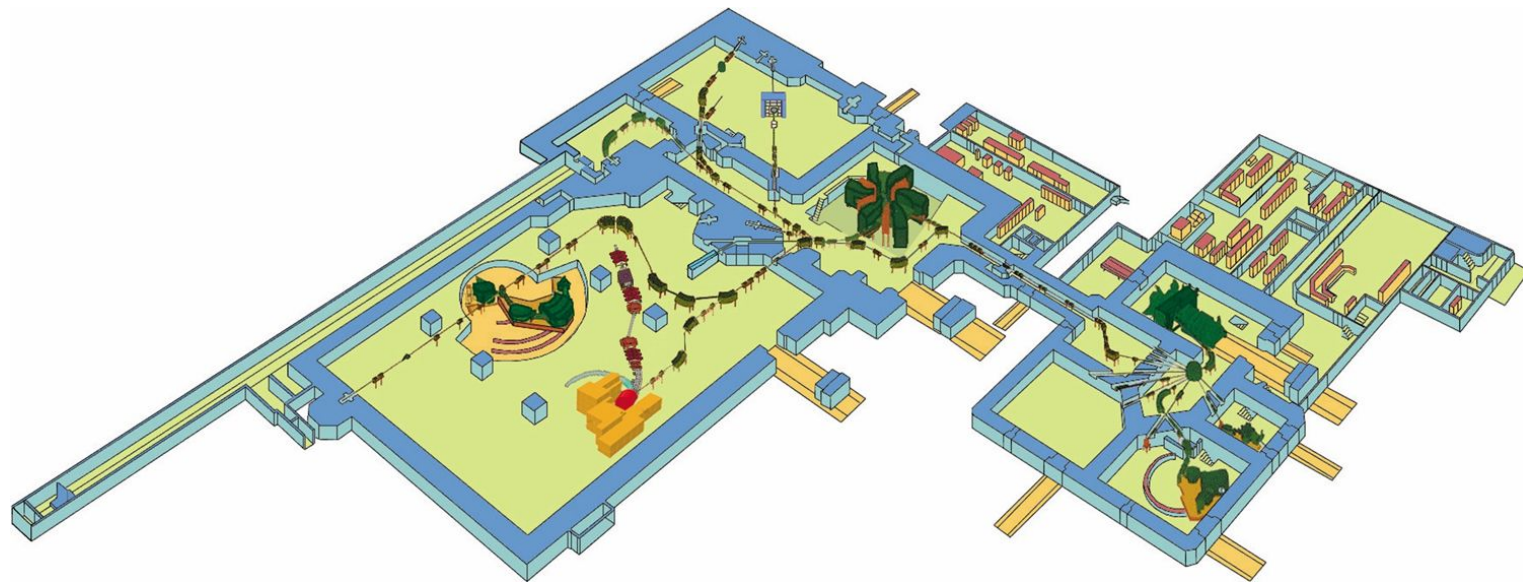


ニューラルネットワークを用いた、RFシステムの故障予測

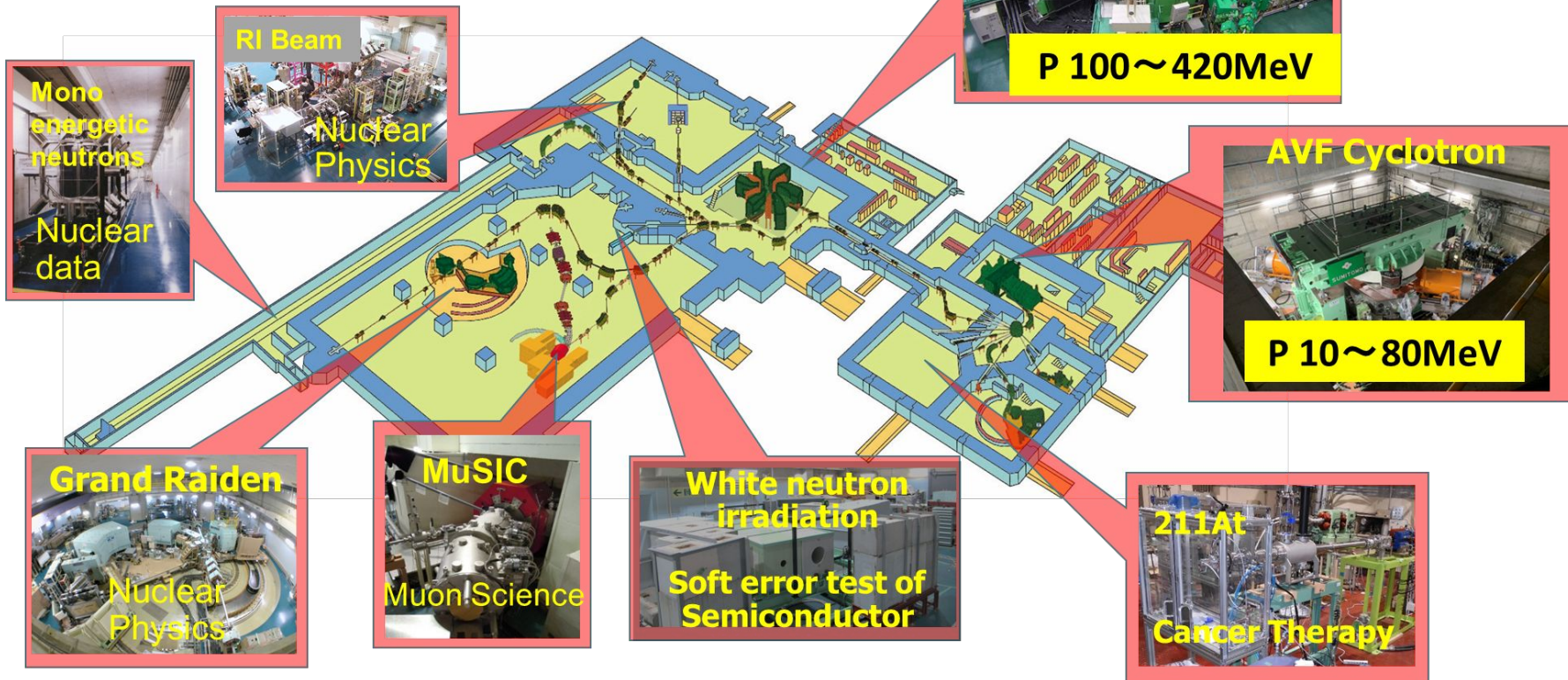
Tetsuhiko Yorita
RCNP, Osaka Univ.



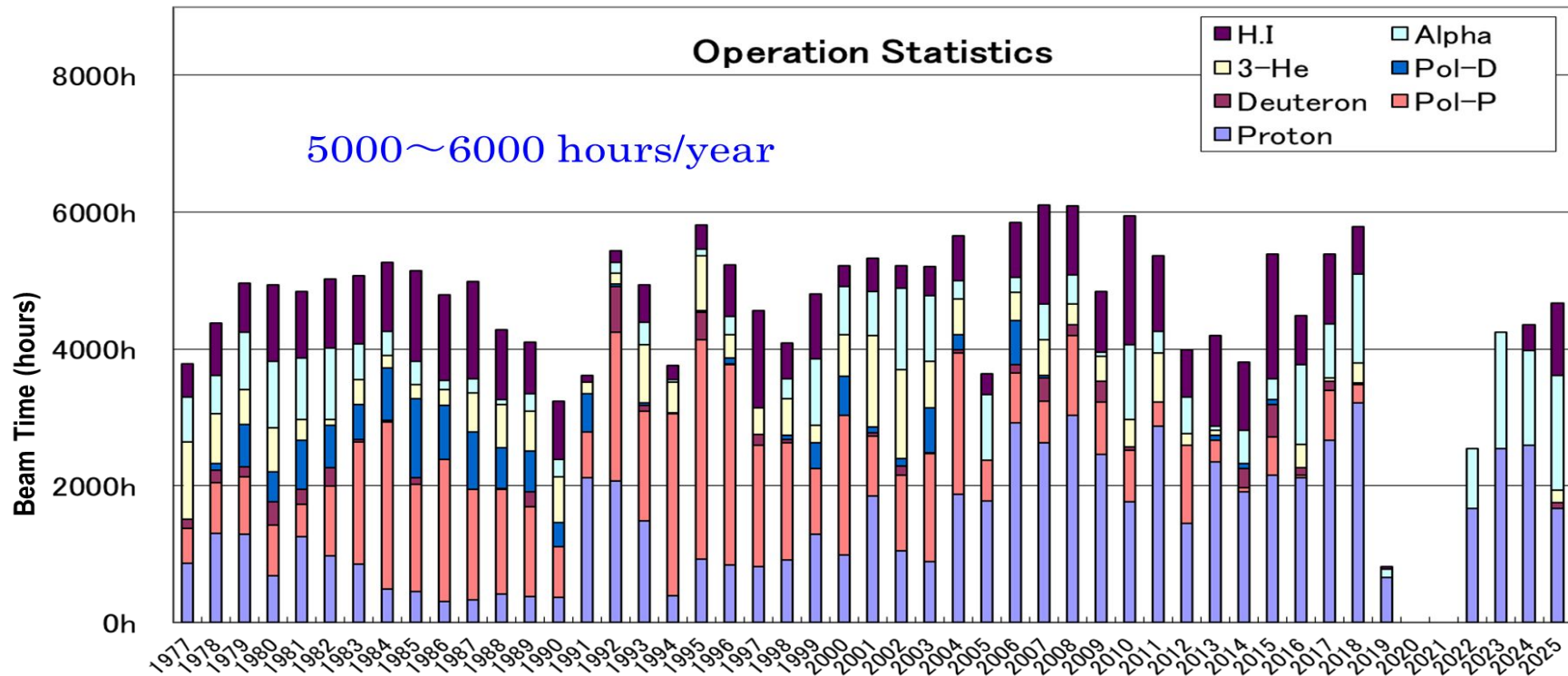
Can NN find something from waveforms ?

RCNP Cyclotron Facility

For nuclear physics, medical applications
and industrial applications



Operation Statistics



K140 AVF cyclotron



K400 Ring cyclotron



Cyclotron upgrade



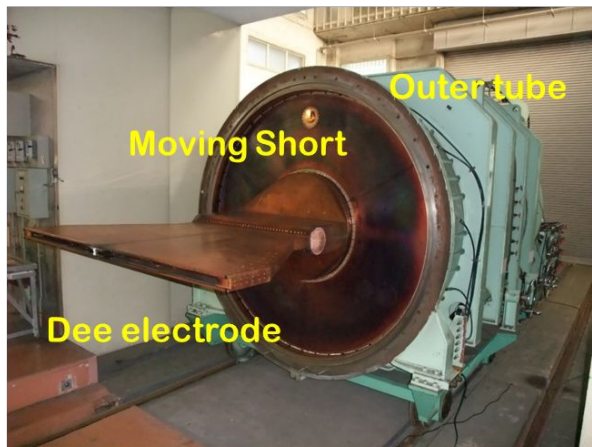
AVF更新実施

K140 AVF Cyclotron Upgrade 2019~2021

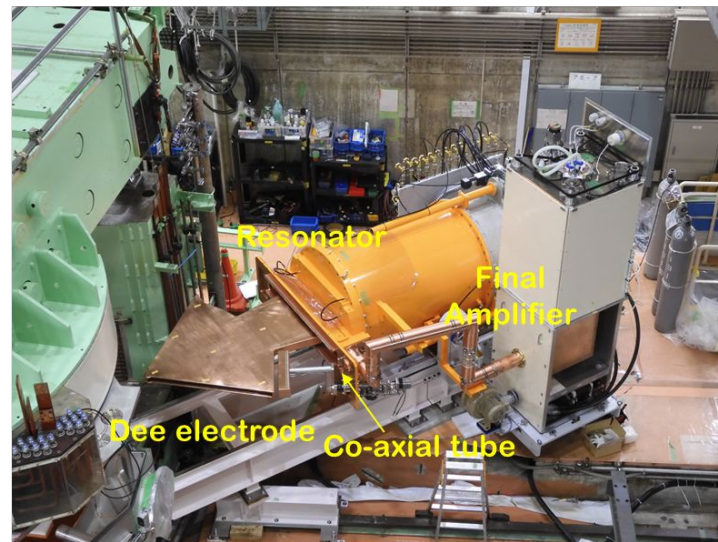


AVF更新が実施され、
1Dee→2Deeへの変更など
大きな改造が施された

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

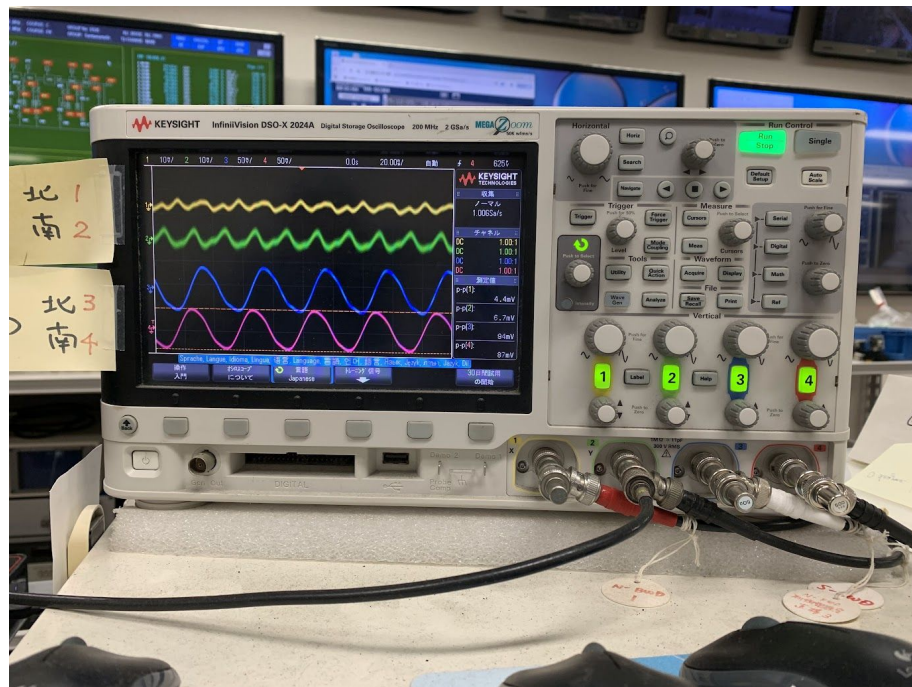
RF波形の監視

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の波形が目で見え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ローバーなどのRF保護回路が作動した状態を指す

RF信号の取得

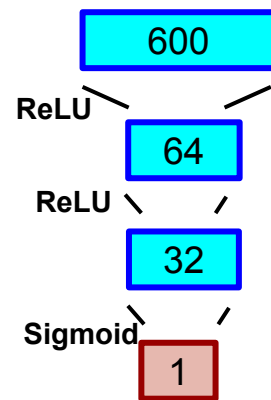
RFアンプと共振器を接続する同軸管にある方向性結合器からピックアップされたRFの進行波及び反射波をオシロスコープに取り込み、EPICS StreamDeviceによりwaveform PVとして取得する。



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
])

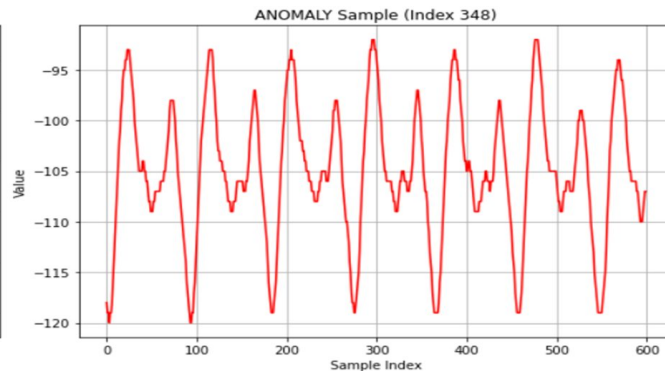
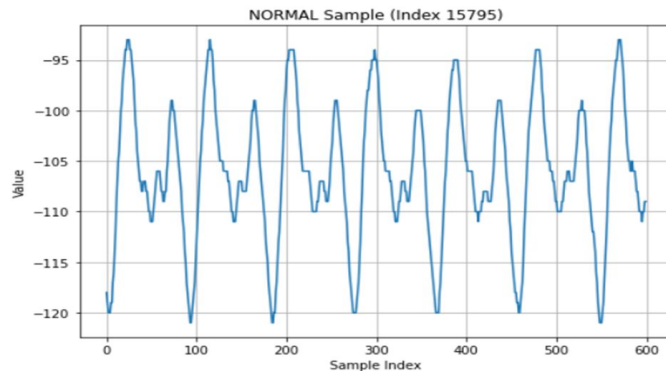
model.compile(optimizer='adam',
              loss='binary_crossentropy',
              metrics=['accuracy'])

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

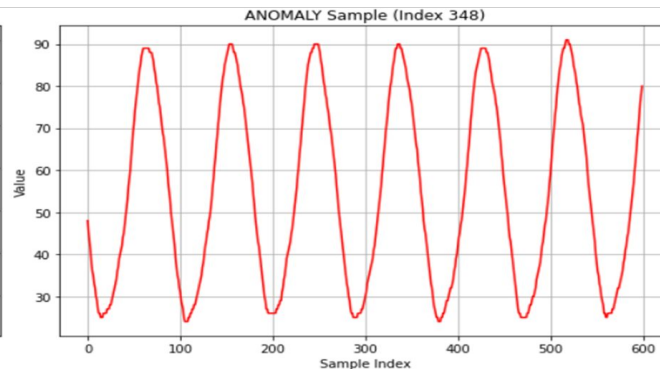
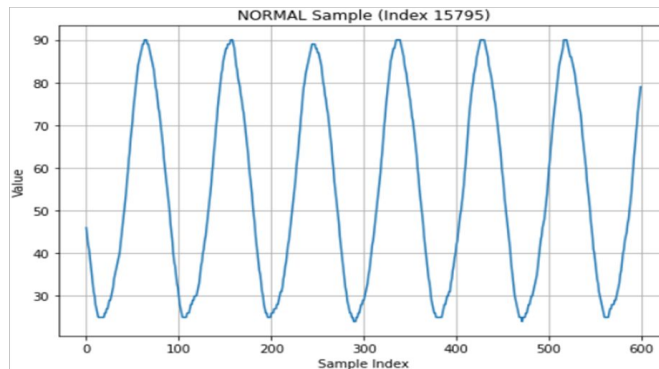

利用した波形データ

Normal状態の典型的波形と、Anomaly状態の典型的波形

反射波



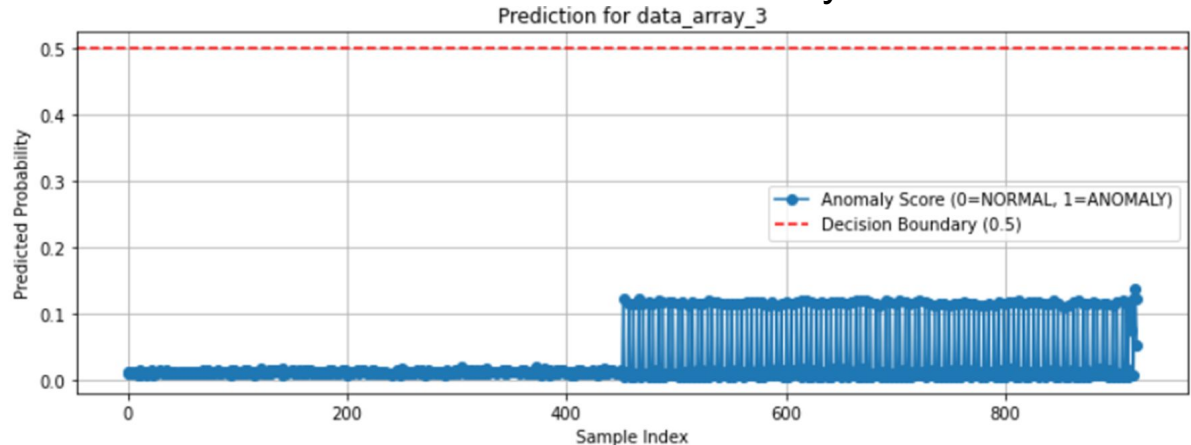
進行波



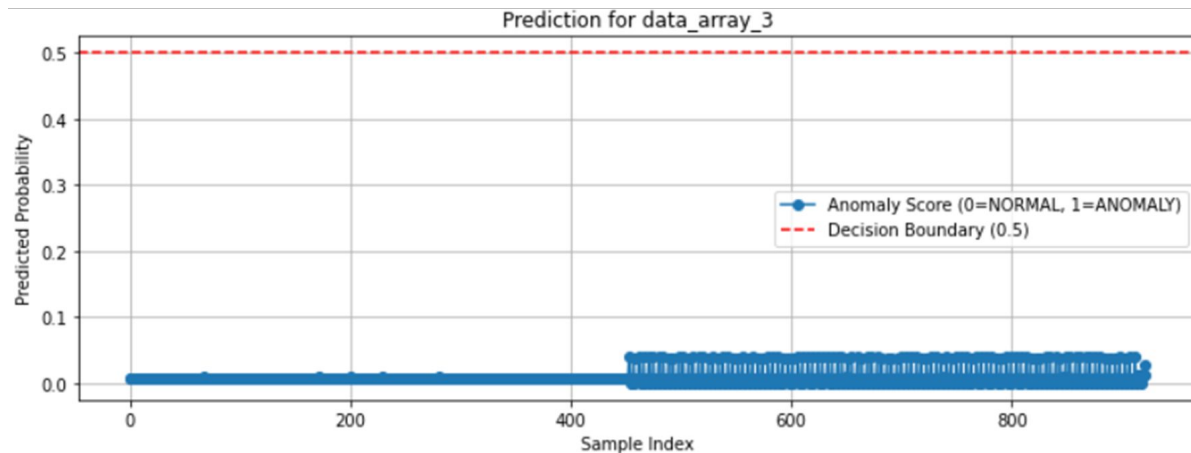
異常発生前約5時間の波形状態の推移

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

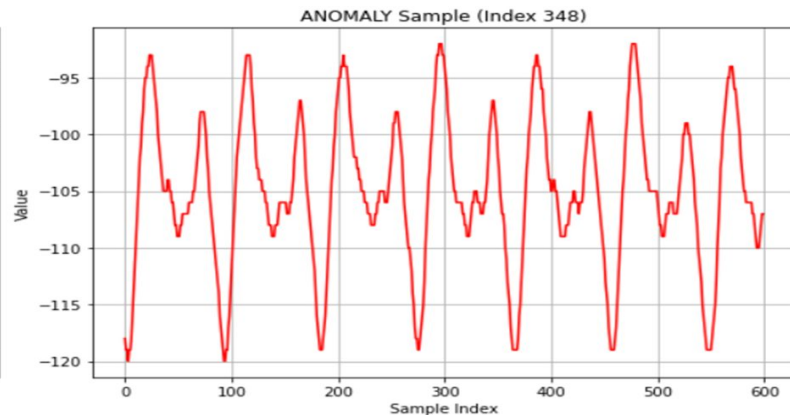
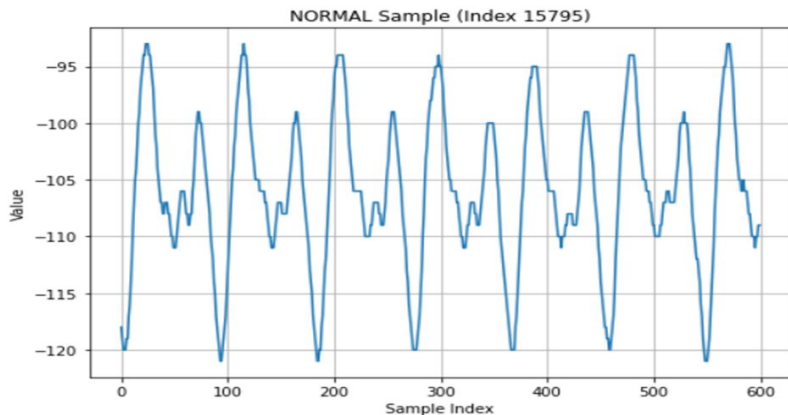
反射波



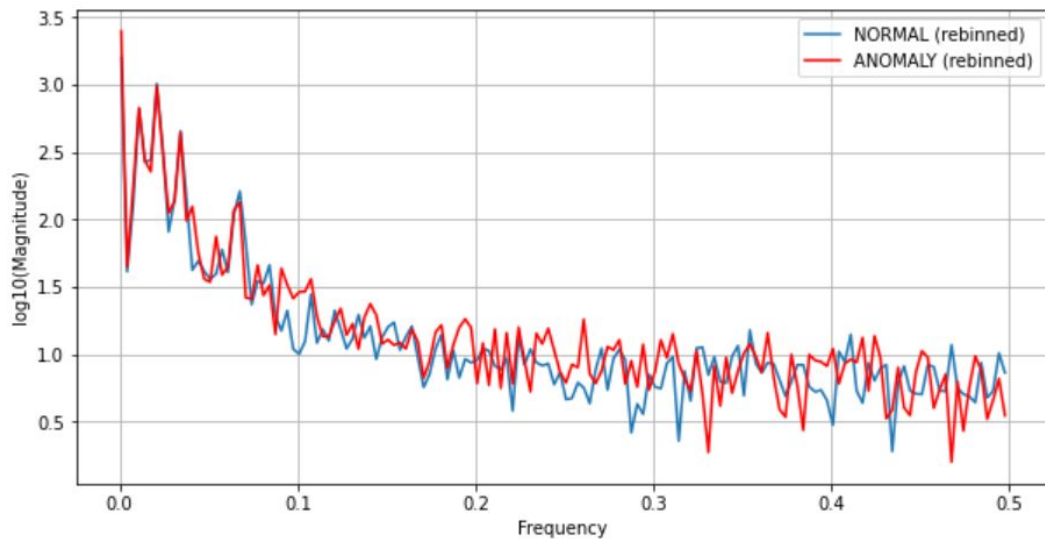
進行波



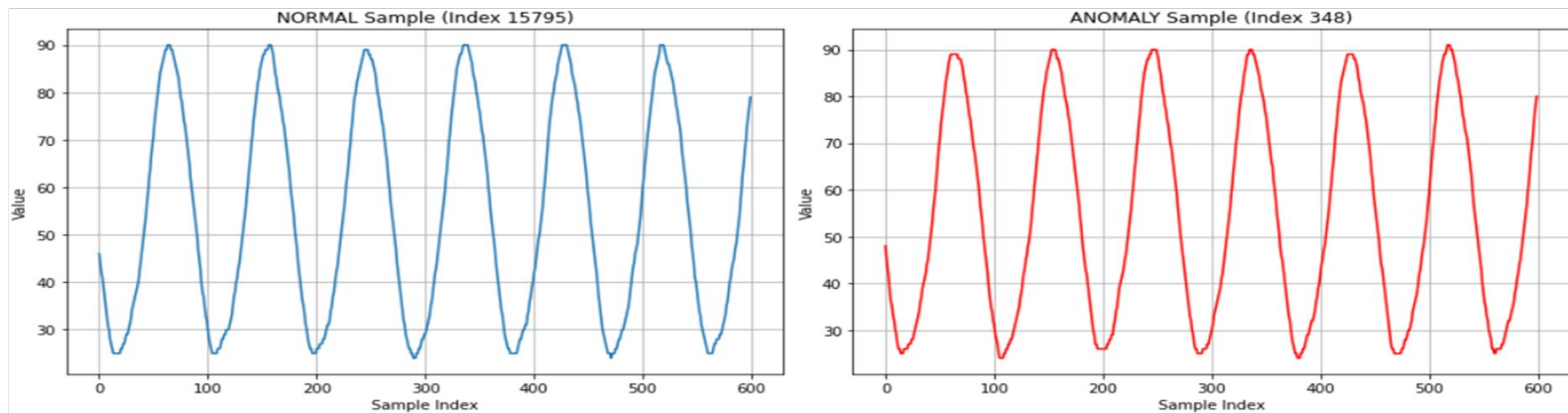
反射波のNormal状態の典型的波形と、Anomaly状態の典型的波形



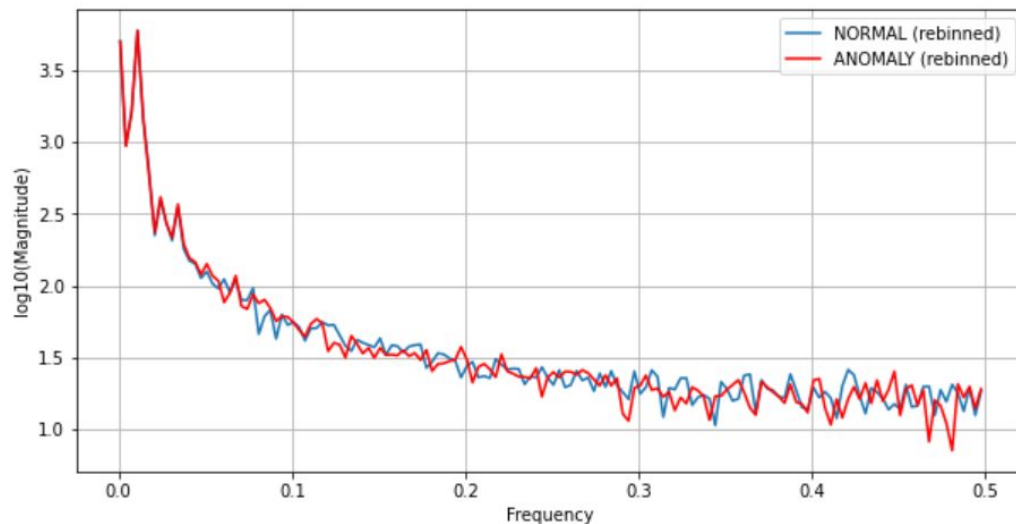
FFTによる比較



進行波のNormal状態の典型的波形と、Anomaly状態の典型的波形



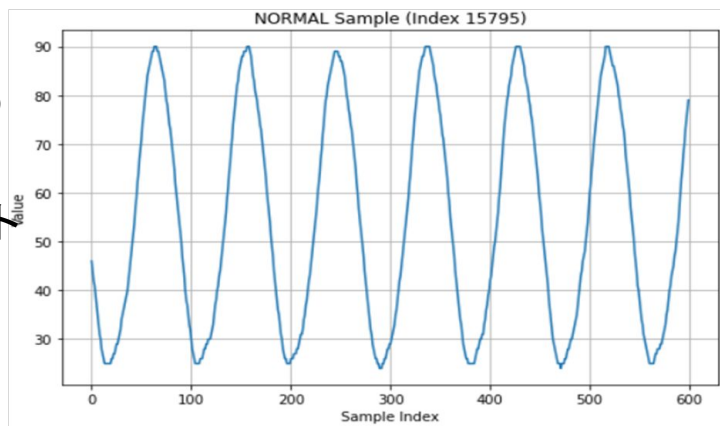
FFTによる比較



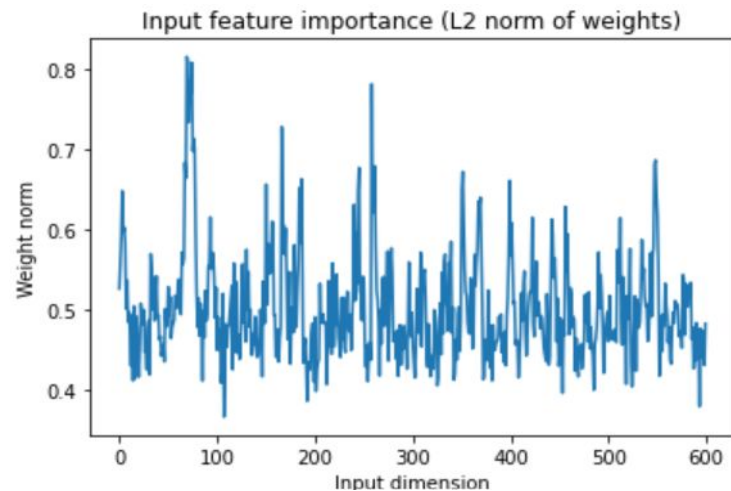
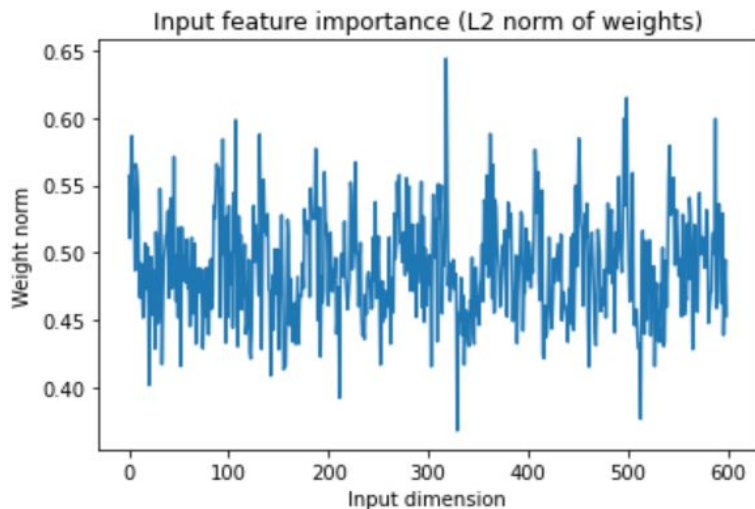
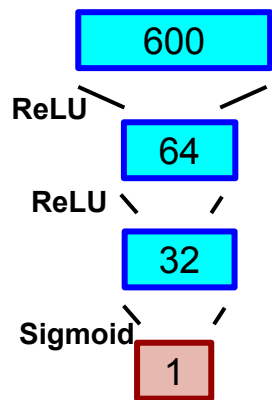
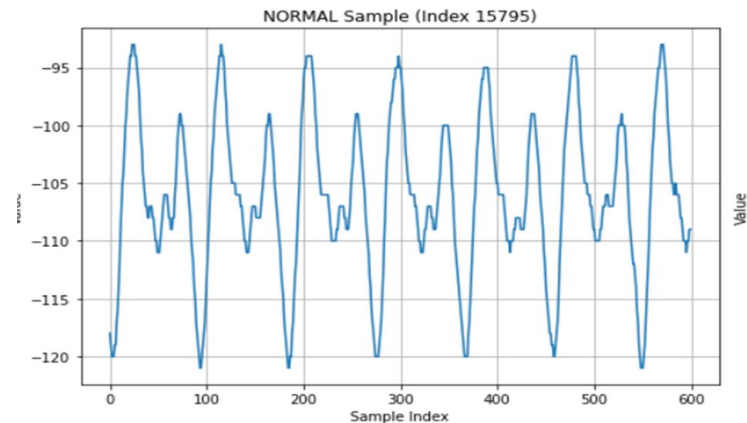
重み

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



反射波



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も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。