

二波長型レーザー伸縮計の開発

産総研・計測標準 寺田聡一
東大地震研 新谷昌人、高森昭光

はじめに

岐阜県神岡鉱山内には、基線長100mの真空光路を用いたレーザー干渉計型地殻ひずみ計が設置されており、 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ の精度で地殻歪を観測している。この干渉計は非常に高精度であるが、真空光路を用いているため高額であり、更なる長基線化や、多点設置には向かない。そこで、真空光路を用いずに大気光路のレーザー干渉計で地殻歪が計測できれば非常に有用である。

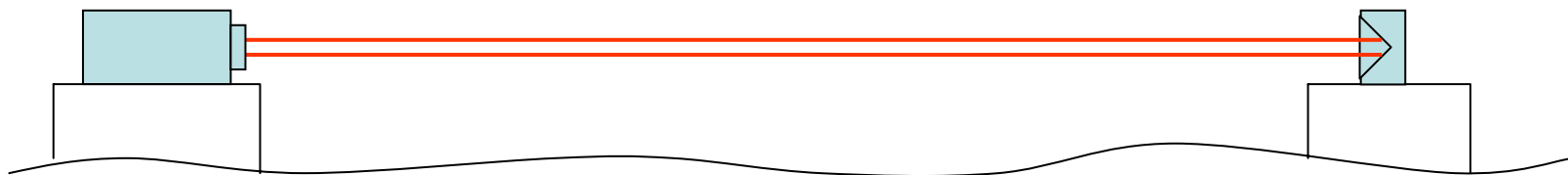
大気光路の長基線レーザー干渉計では、空気屈折率が最大の問題となる。空気屈折率を算出するには、その空気の温度、気圧、湿度、二酸化炭素濃度の測定が必要である。気圧に関しては、干渉計光路内では一定とみなせるが、特に温度に関しては空間分布があり、干渉計の基線長が長くなると非常に沢山の温度計が必要となるデメリットがある。

そこで、長基線で大気光路で地殻歪を観測に、二波長干渉計を応用する。二波長干渉計は空気の温度や気圧、湿度、二酸化炭素濃度を測ることなく、空気屈折率の影響をキャンセルできるメリットを持つ。その反面、精度は数十倍～百倍悪化するのが一般的である。ここでは、精度を悪化させずに測定できる二波長干渉計を開発している。

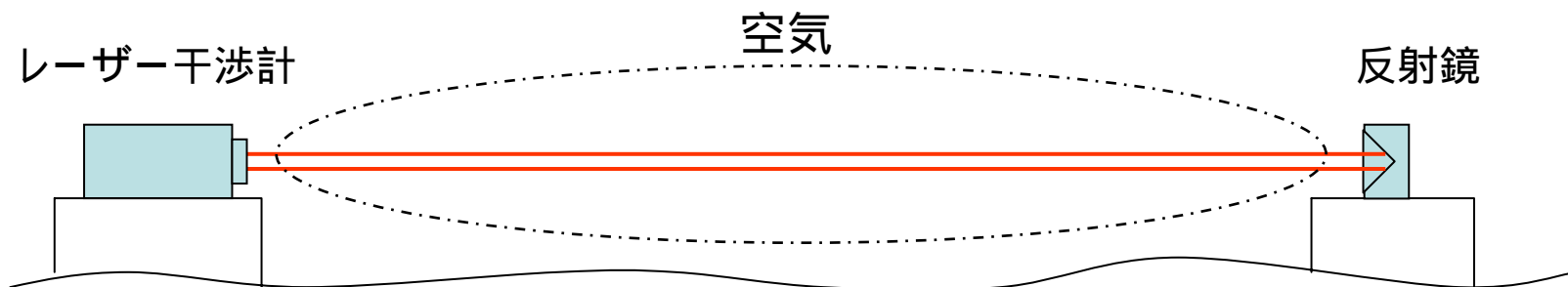
レーザー伸縮計

レーザー干渉計

反射鏡



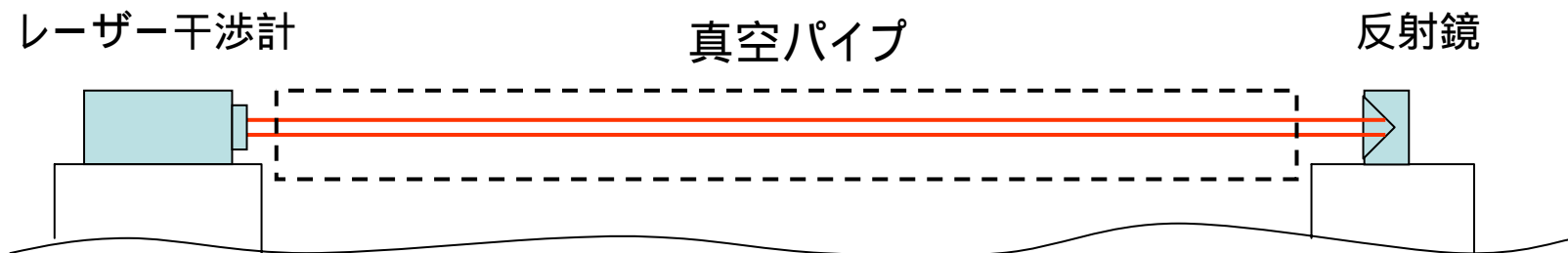
レーザー伸縮計



測れるのは、
『距離 × 空気屈折率』

→ 温度、気圧、等で
変化する。

レーザー伸縮計



真空ならば、
『距離』が測れる。

測る距離と同じ長さの真空パイプが必要。

距離が長くなるとレーザービームの直径も大きくなるので、
真空パイプの太さも太くしなければならない。

——▶ **空気中で測りたい。**

空気屈折率

空気屈折率の値は、大体 1.000270 くらい(真空は、1)。

温度1 で、約-1ppm

気圧1hPaで、約0.3ppm

湿度10%で、約-0.1ppm

CO₂濃度100ppmで、約0.01ppm

変化する

空気屈折率

空気屈折率の値は、大体 1.000270 くらい(真空は、1)。

温度1 で、約-1ppm
気圧1hPaで、約0.3ppm
湿度10%で、約-0.1ppm
CO₂濃度100ppmで、約0.01ppm
変化する

100mの距離を1 μ mの精度で測るには、

光路の温度を0.01 、気圧0.03hPa
で測らなくてはならない。

二波長干渉計

空気中で普通の干渉計で長距離を精度良く測るのは困難。

→ 異なる2つの波長の光を用いて測長。

光の波長が異なると、空気屈折率も異なる。
さらに、温度や気圧の変化に対する、空気屈折率の変化率も異なる。

二波長干渉計を使って、空気中で測長する。

二波長干渉計の測長原理

$$L_1 = n_{(\lambda_1)} D$$

D : 幾何学的距離 (= 知りたいもの)

L_1 L_2 : 光学的距離 (= 干渉計で測れるもの)

$$L_2 = n_{(\lambda_2)} D$$

$n_{(\lambda)}$: 波長 λ に対する空気屈折率

$$D = L_2 - A(L_2 - L_1)$$

$$A = \frac{n_{(\lambda_2)} - 1}{n_{(\lambda_2)} - n_{(\lambda_1)}}$$

空気の温度や気圧にほとんど依存しない定数。

光学的距離と定数 A で幾何学的距離が決定できる！！

メリット

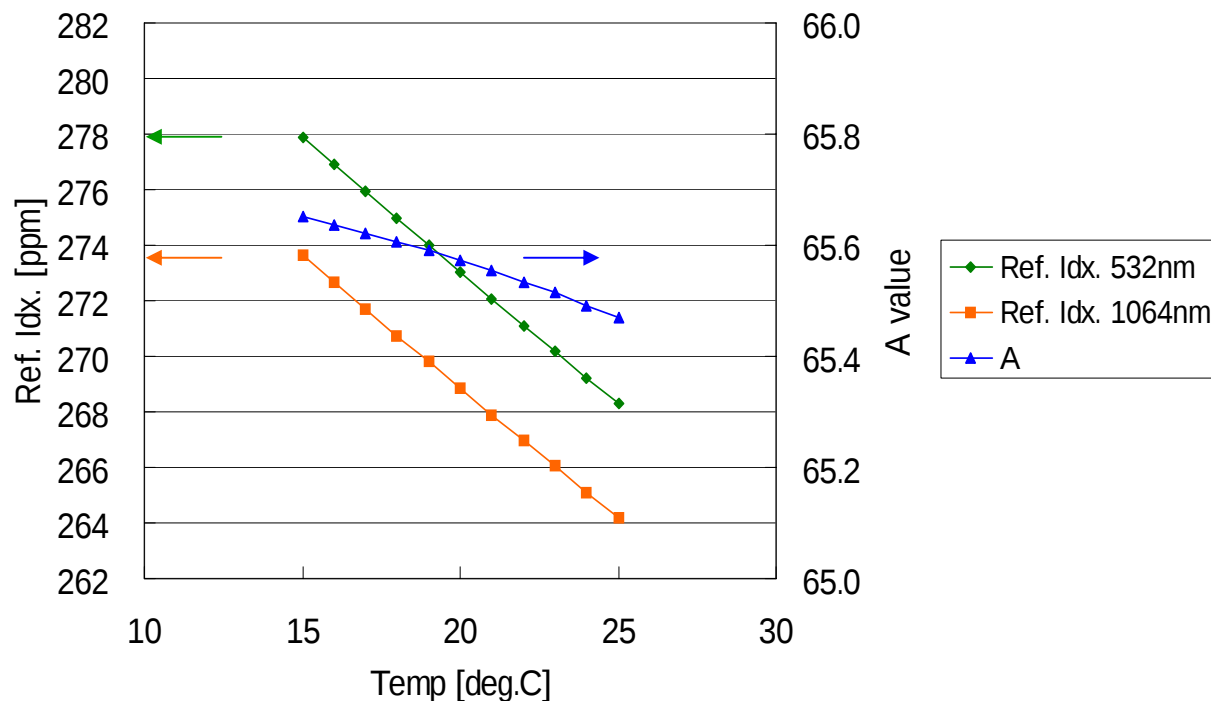
光学的距離は、 A 倍精度良く測らなくてはならない！！

デメリット

空気屈折率と A 定数の大気依存性

湿度 50 % のとき

1013.25 hPa, 50 %RH



10^{-8} の精度(100mを1 μ m)で測長するとき

普通の干渉計 空気屈折率を0.01ppmで測定 → 温度を0.01 で測定

二波長干渉計 A 定数を0.15で測定 → 温度を8 で測定

以前開発した二波長干渉計

光学的距離の変動は、主に、空気屈折率の変動に起因するので、片方の波長の干渉計信号を用いて、干渉計の参照距離を変化させてフリンジを安定化して、『差』を精度良く測定。

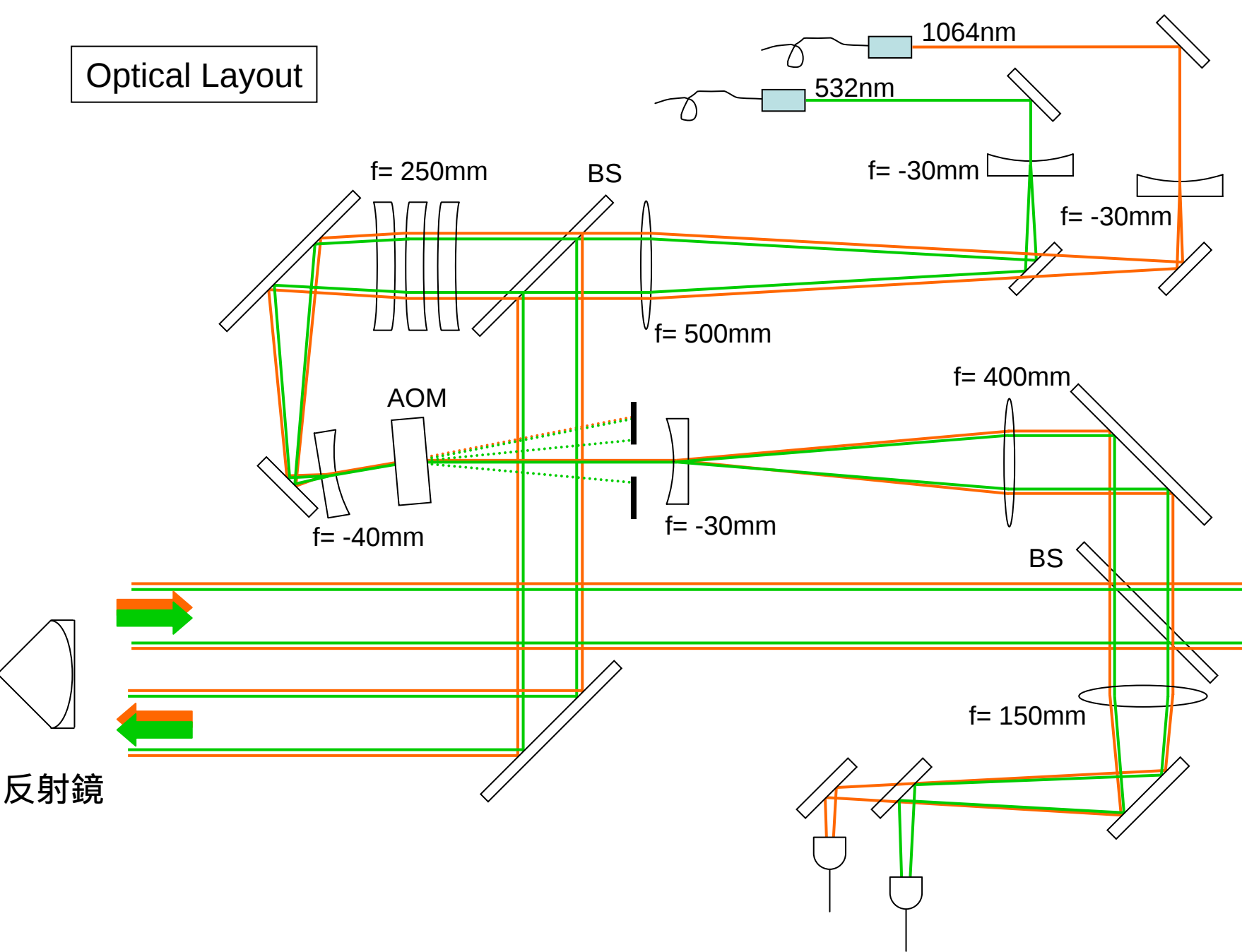
→ 測長距離が長くなるとフリンジが大きく変化し、参照距離を大きく変化させなくてはならず、安定度に問題があった。

今回開発した二波長干渉計

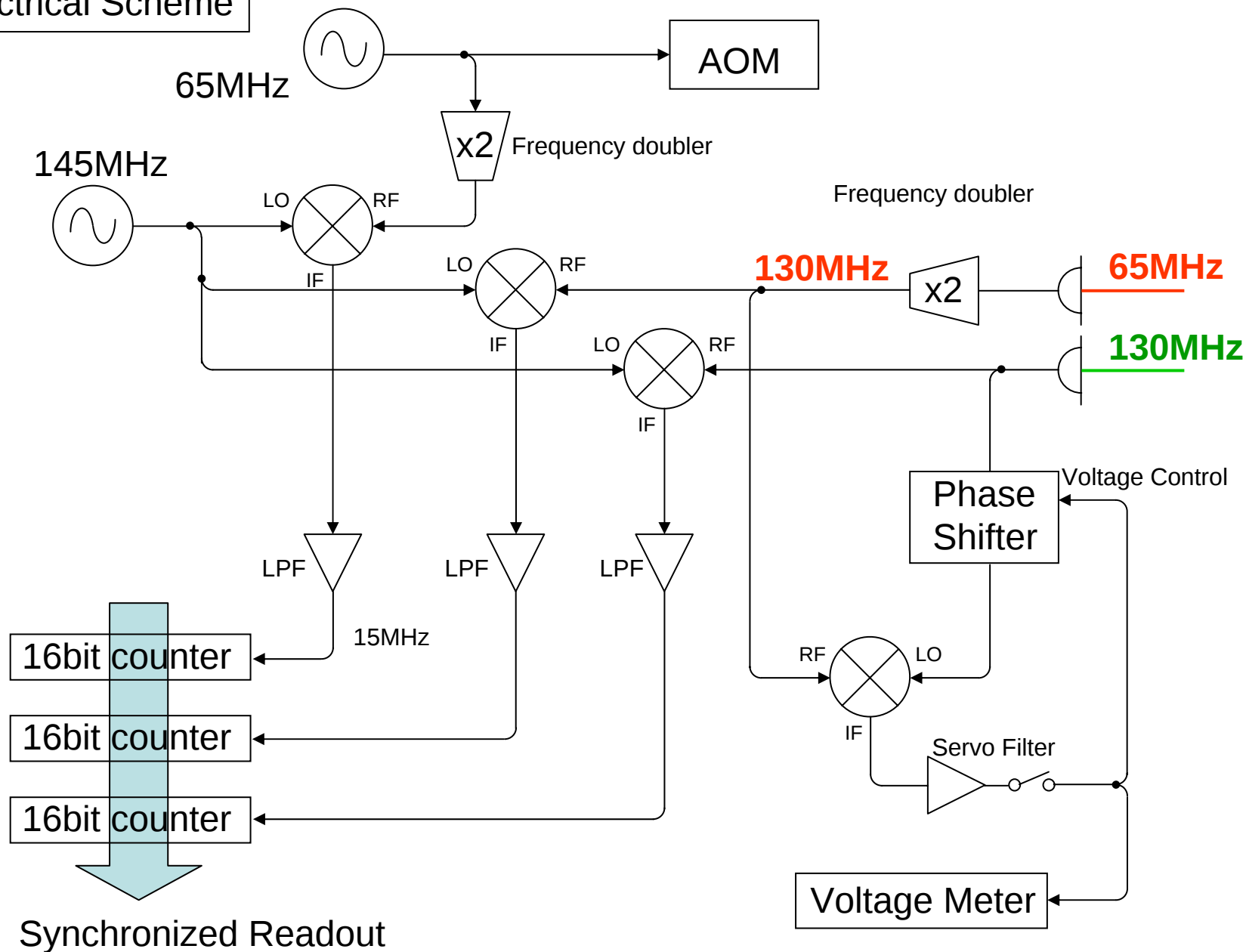
波長1064 nm の干渉計のヘテロダイン周波数と波長532 nm の干渉計のヘテロダイン周波数を1:2に設定。波長1064 nm の干渉計の干渉信号を電氣的に2逓倍し、532 nm の干渉計の干渉信号とDBMを用いてミキシングする。

参照光路にAOMを挿入し、1064 nm の光に対しては1次回折光を、532 nm の光に対しては2次回折光を用いることで、ヘテロダイン周波数を1:2にしている。

Optical Layout



Electrical Scheme



今回の干渉計のポイント



測長光路の空気屈折率の違いだけ差が出る！！

$$D = L_2 - A(L_2 - L_1)$$

設置場所の神岡鉱山内

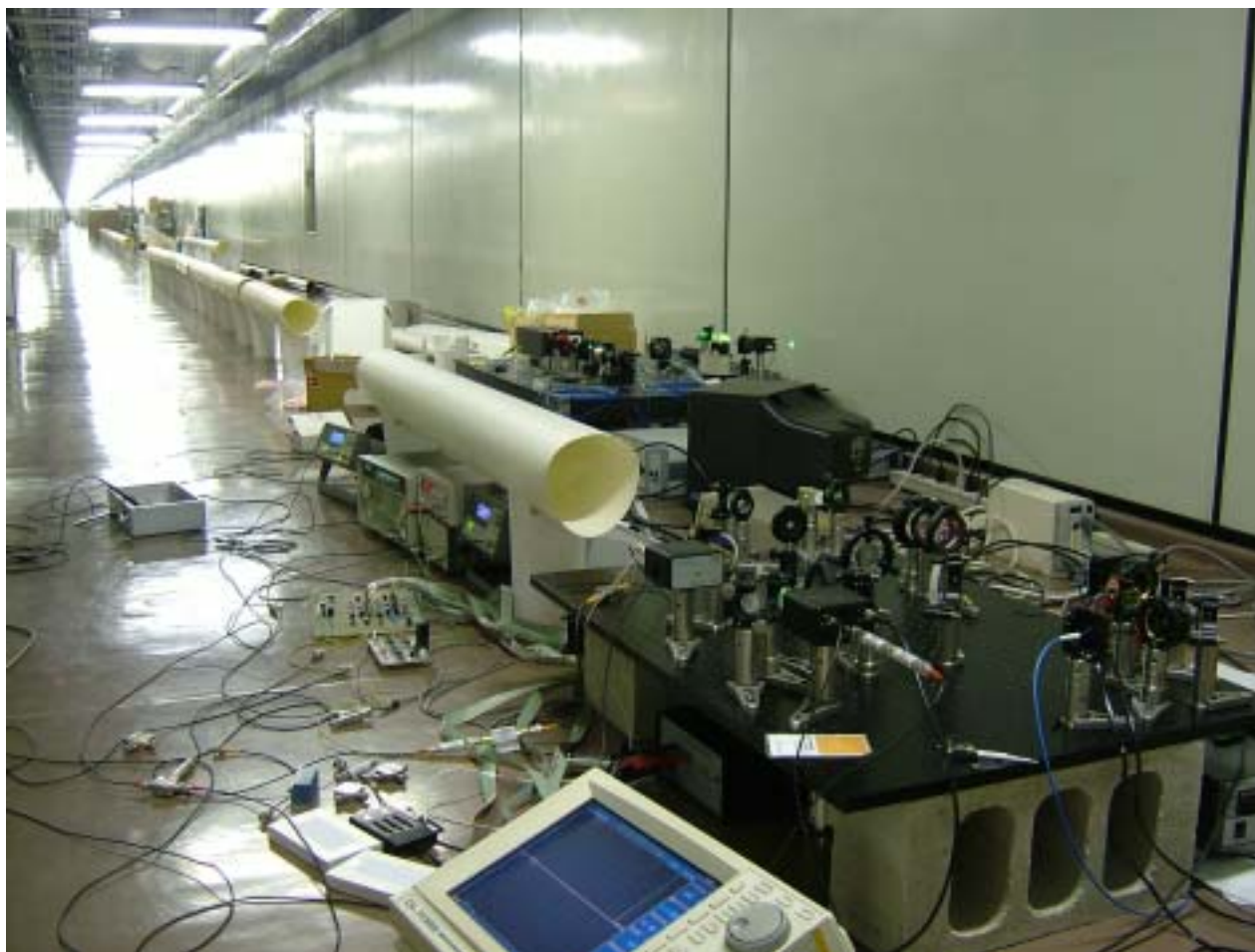


重力波検出器用
真空パイプ

二波長干渉計用
エンビパイプ

歪干渉計用
真空パイプ

産総研・光学トンネル内での実験



今後の予定

来年度、二波長干渉計を神岡鉱山内に移設(5 ~ 6月)し、真空光路を用いたレーザーひずみ計と比較し、空気屈折率補正測長の精度を検証する。(歪みにして 3×10^{-9} 希望)

二波長干渉計の測長光路の一部を真空にして、二波長測長に重要なA定数の絶対値を実験的に求める。