

K\_006

## 遠隔作業支援における作業環境の情報構造化に関する研究

A study on working environment with structured information in remote collaborative work

河田 博昭† 町野 保† 岩城 敏† 柳原 義正‡ 南條 義人† 下倉 健一朗†  
 Hiroaki Kawata Tamotsu Machino Satoshi Iwaki Yoshimasa Yanagihara  
 Yoshito Nanjo Ken-ichiro Shimokura

## 1. はじめに

ヘッドマウントディスプレイやプロジェクタを用い、実空間へ情報を重畳提示することで、人への効果的な情報提示を実現する研究が行われている[1][2]。我々は、マルチロケーションとして展開される工場における機器やサーバシステム等のメンテナンス作業を対象とし、遠隔からの作業指示に、この様な拡張現実感と呼ばれる情報提示手法を用いた視野共有型遠隔作業支援システム (SCOPE) を開発し、その有用性を確認してきた[3]。

一般的にメンテナンス作業空間は広範囲にわたるため、現場作業員の移動に合わせ、提示システムも移動する必要がある。そのため、移動ロボットにカメラとプロジェクタを搭載することにより SCOPE の稼働範囲を拡大した[4]。遠隔の支援者は、ロボットが移動できる範囲であれば、ロボットに搭載されたカメラ画像を通して現場を確認することができ、さらに、カメラで確認できる任意の場所に情報を登録・投影することが出来る。しかし、一旦所定の位置に登録した情報は、ロボットの移動に伴い投影位置に誤差が生じる問題が発生する。

一方、ロボットが活動しやすい環境を整える試みとして、様々な研究が行われている。これは環境情報構造化と呼ばれ、近年、活発な議論がなされている[5]。しかし、マーカーをどのように配置するか、あるいはどのように情報を関連付けるかが課題である。さらに、一度構築した環境を再構築することが困難である。

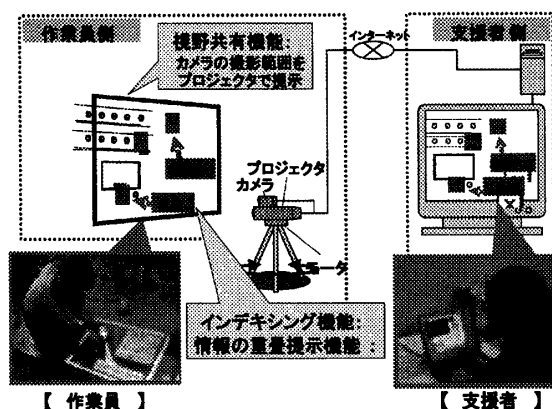
以上の背景を踏まえ、我々は、遠隔作業支援を対象に、人とロボットとが協調し、人に有用な情報を実空間に関連付けることと、ロボットにとって有用な情報を実空間に関連付けることとを同時に実現するためのコンセプトを提案する。

以下、本報告では、背景となる視野共有型遠隔作業支援システム (SCOPE) の概略を述べた後に、人とロボットとが互いに協調して作業環境への情報関連付けを実現するためのコンセプトを提案する。そして、コンセプトの具現例として、ビジュアルマーカーを用いるシステムを提案し、ビジュアルマーカーの配置数と投影位置誤差におけるトレードオフ問題について述べる。さらに、このトレードオフ問題に対するマーカーの配置方法に関する指針を得る第一歩として情報投影位置の誤差測定実験を行い、その結果について報告する。

## 2. 作業環境の情報構造化

## 2.1 遠隔作業支援における人のための情報構造化

図1に我々が開発した視野共有型遠隔作業支援システム (SCOPE) の概観図を示す。このシステムでは、現場



【 作業員 】 【 支援者 】  
 図1 視野共有型遠隔作業支援システム

作業員側のカメラ撮影範囲をプロジェクタ投影画像で採取することで、現場作業員が直感的に支援者の視野範囲を把握でき、視野を共有することが出来る。支援者側でカメラ画像内の位置を指定することで、共有した視野範囲内へ付箋紙を添付するかのごとく、画像、テキスト等の情報を自由に登録、重畳提示することが可能である。

この機能は、現場作業員が必要とする情報を、支援者の視点で、作業空間上へ構造化して配置することを実現しているといえる。この様に、作業空間を人が活用しやすい環境となるように情報を登録、閲覧可能にすることを本稿では「人のための情報構造化」と呼ぶ。

現状システムでは、一旦所定の位置に登録した情報の投影位置がロボットの移動に伴ってずれないように、ロボットの移動量を基に情報の投影位置を補正する必要がある。しかし、ロボットの内部エンコーダ値や搭載センサ値には誤差が含まれることがあり、ロボットの正確な移動量を測定することは困難である。このため、広範囲にわたり、人のための情報構造化を行う場合、ロボットの移動に伴い投影位置へ誤差が生じる。

## 2.2 ロボットのための情報構造化

ロボットにとって認識しやすいマーカーを環境上に配置するなどして、ロボットが活動しやすい環境を整える試みが行われている。この様な試みは環境情報構造化と呼ばれ、人間社会においてロボットを活用することを目的として、近年、盛んに議論されている。本稿では、「人のための情報構造化」と区別するため、これを「ロボットのための情報構造化」と呼ぶ。

ロボットのための情報構造化の主な利用例としては、ロボットの自己位置取得、あるいは移動量取得が挙げられる。例えば、ロボットにとって認識しやすいマーカーとして、RFIDタグを等間隔に配置し、タグが発信する情報には、各タグの設置位置を特定できる座標情報を設定する。この情報を利用することにより、ロボットは正確に自己位置を推定することができる。

† (株) 日本電信電話株式会社、NTT  
 ‡ NTTファネットシステムズ株式会社

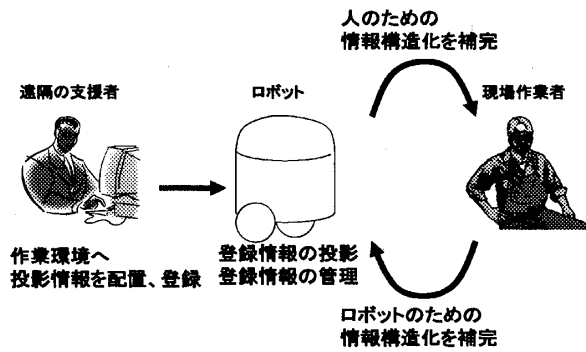


図2 提案コンセプトにおける役割関係

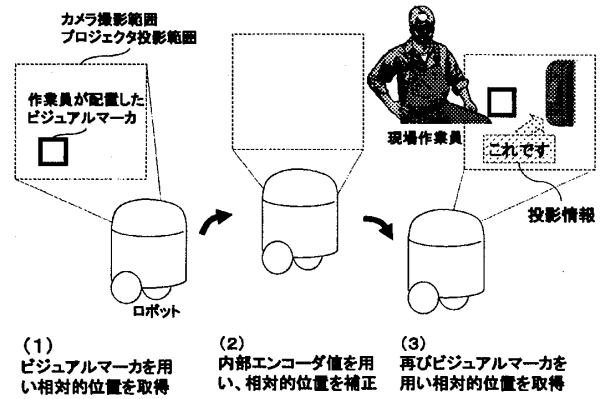


図3 ビジュアルマーカを用いたコンセプトの実現例

上記の様に、ロボットのための情報構造化のためには、環境整備を計画的に行う必要がある。しかし、すべての環境の隅々までを整備することは困難である。また、タグの設置位置と発信情報との整合性を取る必要があり、一度構築した環境を修正することは困難となる。

### 3. 人とロボットのための情報構造化

人のための情報構造化と、ロボットのための情報構造化を実現することにより、人はその場その場に合った情報を取得することが可能となり、またロボットは正確な自己位置取得が可能となる。これらの実現により、ロボットを介した様々な情報提示サービスが可能となるが、上述した様に、個々に課題がある。特に我々が想定する遠隔作業支援は、緊急時や問題発生時に実践されることが多いため、場所を事前に特定することが困難である。従って、事前に必要な範囲すべてを整備することは困難である。またロボットがその様な環境を自律的に認識することも困難であると考えられる。そこで、我々は、各情報構造化を独立に実現するのではなく、人とロボットとが互いの役割を補完し合うことにより、必要に応じて、作業範囲において各情報構造化を同時に実現することを提案する。図2に、提案コンセプトにおける役割関係を示す。ロボットが人に必要な情報を提供するのに対し、人がロボットに必要な情報を提供する関係である。

### 4. ビジュアルマーカを用いた人とロボットののための情報構造化

#### 4.1 提案手法

提案コンセプトの実現例として、ビジュアルマーカを用いる方法を図3に示す。現場作業員は、遠隔の支援者からの指示、もしくは自己の判断により、必要に応じて作業空間へビジュアルマーカを配置する。図3(1)に示すように、ロボットは、このビジュアルマーカから取得されるカメラの位置姿勢を基に、作業空間内におけるビジュアルマーカとの相対的な自己位置を認識しながら移動する。そして、図3(2)に示すように、ビジュアルマーカがカメラの撮影範囲から外れた場合、ロボットは内部エンコーダ値や搭載センサの値を用いて、自己位置推

定を行う。その後、図3(3)に示すように、カメラによってビジュアルマーカを認識すると、再び自己位置を認識しながら移動する。

作業員が適切な間隔でビジュアルマーカを配置することにより、内部エンコーダ値や搭載センサの誤差によって生じる自己推定位置と実際位置とのずれを補正することが可能となる。ビジュアルマーカは、現場作業員が必要に応じて作業空間上に配置することで、テンポラリーではあるもののフレキシブルにロボットのための情報構造化の実現が可能となる。一方、ロボットのための情報構造化が実現されることにより、ロボットが提示する環境に関する情報の投影位置の誤差が減少するため、人のための情報構造化の精度向上も期待できる。また、マーカを別の作業範囲へ再配置することで、作業範囲に登録された情報の再活用が可能となり、支援者の負担を軽減させることも可能となる。

#### 4.2 マーカ配置数と投影誤差の関係

提案手法においては、マーカの配置数、位置を考慮する必要がある。通常、カメラ画像内に占めるマーカ領域を広く持つことにより、マーカの認識精度の向上が望める。また、マーカの配置間隔を小さくし、多数のマーカを配置するほど、ロボットが推定する自己位置の認識精度は向上すると予想される。しかし、本システムでは、カメラ画像は、マーカ認識に利用されるだけでなく、遠隔の支援者が作業空間を把握するために利用される。そのため、カメラ画像内に占めるマーカ領域の増加は、遠隔の支援者から確認できる現場画像領域の減少につながり、遠隔作業支援そのものに影響を及ぼすという問題が予想される。このため、提示位置の精度と、支援者の作業空間の状況把握のしやすさの関係はトレードオフな関係といえる。従って、提案手法の有効性を確認するためには、まず支援者が登録した作業指示の提示位置誤差が現場作業員の作業へ与える影響について調査することが重要である。そこで本稿では、その第一歩として、限定した作業環境における指示情報の提示位置とその影響について実験を行った。

#### 4.3 実験

ビジュアルマーカの配置間隔、位置の指針を得る上で、先ずどの程度の提示誤差までが、作業の遂行に影響を与えるのかを考察するため、実験を行った。図4に今回使

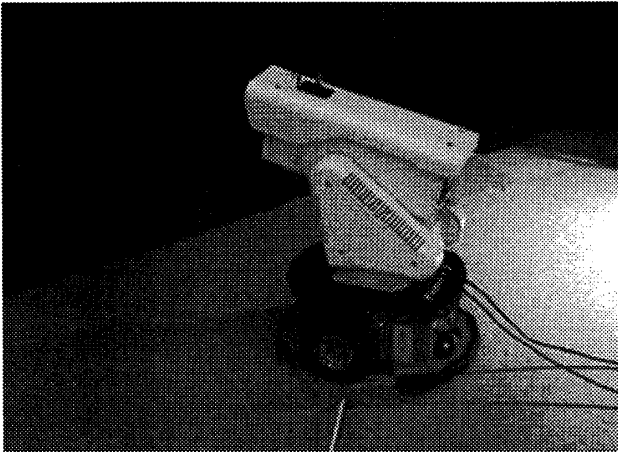


図4 Campro-R

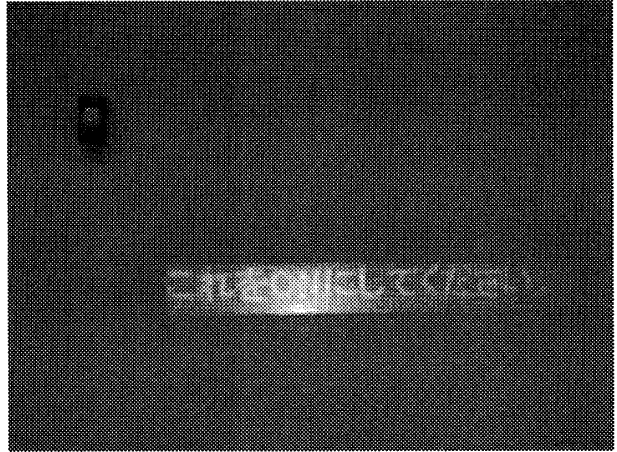


図6 指示情報の提示例

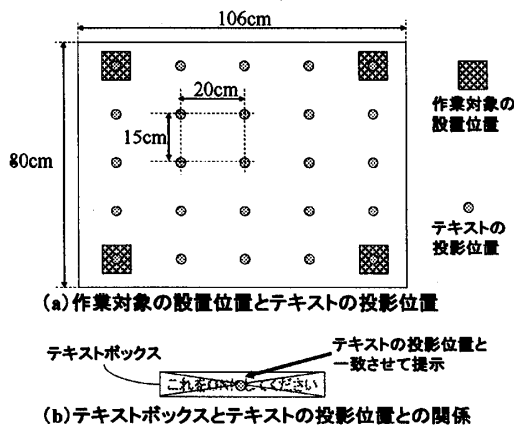


図5 実験における作業空間

用した情報提示ロボット、Campro-Rの概観を示す。移動型台車 (Pioneer3 ActiveMedia 製) 上に、プロジェクタ (1000lm NEC 製) とカメラとの光軸を一致させた機構をパンチルト可能なステージ上に搭載したモジュールを乗せたロボットである。プロジェクタとカメラの光軸を一致させることにより、ロボットと投影対象との位置姿勢に依存せず、プロジェクタ座標系とカメラ座標系が一致する。利用するビジュアルマーカには ARToolKit を用いた。本ツールキットを用いることにより、ビジュアルマーカを撮影するカメラの位置姿勢を取得することが可能となる。

図5に実験で用いた作業空間を示す。本実験では、作業空間 (縦 80cm、横 106cm) の4隅に作業対象 (トグルスイッチ) を配置した。トグルスイッチから縦 15cm、横 20cm 間隔で提示を行い、計 21箇所へ指示情報を提示した。図6に示すように、提示した内容は「これを ON にしてください」とスイッチ操作を示す内容である。被験者は研究所に勤める男女4名とし、21箇所へランダムに提示し、各3回ずつ、合計63回の提示を行い、被験者が提示内容どおりに作業を遂行できたかを観測した。

結果は、縦 15センチ、横 20センチの誤差までは、トグルスイッチへの作業を遂行可能であった。だが、指示対象の右側へ情報を提示した場合は、縦 30センチ、横 40センチの誤差があった場合でも、作業を遂行できる場

合があった。実験後の被験者へのヒヤリングでは、「これを」という指示語の提示部分を、被験者が指示情報の中心位置と捉えていたことがわかった。

本実験により、想定する作業に依存するが、作業遂行に支障のない提示誤差の範囲があることが分かった。この提示誤差の許容範囲は、マーカの配置数や位置を決める上で判断基準として利用することができる。

## 5. まとめと今後の予定

本報告では、遠隔作業支援において、人とロボットのための情報構造化について論じ、その実現のため、人とロボットと互いを補完しあうコンセプトを提示した。提案コンセプトの実現手法として、作業環境へビジュアルマーカを配置し、人とロボットのための情報構造化を実現する環境を、Campro-Rを用いて実装した。そして、ビジュアルマーカの配置数と、指示情報の提示位置誤差におけるトレードオフ問題を整理した。その後、限定された作業環境ではあるが、作業に支障のない誤差範囲を測定し、トレードオフ問題を検討する指針を得た。

今後は、本システムを遠隔作業支援において活用することにより、実作業下における提案コンセプトの有効性を確認していく。

## 参考文献

- [1] 廣瀬、広田、“複合現実”、計測と制御、第41巻、9号、pp.620-623、2002年。
- [2] Ramesh Raskar, et al, “RFID Lamps: Interacting with a Self-describing World via Photosensing Wireless Tags and Projectors”, SIGGRAPH 2004.
- [3] 町野、南條、柳原、河田、中山、下倉、毛利、“実空間視野共有型遠隔支援システム SCOPE の開発と評価”、ヒューマンインタラクションシンポジウム、pp.147-150、2004。
- [4] T.Machino, et al, “Remote-Collaboration System Using Mobile Robot with Camera and Projector,” Proceedings of international Conference on Robotics and automation, pp.4063-4068、2006。
- [5] 長谷川 勉、他、“ロボットタウンの実証的研究”、ネットワークロボット時限研究会、[http://www.irc.atr.jp/ieice\\_nwr/](http://www.irc.atr.jp/ieice_nwr/)