

作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスに関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 15～平 18

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：山元 弘、山口 崇、石松 豊

【要旨】

危険区域での建設施工などでは、遠隔操作による作業機械を用いることが有効である。これまで、雲仙普賢岳の無人化施工をはじめいくつかの事例で技術開発が進められてきたが、施工効率は搭乗式の場合の6割程度と低くなっている。遠隔操作による作業の実用性や効率に大きく影響する要因としては、機械の作業状況（機械の位置や作業対象との位置関係、作業対象の状況など）を操作者に伝える方法の良否が常に問題となっている。

このため、本研究では、既存事例の整理・分析、遠隔操作に必要な作業情報の分析とその伝達・表示方法（マンマシンインターフェイス）の検討を行い、設計手法をとりまとめるものである。

キーワード：無人化施工、遠隔操作、マンマシンインターフェイス、建設機械、3次元情報

1. はじめに

我が国では、地形的および気象的条件のため、火砕流、土石流、地すべり、および崖崩れなどの土砂災害が多数発生している（平成13～18年の平均で1123件/年 国土交通省調べ）。これらの災害復旧や災害防止を行う事業では、二次災害や災害の発生が懸念される大変危険な現場での作業を伴うこととなる。このような危険区域での土木作業では、安全対策として遠隔操作型の建設機械による無人化施工を実施することが有効であり、雲仙・普賢岳の噴火災害の復旧事業をはじめとして近年多くの災害復旧の現場などで遠隔操作型の建設機械を用いた無人化施工が行われている。

しかし、これらの無人化施工における施工効率は、作業内容により違いはあるが、操作者が搭乗して操作する場合の6割程度と言われており、低いのが現状である。無人化施工などの遠隔操作による作業の実用性や効率に大きく影響する要因として、機械の作業状況（機械の位置、姿勢、作業対象との位置関係、作業対象の状況など）を操作者に伝える方法の良否が常に問題となっている。

よって、本研究では、遠隔操作による効率的な作業実施のために、操作者への確に作業情報を伝達するマンマシンインターフェイスのうち情報表示技術について、実態調査を実施し現状の課題を整理するとともに、遠隔操作による具体作業を設定してマンマシンインターフェイスの事例研究を行うことで、遠隔操作に必要な作業情報の分析、作業情報の伝達・表示方法の検討、

検討したマンマシンインターフェイス技術の検証を実施した。また、それらの成果を基に、「作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスの設計手引き書（案）」（以下「設計手引き書（案）」とする）をとりまとめた。

2. 研究方法

本研究の実施フローを図2-1に表す。各項目の実施内容は、下記のとおりである。

2.1 遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスの実態調査

遠隔操作の建設機械による無人化施工を対象に、遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスの実態を

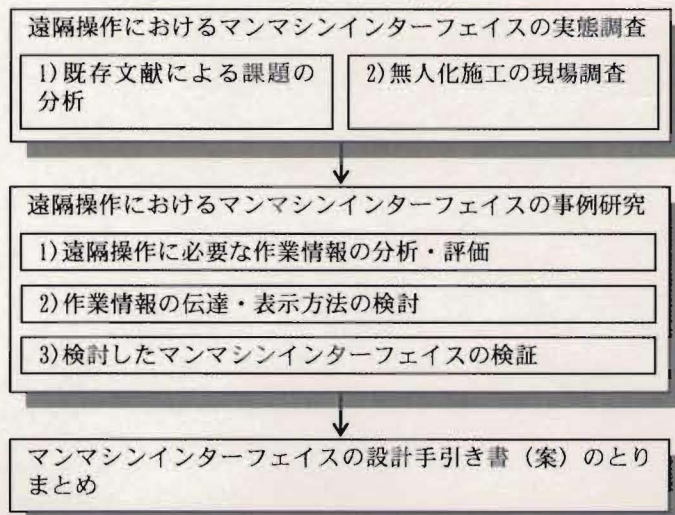


図2-1 実施フロー

調査し、現状の課題を整理した。調査は、既存文献による課題の分析と無人化施工の現場調査を実施した。

1) 既存文献による課題の分析

無人化施工を導入した事例について文献等の資料を収集し、マンマシンインターフェイスに関する課題を整理・分析した。

2) 無人化施工の現場調査

無人化施工を実施していた2工事について、現地調査を行い、操作者に対してヒアリングを実施した。

2.2 遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスの事例研究

具体の作業を設定しマンマシンインターフェイスの開発をとおして、遠隔操作に必要な作業情報の分析・評価、作業情報の伝達・表示方法の検討、検討したマンマシンインターフェイス技術の検証を行った。

1) 遠隔操作に必要な作業情報の分析・評価

現状作業の分析、作業におけるマンマシンの役割分担の整理、開発後の作業設定シナリオの作成、マンマシンインターフェイスの入出力情報の整理を行い、遠隔操作に必要な作業情報を分析・評価した。

2) 作業情報の伝達・表示方法の検討

CG技術や動画と3次元情報の重ね合わせ技術を用いて設計と現況地形の3次元情報などの必要な情報を表示する作業情報の伝達・表示方法を検討した。

3) 検討したマンマシンインターフェイスの検証

マンマシンインターフェイスの要求仕様の機能を実現しているか検証を行うとともに、マンマシンインターフェイスを評価するために、実データを用いて表示サンプルを作成し、有識者ヒアリングを実施した。

2.3 作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスの設計手引き書(案)の作成

本研究で調査・研究した結果は、「作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスの設計手引き書(案)」として、とりまとめた。

3. 研究結果

3.1 遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスの実態調査

3.1.1 既存文献による課題の分析

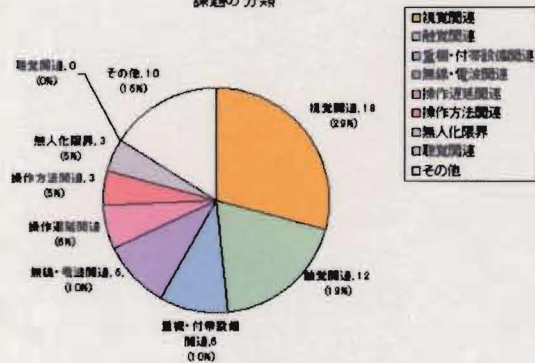
雲仙・普賢岳および有珠山の災害復旧工事など、実際に無人化施工を導入した事例について文献等の資料を収集し、マンマシンインターフェイスに関する課題を整理・分析した。結果は図3-1のとおりであり、視覚関連の課題が29%を占めており、文献によれば視覚関連の情報が最も重要であることが分かった。また、視覚関連の課題の内訳としては、遠近感把握の困難性、立体(凹凸)感の把握の困難性で視覚関連の44%を占めている。カメラの2次元画像による操作では、視点の違う複数台のカメラによる画像を用いるなど遠近感や立体感を2次元画像でも把握しやすいように現場で工夫している。しかしながら、目で直接見て作業する搭乗操作と比べると、文献では遠近感や立体感が操作性に大きな影響を与えることが示されている。

3.1.2 無人化施工の現場調査

無人化施工を実施していた2工事について、現地調査を行い、操作者に対してヒアリングを実施した。ヒアリング結果のうち、操作に関する結果の抜粋は、図3-2のとおりである。

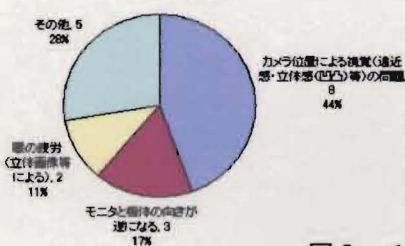
今回調査において、最も多くの操作者が遠隔操作で問題があると感じている課題は、搭乗操作と比較した

課題の分類

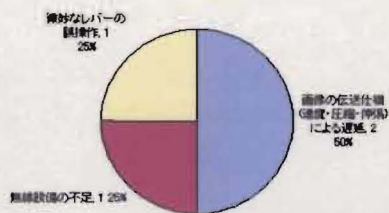


【 視覚関連の主な課題 】

【 視覚関連の主な課題 】



【 操作遅延関連の主な課題 】



【 搭乗操作によって作用する制御装置の位置とその方向の表示が不明 】

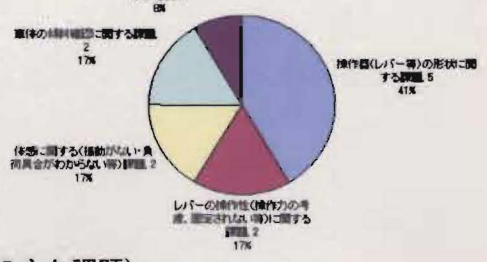


図3-1 資料調査結果(課題の分類と分類毎の主な課題)

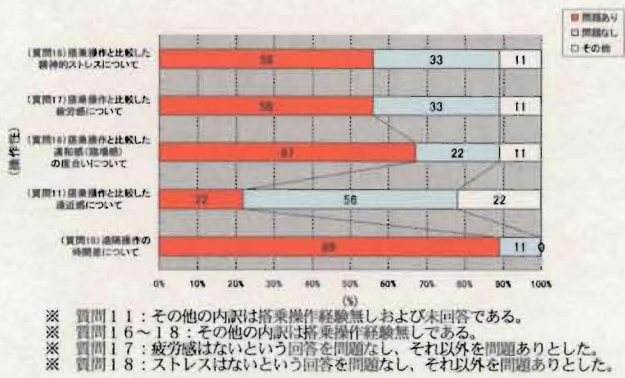


図3-2 現場調査結果 (操作に関するヒアリング結果の抜粋)

時間遅れであった。これは、今回調査した現場では、現場条件から制御系、映像系の全ての情報を中継車とアンテナ基地局の2箇所を経由して伝達しているなど時間遅れの発生しやすい状況があり、この問題がクローズアップされる結果となったものと思われる。

また、最も問題がないと感じている課題は、搭乗操作と比較した遠近感であった。この結果は、資料調査と異なる結果となった。問題なしの回答の内訳を見ると、遠近感がつかみ易いが11%で、操作に支障がない程度のある程度の遠近感がつかめるが55%であった。これは、操作者が遠近感などに関する現状の視覚情報に満足している訳ではないが、無人化施工として現状の施工効率で作業を行うには支障がない、ある程度の遠近感などの情報を取得できていることを意味している。

3.2 遠隔操作におけるマンマシンインターフェースの事例研究

事例研究を実施する遠隔操作の具体作業は、油圧シヨベルによる掘削・積み込み作業とした。また、開発目標とする技術的(自動化)レベルの設定は、図3-3のレベル3に設定した。通常施工とレベル1は、既

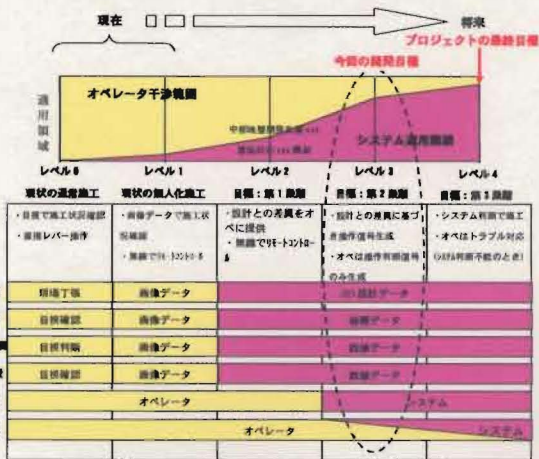


図3-3 開発目標レベルの設定

に実用化されている技術である。レベル2は、開発中のものを含め、レベル1をベースに情報利用の面で高度化した施工支援用のシステムを備えた技術レベルである。以上のレベルでは、機械操作や現地測量といった作業は未だ人力において実施されている。レベル3は、取得した情報をオペレータに供給すると同時に、機械操作(自動制御・自律化)にも一部利用する点を特徴としている。またレベル4は機械・システムが施工の主体となり自律施工を行うものである。現在の技術的な動向から中長期的な展望を考慮し、進展の著しい情報通信技術とロボット技術を活用した施工システムのプロトタイプとして実現可能なレベル3を今回の事例研究の技術的目標に設定した。

3.2.1 遠隔操作に必要な作業情報の分析・評価

遠隔操作に必要な作業情報を分析・評価するために、現状作業の分析、作業におけるマンマシンの役割分担の整理、開発後の作業設定シナリオの作成、マンマシンインターフェースの入出力情報の整理を実施した。

現状作業の分析は、現状作業を実施しているオペレータへ詳細なヒアリングを行い、操作を実施するために、どのような情報を確認してどのような判断基準で判断を下し、どのような操作を行うか確認する。このヒアリングで得られた情報から、現状作業でどのような作業をどのような手順で行っているかを整理するために、作業手順・プロセス分析を行う。作業手順・プロセス分析の結果を作業手順の確認フローとして、図3-4に示す。作業実行者(職長、オペレータ、作業機械)毎にプロセス(丸で囲まれた部分)を設定し、作業の流れを矢印で表現している。人の判断によって作業内容が変わる場合は、菱形の判断ブロックを設置し、あらゆる場合における作業の流れを記述している。作業手順・プロセス分析が完了したら、プロセス毎に、作業の内容を、作業内容、情報、ツール、動作レベルまでで

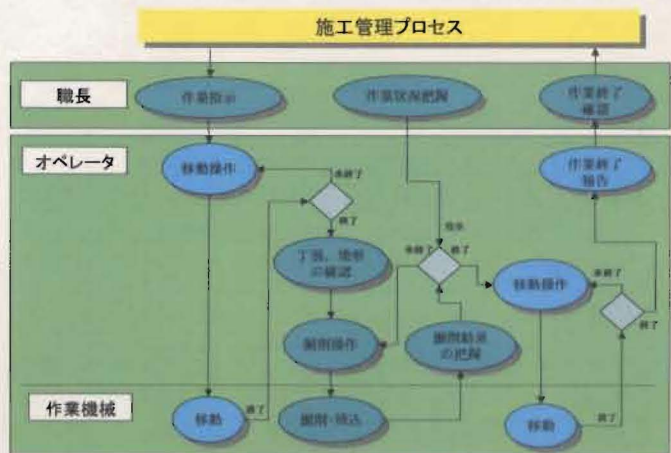


図3-4 作業手順の確認フロー

ユースケースⅡ-3-① 掘削作業（切出し〜掘り上げ）

タイトル		掘削作業（切出し〜掘り上げ）	
概要	オペレータは、掘削作業を開始して、バケットに土砂を掘り上げる。		
アクター	オペレータ		
トリガー	作業手順の確認終了		
事前条件	作業手順が確定している事		
成功条件	STEP	アクション(情報は赤、機能は青)	
	1	オペレータは、丁張り設計位置を確認して、丁張りと正対する方向に上部旋回体を旋回させる。 ・ 上部旋回体移動方向に障害物がないか目視で確認する。 ・ バケット、ブーム、アーム旋回方向に障害物がないようにブーム、アーム、バケット位置を変更する。	
	2	オペレータは、丁張りから測定される設計線と地山の形状を目視で確認して、バケット対先位置を移動させる。 ・ 設計線と地山の交点を目視で確認し、切出し位置を判断する。 ・ バケット対先位置と切出し位置とを目視で確認しながら、バケット対先位置を切り出し位置に合わせる。	
	3	オペレータは、変更する地山の状態、対先位置と設計ラインとの差異、作業機械動作状態を目視及び五感で感じ取りながら、バケットを掘り下げていく。 ・ オペレータは、作業機械の振動（エンジン回転数、地山からの振動）、作業機械の姿勢（地山反力）および地山の変形状態を目視及び五感で感じ取り、地山強度を判断する。 ・ オペレータは、地山強度、バケット内の土砂量を目視で判断して、バケット操作量を変更する。 ・ バケット内に土砂が満たされたら、バケットを水平に保持する方向に操作しながら、バケットを引き上げる方向にブーム、アームを操作する。	
	4	オペレータは、法尻位置（標高）をトンボ丁張りで確認して床付け位置を判断する。 ・ 床付け位置は、職長又は元請負者が測量器で計測しながら指示する場合もある。	
拡張	STEP	分岐条件	アクション or ユースケース
特別な要求			
発生頻度			
未決定事項			
関連事項			

図3-5 ユースケースシナリオの例

きるだけ細かく文章化した現状作業分析シナリオ（ユースケースシナリオ）を作成する。ユースケースシナリオの例を図3-5に示す。図3-5の赤字は、利用する情報であり、青地は、シナリオを示している。また、状況によりシナリオが分岐する場合は、分岐するシナリオ全てを作成する。プロセス毎のユースケースシナリオを基に、プロセスを動作まで詳細に分解するWBS分析を実施する。プロセスは、動作レベルまで階層化構造となっており、その階層を作業ベースで分析する手法であり、マンマシンの役割分担の整理に用いる。WBS分析結果の例を図3-6に示す。以上が現状作業分析であり、これにより現状の作業のフロー、オペレータの要求、必要機能、情報を整理することができる。

作業におけるマンマシンの役割分担の整理は、作業機械が自動で動作する場合と、人が操作する場合でマンマシンインターフェイスに実装する機能が異なることから、明確に定義しておく必要がある。現状作業の分析では、曖昧になりがちな機械の有する機能と人が有する機能を明確に分離することが作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスの設計では

12.1.6			掘削点にバケットを懸え付ける
12.1.6.1			周辺状況を確認する
12.1.6.1.1			掘削範囲(丁張り位置)を確認する
12.1.6.1.2			作業空間(立木、高さ制限)を確認する
12.1.6.1.3			地盤状況(表面状況)を確認する
12.1.6.1.4			クローダンプの位置を確認する
12.1.6.1.5			他の作業車、作業者の位置を確認する
12.1.6.1.6			障害物を回避する
12.1.6.2			掘削位置のバケットを接地する
12.1.6.2.1			バケットの接地詳細状態を確認する
12.1.6.2.1.1			バケットの接地詳細位置を確認する
12.1.6.2.1.2			バケットの接地詳細角度を確認する
12.1.6.2.2			バケット現在状況を確認する
12.1.6.2.2.1			バケット現在位置を確認する
12.1.6.2.2.2			バケット現在角度を確認する
12.1.6.2.3			接地詳細位置にバケットを移動する
12.1.6.2.3.1			バケットの傾きを確認する
12.1.6.2.3.2			バケットの傾きを調整する
12.1.6.2.3.3			アームの傾きを調整する
12.1.6.2.3.4			ブームの傾きを調整する
12.1.6.2.3.5			機体の向きを調整する
12.1.7			土砂をすくう
12.1.7.1			周辺状況を確認する
12.1.7.1.1			掘削範囲(丁張り位置)を確認する
12.1.7.1.2			走行空間(立木、高さ制限)を確認する
12.1.7.1.3			地盤状況(表面状況)を確認する
12.1.7.1.4			他の作業車、作業者の位置を確認する
12.1.7.1.5			障害物を回避する
12.1.7.2			土砂を掘削する
12.1.7.2.1			バックホウの傾きを確認する
12.1.7.2.2			バケットのツース(爪)部の状況を確認する
12.1.7.2.2.1			土質を確認する
12.1.7.2.2.2			地盤の乾燥を確認する
12.1.7.2.2.3			障害物の有無を確認する
12.1.7.2.2.4			障害物を回避する
12.1.7.2.3			バケット内の掘削土の状態を確認する
12.1.7.2.4			バケットの現在状況を確認する
12.1.7.2.4.1			バケット現在位置を確認する
12.1.7.2.4.2			バケット現在角度を確認する
12.1.7.2.5			土砂を確保できる位置までバケットを移動する
12.1.7.2.5.1			バケットの傾きを調整する
12.1.7.2.5.2			アームの傾きを調整する
12.1.7.2.5.3			ブームの傾きを調整する
12.1.8			土砂をすくい上げる
12.1.8.1			周辺状況を確認する
12.1.8.1.1			掘削範囲(丁張り位置)を確認する
12.1.8.1.2			走行空間(立木、高さ制限)を確認する
12.1.8.1.3			地盤状況(表面状況)を確認する
12.1.8.1.4			他の作業車、作業者の位置を確認する
12.1.8.1.5			障害物を回避する
12.1.8.2			土砂を持ち上げる
12.1.8.2.1			バケット現在位置を確認する
12.1.8.2.2			土砂を確保できる位置までバケットを移動する
12.1.8.2.2.1			バケットの傾きを確認する
12.1.8.2.2.2			バケットの傾きを調整する
12.1.8.2.2.3			アームの傾きを調整する
12.1.8.2.2.4			ブームの傾きを調整する

図3-6 WBS分析結果の例

重要である。図3-7に、開発目標とするレベル3の技術的レベルに基づいて機能配置したマンマシンの役割分担を示す。

LEVEL3.1

移動動作

- ・オペレータがIFから移動操作量を判断
- ・オペレータが遠隔操作レバーで操作

掘削・積み込み動作

- ・オペレータが掘削開始位置をIFから指示
- ・システムが自動で掘削・引き上げ
- ・システムが自動で旋回
- ・システムが放出位置を決定
- ・システムが自動で土砂放出

出来形判断

- ・オペレータがIFから出来形を判断
- ・オペレータが追加作業・終了判断

図3-7 マンマシンの役割分担

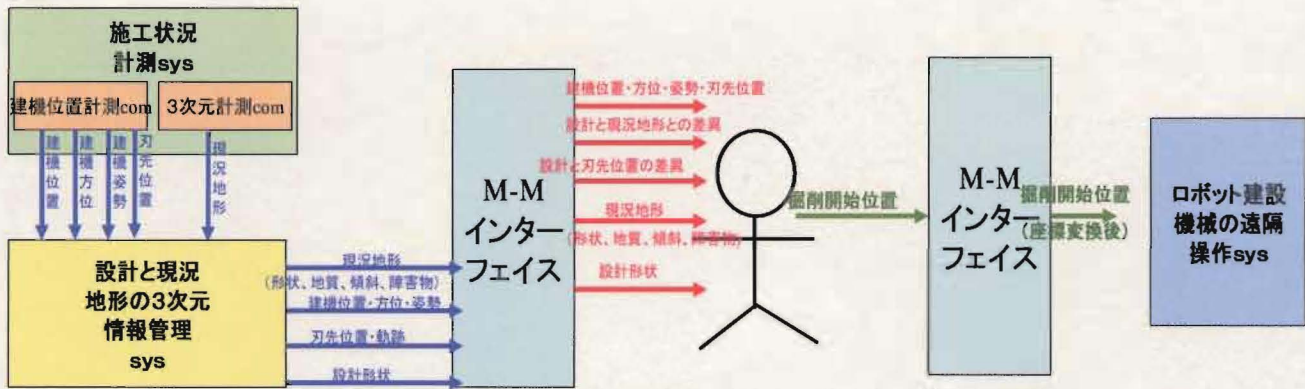


図3-8 情報理論モデルの例

開発後の作業設定シナリオの作成は、マンマシンの役割分担の整理結果を踏まえて、プロセス毎にユースケースシナリオを作成する。

マンマシンインターフェイスの入出力情報の整理は、上記のユースケースシナリオに記載されている、マンマシンインターフェイスに入出力される情報を抽出し、整理する。マンマシンインターフェイスの入出力情報は、作業機械側からとオペレータ側からの情報に大別される。図3-8に、掘削時の情報理論モデルの例を示す。

以上の手順により、マンマシンインターフェイスの事例研究の開発対象作業における必要な作業情報を分析・評価した。

なお、マンマシンインターフェイスの設計においては、ユースケースシナリオから開発機能の抽出・整理も行い、ユースケースシナリオ、入出力情報、開発機能を基に、入出力情報と機能を表現した論理モデルであるシステム概要の設定と、システムの機能・目的・利用者を明文化したユーザークラス定義を行う。そして、ユーザークラス定義で明文化した機能毎に最小単位まで機能を分解して手順を記載する論理モデル（機能モデル）の作成と、抽出した機能とユーザークラス定義の目的を実現するための機能要件を整理する。機能要件は、機能毎に、性能目標・品質属性・条件を設定する。

3.2.2 作業情報の伝達・表示方法の検討

情報理論モデルで明らかにしたマンマシンインターフェイスに表示する作業情報をオペレータに分かりやすく伝達・表示する方法として、CG技術および動画と3次元情報の重ね合わせ技術を用いた作業情報の伝達・表示方法を考案した。図3-9～14に油圧ショベルによる掘削・積み込み作業のプロセス毎に設計した表示画面を示す。

図3-9は、移動操作プロセスの平面表示画面であ

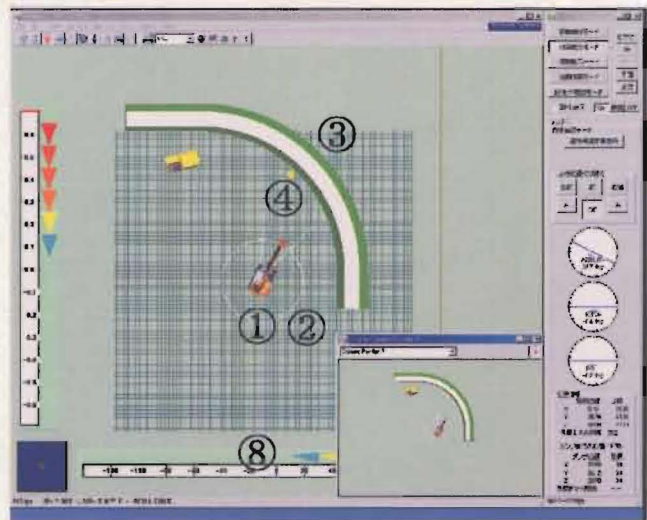


図3-9 移動操作プロセスの平面表示画面

る。必要な表示情報は、①建機位置、②建機向き・姿勢、③設計位置、④移動目標、⑤地形の状態、⑥障害物の有無、⑦ブーム・アーム・バケット角度、⑧移動目標との方向差異である。⑤～⑦の情報は、別途表示されるCCDカメラの動画画面で確認することとしている。

図3-10は、設計・現況・作業手順確認プロセスの表示画面である。左の画面がCG技術を用いた画面であり、右の画面が動画と3次元情報の重ね合わせ技術を用いた画面である。必要な表示情報は、①建機位置、②建機向き・姿勢、③設計位置、形状、④地形の状態（作業範囲）、⑤設計と現況地形の差異、⑥ブーム・アーム・バケット角度である。設計形状の3次元情報は、国土技術政策総合研究所規定のTS出来形管理設計データ交換標準（案）に準じたデータを直接読み込み、TINもしくはサーフェス表示を切り替えて表示可能になっており、基準メッシュ（本サンプルでは、設計形状の最低点標高に設定）上に立てられた棒に串刺しにされた赤丸で表現している。現況地形形状の3次元情報は、入力されたデータをリアルタイムで更新しながら、TINまたは基準メッシュ上に立てら

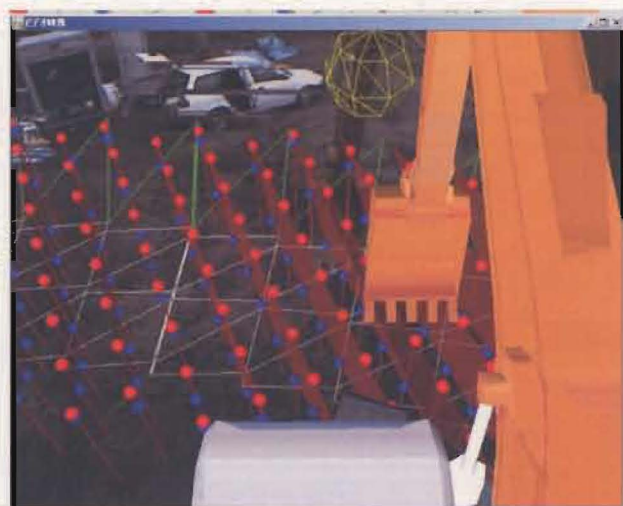
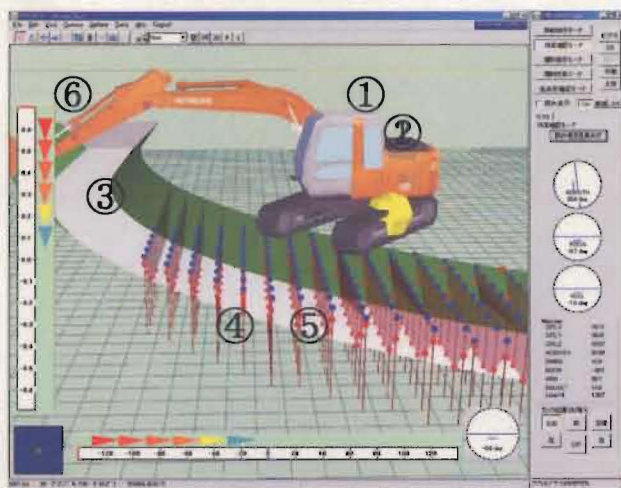


図3-10 設計・現況・作業手順確認プロセスの表示画面

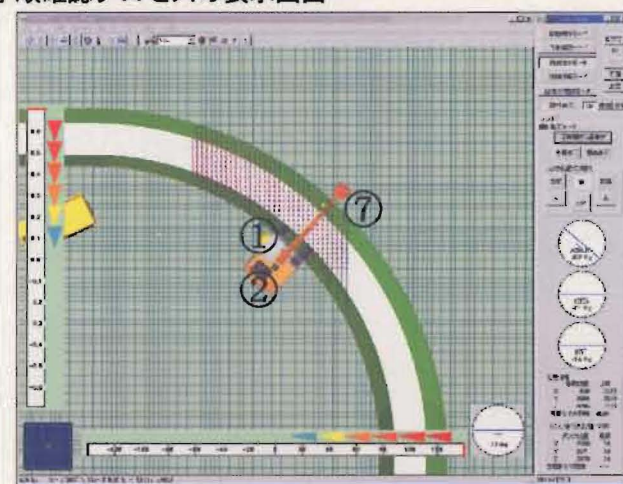
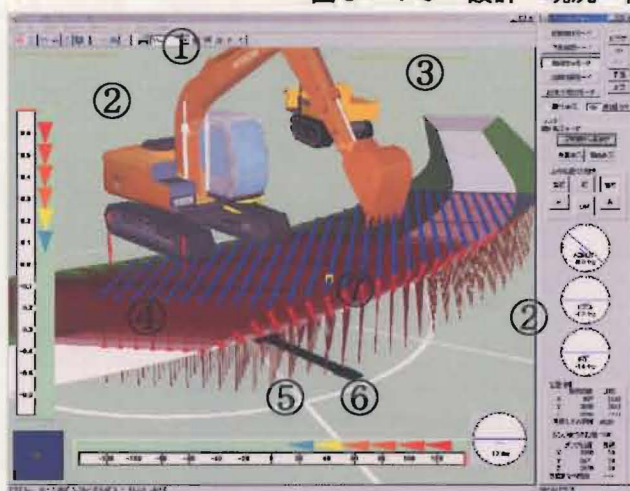


図3-11 掘削開始位置の選択・指示プロセスの画面

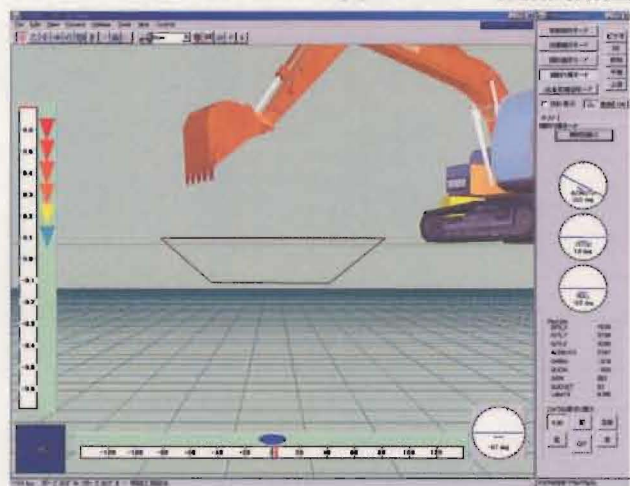


図3-12 掘削状況把握プロセスの画面

れた棒に串刺しにされた青丸で表現している。また、設計と現況地形の差異を基準メッシュの切られた方向に茶色い横断面として表示することで、オペレータが3次元で見た場合に連続的な差異を把握できる表示方法を採用している。CG技術を用いた画面では、3次元仮想空間上に油圧ショベルの実寸モデルを作成、配

図3-13 積み込み作業把握プロセスの画面

置し、毎秒15回送られてくる建機位置、方位、姿勢およびブーム、アーム、バケット、旋回角度の情報を用いて、状態を表示している(建機姿勢(ピッチング、ローリング)は、画面右側に配置された角度メータで表示)。なお、3次元表示の視点を建機の前、後、右斜め前、右斜め後、左斜め前、左斜め後の視点にボ

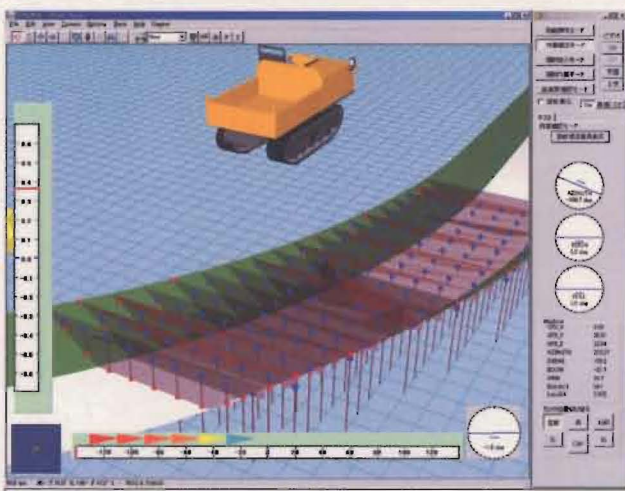
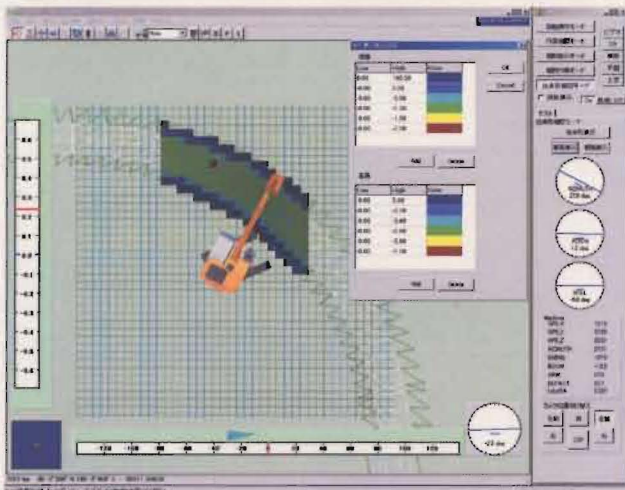
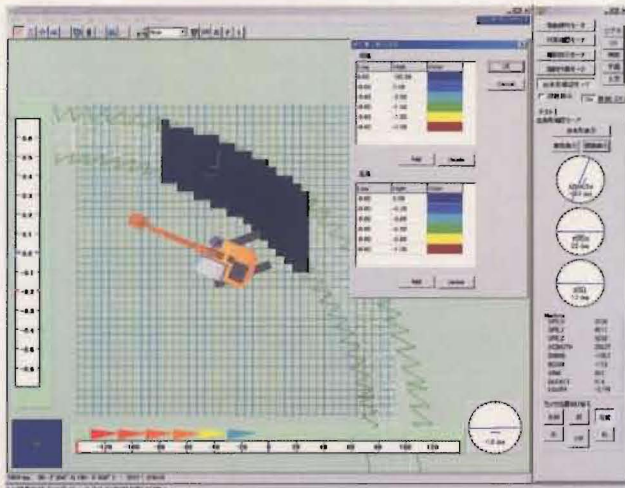


図3-14 出来形判断プロセスの画面

タン操作で切り替える機能を実装している。オペレータは、自分の好みの視点を選択して表示させることが可能である。

図3-11は、掘削開始位置の選択・指示プロセスの画面である。必要な表示情報は、①建機位置、②建機向き・姿勢、③設計位置、形状、④地形の状態、⑤設計と現況地形の差異、⑥建機可動範囲、⑦掘削指示

位置である。

図3-12は、掘削状況把握プロセスの画面である。必要な表示情報は、①建機位置、②建機向き・姿勢、③設計位置、形状、④地形の状態（掘削状況）、⑤設計と現況地形の差異、⑥ブーム・アーム・バケット角度、⑦刃先位置（上記と設計との差異）である。なお、掘削土をすくい上げる状況は、別途表示されるCCDカメラの動画画面により確認することとしている。

図3-13は、積み込み作業把握プロセスの画面である。必要な表示情報は、①建機位置、②建機向き・姿勢、③ダンプ位置、④油圧ショベルとダンプの位置関係、⑤ブーム・アーム・バケット角度、⑥ダンプ積み込み状況である。なお、掘削土を積み込む状況は、別途表示されるCCDカメラの動画画面により確認することとしている。

図3-14は、出来形判断プロセスの画面である。必要な表示情報は、①建機位置、②建機向き・姿勢、③設計位置、形状、④地形標高、⑤設計と現況地形の差異、⑥ブーム・アーム・バケット角度である。なお、平面図表示では、設計と現況地形の差異および現況地形の標高の色分け表示をボタン操作で切替て表示できる機能を実装している。図3-14の上段の図が標高の色分け表示であり、中段の図が差異の色分け表示である。

3.2.3 検討したマンマシンインターフェイスの検証

マンマシンインターフェイスの要求仕様の機能を実現しているか作業プロセス毎に機能と必要な表示情報を確認することで検証を行った。検証は、模擬作業現場の実計測データを用いて、詳細なシナリオを満足するか検証・評価を実施した。その結果、課題はあるものの、実装している機能、表示情報は、要求仕様を実現していることを確認した。なお、検証・評価の結果から抽出された技術的課題は、以下のとおりである。

- ①地形情報の更新に伴う表示遅れと全体的な処理速度の遅延の問題
- ②平面図表示のずれと横断表示の問題

また、マンマシンインターフェイスを評価するために、実データを用いて表示サンプルの動画を作成し、施工業者、建設機械メーカーの担当として無人化施工の経験を有している有識者7人を対象にヒアリングを実施した。有識者ヒアリングの主な意見を以下に示す。

①移動時の表示画面で、動画と現況地形の3次元情報を合成画面で表すのは、走行予定の地形を把握でき、

横転防止に役立つ。この意味では、新しい機能の提案で、興味深い。また、この機能は、掘削時の足場整形にも使える。

②実際の映像に対して、CGが信頼できるかどうかが問題であり、表示遅れがあると良くない。

③全体に、情報が多過ぎる。どこまでの情報を提供するのかが、情報提供とCGのバランスの検討が必要。

なお、今後は、上記の検証・評価の結果を踏まえたマンマシンインターフェースの改良と事例研究として開発したマンマシンインターフェースを含む施工システム全体として、模擬施工現場による検証実験を実施し、作業効率などの評価が必要であると考えている。

3.3 作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェースの設計手引き書(案)

本研究で調査・検討した結果は、「設計手引き書(案)」として、とりまとめた。マンマシンインターフェースを設計する場合、現状作業を分析し、マンマシンの役割分担を設定して、作業設定シナリオを作成し、それに基づいてマンマシンインターフェースの入出力情報と開発機能を整理するなどの手順が必要である。そこで、「設計手引き書(案)」では、これらについて具体的実施方法を取りまとめた。

なお、「設計手引き書(案)」の主な記載内容は以下のとおりである。

- 1)現状作業分析シナリオの作成
- 2)作業におけるマンマシン役割分担の整理
- 3)マンマシンインターフェース開発後の作業設定シナリオの作成
- 4)マンマシンインターフェース入出力情報の整理
- 5)マンマシンインターフェース開発機能の抽出
- 6)マンマシンインターフェース基本仕様の設定
- 7)マンマシンインターフェース画面設計
- 8)マンマシンインターフェース開発仕様の検討

4. まとめ

本研究では、遠隔操作におけるマンマシンインターフェースの実態調査、具体的遠隔操作による作業を設定したマンマシンインターフェースの事例研究を行い、それらの成果を基に、「設計手引き書(案)」を取りまとめた。その結果、以下の成果を得た。

- 1)遠隔操作の建設機械による無人化施工を対象に、既存文献によるマンマシンインターフェースの課題分析と無人化施工の現場調査を実施し課題を整理した。
- 2)現状作業の分析、作業におけるマンマシンの役割分担の整理、開発後の作業設定シナリオの作成、マンマ

シンインターフェースの入出力情報の整理を行い、遠隔操作に必要な作業情報を分析・評価し、その具体的手順を整理した。

3)CG技術や動画と3次元情報の重ね合わせ技術を用いて設計と現況地形の3次元情報などの必要な情報を表示するマンマシンインターフェースを開発し、画面更新の時間遅れなどの課題はあるものの、マンマシンインターフェースとしての有効性を確認した。

4)上記の研究成果を基に、オペレータへの確かな作業情報を伝達・表示するマンマシンインターフェースを設計するための「設計手引き書(案)」を取りまとめた。

今後は、施工システムのサブシステムとして開発・評価したマンマシンインターフェースを、施工システムの他のサブシステムと統合し、全体として作業効率などを評価する必要がある。

参考文献

- 1) 山口崇、吉田正、石松豊：「遠隔操作におけるマンマシンインターフェースに関する実態調査」、土木学会第59年次講演会講演概要集、2004.9
- 2) 山口崇、石松豊、山元弘：「無人化施工のマンマシンインターフェースに関する調査」、平成16年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集、2005.1
- 3) 山元弘、山口崇：「情報技術(IT)とロボット技術(RT)を活用した建設技術の開発」、九州技報 No.38、2005.11
- 4) H. Yamamoto, K. Uesaka, Y. Ishimatsu, T. Yamaguchi, K. Aritomi, Y. Tanaka: "Introduction to the General Technology Development Project: Research and Development of Advanced Execution Technology by Remote Control Robot and Information Technology", International Symposium on Automation and Robotics in Construction 2006 proceedings, 2006.10
- 5) 山元弘、金澤文彦：「「ロボット等によるIT施工システムの開発」の紹介—国土交通省総合技術開発プロジェクト—」、建設の施工企画、2006.11