

新短波ドップラー観測システムにおける FM-CW 測距機能の実機シミュレーション#並木 紀子¹⁾, 細川 敬祐¹⁾, 野崎 憲朗¹⁾, 坂井 純¹⁾, 富澤 一郎¹⁾, 有澤 豊志¹⁾¹⁾ 電通大**Experimental verification of FM-CW ranging capability in a new shortwave Doppler observation system**#Noriko Namiki¹⁾, Keisuke Hosokawa¹⁾, Kenro Nozaki¹⁾, Jun Sakai¹⁾, Ichiro Tomizawa¹⁾, Toyoshi Arisawa¹⁾¹⁾UEC

Our team of shortwave Doppler (HF Doppler: HFD) ionospheric disturbance observers launched our experimental station JG2XA for transmitting observation signals in 2001 on the premises of the University of Electro-Communications (UEC). It is constantly transmitting observation signals of 5006 kHz and 8006 kHz, 200 W each (Tomizawa et al., 2003). Ionospheric disturbances are studied using Doppler shift of HF continuous wave (CW) reflected from the ionosphere. It is characterized by receiving non-directional radio waves emitted from Chofu, where the university is located, over a wide area using antennas installed at 11 locations in the country. From multi-point observation data, it is possible to observe how the regions where reflection, scattering, and transmission in the ionosphere move in a three-dimensional space in the horizontal and vertical directions together with the directivity.

The outline of the HFD project and data is open to the public in "<http://gwave.cei.uec.ac.jp/~hfd>".

We reported the additional ranging plan during HFD renovation in the previous JPGU meeting (Namiki et al., 2022). Receivers have been replaced by software radios since 2020 (Nakata et al., 2021). In this paper, we report the results of an indoor experiment in which the distance was measured simultaneously with the current HFD observation by combining a transmitter and a receiver.

The ranging function by Frequency Modulated Continuous Wave (FM-CW) is expected as follows:

- Determine the reflectance altitude quantitatively in units of 2-3 km, which has been determined by experience.
- Time resolution is improved by setting the sweep period to 50 ms.
- Enhancement of interference rejection capability by sweeping.

The new observation system aims to ensure the continuity of the current observation results by superimposing FM-CW ranging signals between the identification codes while maintaining the continuous CW transmission without switching.

If the signal generation timing is matched for transmission and reception, the reflection distance of the ionosphere can be obtained from the relational expression $r = c f_b / 2f'$ (r = distance, c = speed of light, f_b = beat frequency, f' = rate of frequency change).

We constructed a prototype low-power radio transmitter and receiver pair closely installed in a laboratory. The transmitter and the receiver are synchronized to the reference signal. Although the actual range between the transmitting and receiving antennas is nearly zero, we confirmed pseudo range variation by differing frequency between transmitting and receiving sweep signals. We obtained negligible range error when the receiver is synchronized to the transmitter accurately.

As a result, it was confirmed that the conventional CW wave for Doppler observation and the new FMCW wave for ranging did not interfere with each other. Based on this result, we plan to add a distance measurement function to the existing new observation system.

我々短波ドップラー (HF Doppler:HFD) 法による電離圏擾乱観測チームは、電気通信大学敷地内に 2001 年から観測信号送信用の実験局 JG2XA を立ち上げ、5006kHz と 8006kHz それぞれ 200W の観測用信号を常時送信している (富澤ほか, 2003)。電離圏擾乱観測には連続波が用いられ、短波が電離圏で反射されるという性質を利用して、反射波のドップラーシフトを観測している。

大学のある調布から発せられた無指向性電波を日本国内 11 カ所に設置したアンテナで広域に受信することを特徴とし、多点観測データから、電離圏での反射や散乱が起こる領域が水平垂直方向の立体空間で移動している様子を、方向性と合わせて観測できる。

HFD プロジェクトの概要と測定データは "<http://gwave.cei.uec.ac.jp/~hfd>" にて公開されている。

前回の JPGU では送信機に測距機能を追加する計画を報告した (Namiki et al., 2022)。受信機は 2020 年よりソフトウェアラジオへ置き換えが進められた (Nakata et al., 2021)。今回、送受信機を組み合わせることで現行の HFD 観測と同時に距離測定を行った室内実験の結果を報告する。

周波数変調連続波（Frequency Modulated Continuous Wave：FM-CW）による測距機能では、次のことが期待される。

- ・従来経験的に判定していた反射高度を、2-3km 単位で定量的に確定する
- ・掃引周期 50ms として、時間分解能を向上する
- ・掃引による混信排除能力の強化

新観測システムでは、現行の切替無しの常時 CW 送信を維持しながら、識別符号の合間に FM-CW 測距信号を重畳し、現行の観測結果の継続性を担保することを想定している。信号の発生タイミングを送受信で一致させれば、 $r=cf_b/2f'$ （ r =距離、 c =光速、 f_b =ビート周波数、 f' =周波数変化率）の関係式から、電離圏の反射距離が得られる。

これらを目標として、我々は新システムのプロトタイプを作成し、小電力無線の範囲で実験を行った。室内で極近接した送信機と受信機に、基準周波数を発生させる装置を組み合わせ、受信側に周波数オフセットをかけて一定時間経過した後での受信を模擬させた。

実験の結果、送受信信号のタイミング制御は観測対象に対して無視できるほどの誤差に抑えられ、従来の CW 波と新しい FMCW 波が互いに干渉しないことが確認できた。この結果をもって実際の新観測システムに、距離測定機能を追加する予定である。