

災害対応ロボット・機器向け 通信システムの技術的条件

国際電気通信基礎技術研究所(ATR)

想定する災害対応用ロボット・機器向け通信システム

◆ 検討背景

石油化学コンビナート等で災害が発生した場合、現場での救助活動ではロボットや機器を投入し、遠隔操作により現場内の映像、音、センサー情報等を、安全かつ確実に取得するための安定した通信システムが必要である。現在これらの遠隔操作は2.4GHz対や5GHz帯等の周波数が利用されているが、建屋内部が入り組んでいる場合、操作の途中で電波が届かなくなるといった課題がある。このため、地上波デジタルテレビジョン放送用周波数(470～710MHz)をはじめ、VHF帯及びUHF帯のホワイトスペースを利用した通信システムの実現に対する期待が高まっている。これを踏まえ、ホワイトスペースを使用する災害対応ロボット・機器向け通信システムの技術条件を検討する。

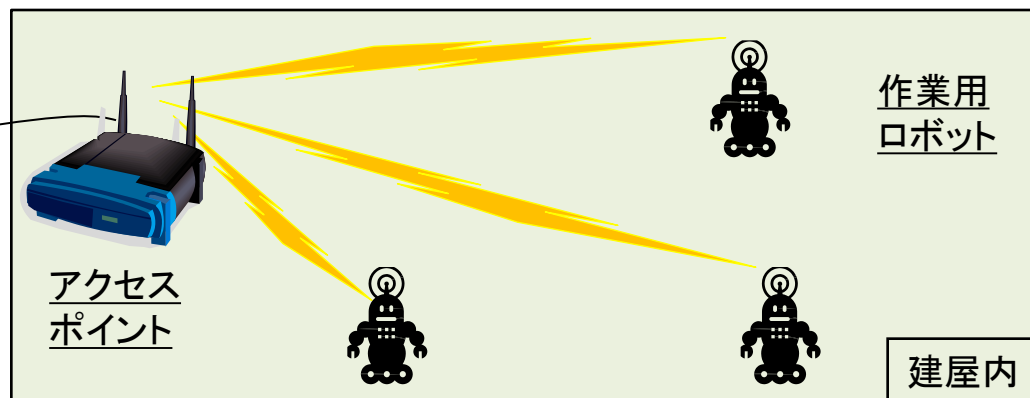
◆ システムイメージ(一例)

作業制御用端末



移動・動作制御

音声・画像
・センシングデータ



◆ 災害対応ロボット・機器向け(無線)通信システムの要件

- 遠隔移動制御の通信断を防ぐための高信頼性
- 画像等の大容量データを低遅延に伝送するため高速伝送
- **ロボット・機器の高度化に伴う所要通信容量の増加に対応するための将来的な拡張性・柔軟性**

(高度化例)

- 複数ロボット同時動作による作業の効率化。連携動作による信頼性の向上。
- データの大容量化(画像の高品質化、センシングデータの多様化、作業動作の高度化)

災害対応ロボット・機器向け通信システムの技術的条件案

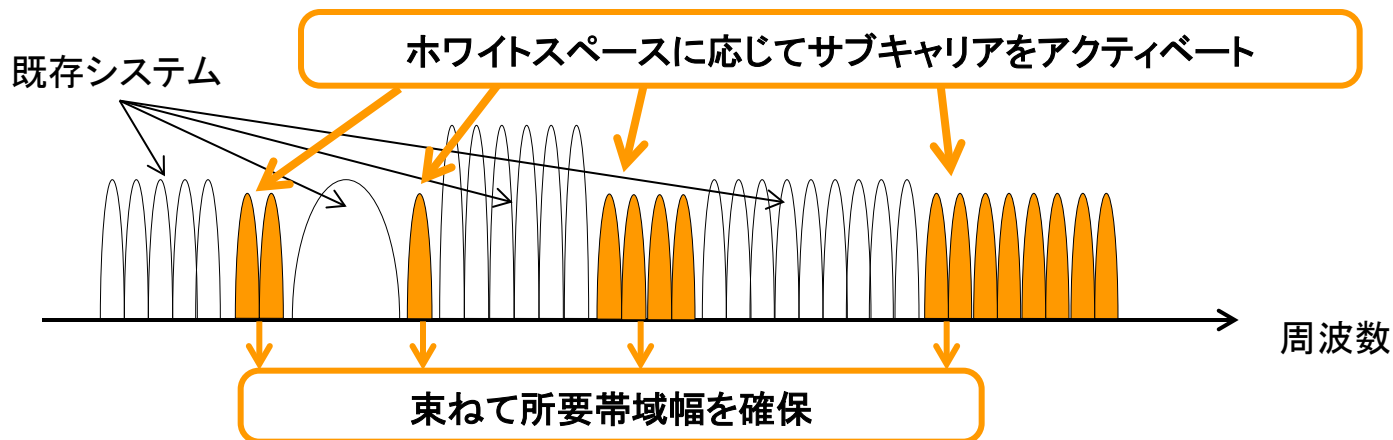
◆ 無線設備の技術的条件

| 技術的条件 | | 根拠 |
|-------------|--------------------------------------|--|
| 使用周波数 | 170MHz～1.0GHz | 建屋内の不感エリアを低減するためには電波遮断影響を受けにくい低周波数帯を利用することが重要である。また、マルチパスにより電波強度が低下するスポットが存在するため、広帯域伝送を行い周波数ダイバーシティ効果を得ることで十分な信頼性を確保する必要がある。 |
| 多重化方式 | NC-OFDM (Non Contiguous OFDM) | マルチパスによる周波数選択性フェージング影響下においても伝送特性を確保でき、使用機器数に応じた柔軟なりソース割り当てが可能なOFDM(OFDMA)が有効である。また、被災地域のホワイトスペースに応じて柔軟に伝送帯域幅を確保するために離れた帯域を一括利用可能なNon Contiguous(非連続)型が適している。 |
| 変調方式 | BPSK、QPSK、16QAM、 64QAM(上り・下り回線) | 低レートから高レートまでの変調方式に対応し、アプリケーションのQoSおよび電波状況に応じて上り・下り独立に適応的に変更可能とすることが必要である。また、信頼性確保のため、誤り訂正符号化は必須である。 |
| 伝送帯域幅 | 5MHz以上 (1通信機器当たり) | 劣悪な電波伝搬環境においても映像データ低遅延に伝送するため、低レート伝送方式でも1Mbps程度のデータ伝送を安定して行う必要があり、1通信機器あたり5MHz以上の帯域幅を確保することが必要である。 |
| 複信方式 | TDD | 上り・下り回線双方の周波数を被災地域のホワイトスペースに合わせて設定する必要があるFDDに比べ、ネットワーク構築時の即時性に優れ、また、上り・下りのフレーム長を変えることで伝送レート比を容易に変更可能なTDDが適している。 |
| 隣接チャネル漏洩電力 | ±0～3MHz:-30dB以下 ±3～9MHz:-72.6dB以下 | 470～710MHzでは、地上波デジタルテレビジョン放送用周波数のホワイトスペース利用向けの送信スペクトラムマスク範囲内で規定。(占有周波数の両端から3/9 MHz離れた周波数での減衰量で記載) |
| その他 必須機能 | スペクトラムセンシング | 空き周波数帯を正確に把握し、ネットワーク運用期間中にライフラインとなりうる別の既存通信システムを保護する観点から、当該システム運用時の必須機能である。ただし、センシング機能およびセンシングデータ伝送機能のみを有する別の通信機器を併用しても良い。 |

ホワイトスペース利用イメージとNC-OFDM 伝送技術

◆ホワイトスペース: 地域・時間的に異なる空き周波数

- 全ての地域(被災地となり得る地域)で通信帯域を連続した一周波数で確保することが困難
- 被災地域の空き周波数に応じて柔軟にできるだけ多くの通信帯域を確保することが将来的には求められる
- **NC-OFDM伝送**: 狭帯域のOFDMサブキャリアを広帯域に渡って配置し、一括して利用することで伝送帯域を確保



◆NC-OFDM伝送技術の利点

□ 周波数利用の柔軟性

- 地上波デジタルテレビ向け周波数(470~710MHz)等の連続した帯域のホワイトスペースも包含して利用可能
- 連続した広帯域のホワイトスペースを確保できない場合においても、複数の狭帯域ホワイトスペースを一括して使用することで、所要伝送帯域幅の広い通信システムを収容可能
- 被災地によって異なるホワイトスペースに柔軟に対応可能

□ 高信頼性

- OFDMをベースとしているため、マルチパスへの耐性・リソース割り当ての柔軟性に優れる
- 広帯域に跨って伝送帯域を確保することにより高い周波数ダイバーシティ効果を得ることができ、マルチパス影響により特定の周波数帯で電波強度が低下する不感スポットにおいても信頼性を維持可能

✓ 高度化に向けた取り組み(電波資源拡大のための研究開発「広帯域離散OFDM技術の研究開発」の枠組みで実施中)

- ガードバンド幅の低減による高効率化
- 被干渉影響の低減による信頼性確保
- 広帯域無線機の簡易実装技術

使用周波数案

◆高信頼の無線通信を行う観点から不感エリアを可能な限り低減

- 建屋内での電波遮断影響の低減⇒比較的低い周波数帯を使用
- マルチパスによる周波数依存の不感スポットの低減⇒広帯域伝送で影響を回避

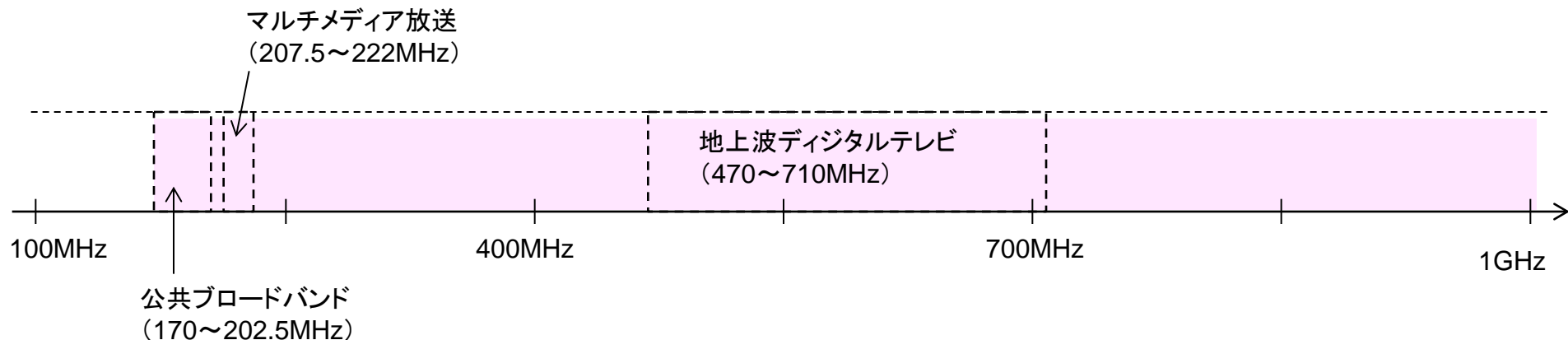
◆ホワイトスペースとして利用可能性の高い周波数範囲に無線機が対応

□候補周波数帯

- 地上波デジタルテレビ(470~710 MHz)
- 公共ブロードバンド(170~202.5 MHz)

*その他、機器の対応周波数範囲を広くとることで、地域によって異なる空き周波数を狭帯域であっても使用

▶低い周波数帯で広帯域伝送を行うことができ、ホワイトスペースを確保できる可能性が高い周波数範囲を無線機がカバー



変調方式と伝送帯域幅

◆ 変調方式

□ (Non Contiguous) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式

- 建屋内のマルチパスによる周波数選択性フェージングへの耐性
- 使用機器数に応じた柔軟なリソース割り当てが可能

□ サブキャリアの変調方式

- 電波強度の弱いスポットでの接続性の確保
- 大容量データの伝送遅延低減

⇒ 低レートから高レートまでの変調方式に対応し、アプリケーションのQoS、電波状況に応じて適応的に切り替えることが望ましい

変調方式) BPSK、QPSK、16QAM、64QAM

□ 周波数ダイバーシティ効果による信頼性確保のため誤り訂正符号化は必須

◆ 伝送帯域幅

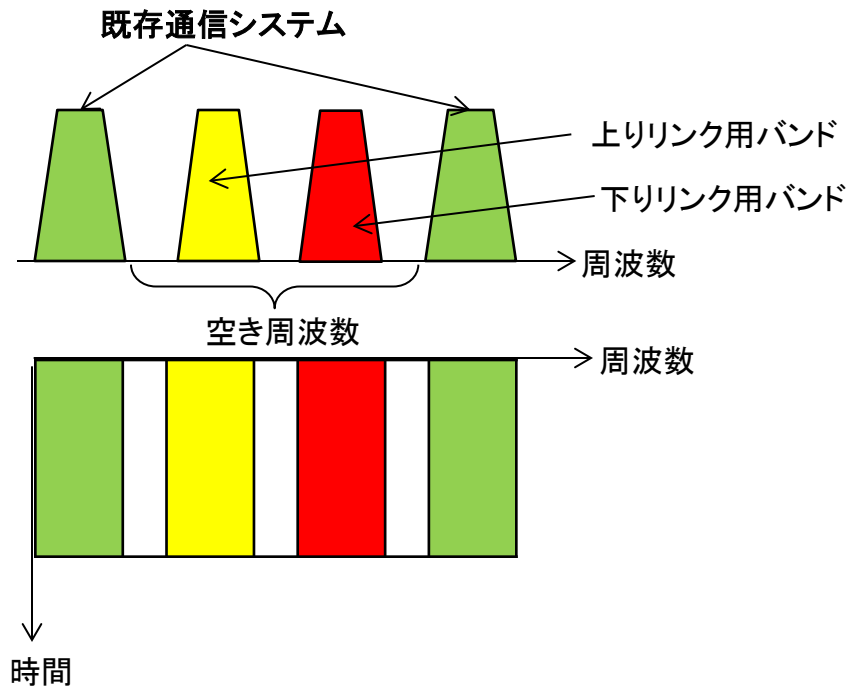
□ 電波強度が劣悪な環境下でも1Mbps程度の伝送レートを達成するため、1通信機器当たり5MHz以上の帯域幅が必要。

□ 複数の通信機器を同時動作を鑑みた場合、機器数倍の帯域幅が確保できることが望ましい。

複信方式(TDD / FDD)

FDD(Frequency Division Duplex)

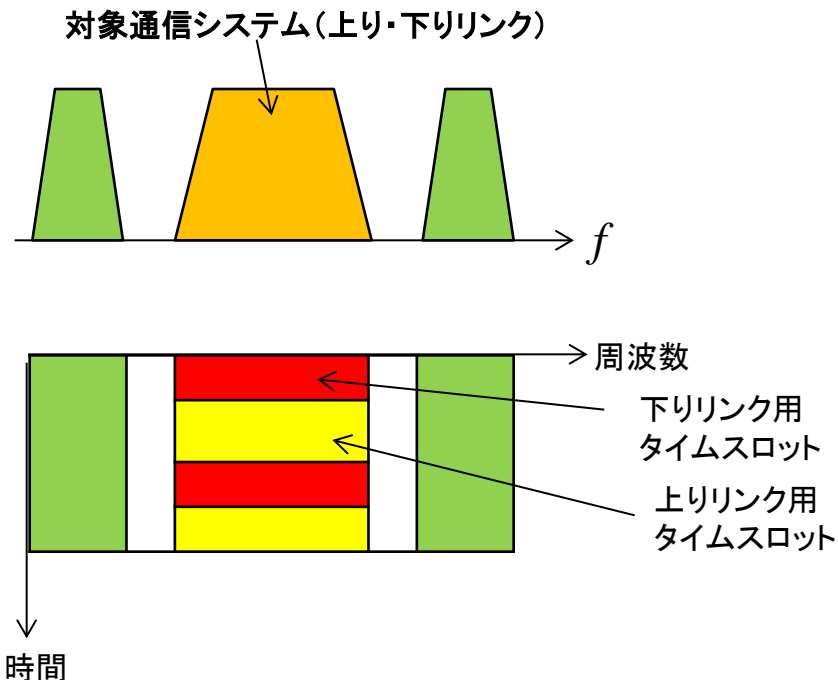
◆上り・下りリンクを周波数で分割



- ・現場のホワイトスペースに応じて、上り・下りリンク用ペアバンドを定義する必要がある
- ・受信時に送信信号の回り込みを防ぐため、使用帯域に合わせたデュプレクサが必須。

TDD(Time Division Duplex)

◆上り・下りリンクを同一周波数に收容し、時分割



- ・上り・下りリンクを同一の空き周波数に收容可能
- ・上り・下りリンク容量比をタイムスロット配分で定義可能なため、状況に応じて柔軟に切り替え可能

- ・ホワイトスペースに応じた使用周波数設定および上り・下り容量配分の柔軟性
 - ・装置実装の簡易さ
- **TDD**の方が適している