

波動と光

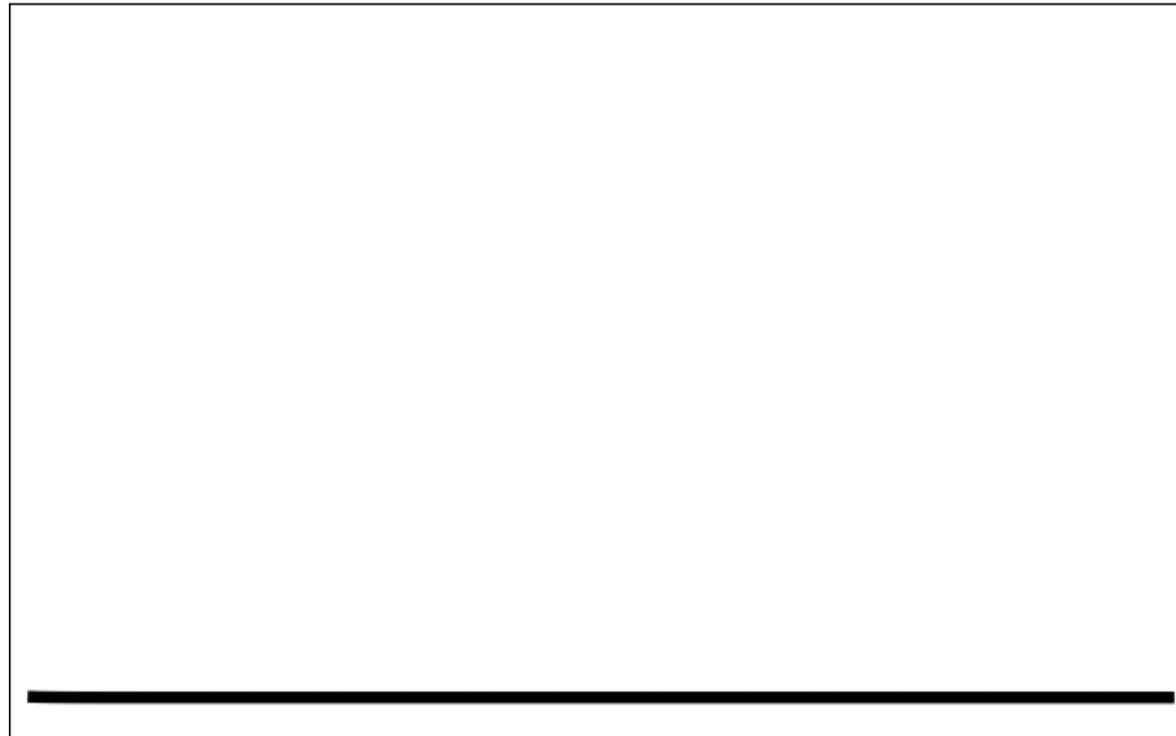
第3回 波動方程式と重ね合わせの原理

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>

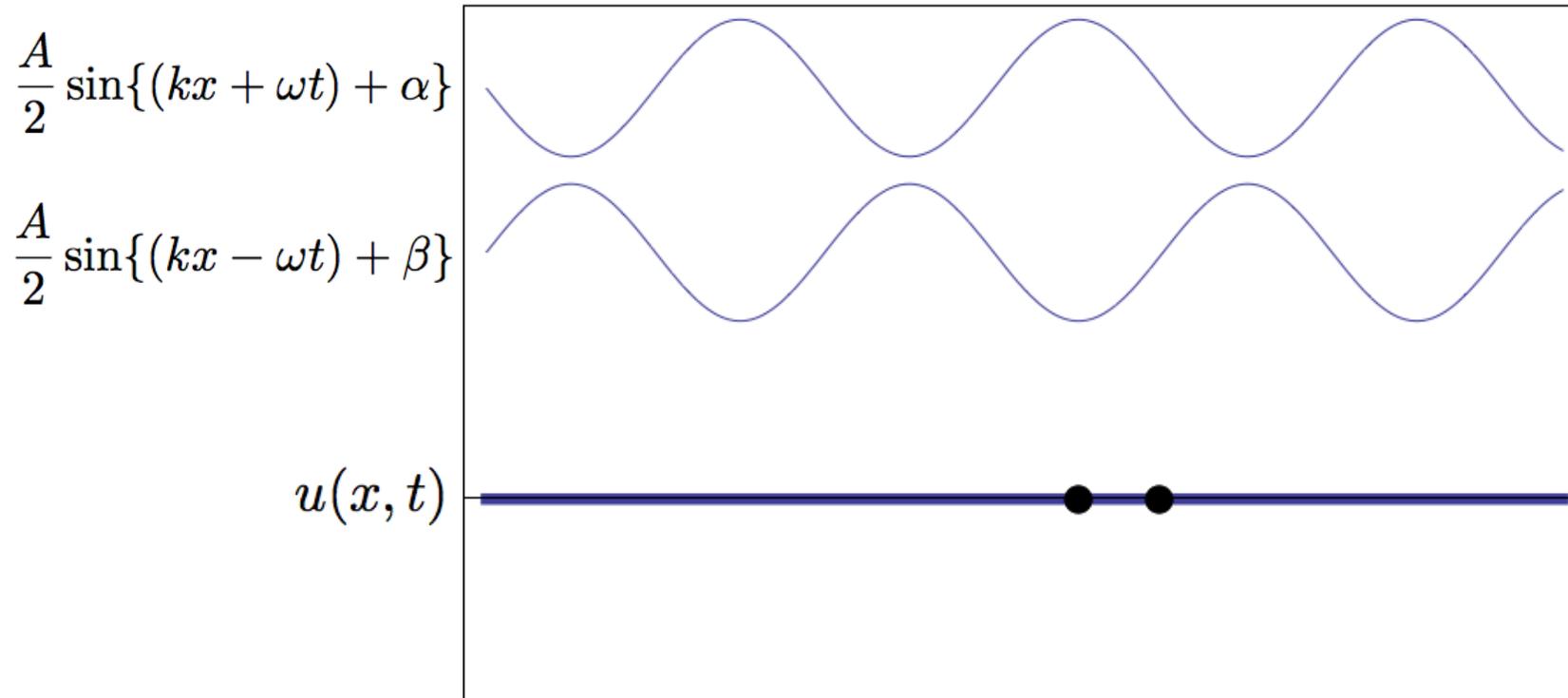


波動方程式 $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ を満たす, 関数 $u(x, t)$ は,
未知関数およびその導関数が1次でそれらの積を含まないため, 線形であり, 重ね合わせの原理が成り立つ.

定在波

教科書p.19, 図1.12

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



$$u(x, t) = \frac{A}{2} \sin\{(kx + \omega t) + \alpha\} + \frac{A}{2} \sin\{(kx - \omega t) + \beta\}$$

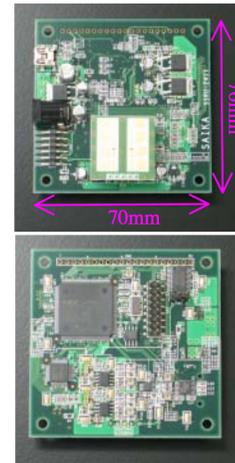
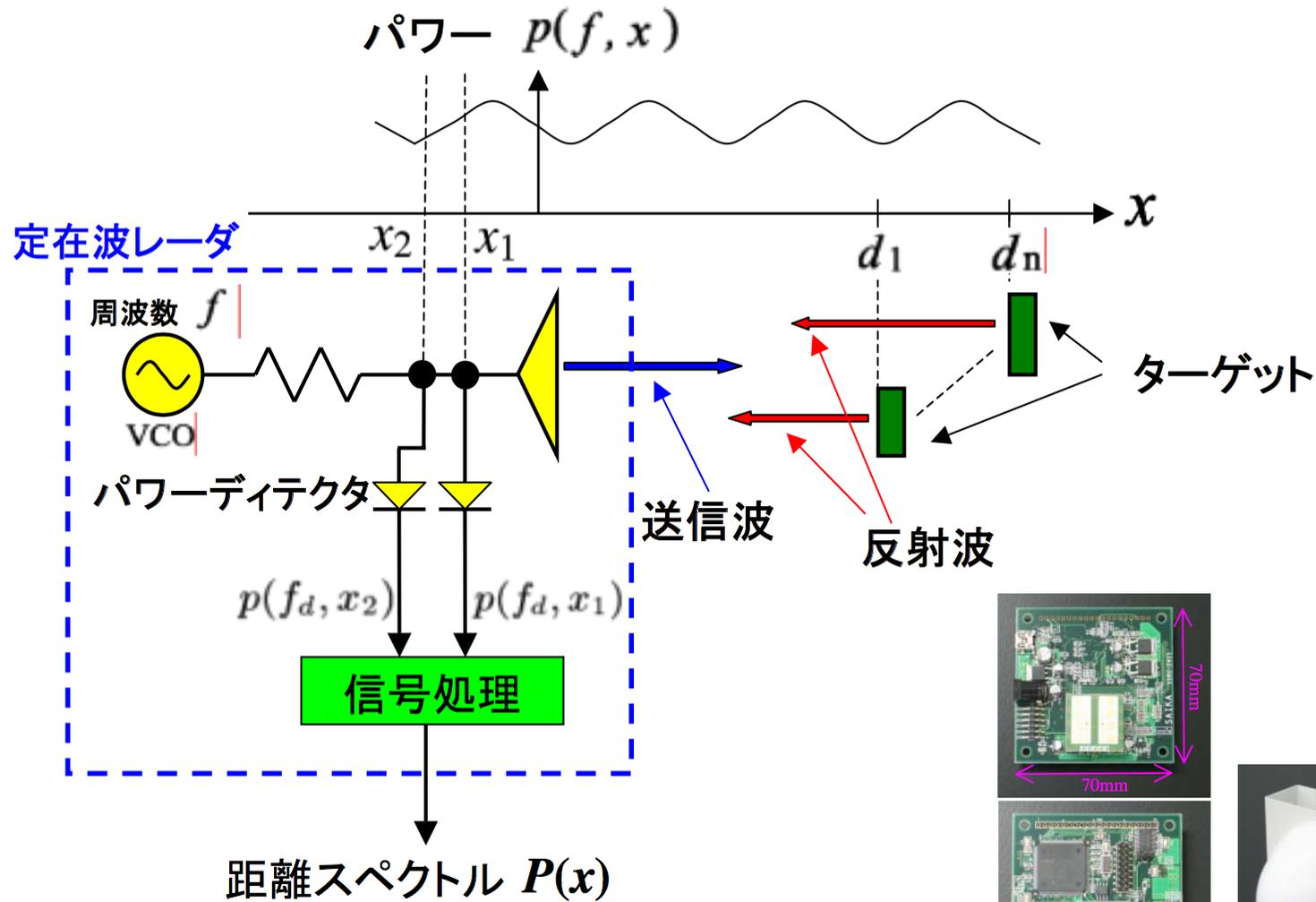
$$= \frac{A}{2} \sin\left(kx + \frac{\alpha + \beta}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\alpha - \beta}{2}\right)$$

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

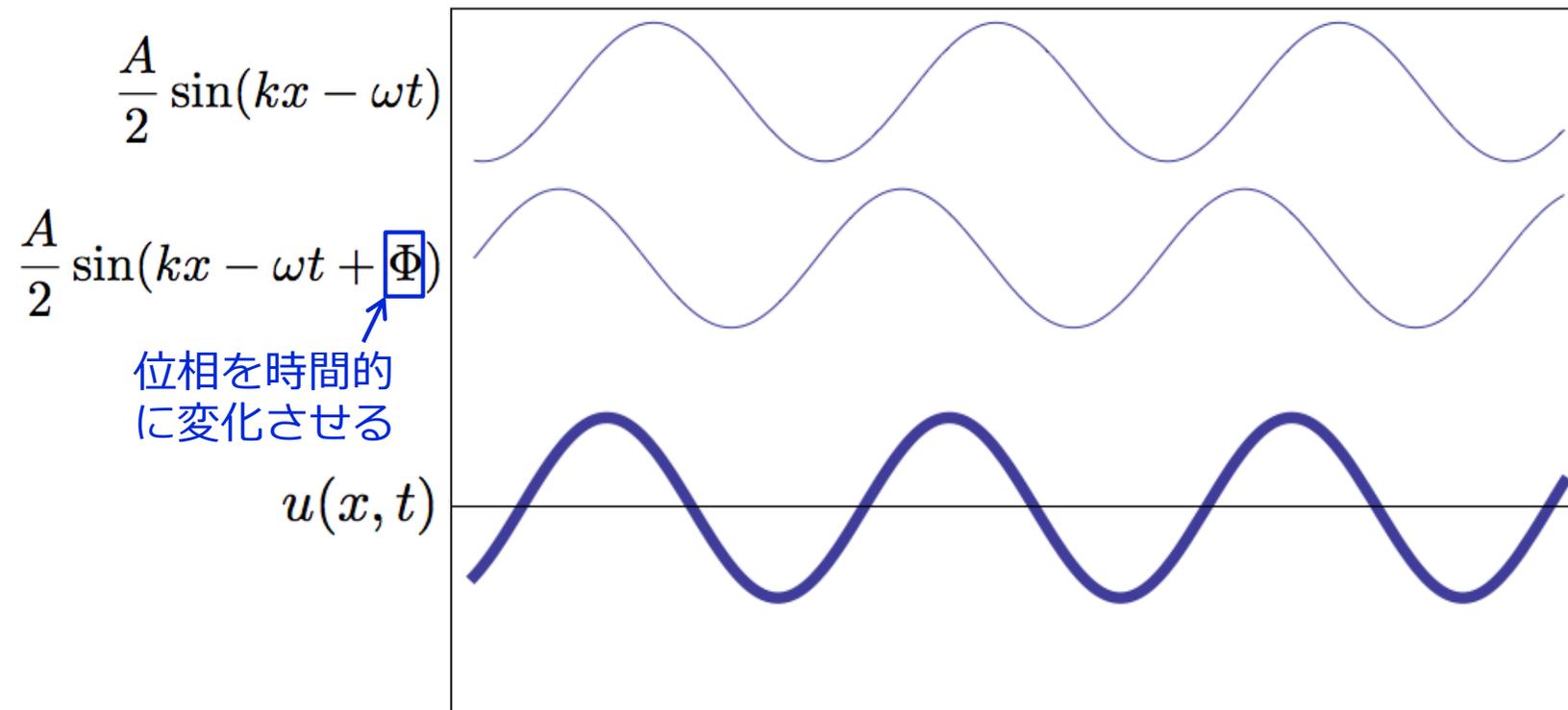
引用: http://www.ptm-co.jp/CL04/68_S1.pdf



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>

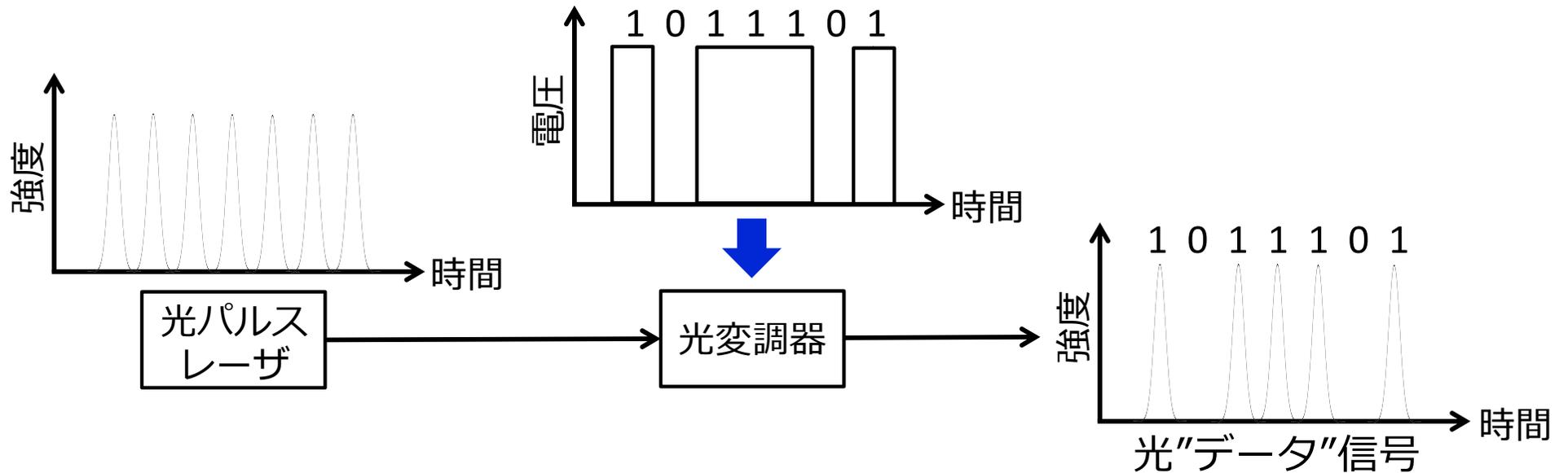


$$u(x, t) = \frac{A}{2} \sin(kx - \omega t) + \frac{A}{2} \sin(kx - \omega t + \Phi)$$
$$= A \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\Phi}{2}\right)$$

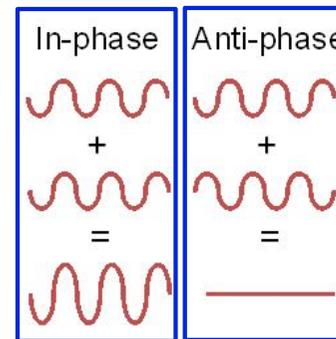
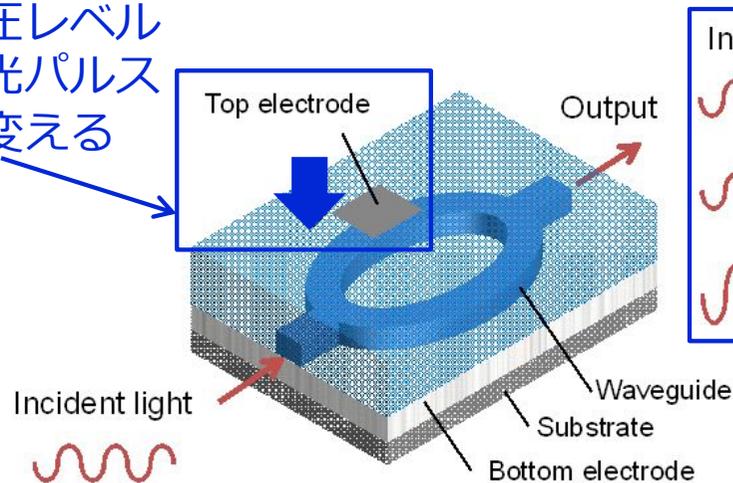
振幅が位相の半分の周期で変化

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



入力する電圧レベルに応じて、光パルスの位相を変える



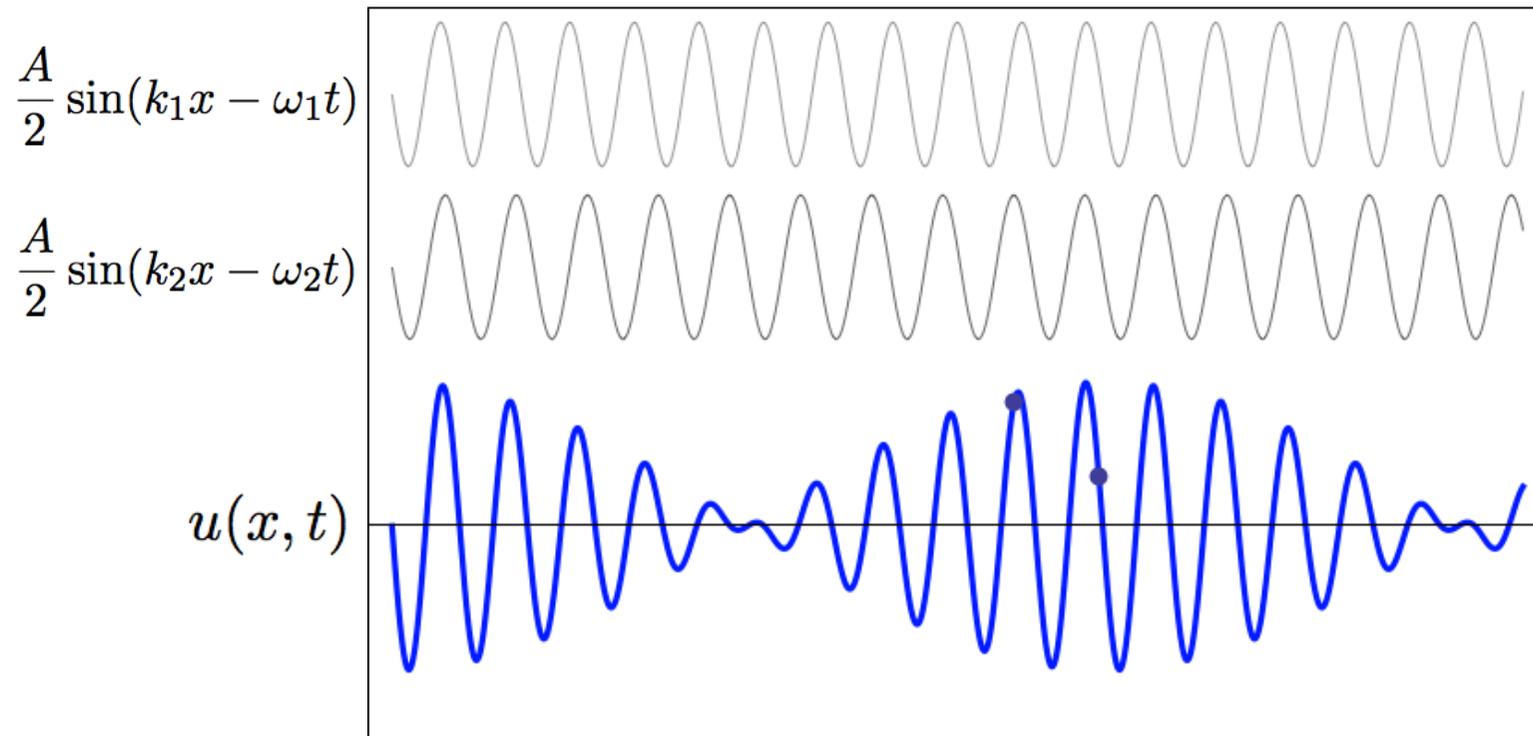
光が打ち消し合う
データ"0"に相当

光が強め合う
データ"1"に相当

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>

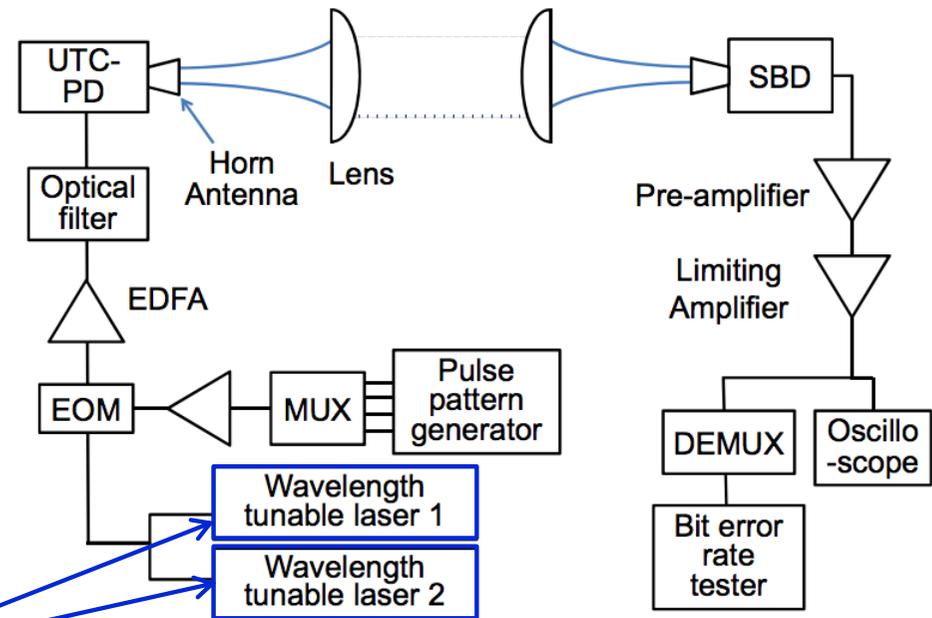
・テラヘルツ波の問題点

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