

共同作業時の身体動作と視線運動に関する考察

A study of posture and eye-movement during cooperative work

伊藤禎宣^{†‡§} 馬田一郎[†] 鈴木紀子[†] 岩澤昭一郎^{†‡} 神谷俊郎[¶] 鳥山朋二^{†‡} 間瀬健二^{†‡§} 小暮潔[†]

[†]ATRメディア情報科学研究所 [‡]ATR 知能ロボティクス研究所

[§]東京農工大学 工学教育部 [¶]名古屋大学 情報連携基盤センター

[¶]東京外国語大学 アジアアフリカ言語文化研究所

Abstract Cooperative work with physical movement as a target, we did a preliminary experiment aiming at development of the method to conjecture the intention and the knowledge level by the observation. A purpose of the experiment is to search for a characteristic behavior to conjecture the inner state of subjects. We experimented with making boxes by three subjects. As results of experiments, we observed eye-movement and posture that seem to be representation of process of thinking.

1. はじめに

身体動作を伴う共同作業を対象として、作業者の行為意図や知識レベルを外部観察により推察する手法の開発を目指し、予備的実験と考察を行ったので、これを報告する。

立体的な環境や物体に囲まれて生活する我々は、どのようにして、それらの物体形状や物体間の接続関係を理解し、組み立て作業などの操作手順を内的に形成するのだろうか。そして、内的理解やその変化過程は、観察可能な非言語行動へと、どの程度外化しているのだろうか。本稿では、これらの疑問点に注目する。もし作業者の内的操作手順を推察できれば、例えば、次の操作を正誤判定して事故防止するシステムが実現可能かも知れない。あるいは、既定の作業プログラムを持たずに、人間の操作を予見して補助する共同作業ロボットといったものの実現も期待できる。

阿吽の呼吸、という言葉がある。「二人以上で一つの事をするときに気持ちの一致する、微妙なタイミング（大辞林）」を指す。共同作業を対象に言い換えれば、作業者間で行為意図の相互理解があり、スムーズな協調的作業が行われている状態と言えるだろう。説明的対話抜き、行為意図の相互理解実現には、行為意図の発露やアピールとその理解から成る非言語コミュニケーションがあると考えられる。このようなコミュニケーションのプロトコル判別により、例えば、複数作業者が暗黙的に共有する作業目標を共同作業ロボットが認識することや、共同作業ロボット自身の行為目標を適切に人間に伝える、といったことの実現が期待できる。

本稿では、このような疑問と将来的応用を念頭に、有意な観測事象として何があるか、観測環境には何が必要か、といった初期の検討のために行った実験について述べる。

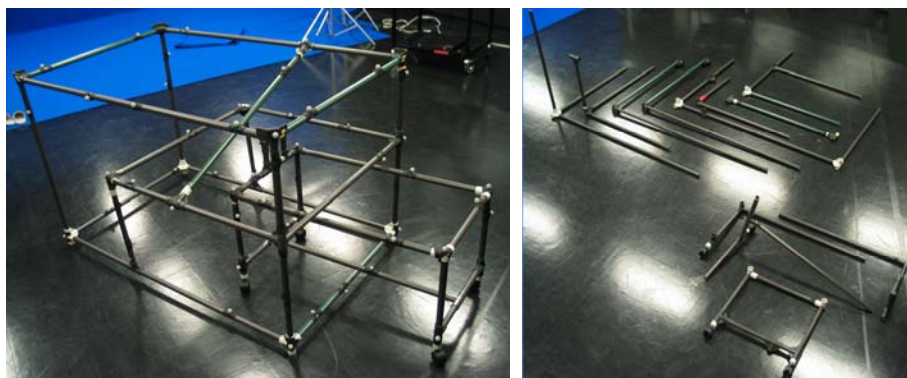


図 1 箱型構造物（完成写真と部品写真）

2. 実験

本実験の第一の目的は、身体動作を伴う共同作業において、作業者の内的状態推察に有用な特徴的行動を発見的に探索することにある。この目標へ向けて、図1に示す箱型構造物を3人で共同して組み立てる被験者実験を設定した。この実験は、視線移動や身体動作の観察と評価を容易なものとするため、以下のような事項を考慮して設計した。

a. 組み立て物の大きさ

1人での作業は困難な組立物を用意した。これは、密接な作業協力関係や、これに伴うコミュニケーションを誘発し、その観察を容易にするためである。具体的には、部品間の接続や分離作業では、1人では手が届かない程度に離れた複数個所の位置合わせが同時に必要な構造としている。

b. 組み立て手順の複雑さ

組み立て手順に「知恵の輪」のような複雑さを込めた。これは、組み立て過程で発生した問題状況に対する、認識、共有、作業への反映といった過程が観察されることを期待してのものである。例えば、部品o2をo6とお3に通す作業や、iをoに半分挿入する作業は、順番を間違えると2～4箇所程度のジョイントを外して組み立てをやり直す工程が必要になる（図1、図2参照）。

c. 部品の類似性

組み立て部品の形状は、o5とお6の2個を除いて全て異なる。しかし、図1の部品写真でわかるように、類似形状の部品が多く含まれる。これは、作業者による部品の確認作業が繰り返し行われることで、観察を容易にするためのものである。また、作業者間で部品知識に差が生まれ、作業時にその差を埋めるようなコミュニケーションが観察されることを期待してのものである。

d. 独立した2つの組立物

組立物は、個別に組み立て可能な、iとおの2つから成る（図2参照）。これは、3人の作業者が独立あるいは協力して作業できるようにすることで、協力関係の開始と終了が観察されることを期待してのものである。

e. パイプ形状

全ての組立部品は、面状の部分を持たない、パイプ形状のものとした。これは、部品形状に沿った視線移動の判定を容易にするためである。また、視線運動の観察段階で、形状（パイプ長）と機能（ジョイント部）のどちらに着目しているのかの判定が容易になることを期待した。

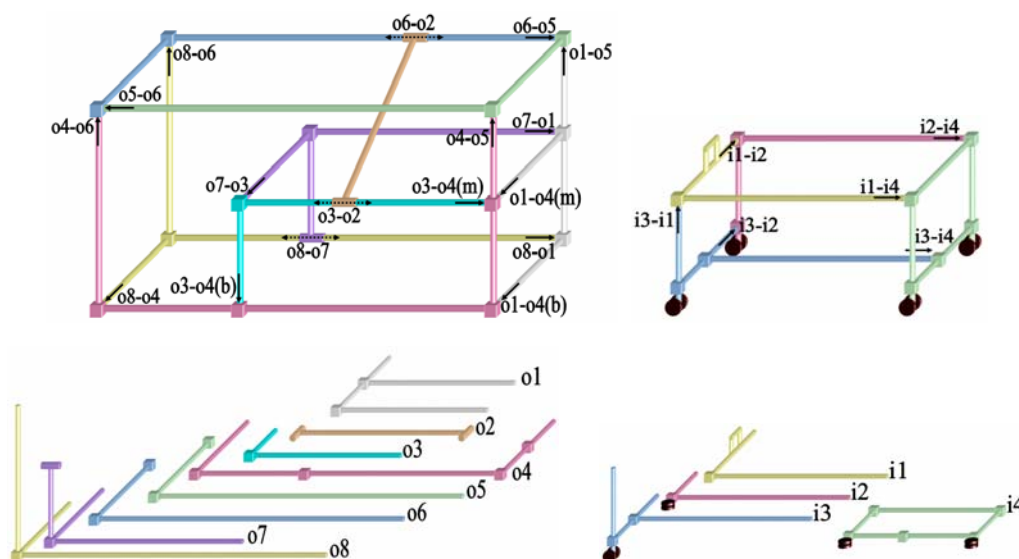


図2 箱型構造物の構成

2. 1. 実験材料

実験材料である箱型構造物は、35～150cm のパイプ 30 本とジョイント 26 個を使っている（図 2）。これは、大型直方体 o（図 2 左側）と、キャスター付きの小型直方体 i（図 2 右側）からなる。o と i は固定されておらず、図 1 のように i が o に一部挿入された形を完成形とする。被験者には、この箱型構造物を 12 個（o1～8, i1～4）に分割した部品（図 2 下段）を提供し、その組み立てを課題とした。

それぞれの部品は、固着済みの 1～4 本のパイプと 1～5 個のジョイントからなる。o5 と o6 を除いて、同形状の部品は無い。各部品間の接合は、はめ込み式である。ただし、o6-o2, o3-o2, o8-o7, i3-i4 の 4 箇所は、ジョイントがスライドする。また、図 1 の写真で見えるように、各部品には位置計測用のマークが 3～5 個貼り付けてある。

2. 2. 被験者

本実験の被験者は、人材派遣会社にイベント会場設営作業員として登録する、25～35 歳の男性 6 人である。3 人を 1 グループとして、2 回の実験を実施した。全員、本実験が初対面の関係であった。

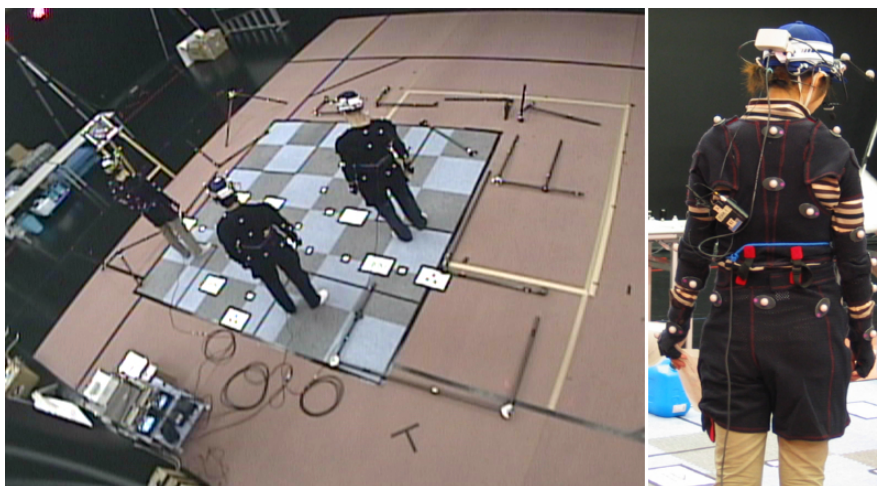


図 3 実験環境の様子

2. 3. 実験環境

実験環境の様子を図 3 に示す。【伊藤 2006】による視線と身体動作を同期記録する環境の規模拡大版を構築した。被験者と実験材料の位置計測には、Vicon Motion Capture System を使った。これは、再帰性反射マーカの位置を 60Hz の時間分解能と約 1mm の空間分解能で記録できる。今回の実験では、750×650×250 cm(幅×奥行×高)の計測範囲を構築した。被験者の視線方向は、帽子型の視線計測装置である Nac Image Technology Inc. の EMR-8B で計測する。30Hz の時間分解能と約 0.15 度の分解能で眼球運動を記録できる。被験者は、マーク付きの帽子型視線計測装置、マークスーツ、接話マイクを装着する（図 3 右側）。被験者が実験空間を自由に移動できるように、接続ケーブルには、長さ約 10m、直径 4mm の柔軟なものを使った。全ての計測装置は、映像記録用 DVCAM のタイムコードを使って時刻同期している。視線計測装置の視野映像、視線座標、モーションキャプチャ装置から得られる各マーカの 3 次元座標、音声、環境映像が時刻同期した情報として記録される。本稿の範囲では、これらの記録情報をハンドラベリングの参照情報として用いている。

2. 4. 実験手順

計測具を装着した被験者全員に、A4 サイズに印刷した完成写真（図 1 左側）を示し、実験環境の床に置いた 12 個の部品を使い、協力して 20 分以内に組み立てる課題であると教示した。このとき、実験中も完成写真（図 3 画面左奥のイーゼル上に設置）を自由に確認できること、部品の余剰や不足は無いこと、固着済み部品を更に分解することは不可能であること、組み立てには順番があること、を伝えた。

また、計測環境の制限として、パイプに接着したマーカ部分を握らないこと、視線計測装置のケーブルに気をつけること、を注意事項として伝えた。組立作業の工程や作業者役割に関する教示は行っていない。なお、グループ1では、完成状態について、分離可能な2つの組立物から成ることを教示していない。それが直接の理由であるかは、断定できないが、グループ1は時間内に完成させられなかった。このため、グループ2では、2つの組立物から成ることを教示した。本稿では、グループ2による組立作業の観察結果について報告する。

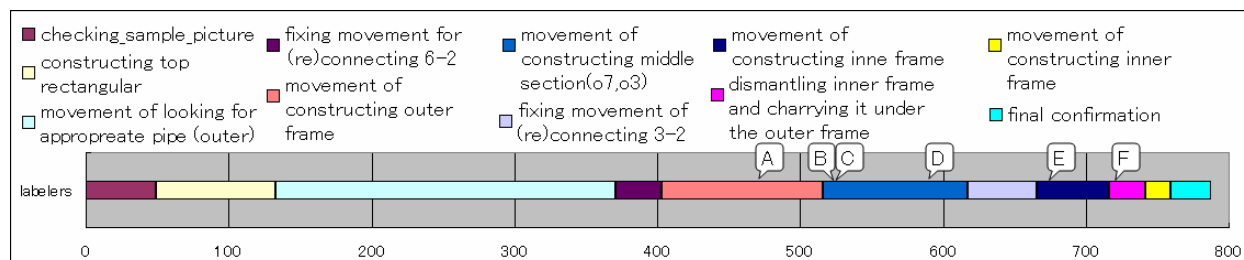


図 4 組み立ての進行過程

3. 結果

本実験環境による観察結果のハンドラベリングを行った。組み立て作業の進行過程を図4に示す。ラベラー2人の協議による区分結果である。以下、作業の順に沿って、行動観察の概要を述べる。

■ checking_sample_picture

被験者3人(D,E,F)それぞれは、完成写真と部品群を交互に視認する。完成状態の部品構成を確認しようとしていと考えられる。

■ constructing_top_rectangular, ■ movement_of_looking_for_appropriate_pipe(for_outer.frame)

開始47秒頃、被験者Eによる、部品o6を参照しながらの発言「おおきいやつの外枠をまず作りましょうか」がある。ほぼ同時に、被験者Dの視線は部品o6へ移動、被験者Fの視線は被験者Eへと移動する。それぞれの被験者による大型部品の探索と、結合作業が始められる。

■ fixing_movement_for(re)connecting_6-2

380秒頃、被験者EとFが完成写真を注視中に、被験者Eによる部品o2、o6の組み立て手順の間違いに関する発言「あら、これちがうんじゃないっすか、ふんいきてきに」がある。Eの視線は、Fの顔、Dの手元を見た後、同発言開始後約3.6秒で、o6-o2の接合部へと移動する。Fも4.2秒後にはo2へ視線を移動、Dは6.3秒後にo2へ視線を向ける。Eによる指示的発言を受けてDとFによる、o6-o2の接合が行われる。

■ movement_of_constructing_outer_frame

事例A(付録参照)のように、対話を介さない問題発見と状況認識の共有、修正手続きが行われることが観察される。パイプ形状(長さ)の目測と対比が視線運動から観察された。

■ movement_of_constructing_middle_section(pipe-o7_pipe-o3), ■ fixing_movement_of(re)connecting_3-2

事例B(付録参照)では、Eの発言のもと、問題状況の共有と修正手続きが行われる。Eによるパイプ部品の形状目測と、同部品の組み付け対象空間に部品形状をあてはめた形をなぞるような視線運動が観察された。部品の組み付け対象空間をなぞる視線運動は、事例Dでも被験者Fが行っている様子が確認されている。

■ movement_of_constructing_inne_frame, ■ dismantling_inne_frame_and_charrying_it_under_the_outer_frame,

■ movement_of_constructing_inne_frame

キャスター付小型直方体iの組立作業が行われる。完成形は図1で示すようにiがoに一部挿入された形である。しかし、iとoが組み上がった状態では、これを挿入することができない。Eによるこの指摘を受けて、Dがo形状とi形状を比較する様子が視線運動から観察される(事例F)。また、iを半組み状態でo内部へ移動し、o内部で組み上げることが提案、実行される。

■ final_confirmation

完成写真と組み上げ状態の確認が行われる。

実験全般で、頻繁に観察された特徴的行為として、部品形状をなぞる視線運動があった。事例Aでも、パイプ長の異なる部品間の比較で、パイプ形状に沿った往復視線運動が観察されている。事例Fでは、複数部品で構成される「枠」形状に沿って、そのサイズを測るような視線運動が観察された。このような実態の形状に沿った視線運動は、比較的安定的に観察されており、対象の視認状況と解釈できると考えられる。

事例BやDでは、部品間の接合関係をシミュレーションするように、仮想的な組み立て部品形状を空間上でなぞる視線運動が観察された。このような思考過程の表れと言える視線運動は、作業者の状況理解や行為の予測に有効であると考えられる（例えば[伊藤 2004][大野 2002][Lozano2004]）。今回このような視線運動は、一定の条件下で現れている。例えば、事例BやDより単純な部品間接合の場面では、仮想的視線運動は観察されていない。逆に、単に被験者が場所を移る場面でも、移動経路に部品があるような、注意が必要な場面では、足を運ぶ先を一步ずつ視認する様子が観察されている。このような状況に応じた視線運動の変化は、作業者行為の評価に、周辺状況の識別と評価も必要であることを示唆している。

事例Bのような発話を介した問題状況の共有過程では、発話者から他の作業者が順次対象を視認する様子が確認された。ここでは、完成写真や作業過程の認識といった文脈の共有が、視認の順序に影響している様子が見て取れる。ところで、グループ2の実験では、問題状況の発見と提案を積極的に行う被験者Eが存在した。一方で発話時間の合計は、被験者D 53.80sec、E 71.05sec、F 74.57secであり、発話量からこのようなリーダー的存在を推測することは困難である。事例Bのような場面では、視認対象が順次変化する様子から、提示者を推測することが可能と考えられる。

4. おわりに

作業者の内的状態推察に有用な行動を探索するための予備の実験を行い、いくつかの特徴的行動を観察することができた。今後の課題として、被験者の周辺状況識別と評価手法の必要性などが明らかになった。また実験手続きとして、参照情報となる完成写真の大型化などにより、被験者の取得情報を適切に判断可能にすること、視線運動計測の時間解像度と空間解像度を高めることなどが課題として明らかになった。今後、数回の予備の実験を重ねた上で、よりターゲットを明確にした実験の再設計や、統計的議論が可能な規模での実験実施を進めていきたい。

謝辞

本研究は、情報通信研究機構の研究委託「超高速知能ネットワーク社会に向けた新しいインタラクション・メディアの研究開発」により実施したものである。

参考文献

[伊藤 2006] 伊藤禎宣, 岩澤昭一郎, 馬田一郎, 鳥山朋二, 土川仁, 角康之, 間瀬健二, 小暮潔, 萩田紀博, 片桐恭弘, 外部観測可能な非言語行動による興味傾向判別の提案, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 2006. (印刷中)

[伊藤 2004] 伊藤毅志, 松原仁, Reijer Grimbergen, 将棋の認知科学的研究(2) 次の一手実験からの考察, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.5, pp.1481-1492, 2004.

[大野 2002] 大野健彦, 視線から何がわかるかー視線測定に基づく高次認知処理の解明, 認知科学, Vol. 9, No. 4, pp. 565-579, 2002.

[Lozano2004] Sandra C. Lozano and Barbara Tversky, Communicative Gestures Benefit Communicators, in Proc. of CogSci2004 (Conference of Cognitive Science Society), 2004.

A. 付録：観察事例

A



sec:476-490

pipe-o7 と pipe-o8 は、いずれも三又状で、形状が似ていますが、pipe-o7 のほうがやや短いです。被験者 F は、pipe-o8 である位置に、間違えて pipe-o7 を置いています。そのことに気がついた被験者 E は、まず被験者 F の手にしている pipe-o7 のサイズを目測で測り（写真 1）、pipe-o7 では短いことを確認しているようです。被験者 E は手元にある pipe-o8 を手にし（写真 2）、構造物のタテの長さとも一致するかどうかを目測で確認しているようです（写真 3）。この時点で被験者 F も間違いには気づいているので、持っていた pipe-o7 を放置し、被験者 E から pipe-o8 を受け取ります（写真 4）。その後、被験者 E は、再度、pipe-o8 に相応する長さがあるかどうかを目測で長さを確認します（写真 5）。以上の両被験者の動作は全て無言で行われています。

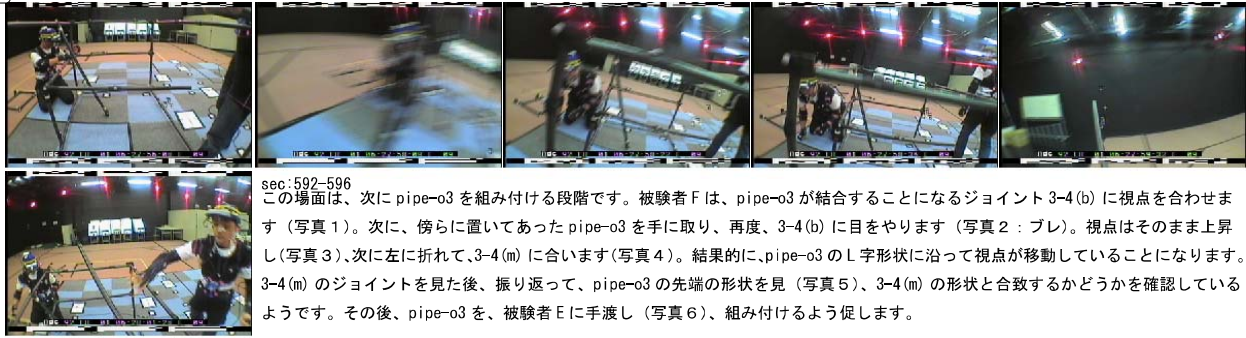
B



sec:530-538

外枠が完成したあと、内枠構造（pipe-o3 と pipe-o7 による）を組み上げる作業にはいったところでした。被験者 E は、pipe-o7 を手にしながら、サンプル写真を見ます（写真 1）。次に、内枠構造が組みあがる予定の空間を目でなぞります（写真 2～6：ジョイント 3-4 (b) からはじまって、pipe-o7 の角部分が位置することになる付近の空間まで）。被験者 E は、再度サンプル写真を見て（写真 7）、pipe-o7 がそのままでは組みつけられないことに気が付きます。被験者 E は、ジョイント 7-1 の形状を確認し（写真 8）、pipe-o7 を嵌め込みますが（写真 9）、ジョイント 8-7 は、スライド式なので（写真 10）、組み付けるには、pipe-o8 をいったん外さなければなりません。被験者 E はその旨を他の被験者に口頭で伝えます。

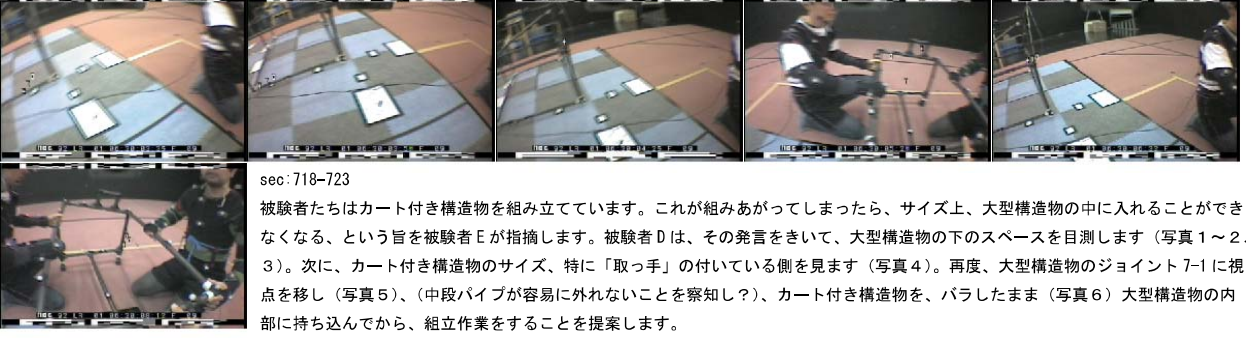
D



sec:592-596

この場面は、次に pipe-o3 を組み付ける段階です。被験者 F は、pipe-o3 が結合することになるジョイント 3-4 (b) に視点を合わせます（写真 1）。次に、傍らに置いてあった pipe-o3 を手に取り、再度、3-4 (b) に目をやります（写真 2：プレ）。視点はそのまま上昇し（写真 3）、次に左に折れて、3-4 (m) に合います（写真 4）。結果的に、pipe-o3 の L 字形状に沿って視点が移動していることになります。3-4 (m) のジョイントを見た後、振り返って、pipe-o3 の先端の形状を見（写真 5）、3-4 (m) の形状と合致するかどうかを確認しているようです。その後、pipe-o3 を、被験者 E に手渡し（写真 6）、組み付けるよう促します。

F



sec:718-723

被験者たちはカート付き構造物を組み立てています。これが組みあがってしまったら、サイズ上、大型構造物の中に入れることができなくなる、という旨を被験者 E が指摘します。被験者 D は、その発言をきいて、大型構造物の下スペースを目測します（写真 1～2、3）。次に、カート付き構造物のサイズ、特に「取っ手」の付いている側を見ます（写真 4）。再度、大型構造物のジョイント 7-1 に視点を移し（写真 5）、（中段パイプが容易に外れないことを察知し？）、カート付き構造物を、バラしたまま（写真 6）大型構造物の内部に持ち込んでから、組立作業をすることを提案します。