

同期技術が作る 通信の未来像

公立諏訪東京理科大学

地域連携研究開発機構
特任教授 小林 誠司

2022年8月23日

発表内容

- (1) 技術背景説明（同期技術について）
- (2) 本件技術説明
- (3) 将来可能性について（考察）

発表内容

(1) 技術背景説明（同期技術について）

(2) 本件技術説明

(3) 将来可能性について（考察）

同期技術とは？

同期技術：装置A と 装置B でタイミングを合致させる技術。



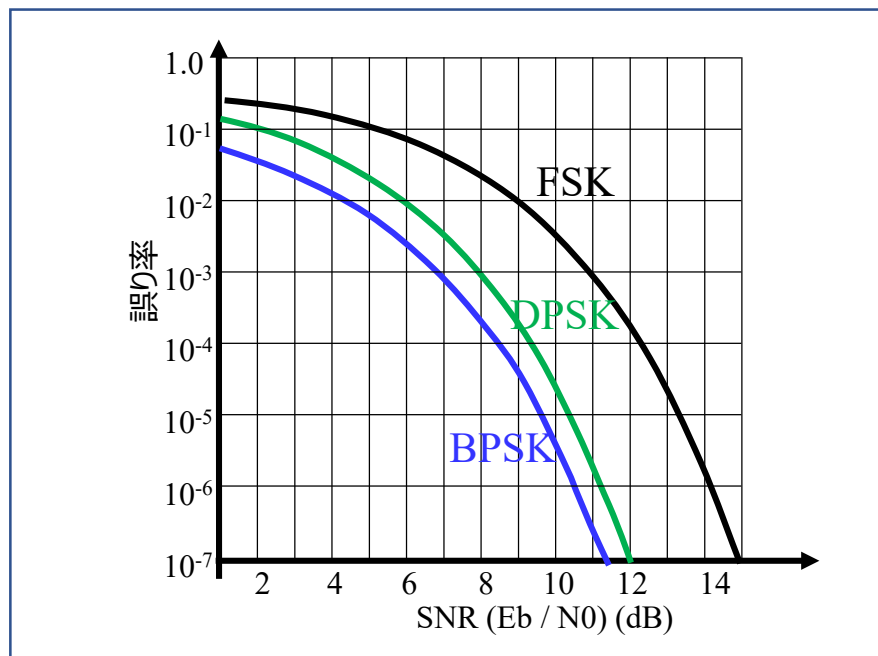
同期のバリエーション

フレーム同期： ミリ秒の精度で合わせる。
シンボル同期： マイクロ秒の精度。
キャリア同期： ナノ秒よりも高精度

同期技術の重要性

通信システム(誤り訂正など)の設計の前提 = 同期は完全である
(送受信でタイミングが完全に合致している)

システム設計で使われる **SNR—誤り率** 特性の例 (同期が完璧であることを前提に計算されている)



現実のシステムでは、同期が乱されることにより通信性能が劣化する。
「同期」の精度と安定性が、実際の通信性能を大きく左右する。

同期が難しくなる例 : 低SNRの場合

高SNRの無線通信

アイパターンが開く

受信信号
(イメージ)



ー同期がとれるー

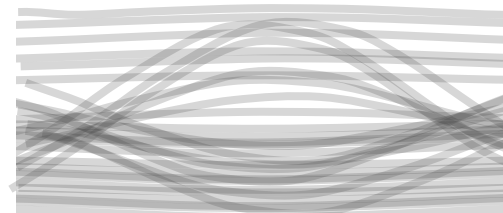
アイパターン → エッジ抽出 → PLL作動 → 低SNR対策
信号処理

低SNRの無線通信

GPS, LPWA (ELTRES, LoRa, Sigfox) 等

アイパターンが雑音に埋もれる

受信信号
(イメージ)



Vicious circle

同期が取れないからSNR向上の信号処理が作動しない

SNR向上の信号処理が作動しないから同期が取れない

同期に対する期待と技術要求

全ての期待に応えるのは難しい

期待 1 : 長距離通信

→ **低SNR**で同期が取れること

期待 2 : 都市部での通信 → **混信に強いこと**

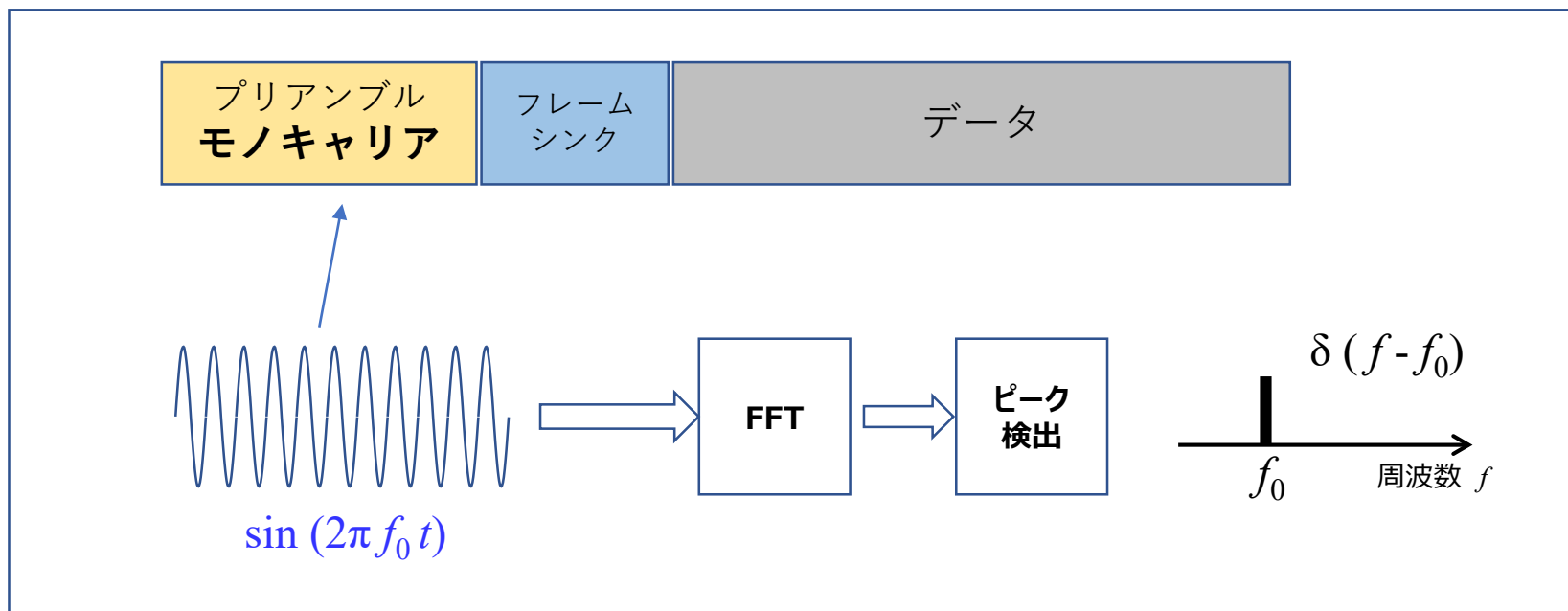
期待 3 : 電池で長時間動作 → **低消費電力であること**

期待 4 : 移動体通信

→ **フェーディング**で同期が乱されないこと

従来例（その1）

モノキャリア(単一周波数) を使ってフレーム同期



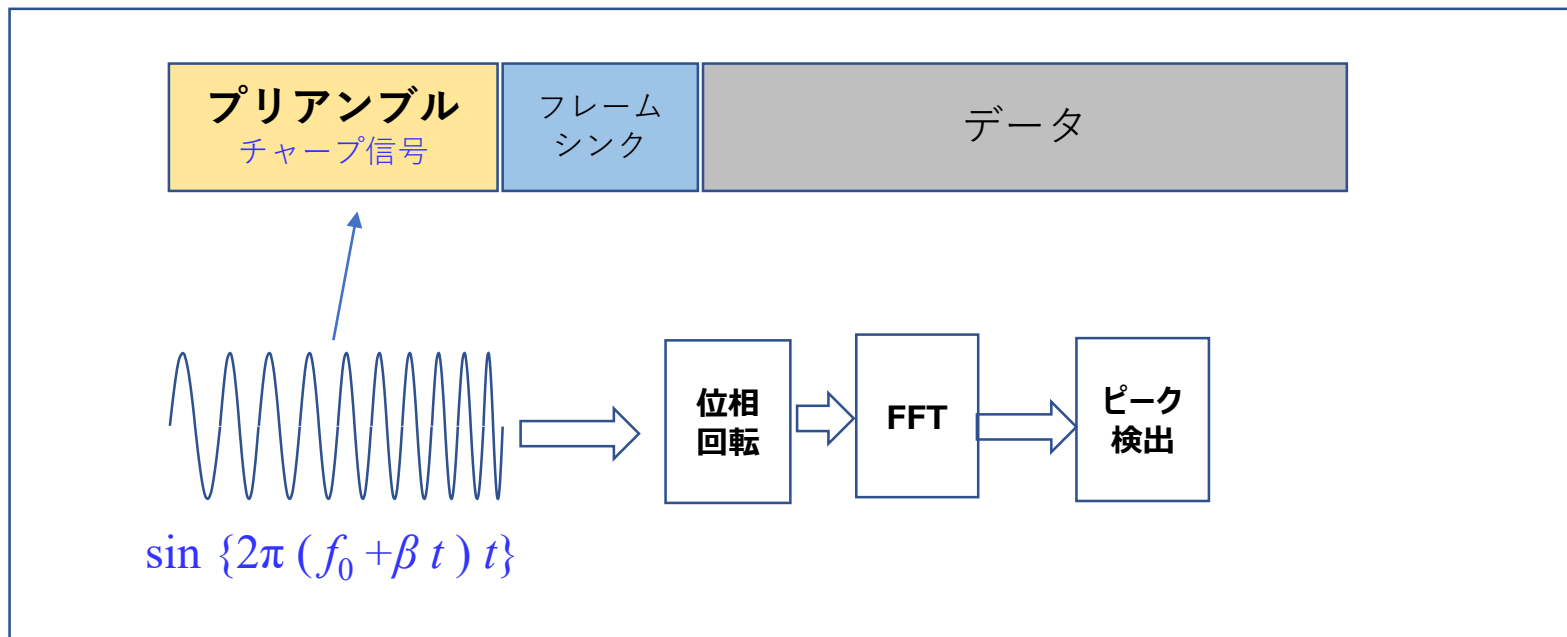
メリット： **低SNR**で動作、回路が簡単で**低消費電力**

デメリット： **混信**に弱い、時間方向の検出精度が無い。

※モノキャリアだけでは**キャリア同期**が**実現できない**。

従来例（その2）

チャープ信号を使ってフレーム同期



メリット： **低SNR**で動作、回路が簡単で**低消費電力**、**混信に強い**

デメリット：時間と周波数のどちらか一方しか検出できない。

※チャープ信号だけでは**キャリア同期**が実現できない。

発表内容

(1) 技術背景説明 (同期技術について)

(2) 本件技術説明

(3) 将来可能性について(考察)

新技術（クロスキャリアを使った同期）の特徴

- **クロスキャリアをフレーム同期に使う**
- **クロスキャリアをシンボル同期に使う**
- **クロスキャリアをキャリア同期に使う**
- **クロスキャリアをフェーディング対策※に使う**

※本プレゼンの対象外

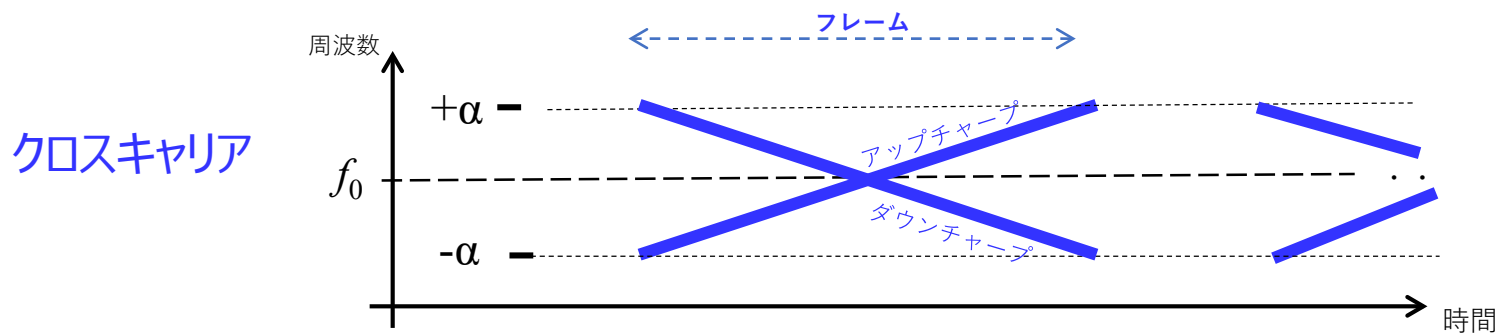
新技術の特徴・従来技術との比較

- スペクトルが広がり、**混信に強い**。
- 部分的な信号から**フレーム同期**が実現できる。
- **低消費電力でキャリア同期**が実現できる
→ 高効率なアルゴリズム(FFT)がベース
- 位相変動を抽出し、補正できる。
→ **フェーディング対策が可能**

新技術（クロスキャリア※）

※アップチャープとダウンチャープの組み合わせ

イメージ



数式表現

$$\begin{aligned} \text{クロスキャリア} &= \underbrace{e^{j 2\pi (\alpha - \beta t) t}}_{\text{ダウンチャープ}} + \underbrace{e^{j 2\pi (-\alpha + \beta t) t}}_{\text{アップチャープ}} \\ &= 2 \cos \{2\pi (\alpha - \beta t) t\} \end{aligned}$$

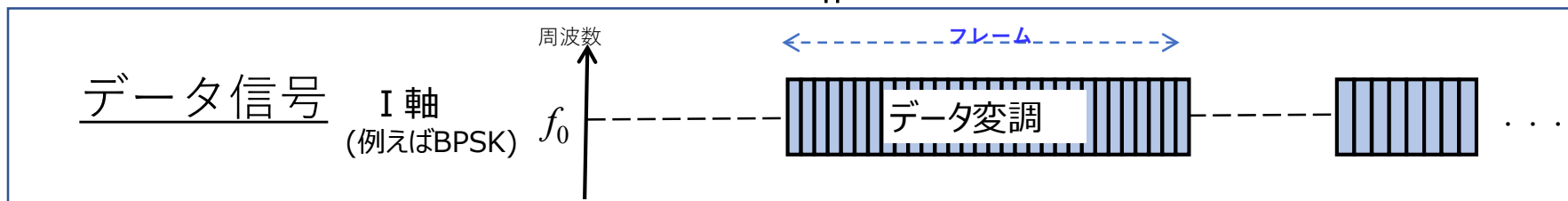
（注）クロスキャリアは複素信号ではない

新技術のコンセプト

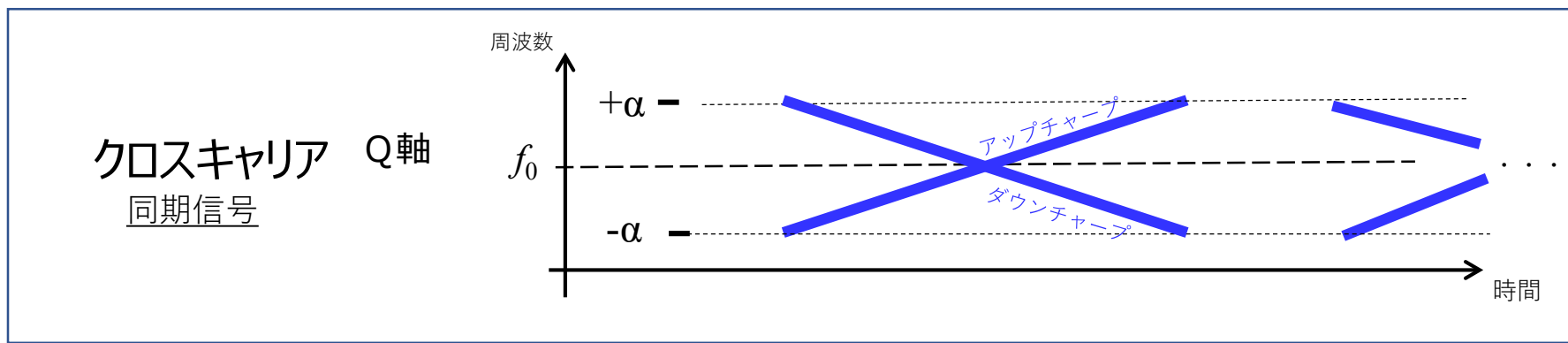
時間分割するのではなく、**クロスキャリアをフレーム内に均一に重畳**する。

無線電波

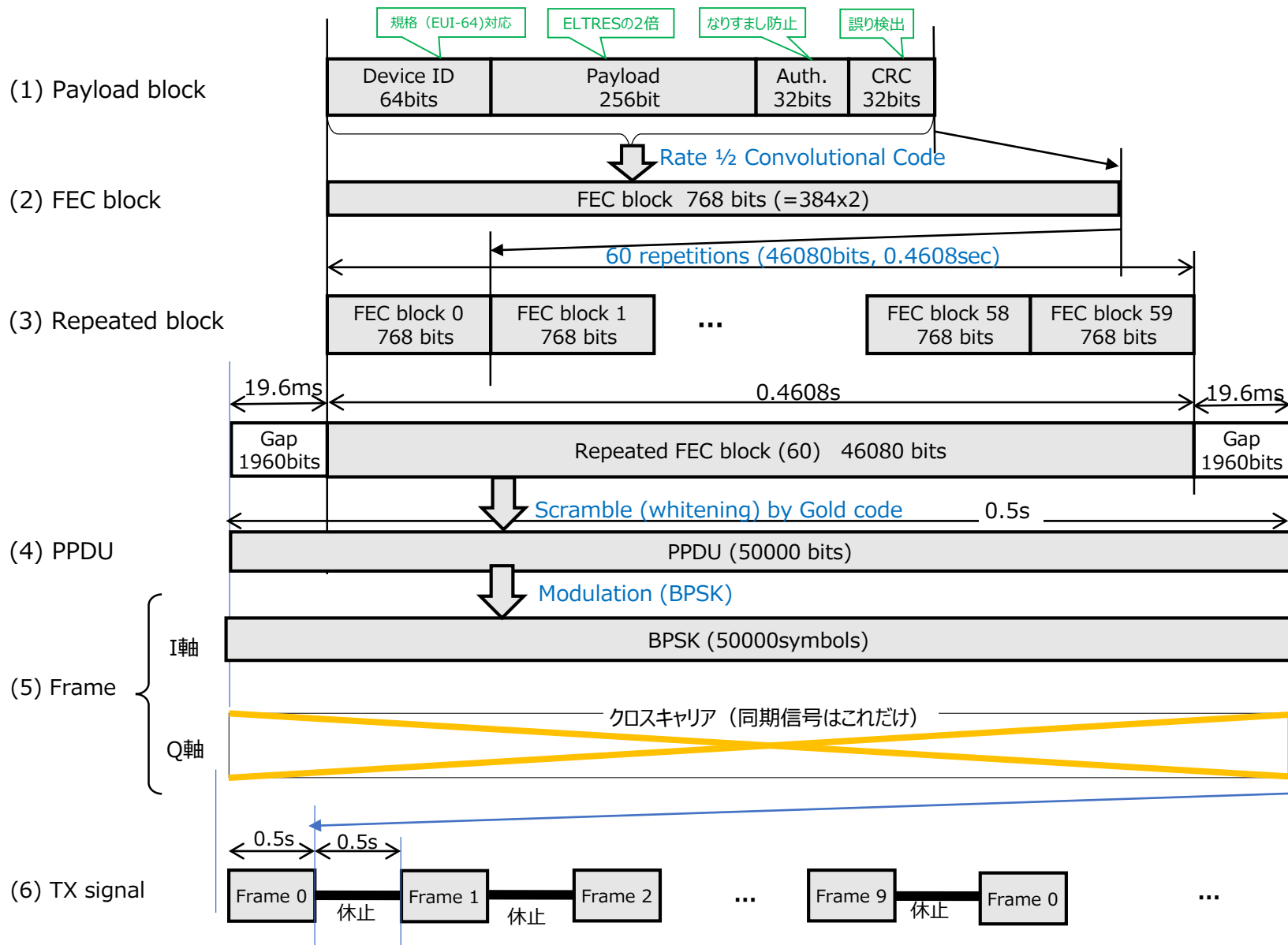
||



+



新技術の実験結果



リンクバジェット

$$\text{リンクバジェット} 135\text{dB} = (-\text{理論感度} + 23\text{dBm} - 22\text{dBi})$$

送信電力2W

受信アンテナミスマッチ



$$\text{理論感度 } -133\text{dBm} = -174\text{dBm} + 50\text{dB} - 17.8\text{dB} + 0.5\text{dB} + 8\text{dB}$$

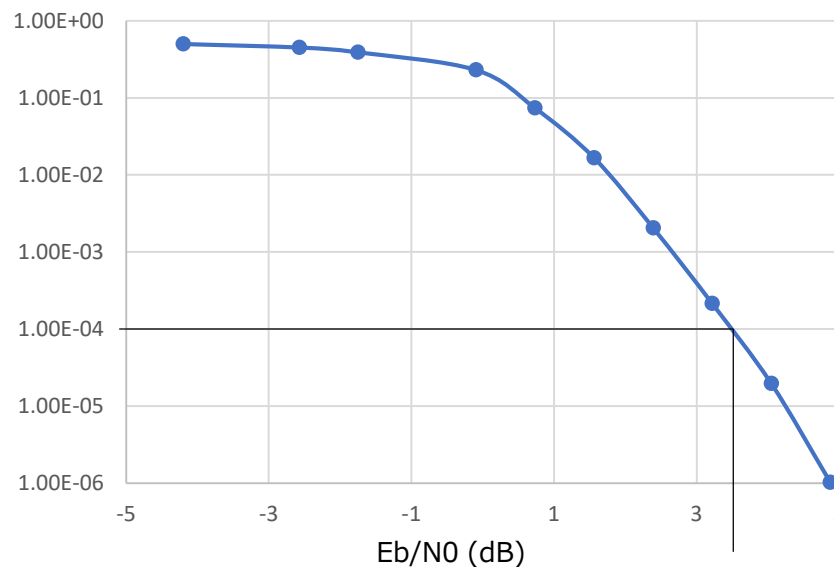
Bw=100kHz

60回繰り返し

FEC

NF

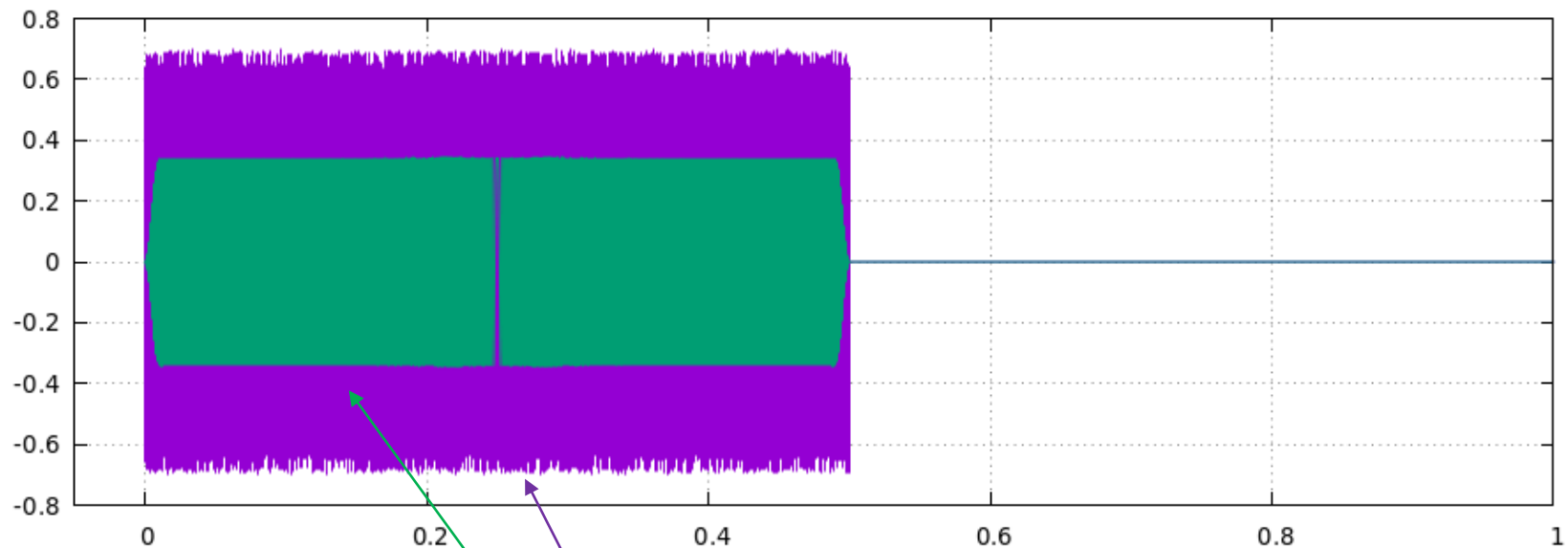
畳み込み符号 (Rate 1/2) 性能



BPSK (2次元 Noise)

要求SNR: 0.5dB (=3.5dB - 3.02dB)

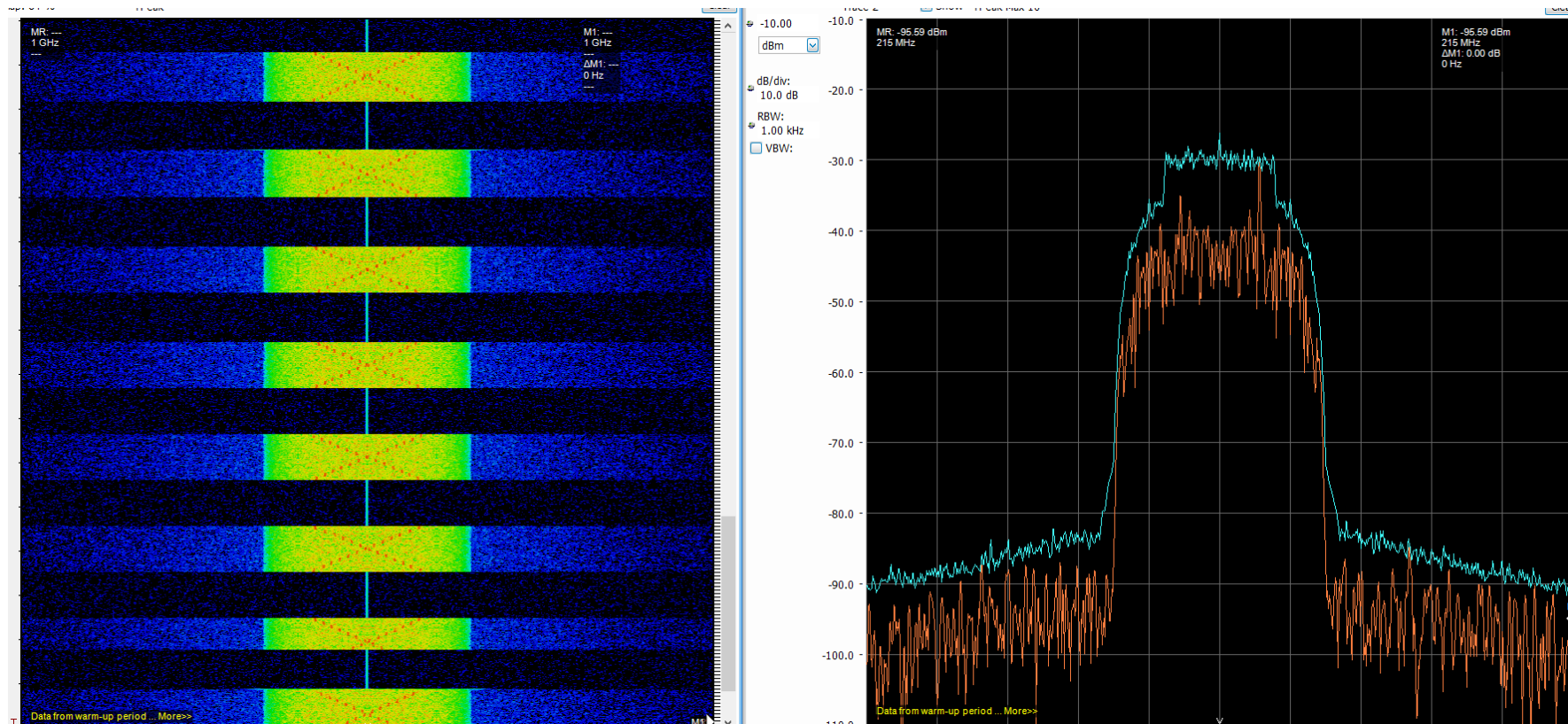
実験信号の様子



I軸： BPSK信号 100kbps 擬似ランダム (50kbpts)

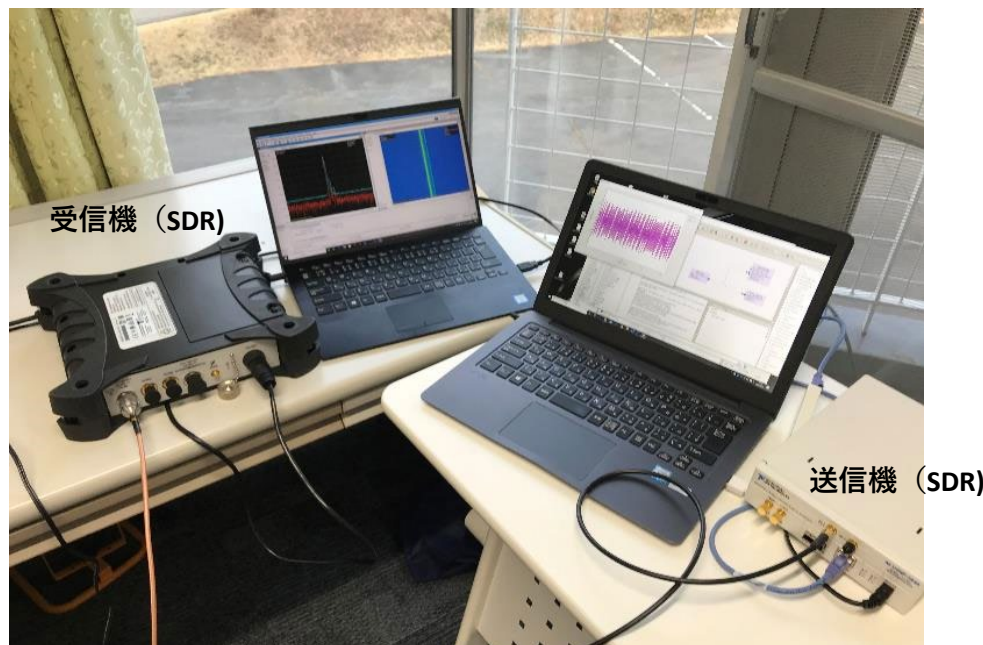
Q軸： クロスキャリア -40kHz ~ 40KHzへのチャープ信号 (チャープレート160kHz/s)

出力スペクトル

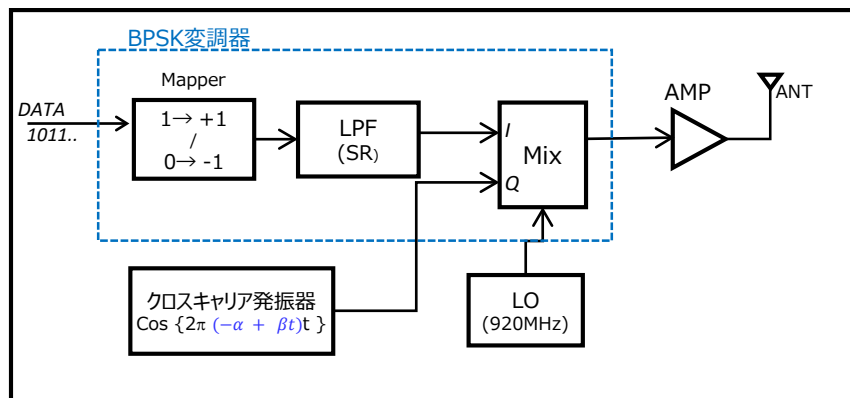


SDRで構築した実験装置

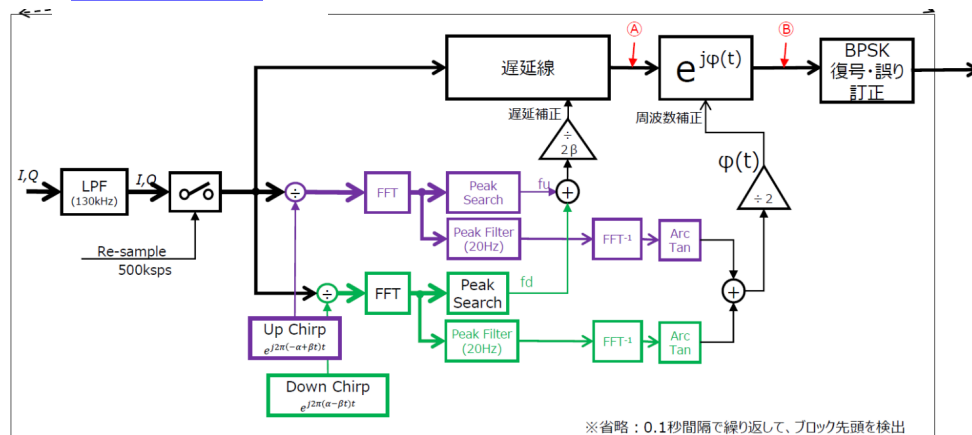
電波法未取得のため、同軸ケーブルで送受信機を接続して実験中。



送信ブロック

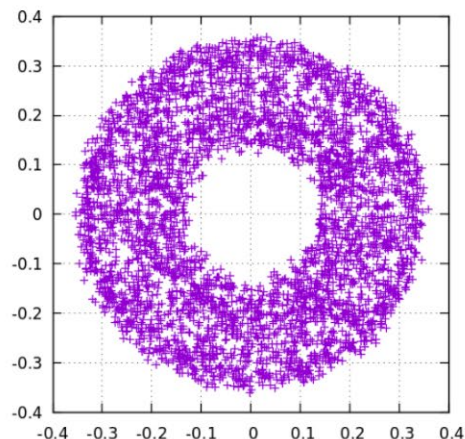


受信ブロック

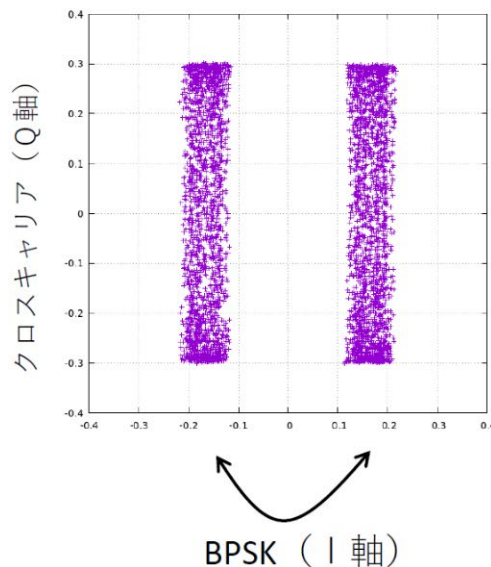


クロスキャリアだけで**フレーム同期**、**シンボル同期**、**キャリア同期**が綺麗にかかる。
IQコンスタレーションの回転がピタリと止まることを確認

① 位相補正前のコンスタレーション



② クロスキャリアを使った位相（周波数）補正後



※30年以上、低SNR信号の信号処理に携わってきた経験に基づいた感想：

→ クロスキャリアはシンプルな構成で**綺麗に同期が掛かる**方法。
未来の通信方式の姿が垣間見えている。

発表内容

- (1) 技術背景説明（同期技術について）
- (2) 本件技術説明
- (3) 将来可能性について(考察)

想定される用途

- 6G以降の無線通信システム
- 災害対応のため、携帯電話（4G, 5G）とは独立した無線通信システム
- フェーディング特性を活かして、ドローンなどの高速移動体への通信システム
- 同期信号検出が低消費電力できることを活かして、次世代LPWA通信システム

実用化に向けた課題

- アプリケーションを特定してシステム構築。
(特にMAC層の検討は未着手)
- 標準規格に盛り込むことが必要。
- 電波法対応

企業への期待

○ 事業化へ向けて検討する企業を探しています。



オマケ

GNSS搬送波位相測位の新版技術もあります。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：無線送信方法
- 出願番号：特願2020-552929
(PCT/JP2020/021504)
- 登録番号：特許第6821231号
- 出願人：公立諏訪東京理科大学
- 発明者：小林誠司

【国等の委託研究の成果に係る記載事項】（出願人による申告）令和2年度、茅野市、「IoT通信技術を活用した課題解決型新技術・新製品等研究開発及び人材育成推進委託業務」委託事業、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：無線送信方法
- 出願番号：特願2020-214452
※ 特願2020-552929の分割
- 公開番号：特開2021-190987
- 出願人：公立諏訪東京理科大学
- 発明者：小林誠司

【国等の委託研究の成果に係る記載事項】（出願人による申告）令和2年度、茅野市、「IoT通信技術を活用した課題解決型新技術・新製品等研究開発及び人材育成推進委託業務」委託事業、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：無線送信方法、無線送信装置、無線受信方法、無線受信装置及び無線通信方法
- 出願番号：特願2021-174202
- 出願人：公立諏訪東京理科大学
- 発明者：小林誠司

【国等の委託研究の成果に係る記載事項】（出願人による申告）令和2年度、茅野市、「IoT通信技術を活用した課題解決型新技術・新製品等研究開発及び人材育成推進委託業務」委託事業、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願

お問い合わせ先

**公立諏訪東京理科大学
産学連携センター**

T E L 0266-73-1201

F A X 0266-73-1230

e-mail sangaku@admin.sus.ac.jp

Web. <https://www.sus.ac.jp>