

## 手話 CG を利用したスポーツ番組視聴支援システム Sports program viewing support system using sign language CG

内田 翼<sup>†</sup> 宮崎 太郎<sup>†</sup> 東 真希子<sup>†</sup> 梅田 修一<sup>†</sup> 加藤 直人<sup>†</sup>  
Tsubasa Uchida Taro Miyazaki Makiko Azuma Shuichi Umeda Naoto Kato  
住吉 英樹<sup>†</sup> 山内 結子<sup>†</sup> 比留間 伸行<sup>†</sup>  
Hideki Sumiyoshi Yuko Yamanouchi Nobuyuki Hiruma

### 1. はじめに

公共放送である NHK の使命として、手話を母語とする耳の聞こえない方々に対する情報保障のための手話サービス拡充に向け、手話を CG アニメーションによって再現する手話 CG の研究開発を進めている。手話は手指の動きや表情などを使い概念や意志を視覚的に表現する視覚言語であり、音声言語である日本語とは全く異なる文法を持つ。そのため、日本語字幕だけでなく、手話を付与したコンテンツをさらに増やして欲しいという耳の聞こえない視聴者からの意見が多くある。しかし、専門的な手話キャスターや手話通訳業務に携わることができる人材のリソース不足などの問題により難しい現状がある。そのような課題解決に向け、国内外において人手を介さずコンテンツを自動生成できる CG アニメーションを利用した手話の研究が進められている[1,2,3,4]。我々は、現在の手話キャスターや手話通訳者を CG アニメーションで置き換えることを目的としている訳ではない。手話キャスターが不在の場合に発生した深夜の緊急警報を迅速に伝える場合や、約 1,800 箇所のにぼる日本全国市区町村の気象情報を随時提供する場合など、CG アニメーションにより手話キャスターや手話通訳では補えない部分を補間し、手話コンテンツを増やすことを目的として研究開発を進めている。

音声言語から手話への言語翻訳については、手話に共通の記述法がなく未だ基準となるような明確な体系化がなされていないことや、学習に必要な大規模対訳コーパスが存在しないなど多くの課題を抱えている[5]。対象領域を絞ることでその精度を高める手法[6]も検討されているが、入力された音声言語の語順を変えずにそのまま手話単語に置き換えただけで文法的な翻訳はなされていない。NHK でも、手話による情報提供の要望の高い気象情報を対象領域として、定型で配信される気象データと事前に用意した手話定型文を用いることで、純粋な日本手話の文法を考慮した手話 CG 自動生成技術の研究開発を進めてきた[7]。2017 年 2 月に、関東地方の朝昼夜の最新の天気予報を、気象庁から受信した気象データを元に自動生成する評価サイトをオープンした!

現在、我々は気象情報と同様に定型的な要素を含んでいるスポーツへ対象領域を拡大し、耳の聞こえない方々に様々なスポーツ番組をより楽しんでもらえるような手話

CG サービスの実現に向けて取り組んでいる。国内のリアルタイム手話通訳では通訳者への負荷が大きいため複数人が 15 分程度で交代する形式が一般的であり、複数のスポーツ中継にリアルタイム手話通訳を付けるようなサービスには相当数の人材リソースが必要となる。CG アニメーションを利用して手話による情報を自動生成できれば、リアルタイムかつ複数同時により多くのスポーツ番組に手話による情報保障を付与することが可能となる。スポーツにおいては、競技中に試合進行に合せた定型的な競技データが生成されるケースが増えてきており、それを元に手話情報の自動生成を試みる例もある[8]が、手話情報単体で独立して完結するような情報提示形態であるものが大多数である。同様に、これまで我々が開発を進めてきた定型気象情報に基づく手話 CG 自動生成システムも、完全に独立して成立するようなコンテンツを提供するサービスを目的としていた。しかし、スポーツにおいてはあくまでも試合映像が主体となるため、試合映像を考慮した上で手話 CG による情報保障を付与し、視聴者の視聴体験向上に繋げる必要がある。

今回、定型情報に基づく手話 CG 自動生成手法の概要と、スポーツ番組における情報提供の課題を述べ、競技中に配信される競技データから生成された手話 CG を試合映像と共に効果的に提示するために試作したスポーツ番組視聴支援システムについて報告する。

## 2. スポーツ向け手話 CG 自動生成における課題

### 2.1 定型情報に基づく手話 CG 自動生成手法

提案するスポーツ番組向けの視聴支援システムは、外部から逐次得られるデータに基づいて手話 CG を自動生成する手法[7]を採用する。本手法の概要は、図 1 に示すとおり、XML 等のデータ解析および手話用の定型文処理、手話モーション生成、CG アニメーション描画の 3 つの部分から構成される。

#### I. データ解析および定型文処理

XML 形式などの定型化されたデータを入力として、それを解析して提示する情報に関する必要な項目を抽出し、手話定型文データベースに格納された手話定型文の該当箇所に挿入することで手話表現が自動で決定される。

#### II. 手話モーション生成

定型文処理によって決定された手話表現に該当する手話モーションを手話モーションデータベースから選択する。選択した独立の手話モーション同士を接続し、一つのモー

<sup>†</sup> NHK 放送技術研究所

<sup>‡</sup> 一般財団法人 NHK エンジニアリングシステム

<sup>1</sup> <https://www.nhk.or.jp/strl/sl-weather/>

ションに合成することで文章単位の手話表現を生成している。手話モーションは、手話通訳者の手話を光学式モーションキャプチャによって収録したデータを利用している。

### III. CGアニメーション描画・動画生成

手話モーション生成部で生成された手話表現とCGモデルを組み合わせてCGアニメーションとしてレンダリングする。CGアニメーションについてはNHKが独自開発したCGレンダリングエンジンであるTV program Making Language (TVML)を利用している[12]。

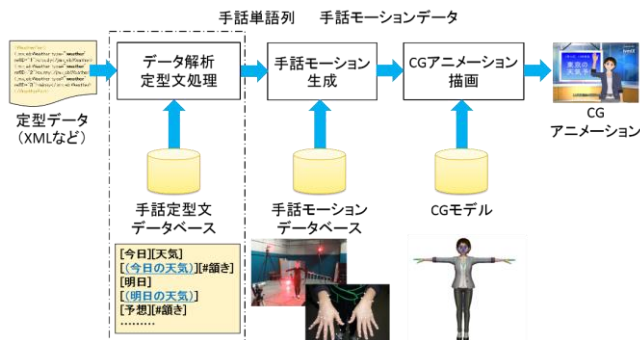


図1 定型情報に基づく手話CG自動生成手法の概要

## 2.2 スポーツ番組における手話CG生成の課題

定型情報に基づく手話CG自動生成手法をスポーツの競技データで応用するにあたっては、以下に示す(A)、(B)2つの課題がある。

### A) 手話モーション合成時の空間定位に関する課題

過去の手話ニュース映像やろう者・手話通訳者にヒアリングし、スポーツで重要となる手話表現を調査したところ、試合のスコアや対戦国を表現する際に、視覚言語である手話特有の空間定位が頻出することが分かった。手話では話者の周りの空間が人称と対応付けられており、文脈の上で一度対応付けられた空間が代名詞的な役割を担うという特徴がある[13]。これまで我々が取り扱った情報では空間定位を含む表現が少なかったため、収録した単語単位のモーションデータをそのまま文章へと合成しても直接的な問題になることは少なかったが、スポーツにおける空間定位を含む表現の場合はモーションキャプチャした生のデータを合成した際に違和感が生じてしまう。例えば、スポーツで頻出する“0対3”などのスコアを手話で表現する場合、“0”を話者の右側に表出し、同時に“3”を左側に表出するといった形を取り、スコアや対戦国、勝敗など対立する2つの項目は話者の左右や前後の空間に分けて表現される。既存のモーションデータをそのままを用いる従来手法では、全ての数字や国の表出位置がモーションキャプチャ

時の話者正面の位置に限定されてしまい、両手で話者の左右に数字を表出するような手話の特性を取り入れた自然な表現は不可能である。

### B) 手話コンテンツ提示手法に関する課題

スポーツ中継での情報保障を想定した場合に、これまで我々が取り組んできた情報と大きく異なる点として、試合映像が主体となるということが挙げられる。例えば、発表時の情報が一定時間継続する気象情報に関しては、手話CGアニメーション単体で天気予報や警報・注意報などの情報を提示しても有用なコンテンツとなる。スポーツに関しても同様の形態でサービスすることは可能であるが、提示できる情報は試合終了後の勝敗やスコアなどに限られてしまう。時々刻々と状況が変化する視聴中の試合映像にリアルタイムで情報を付与することができれば、単純な試合結果だけに留まらない様々な情報保障が可能となる。ただし、試合映像と手話はどちらも視覚情報となるため、手話によって提示する情報が競合しないような工夫や、試合映像と手話と間の視線移動によるユーザへの負担を考慮する必要が出てくる。また、気象情報においては、同時にコンテンツを生成しなければならない地域数が多いが、更新頻度は低く、テレビ映像などの主体となるコンテンツに依存しないため数秒単位の遅延は重要な問題にはならなかった。一方、スポーツ情報では試合中イベントが発生する度に不定期に情報を更新する必要があり、動画生成による遅延や、提示コンテンツの取舍選択・提示タイミングなども重要となる。

(A)、(B)2つの課題を踏まえた上で、耳の聞こえない方々がスポーツ番組視聴時に必要とする情報保障サービスを実現するためのシステム要件選定に向け、スポーツ番組視聴システムを試作した上でヒアリング調査を実施した。

## 3. スポーツ手話表現に向けた変換ツールの開発

手話を第一言語とする耳の聞こえない方々に対してスポーツ関連の情報を提供するためにあたって中心となる手話コンテンツは、2章の(A)で述べた頻出する空間定位などの課題を解決した違和感のない手話表現を選択する必要がある。そこで、スポーツ番組視聴支援システムの試作に先立って、既存のモーションデータを変換することで手話の空間定位を再現する手法を新たに検討し、そのための変換ツールを開発した。

### 3.1 空間定位のためのモーション変換

手話のモーションデータは関節ごとに時系列で記録されているため、ある一般単語のモーションデータに対して指定した関節データのみを抽出することが容易である。そのため、顔、右腕、右手首、指といった形でそれぞれの身体部位に関係する関節データを独立して取り扱うことができる。図2に手動でモーションデータを身体部位ごとに抽出し、再合成することで空間定位を再現した例を示す。

例えば図 2 に示した“0 対 3”の表現の場合は、手首を顔の右側に表出した一般単語“あ”のモーションの手首までのデータを利用し、手首から先を数字のモーションに置き換えることで、顔の右側に“0”を表出するモーションを新たに生成できる。同じ手順で作成した“3”を顔の右側に表出するモーションを左右反転すれば、左手で“0”を表出するモーションを生成できる。最後に、先ほどの右手の“0”と左手の“3”を同時に表出するように合成することで、既存モーションデータから空間定位を考慮した“0 対 3”の表現を再現することが可能となる。

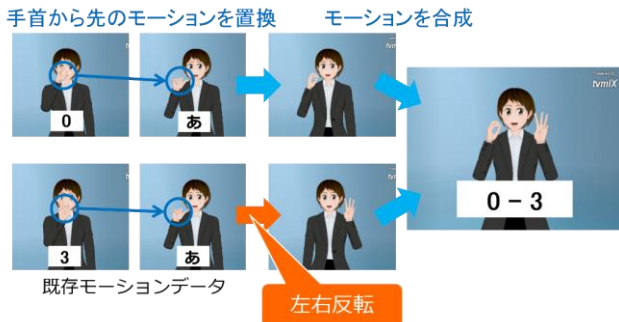


図 2 手話 CG による空間定位再現の例 (0 対 3)

同様の手法で大規模な設備や専門的なノウハウが必要となるモーションキャプチャ無しで、既存モーションキャプチャデータから、社会の変化と共に日々新たに生み出される一般単語の手話表現をデータとして生成することも可能となる。図 3 に新たな手話モーション生成の例を示す。



図 3 新たな手話モーション生成  
(例: YouTube)

### 3.2 モーション変換ツール

将来的な変換処理の自動化を見据えて、手動変換を GUI による簡易操作で実施できるモーション変換ツールを試作した。図 4 に、顔の右側に“0”を表出するモーションを生成する際の操作画面を示す。

組み合わせの素材となる 2 つのモーションデータを GUI によって右側の上下 2 つのウィンドウに選択することで、左側の大きなウィンドウに合成結果が出力される。合成素材となるモーションデータの身体部位や、合成する時間的な割合をパラメータ化しているため細かく設定できる。例えば、合成素材モーション A の右手首から指先までの全関節について、20 フレームから 50 フレームまでのデータを合成素材モーション B の指定したフレームにおける同じの関節のデータへ置き換えることが可能である。各モーションデータはツール上でリアルタイムに再生できるため、合

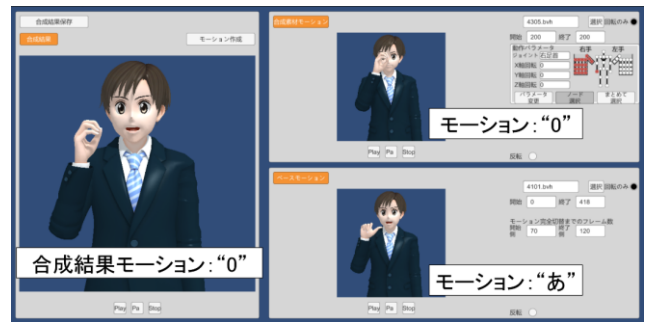


図 4 試作したモーション変換ツールの例

成素材モーションの使用する部位やフレーム、合成結果などを細かく確認しながら調整することが可能である。現在は目的のモーションを生成するまでに、手型を置き換えて合成した後に左右反転し再度合成するなど複数回の変換が必要となる。今後は、各種スポーツ競技において生成されるスコアや反則の有無、選手情報などの様々なメタデータを利用し、事前に処理をパターン化しておくことで自動化を図っていく。

## 4. スポーツ番組視聴支援システム

### 4.1 試作システム概要

耳が聞こえない方々にスポーツ番組をより楽しんでもらうことを目的とし、2 章の(B)で述べた課題を考慮した上で、手話だけでなくテキストや画像、振動などの様々な手段を用いて音声情報を補完するための試作システムを開発した。試作システムの概要を図 5 に示す。

試作システムは、情報提示用のアプリケーションを搭載したスマートフォンおよびタブレット端末、配信サーバ、コンテンツ生成 PC で構成される。システムを試作するにあたって事前に数名のろう者や通訳者にヒアリングを実施しており、字幕の文字情報だけではつまらないという意見や、試合映像だけでは分からない予備知識的なルール解説などがあると試合をより深く理解できて楽しめるなどという意見があったため、手話 CG によるルール解説や手話以外の選手情報や画像による盛り上がりの可視化を機能として実装した。また、試合映像の一部に手話の映像を重ねることで試合映像を妨げるような提示は避けてほしいという意見があったことや、耳の聞こえない方々に有効である振動機能を使えることもあり、スマートフォンやタブレット端末による情報提示を採用した。

#### スマートフォン/タブレット:

情報提示用のアプリケーションがインストールされている(アプリケーション詳細は 4.3 章にて後述)。配信サーバにて管理された各種コンテンツをネットワーク経由で取得し、試合状況に合わせたコンテンツを画面上に逐次表示する。

#### 配信サーバ:

イベント毎の手話 CG 動画や HTML テキスト、画像などのコンテンツファイルと、それらの提示タイミングを管理するコンテンツ管理 XML を保持する。コンテンツ管理

XML は、イベントが発生した時のみ提示される動画 XML と毎秒提示されるリアルタイム XML の 2 種類を用意している。動画 XML には、発生したイベントに関連する手話 CG 動画や最新の HTML テキストと画像への URL が記載されており、リアルタイム XML には、試合映像における盛り上がりを再現するための 5 段階の音声レベルと、試合が中断した場合などに音声提示されるホイッスルやブザー音を再現するためのフラグ情報が記載されている。

コンテンツ生成 PC :

試合映像の動画ファイル再生機能と、動画のタイミングに合わせて配信サーバ側のコンテンツ管理 XML を更新する機能を持つ。



図 5 試作システム概要

4.2 競技データと手話定型文の利用

現在、主にスポーツ中継番組において番組映像に重畳されるスコア表示などにリアルタイム配信された競技関連のメタデータが利用されている。そのメタデータを利用することで、定型情報に基づく手話 CG 自動生成手法のアルゴリズムで手話 CG を自動生成することができる。

オリンピックやパラリンピックにおいても、独自のメタデータ配信サービスがあり、試合中に得られた計測データや手入力によって逐次生成された詳細なメタデータが現地から配信されている。この競技データも XML 形式のデータであり、試合会場や対戦国名、現在のスコアや順位、反則の種類、全ての選手情報に至るまで競技に関する様々なデータが含まれている。このような競技データに対応する手話定型文を事前に用意し、競技データを解析し抽出された情報を手話定型文の該当箇所へ挿入することで、試合進行に合わせた手話表現を自動生成することが可能となる。図 6 に競技データと対応する手話定型文を利用した手話 CG 自動生成のイメージを示す。

手話定型文は手話単語ごとにモーションキャプチャした手話モーションのファイル名をカンマ区切りで記述したものとなっており、該当する手話単語モーション同士の接続部分を補間しながら逐次再生することで手話文章が自動生成される。生成の際に、競技データに含まれるスコアや対戦国名などの情報を利用して、空間定位などのモーション変換を合成時に自動的に処理することも可能となる。また、別途日本語文章の定型文を用意することで手話 CG と全く同じ手順で競技データから日本語文章を自動生成できた

め、手話 CG アニメーションに日本語字幕として付与することができる。

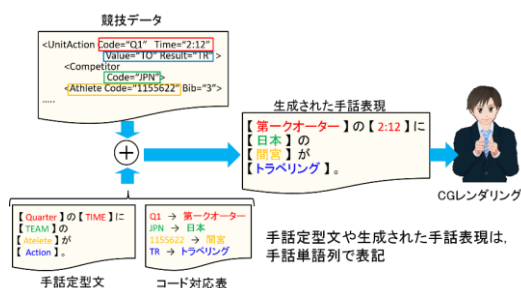


図 6 競技データと手話定型文を利用した手話 CG 自動生成

4.3 情報提示アプリケーション詳細

情報提示については、本システムに特化した Android OS 向けのネイティブアプリケーションを新たに試作した。図 7 にアプリケーションのメイン画面を、表 1 に機能一覧を示す。

手話 CG アニメーションは、リアルタイム配信される競技データに基づく自動生成を想定し、試合中のイベント単位で事前に字幕付き動画として生成した試合状況・ルール解説・試合ダイジェストの 3 種類とした。配信サーバに保持された各種手話 CG 動画については、試合状況動画は試合映像の進行に合わせたタイミングで自動再生し、ルール解説動画と試合ダイジェスト動画についてはユーザが確認したいタイミングでボタンをタップすることで再生される。

さらに、手話に限らず、耳の聞こえない方にとって有効な情報を効果的に提示するため、画像やテキスト、端末の振動など音声情報を補間するための様々な機能を実装している。例えば、会場の盛り上がりなどの臨場感を視覚的に再現するため試合映像の音声レベルをアイコン画像の数によってリアルタイムに可視化する機能や、反則による試合中断などの重要な場面で発せられる審判のホイッスルやブザー音に対応して端末を振動させる機能がある。競技中にホイッスルなどが鳴るタイミングはルールに関連して定義されていることが多いため、競技データの解析結果から自動付与することが可能となる。その他にも、競技データから自動生成可能な試合経過に伴って推移する最新のスコアや選手情報などがテキストや画像で提示される。

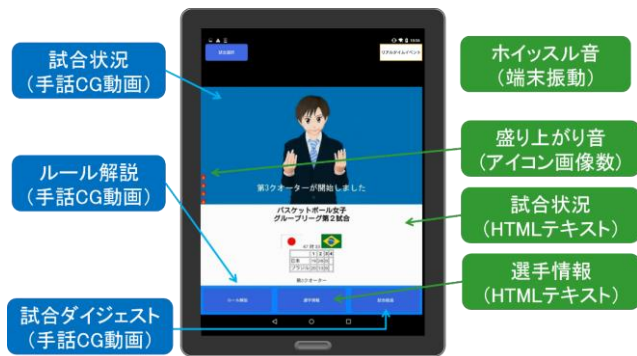


図 7 アプリケーションのメイン画面

表1 アプリケーションの機能一覧

機能	提示内容	コンテンツ	タイミング
試合状況	手話 CG	MP4	随時
	テキスト/画像	HTML	随時
ルール解説	手話 CG	MP4	選択時
試合ダイジェスト	手話 CG	MP4	選択時
ホイッスル音	端末振動	XML	随時
盛り上がり音	画像	XML	随時
選手情報	テキスト/画像	HTML	選択時

## 【アプリケーション使用方法】

## 通常時：

試合中にイベントが発生していない通常時は、試合映像に合せて手話 CG やテキスト・画像などでシュート結果やスコア、盛り上がりなどの試合状況を淡々と提示する。

## 特殊イベント発生時：

反則などの特殊なイベントが発生した場合は、振動によりスマートフォンやタブレットにユーザの注意を促し、手話 CG で付加情報を提示する。例えば、試合中に“トラベリング”という反則によって突然試合が中断した場合、音声による解説がなければ何が起こったのか理解できない人が多い。しかし、本システムを利用することで、“トラベリング”発生時の審判のホイッスル音を振動で代替提示した上で手話 CG によって「A選手がトラベリングをしました」という内容を提示することが可能となる。さらに、“トラベリング”のルールが分からない時にはルール解説をタップするだけで、“トラベリング”という反則の具体的な内容を手話 CG で把握することができる。

## その他：

途中から試合を見始めた際や試合の休憩中などには、現在のスコアや最高得点者などをまとめた手話 CG によるダイジェスト動画でこれまでの試合経過を振り返って確認することができる。

## 4.4 耳の聞こえない方へのヒアリング調査と考察

試作したシステムを元に、実際のスポーツ中継映像を用いたデモ環境を構築し、性別や年齢が様々な手話を母語とする協力者にヒアリング調査を実施した。ヒアリング協力者は20～40代の男女5名で、ろう者4名（男性2名、女性2名）および男性の CODA<sup>1</sup>の手話通訳士1名であった。図8にデモ環境の様子を示す。

ヒアリングに用いた競技はバスケットボールで、審判によるホイッスル音やルール解説が必要となるシーンを含んだ約3分間の試合映像をループさせて再生した。1回の試合映像再生中の手話による試合状況動画提示回数は13回、その内ルール解説およびホイッスルの振動提示は3回である。今回は正式な評価実験に向けた試作システムの構築が目的であり、口頭によるヒアリングと簡単なアンケート記

入のみ実施した。主な質問項目は、機能の要否、遅延の許容度、視線移動の負担などである。

ヒアリング調査で得られた様々な意見を大きく分類すると以下の通りであった。

## ポジティブな意見

試合が中断するなど突発的なイベントが発生した場合や気になった選手の情報や分からないスポーツ用語が出てきた場合に、手話やその他のコンテンツによる情報取得が番組視聴に役立つという意見が多く得られた。手話 CG についてはユーザが能動的に操作できるルール解説とダイジェスト動画が有効であり、必要な時に自分のタイミングで主体的に情報にアクセスできることが理想であるという結果になった。また、手話 CG による手話表現や情報提示の際の遅延に関する不満も少なかった。手話 CG 以外の部分については、画像アイコンによる臨場感再現の評価が高かった。

## ネガティブな意見

事前に想定した通り、映像を見ていれば内容が分かる試合状況動画などはわざわざ手話で提示する必要はないという意見があった。やはり、スポーツ番組の場合は試合映像が主体となるため、映像だけでは理解できない反則による試合中断などが発生した時だけユーザの視線をアプリケーションに誘導するような提示方法が望ましいと考えられる。また、ハードウェアに関しても事前調査の結果と異なり、視線移動による負担が大きいので手元の端末で見ると、TV画面内にワイプで埋め込んだりTV脇に設置したタブレットの方が疲れなくてよいという意見があった。具体的な提示手法の課題に対しては、放送コンテンツに対してより親和性の高い Hybridcast などの放送通信連携プラットフォームを利用することで実現できるサービスも考えられる。

今回のヒアリングは年齢・性別・スポーツ嗜好などが様々な協力者に実施しているが、対象とする競技に詳しいかどうかでユーザ毎に必要な情報が変わり、競技種目についても競技が異なれば提示すべき情報や提示タイミングなども変わってくると予想される。今回の試作システムをベースとして、ヒアリング対象者や競技種目を増やしながら検証を重ね、システム要件が固まり次第、定量的な評価実験を実施していく。



図8 デモ環境の様子

<sup>1</sup> CODA(Children of Deaf Adults)とは、聞こえない両親を持つ聴者の子どものことである。

## 5. おわりに

手話 CG 自動生成技術のスポーツへの話題拡充に向けて、競技中に配信される競技データを利用したスポーツ番組視聴支援システムを試作した。

ヒアリング調査の結果、ユーザが自らのタイミングで能動的に得ることのできるルール解説やダイジェストなどの付加情報や、音声情報の可視化による臨場感再現がスポーツ番組視聴体験の向上に有効であることが分かった。今後は、スポーツ特有の表現を再現するためのモーション変換ツールの自動化を進め、競技データとテンプレートを利用した手話 CG 自動生成の処理フローに組み込む予定である。

引き続き意見収集を継続し、各種機能の取捨選択を重ねながらシステムを精査していくと共に、サービス実用化に向けて新たな課題となる放送映像との同期やコンテンツ生成の高速化などについても並行して検討し、オリンピックやパラリンピックをはじめとしたスポーツ中継番組におけるサービス実現を目指して研究開発を進めていく。

### 謝辞

研究に協力して頂いた日本のろう者、手話通訳者、ご意見をいただいた皆様に感謝いたします。

### 参考文献

- [1] R. Elliott, J.R.W. Glauert, J.R. Kennaway, and I. Marshall, "The development of language processing support for the ViSiCAST project," Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies, pp. 101–108, 2000.
- [2] J.C. Schnepp, R. Wolfe, and J. McDonald, "Synthetic corpora: a synergy of linguistics and computer animation," Proceedings of Fourth Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages: Corpora and Sign Language Technologies (LREC2010), 2010.
- [3] J. Hurdich, "Utilizing Lifelike, 3D Animated Signing Avatar Characters for the Instruction of K-12 Deaf Learners," International Tech Symposium on Instructional Technology and Education of the Deaf, 2008.
- [4] 佐川浩彦, 佐藤真澄, 中島裕美, "作成作業の効率化と言語資源としての利用を考慮した手話アニメーション編集ツールの開発," 電子情報通信学会技術研究報告. WIT, Vol. 110, No. 221, pp. 99–104, 2010.
- [5] 加藤直人, 宮崎太郎, 井上誠喜, 金子浩之, 比留間伸行, 長嶋祐二, "気象情報を対象にした手話 CG 翻訳システムの開発とその評価," 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J100-D, No. 2, pp. 217–229, 2017.
- [6] J. Oh, S. Jeon, M. Kim, H. Kwon, and I. Kim, "An Avatar-Based Weather Forecast Sign Language System for the Hearing-Impaired," Proceedings of the 10th IFIP WG 12.5 International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations, pp. 519–527, 2014.
- [7] 東真希子, 比留間伸行, 内田 翼, 宮崎太郎, 梅田修一, 井上誠喜, 加藤直人, "気象情報手話 CG 自動生成システムの開発とその評価," HCG シンポジウム 2015, pp. 117–122, 2015.
- [8] Marco Romeo, Alun Evans, Daniel Pacheco, and Josep Blat, "Domain specific sign language animation for virtual characters," International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 2014), pp. 487–494, 2014.
- [9] T. Hanke, "HamNoSys-representing sign language data in language resources and language processing contexts," Proceedings of Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages (LREC2004), Vol. 4, 2004.
- [10] 市川薫, "手話表記法 sIGNDEX," 手話コミュニケーション研究, No. 39, pp. 17–23, 2001.
- [11] 梅田修一, 東真希子, 内田翼, 宮崎太郎, 加藤直人, 井上誠喜, 比留間伸行, "インバースキネマティクスを導入した手話 CG 制御方式の開発," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, H-4-1, p. 312, 2016.
- [12] H. Kaneko, N. Hamaguchi, M. Doke, and S. Inoue, "Sign language animation using TVML," Proceedings of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry, pp. 289–292, 2010.
- [13] 松本 忠博, 原田 大樹, 原 大介, 池田 尚志, "日本語を援用した日本手話表記法の試み," 自然言語処理, Vol. 13, No. 3, pp. 177–200, 2006.