

<提案名>

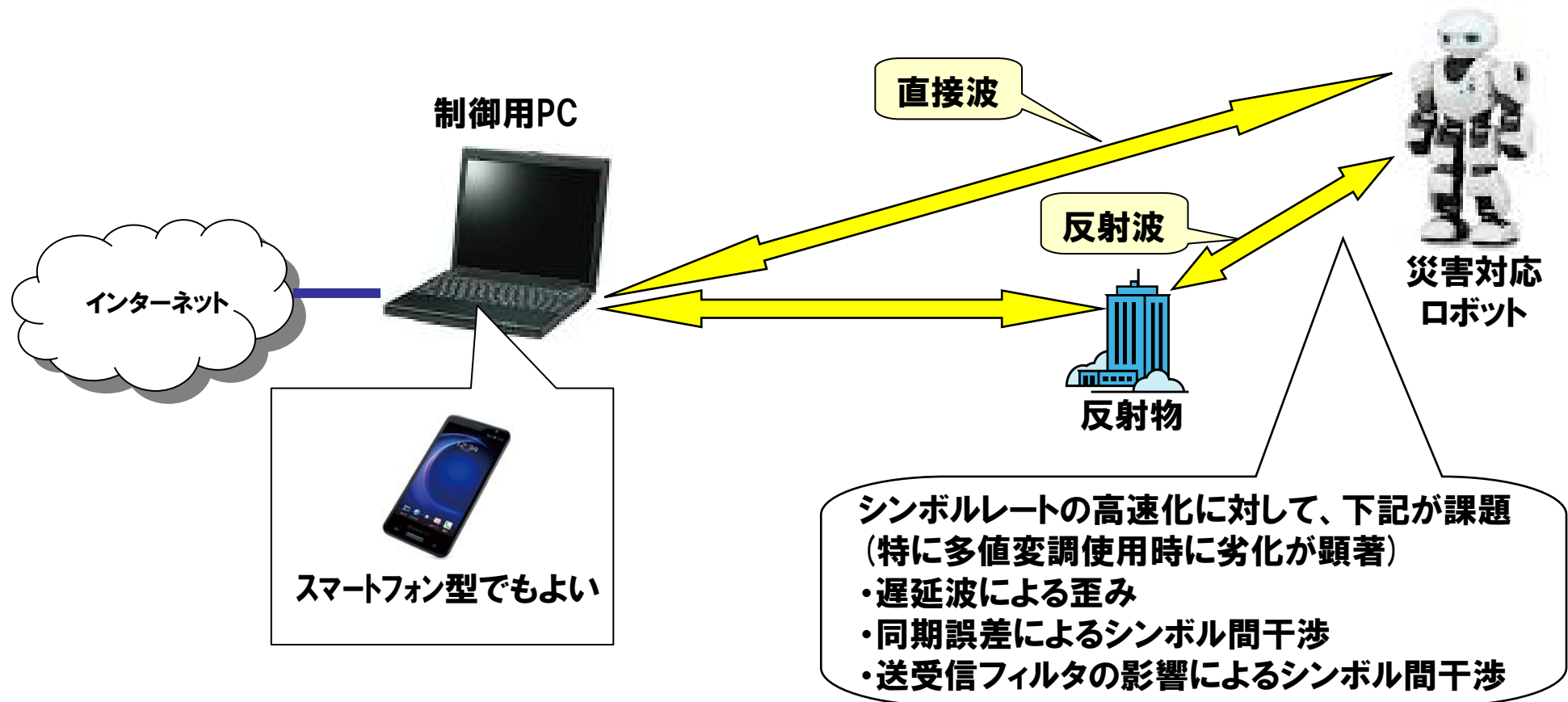
災害ロボット・機器向け通信システム

<提案者>

パナソニック モバイルコミュニケーションズ株式会社

基本通信方式に関する提案内容

基本通信方式の概要



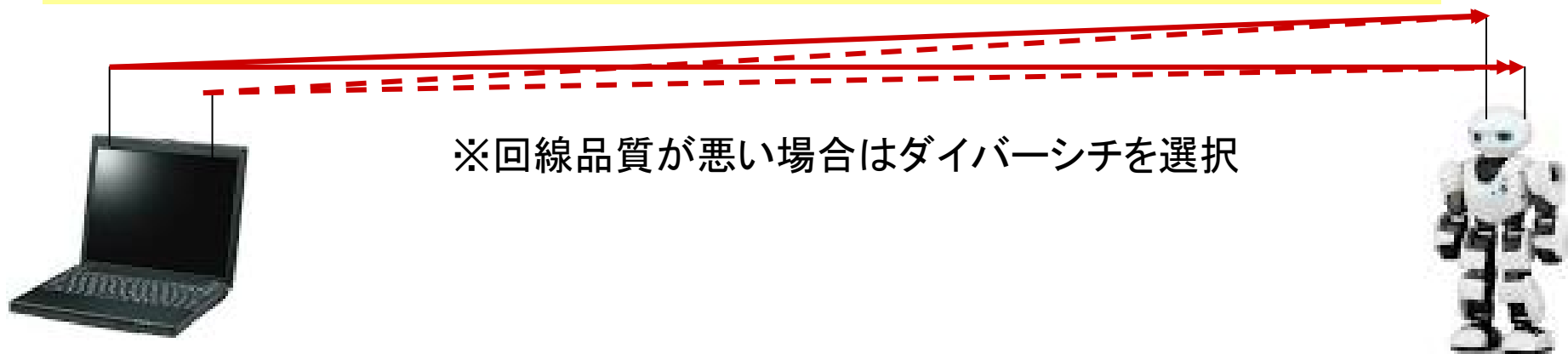
下記を考慮した場合にOFDMの導入が有利であるため、OFDMを導入

- ・遅延波による歪み対策が容易 (ガードインターバルと周波数等化で吸収可能)
- ・受信信号の劣化要因対策が容易 (ガードインターバルと周波数等化で吸収可能)
- ・急峻な帯域制限を行ったシングルキャリアとのピーク電力差分少

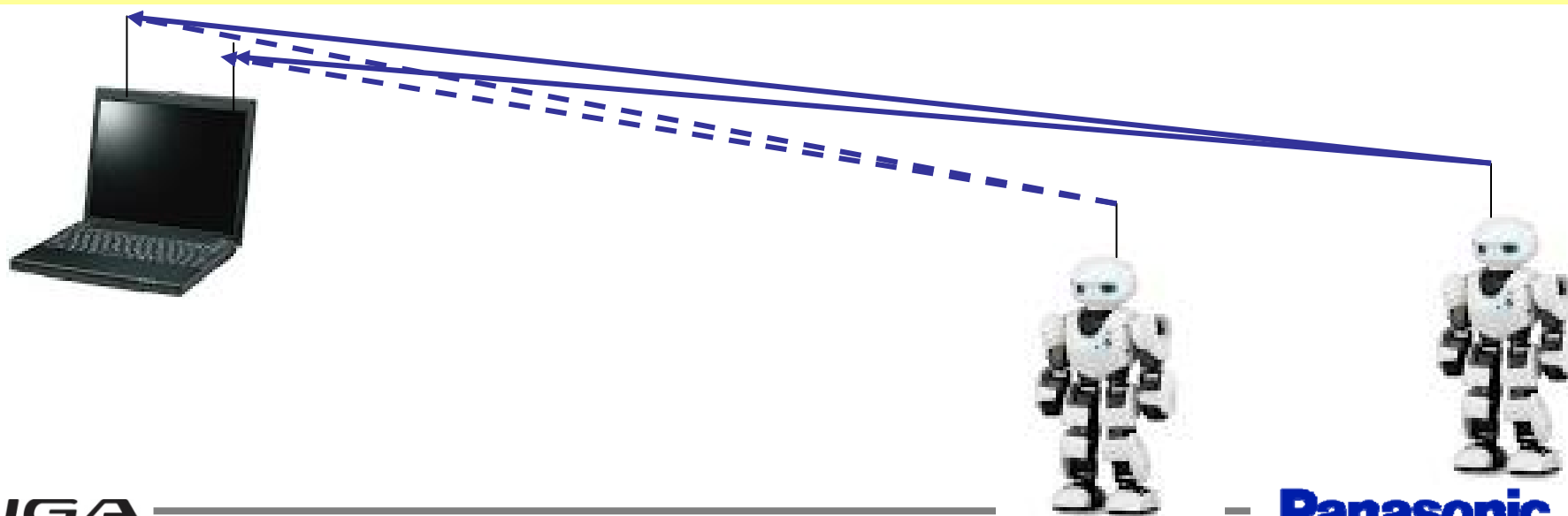
送受アンテナの想定

災害対応ロボットは2アンテナ受信/1アンテナ送信を想定

ダウンリンク(制御PC⇒災害ロボ)は、2X2MIMOまたは1X2ダイバーシチが可能



アップリンク(災害ロボ⇒制御PC)は、1X2ダイバーシチまたは2X2マルチユーザMIMOが可能



アクセス方式の想定

ホワイトスペースではペアバンドの確保が困難なため、
ダウンリンクとアップリンクの多重は、TDD(時分割多重)を想定

想定するフレームフォーマット(ULとDLの比率はデータ量に応じて任意に設定可能)

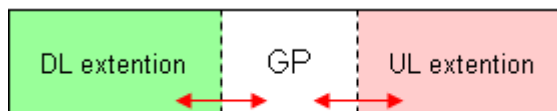


1フレーム=10ms程度(1フレームを10スロット程度に分割することで、同一周波数で複数の災害対応ロボットをとの通信が可能)

DL SF:ダウンリンクサブフレーム

UL SF:アップリンクサブフレーム

SP SF:スペシャルサブフレーム(ULとDLの重なりを避けるために必要なサブフレーム, DLとULは重ならないためULとDLの境界にのみ必要)

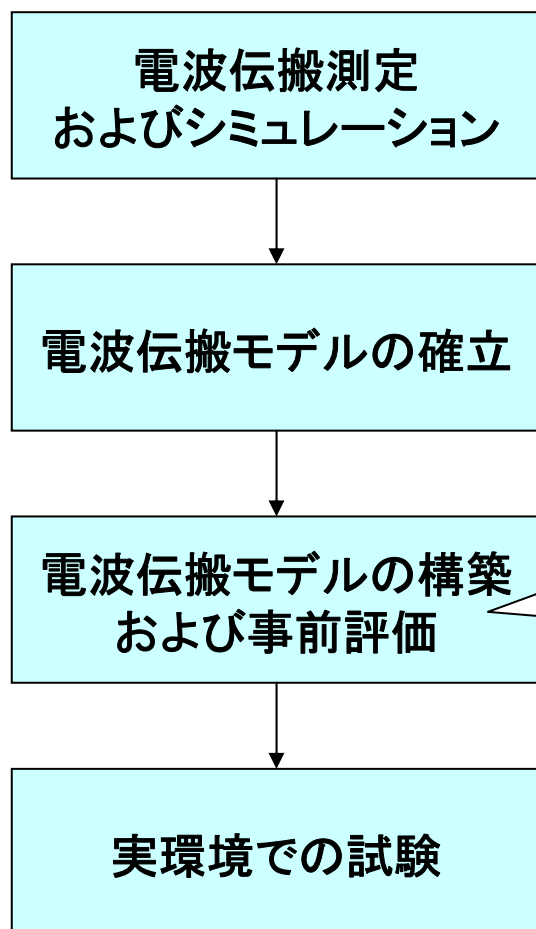


DL部分とUL部分、ガード区間(GP)は可変となっている

電波伝搬環境のモデル化に関する提案内容

電波伝搬環境のモデル化に関する提案

災害用ロボットに用いる通信システムの評価を効率的に行うためには、想定する環境に応じた電波伝搬モデルを確立し、そのモデルにおいて事前評価を実施することが望ましい。

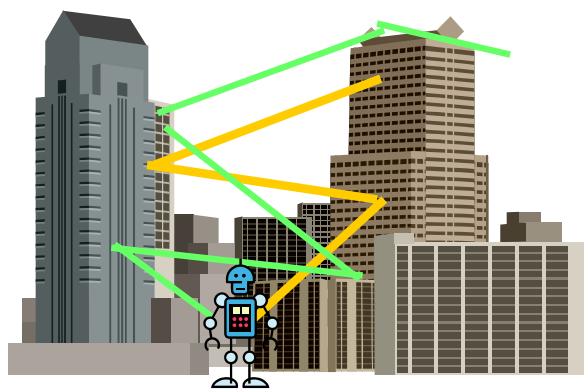


実環境試験は下記課題があるため、実環境試験前の事前評価で課題を最小化：

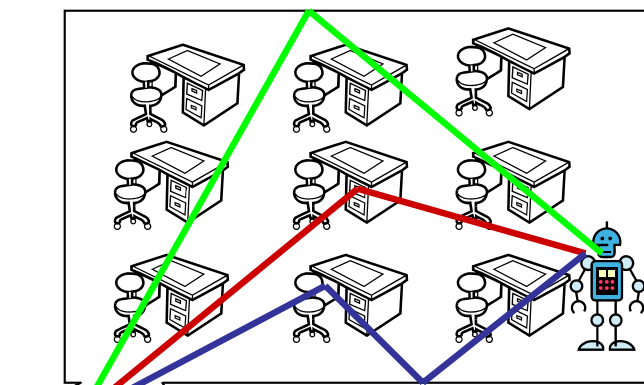
- ・試験コスト大(場所借用,機材借用等)
- ・所要時間大(移動,機材設置等)
- ・不具合の再現が困難
- ・複数方式を同条件で比較するのが困難

電波伝搬環境のモデル化に関する手法の提案(1)

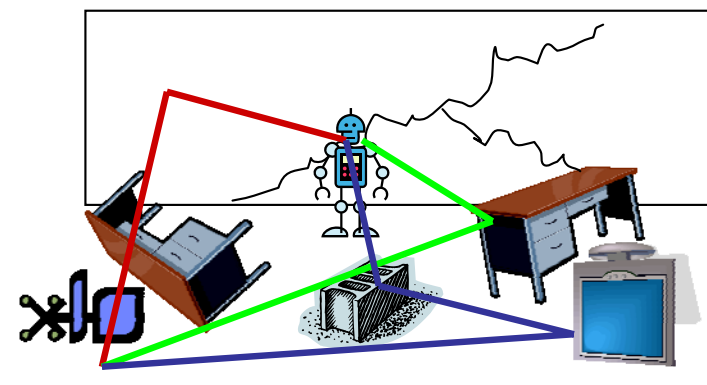
「様々な環境を模擬できる室内空間」により、電波伝搬特性を測定



屋外伝搬



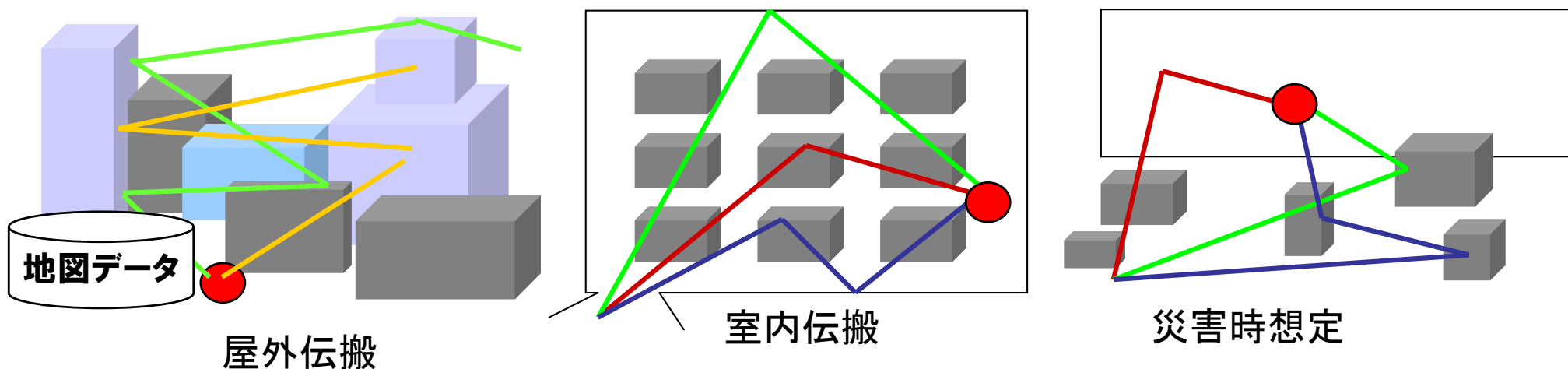
室内伝搬



災害時想定

電波伝搬環境のモデル化に関する手法の提案(2)

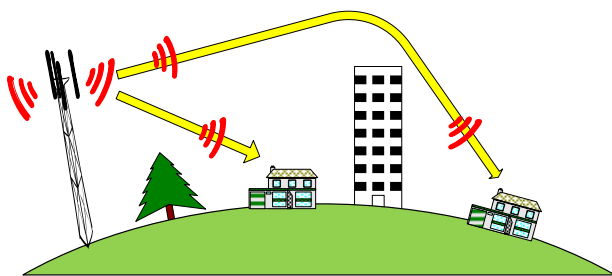
実測と並行した「**レイトレーシング**」により、電波伝搬特性を解析
※レイトレーシングは、マイクロ波帯において研究開発実績有
⇒実際に実証実験を行わなくても、電波伝搬特性の推定が可能



電波伝搬環境のモデル化に関する手法の提案(3)

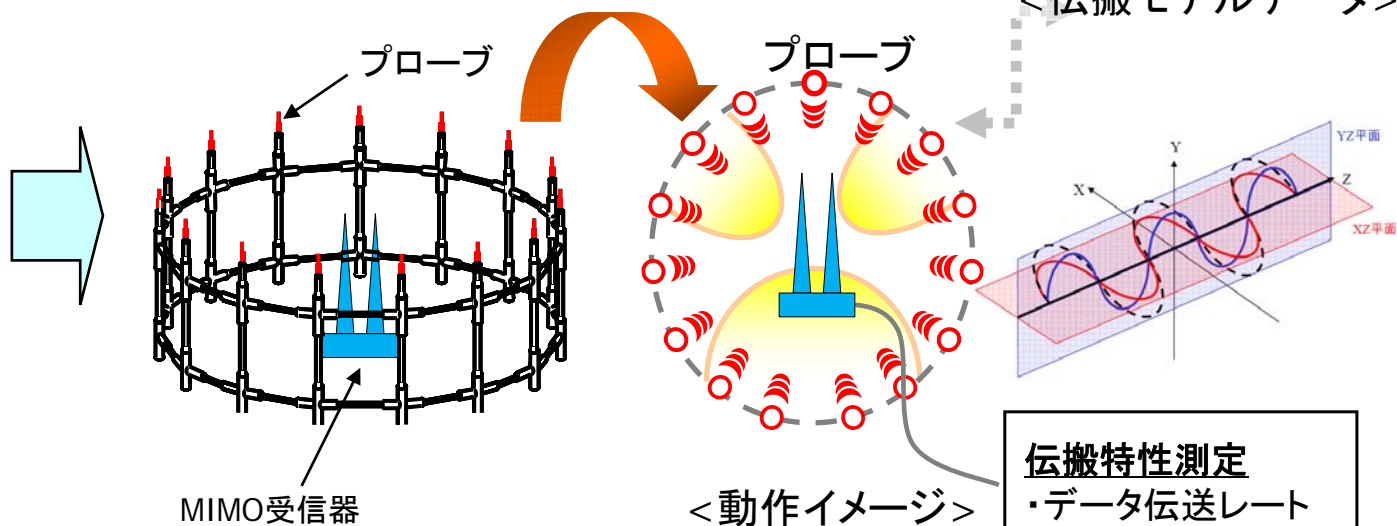
「電波暗室内の室内評価系」により、電波伝搬環境を模擬
※室内評価系は、移動通信において研究開発実績有
⇒再現性、費用や所要時間の圧縮、任意の場所での実験模擬が可能

実伝搬環境



擬似伝搬環境

1. 円周上に配置した複数アンテナ(プローブ)により受信器に到来する電波伝搬を擬似生成
2. 電波到来波分布を制御し、見通し及び見通し外環境を再現
3. アンテナ(プローブ)送信電力制御により、距離変化を再現

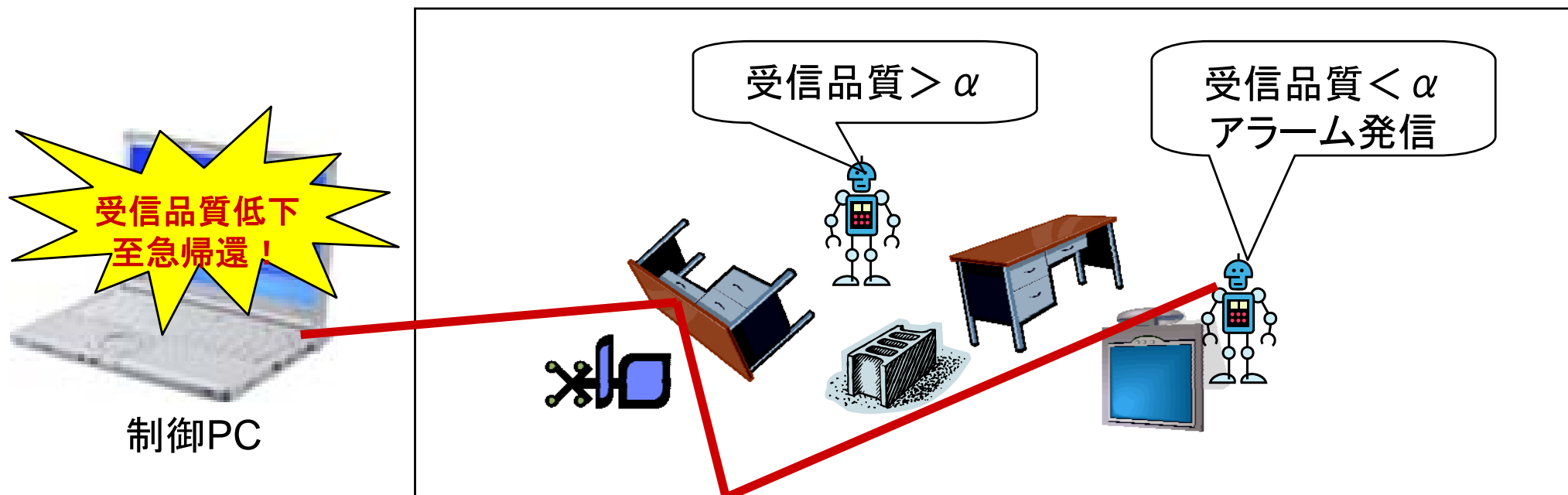


伝搬特性測定
・データ伝送レート
・データ誤り率

通信断を避けるための方式(制御信号) の提案内容

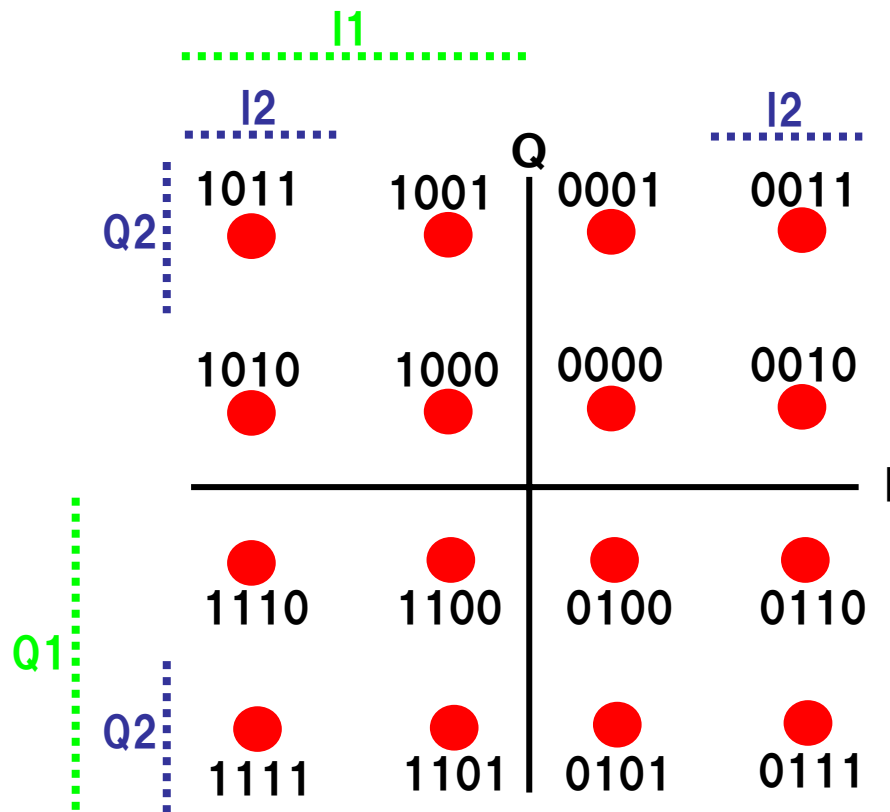
通信断を避けるための方式の提案内容(1)

「ロボット・機器が常に受信品質を監視」により、受信品質が悪い場合は、それ以上遠くへ移動しない(又は帰還させる)ようにする

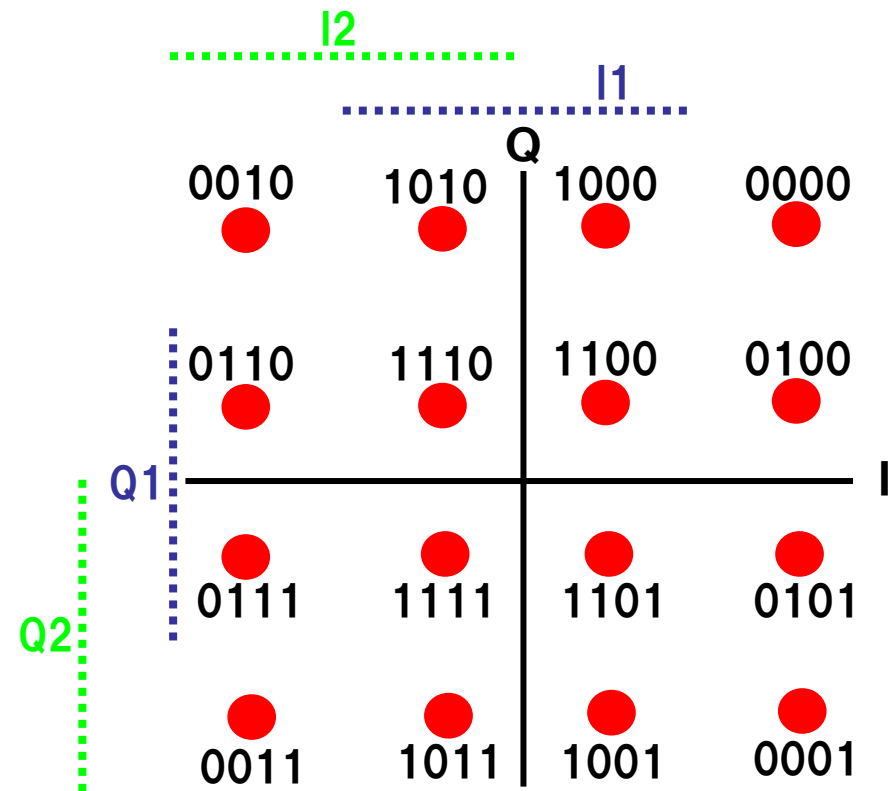


通信断を避けるための方式の提案内容(2)

「多値変調において再送時は信号配置を変更」により、
多値変調において誤り易いビットが生じることを防ぐ



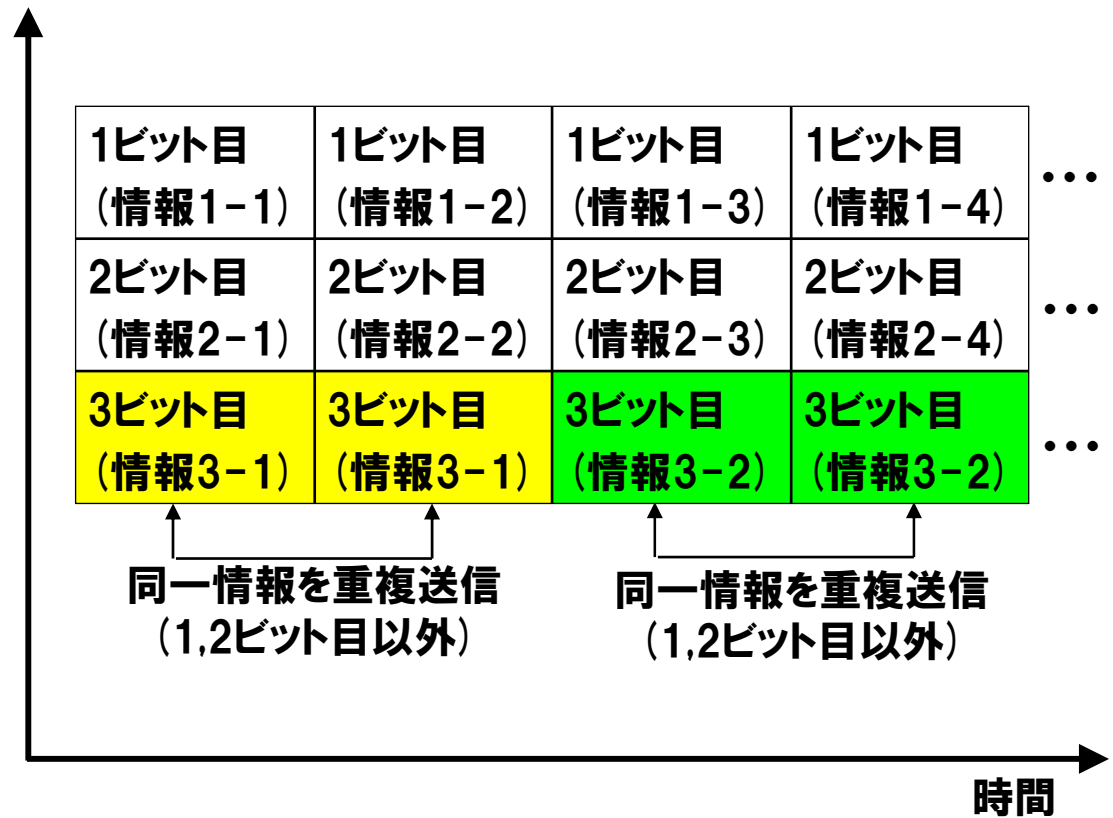
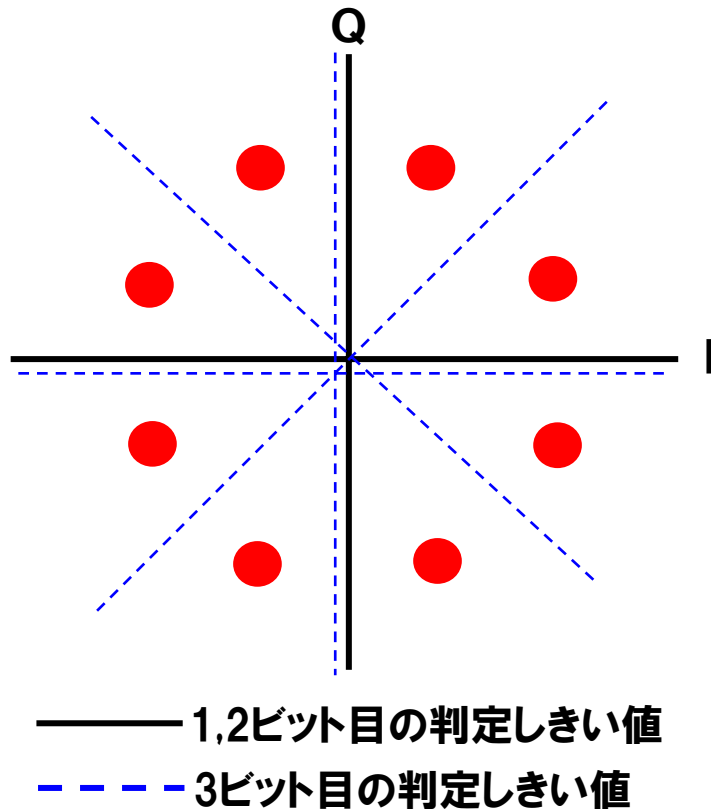
(a) 信号配置1



(b) 信号配置2

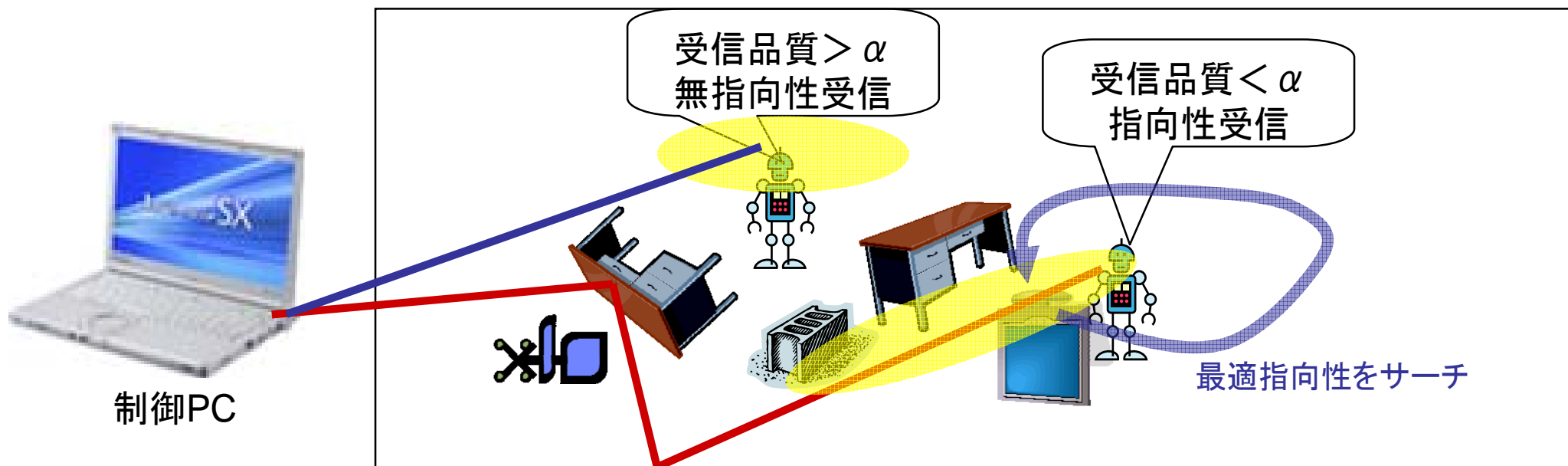
通信断を避けるための方式の提案内容(3)

「多値変調における誤りやすいビットのみ再送」により、
通信品質を劣化させずに情報レートを高速化（再送情報量を削減）



通信断を避けるための方式の提案内容(4)

「複数のアンテナの位相を電子的に制御」により、受信品質が劣化した場合は、アンテナを物理的に動かすことなく最適な受信状態にする

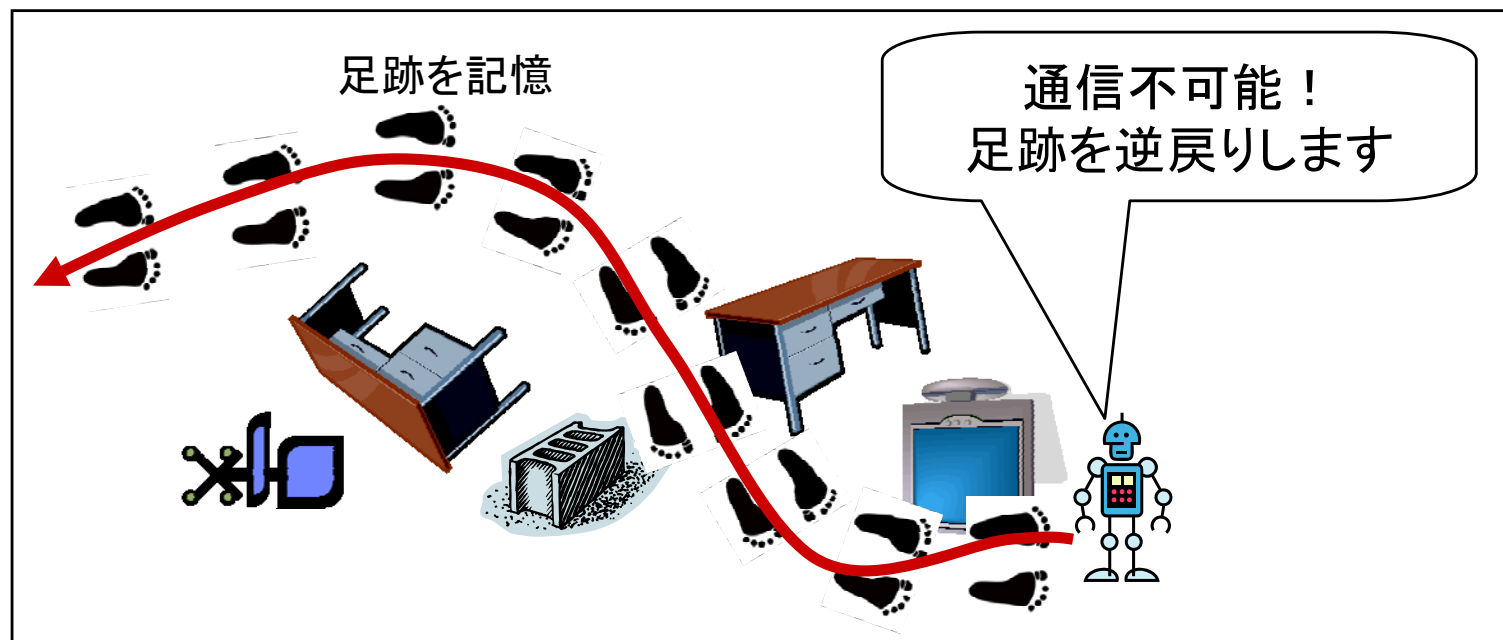


通信断を避けるための方式の提案内容(5)

「自律航法による位置推定」により、通信が途絶えた場合は、自動的に元の位置に向けて移動する
※加速度センサー等により、自律航法による位置推定可能 (P30参照)

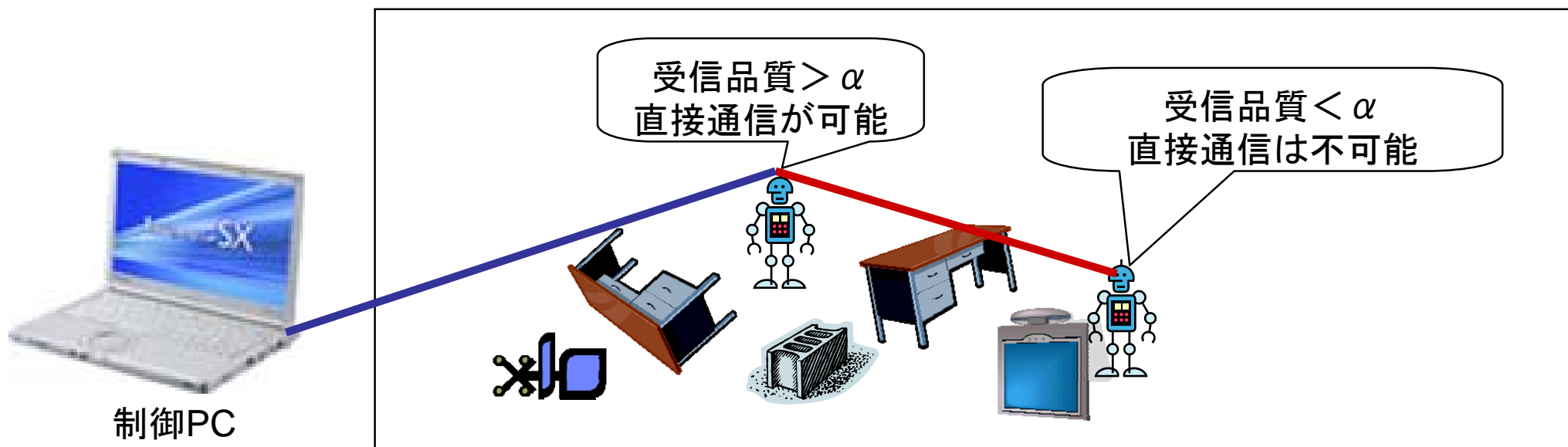


制御PC



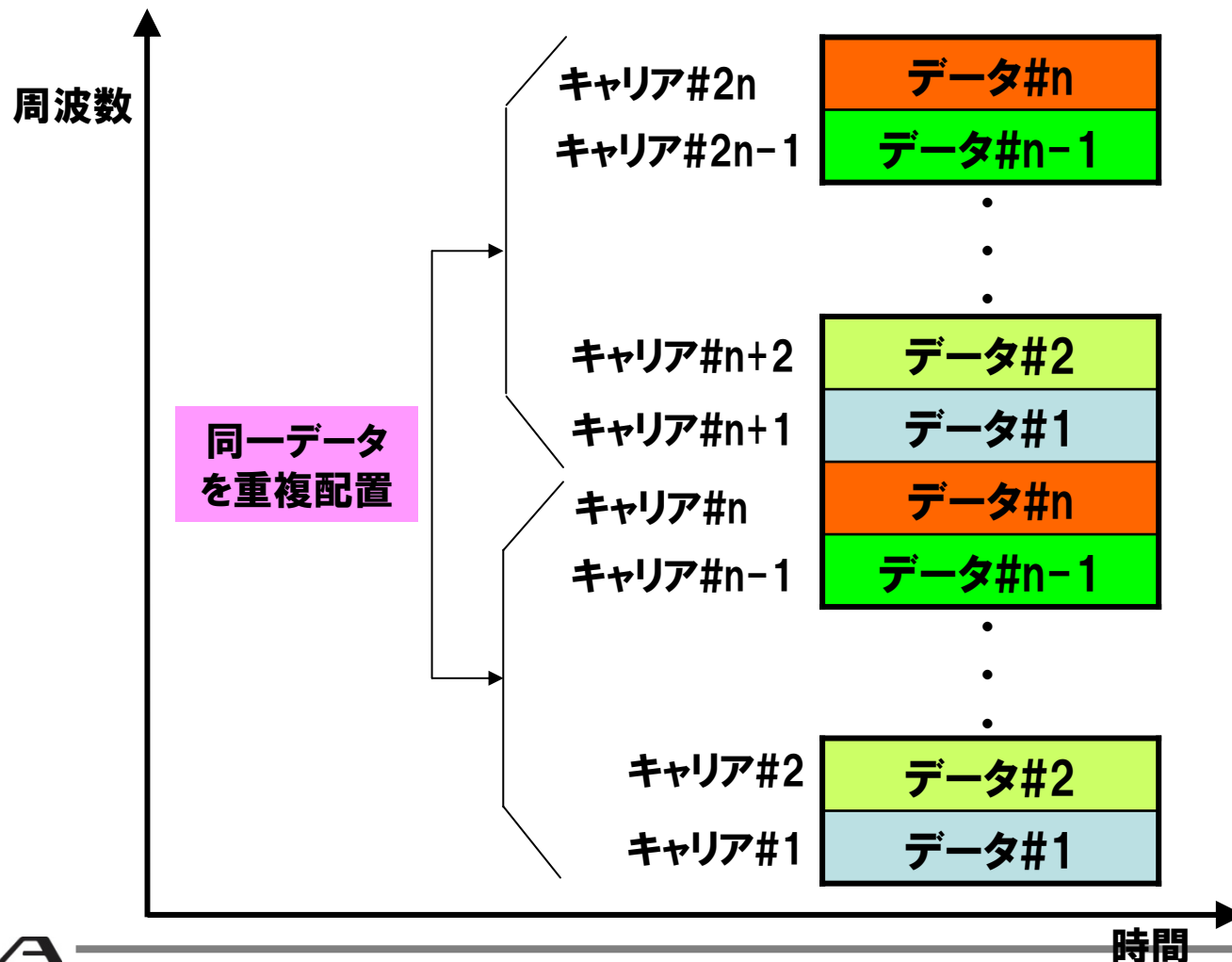
通信断を避けるための方式の提案内容(6)

「マルチホップやメッシュネットワーク技術の災害対応ロボットへの適用」により、コントロール不能となったロボット・機器を、他のロボット・機器で救助可能



通信断を避けるための方式の提案内容(7)

「同一情報を複数キャリアに重複して配置」により、変調多値数を減らした場合と比較して、同一伝送効率で通信品質を大きく改善
※本技術は、隣接チャネル干渉波が存在する場合においても有効

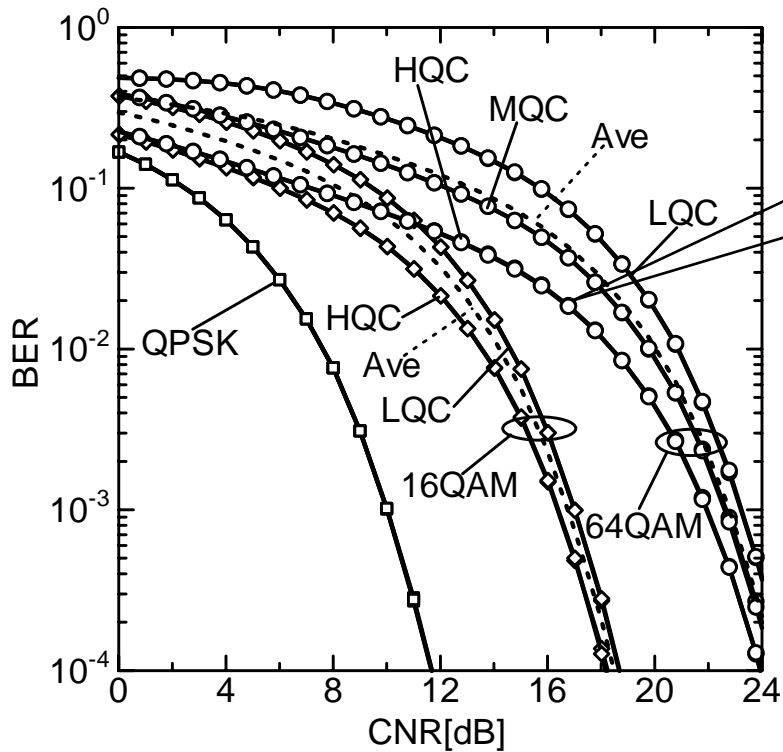


重要な情報を確実に伝送するための方式 (観測データ)の提案内容

重要なデータを確実に伝送するため方式の提案内容

「階層化ビットマッピング」により、重要信号の品質を確保しながら情報レートを高速化
※一部のデータ欠落が許容される場合（放送データ送信時等）に有効

64QAMではビット配置によって3種類の品質に分かれ、重要ビットを割り当てるHQC（高品質クラス）は、誤り訂正が有効なBER=10⁻¹付近ではQPSKに近い品質の確保が可能



受信電力が低くても、最低限必要な情報を受信可能

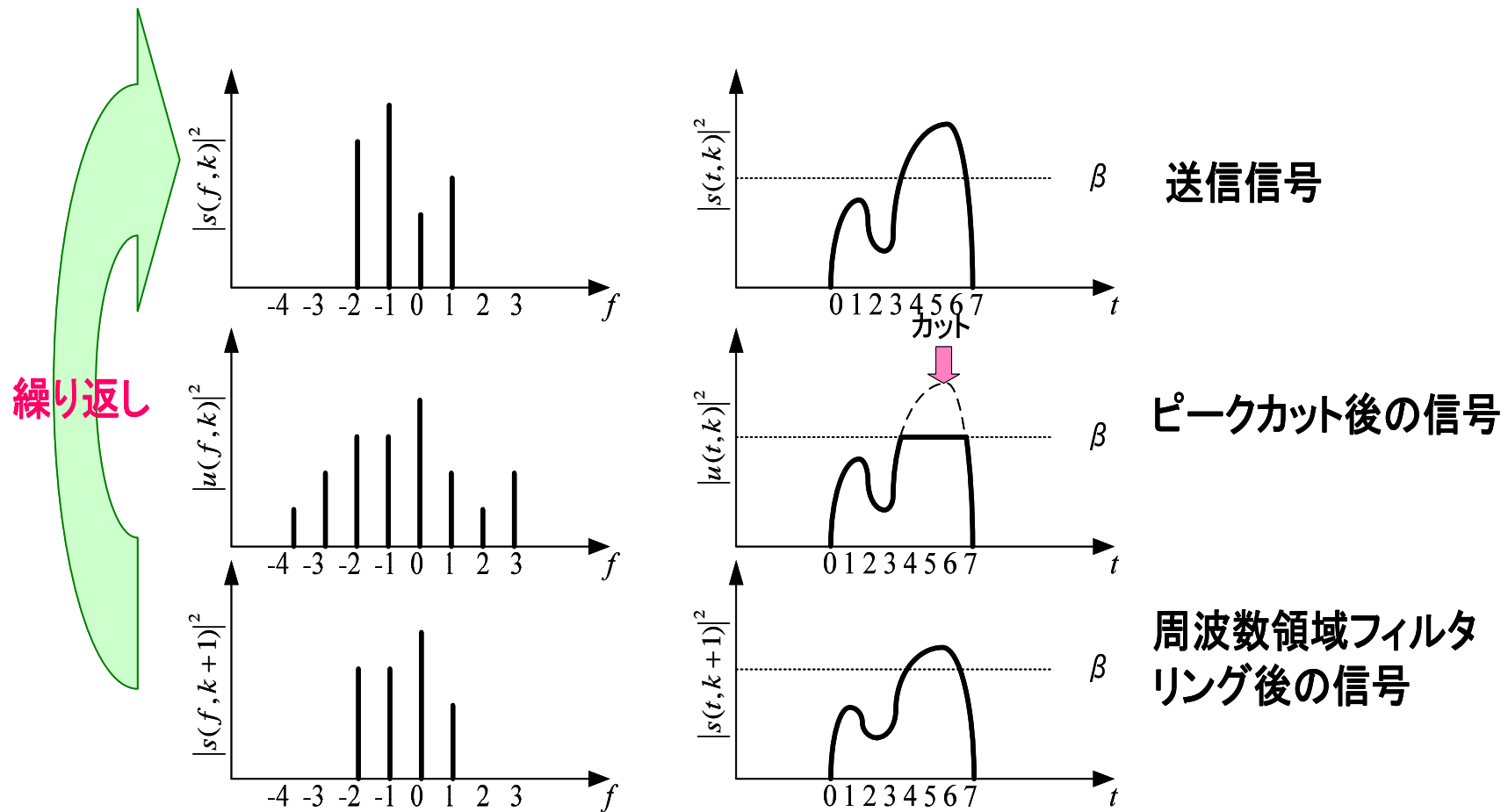
受信電力が大きければ、最低限必要な情報に加えて、更に追加情報を受信可能



低消費電力化のための方式の提案内容

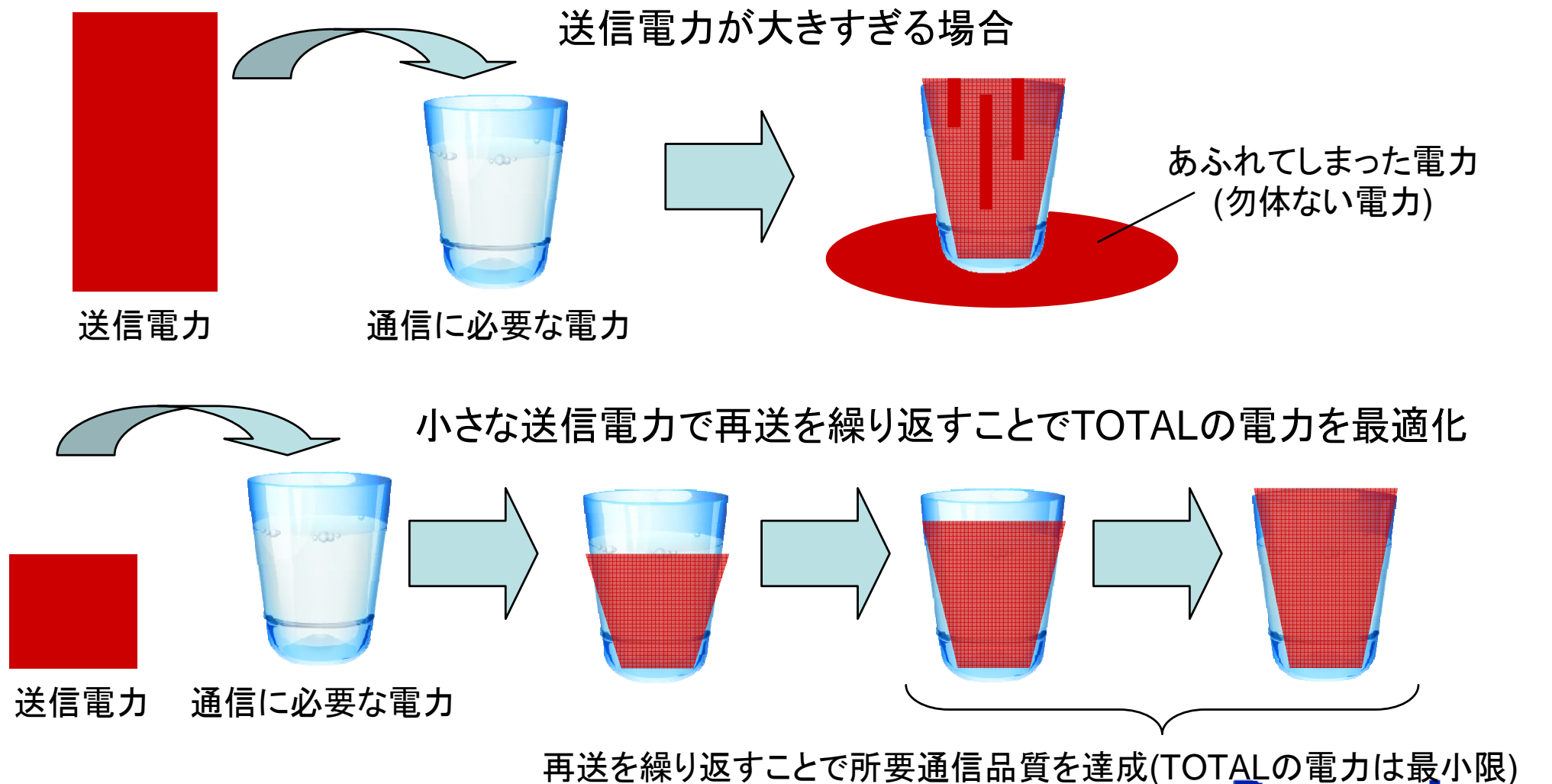
低消費電力化のための方式の提案内容(1)

「時間領域でのピークカットと周波数フィルタリングの繰り返し」により、OFDM信号のピーク電力を抑圧



低消費電力化のための方式の提案内容(2)

「不十分な通信品質で通信し、再送を繰り返す」により、送信電力を有効利用

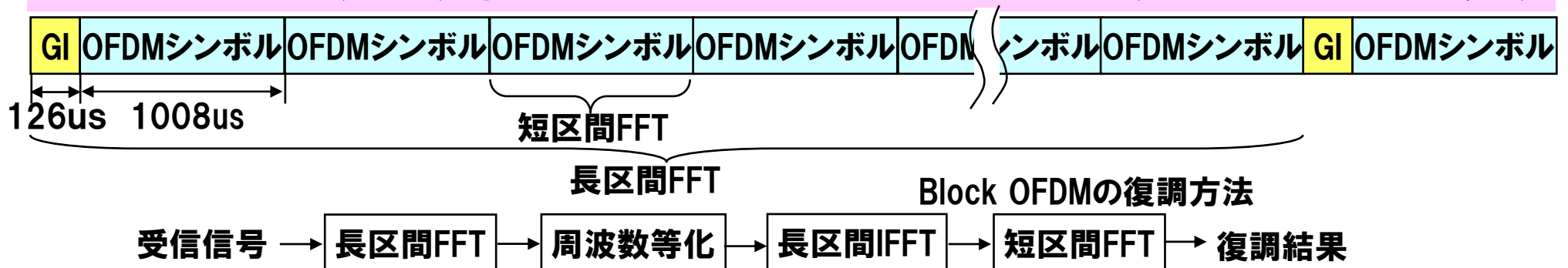


周波数有効利用のための方式の提案内容

周波数有効利用のための方式の提案内容(1)

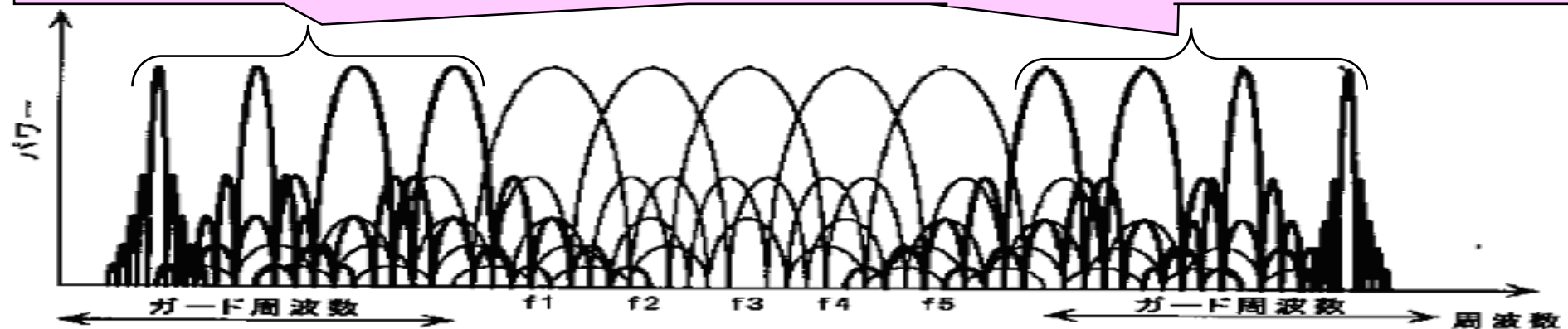
「Block OFDM」「マルチパス干渉キャンセラ」でガードインターバル (GI) を削減

Block OFDMでは、GI (11.1%) を間引くことが可能なため、オーバーヘッドは1.5% (GIが8シンボルに1つの場合)



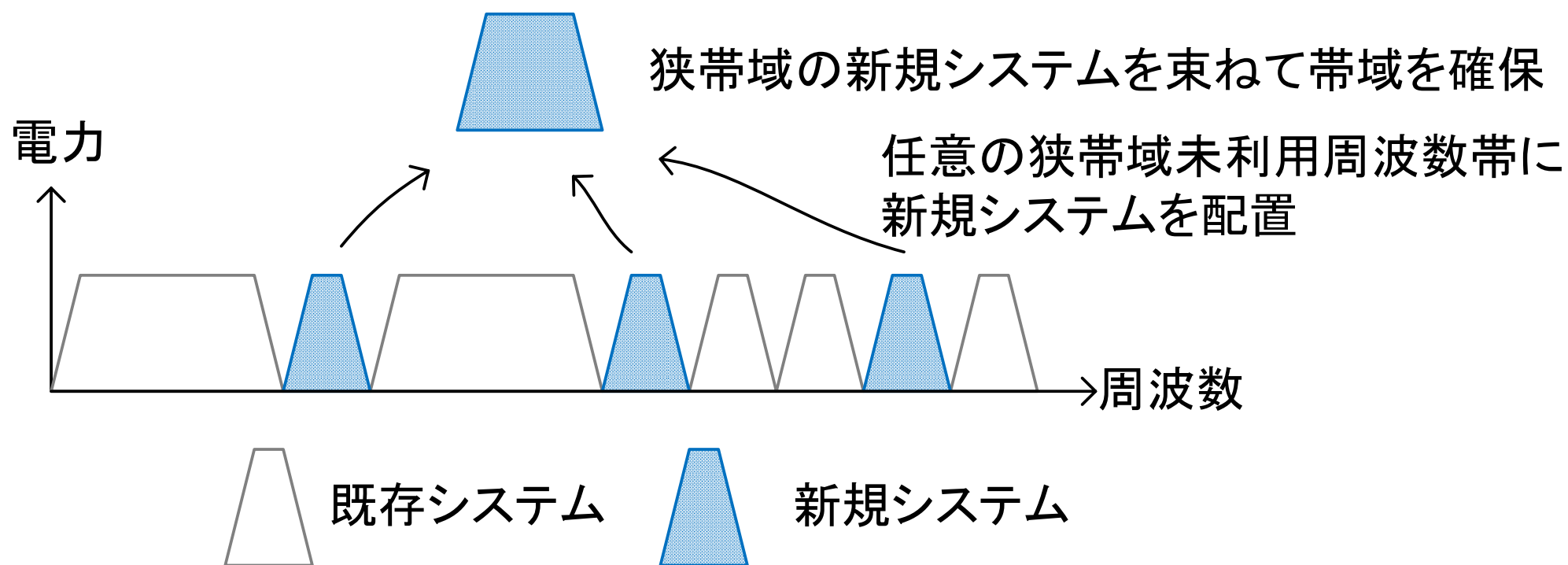
「ガード周波数への低速信号配置」により、ガード周波数を有効利用

ガード周波数 (7%) に低速レート信号を配置することで、ガード周波数を増加させずに伝送できる信号量を増加



周波数有効利用のための方式の提案内容(2)

「**狭帯域の未使用周波数を束ねて広帯域な伝送路を確保**」により、
ホワイトスペースにおいて十分な帯域確保が困難な場合に、周波数を有効利用



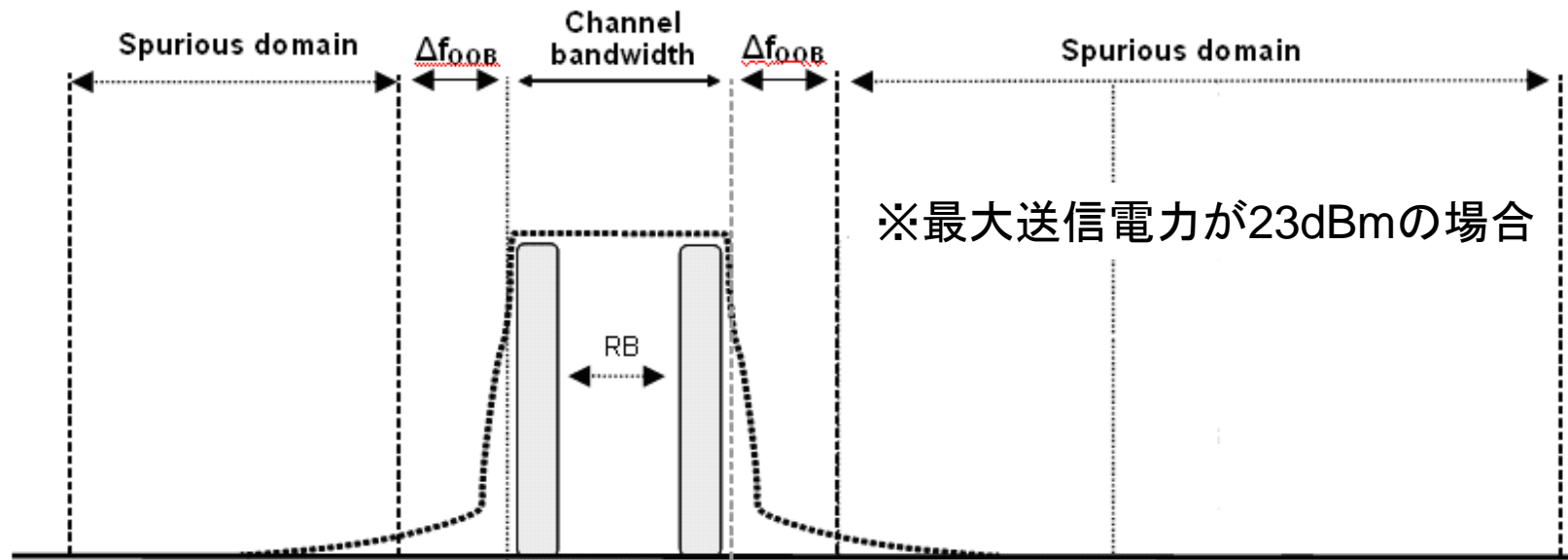
補足説明用資料

基本通信方式に関する補足説明用資料

提案システムの諸元の一例

	諸元	備考
ベースとなる規格	TD-LTE(3GPP Rel9)	TS36シリーズ
提案規格	TD-LTEに新技術を追加	提案書記載の技術
チャンネル帯域幅 (占有周波数帯幅)	可変(1.4MHz,3MHz,5MHz,10MHz, 15MHz,20MHz)	空き周波数状況およびデータ量によって選択
多元接続/複信方式	多元接続: SC-FDMA(UL),OFDMA(DL) 複信: TDD	SC-FDMAはOFDMと変復調器がほぼ同じ構成
最大送信電力	調整可能(数W程度)	TS36でのUEは23dBm
FFTサイズ	128,256,512,1024,1536,2048(最大)	チャンネル帯域幅に依存
サブキャリア間隔	15kHz	
フレーム長	10ms	
パイロットサブキャリア配置	TD-LTE準拠(MIMO用新配置も検討)	
MAC	TD-LTE準拠	
DLの比率	可変(10,20,30,40,50,60,70,80,90%)	データ量や収容する災害用ロボットの数によって選択
その他	HARQ等のTD-LTE必須項目	

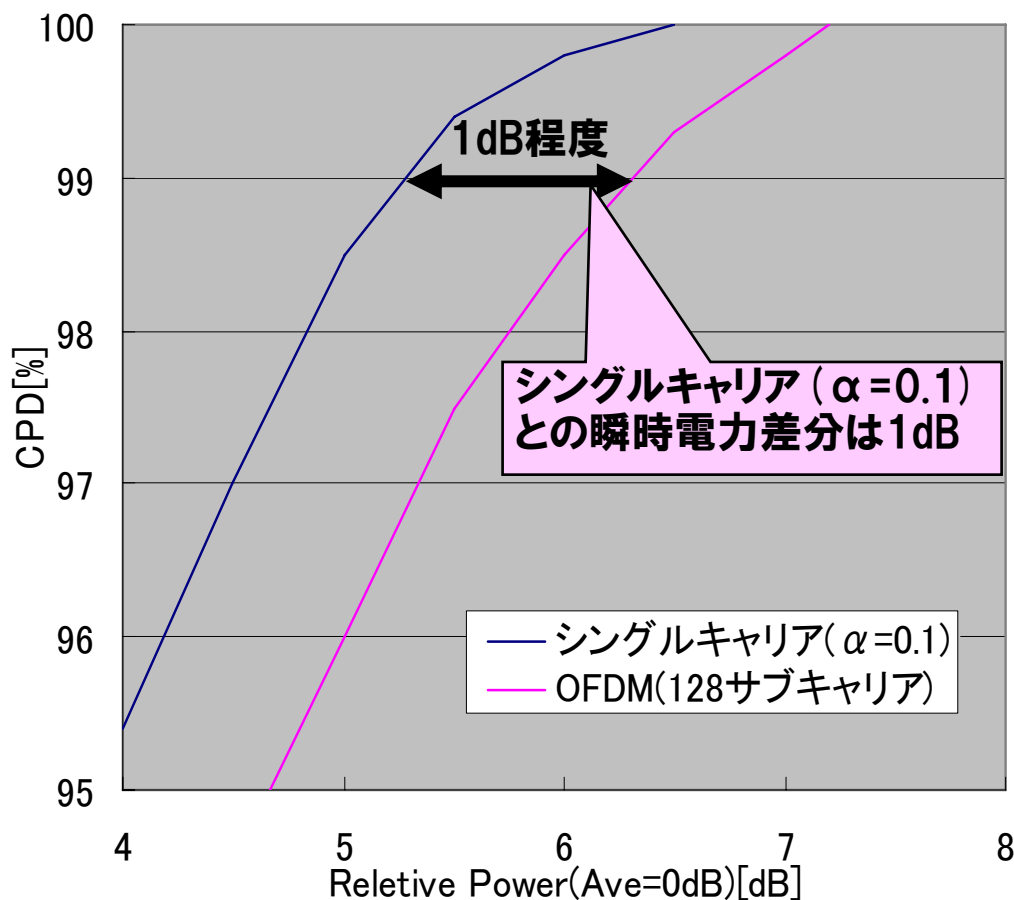
提案システムの送信スペクトルの一例



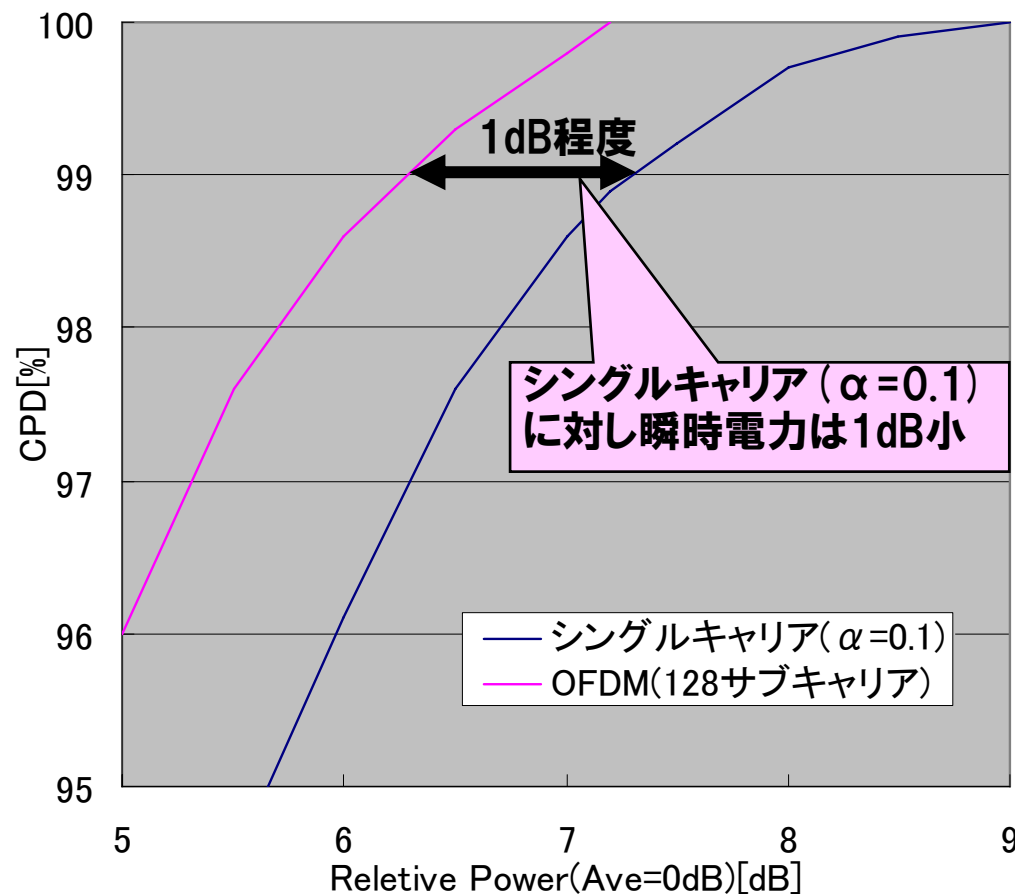
Spectrum emission limit (dBm)/ Channel bandwidth							
Δf_{OOB} (MHz)	Channel bandwidth (MHz)						Measurement bandwidth
	1.4	3.0	5	10	15	20	
± 0-1	-10	-13	-15	-18	-20	-21	30 kHz
± 1-2.5	-10	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
± 2.5-2.8	-25	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
± 2.8-5		-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
± 5-6		-25	-13	-13	-13	-13	1 MHz
± 6-10			-25	-13	-13	-13	1 MHz
± 10-15				-25	-13	-13	1 MHz
± 15-20					-25	-13	1 MHz
± 20-25						-25	1 MHz

基本通信方式の補足説明(1)

OFDMの瞬時電力分布: QPSKではシングルキャリア ($\alpha=0.1$) との電力差分1dB程度
16QAMではシングルキャリア ($\alpha=0.1$) より瞬時電力1dB小
※「**ピークカット (P19参照)**」によりOFDMの瞬時電力を更に抑圧



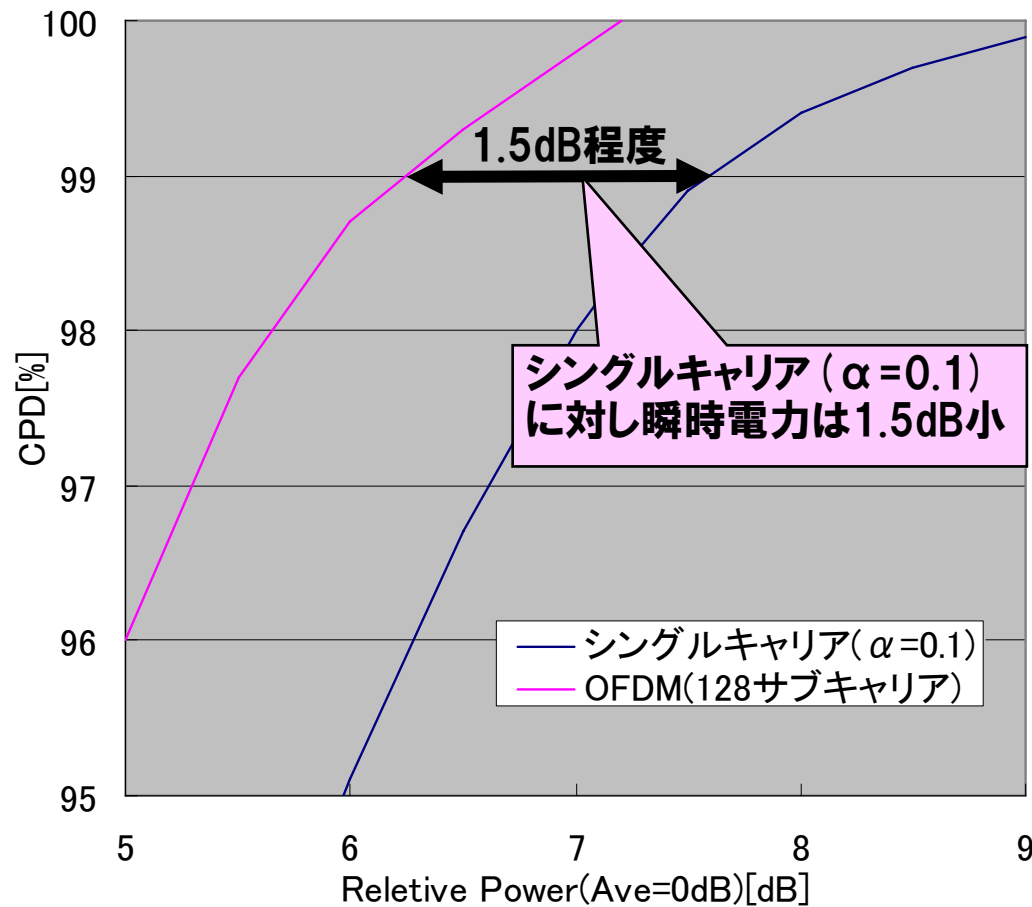
(a) QPSK



(b) 16QAM

基本通信方式の補足説明(2)

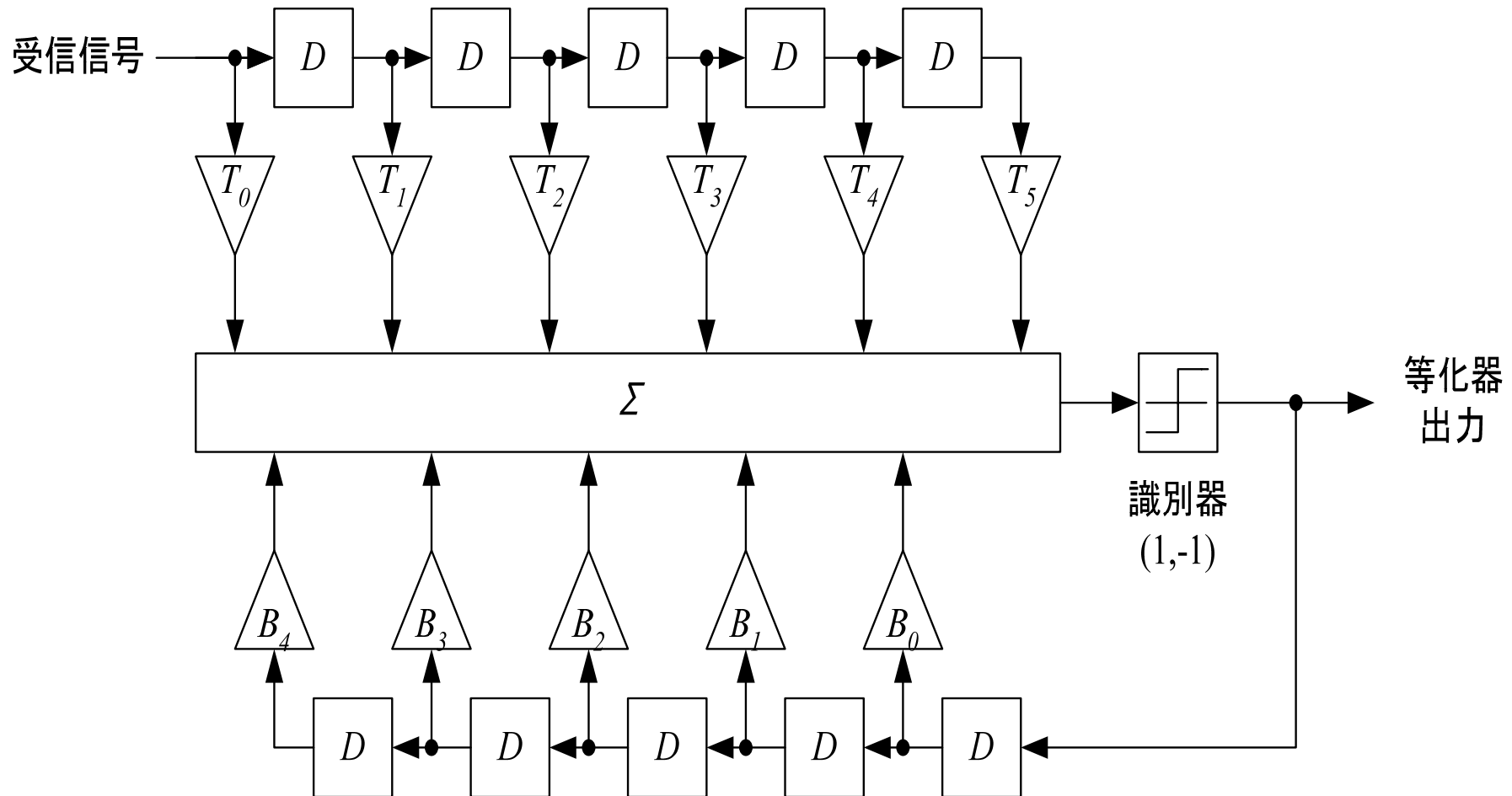
OFDMの瞬時電力分布:64QAMではシングルキャリア ($\alpha=0.1$) より瞬時電力1.5dB小
※「ピークカット (P19参照)」によりOFDMの瞬時電力を更に抑圧



(c) 64QAM

基本通信方式の補足説明(3)

諸般の事情でシングルキャリアを用いる場合、「Decision Feedback Equalizer」により、少ない回路規模(演算量)で、十分な性能を得ることが可能



通信断を避けるための方式(制御信号) に関する補足説明用資料

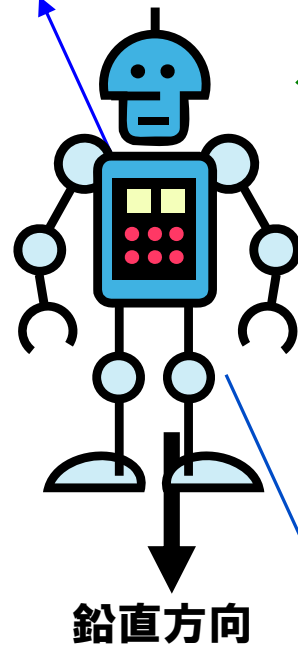
通信断を避けるための方式の補足説明

「**加速度センサー、地磁気センサー、気圧センサー等**」により、GPSが使用できない場所でも、精度のよい位置推定が可能

- ① 移動距離 推定
検出鉛直方向を特定し加速度
ピーク検出により歩数を推定
歩数推定×歩幅推定 = 移動距離推定

ロボットのみで測位可能
ただし、定期的な累積誤差の
補正が不可欠

加速度センサ



磁場方向(絶対方位)

北

気圧センサ

地磁気センサ

鉛直方向

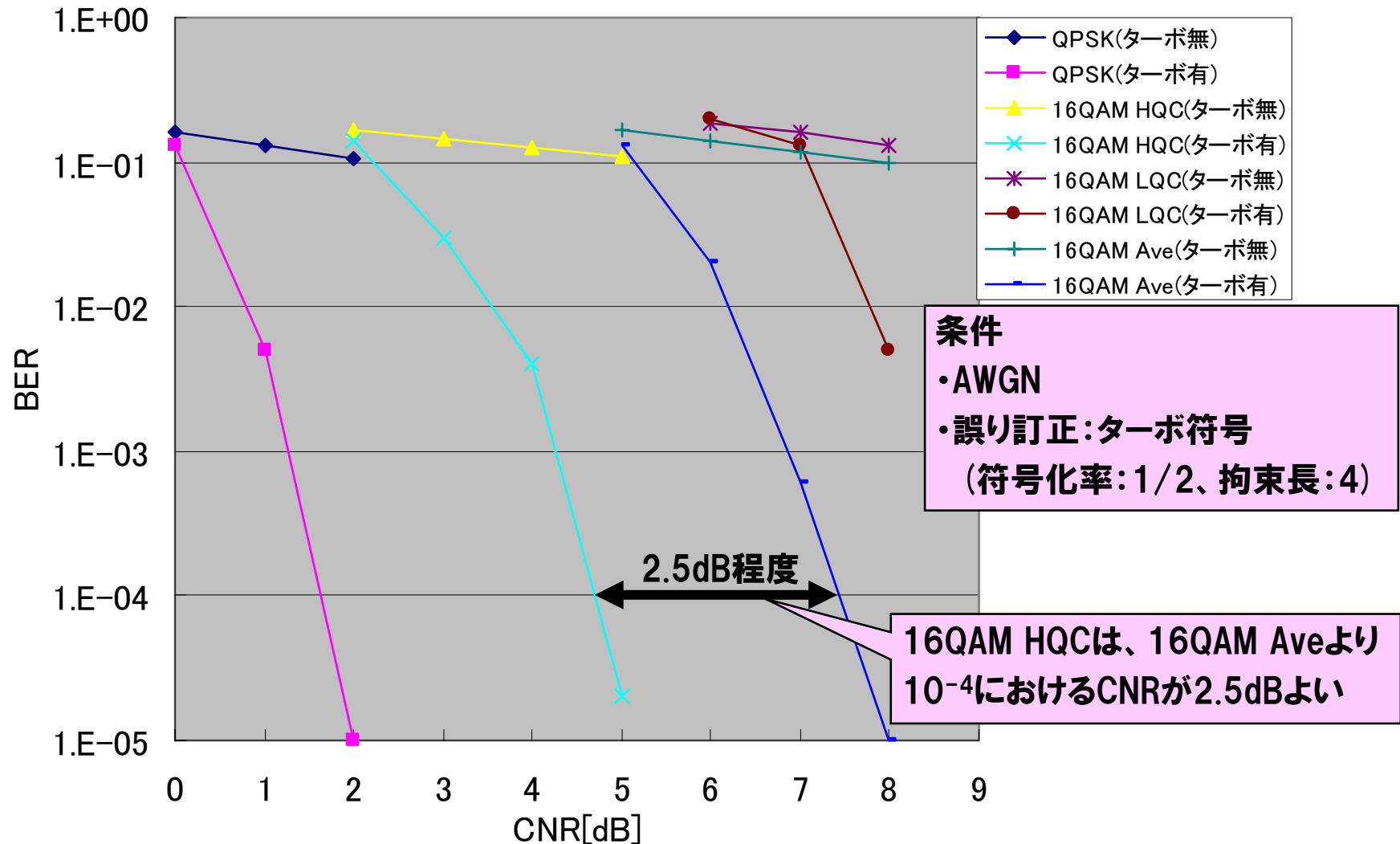
- ② 移動方位 推定
磁界強度と鉛直方向から
絶対方位検出

- ③ 高さ 推定
基準点からの相対的
な高さを推定

変調方式の多値化、制御技術(適応変調等)
に関する補足説明用資料

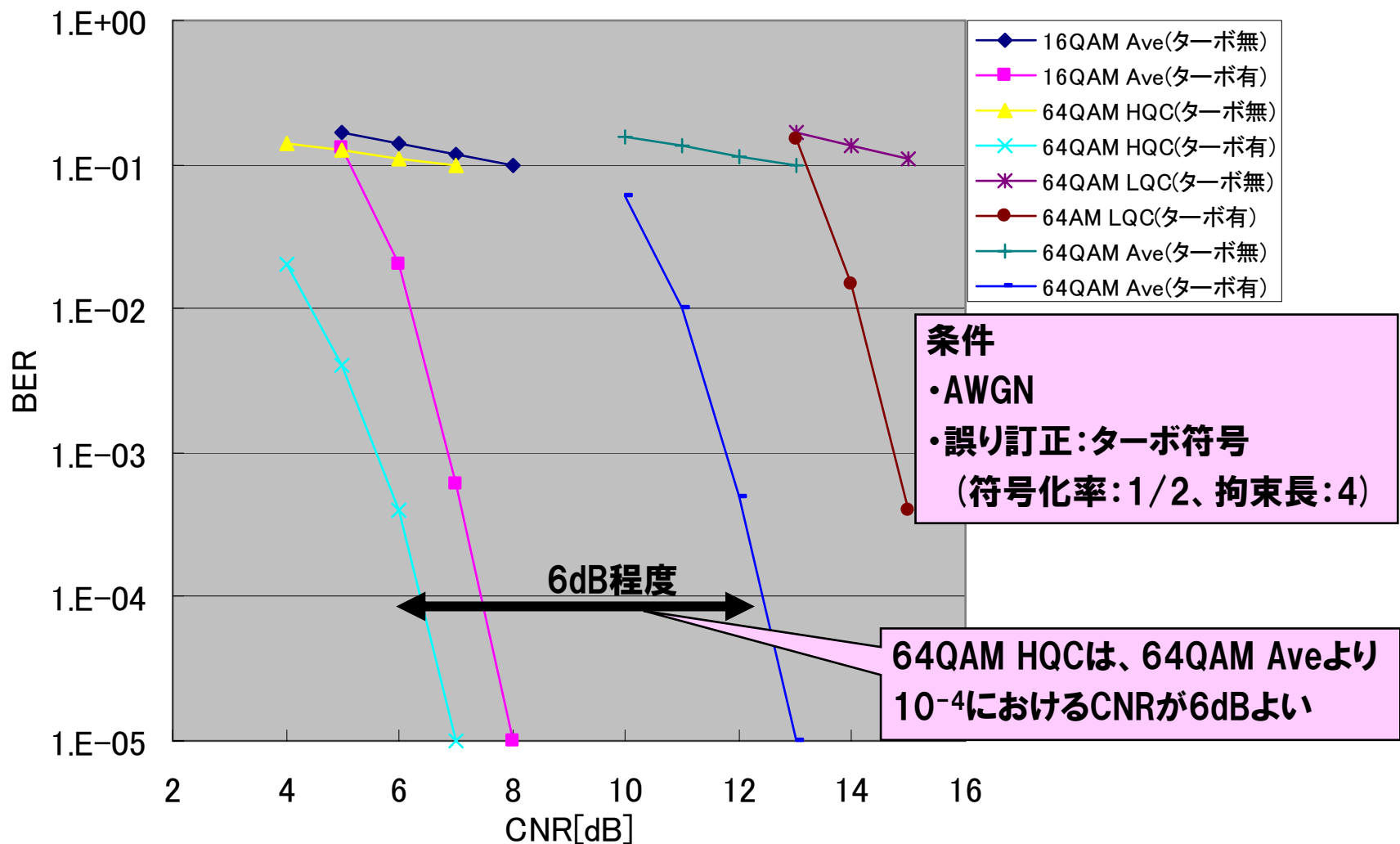
変調方式並びに適応制御の補足説明(1)

階層化ビットマッピングの効果:通常の16QAMより、エリアを1.7倍程度に拡大可能



変調方式並びに適応制御の補足説明(2)

階層化ビットマッピングの効果:通常の64QAMより、エリアを4倍程度に拡大可能



その他の利用シーン

遭難者探索のための方式の提案内容

「災害対応ロボットに、携帯端末の電波検出用タグを搭載」により、映像モニタ等では発見困難な（遭難者が生き埋め状態）場合でも、遭難者の発見可能
※映像モニタ(災害対応ロボット既存設備)等との併用も可能

