

**3 相 AC 400 V 入力対応 PFC 電源**

# **SW ガイド**

**RD044-SWGUIDE-01**

---

**東芝デバイス&ストレージ株式会社**

## 目次

<b>1. はじめに .....</b>	<b>4</b>
1.1. 概要.....	4
1.2. 使用方法 .....	5
<b>2. 入出力信号.....</b>	<b>7</b>
<b>3. 状態遷移 .....</b>	<b>11</b>
3.1. 状態遷移図 .....	11
3.2. タイミングチャート .....	12
<b>4. 定数、変数定義.....</b>	<b>14</b>
4.1. 定数定義 .....	14
4.2. 状態定義 .....	15
4.3. 定数定義 .....	16
<b>4. 初期化 .....</b>	<b>21</b>
4.1. 初期化ルーチン実行条件 .....	21
4.2. 初期化ルーチン .....	21
<b>5. メインルーチン.....</b>	<b>23</b>
5.1. メインループ .....	23
5.2. 一般制御ルーチン.....	24
5.3. タイマー割り込みルーチン .....	24
5.4. 制御ブロック図.....	26

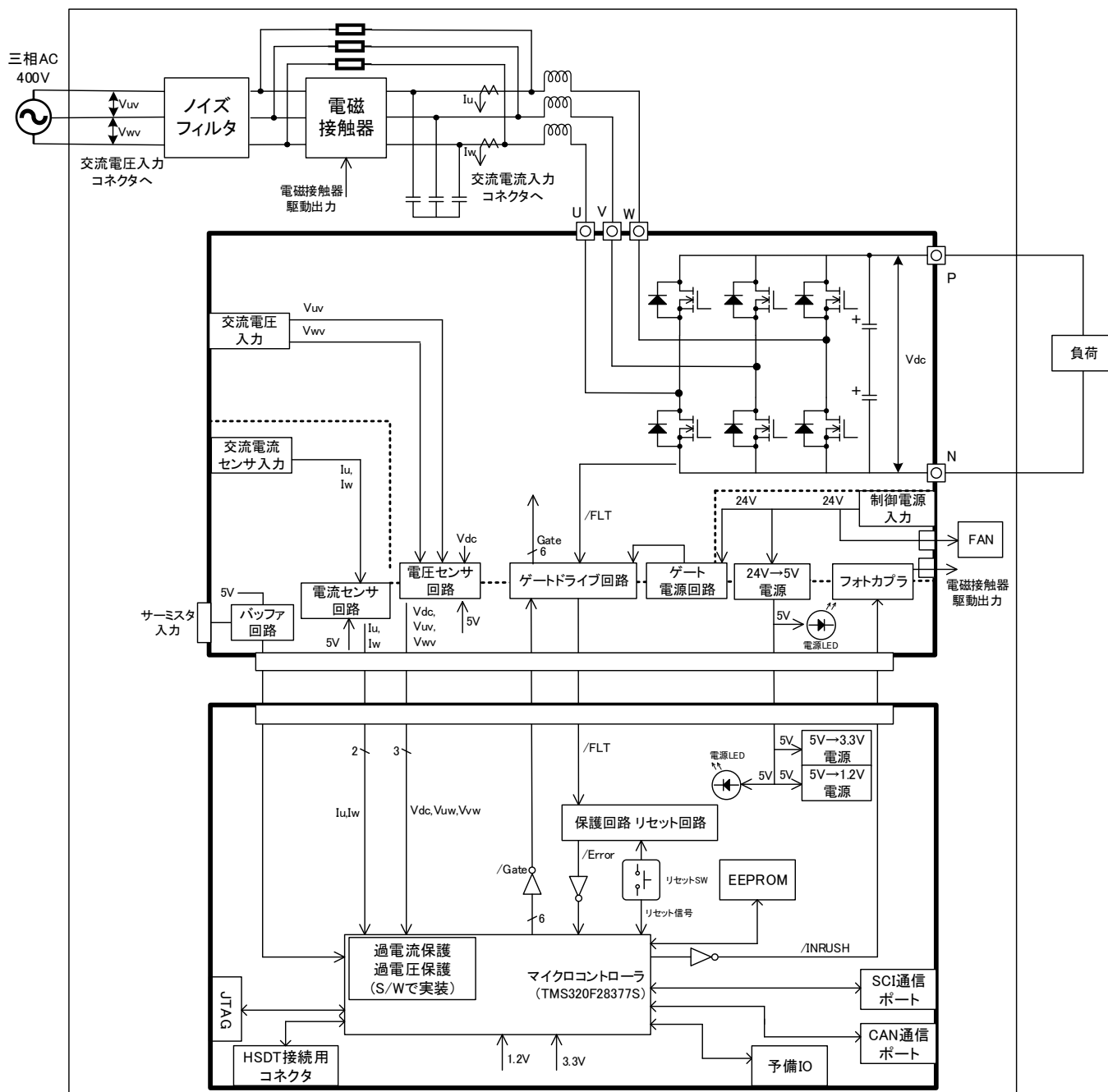
6. 異常処理 .....	28
7. A/D 変換一覧表.....	29

## 1. はじめに

### 1.1. 概要

本ガイドは 3 相 AC 400 V 入力対応 PFC 電源（以下本電源）の電源コントローラに関するソフトウェア（SW）仕様を定めるものです。本ガイドで定める SW が制御対象とするハードウェア（HW）概要図を以下に示します。

<HW 概要図>



### 1.2. 使用方法

#### ・使用する際の手順

1. 制御電源24 Vを投入してください。
2. 3相交流電源を投入してください。

#### ・Error状態からリセットを行い、再使用する際の手順

1. 3相交流電源との接続を解除してください。
2. リセットスイッチ押下、または制御電源の再投入を行ってください。

(リセットスイッチは制御基板上になります。)

以下本電源で使用する電源コントローラーの概要を示します。

#### <電源コントローラー>

電源コントローラーとして TMS320F28377SPTP を使用します。

### 1.特徴

項目	内容
メーカー	Texas Instruments
型番	TMS320F28377SPTP
パッケージ	176pin, HLQFP, ピン間 0.5mm ピッチ
メモリ容量	ROM : 1MB (1word = 16bit) RAM : 328KB (1word = 16bit)
最高動作周波数	200MHz (XIN=20MHz)
タイマー	32bit タイマーカウンタ ×3ch ウォッチドッグタイマー (WDT)
PWM信号生成機能	6ch (うち 3ch を使用) 動作周波数 100MHz
コンパレータ機能	8ch (うち 3ch を使用) U 相電流-過電流保護 W 相電流-過電流保護 直流電圧-過電圧保護
通信機能	I2C ×1ch (EEPROMとのインターフェースとして使用) CAN ×1ch (本電源標準 SW では未使用) SCI ×2ch (1ch はヘッドスプリング社製 HSDT-DP との通信で使用 もう 1ch は本電源標準 SW では未使用)
A/D 変換	12bit サンプルホールド方式 × 4 モジュール (A/D 変換モジュールへの入力チャンネルは 8ch)
EEPROM 機能	メーカー: Micronchip Technology 型番: 24LC512-I/SM (本電源標準 SW では未使用)
IO 電圧	3.3V
コア 電圧	1.2V

### 2.クロック

電源コントローラーは、以下のクロックを使用します。

外部発信器
20MHz

### 3.開発環境

コード開発ツール : Texas Instruments 社製 Code Composer Studio

OS : Windows, Mac OS, Linux

デバッグツール : ヘッドスプリング社製 HSDT-DP, HSDT-GUI

OS : Windows

## 2. 入出力信号

入出力信号を以下の通り定義します。

Port	Pin	信号名	機能	I/O (形式)	初期値	その他
GPIO0	160	PWM1A_DSP160	U 相ハイサイド PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO1	161	PWM1B_DSP161	U 相ローサイド PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO2	162	PWM2A_DSP162	V 相ハイサイド PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO3	163	PWM2B_DSP163	V 相ローサイド PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO4	164	PWM3A_DSP164	W 相ハイサイド PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO5	165	PWM3B_DSP165	W 相ローサイド PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO6	166	PWM4A_DSP166	PWM 信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO7	167	PWM4B_DSP167	PWM 信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO8	18	PWM5A_DSP18	PWM 信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO9	19	PWM5B_DSP19	PWM 信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO10	1	PWM6A_DSP1	PWM 信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO11	2	PWM6B_DSP2	PWM 信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO12	4	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO13	5	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO14	6	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO15	7	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO16	8	DO0_DSP8	ゲートドライバーエラー信号短絡用 デジタル信号出力	O (CMOS)	0	
GPIO17	9	DO1_DSP9	デジタル信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO18	10	DO2_DSP10	デジタル信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO19	12	DO3_DSP12	デジタル信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	

GPIO20	13	DO4_DSP13	デジタル信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO21	14	DO5_DSP14	デジタル信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO22	22	DO6_DSP22	デジタル信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO23	23	DO7_DSP23	デジタル信号出力機能 (本電源では未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO24	24	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO25	25	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO26	27	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO27	28	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO28	64	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO29	65	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO30	63	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO31	66	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO32	67	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO33	69	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO34	70	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO35	71	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO36	83	CANRX_A_DSP8 3	CAN 通信 受信用機能	I (CMOS)	1	
GPIO37	84	CANTX_A_DSP8 4	CAN 通信 送信用機能	O (CMOS)	0	
GPIO38	85	信号割り当てなし	-	-		
GPIO39	86	信号割り当てなし	-	-		
GPIO40	87	信号割り当てなし	-	-		
GPIO41	89	信号割り当てなし	-	-		
GPIO42	130	SDA_A_DSP130	I2C 通信 データ用信号機能	O/I (CMOS)	1	EEPROM との IF
GPIO43	131	SCL_A_DSP131	I2C 通信 クロック用信号機能	O (CMOS)	1	EEPROM との IF
GPIO44	113	信号割り当てなし	-	-		
GPIO45	115	信号割り当てなし	-	-		
GPIO46	128	信号割り当てなし	-	-		
GPIO47	129	信号割り当てなし	-	-		
GPIO48	90	信号割り当てなし	-	-		
GPIO49	93	信号割り当てなし	-	-		
GPIO50	94	DIO08_DSP94	汎用デジタル入出力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	1	SW で機 能変更可



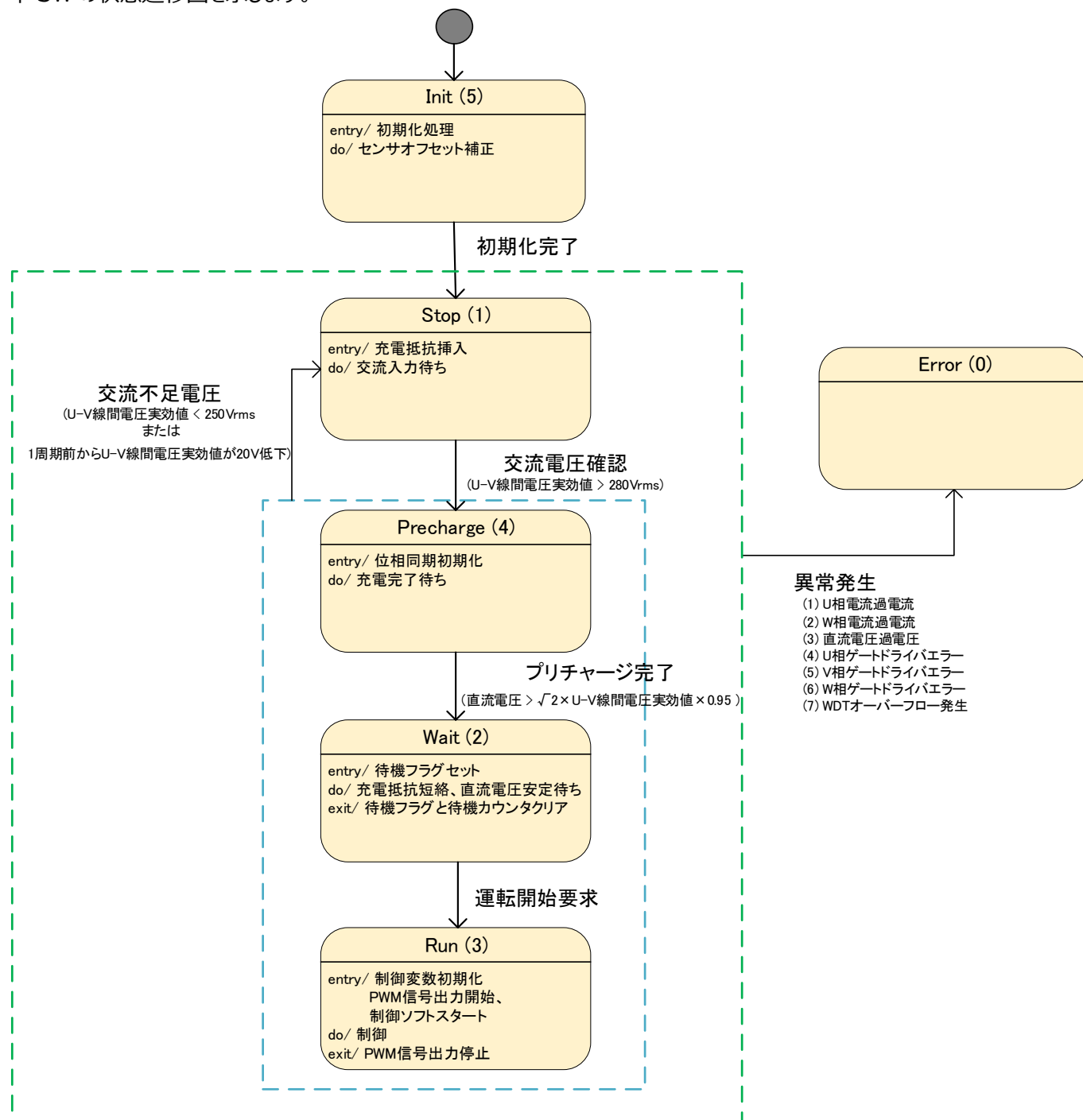
GPI051	95	DIO09_DSP95	汎用デジタル入出力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	1	SW で機能変更可
GPI052	96	DIO10_DSP96	汎用デジタル入出力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	1	SW で機能変更可
GPI053	97	DIO11_DSP97	汎用デジタル入出力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	1	SW で機能変更可
GPI054	98	信号割り当てなし	-	-		
GPI055	100	信号割り当てなし	-	-		
GPI056	101	信号割り当てなし	-	-		
GPI057	102	信号割り当てなし	-	-		
GPI058	103	SSO_DSP103	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能用 SPI 通信 - データ出力	O (CMOS)		
GPI059	104	SSI_DSP104	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能用 SPI 通信 - データ入力	I (CMOS)		
GPI060	105	SSCK_DSP105	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能用 SPI 通信 - クロック出力	O (CMOS)		
GPI061	107	SPISTEA_DSP107	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能用 SPI 通信 - 同期信号出力	O (CMOS)		
GPI062	108	信号割り当てなし	-	-		
GPI063	109	信号割り当てなし	-	-		
GPI064	110	信号割り当てなし	-	-		
GPI065	111	信号割り当てなし	-	-		
GPI066	112	信号割り当てなし	-	-		
GPI067	132	DIO_DSP132	U 相ゲートドライバーエラー信号 入力機能	I (CMOS)	0	
GPI068	133	DI1_DSP133	V 相ゲートドライバーエラー信号 入力機能	I (CMOS)	0	
GPI069	134	信号割り当てなし	-	-		
GPI070	135	信号割り当てなし	-	-		
GPI071	136	信号割り当てなし	-	-		
GPI072	139	BOOT1_DSP139	ブートモードセクター	I	-	
GPI073	140	DI2_DSP140	W 相ゲートドライバーエラー信号 入力機能	I (CMOS)	0	
GPI074	141	DI3_DSP141	デジタル信号入力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	0	
GPI075	142	DI4_DSP142	デジタル信号入力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	0	

GPI076	143	DI5_DSP143	デジタル信号入力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	0	
GPI077	144	DI6_DSP144	デジタル信号入力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	0	
GPI078	145	DI7_DSP145	デジタル信号入力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	0	
GPI079	146	信号割り当てなし	-	-		
GPI080	148	信号割り当てなし	-	-		
GPI081	149	信号割り当てなし	-	-		
GPI082	150	信号割り当てなし	-	-		
GPI083	151	信号割り当てなし	-	-		
GPI084	154	SCITXDA_ DSP154	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP デバッグ通信用機能			
GPI085	155	SCIRXDA_ DSP155	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP デバッグ通信用機能			
GPI086	156	SCITX_B_ DSP156	汎用シリアル通信機能 (本電源では未使用)			
GPI087	157	SCIRX_B_ DSP157	汎用シリアル通信機能 (本電源では未使用)			
GPI088	170	信号割り当てなし	-	-	-	-
GPI089	171	DIO12_DSP171	汎用デジタル入出力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	1	SW で機 能変更可
GPI090	172	DIO13_DSP172	汎用デジタル入出力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	1	SW で機 能変更可
GPI091	173	信号割り当てなし	-	-		
GPI092	174	信号割り当てなし	-	-		
GPI093	175	DIO14_DSP175	汎用デジタル入出力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	1	SW で機 能変更可
GPI094	176	DIO15_DSP176	汎用デジタル入出力機能 (本電源では未使用)	I (CMOS)	1	SW で機 能変更可
GPI0 133	118	信号割り当てなし	-	-		

### 3. 状態遷移

#### 3.1. 状態遷移図

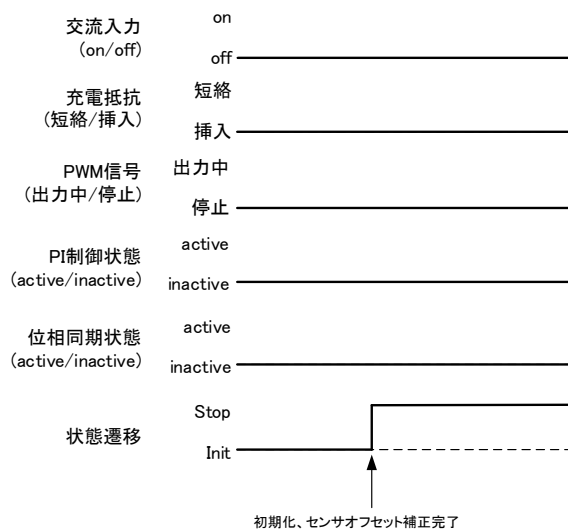
本 SW の状態遷移図を示します。



### 3.2. タイミングチャート

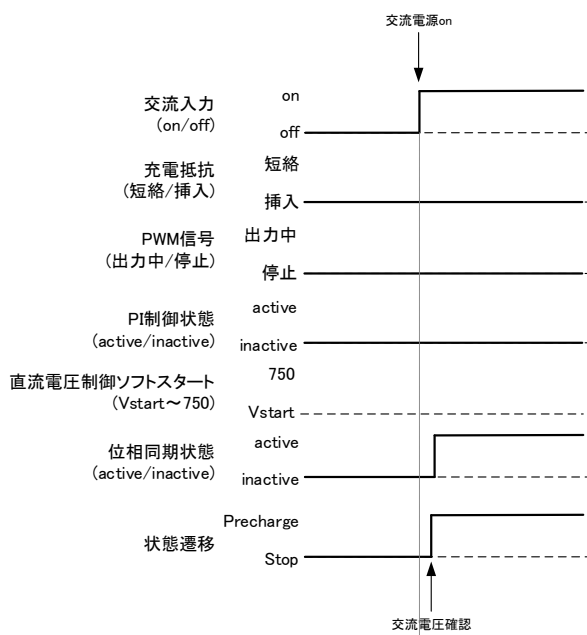
本 SW のタイミングチャートを示します。

#### 1. Init 状態から Stop 状態への移行

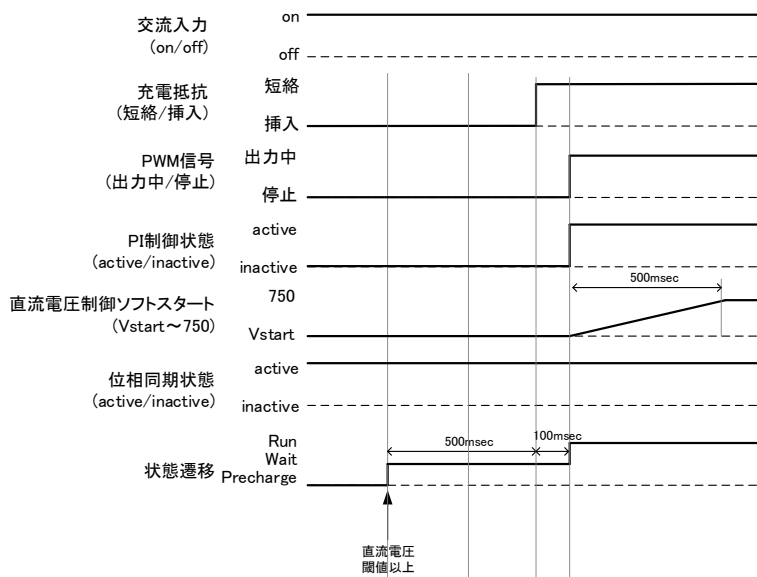


#### 2. Stop 状態から Precharge 状態を経由して Run 状態への移行

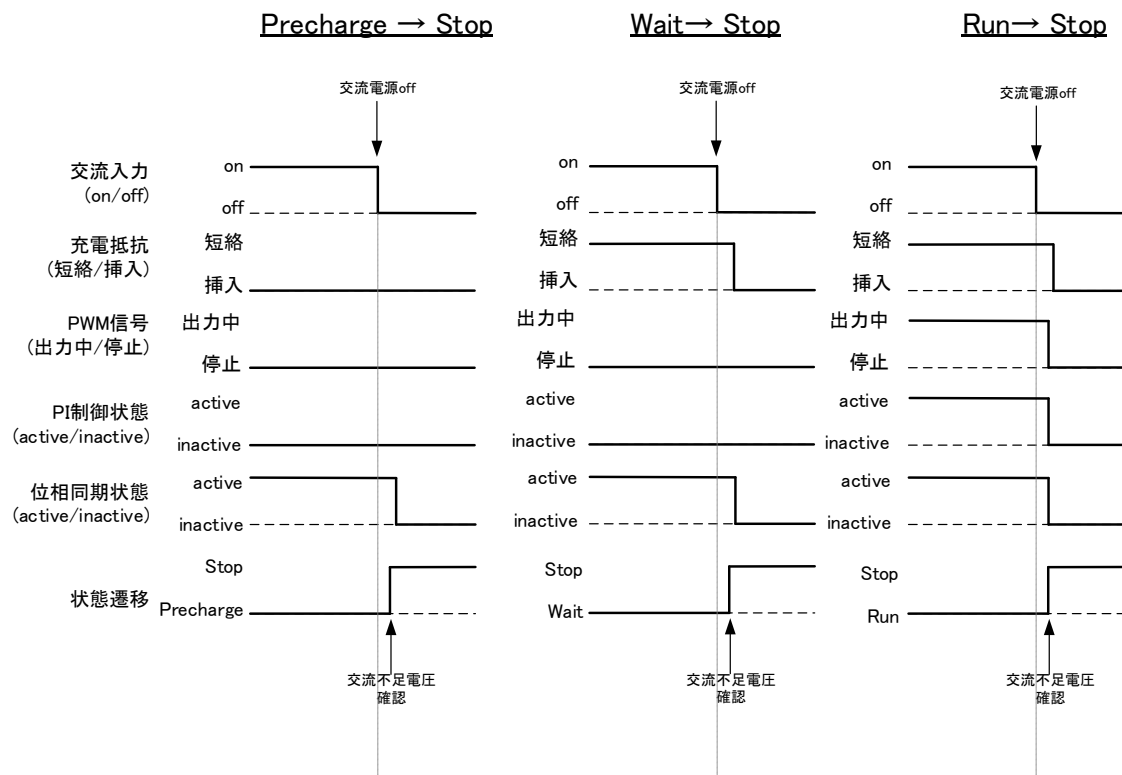
##### Stop → Precharge



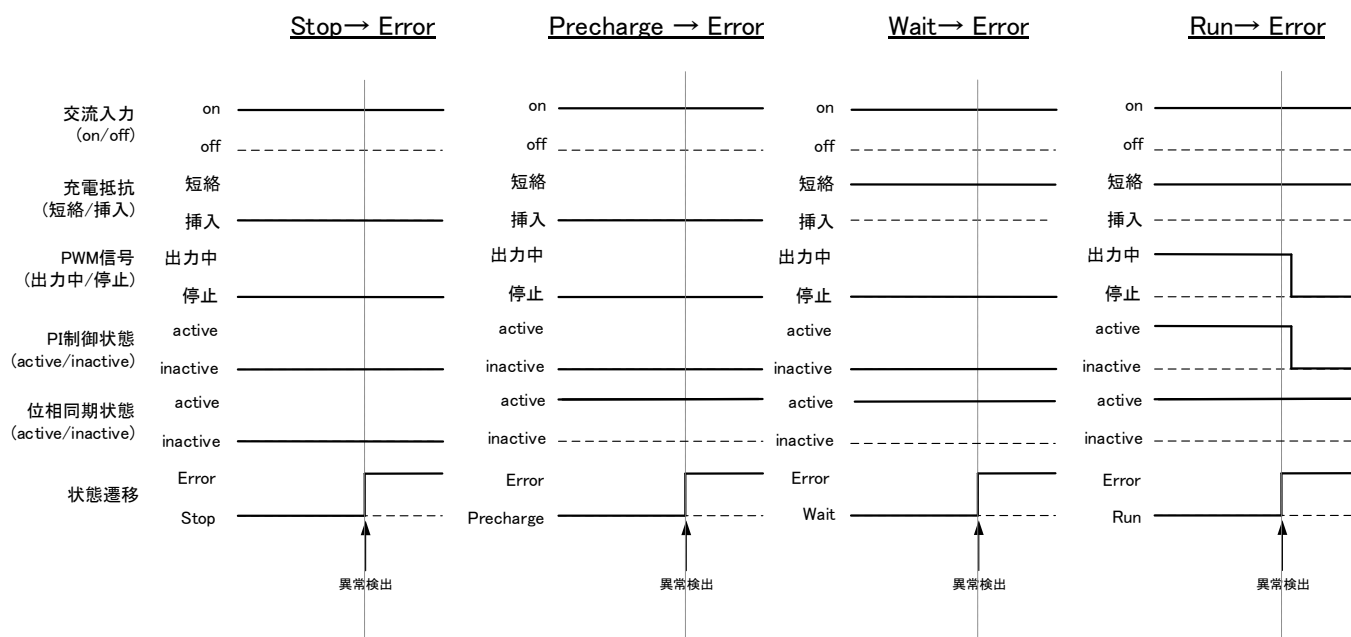
##### Precharge → Wait → Run



## 3. Precharge 状態、Wait 状態、Run 状態から Stop 状態への移行



## 4. Stop 状態、Precharge 状態、Wait 状態、Run 状態から Error 状態への移行



## 4. 定数、変数定義

### 4.1. 定数定義

定数を以下の通り定義します。

#### 1. PWM 機能設定用定数

定数名	詳細
CARRIERFREQ_KHZ	PWM 信号の周波数を kHz 単位で定義します。
CARRIERFREQ_HZ	PWM 信号の周波数を Hz 単位で定義します。
INTERRUPT_MASK	一般制御ルーチン（後述）の実行周期を定義します。
DEADTIME_NSEC	PWM 信号のデッドタイムを ns 単位で定義します。

#### 2. タイマー割り込みルーチン周期設定用定数

定数名	詳細
TIMER0INTERVAL_US	タイマー割り込みルーチンの実行周期を $\mu$ s 単位で定義します。

#### 3. センサー値設定用定数

定数名	詳細
VUV_GAIN VUV_OFFSET	U-V 線間電圧センサー回路の読み取り電圧範囲を以下のように設定します。 $((-VUV\_GAIN) + VUV\_OFFSET) \sim (VUV\_GAIN + VUV\_OFFSET)$ 詳細は 13.A/D 変換一覧表をご覧ください。
VWV_GAIN VWV_OFFSET	W-V 線間電圧センサー回路の読み取り電圧範囲を以下のように設定します。 $((-VWV\_GAIN) + VWV\_OFFSET) \sim (VWV\_GAIN + VWV\_OFFSET)$ 詳細は 13.A/D 変換一覧表をご覧ください。
IU_GAIN IU_OFFSET	U 相電流センサー回路の読み取り電流範囲を以下のように設定します。 $((-IU\_GAIN) + IU\_OFFSET) \sim (IU\_GAIN + IU\_OFFSET)$ 詳細は 13.A/D 変換一覧表をご覧ください。
IW_GAIN IW_OFFSET	W 相電流センサー回路の読み取り電流範囲を以下のように設定します。 $((-IW\_GAIN) + IW\_OFFSET) \sim (IW\_GAIN + IW\_OFFSET)$ 詳細は 13.A/D 変換一覧表をご覧ください。
VDC_GAIN VDC_OFFSET	直流電圧センサー回路の読み取り電圧範囲を以下のように設定します。 $((-VDC\_GAIN) + VDC\_OFFSET) \sim (VDC\_GAIN + VDC\_OFFSET)$ 詳細は 13.A/D 変換一覧表をご覧ください。

## 4. 制御用定数

定数名	詳細
VQKP	PLL 用の PI 制御演算における比例ゲインの値を定義します。
VQKI	PLL 用の PI 制御演算における積分ゲインの値を定義します。
IDKP	d 軸電流の PI 制御演算における比例ゲインの値を定義します。
IDKI	d 軸電流の PI 制御演算における積分ゲインの値を定義します。
IQKP	q 軸電流の PI 制御演算における比例ゲインの値を定義します。
IQKI	q 軸電流の PI 制御演算における積分ゲインの値を定義します。
VDCKP	直流電圧の PI 制御演算における比例ゲインの値を定義します。
VDCKI	直流電圧の PI 制御演算における積分ゲインの値を定義します。
IDLIMIT	直流電圧の PI 制御演算出力である d 軸電流指令値に対する制限値を定義します。
MRATELIMIT	変調率計算

## 4.2. 状態定義

## 1. システム状態定数(型名: SystemState)

定数名	詳細
State_Error	システムがエラー状態であることを示す状態定数
State_Stop	システムが停止状態であることを示す状態定数
State_Wait	システムが待機状態であることを示す状態定数
State_Run	システムが運転状態であることを示す状態定数
State_Precharge	システムがプリチャージ状態であることを示す状態定数
State_Init	システムが初期化状態であることを示す状態定数

## 2. 保護状態定数(型名: ErrState)

定数名	詳細
Err_IU	U 相電流の過電流を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_IW	W 相電流の過電流を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_VDC	直流電圧の過電圧を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_FLTU	U 相ゲートドライバーのエラー信号を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_FLTV	V 相ゲートドライバーのエラー信号を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_FLTW	W 相ゲートドライバーのエラー信号を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_WDT	ウォッチドッグタイマーの保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_TRIP	PWM がトリップしていることを示す状態定数

### 4.3. 定数定義

#### 1. センサー測定値表示用変数

定数名	詳細
Vuv	U-V 線間電圧のセンサー（アナログ）値を示します。
Vwv	W-V 線間電圧のセンサー（アナログ）値を示します。
Iu	U 相電流のセンサー（アナログ）値を示します。
Iw	V 相電流のセンサー（アナログ）値を示します。
Vdc	直流電圧のセンサー（アナログ）値を示します。

#### 2. センサー計算値用変数

定数名	詳細
Vu	Vuv, Vwv の値から算出された U 相電圧値を示します。
Vv	Vuv, Vwv の値から算出された V 相電圧値を示します。
Vw	Vuv, Vwv の値から算出された W 相電圧値を示します。
Va	Vu, Vv, Vw に対して $\alpha\beta$ 変換を行い、得られた $\alpha$ 軸電圧値を示します。
Vb	Vu, Vv, Vw に対して $\alpha\beta$ 変換を行い、得られた $\beta$ 軸電圧値を示します。
Vd	Va, Vb に対して dq 変換を行い、得られた d 軸電圧値を示します。
Vq	Va, Vb に対して dq 変換を行い、得られた q 軸電圧値を示します。
Ia	Iu, Iw に対して $\alpha\beta$ 変換を行い、得られた $\alpha$ 軸電流値を示します。
Ib	Iu, Iw に対して $\alpha\beta$ 変換を行い、得られた $\beta$ 軸電流値を示します。
Id	Ia, Ib に対して dq 変換を行い、得られた d 軸電流値を示します。
Iq	Ia, Ib に対して dq 変換を行い、得られた q 軸電流値を示します。
VdLPF	センサー値 Vd に対してカットオフ周波数 VdFc でローパスフィルターを施した際の出力値を示します。
VdFc	センサー値 Vd に施すローパスフィルターのカットオフ周波数値を示します。
VqLPF	センサー値 Vq に対してカットオフ周波数 VqFc でローパスフィルターを施した際の出力値を示します。
VqFc	センサー値 Vq に施すローパスフィルターのカットオフ周波数値を示します。
VqLPF2	センサー値 Vq に対してカットオフ周波数 VqFc2 でローパスフィルターを施した際の出力値を示します。
VqFc2	センサー値 Vq に施すローパスフィルターのカットオフ周波数値を示します。
VdcLPF	センサー値 Vdc に対してカットオフ周波数 VdcFc でローパスフィルターを施した際の出力値を示します。
VdcFc	センサー値 Vdc に施すローパスフィルターのカットオフ周波数値を示します。
IdLPF	センサー値 Id に対してカットオフ周波数 IdFc でローパスフィルターを施した際の出力値を示します。
IdFc	センサー値 Id に施すローパスフィルターのカットオフ周波数値を示します。
IqLPF	センサー値 Iq に対してカットオフ周波数 IqFc でローパスフィルターを施した際の出力値を示します。
IqFc	センサー値 Iq に施すローパスフィルターのカットオフ周波数値を示します。



IuLPF	センサー値 Iu に対してカットオフ周波数 IuFc でローパスフィルターを施した際の出力値を示します。
IuFc	センサー値 Iu に施すローパスフィルターのカットオフ周波数を示します。
IwLPF	センサー値 Iw に対してカットオフ周波数 IwFc でローパスフィルターを施した際の出力値を示します。
IwFc	センサー値 Iw に施すローパスフィルターのカットオフ周波数を示します。
IvLPF	(-IuLPF) + (-IwLPF)により求められた V 相電流を示します。
OffsetVuv	U-V 線間電圧センサー値のオフセット補正値を示します。
OffsetVwv	W-V 線間電圧センサー値のオフセット補正値を示します。
OffsetIu	U 相電流センサー値のオフセット補正値を示します。
OffsetIw	W 相電流センサー値のオフセット補正値を示します。
FlagCalibEnd	0: 各センサーに関するオフセット誤差の補正処理が完了していないことを示します。 1: 各センサーに関するオフセット誤差の補正処理が完了したことを示します。

### 3. 保護、エラー状態表示用変数

定数名	詳細
ErrorState	保護、エラー状態（非ラッチ）を示します。 Bit0: U 相電流過電流保護状態 Bit1: W 相電流過電流保護状態 Bit2: 直流電圧過電圧保護状態 Bit3: U 相ゲートドライバーのエラー信号検知状態 Bit4: V 相ゲートドライバーのエラー信号検知状態 Bit5: W 相ゲートドライバーのエラー信号検知状態 Bit6: ウォッチドッグタイマーのオーバーフロー発生状態 Bit7: PWM のトリップ状態
ErrorState_Latch	保護、エラー状態（ラッチ）を示します。 Bit0: U 相電流過電流保護状態 Bit1: W 相電流過電流保護状態 Bit2: 直流電圧過電圧保護状態 Bit3: U 相ゲートドライバーのエラー信号検知状態 Bit4: V 相ゲートドライバーのエラー信号検知状態 Bit5: W 相ゲートドライバーのエラー信号検知状態 Bit6: ウォッチドッグタイマーのオーバーフロー発生状態 Bit7: PWM のトリップ状態
ErrThrVdchHi_V	直流電圧の過電圧閾値を示します。
ErrThrIac_Apk	交流電圧の過電流閾値（ピーク値）を示します。
FlagWDT	ウォッチドッグタイマーのオーバーフロー発生状態を示します。

## 4. 状態遷移用変数

定数名	詳細
State	システムの状態を示します。タイマー割り込みルーチン内で代入されます。 型: SystemState
PreState	1 周期前のタイマー割り込みルーチンにて代入されたシステムの状態を示します。 型: SystemState
InitEnd	初期化が完了したかどうかを示します。 0: 初期化が終了していないことを示します。 1: 初期化が終了していることを示します。
StopThrVac_Vrms	システムが動作するための交流電圧下限値（実効値）を示します。
RunStartStopReq	待機状態 - 運転状態間の遷移を操作する変数になります。
FlagEntryWait	待機状態であることを示します。
TimerEntryWait	待機状態に遷移後の時間を ms で示します。

## 5. 実効値計算用変数

定数名	詳細
Vuv_Vrms	U-V 線間電圧の実効値を示します。
Vuv_Vrms0	1 周期前の U-V 線間電圧の実効値を示します。
VuvSum_V	実効値計算に使用する U-V 線間電圧の 2 乗和を示します。
SignVuv	U-V 線間電圧の符号を示します。
SignVuv0	1 周期前の U-V 線間電圧の符号を示します。
PeriodCount	U-V 線間電圧ゼロクロスからスイッチング周期で加算される値を示します。

## 6. 位相計算用変数

定数名	詳細
VqRef	q 軸電圧指令値を示します。
ErrVq	VqLPF2 と q 軸電圧指令値との偏差を示します。
VqKp	q 軸電圧の PI 制御演算 (PLL) における比例ゲインの値を示します。
VqKi	q 軸電圧の PI 制御演算 (PLL) における積分ゲインの値を示します。
VqTi	q 軸電圧の PI 制御演算 (PLL) における時定数を示します。
VqPElement	q 軸電圧の PI 制御演算 (PLL) の比例成分を示します (比例制御出力)。
VqIElement	q 軸電圧の PI 制御演算 (PLL) の積分成分を示します (積分制御出力)。
VqPIElement	q 軸電圧の PI 制御演算 (PLL) の比例成分と積分成分の和を示します。
Phase_rad	q 軸電圧の PI 制御演算 (PLL) により得られた位相情報を示します。
RefPhase_rad	U-V 線間電圧ゼロクロスを元に生成される基準位相を示します。
RefDeltaPhase_rad	スイッチング周期で加算される基準位相変化量を示します。

## 7. 交流電流制御用変数

定数名	詳細
IdRef	d 軸電流指令値を示します。
ErrId	IdLPF と d 軸電流指令値との偏差を示します。
IdKp	d 軸電流の PI 制御演算における比例ゲインの値を示します。
IdKi	d 軸電流の PI 制御演算における積分ゲインの値を示します。
IdTi	d 軸電流の PI 制御演算における時定数を示します。
IdPElement	d 軸電流の PI 制御演算の比例成分を示します（比例制御出力）。
IdIElement	d 軸電流の PI 制御演算の積分成分を示します（積分制御出力）。
IdPIElement	d 軸電流の PI 制御演算の比例成分と積分成分の和を示します。
VdOut	d 軸電流の PI 制御演算により得られた d 軸電圧指令値を示します。
IqRef	q 軸電流指令値を示します。
ErrIq	IqLPF と q 軸電流指令値との偏差を示します。
IqKp	q 軸電流の PI 制御演算における比例ゲインの値を示します。
IqKi	q 軸電流の PI 制御演算における積分ゲインの値を示します。
IqTi	q 軸電流の PI 制御演算における時定数を示します。
IqPElement	q 軸電流の PI 制御演算の比例成分を示します（比例制御出力）。
IqIElement	q 軸電流の PI 制御演算の積分成分を示します（積分制御出力）。
IqPIElement	q 軸電流の PI 制御演算の比例成分と積分成分の和を示します。
VqOut	q 軸電流の PI 制御演算により得られた q 軸電圧指令値を示します。

## 8. 直流電圧制御用変数

定数名	詳細
IdLimitHi	d 軸電流指令値の上限値を示します。
IdLimitLo	d 軸電流指令値の下限値を示します。
VdcRef	直流電圧指令値を示します。
ErrVdc	VdcLPF と VdcRef との偏差を示します。
VdcKp	直流電圧の PI 制御演算における比例ゲインの値を示します。
VdcKi	直流電圧の PI 制御演算における積分ゲインの値を示します。
VdcTi	直流電圧の PI 制御演算における時定数を示します。
VdcPElement	直流電圧の PI 制御演算の比例成分を示します（比例制御出力）。
VdcIElement	直流電圧の PI 制御演算の積分成分を示します（積分制御出力）。
VdcPIElement	直流電圧の PI 制御演算の比例成分と積分成分の和を示します。 この値は d 軸電流指令値として IdRef に代入されます。
ConstVdcRef	直流電圧一定制御の目標電圧を示します。
FlagVdcRefRamp	直流電圧制御がソフトスタート中であることを示します。
DeltaVdcRefRamp	直流電圧制御がソフトスタート中であるときの 1ms 毎に増加する直流電圧指令値を示します。

## 9. 変調率計算用変数

定数名	詳細
VaRef	VdOut, VqOut に対して dq 逆変換を行い、得られた $\alpha$ 軸電圧指令値を示します。
VbRef	VdOut, VqOut に対して dq 逆変換を行い、得られた $\beta$ 軸電圧指令値を示します。
VuRef	VaRef, VbRef に対して二相三相変換を行い、得られた U 相電圧に対して、三次高調波重畳を行った値を示します。
VvRef	VaRef, VbRef に対して二相三相変換を行い、得られた V 相電圧に対して、三次高調波重畳を行った値を示します。
VwRef	VaRef, VbRef に対して二相三相変換を行い、得られた W 相電圧に対して、三次高調波重畳を行った値を示します。
Vmax	VuRef, VwRef, VvRef のうち最大値を示します。
Vmin	VuRef, VwRef, VvRef のうち最小値を示します。
Vavr	Vmax と Vmin の平均値を示します。
PhaseUDeadTimeComp	U 相ゲートの変調率に加算されるデッドタイム補償を示します。
PhaseVDeadTimeComp	V 相ゲートの変調率に加算されるデッドタイム補償を示します。
PhaseWDeadTimeComp	W 相ゲートの変調率に加算されるデッドタイム補償を示します。
KDeadTime	交流ゼロクロス付近でのデッドタイム補償量を調整する値を示します。
LimitDeadTimeComp	デッドタイム補償を制限する値を示します。
MuRateOut	U 相 PWM の変調率を示します。
MvRateOut	V 相 PWM の変調率を示します。
MwRateOut	W 相 PWM の変調率を示します。
MRateLimHi	変調率の上限値を示します。
MRateLimLo	変調率の下限値を示します。

## 4. 初期化

### 4.1. 初期化ルーチン実行条件

以下条件成立時に初期化ルーチンを実行します。

1. 初回電源投入時
2. リセットスイッチ押下時

### 4.2. 初期化ルーチン

初期化ルーチンは Init()関数の実行により行われ、以下の処理が行われます。

処理 順序	処理内容	処理内容詳細
1	TMS320F28377SPTP の 初期化ピン設定	マイコン (TMS320F28377SPTP) の初期化およびピン設定を行います。ピン設定に関しては前述・2 入出力信号を参照してください。
2	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能初期化、設定	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP の SCOPE 機能を使用することができるよう初期化、設定を行います。
3	AD 変換機能初期化、設定 AD 変換値 - レンジ、オフセット 設定	AD 変換機能を初期化し、AD 変換開始タイミングが PWM 機能から出力される変換開始トリガを受けて AD 変換を開始するように設定 レンジ、オフセット設定については 4.1 定数定義のセンサー値設定用定数を参照してください。
4	コンパレータ機能初期化、設 定	コンパレータ機能を初期化し、U 相過電流、W 相過電流、直流過電圧のいずれかを検知した際に運転が停止するように設定
5	ウォッチドッグタイマー初期化、設 定	ウォッチドッグタイマー機能を初期化し、ClearWDT()関数が前回実行されたタイミングから 13.1ms 以内に再度実行されなかった場合、運転が停止するように設定
6	タイマー機能初期化、設定	タイマー機能を初期化し、割り込みルーチンが 1ms 周期で実行されるように設定
7	PWM 機能初期化、設定	PWM 機能を初期化し、以下のように設定します。  ・PWM 周波数 CARRIERFREQ_HZ(Hz) と同じ値に設定  ・デッドタイム DEADTIME_NSEC(ns) と同じ値に設定  ・比較キャリアの形状 三角波

		<div><p>三角波</p><p>10.0ns ( = 1/100MHz )</p><p>Duty</p><p>1/(CARRIERFREQ_HZ) (s)</p><p>P側出力信号</p><p>DEADTIME_NSEC (ns)</p><p>N側出力信号</p></div> <div><p>・保護機能</p><p>コンパレータにてU相電流過電流,W相電流過電流、直流電圧過電圧のいずれかを検知した際にPWM信号の出力を停止。</p><p>・AD変換開始トリガ出力機能</p><p>三角波キャリアの谷のタイミングでAD変換開始トリガを出力</p></div>
8	システム安定化待ち	1 ~ 7 の処理が終わった後、システム安定化のため 1ms 待機します。
9	割り込み機能設定	一般制御ルーチン、タイマー割り込みルーチンの実行を許可します。

## 5. メインルーチン

本稿では初期化処理関数 Init()の処理が完了した後に実行されるメインルーチン処理について記載します。

本 SW は、一定周期毎に割り込み処理が発生し、各サブルーチンを実行します。

割り込み処理が発生していない場合、メインループが実行されます。

サブルーチン名	割り込み関数名	実行トリガ、周期	処理内容
一般制御ルーチン	PWMIntFunc	トリガ:PWM 機能 周期:50 $\mu$ s (20kHz 動作時) 20 $\mu$ s (50kHz 動作時) 10 $\mu$ s (100kHz 動作時)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・センサー値読み込み</li> <li>・実効値計算</li> <li>・dq 変換</li> <li>・ローパスフィルター処理</li> <li>・線間電圧-&gt;相電圧変換</li> <li>・位相計算</li> <li>・交流電流制御</li> <li>・変調率計算</li> </ul>
タイマー割り込みルーチン	Timer0IntFunc	トリガ:タイマー機能 周期:1ms	<ul style="list-style-type: none"> <li>・待機状態での待機時間計測</li> <li>・運転開始時ソフトスタート処理</li> <li>・異常検出</li> <li>・状態遷移</li> <li>・ローパスフィルター処理</li> <li>・直流電圧制御</li> <li>・センサーオフセット補正</li> </ul>

### 5.1. メインループ

本 SW のメインループ処理を示します。

処理順序	処理内容	処理内容詳細
1	ウォッチドッグタイマー処理	ウォッチドッグタイマーカウンタをリセットし、ウォッチドッグタイマー機能のフラグを確認します。 ウォッチドッグタイマーカウンタをリセットが 13.1ms 以上行われなかった場合、運転を停止します。
2	デジタル信号入力確認	DIO,1,2 の入力状態を確認します。
3	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能更新用処理	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能更新用処理を行います。



## 5.2. 一般制御ルーチン

本 SW は、以下の一般制御ルーチンを持ちます。

一般制御ルーチンは PWMIntFunc()関数にて実行されます。

処理順序	処理内容	処理内容詳細
1	センサー値読み込み	U-V 線間電圧、W-V 線間電圧、U 相電流、W 相電流、直流電圧センサー値を読み込みます。
2	交流電圧位相計算 交流電圧実行値計算	前回の一般制御ルーチンで求めた交流電圧位相情報と、一般制御ルーチン 1 周期分に相当する位相差を足し合わせて交流電圧位相情報を更新します。 また、交流電圧の実効値をセンサー値から算出します。
3	Iuw→Idq 変換 Id,Iq,Iu,Iw ローパスフィルター処理	Iu,Iw の値から d 軸電流値 Id と q 軸電流値 Iq を算出し、Iu,Iw,Id,Iq に対してローパスフィルター処理を施します。
4	相電圧算出 Vu,vw→Vdq 変換 Vd,Vq ローパスフィルター処理	d 軸電圧 Vd および q 軸電圧 Vq を算出するため、Vu,v,Vw,v の値から Vu,Vw,Vv (各相電圧)を算出します。得られた Vu,Vv,Vw に対して dq 変換を行い、ローパスフィルター処理を施します。
5	位相計算	交流電圧位相情報と SW 側の位相情報を同期させるため、VqLPF および VqRef に対して PI 制御演算を行います (PLL 処理)。
6	Id,Iq 制御	VuRef ,VvRef ,VwRef の値を算出するため、Id,Iq に対して PI 制御を行い、d 軸電流制御出力 VdOut、q 軸電流制御出力 VqOut を算出します。
7	三次高調波重畳処理 デッドタイム補償 変調率計算	出力する PWM 波形の変調率を算出します。VuRef ,VvRef ,VwRef の値に対して三次高調波成分重畳処理を行った後、デッドタイム補償処理を行います。 算出された変調率にあわせて、PWM 波形の出力を変更します。

## 5.3. タイマー割り込みルーチン

本 SW は、以下のタイマー割り込みルーチンを持ちます。

タイマー割り込みルーチンは Timer0IntFunc()関数にて実行されます。

処理順序	処理内容	処理内容詳細
1	多重割り込み許可処理	タイマー割り込みルーチン中に一般制御処理ルーチンが発生した場合、一般制御処理ルーチンを優先する設定をします。
2	待機状態での時間計測	待機状態に遷移後、直流電圧安定化待ち時間の測定をします。 待ち時間が 500ms に達した際に充電抵抗を短絡させます。
3	運転開始時ソフトスタート処理	直流電圧指令値である VdcRef の値をシステムが Run 状態に切り替わる瞬間の直流電圧値から 750V に 500ms の時間をかけて増加させることで直流電圧を徐々に上昇させ、750V に昇圧させ、流入電流量を抑える処理です。
4	異常判定処理	DI0,1,2 (ゲートドライバーエラー信号)の状態、直流過電圧、U 相,W 相過電流が発生しているか及びウォッチドッグタイマーの状態を確認し、異常状態を判定します。



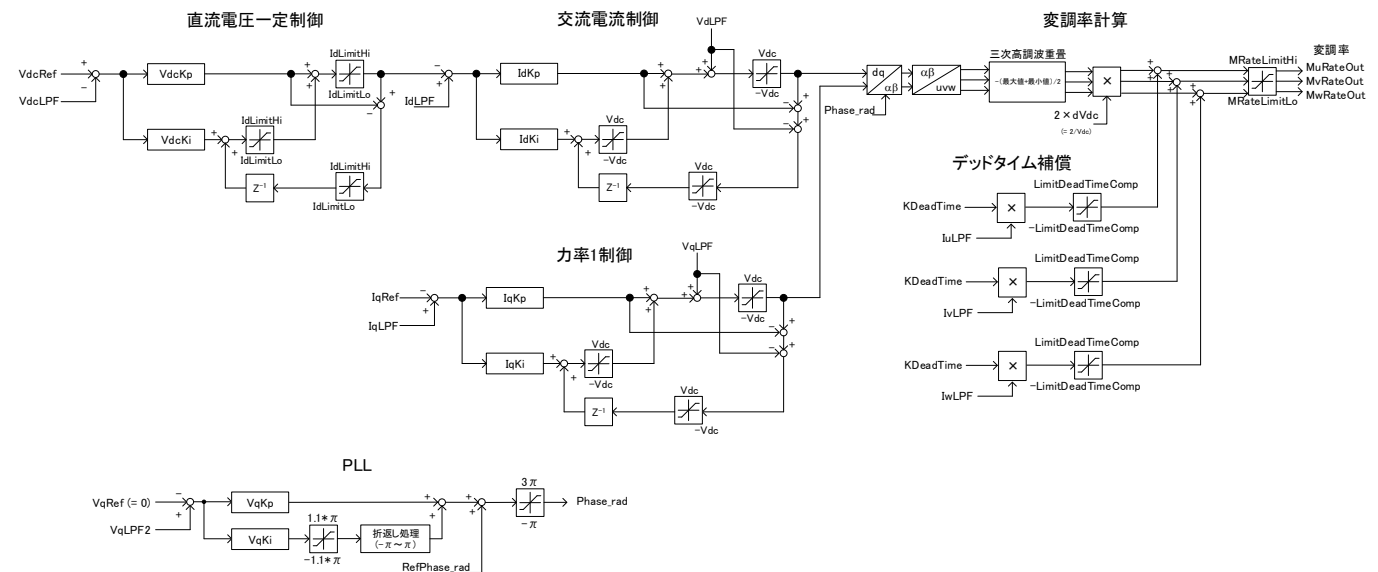
		詳しくは 8.異常判定処理をご覧ください。
5	状態遷移処理	処理実行時のシステムの状態、異常判定処理の結果や各種変数の状態に合わせてシステムの状態を変更します。 詳しくは 3.状態遷移図をご覧ください。
6	ローパスフィルター処理係数算出処理 直流電圧ローパスフィルター処理	Vd,Vq,Id,Iq,Iu,Iw,Vdc に対して施すローパスフィルターの係数の演算を行い、Vdc の値に対してローパスフィルターを施します。
7	直流電圧制御処理	直流電圧指令値である VdcRef の値と VdcLPF の値の偏差を算出し、PI 制御演算を行うことで d 軸電流指令値 IdRef を算出します。 この処理はシステムが Run (運転) 状態のときのみ実行されます。
8	AD 変換 - オフセット誤差補正処理	システムの状態が Init (初期化) 状態の際に、三相交流電源投入前の各センサーの読み取り値を用いてオフセット誤差を計測し、補正処理を行います。補正処理が完了すると FlagCalibEnd の値を 1 に変更します。 上記の処理は CalibAdOffset()関数で行われます。 システムの状態が Init 状態以外の際は上記の処理は行われません。
9	多重割り込み禁止処理	タイマー割り込みルーチン中に一般制御処理ルーチンが発生した場合、一般制御処理ルーチンを優先する設定を解除します。

次ページから本 SW の制御ブロック図を記載しています。

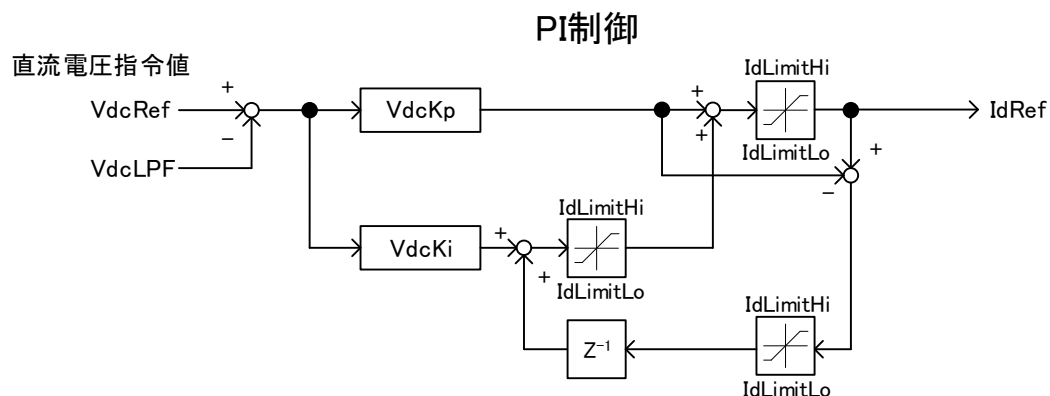
## 5.4. 制御ブロック図

本電源全体の制御ブロック図と、機能ごとの制御ブロック図を記載します。

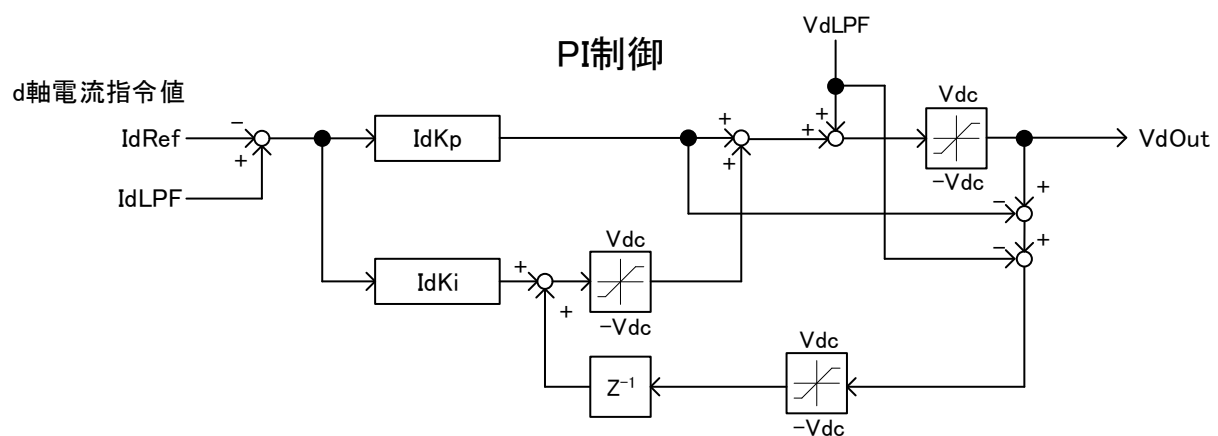
### 1. 3 相 PFC 電源制御



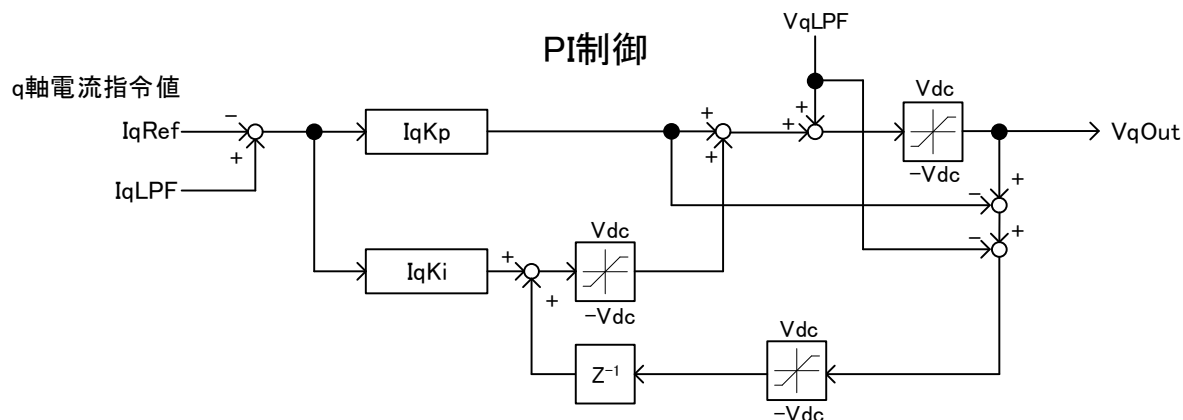
### 2. 直流電圧一定制御



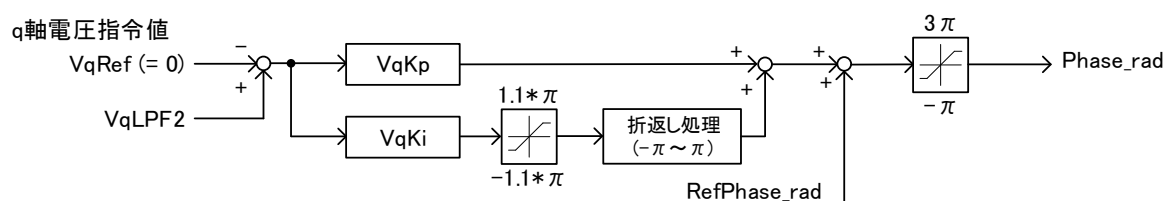
### 3. 交流電流制御



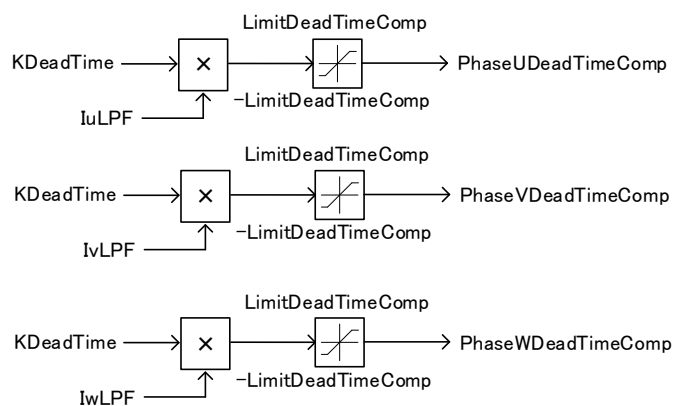
## 4. 力率 1 制御



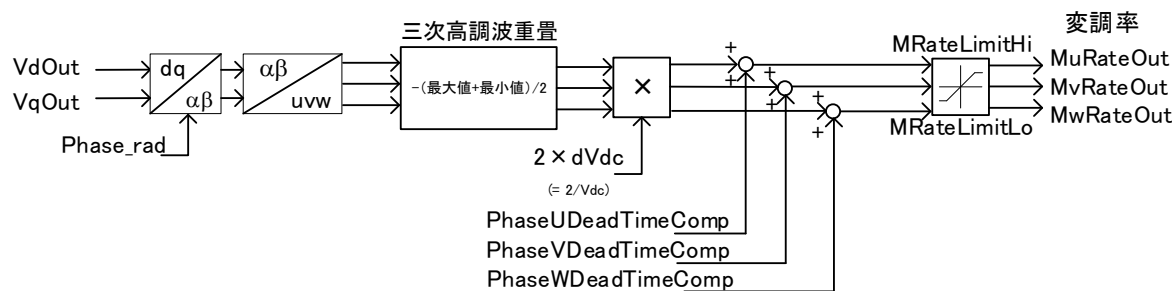
## 5. PLL



## 6. デッドタイム補償



## 7. 変調率計算



## 6. 異常処理

本 SW の異常処理を示します。本 SW では Precharge 状態、Wait 状態、Run 状態の際に交流側電流の過電流、直流側電圧の過電圧、U,V,W 相のゲートドライバーの DESAT 信号検知およびウォッチドッグタイマーがオーバーフローした場合に Error 状態となり、運転を停止します。

運転を停止する際にはすべての PWM 信号の出力を停止し、リセット要求状態となり、リセット SW が押下されるか制御電源が再投入されるまで動作復帰を行いません。

動作復帰を行う場合には以下の手順で動作復帰を行ってください。

1. 3相交流電源との接続を解除してください。
2. リセットスイッチ押下、または制御電源の再投入を行ってください。

## 7. A/D 変換一覧表

A/D 変換一覧表を示します。

Port	pin	測定項目	データ	A/D 変換分解能	フィルター処理
ADCINA2	41	U-V 線間電圧	12bit	0.3977 (V/LSB)	制御回路部でローパスフィルター回路を実装 カットオフ周波数: 22kHz
ADCINA4	39	W-V 線間電圧	12bit	0.3977 (V/LSB)	制御回路部でローパスフィルター回路を実装 カットオフ周波数: 22kHz
ADCINB2	48	U 相電流	12bit	0.02441 (A/LSB)	制御回路部でローパスフィルター回路を実装 カットオフ周波数: 22kHz
ADCIN14 (ADCIND14)	44	W 相電流	12bit	0.02441 (A/LSB)	制御回路部でローパスフィルター回路を実装 カットオフ周波数: 22kHz
ADCINC2	31	直流電圧	12bit	0.2285 (V/LSB)	制御回路部でローパスフィルター回路を実装 カットオフ周波数: 22kHz

## ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス＆ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本電源」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本電源をダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本電源を破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本電源を破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

### 第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本電源は、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本電源を販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本電源は、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本電源を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用しないでください。

### 第2条 保証制限等

1. 本電源は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
2. 本電源は参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本電源を参考に機器設計を行う場合は、誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本電源を参考に機器設計を行う場合は、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断して下さい。当社は、適用可否に対する責任は負いません。
5. 本電源は、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
6. 当社は、本電源に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本電源に関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

### 第3条 輸出管理

お客様は本電源を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用してはなりません。また、お客様は「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守しなければなりません。

### 第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。