

3 実証試験及び技術課題解決に関する検討

3.1 試験項目及び実施方法

400MHz 帯の携帯型医療用テレメーターの双方向化に向けた技術調査を行うため、2.3 で検討された双方向化の最適な通信方式である既存方式+CSMA 方式によるモデルシステムを製作して各種の実証試験を行い、双方向化により実現する機能の有用性を確認するとともに、技術的な課題等を検証する。表 3.1-1 に試験項目と実施方法を示す。

表 3.1-1 試験項目及び実施方法

試験項目		フィールド 実証試験	電波暗室 試験	机上検討	掲載箇所
有用性	機能動作試験	◎（公開）			3.3 項
干渉	与干渉試験		○		3.5 項
	被干渉試験		○		
通信エリア	電波伝搬試験	○	○		3.4 項
	〃（遮蔽物、人体影響等）	○			
所要周波数 帯幅	伝送シミュレーション			○	3.6 項
その他	基本性能試験		○		3.2.3 項 資料編

3.2 試験モデルシステムの構築

3.2.1 モデルシステムの構成

システム構成を図 3.2-1 に示す。上り通信は既存テレメーターを使用し、テレメーター端末（送信機）、受信アンテナシステム（天井に配置）、セントラルモニター（受信レベルモニタ用スペクトラムアナライザを接続）で構成される。下り通信はマルチホップ送受信機で構成した模擬セントラルモニター（親機）、中継機、下り通信用テレメーター端末（メッセージ表示、ブザー鳴動等の機能装備）で構成される。既存テレメーターシステムの通信範囲より広い範囲をカバーするように中継機を配置する。

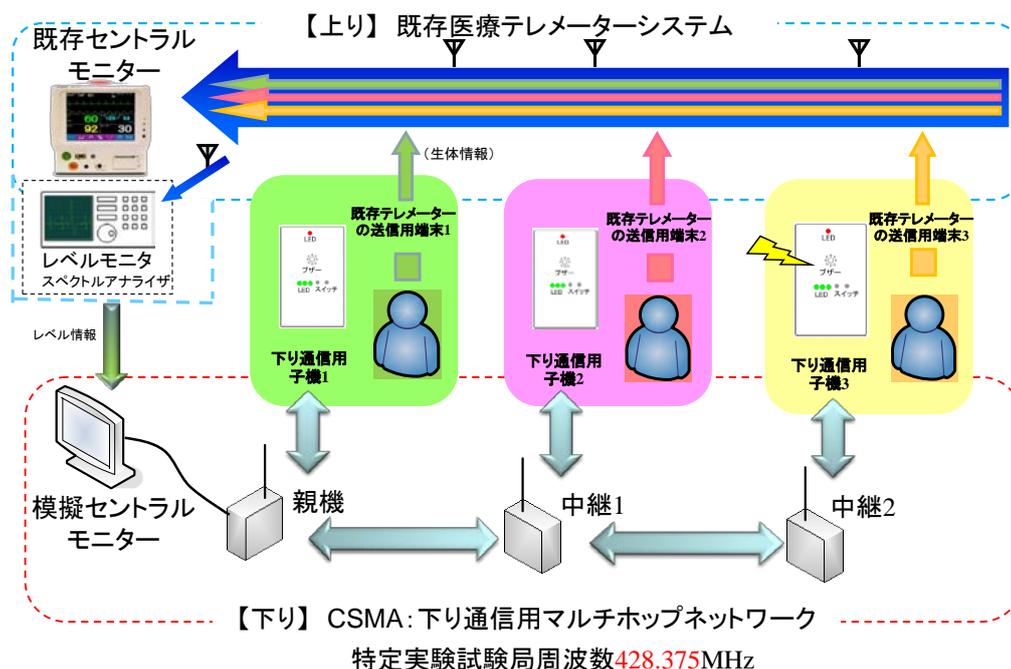


図 3. 2-1 システム構成

3. 2. 2 モデルシステムの機能

ア 子機の機能

子機の機能を①～⑤に示す。また、モデルを図 3. 2-2 に示す。

① 注意喚起用 LED

心電図の電極が外れた場合などに点灯する LED である。

② 注意喚起用ブザー

心電図に異常が見られた時などに鳴らし、患者の探索の補助をする。

③ 既存テレメーターの電波受信レベル表示

既存テレメーターの電波受信レベルを 4 段階で示す。

- ・ 3 点灯 = 受信レベル高
- ・ 2 点灯 = 受信レベル中
- ・ 1 点灯 = 受信レベル低
- ・ 点灯無 = テレメーター通信圏外

④ メッセージ表示器

患者の名前の確認や注意喚起用のメッセージなどで使用する。

⑤ テスト用スイッチ

テスト用であり、長く押し込むとセントラルモニターの心電図波形が心室細動になり、模擬セントラルモニターでアラーム音が鳴る。

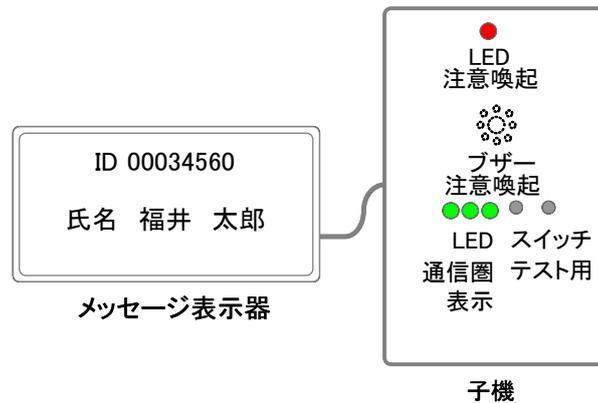


図 3. 2-2 子機のモデル図

イ 模擬セントラルモニターの機能

模擬セントラルモニターの機能を①～③に示す。また、制御画面を図 3. 2-3 に示す。

① 受信電界強度表示

スペクトラムアナライザで測定した既存テレメーターからの受信レベルを表示する。

② 心電図波形表示（ダミー）

平時は正常な心電図波形を表示し、子機のテストボタンを押し込むと心室細動の状態を表示する。

③ 子機呼出ボタン/メッセージ送信

緊急のボタンを押すと、子機のブザーが鳴る。メッセージを入力し、送信ボタンを押すと子機にメッセージが表示される。また、血圧測定開始ボタンを押すと子機に「血圧測定開始」が表示される（実際の血圧測定はせず、メッセージ表示器で代用）。



図 3. 2-3 模擬セントラルモニターの制御画面

3.2.3 モデルシステムを構成する無線局の諸元

無線局は特定実験試験局の周波数を用いた。無線局の諸元を表 3.2-1 に示す。
親機/中継機と子機はアンテナの形状が異なる。

表 3.2-1 無線局の諸元

諸元	設計値	親機/中継機	子機
型名		NJT-621	NJT-622
無線周波数	428.375MHz		
電波の形式	F1D		
変調方式	GFSK		
伝送速度	4.8kbps		
送信電力	1mW 以下	0.91mW	0.93mW
アンテナ利得	絶対利得 2.14dB 以下	絶対利得 2.14dB	絶対利得 -9.9dB
周波数偏差	±500Hz 以内	-148Hz	-73Hz
占有周波数帯幅	8.5kHz 以下	7.1kHz	7.1kHz
スプリアス発射特性	2.5uW 以下	0.41nW	0.48nW
隣接チャネル漏洩電力	搬送波電力より 40dB 以上低い	50.9dB	49.2dB
副次放射	4nW 以下	0.03nW	0.02nW
受信感度 (10 ⁻²)	-110dBm 以下	-115.2dBm	-114.6dBm

3.3 公開実証試験

3.3.1 概要

(1) 目的

各種の実証試験を行い、双方向化により実現する機能の有用性を確認するとともに、技術的な課題等を検証する。

(2) 日時

平成 24 年 12 月 21 日（金）13 時から 15 時まで

(3) 試験会場

福井大学医学部附属病院東病棟 2 階及び臨床教育研修センター

(4) 機能試験項目

- ① 遠隔制御及びメッセージ表示機能の確認
- ② 緊急時の鳴動指示機能の確認
- ③ 電波受信レベルの表示機能（テレメーター圏外通知機能）の確認

3.3.2 確認事項・試験方法及び試験結果

(1) 遠隔制御及びメッセージ表示機能の確認

定時血圧測定にデータに欠損が出た場合などに、ナースステーションからテレメーター端末に接続された血圧計等を遠隔制御できる。また、セントラルモニターで設定したチャンネルの患者属性がテレメーター端末に反映できる。（図 3.3-1 参照）

・ 試験方法

ナースステーションの模擬セントラルモニター画面で、「血圧測定開始」ボタンを押下し、テレメーター装置に接続された血圧計が測定を開始するのを確認する。実際の血圧測定はせず、メッセージ表示のみで確認する。

また、模擬セントラルモニター画面で、患者の氏名を選択し、「氏名確認」ボタンを押下し、テレメーター装置に患者名を表示させる。

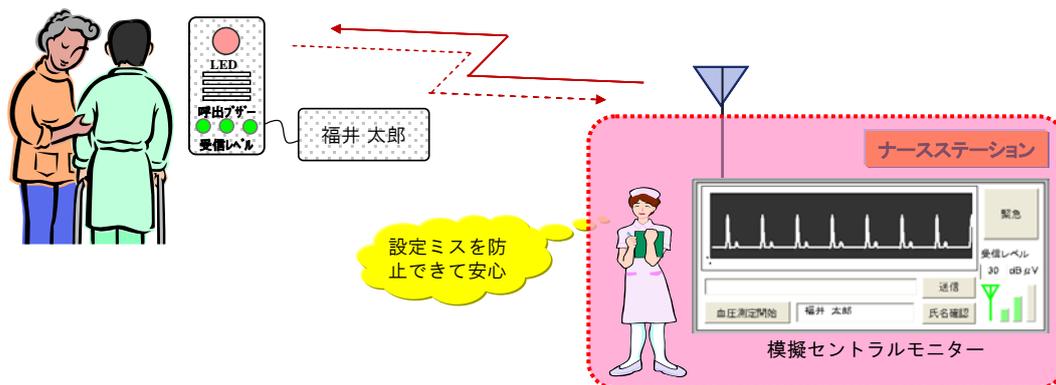


図 3.3-1 メッセージ表示機能のイメージ図

(2) 緊急時の鳴動指示機能の確認

心電図等の生体信号に異常が発生した場合において、看護師（医師）の判断に基づき、セントラルモニターを操作し、患者にブザー音及びメッセージ表示で注意を促すことができる。また、緊急性の高い異常に対しては、ブザー音により所在探索を補助することができる（図 3.3-2 参照）。

・ 試験方法

患者役の人が病室以外の場所で心不全を起こし倒れている想定で、子機のテスト用スイッチを押下して、ナースステーションの模擬セントラルモニターのアラームを鳴動させる。その後、模擬セントラルモニターの注意喚起ボタンを押下し、子機のブザーを鳴動させ、ブザー音を頼りに探索を行う。

試験にあたっては、福井大学医学部附属病院の看護師の方々が、片方向通信による従来の探索と、双方向通信によるブザー音による探索の両方を実演。

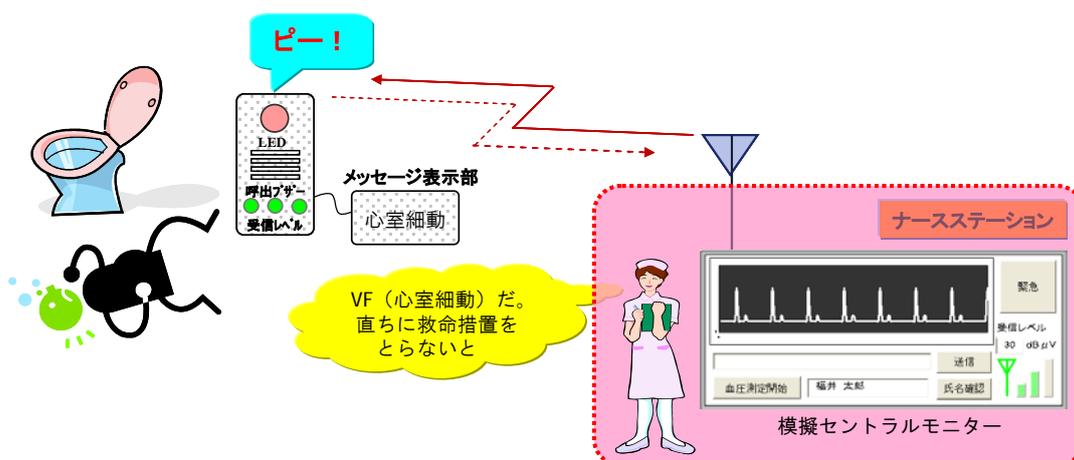


図 3.3-2 緊急時の鳴動指示機能のイメージ図

(3) 電波受信レベルの表示機能（テレメーター圏外通知機能）の確認

患者が電波の届かないエリアに移動した場合に自動でモニタリングの圏外であることを知らせることができる。また、中継機を設置することで下り通信エリアを容易に拡大できる（図 3.3-3 参照）。

・ 試験方法

テレメーターの送信端末をナースステーションのセントラルモニターから離れた位置に移動させ、受信レベル低下時に子機のメッセージ表示器に「圏外」と表示する。（デモ用に圏外の判定レベルを高めに設定し実施。）

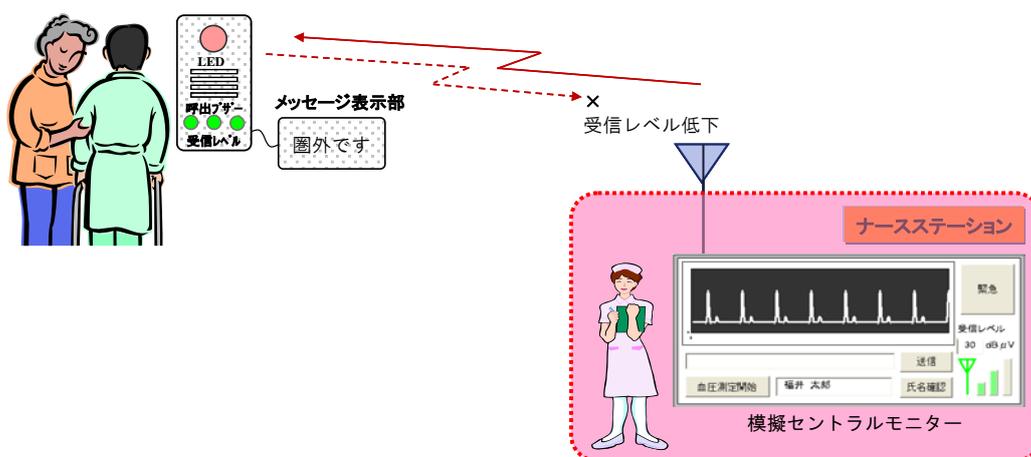


図 3.3-3 電波受信レベル表示機能のイメージ図

(4) 試験フィールド

公開試験のフィールドとその様子を図 3.3-4～図 3.3-9 に示す。

試験場所：福井大学医学部附属病院東病棟 2 階及び臨床教育研修センター

① 遠隔制御及びメッセージ表示試験

臨床教育研修センター会議室に親機と子機を置いて実施。

② 緊急時の鳴動指示試験

親機をナースステーションの前の通路の角に設置し、子機を持った患者役の人を図 3.3-4 に示す位置に配置。患者役の人がいる位置を知らせず、ブザー音を頼りに看護師の方々が搜索。

③ 電波受信レベルの表示試験

子機を持った患者役の人が、廊下を親機から離れるように移動。「圏外」が表示されることを確認。

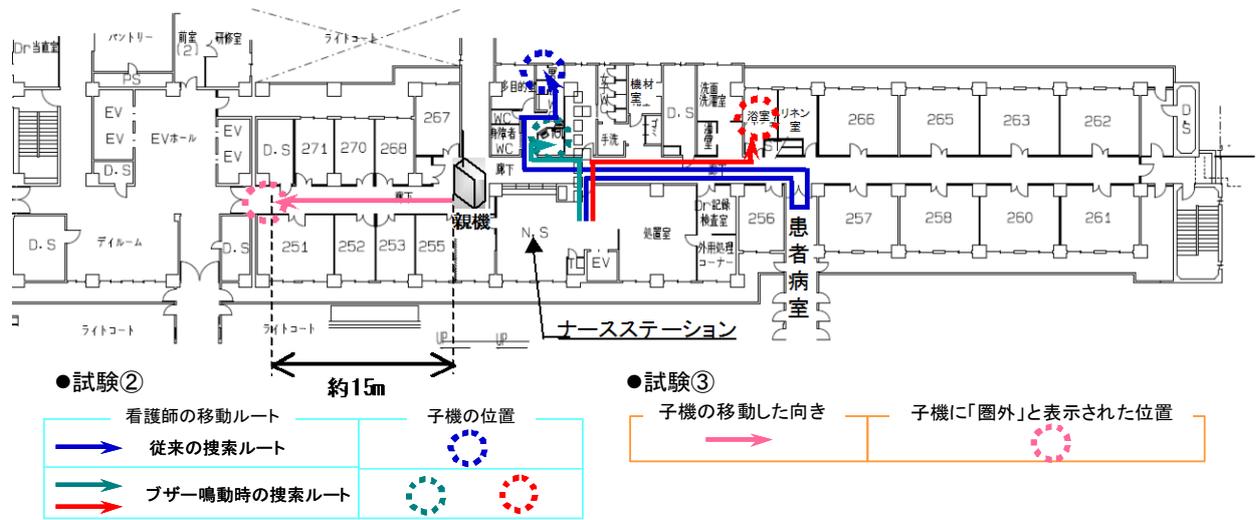


図 3.3-4 試験フィールド



図 3.3-5 子機、模擬セントラルモニターとアンテナ、親機（親機はモニター背後に設置）



図 3.3-6 遠隔制御及びメッセージ表示試験の様子（臨床教育研修センター会議室）



図 3.3-7 緊急時の鳴動指示試験の様子



図 3.3-8 電波受信レベルの表示（テレメーター圏外通知）試験の様子



図 3.3-9 中継機設置イメージ

3.3.3 まとめ

上記(1)～(3)の確認項目の全てを実証し有用性を確認した。さらに、実証試験参加者から、以下の意見があった。

(1) 緊急時の鳴動指示機能について

- トイレなど看護スタッフの目の届かないところで心臓停止等の危険な状態になった場合、看護スタッフはあちこち探し回らなければならない。緊急時にブザー音が鳴ることで、音がするところへすぐに駆けつけることができる。これにより迅速な救命措置が行えることになり、患者の救命に大きく役立つ。

(2) 患者の識別について

- 入院間もない患者さんはまだ名前と顔が一致していないため、ブザー音が鳴ると患者さんの識別ができなくとも見つけやすくなる。

(3) ブザー音の制御について

- 昼間は大きく、夜間は小さくするように音の強弱を変える等、時間帯によってセントラルモニターで音量を調節するような機能が必要である。
- 下り通信に音量を制御する機能があると良い。音が聞こえなければ、制御をして音量を上げるなどが考えられる。

(4) 電波受信レベルの表示機能（テレメーター圏外通知機能）について

- 夜間に患者さんがいなくなる場合があり、駐車場で寝ていた時もあった。それに対して患者さんにも圏外であることがわかる双方向化の有用性はあると考えられる。
- 患者が不整脈を起こした時に、死に至る可能性があることを説明しているが、心電信号が届かないと患者さんは思っておらず、圏外に行ってしまう。お年寄りよりも、中高年の患者さんや付添人にモニター圏外エリアに来たことを認識してもらうにはよい。
- 「圏外」と表示しても、患者さんがテレメーターの画面を見ないので、音やバイブレーションで知らせるのがよい。それを前もって説明しておけばいい。
- 不整脈を起こす特定の患者さんが、特殊な治療をするために、1週間弱ぐらい入院する。予めそのような方々には説明して使えば有効である。
- 当然患者さん側にもある程度の協力を求める必要がある。

3.4 電波伝搬試験

3.4.1 試験目的

下り通信用中継機の適正な配置を検討するため、見通し空間と見通し外空間（遮蔽物や反射物のある空間）における電波状況を把握することを目的とする。

3.4.2 使用機器

本試験では空間における電波受信レベルの測定と通信（可否）試験を行った。使用機器を表 3.4-1 に示す。

- ・ 減衰量の測定

送信機：下り通信用親機

受信機：スペクトラムアナライザ

- ・ 通信試験

送信機：下り通信用親機

受信機：下り通信用子機

表 3.4-1 使用機器

品名	型名	製造メーカー
下り通信用親機	NJT-621	---
下り通信用子機	NJT-622	---
スペクトラムアナライザ	MS2711D	Anritsu

3.4.3 見通し通信試験（屋外）方法と結果

(1) 測定方法

測定は図 3.4-1 及び図 3.4-2 に示す会社構内において図 3.4-3 に示す測定系により、送受信機間距離を変えて受信レベルを測定する。また、併せて同測定ポイントにおいて送信機から送られるコマンドが確実に子機で受信できることを確認する。

- ・ 確認した子機の機能

- ① 緑 LED3 つ点灯
- ② 緑 LED1 つ点灯（3 つ点灯状態から 2 つ消灯）
- ③ 赤 LED 点灯・消灯
- ④ ブザー動作・停止

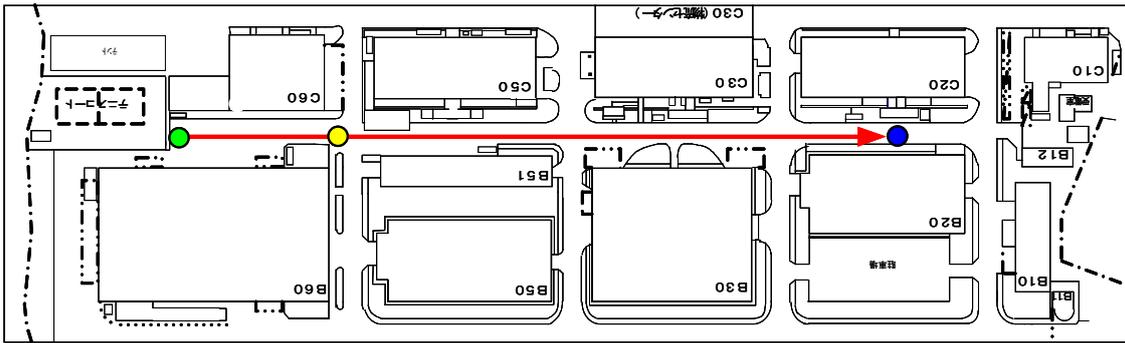


図 3.4-1 会社構内見取り図



図 3.4-2 測定場所の写真

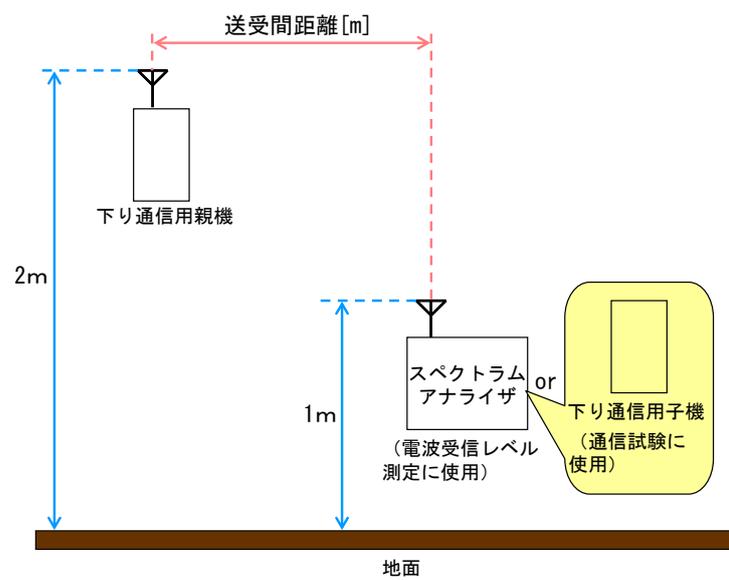


図 3.4-3 見通し通信試験（屋外）の測定系

(2) 測定結果

ア 受信レベルの測定

測定した送受間距離（送信機と受信機間の距離）と受信レベルの関係を図 3. 4-4 に示す。図中の赤い図は大地反射を考慮した計算値である。送受間距離 110m 以上で、受信レベルが-90dBm を下回った（測定限界）。無線機の受信感度が-115dBm であることから、送受間距離 100m でも、見通し環境であれば問題なく通信が行える。

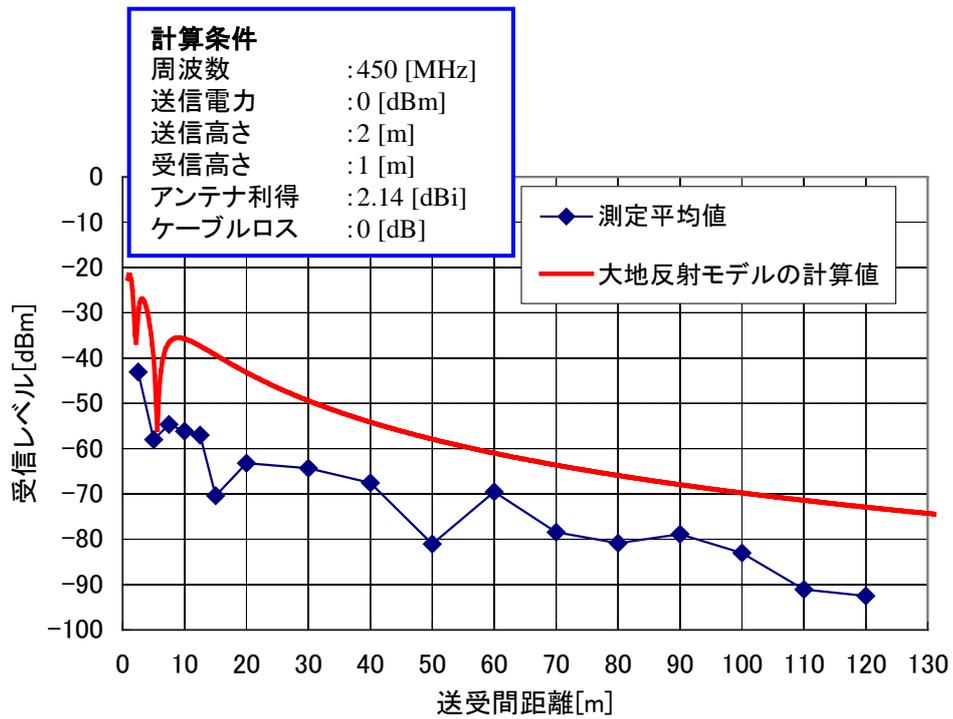


図 3. 4-4 受信レベル測定結果

表 3.4-2 測定数値 (図 3.4-4 のプロット)

距離 [m]	測定平均値 [dBm]
2.5	-43.0
5	-58.0
7.5	-54.6
10	-56.1
12.5	-57.0
15	-70.4
20	-63.2
30	-64.3
40	-67.5
50	-81.1
60	-69.5
70	-78.5
80	-80.9
90	-78.9
100	-83.0
110	-91.1
120	-92.5

イ 最大通信距離の測定

送受間最大通信距離は約 230m であった。図 3.4-5 は試験場所を示す。送信機は図中の緑丸地点にあり、230m は青丸の地点である。

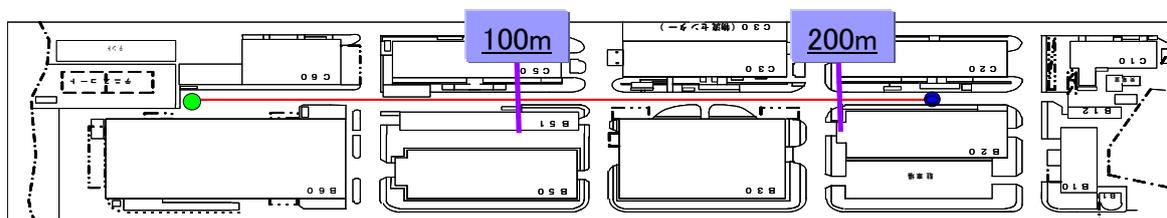


図 3.4-5 最大通信距離地点 (230m)

3.4.4 見通し通信試験・見通し外通信試験（病院内）方法と結果

(1) 測定方法

測定は図 3.4-6 に示す福井大学医学部附属病院東病棟 2 階で行った。親機（送信機）を図に示すようにナースステーション前の通路の角に設置し、図 3.4-7 に示す測定系により行った。

ア 見通し通信試験

見通し通信試験はナースステーション前の通路の赤矢印で示す約 48m のエリアで測定を行った。受信レベルの測定と通信試験（受信レベル表示試験）を行った。

イ 見通し外通信試験

見通し外通信試験は青矢印に対応する下記に示す地点で測定を行った。見通し通信試験と同様に、受信レベルの測定と通信試験（受信レベル表示試験）を行った。

見通し外通信測定場所：

- ①身障者 WC 入口, ②多目的室入口, ③男子 WC, ④機械室
- ⑤洗面洗濯室（手前）, ⑥洗面洗濯室（奥）, ⑦浴室入口
- ⑧浴室（奥）, ⑨RI 診療室前, ⑩RI 診療室（扉空き）
- ⑪RI 診療室（扉締め）, ⑫エレベータホール, ⑬デイルーム

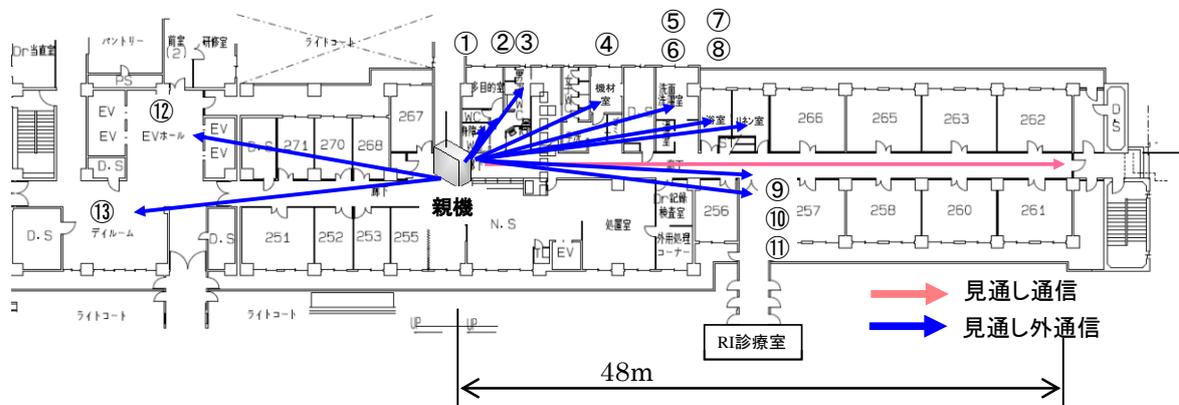


図 3.4-6 測定場所（福井大学医学部附属病院東病棟 2 階）

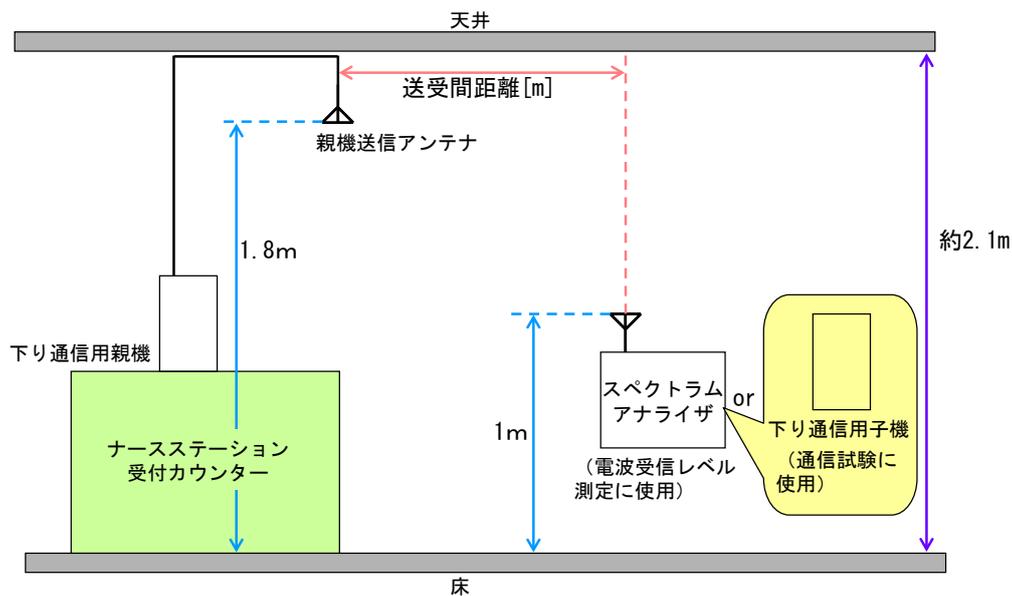


図 3.4-7 病院内の通信試験の測定系

(2) 測定結果

ア 見通し通信試験

見通し距離での送受間距離と受信レベルの関係を図 3.4-8 に示す。(図 3.4-8 の測定プロットを表 3.4-3 に示す) また、受信レベルが最低となった 42m 地点で無線通信が確認できた。

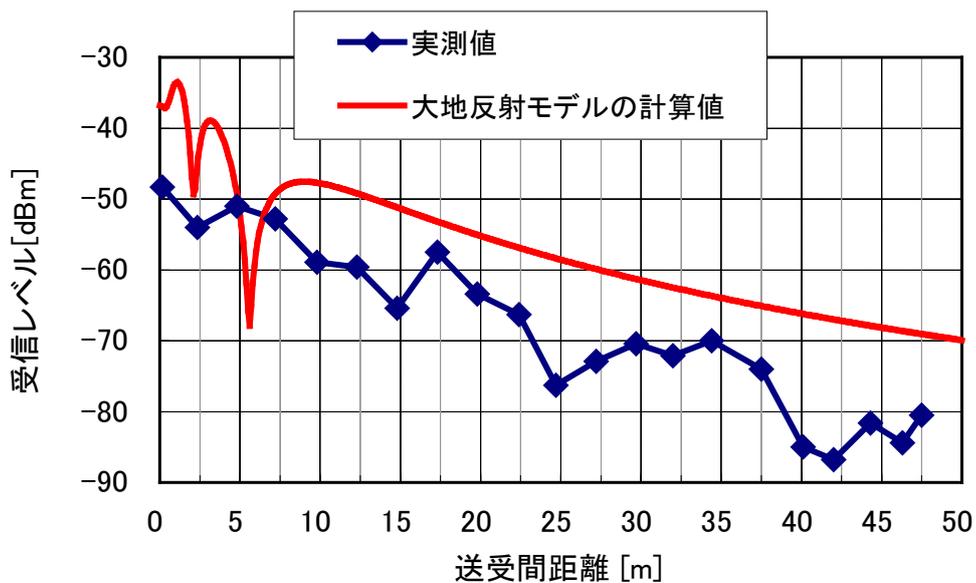


図 3.4-8 送受間距離と受信レベルの関係

表 3.4-3 測定数値（図 3.4-7 のプロット値）

親機からの距離[m]	受信レベル[dBm]
0.16	-48.3
2.4	-54.0
4.8	-51.0
7.2	-52.8
9.8	-58.9
12.3	-59.6
14.8	-65.4
17.3	-57.5
19.8	-63.4
22.4	-66.3
24.7	-76.3
27.2	-72.9
29.7	-70.4
32.0	-72.1
34.4	-70.0
37.5	-74.0
40.1	-85.0
42.0	-86.8
44.3	-81.6
46.3	-84.4
47.5	-80.5

イ 見通し外通信試験

各測定地点における受信レベルと通信確認結果を表 3.4-4 に示す。送受信間距離と受信レベルの関係は図 3.4-9 のようになった。通信試験において、RI 診療室の扉を閉めた場合のみ通信不能であったが、中継機を RI 診療室の扉の前に設置した結果、通信可能となり、中継機の有効性が確認できた。

表 3.4-4 各測定地点における受信レベルと通信確認

No	測定場所	送受間距離 (直線距離) [m]	受信レベル [dBm]	通信確認
1	身障者 WC 入口	3.9	-59.0	○
2	多目的室入口	6.4	-60.8	○
3	男子 WC	9.8	-73.5	○
4	機材室	11.6	-65.4	○
5	洗面洗濯室 (手前)	18.0	-74.9	○
6	洗面洗濯室 (奥)	19.3	-77.7	○
7	浴室入口	19.5	-87.0	○
8	浴室 (奥)	21.4	-89.0	○
9	RI 診療室前	22.7	-75.5	○
10	RI 診療室 (扉空き)	23.2	-85.0	○
11	RI 診療室 (扉閉め)	23.2	-	× ○中継機あり
12	エレベータホール	23.9	-86.0	○
13	デイルーム	31.4	-86.5	○

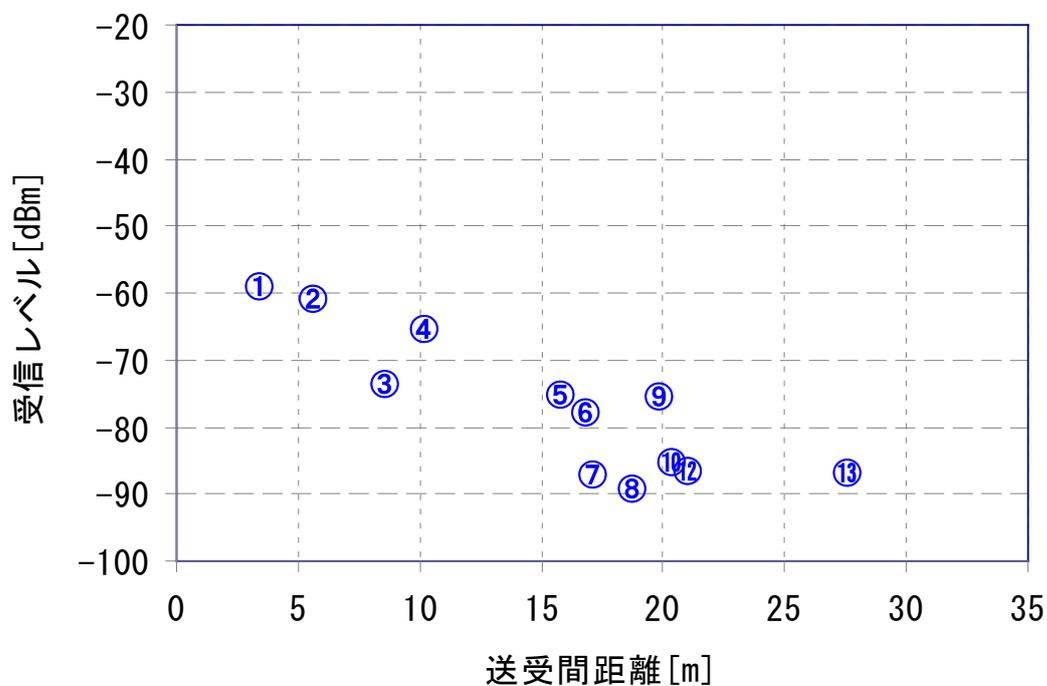


図 3.4-9 見通し外通信の送受間距離と受信レベルの関係

(3) 考察

ア 見通し通信試験

20m~40m の距離においては、屋外では受信レベルが -60dBm ~ -70dBm であったが、屋内では、概ね -70dBm ~ -80dBm と低かった。これは、壁や天井からの反射が影響していることが原因であると考えられる。

参考として示した大地反射モデルの計算値は地表からの反射（第1反射）のみ考慮された値である。その計算値に比べて、実測値は全体的に10dB程度低くなっている。

イ 見通し外通信試験

受信レベルは当然ながら、送受間距離との直接の相関はないことがわかる。これは送信機と測定点の間で、遮蔽物や反射物の配置が異なることが影響していると考えられる。また、No.11のRI診療室（扉閉め）で通信不能となっていたが、これは鉄扉やコンクリート壁による減衰量が大きいためと考えられる。そこで、RI診療室（扉閉め）は中継機を鉄扉の前に配置することで、受信側が同じ条件下でも受信可能となった。

3.4.5 遮蔽物による電波減衰量の測定方法と結果

送信機と受信機の間で遮蔽物が存在した場合、空間減衰と合わせて、遮蔽物による電波受信レベルの減衰が発生する。遮蔽物は「物」に限らず人体も含まれる。

鉄扉、コンクリート壁、人体の遮蔽物について減衰量を測定する。また、電磁界シミュレーション（Agilent製）での有限要素法（FEM）による解析結果と比較をして、実測値の妥当性を得る。

(1) 鉄扉による減衰

通路の扉（鉄扉）開閉による電波減衰量の変化を測定する。測定場所は図3.4-10に示すRI診療室の鉄扉の箇所であり、送受間距離を2mとして行った。

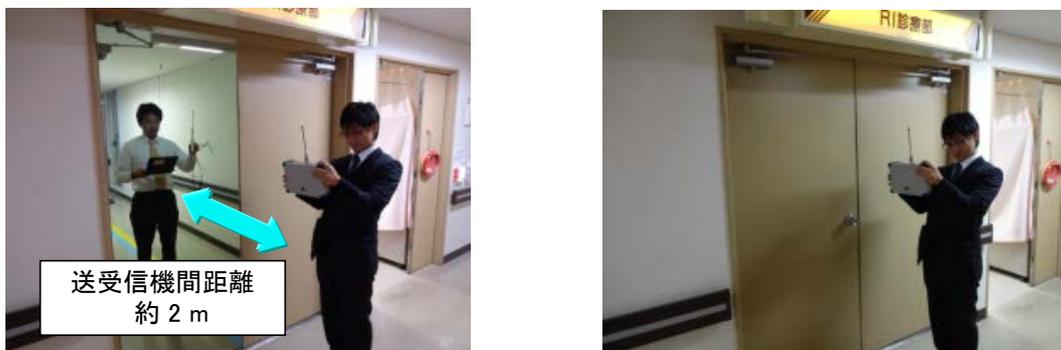


図 3.4-10 鉄扉による減衰量測定場所

測定の結果を表 3. 4-5 に示す。鉄扉を閉めることで約 28dB の減衰が発生した。
鉄は電波を完全に遮ってしまうため、この結果は電波の回り込みによる可能性が高いと考えられる。そのため、正確にシミュレーションモデルを作成できず、実測値のみの結果を示した。

表 3. 4-5 鉄扉の開閉による受信レベルの比較

送信場所	受信場所	受信レベル[dBm]
扉奥	扉手前（扉開）	-40.3
	扉手前（扉閉）	-68.8
	受信レベルの差	28.5

(2) コンクリート壁による減衰

ア 実際の減衰量の測定

図 3. 4-11 に示すように 256 号室-廊下間のコンクリート壁を挟んだ状態にて通信を行い電波レベルの減衰量を測定する。



図 3. 4-11 コンクリート壁による減衰量測定場所

測定の結果を表 3.4-6 に示す。コンクリート壁を挟むことで 3.9dB の減衰が発生した。また、受信場所を病室の廊下側と窓際にした場合の受信レベルの比較を表 3.4-7 に示す。病室内の廊下側と窓際の約 4m の距離で受信レベルに約 11dB の差が発生した。

表 3.4-6 コンクリート壁の有無による受信レベルの比較

測定方法	受信レベル[dBm]
壁越し	-54.9
見通し (4.8m)	-51.0
受信レベルの差	3.9

表 3.4-7 病室内での受信機の位置による受信レベル比較

受信場所	受信レベル[dBm]
病室手前	-44.3
病室奥	-54.9
受信レベルの差	10.6

イ シミュレーション解析値との比較

コンクリートを挟んだ場合の減衰量を電磁界シミュレーションによって解析した。シミュレーションモデルを図 3.4-12 に示す。

周波数は 428.375MHz、コンクリートのサイズは 3500mm×2200mm×300mm、コンクリートと送受信アンテナ間の距離は 10mm とした。

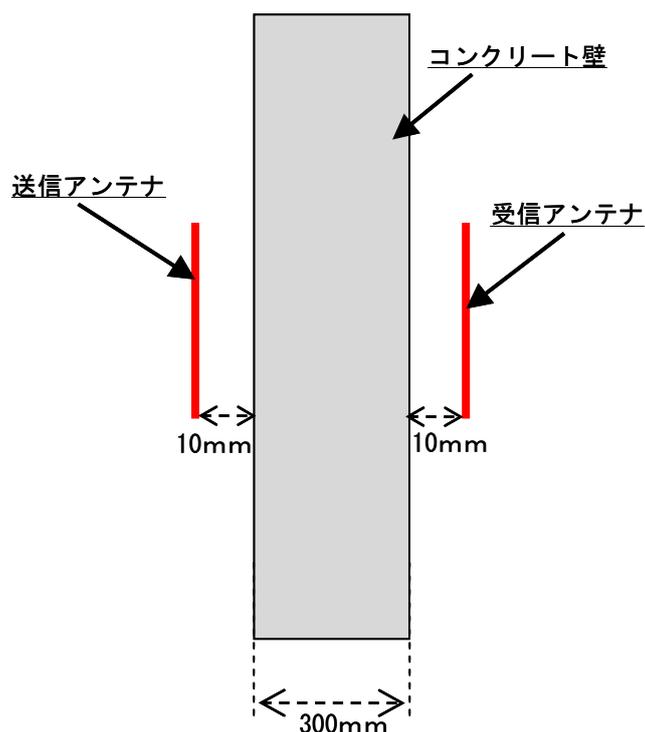


図 3. 4-12 コンクリート壁による減衰のシミュレーションモデル

実測値とシミュレーション値を比較した結果を表 3. 4-8 に示す。実測値とシミュレーション値で 1dB 以上の差があるが、シミュレーションは均一なコンクリートとして行っているのに対し、実際のコンクリート壁に鉄筋等が入っている可能性があり、減衰量が異なると考えられる。

表 3. 4-8 コンクリート壁による減衰量のシミュレーション値との比較

項目	減衰量 [dB]
実測値	3. 9
シミュレーション値	2. 3

(3) 人体による減衰

ア 実際の減衰量の測定

容体の急変により医療用テレメータ一端末を所持した患者が倒れた場合、患者が端末に覆い被さる形となる可能性がある。一刻を争う状態での通信断絶は未然に防ぐ必要があるため、このような状態を想定し、人体による電波減衰量を把握する。

測定系を図 3. 4-13 に示す。送信機のアンテナは床上約 1. 8m に配置し、図中で

示すとおり、受信アンテナは水平に配置した。

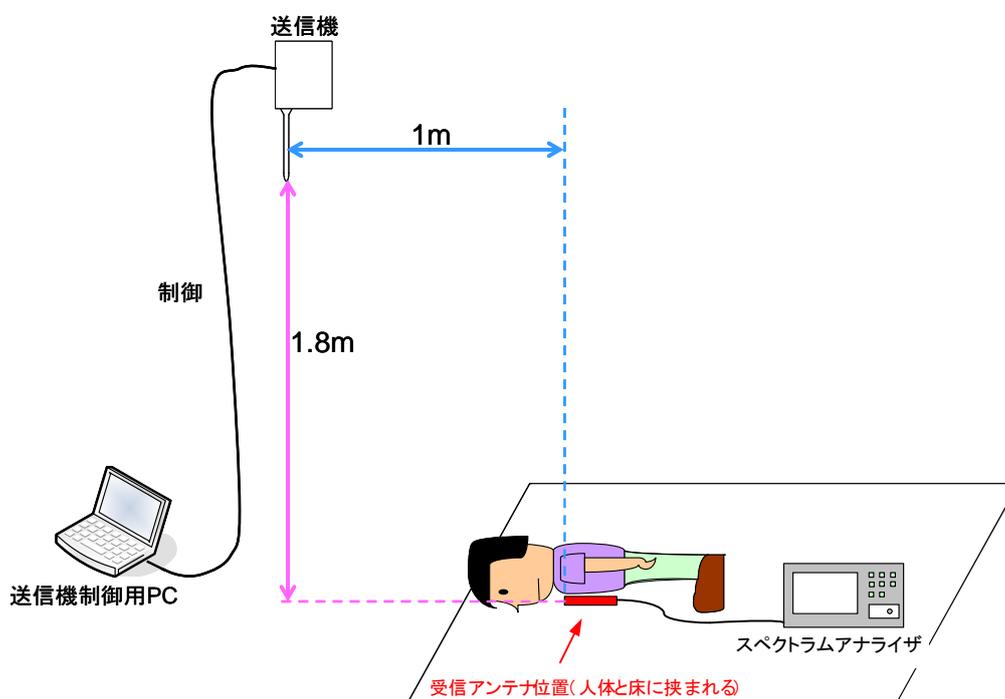


図 3. 4-13 人体による減衰の測定系

測定結果は表 3. 4-9 に示すようになり、人体による電波減衰量は 4. 3dB であった。

表 3. 4-9 人体の有無による受信レベルの比較

項目	受信レベル[dB]
人体なし	-65. 4
人体あり	-69. 7
受信レベルの差	4. 3

イ シミュレーション解析値との比較

人体による減衰量を電磁界シミュレーションによって解析した。シミュレーションモデルは図 3. 4-14 である。

周波数は 428. 375MHz、コンクリート床のサイズは 3500mm × 2200mm × 300mm、コンクリートと送受信アンテナ間の距離は 10mm、人体モデルは 1650mm × 400mm × 150mm とした。

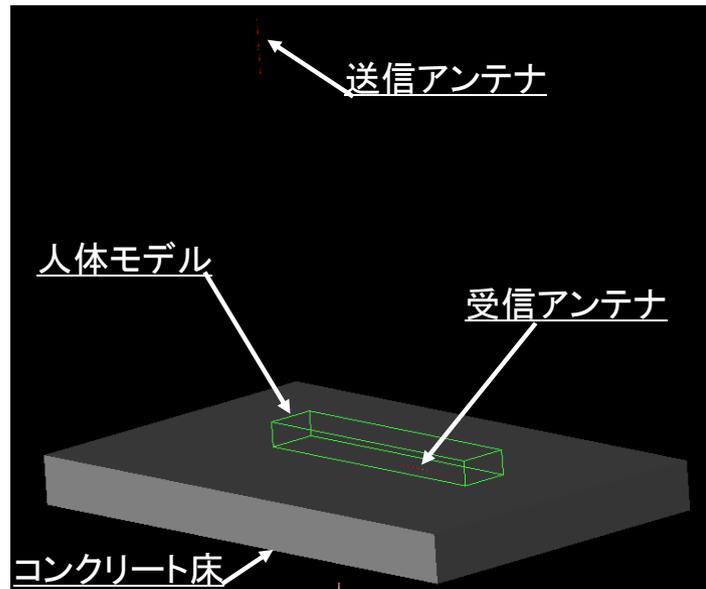


図 3. 4-14 人体による減衰のシミュレーションモデル

実測値とシミュレーション値を比較した結果を表 3. 4-10 に示す。実測値とシミュレーション値はおおよそ一致し、実測値の妥当性が確認できた。

表 3. 4-10 人体による減衰量のシミュレーション値との比較

項目	減衰量 [dB]
実測値	4.3
シミュレーション値	3.9

3. 4. 6 まとめ

電波伝搬試験を行った結果、下記のことが確認できた。

見通し空間（屋外）試験では約 230m 地点まで通信可能であり、見通し空間（屋内）試験では最も遠い地点（48m）まで通信可能（最低受信レベル：約-86dBm）であった。見通し外空間（屋内）試験では、鉄製の扉を閉めた場所との通信以外は通信可能であった。通信不能であった鉄製の扉の前に中継機を設置したところ、通信可能となったことから、中継機が有用であることがわかった。

ここで、伝搬試験は A 型相当（占有周波数帯幅 8.5kHz）で実施したが、広い帯域幅の電波を使用する場合はその帯域幅に応じて、受信感度レベルを補正する必要がある。すなわち、同じ送信電力（1mW）の場合、帯域幅が N 倍になると送信電力とノイズ電力の比が $1/N$ となる。すなわち、 $10\log(N)$ (dB) だけ S/N 比が悪化するため、到達距離もそれに応じて短くなることを考慮する必要がある。例えば、

B型の場合は占有周波数帯域幅が16kHzであることから、 $10\log(16/8.5) \approx 3\text{dB}$ だけS/N比が悪化することになる。

遮蔽物による電波減衰量測定では鉄扉による減衰は約28 dBであり、人体による減衰は約5 dBであった。コンクリート壁による減衰は壁の材質や鉄筋の有無によっても異なるが本試験の結果では数dBであった。

病室内では、廊下側と窓際の4mの距離で、約11dBの差があることが推測される。

本試験の結果を考慮して、中継機の設置台数・設置箇所を検討する。

3.5 干渉試験

3.5.1 試験目的

双方向システムの実現性を評価するため、干渉の影響を定量的に明確にし、干渉防止について検討する。

3.5.2 配慮すべき干渉

既存テレメーターの受信アンテナは天井または天井裏に配置されている。そのため、下り通信用中継機アンテナと既存テレメーターの受信アンテナが近接して配置される可能性がある。

双方向通信においては、図 3.5-1 の破線のとおり、上下通信相互の干渉が発生する可能性があるため、その影響を検討する必要がある。

また、下り通信用の受信機は上り通信用の送信機と同一筐体に収められることを想定すると、結合が密になる可能性がある。

このような想定のもとに下り通信が上り通信に与える干渉（与干渉）と下り通信が上り通信から受ける干渉（被干渉）の影響について検討する。

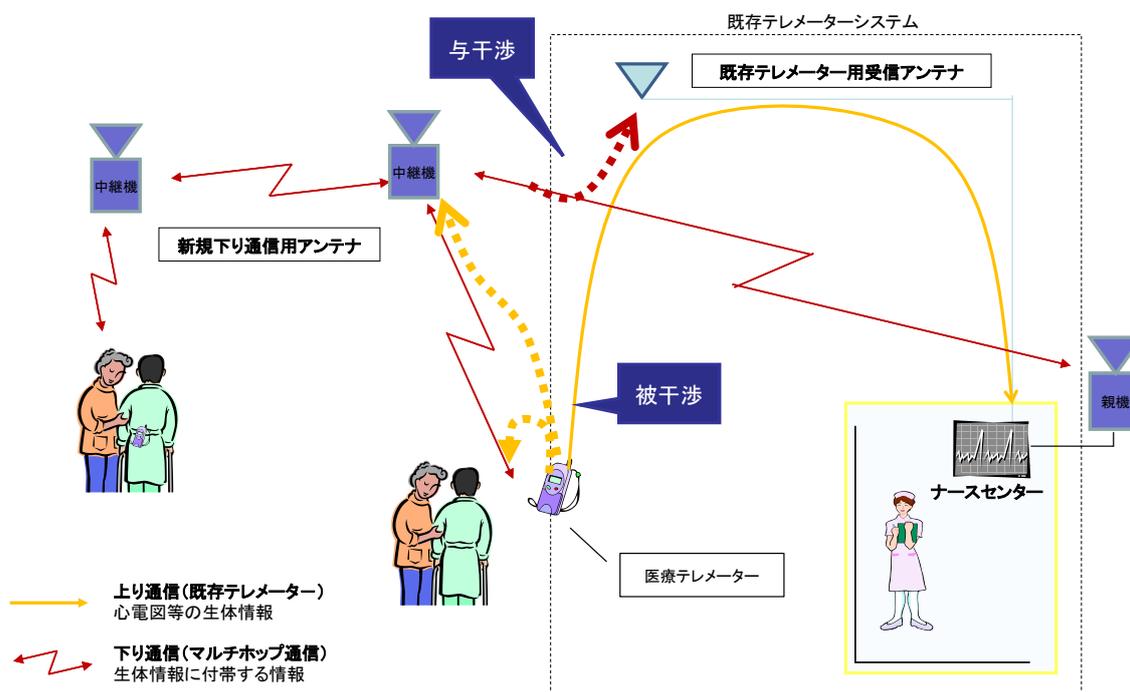


図 3.5-1 与干渉と被干渉

干渉試験における確認項目

- ① 通信の双方向化によって、使用を制限される周波数（上り通信用）の範囲
- ② 上り通信用の受信アンテナと下り通信用中継機のアンテナの所要離隔距離

3.5.3 与干渉試験方法と結果

上り通信に与える干渉としては、アンテナシステムのブースターへの影響とセントラルモニターへの影響が考えられるが、アンテナシステムのブースターは医療用テレメータの6バンド対応のため広帯域の特性を持つ必要があることから、アマチュア無線等他の通信システムからの強い電波からの対策が考慮されている。よって、ここではセントラルモニターに対する周波数干渉のみを対象として試験を行う。

(1) セントラルモニターに対する干渉試験（セントラルモニターA）

ア 測定系

図3.5-2に測定系を示す。既存テレメータからセントラルモニターへの入力レベルを減衰器で調整するため、既存テレメータのアンテナをシールドボックス内で別のアンテナとカップリングさせて有線でセントラルモニターに接続する。各測定機器は表3.5-1に示す。既存テレメータの周波数は444.5375MHzである。図3.5-3に示すように心電図が乱れた状態を見て干渉の発生とし、この時の干渉波のレベルを干渉発生レベルとした。

測定は干渉波を与えない状態で、希望波の入力レベルを下げ、心電図の乱れが発生しないレベルを測定する（測定の感度点とする）。その後、希望波の入力レベルを測定の感度点、+3dB、+6dBに設定し、干渉の発生レベルを干渉波の周波数を変えて測定する。

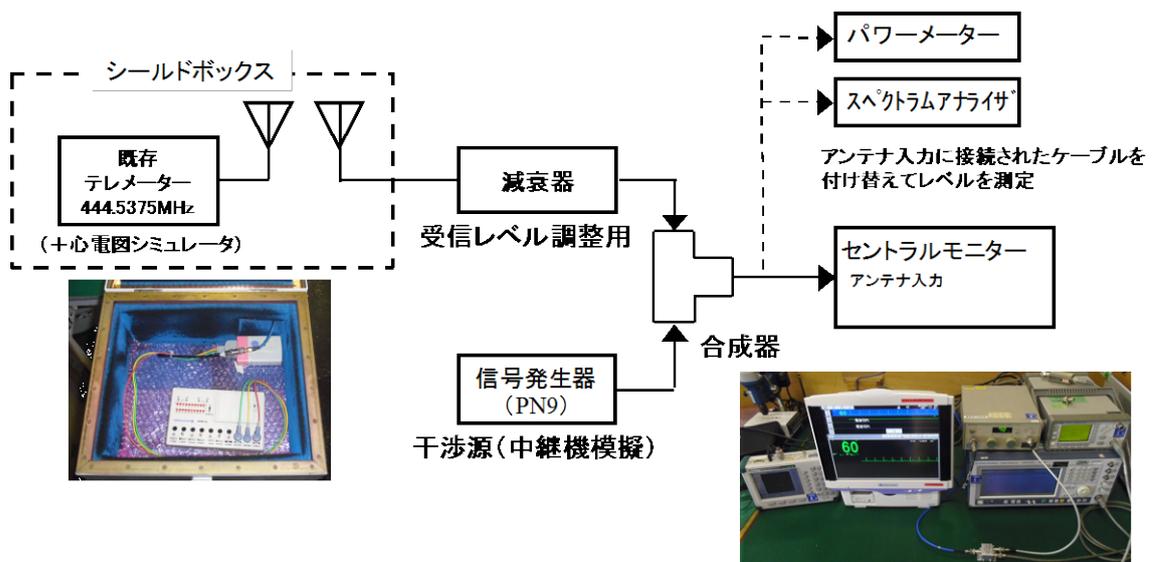


図 3.5-2 測定系

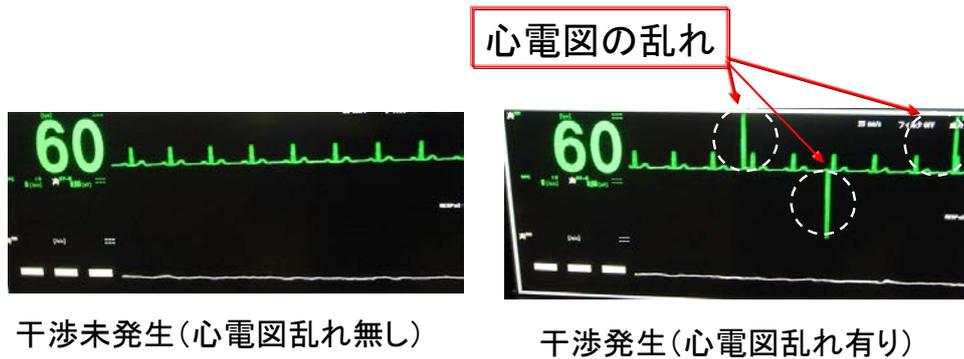


図 3.5-3 セントラルモニターでの心電図の乱れ

表 3.5-1 各測定器

品名	型名	製造メーカー
テレメーター端末	--	A社
セントラルモニター	--	A社
心電図シミュレータ	--	--
信号発生器	SMIQ03B	Rohde&Schwarz
合成器	Hybrid-U	アンテナ技研
減衰器	MN65A	Anritsu
減衰器	ATシリーズ	ヒトキ電機
パワーメーター	E4418B	Agilent
スペクトラムアナライザ	MS2711D	Anritsu

イ 測定結果

図 3.5-4 に干渉波周波数と干渉発生レベルの関係を示す。図の特性カーブは干渉波レベルが小さければ与干渉の影響がないことを表している。

干渉波の周波数が希望波に対して約 3.5MHz 以上離れると、干渉発生レベルがほとんど変わらず、周波数による干渉の違いが少ないことが分かる。表 3.5-2 に干渉波周波数が 441MHz の時の希望波入力レベルと干渉発生レベルを示す。

また、図 3.5-5 は図 3.5-4 の干渉波周波数を医療用テレメーターのバンド外まで広げた図である。医療用テレメーターの割当周波数 (420MHz~450MHz) から干

渉波の周波数が離れた場合、干渉発生レベルはほとんど変わらないか、高くなる傾向がみられた。

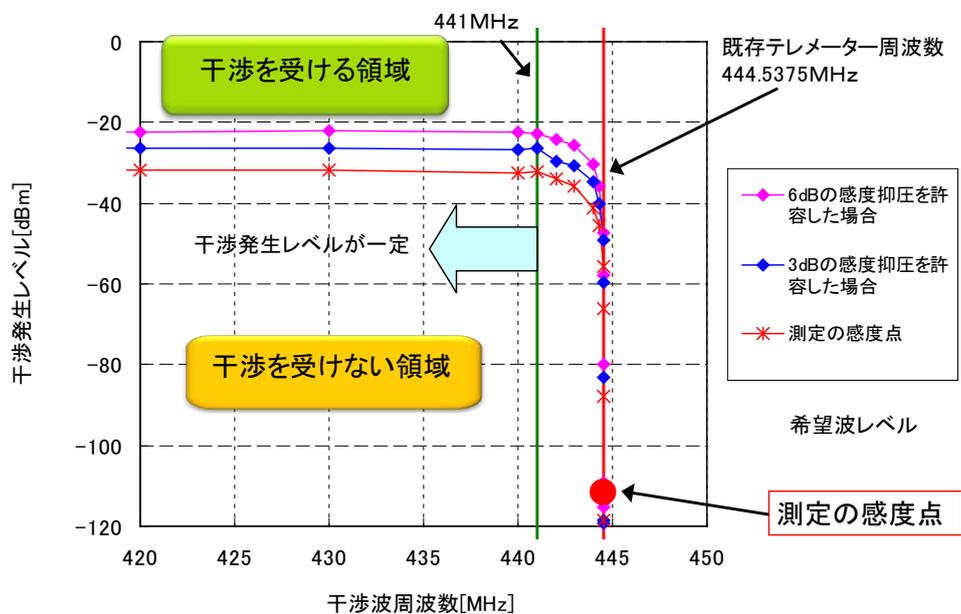


図 3.5-4 干渉波周波数と干渉発生レベルの関係

表 3.5-2 444.5375MHz に対する干渉波 441MHz の干渉発生レベル

番号	希望波入力レベル[dBm]	干渉発生レベル[dBm]	備考
①	-104.6	-22.7	③+6dB
②	-107.6	-26.5	③+3dB
③	-110.6	-32.3	測定の感度点

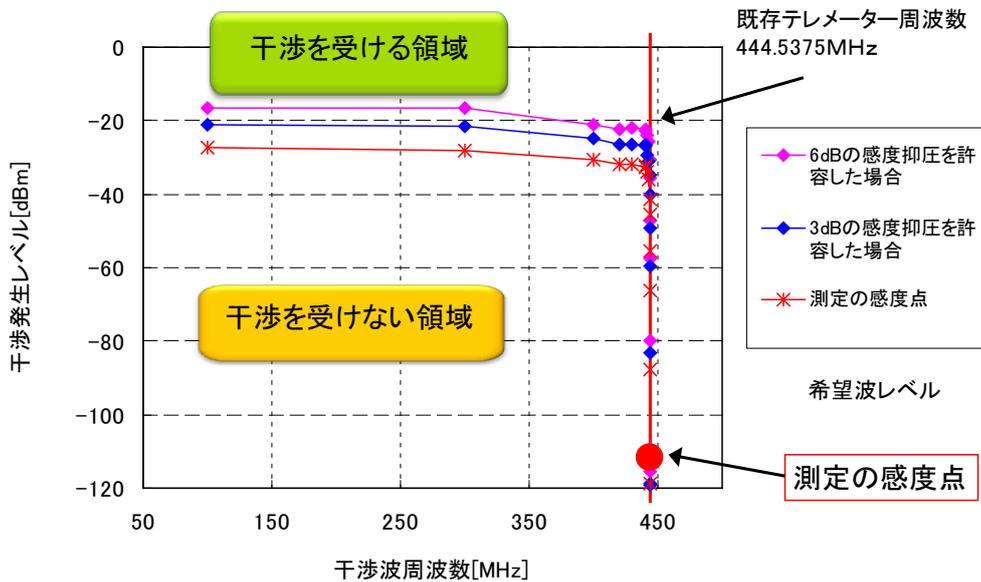


図 3.5-5 干渉波周波数と干渉発生レベルの関係（医療用 TM バンド外）

(2) セントラルモニターに対する干渉試験（セントラルモニターB）

ア 測定系

図 3.5-6 に測定系を示す。既存テレメーターの周波数は 449.1625MHz である。セントラルモニターAと同様に心電図が乱れた状態を干渉の発生とする。測定方法および各種測定器はセントラルモニターAと同じである。

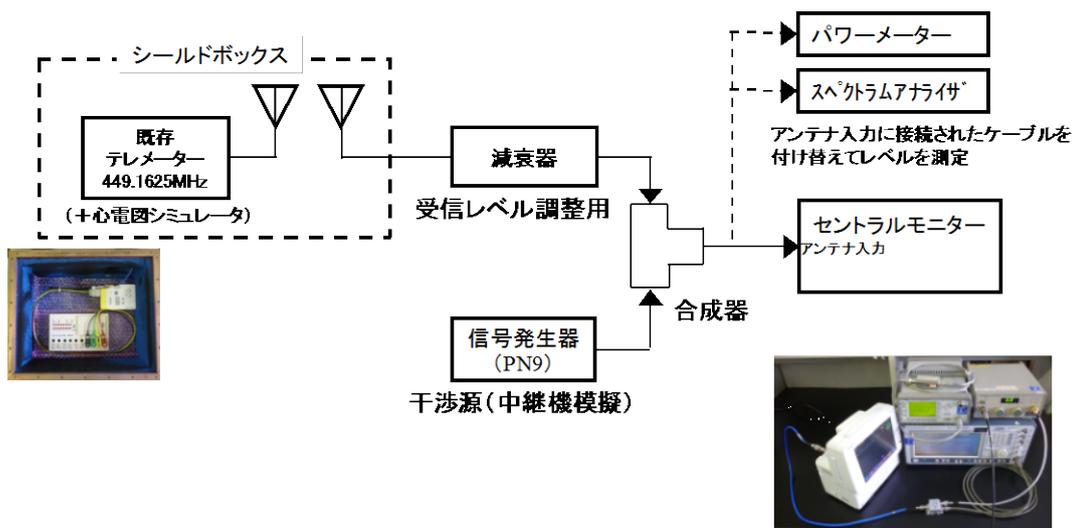


図 3.5-6 測定系

イ 測定結果

図 3.5-7 に干渉波周波数と干渉発生レベルの関係を示す。図の特性カーブは干渉波レベルが小さければ与干渉の影響がないことを表している。

干渉波の周波数が希望波に対して約 1MHz 以上離れると、干渉発生レベルがほとんど変わらず、周波数による干渉の違いが少ないことが分かる。表 3.5-3 に干渉発生レベルが 448MHz より若干低い 445MHz のときの希望波入力レベルと干渉発生レベルを示す。

また、図 3.5-8 は図 3.5-7 の干渉波周波数を医療用テレメータのバンド外まで広げた図である。医療用テレメータの割当周波数（420MHz～450MHz）から干渉波の周波数が離れた場合、干渉発生レベルはほとんど変わらないか、高くなる傾向がみられた。

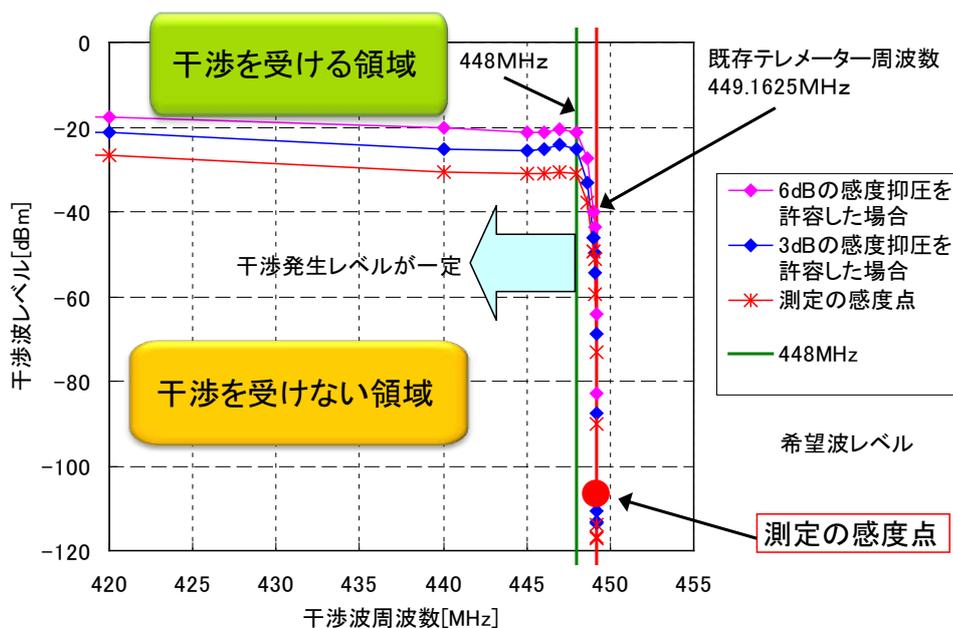


図 3.5-7 干渉波周波数と干渉発生レベルの関係

表 3.5-3 449.1625MHz に対する干渉波 445MHz の干渉発生レベル

番号	希望波入力レベル[dBm]	干渉発生レベル[dBm]	備考
①	-100.0	-21.3	③+6dB
②	-103.0	-25.5	③+3dB
③	-106.0	-30.9	測定の感度点

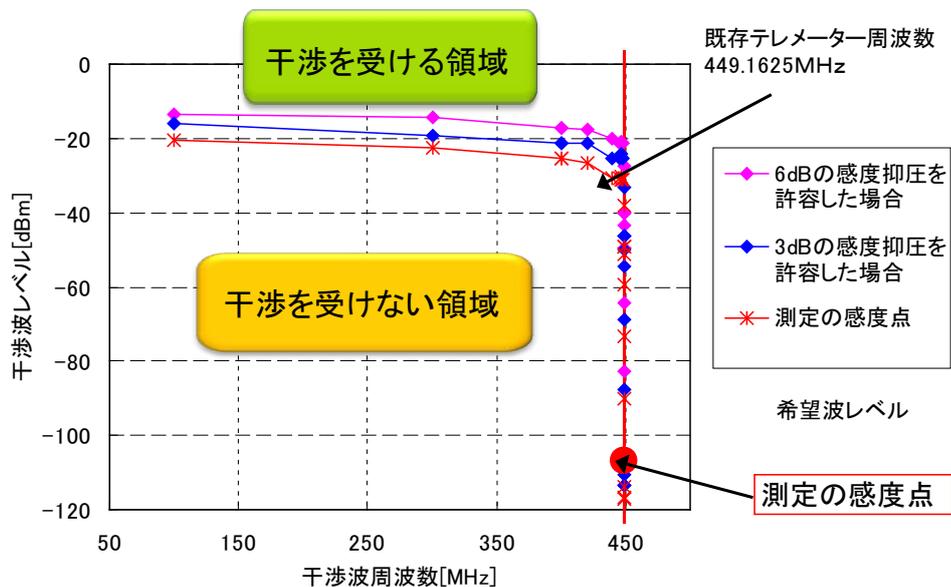


図 3.5-8 干渉波周波数と干渉発生レベルの関係（医療用 TM バンド外）

(3) 考察

ノイズ発生の干渉波レベルが変化しなくなる希望波との離隔周波数はテレメーター A、B によりそれぞれ 3.5MHz、1MHz と異なるものの、その干渉波レベルは約 -30dBm でありほぼ同じである。

現行受信機の感度抑圧の周波数特性の違いは、受信機のフロントに挿入されている RF フィルタ特性の影響や回路構成の違いなどが考えられるが、既存システムとの共存を考慮するとマージンを含めて 4MHz 程度の離隔を確保する必要があるといえる。

また、これを前提条件として干渉発生レベルから求めたテレメーター A とテレメーター B の所要減衰量の大きい方の値より、既存テレメーター受信アンテナと下り通信中継機の離隔距離を自由空間の減衰特性から求めたものを表 3.5-4 に示す。この表より、測定の感度点で運用した場合、干渉波レベルは -32.3dBm 以下に抑える必要があり、そのときの離隔距離は 3.5m 以上である。3dB の感度抑圧を許容して運用する場合、干渉波レベルは -26.5dBm 以下に抑える必要があり、そのときの離隔距離は 1.8m 以上である。なお、実際の設置は屋内であり、減衰は自由空間特性より大きくなる傾向があるため、既存受信アンテナと下り通信用中継機との距離はさらに短くできる可能性がある。

表 3.5-4 干渉を防止するための所要離隔距離

番号	希望波入力 レベル[dBm]	干渉発生 レベル[dBm]	送信アンテナの ゲイン[dB]	受信アンテナの ゲイン [dB]	所要 減衰量[dB]	離隔距離 (自由空間 減衰特性より)	備考
①	-104.6	-22.7	2.1	2.1	26.9	1.2m	③+6dB
②	-107.6	-26.5	2.1	2.1	30.7	1.8m	③+3dB
③	-110.6	-32.3	2.1	2.1	36.5	3.5m	測定の感度点

(4) まとめ

与干渉を防止するためには、既存システムとの共存を考慮するとマージンを含めて 4MHz 程度の離隔周波数を確保する必要がある。

また、離隔距離は、セントラルモニターによる違いはほとんどなく、一般的な無線機の評価方法である 3dB 感度抑圧で検討した場合、必要な離隔距離は 1.8m となる。アンテナ施工時に、それ以上の離隔が確保できない場合は結合を疎にするための対応（電波の指向性を考慮、偏波面をずらす、間に遮蔽物を挟む等）が必要となる。

3.5.4 被干渉試験方法と結果

(1) 被干渉試験の目的

被干渉を防止するための、下り通信と上り通信（既存テレメーター）の周波数離隔を確認し、実際に使用できる周波数の検討に資する。

(2) 測定系

図 3.5-9 に測定系を示す。ビット誤り率を測定することで、干渉発生 の判定を行う。各測定器は表 3.5-5 に示す。下り通信用の周波数は 420.05MHz である。受信機は一般的に受信機前段にあるフィルタで大まかに希望信号を絞り込むが、被干渉特性を把握するにあたり、測定系の下り通信子機にこのフィルタは使用していない。

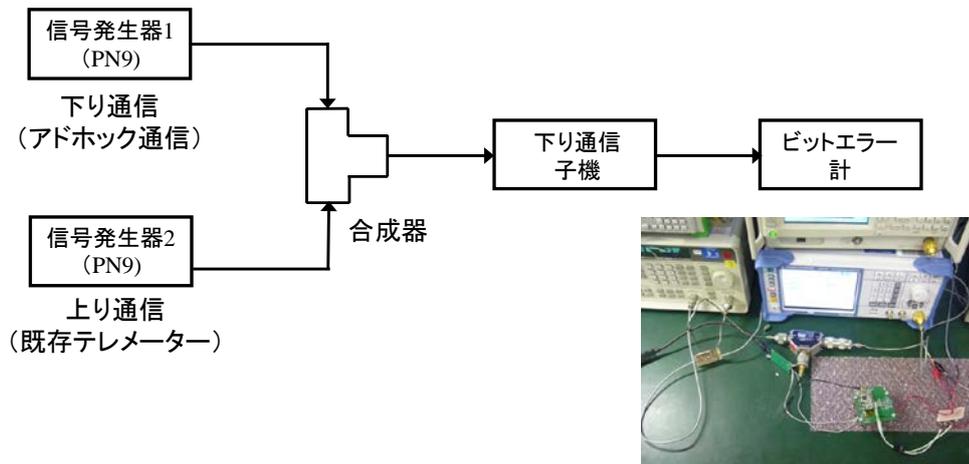


図 3.5-9 被干渉試験の測定系

表 3.5-5 各測定器

品名	型名	製造メーカー
信号発生器 1	SMBV100A	Rohde&Schwarz
信号発生器 2	8648D	Agilent
ビットエラー計	MD6401A	Anritsu
合成器	Z-164	Anritsu

(3) 測定方法

- ① 下り通信用無線機に周波数 420.05MHz の感度点のレベルを入力する。(感度点は電波産業会の規格で決められた。ビット誤り率が 10^{-2} となるレベ

ルで、品質を確保するための最小入力信号とされている。)

- ② 周波数を 440.5625MHz, レベル 0dBm の干渉波を設定する。
- ③ 干渉波の影響によりビット誤りが 1%以上になることを確認した後、干渉波レベルを段階的に低下させ、ビット誤りが元に戻る (= 干渉の影響が無くなる) 時の干渉波レベルを測定し、その絶対値を所要減衰量として記録する。
- ④ 干渉波を 440.5625MHz から 420.05MHz に段階的に近づけ、②-③を繰り返し測定する。
- ⑤ 入力レベルを感度点よりも 3dB、6dB 増加させて②-④を繰り返し測定する。

(4) 測定結果

被干渉波周波数に対する干渉発生レベルの結果を図 3.5-10 に示す。(図 3.5-10 のプロット値を表 3.5-6 に示す)。干渉を防止するためには干渉波周波数毎に、どの程度まで減衰させる必要があるかを示したものであり、この特性カーブより下であれば干渉の影響はない。希望波に近い周波数ほど、干渉波除去能力がなく、不足分はフィルタで補う必要がある。3dB または 6dB の感度抑圧を許容した場合、感度点に比べて、干渉波レベルは約 10~20dB 大きくなっている。

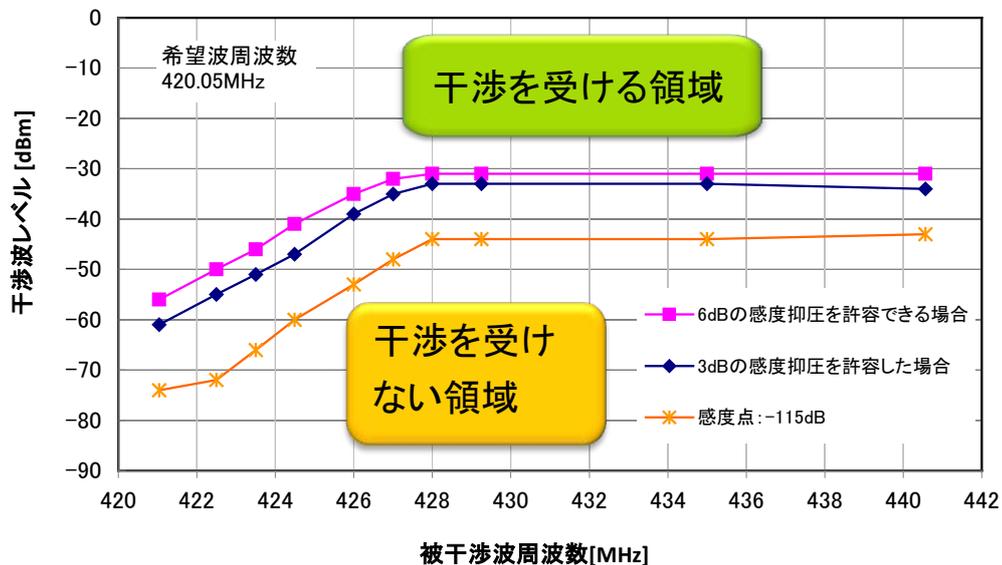


図 3.5-10 被干渉波周波数に対する干渉発生レベル

表 3.5-6 図 3.5-10 のプロット

被干渉波周波数 [MHz]	420.05MHz に対する干渉波レベル [dBm]		
	感度点 (-115dBm)	感度抑圧の許容値が 3dB の場合	感度抑圧の許容値が 6dB の場合
421.0375 (CH1080)	-74	-61	-56
422.5000	-72	-55	-50
423.5000	-66	-51	-46
424.4875 (CH2001)	-60	-47	-41
426.0000	-53	-39	-35
427.0000	-48	-35	-32
428.0000	-44	-33	-31
429.2500 (CH3001)	-44	-33	-31
435.0000	-44	-33	-31
440.5625 (CH4001)	-43	-34	-31

フィルタメーカーのカatalogより、420MHz 近傍周波数帯のフィルタ特性を測定結果に加えて図 3.5-11 に示す。このグラフは追加フィルタ特性が測定値（プロット付きの線）より下であれば、干渉の影響がないことを表している。黄色い四角は医療用テレメータで使用可能なバンドを示している。フィルタを用いることにより周波数離隔を 6MHz 以上離せば被干渉の影響をなくすることができる。3dB の感度抑圧を許容した場合、周波数離隔は 2MHz 以上としてもよい。

3.6 シミュレーション解析による所要周波数帯幅の検討

3.6.1 概要

(1) 検討の目的

CSMA 方式（マルチホップ）では、中継段数や端末数の増加に伴い遅延時間が増大する。そこで、許容される遅延時間内に情報を伝送するために必要な伝送速度を求めるため、伝送速度をパラメータとして、遅延時間と中継段数及び収容端末数の関係をシミュレーションにより明らかにする。

これにより、現行の医療用テレメータの周波数割当（A型～E型）におけるシステムの実現性を確認する。

(2) 許容遅延時間

医療現場のヒアリング結果を踏まえ、下り通信の許容遅延時間を表 3.6-1 のとおり設定する。

表 3.6-1 下り通信許容遅延時間の設定

通信区分	許容遅延時間	備考
緊急	1 秒 (遅くても 3 秒以内)	ボタンを押してからナースステーションを出て探し始めるまで 3 秒程度
通常	10 秒	受信レベルの更新等

(3) シミュレーション項目

許容される遅延時間内に情報を伝送するために必要な伝送速度（占有周波数帯幅）を求めるため、次に示す遅延時間のシミュレーションを行う。

① 緊急時の通信遅延時間

通信を優先して取り扱うことを前提に他の通信の影響を考慮しない通信完了時間として算出

② 通常時の通信遅延時間

想定される 1 回の通信あたりの一定の情報量を全端末に対して順番に繰り返し送信した場合における一巡する周期として算出

3.6.2 シミュレーション解析の条件設定

(1) データ量

2.1 の下り通信で伝送する情報項目、情報量に基づき、データ量を表 3.6-2 のとおり設定する。

表 3. 6-2 データ量

通信区分	データ量	備考
緊急	0 文字	緊急は、下記の種別情報にて判別する
通常	10 文字	

なお、通信に必要な bit 数は以下のとおりとした。

ア 下り通信に必要な bit 数

親機送信の構成は次のとおり想定する。必要な bit 数は 208bit+データ量とした。

親機送信の構成	プリアンブル	ビット同期	フレーム同期	情報領域	CRC
	32bit	32bit	32bit	96+※bit	16bit

情報領域の構成	送信元ID	送信先	被発呼局	発呼局	種別情報	情報
	8bit	8bit	8bit	8bit	64bit	※ bit

※ 16bit/1文字、例:10文字:160bit、20文字:320bit

イ 子機応答通信に必要な bit 数

下り通信において子機からの応答通信があるものとし、子機送信の構成を次のとおり想定する。必要な bit 数は 176bit と想定した。

子機送信の構成	プリアンブル	ビット同期	フレーム同期	応答情報	CRC
	32bit	32bit	32bit	64bit	16bit

応答情報の構成	送信元ID	送信先	被発呼局	発呼局	種別情報	情報
	8bit	8bit	8bit	8bit	16bit	16bit

(2) 通信路構成

電波伝搬試験結果を反映して、想定される中継機の配置を決める。図 3. 6-1 は福井大学医学部附属病院東病棟 2 階の見取り図であり、ここに下記の条件を元に中継機を配置した。その結果、図のように最大ホップ（中継）数は 5 で、配置数は 9 台となった。ホップ数が多いほど遅延時間は増加する。

・中継機の配置条件

- ① 親機は 3. 4. 4 と同様にナースステーション前の通路角を設置場所とする。
（実用化の際はナースステーション内の設置が想定される。）
- ② 距離と受信レベルの関係（見通し試験）から、地点ごとの受信レベルを算出する。

- ③ 各部屋の鉄扉は閉まっている。
- ④ 病棟内の病室等の配置を考慮して中継機を密に配置することとする。

中継機を9台配置(最大ホップ数5)



図 3. 6-1 福井大学医学部附属病院東病棟 2 階において想定される中継機の配置

(3) 伝送経路条件

ア 下り通信 (親機→子機)

親機からは子機がどこにいるかわからないため、受信した中継機は中継送信し情報を拡散する。中継機及び子機は他の中継機から同一の情報を受信する可能性があるが、この場合は後に受信した情報を破棄する。

イ 子機応答通信 (子機→親機)

子機が受信したことを親機に応答する。子機からの応答を受信した中継機は、それ以降の親機までの中継経路を定めて伝送する。

以上のことを図 3. 6-2 に図示する。

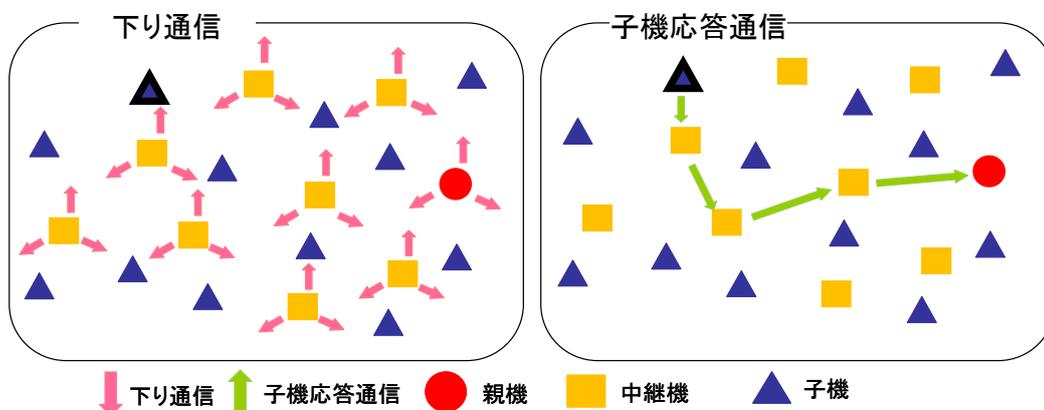


図 3. 6-2 伝送経路のモデル図

(4) 変調方式と伝送速度

医療用テレメータの無線設備の区分は占有周波数帯幅で5つの区分に分かれており、通信速度もそれぞれ異なる。無線設備の区分による占有周波数帯幅と通信速度を表3.6-3に示す。

通信速度と占有周波数帯幅は対応しており、通信速度が速いほど占有周波数帯幅が広がり、使用できるチャンネル数が減るデメリットが存在する。

表 3.6-3 占有周波数帯幅と通信速度

区分	占有周波数帯幅[kHz]	通信速度[kbps]
A型	8.5	4.8
B型	8.5~16	9.6
C型	16~32	32
D型	32~64	64
E型	64~320	320

(5) 子機（端末）収容数

福井大学医学部附属病院における子機数である16台と大型の病院を想定した子機数である48台を収容子機数の目安とした。

3.6.3 解析の方法

(1) 送受信の基本動作

中継機2台を経由し子機に伝送する例を図3.6-3に示す。中継機と子機は他で送信している無線機がない場合に送信できる。送信の開始前にはキャリアセンス時間を含むガードタイムがあり、ここでの想定ではキャリアセンス時間は同時送信による信号の衝突を防ぐために、ランダムで設定されていることとする。親機側は子機応答通信により、正しく通信できたか確認することができる。なお、子機応答通信が失敗しても情報は子機に伝達している可能性がある。

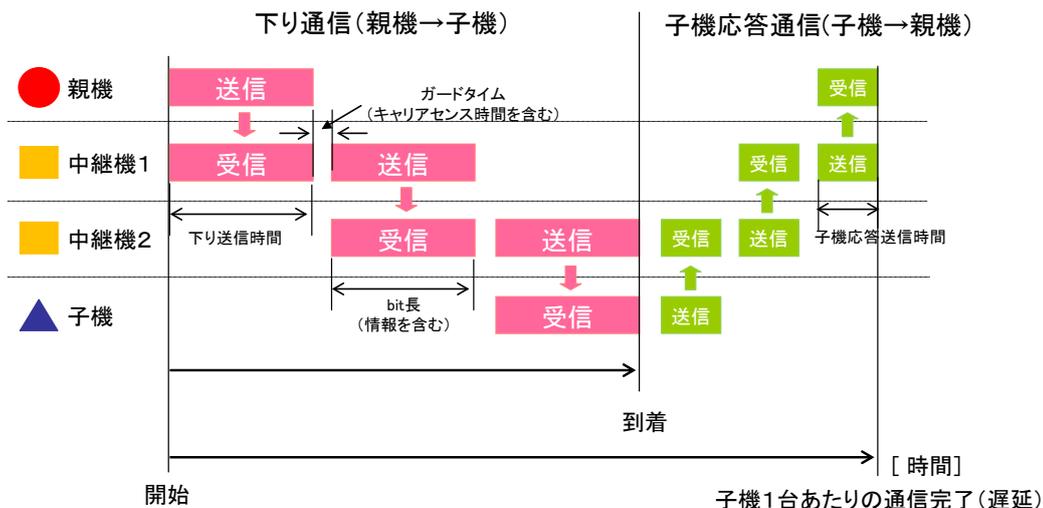


図 3. 6-3 送受信の基本動作の例

(2) 送信の成功確率（衝突確率）

CSMA 方式は、キャリアセンスを行って他の送信がないことを確認してから送信することにより、送信の衝突を回避する方式である。送信を待機している無線機が複数ある場合は、他の無線機の送信の停止を確認した後に送信するため、送信開始が同時になり衝突する可能性がある。

これを回避するために、ランダムバックオフを設けることが一般的である。このランダムバックオフとは、他の無線機の送信の停止を確認した後、さらに、ランダムに設定した時間をキャリアセンスする機能である。すなわち、送信を待機していた無線機の中で、ランダムバックオフ時間が一番短い無線機が送信を開始することになり、一方、それより長いバックオフ時間が設定された他の無線機はまだキャリアセンス中であることから別の送信を再検出することになる。それにより送信の待機を継続することになり、送信の衝突が回避できることになる。

しかしながら、送信を待機している無線機で同じバックオフ時間が設定される可能性があり、この時は送信の衝突は避けられない。従って、収容子機数や所要周波数帯幅を検討するにあたり、このランダムバックオフ時間が同一になる確率（すなわち衝突確率）を考慮する必要がある。

なお、バックオフ時間は送信の都度、乱数を発生させて決められる。ここでは乱数で発生する数をバックオフステップ数と呼ぶ。

ランダムバックオフについて図 3. 6-4 に示す。

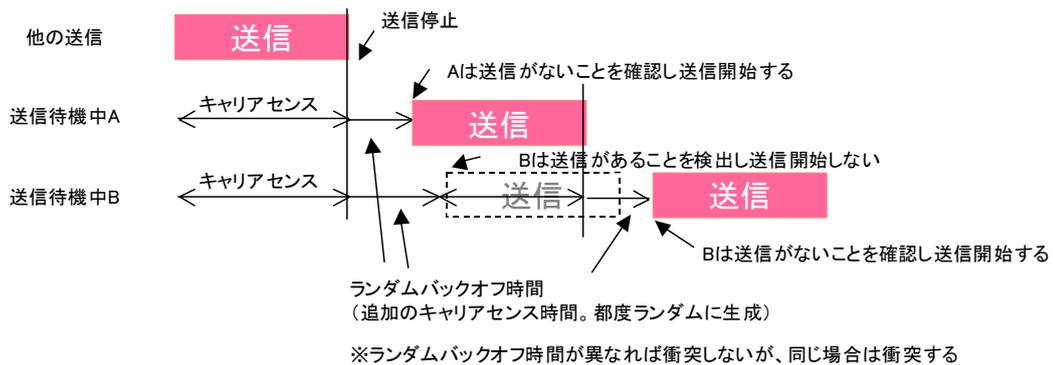


図 3. 6-4 ランダムバックオフによる衝突回避

図 3. 6-5 に送信の成功確率を示す。送信の衝突確率は成功確率の余事象となる。この結果から、送信待機台数とランダムバックオフのステップ数の比でもって、成功確率が定まることがわかる。(但し、1 台の時を除く)

今回の計算では、ランダムバックオフのステップ数を 32 とした。また、送信の待機数を中継機の数の 9 台としたとき、ランダムバックオフステップ数比は約 3. 6 倍となり、この時の成功確率は約 0. 85 である。

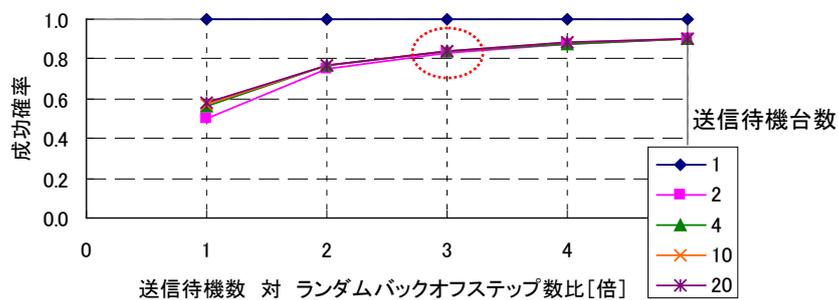


図 3. 6-5 ランダムバックオフステップ数と成功確率

図 3. 6-6 に送信待機台数と成功確率の関係を示す。ランダムバックオフステップ数が 30、送信待機台数が 9 台の時に 成功確率は約 0. 85 である。また、中継機によるマルチホップでは、中継のホップ数が進むにつれ、同時に送信を行う待機数が減っていくことになり、後半ほど成功確率は高くなり、最後の 1 台は確実に送信可能となる。ここで、成功確率は平均の約 0. 9 としてもよいが、ここでは、単純化して、成功確率を 0. 85 として計算することとする。よって、遅延時間は $1/0.85$ 倍、収容子機数は 0. 85 倍として計算することになる。

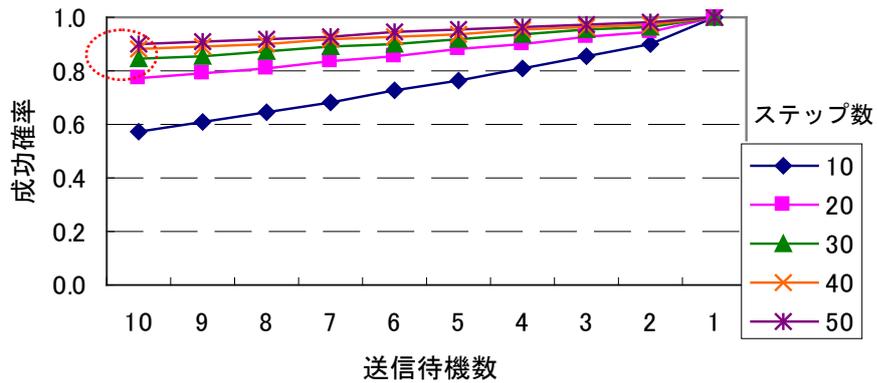


図 3.6-6 送信待機台数と成功確立の関係

(3) 通信時間の計算方法

図 3.6-7 に中継機が複数台とその先に子機が 1 台つながる場合のモデル図を示す。このモデルにおける親機-子機間の通信完了時間の計算式は下記のとおりとなる。

- ・ 下り通信時間 = (下り送信時間 × (N+1) + ガードタイム × N) ÷ 成功確率
- ・ 子機応答通信時間 = 子機応答送信時間 × (n+1) + ガードタイム × n
- ・ 親機-子機間の通信完了時間 = 下り通信時間 + 子機応答時間

下り中継は全ての中継機が 1 度は送信するが、子機応答は子機の位置により親機までの間に送信する中継機の数異なる。そこで、均等通信を行う場合の計算は、子機の位置はランダム配置として計算し平均を求める。

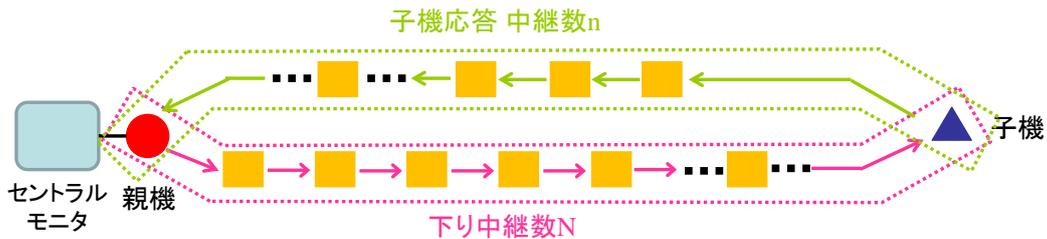


図 3.6-7 中継機が複数台と子機が 1 台つながる場合のモデル図

3.6.4 解析結果：周波数帯幅と遅延時間

(1) 緊急時の遅延時間

緊急時の遅延時間については、緊急時は優先して通信が行われ、親機から速やかに送信が開始されるものとし、ガードタイム（キャリアセンスを含む）を 10m 秒とした。また、パラメータは所要周波数帯幅、付加情報量とした。付加情報量

は子機に送るメッセージの文字数を想定したが、緊急時はブザー音を鳴らすなどの制御情報のみであるため、少なくてもよい。

福井大学医学部附属病院をモデルとして設定した中継数 5 段時の最大遅延時間を表 3.6-4 に示す。また、中継機数と子機 1 台分の遅延時間の関係を図 3.6-8 に示す。

最も情報量が多く、通信速度が遅い組み合わせ（付加情報量 20 文字、A 型（通信速度 4.8kbps））であっても遅延時間は約 2 秒であった。

許容される遅延時間は、医療現場でのヒアリングから得た 1 秒以内を考慮した場合、通信速度は B 型（9.6kbps）で対応が可能であるといえる。

表 3.6-4 中継数 5 段時の最大遅延時間

情報量	A 型 4.8kbps	B 型 9.6kbps	C 型 32kbps	D 型 64kbps	E 型 320kbps
0 文字	1.74	0.99	0.38	0.45	0.25
10 文字	1.88	1.05	0.47	0.35	0.25
20 文字	2.02	1.11	0.49	0.35	0.25

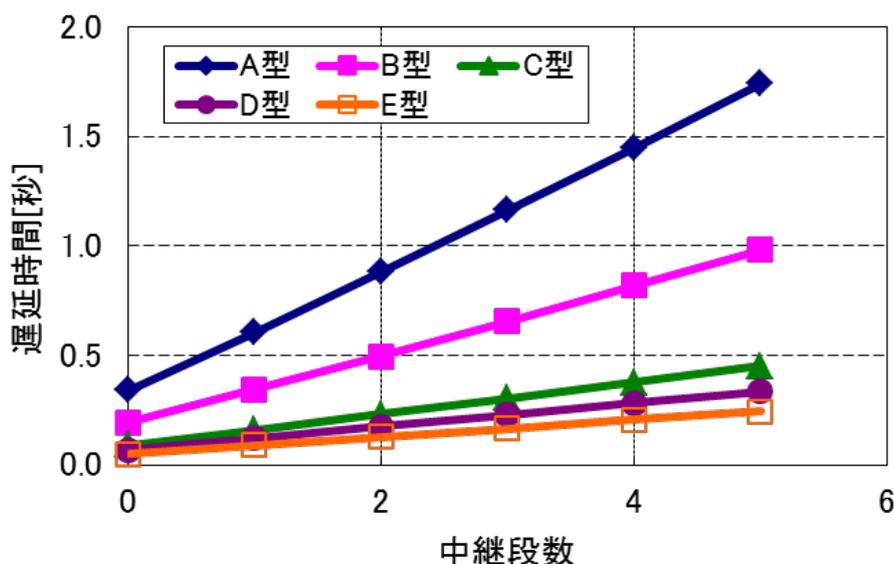


図 3.6-8 中継段数と子機 1 台分の遅延時間の関係

(2) 通常通信の遅延時間

図 3.6-9 に各子機に均等に通信を行う方式とした場合の、收容端末（子機）数と通信周期（遅延時間）の関係を図 3.6-9 に示す。中継機は 9 台、付加情報量（文字数）は 10 文字とした。

子機数と通信周期は比例しており、子機数 16 台では A 型以外では通信周期 10 秒を確保出来る。逆に、A 型において子機数 48 台の場合は、通信周期を 39 秒程

度まで許容する必要がある。

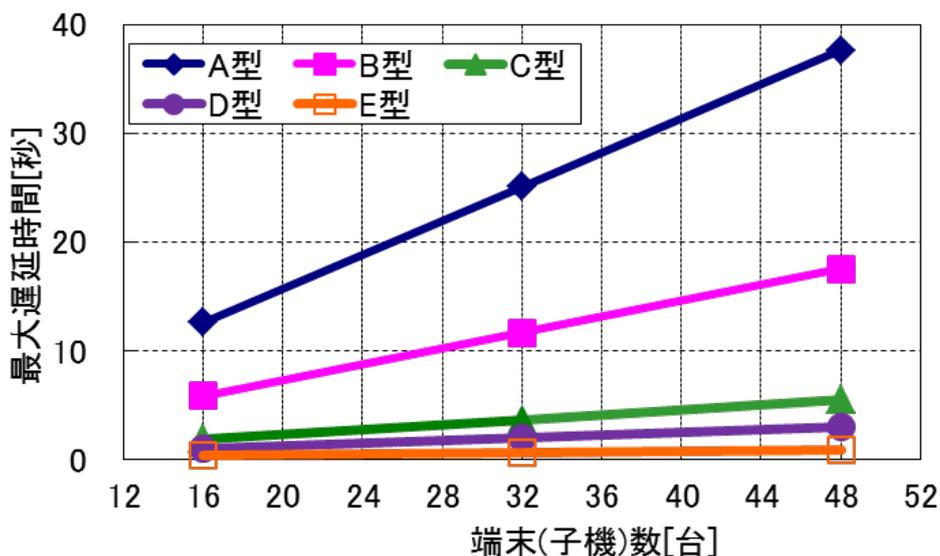


図 3. 6-9 収容子機数と通信周期（遅延時間）との関係

3. 6. 5 まとめ

(1) 所要周波数帯幅

緊急時の遅延時間と無線設備の区分の関係から中継段数を5とした場合、医療用テレメータのいずれの区分でも約2秒以内の遅延であった。医療現場で要求される遅延時間は1秒以内であり、1秒以内の遅延時間を確保するとすれば、通信速度はB型以上が必要になる。

また、収容端末（子機）数と通信周期の関係から、各子機に均等に通信を行う場合、通信周期10秒とすると、収容可能な子機数はA型で16台、B型で32台であり速度にほぼ比例して増加した。収容端末（子機）数を48台とした場合、通信周期はA型で約39秒、B型で約18秒であり、通信速度（A型からE型）にほぼ比例して短くなった。

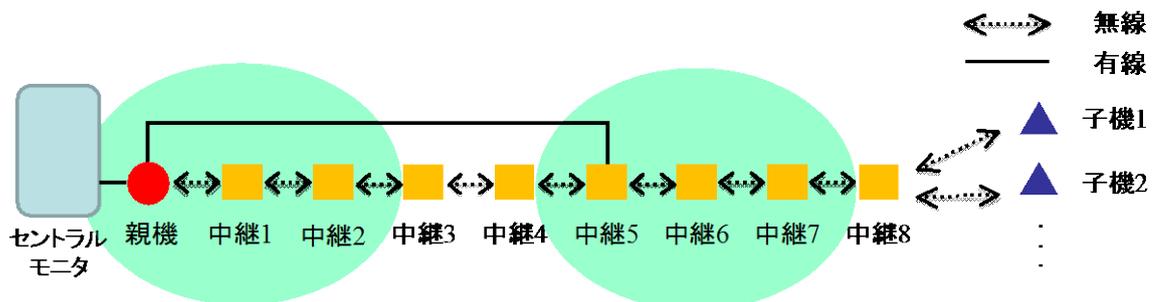
(2) その他

ア イベント発生時のみの通信方式

前述の検討は、各子機に均等に通信を行う場合を想定していたが、変化のない情報は送信する必要がないため、イベントが発生した時のみ通信を行う方式とした場合、さらに収容端末（子機）数は増え、または、通信周期（遅延時間）は短くなるため、通信速度はB型程度あればよい。

イ 有線接続を適宜挿入した通信方式

前出の検討は中継機が9台で最大ホップ数が5の場合であったが、中継機間の距離が離れていたり、遮蔽物の影響などで中継機の電波が直接届かない中継機は同時に送信ができるため、適宜有線で接続することにより、遅延が短くなり、子機の収容数を増やすことが可能となり、中継の段数が増えた場合有効である（図3.6-10参照）。



中継機が8台で構成され、中間点が有線で接続された場合

例えば、中継機1と中継機6は相互に不達エリアであり、同時に送信が可能

図 3. 6-10 中継機の一部を有線で接続した場合