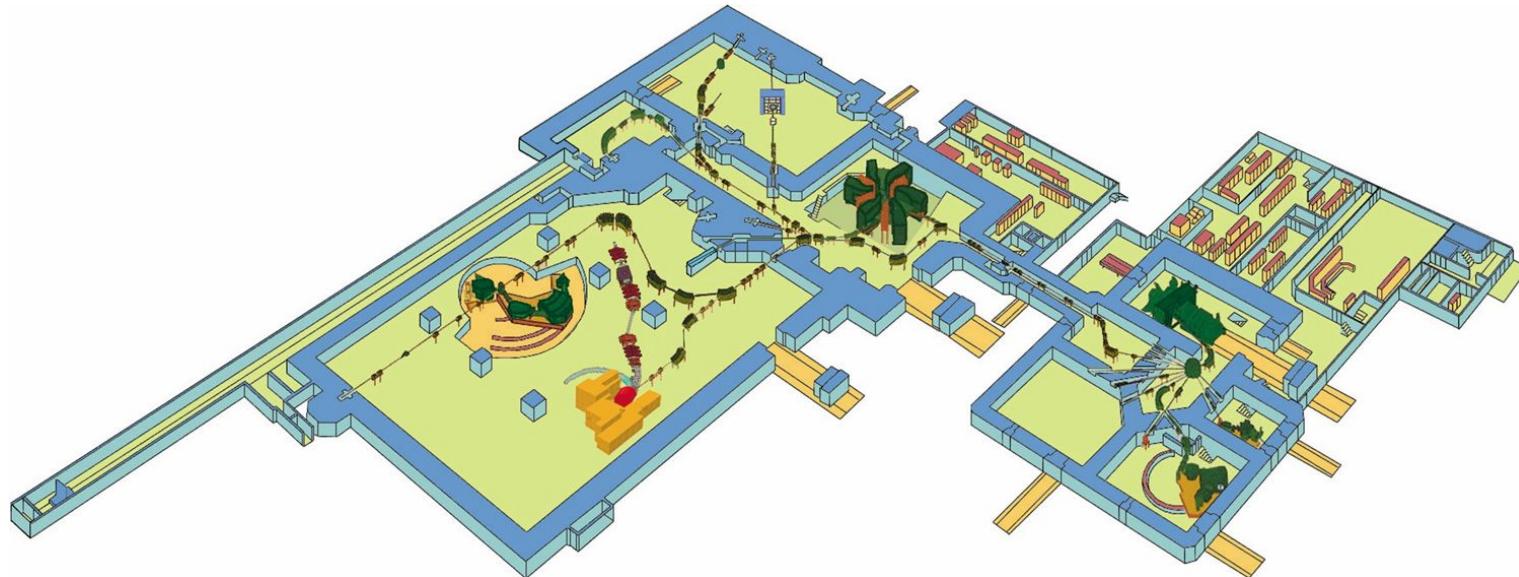


# ニューラルネットワークを用いた、RFシステムの故障予測

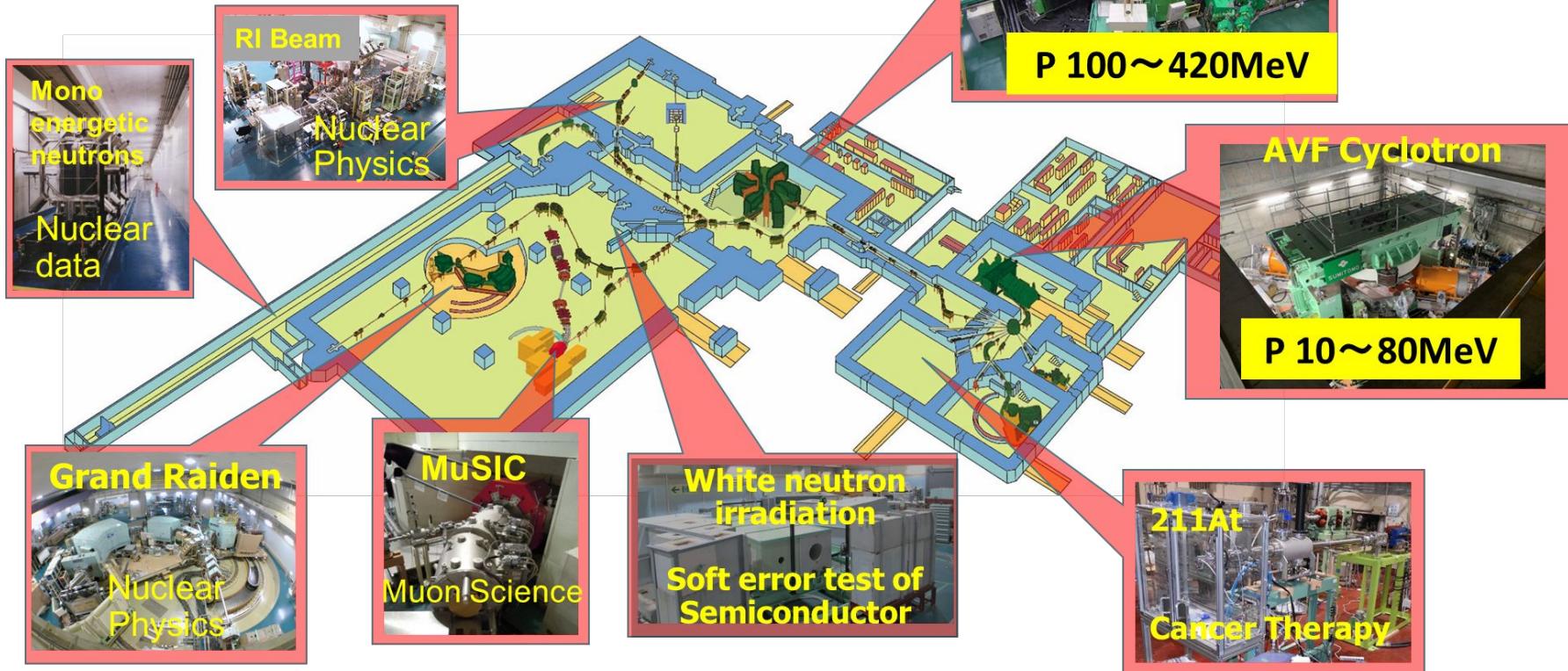
Tetsuhiko Yorita  
RCNP, Osaka Univ.

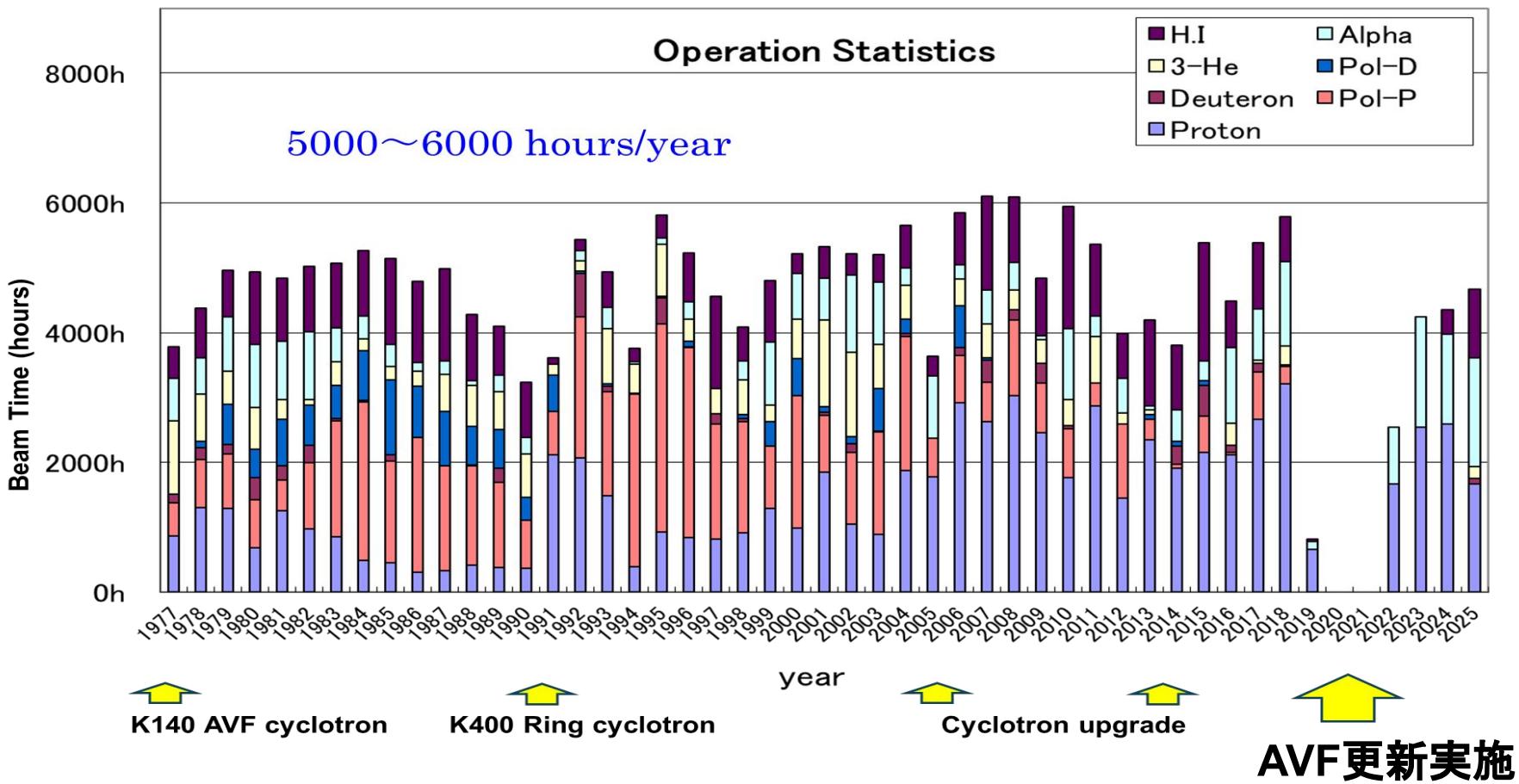


Can NN find something from waveforms ?

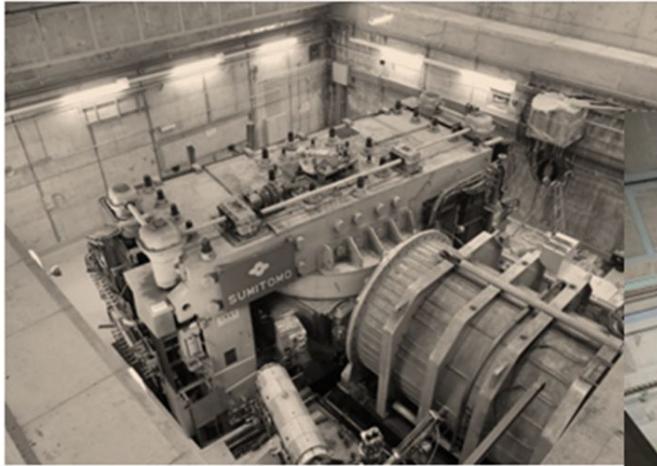
# RCNP Cyclotron Facility

For nuclear physics, medical applications  
and industrial applications



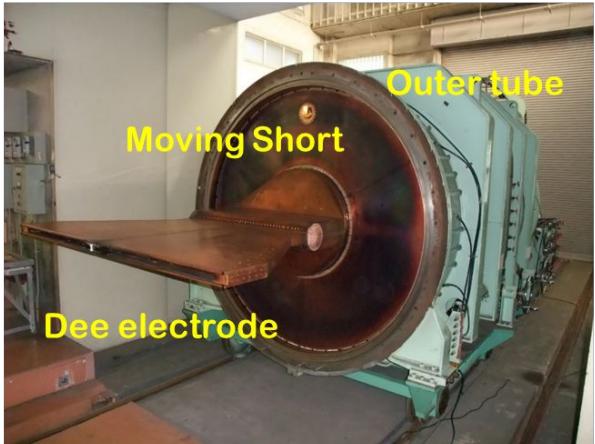


# K140 AVF Cyclotron Upgrade 2019~2021



AVF更新が実施され、  
1Dee→2Deeへの変更など  
大きな改造が施された

# RF system replacement



Deeの励振周波数が倍になり、共振器及びアンプも新しいものに入れ替えられた

## ● Specification of RF system

- Resonator type: movable short, coaxial cavity
- Diameter of tubes: outer 1000 mm, inner 700 mm
- Stroke of short plate : 1200 mm
- Frequency range : 17~37 MHz
- Tuner : capacitive compensator with  $\Delta f/f < 1.8\%$
- Max. Dee voltage : 60 kV
- Final amp. : EIMAC 4CW100,000E or 4CW50,000E
- Pre-amp. output power : 1 kW
- Power feeder : Capacitive coupler

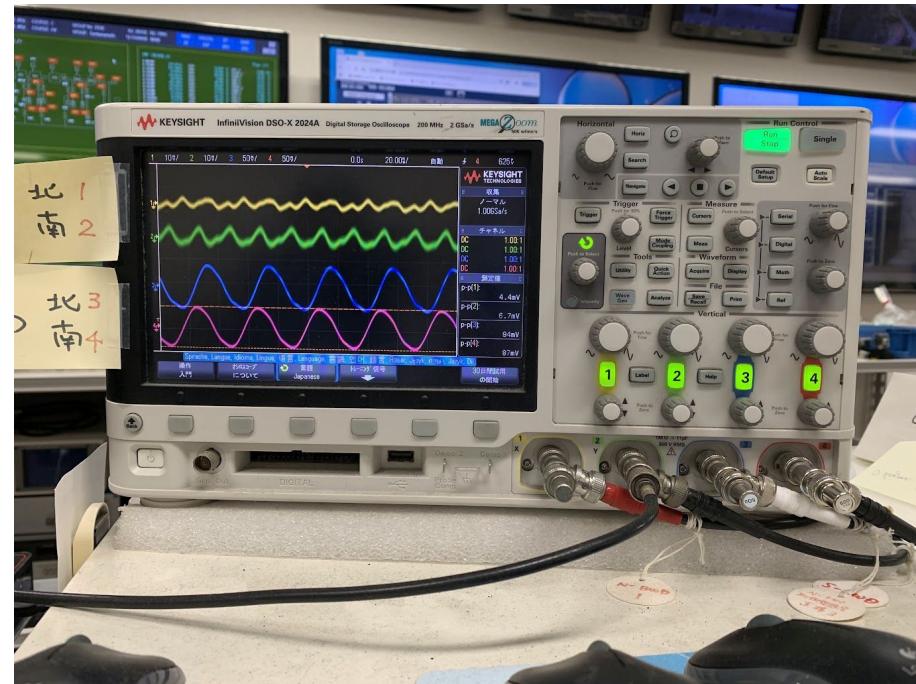
# RF波形の監視

AVFサイクロトロンは2台のRFアンプを有しており、それぞれの同軸管上で進行波と反射波を監視している。RFシステムが異常状態に陥る直前に、このRFの波形が目で見てわかるかどうかというレベルで、変化が表れているであろうということを前提として、異常時直前の波形を検知するシステムを検討した。

ここで、異常状態とはプレートクラーバーなどのRF保護回路が作動した状態を指す

# RF信号の取得

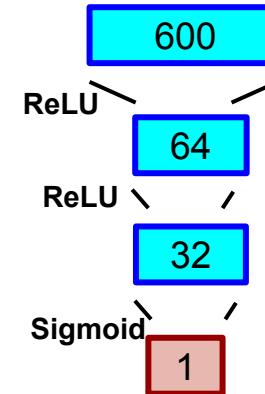
RFアンプと共振器を接続する同軸管にある方向性結合器からピックアップされたRFの進行波及び反射波をオシロスコープに取り込み、EPICS StreamDeviceによりwaveform PVとして取得する。



# TensorFlowによる異常検知

約40秒ごとに取得しているRF波形について、RF異常直前の10分をAnomaly、それ以外をNormalとラベル付けして学習させた。

Normal Data : 36837, Anomaly Data : 364



```
model = tf.keras.Sequential([
    tf.keras.layers.Input(shape=(dims,)),
    tf.keras.layers.Dense(64, activation='relu'),
    tf.keras.layers.Dense(32, activation='relu'),
    tf.keras.layers.Dense(1, activation='sigmoid') # 0~1確率
])

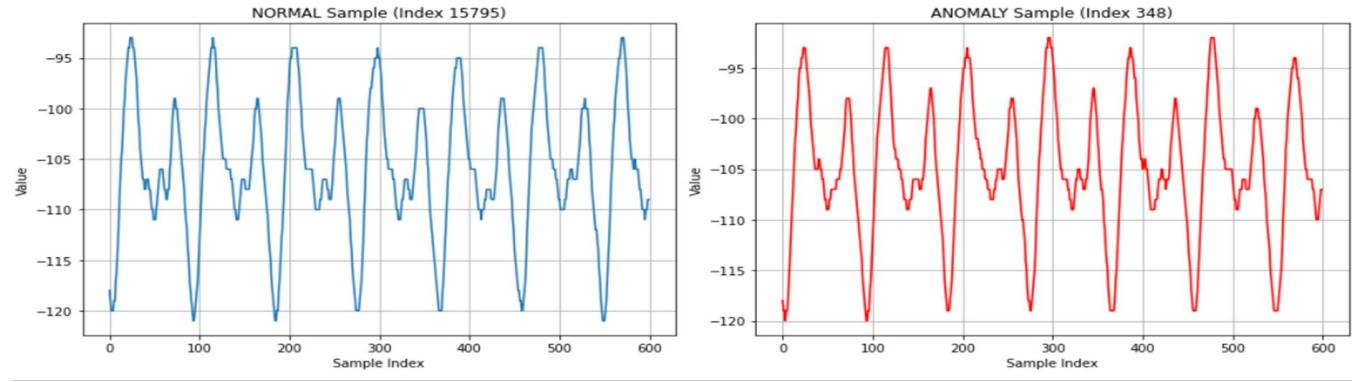
model.compile(optimizer='adam',
              loss='binary_crossentropy',
              metrics=['accuracy'])

model.fit(X_train, y_train, epochs=10, batch_size=32, validation_data=(X_val, y_val))
```

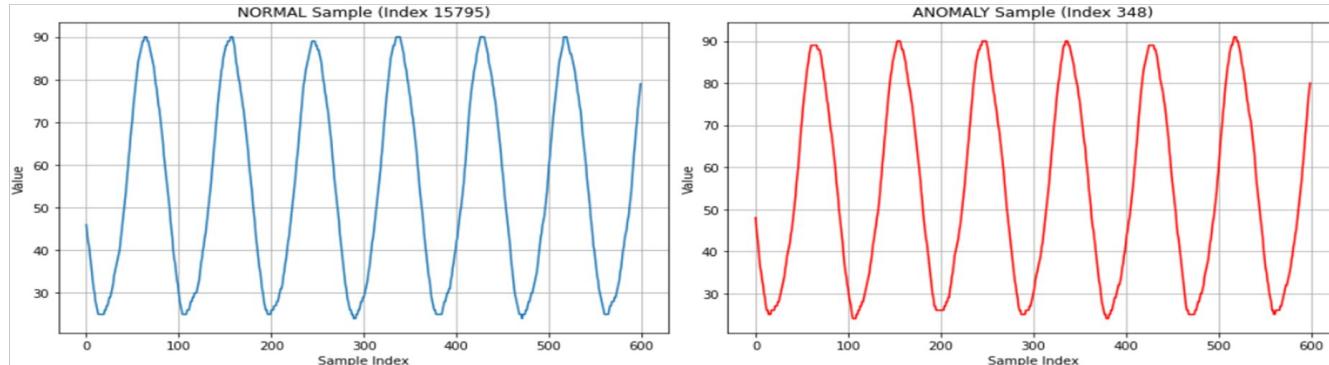
# 利用した波形データ

反射波

Normal状態の典型的波形と、Anomaly状態の典型的波形



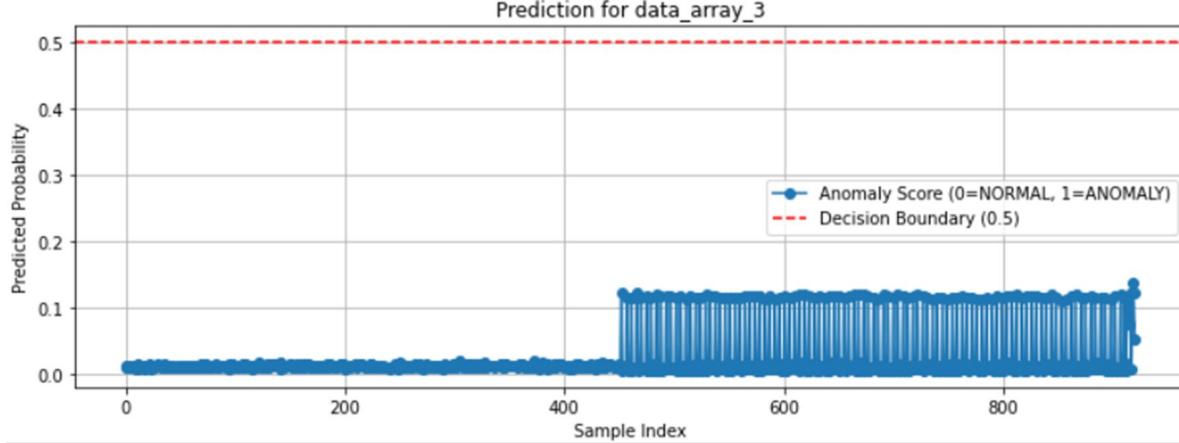
進行波



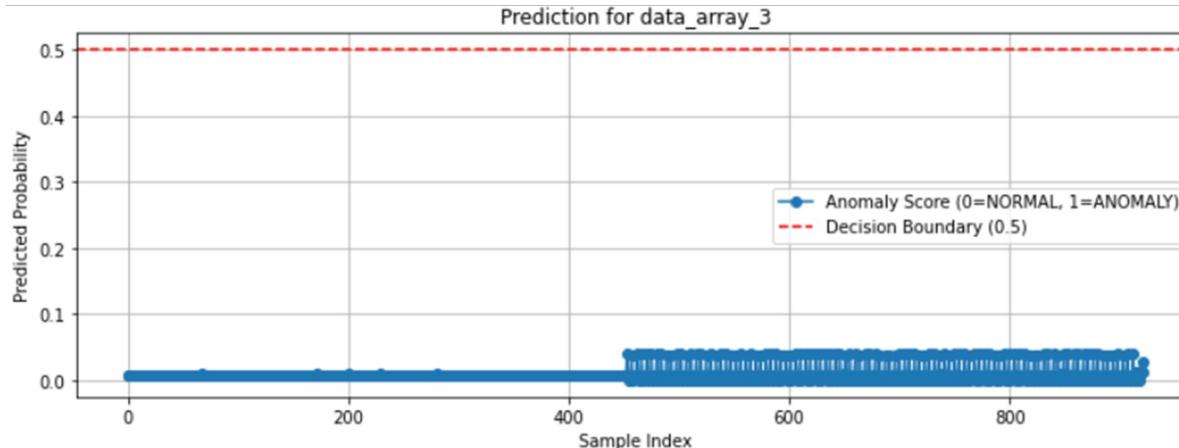
# 異常発生前約5時間の波形状態の推移

学習に基づき、ある時点でのNormalに近いときは0、Anomalyに近いときは1を示す

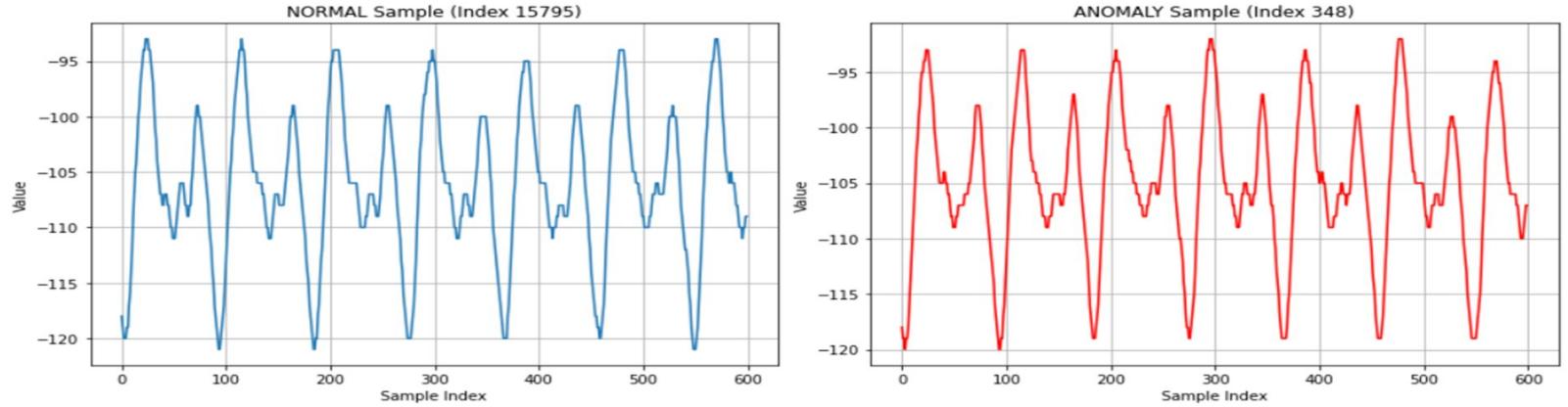
反射波



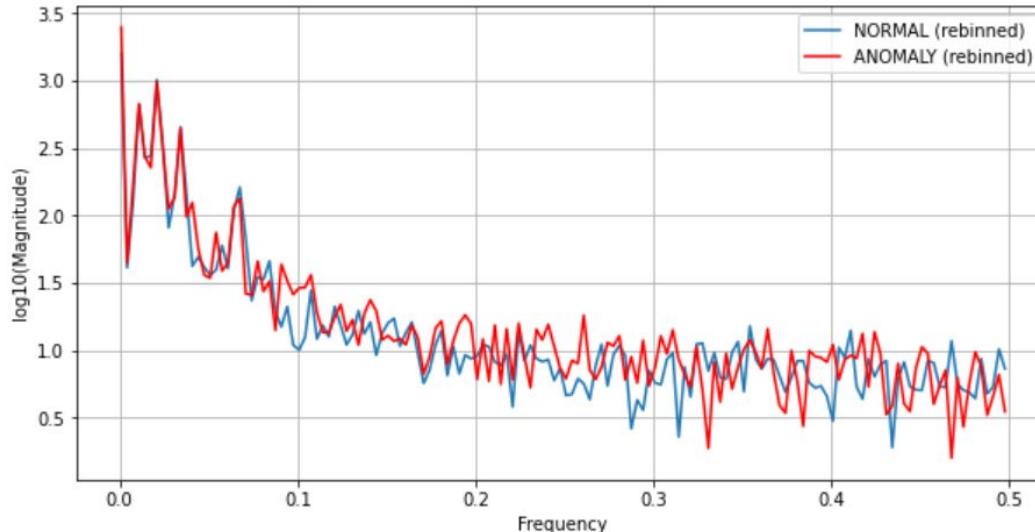
進行波



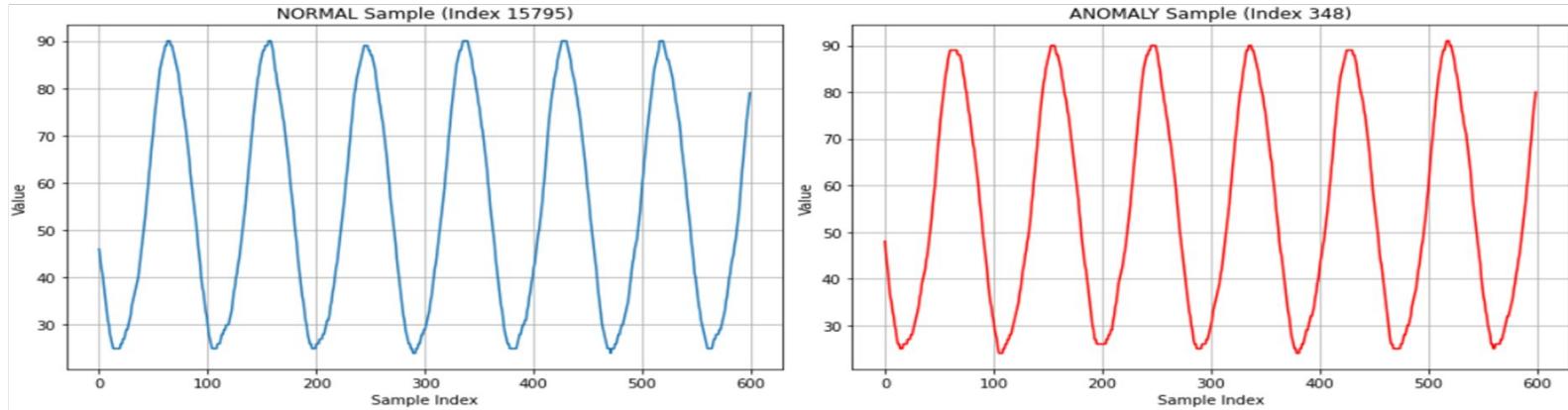
# 反射波のNormal状態の典型的波形と、Anomaly状態の典型的波形



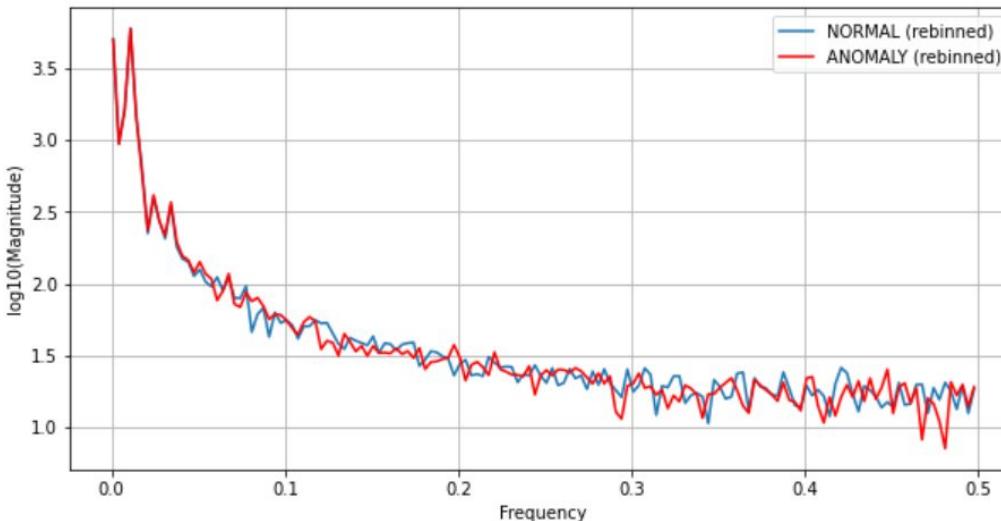
## FFTによる比較



# 進行波のNormal状態の典型的波形と、Anomaly状態の典型的波形



## FFTによる比較

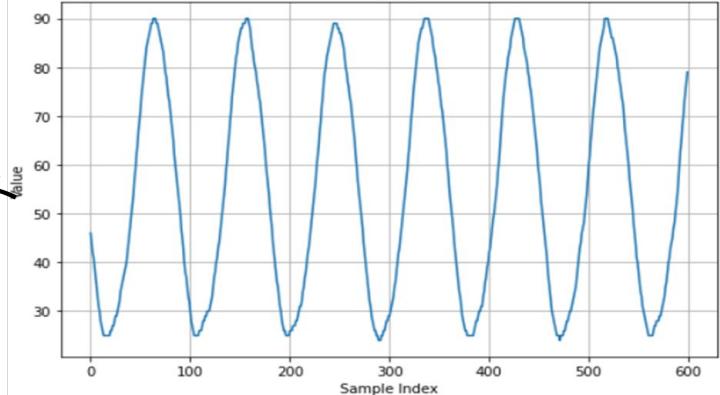


# 重み

入力層から伸びる  
ニューロンの重み  
の平均値をプロット  
してみる

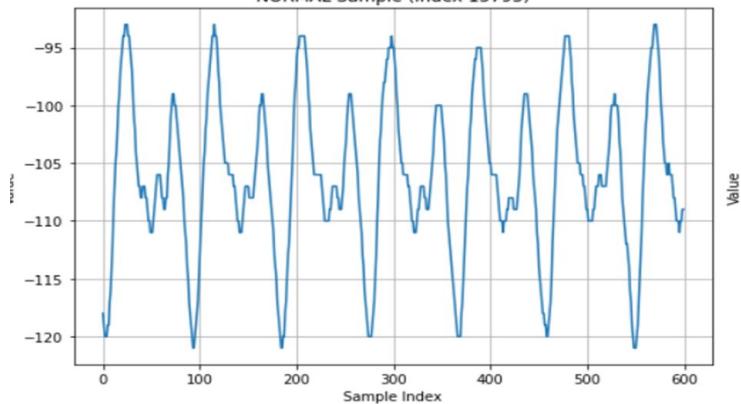
## 進行波

NORMAL Sample (Index 15795)

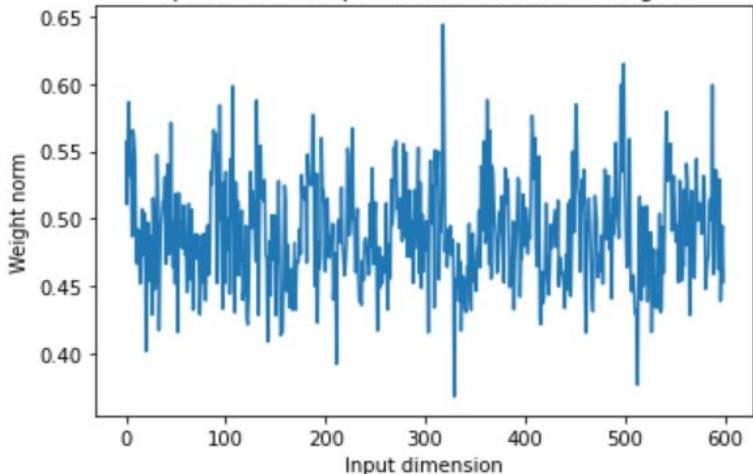


## 反射波

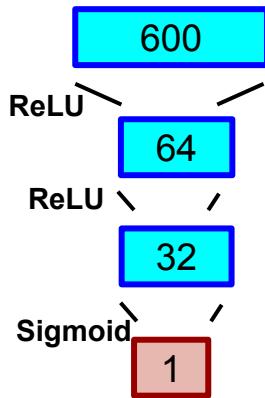
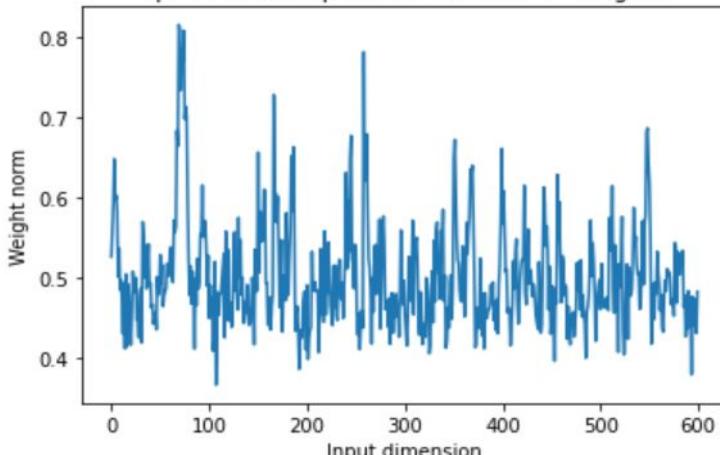
NORMAL Sample (Index 15795)



Input feature importance (L2 norm of weights)



Input feature importance (L2 norm of weights)



# まとめ

- ・RCNP サイクロトロン更新以降、加速器の安定運用のため、異常検知機構の構築に取り組んでいる。
- ・今回、RFの異常発生を波形データから予測する機構をテストした。
- ・その結果、RFの異状が事前に検知しうる可能性が示された。
- ・高調波の寄生発振か何かを検知しているように見えるがはっきりしない。
- ・今後、異常検知の精度向上に向けて、最適なパラメータなどを模索する。