

# テレメーター・テレコントロールの 高度利用に関する調査検討会

<中間報告>

平成27年11月12日



総務省 北海道総合通信局

# 項目

## 調査検討会の概要

### 1. 机上検討・ラボ試験

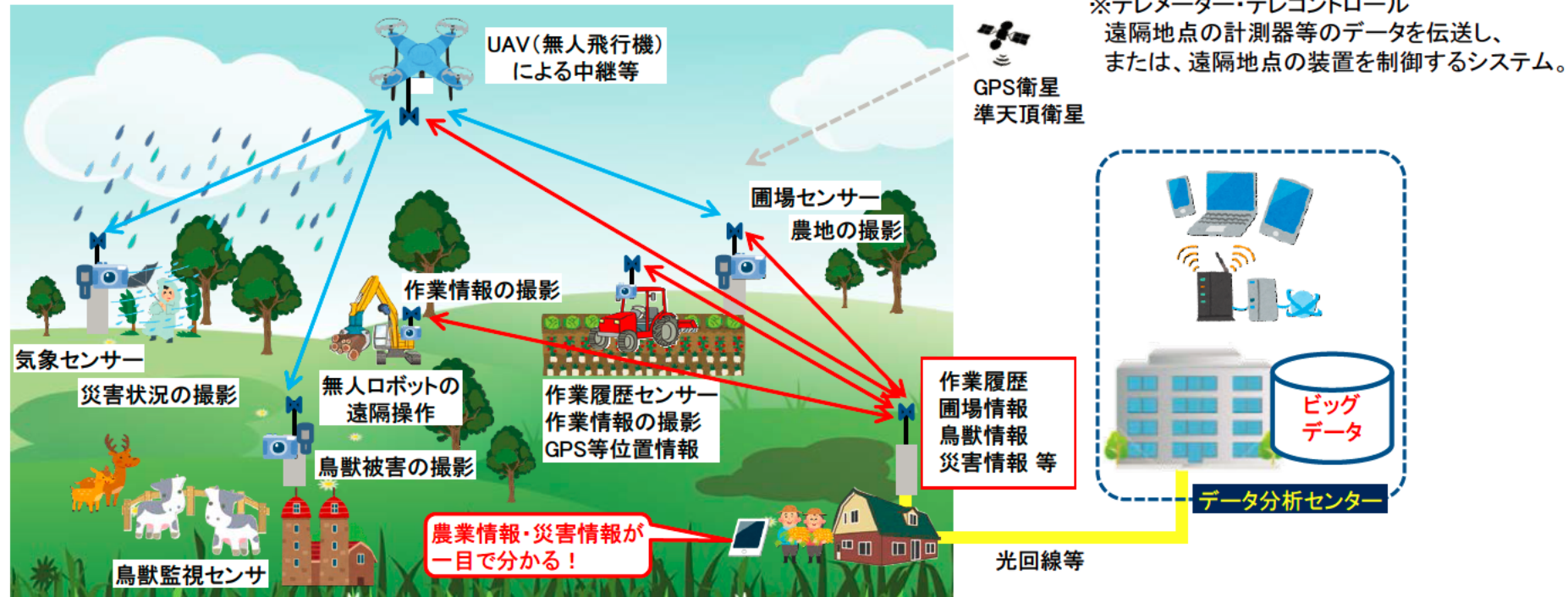
- 1-1. 各種変調方式の検討 <机上検討>
- 1-2. 帯域幅毎の特性検討 <机上検討・ラボ試験>
- 1-3. 伝搬環境を模擬した検討 <机上検討・ラボ試験>
- 1-4. 静止画・動画伝送の検討 <ラボ試験>

### 2. フィールド試験（速報）

# 調査検討会の概要

## 【目的】

様々なフィールドで活用されているテレメーター・テレコントロールについて、現状と課題を明らかにした上で、陸上及び上空での高度利用のための技術的検証を交えた調査検討を行い、農林水産業での活用はもとより、非常災害時での活用を含めた高度利用方法を提言し、電波の有効利用の促進に資することとする。



## 【検討項目】

テレメーター・テレコントロールに関する次の項目について、机上検討のほか、必要に応じてラボ試験、フィールド試験を交えた調査検討を行う。

1. テレメーター・テレコントロールシステムの現状と課題
2. テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用のための技術的条件等
3. 近接する周波数を使用する無線システムとの周波数共用条件
4. テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用方法等の提言
5. その他必要な事項

## 座長 大鐘 武雄

北海道大学 大学院情報科学研究科  
インテリジェント情報通信研究室 教授

## 副座長 岡本 博史

北海道大学 大学院農学研究院  
ビークルロボティクス研究室 准教授

## 副座長 筒井 弘

北海道大学 大学院情報科学研究科  
情報通信ネットワーク研究室 准教授

# 1. 机上検討・ラボ試験

## 1-1. 各種変調方式の検討〈机上検討〉

### 検討概要

本システムに適した変復調方式を選定するため、各種変調方式の検討を実施した。

- 1次変調方式としては、代表的なデジタル変調方式である4値FSK方式、QPSK方式、16QAM方式を候補として選定し、比較検討を行った。
- また、2次変調方式として、シングルキャリア伝送方式(SC方式)とシングルキャリアブロック伝送方式(SCBT方式)を選定し、それぞれの特徴を明らかにした。

検討項目及び内容を以下に示す。

検討項目	検討内容
(1)周波数利用効率	周波数利用効率の観点から変復調方式を比較検討する。
(2)長距離通信	長距離通信を簡易な無線装置で実現可能な変調方式を比較検討する。
(3)遅延波対策	広帯域化することによる遅延波の影響を比較検討する。

# 1. 机上検討・ラボ試験

## 1-1. 各種変調方式の検討<机上検討>

### 検討結果のまとめ

机上検討の結果として、1次および2次変調方式の選定に関して以下の結論を得た。

#### ● 1次変調方式

- 4値FSK方式は、長距離通信の性能に影響を与えるPAPRは優れているが、周波数利用効率が低く、また伝送レートが低いため画像伝送を行うことは難しいと判断される。
  - 16QAM方式は、周波数利用効率、画像伝送に必要な伝送レートは優れているが、長距離通信を行うことは難しいと判断される。
  - QPSK方式は全項目に不適となる項目は無い。
- 以上より、1次変調方式としてはQPSK方式が妥当である。

変調方式	理論周波数 利用効率	伝送レート			長距離通 信(PAPR)	判定
		帯域幅100kHz	帯域幅200kHz	帯域幅300kHz		
4値FSK	0.5bps/Hz: △	50kbps	100kbps	150kbps: △	基準: ◎	△
QPSK	2.0bps/Hz: ○	200kbps	400kbps	600kbps: ○	約+3dB: ○	○
16QAM	4.0bps/Hz: ◎	400kbps	800kbps	1200kbps: ◎	約+6dB: △	△

#### ● 2次変調方式

遅延波対策に要する処理量及び送信スペクトルの狭帯域化の観点から、SCBT方式が優れており、本方式が妥当である。

# 1. 机上検討・ラボ試験

## 1-2. 帯域幅毎の特性検討<机上検討・ラボ試験>

### 検討概要

以下の検討項目について机上検討(計算機シミュレーション)による最適パラメータを抽出するとともに、計算機シミュレーションで導出したパラメータを適用した無線機にてラボ試験による伝送試験を行った。

検討項目	検討内容
(1)帯域幅	100kHz/200kHz/300kHz の帯域幅での通信品質(BER)の比較を行う。
(2)符号化率	伝送レート/通信品質(BER)/距離の観点で評価する。
(3)フレーム長	実機試験で採用するフレーム長を検討する。
(4)変調方式	変調方式毎の通信品質と電力効率(PAPR特性)を比較する。
(5)環境	①机上検討: 計算機シミュレーションでC/N対BER特性を評価する。
	②ラボ試験: 試験機によるC/N対BER特性を評価する。

# 1. 机上検討・ラボ試験

## 1-2. 帯域幅毎の特性検討〈机上検討・ラボ試験〉

### 検討結果のまとめ

机上検討及びラボ試験結果より以下の結論を得た。

- 1次変調方式

各変調方式の中から、広域テレメーターとして要求される通信距離の確保を第一とし、画像伝送 において相応の伝送速度が得られ、且つ送信機の電力増幅部への影響が少ないQPSK方式の採用が妥当である。

- 2次変調方式

遅延波対策に要する処理量、送信スペクトルの狭帯域化の観点からSCBT方式の採用が妥当である。

# 1. 机上検討・ラボ試験

## 1-3. 伝搬環境を模擬した検討〈机上検討・ラボ試験〉

### 検討概要

- 机上検討

QPSK方式に対してレイリーフェージング伝搬環境を模擬した計算機シミュレーションを行った。また参考として4値FSK方式についても評価した。

- ラボ試験

計算機シミュレーション結果で導き出されたパラメータを適用し、疑似伝送路を使用してQPSK方式のCNR対BER特性の測定を行った。

### 検討結果のまとめ

- 机上検討

遅延波の条件は1パス(遅延波無し)、2パス(10us遅延、-20dB)、3パス(10us・20us遅延、-20dB・-40dB)とした。

QPSK方式、4値FSK方式ともにCNRが低い環境では伝搬環境に依らず同等の性能を示し、CNRが高くなると遅延波が存在している環境の方が性能が良くなる傾向を示した。

- ラボ試験

伝搬環境の条件は移動速度5km/hの1パスとした。

結果、CNR > 30dB付近まで計算機シミュレーション結果と同等の傾向を示すことが確認できた。



# 1. 机上検討・ラボ試験

## 1-4. 静止画・動画伝送の検討<ラボ試験>

### 検討概要

#### ● テレメーター機能試験

信号電力対雑音比(CNR)に対する画像伝送主観評価を行った。  
主観評価の項目としては、ブロックノイズ、ノイズ範囲、物体の識別、グレイアウト、再生アプリ停止の5項目とした。

※動画フォーマットとしては、H.264フォーマットを用い、動画品質を鑑み、設定値を下記とした。

動画フォーマットH.264	ビットレート	動画サイズ	フレームレート	I-Frame間隔
設定値	120kbps	320×240	5fps	200ms

※無線機においては、QPSK方式に対して、データ伝送を行うため、パケット化(プリアンブル、パイロット挿入)、誤り訂正(畳込み符号:拘束長K=7、符号化率R=1/2)を導入し、実使用周波数帯域幅は、99%電力帯域が300kHzに収まるよう275kHzと設定した。

#### ● テレコントロール機能試験

子局に3台のカメラを接続し、親局側からのテレコントロールコマンドにより、3台のカメラ画像の切替が行えることを検証した。テレコントロールコマンド伝送は、テレコントロールコマンドをテレメーター伝送において連送し、多数決判定を行った。

# 1. 机上検討・ラボ試験

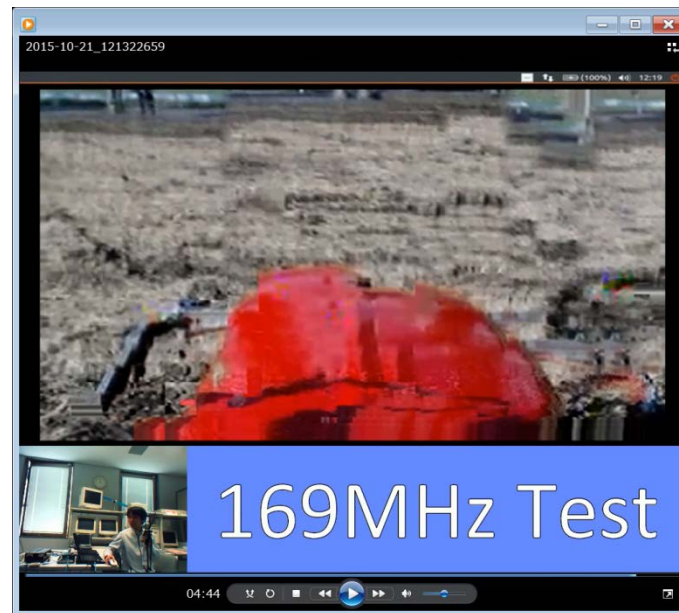
## 1-4. 静止画・動画伝送の検討<ラボ試験>

### 検討結果のまとめ

静止画・動画伝送の試験の結果、以下の結論を得た。

- テレメータ機能試験

CNR=7dB以上において、BER誤り率  $2 \times 10^{-5}$ 以下の性能が得られる場合、途切れの無い高品質な動画伝送が可能であることが分かった。



実際の伝送画面イメージ（右図ではブロックノイズ発生）

- テレコントロール機能試験

動画伝送の視聴可能限界CNRにおいて、テレコントロールコマンドの送達率は、100%となり、動画伝送の切替において必要なコマンド伝送が行えることが確認できた。

## 2. フィールド試験(速報)

### 検討概要

#### ● 試験機材

本検証では、複数の変復調方式を用いて特性評価を比較するため、複数の変復調方式の実装が容易なソフトウェア無線機を用いた。

今回使用するソフトウェア無線機および空中線は、以下の諸元にて、特定実験局の免許の交付を受けた。

無線送受信装置(中継局)

仕様	諸元
送信出力	10dBm
周波数	169.200MHz
占有帯域幅	300kHz
変調方式	QPSKを採用
空中線利得	2.12 dBi

無線送受信装置(親局、子局)

仕様	諸元
送信出力	7dBm
周波数	169.200MHz
占有帯域幅	300kHz
変調方式	QPSKを採用
空中線利得	5.12 dBi

## 2. フィールド試験(速報)

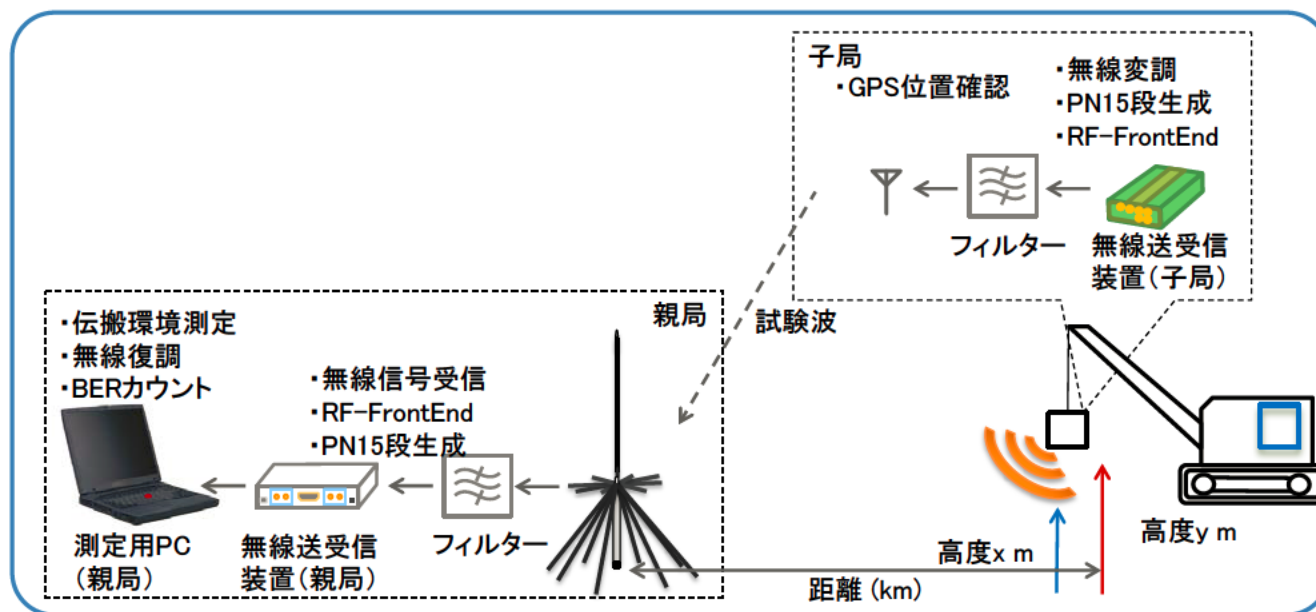
### 検討概要

#### ● 地上での電波伝搬特性

親局無線装置と子局無線装置間の離隔距離に対する伝搬環境特性を測定。距離をパラメータとし、受信信号強度、遅延プロファイルを測定し、同地点におけるBERを測定した。最大離隔距離は5kmとし、約1kmごとの測定とした。

#### ● 上空からの電波伝搬測定

無線機の空中線高をクレーン(高所作業車)を使用して伝搬環境特性を測定。高所作業車は、22mの高さまで上昇させるものを使用し、5mごとに測定を行った。距離をパラメータとし、受信信号強度、遅延プロファイルを測定し、同地点におけるBERを測定した。最大離隔距離は5kmとし、段階的に測定した。

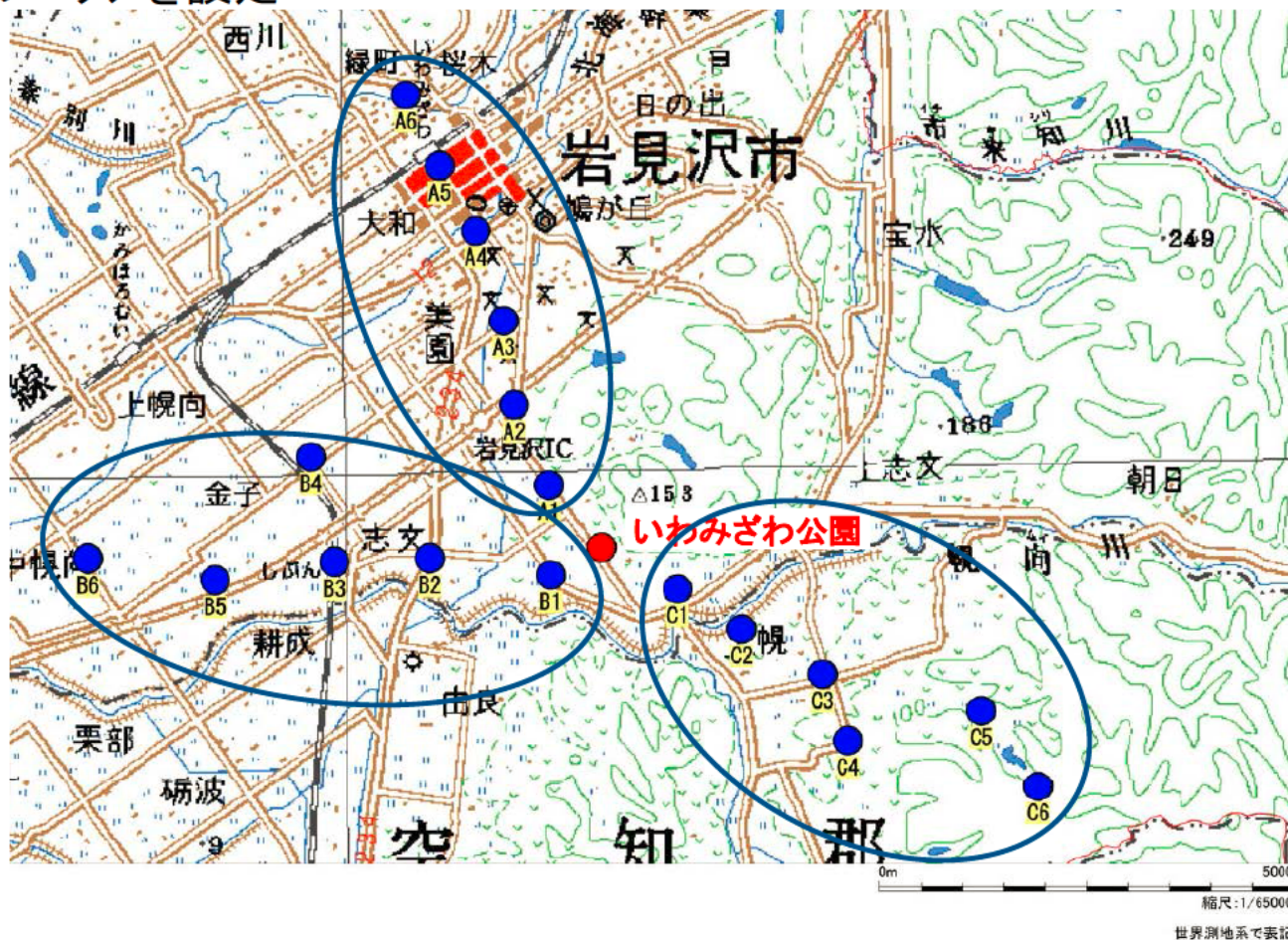


## 2. フィールド試験(速報)

### 検討概要

#### ● 試験エリア

岩見沢市のいわみざわ公園を起点とし、岩見沢市市街のある郊外型のエリアA、開放型見通し環境のあるエリアB、山林等の遅延波環境のあるエリアC、の3つのエリアを設定



## 2. フィールド試験(速報)

### 検討結果(速報)

- 地上での電波伝搬特性

無線機の空中線高を2mの高さとし、1km～5kmの各地点におけるBER特性の測定を行った。各ポイントにおけるQPSK方式でのBER特性は以下の値となった。

測定ポイント	距離	空中線高	BER測定値	
			FECなし	FECあり
B1	0.70km	2m	$9.6 \times 10^{-5}$	エラーフリー
B2	2.08km	2m	測定不可	測定不可
測定ポイント	距離	空中線高	BER測定値	
			FECなし	FECあり
C1	1.05km	2m	$3.4 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-6}$
C2	1.96km	2m	$1.0 \times 10^{-4}$	エラーフリー
C3	3.11km	2m	$1.6 \times 10^{-2}$	$7.9 \times 10^{-5}$
C4	3.78km	2m	測定不可	測定不可

## 2. フィールド試験(速報)

### 検討結果(速報)

#### ● 上空からの電波伝搬測定

無線機の空中線高を22mの高さとし、1km～5kmの各地点におけるBER特性の測定を行った。各ポイントにおけるQPSK方式でのBER特性は以下の値となった。

測定ポイント	距離	空中線高	BER測定値	
			FECなし	FECあり
B1	0.70km	22m	$4.2 \times 10^{-7}$	エラーフリー
B2	2.08km	22m	$3.2 \times 10^{-6}$	エラーフリー
B3	3.23km	22m	$2.1 \times 10^{-2}$	$5.8 \times 10^{-4}$
B4	3.67km	22m	$2.2 \times 10^{-4}$	エラーフリー
B5	4.69km	22m	$1.6 \times 10^{-1}$	$1.7 \times 10^{-1}$

測定ポイント	距離	空中線高	BER測定値	
			FECなし	FECあり
C1	1.05km	22m	$3.7 \times 10^{-7}$	エラーフリー
C2	1.96km	22m	$7.4 \times 10^{-5}$	エラーフリー
C3	3.11km	22m	$1.6 \times 10^{-5}$	$6.3 \times 10^{-7}$
C4	3.78km	22m	$4.2 \times 10^{-2}$	$8.8 \times 10^{-3}$
C5	5.18km	22m	$1.3 \times 10^{-1}$	$1.3 \times 10^{-1}$