

技術課題

梅木 敦成

背景：オイル温度予測の重要性と課題

- **なぜオイル温度が重要か**

- 変圧器の健全度の直接指標（負荷×外気の影響を統合）
- 過熱＝寿命劣化・故障リスク、安全運用の鍵

- **運用上の難しさ（需要側の不確実性）**

- 需要は 平日/休日・季節・天候・気温で大きく変動
- 次の需要（＝負荷）を高精度に先読みしにくい

- **既存手法の限界**

- 長期の実データに基づく高精度予測が困難
- 不確実性ゆえに経験値ベースで過大マージン → 電力の無駄＋設備の減価償却

- **誤予測のコスト**

- 過小見積もり：過熱・絶縁劣化・故障
- 過大見積もり：無駄な余裕運用・運用コスト増

データの分析結果

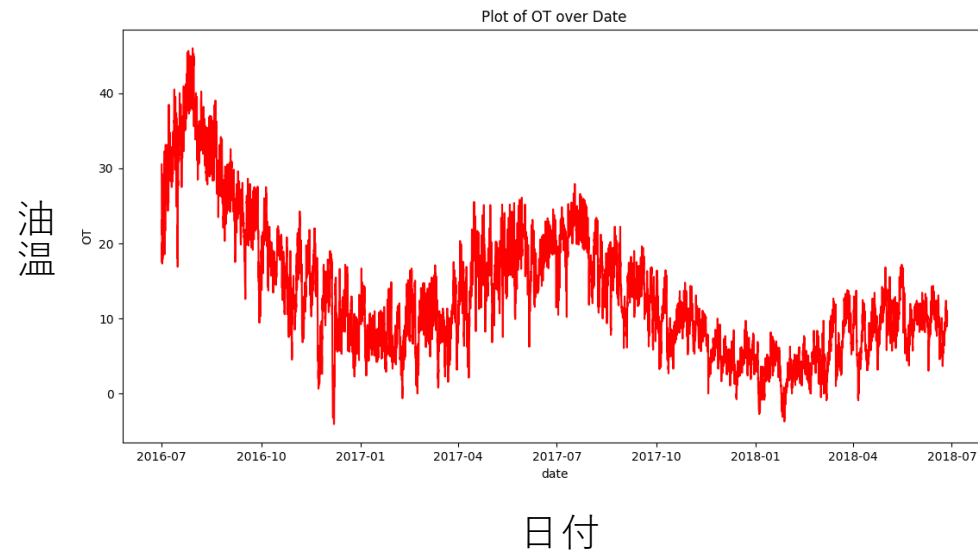
下降傾向・年周期が存在

- データのプロット(右図)
 - 全体的に下降傾向
 - 冬から夏にかけて上昇
 - 夏から冬にかけて下降

- STL分解により

季節性の強さ: 54185308001184.36
季節性の寄与度: 62.27%

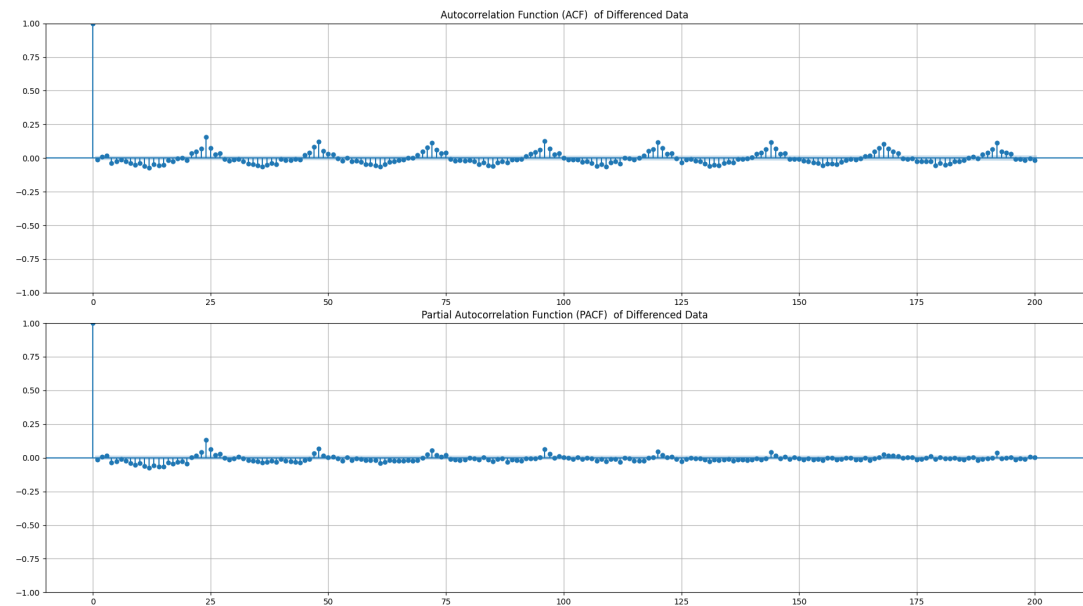
- 季節性の強さ：
 - 季節性成分の標準偏差/残差の標準偏差
- 季節性の寄与度：
 - 季節性成分の分散/全体の分散
- 残差に比べて季節性が十分大きい



データの分析結果

日周期が存在

- 自己相関関数(右上図)：
 - 横軸目盛が24の倍数でピーク
- 偏自己相関関数(右下図)：
 - 横軸目盛が24のみで大きなピーク



技術概要

- 採用モデル：SARIMAX (P,D,Q,24) + 年周期 Fourier
 - 選定理由：
 - **日周期は強く安定** → 季節SARIMA(m=24)で堅実に表現
 - **年周期はデータ約2年で差分が不安定** → **Fourier基底**なら**少パラメータ**で滑らかに近似
- 特徴量エンジニアリング
 - Fourier項： $\sin(2\pi kt/8760), \cos(2\pi kt/8760)$
 - 年周期 8760h：sin/cos × 2階調 (k=1,2)
 - 理由：年季節成分 s_t は線型結合で表され、年周期の滑らかな波形を再現

$$s_t = \sum_{k=1}^K \left(\beta_k^{(s)} \sin \frac{2\pi kt}{P} + \beta_k^{(c)} \cos \frac{2\pi kt}{P} \right)$$

評価指標

- RMSE(二乗平均平方根誤差)

- 実測値と予測値の残差の二乗の平均
- **外れ値での誤差**を強く罰する

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

- MAE(平均絶対誤差)

- 残差の絶対値の平均
- **外れ値の影響**を受けにくい

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|$$

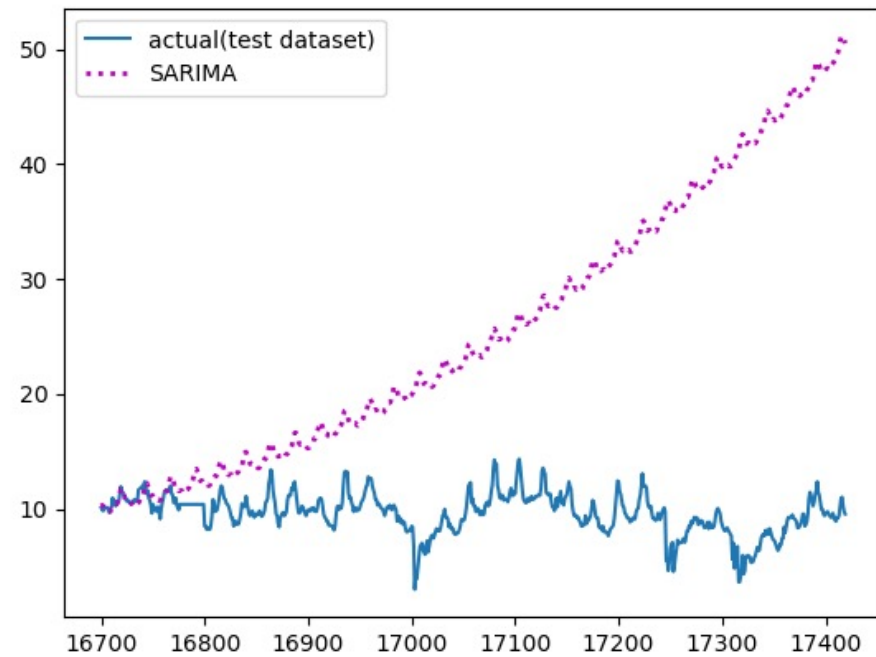
- MAPE(平均絶対パーセント誤差)

- 相対誤差
- 値の大きさに依存せず(単位%)、スケール比較に便利

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|$$

結果

- 評価
 - RMSE : 20.34574635017293
 - MAE : 16.09894529738403
 - MAPE : 189.3676829016661

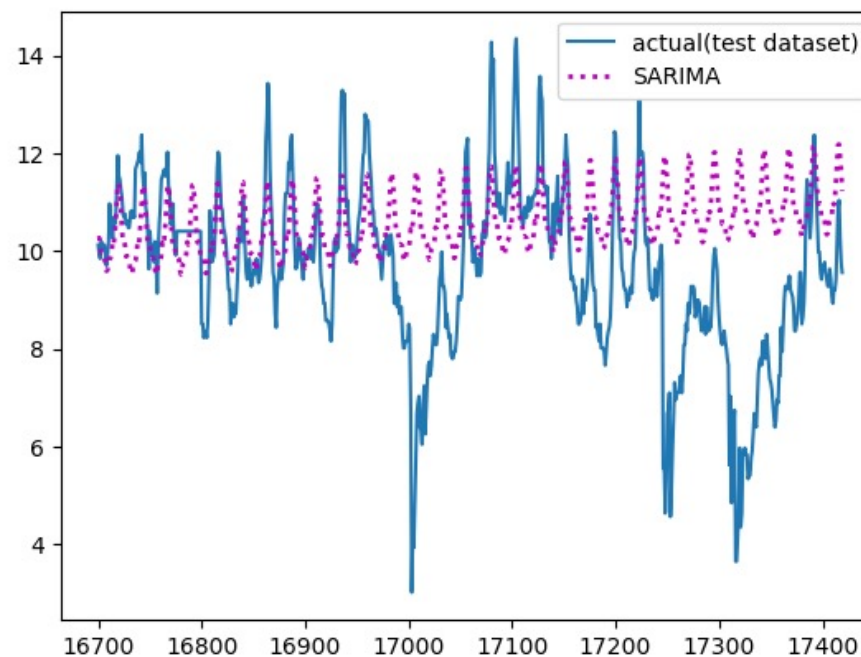


検証内容

- 仮説1：データ不足により年周期の学習は不可
 - 改善策：日周期のみで学習を行う
 - 結果：精度向上
- 仮説2：日周期の季節依存（形状・振幅の変化）
 - 改善策：日周期もFourier化→ARIMAX with Fourier Termsに
 - 結果：精度向上

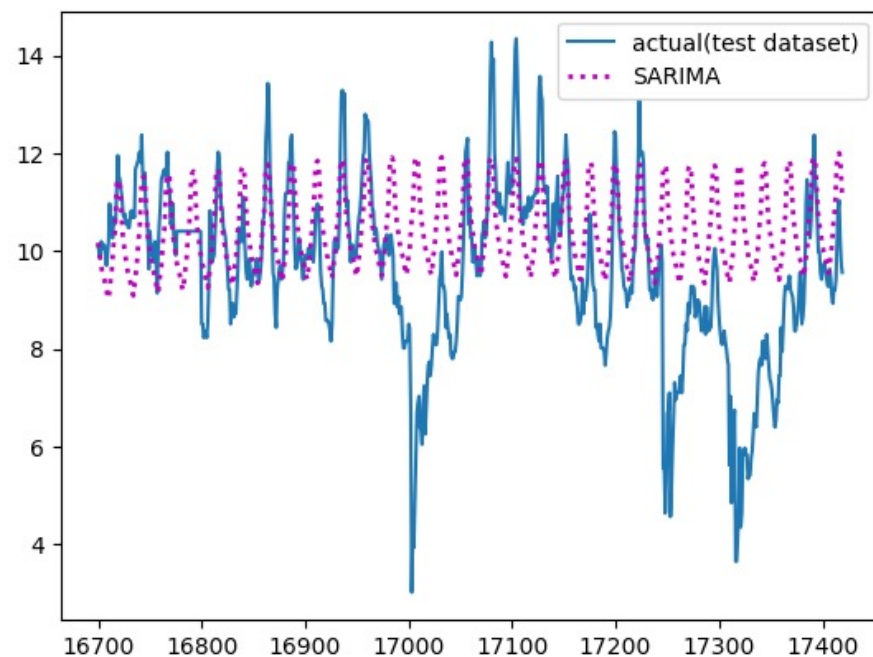
検証結果1

- 仮説1：データ不足により年周期の学習は不可
- 仮説の背景：データは2年分のみ→年周期の学習は不可なのではないか
- 実装変更内容：年周期を表現するFourier項を除き、日周期のみSARIMAXで実行
- 結果：精度向上
 - RMSE : 2.005257636470468
 - MAE : 1.4308189476835778
 - MAPE : 18.772365651504096
- 考察：
 - **年周期の同定不足**：学習データが約2年で、年周期（8760h）の係数が**不安定**
 - **短期予測への寄与小**：予測対象が1ヶ月（720h）なので、**年周期の寄与は限定的**
 - **汎化の改善**：不要な年成分を除去したことで、**過学習が抑制**され精度が向上



検証結果2

- 仮説2：日周期の季節依存（形状・振幅の変化）
- 仮説の背景：
 - 季節差分（ $D=1, s=24$ ）は**振幅変動に弱く**、また**過差分**でノイズが増える可能性
- 実装変更内容：モデルはSARIMAXから季節成分を排除し、日周期もFourier項で表現
- 結果：精度向上・計算時間短縮
 - RMSE : 1.8573946633813787
 - MAE : 1.30480413992608
 - MAPE : 17.1314866822368
- 考察：
 - 柔軟な季節表現**：Fourierにより**位相・振幅のゆらぎ**を連続近似でき、**固定形状前提の季節差分より適合**
 - 過差分の回避**：季節差分（ $D=1, s=24$ ）による**ノイズ増幅**を避け、**残差分散が縮小**
 - 計算の軽量化**：季節 ARMA 成分を持たないため、**推定が速く安定**



まとめ

- 結果のまとめ
 - **日周期のみで十分**：年周期は本データ・地平では**ノイズ源**になり得る。
 - 季節はFourierで表現で**精度・計算時間とも改善**
- 今後の展望
 - **代替モデル比較**：MSTL+ARIMA／TBATS／Prophet／XGBoost
 - **MAPE脆弱性の補完**：SMAPE・MASE 等の併用