

2 双方向化等に関する基礎的検討

2.1 具現化のための機能等

(1) 実現すべき機能

1.3において整理した医療用テレメーターの要望のうち、双方向機能の実現により解決が図れるものを整理すると表2.1-1のようになる。

表2.1-1 下り通信で伝送する情報項目の概略

課題（問題点）	双方向化により実現する機能
患者が気付かずにテレメーターの通信圏外に移動し、生体信号の伝送が途絶える。	【モニタリング圏外通知】 テレメーター端末(患者)に対して、注意を促すためにメッセージ等を送る。
生体信号の異常を検出した場合において、患者(及び周囲の人)に対して注意を促すことができない。	【心電図異常の注意喚起】 テレメーター端末(患者)に対して、注意を促すためにメッセージ等を送る。
意識を失う重篤な異常を検出した場合において、患者(及び周囲の人)の居場所が分からずに迅速な措置がとれない場合がある。	【救助要請音の発生】 トイレなどで倒れている場合の搜索を補助するため、端末から警報音を発生させる。
ベッドサイドモニターとセントラルモニターの患者属性情報に食い違いが生じることがある。	【セントラルモニター情報の反映】 患者属性の不一致を防止するため、セントラルモニターで設定したデータをベッドサイドモニターに転送し反映させる。
非観血式血圧の定時測定等において、測定エラーが発生することがあり、その都度、患者のもとに行って血圧計を操作する必要があるが、問題なく再測定できることが多い。	【非観血式血圧計等の制御】 セントラルモニターから血圧計等を遠隔制御する。

(2) 下り通信で伝送する情報項目、情報量

(1)の機能を実現するため下り通信で伝送する情報項目及びその情報量を表2.1-2で示す。

表 2.1-2 下り通信で伝送する情報項目、情報量

双方向により実現する機能	伝送する情報項目	情報量／頻度
【モニタリング圏外通知】 テレメーター端末(患者)に対して、注意を促すためにメッセージ等を送る。	信号強度	数 bit 10 秒ごと(圏外の時)
【心電図異常の注意喚起】 テレメーター端末(患者)に対して、注意を促すためにメッセージ等を送る。	メッセージ	20 文字程度 頻度 少
【救助要請音の発生】 トイレなどで倒れている場合の搜索を補助するため、端末から警報音を発生させる。	アラーム有無	1bit 頻度 少
【セントラルモニター情報の反映】 患者属性の不一致を防止するため、セントラルモニターで設定したデータをベッドサイドモニターに転送し反映させる。		10 文字程度 頻度 少
【非観血式血圧計等の制御】 セントラルモニターから血圧計等を遠隔制御する。		数 bit 頻度 少

2.2 医療用双方向テレメーターの技術的課題

2.2.1 干渉防止（チャネル間、上り下り間）

空間を伝搬する電波を使って生体信号を伝送する医療用テレメーターでは他の電波の干渉を受ける可能性があり、信号を正確に伝送できなくなる恐れがある。

患者の異常を発見し、的確な治療を行うためには生体信号を正確にモニタリングできることが最も重要であり、干渉防止に十分な対策が必要となる。

干渉波としては、周波数の近いアマチュア無線やタクシー、救急車等の業務用無線などのほか、医療用テレメーター相互間の干渉に対しても配慮が必要である。

特に双方向化を図る場合は、上り通信と下り通信の間の干渉が問題となってくる。

なお、ここでは、テレメーター端末からセントラルモニターへの通信を上り通信と呼び、逆にセントラルモニターからテレメーター端末への通信を下り通信と呼ぶこととする。

2.2.2 生体信号伝送の連続性とリアルタイム性の確保

(1) 連続性

医療用テレメーターでは、生体信号の瞬間的な異常も見逃さず検知する必要があるため、途切れなくモニタリングできることが求められる。

双方向化する場合の通信方式の選択にあたっては、生体信号を伝送する上り通信の連続性を確保できることが重要な要素となる。

(2) リアルタイム性

患者の異常に即時対応するためには、心電図等の生体信号の伝送による遅延をできるだけ小さくする必要がある。

また、双方向化においては、下り通信には生体信号は含まれないが、緊急通報等、即時性を求められる情報伝送も想定されるため、用途ごとに許容される遅延時間を配慮した設計を行う必要がある。

2.2.3 チャンネル数と通信エリアの確保

(1) チャンネル数

医療用テレメーターには、1.2.5で示したように420.05MHz～449.6625MHzのなかで、6バンドに分割して使用周波数帯が割り当てられており、その帯域内で用途に応じてA型～E型を選択して使用することになっている。

現在、販売されている携帯型の医療用テレメーターは、その多くが最も狭帯域のA型であるが、診療科を問わず広く利用されている現状では、病床数の多い病院においてチャンネルのひっ迫が指摘されている。

通信の双方向化を図る場合は、規模の大きい病院においても導入ができるように周波数利用効率の向上に配慮する必要がある。

表 2.2-1 占有周波数帯幅と周波数間隔

区分	占有周波数帯幅の許容値[kHz]	既定の周波数間隔[kHz]
A型	8.5	12.5
B型	16	25
C型	32	50
D型	64	100
E型	320	500

(2) 通信エリア

携帯型の医療用テレメーターは、病棟内等を自由に移動できる患者のモニタリングに利用されるため、一定の範囲を通信エリアとして確保する必要がある。

既存方式では一般的に天井裏に受信アンテナシステムを配置し、ケーブルでナースステーション等に送ることで必要なエリアをカバーしている。

通信の双方向化にあたっては、下り通信についても同様に通信エリアを確保する必要があるが、既存システムのアンテナシステムは、分岐によるレベル低下を補うために受信アンプを挿入しているため、これを双方向通信に利用することは難しい。

2.2.4 既存システムとの共存

既存のテレメーターシステムは、各ユーザに個別の周波数を割り当てて、送信設備と受信設備が1対1の片方向通信を行うシステム（FDMA（周波数分割多重）方式）となっている。（図2.2-1 参照）

国内の医療用テレメーターは平成21年現在で約20万台と推定され、広く普及している状況を考慮すると、通信の双方向化を図る場合においては既存方式との共存性が重要となる。

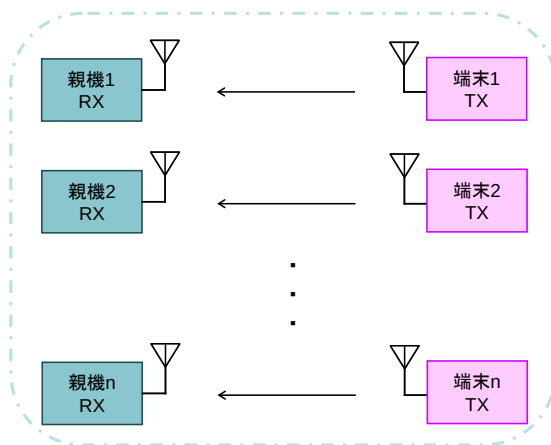


図 2.2-1 既存テレメーターの通信方式

2.3 無線方式の検討

2.3.1 双方向化を実現する無線方式

双方向化を実現するために、多重化方式及び上り通信と下り通信の双方向化について、無線方式の基本的な組み合わせを検討する。

共有化のための多重化方式は、次の3種類について検討する。

① TDMA（Time Division Multiple Access）：

同じ周波数を複数のユーザで時間的に分割して使用。

② FDMA (Frequency Division Multiple Access) :

各ユーザに異なる周波数を設定して使用。既存方式はFDMAに含まれる。

③ CSMA (Carrier Sence Multiple Access) :

複数のユーザは同じ周波数を共用し、他者が通信をしていなければ自分の通信を開始。

また、送受信のための双方向化方式は、次の2種類について検討する。

① TDD (Time Division Duplex) :

送信と受信を時間ごとに切り替える。

② FDD (Frequency Division Duplex) :

送信と受信に別の周波数を割り当てる。

以上より、次の組み合わせについて検討する。

① TDMA/TDD

② TDMA/FDD

③ FDMA/TDD

④ FDMA/FDD

⑤ CSMA

⑥ 既存方式 (FDMA) +CSMA

(1) TDMA/TDD 方式

ア 多重化

TDMA 方式は、複数のテレメーターで共通の周波数（通信路）を用い、各テレメーターは、時間的に細分化された互いに異なる時間スロットの一つを使用して通信を行う。例えばテレメーター a～d の心電図データ等は図 2.3-1、図 2.3-2 のように各時間スロットに割り当てられ、一定間隔毎に心電図データが送信される。決められた時間スロット内に心電図データ等を圧縮して送信することで、疑似的に心電図データの連続性を保つことができる。

イ 双方向化

TDD 方式は短時間で送信と受信を切替え、双方向通信を行う方式であり、心電図データ等の上り通信とテレメーター呼出（ブザー鳴動指示）等の下り通信を、互いに異なる時間スロットの一つを使用して通信を行う。例えばテレメーター a～d の心電図データ等と呼出情報は図 2.3-1、図 2.3-2 のように各時間間隔で割り当てられ、一定間隔毎に心電図データ等と呼出情報を交互に送信する。

ウ メリットとデメリット

(ア) メリット

一つの周波数に複数のテレメーターが収容でき、空きスロットを動的に割り当

ることにより周波数の利用効率が高くなる可能性がある。

(イ) デメリット

一つの周波数に収容するテレメーター数を増やすと、一つのテレメーターの通信周期が長くなりデータの遅延が発生する。また、一定の通信周期内でテレメーター数を増やした場合、占有周波数帯幅が増加することとなり、現在割り当てられている周波数帯幅の中では収容できるテレメーター数に限りがある。

テレメーター毎に時間スロットを割り当てるため、テレメーター間および上り下り通信間で時間スロットが重ならないようにセントラルモニターと全てのテレメーターの間で時刻同期が必要となり、同期を確立するための設備・機能が高価になりコスト面で劣る。

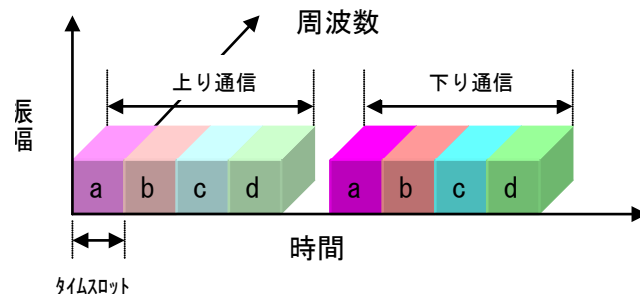


図 2.3-1 TDMA/TDD 方式

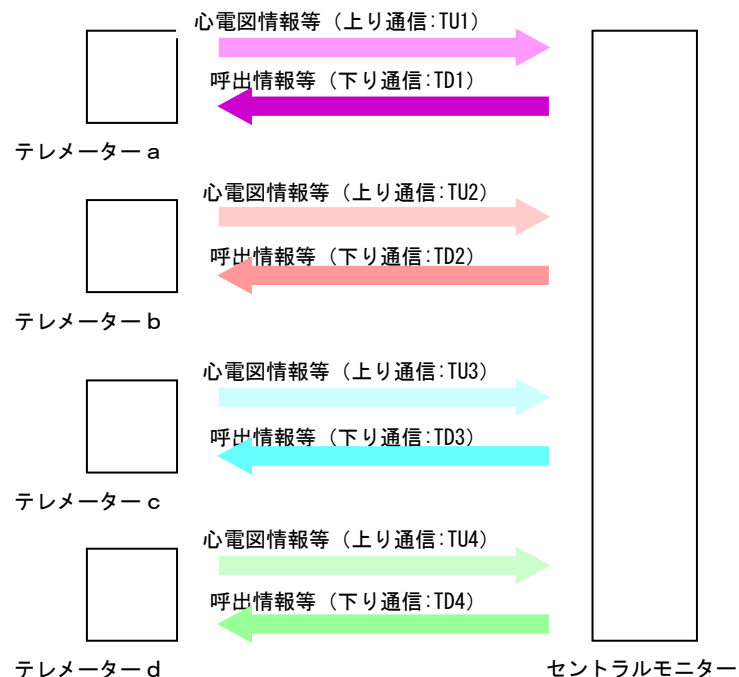


図 2.3-2 TDMA/TDD 方式の通信

(2) TDMA/FDD 方式

ア 多重化

TDMA/TDD 同様、共通の周波数（通信路）を複数のテレメーター毎に時間的に細分化し、互いに異なる時間スロットの一つを使用して通信を行う。

イ 双方向化

FDD 方式は送信と受信の周波数を別にする方法で、心電図データ等の上り通信とテレメーター呼出（ブザー鳴動指示）等の下り通信を互いに異なる周波数を使用して通信を行う。例えばテレメーター a～d の心電図データ等と呼出情報は図 2.3-3 のように異なる周波数に割り当てられるため、心電図データ等とテレメーター呼出情報を同時に送受信することが可能である。

ウ メリットとデメリット

（ア） メリット

TDMA/TDD 方式に比べ、上り通信と下り通信の時刻同期を確立するための設備・機能が不要となる。また、上り通信と下り通信の周波数が異なり、フィルタで周波数分離ができるため、上り通信と下り通信の混信対策が可能となる。

（イ） デメリット

テレメーター毎に時間スロットを割り当てるため、テレメーター間の時間スロットが重ならないようにセントラルモニターと全てのテレメーターの間で時刻同期が必要となり、同期を確立するための設備・機能が高価になりコスト面で劣る。また、上り通信と下り通信で各周波数を使用するため、収容可能なテレメーター数が半分になる。

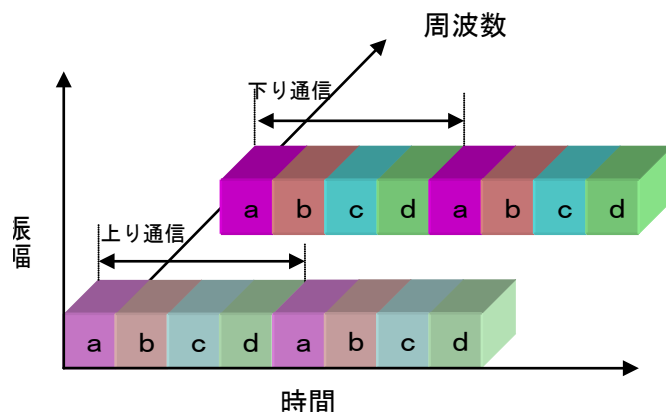


図 2.3-3 TDMA/FDD 方式

(3) FDMA/TDD 方式

ア 多重化

FDMA 方式は各テレメーターに異なる周波数を割り当てて周波数で区別する方

式。例えばテレメーター a～d の心電図データ等は図 2.3-4 のように各周波数に専用に割り当てられるため、テレメーター数は使用可能な周波数の数分に限られる。

イ 双方向化

TDMA/TDD 同様、短時間で送信と受信を切替え、双方向通信を行う方式で、心電図データ等の上り通信とテレメーター呼出（ブザー鳴動指示）等の下り通信は互いに異なる時間スロットの一つを使用して通信を行う。

ウ メリットとデメリット

（ア） メリット

既存テレメーターシステムの周波数割当て方法を踏襲した運用が可能である。

（イ） デメリット

同一周波数で上り通信と下り通信を行っており、周波数分離ができない。アンテナシステムでは上り通信と下り通信を同時に行うことができない。

また、各テレメーターの上り下り通信間で時間スロットが重ならないようにセントラルモニターとテレメーター間で時刻同期が必要となり、同期確立のための設備・機能が高価になるためコスト面で劣る。

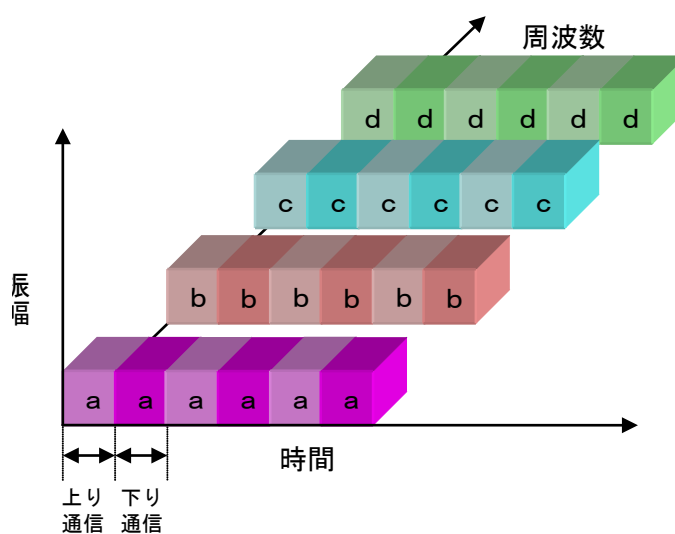


図 2.3-4 FDMA/TDD 方式

（4） FDMA/FDD 方式

ア 多重化

FDMA/TDD 同様、各テレメーターに異なる周波数を割当てることにより周波数で区別する方式。

イ 双方向化

TDMA/FDD 同様、心電図データ等の上り通信とテレメータ呼出（ブザー鳴動指示）等の下り通信を互いに異なる周波数を使用して通信を行う。

（図 2.3-5 参照）

ウ メリットとデメリット

（ア） メリット

上り通信と下り通信の周波数が異なり、フィルタによる周波数分離ができるため、上り通信と下り通信の混信対策が可能となる。

（イ） デメリット

各テレメータが上り通信と下り通信で周波数を 2 つ使用するため、割当て周波数を使用できるテレメータ数が半分になる。また、送受信を同時に行うため、無線機の小型化が困難。

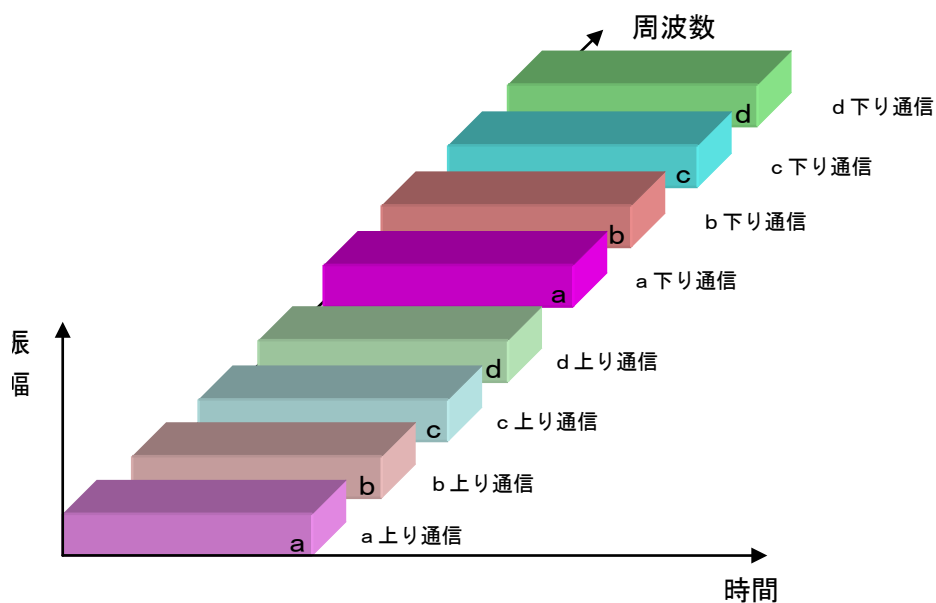


図 2.3-5 FDMA/FDD 方式

(5) CSMA 方式

ア 多重化

共通の通信路（同一周波数）を複数のテレメータで共有して通信を行う。通信開始前に通信路を他のテレメータが使用していないかどうかを確認し、他のテレメータが通信をしていない場合は通信を開始し、通信をしている場合は通信が終わるまで通信を待つ。すなわち、時間スロットの割当てはランダムに決定されることになる。例えばテレメータ a～d の心電図データ等は図 2.3-6 のように先に通信路を確保したテレメータの心電図データが送信される。

イ 双方向化

上り通信と下り通信は同一周波数を使用し、多重化と同様に時間スロットの割当てはランダムに決定され通信を行う。

ウ メリットとデメリット

(ア) メリット

アラーム情報など連続性が要求されないような場合には、一つの周波数に複数のテレメーターを収容できるため、周波数利用効率がよい。

(イ) デメリット

通信路確保が早い者勝ちのため、心電図データの様な連続したデータの送受信はできない。(テレメーター毎で見れば、通信路が不安定)

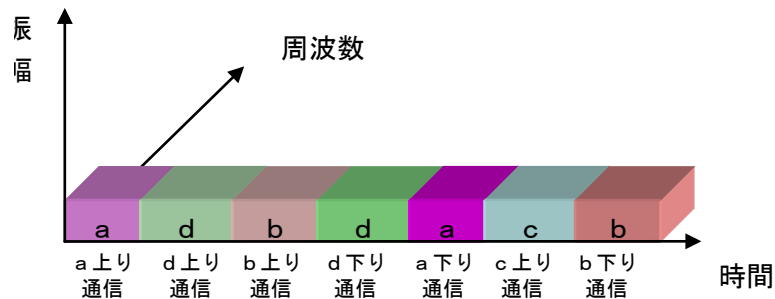


図 2.3-6 CSMA 方式

(6) 既存方式 (FDMA) +CSMA 方式

ア 多重化

上り通信は FDMA 方式として各テレメーターに周波数を割り当て、下り通信は CSMA 方式で一つの周波数を複数のテレメーターで共有する。

イ 双方向化

連続性が要求される心電図データ (上り通信) は FDMA 方式を使用し、テレメーターや呼出など通信頻度の少ない情報 (下り通信) については CSMA 方式を使用する。

ウ メリットとデメリット

(ア) メリット

通信頻度の少ない下り通信を複数テレメーターで共有するため、周波数利用効率が上がる。また、既存テレメーター装置との親和性がよい。

(イ) デメリット

既存テレメーター周波数の一部を CSMA 方式に使用すると、使用可能なテレメーター数は従来より減少してしまう。また、FDMA 方式と CSMA 方式の各無線機を準備する必要がある。

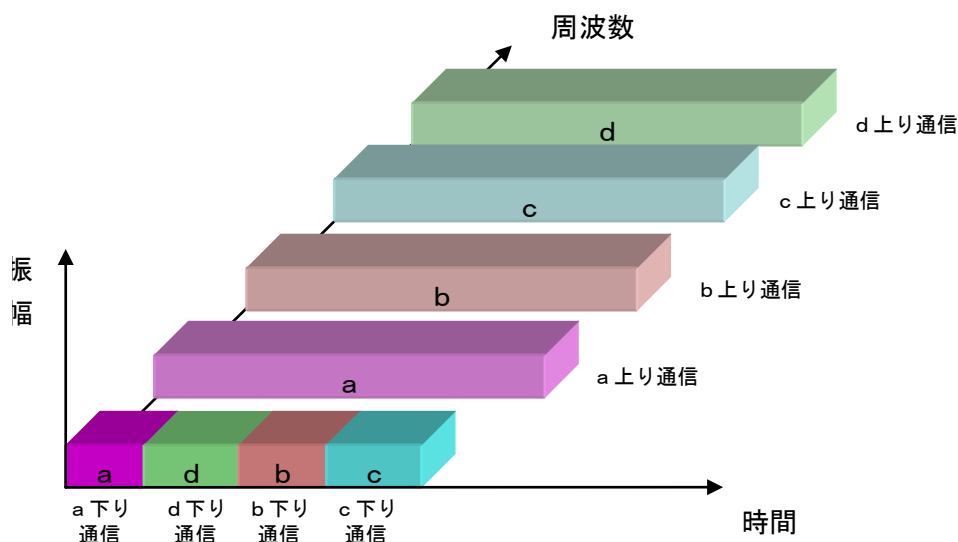


図 2.3-7 FDMA+CSMA 方式

2.3.2 方式検討

(1) アンテナシステムによる通信方式

通信方式を検討するにあたり、既存テレメーターで使用されているアンテナシステムを考慮する必要がある。セントラルモニターはナースステーションに固定設置されているのに対し、患者が装着したテレメーター端末は移動可能であり、病院内（基本的には看護単位の病棟）のどこにいるかは特定できない。したがって、テレメーター端末から送信された電波を受信してセントラルモニターに送るアンテナシステムが必要となる。

また、アンテナシステムでは受信ブースター（増幅器）によって損失補正を行っている。アンテナシステムを使用して下り通信の電波を送信する場合、分配器で分岐して通信エリアを確保する必要があることから、上り通信と同様に分配による損失補正を行うブースターが必要となる。すなわち、ブースターも双方向化する必要がある。

しかしながら、現時点では認証外の送信増幅器を付加することはできないため、下り通信にアンテナシステムを使うことは不可である。

(2) アクセスポイントによる通信方式

アンテナシステムを使用しない方式として、アクセスポイント方式が考えられる。これは、セントラルモニターからの情報をアクセスポイントまで有線または無線 LAN 等で送り、アクセスポイントで医療用テレメーターの規格で電波を送信する方式である。

しかしながら TDD の場合、複数のアクセスポイントと複数のテレメータ端末の全てにおいて時間スロットの時刻同期を管理する高度な制御が必要となり、また、複数のアクセスポイントで同時に送信した電波が衝突して受信できない可能性もあり、使用は不可である。

また、FDD の場合は、アクセスポイントにテレメータ端末数分の無線機が必要となり、高価になるなどの問題点がある。

ただし、CSMA 方式の場合、TDD のような高度な時刻同期制御や複数のアクセスポイントの同時送信による衝突を避けることができる。また、1 つの周波数で送受信できることから、FDD のようなチャネル分の無線機を用意する問題点もなく使える。なお、上り通信には連続性が要求されることにより CSMA は適当ではないため、下り通信に限定される。

2.3.3 まとめ

各方式の機能を表 2.3-1 に示す。上り通信は既存方式を踏襲した FDMA 方式、下り通信は CSMA によるマルチホップ通信が最適であるといえる。

表 2.3-1 方式検討の比較

No	機能	TDMA/ TDD	TDMA/ FDD	FDMA/ TDD	FDMA/ FDD	CSMA	既存方式 +CSMA
1.	親機からの端末呼出し	○	○	○	○	○	○
2.	電波受信レベルによる通信圏内外判定	○	○	○	○	○	○
3.	心電図データの送信	○	○	○	○	×	○
4.	所要占有周波数帯幅 (現行数 kHz)	数 10k～ 数 100kHz	数 10k～ 数 100kHz	数 k～ 数 10kHz	数 kHz	数 10k～ 数 100kHz	数 kHz
5.	チャネル数不足の解消 (現行帯域幅)	×	×	△	×	×	×
6.	下り通信エリア	×	×	×	×	○	○
7.	設置コスト	高	高	高	高	低	低
8.	技術的難易度	高	高	高	高	低	低
9.	電池寿命	×	×	△	×	△	×
10.	既存テレメータの 共存	×	×	×	○	×	○
判定		×	×	×	×	×	○