

舌エージェントの3Dモデルを用いた英語 [r/l] 発音学習支援 English [r/l] Pronunciation Learning Support Using a 3D Tongue Agent

本村來輝^{1*} 柳朋輝¹ 松村直季¹ 米澤朋子¹

Raiki Motomura¹ Tomoki Yanagi¹ Naoki Matsumura¹ Tomoko Yonezawa¹

¹ 関西大学

¹ Kansai University

Abstract: 本研究では、英語のスピーキング学習における発話動作の直感的な理解を目的として、発音時の舌の動きを3次元的に可視化する舌エージェントと案内エージェントを用いたVR室内での発音学習支援システムを開発した。システムの動作映像を用いた事前実験の結果、舌エージェントと発音声を組み合わせたフィードバックは直感的な理解を高めること、正解動作と学習者の動作に加えその差分について説明することが有効であること、およびVR室内に案内エージェントが存在すると学習への抵抗感が低くなることが確認された。

1 はじめに

英語のスピーキング学習においては、日本語と英語の発声方法の違いが、日本語母語話者による英語音声の発話を困難にする要因の一つであると指摘されている [1]。正確な発音には、舌や口唇を意識的に動かす必要があるが、学習者が自身の発話動作を客観的に把握することは困難である。

Baran-Lucarz は、発音不安を、発音に対する自己知覚や否定的評価への恐れなどから成る多次元的概念と捉え、発音に関する自己評価の低さや不確実性が発話場面での心理的抵抗や発話回避につながる可能性を示唆している [2]。

また、Swain のアウトプット仮説 [3] や Schmidt の気づき仮説 [4] が示すように、学習者が自身の発話を振り返り、誤りに気づくプロセスは習得に不可欠である。

近年、教育工学分野ではVR技術が注目されており、その没入感や3次元的な空間表現能力は、現実には視覚的に確認することが困難な対象の可視化において高い潜在能力を持つとされる [5]。これに対し、従来の学習支援システムにおけるフィードバックは、音声による指摘や波形表示、あるいは2次元的なアニメーションに留まる場合が多く、立体的な構造を持つ舌の挙動を直感的に理解するには限界があった。特に/r/や/l/のように、日本語話者に類似した音として知覚されやすく、舌の形状が発音に大きな影響を与える音素においては、聴覚情報や平面的な視覚情報のみでは学習者

は具体的な調音動作をイメージしにくいことが指摘されている [6]。他者の正しい発音時の舌の動きや自身の舌の動きが不可視であることは、どの点をどのように改善すべきかが分からないまま学習を進めることにつながり、結果として学習者の不安を増幅させ、外国語不安を招く要因となり得る。したがって、聴覚情報以外を用いた、発音の誤りを直感的に把握可能なフィードバック形式が求められている。

そこで本研究では、VR空間の特性を活かし、発音時の舌の動きを3次元的に可視化する学習支援システムを提案する。本システムでは、入力音声のフォルマント情報に基づき変形する舌エージェントをVR空間内に提示することで、抽象的な音響情報を舌の動きとして可視化する。これにより、学習者が自身の発話動作と理想的な動作の差異を直感的に把握し、自己修正を行える環境を提供する。さらに、学習者にフィードバックを行う案内エージェントを配置することで、外国語不安の低減を図る。本研究は、視覚と聴覚の双方を用いた多角的なアプローチにより、学習課題発見の促進と外国語不安の解消を目的とする。

2 提案システム

2.1 システム概要

本研究では、英語の/r/および/l/の正確な発音学習支援、および学習者の外国語不安低減を目的とし、VR空間内で発話動作を可視化するシステムを構築した。

*連絡先：関西大学総合情報学部総合情報学科
〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号
E-mail: k488317@kansai-u.ac.jp

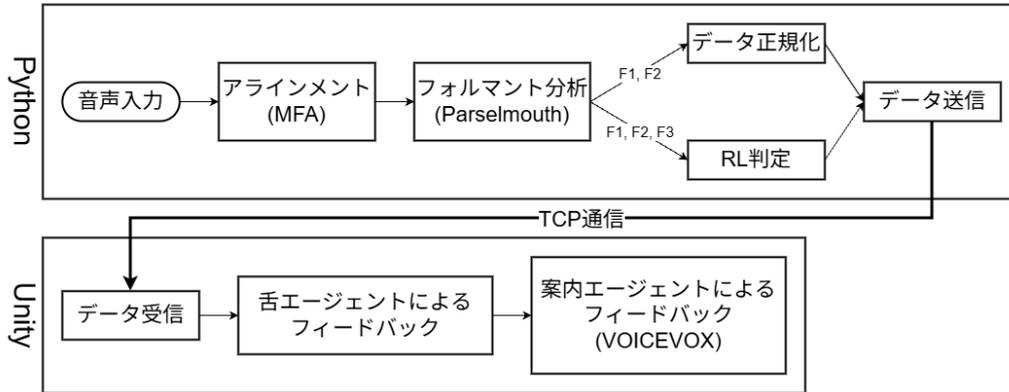


図 1: システムのフロー図

本システムは、HMD (Meta Quest 2) を装着した学習者が体験する VR 環境、入力音声解析する音声処理部、および解析結果を可視化する VR 描画部から構成される (図 1)。

学習者は空間内に配置された「舌エージェント」および「案内エージェント」と学習を行う (図 2)。システムは、学習者の発声音声から抽出したフォルマント情報に基づき舌の動きを 3 次元的に再現するとともに、発音の正誤判定に基づくフィードバックを行うことで、視覚と聴覚の双方から直感的なフィードバックを提供する。

2.2 音声解析と R/L 判定手法

音声処理部は Python を用いて実装され、Montreal Forced Aligner を用いた強制アラインメントにより、入力音声から分析対象の音素 (/r/または/l/) および後続母音の区間を特定する。特定された区間に対し、Parselmouth を用いてフォルマント (F1~F3) を抽出する。個人差を低減するため、事前に取得した学習者の母音データを用いて基準値を設定し、正規化処理を行う。

発音の判定および舌の可視化には、以下の音響的特徴量を用いる。

- **F3/F2 比**：/r/の調音では F3 が低下し F2 に接近するため [7]、/l/と比較して比率が小さくなる特徴を利用する。
- **F3 の遷移量**：/r/では F3 が低い帯域から急激に上昇する特徴があるため [8]、ターゲット区間の最小値と後続母音の平均値の差分を利用する。

これらの特徴量をスコア化し、閾値判定により発音の正誤 (R/L) を決定する。解析結果および正規化されたフォルマントデータは TCP 通信により VR 描画部へ送信される。

2.3 VR 空間におけるフィードバック

VR 描画部は Unity 上で動作し、受信データに基づき以下の 2 種類のエージェントを制御する。

2.3.1 舌エージェントによる可視化

舌エージェントは、口腔モデル¹と舌モデル²を統合した 3D オブジェクトである (図 3)。音声処理部から受信したフォルマントデータに基づき、ブレンドシェイプを用いて舌形状を変形させる。具体的には、舌の上下位置を F1、前後位置を F2 に対応付けることで、不可視である舌の動きを 3 次元アニメーションとして可視化する。また、イージング関数を適用し滑らかなアニメーションを実現している。

2.3.2 案内エージェントによる指導

案内エージェントは、親しみやすいクリオネのキャラクターモデル³をもち、VOICEVOX (WhiteCUL⁴) による音声合成を用いて進行ガイドおよび判定フィードバックを行うエージェントである。学習者の発話後、まず舌エージェントが発声音声の再生に同期して舌の動きを再現し、続いて案内エージェントが判定結果と舌の動きの改善点を音声で提示する。この一連のフローにより、学習者は自身の舌の動きおよび正しい舌の動

¹3D Pixel, “teeth wind-up”, GrabCAD Community, <https://grabcad.com/library/teeth-wind-up-1> (閲覧日: 2026-02-06).

²神部まゆみ, “ペロペロできる舌ペロの Unity オブジェクト!”, BOOTH, <https://mayumi-mart.booth.pm/items/2478061> (閲覧日: 2026-02-06).

³Atelier Lpin, “【Moblie 対応】クリオネ Clione / オリジナル 3D モデル”, BOOTH, <https://atelierlapin.booth.pm/items/6247611> (閲覧日: 2026-02-06).

⁴VOICEVOX:WhiteCUL, 株式会社 ZAN-SHIN / ヒロシバカズユキ, https://voicevox.hiroshiba.jp/product/white_cul/ (閲覧日: 2026-02-06).



図 2: 舌エージェントと案内エージェント

き（視覚）と、それぞれに対応する発声音声（聴覚）を確認しながら、修正すべきポイントを直感的に把握することが可能となる。

3 評価実験

本研究では、提案システムの有効性を検証するため、被験者がシステムの動作映像を視聴し、その印象を評価する主観評価実験を行った。

3.1 実験概要

3.1.1 実験用システムと刺激

被験者に対し安定した刺激を提示するため、前章のシステムを基に、事前に定義されたシナリオに基づいて動作する実験用システムを構築した。対象単語には、日本人学習者が特に習得困難とする「right」を選定し、入力音声には音声合成サービスを用いて生成した「right」（正解音声）および/r/を/l/に置換した「light」（学習者音声）を使用した。視覚的条件を統制するため、HMDによる自由視点ではなく、スクリプト制御によるカメラワーク（正面、右斜め前、真横）を用いて、舌エージェントの動作と音声を同期再生する動画を作成した。

3.1.2 実験手続きと参加者

実験はオンライン形式で実施し、大学生および大学院生 24 名（男性 19 名、女性 5 名、平均年齢 21.9 ± 0.5 歳）が参加した。参加者は、第三者がシステムを利用している動画を、自身が体験していると想定して視聴し、直後に Visual Analog Scale (VAS) 法 (0~99) を用いて、各質問項目（表 1）に回答した。



図 3: 舌エージェント

3.1.3 実験仮説

本実験では、以下のリサーチクエスチョンに基づき、5 つの仮説を検証する。

「VR 空間において、エージェントを介した舌モデルおよび発声音声の提示は、学習者の心理的抵抗感および学習課題の発見にどのような影響を与えるか。」

仮説 1 舌モデルによる視覚的フィードバックは、学習課題の発見を促進する。

仮説 2 発声音声による聴覚的フィードバックは、学習課題の発見を促進する。

仮説 3 舌モデルと発声音声を組み合わせたフィードバックは、それぞれを単独で提示した場合と比較して、学習課題の発見をより効果的に促進する。

仮説 4 より詳細な舌の位置に関するフィードバックは、学習課題の発見を促進する。

仮説 5 VR 空間内に案内エージェントが存在することは、学習者の心理的抵抗感を低減させる。

3.1.4 実験条件

本実験では、被験者内設計を採用し、以下の 4 つの条件群を設定した。

1. **条件群 1：舌モデルの評価（2 要因 4 条件）** 視覚的な「正解モデル（要因 A）」と「学習者モデル（要因 B）」の有無による影響。
2. **条件群 2：発声音声の評価（2 要因 4 条件）** 聴覚的な「正解音声（要因 A）」と「学習者音声（要因 B）」の有無による影響。

表 1: 質問項目リスト

ID	評価観点	評価項目	質問文
Q1	心理的抵抗感	不安	システムを用いて発音練習をする中で、不安を感じた
Q2		恥ずかしさ	システムを用いて発音練習をする中で、恥ずかしさを感じた
Q3		緊張	システムを用いて発音練習をする中で、緊張を感じた
Q4		ストレス	システムを用いて発音練習をする中で、ストレスを感じた
Q5		孤独感	システムを用いて発音練習をする中で、孤独感を感じた
Q6	システム評価	ユーザビリティ	システム全体を見ると使いやすかった
Q10		利用意欲	システムをもう一度使ってみたいと思った
Q7	フィードバック評価	内容の分かりやすさ	フィードバックの内容（舌モデル・音声・ガイダンス）はわかりやすかった
Q8		知覚のしやすさ	フィードバックは見やすかった・聞きやすかった
Q9		課題発見の容易性	発音の間違ひを見つけやすかった

3. 条件群 3：相乗効果の評価（2 要因 4 条件）「舌モデル（要因 A：正解・学習者の両方提示/提示なし）」と「発声音声（要因 B：正解・学習者の両方提示/提示なし）」の組み合わせ効果による影響。

4. 条件群 4：フィードバック内容と案内エージェントの評価（2 要因 8 条件）「フィードバック内容（要因 A：正解のみ/学習者のみ/両方/両方+差分説明）」と「案内エージェント表示（要因 B：あり/なし）」による影響。

ク評価では有意な交互作用が確認され ($p < .01$)、特に正解モデルが存在しない場合において、学習者モデルの提示が評価を向上させる傾向が見られた。

3.2.2 聴覚的フィードバックの効果（条件群 2）

心理的抵抗感において、正解音声（要因 A）の主効果が有意であり ($p < .01$)、視覚的フィードバックと同様に、正解音声の提示が抵抗感の低減に寄与することが示された。システム評価およびフィードバック評価においては交互作用が見られ、正解音声がある条件下では、学習者音声の有無による評価の差が顕著となった。

3.1.5 評価指標

回答結果に基づき、以下の 3 つの評価指標を定義した。

1. 心理的抵抗感: 不安, 恥ずかしさ, 緊張, ストレス, および孤独感の 5 項目の合計値 (範囲: 0~495)。値が小さいほど抵抗感が低い。
2. システム評価: ユーザビリティ, 利用意欲の合計値 (範囲: 0~198)。
3. フィードバック評価: 分かりやすさ, 知覚のしやすさ, および課題発見の容易性の 3 項目の合計値 (範囲: 0~297)。

3.2.3 視覚と聴覚の相乗効果（条件群 3）

心理的抵抗感, システム評価, フィードバック評価のすべてにおいて, モデル提示 (要因 A) および音声再生 (要因 B) の双方の主効果が有意であった一方で, 交互作用は有意ではなかった。この結果は, 視覚情報 (舌モデル) と聴覚情報 (音声) が, それぞれ独立して評価を向上させる加算的な効果を持つことを示唆している。

3.2.4 フィードバック内容と案内エージェントの効果（条件群 4）

心理的抵抗感において, 案内エージェント表示 (要因 B) の主効果が有意であり ($p < .05$)、VR 空間内への案内エージェントの配置が学習者の安心感につながる可能性が示された。また, フィードバック内容 (要因 A) については, システム評価およびフィードバック評価において主効果が有意であり ($p < .001$)、多重比較の結果, 正解と学習者の発音の差分について具体的に説明する条件 (A4) が, 他の条件と比較して有意に高い評価を得た。

3.2 実験結果

各条件群について 2 要因分散分析 (ANOVA) を実施した。平均と標準偏差を表 2 に, 2 要因分散分析 (ANOVA) の結果を表 3 に示す。

3.2.1 視覚的フィードバックの効果（条件群 1）

心理的抵抗感において, 正解モデル (要因 A) の主効果が有意であり ($p < .05$)、正解モデルの提示が学習者の抵抗感を低減させることが示された。フィードバック

表 2: 各条件群における評価指標の平均値と標準偏差

条件群・評価指標	心理的抵抗感		システム評価		フィードバック評価	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
条件群 1: 舌モデル評価 (A: 正解モデル, B: 学習者モデル)						
A1B1 (正解モデルあり/学習者モデルあり)	152.75	69.94	101.58	45.28	158.46	76.89
A1B2 (正解モデルあり/学習者モデルなし)	160.83	77.15	85.79	38.63	140.08	61.24
A2B1 (正解モデルなし/学習者モデルあり)	172.46	78.92	82.88	38.66	126.79	58.07
A2B2 (正解モデルなし/学習者モデルなし)	178.08	73.68	65.58	41.42	66.79	62.36
条件群 2: 発声音声評価 (A: 正解音声, B: 学習者音声)						
A1B1 (正解音声あり/学習者音声あり)	165.42	100.42	89.29	46.11	164.08	66.36
A1B2 (正解音声あり/学習者音声なし)	164.42	86.53	69.63	41.51	124.42	65.67
A2B1 (正解音声なし/学習者音声あり)	191.42	103.98	59.08	41.38	80.92	71.24
A2B2 (正解音声なし/学習者音声なし)	189.21	102.11	59.67	42.29	88.13	68.26
条件群 3: 視覚と聴覚の相乗効果評価 (A: 舌モデル, B: 発声音声)						
A1B1 (舌モデルあり/発声音声あり)	131.71	80.19	136.92	46.64	213.13	69.16
A1B2 (舌モデルあり/発声音声なし)	148.50	83.53	98.33	52.38	149.58	76.61
A2B1 (舌モデルなし/発声音声あり)	157.00	85.01	86.00	44.16	136.25	64.04
A2B2 (舌モデルなし/発声音声なし)	172.08	99.42	59.63	46.72	78.92	68.26
条件群 4: 内容と案内評価 (A: 内容 [1: 正解, 2: 学習者, 3: 両方, 4: 差分], B: 案内エージェント)						
A1B1 (正解のみ/案内エージェントあり)	142.50	80.71	119.08	42.82	188.50	60.78
A1B2 (正解のみ/案内エージェントなし)	164.33	82.98	111.71	46.31	173.04	67.45
A2B1 (学習者のみ/案内エージェントあり)	144.54	83.10	109.63	46.20	173.58	62.88
A2B2 (学習者のみ/案内エージェントなし)	154.92	71.52	112.00	47.04	176.92	68.32
A3B1 (両方/案内エージェントあり)	145.25	86.58	123.08	48.01	191.08	69.84
A3B2 (両方/案内エージェントなし)	150.25	89.95	119.25	48.47	189.17	69.57
A4B1 (両方+差分/案内エージェントあり)	137.21	88.57	137.04	51.57	217.88	69.67
A4B2 (両方+差分/案内エージェントなし)	153.21	79.38	137.17	43.96	214.33	64.83

表 3: 各条件群における分散分析の結果

条件群・評価指標	要因 A 主効果		要因 B 主効果		交互作用		検定結果
	F	p	F	p	F	p	
1. 舌モデル評価							
	A: 正解モデル (df=1)		B: 学習者モデル (df=1)				
心理的抵抗感	4.71	.041*	1.25	.276	0.03	.870	A1 < A2
システム評価	18.65	<.001*	8.09	.009*	0.04	.839	A1 > A2, B1 > B2 B1(A1 > A2), B2(A1 > A2)
フィードバック評価	41.12	<.001*	25.08	<.001*	14.19	.001*	A2(B1 > B2)
2. 発声音声評価							
	A: 正解音声 (df=1)		B: 学習者音声 (df=1)				
心理的抵抗感	10.60	.003*	0.08	.787	0.01	.917	A1 < A2
システム評価	14.31	<.001*	5.46	.029*	5.91	.023*	B1(A1 > A2), A1(B1 > B2) B1(A1 > A2), B2(A1 > A2)
フィードバック評価	24.45	<.001*	4.24	.051	8.04	.009*	A1(B1 > B2)
3. 相乗効果評価							
	A: モデル提示 (df=1)		B: 音声再生 (df=1)				
心理的抵抗感	8.98	.006*	4.97	.036*	0.05	.823	A1 < A2, B1 < B2
システム評価	41.86	<.001*	25.87	<.001*	2.15	.156	A1 > A2, B1 > B2
フィードバック評価	37.91	<.001*	43.35	<.001*	0.32	.578	A1 > A2, B1 > B2
4. 内容・案内評価							
	A: フィードバック内容 (df=3)		B: 案内エージェント (df=1)				
心理的抵抗感	0.68	.511	6.91	.015*	1.69	.178	B1 < B2
システム評価	10.06	<.001*	1.09	.306	1.31	.279	A4 > {A1, A2, A3}
フィードバック評価	10.84	<.001*	2.97	.098	2.35	.080	A4 > {A1, A2, A3}

4 考察

4.1 学習課題発見の容易性とフィードバックの受容性

システム評価およびフィードバック評価の結果から、視覚・聴覚情報の提示効果について考察する。まず、舌モデル（視覚）および発声音声（聴覚）の提示は、いずれもシステム評価およびフィードバック評価を有意に向上させた。この結果は、仮説1および2を支持するものである。特に、双方を併用した条件において交互作用が見られず、両主効果が確認された点は、視覚的な空間情報（舌の位置）と聴覚的な時間情報（発声音声）が、学習者にとって独立した有益な情報として知覚されたことを示唆している。この結果は、視覚・聴覚の単独提示よりも併用提示が効果的であるとする仮説3を、主観的なわかりやすさの観点から支持するものである。

また、フィードバック内容（条件群4）において、正解と学習者との差分を言語化して説明する条件が最も高い評価を得たことは、仮説4を支持する。両者の差異を言語化することで、学習者は改善点をより具体的にイメージできたと推察される。

4.2 心理的抵抗感の緩和と案内エージェントの役割

次に、心理的抵抗感の評価結果から、システムが情意面に与える影響について考察する。VR空間内に案内エージェントが存在することで抵抗感のスコアが有意に低下した結果は、仮説5を支持する。本実験は動画視聴による印象評価であるが、被験者は案内エージェントの存在によって、孤独感や緊張感が緩和されると予期したと考えられる。また、条件群1（舌モデル）および条件群2（発声音声）の結果において、正解のモデルや音声提示された場合に抵抗感が低減した点も注目に値する。これは、到達すべきゴールが明示されることで、学習の見通しが立ち、漠然とした不安を軽減できると判断された可能性がある。

4.3 総合的考察

以上の結果より、本システムのアプローチは、直感的に理解しやすく、かつ心理的負担の少ない学習環境として受容される可能性が高い。特に、視覚と聴覚を組み合わせ、かつ正解との差分を明示することは、学習者が自身の課題を発見しやすいと感じる要因となり、案内エージェントや正解モデルの提示は学習への心理的ハードルを下げる要因となることが示唆された。た

だし、これらの結果はあくまで動画視聴に基づく印象評価であるため、実際にHMDを装着して発話を行った場合に、システムやフィードバックの評価に与える影響や、また実際に発音技能が向上するかについては、今後の検証が必要である。

4.4 課題と今後の展望

本研究の限界として、以下の4点が挙げられる。

第一に、学習効果に対する客観的評価の不足である。本実験は動画視聴に基づく印象評価であり、主観的なわかりやすさやシステムの受容性は確認されたものの、システムの利用が学習者の発音技能を実際に向上させるか、およびVR実機を用いた場合の身体的な学習体験が及ぼす影響については未検証である。

第二に、学習効果の持続性に関する検証不足である。発音学習においては、一時的な矯正だけでなく、長期的な技能の定着が求められる。本実験のような単発的な刺激提示が、長期的な学習効果や、システム非使用時における発音精度にどのような影響を与えるかは明らかではない。

第三に、検証範囲の限定性である。現在は対象を/r/および/l/の単語発話に限定しており、文単位の発話や他の音素への適用可能性については未検証である。

第四に、舌の位置推定精度の限界である。現状の舌モデル制御はフォルマント情報に基づく推定であり、完全な再現には至っていない。特にフォルマント値の急激な変化や欠落が生じた場合、舌の動きの再現性が低下する課題が残されている。

これらの課題を踏まえ、今後は以下の4点に取り組む。

第一に、実機を用いた学習効果の検証である。HMDを用いた実機での評価実験を行い、インタラクション体験が学習効果に与える影響を検証し、実際に学習者の発音精度が向上するかを明らかにする。

第二に、長期利用実験による技能定着の検証である。複数回のセッションを通じた長期的な利用実験を行い、学習効果の持続性や、システム非使用時における発音パフォーマンスへの影響を検証する。

第三に、舌位置推定精度の向上である。機械学習モデルの導入により、フォルマントからの推定精度を高め、より正確かつより個人差を低減した舌の可視化を目指す。また、フォルマント情報以外のデータを用いた、複合的な位置推定手法についても検討する。

第四に、大規模言語モデルの統合による機能拡充である。本実験で有効性が示された差分の言語化を、LLMを用いて動的かつパーソナライズされた形で生成することで、学習者個々の癖や課題に即した、より高度な学習環境の構築を目指す。

5 おわりに

本研究では、VR空間で舌の動きを可視化する発音学習支援システムを開発した。評価実験の結果、視覚・聴覚情報の併用と正解との差分説明が直感的な理解を促し、案内エージェントの存在が心理的抵抗感を低減することが確認された。今後は、実機を用いた検証やLLM統合によるフィードバックのパーソナライズ化に取り組む。

謝辞

本研究は、一部科研費 JSPS 22K19792, 24K02977, 23K11278, 23K11202, 25K06813, 21K03082 の助成を受け実施した。実験参加者の皆様に深く感謝する。

参考文献

- [1] J. E. Flege and O.-S. Bohn. The revised Speech Learning Model (SLM-r). In R. Wayland, editor, *Second Language Speech Learning: Theoretical and Empirical Progress*, pages 3–83. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2021.
- [2] M. Baran-Lucarz. The link between pronunciation anxiety and willingness to communicate in the foreign language classroom: The Polish EFL context. *The Canadian Modern Language Review*, 70(4):445–473, 2014.
- [3] M. Swain. Communicative competence: Some roles of comprehensible input and comprehensible output in its development. In S. M. Gass and C. G. Madden, editors, *Input in Second Language Acquisition*, pages 235–253. Newbury House, Rowley, MA, 1985.
- [4] R. W. Schmidt. The role of consciousness in second language learning. *Applied Linguistics*, 11(2):129–158, 1990.
- [5] D. Hamilton, J. McKechnie, E. Edgerton, and C. Wilson. Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8(1):1–32, 2021.
- [6] W. F. Katz and S. Mehta. Visual feedback of tongue movement for novel speech sound learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9:612, 2015.
- [7] K. Aoyama, L. Hong, J. E. Flege, R. Akahane-Yamada, and T. Yamada. Relationships between acoustic characteristics and intelligibility scores: A reanalysis of Japanese speakers’ productions of American English liquids. *Language and Speech*, 66(4):1030–1045, 2023.
- [8] C. Y. Espy-Wilson. Acoustic measures for linguistic features distinguishing the semivowels /w j r l/ in American English. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 92(2):736–757, 1992.