

令和4年度 秋期
エンベデッドシステムスペシャリスト試験
午後II 問題

試験時間

14:30 ~ 16:30 (2時間)

注意事項

1. 試験開始及び終了は、監督員の時計が基準です。監督員の指示に従ってください。
2. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開いて中を見てはいけません。
3. 答案用紙への受験番号などの記入は、試験開始の合図があってから始めてください。
4. 問題は、次の表に従って解答してください。

問題番号	問1, 問2
選択方法	1問選択

5. 答案用紙の記入に当たっては、次の指示に従ってください。
 - (1) B又はHBの黒鉛筆又はシャープペンシルを使用してください。
 - (2) 受験番号欄に受験番号を、生年月日欄に受験票の生年月日を記入してください。
正しく記入されていない場合は、採点されないことがあります。生年月日欄については、受験票の生年月日を訂正した場合でも、訂正前の生年月日を記入してください。
 - (3) 選択した問題については、次の例に従って、選択欄の問題番号を○印で囲んでください。○印がない場合は、採点されません。2問とも○印で囲んだ場合は、はじめの1問について採点します。
 - (4) 解答は、問題番号ごとに指定された枠内に記入してください。
 - (5) 解答は、丁寧な字ではっきりと書いてください。読みにくい場合は、減点の対象になります。

〔問2を選択した場合の例〕

選択欄	
1問選択	問1
	問2

注意事項は問題冊子の裏表紙に続きます。
こちら側から裏返して、必ず読んでください。

問1 仮想現実技術を利用したシステムに関する次の記述を読んで、設問に答えよ。

D社は、3次元の仮想現実の空間（以下、VR空間という）の中で、参加者がアバターと呼ばれる分身を存在させ、アバターの操作・操縦を可能にして、別の場所にいるほかの参加者と交流するシステム（以下、VRシステムという）を開発している。

VRシステムでは、VR空間上にある会議室（以下、会議室という）でオンライン会議を行うためのサービス（以下、会議サービスという）を提供している。会議サービスでは、参加者は、会議室内にあるスクリーン（以下、スクリーンという）を使ってプレゼンテーションをしたり、3D CADで作成した3Dモデルを会議室内に出現させて説明したりすることができる。会議サービスの様子を図1に、VRシステムの構成を図2に、VRシステムの主要構成要素を表1に示す。

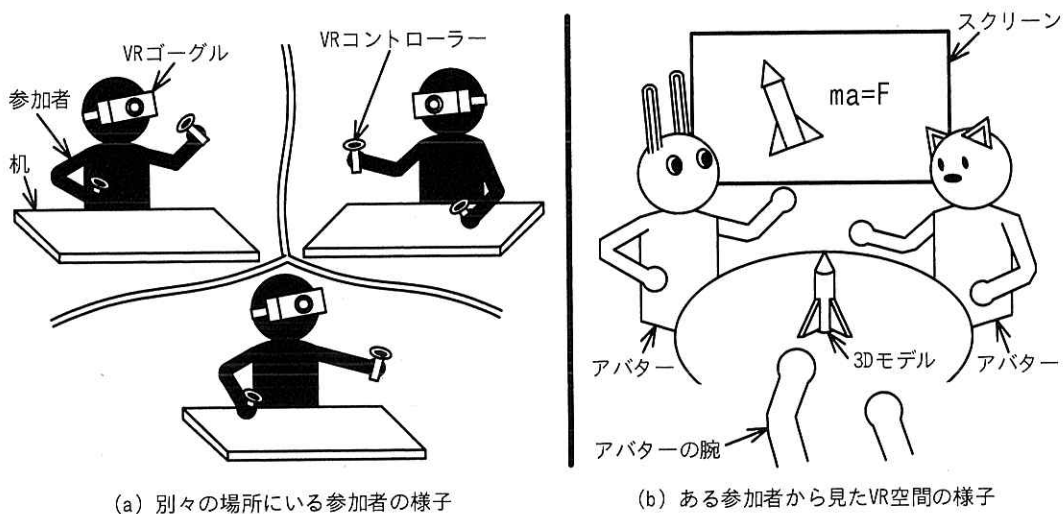


図1 会議サービスの様子

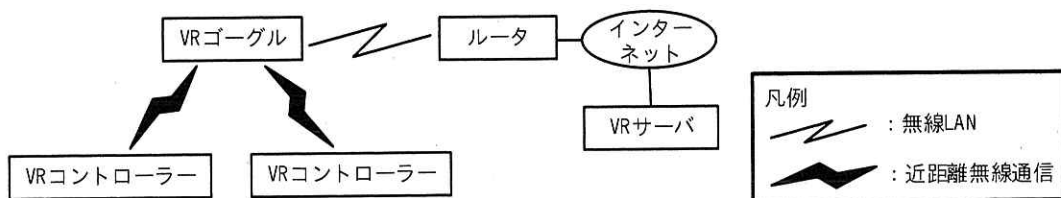


図2 VRシステムの構成

表 1 VR システムの主な構成要素

構成要素名	説明
VR ゴーグル	<ul style="list-style-type: none"> ・ ゴーグルのような形状をしたデバイスで、参加者の頭に装着する。参加者の左右の目の前に別々のディスプレイを置き、両眼の視差を利用することで、VR 空間を立体視させることができる。 ・ 参加者の頭の位置と動きを計測し、参加者が頭を動かすのに合わせて、表示している映像の位置を変え、左右の耳それぞれの近くにある二つのスピーカーを使うことで音声の間こえる方向を制御する立体音響を実現することができる。 ・ マイクで音声を録音できる。 ・ 3D カメラで VR コントローラーに搭載した赤外 LED を撮影して、参加者の両腕の位置を求める。
VR コントローラー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 両手に一つずつ持って操作するコントローラーで、右手用と左手用がある。参加者が VR コントローラーを動かすと、必要な情報を VR ゴーグル、ルータを介して VR サーバに送信し、アバターの腕を動かせる。 ・ VR コントローラーに搭載した慣性計測ユニット（以下、IMU という）で参加者の腕の 3 軸方向の動きと回転運動を計測できる。 ・ 赤外 LED を搭載する。
ルータ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無線 LAN で接続した機器をインターネットに接続する。
VR サーバ	<ul style="list-style-type: none"> ・ VR システムを管理するサーバであり、インターネットに接続されている。

〔VR ゴーグル〕

VR ゴーグルの主な構成要素を表 2 に示す。

表 2 VR ゴーグルの主な構成要素

構成要素名	説明
制御部	VR ゴーグルを制御するコンピュータ
IMU	3 軸の加速度及び 3 軸の角速度を計測できるセンサー
180 度カメラ	魚眼レンズを用いて、周囲 180 度を可視光で撮影できるカメラ
3D カメラ	上下 120 度、左右 120 度の範囲で、赤外レーザー光を物体に当て、反射した光から、物体の形状、カメラと物体の距離（以下、深度という）を計測できるカメラ
マイク	VR ゴーグルを装着した参加者の口の位置の近くに設置されているマイク
ディスプレイ	VR ゴーグルを装着した参加者の左右の目の前に設置されている小型ディスプレイ
スピーカー	VR ゴーグルを装着した参加者の左右の耳それぞれの近くに設置されたスピーカー
無線 LAN I/F	無線 LAN 通信を行うためのインタフェース
近距離無線通信 I/F	近距離無線通信を行うためのインタフェース

〔会議サービス〕

会議室の中で、現実には別々の場所にいる複数の参加者が、アバターを使ってオンライン会議を行うためのサービスである。

それぞれの参加者は、席に座り、VR ゴーグル及び VR コントローラーを用いてイン

ターネットを介して会議に参加する。各参加者には、自身の分身となるアバターがあらかじめ用意されており、VR ゴーグル及び VR コントローラーで会議室内のアバターを操作することができる。各参加者は VR ゴーグルを装着することで、会議室内の様子を自身のアバターの視点で見た立体映像として見ることができる。また、VR ゴーグルに搭載されたスピーカーからは、会議室内の音声を自身のアバターの位置に対応した立体音響として聞き取ることができる。

参加者は、自身の目の前を 180 度カメラで撮影した映像の一部を切り取った映像（以下、ライブ映像という）を、会議室内で表示することができる。

また、VR サーバに格納された会議室内の文書ファイル及び 3D モデルファイルを使用することができる。ライブ映像及び文書はスクリーンに表示させることができ、3D モデルは会議室内に立体的に表示させることができる。各参加者は、自身のアバターの腕を使用して、3D モデルをつかんで動かすことができる。

[会議サービスの利用手順]

- (1) 会議の参加者のうち 1 人が、VR サーバで会議の予約を行い、会議の開催日時、ハッシュ値を用いた会議 ID などが記載された招待状を、会議に招待する参加者の VR ゴーグルに通知する。ここで、参加者は、VR サーバに参加者としてあらかじめ登録されている必要がある。
- (2) 参加者は、VR サーバの認証を受けた後、会議 ID を使って会議室に入室する。

なお、VR サーバは、最初の 1 人が入室するときに、VR 空間上に会議室を設ける。また、会議室に付帯するリソースとして、スクリーン、共有フォルダを生成する。
- (3) ほかの参加者が VR サーバの認証を受けると、VR サーバは、会議 ID が合致する会議室にその参加者を入室させる。
- (4) 会議中、各参加者は、音声で会話したり、ライブ映像及び文書をスクリーンに表示したり、3D モデルを会議室内に表示したりできる。会議中の音声を記録したファイル、会議で使用した文書ファイル及び 3D モデルファイルは VR サーバに保存され、全ての参加者に共有される。
- (5) 各参加者は、会議が終了すると会議室を退室する。VR サーバは、全ての参加者が退室すると、会議室と付帯するリソースの一部を破棄する。

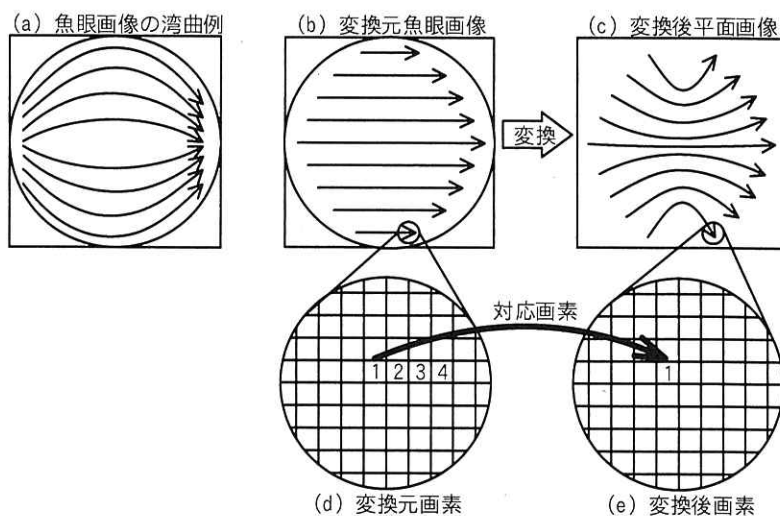
[VR 空間での没入感]

参加者は、VR ゴーグルを頭に装着し、両手に VR コントローラーを持つ。参加者は、自身のアバターの腕を使い、VR 空間上にある 3D モデルをつかんで移動させることができる。このとき、アバターの腕が 3D モデルに接触しても、参加者は感触を感じることはできないので、アバターの腕が 3D モデルに近づいたら 3D モデルの色を変えることで、つかんだことを参加者に分かりやすくしている。

また、VR コントローラーの操作によって、自身のアバターの手の先からレーザーポインタのようなビーム光（以下、ビームという）を出すことができ、スクリーンを使ったプレゼンテーションを行うときに、レーザーポインタとして使うことができる。また、参加者は、スクリーンに当たったビームの輝点を用いて、ライブ映像及び文書に対して操作を行える。

[180 度カメラの画像処理]

180 度カメラは魚眼レンズで周囲を撮影しており、魚眼レンズで撮影した画像（以下、魚眼画像という）を利用するためには、画像の変換が必要である。魚眼画像は図 3(a)に示すように湾曲している。これを、湾曲を補正した平面画像に変換する場合、図 3(b)から図 3(c)で示すように魚眼画像の湾曲を打ち消す方向に変換を行う必要がある。また、図 3(d)と図 3(e)は変換元となる魚眼画像と変換後の平面画像の一部の画素を拡大して示したものである。



注記 (e)の画素2~4は、後述する設問で使用するので省略している。

図3 魚眼画像から平面画像への変換

[VRゴーグルの測位]

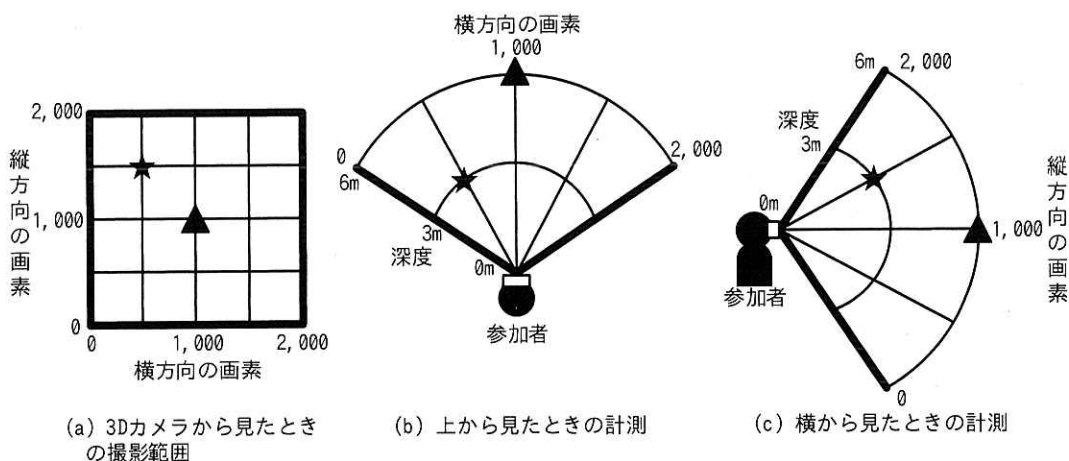
VRゴーグルのIMUでVRゴーグルの姿勢を計測するとともに、3Dカメラと180度カメラで参加者の周辺にある物を撮影して、参加者の頭の位置と動きを算出する。これらによって、頭の水平方向の回転と上下左右の傾き及び前後左右の位置として測位情報を取得することができる。

[アバターの頭と腕の動き]

参加者のアバターは、参加者の身振り手振りに追従して動き、その様子が自分及びほかの参加者のVRゴーグルのディスプレイに表示される。

アバターの頭の動きは、VRゴーグルの測位情報を反映するように表現される。

アバターの両腕は、参加者がVRコントローラーを動かすと追従して動く。VRコントローラーのIMUによって、VRコントローラーの姿勢を計測する。参加者の両腕の位置は、VRゴーグルの3Dカメラの画像に写ったVRコントローラーに搭載した赤外LEDの発光位置からVRコントローラーの位置を計測することで求める。3Dカメラの撮影範囲と計測の例を図4に示す。



注記1 ▲は顔の真正面にあり、VRゴーグルから6m離れている。

注記2 ★は左に30度及び上に30度の位置にあり、VRゴーグルから3m離れている。

図4 3Dカメラの撮影範囲と計測の例

VRコントローラーには赤外LEDが搭載され、左手のVRコントローラーのLED1と右手のVRコントローラーのLED2で発光パターンを変えて区別できるようにしている。

[VR 空間での描画]

各参加者は、スクリーンにライブ映像及び文書をオーバーレイで表示したり、会議室内に 3D モデルを表示したりすることができる。

VR サーバは、ライブ映像と文書を描画した画像を全ての参加者の VR ゴーグルにストリーミング配信し、VR ゴーグルが、受信した映像を横 1,600×縦 900 画素でスクリーンに表示する。

3D モデルのほか VR 空間上に表示される全ての物は、多角形を組み合わせて立体化する。VR ゴーグルで同時に処理できる多角形の頂点の数（以下、ポリゴン頂点数という）は最大数十万点であり、演算処理を軽減するために、演算の対象となるポリゴン頂点数を可能な限り減らすことが望ましい。

VR ゴーグルの左右のディスプレイに出力される画面のフレームレートは 100 フレーム/秒である。一つのディスプレイの解像度は横 1,600×縦 900、1 画素当たりのデータ長は 32 ビットとなっている。

[立体音響]

立体音響では、次のような方法を用いて、参加者が頭を動かすのに合わせて、スピーカーから聞こえる音声の方向を変える。

VR ゴーグルは、参加者の声を、マイクで集音し、モノラルで録音する。また、再生時には、ほかの参加者の声及び 3D モデルの音声は、点音源として扱う。VR ゴーグルは、モノラルの音声を 20 ミリ秒ごとのフレームに区切って周期的に処理する。VR ゴーグルは、VR ゴーグルの左右のスピーカーそれぞれに対して、VR 空間上の音源との VR 空間上の距離及び方向によって変わる音声を、対象となる VR 空間の音響シミュレーション結果を使用し、音の波としての物理的な伝播特性^ばを加味して、信号処理を行う。会議サービスでは、壁や天井に囲まれた環境での音の伝播が再現される。VR ゴーグルは、左右で個別に、音源ごとの信号処理結果をミキシングして、左右のスピーカーで再生する。参加者は、スピーカーで再生された左右の音声の違いによって、VR 空間上のほかのアバター又は 3D モデルの位置から音声^ばが聞こえるように感じられる。

設問1 VRシステムの仕様について答えよ。

- (1) 会議サービスでは、参加者がアバターを用いて、3Dモデルをつかんで動かすやすくするために現実にはない工夫を行っている。どのような工夫か。本文中の字句を用いて35字以内で答えよ。
- (2) 会議室の背景となる家具は凹凸の多い複雑な形状にしない方が良いと考えられる。その理由を40字以内で答えよ。
- (3) 会議室内のアバターの顔の向きは、その参加者のVRゴーグルの動きに合わせてアバターのアニメーションの動きとして表現される。このとき、VRゴーグルの測位情報をアバターの顔の向きと合わせるためには、測位情報をどのように変換して用いる必要があるか。50字以内で答えよ。
- (4) 会議サービスでVR空間での没入感を高めるために、立体音響を実現するには、会議室内で発生する音声に対して、音の伝播特性として考慮すべき現象がある。どのような現象を考慮して信号処理を行うべきか。10字以内で答えよ。

設問2 VRシステムの設計について答えよ。

- (1) VRコントローラーの赤外LEDが表3の位置で、VRゴーグルの3Dカメラで計測された。アバターの肘の^{ひじ}曲げ／伸ばしの状態及び手の位置は、どのようになっていると考えられるか。35字以内で答えよ。ここで、参加者が腕を前に突き出したときのVRゴーグルとVRコントローラーの距離は約63cm、VRゴーグルから参加者の顎^{あご}までの距離は約16cmとする。また、左右のVRコントローラーは親指側が上、小指側が下になっているものとする。

表3 赤外LEDの位置

赤外LED	横方向の画素	縦方向の画素	深度(m)
LED1	1,000	800	0.12
LED2	1,100	1,000	0.63

- (2) VRゴーグルの左右のディスプレイにVR空間の映像を表示するためには、1秒あたりに出力するデータサイズは何Gバイトか。答えは小数第3位を四捨五入して、小数第2位まで求めよ。ここで、1Gバイト=10⁹バイトとする。また、映像データは無圧縮とする。

(3) 図 3 の魚眼画像から平面画像への変換において、図 3(d)中の画素 2, 3, 4 は、変換後の図 3(e)でそれぞれどのように配置されるか。画素の並び方を含めて 30 字以内で答えよ。

(4) 会議室でのアバターの手の先とスクリーンの位置関係が図 5(a)の状態から、図 5(b)のように参加者が VR コントローラーを真上の方向に 5 度傾けたとき、スクリーンに表示されるビームの輝点は縦方向に何画素動くか求めよ。答えは小数第 1 位を四捨五入して、整数で求めよ。ここで、 $\tan(5 \text{ 度})$ は 0.09 とする。また、アバターの手の先とスクリーンは 2m 離れていて、初期状態ではビームとスクリーンは垂直になっている。スクリーンの高さは 0.9m とする。

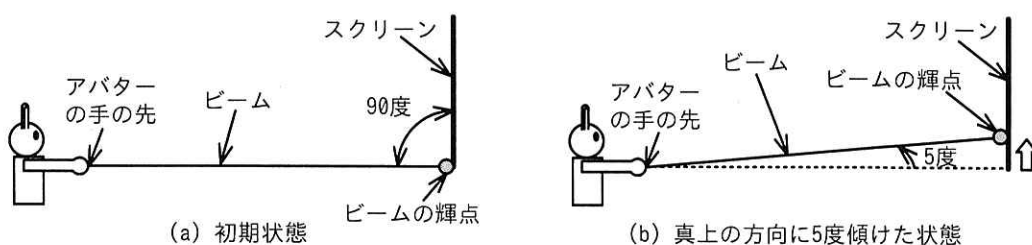


図 5 会議室でのアバターの手の先とスクリーンの位置関係

設問 3 拡張現実への機能拡張について答えよ。

VR システムで使用した VR ゴーグルの技術を転用し、拡張現実を体験することができるデバイス（以下、AR グラスという）を開発することになった。

恐竜の化石などを展示した博物館内で入館者が AR グラスを装着することで、展示物と拡張現実を融合させた展示を体験することができるサービス（以下、AR 展示サービスという）を提供する。AR 展示サービスの様子を図 6 に示す。

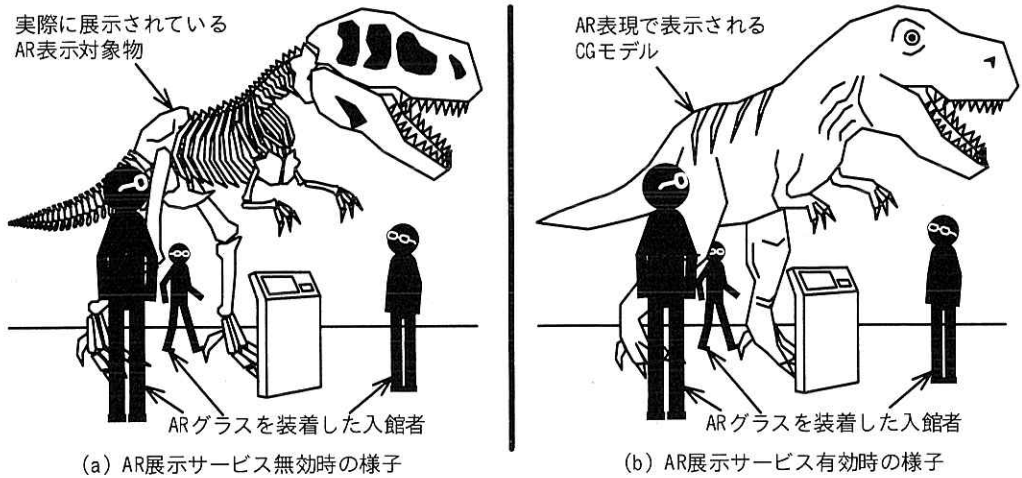


図 6 AR 展示サービスの様子

AR 展示サービス有効時に AR 表示対象物を AR グラス越しに見ると、実際に展示されている AR 表示対象物に対して CG モデルが重畳して表示される。

AR 展示サービスの概要を図 7 に示す。AR グラスは AR サーバと通信することで CG モデルのデータなどを受信し、AR 表示対象物を認識したときに、対応する CG モデルを表示する。AR 展示サービスで用いる主な構成要素を表 4 に示す。



図 7 AR 展示サービスの概要

表 4 AR 展示サービスで用いる主な構成要素

構成要素名	説明
AR グラス	<ul style="list-style-type: none"> ・眼鏡のような形状をしたデバイスで、眼鏡のレンズに相当する部分に映像が投影されるようになっており、現実の空間に重畳する形で3次元グラフィックなどをCGモデルとして表示することができる。 ・IMU, 3D カメラ, 180 度カメラ, スピーカーについては、VR ゴーグルと同様の処理が行える。さらに、IMUを用いて、AR グラスを装着した入館者の歩行の検出を行う。 ・180 度カメラで、AR 表示対象物を認識することができる。 ・AR 表示対象物の認識時に、無線 LAN で AR サーバと通信を行う。 ・眼鏡のつる部分に取り付けられたスイッチで、AR 展示サービスの有効/無効を切り替えることができる。
AR 表示対象物	<ul style="list-style-type: none"> ・博物館内に展示されている恐竜の化石などの展示物で、識別用の特徴量が AR サーバに登録されている。AR グラスの 180 度カメラで認識されると付加情報となる CG モデルの表示が行われる。
AR サーバ	<ul style="list-style-type: none"> ・AR グラスに表示する CG モデルのデータなどを配信する。

[AR 展示サービス]

AR 展示サービスは、博物館の入館者のために用いられるサービスである。

AR グラスを装着した入館者が歩行を停止してから一定時間内に、AR グラスの 180 度カメラが AR 表示対象物を認識すると、図 6 のように AR 表示対象物に重なる形で CG モデルが表示される。このとき、入館者が AR 表示対象物の周りを移動すると、現実の立体物のように移動した位置から見た CG モデルが表示される。また、AR グラスの 3D カメラの撮影範囲内にいるほかの入館者を認識すると、CG モデルとほかの入館者の位置関係を考慮した表示が行われる。AR グラスは一度認識した AR 表示対象物が一定時間以上認識できなくなった場合、対応する CG モデルを非表示にする。

また、CG モデルの表示に合わせて、表示中の CG モデルの位置から音声が発せられているかのように、AR グラスのスピーカーから音声を再生する。

(1) 図 8 は、ある時点の入館者と AR 表示対象物となっている展示物 Z の位置関係を上から見た図である。入館者 A の AR グラスでは、入館者 B と展示物 Z の CG モデルはどのように表示されるか。35 字以内で答えよ。

なお、展示物 Z は入館者 B の背丈よりも大きな構造物で、入館者 A の AR グラスの 3D カメラの撮影範囲内にあるものとする。

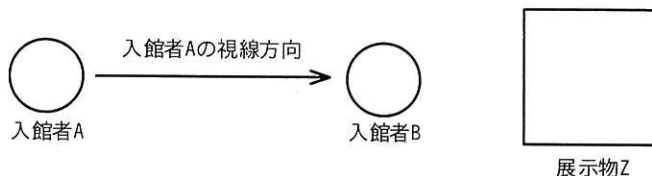


図 8 展示物 Z と周囲の入館者の位置関係

(2) AR グラスの状態遷移の一部を図 9 に、AR グラスの各状態の概要を表 5 に示す。ここで、AR 表示対象物となっている展示物は 1 点だけ展示されているものとする。また、図 9 には AR グラスのつる部分に設置されたスイッチでの AR 展示サービスの有効化/無効化による状態遷移は含まれていないものとする。(a), (b)に答えよ。

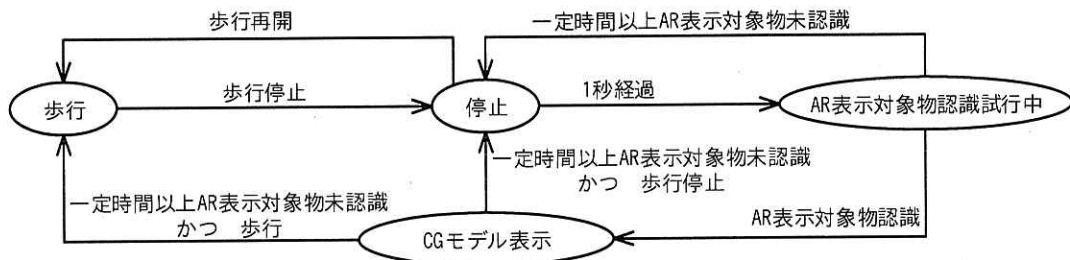


図9 ARグラスの状態遷移の一部

表5 ARグラスの各状態の概要

状態名	概要
歩行	<ul style="list-style-type: none"> 入館者がARグラスを装着し、博物館内を歩いている状態。 CGモデルを非表示にする。
停止	<ul style="list-style-type: none"> 入館者が停止した状態。1秒経過したらAR表示対象物の認識を試みる。 AR表示対象物認識試行中状態から停止状態に移行する場合、CGモデルを非表示にする。
AR表示対象物認識試行中	<ul style="list-style-type: none"> ARグラスの180度カメラで、AR表示対象物の認識を試みている状態。 CGモデルの表示/非表示は停止状態から引き継ぐ。
CGモデル表示	<ul style="list-style-type: none"> CGモデルを表示している状態。 認識されたAR表示対象物に対し、追従して認識処理を継続する。 CGモデル表示状態で歩行を再開した場合、CGモデル表示状態を維持する。

(a) 一度CGモデルが表示された後、入館者が静止しているにもかかわらず、CGモデルの表示/非表示が繰り返されることがあった。どのような場合に発生するか。45字以内で答えよ。

(b) ARグラスの省電力化を考えて、歩行状態ではARグラス内の構成要素の一部を停止させている。このとき、歩行状態で機能を停止させると問題が生じるARグラス内の構成要素の名称を答えよ。また、その理由を40字以内で答えよ。

(3) 音声を発するCGモデルがARグラスに5個表示されている場合、立体音響の処理時間はフレームの処理時間の何%になるか。答えは小数第1位を切り上げて、整数で求めよ。ここで、音の伝播特性による信号処理に掛かる時間は1回当たり0.4ミリ秒とする。また、ミキシングに掛かる処理時間は無視できるものとする。

問2 コミュニティバスの無人自動運転システムに関する次の記述を読んで、設問に答えよ。

E社は、過疎地での高齢者の移動手段を目的とした定期運行するコミュニティバス（以下、Cバスという）の無人自動運転システム（以下、自動運転システムという）を開発している。Cバスは、日中の運行を目的とし、過疎地の公民館などの公共施設と市街地郊外の病院との間など、決まった2点間を無料で運行するシャトルバスで、途中にバス停は作らず、平野部の片側1車線の道路を無人で走行することを想定している。自動運転システムのシステム構成を図1に示す。

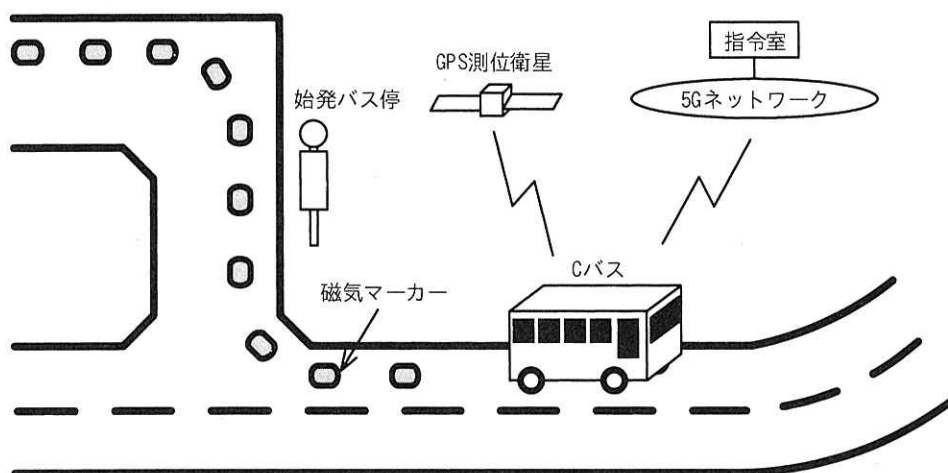


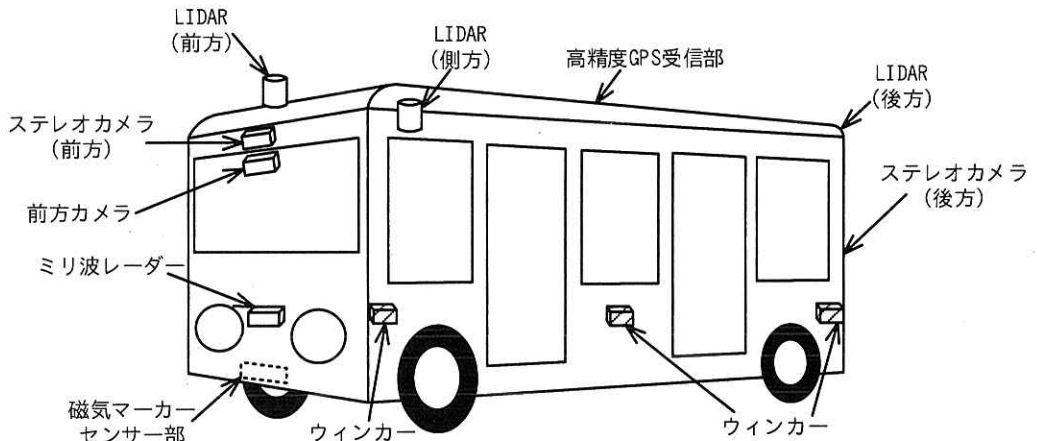
図1 自動運転システムのシステム構成

〔自動運転システムの概要〕

- ・磁気マーカーは、始発バス停付近、終点バス停付近、交差点内、及び急なカーブの道路に、Cバスが走行する車線（以下、走行車線という）の中央に1m間隔で埋設されている。
- ・指令室は、Cバスの運行を監視し、遠隔から直接指示を行うことが可能である。Cバスへの遠隔からの指示として、発車指示、停車指示、及び乗降用ドアの開閉指示ができる。
- ・Cバスの運行経路上にトンネルはなく、CバスはGPS測位衛星からの電波を常に受信できる。

〔Cバスの概要〕

Cバスは、乗客定員 15 人の小型の電気自動車で、最大速度は時速 36km であり、運転手によるマニュアル運転モードと無人での自動運転モードがある。Cバスの外観を図 2 に示す。



注記 1 LIDAR (light detection and ranging) は、赤外レーザー光を使用して対象物までの距離を計測するセンサーである。

注記 2 車両の右側にあるウィンカー、LIDAR (側方) は、省略している。

図 2 Cバスの外観

- ・ステレオカメラ（前方）は、信号機までの距離及び信号灯色（青・黄・赤）の認識、前方の物体までの距離及び物体の種別の認識、先行車両との車間距離及び先行車両のブレーキランプの点灯状況の認識などに使用する。
- ・ステレオカメラ（後方）は、後続車両の検出に使用する。
- ・LIDAR は、自車周辺の物体、右左折時の自転車、歩行者の検出などを目的とした物体認識に使用する。
- ・ミリ波レーダー（以下、レーダーという）は、レーダーから物体までの距離、相対速度を計測し、物体認識に使用する。
- ・高精度 GPS 受信部は、GPS 測位衛星からの電波を受信し、GPS 位置情報として、自車位置推定に使用する。
- ・磁気マーカーセンサー部は、道路に埋設された磁気マーカーを検出して、走行車線を認識するのに使用する。
- ・前方カメラが撮影した画像データは、指令室での運行監視に使用する。

Cバスのシステム構成を図3に、Cバスの主なシステム構成要素を表1に示す。

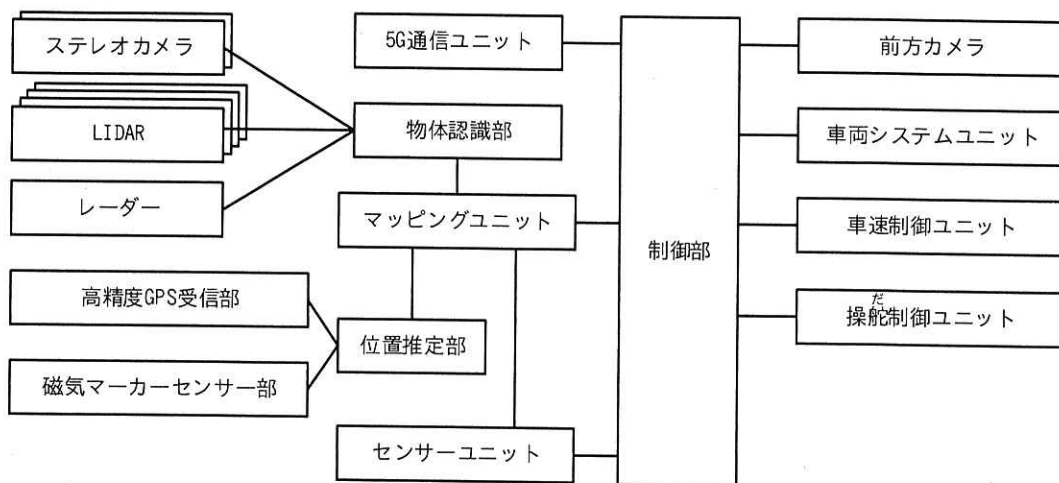


図3 Cバスのシステム構成

表1 Cバスの主なシステム構成要素

構成要素名	説明
物体認識部	<ul style="list-style-type: none"> ・ステレオカメラ、LIDAR、レーダーからの情報を基に、自車の前方、側方、及び後方の物体認識情報を算出し、マッピングユニットに50ミリ秒周期で送信する。 ・物体認識情報には、AIによって得られた次の認識結果が含まれる。 <ul style="list-style-type: none"> - 走行車線上に存在する、又は走行車線上に飛び出してくる物体の動きの予測（前方走行車両、前方停車車両、対向車線の右折車両など） - 自車周辺の物体の動きの予測（歩行者、自転車など） - 信号機までの距離及び信号灯色
位置推定部	<ul style="list-style-type: none"> ・GPS位置情報を基に、自車の位置を推定位置情報として算出する。 ・磁気マーカーセンサー部で、磁気マーカーを検出した場合は、磁気マーカーの情報を基に推定位置情報を補正する。 ・推定位置情報を、マッピングユニットに50ミリ秒周期で送信する。
センサーユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・車速、前輪の角度（以下、舵角という）、車体の傾斜（以下、これら三つを併せて車両情報という）を計測し、マッピングユニット、及び制御部に20ミリ秒周期で送信する。
前方カメラ	<ul style="list-style-type: none"> ・前方カメラの画像データを1フレームごとに制御部に送信する。 ・前方カメラの画像データは、2,000×1,000画素、1画素当たり3バイトで、フレームレートは10フレーム/秒である。
5G通信ユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・指令室からの指示を制御部に送信する。 ・制御部からの要求に従って、指令室にデータを送信する。 ・自動運転システムで使用する5Gネットワークの通信速度は、規格値10Gビット/秒である。

表1 Cバスの主なシステム構成要素（続き）

構成要素名	説明
マッピングユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・次に示すように自車の現在位置、速度、進行方向に関する情報を求めて、制御部に送信する。 - 3次元の地図データ（以下、3Dマップという）が内蔵されている。3Dマップには、運行経路、右左折時におけるウィンカーの点滅の開始/終了位置、道路幅、道路勾配、道路曲率、磁気マーカの位置、信号機の位置、及び交通規則（法定速度、一時停止、追越し禁止など）の情報が記録されている（以下、これらの記録されている情報を運行経路情報という）。 - 物体認識情報、推定位置情報、及び車両情報を基に、3Dマップ上に位置をマッピングして、自車位置情報を算出する。 - 制御部から走行開始を受信すると、自車位置情報、運行経路情報、車両情報、物体認識情報から、50ミリ秒後に到達すべき位置に到達可能な目標車速、そのために必要な舵角（以下、目標舵角という）、及びウィンカーの点滅の開始/終了の指示情報（以下、ウィンカー情報という）の算出を開始する。 - 制御部から走行停止を受信すると、停車中は走行開始を受信するまで停車を維持、走行中は目標車速を時速0kmまで徐々に低下させる。 - 目標車速、目標舵角、ウィンカー情報、目標車速が時速0kmのときの停車理由を示す情報（以下、停車情報という）、及び自車位置情報を、バス制御情報として、制御部に50ミリ秒周期で送信する。ここで、停車情報には、バス停で停車、赤信号で停車、前方の物体で停車、一時停止標識で停車、自車周辺に接近する物体で停車、及び走行停止受信で停車がある。
制御部	<ul style="list-style-type: none"> ・MPU、RAM、フラッシュメモリ、RTCなどから構成され、バス制御情報、及び車両情報を基に、Cバスを制御する。また、指令室からの指示を、関連するユニットに送信する。 ・バス制御情報を受信するごとに、次に示す処理を行う。 - 目標車速になるように、駆動モーターの回転数を求め、車体の傾斜と併せて車速制御ユニットに送信する。 - 目標舵角になるように、ハンドルの回転数を求め、ウィンカー情報と併せて操舵制御ユニットに送信する。 - 指令室に自車位置情報を0.5秒周期で送信する。
車両システムユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・操作部、表示部、ドア開閉部、車内カメラなどで構成される。 ・操作部には、運転手によるマニュアル運転モードと無人での自動運転モードとを切り替えるスイッチがある。自動運転モードに切り替えると自動運転開始を、マニュアル運転モードに切り替えると自動運転終了を制御部に送信する。 ・ドア開閉部は、制御部からの指示で、乗降用ドアの開閉を行う。開閉の結果は制御部に送信される。
車速制御ユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・受信した駆動モーターの回転数と車体の傾斜から、受信した駆動モーターの回転数になるように、駆動モーターの駆動周波数と電流、及びブレーキを制御する。ブレーキを掛けたときは、ブレーキランプの点灯/消灯を制御する。
操舵制御ユニット	<ul style="list-style-type: none"> ・受信したハンドルの回転角になるように、ステアリング用モーターを制御する。また、ウィンカー情報を基に、ウィンカーの制御を行う。 ・舵角は、左右最大40度であり、ハンドルの回転に直すと、左右2回転分に相当し、比例関係にある。

〔C バスの自動運転動作概要〕

- ・ マッピングユニットに内蔵した 3D マップに、物体認識部が算出した物体認識情報、位置推定部が算出した推定位置情報、及びセンサーユニットが計測した車両情報を基に位置をマッピングし、自車位置情報を算出する。
- ・ マッピングユニットは、物体認識部からの物体認識情報を基に、自車の予測経路上に物体を検出した場合は、停車させる。
- ・ マッピングユニットは、3D マップ上の信号機の位置と物体認識部が認識した信号灯色を基に停車するかどうかを判定する。
- ・ マッピングユニットは、自動運転のために必要なバス制御情報を制御部に送信する。
- ・ 制御部はバス制御情報を受信すると、速度を制御する情報を車速制御ユニットへ送信し、進行方向を制御する情報を操舵制御ユニットへ送信する。

〔制御部の動作概要〕

- (1) 車両システムユニットから自動運転開始を受信すると、マッピングユニット、センサーユニット、及び前方カメラに、動作開始を送信する。マッピングユニットから受信したデータ、及び車速制御ユニットと操舵制御ユニットに送信したデータの記録（以下、記録したデータを制御履歴データという）を開始する。マッピングユニットから受信した停車情報の内容が、バス停で停車であれば、車両システムユニット、及び指令室に運行準備完了を送信して、指令室からの乗降用ドアの開閉指示、発車指示などの指示の受信を待つ。
- (2) 指令室から乗降用ドアの開閉指示を受信すると、車両システムユニットに送信する。車両システムユニットから、乗降用ドアの開閉指示に対する結果を受信すると、指令室に送信する。また、指令室から発車指示を受信すると、マッピングユニットに走行開始を送信する。マッピングユニットからのバス制御情報を基に、車速制御ユニットと操舵制御ユニットに制御内容を送信して、自動運転による走行を開始する。
- (3) 走行の停止に関する事象が発生したときは、次の動作を行う。
 - (a) マッピングユニットから停車情報として送られてくる赤信号で停車、前方の物体で停車、一時停止標識で停車、自車周辺に接近する物体で停車のいずれか

が一定時間継続したとき、マッピングユニットに走行停止を送信して、指令室に走行を停止したこと、停止した理由を送信する。

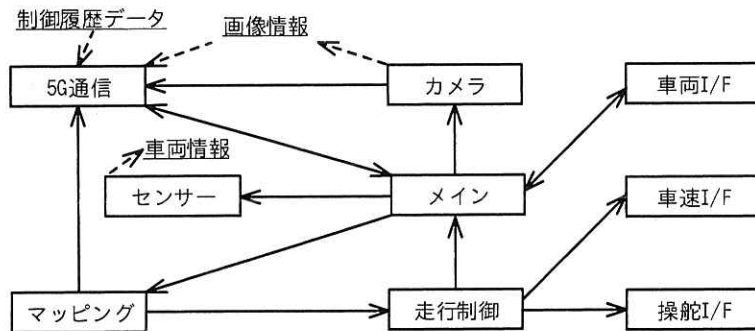
(b) 指令室から停車指示を受信したとき、マッピングユニットに走行停止を送信して、マッピングユニットから走行停止受信で停車の停車情報を受信すると、指令室に走行を停止したこと、停止した理由を送信する。

(c) マッピングユニットからバス停で停車の停車情報を受信すると、マッピングユニットに走行停止を送信して、指令室に走行を停止したこと、停止した理由、及び制御履歴データを送信する。

(4) 走行停止をマッピングユニットに送信すると、指令室からの指示待ちとなり、(2) から繰り返す。

[制御部のソフトウェア構造]

制御部ではリアルタイム OS を使用する。制御部のタスク構造を図 4 に、制御部のタスク処理概要を表 2 に示す。



注記1 実線の矢印は、タスク間のメッセージ通信の方向を示す。

注記2 破線の矢印は、メモリへの書込み、メモリからの読出しを示す。ただし、制御履歴データへの書込み、及び車両情報の読出しは省略している。

注記3 車両情報へのアクセスはタスク間で排他制御を行う。

図 4 制御部のタスク構造

表 2 制御部のタスク処理概要

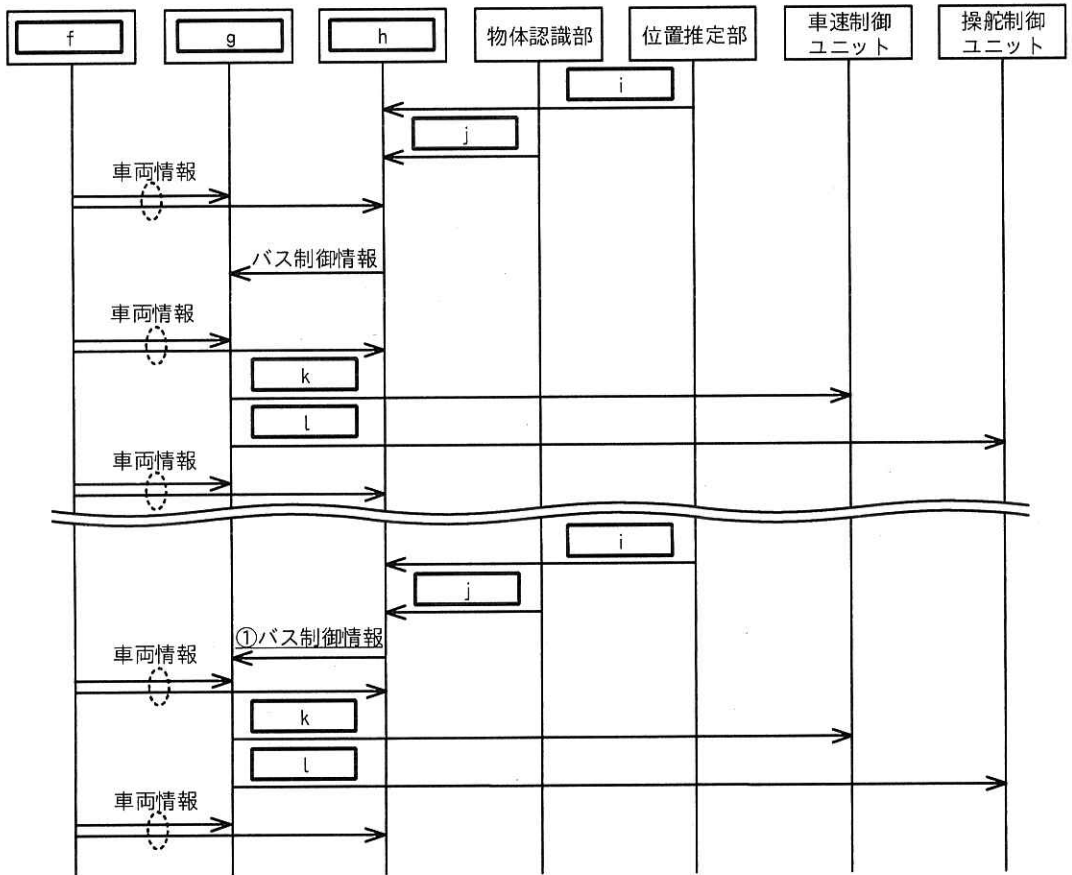
タスク名	処理概要	Pr ¹⁾
メイン	<ul style="list-style-type: none"> ・指令室からの指示の実行を含めて、制御部の全体の制御を行う。 ・車両 I/F タスクから自動運転開始の通知を受けて、マッピングタスク、センサータスク及びカメラタスクに動作開始を通知後、走行制御タスクから通知された停車情報がバス停で停車の場合、運行準備完了の送信依頼を 5G 通信タスクに通知する。 ・5G 通信タスクから発車指示の通知を受けると走行開始を、停車指示の通知を受けると走行停止をマッピングタスクに通知する。 ・走行開始の通知後に、走行制御タスクから停車中の通知を受けると、次に示す処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> - 自動運転を停止したことの送信依頼を、5G 通信タスクに通知する。 - 停車中の理由が走行停止受信で停車以外の場合、走行停止をマッピングタスクに通知する。 - 停車中の理由がバス停で停車の場合、制御履歴データの送信依頼を 5G 通信タスクに通知する。 ・車両 I/F タスクから自動運転終了の通知を受けると、マッピングタスク、センサータスク及びカメラタスクに動作停止を通知する。 	4
カメラ	<ul style="list-style-type: none"> ・動作開始の通知を受けてから動作停止の通知を受けるまでの間、前方カメラの画像データを画像情報に書き込むごとに 5G 通信タスクに送信依頼の通知をする。 	4
5G 通信	<ul style="list-style-type: none"> ・指令室からの指示を受信すると、受信した指示をメインタスクに通知する。 ・メインタスクから送信依頼の通知を受けると、受けた内容の情報を指令室に送信する。 ・カメラタスクから送信依頼の通知を受けると、画像情報を指令室に送信する。 ・マッピングタスクから、自車位置情報の通知を受けると、指令室に送信する。 	4
センサー	<ul style="list-style-type: none"> ・動作開始の通知を受けてから動作停止の通知を受けるまでの間、センサーユニットから受信した情報を車両情報に書き込む。 	3
マッピング	<ul style="list-style-type: none"> ・動作開始の通知を受けてから動作停止の通知を受けるまでの間、次に示す処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> - メインタスクから受けた指示の通知を、マッピングユニットに送信する。 - マッピングユニットから <input type="text" value="a"/> を受信すると、走行制御タスクに通知して、制御履歴データに書き込む。 - マッピングユニットからの受信回数が <input type="text" value="b"/> 回に 1 回の周期で、<input type="text" value="c"/> する。 	1
走行制御	<ul style="list-style-type: none"> ・マッピングタスクからの通知を受けると、次に示す処理を行う。 <ul style="list-style-type: none"> - 通知を受けた情報、及び車両情報を基に、ハンドルの回転角を算出し、算出した値を操舵 I/F タスクに通知して、通知した内容を制御履歴データに書き込む。 - 操舵 I/F タスクに通知するとき、<input type="text" value="d"/> があれば併せて通知する。 - 通知を受けた情報、及び車両情報を基に、駆動モーターの回転数を算出し、算出した値と車体の傾斜を車速 I/F タスクに通知して、通知した内容を制御履歴データに書き込む。 - 同じ内容の停車情報で一定時間継続して停止したことを検出した場合、停車情報が <input type="text" value="e"/> の場合、又は停車情報が走行停止受信で停車の場合、メインタスクに停車中、及び停車中の理由を通知する。 	2
車両 I/F	<ul style="list-style-type: none"> ・車両システムユニットとの送受信を制御する。 	4
操舵 I/F	<ul style="list-style-type: none"> ・走行制御タスクから受けた通知を操舵制御ユニットに送信する。 	1
車速 I/F	<ul style="list-style-type: none"> ・走行制御タスクから受けた通知を車速制御ユニットに送信する。 	1

注記 乗降用ドアの開閉などの、車両システムユニットに関する処理概要は省略している。

注¹⁾ Pr はタスクの優先度を示し、数値が小さいほど高い。

設問 1 自動運転システムの仕様について答えよ。

- (1) 指令室からの指示やバス停で停車したときを除いて、自動運転開始後、走行を停止したことを指令室に送信する必要がある。どのような場合か。65 字以内で答えよ。
- (2) 自動運転中の C バスのユニット間通信の例を図 5 に示す。(a)～(c)に答えよ。ここで、図 5 は、先行車両、対向車、交差点周辺の歩行者、左折した車線に停車している車両はなく、青信号の状況で交差点に進入して、左折を開始した直後の通信である。



注記 破線の丸で囲まれた二つの矢印は、同じ内容で同時に送信されることを示す。

図 5 自動運転中の C バスのユニット間通信の例

- (a) 図 5 中の f ～ h に入れる適切な構成要素を、表 1 中の構成要素名で答えよ。

- (b) 図 5 中の ~ に入れる適切な通信を、表 1 中の字句を用いて答えよ。
- (c) 図 5 中の下線①のバス制御情報中の停車情報は、自車周辺に接近する物体で停車であった。これは、どのセンサーが、何を検出した場合か。30 字以内で答えよ。
- (3) C バスのシステムの仕様について、(a), (b)に答えよ。
- (a) 前方カメラの画像データを 5G ネットワーク経由で、指令室に送信する。画像圧縮率を 1/600, 5G ネットワークの実効通信速度を規格値の 20%とした場合の 5G ネットワークの占有率は、何%か。答えは小数第 3 位を四捨五入して、小数第 2 位まで求めよ。ここで、1M ビット=10⁶ ビット, 1G ビット=10⁹ ビットとする。
- (b) 現在、右 12.5 度の舵角を、右 12 度に変更したい。ハンドルを左方向に何度回転させればよいか。答えは小数第 1 位を四捨五入して、整数で答えよ。

設問 2 制御部のソフトウェアについて答えよ。

- (1) 表 2 中のマッピングタスクについて、(a), (b)に答えよ。
- (a) に入れる適切な字句を、 に入れる適切な数値を答えよ。
- (b) に入れる適切な処理内容を、20 字以内で答えよ。
- (2) 表 2 中の走行制御タスクについて、(a), (b)に答えよ。
- (a) , に入れる適切な字句を答えよ。
- (b) 車速 I/F タスクに通知する内容を算出するときに基にする情報を、15 字以内で答えよ。
- (3) 車両情報へのアクセスについて、(a), (b)に答えよ。
- (a) タスクが車両情報にアクセスするとき、排他制御が必要なのは、どのような場合を想定しているのか。35 字以内で答えよ。
- (b) (a)における排他制御において、排他制御をすることなくタスクの優先度を変更することでも対応が可能である。一つのタスクの優先度を高くする場合において、表 2 中のどのタスクの優先度を幾らに変更すればよいか。タスク名と優先度の値を答えよ。

設問3 自動運転システムの機能追加について答えよ。

車高が高い先行車両の影響などで、信号灯色が確認できない状況でも、信号灯色が青以外の場合、信号機の手前で安全に C バスを停車させたい。そこで、信号機の位置とその灯色情報（以下、信号情報という）を利用する機能を追加することにした。

指令室に追加する機能を次に示す。

- ① 信号情報を管理している信号管理施設から、専用回線を介して信号情報を取得して、信号機と C バスの距離（以下、信号距離という）を求める。
- ② 信号距離が 50m 以下となったときから、0m になるまで 0.5 秒周期で信号情報を 5G ネットワークで通信し、C バスに送信する。

制御部に追加する機能を次に示す。

- ① 指令室から、灯色情報の内容が“青”以外、かつ信号距離がある値以下の信号情報を受信した場合、車速がある値以上のときはマッピングユニットに走行停止を送信する。
- ② ①で、マッピングユニットに走行停止の送信をしたことによる、マッピングユニットから走行停止受信で停車の停車情報を受信した場合、指令室には走行を停止したこと、停止した理由の送信をしない。
- ③ ②の停車中に、指令室から灯色情報の内容が“青”の信号情報を受信すると、マッピングユニットに走行開始を送信する。

信号機が信号管理施設に信号情報を送信し、C バスはその信号情報を受信するまでに掛かる時間は、最大 300 ミリ秒とする。

制御部のソフトウェアにおいて、ある一つのタスクだけ処理を変更する。

- (1) C バスが時速 18km の一定速度で信号機から 30m の位置を走行中に、信号機が信号管理施設に信号情報を送信した。C バスはその信号情報を受信するのは、信号機から最小何 m 手前か。答えは小数第 2 位を四捨五入して、小数第 1 位まで求めよ。

(2) 処理を変更するある一つのタスクとはどのタスクか。表 2 中のタスク名で答えよ。

(3) 処理を変更するある一つのタスクの変更内容に関する次の記述について、(a)～(c)に答えよ。

- ・ 5G 通信タスクから、信号情報の通知を受けたとき、灯色情報の内容が、“黄”又は“赤”で、信号距離がある値以下、かつ のとき、走行停止をマッピングタスクに通知する。さらに、信号情報で走行停止を通知したこと（以下、信号停止という）を記憶する。
- ・ とき、信号停止が記憶されていれば、5G 通信タスクへの送信依頼をしない。
- ・ 信号停止が記憶されている状態で、5G 通信タスクから灯色情報の内容が、“青”の信号情報の通知を受けたとき、走行開始をマッピングタスクに通知して、 する。

- (a) に入れる適切な内容を、20 字以内で答えよ。
- (b) に入れる適切な内容を、45 字以内で答えよ。
- (c) に入れる適切な内容を、15 字以内で答えよ。

[メモ用紙]

[ヌ モ 用 紙]

[メモ用紙]

4

[メモ用紙]

6. 退室可能時間中に退室する場合は、手を挙げて監督員に合図し、答案用紙が回収されてから静かに退室してください。

退室可能時間	15:10 ~ 16:20
--------	---------------

7. 問題に関する質問にはお答えできません。文意どおり解釈してください。
8. 問題冊子の余白などは、適宜利用して構いません。ただし、問題冊子を切り離して利用することはできません。
9. 試験時間中、机の上に置けるものは、次のものに限りです。
なお、会場での貸出しは行っていません。
受験票、黒鉛筆及びシャープペンシル (B 又は HB)、鉛筆削り、消しゴム、定規、時計 (時計型ウェアラブル端末は除く。アラームなど時計以外の機能は使用不可)、ハンカチ、ポケットティッシュ、目薬
これら以外は机の上に置けません。使用もできません。
10. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ることができます。
11. 答案用紙は、いかなる場合でも提出してください。回収時に提出しない場合は、採点されません。
12. 試験時間中にトイレへ行きたくなくなったり、気分が悪くなったりした場合は、手を挙げて監督員に合図してください。

試験問題に記載されている会社名又は製品名は、それぞれ各社又は各組織の商標又は登録商標です。

なお、試験問題では、™ 及び ® を明記していません。