

Vision-based Navigation Software 仕様書

CANON INC.

Revision 2.0.0_r1

2022/01/21

目次

改訂履歴	1
1. 概要	2
1.1. Vision-based Navigation Software (VNS)	2
1.2. 用語の説明	2
1.2.1. 座標系	2
1.2.2. 位置姿勢の自由度	4
1.2.3. カメラ取付位置	6
1.2.4. 特徴点	7
1.2.5. 地図名	7
2. 外部仕様	8
2.1. 通信仕様	8
2.1.1. 基本指針	8
2.1.2. IPアドレス設定	8
2.1.3. コマンド	8
2.2. コマンド一覧	10
2.3. パケットフォーマット	12
2.3.1. ヘッダ	13
2.3.2. ペイロード	15
2.3.3. 各状態におけるコマンドの応答ステータス	23
2.4. 状態遷移	26
2.4.1. システム状態	26
2.4.2. 動作モード	28
2.4.3. エラー状態	30
2.4.4. 警告状態	31
2.4.5. 通信状態	32
2.5. エラー一覧	32
2.6. 警告一覧	34
2.7. シーケンス	34
2.7.1. 基本シーケンス	34
2.8. 非機能仕様	36
3. アプリケーションノート	38
3.1. AGVで持つべき状態	38
3.2. コマンド列とサンプルシーケンス	39
3.3. 変数	41
3.4. サンプルUI	42

3.5. AGVの座標系とVNSの座標系の変換	46
3.5.1. AGVの座標系とVNSの座標系の変換例	46
3.5.2. カメラ取付位置に関して	47
3.6. カメラの取付角について	48
3.7. 動作推奨環境	49
4. 運用フロー	50
4.1. 事前準備	50
4.2. 地図作成	50
4.2.1. ループクローズ	50
4.2.2. 複数地図の作成	53
4.2.3. 地図の容量について	53
4.3. ローカライズ(位置計測)	53
4.3.1. 地図更新について	53
4.3.2. 地図更新時の地図の容量に関して	54
4.3.3. 位置姿勢計測復帰処理について	54
4.3.4. 地図の切り替え	55
5. 運用状況確認機能	56
5.1. ステータス表示	56
5.2. ログ収集	56
5.3. 地図収集	56
Appendix A: 6自由度位置姿勢の座標系	57
Appendix B: ライセンス	58

改訂履歴

Rev.	日付	内容
1.0	2020.6.11	新規作成
2.0.0	2021.4.12	コマンドMPST, SETM, GETM, MPFNを追加 非機能仕様を修正 地図作成についての説明を4.運用フローに移動
2.0.0_r1	2022.1.21	Appendixにライセンスを追加

1. 概要

1.1. Vision-based Navigation Software (VNS)

Vision-based Navigation Software (VNS) は、移動体に搭載されたステレオカメラによって撮影されたステレオ画像を用いてリアルタイムに移動体の位置姿勢を計測するソフトウェアである。本ドキュメントでは、AGV (Automated Guided Vehicle、無人搬送車) の位置姿勢計測への適用を想定したVNSの仕様について説明する。

1.2. 用語の説明

本文書における用語を以下で説明する。

1.2.1. 座標系

VNSで利用する座標系について説明する。VNSでは、カメラ座標系、AGV座標系、世界座標系の3つの座標系を利用する。なお、座標系はすべて右手系である。

表 1. 座標系

名前	説明
カメラ座標系	カメラ上に規定された3次元の座標系。ステレオカメラにおけるカメラ座標系のことを指す。世界座標系に対してカメラの移動とともに動く。原点は左カメラのレンズ中心。X軸が左カメラのレンズの光軸方向（手前）。Y軸、Z軸がそれぞれ左カメラが撮影する画像面の水平（左）、垂直方向（上）。
AGV座標系	AGV上に規定された3次元の座標系。AGVの中心を原点、前方向をX軸、左方向をY軸、垂直方向（上）をZ軸とする。カメラ座標系とAGV座標系の相対位置姿勢は固定されているものとする。世界座標系に対してAGVの移動とともに動く。
世界座標系	実空間上に規定された3次元の座標系。位置姿勢計測の基準となる座標系である。VNSでは地図作成開始時点でのAGV座標系を世界座標系とする。

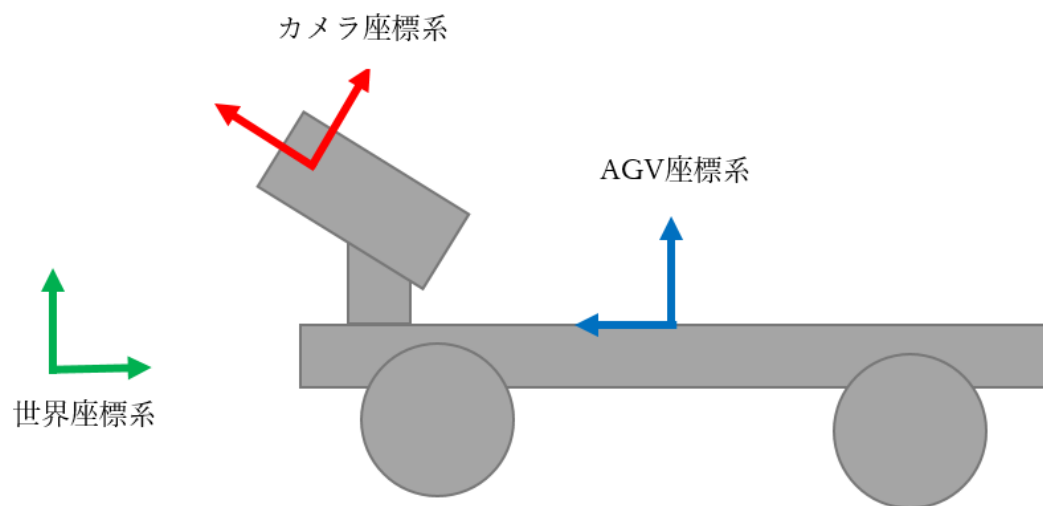


図 1. VNSにおける座標系

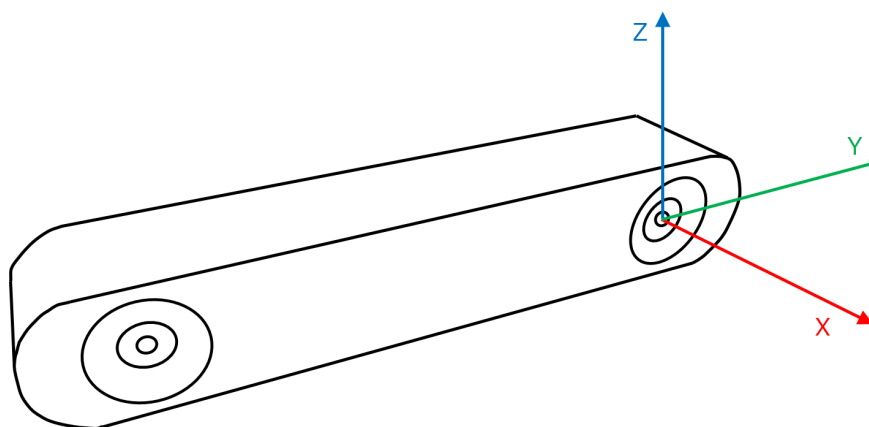


図 2. カメラ座標系

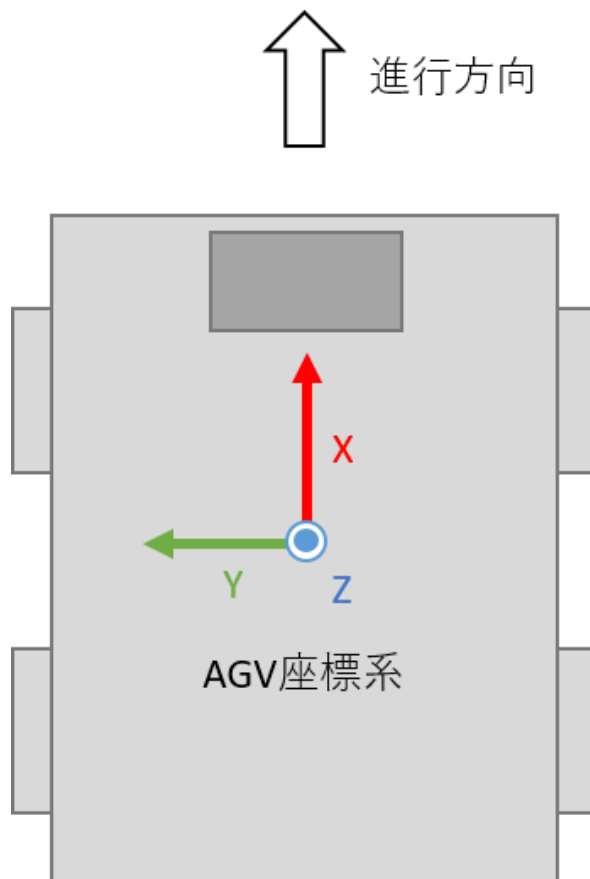


図 3. AGV座標系

1.2.2. 位置姿勢の自由度

VNSは、6自由度位置姿勢と3自由度位置姿勢の両方を出力する。AGVの制御には3自由度位置姿勢を利用する。

1.2.2.1. 6自由度位置姿勢

3自由度の位置、3自由度の姿勢によって表現される3次元空間中の位置姿勢。3自由度の姿勢は、ノルムが回転角、方向が回転ベクトルを表す3次元ベクトル(ω_x , ω_y , ω_z)により表す。VNSは、世界座標系を基準としたカメラの6自由度位置姿勢を出力する。6自由度位置姿勢の基準となる座標系の詳細については[6自由度位置姿勢の座標系](#)を参照。

表 2. 6自由度位置姿勢

種類	パラメータ	説明
位置	t_x	X成分 (単位mm)
	t_y	Y成分 (単位mm)
	t_z	Z成分 (単位mm)

種類	パラメータ	説明
姿勢	ω_x	回転軸（X成分） × 回転角（単位rad）
	ω_y	回転軸（Y成分） × 回転角（単位rad）
	ω_z	回転軸（Z成分） × 回転角（単位rad）

1.2.2.2. 3自由度位置姿勢

2自由度の位置、1自由度の姿勢（方向）によって表現される2次元平面（世界座標系におけるXY平面）上の位置姿勢。AGVの位置姿勢は、世界座標系における3自由度の位置姿勢によって表される。VNSは、6自由度の位置姿勢を3自由度のAGVの位置姿勢に変換して出力する。

表 3. 3自由度位置姿勢

種類	パラメータ	説明
位置	t_x	X成分（単位mm）
	t_y	Y成分（単位mm）
姿勢	θ	方向（単位°）

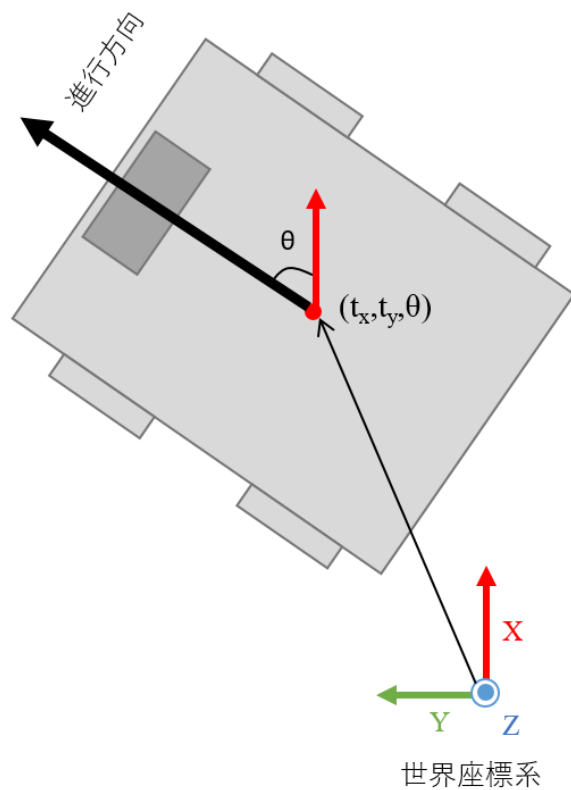


図 4. 3自由度位置姿勢

1.2.3. カメラ取付位置

カメラ取付位置とは、AGV座標系を基準としたカメラ基準点の位置および姿勢のことであり、位置と姿勢はそれぞれ3自由度で表現される。姿勢の回転順番は $W_p \rightarrow W_y \rightarrow W_r$ である。VNSは、AGVから設定されたカメラ取付位置を用いて、6自由度位置姿勢を3自由度位置姿勢に変換する。なお、カメラ取付位置はコントローラのストレージ上で保持するため、初回起動時に一度だけ設定すればよい。

表 4. カメラ取付位置

種類	パラメータ	説明
位置	T_x	X成分（単位mm）
	T_y	Y成分（単位mm）
	T_z	Z成分（単位mm）
姿勢	W_p	ピッチ角（単位°）：Y軸周り カメラが上向きの場合は負数
	W_y	ヨー角（単位°）：Z軸周り
	W_r	ロール角（単位°）：X軸周り

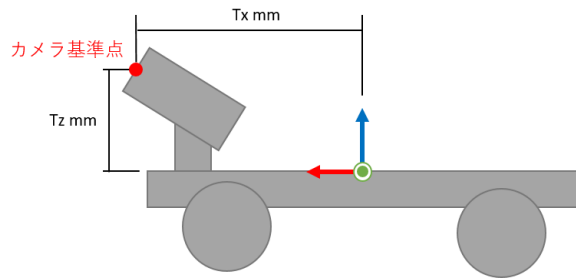


図 5. カメラ取付位置

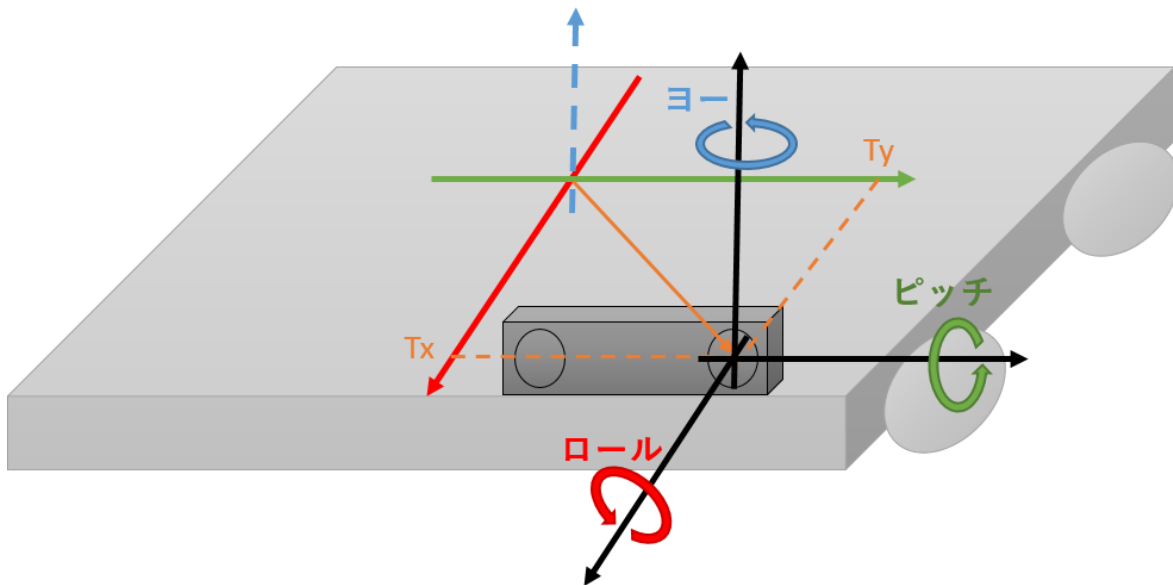


図 6. カメラ取付位置2

1.2.4. 特徴点

エッジの交差やコーナ等、シーン中で特徴的な点。

1.2.5. 地図名

作成する地図に紐づくユニークな名前であり、以下のフォーマットに従う。

1. 半角英数字と"_"で構成された1文字以上16文字以下の文字列
2. 大文字小文字を区別

1.2.5.1. 使用地図名

現在のVNSに設定されている単一の地図名。

VNS起動時は「DEFAULT_MAP」が設定されている。

(使用地図名は後述するSETM/GETMコマンドで設定/取得可能)

2. 外部仕様

本章では、VNSの外部仕様を説明する。

2.1. 通信仕様

VNSはAGVとTCP/IP経由で通信することで動作するソフトウェアである。
本節では、通信仕様について説明する。

2.1.1. 基本指針

- TCP/IPのパケット通信によりコマンドと応答の送受信を行う。
- VNSがTCPサーバ、AGVがTCPクライアントとなる。
 - VNSはLISTEN状態で待機し、AGVからのコネクション要求によりコネクション確立する
 - 確立するコネクションの数は1つのみとする。コネクション確立後の他のクライアントからのコネクション要求はエラーとなる。
 - コネクションを解放した場合、VNSは再びLISTEN状態に戻る
 - VNSはTCPクライアントとの通信に55550番のポートを利用する。またVNS内部で55555番のポートを利用する。
- AGVからコマンド要求パケット（後述）を送り、VNSがそれに対するコマンド応答パケットを返送する
 - VNS主導でメッセージを送る通信方式（イベント等）は採用していない
 - VNSが異常状態であってもVNSから通知しないため、AGV主導でVNSの状態を確認する必要がある
- VNSはタイムアウト機能を設けていない

2.1.2. IPアドレス設定

- VNSを使用する際にはVNSがインストールされたコントローラのIPアドレスを事前に設定しておく。

2.1.3. コマンド

- VNSを操作するための指示のことをコマンドと呼ぶ
- VNSはAGVからのコマンド要求パケットを受信し、それに対するコマンド応答パケットを返送する
 - VNSは要求のあったコマンドをFIFOキューに保存し、逐次的にコマンドの実行および

応答パケットの返送を行う

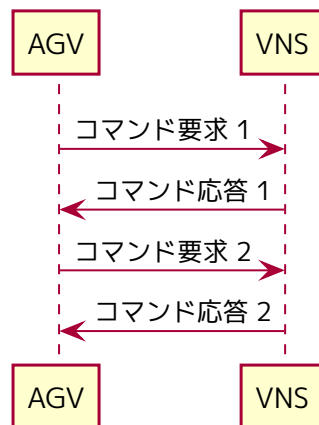


図 7. コマンドの要求・応答

- VNSでのコマンド実行時間の目安は[コマンド一覧](#)を参照のこと
- コマンド要求パケット送信後にコネクション切断した場合、VNSでFIFOキューに格納されている未実行のコマンドは破棄される

2.2. コマンド一覧

VNSがサポートするコマンド一覧を以下に示す。

表 5. コマンド一覧

カテゴリ	コマンド名 (4文字)	操作	実行時間目安	備考
接続	OPEN	VNSへの接続	5 ms	
	CLSE	VNSへの接続解除	5 ms	
時刻同期	SYNC	時刻を同期	1 ms	
位置姿勢計測	STRT	地図作成モードの開始	20 s	
		位置姿勢計測モードの開始	20 s (100m移動時)	
	STOP	地図作成モードの終了	20 s (100m移動時)	
		位置姿勢計測モードの終了	5 s	
	RESM	エラー発生等により中断した地図作成モード/位置姿勢計測モードの再開	1 ms	エラーの種類によって再開可否が異なる RESUME可否は エラー一覧 を参照のこと
	POSE	VNSが計測する位置姿勢の取得/地図状態の取得	1 ms	動作モード=IDLEの時は実行不可

カテゴリ	コマンド名 (4文字)	操作	実行時間目安	備考
状態取得	SYST	システム状態、動作モードを取得	1 ms	
	CMST	通信状態を取得	1 ms	
	ERST	エラー状態と警告状態を取得	1 ms	
	MPST	地図作成モードで作成中の地図の、最大メモリ使用量(6GB)に対するメモリ使用率(0.0-1.0),メモリ使用量(MB),地図のおおよその長さ(m)を取得	1 ms	・ 地図作成モード時のみ実行可。保存済みの地図の情報はMPFNコマンドのPROPERTYで取得する。
カメラ取付位置設定	SETC	カメラ取付位置を設定	5 ms	
	GETC	設定中のカメラ取付位置を取得	1 ms	

カテゴリ	コマンド名 (4文字)	操作	実行時間目安	備考
地図設定	SETM	使用地図名を設定	1 ms	動作モード=IDLEの時のみ実行可 これまでに設定されていない地図名を設定した時に地図数が上限数を超える場合はペイロードエラーが発生する OPENコマンド実行時に、使用地図名は初期値 (DEFAULT_MAP) に設定される
	GETM	使用地図名を取得	1 ms	
	MPFN	地図に関する汎用機能の実行	1 s (最も時間がかかる機能である地図削除実行時。上記数字は1000mの地図削除時)	地図全般に関する処理を実行 機能によって処理時間にばらつきが存在する
終了	SHTD	VNSを終了	1 ms	VNSを終了しOSをシャットダウンする 未接続状態でも実行可能

2.3. パケットフォーマット

パケットフォーマットとは、TCP/IPのヘッダを除いたパケットのフォーマットである。

表 6. パケットフォーマット

レイヤー	パケット長	形式
ヘッダ	固定長 (12バイト)	バイナリ (ビッグエンディアン)
ペイロード	可変長	ASCII文字

2.3.1. ヘッダ

コマンド要求パケット、コマンド応答パケットのヘッダの構成を以下に示す。

2.3.1.1. コマンド要求

0	8	16	24	32
0xff	0x00	ペイロード長		
パケットID				
コマンド (1文字目)	(2文字目)	(3文字目)	(4文字目)	

図 8. ヘッダの構成

表 7. ヘッダの構成説明

フィールド	サイズ（単位 バイト）	データ型	値域	説明	備考
ヘッダ識別キ ー	1	8ビット符号 なし整数	0xff	ヘッダを識別 するためのキ ー	定義と異なる 場合、VNSは 当該パケット を無視する
	1	8ビット符号 なし整数	0x00		
ペイロード長	2	16ビット符号 なし整数	0～1000	ペイロードの サイズ（単位 バイト）	VNSはこのフ ィールド値の サイズのデー タを受信し終 わるまで待つ
パケットID	4	32ビット符号 なし整数	0～42949672 95	コマンド要求 とコマンド応 答を対応付け るID	VNSはコマン ド要求に格納 されたパケッ トIDをコマン ド応答のパケ ットIDとして 格納する
コマンド	4	文字型配列	コマンド一覧 を参照	コマンド名（ ASCII形式4文 字）	

2.3.1.2. コマンド応答

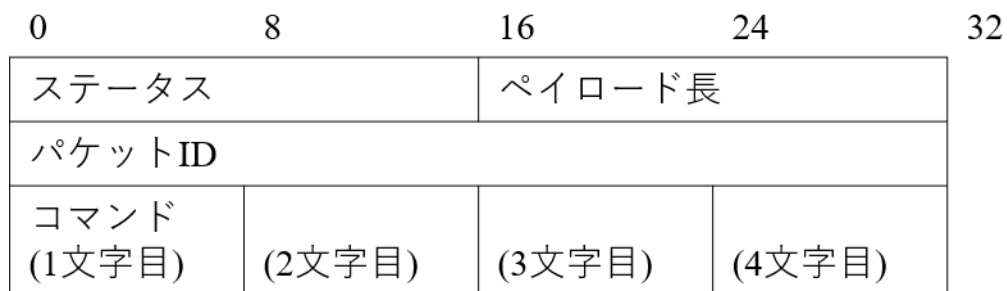


図 9. ヘッダの構成

表 8. ヘッダの構成説明

フィールド	サイズ（単位 バイト）	データ型	値域	説明	備考
ステータス	2	16ビット符号 なし整数	ステータス一 覧 を参照	コマンド応答 のステータス を示す数値	
ペイロード長	2	16ビット符号 なし整数	0～1000	ペイロードの サイズ（単位 バイト）	
パケットID	4	32ビット符号 なし整数	0～42949672 95	コマンド要求 とコマンド応 答を対応付け るID	VNSはコマン ド要求に格納 されたパケッ トIDをコマン ド応答のパケ ットIDとして 格納する
コマンド	4	文字型配列	コマンド一 覧 を参照	コマンド名（ ASCII形式4文 字）	

表 9. ステータス

ステータス	説明
0	正常 このステータスの場合のみコマンドは実行される
1	パケットフォーマットエラー 受信パケットがフォーマットに従っていない コマンド名がサポート対象外の場合、応答のコマンド名には"NONE"が格納される

ステータス	説明
2	未接続エラー 通信状態=OFFLINEの時に無効なコマンドを受信した エラーとなるコマンドについては各状態におけるコマンドの応答ステータスをご参照ください
3	動作モードエラー 下記状態で下記コマンドを受信した エラーとなるコマンドについては各状態におけるコマンドの応答ステータスをご参照ください
4	ペイロードエラー ペイロードのデータ（コマンドパラメータ）が不正であるためコマンドが実行できない
99	上記以外のエラー

2.3.2. ペイロード

ペイロードはコマンドのオプションデータを示す。

- ASCII文字のCSV形式（区切り文字はカンマ",") で構成される
- 小数のパラメータの場合、整数部は最大9桁、小数部は3桁（小数第4位を四捨五入）
 - コマンド要求：小数部は最大3桁
 - コマンド応答：小数部は常時3桁

表 10. コマンドごとのペイロードフォーマット

コマンド	パケット種別	ペイロードフォーマット	例
OPEN	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	-	-
CLSE	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	-	-
SYNC	コマンド要求	現在時刻 現在時刻（13桁以下の符号なし整数）：UNIX時間（単位ミリ秒）	1577804400000 2020/1/1 00:00:00 の例
	コマンド応答	-	-

コマンド	パケット種別	ペイロードフォーマット	例
STRT	コマンド要求	動作モード 動作モード（文字列）： MAP, LOCALIZE	MAP
	コマンド応答	-	-
STOP	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	地図保存結果 地図保存結果（文字列、 地図を保存したか否か） ： MAP_SAVED, MAP_NOT_SAVED 動作モード=LOCALIZE の場合は地図は保存され ないため常にMAP_NOT_ SAVEDとなる。 動作モード=MAPの場合 、作成された地図が無効 で保存されない場合（例 ：STRTコマンド実行後、 AGVを一切移動させない 場合）やストレージ容量 の不足や内部エラーが原 因で地図が保存されない 場合にMAP_NOT_SAVED となる。	MAP_SAVED
RESM	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	-	-

コマンド	パケット種別	ペイロードフォーマット	例
POSE	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	<p>信頼度,時刻,$t_x, t_y, \theta, t_x, t_y, t_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$,地図最適化状態,ループクローズ</p> <p>信頼度（文字列）：信頼度を参照</p> <p>時刻（13桁符号なし整数）：UNIX時間(単位ミリ秒)</p> <p>3自由度位置姿勢（小数） ：位置t_x, t_y[mm]、姿勢θ[°]</p> <p>6自由度位置姿勢（小数） ：位置t_x, t_y, t_z[mm]、姿勢$\omega_x, \omega_y, \omega_z$[rad]</p> <p>地図最適化状態（文字列、地図が最適化済みか否か）：MAP_GOOD, MAP_BAD</p> <p>STRT実行時の位置まで戻り、地図が最適化されるとMAP_GOODになります</p> <p>ループクローズ（文字列、ループクローズ確認用のオプションデータ）：LOOP, NO_LOOP</p>	GOOD,123456789,1.111,2.222,3.333,4.444,5.555,6.666,0.777,0.888,0.999,MAP_GOOD,NO_LOOP
SYST	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	<p>システム状態,動作モード</p> <p>システム状態（文字列） ：IDLE,RUN</p> <p>動作モード（文字列）：IDLE, MAP, MAP_SUSPENDED, LOCALIZE, LOCALIZE_SUSPENDED</p>	RUN,LOCALIZE
CMST	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	<p>通信状態</p> <p>通信状態（文字列）：OFFLINE,ONLINE</p>	ONLINE

コマンド	パケット種別	ペイロードフォーマット	例
ERST	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	エラー状態,エラー数, エラーNo,...エラーNo ,警告状態,警告数,警告 No,...警告No エラー状態(文字列) : NO_ERROR, ERROR エラー数(符号なし整数)) エラーNo(符号なし整数)) : エラー一覧参照 警告状態(文字列) : NO _WARN, WARN 警告数(符号なし整数) 警告No : 警告一覧参照	ERROR,2,101,201,NO _WARN,0
MPST	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	メモリ使用率,メモリ 使用量(MB),地図のお およその長さ(m) メモリ使用率(小数) メモリ使用量(小数) 地図のおおよその長さ(小数) メモリ使用率の 下限値: 0.000、上限値: 1.000	0.999,1234.567,123.4 56
SETC	コマンド要求	$T_X, T_Y, T_Z, W_P, W_Y, W_R$ カメラ取付位置(小数) : 位置 T_X, T_Y, T_Z [mm]、姿 勢 W_P, W_Y, W_R [°])	10.0,20.0,30.0,4.0,5.0, 6.0
	コマンド応答	-	-
GETC	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	$T_X, T_Y, T_Z, W_P, W_Y, W_R$ カメラ取付位置(小数) : 位置 T_X, T_Y, T_Z [mm]、姿 勢 W_P, W_Y, W_R [°])	10.000,20.000,30.000, 4.000,5.000,6.000

コマンド	パケット種別	ペイロードフォーマット	例
SETM	コマンド要求	地図名 地図名（文字列） 文字数については 地図名 を参照。	MAP1
	コマンド応答	-	-
GETM	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	使用地図名 使用地図名（文字列）	MAP1
MPFN	コマンド要求	サブコマンド名,サブコマンドのペイロードフォーマット サブコマンド名（文字列）：実行するサブコマンド サブコマンドのペイロード：サブコマンドを実行する上で必要となる情報（ 地図関連サブコマンド を参照）	地図関連サブコマンド を参照
	コマンド応答	実行結果 地図関連サブコマンド を参照	地図関連サブコマンド を参照
SHTD	コマンド要求	-	-
	コマンド応答	-	-

2.3.2.1. 信頼度

位置姿勢計測結果の信頼度を示す値である。

表 11. 信頼度

信頼度	位置姿勢計測成否	計測精度	AGV移動制御（推奨）
GOOD	成功	良い	通常走行
WEAK	成功	不安定	低速走行
BAD	成功	悪い	一時停止
LOST	失敗	-	一時停止

2.3.2.2. 地図関連サブコマンド

MPFNで実行できるサブコマンドを以下に示す。

表 12. MPFNのコマンド一覧

サブコマンド名	機能	パケット種別	サブコマンドに対するペイロードフォーマット	MPFN実行時のペイロード例	備考
LIST	地図リストを取得	コマンド要求	-	LIST	-
		コマンド応答	地図数,地図名 ...,地図名 地図数（符号なし整数）：使用地図と作成済みの地図の総数 地図名（文字列） 地図名出力順序 ： 1. DEFAULT_MAP 2. 作成済み地図名 3. 使用地図名（作成済みでない、かつDEFAULT_MAPでない場合）	3,DEFAULT_MAP,MAP1,MAP2	-
DELETE	地図の削除	コマンド要求	地図名 地図名（文字列）	DELETE,MAP1	下記の場合はペイロードエラーとなる ・存在しない地図名を指定 ・使用地図名を指定 ・"DEFAULT_MAP"を指定
		コマンド応答	-	-	-

サブコマンド名	機能	パケット種別	サブコマンドに対するペイロードフォーマット	MPFN実行時のペイロード例	備考
PROPERTY	地図のプロパティを取得	コマンド要求	地図名 地図名（文字列）	PROPERTY,MAP1	-
		コマンド応答	地図バージョン,作成状況,ループクローズ成否,地図要素数,経路長,地図関連総ファイルサイズ,カメラID 地図バージョン（符号なし整数） 作成状況（文字列）：NOT_CREATED,CREATED,CREATING ループクローズ成否（文字列）：NO_LOOP,LOOP 地図要素数（符号なし整数） 経路長（小数） 地図関連総ファイルサイズ（小数） カメラID（文字列）	13,CREATED,LOOP,111,222.222,33.333,3F2504E0-4F89-11D3-9A0C-0305E82C3301	・ 下記の場合はペイロードエラーとなる ・ 存在しない地図名を指定

2.3.2.3. 地図のプロパティ項目

地図に関する情報であり、MPFN(PROPERTY)によって取得できる。

地図バージョンや作成状況によっては取得できない地図情報があるため、その項目については 初期値が設定されている。

表 13. 地図のプロパティ

単語	初期値	説明
地図バージョン	0	ファイルバージョン

単語	初期値	説明
作成状況	"NOT_CREATED"	地図が作成完了しているかの状態
ループクローズ成否	"NO_LOOP"	地図が閉経路（ループクローズ）になっているかの状態
地図要素数	0	地図を構成する要素数
経路長	0.000	地図の長さ[m]
地図関連ファイルサイズ	0.000	地図を構成するファイル群のサイズ[MB] （保存容量）
カメラID	""（空文字）	使用するカメラのID （使用カメラの機種依存）

作成状況の状態遷移を示す。

CREATEDになった地図は、VNSの再起動やCLSEコマンド実行しても状態は保存される。

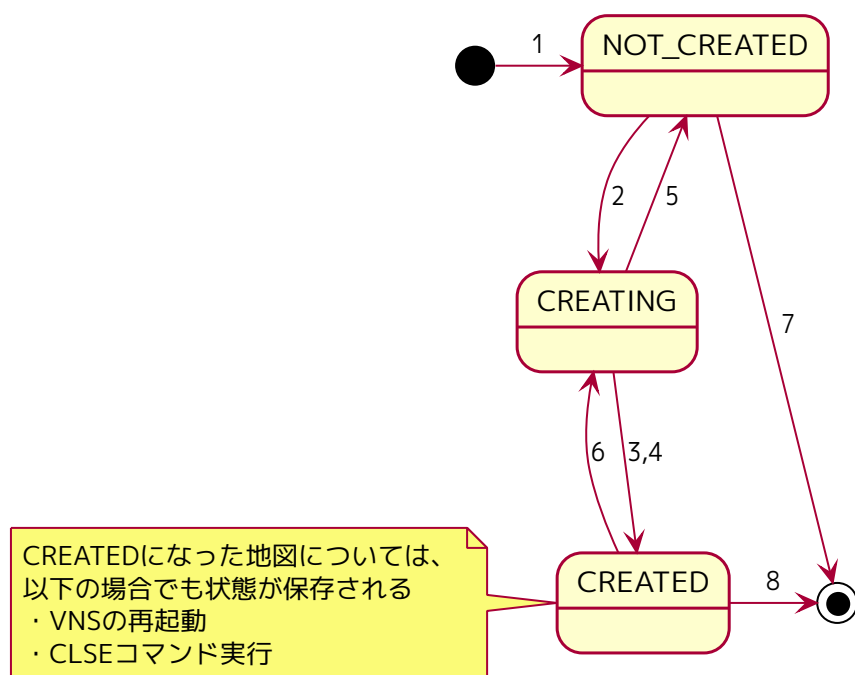


図 10. 作成状況の状態

表 14. 作成状況の状態遷移テーブル

No	現在の状態	トリガ	次の状態	コメント
1	-	新規の地図名でSETMコマンド実行時	NOT_CREATED	地図作成準備

No	現在の状態	トリガ	次の状態	コメント
2	NOT_CREATED	動作モードがMAPに遷移	CREATING	地図作成中
3	CREATING	動作モードがMAPモード時にSTOPコマンド実行、かつ地図作成が成功	CREATED	地図作成完了
4	CREATING	動作モードがMAPモード時にSTOPコマンド実行、かつ地図作成が失敗、かつ地図が既に存在する	CREATED	地図上書き失敗
5	CREATING	動作モードがMAPモード時にSTOPコマンド実行、かつ地図作成が失敗、かつ地図が存在しない	NOT_CREATED	地図作成失敗
6	CREATED	動作モードがMAPに遷移	CREATING	地図作成中（上書き）
7	NOT_CREATED	地図未作成の別の地図名でSETMコマンド実行時	-	地図未作成終了
8 （コマンド指定地図が対象）	CREATED	作成済み地図名でMPFN(DELETE)コマンド実行時	-	地図削除

2.3.3. 各状態におけるコマンドの応答ステータス

各状態において各コマンドを実行した時の応答ステータス一覧を以下に示す。

2.3.3.1. 通信状態

コマンド/状態	ONLINE	OFFLINE
OPEN	0	0
CLSE	0	0
SYNC	0	2
STRT	0	2

STOP	0	2
RESM	0	2
POSE	0	2
SYST	0	2
CMST	0	0
ERST	0	2
MPST	0	2
SETC	0	2
GETC	0	2
SETM	0	2
GETM	0	2
MPFN	0	2
SHTD	0	0

2.3.3.2. システム状態

- 通信状態=ONLINEとする

コマンド/状態	INIT	IDLE	RUN	TERM
OPEN	N/A	0	0	N/A
CLSE	N/A	0	0	N/A
SYNC	N/A	0	0	N/A
STRT	N/A	0	3	N/A
STOP	N/A	0	0	N/A
RESM	N/A	3	(動作モードとエラー状態による)	N/A
POSE	N/A	3	0	N/A
SYST	N/A	0	0	N/A
CMST	N/A	0	0	N/A
ERST	N/A	0	0	N/A
MPST	N/A	3	(動作モードによる)	N/A
SETC	N/A	0	3	N/A

GETC	N/A	0	0	N/A
SETM	N/A	0	3	N/A
GETM	N/A	0	0	N/A
MPFN	N/A	0	0	N/A
SHTD	N/A	0	0	N/A

2.3.3.3. 動作モード

- 通信状態=ONLINEとする

コマンド/状態	IDLE	MAP	MAP_SUSPENDED	LOCALIZE	LOCALIZE_S USUPENDED
OPEN	0	0	0	0	0
CLSE	0	0	0	0	0
SYNC	0	0	0	0	0
STRT	0	3	3	3	3
STOP	0	0	0	0	0
RESM	3	3	0 (NO_ERROR 状態時)	3	0 (NO_ERROR 状態時)
			3 (ERROR状態 時)		3 (ERROR状態 時)
POSE	3	0	3	0	3
SYST	0	0	0	0	0
CMST	0	0	0	0	0
ERST	0	0	0	0	0
MPST	3	0	0	3	3
SETC	0	3	3	3	3
GETC	0	0	0	0	0
SETM	0	3	3	3	3
GETM	0	0	0	0	0
MPFN	0	0	0	0	0
SHTD	0	0	0	0	0

2.4. 状態遷移

VNSにおける状態遷移を以下に示す。

2.4.1. システム状態

システムとは、VNSのソフトウェア全体のことである。VNSのシステム状態を示す。

表 15. システム状態定義

状態	説明	期待するアクション
INIT	システムが初期化中の状態	なし 初期化処理が完了したら状態遷移
IDLE	システムがアイドル中の状態	STRTコマンド要求により動作開始
RUN	システムが動作中の状態	動作停止する場合はSTOPコマンドを要求
TERM	システムが終了処理中の状態	なし

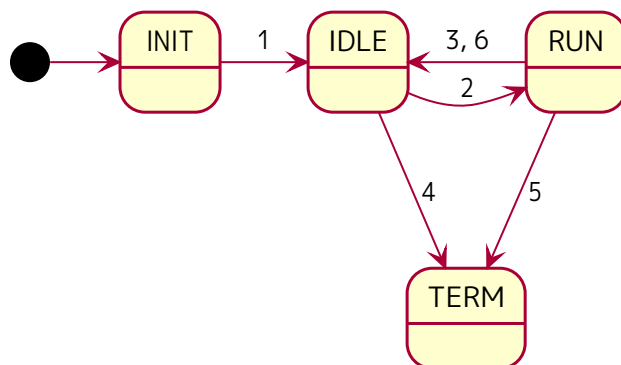


図 11. システム状態

表 16. システム状態の状態遷移テーブル

No	現在の状態	トリガ	次の状態	アクション	コメント
1	INIT	VNS起動	IDLE	初期化処理	初期化中
2	IDLE	動作モードがMAPあるいはLOCALIZEに遷移	RUN	動作モード実行	動作開始
3	RUN	動作モードがIDLEに遷移	IDLE	動作モード停止	動作停止

No	現在の状態	トリガ	次の状態	アクション	コメント
4	IDLE	SHTDコマンド実行	TERM	終了処理	終了中
5	RUN	SHTDコマンド実行	TERM	終了処理	終了中
6	RUN	コネクション切断	IDLE	動作モード停止	動作停止

2.4.2. 動作モード

VNSの動作モードを示す。

表 17. 動作モード定義

状態	説明	期待するアクション
IDLE	地図作成/位置姿勢計測を開始可能な状態	STRTコマンド要求により地図作成/位置姿勢計測を開始
MAP	地図作成中の状態	地図作成を終了する場合はSTOPコマンドを要求
LOCALIZE	位置姿勢計測中の状態	位置姿勢計測を終了する場合はSTOPコマンドを要求
MAP_SUSPENDED	地図作成を一時停止している状態	エラー状態がNO_ERRORであることを確認した後、RESMコマンドを要求
LOCALIZE_SUSPENDED	位置姿勢計測を一時停止している状態	エラー状態がNO_ERRORであることを確認した後、RESMコマンドを要求

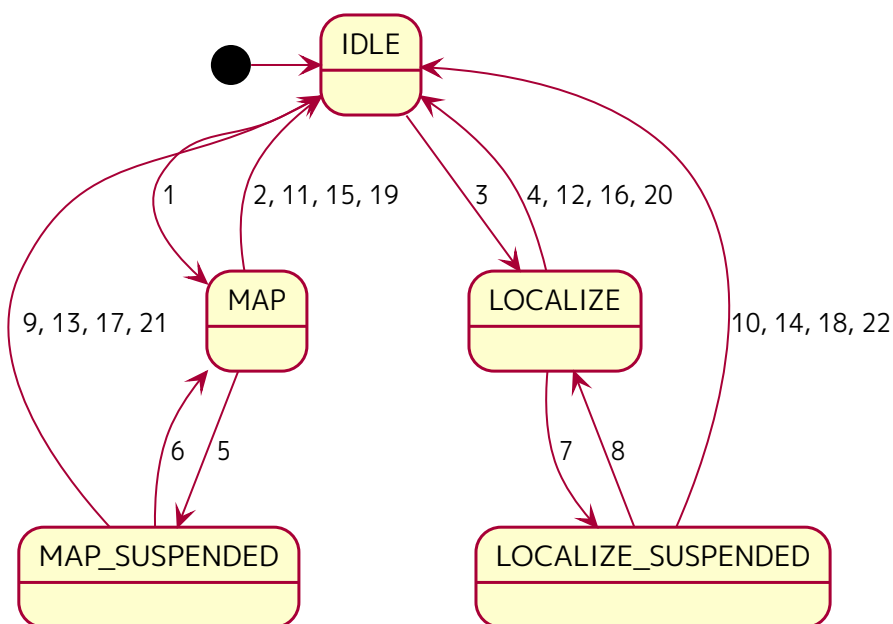


図 12. 動作モード

表 18. 動作モードの状態遷移テーブル

No	現在の状態	トリガ	次の状態	アクション	コメント
1	IDLE	STRT(MAP)コマンド実行、かつ通信状態がONLINE	MAP	地図作成の開始	地図作成モードを開始
2	MAP	STOPコマンド実行	IDLE	地図作成の停止 地図の保存	地図作成モードを終了
3	IDLE	STRT(LOCALIZE)コマンド実行、かつ通信状態がONLINE	LOCALIZE	地図の読込 位置姿勢計測の開始	位置姿勢計測モードを開始
4	LOCALIZE	STOPコマンド実行	IDLE	位置姿勢計測の停止	位置姿勢計測モードを終了
5	MAP	エラー状態がERRORに遷移	MAP_SUSPENDED	地図作成の一時停止	MAP_SUSPENDEDの間、地図は作成されません
6	MAP_SUSPENDED	RESMコマンド実行、かつエラー状態がNO_ERROR	MAP	地図作成の再開	地図作成モードの再開
7	LOCALIZE	エラー状態がERRORに遷移	LOCALIZE_SUSPENDED	位置姿勢計測の一時停止	
8	LOCALIZE_SUSPENDED	RESMコマンド実行、かつエラー状態がNO_ERROR	LOCALIZE	位置姿勢計測の再開	位置姿勢計測モードの再開
9	MAP_SUSPENDED	STOPコマンド実行	IDLE	地図作成の停止 地図の保存	
10	LOCALIZE_SUSPENDED	STOPコマンド実行	IDLE	位置姿勢計測の停止	
11	MAP	通信状態がOFFLINEに遷移	IDLE	地図作成の停止	
12	LOCALIZE	通信状態がOFFLINEに遷移	IDLE	位置姿勢計測の停止	

No	現在の状態	トリガ	次の状態	アクション	コメント
13	MAP_SUSPENDED	通信状態がOFFLINEに遷移	IDLE	地図作成の停止	
14	LOCALIZE_SUSPENDED	通信状態がOFFLINEに遷移	IDLE	位置姿勢計測の停止	
15	MAP	SHTDコマンド実行	IDLE	地図作成の停止	
16	LOCALIZE	SHTDコマンド実行	IDLE	位置姿勢計測の停止	
17	MAP_SUSPENDED	SHTDコマンド実行	IDLE	地図作成の停止	
18	LOCALIZE_SUSPENDED	SHTDコマンド実行	IDLE	位置姿勢計測の停止	
19	MAP	コネクション切断	IDLE	地図作成の停止	
20	LOCALIZE	コネクション切断	IDLE	位置姿勢計測の停止	
21	MAP_SUSPENDED	コネクション切断	IDLE	地図作成の停止	
22	LOCALIZE_SUSPENDED	コネクション切断	IDLE	位置姿勢計測の停止	

2.4.3. エラー状態

VNSのエラー発生有無を示す。

表 19. エラー状態定義

状態	説明	期待するアクション
NO_ERROR	エラーが発生していない状態	なし
ERROR	エラーが発生中の状態	ERSTコマンド要求によりエラーNoを確認し、 エラー一覧 に基づき対処 エラー発生中はAGVの一時停止を推奨



図 13. エラー状態

表 20. エラー状態の状態遷移テーブル

No	現在の状態	トリガ	次の状態	アクション	コメント
1	NO_ERROR	エラー発生	ERROR	なし	AGV一時停止を推奨
2	ERROR	エラー解消、かつ信頼度がGOODあるいはWEAKに戻っている	NO_ERROR	なし	
3	ERROR	動作モードがIDLEに遷移	NO_ERROR	なし	
4	ERROR	コネクション切断	NO_ERROR	なし	

2.4.4. 警告状態

VNSの警告発生有無を示す。

表 21. 警告状態定義

状態	説明	期待するアクション
NO_WARN	警告が発生していない状態	なし
WARN	警告が発生中の状態	ERSTコマンド要求により警告Noを確認し、 警告一覧 に基づき対処 警告発生中はAGVの低速走行を推奨



図 14. 警告状態

表 22. 警告状態の状態遷移テーブル

No	現在の状態	トリガ	次の状態	アクション	コメント
1	NO_WARN	警告発生	WARN	なし	AGV低速走行を推奨
2	WARN	警告解消、かつ信頼度がWEAK以外に変わっている	NO_WARN	なし	

No	現在の状態	トリガ	次の状態	アクション	コメント
3	WARN	動作モードがIDLEに遷移	NO_WARN	なし	
4	WARN	コネクション切断	NO_WARN	なし	

2.4.5. 通信状態

VNSとAGVの通信状態を示す。

表 23. 通信状態定義

状態	説明	期待するアクション
OFFLINE	TCP接続は確立しているが、実行可能なコマンドが制限されている状態	OPENコマンドを要求
ONLINE	すべてのコマンドを受け付けている状態	各種コマンドを要求

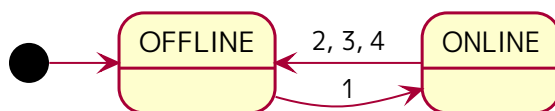


図 15. 通信状態

表 24. 通信状態の状態遷移テーブル

No	現在の状態	トリガ	次の状態	アクション	コメント
1	OFFLINE	OPENコマンド実行	ONLINE	初期化处理	接続状態
2	ONLINE	CLSEコマンド実行	OFFLINE	終了処理	非接続状態
3	ONLINE	SHTDコマンド実行	OFFLINE	終了処理	
4	ONLINE	コネクション切断	OFFLINE	終了処理	

2.5. エラー一覧

以下のいずれかの現象が起きている間、エラー状態は ERROR（エラー発生状態）となる。

表 25. エラー一覧

エラーNo	エラー項目	説明	解消方法	RESUME可否
101	特徴点不足	位置姿勢計測のための特徴点が不足している、分布に偏りがあることが原因で、信頼度がBADあるいはLOST	・特徴点が十分ある位置まで戻る（走行経路を後進） ・特徴点が不足する箇所にオブジェクト（例えば、ポスター）を配置する	○
102	照度の急激な変化	急激に照度が変わっていることが原因で、信頼度がBADあるいはLOST	照度の安定化	○
103	地図との対応不足	地図上の特徴点との対応がとれていないことが原因で、信頼度がBADあるいはLOST	地図上の経路に戻る	○
201	カメラ未接続	・カメラが接続されていない ・カメラの接続が途中で途絶えた	カメラの再接続	×
202	地図読み込み失敗	・地図が未作成 ・地図が壊れている	地図の再作成	×
203	地図容量上限到達(MAP)	・動作モードMAPで、プロセスのメモリ使用量が許容値の99%を超えた	STOPコマンド実行（地図を保存して終了）	×
204	地図容量上限到達(LOCALIZE)	・動作モードLOCALIZEで、プロセスのメモリ使用量が許容値の99%を超えた	STOPコマンド実行（位置姿勢計測を終了）	×
299	その他異常発生	上記以外の要因により位置姿勢計測部で異常発生	-	×

2.6. 警告一覧

以下のいずれかの現象が起きている間、警告状態は WARN（警告発生状態）となる。

表 26. 警告一覧

警告No	警告項目	説明	解消方法
101	特徴点不足	位置姿勢計測のための特徴点が不足している、分布に偏りがあることが原因で、信頼度がWEAK	・ 特徴点が十分ある位置まで戻る（走行経路を後進） ・ 特徴点が不足する箇所にオブジェクト（例えば、ポスター）を配置する
102	照度の急激な変化	急激に照度に変化していることが原因で、信頼度がWEAK	照度の安定化
103	地図との対応不足	地図上の特徴点との対応がとれていないことが原因で、信頼度がWEAK。位置姿勢計測中に地図が作成されていない場所を走行する場合にも本警告が出る	地図上の経路に戻る
203	地図容量上限接近(MAP)	・ 動作モードMAPで、プロセスのメモリ使用量が許容値の95%を超えた	STOPコマンド実行（地図を保存して終了）
204	地図容量上限接近(LOCALIZE)	・ 動作モードLOCALIZEで、プロセスのメモリ使用量が許容値の95%を超えた	STOPコマンド実行（位置姿勢計測を終了）

2.7. シーケンス

2.7.1. 基本シーケンス

以下にAGVとVNSの基本的なコマンド送受信の流れを示す。

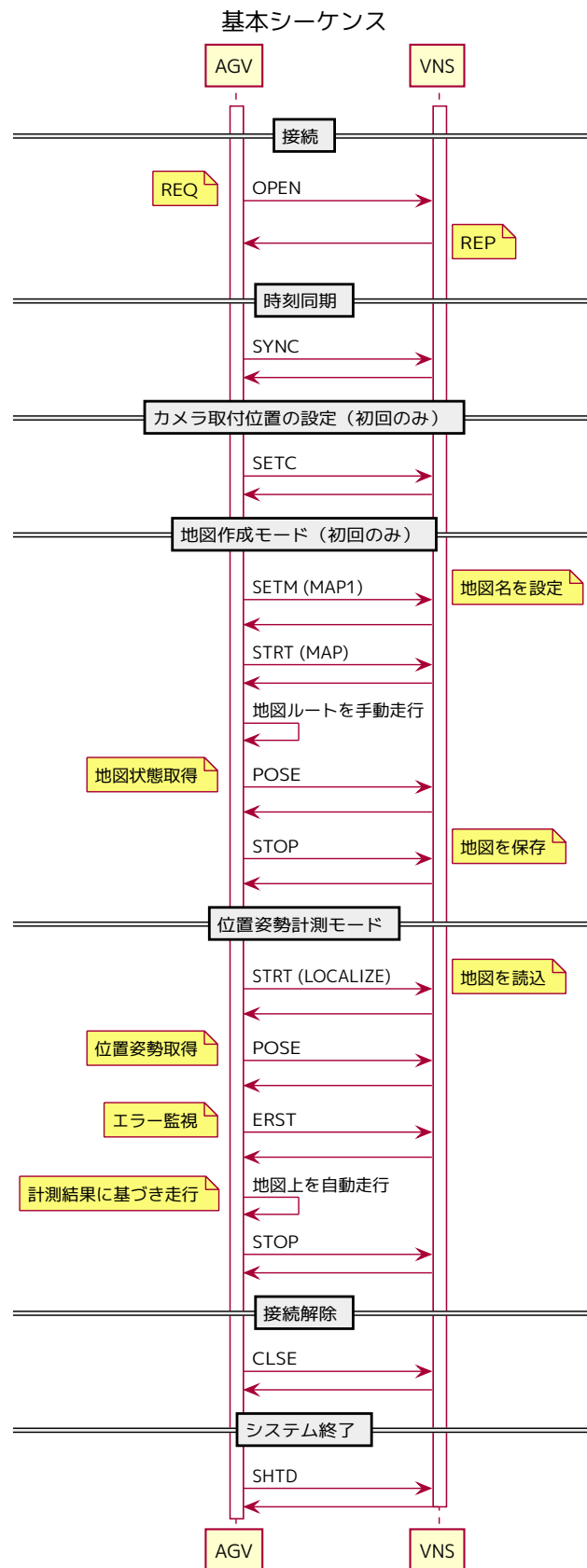


図 16. 基本シーケンス

2.8. 非機能仕様

表 27. 性能

項目	性能
位置姿勢計測の出力間隔	30ms以内(*1)
位置姿勢精度	真値（地図）に対する位置誤差10mm以内、姿勢誤差0.5度以内(*2)
位置姿勢計測が可能な移動速度	60m/分以内
位置姿勢計測が可能な旋回速度	90度/秒以内
1地図データあたりのコース距離	1000m以内
保存可能な地図上限数	50個（ユーザによる名前設定が可能な地図49個）(*3)
メモリ使用量	最大6GB
地図保存時間	5分以内（コース距離1000mの場合）

(*1) OSのシステムサービスやVNS以外のアプリケーションと処理が重なった場合など、CPU負荷が高くなる場合を除く。

(*2)

- 運用するコースがループしていること。ループするコースとは、周回コース、8の字コース、往復コースなどで、前進後退コースは含まない。
- 撮影画像上で、十分な静止した特徴点が検出できること。
- 撮影画像上に、画角の大部分を占めるような繰り返し構造（一定間隔で並んだ照明、規則正しく整列した什器、パターン模様の壁紙など）がないこと。
- コース内の照明条件が照度40～3000lxに収まっていること。また、照明に電源周波数に起因するフリッカー（50～120Hz）が存在しないこと
- 走行中に急激な照明条件の変化がないこと。
 - 急激な照明条件の変化は、精度低下および、照度の急激な変化(102)のエラー或いは警告の原因となる。
- 地図作成時と位置姿勢計測時の照明条件に大きな変化がないこと。
 - 地図作成時との照明条件の変化は、精度低下および、地図との対応不足(103)のエラー或いは警告の原因となる。
- 同じ地点の撮影画像の変化（レイアウト変更や、自動ドアや人物等動体の映り込み）が、地図作成時と位置姿勢計測時を比較して、5割以下であること。
 - 地図作成時との撮影画像の変化は、精度低下および、地図との対応不足(103)のエラー或いは警告の原因となる。

- [信頼度](#)がGOODであること。
- 屋内であること
- 直射日光がカメラに入射しないこと

(*3) ただし、保存可能な地図数はコントローラのストレージの容量の制約を受ける。地図容量については[地図容量の実測例](#)を参考のこと。

3. アプリケーションノート

本節では、AGVにVNSを搭載する場合の設計例を記載する。

3.1. AGVで持つべき状態

[TCP接続状態, VNS通信状態, 動作モード]の組み合わせを状態として持つとよい。

- 未接続状態: [DISCONNECTED, OFFLINE, IDLE]
 - VNSとTCPの接続を確立していない状態。起動直後などはこの状態である。
- TCP接続済み、VNSとは未通信 [CONNECTED, **OFFLINE**, IDLE]
 - VNSとのTCPの接続は確立している状態。VNS側は通信確立（OPENコマンド）を待機している状態。
- TCP接続済み、VNS通信確立、IDLE（位置計測を行っていない）モード [CONNECTED, **ONLINE**, IDLE]
 - VNSとの通信が確立している状態。VNSは位置計測開始コマンド（STRT）を待機する。
 - 起動直後（本状態になった直後）はまず、SETCコマンドでカメラ取付位置を設定し、GETCコマンドで取付位置が反映されたことを確認するとよい。また、定期的にCMSTコマンド、SYSTコマンドを実行し、VNSとの接続状態を監視するとよい。
 - AGVを作業待機させる場合は、本状態で待機させることが望ましい。
 - STRTコマンドでマップ作成／位置計測を開始する場合は、直前にSYNCコマンドにより時刻同期を行ってから開始することが望ましい。
- TCP接続済み、VNS通信確立、MAP,LOCALIZEモード [CONNECTED, **ONLINE**, **MAP/LOCALIZE**]
 - マップ作成中、または作成済みのマップを利用した位置計測中の状態である。
 - VNSは約30ms毎に位置姿勢を更新するため、30ms毎にPOSEコマンドにより位置姿勢を取得することが望ましい。また、合わせてERSTコマンドで位置計測が正常に実行されているかを取得するとともに、CMSTコマンド、SYSTコマンドでVNSとの接続状態を監視するとよい。
- TCP接続済み、VNS通信確立、MAP_SUSPENDED,LOCALIZE_SUSPENDEDモード [CONNECTED, **ONLINE**, **MAP_SUSPENDED/ LOCALIZE_SUSPENDED**]
 - マップ作成中、または作成済みのマップを利用した位置計測中に位置計測に失敗した状態（エラー状態）である。本エラー状態においては、VNSは位置計測を行っておらず、画像から地図上でどこにいるのか探している。
 - 失敗状態においてAGVは、定期的にVNSにERSTコマンドを送信しエラー状態の解消を監視し、エラー状態が解消した場合にRESMコマンドを送信することで位置計測を

再開することが望ましい。

- 。エラー状態においては、AGVを左右に首振り動作をすることで位置計測復帰ができる場合がある。エラー自動復帰しない場合はAGVの左右自動首振りを実行、または作業者に手動で左右首振りを実行することが望ましい。

各状態で受け付けるコマンドは以下のようになっています。

表 28. 各状態で受け付けるコマンド

状態	受け付けるコマンド	備考
[DISCONNECTED, OFFLINE IDLE]	なし	TCPでVNSに接続してください
[CONNECTED , OFFLINE , IDLE]	OPEN, CMST, SHTD	
[CONNECTED , ONLINE , IDLE]	SETM, GETM, MPFN, STRT, SYNC, CMST, SYST, ERST, SETC, GETC, CLSE, SHTD	STRTコマンド実行前にSYNC コマンドとSETMコマンドを 実行するのが望ましい
[CONNECTED , ONLINE , MAP/ LOCALIZE]	POSE, GETM, MPFN, ERST, CMST, SYST, STOP, CLSE, SHTD	CLSE, SHTDコマンドは STOPコマンドによりIDLEモ ードに切り替えてから実行す ることが望ましい
[CONNECTED , ONLINE , MAP_SUSPENDED/ LOCALIZE_SUSPENDE	GETM, MPFN, ERST, RESM, CMST, SYST, STOP, CLSE, SHTD	RESMコマンドはERSTコマン ドでNO_ERRORを確認後に実 行することが望ましい。CLSE ,SHTDコマンドはSTOPコマン ドによりIDLEモードに切り替 えてから実行することが望ま しい

3.2. コマンド列とサンプルシーケンス

以下のシーケンス図は、先に述べたシステム状態変数に応じたAGVの状態遷移とその時のコマンド列を示した。各状態において、状態変数の監視のために特定のコマンドを10ms(時間は任意)ごとに繰り返し実行するように実装するとよい(repeat every 10ms欄)。また、OPEN/STRT(MAP)/STRT(LOCALIZE)コマンド実行に合わせて時刻同期コマンドSYNCを実行し、時刻同期を行うのが望ましい。

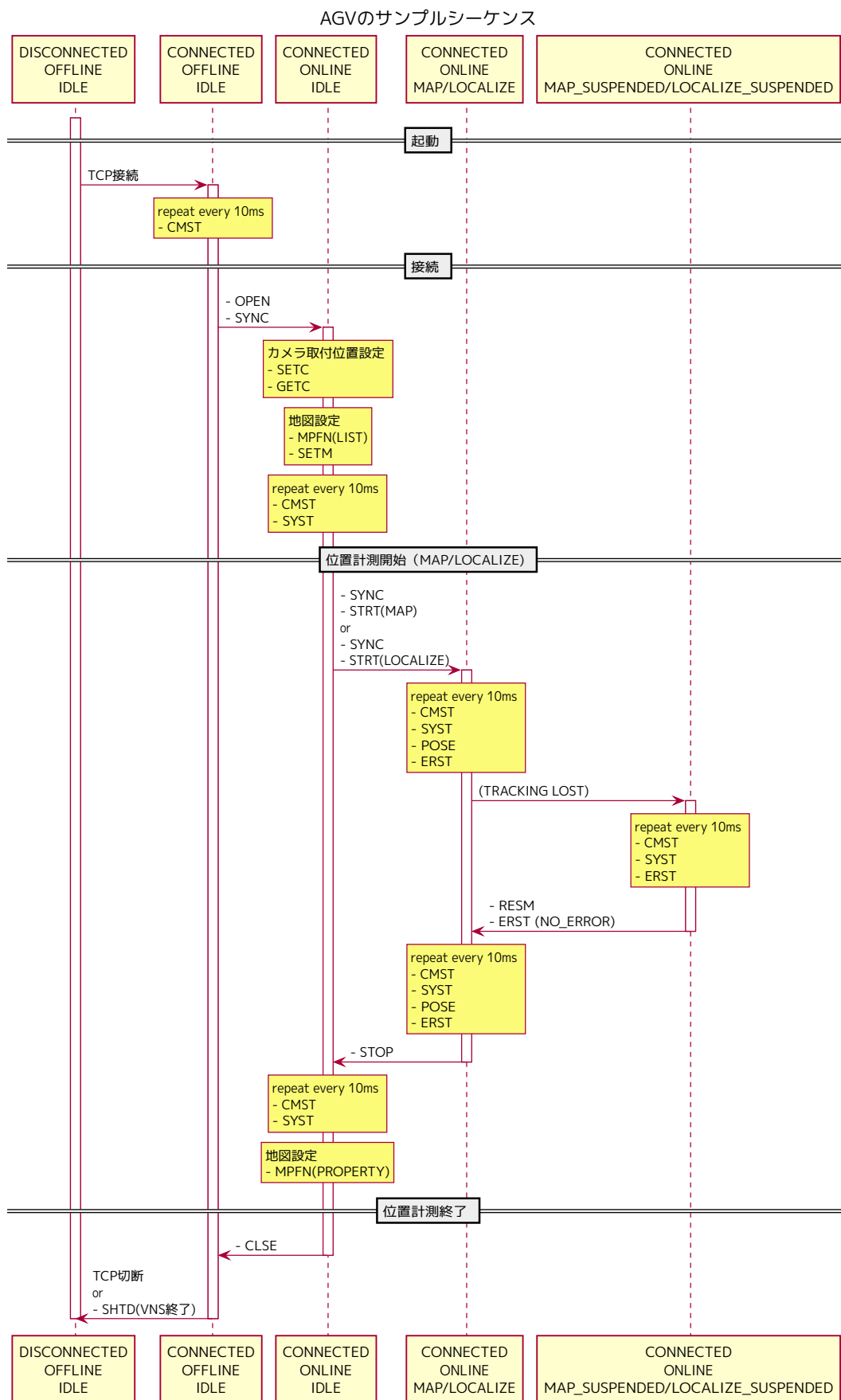


図 17. AGVのサンプルシーケンス

3.3. 変数

前述のシーケンスを実現するために、AGVアプリケーションは状態として、以下のシステム状態変数を持つとよい。

- `m_isConnected` (true / false)
 - TCP接続状態を表すboolフラグ。VNSへTCP接続した時にtrueとし、ポートを解放もしくはVNSをシャットダウンした場合にfalseとする。
- `m_isOnline` (true / false)
 - VNS通信状態を表すboolフラグ。CMSTコマンドの応答ペイロード("ONLINE/OFFLINE")に応じて設定する。
- `m_runMode` ("IDLE / MAP / LOCALIZE / MAP_SUSPENDED / LOCALIZE_SUSPENDED")
 - VNS動作モードを保持するための変数。SYSTコマンドのペイロード("IDLE/MAP/LOCALIZE/MAP_SUSPENDED/LOCALIZE_SUSPENDED")に応じて設定する。

また、AGVの位置姿勢情報や運行可否を判定するための以下の状態変数を持つとよい。

- `m_pose[3]` (x,y,theta)
 - AGVの位置情報。POSEコマンドのペイロードを代入する。
- `m_isError` (true / false)
 - AGV移動停止判定用boolフラグ。ERSTコマンドのペイロード("ERROR/NO_ERROR")により設定する。trueの場合には位置計測値が異常値であるため、AGVを停止することが望ましい。
- `m_isWarn` (true / false)
 - AGVの速度減速要求用boolフラグ。ERSTコマンドのペイロード("WARN/NO_WARN")により設定する。trueの場合には位置計測が不安定になることがあるのでAGVを減速することが望ましい。
- `m_isGoodMap` (true / false) :
 - マップ保存可否判定用の2値フラグ。MAPモード（マップ作成時）のPOSEのペイロードにより設定する。このフラグがtrue時にマップ作成を終了すると精度が良いマップが保存できる（マップ作成者への通知用）。
 - このフラグがfalseの場合はマップのスタートとゴールが接続していない可能性がある。地図開始地点へAGVを移動させることでtrueとなる。
- `m_isLoopDetected` (true / false) :
 - 地図作成時のループ検出判定用2値フラグ。MAPモード（マップ作成時）のPOSEのペイロードにより設定する。

- 作成済み地図のループ検出判定はMPFN(PROPERTY)ペイロードにより設定する。
- ループクローズが実行された場合に変数がtrueとなり、マップ作成者へループクローズ発見を通知することができる。

更に、使用している地図情報を保持するための以下変数を持つとよい。

- m_mapName
 - 使用地図名。
- m_mapVersion
 - 地図バージョン。MPFN(PROPERTY)コマンドのペイロードの一部を代入する。
- m_mapCreationStatus("NOT_CREATED / CREATING / CREATED")
 - 地図の作成状況。MPFN(PROPERTY)コマンドのペイロードの一部を代入する。
- m_mapLoopStatus("LOOP / NO_LOOP")
 - 地図のループステータス。MPFN(PROPERTY)コマンドのペイロードの一部を代入する。
- m_mapElementNum
 - 地図を構成する要素数。MPFN(PROPERTY)コマンドのペイロードの一部を代入する。
- m_mapLength
 - 地図の経路長[m]。MPFN(PROPERTY)コマンドのペイロードの一部を代入する。
- m_mapFileSize
 - 地図の総ファイルサイズ[MB]。MPFN(PROPERTY)コマンドのペイロードの一部を代入する。
- m_cameraId
 - 使用しているカメラID。MPFN(PROPERTY)コマンドのペイロードの一部を代入する。

3.4. サンプルUI

前節のAGV向けサンプルシーケンスシーケンスの遷移をUIを用いて実装する場合の実装例を記載する。サンプルUIではVNSを単体で動作確認することを想定し、VNSを操作するためのボタンとVNSの状態を提示するためのディスプレイを提示する。

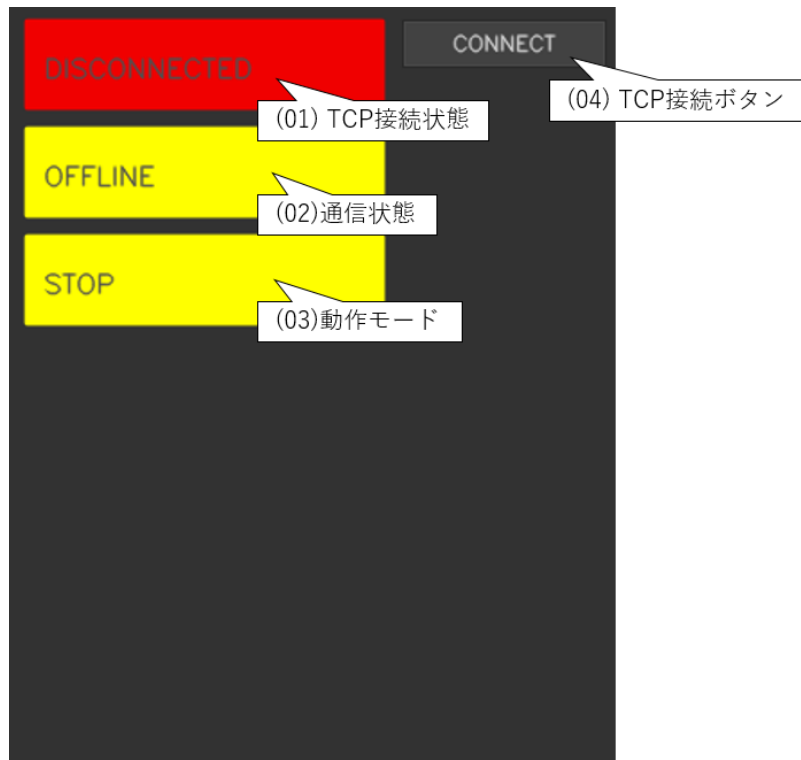


図 18. サンプルUI(DISCONNECTED OFFLINE IDLE)

- (01)TCP接続状態：TCPの接続状態(m_isConnected)を示す。
- (02)通信状態：TCPの接続状態(m_isOnline)を示す。
- (03)動作モード：動作モード(m_runMode)を示す。
- (04)TCP接続ボタン：TCPの接続／非接続を切り替えるボタン。



図 19. サンプルUI(CONNECTED OFFLINE IDLE)

- (11)VNS接続ボタン：VNSへの接続を切り替えるボタン。

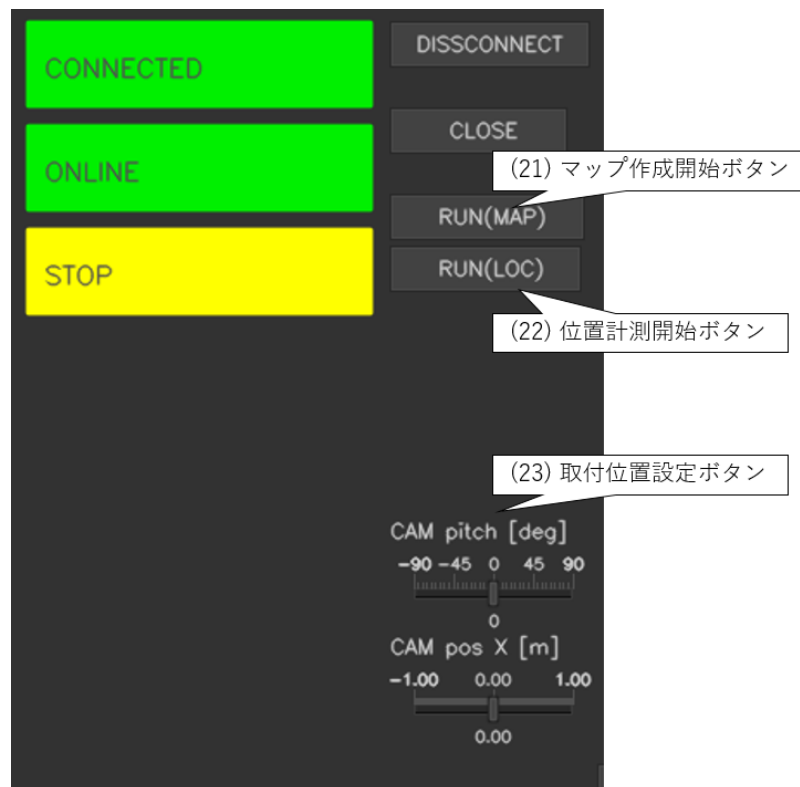


図 20. サンプルUI(CONNECTED ONLINE IDLE)

- (21)マップ作成開始ボタン：マップ作成を開始するためのボタン。
- (22)位置計測開始ボタン：位置計測を開始するためのボタン。
- (23)取付位置設定ボタン：取付位置を設定するためのボタン。



図 21. サンプルUI(CONNECTED ONLINE MAP)

- (31)エラー/WARN状態：エラー/WARN状態(m_isError, m_isWarn)を示す。
- (32)マップ保存可否判定：マップ保存の可否 (m_isGoodMap)を示す。
- (33)ループ検出判定：地図作成時のループ検出判定 (m_isLoopDetected) を示す。

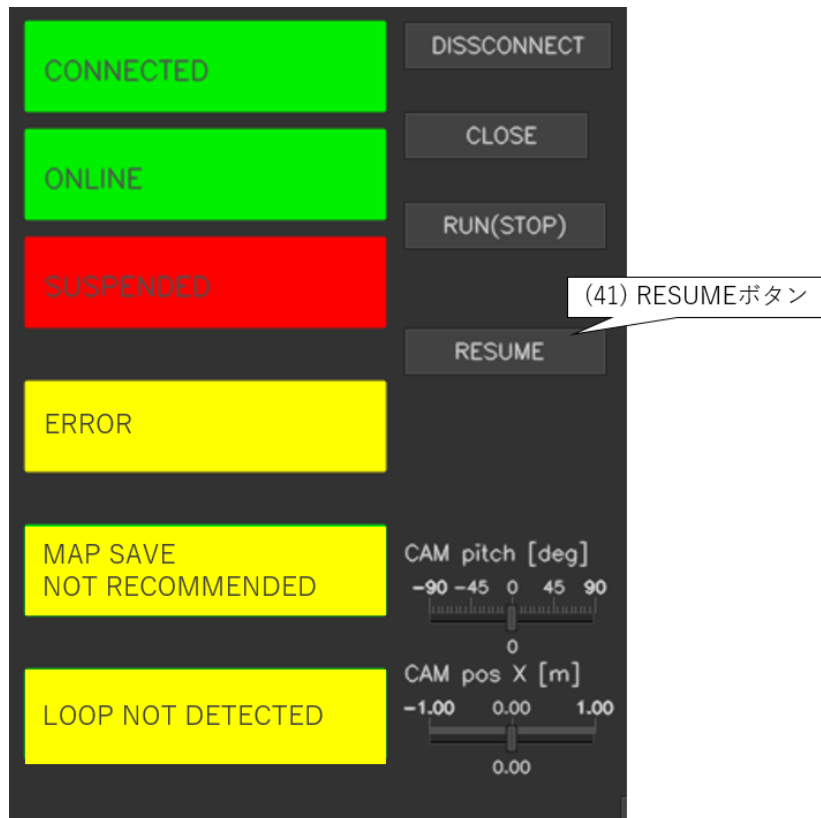


図 22. サンプルUI(CONNECTED ONLINE MAP_SUSPENDED)

- (41)RESUMEボタン：ERROR状態が解消した後に、位置計測を再開するためのRESUMEを行うためのボタン。

3.5. AGVの座標系とVNSの座標系の変換

3.5.1. AGVの座標系とVNSの座標系の変換例

VNSでは、AGVからみて正面をX、左向きをYとした座標系を採用している。AGVの採用する座標系がVNSの座標系と異なる場合は、VNSの座標系からAGVの座標系に変換する必要がある。一例として、VNS座標系から、AGVから見て正面をY、右向きをXとした座標系への変換例を示す。

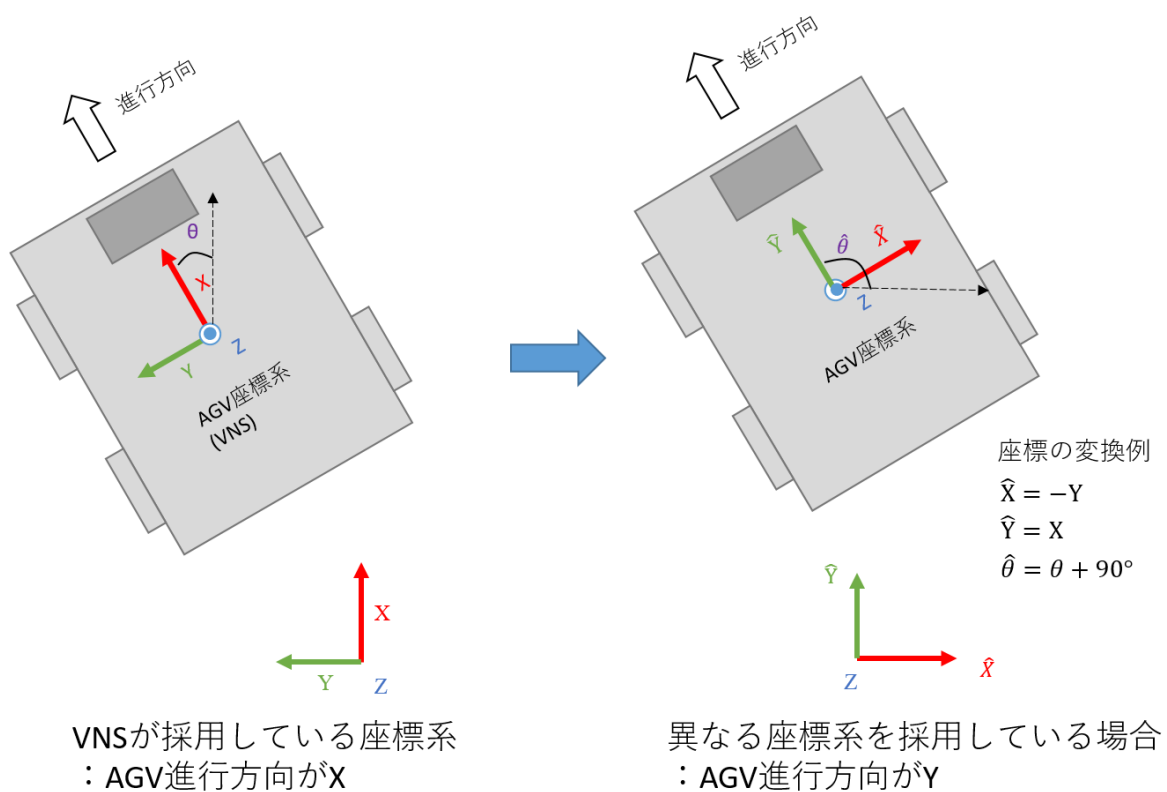


図 23. 座標系の変換例

3.5.2. カメラ取付位置に関して

VNSではカメラの取付位置の設定をSETCコマンドにより行う。カメラの取り付け方式によっては複雑な値を設定する必要があるため、代表的な取付位置の事例を以下に示しておく。

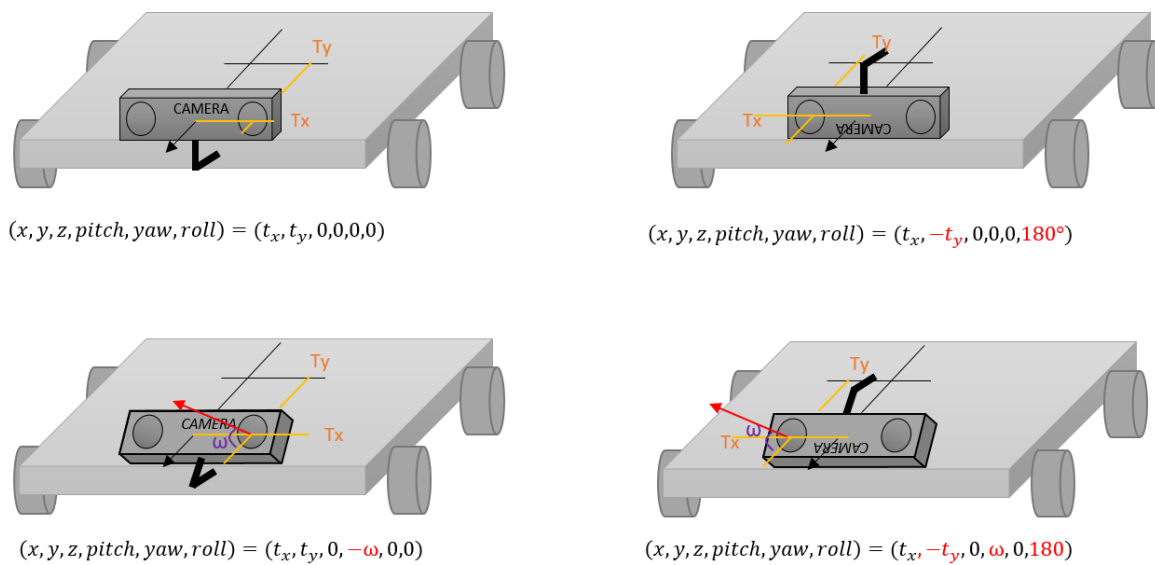


図 24. 取付位置の例

3.6. カメラの取付角について

カメラの取付角（仰角）は、床面や天井が映り込み過ぎないようにカメラの地面からの高さに応じて変更する。以下に、地面からの高さ と 取付角の一例を示す。

表 29. カメラの地面からの高さ と 取付角（仰角）の一例

地面からの高さ	取付角（仰角）
120mm	38度

3.7. 動作推奨環境

以下の環境での動作確認を行っている。

表 30. 動作確認環境

コントローラPC	
CPU (*1)	Intel Atom® x7-E3950
	クロック 1.6GHz（最大2.0GHz）
	コア数 4
メモリ	8GB（DDR3L 1833）
ストレージ	SSD（640GB、SATAIII）
OS	Ubuntu 18.04LTS
ステレオカメラ（xvisio eXLAM-80）	
シャッター	グローバルシャッター（左右カメラ同期）
画角（水平）	130度
画素数	640×400画素
AE	あり（左右カメラ同期）
形式	グレースケール
ベースライン	80mm

(*1) CPUにGPUが内蔵されていること。

Intel Atom®は、Intel Corporationまたはその子会社の商標です。
その他、本ドキュメント中の社名や商品名は、各社の登録商標または商標です。

4. 運用フロー

4.1. 事前準備

4.2. 地図作成

VNSの利用にあたっては、撮影画像上で十分な特徴点が検出できる状態で高精度な地図を作成する必要がある。そのためには特徴点不足を示すエラー（101エラーや警告）を出さずに地図作成を行うことが必要となる。

エラーを出さないで地図作成を行うため、地図作成を準備と本番の2回に分けると良い。

- 準備：エラーが出る地点の周辺に特徴点を追加して環境を整備する。
- 本番：十分な特徴点がある状態でエラーを出さことなく高精度な地図を作成する。

以下に、地図作成の具体的な手順を示す。

1. スタート地点から地図作成（準備）を開始する。
2. 地図作成中にエラーが出る地点の周辺にポスターを貼るなどして画像上で検出される特徴点を増やす。
 - 増やした特徴点が十分かどうか確認するため、エラーが出ていなかった地点まで戻って地図作成を再開し、特徴点を増やした地点で再度エラーが発生しないか確認する。
 - ここでまだエラーが出る場合には特徴点をさらに増やし上記の手順で確認する。エラーが出ない場合にはそのまま地図作成を継続する。
3. ゴール地点に到達したら地図作成（準備）を終了する。
4. スタート地点から地図作成（本番）を行う。

4.2.1. ループクローズ

ループクローズは過去に地図を作成済みの領域に戻ってきたことを判定することで、地図作成中の蓄積誤差を修正する(以下の図ではSはスタート地点、Gはゴール地点を表す)。

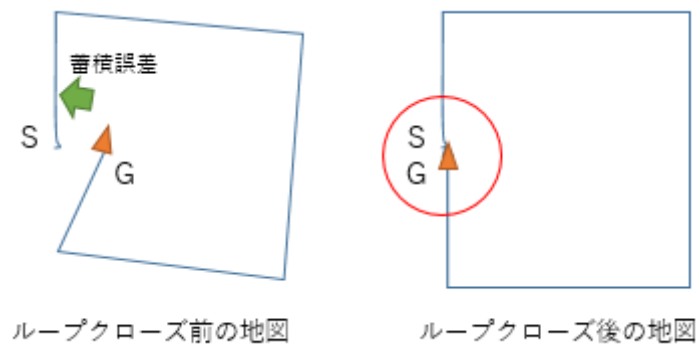


図 25. ループクローズ

4.2.1.1. ループクローズの確認方法

- ループクローズ発生後3秒間、POSEコマンドのパayloadにおけるループクローズがNO_LOOPからLOOPへと変化する。
- ループクローズが完了した後にスタート地点に戻るとPOSEコマンドのパayloadにおける地図最適化状態がMAP_BADからMAP_GOODとなる。

4.2.1.2. ループクローズを確実にを行うために

ループクローズを確実にを行うためには、地図に登録されている画像と「見た目が似ている」画像がカメラで撮影されるようにする。

- (01)スタート時に見まわしてから（様々な方向をカバーするようにして）移動を開始する。地図中にスタート地点(S)の複数の視点の画像を登録する。ゴール時(G)（周回コースの周回後にスタート地点に戻った時）にスタート地点の画像を探しやすくなる。45度程度左右を見まわすと良い。

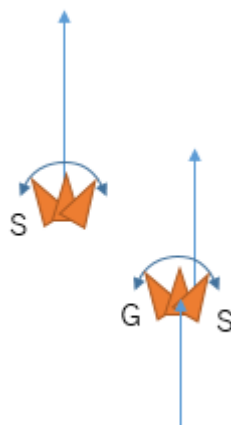


図 26. スタート時、ゴール時の見まわし

- (02)ゴール地点で見まわす。(01)で登録した画像と同じ見た目の画像が得られるように、ゴール地点でも左右に見まわす。
- (03)スタートとゴールをオーバーラップさせる オーバーラップするとスタートとゴールで

見た目が似ている画像が得られ易くなる。少なくとも50cm程度（1m程度を推奨）オーバーラップさせると良い。それでもループしなければ、更にオーバーラップするように移動する。

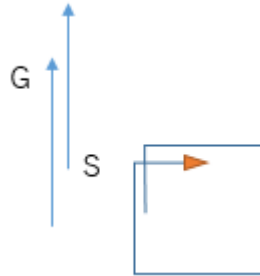


図 27. スタートとゴールのオーバーラップ

- ループクローズが発生する（POSEコマンドのペイロードにおけるループクローズがNO_LOOPからLOOPになる）まで、ゴール地点にて見まわし(02)とオーバーラップ(03)を複数回試行し、ループクローズが発生した後に周回コースのスタート地点に移動し（オーバーラップしていた場合は、スタート地点に戻し）、地図最適化状態（POSEコマンドのペイロード）がMAP_GOODになることを確認してから地図を保存（地図作成モードの終了）すると良い。

4.2.1.3. ループクローズが成功しない場合

以下のような条件では、ループクローズの成功率が低下する場合がある。

- ループクローズ地点の特徴点量が少ない場合、ループクローズできない場合がある。
 - ポスター等によって該当地点の特徴点を増やすか、特徴点量の多い場所にループクローズ地点を変更することで改善する。
- ループクローズ地点の照明条件が変動している場合、「見た目が似ている」画像として認識されず、ループクローズできない場合がある。
 - 該当地点の照明変動を抑えるか、照明変動の小さい場所にループクローズ地点を変更することで改善する。
- ループクローズ地点に撮影画像の変化（レイアウト変更や、自動ドアや人物等動体の映り込み）がある場合、ループクローズできない場合がある。
 - 視界内の物品の移動が少ない場所にループクローズ地点を変更することで改善する。
- コース内の一部の領域において、画像上の特徴点の分布が偏る箇所を走行する場合、長距離のループを形成するコースではループクローズ処理が成功しにくくなる。
 - 画像上の特徴点の分布が偏る箇所の例としては、壁際や、特徴点の少ない壁に挟まれた廊下を走行する場合は挙げられる。
 - 該当領域において短い距離でのループクローズを繰り返すことで、コース全体のループクローズの成功率が改善する。例えば、同一の通路を往復するコースであれば、復路において一定間隔で360度の旋回を行い、往路との間でループクローズを発生させ

る方法がある。

4.2.2. 複数地図の作成

- STRTコマンドでMAPモードに切り替える前にSETMコマンドを行うことで、STOPコマンドで作成する地図に名前を付けることができる。
- 保存可能な地図上限数は、VNS固有の地図（地図名が「DEFAULT_MAP」固定）とユーザーが自由に名前設定が可能な地図上限数の総和である。なお、上限数を超えて地図の作成を試みた場合はペイロードエラーが発生する。
- 使用地図名を変更せずに地図の作成を連続で試みた場合、最後に作成した地図のみを保存する。そのため、地図を作成する前は使用可能な地図のリストや地図のプロパティを確認し、必要に応じてSETMコマンドで作成する地図を切り替える。

4.2.3. 地図の容量について

- VNSが利用可能な地図のサイズにはメモリ上の制約がある。地図の経路長あたりのメモリ使用量は環境によって左右されるため、実際に作成可能な地図の経路長も変動する。作成中の地図のおおよその経路長とメモリ使用率は、MPSTコマンドで取得可能である。
- 作成中の地図のメモリ使用率が95%を超えた場合、地図容量上限接近警告(203)が発生する。このとき、地図を作成可能な残り経路長は、メモリが2GBの条件では約33m、4GBの条件では約66m、6GBの条件では約100mである。
- 作成中の地図のメモリ使用率が99%を超えた場合、地図容量上限到達エラー(203)が発生する。エラー発生後、地図の作成を継続することはできないが、STOPコマンドによりその時点の地図を保存して地図作成を終了することができる。
- 作成した地図を保存する場合、必要となるストレージ容量は概算として「地図要素数x0.4 [MB]」で算出可能である。
しかしながら実際に必要となるストレージ容量は、撮像解像度や経路（地図要素数など）に依存するため実測値と概算値の間に差異が生じる。

実測例1：地図要素数が209枚、画像サイズが640x480の場合、約87MByte。

実測例2：1,000mの経路（地図要素数が2052枚）、画像サイズが740x320の場合、約616MByte。

参考：地図要素数はMPFNコマンドで取得可能

4.3. ローカライズ(位置計測)

4.3.1. 地図更新について

- ローカライズモードにおいて、VNSは読み込んだ地図データに加えて走行環境の変化（物の配置の変化など）の情報を地図データ上に記録する。
- 走行環境の変化に応じて地図データを更新している間は、地図との対応不足警告(103)が

発生する。地図データの更新が完了した区画を再度走行する場合は、地図との対応不足警告(103)は発生しない。

- 地図データの更新が完了した区画に新たな走行環境の変化が生じた場合は、再度地図データの更新が行われる。
- 走行環境の変化に応じて更新された地図データはVNSのローカライズモードを終了すると破棄され、次回ローカライズモード実行時には最初に地図データを読み込んだ状態に戻る。このため、位置計測モードを開始して最初の1回の運行では多くの区間で地図との対応不足警告(103)が出力される場合がある。
 - 一通り運行し地図の更新が完了すれば、以降は地図との対応不足警告(103)の発生は解消される。

4.3.2. 地図更新時の地図の容量に関して

- 地図データ更新時のメモリ使用量は自動的に管理される。そのため、繰り返し走行環境に変化が生じるような状況であっても、ユーザーはメモリ上限（容量超過）を意識する必要はない。
- 例外的なケースとして、走行環境を繰り返し変化させながら長時間の運行を行った場合に、地図容量上限接近警告(204)が発生する可能性がある。また、さらに長時間の運行を行った場合に、地図容量上限到達エラー(204)が発生する可能性がある。これらの場合、STOPコマンドによりローカライズを終了し、再度ローカライズモードを起動することで回復する。

4.3.3. 位置姿勢計測復帰処理について

位置姿勢計測の開始時や、位置姿勢計測の信頼度がLOSTの時、位置姿勢は未定であるため位置姿勢計測の復帰処理を行う。位置姿勢計測の復帰処理は現在カメラが見ている風景と類似する画像を地図作成時に登録した画像から探し出し位置姿勢を算出（復帰）する。

4.3.3.1. 復帰処理を成功させるために

現在カメラが見ている風景と、地図作成時にカメラが見た風景の「見た目が似ている」ことが復帰処理成功の秘訣となる。位置姿勢計測開始時には以下の点に注意する。

- 十分な特徴がある場所で位置姿勢計測を開始する。スタート地点には、特に、一意に場所を特定できるようなポスターを貼るなどすることが望ましい。
- 復帰処理を実施する可能性のある場所にも、十分な特徴を配置することが望ましい。
- 地図作成時と比べてシーンの変化（物の配置や明るさ）が少ないことを確認する。
- 地図作成時にカメラが見た風景と「見た目が似ている」風景が見つからない場合、地図との対応不足エラー(103)が発生する。
- エラー(103)が発生した場合、該当エラーが消えるまで（手動等で）ルートを移動させる。

- 地図作成と位置姿勢計測の開始地点が同じ場合、両モードの開始時に左右を見回すと、地図の対応不足エラー(103)を抑制できる場合がある。

位置姿勢計測の信頼度がLOSTから復帰する際の注意

- 特徴点不足エラー(101)が解除されない場合は、地図作成時のルートに沿ってエラー(101)が消えるまで（手動で）移動させる。

位置姿勢計測のエラー発生時は動作モードが一時停止（LOCALIZE_SUSPENDED)になっているため、上記復帰処理の後にエラーが消えた状態で位置姿勢計測を再開する（VNSにRESMコマンドを送信する）必要がある。

4.3.4. 地図の切り替え

- [複数地図の作成](#)と同様に、STRTコマンドでLOCALIZEモードに切り替える前にSETMコマンドを行うことで、指定した地図での位置計測を行うことができる。
（使用可能な地図のリストは[MPFN\(LIST\)](#)で取得可能）
- 使用可能な地図は以下のバージョンに限定する。
（地図バージョンは[MPFN\(PROPERTY\)](#)で取得可能）
 - 12
 - 13

5. 運用状況確認機能

本章では、運用状況確認機能であるステータス表示、ログ収集、地図収集の3つの機能の仕様を説明する。

5.1. ステータス表示

現在のステータスをコンソールに表示する機能である。表示するステータスを以下に示す。

表 31. 表示ステータス

項目	ステータス	備考
VNSサービスの起動状態	RUNNING NOT_RUNNING	
ネットワーク状態	LISTEN NOT_LISTEN	ポートは55550固定
ファイル整合性	ALL_EXIST NOT_ALL_EXIST	
カメラ接続	CONNECT NOT_CONNECT	
カメラパラメータ	EXIST NOT_EXIST	
ストレージ容量	[Used]/[All]	総ストレージをGB単位で表示
メモリ使用量	[Used]/[All]	MB単位で表示
VNSプロセス	RUNNING NOT_RUNNING	
位置姿勢計測／地図作成プロセス	RUNNING NOT_RUNNING	
地図	[地図のプロパティ]	地図数も表示

5.2. ログ収集

VNSが出力するログファイルをgzip圧縮のアーカイブ（tar.gz）形式でファイル出力する機能である。

5.3. 地図収集

作成した地図をgzip圧縮のアーカイブ（tar.gz）形式でファイル出力する機能である。

Appendix A: 6自由度位置姿勢の座標系

6自由度位置姿勢の座標系は以下に示す通りである。

表 32. 6自由度位置姿勢の座標系

名前	説明
カメラ座標系	原点は左カメラのレンズ中心。Z軸が左カメラのレンズの光軸方向（手前）。X軸、Y軸がそれぞれ左カメラが撮影する画像面の水平（右）、垂直方向（下）。
AGV座標系	AGVの右方向をX軸、前方向をY軸、垂直方向（上）をZ軸とする。
世界座標系	地図作成開始時点でのAGV座標系を世界座標系とする。

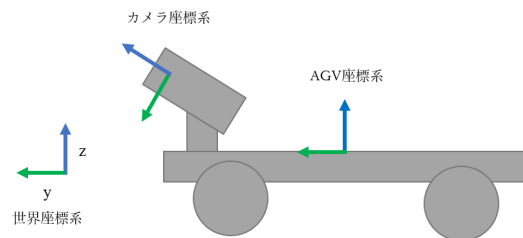


図 28. 6自由度位置姿勢の座標系

Appendix B: ライセンス

Used by permission.

LDL Copyright (c) 2005 by Timothy A. Davis. All Rights Reserved.

LDL License:

Your use or distribution of LDL or any modified version of LDL implies that you agree to this License.

This library is free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU Lesser General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 2.1 of the License, or (at your option) any later version.

This library is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU Lesser General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU Lesser General Public License along with this library; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

Permission is hereby granted to use or copy this program under the terms of the GNU LGPL, provided that the Copyright, this License, and the Availability of the original version is retained on all copies. User documentation of any code that uses this code or any modified version of this code must cite the Copyright, this License, the Availability note, and "Used by permission." Permission to modify the code and to distribute modified code is granted, provided the Copyright, this License, and the Availability note are retained, and a notice that the code was modified is included.

Availability: <http://suitesparse.com>

本書の記載内容は2022年1月現在です。本ソフトウェアの仕様や本書の記載内容は、将来予告なく変更することがあります。

© CANON INC. 2022