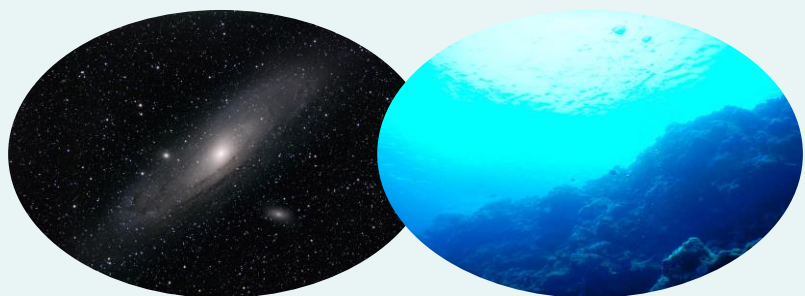


# 環境適応に応じて容量最大化可能な 光無線通信トランシーバ

香川大学 創造工学部 人工知能・通信ネットワークコース  
准教授 小玉 崇宏

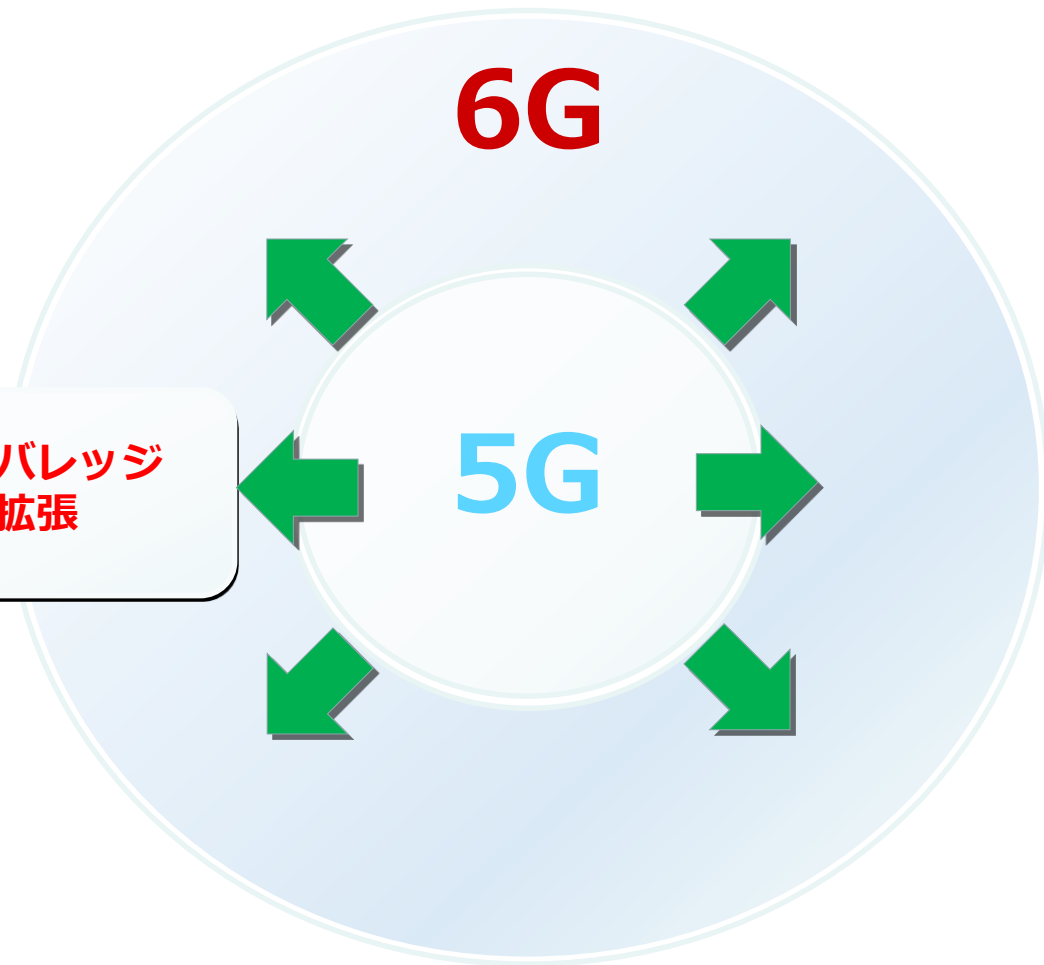
2023年9月12日

# 技術背景



- どこでもGbpsレベルのサービス提供エリア  
カバー率100%
- **新たなサービスエリア** e.g. 空(高度1万m)  
、**海(200海里)**、宇宙

超カバレッジ  
拡張

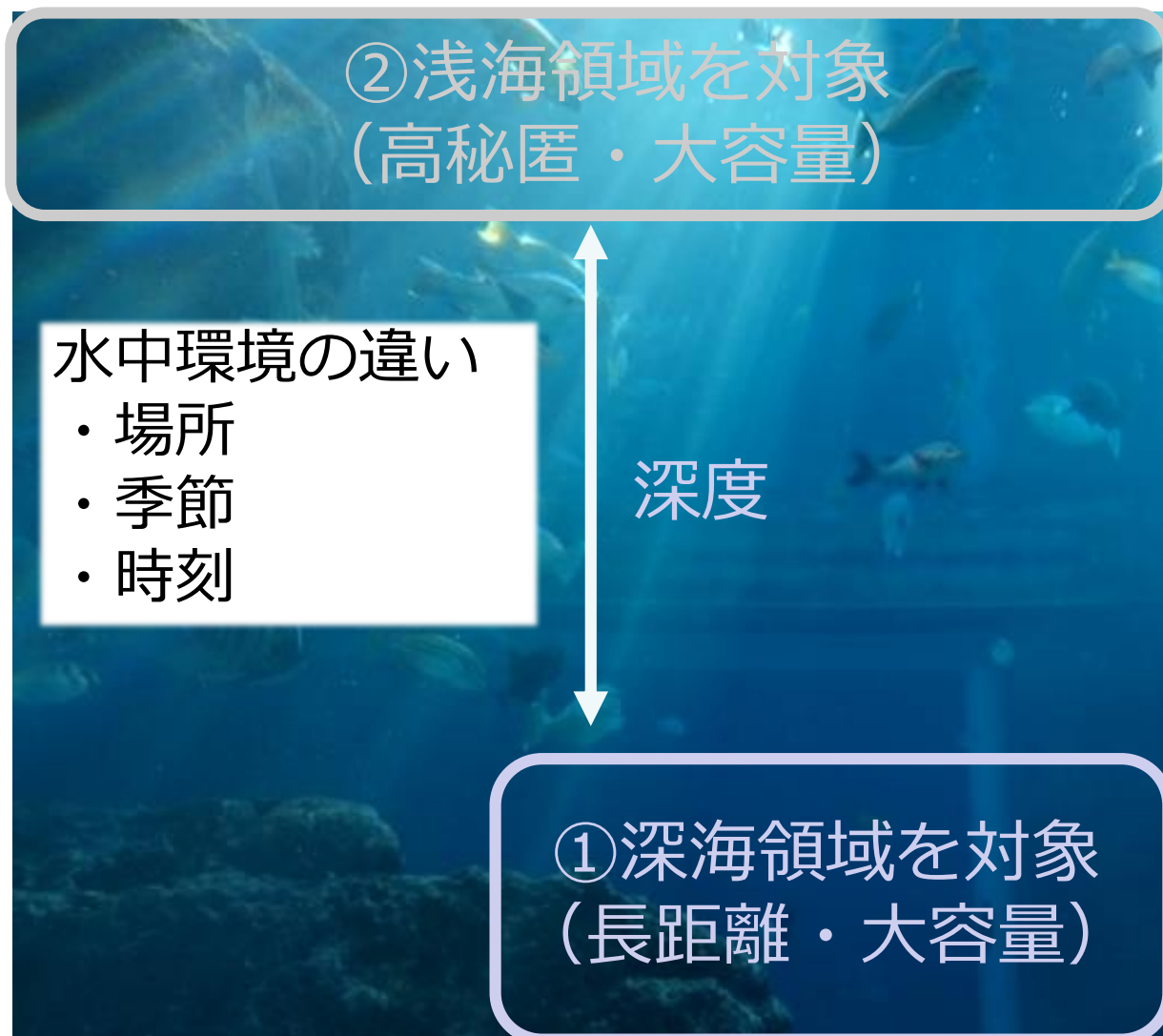


[引用] M. Z. Chowdhury et al., "6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions," IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 1, pp. 957-975, Aug. 2020.

[引用] ドコモ6Gホワイトペーパー  
[https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/whitepaper\\_6g/](https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/)

6Gは陸海空どこでも高速通信ができるサービスの実現を目指す。

# 海中の通信エリア

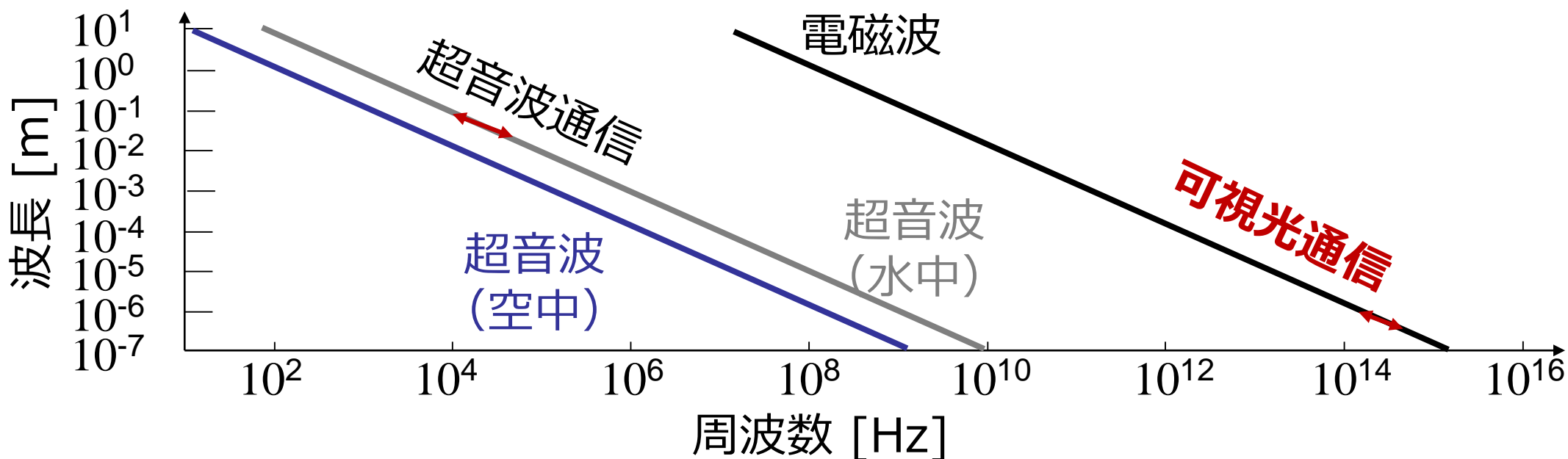


- スマート漁業
- 栈橋劣化状況の監視

- 海溝付近の状況調査
- 海底資源探査用モニタリング

アプリケーションや研究領域は、水中環境によって大きく異なるが、大容量性は共通して求められる。

# 海中の通信手段



- 超音波帯波長では、3台のワンセグの圧縮動画データ収容が限界
- 可視光帯波長では、100台以上のフルHD、10台以上の4Kの圧縮動画データを収容可能

大容量化に向けて可視光無線通信に注目が集まる。

# 水中光通信のチャネル特性

Beer-Lambert法

$$P_d = P_0 \exp(-K_T d)$$

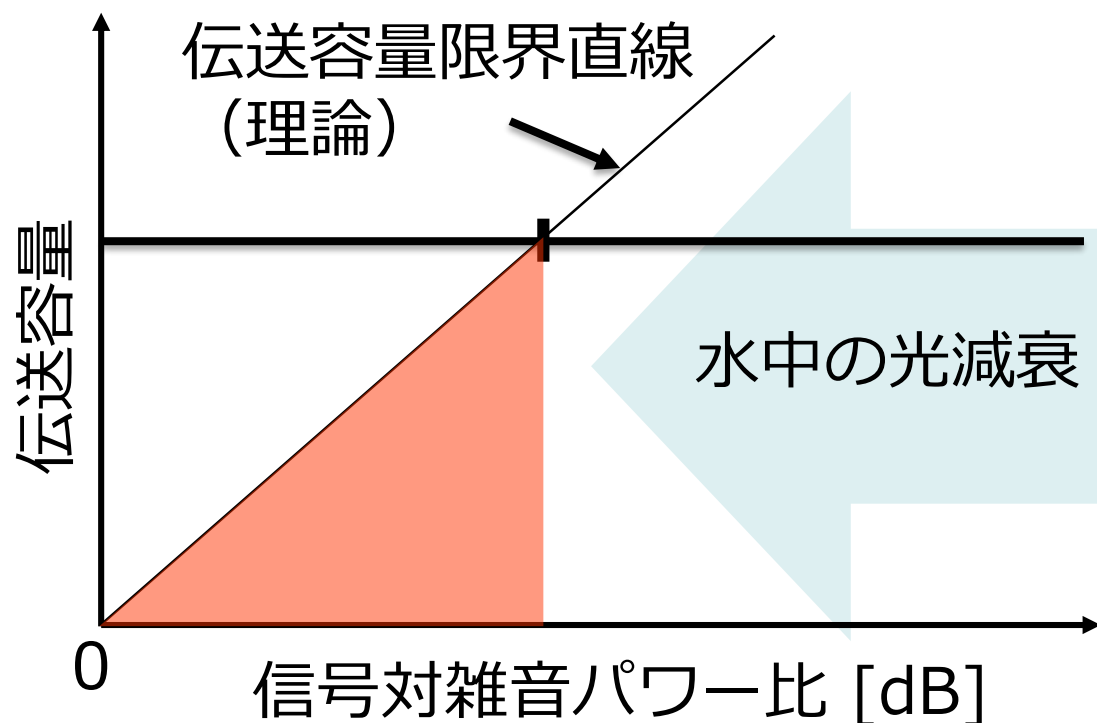
送信電力      減衰係数      伝送距離

$$K_T = K_A + K_S$$

吸収率係数      散乱係数

$$K_A = K_{A0} + T a$$

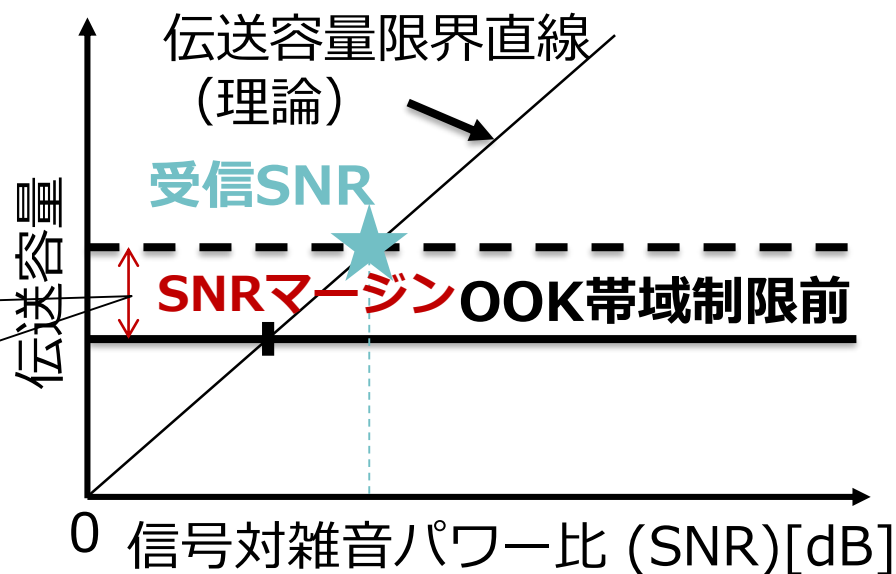
吸収率係数  
(非温度依存)      水温      温度係数



水中における伝送距離に対するパワーの減衰が著しい。  
信号パワーに対して伝送容量の理論限界に合う最適な信号が求められる。

# 従来技術（OOK信号）とその問題点

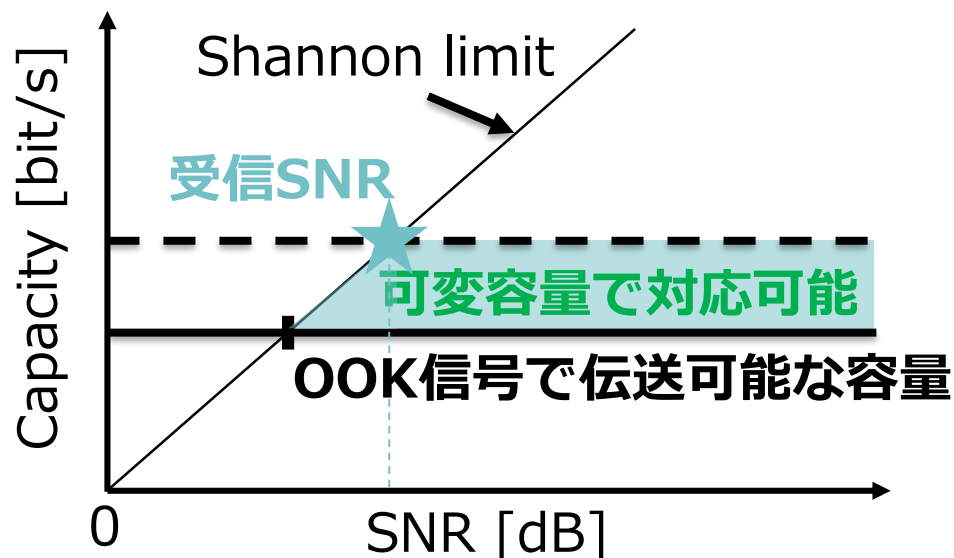
送信可能な伝送容量  
と送信信号で決まる  
伝送容量の差



既に実用化されているものには、実装簡易な2値強度変調であるオンオフキーイング（OOK）信号等があるが、

➤ **SNRマージン**における伝送容量低下が発生の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。

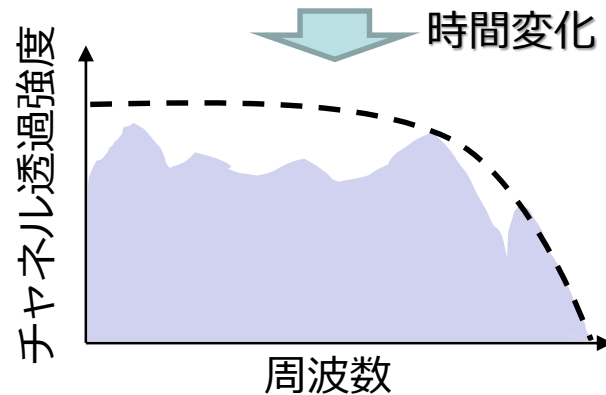
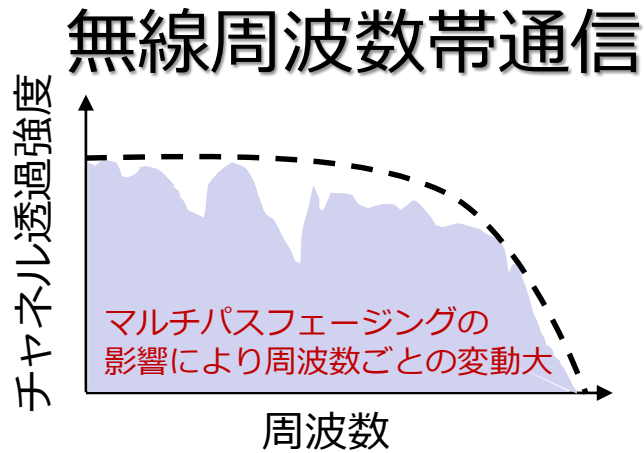
# 最適伝送容量が可能な変調信号



|        | OOK      | 直流付加-直交<br>周波数多重信号<br>(DCO-OFDM) | 時間領域ハイブリッドPAM信号<br>(TDHP) |
|--------|----------|----------------------------------|---------------------------|
| キャリア形式 | シングルキャリア | マルチキャリア                          | シングルキャリア                  |
| 利点     | 低PAPR    | 可変容量                             | 可変容量<br>低信号対雑音比           |
| 欠点     | 固定容量     | 高信号対雑音比                          |                           |

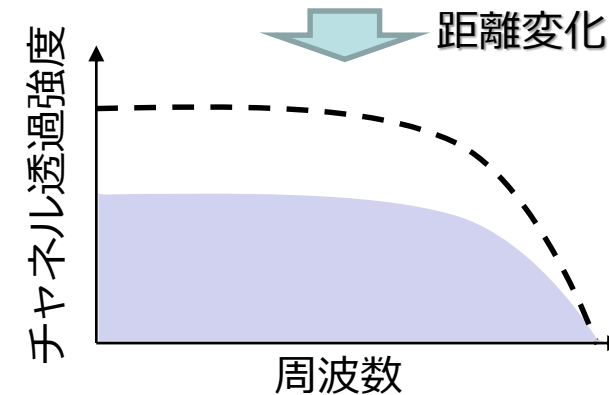
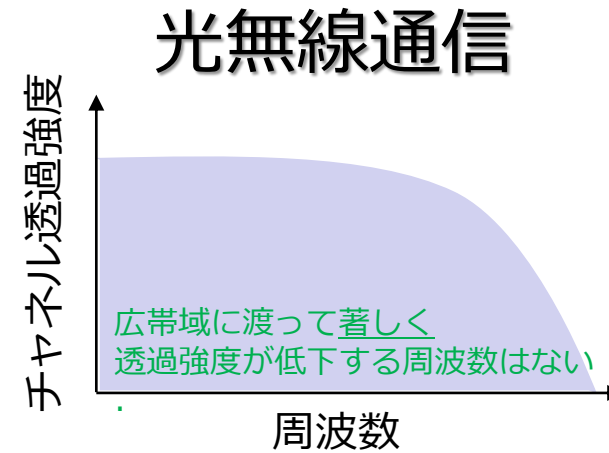
受信SNRとOOK信号で伝送可能なSNRのマーヅンを埋める  
可変容量の変調信号について比較

# 水中光無線のチャンネルがもつ特徴



時間変化に応じたチャンネル透過特性への適応性が求められる。

周波数領域適応変調が適切



距離変化に応じたチャンネル透過特性への適応性が求められる。

周波数領域適応変調および時間領域適応変調いずれも可

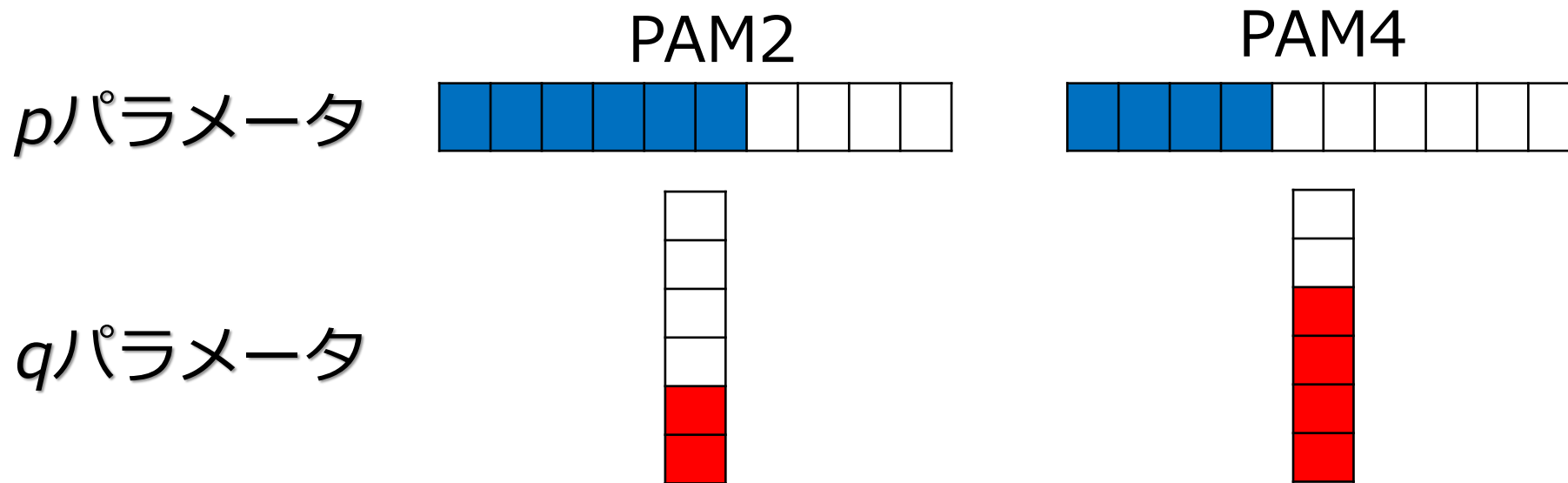
DCO-OFDM

TDHP



# 着目するTDHP信号の設計

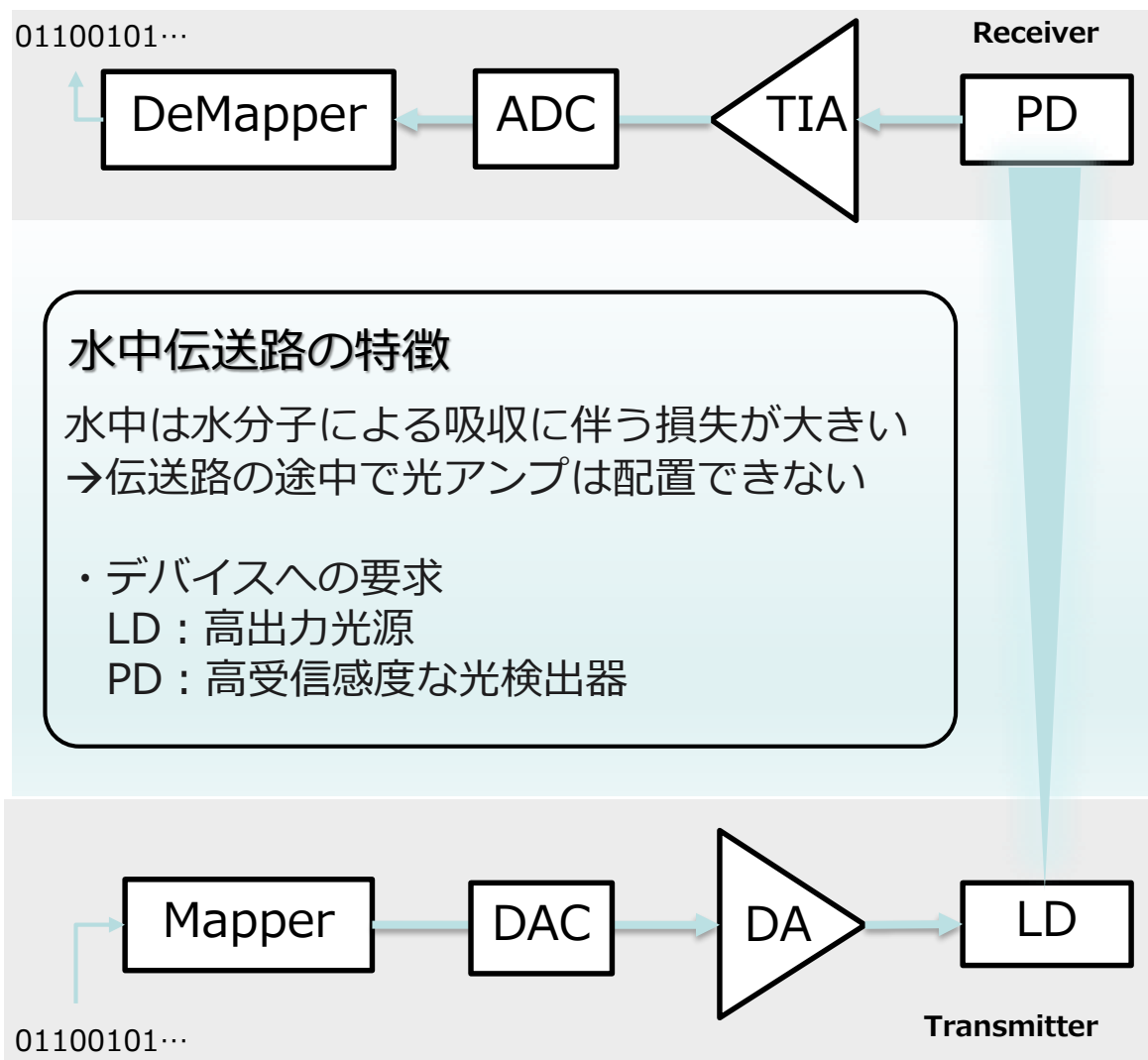
- 異なる強度変調信号の**発生比**( $p$ パラメータ)と**パワー比**( $q$ パラメータ)を変化



- 2種類の変調信号の時間配置最適化

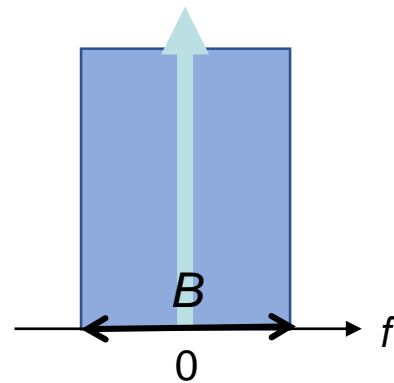
F. Kobori et al., *Proc. OECC/PSC*, WP-F1, Toyama, Japan, July 2022.

# TDHP信号用光送受信器の構成

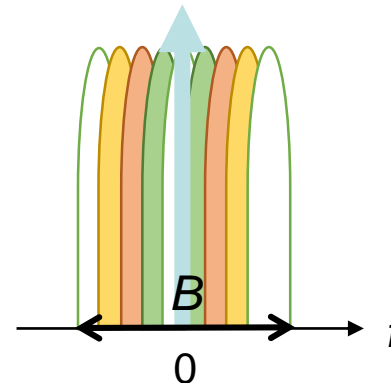


# 比較条件

Nyquist-TDHP



DCO-OFDM

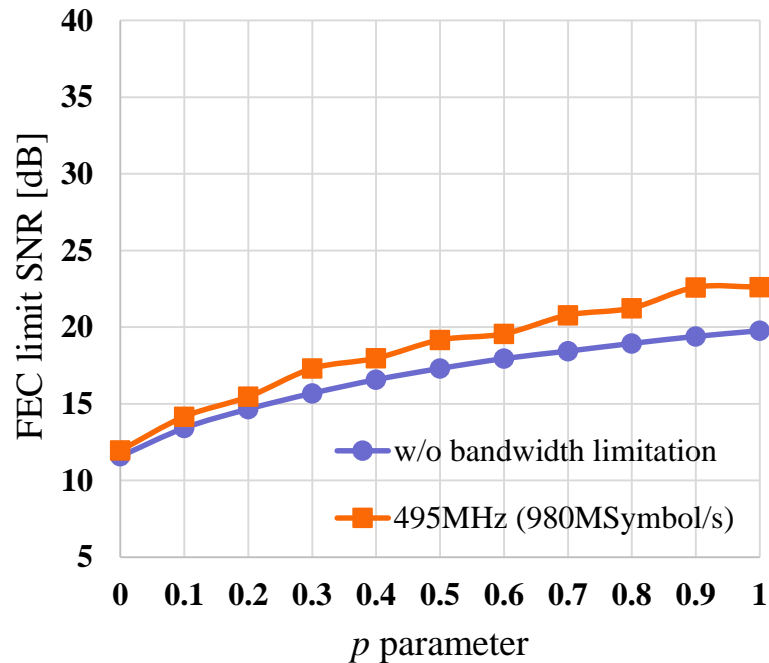


| 信号           | 変調方式        | 帯域          | 平均信号パワー           |
|--------------|-------------|-------------|-------------------|
| Nyquist-TDHP | PAM2, PAM4  | $B_1$       | $P_{s1}$          |
| DCO-OFDM     | QPSK, 16QAM | $B_1 = B_3$ | $P_{s1} = P_{s3}$ |

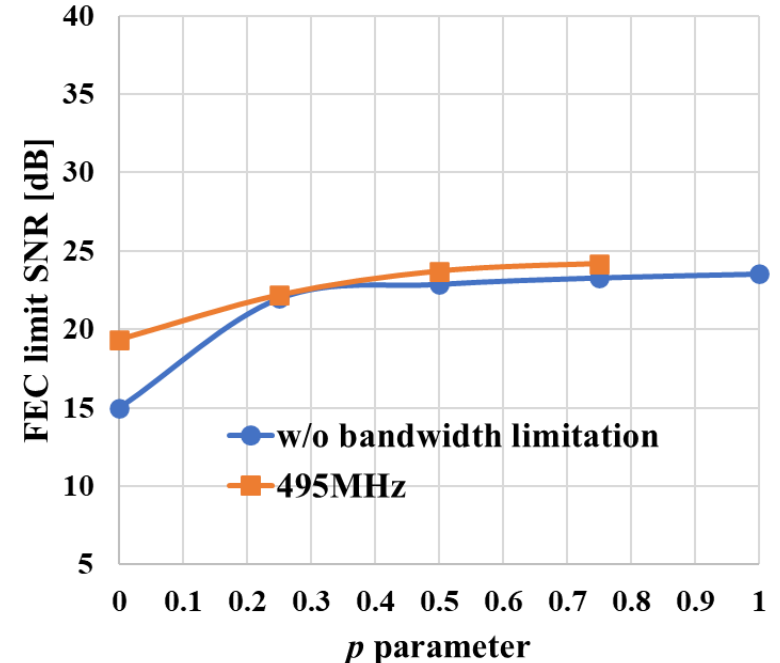
※DCO-OFDM信号はサブキャリアペア生成の関係により、伝送レートは**通常の半分**。

# 比較結果

Nyquist-TDHP(PAM2,PAM4)



DCO-OFDM(QPSK,16QAM)

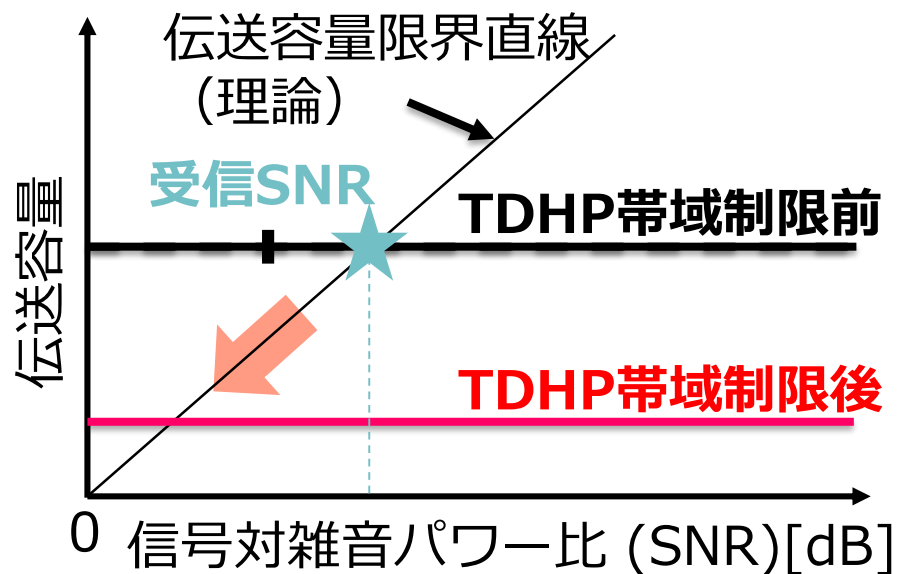


同じ伝送容量 ( $p$ パラメータ) である時、誤り訂正限界時のSNRはTDHPの方が低くて済む。



同じ距離で比較した時、TDHPの方が低い送信パワーで伝送できる。  
同じ送信パワーで比較した時、TDHPの方が遠くまで伝送できる。

# TDHP信号の課題点



電子・光デバイスがもつ信号帯域の制限が生じた時に伝送容量 (信号品質) 低下が発生の問題がある。

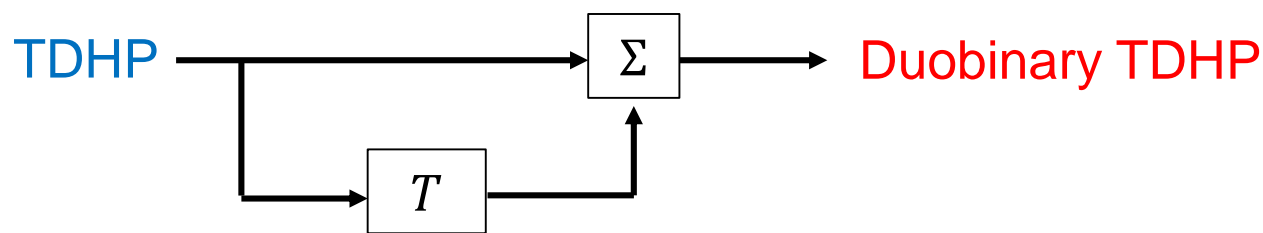
## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、帯域制限に対して伝送容量が低下を克服する符号化技術を設計した。
- 符号化技術による可変容量信号の帯域圧縮に成功した。
- 従来は帯域制限の下でシンボルレートが低下していたが、帯域制限の耐性が向上できたため、シンボルレートの増大が可能となった。
- 本技術の適用により、帯域圧縮後に受信SNRに応じて伝送容量を可変にできるため、伝送容量を最大2～3倍程度まで増大が期待される。

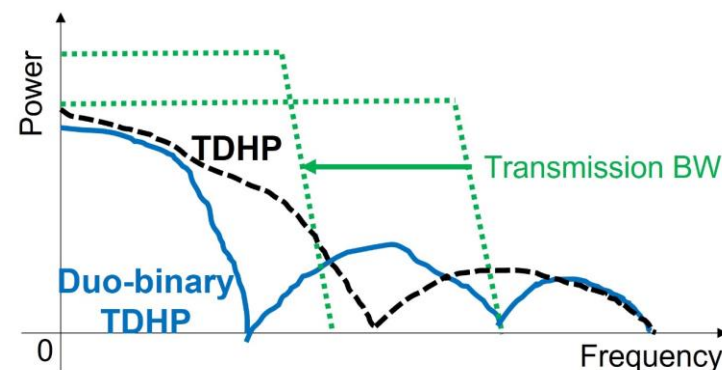
# TDHP信号の帯域圧縮技術

- ✓ デュオバイナリ符号化TDHP信号生成器の回路構成
- ✓  $T$  はシンボル遅延時間に対応

## 符号化の回路構成



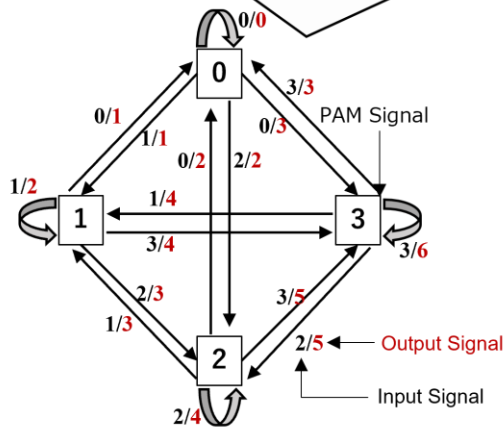
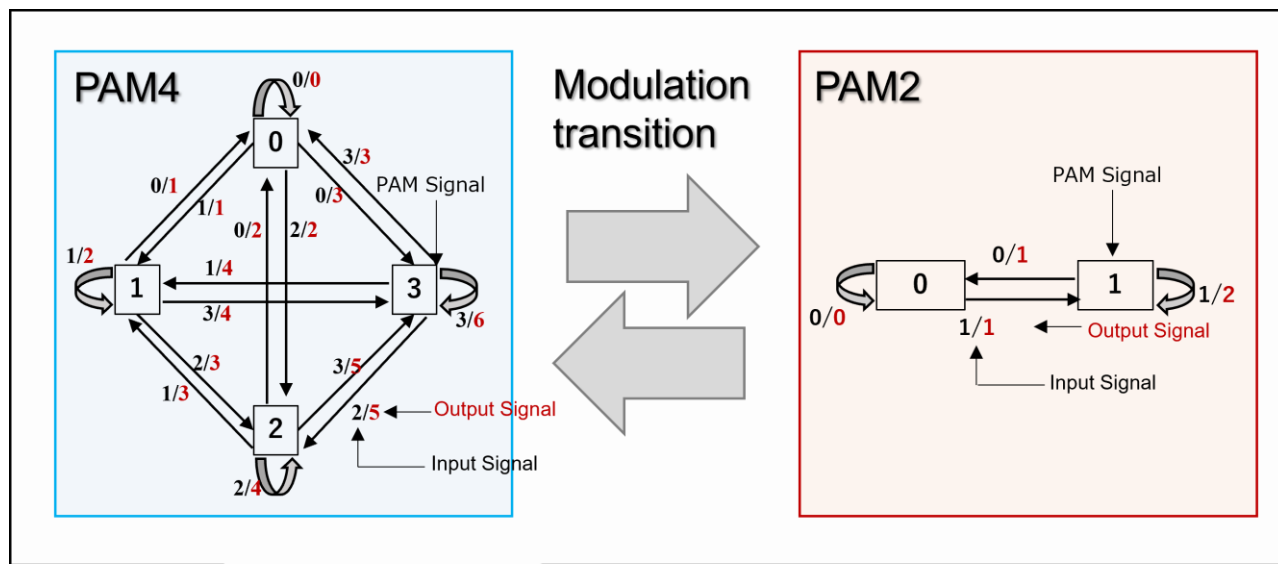
## 符号化前後の信号帯域



## 符号化原理の例

|                  | PAM2 |   |   | PAM4 |   |   |
|------------------|------|---|---|------|---|---|
| 元のTDHP信号         | 0    | 1 | 1 | 3    | 2 | 1 |
| 1シンボル遅延後TDHP信号   | 0    | 0 | 1 | 1    | 3 | 2 |
| デュオバイナリ符号化TDHP信号 | 0    | 1 | 2 | 4    | 5 | 3 |

# 技術のポイント

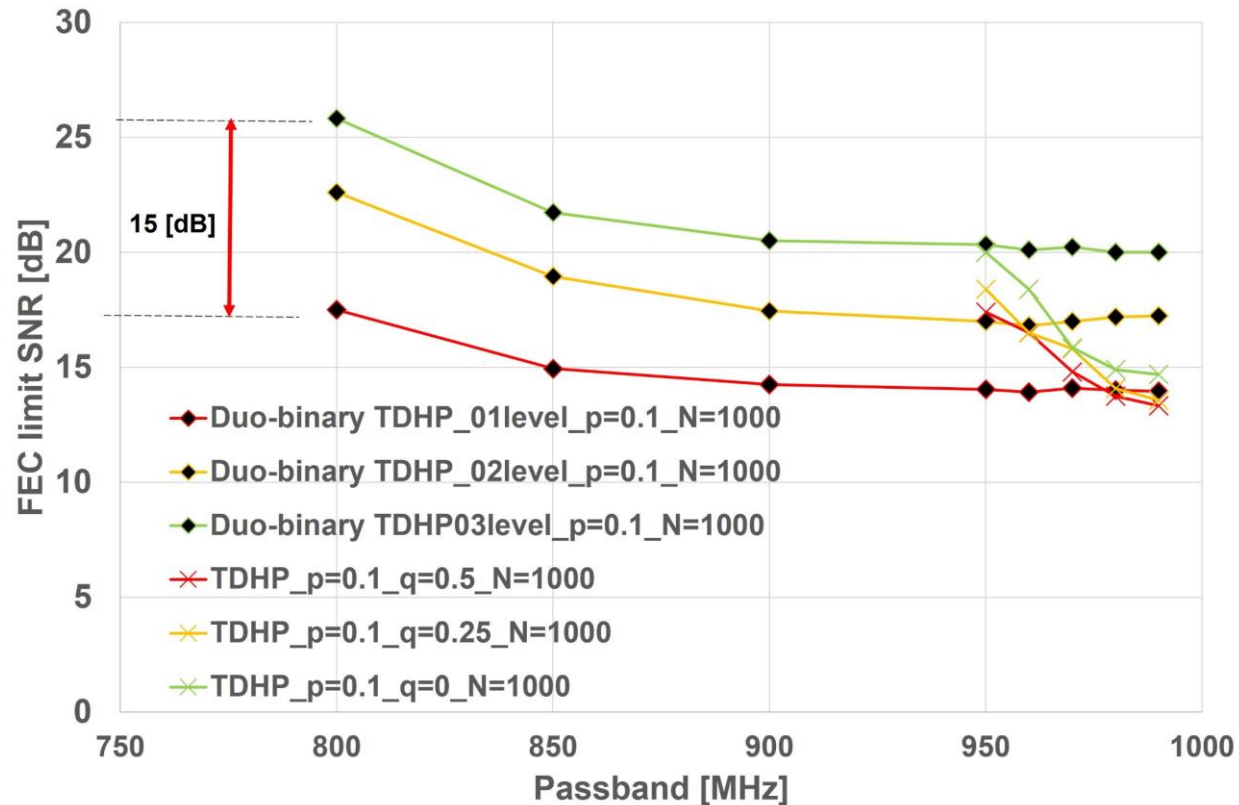


ビット復号の演算量をPAM4信号のビット復号演算量と同程度



# 帯域制限に対する特性評価結果

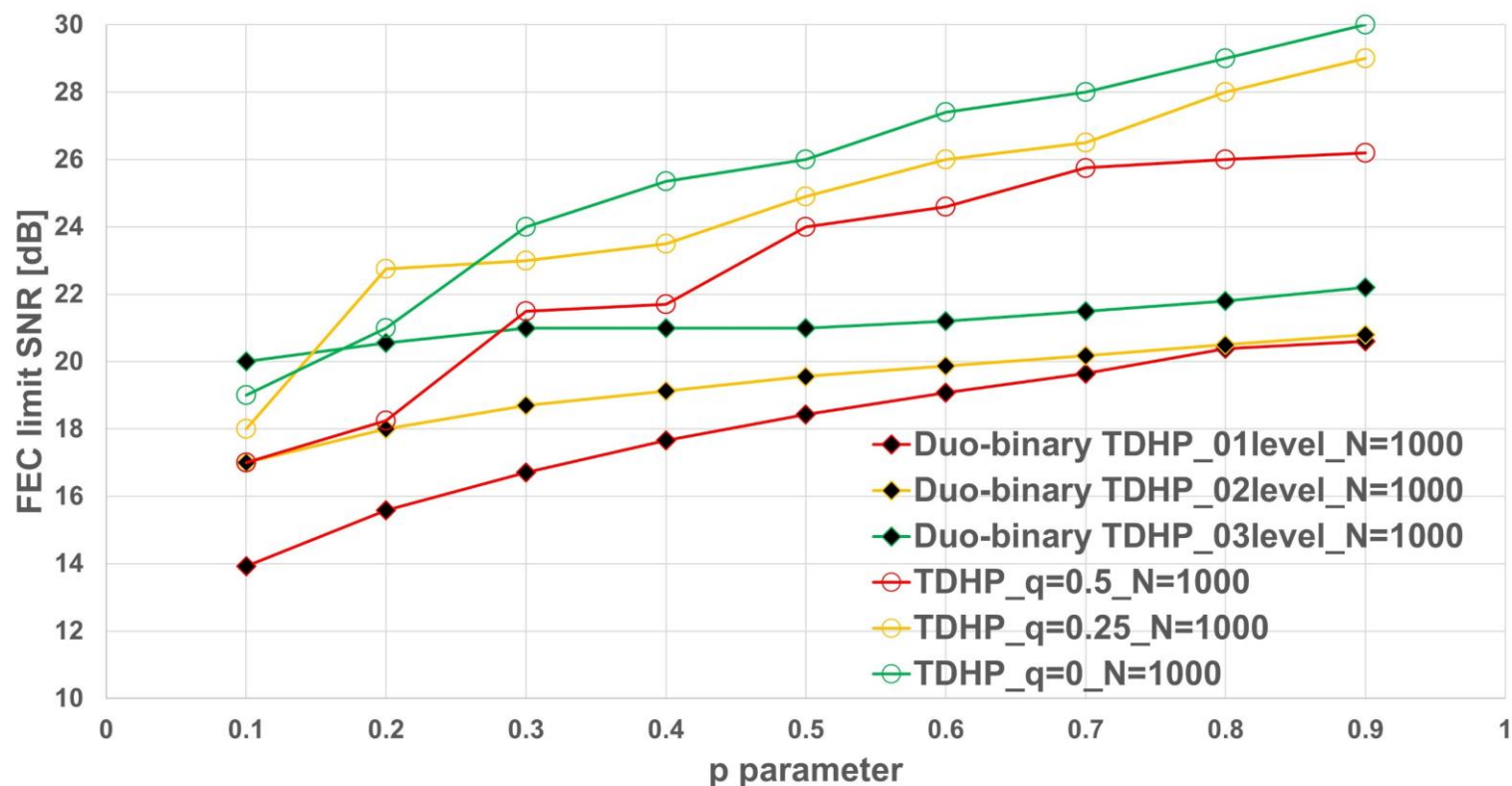
※ $p=0.1$ 固定



1 GSymbol/sのデュオバイナリ符号化TDHP信号は、  
TDHP信号よりも帯域制限に対して高耐性

# 伝送容量に対する特性評価結果

※帯域制限@950 MHz固定



$p$ の増大に伴いFEC limit時SNRが増大  
=> 符号化TDHPの方が優れた特性

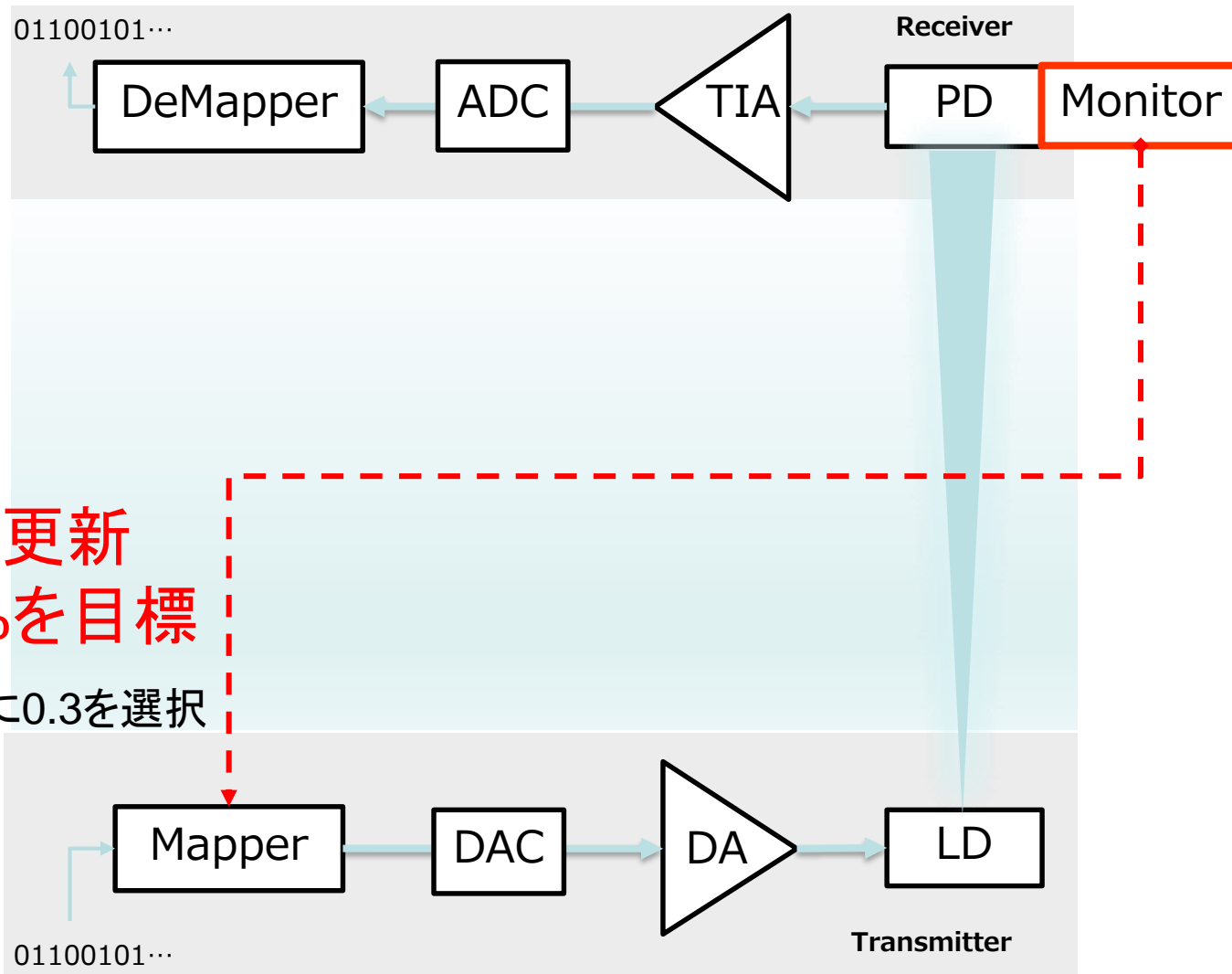
## 想定される用途

- パワー損失が著しく大きい見通しの悪い光無線環境もしくは水中下で利用される光無線トランシーバへの搭載を想定する。
- 光無線トランシーバに本符号化技術を適用することで受信SNRに対する送信伝送容量を最大化できると考えられる。
- 上記以外に、伝送容量を柔軟に設定することで伝送距離を延伸化できる効果が得られることも期待される。

## 実用化に向けた課題

- 現在、受信SNRについて伝送容量最大化が可能  
なところまで技術開発済み。しかし、受信SNRモ  
ニタの点が未解決である。
- 実用化に向けて、受信SNRについて実験データを取  
得し、受信SNRモニタ値を送信器にフィード  
バックして、 $p$ パラメータ設定に適用することで  
伝送容量最大化の精度向上が実現できる。

# 実用化に向けた課題



$p$ パラメータ更新  
誤差精度20%を目標  
例. 最適 $p=0.5$ の時に0.3を選択

# 企業への期待

- 未解決の最適 $p$ 設定回路設計については、受信パワーモニタ値の送信側フィードバック技術により克服できると考えている。
- 通信用トランシーバ開発の技術を持つ、企業への技術移転と共同研究を希望。
- また、光無線通信トランシーバを開発中もしくは開発予定の企業、海中IoT分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 光通信システム
- 出願番号 : 特願2023-24480
- 出願人 : 国立大学法人 香川大学
- 発明者 : 小玉崇宏、小堀史哉

# お問い合わせ先

香川大学産学連携・知的財産センター/  
テクノネットワーク四国（四国TLO）  
吉田 恵美

TEL 087-832-1695

FAX 087-832-1673

e-mail [yoshida@s-tlo.co.jp](mailto:yoshida@s-tlo.co.jp)