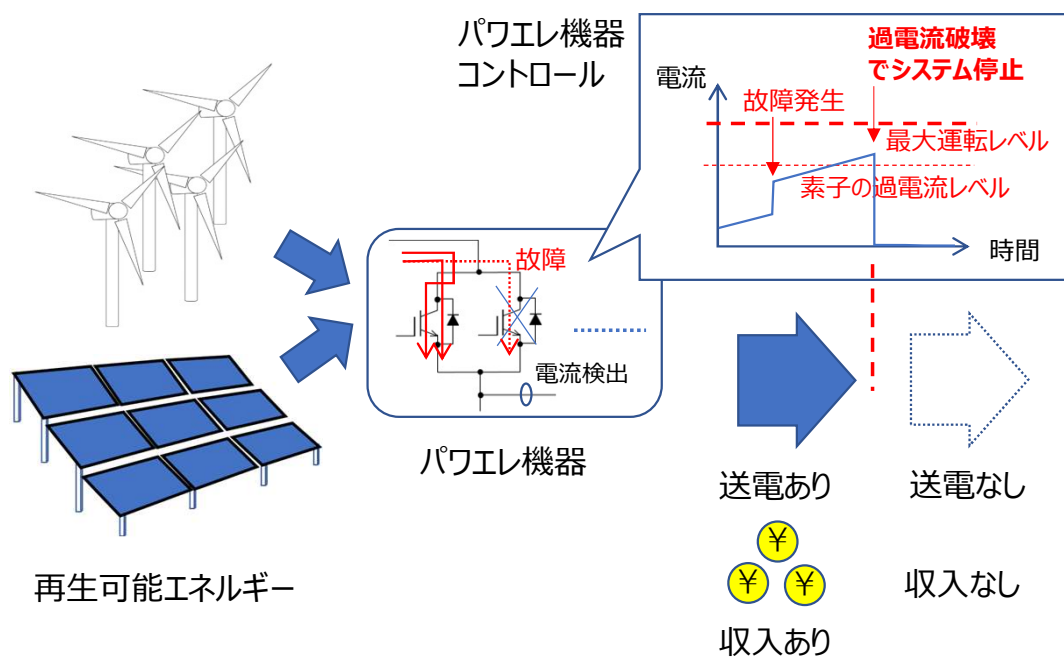
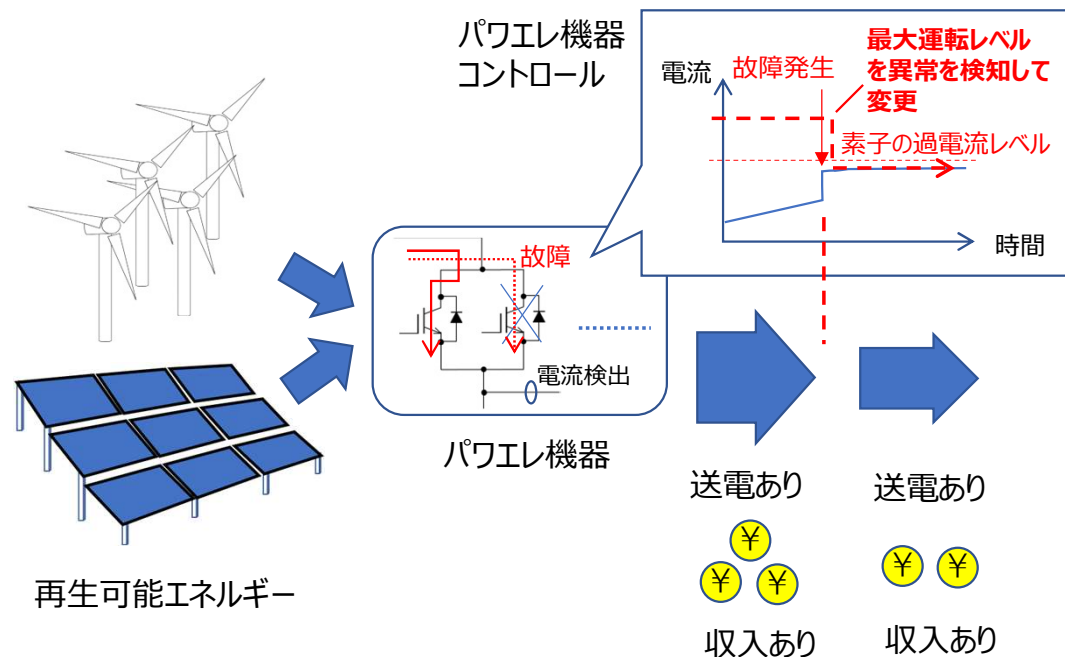


【目的】 電力や移動装置等の運転継続性向上を目指し、深い専門知識や多くの計測器の追加が不要な機械学習を活用したパワーエレ機器の異常診断技術の実現

従来の電力システム（異常診断なし）



将来の電力システム（異常診断あり）



異常診断機能 + パワーエレ機器コントロールのメリット（例）

# 1. DC/DCコンバータにて、3種類の特徴量抽出法と2種類の機械学習による判別法の組合せと回路部品異常の判別精度をシミュレーションで検証

## (1)検証条件

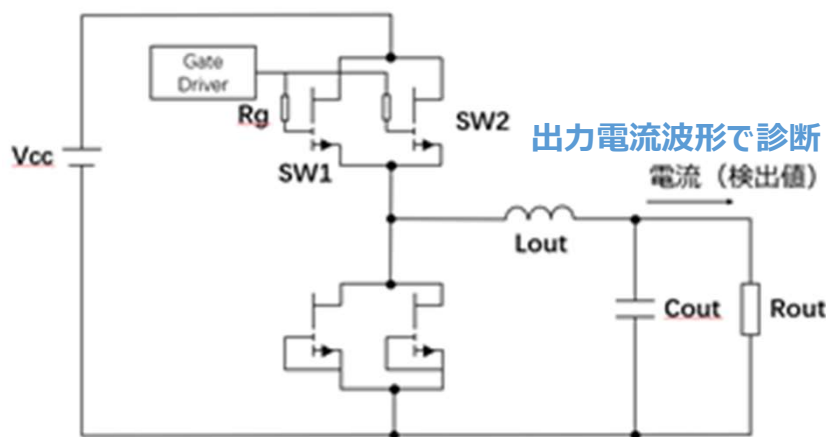


図1 回路構成

表1 回路パラメータ 診断する4つの状態

|          | SW               | Lout                                        | Cout                                         |
|----------|------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 全て正常     | SW1：動作<br>SW2：動作 | 800 $\mu$ H $\pm$ 5 %                       | 0.47 $\mu$ F $\pm$ 5 %                       |
| SWのみ異常   | SW1：動作<br>SW2：停止 | 正常                                          | 正常                                           |
| Loutのみ異常 | 正常               | 800 $\mu$ H<br>-50 % ~ -6 %<br>+6 % ~ +10 % | 正常                                           |
| Coutのみ異常 | 正常               | 正常                                          | 0.47 $\mu$ F<br>-50 % ~ -6 %<br>+6 % ~ +10 % |

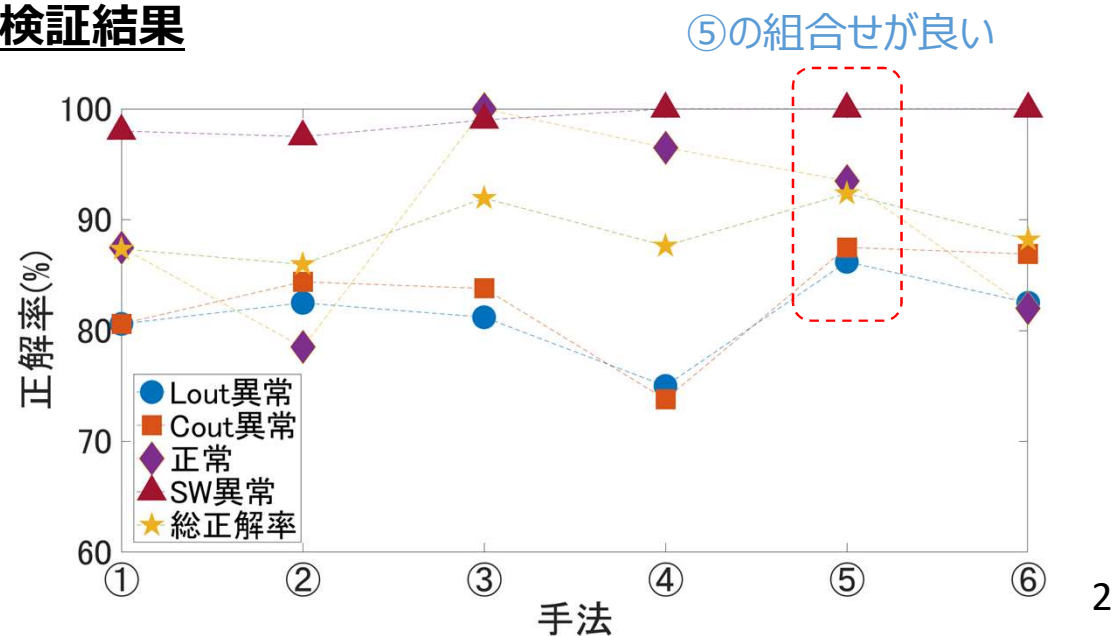
表2 その他の回路パラメータ

|            |                     |
|------------|---------------------|
| SW周波数・Duty | 80kHz・50%           |
| Vcc        | 380~420V            |
| Rg         | 0.9~1.05 $\Omega$   |
| Rout       | 19~21 $\Omega$      |
| データ数       | 4122 (教師3402/試験720) |

表3 特徴量抽出手法と機械学習手法の組合せ

| 機械学習手法<br>特徴抽出手法 | SVM | ANN |
|------------------|-----|-----|
| PCA              | ①   | ②   |
| DWT              | ③   | ④   |
| 波形の時間分析          | ⑤   | ⑥   |

## (2)検証結果



## 2. 機械学習手法SVMを用いて、DC/DCコンバータの回路部品異常の判別精度をシミュレーションで検証。出力電圧波形の検出分解能と判別精度の関係を明確化

### (1)検証条件

- ①シミュレーション回路：(1)と同じ
- ②診断する4つの状態：(1)と同じ
- ③診断波形：出力電圧
- ④その他の条件

|               | 定常状態の波形                     | 過渡状態の波形                     |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Vcc           | 400V±5%                     |                             |
| SW1, SW2      | GaN HEMT GS66516Bのモデル       |                             |
| Rg            | 2Ω±5%                       |                             |
| Rout          | 20Ω±5%<br>(負荷分)             | 1kΩ±5%<br>(放電抵抗)            |
| ゲート信号         | 80kHz,Duty50%<br>Vgs=-6V 固定 | 80kHz,Duty10%<br>Vgs=-6V 固定 |
| 分解能毎の<br>波形の数 | 4000 (教師3200/試験800)         |                             |

- \* 定常状態の波形では低分解能での判別ができない
- \* 過渡状態の波形ではCとLの異常判別が高精度でできる
- \* 低分解能でSW異常を含めて判別する方法が欲しい

### (2)検証結果

|                                                      |        |     |     |    |   |              |
|------------------------------------------------------|--------|-----|-----|----|---|--------------|
| 真実                                                   | Cout異常 | 121 | 42  | 34 | 3 | 再現率<br>60.5% |
|                                                      | Lout異常 | 13  | 102 | 80 | 5 | 51.0%        |
|                                                      | 正常     | 35  | 80  | 77 | 7 | 38.5%        |
|                                                      | SW異常   | 28  | 83  | 80 | 9 | 4.5%         |
| Cout異常 Lout異常 正常 SW異常<br>と予測 と予測 と予測 と予測<br>モデルによる予測 |        |     |     |    |   |              |

(a)時間分解能80kHz/電圧分解能8bit

|                                                      |        |     |     |     |     |            |
|------------------------------------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 真実                                                   | Cout異常 | 168 |     | 30  | 2   | 再現率<br>84% |
|                                                      | Lout異常 | 3   | 170 | 26  | 1   | 85%        |
|                                                      | 正常     | 51  | 8   | 141 |     | 70.5%      |
|                                                      | SW異常   | 6   | 3   | 14  | 177 | 88.5%      |
| Cout異常 Lout異常 正常 SW異常<br>と予測 と予測 と予測 と予測<br>モデルによる予測 |        |     |     |     |     |            |

(b)時間分解能800kHz/電圧分解能14bit

図1 4つの状態の混同行列と再現率 (定常状態の波形)

|                                                      |        |     |     |     |    |              |
|------------------------------------------------------|--------|-----|-----|-----|----|--------------|
| 真実                                                   | Cout異常 | 194 |     | 1   | 1  | 再現率<br>97.0% |
|                                                      | Lout異常 |     | 198 | 1   | 1  | 99.0%        |
|                                                      | 正常     | 7   | 3   | 116 | 74 | 58.0%        |
|                                                      | SW異常   | 1   | 1   | 118 | 80 | 40.0%        |
| Cout異常 Lout異常 正常 SW異常<br>と予測 と予測 と予測 と予測<br>モデルによる予測 |        |     |     |     |    |              |

(a)時間分解能80kHz/電圧分解能8bit

|                                                      |        |     |     |     |     |              |
|------------------------------------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|--------------|
| 真実                                                   | Cout異常 | 197 |     | 3   |     | 再現率<br>98.5% |
|                                                      | Lout異常 |     | 200 |     |     | 100%         |
|                                                      | 正常     |     |     | 157 | 43  | 78.5%        |
|                                                      | SW異常   |     |     | 33  | 167 | 83.5%        |
| Cout異常 Lout異常 正常 SW異常<br>と予測 と予測 と予測 と予測<br>モデルによる予測 |        |     |     |     |     |              |

(b)時間分解能800kHz/電圧分解能14bit

図2 4つの状態の混同行列と再現率 (過渡状態の波形)

3. 機械学習手法SVMを用いて、DC/DCコンバータの回路部品異常の判別精度をシミュレーションで検証。検出分解能が低くても判別精度が高い方式を提案

(1)検証条件

- ①シミュレーション回路：(1)と同じ
- ②診断する4つの状態：(1)と同じ
- ③診断波形：**過渡状態の出力電圧**
- ④その他の条件

|               |                                      |
|---------------|--------------------------------------|
| Vcc           | 400V±5%                              |
| SW1, SW2      | GaN HEMT GS66516Bのモデル                |
| Rg            | 2Ω±5%                                |
| Rout          | 1kΩ±5%（放電抵抗）                         |
| ゲート信号         | 80kHz,Duty10%<br><b>Vgs=-1.5V 固定</b> |
| 分解能毎の<br>波形の数 | 4000（教師3200/試験800）                   |

(2)検証結果 正解率（4つの状態合わせたトータルの再現率）

|                              | 80kHz<br>(1 <sup>(*2)</sup> ) | 160kHz<br>(2) | 240kHz<br>(3) | 400kHz<br>(5) | 800kHz<br>(10) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 8bit(391mV <sup>(*1)</sup> ) | 98.8%                         | 99.0%         | 98.6%         | 98.4%         | 99.4%          |
| 9bit(195mV)                  | 98.9%                         | 99.4%         | 99.3%         | 99.3%         | 98.1%          |
| 10bit(98mV)                  | 99.3%                         | 99.5%         | 99.6%         | 99.4%         | 99.0%          |
| 11bit(49mV)                  | 99.8%                         | 99.5%         | 99.5%         | 99.8%         | 99.5%          |
| 12bit(24mV)                  | 99.4%                         | 99.5%         | 99.9%         | 99.3%         | 99.3%          |
| 13bit(12mV)                  | 99.6%                         | 99.5%         | 99.5%         | 99.5%         | 99.4%          |
| 14bit(6mV)                   | 99.8%                         | 99.5%         | 99.5%         | 97.6%         | 99.6%          |

(\*1)1bit分の電圧  
(\*2)キャリア周波数の比

\* 過渡状態の波形かつゲート駆動電圧を1.5V（閾値付近）に設定することで、高い精度で判別が可能となる