

移動機能



インターフェース仕様書 Version 2.0



2021 年 6 月

ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会

ロボットイノベーション WG

ソフトウェアアーキテクチャ調査検討委員会

目次

1	はじめに.....	3
1.1	本仕様書で提供する情報	3
1.2	本仕様の対象とするユーザ.....	3
1.3	委員名簿	4
2	<i>Platform Independent Model (PIM)</i>	5
2.1.	書式について	5
2.1.1.	クラスとインターフェース.....	5
2.1.2.	列挙型	5
2.2.	前提条件	6
2.3.	状態遷移	7
2.4.	インターフェース定義	8
2.4.1.	データ型定義	12
2.4.1.1.	位置・姿勢(Pose).....	13
2.4.1.2.	経路点(Waypoint)	13
2.4.1.3.	プロパティ(Property).....	14
2.4.1.4.	移動指示	14
2.4.1.5.	移動指令	14
2.4.1.6.	3次元座標値	14
2.4.1.7.	自己位置推定用地図(Localization map).....	15
2.4.1.8.	自己位置推定用地図データ	15
2.4.1.9.	グリッドマップ形式(2D)地図.....	15
2.4.1.10.	ピクセル(pixel)	15
2.4.1.11.	グリッドマップ形式(3D)地図	16
2.4.1.12.	ボクセル	16
2.4.1.14.	ポイントクラウド形式地図.....	16
2.4.1.16.	走行環境地図	17
2.4.1.17.	走行環境用地図データ	17
2.4.1.18.	走行環境グリッドマップ形式(2D)地図	17
2.4.1.19.	走行環境用ピクセル(pixel)	17
2.4.1.11.	走行環境グリッドマップ形式(3D)地図	18
2.4.1.12.	走行環境用ボクセル	18

2.4.1.16. 地点名称-座標変換テーブル	18
2.4.1.17. 地点名称-座標変換データ	18
2.4.2. インターフェース定義(常時通信データ)	20
2.4.2.1. 移動状態	20
2.4.2.3. 機能状態	21
2.4.2.4. エラー情報(Error)	21
2.4.2.6. 充電状態	21
2.4.3. インターフェース定義(イベントドリブンデータ)	22
2.5. 内部構成	28
2.5.1.移動状態管理.....	29
2.5.2.局所的経路計画(Local planner)	31
2.5.3. 位置リスト.....	32
2.5.4. 位置.....	32
2.5.5.周辺環境計測.....	33
2.5.5.障害物検知(Obstacle detection)	33
2.5.6.自己位置推定(Localization)	33
2.5.7.移動制御	34
2.5.8.移動機能プロパティ管理.....	34
2.5.9.充電管理	35
2.5.10.HW 管理	35
<i>Appendix.1. 地図の種類について.....</i>	<i>36</i>
<i>Appendix.2. 地図の切り替えについて.....</i>	<i>38</i>

1 はじめに

近年、様々な分野で移動ロボットの導入が進められている。こうしたロボットの多くは様々な企業により提供されているが、今後もさらに多くの企業が参入することが想定される。また、単体の運用だけでなく、複数台の運用というケースになってきた場合、ハードウェア開発を主とする企業だけではなく、システム開発を担当する企業の参入も想定される。こうした複数台を含むアプリケーション開発を円滑に行うためには、移動ロボットとそれらを運用するシステム間でのインターフェースが厳密に規定されていることが好ましい。このような仕様が作られることで、ハードウェア開発企業と SIer の間での責任分担が行いやすくなり、市場の活性化につながることを期待できる。

本仕様書では、このような運用システムと移動ロボット(本仕様書では移動機能と呼ぶ)の間におけるインターフェースを規定したものとなっている。主として移動機能を扱うが、移動機能として利用するに当たって必要となる周辺情報(入力・出力される情報や想定する利用方法、地図など)についても適宜示すことで、本仕様書のスコープの把握を行いやすくしている。

1.1 本仕様書で提供する情報

本仕様書では、実装に依存しない形での設計指針の提示を目的としているため、PIM(Platform Independent Model)での記述を行う。また、本仕様書では、国際標準となっているシステムモデリング言語である SysML(Systems Modeling Language)を用いており、主として以下のダイアグラムを用いている。

- ブロック定義図
- 内部ブロック図
- シーケンス図
- ステートマシン図

国際標準となっているモデリング言語を用いることで、幅広い技術者・研究者によって参照しやすい仕様としている。

1.2 本仕様の対象とするユーザ

- ロボットハードウェア開発者
- ロボットシステムインテグレータ
- ロボット要素技術開発者・研究者

1.3 参考文献

- [SysML] Object Management Group, OMG Systems Modeling Language (OMG SysML), Version 1.6,
OMG document number formal/19-11-01, 2019
- [RLS] Object Management Group, Robotic Localization Service (RLS), Version 1.1,
OMG document number formal/12-08-01, 2012

1.4 委員名簿

(委員長)	名城大学	(敬称略)
(副委員長)	(国研)産業技術総合研究所	大原 賢一
		安藤 慶昭
【委員メンバー】		
(株) I H I		関谷 眞
(株) I H I		吉光 亮
(学)会津大学		成瀬 継太郎
(学)会津大学		屋代 眞
イーソル(株)		佃 明彦
(地独)神奈川県立産業技術総合研究所		宮澤 以鋼
カワダロボティクス株式会社		溝口 弘悟
(国研)産業技術総合研究所		花井 亮
(株)セック		中本 啓之
(株)セック		建部 貴隆
T I S(株)		石橋 靖嗣
T I S(株)		松井 暢之
THK(株)		近藤 裕紀
THK(株)		椎木 靖人
THK(株)		三好 崇生
(株)東芝		平山 紀之
(株)東芝		山本 大介
(一財)日本品質保証機構		櫛引 豪
パナソニック(株)		安藤 健
パナソニック(株)		上松 弘幸
パナソニック(株)		岡本 球夫
(株)日立製作所		中村 亮介
(株)日立製作所		吉内 英也
富士ソフト(株)		酒井 貴史
(株)本田技術研究所		小川 直秀
(株)本田技術研究所		鳥井 豊隆
ヤンマー(株)		杉浦 恒
ヤンマー(株)		嵩 裕一郎
ヤンマー(株)		横上 利之
(株)YOODS		平泉 一城

2 Platform Independent Model (PIM)

汎用的な自律移動機能のソフトウェア・コンポーネントのPlatform Independent Model(PIM)を以下に示す.

2.1. 書式について

2.1.1. クラスとインターフェース

クラスとインターフェース定義で使用している表の書式を以下に示す.

Description: <対象要素の概要説明>				
DerivedFrom: <対象要素の親要素>				
Attributes:				
<属性名>	<属性の型>	<省略可否>	<多重度>	<対象属性の概要説明>
...
Operations:				
<操作名>		<省略可否>		
<方向>	<パラメータ名>	<パラメータ型>	<省略可否>	<対象パラメータの概要説明>
...

<省略可否>で使用している記号の意味を以下に示す.

M(mandatory) : 必須(省略不可)属性, 引数, 操作

O(optional) : 省略可能属性, 引数, 操作

C(conditional) : ある条件の下で必須となる属性, 引数, 操作. 条件の詳細は, 詳細説明部に記述.

<多重度>で使用している記号の意味を以下に示す.

N : 属性, 引数の多重度の上限なし.

Ord : 属性, 引数が順序付きのリスト

2.1.2. 列挙型

列挙型定義で使用している表の書式を以下に示す.

Description: <対象列挙型の概要説明>	
<定数名>	<定数の概要説明>
...	...

2.2. 前提条件

本仕様書では、以下のようなシステムを想定している。

- ・自律移動ロボットは、周囲に人が存在する環境下で動作し、上位アプリ(レストランロボットシステム、物流倉庫における自動搬送システムなど)の「運行管理機能」からの指令に基づいて、指定された目標点まで安全かつ迅速に移動する必要がある。
- ・同一環境内で複数台の移動ロボットが動作しており、それぞれの自律移動ロボットに「自律移動機能」が組み込まれている
- ・システム全体に含まれる複数のロボットの運行を管理する機能は「運行管理機能」側が持っており、自律移動ロボット間では位置情報などの各種情報を伝達するための通信は行っていない。
- ・自律移動ロボットは、基本的には2次元平面内のみを移動する。ただし、エレベータなどの手段を利用して階の移動を行う場合はある(ドローンのように3次元空間中を移動するロボットについては、十分な検討を行っていない)。
- ・地図情報については、事前に作成した地図を配信する場合のみを想定している。動作中に地図を更新する機能については考慮していない。
- ・本仕様書では、自律移動機能のソフトウェア・コンポーネント部分のアーキテクチャに着目しているため、ネットワークの通信障害などは考慮していない(「運行管理機能」と「自律移動機能」の間では、送信したメッセージが確実に届くと仮定している)。

なお、本仕様書では、原則SI単位系を使用することを想定している。

2.3. 狀態遷移

本仕様書で想定している自律移動機能の状態遷移を以下に示す.

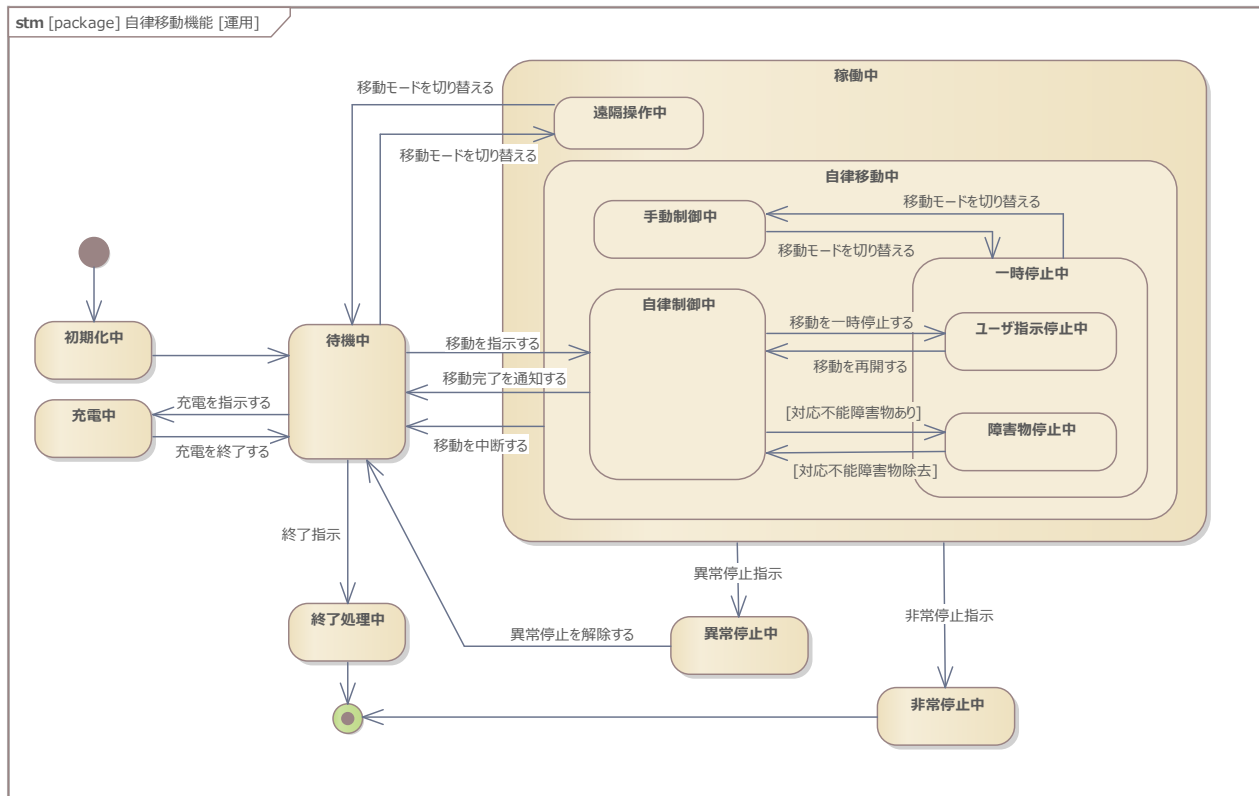


図1 自律移動機能の状態遷移

各状態の意味を以下に示す.

状態名		概要	
初期化中		電源ONを行った後の状態。各種初期化処理を行った後、自動で「待機中」に遷移する	
待機中		運行管理機能からの指示を待っている状態。	
稼働中		運行管理機能からの指示に基づき、何らかの動作を行っている状態。	
	自律移動中		指示された動作計画に基づき、動作している状態。
		自律制御中	指示された動作計画に基づき、自律的に制御している状態。
		手動制御中	動作計画を実行している途中で、外部システムから手動で操作されている状態。
		一時停止中	何らかの理由で、動作を一時的に停止している状態。
			ユーザ指示停止中
	障害物停止中		周辺障害物の影響で、動作が継続できず、一時停止している状態。
遠隔操作中		動作計画が指示されていない段階で、外部システムから手動で操作されている状態。	
充電中		充電を実行している状態	
異常停止中		外部から緊急停止された状態。適切なりカバリー処理を実行する事で、電源OFFを行わずに動作を継続可能な状態。	
非常停止中		外部から非常停止され、手動のリセットが必要な状態であり、ソフトウェアは認識できた場合に終了へ遷移する事が望ましい。 JIS B8445:2016(ISO13482:2014)の「6.2.2.2 非常停止」が発生している状態。	
終了処理中		電源OFFを行う前の状態。各種終了処理を行った後、電源がOFFとなる。	

2.4. インターフェース定義

自律移動機能の外部インターフェース定義を以下に示す.

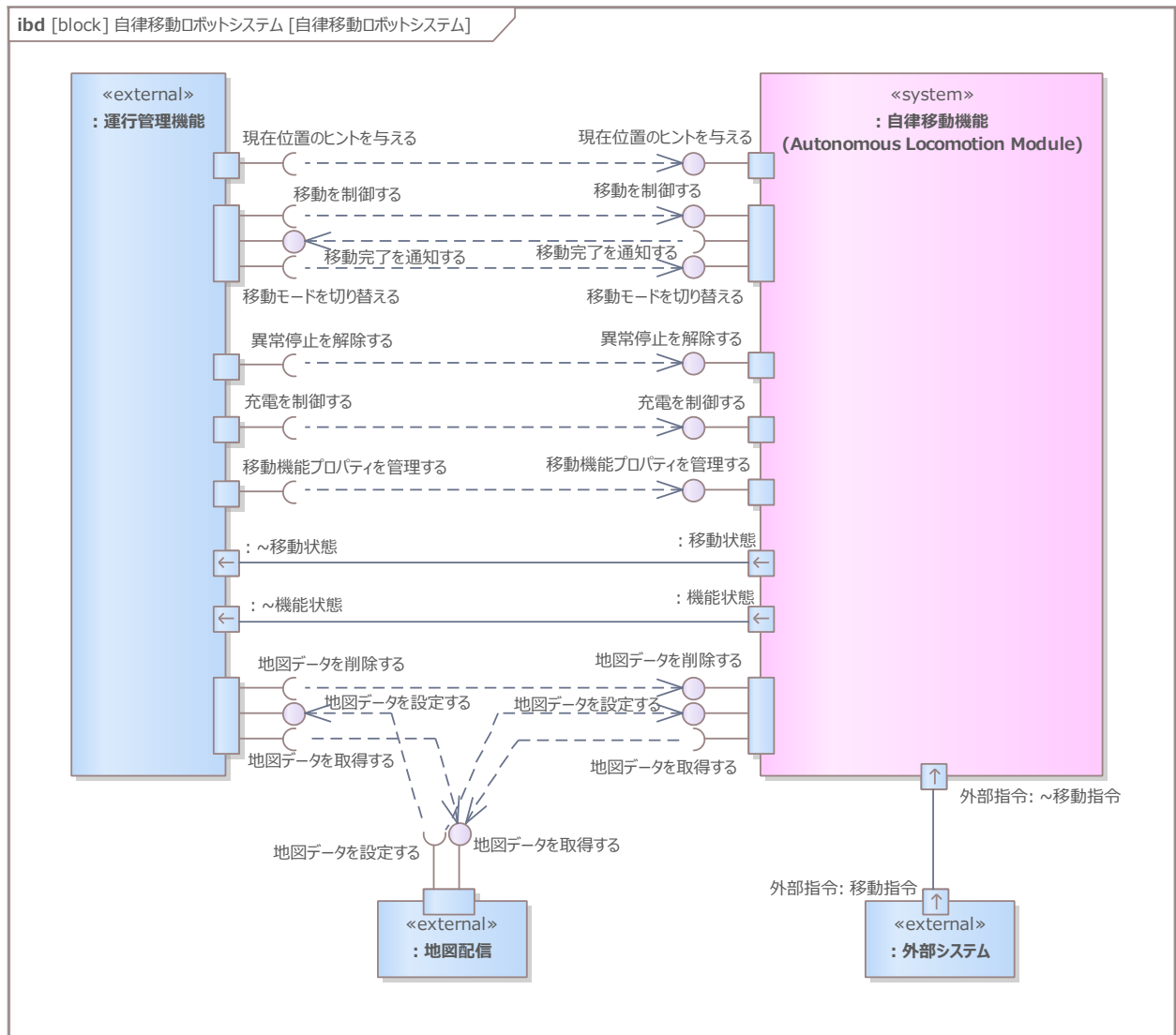
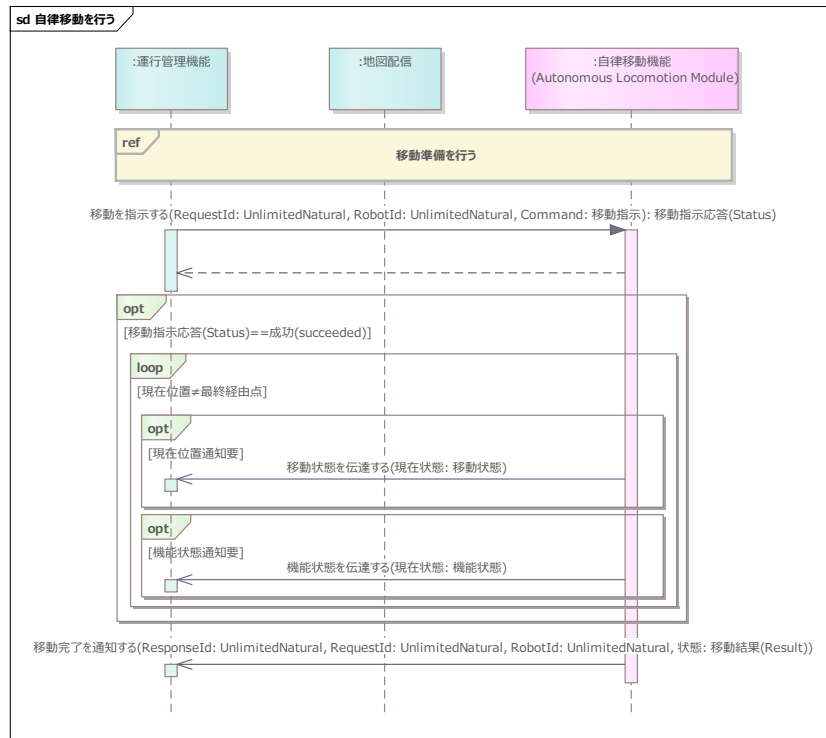


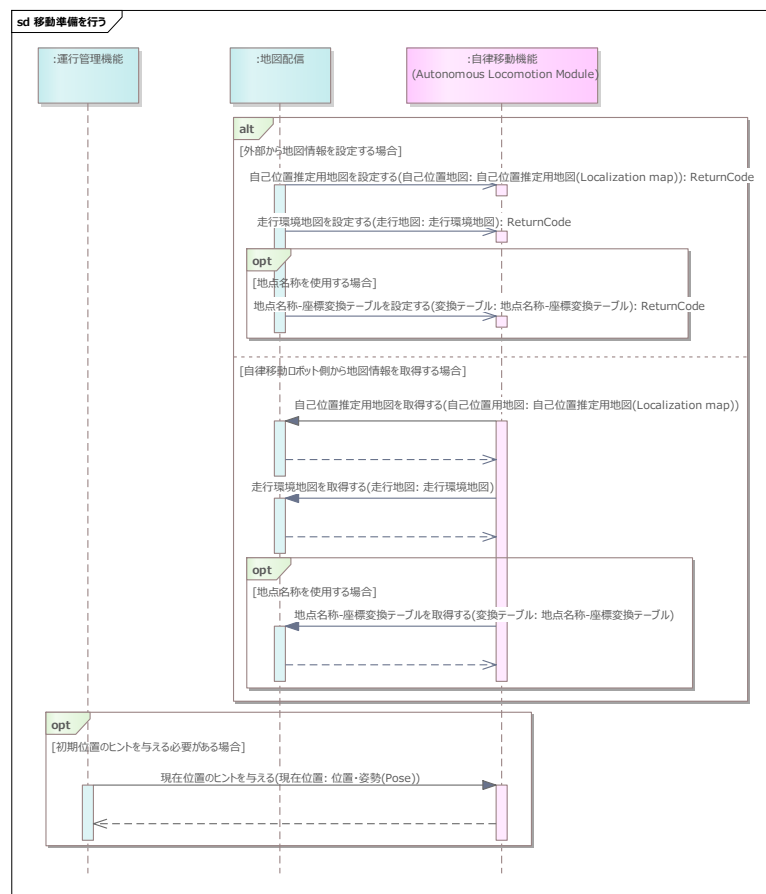
図 2 外部インターフェース

なお, 各インターフェースには複数のAPIが定義されている(例えば, 「移動を指示する」は「移動を制御する」I/Fに含まれる). 各インターフェース定義の詳細については, 「2.4.3インターフェース定義(イベントドリブンデータ)」を参照.

自律移動を行う際の「運行管理機能」と「自律移動機能」間のやり取りを以下に示す。



(A)自律移動を行う



(B)移動準備を行う

図 3 自律移動実行時のシーケンス図

自律移動を実行する際には、まず「運行管理機能」もしくは「地図配信」から「自律移動機能」に対して走行に必要な地図情報の設定を行う。なお、地図情報は、外部要素(「運行管理機能」「地図配信」)から「自律移動機能」に設定する場合と、「自律移動機能」が外部要素から取得する場合の両方を想定している。

次に「自律移動機能」に対して初期位置を教えるために、「現在位置のヒントを与える」を呼び出し、「運行管理機能」から現在位置を通知する。なお、この処理は自己位置推定の精度を向上させるために、起動直後の「待機中」状態で一度だけ実行する事を想定している。また、「自律移動機能」側で初期位置の設定が不要な場合には、本処理を実行する必要はない。

そして、「運行管理機能」から「自律移動機能」に対して、「移動を指示する」というメッセージで、移動対象のロボット、移動時の目標点を通知する。ここで何らかの理由により「自律移動機能」が移動指示を受けられる状態でない場合には、「移動指示応答(Status)」として「拒否(rejected)」を返し、処理は終了する。移動可能な場合には「移動指示応答(Status)」として「成功(succeeded)」を返し、移動を開始する。

自律移動ロボットが目標点まで移動している間は、「移動状態」「機能状態」を「自律移動機能」側で設定した一定周期で「運行管理機能」に伝達する。なお、「移動状態」「機能状態」は、「運行管理機能」で必要とする情報のみを送信することや、それぞれの情報毎に異なる送信周期を設定する事も可能である。

自律移動ロボットの移動が完了(目標点に到着、もしくは何らかの理由により移動を継続できなくなる)すると、「移動完了を通知する」というメッセージで「運行管理機能」に通知する。この際、どの移動指示に対する応答なのかを「運行管理機能」側で識別するため、「移動を指示する」で通知されたRequestIdを「移動完了を通知する」のRequestIdに設定する。

次に「運行管理機能」側から移動を中断する際のシーケンス図を以下に示す。

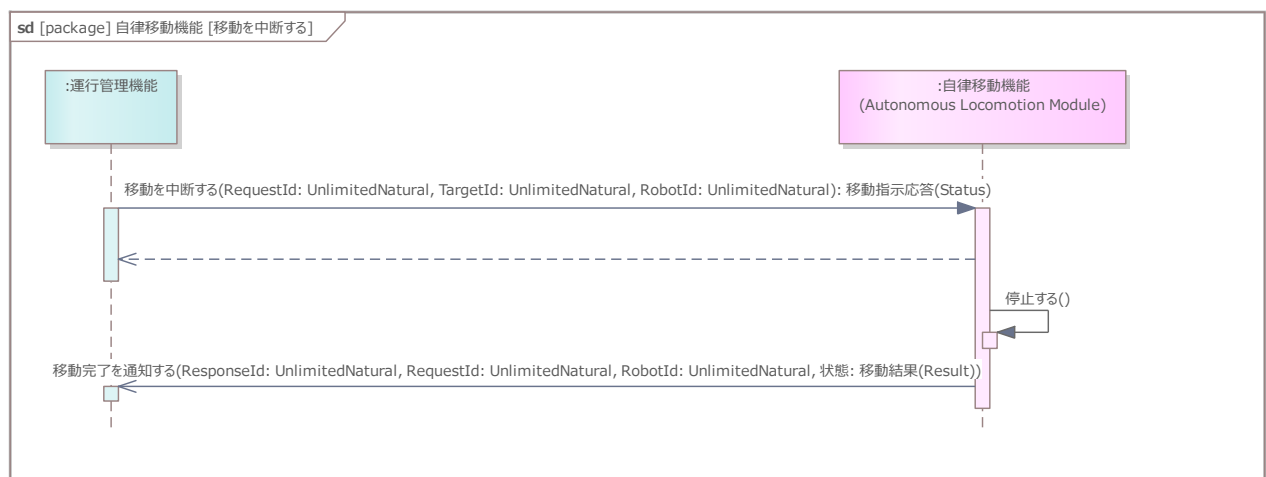


図 4 自律移動中断時のシーケンス図

「運行管理機能」側から移動を中断する場合には、「移動を中断する」を呼び出す。この際、「自律移動機能」側で、どの移動指令に対する中断指令なのかを識別するために、対応する移動指示で指定したRequestIdを「移動を中断する」のTargetIdに指定する。

「自律移動機能」側は、移動を中断し、停止した後、中断指示で指定されたRequestIdを「移動完了を通知する」のRequestIdに設定して「運行管理機能」側に通知する。この際、移動結果には「中断(preempted)」が設定される。

次に「運行管理機能」側から自律移動を一時停止した後、手動制御で操作を行い、再度、自律移動を再開する際のシーケンス図を以下に示す。

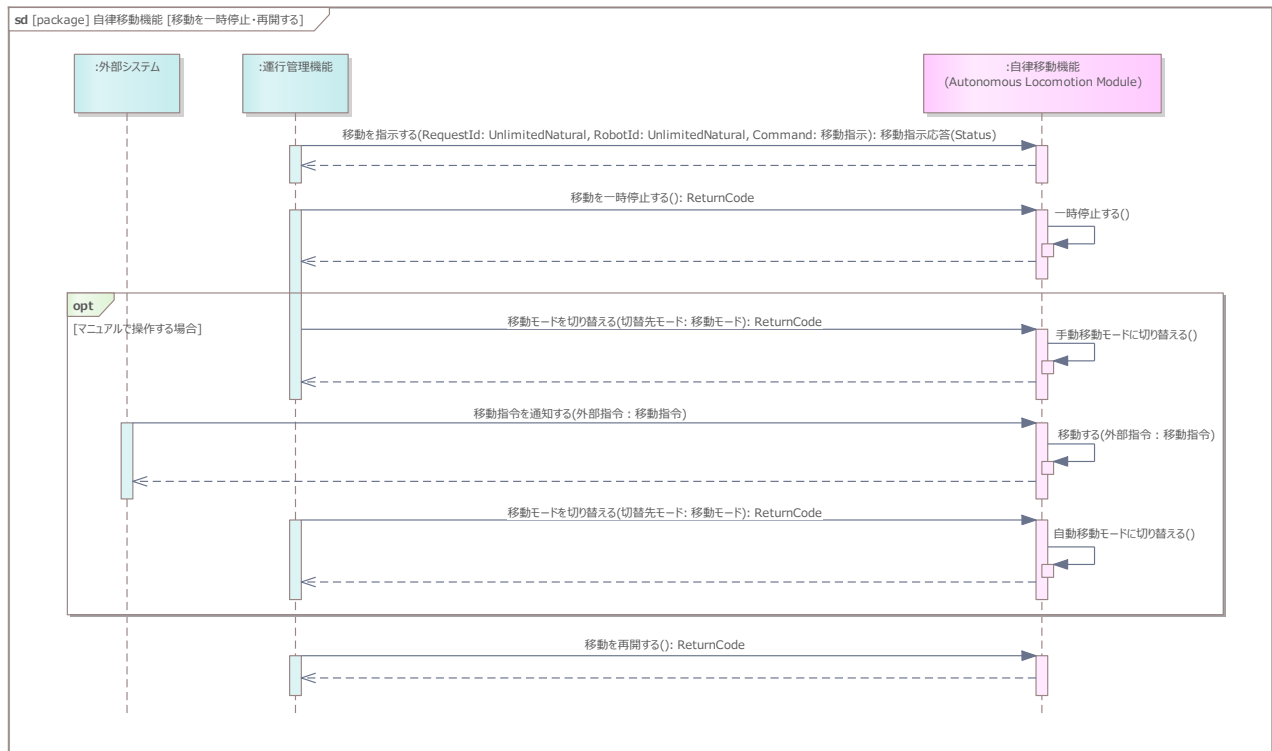


図5 自律移動一時停止・再開のシーケンス図

「運行管理機能」側から自律移動を一時停止する場合には、「移動を一時停止する」を呼び出す。この際、「自律移動機能」側で、どの移動指令に対する一時停止指令なのかを識別するために、対応する移動指示で指定した **RequestId** を「移動を一時停止する」の **TargetId** に指定する。

その後、「運行管理機能」側から「切替先モード」に「手動移動モード」を設定して、「移動モードを切り替える」を呼び出し、手動制御に切り替える。そして、「移動指令」を直接「自律移動機能」に送信し、手動で位置の調整を行う。

位置の調整が完了した後、「切替先モード」に「自律移動モード」を設定して、「移動モードを切り替える」を呼び出し、自律制御に切り替える。その後、「運行管理機能」側から「移動を再開する」を呼び出し、一時停止前に指令されていた移動を再開する。なお、「移動を再開する」を呼び出す際には、どの移動指示を再開するのかを明示するために **TargetId** に再開対象の移動指示の **RequestId** を設定する。

2.4.1. データ型定義

運行管理機能と自律移動機能で共通して使用するデータ型を以下に示す.

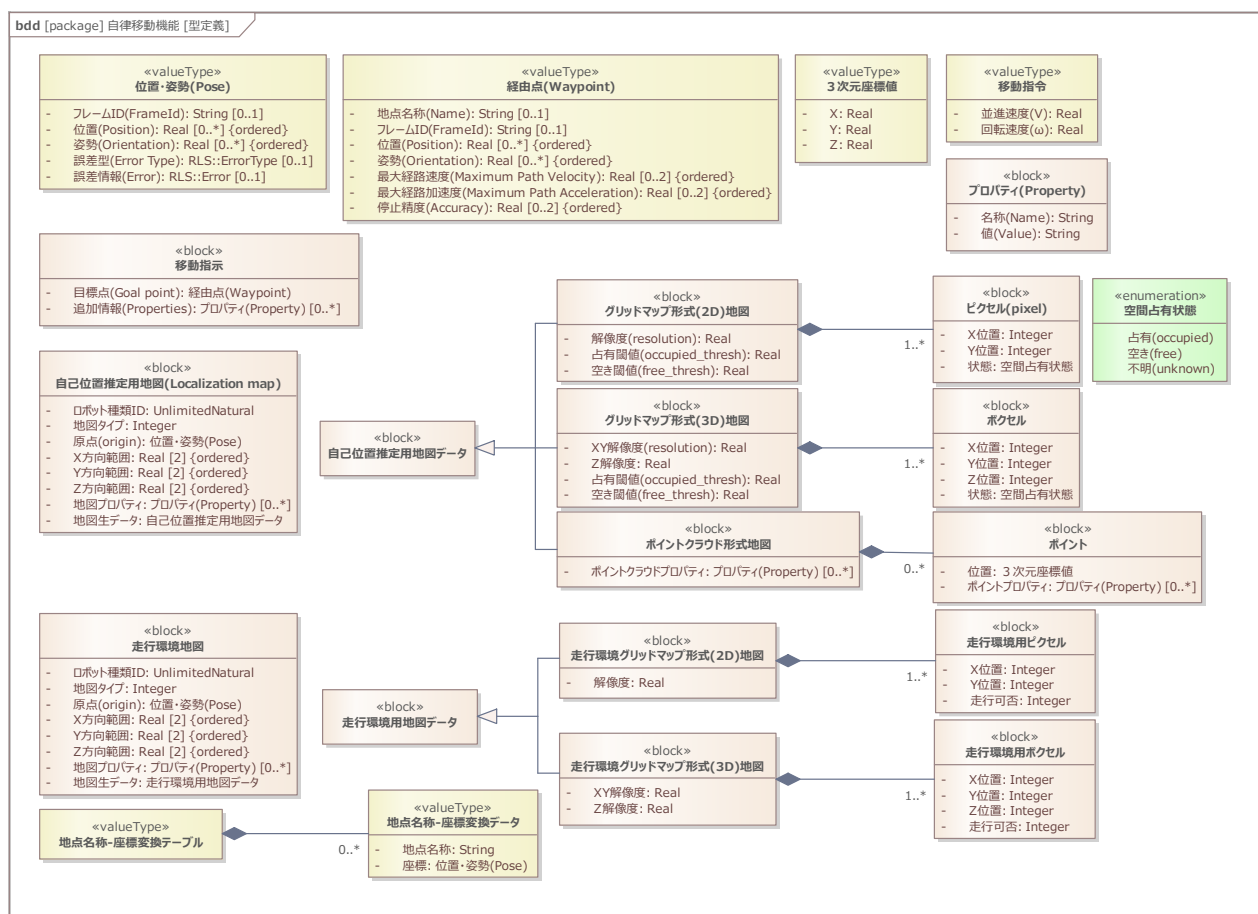


図 6 データ型定義

2.4.1.1. 位置・姿勢(Pose)

Description: 設定された地図内での位置・姿勢を示す ValueType. 座標系の原点については, 事前に地図を設定する際に SIer が決定する				
Attributes				
フレーム ID (FrameId)	String	O	1	位置, 姿勢の表現方法を定義している座標系の Id. 位置の表現方法としてはデカルト座標系, 極座標系, 地理座標系および相対座標系など, 姿勢の表現方法としては, オイラー角, クォータニオンなどがあるが, どの表現方法で値を保持しているのかを示す Id. 位置および姿勢で使用する単位も定義する. 関係者間で, 事前に使用する表現方法が規定されている場合には省略可能.
位置 (Position)	Real	M	0..N Ord	位置情報を表現する順序付き数値列. 各値が何を表現しているかはフレーム Id で定義される
姿勢 (Orientation)	Real	M	0..N Ord	姿勢情報を表現する順序付き数値列. 各値が何を表現しているかはフレーム Id で定義される
誤差型 (Error Type)	RLS::ErrorType	O	1	位置・姿勢の誤差の表現形式を示す. OMG Robotic Localization Service で定義されている以下の形式を指定可能. Reliability, CovarianceMatrix, Gaussian, UniformGaussian, MixtureOfGaussian, ParticleSet, LinearMixtureModel
誤差情報 (Error)	RLS::Error	O	1	位置・姿勢の誤差情報. 誤差型で指定した形式で表現

2.4.1.2. 経路点(Waypoint)

Description: 自律移動ロボットの目標位置・姿勢を示す ValueType				
Attributes				
地点名称(Name)	String	C	1	目標位置・姿勢の名称. 地図内で座標に対して名称を設定している場合に使用する.
フレーム ID (FrameId)	String	O	1	位置, 姿勢の表現方法を定義している座標系の Id. 経路点の座標を数値で指定する場合に使用する. 事前に使用する表現方法が規定されている場合には省略可能.
位置(Position)	Real	C	0..N Ord	位置情報を表現する順序付き数値列. 経路点の座標を数値で指定する場合に使用する. 各値が何を表現しているかはフレーム Id で定義される
姿勢(Orientation)	Real	C	0..N Ord	姿勢情報を表現する順序付き数値列. 経路点の座標を数値で指定する場合に使用する. 各値が何を表現しているかはフレーム Id で定義される
最大経路速度 (Maximum Path Velocity)	Real	O	0..2 Ord	経路点に移動するまでの最大速度・最大角速度.
最大経路加速度(Maximum Path Acceleration)	Real	O	0..2 Ord	経路点に移動するまでの最大加速度・最大角加速度.
停止精度(Accuracy)	Real	O	0..2 Ord	経路点に対する停止/通過精度. 位置・姿勢の各軸毎に定義可能.

2.4.1.3. プロパティ(Property)

Description: 各種データに追加情報を設定するため型.				
Attributes				
名称(Name)	String	M	1	追加情報を識別するための名称. 使用可能な名称については, 事前に定義する必要がある.
値(Value)	String	M	1	追加情報の値.

2.4.1.4. 移動指示

Description: 自律移動機能に対する移動命令を示す型				
Attributes				
目標点(Goal point)	経由点(Waypoint)	M	1	自律移動ロボットが, 到達すべき目標点.
追加情報 (Properties)	プロパティ (Property)	O	0..N	移動指示を行う際に, 追加で指定する情報. 搬送ロボットであれば搬送対象の「荷物 Id」, 接客・給仕ロボットであれば「案内客追従確認 ON/OFF」など.

2.4.1.5. 移動指令

Description: 自律移動ロボットに対する移動方向を指定するための型. ゲーム・パッドを使用して自律移動ロボットをマニュアルで操作したい場合や, 外部のセンサで計測した値を基に直接移動方向を指示したい場合など, 「外部システム」から移動を指令したい場合に使用する. なお, 本インターフェースは, 直接自律移動ロボットを操作する場合を想定しているので, 本インターフェースを用いて指令した場合は, 経路計画や障害物回避などは実行されない.				
Attributes				
並進速度(V)	Real	M	1	自律移動ロボットの並進方向に対する速度指令
回転速度(ω)	Real	M	1	自律移動ロボットの回転方向に対する速度指令

2.4.1.6. 3次元座標値

Description: ポイントクラウド形式地図において, 個々の点(ポイント)の位置を示す型.				
Attributes				
X	Real	M	1	各点の X 座標の位置
Y	Real	M	1	各点の Y 座標の位置
Z	Real	M	1	各点の Z 座標の位置

2.4.1.7. 自己位置推定用地図(Localization map)

Description: 自律移動機能が走行時に自己位置を推定するために使用する地図。SLAMなどの技術を用いて事前に作成を行う。

本地図は「運行管理機能」側で各自律移動ロボットの位置を表示するために使用する場合もある。また、新たに自律移動ロボットを追加した際に、既存の地図情報を利用するために配信する場合もある。更に、自律移動機能は利用せずに、別の手法で構築される場合もある。これらの理由から、本地図は「地図配信」から「運行管理機能」と「自律移動機能」に同じ情報を配信する形となる。グリッドマップ形式(2D)地図を使用した自己位置推定用地図のサンプルを図8に示す。

Attributes				
ロボット種類 ID	Unlimited Natural	M	1	ロボットの種類を識別するための ID。同じ地図を共用できるかどうかの判断に使用する。同一機種のロボットであっても、センサ配置が異なる場合には、別のロボット種類 ID となる。
地図タイプ	Integer	M	1	自己位置推定用地図として使用している地図の種類
原点(origin)	位置・姿勢(Pose)	M	1	自己位置推定用地図の原点の座標値。
X 方向範囲	Real	M	2 Ord	自己位置推定用地図が表している X 方向の範囲の最小値と最大値
Y 方向範囲	Real	M	2 Ord	自己位置推定用地図が表している Y 方向の範囲の最小値と最大値
Z 方向範囲	Real	M	2 Ord	自己位置推定用地図が表している Z 方向の範囲の最小値と最大値
地図プロパティ	プロパティ	O	0..N	各地図の追加情報。階層情報やエリア情報などを設定する
地図生データ	自己位置推定用地図データ	M	1	実際の地図データ。「地図タイプ」で指定した地図で定義された情報が格納される。

2.4.1.8. 自己位置推定用地図データ

Description: 自己位置推定用地図に設定されている地図の実データ。

Attributes: なし

2.4.1.9. グリッドマップ形式(2D)地図

Description: 2次元のグリッドマップ形式の地図。

DerivedFrom: 自己位置推定用地図データ

Attributes				
解像度(resolution)	Real	M	1	地図の解像度。(m/pixel)
占有閾値(occupied_thresh)	Real	M	1	ピクセルの状態を「占有」と判断する閾値。占有確率がこの値より大きい場合、対象ピクセルは「占有」と判断される。
空き閾値(free_thresh)	Real	M	1	ピクセルの状態を「空き」と判断する閾値。占有確率がこの値より小さい場合、対象ピクセルは「空き」と判断される。
ピクセルリスト	ピクセル(pixel)	M	1..N	個々のエリアの状態を示すリスト

2.4.1.10. ピクセル(pixel)

Description: グリッドマップ形式(2D)地図の個々のエリアの状態

Attributes				
状態	空間占有状態	M	1	対象エリアの状態。
X 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(2D)地図内における対象エリアの X 方向(横方向)の位置。地図の左下からの相対値。
Y 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(2D)地図内における対象エリアの Y 方向(縦方向)の位置。地図の左下からの相対値。

2.4.1.11. グリッドマップ形式(3D)地図

Description: 3次元のグリッドマップ形式の地図.				
DerivedFrom: 自己位置推定用地図データ				
Attributes				
XY 解像度	Real	M	1	地図の XY 方向の解像度. (m/pixel)
Z 解像度	Real	M	1	地図の Z 方向の解像度. (m/pixel)
占有閾値 (occupied_thresh)	Real	M	1	ピクセルの状態を「占有」と判断する閾値. 占有確率がこの値より大きい場合, 対象ピクセルは「占有」と判断される.
空き閾値 (free_thresh)	Real	M	1	ピクセルの状態を「空き」と判断する閾値. 占有確率がこの値より小さい場合, 対象ピクセルは「空き」と判断される.
ボクセルリスト	ボクセル	M	1..N	個々のエリアの状態を示すリスト

2.4.1.12. ボクセル

Description: グリッドマップ形式(3D)地図の個々のエリアの状態				
Attributes				
状態	空間占有状態	M	1	対象エリアの状態.
X 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(3D)地図内における対象エリアの X 方向(横方向)の位置.
Y 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(3D)地図内における対象エリアの Y 方向(縦方向)の位置.
Z 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(3D)地図内における対象エリアの Z 方向(高さ方向)の位置.

2.4.1.13. 空間占有状態

Description: グリッドマップ形式地図の各エリアの状態を表す Enum 型	
占有(occupied)	対象エリアが占有されている状態. 障害物などが存在し, 自律移動ロボットが移動できないことを表す.
空き(free)	対象エリアが空いている状態. 自律移動ロボットが移動可能なことを表す.
不明(unknown)	対象エリアの状況を判断できなかった状態. 計測時の欠損値や手前に他の物体が存在する場合など, 対象ピクセルの状態を計測できなかったことを表す.

2.4.1.14. ポイントクラウド形式地図

Description: 周辺に存在する物体を点で表現した地図.				
DerivedFrom: 自己位置推定用地図データ				
Attributes				
ポイントクラウド プロパティ	プロパティ	O	0..N	各ポイントの「ポイントプロパティ」にどんな情報が格納されているかを設定.

2.4.1.15. ポイント

Description: ポイントクラウド形式地図の個々の点の情報				
Attributes				
位置	3次元座標値	M	1	個々の点の座標値
ポイントプロパティ	プロパティ	O	0..N	色情報(R,G,B 値)や, 反射強度など, 使用するセンサに応じた情報を格納する

2.4.1.16. 走行環境地図

Description: 自律移動機能が走行可能なエリアを判断するために使用するグリッドマップ形式の地図。自己位置推定用地図の情報を基に、移動対象エリア全体に対して走行禁止エリアをユーザが設定して作成する。自律移動機能の「局所的経路計画(Local Planner)」が移動時に利用する。「局所的経路計画(Local Planner)」では各種センサで計測した情報も付加した上で、移動方向の判断などを行う。なお、自律移動ロボットが移動した際に、「局所的経路計画(Local Planner)」で使用する地図の範囲を切り替えるタイミングについては「運行管理機能」側で判断を行う(フロア切替を含む)。

本地図は「自律移動機能」側のみが保持する。ただし、自己位置推定用地図と同様に、新たに自律移動ロボットを追加した際に、既存の地図情報を利用する場合もあるため「地図配信」から配信する形となる。

グリッドマップ形式(2D)の走行環境地図のサンプルを図 9 に示す。

Attributes				
ロボット種類 ID	Unlimited Natural	M	1	ロボットの種類を識別するための ID。同じ地図を共用できるかどうかの判断に使用する。同一機種 of ロボットであっても、センサ配置が異なる場合には、別のロボット種類 ID となる。
地図タイプ	Integer	M	1	走行環境地図として使用している地図の種類
原点(origin)	位置・姿勢(Pose)	M	1	走行環境地図の原点の座標値。
X 方向範囲	Real	M	2 Ord	走行環境地図が表している X 方向の範囲の最小値と最大値
Y 方向範囲	Real	M	2 Ord	走行環境地図が表している Y 方向の範囲の最小値と最大値
Z 方向範囲	Real	M	2 Ord	走行環境地図が表している Z 方向の範囲の最小値と最大値
地図生データ	走行環境地図データ	M	1	実際の地図データ。地図タイプで指定した地図で定義された情報が格納される。

2.4.1.17. 走行環境用地図データ

Description: 走行環境地図に設定されている地図の実データ。
Attributes: なし

2.4.1.18. 走行環境グリッドマップ形式(2D)地図

Description: 2次元のグリッドマップ形式の地図。				
DerivedFrom: 走行環境用地図データ				
Attributes				
解像度(resolution)	Real	M	1	地図の解像度。m/pixel
ピクセルリスト	ピクセル(pixel)	M	1..N	個々のエリアの状態を示すリスト

2.4.1.19. 走行環境用ピクセル(pixel)

Description: グリッドマップ形式(2D)地図の個々のエリアの状態				
Attributes				
状態	空間占有状態	M	1	対象エリアの状態。
X 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(2D)地図内における対象エリアの X 方向(横方向)の位置。地図の左下からの相対値。
Y 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(2D)地図内における対象エリアの Y 方向(縦方向)の位置。地図の左下からの相対値。

2.4.1.11. 走行環境グリッドマップ形式(3D)地図

Description: 3次元のグリッドマップ形式の地図.				
DerivedFrom: 走行環境用地図データ				
Attributes				
XY 解像度	Real	M	1	地図の XY 方向の解像度. m/pixel
Z 解像度	Real	M	1	地図の Z 方向の解像度. m/pixel
ボクセルリスト	ボクセル	M	1..N	個々のエリアの状態を示すリスト

2.4.1.12. 走行環境用ボクセル

Description: グリッドマップ形式(3D)地図の個々のエリアの状態				
Attributes				
状態	空間占有状態	M	1	対象エリアの状態.
X 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(3D)地図内における対象エリアの X 方向(横方向)の位置.
Y 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(3D)地図内における対象エリアの Y 方向(縦方向)の位置.
Z 位置	Integer	M	1	グリッドマップ形式(3D)地図内における対象エリアの Z 方向(高さ方向)の位置.

2.4.1.16. 地点名称-座標変換テーブル

Description: 目標点で指定された「地点名称」を実際の「座標値」に変換するためのテーブル. 目標点指定時に「地点名称」を使用する場合には必須(座標値を直接指定する場合には不要). 「運行管理機能」と「自律移動機能」で同じ情報を共有する必要があるため, 地図情報の一部として設定.				
Attributes:				
地点名称-座標変換データリスト	地点名称-座標変換データ	O	0..N	各地点名称の座標値を設定したデータのリスト

2.4.1.17. 地点名称-座標変換データ

Description: 各地点名称の座標値を設定したデータ				
Attributes				
地点名称	String	M	1	目標点指定時に使用する名称
座標	位置・姿勢(Pose)	M	1	各地点の実際の座標値

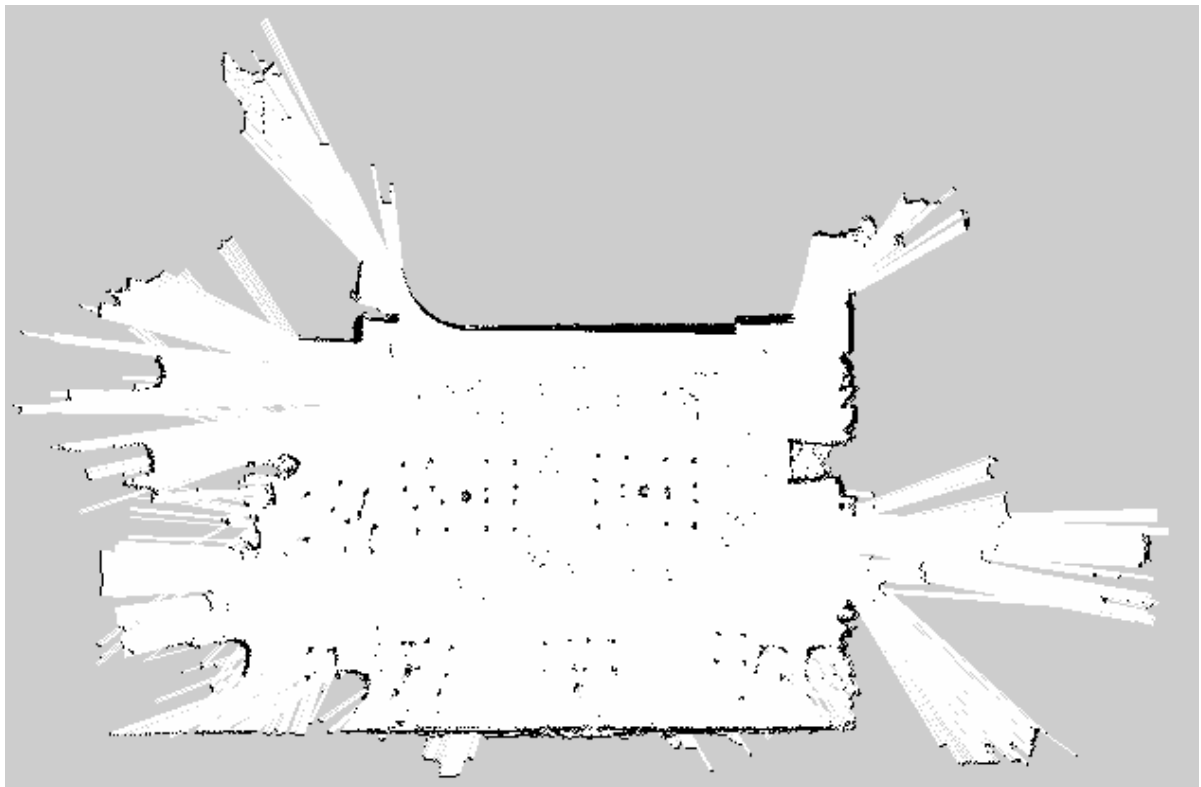


図 7 自己位置推定用地図の例

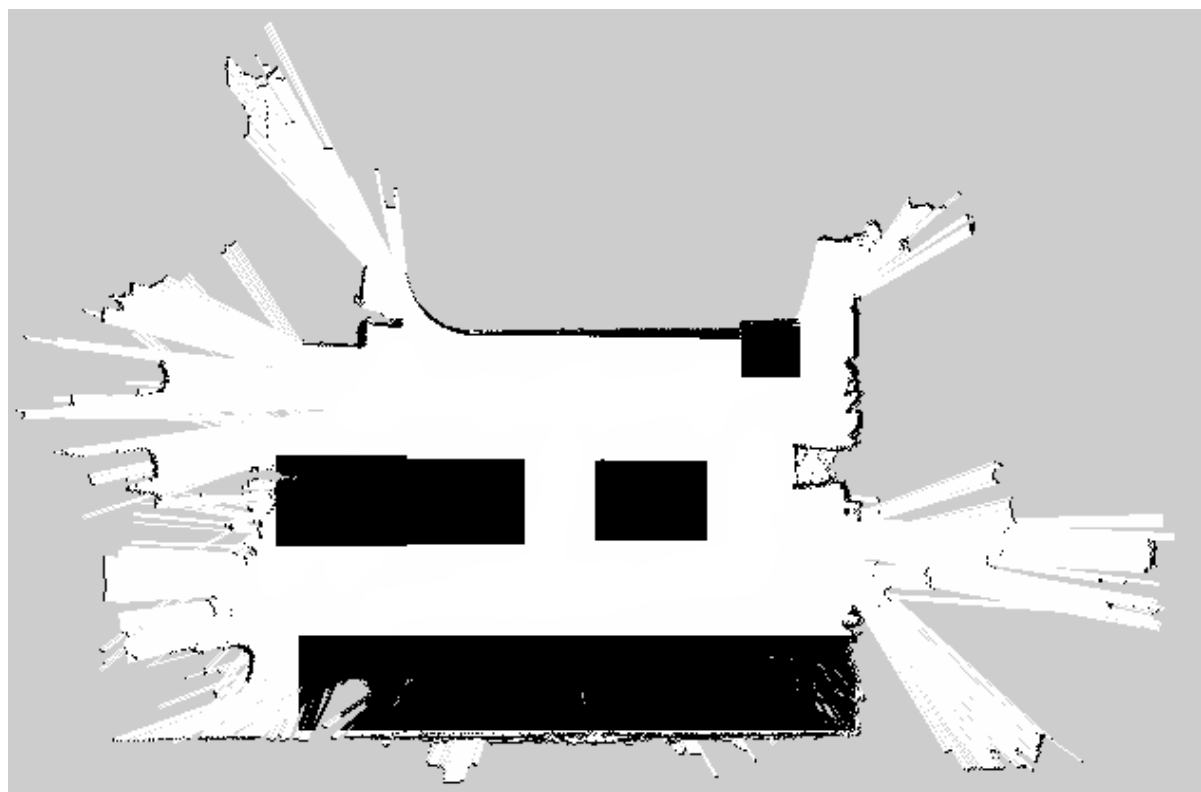


図 8 走行環境地図の例

2.4.2. インターフェース定義(常時通信データ)

「運行管理機能」と「自律移動機能」との間で、連続的にやり取りするデータの定義を以下に示す。

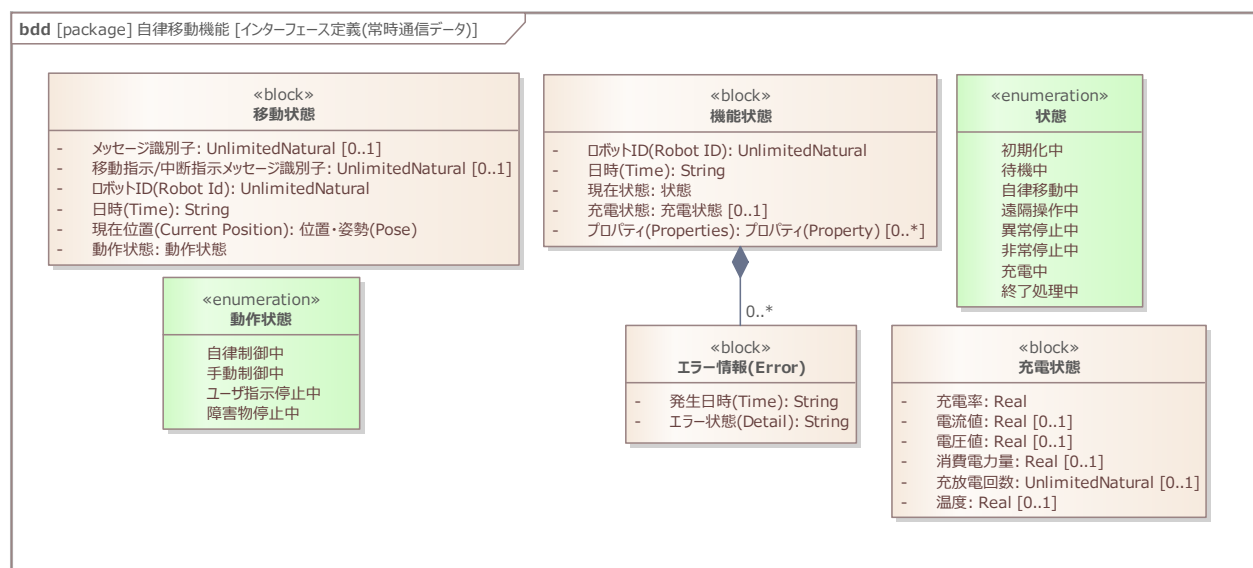


図9 インターフェース定義(常時通信データ)

2.4.2.1. 移動状態

Description: 自律移動実行時の状態。「自律移動機能」の状態が「自律移動中」の場合に、定期的に「運行管理機能」に対して送信される。				
Attributes				
メッセージ識別子	UnlimitedNatural	O	0..1	メッセージ識別子。「運行管理機能」側で「移動状態」を識別するために使用される。「運行管理機能」側でメッセージの識別を行わない場合には、省略することができる。
移動指示/中断指示メッセージ識別子	UnlimitedNatural	O	0..1	「運行管理機能」から受信した移動指示の識別子。現在の動作を実行する際に受け取ったメッセージの識別子。「運行管理機能」側で、動作状態を変更したい場合に使用する。
ロボットID	UnlimitedNatural	M	1	送信元のロボットを一意に識別するための識別子
日時	String	M	1	対象ロボットが情報を送信した日時。ISO8601 拡張形式+ミリ秒 (YYYY-MM-DDThh:mm:ss.sssZ) の書式で設定
現在位置	位置・姿勢	M	1	対象ロボットの現在位置・姿勢
動作状態	動作状態	M	1	現在の「自律移動機能」の状態。「自律移動中」状態内のサブ状態を設定する。

2.4.2.2. 動作状態

Description: 「自律移動中」状態内のサブ状態を示す Enum 型。	
自律制御中	指示された動作計画に基づき、自律的に制御している状態。
手動制御中	動作計画を実行している途中で、外部システムから手動で操作されている状態。
ユーザ指示停止中	「運行管理機能」からの指令で、動作を一時的に停止している状態。
障害物停止中	周辺障害物の影響で、動作が継続できず、一時停止している状態。

2.4.2.3. 機能状態

Description: 「運行管理機能」に通知する「自律移動機能」の内部状態を示す型. 「自律移動機能」から定期的に「運行管理機能」に対して送信される.				
Attributes				
ロボット ID	UnlimitedNatural	M	1	送信元のロボットを一意に識別するための識別子.
日時	String	M	1	対象ロボットが情報を送信した日時. ISO8601 拡張形式+ミリ秒 (YYYY-MM-DDThh:mm:ss.sssZ) の書式で設定
現在状態	状態	M	1	現在の「自律移動機能」の状態.
充電状態	充電状態	O	1	使用しているバッテリーの現在の充電状況.
プロパティ	プロパティ	O	0..N	「運行管理機能」に定期的に通知したい情報. 搬送ロボットであれば「搬送重量」など

2.4.2.4. エラー情報(Error)

Description: 自律移動機能内で発生したエラー情報を示す型				
Attributes				
発生日時	String	M	1	当該エラーが発生した日時. ISO8601 拡張形式+ミリ秒 (YYYY-MM-DDThh:mm:ss.sssZ) の書式で設定
エラー状態	String	M	1	対象ロボットに発生したエラーの詳細情報

2.4.2.5. 状態

Description: 「自律移動機能」の現在の状態を示す Enum 型.	
初期化中	電源 ON を行った後の状態. 各種初期化処理を行った後, 自動で「待機中」に遷移する
待機中	「運行管理機能」からの指示を待っている状態.
自律移動中	指示された動作計画に基づき, 動作している状態.
遠隔操作中	動作計画が指示されていない段階で, 外部システムから手動で操作されている状態.
異常停止中	外部から緊急停止された状態. 適切なりカバリー処理を実行する事で, 電源 OFF を行わずに動作を継続可能な状態.
非常停止中	外部から緊急停止された状態で, 電源 OFF を行わないと動作を継続できない状態.
充電中	充電を実行している状態
終了処理中	電源 OFF を行う前の状態. 各種終了処理を行った後, 電源が OFF となる.

2.4.2.6. 充電状態

Description: 自律移動ロボットが使用しているバッテリーの状態を示す型				
Attributes				
充電率	Real	M	1	バッテリーが完全充電された状態から放電した電気量を除いた残りの割合
電流値	Real	O	1	バッテリーが出力している電流値.
電圧値	Real	O	1	バッテリーの現在の電圧値
消費電力量	Real	O	1	バッテリーが消費した電気エネルギーの量.
充放電回数	UnlimitedNatural	O	1	バッテリーが充電され, 放電するまでの流れを 1 サイクルとした場合の回数.
温度	Real	O	1	バッテリー本体の温度.

2.4.3. インターフェース定義(イベントドリブンデータ)

「運行管理機能」と「自律移動機能」間で使用するインターフェースの定義を以下に示す。

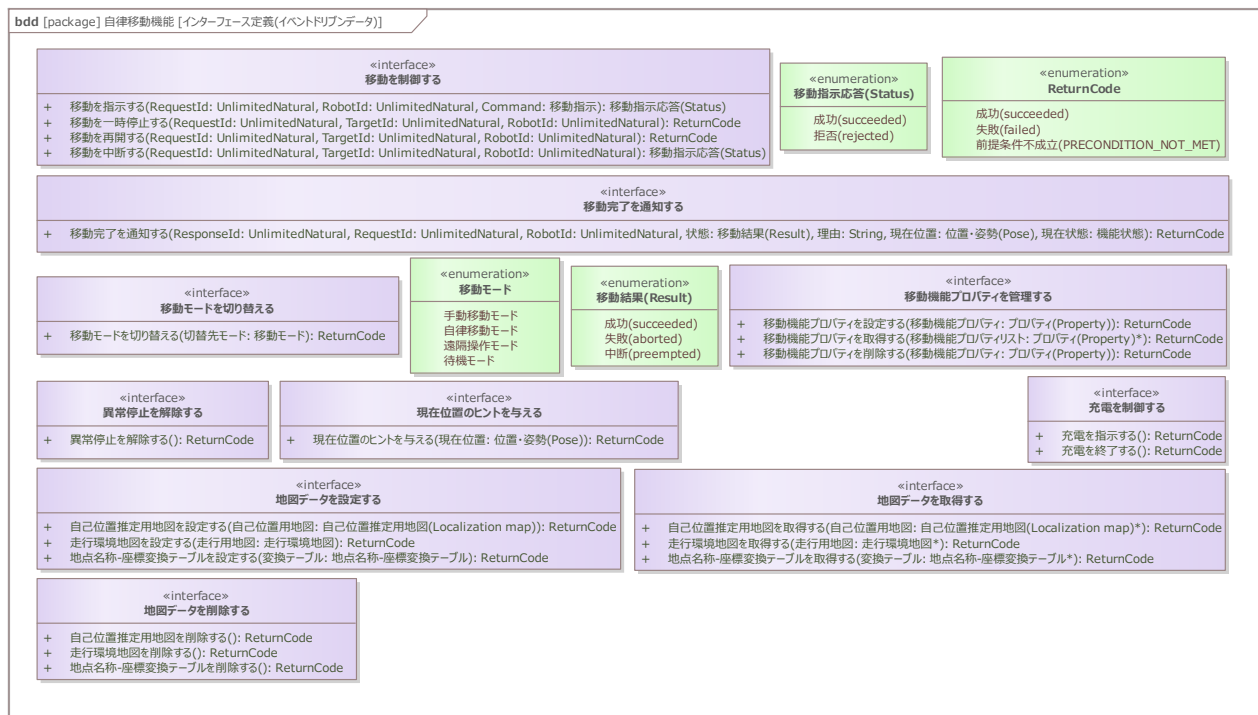


図 1 0 インターフェース定義(イベントドリブンデータ)

2.4.3.1. ReturnCode

Description:各インターフェースの実行結果を示す Enum 型.	
成功(succeeded)	指令された動作の実行に成功.
失敗(failed)	指令された動作の実行に失敗.
前提条件不成立(PRECONDITION_NOT_MET)	前提条件が満たされていない. 指令されたコマンドを実行できない状態だった場合などに使用.

2.4.3.2 移動を制御する

Description:「運行管理機能」から「自律移動機能」に移動に関する指示を送信するためのインターフェース.				
Operations				
移動を指示する		M		
「運行管理機能」から「自律移動機能」に移動先を指示する. 「自律移動機能」側は, 受信した後すぐに「ステータス(Status)」を「運行管理機能」に返す(移動が完了するまで待たない). 「自律移動機能」の状態が「待機中」の場合のみ発行可能.				
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子. 「自律移動機能」側で移動指示を識別するために使用される. 「運行管理機能」側では移動完了が通知された際に, どの移動指示に対する応答なのかを識別するために使用する.
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子. 移動指示を送信するロボットを識別するために使用する.
in	Command	移動指示	M	「運行管理機能」から指定された移動情報
ret		移動指示応答(Status)	M	移動指示の受信状態. 「自律移動機能」の移動状態ではない

移動を一時停止する			M	
「運行管理機能」側から移動の一時停止を指示する。「自律移動機能」側は、実際に動作を一時停止した後、「ReturnCode」を「運行管理機能」に返す。「自律移動機能」の状態が「自律制御中」の場合のみ発行可能。				
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。「自律移動機能」側で一時停止指示を識別するために使用される。
in	TargetId	UnlimitedNatural	M	移動指示メッセージ識別子。「自律移動機能」側で、どの移動指示に対する一時停止指令なのかを判断するために使用される。現在実行中の移動指示以外の識別子が設定されていた場合には、一時停止は実行されない。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子。一時停止指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		ReturnCode	M	一時停止の実行結果。
移動を再開する			M	
「運行管理機能」側から移動の再開を指示する。「自律移動機能」側は、実際に動作を再開した後、「ReturnCode」を「運行管理機能」に返す。「自律移動機能」の状態が「ユーザ指示一時停止中」の場合のみ発行可能。				
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。「自律移動機能」側で再開指示を識別するために使用される。
in	TargetId	UnlimitedNatural	M	一時停止指示メッセージ識別子。「自律移動機能」側で、どの一時停止指示に対する再開指令なのかを判断するために使用される。最後に指示された一時停止指示以外の識別子が設定されていた場合には、移動の再開は実行されない。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子。再開指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		ReturnCode	M	移動再開の実行結果。
移動を中断する			M	
「運行管理機能」から「自律移動機能」に移動の中断を指示する。「自律移動機能」側は、受信した後すぐに「ステータス(Status)」を「運行管理機能」に返す(中断が完了するまで待たない)。「自律移動機能」の状態が「自律移動中」の場合のみ発行可能。				
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。「自律移動機能」側で中断指示を識別するために使用される。「運行管理機能」側では中断完了が通知された際に、どの中断指示に対する応答なのかを識別するために使用する。
in	TargetId	UnlimitedNatural	M	移動指令識別子。「自律移動機能」側で、どの移動指示に対する中断指示なのかを識別するために使用する。現在実行中の移動指示以外の識別子が設定されていた場合には、移動の中断は実行されない。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	中断対象ロボット識別子。中断指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		移動指示応答(Status)	M	中断指示の受信状態。自律移動ロボットの移動状態ではない。

2.4.3.3. 移動指示応答(Status)

Description: 「運行管理機能」からの移動指示/中断指示の受信状態を示す Enum 型	
成功(succeeded)	移動指示/中断指示を正常に受信。
拒否(rejected)	移動指示/中断指示を受けられる状態ではない

2.4.3.4. 移動完了を通知する

Description: 自律移動ロボットが指定された場所に到達した場合や、何らかの理由により移動を継続できなくなった場合、または「運行管理機能」から移動中断指示が送られた場合に、「運行管理機能」に移動ロボットの状態を通知するためのインターフェース				
Operations				
移動完了を通知する		M		
in	ResponseId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。「運行管理機能」側で移動完了通知を識別するために使用する。
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	移動指示/中断指示メッセージ識別子。どの指示に対する応答なのかを識別するために使用する。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	ロボット識別子。どのロボットからの応答なのかを識別するために使用する。
in	状態	移動結果(Result)	M	自律移動ロボットの動作結果
in	理由	String	O	移動が失敗した場合や中断した場合に、その理由を設定する。
in	現在位置	位置・姿勢(Pose)	M	移動が完了した時点での現在位置・姿勢。
in	現在状態	機能状態	O	移動が完了した時点の状態
ret		ReturnCode	M	「運行管理機能」側の通知受信結果。

2.4.3.5. 移動結果(Result)

Description: 自律移動ロボットの動作結果	
成功(succeeded)	「運行管理機能」から指定された場所まで移動が完了。
失敗(aborted)	何らかの理由により「運行管理機能」から指定された場所まで移動ができなかった
中断(preempted)	「運行管理機能」からの指示で移動を途中で終了

2.4.3.6. 移動モードを切り替える

Description: 「運行管理機能」側から「自律移動機能」に対して、移動モードの変更を通知するためのインターフェース。指定された移動モードに遷移できたかどうかを返す。				
Operations				
移動モードを切り替える		M		
in	切替先モード	移動モード	M	「自律移動機能」の遷移先のモード。
ret		ReturnCode	M	指定された移動モードへの変更結果。

2.4.3.7. 移動モード

Description: 「運行管理機能」が「自律移動機能」の移動モードを切り替える際に使用する Enum 型	
手動移動モード	外部システムから手動で操作可能なモード。「自律移動機能」の状態が「一時停止中」の場合にのみ発行可能で、「手動制御中」に遷移する。
自律移動モード	指示された動作計画に基づき自律的に動作するモード。「自律移動機能」の状態が「一時停止中」の場合にのみ発行可能で、「一時停止中」に遷移する。
遠隔操作モード	動作計画が指示されていない段階で、外部システムから手動で操作するモード。「自律移動機能」の状態が「待機中」の場合にのみ発行可能で、「遠隔操作中」に遷移する。
待機モード	「運行管理機能」からの指示を待つモード。「自律移動機能」の状態が「遠隔操作中」の場合にのみ発行可能で、「待機中」に遷移する。

2.4.3.8. 現在位置のヒントを与える

Description:「運行管理機能」側から「自律移動機能」に対して、現在位置の情報を与えるためのインターフェース。起動時に自己位置推定のための初期位置を設定する際や地図を切り替えた際などに使用される。「自律移動機能」の状態が「待機中」の場合のみ発行可能。

Operations

現在位置のヒントを与える		M		
in	現在位置(Current Pose)	位置・姿勢(Pose)	M	移動ロボットの現在位置・姿勢情報。
ret		ReturnCode	M	現在位置ヒントの受信結果。

2.4.3.9. 異常停止を解除する

Description:「運行管理機能」側から「自律移動機能」の異常停止を解除するためのインターフェース。「自律移動機能」の状態が「異常停止中」の場合のみ発行可能。

Operations

異常停止を解除する		O		
ret		ReturnCode	M	異常停止の解除結果。

2.4.3.10. 充電を制御する

Description:「運行管理機能」側から「自律移動機能」の充電を指示するためのインターフェース。本インターフェースの実装はオプション。

Operations

充電を指示する		O		
充電を開始することを指示する。「自律移動機能」側は、実際に充電を開始した後、「ReturnCode」を「運行管理機能」に返す。「自律移動機能」の状態が「待機中」の場合のみ発行可能。				
ret		ReturnCode	M	充電開始の実行結果。
充電を終了する		O		
充電を終了することを指示する。「自律移動機能」側は、実際に充電を終了した後、「ReturnCode」を「運行管理機能」に返す。「自律移動機能」の状態が「充電中」の場合のみ発行可能。				
ret		ReturnCode	M	充電開始の実行結果。

2.4.3.11. 移動機能プロパティを管理する

Description:「自律移動機能」が内部に保持する移動機能プロパティの取得/設定/削除を行うためのインターフェース。本インターフェースの実装はオプション。

Operations

移動機能プロパティを設定する		O		
「運行管理機能」側から移動機能プロパティを与える.				
in	移動機能プロパティ	プロパティ	M	設定対象の移動機能プロパティ.
ret		ReturnCode	M	移動機能プロパティの設定結果.
移動機能プロパティを取得する		O		
「自律移動機能」が保持する移動機能プロパティを全て取得する.				
out	移動機能プロパティリスト	プロパティ	0..N	「自律移動機能」が保持している移動機能プロパティのリスト.
ret		ReturnCode	M	移動機能プロパティの取得結果.

移動機能プロパティを削除する		O		
指定された移動機能プロパティを「自律移動機能」から削除する.				
in	移動機能プロパティ	プロパティ	M	削除対象の移動機能プロパティ.
ret		ReturnCode	M	移動機能プロパティの削除結果.

2.4.3.12. 地図データを設定する

Description: 「運行管理機能」もしくは「地図配信」から「自律移動機能」に対して、地図データを設定するためのインターフェース。「地図データを取得する」インターフェースが実装されている場合には、本インターフェースは不要。				
Operations				
自己位置推定用地図を設定する		C		
in	自己位置用地図	自己位置推定用地図	M	「自律移動機能」が走行時に自己位置を推定するために使用する地図
ret		ReturnCode	M	自己位置用地図の設定結果。
走行環境地図を設定する		C		
in	走行用地図	走行環境地図	M	「自律移動機能」が走行可能なエリアを判断するために使用するグリッドマップ形式の地図。
ret		ReturnCode	M	走行環境地図の設定結果。
地点名称-座標変換テーブルを設定する		O		
in	変換テーブル	地点名称-座標変換テーブル	M	地点名称を実際の座標値に変換するためのテーブル。目標点を指定する際に「地点名称」を使用している場合には必須。
ret		ReturnCode	M	地点名称-座標変換テーブルの設定結果。

2.4.3.13. 地図データを取得する

Description: 「自律移動機能」が「運行管理機能」もしくは「地図配信」から、地図データを取得するためのインターフェース。「地図データを設定する」インターフェースが実装されている場合には、本インターフェースは不要。				
Operations				
自己位置推定用地図を取得する		C		
out	自己位置用地図	自己位置推定用地図	M	「自律移動機能」が走行時に自己位置を推定するために使用する地図
ret		ReturnCode	M	自己位置用地図の取得結果。
走行環境地図を取得する		C		
out	走行用地図	走行環境地図	M	自律移動機能が走行可能なエリアを判断するために使用するグリッドマップ形式の地図。
ret		ReturnCode	M	走行環境地図の取得結果。
地点名称-座標変換テーブルを取得する		O		
out	変換テーブル	地点名称-座標変換テーブル	M	地点名称を実際の座標値に変換するためのテーブル。目標点を指定する際に「地点名称」を使用している場合には必須。
ret		ReturnCode	M	地点名称-座標変換テーブルの取得結果。

2.4.3.14. 地図データを削除する

Description: 「運行管理機能」側から「自律移動機能」内部の地図データを削除するためのインターフェース。				
--	--	--	--	--

Operations				
自己位置推定用地図を削除する			O	
ret		ReturnCode	M	自己位置推定地図の削除結果.
走行環境地図を削除する			O	
ret		ReturnCode	M	走行環境地図の削除結果.
地点名称-座標変換テーブルを削除する			O	
ret		ReturnCode	M	地点名称-座標変換テーブルの削除結果.

2.5. 内部構成

自律移動機能の内部構成と、それらの接続関係を以下に示す。

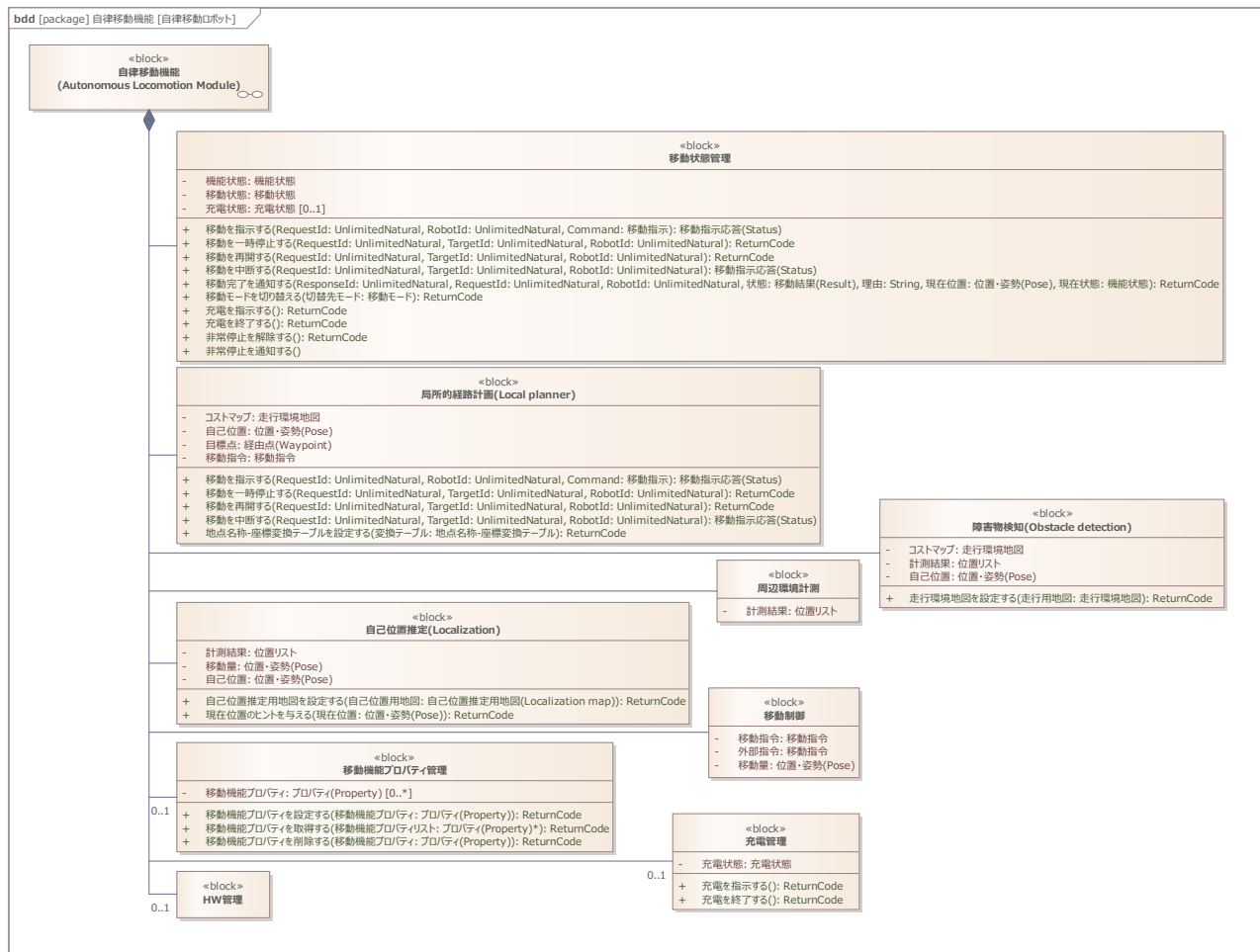


図 1 1 内部構成

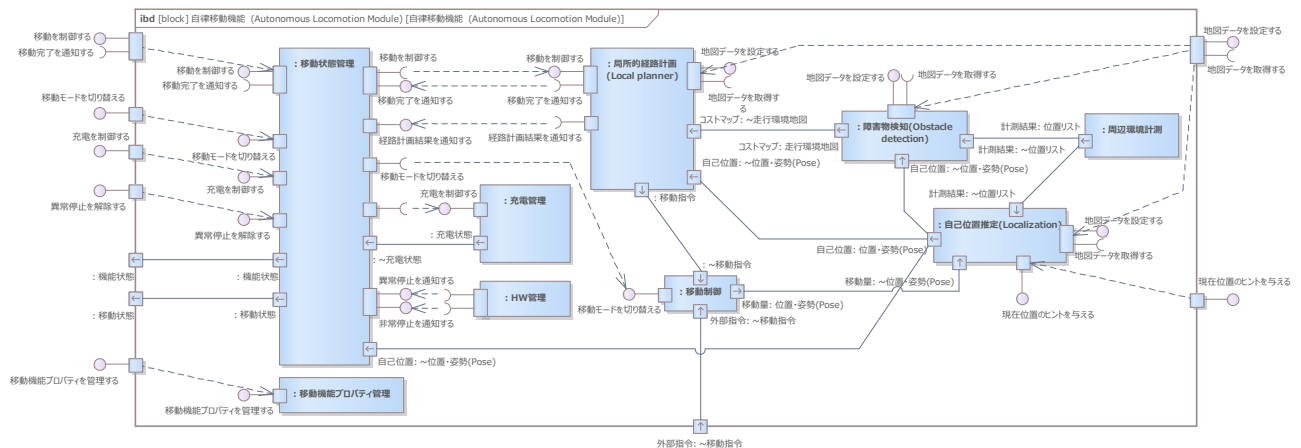


図 1 2 内部構成要素の接続関係

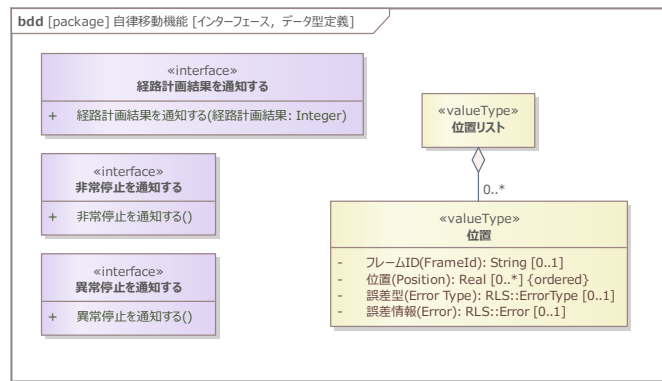


図 1 3 内部構成要素で使用しているインターフェース，データ型定義

2.5.1.移動状態管理

Description :「自律移動機能」の全体の振る舞いを管理する要素。「自律移動機能」の状態を管理し、「運行管理機能」など外部からの指令の実行可否などを判断する。なお、指示された指令が実行可能な場合には、各指令の内容に応じて、適切に他の要素に動作指令を送信する。 また、適切な周期で「運行管理機能」に対し、常時通信データの送信も行う。				
Attributes				
機能状態	機能状態	M	1	「運行管理機能」に通知する「自律移動機能」の内部状態
移動状態	移動状態	M	1	自律移動実行時の状態。「自律移動機能」の状態が「自律移動中」の場合に、定期的に「運行管理機能」に対して送信される。
充電状態	充電状態	O	1	「充電管理」から通知されたバッテリーの充電状態。
Operations				
移動を指示する		M	「運行管理機能」から移動目標の「目標点」を受信し、移動を開始するためのインターフェース。「移動指示」を受信した後、内部状態を確認し、すぐに「ステータス(Status)」を「運行管理機能」側に返す(実際に移動が完了するのは待たない)。状態が「待機中」の場合のみ受信可能。	
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。移動指示を識別するために使用する。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子。移動指示を送信するロボットを識別するために使用する。
in	Command	移動指示	M	「運行管理機能」から指定された移動情報
ret		移動指示応答 (Status)	M	移動指示の受信状態。自律移動ロボットの移動状態ではない。
移動を一時停止する		M	「運行管理機能」側から移動の一時停止を指示するためのインターフェース。「局所的経路生成」が実際に動作を一時停止した後、「ReturnCode」を「運行管理機能」に返す。状態が「自律制御中」の場合のみ受信可能。	
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。一時停止指示を識別するために使用する。
in	TargetId	UnlimitedNatural	M	移動指示メッセージ識別子。「局所的経路生成」でどの移動指示に対する一時停止指令なのかを判断するために使用する。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子。一時停止指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		ReturnCode	M	一時停止の実行結果。
移動を再開する		M	「運行管理機能」側から移動の再開を指示するためのインターフェース。「局所的経路生成」が実際に動作を再開した後、「ReturnCode」を「運行管理機能」に返す。状態が「ユーザ指示一時停止中」の場合のみ受信可能。	
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。再開指示を識別するために使用する。

in	TargetId	UnlimitedNatural	M	一時停止指示メッセージ識別子。「局所的経路生成」でどの一時停止指示に対する再開指令なのかを判断するために使用する。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子。再開指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		ReturnCode	M	移動再開の実行結果。
移動を中断する		M	「運行管理機能」から移動を中断するためのインターフェース。受信した後、内部状態を確認し、すぐに「ステータス(Status)」を「運行管理機能」側に返す(実際に移動が中断されるのは待たない)。状態が「自律移動中」の場合のみ受信可能。	
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。中断指示を識別するために使用する。
in	TargetId	UnlimitedNatural	M	移動指令識別子。「局所的経路生成」でどの移動指示に対する中断指示なのかを識別するために使用する。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	中断対象ロボット識別子。中断指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		移動指示応答 (Status)	M	中断指示の受信状態。自律移動ロボットの移動状態ではない。
移動完了を通知する		M	「局所的経路生成」から移動指示の実行結果を受け取るためのインターフェース。	
in	ResponseId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。「運行管理機能」側で移動完了通知を識別するために使用する。
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	移動指示/中断指示メッセージ識別子。どの指示に対する応答なのかを識別するために使用する。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	ロボット識別子。どのロボットからの応答なのかを識別するために使用する。
in	状態	移動結果(Result)	M	自律移動ロボットの動作結果
in	理由	String	O	移動が失敗した場合や中断した場合に、その理由を設定する。
in	現在位置	位置・姿勢(Pose)	M	移動が完了した時点での現在位置・姿勢。
in	現在状態	機能状態	O	移動が完了した時点の状態
ret		ReturnCode	M	「移動状態管理」の通知受信結果。
経路計画結果を通知する		M	「局所的経路計画」から「移動状態管理」に対して、経路計画の実行結果を通知するためのインターフェース。周辺に対応不能障害物が存在するために経路計画に失敗し、「障害物停止中」に遷移する場合や、対応不能障害物が除去されたことで経路計画に成功し、「自律制御中」に遷移する場合など、「自律移動機能」の状態遷移に関連するイベントを通知するためのインターフェース。	
in	経路計画結果	Integer	M	「局所的経路計画」の経路計画の実行結果。「自律移動機能」の状態遷移に関連するイベントを設定する。
ret		ReturnCode	M	経路計画の実行結果の受信結果。
移動モードを切り替える		M	「運行管理機能」側から「自律移動機能」に対して、移動モードの変更を通知するためのインターフェース。	
in	切替先モード	移動モード	M	「自律移動機能」の遷移先のモード。
ret		ReturnCode	M	指定された移動モードへの変更結果。
充電を指示する		O	充電を開始することを指示するためのインターフェース。実際に充電を開始した後、「ReturnCode」を「運行管理機能」に返す。 本インターフェースはオプション。内部要素に「充電管理」が存在する場合に実装可能。	

充電を終了する	O	充電を終了することを指示するためのインターフェース。実際に充電を終了した後、「ReturnCode」を「運行管理機能」に返す。 本インターフェースはオプション。内部要素に「充電管理」が存在する場合に実装可能。
異常停止を解除する	O	「運行管理機能」側から異常停止を解除するためのインターフェース。
異常停止を通知する	O	「HW 管理」から異常停止の発生を受信するためのインターフェース。 本インターフェースはオプション。内部要素に「HW 管理」が存在する場合に実装可能。
非常停止を通知する	O	「HW 管理」から非常停止の発生を受信するためのインターフェース。 本インターフェースはオプション。内部要素に「HW 管理」が存在する場合に実装可能。

2.5.2.局所的経路計画(Local planner)

Description: コストマップを用いて、現在位置から指定された目標点に移動するための「移動指令」を生成する要素。 「運行管理機能」から「移動状態管理」経由で指定された「目標点」、「自己位置推定」が推定した「自己位置」および「障害物検知」が生成した「コストマップ」を用いて、移動ロボットの「並進速度」「回転速度」を算出し、「移動制御」に対して「移動指示」を伝達する。「目標点」に設定されている「停止精度」以内に「自己位置」が到達した場合には、「移動完了を通知する」を用いて「移動状態管理」に対して目標点到着を通知する。				
Attributes				
目標点	経由点(Waypoint)	M	1	「移動状態管理」から指定された目標地点
コストマップ	走行環境地図	M	1	「障害物検知」が生成した現状の周辺環境の地図。移動禁止領域や周辺に存在する障害物の情報が反映された地図
自己位置	位置・姿勢(Pose)	M	1	「自己位置推定」が算出した現在の移動ロボットの位置・姿勢。
移動指令	移動指令	M	1	「移動制御」に対して通知する移動ロボットの並進速度、回転速度指令。
Operations				
移動を指示する		M	「移動状態管理」から移動目標点を受信し、移動を開始するためのインターフェース。「移動指示」を受信した後、内部状態を確認し、すぐに「ステータス(Status)」を「移動状態管理」側に返す(実際に移動が完了するのは待たない)。	
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。移動指示を識別するために使用する。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子。移動指示を送信するロボットを識別するために使用する。
in	Command	移動指示	M	「移動状態管理」から指定された移動情報
ret		移動指示応答 (Status)	M	移動指示の受信状態。自律移動ロボットの移動状態ではない。
移動を一時停止する		M	「移動状態管理」側から移動の一時停止を指示するためのインターフェース。実際に動作を一時停止した後、「ReturnCode」を「移動状態管理」に返す。	
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。一時停止指示を識別するために使用する。
in	TargetId	UnlimitedNatural	M	移動指示メッセージ識別子。どの移動指示に対する一時停止指令なのかを判断するために使用する。現在実行中の移動指示以外の識別子が設定されていた場合には、一時停止は実行されない。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子。一時停止指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		ReturnCode	M	一時停止の実行結果。

移動を再開する			M	「移動状態管理」側から移動の再開を指示するためのインターフェース。実際に動作を再開した後、「ReturnCode」を「移動状態管理」に返す。
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。再開指示を識別するために使用する。
in	TargetId	UnlimitedNatural	M	一時停止指示メッセージ識別子。どの一時停止指示に対する再開指令なのかを判断するために使用する。最後に指示された一時停止指示以外の識別子が設定されていた場合には、移動の再開は実行しない。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	指示対象ロボット識別子。再開指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		ReturnCode	M	移動再開の実行結果。
移動を中断する			M	「移動状態管理」から移動を中断するためのインターフェース。受信した後、内部状態を確認し、すぐに「ステータス(Status)」を「移動状態管理」側に返す(実際に移動が中断されるのは待たない)。
in	RequestId	UnlimitedNatural	M	メッセージ識別子。中断指示を識別するために使用する。
in	TargetId	UnlimitedNatural	M	移動指令識別子。どの移動指示に対する中断指示なのかを識別するために使用する。
in	RobotId	UnlimitedNatural	O	中断対象ロボット識別子。中断指示を送信するロボットを識別するために使用する。
ret		移動指示応答 (Status)	M	中断指示の受信状態。自律移動ロボットの移動状態ではない。
地点名称-座標変換テーブルを設定する			O	上位アプリ側から「地点名称-座標変換テーブル」を設定するためのインターフェース。自律移動機能側が上位アプリから地図データを取得する場合には、本インターフェースは不要。
in	変換テーブル	地点名称-座標 変換テーブル	M	地点名称を実際の座標値に変換するためのテーブル。目標点を指定する際に「地点名称」を使用している場合には必須。
ret		ReturnCode	M	地点名称-座標変換テーブルの設定結果。

2.5.3. 位置リスト

Description: 自律移動ロボットの周辺に存在する物体群の位置を示す型				
Attributes:				
計測リスト	位置	O	O..N	個々の計測位置を示すリスト

2.5.4. 位置

Description: 指定された座標系内での位置を示す ValueType。座標系の原点については、事前に Sler が決定する				
Attributes				
フレーム ID (FrameId)	String	O	1	位置の表現方法を定義している座標系の Id。 位置の表現方法としてはデカルト座標系、極座標系、地理座標系および相対座標系などがあるが、どの表現方法で値を保持しているのかを示す Id。位置で使用する単位も定義する。 関係者間で、事前に使用する表現方法が規定されている場合には省略可能。
位置 (Position)	Real	M	0..N Ord	位置情報を表現する順序付き数値列。各値が何を表現しているかはフレーム Id で定義される
誤差型 (Error Type)	RLS:: ErrorType	O	1	位置の誤差の表現形式を示す。 OMG Robotic Localization Service で定義されている以下の形式を指定可能。 Reliability, CovarianceMatrix, Gaussian, UniformGaussian, MixtureOfGaussian, ParticleSet, LinearMixtureModel
誤差情報 (Error)	RLS::Error	O	1	位置の誤差情報。誤差型で指定した形式で表現

2.5.5.周辺環境計測

Description ：外界センサを用いて自律移動ロボット周辺の環境を計測する要素。 本仕様書では計測に使用する外界センサのハードウェアは特に規定していない。計測した結果は、誤差情報を含む位置データのリストとして、「障害物検知」「自己位置推定」に伝達される。				
Attributes				
計測結果	位置リスト	M	1	外界センサを用いて計測した周辺に存在する物体の位置情報のリスト
Operations なし				

2.5.5.障害物検知(Obstacle detection)

Description ：設定された周辺環境地図の情報と周辺環境の計測結果から「コストマップ」を生成する要素。 「運行管理機能」から設定された走行環境地図と「周辺環境計測」から伝達された「計測結果」および「自己位置推定」から伝達された「自己位置」を用いて、現在の自律移動ロボットの周辺環境を表す「コストマップ」を作成する。作成した「コストマップ」は「局所的経路計画」に伝達される。				
Attributes				
コストマップ	走行環境地図	M	1	走行環境地図に設定された移動禁止領域や周辺に存在する障害物の情報が反映された地図
自己位置	位置・姿勢(Pose)	M	1	「自己位置推定」が算出した現在の移動ロボットの位置・姿勢
計測結果	位置リスト	M	1	「周辺環境計測」が計測した自律移動ロボットの周辺に存在する物体の位置情報のリスト。
Operations				
走行環境地図を設定する		O	「運行管理機能」から「走行環境地図」を設定するためのインターフェース。「自律移動機能」側が「運行管理機能」から地図データを取得する場合には、本インターフェースは不要。	
in	走行用地図	走行環境地図	M	「自律移動機能」が走行可能なエリアを設定したグリッドマップ形式の地図。
ret		ReturnCode	M	走行環境地図の設定結果。

2.5.6.自己位置推定(Localization)

Description ：自律移動ロボットの現在位置を推定する要素。 「運行管理機能」から設定された自己位置推定用地図と「周辺環境計測」から伝達された「計測結果」、「移動制御」から伝達された「移動量」を用いて、自律移動ロボットの現在位置の推定を行う。推定した「自己位置」は「局所的経路計画」および「障害物検知」「移動状態管理」に伝達される。 また、起動時に自律移動ロボットの初期位置の設定が必要な場合や使用している地図が切り替えられた場合には、「運行管理機能」から現在位置のヒントが通知される。				
Attributes				
計測結果	位置リスト	M	1	「周辺環境計測」が計測した自律移動ロボットの周辺に存在する物体の位置情報のリスト。
移動量	位置・姿勢(Pose)	M	1	「移動制御」から一定周期で伝達される自律移動ロボットの移動量。前回の位置からの差分データとして伝達される。
自己位置	位置・姿勢(Pose)	M	1	伝達された各種情報を用いて推定した自律移動ロボットの現在位置・姿勢。
Operations				

自己位置推定用地図を設定する		O	「運行管理機能」から「自己位置推定用地図」を設定するためのインターフェース。「自律移動機能」側が「運行管理機能」から地図データを取得する場合には、本インターフェースは不要。	
in	自己位置用地図	自己位置推定用地図	M	自律移動機能が走行時に自己位置を推定するために使用する地図
ret		ReturnCode	M	自己位置推定用地図の設定結果。
現在位置のヒントを与える		M	「運行管理機能」側から「自律移動機能」に対して、初期位置情報を与えるためのインターフェース。自己位置推定の精度を向上させるため、起動時に自律移動ロボットの初期位置を設定する際や使用する地図が切り替えられた際に使用される。	
in	現在位置・姿勢 (Current Pose)	位置・姿勢 (Pose)	M	移動ロボットの現在位置情報。
ret		ReturnCode	M	現在位置の設定結果。

2.5.7.移動制御

Description ：移動機構に対して制御指令を伝達し、自律移動ロボットの実際の移動を制御する要素。 「局所的経路計画」もしくは「外部システム」から指定された「移動指令」を基に、自律移動ロボットの並進・回転移動速度を判断し、移動機構の制御を行う。				
Attributes				
移動指令	移動指令	M	1	「局所的経路計画」で算出された移動指令。
マニュアル指令	移動指令	O	0..1	「手動速度入力」から伝達された移動指令。ユーザが自律移動ロボットを手動で操作する際に設定される。
移動量	位置・姿勢 (Pose)	M	1	自律移動ロボットの実際の移動量。「自己位置推定」に伝達される。本情報は、前回の位置からの差分量が一定周期で伝達される。
Operations なし				

2.5.8.移動機能プロパティ管理

Description ：「自律移動機能」が内部で使用する各種移動機能プロパティを管理する要素。 自律移動ロボットが使用するセンサのキャリブレーション値などを格納する。				
Attributes				
移動機能プロパティ	プロパティ (Property)	O	0..N	「自律移動機能」が使用する各種設定値。
Operations				
移動機能プロパティを設定する		O	「運行管理機能」側から「自律移動機能」に対して、移動機能プロパティを設定するためのインターフェース。	
in	移動機能プロパティ	プロパティ (Property)	M	設定対象の移動機能プロパティ。
ret		ReturnCode	M	移動機能プロパティの設定結果。
移動機能プロパティを取得する		O	「運行管理機能」が「自律移動機能」に設定されている移動機能プロパティを取得するためのインターフェース。	
out	移動機能プロパティリスト	プロパティ (Property)	0..N	取得した移動機能プロパティのリスト。
ret		ReturnCode	M	移動機能プロパティの取得結果。
移動機能プロパティを削除する		O	「運行管理機能」側から「自律移動機能」に設定されている移動機能プロパティを削除するためのインターフェース。	
in	移動機能プロパティ	プロパティ (Property)	M	削除対象の移動機能プロパティ
ret		ReturnCode	M	移動機能プロパティの削除結果。

2.5.9.充電管理

Description ：自律移動ロボットが使用するバッテリーの充電を制御する要素。バッテリーの現在状態のモニタリングも行う。				
Attributes				
充電状態	充電状態	M	1	バッテリーの現在の充電状態。
Operations				
充電を指示する	O	「運行管理機能」側から「移動状態管理」経由でバッテリーの充電開始を指示するためのインターフェース。		
ret		ReturnCode	M	バッテリー充電開始の実行結果。
充電を終了する	O	「運行管理機能」側から「移動状態管理」経由でバッテリーの充電停止を指示するためのインターフェース。		
ret		ReturnCode	M	バッテリー充電停止の実行結果。

2.5.10.HW 管理

Description ：非常停止スイッチやバンパなど，自律移動ロボットのハードウェアにより停止処理が行われた事を「移動状態管理」に通知するための要素。				
Attributes なし				
Operations なし				

本仕様では、自律移動機能を用いたシステムを構築する際には、システム全体で以下の3種類の地図が存在すると想定している。各地図とモジュールの関係を示した概略図を図A-1に示す。また、図A-1では、Appendixで追加しているインターフェースを赤字で示している。



- ・自己位置推定用地図

自律移動機能が走行時に自己位置を推定するために使用する地図。

SLAMなどの技術を用いて事前に作成を行う。複数種類のロボット/センサを使用して、3Dのポイントクラウドのデータで表現した「共通自己位置推定用地図」を作成する場合もある。

本地図は、「運行管理機能」側で各自律移動ロボットの位置を表示するために使用する場合もある。また、新たに自律移動ロボットを追加した際に、既存の地図情報を利用するために配信する場合もある。更に、自律移動機能は利用せずに、別の手法で構築される場合もある。これらの理由から、本地図は「地図配信」から「運行管理機能」と「自律移動機能」に対して同じ情報を配信する形となる。

- ・走行環境地図

自律移動機能が走行可能なエリアを判断するために使用する地図。

自己位置推定用地図の情報を基に、移動対象エリア全体に対して走行禁止エリアをユーザが設定して作成する。

本地図は「局所的経路計画(Local Planner)」で使用する。「局所的経路計画(Local Planner)」では、各種センサで計測した周辺環境の情報も付加した上で、移動方向の判断を行う。なお、自律移動ロボットが移動した際に、「局所的経路計画(Local Planner)」が使用する地図の範囲を切り替えるタイミングについては、「運行管理機能」側で判断を行う(フロア切替を含む)。

本地図は「自律移動機能」側のみが保持する。ただし、自己位置推定用地図と同様に、新たに自律移動ロボットを追加した際に、既存の地図情報を利用する場合もあるため「地図配信」から配信する形となる。

- ・運行管理地図

自律移動機能に指令する経由点間の関係を記述したトポロジカル・グラフ形式の地図。

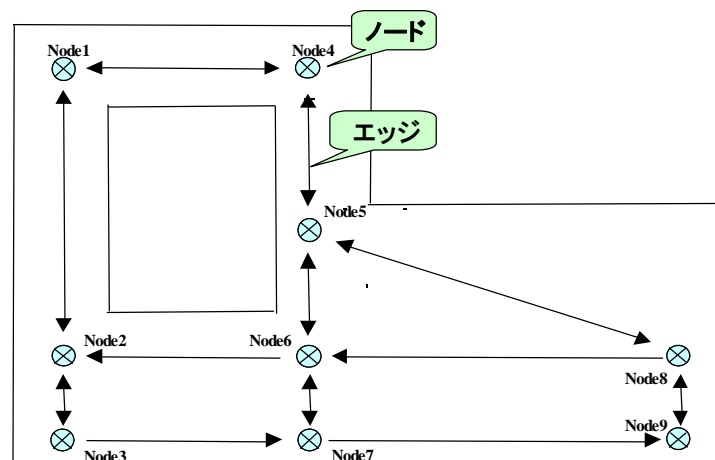
走行環境地図の情報を基に、ユーザが経由点の位置を定義するとともに、経由点間の接続関係を設定して作成する。また、各エッジに対して、進行可能方向や進入可能台数、制限速度などの制約条件を付加する場合や、各ノードに対して「荷積み場所」「荷下ろし場所」などの情報を付加する場合もある。

実運用時には、それぞれの自律移動ロボットから送信された「ロボット位置」を基に、各ノード、エッジの状態(各ノード、エッジに現在何台の自律移動ロボットが存在するか?など)を更新する。更に、単体ロボットでは取得できない情報を、他の外部システムから取得して地図の更新を行う(天候情報を取得し、雨だから通行禁止に設定、洪水予報が出ているため通行禁止に設定。など)。

そして、システム全体として適切な動作を実現できるように、各自律移動ロボットに対する「移動指示」を作成する。この際、各ノード、エッジに付加された制限事項を基に、「運行管理機能」がエッジへの進入可否判断や制限速度の設定を行う。(例えば、あるエッジに「進入可能台数は1台」と設定されており、そのエッジに複数の自律移動ロボットが進入する必要がある場合に、どの自律移動ロボットに進入を許可するのは「運行管理機能」側で判断を行う。そして、進入を許可しない自律移動ロボットに対しては、許可された自律移動ロボットが、その区間を抜けるまで「移動指示」を送信せず、その場で待機させる)

本地図は、システム全体として複数ロボットの動作を管理するために「運行管理機能」側のみが保持する。(本仕様書の範囲外となるため、詳細なクラス定義などは記載していない。)

運行管理地図のサンプルを以下に示す。



図A-2. 運行管理地図の例

Appendix.2. 地図の切り替えについて

階層や走行エリアが変わる場合に、地図の切り替えを行う際の振る舞いを以下に示す。

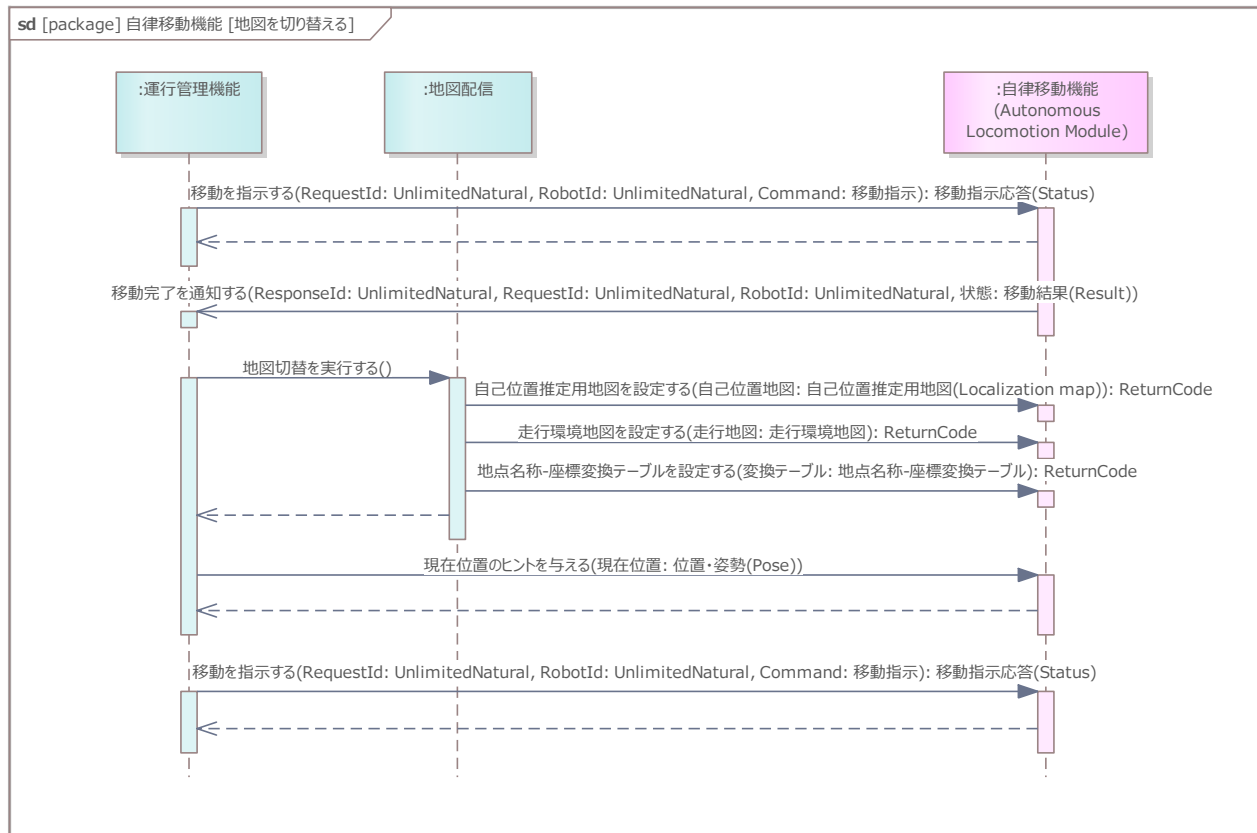


図 A-3. 地図を切り替える

「自律移動機能」が使用する地図の切り替えについては「運行管理機能」側で管理を行っている。このため、まず「運行管理機能」が「移動を指示する」というメッセージで、地図切り替えを行う地点を「目標点」として通知する。

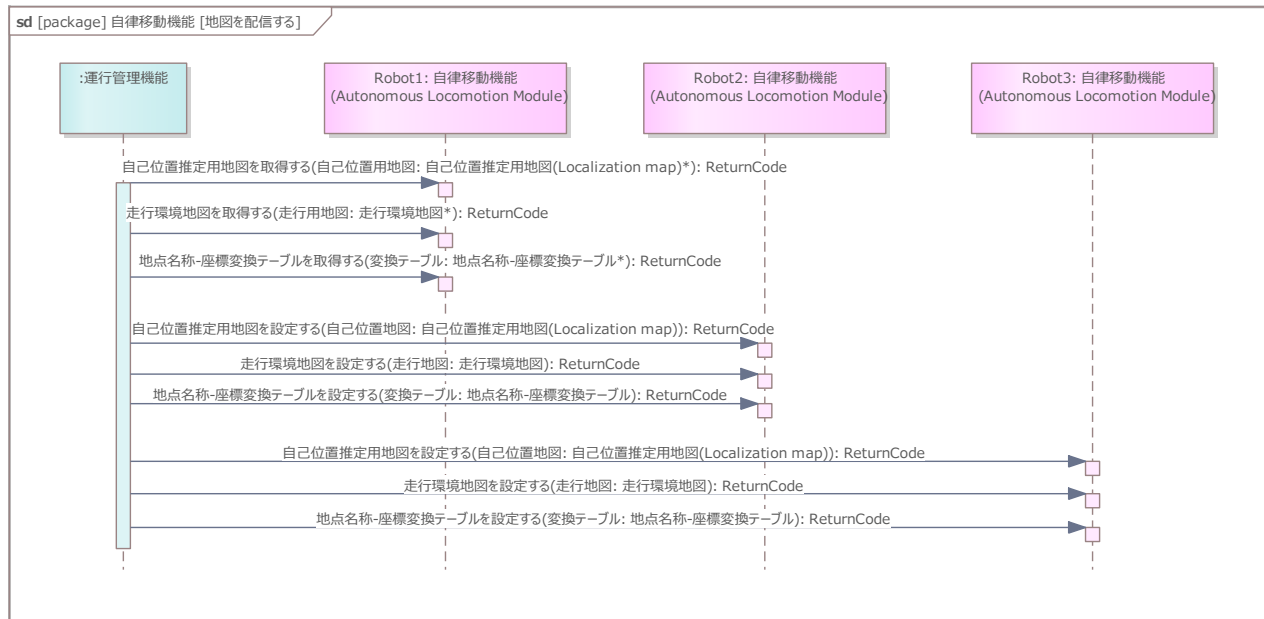
「自律移動機能」が指定された目標点まで到達すると、「自律移動機能」は次の移動先から必要となる地図を判断し、「地図配信」に対して「地図切替を実行する」というメッセージで、地図の切り替えを依頼する。「地図配信」は必要となる地図を判断し、「自己位置推定用地図を設定する」「走行環境地図を設定する」「地点名称・座標変換テーブルを設定する」というメッセージで「自律移動機能」へ地図の配信を行う。

「地図配信」から地図の更新が完了されると、「運行管理機能」が更新された地図内での「自律移動機能」の現在位置・姿勢を「現在位置のヒントを与える」メッセージを使用して通知する。

その後、「運行管理機能」から「自律移動機能」に新しい目標点が通知され移動を開始する。

Appendix.3. 地図の共有について

ある自律移動機能が生成した地図を、Robot種類Idが同一の他の自律移動機能に配信する場合の振る舞いを以下に示す。

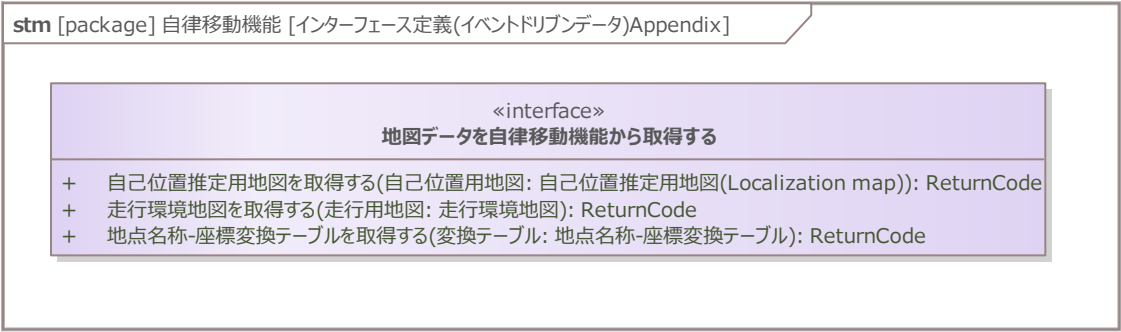


図A-4 地図を配信する

最初に「運行管理機能」側が「地図データを取得する」インターフェースに定義された「自己位置推定用地図を取得する」「走行環境地図を取得する」「地点名称-座標変換テーブルを取得する」を使用して、配信に必要な地図データをRobot1から取得する。

そして、「地図データを設定する」インターフェースに定義された「自己位置推定用地図を設定する」「走行環境地図を設定する」「地点名称-座標変換テーブルを設定する」を使用して、「運行管理機能」は取得した地図データをRobot2,Robot3に配信する。

地図の共有を実現するために追加したインターフェース定義を以下に示す。本インターフェースは、図 1 0 インターフェース定義(イベントドリブンデータ)に追加する形となる。



図A-5 インターフェース定義(イベントドリブンデータ) 追加分

A3.1. 地図データを自律移動機能から取得する

Description: 「運行管理機能」が「自律移動機能」の内部で保持している地図データを取得するためのインターフェース.				
Operations				
自己位置推定用地図を取得する			O	
out	自己位置用地図	自己位置推定用地図	M	「自律移動機能」が走行時に自己位置を推定するために使用する地図
ret		ReturnCode	M	自己位置用地図の取得結果.
走行環境地図を取得する			O	
out	走行用地図	走行環境地図	M	自律移動機能が走行可能なエリアを判断するために使用するグリッドマップ形式の地図.
ret		ReturnCode	M	走行環境地図の取得結果.
地点名称-座標変換テーブルを取得する			O	
out	変換テーブル	地点名称-座標変換テーブル	M	地点名称を実際の座標値に変換するためのテーブル. 目標点を指定する際に「地点名称」を使用している場合には必須.
ret		ReturnCode	M	地点名称-座標変換テーブルの取得結果.

改訂履歴

版番号	公開日	備考
1.0	2020/06/01	初版
2.0	2021/06/01	移動機能の運用を想定した状態遷移とその追加に伴うインタフェース仕様の追記・修正



ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会
Robot Revolution & Industrial IoT Initiative

www.jmfrri.gr.jp