

プラネタリウム映画への字幕後付け技術の開発

菰川 友宏(静岡大学)、小栗 妙子(浜松科学館)、左口 歩(浜松科学館)、
星合 厚(静岡大学)、竹林 洋一(静岡大学)

プラネタリウムのドームは広いため、字幕は話題の中心にあわせて動かしながら投影するのが一般的である。事実上困難なドームマスターへの書き込みと再スライスにかわって、既設の X-Y 投影機をプログラム駆動し、自由な位置に字幕を重畳する手法を実践したので報告する。

1. 実践対象

プラネタリウム映画(フルドーム映像)の聴覚情報保障について報告する。浜松科学館は2006年3月にコニカミノルタプラネタリウム社のGeministar-IIIによるデジタルプラネタリウムシステムを導入した。そのノウハウをさっそく活かして、はままつユニバーサルデザインフェア実行委員会では、翌2007年から字幕つきフルドーム映像の特別投影を企画し、浜松科学館の技術協力のもとで実践してきている。

もともと Geministar-III は SKYMAX により天球の任意の位置に文字を描画可能であるが、フルドーム映像送出時は映像送出系が占有されてしまい字幕の後付けに用いることはできない。そこで、ドーム内に残っていた X-Y 投影機をプログラム駆動し、狙った位置に字幕を重畳する方式が開発された。複雑な制御が必要になるが、ほかに打つ手はない…。この方法に重畳を託そう。

2. 実践可能な場所、必要な道具や準備

こんなこともあろうかと！と、プログラム制御可能な補助投影機(X-Y 投影機)をリニューアルで見捨てなかったデジタルプラネタリウム館。

3. 実践例

プラネタリウム映画の字幕後付けが、プラネタリウムや映画の字幕後付けと異なる点は以下のようにまとめられる。

表 1. プラネタリウム映画への字幕後付け

字幕の比較	(a)本編の明るさ	(b)本編の動き	(c)話者	(d)発話時刻	(e)即興発言	(f)字幕位置
プラネタリウム	暗い	ゆっくり	解説員 1 名	変動	あり	本編内
プラネタリウム映画	明るい	速い	登場人物の数	固定	なし	
通常の映画						本編外

プラネタリウム映画に不利 ← | → 有利 ← | → 不利

字幕は懐中電灯と同じ原理で (f) **本編内に重畳**するため、もともと明るいところには描くことができない。このため、字幕は、(a) **本編が明るい部分を回避**しながら (b) 動き回るオブジェクトの近傍に (c) **複数の話者を区別**して投影しなくてはならず、これが最大の問題となる。

反面、(d) **発話時刻が固定**であることや (e) **即興発言がない**ため、字幕はあらかじめ本編と等長のDVDやムービーとして用意しておくことができる。X-Y投影機の動きもあらかじめプログラム可能であるため、現場でのリアルタイム処理を要求されない点はプラネタリウムにおける星空解説の字幕よりやさしい。

しかしながら、通常、字幕の行数は500 ～ 600行もあるため、(ハコ割りにもよるが) 200テロップ以上の大作業になる。プラネタリウム映画は早送り、巻き戻しが自在にできないため、本編映像を繰り返し再生しながらひとつひとつプログラムしていったのでは、ドームの営業スケジュールに影響してしまう。

そのため、シミュレーションツールの開発によりドーム外で字幕を仕上げておき、ドーム内でその仕上がりを確認する方法を採用した。とくに、2010 年度実施の「HAYABUSA -BACK TO THE EARTH-」では、巧みなカメラワークによる本編の浮遊感を殺さないよう、字幕の表現力をどうしても向上させたかった。ツール自体を拡張する時間の余裕はなかったため、新規にスクリプト言語によるプログラムを開発してこまかな字幕表現に対応し、はやぶさの帰還に間に合わせた。従来の作品同様、字幕制作期間 2 カ月、ドームでのランスルー5 回に抑えて完成させることができている。

3.1. 本編内に字幕を描くということ

プラネタリウム映画の場合、劇場映画のように字幕をドーム下端に固定すると、視線移動が大きすぎてせっかくの美しい映像を楽しめなくなってしまう。このため、プラネタリウムの星空解説と同様、字幕は話題の中心を追いかけてながら本編内に投影していくことになる。

しかしそれは、障碍のある方のためにと行って、整然とならした美しい庭園の中に黄色い点字ブロックを敷くようなものだと考えている。字幕の場合は、スポット上映終了後、点字ブロックとちがってすぐ取り外せるため、版權者もそのあたりギリギリ理解を示してくださっているのかなあ…といった感触を受けている。そのため、本編内へ重畳する字幕素材は、以下を考慮しながら慎重に制作している。

- **本編オブジェクトとの相対関係**

オブジェクトの動きやカメラワークにあわせて動かしながら配置する(2007年度「銀河鉄道の夜」、2008年度「宇宙エレベータ」、2009年度「Birth of GAIA」、2010年度「HAYABUSA」)。複数のホワイトを用意して、可読性が担保でき、かつ本編よりも主張が強くない明るさのものを場面にあわせて使い分ける(2010年「HAYABUSA」)。

- **話者名の割愛**

話者名は聴覚障碍者にとって重要な手がかりであるが、劇場映画よろしく画面下に出すのとは異なり、本編内に出すと、とくに健聴者にとっては目障りに感じら

れることがある。また、聴覚障害者にとっては、追従するために読速度を上げる必要に迫られる。そのために以下の工夫をしている。

隣の話者よりも近い位置に配置し、誰のセリフであるのか明確にする（2008 年度「宇宙エレベータ」）。

複数の話者を区別しやすくするために、それぞれ書体で区別し、ごく淡い色で着色する（2007 年度「銀河鉄道の夜」、2008 年度「宇宙エレベータ」）。

● オノマトペの表現

バーン、ドーンといった情景音の文字化は聴覚障害者にとって重要な手がかりであるが、本編内に出すと（「うわー!!（エコー）」「ジュー（轟音）」など、付随する「（程度表現）」はとくに）、やはり目障りに感じられることがある。

情景音には手書き風の書体をあて（不思議なことに、これで大幅に緩和できる）、程度表現は Adobe After Effects で特殊な効果を与える（粉々に散らせたり文字を震わせたり）ことで代替する（2007 年度「銀河鉄道の夜」、2008 年度「宇宙エレベータ」、2009 年度「Birth of GAIA」、2010 年度「HAYABUSA」）。

本編オブジェクトとの相対関係については、たとえば、「HAYABUSA」においては、ハイゲインアンテナやソーラーパネルと噛み合って美しく見えるように考慮して段落を折り（図 1）、用意した 8 色のホワイトパレットのうち 6 色を使用して、本編の浮遊感を殺さないように動かしながら字幕を描いていった。

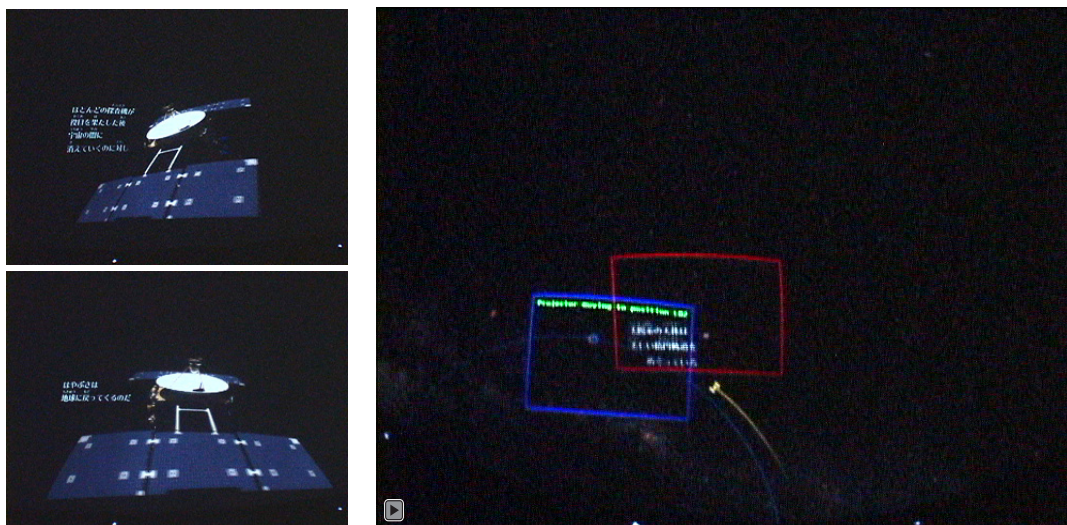


図 1. 段落のレイアウトと動き（版權:「はやぶさ」大型映像制作委員会）

3.2. 字幕制作の手順

字幕制作のおおまかな流れは、(1) ドームパラメータの測定、(2) シミュレーションツールによる字幕制作、(3) ドームでの試写調整 の 3 段階である。

3.2.1 ドームパラメータの測定

シミュレーションツールは、モデルベースではなく、イメージベースのものとして

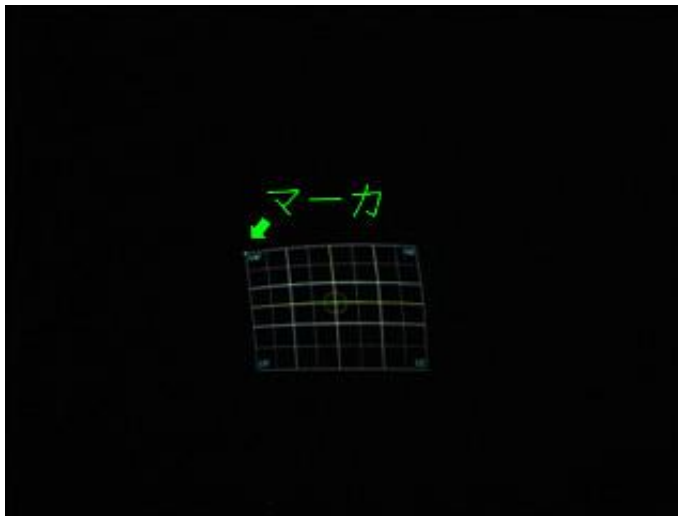
設計した。モデルベースのシミュレーションでは、ドームとX-Y投影機の位置関係、X-Y投影機への移動指示座標と雲台の回転角、X-Y投影機の投影画角などを知りツールに入力する必要がある。しかし、建築図面や機器の性能表を調べたり、あるいは測定したりして、これらをひとつひとつ入力することは面倒である。

そこで、これにかわり、魚眼レンズを装着したカメラで方眼と本編を1度撮影すれば測定作業が終了する方法を採用している。筆者らはこれを、イメージベースシミュレーションと呼んでおり、モデルベースシミュレーション同様に、測定作業終了後、字幕のオーサリングはすべてドーム外で行うことができる。

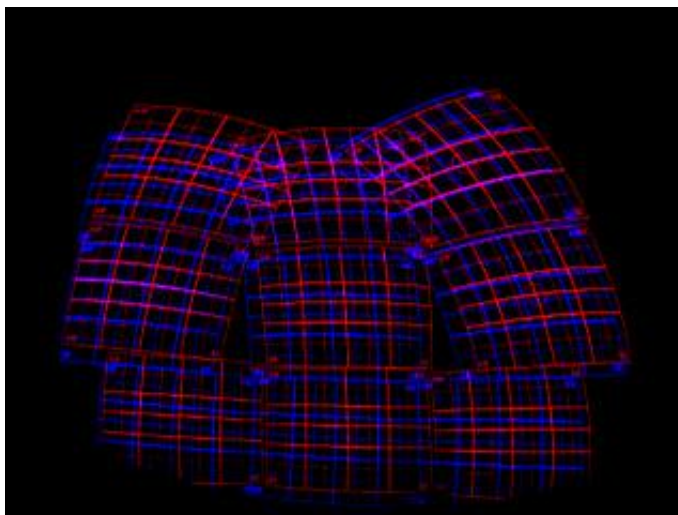
図2は測定作業の様子である。L側のX-Y投影機をホームポジションに動かして方眼を投影し、レーザポインタを自在クリップに装着したレーザーマーカ(図2a)で左上をポイントする(図2b)。次に、方眼の左下がマーカに当たるようにX-Y投影機に移動指示を出し、その指示座標を記録する。これを繰り返すことで、全天を覆う大きな方眼が得られる(図2c)。浜松科学館には2台のX-Y投影機があるため、固定したビデオカメラを用い、R側の投影機をあわせて計18枚の方眼を、指示座標を記録しながら撮影する(いちど指示座標をすべて記録してしまえば、別な作品の字幕を制作する際にもこの座標で移動指示するだけで方眼の張り合わせは可能であるから、次回からレーザーマーカは不要である)。カメラを固定したままで本編を全編通して収録すれば、測定作業は完了する。



a. レーザーマーカ



b. ホームポジション(L)



c. 方眼パッチ(L, R)

図 2 測定作業

3.2.2 シミュレーションツールによる字幕制作

カメラワークの複雑な作品や、とくに複数話者の作品などでは、X-Y 投影機が会話のターンテイキングに追従するような速度では移動しないことが問題になる。このため、X-Y 投影機自体の絶対移動と、投影している黒画面内の相対移動を組み合わせ、字幕の移動計画を立てて行く。さらに、浜松科学館では 2 台の X-Y 投影機と 2 台の DVD を用いて、片側が字幕を投影しているあいだにもう片側を次の持ち場に動かすことで絶対移動のレイテンシを隠蔽し、表現力を高めている（同時に別な字幕を出すことがなく、ビデオスイッチャが切換ノイズの気にならないものであれば、2 台の X-Y 投影機と 1 台の映像ソースでもこれをまかなうことは可能である）。当然ながら、ツールはこういった事情をサポートしなければならない。

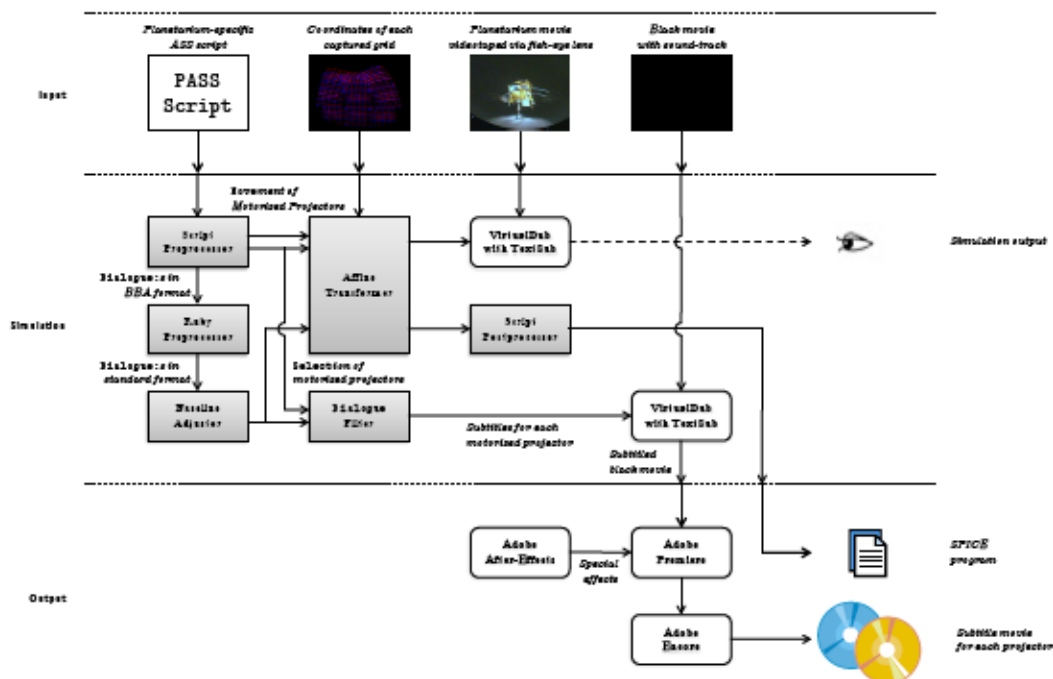


図 3 イメージベースのシミュレーションツール

字幕オーサリングに必要な入力には以下の 4 つ(ツールの入力としては最初の 3 つ)である。

- **PASS スクリプト**

プラネタリウム用の拡張を施した ASS (Advanced SubStation Alpha[1]) スクリプト。複数台の X-Y 投影機の移動指示やその出力切替などのメタコマンドを埋め込むことが可能。BBA (視覚障害者読書協会) フォーマットによるふりがなの記述能力や、学年指定による既習漢字のふりがな削除機能も持たせた。

- **方眼パッチ**

魚眼レンズを装着したビデオカメラで撮影したすべての方眼 (浜松科学館の場合は 9 箇所 × 2 台 = 18 個) の 4 隅の点について、それぞれそのビデオフレーム上の座標を読み取り、アフィン変換器へ基準座標として入力する。この作業によってアフィン変換器が任意の中間座標を計算できるようになり、X-Y 投影機を (この 9 箇所以外の) 任意の方向に向けたときの字幕の重なり具合のシミュレーションが可能になる。

- **本編映像**

ビデオカメラを固定したまま、魚眼撮影した本編映像。シミュレーションツールではこの上に字幕が描かれ、その重なり具合がドームでほぼそのまま再現される。

- **黒映像**

黒画面に音だけが入った、本編と等長のビデオ素材。ツールが出力する字幕データをこれとブレンドすることで、黒画面に字だけが入った字幕 DVD (もしくは字幕ムービー) ができる。

ツールはX-Y投影機を制御するためのSPICEプログラムを同時に出力する。書き込んだDVD-Rをプラネタリウム本体に接続されたプレーヤにセットし、出力されたSPICEプログラムの移動情報で駆動すれば字幕投影が可能になる。

シミュレーションツールによる字幕制作工程は(他の業務をこなしながらも)およそ1カ月程度で終了している。

3.2.3 ドームでの試写調整

ドームにおける試写調整は、同じく魚眼レンズを装着したカメラをドームに持ち込んで収録を行い、持ち帰って解析することで行う。プラネタリウム映画は巻き戻しや早送り自在にできないため、ランスルーで1回投影すると、その週の持ち時間を使い切ってしまうためである。ドームにおける試写調整は次の3つの意味で重要である。

- **各種タイミングの確定**

初回試写時は、本編映像の時刻、字幕映像の時刻、X-Y投影機の雲台の移動時刻のオフセットがすべてバラバラである(最大で0.8秒程度のズレを経験している)。そのため、投影素材には、タイミングマーカ(図1緑字「**Projector moving to Position L02**」)やエアリマーカ(図1赤枠、青枠)が含まれている。初回試写の収録素材をフレーム解析してそれらの相対オフセットを把握し、SPICEプログラムに反映させる。2回目の試写をフレーム解析してすべての時刻が正しく同期していることを確認し、3回目以降はこれらのマーカを消して試写を行う。なお、各投影機の投影エリアは十分に広いものであるが、エアリマーカが示すように、ドームスクリーン上ではほんのわずかずつの領域でしかない。ドームスクリーンは、私たちの感覚をはるかに超えた、大きな広がりを持っている。

- **現場での視聴**

シミュレーション画面は魚眼映像のため、眼下から背後までの領域が一瞥できてしまう。首がつりそうな位置に字幕が描かれていないか、次のセリフの字幕が離れすぎて視線が追従しないような箇所がないかなどを、実際にドームで確認する。浜松科学館の場合、車椅子席がドーム中央よりかなり前方にあるため、前方に着席したときの眺めも確認する。

- **微調整**

細い領域の隙間にギリギリ字を通すときなど、シミュレーションツール上では干渉がなくても、実際に重畳すると干渉してしまったり、干渉しないまでも左右のアキのバランスが悪くなることがある。これらはドームに実際に重畳して微調整を行う。

3.3. 音声ガイド

プラネタリウム映画の字幕つき投影を浜松ではじめたのは「美しい映像が全天に広がるのだから、聴覚に障害のある方には新しい楽しみになるのではないか」というのがきっかけであった。そのため、視覚に障害のある方のための音声ガイド(音声による場面解説)つき投影まで実施しようということは思いもよらなかった。

「HAYABUSA」も、CGがきれいで感動する作品である、というのが事前に耳に入っていたことだったが、字幕のための下見をして考えが変わり、音声ガイドをあわせて制作することにした。単にきれいで目を引く作品ということだけでなく、たいへん心を引く作品で、それがプラネタリウム映画にも音声ガイドを制作してみようとするきっかけになったのだと分析している。

浜松科学館のプラネタリウムにはアシストホーンなどの音声ガイドシステムが常設されていないため、音声ガイドつき投影は FM トランスミッタを仮設して行った。ガイドは字幕 DVD の音声トラックに収録し、DVD プレーヤーのヘッドフォンジャックからトランスミッタに導いている。字幕 DVD 自体が SPICE プログラムにより本編と同期しているため、音声ガイドも追加の工数なく本編に同期して自動で送出されている。

4. 実践上役立つヒントや留意点

字幕について

- **ND フィルタを活用する**

字幕用プロジェクタの薄黒の背景（灰景？）が目立つという声を聞く。浜松科学館は幸いにもはじめから 3 管式プロジェクタなのであるが、液晶プロジェクタや DLP プロジェクタでも ND フィルタを使えば灰景を黒にすることができる。プロジェクタのレンズ筒の内側にはたいていネジが切ってあるから、これに見合う ND4 フィルタをカメラ店で選んでもらい取り付けるとよい。

音声ガイドについて

- **平易な用語を使う**

音声ガイドは本編音声の空きを埋めるように詰まって行く。平易でない単語を用いると、意味が連想できるまでに本編がどんどん先に進んでしまう。「はやぶさの本体は、大きな段ボール箱を倒したような長方形」（「直方体」ってなんだっけ？ と考えているあいだに本編が進んでしまう）「ガスジェットを使う」（「化学スラスタ」もむづかしい）

- **単語は慎重に選ぶ**

「東京を通過して、10 秒、11…」（「出発して」では発射地点と紛らわしい）「大空、一面の星々」（「星空」では宇宙空間からの眺めと紛らわしい）

- **経験のあるものを引き合いに加える**

（「最大級のタンカーよりも少し長いといったところだ」）「新幹線で 21 両くらい」

音声ガイドは「見えたままをガイドし、見えていないものはガイドしない」のが原則である。しかし、科学映画の音声ガイドはいくつか工夫が必要だった。

たとえば「HAYABUSA」では、イトカワの特徴的地形として「M-V」（ミューファイブ）という字幕が現れ、これは音声ガイドでも読み上げられる。ただし視覚なしでは形状の類似がわからないため、「M-V」がなんであるのか理解することはむづかしい。このため、ロケットの初出時、胴体に M-V と書いてあるわけではないが、「それは、M-V ロケット」というように読み上げている。

また、地球スイングバイのシーンでは、はやぶさがデフォルメして書かれているため、「枠の大きさは、はやぶさの〇〇倍」と見たまま正直に解説してしまうと事実とそぐわなくなってしまう。具体的な大きさを出さずにスイングバイの精度の厳しさを伝える解説を、上坂浩光監督と相談して決定した。音声ガイド原稿には単語の選択の理由やガイドのタイミングなどがこまめに記載され、それに添削が行われている。

5. 実践例の評価

初回制作の「銀河鉄道の夜」で、7 回の試写を行っても完全に納得いくまでは字幕が仕上がらなかった経験から、ドームでの試写回数と字幕制作期間を少なくするために字幕シミュレーションツールを開発した。ツール開発後は、当時よりもはるかに複雑な字幕スクリプトを 4 回前後の試写で完成させることができおり、試写回数の短縮効果は確実にあがっている。

一方、制作期間については、残期間があると納得するまで字幕をいじくり回してしまうからか、期待した短縮効果は得られておらず、すべての作品について 2 か月のままである。ただし、本編の動きにあわせた字幕の相対移動は、「銀河鉄道の夜」の 6 テロップから、ツール導入後の「宇宙エレベータ」では 20 テロップと増え、「HAYABUSA」では 74 テロップにまで増えているため、減らなかった制作期間は字幕の品質向上に十分に活用されているのだろうと分析している。

6. 一般市民への天文学教育普及活動へのフィードバック

プラネタリウムで高齢者を見かけること自体ほとんどないため、高齢者から「助かった」という声はまだ聞いたことがない（ただ、話者の区別や同音異義語などを含め、字幕があってわかりやすかったという声を一般来場者からまれに聞くことはある）。

共視聴可能なコンテンツという意味では「字幕はそれほど邪魔ではなかった」という声をいただくことがいちばんありがたい。携帯端末やヘッドマウントディスプレイ（HMD）などは、字幕の選択的視聴の有効な手段でありそれらも試してはいるが、まだ視線や焦点の移動がわずらわしいように感じている（外した瞬間に転倒しないよう、HMD の焦点は眼前 2m 程度のところに合うように調整されている）。HMD の焦点は光学的にはどこにでも設定できるそうであるから、それを 10 ～ 15m とし、さらにジャイロで頭部の回転を検出できれば、ドームスクリーンへの重量と同程度の快適さで話者位置適応を含む字幕の選択的視聴が提供できるのではないかと期待している。

7. 謝辞

本報告書へのコンテンツの一部引用と、各種ガイド類の監修にご理解をいただいた「HAYABUSA -BACK TO THE EARTH-」の上坂浩光監督に御礼申し上げます。

8. 参考文献

[1] ASS Tags - Aegisub Manual http://aegisub.cellosoft.com/docs/ASS_Tags