超臨場感テレワークシステムの開発と遠隔コミュニケーションにおける評価法の策定

杉本　雅彦（東京未来大学モチベーション行動科学部）
櫻井　広幸（立正大学心理学部）
日向野　智子（東京未来大学こども心理学部）

事業継続性のための危機管理、地域活性化などの観点からテレワークが注目されている。一方、テレワークの割合が高くなると、互いの状況が見えなくなることによる問題点も指摘されている。その問題を解決するため、超臨場感テレワークシステムは、人を含むオフィスの雰囲気を常時感じさせたり、実際に向き合っているようなコミュニケーション環境を提供したりすることで、テレワーカーがオフィスにいる時と同じように働くことができるようにするシステムである。本論文では、まず、NICTにおける超臨場感テレワークシステムの研究におけるサブシステムの開発について述べる。次に、このシステムの評価手法として、遠隔コミュニケーションを対象に個別構造理論に基づくメンタルモデル・アプローチにより評価グリッド法をおこない、遠隔コミュニケーションに対する評価法を策定した。今回、これにしたがって、本研究での遠隔コミュニケーションを評価した。また、一連の研究から、プロトタイプではあるが評価項目を策定したので報告する。

キーワード：テレワーク、超臨場感テレワークシステム、遠隔コミュニケーション、評価グリッド法、一体感

はじめに

近年、事業継続性のための危機管理、地域活性化などの観点からテレワークが注目されている。

東日本大震災では、特に首都圏において、震災後の交通機関 の不通や運休が大勢の出勤困難者を生んだが、テレワークが広く普及していれば、このような状況においても多くの業務が通常通り継続可能であったと考えられる。このことから事業継続計画（Business continuity planning, BCP）の観点でテレワークを活用しようとする動きが活発になっている(技術開発部会, 2015)。また、現在は労働市場からはずれている人達、例えば、育児や介護のために離職せざるを得なかった人達や、昨今、定年退職が出始めた団塊世代と言われている大量の高齢の人達などを、再度、労働市場に戻って来て働いてもらう必要性がある。ただし、これらの人達にとって、特に都市部においての長時間通勤は、肉体的、精神的負担が大きく、働きたくても働くことができない原因の一つになっている（社団法人日本テレワーク協会,　2008）。

しかし、現在のテレワークは週に1日程度の仕事を、家で行なうなどの部分的な在宅勤務が一般的となっており、このような社会課題を解決するには、必要なとき以外は離れて仕事をするような完全なテレワークが有効だと考えられる(技術開発部会, 2015; 日本テレワーク学会(編), 2015)。

一方、テレワークの割合が高くなると、互いの状況が見えなくなることによる問題点も指摘されている(佐藤, 2008)。同僚の存在や職場の雰囲気などが自然に感じ取れ、また自身の状況も伝わる環境を構築していくことで、2拠点以上で離れて働くオフィスワーカーの「つながり感」を保持し、「疎外感」をなくしていけるようなマルチメディアを活用した双方向コミュニケーション環境が必要となってくる。

この問題を解決するため、超臨場感テレワークシステムは、人を含むオフィスの雰囲気を常時感じさせたり、実際に向き合っているようなコミュニケーション環境を提供したりすることで、テレワーカーがオフィスにいる時と同じように働くことができるようにするシステムである。

テレワークを導入している企業で働くワーカーのモラール（ここでいうモラール moraleとは仕事に対する「やる気」や「意欲」のことを意味する）を向上させるためには、彼らの学習機会を充実させ、コミュニケーションの活性化や自律性向上を促し、疎外感を抑制するための諸施策の実施が有効であると指摘している(古川,　2014)。また、金丸・比嘉・大塚（2012）は、超臨場感テレワークシステムが分散環境において、企業内のソーシャルキャピタル（社会関係性資本）を維持・醸成するのに効果的であるとことを指摘している。

情報通信研究機構（NICT: National Institute of Information and Communications Technology以下NICT）の高度通信・放送研究開発委託研究では、革新的な三次元映像による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発に関する研究が行われている。著者らはこの研究に従事しており研究スタッフとして活動している。

本論文では、まず、NICTにおける超臨場感テレワークシステムの研究におけるサブシステムの開発について述べる。次に、このシステムの評価手法として、遠隔コミュニケーションを対象に個別構造理論に基づくメンタルモデル・アプローチにより評価グリッド法をおこない、遠隔コミュニケーションに対する評価法を策定したことについて述べる。

1. 超臨場感テレワークシステムの開発

超臨場感テレワークシステムは、複数の映像や音、センサ情報を統合して利用するマルチメディアコミュニケーションシステムを構成している。それにより、複数視点の映像や多チャネルの音、人の動きなどを捉えたセンサ情報を遠隔オフィスにつたえ、遠隔オフィスでは受け取った情報を用いてあたかもオフィスに臨んでいるかのように状況を再現することを可能にする。Figure 1は超臨場感テレワークを実現するシステムを示す。システムは、オフィスに埋め込まれた複数の情報収集デバイス（カメラ・マイク・センサ）、情報収集デバイスからの情報を加工して配信したり、情報から状況を推定したりするメディア処理サーバ、複数の情報提示デバイス（ディスプレイ・スピーカ・アクチュエータ）、コミュニケーションを行なうための端末、共同作業のための等身大ディスプレイを特徴とする端末、情報収集デバイス、提示デバイスおよび端末の位置やステータスを管理する管理サーバから構成される。

超臨場感テレワークシステムのサブシステムには、遠隔オフィスの状況を推定し提示する技術、遠隔オフィスの注目エリアにアクセスして会話できる技術、遠隔オフィス間で情報を共有しながら共同作業する技術が検討されている。以下にそれぞれのサブシステムの技術について述べる。

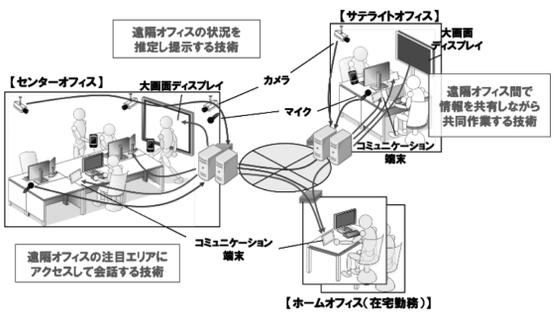

Figure 1　超臨場感テレワークを実現するシステム（「超臨場感テレワークWG」http://reality.ei.tuat.ac.jp/urcf/ より）

任意エリア集音技術

任意エリア収音技術は、広いオフィス中のあるエリアの音だけを収音できるようにする技術であり、OKIの研究グループにより研究が進められている(超臨場感テレワークWG, 2015)。Figure 2に任意エリア集音技術のサブシステム構成を示す。

この収音技術により、例えば「手元にあるコミュニケーション端末を操作すると、だんだんと上司の姿が大きくなり、話し声も明瞭に聞こえるようになってくる。」ということが実現可能になる。また、この技術を応用して、エリア毎に収音した音を前後左右方向の音として再構成したものをスピーカーから再生することにより、遠隔地と同じ場所にいるかのような感覚を実現することが可能となる。

任意エリア収音技術は、複数のマイクロホンアレイを使用することで、目的エリア音のみを強調できる収音方式（Multiple Beam-forming Area Sound Enhancement; 以下MUBASE）が開発されている。MUBASEは、まず複数のマイクロホンアレイをオフィス内の任意の場所に設置し、それぞれビームフォーマにより目的エリア方向へ指向性を形成する。この状態では、各マイクロホンアレイのビームフォーマの指向性に目的エリア音だけでなく、目的エリア音方向の雑音も含まれている。Figure 3の左図に各マイクロホン

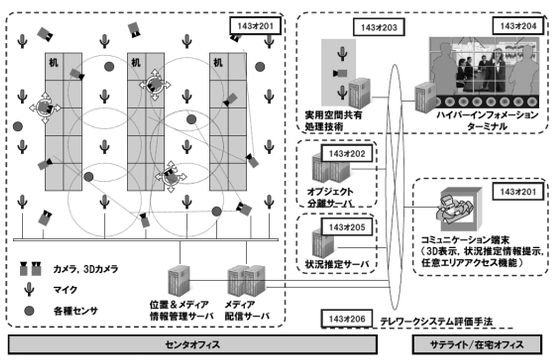

Figure 2　任意エリア集音技術のサブシステム構成（「超臨場感テレワークWG」http://reality.ei.tuat.ac.jp/urcf/ より）

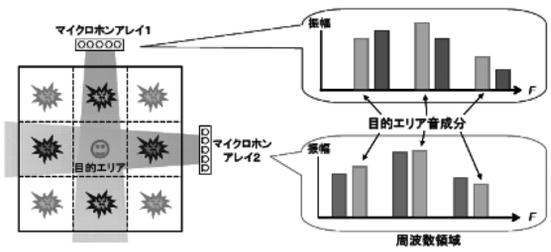

Figure 3　各マイクロホンアレイのビームフォーマ後の振幅スペクトル（「超臨場感テレワークWG」 http://reality.ei.tuat.ac.jp/urcf/ より）

アレイのビームフォーマを示す。

しかし、音声には周波数領域に成分がまばらにしか存在しないという性質がある。そのため複数の音声が同時に存在しても、周波数領域で音声成分が重なる確率は低くなる。従って、各マイクロホンアレイのビームフォーマ出力を周波数領域で比較すると、目的エリア音成分はどちらの出力にも含まれるが、雑音成分はマイクロホンアレイ毎に異なることになる。Figure 3の右図に振幅スペクトルを示す。この特性を利用し、各マイクロホンアレイのビームフォーマ出力に共通に含まれている成分を目的エリア音成分と、それ以外を雑音成分と推定し、雑音成分を抑圧することにより、目的エリア音を強調する技術である。

擬音語・擬態語変換技術

擬音語・擬態語変換技術は、オフィス内の様々な場所で生じた音や人の動きを擬音語や擬態語に変換する技術であり、NECの研究グループにより研究が進められている(超臨場感コミュニケーション産官学フォーラム実証実験部会超臨場感テレワークワーキンググループ, 2015)。擬音語・擬態語を用いることで、漫画の効果表現のようにオフィスの状況を直感的に判りやすく表現することができ、遠隔地からでも「フロアのこの辺りに人が集まっている」、「○○と××さんが熱心に話している」等のオフィス状況を瞬時に理解することができる。これにより、相手の状況に応じた円滑なコミュニケーションを行ったり、同じ場所にいるような一体感を得られたりすることを可能にする。

まず、擬音語変換にはオフィス内の音を分析し、人の話し声や物音を表現する6種の擬音語から、音量と種別に応じた語を選択しておこなう。音量と種別を分析し、種別ごとに用意した擬音語データベースの中から、音量に応じて擬音語を選択する。音量には短区間の振幅エネルギーの大きさを用いる。また、音の種別については、音響信号の分類にITU-T G.720.1 (Recommendation ITU-T G.720.1 2010)を用いる。これにより、音響信号は、無音・雑音・音楽・音声の4種類に分類される。擬音語の選択では、音響信号の種別を2値化し、値が1ならば「ザワザワ」を選択し、値が0ならば何も選択しない。音響信号の種別が「音楽」または「音声」の場合は音量を4値化し、値が大きい方から順に「ガヤガヤ」「ペラペラ」「ボソボソ」「ヒソヒソ」を選択する（比嘉・石川・野村・仙田, 2011)。

次に、擬態語変換はオフィスの映像信号内の動体を検知し、動体の移動量・移動方向・移動範囲を分析し、事前に用意した擬態語データベースの中から適切な4種の擬態語から、人物の動きに即した語を選択する。擬態語の選択では、動体の移動方向が一定の場合は動体の移動量を３値化し、値が２ならば「スタスタ」を、値が1ならば「テクテク」を選択し、値が０の場合は何も選択しない。なお、３値化した値が大きいほど動体の移動量が大きいことを示している。動体の移動方向が一定でない場合は動体の移動範囲を３値化し、値が0の場合は「ゴソゴソ」を、値が1の場合は「テキパキ」を選択し、値が2の場合は何も選択しない。なお、3値化した値が大きいほど動体の移動範囲が広いことを示している。この方式では、動体の移動量と移動方向は、動体領域内の動きベクトルの平均ベクトルの大きさと方向になる。移動範囲は、動体領域の中心点の軌跡の外接矩形になる（比嘉他, 2011）。

なお、この６種類の擬音語及び4種の擬態語の選択は、エンジン側で分離可能なカテゴリ数に合わせて、開発者サイドで考えたオノマトペを割り当てている。今後はその妥当性について、実証実験で検証することが課題となっている。

Figure 4は、擬音語・擬態語変換の例で、オフィスの奥から手前に人が歩いてくる様子や、同僚が座って会話をしている状況を表している。

Figure 4　擬音語・擬態語変換の例（「超臨場感テレワークWG」http://reality.ei.tuat.ac.jp/urcf/ より）

割り込み拒否度推定技術

デスクワークの中でも、特に計算機を用いた業務に限定すれば、キーボードやマウスを使った操作をしているか否かで、ある程度、作業への集中度を推定できることが予想できる。しかし、思考を伴う作業では操作量が低下するなど、操作量だけでは、正確な予測は困難である。そこで、農工大の研究グループにより、作業の「切れ目」に着目し研究が進められている(超臨場感コミュニケーション産官学フォーラム実証実験部会超臨場感テレワークワーキンググループ, 2015)。

割り込み拒否度推定技術は、このような知見に基づき、コンピュータを使った作業における「切れ目」に相当する操作ウィンドウの切り替えを検出して、そこに様々な操作情報を加味することで、作業者が割り込みを受容できる程度を統計的な傾向に基づいて推定する技術である（田中・深澤・竹内・野中・藤田, 2012；田中・藤田, 2012）。Figure 5に割り込み拒否度推定技術のイメージを示す。

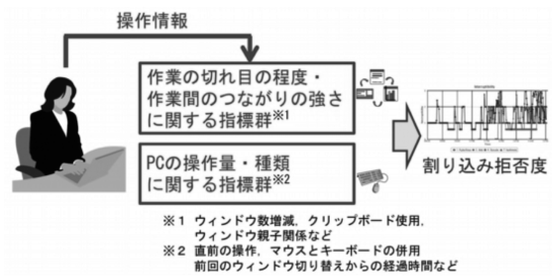

Figure 5　割り込み拒否度推定技術のイメージ（「超臨場感テレワークWG」http://reality.ei.tuat.ac.jp/urcf/ より）

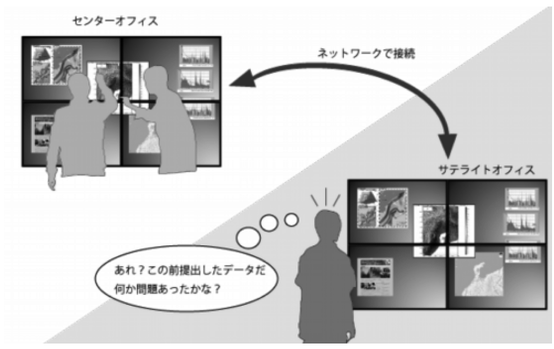

Figure 6　連携して変化する提示情報の状況（「超臨場感テレワークWG」http://reality.ei.tuat.ac.jp/urcf/ より）

ハイパーインフォメーションターミナル

ハイパーインフォメーションターミナル（以下、HyperInfo）は、センタオフィスとサテライトオフィスに設置した大画面ディスプレイに遠隔の状況を表示することで離れた場所でのインフォーマルコミュニケーションを支援する端末装置であり、京都大学の研究グループにより研究が進められている(超臨場感コミュニケーション産官学フォーラム実証実験部会超臨場感テレワークワーキンググループ, 2015)。

大画面ディスプレイに表示された情報は遠隔地と連携する。あるオフィスのHyperInfoのレイアウト変更や新たな情報が表示されるとネットワークで接続されている他のHyperInfoの表示内容も同期して更新される。HyperInfoの表示内容の変化が離れた場所のオフィスに何らかの状況の変化があったことを気づかせることを可能とする。Figure 6は、連携して変化する提示情報の状況を示す。

2. 遠隔コミュニケーションにおける評価法の策定

次に、著者らが立正大学の研究グループとして従事しているテレワークにおける遠隔コミュニケーションシステムの評価手法について述べる。

評価グリッド法

本研究における評価法は、メンタルモデル・アプローチの一つである評価グリッド法を基本としている。メンタルモデル・アプローチは、専門家あるいは一般人（ユーザー等）が頭の中にどのような知識の構造（メンタルモデル）を持っているのかを図式化する手法である。また、評価グリッド法はインタビュー形

式の質的調査であり、“ラダーリング（ラダーアップとラダーダウンがある：後述）”という手法を用いる点が特徴的である（櫻井, 2013;　讃井・丸山, 2000）。ただし、その標準型のように対象の優れた点（ポジティブな点）についてのみ用いるのではなく、ネガティブな点についてもラダーリングを行うことが今回一連の研究において策定した手法の特徴的な点である。いずれの場合も、対象者の評価間の因果関係を階層的に表現するためのものである。一般的手続きとしては、インタビュー実施者が協力者に、評価すべき対象の良い点を表出してもらい（オリジナル評価項目とよぶ）、そこからラダーアップとラダーダウンをおこなう。具体的には、ラダーアップによって上位概念すなわち心理的により高次の価値を聞き出し、ラダーダウンによって下位概念すなわちオリジナル評価項目が成立するために必要な仕組みや機能、また技術や開発ポイント等を聞き出す。そしてこれらをネットワーク的な図として可視化し、心理的評価とそれを支える機能・技術等の関係性を明らかにする。

目的

本実験では、既述のような遠隔コミュニケーション状況に関し、評価グリッド法を用いたパイロットスタディを行う。これは、今後実施を予定している遠隔コミュニケーション実験の環境構築を主旨とした、少数の対象者に対する試行的なものである。本実験の目的は、評価グリッド法を用いて、遠隔コミュニケーションに関連する特徴を抽出し、心理的価値と機能・技術等の関係性を明らかにすることである。また、先行研究（櫻井, 2013；　2014）も踏まえて、評価のための項目策定を試みる。

方法

実験の対象者は、今回の遠隔コミュニケーションを体験した社会人２名とした。手続きとして、面談により説明した上で、評価グリッド法の手続き（櫻井, 2014；　讃井・丸山,　2000）にしたがって実施した。

Figure 7に遠隔コミュニケーションの実験システムの構成を示す。この構成を、東京未来大と立正大、名桜大の3地点に用意した。今回はそのうち立正大と名桜大の2か所の部屋をインターネットで接続して実験を行った。

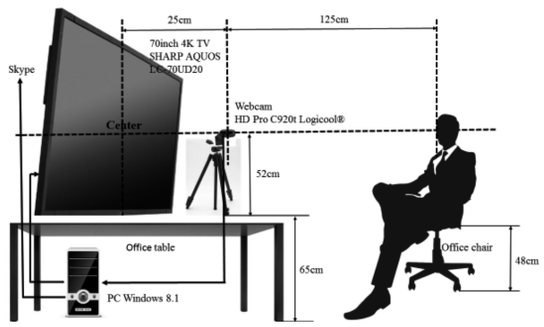

Figure 7　遠隔コミュニケーションの実験

結果および考察

対象者２名による評価グリッド法の結果をFigure 8に示した。紙面の関係で、ここですべてに言及することはできないが、これまでの研究（櫻井, 2013; 2014）を通して、繰り返し出現する表現や印象を含め、重要な点や特徴的な点について述べる。すでに述べたように、本実験は、今後実施を予定している遠隔コミュニケーション実験の環境構築を主旨とした試行的なものであったため、その結果および解釈も、当然限定的なものであり、したがって安易な一般化をするべきではなく、今後の課題として一層の実験実施とデータの蓄積が必要である。ただし、これまでの研究と照らし合わせた場合、類似の表出が指摘できれば、今後の実験に向けた評価項目策定にとって有用であろう。

一人目の対象者においては、“相手の様子がわかる”“画像がきれい”“画像が大きい”“音声が明瞭”などがまず表出された。“相手の様子がわかる”ことが“話しやすい”につながることや、“画像がきれい”や“音声が明瞭”であることが“相手の様子がわかる”ことにつながることがわかり、これらは互いに関連の強いことが示された。また“画面が大きい”ことは“相手の顔の大きさが一致する”ことにつながり、さらに“一体感がある”という重要な心理的価値につながることが示された。“相手の様子がわかる”や“一体感がある”は、これまでの一連の研究（櫻井, 2013; 2014）においても重要と考えられている表出であり、そのことが本実験でもあらためて確認されたといえよう。一方“相手の様子がわかる”ためにはテレビ画面や音声が整備されていること、また高速の回線が必要であることなどが挙げられた。

二人目の対象者においては、“身近に感じる”“話しが

進む”“話して安心した”などが表出された。“身近に感じる”や“話しが進む”は、“研究意欲が向上する”や“研究が速く進む”ことにつながり、“話して安心した”は“適切なタイムマネージメントにつながる”といった価値に結びつくことが示された。その一方で“身近に感じる”ためには“ウェラブル”であるシステムが、“話しが進む”ためには“クオリティの高い音声”や“音声のテキストデータ化”などが求められると考えられる。

全体的に、一連の研究（櫻井, 2013；2014）で重要と考えられている“相手の様子が分かる”や“一体感”“身近に感じる”等の表出・評価が、今回の遠隔コミュニケーション実験においても見出すことができたといえよう。

評価グリッド法によって評価した本実験の結果は、遠隔コミュニケーションにおいては、相手の表情や声のトーン、背後の雰囲気などが伝わることによって、離れていても協働している感覚が生まれ、職場内コミュニケーションが促進されることを示唆するものであろう。職場内の良好なコミュニケーションは、チームワークや職場の一体感を高め、組織コミットメントを促す（舛田・佐野, 2007）ことが明らかになっている。また、十分なコミュニケーションは、組織の目標達成において必要不可欠（Barnard, 1965）なだけでなく、個人のワーク・モチベーションにも影響を及ぼす。すなわち、組織やチームの中で、仕事における個人の目標や各自の仕事内容、仕事の進捗状況等を共有することによって、個人の仕事に対する動機づけは高くなる（多田, 2007）。このような効果を促進するためにも、離れた場所で協働する仲間をつなぐ遠隔コミュニケーションは有用であると考えられる。

今回の、評価グリッド法を用いた遠隔コミュニケーションに関する特徴や心理的価値と、機能・技術等との関連についての検討結果に加え、これまでの先行研究（櫻井, 2013； 2014）、および共同研究者間の検討から、評価紙プロトタイプを作成した。Figure 9に、評価表のプロトタイプを示す。今後はこの評価表を精査・改良し、これを用いて、遠隔コミュニケーションを評価していく予定である。

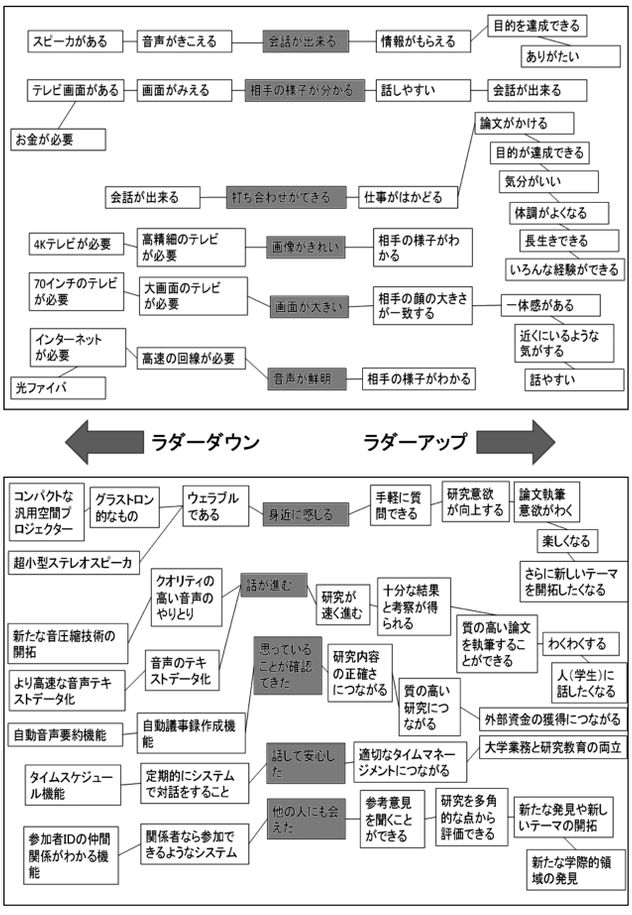

Figure 8　対象者2名による評価グリッド法の結果

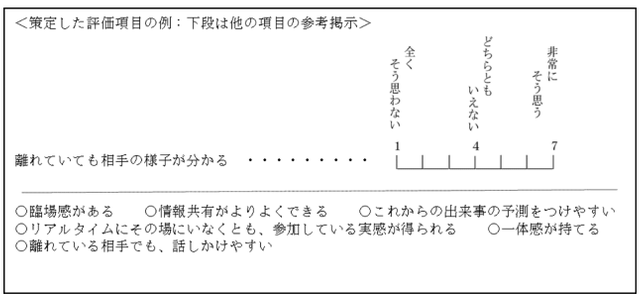

Figure 9　評価表プロトタイプ

おわりに

超臨場感テレワークシステムの概要と、そうした遠隔コミュニケーションの評価を、その策定手法とともに述べた。評価グリッド法を活用することによって、一方では心理的価値を抽出して質問表の評価項目を策定し、一方では技術・開発ポイントを示すことができる。同時に、これらはいわば因果関係を可視化できることになるといえよう。こうしたことはまた、時系列的にいうならば、システムが開発中であるフェーズにおいてはブラッシュアップ・バージョンアップのための技術的情報を提供し、システムが公開されて多くのユーザーが触れるようになったフェーズにおいては、そこでの心理学的評価のための項目群を提供する役目を果たすといえよう。今回、プロトタイプ的に評価項目群を策定したが、一体感を評価できることを主眼に一層これらを精査し、今後まとめ上げて行く予定である。

謝辞

本研究の一部は、国立研究開発法人情報通信研究機構の高度通信・放送研究開発委託研究／革新的な三次元映像による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発の一環としてなされたものである。

引用文献

Barnard, C. I. 1956　山本安次郎訳　経営者の役割　ダイヤモンド社

古川靖洋 (2014). テレワークとオフィスワーカーの動機づけ 日本テレワーク学会誌, 12(1),　pp.14-27.

技術開発部会 (2015). リスク耐性社会の実現に向けて超臨場感テレワークの環境整備を！ 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム.

比嘉恭太・石川真澄・野村俊之・仙田裕三 (2011). 複数の映像提示方法を備えたオフィス状況伝達システム　研究報告エンタテインメントコンピューティング（EC）, 21(6), pp.1-6.

金丸利文・比嘉邦彦・大塚絵里 (2012). 超臨場感テレワークシステムと企業内ソーシャルキャピタル 日本テレワーク学会誌、10(2), pp.31-39.

舛田博之・佐野洋子 (2007). 組織要因が非正規従業員の初期段階の定着に及ぼす影響ー愛着コミットメントを介する要因の検討ー 経営行動科学学会第10回年次大会発表論文集,　232-235.

日本テレワーク学会(編) (2015). テレワークが未来を創る　働き方改革で実現するトランスボーダー社会 株式会社インプレスR&D.

Recommendation ITU-T G.720.1 (2010): Generic sound activity detector, ITU-T

櫻井広幸　(2013) . 超臨場感テレワークシステムに関するメンタルモデル・アプローチと評価グリッド法を用いた分析 第8回パーソナルコンピュータ利用技術学会全国大会発表論文集, pp.191-194.

櫻井広幸　(2014) . 超臨場感テレワークサブシステムに関するメンタルモデル・アプローチによる分析 第16回日本テレワーク学会研究発表大会予稿集, pp.126-131.

讃井純一郎・丸山 玄 (2000). 日本建築学会（編）　よりよい環境創造のための環境心理調査手法入門 3章.2.1 評価グリッド法　技報堂出版　pp.57-65.

佐藤彰男 (2008). テレワーク「未来型労働」の現実　岩波書店.

社団法人日本テレワーク協会 (2008). テレワーク白書2008

社団法人日本テレワーク協会
多田瑞代 (2007). 職場における目標の共有が仕事の動機づけに及ぼす影響　経営行動科学, 20(3), 345-353.
田中貴紘・藤田欣也 (2012). オフィスワーカーの状況推定、電子情報通信学会誌,　95(5),　pp.457-460.
田中貴紘・深澤伸一・竹内晃一・野中雅人・藤田欣也 （2012）. 業務従事者を対象としたPC作業時の割り込み拒否度推定可能性の検討、情報処理学会論文誌, 53(1), pp.1234-1245.
超臨場感コミュニケーション産官学フォーラム 実証実験部会 超臨場感テレワークワーキンググループ (2015). 超臨場感テレワーク　http://reality.ei.tuat.ac.jp/urcf/ （2015年11月25日）.

（受稿 2015.11.27　受理 2016.1.7）

Development of Ultra-Realistic Telework Communication Systems and Deciding upon an Evaluation Method for Remote Communication

Masahiko SUGIMOTO (Motivation and Behavioral Sciences, Tokyo Future University)
Hiroyuki SAKURAI (Faculty of Psychology, Rissho University)
Tomoko HYUGANO (Child Psychology, Tokyo Future University)

Telework is observed from the angle of risk management to ensure business continuity and area activation. On the other hand, when the percentage of teleworkers becomes high, a problem emerges in that it becomes difficult for workers to see their shared situation. To address this problem, systems need to feature Ultra-Realistic Telework Communication Systems capable of recreating the office atmosphere. With this in place, a teleworker can work as though he or she is in the office. This paper describes the development of a subsystem to study Ultra-Realistic Telework Communication Systems in National Institute of Information and Communications Technology.
We created an evaluation grid using the mental model approach based on individual structural theory targeting remote communication and settled on an evaluation method for remote communication as the evaluation technique most suitable for this system. Settled evaluation method was estimated by remote communication this time. And we will report the evaluation item of the prototype settled by this research.

Keywords: Telework, Ultra-Realistic Telework Communication Systems, the remote communication, Evaluation Grid Method, Sense of unity