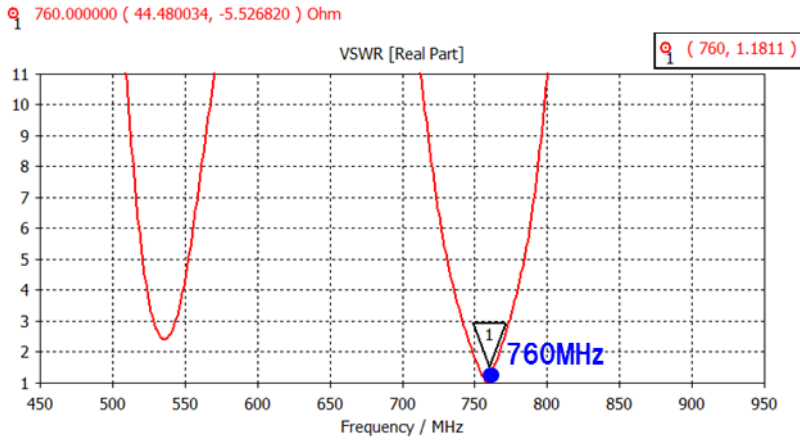
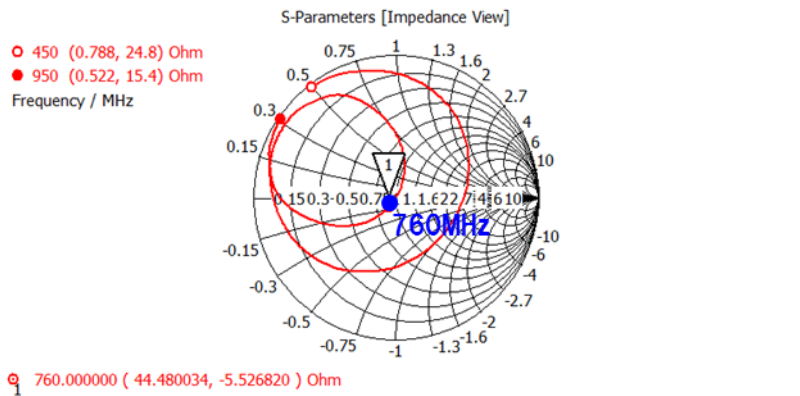
図 3.2-7 放射パターン実測結果

表 3.2-1 アンテナ効率および平均利得

	アンテナ 効率[dB]	平均利得[dBi] 垂直偏波			平均利得[dBi] 水平偏波		
		XY面	XZ面	YZ面	XY面	XZ面	YZ面
実測	-3.9	-2.5	-5.7	-5.4	-12.7	-10.9	-16.0
解析	-3.6	-2.3	-5.2	-5.2	-14.4	-12.8	-16.4
$\Delta$	$\Delta 0.3$	$\Delta 0.2$	$\Delta 0.5$	$\Delta 0.2$	1.7	1.9	0.4



(a)実測結果



(b)解析結果

図 3.2-8 インピーダンス/VSWR

### 3.2.3. アンテナの小型化検討

#### 3.2.3.1. 平成 27 年度使用端末のアンテナ効率と寸法

アンテナ効率の劣化なく小型化可能な要素を探るため、電磁界シミュレーションにて昨年使用端末をベースにアンテナの各辺の寸法とアンテナ効率との関係を検証した。アンテナ長  $L$  とアンテナ高  $H$  を変化し、アンテナ幅  $W$  に関しては  $7\text{mm}$  と十分に小さかったため固定とした。アンテナ寸法を変えることによってインピーダンスが変化する場合は、整合回路の定数を変更し不整合損失が増えないようにした。

図 3.2-9 に結果を示す。縦軸はアンテナ効率、横軸はアンテナ長  $L$  であり線グラフの色はアンテナ高  $H$  毎に分けている。基本的に小型化するほどアンテナ効率が低下するが、アンテナ長  $L$  に最適値があり、 $50\text{mm}$  前後が良好であることがわかる。誘電体による波長短縮効果を含めたアンテナの実効長が略  $0.25$  波長となっているためと考える。このグラフより、例えば  $L=40\text{mm}$ 、 $H=9.6\text{mm}$  まで小型しても昨年使用端末と同等のアンテナ効率を得られることが分かった。

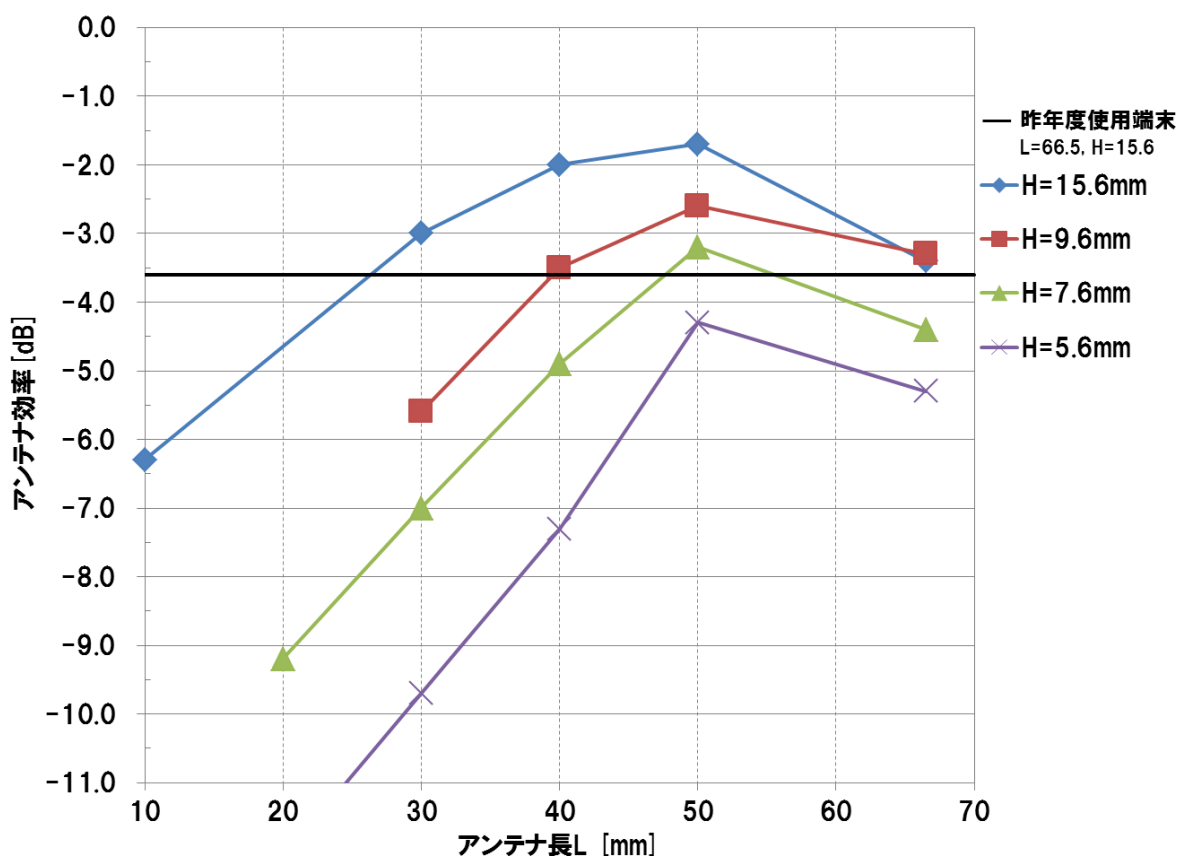


図 3.2-9 寸法とアンテナ効率の関係

### 3.2.3.2. 小形アンテナの設計

3.2.3.1 章の結果を元に小形アンテナを設計し性能を解析する。様々な筐体に展開できるよう 3 種類のアンテナを比較する。図 3.2-10～図 3.2-12 はその構成図である。形状 A は筐体の短辺に内蔵できる形状であり  $L=40\text{mm}$ 、 $H=9.6\text{mm}$  である。形状 B は筐体角部への内蔵を想定した形状であり  $L$  は長辺  $40\text{mm}$  で短辺  $20\text{mm}$ 、 $H=9.6\text{mm}$  である。形状 C は筐体長辺への内蔵を想定しており  $L=40\text{mm}$ 、 $H=9.6\text{mm}$  である。図 3.2-13 はこれらのアンテナ効率とアンテナ容積を昨年使用端末と比較したグラフである。どのアンテナも効率の劣化なく、容積を半分以下まで削減できることがわかる。

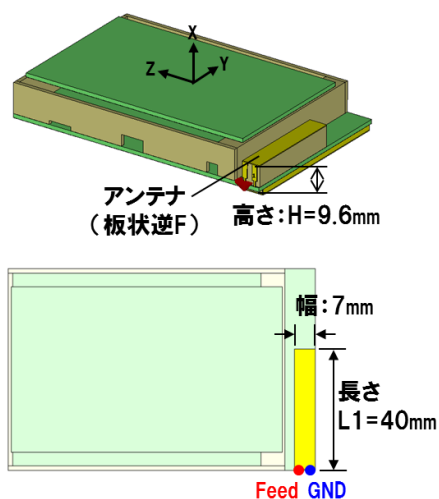


図 3.2-10 形状 A 短辺配置

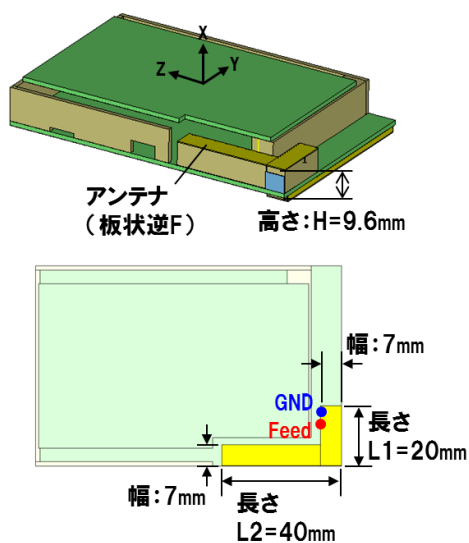


図 3.2-11 形状 B 角部配置

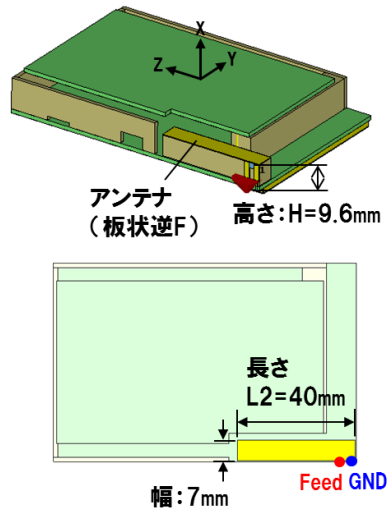


図 3.2-12 形状 C 長辺配置

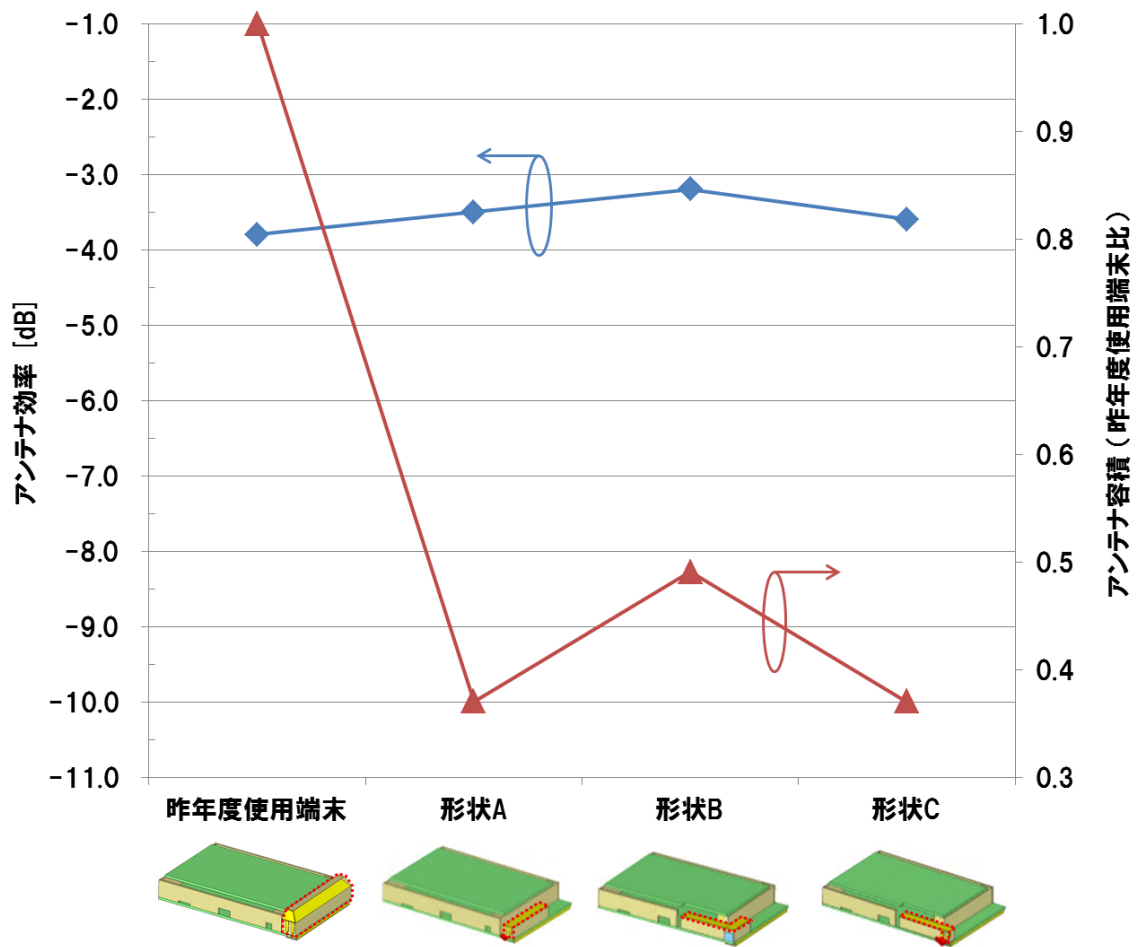


図 3.2-13 各アンテナのアンテナ効率と容積



#### 3.2.4. 小型アンテナのスマートフォン模擬筐体への搭載検討

スマートフォン模擬筐体への小形アンテナの搭載を検討する。ベースとするアンテナはアンテナ効率が最も良好で、角部に配置することからセルラーアンテナとの共存が容易な形状 B とする。

スマートフォン模擬筐体に形状 B のアンテナを実装すると図 3.2-14 のようになる。厚さ方向で筐体内壁から 4mm 程度突出している。これは、アンテナ高が筐体内部の隙間よりも大きいことに加え、基板が筐体内壁よりも 2.5mm 内側に配置されているためである。

このスマートフォン特有の構造に適応するためにオフセット地板方式を採用する。これは、板状逆 F アンテナの地板を基板面からオフセットして配置された板金などにするもので、今回のケースでは、板金を筐体内壁に設置することで筐体内の容積を効率的に使うことができる（図 3.2-15）。

次に、アンテナの更なる低背化を検討する。形状 B のアンテナ高は  $H=9.6\text{mm}$  だが、スマートフォン模擬筐体に完全に内蔵するため 7mm 以下に低背化する。この際、アンテナ幅  $W$  を 7mm から 10mm に増やして容積が形状 B と同等になるように調整したが、それでもアンテナ効率が低背化前に対して劣化することが分かった。そこで、アンテナ形状の改善を検討している。図 3.2-16 のように、アンテナにスカートを着装し、孔をあける。これによりアンテナと地板間の容量値とアンテナ上のインダクタンス値を上げることができ、形状 B のようにアンテナ長が 0.25 波長未満の場合においては効率が向上する。

さらに、給電点と短絡点を地板短辺に移設し、地板のエッジにより多くのアンテナ電流が流れるようすることでアンテナ効率の向上を図る（図 3.2-17）。

図 3.2-18 は、これらの対策によるアンテナ効率と容積の変化である。

地板オフセットと低背化により、スマートフォンに内蔵可能な形状に変更した。スカート、アンテナ上への孔空け、給電点/短絡点変更によりアンテナ効率を向上し、平成 27 年度使用端末以上に対して半分以下の体積で同等以上の性能を確保することができ、アンテナ効率は -0.9dB となった。図 3.2.19 に最終形状におけるインピーダンス/VSWR 特性を示す。概ね  $50\Omega$  に整合が取れており、VSWR は 1.28 程度と低く抑えられている。また、図 3.2.20 に放射パターンを示す。水平面（XY 面）にて無指向性の放射パターンが得られている。

以上の取り組みによって、スマートフォン模擬筐体用の 700MHz 帯小形アンテナを開発した。

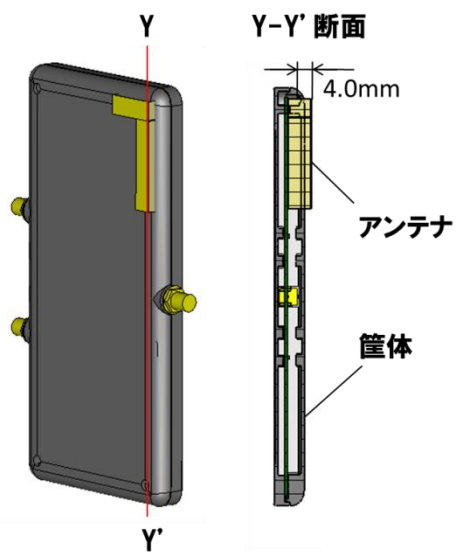


図 3.2-14 スマートフォン模擬筐体と小型アンテナ形状 B

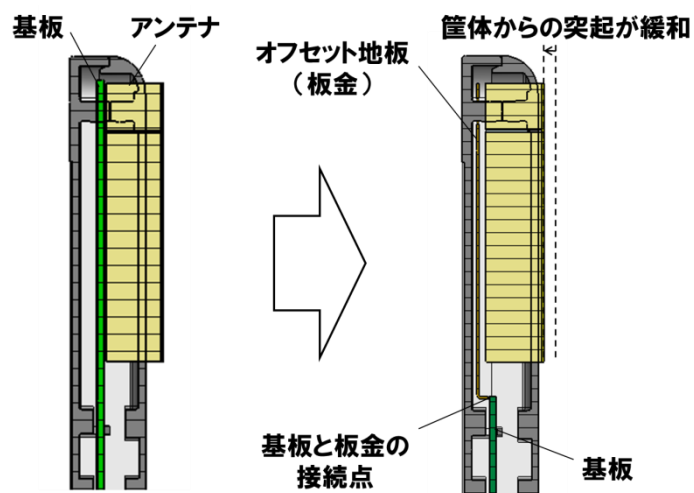


図 3.2-15 オフセット地板方式

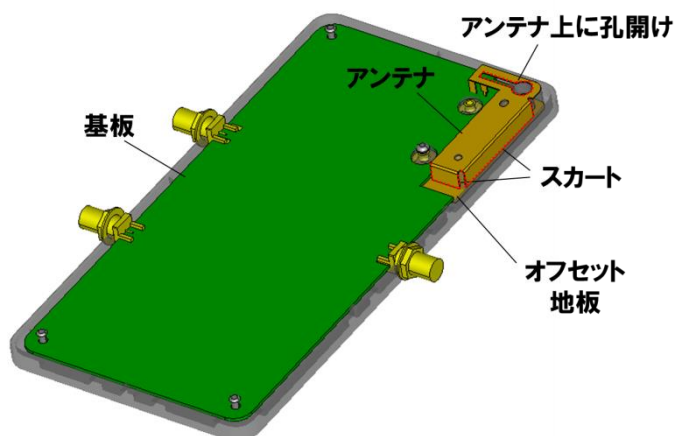


図 3.2-16 アンテナ形状による対策

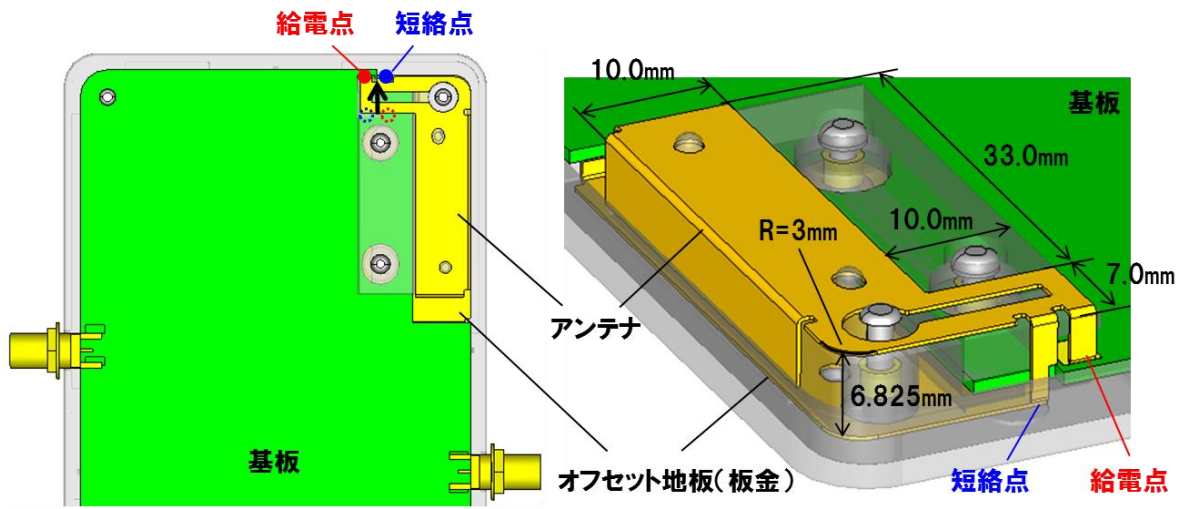


図 3.2-17 アンテナ給電点の変更

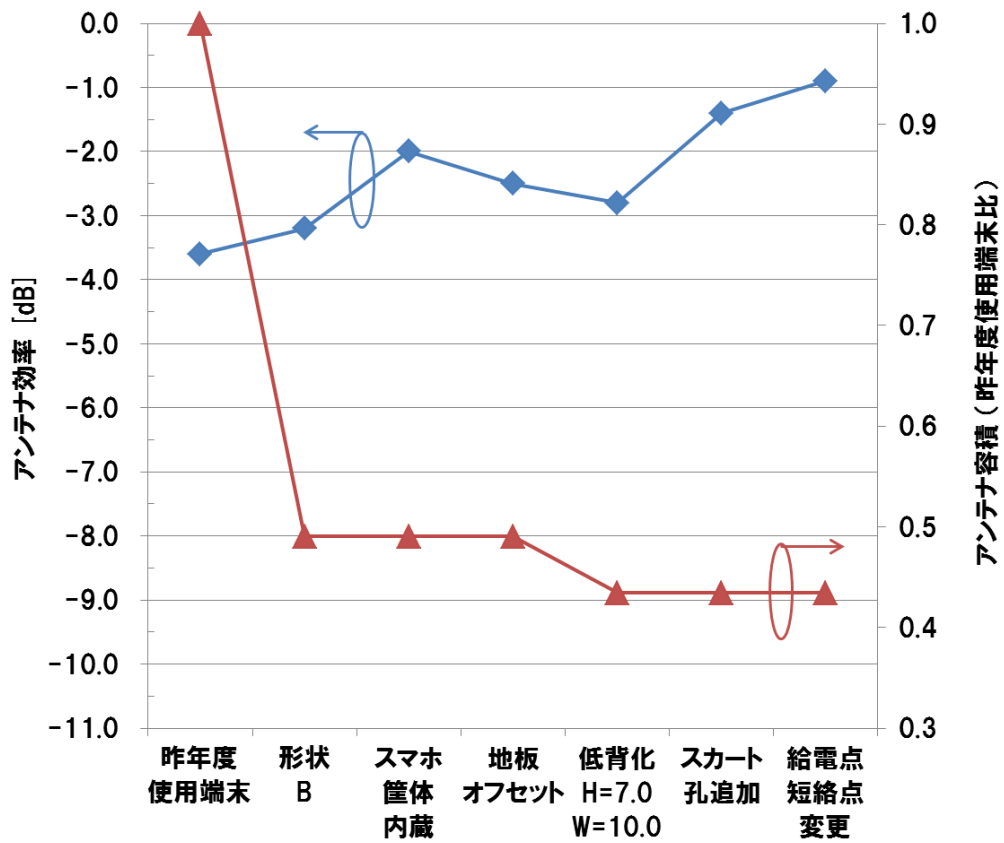


図 3.2-18 アンテナ効率と容積の変化

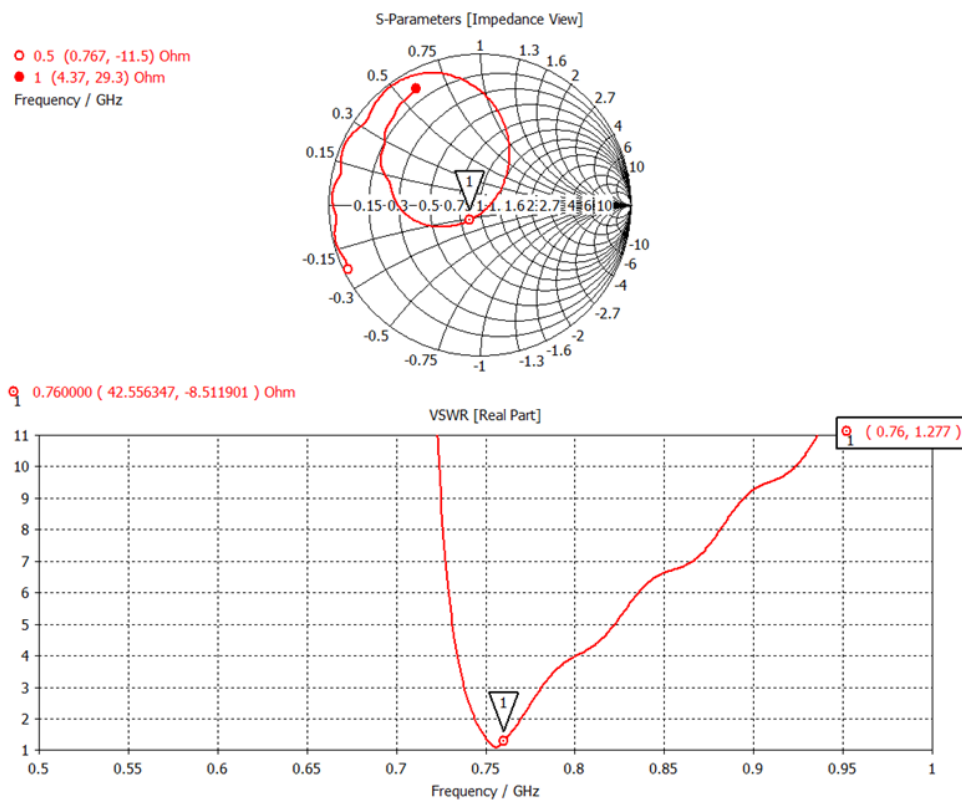


図 3.2-19 最終形状におけるインピーダンス/VSWR

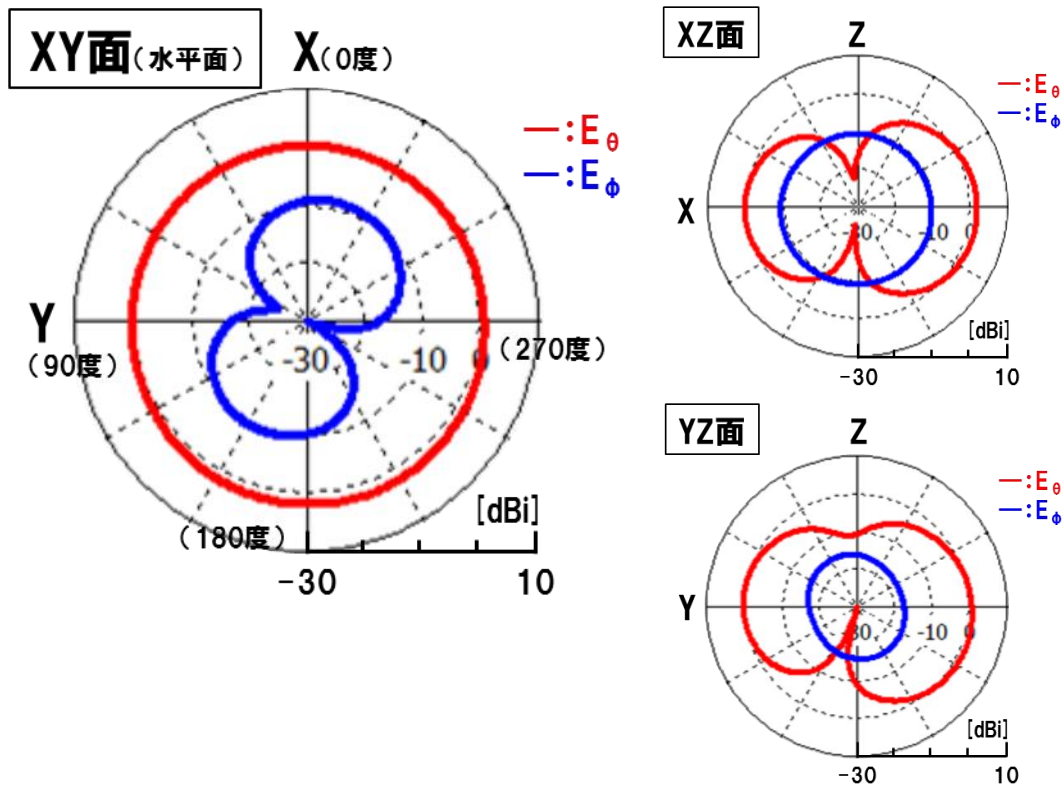


図 3.2-20 最終形状における放射パターン

### 3.3. 低相関化技術の開発

700MHz 帯通信システムのスマートフォンへの搭載においては、既存の無線通信システム、特に、セルラーシステム（LTE Band28）との干渉が課題となる。両システムの周波数割り当てを図 3.3-1 に示す。周波数が最小 7MHz のガードバンドを隔てて隣接しているため、両システムの無線回路に急峻なフィルタリング特性が求められる。

昨年度はこれらが異なる端末に搭載されていることを前提に、それぞれの無線回路にフィルタを2段実装することで干渉を抑えられることを示した。しかし、同一端末内に搭載すると、アンテナ同士が近接しアンテナ間アイソレーションが十分に確保できない可能性がある。

そこで、3.3 章では、700MHz 帯通信アンテナとセルラーアンテナとを低相関する技術を開発し干渉を抑えるために必要な減衰量を確保する。

#### 3.3.1. 干渉レベルダイヤ

昨年度検討した干渉レベルダイヤから、同一筐体内に 700MHz 帯通信アンテナとセルラーアンテナを実装した際のアンテナ間アイソレーション設計目標値を導出する。

##### 3.3.1.1. 干渉要因

システム間干渉には、700MHz 帯通信システムの送信波がセルラーシステムの受信感度に影響を与える与干渉と、その逆の被干渉とがある。

干渉要因は感度抑圧干渉とスプリアス干渉に分けられる。感度抑圧干渉は、被干渉波に対して与干渉波が大幅に大きい場合、増幅器または変換器が飽和状態に達すると被干渉波の増幅度低下が発生するために受信感度が劣化する。感度抑圧干渉の概要図を図 3.3-2 に示す。

一方、スプリアス干渉は、与干渉波の歪み成分のスペクトラム広がりによって被干渉波の周波数帯に被ることで、受信感度が劣化する。スプリアス干渉の概要図を図 3.3-3 に示す。

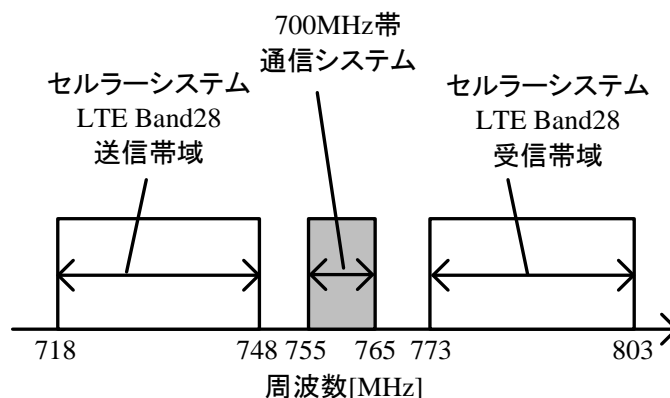


図 3.3-1 周波数割り当て

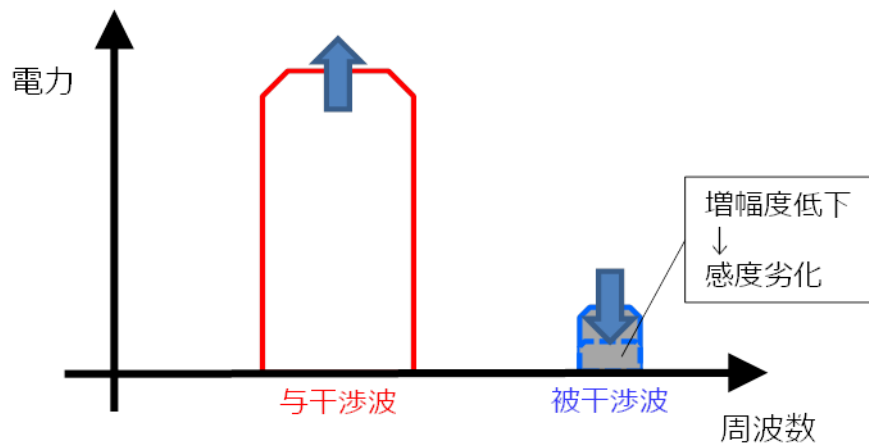


図 3.3-2 感度抑圧干渉概要

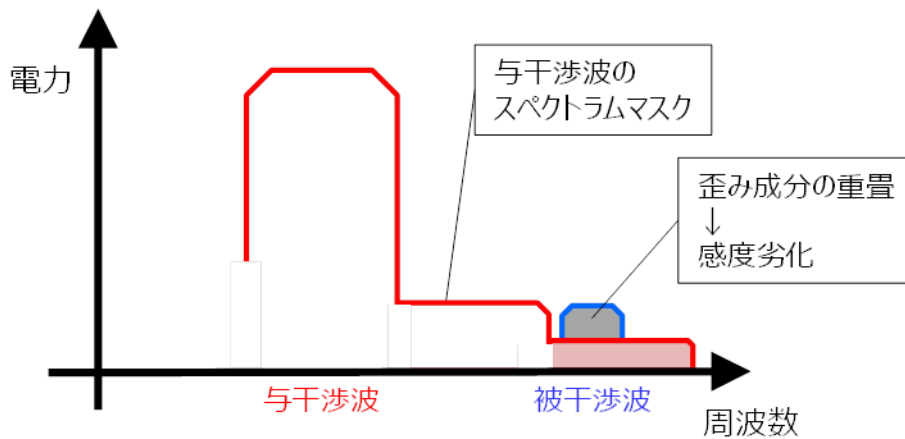


図 3.3-3 スプリアス干渉概要

### 3.3.1.2. 与干渉レベルダイヤ

与干渉レベルダイヤを干渉要因毎に整理し表 3.3-1, 表 3.3-2 に示す。それぞれ送信出力は ARIB 規格を参照している [6]。送信給電損失および受信給電損失は、設計によるところであるが、ここではレベルダイヤ上 最も厳しく見積もり 0dB とする。

感度抑圧干渉のレベルダイヤは表 3.3-1 である。許容干渉レベルは、情報通信審議会の報告書を参照し、-56.0dBm とする [7]。干渉レベルは、送信電力と同値の 19.2dBm であり、これにより許容干渉レベルを満足するための所要改善量は、75.2dB と算出される。

スプリアス干渉のレベルダイヤは表 3.3-2 である。700MHz 帯通信システム送信波のマスク減衰量は 50dB<sub>r</sub> としている。また、許容干渉レベルは、情報通信審議会の報告書を参照し、-110.8dBm/MHz としている [7]。干渉レベルは、送信スプリアス電力合計値と同値の -40.0dBm/MHz であり、これにより許容干渉レベルを満足するための所要改善量は、70.8dB となる。

これらの干渉を抑えるためには、感度抑圧干渉では 700MHz 帯通信システムの送信帯域

表 3.3-1 (与干渉) 感度抑圧干渉レベルダイヤ

送信電力			アンテナ間 アイソレー ション	受信電力			干渉レベル		所要 改善量
送信出力	送信 給電損失	送信電力 合計		受信 給電損失	フィルタ 減衰量	受信電力 合計	干渉 レベル	許容干渉 レベル	
dBm	dB	dBm	dB	dB	dB	dB	dBm	dBm	dB
19.2	0	19.2	①	0	②	0	19.2	-56.0	75.2

表 3.3-2 (与干渉) スプリアス干渉レベルダイヤ

送信スプリアス電力					アンテナ間 アイソレー ション	受信スプリアス電力			干渉レベル		所要 改善量
送信出力		マスク 減衰量	フィルタ 減衰量	送信 給電損失		送信スプ リアス電力 合計	受信 給電損失	受信利得 合計	干渉 レベル	許容干渉 レベル	
dBm	dBm /MHz	dBr	dB	dB	dBm /MHz	dB	dB	dBm /MHz	dBm /MHz	dB	
19.2	10.0	50	②	0	-40	①	0	0	-40.0	-110.8	70.8

において、スプリアス干渉ではセルラーシステムの受信帯域において、①アンテナ間アイソレーションと、②フィルタによる回路内減衰量の合計値が上記の所要改善量より上回ることが必要となる。

### 3.3.1.3. 被干渉レベルダイヤ

被干渉レベルダイヤを干渉要因毎に整理し表 3.3-3, 表 3.3-4 に示す。セルラーシステムの送信出力はそれぞれ 3GPP 規格を参照している [8]。送信給電損失および受信給電損失は、設計によるところであるが、ここではレベルダイヤ上 最も厳しく見積もり 0dB とする。

感度抑圧干渉のレベルダイヤは表 3.3-3 である。許容干渉レベルは、ARIB 規格を参照し、-21.0dBm とする [6]。干渉レベルは、送信電力と同値の 23.0dBm であり、これにより許容干渉レベルを満足するための所要改善量は、44.0dB と算出される。

スプリアス干渉のレベルダイヤは表 3.3-4 である。セルラーシステム送信波のマスク減衰量は 36dBr としている。また、許容干渉レベルは、3GPP 規格を参照し、-103.4dBm/MHz としている [8]。干渉レベルは、送信スプリアス電力合計値と同値の-20.0dBm/MHz であり、これにより許容干渉レベルを満足するための所要改善量は、83.4dB となる。

これらの干渉を抑えるためには、感度抑圧干渉ではセルラーシステムの送信帯域において、スプリアス干渉では 700MHz 帯通信システムの受信帯域において、①アンテナ間アイソレーションと、②フィルタによる回路内減衰量の合計値がそれぞれ上記の所要改善量より上回ることが必要となる。

表 3.3-3 (被干渉) 感度抑圧干渉レベルダイヤ

送信電力			アンテナ間 アイソレー ション	受信電力			干渉レベル		所要 改善量
送信出力	送信 給電損失	送信電力 合計		受信 給電損失	フィルタ 減衰量	受信電力 合計	干渉 レベル	許容干渉 レベル	
dBm	dB	dBm	dB	dB	dB	dB	dBm	dBm	dB
23	0	23	①	0	②	0	23.0	-21.0	44.0

表 3.3-4 (被干渉) スプリアス干渉レベルダイヤ

送信スプリアス電力					アンテナ間 アイソレー ション	受信スプリアス電力		干渉レベル		所要 改善量	
送信出力		マスク 減衰量	フィルタ 減衰量	送信 給電損失		送信スプ リアス電力 合計	受信 給電損失	受信利得 合計	干渉 レベル		許容干渉 レベル
dBm /5MHz	dBm /MHz	dBr	dB	dB	dBm /MHz	dB	dB	dBm /MHz	dBm /MHz	dB	
23	16	36	②	0	-20.0	①	0	0	-20.0	-103.4	83.4

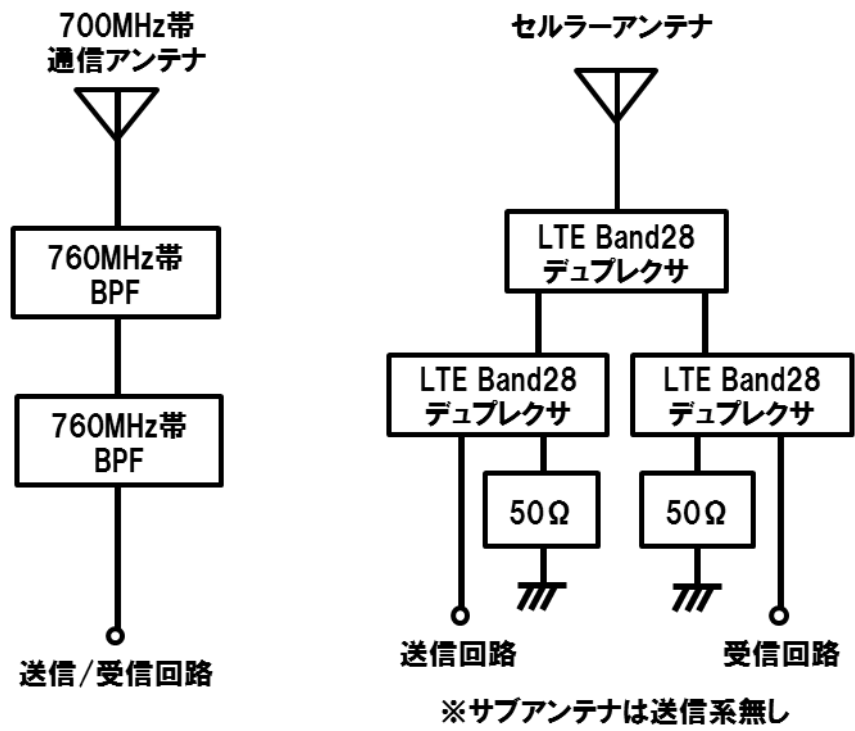
#### 3.3.1.4. アンテナ間アイソレーション設計目標値

レベルダイヤを元にアンテナ間アイソレーションの設計目標値を検討する。レベルダイヤの所要改善量に対して、フィルタによる回路内減衰量を引いた値がアンテナ間アイソレーションの目標値となる。フィルタは平成 27 年度の検討と同様に一般的に入手可能なものを選択し、送信系に 2 段、受信系に 2 段実装することとする。図 3.3-4 にブロック図を示す。700MHz 帯通信アンテナ側には 760MHz 帯の BPF(Band Pass Filter)を実装する。セルラーアンテナ側には LTE Band28 のデュプレクサの実装する。なお、セルラーアンテナ側は入手の容易さからデュプレクサを選定し、送受信回路に分岐した後の未使用端子を 50Ω で終端して利用したが、これは BPF で代用しても良い。

本構成における各周波数におけるアンテナ間アイソレーションの設計目標値を表 3.3-5 に示す。フィルタ減衰量は仕様書に記載の減衰量を用い、仕様書に記載がない周波数については隣接する最も近い周波数の値とする。700MHz 帯通信帯域においては被干渉/スプリアス干渉レベルダイヤが比較的厳しく、所要改善量改善量 83.4dB に対してデュプレクサによる減衰量を 60dB 見込み、23.4dB と算出される。セルラー送信帯域においては被干渉/感度抑圧干渉レベルダイヤの所要改善量 44.0dB に対して BPF の減衰量が 80dB 以上見込まれるため 0dB となる。セルラー受信帯域においては与干渉/感度抑圧干渉レベルダイヤの所要改善量 70.8dB に対してフィルタ減衰量を差し引くと、773MHz~775MHz で 20.8dB、775MHz~790MHz で 18.8dB、790MHz 以上で 0dB となる。

700MHz 帯通信帯域とセルラーシステム受信帯域で 20dB 前後の高いアイソレーションが求められる。





(a)700MHz 帯通信システム

(b)セルラーシステム

図 3.3-4 フィルタ構成ブロック図

表 3.3-5 アンテナ間アイソレーション設計目標値

		周波数[MHz]							
		セルラーシステム送信帯域			700MHz 帯通信帯域	セルラーシステム受信帯域			
		718-730	730-746	746-748	755-765	773-775	775-790	790-800	800-803
アイソレーション目標値[dB]		0	0	0	23.4	20.8	18.8	0	0
与干渉 送信) 700MHz 帯 通信システム 受信) セルラー システム	BPF 減衰量[dB]	-	-	-	-	50.0	52.0	100.0	116.0
	デュプレクサ減衰量[dB]	-	-	-	60.0	-	-	-	-
	減衰量合計[dB]	-	-	-	60.0	50.0	52.0	100.0	116.0
	所要改善量[dB]	-	-	-	75.2	70.8	70.8	70.8	70.8
	所要アイソレーション量[dB]	-	-	-	15.2	20.8	18.8	-29.2	-45.2
被干渉 送信) セルラー システム 受信) 700MHz 帯 通信システム	BPF 減衰量[dB]	120.0	82.0	80.0	-	-	-	-	-
	デュプレクサ減衰量[dB]	-	-	-	60.0	-	-	-	-
	減衰量合計[dB]	120.0	82.0	80.0	60.0	-	-	-	-
	所要改善量[dB]	44.0	44.0	44.0	83.4	-	-	-	-
	所要アイソレーション量[dB]	-76.0	-38.0	-36.0	23.4	-	-	-	-

### 3.3.2. 低相関化技術の開発

レベルダイヤにおける所要減衰量を満たすため、700MHz帯通信アンテナと700MHz帯セルラーアンテナの低相関化に適した技術を開発する。ここでは、開発する技術に汎用性を持たせるためにできるだけ簡素なシミュレーションモデルを用いて検討する。

図 3.3-5 にシミュレーションモデルの構成図を示す。基板のみの簡素な構成としている。基板サイズとアンテナ配置はスマートフォン模擬筐体と同一とし、セルラーメインアンテナ（以下、メインアンテナ）は基板下部に配置し、セルラーサブアンテナ（以下、サブアンテナ）と700MHz帯通信アンテナは基板上部に配置する。セルラーアンテナは700MHz帯（LTE Band28）のみの対応とする。各アンテナは基板パターンにて形成し、同じく基板パターンにて形成された地板を基準に不平衡給電する。給電点には図示しない整合回路を実装し、各アンテナの入力インピーダンスを無線回路のインピーダンスである $50\Omega$ に調整する。各部材の寸法および電気定数は図に示す通りである。

それぞれのアンテナの組み合わせにおいて、アイソレーションを向上する対策技術を考案し、特性を解析する。

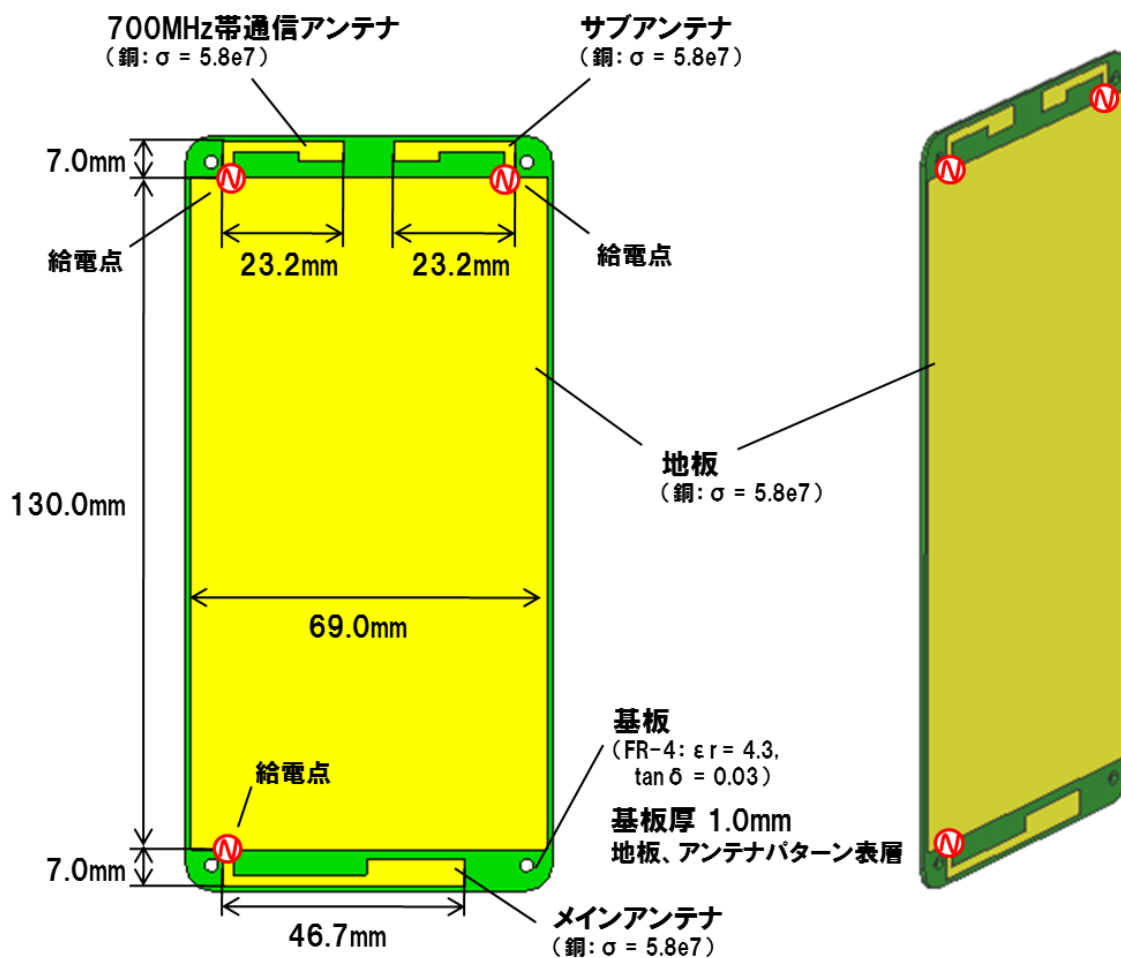


図 3.3-5 低相関技術開発 基本シミュレーションモデル

### 3.3.2.1. 狭帯域地線

3.3.1.4 章にて述べたように、最も高いアイソレーション量が要求されるのは 700MHz 帯通信システムの周波数帯域（以下、760MHz 帯）である。この帯域は、図 3.3-1 から分かるように、セルラーシステムの送受信帯域の間に割り当てられており、中心周波数は 760MHz、帯域幅は 10MHz と狭帯域である。一方、セルラーシステムの帯域幅は広く、特にメインアンテナは 1 つのアンテナ素子で送受信帯域に対応するため、必然的に 760MHz においてもアンテナ効率が高くなる。そこで、760MHz で共振する狭帯域な地線を実装することにより、セルラーアンテナの電流分布を変化させ、アイソレーションの改善を図る。

図 3.3-6 に提案手法によるアンテナ構成を示す。狭帯域地線は地板面から一定の距離を隔てて配置し、一方の端部を接地する。ここで、700MHz 帯通信アンテナと疎結合となり、メインアンテナと強結合するように、接地点をメインアンテナの給電点寄りに配置し、開放部をメインアンテナに近づけるようにする。さらには、狭帯域なインピーダンス特性となるように、アンテナ電流が低い基板中央部を経由する長さ 0.25 波長程度の L 字形状とし、地板との鏡像効果によって共振させる。

次に、狭帯域地線有無によるアンテナ特性の変化を解析する。アイソレーション特性を図 3.3-7 に示す。狭帯域地線付加により 700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナ間のアイソレーション (S12) が 760MHz 帯で 6dB~21dB 改善する。図 3.3-8 は、アンテナ効率の変化を示すグラフである。メインアンテナはセルラー送信帯域において低下し、セルラー受信帯域において向上する傾向にある。700MHz 帯通信アンテナやサブアンテナはセルラー受信帯域において劣化傾向にあるが、760MHz 帯においては約 1dB 程度改善する。これは、760MHz 帯の電磁結合が低減したことによるものと考えられる。図 3.3-9 に 760MHz においてメインアンテナを励振した場合の電流分布の違いを示す。狭帯域地線を付加した構成では、狭帯域地線と、それに面する地板面に電流が多く分布しており、鏡像効果により共振していることが分かる。また、700MHz 帯通信アンテナやサブアンテナ上の電流が低下していることから、各アンテナの低結合化が実現できていることが分かる。

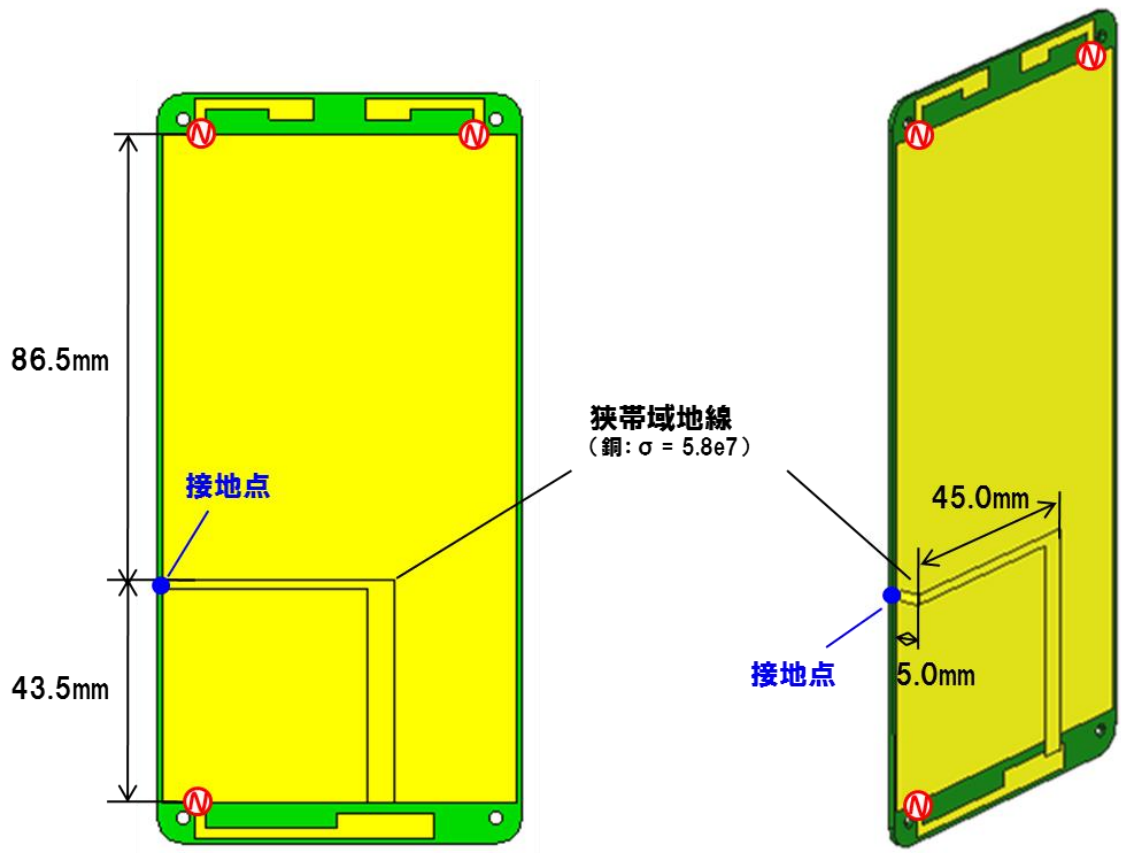
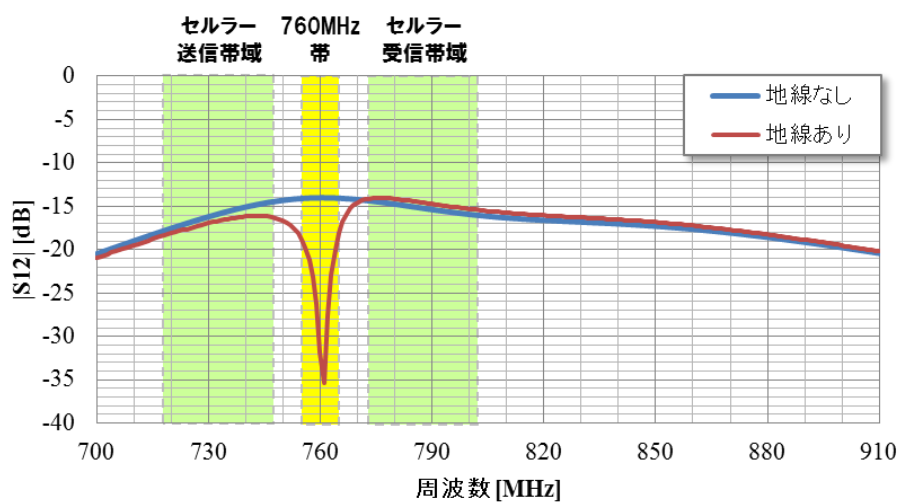
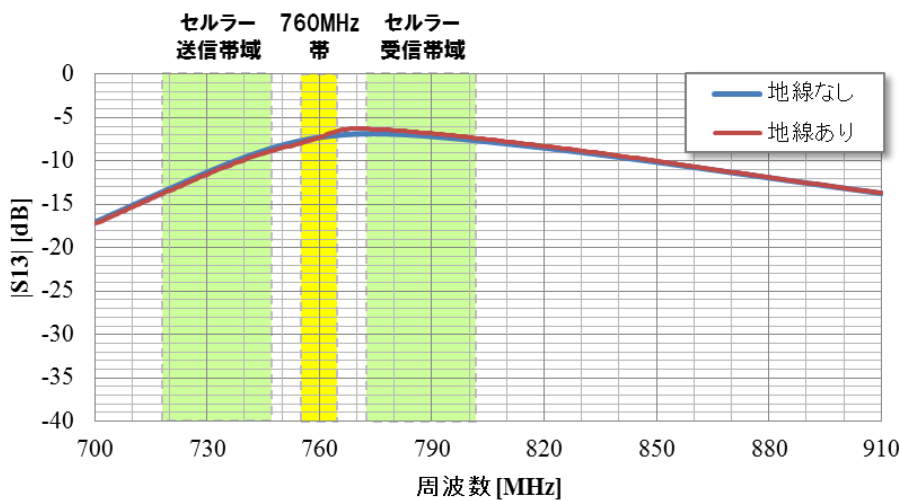


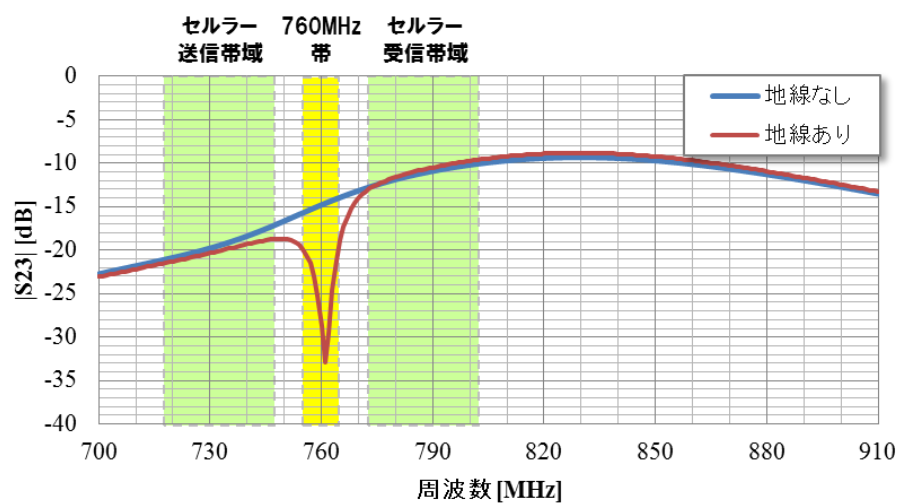
图 3.3-6 狭带域地线构成图



(a)700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナ間のアイソレーション (S12)

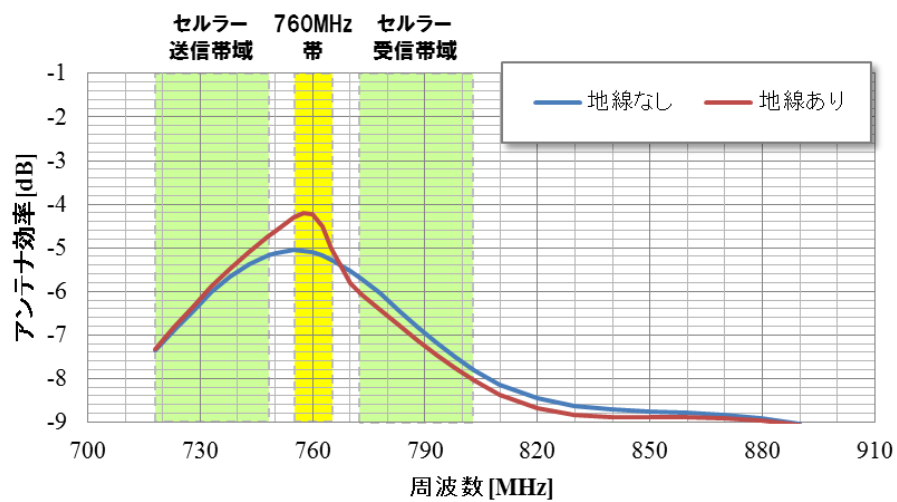


(b)700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S13)

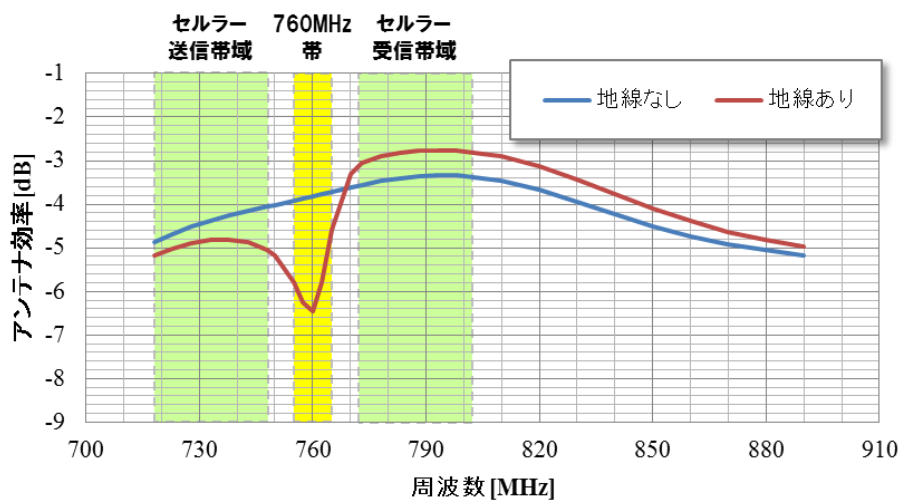


(c)メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S23)

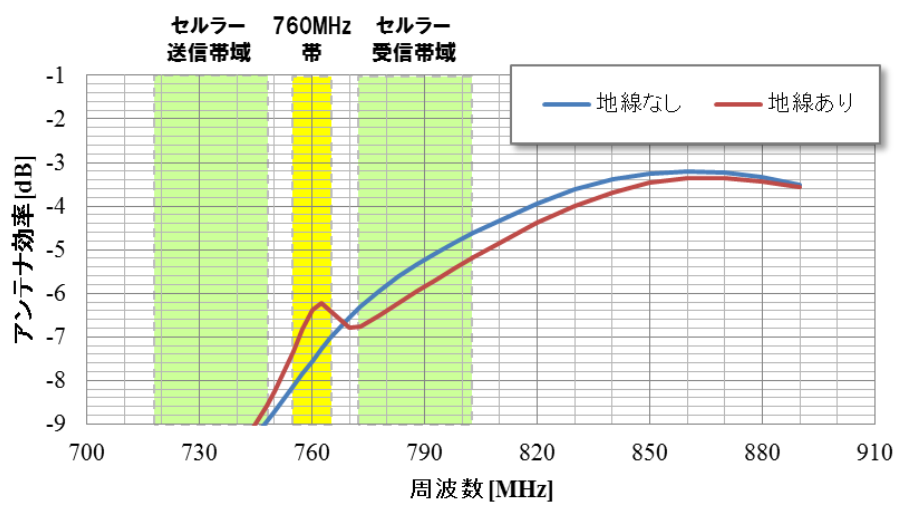
図 3.3-7 アイソレーション特性



(a)700MHz 帯通信アンテナ

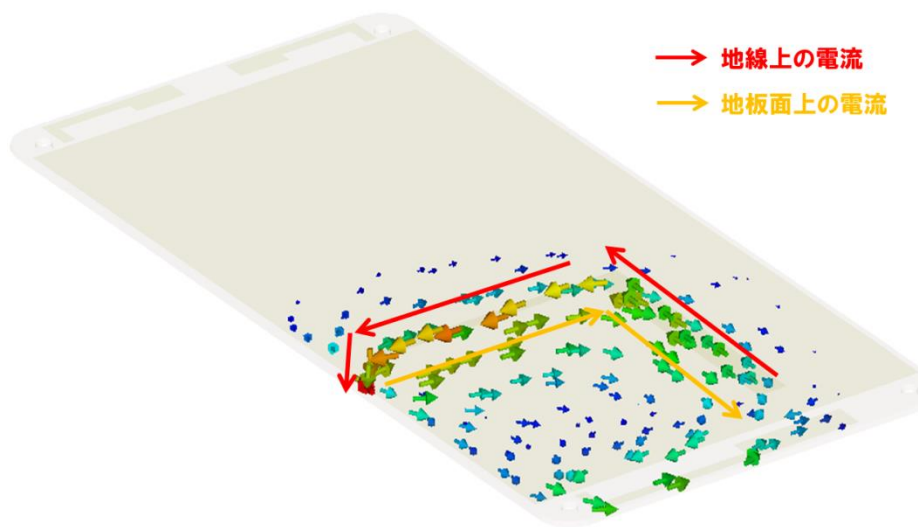
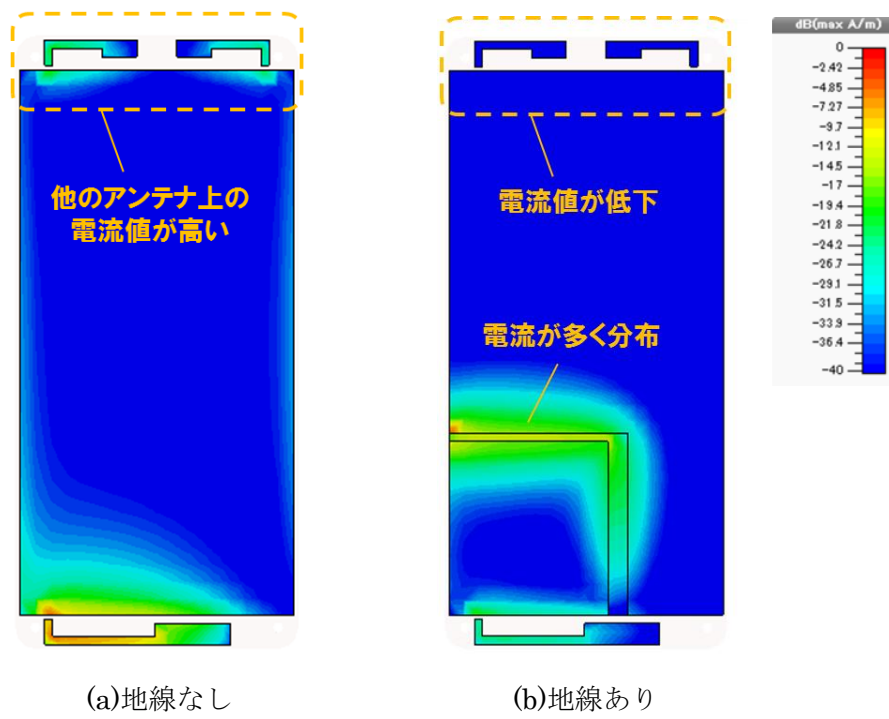


(b)メインアンテナ



(c)サブアンテナ

図 3.3-8 アンテナ効率



(c)地線あり 電流ベクトル

図 3.3-9 狭帯域地線による電流分布の変化 (メインアンテナ 760MHz)



### 3.3.2.2. 対向地線

狭帯域地線では 760MHz 帯のアイソレーションを周波数選択的に向上することができるが、セルラー受信帯域においても一定の減衰量が求められている。そこで、セルラー受信帯域のアイソレーションを広帯域に改善する技術を検討する。

図 3.3-10 にアンテナ構成図を示す。メインアンテナの解放端と対向する形で地線を配置し、一方の端部を接地する。以後、対向地線と呼称する。接地点は狭帯域地線と同様にメインアンテナの給電点寄りである。広帯域なインピーダンス特性とするために、地板辺にアンテナ電流が流れるよう、地線の一部を板金で形成し地板辺に沿って配置している。

対向地線の有無によるアンテナ特性の変化を解析する。アイソレーション特性を図 3.3-11 に示す。700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナ間のアイソレーション (S12) がセルラー受信帯域において 2.5~15dB 程度改善する。また、メインアンテナとサブアンテナのアイソレーション (S23) も同様に改善している。狭帯域地線よりも改善量は小さいが、狙い通り広い周波数帯域において効果が得られている。図 3.3-12 は、アンテナ効率の変化を示すグラフである。700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナはそれぞれの運用周波数において 1dB 程度改善するが、メインアンテナはセルラー受信帯域において最大 2dB 劣化している。図 3.3-13 に 760MHz においてメインアンテナを励振した場合の電流分布の違いを示す。対向地線を付加した構成では、地線と地線近傍の地板辺に電流が多く分布しており、700MHz 帯通信アンテナ上の電流が弱まっていることが分かる。

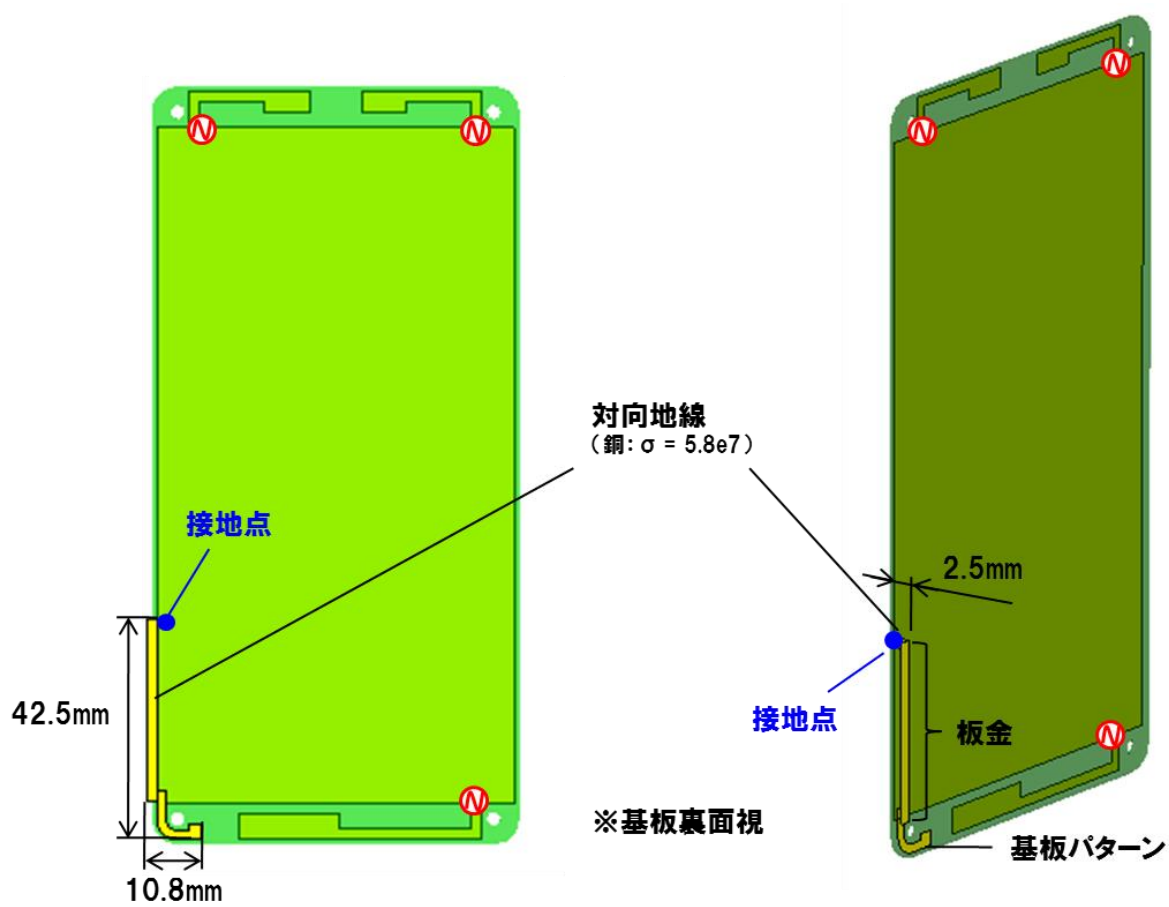
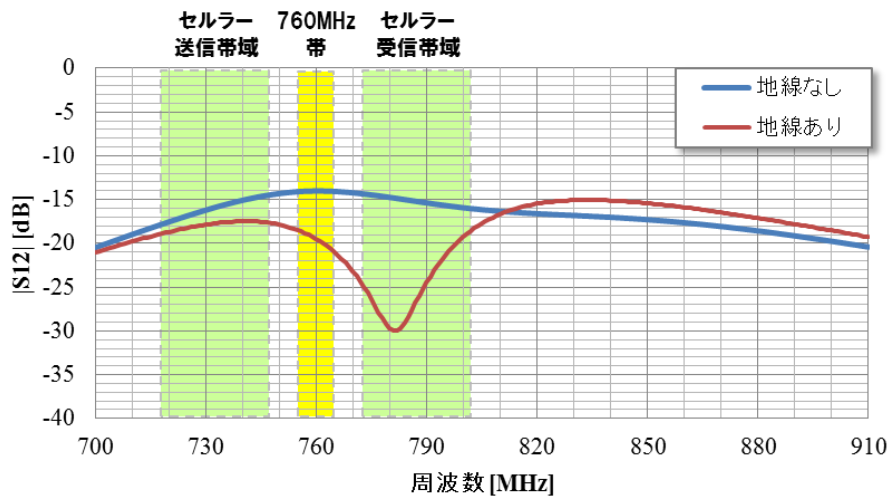
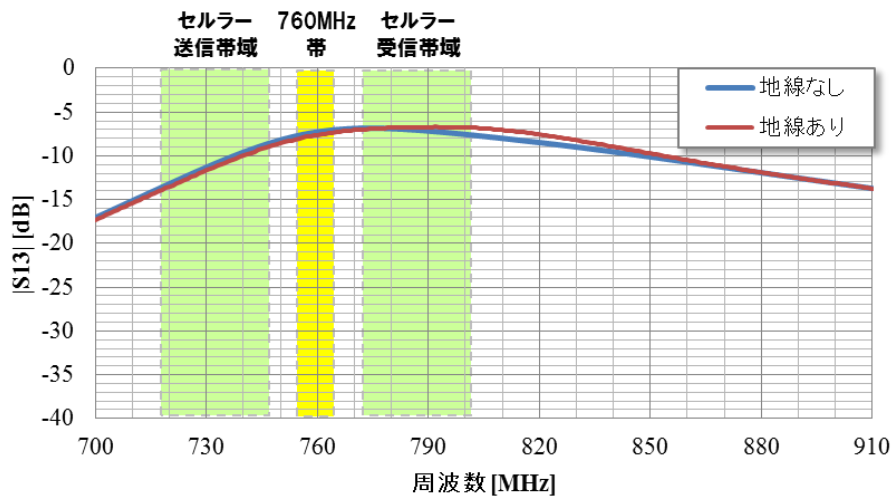


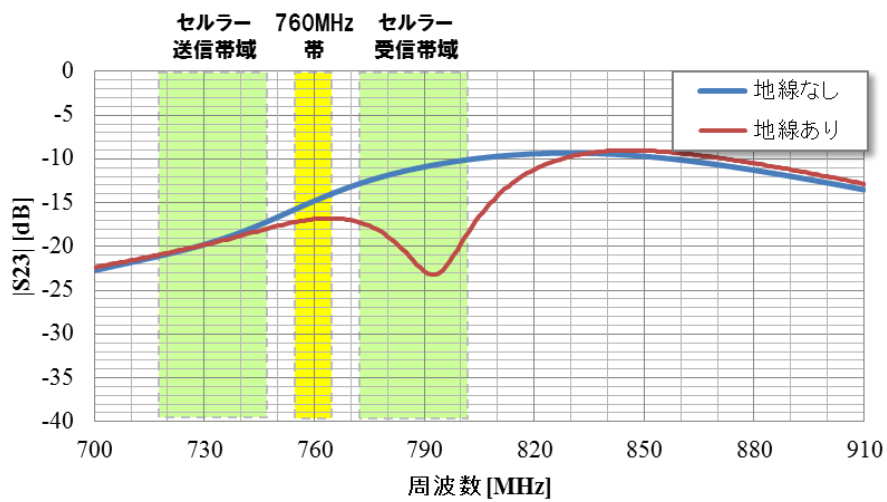
図 3.3-10 对向地線構成図



(a)700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナ間のアイソレーション (S12)

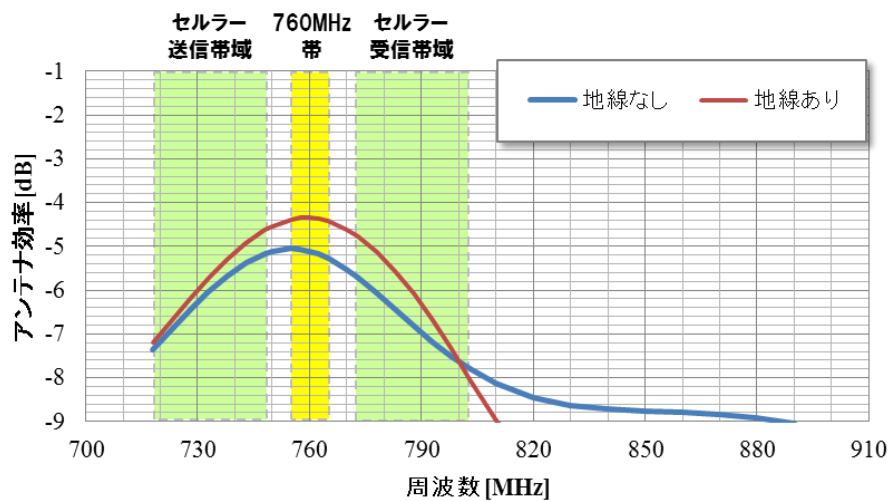


(b)700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S13)

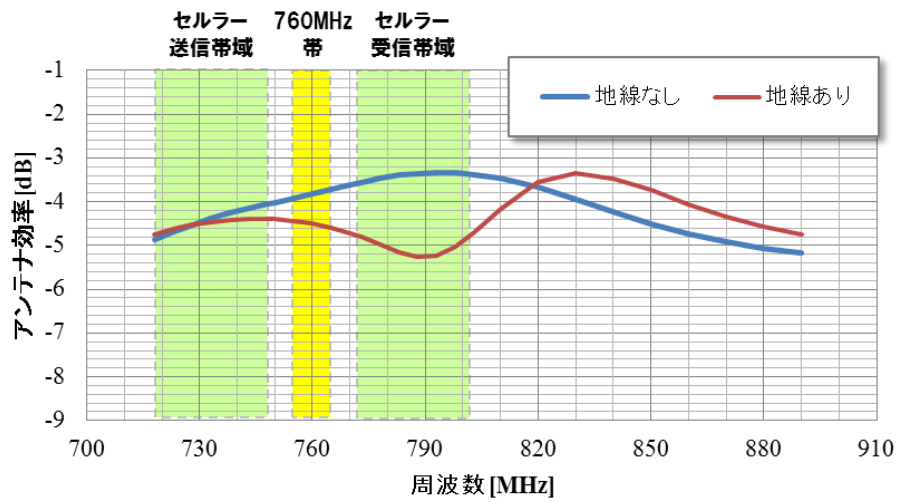


(c)メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S23)

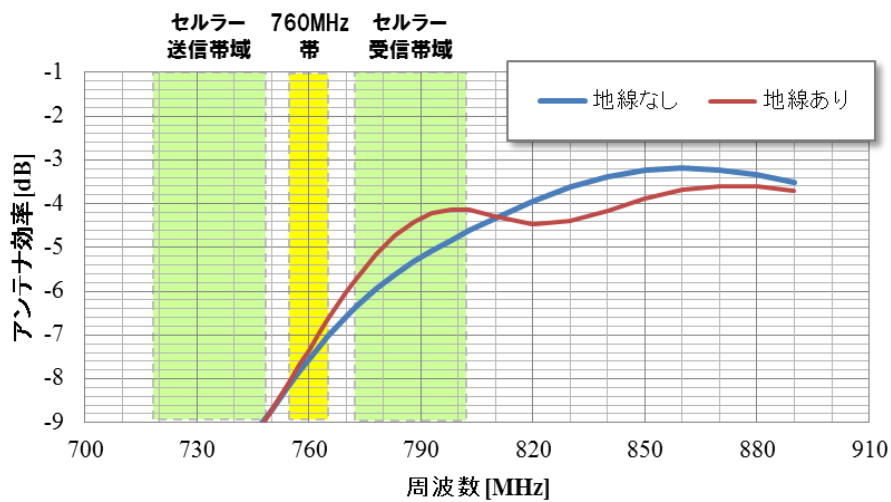
図 3.3-11 アイソレーション特性



(a)700MHz 帯通信アンテナ

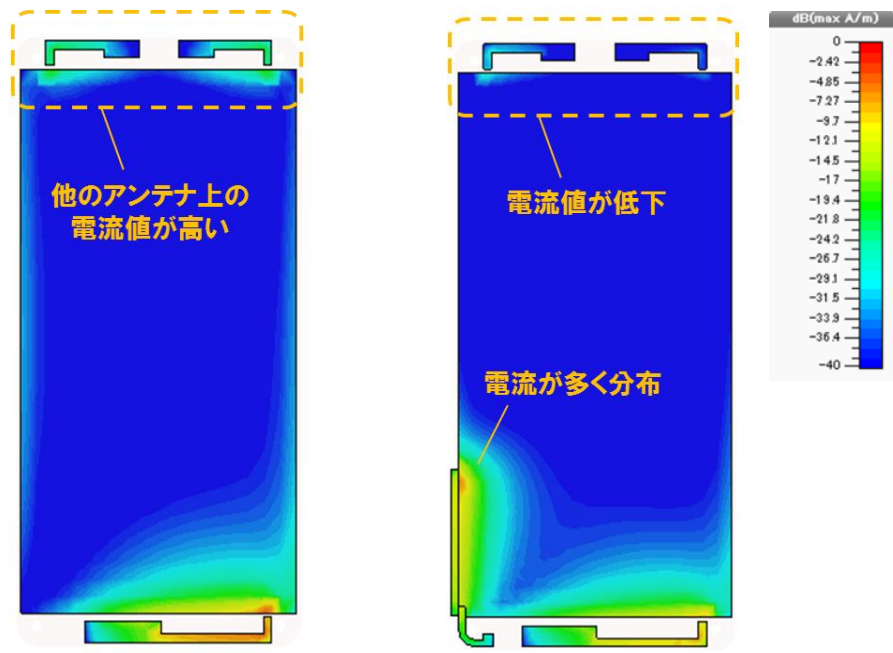


(b)メインアンテナ



(c)サブアンテナ

図 3.3-12 アンテナ効率



(a)地線なし

(b)地線あり

図 3.3-13 対向地線による電流分布の変化 (メインアンテナ 773MHz)

### 3.3.2.3. ダミーアンテナ

700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナの低相関化を実現する技術を検討する。これまでの解析結果からも分かるように、両アンテナは近接しているため、より電磁結合が強くアイソレーションが高い傾向にある。狭帯域地線、対向地線よりも更に効果的な対策が求められる。そこで、両アンテナと強結合するダミーのアンテナによって低相関化する方法を考案した。

図 3.3-14 に提案手法におけるアンテナ構成図を、図 3.3-15 に動作イメージを示す。回路と接続しないダミーのノッチアンテナを、700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナとに強く電磁結合するように、両アンテナの間に配置する。ここに抵抗とコンデンサを装荷し、ダミーアンテナのインピーダンスを変化させることで、両アンテナの相互インピーダンスを間接的に調整し、アイソレーションを向上させる。

なお、アンテナ長はノッチアンテナとしては 0.25 波長（自由空間で 98mm 程度）とするのが理想的だが、0.25 波長未満に短縮した場合でも図中のコンデンサの定数を適切に設定すれば十分な効果が得られる。本稿ではスマートフォンへの搭載を容易にするために 30mm 程度まで短縮している。また、抵抗とコンデンサの実装位置は本検討では基板辺としているが、ノッチアンテナの短絡側にオフセットして実装しても同様の効果が得られる。その際は、ノッチアンテナの入力インピーダンスが変化するので、抵抗とコンデンサの最適値が変化する。

次に、ダミーアンテナの有無によるアンテナ特性の変化を解析する。アイソレーション特性を図 3.3-16 に示す。700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S13) が、760MHz 帯からセルラー受信帯域にかけて 9~28dB と大幅に改善している。これまでの地線を用いた方法よりも広帯域かつアイソレーション改善量が大きい。図 3.3-17 は、アンテナ効率の変化を示すグラフである。700MHz 帯通信アンテナはわずかに改善している。メインアンテナとサブアンテナは劣化傾向にある。図 3.3-18 に 760MHz にて 700MHz 帯通信アンテナを励振した場合の電流分布の違いを示す。ダミーアンテナを付加した構成では、サブアンテナ上にほとんど電流が分布しておらず、低結合化を実現していることが分かる。また、図 3.3-18(c)はダミーアンテナに抵抗とコンデンサを実装しない場合、すなわち地板にスリットのみを付加した場合の電流分布である。サブアンテナ上に多くの電流が分布しており電磁結合を抑えられていないことが分かる。この結果から、スリットを単に追加するのではなく、ダミーアンテナとして設計する本手法の有効性が確認できる。

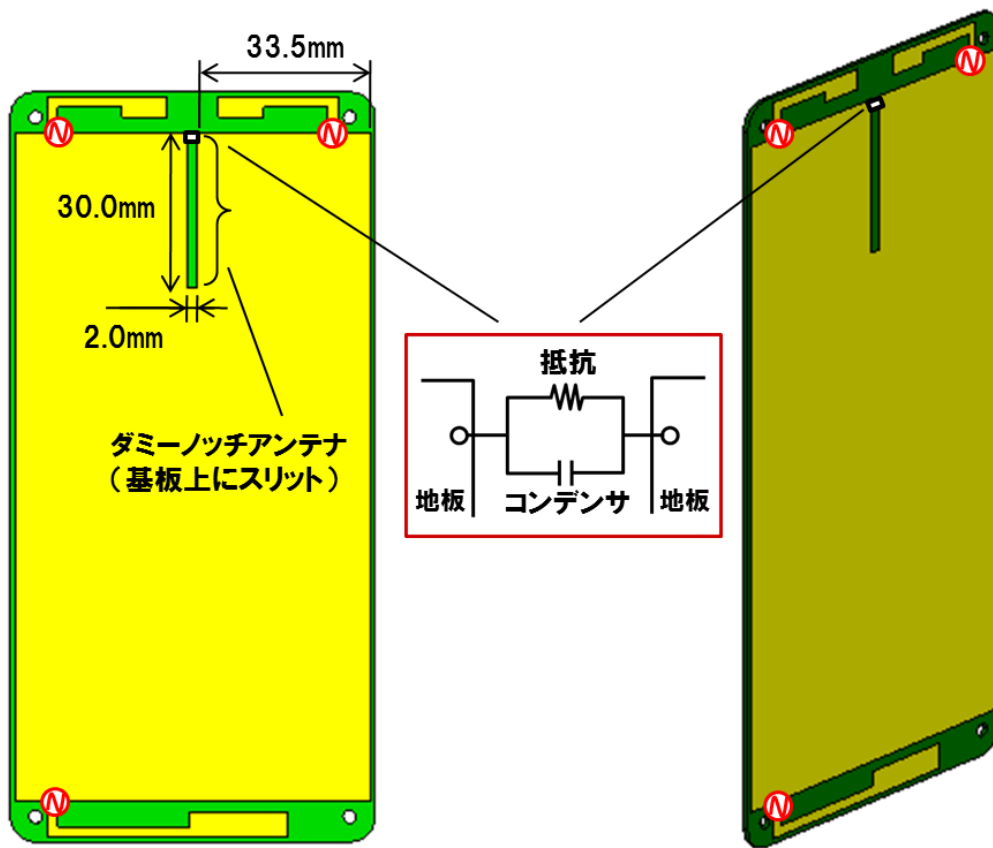


図 3.3-14 ダミーアンテナ構成図

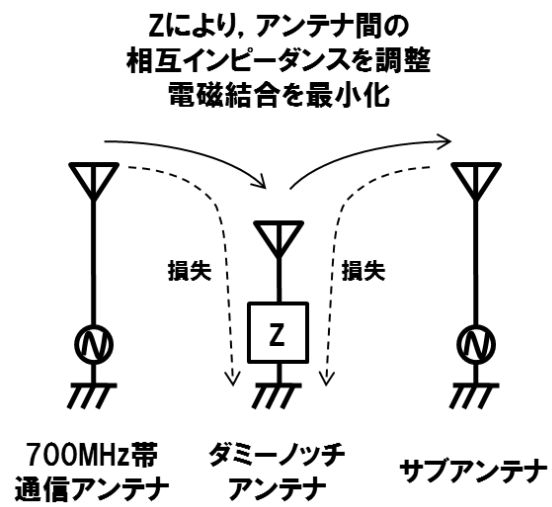
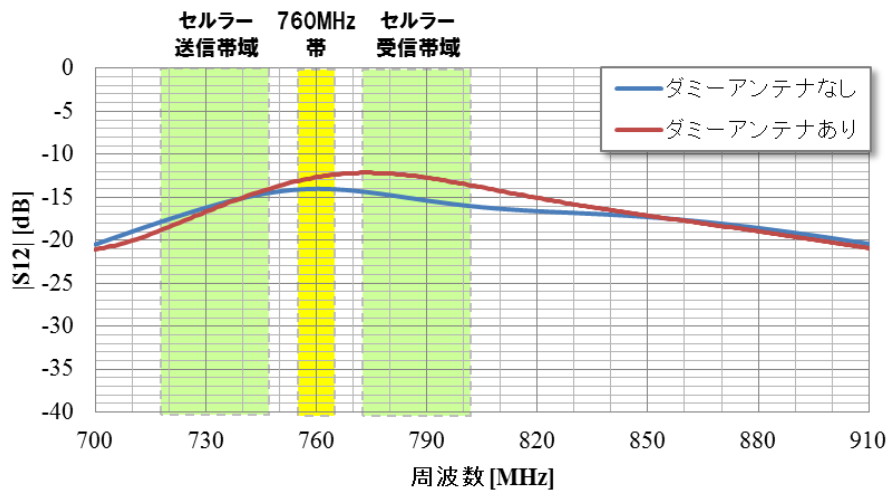
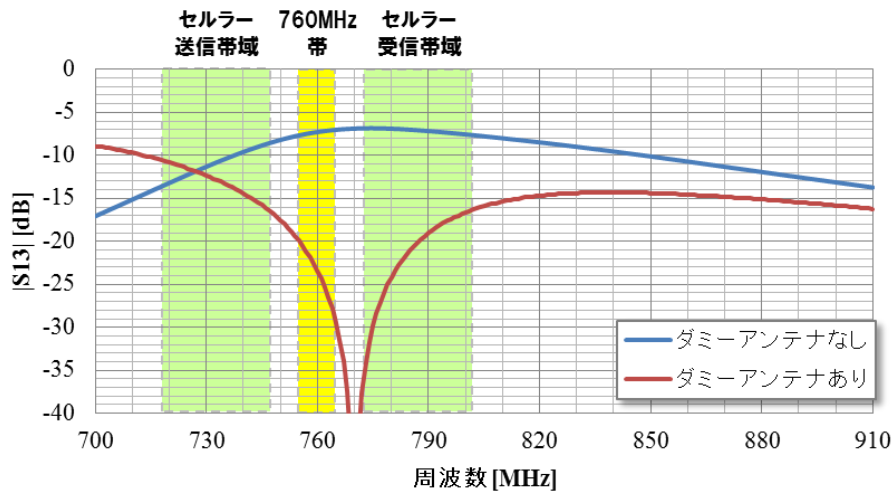


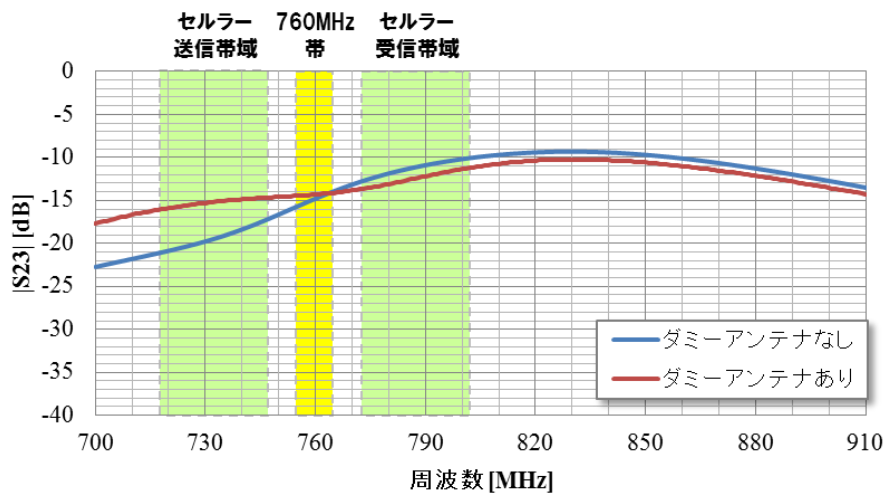
図 3.3-15 ダミーアンテナ動作イメージ



(a)700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナ間のアイソレーション (S12)



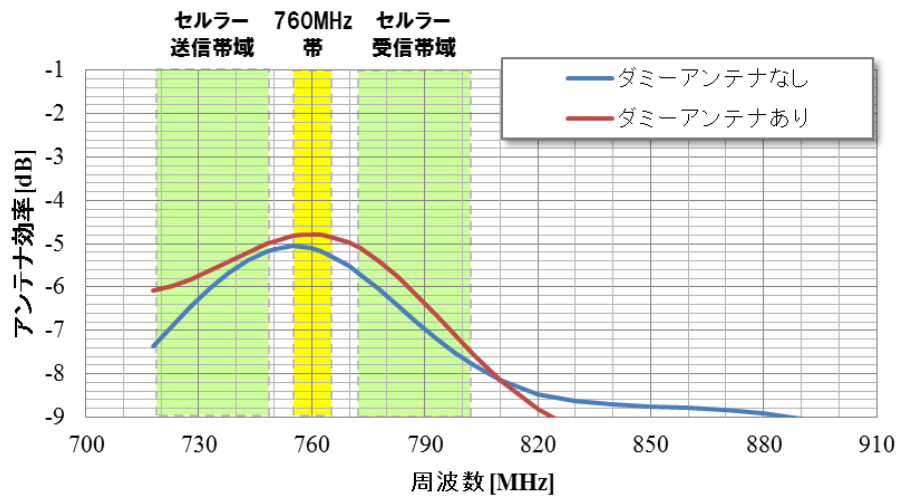
(b)700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S13)



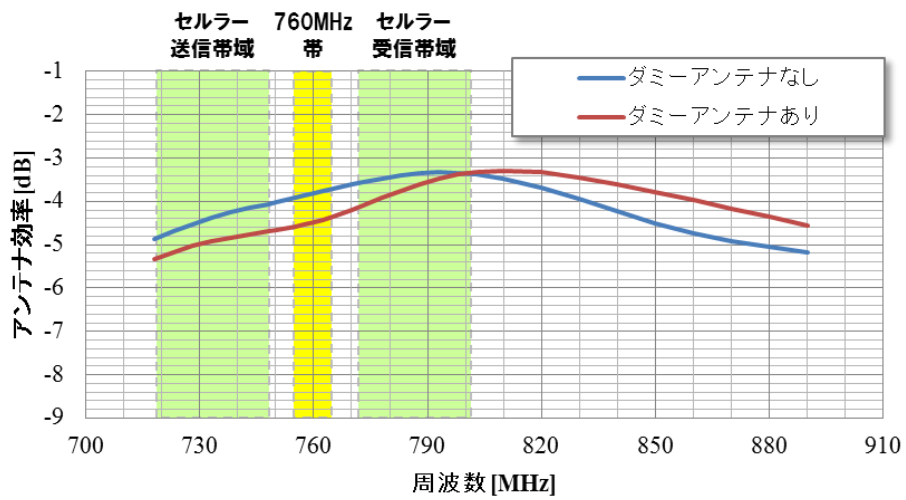
(c)メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S23)

図 3.3-16 アイソレーション特性

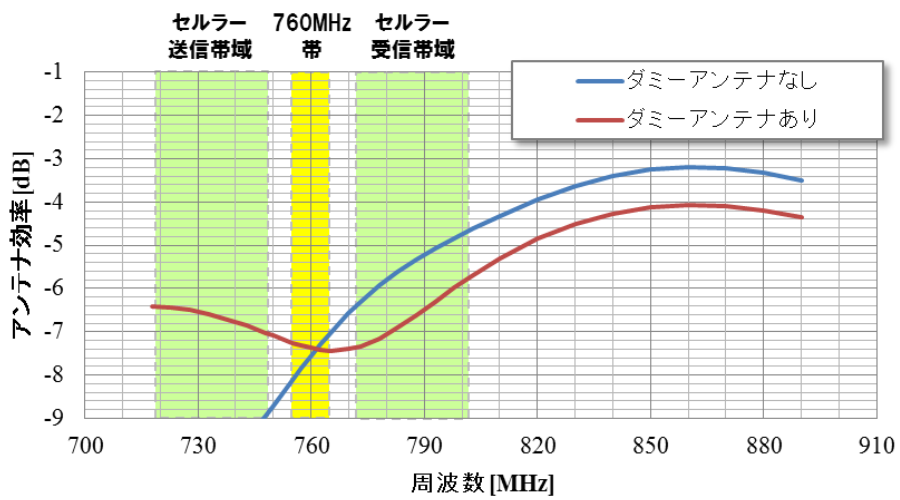




(a)700MHz 帯通信アンテナ



(b)メインアンテナ



(c)サブアンテナ

図 3.3-17 アンテナ効率

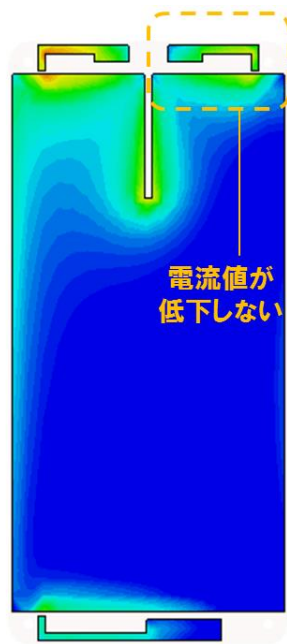
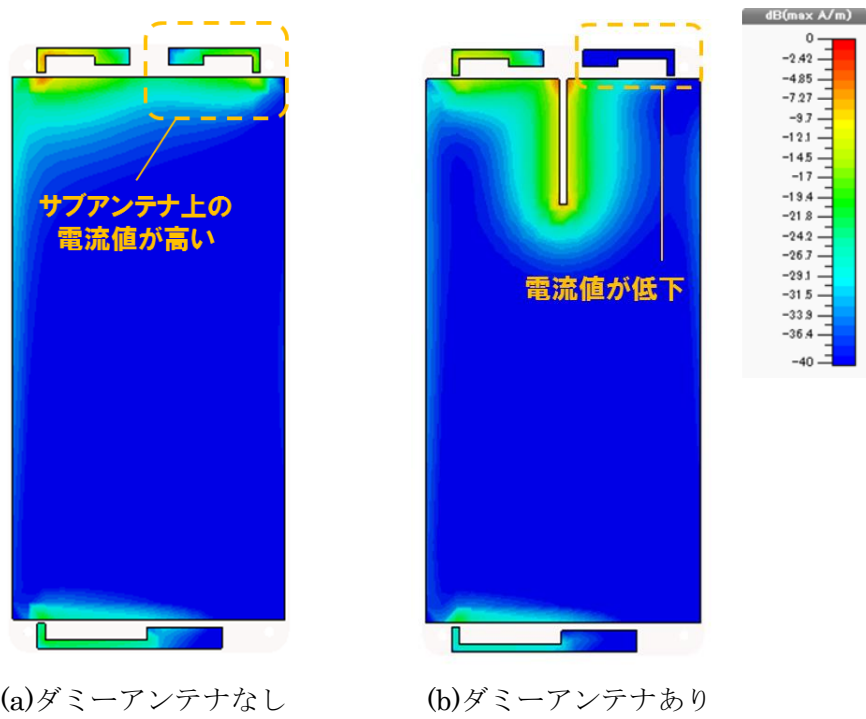


図 3.3-18 ダミーアンテナによる電流分布の変化 (700MHz 帯通信アンテナ 773MHz)

### 3.4. スマートフォン筐体における低相関化技術の効果検証

3.4 章では、スマートフォン筐体上に 700MHz 帯通信アンテナ、メインアンテナ、サブアンテナの 3 アンテナを搭載し、アイソレーションがより良好なアンテナ配置を検討する。さらに、3.3 章において提案した 3 つの低相関化技術を実装し、フィルタを含めた減衰量を検証し、3.1 章にて提示したレベルダイヤと比較する。

#### 3.4.1. 3 アンテナ搭載時のアンテナ特性解析

スマートフォン筐体上に 3 アンテナを搭載し、配置を比較評価する。図 3.4-1 にアンテナ構成図を示す。筐体下部にメインアンテナを実装する。筐体下部のメインアンテナを図中左右に入れ替えて、各アンテナの相対的な位置を変化してアンテナ特性を比較評価する。

図 3.4-2～図 3.4-4 に各アンテナ間のアイソレーション特性を、図 3.4-5 にアンテナ効率を示す。アイソレーション特性は、結果的には僅かな差だが、全てのアンテナの組み合わせにおいて(a)順配置の方が良い傾向を示している。この理由として、メインアンテナとサブアンテナとは、互いに地板を活用するモノポールアンテナであるため、両アンテナの給電点を上下線対称となるように配置した方が放射パターンに差異が生まれ低相関化しやすく、板状逆 F アンテナを採用している 700MHz 通信アンテナは、地板辺に流れる電流が比較的小さいため、メインアンテナとのアイソレーションは、アンテナ間の距離を離れた方が良化するものと考えられる。設計目標値に対しては 760MHz～790MHz において大きく下回っているため、3.4.2 章にて低相関化技術を適用し改善を図る。アンテナ効率はほとんど同等であり、設計目標値も十分に満足している。なお、700MHz 帯通信アンテナの設計目標値は平成 27 年度使用端末の性能としている。

以上の結果より、アンテナ配置は(a)順配置とする。

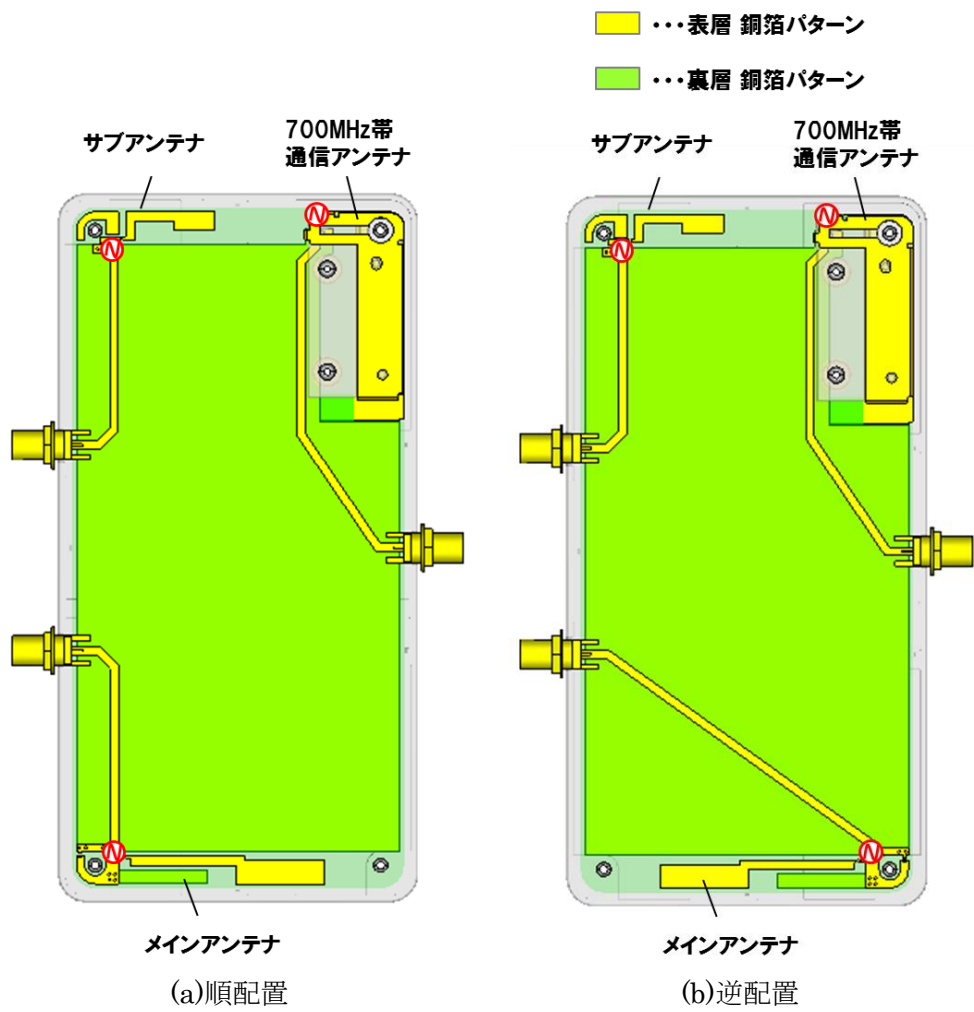
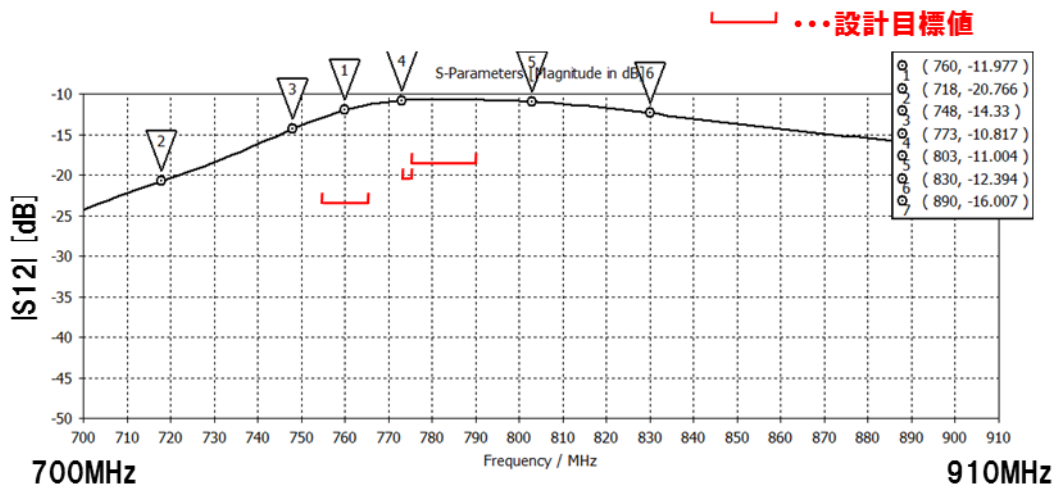
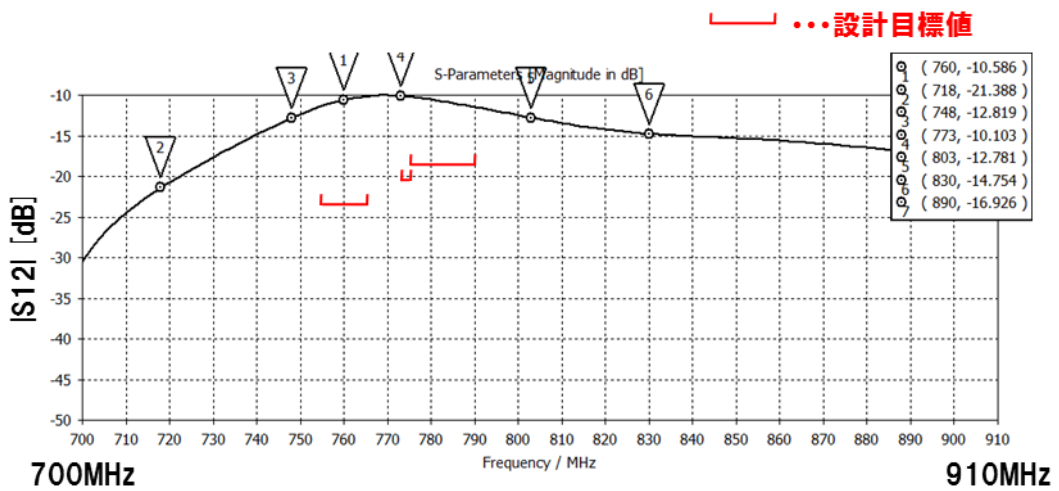


図 3.4-1 アンテナ構成図

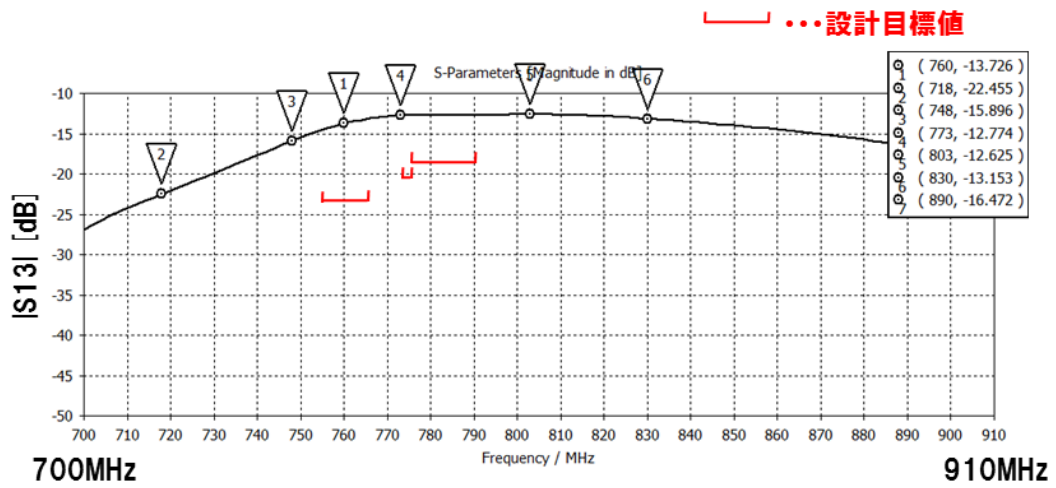
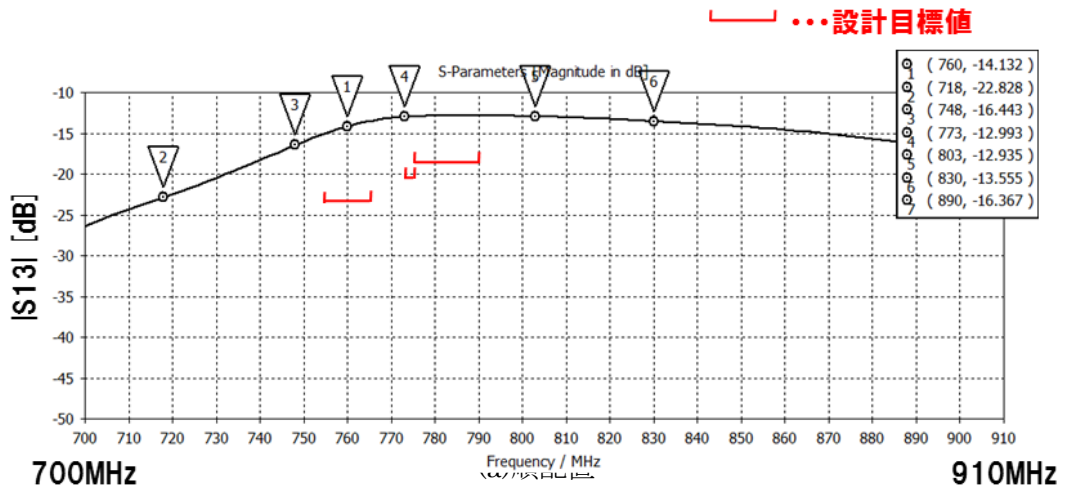


(a) 順配置



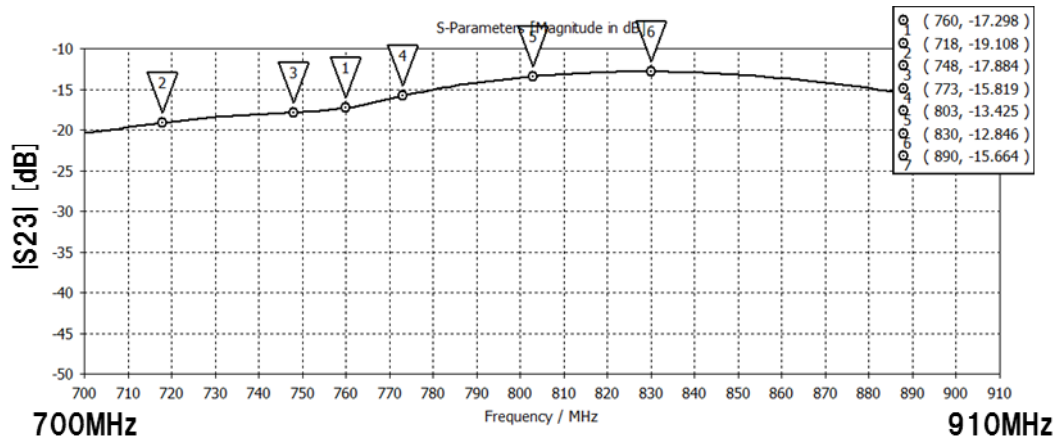
(b) 逆配置

図 3.4-2 700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナ間アイソレーション (S12)

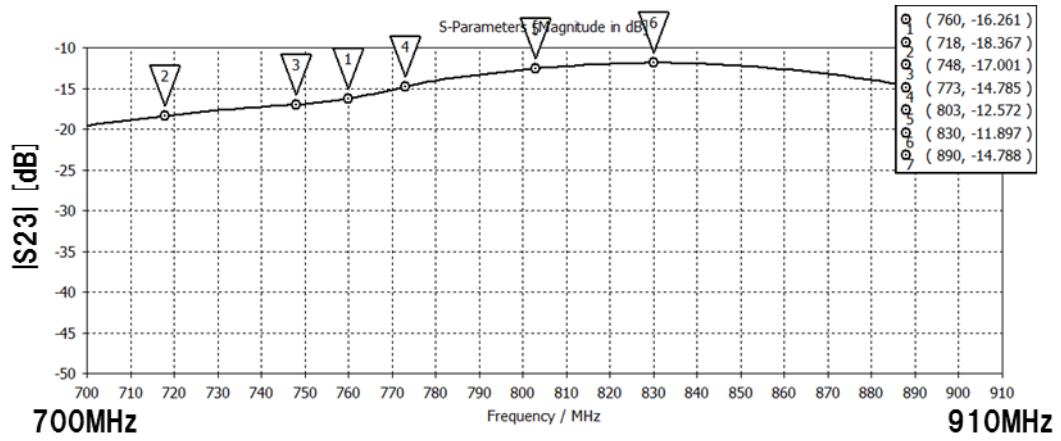


(b)逆配置

図 3.4-3 700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間アイソレーション (S13)



(a) 順配置



(b) 逆配置

図 3.4-4 メインアンテナとサブアンテナ間アイソレーション (S23)

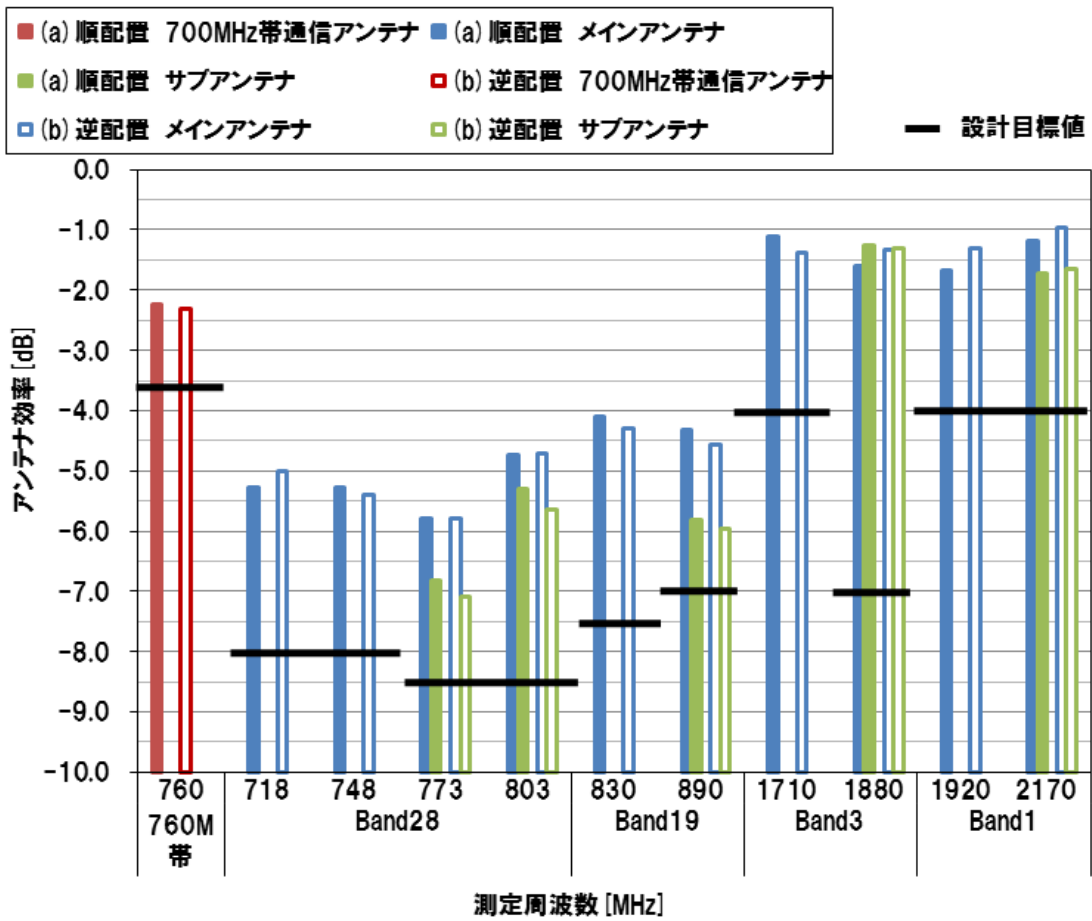


図 3.4-5 アンテナ効率解析結果

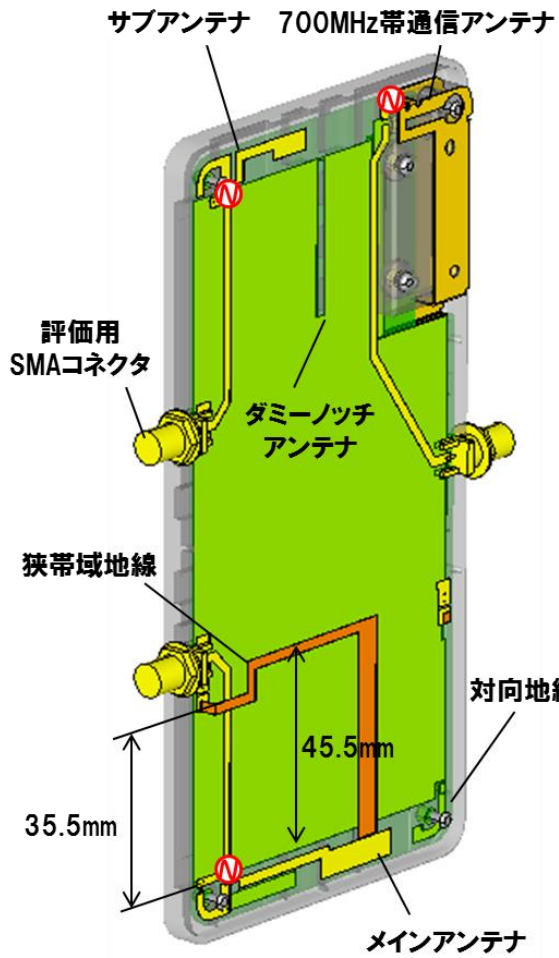


### 3.4.2. 3つの低相関化技術の適用

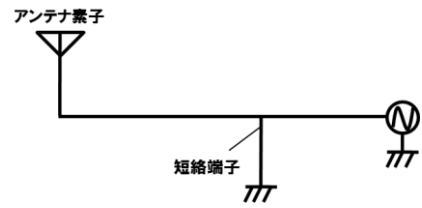
スマートフォン模擬筐体に、開発した3つの低相関化技術を適用し、アンテナ特性を評価する。

図 3.4-6 にアンテナ構成図と各アンテナの整合回路図を示す。アンテナの配置、寸法は 3.4.1 章の検討結果に準じている。3つの低相関化技術の構成も 3.3.2 章から基本的に変えていないが、狭帯域地線のみ、評価用 SMA コネクタに干渉したため少し配置を見直している。低相関化技術の適用によりアンテナのインピーダンスは変化するので、整合回路定数は再調整している。

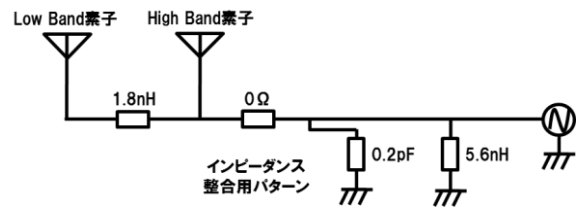
図 3.4-7～図 3.4-9 に各アンテナのインピーダンス/VSWR を示す。700MHz 帯通信アンテナは 760MHz 帯において VSWR=1.2 程度でありインピーダンス整合が取れている。メインアンテナ、サブアンテナは運用周波数の中で VSWR のバランスが取れるよう調整している。各アンテナ間のアイソレーション特性を図 3.4-10～図 3.4.11 に示す。700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナとのアイソレーションは、760MHz 帯において狭帯域地線によって、セルラー受信帯においては対向地線の共振によってアイソレーションが改善している。700MHz 帯通信アンテナとセルラーサブアンテナとのアイソレーションは、ほぼダミーアンテナによる効果のみで設計目標値を達成している。参考情報となるが、メインアンテナとサブアンテナとのセルラーアンテナ間のアイソレーションに対しても狭帯域地線と対向地線が効果を発揮している。これらの結果から、低相関技術の搭載によりアイソレーションが大幅に改善し、設計目標値を満足していることが分かる。なお、図 3.4-12 はアンテナ効率を示したグラフである。全ての周波数で設計目標値を満足している。



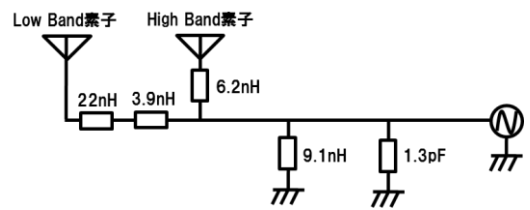
(a)アンテナ構成図



(b)700MHz 帯通信アンテナ整合回路



(c)メインアンテナ整合回路図



(d)サブアンテナ整合回路

図 3.4-6 スマートフォン模擬筐体 最終アンテナ構成図

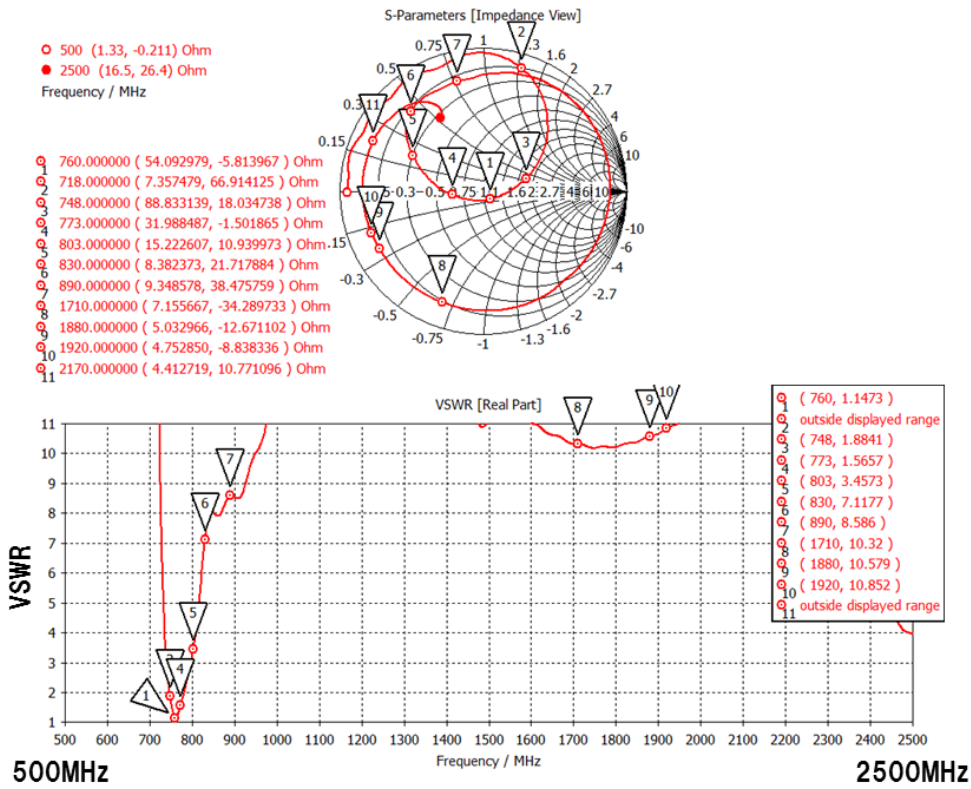


図 3.4-7 700MHz 帯通信アンテナ インピーダンス/VSWR

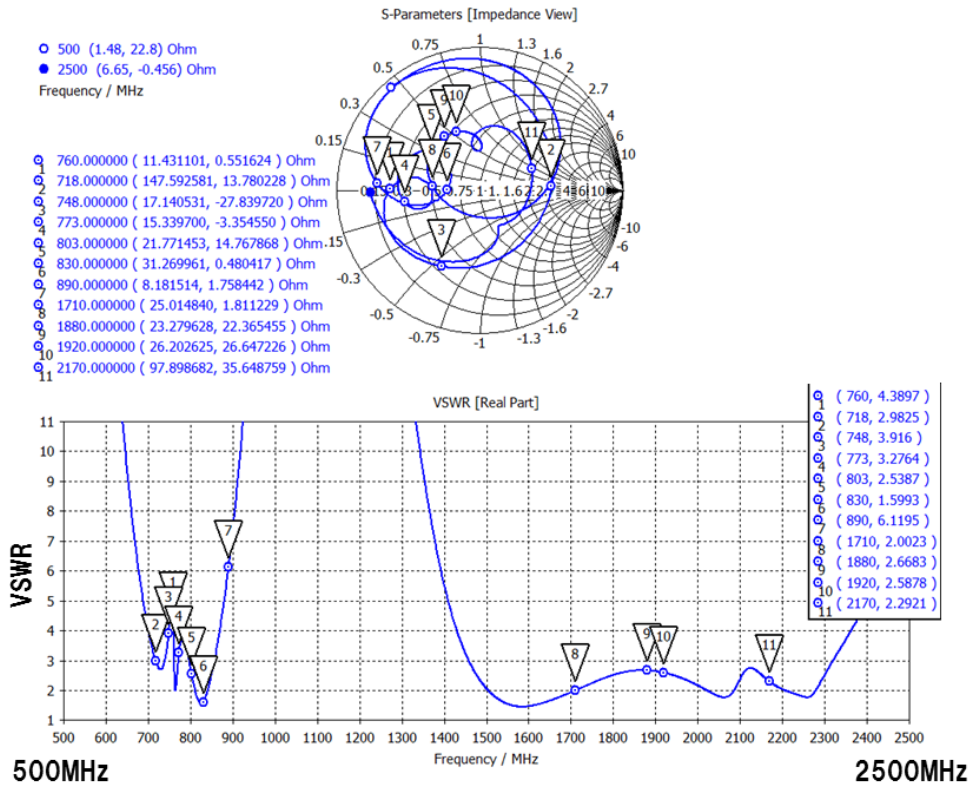


図 3.4-8 メインアンテナ インピーダンス/VSWR

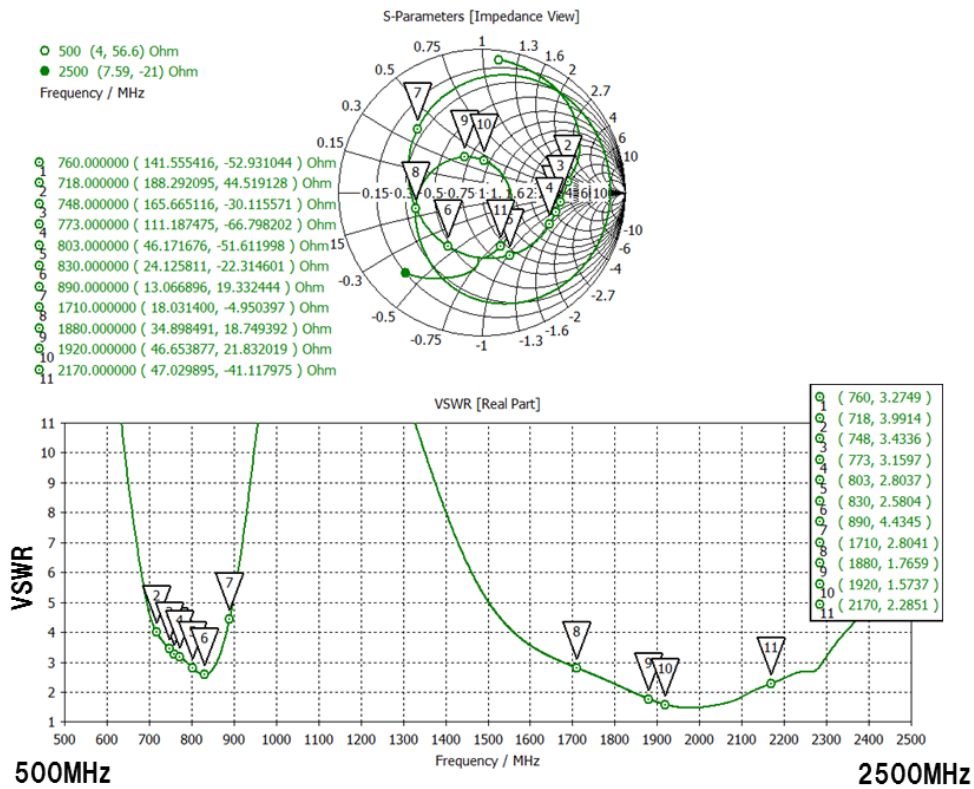


図 3.4-9 サブアンテナ インピーダンス/VSWR

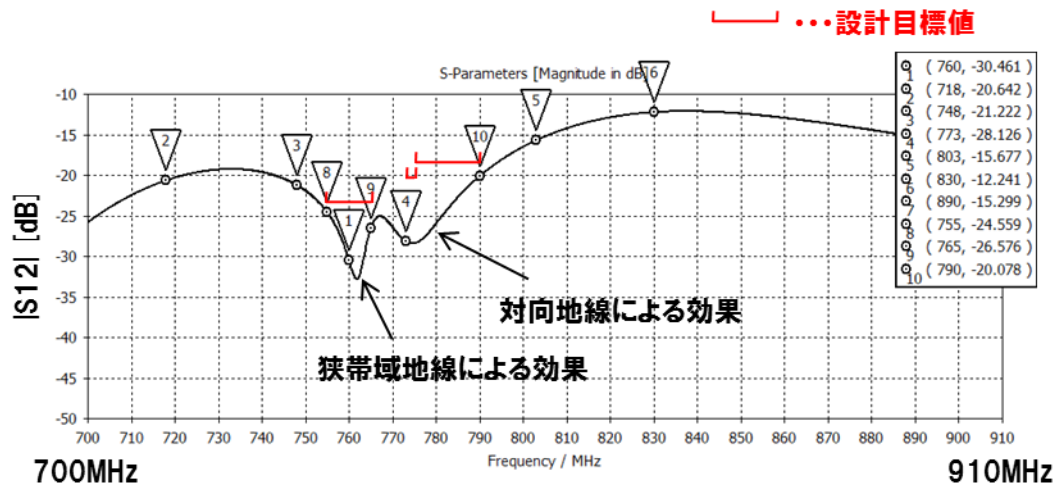


図 3.4-10 700MHz 通信アンテナとメインアンテナ間のアイソレーション (S12)

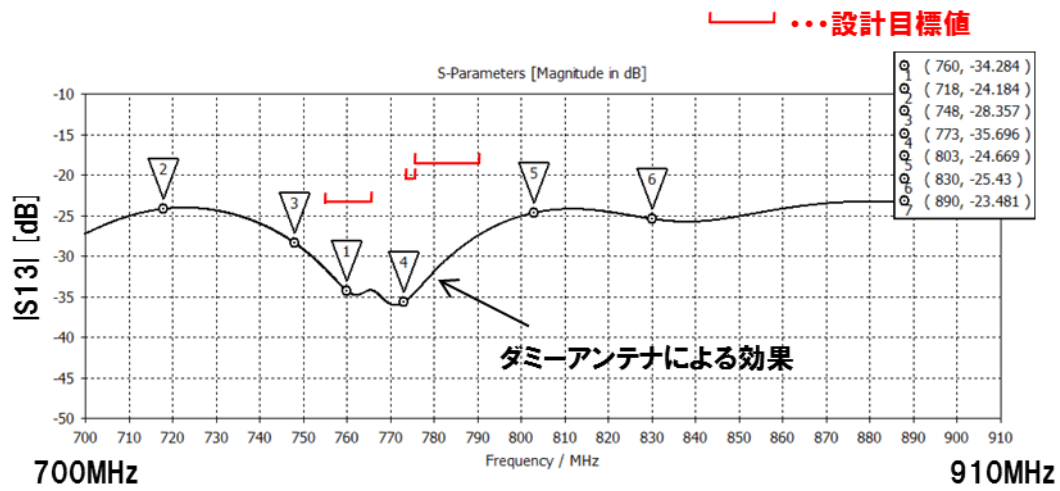


図 3.4-11 700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S13)

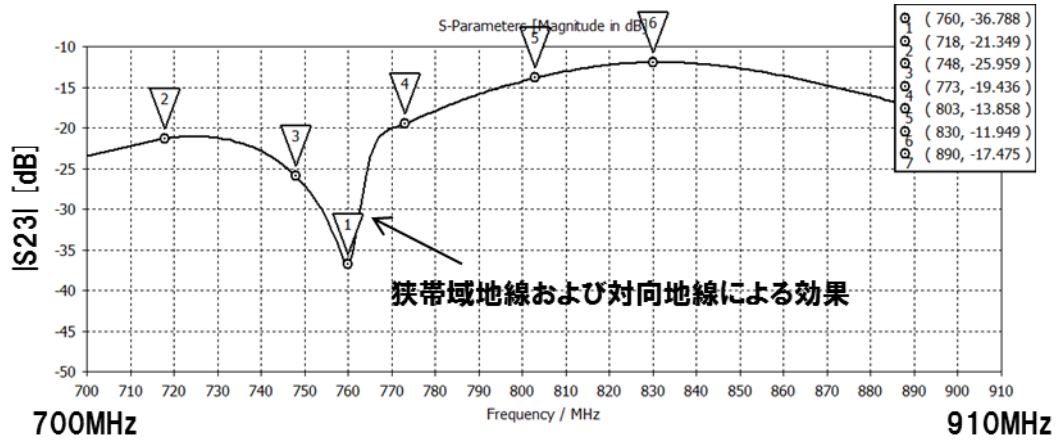


図 3.4-12 メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S23)

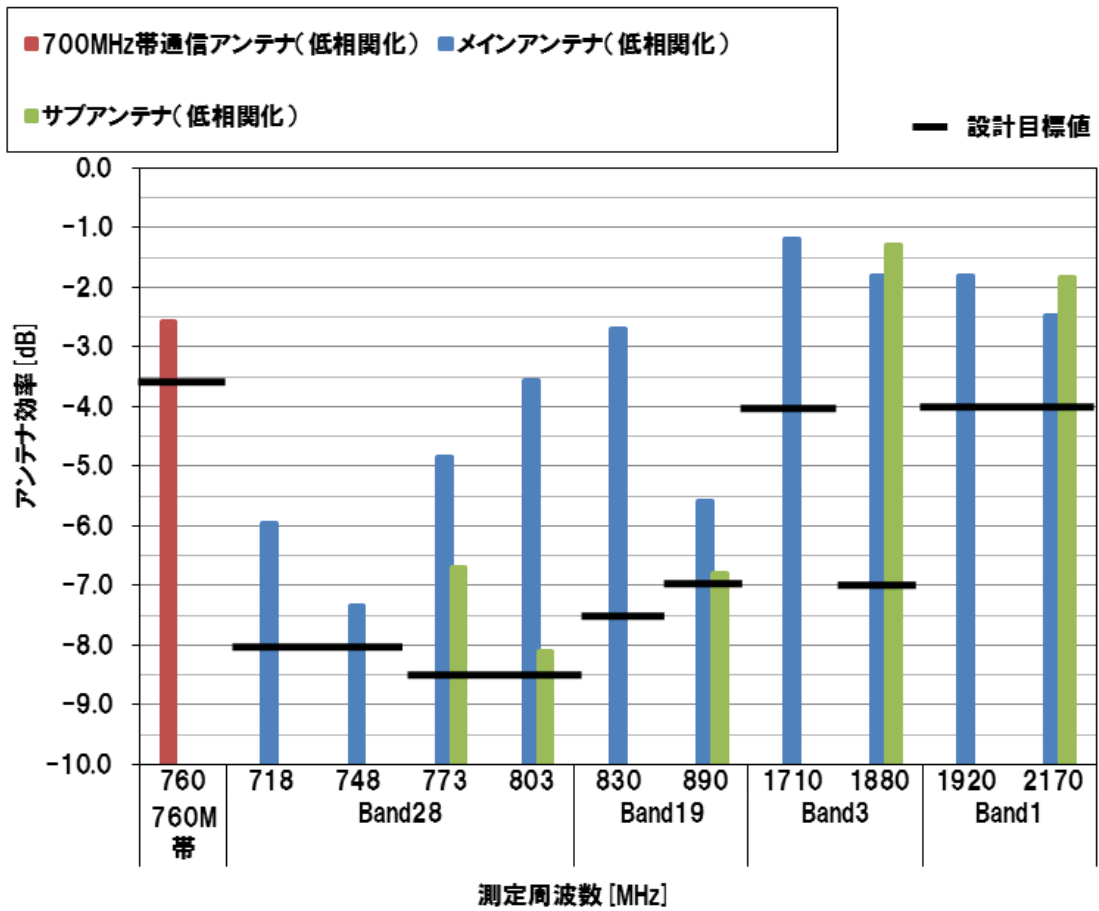
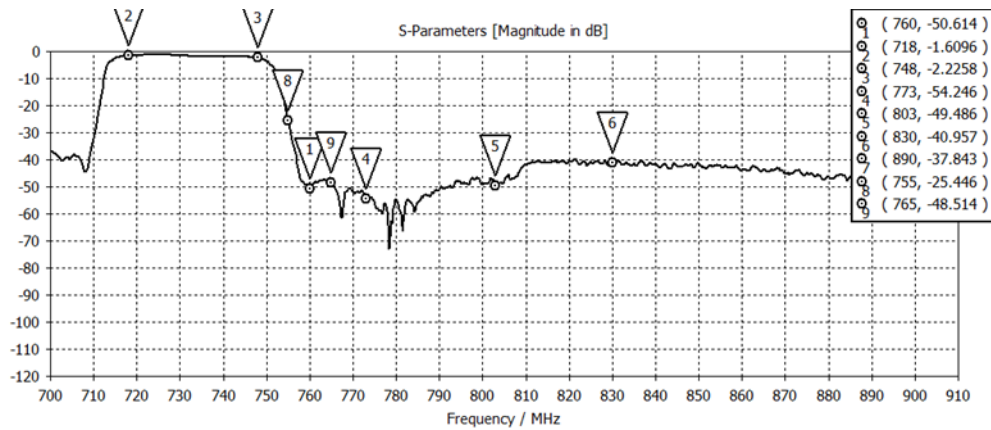


図 3.4-13 メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーション (S23)

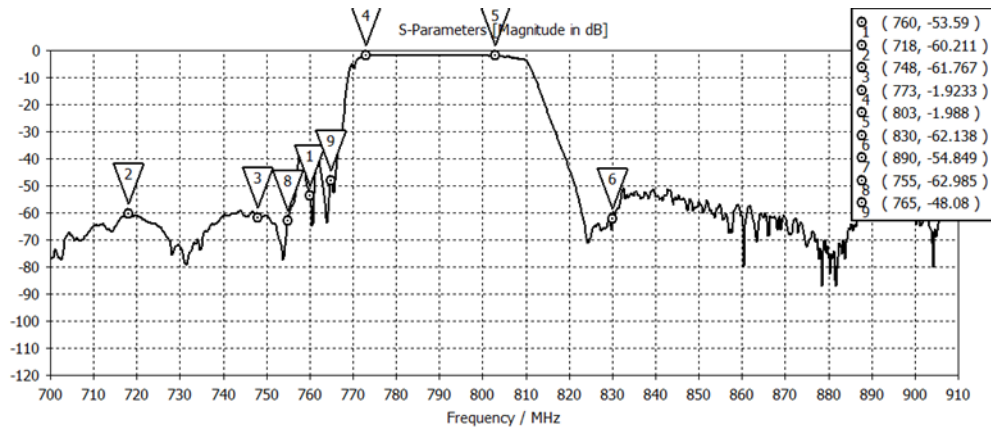
### 3.4.3. フィルタ含めた減衰量の検証

スマートフォン模擬筐体搭載アンテナによって 700MHz 帯通信システムとセルラーシステム間の干渉を抑えられるか検証するために、フィルタを加えたアイソレーションをレベルダイヤの所要減衰量と比較する。ブロック図は図 3.3-4 にて示した通りである。所要減衰量を確保するためにそれぞれ 2 段構成としている。700MHz 帯通信アンテナ側には 760MHz 帯の BPF(Band Pass Filter)を実装する。セルラーアンテナ側には LTE Band28 のデュプレクサを実装している。いずれも一般的に入手可能なものを使用している。図 3.4-14 にフィルタの通過特性を示す。減衰量を確保する上でボトルネックとなるのは、被干渉条件において影響する(a)Band28 デュプレクサ（送信回路側）の 755MHz の通過特性である。減衰曲線の途中にあるため減衰量が小さく 25dB 程度となっている。また、与干渉条件での対策である(c)760MHz 帯 BPF についても 748MHz~773MHz の間にリップルのような形で減衰量が小さい周波数がある。

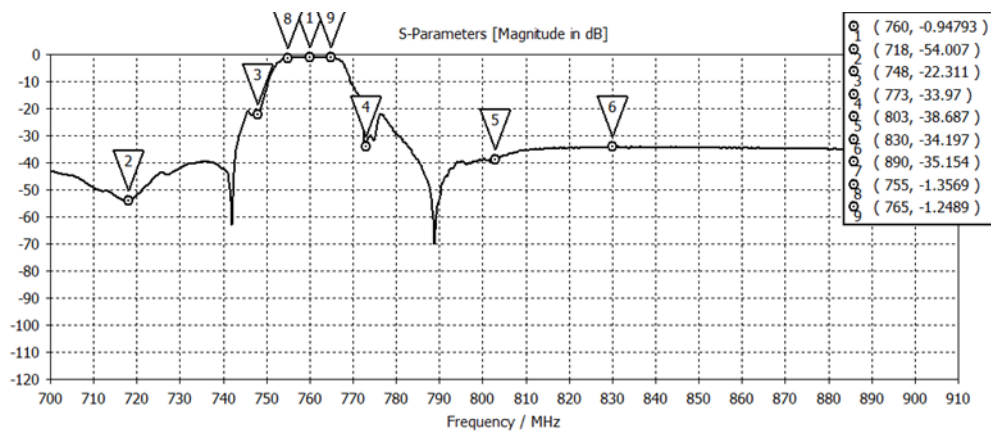
次に、これまで開発したアンテナに前述のフィルタを加えたときのアイソレーションを示す。図 3.4-15 は 700MHz 帯通信システムがセルラーシステムの受信感度に影響を与える与干渉条件におけるアイソレーション特性であり、図 3.4-16 はセルラーシステムが 700MHz 帯通信システムの受信感度に影響を与える被干渉条件におけるアイソレーション特性である。いずれの条件においてもレベルダイヤにおける所要減衰量を満たしており、システム間干渉を除去できる。



(a)Band28 デュプレкса (送信回路側)



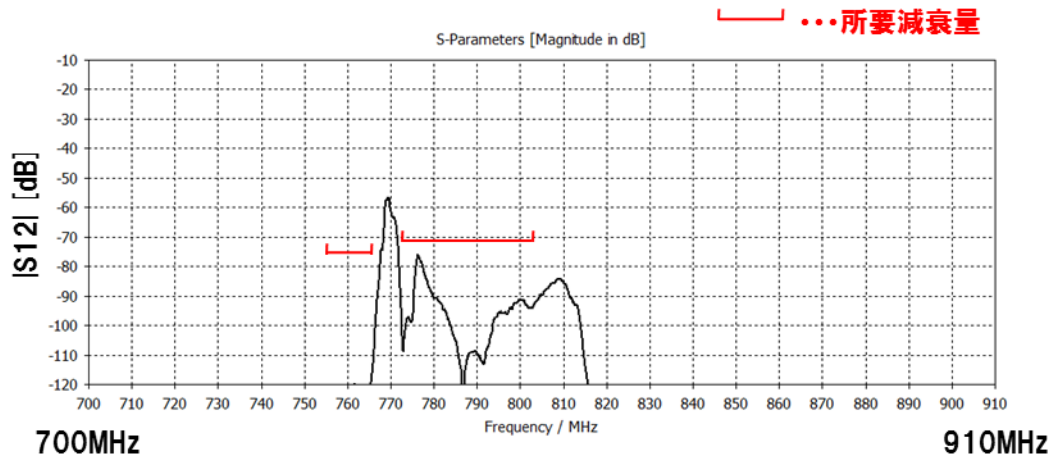
(b)Band28 デュプレкса (受信回路側)



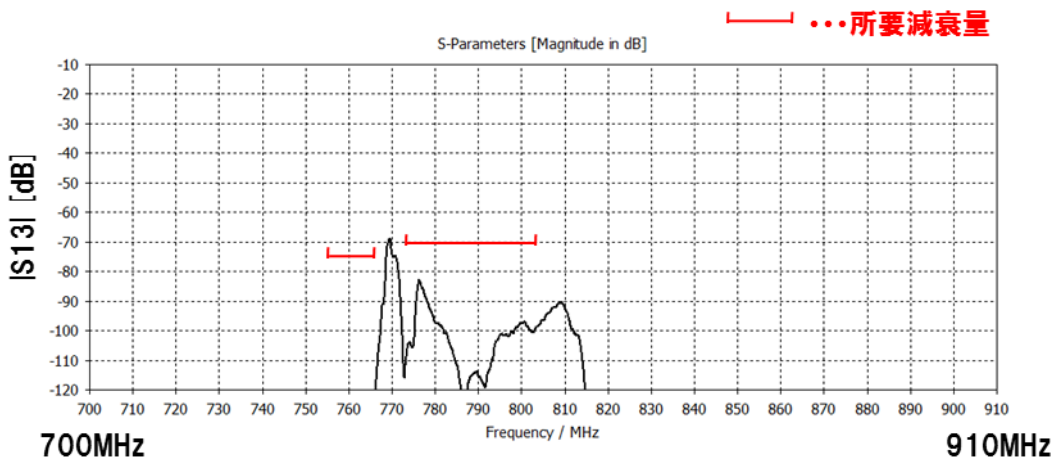
(c)760MHz 帯 BPF

図 3.4-14 使用したフィルタの通過特性 (1段の場合)





(a)セルラーメインアンテナ受信系とのアイソレーション (S12)



(b)セルラーサブアンテナとのアイソレーション (S13)

図 3.4-15 与干渉条件 アイソレーション

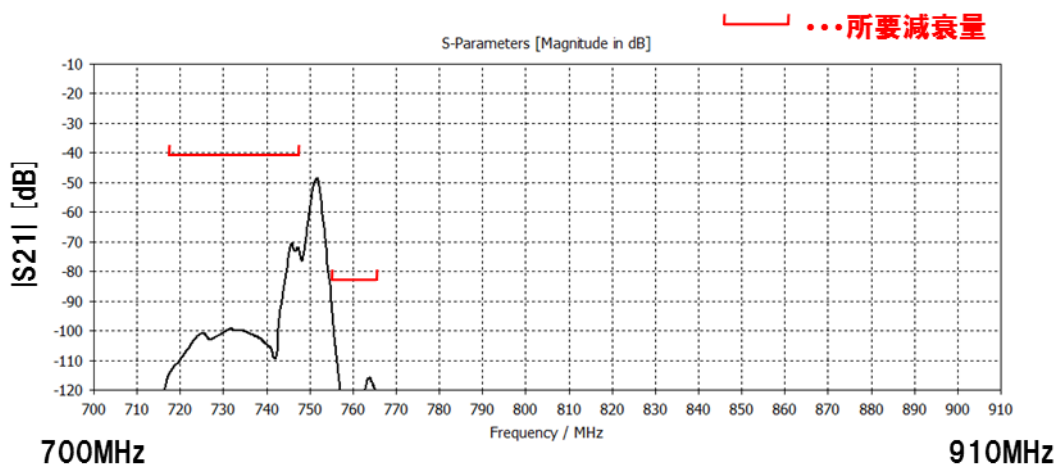


図 3.4-16 被干渉条件 セルラーメインアンテナ送信系とのアイソレーション (S21)

### 3.5. まとめ

3章では、スマートフォンへの700MHz帯通信システムの搭載を想定して、700MHz帯通信アンテナの小型化と低相関化について検討した。

初めに、スマートフォン模擬筐体とそれに内蔵されるセルラーアンテナを設計した。3GPPのOTAスペックからアンテナ効率の設計目標値を設定し、市販のスマートフォンのアンテナ構成を解析することでセルラーアンテナの設計思想を把握し、スマートフォン内蔵セルラーアンテナとして妥当な性能となるよう設計した。

次に、平成27年度使用端末において多くの体積を占有していた700MHz帯通信アンテナの小型化に取り組んだ。平成27年度使用端末の内蔵アンテナを電磁界シミュレーションにて解析した結果、アンテナの実効長を0.25波長に近づけることで性能を落とさず小型化できることを把握した。さらに、オフセット地板によるスマートフォン構造への適応や、スカート搭載、給電位置変更などのアンテナ効率を向上する対策を施した。その結果、昨年度試作機に対して占有容積を半分以下まで削減した上で、アンテナ効率を更に向上することができた。

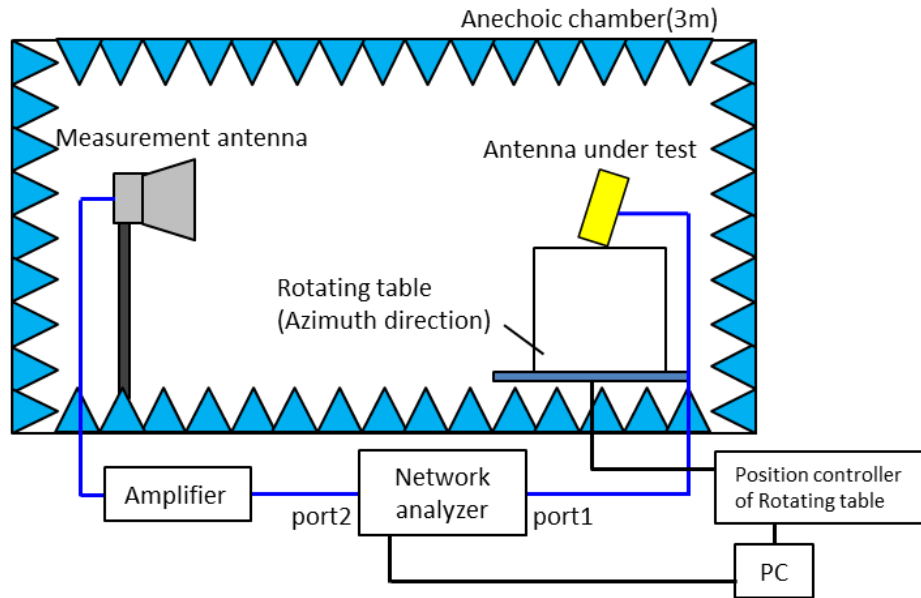
セルラーアンテナとの低相関化においては、本課題に適した3つの低相関化技術を開発し、スマートフォン模擬筐体に適用した。その結果、両アンテナを同一筐体に実装しながら、システム間干渉除去のための必要減衰量を確保することに成功した。

以上の取り組みによって、700MHz帯通信システムのスマートフォンへの搭載に向けたアンテナの小型化とセルラーアンテナとの低相関化を達成した。

### 3.6. アンテナ測定系

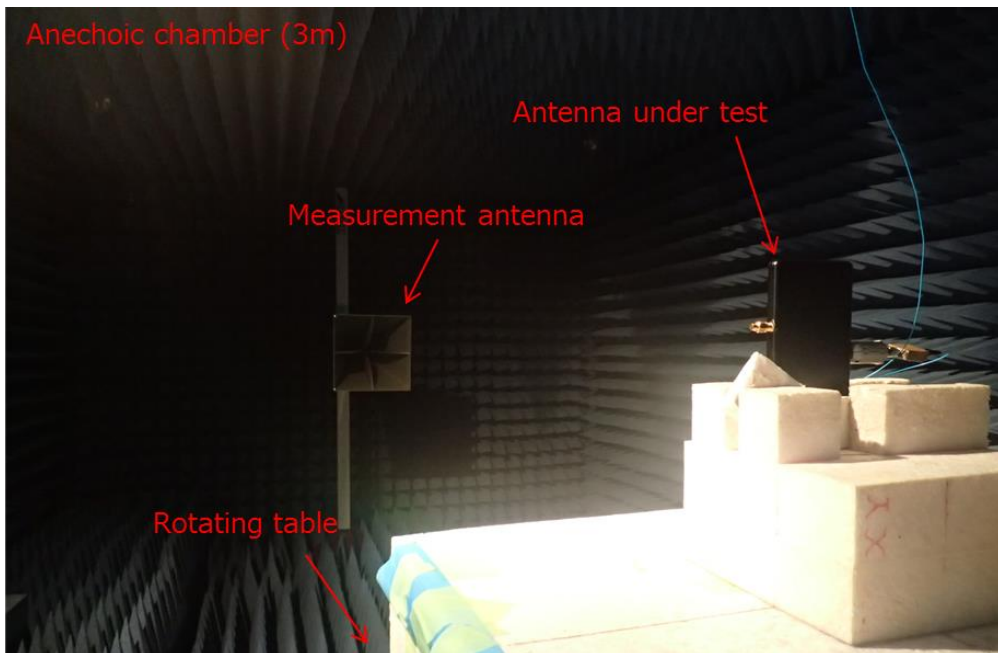
- アンテナ利得測定系

アンテナ利得測定系を図 3.6-1 に示す。3m 電波暗室内に配置された被測定アンテナの 2 次元放射パターンを測定できる。



Network analyzer : KEYSIGHT 製 E5071C  
Position Controller : デバイス 製 DCAN230123/DM  
Amplifier : R&K 製 A300302-4016-R

(a) 構成図



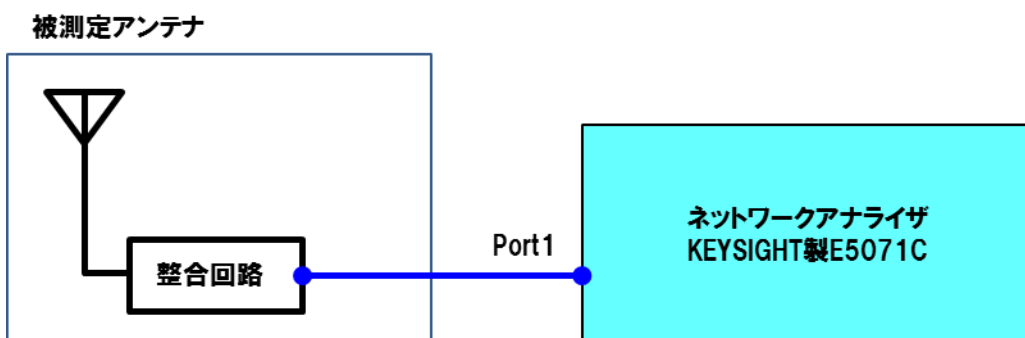
(b) 測定の様子

図 3.6-1 アンテナ利得測定系

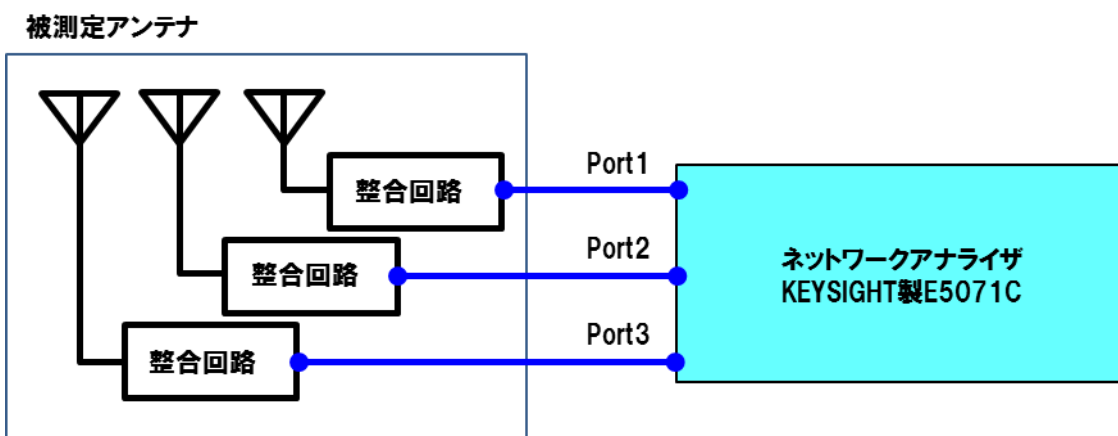
- インピーダンス/VSWR, アンテナ間アイソレーション測定系

インピーダンス/VSWR 測定系を図 3.6-2 (a)に, アンテナ間アイソレーションの測定系を図 3.6-2(b)に示す.

アンテナ間アイソレーション測定における port 割り当てについて述べる. セルラーアンテナ 2 アンテナ評価においてはメインアンテナを port1, サブアンテナを port2 とし, アイソレーションは  $S_{12}$  にて評価する. 700MHz 帯通信アンテナを含めた 3 アンテナ評価の場合は, 700MHz 帯通信アンテナを port1, メインアンテナを port2, サブアンテナを port3 とし, 700MHz 帯通信アンテナとメインアンテナ間のアイソレーションを  $S_{12}$ , 700MHz 帯通信アンテナとサブアンテナ間のアイソレーションを  $S_{13}$ , メインアンテナとサブアンテナ間のアイソレーションを  $S_{23}$  にて評価する. なお, アイソレーションには可逆性があるので  $S_{12}$  と  $S_{21}$  は等価であるが, 被干渉条件ではメインアンテナからの送信のみが対象になるので  $S_{21}$  にて評価することとする.



(a)インピーダンス/VSWR 測定系



(b)アンテナ間アイソレーション測定系

図 3.6-2 インピーダンス測定系

#### 4. 歩者間通信実証実験

4章は実施計画書 エ) 実環境における実証実験および課題抽出 の本年度目標に記されている「実証実験（アンテナ小型化・省電力機能検証）」の部分に対応する。

3章にて開発したスマートフォン模擬筐体に内蔵した小型アンテナが700MHz帯通信端末に適したものであるかを実環境において検証する。

検証において、700MHz帯通信システムは、歩行者と自動車共存する様々な場所での活用が考えられるため、それに応じた電波伝搬環境を想定すべきである。また、スマートフォンは人体の近傍で用いられるデバイスなので、歩行者人体による放射電磁界の吸収、遮蔽、散乱などによって、アンテナ利得が低下し通信距離に影響を及ぼす可能性がある。

そこで、代表的な電波伝搬環境として、周囲に反射・回折を起こす構造物が存在しない開放地と、構造物が存在する非開放地にて実験を行う。開放地には田園地帯を、非開放地にはビル街／住宅街を模擬した環境と、森林／土手を模擬した環境を選択することで構造物の種類が異なる2つの環境の伝搬特性を評価する。非開放地においては情報通信審議会の検討結果 [7] を参考に、見通し内外の条件において実験する。また、人体による通信距離への影響を確認するために、アンテナの設置条件をスマートフォンの代表的なユースケースを模擬した形とし、放射パターンの影響を見るために人体の向きを4方向変化して行う。さらに、比較のために、人体の影響を受けづらい外部アンテナを開発し、同様の実験を行う。

4.1章では、本実験に使用するアンテナの特性について説明する。実証実験で模擬するスマートフォンの代表的なユースケースを示し、3章にて開発した700MHz帯通信アンテナの放射特性をユースケース毎に評価した結果を報告する。また、外部アンテナを設計し、その特性を明らかにする。

4.2章では、本実験の結果を報告する。また、実験を行う実環境や、通信距離の評価指標についても説明する。

4.3章では、実験結果の考察に対する補強を行う。幾つかの実験環境について簡易的な伝搬モデルを作成し、700MHz帯通信アンテナの伝搬特性をシミュレーションにより解析する。解析結果と実験結果とを照らし合わせて考察する。

4.4章にて4章のまとめを述べる。

## 4.1. 実証実験に用いるアンテナの特性

### 4.1.1. スマートフォンのユースケースにおける 700MHz 帯通信アンテナの特性

代表的なスマートフォンのユースケースを検討し、アンテナ設置条件として設定する。歩行者のスマートフォンのユースケースを考えると、操作状態と携行状態に分けられる。操作状態は、手で保持して、指で画面を操作している状態が一般的であると考え、携行には様々な方法が考えられるが、衣服のポケットに入れる状態と、カバンに入れて持ち運ぶ状態の2通りを想定する。

図 4.1-1 にこれらのアンテナ設置条件を示す。

(1) スマホ持ち歩きはスマートフォンを片手で保持して操作する状態である。画面を見ながら操作するために、画面の角度を 45 度とし、人体から 15cm 程度離れた位置で保持している。地面からの高さは 1.0m である。

(2) 胸ポケットは、衣服の左側の胸ポケットにスマートフォンを入れて携行する状態である。人体に近づく面によって特性が変わることが予想されるため、スマートフォン模擬筐体の LCD 側を人体から離して前方に向ける(a)LCD 前方と、LCD 側を人体に向ける(b)LCD 後方にてアンテナ特性を比較評価する。地面からの高さは 1.25m である。

(3) かばんは、手提げかばんの中にスマートフォンを入れて携行する状態である。地面からの高さは 0.5m である。

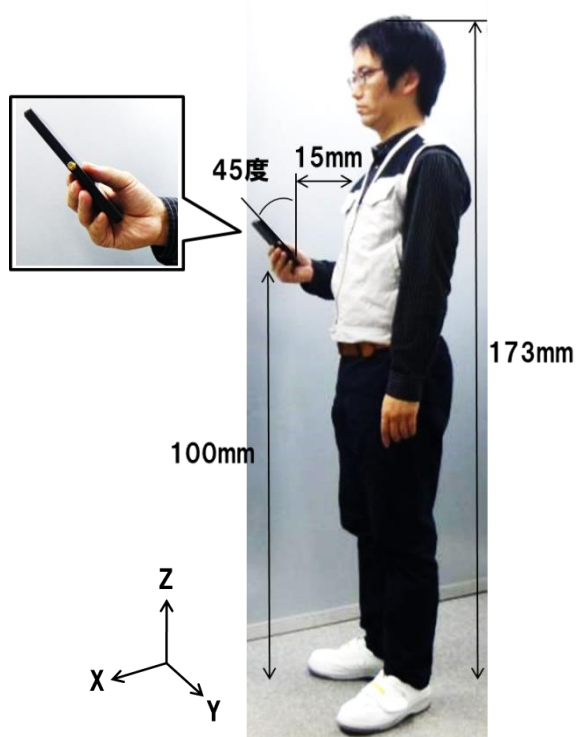
図 4.1-2 にスマートフォン模擬筐体に内蔵した 700MHz 帯通信アンテナの各ユースケースにおける水平面の放射パターンを示す。比較のために自由空間における放射パターンも併記する。

(1) スマホ持ち歩きは、前方と左右方向の利得が比較的高いが、人体の陰になる後方は電波が遮蔽され利得が -20dBi 前後と大きく落ち込んでいる。

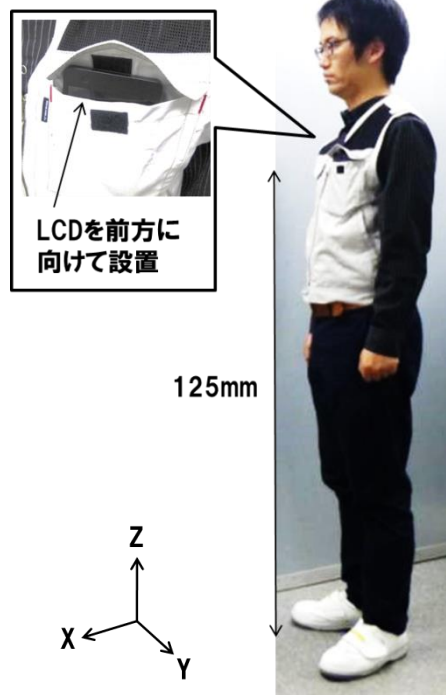
(2) 胸ポケットは、人体方向の利得劣化がより顕著である。また、全体的に放射パターンが萎んでいる。これは人体が密着していることによるアンテナ効率の劣化が原因と考えられる。(ア)LCD 前方と(イ)LCD 後方を比較すると、(ア)LCD 前方が悪く、特に人体背面側 180 度～210 度では -30dBi 以下である。700MHz 帯通信アンテナは、図 3.2.4-4 に示す通りスマートフォン模擬筐体のケース側にアンテナ素子が配置されていることから、アンテナが人体に近づく配置になり、利得が低下したものと考えられる。実証実験は、利得が低い(ア)LCD 前方配置の条件で行うこととする。

(3) かばんに関しても、脚方向において大きな利得低下がみられる。

どのユースケースにおいても人体方向は電波が遮蔽され利得が弱まっており、人体とスマートフォンとの距離が近いほど影響を受けていることがわかる。



(a) スマホ持ち歩き

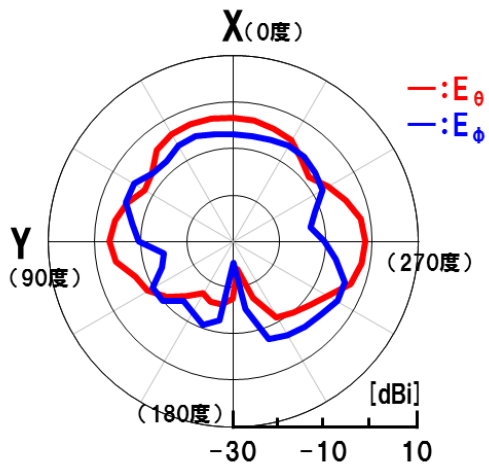


(b) 胸ポケット

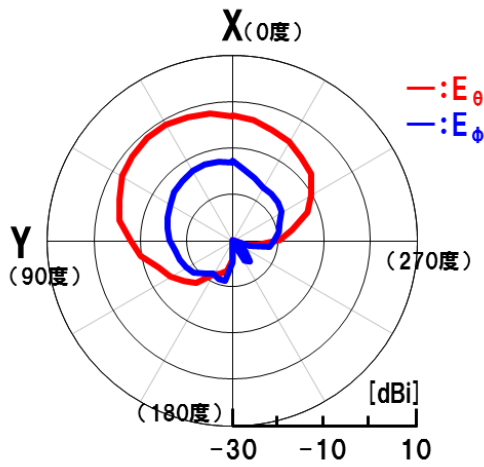


(c) かばん

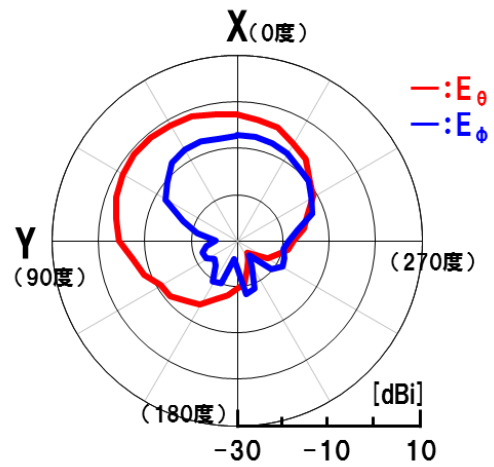
図 4.1-1 各ユースケースにおけるアンテナ設置条件



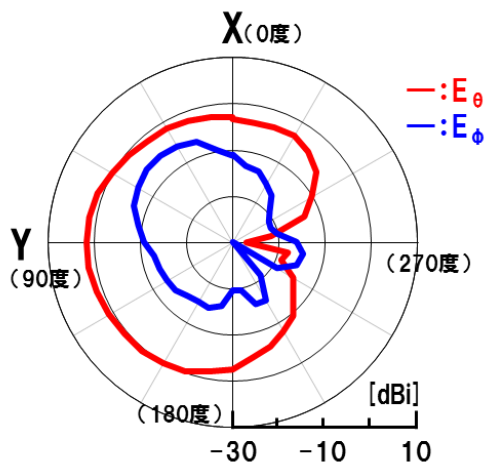
(a) スマホ持ち歩き



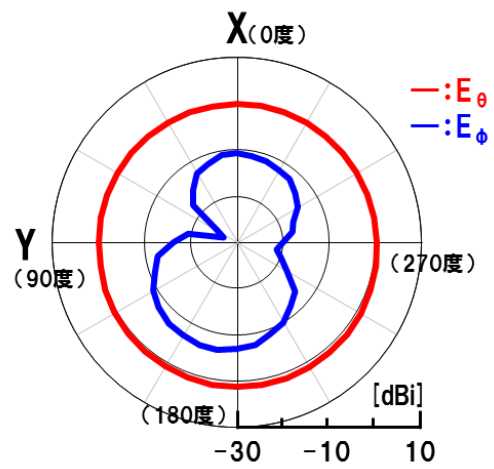
(b) 胸ポケット (ア)LCD 前方



(b) 胸ポケット (イ)LCD 後方



(c) かばん



(d) 自由空間

図 4.1-2 各ユースケースにおける 700MHz 帯通信アンテナの放射パターン



#### 4.1.2. 外部アンテナの開発

実証実験において、スマートフォン模擬筐体との比較のために、人体の影響を受けづらい外部アンテナを開発する。このアンテナはそのまま 700MHz 通信システム専用の端末向けに流用できるものが望ましい。そこで、人体近傍に設置する条件で、水平面でアンテナ利得が高くなるアンテナ構成を検討した。

図 4.1-3 に開発した外部アンテナの構成を、図 4.1-4 に設置条件を示す。板状逆 F アンテナを内蔵した 66.4×66.4×28.0mm の筐体を人体の肩の上に設置する。板状逆 F アンテナとすることで水平面において高い利得が得られるとともに、地板を人体側に配し人体によるアンテナ効率の劣化を抑えている。また、肩の上に設置することで、水平面内の人体による遮蔽断面積が最も小さくなり、遮蔽によるアンテナ利得の低下を抑えることができる。また、この構成であれば、ランドセルや肩掛けカバンのベルト部などにアンテナを内蔵する 700MHz 帯通信システム専用端末のアンテナとして流用することができる。なお、地面からのアンテナの高さは 1.45m である。

図 4.1-5 に放射パターンを示す。外部アンテナは人体の首の方向において利得が低くなるものの、-15dBi 程度であり比較的高い水準を維持している。

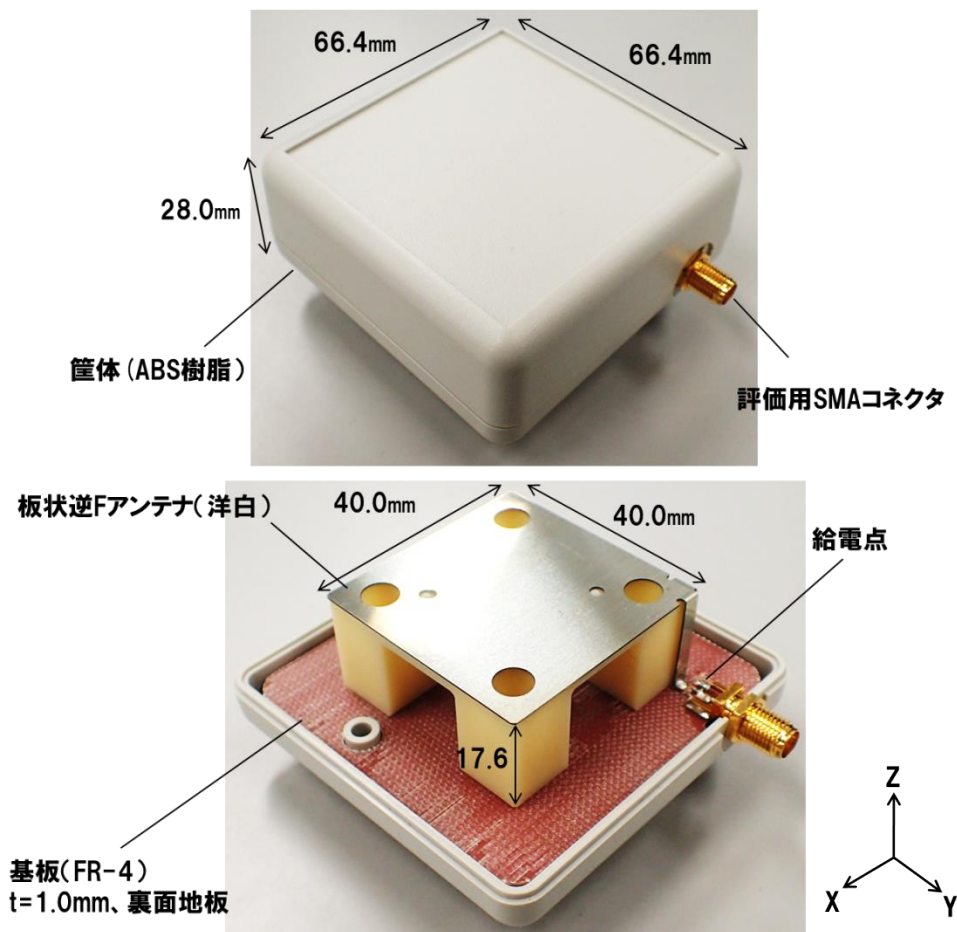


図 4.1-3 外部アンテナの構成

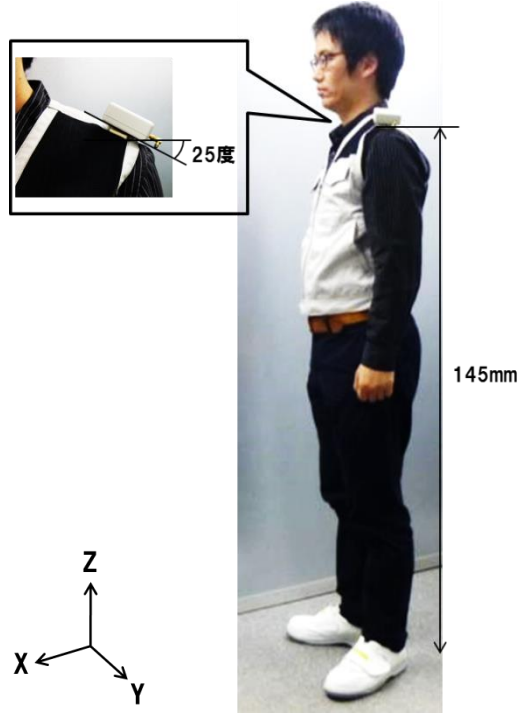


図 4.1-4 外部アンテナの設置条件

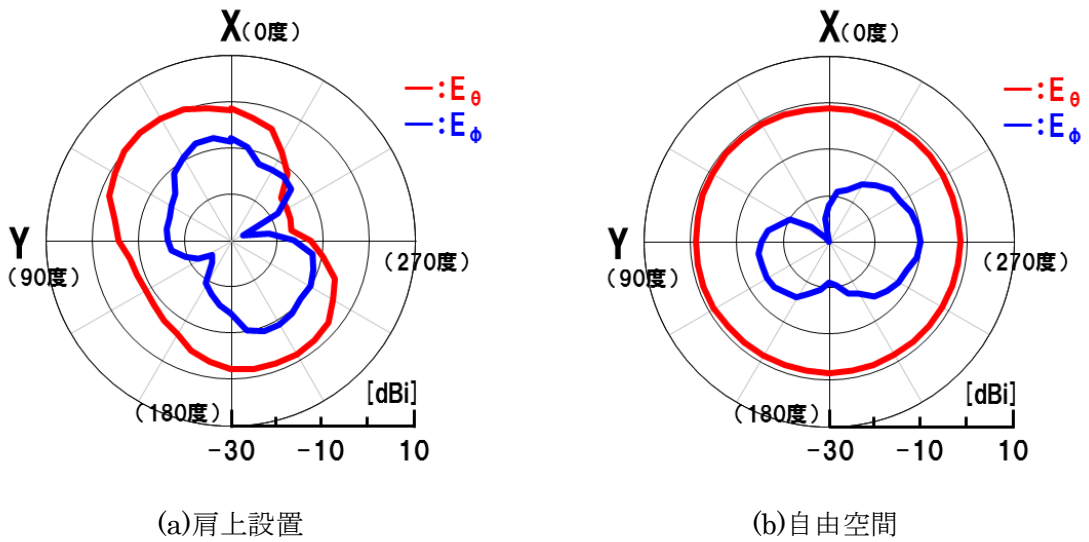


図 4.1-5 外部アンテナの放射パターン

## 4.2. 実証実験結果

### 4.2.1. 実験装置

開発した 700MHz 帯通信アンテナを用いて歩者間通信の実証実験を行う。

図 4.2-1 に実験装置の概略図を示す。アンテナを、同軸ケーブルと外部アンテナ端子を介し平成 27 年度使用端末の無線回路部（図示しない）に接続する。自動車側のアンテナは車両のルーフに固定した外部アンテナである。歩行者側のアンテナは図に示す 4 通りの条件にて人体に設置したスマートフォン模擬筐体と外部アンテナであり、詳細な設置条件は 4.1 章に記載の通りである。平成 27 年度使用端末は USB ケーブルにより PC に接続される。

実験は、PC により平成 27 年度使用端末を制御して行う。歩行者側から 700MHz 帯通信波を 100 回送信し自動車側で受信する。両端末に残る通信記録（送信ログ/受信ログ）を元に、送信パケット数を受信パケット数で割ることでパケット到達率を算出する。また、到達したパケットの受信電力（RSSI 値）中央値を確認する。

なお、開発したアンテナは平成 27 年度使用端末の技術適合認証に含まれていないので、認証を取得しなおしている。表 1 に本実験装置の無線性能諸元を示す。スマートフォン模擬筐体の空中線利得（アンテナ利得最大値）は図 4.1-2 から類推できるように ARIB-STD-T109 [6] に記載の制限値 (0dBi) をわずかに超えているが、空中線電力が制限値より低く、等価等方輻射電力 として超えないよう設計している。

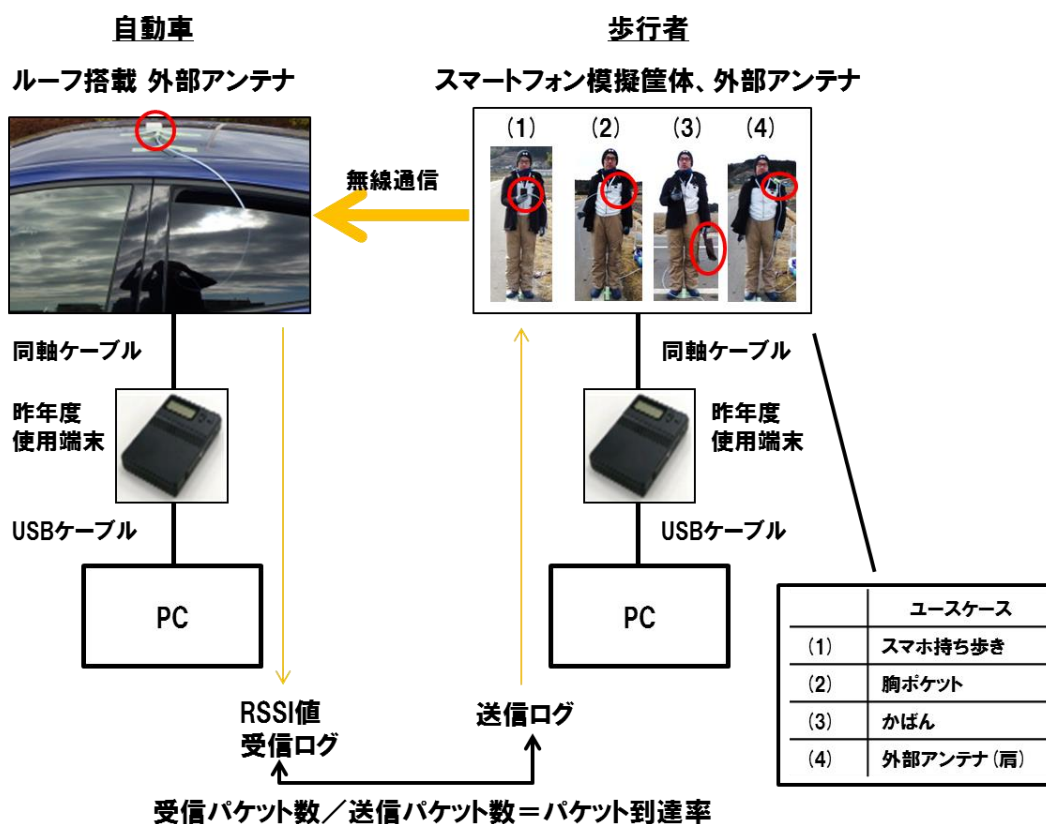


図 4.2-1 実証実験装置概略図

#### 4.2.2. 実験環境

実証実験は以下の3か所で行う。

- (ア) 開放地      田園地帯      (宮城県黒川郡大和町)
- (イ) 非開放地①   ビル／住宅街      (神奈川県横浜市都筑区)
- (ウ) 非開放地②   森林／土手地帯      (宮城県柴田郡村田町)

開放地については見通し条件のみ，非開放地においては，見通し条件および見通し外条件において実験する。図 4.2-2 はこれらを図示したものである。実証実験の実施範囲は，情報通信審議会の報告書 [7]に記載されている車車間通信の最大距離を参考に，見通し内は歩者間 300m，見通し外は交差点中央から歩行者 10m，自動車が 95m 離れる場合を測定できるように設定する。

ここで，歩行者側は，放射パターンを評価するため，向きを 0 度，90 度，180 度，270 度と 4 方向変化して実験する。自動車側の外部アンテナは無指向性の放射パターンなので向きは一定とする。

表 4.2-1 無線性能諸元

項目	値	単位	備考
空中線電力	16.0	dBm	チャンネル積算電力
給電ケーブル損失	0.5	dB	同軸ケーブルの損失
受信感度	-98.0	dBm	積算パケット到達率（後述）95%時

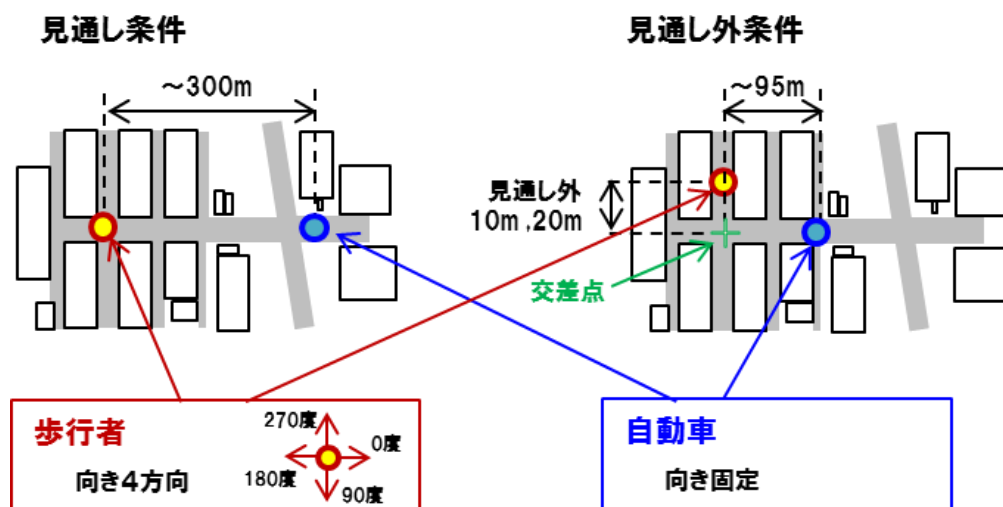


図 4.2-2 実証実験の実施範囲

#### 4.2.3. 評価指標

通信特性の評価は、積算パケット到達率によって行う。積算パケット到達率は、情報通信審議会の報告書 [7]に記載されている車車間通信における定義を用い、相対速度 140km/h 時において、提供情報受信区間 10m を走行する間に受信可能なパケット、すなわち 3 回分の通信においてパケットが到達する確率とする。通信品質の基準値は 95%である。

実験では、図 4.2-2 の実施範囲の中で自動車と歩行者の距離を変化して、積算パケット到達率を評価し、通信品質を満たしているか検証する。

#### 4.2.4. 実験結果

##### 4.2.4.1. (ア) 開放地 田園地帯

図 4.2-3 に実験場所を示す。田園地帯として宮城県黒川郡大和町鶴巣周辺の路上を選定した。周辺には田畑のみで他の構造物は見られない。開放地における見通し条件の試験を行うのに適した場所である。

直線道路上に送信側の通信端末を保持した歩行者が立ち、受信側の自動車を移動させ、歩行者からの距離を最大 320m までとして、各距離における積算パケット到達率と受信電力を測定する。受信電力は、各ポイントにおける受信パケットの RSSI 値の中央値である。



図 4.2-3 田園地帯 実験場所



図 4.2-4 田園地帯 実験風景

図 4.2-5～図 4.2-8 に測定結果を示す。横軸は自動車と歩行者の距離であり、縦軸は積算  
 パケット到達率と受信電力である。図中黒色の破線は積算パケット到達率の基準値である。  
 結果を確認すると、図 4.2-8 の外部アンテナは、試験した全区間・全方向で、積算パケット  
 到達率 95%以上となるが、その他のアンテナに関しては、300m 未満となる方向がある。  
 図 4.2-5 のスマホ持ち歩きは自動車に対して背を向ける形となる 180 度において 220m 以  
 上で 95%を割っている。図 4.2-6 の胸ポケットは 180 度に加え、右半身で遮蔽される 270  
 度で 95%を割る。かばんは脚で遮蔽される 270 度で 95%を割る。どのアンテナもアンテナ  
 利得が低い方向において 300m 通信が困難であることを確認した。全条件で積算パケット  
 率 95%以上となる距離は 200m であった。なお、到達パケットの受信電力は距離に応じて  
 減少している。

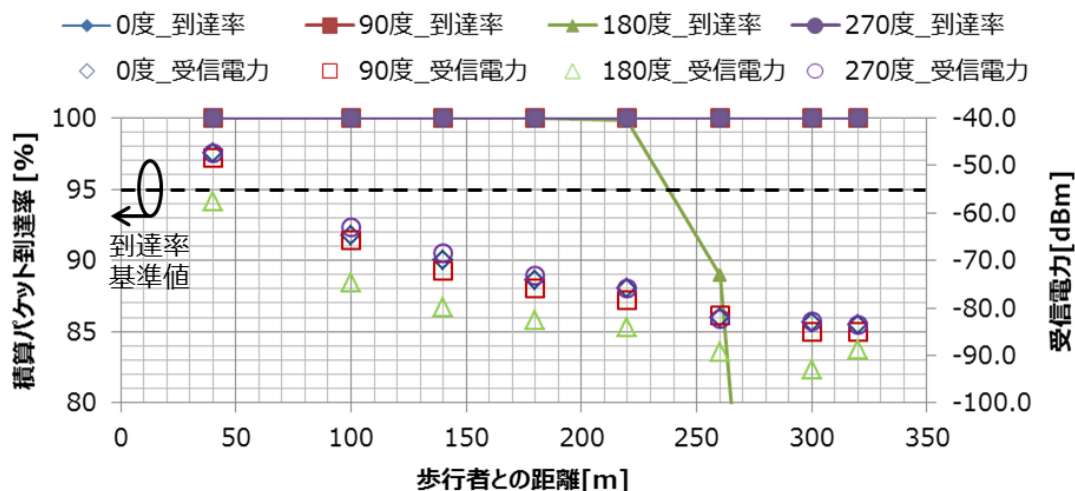


図 4.2-5 田園地帯 スマホ持ち歩き実測結果

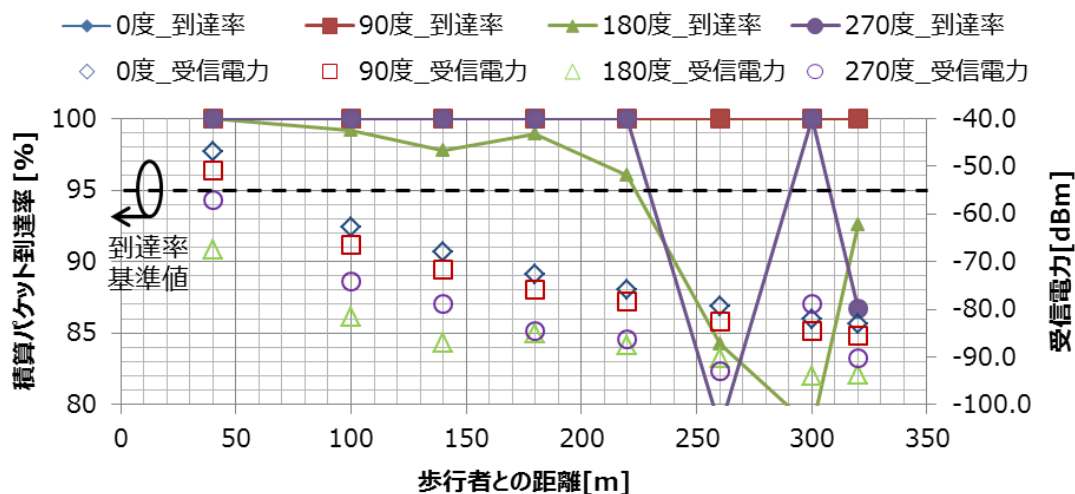


図 4.2-6 田園地帯 胸ポケット実測結果

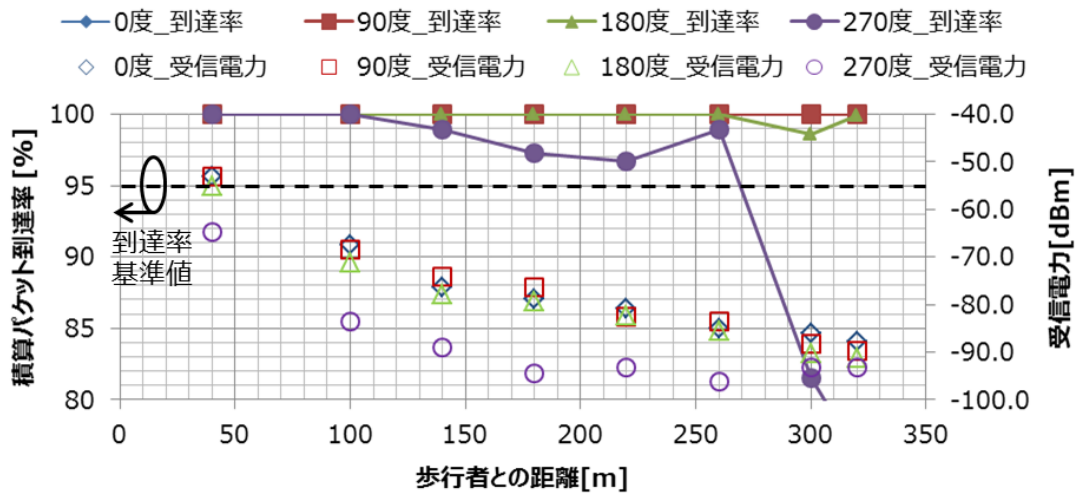


図 4.2-7 田園地帯 かばん実測結果

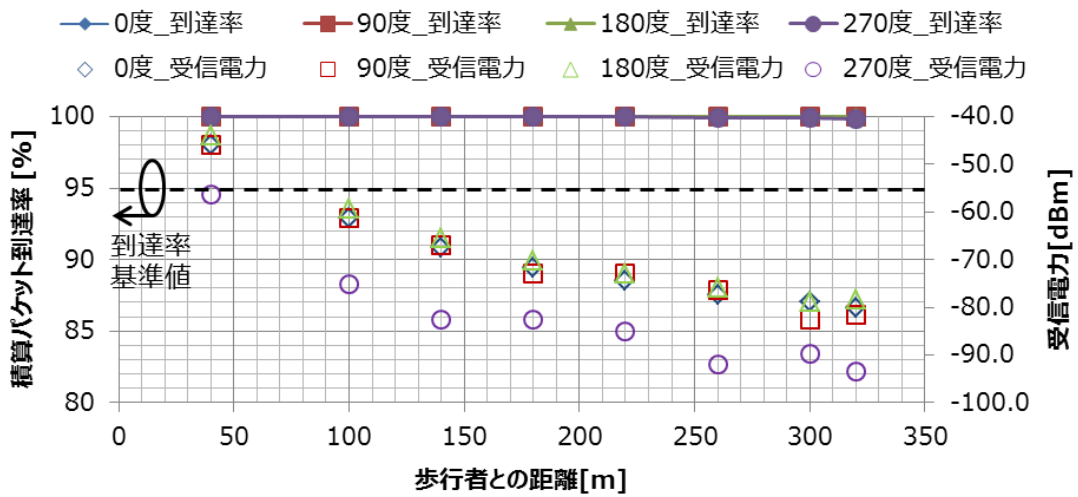


図 4.2-8 田園地帯 外部アンテナ実測結果



#### 4.2.4.2. (イ)非開放地① ビル／住宅街

ビル／住宅街として神奈川県横浜市都筑区佐江戸町にある Panasonic 構内を選定した。図 4.2-9 に見通し条件，図 4.2-10 に見通し外条件における実験場所を示す。

見通し条件の試験においては，直線道路上に送信側の歩行者が立ち，受信側の自動車を移動させ，歩行者からの距離を最大 320m までとして，各距離における積算パケット到達率および受信電力を測定する。

見通し外条件においては，歩行者が交差点中央から 10m および 20m 離れ，自動車は交差点中央からの距離を最大 120m として各距離における積算パケット到達率および受信電力を測定する。



図 4.2-9 ビル／住宅街 実験場所（見通し条件）



図 4.2-10 ビル/住宅街 実験場所 (見通し外条件)



図 4.2-11 ビル/住宅街 実験風景

図 4.2-12～図 4.2-15 に見通し環境における測定結果を示す。

試験した全区間・全方向において、全てのアンテナの積算パケット到達率が 95%以上となることを確認した。受信電力を見ると 150m くらいまでは純減しているが、それ以上の距離では大凡横ばいになっていることが分かる。これは、周辺構造物からの反射波、回折波による受信信号の合成利得によるものと考えられる。

例えば構造物などからの反射波は、直接波に対して行路長比が大きく、構造物の反射係数に応じて損失するため、通常、受信電力は低くなる。ただし、遠距離になると直接波との行路長比が狭まり、反射係数の割合が高まる。反射係数は例えば大気から比誘電率 5.0 の誘電体に垂直入射した場合 0.4 (≒-4dB) 程度になるが、方向によるアンテナ利得の差は放射パターンからの測定結果から類推できるように 20～30dB に及ぶ。胸ポケット挿入時などにおいて、自動車に対して背を向けている場合、遠距離において反射波の電力が直接波よりも高くなり、合成利得が得られる可能性は十分考えられる。

次に、見通し外条件における実測結果について述べる。図 4.2.16～図 4.2.19 に交差点・歩行者間距離 10m の結果を示す。交差点・自動車間 95m までの範囲において、積算パケット到達率 95%以上となることを確認した。また、図 4.2.20～図 4.2.23 は参考のために取得した交差点・歩行者間距離 20m の結果である。この場合も、胸ポケットの 180 度のみが 95%を下回ったが、他条件においては 95%以上となった。

なお、受信電力は全体的に低めであり距離に応じて純減する傾向にある。見通し外は回折波が支配的なので、直接波が得られる見通し環境に比べ受信電力は低くなる。

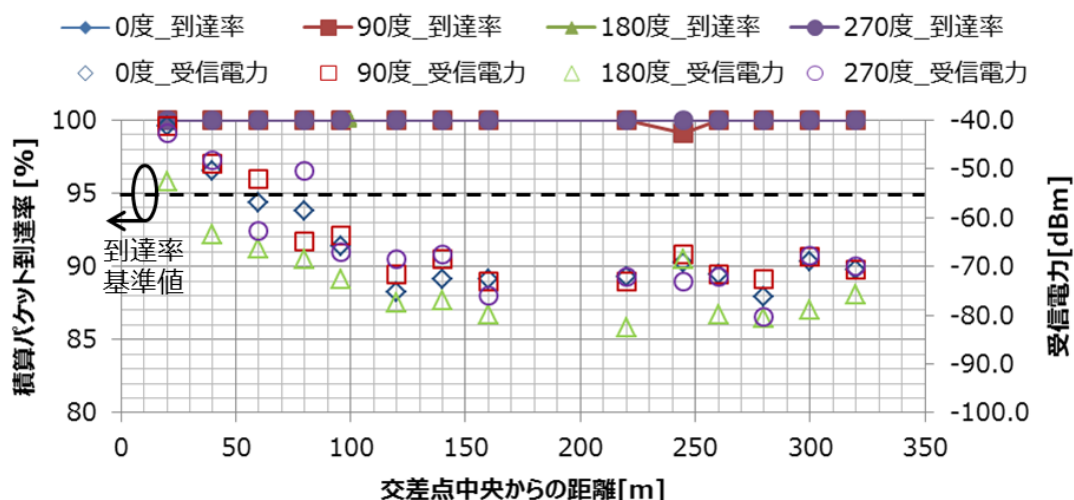


図 4.2-12 ビル/住宅街 見通し条件 スマホ持ち歩き実測結果

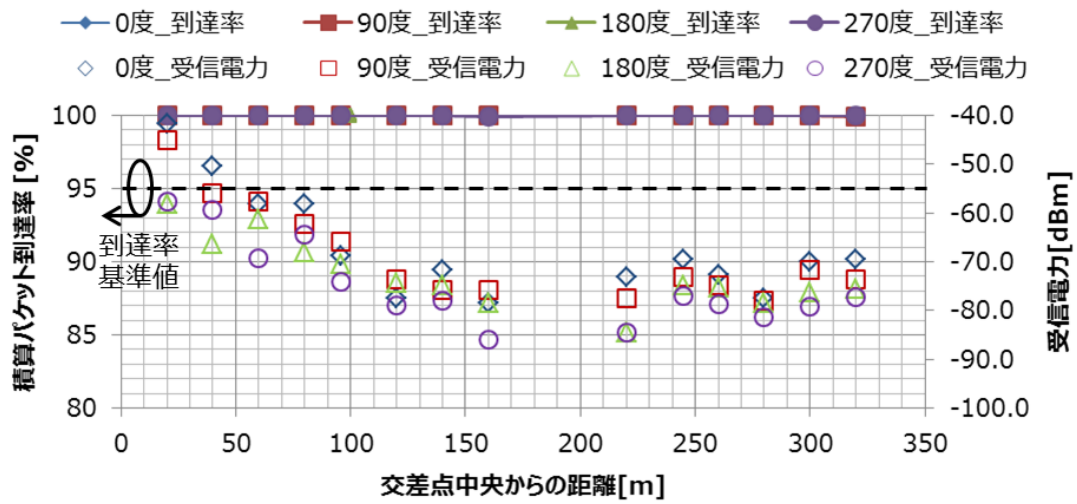


図 4.2-13 ビル/住宅街 見通し条件 胸ポケット実測結果

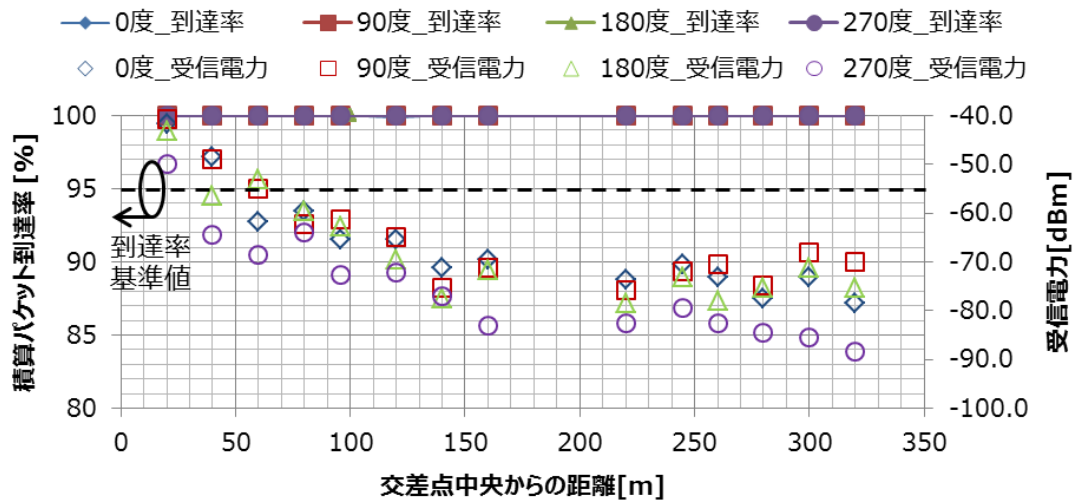


図 4.2-14 ビル/住宅街 見通し条件 かばん実測結果

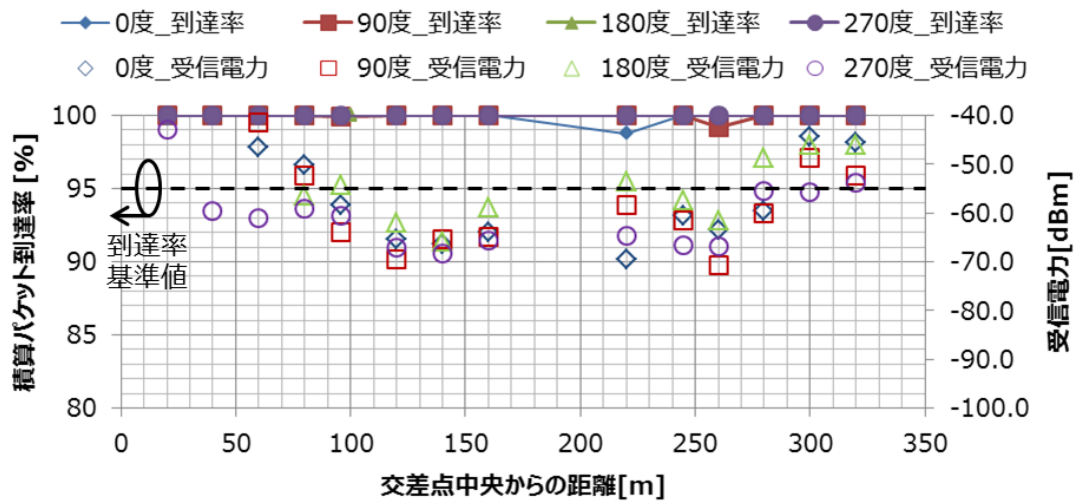


図 4.2-15 ビル／住宅街 見通し条件 外部アンテナ実測結果

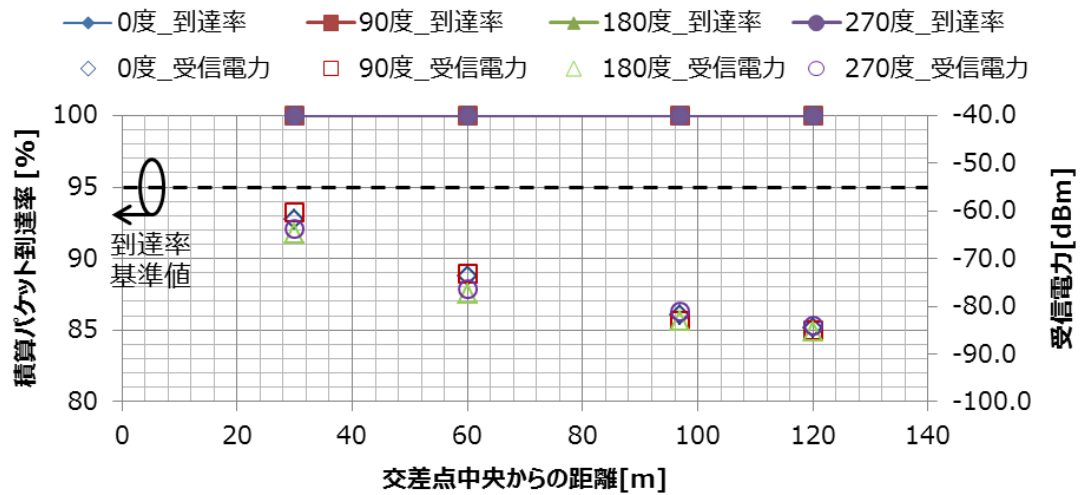


図 4.2-16 ビル／住宅街 見通し外条件 スマホ持ち歩き実測結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

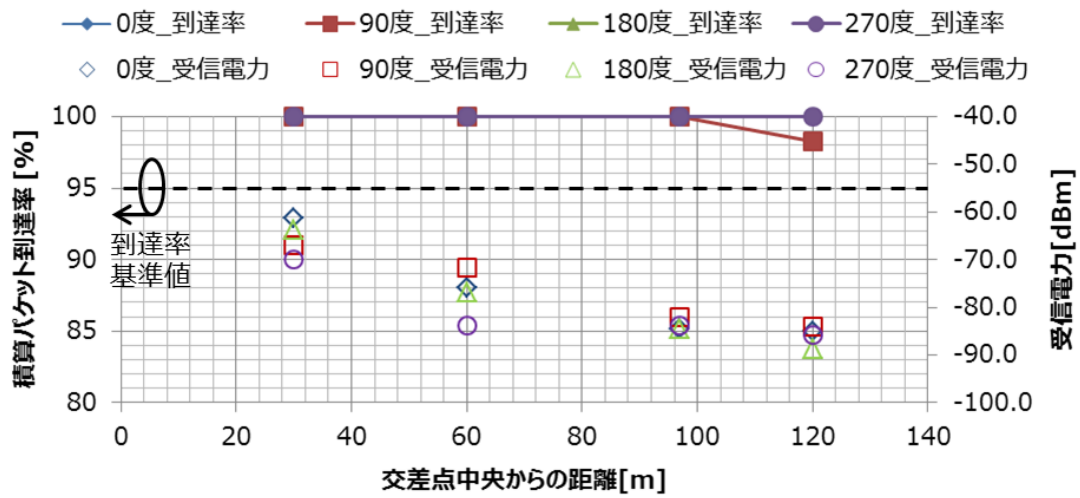


図 4.2-17 ビル／住宅街 見通し外条件 胸ポケット実測結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

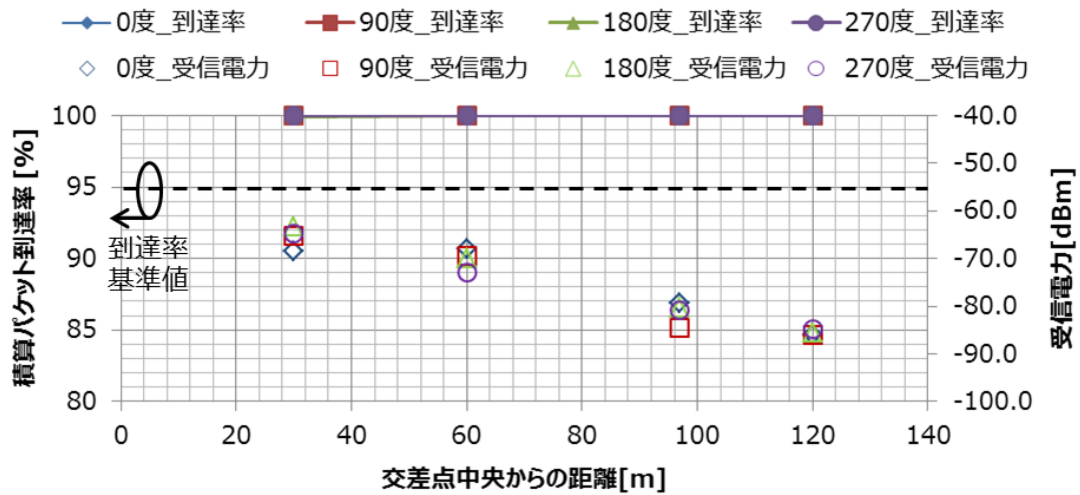


図 4.2-18 ビル／住宅街 見通し外条件 かばん実測結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

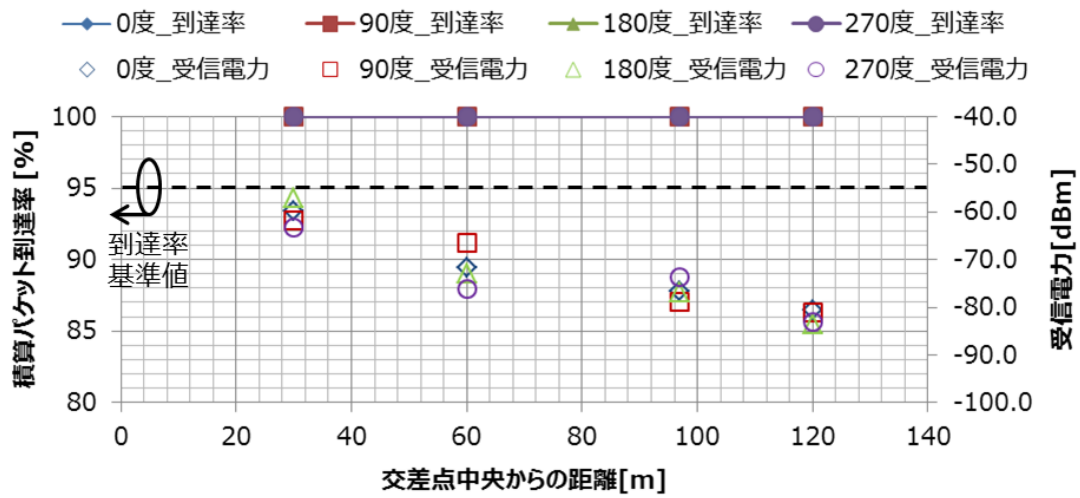


図 4.2-19 ビル/住宅街 見通し外条件 外部アンテナ実測結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

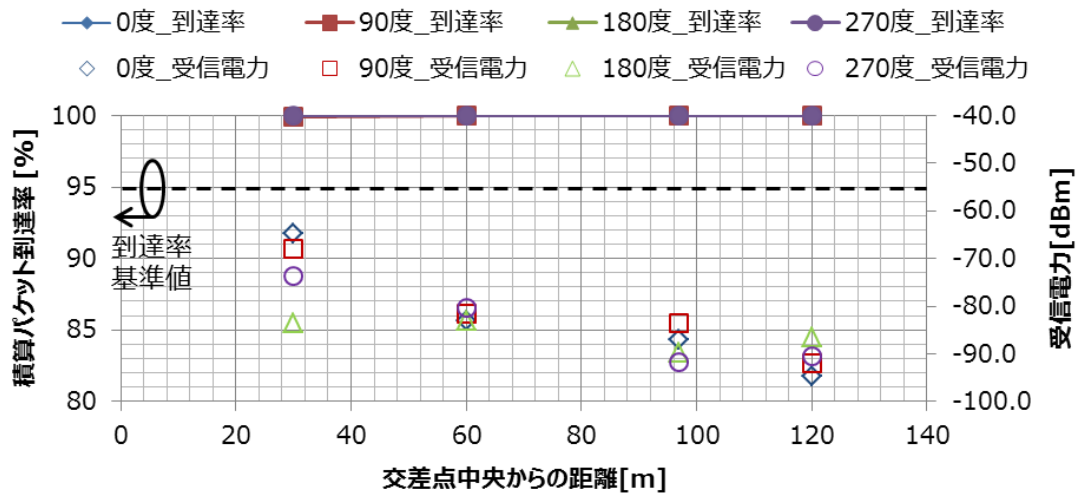


図 4.2-20 ビル/住宅街 見通し外条件 スマホ持ち歩き実測結果  
(交差点・歩行者間距離 20m)

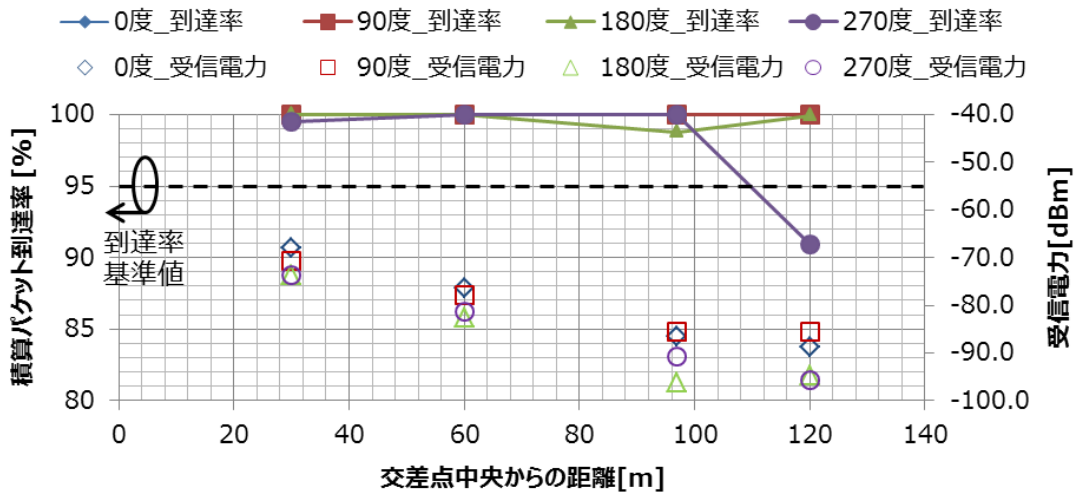


図 4.2-21 ビル／住宅街 見通し外条件 胸ポケット実測結果  
(交差点・歩行者間距離 20m)

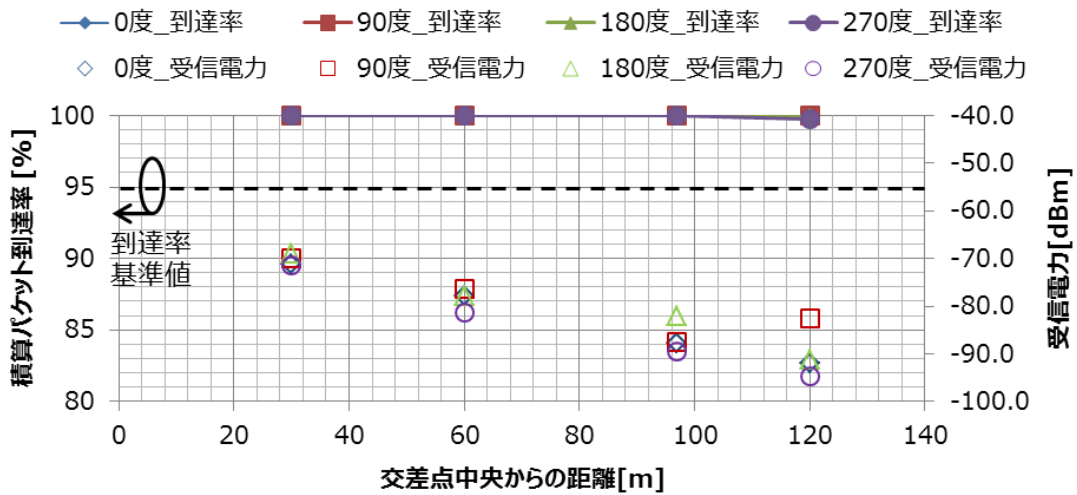


図 4.2-22 ビル／住宅街 見通し外条件 かばん実測結果  
(交差点・歩行者間距離 20m)



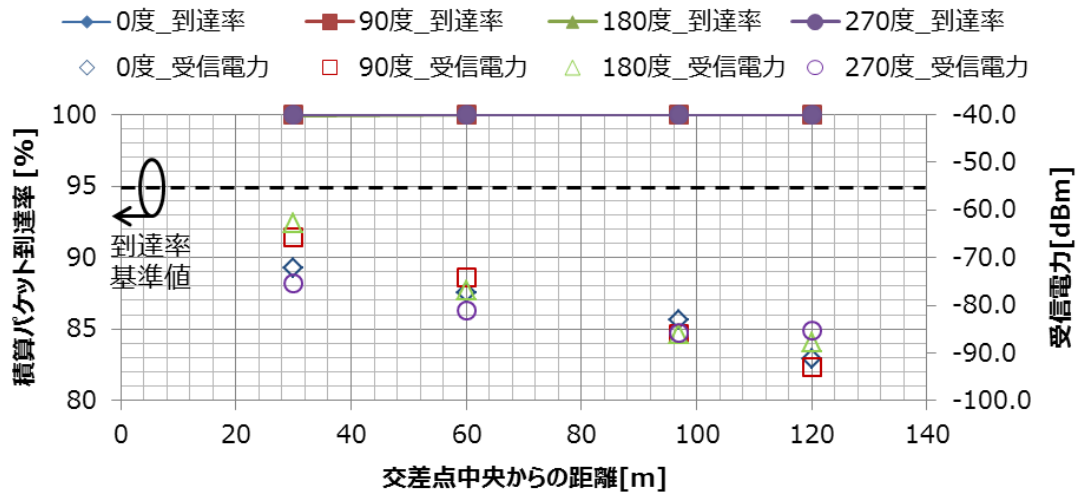


図 4.2-23 ビル/住宅街 見通し外条件 外部アンテナ実測結果  
(交差点・歩行者間距離 20m)

#### 4.2.4.3. (ウ)非開放地② 森林／土手地帯

森林／土手地帯として宮城県柴田郡村田町の交差点を選定した。図 4.2-24 に見通し条件、図 4.2-25 に見通し外条件における実験場所を示す。路肩のすぐ近くに木々や土手があり、ビル／住宅街と同様に反射・回折が起きやすい環境となっている。

見通し条件の試験においては、直線道路上に送信側の歩行者が立ち、受信側の自動車を移動させ、歩行者からの距離を最大 320m までとして、各距離における積算パケット到達率および受信電力を測定する。

見通し外条件においては、歩行者が交差点中央から 10m および 20m 離れ、自動車は交差点中央からの距離を最大 120m として各距離における積算パケット到達率および受信電力を測定する。



図 4.2-24 森林／土手地帯 実験場所（見通し条件）



図 4.2-25 森林／土手地帯 実験場所（見通し外条件）



図 4.2-26 森林／土手地帯 実験風景

図 4.2-27～図 4.2-30 に森林／土手地帯の見通し環境における測定結果を示す。

300m までの範囲において、胸ポケットを除く全てのアンテナの積算パケット到達率が 95% 以上となることを確認した。胸ポケットに関しても 260m までは基準値を上回るパケット到達率を示しており、田園地帯よりも伝搬距離が大きい。受信電力を見ると近距離では純減するも、100m～220m の範囲において横ばいとなっている。周辺構造物の配置や誘電率は異なるものの、ビル／住宅街と同様に、反射波、回折波による合成利得が得られることが分かった。

次に、見通し外条件における実測結果について述べる。図 4.2.31～図 4.2.34 に交差点・歩行者間距離 10m の結果を示す。交差点・自動車間 95m までの範囲において、積算パケット到達率 95% 以上となることを確認した。また、図 4.2.35～図 4.2.38 は参考のために取得した交差点・歩行者間距離 20m の結果である。この場合も、交差点・自動車間 95m までの範囲において、95% 以上となることを確認した。

受信電力はこれもビル／住宅街の場合と同様に全体的に低めであり距離に応じて純減する傾向にある。

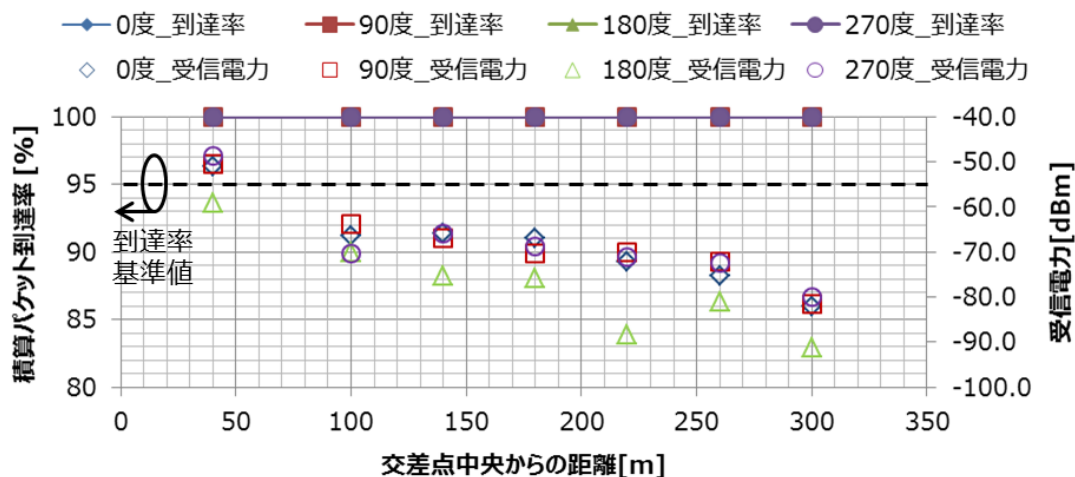


図 4.2-27 森林／土手地帯 見通し条件 スマホ持ち歩き実測結果

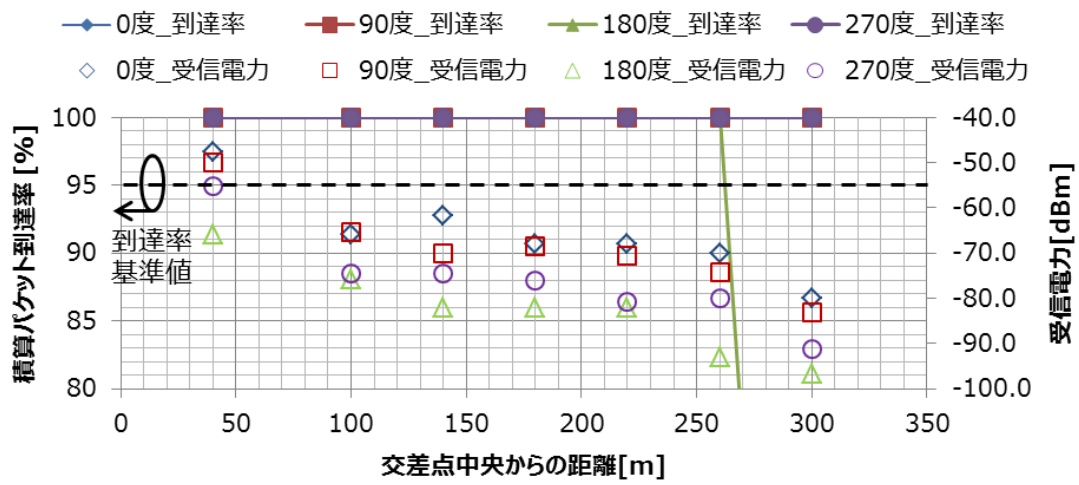


図 4.2-28 森林／土手地帯 見通し条件 胸ポケット実測結果

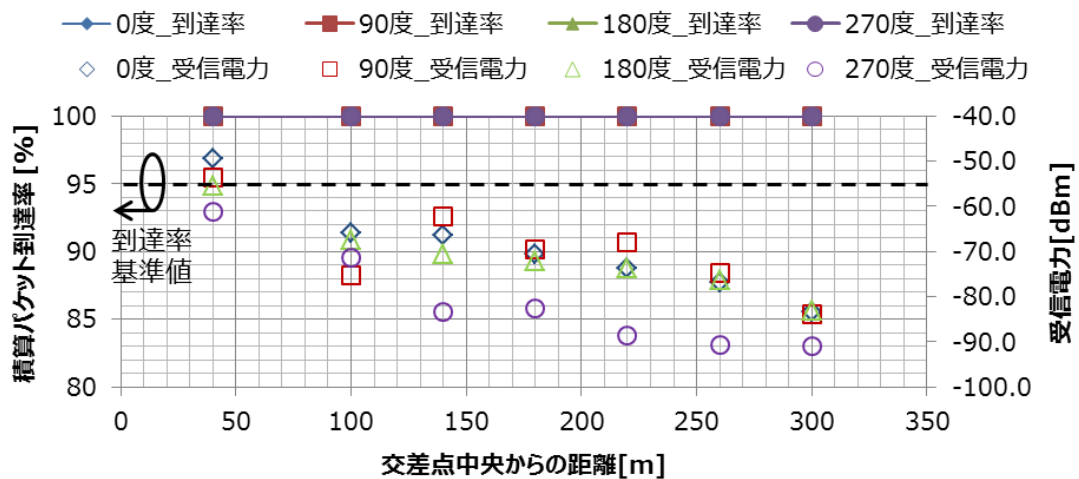


図 4.2-29 森林／土手地帯 見通し条件 かばん実測結果

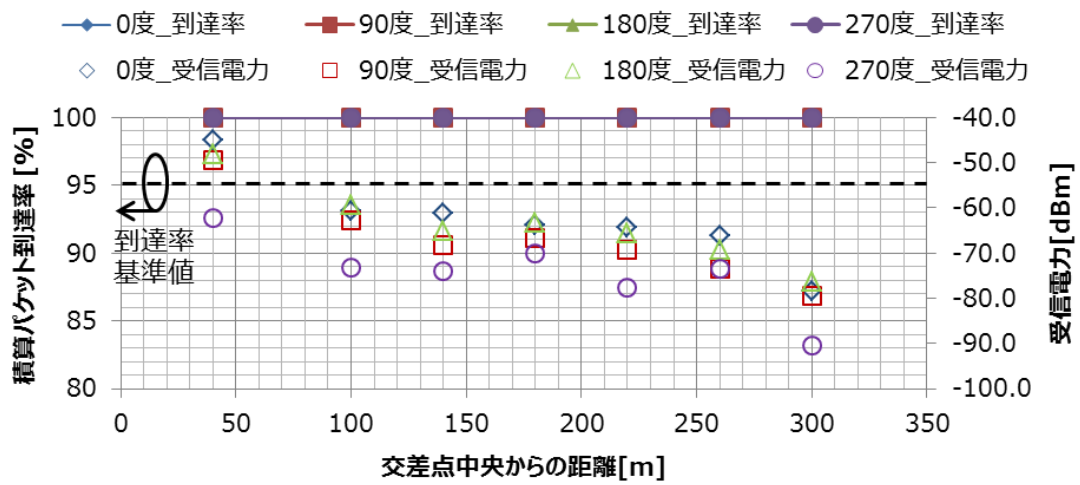


図 4.2-30 森林／土手地帯 見通し条件 外部アンテナ実測結果

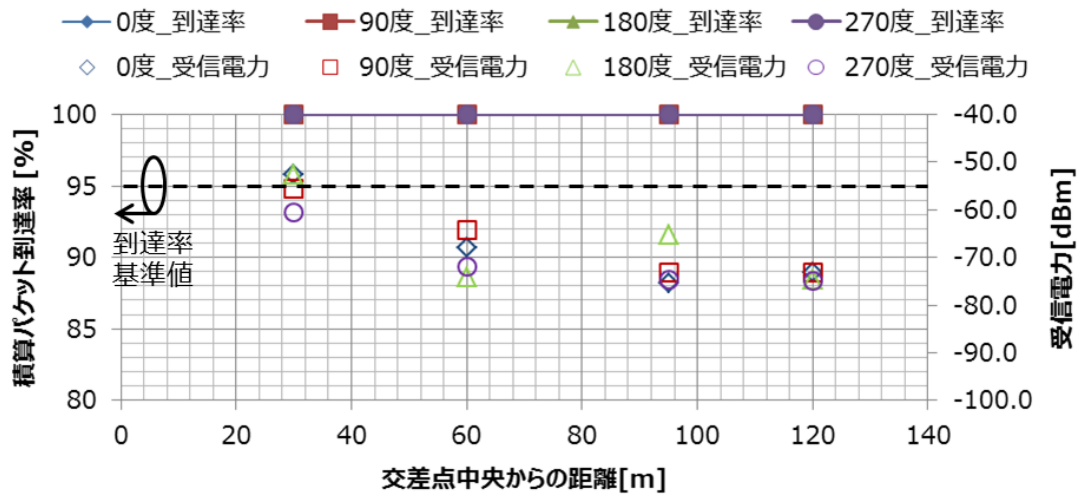


図 4.2-31 森林／土手地帯 見通し外条件 スマホ持ち歩き実測結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

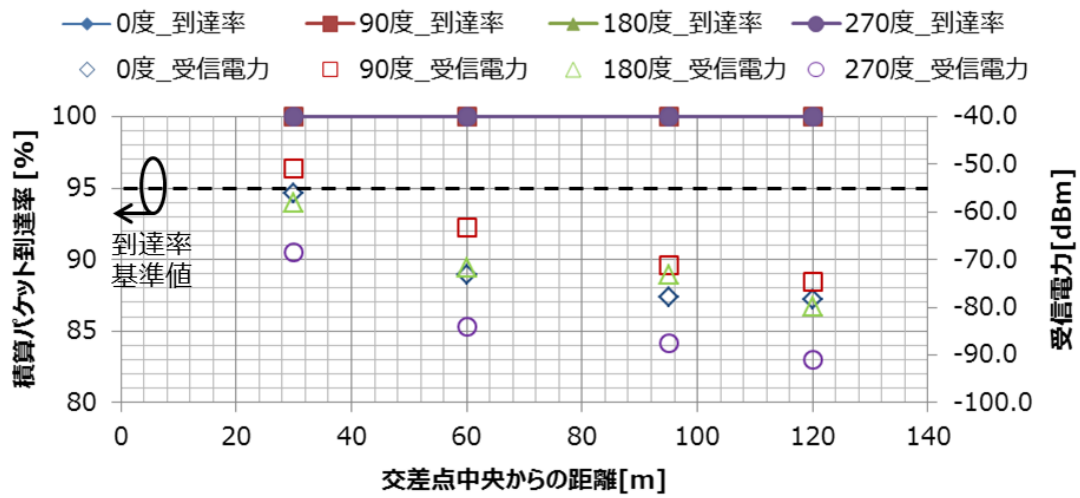


図 4.2-32 森林／土手地帯 見通し外条件 胸ポケット実測結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

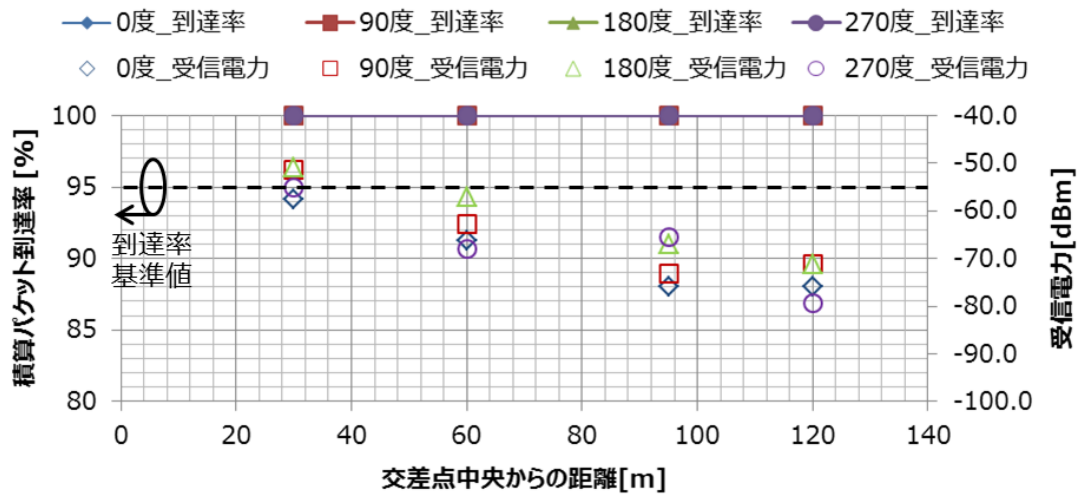


図 4.2-33 森林／土手地帯 見通し外条件 かばん実測結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

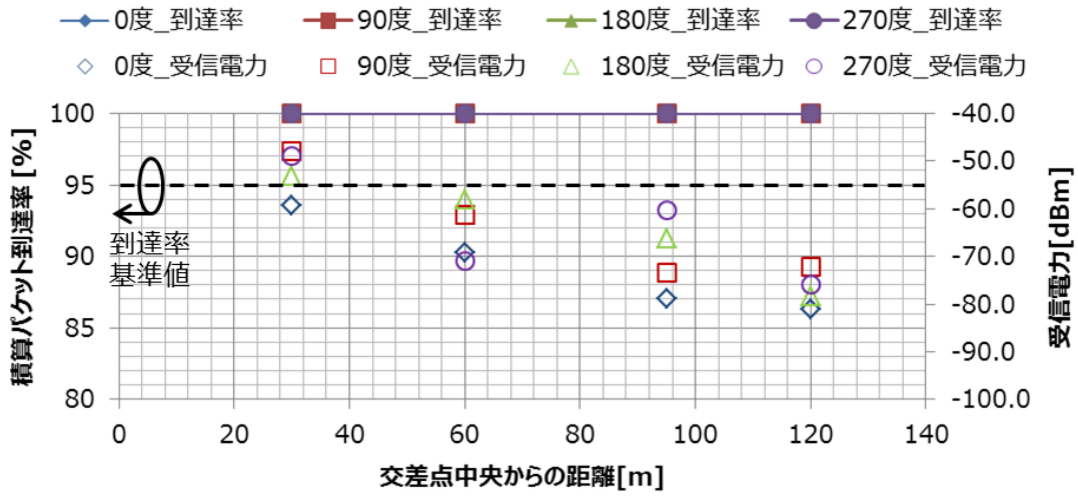


図 4.2-34 森林／土手地帯 見通し外条件 外部アンテナ実測結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

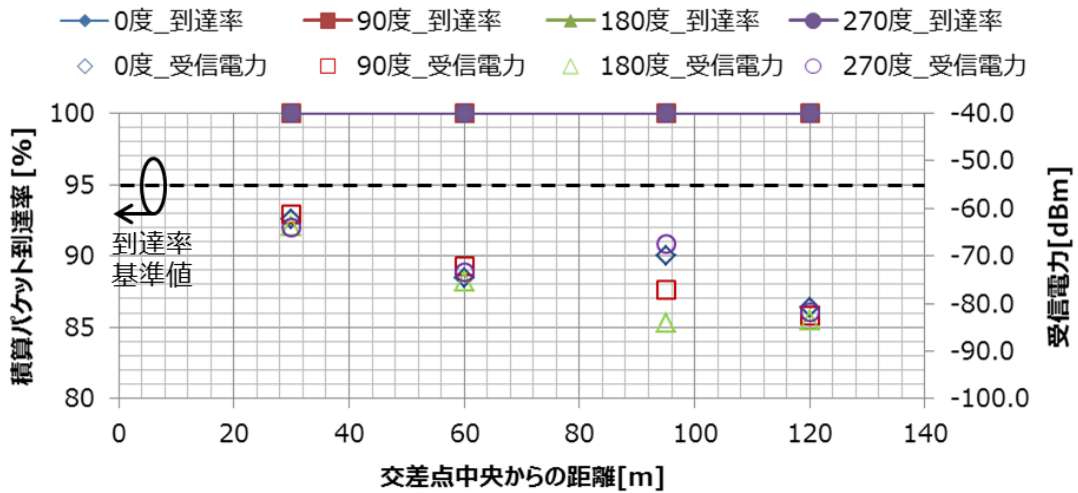


図 4.2-35 森林／土手地帯 見通し外条件 スマホ持ち歩き実測結果  
(交差点・歩行者間距離 20m)



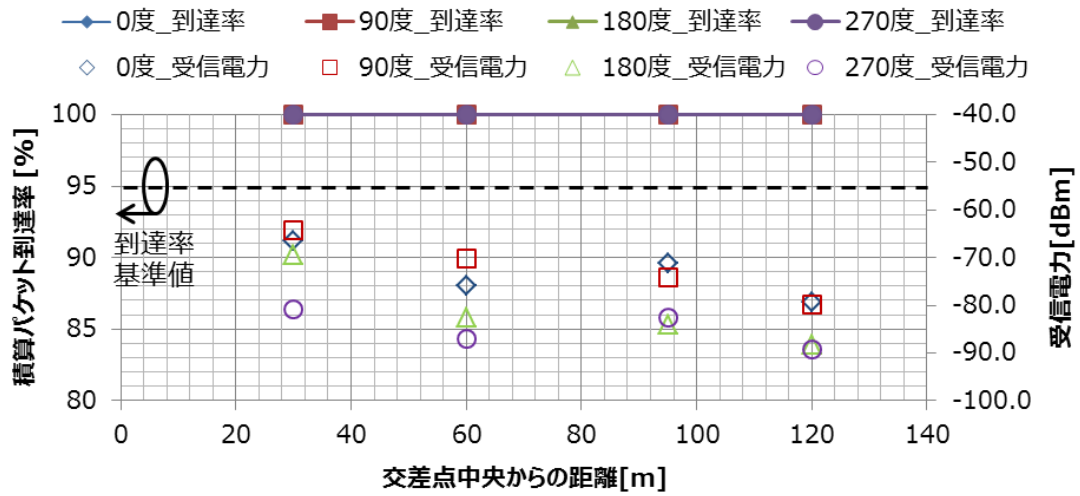


図 4.2-36 森林／土手地帯 見通し外条件 胸ポケット実測結果  
(交差点・歩行者間距離 20m)

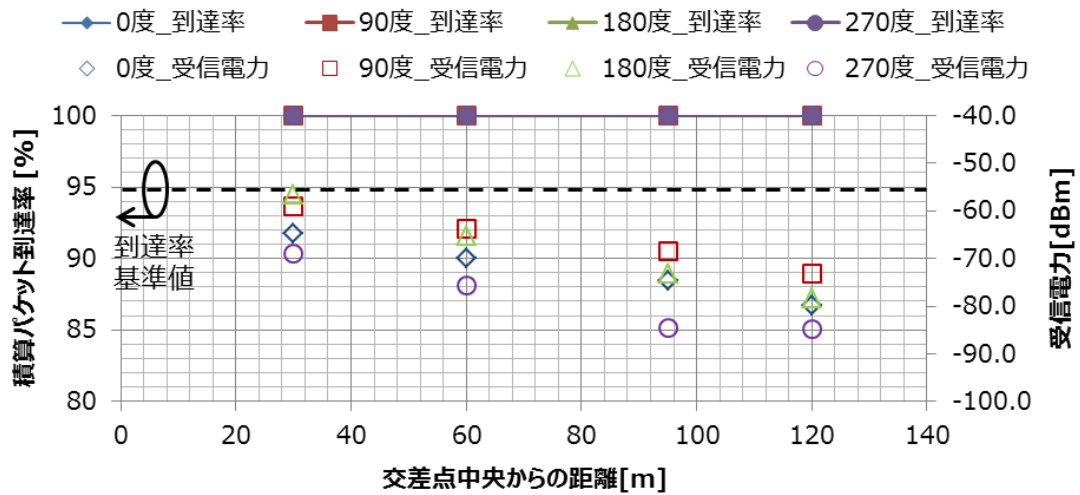


図 4.2-37 森林／土手地帯 見通し外条件 かばん実測結果  
(交差点・歩行者間距離 20m)

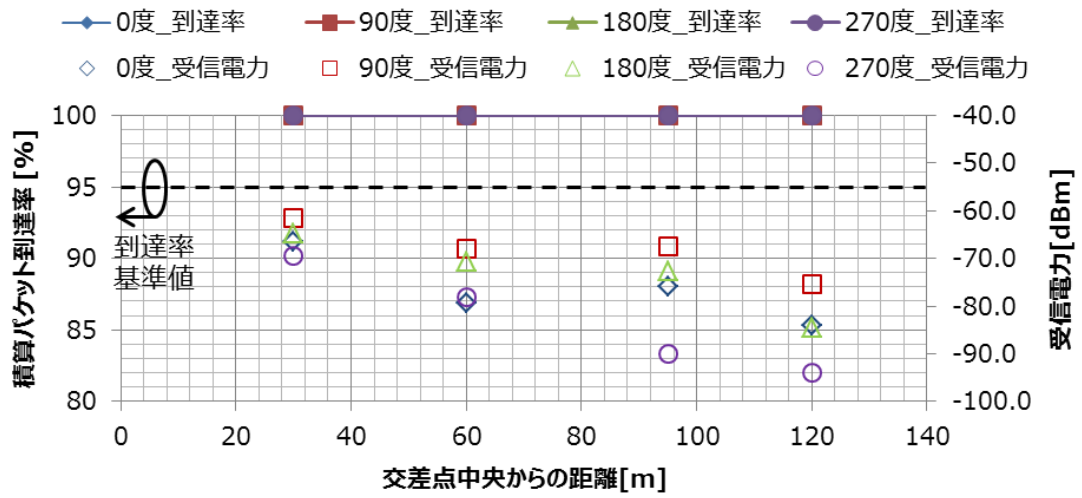


図 4.2-38 田園／土手地帯 見通し外条件 外部アンテナ実測結果  
(交差点・歩行者間距離 20m)

### 4.3. 伝搬シミュレーションによる実験結果の解析

実験結果の考察に対する補強のために、実証実験で結果に大きな違いがみられた田園地帯とビル／住宅街について、伝搬シミュレーションによって電波伝搬特性を解析する。ただし、実験場所における地表の傾斜や構造物の形状を精密に再現することは困難なため、各場所の特徴をとらえた簡易的な解析モデルによって、結果に違いが生まれた要因を検証する。解析は、構造計画研究所より販売されている電波伝搬シミュレータ wireless insite [9] を用いて行う。本シミュレータは電波伝搬特性の解析手法の一つであるレイラウンチング法を実装している。これは電波の素波を模擬した光線（レイ：Ray）を送信点から一定の角度で離散的に放射し、地表や構造物による反射、透過、回折を幾何光学的に計算してレイの軌跡を探索することで、受信点における受信電力や到来波分布を解析する手法である [10]。広範囲における電波伝搬特性を現実的な時間で計算することができる。

#### 4.3.1. 伝搬シミュレーション用アンテナモデル

電波伝搬特性を解析するために、人体近接時のアンテナ特性を電磁界シミュレーションにて解析し、伝搬シミュレーションに入力するための放射パターンデータを生成する [3]。解析するアンテナは、歩行者側と自動車側で合わせて5種類である。

##### <歩行者側>

- ① スマホ持ち歩き（右手保持）
- ② 胸ポケット（左胸近傍配置）
- ③ かばん（左脚部近傍配置）
- ④ 外部アンテナ（左肩配置）

##### <自動車側>

- (5) 外部アンテナ（自由空間）

歩行者側の人体解析モデルは、実証実験における歩行者側被験者を参考に中肉中背の標準体型とする。身長は被験者と同一の173cmである。

図 4.3-1～図 4.3-4 に人体解析モデルを示す。どの条件においても、実証実験に近い配置になるように作成している。スマホ持ち歩きはスマートフォン模擬筐体を45度傾けて人体腹部から15cm離して配置している。胸ポケットはスマートフォンのLCD面を前方に向けて、人体ファントムから0.25cm離して配置している。かばんは、手提げかばんの中にスマートフォンを収納した場合を想定して配置し、人体とスマートフォンとの最近接距離を1cmとしている。外部アンテナは、ファントムの左肩上に配置し、人体に沿うように仰角方向に25度傾けて配置している。複素比誘電率はIEC62209-2 [11] 記載の人体胴体部における比誘電率および導電率から算出し、 $41.9+j21.04$ とする。解析における座標軸の定義は

図に記載の通りである。

図 4.3-5～図 4.3-8 にこれらの解析モデルにおけるアンテナの放射パターンを、図 4.3.9 に外部アンテナ（自由空間）の放射パターンを示す。

スマホ持ち歩きは、水平面において 0 度方向と 90 度、270 度方向の利得が比較的高く、人体の陰になる 180 度方向の利得が比較的低い。XZ 面を見ると斜め下方向に  $E_{\theta}$  成分の利得が高くなっているために前方方向の利得が少し低下している様子が分かる。スマートフォン模擬筐体を 45 度傾けて保持している影響と考えられる。

胸ポケットは、水平面において人体方向（180 度）の利得劣化がより顕著であり -30dBi 以下となっている。また、XZ 面、YZ 面を見ると人体近接によりアンテナ効率が劣化し、全体的に放射パターンが萎んでいる様子が分かる。

かばんは、水平面において人体の脚が遮蔽する 270 度方向において利得低下がみられ、-20dBi 程度である。YZ 面を見ると人体方向は垂直面全体で利得が低いことが分かる。一方、脚の反対側である 90 度方向は 0dBi 程度と高い。

外部アンテナ（左肩配置）は、水平面において劣化が小さく、人体がある 270 度方向でも約 -15dBi と比較的高い利得が得られている。

外部アンテナ（自由空間）は、水平面においてほぼ無指向性であり 0dBi 程度の利得が確保できている。

実測結果である図 4.1-2、図 4.1-4 と比較すると、放射パターンの傾向が一致している。本データを用いて伝搬特性を解析する。

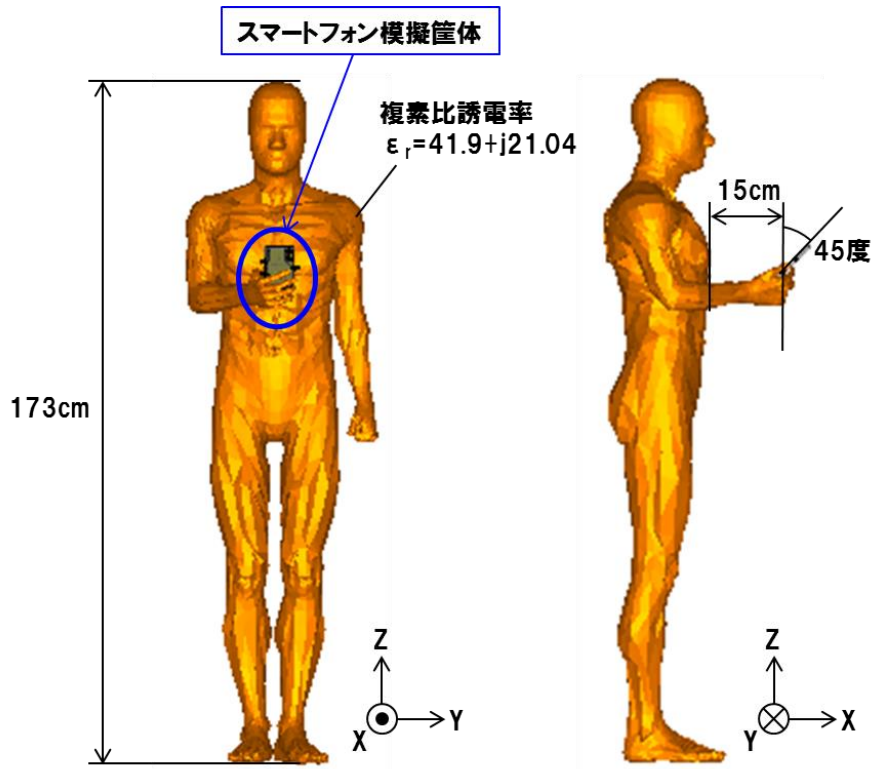


図 4.3-1 スマホ持ち歩き（右手保持） 解析モデル

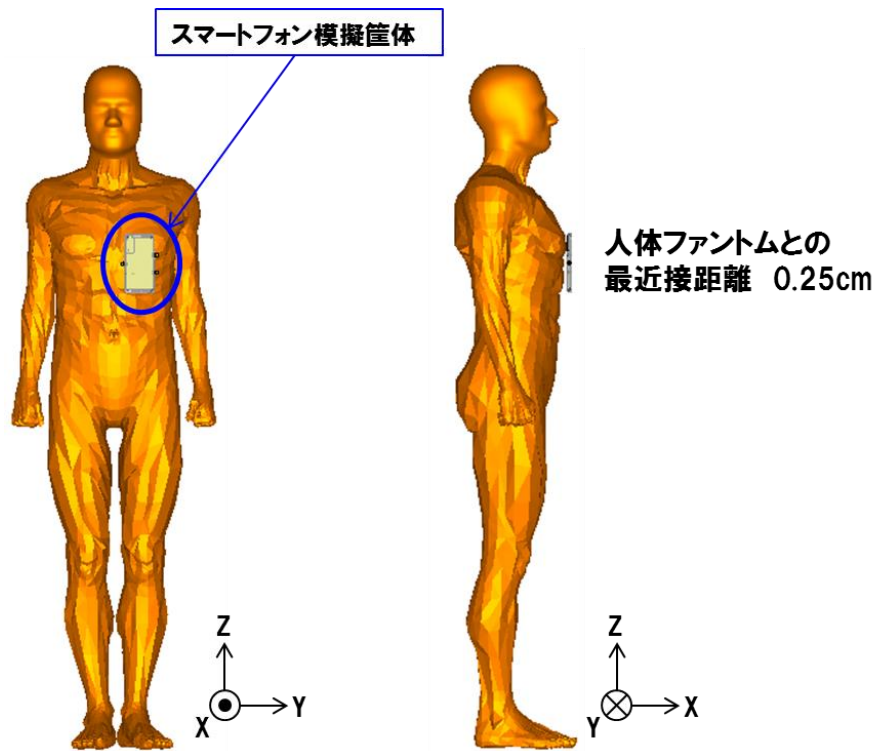


図 4.3-2 胸ポケット（左胸近傍配置） 解析モデル

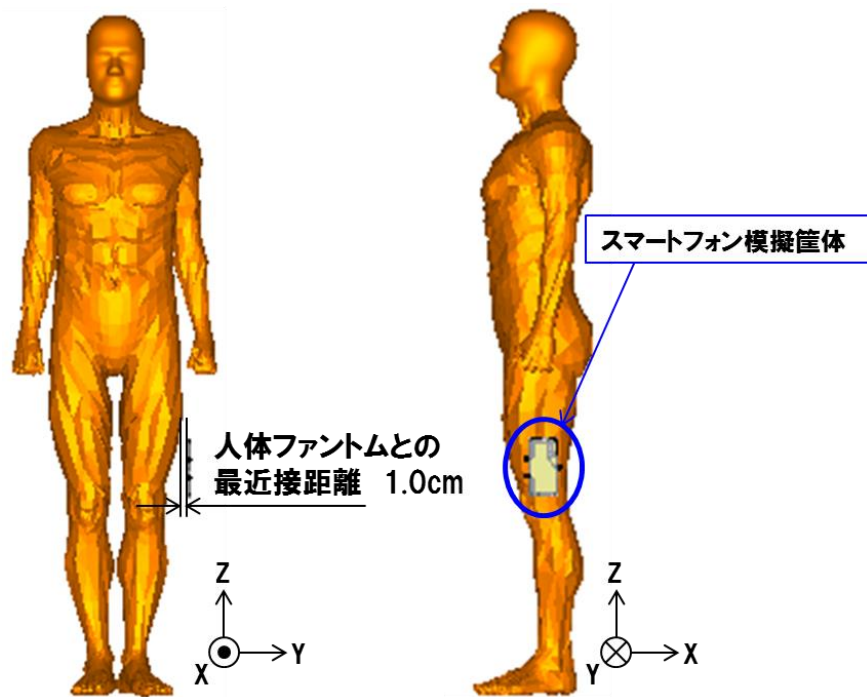


図 4.3-3 かばん（左脚部近傍配置） 解析モデル

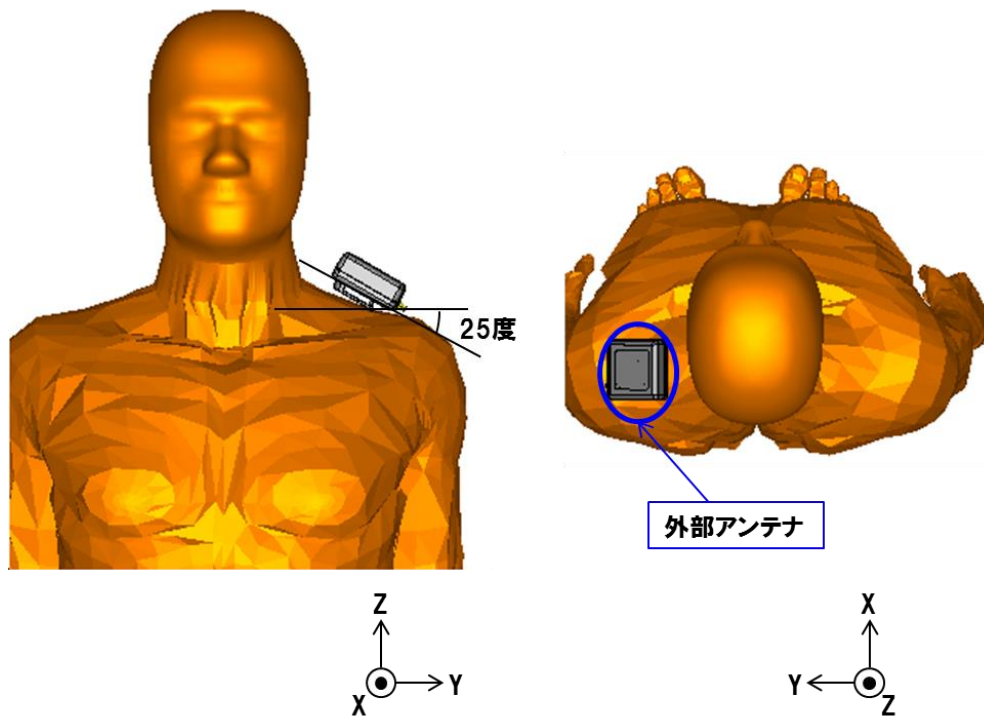


図 4.3-4 外部アンテナ（左肩配置） 解析モデル

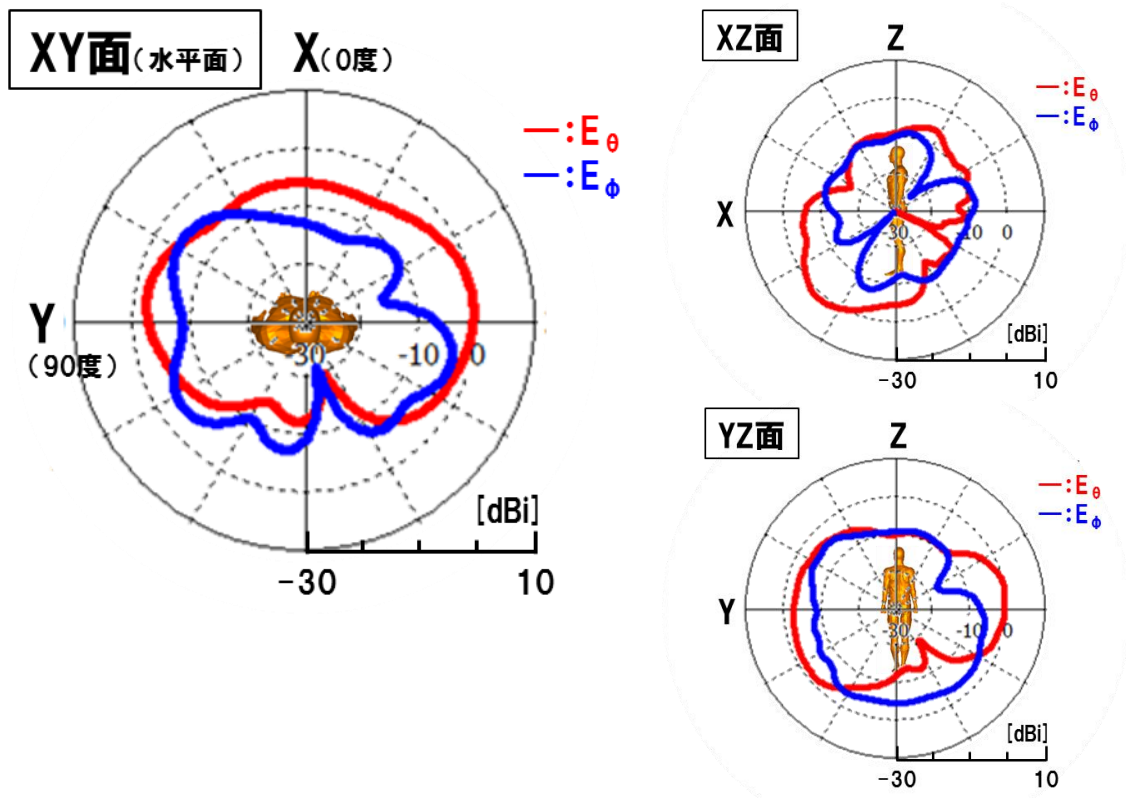


図 4.3-5 スマホ持ち歩き (右手保持) 放射パターン

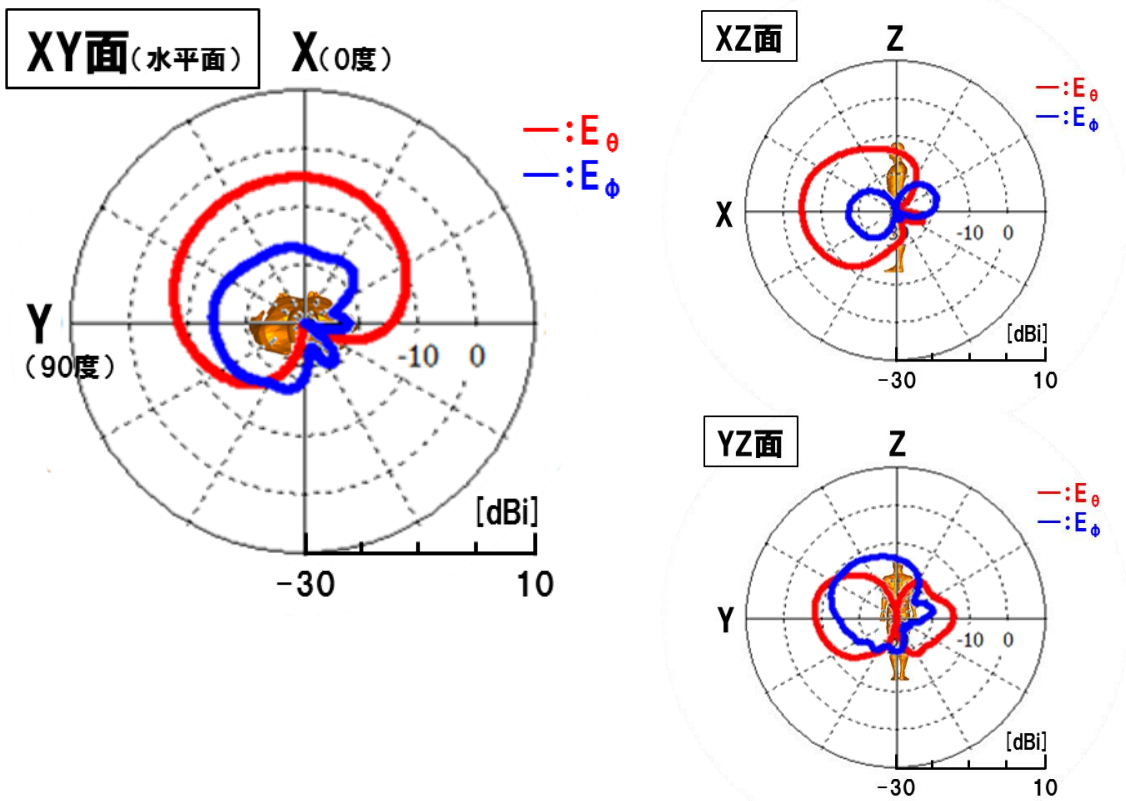


図 4.3-6 胸ポケット (左胸近傍配置) 放射パターン

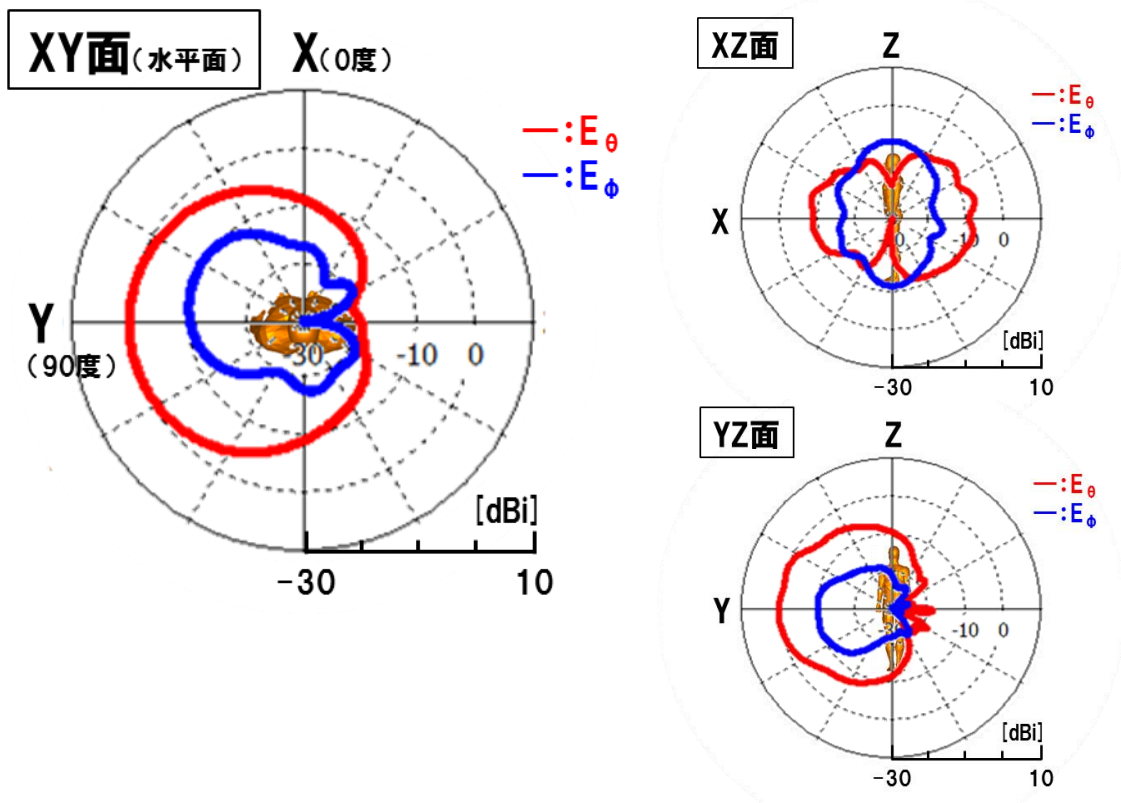


図 4.3-7 かぼん (左脚部近傍配置) 放射パターン

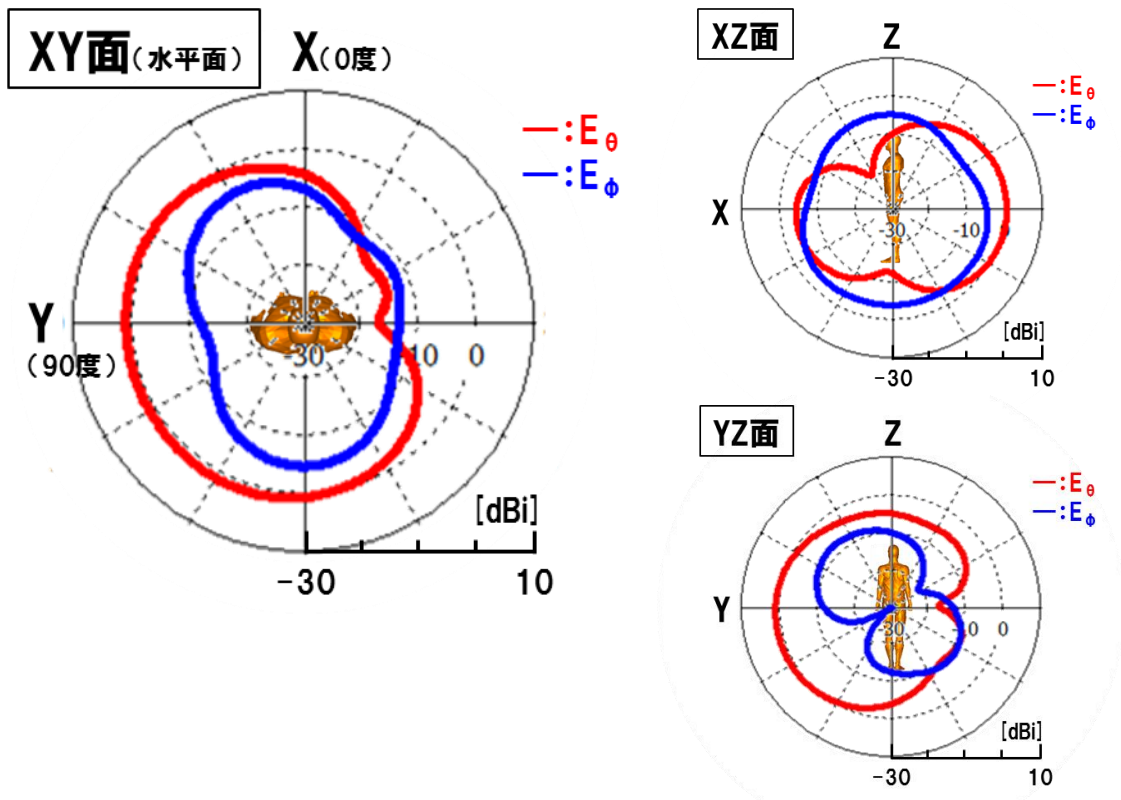


図 4.3-8 外部アンテナ (左肩配置) 放射パターン



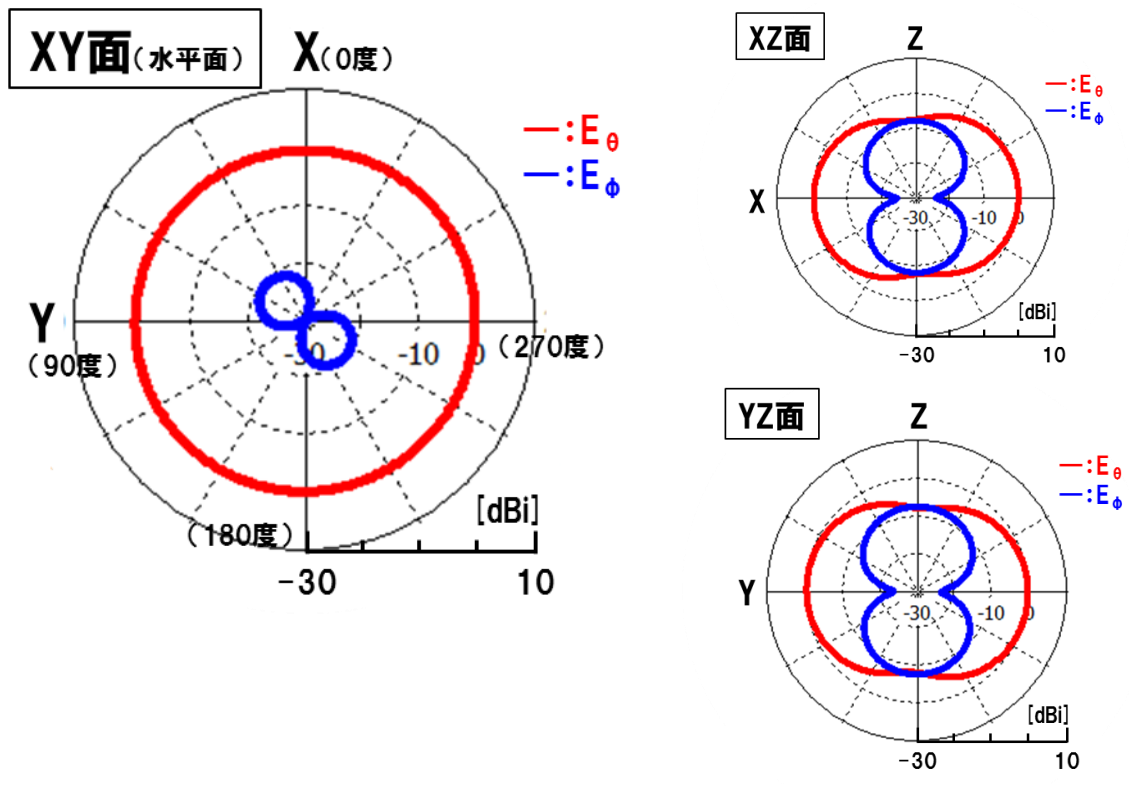


図 4.3-9 外部アンテナ (自由空間) 放射パターン

#### 4.3.2. 電波伝搬解析条件

田園地帯を模擬した簡易解析モデルを図 4.3-10 に示す。幅 7m のアスファルト製の道路のみによる簡素なモデルである。歩行者側の送信点に対して自動車側の受信点を 5m おきに離して配置する。送信点と受信点の間に遮蔽物はない。

また、ビル／住宅街を模擬した簡易解析モデルを図 4.3-11 に示す。実証実験場所の地図を元にコンクリート製の建物を 5 つに統合、幅 10m の道路を挟んで 4 つの建物を配置し、交差点を形成している。見通し条件においては歩行者側の送信点を交差点に置き、自動車側の受信点を 5m おきに配置する。見通し外条件においては交差点から +Y 方向に 10m 移動した点に送信点を置き、受信点を同じく 5m おきに配置する。送信点と受信点との間には見通し内条件においては遮蔽物がないが、見通し外条件においては建物が遮蔽物になる。構造物の電気定数は図に記載の通りであり、 $\epsilon_r$  は比誘電率、 $\sigma$  は導電率である。

各環境における共通条件を表 4.3.1 に示す。表に記載の放射離散角度はレイラウンチング法における角度分解能である。本検討にて想定する解析範囲において十分な解析精度が得られるよう設定している。反射回数、回折回数、透過回数は、一本のレイにおける上限値である。構造物が幾つか配置されているので反射回数は多めに 5 回として設定する。回折は主に見通し外において影響度が大きい。ビル／住宅街の簡易解析モデルにおいては交差点で 1 回回折すると受信点に到達する。屋根伝いの回折波を想定しても 2 回回折である。そこで 2 回として設定する。透過するレイに関しては、構造物による減衰が大きく受信電力にほとんど影響しないと考える。そこで 0 回として設定する。受信点における電力は全到達レイの複素電力合成にて計算する。送信電力は空中線電力 16.0dBm から同軸ケーブル損失を差し引いた 15.5dBm としている。受信感度は積算パケット到達率が 95% となる受信電力 -98.0dBm に対して同軸ケーブル損失を加えた -97.5dBm を想定する（解析には含まれない）。送信アンテナと受信アンテナの高さは実証実験の条件に準じている。

なお、歩行者側のアンテナ（送信アンテナ）は放射パターンによる影響を評価するために、0 度（前方）、90 度（左方）、180 度（後方）、270 度（右方）の 4 方向に向きを変える。自動車側のアンテナ（受信アンテナ）は、ルーフ上に設置した外部アンテナを想定しており、アンテナの X 軸と簡易解析モデルの X 軸とを合わせて配置する。ほぼ無指向性のためアンテナ向きは結果に影響しないと考えられることから 1 方向固定としている。

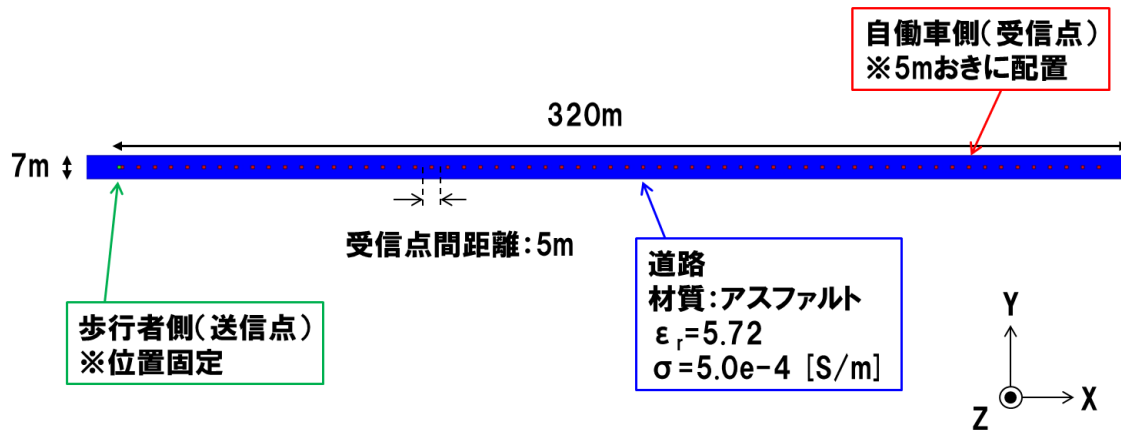


図 4.3-10 田園地帯 簡易解析モデル

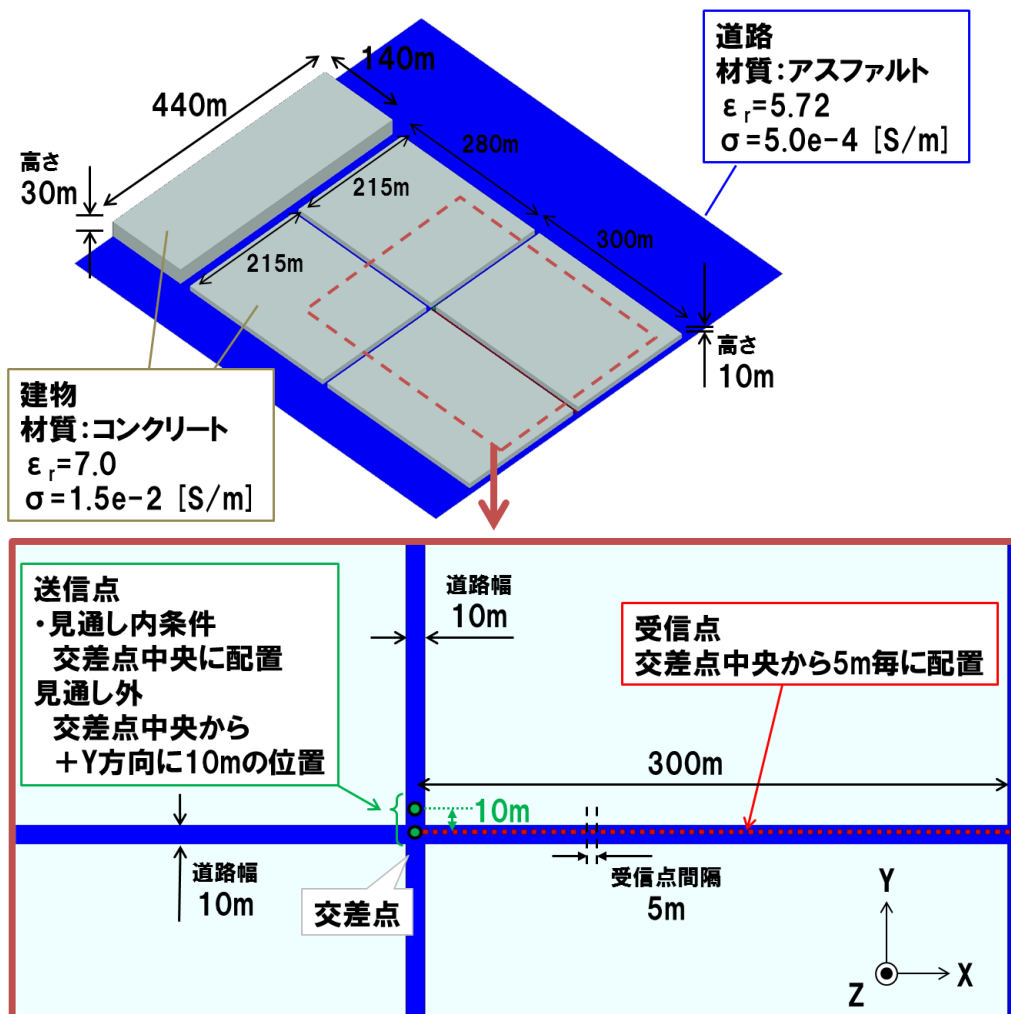


図 4.3-11 ビル/住宅街 簡易解析モデル

表 4.3-1 各環境の共通条件

	項目	値
レイラウンチング 条件	放射離散角度	0.25 deg
	反射回数	5 回
	回折回数	2 回
	透過回数	0 回
	受信点電力計算方法	全到達レイの複素電力合成
無線性能	送信電力	15.5 dBm
	受信感度	-97.5dBm
送信アンテナ利得	図 4.3-5～図 4.3-8 に記載の通り	
受信アンテナ利得	図 4.3-9 に記載の通り	
送信アンテナ高	スマホ持ち歩き	1.25 m
	胸ポケット	1.3 m
	かばん	0.5 m
	外部アンテナ	1.45 m
受信アンテナ高	外部アンテナ	1.5 m

### 4.3.3. 解析結果

解析結果をグラフにて示す。横軸を自動車と歩行者との距離であり縦軸を受信電力である。比較のために実測結果を併記する。ただし、実測結果は、復号したパケットの受信電力中央値なので受信感度付近では上振れする上に、解析結果は簡易解析モデルによるものなので結果が一致することはない。大凡の傾向を比較するために用いる。

図 4.3-12～図 4.3-15 に田園地帯簡易解析モデルにおける結果を示す。距離が離れるほど減衰が大きくなる傾向にある。各角度の電力差は距離に限らずほぼ一定であり、これはアンテナ利得の差と概ね一致する。実測結果と比較すると各条件において受信電力は近い値となっている。田園地帯は周辺構造物がほとんどないため一致しやすいものと思われる。解析結果から推定される各条件の最小通信距離は、スマホ持ち歩きは 300m 以上、胸ポケットは約 200m、かばんは約 150m、外部アンテナは 300m 以上である。

次に、図 4.3-16～図 4.3-19 にビル／住宅街の簡易解析モデルにおける見通し条件での結果を示す。田園地帯と異なり受信電力が乱高下しながら減衰している。これは構造物からの反射波によるフェージングの影響と考えられる。その変化の割合は、放射パターンの影響により歩行者の角度ごとに異なっている。また、150m 前後から受信電力が横ばいになっている。これは反射波、回折波による合成利得によるものと考えられる。これらの傾向は実測と一致する。図 4.3-20 に外部アンテナを例に受信点に到達したレイの送信点からの水平面発射方向を示す。図はポーラチャートで表されており、中心からの角度は送信点からの受信点到達レイの発射方向を示しており、円の外側に行くほど受信電力が高いことを示している。図より、自動車方向の+X に対して、±30 度程度の範囲のレイが到達していることがわかる。この結果からも、反射波・回折波の合成によって受信電力が底上げされることが類推できる。なお、解析結果から推定される最小通信距離は全ての条件で 300m 以上であり、実測と同様である。

図 4.3-21～図 4.3-24 にビル／住宅街の簡易解析モデルにおける見通し外条件での結果を示す。交差点・自動車間距離は 10m である。交差点・自動車間距離に応じて減衰する。この傾向も実測と一致している。解析結果から推定される各条件の最小通信距離はスマホ持ち歩きが 145m、胸ポケットが 125m、かばんが 125m、外部アンテナが 160m 以上と、全て 95m を満たす結果である。

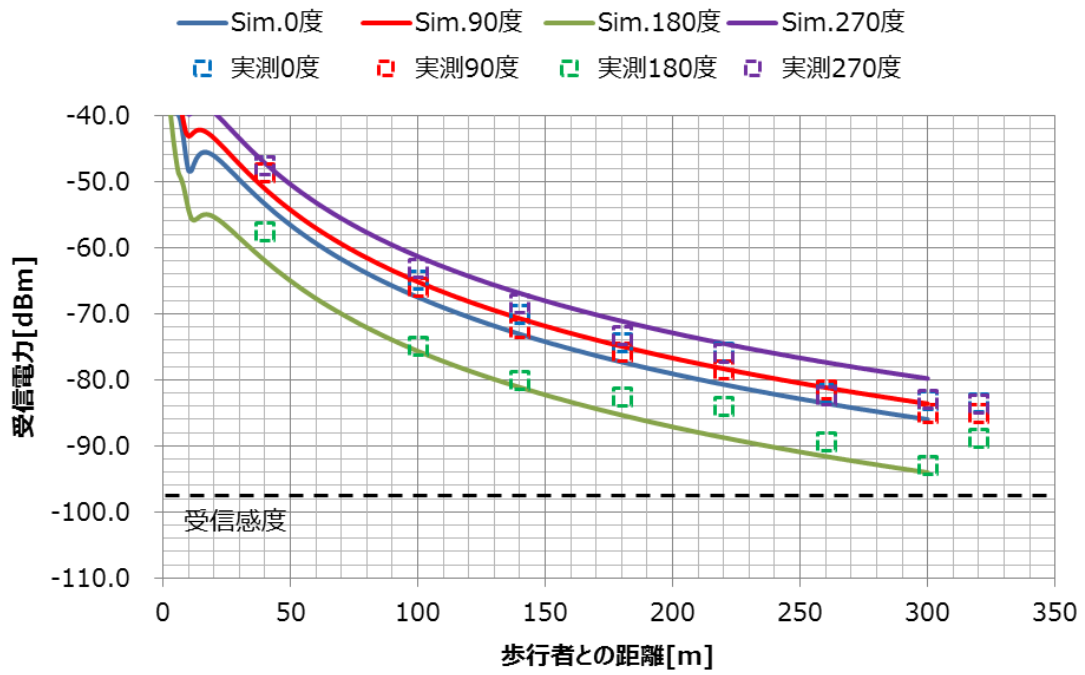


図 4.3-12 田園地帯 スマホ持ち歩き 受信電力解析結果

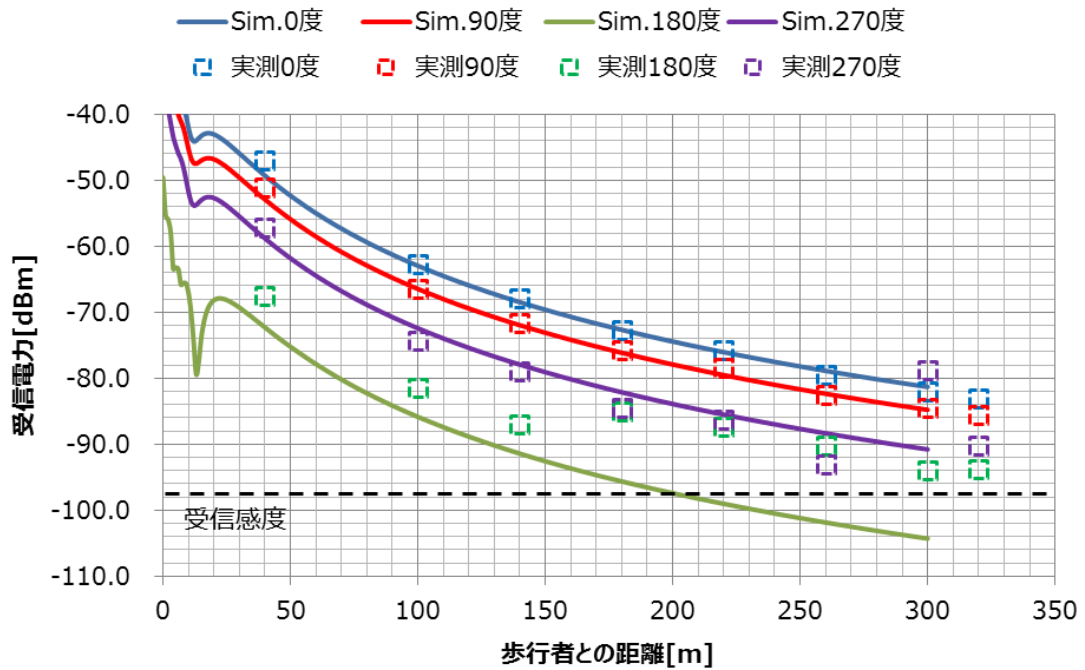


図 4.3-13 田園地帯 胸ポケット 受信電力解析結果

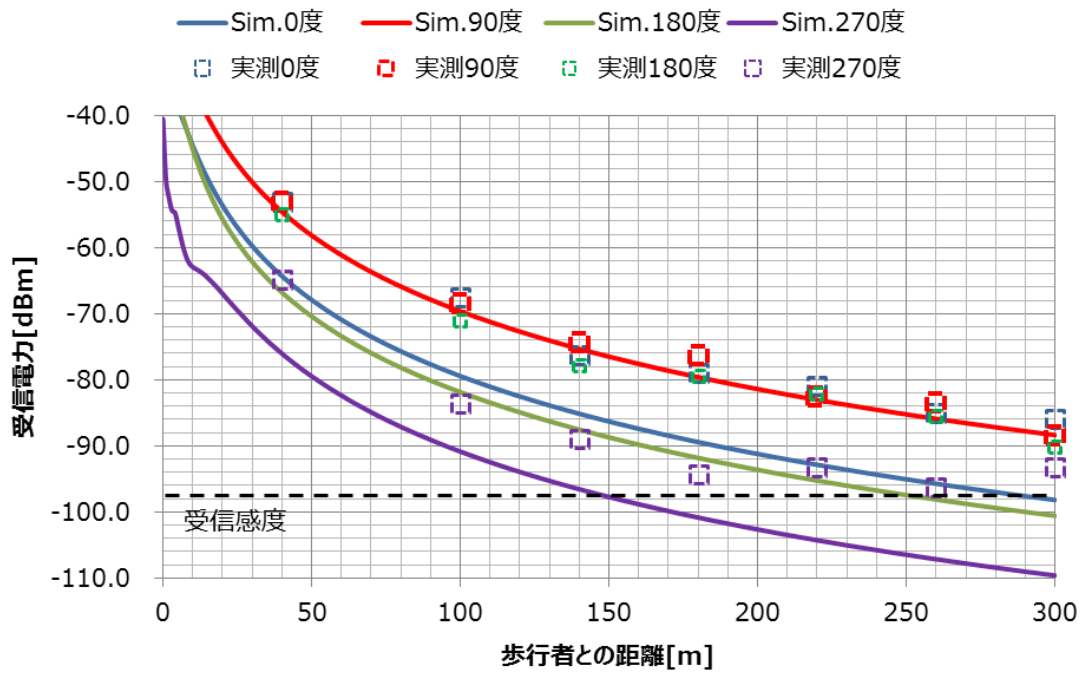


図 4.3-14 田園地帯 かばん 受信電力解析結果

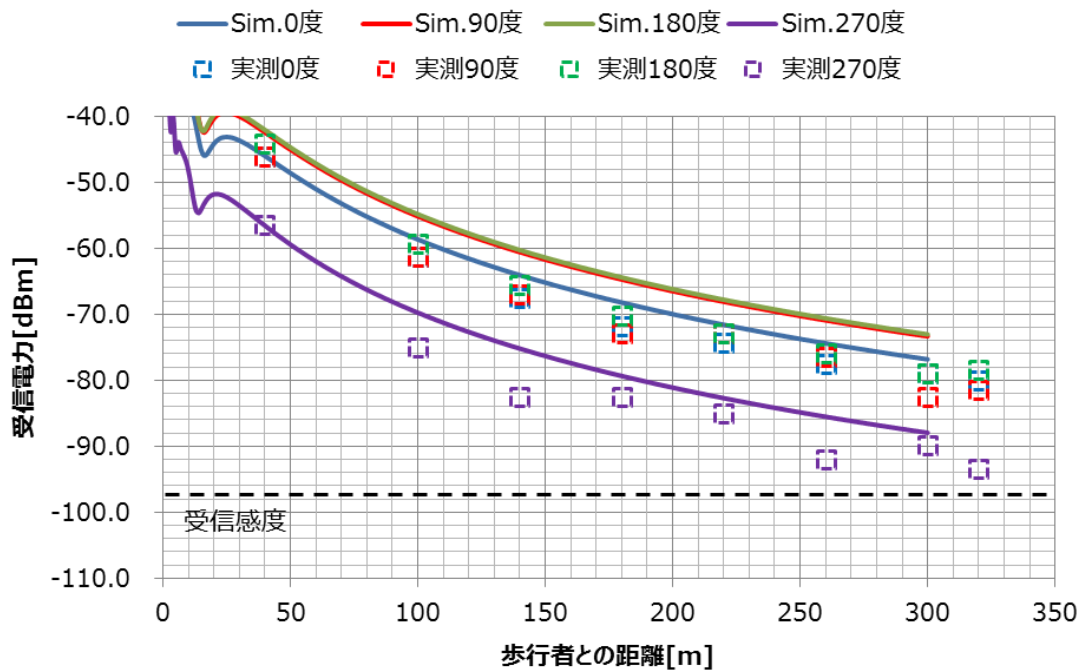


図 4.3-15 田園地帯 外部アンテナ 受信電力解析結果

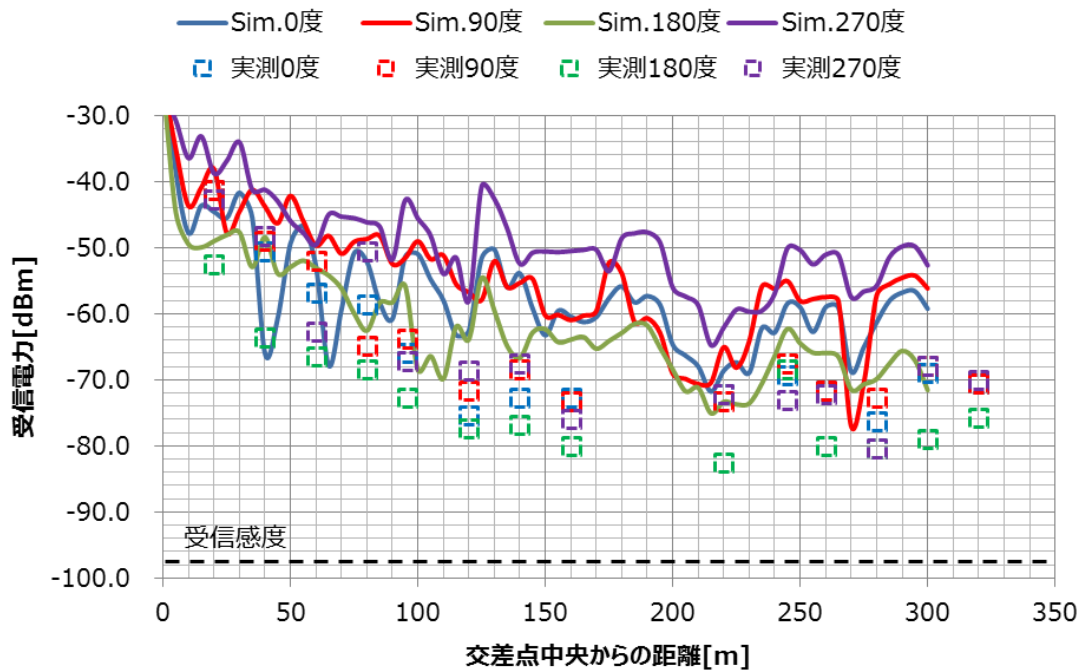


図 4.3-16 ビル／住宅街 見通し条件 スマホ持ち歩き 受信電力解析結果

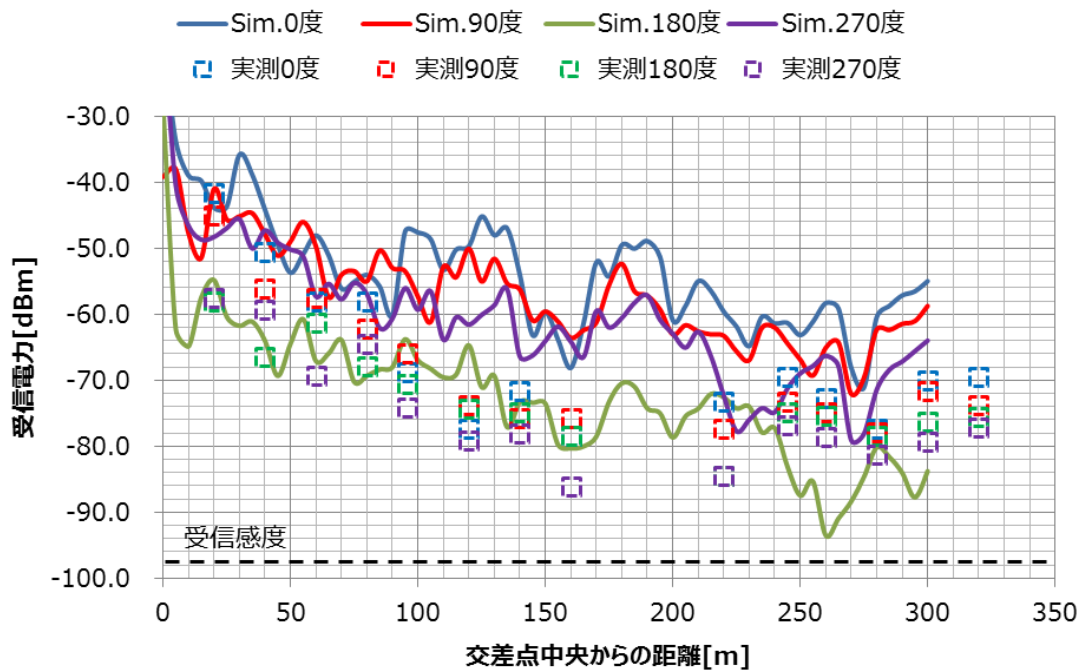


図 4.3-17 ビル／住宅街 見通し条件 胸ポケット 受信電力解析結果



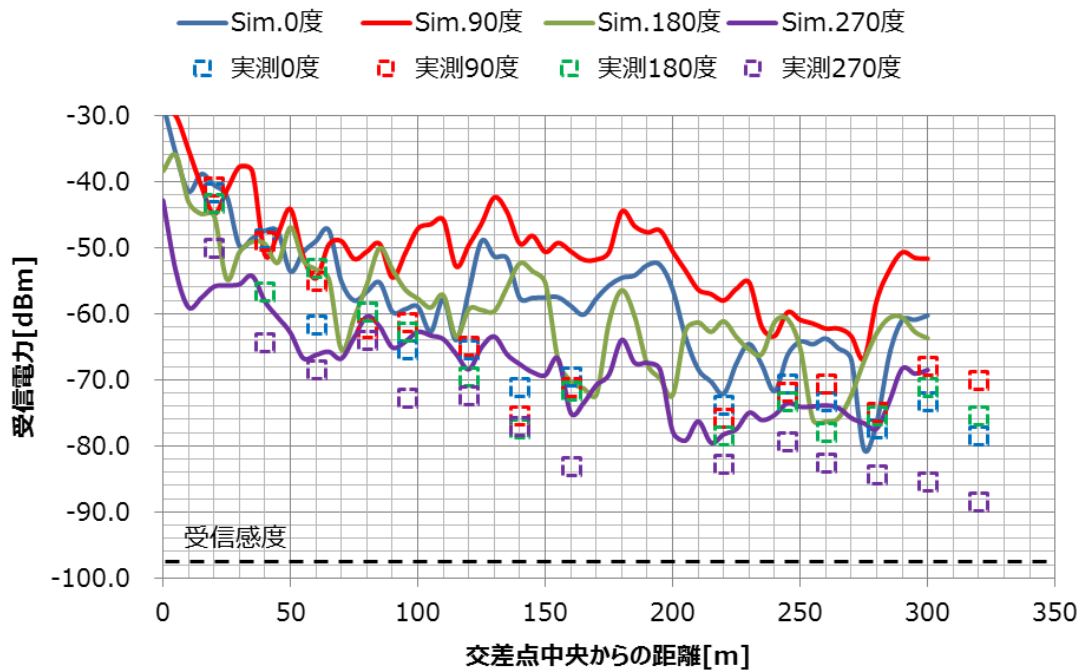


図 4.3-18 ビル／住宅街 見通し条件 かばん 受信電力解析結果

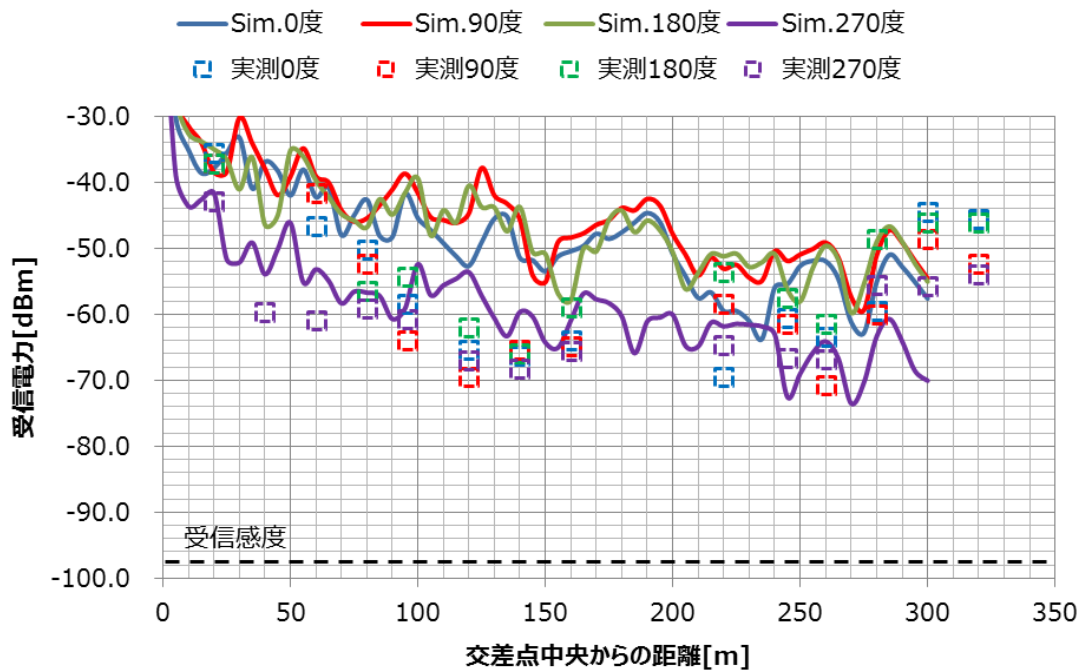


図 4.3-19 ビル／住宅街 見通し条件 外部アンテナ 受信電力解析結果

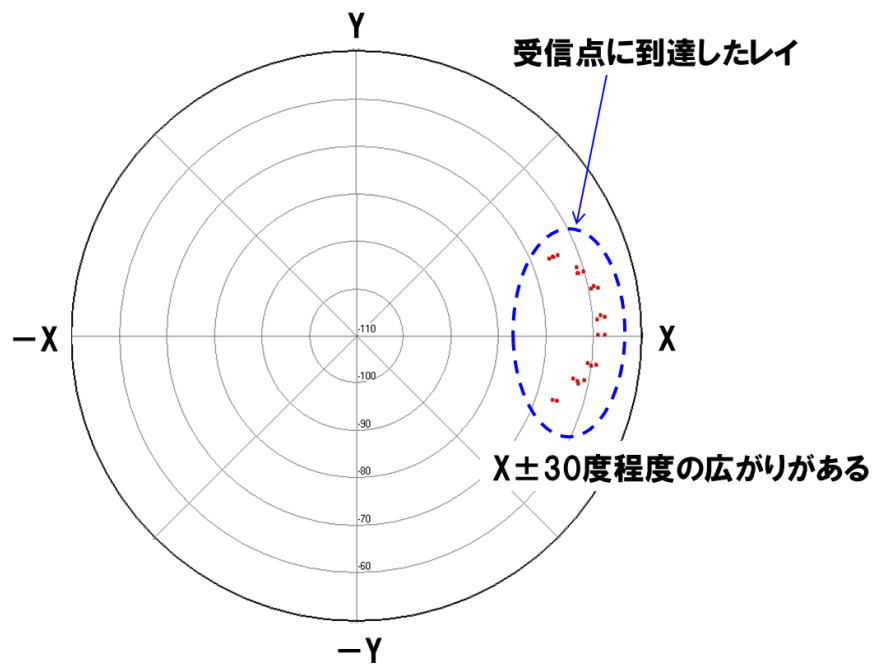


図 4.3-20 ビル/住宅街 外部アンテナ 到達レイの水平面発射方向 100m 地点

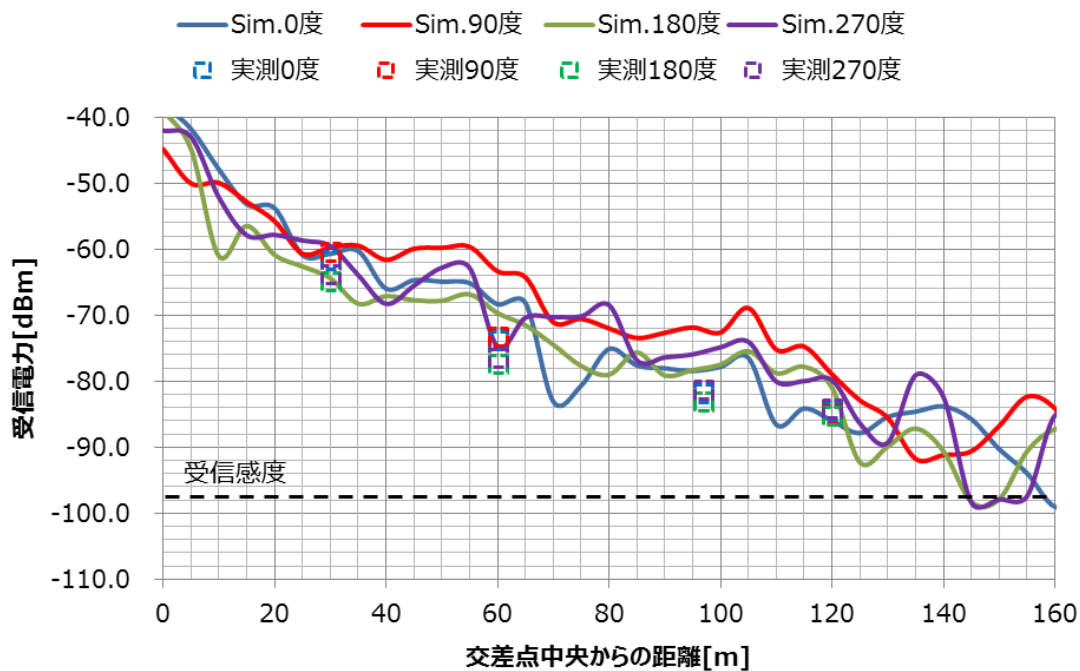


図 4.3-21 ビル/住宅街 見通し外条件 スマホ持ち歩き 受信電力解析結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

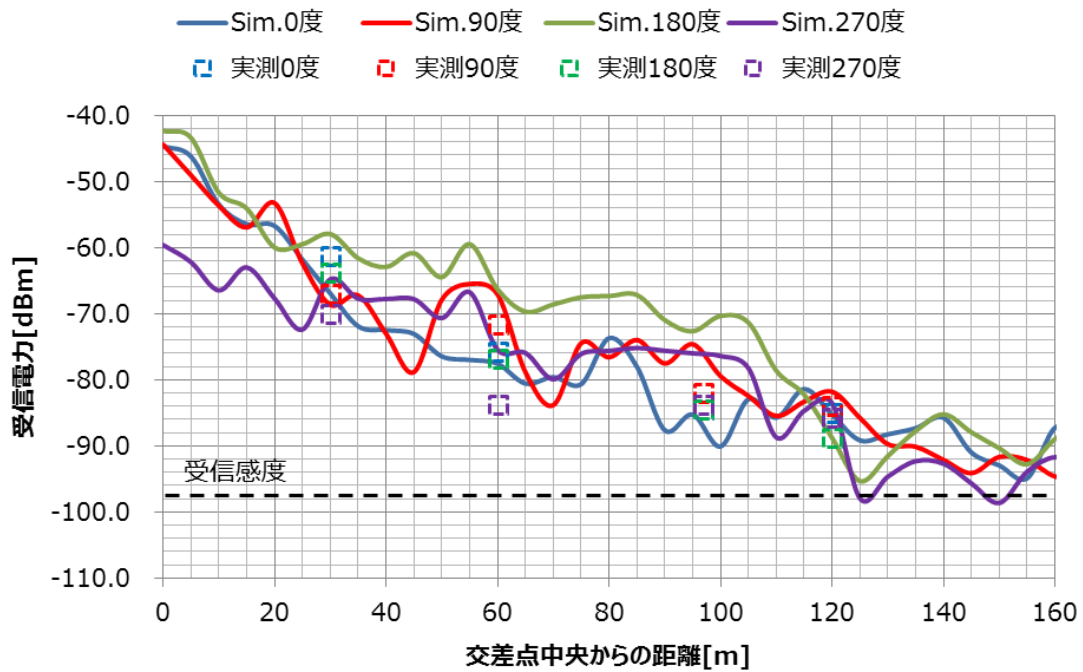


図 4.3-22 ビル／住宅街 見通し外条件 胸ポケット 受信電力解析結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

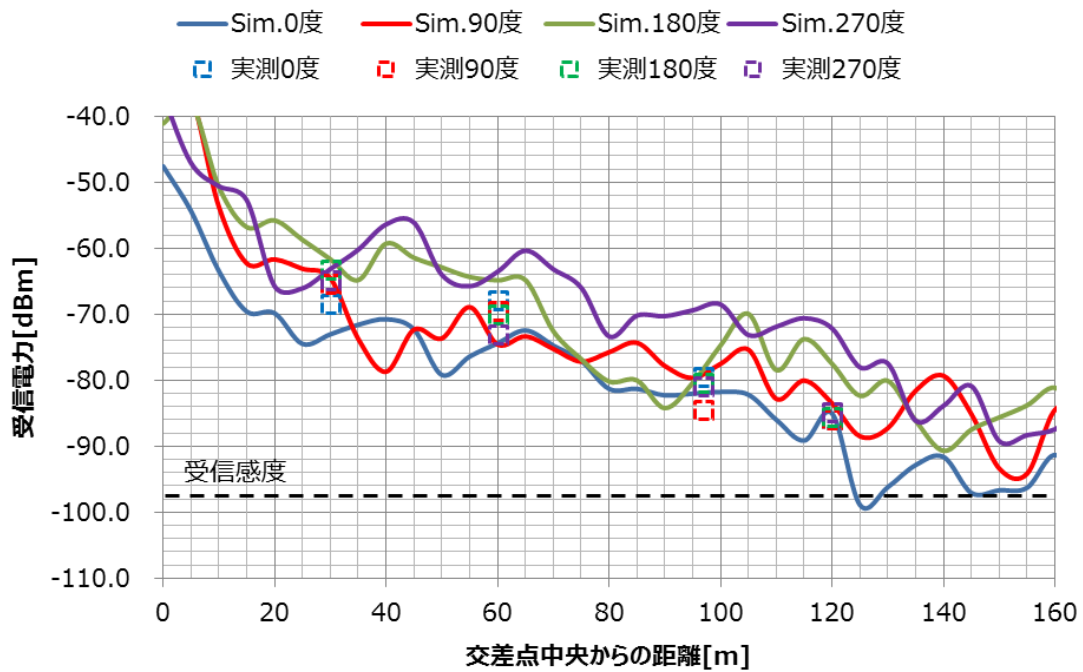


図 4.3-23 ビル／住宅街 見通し外条件 かばん 受信電力解析結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

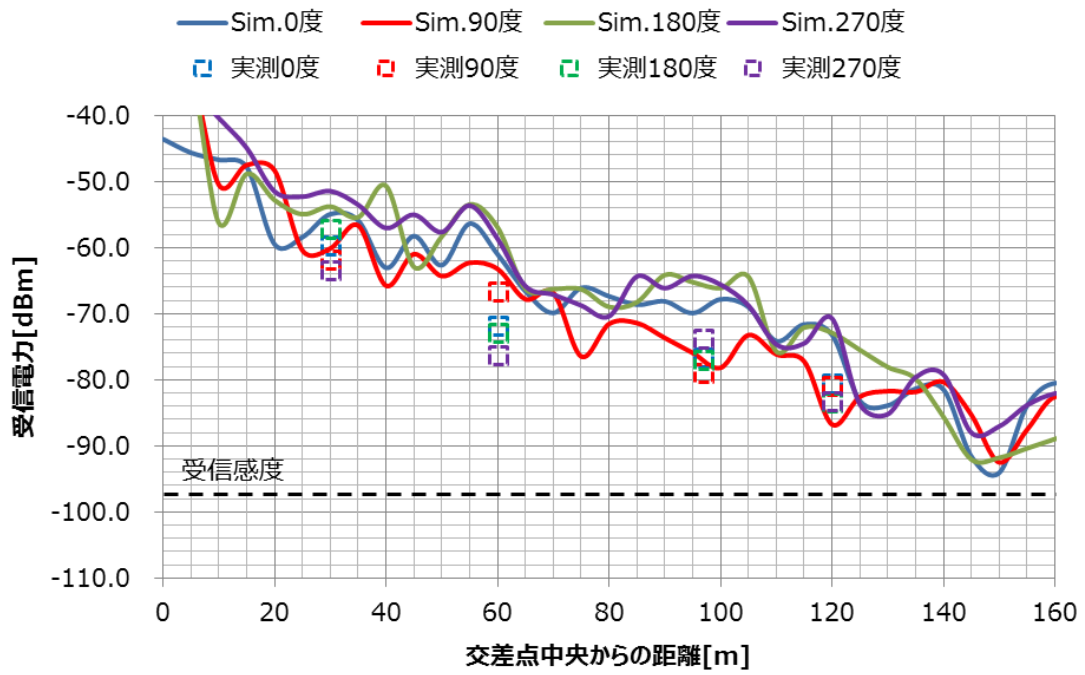


図 4.3-24 ビル/住宅街 見通し外条件 外部アンテナ 受信電力解析結果  
(交差点・歩行者間距離 10m)

#### 4.4. まとめ

4章では、スマートフォンのユースケースにおける700MHz帯通信アンテナの通信距離と伝搬特性について、実環境での実証実験と伝搬シミュレーションにて検証した。実証実験では、代表的な電波伝搬環境として、田園地帯、ビル／住宅街、森林／土手に対応した実験場所を選定し、スマートフォンのユースケースと理想的な外部アンテナを用いたケースにおける積算パケット到達率を測定することで通信距離を評価した。

その結果、見通し環境において、ビル／住宅地と森林／土手においては大凡300m以上の通信距離が得られるものの、田園地帯においてはスマートフォンを胸ポケットに入れている場合など、人体遮蔽によって自動車方向の利得が低下する条件において、通信距離が200m程度まで短くなることが分かった。田園地帯には周囲に建物などの構造物がなく、反射波・回折波による合成利得が得られないため、人体の遮蔽によるアンテナ利得の劣化が通信距離に直接的に影響したものと考えられる。

見通し外環境においては、どの実験場所でも95m以上通信できることを確認した。

さらに、伝搬シミュレーションにより、代表的な電波伝搬環境を模擬した簡易解析モデルにて検証を行い、通信距離と受信電力との関係が実証実験と同様の傾向となることを確認した。

## 5. 省電力実現に向けた検討

### 5.1. 700MHz 帯通信ログ出力機能

本章は実施計画書 ウ) 歩車間通信の通信プロトコルの開発 の本年度目標に記されている「バッテリーセービングモードの有効性について、より定量的かつ効率的に解析することができる、ログ出力機能を実現する。」部分に対応する。

これまで 700MHz 帯通信端末の実証実験で使用した機材を図 5.1-1 を示す。

実証実験では図 2.3-1 で示した機材の他にパソコンが必須となっていた。このパソコンは大容量のバッテリーを有しており、USB を通じて 700MHz 帯通信端末と準天頂衛星およびスマートフォンに対する電源供給の役割を担っていた。

今回、バッテリーセービングモードの有効性を確認するため、通信ログ出力機能を追加した。記録するログの内容は 700MHz 帯通信端末が「送信」・「受信」した時の位置情報と電流値、「700MHz 帯通信 OFF 状態」の電流値である。ただし、700MHz 帯通信端末は記憶媒体を有していないため、記憶媒体を有した別の機器へ通信ログを送信する必要がある。効率的な検証を行うことから、Bluetooth 経由でスマートフォンへ送信し、スマートフォンの記憶媒体に記録する方法を検討した。スマートフォンの記憶媒体は外部容量などを用いると数十 GB の容量を持つ。これは 1 回の通信で取得するログはバイナリで約 100byte 以下とデータ量が小さいことから、1 日分を十分に賄うことができる容量である。これにより、図 2.3-1 で示した歩行者端末システム構成での通信ログ収集機能を実現した。

効率的という点では、昨今のモバイルバッテリーの大容量化が進んでおり、パソコン以上の容量を有する商品も登場している。モバイルバッテリーに 700MHz 帯通信端末のほかにスマートフォン、準天頂端末を接続することで、従来パソコンが行ってきた電源供給の役割を置き換えることが可能となる。バッテリーの大容量化に加えてパソコン起動によるモニターなどの消費電流も削減できることから、長時間の検証も可能となる。

以下、Bluetooth を利用した 700MHz 帯通信端末のログ出力機能について示す。



図 5.1-1 700MHz 帯通信端末 平成 27 年度実証実験機材

### 5.1.1. 700MHz 帯通信ログ シーケンス

平成 27 年度に検討した 700MHz 帯通信の動作シーケンスを図 5.1-2 に示す。

屋内や安全と考えられる場所では 700MHz 帯通信を停止し，危険と判断されるような場所では通信するといった，場面に応じた動作を行うことで消費電力を抑える機能を平成 27 年度に実装した。危険・安全地帯の判断はすべてスマートフォン搭載のアプリケーションが行う。

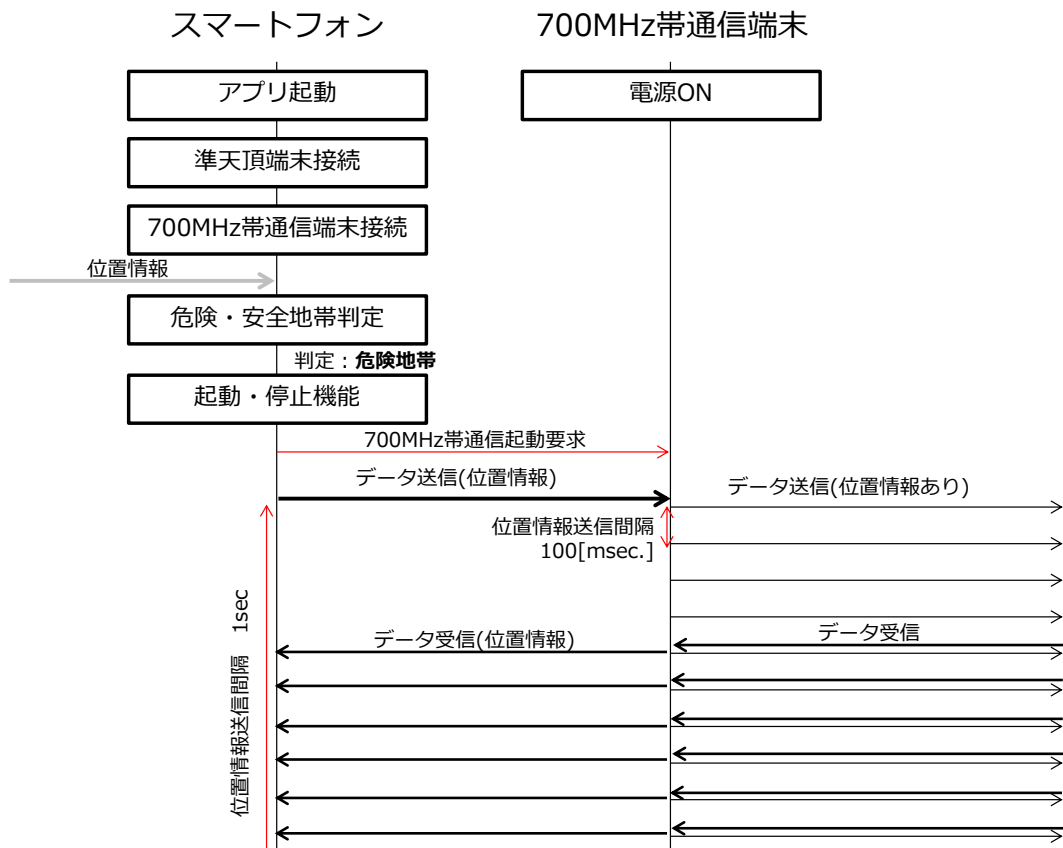


図 5.1-2 平成 27 年度 700MHz 帯通信 動作シーケンス(起動→危険地帯遷移)

700MHz帯通信端末は送受信した内容をUSB経由でログとしてパソコンに記録していた。今回はログをBluetooth経由でスマートフォンへ送信する。送信する通信ログは700MHz帯通信での送受信内容のほかに、送受信時とRF機能停止状態時の電流値である。この時のシーケンス図を図5.1-3に示す。RF機能停止状態時は1秒間隔、RF機能起動状態時は送受信直後に電流値をスマートフォンへ送信する。

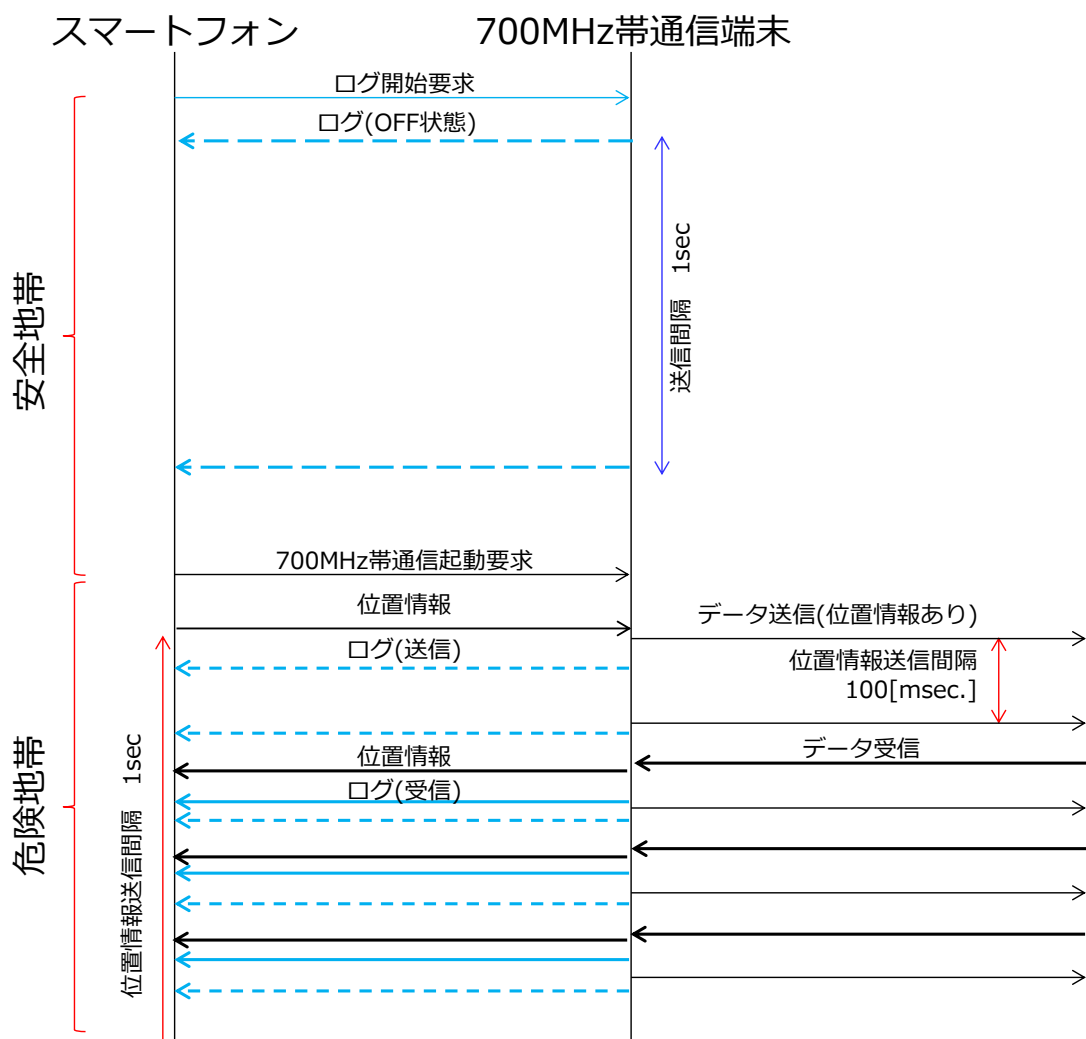


図 5.1-3 ログ送信シーケンス



### 5.1.2. 700MHz 帯通信ログ コマンド

通信ログで使用するコマンドについて説明する。コマンドはすべてスマートフォン搭載アプリと 700MHz 帯通信端末の間を Bluetooth 経由で送受信する。

#### 5.1.2.1. CUR\_LOG\_CONF\_REQ

700MHz 帯通信端末からスマートフォンへ電流値ログ出力の設定を行う通信フォーマットを表 5.1-1 に示す。

このコマンドはスマートフォン搭載アプリにより「ログ出力開始」・「ログ出力停止」を選択すると送信されるコマンドである。「ログ出力開始」を選択するとその直後からログが送信される。

表 5.1-1 CUR\_LOG\_CONF\_REQ データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。 0: 無効, 1 : 有効 (default)
Msg	メッセージ種別	8	0xE0:設定要求
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size (可変)
Seq	シーケンス番号	16	
Set	ログ機能設定	8	bit0: ログ機能 ON/OFF を示す。 0:OFF(default), 1 : ON
checksum	—	8	無効時は含まれない
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

### 5.1.2.2. CUR\_LOG\_CONF\_RES

CUR\_LOG\_CONF\_REQ に対する応答フォーマットを表 5.1-1 に示す.

表 5.1-2 CUR\_LOG\_CONF\_RES データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す. 0: 無効, 1 : 有効 (default)
Msg	メッセージ種別	8	0xE1:ログ応答
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size (可変)
Seq	シーケンス番号	16	RES を返すコマンドのシーケンス番号
Cnf	応答	8	bit0: ログ機能 ON/OFF を示す. 0:OFF(default), 1 : ON
checksum	—	8	無効時は含まれない
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

### 5.1.2.3. CUR\_LOG

通信ログとして 700MHz 帯通信端末からスマートフォンへ送信するデータは位置情報と電流値である。

電流値の出力については、CUR\_LOG コマンドを用いて送信する。通信フォーマットを表 5.1-3 に示す。なお、位置情報は従来から用意している POS を活用することとする [2]。

表 5.1-3 CUR\_LOG データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。0: 無効, 1: 有効 (default)
Msg	メッセージ種別	8	0xC0:電流値ログ
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size (可変)
Seq	シーケンス番号	16	RES を返すコマンドのシーケンス番号
Status	状態	8	0x00:RF OFF 状態 0x01:送信状態 0x02:受信状態
Current	電流値	16	取得値
Checksum	—	8	無効時は含まれない
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

### 5.1.3. ログ出力実装確認

ここでは、5.1.2 章に記載のコマンドを用いて、700MHz 帯通信端末からスマートフォンへ通信ログが出力されることを確認する。

#### 5.1.3.1. 評価環境

700MHz 帯通信端末を対向機とした評価環境を図 5.1-4 に、スマートフォン搭載アプリケーションを図 5.1-5 にそれぞれ示す。

スマートフォン搭載のアプリケーション(Ped2vehApp03)には「CUR LOG On」と「CUR LOG Off」が用意されている。これらを選択したときに CUR\_LOG\_CONF\_REQ コマンドがスマートフォンから 700MHz 帯通信端末へ送信される。動作の確認は、受信側の送受信ログ内容で判断する。



図 5.1-4 ログ実装確認環境 概要



図 5.1-5 スマートフォン搭載アプリ画面

### 5.1.3.2. 評価結果

通信ログの収集結果を表 5.1-4 に示す。

15 時 29 分 14 秒にログ取得開始コマンドがスマートフォンから送信され、14 秒から 19 秒までの間は RF 機能が OFF 状態の電流値を受信している。19 秒から 20 秒の間にスマートフォンから RF 機能を起動するコマンドが送られたため、送信時と受信時の電流値を受信している。この時、POS コマンドを用いて送られている位置情報も同様に受信していることを確認した。次に、15 時 32 分 53 秒にスマートフォンからログ取得停止コマンドが送られると、ログに関するデータは 700MHz 帯通信端末から送信されなくなり、続いて 15 時 33 分 04 秒にログ取得開始要求コマンドを送ると再びログをスマートフォンへ送信されていることを確認した。

以上の動作より、CUR\_LOG\_CONF\_REQ, CUR\_LOG\_CONF\_RES, CUR\_LOG の 3 コマンドによる 700MHz 帯通信端末のログ出力機能が正しく動作することを確認した。また送信機側に異常が発生していないことも合わせて確認した。

表 5.1-4 受信側スマートフォン ログ受信内容

日付	時間	コマンド	状態	電流値	RF 状態
2016/10/6	15:29:14	CUR_LOG_CONF_REQ	ログ取得開始		OFF
2016/10/6	15:29:14	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:29:15	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:29:16	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:29:17	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:29:18	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:29:19	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:29:20	CUR LOG	1(送信)	XXXX	ON
2016/10/6	15:29:20	CUR LOG	2(受信)	XXXX	ON
2016/10/6	15:29:20	CUR LOG	1(送信)	XXXX	ON
2016/10/6	15:29:20	CUR LOG	2(受信)	XXXX	ON
2016/10/6	15:29:20	CUR LOG	1(送信)	XXXX	ON
2016/10/6	15:29:20	CUR LOG	2(受信)	XXXX	ON
⋮					
2016/10/6	15:32:50	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:32:51	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:32:52	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:32:53	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:32:53	CUR_LOG_CONF_REQ	ログ取得停止		OFF
2016/10/6	15:33:04	CUR_LOG_CONF_REQ	ログ取得開始		OFF
2016/10/6	15:33:04	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF
2016/10/6	15:33:05	CUR LOG	0(OFF)	XXXX	OFF

PWRコマンドを送信

#### 5.1.4. ログ出力実証実験

本章は実施計画書 エ) 実環境における実証実験及び課題の抽出 エー1) 干渉抑圧アンテナ開発および省電力機能検証の本年度目標に記されている「実証実験において、ウ) で実装したログ出力機能を用いて消費電力情報を取得し、取得したデータから省電力機能の有効性を検証する. イ) による危険エリア判定の結果, 実際のフィールドにおいて 700MHz 帯通信機能を起動/停止制御が行われているか検証する。」部分に対応する.

ログ出力機能について 5.1.3 章で動作を確認した. 実証実験では, これまで検証を行ってきた神奈川県横須賀市光の丘にある YRP (横須賀リサーチパーク) において 700MHz 帯通信機能の起動/停止制御の動作確認と消費電力を取得し, バッテリーの要求仕様に向けた検討材料を収集する.

##### 5.1.4.1. 実証実験評価環境

実証実験では平成 27 年度の実験同様に「交差点付近のエリアは危険地帯」, 「交差点以外のエリアは安全地帯」と定義し [2], ログ出力機能を用いて消費電力情報を取得し, 取得したデータから省電力機能の有効性を検証した.

場所：横須賀市光の丘 YRP (横須賀リサーチパーク)

日時：2017 年 1 月 31 日 11:00 – 17:00

天気：晴れ



図 5.1-6 横須賀 YRP 評価場所

図 5.1-6 の地点 A から D の交差点の中心付近から半径 X[m]の範囲を「危険地帯」とし、それ以外の部分を「安全地帯」と定義する。各地点の危険地帯設定については 5.1.4.1.1 章から 5.1.4.1.4 章にそれぞれ示す。

#### 5.1.4.1.1. 地点 A

地点 A の中心座標は北緯 35 度 13 分 26.35 秒，東経 139 度 40 分 30.79 秒に設定した。当該地点から 15m の範囲を危険地帯とする（図 5.1-7 参照）。



図 5.1-7 地点 A 危険地帯

#### 5.1.4.1.2. 地点 B

地点 B の中心座標は北緯 35 度 13 分 22.37 秒，東経 139 度 40 分 29.21 秒に設定した。  
当該地点から 25m の範囲を危険地帯とする（図 5.1-8 参照）。

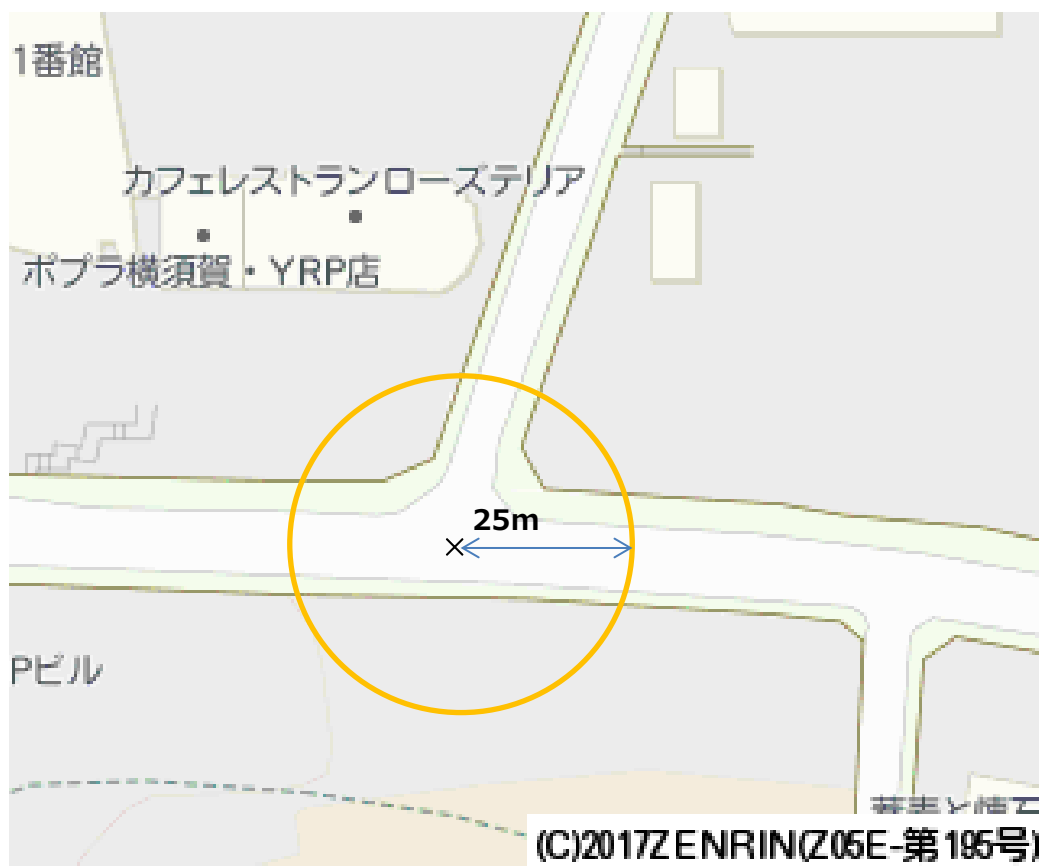


図 5.1-8 地点 B 危険地帯



#### 5.1.4.1.3. 地点 C

地点 C の中心座標は北緯 35 度 13 分 20.78 秒，東経 139 度 40 分 40.25 秒に設定した。  
当該地点から 20m の範囲を危険地帯とする（図 5.1-8 参照）。



図 5.1-9 地点 C 危険地帯

#### 5.1.4.1.4. 地点 D

地点 D の中心座標は北緯 35 度 13 分 26.01 秒，東経 139 度 40 分 41.68 秒に設定した。  
当該地点から 25m の範囲を危険地帯とする（図 5.1-10 参照）。



図 5.1-10 地点 D 危険地帯

#### 5.1.4.2. 評価結果

YRP での実験の様子を図 5.1-11 に、700MHz 帯通信端末の電流値を基に作成した電流プロフィールを図 5.1-12 にそれぞれ示す。電流プロフィールは時刻を横軸、700MHz 帯通信送信時を基準（100%）とした電流比を縦軸として表したグラフである。

時刻 1, 3, 5, 7 で地点 A から D で設定した危険地帯に入ることによって、700MHz 帯通信機能が起動する。起動中の電流比は受信状態時で約 50%、送信時で 100%の電流値を示す。一方で時刻 0 から 1, 2 から 3, 4 から 5, 6 から 7, 8 から 9 は安全地帯を通過中により、700MHz 帯通信機能が停止状態である。このときの電流比は約 25%を示している。機能停止状態の時、ログ出力は 1 秒間隔で実施しており、歩行距離で換算すると約 1m(時速 4km の場合)ごとにログが出力される。

今回のように危険地帯でのみ 700MHz 帯通信機能が動作する場合、全区間で 700MHz 帯通信機能を起動状態と比べて約 42%消費電力を削減できる。消費電力の変化は交差点での待ち時間や横断・歩行により危険地帯に滞在している時間によって決定する。今回の場合、A→B→C→D→A と一周した時間のうち約三分の一が危険地帯を通過していた状態であった。交差点の間隔や信号の待ち時間など道路事情が場所によって実際は異なるが、生活時間調査から 700MHz 帯通信端末の利用時間および消費電力を算出する際、歩行時間とされている時間のうち約三分の一を危険地帯にいるものと仮定する。

このように常時 700MHz 帯通信が起動している状態よりも、危険地帯でのみ起動する状態の方が、消費電力の削減に効果があることが確認された。この他に 700MHz 帯通信機能を停止できる機会として、建物や施設の中にいる時間が挙げられる。建物・施設内は危険地帯ではないと判断し、そこに滞在している時間は 700MHz 帯通信機能を停止することで、より長時間 700MHz 帯通信端末を利用できることが予想される。そのため、「建物・施設にいる時間は 700MHz 帯通信機能を停止（OFF 状態）」、「歩行状態とされる時間のうち三分の一は危険地帯にいるものとし、700MHz 帯通信機能を起動（ON 状態）」と想定した消費電流比較結果を後述する。

なお、この試験で示している電流比は 700MHz 帯通信端末の試作機上の数値である。商用化に向けては各部品を再選定し、それに伴うソフトウェアの再構築により停止状態の電流を抑える取り組みも必要である。



図 5.1-11 YRP での評価の様子

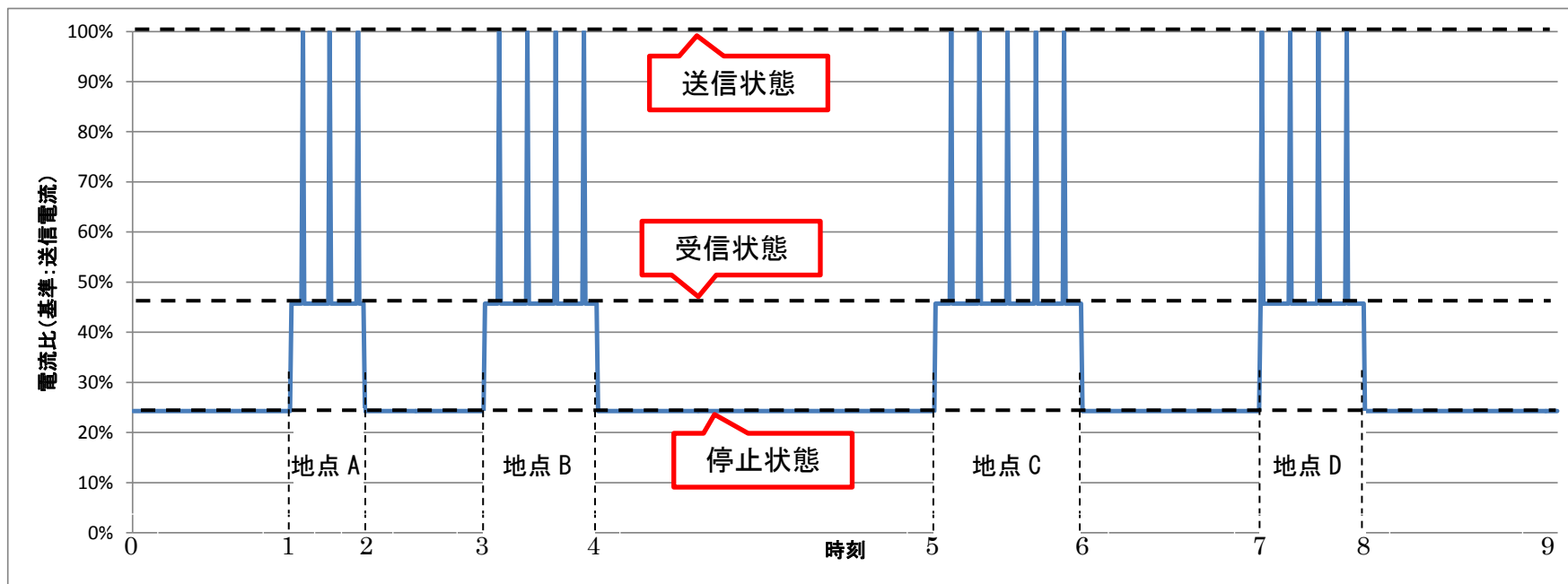


図 5.1-12 横須賀 YRP 電流プロフィール

## 5.2. ユースケースごとの使用時間把握

本章は実施計画書 エ) 実環境における実証実験および課題の抽出 エー 1) 干渉抑圧アンテナ開発および省電力機能検証の本年度目標に記されている「想定される生活パターンにおける 700MHz 帯通信の一日の通信時間を調査する」部分に対応する。本章では各種統計情報をもとに分析した結果を記載する。

### 5.2.1. 対象者の検討

バッテリー容量を検討するにあたり、700MHz 帯通信端末の主たる利用者として「歩行中に交通事故被害を受けやすい世代」を中心に考える。利用者を明確にするため、以下の資料を参考にする。

1) 交通事故の件数を世代ごとにまとめられている資料 [12]

年代別や目的、死傷者数など詳細にまとめられている資料を用いて、事故の傾向を把握し、評価の対象となる世代を明確化する。

2) 生活時間についてまとめられている資料 [13] [14]

1)で対象となった世代の行動を分析する。一日のうち外出する時間を抽出し、700MHz 帯通信端末を利用できる時間・消費電力を算出する。

最後に対象とする世代の人々の行動を記録したものを分析し、1)および 2)でまとめられた内容と比較する。

なお、今回使用した統計情報それぞれ調査対象となっている年齢や分類の定義が異なるため、本資料内での定義を表 5.2-1 と表 5.2-2 にそれぞれ示す。

表 5.2-1 本資料での世代の定義

用語	定義
幼児	1 歳から 6 歳 未就学児・就学児による区分はしない
小学生	7 歳から 12 歳
小学生高学年	10 歳から 12 歳
中学生	13 歳から 15 歳
高齢者	65 歳以上 (ある年齢以上の人を指す場合は n 歳以上の高齢者という記述をする。例：75 歳以上の高齢者)

表 5.2-2 本資料での行動の定義

用語	定義
登下校	家（もしくは拠点）から学校・園へ向かうこと，逆に学校・園から家（もしくは拠点）へ向かうこと ※「登校」「下校」と明らかに分かれている情報の場合は，そのまま使用する
学業中	学内・授業：授業，朝礼，掃除，部活動，学校行事，クラブ活動 学校外学習：自宅や学習塾での学習，宿題
出退勤	家（もしくは拠点）から職場へ向かうこと，逆に職場から家（もしくは拠点）へ向かうこと ※「出勤」「退勤」と明らかに分かれている情報の場合は，そのまま使用する
仕事関連	業務：何らかの収入を得る行動，準備・片づけ・移動含む 仕事の付き合い：上司・同僚・部下との仕事上の付き合い，送別会
観光・娯楽	目的地に向かって移動し，所望の行動をすること 趣味，稽古事，習い事，観賞，観戦，遊び，ゲーム ただし，買い物は除く
散歩	目的地を特に定めず，家（もしくは拠点）を中心に移動すること
遊戯	遊んでいる状態．道路上でのかけっこ・お絵かきの他に，ローラースケート・スケートボード・一輪車といった自走式の遊具を道路で行った場合も含める
横臥	酩酊状態もしくは病気により寝転がってしまった状態
睡眠	30分以上連続した睡眠，仮眠，昼寝
食事	朝食，昼食，夕食，夜食，給食
身の回りの用事	洗顔，トイレ，入浴，着替え，化粧，散髪
療養・静養	医者に行く，治療を受ける，入院・療養中
家事	炊事・掃除・洗濯：食事の支度・後片付け，掃除，洗濯・アイロンがけ 買い物：食料品・衣料品・生活用品などの買い物 目的地に向かって移動し，所望の商品を購入する意思を持って行動すること（結果的に購入しなかった場合も含める） 子どもの世話：子供の相手，勉強を見る，送り迎え 家庭雑事：整理・片づけ，銀行・役所に行く，子供以外の家族の世話・介護・看病
社会参加	PTA，地域の行事・会合への参加，冠婚葬祭，ボランティア活動

交際	家族・友人・知人・親戚との付き合い，おしゃべり，電話，電子メールなどインターネットでのやり取り
レジャー	スポーツ：体操，運動，各種スポーツ，ボール遊び レジャーには，前述の「観光・娯楽」，「散歩」，「遊戯」も含まれる
マスメディア接触	テレビ・ラジオ・新聞・雑誌・漫画・本・CD・テープ・ビデオ・HDD・DVDでの視聴・聴取 (インターネット利用した観賞・観戦はレジャーに含まれる)
休息	休憩，おやつ，お茶，特に何もしていない状態
その他	上記に含まれない行動

## 5.2.2. 歩行者交通事故被害状況

### 5.2.2.1. 資料概要

調査対象とする世代を決めるに当たり、現状の交通事故について調査する必要があった。平成 26 年に発生した事故に関するの数値を確認する目的で公益財団法人「交通事故総合分析センター」が作成した交通統計を参考に調査した [12]。この交通統計で使われている用語の定義を表 5.2-3 に示す。本資料でもこの定義に基づき記載する。

表 5.2-3 交通統計の用語定義

用語	定義
交通事故	道路交通法第 2 条第 1 項第 1 号に規定する道路において、車両等及び列車の交通によっておこされた事故で、人の死亡または負傷の伴うもの（人身事故）ならびに物損事故
死亡（死者）	交通事故によって発生から 24 時間以内に亡くなった場合（人）
重傷（重傷者）	交通事故によって負傷し 1 か月（30 日）以上の治療を要する場合（人）
軽傷（軽傷者）	交通事故によって負傷し 1 か月（30 日）未満の治療を要する場合（人）
負傷（負傷者）	重傷（重傷者）と軽傷（軽傷者）の合計
自動車	道路交通法施行規則第 2 条に定める大型自動車、中型自動車、普通自動車、大型特殊自動車、小型特殊自動車
自動二輪車	道路交通法施行規則第 2 条に定める大型自動二輪車、普通自動二輪車
原動機付自転車	道路交通法第 2 条の定義による
軽車両	
自転車	



### 5.2.2.2. 交通事故被害状況

まず、全年齢を対象とした歩行中に事故にあった死傷者数と10万人当たりの被害者数を表す資料を表5.2-4に示す[12]。交通事故の件数は減少傾向にあるが、実際には約6万人の死傷者が発生している。

死亡者数は年齢が高くなるにつれて人数が増えていき、60歳以上の死亡人数は100人を超えている。高齢者の死亡者数が1063人と全年齢の死亡者数の7割を占めており、75歳以上では10万人当たり4人とどの年代よりも被害を受けやすい。

負傷人数も高齢者が17624人と最も人数が多く、全年齢の負傷者数の3割を占める。ただし、10万人当たりの人数で見ると小学生の負傷人数が高く、77.7人が交通事故でけがをしていることがわかる。小学生は全年齢の負傷者数の約1割を占めており、高齢者以外で1割を超える負傷者数がないことから、小学生の交通事故による負傷事故被害者は多いと言える。中高生の負傷数はほかの世代と比べると少ないが、10万人当たりの人数で比較すると35歳から39歳の人数と同じくらいであることから、一定の割合で負傷される人がいるということがわかる。

表 5.2-4 平成26年度歩行者事故死傷者数

歩行中	死亡者数	10万人当たり	負傷者	10万人当たり
全年齢	1498	1.18	57119	45.00
0～6歳	21	0.29	2851	38.90
7～12歳	20	0.30	5097	77.70
13～15歳	2	0.06	1214	34.50
16～19歳	11	0.23	1779	36.90
20～24歳	20	0.32	2883	46.50
25～29歳	27	0.40	2944	44.10
30～34歳	25	0.33	2948	39.50
35～39歳	28	0.32	3076	35.50
40～44歳	30	0.31	3639	37.20
45～49歳	45	0.52	3462	40.20
50～54歳	38	0.49	3142	40.30
55～59歳	66	0.86	2911	38.00
60～64歳	102	1.14	3549	39.50
65～69歳	152	1.66	4004	43.70
70～74歳	177	2.23	4146	52.30
75歳～	734	4.61	9474	59.50

次に、第1当事者として歩行者が認定された件数を表 5.2-5 に示す [12]。「第1当事者」とは、「事故に遭遇した人の中で最も過失割合が高い人」、「同程度の過失であれば心身障害の程度が軽い人」を指している。本来歩行者と自動車とが事故を起こした場合、自動車のドライバーに危険回避義務が生じるため、人対車両の交通事故ではドライバー側の過失として扱われる。平成 26 年に歩行者が関係する交通事故は約 56000 件発生しているが、歩行者が第1当事者として扱われている事故は約 1700 件で全体の 3%程度と少ない。表 5.2-5 によると、歩行者側に過失が認められたとされた事故で最も多かったのが「信号無視 (523 件)」で、次に「横断違反 (421 件)」であった。

この第1当事者として扱われた事故を世代ごとにまとめたグラフを図 5.2-1 に示す。死傷者人数と同様に小学生と高齢者でピークが示されている。表 5.2-5 によると、小学生の一番の原因は「飛出し」で、事故件数の半分以上を占めている。また、「飛出し」はほかの世代では件数が少なく、小学生に多い事故のケースともいえる。一方の高齢者は「信号無視」・「横断違反」が原因とされている。ほかの世代と違ったところで「踏切不注意」の件数が多い。「信号無視」や「踏切不注意」が多いことから、信号や踏切といった機器を認識していないことや、赤信号で止まれなかったというような加齢による判断の欠如が原因として考えられる。

ここまで、交通事故の死傷者数や歩行者側が高い過失と認められた事故の傾向を示した。これらより、700MHz 帯歩行者端末の利用者として事故被害の多い「小学生」と「高齢者」を対象にすることとした。次章では「小学生」と「高齢者」の生活を分析し、事故の発生した時間帯やどのような行為時に事故と遭遇したかを調査する。

表 5.2-5 歩行者違反別・年齢層別交通事故件数（第1当事者）

	0～6歳	7～12歳	13～15歳	16～19歳	20～24歳	25～29歳	30～39歳	40～49歳	50～59歳	60～64歳	65～69歳	70～74歳	75～79歳	80歳～	合計	
信号無視	28	57	20	26	28	19	35	56	41	28	33	35	51	66	523	
通行区分	車道通行		1			2	1		1	3				1	11	
	その他		1	1			1					1	1		5	
横断違反	横断歩道以外	8	28	7	4	4	8	13	12	22	9	4	16	17	24	176
	ななめ横断	1	7	1	1	1	1	3	2	4	2	1	6	2	4	36
	駐車車両の直前・直後	10	14	3	3	2	2	1	4		5	6	3	2	3	58
	走行車両の直前・直後	4	12	1	1	4	1	3	7	7	2	3	6	3	3	57
	横断禁止場所		2	2		6	7	15	15	8	3	4	3	16	13	94
幼児の独り歩き	19														19	
踏切不注意		1				1		1	1	3		2	1	5	15	
酩酊・徘徊					3	2	6	7	4	2	3	4	5	2	38	
路上遊戯	3	15	2			1		1				1			23	
路上作業							1		1	2	1				5	
飛出し	133	274	24	13	12	11	14	21	11	8	9	11	3	8	552	
その他違反		8	1	2	7	3	7	7	9	2	3	9	7	8	73	
違反不明				1				1	1	1	2			1	7	

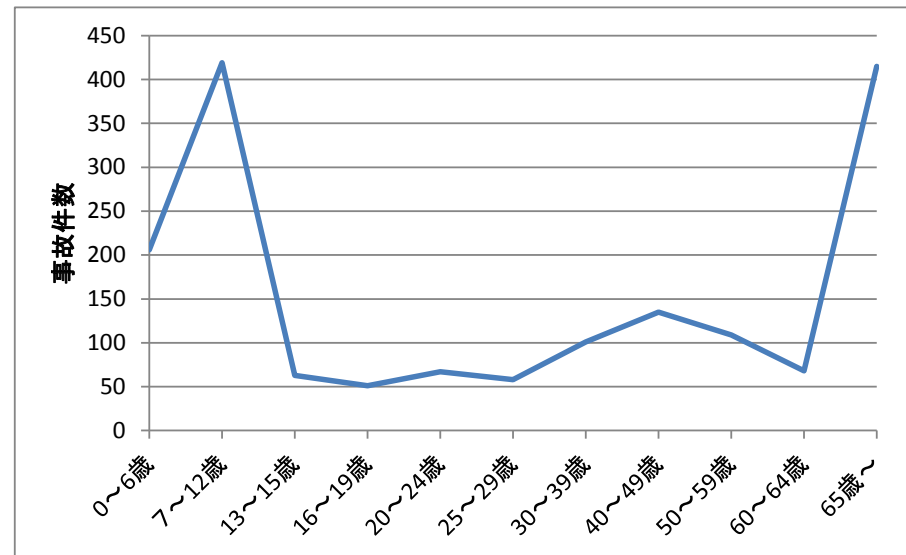


図 5.2-1 歩行者の年齢層別交通事故件数（第1当事者）

### 5.2.2.3. 小学生交通事故状況

小学生の交通事故件数や被害状況を確認する。比較対象として、幼児と中学生のデータも合わせて示す。

交通事故に遭遇した行動について、まとめた資料を表 5.2-8 と表 5.2-9 にそれぞれ示す[12]。小学生は「下校」の時に死者数・負傷者数ともに多い。「登校」と「下校」の死傷者数は 1935 人であり、全体の三分の一を占める。一方で、中学生と幼児の登下校における死傷者数は小学生に比べて少ない。これは登下校時の移動方法によるものと考えられる。幼児は主に通園バス・自家用車の利用、または歩行者として保護者と伴った移動が多い。親とともに移動しているために危険行動に対する抑止が効く。また、中学生は主に自転車・バス・電車を利用することから、歩行者としての事故件数が少ないものと考えられる。しかし、小学生の移動手段は徒歩を中心としていることから、登下校中に交通事故にあうリスクが高く、死傷者数が多く表れているものとする。

登下校以外の行為でも小学生の事故の多さが目立つ。小学生は興味のあるものに集中してしまい、目の前の危険なことに判断ができなくなり、ドライバーの大人から見れば思いがけない行動をとってしまうことが原因とみている。

表 5.2-6 中学生以下の通行目的別死者数

	登校	学業中	下校	観光・娯楽	散歩	飲食	買い物	訪問	送迎	通院	帰省	遊戯	疾病徘徊	その他	不明
幼児						2	5		1			5		5	
小学生	1	1	7	1		1	2	1			1	2	2	2	
中学生	1			1									1	1	

表 5.2-7 中学生以下の通行目的別負傷者数

	登校	学業中	下校	観光・娯楽	散歩	飲食	買い物	訪問	送迎	通院	帰省	遊戯	疾病徘徊	その他	不明
幼児	63	1	67	72	124	38	373	208	31	17	29	403	3	601	8
小学生	813	18	1104	139	159	28	423	656	26	11	56	926	1	1266	5
中学生	368	25	309	28	27	7	99	102	2	5	9	55		267	1

次に、交通事故の発生時刻をまとめた資料を表 5.2-8 と表 5.2-9 にそれぞれ示す [12]. これら 2 つの表より、幼児は 14 時から 17 時台、小学生は 12 時から 19 時台、中学生は 16 時から 19 時台で死傷者数が 2000 人を超えている。全世代共通しているのは 16 時から 17 時台にピークがあることである。死亡人数も小学生は 16 時から 17 時台にピークがある。この時間帯にどのような行動を行っているかは後述の生活時間調査にて検証を行う。ここでは、環境について説明する。

一般に 16 時から 18 時ごろを「薄暮」と呼ぶことがある。「薄暮」とは日没後 30 分から 60 分間を指しており、日没の薄暗い状態から急激に暗く、ドライバーはライトの点灯を判断する。薄暗い状態でドライバーから歩行者を視認するのが大変難しく、事故に遭遇しやすく、各世代で 16 時から 17 時台に死傷者数のピークが発生するといわれている。

表 5.2-8 中学生以下の時間帯別死者数

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

表 5.2-9 中学生以下の時間帯別負傷者数

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
幼児			75		22		373		1739		1719		1654		2081		2627		1373				615	
小学生			73		51		1115		1173		1594		2157		4312		7045		2399				779	
中学生			74		42		1675		1201		703		1169		1346		2706		2042				854	

#### 5.2.2.4. 高齢者交通事故状況

高齢者の交通事故件数や被害状況を確認する。

行為時交通事故に遭遇した行動について、まとめた資料を表 5.2-10 に示す [12]。これによると「買い物」や「訪問」時の事故が多い。買い物は全体の 2 割を示しており、訪問も 1 割を占めている。一方で小学生の「登下校」にあたる「出退勤」による死者数は他と比べて少ない。これは、高齢者は定年などの理由による退職者が多く、仕事に従事している割合が低いと考えられる。

次に、交通死亡事故の発生時刻をまとめた資料を表 5.2-11 に示す [12]。小学生同様に高齢者の場合も 16 時から 17 時台に事故のピークが存在する。この時間帯に行われている行動については後述するが、やはり「薄暮」と呼ばれる時間帯は、事故に遭遇しやすい傾向にあると言える。

表 5.2-10 高齢者の通行目的別死者数<sup>2</sup>

	出勤	職業運転	業務目的	退勤	観光・娯楽	ドライブ	散歩	飲食	買い物
65～69	21	6	40	31	24	4	17	36	60
70～74	15	2	24	8	31	4	36	33	80
75～79	9	1	14	7	44	3	47	22	101
80以上	10		14	5	59	6	82	25	202

	訪問	送迎	通院	帰省	遊戯	疾病徘徊	その他	道路外の人等	不明
65～69	43	9	10			5	47		38
70～74	49	11	14			3	61	1	35
75～79	67	3	28	2	1	16	94		31
80以上	125	9	69	5		53	181		59

表 5.2-11 高齢者の時間帯別死者数

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
65～69	20	17	27	32	34	31	22	34	60	48	45	21												
70～74	12	9	29	39	30	43	35	45	50	52	45	18												
75～79	12	11	24	33	71	62	42	51	63	74	36	11												
80以上	24	15	41	58	102	117	86	114	140	133	46	29												
合計	68	52	121	162	237	253	185	244	313	307	172	79												

<sup>2</sup> 道路外の人等：道路上にいた人で歩行者以外の者及び田畑の中等道路外にいた者をいう

#### 5.2.2.5. 歩行者事故状況まとめ

小学生と高齢者の交通事故を分析した結果、16時から17時台に交通事故が最も多く発生していることが共通している。環境としてドライバーが視認しにくい「薄暮」の影響を受けやすい時間帯と指摘した。小学生と高齢者がこの時間帯に行っている行動・目的については後述の生活時間調査にて改めて分析を行う。

表 5.2-6, 表 5.2-7, 表 5.2-10 において事故に遭遇した行為を示した。事故の多かった「登下校」、「買い物」、「訪問」は各世代で日常的に行っている行動といえる。また、ほかの項目も移動や目的のために路上にいたものと推察する。これらの表で示された通行目的で示された項目を外出時間とみなし、この行為を行っている時間中は外に出ているものとして計算する。生活時間調査では、小学生と高齢者の1日の行動分布と行為をした人の割合を検証する。

### 5.2.3. 生活時間調査

これまで、小学生と高齢者の事故傾向を調査した結果、両者に言えることは16時から17時台に交通事故に遭う件数が多いということである。そのため、この時間帯にどのような行動をしているか、また外出時間はどの程度あるのかを分析する。

なお、小学生については、生活時間調査に使用した資料の対象年齢区分に基づき、小学校高学年を調査対象とする。

#### 5.2.3.1. 人々の行為と外出時間

普段、人は様々な行為にどの程度時間を費やしているか、表 5.2-2 に示した定義で分類し、全世代の行為時間平均値を表 5.2-12 に示す [13]。この表より、学校や仕事中の時間は8時間程度で、登下校や出退勤を合わせると約9.5時間になる。このほかに、買い物や友人宅への訪問、スポーツ等も合わせると10時間から12時間程度外出するケースも存在する。

表 5.2-12 日本人 各行為の平均時間<sup>3</sup>

	平日	土曜日	日曜日
睡眠	7時間17分	7時間45分	8時間04分
食事	1時間37分	1時間45分	1時間45分
仕事関連	8時間19分	7時間08分	6時間43分
学業	8時間19分	5時間31分	5時間07分
出退勤	1時間19分	1時間12分	1時間07分
登下校	1時間16分	1時間08分	1時間23分
レジャー	2時間43分	3時間52分	4時間18分
社会参加	2時間16分	3時間10分	0時間20分
身の回りの用事	1時間14分	1時間14分	1時間14分
療養・静養	2時間38分	2時間55分	3時間46分
家事	3時間54分	4時間11分	4時間21分
会話・交際	1時間34分	1時間14分	1時間14分
マスメディア接触	1時間14分	2時間22分	2時間37分
休憩	1時間11分	1時間26分	1時間24分
不明・その他	1時間32分	1時間32分	1時間38分

<sup>3</sup> 当該行為を行った人の平均であるため、平均時間の総和は24時間を超える。



次に各世代の外出時間を表 5.2-13 に示す [13]。ここでの外出時間とは 24 時間から自宅滞在時間を引いたものとし、自宅滞在時間には睡眠時間、家事や身の回りの用事などが含まれている。

土曜日や日曜日は平日と比べて外出時間が短い。これは平日の「仕事関連」や「学業」と同じくらい時間を費やす外出行動が土日に存在しないため、長く家に滞在するものと推察する。これは各世代共通の動きともいえる。

この表によると平日の小学生高学年は約 10 時間外出している。表 5.2-12 より学業と登下校の加算したものが約 9.5 時間である。よって学校との往復を中心とした生活を送っていることがわかる。

60 代の高齢者（男性）は平日 8 時間を超えた外出時間となっているが、70 代の高齢者（男性）になると勤務者も減るため外出時間が短くなる。表に示す外出時間と表 5.2-12 の行動ごとの時間から推察すると、1 日の間に一つ以上の行動を選んで動いている人が多いと考えられる。

以上より長時間外出する機会は平日に多く、小学生高学年で平均 10 時間程度、高齢者は長くて 8 時間 30 分程度であることがいえる。土日は平日の外出時間以上に外へ出る機会が少ないことから、利用時間については平日の活動を中心に検証する。

続いて、平日の行動を詳細に分析し、何時にどのような行動をしているか分析する。

表 5.2-13 各世代の外出時間

	平日		土曜日		日曜日	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性
小学生高学年	9時間58分		6時間03分		6時間21分	
中学生	10時間46分		9時間01分		6時間58分	
高校生	10時間54分		6時間35分		6時間07分	
10代	10時間33分	10時間38分	7時間32分	7時間19分	7時間02分	6時間07分
20代	10時間52分	10時間17分	8時間53分	9時間58分	8時間06分	7時間39分
30代	12時間12分	7時間50分	8時間52分	6時間58分	7時間19分	5時間59分
40代	12時間03分	8時間11分	8時間56分	6時間37分	7時間50分	5時間58分
50代	11時間52分	7時間49分	7時間51分	6時間51分	6時間45分	5時間44分
60代	8時間35分	5時間39分	6時間58分	5時間00分	6時間11分	5時間01分
70代	5時間00分	3時間47分	4時間57分	3時間41分	4時間44分	3時間20分

### 5.2.3.2. 小学生高学年生活時間調査

平日に、小学生高学年の外出が伴う活動時間を表 5.2-14 に、実行した人数の割合を表 5.2-15 にそれぞれ示す [14]. 「学内・授業」と「登下校」はほとんどの人が行っている. 「学内・授業」と「登下校」の合計は約 7 時間 45 分から 8 時間程度である. この時間に加えて、塾への通学（学校外学習＋登下校以外の移動：最大 2 時間 40 分程度）や、スポーツや外での趣味（レジャー＋登下校以外の移動：最大 2 時間 45 分程度）、友人宅の訪問（交際＋登下校以外の移動：最大 2 時間 40 分程度）を行った場合を考慮すると、外出時間は 7 時間 45 分から 11 時間の間におおよそ収束するものと思われる.

表 5.2-14 小学生高学年活動時間

	学内・授業			登下校			登下校以外の移動		
	男女	男性	女性	男女	男性	女性	男女	男性	女性
小学5年生	6時間51分	6時間48分	6時間55分	0時間46分	0時間44分	0時間49分	0時間51分	0時間43分	0時間59分
小学6年生	7時間03分	7時間04分	7時間03分	0時間45分	0時間44分	0時間46分	1時間03分	1時間05分	1時間01分

	レジャー			学校外学習			交 際		
	男女	男性	女性	男女	男性	女性	男女	男性	女性
小学5年生	1時間41分	1時間47分	1時間32分	1時間24分	1時間15分	1時間34分	1時間40分	1時間44分	1時間28分
小学6年生	1時間41分	1時間37分	1時間47分	1時間36分	1時間34分	1時間38分	1時間36分	1時間40分	1時間32分

表 5.2-15 小学生高学年活動行為者率

	学内・授業			登下校			登下校以外の移動		
	男女	男性	女性	男女	男性	女性	男女	男性	女性
小学5年生	98.2%	98.2%	98.2%	92.9%	92.9%	92.8%	30.4%	31.0%	29.7%
小学6年生	96.9%	96.6%	97.1%	90.9%	90.3%	91.5%	32.9%	34.0%	31.9%

	レジャー			学校外学習			交 際		
	男女	男性	女性	男女	男性	女性	男女	男性	女性
小学5年生	21.8%	24.2%	19.2%	42.5%	38.3%	42.9%	13.6%	16.0%	10.9%
小学6年生	21.9%	26.7%	16.9%	41.7%	42.2%	49.2%	11.1%	11.9%	10.3%

次に、小学生高学年が様々な行為を行った時間分布を図 5.2-2 に示す [14]。この図の中で、線の部分は 1% から 10%、四角の部分は 10% 以上の人が行っていることを表している。22 時から翌朝 4 時までは各自治体の青少年育成条例で「外出がふさわしくない時間帯」として指定されているので、小学生高学年がこの時間に外出していることは基本的にありえないこととする。

この図より、登校は 6 時から 8 時の間に行われる。下校は部やクラブといった活動などから下校時間が分散するが、多くは 15 時 30 分から 16 時 30 分に下校しているとみられる。スポーツの活動時間は 1 時間 40 分程度であることから、15 時に始めた人は 17 時前に、19 時に始めた人は 21 時前に終わるということになる。21 時から 21 時 30 分にある移動はスポーツや学校外学習の帰宅に伴う移動と考えられる。

小学生高学年の 16 時から 17 時台に行っている行為は、「登下校」、「学業中」、「スポーツ」、「買い物」、「交際（訪問を含む）」である。このうち、「スポーツ」と「学業中」を除く 3 つの行動はいずれも事故の多かった項目である。また、注目すべきは 18 時から 20 時 30 分にピークがある食事（夕食）である。小学生高学年が一人で外食する可能性は低いことから、17 時台は帰宅のために移動している人が多いとみられる。

以上を踏まえ、最大 11 時間程度外出し、そのうち 3.5 時間を移動で道路にいるものを最長のケースとして検討する。これは朝 6 時台に登校し 17 時台に帰宅、登下校と買い物などで 3.5 時間路上にいた場合を想定したものである。これは土日の外出時間も超えているので小学生高学年の生活をカバーしている。

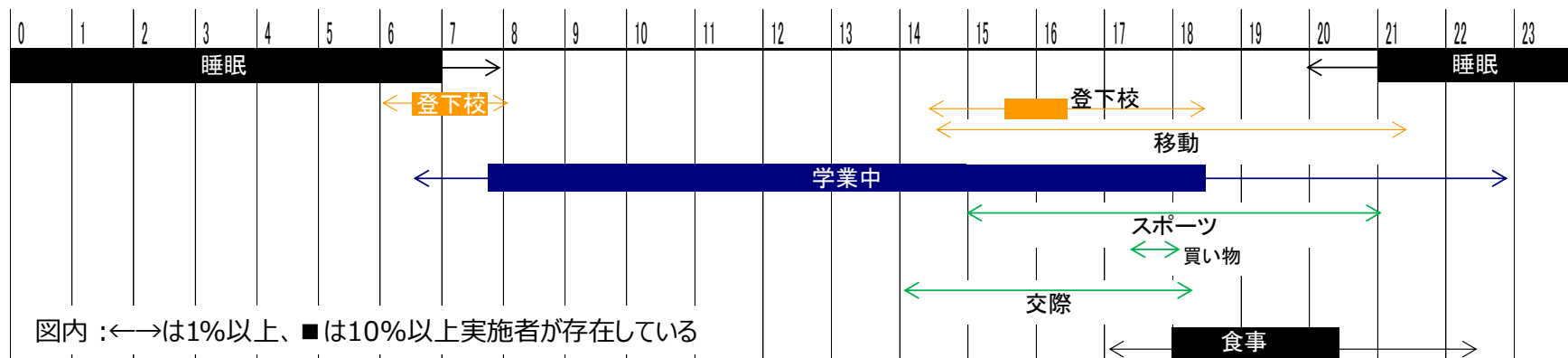


図 5.2-2 小学校高学年 行動分布

### 5.2.3.3. 高齢者生活時間調査

平日に、高齢者の外出が伴う活動時間を表 5.2-16 に、実行した人数の割合を表 5.2-17 にそれぞれ示す [14]. 「仕事関連」が一番時間を要しているが、該当している人は 65 歳以上で 20%程度と少ない. 60 代以上の女性と 70 代の男性は外出時間が 5 時間程度であることから、仕事で長時間外出するという機会は少ない可能性がある.

仕事以外での移動が 30%程度であることから、5 時間程度の外出となると、「スポーツ」と「療養・静養」や「交際」と「買い物」といった複数組み合わせた行動を行っているものとみられる. 一つの用事であれば、「出退勤以外の移動」時間より片道 45 分程度ではあるが、2 件の用事となると家を中心に片道 20 分から 30 分程度と狭い範囲での活動とみられる.

仕事を行っている人の割合が少なく、出退勤をしている人の割合が少ない. そのために、仕事関連が 5 時間から 6 時間と短いことから、高齢者の場合は一般的な 9 時から 17 時までの勤務ではなく、フレキシブルな勤務体系になっているものと推察する.

表 5.2-16 高齢者活動時間

	仕事関連			出退勤			出退勤以外の移動		
	男女	男性	女性	男女	男性	女性	男女	男性	女性
65歳以上	6時間05分	6時間40分	5時間12分	1時間08分	1時間13分	1時間00分	1時間27分	1時間35分	1時間21分
75歳以上	5時間04分	5時間29分	4時間27分	0時間59分	0時間59分	0時間59分	1時間20分	1時間29分	1時間13分

	スポーツ			療養・静養			交際		
	男女	男性	女性	男女	男性	女性	男女	男性	女性
65歳以上	1時間42分	1時間53分	1時間29分	2時間25分	2時間23分	2時間26分	2時間12分	2時間21分	2時間07分
75歳以上	1時間35分	1時間44分	1時間24分	2時間41分	2時間39分	2時間42分	2時間11分	2時間19分	2時間07分

	買い物		
	男女	男性	女性
65歳以上	1時間15分	1時間14分	1時間15分
75歳以上	1時間15分	1時間13分	1時間16分

表 5.2-17 高齢者活動行為者率

	仕事関連			出退勤			出退勤以外の移動		
	男女	男性	女性	男女	男性	女性	男女	男性	女性
65歳以上	21.9%	30.3%	15.4%	9.3%	13.8%	5.8%	30.4%	30.2%	30.5%
75歳以上	12.8%	19.1%	8.6%	2.9%	4.6%	1.7%	26.8%	27.5%	26.4%

	スポーツ			療養・静養			交際		
	男女	男性	女性	男女	男性	女性	男女	男性	女性
65歳以上	17.8%	21.8%	14.7%	15.0%	13.5%	16.1%	13.2%	10.6%	15.2%
75歳以上	13.1%	18.1%	9.8%	18.0%	17.2%	18.7%	12.5%	9.9%	14.2%

	買い物		
	男女	男性	女性
65歳以上	37.8%	28.2%	45.2%
75歳以上	31.5%	26.5%	34.7%

次に、高齢者が様々な行為を行った時間分布を図 5.2-3 に示す [14]。この図の中で、線の部分は 1%から 10%、四角の部分は 10%以上の人が行っていることを表している。

多くの方が 21 時から翌朝 7 時 30 分まで睡眠をしている。それ以外の行動はピークがなく、行為が分散している印象がある。たとえば「買い物」は平均 1 時間 15 分であるが、この図でみると 9 時から 17 時 30 分と広範囲に行われていることがわかる。つまり、朝・昼・夕方と行動する時間帯が人によって異なっている。また、日中に睡眠時間があることから、連続して行為をするのではなく、都度家に戻り家の中の用事や休憩を行った後に再度外出することも考えられる。つまり、小学生高学年のように日中に長時間を過ごす「学業中」が存在しないため、連続で 5 時間外出するとは限らない。

高齢者の睡眠時間は長い、早い時間帯（5 時台）から活動される方もいる。早朝からのスポーツとしてジョギングやウォーキング、体操、ゴルフが考えられる。歩行者の死亡事故の時間帯でみると、22 時から翌朝 3 時台まで 50 人から 70 人程度で推移していたが、5・6 時付近では 120 人から 170 人と一気に数が増えている。「薄暮」同様に薄暗い状態であるため、ドライバーが歩行者に気付かず交通事故に巻き込んでいると考えられる。

前述したとおり、仕事関連の時間帯は分散が大きい。平均時間は 4 時間 27 分から 6 時間 40 分と 20 代から 50 代より短いにもかかわらず、5 時台から 21 時台まで働いている人が一定数存在する。仕事関連と出退勤の行為者の差から、通勤せずに仕事ができる自宅での作業を行う人が多いため、仕事時間が分散すると推察する。

16 時から 17 時台までの行動は「移動」、「出退勤」、「仕事関連」、「スポーツ」、「交際（訪問含む）」、「買い物」、「療養・静養」である。このように、高齢者が様々な活動を行っている時間帯であるため、小学生同様に道路にいる人が多い時間帯であると推察する。

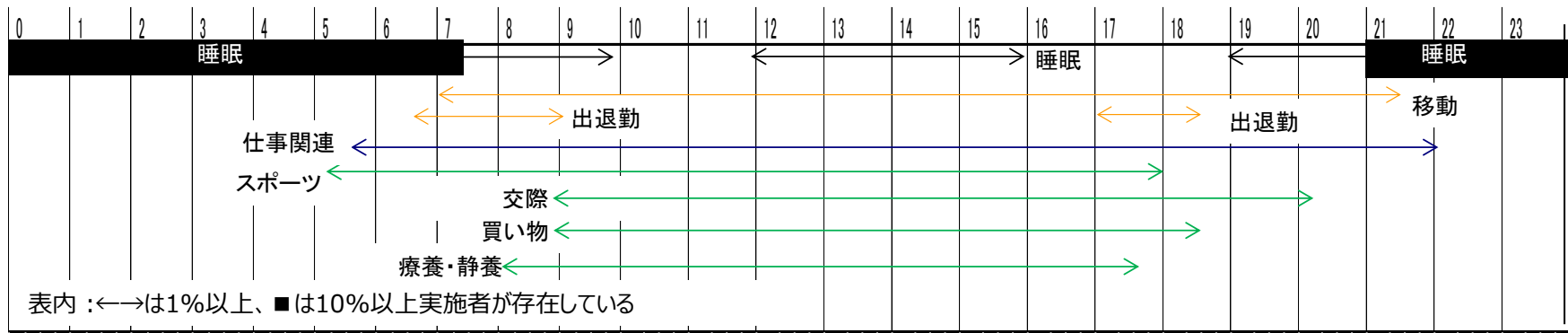


図 5.2-3 高齢者行動分布

#### 5.2.3.4. 生活時間調査まとめ

小学校高学年と高齢者の両者の生活時間から生活パターンを分析した。10代から50代までは、平日の外出時間と自宅滞在時間がほぼ半々で、家で活動している時間の半分は睡眠である。外出時間は仕事や学校にほぼ滞在しているため、8時から10時間は家に戻らない。学校や会社の始業時間は8時から9時であるため、1時間から2時間前に、登校・出勤のピークがあらわれる。

小学生高学年の場合は学業が15時近辺で終了するため、15時以降に下校のピークがでてくる。このことから、小学生高学年の多数は、外出時間が8時間程度（うち、登下校で路上にいる時間は45分程度）といえる。学校に通うことに加えて、スポーツや学校外学習、交際、レジャー、移動のいずれかに要する時間を加えた場合は、外出時間は最長11時間（うち、登下校・移動や遊戯で路上にいる時間は3時間30分程度）と考える。小学生高学年の登校が7時台であることから、11時間を超えると18時を超えるため、一人歩きがそぐわないう時間帯になる。18時を超えたときの移動は、保護者と一緒であると考えられる。

高齢者の仕事時間は小学生高学年の学業よりも時間が短いことがわかった。様々な活動に分散していることから、用事を終えるたび帰宅することも考えられる。交際や買い物、療養・静養（通院含む）といった行為による外出時間は5時間から7時間（移動時間が45分から1時間30分程度）である。この外出時間は小学生高学年の平均以下であるといえる。

以上のことから、消費電力を見積もる際には小学生高学年の外出時間を基準とする。小学生高学年のほうが長時間外出するため、高齢者の生活パターンをカバーされると考える。

次に小学校高齢者と高齢者を被験者とし、実際の行動ログを取得する。今回の推察と比較し、消費電力の計算に反映させる。



#### 5.2.4. 実証実験

これまで、生活時間調査では平均的な小学校高学年と高齢者の行動を調査した。生活時間調査は対象の平均値であるため、実際どのような生活を行っているかを調べるために実証実験を行った。実証実験は、小学校高学年と高齢者、それぞれ 5 名ずつの行動を調査した。今回は、各 5 名の行動が生活時間調査とどの程度差異があるか、また差異の原因を検証する。

実証実験の評価環境は以下の通り。

対象：小学校 5 年生（小学校高学年）、高齢者（65 歳以上）各 5 名

日時：2016 年 11 月の連続する 7 日間

場所：各被験者の生活拠点

機材：位置情報と時刻を記録するアプリケーションを搭載したスマートフォン

各被験者には機材を提供した。検証方法として、早朝にスマートフォンを起動してもらい、行動を記録するアプリケーションを起動後、就寝するまで 1 日中携帯してもらう。アプリケーションは時刻と GPS による位置情報を記録している。これとは別に、活動ノートを用意する。活動ノートには車などを利用した時間帯を記録してもらい、スマートフォンアプリが認識しにくい「歩行状態」を抽出するための情報として利用した。

1 週間後、スマートフォンと活動ノートを回収し、移動経路や移動時間を計測した。移動時間の中から交通機関を利用した部分を除いたところを歩行時間として算出した。

#### 5.2.4.1. 小学生高学年

小学生高学年 5 人に端末を 1 週間携帯してもらい、日々の生活行動を記録してもらった。ある日の生活記録を表 5.2-18 と図 5.2-4 に示す。日中の外出と外出の間で自宅にいた時間を「自宅滞在」とする。

小学校の開始時間が 8 時近辺のため被験者は 7 時台に徒歩で登校している。被験者 2 は中間地点まで車で移動し、以降は徒歩で移動していた。登校時間が最も長かった被験者は被験者 5 で片道 34 分ほどだった。

午後は授業の他に掃除や部活動などが組み込まれており、学校が終わる時間が 14 時 30 分から 16 時ごろと分散している。下校時間は登校とほぼ同じ時間であった。今回の被験者で下校時に交通機関利用者はいなかった。そのため、1 日の活動が学校の往復だけであれば、外出時間は 8 時間弱、移動は 1 時間程度とみることができる。

夕方の活動はさまざまである。外出をしなかった被験者もいれば、親族宅へ出かけた被験者、学校外学習へ出かけた被験者がいる。この結果でみると、遠方や暗くなる時間帯まで外出することが事前にわかっている場合は交通機関を利用して移動する傾向にある。徒歩 10 分圏内（約 500m 程度）であれば目が届く範囲として、18 時を過ぎていても一人で出かけられるケースもある。

屋内滞在時間と交通機関利用をまとめた時間と、歩行で道路上にいた時間を図 5.2-5 に示す。外出と外出の間に挟まれた自宅滞在については屋内滞在時間に含める。この図を見ると、屋内での活動時間や交通機関を利用した移動を含めた時間は 7 から 13 時間程度である。今回の 5 名については学内・授業、学校外学習は平均と乖離するものではなかった。登下校時間についてはばらつきについては、住んでいる地域と調査する人数によるものと思われる。そのため、通学に往復 1 時間以上要するケースもあるという認識で消費電力を計測する。また自宅滞在中に携帯電話の充電を行うユーザーも多いことから、1 時間以上の自宅滞在中は充電時間にすることができれば、700MHz 帯通信端末の利用時間を延ばすことも可能である。

表 5.2-18 実証実験 外出時間詳細(平日・小学生高学年)<sup>4</sup>

	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5
外出時間(全体)	9時間48分	12時間12分	8時間12分	8時間22分	9時間07分
歩行時間	13分	23分	22分	29分	1時間09分
交通機関利用時間	6分	30分			
学内・授業	7時間54分	8時間05分	7時間40分	7時間53分	7時間58分
学校外学習	1時間35分				
訪問		3時間14分	10分		
自宅滞在	1時間25分	1時間11分	2時間54分		

<sup>4</sup> 自宅滞在は外出時間（全体）に含まれない

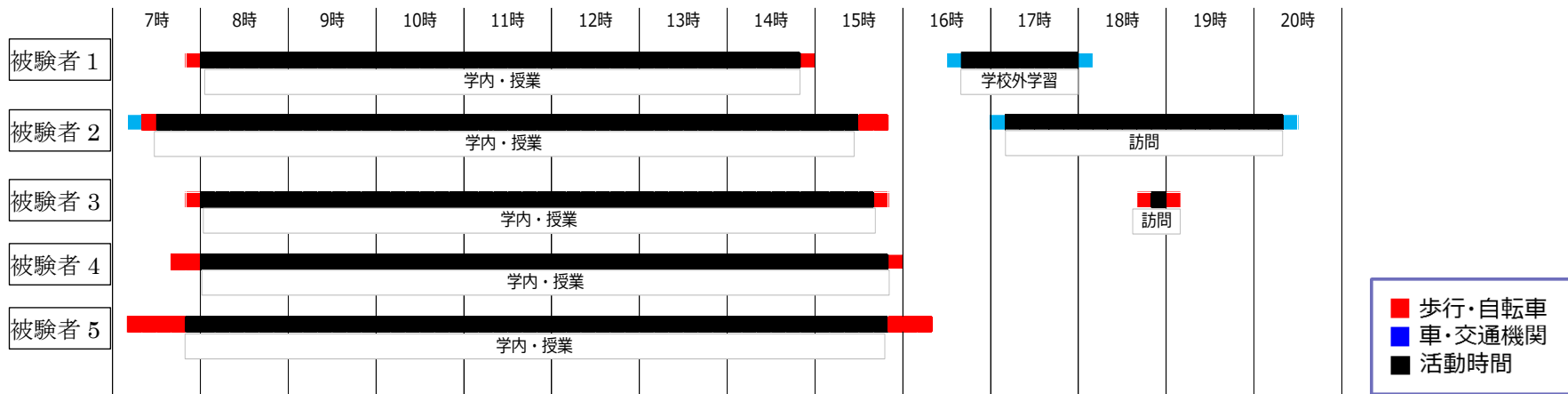


図 5.2-4 実証実験 行動分布 (平日・小学生高学年)

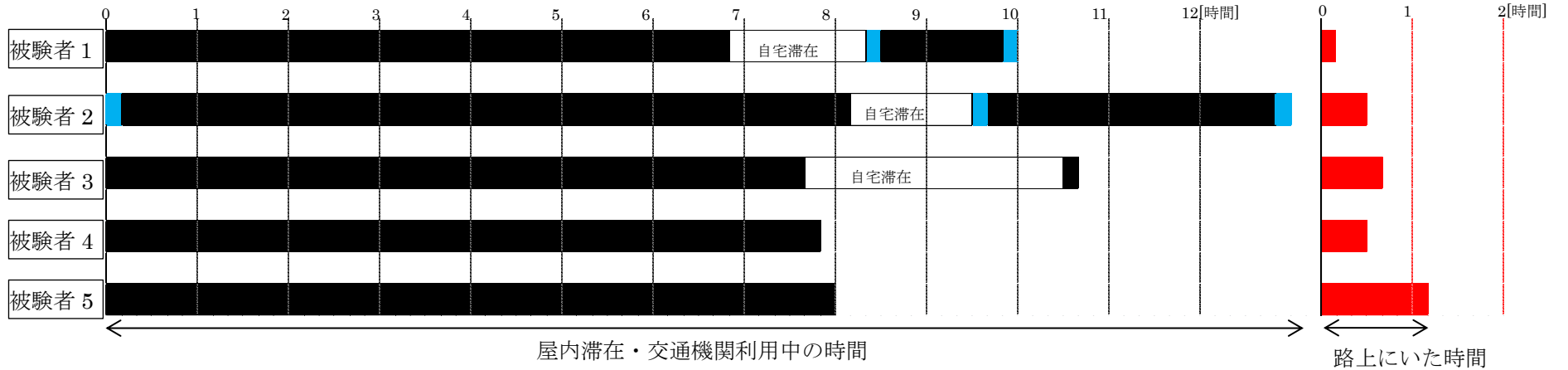


図 5.2-5 実証実験 路上・屋内滞在時間比較 (平日・小学生高学年)<sup>5</sup>

<sup>5</sup> 帰宅から次の外出まで電源の ON/OFF 操作や充電をしないことがあるため、自宅滞在は屋内滞在に含める

#### 5.2.4.2. 高齢者

65歳以上の高齢者5人に端末を1週間携帯してもらい、日々の生活行動を記録してもらった。ある日の生活記録をまとめたものを表 5.2-19 と図 5.2-6 に示す。表 5.2-19 において、日中の外出と外出の間で、自宅にいた時間を「自宅滞在」とする。

小学生高学年と異なり、共通の行動というのは少ない。被験者 A は勤務者であるため、8時から16時まで勤務先で仕事であった。被験者 D も複数の活動をしているが、外出時間は8時間程度である。このほかに買い物や食事を一回の外出にまとめて行うケースや、想定していた活動終了後帰宅し、再度外出するケースもみられる。表 5.2-18 と比較し、高齢者は小学生高学年と比べて外出時間が短いことが示された。

今回の実験において自動車免許保有している高齢者（被験者 C, D, E）は自動車を積極的に使用することがわかった。このため、免許保有者の歩行時間は駐車場内といった場所に限定され、短時間の移動により計測はされていなかった。一方の被験者 A, B は免許を有していないので、他の被験者と比べて歩行時間が長い。しかし目的地が遠い場合、小学生と異なり自分で公共交通機関を選択可能なことから、歩行時間が大幅に伸びることは考えにくい。

屋内滞在時間と交通機関利用をまとめた時間と、歩行で道路上にいた時間を図 5.2-7 に示す。小学生高学年と同程度外出していたのは被験者 A と D のみで、ほかの被験者は半分程度だった。車を利用する場合、長時間 700MHz 帯通信が停止状態になることが判明した。700MHz 帯通信が起動状態になるのは下車してから建物に入るまでのごくわずかな時間に限定される。

被験者 A は仕事に従事しており、仕事時間が生活時間調査の平均値を超えていた。被験者 D は一回の外出で様々な用事を済ませていた。この2名は一回の外出時間は表 5.2-13 に記載の平均値を超えていた。しかし、小学生高学年平均と同程度であり、かつ歩行時間は小学生高学年で想定した範囲に収まっている。このことから、小学校高学年は高齢者の外出時間を内包するという事に相違ない。

表 5.2-19 実証実験 外出時間詳細（平日・高齢者）<sup>6</sup>

	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
外出時間(全体)	8時間50分	4時間58分	4時間23分	8時間01分	2時間41分
歩行時間	58分	1時間13分			
交通機関利用時間	13分		48分	1時間53分	32分
仕事関連	7時間39分				
レジャー		3時間45分		3時間59分	
訪問					
家庭雑事			50分	29分	
買い物			2時間45分	1時間43分	2時間09分
自宅滞在		53分			

<sup>6</sup>自宅滞在は外出時間（全体）に含まれない

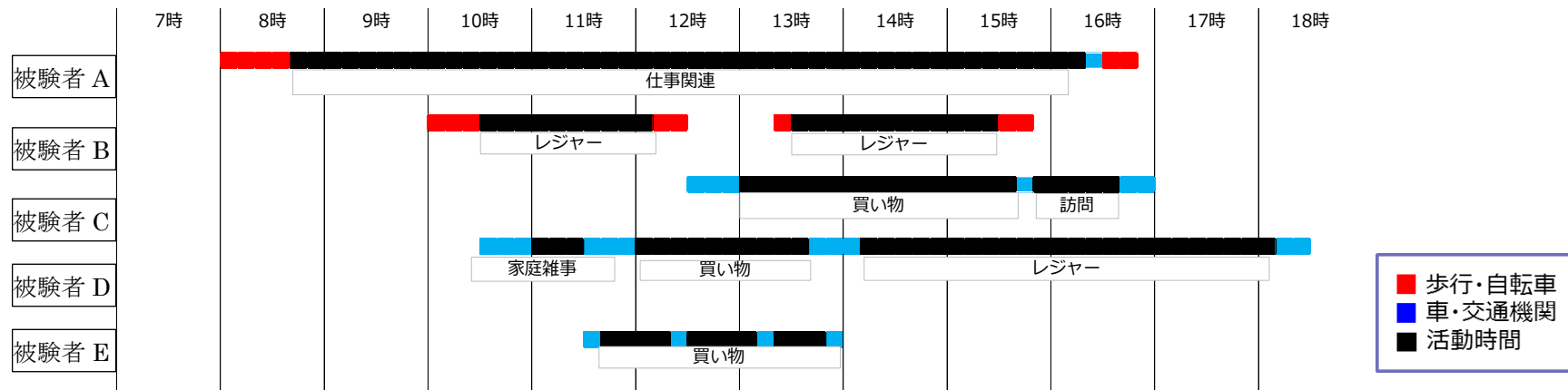


図 5.2-6 実証実験 行動分布 (平日・高齢者)

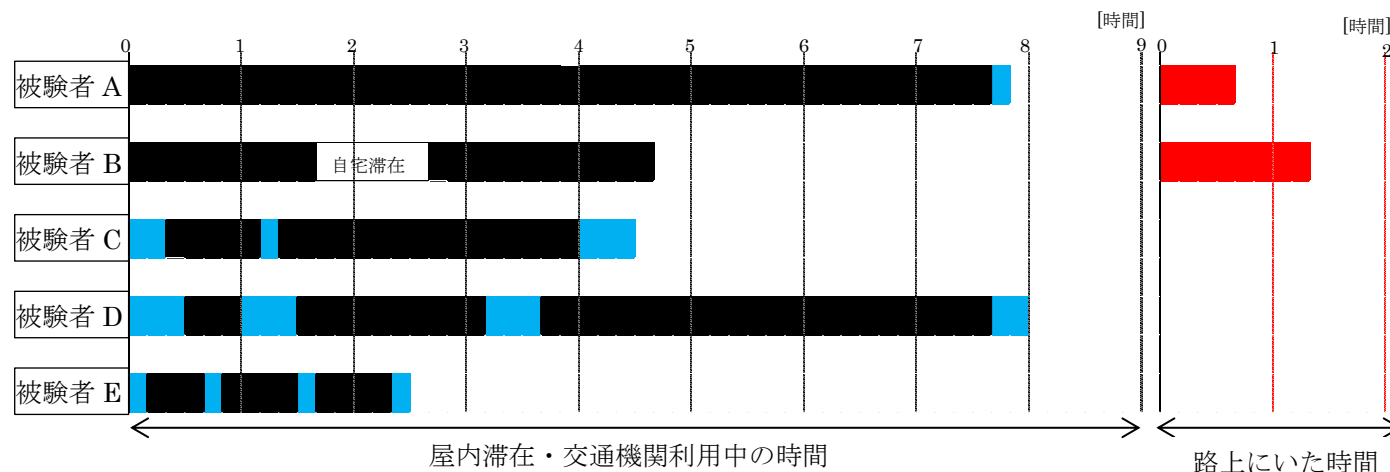


図 5.2-7 実証実験 路上・屋内滞在時間比較 (平日・高齢者)<sup>7</sup>

<sup>7</sup>帰宅から次の外出まで電源の ON/OFF 操作や充電をしないことがあるため、自宅滞在は屋内滞在に含める

#### 5.2.4.3. 実証実験まとめ

小学校高学年と高齢者を被験者として日常の行動を分析し、統計情報とほぼ同様の傾向であることを把握した。被験者の居住地域によっては、公共交通機関を活用するために歩行時間が常にあるといった違いがあるものと推察する。今回は統計で得られた結果と実際の生活にどれくらいの開きがあるか確認する目的も一部にあるため、少人数での検証を行った。

今回取得したデータによると、学校での授業時間は平均より長く約 8 時間学校に滞在していた。一方で登下校に要する時間は平均より短い 20 分台が多かった。18 時以降に外出しているケースでは保護者の送り迎えがある。自宅外での学校外学習（塾や習い事教室）に向かう被験者が少なかったことから、小学校低学年の場合は 18 時台より早い時間から一人で外出しない可能性もある。

車が生活必需品となっている場合、高齢者は移動手段として車中心に移動する傾向がわかった。そのため、意外と歩く機会が少なく、歩く時間も短時間に収まることが多い。車を所有していない人は、公共交通機関や自転車、歩行で移動する。それでも小学生高学年と同程度の移動時間であった。よって、高齢者は外出時間が短く、歩行時間が長い人でも小学生高学年と同程度しかないと確認した。

これらの情報をもとに消費電力の検討を行う。歩行時間や外出時間の長かった被験者を中心に複数の消費電力を算出する。

### 5.2.5. 消費電力調査

5.1.4 章で送受信状態の電流値，5.2.3 章と 5.2.4 章にて，小学生高学年と高齢者の外出時間及び路上にいる時間を調査した．これらの情報をもとに，現在の 700MHz 帯通信端末の消費電力を算出し，利用時間について検討する．

検討するバッテリーについて説明する．スマートフォンが登場した 2010 年頃の二次電池の容量は約 1000mAh から 1500mAh 程度で，連続通話時間がカタログスペックで 300 分程度であった．ところが，現在スマートフォンに搭載されている電池容量は約 2900mAh から 3600mAh となり，2010 年頃と比べて容量は 3 倍に増加している．この他に，スマートフォンの充電を目的とした「モバイルバッテリー」と呼ばれる充電電池は，スマートフォンに搭載されている電池の 6.0 倍の容量を持つものもある．これは，二次電池に使用されている素材がリチウムイオンポリマー電池に変わった影響もあると見ている．リチウムイオンポリマー電池は液体の電解質を固体と液体の間であるゲル状態での形成が可能となったため，液体と違い外からの負荷に対して耐性が強くなった．しかも，蓄積可能なエネルギー量は液体と比べて増加したことから高容量の電池も提供が可能になった．

また，近年のスマートフォンの連続通話時間はカタログスペックで 1520 分程度と 6 倍程度に伸びている．高機能化が進んだにも関わらず電池容量以上に使用時間が伸びたことから，スマートフォンに搭載された部品の省電力化の効果も大きいと考えられる．

今回，現在販売されているスマートフォンに採用されている電池をもとに使用可能な時間を算出する．

#### 5.2.5.1. 消費電力

まず，生活時間調査結果をもとにした値で消費電力を計算する．ここで使用するグラフはすべて 700MHz 帯通信が常に起動している状態，つまり常時送受信を行っているときの電流値を基準にする．

##### 5.2.5.1.1. 生活時間調査をもとにした消費電力算出結果

まず，生活時間調査で最長のケースとして外出時間 11 時間，うち移動時間と道路で遊んでいる時間を合わせて 3.5 時間とした消費電力を算出する．ここでの移動時間はすべて歩行しているとみなす．グラフ内で「OFF 機能なし」は外出時間の 11 時間すべて 700MHz 帯通信の送受信を実施，「OFF 機能あり」は 700MHz 帯通信の送受信を外出時間の 11 時間中 3.5 時間のみ実施し，それ以外の時間は 700MHz 帯通信が停止状態（RF 機能 OFF 状態）にするものとして算出した結果を図 5.2-8 に示す．

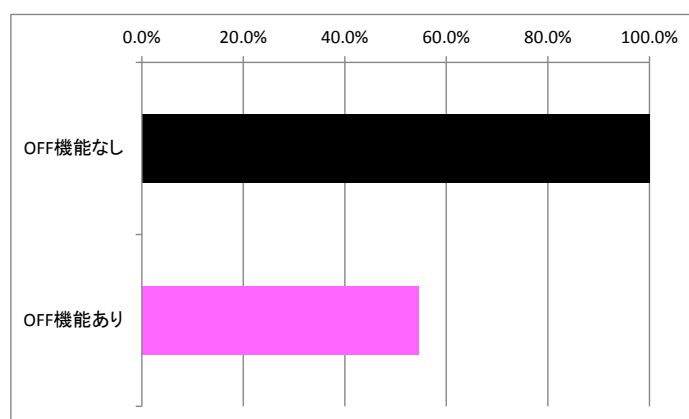


図 5.2-8 外出時間 11 時間（路上にいる時間：3.5 時間）の消費電力比

11 時間中 7.5 時間 700MHz 帯通信を止めることにより，消費電力は半分程度(56.2%)となった．RF 機能を OFF 状態にすると，1 時間当たり 70%程度の消費電力を削減することができる．外出時間のうち半分以上が停止状態へ遷移していることから，大幅に消費電力を削減できたといえる．

次に，外出時間 8 時間，うち移動時間が 1 時間とした消費電力を算出する．グラフ内で「OFF 機能なし」は外出時間の 8 時間すべて 700MHz 帯通信の送受信を実施，「OFF 機能あり」は 700MHz 帯通信の送受信を外出時間の 8 時間中 1 時間のみ実施し，それ以外の時間は 700MHz 帯通信が停止状態（RF 機能 OFF 状態）で算出した．また，横須賀 YRP の実証実験での危険判定エリアを通過していた時間が全体の三分の一であったことから，「OFF 機能あり+危険判定あり」で 700MHz 帯通信の送受信を移動時間 1 時間のうち三分の一の 20 分で実施し（5.1.4.2 参照），それ以外の時間はすべて 700MHz 帯通信が停止状態としたときの消費電力を計算した．以上に示した条件での消費電力算出結果を図 5.2-9 に示す．



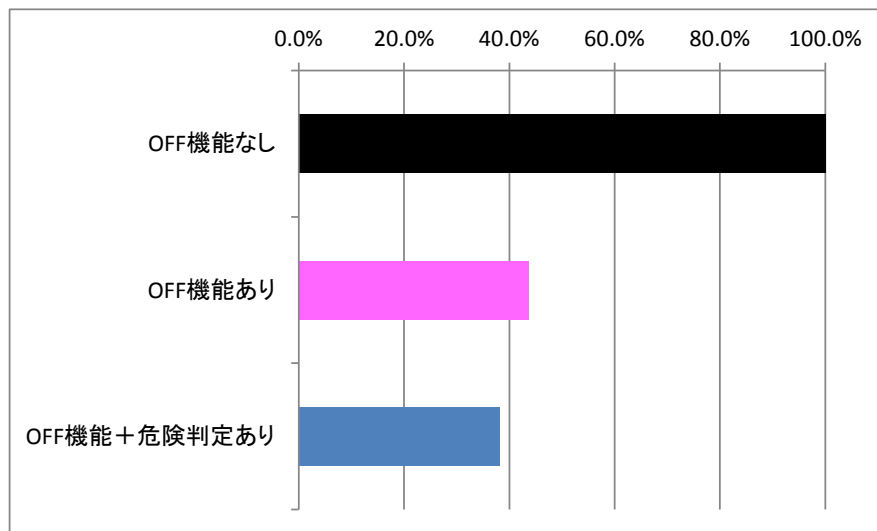


図 5.2-9 外出時間 8 時間（路上にいる時間：1 時間）消費電力比

8 時間中 7 時間無線通信を止めることにより，消費電力は半分以下(43.8%)程度になる。図 5.2-8 と比べて大きく消費電力を削減できたのは，RF 機能 ON 状態となっている時間による変化と推定される。図 5.2-8 では RF 機能が ON となっている割合は約 30%であるが，この場合約 12%と小さいため，より消費電力を下げる効果がはっきり表れたといえる。

危険判定による 700MHz 帯通信起動/停止機能を追加すると，より消費電力を削減できる。「OFF 機能+危険判定あり」消費電力は「OFF 機能なし」と比べて 38.1%の消費電力であった。このことから，スマートフォンのアプリケーションがユーザーの位置，方向，車両の位置情報を把握して危険かどうか判断し，無線通信を制御することで，消費電力を効果的に抑えることができる。

#### 5.2.5.1.2. 実証実験をもとにした消費電力算出結果

5.2.4 章の実証実験において，小学生高学年と高齢者の行動パターンを計測した。これらのうち，小学生高学年の被験者 2 と 5，高齢者の被験者 B，D をもとに算出した結果を図 5.2-10 に示す。被験者 2 は今回の実証実験で最も長時間外出している，被験者 5 と被験者 B はそれぞれの世代で最も歩行時間が長い，被験者 D は歩行時間 0 の中で最も長時間外出しているという理由で抽出した。なお，外出と外出のインターバル（表 5.2-18 と表 5.2-19 で「自宅滞在」と記した時間）は，ユーザーが 700MHz 帯通信端末の電源 ON/OFF をしない，または充電操作を行わないことを想定し，RF 機能 OFF 状態の時間に加算した。いずれも「OFF 機能なし」は外出時間すべて 700MHz 帯通信の送受信を実施，「OFF 機能あり」は歩行時間のみ 700MHz 帯通信の送受信を実施し，それ以外の時間は 700MHz 帯通信が停止状態の消費電力を算出した。

今回抽出した被験者の場合はいずれのケースでも「OFF 機能あり」は「OFF 機能なし」と比べて約 50%から 60%の消費電力を削減した。それぞれの実証実験のルートで交差点を通過した時間を危険判定で RF 機能 ON 状態とし、それ以外の部分で RF 機能を OFF 状態にすると、さらに 2%から 10%消費電力が削減される。危険判定は長時間歩く人ほど有効に作用し、被験者 5 と B の場合は消費電力比 40%まで下がる。

被験者 2 のケースは図 5.2-8 で示した想定していた「外出時間 11 時間」を超えるケースである。700MHz 帯通信起動/停止機能なしの消費電力はとても高い数値を示していたが、歩行時間が短かったことから 700MHz 帯通信起動/停止機能ありの場合、「外出時間 11 時間」で想定していた消費電力よりも低い値になった。このように外出時間が長くても、歩行している時間が短ければ、消費電力への影響を抑えることもできる。

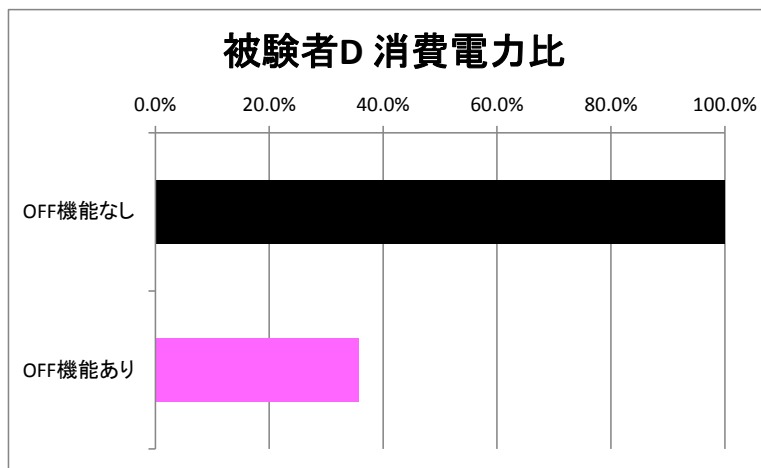
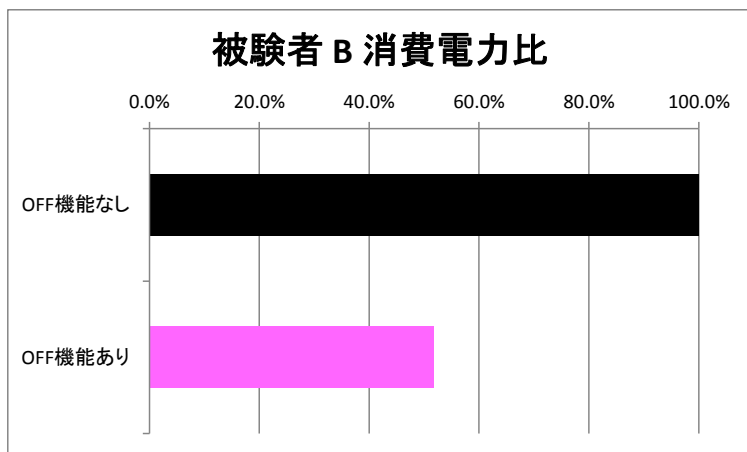
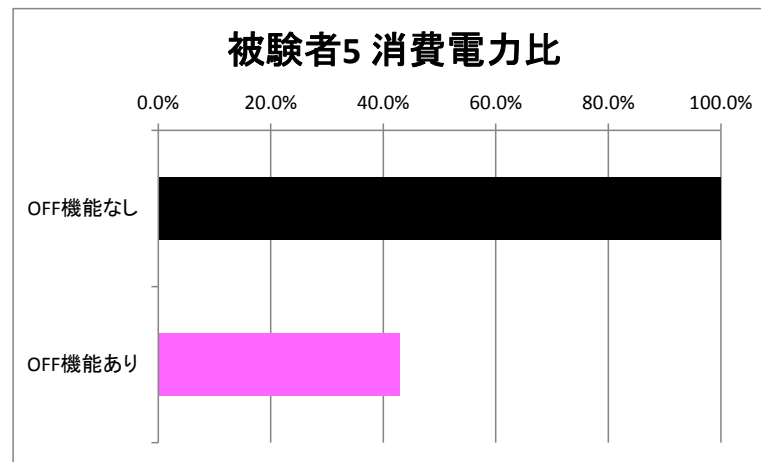
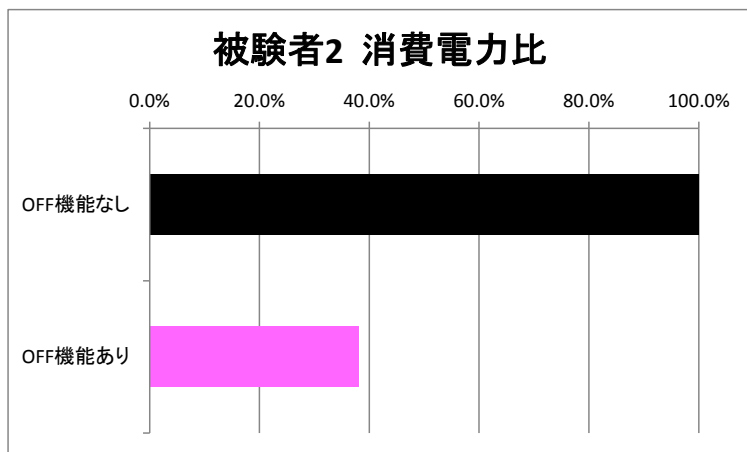


図 5.2-10 実証実験の代表的な被験者の消費電力比

### 5.2.5.2. 消費電力と利用時間

生活時間調査で見積もった移動時間と、実証実験で判明した移動時間をもとに消費電力を算出した。

5.2.5.1.1 章で示した外出時間が長いケース（外出時間 11 時間うち移動時間 3.5 時間）ですべての時間 RF が ON となっている場合、スマートフォンに搭載されている電池容量では 1 日 2 回から 3 回程度の充電が必要とされる。しかし、700MHz 帯通信を室内にいる時間停止すると、同じ電池タイプでも 1 回の充電ですべて賅えることが判明した。また、これは 5.2.5.1.2 章で示した実証実験のケースでも同様の傾向である。また、危険/安全判定による 700MHz 帯通信起動/停止機能を実施した場合、より消費電力削減が見込めるため、現在提示している時間（外出時間 11 時間うち移動時間 3.5 時間）以上の活動も可能といえる。

今回の利用時間は生活時間調査の平均をもとに算出した値で多くのユースケースに当てはまるものとして考えている。しかし、5.2.5.1.2 章で示した実証実験でもあったように、13 時間連続で使用するケースもあり、百者百様の利用状態が考えられる。今回の算出に使われた消費電力は 700MHz 帯通信端末の試作機上の数値である。ユーザーのすべての行動に対応するためには OFF 状態時の待機電流を抑える仕組みや省電力化が行われた部品を組み合わせて消費電力のさらなる削減に取り組む必要がある。

## 6. 輻輳調査

700MHz 帯通信端末が普及すると、同じエリアに複数の 700MHz 帯通信端末が通信することが想定される。その場合、同一時刻にデータを送信する端末が発生し、輻輳状態になりうる。ここでは、1 エリアで同一時刻に端末が通信を開始したとき、何台送信が可能か計算した結果を示す。

### 6.1. 通信制御

通信制御は、路側機・700MHz 帯通信端末ともに 100ms 周期での通信を基本とする [6]。路側機は、自身の送信情報として送信時刻および路車間通信期間情報（転送回数・路車間通信期間長）を周囲の 700MHz 帯通信端末に通知して、自身の送信時間を確保する。一方の 700MHz 帯通信端末は、路側機から受信した送信時刻に基づいて時刻同期し、路車間通信期間情報に基づき自身の送信を停止することで、路側機の送信時間のタイミングで送信する。路側機の送信期間（路車間通信期間）の配置を図 6.1-1 に示す。制御周期 100ms 内に設定可能な路車間通信期間の数は 16 であり、制御周期の先頭から 6240us 間隔で設置する。設定可能な路車間通信期間長の最大値は 3024us である。

路側機は「RTC」を参照し、送信開始タイミングからの送信期間長以外のすべての時間に送信禁止期間を設定する。「RTC」は送信制御関数と呼び、路側機がデータを送信する時間帯を示すパラメータである。各要素は、送信開始タイミング変数「RTC.TST」と送信期間長変数「RTC.TRP」とで構成する。「RTC.TST」は、制御周期中のどのタイミングで送信を開始するかを示し、16us（制御単位時間）を「1」とした整数値とする。値の範囲は「0」から「6249」である。「RTC.TRP」は送信期間長を示し、「RTC.TST」と同様に 16us を「1」とした整数値とする。値の範囲は「0」から「6250」であり、「0」は送信期間がないことを表す。

具体的には図 6.1-2 のように、すべての制御周期（100ms）において、通信制御用 1 秒周期タイマの 100ms 以下の値が、「RTC.TST」が示す送信開始タイミングを起点に「RTC.TRP」が示す送信期間長を除く時間に送信禁止期間を設定する。なお、各制御周期において送信禁止期間が 89.5ms に満たない場合は、送信期間の 10.5ms を超える時間のすべてに送信禁止期間を追加設定する。本設定処理は、「RTC」が更新されるごとに行う。

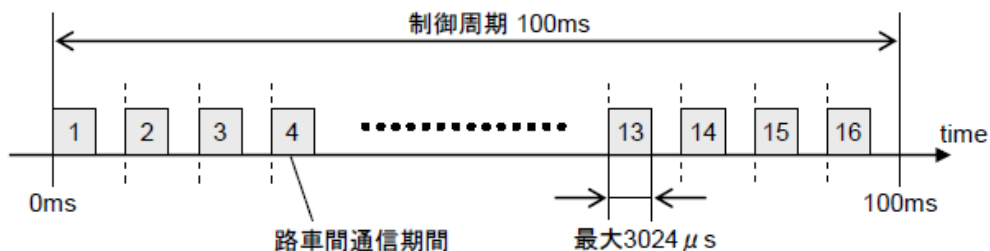


図 6.1-1 路車間通信期間の配置

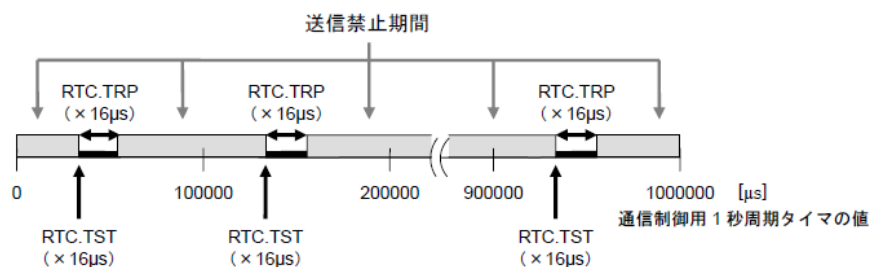


図 6.1-2 路側機における送信禁止期間の設定法

700MHz 帯通信端末は端末本体に蓄積された変数「ONC」を参照し、制御周期に対しては、「ONC」が定義されている数の分、送信禁止期間の開始タイミングから送信禁止期間長の時間に送信禁止期間を設定する。「ONC」は送信禁止期間制御変数と呼び、送信禁止期間制御用の構造体形式の配列であり、要素数は「16」である。各要素は、送信禁止期間開始タイミング変数「ONC.NST」と送信禁止期間長変数「ONC.NVP」とで構成する。「ONC.NST」は、制御周期中のどのタイミングで送信禁止期間を開始するかを示し、16us（制御単位時間）を「1」とした整数値とする。値の範囲は、「0」から「6249」である。「ONC.NVP」は送信禁止期間長を示し、「ONC.NST」と同様に 16us を「1」とした整数値とする。値の範囲は「0」から「6250」であり、「0」は送信禁止期間がないことを表す。

具体的には、「ONC」が 1 つだけ定義されている場合（「ONC」は最大 16 定義可能）は、図 6.1-3 のようにすべての制御周期（100ms）において、通信制御用 1 秒周期タイマの 100ms 以下の値が、「ONC(1).NST」が示す送信開始タイミングを起点に「ONC(1).NVP」が示す送信期間長に送信禁止期間を設定する。本設定処理は、「ONC」が更新されるごとに行う。

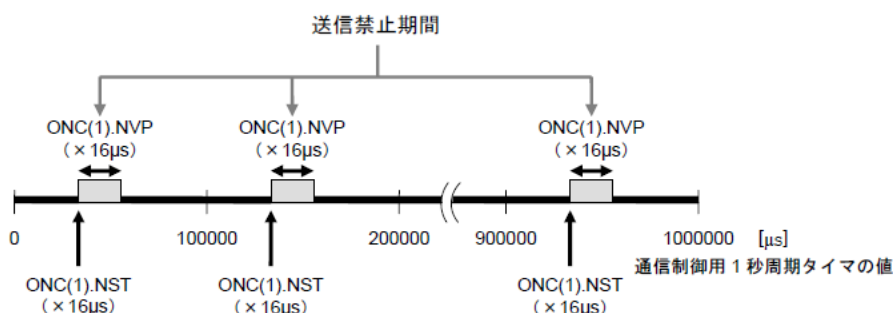


図 6.1-3 700MHz 帯通信端末における送信禁止期間の設定法

### 6.1.1. 路側機が存在する場合

路側機が存在する場合、700MHz 帯通信端末は仮想的・物理的キャリアセンス機能によって分散スペース期間及びランダム待ち期間において媒体がアイドルと判断された後に送信が許可される。仮想的・物理的キャリアセンス機能による 700MHz 帯通信端末のフレーム送信手順を以下に示す（図 6.1-4）。

- 1) 送信禁止期間による仮想的キャリアセンス機能によって媒体がアイドルとなる。送信禁止期間が終了するまで待機する。
- 2) 物理的キャリアセンス機能によって分散スペース時間だけ媒体のアイドルが継続するまで待機する。
- 3) MAC プロトコルデータ単位 (MPDU) の送信を開始しようとする 700MHz 帯通信端末は、キャリアセンス機能を用いて媒体のビジー/アイドルを判別する。媒体がビジーであれば、正常に受信された最新のフレームの後、分散スペースの時間間隔分だけ送信を延期する。分散スペース分の媒体のアイドル時間の後、更に送信延期するランダムな待ち期間を生成する。このプロセスにより、フレーム衝突を最小化できる。ただし、送信延期するランダム待ち期間が 0 でない場合は、前回生成されたランダム待ち期間が引き継がれる。

**ランダム待ち期間 = Random × スロットタイム**

ここで、「Random」は「0」から「63」までの間に一様分布する疑似乱数の整数値である。

- 4) 手順 2)の後、更に物理的キャリアセンス機能によって媒体がアイドルであれば、手順 3)で決定したランダム待ち期間をスロットタイムごとに減算して、減算したランダム待ち期間が「0」になり次第、MPDU の送信を行う。
- 5) 手順 4)の期間中に、物理的キャリアセンス機能によって媒体チャンネルがビジーとなった場合は、再び媒体がアイドルとなるまで待機し、アイドルになり次第、手順 4)で減算したランダム待ち期間をもとに手順 2)及び手順 4)を行う。
- 6) 仮想的キャリアセンス機能によって媒体がビジーとなる（送信禁止期間が開始される）まで手順 5)を行う。

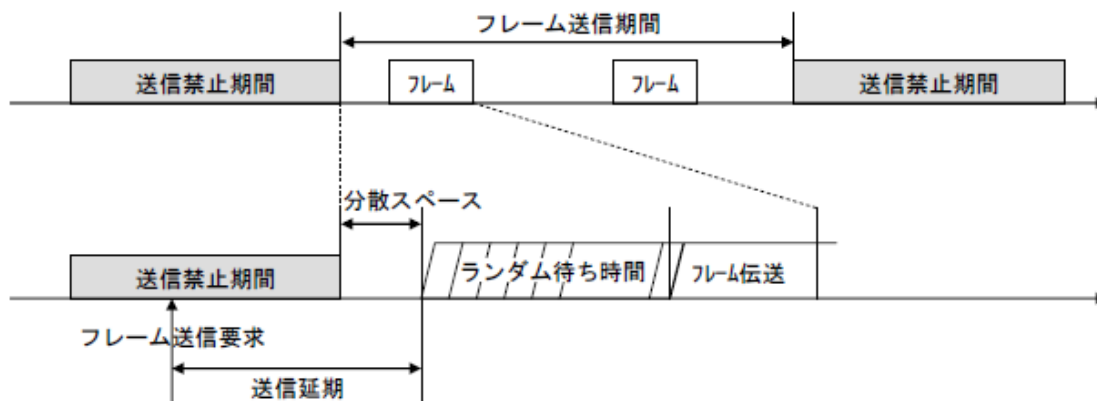


図 6.1-4 仮想的・物理的キャリアセンス機能によるフレーム送信方法

この方法に沿って、「1 エリアで同一時刻に 700MHz 帯通信を起動した際、Random 値が共通になることなく、フレーム送信期間の間に送信できた」端末を送信成功とカウントする。歩道の幅を 2m、長さを 100m としたエリアの中に、人のスペースを 1.5m<sup>2</sup>程度としてエリアに入る人数を想定した結果、最大 150 台程度となった。700MHz 帯通信端末が 1 台から 150 台存在するときの送信成功した台数の計算結果を図 6.1-5 と図 6.1-6 に示す。図内の平均値は 100 回実施したときの接続台数を示している。

生成される乱数にもよるが 2 台から 5 台までは「共通の Random 値」により衝突して送信できないというケースがまれに存在するが、6 台以上になると数台の 700MHz 帯通信端末はデータを送信できている。

少ない台数の時は高い確率ですべての 700MHz 帯通信端末が送信できているが、15 台を超えたところで、輻輳状態になる頻度が多くなり、対向機に送信できた端末は平均 8 割を下回る。28 台を超えると全端末での送信は 1 度もなく確実に輻輳が発生した。平均台数が最も高いところは 23 台から 24 台となっているが、この時は 60 台から 70 台接続要求を行っているので、接続済端末は平均 3 割程度となっており、実に半分以上の 700MHz 帯通信端末は輻輳状態に陥っていることを示している。

700MHz 帯通信端末が 150 台存在するケースでも最低でも 5 台以上、平均で 15 台程度が送信できていることを確認した。150 台存在するケースは、主に大都市のターミナル駅周辺の交差点といった限定された場面と考える。運転手側からも混雑した場所であるため、歩行者を視認しやすい。しかし、たくさんの 700MHz 帯通信端末が存在するとき、突然の飛び出しで情報を送信しても輻輳により車載器に伝達されないケースが存在する。

なお、ここで設定される「Random 値」により送信成功台数は変化するため、乱数の統計的独立性が重要であることに注意する必要がある。



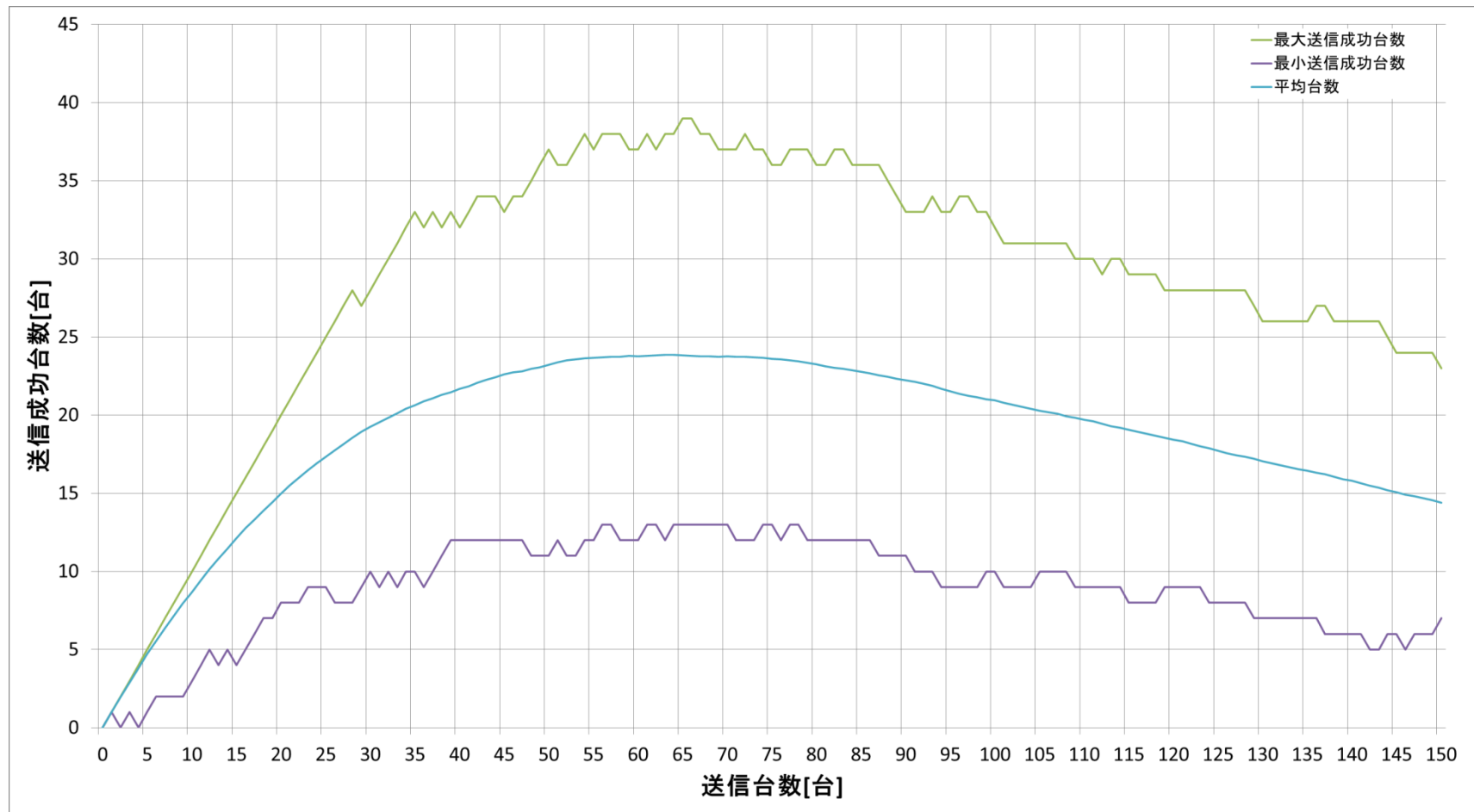


図 6.1-5 700MHz 帯通信 端末送信成功台数 (路側機あり)

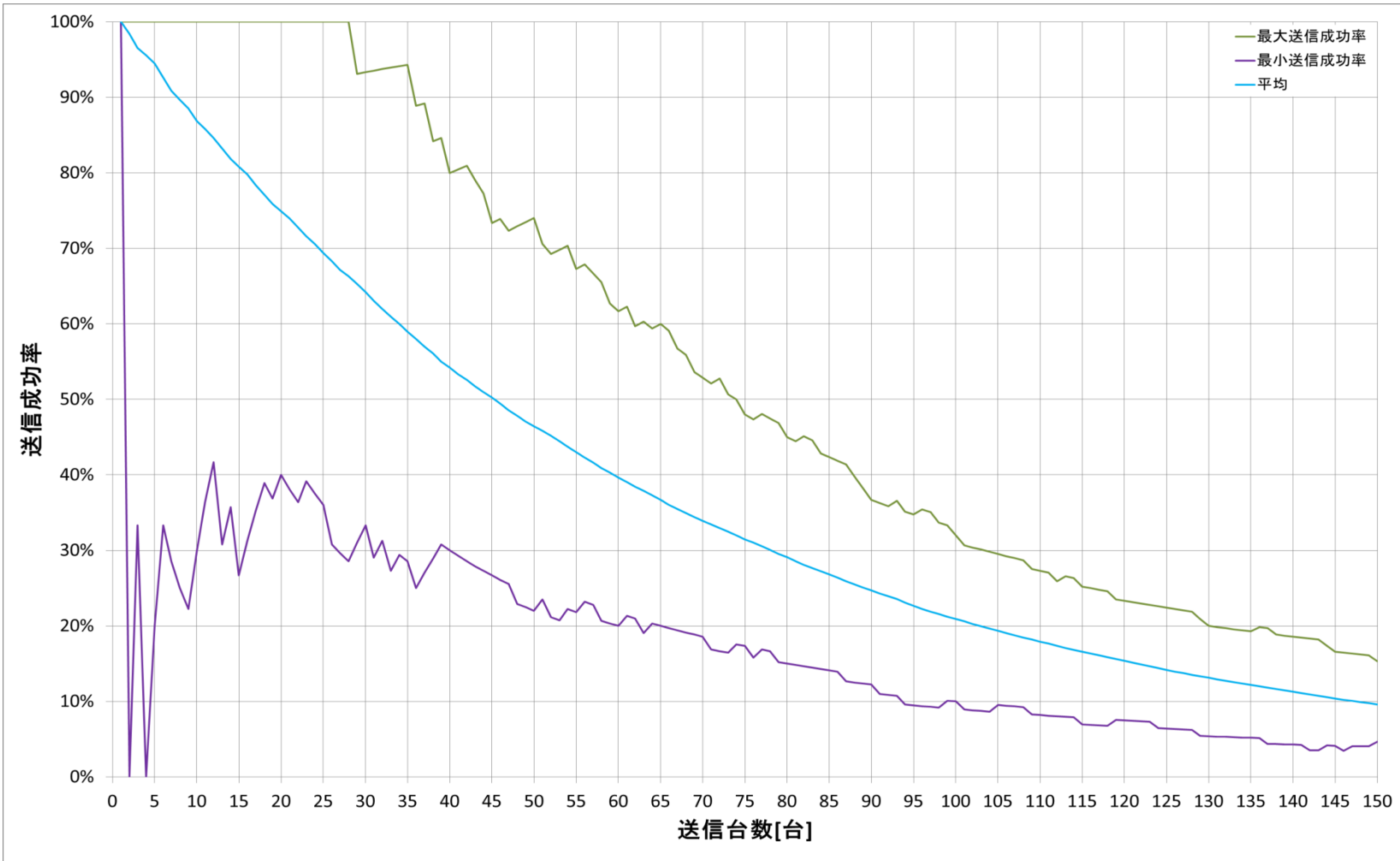


図 6.1-6 700MHz 帯通信 送信成功端末比率 (路側機あり)

### 6.1.2. 路側機が存在しない場合

路側機が存在しない場合、図 6.1-4 で示されている「送信禁止期間」がない。そのため、端末の送信要求があると、そのまま MPDU が送信される。今回は「100ms を送信時間で等分し、100ms 内で 700MHz 帯通信を起動するタイミングを Random で決定したとき、Random 値が複数の端末で合致になることなく送信できた」端末を送信成功とカウントする。6.1.1 章同様に、1 エリアに 1 台から 150 台の 700MHz 帯通信端末が存在するとき、送信完了した台数の計算結果を図 6.1-7 と図 6.1-8 に示す。

20 台以下の場合について、高い確率ですべての端末が送信できており、輻輳時でも 95% 以上の端末が送信している。30 台を超えると 1 割の端末が送信できないケースが頻発した。70 台を過ぎるとすべての端末が送信できるケースがなくなり、150 台では最大で 2 割から 3 割、最小で 5 割程度の端末がデータを送信できない状態になる。しかし、路側機ありと比べると多くの端末が送信できている。

今回は 100ms を送信時間で等分し 150 以上の送信できるタイミングが存在するようにシミュレーションを行ったが、150 台すべてデータを送信できるケースは存在しなかった。つまり、いかなる場合でも複数台 700MHz 帯通信端末があると輻輳のリスクは常に存在することを示している。

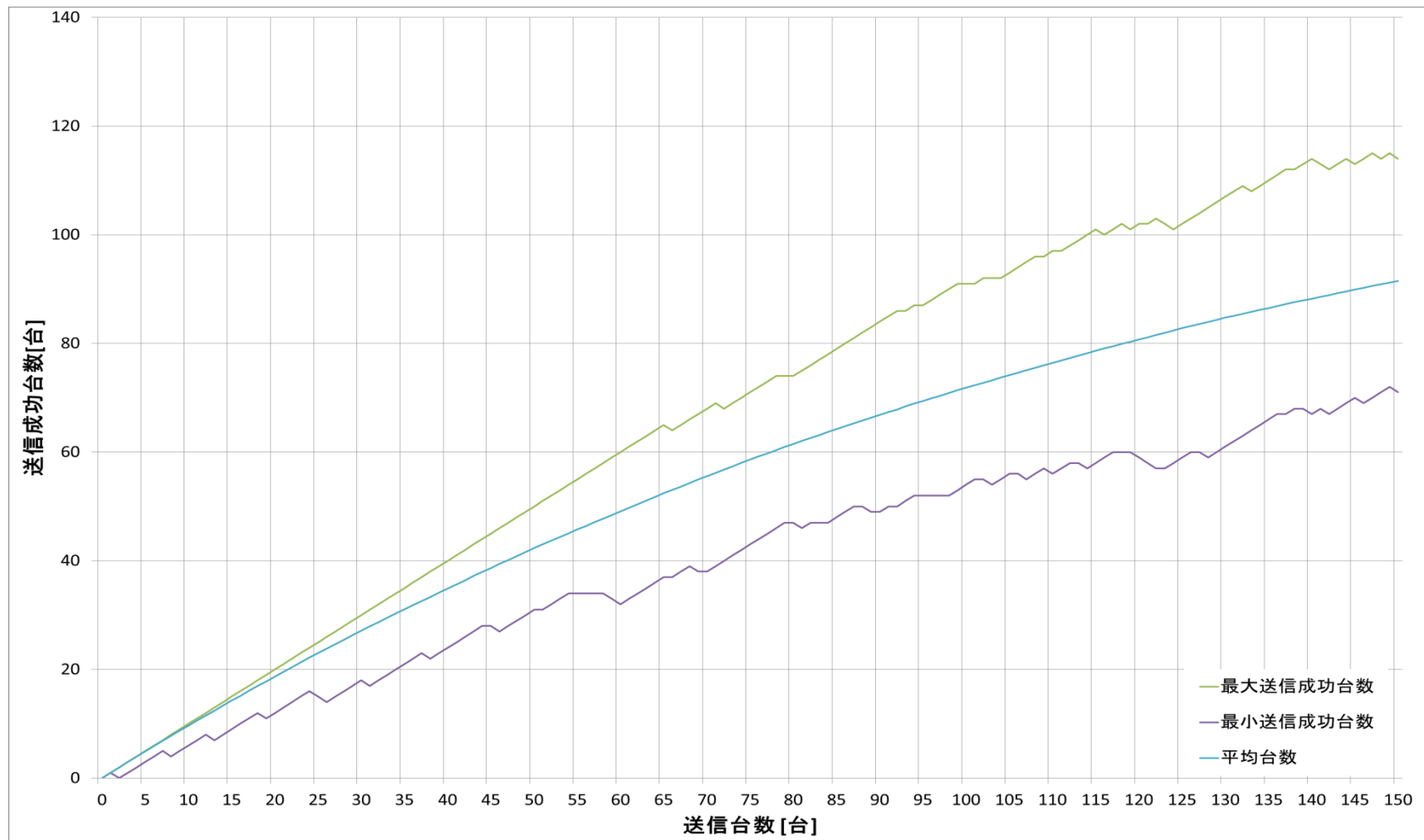


図 6.1-7 700MHz 帯通信端末送信可能台数 (路側機なし)

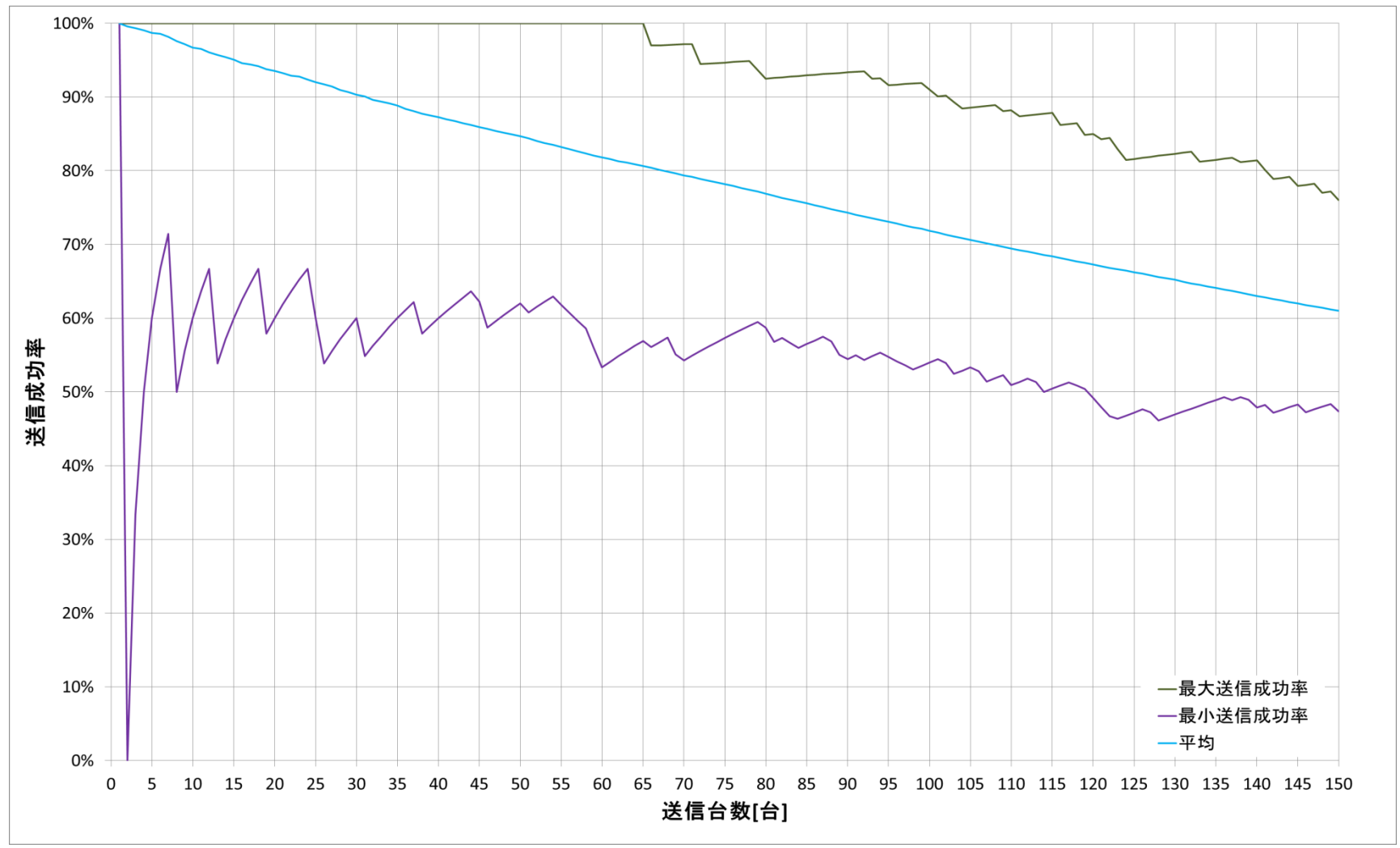


図 6.1-8 700MHz 帯通信 送信可能端末比率 (路側機なし)

## 6.2. 輻輳調査まとめ

路側機の有無による輻輳状態の違いについて調査した。

路側機ありの場合は、700MHz 帯通信端末が送信できるタイミングが限定されているため、700MHz 帯通信端末が 10 台くらいまでなら 2 台程度輻輳により通信できないケースがまれにある。しかし、周辺に 100 台の 700MHz 帯通信端末があると、約 3 割しか送信ができない状態になっている。輻輳を制御するためには確実に周囲の 700MHz 帯通信端末へ送信ができる路側機の役割が重要である。

路側機がない場合は、送信できるタイミングが多いため接続できる台数は路側機ありと比べて多いが、25 台を超えたあたりから輻輳により接続できなくなる台数が多くなっている。周辺の 700MHz 帯通信端末を制御する路側機が存在しないため、多くの端末が送信しているときは自律的に通信を抑制する機能や、移動距離が短いときは送信間隔を変えるなどビジー状態を減らす仕組みが求められる。

## 7. まとめ

専用端末の携帯性を考慮した省電力技術の導入，700MHz 帯通信プロトコルの互換性を維持の実現を3ヵ年の目的とし，以下の年次目標を設定した。

[平成 26 年度]

『Bluetooth 並びに 700MHz 帯通信 I/F の検証』，『基本機能試験』（端末試作 未実施）

- 既存端末メッセージアップデート
- 実証実験の追加試験で互換性確認
- Bluetooth による制御信号伝達確認

[平成 27 年度]

『700MHz 帯通信端末試作』，『700MHz 帯通信端末動作確認』

- セルラーの 700MHz 帯への無線干渉の検討
- 700MHz 帯通信の起動/停止制御機能の実現

[平成 28 年度]

『実証端末製造（アンテナ小型化・ログ機能実現）』，『実証実験（アンテナ小型化・省電力機能検証）』

- アンテナの最適な構造と配置検証・試作
- SIP 車車・路車実証実験の追加試験で歩端末実証実験実施

これまでの評価結果より，平成 27 年度は『700MHz 帯通信端末試作』『700MHz 帯通信端末動作確認』を実施し，以下の成果を達成した。

- 700MHz 帯通信アンテナと 700MHz 帯セルラーアンテナを最適な構造と配置で試作し，平成 27 年度で求めたレベルダイヤを基に，700MHz 帯通信，700MHz 帯セルラーそれぞれへフィルタを実装しレベルダイヤを検証する。
  - シミュレーション結果を基に 700MHz 帯通信アンテナを試作し，スマートフォンに見立てた端末内に，700MHz 帯通信アンテナと 700MHz 帯セルラーアンテナを配置実装した。後段にフィルタを実装し，レベルダイヤ検証を行った。
  - レベルダイヤにおける所要減衰量を，アンテナ間のアイソレーションを確保することで達成することができた。
- 消費電流を詳細に解析するためのログ出力機能を既存端末に実装する。
  - 平成 27 年度使用端末へ消費電力ログ機能を実装し，実証実験時にバッテリーセービングモードの有効性を解析可能とした。
- 試作した小型アンテナが 700MHz 帯通信端末に適したものであるかを，電波伝搬特性の違いを鑑みた実環境において，アンテナの地上高を変え検証する。
  - 平成 27 年度使用端末に試作したアンテナを接続し，技術適合証明を取得し，屋外の複数の環境下（住宅街，ビル街，森林，田園）の，複数のアンテナ地上高で，実証実験としてアンテナの伝搬特性を取得した。この実証実験で得られ

た消費電流ログ情報から、700MHz 帯通信機能の起動/停止制御に合わせて、省電力機能が有効に働くことを確認した。

- 想定される生活パターンにおける 700MHz 帯通信の通信時間の調査を実施する。今年度実装した消費電力ログ機能による実際のフィールドでの消費電力状況解析結果も加味し、バッテリーへの要求仕様を検討する。
  - 統計情報から、小学生と高齢者の生活パターン分析を行い、1 日の移動時間を求め、省電力機能有効時に 700MHz 帯通信機能が起動される時間を想定した。端末が 1 日稼働するのに必要とされる消費電力を求め、スマートフォンに搭載されるバッテリー容量との比較を行った。省電力機能を用いると、スマートフォン用電池で 700MHz 帯通信端末が 1 日稼働可能であると考えられる。



## 8. 参考文献

この研究報告書は以下の文章を必要に応じて参照する。

- [1] ITS 情報通信システム推進会議, “700MHz 帯高度道路交通システム 実験用車車間通信メッセージガイドライン,” 2014.
- [2] パナソニック システムネットワークス開発研究所, “「ICT を活用した次世代 ITS」のうち「歩車間通信技術の開発」平成 27 年度研究成果報告書,” 2016.
- [3] 株式会社エーイーティイー, CST Studio Suite 電磁界解析シミュレータソフト 取扱説明書.
- [4] 3GPP TS 25.144 V11.2.0, 2012-06.
- [5] J. D. Kraus , R. J. Marhefka, Antennas : for all applications third edition, McGraw-Hill series in electrical engineering.
- [6] 一般社団法人電波産業会, “700MHz 帯高度道路交通システム 標準規格 ARIB STD-T109 1.0 版,” 2012.
- [7] 情報通信審議会 情報通信技術分科会 移動通信システム委員会 報告. 資料作 5-5.
- [8] 3GPP TS 36.101 v12.6.0, “Technical Specification Group Radio Access Network Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 12),” 2015.
- [9] 株式会社構造計画研究所, “WirelessInsite 電波伝搬シミュレータソフト 取扱説明書” .
- [10] 今井哲郎, “レイトレーシング法による移動伝搬シミュレーション,” 信学会論 B Vol.J92-B No.9, 2009.
- [11] IEC62209-2.
- [12] 公益財団法人 交通事故総合分析センター, “交通統計 平成 26 年版,” 2015.
- [13] NHK 放送文化研究所, “2015 年国民生活時間調査報告書,” 2016.
- [14] 総務省統計局, “平成 23 年社会生活基本調査,” 2012.
- [15] キーサイトテクノロジー株式会社, “E5071C-480 ネットワークアナライザ 取扱説明書” .
- [16] アンリツ株式会社, “MS2720A ポータブルスペクトラムアナライザ 取扱説明書” .
- [17] 株式会社構造計画研究所, “RapLab 電波伝搬シミュレータソフト 取扱説明書” .

この研究報告書で使用している地図は株式会社ゼンリンデータコムが提供している areacutter のデータを参照している（許諾番号：Z05E-第 195 号）。

この研究報告書で使用している航空写真のデータプロバイダは以下の通りです。

画像：©2017 Google, 地図データ：©2017 Google, ZENRIN