

3.2.6 ガレキ下に取り残された要救助者探査に必要な要素技術に関する研究

独立行政法人消防研究所 天野久徳
岐阜県生産情報技術研究所 稲葉昭夫
田畑克彦

(1) 目的

大規模な震災発生時には家屋の倒壊等が発生し、ガレキ下に多くの要救助者を取り残されることがある。ガレキ下に取り残された要救助者の救助には多くのマンパワーが必要とされる。また、救助活動において隊員が危険な状況に直面することも考えられる。一方、近年のロボット技術の進歩には著しいものがあり、ガレキ下に取り残された要救助者を救助するロボットの研究開発に対して社会的期待が高まってきている。しかしながら、ガレキ下に取り残された要救助者を探索し救出するロボットの研究開発を行うためには、未だに多くの研究課題が残されており、個々の要素技術を確立することが救助ロボットを実現するための第一条件となっている。そこで、本研究では以下に示す4つのサブテーマに着目し、関連する5つの要素技術に関する研究を行うことを目的とする。

(a) ガレキ内移動型探索ロボットに必要となる要素技術に関する研究

1) 物体表面の硬さを利用した人体認識センサに関する研究

WTCのテロ災害にてロボットを用いてガレキ下に取り残された要救助者探索を行った事例が報告されている。その際、人体が埃まみれになっていたため画像による人体の識別が難しかったと報告されている。一方、二酸化炭素センサ、温度センサも人体認識センサの一つとして利用することができるが、耐環境性という観点から考えると必ずしも災害環境で使いやすいセンサとはいえない。そこで、触手を接触させることにより、対象物の柔らかさを測定し、人体を認識するメカトロニクスセンサの試作研究を行う。

2) ガレキ内を移動するロボットの位置同定に関する研究

ロボットがガレキ内の探索を行い、要救助者を発見できてもロボットの位置を同定できないと効率的に要救助者の救助活動を行うことが難しい。そこで、電波技術等を利用し、三次元的に移動する探索ロボットの位置を同定する技術開発に関する研究を行う。

(b) 空中移動型探査ロボットと地上・地中型探査ロボットの情報統合による協調探索法に関する基礎研究

一般に、マクロな災害情報を空から航空機を利用して収集し、ミクロな情報収集や救助活動は地上移動型の機器を使用することとなる。そこで、空中移動型情報収集ロボットと地上移動型情報収集ロボットおよび救助活動支援ロボットの情報を統合し、より迅速な救助活動実現のための基礎研究を行う。

(c) 探査プローブの機能に関する実験的研究

比較的隙間が小さなガレキを想定すると、ロボットがガレキ内に進入することが難しい場合が考えられる。このような場合においては、ロボットがガレキ上を移動し、ロボ

ットから探索プローブをガレキ内に進入させて探索を行うことが一つの有効な方法と考えられる。そこで、最低限の探索機能を有する探索プローブに各種の運動機能を付加した移動プローブを製作する。

なお、(a)については独立行政法人消防研究所と岐阜県生産情報技術研究所との共同研究として遂行している。

(2) 年次実施計画

平成 14 年度

(a) ガレキ内移動型探索ロボットに必要となる要素技術に関する研究

1) 物体表面の硬さを利用した人体認識センサに関する研究

- ・人体センサを開発する上で基礎データを取得するための実験装置の試作。
- ・人体認識のための基礎データ実験。
- ・センサの機械機構の検討。

2) ガレキ内を移動するロボットの位置同定に関する研究

- ・位置同定法の整理，検討。
- ・小出力電波の強度による位置同定法の実験的検討。

(b) 空中移動型探査ロボットと地上・地中型探査ロボットの情報統合による協調探索法に関する基礎研究

- ・空中移動型ロボット，地上移動型，地中探査形ロボットの整理，検討。
- ・探査活動における統合情報利用方策の検討。
- ・情報収集統合システムのシステム設計。

(c) 探査プローブの機能に関する実験的研究

- ・探査プローブの機能および搭載機器の検討。
- ・探査プローブの試作

平成 15 年度

(a) ガレキ内移動型探索ロボットに必要となる要素技術に関する研究

1) 物体表面の硬さを利用した人体認識センサに関する研究

- ・人体センサの設計，試作
- ・性能確認実験

2) ガレキ内を移動するロボットの位置同定に関する研究

- ・小出力電波の指向性による位置同定法の実験的検討。

(b) 空中移動型探査ロボットと地上・地中型探査ロボットの情報統合による協調探索法に関する基礎研究

- ・協調探索ソフトウェアシステムの試作。

(c) 探査プローブの機能に関する実験的研究

- ・各種進入のための機構を備えた探査プローブの製作

(3) 前年度までの成果要約

(a) ガレキ内移動型探索ロボットに必要となる要素技術に関する研究

1) 物体表面の硬さを利用した人体認識センサに関する研究

人体センサを開発する上で基礎データを取得するための実験装置を製作した。製作した実験装置を図1に示す。この装置を利用し人体認識のための基礎データを取得する実験を行った。実験データの例を図2に示す。その結果、10mmの円形触子で10Nの力を加えたときの物体表面のへこみを計測することによって認識可能であることが明らかになった。



図1 製作した実験装置

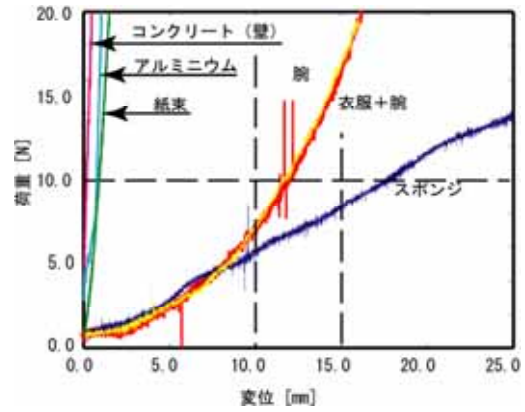


図2 実験結果の一例

2) ガレキ内を移動するロボットの位置同定に関する研究

位置同定法の整理，検討を行い，その中で容易に利用可能な既存の機器を用いて実験を行った。利用した機器を図3に示す。これは，オフィスなどでの入退室管理



図3 実験装置

表1 実験結果の一例
(a) 受信限界

距離[m]	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
アッテナ	-15	-27	-18	-28	-28	-31	-26	-6
データ								
[db]								

(b) 受信タグ数

距離[m]	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
[/10個]	4	5	3	4	3	4	5	1	6	2	4	5	2	3	0

に使用されている機器である．受信の可否をアッテネータの調整により検証した．実験結果の一例を表 1 に示す．結果より，小出力電波の強度による位置同定法を実験的に検討した結果，電波強度による位置同定が難しいことが判明した．

(b) 空中移動型探査ロボットと地上・地中型探査ロボットの情報統合による協調探索法に関する基礎研究

空中移動型ロボット，地上移動型，地中探査形ロボットの整理，検討を行い，本研究のサブテーマ“(a)・2)ガレキ内を移動するロボットの位置同定に関する研究”で得られたデータにより，空中移動型ロボットによる上空からの画像データにはめ込み，地上あるいは地中ガレキ内移動型ロボットの高所から観察した位置を表示できることを当面の目標とすることにした．空中移動型ロボットは常に一定の位置にいるわけではなく，また，上空からの映像は多方向からガレキの状態を観察できることがより利便性が高い．そこで，画像データにはめ込む際に，空中移動型ロボットがどのように移

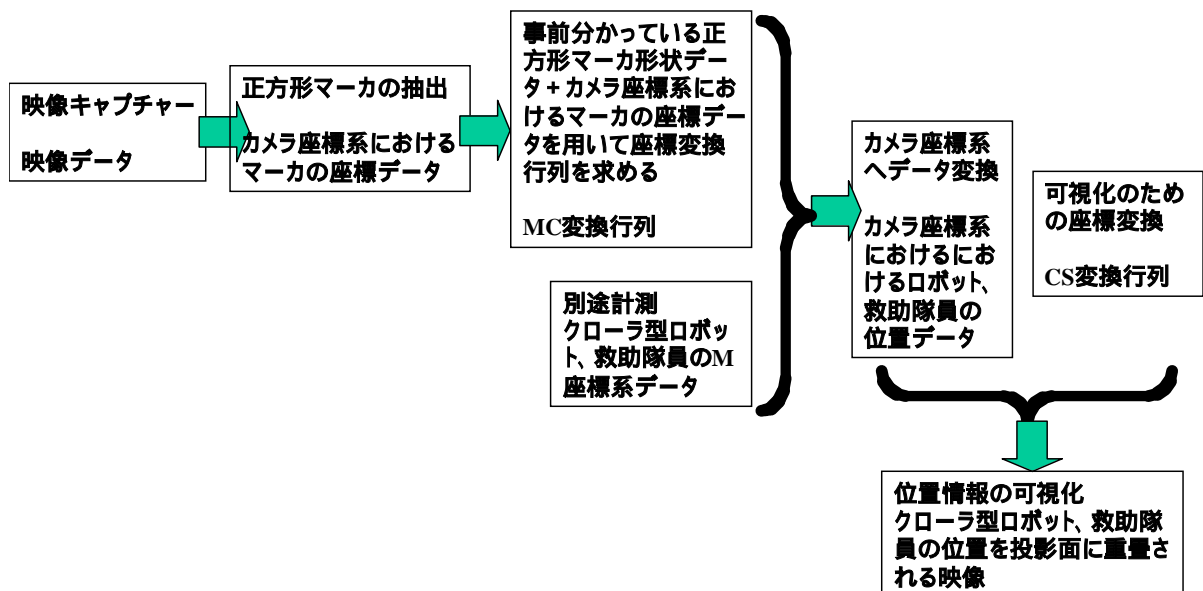


図 4 情報統合システムのアルゴリズム設計



図 5 試作したプローブ

動しても、その画像中で常に実際の経路を表示できるシステムを構築することとした。設計したシステムのアルゴリズムを図4に示す。

(c) 探査プローブの機能に関する実験的研究

探査プローブに必要な機能として、可視画像と距離計とした。可視画像は要救助者の発見に、また、距離計は進路の決定に主に用いることとした。探査プローブの基本部分を設計製作した。製作した探査プローブの写真を図5に示す。内部には空間的余裕を残しているが、径50[mm]、長さ200[mm]となっている。距離計の能力として、1[m]程度の距離の計測を想定したため、距離計が大型化し、プローブ全体が大型化する原因となってしまった。なお、有線タイプの運用を想定しており、距離計の電源およびセンサ情報は有線で送信される。可視画像カメラはバッテリーを内蔵しており、画像データは無線で送信する。

(4) 平成15年度の目的

(a) ガレキ内移動型探索ロボットに必要な要素技術に関する研究

1) 物体表面の硬さを利用した人体認識センサに関する研究

平成14年度の研究結果を基に、触手を接触させることにより、対象物の柔らかさを測定し、人体を認識するメカトロニクスセンサの試作研究を行い、実験にてその有効性を確認する。

2) ガレキ内を移動するロボットの位置同定に関する研究

平成14年度の研究結果に基づき、電波の指向性による三次元的に移動する探索ロボットの位置を同定する技術開発に関する研究を行う。

(b) 空中移動型探査ロボットと地上・地中型探査ロボットの情報統合による協調探索法に関する基礎研究

現場救助活動を支援するという観点から、被災現場において、全壊か半壊した建造物の中に潜り込んだクローラ型ロボットを想定し、その位置情報を現場の風景と重畳して表示することで、ロボットの遠隔操作を支援する機能の開発を行った。

(c) 探査プローブの機能に関する実験的研究

比較的隙間が小さなガレキを想定すると、ロボットがガレキ内に進入することが難しい場合が考えられる。このような場合においては、ロボットがガレキ上を移動し、ロボットから探索プローブをガレキ内に進入させて探索を行うことが一つの有効な方法と考えられる。そこで、最低限の探索機能を有する探索プローブに各種の運動機能を付加した移動プローブを製作する。

(5) 平成15年度の成果

(a) ガレキ内移動型探索ロボットに必要な要素技術に関する研究

1) 物体表面の硬さを利用した人体認識センサに関する研究



図6 試作したセンサ

平成14年度に得られた特性を基に、図6に示す計測装置を試作した。計測部は右側の装置の先端部分のみであり、大きさは、幅45[mm]奥行き60[mm]高さ135[mm]である。システム全体としては、センサを移動させる機構、押さえつけるための機構、架台、操縦装置などが大きくなっている。右側の操作部の白および黒のボタンを押すことにより計測部を旋回させ、計測位置に移動させ、オレンジのボタンを押すことにより計測が実行される。計測シーケンスをこのボタン操作のみで実行できるようにハードウェア上に実現している。計測結果は液晶上に表示される。現在、図1に示した試作装置を用いて、各種対象物を用いた検証実験を行った。実験機の制約から腕部のみの計測を行った、肘、骨の直上部分には、人間と見なさない計測結果となったが、おおむね90%以上のポイントでは人間と見なす計測結果となった。ただしこの計測は、系統的に測定ポイントを選定した結果ではないので、参考値である。また、多くの被験者に対して行ったものではない。ただし、原理的には、ある程度有効なものであるといえよう。

なお、現状で明らかになっている問題点として、(i)計測に触子が対象物に接するまでの動きと触子に力を荷重する動作が別々のアクチュエータとなっており、計測装置が大型化している。(ii)触子を対象物に垂直に接触させる必要がある。

2) ガレキ内を移動するロボットの位置同定に関する研究

平成14年度の研究結果に基づき、電波の指向性による探索ロボットの位置を同定する技術開発に関する実験を行った。

株式会社 国際電気通信基礎技術研究所が開発しているエスパアンテナを使用し、アンテナの指向性を利用した位置特定手法に関して、実現性という観点から検討を進めた。エスパアンテナおよび発信器の写真を図1に示す。写真内右側のコンピュータへのインターフェースとなるRS-232Cケーブルが接続されている状態である。写真左下には送信機が示されている。アンテナの形状は円筒形となっており、直径140[mm]高さ165[mm]、質量が745[g]である。発信器は、今回は試作であるため汎用的はケースを使用している。長さ135[mm]、高さ30[mm]、幅70[mm]であり、質量が電池を含み135[g]となっている。現場での運用やロボットへの積載が十分可能な使用となっている。しかし、現在は基礎的原理を確認するためとして、2.4[GHz]帯を使用している。位置同

定のための電波へのガレキの影響を考えると，より長波が有利であることは昨年の研究で指摘されており，機器が大型化する可能性は否定できない．なお，発信器はID情報を同時に発信しているので，同時に複数の送信機に対して運用が可能である．



図7 位置同定基礎実験に使用したアンテナおよび発信器

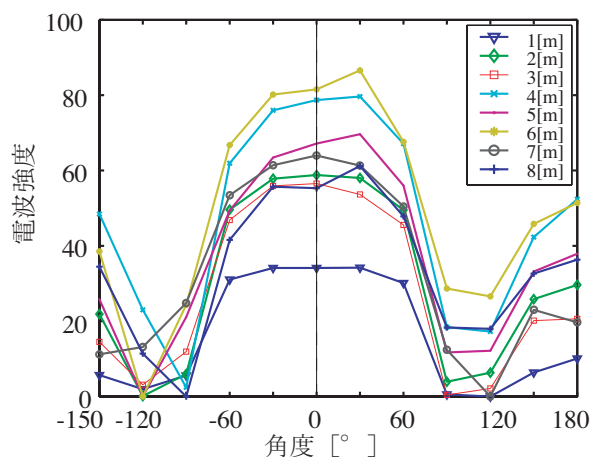


図8 電波強度データ

表2 推定誤差

距離	誤差[°]	誤差[mm]
1.00	-2.96	-25.79
2.00	-0.66	-11.56
3.00	-4.31	-112.86
4.00	4.79	167.06
5.00	-0.80	-34.70
6.00	1.56	81.59
7.00	-3.97	-242.43
8.00	-16.83	-1166.39

実験は比較の見通しの良い屋外で行った．

受信アンテナを定位置に置き，発信器を1.0[m]間隔で移動させ，計測を行った．アンテナが50回計測し，各計測の最小電波強度を0としてデータにオフセットをかけ，さらに，データの平均をとった値を図8に示す．50回の計測およびデータのコンピュータへの取込はおおよそ，所要時間約5秒である．発信器を設置した方向を0°としている．発信器の方向と，その反対方向へピークが出ることがわかる．今回は，本研究のためにハードウェアのチューニングは行っていない．より良いデータを得ることが，高精度な位置推定には必要と思われるが，今回はハードウェアの検討は行わず，データ処理で精度向上の処理を行うこととした．オフセットおよび平均処理後の各距離におけるデータに簡単な処理を施し，位置を推定し，位置の誤差として表示した結果を表2に示す．

当初，15[m]四方の領域で，1[m]メッシュ程度の精度で同定することを目標としていた．表2に示された結果を見る限り，7[m]の誤差まで±500[mm]以内に入っている．し

たがって、アンテナを15[m]四方の領域の四辺に計4台配置し、移動させることができれば、当初の目標通りのシステムを実現可能であることがわかった。

ただし、既に述べているように、今回は原理的な可能性を追求したにすぎず、ガレキの影響を考慮していない。ガレキの影響を考慮すると、使用電波の周波数帯の検討や、さらにアンテナの台数を増やすこと等の対応が必要と思われる。

(b) 空中移動型探査ロボットと地上・地中型探査ロボットの情報統合による協調探索法に関する基礎研究

1) クローラ型ロボットの位置情報可視化システム構成と機能

i) システム構成

全壊か半壊した建造物の中に潜り込んだクローラ型ロボットを操作している現場救助隊員に、見えないロボットの位置を可視化してみせることで、救助活動の迅速な展開に役立つと考えている。その利用イメージを、図2に示す。床下に移動しているロボットが見えないだけでなく、ロボットの向かっているターゲット、移動経路上の障害物も見えない状況において、移動しているロボットの位置とターゲット、障害物の位置を床の映像上に表示できれば、ロボットの位置情報の可視化となる。図9において、ロボットの現在位置から、進行方向に一直線でターゲットに近づけるが、可視化によって、途中の障害物があることが分かるので、迂回してターゲットに近づけることがロボットの操作員が分かる。

図9に示すような利用イメージを実現するために、下記に示す情報の取得、また提示手法の開発が必要である。

- ・ ある基準点に対してロボットを含め、障害物など救助活動上重要な物体、設備等々の3次元位置情報
- ・ その基準点を含め、救助活動現場の風景情報
- ・ 上記二つの情報を基準点に合わせて、ロボットを表す仮想物体を現場風景映像上に重畳して、ロボットの操作隊員に提示する手法

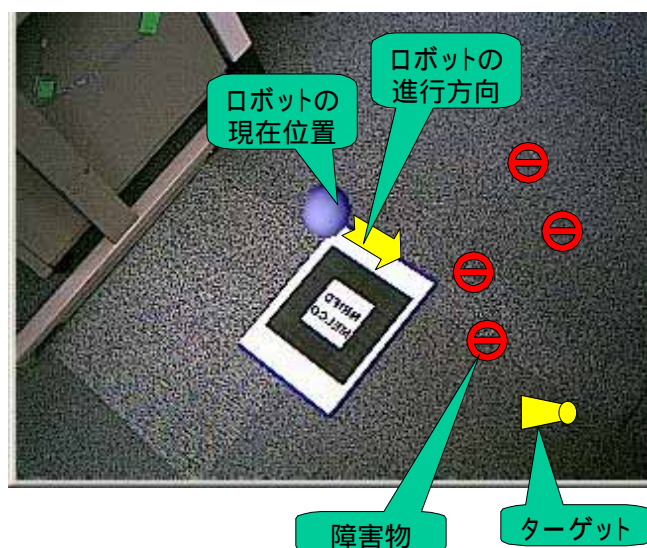


図9 可視化システムの利用イメージ

本研究開発において、上記情報の内、ロボットを含め、見えない物体の3次元位置情報は、別途取得できるものとして、取得できた3次元位置情報を本可視化システムの入力することで、倒壊した建造物中に潜り込んだロボットを表す仮想物体を現場風景の映像上に表示することを開発の目標とした。さらに、このようなシステムを現場で使用する場合に、検討すべき事項を実験で確認する。

なお、開発する可視化システムの構成は、現場風景撮影するカメラ、基準点となるマーカ、可視化情報処理装置(パソコン)、可視化情報提示装置(ディスプレイ)となるが、次からそれぞれの要素について必要な機能を説明する。

ii) 各構成要素に必要な機能

クローラ型ロボットの位置情報可視化を実現するために、上記各構成要素に関して、必要な機能または性能について、考察を行った。その内容を下記に記す。

・ カメラ

カメラの選定に関して、2つのことが関係してくる。一つは、カメラ自体の性能、もう一つはカメラから得た映像情報をどのように可視化情報処理装置に取り入れることである。前者については、多数多様で、様々な選択肢があり、本研究開発では、主に後者のことを考慮し、カメラの選定を行った。

通常、後者に関して、ビデオキャプチャーと呼ばれる方法で行うが、カメラによって、ビデオキャプチャーに必要な構成が異なる。ビデオキャプチャーの構成は、カメラ+専用キャプチャーカード+情報処理装置の構成が一般的であり、専用キャプチャーカードによるハードウェアレベルでのビデオキャプチャーを行っている。しかし、このような構成は、構成要素が多いことからシステム全体が複雑だけではなく、救助活動に必要な小型装置の実現も困難と思われる。

一方、近年ウェブカメラと呼ばれて、カメラと情報処理装置との間に直接接続し、手軽なビデオキャプチャーが可能になってきた。その代わりに、ビデオキャプチャー処理は、すべて情報処理装置に任せられ、前記ハードウェアによるビデオキャプチャー手法よりは、情報処理装置の処理性能(具体的にはメモリ、CPU)が要求される。しかし、近年CPUの著しい発展により、安価で高速なCPU、大容量なメモリなどは特に問題視されなくなってきた。

上記のことを踏まえて、本研究開発では、ウェブカメラを用いることに決めた。ただし、性能比較のため、表3に示すような複数、異なるメーカーのカメラを用いることにした。

表3 比較使用したカメラ一覧

比較項目	Ibot2 WebCam	RapidCam130	USB-CAP2 + CANON
インタフェース	USB2.0	USB2.0	USB1.1 + NTSC コンポジット
カメラセンサ	1/3 型カラーCMOS	Color CMOS	1/4 型 CCD カメラ,
最大解像度	664 x 492	1280x1024	カメラ : 460x350 USB-CAP2: 352x288
フレームレート	640 x 480 30Fps	1280 x 1024 10Fps 800 x 600 30Fps 640 x 480 30Fps 320 x 240 30Fps	352x288 30Fps
データ形式	RGB24bit	RGB24bit	RGB16bit, RGB24bit, YUV422, YUV12
伝送速度	480 Mbps	480Mbps	12Mbps
画角	60 度	52 度	水平画角 : 47.5 ~ 3 度 (ズーム機能付)
電源供給	USB ケーブルより	USB ケーブルより	USB ケーブルより, カメラは, 別途必要 12W
S/W IF	WDM, VFW	WDM, VFW	WDM, VFW
重量	約 50g	約 50g	375g
写真			

表4 情報処理装置スペック

スペック項目	内容
CPU	AMD 製 Athlon2.4GHz
メモリ	512MB2 枚、合計 1GB
ハードディスク	ATA-133 80GB
カメラとの Interface	USB1.1/2.0、IEEE1394

- ・ 基準点となるマーカ

基準点となるマーカは，現場風景映像上に座標系の基準点となるため，映像上から認識しやすくする必要があるのである．本研究開発で，被災現場の状況を考慮し，現場における設置の簡易さ，壊れたら容易に製作可能などの観点から，下記に述べる可視化情報処理方法に従って，図10に示すような平面正方形の白黒枠の中に白黒の模様があることを特徴とするマーカを選定した．



図10 地上の基準点となる2次元マーカ



図11 コンパクトなキューブ型PC

- ・ 可視化情報処理装置

前述のように，ウェブカメラを選定したことによって，情報処理装置の処理能力が高いことが必要とされている．本研究開発において，研究室の実験のため，図11の写真にあるようなコンパクトなキューブ型の小型パソコンを使用した．ビデオキャプチャーに関係するパソコンのスペックは，表2に示す．

- ・ 可視化情報提示装置

可視化された情報の提示手段として，ディスプレイ技術の発展により，ヘッドマウントディスプレイや，有機ELディスプレイなど様々の可能性があるが，本研究開発の現段階では，研究室の実験を実施する上で，一般的なディスプレイを使用した．将来的には，実際の使用状況に応じて検討していく必要がある．

2) 情報可視化の手法

前記装置を用いて，倒壊した建造物の中に潜り込んだロボットの位置情報を可視化するシステムを開発した．ここでは，可視化に関する情報処理の方法，処理の流れ，また可視化の性能に影響する要因の考察などについて説明する．

i) 方法

簡単に説明すると，見えなくなったロボットを見えるようにするのが，本研究開発のポイントであり，拡張現実感技術と呼ばれている技術を用いることで実現可能である．

拡張現実感(Augmented Reality: AR)とは「現実空間をベースに、空間および空間上に存在するものの持つ意味を拡張して、そこにはないものや情報を付加する技術」と定義されている[1]。ARは現実世界をベースに、計算機が作り出す仮想的な情報を加えて現実世界の情報について補助、増強、拡張する。それによって、現実世界の情報のみでは得られないような種々の応用が可能である。このように、実世界では不可視な情報を拡張現実としてユーザに提示することによって、ユーザの作業を支援する研究が盛んに行われている。

本研究開発では、このAR技術を用いて、ガレキの下に潜り込んだロボットの位置情報に基づき、救助現場の風景映像の上に正確にロボットを表す仮想物体を表示することで、救助隊員の活動を支援することを狙いとしている。

ii) ARToolKitを用いた画像処理

本研究開発では、ARアプリ開発に一般的に利用されているARToolKit[2]という公開されているソフトウェアライブラリを用いて、開発を進めることにした。ARToolKitは、米国ワシントン大学HIT (Human Interface Technology) ラボラトリーにて開発されたもので、ARToolKitにあるAR関連画像処理に特化したライブラリを活用することで、簡単にかつ迅速にシステム開発が可能になるため、本研究開発において、使用することにした。なお、ARToolKitのライブラリの構造を図12に示す。本研究開発において、AR32ライブラリを用いて、AR関連処理を行い、また、OpenGLをベースとしたGLUTライブラリ、Argsub32ライブラリを用いて、仮想物体の生成処理を行っている。

ARToolKitの公開ソフトウェアライブラリを使用して、AR応用システムを開発するため、正方形のマーカを用いることとなる。その使用方法については、後述するが、本研究において、前記図10に示すようなマーカを製作し、使用することとした。このようなマーカを用いて、AR技術を実現するための画像処理の一般的な流れを図13に示す。また、本研究開発における情報可視化の処理フローを図14に示す。

まず、カメラ映像の各フレーム画像を二値化し、白黒の画像にする。この白黒の画像の中から、前記2次元マーカと類似したすべての長方形（正方形を含む）を検出し、その長方形中の模様を予め登録した前記マーカのパターンと比較する。その結果、映像の各フレームにおいて前記マーカの所在を特定できる。さらに、透視投影のモデルに基づいて、特定されたマーカの位置と姿勢を算出し、カメラ座標系の3次元データで表現する。

つぎに、別途計測により得られるロボットの3次元位置情報を用いて、カメラ撮影さ

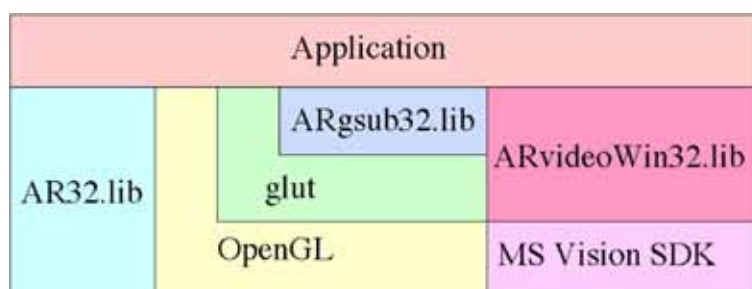


図12 ARToolKitライブラリの構造 (出典：参考文献[3])

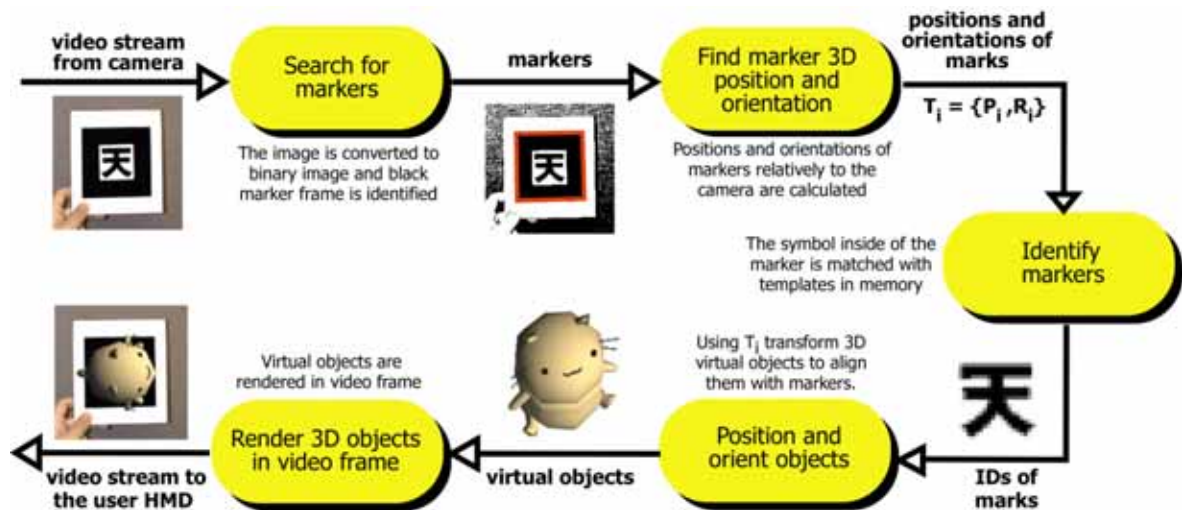


図 1 3 ARToolkit における画像処理の流れ (出典 : 参考文献[3])

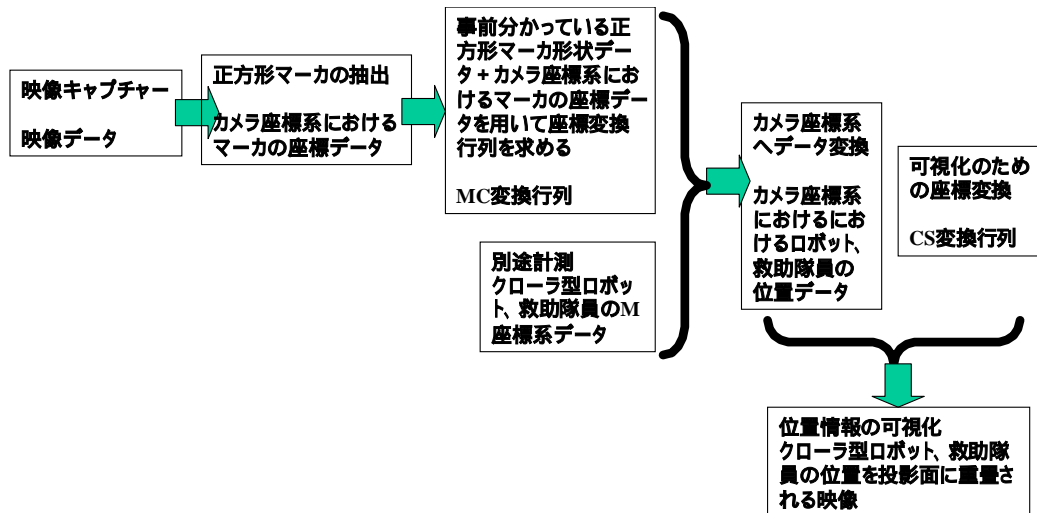


図 1 4 ARToolkit を用いた本研究開発における情報可視化処理フロー

れた映像上の座標系に変換し、その位置に仮想物体を表示することで、ロボットの所在を視覚的に表現することとなる。本研究開発において、別途計測で得られるロボットの位置情報を前記マーカとの相対位置に関するデータであると仮定する。ロボットがガレキの中で動いているので、その位置情報が時間とともに変化するものとする。そこで、ロボットの位置情報を示すための仮想物体も得られる映像上で時間とともに動かなければならない。

上記のような処理を行うことで、ロボットの位置情報を救助現場風景映像上に重ね合わせることにより、クローラ型ロボットのリモート操作に役立つ。さらに、別途計測で得られる要救助者の位置情報や、予め分かっている救助隊員の位置情報や、救助活動に関連している施設の位置情報なども現場風景映像上に重畳して表示することで、雑然としている被災現場の救助活動を迅速に展開する上では役立つと期待できる。

3) 実験

前記のように、二次元マーカ、カメラ、情報処理装置の構成で開発した被災地現場

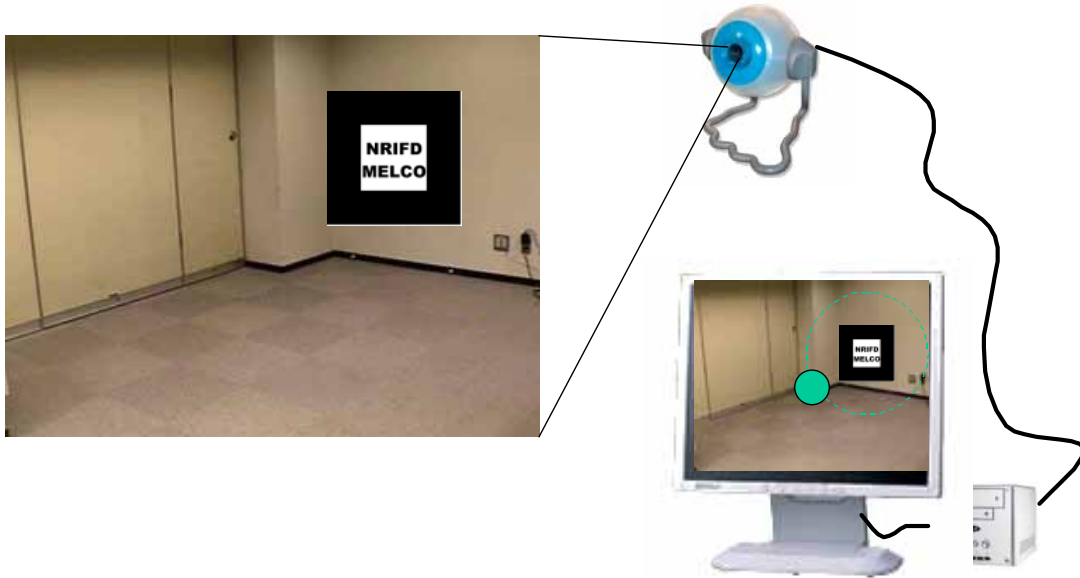


図 1 5 研究室での実験風景（イメージ）

に潜り込んだクローラ型ロボットの位置情報可視化に関して、研究室で実験を行った。実験の目的は、前記の方法で開発したシステムについて、救助現場で使用する場合の幾つかの性能を確認することである。

ここでは、まず、救助現場の範囲について定義する必要がある。H14年度の検討によって、広域な被災地に関して、球状現場の広さを定義すると、救助現場は、震災によって半壊したビル、民家、幼稚園学校などの建物のような、周囲数十から数百平方メートル、高さ地上20から30メートルまで範囲を救助現場としたが、H15年度に実施する研究室レベルの実験に関して、半壊か全壊した一戸建ての民家を想定して、高さ10メートル以内、広さ数十平方メートルの範囲を実験対象にした。

また、研究室での実験なので、高さ10メートルというのは、カメラからマーカまでの距離なので、図15に示すような実験風景（イメージ）のように、壁などにマーカを設置し、マーカから徐々にカメラを移動して、後述する各性能を評価することにした。

i) 実験内容

実験は、前記数十平方メートルの範囲において、前記基準点となるマーカを置いて、カメラによって得られた映像の中に、仮想物体を用いて、別途得られたロボットの位置情報を正確に反映できるかについて確認した。なお、別途得られるロボットの位置情報について、仮定されるデータを入力することにして、本実験では、ロボットは、前記基準点となるマーカの中心を円状の軌跡に沿って時間とともに移動すると仮定した。

また、実験では、前記3種類のカメラを用いて、異なるサイズのマーカに対して、下記に示す具体的な確認事項について、実験を行った。

・ 基本機能

基本機能確認とは、カメラによって取得した現場映像上に、ロボットの位置情報を表す仮想物体が表示できるかどうかの確認である。

- ・ 対応範囲

対応範囲とは、基準点となるマーカがカメラからの距離を離れたら、上記基本機能が達成できなくなる確認である。

- ・ 精度

精度の確認とは、予め指定した仮想物体のサイズ、円状軌跡の半径などがカメラ映像上で正確に反映しているかの確認である。

ii) 実験結果

前記のように、3種類のカメラ、カメラ解像度を高解像度の640x480と低解像度の320x240の2種類に設定し、さらにマーカサイズが20cmと40cmの2種類を用いて、研究室レベルでの実験を行い、前記確認項目を確認し、表5に纏める。

まず、基本機能について、各カメラが2種類の解像度とも、基本機能が確認できた。低解像度に関しては、60Fpsの処理能力があることから、処理装置の処理余裕度があることが分かる。また、高解像度については、カメラ性能によるものだと考えているが、処理能力は、Ibot2では30Fpsに達し、RapidCam130では、20Fpsぐらいしか出ていないことから、RapidCam130を用いる処理速度は、やや遅れていることが分かる。

次に、対応範囲について、事前にも推定できているが、マーカの大きさは対応範囲に大きな影響を及ぼすことが再確認できた。また、解像度の違いによって、若干影響もあり、

特に、マーカのサイズが大きい場合に影響が大きい。また、異なるカメラで実験した結果からわかるように、対応範囲がマーカサイズ、解像度によってほぼ決まっている。

精度については、仮想物体のキューブを用いて、キューブのサイズは、マーカの真中、白い生地に模様部分がある部分をちょうど埋め尽くすように設定したので、マーカ、風景を映っている映像上から、仮想物体のキューブが模様部分を全部埋め尽くしたかどうかを目視で確認し、その精度が高いことが分かった。

本システムが救助現場で使用される場合に、カメラがリモコンヘリコプタに取り付けられる場合を想定し、カメラの揺れが本システムに与える影響を確認した。ヘリコプタの揺れを模擬し、カメラを手であえて上下左右に揺らし、その時に仮想物体が絶えず表示されているかどうかを確認した。ただ、手の揺れがある程度激しくなると取得した映像が認識できなくなり、当然画像処理も不可能となるため、ある程度の揺れなら、対応範囲の安定領域において対応できていることを確認した。

表 5 実験結果のまとめ

確認項目			Ibot2 Web Cam	RapidCam130	USB-CAP2+Canon
基本機能	20cm マーカ	320x240	達成 @ 60Fps	達成 @ 60Fps	達成 @ 60Fps
		640x480	達成 @ 30Fps	達成 @ 20Fps	この解像度に対応せず
	40cm マーカ	320x240	達成 @ 60Fps	達成 @ 60Fps	達成 @ 60Fps
		640x480	達成 @ 30Fps	達成 @ 20Fps	この解像度に対応せず
対応範囲	20cm マーカ	320x240	Max4.5m、 安定：4m	Max4.25m、 安定：4m	Max4.5m、 安定：4m
		640x480	Max4.75m、 安定：4.5	Max4.25m、 安定：4m	この解像度に対応せず
	40cm マーカ	320x240	Max：10m、 安定：8m	Max：11m、 安定：9m	Max：9m、 安定：8m
		640x480	Max15m、 安定：13m	Max14m、 安定：11m	この解像度に対応せず
精度	20cm マーカ	2種類の 解像度	目視確認で 約1cm～2cm	目視確認で 約1cm～2cm	目視確認で 約1cm～2cm
	40cm マーカ	2種類の 解像度	目視確認で 約1cm～3cm	目視確認で 約1cm～3cm	目視確認で 約1cm～3cm

iii) 可視化に影響する要因についての考察

上記実験結果から、まず、ARToolKitを用いて、見えなくなったロボットの位置情報を仮想物体で表現できることを確認できた。しかし、上記の結果は、あくまでも研究室レベルのものであり、実験によい環境が整っているから得られたものである。一方、被災地の救助現場では、環境から様々な要因が上記可視化に影響するものと考えられる。

現場での使用を想定し、可視化に影響する要因について考察した。まず、照明が要因の一つとして挙げる事が出来る。カメラを用いた画像処理であるゆえ、照明に影響されやすい。暗い現場には適用できない。次に、カメラの選定に関して、取得する映像上に基準点のマーカが映っていないと、仮想物体の表示もできないため、数十平方メートルの現場にしても、全体を見渡すため、出来るだけ画角の広いカメラを選定する必要がある。また、複数のカメラを用いて、パノラマ映像上にマーカの使用を拡張する必要がある。最後に、実験結果からも分かるように、マーカのサイズが対応範囲にかなり影響するため、大きめのマーカを作成することが現場の使用上では可能かどうか、現場に適したマーカの検討など更なる検討が必要だと考える。

4) まとめ

以上のように、被災地現場救助作業支援システムにおけるクローラ型ロボットの位置情報可視化に関して、システム開発と実験の実施について報告した。H15年度で実

施した内容は，H14年度に洗い出された情報統合指令システムに必要な機能の一つであり，実験により，その実現手段が妥当であることを確認した．

しかし，一方では，全体情報統合指令システムに必要な機能がまだ多数であり，更なる開発が必要である．また，上記開発したシステムについても，現場で使用ことを想定した場合に，更なる様々な検討と改良が必要と考えている．

(c) 探査プローブの機能に関する実験的研究

移動機構として取り付けるクローラの製作を行った．製作した移動機構を取り付けた探査プローブを図16に示す．クローラ内部にモータを設置する配置とし，容易にプローブ本体から脱着できる構造としている．クローラは円筒状のプローブに対して，放射状に3セット取り付ける．図16(c)に示した後方からの写真で確認できるように，クローラ取り付け部にはバネサスペンションを設け，駆動力が対象物に有効に伝達できる機構とした．全体寸法は，最大部で直径250[mm]，最小部で180[mm]，長さ210[mm]である．質量は2.0[kg]である．通過可能な筒の最小半径は，185[mm]であった．本年度は，プローブの改造は行っていない．したがって，距離計の電源およびセンサ情報は有線で送信される．可視画像カメラはバッテリーを内蔵しており，画像データは無線で送信する事となっている．

問題点として，(i)距離計を搭載する選択をしたため，プローブといえる大きさに収まらず，ロボットに近い大きさであること，さらに，(ii)距離計を超音波式としたため，ガレキ内において小スポットで距離を計測することが難しいこと，が既にわかっている．



(a) 全体



(b) 前方



(c) 後方

図 16 クローラ機構を取り付けたプローブ

(6) 平成 15 年度の成果発表等

- (a) 天野，稲葉，田畑：表面硬さを利用した人体センサの実験的検討，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003, 2003
- (b) 文部科学省 大都市大震災軽減化特別プロジェクト「被害者救助等の災害対応戦略の最適化レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」ロボットデモンストラーション，2003
- (c) 稲葉，田端，天野：ガレキ下に取り残された要救助者探査に必要な要素技術に関する研究，大大特シンポジウム，2004
- (d) 威，大井，天野：レスキューロボットの位置情報の可視化，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004, 2004 (予定)

(7) 参考文献

- [1] Ronald Azuma, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, Blair MacIntyre: “Recent Advances in Augmented Reality, IEEE Computer Graphics and

Applications,” 21, 6, pp34–47, 2001.

- [2] H. Kato and M. Billinghurst: “Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system.” In Proc. IEEE International Workshop on Augmented Reality, pp125-133, 1999.
- [3] Hirokazu Kato, Mark Billinghurst, and Ivan Poupyrev: “ARToolKit Version 2.33 Manual,” 2000.