

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11407

研究課題名(和文) 協調作業におけるリーダーシップ・フォロワーシップの定量評価とその応用

研究課題名(英文) Quantifications of Leadership and Followership in Cooperative Works

研究代表者

五十嵐 洋 (Igarashi, Hiroshi)

東京電機大学・工学部・教授

研究者番号：20408652

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：これまでの人間機械協調は、一般に単独作業の支援を想定していた。しかし、複数の人間が介在する協調作業では、単独作業とは異なる他者の影響に伴う操作の変化が生じる。そこで、本研究では、この他者の影響、単独操作パターンを機械学習によりモデル化し、他者の影響のみを抽出する手法を提案した。この他者の影響に伴う操作量の変化(「気づかい」)は、チームワークの評価要因として利用可能であり、その特性を被験者実験により解析した。その結果、有効な気づかい、無効な気づかいは抽出の有効性が示された。さらに、より単純化した協調作業において、操作タイミングの違いに注目した相性定量化の有効性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は単独作業ではなく、協調作業に着目したチームワークアシストを目指す。チームワークを支援するためには、アンケートなどの事後評価ではなく、チームワーク要因をリアルタイムに定量評価することが必要である。そこで、リアルタイムに推定できるチームワーク要因として「気づかい」を提唱した。この「気づかい」は、集団技能に関連することは示唆されていたが、本研究課題によって、その特徴が具現化された。さらに「気づかい」を応用することで、相性や師弟関係を事前に評価することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：This research proposed CFO: Concern For Others in cooperative task with multiple human operators. CFO is defined as deference input between the solo task and cooperative task in each operator. According to several experiments, the CFO is utilized for realtime evaluation of cooperative characteristics relating team performance. The effectiveness for tracking direction vector in CFO-space is experimented. Further, timing of CFO is important for analysis the cooperative task is clarified. The applications using the CFO will be teamwork assist, compatibility evaluation, and stress free team building and so on.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：人間機械系 チームワーク 協調作業 人間モデル

### 1. 研究開始当初の背景

複数の人間が介在する協調作業のスキル要因には、個人技能と集団技能がある。従来の人間機械系研究の多くは、単独作業を想定し、個人の作業支援に注力していた。つまり、想定する操作者は操作対象となる1台の機械システムのみを考慮した操作を行うことが主題となる。一方、協調作業では、チームメイトの動向や互いの相性などにより、個々の技能が高ければ集団技能が高くなるとは限らない。

近年、組織におけるチームワーク、チームビルディングが注目されている。このようなチームのパフォーマンス(集団技能)について、主に社会心理学、教育学の分野で研究が行われている。そこでは、リーダーシップ・フォロワーシップなど相互のコミュニケーション特性の重要性に着目した研究が多い。一方、作業スキルや技能熟達の観点からチームワークを考察した場合、必ずしも個人技能の総和が集団パフォーマンスとならない点が興味深い。すなわち、人間同士の相性や他者への配慮のバランスが集団技能に関係していると考えられる。

社会心理学・教育学分野におけるチームワークの解析は、主として事後アンケートで評価するものであった。すなわち、作業中の協調特性をリアルタイムに数値として定量的に評価した研究例はなかった。このため、複数の人間による協調作業を支援する「チームワークアシスト」の実現は困難であった。さらに、操作者間の相性を定量的に評価する研究例はほとんどなかった。

### 2. 研究の目的

本研究は、他者の介在に伴う操作量の変化を、独自に定義する評価指標として「気づかい」(Concern For Others : CFO) を提唱した(図1)。「気づかい」の計算は、まず予め単独作業を機械学習によりモデル化する。このモデルにより、ある状態において、この操作者はどのような操作入力をするかを予測できる。その後、複数名が介在する協調作業において、ある時刻における協調作業時の操作量と、同じ状態における単独作業操作量の予測値との差として「気づかい」を算出する。これにより、他者の介在に伴う、協調作業時の操作量の変化をリアルタイムに定量化することが可能となる。

先行研究の各種実験を通して、この「気づかい」と作業パフォーマンスとの相関が示唆された。しかし、「気づかい」が協調作業に対して果たす意味については、まだ不確定な要素が多い。そこで、本研究課題では、人間同士が物理的な相互作用を伴う作業タスクへと拡張することを目指し、ハプティックインタラクティブインタフェースを開発する。そして、力覚の相互作用を伴う「気づかい」要因をさらに解析し、チームワークアシストに向けた考察を行う。

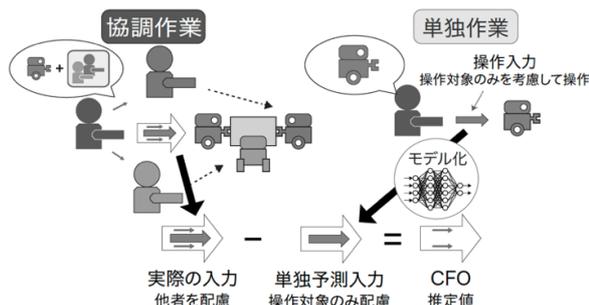


図1: 「気づかい」(CFO) の計算原理

### 3. 研究の方法

人間同士のチームワーク解析およびアシストに向けて、実験環境整備およびチームワーク要因の定量評価を実施する。本研究では、まず、複数の人間が正方形のプレートの端点をつかみ、プレート上のボールをランダムに動くターゲットマークへ誘導する作業(協調プレート操作タスク)を実施した。この作業環境は、CG空間内に構成され、ヘッドマウントディスプレイを通してリアルな没入感を提供する。さらにプレートから力情報はモータ制御によるフォースフィードバックがそれぞれの操作者に提供される(図2)。このプレート操作実験において、他者の介入に伴う「気づかい」の解析を行う。

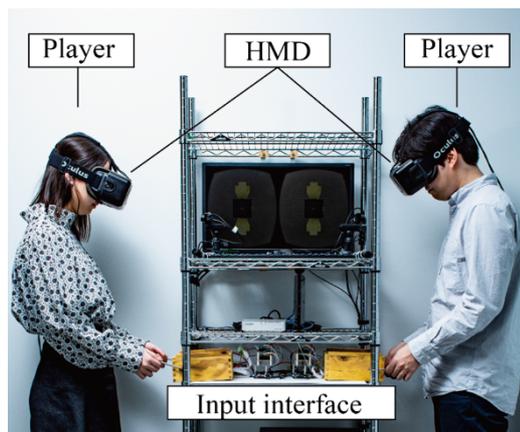


図2: 協調プレート操作実験システムの外観

上術の作業タスクは、操作者一人あたり2つの操作バーへの入力が必要であった。そのため、利き手や操作者の配置位置による影響が存在し、解析において外乱となる恐れがある。そこで、チームワーク要因である「気づかい」の解析および精査に向けて、各操作者の自由度を1に限定した単純化したタスク環境を構築した(図3)。さらに、相互の力覚インタラクションをよりの確に表現するために剛性の高いバイラテラル制御系を設計した。この単純化した1自由度操作タスクにおいて、操作者間の相互作用を考慮した協調作業モデルの構築を試みる。

#### 4. 研究成果

協調プレート操作タスクにおいて、他者の介入に伴う「気づかい」を解析した。特に、CFOをプレート上のボールからターゲット方向へのベクトルで正規化することで、ボール追従作業方向へのECFOと直行する（作業に直接寄与しない方向への「気づかい」）InCFOとに分割した。そして、各操作者の発するECFOとInCFOのそれぞれの総和と作業パフォーマンスの相関解析を行った。

その結果、作業寄与を考慮することで、作業パフォーマンスとCFOの相関性が認められた（図4）。すなわち、複数の操作者が介入する協調作業において互いのECFOの総和を増加させ、InCFOの総和を低減させるよう働きかけることで、集団技能を向上できる可能性を示唆した。これは、今後のアシストに向けた一つの要因となる一方、人間同士のインタラクション（相互作用）において、相性および熟達差の影響によるばらつきが大きいことが明らかとなった。

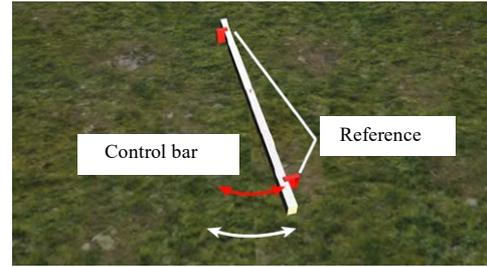
そこで、インタラクションのモデル化、機械学習による個人操作モデルの表現の追究に向けて単純化した1自由度の協調作業プラットフォームを構築した。さらに、高精度な単独作業モデルの学習のための機械学習アルゴリズムを検討した結果、再帰的ニューラルネットワークを採用した。

単純化した1自由度協調作業実験では、共通の1本のバーを2名が協力して操作し、ランダムに指定される目標値へ回転移動させることとした（図3(a)）。このバーのダイナミクス特性により、慣性を考慮した操作が必要となる。複数のペアでこの実験を行った結果、力を発生するタイミングに興味深い特徴があらわれることが明らかとなった。

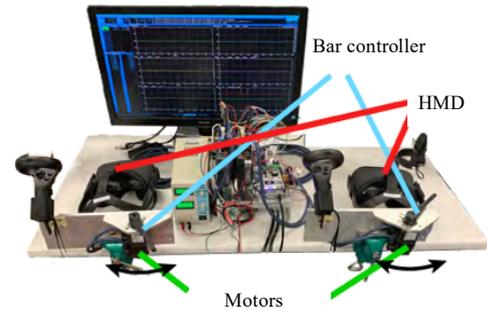
すなわち、初動に寄与するリーダーシップと、最終的な位置決めのための調整ブレーキを担うフォロワーシップに分担される傾向が認められた。これは、図5に示す2名のCFO総和に正負の転換が発生することからも確認できた。

そこでアプローチ期間と調整期間に分割してパフォーマンス解析を行った結果、その特徴に相関性の違いが存在することが明らかとなった。今後、これらの操作フェーズに着目した「気づかい」の解析およびチームワークアシストへの展開が期待される。

今後、このフェーズ分割によって相性の定量評価へと展開を目指して「気づかい」特徴を含んだ協調作業モデルの構築を行う。



(a) HMDに表示される実験映像



(b) 力覚相互作用を表現した操作システム

図3：単純化した協調作業タスク

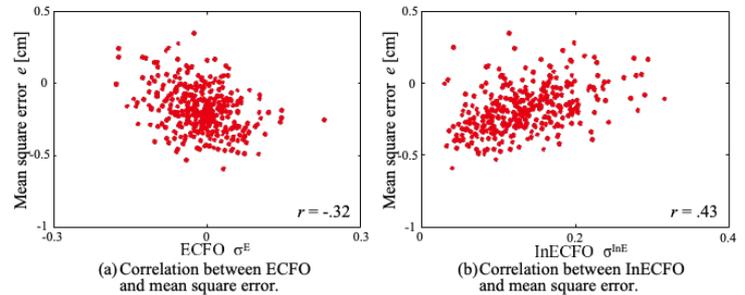


図4：ECFO、InCFOとパフォーマンスの相関解析

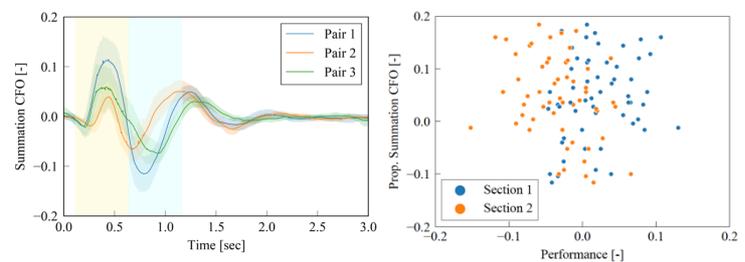


図5：作業タイミングに応じた「気づかい」解析

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Genki Sasaki, Hiroshi Igarashi
2. 発表標題 Teamwork Assistance based on Concern For Others
3. 学会等名 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genki Sasaki, Hiroshi Igarashi
2. 発表標題 Investigate Physical Human Interaction Key Factor using Cooperative Model
3. 学会等名 The 2020 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木元気, 五十嵐洋
2. 発表標題 機械学習を用いた利己的・利他的な協調技能の解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '20
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genki Sasaki, Hiroshi Igarashi
2. 発表標題 Teamwork Evaluation by the Orthogonal CFO
3. 学会等名 The 5th IEEJ international workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genki Sasaki, Hiroshi Igarashi
2. 発表標題 Analysis of Force Interaction for Teamwork Assistance by Concern For Others
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Intelligent Human Systems Integration (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 G. Sasaki and H. Igarashi
2. 発表標題 Temporal Analysis of CFO in Cooperative Task for Teamwork Assist
3. 学会等名 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木元気, 五十嵐洋
2. 発表標題 チームワークアシストに向けた協調作業における「気づかい」模倣の解析
3. 学会等名 第23回知能メカトロニクスワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木元気, 五十嵐洋
2. 発表標題 チームワーク評価に向けた協調作業における「気づかい」と生体信号の解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '18
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------