

波動と光

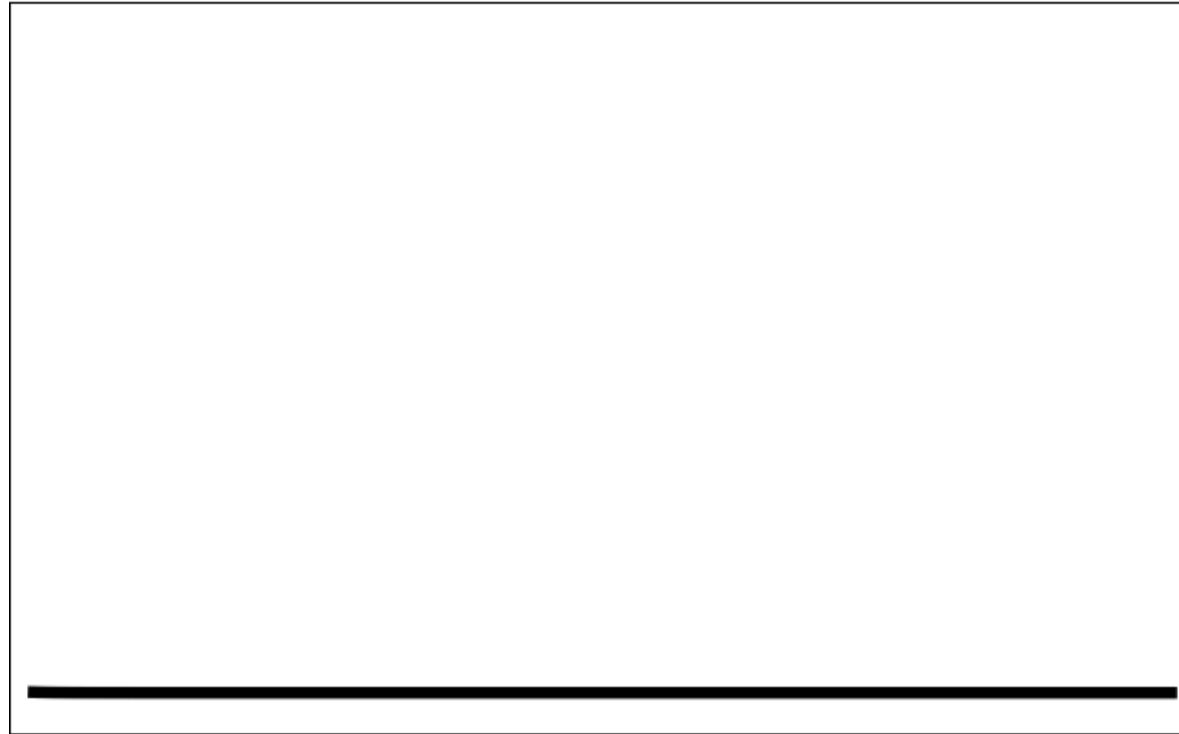
第4回 波動方程式と重ね合わせの原理

情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻

松浦 基晴

逆方向に伝搬する波の重ね合わせ

引用: <http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/superposition/superposition.html>

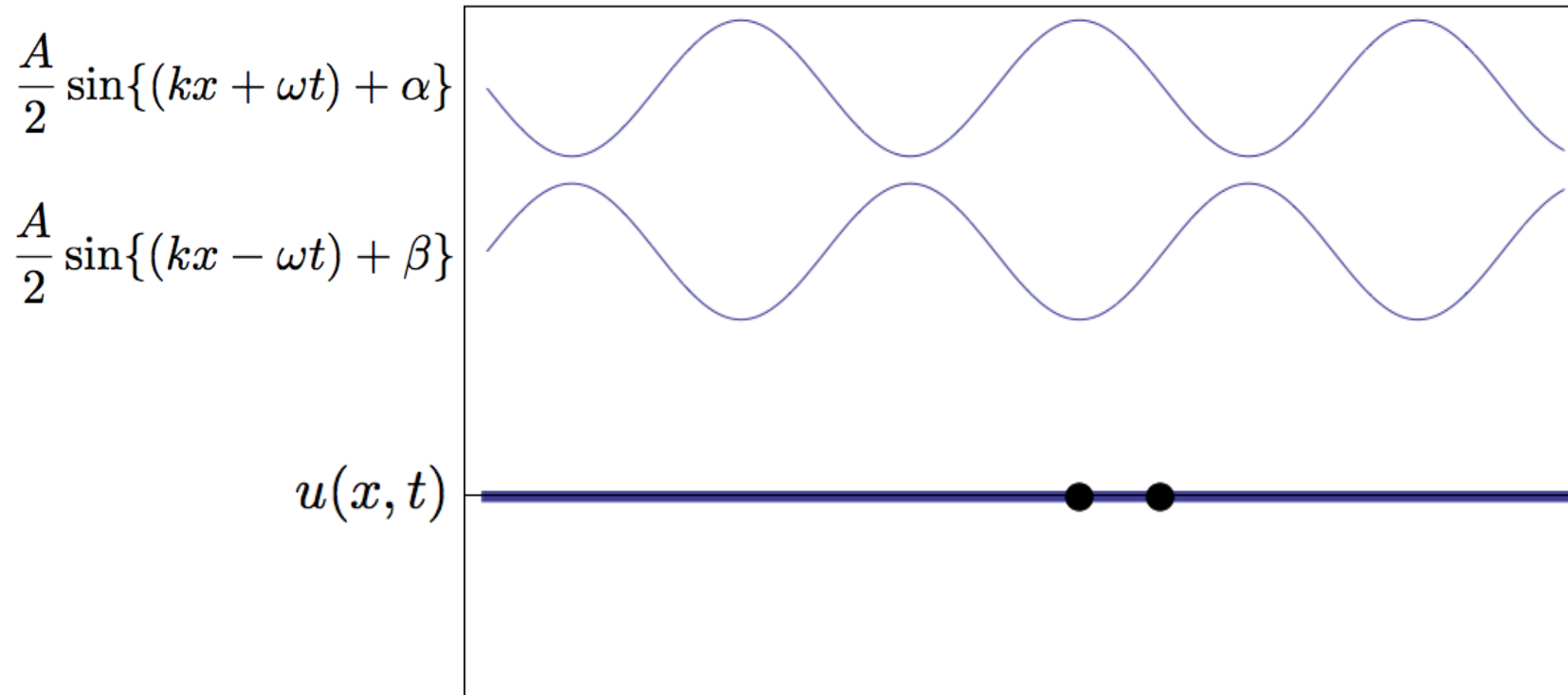


波動方程式 $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ を満たす, 関数 $u(x, t)$ は,
未知関数およびその導関数が1次でそれらの積を含まないため, 線形であり, 重ね合わせの原理が成り立つ.

定在波

教科書p.19, 図1.12

引用: <http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/superposition/superposition.html>



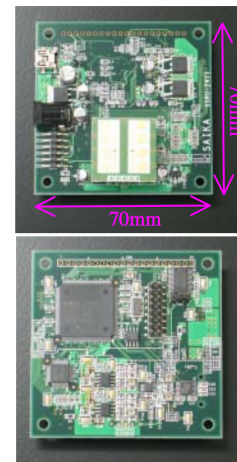
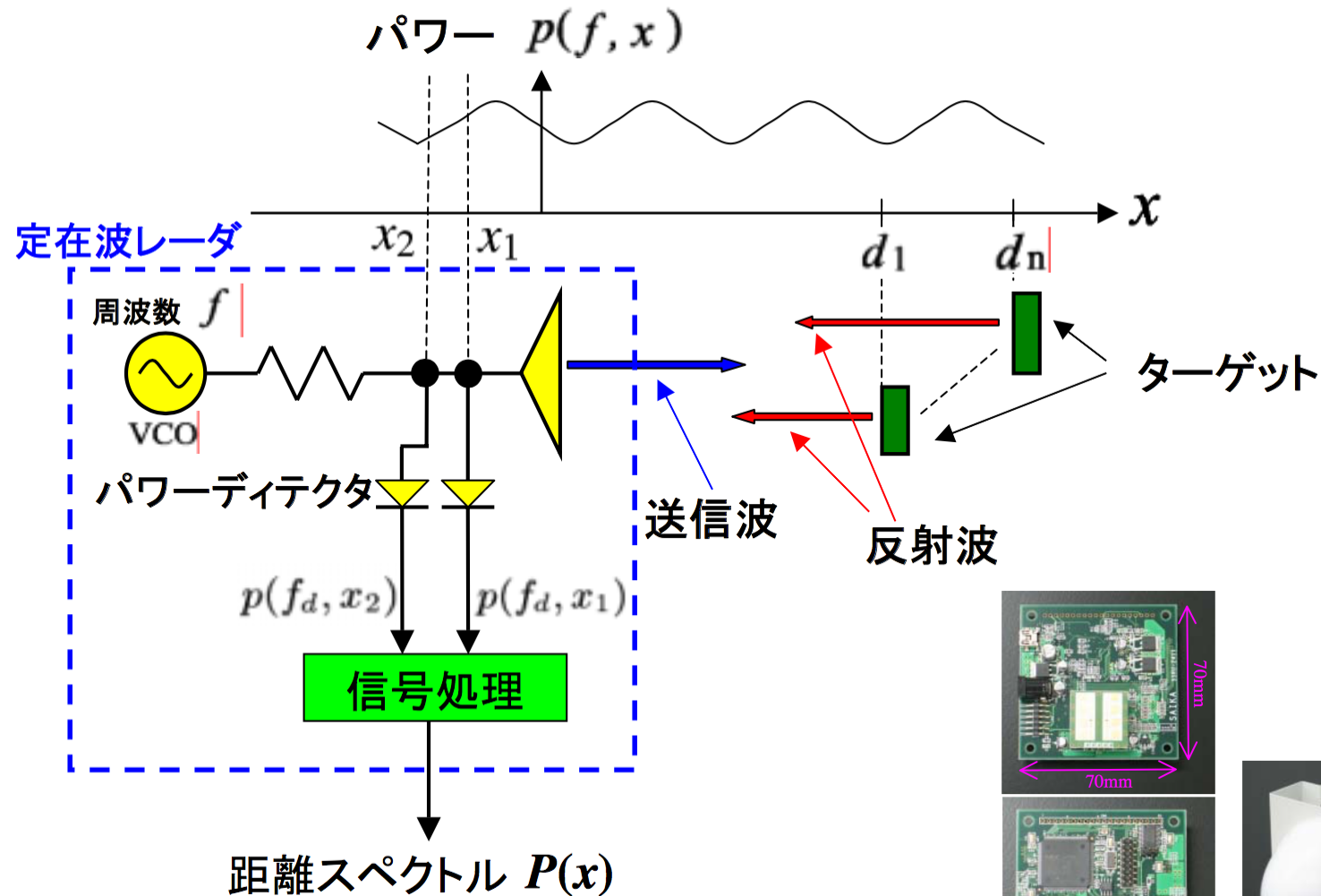
$$\begin{aligned} u(x, t) &= \frac{A}{2} \sin\{(kx + \omega t) + \alpha\} + \frac{A}{2} \sin\{(kx - \omega t) + \beta\} \\ &= \frac{A}{2} \sin\left(kx + \frac{\alpha + \beta}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\alpha - \beta}{2}\right) \end{aligned}$$

位置で決まる正弦波関数
(時間変動に無依存)

時間だけで決まる
正弦波関数

定在波を利用したレーダ

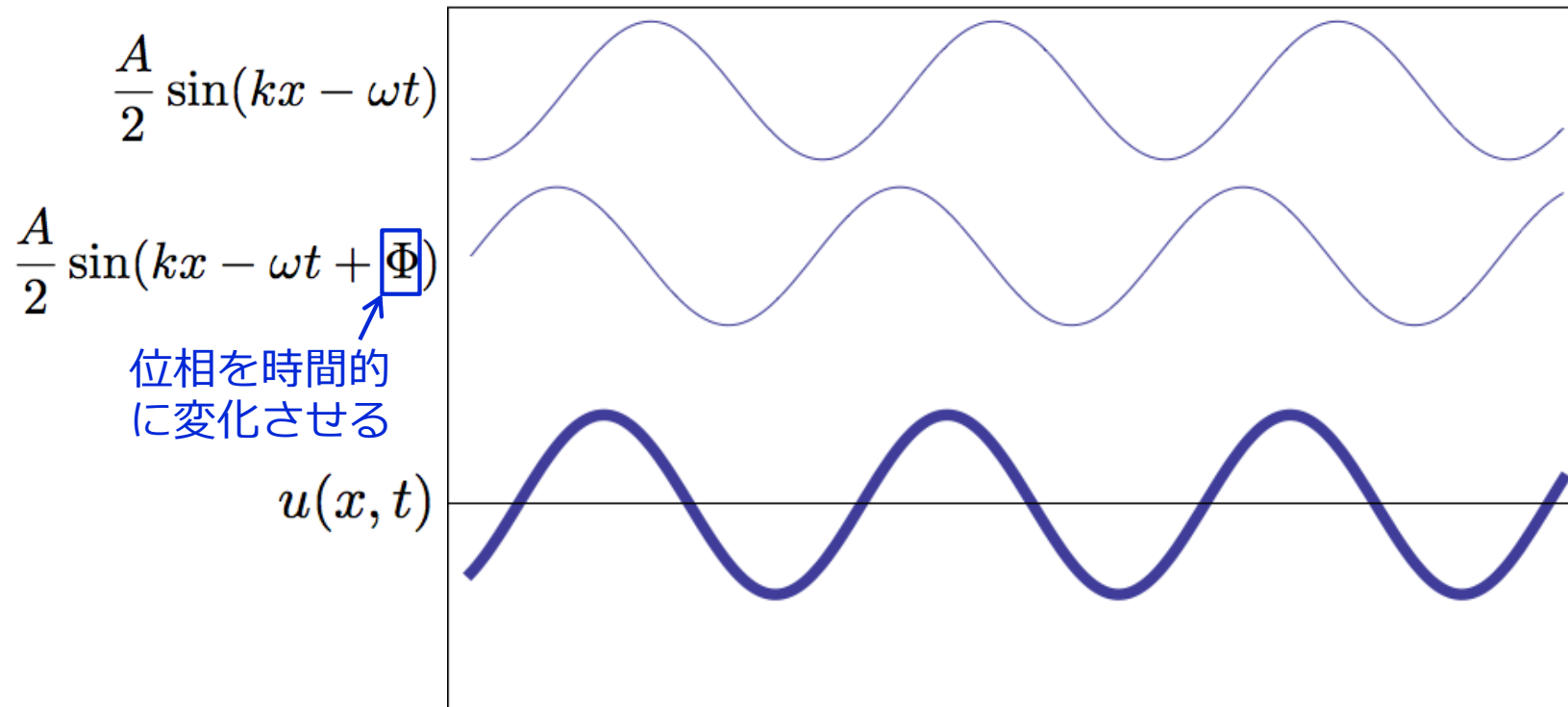
引用: http://www.ptm-co.jp/CL04/68_S1.pdf



実際の定在波レーダ

波の干渉

引用: <http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/superposition/superposition.html>

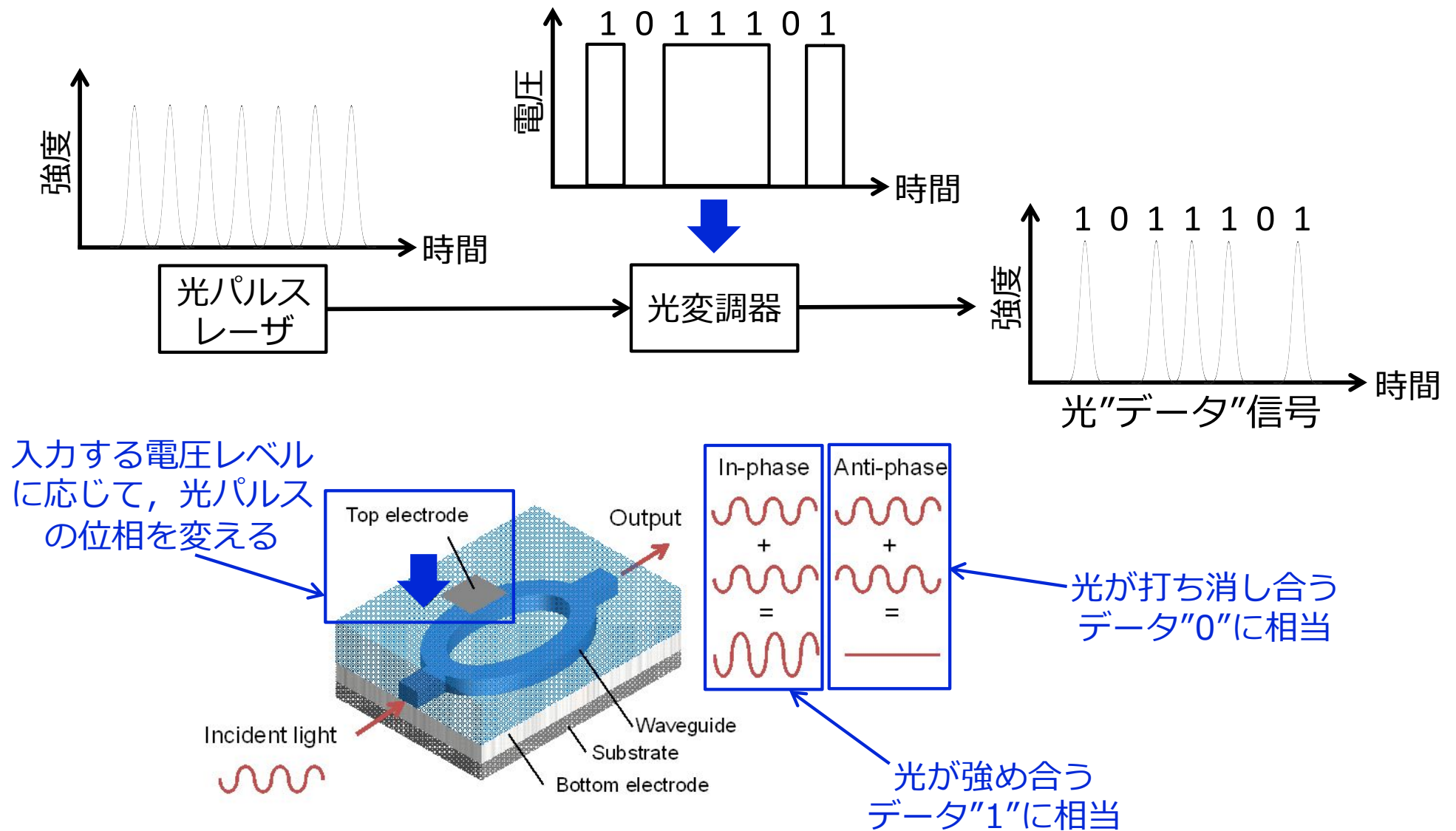


$$u(x, t) = \frac{A}{2} \sin(kx - \omega t) + \frac{A}{2} \sin(kx - \omega t + \Phi)$$
$$= A \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\Phi}{2}\right)$$

振幅が位相の半分
の周期で変化

正弦波が位相の半分
の時間変化で移動

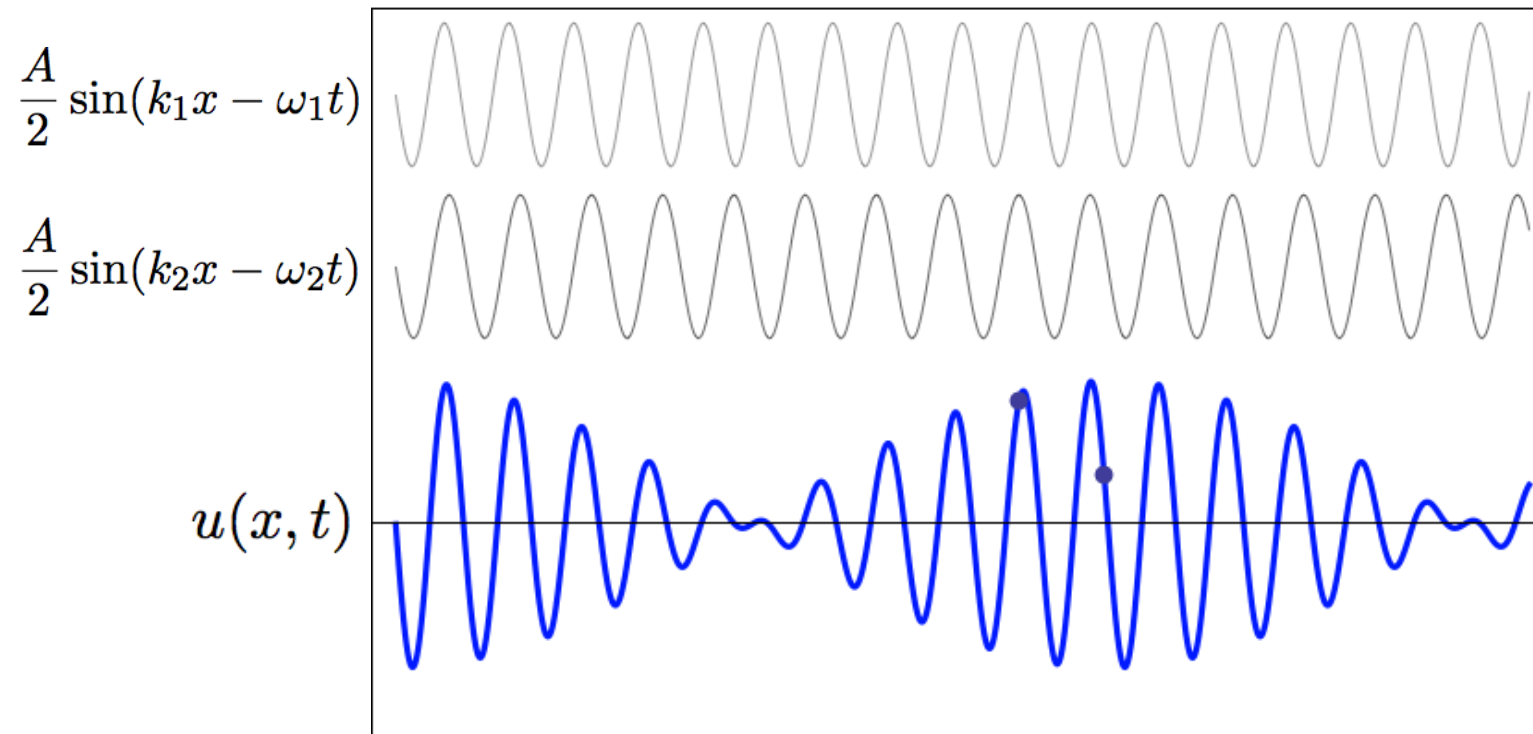
光データ信号生成の一例



光変調器（マッハツェンダー干渉計）の動作原理

異なる周波数の波の重ね合わせ：ビート

引用: <http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/superposition/superposition.html>



$$u(x, t) = \frac{A}{2} \sin(k_1 x - \omega_1 t) + \frac{A}{2} \sin(k_2 x - \omega_2 t)$$
$$= A \cos \left[\frac{(k_1 - k_2)}{2} x - \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{2} t \right] \sin \left[\frac{(k_1 + k_2)}{2} x - \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{2} t \right]$$

↑
2つの波の差周波数
の半分で変動

↑
2つ波の周波数
の平均で変動

光ビートによるテラヘルツ波発生

引用: <https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-21-20-23736>

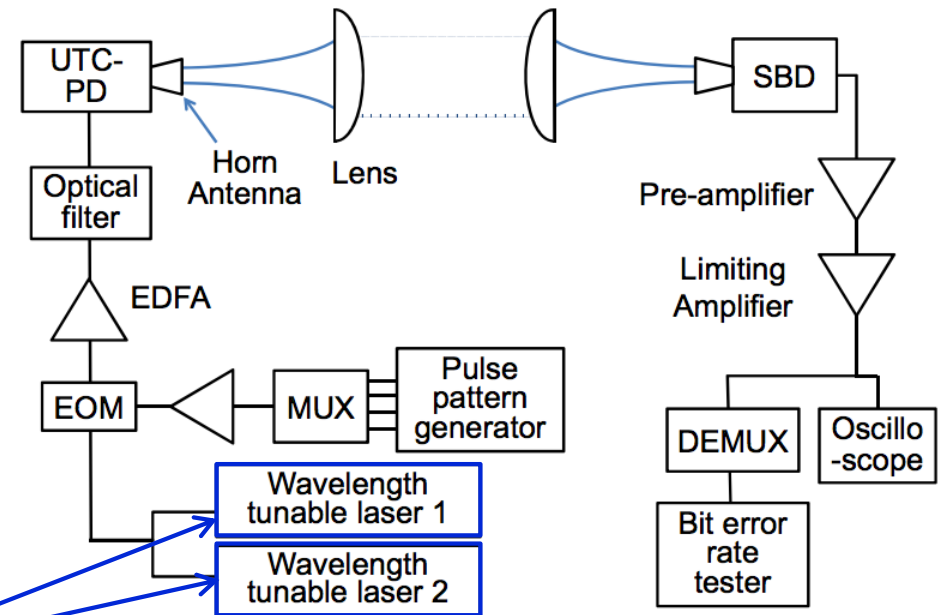
・テラヘルツ波の問題点

直接テラヘルツ波を
発生させることが困難



周波数の高い光の差周波
(ビート)を利用して
テラヘルツ波を発生

2つのレーザの発振波長差を
2.4 nm (300 GHz) に調整し,
その差周波である300 GHz
のテラヘルツ波を発生させる



超高速 (300 GHz, 40-Gbit/s)
無線通信伝送実験

UTC-PD: Uni-Traveling Carrier Photodiode, EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier, EOM: Electro-Optic intensity Modulator, MUX: Multiplexer, SBD: Schottky-Barrier Diode

演習問題2

➤ 以下のWebサイトから演習問題2をダウンロードする.
<http://www.mm.cei.uec.ac.jp/opt21.html>

➤ 演習問題を回答する.
・教科書, ノートを見ながらの回答で良い.
・受講生どうしの答え合わせはしない.

➤ 回答を以下のメールで送信する.

メール送付先 : wave.opt.uec@gmail.com

- ・ Subject : 学籍番号, 氏名 (例 : 1900001, 電通太郎)
- ・ 本文 : 演習問題の 問3 の回答

本日 (4/30) の 11時まで にメールを送信すること