

太陽光発電システム用大容量パワーコンディショナのミニモデルを用いた試験方法

A test method with a scale down model of utility-interactive photovoltaic inverters

2015年(平成27年) 2月20日 制定



産総研



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

目次

ページ

序文	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義	1
4 PCSの構成	2
5 ミニモデルの設計	3
5.1 回路構成	3
5.2 定格交流電力・定格交流電流・定格交流電圧	3
5.3 回路インピーダンス	4
5.4 逆変換器	5
5.5 変換装置用変圧器	5
5.6 制御装置	5
6 ミニモデルを用いた試験	5
6.1 試験回路構成	5
6.2 試験設備	6
6.3 試験方法	6
6.4 判定基準	8
解説	10
1 制定の趣旨及び経緯	10
2 ミニモデル実証試験	10
2.1 ミニモデル設計	10
2.2 実証試験設備	11
2.3 試験方法	13
2.4 試験結果	15
3 検討課題となった事項	19
3.1 定格交流電流のスケールダウン比率	19
3.2 電氣的試験によるミニモデルの妥当性の確認方法	21
4 各構成要素の内容	23
4.1 適用範囲	23
4.2 回路構成	24
4.3 回路インピーダンス	24
4.4 逆変換器	26
4.5 変換装置用変圧器	27
4.6 制御装置	31
4.7 試験設備	31
5 ガイドライン作成委員会構成表	40

まえがき

このガイドラインは、新エネルギー等共通基盤整備促進事業「太陽光発電用大規模パワーコンディショナの標準ミニモデルに関する研究」検討委員会の審議を経て、独立行政法人産業技術総合研究所及び一般財団法人エネルギー総合工学研究所が制定したものである。

このガイドラインは、著作権法で保護対象となっている著作物である。

このガイドラインの一部が、特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権、又は出願公開後の実用新案登録出願に抵触する可能性があることに注意を喚起する。独立行政法人産業技術総合研究所及び一般財団法人エネルギー総合工学研究所は、このような特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権、又は出願公開後の実用新案登録出願にかかわる確認について、責任をもたない。

太陽光発電システム用大容量パワーコンディショナの ミニモデルを用いた試験方法

A test method with a scale down model of utility-interactive photovoltaic inverters

序文

このガイドラインは、大容量の太陽光発電システム用パワーコンディショナ（以下、PCSという。）の事故時運転継続機能（以下、FRT機能という。）及び単独運転検出機能を、小容量のPCSの試験と同程度の設備環境下で確認できるように、実機と同等の機能を有しながら容量などをスケールダウンした機器（以下、ミニモデルとする。）を用いて試験する方法を規定するものであり、得られる試験結果は実機で試験した場合と同等である。

1 適用範囲

このガイドラインは、高圧以上の系統に連系する太陽光発電システム用三相PCSのミニモデルを設計し、これを用いてFRT機能及び単独運転検出機能を試験する方法を規定する。

2 引用規格

次に掲げる規格は、このガイドラインに引用されることによって、このガイドラインの規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JEC-2200	変圧器
JEC-2210	リアクトル
JEC-2410	半導体電力変換装置
JEC-2440	自励半導体電力変換装置
JEC-2470	分散形電源系統連系用電力変換装置
JIS C 8960	太陽発電用語
JIS C 8962	小出力太陽光発電用パワーコンディショナの試験方法
JIS C 8963	系統連系形太陽光発電システム用パワーコンディショナの単独運転検出機能の試験方法

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、「2 引用規格」に記載する規格によるほか、次による。

3.1

実機

太陽光発電用PCSの商品機や商品用開発機。

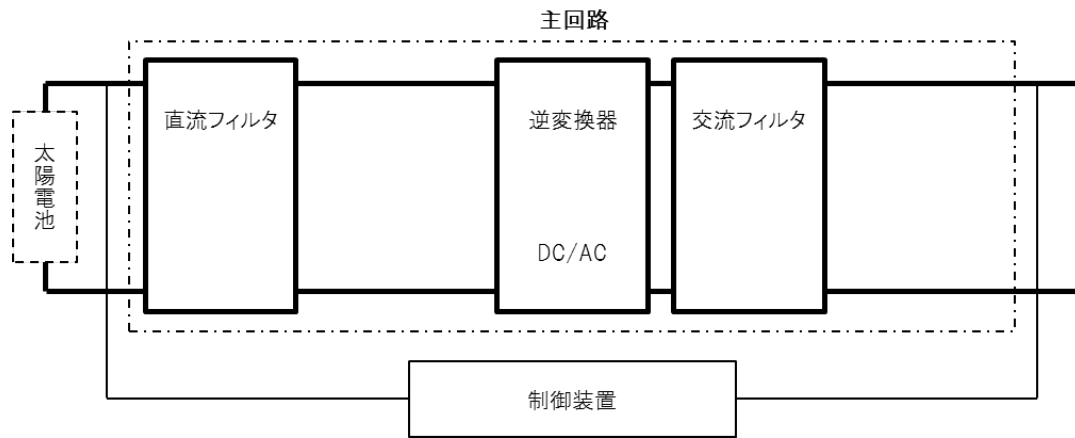
3.2

ミニモデル

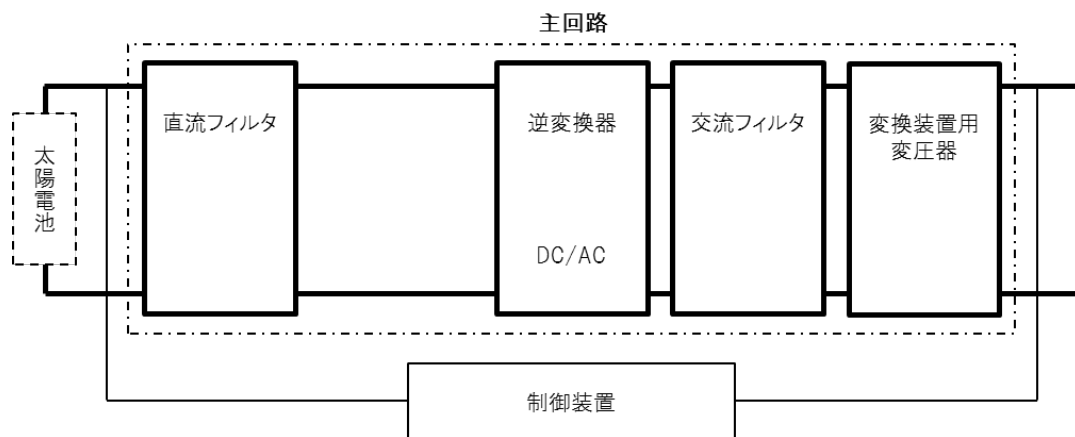
必要な機能を実機と同等にして定格容量などをスケールダウンした太陽光発電用PCS。

4 PCSの構成

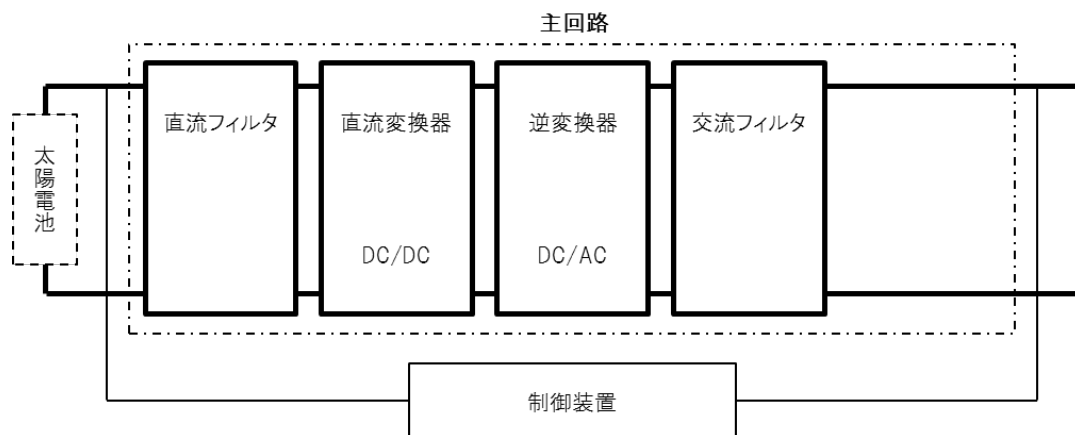
PCSの基本構成を図1 (a)～(d)に示す。



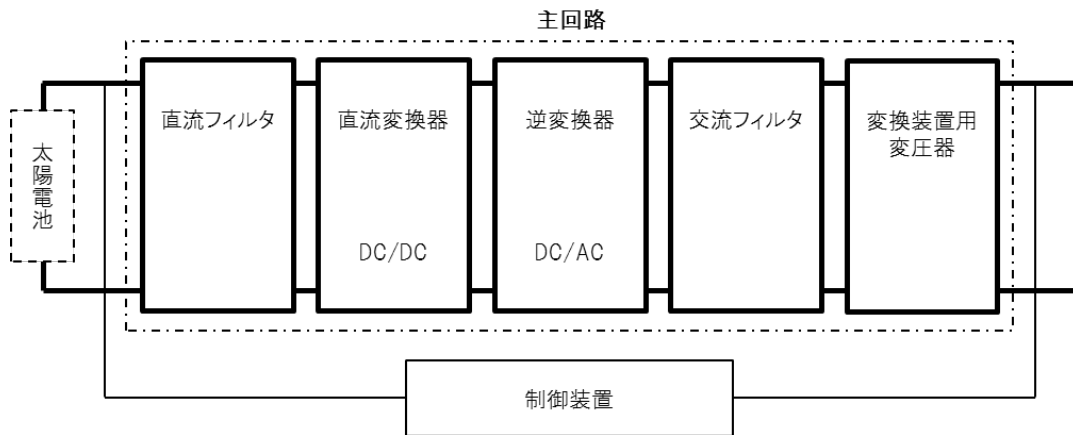
(a) 直流変換器なし，変換装置用変圧器なし



(b) 直流変換器なし，変換装置用変圧器あり



(c) 直流変換器あり，変換装置用変圧器なし



(d) 直流変換器あり，変換装置用変圧器あり

図1—PCSの構成

5 ミニモデルの設計

ミニモデルは，実機の動作（時限を含む。）及び出力波形を再現し，その応答を評価できるように設計，製作する。また，実機で確認できる特性については，ミニモデルの要求仕様に含めない。

5.1 回路構成

ミニモデルは，以下の主回路構成を実機と同一にする。

- a) 逆変換器
- b) フィルタ回路
- c) 直流変換器
- d) 変換装置用変圧器
- e) 制御装置
- f) 制御電源

注記 外形寸法及び補機類（MCCB，ファン電源，補機用変圧器など）は，FRT機能及び単独運転検出機能に影響しないため，実機と仕様が異なっても良い。また，ファン電源は別電源から供給しても良い。

5.2 定格交流電力・定格交流電流・定格交流電圧

実機とミニモデルにおける定格交流電力，定格交流電流，定格交流電圧の関係を式(1)から(3)で表す。

なお，実機とミニモデルの定格交流電流の比率を a ，定格交流電圧の比率を b とし，ミニモデル実証試験¹で検証した範囲をもとに， $1 \leq a \leq 25$ ， $1 \leq b \leq 2$ とする（以下同様）。

¹ 経済産業省・資源エネルギー庁 新エネルギー等共通基盤整備促進事業「太陽光発電用大規模パワーコンディショナの標準ミニモデルに関する研究」（平成24年度～平成26年度）で実施。

$$P_m = \frac{P}{a \cdot b} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、
 P_m : ミニモデルの定格交流電力 (kW)
 P : 実機の定格交流電力 (kW)

$$I_{m,ac} = \frac{I_{ac}}{a} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、
 $I_{m,ac}$: ミニモデルの定格交流電流 (A)
 I_{ac} : 実機の定格交流電流 (A)

$$V_{m,ac} = \frac{V_{ac}}{b} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、
 $V_{m,ac}$: ミニモデルの定格交流電圧 (V)
 V_{ac} : 実機の定格交流電圧 (V)

5.3 回路インピーダンス

5.3.1 交流フィルタ

ミニモデルの交流フィルタのリアクトル及びコンデンサは、自己容量基準の%リアクタンス (%X) が実機と同一となるように設計する。

なお、リアクトルのインダクタンス及びコンデンサのキャパシタンスの裕度は、設計値の±10%以下とする。

5.3.2 直流フィルタ

a) 直流リアクトル

実機とミニモデルにおける直流リアクトルのインダクタンスの関係を、式(4)に示す。

なお、直流リアクトルのインダクタンスの裕度は、設計値の±10%以下とする。

$$L_{m,dc} = \frac{L_{dc} \cdot a}{b} \dots\dots\dots(4)$$

ここに、
 $L_{m,dc}$: ミニモデルの直流リアクトルのインダクタンス (H)
 L_{dc} : 実機の直流リアクトルのインダクタンス (H)

b) 直流コンデンサ

実機とミニモデルにおける直流コンデンサのキャパシタンスの関係を式(5)に示す。

なお、直流コンデンサのキャパシタンスの裕度は、設計値の+20%以下とする。

$$C_{m,dc} = \frac{C_{dc} \cdot b}{a} \dots\dots\dots(5)$$

ここに、
 $C_{m,dc}$: ミニモデルの直流コンデンサのキャパシタンス (F)
 C_{dc} : 実機の直流コンデンサのキャパシタンス (F)

5.4 逆変換器

ミニモデルの逆変換器の基本構成及びスイッチング周波数は、実機と同一にする。また、ミニモデルの半導体バルブデバイスは、実機と同種（IGBT、MOSFETなど）とし、次のいずれかとする。

- a) 実機と同一のデバイスを使用する。
- b) 主回路の電圧及び電流のスケーリングに合わせてデバイスを選定する。その際、実機と同様のI-V特性及びスイッチング特性となるように考慮する。

なお、半導体バルブデバイスの並列数及びスナバの構成は、FRT機能及び単独運転検出機能への影響が小さいため、実機と異なっても良い。

5.5 変換装置用変圧器

ミニモデルの変換装置用変圧器は、次のとおり設計する。

- a) 実機と同じ材質の鉄心を使用する。
- b) 漏れインダクタンスの自己容量基準の%リアクタンス（%X）が実機と同一となるように設計し、裕度は設計値の±10%以下とする。
- c) 磁束密度が実機と同一になるように設計し、裕度は設計値の±20%以下にする。

上記の設計にあたっては、励磁電流と定格電流の比（励磁電流 / 定格電流）及び突入電流倍率を考慮する。

5.6 制御装置

ミニモデルの制御装置（ハードウェア、ソフトウェア及び制御定数）は、実機と同一にする。また、実機とミニモデルの電流検出回路で検出する電流の関係を式(6)に、電圧検出回路で検出する電圧の関係を式(7)に示す。

ただし、検出器のみで上記の条件を満たすことが困難な場合は、計器用変成器（PT及びCT）のターン数で調整するほか、制御定数のアナログ/デジタル変換比を調整して換算しても良い。その際、調整内容を明確にする。

$$I_{m,det} = \frac{I_{det}}{a} \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 $I_{m,det}$: ミニモデルの電流検出回路で検出する電流 (A)
 I_{det} : 実機の電流検出回路で検出する電流 (A)

$$V_{m,det} = \frac{V_{det}}{b} \dots\dots\dots(7)$$

ここに、 $V_{m,det}$: ミニモデルの電圧検出回路で検出する電圧 (V)
 V_{det} : 実機の電圧検出回路で検出する電圧 (V)

6 ミニモデルを用いた試験

6.1 試験回路構成

ミニモデルを用いた試験の回路構成は、図2とする。

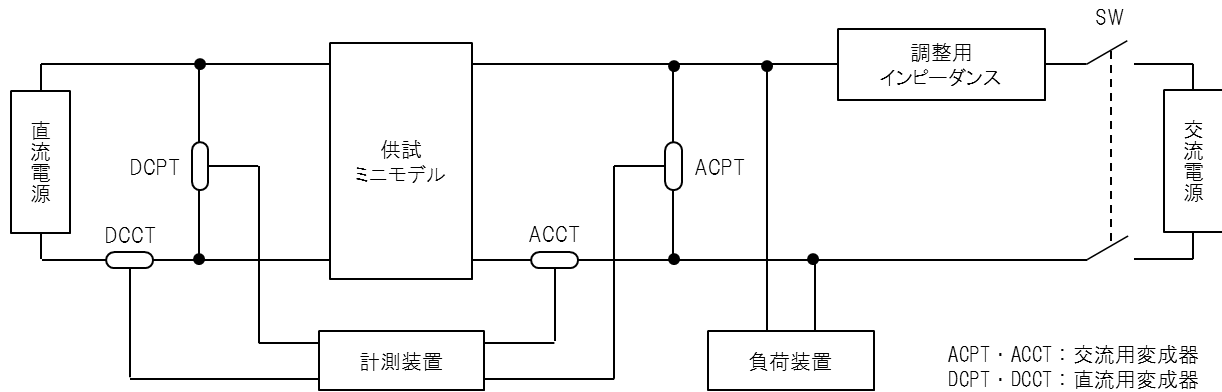


図2—ミニモデルを用いた試験回路

6.2 試験設備

ミニモデルを用いた試験における各試験設備の機能仕様を、表1に示す。

表1—試験設備の機能仕様

試験設備	機能仕様
交流電源	1) 実システムの定常時及び過渡時の挙動を模擬できる。その際、波形歪や電圧変動が少ない 2) 瞬時電圧低下試験（FRT試験）及び周波数変動試験（FRT試験）を実施できるよう、指定の電圧・位相及び周波数の急変が可能で、指定した時間これを維持できる 3) 瞬時電圧低下時などに不要な周波数変動がない 4) ミニモデルの容量に見合った出力容量があり、試験を安定に実施できる 5) 試験時に生じる逆潮流に対応できる回生能力を有する 6) 再現性があり、同じ試験を繰り返して実施できる
直流電源	1) 応答特性が太陽電池に近い 2) 負荷の急変に追従し、速やかに応答できる。その際、振動やオーバーシュートなどが少ない 3) ミニモデルの容量に見合った出力容量があり、試験を安定に実施できる
負荷装置	1) 瞬時電圧低下試験（FRT試験）、周波数変動試験（FRT試験）及び単独運転検出試験に必要なR、L、Cの容量がある 2) 交流電源への逆潮流に制約がある場合は、過渡的な電圧変動時に負荷を分担できる容量がある 3) 単独運転検出試験を実施できるよう、容量の微調整ができる
調整用インピーダンス	実システムを模擬できるよう、インピーダンスの設定ができる

6.3 試験方法

6.3.1 瞬時電圧低下試験（FRT試験）

瞬時電圧低下試験（FRT試験）の試験条件及び試験方法は、次による。

a) 試験条件

- 1) 試験回路は、図2とする。
- 2) 交流電源は、実機の定格電圧を1/b倍した電圧及び定格周波数で運転する。

- 3) 直流電源は太陽電池の特性を模擬し、ミニモデルの出力が定格出力となるように設定する。
- 4) 事前に設定した調整用インピーダンスを接続する。
- 5) 保護装置の設定は、ミニモデルに合わせた設定とする。
なお、単独運転検出機能は受動的及び能動的検出方式を有効とする。
- 6) 負荷は、試験時の交流電源への逆潮流を補償することを考慮のうえ、ミニモデルの出力を消費するように設定する。

b) 試験方法

- 1) ミニモデルを定格出力で運転する。
- 2) 交流電源側に0.3秒の間、瞬時電圧低下（残電圧が定格電圧の20%、0%）を発生させる。
- 3) 瞬時電圧低下の位相投入角を 0° 、 45° 、 90° とし、各位相投入角の試験を実施する。
- 4) 三相短絡事故、二相短絡事故（Y結線側）、二相短絡事故（ Δ 結線側）の三つの故障様相について試験を実施する。

6.3.2 周波数変動試験（FRT試験）

周波数変動試験の試験条件及び試験方法は、次による。

a) 試験条件

- 1) 試験回路は、図2とする。
- 2) 交流電源は、実機の定格電圧を $1/b$ 倍した電圧及び定格周波数で運転する。
- 3) 直流電源は太陽電池の特性を模擬し、ミニモデルの出力が定格出力となるように設定する。
- 4) 事前に設定した調整用インピーダンスを接続する。
- 5) 保護装置の設定は、ミニモデルに合わせた設定とする。なお、単独運転検出機能は受動的及び能動的検出方式を有効とする。
- 6) 負荷は、ミニモデルの出力を消費するように設定する。

b) 試験方法

- 1) ミニモデルを定格出力で運転する。
- 2) 交流電源の周波数をステップ状に $+0.8\text{Hz}$ （50Hzの場合）、 $+1.0\text{Hz}$ （60Hzの場合）、3サイクル間継続して変動させる。
- 3) 交流電源の周波数をランプ状の $\pm 2\text{Hz/s}$ で、次の値となるまで変動させる。
 - ・ 周波数の上限は50Hz の場合51.5Hz、60Hz の場合61.8Hz
 - ・ 周波数の下限は50Hz の場合47.5Hz、60Hz の場合57.0Hz

6.3.3 単独運転検出試験

単独運転検出試験の試験条件及び試験方法は、次による。

a) 試験条件

- 1) 試験回路は、図2とする。
- 2) 交流電源は、実機の定格電圧を $1/b$ 倍した電圧及び定格周波数で運転する。
- 3) 直流電源は太陽電池の特性を模擬し、ミニモデルの出力が定格出力となるように設定する。
- 4) 事前に設定した調整用インピーダンスを接続する。
- 5) 保護装置の設定は、ミニモデルに合わせた設定とする。
- 6) ミニモデルを交流電源から解列した際にミニモデルの出力と所定の平衡状態（試験条件）ができるように抵抗負荷、共振回路負荷を設定する。抵抗負荷の条件設定を表2に、共振回路負荷の条件設定を表3に示す。

表2—抵抗負荷の条件設定

単位：%				
-10	-5	0	+5	+10
表中の値は、ミニモデルの定格出力電力に対する有効電力の比（%）。 符号は、交流電源からミニモデルへの有効電力の潮流を正とする。				

表3—共振回路負荷の条件設定（有効電力，無効電力）

単位：%				
-10, +10	-5, +10	0, +10	+5, +10	+10, +10
-10, +5	-5, +5	0, +5	+5, +5	+10, +5
-10, 0	-5, 0	0, 0	+5, 0	+10, 0
-10, -5	-5, -5	0, -5	+5, -5	+10, -5
-10, -10	-5, -10	0, -10	+5, -10	+10, -10
表中の値は、ミニモデルの定格出力電力に対する有効電力および無効電力の比（%）。 符号は、交流電源からミニモデルへの有効電力および無効電力（遅れ）の潮流を正とする。				

b) 試験方法

- 1) ミニモデルを定格出力で運転する。
- 2) 表2, 表3に示す負荷条件において試験回路のSWを開路し, SWを開路したときからミニモデルのゲートブロック機能又は開閉器が動作するまでの時間を測定する。
- 3) 単独運転検出機能の試験は, 表4に示す3通りのそれぞれについて, 1)~2)の手順で行う。

表4—単独運転検出方式の組合せ

検出方式の組合せ	受動的方式だけ ²
	能動的方式だけ
	受動的方式と能動的方式の組合せ

6.4 判定基準

各試験の判定基準は, 次による。

a) 瞬時電圧低下試験（FRT試験）

- 1) 残電圧が20%以上の電圧低下に対しては運転を継続し, 電圧の復帰後0.1秒以内に電圧低下前の出力の80%以上の出力まで復帰する（三相短絡事故, 二相短絡事故のいずれの場合も運転継続及び出力復帰の対象とする）。
- 2) 三相短絡事故を想定した残電圧20%未満の平衡した電圧低下に対しては, 運転を継続又はゲートブロックにて対応する。この場合, 電圧の復帰後1秒以内に電圧低下前の出力の80%以上の出力まで復帰すること（0.2秒以内の復帰が望まれる）。

b) 周波数変動試験（FRT試験）

周波数変動時に運転継続する。

² 受動的方式だけで行った試験において単独運転となった領域（不感帯領域）については, 受動的方式と能動的方式の組合せにおいて解列することを確認する。

c) 単独運転検出試験

- 1) 単独運転を受動的方式によって検出した場合は、0.5秒以内に遮断装置を開放するとともに、ゲートブロックなどで停止する。
- 2) 単独運転を能動的方式によって検出した場合は、0.5秒以上1秒以内に遮断装置を開放するとともに、ゲートブロックなどで停止する。

太陽光発電システム用大容量パワーコンディショナの ミニモデルを用いた試験方法

解説

この解説は、本体に規定・記載した事柄、及びこれらに関連した事柄を説明するものである。

1 制定の趣旨及び経緯

大容量のPCSのFRT機能及び単独運転検出機能を実機で確認するには、大掛りな試験設備を必要とする。特にPCSが定格運転している状態で交流電源の電圧や周波数を急変させるには、大規模な発電機設備などが必要となり、現実的でない。このような大容量のPCSの試験方法として、JEC-2470「分散型電源系統連系用電力変換装置」では“主回路をスケールダウンしたミニモデルと制御装置とを組み合わせ、同様の試験を行う”（解説9. (3) (b)）ことができるとしている。このため、PCSメーカーではミニモデルを用いてFRT機能などの試験データを取得し、電力会社との系統連系協議などに活用している。

しかしながら、実機の試験データがないためミニモデルの試験データの妥当性に懸念が残ることや、メーカーごとにミニモデルの設計方法や試験方法が異なること、電力会社ごとに必要な試験データが異なることなどから、メーカーや電力会社は系統連系協議に労力を要しており、信頼性の高い系統連系保護機能を有する太陽光発電システムを導入するうえでの障害となっている。

この障害を解消するために、新エネルギー等共通基盤整備促進事業「太陽光発電用大規模パワーコンディショナの標準ミニモデルに関する研究」（平成24年度～平成26年度 経済産業省 資源エネルギー庁）において、ミニモデルの設計方法及びミニモデルを用いた試験方法について検討を行い、これらの標準化に向けて本ガイドラインを策定した。

2 ミニモデル実証試験

上記の事業において、実機のFRT機能及び単独運転検出機能を確認するためのミニモデルを検討、試作して実機との性能比較を行い、ミニモデルの妥当性について評価を行った。検討の概要を次に示す。

2.1 ミニモデル設計

ミニモデルの設計方法は、機器の回路構成や%リアクタンス、制御装置などを実機と同一にすることを共通として、定格交流電圧を実機と同一にして定格交流電流を1/25にスケールダウンする方法（以下、電圧一定・電流1/25モデルという。）と、定格交流電流を実機と同一にして定格交流電圧を1/2にスケールダウンする方法（以下、電流一定・電圧1/2モデルという。）の二種類を検証した。供試ミニモデルの設計概要を次に示す。

a) 電圧一定・電流1/25モデル

	実機	ミニモデル
交流電力	250kW	10kW
交流電流	I	I/25
交流電圧	V	V
回路構成, %リアクタンス, 制御装置など	***	実機と同じ

b) 電流一定・電圧1/2モデル

	実機	ミニモデル
交流電力	250kW	125kW
交流電流	I	I
交流電圧	V	V/2
回路構成, %リアクタンス, 制御装置など	***	実機と同じ

電圧一定・電流1/25モデルの検証に用いたミニモデルの容量は、市場にある主要な三相PCSの最小規模が10kWであることや、メーカ工場などで試験可能な規模を考慮して決定した。一方、実機の容量については、試験設備の制約などから250kWとした。

また、電流一定・電圧1/2モデルの検証では、回路構成などが同じで定格交流電圧が380Vと210VのPCSを用意し、一方がもう一方の電圧1/2のミニモデルとして性能比較を行った（試験時は交流電圧を400Vと200Vに調整）。

2.2 実証試験設備

実証試験設備は、実機を試験できる高圧配電設備と、瞬時電圧低下などの系統擾乱を模擬できるBTB電源装置を所有する一般財団法人電力中央研究所 赤城試験センター（以下、赤城試験センターという）内に構築した。実証試験設備の主なポイントを次に示す。

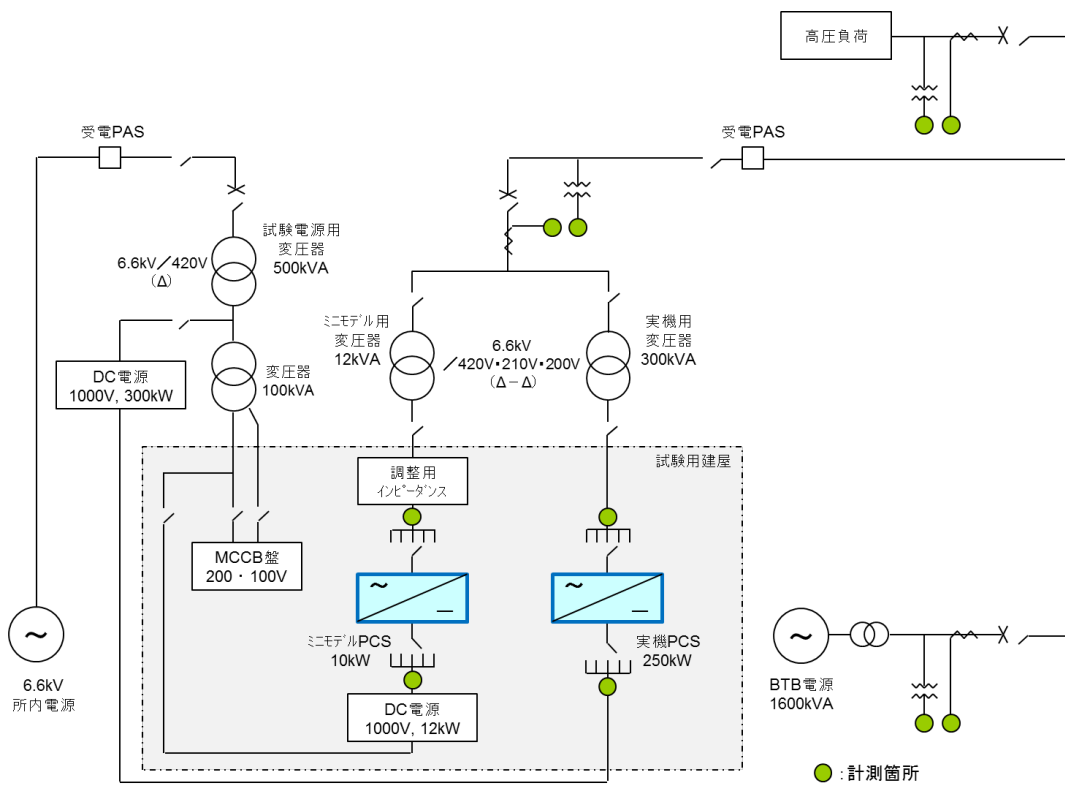
- ・ 電圧一定・電流1/25モデルの検証では5メーカーの実機とミニモデルを、電流一定・電圧1/2モデルの検証では1メーカーの実機2台を使用した。
- ・ 供試PCSを高圧系統に連系するための実機用変圧器（300kVA）及びミニモデル用変圧器（12kVA）は、供試PCSの定格交流電圧がそれぞれ異なる（420V、210V、200V）ため、低圧側の電圧タップをそれぞれに切り替えできる仕様とした。また、実機用変圧器はトップランナー変圧器の仕様を参考とし、ミニモデル用変圧器は実機用変圧器の容量を等比縮小した。
- ・ ミニモデル用変圧器には調整用インピーダンスを追加して、実機用変圧器と%インピーダンスを合わせた。

実証試験設備の概略を解説図1に、FRT機能に関する試験時の単線結線図を解説図2に示す。

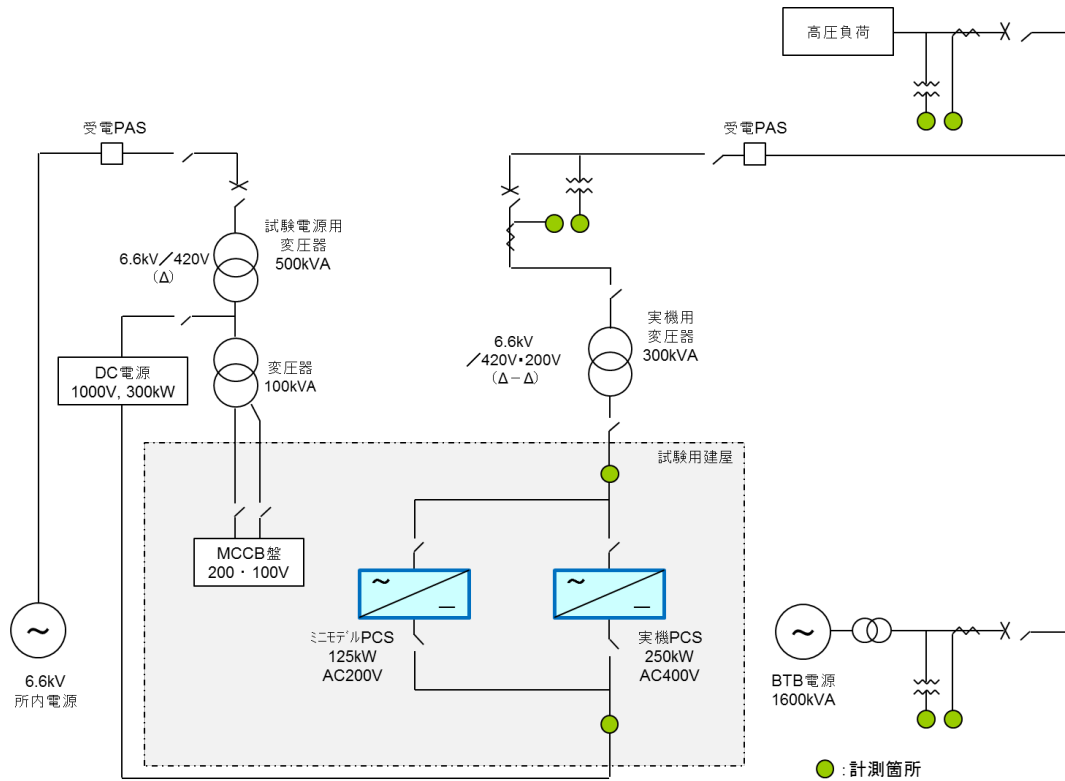


[出所]電力中央研究所 赤城試験センターホームページ上の資料をもとに作成
<http://www.denken.or.jp/jp/akagi/index.html>

解説図1—実証試験設備概略



(a) 電圧一定・電流1/25モデルの試験回路



(b) 電流一定・電圧1/2モデルの試験回路
解説図2—単線結線図 (FRT機能に関する試験時)

2.3 試験方法

FRT機能及び単独運転検出機能に関する性能比較試験（以下、それぞれFRT試験、単独運転試験という）の主なポイントを次に示す。

a) FRT試験

- ・ FRT試験は瞬時電圧低下試験及び周波数変動試験を中心に実施した。瞬時電圧低下試験は解説表1に示す試験条件を組み合わせて実施した。

解説表1—瞬時電圧低下試験条件

項目	試験条件
事故時の残電圧	80%, 30%, 25%, 20%, 15%, 10%, 0%
事故継続時間	240ms, 300ms, 3000ms, 100ms (再閉路)
故障様相 (上位系統)	三相短絡, 二相短絡 (Δ側), 二相短絡 (Y側)
事故発生タイミング (電圧基準)	0°, 90°
PCS出力	100%, 25%
負荷力率	100%, 遅れ85%, 進み95%

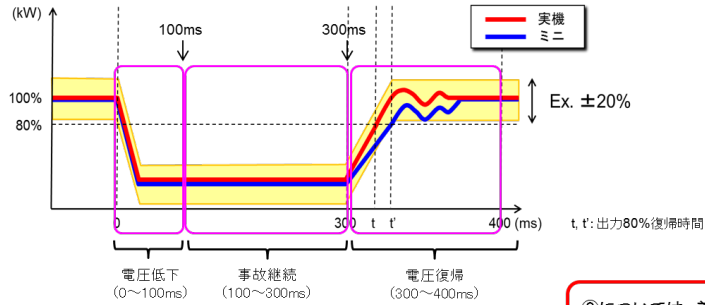
- ・ 電圧一定・電流1/25モデルの検証では、実機とミニモデルを個別に試験してFRT機能と単独運転検出機能の両立性を確認した後、両者の動作（動作時限を含む）及び過渡的な応答の一致度合を評価

した。評価の際は、両者の試験環境をなるべく合わせるために、両者を同時に運転した状態での試験も行った。一方、電流一定・電圧1/2モデルの検証では、試験設備の制約上、個々に試験を行い、過渡的な応答などの一致度合を評価した。

- ・ 実機とミニモデルの過渡的な応答の評価方法を解説図3に示す。

出力波形(実効値)の評価方法

- ・ 実機とミニモデルの出力波形差を、①±10%以下、②±10%超過 に分類
- ・ 評価するポイントを電圧低下時(0~100ms)、事故継続時(100~300ms)、電圧復帰時(300~400ms)に分類



<試験結果イメージ>

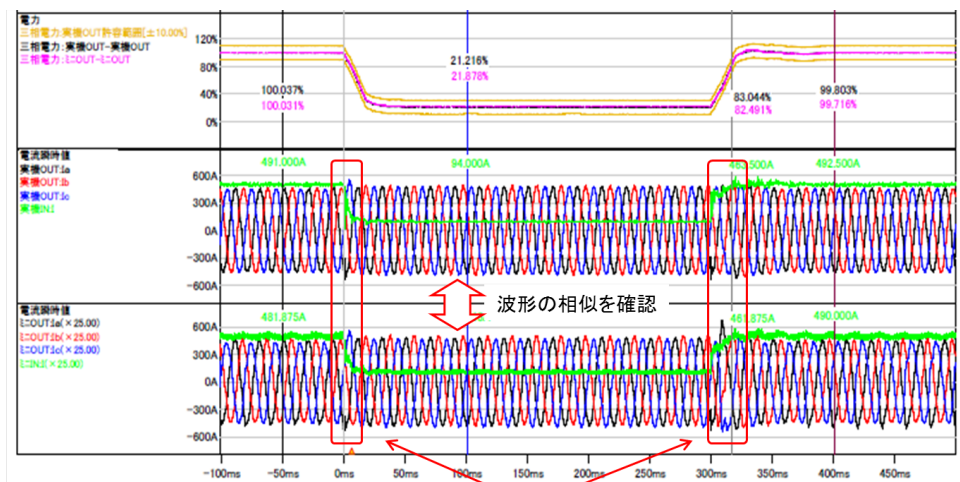
出力波形差 ①: ±10%以下、②: ±10%超過

②については、差異の理由を分析・説明する。

試験ケース	A社			B社			C社・・・		
	電圧低下 (0~100ms)	事故継続 (100~300ms)	電圧復帰 (300~400ms)	電圧低下 (0~100ms)	事故継続 (100~300ms)	電圧復帰 (300~400ms)	電圧低下 (0~100ms)	事故継続 (100~300ms)	電圧復帰 (300~400ms)
No.1	①	①	①	①	①	①	①	①	②
No.2	①	①	①	①	①	②	①	①	②
...

出力電流波形(瞬時値)の評価方法

- ・ 実機とミニモデルの波形が相似かどうかを確認する(ある程度主観的)。
- ・ その際、系統電圧低下時および復帰時の過電流(瞬時値)の部分については、実機とミニモデルとで電源の%Zが異なることや、変圧器内蔵型PCSにおいて電圧復帰時の励磁突入電流のレベルが両者で異なること等を考慮して個別に評価する。

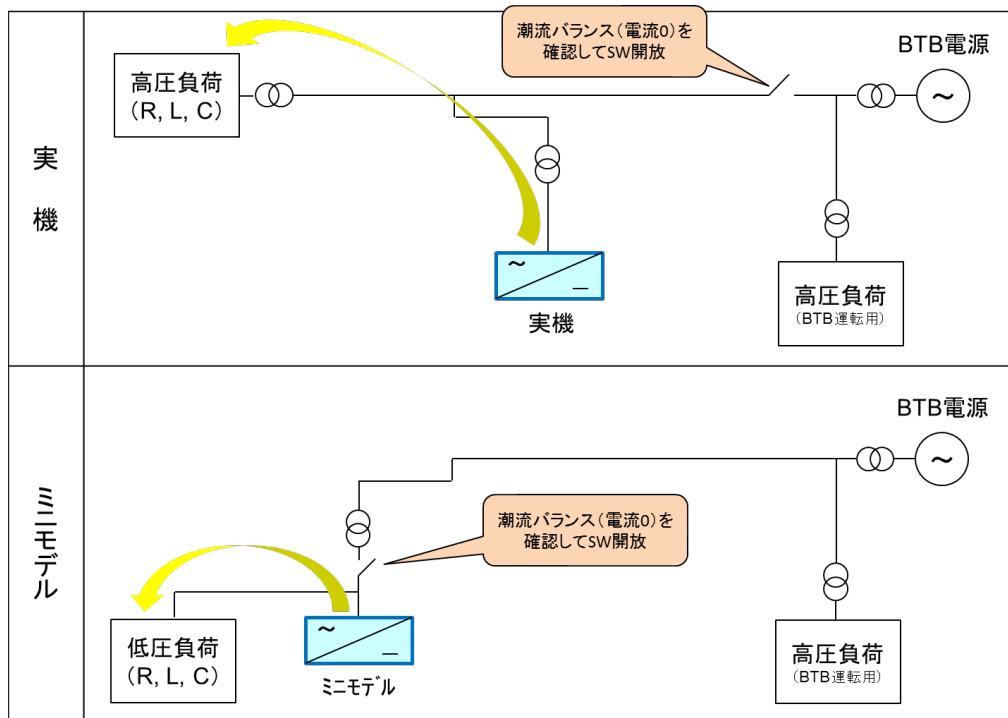


系統電圧低下時および復帰時の部分は個別に評価

解説図3—実機とミニモデルの過渡的な応答の評価方法

b) 単独運転試験

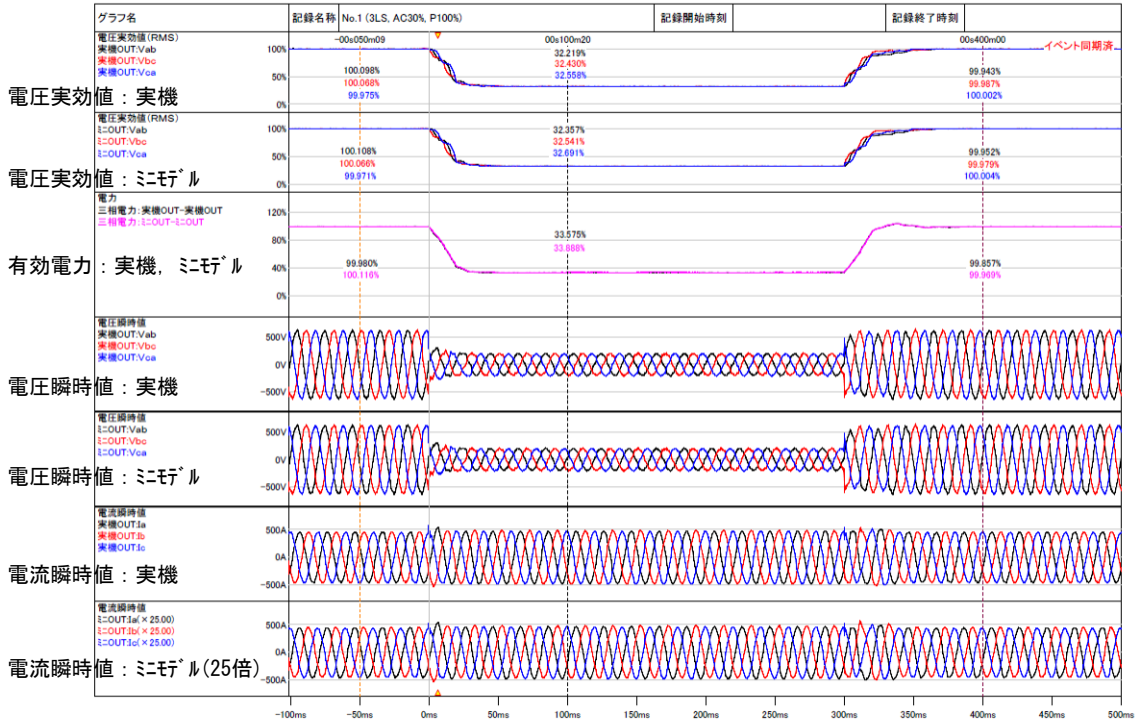
- ・ 単独運転試験では、PCSの出力と負荷をバランスさせるために出力や負荷の微調整が必要となる。試験設備の制約上、実機はFRT試験と同じ回路で、ミニモデルは低圧負荷を用いた回路で個々に試験を行った（解説図4）。
- ・ 実機とミニモデルとで試験条件が異なることから、ここではミニモデルの単独運転検出機能が確実に動作することを確認した。



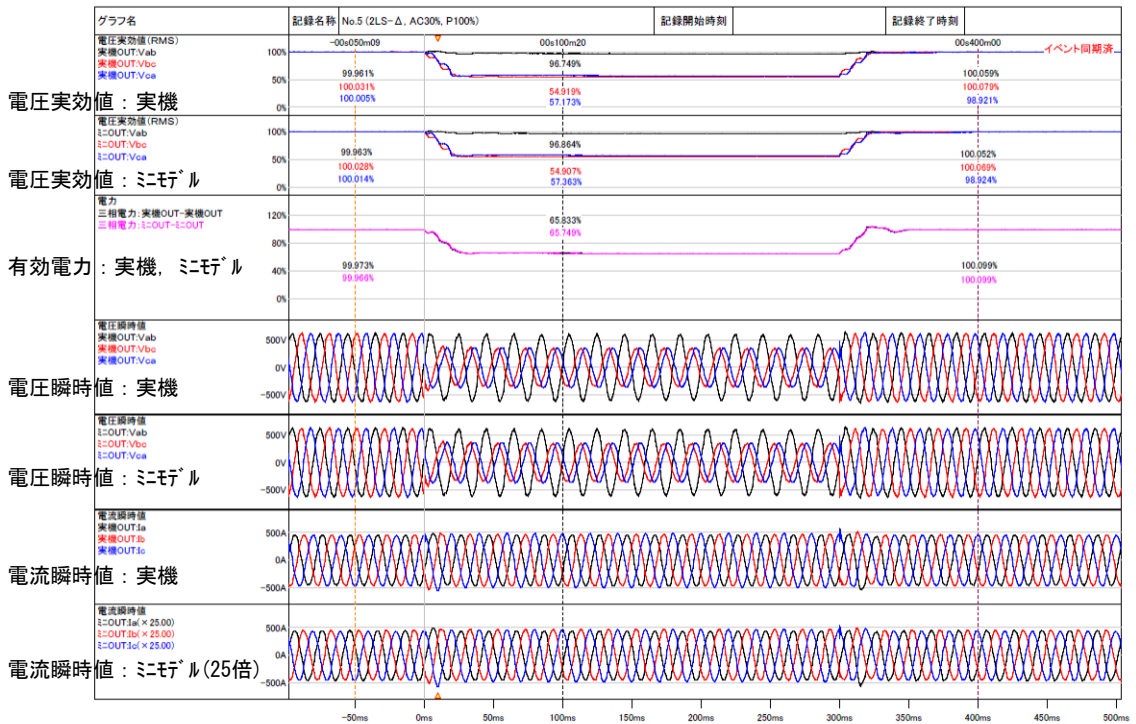
解説図4—単独運転試験方法

2.4 試験結果

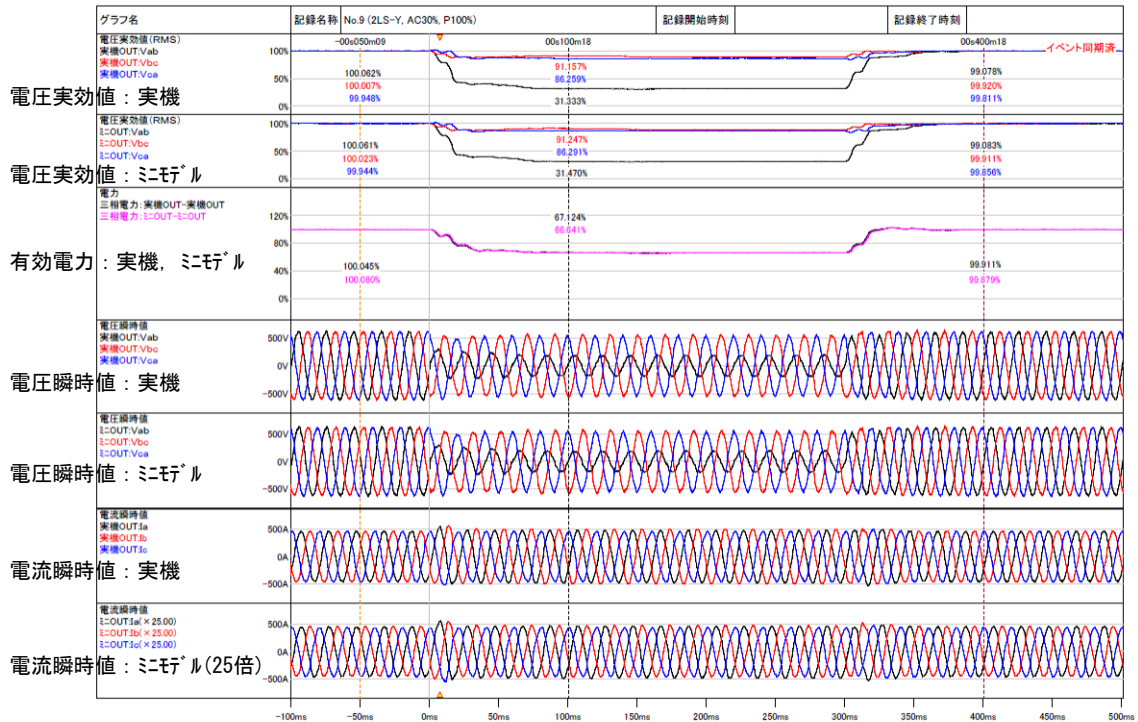
電圧一定・電流1/25モデル及び電流一定・電圧1/2モデルのFRT試験結果の一例を解説図5及び解説図6に示す。また、単独運転試験結果の一例を解説表2に示す。



(a) 三相短絡時 (残電圧30%)

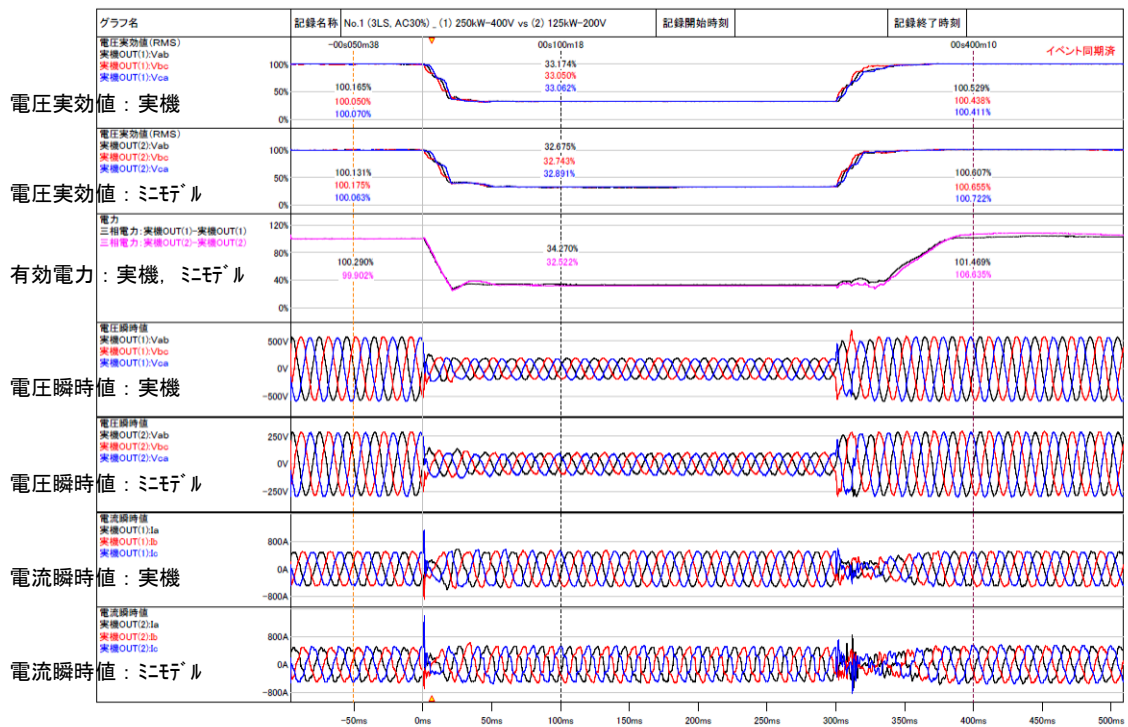


(b) 二相短絡時 (Δ結線方式, 残電圧30%)

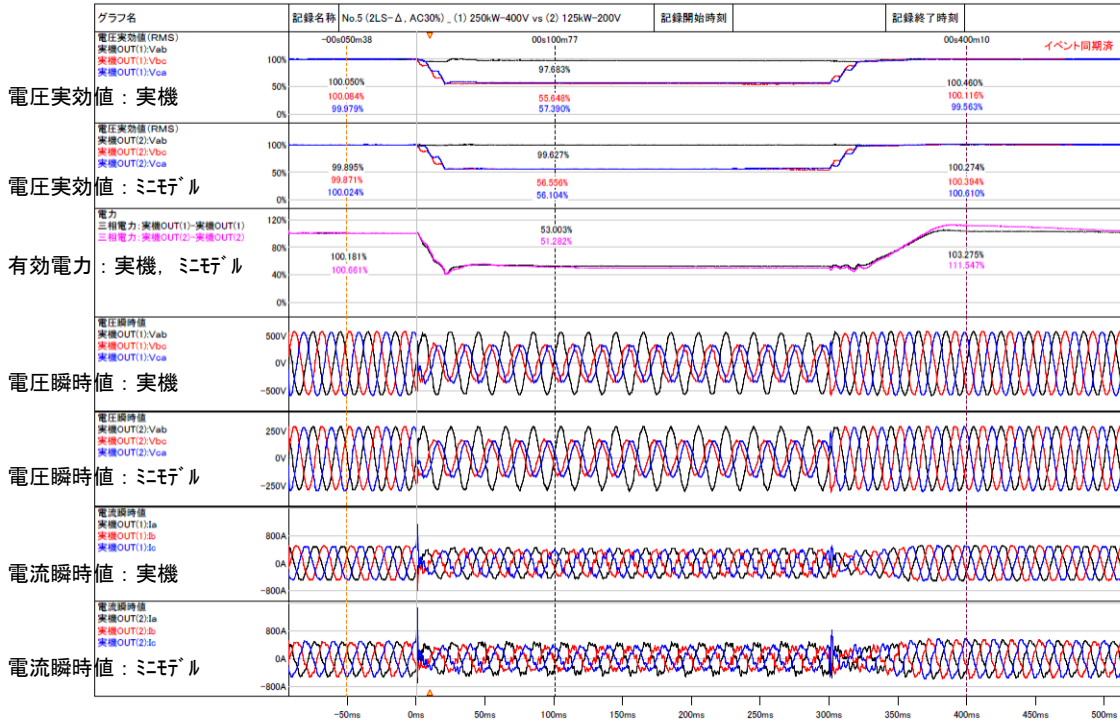


(c) 二相短絡時 (Y結線方式, 残電圧30%)

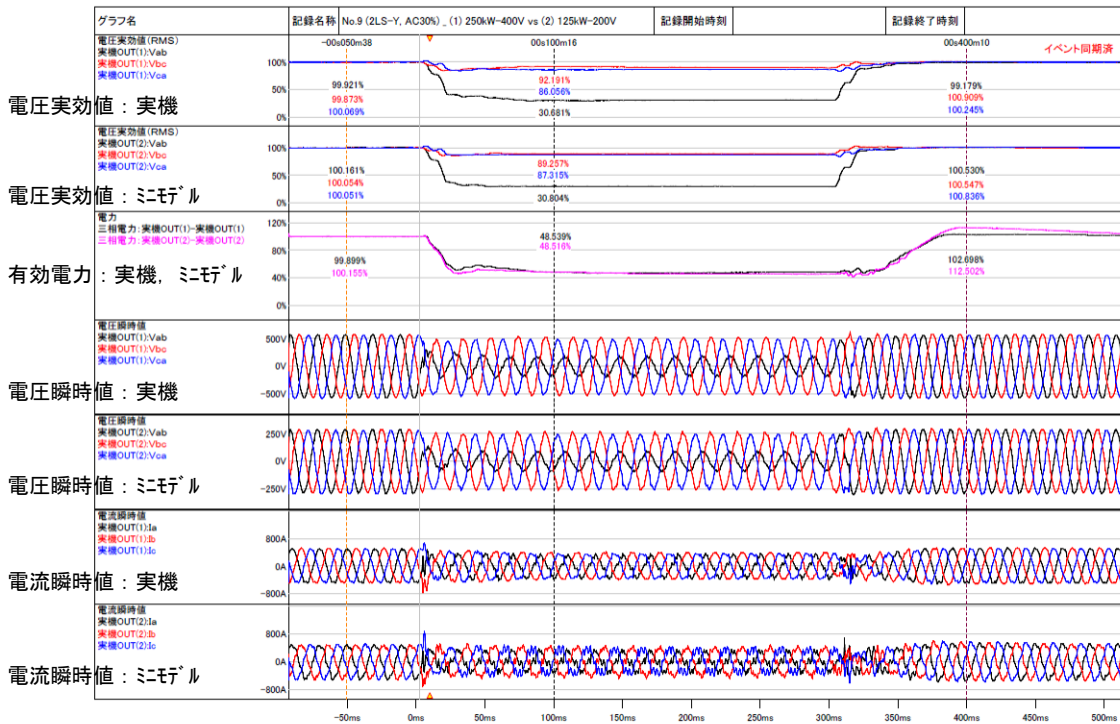
解説図5—実機とミニモデル [電圧一定・電流1/25モデル] の出力波形例 (A社)



(a) 三相短絡時 (残電圧30%)



(b) 二相短絡時 (Δ結線方式, 残電圧30%)



(c) 二相短絡時 (Y結線方式, 残電圧30%)

解説図6—実機とミニモデル [電流一定・電圧1/2モデル] の出力波形例 (B社)

解説表2—単独運転試験結果の一例

試験条件：受動ON、能動ON

[ms]

機種	試験回数	潮流点バランス(P,Q)				
		(0,0)	(0,+4)	(+4,0)	(0,-4)	(-4,0)
実機	1	430	396	429	455	432
	2	434	396	426	455	432
	3	442	394	422	455	435
ミニモデル	1	427	405	413	459	495
	2	426	405	418	465	505
	3	430	403	412	463	506

3 検討課題となった事項

3.1 定格交流電流のスケールダウン比率

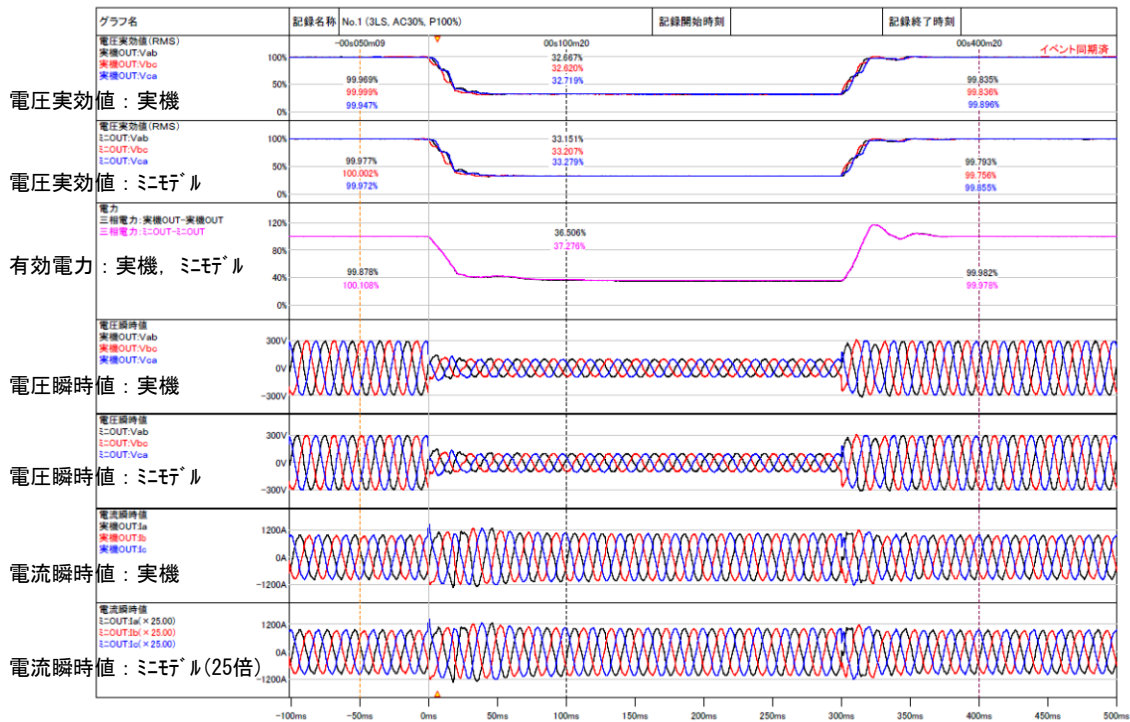
定格交流電流のスケールダウン比率の規定値について、今後のPCS単機容量の大容量化に備えて、これを更に拡大できないかとの検討提言があった。

電圧一定・電流1/25モデルの検証では、ミニモデルの半導体バルブデバイスを実機と同一にしたものと主回路のスケールリングに合わせてデバイスを選定したものの二種類を試験した（解説図7）。その結果、デバイスの設計方法の違いによって妥当性に差異は見受けられなかったことから、検証したスケールダウン比率の範囲内においては、どちらの設計方法を選択してもかまわないとした。

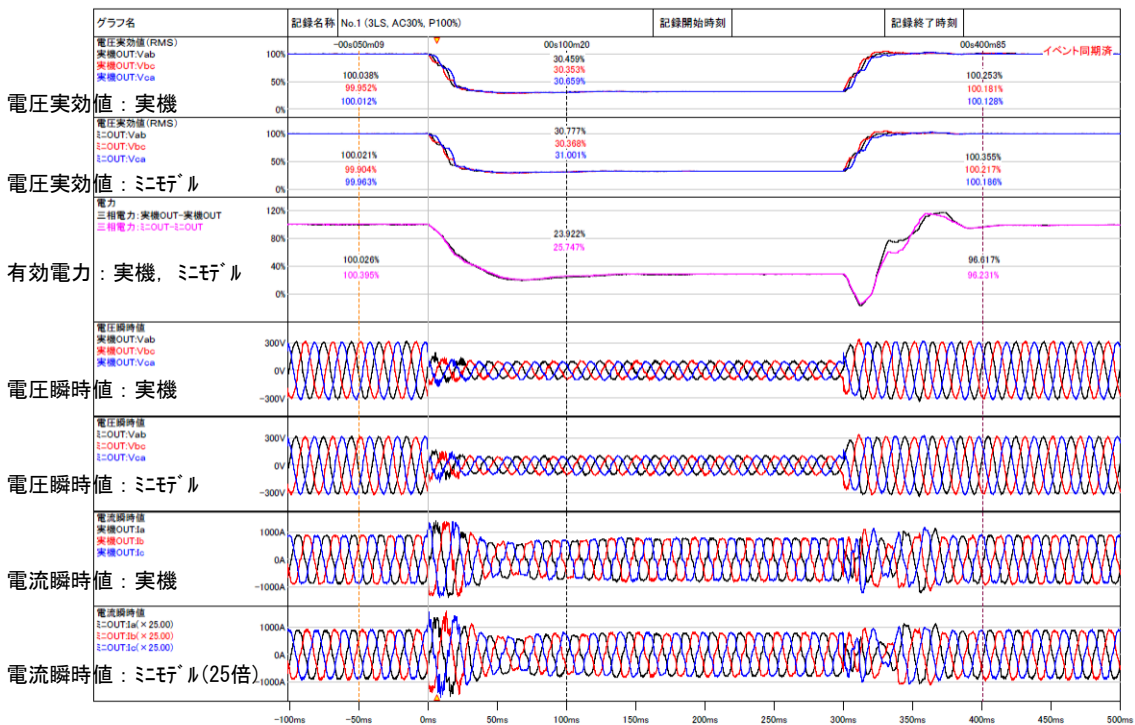
実機と同一のデバイスを使用したミニモデルでは、デバイスの非直線領域の特性を使用したか、問題のない結果が得られた。このことから、デバイスの並列数を減らすことで定格交流電流のスケールダウン比率を拡大できる（例えば1/50）との意見もあったが、他の設計要素への影響など課題検討を十分に尽くしておらず、これまでの試験と同等の結果が得られるかの疑義が残るため、スケールダウン比率の拡大にあたっては検証が必要であるとの結論を得た。

一方、実証試験では、電流一定・電圧1/2モデルについても検証を行い、ミニモデルの妥当性を確保できるとの結果を得た。これにより、電流1/25と電圧1/2を組み合わせることで定格容量を1/50にスケールダウンすることも可能とした。

項目	実機	ミニモデル 設計1		ミニモデル 設計2	⇒	ミニモデル 基本設計
定格交流電力	P	P/a ($1 \leq a \leq 25$)		P/b ($1 \leq b \leq 2$)		P/ab ($1 \leq a \leq 25, 1 \leq b \leq 2$)
定格交流電流	I	I/a		I		I/a
定格交流電圧	V	V	×	V/b		V/b
回路構成, %リアクタンス, 制御装置など	***	実機と同じ		実機と同じ		実機と同じ



(a) 実機と同一のデバイスを選定 (C社)



(b) 主回路のスケージングに合わせてデバイスを選定 (D社)

解説図7—実機とミニモデル [電圧一定・電流1/25モデル] の出力波形例 (3LS, 残電圧30%)

3.2 電氣的試験によるミニモデルの妥当性の確認方法

ミニモデルが規定の範囲内で設計、製造されているかの確認は、主として設計、製造データの確認となるため、これを補完できるような電氣的試験方法について検討提言があった。

検討にあたり、次を基本とした。

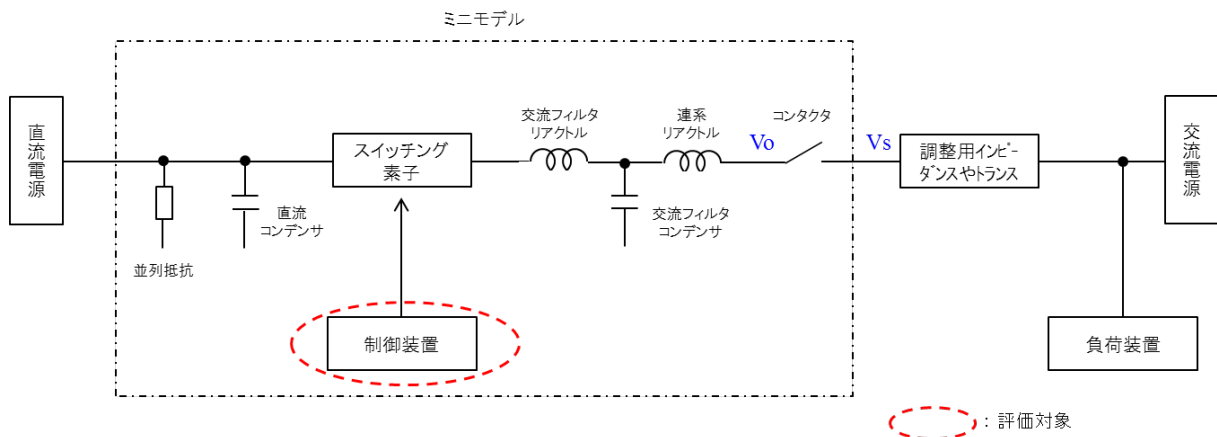
- ・ 実機，ミニモデルともに試験できること
- ・ 新たな設備構築や多くのマンパワーを要せずに，簡易に試験をできること（条件設定，波形確認などの測定，ミニモデルの性能・精度の確認が行い易いこと）
- ・ 試験項目は，主回路構成や制御方法が異なるPCSにも適用できるように，なるべく汎用性を有すること

ここでは，検討に使用したミニモデルと実機を例に示すが，PCSの構成や機能によって評価対象や評価方法は異なるため，試験の趣旨（設計，製造データの補完）を理解したうえで適宜検討，応用されたい。

3.2.1 出力電圧の始動特性

a) 試験目的

ミニモデルの制御装置及び電圧制御系が実機と同一であることを確認する。

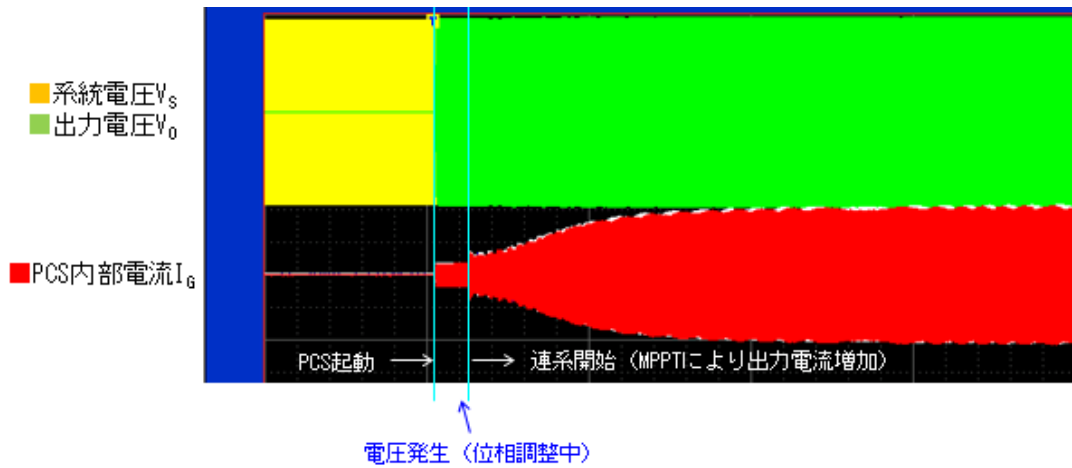


解説図8—評価対象（出力電圧の始動特性）

b) 適用条件

PCSが運転開始する際，系統に連系するためのコンタクタが投入される前に，出力電圧 V_o の電圧と位相を系統電圧 V_s に合わせるシーケンスを持つPCSに適用できる。ただし，変換装置用変圧器があるPCSの場合，コンタクタ投入前に変圧器を励磁するため実機とミニモデルの挙動の比較が難しいなど，適用できない場合もある。

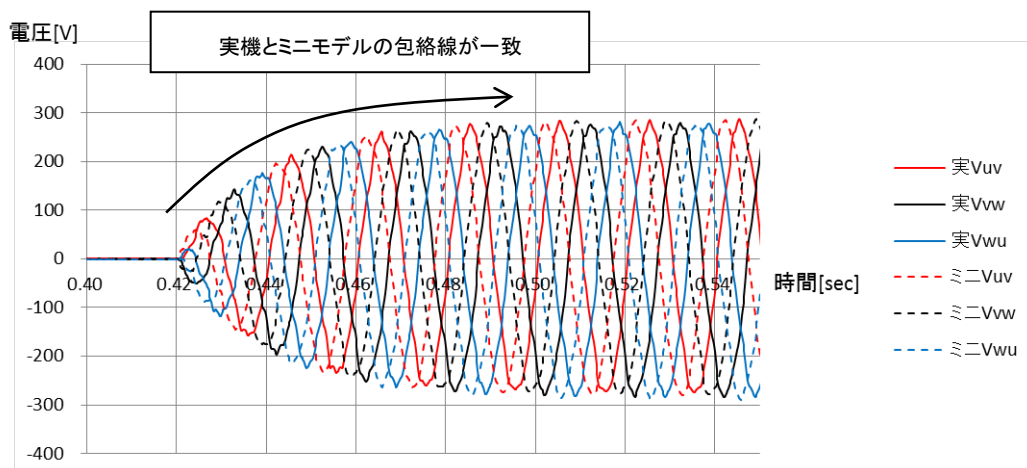
始動シーケンスの波形例を解説図9に示す。



解説図9—始動シーケンスの波形例

c) 評価方法

実機とミニモデルについて、始動してからコンタクトが投入されるまでの間の出力電圧の挙動を比較する (解説図10)。

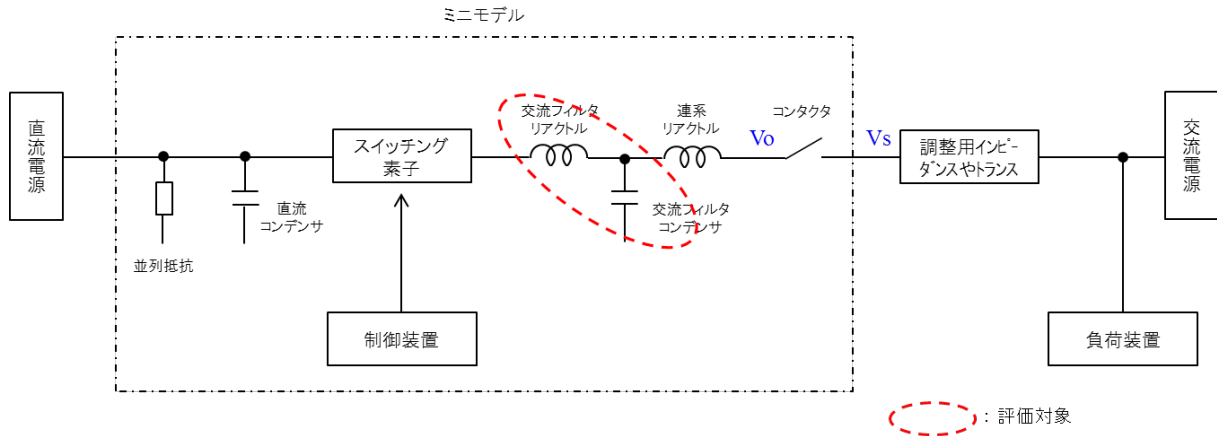


解説図10—始動時における出力電圧 V_o の比較例

3.2.2 交流フィルタの共振周波数

a) 試験目的

ミニモデルの交流フィルタ定数 (連系リアクトルを除く) が、実機と同じであることを確認する。



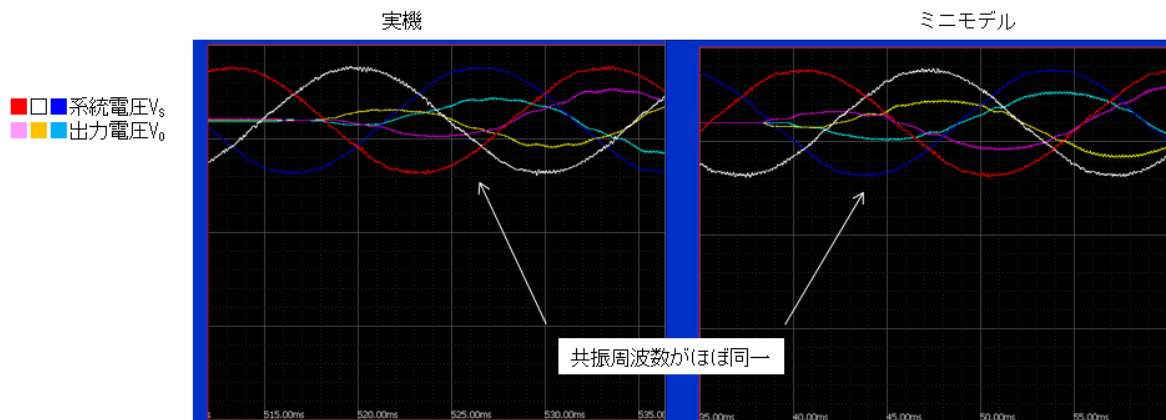
解説図11—評価対象（交流フィルタの共振周波数）

b) 適用条件

3.2.1と同じ。

c) 評価方法

ミニモデルと実機について、始動してからコンタクタが投入されるまでの間の出力電圧 V_o の周波数（交流フィルタのリアクトルとコンデンサの共振周波数）を比較する（解説図12）。



解説図12—始動時における出力電圧 V_o の共振周波数の比較例

4 各構成要素の内容

4.1 適用範囲（本文の1）

適用範囲は、ミニモデル実証試験で検証した事項とした。

また、ミニモデルを用いて試験する項目をFRT機能及び単独運転検出機能に限定している理由は、本事業の検討委員会及び作業会において、実機で確認できる機能は実機を用いて試験するべきとの認識を共有したうえで、現状において実機での試験が困難な項目について検討し、FRT機能と単独運転検出機能に関する試験であるとの結論を得たからである。

4.2 回路構成（本文の5.1）

逆変換器は、多段入力を利用しているものについて特に記載していないが、実機と同じ構成であれば問題は無いことを確認している。

フィルタ回路は、T型、L型、 π 型があるが、これらも実機と同一にする必要がある。

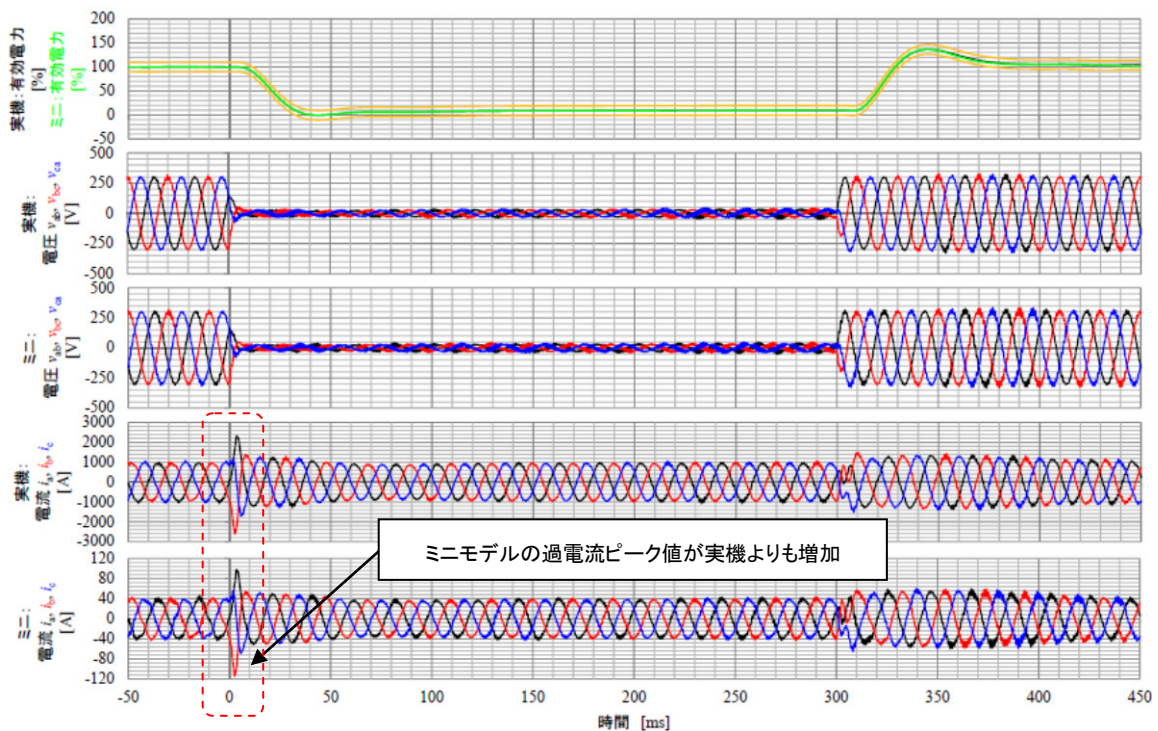
制御電源は、系統から電源供給する構成と別電源から電源供給する構成がある。系統から電源供給する構成については、瞬時電圧低下時に制御装置が稼働することを確認する必要があるため、制御電源の回路構成を実機と同一にするよう規定した。

4.3 回路インピーダンス（本文の5.3）

ミニモデルの回路インピーダンスの設計にあたっては、自己容量基準の%リアクタンス（%X）を実機と同一とすることを基本とした。

また、各項目の裕度は、素子の選定時における指定の%Xとの差異と、素子をもつ製造誤差の両方を含むものとした。裕度の規定にあたっては、ミニモデル実証試験に用いた各ミニモデルの設計値を考慮するとともに、シミュレーションによる検討も行った。

シミュレーションでは、一般的なPCSのモデルを用いた。本実証試験に用いたミニモデルの各項目の裕度が±10%程度であったため、各項目について±20%でシミュレーションを行い、出力波形への影響が見受けられたもの（解説図13及び解説表3）について±10%で再計算し、結果の補完を行った。



解説図13—シミュレーション結果の一例

（ミニモデルの交流フィルタリアクトル—20%，3LS，残電圧10%）

解説表3—裕度の規定に関するシミュレーション結果

○：影響はほとんど見受けられない
△：影響が大きくなる傾向がある

シミュレーション条件				電圧低下時の瞬時過電流への影響		
				残電圧30%	残電圧10%	残電圧0%
直流変換器：なし 変換装置用変圧器：なし 事故様相：三相短絡 PCS出力：100%	交流フィルタ	リアクトル	L +10%	○	○	○
			L -10%	○	○	○
			L +20%	○	○	○
			L -20%	△	△	○
			R +20%	○	○	○
			R -20%	○	○	○
		コンデンサ	C +10%	○	○	○
			C -10%	○	○	○
			C +20%	○	○	○
	連系リアクトル	L +20%	○	○	○	
		L -20%	○	○	○	
		R +20%	○	○	○	
			R -20%	○	○	○

シミュレーション条件				電圧低下時の瞬時過電流への影響		
				残電圧30%	残電圧10%	残電圧0%
直流変換器：なし 変換装置用変圧器：あり 事故様相：三相短絡 PCS出力：100%	交流フィルタ	リアクトル	L +10%	○	○	—
			L -10%	○	○	—
			L +20%	○	○	○
			L -20%	△	△	○
			R +20%	○	○	○
			R -20%	○	○	○
		コンデンサ	C +10%	○	○	—
			C -10%	○	○	—
			C +20%	○	○	○
	変換装置用変圧器	C -20%	○	共振	○	
		L +20%	○	○	○	
		L -20%	○	○	○	
		R +100%	○	○	○	
		R -200%	○	○	○	

シミュレーション条件				電圧低下時の瞬時過電流への影響		
				残電圧30%	残電圧10%	残電圧0%
直流変換器：あり 変換装置用変圧器：なし 事故様相：三相短絡 PCS出力：100%	交流フィルタ	リアクトル	L +10%	○	○	○
			L -10%	○	○	○
			L +20%	○	○	○
			L -20%	△	△	○
			R +20%	○	○	○
			R -20%	○	○	○
		コンデンサ	C +10%	○	○	○
			C -10%	○	○	○
			C +20%	○	○	○
	連系リアクトル	C -20%	○	○	○	
		L +20%	○	○	○	
		L -20%	○	○	○	
			R +20%	○	○	○
			R -20%	○	○	○

検討の結果、各項目の裕度を次のとおり規定した。

- a) 交流フィルタのリアクトル及びコンデンサの%リアクタンス (%X) : ±10%以下
- b) 直流フィルタの直流リアクトルのインダクタンス : ±10%以下
- c) 直流フィルタの直流コンデンサのキャパシタンス : +20%以下
- d) 変換装置用変圧器の漏れインダクタンスの%リアクタンス (%X) : ±10%以下

変換装置用変圧器の磁束密度 : ±20%以下

直流コンデンサのキャパシタンスについては、汎用コンデンサの容量選定の制約を+10%考慮するとともに、マイナス側の裕度は動作不安定につながることから、プラス側の裕度のみを規定した。

解説

作業会での検討において、実際の機器は%Xの方が支配的であるとともに、コストの観点から設計に多少の柔軟性を持たせることが望ましいとの結論を得て、ミニモデルの回路インピーダンス設計では%Xのみを規定し、%Rの規定を設けていない。

なお、シミュレーションでは変換装置用変圧器の%Rは+200%、その他の%Rは±20%までは影響がないことを確認した。

4.4 逆変換器（本文の5.4）

ミニモデルの半導体バルブデバイスの設計を二通りの方法から選択できるようにした理由は、電圧一定・電流1/25モデルで検証したスケールダウン比率においては、デバイスの設計方法の違いによって妥当性に差異は見受けられなかったからである。

また、デバイスの並列数及びスナバの構成が実機と異なってもかまわないとした理由も、検証に用いたミニモデルの実績からである。

以降に、電圧一定・電流1/25モデルにおいて、デバイスを主回路の電圧・電流のスケージングに合わせて選定する際の具体例を示す。

デバイスの定格電圧値は実機と同じ値、定格電流値は実機の1/25の値にする（解説表4）。

ただし、定格電流値が適合するデバイスがない場合は、ミニモデルに流れる電流値を許容し、かつ実機の定格電流値の1/25に近いデバイスを選定する。

解説表4—デバイスの選定条件（IGBTの場合）

	定格電圧 [V]	定格電流 [A]
実機	V_{CES}	I_c
ミニモデル	V_{CES}	$I_c/25$

また、ミニモデルに用いるデバイスは、I-V特性が運転領域内で実機のデバイスと同様になるように選定する。

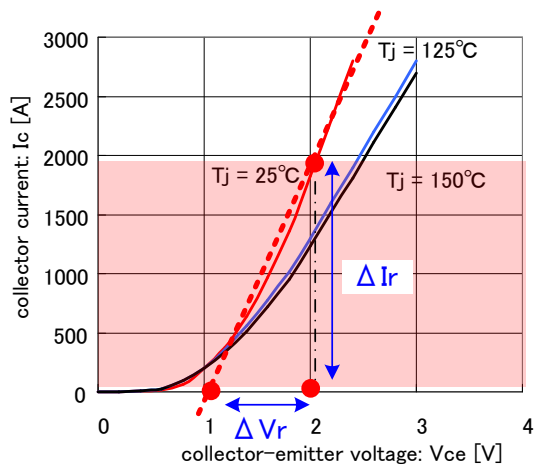
ここでは、IGBTの特性を例に説明する。実機の定格電流値を ΔI_r 、ミニモデルの定格電流値を ΔI_m とすると、解説図14 a)及び b)のI-V特性図では ΔI_r 、 ΔI_m までが運転領域（網掛け部分）となる。この領域内でI-V特性の近似直線（破線）が横軸と交差するところの電圧をそれぞれ ΔV_r 、 ΔV_m とする。実機の近似直線の傾きの1/25の値とミニモデルの近似直線の傾きの値が同じであれば、I-V特性が同じといえる。

実機とミニモデルの近似直線の傾きは以下の計算式による。

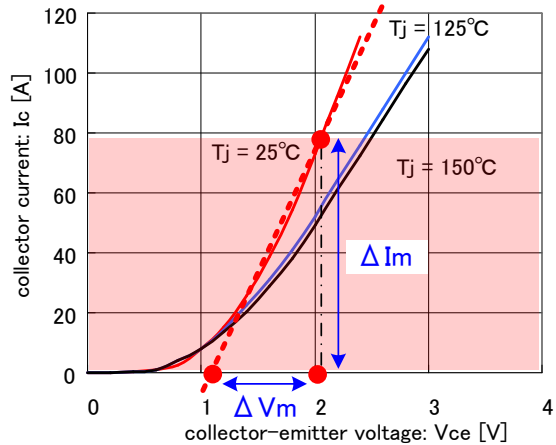
$$\Delta I_m / \Delta V_m \cong \alpha \times (\Delta I_r / \Delta V_r) \quad (\alpha : \text{PCSの容量比} 1/25)$$

なお、一般的には実機、ミニモデルともに低出力時にはIGBTのジャンクション温度 T_j は低下するため25°CのI-V特性に近い特性となるが、定格出力時には上昇するので、I-V特性は125°Cの曲線に近い特性になる場合がある（解説図15）。

したがって、I-V特性はジャンクション温度 T_j が25°Cの場合と125°Cの場合の両方において、実機とミニモデルの特性が同様となることが望ましい。

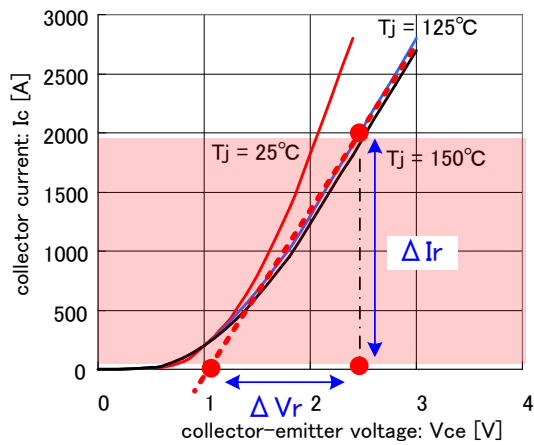


a) 実機側 IGBTのIV特性の一例

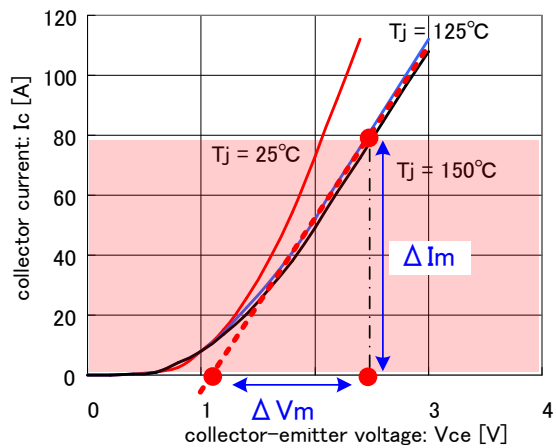


b) ミニモデル側 IGBTのIV特性の一例

解説図14—I-V特性図の一例 ($T_j = 25^\circ\text{C}$ 側で算出)



a) 実機側 IGBTのIV特性の一例



b) ミニモデル側 IGBTのIV特性の一例

解説図15—I-V特性図の一例 ($T_j = 125^\circ\text{C}$ 側で算出)

以上の検討例は、更なるスケールダウン比率の拡大を検討する際にも参考となるように厳しい条件を示しているが、スケールダウン比率の大きさによって柔軟に適用することが望ましい。

4.5 変換装置用変圧器 (本文の5.5)

変換装置用変圧器内蔵型PCSのミニモデルは、FRT試験において、特に系統電圧復帰時における変換装置用変圧器の励磁突入電流の挙動を実機と一致させることが望ましい。

このために考慮すべき変圧器の設計要素は、漏れインダクタンス (%X)，抵抗 (%R)，励磁特性となる。このうち、漏れインダクタンス (%X) については、ミニモデルの設計値を実機と同一にすることは比較的容易である。

解説

一方、抵抗（%R）については、一般的な設計では小容量の変圧器 > 大容量の変圧器となるので、ミニモデル用の変圧器（小容量）を実機用の変圧器（大容量）と等価になるように設計する場合、抵抗成分を低減させるために変圧器が大型化しコストが増加する。

また、励磁特性は変圧器の飽和状態に関係するため励磁突入電流に大きな影響を与える。励磁特性は鉄心材料に依存するが、機械加工や組み立て方法によっても特性が変化するため、設計時及び製造時に注意が必要である。

これらの理由から、ミニモデルの変換装置用変圧器の設計における設計要素の影響度を確認するために、次の三つの変換装置用変圧器をそれぞれミニモデルと組み合わせて、実機との比較試験を行った。

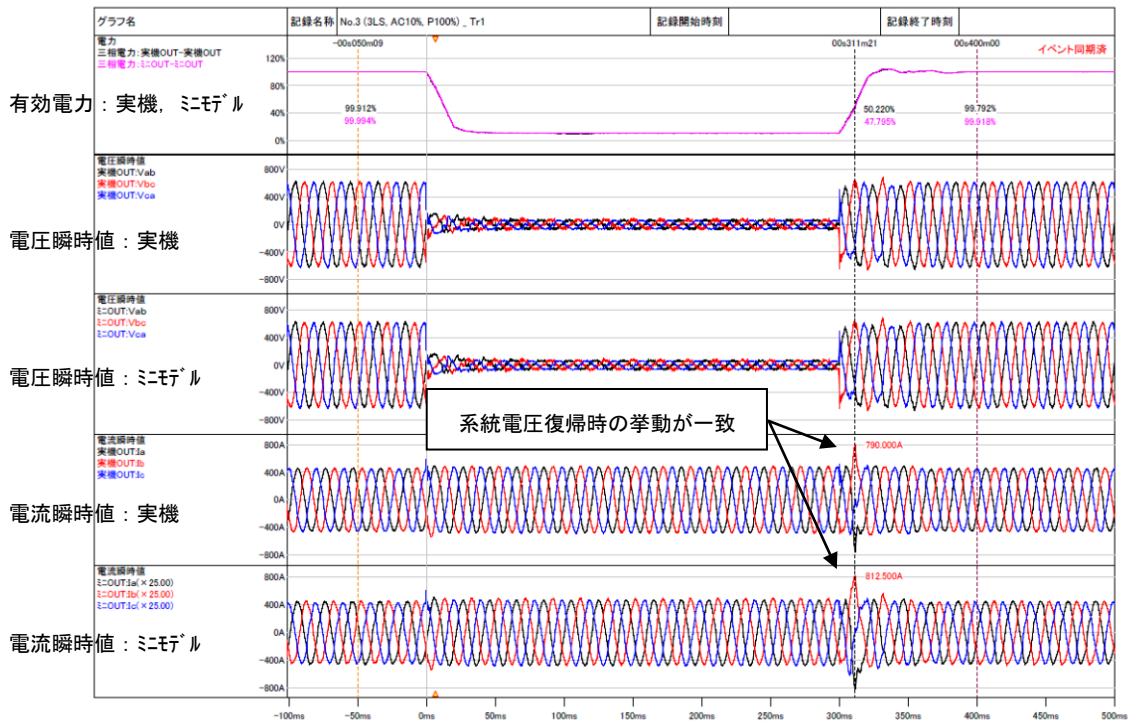
- ・ Tr1：磁束密度を実機の1.2倍とし、%R及び%Xを実機とほぼ一致させた変圧器
- ・ Tr2：%Rを実機の2倍とし、%X及び磁束密度を実機とほぼ一致させた変圧器
- ・ Tr3：磁束密度を実機の0.6倍とし、%R及び%Xを実機とほぼ一致させた変圧器

解説表5—検証に用いた変換装置用変圧器の設計概要（実機の数値を1.0とした場合）

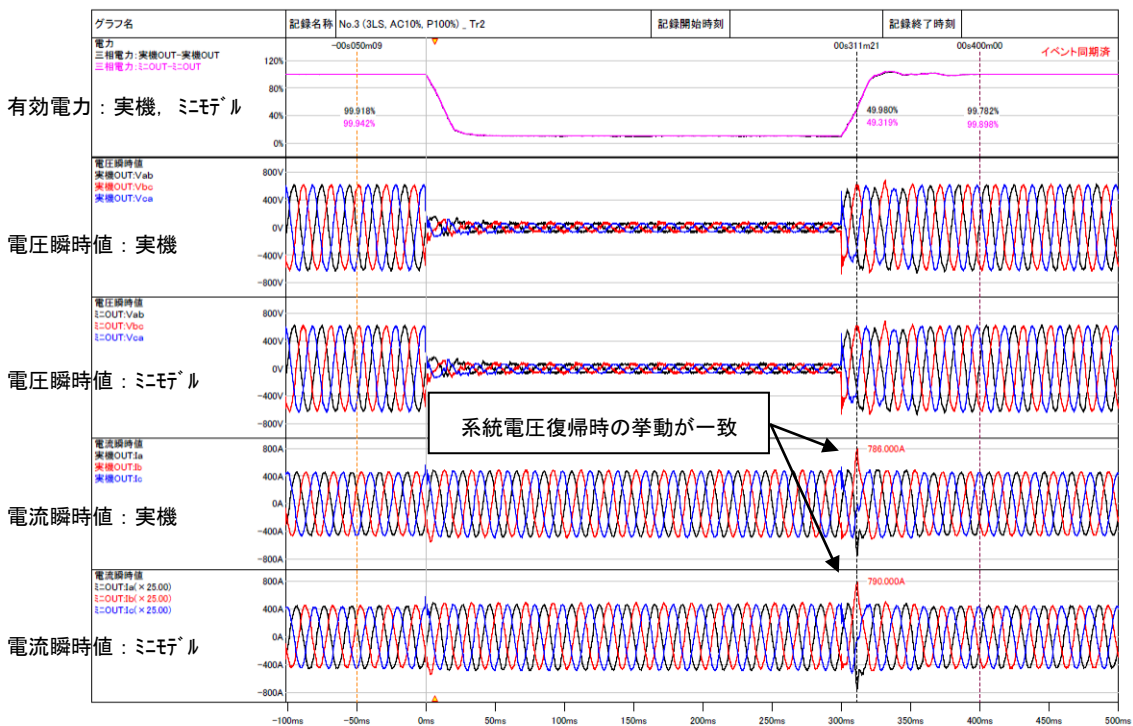
種類		%R	%X	%Z	磁束密度
実機		1.0	1.0	1.0	1.0
ミニモデル	Tr1	1.0	1.1	1.1	1.2
	Tr2	2.0	1.0	1.0	1.0
	Tr3	1.0	1.0	1.0	0.6

試験結果から得られた知見を次に示す。

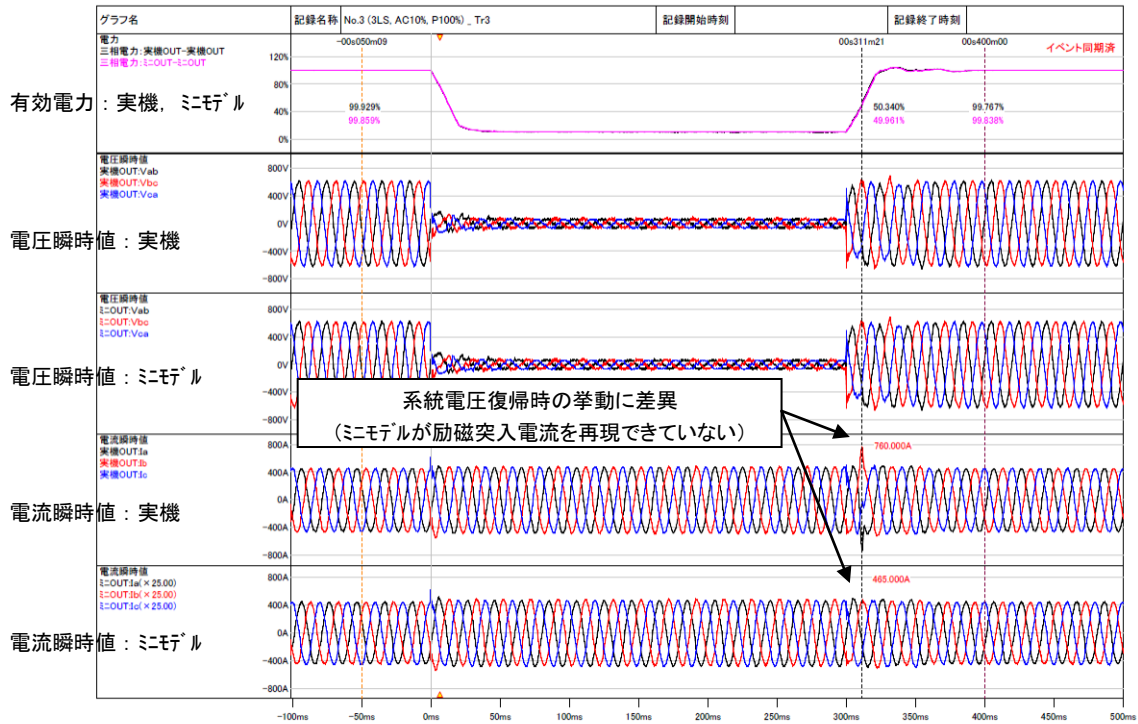
- a) ミニモデル [Tr1] と実機の試験結果から、両者の磁束密度の差が±20%程度であればミニモデルの妥当性を確保できる（解説図16 (a), (d)）。
- b) ミニモデル [Tr2] と実機の試験結果から、変換装置用変圧器の%Rが%Xに対して十分に小さく、%Zが実機の変圧器とほぼ一致する場合は、%Rを2倍にしても過渡的な応答への影響は小さい（解説図16 (b)）。
- c) ミニモデル [Tr3] と実機の試験結果から、ミニモデルと実機の磁束密度の差が大きくなるほど、両者の系統電圧復帰時における励磁突入電流の挙動に差異が生じる（解説図16 (c), (e)）。



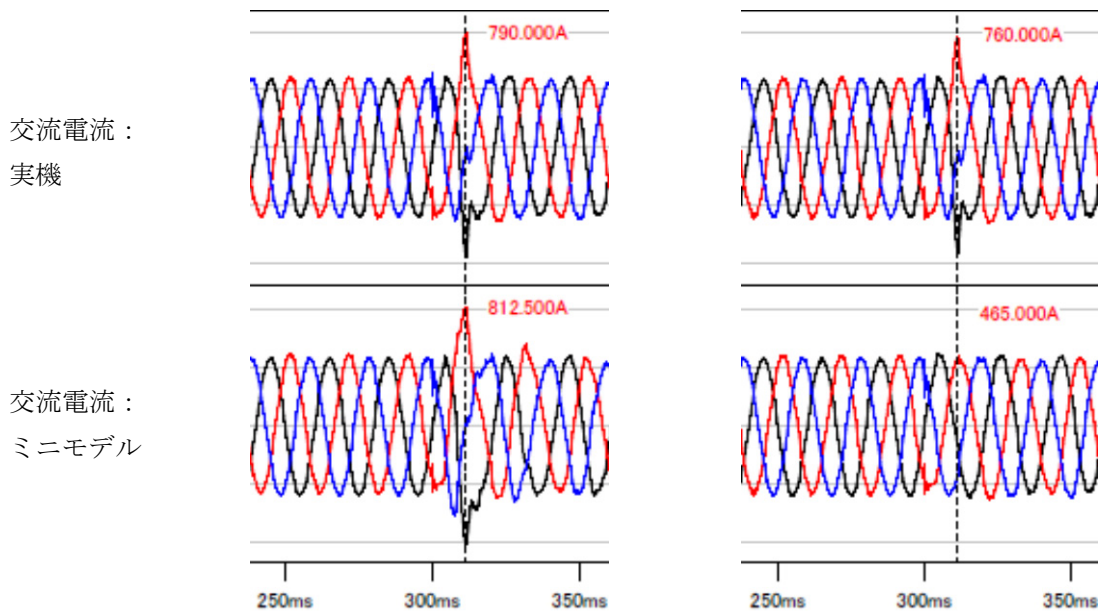
(a) ミニモデル [Tr1] と実機の実出力波形例 (3LS, 残電圧10%)



(b) ミニモデル [Tr2] と実機の実出力波形例 (3LS, 残電圧10%)



(c) ミニモデル [Tr3] と実機の実出力波形例 (3LS, 残電圧10%)



ミニモデルの実出力電流は実機の挙動とほぼ一致する。

(d) ミニモデル [Tr1] と実機

ミニモデルの実出力電流は実機の挙動を再現できていない。

(e) ミニモデル [Tr3] と実機

4.6 制御装置（本文の5,6）

FRT機能及び単独運転検出機能はPCSの制御に大きく関わるため、ミニモデルの制御装置は実機と同一にすることを原則とした。

しかし、制御プログラムの構成によっては、検出回路を絶対値で記述したものなどもあるため、検出回路の項目において、制御定数のアナログ/デジタル変換比を調整して換算してもかまわないとした。ただし、ソフトの改良を伴う場合、改良内容を第三者が確認する方法がないことが懸念されたため、調整内容を明確にすることを規定した。

4.7 試験設備（本文の6.2）

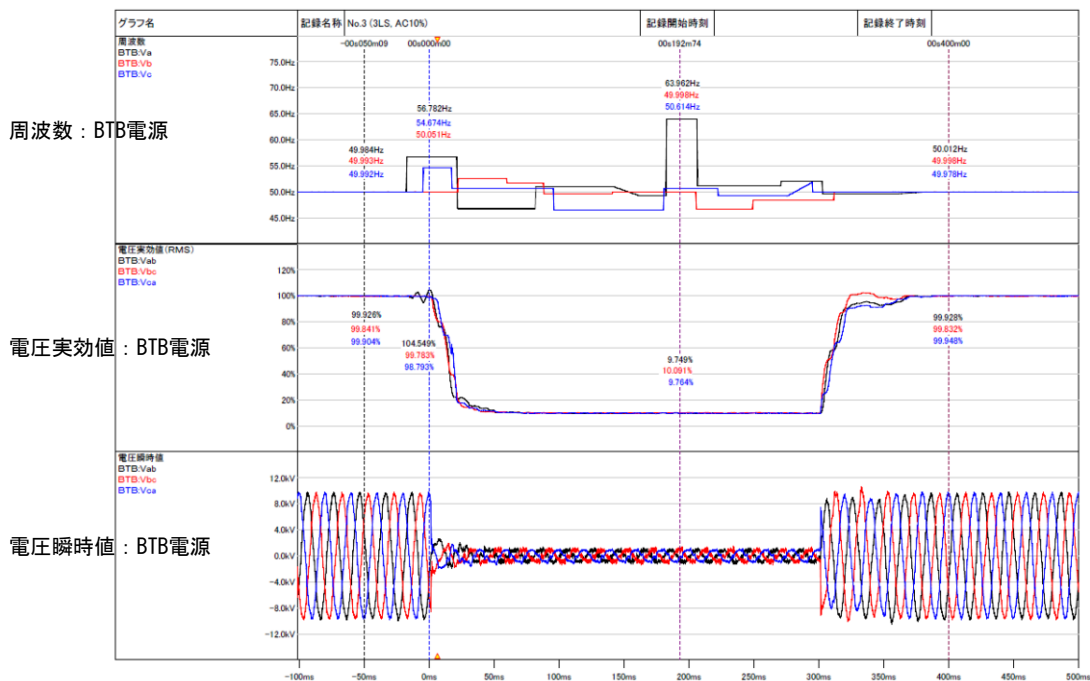
交流電源や直流電源などの機能仕様は、ミニモデル実証試験での経験をもとに規定しているが、定性的な内容となっている。この理由としては、仕様は定量的に規定することが望ましいとの考えもあるが、本実証試験のみでは試験設備に対する十分な知見を得られなかったからである。

各設備の仕様に関する具体的な説明を次に示す。

a) 交流電源

「瞬時電圧低下時に不要な周波数変動がない」と規定した理由は、ミニモデル実証試験においてBTB電源で瞬時電圧低下を模擬した際、過渡的な周波数変動が生じた（解説図17）ことにより、PCSが単独運転を不要検出して運転停止した事例があったからである。

交流電源を選定する際は、このような過渡的な周波数変動が、FRT要件に規定されている周波数のステップ変動値以内に収まるものを使用することが望ましい。



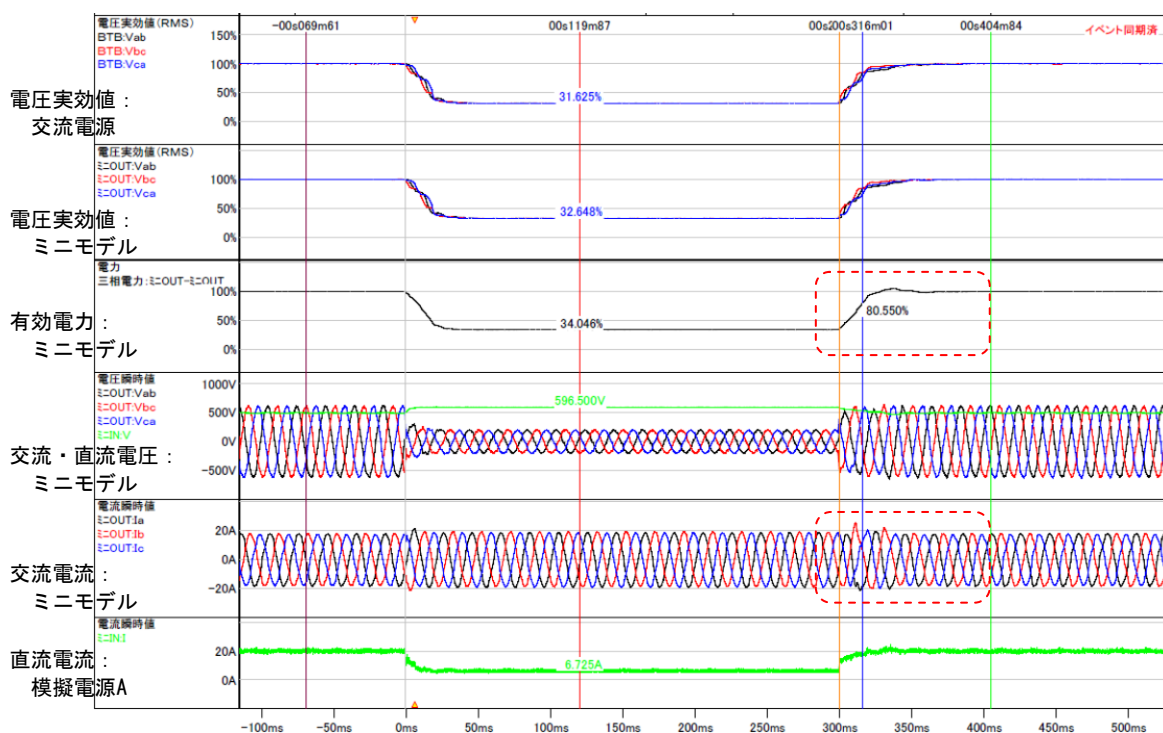
解説図17—瞬時電圧低下時の過渡的な周波数変動例

b) 直流電源

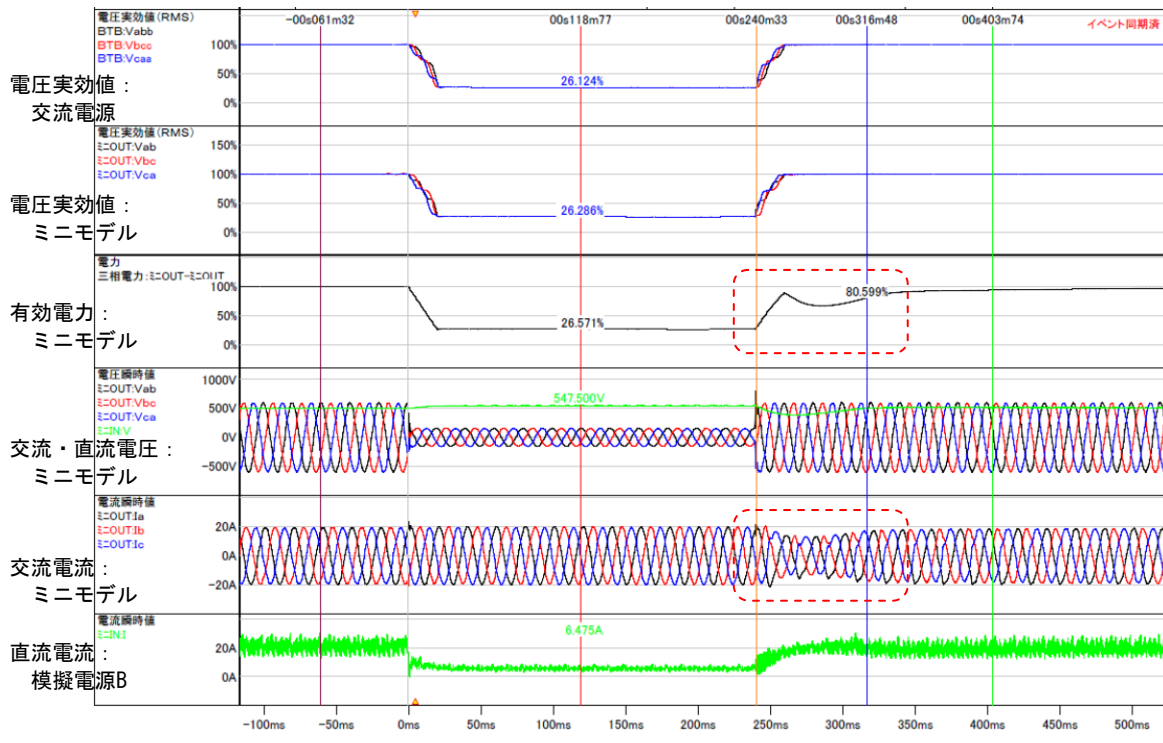
直流電源には、瞬時電圧低下時などPCSの出力が急変した際、PCSの出力に応じて速やかに電力を供給する性能が求められる。この理由は、直流電源からの電力供給が滞るとPCSの交流出力応答が遅れ、FRT要件に規定されている系統電圧復帰時の出力復帰動作に影響するためである。

例えば、解説図18 (a)と(b)は、同一ミニモデルで直流電源に仕様の異なる太陽電池模擬電源装置（以下、模擬電源という。）を使用した場合の出力波形例である。(a)の方が(b)よりも点線枠内の有効電力及び交流電流の立ち上がりがスムーズであることがわかる。このように、使用する模擬電源によってPCSの出力の挙動が異なってくる場合がある。実機とミニモデルの出力波形の比較において、両者に差異が見受けられたケースの主な要因も、この模擬電源の特性差にあった。

太陽電池（以下、PVという。）は応答が速く、オーバershootなどの過渡的な変動もない理想的な電源である一方、模擬電源は応答遅れや過渡変動が一定程度存在する。これらの差がPCSのFRT応答にどの程度影響するのかを確認するために、ミニモデルの直流電源にPVを用いてFRT試験を行い、模擬電源を使用した場合と比較した。その結果、模擬電源とPVの応答特性の違いは、特に系統電圧復帰時のPCSの挙動に現れることを確認できた。また、実機に使用した模擬電源の方がよりPVの挙動に近いことも確認できた（解説図19）。

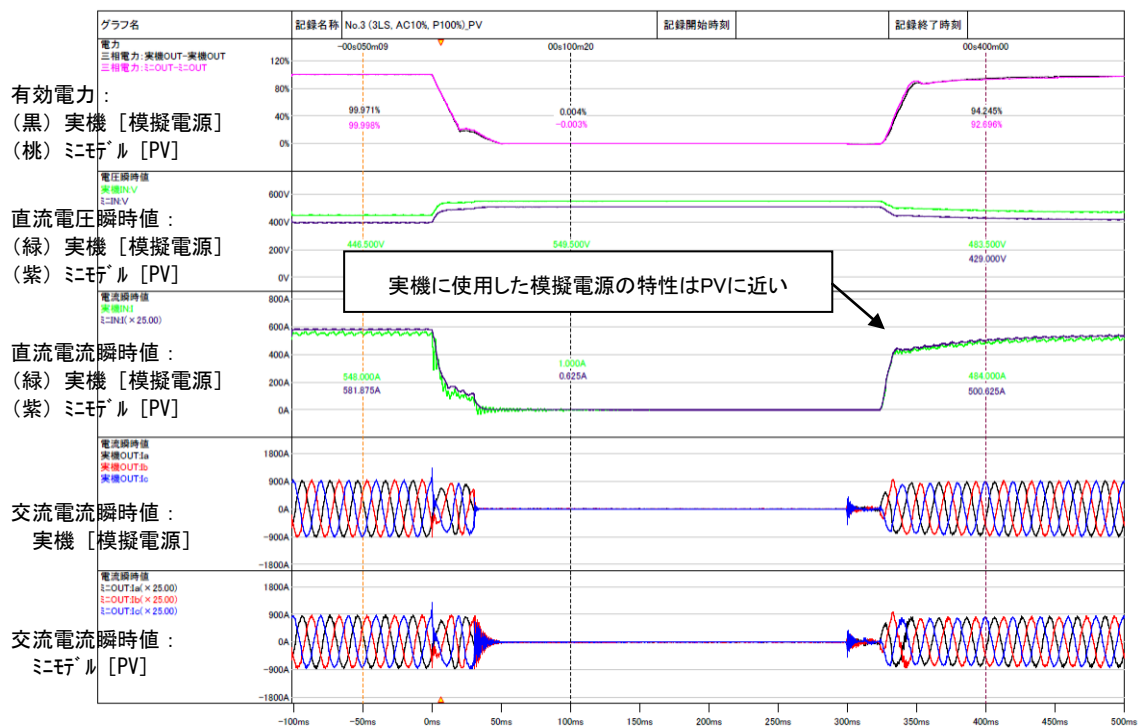


(a) 模擬電源Aを用いた場合

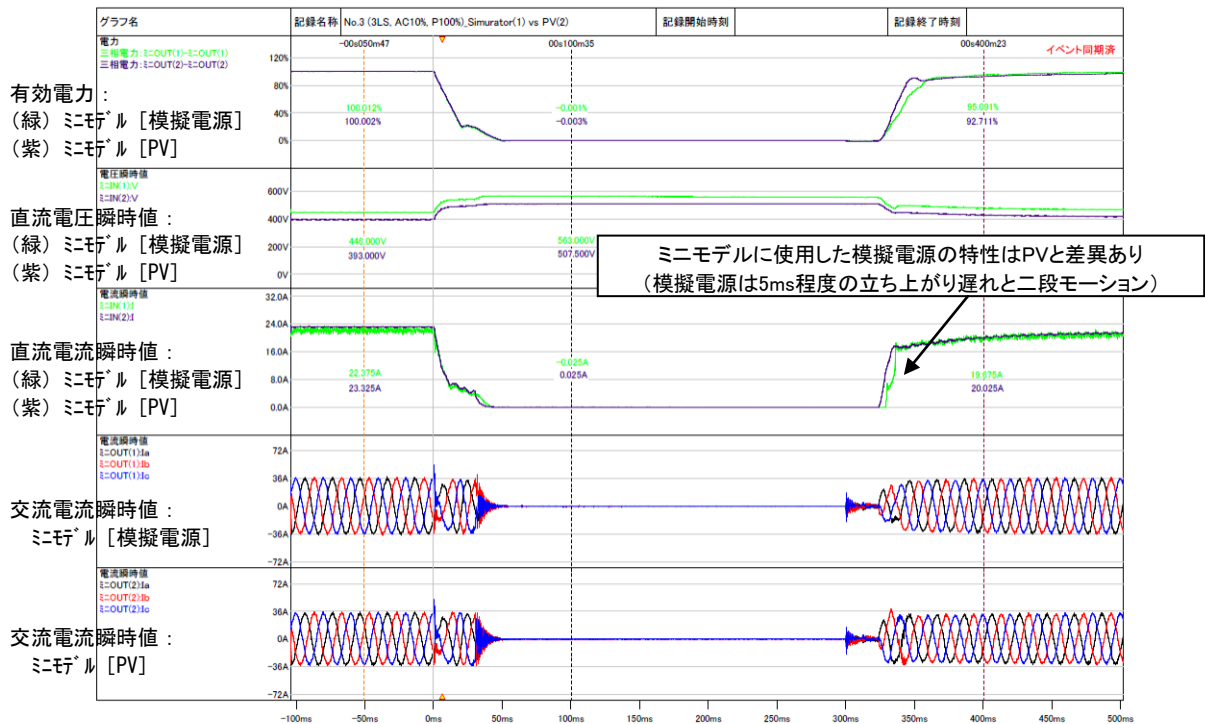


(b) 模擬電源Bを用いた場合

解説図18—模擬電源の違いによるミニモデルの出力波形比較



(a) 実機 [模擬電源] とミニモデル [PV]



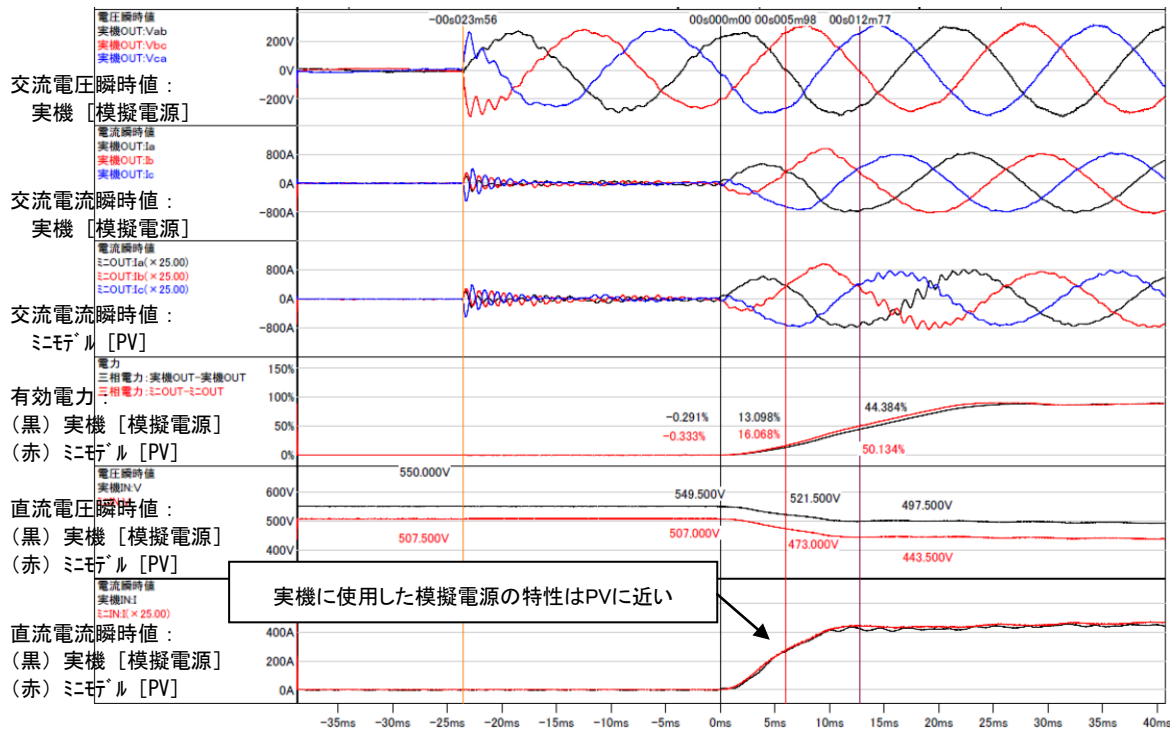
(b) ミニモデル [模擬電源] とミニモデル [PV]

解説図19—模擬電源とPVの比較例 (三相短絡時)

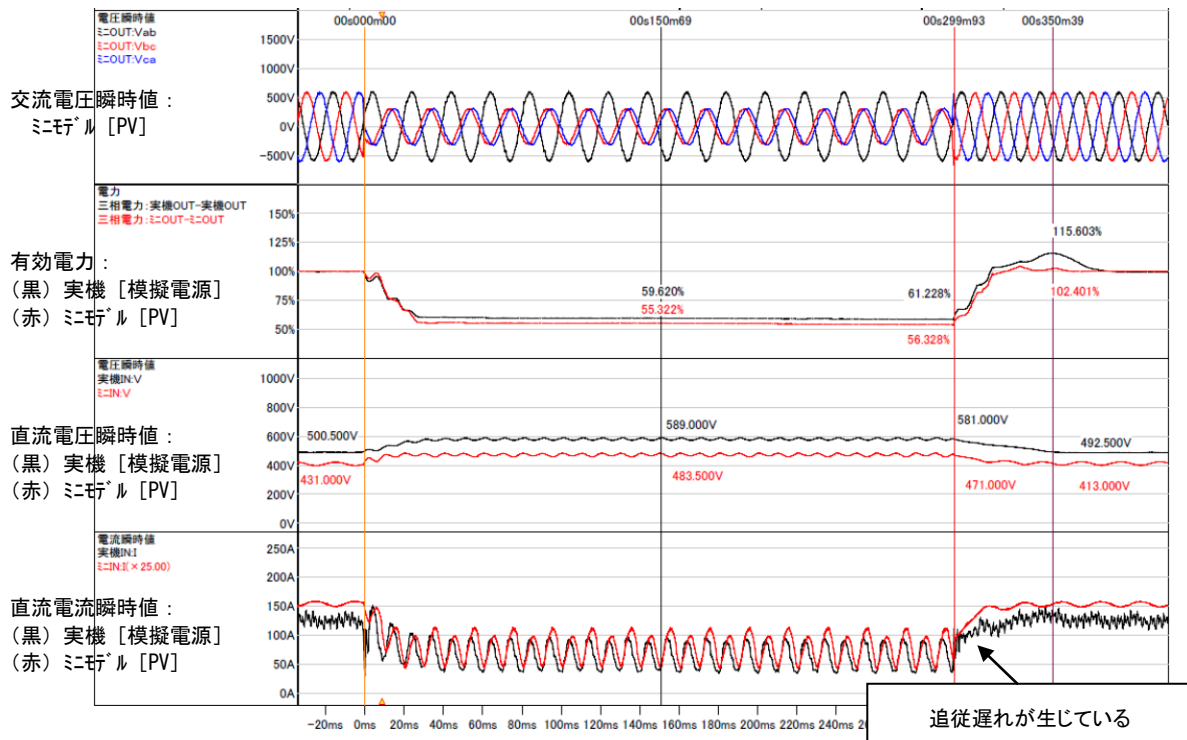
解説図19 (b)において、ミニモデルに使用した模擬電源の立ち上がりが遅れ、且つ二段モーシオンになる原因は、模擬電源が開放電圧モードと通常モードの切り替え制御を行っており、特に系統電圧復帰時に開放電圧まで戻るケース (例えば、残電圧が低く、PCSがゲートブロックするケース) では、制御モードの切り替えに数msecを要するからである。しかし、これによりFRT要件を満たさない結果になるほどではないため、この模擬電源も、FRT機能を確認するうえで必要な応答性能を有しているといえる。

また、実機に使用した模擬電源は、PCSが電圧低下時にゲートブロックし、そこから再度立ち上がる際、PVにほぼ近い特性を示していた (解説図20 (a))。また、二相短絡事故など各相電力が不平衡で直流電力が振動するような過渡的な応答時には追従遅れが生じたものの、PCSの出力電流 (電力) には大きな影響を与えないことを確認している (解説図20 (b))。

このような経験をもとに、直流電源の機能仕様に「応答特性が太陽電池に近い」、「負荷の急変に追従し、速やかに応答できる。その際、振動やオーバーシュートなどが少ない」と規定した。



(a) ゲートブロックからの立ち上がり時

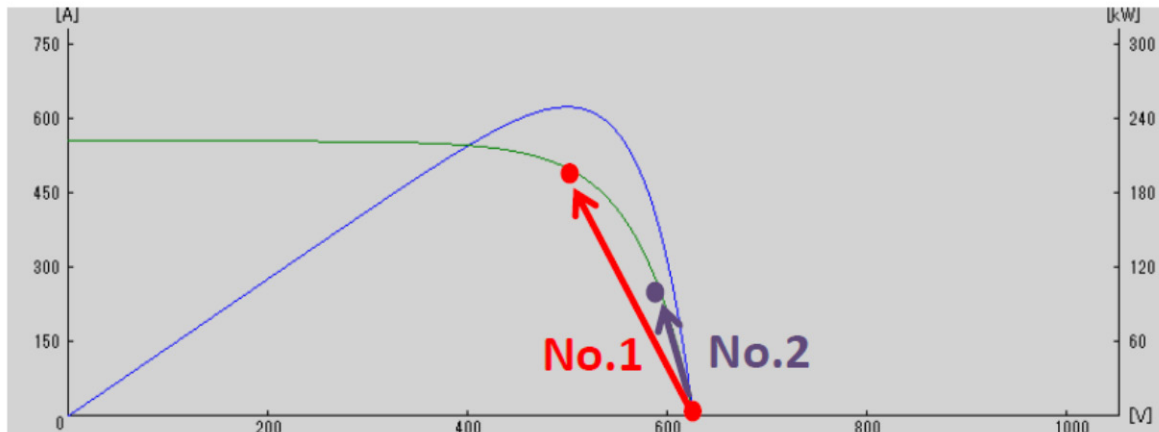


(b) 二相短絡時 (Δ 結線側)

解説図20—実機 [模擬電源] とミニモデル [PV] の出力波形例

参考までに、実機に使用した模擬電源の特性を解説図21に示す。

No	条件				結果
	ブレーカOn前		ブレーカON後		
	電流[A]	電圧[V]	電流[A]	電圧[V]	
1	0	624.5	501.1	498.5	35
2	0	624.5	248.5	599.3	24



解説図21—実機に使用した模擬電源の特性

以上のことを踏まえ、直流電源の選定にあたっては、その応答特性を試験データなどで十分に把握して、ミニモデルの応答波形の評価に反映することが望ましい。

なお、JIS C 8963「系統連系形太陽光発電システム用パワーコンディショナの単独運転検出機能の試験方法」では、単独運転検出機能の試験で使用する模擬電源の仕様を以下のとおり記載している。

【参考】

JIS C 8963「系統連系形太陽光発電システム用パワーコンディショナの単独運転検出機能の試験方法」

5.2.1 太陽電池アレイ模擬電源装置

太陽電池アレイ模擬電源装置は、次による。

- a) 太陽電池アレイ模擬電源装置は、所定の太陽電池アレイ出力特性を模擬するもので、任意の日射強度及び任意の素子温度に相当する太陽電池アレイの電流－電圧特性を示すように出力調整が可能で、パワーコンディショナの過入力耐量に相当する出力電力が得られなければならない。
- b) 直流電源に太陽電池アレイ模擬電源を使用する場合は、次の要求を満足しなければならない。
 - 1) **パラメータ** 太陽電池アレイの構成は、EUT*が太陽光発電システムの一部として機能するために推奨する太陽電池アレイのパラメータ（短絡電流、開放電圧、フィルファクタなど）を模擬できなければならない。
 - 2) **応答性能** 太陽電池アレイ模擬電源装置の応答速度は、 1×10^{-3} 秒以下とする。
 - 3) **太陽電池アレイ特性の安定性** 太陽電池アレイ特性は、EUT*による変化を除いて単独運転が継続している間は出力が2%以内で安定し続けなければならない。

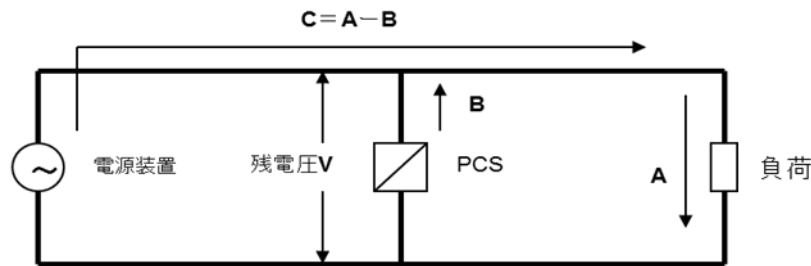
※供試機器（Equipment Under Testing）

c) 負荷装置

瞬時電圧低下試験では、交流電源の残電圧、負荷容量及びPCS出力の関係によって交流電源への逆潮流が生じる場合がある。しかし、一般に使用されている交流電源は、出力容量については規定されているものの、回生量（電流あるいは電力）については規定されていない場合が多い。また、回生できるとしても、装置の容量には制限がある。このため、交流電源の回生量（電流あるいは電力）に制約がある場合は、負荷容量を大きくして過渡的な電圧変動時の負荷分担を大きくし、交流電源への逆潮流に対応する必要がある。負荷容量を選定する際の試算例を以下に示す。

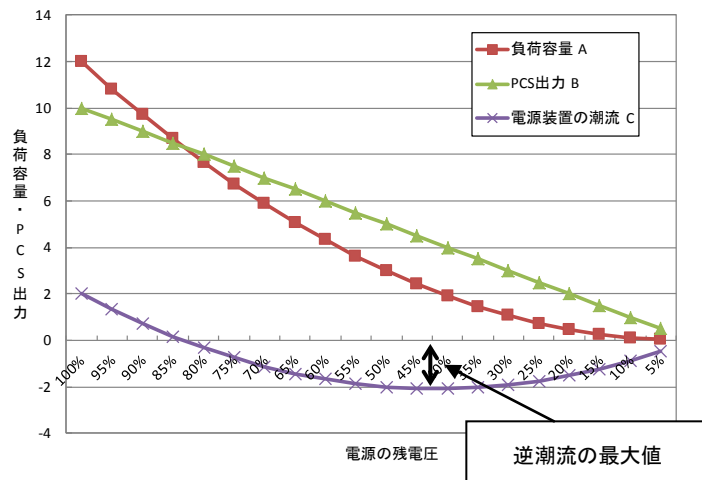
解説図22の回路において、負荷容量をA、PCSの出力をB、交流電源の潮流をCとすると、 $C=A-B$ となる。ここで、負荷容量Aは電圧の二乗に比例し、PCSの出力Bは電圧に比例する。

PCSの出力を負荷が吸収しきれない場合（ $A < B$ の場合）、交流電源への逆潮流となるため、吸収能力に応じて負荷容量を選定することになる。



負荷容量12kW、PCS出力10kWの例

残電圧 V	負荷容量 A 定格容量*V ²	PCS出力 B 定格容量*V	電源装置の潮流 C A-B
100%	12	10	2.0
95%	10.8	9.5	1.3
90%	9.7	9	0.7
85%	8.7	8.5	0.2
80%	7.7	8	-0.3
75%	6.8	7.5	-0.8
70%	5.9	7	-1.1
65%	5.1	6.5	-1.4
60%	4.3	6	-1.7
55%	3.6	5.5	-1.9
50%	3.0	5	-2.0
45%	2.4	4.5	-2.1
40%	1.9	4	-2.1
35%	1.5	3.5	-2.0
30%	1.1	3	-1.9
25%	0.7	2.5	-1.8
20%	0.5	2	-1.5
15%	0.3	1.5	-1.2
10%	0.1	1	-0.9
5%	0.0	0.5	-0.5



解説図22—電源の残電圧に対する負荷容量及びPCSの出力試算例

d) 調整用インピーダンス

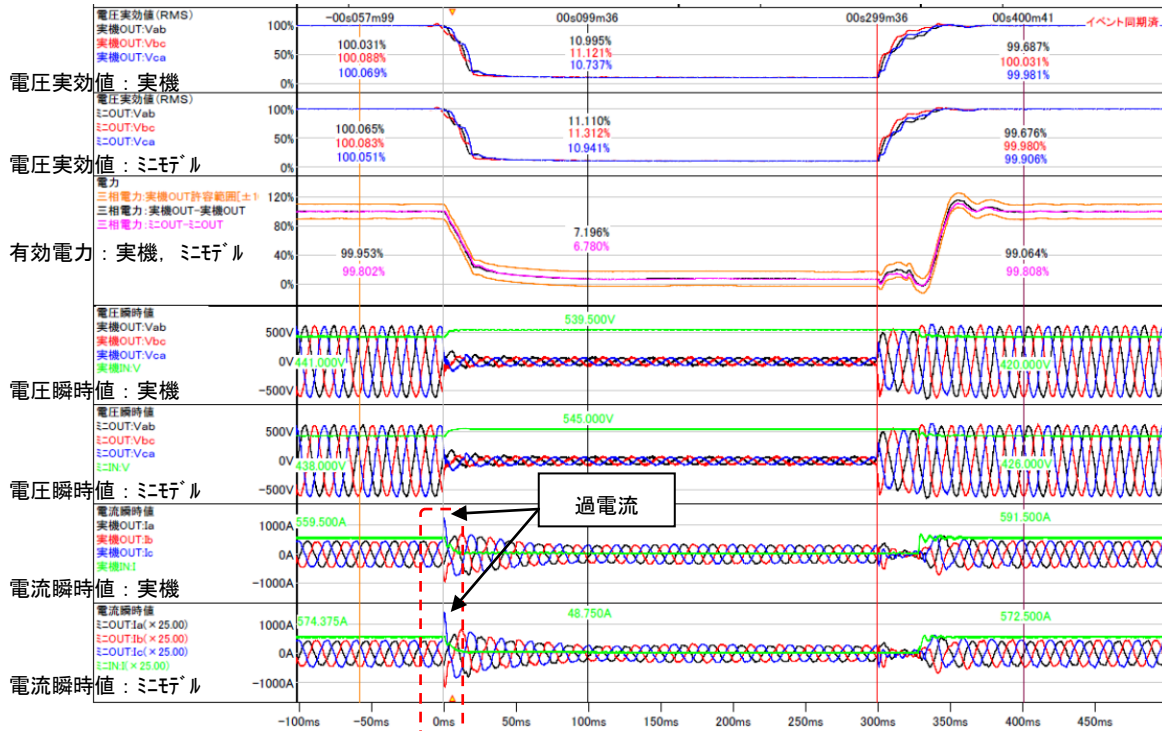
系統電圧が低下した際、PCSの出力側に過電流が発生する場合がある（解説図23）。FRT要件では、これを考慮して、電圧低下の発生した瞬時2サイクル以内のゲートブロック（2サイクル以内に復帰するゲートブロック）は許容されている。

この過電流は、PCSの出力電圧（位相）と系統電圧の差及びPCSが連系される回路（系統を含む）のインピーダンス値に依存する。このため、ミニモデルを用いて試験する際、試験回路のインピーダンス値が

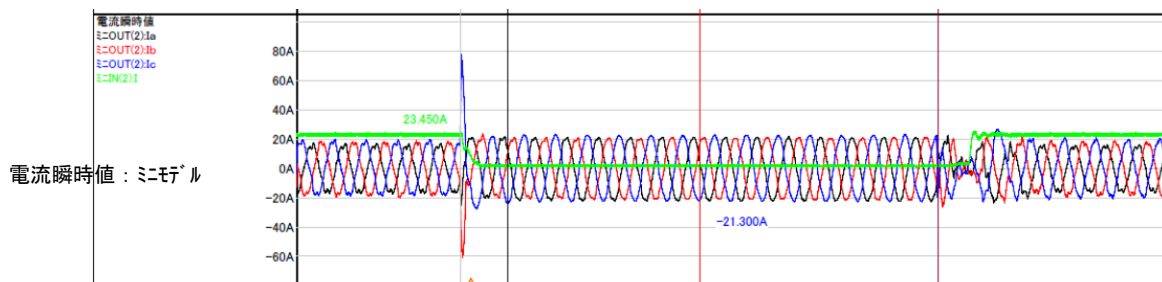
解説

必要以上に大きくなると過電流が抑制され、瞬時2サイクル以内のゲートブロックが動作せず、実系統のPCSの挙動と乖離が生じる恐れがある（解説図24）。

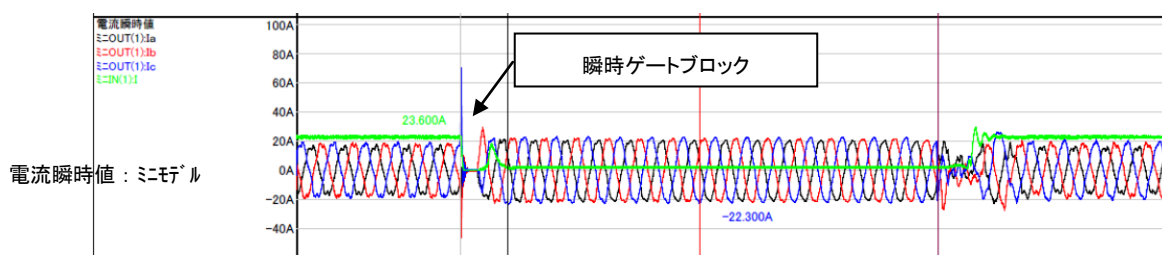
したがって、ミニモデルを用いて試験する際は、線路や連系用変圧器などのインピーダンス値を適切に模擬したインピーダンス（調整用インピーダンス）を試験回路に接続することが望ましい。



解説図23—電圧低下時の過電流波形例（3LS、残電圧10%）



(a) 瞬時ゲートブロックしない場合



(b) 瞬時ゲートブロックする場合

解説図24—電圧低下時の出力電流波形例（瞬時ゲートブロックの有無）

調整用インピーダンスの計算例を以下に示す。電圧一定・電流1/25モデルを用いた試験において、実系統の換算%インピーダンスをA、交流電源装置の%インピーダンスをB、実機の連系用変圧器の%インピーダンス（容量ベース）をCとすると、調整用インピーダンス³の最大値Zは、以下の計算式になる。

$$Z \leq A - B + C$$

実系統においてPCSの過電流が最大となるのは、PCSが配電用変電所の直近に設置された場合である。これは、ミニモデルを用いた試験において、実系統の換算%インピーダンスAに6.6kV配電線の線路インピーダンスを含めない条件に相当し、調整用インピーダンスが最も小さいケースとなる。

一般に、配電用変電所の配電線路遮断器の最大遮断電流は、12.5kAを上限に選定されていることを適用すると、12.5kAの短絡電力 P_s は、

$$P_s = 12.5 \times 6.9 \times \sqrt{3} = 150 \text{ [MVA]}$$

よって、実系統の換算%インピーダンスAは、実機の連系用変圧器の容量を300kVAとして、これを基準容量にした場合、

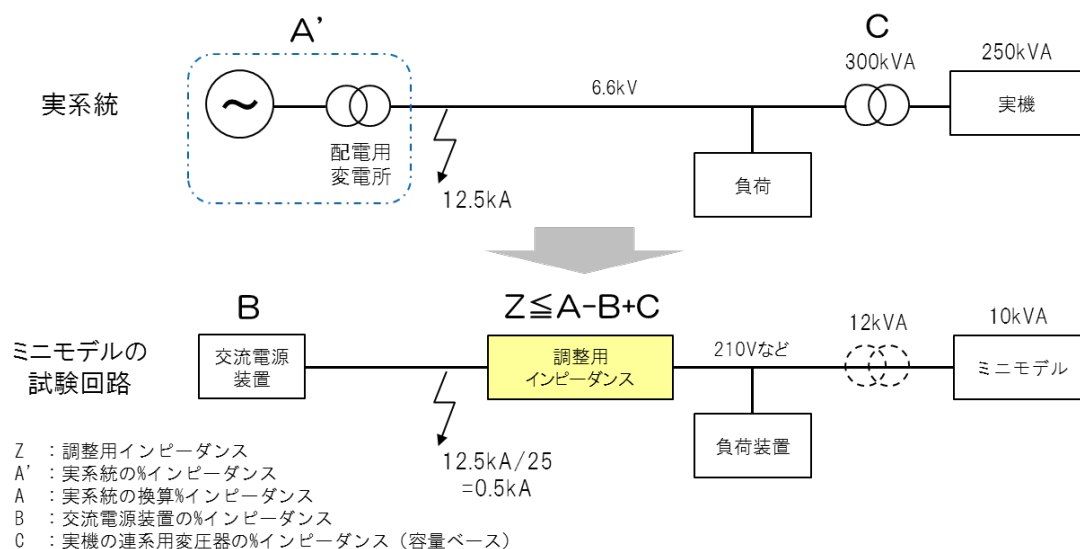
$$A = 0.3 \times 100 / P_s = 0.3 \times 100 / 150 = 0.2 \text{ [%]}$$

次に、実機の連系用変圧器の%インピーダンス（容量ベース）Cを3%⁴とすると、ミニモデルの試験回路にこれと等しい%インピーダンス（容量ベース）を含める必要があるため、

$$C = 3 \text{ [%]}$$

したがって、調整用インピーダンスの最大値Zは、以下となる。

$$Z \leq A - B + C = 0.2 - B + 3 = 3.2 - B \text{ [%]}$$



解説図25—調整用インピーダンスの計算例

³ 連系リアクトルを有しないPCSなどの試験において、試験回路を構成するうえで必要なリアクトルや変圧器を挿入した場合は、それらのインピーダンスを調整用インピーダンスの一部と見て試験条件を設定する。

⁴ 300kVAトップランナー変圧器の%インピーダンスの平均値は3%程度。今回のミニモデル実証試験では、この値で試験回路を構成した。

5 ガイドライン作成委員会構成表

このガイドラインの作成委員会の構成表を、次に示す。

「太陽光発電用大規模パワーコンディショナの標準ミニモデルに関する研究」

検討委員会

	氏名	所属
(委員長)	若尾 真治	早稲田大学
(委員)	上村 敏	一般財団法人電力中央研究所
	越中 洋	電気事業連合会
	馬場 旬平	東京大学
	藤田 英明	東京工業大学
	増田 文雄	一般財団法人電気安全環境研究所
	宮本 裕介	株式会社関電工
	吉川 秀樹	一般社団法人日本電機工業会
(途中退任委員)	川人 基宏	電気事業連合会
	芝田 克明	一般財団法人電気安全環境研究所
	瀬戸 重行	電気事業連合会
(参加企業)		関西電力株式会社
		株式会社ダイヘン
		東京電力株式会社
		東芝三菱電機産業システム株式会社
		株式会社日立製作所
		富士電機株式会社
		株式会社明電舎
(事務局)	大関 崇	独立行政法人産業技術総合研究所
	加藤 和彦	独立行政法人産業技術総合研究所
	竹本 勝	一般財団法人エネルギー総合工学研究所
	徳田 憲昭	一般財団法人エネルギー総合工学研究所
	橋倉 裕	一般財団法人エネルギー総合工学研究所

作業会

	氏名	所属
(主査)	藤田 英明	東京工業大学
(参加企業)		株式会社ダイヘン
		東芝三菱電機産業システム株式会社
		株式会社日立製作所
		富士電機株式会社
		株式会社明電舎
(事務局)	大関 崇	独立行政法人産業技術総合研究所
	竹本 勝	一般財団法人エネルギー総合工学研究所
	徳田 憲昭	一般財団法人エネルギー総合工学研究所
	橋倉 裕	一般財団法人エネルギー総合工学研究所

2015年(平成27年)2月20日 発行

〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2

発行所

独立行政法人 **産業技術総合研究所**

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

一般財団法人 **エネルギー総合工学研究所**