

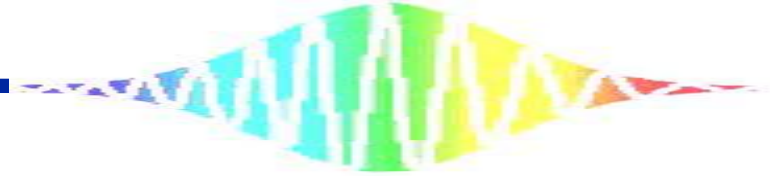
“High-precision frequency measurements  
in the THz spectral region  
using an unstabilized femtosecond laser”

「非安定化フェムト秒レーザーを用いたテラヘルツ  
領域での高精度周波数測定」

Heiko Fuser, Rolf Judaschke, and Mark Bieler  
Applied Physics Letters 99,121111(2011)

宿題

2012/7/3 B4 林建太



# 目次

- 従来法(光干渉計測、ヘテロダイン検出法)
- CW-THz光源
- $m$ がわからないとき
- 瞬間周波数の測定
- ヒルベルト変換を含めた図2の説明
- 図3の補正について

# 干渉計測

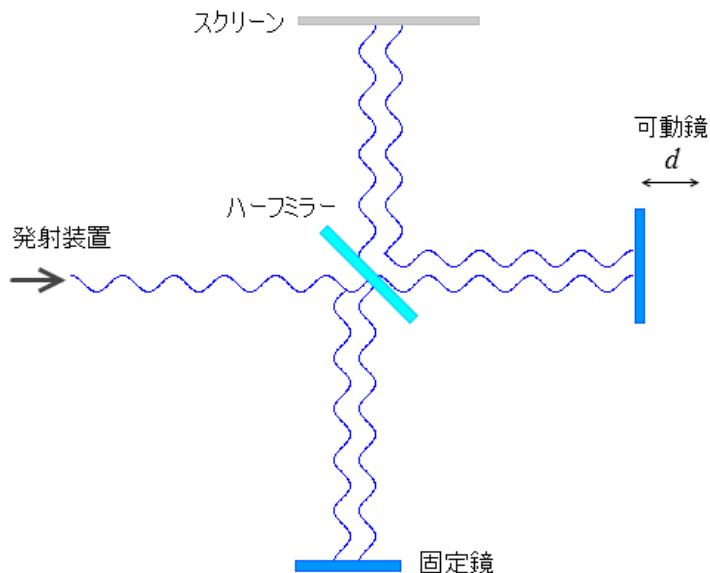
固定ミラー、移動ミラーで反射した被測定電磁波の干渉縞を検出

この干渉縞を既知周波数をもつ周波数安定化レーザー光源などと比較して周波数を測定

$$L_1 - L_2 = \frac{m\lambda}{2} \quad (m \text{は整数})$$

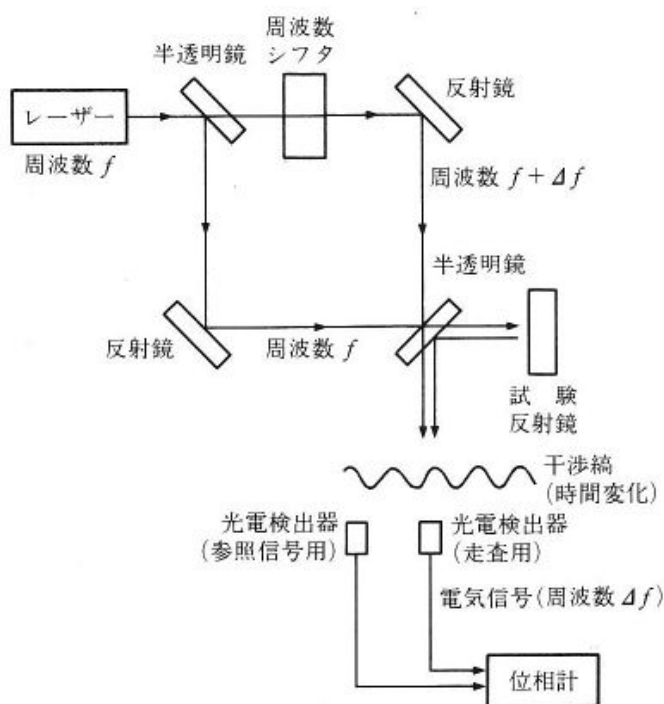
## 問題

- 周波数確度(干渉計測の不確定性依存)に制限
- 検出器の熱揺らぎを抑制するため極低温冷却が必要



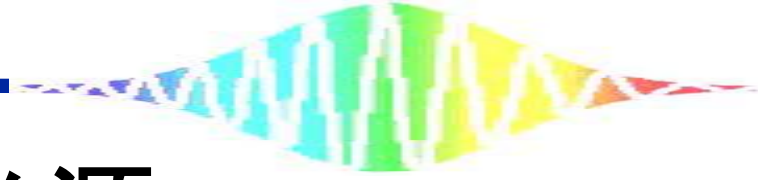
# ヘテロダイン干渉計

被測定波と局部発振器からのLO信号をミキシングし、発生したビート信号から周波数を求める手法

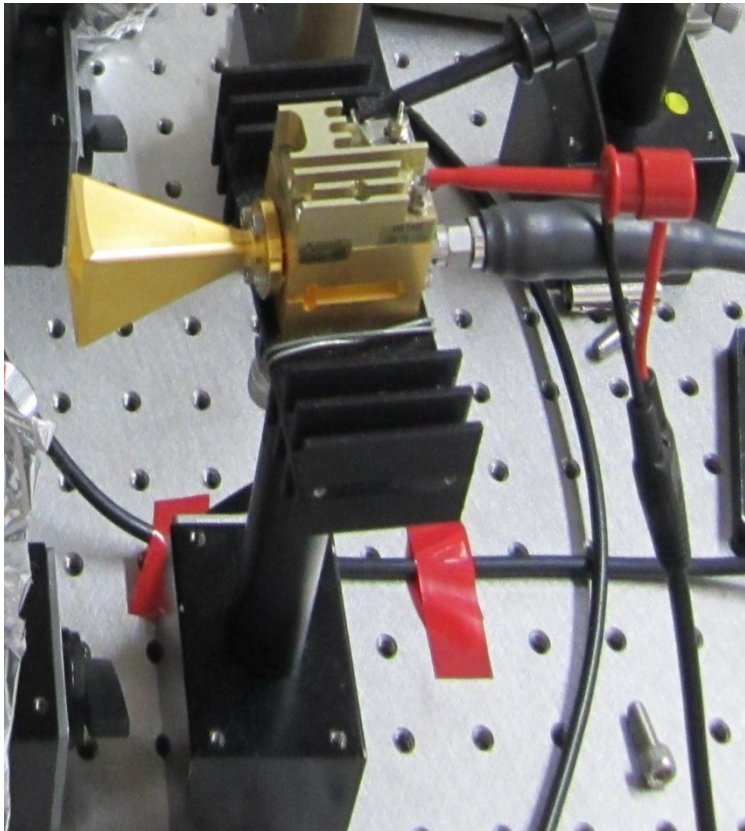


## 問題

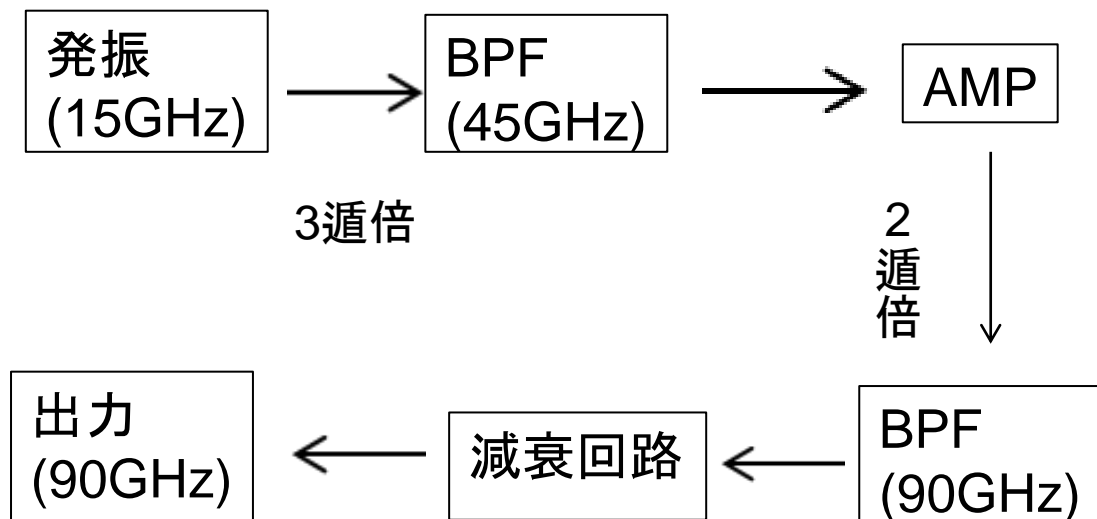
- THz帯で安定な局部発振器の不足
- 熱雑音を抑制するためにミキサーに冷却装置が必要
- 応答周波数も1THz程度が限界

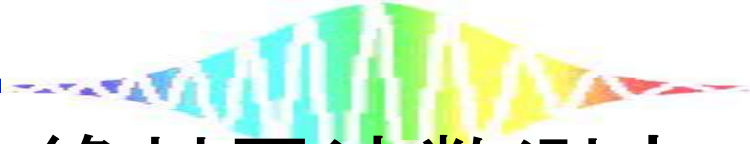


# CW-THz光源



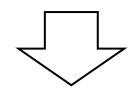
- シンセサイザーの出力を周波数逡倍器で6逡倍することで  
75~110GHzの放射が可能





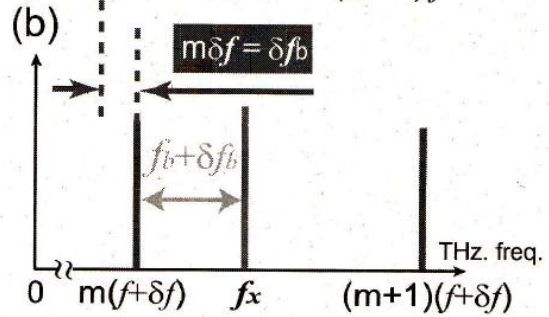
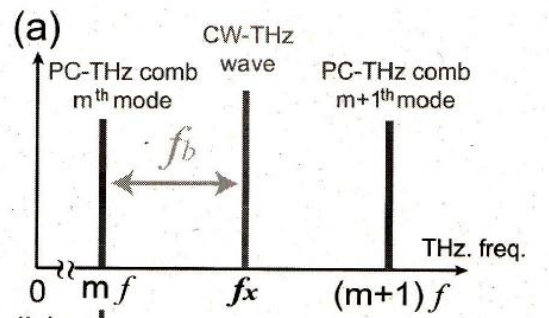
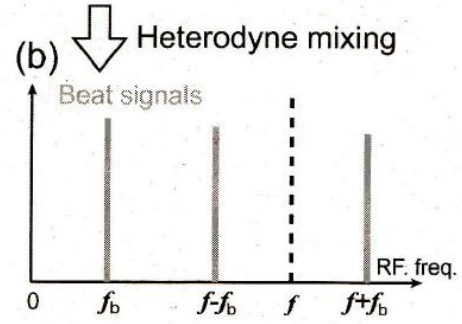
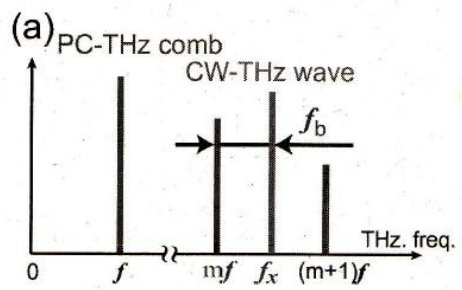
# THzコムを用いたCW-THz絶対周波数測定

PC-THzコムが生成されたPCA内にCW-THz波を入射



ビート信号の周波数  $f_b = |m \cdot f - f_x|$

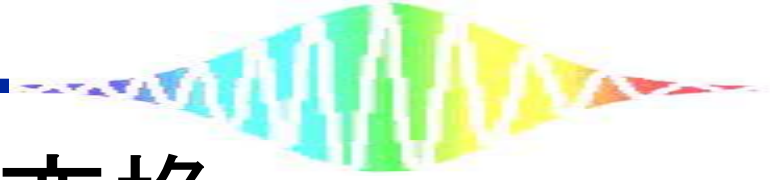
ここで、共振器長をわずかに変化( $f + \delta f$ )させるとビート周波数は $f_b + \delta f_b$ に変化する



$$m\delta f = \delta f_b$$

これによりmが決まるので絶対周波数が測定できる

(周波数精度 $10^{-11}$ )

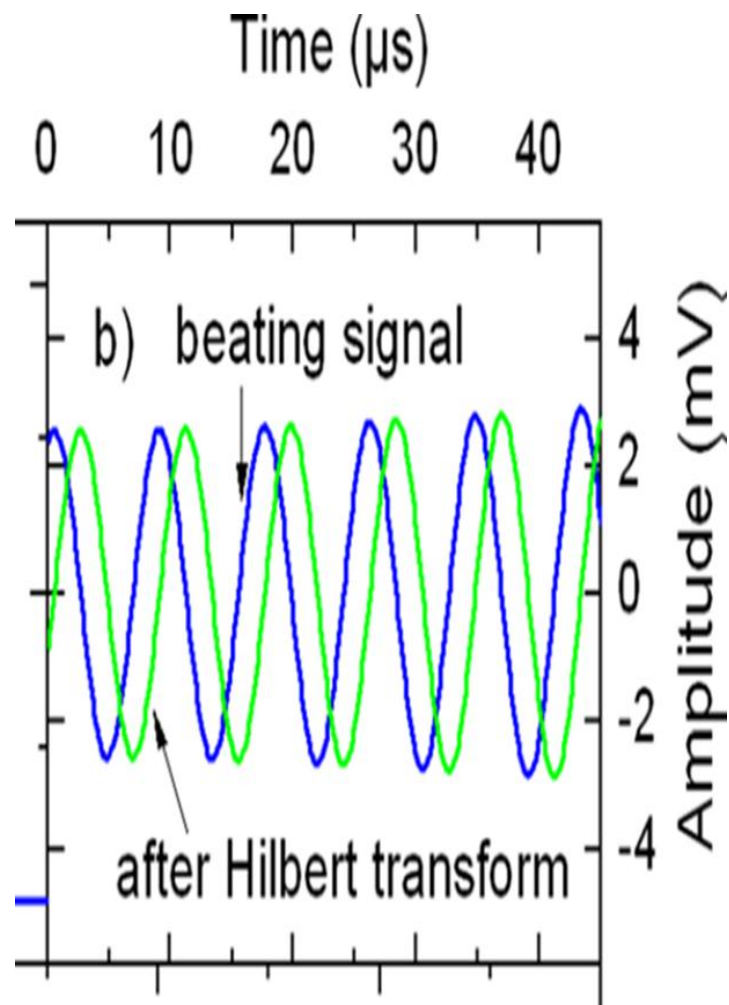


# ヒルベルト変換

- ヒルベルト変換とは、振幅特性は周波数によらず一定で、位相特性は正の周波数領域では位相が  $\pi/2$  遅れ、負の周波数領域では位相が  $\pi/2$  進むようなフィルタ

# 瞬間周波数の測定

ヒルベルト変換を行う



$$\text{位相} = \tan^{-1} \frac{\text{ヒルベルト変換後の信号}}{\text{ビート信号}}$$

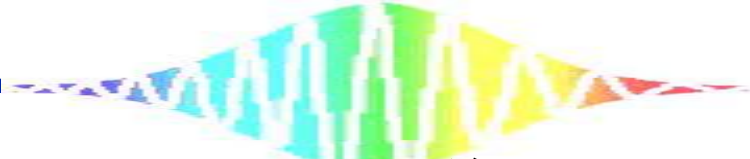
ビート信号の瞬間周波数

$$f_{i,beat} = 1/(2\pi) d \arg[z(t)]/dt$$

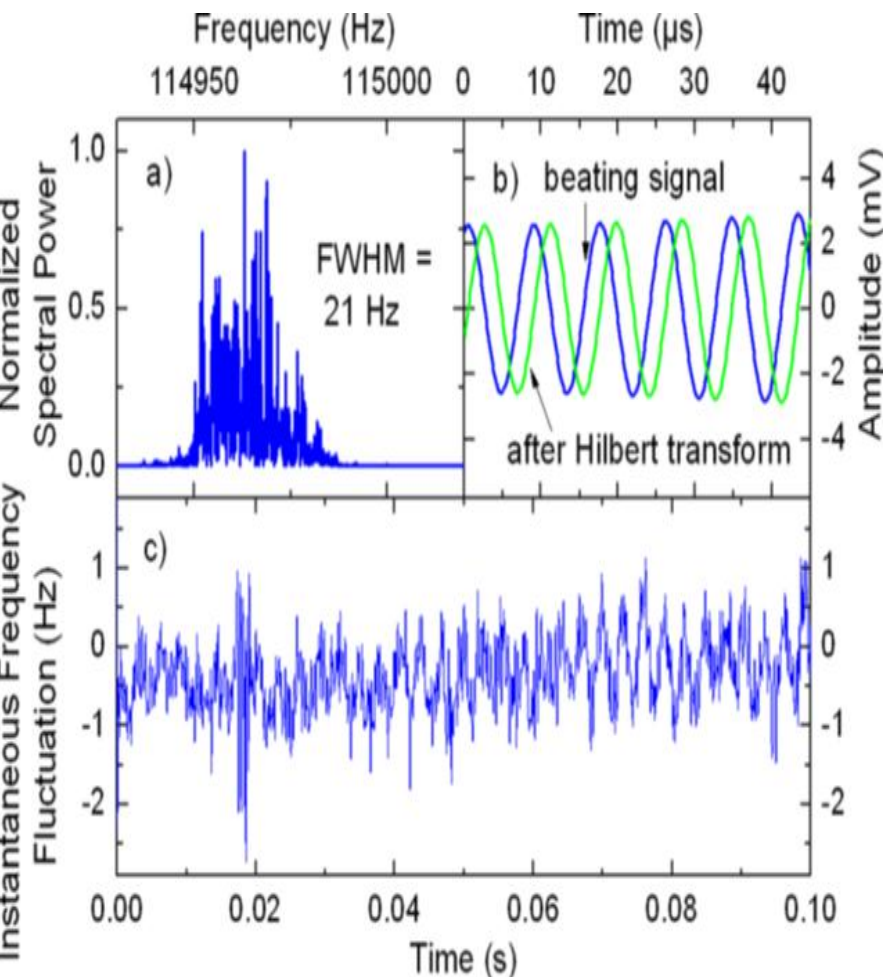
繰り返し周波数の瞬間周波数

$$f_{i,rep} = |f_{i,beat} - f_{LO}|/n$$





# ヒルベルト変換を含めた図2の説明



ビート信号の瞬間周波数

$$f_{i,beat} = 1/(2\pi) d \arg[z(t)] / dt$$

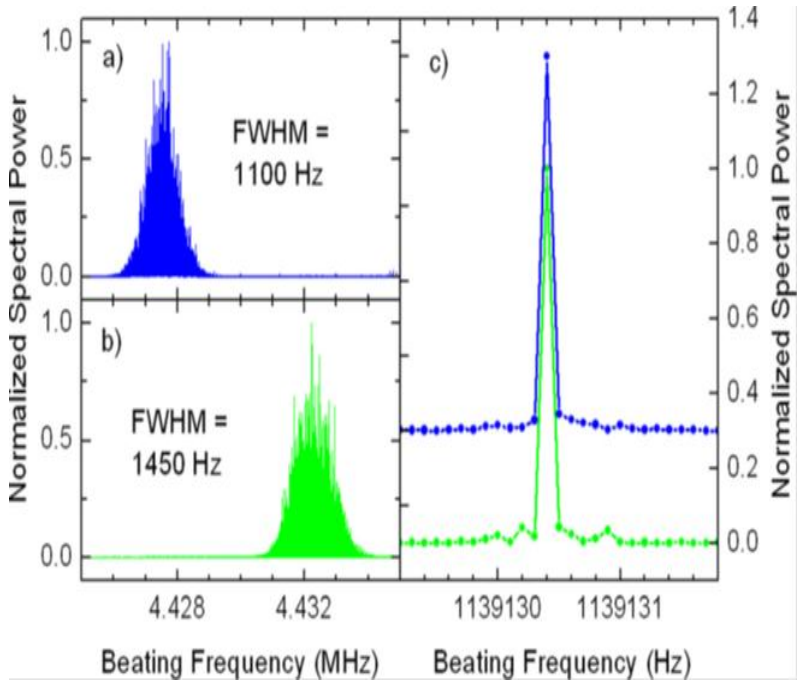
$$f_{b,rep} = |n \cdot f_{rep} - f_{LO}| \text{より}$$

繰り返し周波数の瞬間周波数

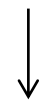
$$f_{i,rep} = |f_{i,beat} - f_{LO}| / n$$



# テラヘルツビート信号の補正



ヒルベルト変換



位相の算出



THzビート信号の瞬間周波数

$$f_{i,THzbeat} = 1/(2\pi) d \arg[z(t)] / dt$$

