

1 実験の目的

1.1 交流電圧とインパルス電圧を用いた絶縁破壊試験

1. 高電圧実験を安全に実施する方法を学ぶ。
2. 標準インパルス電圧波形とインパルス電圧発生装置の原理を理解する。
3. 高電圧発生器、インパルス電圧発生器、及びその制御システムの操作方法を習得する。
4. 標準球ギャップの交流放電特性を測定できるようになる。
5. 標準球ギャップの 50% インパルスフラッシュオーバー電圧を測定できるようになる。

1.2 スマートグリッド・パワーエレクトロニクスの実験

1. スマートグリッドの需給管理における各モードについて実験を通じて理解する。
2. DC/DC コンバータシステムの動作について実験を通じて理解する。

2 実験の結果と考察

2.1 交流電圧試験（気体の絶縁破壊）

2.1.1 標準球電極による放電特性（高電圧の測定）

球ギャップ長を 10mm, 15mm, 20mm, 25mm に変更し、それぞれ 3 回測定して放電電圧を記録した結果を以下に示す。今回の実験結果から、測定された放電電圧は補正標準電圧と一致していることがわかります。標準球電極を用いた測定においては、測定環境に応じた相対空気密度の補正が重要であり、適切に補正を行うことで高い測定精度が得られることが示されました。

測定時の気圧 hPa	998
測定時の温度 °C	24.6
相対空気密度	1.00
求めた補正係数	1.00

ギャップ	1 回目 kV	2 回目 kV	3 回目 kV	平均 kV	放電電圧	標準電圧	補正標準電圧
10	20.7	20.8	20.1	20.53	29.04	31.7	29.04
15	29.5	29.1	29	29.20	50.58	45.5	50.58
20	39.9	39.6	39.7	39.73	68.82	59	68.82
23	43.6	43.6	44.1	43.77	75.81	64.5	75.81

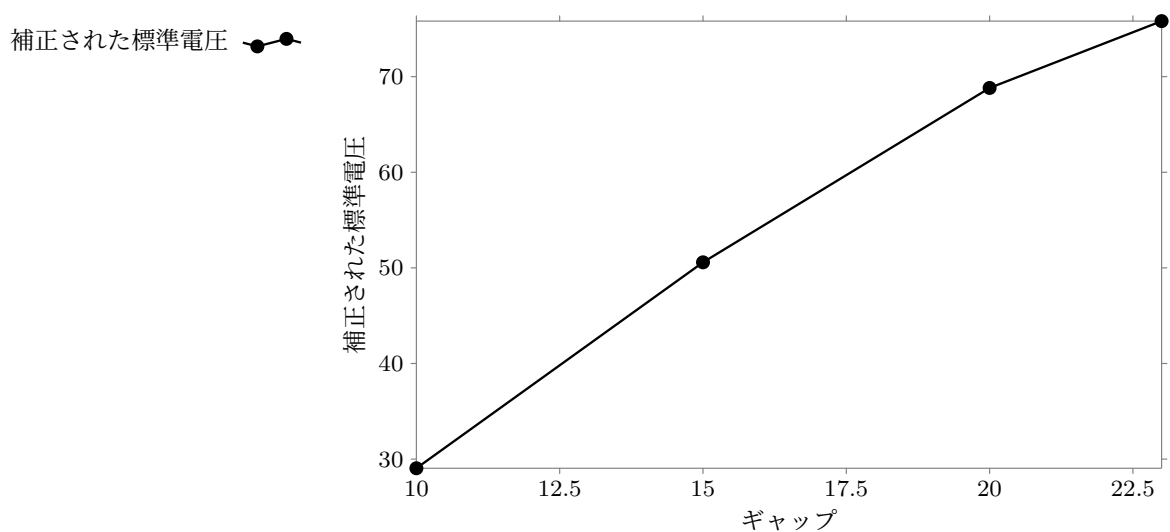


図1 ギャップと補正された標準電圧の関係

2.1.2 インパルス電圧 (衝撃電圧) の実験

標準雷インパルス電圧は、波形が $1.2/50 \mu\text{s}$ の形状を持ち、 $1.2 \mu\text{s}$ の上昇時間と $50 \mu\text{s}$ の半減時間を持つことが特徴です。得られたインパルス波形の上昇時間と半減時間を計測し、標準雷インパルス電圧の波形と比較することで確認します。

1. 放電率が急激に増加するポイントは、印加電圧が 71.0kV を超えた時点です。
2. 放電率が 100% になるのは、印加電圧が 72.3kV の時です。
3. ギャップ長が 25mm の時、放電は 71.0kV 付近から開始され、 72.3kV で完全に放電します。

交流電圧との比較

交流電圧の場合、放電特性はインパルス電圧とは異なり、以下のような点で異なります：

1. 交流電圧は周期的であるため、連続的な放電が発生する可能性が高い。
2. インパルス電圧は短時間に高電圧を印加するため、放電が瞬間的に発生する。
3. インパルス電圧の放電開始電圧は交流電圧よりも高いことが多い。

インパルス電圧の発生原理

インパルス電圧の発生は、主に以下の電気回路の過渡現象に基づいています：

1. 充電段階: コンデンサに高電圧が充電されます。
2. 放電段階: スイッチが閉じると、コンデンサから急速に放電が始まり、インダクタンスと抵抗を通してインパルス電圧が発生します。
3. 波形形成: インパルス波形の形状は、RLC 回路の過渡応答により決定されます。具体的には、ダンピング係数と自然周波数に依存します。

数式的には、インパルス電圧 $V(t)$ は以下のように表されます：

$$V(t) = V_0 (e^{-\alpha t} \sin(\omega_d t))$$

ギャップ	補正電圧 [kV]	印加電圧 [kV]	放電率%
30	85.5	82.0	0
30	85.5	83.1	0
30	85.5	84.5	0
30	85.5	85.2	20
30	85.5	85.3	40
30	85.5	85.4	100
30	85.5	85.5	100
30	85.5	90.0	100
30	85.5	95.0	100
30	85.5	100.0	100

表1 放電率データ

ギャップ	補正電圧 [kV]	印加電圧 [kV]	放電率%
20	59	58.7	0
20	59	58.9	0
20	59	59.2	40
20	59	59.3	20
20	59	59.4	70
20	59	59.5	90

表2 ギャップと補正電圧、印加電圧、放電率の関係

2. 電極形状の影響：

- 針と板の電極は、針先端での電場集中が起こりやすく、より低いギャップ距離でも高い電圧で放電が発生します。一方、球体電極同士では電場が均等に分布しやすく、より低い放電電圧で放電が開始します。

3. 電場分布の違い：

- 針状電極は鋭い先端に電場が集中するため、放電が始まりやすい特性があります。これに対し、球体電極は電場の分布が均一であり、針状電極よりも放電開始に必要な電圧が低くなります。

ギャップ	1回目 kV	2回目 kV	3回目 kV	平均 kV	放電電圧	標準電圧	補正標準電圧
50	32.8	26.51	27.24	28.85	40.80		40.80
60	30.42	30.88	30.44	30.58	52.97		52.97
70	33.57	33.4	34.26	33.74	58.45		58.45

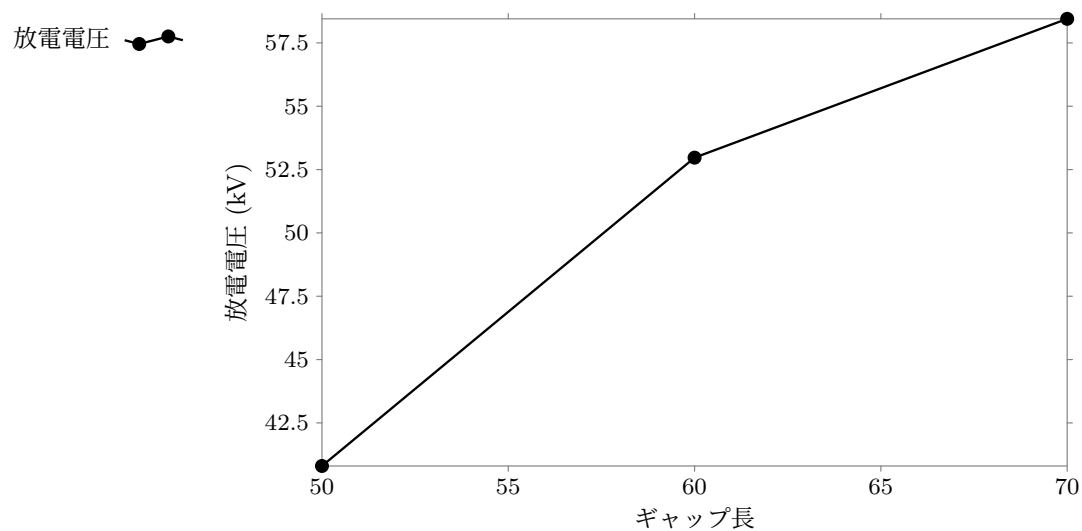


図4 ギャップ長と放電電圧の関係

2.2 スマートグリッド・パワーエレクトロニクスの実験

2.2.1 初期設定の確認

下記のように設定した。

MCCB 番号	MCCB 位置	状態
MCCB 1	模擬 SG 用負荷遮断器盤	投入
MCCB 3	模擬 SG 用負荷遮断器盤	投入
MCCB 4	模擬 SG 用負荷遮断器盤	解放
MCCB 12	模擬 SG 用負荷遮断器盤	解放
MCCB 13	模擬 SG 用負荷遮断器盤	投入
MCCB 22	模擬 SG 用負荷遮断器盤	解放
MCCB 23	模擬 SG 用負荷遮断器盤	解放
MCCB 52M	需給管理装置	解放
MCCB 52C	需給管理装置	投入
MCCB 52L	需給管理装置	投入
MCCB 72B	蓄電池盤	投入

2.2.2 系統連系モードでの実験 (PV あり)

下記の実験結果を表にまとめた。系統連系モードでの実験 (PV あり) では、まず需給管理装置画面の「デンリョクスケジュール」にて Ptime が 100% に設定されていることを確認し、現在の PV の発電電力 P_{PV} を監視モニタより読み取る。その後、模擬負荷用コンセント (MC1、MC2、MC3 および直送) に P_{PV} よりも大きい負荷 P_{load} となるように家電類を接続し、A E および G の電力を監視モニタより読み取り、表 3 に記入する。各タップの合計電流が 15A を超えないように注意する。また、 P_{PV} よりも小さな負荷を接続した際も同様に A E および G の電力を監視モニタより読み取る。

	測定電力[kW]					
	A	B	C	D	E	G
P load>P pv	1.30			9.15	-6.55	0.45
P load<P pv	0.105			3.60	-6.50	-3.25

図5 load

2.2.3 自立モードでの実験

下記の実験結果を表にまとめた。自立モードでの実験では、まず需給管理装置画面の「デンリョクスケジュール」にて Ptime を 0% と設定し、需給管理装置の AC スイッチのランプが消灯したことを確認する。その後、現在の PV の発電電力 P_{PV} を監視モニタより読み取り、模擬負荷用コ

ンセントに P_{PV} よりも大きい負荷 P_{load} を接続し、A E および G の電力を監視モニタより読み取り、表 4 に記入する。さらに、 P_{PV} よりも小さな負荷を接続した際も同様に A E および G の電力を監視モニタより読み取り、表 4 に記入する。

	測定電力[kW]					
	A	B	C	D	E	G
$P_{load} > P_{pv}$	1.30			9.15	-6.55	0.45
$P_{load} < P_{pv}$	0.105			3.60	-6.50	-3.25

図6 load

2.2.4 系統連系モードでの実験 (PV なし)

下記の実験結果を表にまとめた。まず MCCB 12 と 13 を共に開放して PV を停止させ、模擬負荷用コンセントに合計 5kW 程度の負荷を接続する。その後、需給管理装置画面の「デンリョクスケジュール」にて Ptime を 10% とし、A E および G の電力を監視モニタより読み取り、表 5 に記入する。次に、Ptime を 100% とし、同様に A E および G の電力を監視モニタより読み取り、表 4 に記入する。最後に MCCB 13 を投入し、PCS を再起動させる（起動には約 5 分かかる）。

Ptime	測定電力[kW]					
	A	B	C	D	E	G
10%	2.35			5.85	0.00	3.80
100%	6.20			5.85	0.00	-0.20

図7 load

2.2.5 バックアップモードでの実験 (需給管理装置なし)

下記の実験結果を表にまとめた。まず MCCB 52M を投入し、次に MCCB 52L と MCCB 52C を順番に開放する。続いて MCCB 1 を開放し、「需給管理装置なし」かつ「疑似的に停電状態」とする。その後、屋上前階段踊り場に設置されている PCS6 の状態を確認し、再び MCCB 1 を投入してから、投入直後および 5 分後の PCS6 の様子を確認する。

擬似停電実験	復電実験	
MCCB1解放後	MCCB1投入直後	MCCB1投入から5分後
停止	停止	運転

図8 load

2.2.6 バックアップモードでの実験 (需給管理装置あり)

まず MCCB 52C と MCCB 52L を順番に投入し、その後 MCCB 52M を開放する。次に MCCB 1 を開放し、「需給管理装置あり」かつ「疑似的に停電状態」とする。その後、屋上前階段踊り場に設置されている PCS6 の状態を確認し、最後に MCCB 1 を投入する。実験結果は開放後、動作していることが確認できた。

2.2.7 DC/DC コンバータの実験

下記の実験結果を表にまとめた。まず MCCB 12 と 13 を共に開放して PV を停止させ、次に MCCB 4 を投入して DC/DC コンバータを起動する。その後、需給管理装置画面の「デンリョクスケジュール」にて Ptime を 0% とし、AC スイッチのランプが消灯したことを確認する。次に直流模擬負荷装置の電源を入れ、矢印キーを操作して「CR-L」ランプを点滅させ、「ENTER」キーを押して抵抗動作を確定させる（「CR-L」ランプが点灯）。「PRG」ランプが点灯し、下側数字表示に現在設定されている抵抗値が表示されるので、数値設定ノブを回して抵抗値を「280 Ω 程度」に設定し、「ENTER」キーを押して下側数字表示に電流計測値を表示させる。続いて「LOAD」キーを押して負荷電流を流す。

DC/DC コンバータの入出力箇所で入出力の電圧・電流を計測し、表 8 にまとめる。入出力電流についてはクランプ電流計で 10 分間測定し、電圧についてはマルチテスターによりそのときの値を読み取る。5 分経過後および 10 分経過後も同様に電圧・電流を測定する。求められた電圧・電流よりコンバータの入出力電力を算出し、入力電力と出力電力の関係からコンバータの変換効率を算出する。最後に直流模擬負荷装置と DC/DC コンバータをそれぞれ停止し、MCCB 4 を開放する。

平均変換効率は 70.62% だった。

測定時間	DC/DCコンバータ入力			DC/DCコンバータ出力		
	電圧[V]	電流[A]	電力[W]	電圧[V]	電流[A]	電力[W]
直後	356.2	2.03	723.1	375.3	1.36	510.4
5分後	351.1	2.08	730.3	375.3	1.35	506.7
10分後	344.9	2.12	731.2	375.3	1.40	525.7

図9 load

2.2.8 まとめ

PCS (Power Conditioning System) は停電時に自動的に遮断されますが、その理由は安全確保とシステム保護にあります。停電時に PCS が稼働し続けると、系統側に送電される可能性があり、電力会社の作業員にとって危険です。また、突然の停電によってシステムに過負荷や過電流が生じる可能性があるため、PCS は自動的に遮断されて機器を保護します。

PCS が投入された後すぐに復電しない理由としては、自己診断や系統電圧や周波数への同期手順が時間を要すること、内部のキャパシタの充電が必要なことが挙げられます。

蓄電池から直流負荷に電力を供給する際に DC/DC コンバータが必要となる理由は、電圧変換、効率向上、負荷適合性にあります。蓄電池の出力電圧は一定ではなく、充放電の状態に応じて変動するため、直流負荷が必要とする電圧に適合させるために DC/DC コンバータで安定した電圧を供給する必要があります。また、DC/DC コンバータを使用することでエネルギー効率を高め、各種直流負荷の要件に合わせて必要な電圧や電流を供給することができます。

日本ではスマートグリッドの導入が進んでおり、再生可能エネルギーの普及に伴い、電力系統の安定化と効率化を図るための技術が開発・実装されています。再生可能エネルギーの統合やエネルギーマネジメントシステム (EMS) の普及が進んでいます。スマートコミュニティでは、地域全体のエネルギー管理と効率化を目指し、地域エネルギーマネジメントやスマートホームの普及が進んでいます。これらの取り組みにより、日本ではエネルギーの効率的な利用と環境負荷の低減が図られています。